



藏行顯光
成就共好

Achieve Securely
Prosper Mutually

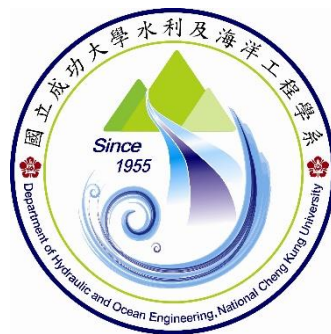
國立成功大學 九十五週年
95th Anniversary of NCKU

第25屆水利工程研討會

2021年9月9日~9月10日

國立成功大學 (視訊會議)

論文集



主辦單位：中國土木水利工程學會 水資源工程委員會

承辦單位：國立成功大學 水利及海洋工程學系

第二十五屆水利工程研討會

■ 主辦單位



中國土木水利工程學會水資源工程委員會

■ 承辦單位



國立成功大學水利及海洋工程學系



經濟部水利署



成大水利海洋研究發展文教基金會



國立成功大學防災研究中心



國立成功大學水科技研究中心

■ 協辦單位 (依筆劃順序排列)



中原大學土木工程學系



中興工程顧問社



科技部工程科技推展中心



國立成功大學工學院



國立成功大學水工試驗所



國家發展委員會



農田水利署石門管理處



農田水利署屏東管理處



■ 廣告贊助 (依筆劃順序排列)



CECI



台灣世曦

工程顧問股份有限公司

www.ceci.com.tw



匯通藝文新地標／大港橋

全臺首座水平旋轉橋梁，串聯亞洲新灣、駁二、蓬萊商港區，完備港灣環鏈遊憩線，點亮港都海灣觀光新廊道。



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

台北市11491內湖區陽光街323號

No. 323 Yangguang Street, Neihu District, Taipei City 11491, TAIWAN

Tel:(02)8797-3567 Fax:(02)8797-3568

E-mail:pr@ceci.com.tw

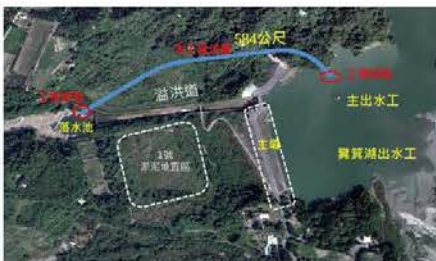
用心
做好每一件事情

匠心，才得以淬煉「專業」品質
誠心，才足以貫徹「人本」信念
悉心，才可以恢宏「關懷」情操
台灣世曦永遠以「心」為出發
持續履行對土地、對人民不變的承諾
一個環境永續的生態樂園
一個幸福溫馨的生活家園



服務項目：

- 水利工程計畫之調查、測量、規劃、設計、監造
- 道路及橋樑工程之調查、測量、設計、監造
- 河海新生地工程之調查、測量、規劃、設計、監造
- 土地重劃工程之調查、測量、規劃、設計、監造
- 電機工程之規劃、設計、監造
- 水土保持工程之調查、測量、規劃、設計、監造
- 營建工程專案管理(PCM)
- 河川汙染整治工程之調查、測量、規劃、設計、監造
- 環境保護工程及環境影響評估之調查、測量、規劃、設計、監造
- 自來水及下水道工程之調查、測量、規劃、設計、監造
- 地質調查及地質鑽探
- 水工機械工程之規劃、設計、監造
- 景觀工程之調查、測量、規劃、設計、監造
- 人力派遣



白河水庫防洪防淤隧道



文山區憲兵營區停車場滯洪池新建工程



曾文水庫防淤隧道工程



豐原前處理機電整備工程

安順寮排水滯洪池新建工程
榮獲第20屆公共工程水利類金質獎 優等

白河水庫防洪防淤隧道新建工程
榮獲第19屆公共工程水利類金質獎 佳作

豐原前處理機電整備工程
榮獲第19屆公共工程設施類金質獎 佳作

湖山水庫第二原水管工程
榮獲勞動部「第14屆公共工程金安獎」特優

石門水庫阿姆坪防淤隧道工程
榮獲勞動部「第14屆公共工程金安獎」佳作

台14線39K育樂橋橋基改建工程
榮獲勞動部「第13屆公共工程金安獎」特優

台17線五王大橋改善工程
榮獲勞動部「第13屆公共工程金安獎」佳作

曾文水庫防淤隧道工程
榮獲106年度公共工程品質優質類水利獎 優良獎



 黎明工程顧問股份有限公司
LIMING ENGINEERING CONSULTANTS CO.,LTD

台灣台中市408南屯區大墩十七街137號3樓
3F., No.137, Dadun 17th St., Nantun Dist.,
Taichung City 408, Taiwan (R.O.C.)
TEL: 886-4-23208051
FAX: 886-4-23208025
http://www.limi.com.tw
e-mail: limi@ms7.hinet.net

黎明(越南)建設設計顧問有限公司

LIMING(VIET NAM)CONSULTANTS ARCHITECTURE COMPANY LIMITED
12F 04A 184 LE DAI HANH ST.11TH DIST.HOCHIMINH CITY,VIET NAM
TEL:+84-8-39621961

黎明(柬埔寨)建設設計顧問有限公司

LIMING(CAMBODIA)ENGINEERING CONSULTANTS COMPANY LIMITED
No.515 Monivong Blvd, Boeung Keng Kong2, ChamKarmon PhnomPenh Cambodia
TEL:+855-11666090

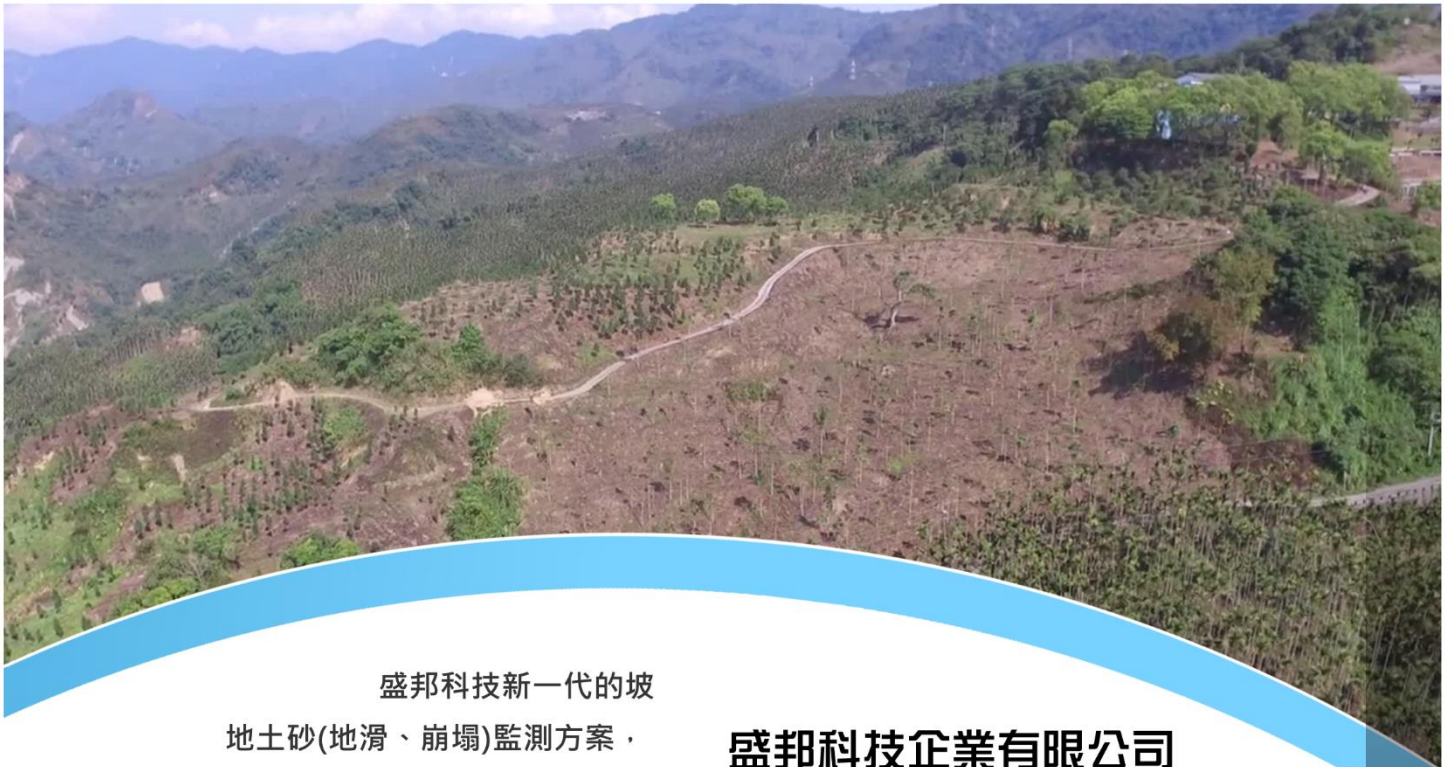


都市防災

盛邦科技憑藉長年案場積累之經驗，結合各類先進技術的應用，致力於物聯網監測設備及儀器的開發；我們的產品與方案，目前已經穩定的投入到許多公部門的都市防災計畫中。

更準確的說，我們針對不同類型的都市防災需求，提供了一系列強悍的整合方案，基於災害多具迅猛致命的通性，我們的產品不僅能夠快速反應致災可能，並發布預警，更可將災害歷程數據化及可視化，相較於全球市場的各類同質性產品，除了更為經濟耐用，在節能及智能兩個面向都是施測單位的不二首選。

| | | | |
|---|---|---|---|
|  <p>一體式水位水溫電導度計</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 型號：TE150-CTD ● 纜線長度：60M(可選) ● 水位量測範圍：0~30M(可選) ● 水位精度：0.1%FS ● 水溫量測範圍：-10~60°C ● 水溫精度：±0.2°C ● 電導度量測範圍：0~200ms/cm ● 電導度精度：±2% ● 通訊介面：RS485 ● 材質：不鏽鋼 316L ● 防護等級：IP68 ● 感測器直徑：25mm ● 水位過壓保護：2倍滿量程壓力 ● 電導度：四極式石墨電極 |  <p>雨量計</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 型號：TK-1 ● 型式：傾斗式 ● 承雨口徑：200mm·刃口≤30° ● 精度：20mm/hr 以下±0.5mm ● 20mm/hr 至 120mm/hr ±3% ● 每一傾斗之雨量：0.5mm、1.0mm ● 儀器外殼：不鏽鋼金屬材質 ● 接點信號：無極性型磁簧開關 ● 信號輸出接點：1 組 ● 環境溫度：-10°C~60°C ● 具水平調整氣泡及排水通氣孔之防蟲網 |
|  <p>雷達波流速計</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 流速量測範圍：0.2~15 m/s ● 流速量測精度：±0.02 m/s ● 流速解析度：0.01 m/s ● 工作溫度：10°C~60°C ● 防護等級：IP66 |  <p>淹水水位計</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 水位量測範圍：0~2.5M(其他範圍可選) ● 水位精度：0.25%FS(標準) ● 水位解析度：0.05%FS ● 過壓保護：2 倍滿量程壓力 ● 水位計尺寸：≤直徑Φ25mm |
|  <p>資料記錄器</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 型號：IoT-LOG8 ● 信號輸入：2 數位、2 類比、1 雨量 ● 數位通訊接口：RS485 ● 記錄容量：每分鐘記錄可保存 3 年以上資料；單通道可達 50 萬筆 (具備環記功能) ● 記錄間距：1 分~24 小時 ● 具 NB-IoT(LPWAN)傳輸功能 ● 具現場連線設定用連接埠 ● 電池組：一次性鋰電池 7.2V(36Ah) ● 工作溫度：-10°C~65°C(非結露) ● 儲存溫度：-20°C~85°C(非結露) ● 防護等級：IP68 |  <p>超音波水位計</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 型號：IoT-SU-20 ● 水位量測範圍：0.3~5M ● 水位精度：0.25%FS ● 水位解析度：1mm ● 工作電壓：2.7~5.5V ● 工作電流：2.9mA 平均 ● 工作溫度：-40°C~-65°C ● 防護等級：IP68 ● 具內部的溫度補償 |
| <ul style="list-style-type: none"> ● 上述資料紀錄器可接其他感測器，如：雨量計、蒸發計、氣壓計、水位計、電磁流量計、雷達波流速計、傾斜計、地表伸縮計、水質(水位/水溫/電導度/pH)、土壤水分、溫度、電導度計等 ● 接雨量計時，雨量事件記錄筆數：每滿一傾斗雨量之時間點記錄共 165 萬筆 ● 智慧 AI 雨水下水道監測及雨量計專用之 IoT-LOG8，其防護等級僅提供 IP67 | |  <p>壓力式水位計</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 型號：IoT-SP-20 ● 水位量測範圍：0~3M(其他範圍可選) ● 水位精度：0.1%FS ● 水位解析度：0.05%FS ● 過壓保護：2 倍滿量程壓力 ● 水位計尺寸：≤直徑Φ25mm |



盛邦科技新一代的坡

地土砂(地滑、崩塌)監測方案，

採用 Log8 低功耗記錄器為核心，整合地表傾斜 (MEMS)、地表伸縮、土壤水分 (FDR)、地下水位、雨量等監測參數，輔以物聯網雲端技術，架構起遠端監控的地滑監測系統，可以對容易發生地滑的區域進行即時監控。

透過資料的採集，可提供有關防止邊坡災害的資訊，從而讓管理人員可進行預測分析和處理，並制定相應的解決方案，迅速有效的達成防災目的。

盛邦科技企業有限公司

PROCAL TECHNOLOGY CO.,LTD.

統一編號 23834898

公司地址 (702)台南市南區新和一路1巷5號

(安平工業區)

TEL: 886-6-2630737

FAX: 886-6-2634505

E-mail: tw.procal@msa.hinet.net

網址: <http://www.procal-tech.com>

業務部窗口: 886-6-2630737 #15 王柔媛 小姐



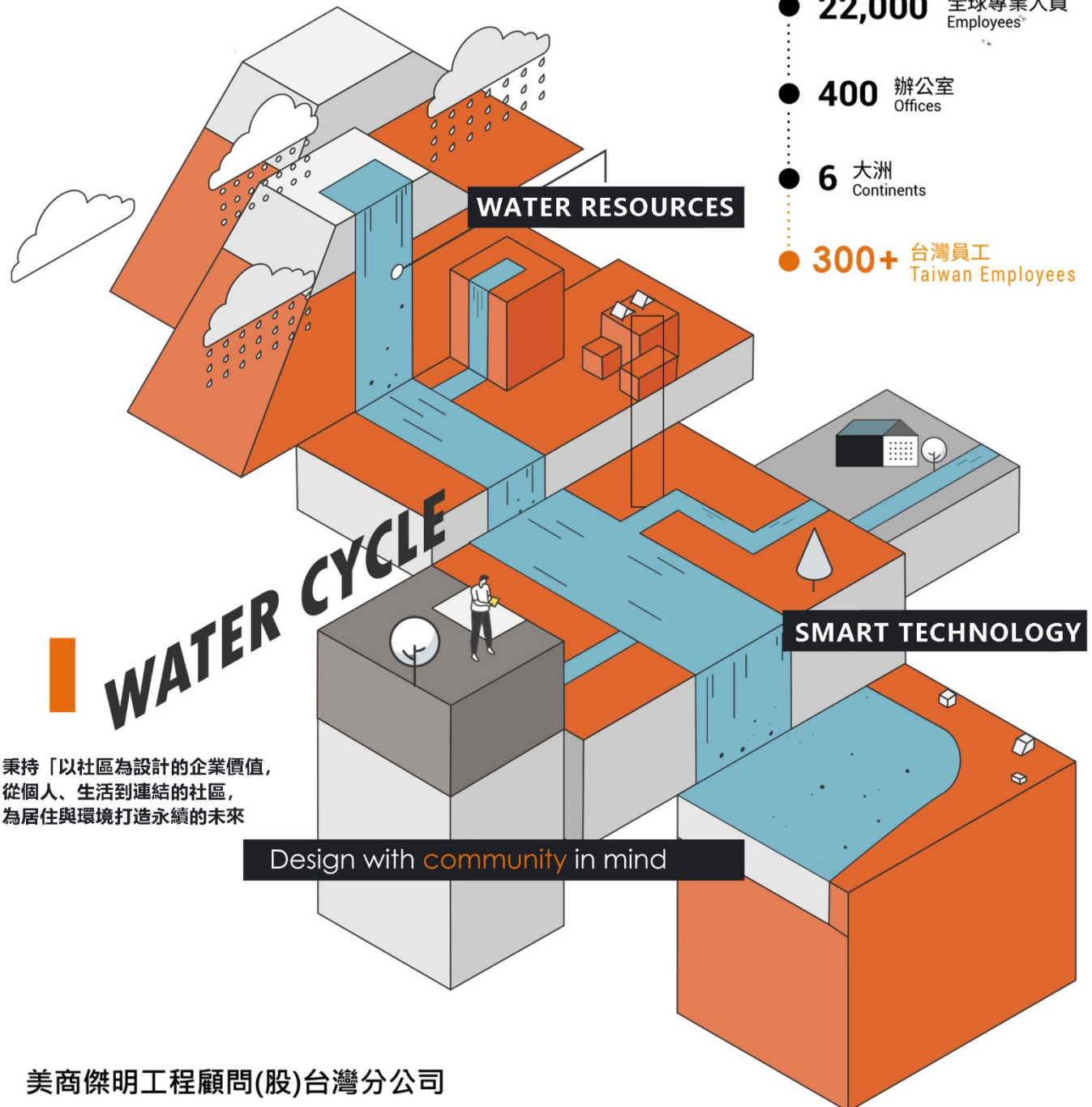
坡地土砂

| | | | |
|---|--|---|---|
|  <p>壓力式水位計</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 水位量測範圍：0~20M ● 水位量測精度：±0.25%FS |  <p>雨量計</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 型號：TK-1 ● 型式：傾斗式 ● 承雨口徑：200mm · 刃口≤30° ● 精度：20mm/hr 以下±0.5mm ● 20mm/hr 至 120mm/hr ±3% ● 每一傾斗之雨量：0.5mm、1.0mm ● 儀器外觀：不銹鋼金屬材質 ● 接點信號：無極性型磁簧開關 ● 信號輸出接點：1 組 ● 環境溫度：-10°C~60°C ● 具水平調整氣泡及排水通氣孔之防蟲網 |
|  <p>土壤水分計</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 量測範圍：0~100% ● 精度：0~50% 內 2%；50~100% 內 3% ● 解析度：0~50% 內 0.03%；50~100% 內 1% ● 工作溫度：-10°C~80°C |  <p>地表傾斜計 (雙軸臥式)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 量測軸：X、Y 軸 ● 量測範圍：-15°~+15° ● 精度：±0.006° ● 解析度：0.00001° ● 溫度變化：0.0005°/°C ● 工作溫度：-10°C~80°C ● 防護等級：IP68 |
|  <p>資料記錄器</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 型號：IoT-LOG8 ● 信號輸入：2 數位、2 類比、1 雨量 ● 數位通訊接口：RS485 ● 記錄容量：每分鐘記錄可保存 3 年以上資料；單通道可達 50 萬筆 (具備環記功能) ● 記錄間距：1 分~24 小時 ● 具 NB-IoT(LPWAN)傳輸功能 ● 具現場連線設定用連接埠 ● 電池組：一次性鋰電池 7.2V(36Ah) ● 工作溫度：-10°C~65°C(非結露) ● 儲存溫度：-20°C~85°C(非結露) ● 防護等級：IP67 |  <p>地表傾斜計 (雙軸立式)</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 量測軸：X、Y 軸 ● 量測範圍：-15°~+15° ● 精度：±0.006° ● 解析度：0.00001° ● 溫度變化：0.0005°/°C ● 工作溫度：-10°C~80°C ● 防護等級：IP68 |
| | <ul style="list-style-type: none"> ● 接雨量計時：雨量事件記錄筆數：每滿一傾斗雨量之時間點記錄共 165 萬筆 |  <p>地表伸縮計</p> | <ul style="list-style-type: none"> ● 量測範圍：0~1000mm ● 精度：±0.05%FS ● 量測原理：電阻式 ● 工作溫度：-10°C~80°C ● 防護等級：IP65 |



We are Stantec

引進國際上成功模式與強化水資源管理創新技術，導入物聯網科技等輔佐既有工程管理模式，提供多元水源智慧調控決策方案，為水安全永續作出貢獻。



秉持「以社區為設計的企業價值，
從個人、生活到連結的社區，
為居住與環境打造永續的未來

Design with **community** in mind

美商傑明工程顧問(股)台灣分公司
美華環境科技股份有限公司

10549 台北市松山區敦化北路167號9樓 +886 2 8712 3866



stantec.com



今日儀器股份有限公司

—— 明日科技始終來自今日 ——

總公司 (TEL) 02-2603-2311 嘉義 (TEL) 05-233-0909
新竹 (TEL) 03-534-6133 台南 (TEL) 06-311-0012
台中 (TEL) 04-2329-1616 高雄 (TEL) 07-554-9955



HACH DR3900 多參數水質分析儀



HACH HQ 電化學水質分析系列



HACH 2100Q 攜帶式濁度計



HACH TL2300 桌上型濁度計



HACH AT1000 自動滴定儀



HACH TSS 手持式濁度及 SS 測定儀



HACH EZ 線上水質分析儀系列



HACH 自動採水樣器

慧技科學有限公司

慧技秉持學習先進技術與敬業服務的態度，耕耘儀器代理市場已有28年。我們專注在環境氣象、海洋河川水質水文觀測領域，提供客戶全方位的解決方案。



環境氣象

HOBO品牌記錄器主打自然資源與環境氣象、室內空氣品質、能源效率監測以及水質監測，精準耐用，高性價比，深受研究領域喜愛。



海洋波浪浮標

Aanderaa MOTUS 波浪浮標是蒐集海上氣象與海洋數據的完美解決方案。風、波浪、水流和水質等基本參數均可輕鬆擴充整合。



地下水監測

Solinst 發展各式水位尺、水位記錄器、即時水位監測系統、地下水採樣器，適用於一般現場調查和監測污染物。



土壤診斷

- 土壤氧氣
- 土壤電導度
- 土壤水勢
- 土壤酸鹼度
- 多段式土壤水份
- 土壤溫室氣體



河川水文

SonTek RS5 ADCP 全新流量監測系統，輕量化設計，針對河川流速、流向、斷面地形及流量提供診斷與解決方案。



多參數水質

EXO 為水質研究第一品牌，具有智能電極插槽、智能電極和自動清潔刷，提升野外長期水質監測數據的可信度與精確性。



*新竹寶山第二水庫

涓滴匯流出浩瀚成就

潤澤大地與豐沛生命·水是萬物不可與離的自然要素
中興工程顧問公司是水資源的專家·從涓滴細水到澎湃奔流
從崇山峻嶺至地下水源·始終以專業掌握每一滴匯聚生命的關鍵
為成就人類更好的生活而努力



水利資源工程

中興團隊專業服務

水利、大地、電力、結構、建築、軌道、交通、系統
機械、環境、海岸及港灣、都市設計、工業城鄉開發
園區規劃等之規劃、設計與施工監造管理

聯絡資訊


10570 臺北市松山區南京東路五段171號

電話:(02) 2769-8388 傳真:(02) 2763-4555

E-mail : sinotech@sinotech.com.tw

https : //www.sinotech.com.tw

正派經營·品質保證·追求卓越·創新突破

 **中興工程顧問股份有限公司**
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS, LTD.



第二十五屆水利工程研討會籌備委員會

大會主席：蘇慧貞

主任委員：賴建信

副主任委員：游保杉

執行秘書：孫建平

活動組：王筱雯、林怡君、蔡元融

網頁組：賴悅仁

論文組：張駿暉

財務組：郭紋秀

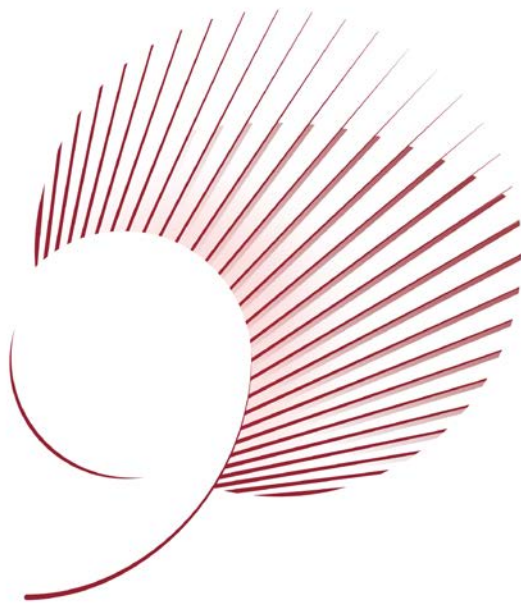
秘書組：陳憲宗、邱宏彬

國立成功大學 90 週年

藏行顯光，成就共好

成功大學 90 週年，以「藏行顯光，成就共好」為核心精神。「藏行」是修己之道、專注本分、不鋒芒畢露、不張揚所成；「顯光」是成人之美、樂於光顯他人，點燃心中的蠟燭，在黑暗的時刻，共創光明；「成就共好」更是成大人 90 年來堅守的核心價值，已成為眾所稱羨的優良美德。

從草創奠基到前瞻未來，面對各種挑戰與新思維，成大秉持著誠懇殷實的學風與低調內斂的處事態度，曖曖內含光、潛藏榮耀，樂於將成果與各界分享，恪守崗位，並反求諸己，為社會「共好」而努力。「藏行顯光，成就共好」不只是成大 90 週年的信念，更是與臺灣同行的承諾！邁向未來，我們期許能成為臺灣與世界的頂尖學府，成為一所廣受喜愛、備受敬重、更具影響力的成功大學，攜手臺灣「成大事」，勇於承擔的「成大人」更肩負邁向未來的責任，為開創下一個 90 年而共榮共好。



藏行顯光 成就共好

Achieve Securely
Prosper Mutually



國立成功大學 九十週年
90th Anniversary of NCKU

第 25 屆水利工程研討會議程

2021年9月9日(星期四)

| 時間 | 議程 | | | |
|-------------|---|--------------|----------------|-----------------|
| 10:00~10:20 | 開幕典禮、主席致詞、貴賓致詞 | | | |
| 10:20~10:50 | 109~110年百年大旱因應對策及相關作為 經濟部水利署 賴建信 署長 | | | |
| 10:50~11:20 | 氣候變遷下水利建設之調適與展望 國家發展委員會國土區域離島發展處 彭紹博 處長 | | | |
| 11:20~11:50 | Rainfall Frequency Analysis – An Event-Maximum-Rainfall Approach 國立臺灣大學生物環境系統工程學系 鄭克聲 教授 | | | |
| 11:50~12:00 | 科技部計畫、獎項與學術倫理 科技部土木水利工程學門 卿建業 召集人 | | | |
| 12:00~13:30 | 休息 | | | |
| 13:30~15:00 | 專題論壇(一) | 水利防災科技 | 氣候變遷衝擊 調適策略 | 自然為本之 災害解決方案 |
| 15:00~15:30 | 休息 | | | |
| 15:30~17:00 | 專題論壇(二) | 水庫與永續 水資源 | 地下水與地層 下陷 | 多元水資源 利用 |

2021年9月10日(星期五)

| 時間 | 議程 | | | | |
|-------------|----------------|---------------|-----------------|--------|--------|
| 09:00~10:30 | 集水區與流域 經營管理 | 河川與濕地生態 | 學生論文競賽 | 學生海報競賽 | |
| 10:30~10:50 | 休息 | | | | |
| 10:50~12:20 | 專題論壇(三) | 水文氣象與 觀測技術 | 計算水力學與 明渠水力學 | 學生論文競賽 | 學生海報競賽 |

第 25 屆水利工程研討會論文分組發表議程

■ 9月9日（星期四） 13:30~15:00

一、專題論壇—形貌動力學與實驗水力學

主持人：賴悅仁

| 時間 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|--------------------------|---|
| 13:30~13:45 | 數值模式應用於峽谷異重流之研究 | 蔡聖德、林鈺淇、陳佳琳 |
| 13:45~14:00 | 民生抽水站抽水井流場模擬與改善研究 | 何宗浚、陳奕寧、黃國書、 王連經、鍾鎮宇、連正忠、 陳郭正、吳秋香、張凱堯、 鍾國豐 |
| 14:00~14:15 | 水庫異重流與浸沒結構物之交互作用及防淤策略之初探 | 吳清森、歐陽慧濤、黃佩華 |
| 14:15~14:30 | 應用排樁減沖促淤之水工模型試驗 | 粟群超、林華南、陳春宏 |

二、水利防災科技

主持人：陳冠宇、吳祥禎

| 時間 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 13:30~13:45 | 沉砂池於地區防災之應用實務 | 孫一璋、楊俊彬 |
| 13:45~14:00 | 路面淹水感測器即時資料應用於二維淹水模擬之校正 | 吳祥禎、許至璵、張哲豪、 沈志全 |
| 14:00~14:15 | 強降雨前之特徵降雨辨識可行性探討 | 郭遠錦、莫懿美、麥胤寰 |
| 14:15~14:30 | Sec-HY21 於都市淹水治理之應用 | 楊斯堯、任文璋、鍾文祥、 沈哲緯、黃旭輝、李金靖、 劉振宇 |
| 14:30~14:45 | HyDEM 於淹水模擬之應用 | 鐘柏顯、謝建宏 |
| 14:45~15:00 | 花蓮海岸公路的海岸防護—以人定勝天段為例 | 陳冠宇、劉俊志、蔡立宏、 林雅雯、陳鈞彥、陳人玉 |

三、氣候變遷衝擊調適策略

主持人：楊尊華、傅金城

| 時間 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|------------------------------------|---|
| 13:30~13:45 | 利用洪患韌性指標評估低衝擊開發對於城市地區抗災能力之影響 | 張淵舜、何昊哲、黃莉雅 |
| 13:45~14:00 | 基地帶狀開放空間透保水規範下單一基地與合併基地開發逕流減量效果之研究 | 傅金城、董娟鳴、簡茂家 |
| 14:00~14:15 | 養殖漁業生產區因應氣候變遷之自主防災策略 | 張簡鳳蓮、簡文煥 |
| 14:15~14:30 | 以生活影響與漁業損失為標的探討氣候變遷條件下之減災措施成效 | 陳映彤、蕭學勇、楊尊華、鄭兆尊、張雅琪、鄭旭翔 |
| 14:30~14:45 | 氣候變遷及都市化增溫情境下臺中市短延時情境雨量推估 | 李琦瑋、陳彥志、陳憲宗 |
| 14:45~15:00 | 都市排水系統水理模式檢核流程建立 | 於望聖、曾淑娟、杜鐵生、薛煌仕、李光敦、林怡廷、徐郁涵、林和中、陳煥元、廖聿勳、陳乃光、簡大鈞、曾韋謙、許晴雯、李巧如、曾國峰、林慧玲 |

四、自然為本之災害解決方案

主持人：羅偉誠、巫孟璇

| 時間 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|---------------------------------|----------------------------|
| 13:30~13:45 | 鹿港排水逕流分擔 | 徐瑞宏、陳進興、李友平、莊文南 |
| 13:45~14:00 | 出流管制於低地開發之探討—以看西農場為例 | 鐘柏顯 |
| 14:00~14:15 | 橋接洪氾區與國土計畫之土地利用管制 | 王文祿、廖仲達、鍾仁凱、葉克家 |
| 14:15~14:30 | 東港溪禮川運動進行式—以跨域媒合推動東港溪水質改善公私協力行動 | 柳詩盈、周克任 |
| 14:30~14:45 | 推動水患韌性社區 | 郭振民、李真、楊道昌、游保杉、蔡綽芳、江瑞平、鄭元良 |

■ 9月9日(星期四) 15:30~17:00

一、專題論壇—智慧科技於水利工程之應用

主持人：戴義欽、陳憲宗

| 時間 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|------------------------|---------------------------------|
| 15:30~15:45 | 不同長短期記憶模式於淹水深度預測之應用 | 楊松岳、林雲暘 |
| 15:45~16:00 | 應用遞歸神經網路於河川水位預報以強化防汛實務 | 李苑華、吳俊益、曾文孝、李冠澄、周立生、鄧澤揚、紀柏全 |
| 16:00~16:15 | 水資源智慧管理及自動讀表分析應用 | 邵功賢、游叡研、連文成 |
| 16:15~16:30 | 新北市智慧防汛平台資訊整合與應用 | 楊昇學、宋德仁、潘志豪、陳振璋、王璽鈞、王慧蓉、葉克家、李成偉 |
| 16:30~16:45 | 水位監測與即時淹水現況 3D 展示評估系統 | 陳柏志、柯奇均、鐘柏顯、劉敏梧、戴義欽 |

二、水庫與永續水資源

主持人：蕭政宗、郭振民

| 時間 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|----------------------------------|---------------------|
| 15:30~15:45 | 我國民生水庫水質營養狀態指標研析 | 林志麟、黃英閔、康世芳、許韻儒 |
| 15:45~16:00 | 評估水庫操作最佳化在不同情境下之自然流態變化及經濟成本 | 蔡才暘、孫建平、林維致 |
| 16:00~16:15 | SWAT+模式之集水區空間組態變化對改善水庫集水區水文模擬之評估 | 王皓祖、朱子偉 |
| 16:15~16:30 | 阿公店水庫空庫排砂輔助決策系統建立 | 林立恆、蔡元融、李鎮鍵、羅守枝、鄭仁嶽 |
| 16:30~16:45 | 使用 U-Net 與無人機正射影像偵測濁水溪灘地內之裸露農地坵塊 | 李 暉、李友平、邱群惠 |
| 16:45~17:00 | 應用隱藏馬可夫模式序率模擬台灣地區河川日流量 | 李政哲、蕭政宗 |

三、地下水與地層下陷

主持人：陳世楷、宋長虹

| 時間 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|---------------------------------|---------------------|
| 15:30~15:45 | 差分進化法結合粒子群最佳化演算法應用於地層下陷模式土壤參數優選 | 王妙鈞、蔡東霖 |
| 15:45~16:00 | 納管灌溉水井以電管理政策規劃 | 葛武松、林育如、黃詩評、吳佳蓉、宋長虹 |
| 16:00~16:15 | 濁水溪沖積扇颱風降雨淺含水層地下水位反應及補注型態分析 | 陳世楷、鄭泳禎 |
| 16:15~16:30 | 濁水溪沖積扇淺層地下水鹽鹼化現況及變化趨勢分析 | 陳世楷、廖子綾、李元喻 |

四、多元水資源利用

主持人：葉一隆、蔡展銘

| 時間 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------|
| 15:30~15:45 | 山區小型供水系統穩定取水調查規劃—以自來水六龜供水系統為例 | 劉建宏、楊銘賢、古必維 |
| 15:45~16:00 | 水稻田紋溝斷面變化對灌溉效率影響分析 | 陳日靜、邱馨標、葉一隆 |
| 16:00~16:15 | 我國水利新創科技基地推動之研究—以新竹基地為例 | 黃育德、李佳育、朱敬平、廖國淞、周珊珊、林思孝、蔡展銘 |
| 16:15~16:30 | 2020年至2021年乾旱期間水資源管理策略—以石門水庫為例 | 翁琬晴 |
| 16:30~16:45 | 桃園市智慧節水管理系統研發建置與推廣應用 | 劉振宇、李金靖、李岳壇、林震也、陳豐文、張雅婷 |

■ 9月10日（星期五） 9:00~10:30

一、集水區與流域經營管理

主持人：游景雲、連和政

| 時間 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|---|-------------|
| 09:00~09:15 | 美國大壩安全協會與 2020 大壩安全年會介紹及國內執行情形探討 | 蕭軒梅 |
| 09:15~09:30 | 廣域植生坡地崩塌機率評估考量坡度土層厚度相關性及雨型、土壤參數與地下水位之不確定性 | 林姿君、蔡東霖 |
| 09:30~09:45 | 應用 HyperKANAKO 模式進行土石流流動特性與溢淹範圍之模擬 | 許汶芳、詹錢登 |
| 09:45~10:00 | 野溪治理清疏範圍線劃設適用性及清疏成效之探討 | 林宛蓉、吳炤緯、陳世楷 |
| 10:00~10:15 | 20 公分蒸發皿及 A 型蒸發皿蒸發量之差異分析 | 方貽萱、潘詠瑄、陳憲宗 |
| 10:15~10:30 | 石門水庫溢洪道操作條件下堆積泥砂清除模擬分析 | 李明龍、連和政、陳守義 |

二、河川與濕地生態

主持人：楊 磊、邱郁文

| 時間 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|-------------------------------|-----------------|
| 09:00~09:15 | 台灣低農業價值海埔地利用之演變(I)鰲鼓海埔地 | 李芳君、高瑞棋、賴泉基、黃國書 |
| 09:15~09:30 | 台灣低農業價值海埔地利用之演變(II)新竹海埔地 | 黃國書、高瑞棋、賴泉基、李芳君 |
| 09:30~09:45 | 人造感潮濕地水位調控對棲地品質之影響：以桃園許厝港濕地為例 | 黃耀陞、黃國文 |
| 09:45~10:00 | 人造感潮濕地之水文環境監測探討—以許厝港復育濕地為例 | 黃國文、林立昌、柯思好、楊欣樺 |
| 10:00~10:15 | 河相變遷對魚類群聚組成之影響 | 洪夢祺 |

■ 9月10日（星期五） 10:50 ~ 12:20

一、生態檢核

主持人：李玲玲、孫建平

| 時間 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|---------------------------|---------------------|
| 10:50~11:05 | 將生態檢核轉化為水利工程執行助力 | 黃于玻、蘇維翎 |
| 11:05~11:20 | 以生態檢核減輕工程對曾文水庫生態之影響 | 宋心怡、王盈欽、林雅玲 |
| 11:20~11:35 | 濁水河流域生態檢核作業及檢討計畫 | 謝光智、陳進興、李友平、陳宣安 |
| 11:35~11:50 | 生態檢核執行實例—以卑南右岸三號堤防加強高工程為例 | 呂佩倫、段文宏、盧杰志、陳俊翰、黃俊凱 |
| 11:50~12:05 | 生態檢核機制落實—以臺南地區水利工程為例 | 許盈志、涂秀娟、蔡育宜、楊津豪、李保憲 |
| 12:05~12:20 | 計畫生態檢核的公民參與—以筏子河流域為例 | 林笈克、蔡秉芸、謝傳鎧 |

二、水文氣象與觀測技術

主持人：張哲豪、楊道昌

| 時間 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|--|-------------------------|
| 10:50~11:05 | 臺中港監測資料智慧檢核及補遺 | 陳冠宇、劉俊志、蔡立宏、林雅雯、蔡世璿、陳人玉 |
| 11:05~11:20 | 臺灣周圍海域海面溫度與臺灣月雨量相關性分析 | 莊竣巖、蕭政宗 |
| 11:20~11:35 | 以決策樹剖析影響雷暴雨之相關氣象因子 | 陳心馨、許汶芳、王柏巖、陳憲宗 |
| 11:35~11:50 | 河川流量觀測作業流程調整建議與案例 | 權順忠、黃國文 |
| 11:50~12:05 | Association of Precipitation Intensity Classification from Himawari-8 Spectral and Cloud Information | 林孟岳、劉千義 |
| 12:05~12:20 | 即時偵測淹水感測異常值之實務研究 | 張哲豪、高英勛、沈志全、陳柏愷、吳明峰、董書伯 |

三、計算水力學與明渠水力學

主持人：張德鑫、石棟鑫

| 時間 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|---|-----------------|
| 10:50~11:05 | 互動式淹水模擬工具 | 許永佳、陳冠維 |
| 11:05~11:20 | 應用二維水理輸砂模式探討淤砂治理工程效益之研究—以箔子寮防潮閘門為例 | 盧錫彥、詹勳全、許宏博、黃文宏 |
| 11:20~11:35 | 螺桿式水輪機尺度選定與置槽水理之經驗參數探討 | 陳柏智、賴泉基、吳國才、張茂崑 |
| 11:35~11:50 | 曾文水庫 PRO 風速改善—通氣斜坑規劃設計案例探討 | 曾炫學、林信宏 |
| 11:50~12:05 | DEBRIS-2D 模式應用於 2015 年 8 月蘇迪勒颱風合流部落之土石流事件模擬 | 許峪萇、張德鑫 |
| 12:05~12:20 | 台北市 0604 高精度淹水模擬 | 許永佳、陳冠維 |

第 25 屆水利工程研討會 海報論文展示

| 海報編號 | 論文主題 | 作者 |
|------|---|---------------------------------|
| P-01 | 應用水文與邊坡理論建置南勢溪崩塌預警模式 | 何瑞益、王俞婷、劉哲欣、張志新 |
| P-02 | 地文因子於淹水面積之探討 | 張國楨、李雅鈞、傅金城、葉家承 |
| P-03 | 網格式淹水損失推估於水災風險地圖製作之應用 | 周志興、嚴敏華、劉敏梧 |
| P-04 | 以無人機建置三維模型應用於水災空間資訊 | 徐宏璋 |
| P-05 | 甲仙攔河堰下游防淘刷課題探討 | 吳俊杰、陳文恭、周書弘、葉品毅 |
| P-06 | 即時淹水預報系統建置 | 劉敏梧、蕭琬蓉、謝建宏、鐘柏顯、張哲豪、許至璉、吳祥禎、沈志全 |
| P-07 | 氣候變遷下高屏地區淹水災況模擬 | 蕭逸華、陳俊哲、趙益群、許至璉、葉克家 |
| P-08 | 出流管制案例監測初步探討 | 王大業、許家毓 |
| P-09 | 臺南市安南區土地利用改變與淹水災害模擬 | 趙益群、陳俊哲、劉俊志、蕭逸華、許至璉 |
| P-10 | 氣候變遷下未來設計暴雨推估查詢服務 | 劉子明、楊松勳、李正國、劉俊志、鄭克聲 |
| P-11 | 牡丹水庫集水區汝仍溪攔木設施規劃設計 | 吳政哲、蕭維德、林冠傑 |
| P-12 | 應用 Transformer 基礎架構下以 k-Shape 改善自監督式學習之地下水位的補遺與預測 | 呂濬瑋、羅偉誠 |
| P-13 | 濁水溪沖積扇之地層下陷整治策略探討 | 張紹峰、羅偉誠 |
| P-14 | 大型地下水人工補注實場操作成效評估 | 莊啟洪、丁澈士、李桓岳、劉宏仁、石翔元、江國豐 |
| P-15 | 非飽和孔彈性理論於不同形式震動載重之分析 | 劉祐誠、羅偉誠 |

| 海報編號 | 論文主題 | 作者 |
|------|--|-------------------------|
| P-16 | 南部地區旱災應變機制之現況與未來 | 呂元鈞 |
| P-17 | 高屏溪流域伏流水資源開發對地下水位及水質影響 | 林美華、羅偉誠 |
| P-18 | 伏流水做為多元水資源開發之可行性評估 | 劉宏仁、丁澈士、莊啟洪、李桓岳、石翔元、江國豐 |
| P-19 | 應用 SWMM 模式分析埤塘對臺南橋頭港橋上游集水區地表逕流之影響 | 侯佳秀、賴東暘、徐郁超、詹錢登 |
| P-20 | 坡地崩塌對河道泥砂率定曲線影響之研究-以高屏溪流域為例 | 洪玄如、羅偉誠、陳金諾 |
| P-21 | 百年大旱下桃三灌區供灌挑戰與策略 | 何明光、徐星豪、鍾易達 |
| P-22 | 2020年桃竹苗地區之農業乾旱損失調查 | 李欣輯、劉政婷、徐永衡、陳永明 |
| P-23 | 聲波都卜勒流速儀與高屏堰流量率定及校正 | 陳鼎家、黃耀崧、廖仲達、魏紹唐 |
| P-24 | CCHE2D 與 iRIC- Nays2DH 模擬礫石型河相演變之差異性比較 | 孫崇育、許少華 |
| P-25 | 集集攔河堰下游消能設施三維數值模擬 | 連和政、周書弘、李懷恩、李明龍 |
| P-26 | 藻類去除廢豬血中汙染及其應用 | 呂沛儒、張書民、黃其軒、蕭友晉 |
| P-27 | 甲仙攔河堰歷年引水機制之探討 | 曾健凱、籃駿鞍、林福生 |

第 25 屆水利工程研討會 學生論文競賽

一、大學生組

日期：9月10日（星期五）

評審：游保杉、張志新、許少瑜、李政賢

| 時間 | 參賽者 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|-----|-------------------------------|-------------------------|
| 09:00~09:15 | 黃和洋 | 以 ANFIS 改進西北太平洋颱風強度預報初步研究 | 黃和洋、宋政樺、林旭信、蔡孝忠 |
| 09:15~09:30 | 謝湘淇 | 結合 GMDH 與 ANFIS 之月雨量統計降尺度模式 | 謝湘淇、洪哲鏈、林旭信、蔡孝忠 |
| 09:30~09:45 | 許家毓 | 以 LSM 分析地下水含水層之空間特徵—濁水溪沖積扇為例 | 許家毓、許少華、蘇哲儀、王湘瑜 |
| 09:45~10:00 | 蕭涵綺 | 南勢溪越域引水之初步探討 | 蕭涵綺、黃文政 |
| 10:00~10:15 | 翁禎澤 | 應用雷達定量降水估計提升集水區平均降雨量推估之精度 | 翁禎澤、江介倫、黃承昌、鄧可灝 |
| 10:30~10:45 | 葉思良 | 應用河道幾何特性進行高屏地區河階地聚落之安全性評估初步探討 | 葉思良、徐珮綺、吳采蔚、陳昆廷、李明熹 |
| 10:45~11:00 | 陳薇因 | 水資源跨區域調配系統之網流問題最佳化分析 | 陳薇因、胡明哲 |
| 11:00~11:15 | 陳珮蓁 | 都市區域減洪設施模擬效益分析：以台中市水湳經貿園區為例 | 陳珮蓁、陳筑涵、傅妍華、葉昭憲 |
| 11:15~11:30 | 劉宜銓 | 結合基因演算法與輻狀基底函數類神經網路之降尺度模式 | 劉宜銓、胡衍立、林旭信 |
| 11:30~11:45 | 王宗暉 | 崩塌塊體堰塞河道之壩體規模評估分析 | 王宗暉、吳念懷、李育展、陳昆廷、謝秉軒、吳建宏 |

二、碩士班第一組

日期：9月10日（星期五）

評審：葉克家、蔡孝忠、郭品含、曾宏偉

| 時間 | 參賽者 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|--------------------------------|---|---------------------|
| 09:00~09:15 | 張家瑜 | 以極限梯度提升演算法分析降雨致崩塌潛勢之研究 | 張家瑜、林國峰、曾元福、張明瑞 |
| 09:15~09:30 | 羅以若 Denise Yeazul Fernández | Study of the same and different characteristics of the land subsidence in Taiwan and Mexico and how the corresponding authorities have handled it | 羅以若、許少華 |
| 09:30~09:45 | 吳維哲 | 水法與水資源治理策略之研究：以以色列為例 | 吳維哲、李方中、林國峰 |
| 09:45~10:00 | 吳奕汶 | 水力因子對陳有蘭溪河岸崩塌潛勢之影響 | 吳奕汶、詹勳全、洪筱筑、陳肇成 |
| 10:00~10:15 | 鐘群凱 | 應用影像技術量測渠道水位 | 鐘群凱、黃偉哲、柳文成 |
| 10:15~10:30 | 張哲瑋 | 大新竹系統之供需研究 | 張哲瑋、黃文政 |
| 10:45~11:00 | 徐永翰 | 以二維輸砂模式探討串壩改善對河道環境之影響 | 徐永翰、王筱雯 |
| 11:00~11:15 | 施仁傑 | 微水力發電效益應用在農業渠道中考慮水、能源、食物關係鏈 | 施仁傑、林富元、洪銘德、林宏儒、溫志超 |
| 11:15~11:30 | 王浚安 | 基因演算法於聯合水庫系統之最佳化操作 | 王浚安、林國峰、張明瑞、曾元福 |
| 11:30~11:45 | 翁逸宏 | 應用監視器畫面與影像辨識技術進行區域淹水推估研究 | 翁逸宏、石棟鑫 |
| 11:45~12:00 | 廖建程 | 氣候變遷對新苗地區地下水補注之衝擊評估 | 廖建程、何智超 |
| 12:00~12:15 | 吳子婕 | 概似不確定性估計(GLUE)應用於灌溉渠道重金屬傳輸模擬之不確定性分析 | 吳子婕、朱子偉 |

二、碩士班第二組

日期：9月10日（星期五）

評審：胡明哲、江莉琦、陳佳正、楊智傑

| 時間 | 參賽者 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|-----|-----------------------------------|-----------------|
| 09:00~09:15 | 馬晴元 | 參數高度不確定下以CUDA架構進行GPU演算之土石流危險災害評估 | 馬晴元、柯奇均、戴義欽 |
| 09:15~09:30 | 王織綾 | 以參考橢圓為基礎之理想化破壞曲面最佳化搜尋 | 王織綾、柯奇均、呂濬瑋、戴義欽 |
| 09:30~09:45 | 巫佳航 | 以無人飛行載具攝影系統自動萃取礫石河床粒徑分佈資料 | 巫佳航、詹勳全、鄭卉君、吳益裕 |
| 09:45~10:00 | 陳庭威 | 利用數值模擬與現地觀測探討水工構造物與保護工法適用性—以大安溪為例 | 陳庭威、石棟鑫 |
| 10:00~10:15 | 馮馨柔 | 以深度學習預測海溫及颱風冷卻效應對於珊瑚白化之風險 | 馮馨柔、林遠見 |
| 10:15~10:30 | 許世彥 | 以iRIC模式探討辮狀河川之河相演變—以大甲溪為例 | 許世彥、許少華 |
| 10:45~11:00 | 劉祐瑄 | 應用遞迴神經網路於多時間尺度下標準化降雨指標之乾旱預測 | 劉祐瑄、孫建平 |
| 11:00~11:15 | 黃莉雅 | 考量內外水動態模擬下之逕流分擔策略成效評估 | 黃莉雅、何昊哲 |
| 11:15~11:30 | 李步昇 | 使用新型分層井管監測三維含水層及水文地質參數 | 李步昇、溫志超 |
| 11:30~11:45 | 葉姿妤 | 結合資料探勘方法建立濁水溪沖積扇自由含水層水文地質參數推估模式 | 葉姿妤、翁紫涵、林遠見 |
| 11:45~12:00 | 柯柏隆 | 魚類群聚與環境關聯性及伏流水與地表逕流交換分析 | 柯柏隆、邱映軒、孫建平 |
| 12:00~12:15 | 朱楷洋 | 深度學習之月降雨量降尺度模式 | 朱楷洋、葉威里、林旭信 |

三、博士班組

日期：9月10日（星期五）

評審：陳昶憲、蕭士俊、張駿暉、楊松岳

| 時間 | 參賽者 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|----------------|---|--------------------|
| 09:30~09:45 | 林育誼 | 研析氣候變遷對水庫集水區水質影響與因應策略 | 林育誼、張慧嫻、潘述元 |
| 09:45~10:00 | 吳明昌 | 受降雨補注之二維非承壓含水層地下水水位變動之研究 | 吳明昌、謝平城 |
| 10:00~10:15 | 王福杰 | 二相土石流動態模擬數值模式之沖刷堆積研究 | 王福杰、戴義欽、堀田紀文 |
| 10:15~10:30 | Putu Aryastana | Rainfall Thresholds for Landslide Occurrences over Bali Island using Satellite Precipitation Datasets | Putu Aryastana、劉千義 |
| 10:30~10:45 | 黃彥鈞 | 入流密度差異改變三維三角洲形貌之實驗研究 | 黃彥鈞、賴悅仁 |
| 10:45~11:00 | 韋正 | 以線性訊號模式分析未飽和含水層之水位歷線—濁水溪沖積扇為例 | 韋正、許少華 |

第 25 屆水利工程研討會 學生海報論文競賽

一、博士生組

日期：9月10日（星期五）

評審：柳文成、許少華、詹勳全、蘇元風

| 時間 | 參賽者 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|----------------|---|------------------------|
| 09:00~09:05 | Putu Aryastana | Assessment of Satellite Precipitation Datasets for Heavy Precipitation Events caused by Typhoons in the Philippines | Putu Aryastana、 劉千義 |
| 09:05~09:10 | 黃嘉琦 | 濁水河流域乾濕季集水區動態儲水組成評估 | 黃嘉琦、葉信富、 魏倫璋、柯建仲 |

二、大學生組

日期：9月10日（星期五）

評審：柳文成、許少華、詹勳全、蘇元風

| 時間 | 參賽者 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|-----|------------------------|---------------------|
| 09:20~09:25 | 黃其軒 | 不同有機質對厭氧微生物處理酸性硫酸鹽污水影響 | 黃其軒、黃玟婷、 簡睿廷、蕭友晉 |
| 09:25~09:30 | 郭介文 | 可見光影像分析應用於水質辨識之可行性研究 | 郭介文、方惠民 |

三、碩士生組

日期：9月10日（星期五）

評審：柳文成、許少華、詹勳全、蘇元風

| 時間 | 參賽者 | 論文主題 | 作者 |
|-------------|-----|------------------------------------|---------------------|
| 09:40~09:45 | 陳宥昕 | 南港溪水質及關鍵污染源分析之研究 | 陳宥昕、張嘉玲 |
| 09:45~09:50 | 黃愷宸 | 淡水河系魚群死亡事件與環境狀態之相關性分析 | 黃愷宸、張嘉玲 |
| 09:50~09:55 | 蕭 靖 | 以 SOBEK 模式探討不同精度之 DEM 對洪水基準高程之影響 | 蕭 靖、楊松岳、許少華 |
| 09:55~10:00 | 蘇格緯 | 層化異重流之形貌演化及混合過程 | 蘇格緯、吳清森 |
| 10:00~10:05 | 朱京薇 | 調蓄池對調蓄灌溉用水及滯洪效果之研究 - 以嘉義栗子崙計畫調蓄池為例 | 朱京薇、賴東暘、詹錢登 |
| 10:05~10:10 | 劉欣昀 | 入流歷線影響水下辮狀河道形貌演化之實驗研究 | 劉欣昀、賴悅仁 |
| 10:10~10:15 | 高詠盛 | 應用長短期記憶網路修正衛星降雨資料 | 高詠盛、陳佳正 |
| 10:15~10:20 | 洪秉哲 | 入流型態及高低水位差影響水庫三角洲演化之實驗研究 | 洪秉哲、賴悅仁 |
| 10:20~10:25 | 紀旻宏 | 運用高性能計算水動力模式於未來洪災潛勢推估 | 紀旻宏、陳佳正 |
| 10:25~10:30 | 林芳伊 | 平行板間單顆泰勒氣泡浮升引起之流場特性 | 林芳伊、林易儒、何宗浚、陳緻紘、蕭士俊 |

摘要目錄

專題論壇—形貌動力學與實驗水力學

- 數值模式應用於峽谷異重流之研究 1
蔡聖德、林鈺淇、陳佳琳
- 民生抽水站抽水井流場模擬與改善研究 2
何宗浚、陳奕寧、黃國書、王連經、鍾鎮宇、連正忠、陳郭正、吳秋香、張凱堯、鍾國豐
- 水庫異重流與浸沒結構物之交互作用及防淤策略之初探 5
吳清森、歐陽慧濤、黃佩華
- 應用排樁減沖促淤之水工模型試驗 6
粟群超、林華南、陳春宏

水利防災科技

- 沉砂池於地區防災之應用實務 7
孫一璋、楊俊彬
- 路面淹水感測器即時資料應用於二維淹水模擬之校正 8
吳祥禎、許至聰、張哲豪、沈志全
- 強降雨前之特徵降雨辨識可行性探討 9
郭遠錦、莫懿美、麥胤寰
- Sec-HY21 於都市淹水治理之應 11
楊斯堯、任文璋、鍾文祥、沈哲緯、黃旭輝、李金靖、劉振宇
- HyDEM 於淹水模擬之應用 12
鐘柏顯、謝建宏
- 花蓮海岸公路的海岸防護—以人定勝天段為例 13
陳冠宇、劉俊志、蔡立宏、林雅雯、陳鈞彥、陳人玉

氣候變遷衝擊調適策略

- 利用洪患韌性指標評估低衝擊開發對於城市地區抗災能力之影響 15
張淵舜、何昊哲、黃莉雅
- 基地帶狀開放空間透保水規範下單一基地與合併基地開發逕流減量效果之研究 17
傅金城、董娟鳴、簡茂家
- 養殖漁業生產區因應氣候變遷之自主防災策略 19
張簡鳳蓮、簡文煥
- 以生活影響與漁業損失為標的探討氣候變遷條件下之減災措施成效 21
陳映彤、蕭學勇、楊尊華、鄭兆尊、張雅琪、鄭旭翔

| | |
|---|----|
| 氣候變遷及都市化增溫情境下臺中市短延時情境雨量推估 | 23 |
| 李琦璋、陳彥志、陳憲宗 | |
| 都市排水系統水理模式檢核流程建立 | 24 |
| 於望聖、曾淑娟、杜鐵生、薛煌仕、李光敦、林怡廷、徐郁涵、林和中、陳煥元、廖聿勳、陳乃光、簡大鈞、曾韋謙、許晴雯、李巧如、曾國峰、林慧玲 | |

自然為本之災害解決方案

| | |
|---------------------------------|----|
| 鹿港排水逕流分擔 | 27 |
| 徐瑞宏、陳進興、李友平、莊文南 | |
| 出流管制於低地開發之探討—以看西農場為例 | 28 |
| 鐘柏顯 | |
| 橋接洪氾區與國土計畫之土地利用管制 | 29 |
| 王文祿、廖仲達、鍾仁凱、葉克家 | |
| 東港溪禮川運動進行式—以跨域媒合推動東港溪水質改善公私協力行動 | 30 |
| 柳詩盈、周克任 | |
| 推動水患韌性社區 | 32 |
| 郭振民、李真、楊道昌、游保杉、蔡緯芳、江瑞平、鄭元良 | |

智慧科技於水利工程之應用

| | |
|---------------------------------|----|
| 不同長短期記憶模式於淹水深度預測之應用 | 34 |
| 楊松岳、林雲暘 | |
| 應用遞歸神經網路於河川水位預報以強化防汛實務 | 35 |
| 李苑華、吳俊益、曾文孝、李冠澄、周立生、鄧澤揚、紀柏全 | |
| 水資源智慧管理及自動讀表分析應用 | 36 |
| 邵功賢、游歡研、連文成 | |
| 新北市智慧防汛平台資訊整合與應用 | 38 |
| 楊昇學、宋德仁、潘志豪、陳振瑋、王璽鈞、王慧蓉、葉克家、李成偉 | |
| 水位監測與即時淹水現況 3D 展示評估系統 | 40 |
| 陳柏志、柯奇均、鐘柏顯、劉敏梧、戴義欽 | |

水庫與永續水資源

| | |
|----------------------------------|----|
| 我國民生水庫水質營養狀態指標研析 | 41 |
| 林志麟、黃英閔、康世芳、許韻儒 | |
| 評估水庫操作最佳化在不同情境下之自然流態變化及經濟成本 | 43 |
| 蔡才暘、孫建平、林維致 | |
| SWAT+模式之集水區空間組態變化對改善水庫集水區水文模擬之評估 | 44 |
| 王皓祖、朱子偉 | |

| | |
|----------------------------------|----|
| 阿公店水庫空庫排砂輔助決策系統建立 | 46 |
| 林立恆、蔡元融、李鎮鍵、羅守枝、鄭仁嶽 | |
| 使用 U-Net 與無人機正射影像偵測濁水溪灘地內之裸露農地坵塊 | 47 |
| 李暉、李友平、邱群惠 | |
| 應用隱藏馬可夫模式序率模擬台灣地區河川日流量 | 48 |
| 李政哲、蕭政宗 | |

地下水與地層下陷

| | |
|---------------------------------|----|
| 差分進化法結合粒子群最佳化演算法應用於地層下陷模式土壤參數優選 | 50 |
| 王妙鈞、蔡東霖 | |
| 納管灌溉水井以電管理政策規劃 | 51 |
| 葛武松、林育如、黃詩評、吳佳蓉、宋長虹 | |
| 濁水溪沖積扇颱風降雨淺含水層地下水位反應及補注型態分析 | 52 |
| 陳世楷、鄭泳禎 | |
| 濁水溪沖積扇淺層地下水鹽鹼化現況及變化趨勢分析 | 54 |
| 陳世楷、廖子綾、李元喻 | |

多元水資源利用

| | |
|-----------------------------------|----|
| 山區小型供水系統穩定取水調查規劃—以自來水六龜供水系統為例 | 56 |
| 劉建宏、楊銘賢、古必維 | |
| 水稻田紋溝斷面變化對灌溉效率影響分析 | 57 |
| 陳日靜、邱馨標、葉一隆 | |
| 我國水利新創科技基地推動之研究—以新竹基地為例 | 59 |
| 黃育德、李佳育、朱敬平、廖國淞、周珊珊、林思孝、蔡展銘 | |
| 2020 年至 2021 年乾早期間水資源管理策略—以石門水庫為例 | 61 |
| 翁琬晴 | |
| 桃園市智慧節水管理系統研發建置與推廣應用 | 63 |
| 劉振宇、李金靖、李岳壇、林震也、陳豐文、張雅婷 | |

集水區與流域經營管理

| | |
|---|----|
| 美國大壩安全協會與 2020 大壩安全年會介紹及國內執行情形探討 | 65 |
| 蕭軒梅 | |
| 廣域植生坡地崩塌機率評估考量坡度土層厚度相關性及雨型、土壤參數與地下水位之不確定性 | 66 |
| 林姿君、蔡東霖 | |
| 應用 HyperKANAKO 模式進行土石流流動特性與溢淹範圍之模擬 | 67 |
| 許汶芳、詹錢登 | |

| | |
|--------------------------|----|
| 野溪治理清疏範圍線劃設適用性及清疏成效之探討 | 68 |
| 林宛蓉、吳紹緯、陳世楷 | |
| 20 公分蒸發皿及 A 型蒸發皿蒸發量之差異分析 | 70 |
| 方貽萱、潘詠瑄、陳憲宗 | |
| 石門水庫溢洪道操作條件下堆積泥砂清除模擬分析 | 71 |
| 李明龍、連和政、陳守義 | |

河川與濕地生態

| | |
|-------------------------------|----|
| 台灣低農業價值海埔地利用之演變(I)鰲鼓海埔地 | 73 |
| 李芳君、高瑞棋、賴泉基、黃國書 | |
| 台灣低農業價值海埔地利用之演變(II)新竹海埔地 | 76 |
| 黃國書、高瑞棋、賴泉基、李芳君 | |
| 人造感潮濕地水位調控對棲地品質之影響：以桃園許厝港濕地為例 | 78 |
| 黃耀陞、黃國文 | |
| 人造感潮濕地之水文環境監測探討—以許厝港復育濕地為例 | 79 |
| 黃國文、林立昌、柯思妤、楊欣樺 | |
| 河相變遷對魚類群聚組成之影響 | 80 |
| 洪夢祺 | |

生態檢核

| | |
|---------------------------|----|
| 將生態檢核轉化為水利工程執行助力 | 81 |
| 黃于玻、蘇維翎 | |
| 以生態檢核減輕工程對曾文水庫生態之影響 | 82 |
| 宋心怡、王盈欽、林雅玲 | |
| 濁水河流域生態檢核作業及檢討計畫 | 83 |
| 謝光智、陳進興、李友平、陳宣安 | |
| 生態檢核執行實例—以卑南右岸三號堤防加強高工程為例 | 84 |
| 呂佩倫、段文宏、盧杰志、陳俊翰、黃俊凱 | |
| 生態檢核機制落實—以臺南地區水利工程為例 | 86 |
| 許盈志、涂秀娟、蔡育宜、楊津豪、李保憲 | |
| 計畫生態檢核的公民參與—以筏子河流域為例 | 89 |
| 林笈克、蔡秉芸、謝傳鎧 | |

水文氣象與觀測技術

| | |
|-------------------------|----|
| 臺中港監測資料智慧檢核及補遺 | 91 |
| 陳冠宇、劉俊志、蔡立宏、林雅雯、蔡世璿、陳人玉 | |
| 臺灣周圍海域海面溫度與臺灣月雨量相關性分析 | 93 |
| 莊竣崴、蕭政宗 | |

| | |
|--|----|
| 以決策樹剖析影響雷暴雨之相關氣象因子 | 94 |
| 陳心馨、許汶芳、王柏歲、陳憲宗 | |
| 河川流量觀測作業流程調整建議與案例 | 95 |
| 樣順忠、黃國文 | |
| Association of Precipitation Intensity Classification from Himawari-8 Spectral and Cloud Information | 97 |
| 林孟岳、劉千義 | |
| 即時偵測淹水感測異常值之實務研究 | 98 |
| 張哲豪、高英勛、沈志全、陳柏愷、吳明峰、董書伯 | |

計算水力學與明渠水力學

| | |
|---|-----|
| 互動式淹水模擬工具 | 100 |
| 許永佳、陳冠維 | |
| 應用二維水理輸砂模式探討淤砂治理工程效益之研究—以箔子寮防潮閘門為例 | 102 |
| 盧錫彥、詹勳全、許宏博、黃文宏 | |
| 螺桿式水輪機尺度選定與置槽水理之經驗參數探討 | 104 |
| 陳柏智、賴泉基、吳國才、張茂崑 | |
| 曾文水庫 PRO 風速改善—通氣斜坑規劃設計案例探討 | 106 |
| 曾炫學、林信宏 | |
| DEBRIS-2D 模式應用於 2015 年 8 月蘇迪勒颱風合流部落之土石流事件模擬 | 108 |
| 許峪萇、張德鑫 | |
| 台北市 0604 高精度淹水模擬 | 110 |
| 許永佳、陳冠維 | |

海報論文

| | |
|---------------------------------|-----|
| 應用水文與邊坡理論建置南勢溪崩塌預警模式 | 112 |
| 何瑞益、王俞婷、劉哲欣、張志新 | |
| 地文因子於淹水面積之探討 | 113 |
| 張國楨、李雅鈞、傅金城、葉家承 | |
| 網格式淹水損失推估於水災風險地圖製作之應用 | 115 |
| 周志興、嚴敏華、劉敏梧 | |
| 以無人機建置三維模型應用於水災空間資訊 | 118 |
| 徐宏璋 | |

| | |
|---|-----|
| 甲仙攔河堰下游防淘刷課題探討 | 120 |
| 吳俊杰、陳文恭、周書弘、葉品毅 | |
| 即時淹水預報系統建置 | 122 |
| 劉敏梧、蕭琬蓉、謝建宏、鐘柏顯、張哲豪、許至聰、吳祥禎、沈志全 | |
| 氣候變遷下高屏地區淹水災況模擬 | 124 |
| 蕭逸華、陳俊哲、趙益群、許至聰、葉克家 | |
| 出流管制案例監測初步探討 | 125 |
| 王大業、許家毓 | |
| 臺南市安南區土地利用改變與淹水災害模擬 | 126 |
| 趙益群、陳俊哲、劉俊志、蕭逸華、許至聰 | |
| 氣候變遷下未來設計暴雨推估查詢服務 | 127 |
| 劉子明、楊松勳、李正國、劉俊志、鄭克聲 | |
| 牡丹水庫集水區汝仍溪攔木設施規劃設計 | 129 |
| 吳政哲、蕭維德、林冠傑 | |
| 應用 Transformer 基礎架構下以 k-Shape 改善自監督式學習之地下水位的補遺與預測 | 130 |
| 呂濬璿、羅偉誠 | |
| 濁水溪沖積扇之地層下陷整治策略探討 | 131 |
| 張紹峰、羅偉誠 | |
| 大型地下水人工補注實場操作成效評估 | 133 |
| 莊啟洪、丁澈士、李桓岳、劉宏仁、石翔元、江國豐 | |
| 非飽和孔彈性理論於不同形式震動載重之分析 | 134 |
| 劉祐誠、羅偉誠 | |
| 南部地區旱災應變機制之現況與未來 | 135 |
| 呂元鈞 | |
| 高屏河流域伏流水資源開發對地下水位及水質影響 | 136 |
| 林美華、羅偉誠 | |
| 伏流水做為多元水資源開發之可行性評估 | 137 |
| 劉宏仁、丁澈士、莊啟洪、李桓岳、石翔元、江國豐 | |
| 應用 SWMM 模式分析埤塘對臺南橋頭港橋上游集水區地表逕流之影響 | 138 |
| 侯佳秀、賴東暘、徐郁超、詹錢登 | |
| 坡地崩塌對河道泥砂率定曲線影響之研究-以高屏河流域為例 | 140 |
| 洪玄如、羅偉誠、陳金諾 | |
| 百年大旱下桃三灌區供灌挑戰與策略 | 142 |
| 何明光、徐星豪、鍾易達 | |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| 2020 年桃竹苗地區之農業乾旱損失調查 | 144 |
| 李欣輯、劉政婷、徐永衡、陳永明 | |
| 聲波都卜勒流速儀與高屏堰流量率定及校正 | 145 |
| 陳鼎家、黃耀焱、廖仲達、魏紹唐 | |
| CCHE2D 與 iRIC-Nays2DH 模擬礫石型河相演變之差異性比較 | 147 |
| 孫崇育、許少華 | |
| 集集攔河堰下游消能設施三維數值模擬 | 148 |
| 連和政、周書弘、李懷恩、李明龍 | |
| 藻類去除廢豬血中汙染及其應用 | 151 |
| 呂沛儒、張書民、黃其軒、蕭友晉 | |
| 甲仙攔河堰歷年引水機制之探討 | 152 |
| 曾健凱、藍駿鞍、林福生 | |

學生論文競賽—大學生組

| | |
|-------------------------------|-----|
| 以 ANFIS 改進西北太平洋颱風強度預報初步研究 | 153 |
| 黃和洋、宋政樺、林旭信、蔡孝忠 | |
| 結合 GMDH 與 ANFIS 之月雨量統計降尺度模式 | 154 |
| 謝湘淇、洪哲鍵、林旭信、蔡孝忠 | |
| 以 LSM 分析地下水含水層之空間特徵—濁水溪沖積扇為例 | 155 |
| 許家毓、許少華、蘇哲儀、王湘瑜 | |
| 南勢溪越域引水之初步探討 | 157 |
| 蕭涵綺、黃文政 | |
| 應用雷達定量降水估計提升集水區平均降雨量推估之精度 | 158 |
| 翁禎澤、江介倫、黃承昌、鄧可灝 | |
| 應用河道幾何特性進行高屏地區河階地聚落之安全性評估初步探討 | 160 |
| 葉思良、徐珮綺、吳采蔚、陳昆廷、李明熹 | |
| 水資源跨區域調配系統之網流問題最佳化分析 | 162 |
| 陳薇因、胡明哲 | |
| 都市區域減洪設施模擬效益分析：以台中市水湳經貿園區為例 | 163 |
| 陳珮蓁、陳筑涵、傅妍華、葉昭憲 | |
| 結合基因演算法與輻狀基底函數類神經網路之降尺度模式 | 164 |
| 劉宜銓、胡衍立、林旭信 | |
| 崩塌塊體堰塞河道之壩體規模評估分析 | 165 |
| 王宗暉、吳念懷、李育展、陳昆廷、謝秉軒、吳建宏 | |

碩士班第一組

- 以極限梯度提升演算法分析降雨致崩塌潛勢之研究 ····· 166
張家瑜、林國峰、曾元福、張明瑞
- Study of the same and different characteristics of the land subsidence in Taiwan and Mexico and how the corresponding authorities have handled it ····· 167
羅以若、許少華
- 水法與水資源治理策略之研究：以以色列為例 ····· 168
吳維哲、李方中、林國峰
- 水力因子對陳有蘭溪河岸崩塌潛勢之影響 ····· 170
吳奕汶、詹勳全、洪筱筑、陳肇成
- 應用影像技術量測渠道水位 ····· 172
鐘群凱、黃偉哲、柳文成
- 大新竹系統之供需研究 ····· 173
張哲璋、黃文政
- 以二維輸砂模式探討串壩改善對河道環境之影響 ····· 174
徐永翰、王筱雯
- 微水力發電效益應用在農業渠道中考慮水、能源、食物關係鏈 ····· 175
施仁傑、林富元、洪銘德、林宏儒、溫志超
- 基因演算法於聯合水庫系統之最佳化操作 ····· 176
王浚安、林國峰、張明瑞、曾元福
- 應用監視器畫面與影像辨識技術進行區域淹水推估研究 ····· 177
翁逸宏、石棟鑫
- 氣候變遷對新苗地區地下水補注之衝擊評估 ····· 179
廖建程、何智超
- 概似不確定性估計(GLUE)應用於灌溉渠道重金屬傳輸模擬之不確定性分析 · 180
吳子婕、朱子偉

碩士班第二組

- 參數高度不確定下以 CUDA 架構進行 GPU 演算之土石流危險災害評估 ··· 183
馬晴元、柯奇均、戴義欽
- 以參考橢圓為基礎之理想化破壞曲面最佳化搜尋 ····· 185
王織綾、柯奇均、呂濬瑋、戴義欽
- 以無人飛行載具攝影系統自動萃取礫石河床粒徑分佈資料 ····· 187
巫佳航、詹勳全、鄭卉君、吳益裕
- 利用數值模擬與現地觀測探討水工構造物與保護工法適用性—以大安溪為例 ····· 188
陳庭威、石棟鑫

| | |
|---------------------------------|-----|
| 以深度學習預測海溫及颱風冷卻效應對於珊瑚白化之風險 | 189 |
| 馮馨柔、林遠見 | |
| 以 iRIC 模式探討瓣狀河川之河相演變—以大甲溪為例 | 192 |
| 許世彥、許少華 | |
| 應用遞迴神經網路於多時間尺度下標準化降雨指標之乾旱預測 | 194 |
| 劉祐瑄、孫建平 | |
| 考量內外水動態模擬下之逕流分擔策略成效評估 | 195 |
| 黃莉雅、何昊哲 | |
| 使用新型分層井管監測三維含水層及水文地質參數 | 198 |
| 李步昇、溫志超 | |
| 結合資料探勘方法建立濁水溪沖積扇自由含水層水文地質參數推估模式 | 199 |
| 葉姿妤、翁紫涵、林遠見 | |
| 魚類群聚與環境關聯性及伏流水與地表逕流交換分析 | 201 |
| 柯柏隆、邱映軒、孫建平 | |
| 深度學習之月降雨量降尺度模式 | 203 |
| 朱楷洋、葉威里、林旭信 | |

博士班組

| | |
|---|-----|
| 研析氣候變遷對水庫集水區水質影響與因應策略 | 204 |
| 林育誼、張慧嫻、潘述元 | |
| 受降雨補注之二維非承壓含水層地下水水位變動之研究 | 205 |
| 吳明昌、謝平城 | |
| 二相土石流動態模擬數值模式之沖刷堆積研究 | 207 |
| 王福杰、戴義欽、堀田紀文 | |
| Rainfall Thresholds for Landslide Occurrences over Bali Island using Satellite Precipitation Datasets | 209 |
| Putu Aryastana、劉千義 | |
| 入流密度差異改變三維三角洲形貌之實驗研究 | 211 |
| 黃彥鈞、賴悅仁 | |
| 以線性訊號模式分析未飽和含水層之水位歷線—濁水溪沖積扇為例 | 213 |
| 韋正、許少華 | |

學生海報論文競賽—博士生組

| | |
|---|-----|
| Assessment of Satellite Precipitation Datasets for Heavy Precipitation Events caused by Typhoons in the Philippines | 218 |
| Putu Aryastana、劉千義 | |

| | |
|---------------------------|-----|
| 濁水河流域乾濕季集水區動態儲水組成評估 ····· | 218 |
| 黃嘉琦、葉信富、魏倫璋、柯建仲 | |

大學生組

| | |
|------------------------------|-----|
| 不同有機質對厭氧微生物處理酸性硫酸鹽污水影響 ····· | 219 |
| 黃其軒、黃玟婷、簡睿廷、蕭友晉 | |
| 可見光影像分析應用於水質辨識之可行性研究 ····· | 220 |
| 郭介文、方惠民 | |

碩士生組

| | |
|--|-----|
| 南港溪水質及關鍵污染源分析之研究 ····· | 221 |
| 陳宥昕、張嘉玲 | |
| 淡水河系魚群死亡事件與環境狀態之相關性分析 ····· | 223 |
| 黃愷宸、張嘉玲 | |
| 以 SOBEK 模式探討不同精度之 DEM 對洪水基準高程之影響 ····· | 224 |
| 蕭靖、楊松岳、許少華 | |
| 層化異重流之形貌演化及混合過程 ····· | 225 |
| 蘇格緯、吳清森 | |
| 調蓄池對調蓄灌溉用水及滯洪效果之研究-以嘉義栗子崙計畫調蓄池為例 ··· | 226 |
| 朱京薇、賴東暘、詹錢登 | |
| 入流歷線影響水下辮狀河道形貌演化之實驗研究 ····· | 227 |
| 劉欣昀、賴悅仁 | |
| 應用長短期記憶網路修正衛星降雨資 ····· | 230 |
| 高詠盛、陳佳正 | |
| 入流型態及高低水位差影響水庫三角洲演化之實驗研究 ····· | 231 |
| 洪秉哲、賴悅仁 | |
| 運用高性能計算水動力模式於未來洪災潛勢推估 ····· | 233 |
| 紀旻宏、陳佳正 | |
| 平行板間單顆泰勒氣泡浮升引起之流場特性 ····· | 234 |
| 林芳伊、林易儒、何宗浚、陳繖紘、蕭士俊 | |

全文目錄

專題論壇—形貌動力學與實驗水力學

- 民生抽水站抽水井流場模擬與改善研究 ····· 236
何宗浚、陳奕寧、黃國書、王連經、鍾鎮宇、連正忠、陳郭正、吳秋香、張凱堯、鍾國豐

水利防災科技

- 強降雨前之特徵降雨辨識可行性探討 ····· 244
郭遠錦、莫懿美、麥胤寰
- 花蓮海岸公路的海岸防護—以人定勝天段為例 ····· 247
陳冠宇、劉俊志、蔡立宏、林雅雯、陳鈞彥、陳人玉

自然為本之災害解決方案

- 鹿港排水逕流分擔 ····· 260
徐瑞宏、陳進興、李友平、莊文南
- 橋接洪氾區與國土計畫之土地利用管制 ····· 266
王文祿、廖仲達、鍾仁凱、葉克家

水庫與永續水資源

- 應用隱藏馬可夫模式序率模擬台灣地區河川日流量 ····· 273
李政哲、蕭政宗

地下水與地層下陷

- 納管灌溉水井以電管理政策規劃 ····· 279
葛武松、林育如、黃詩評、吳佳蓉、宋長虹

多元水資源利用

- 2020 年至 2021 年乾旱期間水資源管理策略—以石門水庫為例 ····· 284
翁琬晴
- 桃園市智慧節水管理系統研發建置與推廣應用 ····· 290
劉振宇、李金靖、李岳壇、林震也、陳豐文、張雅婷

生態檢核

- 濁水河流域生態檢核作業及檢討計畫 ····· 299
謝光智、陳進興、李友平、陳宣安

水文氣象與觀測技術

臺中港監測資料智慧檢核及補遺 · · · · · 305

陳冠宇、劉俊志、蔡立宏、林雅雯、蔡世璿、陳人玉

臺灣周圍海域海面溫度與臺灣月雨量相關性分析 · · · · · 313

莊竣崴、蕭政宗

計算水力學與明渠水力學

曾文水庫 PRO 風速改善—通氣斜坑規劃設計案例探討 · · · · · 318

曾炫學、林信宏

海報論文展示

牡丹水庫集水區汝仍溪攔木設施規劃設計 · · · · · 324

吳政哲、蕭維德、林冠傑

南部地區旱災應變機制之現況與未來 · · · · · 331

呂元鈞

聲波都卜勒流速儀與高屏堰流量率定及校正 · · · · · 336

陳鼎家、黃耀崴、廖仲達、魏紹唐

學生論文競賽

Study of the same and different characteristics of the land subsidence in Taiwan and Mexico and how the corresponding authorities have handled it · · · · · 344

羅以若、許少華

以深度學習預測海溫及颱風冷卻效應對於珊瑚白化之風險 · · · · · 352

馮馨柔、林遠見

Rainfall Thresholds for Landslide Occurrences over Bali Island using Satellite Precipitation Datasets · · · · · 362

Putu Aryastana、劉千義

數值模式應用於峽谷異重流之研究

A Numerical Study of Hyperpycnal Flow

蔡聖德^{1*}

林鈺淇²

陳佳琳³

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士

2. 中興工程顧問社

3. 國立成功大學水利及海洋工程學系助理教授

* 通訊作者，Email: et2521809@gmail.com

摘要

隨著台灣經濟社會的發展，通訊需求日益增加，然而海底電纜的斷裂造成難以估計的損失，一般推斷造成海底電纜斷裂因素有兩個：(1)海底崩塌 (2)異重流 (hyperpycnal flow)。前者通常與隨機的地震事件有關，後者與高流量所攜帶泥沙濃度有關，因此後者相較前者獲得直接性的觀測機會較大。前人於高屏峽谷的觀測中發現異重流可發生於懸沙濃度小於 40g/l 的情形，這與以往的觀念不符合，Mulder and Syvitski (1995) 根據世界 150 條河川歷年輸沙量、年逕流量與海水密度進行統計後指出，當河流中的懸浮沉積物濃度達到 40-45g/l 時，會使挾帶沉積物的河水密度高於海水，因此在河口附近河水與海水交界處，河水會下沉沿著底床斜坡向海的方向流動，形成異重流。因此本研究深入了解異重流在高屏峽谷內發生的臨界條件以及相關物理參數。利用中尺度海洋數值模式 ROMS 以及河川數值模式 hec-ras，基於現地觀測之河川斷面地形、流量歷線、懸沙濃度、海域底質、潮汐、及垂向溫鹽分佈，進行模式架設以及結果評估，同時根據觀測之水位流速進行模式率定，以增加模式之真實性。由於三維數值模式可深入探討定點觀測數據無法捕獲的現象，以提供相關領域之學者參考以及相關之決策使用。

關鍵字：異重流、高屏溪、臨界條件

民生抽水站抽水井流場模擬與改善研究

Study on Hydraulic Model Test and Numerical Simulation of Renewal Project for Min-Sheng Pumping Station

何宗浚^{1*} 陳奕寧² 黃國書¹ 王連經² 鍾鎮宇³ 連正忠⁴
 陳郭正⁵ 吳秋香⁵ 張凱堯⁵ 鍾國豐⁵

1. 國立成功大學水工試驗所

2. 三太造機公司

3. 安倉營造股份有限公司

4. 台灣世曦

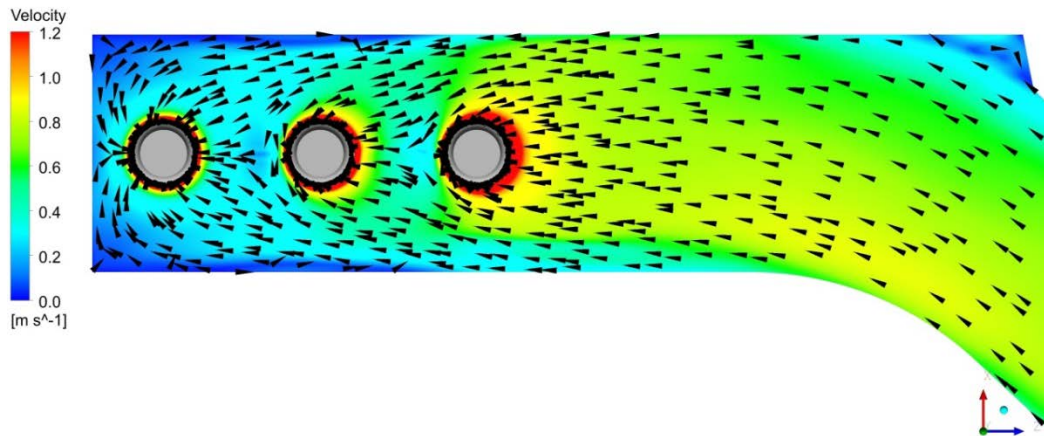
5. 台北市政府

* 通訊作者，Email: jim@mail.ncku.edu.tw

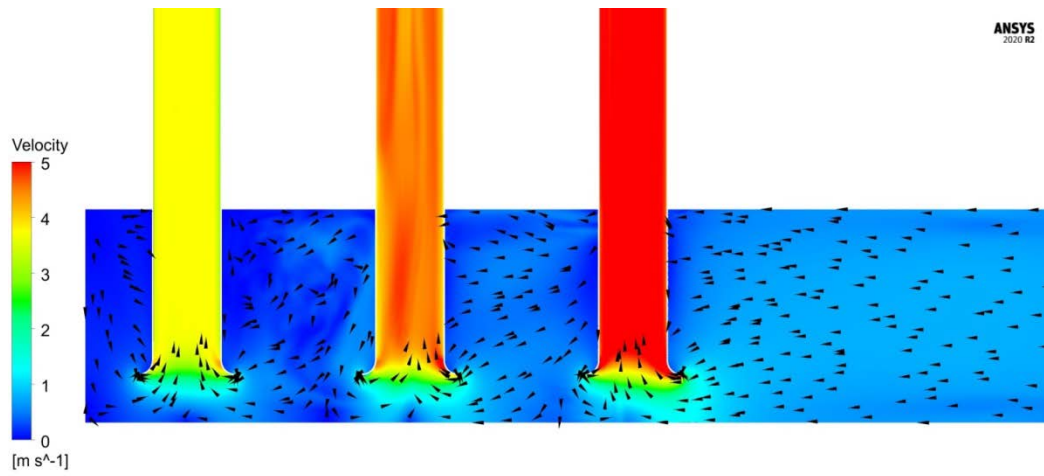
摘要

本研究旨在利用水工模型試驗與 CFD 數值模擬探討臺北市民生抽水站抽水井內之流場，並提出改善方案，以滿足 HI (2018)[1]規範之要求。民生抽水站抽水井進流處渠道向左過彎，進入抽水井後三部抽水機採縱列式分布，且吸入口下方渠底各原有三個 3 m 直徑的圓坑，設計較為特殊，抽水機組長期存在震動問題，顯示流況不佳。經過原方案的測試，流況明顯不符規範要求，本研究中提出改善方案進行測試，驗證改善方案可符合規範，因此建議採用之。此乃少見的縱列式抽水井工程案例，設計其改善方案難度頗高，故本研究結果可供線形類似之抽水站更新改善之參考。

關鍵字：抽水站、水工模型試驗、數值模擬

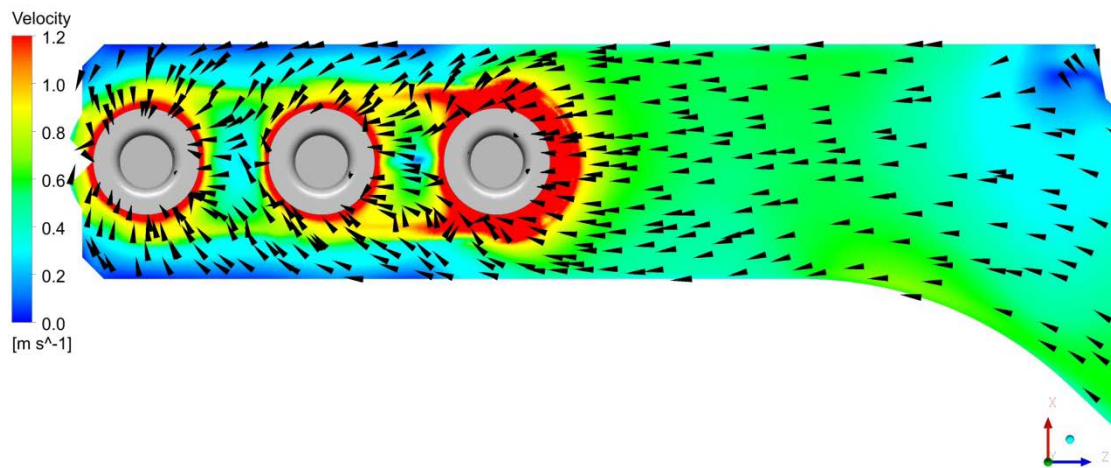


(a)

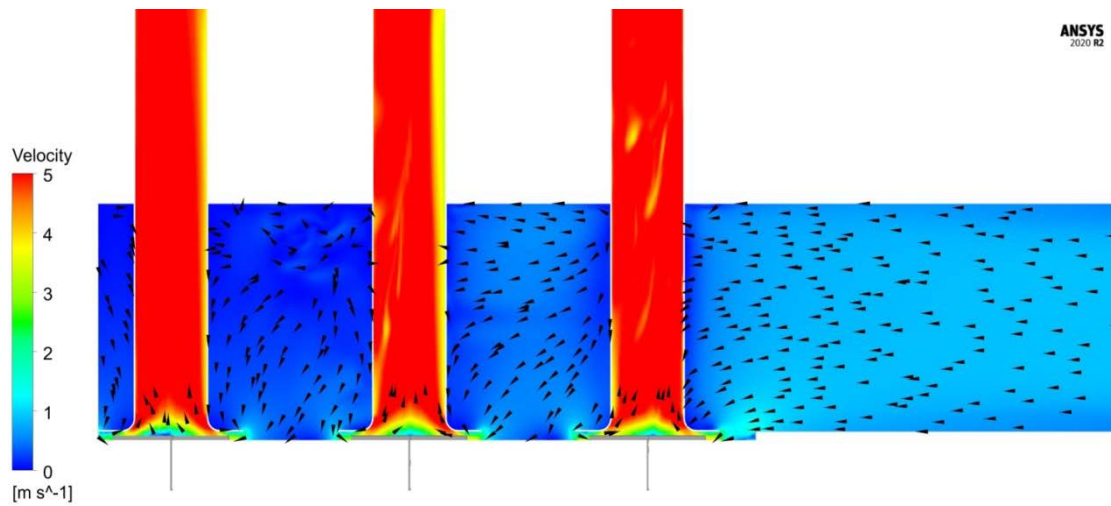


(b)

圖 1 數值模擬之原方案速度場: (a) 高程 EL.-1.45 m 處平面平均速度場; (b) 中央立面速度場 (試驗條件: EL1.0N1Q70N2Q85N3Q100, 三抽水機之流量不同)



(a)



(b)

圖 2 數值模擬之改善方案速度場: (a) 高程 EL. -2.13M 處平面平均速度場; (b) 中央立面速度場(試驗條件: EL1.0N1Q100N2Q100N3Q100)

水庫異重流與浸沒結構物之交互作用及 防淤策略之初探

An Assessment of Siltation Prevention for Gravity Currents over Submerged Obstacles in Reservoir

吳清森^{1*}

歐陽慧濤²

黃佩華³

1. 國立宜蘭大學土木工程學系 副教授

2. 國立宜蘭大學土木工程學系 教授

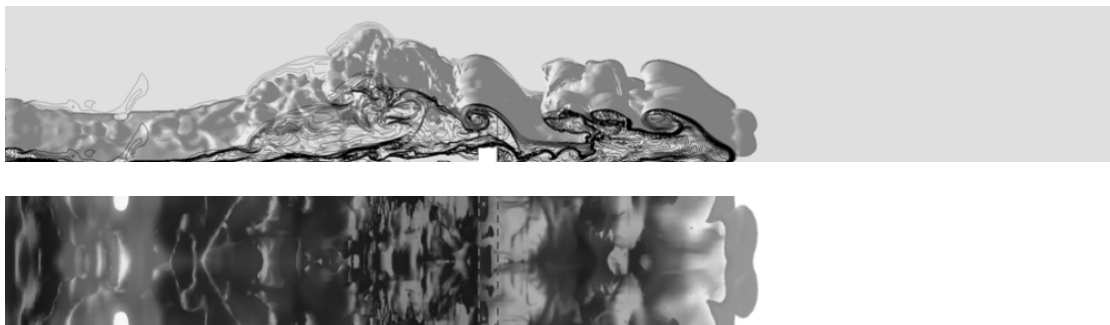
3. 國立宜蘭大學土木工程 碩士生

* 通訊作者，Email: olivercswu@niu.edu.tw

摘要

異重流又名為密度流，成因源於流體中不同懸浮介質的挾帶造成密度差異而產生的流動現象，其流動過程經常被用來預測天然河道或水庫中的泥沙運移沉積行為。近年來，台灣受到氣候變遷的影響極端暴雨事件頻傳，造成集水區上游土壤受沖蝕形成滑坡現象並流入水庫底床，使得水庫淤砂的情況日趨嚴重。日前，政府單位推動防淤隧道興建之排砂策略，以減緩水庫淤積速度及增加壩前的清淤效率。然而，當入流之洪峰不易判別的情形下，其隧道開啟的時間點也無從評估。本研究提出一發想助於減緩泥沙之淤積速率，其關鍵點在於排砂隧道下游設置適當的週期型浸沒水工結構物，除了減緩異重流動能外也可將部分浮懸載滯留於障礙物間並提升浚漂工程之成效。此問題及其分析於文獻中鮮少被討論。本研究擬採用高精度大渦流數值模擬分析此流動的過程，著重於探討受衝擊之浸沒結構物周遭的局部流場變化。探討內容除了定性的觀察外(等值面密度分布)，定量的分析(運移路徑、結構物受力反應、異重流運移的能量變化以及渦流場分布)也將配合異重流形貌演化一併討論之。該分析之數據將有機會提供相關單位參考並評估較有效的防淤方式以利水庫之永續經營。

關鍵字：異重流、浸沒水工結構物、能量收益、受力分析



異重流衝擊浸沒障礙物之流場結構；上圖：三維視角、下圖：俯視圖。

應用排樁減沖促淤之水工模型試驗

Physical Model Experiments on Application of Piles to Reduce Erosion and Increase Deposition

粟群超^{1,2*}

林華南³

陳春宏⁴

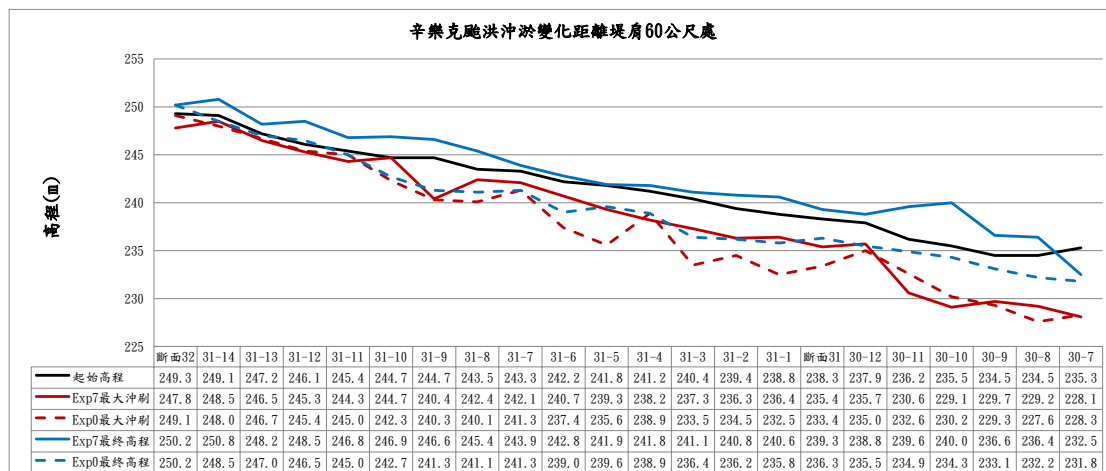
1. 經濟部水利署水利規劃試驗所工程員
2. 國立臺灣大學土木工程研究所博士候選人
3. 經濟部水利署水利規劃試驗所副研究員
4. 經濟部水利署水利規劃試驗所所長

* 通訊作者，Email: ccsu@wrap.gov.tw

摘要

河川斜向水流衝擊堤防時，會改變水流方向，並造成堤防基腳前河道底床之劇烈沖刷，為保護水尾堤防段之基腳，傳統上多以使用丁壩方式挑流。本研究以大安溪水尾堤防段作為研究對象，使用排樁進行挑流，冀透過排樁可達到減沖促淤，減少水尾堤防段之沖刷。模型模擬範圍由 36 斷面至 29 斷面(舊山線鐵路橋)，模擬範圍長度約 4.5 公里，模型為 1/100 等比模型，模型長度約 45 公尺，經由不同排樁配置位置之試驗可知排樁於適當地點擺設可有效減緩沖刷並造成淤積。排樁之減緩水流原理與成功筐網類似，都是減緩其後之流速並造成渦流，進而減少沖刷及造成淤積。排樁與丁壩或筐網初步比較，排樁具有透水、挑流、與堤防不共構、無傳統丁壩壩頭沖刷問題、每根樁為獨立、可適用於砂質及礫石河床、可造成回淤等優點。

關鍵字：減沖促淤、挑流、減緩流速、排樁、筐網



備註：Exp0 為試驗對照組(無排樁)、Exp7 為其中一組排樁配置試驗，試驗解果顯示此組排樁布置可減少最大沖刷並造成回淤

圖、Exp7 排樁案例試驗之最大沖刷深度與最終高度比較圖

沉沙池於地區防災之應用實務

Applied to regional disaster prevention practice using Settling Basin combin Slit Dam

孫一璋^{1*}

楊俊彬^{2*}

1.成大水利工程所博士班(職)、臺南市大內區公所農建課約僱技士

2.特考三等土木職系、臺南市大內區公所農建課課長

* 通訊作者，Email: frank0512@mail.tainan.gov.tw

摘要

為有效阻止豪大雨使曾文溪支流大量的水含土砂對中下游較低窪社區的直接衝擊造成災害，台南市政府水利局於 2017 年在本文提出之現址協助設計建構了一座占地面積約為 2,000 平方公尺的沉沙池，其主要目的係用以容納(滯洪效果)及緩衝山坡野溪水流的直接流向社區造成積淹水災害。而該沉沙池在後來的操作實務上出現容易受沖刷下來的雜物阻塞排口影響排水效率的狀況，爰於 2020 年在池中設計增加了 36 支梳子壩的建構，預藉以使其有緩速水流促使提早沉沙，與攔截曾文溪支流順水流下的漂流雜物等功能，使最終出口排水盡量以無雜少砂之樣態向後端排水系統而去。此水利設施在爾後多場有紀錄的颱風大雨中已發揮功能。惟近日發生的一場短時強降雨，該沉砂池雖仍由梳子壩擔負起雜物攔截與沉砂的重要功能，然因當時入流量甚大於出流設計量，使當日清晨發生近 1 小時的池滿溢流狀況，遂造成排水系統承載不及致漫流地面造成低窪社區出現積水災情。本文係以實務所見分享該水利設施對防災的有效協助，惟文中並未提及有關水理等專業相關數據，期待後續各方前輩指導，文末並稍對本文案例做一未來設計改善的補充提出，期能落實加強防災要務，維護民眾之生命財產安全。

關鍵字：沉砂池、梳子壩、滯洪池、防災、水利設施、淹水



(左)大內區石仔瀨沉砂池空拍照(大內區公所提供)



(右)0731 強降雨事件後之沉砂池現場實務照片(大內區公所提供)

路面淹水感測器即時資料應用於二維淹水模擬之校正 The real-time water-level observations at roadside sensors used in the correction of 2D inundation simulations

吳祥禎^{1*}

許至璉²

張哲豪³

沈志全⁴

1. 國立聯合大學土木與防災工程學系助理教授

2. 財團法人國家實驗研究院國家高速網路與計算中心副研究員

3. 國立臺北科技大學土木工程系教授

4. 方圖科技股份有限公司執行長

* 通訊作者，[Email: sjwu@nun.edu.tw](mailto:sjwu@nun.edu.tw)

摘要

因降雨預報-逕流模擬-淹水預報過程中因極端氣候之影響，故在淹水模擬過程中產生了不確定性進而造成淹水預報資訊(包括測站淹水水深及淹水範圍及面積)逕生誤差。為降低水情測預報系統所提供淹水預報資訊可能因水文、氣象及地文等不確定性之影響而所產生誤差以提高淹水預報可靠度，2018 年起，行政院推動「前瞻基礎建設計畫_建構民生公共物聯網-水資源物聯網」中，陸續於全臺易淹水地區，設置 1,098 站 IoT 物聯網淹水感測器(簡稱淹水感測器)等智慧量測元件，用以即時記錄地面淹水位置及深度資訊，並借由現代資通訊技術匯流各類水利及水文相關大數據資料於「水資源物聯網感測基礎雲端作業平台」，可即時且有效地掌握淹水監測資訊。本研究以台南地區於 20200604 暴雨事件之 SOBEK 二維淹水模擬結果為例，運用二維淹水預報水位即時校正模式(Real-time error correction of 2D inundation simulation, RTEC-2DIS) (Wu et al., 2020)，配合事件期間由路面淹水感測器所測得淹水水深資料，進行區域內各網格點淹水水深模擬值之校正，藉以說明及展示路面淹水感測器即時資料應用於改善二維淹水資訊準確性及可靠度之成效。

關鍵字：水資源物聯網、路面淹水感測器、二維淹水模擬、預報水位即時校正

辨識強降雨前之特徵降雨可行性探討

A feasibility study of identifying characteristics of storm rain events

郭遠錦^{1*}

莫懿美²

麥胤寰³

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司水及環境工程部正工程師(博士/水利技師)

2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司水及環境工程部副理

2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司水及環境工程部工程師(水利技師)

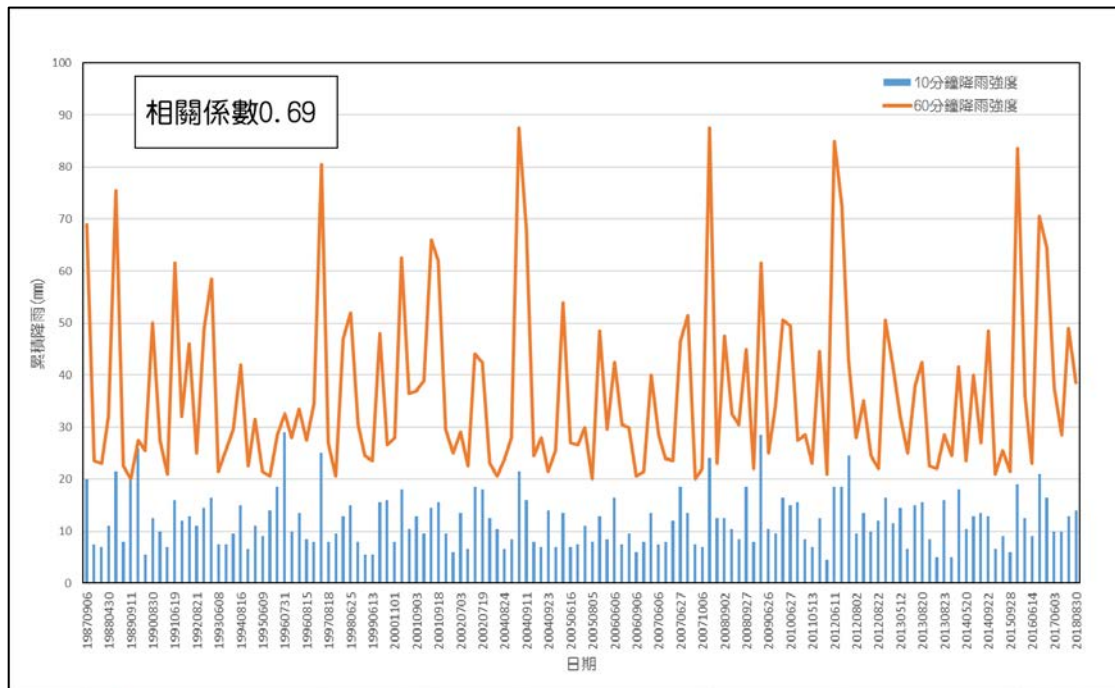
* 通訊作者, Email: yckuo@ceci.com.tw

摘要

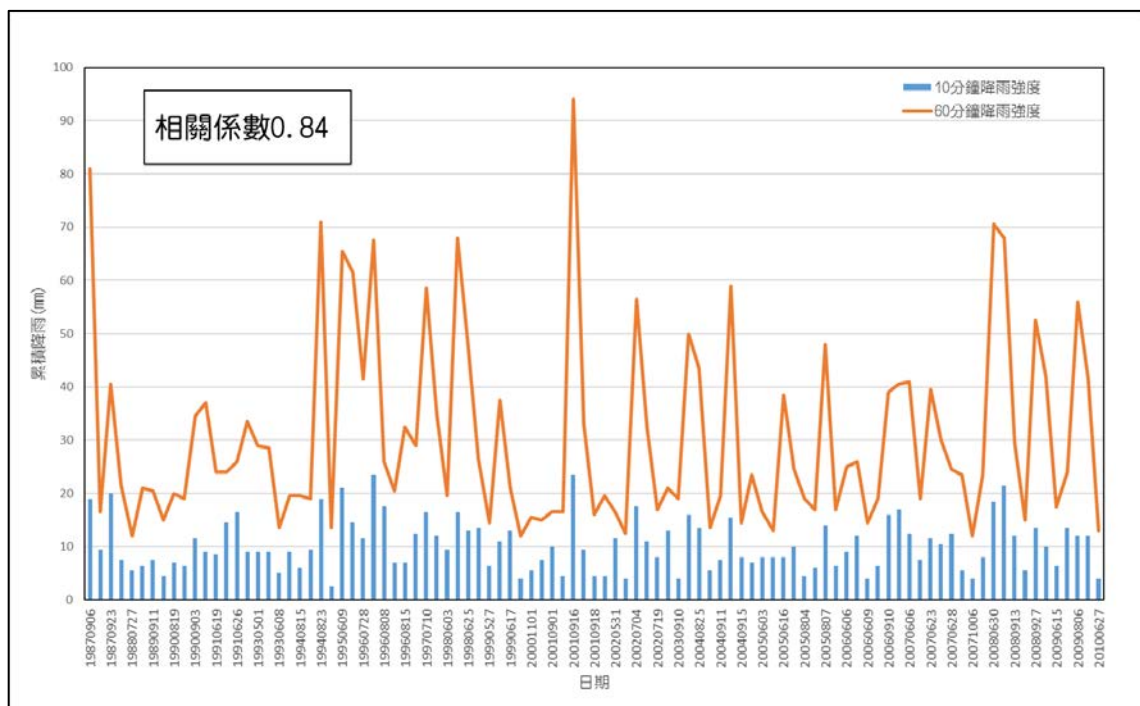
夏季熱對流所造成之強降雨常超過下水道系統容量,造成局部積水情形。以民國 110 年 6 月 4 日臺北市暴雨為例,共有超過 10 個雨量站測得時雨量超過 100 公厘之降雨情形,遠超過臺北市現行雨水下水道排水容量(五年重現期,時雨量 78.8 公厘)之保護標準,因此造成了嚴重之積水情形。考量都市型排水系統受地下管線、施工可行性及工程經費等限制,難以大幅提升排水保護標準,因此超標降雨造成致災情形在近年內將無可避免。如何藉由強降雨前之特徵降雨型式辨識超標降雨之發生,可提早發出預警,藉由居民自救及局部管控等方式以減少災損,達到與自然共存之最終理想。

本研究藉由分析桃園雨量站(1987~2018)、林口雨量站(1991~2020)、大溪雨量站(2008~2018)、八德雨量站(1987~2018)實測降雨資料,藉由資料分析,辨識出 10 分鐘降雨強度及暴雨事件之降雨強度,再以相關係數分析相關性。分析成果顯示,10 分鐘降雨強度及降雨事件之降雨強度相關係數可達 0.69~0.84 以上,顯示藉由 10 分鐘降雨強度之辨識成果,可於暴雨發生初期,積水發生前即提出預警,使得居民及管理人員得以進行必要之減災措施。

關鍵字：特徵降雨、夏季熱對流、防災預警



桃園站降雨紀錄彙整結果



大溪站降雨紀錄彙整結果

Sec-HY21 於都市淹水治理之應用

Application of Sec-HY21 for Urban Flood Management

楊斯堯^{1*} 任文璋¹ 鍾文祥¹ 沈哲緯² 黃旭輝³ 李金靖³ 劉振宇³

1. 中興工程顧問股份有限公司水利工程部

2. 興創知能股份有限公司技術研發部

3. 桃園市政府水務局

* 通訊作者，Email: henryyang@mail.sinotech.com.tw

摘要

近年來受到氣候變遷的影響，強降雨事件有逐漸增加之趨勢，加上都市化的快速發展，河流下游的洪水平原高度開發利用，每逢颱風豪雨都市地區容易發生淹水事件，進而對人民的生命財產造成危害。都市淹水的問題相當複雜，包含外水溢堤、內水積淹、人孔冒水和路面淹水等情形，需同時考量平原區的緩坡低地特性，以及都會區高複雜土地利用及地形(如道路、建築物)，有鑑於此，豐富的治理策略因應而生，在河川排水方面，除了傳統的築堤禦水外，近年亦開始興建滯洪池、抽水站，來減輕河道內洪峰時的水體負荷總量體；都市計畫區內亦廣設雨水下水道系統，收集堤防內的逕流水體，並於匯入河川處加設抽水站或滯洪池，確保外水高漲時內水能順利排出。為了解不同排水系統與治理策略之交互關係，本研究以桃園市為研究區域，採用中興工程顧問社開發之 SEC-HY21 進行桃園市全區淹水模型的建置，SEC-HY21 為一二維耦合之水理模式，同時可使用非結構化網格，以及 GPU 圖形運算加速技術，能夠針對大範圍、複雜之都市地區進行淹水模擬。模型建置完成後以 108/07/02 豪雨事件進行驗證，結果顯示模式之捕捉率為 69%，接著挑選桃園市近年 40 項治水工程，利用不同降雨情境，模擬分析治理前、治理後，以及推動中的淹水改善情形，綜整量化治水成效。本研究可提供決策者在水患治理評估時之參考。

關鍵字：都市淹水、桃園水患治理、SEC-HY21

HyDEM 於淹水模擬之應用

Application of Hydraulic Digital Elevation Model for Flood Simulation

鐘柏顯^{1*}

謝建宏²

1.經濟部水利署水利規劃試驗所工程員

2.經濟部水利署水利規劃試驗所副工程司

* 通訊作者，Email: hones1885@wrap.gov.tw

摘要

近年來隨著淹水模擬深入應用於防災預警、逕流分擔及出流管制等領域，其模擬精度之要求與早期治理規劃已大不相同。雖然模式已彙整相關水文地文資料，但多年來都市開發與治理工程完備，使地文資料與現地狀況逐漸出現落差，同時資料解析度亦無法滿足相關應用之需求，故本所自 107 年起與內政部合作產製適合淹水模式使用之水利數值地形資料(以下簡稱 HyDEM)，以期提高淹水模擬細緻程度。

本研究以臺南市鹽水溪排水集水區為研究區域，107 年 0823 豪雨事件為歷史颱風事件進行測試，與 EMIC 淹水通報資料比較。測試結果顯示在 200 筆通報資料中有 183 筆通報資料被淹水模擬掌握，可呈現局部積淹水情形，大致反應現場淹水情況。本研究亦發現通報及淹水模擬位置相當接近，大部分點位均位於模擬位置旁，顯示通報者於通報時處於積淹水鄰近較安全處，整體模擬結果與細節均較合理，亦顯示 HyDEM 可有效收斂淹水模式模擬之結果。

關鍵字：HyDEM、3Di、淹水模擬

花蓮海岸公路的海岸防護-以人定勝天段為例

Coastal Protection of Hualien Coastal Highway-A Case of Ren Ding Sheng Tian Section

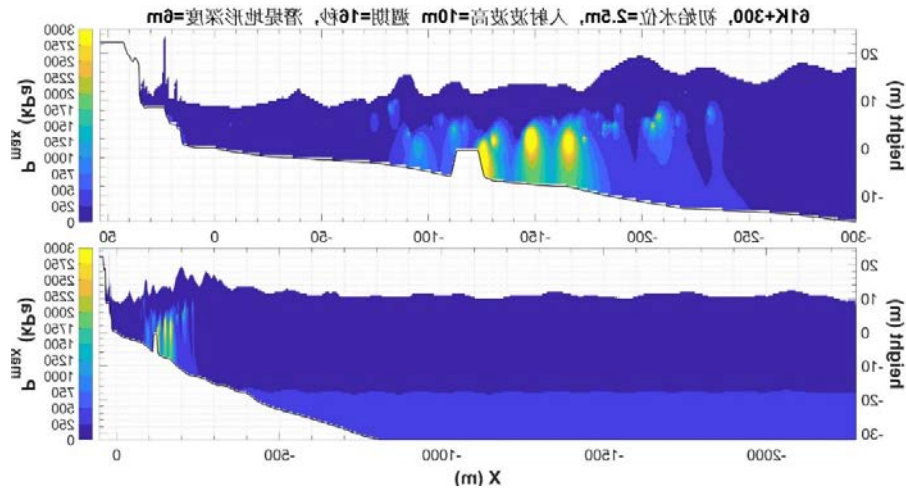
陳冠宇^{1*} 劉俊志² 蔡立宏³ 林雅雯⁴ 陳鈞彥⁵ 陳人玉⁶

1. 國立中山大學海洋科學系教授
 2. 國立中山大學海洋科學系助理研究員
 3. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
 4. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長
 5. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員
 6. 國立中山大學海洋科學系研究助理
- * 通訊作者，Email: guanyu@faculty.nsysu.edu.tw

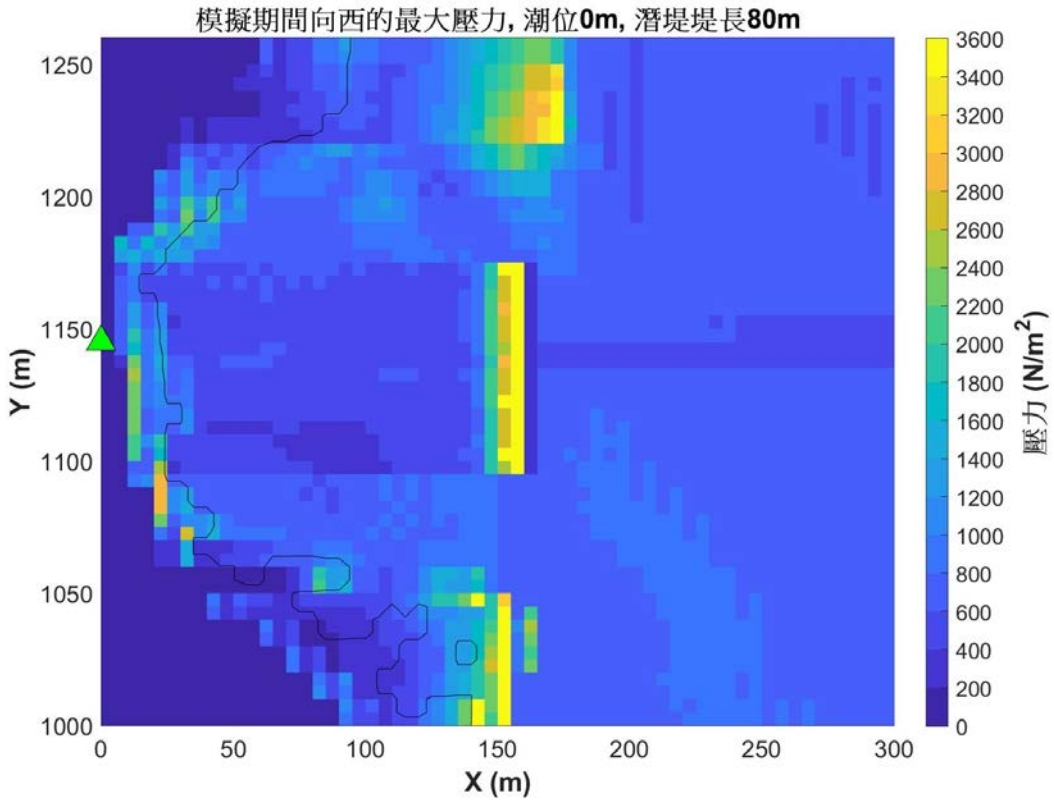
摘要

由於颱風引起的暴潮和長浪容易對臺灣東部海岸公路段的民眾生命財產造成威脅，且基於海岸資源永續發展和自然環境維護，有必要加強海岸防護相關設施。保護工法除具備防災功能外，最好能兼具美觀的作用，故本研究以離岸潛堤作為海岸防護的參考措施。潛堤的消能性雖無法與突出水面的離岸堤相比，如有適當的位置配置仍可發揮海岸防護的功能。本研究利用 COBRAS 垂直 2 維波浪模式探討離岸潛堤在不同地形深度配置下，分析長浪的溯上距離以及其作用力對台 11 線人定勝天段 7 個站造成的壓力影響。另亦使用 Xbeach 水平 2 維波浪模式探討不同潛堤長度和位置配置產生的壓力差異。最後藉模擬結果評估何種潛堤深度、長度和位置有助於降低波浪對道路邊坡產生的壓力衝擊。

關鍵字：海岸防護、離岸潛堤、COBRAS、XBeach



COBRAS 模式模擬 61K+300 站的最大壓力空間分布



Xbeach 模擬在 61K+300 站附近的向西最大壓力(潮位 0m 且堤長 80m)

利用洪患韌性指標評估低衝擊開發對於城市地區抗災 能力之影響

Evaluation of Low Impact Development for Resilient Capacity in Urban Area with Flood Resilience Index

張淵舜^{1*}

何昊哲²

黃莉雅³

1. 國立臺灣大學土木工程學系博士研究生

2. 國立臺灣大學土木工程學系助理教授

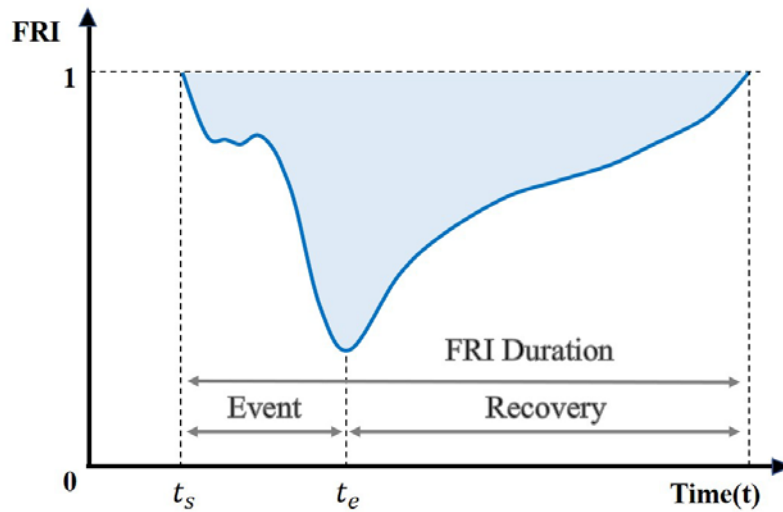
3. 國立臺灣大學土木工程學系碩士

* 通訊作者，Email: f07521309@ntu.edu.tw

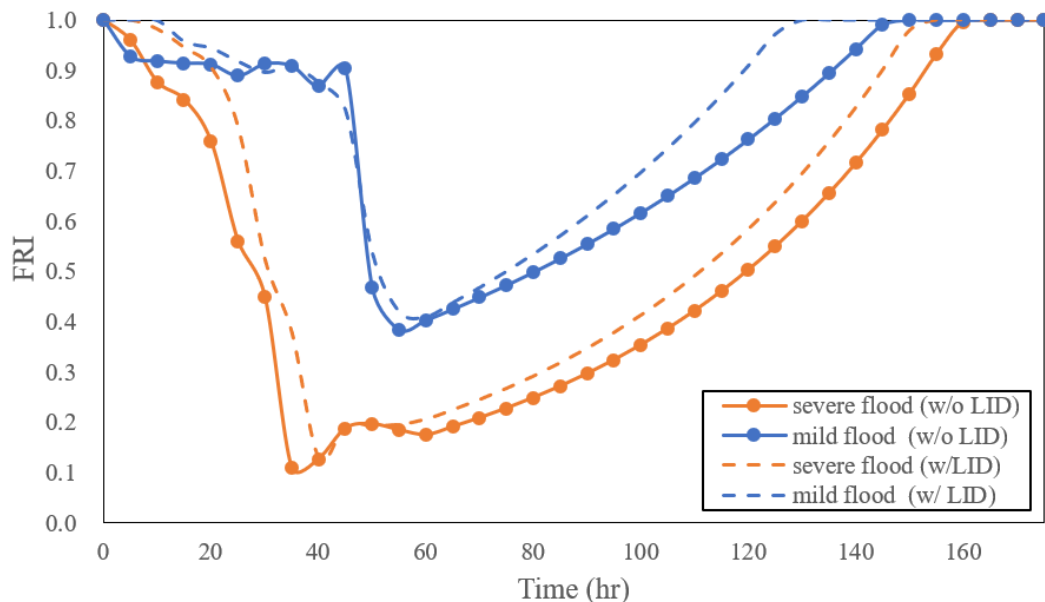
摘要

在全球氣候變遷環境情勢以及人口集中造成都市化的影響之下，水旱災頻頻發生，因此都市暴雨管理的思維必須做出改變，脆弱度(vulnerability)以及回復力(resilience)的韌性管理概念也開始被應用於防災的策略中。同時 Low Impact Development 有抑制洪患與改善水質環境的功能，使其常成為都市暴雨管理的調適工具。但目前對於都市韌性的研究大多僅提供量化的評估架構，如何去對於一個地區量化韌性的程度以及 LID 在各方面的作用對研究者仍是一大挑戰。本研究針對如何建立一個隨時間改變，並且以洪患災害為主要標的的量化指標去評估一個地區的韌性程度。以台灣台南市新化都市計畫區為研究場域，以歷史極端的颱風事件為模擬條件，採用 3Di Water Management 暴雨逕流模式模擬區域的淹水情況。將淹水發生的嚴重程度與當地的社會經濟條件定為主要的影響因子，並以是否設置(LID)作為重要的變數，分析對於都市韌性的效益及作用。

關鍵字：洪患韌性指標(FRI)、低衝擊開發、洪患風險評估、與時間非獨立的模式(Time-dependent Model)、社會經濟因子



FRI 洪患韌性指標概念圖：該指標的量化需要考慮受洪水影響地區的物理淹水及社會經濟條件因子，其中 t_s 代表事件的開始， t_e 回復期取決於不同地區對於淹水的程度及定義而異。在事件階段，由於系統受到洪患的影響而導致指標值下降，但在後續的回復階段，淹水事件不再造成額外的損害，指標恢復到初始平衡的狀態。



由上圖關於有無 LID 配置所造成的影響可以發現，LID 在初始階段發揮滲透功能，延遲 FRI 指標開始下降的時間，在事件中後期發揮滯留功能，減緩指標的下降速度，也表明 LID 對於都市淹水的減緩效果是可觀的。同時，在 LID 配置下使事件階段提前結束，使淹水區域更早進入回復階段，同時在回復階段中恢復到原始平衡狀態的時間也明顯提前，進而增強區域的抗災能力。

基地帶狀開放空間透保水規範下單一基地與合併基地 開發逕流減量效果之研究

Research on the Runoff Reduction Effect of the Development of a Single Base and a Combined Base under the Water Permeability and Water Conservation Standards of the Base Strip Open Space

傅金城¹

董娟鳴²

簡茂家^{3*}

1. 國家災害防救科技中心企劃組副研究員

2. 銘傳大學都市規劃與防災學系副教授

3. 銘傳大學都市規劃與防災學系碩士

* 通訊作者，Email: weop010101@gmail.com

摘要

近年來由於臺灣都會地區快速擴張與開發的趨勢，造成都會地區地表不透水率的上升，且因氣候變遷導致極端降雨事件頻率與強度的增加，更增加了都會地區水患的機率與程度。故經由土地使用分區管制要點及都市設計審議規範階段導入就源處理的暴雨管理規劃概念，將有助於降低都會地區的淹水風險。「淡海新市鎮第一期細部計畫地區都市設計審議規範修正草案」中，為因應全球氣候變遷之衝擊，而導入暴雨管理之規劃理念，如：在建築基地臨接道路境界線留設帶狀式開放空間設置低衝擊開發設施、開發基地設置雨水貯留設施...等排水暨透保水設施規範。本研究以淡海新市鎮為例，運用暴雨管理模式(SWMM)依循「淡海新市鎮第一期細部計畫地區都市設計審議規範修正草案」中帶狀開放空間設置透保水規定設定低衝擊開發設施，並探討單一地籍基地開發與合併地籍至 5000 平方公尺基地開發的洪峰逕流減量效果。模擬結果顯示，依循留設帶狀式開放空間設置低衝擊開發設施，能夠減少洪峰流量約 1.45~1.24cms(15.85%~10.18%，2 年~25 年重現期降雨)；透過研究地區模擬單一地籍基地開發與合併地籍基地開發在依循透保水法規設置低衝擊開發設施後，在 2 年到 25 年重現期降雨下，合併地籍基地開發的洪峰流量則會低於單一地籍基地開發約 0.07~0.05cms (0.92%~0.46%)。因此，對於日益開發的都會地區，若能適當的保留開放空間設置透保水設施及規範最小的基地開發面積，將有助於降低都會地區的洪水災害風險。

關鍵字：暴雨管理、都市設計、逕流減量、SWMM 模式



圖 1 地籍基地指定留設開放空間位置示意圖

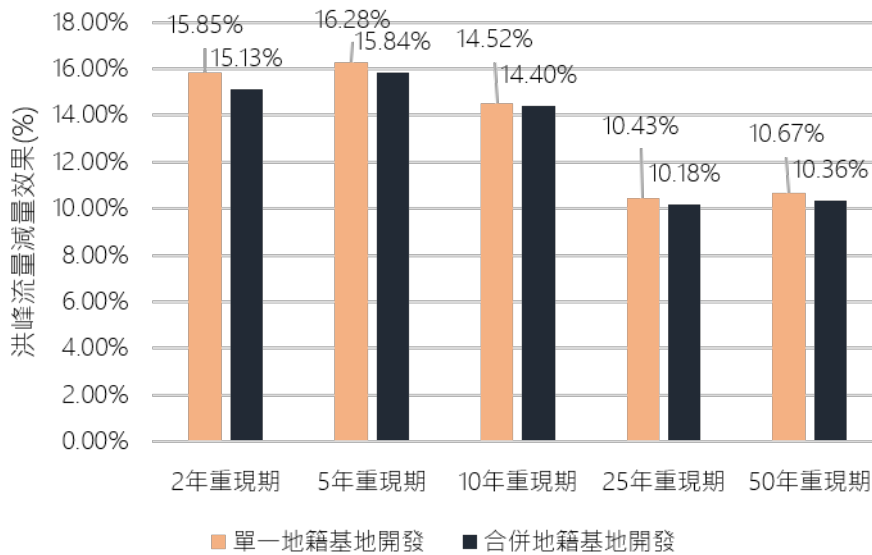


圖 2 設置低衝擊開發設施洪峰流量減量效果

養殖漁業生產區因應氣候變遷之自主防災策略

Initiative disaster prevention tactics for climate change in aquaculture fishery production areas

張簡鳳蓮^{1*} 簡文煥²

- 1.財團法人農業工程研究中心/助理研究員
 - 2.財團法人農業工程研究中心/副研究員兼工程組組長
- * 通訊作者，Email: lotus@aecr.org.tw

摘要

近年受到全球氣候變遷影響，極端氣候頻率增高，我國養殖區多位於西部沿海地區，地勢低窪且位於流域最末端，區內排水多為舊有農路排水，護岸為卵砌石及磚造結構，於風災或豪雨期間排洪能力及保護能力不足，且易受潮汐及中、上游排水影響，故養殖區內排水需漁業主管機關、直轄市、縣(市)政府整建及改善，以提高養殖區內蓄淹排洪能力。除水產養殖排水及相關銜接排水系統整治工程外，非工程措施部分，養殖區內經由防洪機制訂定、自主防災推動、防災應變宣導等各項工作，強化養殖漁業公共建設維護管理機制，提升養殖漁業公共建設生命週期及降低風險，進而降低養殖漁業生產區之水患威脅。

早期民眾對於自主防災的觀念較為薄弱，常常是災害來臨時等待政府公部門的救助，或是事後補償。養殖區的自主防災操作，本團隊宣導在災前以降低養殖區內魚塭水位增加在地滯洪空間，但因各養殖區之養殖魚種及大部分養殖區養殖用水取水不易，各地方漁民視災害來臨前的魚塭水位、雨量預報概況及現地降雨情況，並考量養殖物種之鹽度變化耐受度進行魚塭的預先排水操作。依據台灣不同地區的養殖物種，可事先降低之魚塭水位約 30~60 公分，相當於可承受累積降雨量 300~600 毫米左右的降雨量，除了漁民魚塭預先排水的操作，養殖區當地區域排水水閘門操作、抽水站或移動式抽水機須共同配合操作，以利將養殖區內排水路的水量排除至外海，避免造成區內因養殖排水而淹水。

關鍵字：極端氣候、養殖區自主防災、在地滯洪

養殖區自主防災

排水溝清淤



防災演練



抽水機檢查
水閘門及



易致災區域
之掌握



平時整備
災中運作

災前整備

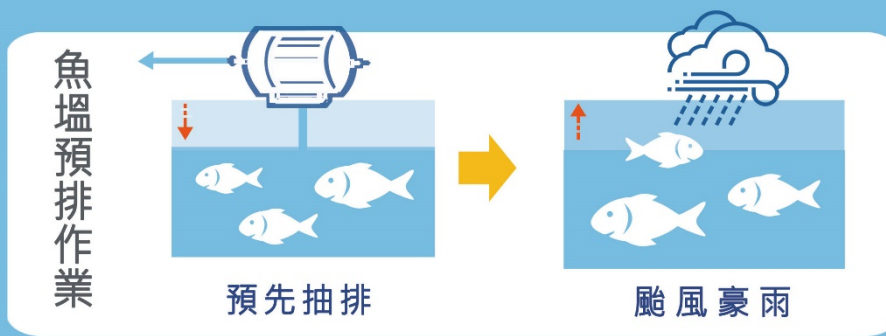
巡檢排水系統、河堤，進行魚塭預排作業。

災中運作

巡視養殖區情況，隨時通報協調相關單位支援。

災後復原

清點災損情況，以利災後復建作業。



養殖區自主防災運作策略

以生活影響與漁業損失為標的探討氣候變遷條件下之 減災措施成效

Socio-economic analysis of strategies for flood risk management under the RCP8.5 scenario

陳映彤¹ 蕭學勇² 楊尊華^{3*} 鄭兆尊⁴ 張雅琪⁵ 鄭旭翔⁵

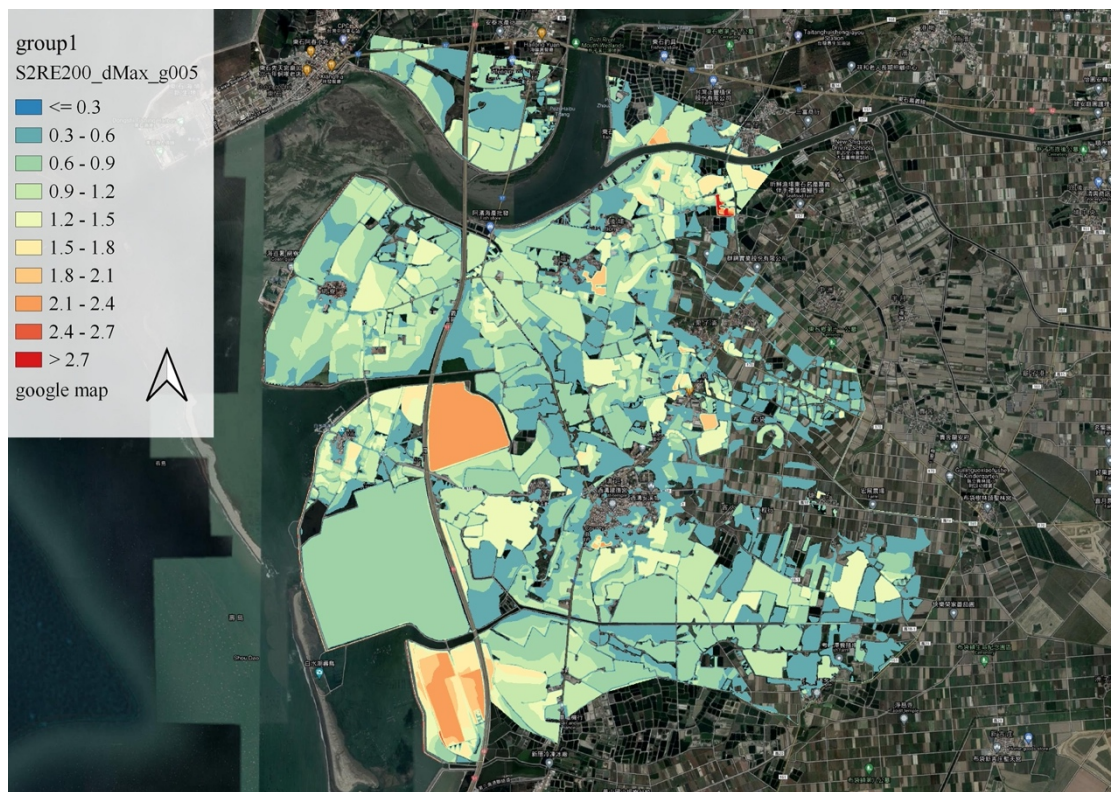
1. 國立陽明交通大學土木工程學系碩士
2. 國立陽明交通大學土木工程學系博士候選人
3. 國立成功大學水利及海洋工程學系助理教授
4. 國家災害防救科技中心副研究員
5. 工業技術研究院綠能所研究員

* 通訊作者，Email: tshyang@nycu.edu.tw

摘要

本研究以聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第五次評估報告 (AR5) 中 RCP8.5 之未來天氣假設情境為主軸，透過臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫(TCCIP)之動力降尺度偏差修正時雨量，探討台灣嘉義沿海地區在不同減災措施下氣候變遷情境對當地居民生活與漁業損失的影響。有別過往大多採用區域內最大淹水範圍做為洪災影響評估之惟一指標，本研究以澳洲 TUFLOW 一二維耦合淹水模式，配合 GPU 高速運算能力，模擬一日最大淹水範圍。接著不以最大淹水範圍為評估指標，而聚焦在未來氣候變遷環境下，不同減災措施在(1)與居民生活相關之居住與交通範圍影響，以及(2)與居民經濟收入相關之漁業損失為評估標的。台灣沿海地區多以農漁業尤其養殖漁業為主要經濟來源，因此透過現地調查與專家訪談，並參考生物特性後提出一以淹水深度對應魚塭損失之線性災損分析公式，快速評估漁業經濟損失，量化減災措施之具體成效。本研究採用之減災措施包括廣佈抽水機、利用閒置地滯洪，以及考慮沿海養殖魚塭地區低於海平面之特性進行預先降低水位操作等措施。研究結果顯示若能將滯洪、排洪設施之工程措施(structural measure)與既有養殖魚塭進行降低水位與蓄洪之非工程措施(nonstructural measure)有效結合，具有最大的減災效益。研究結果期望除了作為災前預警應變措施之參考，也期許未來也可做為沿海低地水患防治工作時之工程設計依據，減緩水患對人民之衝擊。

關鍵字：動力降尺度、氣候變遷、減災成效、TUFLOW、漁業損失



本論文研究區域-嘉義沿海地區之最大淹水深度模擬結果

氣候變遷及都市化增溫情境下臺中市短延時情境雨量 推估

Short-duration Rainfall Generation in Taichung City Under Scenarios of Climate Change and Urbanization

李琦璋¹

陳彥志²

陳憲宗^{3*}

- 1.逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士
 - 2.國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生
 - 3.國立成功大學水利及海洋工程學系教授
- * 通訊作者，Email: chen@gs.ncku.edu.tw

摘要

本研究發展短延時（一至六小時）時雨量繁衍模式，針對臺中氣象站分析時雨量的降雨特性，繁衍臺中都會區的短延時降雨資料；繁衍資料與基期資料的比較結果顯示，各延時降雨事件的平均值、標準差與偏態係數，整體而言具有相似的統計特性。本研究也針對臺中市都會區進行兩種未來短延時降雨的情境推估，一是利用歷史資料推估溫度趨勢的未來短期溫度情境，另一是臺灣氣候變遷推估資訊平台的氣候變遷下未來長期溫度情境，依上述兩種溫度情境套入雨量參數調整模組，接著依照調整過後的降雨參數進行短延時時雨量繁衍，得到未來期程的情境降雨。結果顯示臺中都會區在二種增溫情境下，短延時時雨量的平均值都有增加情況；在氣候變遷長期增溫情境下，短延時降雨增加幅度最明顯的時段在五月至九月，而十月至隔年一月的降雨並無明顯增加。

關鍵字：短延時降雨、雨量繁衍、氣候變遷情境推估

都市排水系統水理模式建置與檢核

Establishment and appraisal of urban drainage system models

於望聖¹ 曾淑娟² 杜鐵生³ 薛煌仕⁴ 李光敦⁵ 林怡廷^{6*} 徐郁涵⁶
林和中⁶ 陳煥元⁶ 廖聿勳⁶ 陳乃光⁷ 簡大鈞⁷ 曾韋謙⁷ 許晴雯⁷
李巧如⁷ 曾國峰⁷ 林慧玲⁷

1. 內政部營建署副主任
 2. 內政部營建署下水道工程處處長
 3. 內政部營建署下水道工程處課長
 4. 內政部營建署下水道工程處幫工程司
 5. 國立臺灣海洋大學河海工程學系特聘教授暨研發長、
地理資訊系統研究中心主任
 6. 國立臺灣海洋大學地理資訊系統研究中心專案經理
 7. 國立臺灣海洋大學地理資訊系統研究中心工程師
- * 通訊作者，Email: yiting010@gmail.com

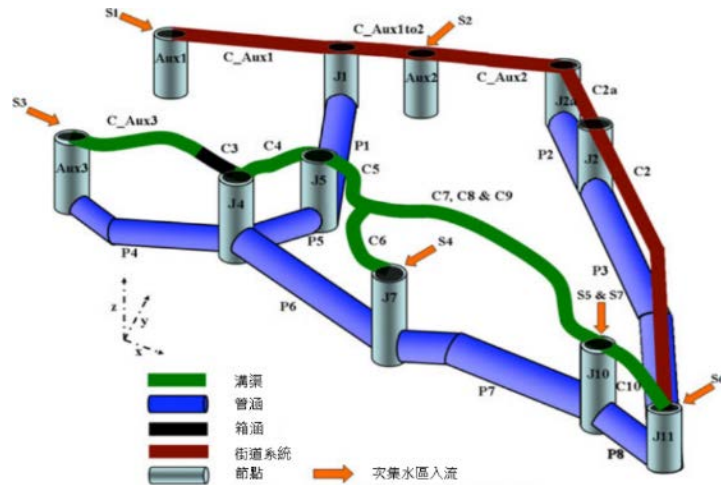
摘要

為能落實國土資訊調查及防救災運用規劃，營建署於 2015 年起推動「雨水下水道普查」，調查現況雨水下水道、路面及相關排水設施的位置、高程及流向等屬性資料，建全完整全國雨水系統資料庫。同時配合雨水下水道規劃及治理之推動，以普查成果為基礎，導入街道/下水道 SWMM 模式(包含雨水下水道、街道排水、區域排水等都市排水系統，如圖 1)建置方式，針對現況都市排水進行水理分析及檢討規劃，進而提供都市溢淹示警的加值應用。考量雨水下水道(檢討)規劃案於執行過程中，所建立的街道/下水道 SWMM 模式，為建置街道溢淹機制的基礎；因此本研究提出街道/下水道 SWMM 模式建置標準作業流程，使雨水下水道(檢討)規劃案執行單位可配合辦理；同時透過一系列的檢核程序，確認水理模式的正確性，以此有效整合各縣市雨水下水道(檢討)規劃案成果。

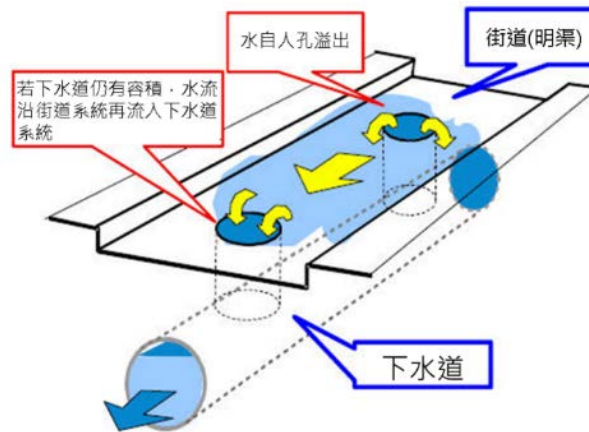
各雨水下水道(檢討)規劃案執行單位於執行水文水理分析階段，須就雨水下水道普查成果，建置街道/下水道 SWMM 水理模式；並配合上、下游邊界條件、淹水紀錄資料、水位監測紀錄等資料，進行模式檢定與驗證。本研究即針對上述成果資料，依據(1)檔案資料檢核、(2) SWMM 模式設定與參數檢查、(3)水文水理分析成果檢核，以及(4) SWMM 模式演算執行與驗證等四大檢核程序(如圖 2)，進行整體評估檢核，以確認所建立之水理模式可確實反映該都市計畫區的逕流特性。有鑑於檢查項目及資料型態繁多，為避免檔案遞送過程之資料遺漏與缺失問題，本研究乃建置「SWMM 複合型都市排水系統檢核管理平臺」，利用雲端技術，以網頁方式提供資料傳遞、清單檢查、檢核進度查詢等服務；並提供自主檢查功能，即可自行檢視水理模型的正確性。各執行單位可透過平臺的檢核資料上傳頁面，依網頁所列清單繳交檢核資料；待資料上傳完畢後，平臺將自動通知主管機關進

行水理模式檢核作業。水理模式檢核過程之各類資訊，亦同步發布至管理平臺上，以供主管機關與各規劃案執行單位隨時確認檢核進度與內容。待通過水理模式之檢核分析程序後，即可再應用人工智慧方式，針對都市地區的雨水下水道人孔及街道路口位置，建立街道溢淹機制(如圖 3)，藉此提升都市防災示警體系的空間精度與準確度。

關鍵字：雨水下水道、規劃治理、SWMM、溢淹預警應用



(Gironás et al., 2009)



(Concha Jopia & Gómez Valentín, 2009)

圖 1 街道/下水道 SWMM 模式示意

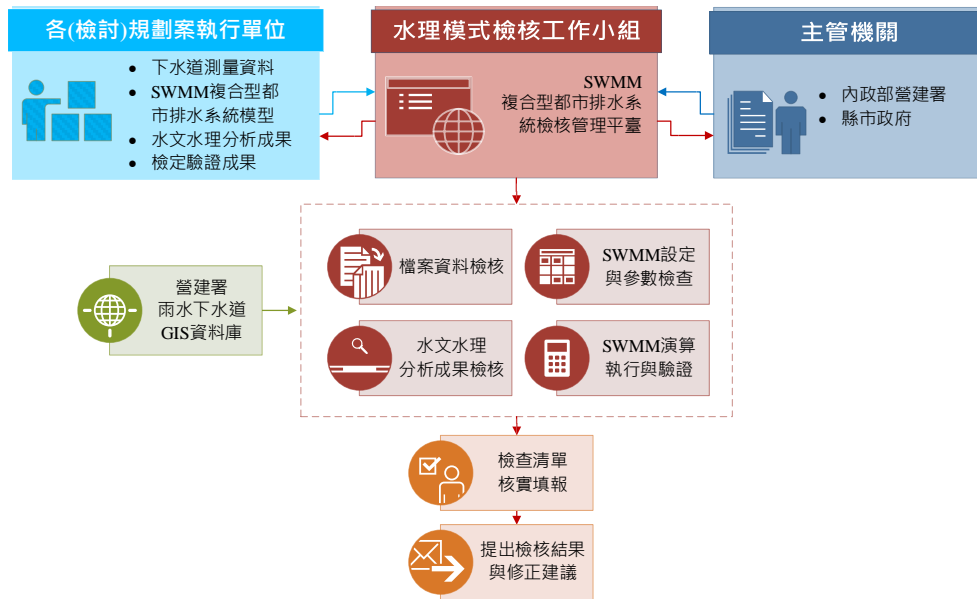


圖 2 水理模式檢核流程與機制



圖 3 都市地區街道溢淹示警

鹿港排水逕流分擔

Runoff Distribution Assessment of Lu kang Drainage Catchment Area

徐瑞宏^{1*} 陳進興² 李友平³ 莊文南³

- 1.經濟部水利署第四河川局副工程司
- 2.經濟部水利署第四河川局課長
- 3.經濟部水利署第四河川局局長
- 4.中興大學土木工程學系博士/台灣大學農業工程學研究所碩士

* 通訊作者，Email: wra04147@wra04.gov.tw

摘要

鹿港排水幹線集水區多為沿海低地，現況排水幹線雖已完成治理，但超過保護標準之降雨及低地逕流無法順利流入排水幹線等影響，鹿港都市計畫人口密集區內仍容易發生淹水災情。考量水利法已於民國 107 年 6 月 20 日增訂逕流分擔與出流管制專章。爰此，本計畫針對鹿港公會堂一帶積淹較嚴重區域採逕流分擔策略，於洛津國小操場設置地下停車場兼蓄洪池，儲水量約達 11,932 立方公尺，可滿足該區域 10,210 立方公尺逕流分擔需求，平日紓解觀光停車空間，超過保護標準之降雨亦可蓄存逕流，分擔雨水下水道排洪負擔，達公共設施多元利用之原則，其餘零星淹水區域採用公共設施用地，透過入滲或微型滯洪方式貯存降雨逕流，提昇土地耐洪能力。

關鍵字：鹿港排水、逕流分擔



洛津國小操場設置地下停車場兼蓄洪池)配置區位圖

出流管制於低地開發之探討-以看西農場為例

Study on Outflow Control for Lowland Development

-Application to Kanshi Farm

鐘柏顯^{1*}

1.經濟部水利署水利規劃試驗所工程員

* 通訊作者，Email: hones1885@wrap.gov.tw

摘要

近年來臺灣因經濟發展需求進行大量土地開發，隨著氣候變遷影響極端降雨發生於開發區域導致淹水災害頻仍。故為平衡經濟發展及防洪安全，水利署於 109 訂定出流管制技術手冊率定相關計算方法。然其中水文水理計算方式多適用於高地開發，低地開發之適用性仍須釐清。故本研究以臺南市鹽水溪排水上游看西農場為研究區域，測試聯外排水路外水位對開發區之敏感程度，並且計算在不同重現期下開發面積每公頃淹水體積變化情形。且低地開發大多影響周邊區域防洪安全，故本研究亦針對周邊聚落補償方式進行初步分析。

關鍵字：出流管制、看西農場、低地開發

橋接洪氾區與國土計畫之土地利用管制

王文祿^{1*}

廖仲達²

鍾仁凱³

葉克家⁴

1. 時代法律事務所律師，國立台北商業大學通識教育中心兼任助理教授
 2. 國立陽明交通大學防災與水環境研究中心助理研究員
 3. 國立陽明交通大學防災與水環境研究中心助理研究員
 4. 國立陽明交通大學防災與水環境研究中心客座教授
- * 通訊作者，Email: wenu333@gmail.com

摘要

今(2021)年國土計畫法下之直轄市與各縣市國土計畫均已公布，下一部國土功能分區計畫全面實施後，我國將完全進入國土計畫法時代。另一方面我國目前又有推動劃設洪氾區之呼聲，兩者間之關係頗值玩味。本文將由我國洪氾區劃設之特殊性為始，對我國洪氾區與歐美 floodplain 之差異進行比較，以確立我國洪氾區劃設之獨特性。次將國土計畫法各種分區逐一描述，以作為比較分區管制措施之基礎。其後再將各種現行有關河川之土地管理法律逐一介紹，以使問題討論趨於全面。最後本文以淡水河之洪氾區劃設為例，假設於國土計畫法全面實施後，如何將淡水河之洪氾區於國土計畫法之配套下劃設完成，並依此進行相關討論以作為未來相關劃設工作之參考。

關鍵字：洪氾區、洪水平原、國土計畫

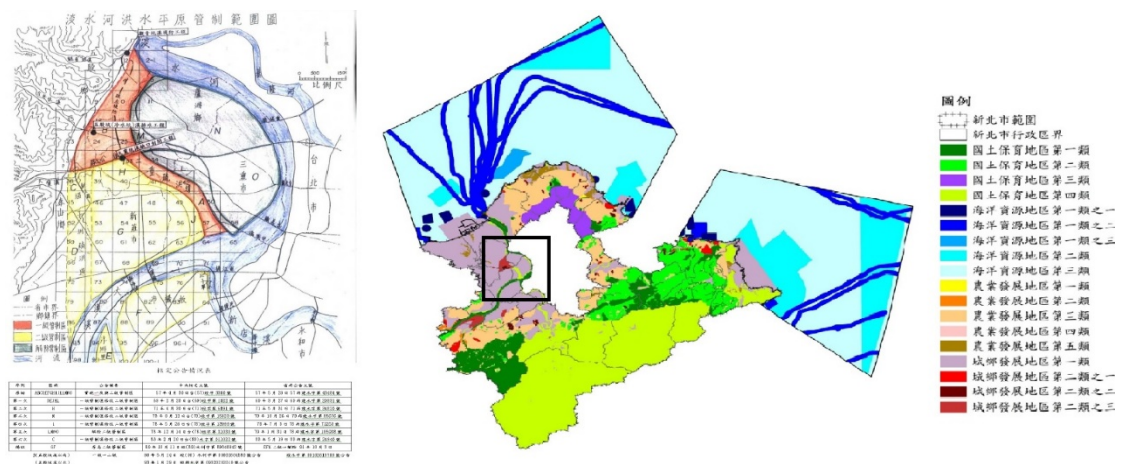


圖 2. 淡水河洪氾區與新北市國土計畫分區比較表(資料來源: 新北市政府(2019), 葉兆彬(2016))

東港溪禮川運動進行式—以跨域媒合推動東港溪水質 改善公私協力行動

柳詩盈^{1*}

周克任²

- 1.台灣藍色東港溪保育協會秘書長
- 2.台灣藍色東港溪保育協會理事

* 通訊作者，Email: acchenlin@gmail.com

摘要

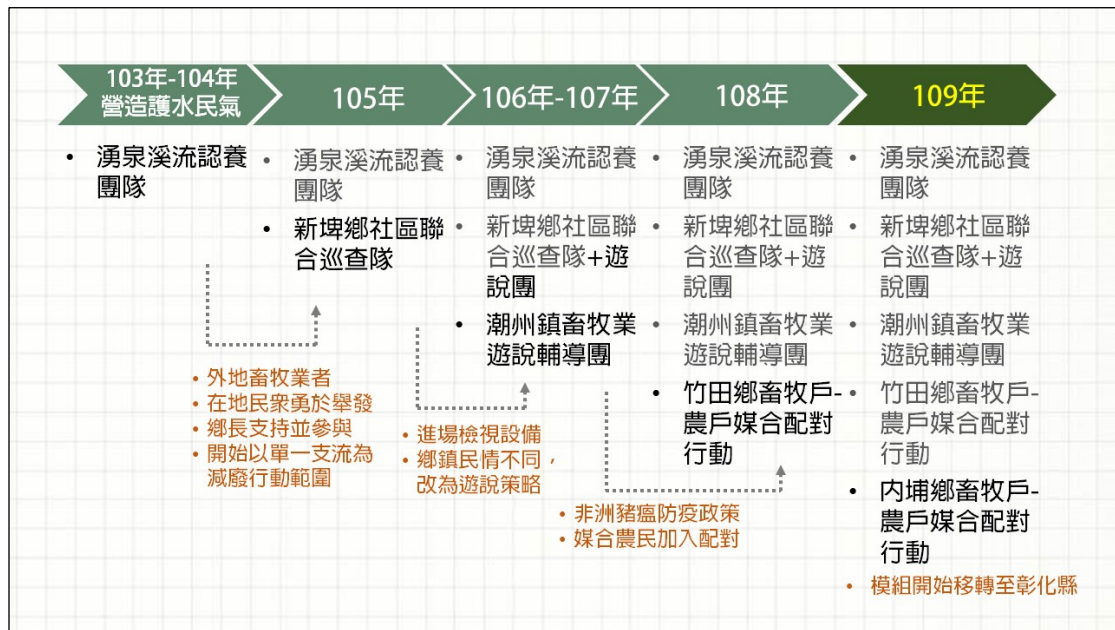
東港河流域為屏東縣隘寮溪及來義溪兩大沖積扇所孕育而出的湧泉溪流，其終年有水且水量穩定的特性。然而，畜牧廢水一直是東港溪水質佔比較高的污染源，本計畫以逐步改善東港溪水質為行動目標，期盼未來東港溪能提供水資源權責機關，評估運用為公共給水之原水可能性。

有鑑於公部門稽查及輔導畜牧業人力有限，本計畫以營造民氣及跨域媒合策略，研擬出媒合各權責機關、民間團體及流域民眾之公私協力行動模組，亦搭建「工作圈」平台促成公私單位建立合作，並因地制宜滾動式調整策略，以因應內外因素建構減廢行動。

本行動於 103 年開始營造護水民意，並研發出「社區聯合巡查隊」、「畜牧業遊說團」及「畜牧戶及農戶配對行動」三種行動模組，針對新埤鄉砂崙河、潮州鎮民治溪、竹田鄉與內埔鄉之龍頭溪運用執行，亦獲得部分河段水質明顯改善之成果，並將模組移轉至彰化縣政府及在地社團參考運用於彰化縣東螺溪。

本年度首次與國立屏東科技大學 USR (大學社會責任) 計畫合作，運用上百位學生廣宣環保署沼液沼渣回歸農田政策，做為後續媒合畜牧戶及農民配對合作之基礎；同時，亦開始研發第四種行動模組「沼液供應中繼站」，期能協助提升沼液澆灌頻率、穩定沼液品質，讓更多農民得以彈性運用沼液，以降低畜牧廢水排入河道之機會，期盼將東港溪水質改善效益更能提升。

關鍵字：東港溪、跨域媒合、公私協力



東港溪公私協力行動對策演進圖



新埤鄉砂崙河水質改善對照圖

推動水患韌性社區

Improvement of flood resilient community

郭振民^{1*} 李真² 楊道昌³ 游保杉⁴ 蔡綽芳⁵ 江瑞平⁶ 鄭元良⁷

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系副研究員/兼任助理教授
2. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士
3. 國立成功大學水利及海洋工程學系研究員/兼任副教授
4. 國立成功大學水利及海洋工程學系名譽教授
5. 內政部建築研究所安全防災組組長
6. 內政部建築研究所安全防災組研究員
7. 內政部建築研究所安全防災組主任秘書

* 通訊作者，Email: jemkuo@mail.ncku.edu.tw

摘要

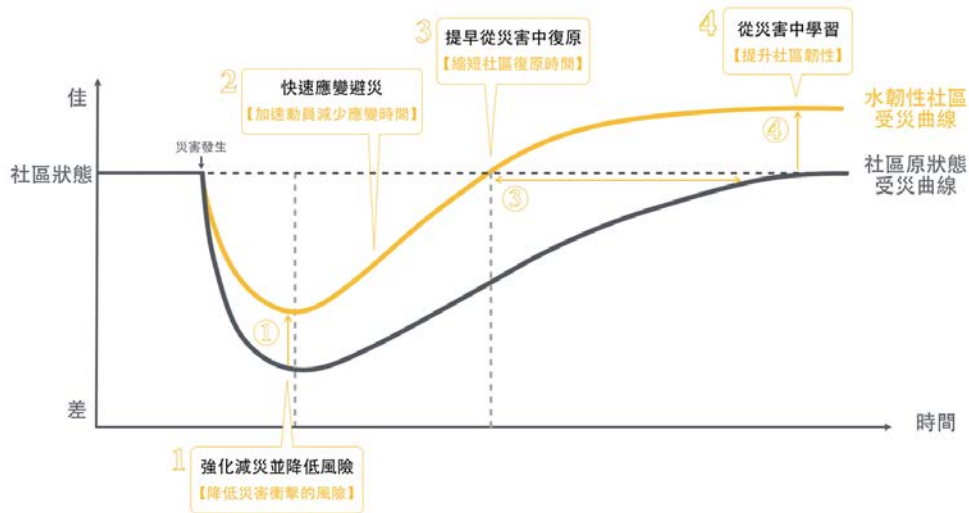
在極端氣候與都市快速發展的背景下，都市低窪易淹水地區受到洪災影響的頻率逐漸增加，而傳統的工程治水手段礙於經濟能力與技術早已無法負荷無限上綱的保護標準。面對未來充滿不確定性之洪水威脅，除了強化防災與救災效率外，更應在災害來臨之前著重發展地區災害韌性與提升耐災能力，以有效降低災害帶來的衝擊與影響。

本研究針對低窪易淹水地區內的村里社區為主要研究對象，從水利署的水患自主防災社區出發，期能發展提升為韌性社區的方法，並根據韌性的評估瞭解社區需要強化之處，進而提升社區的洪災韌性。透過檢視與分析現存洪災風險與易致災脆弱因子，建構強化社區洪災韌性之步驟。建構韌性社區步驟，包括 1. 瞭解社區的洪水災害環境、2. 提出社區應對洪水災害與韌性提升的策略、3. 建立社區利益關係人之間的連結以及 4. 盤點與善用社區擁有之資源。本研究欲透過此四步驟協助社區自我提升耐災韌性，並於災害來臨時得以具備能力，在外部支援無法觸及的情況下自救互救。期最終能整合水利工程、國土規劃與社會經濟領域，由下而上回應城市韌性調適策略並強化社區洪災韌性。

關鍵字：韌性社區、洪水災害、韌性提升



建構韌性社區之四重點



韌性社區各階段之目標

不同長短期記憶模式於淹水深度預測之應用

Application of Different Long Short-Term Memory Models in Inundation Depth Prediction

楊松岳^{1*}

林雲暘²

1.逢甲大學都市計畫與空間資訊學系助理教授

2.逢甲大學都市計畫與空間資訊學系專題生

* 通訊作者，Email: acton0910@gmail.com

摘要

近年許多縣市已開始運用物聯網科技建構智慧防汛網。各種感測器已開始積累大量現地觀測數據，這讓建構監督式的深度學習預測模型具有可行性。IoT 淹水感測器可以即時觀測現地淹水深度，作為水災預警之用，讓防災單位與民眾採取應變作為。近年許多研究大量運用長短期記憶模式(Long Short-Term Memory, LSTM)來預測河川之水位與流量。除了標準的 LSTM 模式之外，還衍生出不同的模式，包含 Peephole LSTM、GRU(Gated Recurrent Unit)、Bidirectional LSTM 等。本研究將基於 IoT 淹水感測器之觀測資料，運用不同 LSTM 模式來預測未來淹水深度，並比較不同模式之準確度。研究的成果可以應用於即時淹水深度預測，增加防災單位的應變時間。

關鍵字：IoT、淹水感測器、LSTM、淹水深度

應用遞歸神經網路於河川水位預報以強化防汛實務

The Application of RNN Model in River Water Level Forecast to Enhance Flood Control Practices

李苑華^{1*} 吳俊益² 曾文孝³ 李冠澄¹ 周立生⁴ 鄧澤揚¹ 紀柏全⁵

- 1.興創知能股份有限公司／研發工程師
 - 2.經濟部水利署第六河川局／規劃課課長
 - 3.經濟部水利署第六河川局／工程員
 - 4.興創知能股份有限公司／課長
 - 5.興創知能股份有限公司／技術研發部副部長
- * 通訊作者，Email: yhli@thinktronltd.com

摘要

近年受氣候變遷影響，極端降雨事件頻傳，嚴重威脅著人民生命財產安全，短延時強降雨之易致災性，對於防汛實務是一大挑戰。傳統水位預報模式需要輸入較多基本資料，如地文資料(河道大斷面、河川上下游邊界)、水文資料(觀測資料、歷史颱風事件資料)，另因河道大斷面約 3~5 年施測一次，受限於地文資料更新頻率，以往需不斷調整逕流模式參數與河道曼寧 n 值，以求較佳之水位模擬成果。為強化水位預報模擬速度與準確度，開發 AI 水位預報以雨量做為輸入值，可快速產製預測水位，同時藉由不斷積累之歷史觀測資料進行機器學習，由最新雨量與水位關係，考慮河道大斷面變化，提升預報準確度。

因河川水位之預測需考慮時間序列關係，本研究採用遞迴神經網路(Recurrent Neural Network, RNN)，以集水區內各歷時之降雨量及觀測資料預測河川水位，此演算法考量到時間序列(Time Series)之關係，模型當層某神經元(當前時序)之輸出不只考量到上一層網路之輸入，也考慮了同一層前一個神經元(前一時序)之輸出，利用 RNN 善於獲取前後時序特徵關係之特點，以期能達到更合理之預測成果。考量訓練 RNN 模型時因前一時間點輸出為當前時間點之輸入易造成梯度消散及爆炸之問題，故採用目前主流之 LSTM 或 GRU 演算法克服以上問題。基於上述 LSTM 模型架構，建立涵蓋各水位站特性之水位預測模型，藉由歷史水位與雨量資料，進行模型訓練，並預測該相對應各水位站之未來六小時內每十分鐘之水位時序變化。以事件型水位歷線之 RMSE (Root Mean Square Error)、洪峰水位誤差率、洪峰水位時間差三個指標檢核，模型預測之 RMSE 可達 0.2~0.4，洪峰水位誤差率平均可達 6%，初步符合提前預警之需求。

關鍵字：AI 水位預報、遞歸神經網路、防洪實務

水資源智慧管理及自動讀表分析應用

Taipei smart water network management as a case Application and Analysis of Automatic Meter Reading

邵功賢¹

游叡研^{2*}

連文成^{3*}

1. 臺北自來水事業處技術科三級工程師

2. 臺北自來水事業處技術科股長

3. 臺北自來水事業處技術科二級工程師

* 通訊作者，Email: ray@water.gov.taipei

摘要

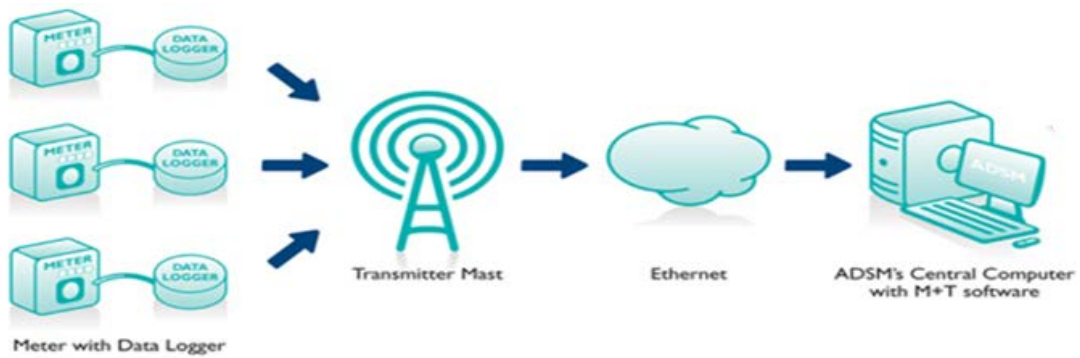
為推動水資源智慧管理，佈建自來水智慧型水網，提升水資源管理技術及使用效率，北水處代辦經濟部前瞻基礎建設計劃，109 年完成「臺北智慧水網示範區建置與分析應用」，建置 2,277 只智慧水表，完成水量計智慧功能分析應用、日/週/年用水模式與藏水於民進水模型、函數型數據漏水預測模型分析、水理模型建置與應用、自動讀表與通訊強度偵測的應用、IoT 雲端串流管理等 6 大主軸分析應用。

今(110)年進一步發展加壓站內抽水機運轉最佳化分析，利用智慧水表即時回傳流量數據及出水壓力，重新檢討最適之抽水機型式(目前為豎軸式)與馬力數，提出最佳化抽水機汰換建議，減少電力能源損失，達到節能減碳功效。同時探討自動讀表 AMR 加值應用，比對加壓站出水流量與用戶端智慧水表回傳用水量，替代過往人工抄讀且有時間差之執行方式，即時掌握區域用水供需，進一步達到供水小區逐日、逐月之無計費水量(NRW)及售水率計算，透過全區每日紀錄之用水資料瞭解管網之健康程度變化，有利未來測漏及改善之決策資訊。AMR 加值應用，除可徹底了解用戶用水行為，水表使用效能分析，更可作為主動漏水檢測工具，應用於虛擬分區計量(VIRTUAL DMA)，走向智慧水網。

關鍵字：自動讀表(AMR)、IoT(物聯網)、NRW、DMA



CMP 示意說明



智慧水表 IoT

新北市智慧防汛平台資訊整合與應用

Integration and Application of Urban Smart River Flood Prevention Platform in New Taipei City

楊昇學¹
王璽鈞⁵

宋德仁²
王慧蓉⁶

潘志豪³
葉克家⁷

陳振璋⁴
李成偉⁸

1. 國立陽明交通大學防災與水環境研究中心副研究員
2. 新北市水利局局長
3. 新北市水利局河川計畫科科長
4. 新北市水利局河川計畫科工程司
5. 國立陽明交通大學土木工程研究所博士生
6. 國立陽明交通大學防災與水環境研究中心正工程師
7. 國立陽明交通大學防災與水環境研究中心特聘教授
8. 昕傳科技股份有限公司總經理

摘要

在都市淹水防災中，既要爭取更多防災預警時間，亦要快速掌握可能淹水區域之準確性，新北市智慧防汛平台(圖 1)係彙整與掌握水情資訊之關鍵。水情資訊包括天空氣象雷達回波應用、地面雨量站預警、路面淹水感測器監測、雨水下水道、抽水站前後池到河川水位站等監測、透過物聯網即時資訊自動化加值分析，提供都市排水與河川洪水預警等即時資訊與警戒管理值設定，經由物聯網技術、水情大數據分析、都市人工智慧淹水預警研發、自動化關連制訂。是新北市在面對颱風、豪雨與短延時強降雨等降雨特性於都市防災預警之新利器，做到即時資訊收整到都市發生積淹水決策資訊等技術應用(圖 2)。建置新北市新一代智慧河川防災科技實務應用。

關鍵字：智慧河川、都市防災、人工智慧



圖 1 新北市智慧防汛平台



圖 2 智慧防汛即時水情資訊應用

水位監測與即時淹水現況 3D 展示評估系統

Water-Level Monitoring and the Real-Time Flood Inundation Mapping in a 3D Illustration System

陳柏志¹ 柯奇均² 鐘柏顯³ 劉敏梧³ 戴義欽^{2*}

1. 國立成功大學 資訊工程學系
2. 國立成功大學 水利及海洋工程學系 (yctai@ncku.edu.tw)
3. 經濟部 水利署 水利規劃試驗所

摘要

內政部自 108 年起逐步推動測製水利數值地形模型(HyDEM)資料，濾除植被與地表雜物(與一般之數值地形模型 DEM 相同)，但保留可能阻礙水流之建築物，並呈現街道巷弄水流水道的通暢性。HyDEM 提供 1 公尺網格精度，可進行細緻的淹水模擬分析。然而因 HyDEM 的高解析度，也造成模擬運算龐大的負荷，對於水位監測成果進行即時運算是一大挑戰。本團隊以水位監測資料為基礎，透過高效率演算法即時評估水位監測資料所影響之局部淹水範圍，搭配虛擬實境、科學視覺化程式和電子遊戲開發常用之應用程式介面 OpenGL，以圖形加速硬體 GPU 呈現即時淹水範圍，開發建立一三維立體且可與使用者互動之展示系統。本系統可在同一個 HyDEM 上設置多個水位監測點，因淹水範圍可能重疊，我們可以以同的顏色區分確認造成淹水範圍的水位監測點。此展示系統具備下列特點：

- 水位監測與可能淹水範圍之即時評估與呈現
- 即時防救災路線規劃
- 協助水利數值地形模型資料(HyDEM)之校驗修正
- 防洪脆弱點(淹水破口、溢堤點)之評估
- 防洪工程規畫輔助評估

上述特點將於報告中以動畫影片呈現，也提供實機於報告後供現場操作體驗。

關鍵字：水位監測、即時淹水範圍評估、3D 互動式呈現、水利數值地形模型資料(HyDEM)、OpenGL

我國民生水庫水質營養狀態指標研析

林志麟^{1*}

黃英閔²

康世芳³

許韻儒⁴

1. 中原大學環境工程學系 副教授
 2. 中原大學環境風險管控研究中心 專任研究助理
 3. 淡江大學水資源及環境工程學系 教授
 4. 中原大學環境工程學系 碩士研究生
- * 通訊作者，Email: jrlin@cycu.edu.tw

摘要

水庫優養化程度與藻類營養源(碳、氮、磷)濃度密切相關，且也會受其他水質參數如酸鹼值(pH)、濁度(Turbidity)、葉綠素 a(Chlorophyll a, Chl-a)、懸浮固體物(Suspended Solids, SS)、化學需氧量(Chemical oxygen demand, COD)、總磷(Total phosphorus, TP)及氨氮(Ammonia nitrogen, NH₃)等直接或間接影響。環保署長期使用卡爾森營養狀態指數(Carlson Trophic State Index, CTSI)評估水庫營養狀態，其中透明度、葉綠素 a 及總磷數值會直接影響 CTSI 值，進而影響水庫優養化判斷。然而，我國水庫透明度容易受降雨所引發之土砂懸浮物影響，容易高估 CTSI 值，大多數非藻類衝擊水庫(non-algal impact reservoirs)被判定發生水質優養化，故適用於我國民生水庫之水質營養狀態指標仍有待進一步探究。本研究利用皮爾森迴歸分析(Pearson regression analysis)以及主成份分析法(Principal Component Analysis, PCA)，統計近十年 21 座民生水庫水質參數之關聯性。研究結果顯示，水質透明度、葉綠素 a 及總磷三者間關聯性並無達到高度相關，多呈現中、低度相關(相關係數(P)<0.7)，TSI(SD)與懸浮固體物(SS)為高度共變關係，顯示影響 TSI(SD)之水質參數主要為懸浮固體物。同時，總磷(TP)、TSI(TP)、氨氮(NH₃)、化學需氧量(COD)以及 TSI(Chl-a)與葉綠素 a 為高度共變關係，顯示總磷、氨氮與化學需氧量濃度變化與葉綠素 a 濃度變化息息相關。綜合上述，TSI(SD)值不受葉綠素 a 影響，影響 TSI(SD)值主要為懸浮固體物(SS)，證實影響透明度(SD)之水質參數主要為懸浮固體物(SS)，而非葉綠素 a。因此，現階段環保署使用 CTSI 三項指標(TSI(SD)、TSI(Chl-a)與 TSI(TP))加總平均值作為判斷水質營養狀態之方式，無法精準衡量因藻類滋生引起之水質優養化狀態及程度，故 CTSI 不適合用於國內水庫水質營養狀態評估。反之，藻類生長狀態評估之專一性指標，即葉綠素 a，與重要水質參數(COD、NH₃ 及 TP)具高度共變性，較適合作為國內民生水庫水質營養狀態指標。

關鍵字：水庫、優養化、卡爾森營養狀態指數、葉綠素 a

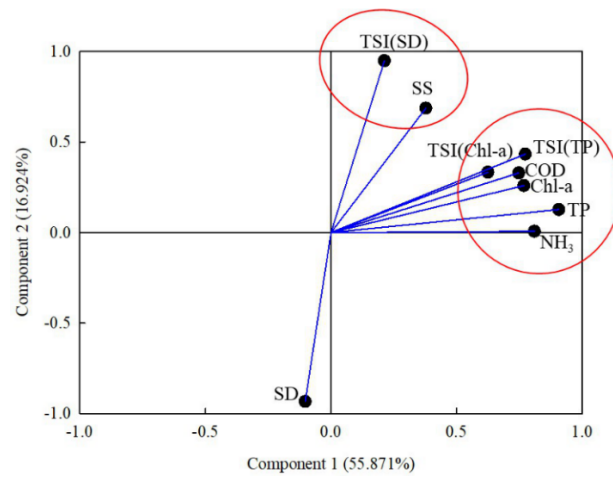


圖 1 我國 21 座民生水庫水質參數與葉綠素 a 之主成份分析(PCA)結果
(數據統計期間：97-108 年，共 1421 筆)

評估水庫操作最佳化在不同情境下之 自然流態變化及經濟成本

Assessing Natural Flow Regimes Alterations and Economic Cost under Different Scenarios of Reservoir Operation Optimization

蔡才暘¹

孫建平^{2*}

林維致³

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士
 2. 國立成功大學水利及海洋工程學系教授／系主任
 3. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生
- * 通訊作者，Email: jpsuen@mail.ncku.edu.tw

摘要

在近年來的水庫管理的相關研究中，環境以及經濟之間的取捨一直是一大重點。對於台灣來說，極端氣候產生的降雨集中正加劇著水資源的短缺問題，在這樣的情形下環境與經濟之間的權衡也更顯得重要。本研究以曾文-烏山頭聯合水庫系統作為研究目標，透過量化用水標的所產生的經濟效益結合粒子群演算法(PSO)、變化範圍法(RVA)、水文改變指標(IHA)，嘗試找出能兼顧生態且造成最小經濟損失的水庫操作規線，並同時比較現行水庫操作以及最佳化模式的差異。本研究嘗試建立 IHA 分數指標應用在目標函數上，來改善 RVA 指標的缺陷，改善極端值以及分布的問題。本研究將最佳化模式設定為三個情境，三者的差異在目標函數的選擇上：情境一同時考慮 RVA 以及 IHA 分數指標；情境二為情境一加上人類缺水指標；情境三則為情境一去除 IHA 分數指標。三個情境與現行水庫操作進行比較，可提供給水資源管理者更直觀的水資源管理策略。

關鍵字：自然流態、環境流量、粒子群演算法、水文改變指標、變化範圍法、水庫最佳化操作

SWAT+模式之集水區空間組態變化對改善水庫集水 區水文模擬之評估

Assessing the SWAT+ model's capability of watershed spatial objects combinations for hydrologic simulation improvement

王皓祖¹

朱子偉²

1. 國立臺北科技大學土木與防災所碩士班研究生

2. 國立臺北科技大學土木與防災所朱子偉

摘要

SWAT(Soil and Water Assessment Tool)模式於全球皆被廣泛運用，於 2000 年至 2020 年間每年約有 195 篇 SWAT 相關研究被發表。模式應用於評估在不同管理方案下，對集水區長時間所產生之流量的影響。模式具有許多優點，經長時間發展與修正，並整合美國農業部(USDA)歷年發展之模式修建而來，使模擬機制相當完善，並獲得眾多使用者對模式的模擬結果皆相當滿意。

但近年來，部分文獻顯示，模式中最小演算單元-水文反應單元(Hydrologic response unit, HRU)因無法得知確切的地理位置，使得最終演算結果集塊為子集水區時，可能省略部分傳輸路徑，導致模擬不確實。歷經修正後 SWAT+(Soil and Water Assessment Tool Plus)模式，保留原有之 HRU，並依據地景特徵新增地景單元(landscape unit, LSU)。模式於子集水區架構中進一步劃分高地與洪氾平原為 LSUs，這些 LSUs 會集塊 HRUs 的計算結果並成為新演算單元。

此外，SWAT+模式中集水區之空間物件的连接也較 SWAT 更具靈活性。LSUs、含水層、河道、水庫以及池塘等均為獨立的空間物件，且可經使用者依據實際集水區之現況進行連接。因此本研究之目的為(1)分析 SWAT+模式中三種劃分地景單元之方法於翡翠水庫的適宜性；(2) 探討 SWAT+新增地景單元(Landscape unit,LSU)對水文傳輸過程的改善程度；(3)評估 SWAT+模式中各空間物件連接組合方式於水庫集水區水文模擬改善結果。

本研究探討 SWAT+模式對空間組態功能的靈活性與應用性，藉由更符合水文循環路徑的集水區空間物件組合，驗證對水庫集水區水文模擬的改善程度。

關鍵字：SWAT+模式，集水區空間組態，地景單元，水文反應單元，水文模擬

Abstract

The SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model is widely used worldwide. From 2000 to 2020, about 195 SWAT-related studies were published every year. The model is used to evaluate the impact of different management schemes on the long-term flow in the catchment area. The model has many advantages. After a long period of development and modification, it is built by integrating the model developed by the United States Department of Agriculture (USDA) over the years. The simulation mechanism is quite complete and many users are quite satisfied with the simulation results of the model.

However, in recent years, some documents have shown that the smallest calculation unit in the model-Hydrologic response unit (HRU) cannot know the exact geographic location, so that when the final calculation result set is a sub-catchment area, part of the transmission may be omitted. Path, resulting in an inaccurate simulation. After the revision, the SWAT+ (Soil and Water Assessment Tool Plus) mode retains the original HRU and adds a landscape unit (LSU) based on the features of the landscape. The model further divides the highlands and floodplains into LSUs in the subcatchment structure. These LSUs aggregate the calculation results of the HRUs and become a new calculation unit.

In addition, the connection of spatial objects in the catchment area in SWAT+ mode is more flexible than SWAT. LSUs, aquifers, rivers, reservoirs, and ponds are all independent spatial objects, and can be connected by users according to the actual conditions of the catchment area. Therefore, the purpose of this study is to (1) analyze the suitability of the three methods of dividing landscape units in the SWAT+ model for Feicui Reservoir; (2) explore how SWAT+ the newly-added landscape unit (LSU) can improve the hydrological transmission process (3) Evaluate the improvement results of hydrological simulation of the connection and combination of space objects in the SWAT+ model in the reservoir catchment area.

This study explores the flexibility and applicability of the SWAT+ mode for spatial configuration functions, and verifies the degree of improvement in the hydrological simulation of the reservoir catchment area through the combination of space objects in the catchment area that is more in line with the hydrological cycle path.

Keywords: SWAT+ mode, watershed spatial configuration, landscape unit, hydrological reaction unit, hydrological simulation

阿公店水庫空庫排砂輔助決策系統建立

Establishment of decision-making system for Empty Flushing Operation of Agongdian reservoir

林立恆¹

蔡元融^{2*}

李鎮鍵³

羅守枝

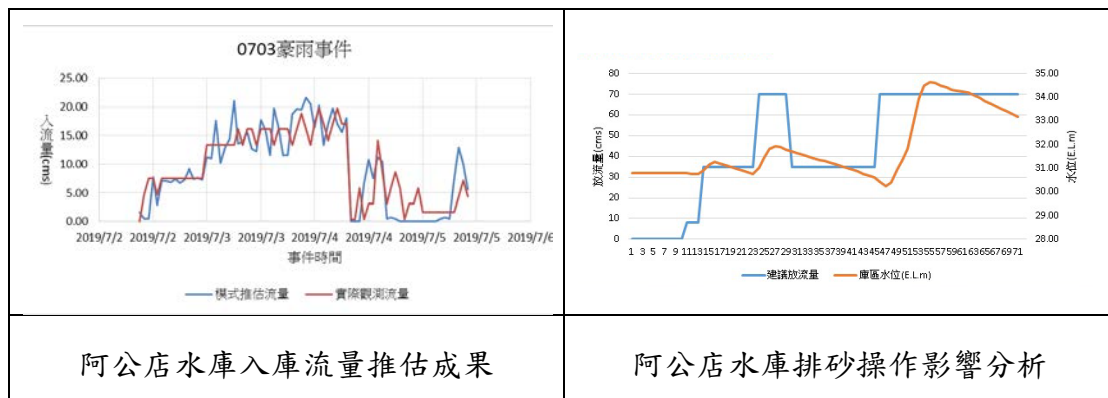
鄭仁嶽

1. 國立成功大學防災研究中心工程師
 2. 國立成功大學防災研究中心組長/研究員
 3. 國立成功大學防災研究中心研究員
 4. 經濟部水利署南區水資源局主任
 5. 經濟部水利署南區水資源局正工程司
- * 通訊作者，Email: rongtsai@dprc.ncku.edu.tw

摘要

空庫排砂操作係指水庫在汛期間不蓄水，將入庫泥砂直接排出之操作，是減少水庫淤砂之有效方法之一，阿公店水庫為目前國內唯一實施空庫防淤策略之水庫，希望藉空庫防淤操作維持水庫庫容。但受到氣候變遷與人類活動之改變，穩定的水資源供給成為重要課題，因此空庫排砂之操作需細緻化，以達到維持庫容與穩定供水之多元目標。本研究結合集水區降雨逕流模式與下游河道水理模式建立空庫排砂操作輔助決策系統，利用預報雨量，依序進行可能入庫流量、泥砂量推估、庫區水位-濃度變化評估及下游放流水位變化預測等工作，根據模擬成果進行水庫排砂操作建議，提出維持高濃度排砂操作，提供水庫管理單位汛期期間防洪運轉操作之參考。

關鍵字：空庫排砂、阿公店水庫、水庫操作



使用 U-Net 與無人機正射影像偵測濁水溪灘地內之裸露農地坵塊

Detection of Bare Soil in Zhuoshui River Beach Agricultural Land Using U-Net and UAV Orthoimagery

李暉^{1*}

李友平²

邱群惠³

1.陶林數值測量工程有限公司專案工程師

2.經濟部水利署第四河川局局長

3.經濟部水利署第四河川局副工程司

* 通訊作者，Email: f64026135@gs.ncku.edu.tw

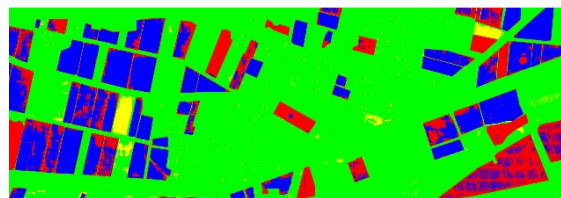
摘要

濁水溪下游區域冬季所好發之河川揚塵，主要係河床及河灘地表面裸露的塵土顆粒受盛行之東北季風吹拂擴散後引致，造成空氣汙染、影響居民的健康及生活品質。本研究採用無人飛行載具搭載 2430 萬畫素之 Sony ILCE-6000 相機，以 350 公尺之航高拍攝並產製濁水河流域自西濱大橋以東至中沙大橋間，雲林縣轄境範圍之正射影像，人工數化裸露之農地坵塊，應用 U-Net 類神經網路架構針對不同空間解析度之正射影像進行像元式分類模型訓練。實驗成果顯示使用 6 公分原始影像與 50 公分壓縮影像進行訓練及判識時，分別達成 86.2%、81.7% 之總準確度以及 73.4%、64.5% 之 F1-score 精度指標。

關鍵字：河川揚塵、裸露地、深度學習、卷積神經網路、影像分類



(a) 測試影像



True Positive False Positive
False Negative True Negative

(b) 成果精度

使用 6 公分原始影像訓練之模型於 70 公頃測試區之分類成果

應用隱藏馬可夫模式序率模擬

台灣地區河川日流量

Stochastic simulation of daily streamflow using the hidden Markov model in Taiwan

李政哲¹

蕭政宗^{2*}

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士班研究生

2. 國立成功大學水利及海洋工程學系教授

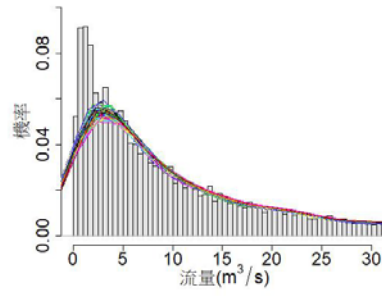
* 通訊作者，Email: cyc974a06@gmail.com

摘要

水資源是民生經濟、工業發展的重要資源，而河川流量是水資源管理中重要的輸入因子，過去研究多利用集水區特性建立逕流模式，但模式建立費時且其所需的物理因子蒐集不易，本研究考慮水文資料具有隨機變化的特性，透過序率模擬分析歷史資料之統計特性，快速建立符合實際狀況之模式。本文使用隱藏馬可夫模式(hidden Markov model, HMM)分析台灣地區不同河川日流量資料，假設流量受不可視隱藏狀態控制，並使用最小 AIC (Akaike information criterion)及 BIC (Bayesian information criterion)決定最佳隱藏狀態個數，同時對流量檢定最適連續分布。本文選定基隆河流域五堵站、濁水溪流域內茅埔站、鹽水溪流域新市站、秀姑巒溪流域玉里大橋站共四個測站作為研究案例，其日流量資料皆長於四十年。研究結果顯示利用馬可夫鏈之轉移機率矩陣，並搭配對數常態分布，可分析日流量受隱藏狀態影響而變化，進一步將最佳化模式進行序率模擬，產生與歷史流量長度一樣之模擬結果，相互驗證，結果顯示北部河川流量變化較容易以轉移機率矩陣掌握，而南部區域河川流量模擬結果變化較大而有待改善，本文研究結果初步驗證此序率模式對於台灣河川流量之適用性。

關鍵字：序率模式、隱藏馬可夫模式、日流量

五堵



流量站序率模擬流量機率分布圖

差分進化法結合粒子群最佳化演算法應用於 地層下陷模式土壤參數優選

Optimal soil parameter of land subsidence model using Differential evolution combined with Particle swarm optimization

王妙鈞¹

蔡東霖^{2*}

1. 國立嘉義大學土木與水資源工程學系碩士

2. 國立嘉義大學土木與水資源工程學系教授

* 通訊作者，Email: tltsai@mail.ncyu.edu.tw

摘要

本研究藉由已發展完成之多含水層系統地層下陷模式，進行差分進化法(DE)、粒子群最佳化演算法(PSO)及 DE-PSO 最佳化演算法等三種方法，應用於地層下陷土壤參數優選之比較分析。結果顯示，不論是對含水層或阻水層壓密模擬而言，在各別的 20 組優選測試中，DE-PSO 最佳化演算法皆具有最好的優選結果及最好的穩定性。此外，DE-PSO 最佳化演算法亦具有最快的收斂速率。不論粒子群之初始隨機位置，DE-PSO 最佳化演算法相較於差分進化法及粒子群最佳化演算法，皆能獲得更穩定、精確且快速收斂的優化結果。因此，對於地層下陷模式之土壤參數優選，建議可以使用 DE-PSO 最佳化演算法。

關鍵字：地層下陷、土壤參數優選、差分進化、粒子群最佳化

納管農業水井以電管理之政策規劃

葛武松¹

林育如²

黃詩評²

吳佳蓉³

宋長虹^{4*}

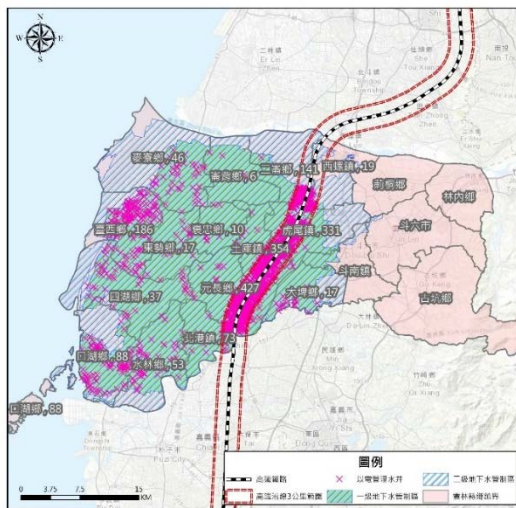
- 1.經濟部水利署南區水資源局課長
- 2.經濟部水利署水利行政組副工程司
- 3.經濟部水利署水利行政組助理工程司
- 4.亞磊數研工程顧問有限公司總經理

* 通訊作者，Email: ureysong@gmail.com

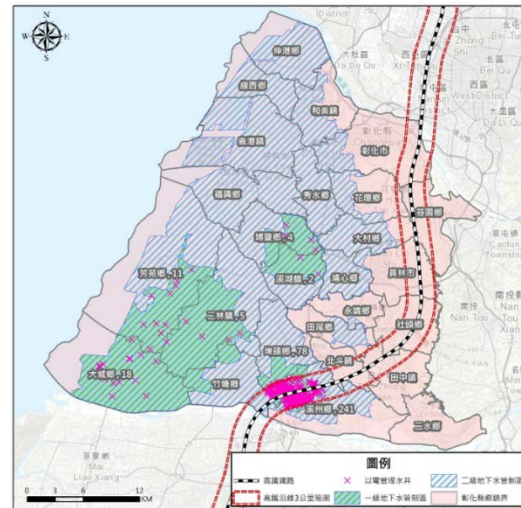
摘要

「雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫」完成後針對雲彰地區 22 萬多口納管農業水井按既有水權登記制度辦理水權登記，實務上困難甚大。為積極管理，除對有意願者或水井更新者輔導農民取得水權，其他尚未取得水權農業水井先採以電管理柔性勸導方案進行管理，水利署研擬「納管水井輔導管理作業原則(草案)」提供雲彰二縣府參考辦理，以符合行政院 100 年核定「雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫」灌溉水井，採減少誘因、增加阻力之方式，軟性地勸導將水井封填政策方向。

關鍵字：農業水井、納管、以電管理



民國 110 年雲林縣需辦理第 1 次輔導之目標水井分佈圖



民國 110 年彰化縣需辦理第 1 次輔導之目標水井分佈圖

濁水溪沖積扇颱風降雨/淺含水層

地下水位反應及補注型態分析

Analysis of groundwater-level response to typhoon rainfall and recharge pattern in the shallow aquifer, Choushui River alluvial fan

陳世楷¹

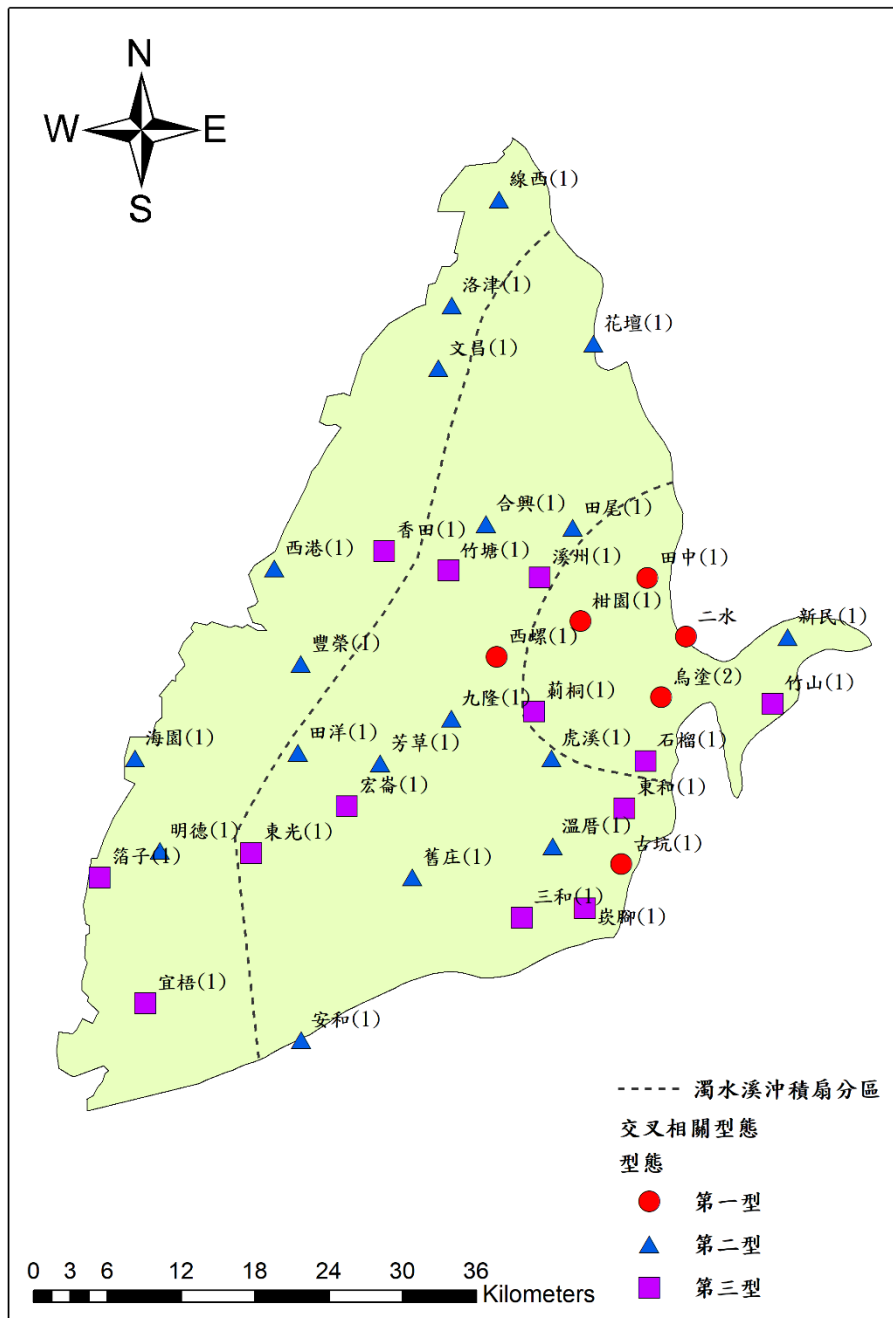
鄭泳禎^{2*}

1. 國立臺北科技大學土木工程系副教授
 2. 國立臺北科技大學土木工程系土木與防災碩士*
- 通訊作者，Email: t108428091@ntut.edu.tw

摘要

濁水溪沖積扇位於台灣中部，為我國重要的農業生產區，淺層地下水為農民抽取作為地表灌溉水不足時之重要替代水源，位於扇頂區之自由含水層更為該地區地下水系統之其他深層含水層之天然補注區。本研究藉由 2001-2016 年十場颱風事件時雨量資料及地下水位歷線，配合降雨/淺層地下水位反應交叉相關分析，探討地下水位反應延遲時間及對應之相關型態，並據此分析其可能之影響因子及補注機制。交叉相關分析顯示降雨/地下水位反應型態大致可以分成三型：長時間延遲反應型(型態I)主要出現於扇頂區及扇央、扇頂交界處；迅速反應型(型態II)遍佈於扇央、扇尾地區；連續反應型(型態III)之分布則以濁水溪以南區域為主，僅少數位於北岸地區。第一延遲時間為 1 小時以內之地下水位反應廣泛出現於歷次颱風，以扇尾區之觀測井比例最高、扇央次之。綜合各颱風第一延遲時間與地下水位深度之線性迴歸分析顯示，多數颱風事件未呈現明顯之相關性，造成相關性不佳之原因，應與部分較深之觀測井亦會出現短延時反應有關。其他包括表土滲透性及土地利用亦未能證實為決定第一反應延遲時間之絕對因素。推測造成地下水位快速反應之原因，應為優勢流所導致。而總降雨量與地下水位抬升量之線性迴歸分析則顯示，中、高度相關者佔全區所有觀測井之 52%，呈現低度相關者，則佔全區所有觀測井之 24%。依據總降雨量與地下水位抬升量之線性迴歸分析結果進行不同雨量級別之補注量潛勢分析，可以高潛勢區作為規劃人工補注設施之地點。本研究結果除了對研究區域降雨補注反應及相關機制有進一步了解外，亦可提供後續規劃人工補注區、擬定農業非點源污染控制策略及研擬整體性地表/地下水資源經營管理策略之基礎。

關鍵字：濁水溪沖積扇、地下水、交叉相關分析、延遲時間、優勢流



交叉相關分析型態類型空間分布狀況

濁水溪沖積扇淺層地下水鹽鹼化現況及變化趨勢分析

Analysis of Current Status and Variation Trend on Shallow Groundwater Salinization in Choushui River Alluvial Fan

陳世楷¹

廖子綾^{2*}

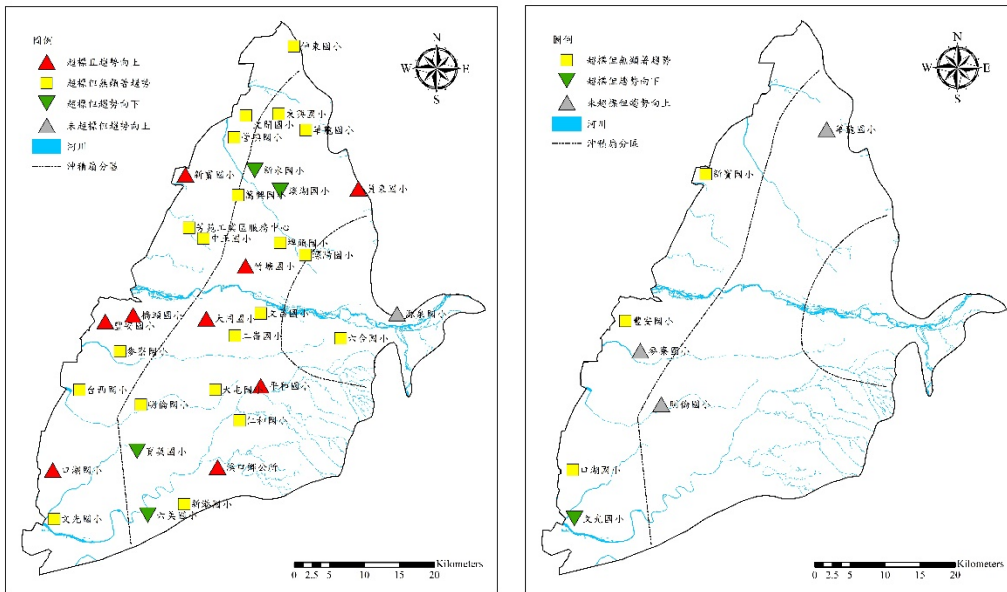
李元喻³

1. 國立臺北科技大學土木工程系副教授
 2. 國立臺北科技大學土木工程系土木與防災碩士班碩士
 3. 國立臺北科技大學土木工程系土木與防災博士班博士候選人
- * 通訊作者，Email: macylove3233@gmail.com

摘要

淺含水層地下水常為農民灌溉之備援水源，地下水質劣化將嚴重影響此一水資源之運用。結合現況及長期趨勢分析將有助於擬定完善整治策略。本研究以濁水溪沖積扇環保署 38 口淺層監測井水質長期監測資料為分析依據，針對多項鹽鹼化水質濃度/指標配合 Piper 水質菱形圖進行此區域淺層地下水鹽鹼化及水化學組成之現況分析。趨勢分析則採用非參數 Mann-Kendall 趨勢檢定法配合 Pettitt 轉折點檢驗，以確認主要水質濃度/指標自轉折點迄今之變化趨勢。而在考量可能之季節性變化影響趨勢分析結果之情況下，本研究另執行 Seasonal Mann-Kendall 趨勢檢定，並與前述 Mann-Kendall 趨勢檢定結果進行比較。分析結果顯示共有 33 口電導度超過灌溉水質標準限值，鹽化情形相當嚴重，而已出現超標的監測井中仍有 9 口呈現顯著上升趨勢，另有 20 口沒有顯著趨勢變化，說明部分地區鹽化問題仍持續惡化中；鹼化的問題目前僅出現於沿海的 4 口監測井，高濃度的 Na^+ 與 Cl^- 可能是超抽地下水使海水入侵導致，此問題由來已久，因此，近二十年來已呈現無顯著趨勢狀態，Piper 水質菱形圖分析亦可輔助說明此一海水入侵狀況，此外，此項分析亦顯示濁水溪南側可能已受到農業非點源污染之影響導致水質劣化。而在趨勢分析過程中則顯示同質性檢定之重要性，多數水質濃度/指標在記錄期間出現趨勢轉折現象，採用全時期趨勢分析易產生系統性之偏差；面對樣本數不足或周期變化不夠顯著之水文序列資料，建議不需額外考慮季節性變化，Seasonal Mann-Kendall 趨勢檢定反易導致無顯著趨勢之增加。本研究結果除可作為水質趨勢檢定相關研究之參考外，亦可提供相關單位擬定地下水污染防治及農業灌溉水資源經營管理策略之參考基礎。

關鍵字：地下水、鹽鹼化、趨勢檢定、轉折點檢驗



(a)EC

(b)SAR



(c) Cl⁻

圖 1. 不同水質濃度/指標現況分析結合趨勢變化空間分布

山區小型供水系統穩定取水調查規劃 —以自來水六龜供水系統為例

Investigation and Planning of Stable Water Intake for Small Water Supply System in Mountain Areas—A Case Study of the Liugui system

劉建宏^{1*}

楊銘賢²

古必維³

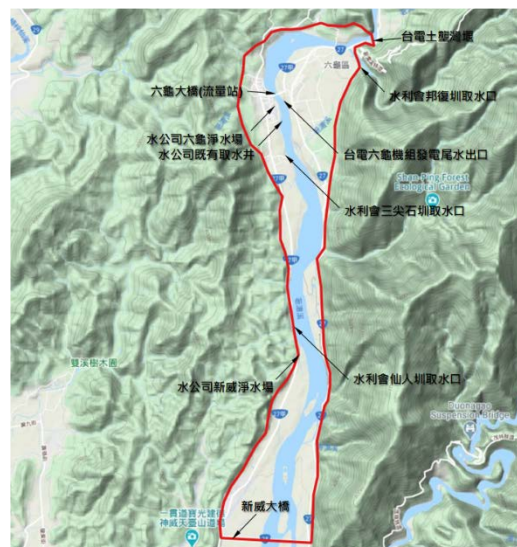
1. 經濟部水利署南區水資源局設計課副工程師
 2. 中興工程顧問股份有限公司水利工程部工程師（一）
 3. 中興工程顧問股份有限公司水利工程部工程師（二）
- * 通訊作者，Email: ntu.kenhong@wrasb.gov.tw

摘要

本研究考量荖濃溪新威大橋以上區域，局部公共用水於枯水期有不穩定現象，選擇六龜-新威供水系統，為本研究調查評估重點；其現況公共用水需求約每日 2,500 立方公尺，各標的現況無使用地下水；考量未來公共需求量可能增長及公共給水備援需求，本研究以每日 3,500 立方公尺為計畫供水量。

荖濃溪六龜-新威區位地下水與伏流水運用方案，可於六龜大橋上游灘地，採地下取水方式，以每日 2,500 立方公尺為設計取水量，若同時考量現況既有設施出水能力，則可滿足每日 3,500 立方公尺供水需求；另可於水公司六號與八號井間，新設一取水設施，當作六號與八號井之備援取水，避免既有設備堵塞，增加供水穩定度；若工程經費預算充裕，可兩案皆推動，總工程費約 1.1 億元，合計設計取水量每日 3,800 立方公尺，與現況設計取量 5,000 立方公尺既有設施互為備援系統，以穩定供水每日 3,500 立方公尺。

關鍵字：水資源、荖濃溪、六龜



水公司六龜-新威供水系統相關設施位置及周邊取水關係圖

水稻田紋溝斷面變化對灌溉效率影響分析

Effect Analysis of Rill Cross-Section Variation on Irrigation Efficiency in Rice Paddy Field

陳日靜¹

邱馨標²

葉一隆^{3,4*}

1. 國立屏東科技大學土木工程系碩士班研究生
 2. 國立屏東科技大學災害防救科技研究中心研究助理
 3. 國立屏東科技大學土木工程系教授
 4. 國立屏東科技大學災害防救科技研究中心主任
- * 通訊作者，Email: yalung@mail.npust.edu.tw

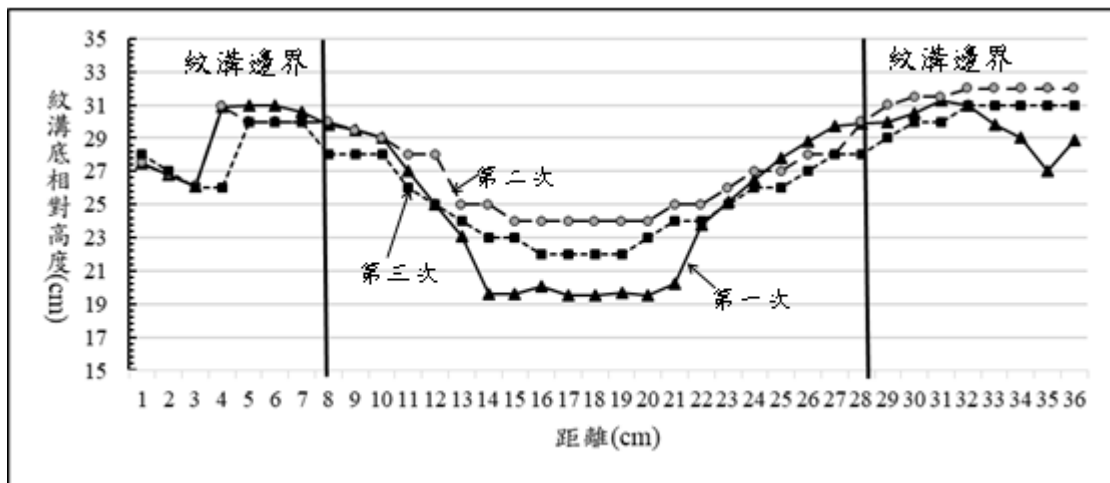
摘要

水稻是一種需水量高的作物，為節省水稻灌溉用水，並避免田區長期湛水形成厭氧狀態而產生溫室甲烷氣體，於水稻田區利用紋溝灌溉以提供水稻供水與通氣並存生長環境。但紋溝灌溉過程會因水流產生沖刷與淤積而形成通水斷面積改變，致使入滲土壤之水量改變而影響灌溉效率。本文設計量測通水斷面之紋溝版來量測溝型，利用雙環入滲儀量測土壤之水分入滲曲線，再依現地試驗所量測之通水斷面及入滲資料，利用模式計算灌溉效率。本研究於灌溉過程量測三次溝型，因通水斷面為不規則，將通水斷面轉換成規則斷面以利計算。本文將前兩次溝型(溝型 1 及溝型 2)轉換成為梯形斷面，第三次斷面(溝型 3)則轉換為拋物線斷面形狀。由計算結果顯示溝型 2 與溝型 3 之通水斷面積比溝型 1 分別減少 35.61% 與 11.30%，灌溉效率均為溝型 1 的 0.85 倍。滿足需水深度所需灌溉時間，溝型 2 與溝型 3 分別為溝型 1 之 1.63 倍及 1.60 倍。在相同灌溉時間時，溝型 2 與溝型 3 之灌溉不足深度分別為溝型 1 的 1.62 倍與 1.57 倍，而儲水效率均為溝型 1 的 0.85 倍與 0.71 倍。

關鍵字：紋溝灌溉、溝型變化、灌溉效率、入滲、FURDEV 模式



水稻田紋溝配置情形



紋溝灌溉後之溝型變化剖面圖

我國水利新創科技基地推動之研究-以新竹基地為例

Study on Water Innovation Tech-Hub in Taiwan: Taking the Hsinchu Base as an example

黃育德^{1*} 李佳育¹ 朱敬平² 廖國淞³ 周珊珊⁴ 林思孝⁵ 蔡展銘⁶

- 1.財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心研究員
- 2.財團法人中興工程顧問社環境工程研究中心副主任
- 3.國立陽明交通大學環境科技與智慧系統研究中心副執行長
- 4.國立陽明交通大學環境科技與智慧系統研究中心執行長
- 5.經濟部水利署水利規劃試驗所水資源規劃課副工程司
- 6.經濟部水利署水利規劃試驗所水資源規劃課課長

* 通訊作者，Email: huangyd@sinotech.org.tw

摘要

由於受極端氣候影響，我國近年於旱季供水壓力大增，過去一年甚至歷經 50 年來最嚴重的缺水危機，如何維持我國水資源供應穩定與確保供水無虞，為首要目標，行政院於 2017 年研提「開源、節流、調度、備援」四大策略穩定供水，在開源方面，首重的是如何透過水利新創科技能量帶動國內新興水資源技術發展。經濟部水利署於 2021 年擇定新竹及臺中地區設置緊急海水淡化模組，作為短期增加水源供應對策，並規劃於本島建置 6 座十萬噸級海水淡化廠與 11 座萬噸級公共污水再生水廠（其中鳳山再生水廠已於 2018 年營運），作為中長期水資源增供方案，可預期國內海水淡化及廢污水再生市場逐漸萌發，進而帶動我國水利產業廠商投入更多水利新創科技研發能量。

為提供廠商整合性服務，經濟部水利署借鏡國外水科技創新平台作法，推動我國水利新創科技基地，提供空間場域予有意願廠商進行測試，爰於 2020 年成立新竹水利新創科技研發及測試展示基地（以下簡稱新竹基地），作為我國水利科技研發先導基地。新竹基地位於新竹南寮地區，用地總面積為 1.9 公頃，包含室內試驗區與戶外試驗區，以提供海水資源為主軸，鼓勵進駐測試技術包含海水資源利用、淨水處理技術、智慧感測及水能源等領域，並將技術研發成果，藉由定期辦理成果發表會方式，促進國內水利產業技術媒合與交流，以擴大國內產業影響力及曝光度。新竹基地目前已進駐廠商共計 10 家，涵蓋海水淡化、淨水處理、低耗能零排放及小水力發電等領域，未來隨各類公私部門相關採購增加且多元，有意願透過水利新創科技基地進行技術測試廠商，預期需求將會持續成長。

關鍵字：水利新創科技基地、海水資源、海水淡化



圖 1、新竹水利新創科技研發及測試展示基地



圖 2、水利新創科技基地推動發展願景

2020 年至 2021 年乾旱期間水資源管理策略-以石門 水庫為例

Water resource management strategies in 2020-2021 drought- Shihmen reservoir

翁琬晴¹

1.經濟部水利署北區水資源局工程員

* 通訊作者，Email: wanching@wanb.gov.tw

摘要

臺灣本島受限地理及氣候特性，河川坡度陡且水資源利用率偏低，近年產業型態的改變，用水需求日益增加，面對全球氣候變遷，除了長期水資源規劃外，緊急抗旱水源開發及靈活且彈性的水資源調配更顯得重要。以去（2020）年為例，無颱風侵台致使豐水期間（每年 5 月至 10 月）累積降雨量僅歷年平均 56%，缺少大量雨水挹注下，石門水庫蓄水量節節下降，於是同年 9 月成立旱災緊急應變小組因應嚴峻水情，隨著颱風季節結束，迫使抽穗前公告二期稻作停灌。時序進入枯水期（每年 11 月至翌年 4 月），經氣象條件及未來用水需求綜合考量下，今（2021）年一期作除了桃園第三灌區外，其餘灌區均公告停灌，然而今年春雨偏少且梅雨遲到，水情更趨嚴峻，抗旱期間各相關用水機關（單位）除了半日監看水情、日日管控水庫出水總量、旬旬檢討供配水措施，透過開鑿地下水、埤塘水源、河川水源抽取灌溉、海淡水及再生水等多元水源運用，並透過精緻水管理於有效水量內調度供配下以迎接梅雨到來解除旱象。

本文以石門水庫供水地區（含受、支援）為例，分析用水成長及降雨異常下，記錄及探討本次抗旱期間水源之開源、調度、備援及節流措施與經驗並予以改進，冀期提供未來水資源管理決策參考及相關單位建置石門水庫供水轄區之供配水模式情境設定之分析案例。

關鍵字：石門水庫、水源調度



圖 1 石門水庫蓄水量變化

桃園市智慧節水管理系統研發建置與推廣應用

The Establishment and Promotion of Smart Water-saving Management System in Taoyuan City

劉振宇¹ 李金靖^{2*} 李岳壇³ 林震也⁴ 陳豐文⁵ 張雅婷⁶

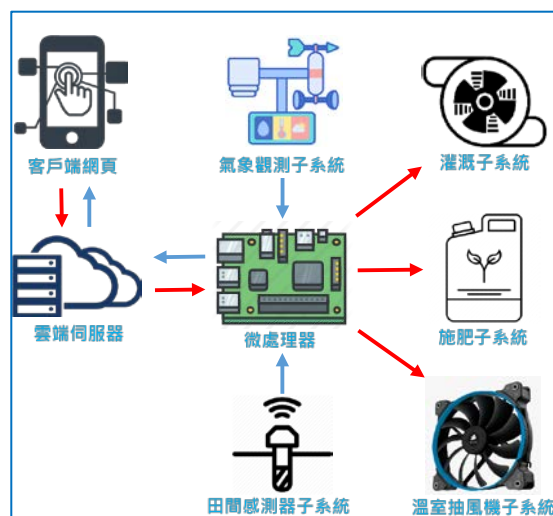
- 1.桃園市政府水務局局長
- 2.桃園市政府水務局副局長
- 3.桃園市政府水務局水利防災科科長
- 4.桃園市政府水務局水利防災科幫工程司
- 5.財團法人農業工程研究中心研究員
- 6.財團法人農業工程研究中心副研究員兼資源組組長

* 通訊作者，Email: 1215soling@gmail.com

摘要

近年由於氣候變遷影響與臺灣水資源時空分布不均的限制，以致水資源枯竭問題日益嚴重，各標的用水及產業發展也面臨極大的挑戰。考量農業灌溉占整體水資源大宗約 71%，因應農業 4.0 及桃園市打造智慧城市的基礎，桃園市政府水務局自 2019 年起持續以桃園境內農田水利為節水的產業對象，透過物聯網(IoT)之感測技術整合、智慧環控、智慧管理技術等，於作物栽培過程，整合生長與環境參數，建立作物栽培之前瞻智慧節水管理系統，在不破壞環境平衡、水資源使用更有效率的前提下，結合給肥技術建立及回收收流水應用於農業等多元省水技術建立與推廣，盼可達成開源、節流且同時兼顧農業生產目標，期待全民及各產業均能受益。

關鍵字：智慧節水、水資源管理、多元省水



智慧節水管理系統架構



A. 智慧節水系統(滴灌)

B. 傳統農法(溝灌)

2019 年示範栽培場地整備與種植情形

美國大壩安全協會與 2020 大壩安全年會介紹 及國內執行情形探討

Introduction to ASDSO and Dam Safety 2020 With a Look over of Our Domestic Implementation

蕭軒梅¹

1. 經濟部水利署南區水資源局／副工程司

* 通訊作者，Email: hmhsiao@wrasb.gov.tw

摘要

1977 年美國喬治亞州發生 Kelly Barnes 壩破壞事件後（造成 39 人喪命），當時的美國總統立即下令由美國陸軍工兵團（USACE）針對美國境內的大壩進行安全檢查，檢查結果發現非聯邦政府轄管的大壩具有大量缺失，而美國國家工程學院及聯邦緊急事務管理署（FEMA）則建議建立州間討論平台，於是美國大壩安全協會（Association of State Dam Safety Officials, ASDSO）於 1983 年成立，目標為透過教育訓練提升美國境內的大壩安全狀況、給予州政府大壩安全管理計畫支持，並建立一體的大壩安全社群。此後，美國大壩安全協會每年均辦理實體年會，邀集水庫安全從業人員針對大壩安全相關議題進行交流，2020 年受新冠疫情影響，2020 年大壩安全年會（Dam Safety 2020）改於線上舉行，經濟部水利署南區水資源局爰註冊參加並蒐集年會資料，除瞭解美國近期大壩安全熱門議題外，亦觀察美國大壩安全相關單位之間的交流情形。

本文分為四部分，第一部份介紹美國大壩安全協會，包含其緣起、組成、活動情形、教育資源及付費會員資料庫等。第二部份介紹 2020 年大壩安全年會，包含舉辦說明、各場次研討主題及發表單位分析，並藉由 2005~2021 年大壩安全年會議程，探討美國大壩安全管理關注議題的變化趨勢。第三部份則整理 2020 年大壩安全年會資料中兩項對國內制度較具參考價值的研討內容，並探討國內執行情形。第一項為潰壩緊急應變制度，包含應變計畫的有效性、時效性、落實情形及潰壩影響範圍透明化的可行性等。第二項為風險分析制度，包含單一大壩的風險因子排序、眾多大壩間的風險排序、更新改善工作的風險分析，以及風險分析執行情形的檢討。第四部份則以美國大壩安全年會舉辦情形，比對國內大壩安全管理人員的資源及交流現況，提出提升國內大壩安全管理人員專業素養及實質交流的建議方案。

關鍵字：大壩安全、緊急應變、風險分析、管理人員、技術交流

廣域植生坡地崩塌機率評估考量坡度土層厚度相關性 及雨型、土壤參數與地下水位之不確定性

Landslide Probability Evaluation of Regional Vegetation Hillslope under Consideration of Slope-angle-soil-depth Relationship and Uncertainty in Rainfall Pattern, Soil Parameter, and Groundwater Level

林姿君¹

蔡東霖^{2*}

1. 國立嘉義大學土木與水資源工程學系碩士

2. 國立嘉義大學土木與水資源工程學系教授

* 通訊作者，Email: tltsai@mail.ncyu.edu.tw

摘要

本研究考量雨型、土壤參數與地下水位之不確定性，坡度與土層厚度之相關性，以及植生根系對水力傳導係數與土壤剪力強度之影響，探討不同降雨量、降雨延時與坡度對崩塌潛勢之影響。將不考慮植生根系效應，稱為方法一；僅考量植生根系對土壤剪力強度及水力傳導係數之影響，分別稱為方法二及方法三；方法四則同時考量植生根系兩種效應。四種方法皆顯示，並非坡度愈陡崩塌機率就會愈大之結果。相較於方法四，不論坡度及降雨延時，方法二可能會低估崩塌機率，而方法三可能會高估崩塌機率。相較於方法四，方法一則可能會低估或高估崩塌機率，視坡度及降雨延時而定，對於坡度較緩及短降雨延時，方法一會低估崩塌機率。因此，若要更合理地評估崩塌潛勢，必須同時考量植生根系對水力傳導係數及土壤剪力強度之影響。

關鍵字：雨型、土壤參數、地下水位、淺層崩塌、植生根系、坡度與土層厚度

應用 HyperKANAKO 模式進行土石流流動特性與溢 淹範圍之模擬

Application of HyperKANAKO Model to Simulate Debris Flow and Flooding Area

許汶芳^{1*} 詹錢登²

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士
 2. 國立成功大學水利及海洋工程學系特聘教授兼工學院院長
- * 通訊作者，Email: wenfang0213@gmail.com

摘要

土石流是常見的坡地災害，隨著溝道及地勢的變化，土石流常同時具有一維及二維的流動特性，了解土石流的流動特性及可能溢淹的範圍將有助於土石流防減災工作之規劃。本研究以台東縣紅葉村北絲蘭溪土石流潛勢溪流(東縣 DF166)為研究對象，採用當地 5 m × 5 m 數值高程模型 (DEM)，建立土石流一維及二維數值模擬之計算網格，收集土石流潛勢溪流溝道及其集水區之地文及水文資料，採用 HyperKANAKO 土石流模擬程式，確定模擬程式所需之相關參數及情境模擬條件。

由土石流出流土方量與集水區面積之迴歸經驗關係式推估土石流模擬的上游邊界入流量，考量定量與變量兩種不同的入流方式，然後比較邊界入流方式的差異對模擬結果的影響。土石流一維及二維數值模擬計算網格的劃分也會影響到模擬的結果，尤其是一維及二維數值模擬計算網格交界面位置之選擇，顯著影響到土石流溢淹位置及溢淹範圍之模擬結果。

以東縣 DF166 土石流潛勢溪流為例，上游段溝道較為崎嶇，若將交界點設置於上游的河道，使地形不平整的河段用二維方式模擬，則土石流溢淹範圍之模擬結果與過去土石流發生之實際情形較為符合。本研究也模擬地形較為平整的東縣 DF164 土石流潛勢溪流之流動情形，並與東縣 DF166 模擬結果相比較，進而建議一維及二維模擬網格交界面位置之選擇原則。除了土石流溢淹範圍之模擬分析之外，也探討土石流流動深度與流動速度之變化及其與地形地貌之關係。

關鍵字：土石流、HyperKANAKO 模式、土石流溢淹範圍

野溪治理清疏範圍線劃設適用性及清疏成效之探討

Applicability and Effectiveness Evaluation of the Delineation of the Sediment Dredging for Creek Management

林宛蓉¹

吳炤緯²

陳世楷^{3*}

1. 國立臺北科技大學土木工程系土木及防災碩士班碩士

2. 國立中興大學水土保持學系博士

3. 國立臺北科技大學土木工程系副教授

* 通訊作者，Email: chensk@ntut.edu.tw

摘要

野溪位處河川之中、上游集水區，溪床坡度陡且變動大，具有高度動態沖淤特性，以致清疏河段具有時空變異性，現行清疏工程辦理係由需求端向主管機關申請，無法整體考量集水區土砂淤積之關鍵問題，故藉由清疏範圍線之劃定，有助於主管機關針對具有清疏潛勢河段辦理預防性清疏規劃及研擬適宜之水土災害防治對策。本研究以梵梵溪次集水區為研究區域，野溪清疏檢視線之劃設係以數值高程模型(DEM)為基礎資料，利用 ArcView 模組分析野溪流向確定河道之深槽線，再以 HEC-RAS 推衍 50 年重現期距洪峰流量需求之設計水位線。將劃定之野溪清疏檢視線與保全對象圖資套疊以篩選具有清疏潛勢之河段，其分析結果顯示梵梵溪集水區域內具有清疏潛勢之河段位於下游梵梵溫泉及英士國小附近，現況河道瓶頸段上游溪水已漫淹至農舍、農田及農路等保全對象。本研究進一步利用 UAV 拍攝建置細部現況數值地表模型(DSM)檢核河道現況通洪能力，並量化分析需清疏土砂量約為 52,592 立方公尺，約為梵梵溪清疏工程現地測量估算清疏量 57,745 立方公尺之 91%，顯示本研究在清疏量體估算及標定清疏潛勢區位上可獲致良好之成效，裨益於主管機關在集水區水土保持管理作業上獲致更為全面之效益。

關鍵字：土砂淤積、河道清疏、深槽線

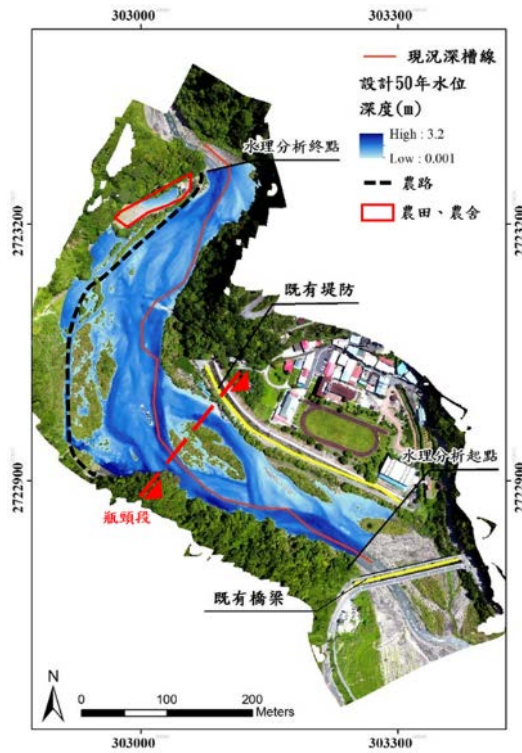
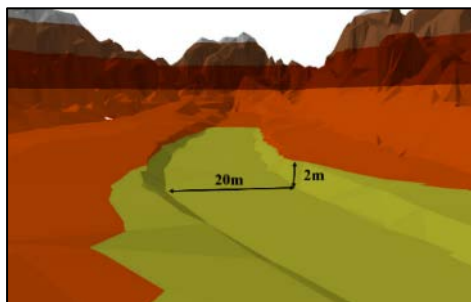


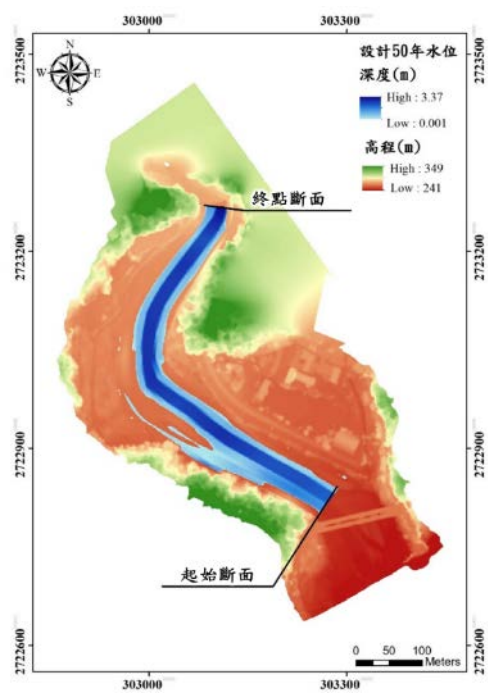
圖 1 清疏潛勢河段現況水理分析(Q50)情形



(a)原始河床 3D 模型 (上游)



(b)設計清疏河床 3D 模型(上游)



(c)設計清疏後潛勢河段水理分析 (Q50)

圖 2 潛勢河段清疏前後河床 3D 模型及清疏後水理分析情形

20 公分蒸發皿及 A 型蒸發皿蒸發量之差異分析

Differences in Evaporation Between 20-cm Pan and Class A Pan

方貽萱¹

潘詠瑄²

陳憲宗^{3*}

- 1.逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士
 - 2.國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生
 - 3.國立成功大學水利及海洋工程學系教授
- * 通訊作者，Email: chen@gs.ncku.edu.tw

摘要

臺灣中央氣象局各氣象站早期使用 20 公分蒸發皿進行蒸發觀測，自 1973 年起陸續改用 A 型蒸發皿，因兩蒸發皿尺寸不同，水體體積和蒸發皿邊壁體積比例不同，對蒸發皿量測之蒸發量有不同程度的影響。本研究為了解兩者觀測蒸發量的差異，並探討氣象因子對兩者的影響程度，若能排除蒸發皿邊壁效應的影響，進而推得可靠的潛勢蒸發量，對於水文循環估計及水資源運用評估，將有極大助益。本研究以臺灣 10 個氣象觀測站的蒸發皿蒸發量及氣象資料，探討兩蒸發皿蒸發量之特性差異，分析資料時間為 1974 至 1994 年，同時具有兩蒸發皿觀測資料的時段。本研究對兩蒸發皿蒸發量及氣象因子進行相關性分析，並利用 Mann-Kendall 法進行趨勢分析。結果顯示與蒸發量相關性較高之氣象因子為日射量、日照時數及溫度，而日射量和日照時數對兩蒸發皿蒸發量差異的影響較顯著。整體而言，20 公分蒸發皿蒸發量為 A 型蒸發皿蒸發量之 1.42 倍，兩蒸發皿的蒸發量在臺灣有相同的空間分布與季節分布，均呈現南高北低的情況，且於各站蒸發量大多有下降的趨勢。

關鍵字：皿蒸發量、趨勢分析、20 公分蒸發皿、A 型蒸發皿

石門水庫溢洪道操作條件下堆積泥砂清除模擬分析

Simulation analysis for sediment concentration under different flood discharge at Shihmen Reservoir

李明龍^{1*}

連和政²

陳守義³

1. 財團法人國家實驗研究院國家高速網路與計算中心副研究員

2. 正準科技有限公司總經理

3. 中華科技大學航空機械系

* 通訊作者，Email: long@nchc.narl.org.tw

摘要

石門水庫下游抽泥浚淤工程後池放淤計畫，依循工作計畫處置水庫淤泥，藉以加強清淤能量，並落實淤泥回歸溪流之自然行徑來擴增清除淤積成效。後池在淤滿深槽後，待汛期來臨時，開啟溢洪道，將淤積泥沙藉由洩洪水流動力帶走。本研究進行暫態三維數值模式模擬，當泥沙堆積在高程 125 公尺以下的深坑(43 萬立方公尺)，藉由溢洪道流量 600cms、900cms 及 1200cms 來進行沖刷，來分析溢洪道操作條件下泥砂清除分析情境。假設深坑內泥沙充滿 58.08%，泥沙體積約為 25 萬立方公尺，泥沙濃度為 154 萬 700 ppm。

本研究以二原抽水站附近的濃度為泥沙是否被沖走的參考點，圖 1 為流量 1200cms、900cms 及 600cms 的二抽濃度隨時間的變化表，表示二抽濃度隨著時間變化計算的值。結果顯示溢洪道排洪 1200cms 流量時，只需要 1.8 小時就可以將堆積沖刷坑的泥沙清除(此時二抽濃度為 300ppm 以下);若溢洪道排洪 900cms 流量時，只需要 3.4 小時就可以將堆積沖刷坑的泥沙清除;若溢洪道排洪 600cms 流量時，只需要 4.5 小時就可以將堆積沖刷坑的泥沙清除。圖 2 為溢洪道排洪 1200cms 流量條件下，後池泥沙的水面擴散情形。

關鍵字：抽泥浚淤、放淤、沖刷坑、濃度分析

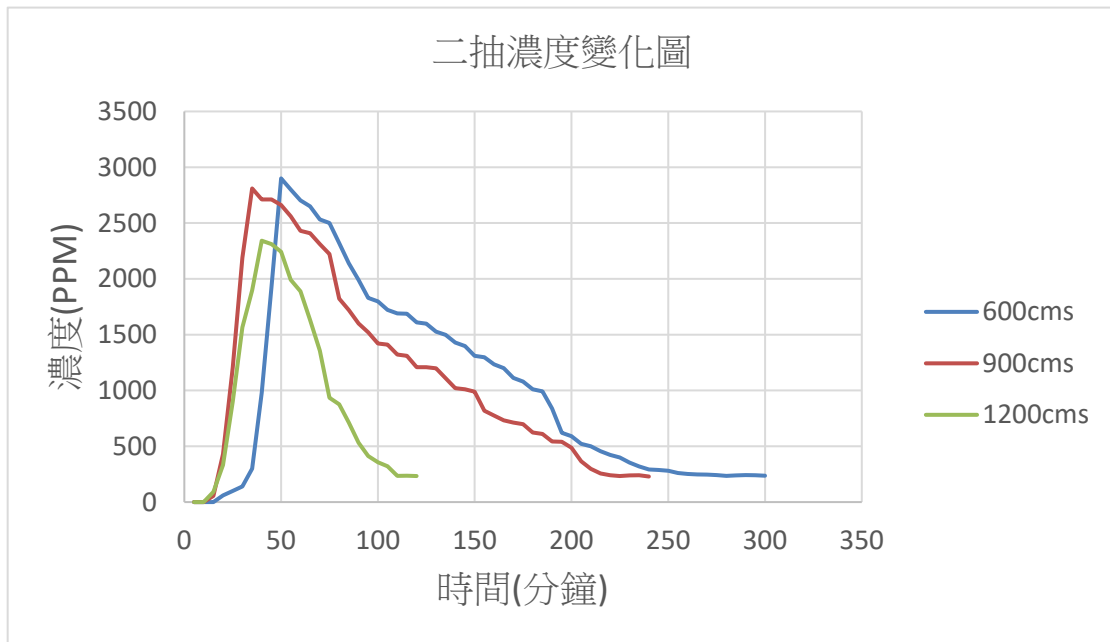


圖 1 泥沙清除情境於二抽濃度隨時間分布

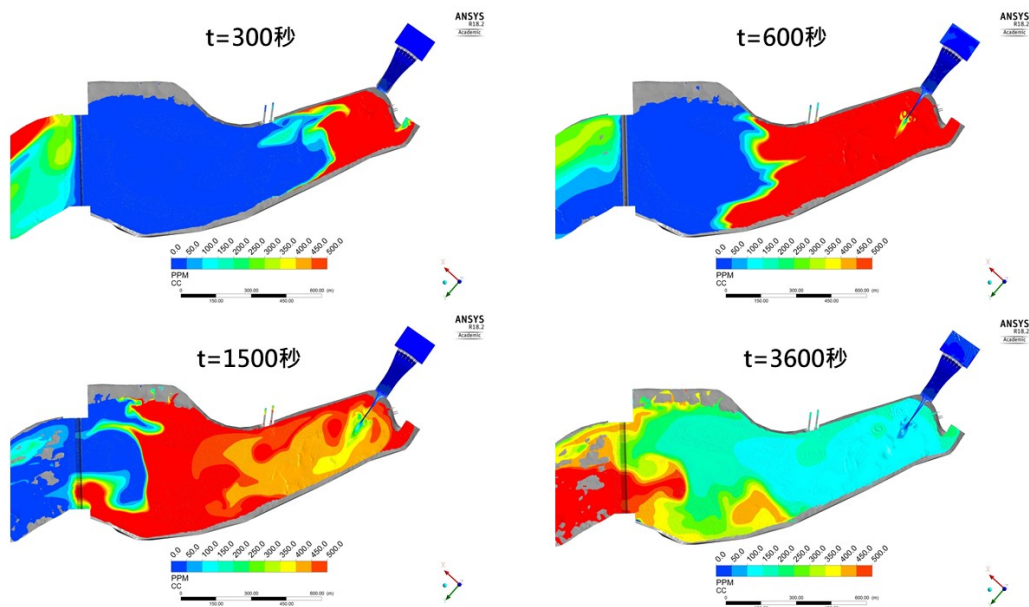


圖 2 流量 1200cms 泥沙清除分析濃度分布圖

台灣低農業價值海埔地利用之演變(I)鰲鼓海埔地

On evolutions of RLLAV Taiwan(I) General View and Augo Tidal Land

李芳君^{1*}

高瑞棋²

賴泉基³

黃國書⁴

1. 國立成功大學水工試驗所助理研究員

2. WG-SDTA, ICID 主席

3. 國立成功大學水利系教授

4. 國立成功大學水工試驗所研究員

* 通訊作者, Email: fclee@thl.ncku.edu.tw

摘要

韓國農村公社(KRC)的農村研究所(RRI)與台南水工試驗所(THL)2018年11月22日簽署之擴充合作備忘錄,由台南水工試驗所在2020年6月至9月受託進行“台灣低農業價值海埔新生地利用的案例研究”,本研究為其部分成果。韓國對於土地的需求以及近數十年於海埔地的開發歷程與台灣近似:從最早的農業發展需求,然後逐漸演化為工業發展的需求,接著就面臨經濟發展與環境保護的衝突,最後演進到永續經營的階段。在該研究的新竹、王功、寓埔、永興、鰲鼓等案例中,本文選取了1960年代以來南部較具代表性且資料較豐富的鰲鼓海埔地,摘要敘述鰲鼓海埔地之開發過程與土地利用的變遷歷史,包括場址的調查,各項評估試驗,圍堤造陸工程之規畫設計乃至模場規模試驗到完工,以及歷經社經變遷,環境意識抬頭之後,海埔地利用的演化。

臺灣西海岸海岸線如圖1所示,若依河口區分為北部、台中、彰化、雲林、嘉義、台南及南部7個區域,各區域範圍座標及面積如表1。臺灣海峽因潮汐作用,沿海潮流以半日潮為主,潮差變化甚大,基隆與台北的潮差平均不超過2公尺,台中港則達4公尺左右,這樣的潮汐致使西海岸有獨特的沿海漁業和水產養殖業。1949-1987年間,中央政府機構大範圍進行填海造地工程,即便私人投資者也需與縣市政府合作開發。開發的土地除農業用途外,還包括水產養殖、畜牧業及鹽生產,農業生產如水稻,由於水資源比內陸地區少,再加上季風風害,生產的市場價值較低,開發後5-10年,大部份農田皆轉換為水產養殖場,以獲取更好的利潤。然而,由於水產養殖業大量的抽用地下水,造成彰化、雲林、嘉義、台南嚴重地層下陷,1992-2018年累積下陷量皆超過150公分,因而改變了海埔開發地的使用型態。

嘉義縣鰲鼓海埔地因為外傘頂洲的天然屏障造就了較廣大的海埔地,1932年政府單位就考慮將其中部份列為鰲鼓地區的開發計畫,二次大戰後,台灣糖業公司接管大量日本甘蔗生產地外,也包括鰲鼓地區開發計畫(圖2)。1990年之前,鰲

鼓海埔地的管理權一直在國軍退除役官兵輔導委員會、台灣省土地資源開發委員會、台灣糖業公司之間切換，由於台灣糖業公司為上市公司，現階段權利轉讓並非容易。然而因抽取地下水造成嚴重地層下陷，再加上颱風侵襲，導致大量海水入侵，台灣糖業公司因而停止鰲鼓地區開發計畫。1998 年鰲鼓海埔地列為國家財產保護地，包含開墾的東石農場 1,022 公頃，加上鰲鼓農場 311 公頃，溪子下農場 137 公頃，2012 年開放為 1,470 公頃的鰲鼓濕地森林公園，2015 年內政部公告為國家濕地確認範圍，面積為 512.10 公頃，圖 3 為鰲鼓濕地森林公園及重要濕地現況，目前僅存 78 公頃的海埔畜牧農場，因此保持適當的環境檢核為其主要考量問題之一。另一方面，由於鰲鼓海埔地地處偏遠農村，交通配套較不便，必須與海埔地風景名勝區合作，以提高旅遊知名度。

關鍵字：低農業價值海埔新生地、開發與利用

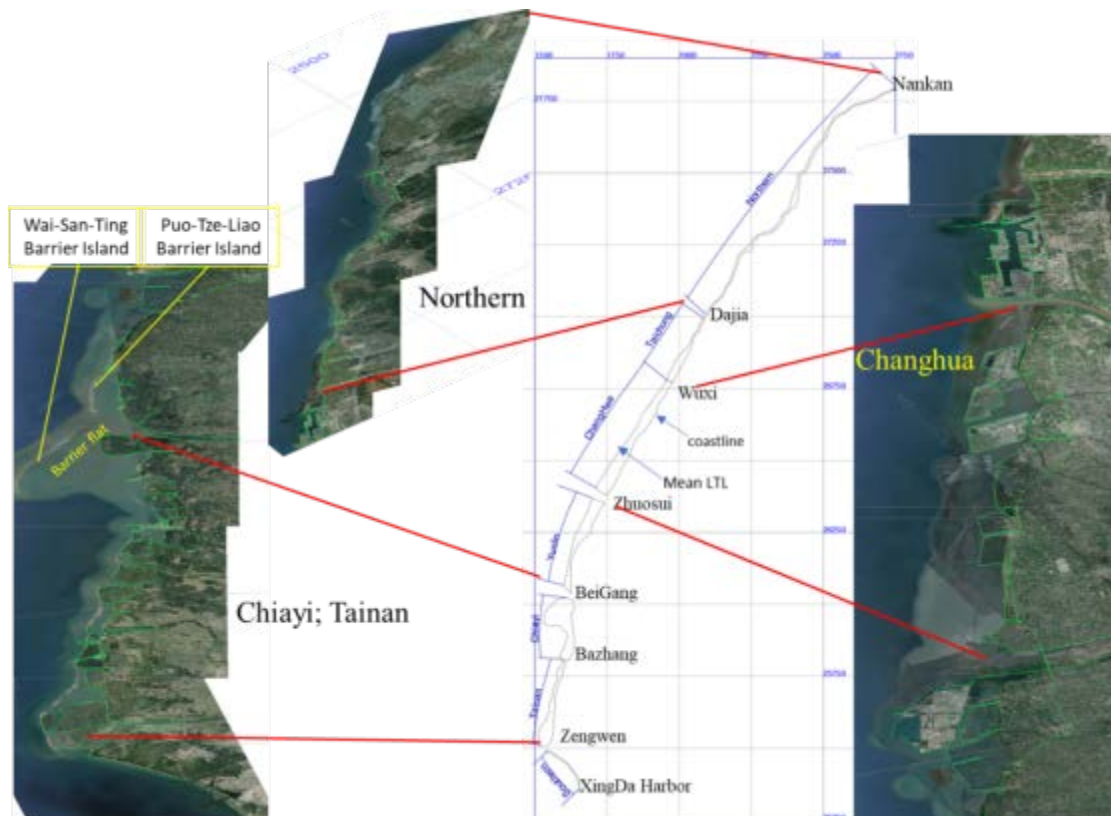


圖 1 臺灣西海岸海岸線

表 1 臺灣西海岸區域範圍與潮汐

| Region | River | From | | to | | Length Km | width Km | Area_57 ha | Area_2k ha |
|----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------------|---------------|---------------|
| | | Long | Lat | Long | Lat | | | | |
| Northern | Nankan | 121.24871 | 25.120963 | 120.60333 | 24.412601 | 111.21462 | 2 | 5910 | 8074 |
| Taichung | Dajia | 120.5951 | 24.400793 | 120.48645 | 24.199292 | 26.5248071 | 2.8 | 3892 | 3965 |
| Changhua | Wuxi | 120.48617 | 24.199464 | 120.26236 | 23.844157 | 48.7599598 | 4.35 | 15128 | 15387 |
| Yunlin | Zhuosui | 120.2566 | 23.819495 | 120.14652 | 23.535426 | 36.7609524 | 5.6 | 7593 | 8473 |
| Chiayi | BeiGang | 120.15319 | 23.514742 | 120.13882 | 23.326101 | 23.2839981 | 9.36 | 13109 | 12166 |
| Tainan | Bazhang | 120.12973 | 23.320736 | 120.0614 | 23.053554 | 32.499205 | 4.9 | 7239 | 7062 |
| Southern | Zengwen | 120.06766 | 23.042318 | 120.17721 | 22.91536 | 17.3285207 | 0.6 | 999 | 772 |
| | -XingDa | | | | | | Total | 53870 | |

Note:
Length and width are calculated through coordinates of mid-lines
Area_57 Surveyed 1955-1957 (Huang, 1978)
Area_2k estimated from google earth polygon 2018
Width: max distance from coastline, approximate, google earth



圖 2 鰲鼓濕地森林公園及重要濕地現況 (<https://www.google.com/maps/>)

台灣低農業價值海埔地利用之演變 (II) 新竹海埔地

On evolutions of RLLAV Taiwan (II) XinChu Reclaimed Lands

黃國書¹

高瑞棋^{2*}

賴泉基^{3*}

李芳君⁴

1. 成功大學水工試驗所研究員

2. WG-SDTA, ICID 主席

3. 成功大學水利及海洋工程系教授

4. 成功大學水工試驗所副研究員

* 通訊作者，Email: laicj@mail.ncku.edu.tw

摘要

本文摘錄自”台灣增進低農業價值海埔新生地利用的案例研究”之部分成果，該研究乃基於韓國農村公社 (KRC) 的農村研究所 (RRI) 與台南水工試驗所 (THL) 2018 年 11 月 22 日簽署之擴充合作備忘錄，由台南水工試驗所在 2020 年受託進行。韓國對於土地的需求以及近數十年於海埔地的開發歷程與台灣近似：從最早的農業發展需求，然後逐漸演化為工業發展的需求，接著就面臨經濟發展與環境保護的衝突，最後演進到永續經營的階段。在該研究的四個案例中，本文選取了一個具代表性且資料較豐富的案例：新竹海埔地，摘要敘述其開發過程與土地利用的變遷歷史，包括場址的調查，各項評估試驗，圍堤造陸工程之規畫設計乃至模場規模試驗到完工，以及歷經社經變遷，環境意識抬頭之後，海埔地利用的演化。

關鍵字：低農業價值海埔新生地，開發與利用

Abstract

Tainan Hydraulics Lab (THL) Rural Research Institute (RRI) of Korea Rural Community Corporation (KRC) signed the MoU expansion on November 22, 2018. Expanded scopes include a specific topic: “Case Study on the Utilization of Taiwanese Reclaimed Land for Improving the Use of RLLAV (Reclaimed tidal Lands with Low Agricultural Value). The study was conducted in the period from June to September 2020. Korea’s demand for land and the development process in coastal reclaimed lands are similar to that of Taiwan in recent decades: The earliest demand came from agriculture, then gradually for industrial development, then the conflict between economic development and environmental protection. Finally, it evolves to the so-called “sustainability”. Among the four cases in the study, a representative case, XinChu RLs, is presented in this paper. The development process and the land use

evolution for this case are summarized.

Keywords: RLLAV (Reclaimed tidal Lands with Low Agricultural Value)

人造感潮濕地水位調控對棲地品質之影響：以桃園許 厝港濕地為例

The Effects of Water Level Regulation of Constructed Tidal Wetland on Habitat Quality: A case study of Xucugang Wetland in Taoyuan

黃耀陞^{1*}

黃國文²

1. 國立臺灣海洋大學河海工程學系

2. 國立臺灣大學水工試驗所

* 通訊作者，Email: leo8707@gmail.com

摘要

桃園許厝港濕地於 2020 年初由魚塭營造為人工感潮濕地，其濕地內外接壤處建有類似人造感潮濕地水位調整系統(Controlled Reduced Tide system, CRT)之涵管，將濕地外潮汐水體引入，以營造濕地內隨潮汐週期變化之水文條件及棲地多樣性。本研究為評估濕地營造之棲地品質，以既有文獻之小水鴨(*Anas crecca*)淹水超越機率棲地適合度指標(Habitat Suitability Index, HSI)，進行棲地特性分析。透過 HEC-RAS 一維數值水理模式，輔以 7 小時簡易潮汐週期現地水文量測，完成水理模式驗證。經水理模擬及 HSI 分析，目前許厝港濕地小水鴨淹水超越機率 HSI 約為 0.12，為品質不良之棲地，推論係目前許厝港濕地內水位變化幅度不足所致。故本研究認為需藉由改善此現象以達到棲地營造效果，為充分探討不同 CRT 型態對於濕地水位變化乃至於棲地品質影響，本研究以「改變涵管底高程」及「改變涵管尺寸」兩類情境進行探討。涵管尺寸固定而底部高程愈低，則濕地內水位變化幅度上升；目前涵管底高程為 EL. 0.54 公尺，當底部高程降低至 EL. -0.50 公尺時，HSI 為 0.31；當底高程提升至 EL. 1.3 公尺時 HSI 為 0.03。另一方面，若涵管底高程固定而尺寸愈大，則濕地內水位變化幅度亦有所提升；目前涵管尺寸為直徑 1.65 公尺，當直徑下降為 1.0 公尺時，HSI 為 0.09；當直徑提升至 3.0 公尺時 HSI 為 0.15。二者相比，許厝港濕地因降低涵管底高程而使濕地平均 HSI 上升之趨勢較明顯，本研究推論此係因目前涵管底高程位置距離濕地外最低水位及濕地內底部尚有一段落差，故加大涵管直徑，對於濕地內水位變化較無顯著提升效果。本研究成果可應用於類似人造感潮濕地 CRT 系統設計，並應充分考量潮汐水位及濕地底高程，方能達到水位變化幅度及棲地營造效果。

關鍵字：人造感潮濕地、水位調控系統、小水鴨、棲地適合度指標

科技部計畫編號: MOST 109-2813-C-002-016-E

人造感潮濕地之水文環境監測探討-以許厝港復育濕地為例

Discussion on Hydrological Monitoring of Created Wetland- A Case Study of Xucuogang Important Wetland

黃國文^{1*}

林立昌²

柯思好³

楊欣樺³

1. 國立臺灣大學水工試驗所研究員

2. 桃園市政府海岸管理工程處處長

3. 國立臺灣大學水工試驗所計畫研究專員

* 通訊作者，Email: gwhwang@ntu.edu.tw

摘要

許厝港國家級重要濕地於老街溪口附近，有一處遭漁塭佔用之公有地，經桃園市政府海岸管理工程處回收土地後，規劃為許厝港復育濕地，於 2020 年初營造為將近 10 公頃之感潮濕地。許厝港復育濕地為臺灣少有大尺度之感潮濕地復育營造案例，為臺灣濕地經營管理之亮點。惟剛完工時之監測規劃，僅有生態調查及水質監測，皆未進行內外水位監測及全潮測量等水文環境監測。本研究以濕地水文系統角度，建議建置人造感潮濕地之水文環境監測系統，並試做水位監測及全潮測量等作業。期望濕地建置長期水文環境因子之基礎監測資料，了解濕地生態水利特性及生態變化之原因，以科學數據進行適應性管理，以達成濕地復育營造之預期目標。

關鍵字：濕地、復育、水文環境、水位、全潮測量

河相變遷對魚類群聚組成之影響

Effects of the River Morphological Change on Fish Assemblages

洪夢祺¹

1. 行政院農業委員會特有生物研究保育中心副研究員

* 通訊作者, Email: alberthung@tesri.gov.tw

摘要

河川水流條件為影響水域各種生物過程動態之主要因子，水流條件變化將影響河川微棲地之環境特性，包含水溫、流速、水深、底質等，這些環境因子的改變又會直接或間接影響河川魚類的組成與族群動態。本研究於筏子溪建立集泉橋、74 高鐵路、筏子溪橋、東海橋、福安橋等五個樣站，2016 年 4 月至 2020 年 3 月間進行每月 1 次之水質及魚類組成監測。水質因子包含水溫(WT)、溶氧(DO)、酸鹼值(pH)、導電度(conductivity)、氧化還原電位(ORP)、總溶解固體(TDS)、流量(Q)等，主成分分析(PCA)結果顯示，出 PC1 上有明顯分群，2018、2019 兩年明顯高於 2016、2017，若對照 2017 夏季颱風造成河道較大的變動，推測經過颱風後 TDS 明顯變高。不同季節在 PC2 上明顯分群，尤以夏季、冬季區隔明顯，對照 PC2 主要因子水溫、溶氧、流量，符合常理。部分月份資料在 PC1-PC2 平面上有不同方位角之線性分布，顯示主控因子之組合比例隨著季節變動。監測期間有 2017 年、2019 年兩場主要颱風事件，可區分成三階段之河相隨颱風事件變遷。從非量度多維尺度分析(nMDS)中可看出，在同一樣站同一季節魚類組成排序隨河相變遷而有明顯之變動，相對地，水質因子排序並未隨河相變遷明顯變動，結果隱含物理棲地(physical habitat)對魚類組成之影響。

關鍵字：河相變遷、物理棲地、主成分分析、非量度多為尺度分析

將生態檢核轉化為水利工程執行助力

Convert Ecological Check to assist the execution of Hydraulic Engineering

黃于坡¹

蘇維翎^{2*}

1. 觀察家生態顧問有限公司總經理

2. 觀察家生態顧問有限公司協理

* 通訊作者，Email: weling.su@gmail.com

摘要

為減輕公共工程對生態環境造成之負面影響，妥適執行生態檢核，秉生態保育、公民參與及資訊公開之原則，以積極創造優質之環境，行政院公共工程委員會於 2017 年 4 月函頒「公共工程生態檢核機制」開始，要求各類新建工程辦理生態檢核，且於 2021 年金質獎作業要點中，在水利工程等各類工程增加生態復育項目，且行政院國家發展委員會 2018 年起將以自然為本的解決方案(Nature-based Solutions, 簡稱 NbS)納入政策面，顯示生態保育融入工程計畫實為趨勢，水利工程在面對極端氣候與防災需求外，更增加挑戰。然而，新制度上路，生態檢核機制及其注意事項在執行上，或是現在資訊公開成果中多有工作項目未明確定義而淪於型的問題，如生態檢核常誤解為物種名錄調查、棲地評估結果無法回饋工程內容等。因此，生態檢核應導入專業參與、建立跨領域夥伴關係。在生態專業參與工作中，生態調查評析應可歸納為下列工作細項：(1)生態資料蒐集；(2)棲地調查；(3)棲地評估、(4)指認生態保全對象、(5)物種補充調查、(6)繪製生態關注區域圖、(7)工程影響評析、(8)生態保育措施監測、(9)生態保育作業。並組織跨領域團隊，共同擬定生態保育作業(生態保育原則、生態保育對策及生態保育措施)，將生態保育之概念融入工程方案並落實。相關工作成果，則以公共工程生態檢核自評表，以及檢附檢核事項結果之佐證資料、生態檢核工作所辦理之生態資料蒐集、棲地調查、棲地評估、指認生態保全對象、繪製生態關注區域圖、工程影響評析、公民參與及保育作業研擬等過程及結果之文件紀錄。最後，生態檢核係為充份了解公共工程範圍之生態議題與影響，評估其可行性與妥適應對之迴避、縮小、減輕、補償方案。依工程生命週期分為工程計畫核定、規劃、設計、施工及維護管理等作業階段，才能確實找出生態課題，提出可行的對策，讓生態檢核不會是阻力，而是轉換為水利工程推展的助力。

關鍵字：水利工程、生態檢核、專業參與、影響減輕、生態保育

以生態檢核減輕工程對曾文水庫生態之影響

Reduce Environmental Impacts of Construction in Zenwen Reservoir through Ecological Check

宋心怡^{1*}

王盈欽²

林雅玲³

1. 漢林生態顧問有限公司／計畫經理
2. 經濟部水利署南區水資源局／正工程師
3. 漢林生態顧問有限公司／總經理

* 通訊作者，Email: nckuwagtail@gmail.com

摘要

工程生態檢核機制期望藉由工程單位及生態專業人員密切合作，於治理工程中導入生態友善概念，減輕工程對生態造成之負面衝擊。以水利署南區水資源局辦理之「109 年曾文水庫湖域保護帶治理工程第一期」為例，本工程位於大埔湖濱公園內，為石籠施作、土方填高及步道重建工程，但施作位址與瀕臨絕種保育類山麻雀活動區域重疊，如未妥善規劃將影響山麻雀生態。本案工程主辦單位於規劃設計階段即執行生態專業評估，同時考生態研究單位及民眾意見，以山麻雀為保護對象研擬多項生態保育措施，如取土迴避覓食區、巢位資源補償、保留存活喬木等，並於施工期間持續依照現場環境討論調整。完工後執行成效追蹤，工程設置之巢箱成功吸引山麻雀繁殖，在達成工程治理目標的同時保存了在地生態特色，為工程與生態友善合作之範例。

關鍵字：生態檢核注意事項、曾文水庫集水區保育、山麻雀巢箱



本案生態檢核執行歷程



生態保育措施項目及位置

濁水溪流域生態檢核作業及檢討計畫

Ecological Check and Review Plan in Zhuoshui River Basin

謝光智^{1*}

陳進興²

李友平³

陳宣安⁴

1. 經濟部水利署第四河川局 副工程司
 2. 經濟部水利署第四河川局 課長
 3. 經濟部水利署第四河川局 局長
 4. 英國布里斯托大學地理學博士
- * 通訊作者，Email: wra04024@wra04.gov.tw

摘要

隨著環境及生態保護意識日增，工程建設牽涉之環境衝擊與潛在生態議題已成為現今水利治理工程面臨之重要課題。因此，相關政府單位近年來積極推動生態檢核機制，期待藉由蒐集與評估預定工程區域的生態環境特性，提出工程設計與施作的生態友善作為，達到防洪治理與生態環境共存之理想目標。本文針對經濟部水利署第四河川局辦理之 2 年度濁水溪流域生態檢核計畫進行說明。計畫範圍包含核定、規劃設計與施工等各階段工程共計 57 件次，針對各工程進行現場勘查、生態調查、生態友善措施研擬、執行狀況追蹤，以及民眾參與、資訊公開等工作，計畫完成後亦編撰「濁水溪生態檢核作業參考手冊」供第四河川局同仁實務操作應用。本文選擇 3 處具生態議題代表性之工程案例進行說明，以具體呈現生態檢核對於達成水利防災與生態保育平衡之助益。

關鍵字：生態檢核、水利工程、環境保育、濁水溪流域



濁水溪生態影響區位與本文工程案例位置

生態檢核執行實例-以卑南右岸三號堤防加強加高工程為例

Implementation of Ecological consideration_ Take Beinan Right Bank No. 3 Embankment Strengthening and Heightening Project as an Example

呂佩倫^{1*}

段文宏²

盧杰志³

陳俊翰⁴

黃俊凱⁵

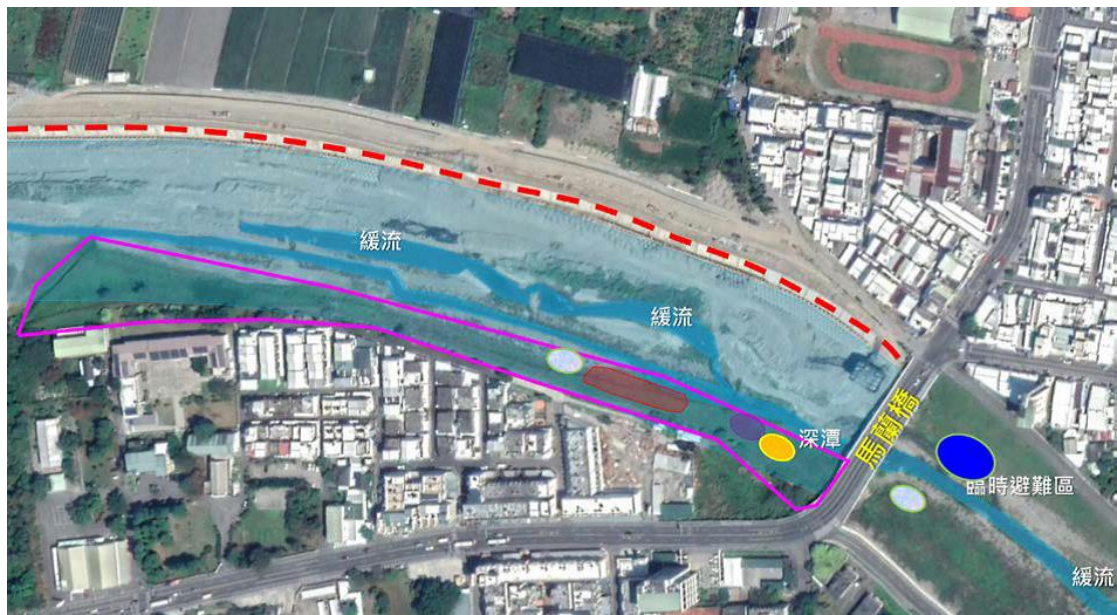
1. 國立臺東大學生命科學系副教授
2. 國立臺東大學生命科學系助理教授/共同第一作者
3. 駿昌工程顧問有限公司專案經理
4. 駿昌工程顧問有限公司生態研究員
5. 駿昌工程顧問有限公司總經理

* 通訊作者，Email: greathelp88@gmail.com

摘要

卑南右岸三號堤防加強加高工程，運用生態檢核進行快速棲地評估，結果顯示水域型態出現 4 種以上，棲地的多樣性狀態豐富。在植物部份記錄到發現台灣特種水柳，動物部分有台灣特種菊池氏細鯽、中華鱉及擬多齒米蝦等水生生物。在友善生態為前提下，施工過程須注意迴避水柳分布位置。禁止阻斷河川水流，並設置一臨時水道，確保河川縱向的連續性。工程施工前營造水中生物臨時避難空間，以減輕工程對水域生態的影響，臨時避難區之位置如下圖所示。堤防坡面工部分建議使用多孔隙材料，施做時透過表面塊石孔隙增加河道與護岸間之溪濱植物，以利動物棲息、躲藏及移動。堤防本體需要設置越堤道路，並覆蓋植被，作為生態廊道。也藉由主辦機關、在地民眾、工程承攬廠商、監造單位以及生態檢核團隊之角色協力合作，落實施工中生態檢核之工作，並提供後續工程竣工後維護管理階段的生態檢核作業之參考。

關鍵字：生態檢核、生態工程、台東縣太平溪、生物多樣性與保育



臨時避難區位置示意圖

生態檢核機制落實-以臺南地區水利工程為例

Implementation of ecological inspection mechanism on hydraulic engineering, Tainan

許盈志¹

涂秀娟²

蔡育宜^{3*}

楊津豪⁴

李保憲⁵

1. 磐誠工程顧問股份有限公司 副總經理
 2. 磐誠工程顧問股份有限公司 協理
 3. 磐誠工程顧問股份有限公司 經理
 4. 臺南市政府水利局 水利興建工程科 科長
 5. 臺南市政府水利局 水利興建工程科 副工程司
- * 通訊作者，Email: mandy.tsai@pcecc.com.tw

摘要

為改善國家基礎投資環境，政府積極推動前瞻基礎建設計畫，行政院於 106 年 4 月核定「前瞻基礎建設計畫」，包含軌道、水環境、綠能、數位、城鄉等五大建設計畫，其中的水環境建設係以因應氣候變遷為目標，包含「水與發展」、「水與環境」、「水與安全」三大主軸。藉由推動「縣市管河川及區域排水整體改善計畫」，以系統性治理方式減少水災衝擊，保障人民生命財產安全，並將工程生態檢核機制全面融入水岸治理工程。生態檢核執行方法上，引入生態專業人員參與，就文獻蒐集與現地調查結果，在工程各階段評估可能造成之生態環境衝擊，提出具體的保育措施供工程設計與施工單位參考，以修正工程計畫，期藉由具體保育措施依循迴避、縮小、減輕與補償之優先順序考量與實施，提高工程對生態環境之友善程度，以及降低工程對生態環境衝擊之目標。

生態檢核各項作業執行依照公共工程委員會「公共工程生態檢核注意事項」、經濟部水利署「水庫集水區工程生態檢核執行參考手冊」所制訂內容，包含工程計畫核定階段、規劃設計階段、施工階段及維護管理階段。核定階段以環境永續為出發點，評估計畫可行性、需求性及對生態環境衝擊程度，決定採不開發方案或可行工程計畫方案；規劃設計階段為評估潛在生態課題、確認工程範圍及周邊環境生態議題與保全對象，繪製關注區域圖，並研擬符合迴避、縮小、減輕及補償之生態保育對策；施工階段則落實規劃設計階段擬定之生態友善原則與對策，確保生態保全對象、生態關注區域不受破壞與環境妥善復原；維護管理階段需定期評估工程範圍之棲地品質並分析生態課題，確認生態保全對象狀況，分析工程生態保育措施執行成效。

參考臺南地區目前推動屬於水與安全型態之水利工程，將相關案件依工程型態主要分為四大類型，包含護岸/排水路、水門/抽水站(機)、橋梁及滯洪池改善與新建工程等，其中以護岸/排水路改善與新建工程佔 69% 為大宗。以護岸工程而言，

除常採用水泥敷面(三面光)設計,造成水環境破壞,常見生態議題包含棲地干擾、水質保護、水路橫向及縱向連結、外來種入侵及當地人文相關課題,其友善措施包含保留自然棲地、保留或復育天然濱溪帶、保護大樹、維持溪流棲地自然樣貌、施工期間濁度控制、避免連續性陡直護岸、道路排水及集水設施設置動物逃生坡道、避免外來入侵植物隨工程進入及完整保存文化資產等。

以龜子港排水護岸治理工程(以下簡稱本工程)生態檢核作業為例,主要依據環境現況,評估工程對生態環境可能造成的影響及研擬生態保育策略,並繪製生態關注區域圖(圖 1),本工程位於柳營區龜子港排水,屬護岸新建工程,為避免連續性陡直護岸,採用「減輕」措施,以兩階段式設計,第一階為坡面工型式,第二階段為掛網植生。工程範圍內多為農田及次生林,為鳥類重要棲地,因此採用「迴避」及「縮小」措施,於工程施工時迴避候鳥出現季節或縮小施工範圍,避免於保育鳥類主要繁殖季(若工區為繁殖棲地)進行施工,進而影響棲地。由歷年生態調查資料顯示,龜子港排水陸域及水域生態豐富,故採用「減輕」措施,於河道規劃魚類庇護所,提供生物棲息空間,以及設置生態廊道等生物友善措施。另工區範圍內左岸約有 31 顆貝殼樹,被 IUCN3.1(國際自然保護聯盟瀕危物種紅色名錄)列為易危物種(VU),為符合環境永續生態發展,採用「減輕」措施,針對喬木進行移植。依據臺南市柳營區遺址調查文獻,本工程上游左岸有一處文化遺址(大湖文化及蔦松文化),面積約 2,000m²,亦採用「減輕」措施,於施作範圍內進行開挖或整地時派員監看,必要時部分地區應進行人工鑽探工作,如有發現文化遺物或文化層,應依「文化資產保存法」之相關規定辦理。

本工程相關生態友善措施(圖 2)藉由設計審查會提出,並針對設計廠商無法施作項目,進一步進行溝通提出替代策略,確定可行之方案,並於設計階段邀集用地地主及民眾辦理公聽會及說明會,建立民眾協商溝通機制,說明工程辦理原因、工作項目、生態保育策略及預期效益,藉由相互溝通交流,以利工程順利推動,達成生態保育目標,並落實公民參與。經訂定生態友善措施,於施工階段利用自主檢查,確認友善建議落實情形,並邀集工程主辦機關、施工單位、保育團體等,進行工程施作工程督導,加強友善措施落實。工程場址完工進入維護管理階段,可利用 UAV 無人航空載具進行施工前、施工中及施工後棲地攝影追蹤,確保各階段對於現地環境影響程度及情形,並可清楚瞭解棲地復原情形,維護棲地品質。

水利工程多以災害預防、修復、重建角度進行整治,惟初期著重於構造物堅固性、施工方便、工期縮短等因素,有時造成較大的環境衝擊與影響,其生態友善作法較難以採納,需藉由補償或替代措施加以落實。工程亦常因經費預算不足或腹地不足,而無法依據所提之建議新增友善措施,因此需視廠商需求,於設計階段提供相關建議,包含友善措施之單價及設計原則,供廠商評估,以達到符合工程及生態需求之方案。此外,推動過程若缺少民眾參與及資訊公開的機制,常招致民眾或民間團體的爭議或批評,故透過公聽會或說明會,與民眾溝通,並適時將生

態友善作法傳達給民眾，有利於生態檢核作業推動。

關鍵字：水利工程、生態檢核

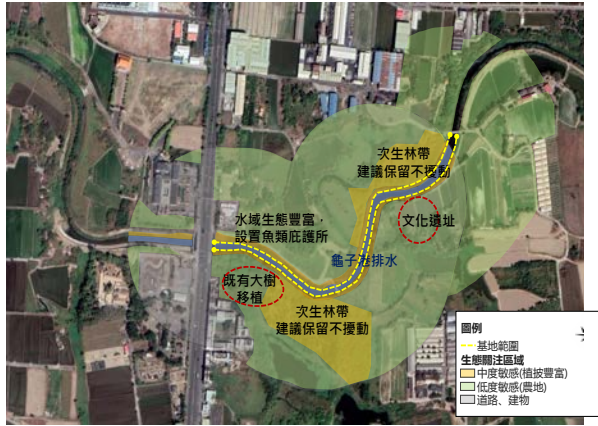
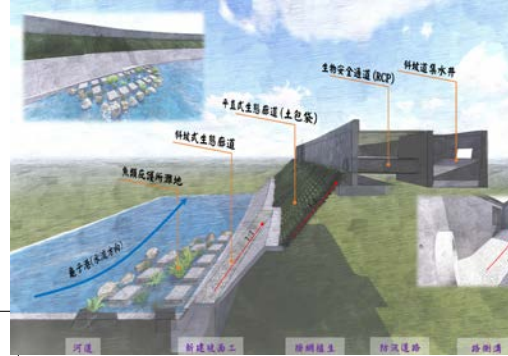


圖 1 生態關注區域圖



資料來源：龜子港排水護岸治理工程暨八老爺滯洪池及應急抽水站治理工程委託測設監造技術服務

圖 2 生態友善措施規劃設計

計畫生態檢核的公民參與-以筏子河流域為例

Citizen Participation in the Objective Ecological Check: Fazih River Basin as an Example

林笈克^{1*}

蔡秉芸²

謝傳鏗²

1.觀察家生態顧問有限公司生態工程部經理

2.觀察家生態顧問有限公司生態工程部研究員

* 通訊作者，Email: jacklin0226@gmail.com

摘要

成熟的公民參與，乃透過資訊取得和公開參與機會，對公共事務貢獻公民個人或團體的經驗、熱情及行動，與公部門共同分擔社會責任，創造公政策的最大效益。近期，公共工程生態檢核機制開宗明訂：為減輕公共工程對生態環境造成的負面影響，秉生態保育、公民參與及資訊公開之原則，以積極創造優質的環境，爰訂定本機制。並說明為落實公民參與精神，工程主辦機關應於計畫核定至工程完工過程中建立民眾協商溝通機制，說明工程辦理原因、工作項目、生態保育策略及預期效益，藉由相互溝通交流，有效推行計畫，達成生態保育目標。2017年啟動之前瞻水環境建設計畫，強調各工程階段都必須落實生態檢核機制，包含公民參與及資訊公開。2021年開始之6年期中央管流域整體改善與調適計畫，更多元的由下而上納入公民參與機制。然而，目前執行方式只是單方向的蒐集資訊淪為政策說明的溝通座談會？抑或透過細緻生態檢核公民參與規範的作業引導，提升公民團體的共同環境意識，進一步行動，協助公共政策開創更大效益，為社會及人民生活環境累積最大福祉？從前瞻水環境建設計畫到中央管流域整體改善與調適，位於水利署中部辦公室旁的筏子河流域，已經由執行單位嘗試發展出透過計畫生態檢核的公民參與作業，盤點關鍵議題，讓公民團體經由計劃引導，常態性的帶領民眾投入水環境的關注與環境維護，提供友善生態建議，填補跨單位間政策整合的空隙。為近年全國水利政策之公民參與，從前瞻水環境建設銜接到中央管流域整體改善與調適計畫，引發人數眾多，時間最密集、持續的公民參與行動。迄今仍持續發展，為水環境公共政策推動，開創嶄新的一頁。

關鍵字：計畫生態檢核、公民參與、前瞻水環境建設計畫、流域整體改善與調適計畫、筏子溪



2018年4月28日筏子溪第一次淨溪(迄今三年持續每兩週由荒野筏子溪平台帶領公民常態淨溪，已超過50次，累計超過4000人次，撿拾超過8500公斤分散於溪流的垃圾)。



經過公民參與提供友善生態建議，河川局進行筏子溪高灘地環境整理。

臺中港監測資料智慧檢核及補遺

Quality Control and Interpolation of Monitoring Data in Taichung Harbor

陳冠宇^{1*} 劉俊志² 蔡立宏³ 林雅雯⁴ 蔡世璿⁵ 陳人玉⁶

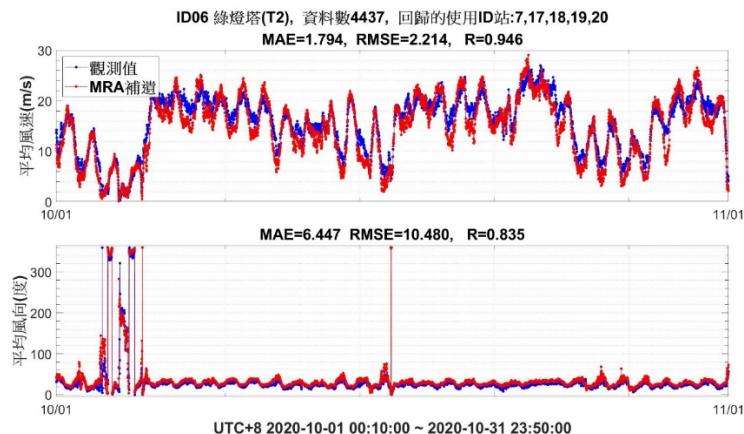
1. 國立中山大學海洋科學系教授
2. 國立中山大學海洋科學系助理研究員
3. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
4. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長
5. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員
6. 國立中山大學海洋科學系研究助理

* 通訊作者，Email: guanyu@faculty.nsysu.edu.tw

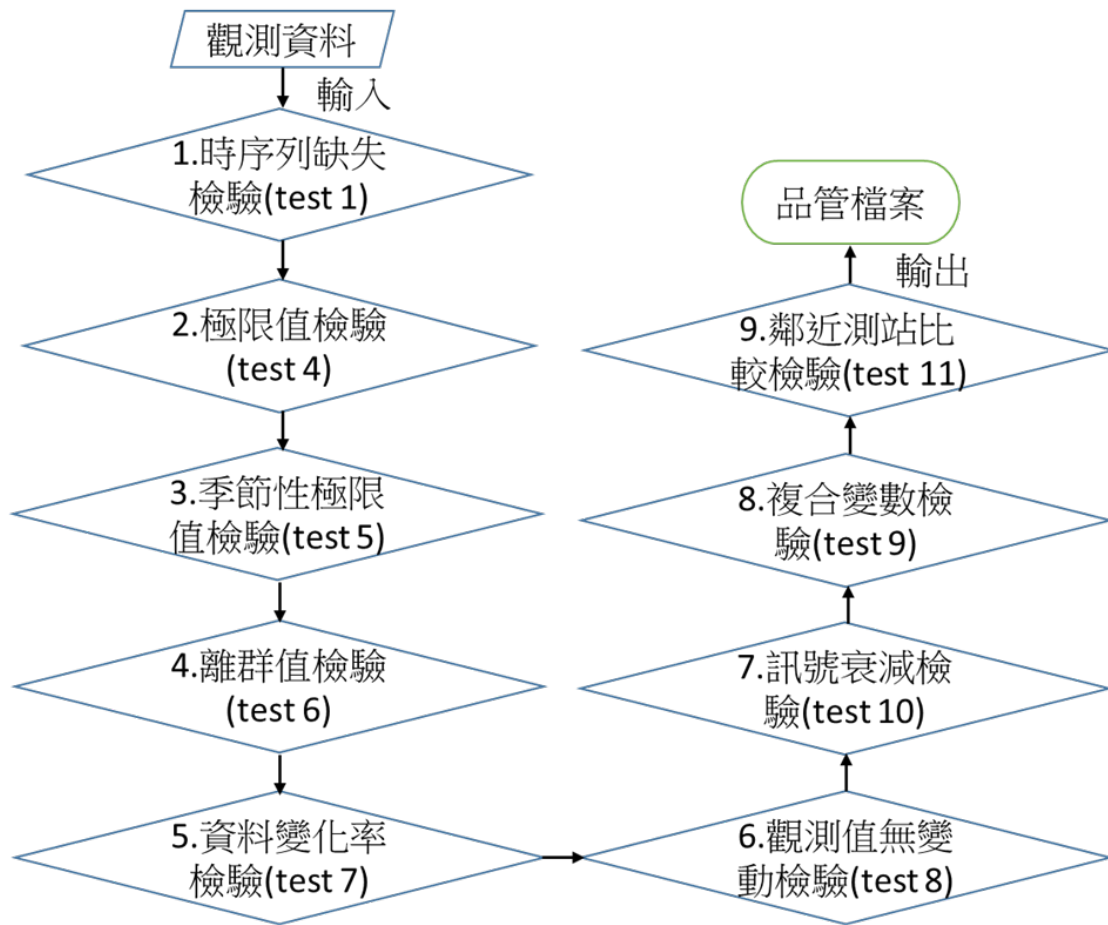
摘要

海氣象資料庫的資料通常是到現場佈放儀器並觀測一段時期後再回收儀器資料並儲存進資料庫。過程中可能受現場環境的短期劇烈干擾導致儀器收訊異常而造成資料品質不佳，或發生儀器故障導致資料缺失。因此觀測後的資料需經資料品管才能避免使用者於後續資料分析產出錯誤的結果，對於缺失的資料則可透過合理的資料補遺來健全資料完整性。本研究參考美國海洋綜合觀測系統(IOOS)的海洋即時資料品保手冊 (QARTOD Manual)所建議的相關檢驗項目及資料狀態標記建立一套自動化品管程序，並對臺中港資料庫的 AWAC 波浪計以及風速計資料進行品管。另外對於未通過品管檢驗的風速資料則使用多元迴歸分析(MRA)和倒遞迴類神經網路(BPN)進行資料補遺來增加資料的可用性。

關鍵字：資料品管、資料補遺、多元迴歸分析、倒遞迴類神經網路



ID6 的平均風速和平均風向 MRA 補遺



波高、周期及風速的品管流程

臺灣周圍海域海面溫度與臺灣月雨量相關性分析

The Relationship between Near-Taiwan Sea Surface Temperature and Monthly Rainfall in Taiwan

莊竣歲^{1*}

蕭政宗²

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生

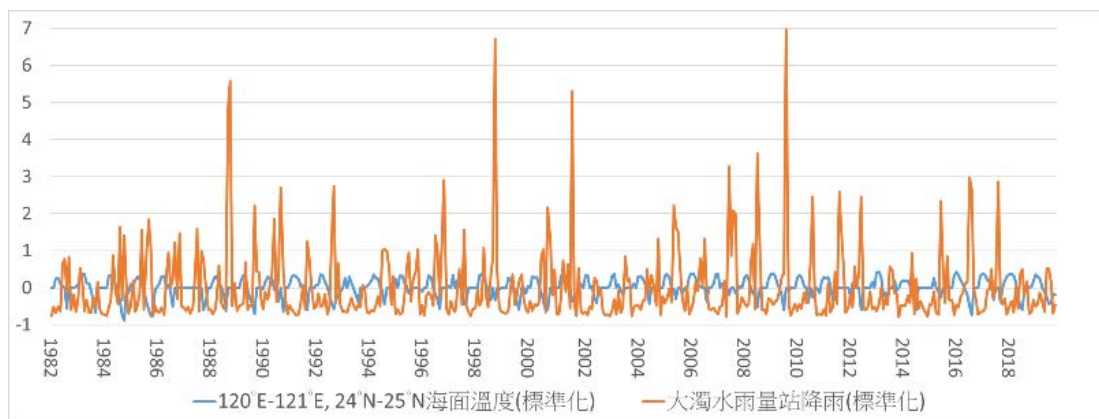
2. 國立成功大學水利及海洋工程學系教授

* 通訊作者，Email: cherisabellearthur1065@gmail.com

摘要

臺灣地區的水資源條件特殊，由於河川多坡陡流急、降雨時空分布不均，造成年平均雨量遠高於世界平均的臺灣，人均可分配到的雨量卻遠低於世界平均值。近年來又因極端氣候加劇，對水資源狀況的掌握以及管理的重要性日益增加。本研究透過分析臺灣周圍海域的海洋表面溫度(sea surface temperature)與雨量的相關性，作為研究臺灣地區雨量特性以及作為雨量預測的參考。本研究蒐集了臺灣地區石碇、天池、屏東、大濁水和頭汴坑共五個雨量站從西元 1982 至 2019 年的月雨量資料，與臺灣周圍從 118°E~126°E、20°N~28°N 範圍內，1°×1°的網格內的月均海面溫度。本研究使用皮爾森積差相關係數(Pearson product-moment correlation coefficient)分析其間的關係。研究結果顯示海面溫度與降雨量多呈現負相關，也就是海面溫度較高時降雨量較少，海面溫度較低時雨量則較為充足。在北部與東部的雨量站中，所有網格的相關係數均分別小於-0.16 和-0.33，結果尤為顯著。

關鍵字：海面溫度、雨量、相關係數、遙相關



120°E~121°E、24°N~25°N 海面溫度與大濁水雨量標準化後關係圖

以決策樹剖析影響雷暴雨之相關氣象因子

Analysis of thunderstorm factors using decision tree

陳心馨¹

許汶芳¹

王柏崙¹

陳憲宗^{2*}

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生

2. 國立成功大學水利及海洋工程學系教授

* 通訊作者，Email: chen@gs.ncku.edu.tw

摘要

本研究目的在於探討影響雷暴雨之相關氣象因子，以提升雷暴雨預報模式之精確性。本研究收集2009至2018年中央氣象局九站氣象站資料，擷取雷暴雨事件及同時刻的氣象資料，利用資料探勘程式WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis) 進行分析，將各項氣象資料置入WEKA程式，以M5P決策樹回歸演算法進行分析，逐步剔除相關性較低之變量，最後保留具有高相關性的重要氣象因子。研究成果顯示氣溫、氣壓、露點溫度及降水時數為影響雷暴雨的重要因子，惟降水時數與雷暴雨之統計相關性可能無法代表因果關係。後續雷暴雨模擬及預報模式的研發，可以本研究為基礎，採納氣溫、氣壓、露點溫度等氣象因子，來增進雷暴雨預報的精確度。

關鍵字：雷暴雨、WEKA 資料探勘模式、M5P 決策樹回歸演算法

註：本研究為陳心馨、許汶芳與王柏崙於逢甲大學水利工程與資源保育學系就讀時之專題論文成果，陳憲宗為任職逢甲大學時之專題指導教授。

河川流量觀測作業流程調整與案例

Modifications of Flow Measurement Operations and Case Study

樺順忠^{1*}

黃國文²

1. 國立臺灣大學水工試驗所 博士後研究

2. 國立臺灣大學水工試驗所 研究員

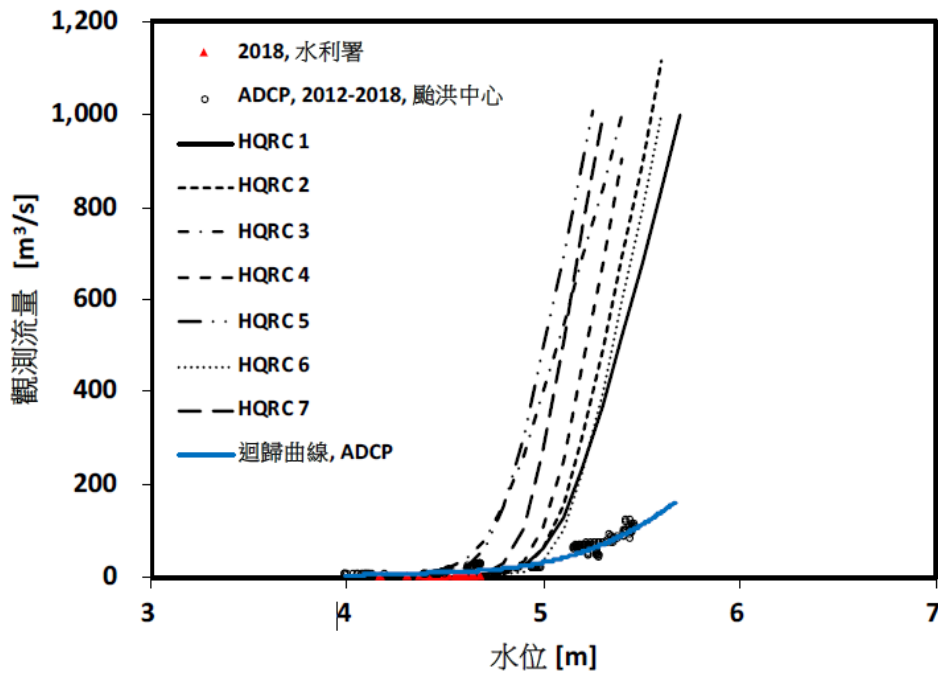
* 通訊作者，Email: yinwei999@gmail.com

摘要

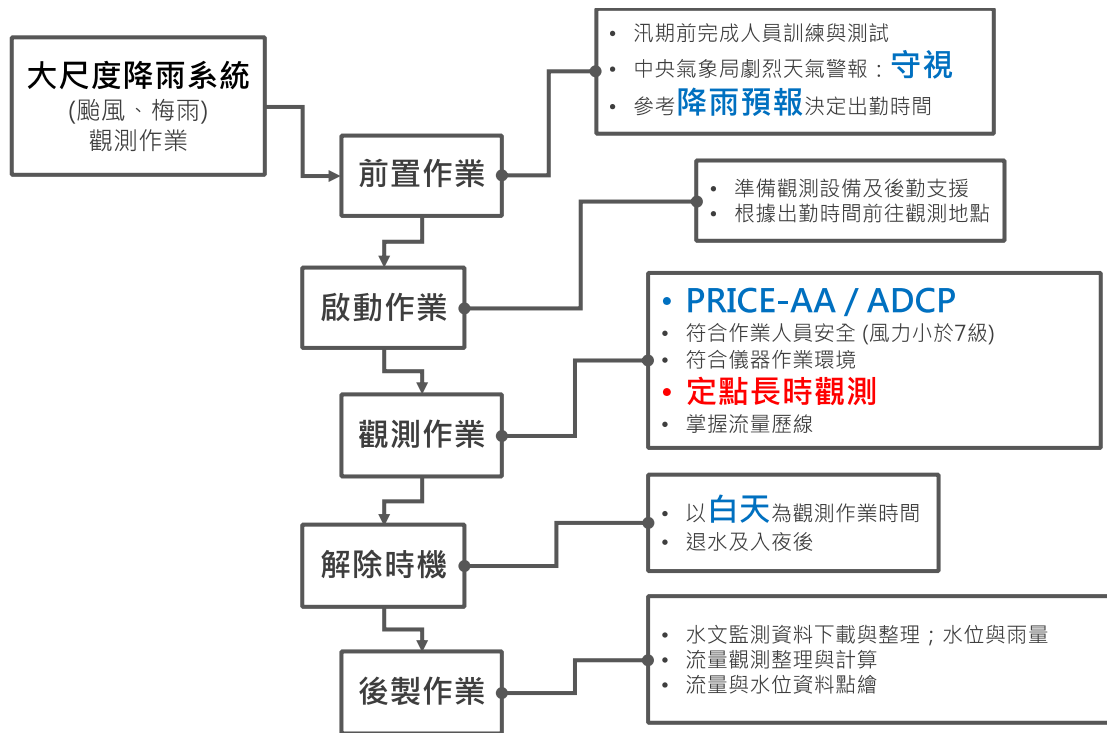
水利署水位流量站利用水位流量率定曲線推求流量，然曲線根據人工觀測流量產製；因此觀測資料影響其可信度甚巨。地面水文觀測手冊規定各測站每年至少進行 30 次人工流量觀測，且依照全洪程觀測標準作業流程於颱風期間進行高流量觀測作業。然而水利署計有水位流量站 100 站，測站數量多但觀測人力不足，使大部分人工觀測流量偏低，產製水位流量率定曲線時缺少高流量資料，而降低高流量推估可信度。如此將影響水文分析與防災應變等加值應用。

目前最大挑戰為測站數量多但觀測人力不足，且於颱風期間無法全面進行各測站高流量觀測；在無法增加觀測人力的情況下，如何有效率累積各測站不同水位的流量資料則為關鍵工作。研究中將降雨系統區分 3 種：1) 大尺度降雨系統：形成持續高水位，如颱風與梅雨；2) 中小尺度對流系統：短延時強降雨造成水位快速漲跌，如午後雷陣雨；3) 未降雨時常流量低水位。參考全洪程觀測標準作業流程中前置、啟動、觀測、解除及後製等步驟擬定 3 種流量觀測作業流程。前置作業中則參考降雨預報資訊決定出勤與觀測時間，如此可提高啟動作業中觀測時機精準度，以提升獲得所需流量資料的機會。觀測作業中有效率累積流量觀測資料的關鍵為「定點長時」觀測，也就是於固定測站進行反覆流量觀測作業，如此可測得不同水位下的流量資料。然而測站的擇定需於前置作業前。為維護作業人員安全僅規劃白天進行觀測。後製作業則包含流量計算及洪水事件水文監測資料彙整分析以，以提供後續水位流量率定曲線製作、水文分析及防災應變檢討。以宜蘭河西門橋為例，2012-2018 年間水利署共有 210 筆人工流量觀測資料，流量低於 5 m³/s 佔 98%，然而在缺乏高流量觀測資料下水位流量率定曲線延伸至 1000 m³/s。相同時間內，團隊採用大尺度降雨系統流量觀測作業流程，並使用聲波都卜勒流速剖面儀進行 14 場洪水事件定點長時流量觀測，觀測流量範圍為 3.27 – 122.36 m³/s。研究成果顯示採用建議的流量觀測作業流程可有效率累積流量資料、提高觀測流量值及提升觀測流量資料分佈均勻程度。

關鍵字：流量觀測作業流程、定點全時觀測、水位流量率定曲線



宜蘭河西門橋人工流量觀測資料與 2018 年水位流量率定曲線



大尺度降雨系統時流量觀測作業流程與操作說明

Association of Precipitation Intensity Classification from Himawari-8 Spectral and Cloud Information

林孟岳^{1*}

劉千義²

1. 國立中央大學大氣物理研究所碩士
 2. 國立中央大學太空及遙測研究中心教授
- * 通訊作者，Email: ncumylin@gmail.com

Abstract

The major challenge of satellite precipitation estimates is how to describe the nonlinear relationship between cloud properties and rainfall rate. The machine learning models have been proved to be powerful tools in solving the nonlinear problems. This research proposes a deep neural network (DNN) method to classify rainy (i.e., heavy (> 10 mm/hr) and light (≤ 10 mm/hr) rain) and non-rainy clouds based on the brightness temperatures (BTs), reflectances (Ref) and cloud microphysical properties derived from the Himawari-8 Advanced Himawari Imager (AHI).

The AHI onboard the Himawari-8 satellite provides 16 spectral bands from the visible (VIS) to infrared (IR) in higher spatiotemporal (10 minutes/ 2 km) and spectral resolutions. In many related studies, the Ref and BTs are used as the “proxy” of cloud properties in the training model. In this study, not only the BT and Ref, the cloud microphysical properties which are retrieved from AHI observation are also used in the training model. The precipitation events used for training and validation are obtained from the Taiwan central weather bureau (CWB) QPESUMS data, covering Taiwan and near sea area in the June 2017. The results indicate that the cloud microphysical properties can help to improve the model performance.

The performance of the proposed method is compared with traditional machine learning methods, including support vector machines (SVMs) and random forest (RF). For rainy area detection, the DNN method outperformed the other methods, with a critical success index (CSI) of 0.51, a probability of detection (POD) of 0.71 and the false alarm rate (FAR) of 0.31.

Keywords: Himawari-8 Advanced Himawari Imager (AHI), Precipitation, Cloud microphysics, Rainy cloud detection

即時偵測淹水感測異常值之實務研究

The Study of Real-time Outlier Detection to Flood Depth Observation from Flood Sensors

張哲豪^{1*}
吳明峰⁵

高英勛²
董書伯⁶

沈志全³

陳柏愷⁴

1*.臺北科技大學土木工程系教授

2.方圖科技股份有限公司技術長

3.方圖科技股份有限公司執行長

4.方圖科技股份有限公司資深工程師

5.方圖科技股份有限公司經理

6.方圖科技股份有限公司營運長

* 通訊作者，Email: chchang@mail.ntut.edu.tw

摘要

在新竹科學園區管理局 MG+4C 計畫的支持下，2016 年研究團隊在台南市設立 16 處淹水感測器至今，短短五年中，經濟部水利署已經在全國廣佈淹水感測器超過 1400 處。這樣的現場觀測資料，除了讓水利機關能夠第一時間掌握淹水動態；更能夠配合模擬計算比對，客觀評估與增進全國淹水模式精確度。然而，設備現場監測數值可能因戶外環境影響，造成觀測上的誤差，例如：無線感測型儀器其感測方向被異物遮蔽、電子零件因高溫或是潮濕故障、或是受到電磁干擾等等，無法回報即時水位，或是出現異常值。當無法回報水位，造成資料缺失(No data)相對容易判定，但是異常值就可能造成後續淹水情勢判讀的失誤。

在目前淹水感測資料仍是空間單點的情況下，許多應用時機需要由點到面，推估淹水影響範圍者，就需要以多個淹水感測器觀測資料，對應同一時間的淹水模擬範圍，採用即時校正(RealTime Correction, 簡稱 RTC)技術，以合理可靠推估淹水範圍。在這種應用情境下，若是淹水感測器的資料不正確，即使計算過程與範圍都是合理，但也會造成顯著偏估值。

因此，本研究從實務使用經驗上，提出一系列淹水感測器觀測異常的偵測方式，包含：

1. 資料中斷確認；
2. 數值上下限設定；
3. 判斷合理水位上升速度區間；
4. 與鄰近環境比較；

- (1) 雨量值比對
- (2) 其他站時序列比對
- (3) 淹水模擬值比對

研究根據此四項原則，並以目前觀測內容比較後，選擇相關門檻值，作為目前判斷依據。並將持續修正，以繼續發展出各局部地區的參考經驗。

關鍵字：淹水感測器、異常值、即時校正、淹水預警

互動式淹水模擬工具

Interactive Flood Simulation Tool

許永佳^{1*}

陳冠維²

1. 荷蘭商青蛙科技有限公司亞太分公司總監
 2. 國立中央大學災害防治研究中心研究助理
- * 通訊作者，Email: yhsu1978@gmail.com

摘要

每個人對於水利工程規劃都有自己的想法，想像水利單位召開公聽會時，民眾對於抽水站、滯洪池的設置地點、容量大小、形狀都會有不同的意見，然而這些意見若無法即時量化回應的話，常使公聽會難以聚焦，需重新模擬多次與重複多次公聽會才有共識。為提升溝通的效率並有效使用巨量的光達地形資料(LiDAR DEM)，荷蘭台夫特科技大學(TU Delft)、青蛙科技(Nelen en Schuurmans)、Deltares 於 2009 年開始研發 3Di 淹水模擬軟體。3Di 為荷蘭新一代的淹水模擬軟體，整合一維與二維動力波方程式於一個計算核心，減少一維二維耦合的誤差外，二維網格採用四分樹(quadtrees)法與子網格(subgrid)法，使計算能夠加速外，亦能保持計算的準確性與高解析度，高解析度的地形可容易描述都市的複雜地形，例如建築地基墊高、人行道、路冠與路肩的地形；此外，為能使不同領域專家非專家間的有效溝通，3Di 採用 on-the-fly 技術，可在計算時修改二維網格(例如滯洪池、沙包)、一維資料(下水道、水工結構物)、移動式抽水機等(如圖 1 所示)，並即時呈現模擬結果。本研究以台南市鹽水溪與二仁溪包圍的區域為例，以減少崑大路積淹水為目標，進行不同方案為探討，其中以崑山科技大學行政大樓前的草皮改為低地公園可有效減少崑大路積淹水狀況(如圖 2 所示)。

關鍵字：淹水模擬、四分樹法、子網格法、互動式

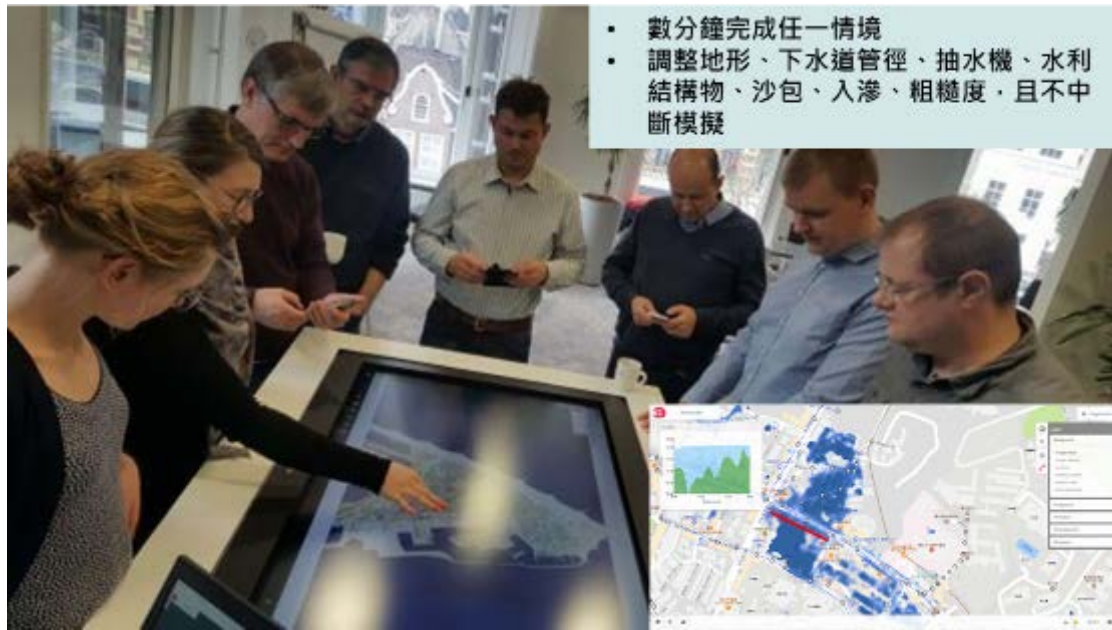


圖 1 互動式淹水模擬提供溝通效率



圖 2 崑山科技大學內草坪改為低地公園後的淹水差異

應用二維水理輸砂模式探討淤砂治理工程效益之研究

— 以箔子寮防潮閘門為例

Using a 2D Hydrodynamic Model to Assess the Dredging Efficiency

— An Example of Floodgate In Boziliao

盧錫彥^{1*}

詹勳全²

許宏博³

黃文宏⁴

1. 益州科技股份有限公司經理／國立中興大學土木工程學系博士

2. 國立中興大學水土保持學系教授

3. 雲林縣政府水利處處長

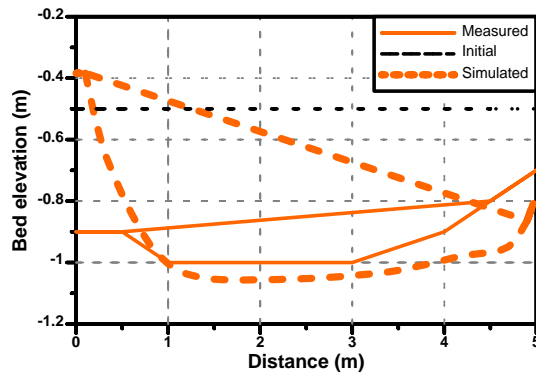
4. 雲林縣政府水利處防洪維護科科長

* 通訊作者，Email: lsy19870216@hotmail.com

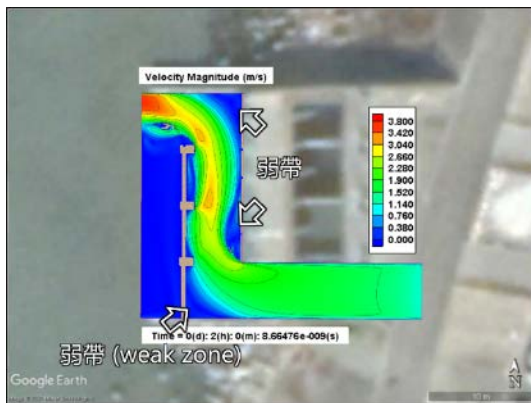
摘要

近年相關研究顯示雲林海岸天然輸砂條件產生變化，相繼延伸環境變遷之課題，如箔子寮沙洲逐年往向岸推移，灘線之變遷影響離岸水深變化外，對防洪維護管理亦造成間接影響，海堤之防潮閘門開度受水深、輸砂變化逐漸遞減。環境變遷所造成的淤砂現象係屬長期治理範疇，所需之清疏經費可觀。為考量節約經費開支，本研究模擬擋板導流之方式，藉由日常機械排水流量沖刷閘門出口渠道，評析減淤清疏成效。本研究遂採用美國密西西比大學之國家計算水科學及工程中心（National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE）所發展出的二維水理輸砂模式 CCHE-2D，模擬箔子寮防潮閘門擋板導流之清疏方案，透過計算平面流場及泥砂運移，評估清疏方案之預期效益。檢定結果顯示，檢定斷面中僅 1 至 2 個網格資料，與實際沖淤趨勢相異；其餘網格皆與實際沖淤趨勢相符，且與實測值之差異皆小於 0.2 m。清疏方案之模擬結果，以既有之溝槽設置防洪擋板引導水流流路，可望藉由日常機械排水流量將渠道大部份之淤砂清除，然對於防潮閘門出口處之淤砂清理效益仍有限。但採用數值模式進行治理工程預期效益評估，有效縮短工程方案研擬時間與所需資源，研究成果可供後續淤砂治理、數值模式應用之參考。

關鍵字：水理輸砂模式、清疏成效、箔子寮沙洲



檢定斷面之計算成果(總模擬時間 7,200 秒)



流速分佈模擬結果



底床變化量模擬結果

擋板導流之清疏方案

螺桿式水輪機尺度選定與置槽水理之經驗參數探討

Empirical parameters for selecting screw-type turbine dimension and its deploying hydraulics

陳柏智¹

吳國才²

賴泉基^{3*}

張茂崑⁴

1. 國立成功大學水工試驗所研究助理
 2. 國立成功大學水工試驗所助理研究員
 3. 國立成功大學水利及海洋工程學系兼任教授
 4. 阿丹馬克川流綠電執行長
- * 通訊作者，Email: laicj@mail.ncku.edu.tw

摘要

阿基米德螺桿型水輪機(AST)為可置入通水路，取能發電的系統(在槽系統)，近 20 年來，在歐洲早有此型水輪機建置成功運轉，這些成功運轉的實例尺度，如水輪機外徑(OD)、旋轉速度(RPM)，與設計流量關係，大致可回歸成一經驗式，如圖 1 所示。台灣之灌溉水路中，已被建議使用此 AST 系統產電，圖 1 中之經驗式，正可作為先期規劃時，引用以決定 AST 之尺寸(OD 桿長等)，作為後續細部設計之依據。

又欲評估在槽 AST，對原渠道之影響與改善方案之水理問題，使用工程界熟知之 HEC-RAS 模式，有快速、穩定的優點，而又恰好 HEC-RAS 內具有「通洪阻礙物」(Conveyance Obstructions)的設定功能，因此可由如圖 2 所示之水輪機通水取能計算法，合宜的模擬水輪機通水取能的效果，由於 AST 之理想過水深為 OD 之半，因此設阻礙物通洪面積為 50%，而 AST 獲取能量於是可由率定之曼寧 n 所消能提供。應用此計算法，於實際案例計算結果如圖 3 所示，於此案例計算，率定之曼寧 n 為 0.4，觀察水輪機段之模擬水面線，呈現為陡坡渠道緩變流水剖面特徵，近水輪機尾端之水面變化合理，被水輪機所擷取能量為 3.45m(219.72-216.27)，可合宜的求得。

於工程先期評估期，運用本文所建議之 AST 經驗參數曲線，可方便求得 AST 基本尺寸，固然回歸曲線來源為成功之案例，但水輪機建置相當具有地域性，因此仍應於細部設計階段，經由水工模型試驗加以優化確認。至於引用類比水輪機渠道消能取能概念，於 HEC-RAS 模式計算 AST 通水段之水理現象，雖為權宜之計，但卻有合宜的計算結果，因此推薦，可以應用此類比渠道消能取能的概念，於類似的水理計算研究中。

關鍵字：Archimedes screw turbine, HEC-RAS, Empirical parameters, Effective head, Roughness coefficient n

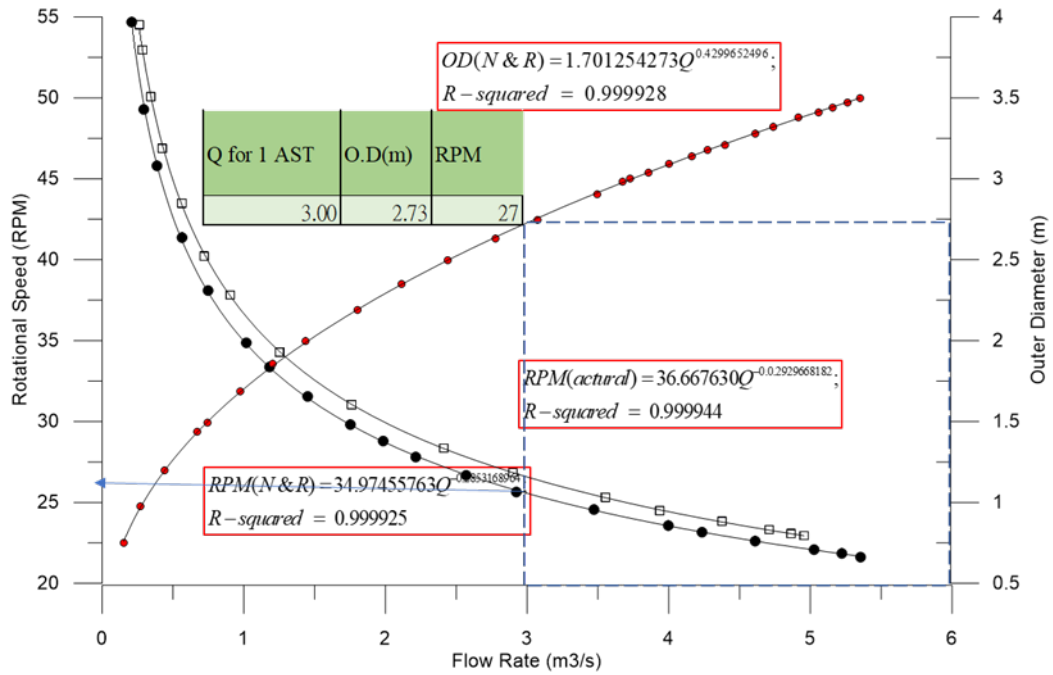


圖 1 螺桿形水輪機設計參數經驗值曲線 (原資料取自 Lashofer, et.al., 2012)

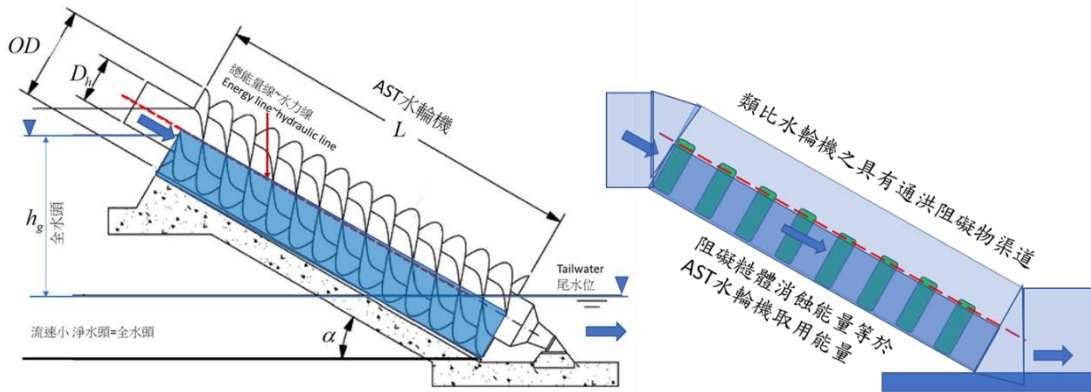


圖 2 具通洪阻礙物之類比水輪機渠道消能取能概念圖

(HECRAS 設定通水面積 50%，而 AST 獲取能量由曼寧 n 之消能提供)

曾文水庫 PRO 風速改善－ 通氣斜坑規劃設計案例探討

Improve the air quantity of PRO in Zengwen Reservoir — case study of the oblique tunnel plan and design

曾炫學¹

林信宏^{2*}

1.經濟部水利署南區水資源局正工程司

2.聯合大地工程顧問股份有限公司組長

* 通訊作者，Email: ug822@mail.ugi.com.tw

摘要

曾文水庫為增進防淤功能，將既有永久河道放水道(Permanent river outlet, PRO)之何本閘改為全水流斷面的射流閘門，年平均排砂量可增加 56 萬立方公尺。惟 PRO 操作時引致施工維護隧道風速達 12 級颶風，PRO 通氣隧道風速達 9 級烈風，故為維護現場人員安全，規劃設計通氣斜坑增加補氣量，以改善 PRO 操作風速過高現象。本文首先回顧基本設計階段利用現地風速觀測及三維數值模擬，掌握 PRO 操作過程之通氣需求，並研擬 PRO 操作風速改善策略。接著闡述 PRO 通氣斜坑之細部設計成果，包括斜坑洞口佈置、斜坑開挖支撐評估、斜坑與 PRO 閘室銜接方式等。最後說明規劃設計面臨之困難與對策研擬，期望能提供未來類似工程參考。

關鍵字：PRO、風速改善、斜坑

Abstract

In order to improve the anti-siltation function of Zengwen Reservoir, the existing permanent river outlet (Pro) Howell-Bunger valve was changed to a jet gate with full flow section, which can increase the annual average sand discharge by 560,000 cubic meters. However, the operation of PRO caused the air speed of the construction and maintenance tunnel to reach a level 12 hurricane, and the air speed of the PRO ventilation tunnel reached a level 9 gale. Therefore, in order to maintain the safety of on-site personnel, the ventilation inclined tunnel was planned and designed to increase the air supply to improve the air quantity of PRO operation. This article first reviews the use of on-site air speed monitoring and three-dimensional numerical simulations in the basic design stage to grasp the ventilation requirements of the PRO operation

process, and develop strategies for improving the air quantity of PRO. Next, the detailed design results of the PRO ventilation inclined tunnel are described, including the layout of the inclined tunnel opening, the evaluation of the support of the inclined tunnel excavation, and the connection method of the inclined tunnel and the PRO lock chamber. Finally, it explains the difficulties faced by planning and design and the development of countermeasures, and hopes to provide references for similar projects in the future.

Keywords: permanent river outlet, improve the air quantity, oblique tunnel.

Debris-2D 應用於 2015 年 8 月蘇迪勒颱風合流部落 土石流事件模擬

Debris-2D Model Apply to Simulate a Debris Flow Disaster on He-Liu Tribe During Typhoon Soudelor Strummed in August 2015

許峪萇¹

張德鑫^{2*}

1. 中原大學土木系兼任助理教授

2. 中原大學土木系教授

* 通訊作者，Email: yucharnhsu@gmail.com

摘要

2021 年 7 月 3 日上午 10 時 30 分左右(日本時間)在日本靜岡縣熱海市伊豆山地區不幸發生土石流致災事件，導致至少 10 棟民宅遭沖毀以及約 20 人下落不明，土石流儼然已是坡地災害防治重要課題之一。若能夠提早瞭解土石流影響範圍與致災規模，就可以避開危險區域並提早佈署治理工程與防救災資源，減輕土石流災害可能造成的損失與傷亡。據此，本文透過 Debris-2D 模式進行土石流事件模擬評估，呈現土石流致災過程的影響範圍、流速與流深的時序變化，依據相關資訊詮釋土石流的致災規模。2015 年 8 月 8 日蘇迪勒颱風侵襲期間，造成桃園復興區的合流部落上游集水區發生邊坡淺層崩滑，崩滑料源因為颱風持續降雨影響形成土石流並導致 15 戶民宅受到掩埋，該事件因為復興區公所提早疏散撤離故無人傷亡。本文以合流部落案例進行土石流模擬，分別透過(1)災後衛星影像比對土石流影響範圍模擬成果，(2)災後現地調查照片比對模擬的堆積深度進行驗證，(3)當地居民對災情的陳述比對來驗證土石流致災時間歷程的模擬結果進行土石流災害模擬的成果驗證說明。Debris-2D 應用於合流部落土石流事件模擬成果顯示影響範圍的模擬成果與災後土石流堆積扇的衛星照片非常吻合災，堆積區的深度與災後調查照片亦能符合地貌的變化，透過流深、流速與影響範圍時序變化的動畫製作，更能進一步對土石流致災歷程進行展示與詮釋。

關鍵字：Debris-2D 模式、土石流、致災規模

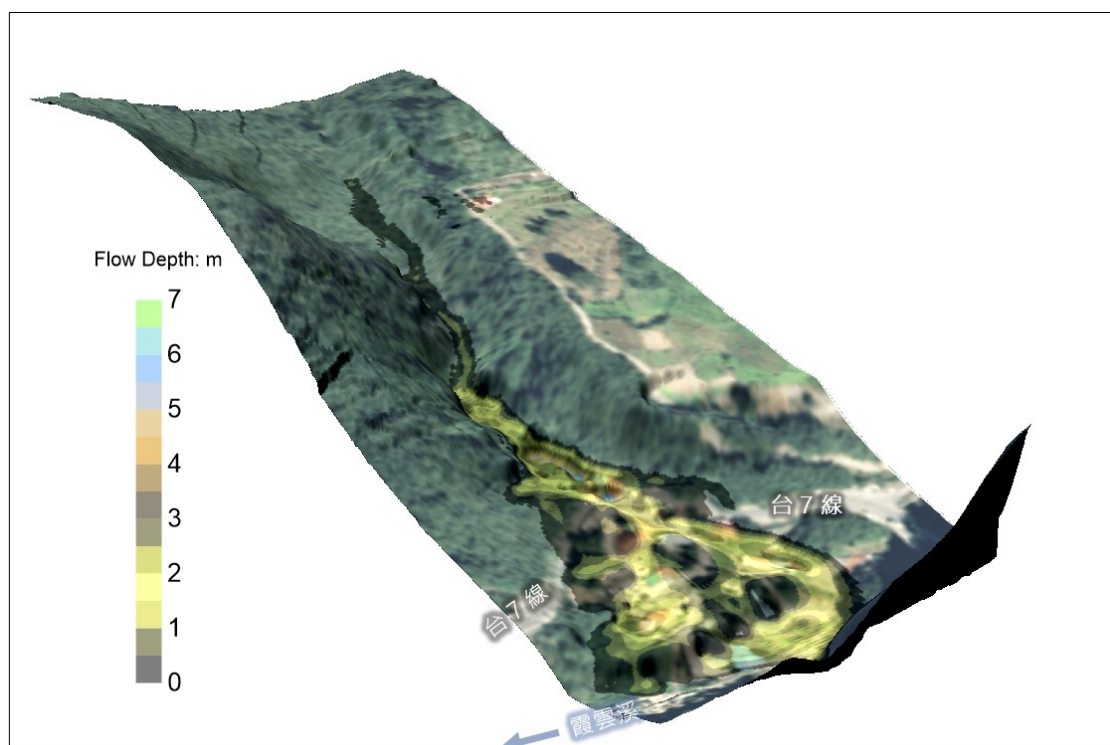


圖 1 合流部落土石流影響範圍模擬結果

台北市 0604 高精度淹水模擬

Reconstruction of Taipei 0604 Flood Inundation Event

許永佳¹

陳冠維^{2*}

1. 荷蘭商青蛙科技有限公司亞太分公司總監
 2. 國立中央大學災害防治研究中心研究助理
- * 通訊作者，Email: wayne32545@gmail.com

摘要

2021 年 6 月 4 日下午發生大豪雨，造成台北市超過 400 件的淹水災情，最大降雨強度位於台灣大學雨量站，強度達 209mm/hr；平均而言，台北市中央區最大降雨強度約為 120mm/hr。兩者均與大於目前的排水設計標準 78.8mm/hr。台北市政府與荷蘭烏特勒支於 2019 年簽署合作備忘錄，並開始兩市的科學技術合作。本研究利用 3Di 淹水模擬軟體建置台北市中央區淹水模型，採用光達數值高程地形(LiDAR DEM)、粗糙度(friction)、入滲係數(infiltration)、截留(interception)、下水道系統、抽水站等資料，上述二維網格像素達 1 億 5000 萬與超過 1 萬個一維計算節點，高解析度的地形可容易描述都市的複雜地形，例如建築地基墊高、人行道、路冠與路肩的地形。3Di 為荷蘭新一代的淹水模擬軟體，整合一維與二維動力波方程式於一個計算核心，減少一維二維耦合的誤差外，二維網格採用四分樹(quadtree)法與子網格(subgrid)法，使計算能夠加速外，亦能保持計算的準確性與解析度。在 0604 模擬上，降雨方面採用台北市雨量站紀錄，以 IDW(inverse distance weighting)方法進行空間內插，製作時序列空間降雨網格(NetCDF)進行 0604 淹水模擬，結果顯示淹水模擬結果與照片淹水有高度相似(圖 1、圖 2)；此外，本研究亦初步探討下水道設計方法的改進空間：(1)人孔次集水區的假設、(2)二維水與一維水的交換等問題。對於都市排水治理改善，可提供未來未來排水系統改善方向。

關鍵字：設計標準、淹水模擬、四分樹法、子網格法

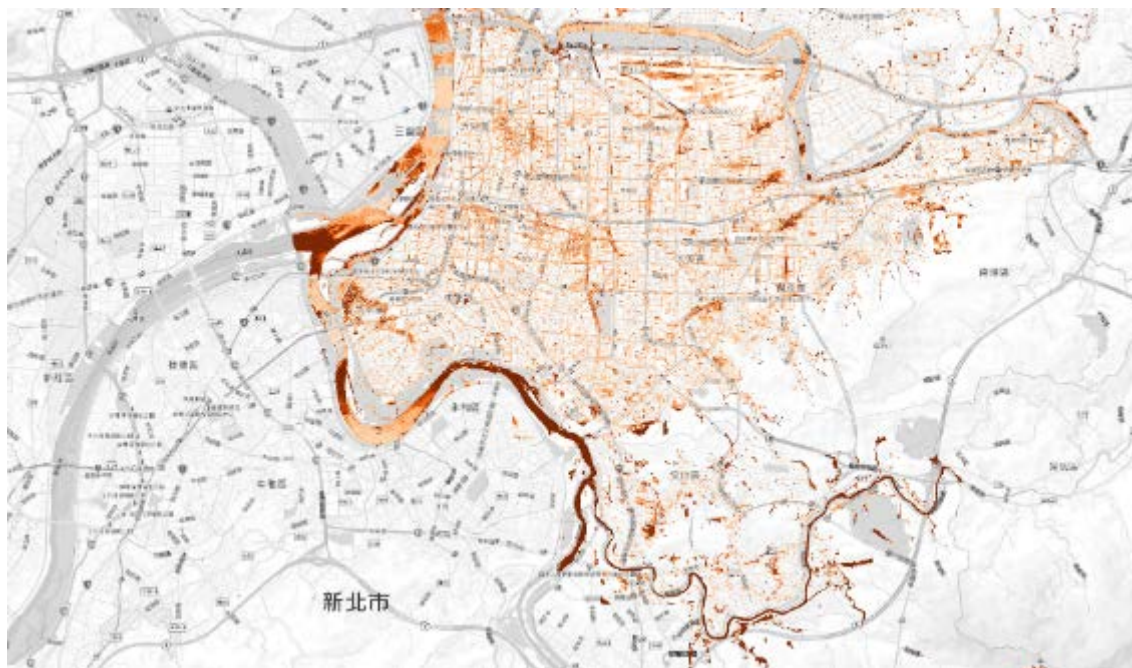


圖 1 台北市中央區 0604 淹水模擬結果



圖 2 台北市信義區 0604 淹水模擬結果與淹水照片比對

應用水文與邊坡理論建置南勢溪崩塌預警模式

Development landslide warning system in Nanshi River based on hydrological model and slope-instability analysis

何瑞益^{1*}

王俞婷^{2*}

劉哲欣¹

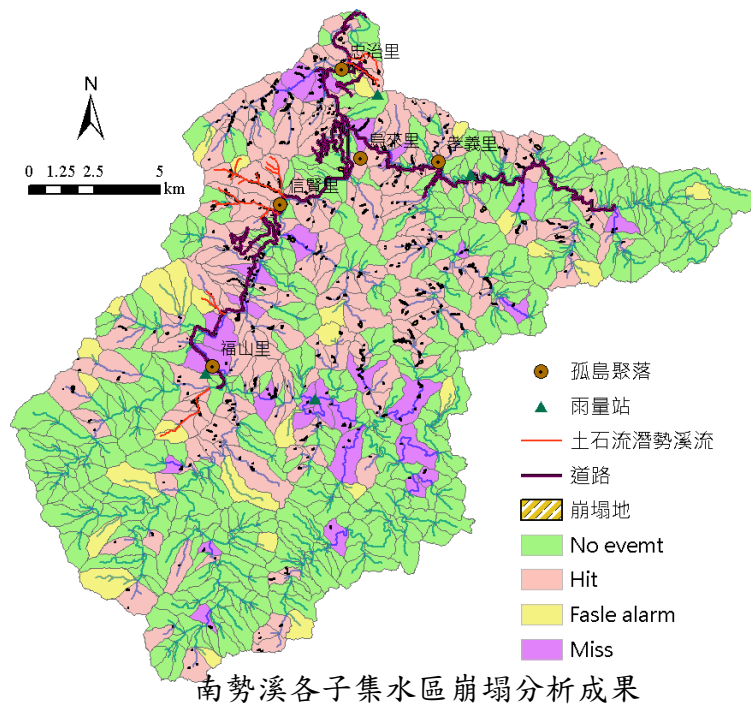
張志新³

1. 國家災害防救科技中心坡地與洪旱組副研究員
 2. 國家災害防救科技中心坡地與洪旱組助理研究員
 3. 國家災害防救科技中心坡地與洪旱組研究員/組長
- * 通訊作者，Email: juiyiho@ncdr.nat.gov.tw

摘要

本研究採用地形性水文模式與無限邊坡穩定分析理論為基礎，建置 SIMTOP 模式(Shallow Landslide Prediction Based on Infinite Slope Model and TOPMODEL)。選用新店溪上游南勢溪流域與重大颱風事件進行模式測試，同時採用崩塌捕捉率、誤報率、預兆得分以及正確率，以評估 SIMTOP 模式之崩塌預警能力。針對蘇迪勒颱風於新店溪上游全流域淺層崩塌模擬，崩塌可偵測率(POD)為 0.864，誤報率(FAR)為 0.132，以及預兆得分(TS)為 0.764，是以 SIMTOP 淺層崩塌預警模式之模擬結果大致與崩塌紀錄相符。

關鍵字：崩塌預警模式、地形性水文模式、無限邊坡穩定



地文因子於淹水面積之探討

Investigation of physiographic factors on the inundation area

張國楨¹

李雅鈞^{1,2*}

傅金城²

葉家承²

1. 國立臺灣師範大學地理學系

2. 國家災害防救科技中心

* 通訊作者，Email: lgmdfgh17@gmail.com

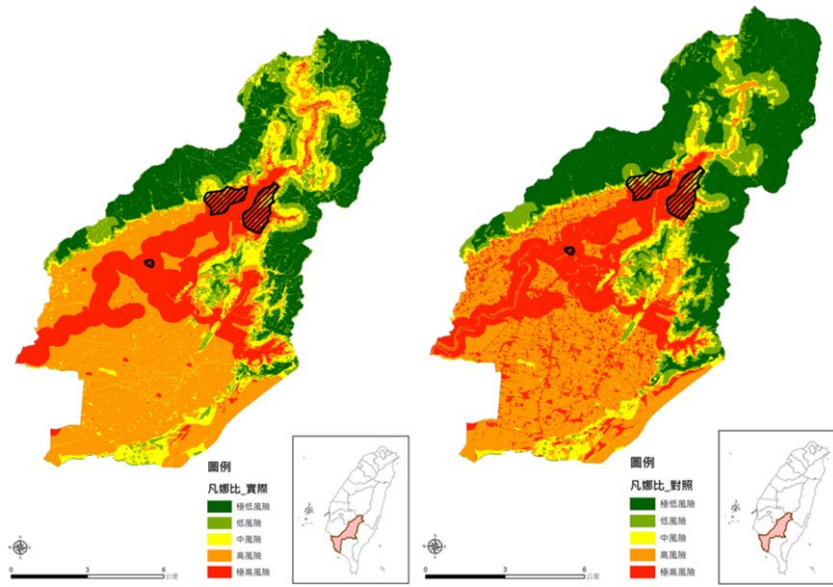
摘要

台灣面臨多樣的災害威脅，以洪水災害為主要影響台灣的災害類別，因此有許多關於淹水相關的研究，其中地文因子為許多研究中會使用到的資料，於此本研究主要探討如何建立地文因子與淹水面積之間的關係式，將地文因子依據不同的資料類型進行級距的分類，劃分為不同的級距後探討於不同歷史淹水事件中，各級距所對應的淹水面積，進行關係式的建立。

本研究主要利用坡地、高程、土地利用、土壤、距離主要河川距離等五種常被使用的地文因子，進行高雄市美濃區淹水面積的探討，運用 2008 年至 2018 年所蒐集的歷史淹水資料，取其 24 小時累積最大雨量資料，將雨量設為自變數、淹水面積設為對應的應變數，計算不同級距中的淹水面積狀況，用於了解不同的級距的淹水風險高低。

經由研究結果顯示地文因子不同級距中對於淹水面積的影響最大的級距包括：坡地因子的一級坡、高程的 <110 公尺、土地利用的農業使用利用、土壤的沖積土、距離主要河川距離的 300 公尺，上述級距為不同災害事件中受淹水面積影響較大之級距區間。經由凡那比颱風的 24 小時累積最大雨量 461mm 帶入後，估算的淹水面積約為 1.3545 平方公里，實際調查的淹水面積為 2.4100 平方公里，將淹水面積轉換為淹水風險的空間分佈，估算與實際兩者的所產製的淹水風險圖中淹水範圍與極高風險、高風險區域大致相符，顯示以地文因子於估算淹水面積的應用是可行的。因此，透過地文因子不同級距所得出的降雨量與淹水面積關係式後，當輸入不同降雨量時，可以推估出不同級距間所對應的淹水面積，進而掌握美濃區在不同降雨量下可能的淹水面積，有助於相關防災工作的參考依據。

關鍵字：地文因子、雨量、淹水面積



1. 凡娜比颱風_淹水風險圖

網格式淹水損失推估於水災風險地圖製作之應用

Application for Flood Risk Maps of Grid Formats of Flood Disaster Loss Assessment

周志興¹

嚴敏華^{2*}

劉敏梧³

- 1.經濟部水利署水利規劃試驗所／正工程司
 - 2.經濟部水利署水利規劃試驗所／工程員
 - 3.經濟部水利署水利規劃試驗所／研究員兼課長
- * 通訊作者，Email: ara1249@wrap.gov.tw

摘要

為因應氣候變遷下極端氣候挑戰，需要更積極從災難管理轉為風險管理，國內對於水患治理經常透過淹水潛勢圖資反映某一區域在特定環境及特定水文事件情境下之可能淹水危害情況，惟未能顯示相關人身財產損失，然淹水事件發生時並不必然一定致災，與受淹水區域自身承洪韌性有關。本研究依據 ISO31000 的風險管理原理(圖 1)，建構完整的水災風險評估體系，提供水災風險地圖製作，採用第三代淹水潛勢圖 24 小時 2 年、5 年、10 年、25 年、100 年、200 年及 500 年進行各重現期距下之水理演算的淹水範圍及淹水深度，將淹水深度-頻率曲線積分後，經分析後先建立相關淹水危害潛勢圖，即「年平均淹水深度」的空間分布，再透過經濟部水利署水利規劃試驗所 2016 完成之淹水災害損失評估系統配合社會經濟圖資套繪，推估各種土地利用型態之暴露量，可建立該區域之損失-頻率曲線(Damage-Frequency curve)，將損失-頻率曲線積分後，即可建置該區域之水災災害潛勢圖，即「年平均損失(Expected Annual Damages, EAD)」的空間分布，可提供未來在水災風險管理(圖 2)上之應用參考。本研究之年平均淹水深度與年平均淹水損失兩者概念不同，可藉由年平均淹水深度瞭解長期下來該區域屬於淹水嚴重的區域，然而淹水嚴重的區域不一定有較多的經濟活動或是當發生淹水時會產生較大損失的產業，故若欲知道長期下來，區域內的損失狀況，可由年平均淹水損失產製之水災風險地圖(圖 3)瞭解災害損失的程度，提供水利規劃方案選定時，依據水災損失風險地圖中災損分佈較為嚴重的區域，納入優先建議改善區域之參考。

關鍵字：淹水損失、淹水損失管理系統、水災風險管理、淹水潛勢圖

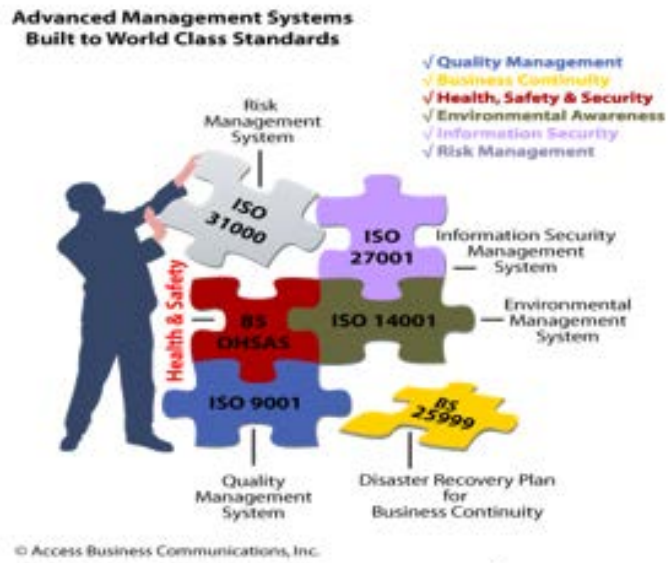


圖 1 ISO31000 風險管理

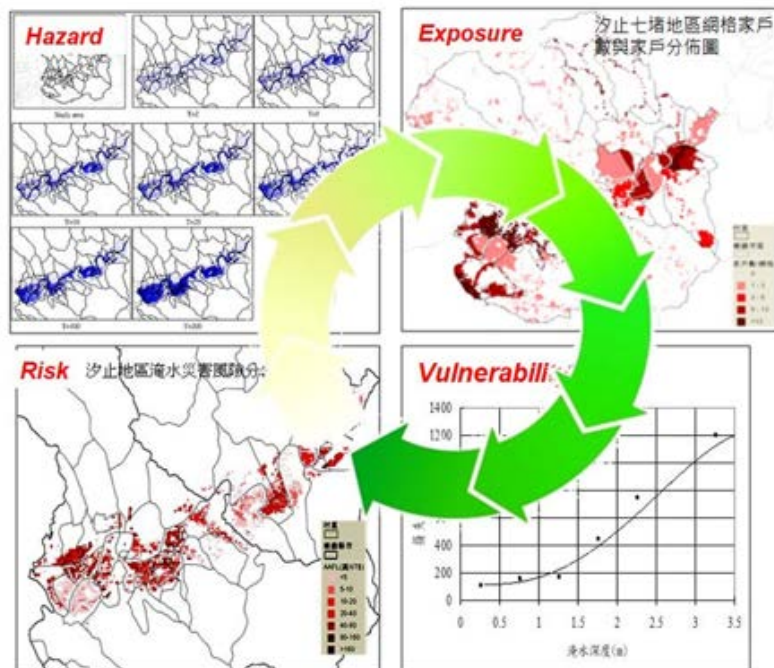
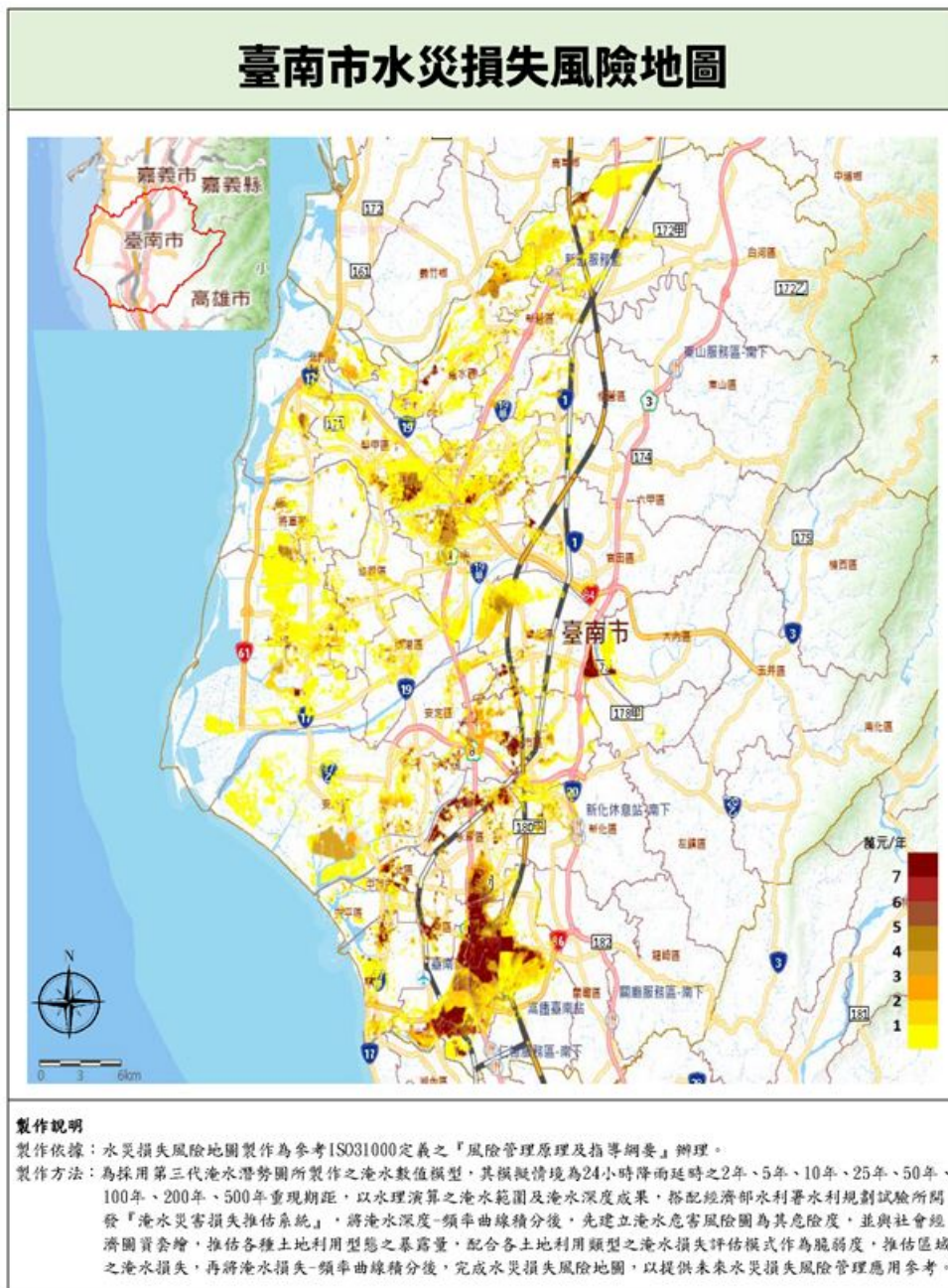


圖 2 水災風險管理



經濟部水利署水利規劃試驗所 109年12月製作

圖 3 水災損失風險地圖(以臺南市為例)

以無人機建置三維模型應用於水災空間資訊

Three-Dimensional Model Built with Unmanned Aerial Vehicle Applied to Flood Prevention Map

徐宏璋^{1*}

1.經濟部水利署第一河川局工程員

* 通訊作者，Email: i600090@gmail.com

摘要

為即時洪災應變，亟需重視於短時間內可提供救災與防災的決策支援，目前多僅以二維平面呈現或至現場處置，如能加值實景三維模型於防災資訊圖台，可事前預防與有效率的疏散避難，另亦可做為淹水模擬之模式應用，應有助於防救災之效能。

因此，本研究利用航空傾斜攝影 (Oblique Photogrammetry) 測繪獲取真實三維場景資訊，研究區域位於冬山河排水支流羅東北水網集水區，航測範圍 8 平方公里，使用多旋翼無人機搭載五向傾斜相機，以大範圍、高解析度及高精度航拍，同時採集不同視角的影像資料，提升作業效能，在飛行任務航線相對航高 265 公尺，前向與側向重疊率分別為 65%、72%，拍攝近 3.6 萬張影像；使用 ContextCapture 計算軟體建置三維模型，先進行空中三角測量計算檢核與修正特徵點的相對座標，以確保控制點設定正確與增進建模穩定度，再進行前方交會獲取密集三維點雲，並以內插方式建立數值地表模型，重建出以實際拍攝照片為紋理之三維模型，獲取最新、高精度之地形與建物實際外觀。

本研究航測區域之正射影像成果，地面解析度 3.2cm 及檢核平面量測精度 RMS 15 公分，數值地表模型成果之檢核高程精度 RMS 9 公分，三維模型成果之檢核水平與高程精度皆小於 25 公分，於 8 米寬道路之建物模型符合 LoD3 (Level of Detail 3)，可呈現屋頂屋簷結構、陽臺和雨遮等凸出物之細緻建築。

關鍵字：無人機、三維模型、水災空間資訊

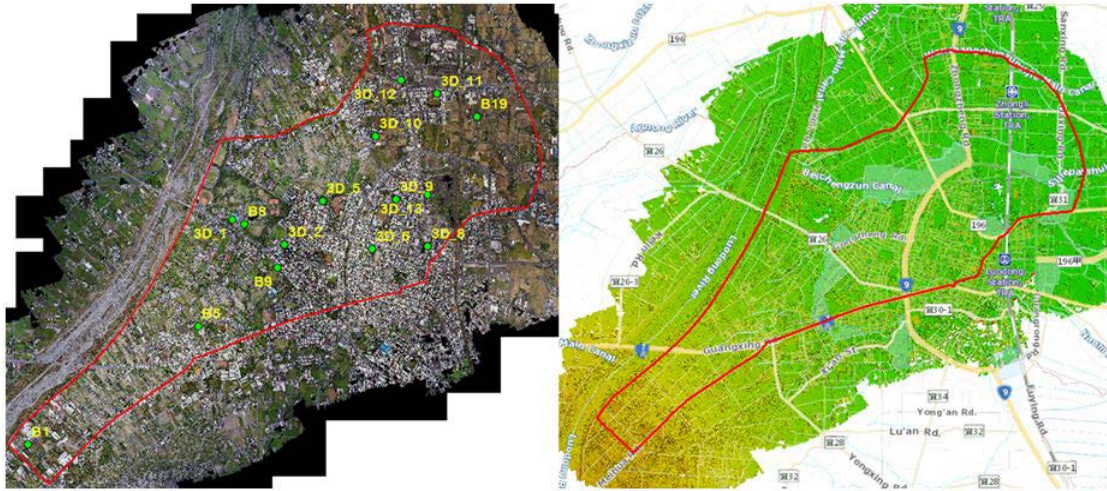


圖 1 羅東北水網集水區正射影像(左)、數值地表模型(右)

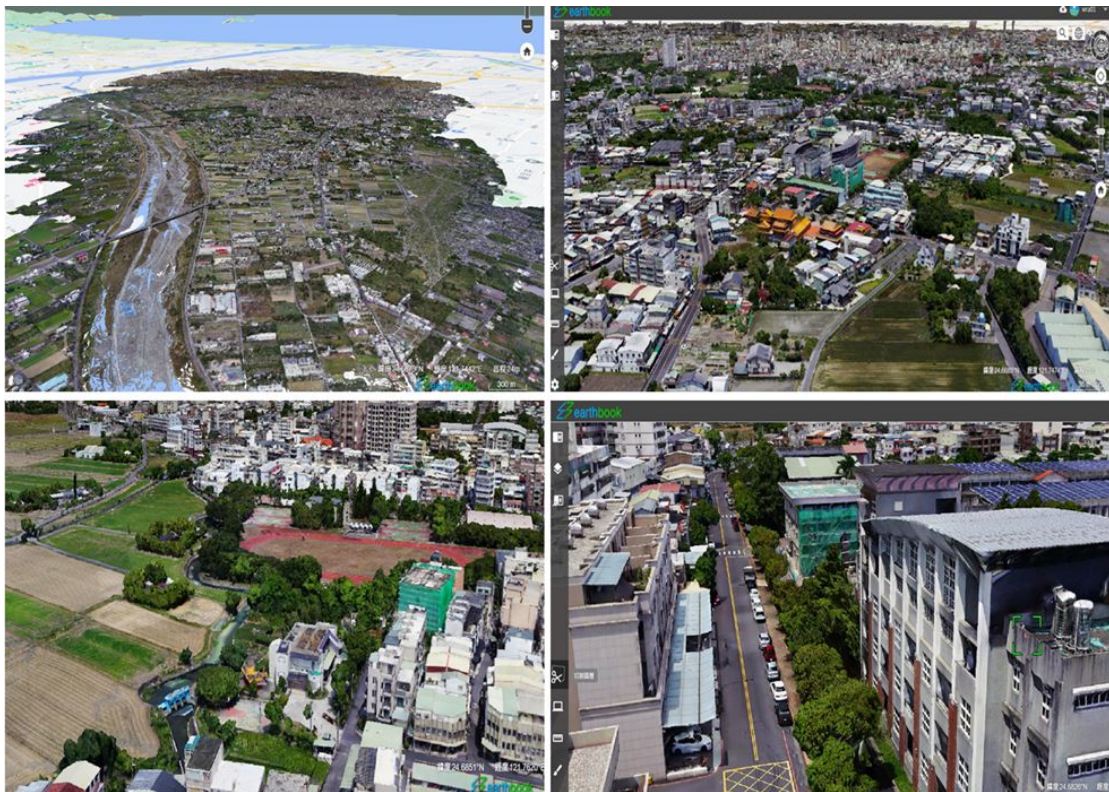


圖 2 羅東北水網集水區三維模型

甲仙攔河堰下游淘刷課題探討

Discussion of downstream souring at Jiasian Intercept Weir

吳俊杰¹

陳文恭²

周書弘³

葉品毅^{4*}

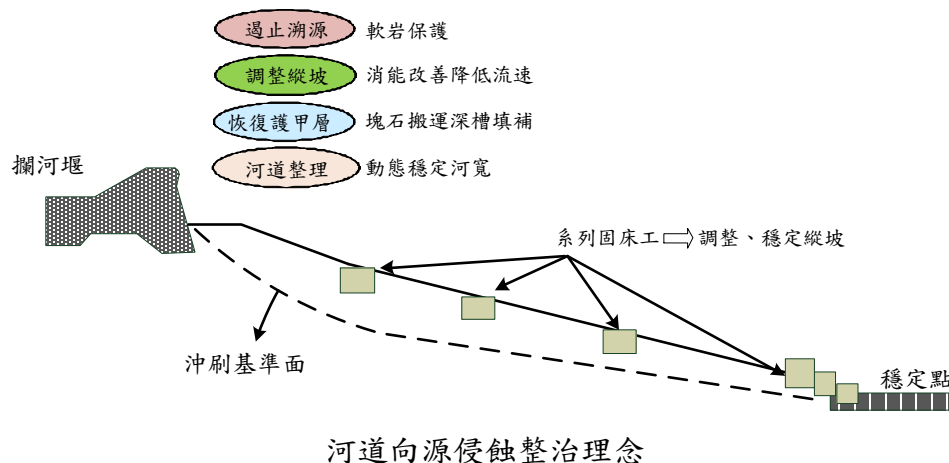
1. 經濟部水利署南區水資源局甲仙攔河堰管理中心主任
2. 經濟部水利署南區水資源局甲仙攔河堰管理中心副工程師
3. 黎明工程顧問股份有限公司土木二部經理
4. 黎明工程顧問股份有限公司工程師

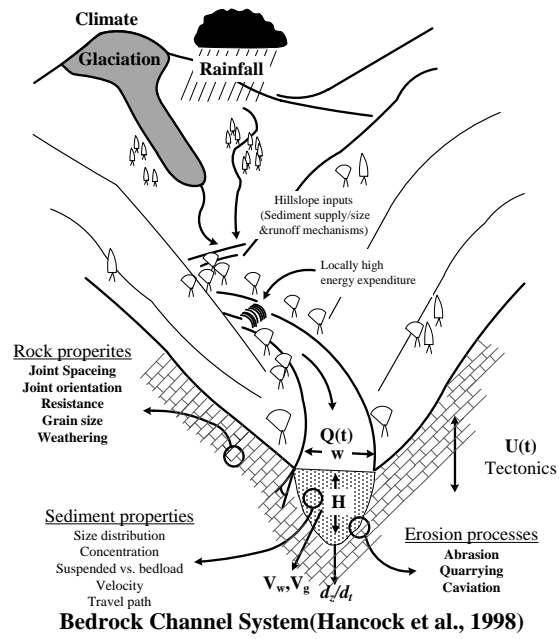
* 通訊作者，Email: pinyi5698@gmail.com

摘要

甲仙攔河堰為旗山溪重要水工結構物之一，其主要將旗山溪豐水期剩餘之水量引至南化水庫運用，以提高南化水庫之供水量，滿足台南及高雄地區民生及工業用水需求。民國 97 年卡玫基颱風與 98 年莫拉克颱風相繼重創旗山溪河道，造成大量土石沖至下游，河川回春作用使下游沖刷加劇，導致護甲層流失，進而造成軟弱岩盤外露與河道深槽化等不利因素，為甲仙攔河堰及河道穩定帶來衝擊。甲仙攔河堰為南化水庫重要取水設施，故下游沖刷為管理單位關心之重要課題，本文將針對甲仙攔河堰下游淘刷課題從地質、流路特性與沖淤特性探討其下刷原因，並針對下游淘刷問題提出初步對策與建議。甲仙攔河堰下游淘刷行為由眾多沖刷機制相互影響而成，包含上游河道凸岸效應造成主深槽偏向右岸、上游公館圳固床工提高沖刷潛能、河床基石抗沖蝕能力差及下游回春溯源侵蝕效應。為避免攔河堰營運受到影響，管理單位近年來於下游設置多座固床工以減緩流速與淘刷深度，然欲維持旗山溪整體河道穩定需各改善上下游較長河段區域，防治方法非由單一工法即可解決，需確立下游淘刷穩定點後，辦理整體治理規劃，針對不同沖刷原因提出治理對策，方能達成長期穩定之治理目標。

關鍵字：攔河堰下游沖刷、河道回春作用、護甲層





河道岩盤之沖刷機制(Hancock et al.,1998)

即時淹水預報系統建置

The Development of Flood Aware System - Taiwan

劉敏梧¹
張哲豪^{5*}

蕭琬蓉²
許至璉⁶

謝建宏³
吳祥禎⁷

鐘柏顯⁴
沈志全⁸

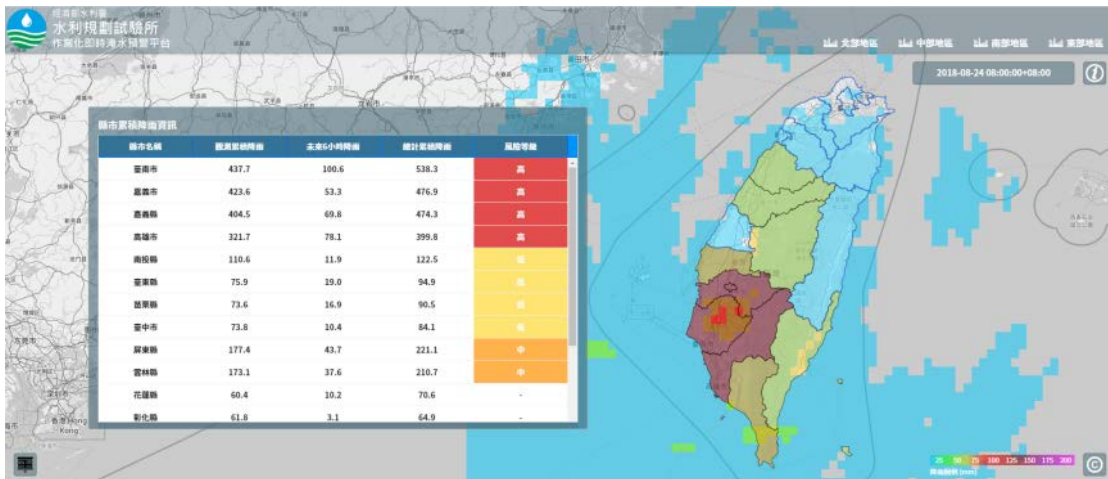
1. 經濟部水利署水利規劃試驗所課長
2. 經濟部水利署水利規劃試驗所工程員
3. 經濟部水利署水利規劃試驗所副工程司
4. 經濟部水利署水利規劃試驗所工程員
5. 國立臺北科技大學土木工程系教授
6. 財團法人國家實驗研究院國家高速網路與計算中心研究員
7. 國立聯合大學土木與防災工程學系助理教授
8. 方圖科技股份有限公司執行長

* 通訊作者，Email: wjh@wrap.gov.tw

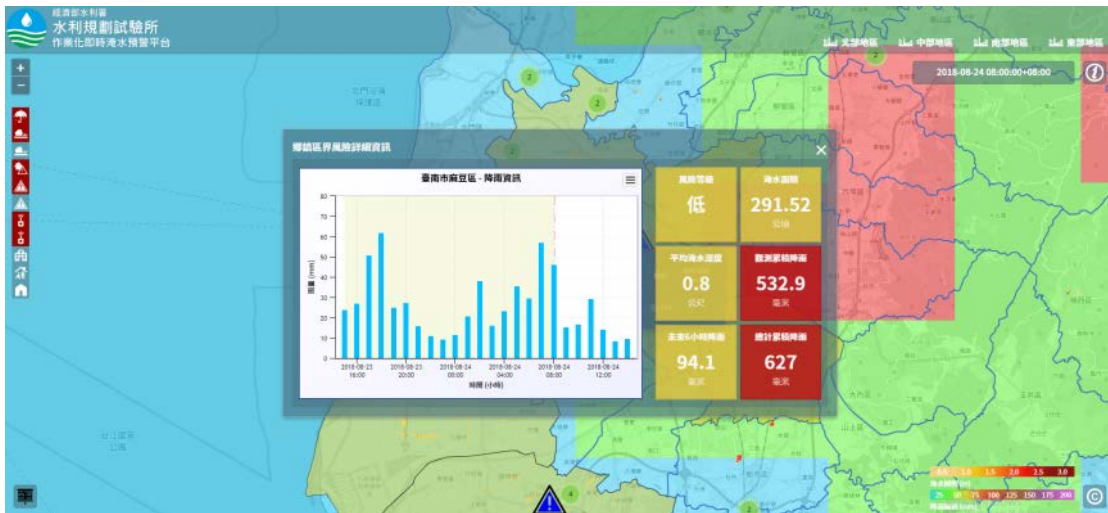
摘要

臺灣地區常受颱風、豪雨侵襲而造成淹水災害，為降低可能帶來的淹水危害，即時淹水情資之掌控便顯得十分重要。本研究以淹水潛勢圖為基礎，建置整合全臺二維淹水模式高效能版本，並持續結合水利署 FEWS_Taiwan 平臺，開發出「即時淹水預報系統」(Flood Aware Ssystem – Taiwan, 簡稱 FAST)，並串接颱風暴雨事件的氣象觀測與預報雨量，即時模擬全臺可能淹水範圍。將過往以河川水位為主的預報，擴展到區域排水等級的淹水範圍預警；研發團隊透過大量分區以及系統排程的方式達到模式平行運算，以大幅減少運算時間；利用資料整合與運算排程之優勢，以及標準化的程序，使 FAST 能夠以每 3 小時一次之頻率預報未來 6 小時可能的淹水情形，以二維淹水模擬演算，提出可能的淹水預警範圍；藉此評估防災超前部署的可行性，進一步提升災防能量，至民國 110 年底可擴增服務至全臺 19 縣市。同時，為降低預報系統所提供淹水預報資訊可能因水文、氣象及地文等不確定性之影響而產生之誤差，本研究利用資料即時同化概念，結合物聯網的技術將淹水感測器於暴雨事件即時量測淹水水深資料，與模式模擬的結果相互比較驗證，以資料同化概念研發可即時修正淹水預報之即時校正演算法，以輔助模式校驗，減少與現場淹水狀況差距，提高模式精確度與反映現地狀況之能力。

關鍵字：高效能、作業化、即時淹水模擬、淹水預警、水資源物聯網、淹水感測器



FAST 首頁展示出全國雨量分布與統計



FAST 展示雨量歷程及淹水範圍深度預報結果

氣候變遷下高屏地區淹水災況模擬

Inundation Simulation in Climate Change in Kaoping Area

蕭逸華^{1*}

陳俊哲²

趙益群³

許至璵⁴

葉克家⁵

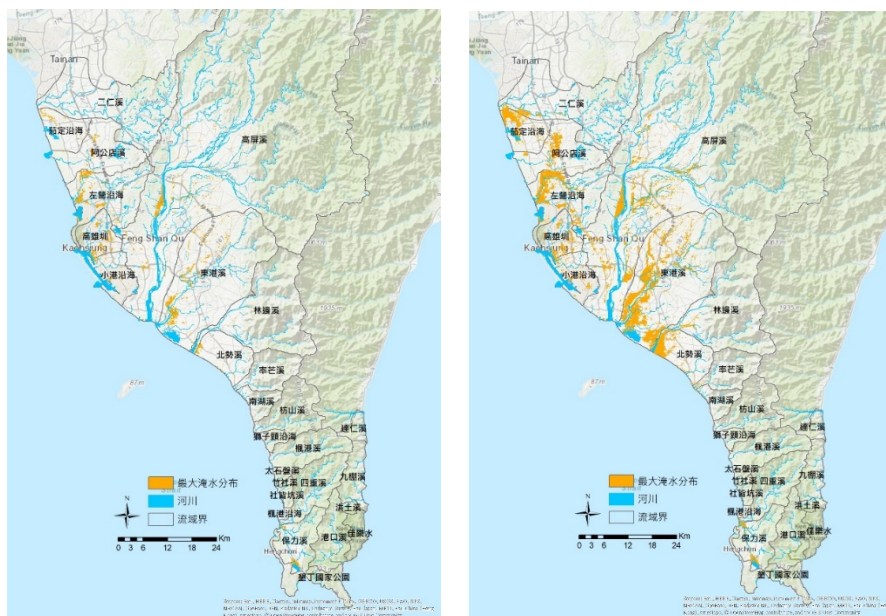
1. 國家災害防救科技中心佐理研究員
2. 國家災害防救科技中心佐理研究員
3. 國家災害防救科技中心助理研究員
4. 國家高速網路與計算中心副研究員
5. 國立陽明交通大學防災與水環境研究中心客座教授

* 通訊作者，Email: xiaohua@ncdr.nat.gov.tw

摘要

極端降雨事件日趨頻繁，導致現有排水系統與其他水利設施等漸漸無法負擔其降雨量。未來在氣候變遷影響下極端降雨事件之發生頻率及強度預期將帶來更為較嚴重災害。為瞭解氣候變遷對高屏地區所造成之可能積淹水災情，本研究針對高屏地區所涵蓋流域，運用氣候變遷推估資料 RCP8.5 情境下 HiRAM-WRF 動力降尺度之颱風事件資料，基期(1979-2008)共 149 場；世紀中(2040-2065)共 450 場，依據兩時期最大 24 小時累積雨量排序，挑選排序前 30%(基期前 45 場；世紀中前 135 場)進行極端事件之 SOBEK 模式淹水災況模擬。並將兩時期模擬成果分別針對 0.5m 以上最大淹水深度分布概況進行分析，可發現世紀中相對基期呈現增加的趨勢，且大致淹水分布於北勢溪以北之流域。

關鍵字：氣候變遷、高屏地區、最大 24 小時累積雨量、淹水



基期(左)與世紀中(右)0.5m 以上淹水深度模擬結果

出流管制案例監測初步探討

Preliminary Discussion of Outflow Control Case Monitored

王大業¹

許家毓^{2*}

1.經濟部水利署水利規劃試驗所副工程司

2.經濟部水利署水利規劃試驗所工程員

* 通訊作者，Email: antony@wrap.gov.tw

摘要

世界先進國家為因應全球氣候變遷之調適策略，其思維已轉變成「不怕水淹，與水共存」，積極培養對洪水的適應力，改善已建成環境，打造不怕水淹的城市。未來政府部門對於洪災管理，需以跨域整合及流域土地共同承納洪水之新思維，來務實面對氣候變遷下極端氣候及複合型災害嚴峻挑戰。水利署為面對前開嚴峻挑戰，積極推動出流管制新興政策，以因應土地開發逕流增加所導致之淹水風險，要求土地開發單位辦理出流管制計畫，以削減因開發所致增之洪峰流量，目前相關法制及技術規範俱已完備，後續同步開發線上管理系統，作為案件管制工具。原則上，出流管制計畫核定後皆應依相關規定設置出流管制設施，惟實務上設置後是否能達到規劃預期之目標，係政策推動所關注之重點。爰此，本研究將嘗試提供案例監測及成效評估之初步作業構想，藉由監測數據評估出流管制設施之功能成效，以作為未來實際案例監測及整體成效評估之基礎。

關鍵字：出流管制設施、案例監測、成效評估

臺南市安南區土地利用改變與淹水災害模擬

Land Use Projection and Flood Disaster Simulation in Annan, Tainan

趙益群^{1*}

陳俊哲²

劉俊志³

蕭逸華⁴

許至璉⁵

1. 國家災害防救科技中心專案助理研究員

2. 國家災害防救科技中心專案佐理研究員

3. 國家災害防救科技中心助理研究員

4. 國家災害防救科技中心專案佐理研究員

5. 國家高速網路與計算中心副研究員

* 通訊作者，Email: ycchao0131@gmail.com

摘要

臺南市安南區常受颱風豪雨影響而發生淹水災情。近年來政府投入大量資源進行相關淹水減災工程。但隨著經濟活動及工商業日益發達，加上全球暖化造成極端降雨的增加，是否加劇安南區的淹水災害衝擊，為本研究所關切之議題。故本研究透過土地利用變遷模式及二維淹水模式，進行安南區未來受土地利用改變及氣候變遷等環境變遷因素下之淹水災害特性變化分析。分析結果顯示，未來安南區受氣候變遷所造成的淹水災害影響，將遠大於都市發展所造成的影響；且在都市發展的影響下，土地利用的改變，將造成建物淹水面積明顯增加。另外，建物的增加，亦會增加不同淹水深度的淹水面積，進而增加淹水災害所造成的損失。最後希冀此成果，能提供給各管理單位參考，進而提升及建構安南區未來的淹水災害韌性。

關鍵字：土地利用、空間變化、淹水、氣候變遷

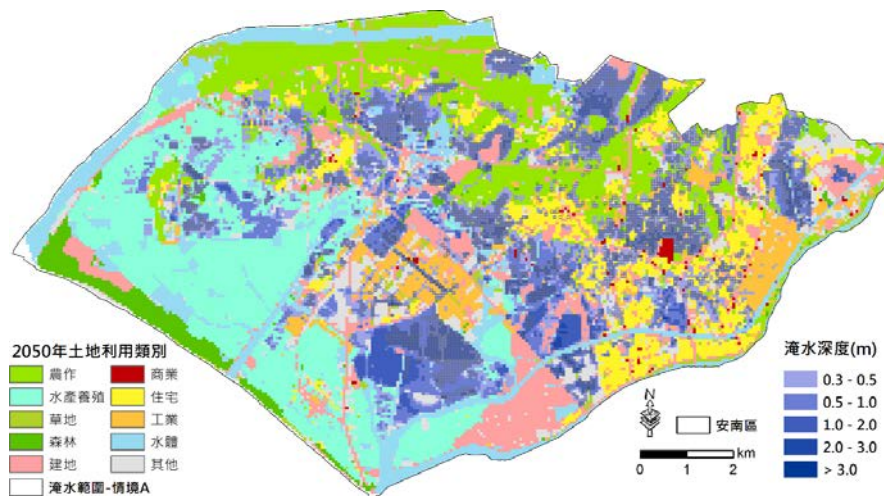


圖 1. 2050 年安南區氣候變遷影響下重現期 10 年淹水模擬結果

氣候變遷下未來設計暴雨推估查詢服務

Inquiry Service for Design Storm Projection under Future Climate Change

劉子明^{1*}

楊松勳²

李正國³

劉俊志⁴

鄭克聲⁵

1. 國家災害防救科技中心助理研究員
 2. 國家災害防救科技中心佐理研究員
 3. 國家高速網路與計算中心正工程師
 4. 國家災害防救科技中心助理研究員
 5. 國立台灣大學生物環境系統工程學系教授
- * 通訊作者，Email: tedliu@ncdr.nat.gov.tw

摘要

臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台 (Taiwan Climate Change Projection Information and Adaptation Knowledge Platform, 簡稱 TCCIP) 乃國內提供未來氣候變遷推估資料、資訊與知識之服務平台，服務已長達 9 年，隨著服務的演進，TCCIP 服務的內容已經不只是氣候變遷推估資料，同時還多了氣候變遷的圖表資訊以及各類型指標的推估，讓各界能夠輕易取得氣候的變化資訊。

暴雨頻率分析是水利與水保在防洪與排水規劃設計的重要工作，亦是山坡地大規模崩塌的評估參考項目，然而暴雨頻率分析一直以來都是以歷史觀測資料進行分析，面對氣候變遷的威脅，規劃設計若只以歷史資料進行分析，難以將氣候變遷影響未來降雨的情境考慮進來。本研究利用 TCCIP 統計降尺度日資料，進行 1 日、2 日、3 日、4 日、及 5 日等不同降雨延時的不同重現期降雨分析，計算出全台 1 千多個 5km x 5km 網格所對應的氣候變遷暴雨頻率分析結果。由於規劃設計多使用測站歷史資料推估設計暴雨，而本研究結果乃以數十個大氣環流模式的統計降尺度日資料推估而得，網格資料推估結果並不適合直接套用至測站，適合以鄰近的網格所推估的改變率作為未來設計暴雨改變率。因此，本研究設計對應全台測站的查詢介面，提供使用者查詢各測站所在的網格位置，提供該網格的未來設計暴雨改變率。並命名此工具為「未來設計暴雨推估」。此服務預計於 2021 年 11 月上網測試，網址：https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/ds_06.aspx。

關鍵字：降雨頻率分析、水土保持、大規模崩塌

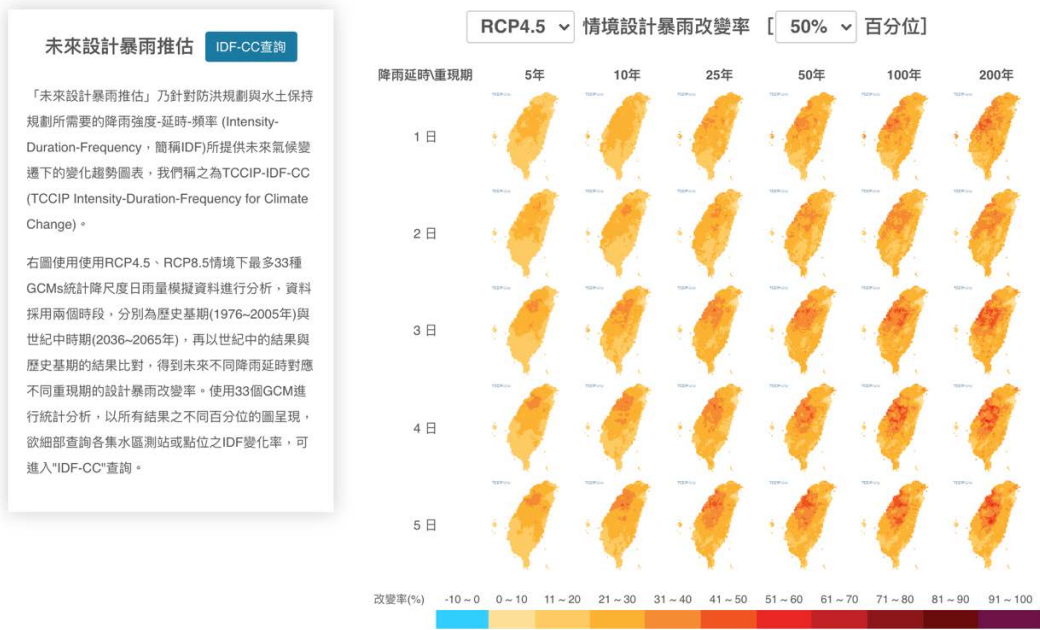


圖 1. 「未來設計暴雨推估」介面截圖 1

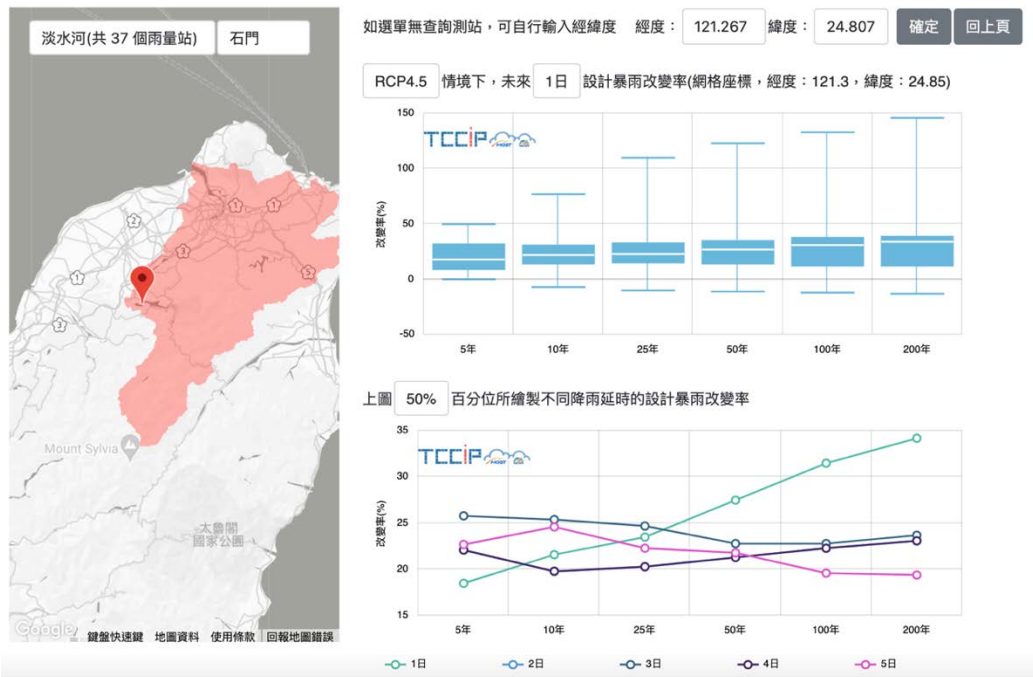


圖 2. 「未來設計暴雨推估」介面截圖 2

牡丹水庫集水區汝仍溪攔木設施規劃設計

Planning Design of Log Barrier on Luni Creek in Mudan Reservoir Drainage Basin

吳政哲¹

蕭維德^{2*}

林冠傑^{3*}

1. 巨廷工程顧問股份有限公司

2. 經濟部水利署南區水資源局正工程司

3. 經濟部水利署南區水資源局工程員

* 通訊作者，Email: way410165@wrasb.gov.tw

摘要

牡丹水庫每逢颱風豪雨，水庫集水區崩塌地之樹林及枯木隨水流進入庫區，水庫因流木入侵問題，導致進水口攔污柵阻塞進而影響水庫營運；為有效攔阻颱風豪雨時所夾帶之大量流木，經濟部水利署南區水資源局決定於牡丹水庫汝仍溪上游適當位置設置攔木設施。本文說明攔木設施位置之選擇及鋼管壩攔木設施之設計。

關鍵字：牡丹水庫，攔木設施，鋼管壩，水庫流木



應用 Transformer 基礎架構下以 k-Shape 改善

自監督式學習之地下水位的補遺與預測

Application of the k-Shape clustering with the Transformer-based model to improve the self-supervised learning of groundwater level imputation and prediction

呂濬瑋^{1*}

羅偉誠²

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士

2. 國立成功大學水利及海洋工程學系特聘教授兼副教務長

* 通訊作者，Email: n86081036@mail.ncku.edu.tw

摘要

應對極端氣候，地下水資源的管理變得格外重要，若對應氣候改變來評估地下水資源的變化，則能讓決策方案更加完善。地下水位的預測得以作為評估地下水資源的初步條件，但頻繁的地下水位資料缺測造成了下游任務執行困難。而近年來深度學習廣泛的發展，如無監督學習透過自動辨識資料的特徵來進行系統歸納，能捕捉人為無法輕易辨識的特徵，並且大幅降低人力資源的消耗；2017 年所提出的 Transformer 模型跳脫了傳統循環神經的架構，並在自然語言等序列資料展現強大的能力。因此本研究採用了 k-Shape 對屏東平原第一含水層地下水位資料進行時序列集群分析，同時以自監督學習來強化標記資料不足的問題，並透過 Transformer 架構來建立資料補遺模型以及水位預測模型。結果顯示 k-Shape 能有效辨識序列資料長時間的相似度，同時保有計算上的效率；根據不同集群結果所建立的 Transformer Encoder 補遺模型，展現了其具備捕捉該集群序列變化的能力，使得補遺結果能反應出原始地下水位的趨勢。而 Transformer 為架構下的水位預測結果，比起傳統循環神經網路更能記憶長時間的歷史資料，且較能歸納出降雨與地下水位的關聯，降低了時序列預測延遲的現象。

關鍵字：k-Shape、Transformer、地下水位預測、地下水位補遺

濁水溪沖積扇之地層下陷整治策略探討

A study on management strategies for Land Subsidence for the Alluvial Fan of Choushui River

張紹峰¹

羅偉誠^{2*}

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士

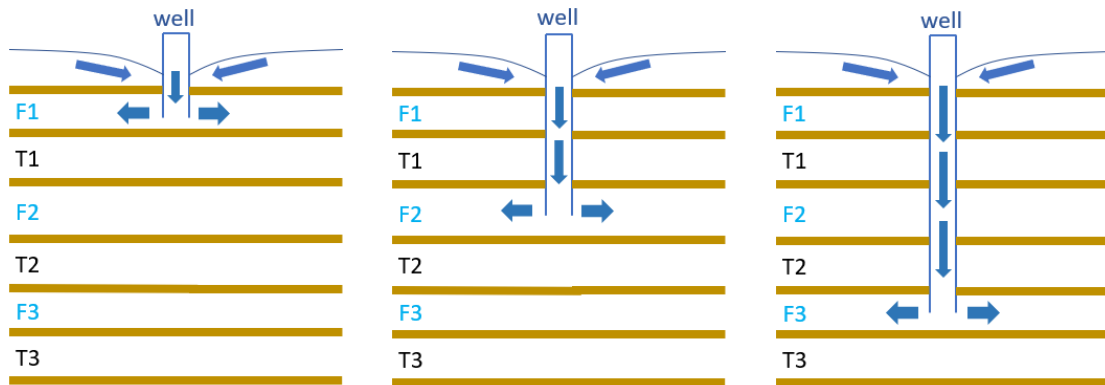
2. 國立成功大學水利及海洋工程學系特聘教授

* 通訊作者, Email: rigo860527@gmail.com

摘要

雲林、彰化地區位處於濁水溪沖積扇上，自民國 80 年代發現有地層下陷嚴重的問題以來，一直有相關的管制措施，然而下陷的情況卻依然存在，近年來，顯著下陷的位置甚至由沿海慢慢演變向內陸發展，影響到更多民眾的居住安全。政府機關從早期的地下水減抽，再到近年取用多餘地表水並設置人工湖補注，都是希望能使地下水位提升以達到減緩地層下陷的效果，但人工湖卻有著補注效率會隨著使用時間越久而降低的問題，本研究因此對整塊濁水溪沖積扇進行模擬，希望以補注井能直接對地下深層進行補注的特性，探討不同設井方案對地層下陷的整治效益。本研究採用 USGS 開發的三維地下水流數值模式(MODFLOW)來進行模擬，依據蒐集到的水文地質參數建立數值模型，並配合觀測水位資料進行校正以確定地下水流模式的可信度，最後使用地層下陷模擬套件(SUB)來模擬研究區域的下陷情況。本研究針對兩個縣市各自設立補注井方案，分別為扇頂人工湖補注井方案和溪州人工湖補注井方案，在人工湖區採用工程規劃分析的供水能力設井補注，主要研究同樣補注水量下不同設井深度對近年來下陷趨勢增大地區的整治效益，結果顯示，設井補注五年後，兩方案的最佳下陷改善率分別為 1.326 % 和 1.488 %，而最佳設井深度都位於含水層二到含水層三之間。

關鍵字：MODFLOW、SUB、濁水溪沖積扇、地層下陷、補注井



補注井模擬設置示意圖

大型地下水人工補注實場操作成效評估

Evaluation of operation and performance of large-scale artificial groundwater recharge project

莊啟洪^{1*} 丁澈士² 李桓岳³ 劉宏仁⁴ 石翔元⁵ 江國豐⁶

1. 傑美工程顧問公司 協理
 2. 國立屏東科技大學土木工程系 教授
 3. 傑美工程顧問公司 副理
 4. 國立台灣大學水工試驗所 助理研究員
 5. 傑美工程顧問公司 工程師
 6. 屏東縣政府水利處 處長
- * 通訊作者，Email: chjuang@pveec.com.tw

摘要

「大潮州補注湖第 1 期工程計畫」位於屏東南部林邊溪沖積扇頂區域，係以人工補注湖形式進行含水層補注之大型工程計畫。工程內容包括：林邊溪取水工、輸水工，以及湖區之調節池與沉澱池。第 1 期開發計畫湖區面積 35 公頃，係基於取水工最大引水量 116cms、補注湖區入滲率 10 m/day 作為設計依準。第 1 期工程於 2013 年動工，並於 2017 年底開始進行實場運轉。經 2018 年~2021 年 6 月之實場補注操作評估顯示，3.5 年間之取水工引水量約 3.43 億噸；湖區 2 座沉澱池補注水量平均每年約 4,657 萬噸，3.5 年累積補注含水層量達 1.666 億噸；豐水期執行補注期間，於屏東平原南地區比為同期未補注之地下水位抬升極為顯著，特別是沿海枋寮、佳冬一帶之主要地層下陷區域。此外，由實場操作之水質分析顯示，洪水期林邊溪高濁度原水經過 2 座沉澱池設施的沉澱作用後，水質濁度約可降低至 36.18%~5.63%，SS 則約可降低至 21.89%~1.49%，顯現大型沉澱池的自然處理對於降低補注水質濁度的作用極大。

關鍵字：大潮州、林邊溪、地下水人工補注、成效評估

非飽和孔彈性理論於不同形式震動載重之分析

An analysis of one-dimensional consolidation in unsaturated soils under different waveforms of time-varying external loading

劉祐誠¹

羅偉誠^{2*}

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士

2. 國立成功大學水利及海洋工程學系特聘教授

* 通訊作者，Email: lowc@mail.ncku.edu.tw

摘要

由於台灣的降雨型態導致水資源在乾濕季分布不均，近年來降雨量減少及颱風侵台數量遽減，抽取地下水則成為了一個快速且方便的來源。早期對於地下水取用並無明確規範，造成地下水過度取用進而產生嚴重地層下陷問題。除去過度抽取地下水外，地表的震動及地表建築物的荷重也會對地層產生下陷的情形，這種隨時間變化的外部載重，對土壤造成的影響，已經是在工程應用上需要正視的問題，像是最近高鐵在雲林地區每年有 3 至 5 公分的地層下陷量，如果能用一種數學框架來描述震動的模式，並計算出土壤壓密的結果，對以後解決工程問題將有所幫助。

為探討未飽和土壤在不同形式震動之沉陷問題，本文利用 Lo *et al.*, (2014) 所發表之一維未飽和土壤孔彈性壓密理論進行研究，並使用兩個非正弦波(方波、三角波)模擬震動，並配合兩種土壤(黏土、砂土)，三種振動頻率($\omega=0.1$ 、 $\omega=0.01$ 、 $\omega=0.001$)，三種初始飽和度($S_2 = 0.7$ 、 0.8 及 0.9) 在雙邊排水的條件下探討兩種震動載重造成土壤的超額孔隙水壓和沉陷量的影響，並把結果以飽和度及頻率的觀點進行比較。研究結果顯示，在不管任何載重下，在小頻率($\omega=0.01$ 、 $\omega=0.001$) 時，其結果在超額孔隙水壓及沉陷量都會有相同的趨勢。在不同初始飽和度時震動頻率 $\omega=0.1$ 由於壓密係數以及波形的原因，導致超額孔隙水壓力會有不同的結果。比較不同震動載重造成的影響時，不管任何頻率方波造成的超額孔隙水壓會比三角波來的小，在沉陷量趨勢，雖然在 $\omega=0.01$ 及 $\omega=0.001$ 其造成的沉陷量會比三角波大，但在 $\omega=0.1$ 時反而是三角波沉陷量大於方波。

關鍵字：孔彈性壓密理論，未飽和土壤，震動載重，土壤沉陷

南部地區旱災應變機制之現況與未來

呂元鈞¹

1. 經濟部水利署南區水資源局/副工程司

* 通訊作者，Email: yuanchunlu28@gmail.com

摘要

回顧 109 年上半年南部地區水源供需情勢，高屏溪攔河堰流量自 3 月起降至 10CMS 以下，於 5 月 7 日紀錄流量 6.2CMS(為當時的歷史最低紀錄)。後因滯留鋒面及西南氣流影響，5 月 22 日高屏堰集水區單日降下 358mm 雨量，至此解除 109 年上半年旱災。緊接而來的是 109 年下半年到 110 年上半年長達一年的抗旱歷程，本篇將抗旱歷程分為觀察期(觀察到汛期雨量明顯不足)、超前部署期(汛期高峰即啟動相關控管措施因應)、旱災應變上半場(農業停灌確保水庫水量)及早災應變下半場(高屏堰流量驟減緊急新增水源措施)。水利署南區水資源局統籌南部地區水源調度重任，水資源調度及早災應變機制的進步，在 104 年 4 月下旬高屏溪攔河堰下探至 8.1CMS 時，水情燈號需轉為分區供水紅燈，而後透過開源、節流、調度及備援等措施，109 年流量遭遇更低流量 6.2CMS，水情燈號於 5 月 7 日僅轉為水情提醒黃燈，110 年最低流量 3.8CMS，面對百年大旱，還能將南部地區燈號守在橙燈，順利等到第一場雨解除旱災。

關鍵字：水資源、枯旱、調度、應變機制

高屏溪流域伏流水資源開發對地下水位及水質影響 評估

A numerical evaluation on the impact of water resource exploitation on groundwater level and water quality in the Gaoping River Watershed

林美華¹

羅偉誠^{2*}

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士
 2. 國立成功大學水利及海洋工程學系特聘教授
- * 通訊作者，Email: lowc@mail.ncku.edu.tw

摘要

臺灣因地形及降雨時空分布不均的因素，使水資源蓄存不易，主要仰賴水庫、攔河堰等水利設施來蓄存雨水。近年因全球氣候變遷，短延時強降雨的極端氣候事件越趨頻繁發生，更加強了降雨時空分配不均的情況，因此積極尋找新興水資源仍是相當重要的課題及發展趨勢。近年伏流水資源已逐漸受到重視並利用，其特點有豐枯水期皆有水資源可取得且經由自然地層介質過濾之水質較為潔淨，這些特性對於仰賴大型滯洪設施供水的臺灣而言具有互補之作用，可達到全年供水穩定之目的。本研究以 MODFLOW 數值模式為工具進行伏流水資源開發後的地區水文水質影響模擬評估，選定屏東平原上的高屏溪流域中下游高美大橋至里嶺大橋之間，規劃建置一處伏流水抽水站，模擬該抽水站於不同抽水量之下對於該地區地下水水位之影響，及針對抽取水體的水質進行硝酸鹽氮及重金屬錳模擬，以評估該處所建置伏流水抽水站之所抽取水體是否可供民生及農業所使用。

關鍵字：伏流水、水質、MODFLOW、MT3D、

伏流水做為多元水資源開發之可行性評估

Feasibility Assessment of the Development of Hyporheic Flow Water as a Diversified Water Resources

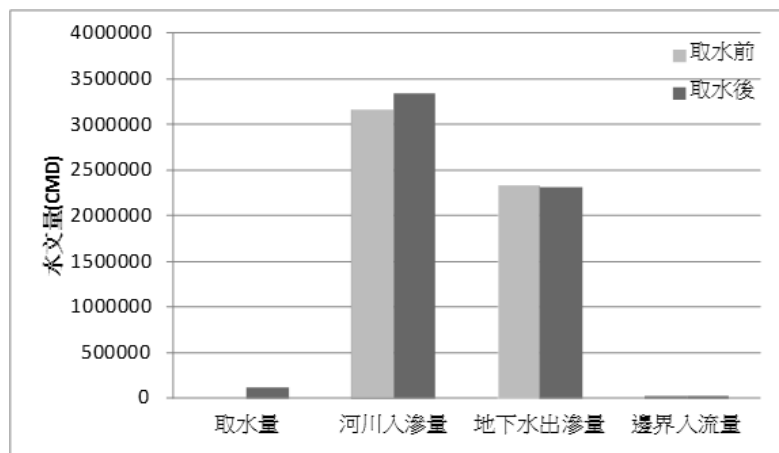
劉宏仁^{1*} 丁澈士² 莊啟洪³ 李桓岳⁴ 石翔元⁵ 江國豐⁵

1. 國立台灣大學水工試驗所 助理研究員
 2. 國立屏東科技大學土木工程系 教授
 3. 傑美工程顧問公司 協理
 4. 傑美工程顧問公司 協理
 5. 傑美工程顧問公司 工程師
 5. 屏東縣政府水利處 處長
- * 通訊作者，Email: harrylittleprince@gmail.com

摘要

為達對隘寮溪可行開發場址豐枯水期穩定伏流水取水量之掌握，本研究針對伏流水可開發水量及可行性進行評估，以數值模式模擬開發前後之地下水環境的影響，結果顯示隘寮溪於高樹大橋上游處為合適之開發場址，豐水期可取水量為 18.2 萬 CMD、枯水期可取水量為 5.3 萬 CMD，造成鄰近區域地下水位洩降小於 0.10m，影響範圍小於 500m，顯示此處是一極佳的伏流水取水地點。伏流水取水主要影響為河川入滲補注地下水之水量大幅增加，取水量 98% 來自河水，僅 2% 來自地下水，顯示伏流水確實可做為多元水資源開發的一個可執行方案，未來面對氣候變遷下，可做為穩定取水水源的考量。

關鍵字：伏流水、多元水資源、氣候變遷



伏流水資源取水前後之水資源系統的水文量變化

應用 SWMM 模式分析埤塘對臺南橋頭港橋

上游集水區地表逕流之影響

Applying SWMM model to analyze the change of surface runoff effect by evolution of ponds in the upstream catchment area of Qiaotougang Bridge, Tainan

侯佳秀¹

賴東暘^{2*}

徐郁超³

詹錢登⁴

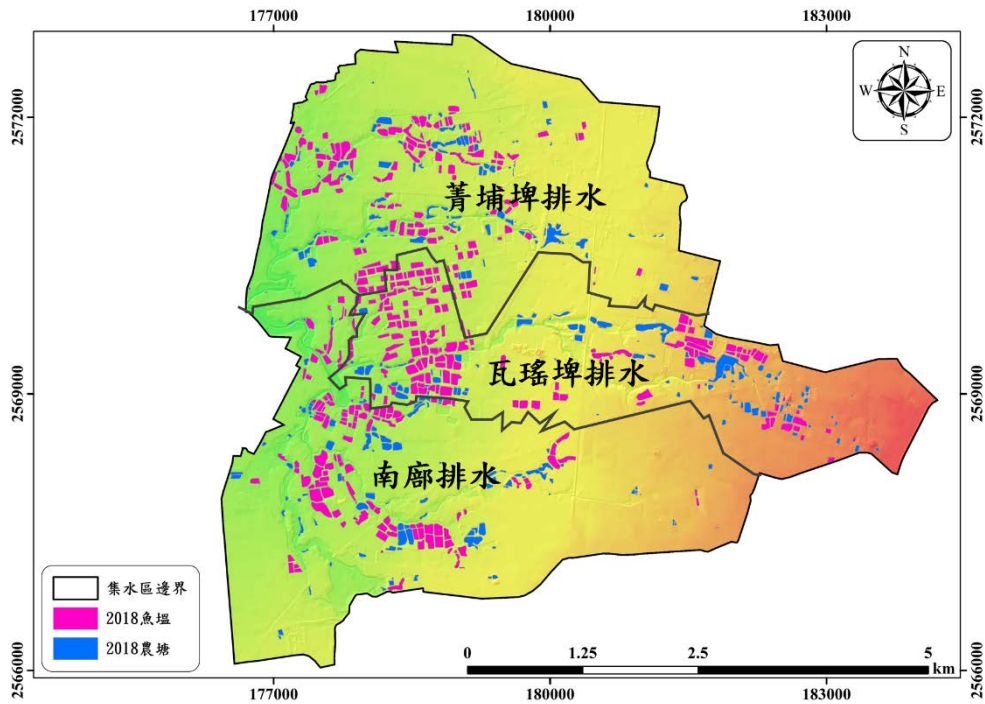
1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士
 2. 國立成功大學水利及海洋工程學系博士生
 3. 國立成功大學水土保持生態工程研究中心副研究員
 4. 國立成功大學水利及海洋工程學系特聘教授
- * 通訊作者，E-mail: tony60292@gmail.com

摘要

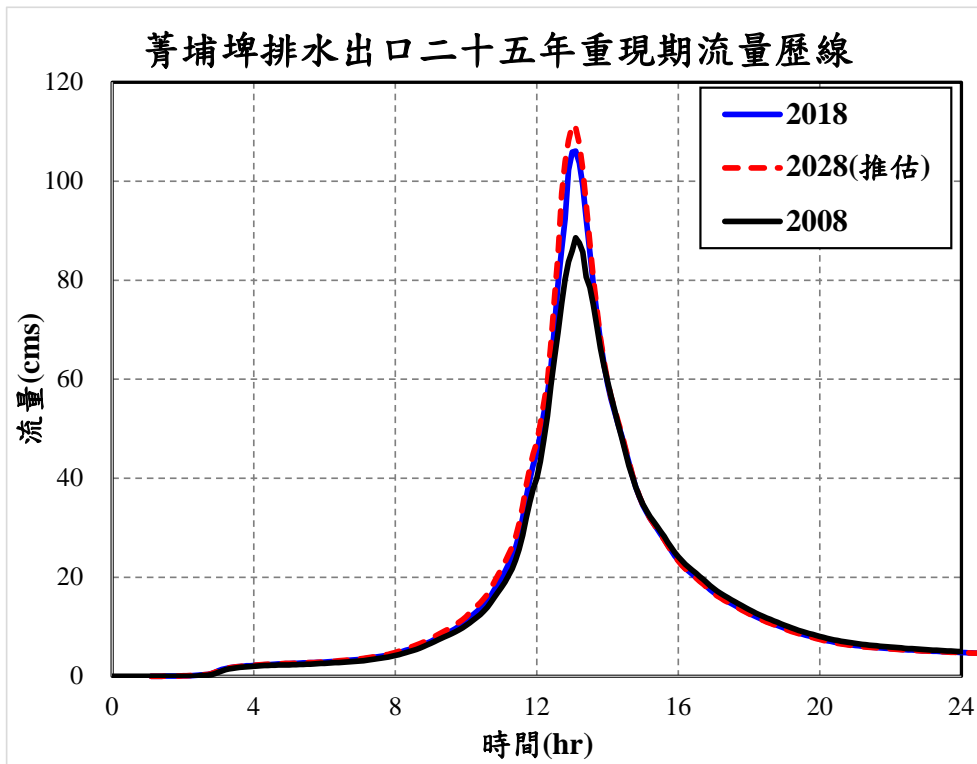
近年來由於產業型態轉變，臺灣南部地區部分農業用地逐漸轉變為商業或工業用地，使得早期提供民生與灌溉用水之埤塘，因供水需求減少，而出現蓄水面積縮減甚或轉為它用與棄用之情形。然而，埤塘扮演了區域性重要的水資源調節角色，其之存在除供給用水需求外，於降雨期間將有助於減少地表逕流，進而降低集水區之洪峰流量。為瞭解埤塘面積縮減對於集水區地表逕流的影響，本研究選定臺南橋頭港橋上游集水區為研究對象，該區域於 2008 年至 2018 年間埤塘蓄水面積縮減約達 19.8%，本研究應用 SWMM 模式首先探討研究區域內不同子集水區在埤塘類型（農塘或魚塢）與面積差異下，應對 25 年重現期距之降雨，集水區地表逕流之變化差異，接著討論不同時期之埤塘分布條件下，集水區洪峰流量之變化情形，並進一步模擬若埤塘面積持續縮減或透過預先降低埤塘水位（超前佈署）以增加蓄水空間之情境下，集水區出流洪峰之變化。

本研究數值模擬結果顯示，研究區域內三個子集水區（菁埔埤排水、南廊排水、瓦瑤埤排水）在 2018 年之埤塘分布中，有埤塘存在對比於無埤塘存在之情境，洪峰流量可分別降低 7%、19% 及 30%，洪峰之縮減量與子集水區內之埤塘面積佔比、分布與蓄水深度相關；比較 2008 年與 2018 年之埤塘分布與面積差異對於地表逕流之影響，結果顯示埤塘面積縮減造成各子集水區洪峰流量分別增加 18%、8% 及 11%，以 2018 年之埤塘分布資料為基準，倘若未來埤塘面積再減少 20%，各子集水區之洪峰流量將分別增加 5%、4% 及 18%；本研究進一步透過模擬分析，在降雨前預先降低埤塘水位（超前佈署）之情境下，各子集水區洪峰流量將可分別降低約 25%、36% 及 50%。綜觀上述結果可知，埤塘的存在確實影響了集水區的滯洪能力，且若能有效管理現存埤塘之蓄水空間，將可顯著提升埤塘之滯洪效果。本研究量化埤塘存在與否對於集水區滯洪能力之影響，並顯示埤塘之蓄水空間管理為區域水資源調節重要的課題之一。

關鍵字：埤塘、SWMM 模式、滯洪效果、水資源管理



研究區域埤塘之分布情形 (2018 年)



菁埔埤排水於不同時期之出流歷線差異圖

坡地崩塌對河道泥砂率定曲線影響之研究—以高屏溪 流域為例

Influence of Landslides on Sediment rating Curve – A Case Study of Gaoping River Basin

洪玄如^{1*}

羅偉誠²

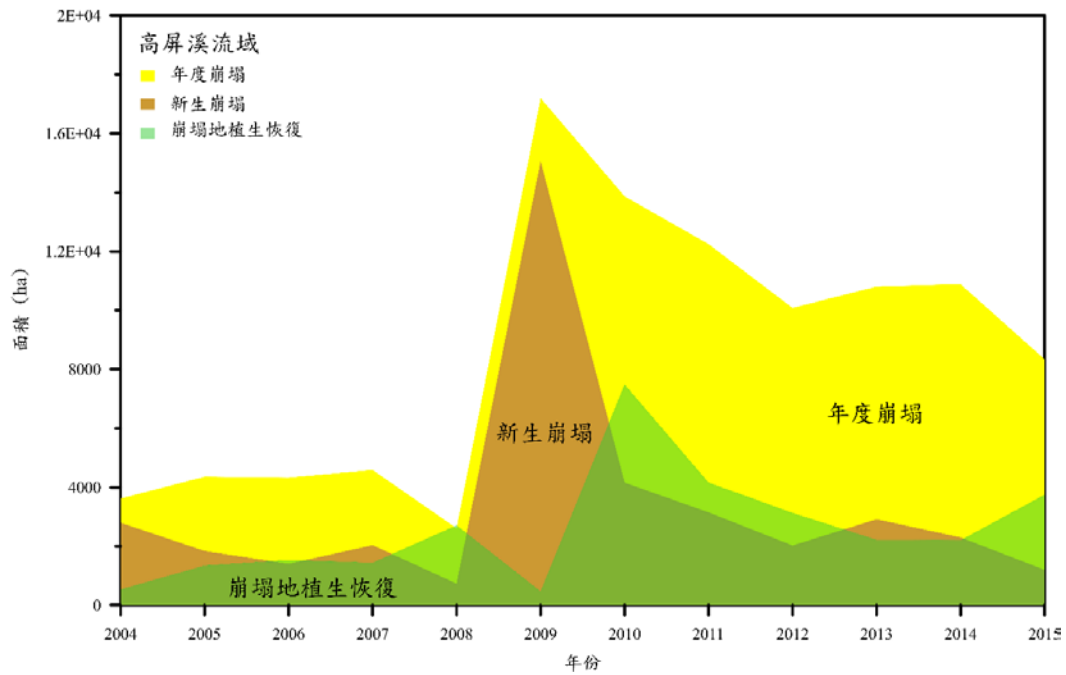
陳金諾³

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系博士班研究生
 2. 國立成功大學水利及海洋工程學系教授
 3. 國立屏東科技大學熱帶農業暨國際合作系副教授
- * 通訊作者，Email: hsuanjuhung@gmail.com

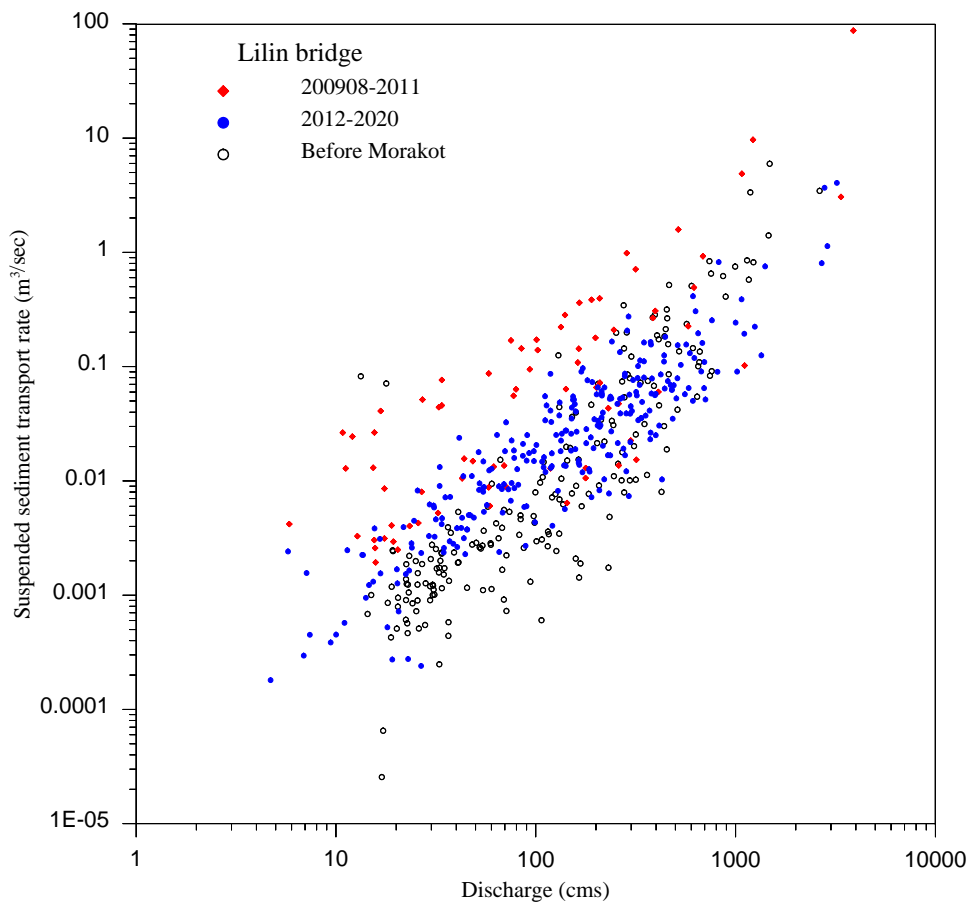
摘要

台灣山區地形勢陡峭、地質脆弱，地震頻繁以及山坡地高度開發，集水區之土壤易受沖蝕；加上颱風豪雨、梅雨等季節所帶來之集中且高強度之降雨，高強度之降雨亦容易引發大規模之崩塌，因崩塌造成坡面裸露，會加劇集水區土壤沖蝕，對集水區自然環境條件產生劇烈的變化，而集水區因沖蝕而產生的大量泥砂，除了造成河道淤積及河岸溢淹、潰堤等水砂災害外，亦對河川輸砂特性及河道穩定性造成極大影響。水文、地文等環境因子對集水區砂量具有高度的影響，而集水區產砂量為集水區經營管理之重要課題。因此，為瞭解崩塌對於集水區輸砂量與產砂量，本研究以高產砂量之高屏溪流域為研究對象，應用水利署設置於高屏溪各水文觀測站長期流量與輸砂量觀測資料，以及林務局所調查之高屏溪流域歷年崩塌位置及面積以及河道斷面資料進行分析，以瞭解高屏溪流域崩塌對河道輸砂特性之影響，研究結果顯示，依據歷年崩塌面積分析，2009 年莫拉克颱風造成高屏溪流域大面積崩塌，崩塌新生率高達 87.53%，新生崩塌面積為 15074 公頃，莫拉克颱風後新生崩塌率有逐年下降之趨勢。分析各水文觀測站所測之流量與輸砂量觀測資料，在相同流量條件下河道之輸砂量於 2009 至 2011 年有明顯增加，並於 2012 年開始河道輸砂特性會趨於穩定，但仍高於 2009 年以前之輸砂量，造成差異主要之原因為集水區受莫拉克颱風影響，導致地文環境劇烈變動，使輸砂特性出現明顯改變。

關鍵字：崩塌、泥砂率定曲線、產砂量



高屏溪全流域歷年崩塌地面積變遷趨勢



高屏溪下游里嶺大橋站各時期之流量 - 輸砂量

百年大旱下桃三灌區供灌之挑戰及策略

Challenges and strategies for irrigation in Taoyuan Irrigation District under the 100-year drought

何明光^{1*}

徐星豪²

鍾易達³

- 1.行政院農委會農田水利署桃園管理處處長
- 2.行政院農委會農田水利署桃園管理處管理組灌溉股長
- 3.行政院農委會農田水利署水利建設組正工程司

* 通訊作者，Email: h003@iatyu.nat.gov.tw

摘要

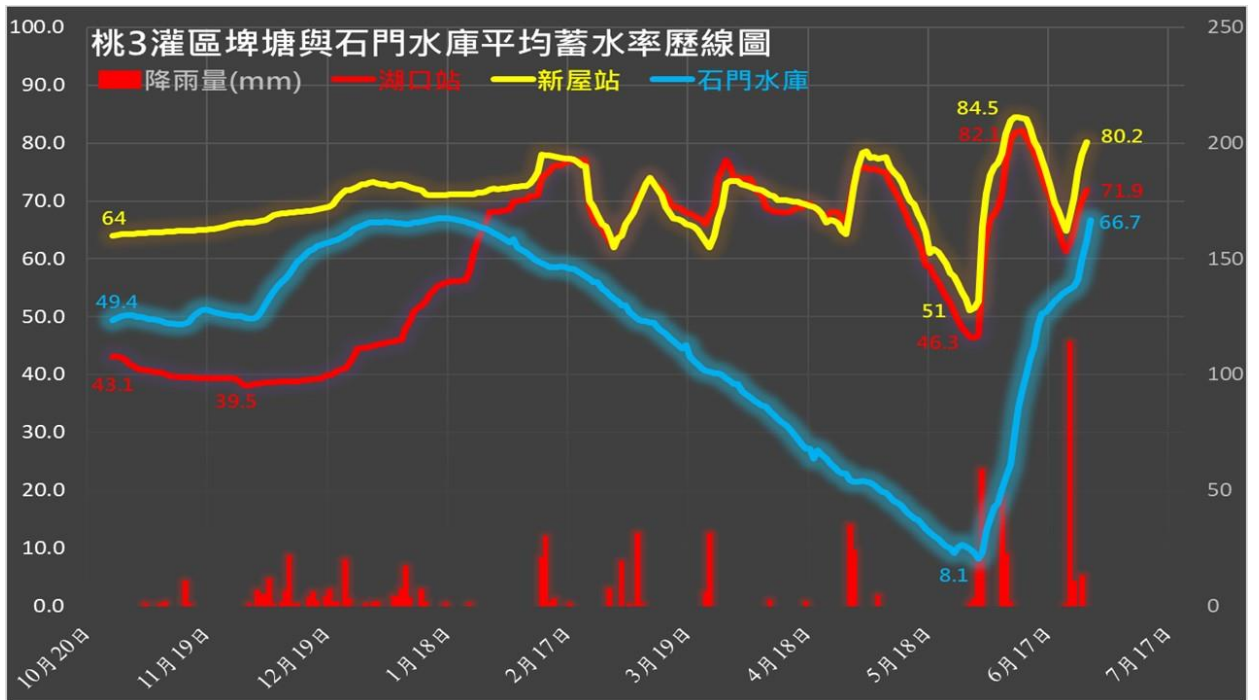
110 年台灣正歷經一次嚴峻旱災，而百年大旱主因為 109 年沒有颱風過境台灣，又反聖嬰現象作祟，導致春雨又不夠，桃園地區水情非常吃緊，然考量桃 3 灌區將面臨連續 3 個期作休耕，為體恤農民生計，農委會特予爭取如期供灌。本處桃三灌區總灌溉面積 7,159 公頃，本次耕作面積 6,202 公頃，且灌溉用水來源，56%由石門水庫供水，44%取自河川(其中 25%屬田間迴歸水)，所以本處於 110 年 2 月 21 日供灌前將面臨 4 項挑戰:(1)湖口灌區末端池塘整田用水不足蓄水率約 5%以下(2)石門水庫水情不佳，其蓄水量約剩 57%，(3)桃三灌區總耕作計畫需水量約 7,160 萬噸，需使用 20%以上的石門水庫原水才能完成稻作生長(4)農民整田時間縮短原本一半時間，因此需水量將集中，且無法估算圳路負擔能量；因此農水署及本處為延長石門水庫原水支援其他標的用水期程，因此決議採取節水措施作為及抗旱對策分述如下:(1)供灌前預先召開基層座談會向農民宣導「錯開整田期、分區輪流供灌」、「減少浸水整田次數」、「本田期減少灌溉水深 50%」等農業自主節水措施。(2)商請停灌區石門管理處管制社子溪水系之三七南圳及三七北圳用水支援湖口灌區。(3)向桃園市政府水務局及經濟部水利署各河川局等商借抽水機組抽汲茄苳溪、黃墘溪、新街溪、老街溪、洽溪及福興溪等區排河川用水補助桃園大圳。(4)為有效運用埤塘水資源，成立協勤小組並依地區民情、供灌習慣率定池塘供水時間，由該小組協助管制放水作業，並配合水利小組執行田間用水調度。慶幸今年 7 月桃三灌區終於收成，而且一甲土地單位面積產量比往年多增加 2,000 斤左右，今年能在缺水的情況下還能豐收，展現農民與政府團結抗旱的豐碩成果，也從中獲取善用水資源及加強抗旱能量等寶貴經驗。

關鍵字：抗旱策略、精準灌溉、桃園埤塘



| 支援單位 | 抽水機組 | 抽水日數 | 抽水台次 | 抽水量(萬噸) |
|--------------|----------|------------|------------|-------------------|
| 桃園市政府水務局 | 6 | 123 | 474 | 4,945,464 |
| 第2、5、7、10河川局 | 16 | 53 | 445 | 5,214,964 |
| 合計 | - | 176 | 919 | 10,160,428 |

圖一、本次為桃三灌區供灌新增抽水機部設位置及抽水量統計



圖二、109 年 10 月 20 日至 110 年 7 月 17 日起降雨量統計、桃三灌區埤塘及石門水庫蓄水率比較圖

2020 年桃竹苗地區之農業乾旱損失調查

2020 Investigation of Agricultural Drought Losses in Taoyuan, Hsinchu and Miaoli Counties

李欣輯^{1*}

劉政婷³

徐永衡²

陳永明¹

1. 國家災害防救科技中心研究員
 2. 國家災害防救科技中心專案助理研究員
 3. 國家災害防救科技中心專案佐理研究員
- * 通訊作者，Email: hsinchi@ncdr.nat.gov.tw

摘要

2020 年台灣因梅雨、颱風事件減少，造成下半年度各區水情嚴峻釀成近 60 幾年來最嚴重的乾旱事件。農委會為了因應水資源的調配之需，在北部地區提出桃竹苗作物停灌的農業節水措施，部份地區也因此造成農業損失災情。本研究為了瞭解此次乾旱事件對桃竹苗地區之危害程度，並量化其對國內農戶造成之衝擊。年初針對桃竹苗地區的農戶進行乾旱造成的各項農作物損失調查，共完成 1,505 筆的有效樣本。依據本研究的調查發現，桃竹苗地區在政府的停灌措施下，仍有平均約 55.7% 沒被停灌影響，其耕作行為仍然維持；10.8% 有受停灌的影響，但因為不同作物特性和有其他非灌區水源供應的關係，因此並無經濟損失；最後剩下的 33.4% 則因為停灌措施而造成農業經濟損失。

在所有損失的樣本中，因為停灌措施而主要損失的作物，以「水稻」的比例最高，佔所有比例的 67.6%，也是所有作物中耕地面最大的作物。最後再詢問災戶如何因應乾旱造成的損失，其中以超過 6 成的損失農戶多為「損失自行承擔」，其次的三成「依靠政府救濟」，此結果凸顯農作物未來於乾旱風險轉移之需求。本研究調查結果可作為農業單位於未來農業防災策略之參考，藉以減少農民因天災所帶來的損失。

關鍵字：乾旱、農作物、損失評估、問卷調查

聲波都卜勒流速儀與高屏堰流量率定及校正

Calibration and validation of discharge rating curve of Kaoping Weir using Acoustic Doppler Current Profiler

陳鼎家^{1*}

黃耀燦²

廖仲達³

魏紹唐⁴

- 1.經濟部水利署南區水資源局副工程司
 - 2.經濟部水利署南區水資源局正工程司
 - 3.國立陽明交通大學防災與水環境研究中心助理研究員
 - 4.國立陽明交通大學防災與水環境研究中心副工程師
- * 通訊作者，Email: dinja@wrasb.gov.tw

摘要

高屏溪攔河堰(以下簡稱高屏堰)為高雄地區重要的取水設施，由活動堰及固定堰組成，每日供應高雄市約 60%~70% 用水。因其中活動堰採用充氣橡皮壩，不同於固定寬口堰有固定通水斷面，橡皮壩常受川流水壓或河床淤砂等外力變形影響高程，流量推估與觀測有其困難，本研究引用聲波都卜勒流速儀(以下簡稱 ADCP)，於高屏堰進水口、活動堰及放水路辦理量測，以精進流量率定曲線，並提供枯水期流量量測方式及流量衰減之推估。

高屏堰經 10 餘年建構 CCHE(河道動床數值模式)獲得良好成果。惟水面下地形往年皆以河川大斷面測量內插後進行模擬，本研究以 ADCP 儀器配合船載針對局部河道深槽區域，補充測線進行水下地形測量，以完成測量範圍水面下地形之不足。可回饋動床數值模式求得較精準之預測結果及分析，以研擬穩定取水對策。

關鍵字：高屏溪攔河堰、ADCP(聲波都卜勒流速儀)、水面下地形測量、流量率定

Abstract

Kaoping Weir is constituted by rubber weir and concrete weir that supply daily of about 60%~70% of the water used by residents in Kaohsiung City. It is the most important water resource facility in southern Taiwan. Affected by the width and deformation of the rubber weir, there are errors in flow discharge estimation and observation. In this study, the Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP is applied to measure the riverbed geometry and 3D flow velocity for the calibration and validation of the discharge rating curve of Kaoping Weir. The discharge of intake, rubber weir, and outlet of Kaoping Weir are measured and improved that provided the estimation of discharge during the

dry season.

The mobile bed models of CCHE for the reach of Kaoping Weir are established after more than 10 years of construction. The data of riverbed geometry and discharge observed by ADCP could be supplied for the model calibration and validation. This study also has the value of improving the accuracy of the model for the propose of stable water supply countermeasures in Kaoping Weir.

Keywords: Kaoping Weir, ADCP, riverbed geometry measuring, discharge rating curve

CCHE2D 與 iRIC-Nays2DH 模擬礫石型河相演變之 差異性比較

Comparison the different between CCHE2D and iRIC- Nays2DH on Geomorphological Simulation of Gravel-bed river

孫崇育^{1*}

許少華²

1.逢甲大學土木工程與建設規劃博士學位學程博士生

2.逢甲大學水利工程與資源保育學系教授

* 通訊作者，Email: d9863096@gmail.com

摘要

辮狀河川之河相及地貌複雜，其特徵是多條流路與滿佈沙洲的平面形貌，且通常伴隨著大量的泥沙輸送、侵蝕和沉積的現象，造成河道深槽的擺動頻繁。為掌握河川長期在自然及人為營力的影響，過往工程人員多以實際量測河床高程作為判釋河相演變的依據，近年由於計算機科技的進步，已有多套數值模式(CCHE2D、iRIC(Nays2DH))、可以定性地模擬渠道中流況尺度的變化以及河床的沖淤趨勢。本研究以大甲溪高鐵橋至國道三號橋作為研究模擬範圍區域，並以二維數值輸砂模式 CCHE2D 及 iRIC(Nays2DH)進行礫石型辮狀河川的演變過程之模擬，瞭解不同數值模式模擬之差異性，並提供後續研究礫石型河川演變之數值模式參考。

關鍵字：CCHE2D、iRIC(Nays2DH)、大甲溪 礫石型辮狀河川、河相演變

集集攔河堰下游消能設施三維數值模擬

3D Numerical Simulation for Energy Dissipation Facility at the Downstream of Jiji Weir

連和政^{1*}

周書弘²

李懷恩³

李明龍⁴

1. 正準科技有限公司總經理
 2. 黎明工程顧問股份有限公司經理
 3. 經濟部水利署中區水資源局副工程司
 4. 財團法人國家實驗研究院國家高速網路與計算中心副研究員
- * 通訊作者，Email: hlien57@gmail.com

摘要

集集攔河堰主要因 921 地震後名竹大橋岩盤上升造成下游發生向源沖刷、護甲層流失等情形，致使靜水池消能不足，其中下游河道最大沖蝕深度已達 15 公尺左右，危及攔河堰及防洪構造物，集集攔河堰劇烈沖蝕河段主要位於集集攔河堰下游至名竹大橋間 6.5 公里河段。經濟部水利署中區水資源局依循水利規劃試驗所研究之穩定河寬與穩定坡度，辦理集集攔河堰下游相關改善工程，為瞭解改善工程之成效及後續是否有再使本段河道更為穩定方案，並對於攔河堰之壩體、靜水池進行三維數值模擬分析，以了解水工結構物之複雜流場的變化，有助於後續改善工程之規劃與設計。三維數值模擬可模擬水深高度的流速變化，並能呈現出水面下的渦流現象，而渦流現象將導致設施下層沖刷等問題。本研究採用 ANSYS CFX 軟體，其具有完整、可靠且穩定的多相流模型系統，可以模擬離散相與連續相間相互作用的質量、動量與能量的傳遞問題。第一消能工程約設置於集斷 28 附近，為一垂直跌落式之消能工，下游配合佈設護坦以保護消能工基礎。第二消能工程約設置於集斷 22 附近（圖 1），為一全斷式消能工，下游配合橫向沖蝕溝保護工程，以達到河道深槽保護及遏止侵蝕之優先性，消能工之頂部高程設定為 EL.194.0m，其訂定原則為使消能工上游護甲層恢復至 EL.193.5m，並抬升護坦下游尾水，以提升消能效率及整流效果。圖 2 為 $Q=3,000\text{cms}$ 在第二消能工上、下各斷面 Z 軸流速變化。圖 3 及圖 4 則分別是 $Q=3,000\text{cms}$ 及 $Q=5,500\text{cms}$ 在第一消能工的流線變化，圖 3 顯示當流量為 3,000cms 在第一消能工左岸的下游面沒有出現渦流現象，但當流量增加至 5,500cms 時，在相同處及左岸壁面附近，則出現複雜的三維的渦流現象（圖 4），這渦流現象容易引起底床及岸壁的掏刷或沖刷等問題。

關鍵字：3 維數值模擬、攔河堰、消能設施、河床侵蝕

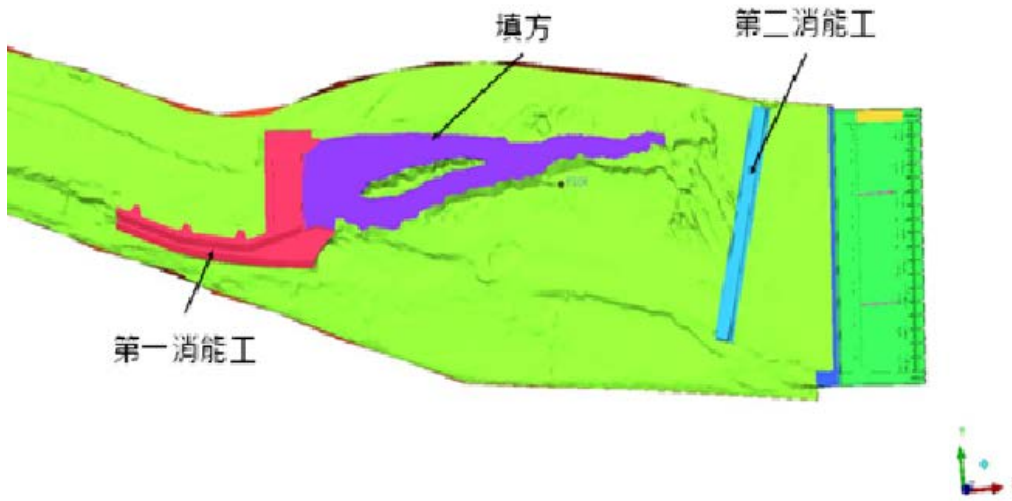


圖 1 消能工程改善方案幾何外型圖

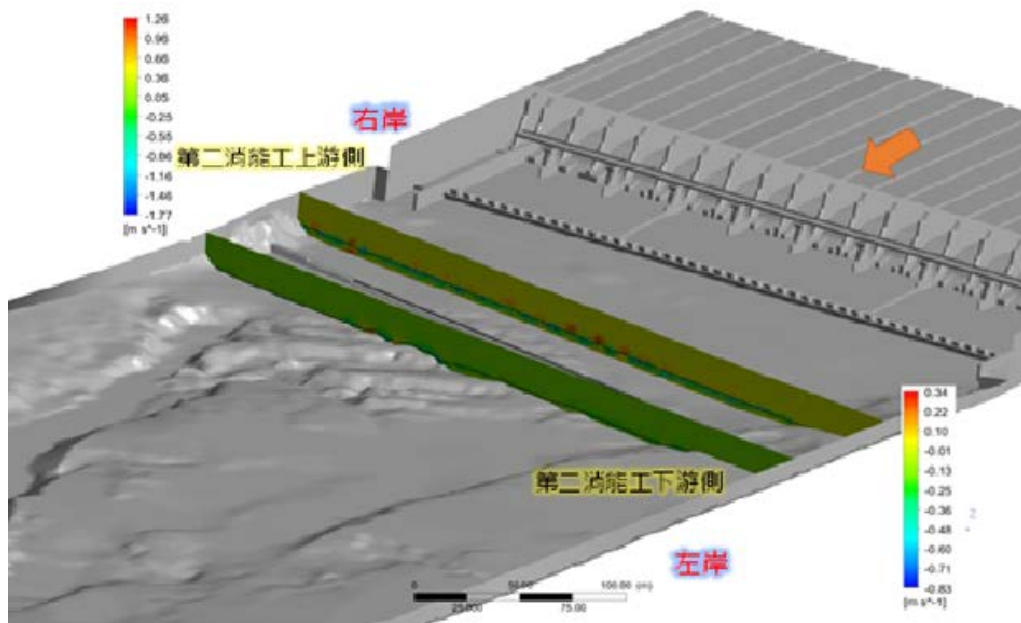


圖 2 $Q=3,000\text{cms}$ 第二消能工各斷面 Z 軸流速變化

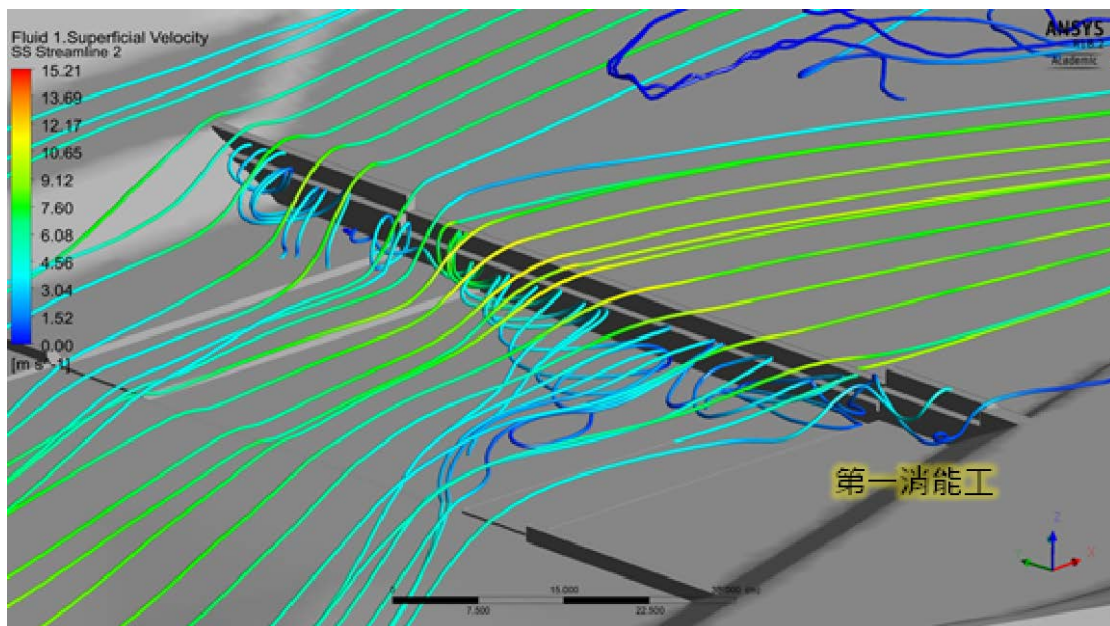


圖 3 Q=3,000cms 第一消能工流線變化

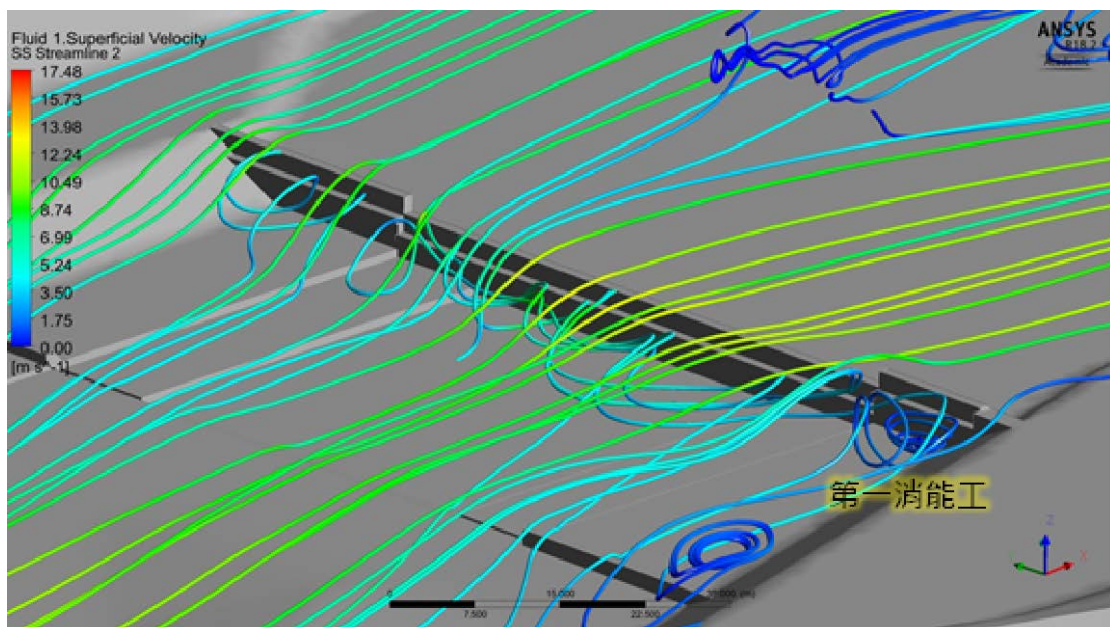


圖 4 Q=5,500cms 第一消能工流線變化

藻類去除廢豬血中汙染及其應用

Application of algae in the treatment of waste pig blood

呂沛儒^{1*}

張書民²

黃其軒³

蕭友晉⁴

1. 國立臺灣大學生物環境系統工程學系學士

2. 國立臺灣大學生物環境系統工程學系學士

3. 國立臺灣大學生物環境系統工程學系學士

4. 國立臺灣大學生物環境系統工程學系教授

* 通訊作者, Email: B07602007@ntu.edu.tw

摘要

近期國產肉品需求上升, 屠宰業產生的豬隻血液隨之增加, 雖然豬血有廣泛用途, 除了可做成食品, 高溫蒸煮後製成血粉也常用於飼料, 但目前的豬隻血液供應遠高於市場需求, 屠宰業者必須另花心思處理這大量廢血。豬隻廢血中含有高氮濃度和生物需氧量 (BOD), 若直接排入河川會引起優養化, 導致藻類大量繁殖, 對於環境造成破壞, 妥善處理廢血有其必要。

微藻具有高光合作用效率、生長迅速等優點, 若能將之使用在去除血液汙水中的營養物質, 會有非常好的效果, 並且擁有成本、能源消耗皆較傳統汙水處理要低的優勢。除了廢血處理, 這對於溫室氣體排放的減量也有助益。藻類會行光合作用, 若是處理的規模提升, 其所轉化儲存的二氧化碳量也會相當可觀。除此之外藻類尚有許多附加價值可供使用, 如做為動物飼料、生產生質柴油、食品加工等。

基於此理由, 本研究擬嘗試探討利用養殖藻類淨化廢血的可行性。研究使用室內培養的方式, 利用用 100ml 血清瓶作為培養容器, 於其內加入不同濃度的廢血液以及藻株後封死, 每隔五天便使用氣相層析儀(GC)測量內部的二氧化碳濃度, 並將瓶子中液體取出測量其生物量以及汙染物去除效率, 以評估藻類生長速率、固碳速率以及汙染物降解的速率。期望本研究的結果, 能幫助發展低成本的畜牧廢棄物去化管道, 同時還能產出具商業效益的成品, 印而達到永續農業以及循環經濟的目標。

關鍵字: 微藻、廢血液、溫室氣體、藻類商業價值

甲仙攔河堰歷年引水機制之探討

Discussion on Water Diversion Mechanism of Jiaxian Weir Over the Years

曾健凱¹

藍駿鞍^{2*}

林福生³

1. 經濟部水利署南區水資源局甲仙攔河堰管理中心工程員

2. 經濟部水利署南區水資源局甲仙攔河堰管理中心工程員

3. 經濟部水利署南區水資源局阿公店水庫管理中心主任

* 通訊作者，Email: ace0921kai@gmail.com

摘要

「南化水庫越域引水工程計畫」是「南化水庫計畫」之延續，甲仙攔河堰則是「南化水庫越域引水工程計畫」主體工程之一，其主要功能是攔截高雄市旗山溪的溪水，透過輸水隧道將旗山溪溪水引至南化水庫蓄存及利用。依台灣省政府水利處民國 88 年 6 月 9 日召開「研商『甲仙攔河堰及南化水庫管理機制』相關事宜會議」會議紀錄結論：「甲仙及高屏溪攔河堰因涉及下游水權人權益，為求公信，宜交由南區水資源局管理，甲仙堰財產如屬自來水公司仍歸自來水公司不予變更，至於營管費用暫時由水公司概括承受。」後續自來水公司依雙方所簽訂之供水契約繳交至水利署南區水資源局作為甲仙攔河堰營管之用。供水契約於 104 年前係以引水量每立方公尺新臺幣 1 元計，105 年後則變更為每年以固定費用 7,753 萬元計。經統計年平均引水量在供水契約變更前（101~104 年）約為 7,100 萬立方公尺，變更後（105~109 年）約為 1 億 90 萬立方公尺，提高 42.11%。再進一步分析豐水期（5~10 月）引水量占全年之比率，則由契約變更前 75.7% 提高至契約變更後 80.69%，顯見供水契約之變更已大量提高引水量，且增加部分係在豐水期，不影響枯水期下游農民灌溉用水權益，對水資源之利用更有效率。

關鍵字：越域引水、供水契約、營管費用



甲仙攔河堰引水相片

以 ANFIS 改進西北太平洋颱風強度預報初步研究

A Preliminary Study on Improving the Typhoon Intensity Forecast in the Northwest Pacific by ANFIS

黃和洋¹

宋政樺²

林旭信^{3*}

蔡孝忠⁴

1. 中原大學土木工程學系學士生
 2. 中原大學土木工程學系碩士
 3. 中原大學土木工程學系副教授
 4. 淡江大學水資源及環境工程學系副教授
- * 通訊作者，Email: linxx@cycu.edu.tw

摘要

本研究利用機器學習法評估颱風強度預報，颱風強度預報模式以調適性網路模糊推論系統(Adaptive Neuro-Fuzzy Inference Systems, ANFIS)架構為基礎，建立未來五天每十二小時之 ANFIS 颱風強度預報模式，並以多元線性迴歸(Multiple Linear Regression, MLR)建立 MLR 基準模式，分析比較颱風強度預報之效能改進。本研究以西北太平洋為研究區域，蒐集西元 2000 年~2012 年西北太平洋颱風未登陸之 SHIPS 資料(SHIPS Developmental Data)，利用逐步線性迴歸法(Stepwise Regression Procedure, SRP)與主成分分析(Principal Components Analysis, PCA)簡化模式輸入資料，另外也採用減法聚類法減少輸入和輸出變量之間的關係，降低模式複雜度，本研究設計 MI(Model Index)指標做為減法聚類法的聚類標準，決定 ANFIS 颱風強度預報模式參數。

模擬結果顯示:ANFIS 颱風強度預報模式整體表現比 MLR 颱風強度基準模式佳，所有提前預報時刻最佳模式皆顯示 SRP 篩選輸入因子有良好表現，其中以加入海洋環境因子之預報效能有明顯改進。最後以 JTWC(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)颱風強度分級標準分類，在超級颱風的強度標準預報中，ANFIS 明顯優於 MLR，使用 PCA(Principle Components Analysis, PCA)轉換的輸入因子組合於超級颱風等級的預報效能最好。

關鍵字：颱風強度預報、調適性網路推論系統、逐步線性迴歸法、主成分分析、減法聚類法

結合 GMDH 與 ANFIS 之月雨量統計降尺度模式

Development of Downscaling Model of Monthly Rainfall with GMDH and ANFIS

謝湘淇¹ 洪哲鍵² 林旭信^{3*} 蔡孝忠⁴

1. 中原大學土木工程學系學士生
 2. 立協工程有限公司現場工程師
 3. 中原大學土木工程學系副教授
 4. 淡江大學水資源及環境工程學系副教授
- * 通訊作者，Email: linxx@cycu.edu.tw

摘要

本研究以適應性網路模糊推論系統(Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System, ANFIS)與自組性演算法(Group Method of Data Handling, GMDH)為核心發展 ASDM(ANFIS Statistical Downscaling Model)與 GSDM(GMDH Statistical Downscaling Model)降尺度模式模擬探討花蓮未來降雨趨勢。選定由 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)提供之四種全球環流模式(General Circulation Model, GCM)，分別為 CCCma_CGCM3 (T47 resolution)、CSIRO_MK3.0、GFDL_CM2.1 與 CGCM2.3.2，首先以主成份分析(Principal Component Analysis, PCA)決定 ASDM 模式輸入變數；再以 GMDH 啟發式自組架構(Heuristic Self-Organization)之特性，自動優選較佳之 GSDM 模式輸入變數。最後以四種 GCM 模式與花蓮測站歷史氣象紀錄，評估降雨趨勢。

模擬結果顯示，CGMR 模式主成份分析結果選取主成份 1 至 3 變異比例達 85.925%，CSMK3 模式選取主成份 1 至 4 變異比例達 84.544%，GFCM2.1 模式選取主成份 1 至 5 變異比例達 83.763%，MRCGCM 模式選取主成份 1 至 6 變異比例達 86.156%，做為模式之輸入變數，有效地減少模式運算時間以與降低模式複雜度；整體而言，模式效能以 GSDM 模式優於 ASDM 模式，花蓮測站 GSDM 模式以 CSMK3 模式 20C3M 歷史情境之相關係數 0.4 為最高。利用已建立 ASDM 與 GSDM 模式預測花蓮測站未來情境 A1B 未來雨量趨勢，顯示冬夏兩季平均降雨變化率為增加，夏季中與長期平均降雨量變化率為 17.92%、12.28%，其中夏季以 7 月增加最為明顯；冬季中、長期之平均降雨變化率為 139.72%、149.98%，其中 12 月和 1 月增加最為明顯。

關鍵字：統計降尺度、主成份分析、全球環流模式、適應性網路模糊推論系統、自組性網路架構

以 LSM 分析地下水含水層之空間特徵

-濁水溪沖積扇為例

Analyzing the Spatial Characteristics of Groundwater Aquifers by Linear Signal Model -a Case Study of Chuoshui River Alluvial Fan

許家毓^{1*}

許少華²

蘇哲儀³

王湘瑜⁴

1.逢甲大學水利工程與資源保育學系學生

2.逢甲大學水利工程與資源保育學系教授

3.逢甲大學水利工程與資源保育學系學生

4.逢甲大學水利工程與資源保育學系學生

* 通訊作者，Email: d0638997@o365.fcu.edu.tw

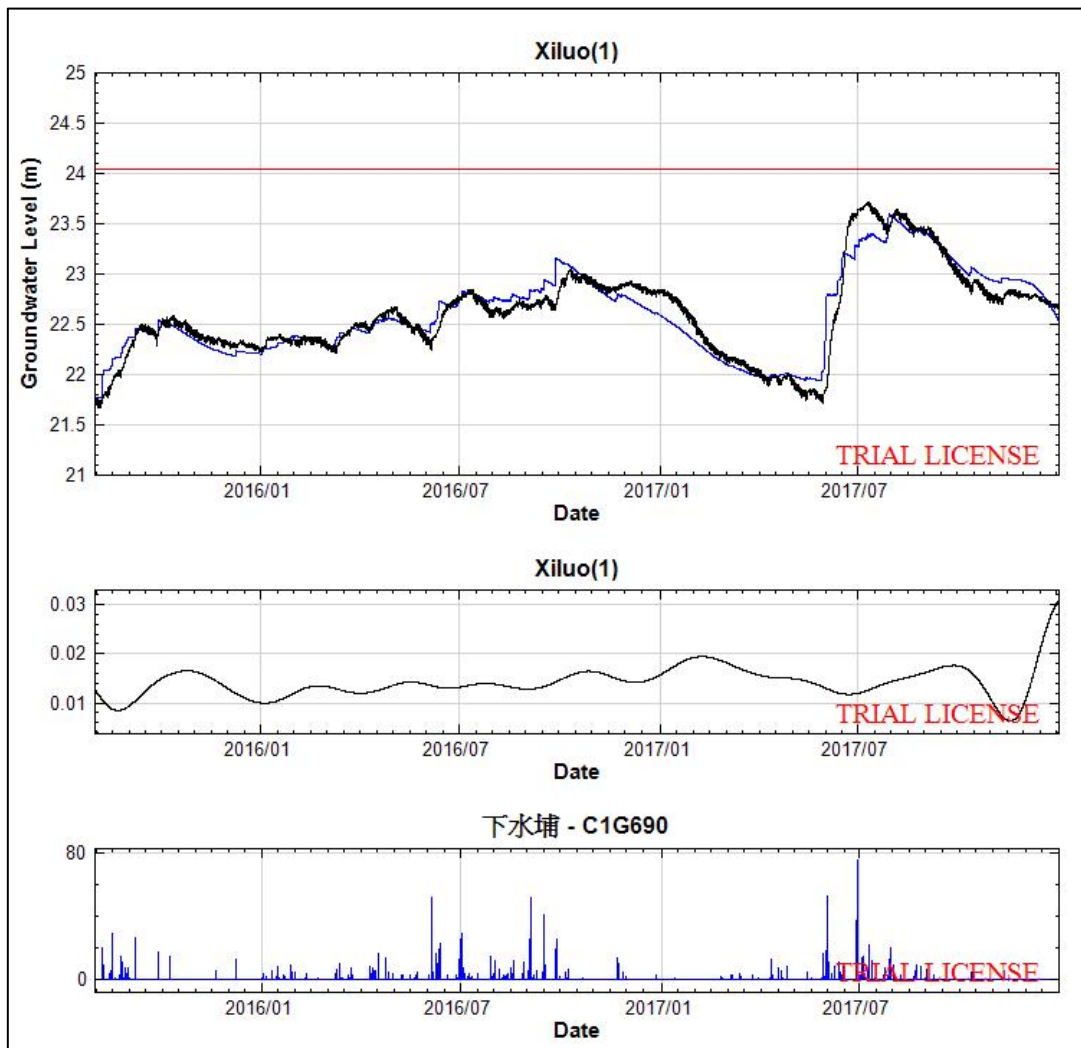
摘要

濁水溪沖積扇近 20 年來，地層下陷區漸漸往內陸移動，進而影響高鐵運作，此項議題已存在很久，然而目前尚無明確原因可解釋。

本研究從資料數據著手分析推論，透過中央氣象局與經濟部水利署霧峰水利規劃試驗所，申請單位為每小時，時距為 2015 年 8 月至 2017 年 12 月有 82 個雨量測站與 45 個地下水位測站，經由二年六個月數據累積有數百萬筆資料，利用 Visual Signal 軟體匯入雨量 $P(t)$ 與參考地下水水位 $h(t)$ ，得其地下水線性訊號模型 (LSM) 各項參數值 (h_b 、 γ 、 σ 、 λ) 與一日單位時間水位變化量 (PRS)，其中可將預壓密參考水位 h_b 設定為地下水水位警示線，並計算各站點地下水線性訊號模型 (LSM) 之自然補注、自然流失及人為抽水，再利用整合繪圖工具 (QGIS) 繪製濁水溪沖積扇各測站之參數值 (h_b 、 γ 、 σ 、 λ)、參考地下水水位 $h(t)$ 與一日單位時間水位變化量 (PRS) 區域關係分佈，並進一步探討濁水溪沖積扇區域地下水含水層各項參數值之空間特徵。

本研究探討參考地下水水位 $h(t)$ 與預壓密參考水位 h_b 相對關係與一日單位時間水位變化量 (PRS) 位在扇頂、扇央、扇尾各區相異特徵等結果，並推論各項參數值呈現高鐵行經路線之潛在問題。

關鍵字：水位變化量、線性訊號模型、人為抽水



圖一 地下水監測站與雨量站補注地區關係圖 - 以西螺 (1) 與下水埔為例

南勢溪越域引水之初步探討

Preliminary Study on Water Diversion from Nanshi River to Shihmen Reservoir

蕭涵綺¹

黃文政^{2*}

1. 國立臺灣海洋大學海洋工程科技學士學位學程大學生

2. 國立臺灣海洋大學河海工程學系教授

* 通訊作者，Email: ajas20425@gmail.com.tw

摘要

臺灣地區雖然雨量豐沛，但由於降雨在時間與空間上的分佈並不均勻，且大部份河川豐枯水期之水量差異頗大。大部份流域皆須靠水庫蓄水調節，近年來各區域各標的之需水量急速增加，使得供水問題日漸吃緊。大漢河流域板新、石門供水區域，近年來因工商業蓬勃發展，人口不斷增加，用水需求量大增，若加上支援新竹用水，石門水庫的供水壓力頗大。為尋求新水源供給以舒緩石門水庫壓力，2021 年初經濟部水利署提出一引水方案，擬從南勢溪越域引水至大漢溪，以分散乾旱下石門水庫的缺水風險。

根據水利署初步規畫的南勢溪引水計畫，本研究以南勢溪福山測站資料進行初步探討，首先檢定發現南勢溪歷史流量目前並未有環境變遷趨勢；再以日流量延時曲線之 95% 決定下游河川基流量為 8.6cms，並以此為基礎，進行從南勢溪之取水分析。本文分別從是否考慮基流量，及不同的引水量(40 萬噸/日，50 萬噸/日，60 萬噸/日)，模擬可引水量之可靠度及滿足率。結果顯示 1 至 5 月之引水可靠度低於 40%，而滿足率也低於 50%，並無法提供石門水庫足夠的水量。整體上，若引水不考慮基流量，則在不同的引水量條件下，每年可取水量為 1.45~2.08 億噸；若考慮基流量，年可取水量範圍則在 0.77~1.03 億噸。

另外由於引水案將會影響到目前的南勢溪水力發電，因此本研究亦考慮引水方案 A(福山下游→石門水庫)及方案 B(福山下游→樂樂谷)兩段路徑，利用其不同的引水量及高程差進行發電情境模擬，以補南勢溪之發電損失，結果顯示依不同引水量及高程差條件下，每年可發電量約在 0.1~1 億度之間。

關鍵字：石門水庫、南勢溪、引水量、發電量

應用雷達定量降水估計提升集水區平均降雨量推估之 精度

Application of radar-based quantitative precipitation estimation to improve mean areal precipitation estimation in watershed

翁禎澤¹

黃承昌¹

鄧可灝¹

江介倫^{2*}

1. 國立屏東科技大學水土保持系大學部學生

2. 國立屏東科技大學水土保持系副教授

* 通訊作者，Email: jlchiang@mail.npust.edu.tw

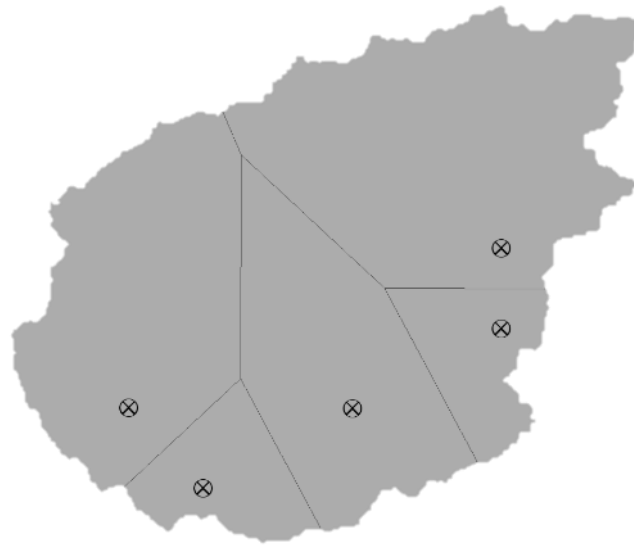
摘要

觀測技術日新月異，其所觀測的降雨量準確度相較過去有明顯提升，但由於設置在山區之測站分布不均，導致在分析山區雨量時會影響其準確性。當前一般水文領域中多採以徐昇多邊形法（Thiessen Polygons）來推估集水區之平均降雨量，然而該方法並無考慮到地形之變化，因此作為全區之實際降雨量仍然存在諸多不確定性。

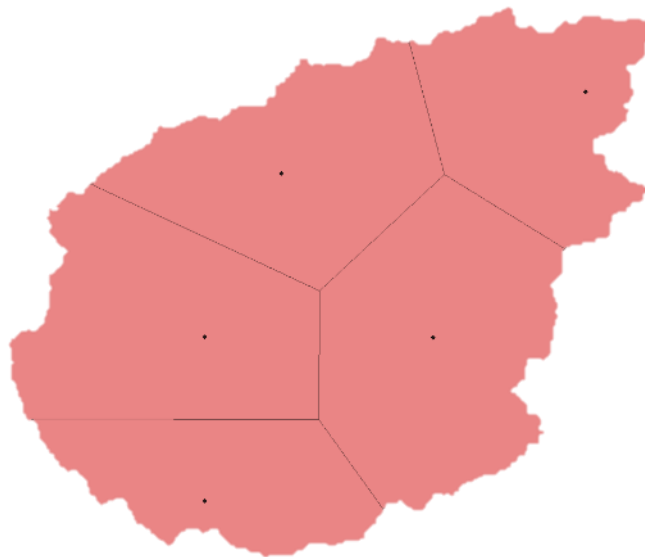
本研究以屏東縣牡丹水庫集水區為研究區域，選用 2016 年至 2018 年間 5 座地面雨量觀測站資料以及涵蓋集水區之 37 個雷達定量降水估計（Radar-based Quantitative Precipitation Estimation, RADQPE）網格雨量資料，進行比較。目前牡丹集水區內牡丹（1850P001）、汝仍（1850P006）、牡管運轉室、牡丹池山（C0R420）、平實二號橋（1870P017）等五測站之徐昇平均與集水區內所有雷達網格資料之平均值為參考值比對發現每年誤差均超過 100%。因此本研究藉由不同雨量站位置劃定徐昇多邊形網，並推估其平均降雨，以找尋與全區所有雷達網格之平均值相較誤差最小的測站組合為最佳的雨量站網。

分析結果顯示，點位 22.1875N, 120.825E、22.1875N, 120.85E、22.175N, 120.7875E、22.1625N, 120.825E、22.1375N, 120.7875E 等五個點位設置雨量站為最佳組合，誤差可降低至 18.9%。

關鍵字：雷達定量降水估計，徐昇多邊形法，降雨量



現行雨量站網



本研究分析之最佳雨量站網

應用河道幾何特性進行高屏地區河階地聚落之安全性 評估初步探討

Applying the Geometric Characteristics of the River Channel to evaluate the safety for the River Terrace Settlements in Gaoping River

葉思良¹

徐珮綺¹

吳采蔚¹

陳昆廷^{2,3}

李明熹^{4,5*}

1. 國立屏東科技大學水土保持系學士學位
2. 國立屏東科技大學研究總中心助理教授級研究員
3. 國立屏東科技大學水土保持系兼任助理教授
4. 國立屏東科技大學水土保持系副教授
5. 國立屏東科技大學複合土砂災害防治研究中心主任

* 通訊作者，Email: mhlee@mail.npust.edu.tw

摘要

隨著近年氣候變遷，河階地聚落正面臨著極端降雨事件的威脅，強降雨促使崩塌、地滑發生，其土砂材料結合集水區內的豐沛水量進而形成高含砂水流或土石流向下游運移，高含砂水流或土石流在流動過程中遇到溢流點則開始產生堆積。河階地聚落多建於地勢平緩且接近水源處，易與高含砂水流或土石流堆積處產生重疊，因此造成河階地聚落容易受到高含砂水流或土石流掩埋的風險。鑒於此，本研究嘗試以河道幾何特性評估河階地聚落之安全性，以高屏地區為例，應用河道寬度(Bw)、聚落距離河道之距離(W)與聚落距離河道之高差(H)等幾何特性，分析河階地聚落之安全性。由分析結果可知，當河道寬度越寬，聚落距離河道之距離越短，代表聚落越危險；反之，聚落距離河道之高差越大越安全。藉由上述關係將其參數進行無因次分析，並以判別分析法劃分河階地聚落安全與否，其評估方程式為 $\frac{H}{W} = -0.056 \times \frac{Bw}{W} + 3.256$ 。本研究成果可初步評估出河階地聚落之安全性，作為相關單位進行河階地聚落災害風險評估或搬遷選址之參考依據。

關鍵字：河階地聚落、安全性評估、判別分析法、高屏溪流域

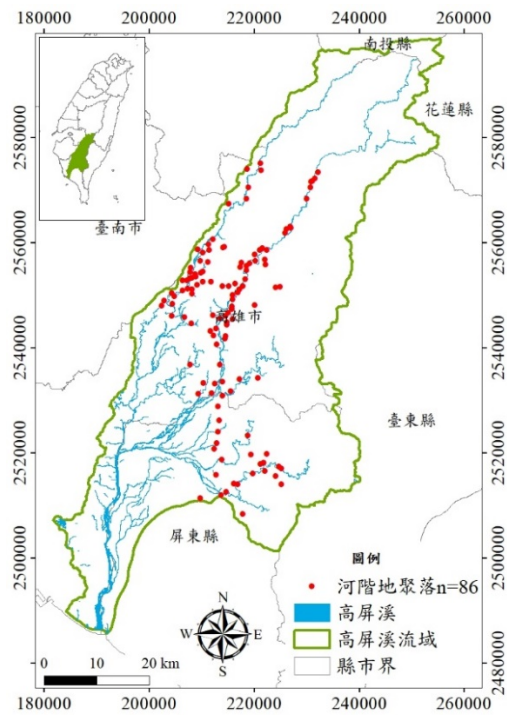


圖 1 環境水系與聚落分布圖

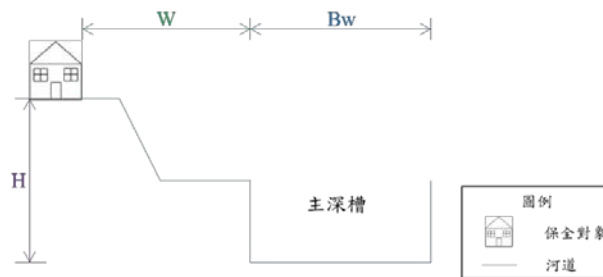


圖 2 河階地聚落簡圖

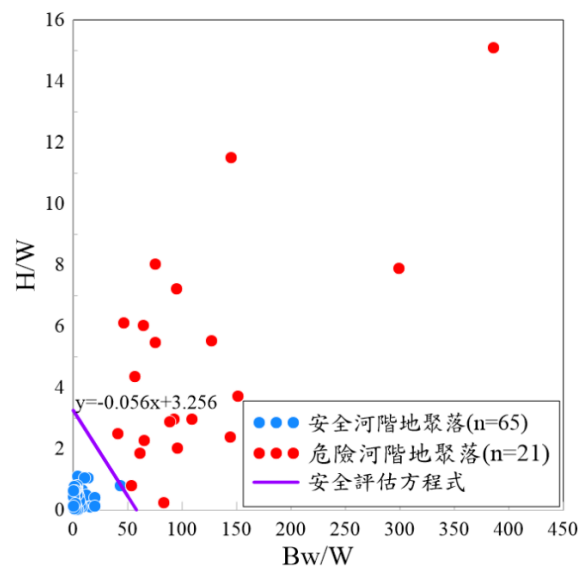


圖 3 2010 年高屏溪流流域河階地聚落安全性評估結果

水資源跨區域調配系統之網流問題最佳化分析

陳薇因^{1*}

胡明哲²

1. 國立台灣大學生物環境系統工程學系
 2. 國立台灣大學生物環境系統工程學系教授
- * 通訊作者，Email: b07602047@ntu.edu.tw

摘要

隨氣候變遷之加劇，強降雨事件及乾旱事件之頻率增加，不同區域間的調度能夠將有充裕水資源地區之水運輸至缺水地區，達到減少旱澇災害之最佳分配。因此，跨區域的水資源調度為因應氣候變遷衝擊下，保持各區域供水穩定性的應變措施。

本研究以網流(network flow)問題模擬各區域水資源之調度，以源點(source node)代表取水口，匯點(sink node)代表有需求的供水點，中間之節點代表分水工、水庫、淨水場等設施。連接節點的弧(arc)包含了輸水管線的容量上限、成本、及運輸時間差等考量。本研究之第一部分，以靜態的最大流問題(maximum flow problem)探討系統調配能力之上限。由於真實之輸水管線之輸水量並非定值，也並非所有管線皆同時且持續輸水。此外，管線並非瞬間即能完成輸送，系統上游所做的決策所造成的影響在一段時間後才會顯現於系統下游。因此第二部分以動態網流(dynamic flows)問題（弧上之流量為時間之函數）探討調度系統支配真實河川流量實際運作能效、以及調度系統對於緊急事件之適應性，整理出會有多少供水需求是無法被跨區域調度系統滿足的、以及面臨未來入流量的不確定性時調度決策時機點與無法支援的缺水量之關係。第三部分將源點之入流量之函數作傅立葉變換，分析不同水源之流量變化是否有顯著的頻率及相對應之相位差，建立跨區域調配是否能夠有效增加整體的供水穩定性，再進行動態網流模擬分析。

調度是水利署開源、節流、調度及備援四大策略之一，台灣現有的調度系統包含：台北板新地區之聯合供水網、桃園新竹地區之備援管線、及高雄台南地區之南化水庫與高屏溪攔河堰聯通管路。總和三部分所建立之模式及分析結果，得到現有調度系統能效之評估，未來跨區域調度水資源建設規劃之建議，並可作為調度決策之輔助工具。

關鍵字：跨區域水資源調度、網流

都市區域減洪設施模擬效益分析：以台中市水湳經貿 園區為例

Simulation Benefit Analysis of Flood Mitigation Facilities in Urban Areas: A Case of Shuinan Economic and Trade Park in Taichung City

陳佩蓁^{1*}

陳筑涵²

傅妍華³

葉昭憲⁴

1.逢甲大學水利工程與資源保育學系學士

2.逢甲大學水利工程與資源保育學系學士

3.逢甲大學水利工程與資源保育學系學士

4.逢甲大學水利工程與資源保育學系教授

* 通訊作者，Email: jamie10328@gmail.com

摘要

近年來台灣都市區域人口增加，越來越多廠商往都市區域發展，改變了原本的土地利用狀況，加上極端氣候的影響，短延時強降雨的兩型有增加的趨勢，影響都市區域洪水的程度更加嚴重，若能在開發利用土地做低衝擊開發，便能減緩洪水所造成的影響災害。

本研究是希望在台中市水湳經貿園區利用 SWMM(Storm Water Management Model)暴雨管理模型包含既有減洪設施，評估目前的土地使用狀況，計算出目前的出流量。若有需要則將於現況導入不同類型及空間之 LID(Low Impact Development)設施，例如植生滯留槽(Bioretention)等，檢視所配置後之減洪設施，並進行效益分析，藉此評估低衝擊開發應用於都市區域發展的可能性。研究之主要目的為分析目前土地使用下的逕流分布狀況，及未來土地使用狀況變化後的逕流情況，模擬分析現有設施是否發揮效能，並探討依目前的設施是否足以提供有效的防洪功能。

關鍵字：SWMM 模式、LID 設施、逕流分擔、防洪功能

結合基因演算法與輻狀基底函數類神經網路之降尺度 模式

Development of Downscaling Model with Genetic Algorithms and Radial Basis Function Neural Network

劉宜銓¹

胡衍立²

林旭信^{3*}

1. 中原大學土木工程學系學士生

2. 宜蘭市公所工務課技佐

3. 中原大學土木工程學系副教授

* 通訊作者，Email: linxx@cycu.edu.tw

摘要

本研究以基因演算法(Genetic Algorithm, GA)結合輻狀基底函數類神經網路(Radial Basis Function Neural Network, RBFN)，建立 GA-RBFN 降尺度模式，探討未來臺中氣象站，考慮有無颱風影響之雨量推估。研究使用之資料為，IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第 5 次評估報告(The 5th Assessment Report on Climate Change)日本及澳國所發展的 MRI-CGCM3 及 CSIRO-Mk3.0 全球氣候模式(General Circulation Model, GCM) 資料。測站歷史月雨量資料，以及美國聯合颱風警報中心(Joint Typhoon Warning Center, JTWC)最佳路徑資料。利用非颱風雨統計方法，推估測站的颱風雨量；GCM 資料分別利用主成份分析(Principal Component Analysis, PCA)、逐步迴歸(Stepwise Regression Procedure, SRP)等變數選擇方法，與測站月雨量資料建立 GA-RBFN 模式；同時利用多變量線性迴歸(Multivariate Linear Regression, MLR)建立基準模式，與 GA-RBFN 模式進行效能評估。

模擬結果顯示：不同變數選擇方法之 GA-RBFN 模式效能，變數經 PCA 轉換，對於排除颱風降雨預測效能較佳。變數經 SRP 選取組合之模式，則原始雨量預測效能較佳。未來情境全年雨量趨勢使用 AR5 代表濃度途徑情境(Representative Concentration Pathways, RCP) 的 RCP4.5 與 RCP8.5，並以三分類(偏少、正常、偏多)分析得，MRI-CGCM3 之 RCP4.5 情境顯示臺中降雨分類以偏少至正常的情況機率為主，CSIRO-MK3.0 之 RCP8.5 情境顯示臺中降雨分類為正常的情況機率大於 80%。

關鍵字：降尺度、類神經網路、極端值、逐步迴歸、主成份分析

崩塌塊體堰塞河道之壩體規模評估分析

Scale Assessment of Natural Dam Induced by Rockslide

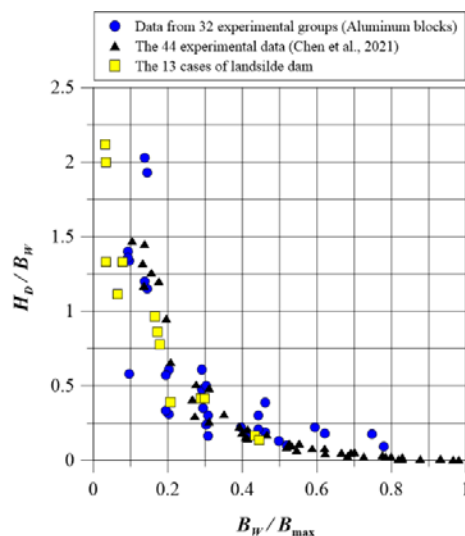
王宗暉¹ 吳念懷¹ 李育展¹ 陳昆廷^{2,3*} 謝秉軒⁴ 吳建宏⁵

1. 國立屏東科技大學水土保持系學士生
 2. 國立屏東科技大學研究總中心助理教授級研究員
 3. 國立屏東科技大學水土保持系兼任助理教授
 4. 國立成功大學土木工程學系研究助理
 5. 國立成功大學土木工程學系教授
- * 通訊作者，Email: kuntingchen@mail.npust.edu.tw

摘要

山區河道兩側邊坡容易受到地震或降雨影響而發生大規模崩塌，大規模崩塌塊體落入河道常造成河道堰塞而形成堰塞壩，堰塞壩極易造成上游迴水淹沒災害或是下游潰壩洪水災害，由於堰塞壩災害之規模大小往往取決於壩體規模，而壩體規模又與大規模崩塌量體有關，若能於堰塞壩未形成前，建立大規模崩塌量體與壩體規模間之關聯性，並獲得壩體規模、形狀等評估堰塞壩安全性之重要相關參數，將能有助於堰塞壩二次災害之防災減災。鑑於此，本研究進行崩塌塊體形成堰塞壩之物理模型室內實驗，考量崩塌體積 V_L 、崩塌落高 H_L 、崩塌坡度 θ_S 、河道寬度 B_W 等參數，初步建構崩塌量體、壩體規模、壩體高度 H_D 間之關係。由實驗結果顯示，相同崩塌量體條件下，隨著河道寬度增加，壩體高度逐漸減小且壩體孔隙率增加。後續將進一步建立無因次化之堰塞壩壩體規模評估方法，作為相關單位進行大規模崩塌引致堰塞壩之危險性評估與緊急防救災對策研擬之參考依據。

關鍵字：大規模崩塌、堰塞壩、壩體規模、防災減災、氣候變遷



河道寬度、崩塌水平運動距離與壩體高度之無因次分析圖

以極限梯度提升演算法分析降雨致崩塌潛勢之研究

Rainfall Induced-Landslide Susceptibility Analysis With Extreme Gradient Boosting

張家瑜^{1*}

林國峰²

曾元福³

張明瑞⁴

1. 國立臺灣大學土木工程學系碩士生
 2. 國立臺灣大學土木工程學系特聘教授
 3. 國立臺灣大學土木工程學系博士生
 4. 國立臺灣大學土木工程學系博士後研究員
- * 通訊作者，Email: r09521335@ntu.edu.tw

摘要

現今極端氣候加劇，使得自然災害頻傳，全球也逐漸重視氣候變遷衝擊調適策略等議題。臺灣位於西太平洋颱風路徑要衝，根據中央氣象局資料顯示，臺灣每年約有 3 至 4 個颱風侵襲，颱風挾帶之強降雨，易引發山坡地嚴重的崩塌災害，衝擊保全對象，並導致生命財產損失。

本研究提出一個崩塌潛勢分析模式，該模式能評估由降雨所致之崩塌，藉由潛在環境因子及動態誘發因子之分佈特性與崩塌間之非線性關係，建置崩塌潛勢評估模式。其中，潛在環境因子可分為地形、地質和區位因子，而臺灣崩塌地多由降雨導致的淺層崩塌，是以本研究採用累積降雨作為動態誘發因子。由於引起崩塌之因子眾多且複雜，各因子間又具有高度非線性之關係，在參考過去文獻中，證實類神經網路在處理非線性問題上擁有優異之表現，故本研究採用近年新穎之極限梯度提升演算法(extreme gradient boosting)、類神經網路多層感知機(multilayer perceptron)及支援向量機(support vector machine)等機器學習法分析，並採用評鑑指標以評估模式表現。

本研究結果顯示該模式能準確地分析宜蘭蘭陽溪流流域之潛勢崩塌，且該整合模式分析技術可產出崩塌潛勢地圖，供未來崩塌預警系統建置之參考、相關單位政策施行之依據，以達到災害預防之目的。

關鍵字：機器學習、崩塌潛勢評估模式、極限梯度提升演算法

Study of the Same and Different Characteristics of the Land Subsidence in Taiwan and Mexico and how the Corresponding Authorities have Handled it.

羅以若¹

許少華^{2*}

1. Master, College of Construction and Development, Feng Chia University

2. Professor, Department of Water-Resources Engineering & Conservation, Feng Chia University

* 通訊作者，Email: m0971573@o365.fcu.edu.tw

Abstract

Land subsidence is the lowering of land level in which the land surface elevation falls due to ground compression. Subsidence is a consequence that various cities in the world must face in different and complex circumstances and has resulted from natural causes or from man- induced causes, such as the heavy withdrawal of groundwater from aquifers damaging important human infrastructures. Due to the extraction of aquifers under the city, the type of soil, and its tendency to suffer earthquakes, it is found that Taiwan and Mexico could have an interesting point of comparison on the different causes that subsidence can have in a city and how to manage it. With a compilation of information based on reading scientific articles, previous research, and public data from institution a compilation of characteristics was made on the situations of sub-occurrence present in the three places, this by comparing different factors such as the geological characteristics of the soil, the characteristics of the aquifers, what have been the numbers regarding the sinking and the reason for the reasons for the extraction of water, among others. Although both Mexico and Taiwan experience different situations with respect to subsidence, it is also true that it is a shared phenomenon that affects infrastructures of great value to both which can be handled with effective Actions and Policies taken by governments and populations are decisive factors to help counteract subsidence.

Keywords: Subsidence, water extraction, infrastructure damage, aquifer, effective actions.

水法與水資源治理策略之研究:以以色列為例

Water act and water resource management strategies: A case study of Israel

吳維哲^{1*}

李方中²

林國峰³

1. 國立臺灣大學土木工程學系碩士生
2. 國立臺灣大學土木工程學系
3. 國立臺灣大學土木工程學系特聘教授

* 通訊作者, Email: kevinwu870123@gmail.com

摘要

臺灣年平均降雨量約 2500 毫米, 是世界平均值的 2.6 倍, 雖然雨量豐沛, 然因降雨型態在時間及空間上分布極為不均, 加以地形陡峭, 水資源蓄存不易, 使用率也不佳, 而人口密度又高, 使得每人每年所分配得使用之降雨量僅約為世界平均值之 1/7; 而近年因氣候變遷所影響, 短延時強降雨、常態性乾旱等問題, 也使得臺灣水資源管理所面臨之困境逐漸加深, 今年初中、南部地區適逢多年大旱, 用水安排與管理再度引起討論, 爰此, 如何有效管理及規範水資源, 成為重要的課題。

相較之下, 同為世界缺水嚴重國家之一的以色列, 國土有七成被沙漠覆蓋, 年平均降雨僅約為 435 毫米, 天然湖泊與河川皆少, 卻在 2005 年之後, 靠著陸續興建五座大型海水淡化廠, 以及其他先進的科技及技術, 如: 污水處理系統、滴灌技術與智慧管理等, 搭配上嚴謹的法規與排除政治介入的管理機關, 成功的解決該國水資源匱乏之問題。

本研究將探討以色列在以工程技術解決缺水問題的同時, 其水法進行增修之處, 並著重於討論在 2006 年修訂的水法第四章節「水費」與第五章節「組織機構」, 並將其與我國水法之架構進行比較, 釐清兩國在法規與水資源管理策略之具體差異, 最後提出相應的檢討與建議, 希冀能提供我國面對水資源匱乏困境下具體發展策略之參考。

關鍵字: 臺灣、以色列、水法、水資源匱乏、水資源之發展策略



上圖為全世界最大的海水淡化廠索雷克場(Soreq)，運用專屬的離峰電力演算法，以生產全世界最便宜的脫鹽水。(圖片來源：翻攝自索雷克海水淡化廠官網)

水力因子對陳有蘭溪河岸崩塌潛勢之影響

Influence of Hydraulic Factors on Landslide Susceptibility of Riverbank in the Chenyulan watershed

吳奕汶^{1*}

詹勳全²

洪筱筑³

陳肇成⁴

1. 國立中興大學水土保持學系碩士生

2. 國立中興大學水土保持學系教授

3. 國立中興大學水土保持學系碩士

4. 經濟部技監

* 通訊作者，Email: a9921729@gmail.com

摘要

集水區土砂主要來源為河岸崩塌，其形成的主要原因係水流沖刷坡腳，使邊坡土體不穩定而造成崩落。本研究針對陳有蘭溪河岸邊坡進行崩塌潛勢分析，除了考量傳統的地形、地質及人為建造之河岸構造物的人為因子外，嘗試加入具有水流和河道特性之水力因子，包括：水力蜿蜒指數、凹凸岸及河床坡降，並利用羅吉斯迴歸建立崩塌潛勢模式。為進一步探討水力因子在不同區域對於河岸崩塌之影響，考量匯流點前後的主支流之流量、河寬及流速等水力特性差異，將陳有蘭溪集水區先依匯流點分為上游區及下游區，另因坡降對河道之流速有所影響，下游區再依河床坡降變化點為界，分為 A 區與 B 區；上游區分為支流集水區 C 區與主流匯流前之 D 區。C 區因位處支流，水力因子對於邊坡之淘刷能力並不強，水流側向侵蝕力小，水力蜿蜒指數及凹凸岸因子權重低，模式之 AUC 值為 0.742；D 區河岸坡度陡，坡腳易遭受水流沖刷而形成崩塌，模式中的坡度及凹凸岸因子具高權重，模式之 AUC 值為 0.768；B 區在河道凹岸，坡腳沖刷造成邊坡土體不穩定而崩塌，模式之水力蜿蜒指數及凹凸岸因子權重高，模式之 AUC 值為 0.781；下游 A 區之河床坡降平緩且河谷寬大，河流蜿蜒明顯，增加側向侵蝕的能力，模式之水力蜿蜒指數和河床坡降權重高，模式之 AUC 值達 0.881，為四區最高。分析結果顯示，陳有蘭溪下游河流蜿蜒增加側向侵蝕的能力，水力因子可提高模式對河岸崩塌的預測能力，上游區域因河道蜿蜒受地形所主導，水流側向侵蝕力小，因此預測結果受集水區地形影響較大。

關鍵字：河岸崩塌、羅吉斯迴歸、水力因子

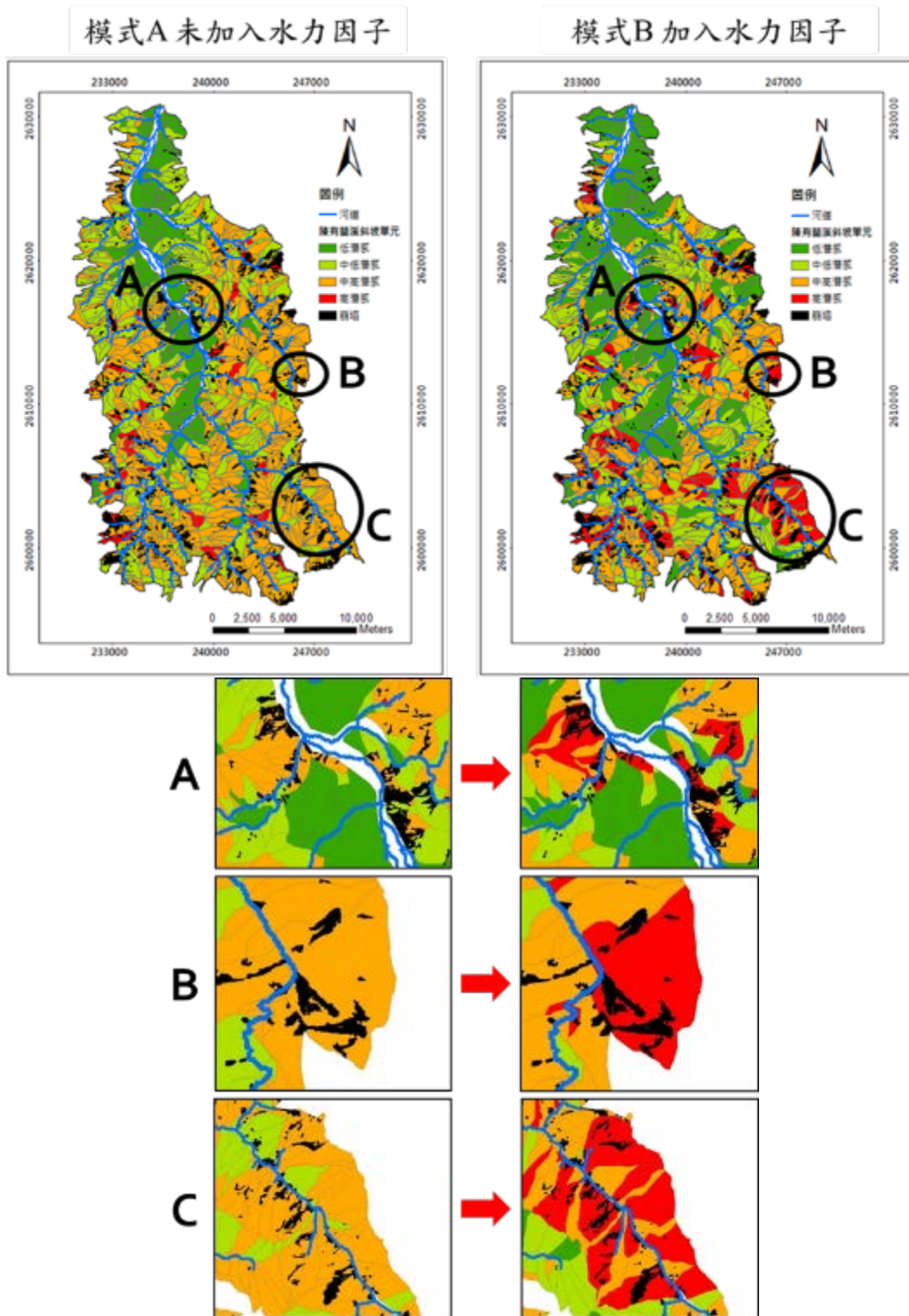


圖 1 有無水力因子崩塌潛勢圖比較

應用影像技術量測渠道水位

Application of Image-based Technology to Measure Water Level in a Channel

鐘群凱^{1*}

黃偉哲²

柳文成³

1. 國立聯合大學土木與防災工程學系碩士
2. 國立聯合大學材料與化學工程博士學位學程博士
3. 國立聯合大學土木與防災工程學系特聘教授／副校長

* 通訊作者，Email: M0915008@gm.nuu.edu.tw

摘要

台灣現今對於預防水患意識提升，對於渠道流量的控管也更加關注，而水位是判斷渠道內水流情況的指標之一。本研究使用苗栗縣政府建置之水文站中的監視器，讀取所拍攝之影像進行水位辨視與量測，不但減少額外建置量測水位儀器之成本，也能達到在測量的同時能夠觀察現場水位情況。

本研究於苗栗市為東橋水位測站進行實驗，實驗共分為兩個部分，首先截取監視器錄像(如圖 1)後使用影像量測技術量測河川水位，並與雷達水位測站的實測水位進行比較；然後與實測流速結合建立水位流量率定曲線。後續即可透過攝影機持續截取影像，並透過影像辨識水位，最後透過水位流量率定曲線去估算渠道流量。

關鍵字：水位量測、影像量測技術、水位流量率定曲線



圖 1、本研究使用之監視器拍攝渠道之原始影像

大新竹供水系統之供需研究

Study on the supply and demand of the water supply system in Hsinchu Region

張哲璋¹

黃文政^{2*}

1. 國立台灣海洋大學河海工程學系博士生

2. 國立臺灣海洋大學河海工程學系教授

* 通訊作者，Email: s9900068@gmail.com

摘要

本研究以新竹地區頭前溪流域為研究範圍，探討大新竹地區自來水之供需問題，其中的水利設施主要有隆恩攔河堰，寶山一號水庫，寶山二號水庫以及苗栗永和山水庫與桃園石門水庫所構成的大新竹地區供水系統。並利用此架構設立不同的情境模擬條件來進行分析評估，目前該區域地表水需求量為 52.1 萬噸/日，民國 120 年之推估值則為 64.1 萬噸/日。

在情境模擬的結果中，情境一(自給自足)之大新竹地區缺水指數 $SI=2.64$ ，顯示無法自給自足，而在 $SI=1$ 條件下之供水量為 38.99 萬噸/日；情境二(永和山及石門水庫最多支援 12 萬噸/日)之 $SI=1.26$ ，仍無法滿足新竹地區之用水需求；情境三則模擬民國 120 年用水需求，並將支援水量依照管線設計最大出水量進行模擬(永和山水庫支援 12 萬噸/日，石門水庫支援 20 萬噸/日)， $SI=0.82$ ，此結果顯示在最大支援水量恆定的情況下，大新竹地區的用水是可以被滿足的，但此結果是建立在穩定且最大支援水量的前提下，且石門水庫與永和山水庫分別負責供應桃園地區與苗栗地區之用水成長，未來是否能穩定且不間斷的支援大新竹地區之用水仍是未知數。

故在本研究中研討了數項應變措施，則分別考慮(1)新竹科學園區用水獨立由海淡廠進行供給；(2)轉移頭前溪之農業用水水權，並以民國 120 年之用水進行模擬分析，則措施(1)模擬結果之 $SI=0.9$ ；措施(2)模擬結果之 SI 值=0.23，此相關之應變措施之分析結果可供水利單位參考。

關鍵字：大新竹地區、供水系統、缺水指數、應變措施

以二維輸砂模式探討串壩改善對河道環境之影響

Analysis of Channel Effect of Dam Removing Using Two Dimensional Sediment Transport Model

徐永翰¹

王筱雯^{2*}

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士

2. 國立成功大學水利及海洋工程學系教授

* 通訊作者，Email: whw82@mail.ncku.edu.tw

摘要

早期台灣為了減少水庫的泥砂淤積，於水庫上游集水區建立多座防砂壩，隨著時間推移，防砂壩漸漸淤滿並影響其原本設計功能，且因為壩體造成的河道不連續性產生生態衝擊的顧慮。本研究以台灣中部武陵地區的七家灣溪為例，其中一號壩已於 2011 年改善完成，二號壩已於 2004 年自然潰壩。為持續改善河道連續性以利探討櫻花鉤吻鮭復育可能性，本研究以三、四號壩作為改善目標。

透過現地調查與一號壩案例的研究經驗，本研究以 SRH-2D(Sedimentation and River Hydraulics-2D)模擬進行壩體改善後的影響，以不同改善方案、方式搭配颱風事件作為模擬情境，並以對下游之衝擊、河防安全以及生態棲地進行初步評估，再探討對河道之影響、串壩之間的交互影響。

由於本研究是以數值模式預測壩體改善後的變化，過往相關研究雖指出泥砂運移量推估之不確定性較高，但透過與一號壩案例的實際觀測值比較，兩者呈現相同趨勢，顯示模擬結果有其一定的參考性。

壩體改善須考慮各面向的影響，根據不同需求、目的會有不同之決策。本研究針對各情境的模擬結果有助於日後主管機關依其目的與需求去選擇三、四號壩最合適之改善方案與方式。基於對河道環境的衝擊與串壩間的影響，本研究建議改善四號壩 1/2 壩高為最佳改善方式。

關鍵字：七家灣溪、防砂壩改善、串壩、二維輸砂模式

微水力發電效益應用於農業渠道在水、能源、食物關係鏈

Application on the Benefit of Micro-hydropower on Water-energy-food Nexus within Agricultural Channels

施仁傑^{1*}

林富元²

洪銘德³

林宏儒⁴

溫志超^{5,6}

1. 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系碩士
 2. 行政院農業委員會農田水利署雲林管理處副處長
 3. 行政院農業委員會農田水利署副總工程師
 4. 國立雲林科技大學工程科技研究所
 5. 國立雲林科技大學水土資源與防災科技研究中心主任
 6. 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系特聘教授
- * 通訊作者，Email: m10814020@yuntech.edu.tw

摘要

微型水力發電是提供基本負荷所必需的可再生能源，它具有永續發展和減少溫室氣體排放的優勢。台灣中南部主要以農業為發展，特別是濁水河流域，其流域面積大，且具有發達的農業灌溉系統，其水源充沛且流量穩定，因此很適合安裝微型水力發電系統。Li et al. (2019) 在農業灌溉系統中推估其需水量、能源的供需、土地需求、糧食生產以及在不同情況下進行定量分析，但是該研究在農業系統中，未探討水力發電產生的能源效益。Zhou et al. (2019) 將小水力發電應用於水庫的供水系統，優化水資源和利用小水力發電提升水-能源-食物 (Water-Food-Energy, WFE) 鏈的協同效益，但是水庫調節水源使供水系統的流量不穩定導致小水力發電的電量不穩定。而 Gaudard et al. (2018) 研究河流上游水力發電廠在水與能源關係中，其研究結果表明季節性變化的流量也會影響水力發電的發電量。

因此，本研究選定台灣雲林縣林內鎮的農業灌溉渠道 (林內圳) 為研究場址，其林內圳為農業灌溉系統，具有放流量穩定的特性。因此，本研究將蒐集林內圳相關背景資料及測量研究場址的水位、流速及流量，分析微型水力發電系統的潛在發電量、益本比及實際微型水力發電設置對農業生產的衝擊，以此探討 WFE 的關係鏈。

關鍵字：微型水力發電、水-能源-食物關係鏈、灌溉渠道

基因演算法於聯合水庫系統之最佳化操作

Application of Genetic Algorithm in Optimizing Operation for a Multi-reservoir System

王浚安^{1*}

林國峰²

張明瑞³

曾元福⁴

1. 國立臺灣大學土木工程學系碩士生
2. 國立臺灣大學土木工程學系特聘教授
3. 國立臺灣大學土木工程學系博後研究員
4. 國立臺灣大學土木工程學系博士生

* 通訊作者，Email: r09521321@ntu.edu.tw

摘要

台灣近年因受氣候變遷、短延時強降雨等氣候因素之影響日趨顯著，且因降雨時間及空間分布上極為不均，豐枯比約為 9:1，尤以台灣南部地區最為嚴重，且台灣南部地區為主要農作為水稻，於一期作缺水情形更顯常態，區域水資源調度壓力更形加劇，常態性或極端性乾旱問題未來將持續發生，因此對於水資源如何有效及最佳化利用，對於水庫操作及長期用水為重要且迫切之課題。

最佳化的議題中基因演算法(Genetic Algorithm)是應用最為廣泛的啟發式演算法，其主要原理為將問題之決策變數編成類似於人體染色體，再利用複製、繁殖、突變等演化方式可生成最佳解組合，近年已廣泛應用於水資源調配之各類決策，尤其是大流域水庫系統，且均有良好的結果表現。

爰此，本研究是以台灣南部地區曾文-烏山頭水庫聯合水庫系統作為研究區域，以應用基因演算法為基礎的機器學習進行蓄水、供水、灌溉及發電多目標下最佳化水庫操作策略，在合理分配水資源、提前示警農業停灌之目的下精準掌握水資源配水之目標，以有效利用水資源，面對未來異常氣候之挑戰，希冀，本研究之成果可供決策者作為水資源調配之參考依據。

關鍵字：基因演算法、最佳化操作、水資源調配、聯合水庫

應用監視器畫面與影像辨識技術

進行區域淹水推估研究

Integrating Camera Images and Image Recognition for Regional Inundation Estimation

翁逸宏^{1*}

石棟鑫²

1. 國立陽明交通大學土木工程學系碩士

2. 國立陽明交通大學土木工程學系副教授

* 通訊作者，Email: ywong02.cv08g@nctu.edu.tw

摘要

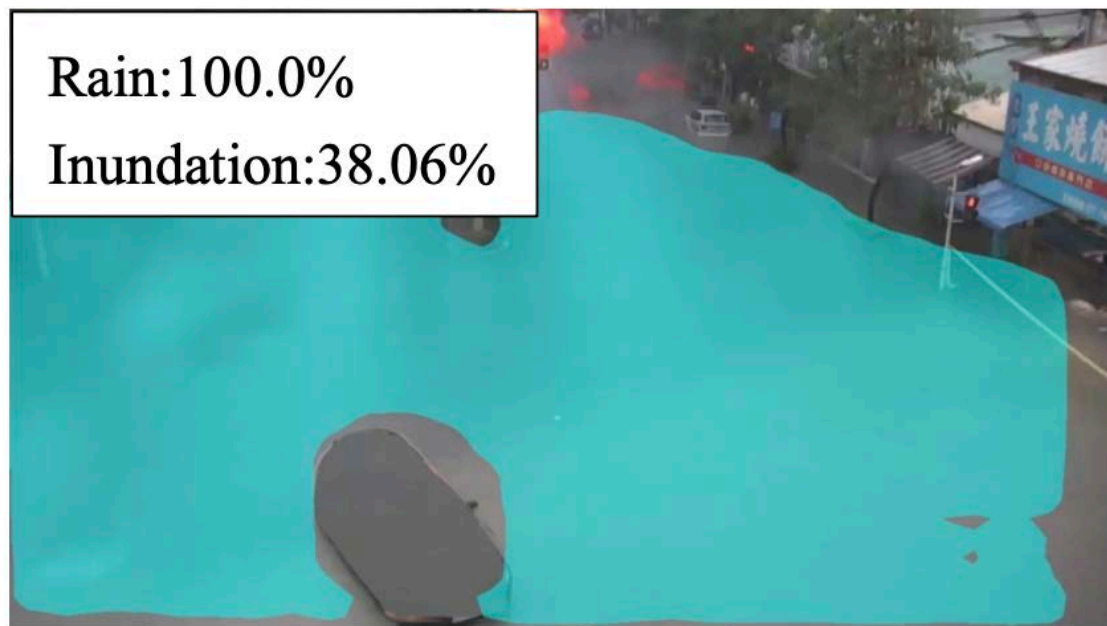
近年由於強降雨發生頻繁，台灣都市地區因而產生嚴重之淹水損失，政府也安裝大量淹水感知器進行淹水量測；惟因預算與資源限制，無法大量安裝淹水感知器 (IoT Flood Sensor)，故本研究預計發展一影像辨識模型針對淹水進行即時辨識，利用深度學習 (Deep Learning) 技術並擷取監視器畫面進行降雨與淹水判定，以及淹水深度與範圍推估，為訓練深度學習模型，本研究收集路口監視器畫面。應用網路爬蟲 (web crawler) 程式擷取監視器畫面，將影像輸入積卷神經網路 (Convolutional Neural Network) 進行降雨辨識，若辨識為降雨，則繼續執行淹水辨識，當有辨識淹水產生時，則進行淹水深度與面積推估，應用例項分割 (Instance Segmentation) 技術擷取畫面中之汽車影像，將其轉換為三模模型，使用模型比例推估淹水深度；另外因車輛影響會影響地面之淹水面積推估，故針對移動物件進行修補，並應用斑馬線為比例尺進行淹水範圍推估。

研究結果顯示，當透過案例進行降雨判識時，降雨特徵如地面潮濕或天氣陰暗可提升辨識度；進行淹水範圍判識，若水面水花濺起、水波形成或水中混有淤泥等可提昇淹水辨識之準確率；而進行深度面積推估時，誤差主要源自於汽車三維轉換的結果與畫面的解析度等；最後進行淹水面積推估時，若積水混雜淤泥或水面濺起水花或水波使淹水顏色、範圍較易擷取，上述影響特徵都可增加辨識之準確度。

關鍵字：深度學習、影像辨識、即時監測、淹水感知器、路口監視器



本圖為應用模型進行淹水與降雨之判識結果。



本圖為應用模型進行淹水範圍之偵測結果。

氣候變遷對新苗地區地下水補注之衝擊評估

Impact Analysis of Climate Change on groundwater recharge in Hsinchu and Miaoli area

廖建程¹

何智超^{2*}

1.逢甲大學營建及防災中心專案工程師

2.逢甲大學營建及防災中心助理教授

* 通訊作者，Email: jliao@mail.fcu.edu.tw

摘要

隨著氣候變遷持續影響，台灣降雨型態有顯著改變，進而影響區域地下水補注趨勢，尤其是新苗地區其地下水自然補注條件較差，若無適當地管理，地下水資源的供需恐失去平衡，因此研究地下水補注量變化趨勢將是掌握整體水資源分配的重要關鍵。本研究以新苗地區地下水分區為研究區域，利用「臺灣氣候變遷推估與資訊平台(簡稱 TCCIP)」AR5 降尺度分析成果配合 GIS 入滲量推估法，分析 RCP8.5 情境下之水文及地下水補注量變化趨勢。降雨變化趨勢分析結果顯示，新苗地區 RCP8.5 情境下枯水期(11-隔年 4 月)各模式降雨量皆有減少趨勢，颱風季(7-9 月)在 ACCESS1-0 與 MIROC5 模式為減少之趨勢，其餘為增加趨勢，梅雨季(5-6 月) bcc-csm1-1-m 與 BUN-ESM 模式有減少之趨勢，其餘為增加趨勢；地下水補注量變動趨勢分析成果顯示，RCP8.5 情境地下水年補注量介於 3.23~3.69 億噸(基期地下水年補注量 3.27 億噸)，其最劣情境較基期減少約 1.2%。這些資訊將可提供雲彰地區研擬水資源調適策略之重要參考。

關鍵字：氣候變遷、地下水補注、降尺度、GIS 入滲量法

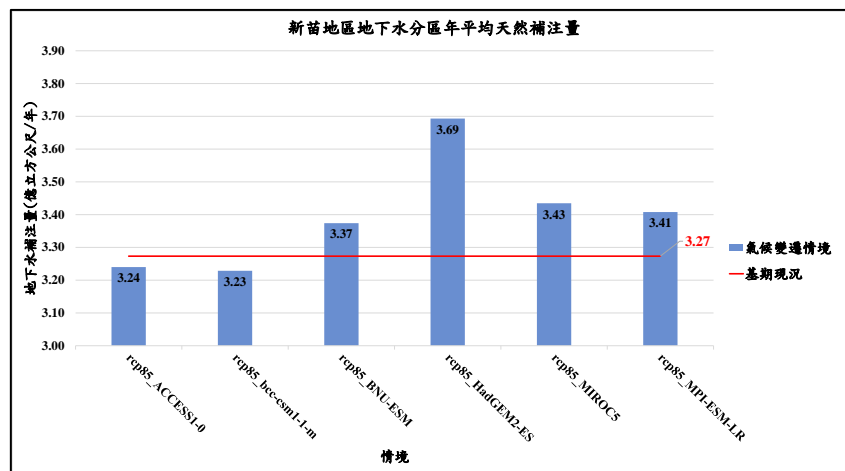


圖 1 新苗地區地下水分區 RCP8.5 各情境地下水年補注量

概似不確定性估計(GLUE)應用於灌溉渠道重金屬傳輸模擬之不確定性分析

Uncertainty analysis of approach via Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE) for heavy metal transport modeling in irrigation channels

吳子婕¹

朱子偉^{2*}

1. 國立台北科技大學土木工程學系碩士

2. 國立台北科技大學土木工程學系助理教授

* 通訊作者, Email: Oulawu851002@gmail.com

摘要

台灣因為缺乏良好的國土使用分配,使得工廠、畜牧場林立於農地之間,又灌排系統沒有完整規劃及妥善分離,當工業廢水、家庭污水等進入灌溉系統中,藉由渠道作為其傳輸媒介進入農田,即造成農田水污染之公害事件。灌溉系統污染來源可分為兩種型態,分別為水源型污染及介入型污染,因此有效掌握灌溉圳路污染源及污染傳輸,能提升管理方案之成效及整治策略之效率。

鑒於重金屬在水體的轉換和傳輸相當複雜,完整的連續水文與水質監測較費時費力,再加上容易發生監測資料缺失或不足的情況,數理水質模式因而成為追蹤重金屬傳輸與評估污染負荷的有效工具。本研究應用 WASP (Water Quality Simulation Program) 模式分析彰化新圳第一期作灌溉渠道中總鉻、鎘、鉛、銅、鋅和鎳 6 種標的重金屬的污染傳輸情形,並且應用概似不確定性估計(GLUE),探討輸入參數的不確定性對模擬結果的影響。研究中針對沉降速率、再懸浮速率、延散係數及分配係數等較敏感參數進行不確定性分析,以拉丁高階方塊及參數矩形區塊取樣法進行蒙地卡羅模擬,再結合概似不確定性估計分析彰化新圳 6 種重金屬濃度可能的範圍。

不確定性分析量化水質模擬中的資料及參數的不確定性影響,透過此類序率模擬研究結果可得重金屬濃度範圍及重金屬負荷的風險機率分布,提供決策者執行灌溉渠道水污染管理及實施污染物總量管制策略的依據。

關鍵字: 概似不確定性估計(GLUE)、重金屬、灌溉渠道、拉丁高階方塊取樣

法(LHS)、蒙地卡羅模擬法(MCS)、不確定性分析、WASP 水質模式

Abstract

In Taiwan, factories and livestock farms are seen standing between farmlands due to inappropriate land use. Moreover, the irrigation and drainage system are flawed and lack proper separation. Industrial wastewater and domestic sewage enter the irrigation system and then enter the farmlands through the transmitting channels, causing water pollution in agriculture. There are two causes of pollution in the irrigation system in recent years: water-source quality and waste intervention. Therefore, effective control over the irrigation pollution source and transmission can improve various management schemes and rectification strategies.

The mathematical water quality model has become an effective tool to track the transport of heavy metals and assess the pollution load because the conversion and transport of heavy metals in water are quite complicated, and that the complete and continuous monitoring of water quality is time-consuming and laborious. Also, the monitoring data is easy to be missing or insufficient. This study adopts the Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) to analyze the pollution and transmission of six heavy metals, including total chromium, cadmium, lead, copper, zinc, and nickel, in the first plow season irrigation water of Changhua's Xin canal, and link with Generalized Likelihood Uncertainty Estimation (GLUE), the uncertainty analysis of input parameters its effect on model simulation is investigated in this study was discussed. This study in connection with the uncertainty analysis of sensitive parameters such as settling velocity, resuspension velocity, partition coefficient, and dispersion coefficient. The effects of uncertainty in model input parameters will be evaluated by using constrained Monte Carlo simulation based on Latin hypercube sampling and Orthogonal Sampling, to analyze the possible uncertainty range of six kinds of heavy metal concentrations in Changhua's Xin canal.

Uncertainty analysis quantize the uncertainty of data and parameters in water quality simulation. Through the range value of heavy metal concentration and the resulting for the risk of probability distribution of model outputs will provide more information for decision-makers to implement water pollution management and total mass based control strategies.

Keywords : GLUE , heavy metal, irrigation channel , LHS , MCS, uncertainty analysis ,

WASP model

參數高度不確定性下以 CUDA 架構進行 GPU 演算之 土石流危險災害評估

Impact Assessments of Debris flow by CUDA- structured GPU computation under high uncertainty of parameters

馬晴元

柯奇均

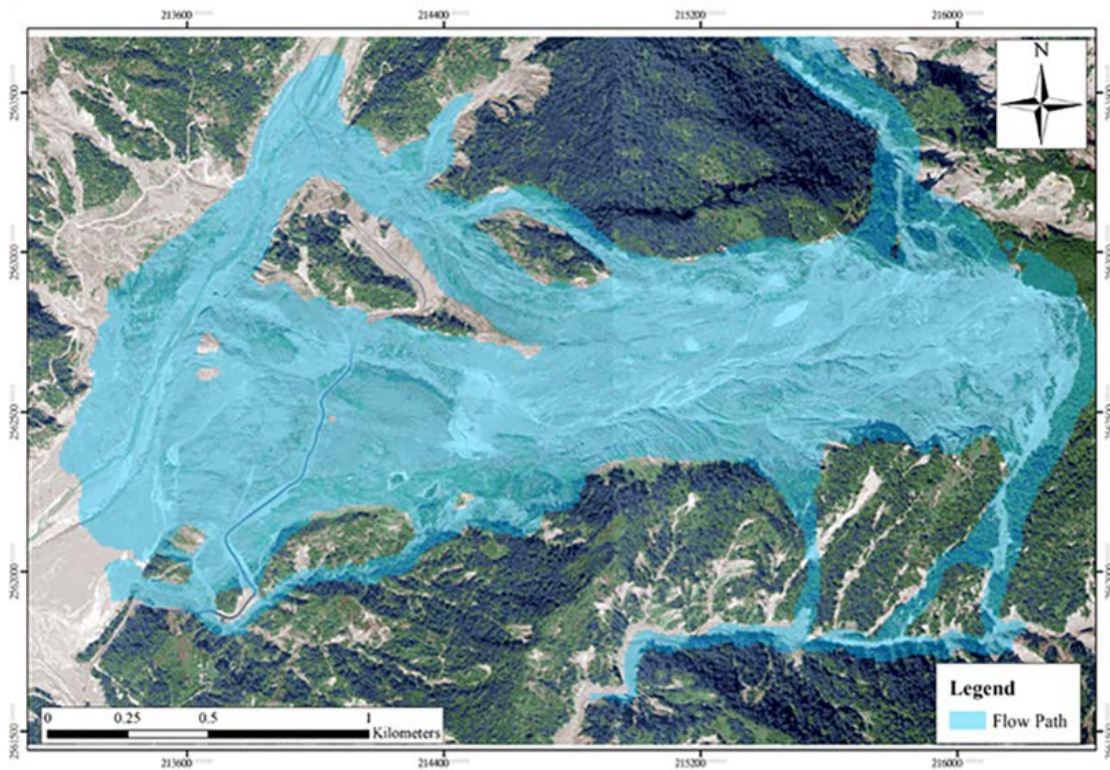
戴義欽*

國立成功大學水利及海洋工程學系 (yctai@ncku.edu.tw)

摘要

土石流災害中，土砂流動之運移路徑是防災領域所注重的一塊，經常以此方式評估土石流災害影響範圍。現今，有許多不同的數值模式來評估災害範圍，不同模式之間因其使用的控制方程式不同，所需輸入之相關參數也有所差異，同時可能會因為不同使用者的經驗，輸入不同參數進行模式計算，在估算災害範圍時產生些許差異。本文為分析不同參數輸入於模式計算上形成之差異，使用本研究團隊所開發二相流數值模式(Modeling on Shallow Flows with Efficient Simulation for Two-Phase Debris Flows, MoSES_2PDF)進行參數率定，並計算不同參數之模擬結果於同一個網格上土砂所流經的次數，根據經過次數多寡，劃分可能發生災害的程度高低，用較客觀的角度判斷災害危險範圍，以減少數值模式使用不同參數之結果差異。本文以小林村崩塌災害事件為例，使用 500 組不同參數進行模擬，標記土體深度大於 10 公分之網格，根據計算結果分析危險區域範圍。然而在不同的數值模式(例如：Kanakano 2D、FLO-2D 等)也能進行不同參數的影響範圍評估，不過受限於大量的網格計算需要耗費較多時間，難以在短時間內得到大量不同參數之計算結果。本文所使用之 MoSES_2PDF 模式，採用 CUDA 架構，進行高性能平行計算，在效能比較上，以模擬小林村崩塌事件(3 分鐘情境)為例，原先使用單核心 CPU 計算需費時 2.5 小時，縮減為 2 分鐘以內，故以此為基礎上得以發展參數率定及大量不同參數之影響範圍評估之應用。

關鍵字：災害危險範圍評估、參數率定、CUDA、GPGPU、平行計算效能



小林村崩塌事件於 MoSES_2PDF 模擬運移路徑

參考文獻

- [1] [1] Tai, Y. C., Heß, J., & Wang, Y. (2019). Modeling Two-Phase Debris Flows With Grain-Fluid Separation Over Rugged Topography: Application to the 2009 Hsiaolin Event, Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124(2), 305-333.
- [2] Mergili, M., Frank, B., Fischer, J. T., Huggel, C., & Pudasaini, S. P. (2018). Computational experiments on the 1962 and 1970 landslide events at Huascarán (Peru) with r. avafLOW: Lessons learned for predictive mass flow simulations. *Geomorphology*, 322, 15-28.
- [3] Ko, C. J., Chen, P. C., Wong, H. K., & Tai, Y. C. (2021). MoSES_2PDF: A GIS-Compatible GPU-accelerated High-Performance Simulation Tool for Grain-Fluid Shallow Flows. *arXiv preprint arXiv:2104.06784*.

以參考橢圓為基礎之理想化破壞曲面最佳化搜尋

Optimization of Landslide Scarp Assessment by Means of the Approach of the Ellipse-Referenced Idealized Curved Surface

王織綾¹

柯奇均¹

呂濬璉¹

戴義欽^{1*}

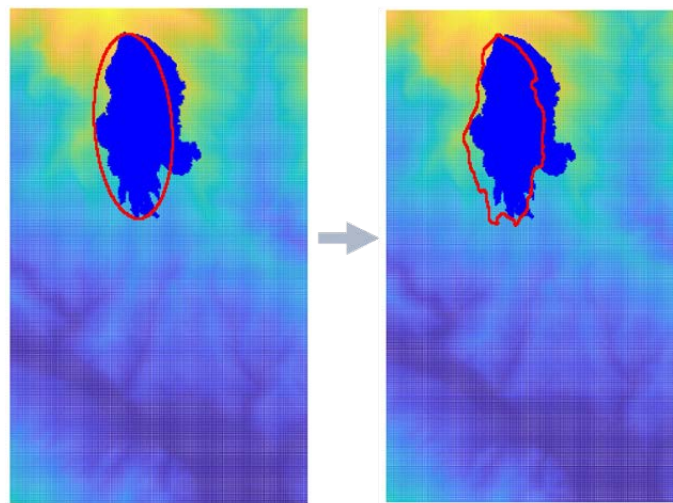
1. 國立成功大學水利及海洋工程學系

* 通訊作者, Email: yctai@ncku.edu.tw

摘要

土砂災害經常造成嚴重的危害，並且大多使用數值模式進行相關的災害評估，然而合理的崩塌破壞面估算對於土砂災害的數值模擬為重要條件。本文使用理想化曲面(Idealized Curved Surface, ICS)，在主軸及側向軸方向上分別使用兩種曲率進行破壞面之建構，其目的為若缺少現地的地質結構、水文資料時，此方法能夠初步進行崩塌破壞面之評估 Tai et al.(2020)。此方法在初始範圍選取時，本文使用一參考橢圓進行初始範圍圈畫，即可建構出對應之理想化破壞曲面，進行崩塌破壞面之評估，然而不同的初始參考橢圓皆會對應出不同的理想曲面，本文透過平移、旋轉、放大、縮小等方式改變初始參考橢圓之型態。在計算上嘗試使用窮舉法、基因演算法兩種方式進行合適之參考橢圓之搜尋比較，窮舉法在計算上需耗時許久才能得到相對應之結果，使用基因演算法則能夠在較短的時間內搜尋出適當的橢圓以提供後續分析，並也表明基因演算法在此方式上之適用性。因此在應用上只需有特定的目標，例如：可能崩塌範圍、傾斜儀位移資料等，就能使用基因演算法搭配參考橢圓進行理想化破壞曲面之建構，以此方式對於現地崩塌破壞面進行相關估算，以利後續土砂運移行為之分析。

關鍵字：理想化破壞曲面、基因演算法、參考橢圓



小林村崩塌事件崩塌範圍之參考橢圓與理想化破壞曲面

參考文獻

- [1] Tai, Y. C., Ko, C. J., Li, K. D., Wu, Y. C., Kuo, C. Y., Chen, R. F., & Lin, C. W. (2020). An idealized landslide failure surface and its impacts on the traveling paths. *Frontiers in Earth Science*, 8, 313.
- [2] Kavzoglu, T., Sahin, E. K., & Colkesen, I. (2015). Selecting optimal conditioning factors in shallow translational landslide susceptibility mapping using genetic algorithm. *Engineering Geology*, 192, 101-112.
- [3] Ko, C. J., Chen, P. C., Wong, H. K., & Tai, Y. C. (2021). MoSES_2PDF: A GIS-Compatible GPU-accelerated High-Performance Simulation Tool for Grain-Fluid Shallow Flows. *arXiv preprint arXiv:2104.06784*.

以無人飛行載具攝影系統自動萃取礫石河床粒徑分佈 資料

An UAV photogrammetry system for the automated extracting grain-size data from Gravel-Bed rivers

巫佳航^{1*}

詹勳全²

鄭卉君³

吳益裕⁴

1. 國立中興大學水土保持學系碩士生
 2. 國立中興大學水土保持學系教授
 3. 國立中興大學水土保持學系碩士
 4. 經濟部水利署水文技術組組長
- * 通訊作者，Email: hunter2012wu@gmail.com

摘要

河床的粒徑組成為溪流環境的重要因子，舉凡：水流的流動、河床的沖淤、棲地的型態與水質的變化皆會受粒徑分佈而影響，傳統的粒徑調查主要以人工採樣的方式進行，調查過程中需對不同區域進行採樣工作，再進行粒徑分析，但採樣與粒徑分析的過程均耗時費力，且部分調查區域具危險性，導致無法得知河道整體粒徑分佈。本研究嘗試建立一個安全、機動性高且快速的河道粒徑分析系統，以無人飛行載具(UAV)進行河道表面顆粒特徵的影像拍攝，配合自動化的影像處理(image processing)來辨識顆粒的輪廓，經由影像辨識出顆粒的代表特徵長度，統計分析特徵長度後獲得粒徑分佈特性。影像處理過程除了採用以往研究常用的邊緣偵測法與集水區分割法進行顆粒輪廓辨識外，本研究亦針對集水區分割法進行修正，改善影像辨識時顆粒相連或重疊時無法分割與過度分割的情況。河道粒徑分析系統以室內實驗檢核影像辨識顆粒數量與代表長度的正確性，於室外實驗進行河道表面顆粒的分佈特性之測試。室內分析結果顯示，在礫石顆粒為分別為分離、緊密與重疊排列之情況下，修正集水區分割法均能辨識出正確的顆粒數量，且辨識出的粒徑代表長度具有最小之平均誤差；室外分析先以人工方式(包括：卵石採樣分析、方形網格採樣及人工圈繪影像顆粒)進行底床質粒徑分佈分析，再將邊緣偵測法、集水區分割法及修正集水區分割法所得之粒徑累積百分比達到50%所對應的顆粒尺寸(D50)與人工方式分析比較之誤差百分比分別為2.46~6.73%、23.60~26.94%與0.94~5.28%。由室內與室外實驗分析之結果可知，修正集水區分割法可準確辨識表面顆粒的輪廓與數量，求得的代表粒徑分佈特性與人工方式結果相近，本研究提出的河道粒徑分析系統可有效且正確進行河道粒徑分佈調查

關鍵字：無人飛行載具、影像處理、粒徑分佈

利用數值模擬與現地觀測探討水工構造物與保護工法 適用性-以大安溪為例

Using Numerical Simulation and On-site Monitoring Data to Study the Effects of Installing Hydraulic Structures in Rivers and their Protection Works - A Case Study of the Daan River of Taiwan.

陳庭威^{1*}

石棟鑫²

1. 國立陽明交通大學土木工程學系碩士

2. 國立陽明交通大學土木工程學系副教授

* 通訊作者，Email: ya1111299@gmail.com

摘要

近年來臺灣遭受極端氣候影響，強降雨與颱風事件所造成的洪水，對於河川短急的臺灣而言，容易造成河川底床沖刷、橋墩周圍沖刷與堤防潰堤的災害發生。大安溪白布帆河段過往遭受許多洪水災害，而近年來最為嚴重的一次為 2013 年蘇力颱風侵蝕白布帆堤防，造成破堤。對於易致災性的河段的水理流況與輸砂現象，以及如何減緩橋墩周遭沖刷情形，實屬重要課題。

本研究為掌握大安溪高風險白布帆段之河道穩定及水工構造物之安全評估，以 HEC-HMS 模擬山區地表逕流，並透過水文模式 WASH123D 進行該研究區域的校準與驗證。最後藉由二維動床模式 CCHE-2D，模擬白布帆大橋於不同重現期流量下，白布帆段及白布帆大橋橋墩河床沖淤趨勢，並探討拋石工法及潛板等保護工設立前後，河川流速、底床沖刷深度等變化來推估保護工法的適用性，以提供未來河川治理與橋梁安全管理之參考。

關鍵字：大安溪、HEC-HMS、WASH123D、CCHE-2D、橋墩沖刷、沖刷保護工

以深度學習預測海溫及颱風冷卻效應對於珊瑚白化之 風險

Applying Deep Learning to Predict the SST variation and Typhoon Induced SST Cooling on the Risk of Coral Bleaching

馮馨柔^{1*}

林遠見²

1. 國立中央大學土木工程學系防災與資訊應用組 碩士生

2. 國立中央大學土木工程學系防災與資訊應用組 副教授

* 通訊作者，Email: shannon98529@gmail.com

摘要

2020 年，澎湖南方四島發生嚴重的珊瑚白化現象且可能造成大量珊瑚死亡，珊瑚為海洋重要的生態庫，豐富海中的生物多樣性，但珊瑚可以存活的溫度範圍狹窄，暖化造成的海溫上升影響不容小覷，若極端氣候持續的發生，珊瑚將會更難生存，故能準確預測未來之海溫變化極為重要。除了海溫外，澎湖附近海域之珊瑚白化指數 DHW (Degree Heating Weeks) 也在 2020 年達到史上最高，且近 15 年珊瑚白化風險透過分析有著明顯上升。本研究以深度學習方法預測海溫，並反推算 DHW，準確度高達 99.22%，對於預測未來海溫及 DHW 可以提供良好貢獻。澎湖在 2020 年並未受到颱風侵襲，少了颱風攪動海水，冷卻海溫的效果，連續的高溫也是其中原因導致珊瑚白化，而颱風的強度、風速及海洋混和層厚度都會造成不同程度的海溫冷卻，本研究分析過去颱風事件不同因子對於海溫冷卻之相關性，建立機器學習模型分類不同颱風事件是否造成海溫冷卻效應，有著 91.7% 之準確率，其中以南方四島中心與颱風中心的距離特徵提供最顯著海溫冷卻因子。本研究希望建立之預測模型可以提供相關機構資訊，為珊瑚保育盡一份心力。

關鍵字：珊瑚白化、颱風特徵分析、深度學習、海溫、DHW、澎湖南方四島



圖 1 CNN+LSTM 神經網路模型預測海溫及 DHW 結果

海溫資料總計有 1991-2020 年 30 年之日資料，從 2010 年以後之年平均海溫有穩定上升的趨勢，故本研究只利用 2010 年以後之海溫進行訓練，進行單變量之時間預測模型，如圖 1 所示，褐色線即為 SST (Sea Surface Temperature) 遙測資料，藍色線為模型預測結果，時間為測試集範圍，發現基本上大部分的起伏及特徵都抓的十分準確，右下角之小圖為轉換為 2019 年與 2020 年 DHW 之值，發現雖然海溫預測之最高點差異看起來並不顯著，但轉換為 DHW 後仍有些保守，故能夠準確預測海溫之高點非常重要。

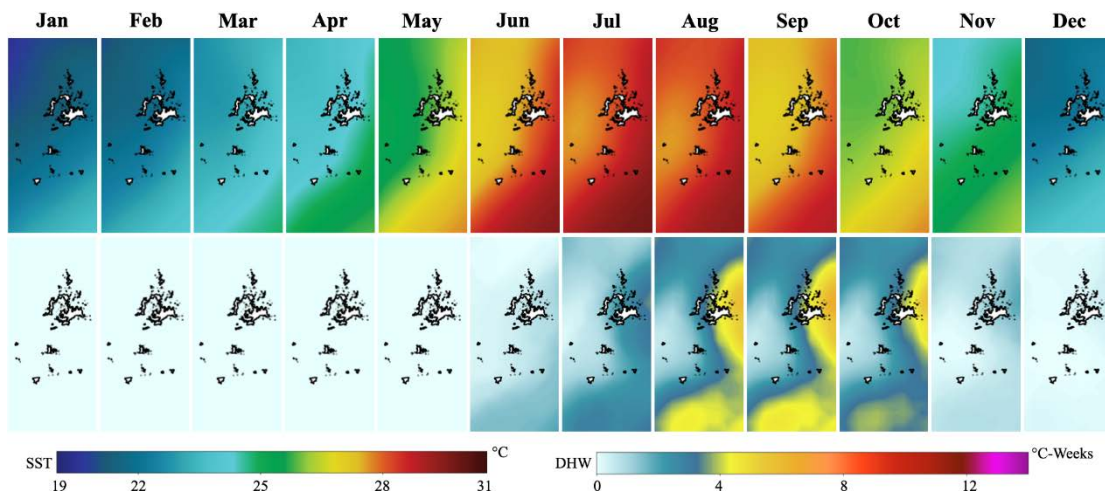


圖 2 SST 及 DHW 之 30 年月份平均

圖 2 為 SST 及 DHW 30 年來的月份平均，上排為 SST 圖，下排為 DHW，當 DHW 小於 4 時，該地並沒有珊瑚白化風險，而大於 4 即代表此處有珊瑚白化風險，大於 8 則可能發生廣泛珊瑚白化或死亡的事件。6 月開始進入台灣的夏天，對珊瑚的熱壓力影響也逐漸開始直到 11 月才開始慢慢消退至沒有白化的風險，若以 30 年的平均來探討，8 月到 10 月為珊瑚白化較嚴重的月份，尤其以澎湖東部及南方四島南部最為嚴重，而南方四島的東邊，東吉嶼與西吉嶼也較西半部之西嶼坪嶼和東嶼坪嶼珊瑚白化風險高出一些。

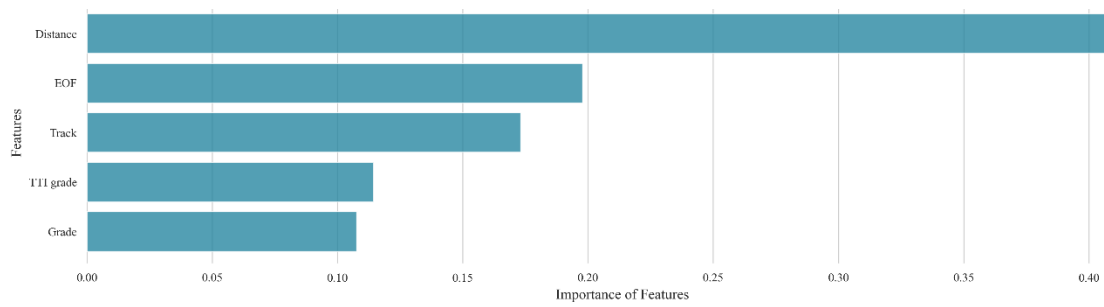


圖 3 各項特徵貢獻度

統計這 30 年來經過澎湖附近海域之颱風數量，利用隨機森林模型預測該颱風事件是否具有顯著海溫冷卻效應，將所有事件區分為訓練集 (80%) 及測試集 (20%) 進行預測分類，使用梯度提升樹 (Gradient Boosting Decision Tree, GBDT) 並用 5 折交叉驗證進行最佳化的參數選擇，使得測試集之準確度高達 91.7%，訓練集之 AUC (Area Under Curve) 也有 97.6%，而其中以南方四島之中心與颱風中心距離之特徵最為顯著，占了分類比重之 41%，參考圖 3。

以 iRIC 模式探討辮狀河川之河相演變

- 以大甲溪為例

Morphological Evolution of Braided River Using iRIC Numerical Model – Taking Dajia River as an Example

許世彥^{1*}

許少華²

1. 逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士

2. 逢甲大學水利工程與資源保育學系教授

* 通訊作者, Email: simon13016@gmail.com

摘要

臺灣的辮狀河川多發源於高海拔地區，當河川流至沖積扇時，由於坡降驟減、河道展寬、水深減少，卵礫石河床質大量沉積，形成廣闊的辮狀河道；然而因為辮狀河川深槽擺盪及沙洲遷移頻繁的特性，使得此類河川的河性分析相對困難。本文以 iRIC 二維動床模式模擬大甲溪石岡壩下游辮狀河段在 2012 年至 2013 年的河相演變，探討其河床沖淤機制、河道在縱橫方向的變遷以及河相受河工構造物的影響。由分析結果得知，數值模式可呈現與實際河川相近的形態特徵，並在模擬期間出現河心沙洲、撇灣切灘、沙洲裂解及深槽改道等河相演變的機制，這些沖淤機制多由不同的底床及邊界條件所引起，進而改變下游地形或加劇河道的辮狀化；在上游輸砂平衡的假設條件下，河槽的寬窄程度則影響辮狀河道呈現縱向刷深或橫向擺盪的特性；此外，位處河川凹岸的縱向構造物若採用表面糙度較低的材料，在洪峰時容易加速水流對凹岸的沖蝕，而橫向構造物則因攔阻砂石改變河川原有的土砂收支，促使上下游的河床形態改變。研究成果對未來河相演變相關議題與河道整治工程與規劃皆有參考價值。

關鍵字：辮狀河川、數值模式、iRIC、大甲溪、河工構造物

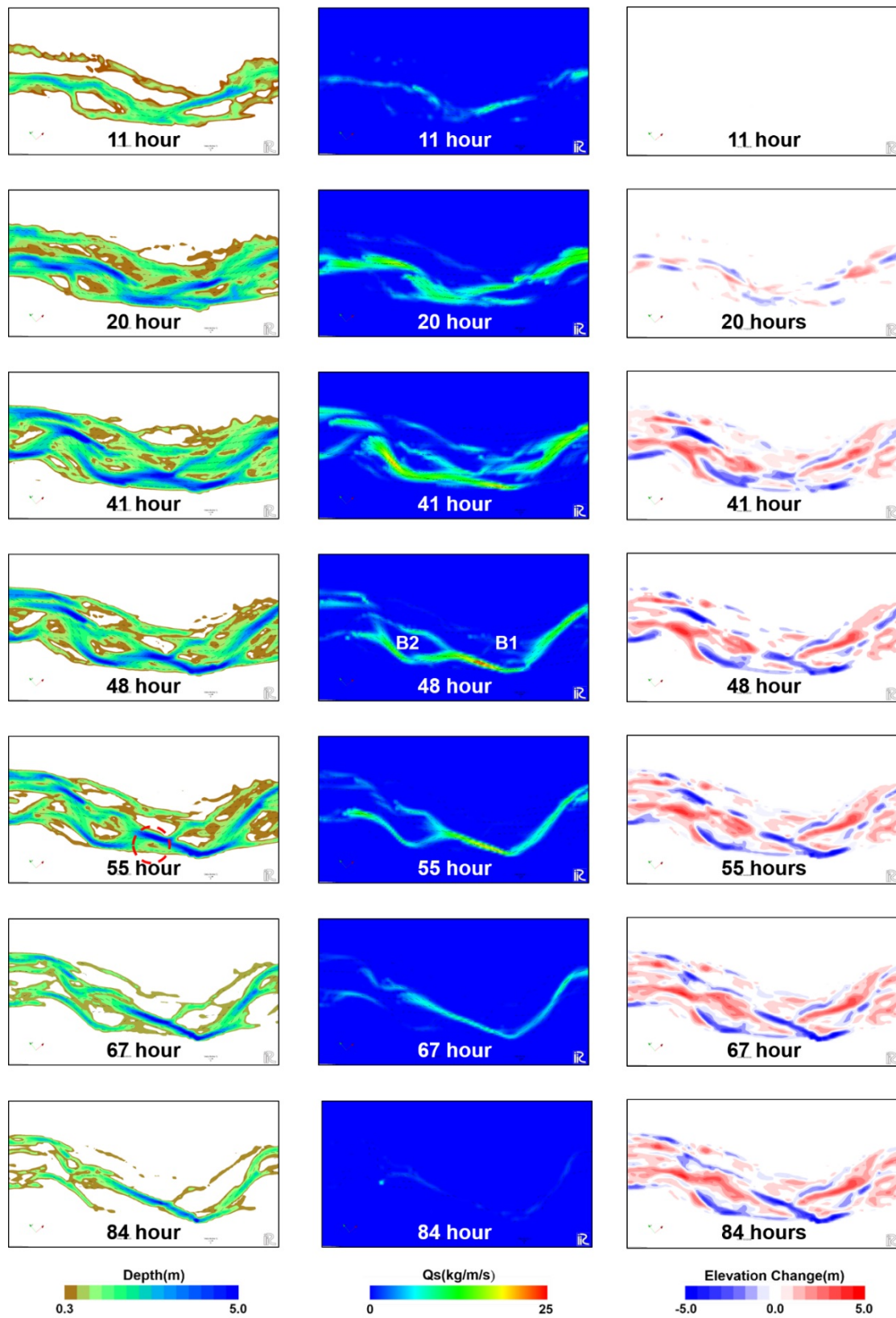


圖 1. 辨狀河道的深槽改道過程，由左至右分別為水深、輸砂量及高程變化量圖

應用遞迴神經網路於多時間尺度下標準化降雨指標之 乾旱預測

Drought Prediction based on Standardized Precipitation Index with Varying Timescales using Recurrent Neural Networks

劉祐瑄¹

孫建平^{2*}

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士
 2. 國立成功大學水利及海洋工程學系教授／系主任
- * 通訊作者，Email: jpsuen@mail.ncku.edu.tw

摘要

受全球暖化、氣候變遷的影響，極端氣候頻傳，導致強降雨及短期乾旱的頻率上升，為了更有效的水資源管理以及評估降雨量的多寡造成的濕潤或乾旱程度，本研究採用能基於多時間尺度量化降雨量的標準化降雨指標(Standardized precipitation index, SPI)對台灣地區基隆、淡水、台中、高雄、恆春、成功、花蓮和阿里山 8 個降雨測站進行評估，將 8 個測站自西元 1951 至 2014 年之月雨量數據，結合觀測聖嬰現象之 Niño 區域的月平均海表面溫度，使用近期新發展的遞迴神經網路中的長短期記憶模型與門控遞迴單元，對 8 個降雨測站做出不同時間尺度(1、3、6 與 12 個月)之 SPI 值，並與多元線性迴歸做出比較。各測站之 SPI-1 在測試集三種模型下，皆無法順利建立良好的模型，但是各測站 SPI-3、SPI-6 以及 SPI-12 在測試集三種模型下，效率係數與判定係數在多數的情況下分別都能保持在 0.7 與 0.8 以上的水準。本研究也透過前人的研究結果嘗試探討聖嬰現象與台灣地區降雨之關聯，對不同的地理位置與時間尺度下之降雨量做出推測，用以解釋模型表現優劣的原因。最後本研究認為 Niño 區域的海表面溫度對於用以預測台灣地區時間尺度 3 個月以上之 SPI 值，不管位於何地理位置，都能使模型有良好的表現。

關鍵字：標準化降雨指標、遞迴神經網路、長短期記憶模型、門控遞迴單元

考量內外水動態模擬下之逕流分擔策略成效評估

Evaluation of Runoff Allocation Schemes with River Basin and Urban Drainage System

黃莉雅¹

何昊哲^{2*}

1. 國立台灣大學土木工程學系碩士

2. 國立台灣大學土木工程學系助理教授

* 通訊作者，Email: haocheho@ntu.edu.tw

摘要

在都市化與氣候變遷影響下，由於既有基礎設施老化與預算考量，將使得都市暴雨管理面臨極大挑戰。以韌性為治理著眼點的新興暴雨管理策略已是目前的潮流，我國政府也是積極推動相關的洪水治理政策，並於民國 107 年透過水利法修法提出逕流分擔策略，以土地與水道共同承擔洪水觀念，利用既有公有設施空間規劃逕流抑制(如低衝擊開發設施，Low impact development, LID)、逕流分散、逕流暫存(如滯洪池)及低地與逕流積水共存措施，以提升城市韌性。然現行逕流分擔策略中二維洪水演算主要使用 SOBEK 模式，受限於模擬範圍與計算成本，僅能概估淹水區域之逕流分擔需求量，而後以估算公式計算 LID 設施與滯洪池的分擔潛能量，其與實際淹水區域與措施可能會具有空間分布上的差異。因此，本研究使用 3Di 模式，透過該模式可處理大量 DEM 資料與計算量，同時可於河川與雨水下水道系統匯流處採動態水位模擬之優勢，以高精度的模擬結果來貼近於真實淹水情況。研究區域選擇鹽水溪流域及新化區的雨水下水道系統，比較過往雨水下水道模擬僅使用計畫水位作為邊界條件的模擬方式與考慮內外水動態模擬的差異。研究結果顯示外水位歷線具有時變性，若以計畫水位設定為邊界條件，恐無法反映其外水位在降雨事件中的變化且容易發生外水位低估情形，淹水範圍與量體受到外水位及集流範圍差異所影響。此外，動態模擬可考量淹水區位與逕流分擔策略之空間分布差異，正確地推估淹水區域的逕流分擔需求以及措施逕流分擔潛能量。

關鍵字：逕流分擔(Runoff Allocation Schemes)、3Di 模式、低衝擊開發(Low impact development, LID)、滯洪池

模擬水位比較

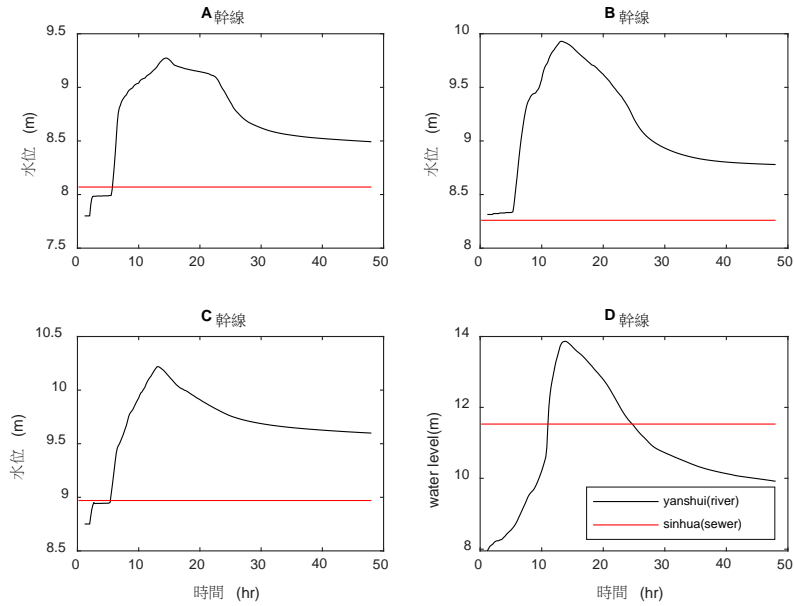


圖 1、雨水下水道系統各幹線出口水位歷線(10yr24hr)

(圖 1 說明)圖中黑線表示由鹽水溪流域採內外水動態模擬之雨水下水道系統出口外水位歷線，紅線表示各排水幹線出口之外水位依其規劃報告所對應之計畫水位，結果顯示外水位歷線具有時變性，其洪峰到達時間約介於第 13-14 小時，模擬洪峰水位介於 9 至 14 公尺，計畫水位介於 8 至 12 公尺，兩者差異約 13% 至 20%，在 B 幹線中水位均高於計畫水位並於第 5 個小時劇增，A 和 C 幹線之洪水位於降雨事件中，於水位遽增前略低於計畫水位，而於第 5 個小時遽增且高於計畫水位，而 D 幹線則於第 11 小時前與第 25 小時後低於計畫水位，而於第 11-24 小時期間高於計畫水位。於雨水下水道系統模擬時，若以計畫水位設定為邊界條件，恐無法反映其外水位在降雨事件中的變化且容易發生外水位低估情形。



(a)流域與雨水下水道模型(計畫水位)差異



(b)、雨水下水道模型(計畫水位與動態水位)差異



(c) 流域與雨水下水道模型(動態水位)差異

圖 2、三種模型之淹水面積差異比較(10yr24hr)

(圖 2 說明)圖中為新化雨水下水道系統之規畫範圍，藍色區塊為鹽水溪流域採內外水動態模擬下之淹水範圍，黃色區塊則為新化雨水下水道系統，採計畫水位作為邊界條件之淹水範圍，綠色區塊則為將鹽水溪流域之動態水位歷線設定成新化雨水下水道系統邊界條件之淹水範圍。以外水之區域排水保護標準 10 年重現期 1 日暴雨進行模擬比較，如圖(a)所示，採用內外水動態模擬與過往雨水下水道系統以外水計畫水位作為邊界條件之淹水面積分別為 28.55 與 8.92 公頃，差距約達 220%。同樣以都市計畫區為集流範圍的雨水下水道模型中，以計畫水位和流域模擬之動態水位歷線作為下水道出口之邊界條件設定的差異，如圖(b)所示，兩模型之淹水面積分別為 8.92 和 15.84 公頃(增加約 78%)；在雨水下水道出口邊界條件相同的情況下，流域與都市計畫區的集流範圍差異，如圖(c)所示，使得兩者淹水範圍分別為 28.55 與 15.84 公頃(約增加 80%)。可了解到雨水下水道系統模擬時，其淹水模擬結果受到外水位以及集流範圍差異影響。

使用新型分層井管監測三維含水層及水文地質參數

Unseized innovative well pipe to monitor three-dimensional aquifer and hydrogeological parameters

李步昇¹

溫志超^{2*}

1. 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程學系碩士

2. 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程學系教授

* 通訊作者，Email: [wenjc@yuntech.edu.tw](mailto:wenj@yuntech.edu.tw)

摘要

近年來，透過井管內加裝填塞器 (Packer) 進行管內分層來觀測不同深度的水位洩降可以成功的推估三維地下含水層之流通係數 (T) 及儲水係數 (S) 等分佈場。但在單井中要量測多個深度的水位洩降就得重複安裝多組 Packer，且若要進行非等向性的水文地質參數分析則需建立多口觀測井，這導致獲取分層洩降數據須耗費不少的工時、勞力及建井成本。因此本篇研究設計出一種多階同心圓式井管裝置，能直接在單一井管內同時量測到不同深度的水位變化，再依監測出的不同層水位變化資料進行垂直流分析，以獲得含水層的垂直水文地質參數。此創新設施既可同時在單一井量測多個深度層的水位變化，又可直接測得水平及垂直的水流變化。為了驗證此新型井管可行性，將利用砂箱建構出三維含水層並進行抽水試驗，以水力斷層掃描 (Hydraulic Tomography, HT) 推估含水層的三維水文地質參數分佈場。藉由此概念來更完善的推估出整個地下含水層的環境資料，更有效地描繪出 3D 的數值場。這對未來分析區域流場的變化、地下水補注模式及地下污染的擴散控制將有著極大的貢獻。

關鍵字：三維地下含水層、垂直流分析、砂箱、水力斷層掃描、地下水補注模式

結合資料探勘方法建立濁水溪沖積扇自由含水層

水文地質參數推估模式

Application of Deep Learning Model Processing Groundwater table for Hydrogeologic Parameter Estimation

葉姿妤¹

翁紫涵²

林遠見^{3*}

1. 國立中央大學土木工程學系碩士

2. 國立中央大學土木工程學系學士

3. 國立中央大學土木工程學系副教授

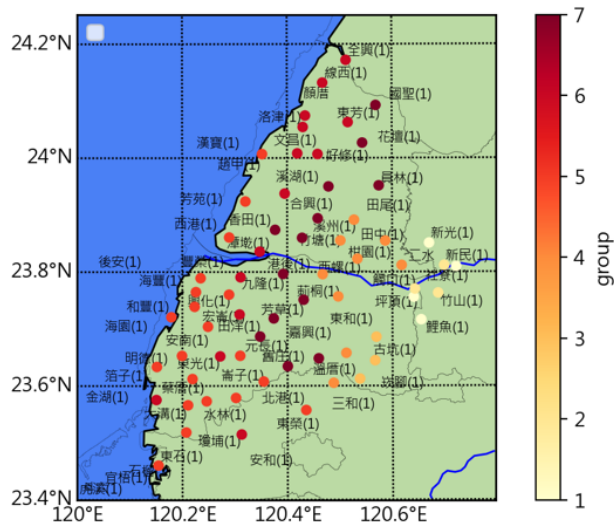
* 通訊作者，Email: yclin@ncu.edu.tw

摘要

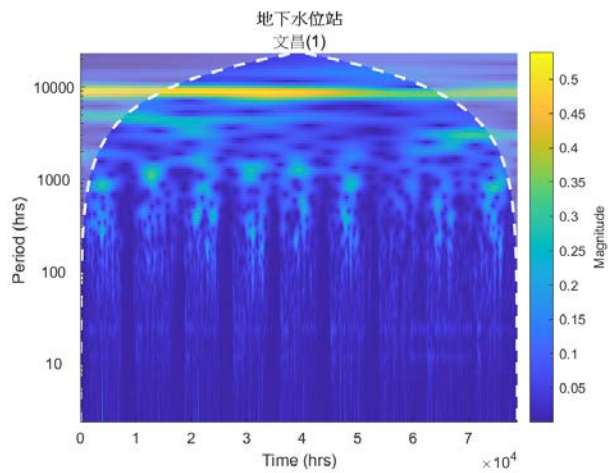
極端氣候下，乾旱與洪災的發生機率日益提升，因此積極研究與開發環保且有效率的水資源管理方法也越發重要。其中地下水相較於其他水資源更為穩定的特性，在極端氣候下的水資源開發與利用方面具有極高的潛力。過去幾十年來，已累積大量的地下水位數據，並有許多專家學者證實地下水位變動與水資源、地質穩定度等密切相關，可做為水資源管理的重要參考對象。地下水位數據較易取得且資料量豐富穩定，搭配近年來快速發展的資料探勘技術有望開發更多的研究與實用價值。

相對於地下水位觀測資料，水文地質參數的取得較為困難。本研究以濁水溪沖積扇範圍內自由含水層之地下水位為研究對象，為探討該地區地下水位與水文地質參數的關係，運用聚類分析方法分析濁水溪沖積扇各觀測站之地下水位頻譜圖，得到相似水位波動特性的觀測站分組資訊，發現各組分布狀況符合濁水溪沉積作用分布地理位置。並運用經驗正交函數法(Empirical Orthogonal function, EOF)、連續小波轉換分離出地下水位短、中、長期的高頻訊號，並蒐集各觀測站之粒徑、高程等作為深度學習輸入的資訊，輸出水文地質參數推估值，比較各機器學習方法在推估水文地質參數的表現。進而得出一種更加快速經濟的方式，以期建立一精確模式以地下水位推估水文地質參數。

關鍵字：地下水位、水文地質參數、機器學習、聚類分析、連續小波轉換



濁水溪沖積扇聚類分析



文昌站連續小波分析

魚類群聚與環境關聯性及伏流水與地表逕流交換分析

The Relationships between Fish Assemblages and Environmental Factors and the Analysis of Hyporheic-Surface Hydrological Exchanges.

柯柏隆¹

邱映軒²

孫建平^{3*}

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生
 2. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士
 3. 國立成功大學水利及海洋工程學系教授／系主任
- * 通訊作者，Email: jpsuen@mail.ncku.edu.tw

摘要

本研究區域位於屏東縣萬巒鄉五溝水，根據內政部國土測繪中心提供的 2018 年土地利用分區圖層和歷年採樣資料綜合評估下選擇一號水門、屋背溝和下游區三個區域，探討三區域之間地表逕流水質差異，並且比較不同年份下屋背溝區（2014 年和 2021 年）和下游區（2013 年、2019 年和 2021 年）地表逕流水質差異。伏流水介於地表逕流和地下水之間，其水質特性受到上湧和下滲交換機制影響，且與地表逕流水質也會有很大差別。本研究分析伏流水上湧和下滲水質差異和伏流水與地表逕流水質差異。棲地或水質等環境因子的變化會影響魚類群聚和族群量。本研究利用排序分析，探討樣點、物種與環境因子間的相關性。利用複迴歸分析的逐步迴歸法，探討單一物種的豐富度與環境因子相關性。由排序分析和複迴歸分析的結果得知，銀高體鮑、橘尾窄口鮑和絲鰭毛足鬥魚喜歡的環境相似，短吻紅斑吻鰕虎和極樂吻鰕虎喜歡的環境相似（參見圖 1）。大部分的魚類都有其偏好的物理棲地環境，在半紋小鮑水深、流速及底質棲地適合度指數分析中，得知此物種偏好流速為 0 ~ 0.1(m/s)、水深為 45 ~ 60(cm)且底質為鵝卵石（粒徑 64 ~ 256mm）的棲息地。利用排序分析、複迴歸分析和棲地適合度指數的分析結果，發現半紋小鮑喜歡水深深的緩流地區，短吻紅斑吻鰕虎喜歡水深淺的急流地區，兩物種的棲地選擇不同。了解物種的棲地偏好有助於未來保育人員制定更完善的保育政策。

關鍵字：土地利用、伏流水、魚類群聚與環境因子、棲地適合度指數

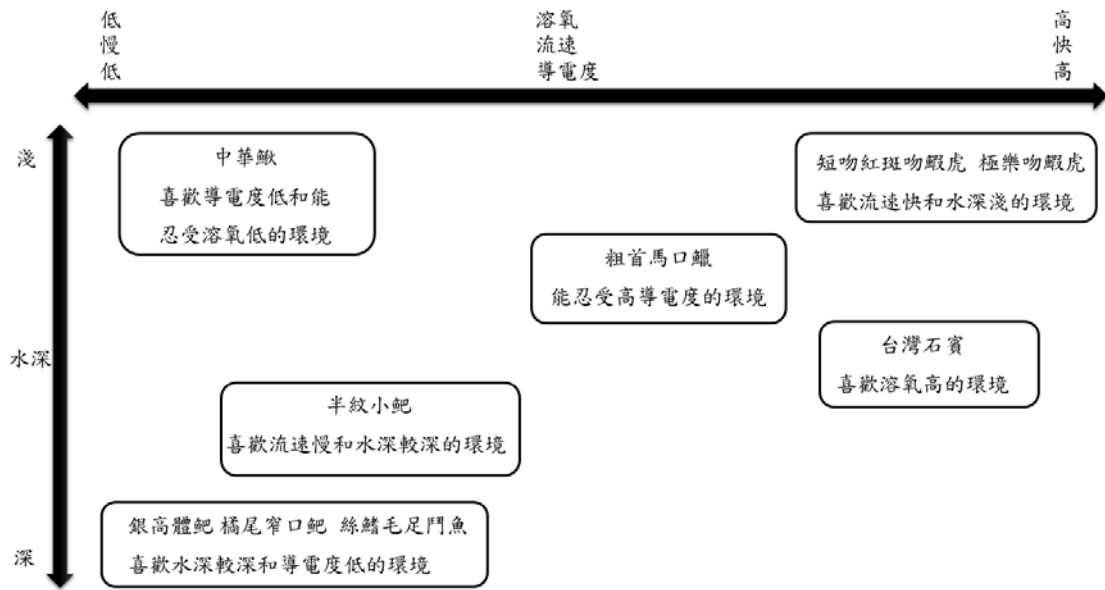


圖 1 魚類與環境梯度圖

深度學習之月雨量降尺度模式

Downscaling Model of Monthly Rainfall with Deep Learning

朱楷洋¹

葉威里²

林旭信^{3*}

1. 中原大學土木工程學系碩士生

2. 中原大學土木工程學系碩士

3. 中原大學土木工程學系副教授

* 通訊作者，Email: linxx@cycu.edu.tw

摘要

本研究以深度類神經網路(Deep Neural Network, DNN)建立 DNN 統計降尺度模式，探討臺中氣象站未來月降雨趨勢。研究使用之資料為，IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)第五次評估報告 GCM(General Circulation Model)之 ACCESS 與 CSMK3 不同濃度途徑情境(Representative Concentration Pathway, RCP)的 RCP4.5 與 RCP8.5；臺中測站 1950/01~2005/12 之月降雨量資料。以原始變數與核主成分分析(Kernel Principle Component Analysis, KPCA)作為變數選擇方法，利用歷史情境階段性優化模式參數以建立 DNN 統計降尺度模式，推估案例區域月降雨量，並使用多變量線性回歸(Multiple Linear Regression, MLR)作為基準模式比較二者效能。

模式結果顯示:DNN 統計降尺度模式均優於 MLR 模式，其中以 CSMK3 模式與原始變數建立之模式效能最佳。以三分類(偏少、正常、偏多)與累積機率分析臺中(全年、夏季與冬季)未來情境月降雨量趨勢顯示，以 ACCESS 與 CSMK3 建立之模式全年降雨分類主要分類為正常與偏多，其中以 CSMK3 之 KPCA 模式降雨分類為正常之情況機率大於 80%，未來全年降雨累積機率曲線與歷史觀測值相似；夏季降雨預測顯示大部分模式降雨分類為正常，其中以 CSMK3 之 KPCA 模式降雨分類為偏少之情況機率分別為 97.85%與 79.0%，未來夏季降雨主要集中在 200mm~300mm；冬季降雨預測顯示以 CSMK3 之 KPCA 模式降雨分類為偏多之情況機率達 100%，其餘模式降雨分類為均勻分布，冬季降雨主要集中在 0mm~100mm。

關鍵字：氣候變遷、AR5、核主成份分析、機器學習、深度學習

研析氣候變遷對水庫集水區水質影響與因應策略

Effect of Climate Change on Reservoir and Watershed Water Quality and its Associated Implementation Strategies

林育誼¹

張慧嫻^{2*}

潘述元^{3**}

1 國立臺灣大學生物環境系統工程學系 博士研究生

2 財團法人農業工程研究中心 副研究員

3 國立臺灣大學生物環境系統工程學系 助理教授

* 通訊作者，Emails: changhh@aerc.org.tw、sypan@ntu.edu.tw

摘要

近年來，氣候變遷使各國面臨嚴重乾旱或水澇，且因極端天氣導致之災害事件頻傳，水資源永續管理成為全球面臨重要議題之一。許多研究顯示，極端氣候事件發生常伴隨河川水文變化、洪水及森林流失，同時全球暖化造成氣溫持續升高，將嚴重影響湖庫表面水溫，造成水體分層與水環境生態改變。事實上，造成水庫水質變化之影響因子眾多且複雜，因此，過去研究中針對氣候變遷對於水庫水質影響之研究亦較少。本研究以德基水庫為案例，根據歷年水質監測數據與庫區水文及氣候條件，研析極端事件發生時，因地表逕流、污染/營養鹽傳輸、放流水及水位等因子改變，對於水庫水質、藻類生長及營養狀態之影響。分析結果顯示，該地區於近五年間，冬季月均溫略有上升趨勢，年雨量落差大且曾有嚴重旱象發生；若以近三十年之長期水質數據進行分析，發現庫區水體之卡爾森透明度指數（TSI-SD）偏高，為造成水體優養化比例提升之主要因素。另一方面，由於水庫水情對於確保水質與水量之安全與永續至關重要，本研究根據歷年水質監測數據分析結果，提出水庫水質改善之整合式管理策略，包含削減集水區污染負荷、完善集水區土地利用規劃、建構健康水庫管理體系及研擬因應氣候變遷水庫經營調適措施。

關鍵字：水質監測、德基水庫、卡爾森指數、非點源污染、營養鹽、旱象

致謝：本研究特別感謝經濟部德基水庫集水區管理委員會「110 年度德基水庫水質與藻類監測計畫」（編號：110TECH02）經費支持。

受降雨補注之二維非承壓含水層

地下水水位變動之研究

Study on the variation of groundwater level in a two-dimensional unconfined aquifer due to rainfall recharge

吳明昌^{1*}

謝平城²

1. 國立中興大學水土保持學系博士

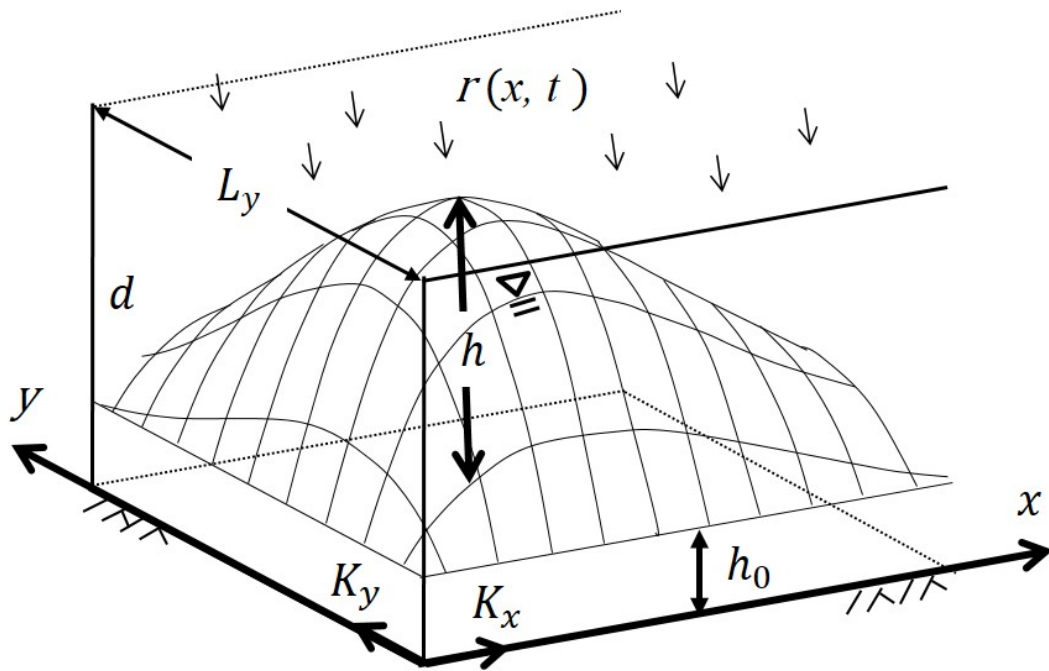
2. 國立中興大學水土保持學系教授

* 通訊作者，Email: d105042002@mail.nchu.edu.tw

摘要

地下水在台灣大多儲存於由河川沖積形成的西部平原地區。由古至今，人民大量使用地下水用於民生、灌溉及養殖魚業等。近代，由於超抽地下水，使得地層下陷的情況愈發危急，許多沿海地區的土層因海水入侵而無法使用，居民被迫搬離。因此，為了解地下水受補注後的水位變動情形，藉此擬定出一套供水措施，防止地下水收支平衡被打破。一般多使用室內實驗、實地觀測及建立數學模式來進行地下水的研究。地下水之模式建立發展至今，專家學者們提出許多不同型態的數學模式，而多數研究採用結合達西定律及連續方程式得到的 Boussinesq 方程式做為控制方程式。本研究藉由數學模式來建構地下水物理模型，並透過電腦模擬來得到地下水變動情況。地下水的補充來源多為降雨過後之地表逕流水入滲至地下含水層所形成。本研究考量地表補注於時、空上變動對地下水的影響。控制方程式是採用二維線性化 Boussinesq 方程式，並依據模擬範圍的不同，使用不同的控制方程式及邊界條件，再以廣義積分轉換法獲得水位及流量的解析解。

關鍵字：二維 Boussinesq 方程式、廣義積分轉換法、時空變化補注



水平均質 x 方向為半無限域、 y 方向為有限域二維非拘限含水層之示意圖

二相土石流動態模擬數值模式之沖刷堆積研究

An Investigation of Grain-Fluid Model of Debris Flow on Deposition and Erosion

王福杰¹

戴義欽^{2*}

堀田 紀文³

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系博士生

2. 國立成功大學水利及海洋工程學系教授

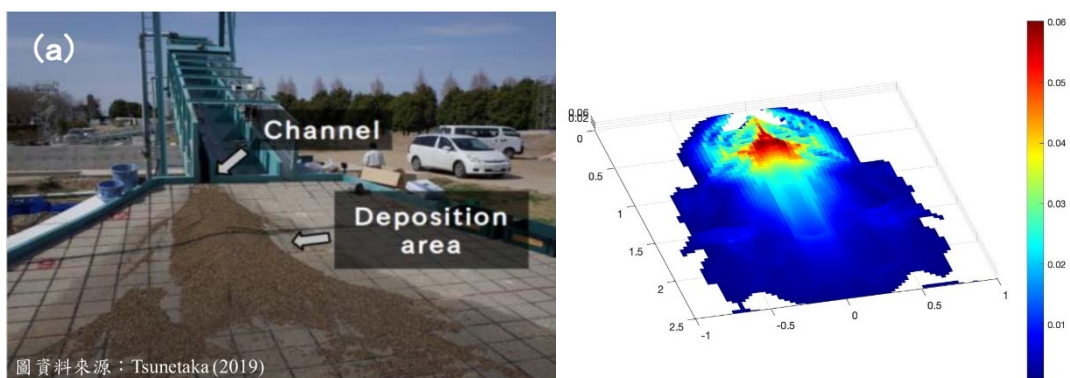
3. 東京大學農業與生命科學系副教授

* 通訊作者，Email: yctai@mail.ncku.edu.tw

摘要

近年來高強度短延時之降雨事件發生頻率不斷提升，若集水區內同時具有大量的不穩定土壤或曾發生崩塌，將極大可能發生降雨誘發土石流事件。為了降低土石流所帶來之衝擊，除了建置水工構造物或現場預警設施，也可透過土石流數值模式事先了解土石流影響範圍或水工構造物之效益。其中土石流無論處於運移或堆積階段，其材料特性應視為動態變化(如 固-液體積濃度、剪應力、黏滯性 等)。除了受到地形影響而改變材料特性，因土石流混合巨石、礫石、沙與水，對於行經河床而言將發生沖刷與堆積現象，此現象也將改變土石流最終堆積型態。綜合上述考量，本研究應用 Tai et al. (2019) 之二相土石流數值模式(Debris Flow Model for General Topography, DFMfGT)整合沖刷堆積機制，並參考 Chen & Zhang (2015)使用之沖刷堆積率作為依據。為了進一步驗證本研究整合之沖刷堆積機制，將應用 Tsunetaka (2019)所進行之土石流沖刷堆積實驗中最終堆積型態與本研究 DFMfGT 模式模擬結果進行比較。

關鍵字：二項土石流數值模式、沖刷堆積機制、土石流沖刷堆積實驗



參考文獻

H. Tsunetaka, N. Hotta, Y. Sakai, Y. Nishiguchi, & J. Hina. (2019). Experimental examination for influence of debris-flow hydrograph on development processes of debris-flow fan. In 7th International Conference on Debris-Flow Hazard Mitigation, 2019 June 10-13(Vol. 03-29). Colorado School of Mines, USA.

H. X. Chen, & L. M. Zhang. (2015). EDDA 1.0: integrated simulation of debris flow erosion, deposition and property changes. *Geoscientific Model Development*, 8(3), 829-844.

Y. C. Tai, J. Heß, & Y. Wang. (2019). Modeling Two-Phase Debris Flows With Grain-Fluid Separation Over Rugged Topography: Application to the 2009 Hsiaolin Event, Taiwan. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 124(2), 305-333.

Rainfall Thresholds for Landslide Occurrences over Bali Island using Satellite Precipitation Datasets

Putu Aryastana¹

Chian-Yi Liu^{2*}

1. Ph.D., International Ph.D. Program in Environmental Science and Technology (University System of Taiwan), National Central University

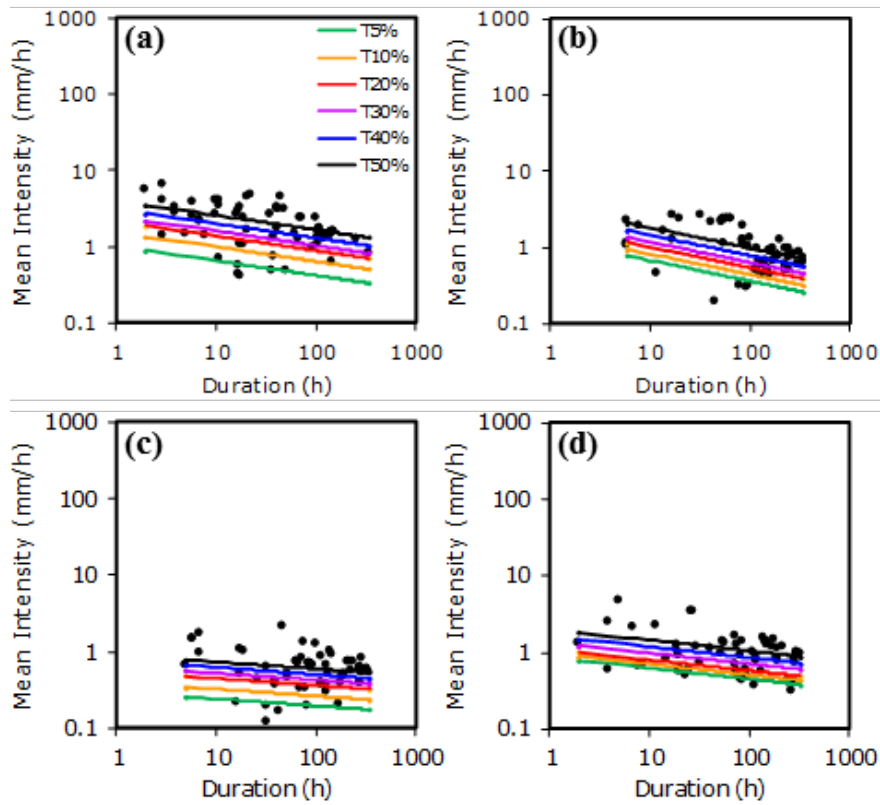
2. Professor, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University

* Corresponding author, Email: cyliu@g.ncu.edu.tw

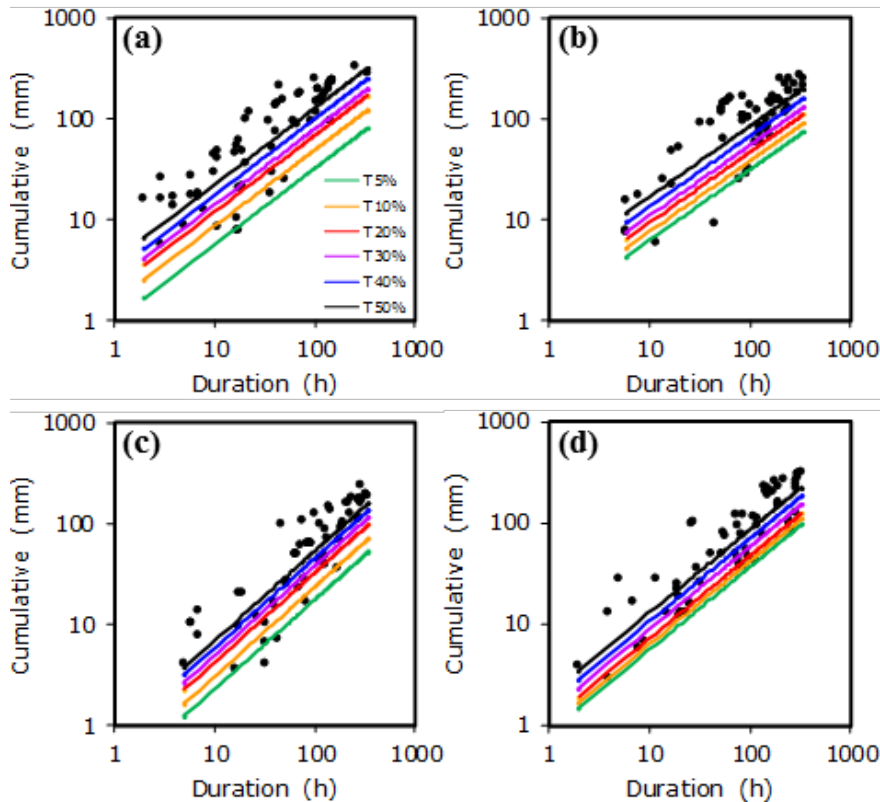
Abstract

Satellite Precipitation Datasets (SPDs) present rainfall data on global spatial coverage and different temporal resolution have the potential to identify rainfall conditions for landslide occurrences because the rain gauge observations need to maintain, the coverage observation is not widespread enough and limited in the mountain areas. This study represents mean rainfall intensity-duration (I-D) and cumulated rainfall-duration (E-D) thresholds for landslide occurrences over Bali Island by using the SPDs (i.e., the Integrated Multi-satellitE Retrievals for Global Precipitation Measurement [IMERG], Global Satellite Mapping of Precipitation [GSMaP], and Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks [PERSIANN] datasets). The power-law method was used to represent the I-D and E-D threshold. The preliminary result shows that I-D and E-D thresholds established by SPDs are generally lower than the threshold defined by rain gauge observations. Among the three SPDs, IMERG is performing the best to determine the rainfall threshold for landslide occurrences. The SPDs be allowed to be an essential additional data source to establish a regional early warning system for landslide occurrence.

Keywords : Bali, cumulative rainfall, landslide, mean intensity, rainfall threshold



I-D threshold: (a) Rain Gauge, (b) IMERG, (c) GSMaP, and (d) PERSIANN



E-D threshold: (a) Rain Gauge, (b) IMERG, (c) GSMaP, and (d) PERSIANN

入流密度差異改變三維三角洲形貌之實驗研究

Morphology of 3D Delta in Response to Different Inflow Density : Experimental Study

黃彥鈞¹

賴悅仁^{2*}

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系博士生

2. 國立成功大學水利及海洋工程學系副教授

* 通訊作者，Email: stevenyjlai@mail.ncku.edu.tw

摘要

本研究利用三維物理模型實驗探討穩定發展中之清水流三角洲(或稱 Gilbert-type 三角洲)受到不同密度的間歇性異重流(hyperpycnal flow)影響後對其形貌演化之改變。本實驗利用鹽水模擬異重流或濁流(turbidity current)，並調配兩種不同密度之鹽水，以觀察異重流密度差異對三角洲發展之影響。實驗結果顯示，清水流形成之三維三角洲有著跟一維 Gilbert-type 三角洲類似的形貌特性，包含：(1) 陡峭、由安息角控制的三角洲前緣(deltaic foreset)；(2) 持續往下游推進、近似圓弧狀的濱線(shoreline)；及(3) 在三角洲上緣(deltaic topset)較自由擺盪的河道。反觀，當入流切換成不同密度之異重流後，會在地形上產生戲劇性的變化，包含：(1) 在濱線附近下切出水下峽谷(submarine canyon)，造成濱線後退(retreat)；(2) 在三角洲前緣坡趾處堆積出水下沖積扇(submarine fan-lobe)；及(3) 在三角洲上緣下切出較深的河道，限制河道擺盪。本研究進一步發現，當異重流之入流密度較高時，會加劇對清水流三角洲的侵蝕作用、濱線後退較明顯，且會發展出較大之水下沖積扇；反之，當異重流之入流密度較低時，異重流則會減緩對於清水流三角洲的侵蝕作用、濱線後退較不明顯，且發展出較小的水下沖積扇，其形貌較接近原本的清水流三角洲。本研究成果證實，無須透過調降水面線強制產生侵蝕基準面下降，三維三角洲在受到入流密度改變後，會在清水流三角洲(Gilbert-type delta)及異重流三角洲(hyperpycnal delta)之間切換，較高濃度之異重流具有較強之侵蝕能力，會造成濱線後退、下切出水下峽谷並堆積出水下沖積扇。

關鍵字：三角洲、異重流、濁流、水下峽谷、水下沖積扇、物理模型實驗、形貌動力學

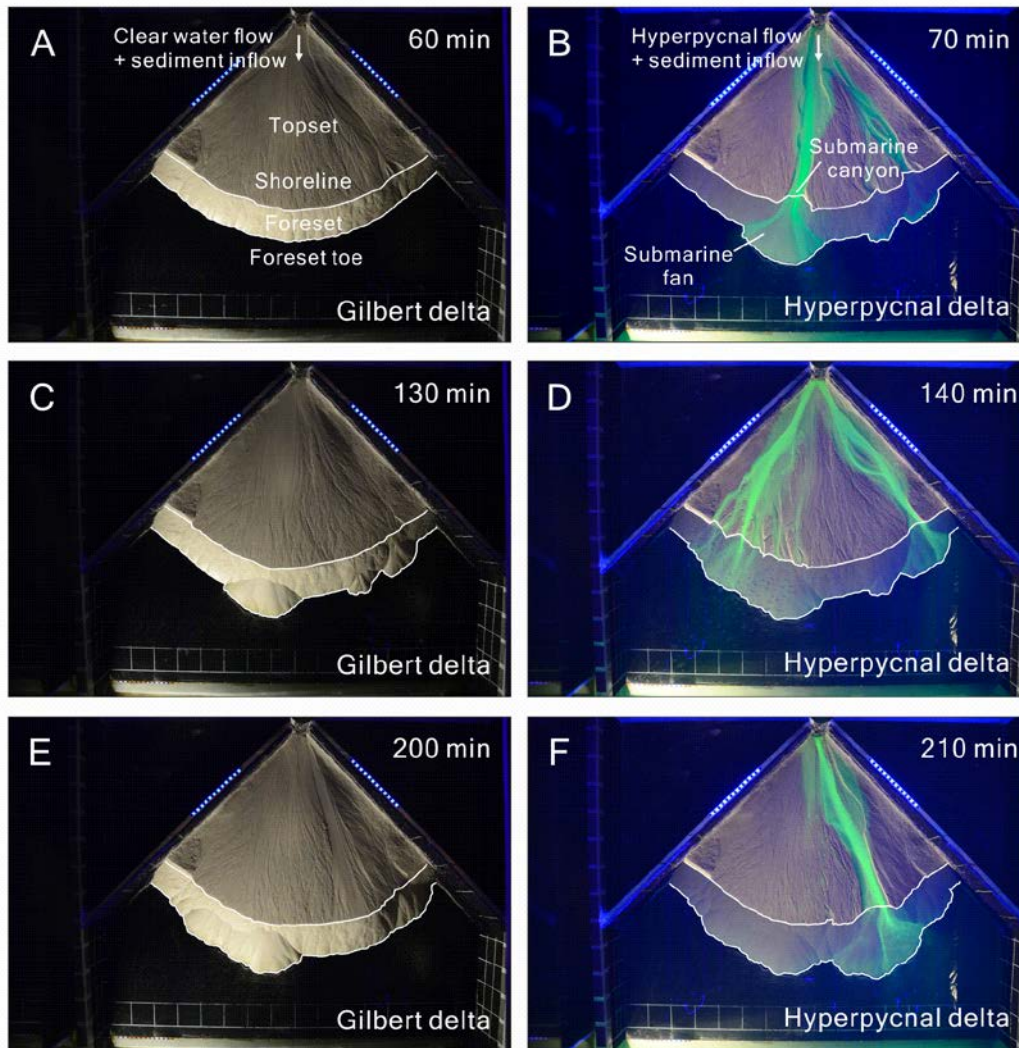


圖 1. 三維清水流三角洲受到間歇性異重流影響後之形貌演化過程(以 Run A2 為例)。實驗中異重流之密度為 1.2 g/cm^3 ，透過螢光染劑及紫光燈進行視覺化。清水流之流量為 $11.45 \text{ cm}^3/\text{s}$ ，異重流之流量為 $8.60 \text{ cm}^3/\text{s}$ ，供砂量皆為 $0.57 \text{ cm}^3/\text{s}$ 。在 Run A2 中，清水流之水砂比為 20，異重流之水砂比為 15。

以線性訊號模式分析未飽和含水層之水位歷線 - 濁水溪沖積扇為例

Analyzing an unconfined aquifer hydrograph by Linear Signal Model - case study of Chou-shui Chi alluvial fan

韋正^{1*}

許少華²

1. 逢甲大學土木水利工程與建設規劃博士學位學程
 2. 逢甲大學水利工程與資源保育學系教授
- * 通訊作者，Email: abdoulrachid03@gmail.com

Abstract

This study introduce a software tool called Linear Signal Model (LSM) to describe the groundwater balance as a combination of recharge, pumping, and natural flow exchange, where the quantity of exchange is assumed linearly related to the difference between groundwater level and a baseline. Using LSM, four lumped parameters were obtained by fitting groundwater observed level and rainfall. Based on the hydrogeological profile, the physical meaning of the parameters, initially unknown, were analyzed. From this study, the correlation between each rainfall station and groundwater observation wells were identify, the groundwater reference level at each observation were set, and the parameters are in concordance with the groundwater properties. In addition, the results showed that the groundwater reference level is determined by pumping and recharge rate.

Keyword: Linear Signal Model, groundwater reference level, Chou-shui Chi alluvial fan

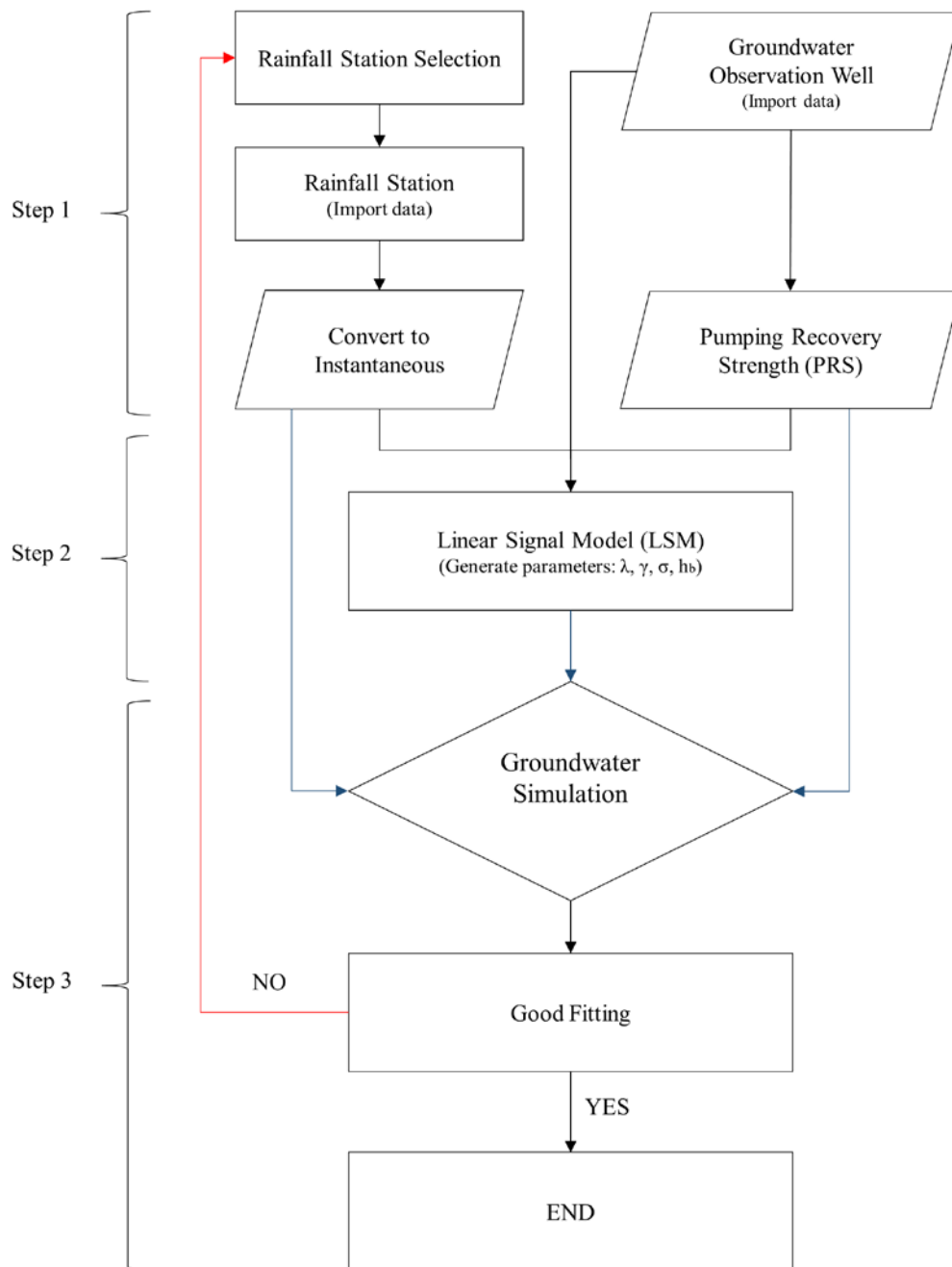


Figure1. LSM steps for groundwater monitoring well and rainfall correlation simulation along time. All the steps are done in Visual Signal software and the expected result is good fitting between a groundwater monitoring well and its corresponding rainfall station to validate the parameter generated by LSM.

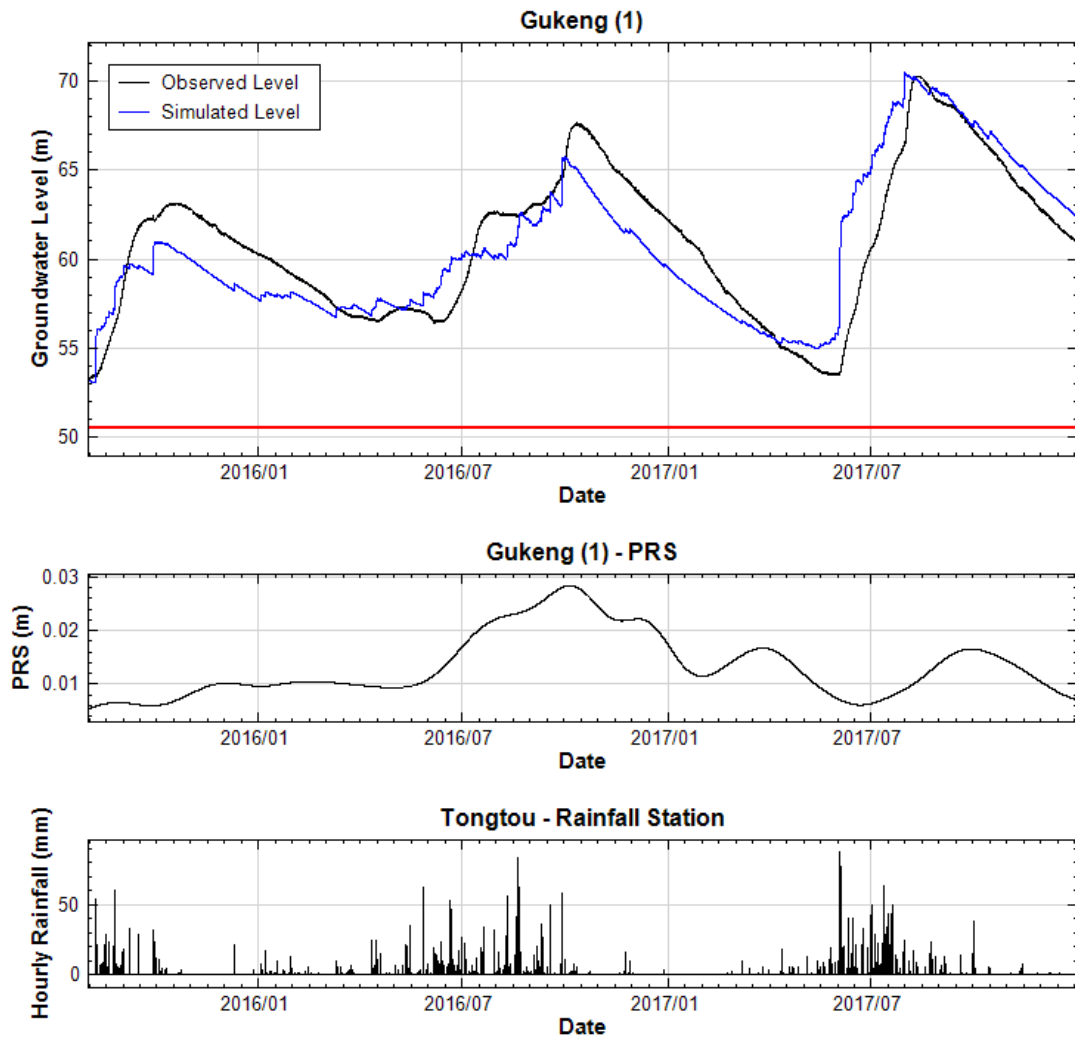


Figure 2. Example of fitting showing the prediction of groundwater and rainfall correlation, where the red line represents the groundwater reference level (h_b). A good fitting proves the correlation between Gukeng (1) monitoring well and Tongtou rainfall station.

Assessment of Satellite Precipitation Datasets for Heavy Precipitation Events caused by Typhoons in the Philippines

Putu Aryastana¹

Chian-Yi Liu^{2*}

1. PhD., International Ph.D Program in Environmental Science and Technology (University System of Taiwan), National Central University

2. Professor, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University

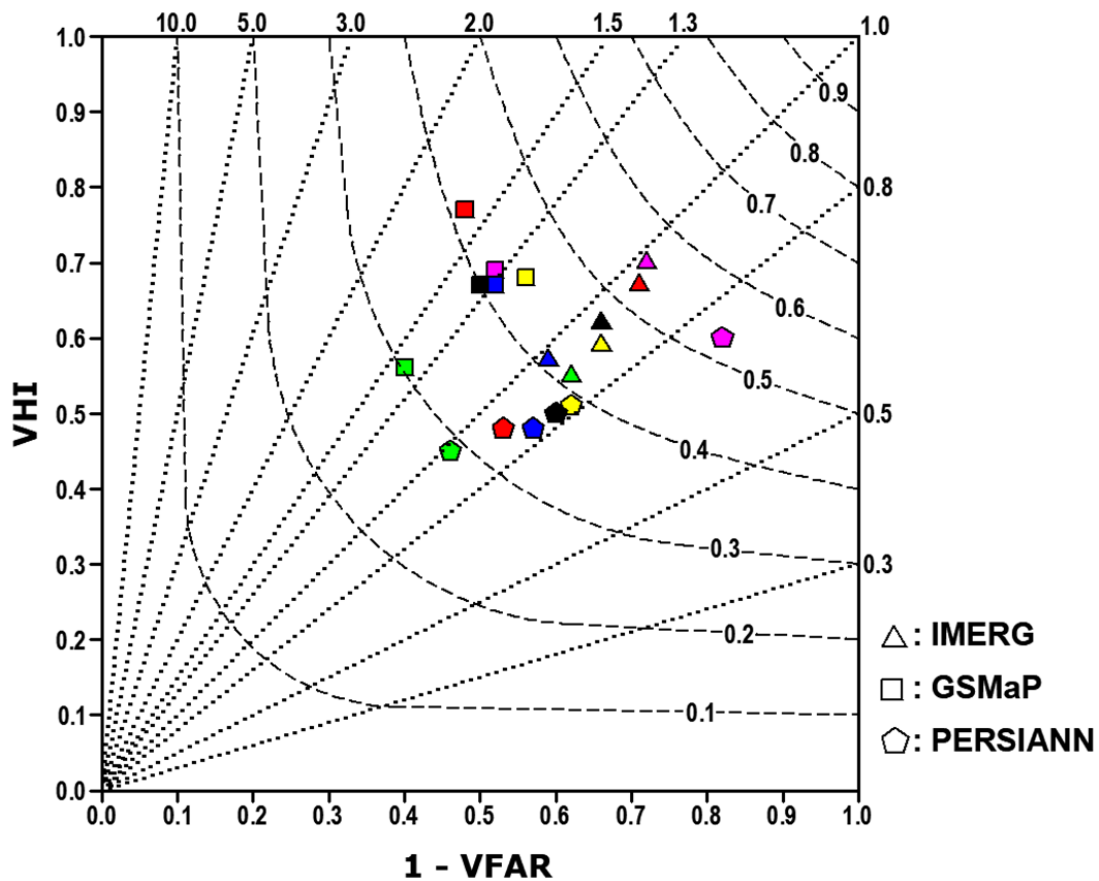
* Corresponding author, Email: cyliau@g.ncu.edu.tw

Abstract

Heavy precipitation caused by typhoons is difficult to measure with rain gauges and ground-based radar, because these instruments have an uneven distribution in remote areas. Satellite precipitation datasets (SPDs) provide integrated spatial coverage of rainfall measurements, even for remote areas. This study performed subdaily (3-hour) assessments of SPDs (i.e., the Integrated Multi-satellitE Retrievals for Global Precipitation Measurement [IMERG], Global Satellite Mapping of Precipitation [GSMaP], and Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks datasets) during five typhoon-related heavy precipitation events in the Philippines between 2016 and 2018. The aforementioned assessments were performed through a point-to-grid comparison by using continuous and volumetric statistical validation indices for the 34-knot wind radii of the typhoons, rainfall intensity, the terrain, and wind velocity effects. The results revealed that the IMERG exhibited good agreement with rain gauge measurements and exhibited high performance in detecting rainfall during five typhoon events, whereas the GSMaP exhibited high agreement during peak rainfall. The IMERG exhibited a strong ability to detect moderate rainfall events, whereas the GSMaP exhibited superior performance in detecting heavy to extreme rainfall events. The GSMaP exhibited the best

performance for detecting heavy rainfall at high elevations, whereas the IMERG had the best performance at low elevations. The IMERG exhibited a strong ability to detect heavy rainfall under various wind speeds. A strong ability to detect heavy rainfall events for different wind speeds in the western and eastern parts of the mountainous region of Luzon were found for the GSMap and IMERG, respectively. This study demonstrated that the IMERG and GSMap datasets exhibit promising performance in detecting heavy precipitation caused by typhoon events.

Keywords : GSMap, heavy precipitation, IMERG, PERSIANN, Philippines, typhoon



Performance diagram for the SPDs that represents their ability to detect rainfall during typhoon events. Different colors represent different typhoon events (red: Sarika; yellow: Haima; magenta: Nock-ten; green: Doksuri; blue: Mangkhut; and black: all typhoons).

濁水河流域乾濕季集水區動態儲水組成評估

Evaluation of dynamic storage components in catchments of Choushui River Basin during dry and wet seasons

黃嘉琦¹

葉信富^{2*}

魏倫璋³

柯建仲⁴

1. 國立成功大學資源工程學系博士研究生
 2. 國立成功大學資源工程學系副教授
 3. 財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心正研究員
 4. 財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心資深研究員
- * 通訊作者，Email: hfych@mail.ncku.edu.tw

摘要

動態儲水量(Dynamic storage)為集水區中對於其他水文分量較為敏感的地下水儲水量，其扮演著維持生態與人類用水以及減緩環境變遷影響的重要角色。動態儲水量可能經由降雨入滲、河川流量生成、蒸發散或其他增加/損失過程的水文分量所組成，造成瞭解其機制的複雜性。此外，由於過去探討儲水-排水關係的流量消退分析因應區域氣候水文條件與資料統計性而無法提供唯一有效推估集水區的平均排水行為。因此，本研究應用流量延時曲線解析模型與最大似然估計方法(maximum likelihood estimation, MLE)推估儲水-排水關係的最佳消退參數，再將參數結合水平衡方法以推估季節性動態儲水組成，探討模型對於集水區尺度與乾濕季之適用性、與流量消退分析推估參數之差異以及動態儲水組成變化。結果說明消退參數的季節性差異與動態儲水通過的含水層範圍以及集水區特徵有關。模型與 MLE 的組合和流量消退分析相比，在乾濕季皆有較佳的性能。動態儲水組成則顯示乾濕季地下水儲存量的明顯差異以及乾季集水區多為儲水損失的情形，本研究成果可作為水文模擬與預測及未來水資源管理決策所參考。

關鍵字：動態儲水、乾濕季、流量延時曲線、濁水河流域

不同有機質對厭氧微生物處理酸性硫酸鹽污水影響

The effect of different organic substances addition on anaerobic microbial treatment of acidic sulfate wastewater

黃其軒¹

黃玟婷^{2*}

簡睿廷³

蕭友晉^{4*}

1. 生物環境系統工程學系學士

2. 生物環境系統工程學系碩士

3. 生物環境系統工程學系學士

4. 生物環境系統工程學系助理教授

* 通訊作者，Email: yshiau@ntu.edu.tw

摘要

微生物處理技術近年來被廣泛研究，主要原因在於其能以較低的成本處理污染物，且產生二次污染物的機會較少。台灣北部地區，受到陽明山火山地形的影響，以硫酸鹽為主的酸性污水過去影響周圍的溪流生態甚鉅。因此若能透過微生物處理技術，對酸性硫酸鹽污水進行降解，將能以低成本的方式改善周遭生態系。此外，由於自然界的硫酸鹽降解主要透過異營性微生物進行，因此本研究也同時嘗試結合農業與畜牧業的廢棄物如糖蜜與血粉作為微生物生長所需的基質。

本研究採集陽明山南磺溪溪床底泥樣本，以酸性硫酸鹽溶液進行實驗室的厭氧培養。研究使用 100ml 血清培養瓶，在瓶內加入河床緩流區採集的底泥 5 克，作為微生物的菌種，並在瓶內分別加入葡萄糖、醋酸、糖蜜、血粉作為微生物營養來源，並於培養實驗的第 0、1、4、10 天，分析瓶中之氫離子濃度、硫酸鹽濃度、導電度及過程中產生二氧化碳變化情形，以推估不同添加物對於微生物處理酸性硫酸鹽污水的效率。期望此研究結果未來能解決酸性污水的問題，同時也提供農業廢棄物一個新的利用途徑。

關鍵字：酸性污水，微生物處理，農業廢棄物，硫酸還原菌

可見光影像分析應用於水質辨識之可行性研究

Feasibility Study on Application of Visible Light Image Analysis to Water Quality Identification

郭介文^{1*} 方惠民²

1. 國立臺灣海洋大學海洋工程科技學士學位學程(系)學士
2. 國立臺灣海洋大學海洋工程科技學士學位學程(系)助理教授

* 通訊作者，Email：00756011@email.ntou.edu.tw

摘要

水體水質關係水域環境生態，傳統水體水質量測均係透過現場採取水樣至實驗室進行分析。為針對大範圍水域環境品質監測人力及時間成本較高且無效率，更難以難以掌握其時空分布特性，特別是在異常氣象事件後的水域水質分佈特性。近年來隨著衛星遙測影像技術的發展，已廣泛應用於水體監測，惟若應用於局部小區域的水環境監測，恐受限於監測範圍之間尺度與影像解析度等問題。緣此，本研究藉由無人飛行載具搭載光學鏡頭拍攝小尺度範圍水域變化，並參考郭宇鑫(2017)CH 指標進行聚類分析與 k-means 分群法所得水域顏色分群，另搭配水遙控載具搭載水質儀量測測點水體濁度及葉綠素，探討研究例基隆大武崙情人湖水域濁度與葉綠素分布特性，如圖 1 所示測點#C4 與#C5 之影像成果與同測點水質儀量測成果比較，兩者相對誤差分別為 5.37% 及 6.77%，結果顯示 UAV 影像技術應用於水體水質辨識的可行性。

關鍵字：水質量測、衛星遙測、無人飛行載具、聚類分析

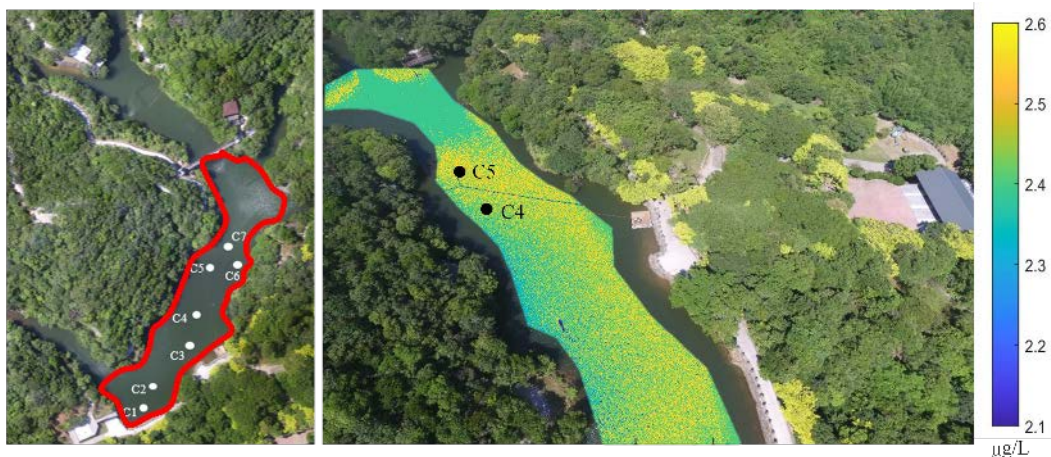


圖 1 研究案例基隆大武崙情人湖水質測站及 UAV 影像成果

南港溪水質及關鍵污染源分析之研究

Analysis of Water Quality and Key Pollution Source in Nangang River

陳宥昕¹

張嘉玲^{2*}

1.私立逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士

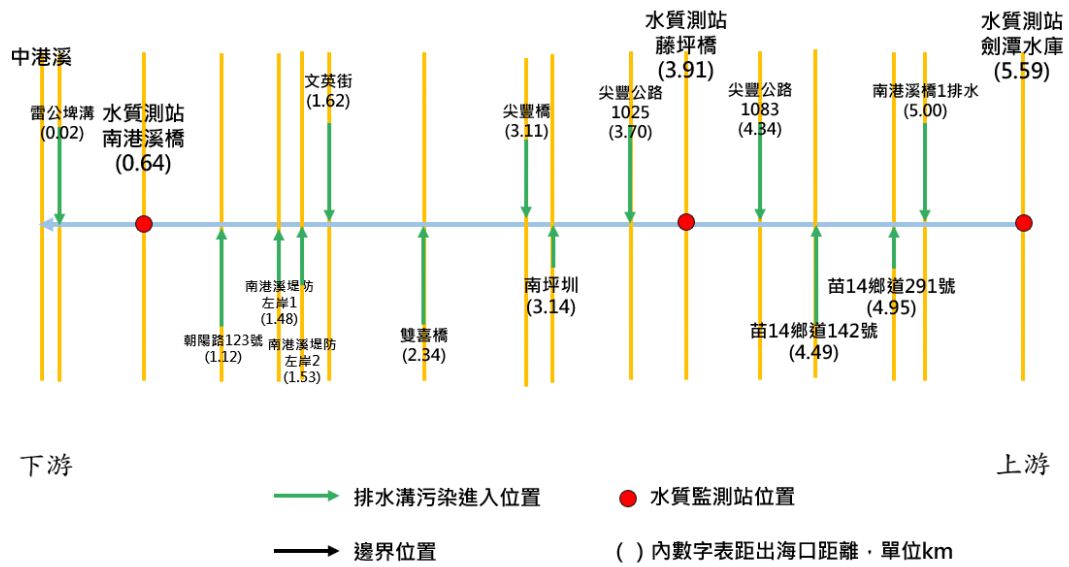
2.私立逢甲大學水利工程與資源保育學系教授

* 通訊作者，Email: clchang@fcu.edu.tw

摘要

伴隨著時代的演進，環保意識與時俱進日漸升抬，對於污染排放之減量控制應加以重視，故本次研究方針使用 WASP 河川水質模擬程式(Water Quality Analysis Simulation Program)對目標河川進行現況河道水質狀況建模，並參照政府單位監測資料以 MAPE 平均絕對百分比誤差進行率定及驗證，在合理範圍下不斷調整污染濃度、流量和污染常數使模式情境貼近現況，再針對其中流量較大亦或是污染濃度偏高之排水處進行定量減量；本次研究範圍為苗栗縣南港溪上游劍潭水庫至下游匯入中港溪段，目標選定源於近年中港溪政府水質監測資料中，發現南港溪是中港溪流域內一重點且主要污染排放源，故對此進行放大分析，望找出其影響源頭，得以提供往後研究者、各施行單位進行管制減量及政令規範時參考；經本次研究後發現，苗 14 鄉道 142 號、尖豐公路 1083、尖豐橋及朝陽路 123 號等排水為南港溪關鍵污染支排。

關鍵字：環境水質模擬、模式檢定、污染減量



南港溪研究範圍河段魚骨圖

淡水河系魚群死亡事件與環境狀態之相關性分析

Correlation Analysis of Dead Fish Events and Environmental Conditions in Tamsui River

黃愷宸¹

張嘉玲^{2*}

1.逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士

2.逢甲大學水利工程與資源保育學系教授

* 通訊作者，Email: clchang@fcu.edu.tw

摘要

近年來經濟發展繁榮，而伴隨著大量的污染，生活廢水、事業廢水及畜牧廢水大量地排放至自然界當中，導致河川水質情況日益嚴重，又因氣候變遷及全球暖化之影響，極端氣候事件頻頻發生，對環境造成極大的負擔。淡水河系自民國 103 年以來至民國 109 年總共發生 16 次大規模死魚事件，其中於淡水河本流總計 4 次，其餘 3 條支流中新店溪 2 次、基隆河 9 次及大漢溪 1 次，過往探討河川死魚事件之時大部分以水質狀態以做分析標準，而本研究廣泛蒐集過往文獻，選取可能與死魚事件有關連性之因子，將各因子分成三大面向，水文面向、氣象面向及水質面向，藉此分析出與死魚事件較有關連性之因子，做為未來若是要訂定預警限值之參考。各個面向之因子則包含降雨量、流量、氣壓、日照時數、日輻射量、氣溫、水溫、溶氧、生化需氧量、懸浮固體及氨氮等 11 項因子。在水文面向中，淡水河系歷次發生死魚事件中之降雨及流量皆有近七成之事件小於環境背景平均狀態；在氣象面向，除了日照時數較無明顯相關性外，其餘氣象因子包括氣壓、日輻射量、氣溫及水溫等，均有高於八成甚至九成之機率較平均狀況差；最後在 RPI 的水質面向中，約 9 成以上死魚事件之溶氧濃度低於 4.5mg/L(中度污染)，而所有死魚事件之氨氮濃度高於 1.0mg/L(中度污染)，而懸浮固體及生化需氧量與死魚事件之相關性則相對較低。

關鍵字：淡水河系、死魚事件、相關性分析

以 SOBEK 模式探討不同精度之 DEM

對洪水基準高程之影響

The effects on Base Flood Elevation using Digital Elevation Model (DEM) with different accuracy by SOBEK model

蕭靖^{1*}

楊松岳²

許少華³

- 1.逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士
 - 2.逢甲大學都市計畫與空間資訊學系專任助理教授
 - 3.逢甲大學水利工程與資源保育學系教授
- * 通訊作者，Email: dyanhsiao@gmail.com

摘要

為了減緩洪災，政府設置了許多排水相關工程設施以及非工程的出流管制等法律，希望達到減災的目的。美國聯邦緊急事務管理署(FEMA)提出了「洪水基準高程(Base Flood Elevation)」的觀念，以一百年發生一次的洪水事件的最大淹水高度作為防範標的。利用所預測的洪水基準高程(BFE)做為參考指標，能夠使易淹水地區提前做好防範。本研究利用 SOBEK 模式進行淹水模擬，選定台南鹽水溪流域做為研究範圍，針對選定之淹水感測站使用 HYDEM 局部加密進行模擬並且進行相關性的比較，然後根據各重現期之降雨量對海佃四淹水測站以及安中淹水測站進行模擬，並求得其洪水基準高程(BFE)。結果顯示模擬時網格精度的不同對於淹水的流向、淹水的區域分布以及洪水基準高程(BFE)會有影響，然而模擬時淹水深度的變化並不會因網格精度的局部加密而產生差異。

關鍵字:洪水基準高程、SOBEK、數值地形高程、局部加密、HYDEM、鹽水溪、淹水感測站

層化異重流之形貌演化及混合過程

Flow Morphology and Mixing Processes of Stratified Gravity Currents

蘇格緯^{1*}

吳清森²

1. 國立宜蘭大學土木工程學系碩士

2. 國立宜蘭大學土木工程學系副教授

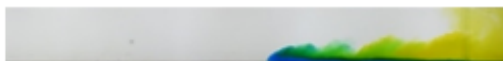
* 通訊作者，Email: luckydoll0045@gmail.com

摘要

近年，水庫上游處因遭受短延時強降雨來襲，易造成土坡滑落並形成一侵入底床之渾水潭，由於渾水密度較高並於潛入庫底緩慢移動，該流動現象稱之為異重流。該流體中常因挾帶泥砂懸浮或溶解物質的濃度不均所致，使得其驅動力源於縱向壓力梯度變化並形成層化作用；亦稱之為層化異重流現象(Stratified Gravity Currents)。本研究為深入探究不同層化條件影響下的異重流的演化過程及混合機制，以文獻中常使用的定界交換水槽(Lock-exchange Channel)作為該問題之物理模型並以高精度數值模擬及水槽試驗分析之。實驗的部分，建置一透光性壓克力水槽試驗，依據不同的層化重流體釋放源，利用染劑顯影及影像分析來觀察其不同的流動型態，藉此可量化相關的物理參數。數值模擬及分析的部分，以納維爾-史托克斯方程組(Navier-Stokes equations)為架構結合大渦流紊流模式(Large-eddy Simulations)進行高精度數值演算，主要為量化層化異重流於不同演化型態下的能量轉換過程及混合效益，所獲資料將補足實驗無法量測的細部流場資訊。實驗及數值模式中，以兩個無因次參數控制初始層化釋放源的條件，分別為初始層化重流體的密度差異比(R^*)以及其對應的驅動流體鹽度質量比例關係(B^*)。其中， R^* 越大則代表層化效果越明顯；反之，則代表混合的時效則相對增加。倘若 B^* 越大意味著主要驅動者為上層層化流體，反之亦然。從實驗及模擬的結果可整合出四種類型的層化異重流運動形貌及混合機制，如下圖所示。

關鍵字：層化異重流、定界交換水槽、混合分析

$B^*=0.2 ; R^*=0.2$



$B^*=0.8 ; R^*=0.2$



$B^*=0.2 ; R^*=0.8$



$B^*=0.8 ; R^*=0.8$



層化異重流之運動形貌

調蓄池對調蓄灌溉用水及滯洪效果之研究-

以嘉義栗子崙計畫調蓄池為例

Effect of a storage pond on irrigation water-use regulation and flood detention : A case study of a planned pond in Lizilun region

朱京薇¹

賴東暘^{2*}

詹錢登³

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生
 2. 國立成功大學水利及海洋工程學系博士生
 3. 國立成功大學水利及海洋工程學系特聘教授
- * 通訊作者，Email: tony60292@gmail.com

摘要

臺灣南部地區之降雨時空分布不均，曾文水庫又於 98 年莫拉克風災後，因大量土砂進入而淤積庫體，導致水庫儲水能力降低，進而增加了可調解用水量之管理難度，使得灌區部分農地於乾季時因缺乏灌溉水源，常出現灌溉滿足度低落甚至休耕之情形。為了有效運用灌區水源，主管機關積極尋覓合適之埤池及土地用以規劃為計畫調蓄池，計畫調蓄池之設置可加強夜間節餘水之管理，亦可兼做小型滯洪池達到遲滯洪峰之效果。本研究旨在探討於栗子崙分線附近區位設置計畫調蓄池後，帶來之農業經濟與滯洪效益，本研究首先利用 Arcgis 軟體分析研究區域之作物種類分布情形，並依農業灌溉用水方式，估算調蓄池所能儲蓄之夜間餘水量，接著運用 SWMM 模式分析不同重現期距降雨及調蓄池蓄水情境下，下游銜接渠道之出水量變化情形。

研究結果顯示，透過調蓄池之設置以加強利用夜間灌溉餘水，每年針對研究區域可使上游水庫節省約 122 萬噸之灌溉水量，並可配合大糧倉計畫活化休耕地以增加作物生產效益。於 SWMM 模擬之結果顯示，於 5 年及 10 年兩種不同重現期之降雨情境下，調蓄池銜接之下游渠道，於設置計畫調蓄池後，洪峰流量分別減少了 65% 與 71%，而該渠道銜接之下游渠道，洪峰流量則分別減少了 38% 與 42%，模擬成果顯示調蓄池設置後將大幅降低下游渠道之洪峰流量；本研究進一步瞭解調整調蓄池抽水機流量對於洪峰遲滯能力之影響，模擬結果顯示，有效管理抽水機流量增減可使調蓄池達到提供灌溉供給與滯洪之多元目標。本研究結果顯示計畫調蓄池之設置可提供灌溉用水並提升灌區之灌溉滿足度，並於降雨時期搭配抽水機操作管理而兼具遲滯洪水之效果，此研究成果可作為未來調蓄池規劃與設置之參考。

關鍵字：調蓄池、農田灌溉、節水、滯洪、SWMM 模式

入流歷線影響水下辮狀河道形貌演化之實驗研究

Morphological Evolution of Submarine Braided Channels in Response to Inflow Hydrograph: Experimental Study

劉欣昀¹

賴悅仁^{2*}

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生

2. 國立成功大學水利及海洋工程學系副教授

* 通訊作者，Email: stevenylai@mail.ncku.edu.tw

摘要

水下辮狀河道主要是由突發或多變的水下濁流(turbidity current)事件發展而成，其形貌特徵類似陸上辮狀河道。本研究利用小尺度物理模型實驗，以鹽水模擬水下濁流，探討水下辮狀河道受到不同入流歷線影響之形貌演化過程。實驗中包括三種入流歷線：單一洪峰、雙洪峰以及固定流量。實驗結果顯示，隨著入流歷線改變：(1)當流量漸增時，異重流會匯聚並下切成較深之河道，發展出由單一主河道控制、河幅寬廣之形貌特徵；(2)當流量漸減時，異重流會從主河道開始切割並向外擴張，演化出由多條河道與沙洲交織而成的水下辮狀河道；(3)當流量維持穩定時，水下辮狀河道會有較穩定之形貌特色。此外，本研究進一步利用活躍辮狀指數(active braiding index, BIA)定量分析受到不同入流歷線影響後，其對應之水下辮狀系統於時間和空間之變異性。分析結果顯示，當流量漸增時，活躍辮狀指數會下降；反之，當流量漸減時，活躍辮狀指數會上升；相較之下，固定入流歷線之實驗參考組，其活躍辮狀指數則呈現平穩之趨勢。最後，本研究證實，水下辮狀河道之形貌演化會受到不同入流歷線而改變，進而影響活躍辮狀指數之演化趨勢。此研究成果將有助於瞭解及詮釋受濁流影響發展出之水下河道。

關鍵字：水下辮狀河道、異重流、入流歷線、活躍辮狀指數

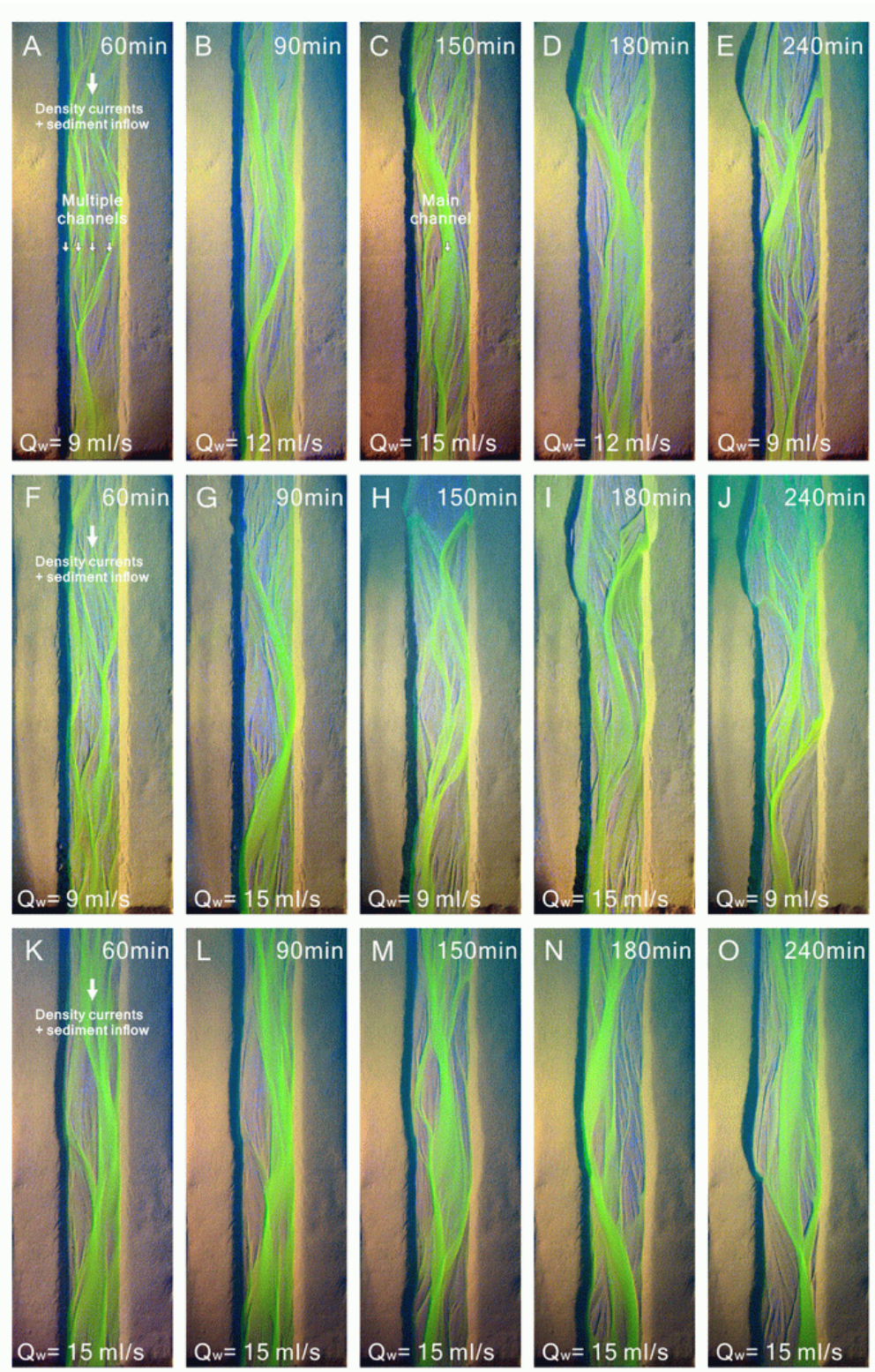


圖 1 水下辮狀河道受不同入流歷線影響之演化過程: (A)至(E)為單一洪峰事件; (F)至(J)為雙洪峰事件; (K)至(O)為固定流量事件。

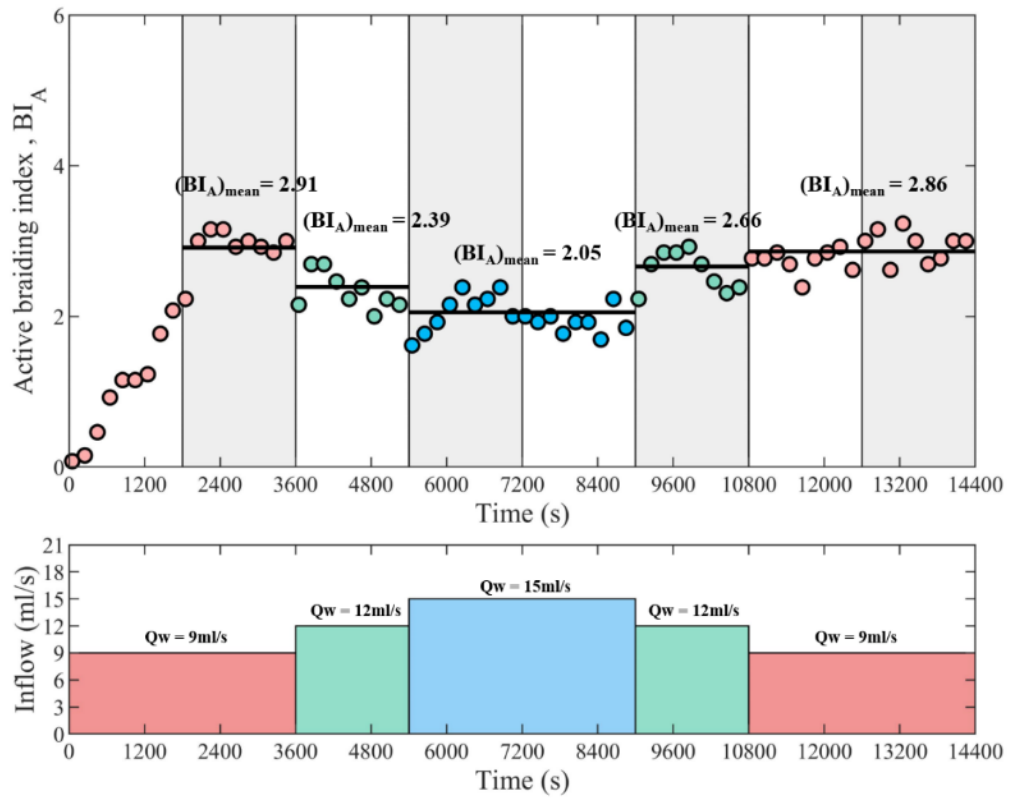


圖 2 活躍辮狀指數(active braiding index, BI_A)受單一洪峰事件影響之演化過程。

應用長短期記憶網路修正衛星降雨資料

Correction of Satellite Rainfall Data Using Long-Short Term Memory Networks

高詠盛¹

陳佳正^{2*}

1. 國立中興大學土木工程學系碩士生

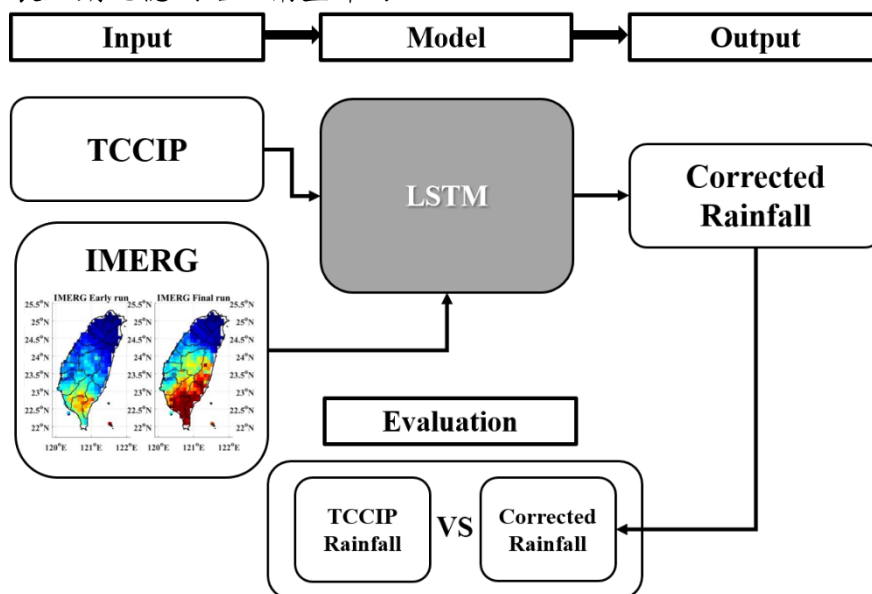
2. 國立中興大學土木系副教授

* 通訊作者，Email: cjchen@nchu.edu.tw

摘要

台灣地區獨特之水文地質特性導致降雨資訊的時空分佈高度不均，故即時掌握降雨情勢相當具有挑戰性。近年來由於衛星科技發展迅速，其衍生之降雨產品已成為全球降雨研究不可或缺的工具之一，例如基於全球衛星降雨觀測計畫(Global Precipitation Measurement, GPM)之 IMERG (Integrated Multi-SatellitE Retrievals for GPM)演算法提供之降雨產品已有眾多相關應用，但亦有研究指出此種衛星降雨資料會因地形或其他限制因素影響其準確性。本研究使用長短期記憶網路(Long-Short Term Memory Networks, LSTM)對 IMERG Early and Final Run 降雨資料進行修正；LSTM 改良過往簡單類神經網路的梯度問題，對於時間序列(如降雨)資料之預測能力較佳。LSTM 之訓練將以台灣氣候變遷推估資訊平台計畫(TCCIP)資料作為訓練依據，以 TCCIP 降雨資料作為輸入並訓練模型參數，隨後將 IMERG 降雨資料代入並修正，以嘗試建立衛星降雨修正機制。預期將獲取更加精確的降雨資料，提供予台灣地區降雨相關應用研究。

關鍵字：長短期記憶網路、衛星降雨、GPM、TCCIP



IMERG 雨量資料修正流程圖

入流型態及高低水位差影響水庫三角洲演化之實驗研究

Experiments of Reservoir Deltas In Response to Inflow Types and Water Level Changes

洪秉哲¹

賴悅仁^{2*}

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生

2. 國立成功大學水利及海洋工程學系副教授

* 通訊作者，Email: stevenyjlai@mail.ncku.edu.tw

摘要

三角洲常受到入流型態及高低水位之影響而改變其長期形貌演化。然而，我們對此現象之了解還是非常欠缺。因此，本研究透過小尺度物理模型實驗來探討水庫三角洲對入流型態及高低水位差之形貌動力學。實驗分成 A 系列及 B 系列，每個系列中再分成 4 組，仔細探討入流型態為清水流或異重流之各種組合。在三角洲形貌演化的過程中，我們發現異重流三角洲會侵蝕原有的三角洲並堆積成異重流三角洲之自我相似形貌，而清水流三角洲只會在既有的底床形貌上堆積成 Gilbert 三角洲。實驗分析結果顯示，由高水位降成低水位時，由於侵蝕基準面快速下降，導致水流將高水位堆積的泥砂沖向下游，造成短時間內無法符合自我相似，但是給予一段發展時間就會漸漸符合自我相似之形貌特徵。本研究結果將有助於了解當水庫清淤或拆壩時，三角洲受到入流型態改變及高低水位差影響時所對應之泥砂運動行為及其沖淤型態。

關鍵字：三角洲、異重流、物理模型實驗、高低水位、自我相似

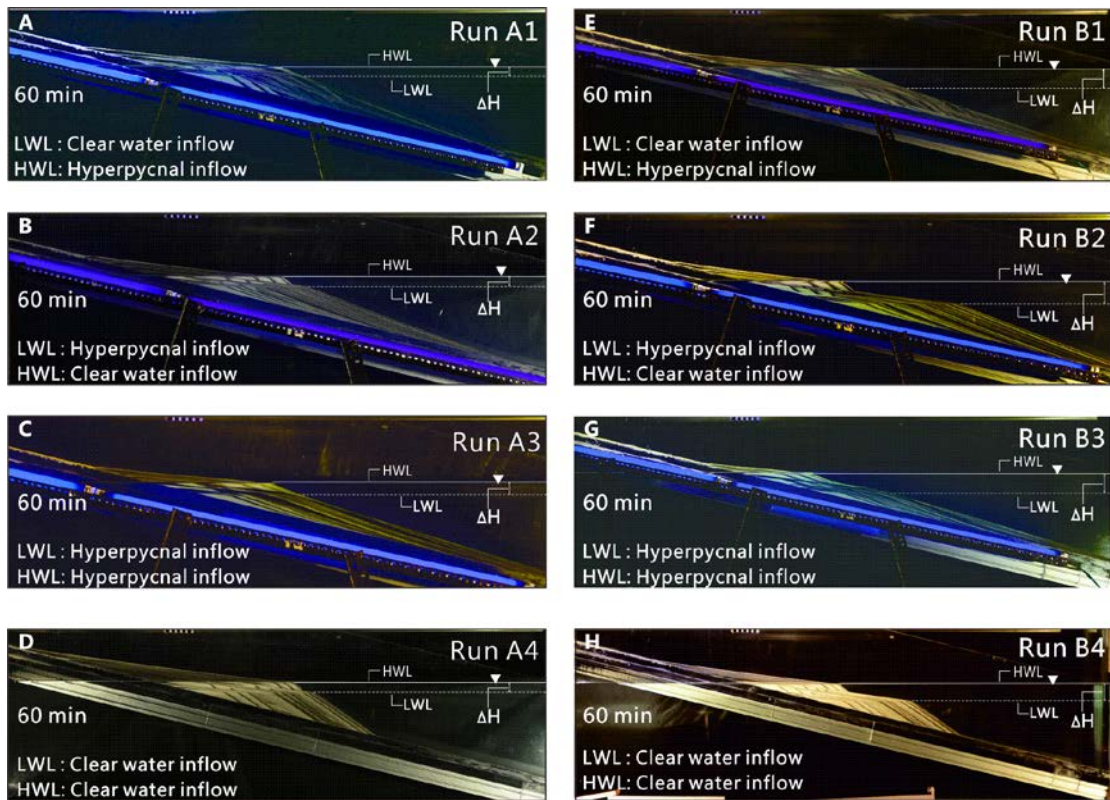


圖 1 水庫三角洲受到入流型態改變及高低水位差影響之泥砂沖淤形貌。(A)至(D)為系列 A，高低水位差(ΔH)為 4 cm；(E)至(H)為 B 系列，高低水位差(ΔH)為 8 cm。

運用高性能計算水動力模式於未來洪災潛勢推估

Projection of future flood potential using high performance computing hydrodynamic model

紀旻宏¹

陳佳正^{2*}

1. 國立中興大學土木工程學系碩士生

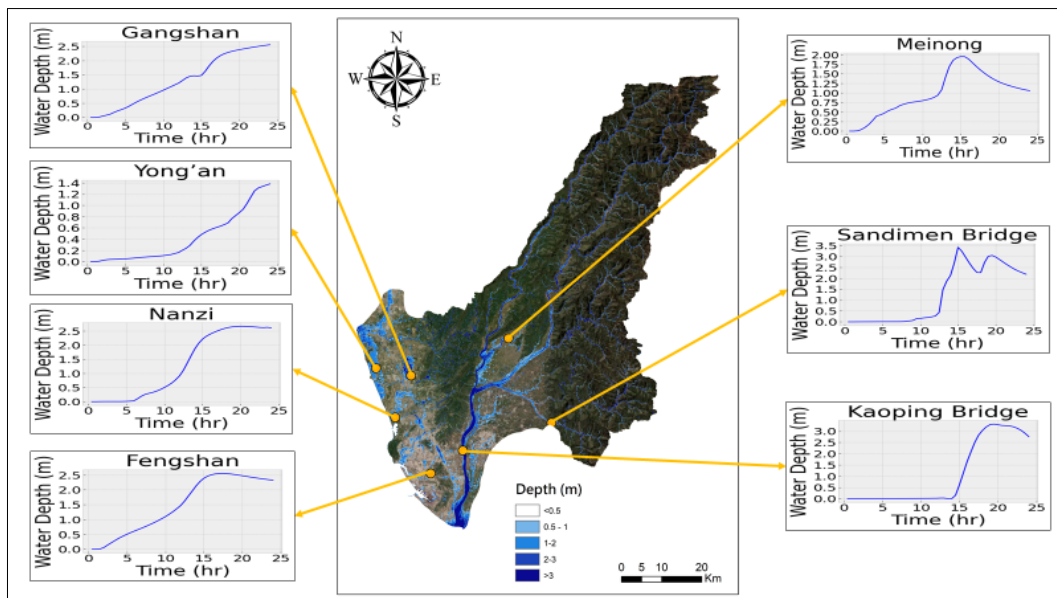
2. 國立中興大學土木工程學系副教授

* 通訊作者，Email: cjchen@nchu.edu.tw

摘要

隨著近年全球氣候變遷導致極端降雨強度及頻率變化，極端降雨造成的洪水災害事件越見頻繁。本研究欲分析選定颱風事件及在氣候變遷未來不確定性下高屏流域可能造成的洪水衝擊，利用氣象資料產生器繁衍未來情境降雨資料，並結合高性能計算水動力模式模擬淹水之情形。本研究使用 AWE-GEN (Advanced WEather GENerator)，係一可繁衍小時尺度雨量資料之氣象資料產生器，將大氣環流模式資料進行統計降尺度，再運用新興之高性能計算水動力模式 TRITON (Two-dimensional Runoff Inundation Toolkit for Operational Needs) 模擬淹水，模式採用圖形處理器(GPU)加速計算，其計算效率與傳統二維水理模型相比有顯著進步。模擬結果將與水利署公佈之淹水潛勢圖以及 HEC-RAS 模擬結果比較。未來將運用 TRITON 模式針對不同情境條件提供更迅捷即時之洪災預報。

關鍵字：氣候變遷、淹水模擬、TRITON、氣象資料產生器



運用 TRITON 模式輸出之淹水模擬結果示意圖

平行板間單顆泰勒氣泡浮升引起之流場特性

Flow induced by a single rising Taylor bubble between parallel walls

林芳伊^{1*}

林易儒²

何宗浚³

陳緻紘⁴

蕭士俊⁵

1. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生
2. 國立成功大學水利及海洋工程學系碩士
3. 4. 國立成功大學水工試驗所副研究員，助理研究員
5. 國立成功大學水利及海洋工程學系教授

* 通訊作者，Email: n86094160@gs.ncku.edu.tw

摘要

本文旨在探討平行板間單顆上升氣泡引起的流場特性。實驗於一充滿液體之長條透明容器內進行，容器於縱深方向再區隔成一道薄長矩形斷面通道(寬:50 mm，縱深:6 mm，高:700 mm)，用來模擬兩平行板間之通道。3.0 ml 氣泡自水深 720 mm 處被打進水槽底部，接著進入薄長矩形斷面通道，呈現一個略像一顆子彈頭的所謂泰勒氣泡沿著通道浮升。本文利用流場可視化與質點影像測速法來觀測液體相之流場；而為了模擬現實中流變流體特性，實驗除於清水中進行，另於兩種不同黏度羧甲基纖維素(CMC)溶液中進行，觀察與比較相同體積氣泡在不同黏度溶液下浮升過程所引起的流場特性。首先，由前置試驗觀察氣泡上升速度，並與前人之經驗式比較，最後擇定距離薄長矩形通道下緣 450 mm 處(距水面 250 mm)為觀測位置。流場可視化觀察到氣泡通過後形成顯著渦流尾跡。為了探討此一紊亂流場，所有流場觀測均重覆進行 30 次。圖 1 所示分別為三個不同溶液試驗，各自進行 30 次試驗於觀測區所記錄之氣泡影像之疊合，顯示氣泡的形狀再現性相當高，尤其在氣泡前半部之外廓。圖 2 為觀測區在氣泡通過前、中、後不同時刻之影像。流場量測數據顯示氣泡前方流場再現性相當高也十分穩定，而氣泡頂端流體最大垂直方向速度則與氣泡浮昇速度十分接近；在氣泡尾部流場，清水與較低黏度 CMC 溶液流場發展紊亂，高黏度流場發展相對穩定；尾跡的流場速度在氣泡通過後持續增大，最大處將近達到兩倍氣泡上升速度，大大增加流場紊流強度。

關鍵字：平行板，泰勒氣泡浮升，流場可視化，質點影像測速法

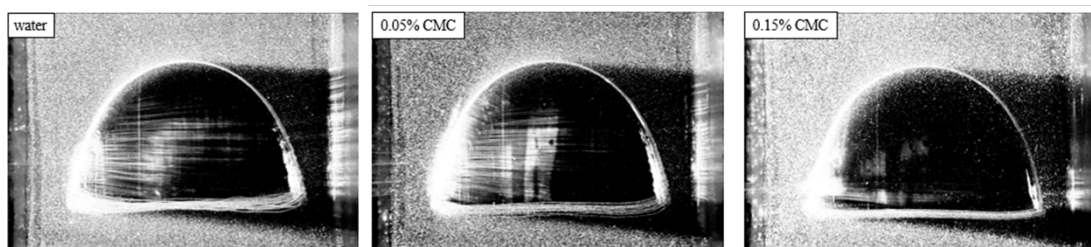


圖 1 30 筆氣泡影像重疊影像

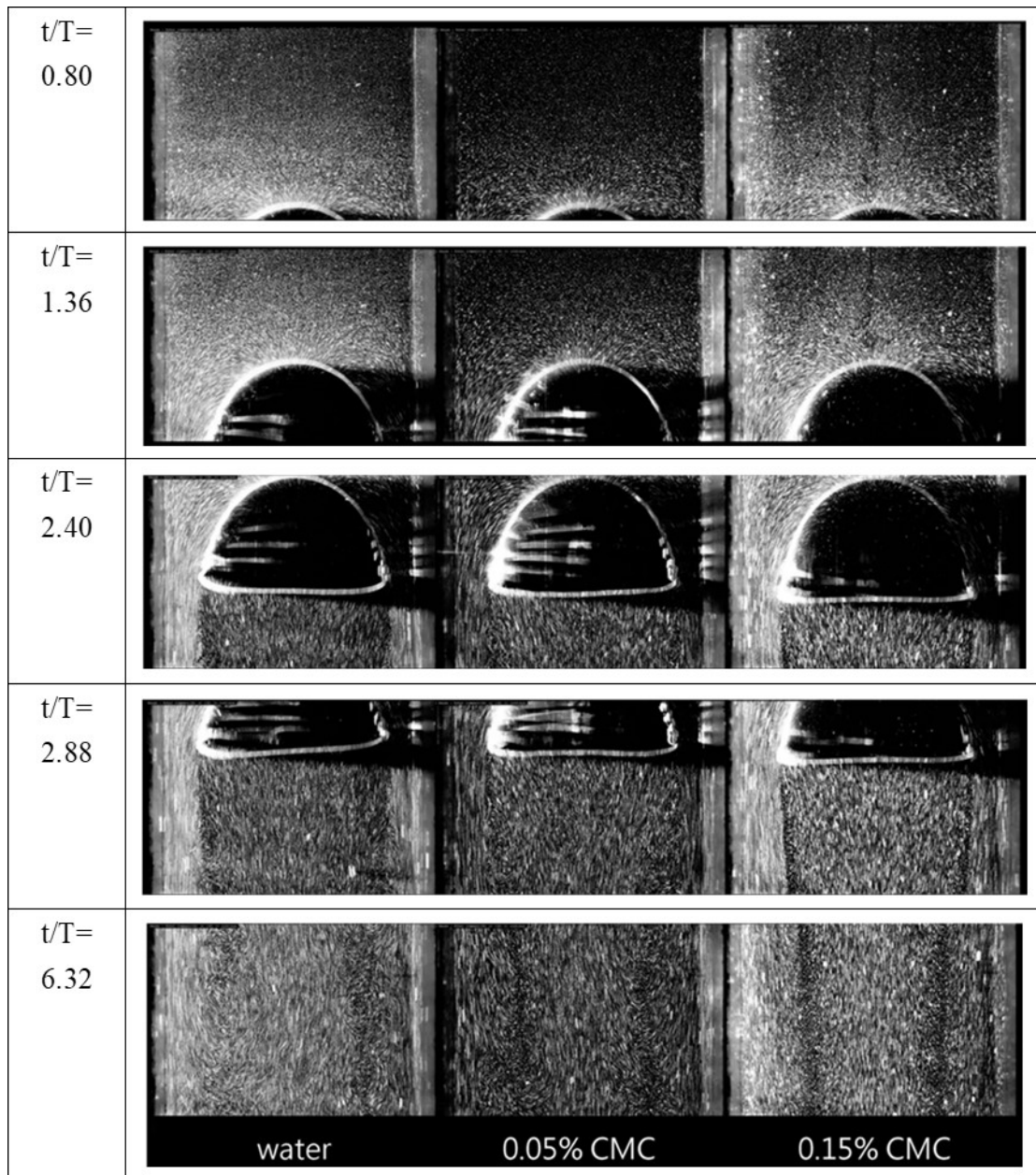


圖 2 觀測區在氣泡通過前、中、後不同時刻之影像， T 定義為氣泡通過參考位置(氣泡頂通過道氣泡底通過)所需之時間。

民生抽水站抽水井流場模擬與改善研究

何宗浚^{1*} 陳奕寧² 黃國書¹ 王連經² 鍾鎮宇³ 連正忠⁴
陳郭正⁵ 吳秋香⁵ 張凱堯⁵ 鍾國豐⁵

1. 國立成功大學水工試驗所
2. 三太造機公司
3. 安倉營造股份有限公司
4. 台灣世曦公司
5. 臺北市政府

* 通訊作者，Email: jim@mail.ncku.edu.tw

摘要

本研究旨在利用水工模型試驗與 CFD 數值模擬探討臺北市民生抽水站抽水井內之流場，並提出改善方案，以滿足 HI (2018)[1] 規範之要求。民生抽水站抽水井進流處渠道向左過彎，進入抽水井後三部抽水機採縱列式分布，且吸入口下方渠底各原有三個 3 m 直徑的圓坑，設計較為特殊，抽水機組長期存在震動問題，顯示流況不佳。經過原方案的測試，流況明顯不符規範要求，本研究中提出改善方案進行測試，驗證改善方案可符合規範，因此建議採用之。此乃少見的縱列式抽水井工程案例，設計其改善方案難度頗高，故本研究結果可供線形類似之抽水站更新改善之參考。

關鍵字：抽水站、水工模型試驗、數值模擬

Study on Hydraulic Model Test and Numerical Simulation of Renewal Project for Min-Sheng Pumping Station

Tsung-Chun Ho^{1*} Yi-Ning Chen² Kuo-Shu Hwang¹ Lian-Jian Wang² Jhen-Yu Jhong³
Cheng-Chung Lan⁴ Guo-Jheng Cheng⁵ Ciou-Siang Wu⁵ Kai-Yao Jhang⁵ Guo-Fong Jhong⁵

1. Tainan Hydraulics Laboratory, National Cheng Kung University
2. San Tai machinery manufacturing CO., LTD.
3. Manager, AnCang Construction CO., LTD.
4. CECI Engineering Consultants, Inc.
5. Taipei City Government

* Corresponding Author, Email: jim@mail.ncku.edu.tw

Abstract

The study focused on the flow pattern inside the sumps of the Min-Sheng Pumping Station in Taipei using hydraulic model tests and numerical simulation analysis. Also, a countermeasure was tested, looking forward to satisfying the requirements of the HI (2018)[1] code. In the original scheme, the channel's inlet turns to the left in the upstream entrance, and three pumps are arranged along the flow direction. There are three circular pits with a diameter of 3 m at the bottom of the channel and are located under each suction inlet. Testing the original scheme suggested poor flow conditions and failure to meet the requirements of the HI standard. The long-term vibration problem of the three pumps might have caused the low/poor flow conditions in the sump for a long time. Hence, the current study proposed testing the countermeasure, and as a result, the flow pattern of the countermeasure satisfied the HI standard. This is a unique

case as it was hard to design the countermeasure. Therefore, the results can be regarded as an essential reference for similar pumping stations.

Keywords: Pumping station, Hydraulic Model Test, Numerical Simulation

一、前言

臺北市民生抽水站建於民國 49 年，是臺北市政府轄下年代最久遠的抽水站之一。早年由於不重視抽水站流況之影響，加上都市計畫用地取得不易，因此本抽水站在進水流路以及抽水機的排列方面，均十分不利水流順暢運行。

圖 1 為民生抽水站結構設計平面圖與立面圖。抽水井為斜向進流，與抽水泵中心軸線之夾角為 43 度，水流經過一道固定式攔污後，到達三座縱向排列之抽水井。三座抽水井彼此之間距為 3.3 m，抽水井渠道寬為 5.3 m，長為 13.15 m，底部高程為 EL. -2.15 m。原設計之抽水井吸入口直徑尺寸為 1.35 m。

抽水站因流場不佳而導致之振動是普遍存在的問題:Tullis (1979)[2]即歸納有關前池及抽水井所可能遭遇之問題，包括強烈之自由表面渦流可能將空氣吸入管線內，造成抽水幫浦葉片受力不均並產生振動，而水下渦流可能造成幫浦葉片振動甚至產生穴蝕。再者，吸入口附近流場不均或不穩定導致抽水幫浦葉輪受力不均或產生穴蝕。Arboleda (1996)[3]透過一個防洪抽水站之水工模型試驗案例，提出幾種因為邊界不當設計所導致之問題，同時亦提出幾種解決方式，如解決表面渦旋之擋板(baffle walls)、解決水下渦旋之導流水平橫樑(horizontal beams)、角落束縮(corner fillet)以及導流錐(ramps)等，並測試這幾種布置不同組合之功效。

Nakato (2004)[4]所提出之 Suction Scoop 型式導流體則被應用於許多大型抽水站，其成效卓著，在黃國書等人(2010, 2012)[5, 6]的研究中，亦於電廠循環水泵進水渠道中採用 Nakato 所提出之導流體形式，進行水工模型試驗，各水泵之旋轉角皆明顯改善。再者，Hwang et.al. (2000, 2004)[7, 8]以水工模型試驗探討抽水井流場以及其改善之道，特別針對中央進流式(center flow)之攔汙閘型式，所可能衍生之負面影響以及解決方案進行深入探討。此外，Hwang et. al. (2006)[9]則針對抗渦板等下懸式結構之高度，對於吸入口附近流場之影響提出研究試驗成果，顯示其高度較低時，將使得吸入口喉部之旋轉角度增加。

為了更細部探討抽水井內部之流場，部分文獻透過 CFD 數值模式進行模擬，並以水工模型試驗進行驗證，Chuang et. al. (2014)[10]利用 TRUCHAS 數值模擬軟體的 LES 紊流模型與 Smagorinsky 次格點模式，以及 VOF (Volume of Fluid)法捕捉自由液面之變化，探討不同水閘門進沒深度與泵出口流量下水泵吸水井之流場變化，透過超音波都卜勒流速儀所測得之流場速度分布與 CFD 分析趨勢相同，吸入口處瞬時及

時間平均旋轉角分布也與 CFD 有良好一致性。Amin et. al. (2018)[11]在 ANSYS CFX 中使用 $k-\omega$ SST 紊流模型，並加入剛體(Rigid Body)運動分析，模擬結果顯示吸入管內旋轉角分布與水工模型試驗相近，進一步比較切線速度所計算之旋轉角與剛體運動分析之差異性，作者表明由於網格尺度關係，CFD 對於預測渦度強度仍有差距。

Arocena et. al. (2020)[12] 以 1:10 比例建立火力發電站冷卻循環水泵吸水井之水工模型試驗，並透過 ANSYS Fluent 中的 VOF 法搭配 $k-\omega$ SST 紊流模型，模擬水下渦旋的形成，與試驗結果具有良好一致性，除了應用 ANSI/HI 9.8 當中所推薦的土木改善措施外，更進一步提出改善水下渦旋的土木措施，水下渦旋及側壁渦旋明顯改善，而 CFD 對於水泵吸入鐘口處的速度分布預測也在接受範圍內。此外，部分數值模擬分析考慮導流體對於吸入口內流場之影響，Kim et. al. (2012)[13] 以 CFD 探討擋板(baffle walls)、角落填角及導流水平橫樑改善流況之機制，結果顯示加裝導流設施後水泵吸入口處的渦度與紊流動能分布皆獲得改善，使得水泵入口的流動變得較均勻，並且水泵效率在各操作流量下皆有提升，水泵操作流量越高、導流裝置所帶來的效益越好。

參考相關文獻後，可知民生抽水站遭遇的問題，應在於其前方入流端的斜向進流，以及沿著水流方向縱向排列之三道抽水機，上游端的水泵形成之尾流可能影響後端水泵，且吸入口浸沒深度可能不足，可能導致流況不佳、以致機組振動，於本次更新工程中需進一步尋思改善方式。於民國 109 年 1 月 21 日，經營造單位實地勘查後，發現三台抽水機正下方各有一個直徑 3 m、深度 1 m 之圓坑(圖 2)，此情況提供三座抽水機之吸入口下降的空間，可增加浸沒水深，藉以改善流場。爰此，本研究乃提出原方案、改善方案等二種情境，觀察兩種方案下的流場，並分析是否符合 HI 規範之要求。

二、研究方法

本研究分別以水工模型試驗以及 CFD 數值模式探討民生抽水站 A 棟抽水井之流場，方法分述如下：

2.1 水工模型試驗

首先須依據原型之基本設計資料，進行水工模型之比尺規劃。所探討之對象為進入吸入口前之流場，而抽水井在運轉時渠道內仍存在自由液面，因此可視為一般之明渠流(open-channel flow)，流場由重力所主導，模型與實體間之模擬除需滿足幾何與運動相似外，於動力相似部份則需滿足福祿數(Froude Number)相等。

民生抽水站擬更新之水泵設計流量為 4.0 cms，以此進行模型之雷諾數與韋伯數的計算，雷諾數為 90,392，韋伯數為 1,005。考量滿足上述動力相似條件、試驗範圍、實驗設備、試驗場地大小等因素之限制，決定水工模型之長度比尺為 1/12。

由於抽水井沿水流方向設置，彼此間可能產生相互干擾影響，導致流場紊亂，為改善流況，試驗模擬共分為原方案與改善方案，期能改善流場，降低吸入口內部的旋轉角。試驗乃於不同水位下測試不同啟閉條件對於流場與吸入口喉部旋轉角的影響，試驗條件設定如表 1 所示。

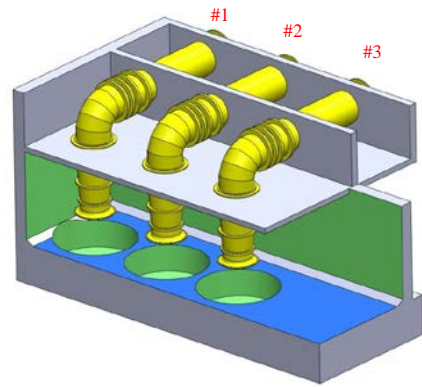


圖 2 民生抽水站 A 棟現場實際狀況 3D 圖

表 1 原方案與改善方案試驗條件表

| 試驗編號 | 運轉水位 E.L. | #3 | #2 | #1 | 方案 |
|-------------------|--------------|---------|---------|---------|------|
| EL0.0Q70 | +0.0m | - | - | 流量 70% | 原方案 |
| EL0.8Q70 | +0.8m | 流量 70% | - | - | 原方案 |
| EL0.9Q70Q85 | +0.9m | 流量 85% | 流量 70% | - | 原方案 |
| EL1.0Q70Q85Q100 | +1.0m | 流量 100% | 流量 85% | 流量 70% | 原方案 |
| EL1.2Q100Q100Q100 | +1.2m | 流量 100% | 流量 100% | 流量 100% | 原方案 |
| EL0.6Q70Q70Q70 | +0.6m | 流量 70% | 流量 70% | 流量 70% | 原方案 |
| EL0.5Q70Q70 | +0.5m | 流量 70% | 流量 70% | - | 原方案 |
| EL0.0Q70 | +0.0m | 流量 70% | - | - | 改善方案 |
| EL0.6Q70Q70 | +0.6m | - | 流量 70% | 流量 70% | 改善方案 |
| EL0.8Q85Q85Q85 | +0.8m | 流量 85% | 流量 85% | 流量 85% | 改善方案 |
| EL1.0Q100Q100Q100 | +1.0m | 流量 100% | 流量 100% | 流量 100% | 改善方案 |

試驗於成功大學水工試驗所之明渠水槽進行，試驗水槽平面圖與抽水井模型佈置如圖 3 所示，水槽測試區長 3.8 m，寬 78.8 cm，高度 114.0 cm，側面為透明玻璃以利流場觀測。三部模型抽水機使用變頻器控制流量，並於循環管線之平直管路中裝設流量計，最後以變頻器率定出試驗所需流量範圍。試驗需觀測流速、表面渦旋、水下渦旋、吸入口喉部旋轉角度等物理量。

相關之量測儀器包括流量計，水位計，流速儀及轉速計等，茲與流場可視化方式定性觀測方法一併敘述如下，所使用之儀器於使用前皆已進行率定及測試。

1. 流量計

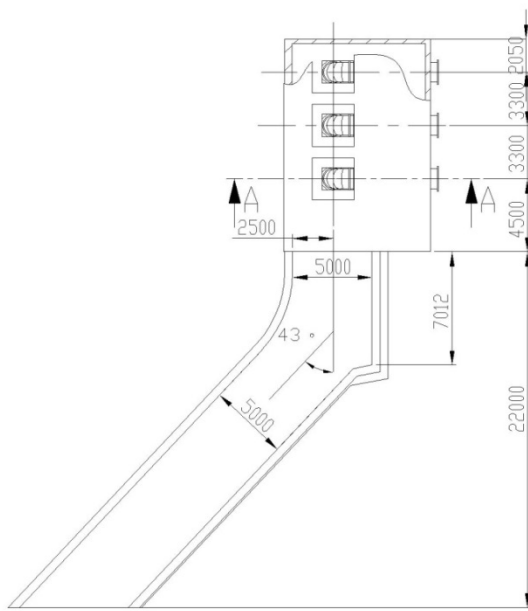
抽水井模型運轉之流量使用超音波夾管式流量計(型號為 Flowmaster UF721S) 量測，其需貼合於管路直線段，精度為 1.0%FS。

2. 流速儀

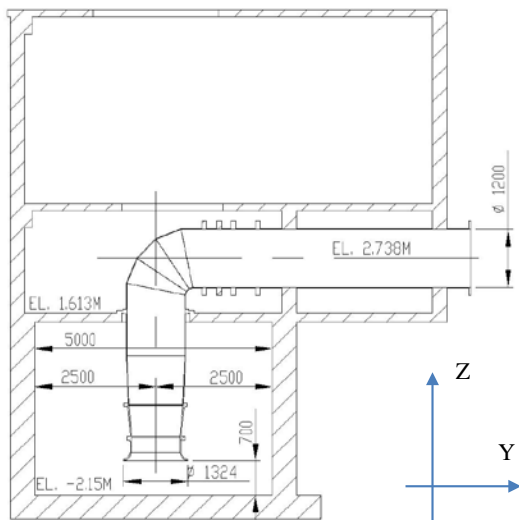
流速儀為聲波都卜勒流速儀(Acoustic Doppler Velocimetry, 簡稱 ADV)可同時量測 X、Y、Z 三維流速，為美國 Sontek 公司製造，型號：ADV lab.，其發射頻率為 16MHz，量測點之空間解析度為 0.09 c.c.，測量範圍可設定為±250cm/s、±100cm/s、±30cm/s、±10cm/s、±3cm/s，精度為測量範圍之 1%。

3. 旋度測量儀

吸入管之旋度(Swirl)依照 HI 規範進行設計與製作，並搭配錄影來達到非接觸感測，感測所得之影像再統合於電腦中，進行旋轉角時序列分析。旋葉本體



(a)



(b)

圖 1 民生抽水站 A 棟建築物尺寸原始狀況圖(a)平面圖;(b)A-A'剖面之立面圖(單位:mm)

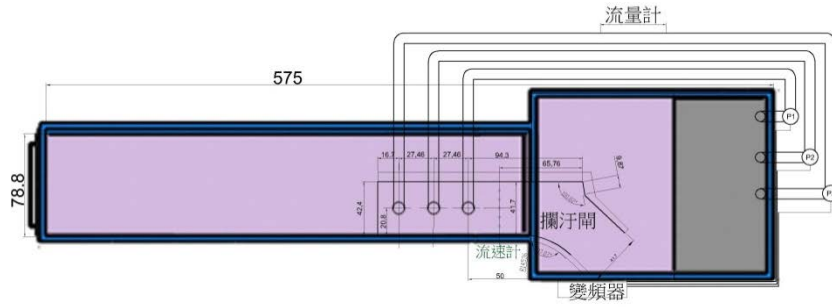


圖 3 試驗水槽與抽水機模型試驗布置

主要由 4 片平直扇葉所組成，軸心為頂針型式可自由轉動，當流場具旋度時，扇葉亦隨之轉動，可依據葉片旋轉頻率進一步推算得其旋轉角度。

4. 流場可視化法

在抽水機適當位置中釋入已混合完成之適量紅色染液，染料比重與水接近，能即時且完整的顯現流場變化(圖 4)，以利數位攝影機記錄影像。

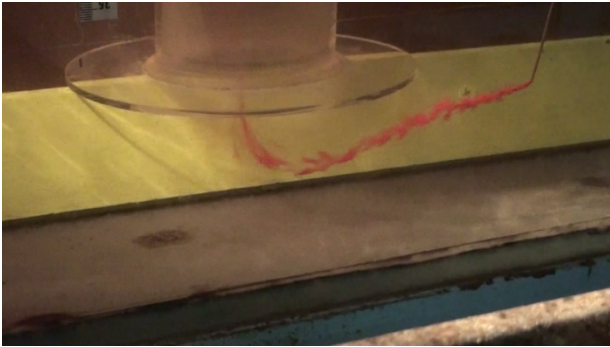


圖 4 注入染液之煙線流場可視化

依據 HI(2018)[1]中所述，流場判斷指標包括：

- (1) 接近鐘形吸入口之流速分佈必須均勻與穩定；
- (2) 吸入口喉部旋轉角度在 5 度以下；
- (3) 無第三級(含)以上自由表面渦漩與第二級(含)以上水下渦漩產生，如 Hecker (1987)[14]、Sanks (1998)[15]所分別提出之判斷方式，惟規範中容許第三級表面渦漩出現的時間少於總時間之 10% 以內，亦視為合格。

吸入口喉部之旋轉角度之觀測，一般可分為瞬時最大旋轉角度(計數時間 10~30 秒)與平均旋轉角度(至少計數 10 分鐘)，而旋轉角度若大於 5 度將對抽水機造成不良之影響。本研究主要分析瞬時旋轉角，於觀測時間內取最大值作為代表。旋轉角度 Φ (swirl angle) 之計算方式如下：

$$\Phi = \tan^{-1}\left(\frac{V_{\Phi}}{u}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{\pi dn}{u}\right) \quad (1)$$

其中 V_{Φ} ：角速度(angular velocity)， u ：吸入管內平均流速， d ：吸入管管徑， n ：每秒轉速(rps)。

2.2 CFD 數值分析

本研究採用之三維數值分析軟體為商業套裝軟體 ANSYS CFX 2020 R1，該軟體是基於有限體積法對三維的連續方程及動量 Navier-Stokes 方程進行求解。為考量工程應用以及計算效率，本研究採用 RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes) 中的 SST (Shear Stress Transport) 紊流模型進行穩態計算。SST 紊流模型是由 $k-\omega$ 與 $k-\epsilon$ 模型混和修改而成，Menter (2003)[16]指出該模型融合了 $k-\omega$ 模型的邊界層預測性能，及 $k-\epsilon$ 模型的自由流動準確性，考慮了紊流剪應力的傳播，以及逆向壓力梯度下對於發生分離流動有著高精度預測之優點，對於工程應用分析上提供有效的模擬精度，SST 模型中紊流動能 k 和紊流動能比消散率 ω 的運輸方程式可表示如下：

$$\rho \left(\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) = P_k - \beta^* \rho k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \sigma_k \mu_t \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} + U_j \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \sigma_{\omega} \mu_t \right) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + 2(1 - F_1) \sigma_{\omega 2} \frac{\rho}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} - \rho(\beta \omega^2 - \alpha S^2) \quad (3)$$

$$P_k = \min(\bar{c}_{f,ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, 10 \beta^* k \omega) \quad (4)$$

$$F_1 = \tanh \left\{ \min \left[\max \left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500 \mu}{y^2 \omega} \right), \frac{4 \sigma_{\omega 2}}{CD_{k\omega} y^2} \right] \right\} \quad (5)$$

$$CD_{k\omega} = \max(2 \rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}, 10^{-10}) \quad (6)$$

為了更適當預測分離流發生的位置及程度，並且避免過高預測紊流黏滯係數 μ_t ，加入了限制公式可表示為：

$$\mu_t = \frac{\alpha_1 \rho k}{\max(\bar{c}_{f,ij} \omega, SF_2)} \quad (7)$$

$$F_2 = \tanh \left[\max \left(\frac{2\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500 \mu}{y^2 \omega} \right) \right]^2 \quad (8)$$

該模型方程常數項分別為： $\alpha = 5/9$ ， $\alpha_1 = 0.31$ ， $\beta = 0.075$ ， $\beta^* = 0.09$ ， $\sigma_k = 0.85$ ， $\sigma_{\omega 1} = 0.5$ ， $\sigma_{\omega 2} = 0.856$ ，而 y 為最近壁面之距離。

為了與試驗比對隨時間變化之旋轉角，以及彌補 SST 紊流模型過大預測分離流區域之缺點，本研究也

進行了 Unsteady Reynolds-averaged Navier-Stokes (URANS) 暫態計算，利用穩態計算結果作為暫態計算的初始化條件，而暫態計算是使用改進型的 URANS 模型 Scale-Adaptive Simulation (SAS)，根據 Menter and Egorov (2010)[17]，該模型基於 SST 模型並對紊流動能比消散率 ω 加入額外的附加項 Q_{SAS} ，與 SST 最大的不同在於引入了 Von Karman 長度尺度，對於求解紊流尺度有更好的精度，並且為了避免過度預測紊流能量累積，因此設置了 Von Karman 長度尺度的下限。

根據 Škerlavaj (2011)[18]對於泵浦吸入口模擬的紊流模型選擇以及 Spalart and Shur (1997)[19]對於 RANS 紊流模型的建議，本研究在穩態及暫態中模擬中皆加入了曲率修正項(Curvature Correction)，此修正項不僅能夠較佳的預測旋轉渦旋外，也減少計算資源耗費。

本研究之數值模擬邊界條件如表 2 所示，並以原方案以及改善方案之三維布置圖進行 CFD 建模，建模軟體使用 ANSYS SCDM 進行流體區域劃分及邊界命名，網格建置則使用 ANSYS Meshing 劃分網格，為了減少網格所帶來的計算誤差以及保持計算精度一致性，原方案與改善方案的 3 組吸入口周邊網格

表 2 數值模擬邊界條件設定

| 項目 | 原方案 | 改善方案 3 |
|-------|---|---|
| 流體密度 | 997 kg/m ³ | |
| 紊流模型 | 穩態:SST with CC, 暫態:SST-SAS with CC | |
| 入流水位 | EL +1.0 m | EL +1.0 m |
| 入流流量 | 10.2 CMS | 12 CMS |
| 抽水機數量 | 3 | 3 |
| 抽水量 | #1: 2.8 CMS #2: 3.4 CMS #3: 4.0 CMS | #1: 4.0 CMS #2: 4.0 CMS #3: 4.0 CMS |

數量皆加密，並設置最小達 5 mm 的網格大小，兩方案網格數皆維持約 2,000 萬，藉以解析此複雜之流場。

三、結果與討論

3.1 試驗結果與 CFD 數值分析之比較驗證

首先進行抽水井進水渠道之流速測量與驗證，速度測量測點距#1 抽水機前緣之模型距離為 18.5 cm，原型距離則為 2.22 m，測點高程為水位高程的一半，位置如圖 5 所示。於此位置處，在改善方案之情境下，CFD 數值分析與試驗量測結果進行比較，結果如圖 6 所示，速度剖面顯示因來流渠道向左過彎，導致左側形成迴流區、速度較慢，中間的速度則最快，而靠右岸側之部分速度則較中央側稍微低一些。結果亦顯示試驗與數值兩者相當結果近似，此結果可驗證 CFD 數值分析與試驗量測的合理性與正確性。

3.2 原方案試驗成果

試驗初始時，並未含其他改善設施，且假設底部

平坦，模擬之情境定義為原方案，如圖 7 所示。經過試驗之錄影觀察，表面渦旋的觀測結果如圖 8 所示，顯示在開三台水泵之情境下，#1 號抽水機附近之表面渦旋達到 6 級，如圖 9 所示。在開二台水泵之情境下，除了試驗 EL0.9Q70Q85 各水泵附近為 2 級以外，於 #2 號抽水機附近出現大於 5 級之表面渦旋。開一台水泵之情境下，試驗 EL0.0Q70 於 #1 號抽水機附近表面渦旋亦達到 5 級，但 #3 號水泵附近則大多符合規範。

在瞬時旋轉角觀測部分，結果如圖 10 所示。可見各試驗條件下 #1 號與 #2 號之旋轉角皆大於 10 度以上，而 #3 號機的旋轉角則相對較低。以上結果顯示，各試驗條件下旋轉角皆明顯不符合規範。

3.3 改善方案試驗成果

考量三座吸入口下方已有三個圓坑，可進一步將吸入口下降，以增加浸沒水深。由於進流處的不均勻，在 #1 號水泵吸入口下游端之後牆兩側死角產生低速迴流區。因此，參考 HI 規範於後牆增設中央分流錐與兩側填角。另外，由於進流方向的因素，以及吸入口流場的不穩定性，考量設置三角型導流錐可改善旋轉角，故於底部設置，並於各吸入口下方處於導流體中嵌入十字渦流破壞器，以期能破壞大尺度渦流，以降低流場中之旋轉能量。再者，圓盤擴口外徑縮減至 2.0 m，以避免明顯之束縮效應，布置之情境如圖 11 所示，裝設完成後即依據擬定之試驗條件進行測試。

不同水位與運轉條件下表面渦旋的觀測結果如圖 12 所示，結果顯示僅於部分條件下產生 3 級渦旋，此等渦旋主要是因為水泵吸入口本身造成的下游渦流脫離現象，但出現頻率不高，仍可符合規範。但於試驗 EL0.0Q70，#1 號水泵附近後牆填角處，偶有發現 5 級渦旋產生。因 #1 號機下方擴口已貼近後牆上所裝設之中央分隔板，加上三個圓坑連結的凹槽末端邊界之侷限，可能因此形成流場局部加速的效應而導致渦旋產生。

在瞬時旋轉角觀測部分，結果如圖 13 所示。可見在各試驗條件下，#1 號~#3 號之旋轉角皆小於 5 度，符合規範，可見改善方案施作後功效相當顯著，使吸入口內的流場更為穩定。

3.4 數值與試驗結果討論

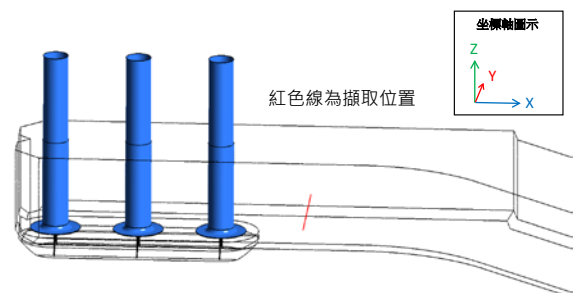


圖 5 改善方案之數值模式配置圖

利用已建立之 CFD 模式進行試驗 EL1.0Q70Q85Q100 原方案，以及 EL1.0Q100Q100Q100 改善方案的流場分析，於平面、立面之結果如圖 14、圖 15 所示。圖 14 顯示前方斜向近流後，兩側流速不對稱，且因三道抽水機流量不同，因此流速由#3 號水泵至#1 號水泵明顯減速，且三道抽水機間之流速也相對較低，此部分應是尾跡渦流 (wake vortices) 的影響。

圖 15 顯示改善方案之平面速度分布部分，雖然入流端之速度仍顯不對稱，但在三道抽水機周邊之流速分布顯得較為對稱，應是圓盤擴口與連通圓坑等結構邊界所形成之束流效應，可見接近擴口處之流速皆明顯增加至 1.2 m/s。

為了解 CFD 數值模式是否可呈現出管內流況變化趨勢，繼續以 CFD 模式進行此兩種試驗條件下的吸入管內旋轉角分析，分析位置與試驗的位置一致，數值與試驗結果如表 3 所示。數值分析結果皆較試驗所得之結果小，約為試驗結果的一半，但整體趨勢接近，顯示以 CFD 數值模式進行吸入口喉部旋轉角分析尚有努力空間。

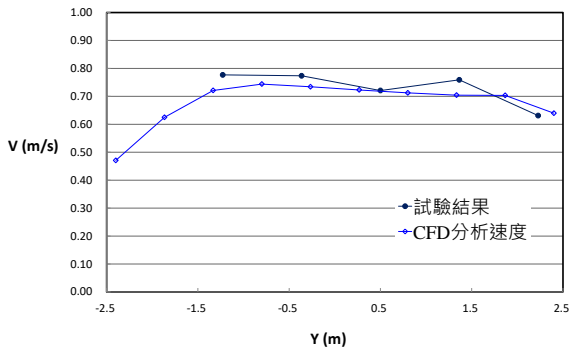


圖 6 改善方案情境，試驗與 CFD 數值之速度剖面比對(上圖紅色線之位置)

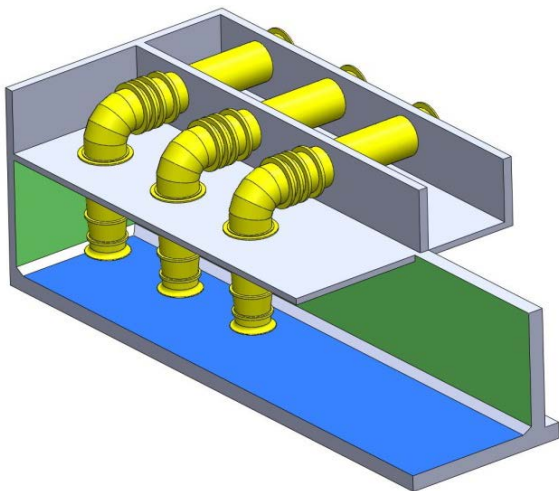


圖 7 原方案之工程布置圖

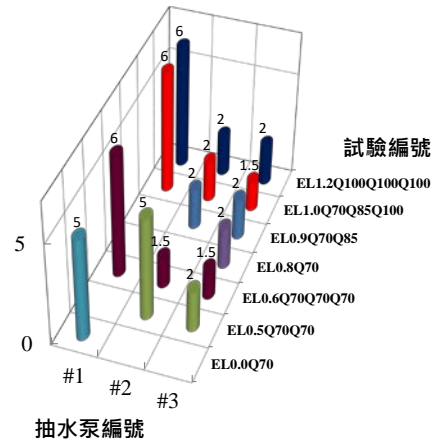


圖 8 原方案之表面渦漩觀察結果

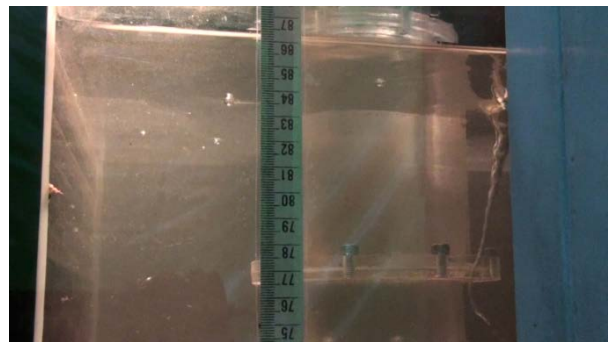


圖 9 原方案 EL1.0Q100Q85Q100 於#1 號機處之 6 級表面渦漩

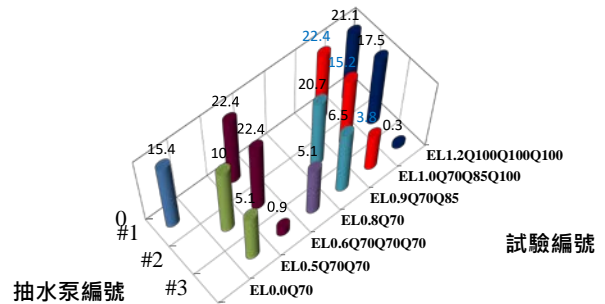


圖 10 原方案之瞬時旋轉角觀測結果

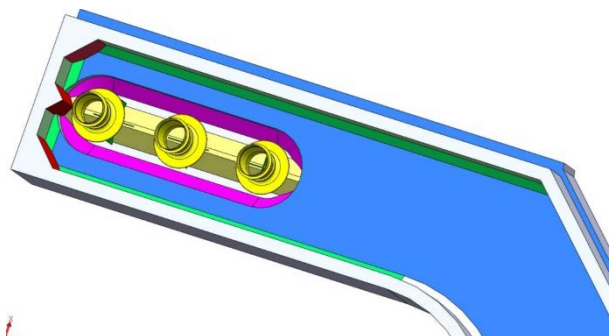


圖 11 改善方案之導流體與後牆填角 3D 布置圖

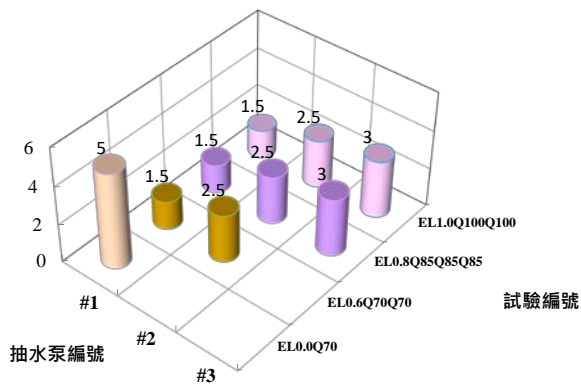


圖 12 改善方案之表面渦漩觀察結果

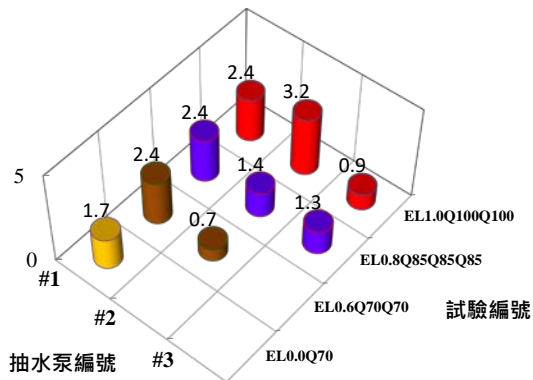


圖 13 改善方案之瞬時旋轉角觀察結果

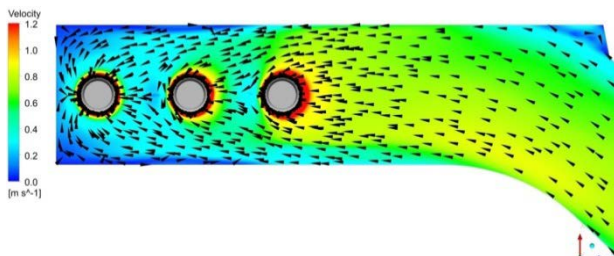


圖 14 數值模擬之原方案高程 EL.-1.45，吸入口高程處平面平均速度場 (試驗條件: EL1.0Q70Q85Q100，三抽水機之流量不同)

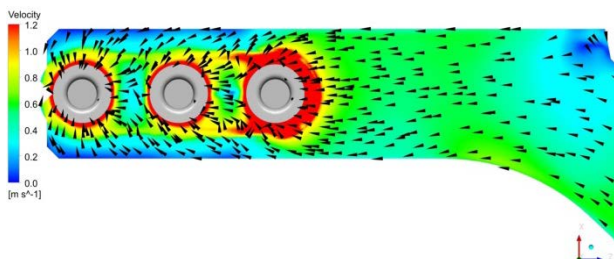


圖 15 數值模擬之改善方案高程 EL. -2.13M 吸入口高程處平面平均速度場 (試驗條件: EL1.0Q100Q100Q100)

表 3 以 CFD 數值分析之旋轉角與試驗結果比較表
試驗條件: EL1.0Q70Q85Q100(原方案)、
EL1.0Q100Q100Q100(改善方案)

| 方案 | 水泵編號 | 軸向速度 (m/s) | 切線速度 (m/s) | 旋轉角(°) | 試驗旋轉角 (°) |
|------|------|------------|------------|--------|-----------|
| 原方案 | #1 | 3.70 | 0.73 | 11.2 | 22.4 |
| 原方案 | #2 | 4.54 | 0.48 | 6.0 | 15.2 |
| 原方案 | #3 | 5.38 | 0.14 | 1.5 | 3.8 |
| 改善方案 | #1 | 5.35 | 0.10 | 1.0 | 2.4 |
| 改善方案 | #2 | 5.21 | 0.42 | 4.6 | 3.2 |
| 改善方案 | #3 | 5.28 | 0.09 | 1.0 | 0.9 |

四、結論

本研究以水工模型試驗、CFD 數值分析方式，進行民生抽水站於原方案、改善方案此二種不同工程佈置，以及運轉條件下之模擬，並以 HI(2018)規範進行流場之判定，獲得以下結論：

原方案於各操作條件下，數值模式與水工模型皆顯示#1 與#2 號水泵之旋轉角皆大於 5 度，部分操作條件下高達 20 度，不符合 HI(2018)規範。爰此，續提出改善方案。

經局部調整後之改善方案，於水位 EL.0.0m、EL.0.6 m、EL.0.8 m、EL.1.0 m 條件下，旋轉角皆小於 5 度，可符合規範。

利用 CFD 數值模式進行分析後，可知改善方案各抽水機之瞬時旋轉角皆小於原方案之結果，且與水工模型試驗結果整體趨勢接近，分析結果可供是否符合規範之參考。

參考文獻

- Hydraulic Institute Standards (2018) Rotodynamic pumps for pump intake design, American National Standards Institute, Ver. 9.8.
- Tullis, J.P. (1979) Modeling in Design of Pumping Pits, Journal of Hydraulic Division, ASCE, 105(9), 1053-1063.
- Arboleda, G. (1996) Effects of approach flow conditions on pump sump design, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 122(9), 489-494.
- Nakato, T. (2004) Application of suction scoops to improve pump-approach flow distributions in three-pump intake bays, World Water and Environmental Resources Congress, Salt Lake City, Utah, United States.
- 黃國書、何宗浚、黃國展、許懷仁、鍾年勉、孫仲宏、游銷財(2010)，「核二廠循環水泵進水系統流量提昇水工試驗研究」，台電工程月刊，第 740 期，第 24-42 頁。
- 黃國書、何宗浚、黃國展、鍾年勉、孫仲宏、游銷財(2012)，「核二廠循環水泵進水系統流量提昇

水工試驗研究(二)」, 台電工程月刊, 第 763 期, 第 43-64 頁。

7. Hwang, K.S., Hwung, H.H., T.W. Chen (2000) Hydraulic modeling study on a circulating water-pump intake, Symposium of the 4th International conference on Hydrodynamics, 741-746.
8. Hwang, K.S., Yang C.H. and Hwung, H.H. (2004) Effects of travelling water screen configurations on pump sump flows, Symposium of the 6th International conference on Hydrodynamics, 563-568.
9. Hwang, K.S., Lin, C.P., Yang, C.H. and Hwung, H.H. (2006) Effect of suspended structures to pump sump flows, Symposium of the 7th International conference on Hydrodynamics, 73-80.
10. Chuang, W.L., Hsiao, S.C., and Hwang, K.S. (2014) Numerical and Experimental Study of Pump Sump Flows, Mathematical Problems in Engineering, 2014.
11. Amin, A., Kim, C., and Lee, Y., (2018) Numerical analysis of free surface vortices behavior in a pump sump, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 163, 012103.
12. Arocena, V.M., Abuan, B.E., Reyes, J.G.T., Rodgers, P.L., and Danao, L.A.M. (2020) Reduction of Entrained Vortices in Submersible Pump Suction Lines Using Numerical Simulations, Energies, 13(22), 6136.
13. Kim, C., Choi, Y., Choi, J., and Lee, Y. (2012) A Study on the Effectiveness of an Anti Vortex Device in the Sump Model by Experiment and CFD, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 15, 2004.
14. Hecker, G.E. (1987) Fundamentals of vortex intake flow, Taylor and Francis Group, Balkema/Rotterdam, 13-38.
15. Sanks, R.L., Tchobanoglous, G., Bosserman, B.E., and Jones, G.M. (1998) Pumping Station Design, Butterworth-Heinemann, Woburn.
16. Menter, F.R., Kuntz, M. and Langtry, R., (2003) Ten years of industrial experience with the SST Turbulence Model, Heat and Mass Transfer, 4.
17. Menter, F.R. and Egorov, Y. (2010) The scale-adaptive simulation method for unsteady turbulent flow predictions. part 1: theory and model description, Flow Turbulence Combust, 85, 113-138.
18. Škerlavaj, A., Škerget, L., Ravnik, J. and Lipej, A. (2011) Choice of a turbulence model for pump intakes, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A, Journal of Power and Energy, 225, 764-778.
19. Spalart, P. and Shur, M. (1997) On the sensitization of turbulence models to rotation and curvature, Aerospace Science and Technology, 1, 297-302.

辨識強降雨前之特徵降雨可行性探討

郭遠錦^{1*} 莫懿美² 麥胤寰³

1. 台灣世曦工程顧問股份有限公司水及環境工程部正工程師(博士/水利技師)
2. 台灣世曦工程顧問股份有限公司水及環境工程部副理
3. 台灣世曦工程顧問股份有限公司水及環境工程部工程師(水利技師)

* 通訊作者，Email: yckuo@ceci.com.tw

摘要

夏季熱對流所造成之強降雨常超過下水道系統容量，造成局部積水情形。以民國 110 年 6 月 4 日臺北市暴雨為例，共有超過 10 個雨量站測得時雨量超過 100 公厘之降雨情形，遠超過臺北市現行雨水下水道排水容量(五年重現期，時雨量 78.8 公厘)之保護標準，因此造成了嚴重之積水情形。考量都市型排水系統受地下管線、施工可行性及工程經費等限制，難以大幅提升排水保護標準，因此超標降雨造成致災情形在近年內將無可避免。如何藉由強降雨前之特徵降雨型式辨識超標降雨之發生，可提早發出預警，藉由居民自救及局部管控等方式以減少災損，達到與自然共存之最終理想。本研究藉由實測降雨資料，藉由資料分析，辨識出強降雨前之 10 分鐘降雨特性與時雨量高度相關，相關係數可達 0.7 以上。藉由 10 分鐘降雨強度之辨識成果，可於暴雨發生初期，積水發生前即提出預警，使得居民及管理人員得以進行必要之減災措施。

關鍵字：特徵降雨、夏季熱對流、防災預警

A feasibility study of identifying characteristics of storm rains

Yuan-Ching Kuo^{1*} (Ph.D.,P.E.)

I-Mei Mo²

Yin-Huan Mai³(P.E.)

1. Senior Engineer, Department of Water and Environmental Engineering, CECI Engineering Consultants, Inc.
2. Deputy Manager, Department of Water and Environmental Engineering, CECI Engineering Consultants, Inc.
3. Engineer, Department of Water and Environmental Engineering, CECI Engineering Consultants, Inc.

* Corresponding Author, Email: yckuo@ceci.com.tw

Abstract

The storm rain induced by summer convections frequently exceed the capacity of the drainage systems and lead to ponding and flooding events. For example, the storm rain on 2021, Jun 4th with rainfall intensity over 100mm/hr (recorded by 10 different rainfall stations in Taipei city) and caused severe flooding events. However, the drainage systems, due to pipeline obstacles and construction difficulties, are difficult to further expand their capacities. Therefore, an early warning system is desired to minimize property loss. In this study, we found a characteristic rainfall intensity before disaster storm rain. By observing the 10min rainfall intensity, we may roughly estimate the hourly rainfall intensity and announce early warning to minimize the loss of property.

Keywords: characteristic rainfall intensity, summer convection, early warning for storm rain

一、前言

臺灣降雨季節豐枯懸殊，近年來受氣候變遷影響，降雨集中之趨勢更加明顯，夏季熱對流所造成之強降雨常超過下水道系統容量，造成局部積水情形。以民國 110 年 6 月 4 日臺北市暴雨為例，共有超過 10 個雨量站測得時雨量超過 100 公厘之降雨情形，遠超過

臺北市現行雨水下水道排水容量(五年重現期，時雨量 78.8 公厘)之保護標準，因此造成了嚴重之積水情形。考量都市型排水系統受地下管線、施工可行性及工程經費等限制，難以大幅提升排水保護標準，因此超標降雨造成致災情形在近年內將無可避免。如何藉由強降雨前之特徵降雨型式辨識超標降雨之發生，可提早發出預警，藉由居民自救及局部管控等方式以減少災損，達到與自然共存之最終理想。

二、降雨紀錄分析

本研究以設立於桃園農工之桃園雨量站(民國 76 年~民國 107 年)、八德國小之八德雨量站(民國 76 年~民國 107 年)、大溪員林國小之大溪雨量站(民國 97 年~民國 107 年)及氣象局林口雨量站(民國 80 年~民國 109 年)之實測雨量資料,分析各場降雨之 10 分鐘降雨強度與 60 分鐘雨量之紀錄(僅保留 60 分鐘雨量公釐以上之紀錄),再以迴歸方式(Maidment (1993))求取 10 分鐘降雨強度與時雨量間之迴歸關係。

桃園雨量站

桃園雨量站(民國 76 年~民國 107 年)紀錄之 10 分鐘雨量共計 2390 筆,經篩檢同一場降雨僅保留一筆代表性 10 分鐘雨量紀錄後,降雨場次縮減至 133 場,10 分鐘降雨量由 4.5 公釐至 28.5 公釐間。60 分鐘降雨量為 12 公釐至 87.5 公釐間。

八德雨量站

八德雨量站(民國 76 年~民國 107 年)紀錄之 10 分鐘雨量共計 2894 筆,經篩檢同一場降雨僅保留一筆代表性 10 分鐘雨量紀錄後,降雨場次縮減至 215 場,10 分鐘降雨量由 2.5 公釐至 28 公釐間。60 分鐘降雨量為 12 公釐至 117.5 公釐間。

大溪雨量站

大溪雨量站(民國 97 年~民國 107 年)紀錄之 10 分鐘雨量共計 1109 筆,經篩檢同一場降雨僅保留一筆代表性 10 分鐘雨量紀錄後,降雨場次縮減至 97 場,10 分鐘降雨量由 2.5 公釐至 23.5 公釐間。60 分鐘降雨量為 12 公釐至 94 公釐間。

林口雨量站

林口雨量站(民國 80 年~民國 109 年)紀錄之 10 分鐘雨量共計 20221 筆,經篩檢同一場降雨僅保留一筆代表性 10 分鐘雨量紀錄後,降雨場次縮減至 259 場,10 分鐘降雨量由 2.5 公釐至 25.5 公釐間。60 分鐘降雨量為 12 公釐至 84 公釐間。

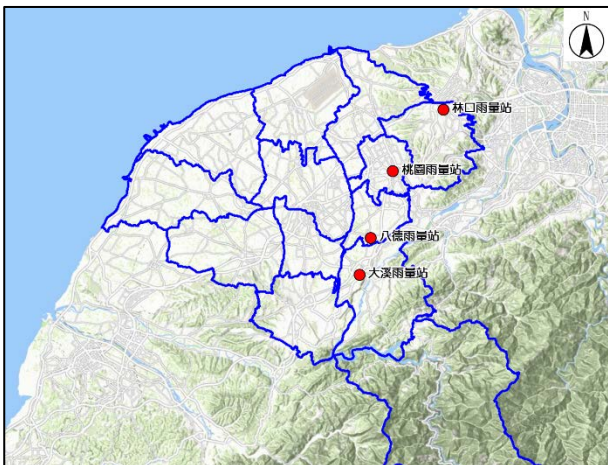


圖 1 雨量測站位置示意圖

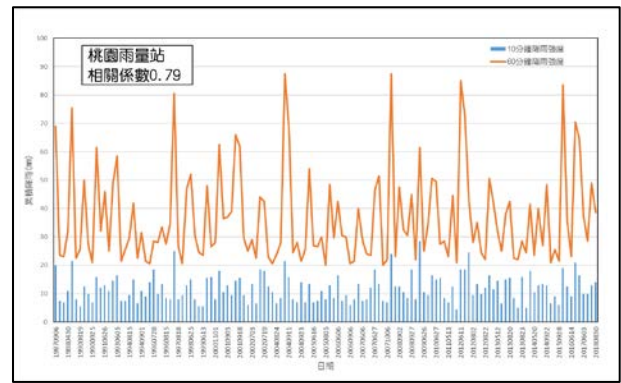


圖 2 桃園雨量測站降雨關係示意圖

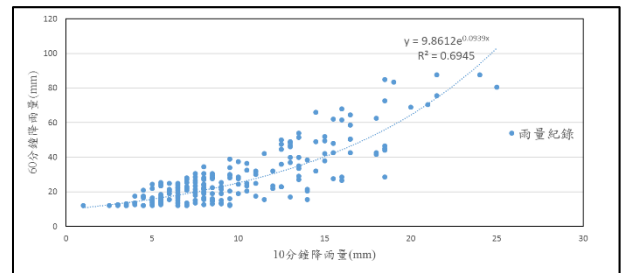


圖 3 桃園雨量站實測紀錄迴歸成果圖

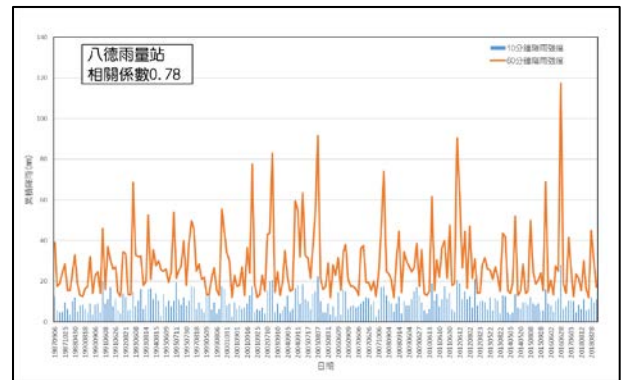


圖 4 八德雨量測站降雨關係示意圖

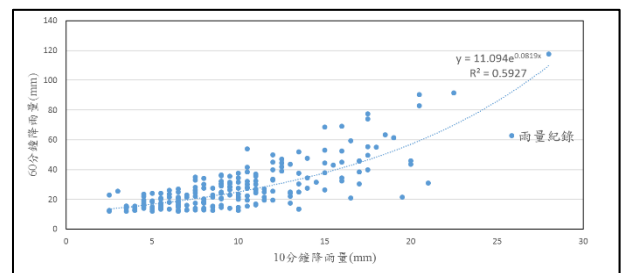


圖 5 八德雨量站實測紀錄迴歸成果圖

三、實際降雨案例驗證

民國 110 年 6 月 4 日臺北市發生極端降雨事件，依降雨紀錄(表 1)顯示，各測站測得之 10 分鐘降雨紀錄與最大時雨量密切相關，印證本研究推測之結論。

表 1 民國 110 年 6 月 4 日實測降雨紀錄

| 行政區 | 測站名稱 | 最大 10 分鐘 降雨紀錄 (mm) | 最大 60 分鐘 降雨紀錄 (mm) |
|-----|---------|--------------------------|--------------------------|
| 大安區 | 臺灣大學 | 37 | 209 |
| 松山區 | 小巨蛋 | 26.5 | 104 |
| 大同區 | 太平國小 | 18.5 | 61.5 |
| 北投區 | 鞍部(陽明山) | 20.5 | 52 |

四、結論

經由四個雨量測站之實測降雨資料彙整，本研究發現各場次之 60 分鐘降雨強度確實與 10 分鐘降雨強度呈現高度相關，相關係數 0.78~0.84 間，顯示 10 分鐘觀測降雨確實可反映降雨強度之相關資訊。藉由迴歸分析顯示，10 分鐘降雨強度與 60 分鐘降雨強度呈指數關係型式，藉由 10 分鐘降雨強度之觀測，可以概略推算出本場降雨之強度，進而提前發出預警以降低積水所造成之財損，降低民怨。

參考文獻

1. D.R. Maidm (1993) Handbook of Hydrology. McGRAW-HILL
2. 桃園雨量站(民國 76 年~民國 107 年)實測雨量紀錄(中央氣象局)
3. 八德雨量站(民國 76 年~民國 107 年)實測雨量紀錄(中央氣象局)
4. 大溪雨量站(民國 97 年~民國 107 年)實測雨量紀錄(中央氣象局)
5. 林口雨量站(民國 80 年~民國 109 年)實測雨量紀錄(中央氣象局)
6. 民國 110 年 6 月 4 日臺北市實測降雨紀錄(臺北市府)

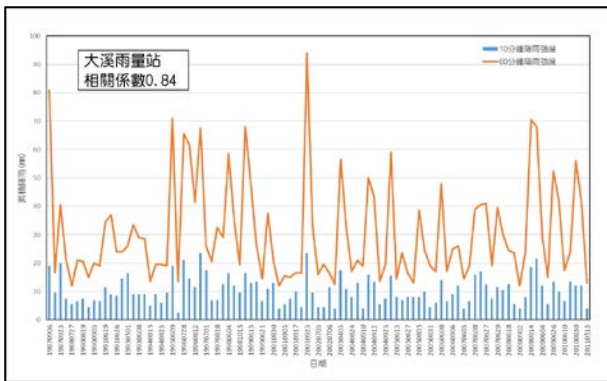


圖 6 大溪雨量測站降雨關係示意圖

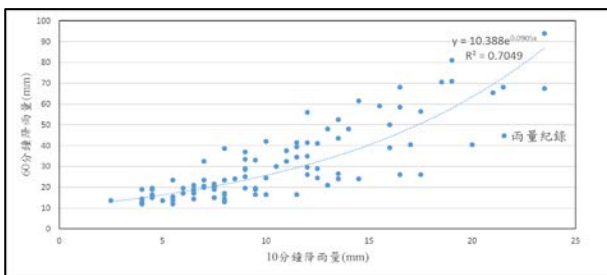


圖 7 大溪雨量站實測紀錄迴歸成果圖

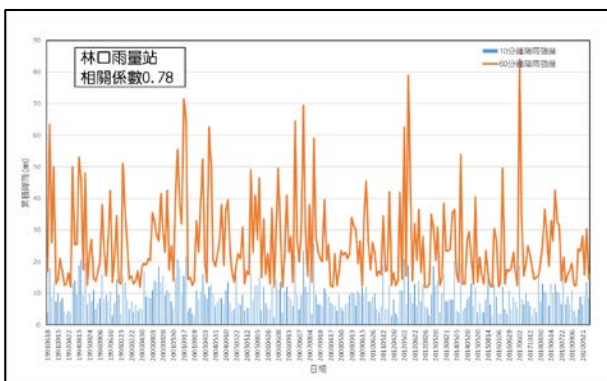


圖 8 林口雨量測站降雨關係示意圖

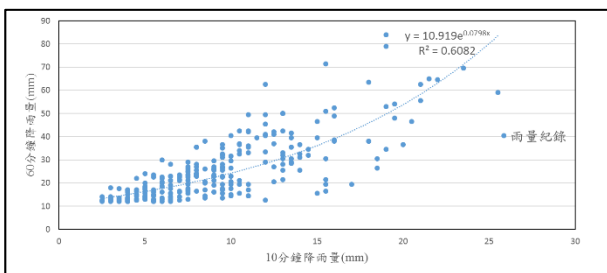


圖 9 林口雨量站實測紀錄迴歸成果圖

花蓮海岸公路的海岸防護-以人定勝天段為例

Coastal Protection of Hualien Coastal Highway near Ren Ding Sheng Tian Section

陳冠宇^{1*} 劉俊志² 蔡立宏³ 林雅雯⁴ 陳鈞彥⁵ 陳人玉⁶

1. 國立中山大學海洋科學系教授
2. 國立中山大學海洋科學系助理研究員
3. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
4. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長
5. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員
6. 國立中山大學海洋科學系研究助理

* 通訊作者，Email: guanyu@faculty.nsysu.edu.tw

摘要

由於颱風引起的暴潮和長浪容易對臺灣東部海岸公路段的民眾生命財產造成威脅，且基於海岸資源永續發展和自然環境維護，有必要加強海岸防護相關設施。保護工法除具備防災功能外，最好能兼具美觀的作用，故本研究以離岸潛堤作為海岸防護的參考措施。潛堤的消能性雖無法與突出水面的離岸堤相比，如有適當的位置配置仍可發揮海岸防護的功能。本研究利用 COBRAS 垂直 2 維波浪模式探討離岸潛堤在不同地形深度配置下，分析長浪的溯上距離以及其作用力對台 11 線人定勝天段 7 個站造成的壓力影響。另亦使用 Xbeach 水平 2 維波浪模式探討不同潛堤長度和位置配置產生的壓力差異。最後藉模擬結果評估何種潛堤深度、長度和位置有助於降低波浪對道路邊坡產生的壓力衝擊。

關鍵字：海岸防護、離岸潛堤、COBRAS、XBeach

Coastal Protection of Hualien Coastal Highway-A Case of Ren Ding Sheng Tian Section

Guan-Yu Chen^{1*} Chung-Chi Liu² Li-Hung Tsai³ Ya-Wen Lin⁴ Chun-Yen Chen⁵ Jen-Yu Chen⁶

1. Professor, Department of Oceanography, National Sun Yat-sen University
 2. Assistant Researcher, Department of Oceanography, National Sun Yat-sen University
 3. Chief, Harbor and Marine Technology Center, Institute of Transportation, Ministry of Transportation and Communications.
 4. Section Chief, Harbor and Marine Technology Center, Institute of Transportation, Ministry of Transportation and Communications.
 5. Assistant Researcher, Harbor and Marine Technology Center, Institute of Transportation, Ministry of Transportation and Communications.
 6. Research Assistant, Department of Oceanography, National Sun Yat-sen University
- * Corresponding Author, Email: guanyu@faculty.nsysu.edu.tw

Abstract

Storm surges and long waves caused by typhoons are threats to people's lives and property, and coastal facilities are

required to mitigate these hazards. These coastal protection facilities are also essential for the sustainable development of the east coast of Taiwan. To make these facilities beautiful to look at, submerged breakwaters are proposed. In the present study, vertical two-dimensional wave model COBRAS is used to analyze how the dynamic wave force is affected in the existence of submerged breakwaters. Along the number eleven highway near the Ren Ding Sheng Tian Section, seven cross-sections are chosen and the effect of submerged breakwater located at different depths under three different storm surge scenarios are analyzed. Besides, a horizontal two-dimensional wave model XBeach is utilized to analyze the effect of breakwater length. It is concluded that the wave force on the side slope of the coastal highway can be effectively reduced if the location of the submerged breakwater is suitable. The depth, length as well as the location of the submerged breakwater can be determined based on the numerical simulation.

Keywords: coastal protection, submerged breakwaters, COBRAS, XBeach

一、前言

海岸地區為海陸交界的帶狀區域，包含了海陸生態的系統特性。海岸地區提供航運、觀光、學術研究、生態保育及國防等用途，具備高度的經濟價值。然而臺灣每年平均受到三至四個颱風侵襲，颱風引起的暴潮和長浪容易對臺灣東部海岸地區以及海岸公路段的民眾生命安全造成威脅。且基於海岸資源永續發展的觀念以對自然環境的保護，有必要加強海岸防護的相關設施。保護工法除具備防災功能外，尚須兼具休閒、景觀美化的功能，故本計畫以離岸潛堤作為海岸防護的參考措施。潛堤之消能性雖無法與突出水面之離岸堤相比，但如能適當調整設置位置應仍可達到離岸的海岸防護功能。本研究利用 COBRAS 波浪模式模擬離岸潛堤在不同地形深度配置下，分析長浪的溯上距離以及其作用力對台 11 線人定勝天段 7 個站造成的影響。

二、理論模式

2.1 臺灣離岸潛堤設計的資料蒐集

過去臺灣沿岸已有眾多離岸堤的設置案例，例如圖 2.1 為林邊鄉崎峰村設置的離岸潛堤設計，由於該海岸區域沙灘逐年受到侵蝕，故以離岸潛堤的工法進行沙灘保護，透過消弱波浪能量來降低沙灘受到海浪的直接衝擊，同時讓海灘兼具海岸景觀、生態保育及親水性等功能性。

由於花蓮海岸屬於侵蝕性海岸，又常直接受到來自太平洋的颱風長浪所影響，故在南濱、北濱和化仁的海岸區域外海海床 5 到 7 公尺處陸續建立多座離岸潛堤，部分位置和潛堤設計如圖 2.3 和圖 2.4。這些離岸潛堤因為處於適當的水深，在削減海浪入射的能量來防止海岸遭到侵蝕的同時，也可發揮良好的人工魚礁效果。特別是近幾年水利署的花蓮南濱海岸改善計畫，以「離岸潛堤」、「塊石海堤堤身」、「綠帶防風林」等三道海岸防護措施，獲得 2020 第八屆臺灣景觀大獎環境設施類優質獎。

在高雄市政府旗津海岸線監測計畫中，根據監測近 10 年資料顯示流失沙灘縱深約 50 公尺到 150 公尺

之間。為改善沙灘流失的情況，高雄市政府旗津海水浴場到風車公園，海岸線長約 3.6 公里，沿線配置二座人工灣澳潛堤、八座離岸潛堤及一座離岸堤等海岸構造物。另外約補養灘 110 萬立方公尺的沙量等，主要目的就是改善旗津海岸之侵蝕。

2.2 COBRAS 波浪模式介紹

本文使用的 COBRAS (COrrnell BRaking wave And Structure)流體模式以美國 Los Alamos 國家實驗室發展的二維不可壓縮流體的數值模式「RIPPLE」(Kothe 等人, 1991)為基礎，經過 Lin 和 Liu 加以修改後的版本，為一 2 維垂直方向(2DV)的水動力模式，可用來計算波浪與結構物的交互作用 (Lin and Liu, 1998)，以及波浪與孔隙介質的交互作用(Liu 等人, 1999)。此模式的程式碼以 FORTRAN 撰寫而成。

該模式主要求解 Reynolds Averaged Navier Stokes (RANS)方程式，並結合非線性 k-ε 紊流模式來求得紊流動能 k 及紊流消散率 ε。模式特徵包括以流體體積法 (Volume of Fluid, VOF)來描述流體在自由表面的變化。另外可按研究的需求在不同區域設定可變的網格解析。根據模式的輸出結果可得知模擬過程中的壓力、渦度、紊流黏滯力、動能、紊流消散、流速、自由表面的構成、質量守恆或和水漫(overtopping)的體積。

在二維不可壓縮且黏性流動之牛頓流體假設條件下，其 RANS 控制方程式如下：

連續方程式：

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

動量方程式：

$$\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle p \rangle}{\partial x_i} + g_i + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \langle \tau_{ij} \rangle}{\partial x_j} \quad (2)$$

其中 i 和 $j = 1$ 或 2 ，分別代表水平方向和垂直

方向。 u_i 代表第 i 個方向分量的流速。 ρ 和 p 各為密度和壓力。 g_i 表示第 i 個方向分量的重力加速度。 τ_{ij} 為黏滯應力。 $\langle \rangle$ 符號代表時間平均。另外：

$$\langle \tau_{ij} \rangle = 2\mu S_{ij} + \rho \langle u'_i u'_j \rangle \quad (3)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

其中 $\mu = \nu \rho$ 為動力黏滯係數，而 ν 為動能黏滯係數， S_{ij} 為剪應變率張量， u'_i 和 u'_j 各代表流速在 i 和 j 方向分量的瞬時擾動量， $\langle u'_i u'_j \rangle$ 為雷諾應力 (Reynolds stress)。

另外 k- ϵ 紊流閉合模式的控制方程如下：

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] - \langle u'_i u'_j \rangle \frac{\partial \langle u'_i \rangle}{\partial x_j} - \epsilon \quad (5)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} + \nu \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + 2C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} \nu_t S_{ij} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} - C_{2\epsilon} \frac{\epsilon^2}{k} \quad (6)$$

其中

$k = \frac{1}{2} \langle u'_i u'_i \rangle$ 為紊流動能 (turbulence kinetic energy)

$\epsilon = \nu \left\langle \left(\frac{\partial u'_i}{\partial x_k} \right)^2 \right\rangle$ 為紊流消散率 (turbulence dissipation rate)

$\nu_t = C_d \frac{k^2}{\epsilon}$ 為渦流黏度 (eddy viscosity)

$$C_d = \frac{2}{3} \left(\frac{1}{7.4 + S_{\max}} \right) \quad (7)$$

$$S_{\max} = \frac{\epsilon}{k} \max \left(\left| \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_i} \right| \right) \quad (8)$$

根據 Rodi (1980) 的建議值，在此將 σ_k 、 σ_ϵ 、 $C_{1\epsilon}$ 、 $C_{2\epsilon}$ 四個經驗參數設定為 1.0、1.3、1.44 以及 1.92。

紊流模式根據渦流黏度的特性提供以下兩種型式來表示雷諾應力。1. 當渦流黏度為線性且具等向性：

$$\langle u'_i u'_j \rangle = -2\nu_t S_{ij} + \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (9)$$

2. 當渦流黏度為非等向性：

$$\begin{aligned} \langle u'_i u'_j \rangle = & \frac{2}{3} k \delta_{ij} - C_d \frac{k^2}{\epsilon} \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_i} \right) - \\ & \frac{k^3}{\epsilon^2} \left[C_1 \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_l} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_l} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_i} - \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_k \rangle}{\partial x_l} \delta_{ij} \right) + \right. \\ & C_2 \left(\frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_k} - \frac{1}{3} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) + \\ & \left. C_3 \left(\frac{\partial \langle u_k \rangle}{\partial x_i} \frac{\partial \langle u_k \rangle}{\partial x_j} - \frac{1}{3} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \frac{\partial \langle u_l \rangle}{\partial x_k} \delta_{ij} \right) \right] \quad (10) \end{aligned}$$

其中 δ_{ij} 為 Kronecker delta 函數

$$C_1 = \frac{1}{185.2 + D_{\max}^2}$$

$$C_2 = \frac{1}{58.5 + D_{\max}^2}$$

$$C_3 = \frac{1}{370.4 + D_{\max}^2}$$

$$D_{\max} = \frac{k}{\epsilon} \max \left(\left| \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \right| \right)$$

當 $C_1 = C_2 = C_3 = 0.0$ 時，可由非等向性簡化成等向性的形式。由於渦流黏滯性在線性及等向性的條件下，當流場出現較複雜的紊流時，可能無法正確表現非等向性渦流的物理特性，所以本研究使用非等向性的渦流黏度。

2.3 模式數值地形

模式使用的地形為港灣技術研究中心提供的高解析度光達陸地地形和近岸的船測地形。地形的平面座標採用內政部公告之 2010 臺灣地區 TWD97 大地基準，而高程座標則採內政部 TWVD2001 臺灣地區的高程基準。本研究選取台 11 線人定勝天 61K+300、61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830、62K+220 等 7 個里程的道路斷面作為公路的浪襲情境模擬地點，並利用地形資料各從 7 個站的離岸方向取切線作為模式地形。在此利用 Xbeach 模式模擬波浪從東邊界正向入射後的第 136 秒水位空間分佈，大致沿著波向線選取 7 個站的地形切線。

2.4 模式設定

模式的 X 方向網格解析度共分成三個區域，左側區域為均一水深 32m 的波浪入射區，右側區域近岸水平距離近岸 300 公尺往右的區域，介於左、右兩區的中間區域，解析度由左至右從 2m 線性變化到 0.5m。在垂直的 Y 方向解析度設定，上述三區皆為 0.5m。至於時間解析方面使用調整式的時間步長，每個時間步驟計算後都會調整一次步長。假設 COBRAS 情境入射波沿著該切線前進。所有模擬的初始條件為流速

0 且無擾動單一水位的水平面。模擬時間設定為波浪第一波抵達陸地後，再加上 8 個入射波周期。

邊界條件的設定在上邊界(頂部)、下邊界(底部)以及右邊界為牆，而左邊界使用連續 8 個正弦波入射。圖 1.為 2015 年 8 月蘇迪勒颱風和天鵝颱風，2016 年 9 月梅姬颱風以及 2018 年 9 月潭美颱風的警報期間，港灣科技研究中心在花蓮港外海 AWCP 觀測的示性波高和尖峰周期觀測值。參考其尖峰週期大小，在此將入射波週期設定為較大的 16 秒。另外參考陳等人(2017)的花蓮港波高重現期(表 1.)，將邊界入射波高設定為 50 年重現期的 10m。

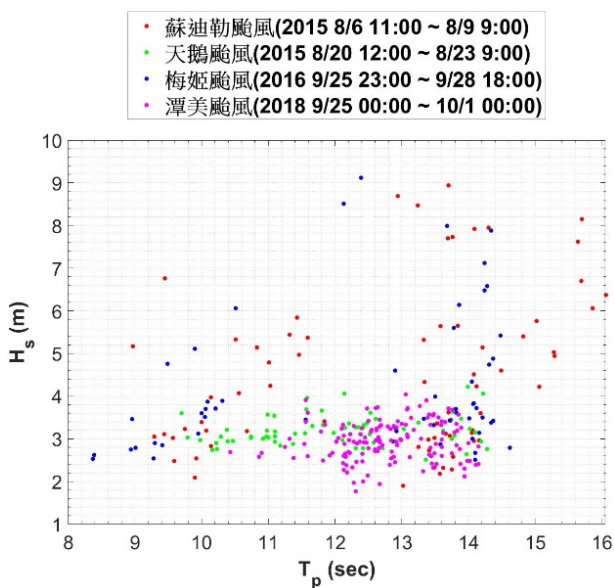


圖 1.四個颱風期間的花蓮港 AWAC 示性波高和週期

表 1. 花蓮港極值波高重現期

| 重現期(年) | 極值波高(m) | 標準偏差(m) |
|--------|---------|---------|
| 10 | 8.6 | 0.59 |
| 25 | 9.52 | 0.71 |
| 50 | 10.13 | 0.79 |
| 100 | 10.69 | 0.87 |
| 200 | 11.21 | 0.95 |

為了解台 11 線人定勝天段受到天文潮影響的潮位範圍，在此根據氣象局利用 2017 和 2018 年的潮位觀測資料進行調和分析所得的各分潮參數所預報在石梯漁港 2020 年的天文潮，可知石梯漁港的潮位範圍約在-1.1m 到 1.1m 之間。根據氣象局網頁資料可知石梯漁港所在的豐濱鄉其臺灣高程基準比當地平均海面高 0.24m，則可概估石梯漁港天文潮高程在-0.9m 到 1.3m 之間。

楊(2018)利用 2001 到 2017 年的石梯潮位站觀測資料分析出資料期間石梯站最大的暴潮偏差為 1.3m 且最大偏差發生時間在 2015 年的蘇迪勒颱風期間。以臺灣高程基準來看，石梯漁港如以最大天文潮 1.3m 如果加上 1.3m 暴潮偏差，則可出現 2.6m 的潮位。為了解暴潮期間的可能影響，在此 COBRAS 分別使用平均潮位 0m，一般高潮位 1m 和較極端的高潮位 2.5m 等三種初始水位條件作為模擬的情境潮位。

在離岸潛堤設定方面，選擇將潛堤設置在 4 到 8m 共 5 種不同海床深度的位置進行模擬。潛堤的尺度設定在參考表 1 後，在此選擇堤頂寬度為 10m，堤頂高度固定在平均水位高程-0.5m，潛堤兩側的坡度為 1:2。包含無潛堤的情境模擬，藉由 3 種潮位搭配 6 種海堤條件以及人定勝天段 7 個站，情境模擬共有 126 種。

2.5 模擬流程

COBRAS 模擬流程以 61K+300 站初始水位 2.5m 且潛堤底床深度為 6m 的情境為例，首先建立模式地形後開始模擬。模擬結束後可得到模擬期間的流速、壓力及水位等相關資料。由最大壓力空間分布除了可了解模擬期間的最大溢淹距離之外，亦可得知包含潛堤在內的地形表面所承受的最大壓力。本研究透過 126 種情境的最大壓力空間分布的分析，來了解將離岸潛堤設置在何種海床深度有利於台 11 線人定勝天段的海岸防護措施。

二、研究區域

本研究選取台 11 線人定勝天 61K+300、61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830、62K+220 等 7 個里程的道路斷面作為公路的浪襲情境模擬地點，並利用地形資料各從 7 個站的離岸方向取切線作為模式地形，如圖 2.和圖 3.。利用 Xbeach 模式模擬波浪從東邊界正向入射後的第 136 秒水位空間分佈，大致沿著波向線選取 7 個站的地形切線，如圖 4.。



圖 2. google earth 台 11 線人定勝天段選取的 7 個情境里程位置

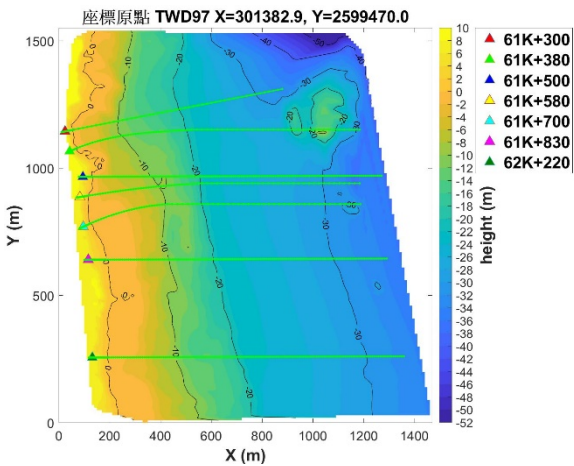


圖 3. 台 11 線人定勝天段 7 個里程位置(三角)以及地形切線(綠線)

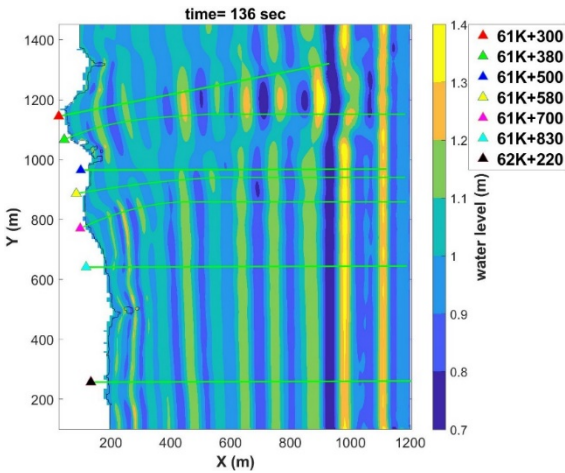


圖 4. 台 11 線人定勝天段 7 個站(三角)沿波向線選取地形切線(綠線)

四、結果與討論

4.1 模擬結果

針對 COBRAS 模式使用不同情境條件的模擬結果，本研究根據模擬期間的長浪溯上作用力，對地形和人工建築物的表面所承受的最大壓力進行分析且

針對近道路區以及潛堤區等 2 個區域進行探討。其中近道路區再細分成 4 個小區域；潛堤區則是將離岸潛堤分成堤前、堤頂和堤後等 3 個小區域。另外亦分析各個情境的長浪溯上距離來了解道路溢淹的情形。在此將海陸交界處且高程大於 0m 的第一點定義為陸地溢淹距離的起點，並將道路靠陸側的邊緣定義為溢淹距離的終點來計算溢淹距離，而發生溢淹的定義則是當模擬期間的陸地出現淹水或陸地上方出現浪花皆視為溢淹。對道路 8m 路寬另外再定義一個道路溢淹距離，藉以了解道路是否雙向車道皆出現溢淹，其起點和終點各為道路的靠海和靠陸邊緣，溢淹距離介於 0 到 8m。

針對近道路區在潮位 0、1 和 2.5m 情境下，模擬期間包含無潛堤等 6 種潛堤條件下，陸地或建物表面所受的最大壓力圖除 61K+300 站之外，皆列於附錄二。在此將近道路區劃分為 4 區來進行最大壓力的分析探討，依離道路 15m 到 10m、10m 到 5m、5m 到 0m 的區間劃分為第 1、2 和 3 區，而道路部分為第 4 區，如附錄二的黑虛線分區所示。對於 5 種不同海床深度條件所設置的潛堤，其在 3 種潮位下的潛堤區所模擬受到的最大壓力圖除 61K+300 站之外，皆列於附錄三。在此將潛堤區分為堤前、堤頂以及堤後等 3 區來進行最大壓力分布的討論，各區劃分界線如附錄三的黑虛線。以下針對各站情境的陸地溢淹距離、近道路區以及潛堤區的最大壓力分布進行討論。由於近道路區的第 3 區為緊鄰道路的區域，而第 4 區為道路路面，故在評估潛堤的深度設置時會優先考量陸地溢淹距離的減少幅度以及近道路區的第 3 和第 4 區最大壓力值的降幅。

4.1.1 台 11 線 61K+300 站

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，長浪溯上溢淹距離以及依上述近道路區的 4 區以及潛堤區的 3 區劃分所得的最大壓力值，經整理後如表 2. 所示。由表可知在潮位 0m 時，6 種潛堤條件的陸地溢淹距離皆相近，且皆不會出現道路溢淹。而潮位為 1m 和 2.5m 時的陸地溢淹距離都相同，且道路皆出現溢淹，表示該入射波條件在潮位 1m 以上時，可能發生的溢淹距離一致。從表 2. 可知，在三種潮位條件下，當潛堤深度設置在 4m 時，相較於其他設置深度，其在潛堤區的堤前、堤頂和堤後區所受到最大壓力皆為最小。

表 2. 61K+300 站各情境的溢淹距離及近道路區與潛堤區的最大壓力

| 潮位 (m) | 潛堤深度 (m) | 陸地溢淹距離 (m) | 道路溢淹距離 (m) | 區域最大壓力 (kPa) | | | | | |
|--------|----------|------------|------------|--------------|--------|------|------|------|------|
| | | | | 距離道路 | 距離道路 | 距離道路 | 潛堤前側 | 潛堤頂部 | 潛堤後側 |
| | | | | 5 到 10m | 0 到 5m | 道路路面 | | | |

| | | | | | | | | | | |
|-----|---|------|---|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|------|------|------|
| | | | | 10 到 15m (第 1 區) | (第 2 區) | (第 3 區) | (第 4 區) | | | |
| 0 | | 23 | 0 | 96 | 581 | 112 | 0 | | | |
| | 4 | 23.5 | 0 | 223 | 227 | 14 | 0 | 1058 | 330 | 256 |
| | 5 | 22.5 | 0 | 116 | 344 | 65 | 0 | 1145 | 651 | 171 |
| | 6 | 22.5 | 0 | 74 | 478 | 30 | 0 | 1131 | 714 | 136 |
| | 7 | 23 | 0 | 176 | 511 | 83 | 0 | 5687 | 1208 | 901 |
| | 8 | 23.5 | 0 | 154 | 658 | 117 | 0 | 4312 | 1020 | 757 |
| 1 | | 31.5 | 8 | 330 | 1181 | 723 | 2 | | | |
| | 4 | 31.5 | 8 | 237 | 937 | 1749 | 1 | 1351 | 427 | 478 |
| | 5 | 31.5 | 8 | 126 | 445 | 1923 | 16 | 1666 | 981 | 1299 |
| | 6 | 31.5 | 8 | 276 | 984 | 205 | 5 | 1820 | 1104 | 604 |
| | 7 | 31.5 | 8 | 759 | 1957 | 428 | 17 | 1909 | 1916 | 1575 |
| | 8 | 31.5 | 8 | 254 | 772 | 306 | 19 | 4850 | 1397 | 1447 |
| 2.5 | | 31.5 | 8 | 84 | 407 | 849 | 647 | | | |
| | 4 | 31.5 | 8 | 362 | 1107 | 1388 | 75 | 1186 | 1017 | 278 |
| | 5 | 31.5 | 8 | 935 | 1838 | 946 | 223 | 2789 | 1494 | 1317 |
| | 6 | 31.5 | 8 | 216 | 757 | 901 | 21 | 3693 | 1080 | 837 |
| | 7 | 31.5 | 8 | 228 | 649 | 683 | 39 | 1833 | 2082 | 1858 |
| | 8 | 31.5 | 8 | 758 | 1957 | 859 | 378 | 4701 | 3398 | 561 |

以近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況來說，在潮位 0m 時，將潛堤設在深度 4m 時，在第 2 和第 3 區有較大的壓力降幅。而當潮位 1m 時，將潛堤設在深度 6 和 8m 時，在第 1 和 3 區皆有較大的最大壓力降幅。當潮位為 2.5m 時，將潛堤設在深度 6 和 7m 時，在道路本身的第 4 區皆有較大的最大壓力降幅。

由於在 3 種潮位下，潛堤設置的深度皆對陸地溢淹距離影響不大。故僅考慮第 3 和 4 區的最大壓力值時，在潮位 0m 的情況，建議潛堤設在深度 4m 處。而考量潮位 1m 以上的情況在第 3 區的最大壓力降幅，可選擇深度 6 到 8m 作為潛堤設置的範圍。烏溪流域三種泥砂推估模式的估計值與泥砂實際值的均方根誤差如表 1，透過均方根誤差指標的分析來判斷烏溪流域的 9 個測站，其中大肚橋、南北通橋、烏溪橋、乾峰橋及觀音橋 5 個測站適用於模式 3(殘差值為非常

態分布模式)。在三種模式適用性的判斷部分，本文是依照各站三種模式下實際表現程度作為選定依據，考量流域內各測站泥砂推估模式的整體一致性，選定實際表現最好的模式 3 作為烏溪流域的泥砂

4.1.2 台 11 線 61K+380 站

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，將長浪溯上溢淹距離以及包括近道路區 4 個分區範圍和潛堤區 3 個分區範圍內所得的最大壓力值，經整理後如表 3 所示。由表可知在潮位 0m 時，6 種潛堤情境皆不會出現道路溢淹，而潛堤深度為 4、6、7 和 8m 的情境相較於無潛堤少了 3.5m。當潮位 1m 時，6 種情境的溯上距離已鄰近道路邊緣。當潮位 2.5m 時，所有條件下皆出現道路溢淹的情形。

表 3. 61K+380 站各情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力

| 潮位 (m) | 潛堤深度 (m) | 陸地溢淹距離 (m) | 道路溢淹距離 (m) | 區域最大壓力 (kPa) | | | | | | |
|--------|----------|------------|------------|-----------------------|----------------------|---------------------|--------------|------|------|------|
| | | | | 距離道路 10 到 15m (第 1 區) | 距離道路 5 到 10m (第 2 區) | 距離道路 0 到 5m (第 3 區) | 道路路面 (第 4 區) | 潛堤前側 | 潛堤頂部 | 潛堤後側 |
| 0 | | 19.5 | 0 | 250 | 266 | 297 | 0 | | | |
| | 4 | 16 | 0 | 938 | 737 | 0 | 0 | 484 | 259 | 153 |
| | 5 | 20 | 0 | 730 | 68 | 0 | 0 | 735 | 138 | 819 |
| | 6 | 16 | 0 | 805 | 412 | 0 | 0 | 567 | 931 | 204 |
| | 7 | 16 | 0 | 455 | 463 | 0 | 0 | 880 | 107 | 457 |
| | 8 | 16 | 0 | 465 | 137 | 0 | 0 | 280 | 508 | 398 |
| 1 | | 21.5 | 0 | 392 | 360 | 750 | 0 | | | |
| | 4 | 21 | 0 | 573 | 658 | 548 | 0 | 713 | 147 | 159 |

| | | | | | | | | | | |
|----|---|------|-----|------|------|-----|----|------|------|------|
| 2. | 5 | 20.5 | 0 | 565 | 1027 | 379 | 0 | 457 | 660 | 740 |
| | 6 | 21 | 0 | 1244 | 251 | 789 | 0 | 666 | 283 | 255 |
| | 7 | 21.5 | 0 | 689 | 400 | 348 | 0 | 1149 | 179 | 406 |
| | 8 | 22 | 0.5 | 997 | 279 | 245 | 0 | 1437 | 921 | 704 |
| 5 | | 29.5 | 8 | 2493 | 576 | 948 | 82 | | | |
| | 4 | 29.5 | 8 | 1025 | 660 | 829 | 13 | 345 | 1394 | 2141 |
| | 5 | 29.5 | 8 | 1543 | 373 | 337 | 16 | 253 | 263 | 442 |
| | 6 | 29.5 | 8 | 489 | 690 | 497 | 12 | 289 | 229 | 185 |
| | 7 | 29.5 | 8 | 269 | 357 | 540 | 10 | 162 | 215 | 219 |
| | 8 | 29.5 | 8 | 565 | 379 | 562 | 28 | 426 | 82 | 154 |

以近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況來說。當潮位 0m 時，有設置潛堤的情況下，皆能讓第 3 區的壓力降為 0，而再考慮第 2 區的最大壓力值，可將潛堤設置為深度 5 或 8m。當潮位 1m 時，潛堤深度 7 和 8m 的條件對第 3 區最大壓力值有較佳的降幅。當潮位 2.5m 時，潛堤深度設置 5m 對第 2 到 4 區的最大壓力皆有較佳的降幅。綜合上述的情況，故以潮位 0.1m 情境而言，潛堤建議深度為 8m。對潮位 2.5m 來說，潛堤建議深度為 5m。

4.1.3 台 11 線 61K+500 站

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，將長浪溯上溢淹距離以及包括近道路區 4 個分區範圍和潛堤區 3 個分區範圍內所得的最大壓力值(附錄二和三)，經整理後如表 4.所示。由表可知在潮位 0m 時，6 種潛堤條件皆未出現道路溢淹，且潛堤深度在 5 到 7m 時，比無潛堤的陸地溢淹距離少 3 到 5m。當潮位 1m 時則是在無潛堤、潛堤深度 4 和 8m 三種情境發生道路溢淹滿 8m 路寬，而潛堤深度 5、6 和 7m 的情境溢淹距離僅限於道路邊緣。當潮位 2.5m 時，6 種情境皆溢淹滿整個道路。

表 4. 61K+500 站各情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--------------|
| | | | | | 區域最大壓力 (kPa) |
|--|--|--|--|--|--------------|

| 潮位 (m) | 潛堤深度 (m) | 陸地溢淹距離 (m) | 道路溢淹距離 (m) | 距離道路 10 到 15m (第 1 區) | 距離道路 5 到 10m (第 2 區) | 距離道路 0 到 5m (第 3 區) | 道路路面 (第 4 區) | 潛堤前側 | 潛堤頂部 | 潛堤後側 |
|--------|----------|------------|------------|-----------------------|----------------------|---------------------|--------------|------|------|------|
| | | | | 0 | | | | | | |
| | | 29 | 0 | 531 | 246 | 288 | 0 | | | |
| 4 | 29.5 | 0 | 253 | 30 | 73 | 0 | 197 | 91 | 74 | |
| 5 | 24 | 0 | 305 | 3 | 0 | 0 | 273 | 130 | 155 | |
| 6 | 26 | 0 | 143 | 156 | 2 | 0 | 782 | 225 | 97 | |
| 7 | 25.5 | 0 | 386 | 61 | 0 | 0 | 1198 | 515 | 321 | |
| 8 | 27.5 | 0 | 491 | 39 | 12 | 0 | 3244 | 971 | 465 | |
| 1 | | | | | | | | | | |
| | | 38 | 8 | 277 | 88 | 609 | 7 | | | |
| 4 | 38 | 8 | 130 | 2246 | 1099 | 413 | 179 | 300 | 89 | |
| 5 | 30.5 | 0.5 | 1314 | 1883 | 947 | 0 | 147 | 348 | 306 | |
| 6 | 30.5 | 0.5 | 87 | 592 | 27 | 0 | 301 | 364 | 307 | |
| 7 | 30 | 0 | 552 | 524 | 42 | 0 | 2663 | 894 | 361 | |
| 8 | 38 | 8 | 708 | 443 | 355 | 2 | 1178 | 913 | 498 | |
| 2.5 | | | | | | | | | | |
| | | 38 | 8 | 1300 | 1327 | 1899 | 115 | | | |
| 4 | 38 | 8 | 658 | 428 | 1713 | 723 | 134 | 162 | 146 | |
| 5 | 38 | 8 | 207 | 435 | 396 | 22 | 156 | 251 | 178 | |
| 6 | 38 | 8 | 1809 | 413 | 437 | 100 | 233 | 343 | 250 | |

| | | | | | | | | | | |
|--|---|----|---|----------|-----|----------|-----|----------|----------|---------|
| | 7 | 38 | 8 | 132 6 | 919 | 633 | 92 | 266 3 | 248 5 | 43 6 |
| | 8 | 38 | 8 | 135 2 | 617 | 207 0 | 216 | 181 4 | 622 | 53 7 |

以近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況來說。當潮位 0m 時，有設置潛堤的情況下，皆能使第 2、3 區的最大壓力值下降，以深度 5m 最佳，且潛堤區的最大壓力值亦較小。當潮位 1m 時，潛堤深度 6 和 7m 的條件對第 3 和 4 區最大壓力值有較佳的降幅。當潮位 2.5m 時，潛堤深度設置 5m 對第 1 到 4 區的最大壓力皆有較佳的降幅，且潛堤區的壓力受力亦較小。綜合上述的情況，對潮位 0m 情境而言，潛堤建議深度 5 到 7m。對潮位 1m 的選擇上，建議深度為 6 到 7m。而對潮位 2.5m 來說，建議深度為 5m。

4.1.4 台 11 線 61K+580 站

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，將長浪溯上溢淹距離以及包括近道路區 4 個分區範圍和潛堤區 3 個分區範圍內所得的最大壓力值，經整理後如表 5. 所示。由表可知在潮位 0m 時，6 種潛堤條件皆未出現道路溢淹，且潛堤深度在 4 到 6m 時，比無潛堤的陸地溢淹距離少 7.5m。而當潮位 1m 和 2.5m 時，6 種潛堤條件的陸地溢淹距離都相同，且道路皆出現溢淹，表示該入射波條件在潮位 1m 以上時，可能發生的溢淹距離皆相同。

表 5. 61K+580 站各情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力

| 潮位 (m) | 潛堤深度 (m) | 陸地溢淹距離 (m) | 道路溢淹距離 (m) | 區域最大壓力 (kPa) | | | | | | |
|--------|----------|------------|------------|-----------------------|----------------------|---------------------|--------------|------|------|------|
| | | | | 距離道路 10 到 15m (第 1 區) | 距離道路 5 到 10m (第 2 區) | 距離道路 0 到 5m (第 3 區) | 道路路面 (第 4 區) | 潛堤前側 | 潛堤頂部 | 潛堤後側 |
| 0 | | 23 | 0 | 22 | 194 | 246 | 0 | | | |
| | 4 | 15.5 | 0 | 118 | 6 | 0 | 0 | 193 | 384 | 138 |
| | 5 | 15.5 | 0 | 30 | 6 | 0 | 0 | 657 | 538 | 235 |
| | 6 | 15.5 | 0 | 50 | 37 | 0 | 0 | 405 | 489 | 401 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|---|------|---|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|
| | 7 | 21 | 0 | 325 | 199 | 3 | 0 | 128 5 | 740 | 363 |
| | 8 | 22.5 | 0 | 232 | 196 | 6 | 0 | 322 4 | 666 | 534 |
| 1 | | 31.5 | 8 | 164 | 338 | 77 | 11 | | | |
| | 4 | 31.5 | 8 | 226 | 225 | 42 | 7 | 167 | 494 | 126 |
| | 5 | 31.5 | 8 | 258 | 367 | 33 | 1 | 360 | 736 | 782 |
| | 6 | 31.5 | 8 | 207 | 971 | 27 | 4 | 692 | 288 | 258 |
| | 7 | 31.5 | 8 | 360 | 158 | 62 | 21 | 280 8 | 761 | 100 5 |
| | 8 | 31.5 | 8 | 227 | 499 | 132 | 14 | 189 3 | 142 2 | 134 6 |
| | | 31.5 | 8 | 243 | 628 | 423 | 41 | | | |
| | 4 | 31.5 | 8 | 439 | 352 | 161 | 30 | 171 | 313 | 293 |
| 2.5 | 5 | 31.5 | 8 | 305 | 126 2 | 198 8 | 51 | 334 | 373 | 309 |
| | 6 | 31.5 | 8 | 653 | 134 4 | 611 | 38 | 204 | 225 | 147 |
| | 7 | 31.5 | 8 | 602 | 123 7 | 424 | 39 6 | 122 5 | 120 2 | 190 5 |
| | 8 | 31.5 | 8 | 110 0 | 583 | 632 | 29 7 | 240 6 | 218 8 | 179 4 |

以近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況來說。當潮位 0m 時，以潛堤深度 4、5 和 6m 的情況下，皆能使第 2、3 區的最大壓力值下降較多。當潮位 1m 時，潛堤深度 6 和 7m 的條件對第 3 和 4 區最大壓力值有較佳的降幅。當潮位 2.5m 時，潛堤深度設置 5m 對第 1 到 4 區的最大壓力皆有較佳的降幅，且潛堤區的壓力受力亦較小。綜合上述的情況，對潮位 0 和 1m 情境而言，潛堤建議深度 4 到 6m。而對潮位 2.5m 來說，建議深度為 4m。

4.1.5 台 11 線 61K+700 站

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，將長浪溯上溢淹距離以及包括近道路區 4 個分區範圍和潛堤區 3 個分區範圍內所得的最大壓力值，經整理後如表 6 所示。由表可知在潮位 0m 時，6 種潛堤條件

皆未出現道路溢淹，且溢淹距離皆差不多。而潮位在 1m 和 2.5m 情況下，6 種條件的陸地溢淹距離都相同，且道路皆出現溢淹，表示該入射波條件在潮位 1m 以上時，可能發生的溢淹距離皆相同。

表 6. 61K+700 站各情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力

| 潮位 (m) | 潛堤深度 (m) | 陸地溢淹距離 (m) | 區域最大壓力 (kPa) | | | | | | | |
|--------|----------|------------|--------------|----------------|---------------|---------------|--------------|------|------|------|
| | | | 道路溢淹距離 (m) | 距離 10m (第 1 區) | 距離 5m (第 2 區) | 距離 0m (第 3 區) | 道路路面 (第 4 區) | 潛堤前側 | 潛堤頂部 | 潛堤後側 |
| 0 | 4 | 21 | 0 | 152 | 414 | 74 | 0 | 477 | 389 | 231 |
| | 5 | 20.5 | 0 | 41 | 205 | 19 | 0 | 1499 | 966 | 528 |
| | 6 | 21 | 0 | 61 | 483 | 37 | 0 | 1414 | 857 | 379 |
| | 7 | 21.5 | 0 | 31 | 172 | 44 | 0 | 2836 | 991 | 722 |
| | 8 | 21.5 | 0 | 34 | 110 | 121 | 0 | 4916 | 1026 | 358 |
| | 1 | 4 | 30 | 8 | 90 | 361 | 145 | 1 | 708 | 581 |
| 5 | | 30 | 8 | 92 | 153 | 395 | 1 | 2062 | 606 | 377 |
| 6 | | 30 | 8 | 205 | 119 | 39 | 1 | 3548 | 983 | 591 |
| 7 | | 30 | 8 | 45 | 155 | 113 | 2 | 2779 | 1211 | 1018 |
| 8 | | 30 | 8 | 46 | 230 | 99 | 4 | 3661 | 849 | 717 |
| 2.5 | | 4 | 30 | 8 | 67 | 206 | 165 | 103 | | |
| | 5 | 30 | 8 | 65 | 251 | 87 | 26 | 519 | 463 | 365 |
| | 6 | 30 | 8 | 64 | 541 | 233 | 17 | 1059 | 662 | 1696 |
| | 7 | 30 | 8 | 63 | 216 | 344 | 33 | 1362 | 841 | 1119 |
| | 8 | 30 | 8 | 62 | 260 | 161 | 70 | 1899 | 514 | 753 |
| | 8 | 30 | 8 | 62 | 252 | 151 | 43 | 2829 | 1766 | 1124 |

以近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況來說。當潮位 0m 時，以潛堤深度 4、5m 的情況下，皆能使第 3 區的最大壓力值下降較多。當潮位 1m 時，潛堤深度 4 和 6m 的條件對第 2 和 3 區最大壓力值有較佳的降幅。當潮位 2.5m 時，潛堤深度 4m 對第 3 和 4 區的最大壓力皆有較佳的降幅。綜合上述的情況，對潮位 0、1 和 2.5m 情境而言，潛堤建議深度為 4m。

4.1.6 台 11 線 61K+830 站

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，將長浪溯上溢淹距離以及包括近道路區 4 個分區範圍和潛堤區 3 個分區範圍內所得的最大壓力值，經整理後如表 7 所示。由表可知在潮位 0m 時，6 種潛堤條件皆未出現道路溢淹，且潛堤深度 6 和 7m 比無潛堤的溢淹距離少 6.5m。而當潮位為 1m 和 2.5m 時，6 種條件的陸地溢淹距離相同，且皆溢淹滿整個道路，表示該入射波條件在潮位 1m 以上時，可能發生的溢淹距離皆相同。

以近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況來說。當潮位 0m 時，6 種前提條件對近岸道路壓力最大值而言，並無明顯差異。當潮位 1m 時，潛堤深度 6、7 和 8m 第 2 區最大壓力值有較佳的降幅，但在其他區無明顯差異。當潮位 2.5m 時，潛堤深度 4 和 7m 對第 1 和 2 區的最大壓力皆有較佳的降幅，但在第 3 和 4 區與其他條件相差不多。綜合上述的情況，對潮位 0 而言、1 和 2.5m 三種情境而言，潛堤建議深度為 7m。

表 7. 61K+830 站各情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力

| 潮位 (m) | 潛堤深度 (m) | 陸地溢淹距離 (m) | 區域最大壓力 (kPa) | | | | | | | |
|--------|----------|------------|--------------|----------------|---------------|---------------|--------------|------|------|------|
| | | | 道路溢淹距離 (m) | 距離 10m (第 1 區) | 距離 5m (第 2 區) | 距離 0m (第 3 區) | 道路路面 (第 4 區) | 潛堤前側 | 潛堤頂部 | 潛堤後側 |
| 0 | 4 | 55.5 | 0 | 19 | 16 | 8 | 0 | | | |
| | 5 | 53.5 | 0 | 13 | 10 | 0 | 0 | 1338 | 637 | 268 |
| | 6 | 52 | 0 | 11 | 8 | 0 | 0 | 2094 | 947 | 633 |
| | 7 | 49 | 0 | 24 | 9 | 0 | 0 | 1220 | 988 | 509 |
| | 8 | 49 | 0 | 161 | 4 | 0 | 0 | 1717 | 887 | 422 |
| | 8 | 50.5 | 0 | 12 | 6 | 0 | 0 | 5863 | 909 | 1675 |
| 1 | 4 | 66 | 8 | 33 | 204 | 19 | 2 | | | |
| | 5 | 66 | 8 | 31 | 52 | 15 | 1 | 891 | 637 | 1081 |
| | 6 | 58.5 | 0.5 | 51 | 129 | 14 | 0 | 671 | 521 | 105 |
| | 7 | 58.5 | 0.5 | 26 | 22 | 13 | 0 | 1858 | 778 | 194 |
| | 8 | 56 | 0 | 80 | 18 | 9 | 0 | 3950 | 524 | 495 |
| | 8 | 55 | 0 | 110 | 17 | 8 | 0 | 3385 | 1293 | 1746 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|---|----|---|-----|-----|-----|----|------|------|------|
| 2.5 | | 66 | 8 | 330 | 298 | 27 | 11 | | | |
| | 4 | 66 | 8 | 109 | 44 | 33 | 9 | 398 | 353 | 218 |
| | 5 | 66 | 8 | 369 | 45 | 256 | 14 | 971 | 880 | 255 |
| | 6 | 66 | 8 | 187 | 67 | 33 | 8 | 1000 | 305 | 742 |
| | 7 | 66 | 8 | 54 | 36 | 26 | 8 | 2169 | 2187 | 2246 |
| | 8 | 66 | 8 | 301 | 74 | 33 | 6 | 2886 | 551 | 297 |

4.1.7 台 11 線 62K+220 站

根據 6 種潛堤條件搭配 3 種潮位的模擬結果，將長浪溯上溢淹距離以及包括近道路區 4 個分區範圍和潛堤區 3 個分區範圍內所得的最大壓力值，經整理後如表 8 所示。由表可知在潮位 0m 時，除了無潛堤的情況出現道路溢淹之外，其他潛堤深度的情境皆未出現道路溢淹。而當潮位 1m 時，除了潛堤深度 8m 的陸地溢淹距離到達道路邊緣以外，其他情境下皆出現道路溢淹的情況。而在潮位 2.5m 時則是 6 種條件皆發生道路溢淹。

表 8. 61K+220 站各情境的溢淹距離、近道路區與潛堤區的最大壓力

| 潮位 (m) | 潛堤深度 (m) | 陸地溢淹距離 (m) | 道路溢淹距離 (m) | 區域最大壓力 (kPa) | | | | | | |
|--------|----------|------------|------------|-----------------------|----------------------|---------------------|--------------|------|------|------|
| | | | | 距離道路 10 到 15m (第 1 區) | 距離道路 5 到 10m (第 2 區) | 距離道路 0 到 5m (第 3 區) | 道路路面 (第 4 區) | 潛堤前側 | 潛堤頂部 | 潛堤後側 |
| | | | | | | | | | | |
| 0 | | 61 | 32 | 41 | 34 | 23 | 1 | | | |
| | 4 | 27 | 0 | 30 | 23 | 12 | 0 | 364 | 738 | 514 |
| | 5 | 27 | 0 | 55 | 22 | 12 | 0 | 1372 | 757 | 280 |
| | 6 | 26 | 0 | 50 | 20 | 7 | 0 | 546 | 1309 | 211 |
| | 7 | 26 | 0 | 24 | 18 | 6 | 0 | 3001 | 464 | 470 |
| | 8 | 26 | 0 | 177 | 105 | 5 | 0 | 3468 | 748 | 682 |
| 1 | | 61 | 32 | 229 | 139 | 31 | 4 | | | |
| | 4 | 61 | 32 | 206 | 230 | 107 | 3 | 1882 | 779 | 757 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|---|----|----|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|
| 2.5 | 5 | 61 | 32 | 155 | 38 | 29 | 2 | 742 | 1281 | 735 |
| | 6 | 61 | 32 | 125 | 70 | 25 | 1 | 1042 | 837 | 326 |
| | 7 | 61 | 32 | 220 | 158 | 82 | 2 | 2744 | 590 | 554 |
| | 8 | 29 | 0 | 255 | 271 | 20 | 0 | 1717 | 670 | 671 |
| | | 61 | 32 | 501 | 636 | 211 | 414 | | | |
| | 4 | 61 | 32 | 268 | 582 | 120 | 22 | 437 | 726 | 682 |
| | 5 | 61 | 32 | 342 | 493 | 103 | 15 | 256 | 468 | 359 |
| | 6 | 61 | 32 | 67 | 373 | 268 | 21 | 276 | 505 | 500 |
| 2.5 | 7 | 61 | 32 | 196 | 290 | 51 | 27 | 627 | 549 | 995 |
| | 8 | 61 | 32 | 135 | 384 | 91 | 20 | 1421 | 914 | 322 |

註：62K+220 站的道路溢淹距離最多 32m，其中 0 到 24m 範圍為停車場以及 24 到 32m 範圍為道路。

以近道路區的最大壓力相對於無潛堤的情況來說。當潮位 0m 時，除了潛堤 8m 在第 1 和 2 區稍大之外，6 種潛堤條件的最大壓力值在各區並無明顯差異。當潮位 1m 時，潛堤深度 5、6m 在第 2、3 區有較佳的最大壓力值降幅。當潮位 2.5m 時，各潛堤深度在第 4 區皆能使最大壓力大幅下降，而在第 3 區則是深度 7m 有最大降幅、而深度 8m 次之。

綜合上述的情況，對潮位 0m 情境而言，潛堤建議深度 4 到 8m。對潮位 1m 的選擇上，建議深度為 8m。而對潮位 2.5m 來說，建議深度為 7 和 8m。

4.2 台 11 線人定勝天段花蓮海岸二級防護計畫評估

陳等人(2020)蒐集新聞分析的結果顯示近年來台 11 線花蓮海岸公路的人定勝天碑路段(里程約 61K 到 63K) 因離海岸近，較易於颱風期間受到長浪的影響，常為公路總局公告之浪襲路段。如 2015 年 8 月蘇迪勒颱風期間，除了人定勝天碑被海浪打落海面之外，同時使道路的地基流失；2016 年 9 月梅姬颱風期間，該路段出現浪花夾帶碎石波及道路路面的情形；2018 年 9 月潭美颱風期間公路局於台 11 線 61k+400 附近拍攝到浪襲道路的情況。以上颱風所造成道路地基流失說明道路邊坡的堤趾保護有其必要性，另外浪襲道路亦威脅著用路人的通行安全，以上兩者情形已符合內政部「整體海岸管理計畫」的海岸防護目的。整體海岸管理計畫的海岸防護區位劃設與分級原則的災害類型並無颱風長浪的選項，但由於颱風暴潮的高水位有助於長浪侵襲路面以及破壞道路邊坡結構，根據楊等人(2018)研究指出人定勝天段鄰近的石梯漁港 50 年重現期暴潮位為 1.46m，故在此將災害類型歸類為暴潮溢淹。本章模擬多種離岸潛堤的設置條件，藉以

探討何種條件有助於減少颱風暴潮期間長浪對道路邊坡的破壞以及降低浪襲路面的情況，進而達到海岸防護的目的。參考花蓮縣二級海岸防護計畫，本計畫建議的二級海岸防護區劃設範圍說明如表 9，防護措施及方法如表 10。

表 9 花蓮縣二級海岸防護區劃設範圍說明

| 海岸段 | 災害類型 | 災害潛勢與受災情形 | 防護標的 | 是否符合「整體海岸管理計畫」劃設原則 | 是否劃設海岸防護區 |
|-------------------------------|---------|--|----------|--------------------|-----------|
| 豐濱鄉港口村(台 11 線人定勝天段 61K 至 63K) | 高潛勢暴潮溢淹 | 1.暴潮溢淹水位已道路邊坡的防護工程設施。 2.發生颱風長浪浪襲道路的情形 | 台 11 線公路 | 是 | 是 |

表 10 花蓮縣二級海岸防護區防護措施及方法

| 區段 | 災害類型 | 災害防治區/陸域緩衝區 | 調適策略 | 因應對策 | 措施及方法 | 法定區位 |
|---------------------|------|-------------|------|------|---------|------|
| 豐濱鄉港口村(台 11 線人定勝天段) | 暴潮溢淹 | 災害防治區 | 保護 | 工程 | 1. 修建離岸 | 無 |

| | | | | | |
|------------|--|--|--|--|----|
| 61K 至 63K) | | | | | 潛堤 |
|------------|--|--|--|--|----|

4.3.1 離岸潛堤混凝土等級建議

根據表 2.3 到 2.9 可知在人定勝天段七個站所有 COBRAS 模擬最大壓力值在近道路區和潛堤區皆未大於 10000 kPa，亦即壓力未超過 102 kgf/cm²。由行政院農委會發布的水泥混凝土之一般要求將混凝土強度分為六級，文中提到 (1)140kgf/cm² 級混凝土用於次要排水路、護岸、回填混凝土或基礎墊層混凝土。(2) 175kgf/cm² 級混凝土用於河海堤、排水路、護岸、灌溉渠道、鋼筋混凝土構造物，混凝土砌卵石溝或用於無筋混凝土構造物。依模擬的最大壓力強度而言，使用抗壓強度 140kgf/cm² 等級的混凝土應足夠避免被波壓破壞潛堤的結構。另外在臺灣港務股份有限公司高雄港務分公司「布袋港 N3 碼頭及 N4~N6 臨時護岸興建工程」規劃及初步設計成果報告書中提到其碼頭和管溝結構選擇使用的抗壓強度為 280kgf/cm²，而打底混凝土的抗壓強度為 140kgf/cm²。

泥砂量的推估方法常採用冪函式型式的流量—泥砂量率定曲線，本研究根據模式的偏差修正理論，採用三種泥砂推估模式應用於烏溪和高屏河流域，分別為冪函式(模式 1)、殘差值為常態分布的修正模式(模式 2)及殘差值為非常態分布的修正模式(模式 3)。整體而言，分析結果顯示，修正模式(模式 3)有較好的泥沙量推估結果。藉由此修正的流量—泥砂量率定曲線，進一步推估烏河流域和高屏河流域各子集水區的沖蝕深度，得到烏溪集水區年平均沖蝕深度介於 0.3 毫米至 5.0 毫米之間，而高屏溪集水區則介於 0.7 毫米至 5.3 毫米之間。

4.3.2 離岸潛堤設置的深度建議

根據模擬結果，人定勝天段 7 個站無潛堤情況下近道路區的 4 區最大壓力在潮位 0m 的情況可知最大壓力值皆在 600kPa 以下，而在離道路最近的第 3 區以 61K+380 和 61K+500 的最大壓力值最大，其值各為 297 和 288kPa。在第 2 區則是 61K+300 的壓力值 581kPa 最大。而在潮位 1m 的情況下，相對於其他站，61K+300 在第 2 到 3 區有較高的最大壓力值，各為 1181 和 723kPa，而 61K+380 在第 3 區壓力值亦有 750kPa。當潮位 2.5m 時，以 61K+500 的壓力值最高，在第 1 到 3 區各約為 1300、1327 和 1899kPa，如圖 2.64。鄰近道路的第 3 區在 61K+300 和 61K+380 亦有 849 和 948kPa 的高值。

由上述無潛堤的最大壓力分布可知，在潮位 0 到 1m 的情況下，可考慮優先對 61K+300 站到 61K+500 站區段設置潛堤來降低道路邊坡所承受的壓力。根據 2.6.1 到 2.6.7 節的模擬，考慮三種潮位下，何種潛堤深度位置使陸地溢淹距離以及道路鄰近區的壓力值減少較多的情況，在此將三種潮位的潛堤設置深度建

議值整理如表 11。

表 11 潛堤設置的海床深度建議值(m)

| 台 11 線里程 | 潮位 0m | 潮位 1m | 潮位 2.5m |
|----------|-------|-------|---------|
| 61K+300 | 4 | 6、8 | 6、7 |
| 61K+380 | 5 和 8 | 7 和 8 | 5 |
| 61K+500 | 5 到 7 | 6 到 7 | 5 |
| 61K+580 | 4 到 6 | 4 到 6 | 4 |
| 61K+700 | 4、5 | 4、6 | 4 |
| 61K+830 | 6 到 7 | 6 到 8 | 4、7 |
| 62K+220 | 4 到 8 | 5 和 6 | 7 |

4.3.3 離岸潛堤設置的長度建議

本計畫以 61K+300 為例，利用 XBeach 波浪模式中的水平 2 維 surf-beat 模式進行模擬，透過向岸方向的壓力分析來探討潛堤長度對單點位置的壓力降低效果。使用的地形資料參照第 2.3 節，模式地形如圖 2.65，水平網格解析度為 5m，而模擬的時間步長則隨著時間調整變動，整個模擬時間為 20 分鐘。東邊界入射波條件為示性波高 5m，尖峰週期 15 秒。包括 0 和 1m 等 2 種潮位以及無潛堤、長度 50m 和 80m 等 3 種潛堤條件，總共模擬 6 種情境如表 2.14。其中潛堤堤寬為 10m 且堤頂高程為平均潮位-0.5m。

為了解 61K+300 站的海岸在無潛堤及兩種潛堤長度下所承受的壓力，在此取出模擬期間在 61K+300 站附近的向西方向最大壓力值進行比較評估。從 6 種情境的最大壓力圖可知不管是潮位 0m 或是 1m，相對於有設置潛堤的情況下，沒有潛堤的情境在 61+300 鄰近的海岸區的壓力值皆較高，顯示了潛堤的設置發揮了降低岸邊壓力的作用，且依潛堤的長短提供海岸不同範圍的壓力降低區，而潛堤本身則是承受較大的壓力。

在此針對 61K+300 站單點的海岸進行壓力分析，沿該站的離岸方向取切線來進行潮位相同而潛堤條件不同的最大壓力比較，切線起點為 61K+300 站。其結果顯示潮位 0m 和 1m 時，潛堤長度 50m 和 80m 在切線方向的最大壓力值差異不大。潮位 0m 時，由圖 2.77 可知有潛堤的情況下在陸地 X=15 到 25m 範圍比無潛堤約下降 600 到 800N/m²。而潮位 1m 時，圖 2.78 可知在有潛堤的情況下，陸地 X=10 到 25m 範圍內比無潛堤約下降 350 到 700N/m²。模擬結果顯示僅針對單點進行海岸防護的話，潛堤長度 50 和 80m 的效果相近，而潛堤對岸邊降低壓力的作用可能會隨潮位的增加而降低。

4.3.4 不同離岸潛堤位置配置的模擬

本節同樣利用 XBeach 的 surf-beat 模式進行模擬，在人定勝天段七站的外海設置離岸潛堤，並區分為 A、B 和無潛堤等 3 潛堤位置的配置，並模擬 0m 和 1m 兩種潮位條件。透過向西方向的最大壓力來分析探討

不同潛堤配置對 7 站海岸的壓力降低效果。

為了解人定勝天段 7 站的海岸在表 2.15 的 6 種情境下承受的壓力，在此取出模擬期間 7 站的向西最大壓力值進行比較評估。大致而言，7 個站在同樣的潛堤條件下，潮位 1m 造成的最大壓力皆比潮位 0m 大。而在相同潮位條件下，61K+300、61K+380、61K+500 和 61K+580 等 4 站其無潛堤配置所造成的最大壓力比潛堤配置 A 和配置 B 大，但其餘 3 站的差異不明顯。

為了易於比較 3 種潛堤配置條件對 7 個站的向西最大壓力值，在此以相同潮位條件下進行比較。各以 7 個站為起點沿著離岸方向取其地形切線，再比較向西方向的最大壓力差別。其結果顯示不管在潮位 0m 和 1m 時，潛堤配置 A 和 B 的差異不大，相對於無潛堤的情況，在 X=15 到 80m 均可提供減壓的作用。X=10 和 15m 的海岸處在潮位 0m 時，約下降 400 到 800N/m²，而在潮位 1m 時，僅約下降 200N/m²，顯示潛堤設置對於 61K+300 站岸邊降低壓力的效果可能會隨潮位的增加而降低。

模擬結果顯示，61K+380 站在潮位 0m 時，在 X>=20m 的區域相對於無潛堤的情況，潛堤配置 A 和 B 皆能使最大壓力下降，而配置 B 又優於配置 A。但在 X=10 和 15m 處，無潛堤的最大壓力則是稍小於配置 A 和 B。當潮位為 1m 時，在 X>=10m 的區域皆顯示配置 B 的最大壓力值最小，配置 A 次之，而無潛堤則有最大值。61K+380 站同樣顯示潛堤配置造成的降壓作用可能會隨潮位的增加而降低。

61K+500 站在潮位 0m 時，在 X>=20m 的區域相對於無潛堤的情況，潛堤配置 A 和 B 皆能使最大壓力下降，而配置 A 和 B 的最大壓力值差異不大。當潮位為 1m 時，配置 A 和 B 的最大壓力值接近，相對於無潛堤的情況，僅在 X=20m 處有約 1800N/m² 的壓力降幅，在 X>=25m 的區域僅有微幅下降，同樣顯示配置潛堤造成的降壓作用可能會隨潮位的增加而降低。

61K+580 站在潮位 0m 時，在 X>=20m 的區域以無潛堤的壓力值最大，潛堤配置 A 次之和潛堤配置 B 最小。當潮位為 1m 時，配置 A 和 B 的最大壓力值接近，相對於無潛堤的情況，在 X=10m 的區域有微幅下降，而配置 B 的壓力值略小於配置 A，另外潛堤配置造成的壓力降幅不如潮位 0m 的情況。

61K+700 站在潮位 0m 時，在 X>=25m 的區域以無潛堤的壓力值最大，潛堤配置 B 次之和潛堤配置 A 最小，但在 X=10m 到 20m 之間，無潛堤和配置 A 的壓力值相近，而配置 B 最小。三種潛堤條件的最大壓力皆不超過 500 N/m²。

當潮位為 1m 時，配置 A 和 B 的最大壓力值接近，相對於無潛堤的情況，僅在 X=0 和 15m 處有較大的降幅，而其他區域三種潛堤條件的壓力值相似。另外 X=0m 為 61K+700 站所在處，該處出現壓力值代表道路附近的區域出現溢淹。

61K+830 站在潮位 0m 時，在 $X \geq 50\text{m}$ 的區域大致以無潛堤的壓力值最大，潛堤配置 B 次之和潛堤配置 A 最小，但在 $X=20\text{m}$ 到 35m 之間，無潛堤壓力值比配置 A 和 B 小，可能因為本站離海岸約 60m，切線地形大部分皆在陸地的關係。另外三種潛堤條件的最大壓力皆不超過 500 N/m^2 。當潮位為 1m 時，相對於無潛堤的情況，配置 A 和 B 沒有出現較佳的最大壓力降幅，相對於其他 6 站的最大壓力值亦偏小，皆不超過 800 N/m^2 。

62K+220 站在潮位 0m 時，在近岸 $X=45\text{m}$ 到 55m 的區域以無潛堤的壓力值最大，潛堤配置 A 次之和潛堤配置 B 最小。而在 $X \geq 60\text{m}$ 的靠海區域，壓力值以配置 B 最大，無潛堤次之，配置 A 最小。當潮位為 1m 時，在 $X \geq 35\text{m}$ 區域以無潛堤的壓力值最大、配置 A 次之，而配置 B 最小。

綜合以上人定勝天 7 站對應 6 種模擬條件的結果，除了 61K+830 站之外，相對於無潛堤和潛堤配置 A，大致以潛堤配置 B 對於各站海岸的最大壓力值有較大的降幅，可作為人定勝天段海岸防護的潛堤配置選擇。另外 61K+300、61K+380、61K+500 和 61K+580 等 4 站，相對於無潛堤的情況，使用潛堤配置 A 和 B 在潮位 1m 時的最大壓力降幅皆比潮位 0m 小，表示此 4 站設置潛堤的減壓能力可能隨潮位增加而降低。

五、結論

對人定勝天段 7 個站進行 126 個 COBRAS 浪襲情境模擬的結果顯示當潮位 0m 時，相對於無潛堤的情況下，潛堤深度設置在水深 5 到 7m 對於水平距離海岸公路 0 到 5m 的區域能使波浪侵襲的壓力值有較佳的降幅。而當潮位為 1m 時，潛堤深度則以水深 6 到 7m 有較佳的壓力降幅。所有情境模擬的最大壓力值在近道路區和潛堤區皆未超過 102 kgf/cm^2 ，潛堤建造建議使用抗壓強度 140 kgf/cm^2 以上等級的混凝土。

對 61K+300 站外海利用 Xbeach 模式模擬設置潛堤長度 50m 和 80m 的結果顯示兩種長度在 61K+300 站切線方向的最大壓力值差異不大，相對於無潛堤的情況下，下降幅度皆為 350 到 700 N/m^2 。

利用 Xbeach 模式各於人定勝天段設 7 站外海設置離岸潛堤進行模擬的結果顯示，大致上對各站靠近岸邊的陸地最大壓力值以無配置潛堤的情況值最大，潛堤位置配置 A 方案次之，B 方案最小。另外亦顯示 61K+300、61K+380、61K+500 和 61K+580 等 4 站不管是潛堤配置 A 或 B 的情況下，與無潛堤相較的最大壓力值在潮位 1m 會比潮位 0m 降幅小，表示潛堤的降壓能力可能隨潮位增加而降低。

參考文獻

1. COBRAS user's manual version 1.01(2002).
2. Miller, D.M. (1984) Reducing transformation bias in curve fitting. The American Statistician, 38(2), 124–126.

3. 陳冠宇、蔡立宏、李俊穎、陳鈞彥(2020)，花蓮海岸公路浪襲預警及防災應用技術之研究(1/2)-浪襲預警系統建置，交通部運輸研究所合作研究計畫成果報告。
4. 花蓮縣二級海岸防護計畫(草案)，花蓮縣政府(2019)
5. 楊博堯(2018)，台灣環島實測暴潮分析，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
6. 陳志弘、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝(2017)，臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及推算模式建置研究(4/4)，交通部運輸研究所合作研究計畫成果報告。

鹿港排水逕流分擔

徐瑞宏^{1*} 陳進興² 李友平³ 莊文南⁴

1. 經濟部水利署第四河川局 副工程司
 2. 經濟部水利署第四河川局 課長
 3. 經濟部水利署第四河川局 局長
 4. 中興大學土木工程學系博士/台灣大學農業工程學研究所碩士
- * 通訊作者，Email: wra04147@wra04.gov.tw

摘要

鹿港排水幹線集水區多為沿海低地，現況排水幹線雖已完成治理，但超過保護標準之降雨及低地逕流無法順利流入排水幹線等影響，鹿港都市計畫人口密集區內仍容易發生淹水災情。考量水利法已於民國 107 年 6 月 20 日增訂逕流分擔與出流管制專章。爰此，本計畫針對鹿港公會堂一帶積淹較嚴重區域採逕流分擔策略，於洛津國小操場設置地下停車場兼蓄洪池，儲水量約達 11,932 立方公尺，可滿足該區域 10,210 立方公尺逕流分擔需求，平日紓解觀光停車空間，超過保護標準之降雨亦可蓄存逕流，分擔雨水下水道排洪負擔，達公共設施多元利用之原則，其餘零星淹水區域採用公共設施用地，透過入滲或微型滯洪方式貯存降雨逕流，提昇土地耐洪能力。

關鍵字：鹿港排水、逕流分擔

Runoff Distribution Assessment of Lu kang Drainage Catchment Area

You-Ping Li^{1*}

Jin-Xing Chen²

Wen-Nan Zhuang³

1. Director, 4th River Management Office, WRA, MOEA
 2. Programming Department, 4th River Management Office, WRA, MOEA
 3. Doctor, Department of Civil Engineering, , National Chung Hsing University /Master, Department of Bioenvironmental systems Engineering, National Taiwan University
- * Corresponding Author, Email: wra04010@wra04.gov.tw

Abstract

The Lu kang Drainage are mostly located in coastal lowlands. The channel has been rebuild in recent years. However, lowland runoff cannot flow smoothly into the drainage, and flooding is still occur in the densely populated area of the Lukang City. This project uses runoff sharing strategies to improve the land's flood-bearing capacity. by engineering measures and the development of related non-engineering measures. This project used runoff sharing strategy for the flooded area around Lukang Public Hall. This project planned an underground parking lot and flood storage tank under the playground of Luojin Elementary School, with a water storage capacity of approximately 11,932 cubic meters. This facility relieves the parking space for sightseeing on weekdays. Rainfall events that exceed the protection standard can also store runoff, share the burden of rainwater drainage and flood drainage. The remaining sporadic flooded areas store rainfall runoff through infiltration or mini-flood detention to improve the land's flood tolerance.

Keywords: Lukang drainage, Runoff sharing

一、前言

水利法已於民國 107 年 6 月 20 日增訂逕流分擔與出流管制專章，並於民國 108 年 2 月 19 日公告逕

流分擔實施範圍與計畫之審定公告及執行辦法。其有別於傳統由水道概括承受所有逕流之治水作法，而將過往「完全由河川或排水承納洪水」的思維轉換成為「由河川或排水與土地共同承納洪水」。其採逕流抑制、逕流分散、逕流暫存、低地與逕流積水共存之原則，以工程方法及非工程方法因地制宜，並輔以避災措施等綜合運用擬訂逕流分擔措施，將降雨逕流妥適分配於水道及土地，提升土地之承洪能力。

鹿港排水幹線集水區多為沿海低地，現況排水幹線雖已完成治理，但受超過保護標準之降雨及低地逕流無法順利流入排水幹線等影響，鹿港都市計畫人口密集區內仍容易發生淹水災情(如：鹿港公會堂及天后宮等)。爰此，本計畫以鹿港福興都市計畫區之鹿港排水分區為主要範圍，面積約 159.65 公頃(如圖 1)，透過水文水理分析，推算計畫區逕流分擔需求及逕流分擔策略，降低鹿港都市計畫人口密集區淹水潛勢。

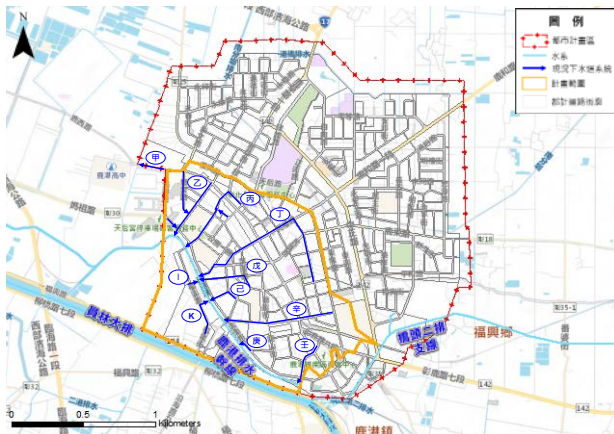


圖 1 計畫範圍圖

目前乙、丁、己、庚、辛等幹線均已依原規劃施作完成；丙、戊、壬、K 及 I 等幹線上游部分尚未施作。

為確實瞭解本計畫與相關計畫關連性及配合措施，並據以提出規劃工作之配合理念與對策，茲將以往治理及相關計畫，包括「彰化北部地區綜合治水檢討規劃(員林大排等排水系統)」(97)、「鹿港排水系統鹿港排水幹線治理計畫」(100)、鹿港溪再現計畫-彰化縣鹿港溪排水護岸及水岸景觀環境營造(107)、「彰化縣鹿港鎮雨水下水道系統檢討規劃」(108)，依據上述各計畫之改善工程，目前已完成鹿港排水幹線整治(鹿港風華再現工程)、雨水下水道丙系統出口 3.60cms 抽水站工程及新增分流箱涵工程。

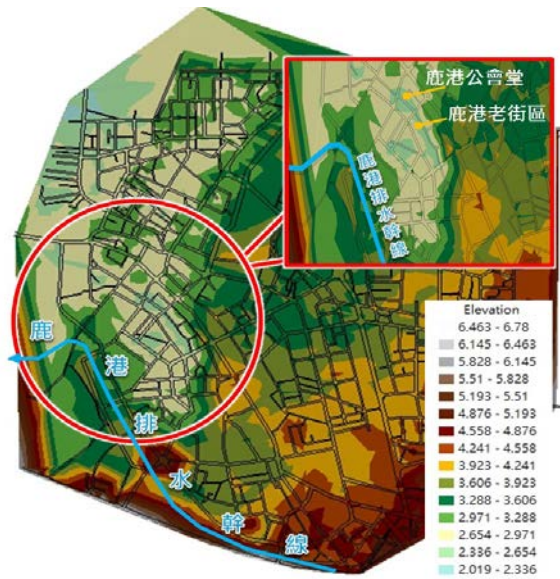


圖 2 計畫區地形高程分佈圖

二、工作背景分析

2.1 地文、水文與社會經濟發展

計畫區位於彰化縣鹿港福興都市計畫區西南側，南鄰員林大排，屬於鹿港排水集水區之中上游地區，平均地表高程介於 E.L.2.019~6.145 公尺(如圖 2)，最低處約位於公會堂附近(E.L.2.019 公尺)，地勢由東南向西北傾斜，屬現代沖積層地質，計畫區地下水位約在地表下 2.80~3.00 公尺左右，建議暴雨時將地下水位提升至地表下 1.5 公尺做為分析依據。

鹿港地區氣候溫和、四季變化小，年平均雨量約 1,691.8 毫米，每年 4 月至 9 月為雨季，約佔年雨量 88%，計畫區內以住宅、商業、公共設施等用地為主，區內多為三級服務業，提供遊客駐足飲食及遊憩。

2.2 水道治理概況

計畫區內有鹿港排水，區外則有員林大排水幹線及橋頭二排支線流經，雨水下水道系統依據民國 108 年「彰化縣鹿港鎮雨水下水道系統檢討規劃」，本計畫區屬舊鹿港排水分區，區內共有乙、丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、G、I 及 K 等 11 條雨水下水道幹線，

2.3 歷史淹水災害調查

以往計畫區內重大淹水事件包含 96 年聖帕、97 年卡玫基及 98 年莫拉克颱風等，近幾年堤岸拓建、抽水站等改善工程後淹水面積已大幅減少，惟 107 年 7 月 2 日受巴比倫颱風引進大量水氣，最大一小時降雨強度 66.5mm 超過下水道設計基準 64mm/hr，造成鹿港地區排水不及，多處大面積與長時間之淹水災情，尤以鹿港老街、公會堂及天后宮一帶為甚(如表 1)。

表 1 計畫區 0702 豪雨淹水地區一覽表

| 地區 | 災後淹水情形 | | | | 最大雨量 (hr/mm) | |
|--|----------------|-----------|----------|-----------|--------------|-------|
| | 最大淹水範圍 | 淹水面積 (ha) | 淹水深度 (m) | 淹水時間 (hr) | | |
| 鹿港鎮 鹿港公會堂 周邊，北至中山路，南至復興路，西至民生路，東至民權路 | 洛津里公會堂 | 8.8 | 0.3-0.65 | 6-7 | 1 | 66.5 |
| | 住宅和寺廟古蹟約 200 戶 | | | | 3 | 133.5 |
| | | | | | 6 | 182.5 |
| | | | | | 24 | 261 |



鹿港老街積水情形



鹿港鎮鹿港公會堂滿淹情形

三、現況情境模擬與問題分析探討

本計畫採用具有水文與水理模式耦合功能之 SOBEK 進行水理分析，以鹿港排水幹線集水區分析範圍，除參考 97 年規劃報告外，亦以排水路出口、重要主支流交匯處等作為控制點，共切分出 101 個子集水區，面積在 0.02~91.29 公頃間，再以鹿港潮位站 7~10 月大潮平均高、低潮位歷線，作為演算參數。

3.1 現況情境模擬演算

本計畫採檢定後之地形模組及相關參數，以集水區內排水系統現況情境(即尚未改善之現況尺寸、尚未依規劃設置抽水站)，與鹿港雨量站連續 24 小時降雨量 271 毫米、340 毫米及 420 毫米，搭配鹿港潮位站 7~10 月大潮平均高低潮位歷線為出口邊界條件進行模擬，在連續 24 小時降雨量 340 毫米(最大 1 小時 78.1mm/hr)情境下，鹿港排水幹線集水區之淹水面積為 64.226 公頃(如圖 3 及表 2)，淹水體積為 38.975 萬立方公尺，其中屬於本計畫區內者面積為 11.842 公頃，體積為 2.779 萬立方公尺。淹積水地點為鹿港鎮洛津里、新宮里及福興鄉福興村等地區，主要為鹿港老街及公會堂一帶，其他地區則有零星的淹積水情況。

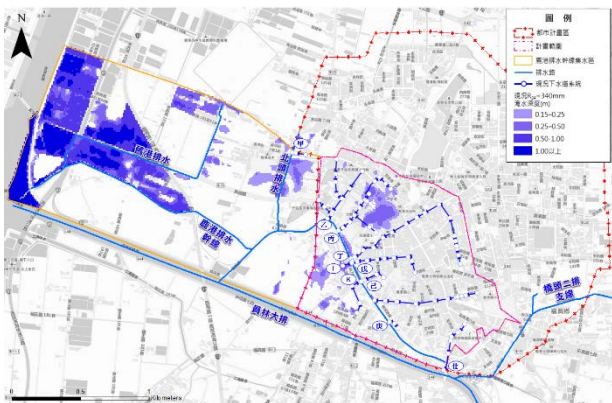


圖 3 鹿港排水幹線集水區現況連續 24 小時降雨量 340 毫米(最大 1 小時 78.1mm/hr)淹水範圍模擬成果圖

表 2 鹿港排水幹線集水區現況淹積水統計表

| 分類 | 連續 24 小時降雨量 271mm | | 連續 24 小時降雨量 340mm | | 連續 24 小時降雨量 420mm | |
|----|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|
| | 淹水面積 (ha) | 淹水體積 (萬 m ³) | 淹水面積 (ha) | 淹水體積 (萬 m ³) | 淹水面積 (ha) | 淹水體積 (萬 m ³) |
| 區內 | 10.011 | 2.398 | 11.842 | 2.779 | 16.998 | 4.273 |
| 區外 | 51.250 | 34.752 | 52.384 | 36.196 | 55.560 | 38.182 |
| 合計 | 61.261 | 37.150 | 64.226 | 38.975 | 72.558 | 42.455 |

3.2 問題分析與探討

依據現況調查、以往治理規劃執行情況、前開現況情境淹水模擬分析成果，提出計畫區執行逕流分擔時面臨之重要課題，並探討相關因應對策：

- 一、水道治理工程逐步完成整治，然近年降雨強度及雨量較以往增加，都市計畫人口密集區內仍有淹水潛勢。
- 二、淹水地區之地勢相對低窪，抬昇地盤恐影響古蹟結構安全及風貌，不易執行。
- 三、逕流分擔與國土規劃成長管理策略。

鹿港排水集水區位於沿海低地，下游區域土地皆為農業、漁塭及水道使用，亦屬非都市計畫區，保全對象較少，可利用土地自然承擔或以在地滯洪模式，尚不需採逕流分擔措施。

上游鹿港都市計畫區域現況排水幹線雖已完成治理，但受超過保護標準之降雨及低地逕流無法順利流入排水幹線等影響，人口密集區內仍容易發生淹水災情(如：鹿港公會堂及天后宮等)，但考量該區域地勢低窪、各項水道工程有其保護標準限度，且淹水地區多為古蹟，採地盤抬昇不易執行，亦恐影響古蹟結構安全及風貌，為提昇區域之耐洪能力、保全人民生命財產及古蹟安全，實有採逕流分擔之必要性，故以鹿港排水分區為目標區位，面積約 159.65 公頃。

四、逕流分擔方案規劃

4.1 計畫目標訂定

計畫區係屬於具有內水及外水災害之複合型淹水災區，非單一類之水道設施達其設計基準即可解決淹水問題，故本計畫目標訂定為：計畫區連續 24 小時降雨量 340 毫米、最大一小時降雨量為 78.1 毫米/小時、外潮位不超過 EL.2.40 公尺之情境下降低淹水潛勢。本計畫區聚落密集、古蹟林立，主要淹水區域之地表逕流受外水影響，需透過抽水站系統排放，逕流宣洩受抽水站設計規模限制，逕流分擔宜採行滯洪減量及延遲排水等措施，但任何工程皆有其保護極限，屆時亦需透過非工程措施如：水情災情監控、預警通報系統、疏散避難體系建置等，提升計畫區自身承洪韌性，達到與逕流積水共存及降低災損之目的。

4.2 逕流分擔需求量估算

在已設定水道允許排放量情況下，以計畫目標所訂定之水文情境為基礎，得到超出水道設計基準之超額逕流量及低窪地區無法進入水道之超額逕流量，此兩者即為計畫區之逕流分擔量體。本計畫將各子集水區分為 5 區(如圖 4)，計算各區應分擔之逕流量：

- 一、第一區為北頭排水匯流前子集水區，位於主流上游區域，逕流分擔量為 1.653 萬立方公尺。
- 二、第二區為北頭排水子集水區，係為支流集水區，逕流分擔量為 0.868 萬立方公尺。
- 三、第三區為舊港排水子集水區，係為支流集水區，逕流分擔量為 7.725 萬立方公尺(其中 1.945 萬立方公尺為水道逕流分擔量)。
- 四、第四區舊港排水匯流前子集水區，總逕流分擔量 3.801 萬立方公尺，扣除上游 1.653 萬立方公尺及支流-北頭排水逕流分擔量 0.868 萬立方公尺，即為逕流分擔量 1.280 萬立方公尺。
- 五、第五區為鹿港排水出口集水區，以上區域總逕流分擔量為 10.983 萬立方公尺，扣除上游區域 1.653 萬立方公尺、1.280 萬立方公尺及支流-北頭排水子集水區逕流分擔量 0.868 萬立方公尺、舊港排水子集水區逕流分擔量 5.780 萬立方公尺後，即為該集水區逕流分擔量 1.402 萬立方公尺。

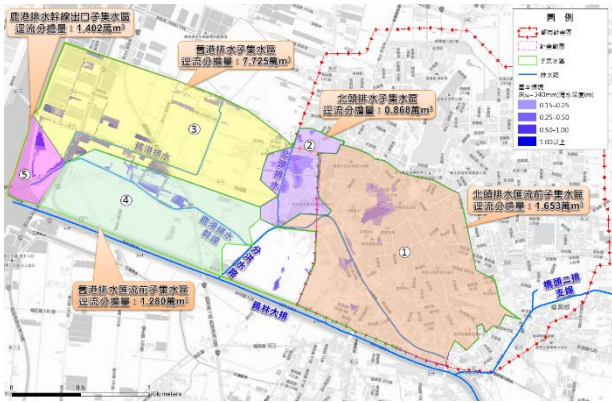


圖 4 鹿港排水幹線各子集水區逕流分擔量體計算圖

上述各區之逕流分擔量體應視其淹水區位，除第一區屬本計畫範圍，其餘區域皆為本計畫範圍外，且現況多為農業、漁塢及水道使用，亦非都市計畫區，保全對象較少，可利用土地自然承擔或以在地滯洪方式處理，尚無需採逕流分擔措施。本計畫範圍屬北頭排水匯流前子集水區，應逕流分擔總量為 1.653 萬立方公尺，後續再針對計畫區內之公有土地進行盤點，作為逕流分擔方案研擬依據。

4.3 逕流分擔措施

本計畫依據各子集水區土地利用性質，採用不同逕流分擔措施包含如下：

- 一、逕流抑制措施：泛指降雨尚未進入下水道或排水蒐集系統前之處理措施，減少進入水道之逕流量。鹿港都市計畫地區之各類土地使用分區及公共設施用地，如鎮公所、派出所、鹿港戶政事務所、鹿港派出所、消防隊等機關用地或小型停車場等，可導入生態滯留、樹箱過濾設施、綠屋頂、植生溝、透水鋪面、滲透側溝等設施，提高透水面積，達成逕流抑制之目標。
- 二、逕流分散措施：逕流分散即分散災害之概念，取代過往將地表逕流集中排除之方式。由於淹水區域相對低窪，且雨水下水道系統及土地利用皆發展成熟，現況無道路新設分流，不適用逕流分散措施，但未來在不影響房舍、建物高程及民眾出入原則下，可考量提昇中山路及民權路高程，避免高地逕流以漫溢方式流向低地(天后宮、公會堂、鹿港老街一帶)。
- 三、逕流暫存措施：利用新增滯蓄洪空間調節集水區出流量，其可透過設置離槽或在槽滯洪之方式執行，區位需鄰近排水系統為宜。如雨水下水道丙系統可考量設置蓄洪設施，將老街一帶低地逕流蓄存，減輕丙系統排水負擔。此外，學校、公園廣場、綠地、運動場、停車場等公共設施用地，可思考降低其開放空間地面高程(一般以不超過 30 公分為宜)，利用地表高程差達到雨水貯留暫存之目的。
- 四、低地與逕流積水共存措施：任何工程皆有其保護極限，屆時亦須採用低地與逕流積水共存措施如：水情災情監控、預警通報系統、疏散避難體系建置等，以達與逕流共存及降低災損目

的。

- 五、其他措施：除工程措施外，其他措施主要是透過政策面引導方式，推動逕流分擔概念，包含：土地高程管理、建築物防洪能力補強、利用道路溝渠傳輸洪水、強化易淹水區土地管理、民眾教育及宣導、淹水預警及災害防救等。

4.4 逕流分擔方案規劃及可行性評估

本計畫盤點計畫範圍內土地資源可作滯洪設施且公有土地為標的，包含(1)低度利用之公共設施用地、公共設施保留地及開發地區內公共設施用地；(2)中、大型公有非公用土地；(3)公營事業土地等三類土地，公共設施用地總面積 44.60 公頃，經篩選可作為逕流分擔空間之總面積為 12.86 公頃；公有非公用土地篩選前總面積 6.33 公頃，經篩選及修正後可作為逕流分擔空間之總面積為 3.45 公頃；公營事業及農田水利署土地則因計畫區內無相關可利用土地，故無可用面積。逕流分擔潛能量體計算之通則公式如下：

$$\text{可貯留量}(m^3) = \text{可使用面積}(m^2) \times \text{容許貯留深度}(m)$$

經計算統計後，公共設施用地逕流分擔潛能量為 1.137 萬立方公尺、公有非公用土地逕流分擔潛能量為 1.104 萬立方公尺，總計 2.233 萬立方公尺。

本計畫以最新-民國 104 年 9 月鹿港福興都市計畫土地使用分區及區內水利工程完成改善，作為逕流分擔規劃之基礎(以下稱基本情境)，並配合計畫目標模擬(計畫區最大 24 小時降雨量 340 毫米，最大一小時降雨量為 78.1 毫米/小時、外潮位不超過 EL.2.40 公尺)，初擬逕流分擔方案，優先考量鄰近之公有土地、公共設施用地等逕流分擔為主。依據基本情境之分析結果顯示，屬於本計畫區內者面積為 8.941 公頃，淹積水體積為 2.052 萬立方公尺(如圖 5)，相較現況情境之模擬成果，淹水面積減少約 2.901 公頃、淹水體積減少約 0.727 萬立方公尺，主要改善範圍以鹿港公會堂一帶為主，可見雨水下水道改善後效能提昇。其中鹿港公會堂一帶於基本情境下之淹水面積為 3.915 公頃(屬商業區、住宅區、工業區之淹水面積合計約 3.273 公頃)，淹水體積尚有 1.021 萬立方公尺(如表 3)，由於該區為歷年主要淹水區域之一，故將針對雨水下水道-丙系統周圍之公有土地，規劃逕流分擔方案。

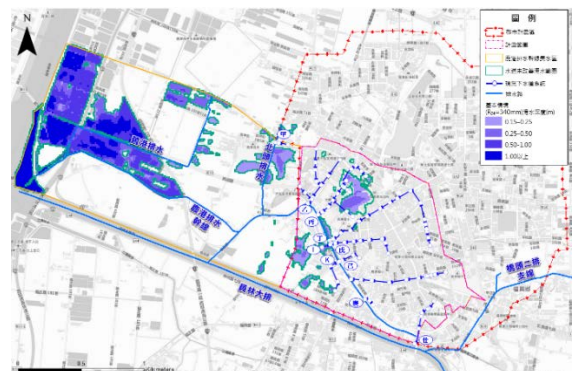


圖 5 基本情境-連續 24 小時降雨量 340 毫米(最大 1 小時 78.1mm/hr)淹水範圍模擬成果圖

表 3 逕流分擔需求與逕流分擔措施設置量體統計表

| 集水區 | 都市計畫 | 逕流分擔需求表量(萬m ³) | 淹水潛勢區 | 公設名稱 | 面積(公頃) | 導入方案 | 潛能量(萬m ³) | 分擔百分比(%) | |
|------|-----------|----------------------------|-------|------------------|-----------|--------|-----------------------|------------------------|-------|
| 鹿港排水 | 鹿港福興都市計畫區 | 1.653 | | 鹿港老街、公會堂一帶 | 洛津國小 | 0.4172 | 逕流暫存 | 蓄水量 1.1932 (可分擔 1.021) | 61.77 |
| | | | | 雨水下水道幹線1系統出口住宅區域 | 住宅區旁一般道路 | — | 移動式抽水設備(約0.5cms) | 0.127 | 7.68 |
| | | | | 西南側空地 | 農作或空地 | — | 土地承擔 | 0.904 | 54.69 |
| | | | | 其餘零星區域 | 小童兒童公園 | 0.115 | 逕流暫存 | 0.023 | 1.39 |
| | | | | | 民族路復興路口綠地 | 0.01 | | 0.003 | 0.18 |
| | | | | | 景興街綠地 | 0.0393 | | 0.0118 | 0.71 |
| | | | | | 鹿港國小 | 0.66 | | 0.198 | 11.98 |
| | | | | | 鹿港國中 | 1.50 | | 0.45 | 27.22 |
| | | | | | | | | | |

鹿港老街、公會堂一帶屬於雨水下水道丙幹線之排水分區，因此針對週邊可供滯洪用地位置進行盤點(如圖 6)，包括：鹿港圖書館(公園一路與公園三路)、天后宮停車場(復興南路與光復路)、中央廣播電台(中山路與光復路)、鹿港鎮運動場(建國路與中正路)、桂花巷旁停車場(親民路與公園三路 117 巷)、文開國小操場(復興南路與文開路)、洛津國小操場(復興南路與文開路)，經檢討，部份土地位於排水分區邊緣，無法直接蒐集淹水區域之逕流，而鹿港地區路幅狹窄，若需新建集水系統不易執行，如鹿港圖書館、天后宮停車場、中央廣播電台等，而鹿港鎮運動場位於排水分區範圍外，因此以洛津國小及文開國小操場操場為優選方案。



圖 6 雨水下水道丙系統淹水區域週邊可供滯洪用地位置示意圖

本計畫逕流分擔方案目標在針對超額水量(1.021 萬立方公尺)之蓄留，使新設滯洪空間能有效達到洪水期間滯洪之功能，優先利用洛津國小操場設置地下停車場兼蓄洪池，面積約為 4,172 平方公尺，滯洪池淨高為 3.15 公尺，儲水量約為 11,932 立方公尺(如圖 7)，由於本方案主體工程開挖深度約 5.7 公尺，將涉及地下水水位影響，故採筏式基礎增加結構抗浮力，主要設施均為鋼筋混凝土構造物，蓄洪量體並不會受到地下水影響減少，考量無法以重力方式排除蓄水量，故於滯洪池內增設沉水式抽水機 3 台，每台為 0.3cms 抽取量，將水抽至渠道內排放，約 3.6 小時排除所有水量。

其餘零星淹水區域，考量土地取得(或使用)之可行性，透過入滲或微型滯洪方式貯存降雨逕流，減輕

積淹水情形，例如用地範圍較大之公園、學校及機關等，此外部份公有機關之建築亦可透過設置截流設施、水撲滿之手法，增加雨水截留。



圖 7 洛津國小操場設置地下停車場兼蓄洪池配置區位圖

本計畫逕流分擔採用方案相較於基本情境，其計畫區之淹水面積從 8.941 公頃降至 5.026 公頃，減少約 1.021 萬立方公尺淹水體積(如表 4)，即為土地負擔部份，而不論基本情境或逕流分擔採用方案，皆於鹿港公會堂一帶積淹較嚴重區域成效最為顯著。

表 4 逕流分擔方案之改善績效說明表

| 情境別 | 淹水區域 | | | 說明 | |
|--------------|------------------------|--------|--------|--------|--|
| | 區內 | 區外 | 合計 | | |
| 現況情境 (A) | 淹水面積(ha) | 11.842 | 52.384 | 64.236 | 以現況水道治理情形之淹水範圍 |
| | 淹水體積(萬m ³) | 2.779 | 36.196 | 38.981 | |
| 基本情境 (B) | 淹水面積(ha) | 8.941 | 52.384 | 61.325 | 將辦理中之治理工程及相關規劃之改善工程納入後之淹水範圍 |
| | 淹水體積(萬m ³) | 2.052 | 36.196 | 38.248 | |
| 逕流分擔採用方案 (C) | 淹水面積(ha) | 5.026 | 52.384 | 57.410 | 除相關規劃之改善工程外，並將本計畫之逕流分擔方案納入後之淹水範圍 |
| | 淹水體積(萬m ³) | 1.031 | 36.196 | 37.227 | |
| 改善成效 (B)-(A) | 淹水面積(ha) | -2.901 | 0.000 | -2.901 | 經水道及雨水下水道改善後淹水面積已較現況減少，即雨水下水道丙系統分擔部份，約佔整體改善之 41.6% |
| | 淹水體積(萬m ³) | -0.727 | 0.000 | -0.727 | |
| 改善成效 (C)-(B) | 淹水面積(ha) | -3.915 | 0.000 | -3.915 | 本計畫逕流分擔方案可提昇基本情境之耐洪能力，即土地負擔部份，約佔整體改善之 58.4% |
| | 淹水體積(萬m ³) | -1.021 | 0.000 | -1.021 | |

除洛津國小操場設置地下停車場兼蓄洪池之逕流分擔方案外，未來相關單位如有需進一步提升本計畫區之防洪保護標準或增加停車空間等需求，可視洛津國小方案推動之成效，續於文開國小設置地下二層地下停車場兼蓄洪池(B1 空間供停車使用，停車格 120 個，淨高 3.6 公尺，B2 空間則為蓄洪池，淨高 3.0 公尺)，暴雨期間主要由蓄洪池容納降雨逕流，當雨量超乎預期時，B1 空間之停車場亦可兼具蓄洪使用，B2

之蓄洪池儲水量為 11,493 立方公尺，備用 B1 空間可儲水量為 12,451 立方公尺，總儲水量最高可達 23,944 立方公尺，增加儲存逕流時間約 4.2 小時。並與洛津國小搭配操作，可持續增加分擔量體及儲存逕流時間，提昇土地耐洪能力。

4.5 實施範圍評估與擇定

本計畫依逕流分擔量體與逕流分擔方案規劃成果，建議以北頭排水匯流前(即舊鹿港排水分區)，面積約 159.65 公頃(如圖 8)，作為後續公告之依據。符合下列必要性、公益性及可行性，經評估應屬適當：



圖 8 本計畫逕流分擔實施範圍圖

一、必要性

- (一)本計畫區為鹿港鎮重要經濟活動區域，亦為人口密集地區(住宅區、商業區、工業區、學校用地、市場用地)及古蹟設施，地勢低窪相對地區長期以來受大面積淹水危害所影響。
- (二)計畫區排水系統除分別依水利署及營建署規定辦理工程整治及規劃檢討外，對於超過保護標準之降雨事件，有辦理逕流分擔之必要性，以提昇整體區域之耐洪能力。

二、公益性

- (一)本計畫逕流分擔措施，如洛津國小操場及文開國小操場設置地下停車場兼蓄洪池，完成後並不影響校園使用(土地使用不變)。
- (二)洛津國小操場及文開國小操場之地下停車場兼蓄洪池，平日可提供停車空間，紓解本地區之觀光停車空間需求，超過雨水下水道保護標準之降雨事件，亦可蓄存逕流，分擔雨水下水道排洪負擔，已達公共設施多元利用之原則，其餘區域之逕流分擔措施亦不改變現況使用情形，故具有公益性。

三、可行性

- (一)鹿港地區屬於國家重要古蹟區域，其都市發展亦相對成熟，本計畫考量各區具推動可行性之土地方案後，以洛津國小操場及文開國小操場之地下停車場兼蓄洪池，可提供分擔

潛能量與鹿港老街及公會堂一帶之低地積淹水量較為相近，皆位於雨水下水道丙系統排水分區範圍內，增加滯蓄洪空間潛力。

- (二)其餘區域之逕流分擔措施亦可延長降雨過程中，地面逕流滯留於都市土地內時間，以減緩雨水下水道及區域排水之負擔，故具可行性。

五、結論與建議

計畫區內主要淹水熱點多集中於鹿港老街及公會堂一帶，本計畫在執行過程中，皆已與各單位及地方民眾進行密集溝通說明取得推動共識，其中洛津國小操場設置地下停車場兼蓄洪池，儲水量約為 11,932 立方公尺，可滿足該區域 10,210 立方公尺之逕流分擔需求。而鹿港排水南側之淹水區域，其土地利用大多為農作或空地(淹水體積約 0.505 萬立方公尺)，則無需導入過多工程措施，應採土地自然承擔分配，僅小部份淹水區(淹水體積約 0.127 萬立方公尺)位於雨水下水道幹線 I 系統出口段之住宅區域，主要係下水道通洪能力雖可滿足計畫目標，然受到鹿港排水之洪水位頂脫影響，使得下水道內逕流無法排出而積淹，考量鹿港排水西南側並無公有土地可供逕流分擔使用，建議可於出口處設置閘門及新增一人孔，當超過保護標準降雨時，可視情形調配移動式抽水設備(抽水量約 0.5cms)將逕流抽至鹿港排水中，或導入非工程手段(如淹水預警及災害防救)因應之，其餘零星淹水區域，可採入滲或微型滯洪方式貯存降雨逕流，提昇土地耐洪能力。

本計畫係以計畫區內之區域排水及雨水下水道皆完成治理之原則下，進行模擬及逕流分擔量體之規劃，因此未來區內排水系統應依相關規劃成果及治理計畫完成改善，才能符合逕流分擔之概念，達到計畫所設定之目標。

參考文獻

1. 經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 97 年，「彰化北部地區綜合治水檢討規劃(員林大排等排水系統)」。
2. 彰化縣政府，民國 100 年，「鹿港排水系統鹿港排水幹線治理計畫」。
3. 經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 107 年，「0702 豪雨鹿港淹水改善方案初步規劃」。
4. 彰化縣政府，民國 108 年，「鹿港溪再現計畫-彰化縣鹿港溪排水護岸及水岸景觀環境營造」。
5. 彰化縣政府，民國 108 年，「彰化縣鹿港鎮雨水下水道系統檢討規劃」。
6. 經濟部水利署，民國 106 年，「台灣地區雨量測站降雨強度-延時 Horner 公式參數分析」。

橋接洪氾區與國土計畫之土地利用管制

王文祿^{1*} 廖仲達² 鍾仁凱³ 葉克家⁴

1. 時代法律事務所律師，國立台北商業大學通識教育中心兼任助理教授
2. 國立陽明交通大學防災與水環境研究中心助理研究員
3. 國立陽明交通大學防災與水環境研究中心助理研究員
4. 國立陽明交通大學防災與水環境研究中心客座教授

* 通訊作者，Email: wenu333@gmail.com

摘要

今(2021)年國土計畫法下之直轄市與各縣市國土計畫均已公布，下一部國土功能分區計畫全面實施後，我國將完全進入國土計畫法時代。另一方面我國目前又有推動劃設洪氾區之呼聲，兩者間之關係頗值玩味。本文將由我國洪氾區劃設之特殊性為始，對我國洪氾區與歐美 floodplain 之差異進行比較，以確立我國洪氾區劃設之獨特性。次將國土計畫法各種分區逐一描述，以作為比較分區管制措施之基礎。其後再將各種現行有關河川之土地管理法律逐一介紹，以使問題討論趨於全面。最後本文以淡水河之洪氾區劃設為例，假設於國土計畫法全面實施後，如何將淡水河之洪氾區於國土計畫法之配套下劃設完成，並依此進行相關討論以作為未來相關劃設工作之參考。

關鍵字：洪氾區、洪水平原、國土計畫

Bridging Administrative Land Use Control between Special Flood Zone and National Spatial Plan

Wen-Lu Wang^{1*}

Chung-Ta Liao²

Jen-Kai Chung³

Keh-Chia Yeh⁴

1. Attorney at Law, Integration Law Firm; Adjunct Assistant Professor, NTUB.
 2. Assistant Researcher, Disaster Prevention and Water Environment Research Center, NYCU.
 3. Assistant Researcher, Disaster Prevention and Water Environment Research Center, NYCU.
 4. Visiting Professor, Disaster Prevention and Water Environment Research Center, NYCU.
- * Corresponding Author, Email: wenu333@gmail.com

Abstract

In 2021, Municipality Spatial Plans and County Spatial Plans under Spatial Planning Act had been announced for further discussion. When Functional Zones of each Municipality of County Spatial Plan have been determined, the era of National Spatial Plans will begin. To satisfy the requirements of flood zone delineation and spatial planning, the compatibility of land use control measures with both systems and legal regimes needs to be examined. This paper starts with the differences between Special Flood Zone in Water Act and floodplain management in western hemisphere. Each Functional Zone in spatial planning will be introduced for further comparisons with other zones in different legal regimes. Finally, this paper will try to discuss a hypothetical issue in delineating Special Flood Zone in Danshui River Basin after the enforcement of Spatial Planning Act in order to examine the aforementioned compatibility.

Keywords: special flood zone, floodplain, national spatial plan.

一、前言

1963年我國水利法修法將原先全文71條大幅擴充為99條，其中增列之第65條「I.主管機關為減輕洪水災害，得就水道洪水泛濫所及之土地，分區限制其使用。II.前項土地限制使用之範圍及分區辦法，應由主管機關就洪水紀錄及預測之結果，分別劃訂，呈報上級主管機關核定公告後行之」，被認為係我國劃設洪氾區之法源基礎。迄今近60年，上述條文僅第二項將呈報改為報請，內容並無明顯更動。一般均認為此與其後1968年美國國家洪災保險法以及2007年歐盟洪水法同為劃設floodplain之法源，然而實務是否如此？仍有待具體案例驗證。

由於工程方法有其極限，非工程方法中之洪氾區劃設經常被提及，我國目前亦有淡水河與基隆河兩起實施案例，唯該二案例之實施均已有時日。我國於2015年通過國土計畫法之立法，歷經數年努力，除相關子法日漸完備之外，全國國土計畫與各縣市國土計畫均一一推出，我國已進入國土計畫法時代。於此時提出洪氾區劃設構想，勢必將面臨與國土計畫法競合問題。

本文將由我國洪氾區劃設之特殊性為始，對我國洪氾區與歐美floodplain之差異進行比較，以確立我國洪氾區劃設之獨特性。次將國土計畫法各種分區逐一描述，以作為比較分區管制措施之基礎。其後再將各種現行有關河川之土地管理法律逐一介紹，以使問題討論趨於全面。最後本文以淡水河之洪氾區劃設為例，假設於國土計畫法全面實施後，如何將淡水河之洪氾區於國土計畫法之配套下劃設完成。

二、我國洪氾區劃設與歐美Floodplain差異

我國立法授權水利主管機關劃設洪氾區已近60年，實務上亦有淡水河與基隆河兩個案例。過去我國學者參酌歐美相關機制，認為洪氾區係歐美所習稱之floodplain(我國有直譯為洪水平原者，但為表示與我國洪氾區之差異，本文直接以英文表示)。由我國劃設洪氾區方式觀察，我國洪氾區與floodplain差異如下：

1.是否由河川中心線開始向兩旁劃設：此為我國洪氾區與歐美floodplain差距最大之處。由淡水河洪水平原管制辦法第3條「一級管制區包括堤防預定地、疏洪道用地及天然洩洪區，二級管制區為經常淹水地區及低窪地區。」條文內容明白表示並非按照一定重現期距洪水所及之範圍劃設，而僅為水利主管機關所指定之特定用途區域。又由基隆河洪氾區土地使用管制辦法第2條及第6條規定，洪氾區之土地共計有「基隆河治理基本計畫用地範圍線內土地」「基隆河治理計畫之滯洪區」「毗鄰治理計畫用地範圍之低窪有淹水之虞地區」「地勢低窪或其他因素有經常淹水之虞地區」上述四種土地與floodplain之定義並無絕對之關係，可謂行政機關取得法律授權之後，完全未曾參考其他相關立法例或制度所獨立定義而得。

2.是否明示重現期距：美國國家洪災保險法所明

示之floodplain劃設重現期距為100年，2007年歐盟洪水法則要求歐盟會員國之洪水風險圖必須標示高中低三種風險，其中中風險範圍圖之重現期距必須為100年。我國雖然各治理計畫會註明保護標準，但在淡水河洪水平原管制辦法與基隆河洪氾區土地使用管制辦法中，完全未有明示劃設洪氾區時所使用之重現期距。

3.劃設效果：在歐美國家一旦完成floodplain劃設，有洪災保險制度之國家便能用以作為保費計算基礎。如無專以洪災為保險事故之國家保險制度，完成劃設之floodplain亦有各種風險管理手段可以配合實施。我國洪氾區劃設則正如上述兩則法規命令之名稱，其目的僅為「土地使用管制」。

4.劃設後續：以美國為例，floodplain之劃設所伴隨之洪災保險費率圖(flood insurance rate map)必須五年檢討一次，但如重新劃設則需經過複雜之評估程序。而我國洪氾區之劃設，大部分劃設區域在目前實務上均寓有未來治理計畫完成之後將不再保留之意。例如基隆河洪氾區中，上述「毗鄰治理計畫用地範圍之低窪有淹水之虞地區」及「地勢低窪或其他因素有經常淹水之虞地區」，均有註明其所存在之條件為「基隆河整體治理計畫實施完成前」即為適例。

5.有無河川區域劃設：歐美floodplain中雖有floodway概念，然其範圍與主河道之大小相去不遠。我國中央管河川以100年重現期距為保護標準，此保護標準事實上與歐美floodplain所使用劃設標準非常接近。由前述洪氾區多有暫時實施而目標為造就治理完成之河川區觀之，長期而言我國實務上即採取洪氾區與河川區難以並存之概念，不若歐美floodway即floodplain最中心區域概念。由此可知，本文討論土地管制措施時，可暫時不論河川區域之相關管制措施。

茲就我國洪氾區劃設與歐美floodplain之差異比較，製表如表1。歐美floodway與floodplain示意圖則如圖1：

表1. 我國洪氾區與歐美floodplain比較表

| 分區 | 我國洪氾區 | 歐美floodplain |
|------|---------------------|---------------------|
| 劃設方式 | 由主管機關決定於指定之洪水風險區域劃設 | 一定從河川中心線依重現期距向兩岸劃設 |
| 重現期距 | 未標明 | 一定標明於法律中 |
| 劃設效果 | 土地使用管制 | 美國:保費依據 歐盟:風險管理 |
| 劃設後續 | 完成治理計畫 | 永續存在並定期檢討 |
| 河川區域 | 有 | 無(河川區域非行水區floodway) |

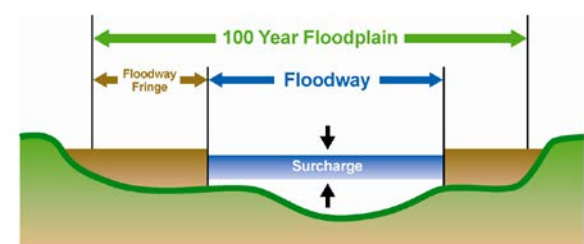


Figure 2-2. Cross section of a floodplain showing the floodway, floodway fringe, and surcharge.

圖1. 美國floodplain示意圖(資料來源: FEMA(2019))

三、國土計畫法之國土管制機制

自 1997 年起開始向立法院提出立法草案起，國土計畫法草案即設定為取代原先送立法院審議之「國土綜合發展計畫法草案」，並預計於立法通過後取代現有之區域計畫法。國土計畫法草案之誕生，係因總統府國土保育及開發諮詢委員會提出「新世紀的國土改造」報告，提出諸多建言，包括將水、土、林業務進行整合，於是原先之國土綜合發展計畫法草案必須因而配合調整，並予以更名。歷時七年，國土計畫法草案始於 2004 年 6 月 9 日行政院第二八九三次會議通過，並於同年 6 月 6 日送交立法院審議。然同時因地層下陷議題舉國關注而提出之國土復育計畫及國土復育條例草案，與國土計畫法之功能與規範有所重疊，國土計畫法一度失去關注，直到新國土三法即濕地保育法、海岸管理法及國土計畫法之架構確立，推動開始加速而逐漸完成立法。

國土計畫法雖於 2015 年 12 月三讀通過，但因其架構之複雜，必須透過國土計畫之實施達成管制目的，於今(2021)年各縣市國土計畫終在 4 月 15 日一併公布，預計明(2022)年 5 月起，我國全國國土將以國土計畫法之架構進行各種管制，其重要性自不言而喻。

國土計畫法所採之管制手段，主要為設置各國土功能分區，依據該法第 20 條規定，各國土功能分區及其分類，應依下列順序及原則劃設：

1.國土保育地區：依據天然資源、自然生態或景觀、災害及其防治設施分布情形加以劃設，並按環境敏感程度，予以分類如下：(一)第一類：具豐富資源、重要生態、珍貴景觀或災害潛勢，其環境敏感程度較高之地區。(二)第二類：具豐富資源、重要生態、珍貴景觀或災害潛勢，其環境敏感程度較低之地區。(三)其他必要之分類。至於其管制方式，則依據同法第 21 條規定，第一類維持自然環境狀態，不允許人為變動地形、地貌及國土利用，並得禁止或限制其他使用；第二類儘量維持自然環境狀態，允許有條件使用。其他必要之分類則按環境資源特性給予不同程度之使用管制。

2.海洋資源地區：依據內水與領海之現況及未來發展需要，就海洋資源保育利用、原住民族傳統使用、特殊用途及其他使用等加以劃設，並按用海需求，予以分類：(一)第一類：海洋資源具珍貴、特殊或獨特性，須加強保育之地區。(二)第二類：使用性質具排他性之地區。(三)其他必要之分類。至於其管制方式，則依據同法第 21 條規定，第一類維持海洋資源狀態，不允許人為變動自然環境狀態，並得禁止或限制其他使用；第二類儘量維持自然環境狀態，允許有條件排他性使用；其他必要之分類則按海洋相關產業特性或資源條件給予不同程度之使用管制。

3.農業發展地區：依據農業生產環境、維持糧食安全功能及曾經投資建設重大農業改良設施之情形加以劃設，並按農地生產資源條件，予以分類：(一)

第一類：具優良農業生產環境、維持糧食安全功能或曾經投資建設重大農業改良設施之地區。(二)第二類：具良好農業生產環境、糧食生產功能，為促進農業發展多元化之地區。(三)其他必要之分類。至於其管制方式，則依據同法第 21 條規定，第一類供農業生產，並得禁止或限制其他使用；第二類供農業生產及農業相關產業發展，並得禁止或限制其他使用；其他必要之分類則按農業資源條件給予不同程度之使用管制。

4.城鄉發展地區：依據都市化程度及發展需求加以劃設，並按發展程度，予以分類：(一)第一類：都市化程度較高，其住宅或產業活動高度集中之地區。(二)第二類：都市化程度較低，其住宅或產業活動具有一定規模以上之地區。(三)其他必要之分類。至於其管制方式，則依據同法第 21 條規定，第一類供較高強度之居住、產業或其他城鄉發展活動使用。(二)第二類：供較低強度之居住、產業或其他城鄉發展活動使用。其他必要之分類則按城鄉發展情形給予不同程度之使用管制。

當上述地區經由各縣市國土計畫公告後，應按照國土計畫法第 22 條第一項規定，由各該主管機關依照國土計畫之國土功能分區劃設內容，製作國土功能分區圖及編訂適當使用地，方可依此實施管制。目前各直轄市及縣市國土計畫公告後，下一步即將劃設分區，其結果有待觀察。

而國土計畫法中管制強度可謂最高之國土保育地區，其劃設原則依國土計畫法第 6 條第三款規定，應以保育或保安為原則，並得禁止或限制使用。如欲申請使用，除應符合同法第 24 條以下各條之相關申請程序外，主管機關更應依同法第 26 條第二項，審視是否有做到「就環境保護、自然保育及災害防止，為妥適之規劃，並針對該使用所造成生態環境損失，採取彌補或復育之有效措施」之要求。

另一管制強度甚高之區域，為國土復育促進地區。按國土計畫法第 35 條規定，得劃設為此種區域者計有一、土石流高潛勢地區。二、嚴重山崩、地滑地區。三、嚴重地層下陷地區。四、流域有生態環境劣化或安全之虞地區。五、生態環境已嚴重破壞退化地區。六、其他地質敏感或對國土保育有嚴重影響之地區等。目的事業主管機關劃定國土復育促進地區後除應依同法第 36 條第一項規定應以保育和禁止開發行為及設施之設置為原則，並由劃定機關擬訂復育計畫，報請中央目的事業主管機關核定後實施。但在我國水利主管機關如欲劃設洪氾區，以過去基隆河與淡水河之經驗，其後應係完成治理計畫而非進行性質完全不相似之國土復育，故水利主管機關應較無可能主動申請將適宜作為洪氾區之土地劃設為國土復育促進地區。

由上述討論可知，國土計畫法之功能分區為現行法所無，如何與現行各種土地管理法律進行接軌，仍有待進一步討論。以下茲就國土計畫法各種分區之比較製表如表 2.：

表 2. 國土計畫法各種分區比較表

| 分區方式 | 分區名稱 | 國土分區內涵 |
|------|----------|---|
| 功能分區 | 國土保育地區 | 第一類：具豐富資源、重要生態、珍貴景觀或災害潛勢，其環境敏感程度較高之地區。 第二類：具豐富資源、重要生態、珍貴景觀或災害潛勢，其環境敏感程度較低之地區。 其他必要之分類。 |
| | 海洋資源地區 | 第一類：海洋資源具珍貴、特殊或獨特性，須加強保育之地區。 第二類：使用性質具排他性之地區。 其他必要之分類。 |
| | 農業發展地區 | 第一類：具優良農業生產環境，維持糧食安全功能或曾經投資建設重大農業改良設施之地區。 第二類：具良好農業生產環境、糧食生產功能，為促進農業發展多元化之地區。 其他必要之分類。 |
| | 城鄉發展地區 | 第一類：都市化程度較高，其住宅或產業活動高度集中之地區。 第二類：都市化程度較低，其住宅或產業活動具有一定規模以上之地區。 其他必要之分類。 |
| 國土復育 | 國土復育促進地區 | 一、土石流高潛勢地區。 二、嚴重山崩、地滑地區。 三、嚴重地層下陷地區。 四、流域有生態環境劣化或安全之虞地區。 五、生態環境已嚴重破壞退化地區。 六、其他地質敏感或對國土保育有嚴重影響之地區等。 |

四、與洪氾區可能相關主要土地管理法律

我國土地管理相關法律本即相當多元且複雜，即令國土計畫法之理念進入全面施行階段，原有土地管理法令仍與國土計畫法產生綿密交互作用。配合本文以洪氾區相關土地管理議題為主，而暫且不論水利法以河川區域為主之相關管制條文考量下，茲圈選主要土地管理法令分別簡述如下：

1. 土地法：土地法進行以上分類，係以土地利用方式與可能性劃分之。此與國土計畫法之多目標有所區別：

第一類：建築用地，如住宅、官署、機關、學校、工廠、倉庫、公園、娛樂場、會所、祠廟、教堂、城墘、軍營、砲臺、船埠、碼頭、飛機基地、墳場等屬之。

第二類：直接生產用地，如農地、林地、漁地、牧地、狩獵地、礦地、鹽地、水源地、池塘等屬之。

第三類：交通水利用地，如道路、溝渠、水道、湖泊、港灣、海岸、堤堰等屬之。

第四類：其他土地，如沙漠、雪山等屬之。

上述分類所衍生之管制措施多半與私權相關，例如不得私有，不得設定負擔或移轉等。此與國土計畫法之管制措施有所差異。

而土地法對於土地使用之限制並無直接之規定，而係交由其他法律決定，如該法第 91 條規定城市區域土地得依都市計畫法劃設為限制使用區與自由使用區。至於不得私有之土地有許多與水域有關，

如該法第 14 條規定不得私有之土地為：一、海岸一定限度內之土地。二、天然形成之湖澤而為公共需用者，及其沿岸一定限度內之土地。三、可通運之水道及其沿岸一定限度內之土地。四、城鎮區域內水道湖澤及其沿岸一定限度內之土地。五、公共通道道路。六、礦泉地。七、瀑布地。八、公共需用之水源地。九、名勝古蹟。十、其他法律禁止私有之土地。上述 10 種土地多數與水域有關。

2. 森林法：森林法所採取之與河川相關管制手段，係有第 56 條之二所禁止之未經主管機關許可即填塞、改道或擴展水道之行為，以及第 56 條之三所禁止之污染水體行為。上揭兩則處罰規定係由農委會林務局為主管機關進行處罰，但上述應經許可之填塞、改道或擴展水道行為，係由森林法之主管機關決定是否予以許可；但由森林法主管機關許可之大前提，應係該地為林地而符合森林法第 3 條對森林之定義。而綜觀國土計畫法相關規定，雖有國土保育地區與國土復育促進地區等分區，卻未有完全針對森林之特殊規定，仍有待「國土計畫土地使用管制規則草案」完成訂定程序實施後，始可由細部規定中判別其特殊性。

3. 水土保持法：水土保持法所採取之相關管制手段，為特定水土保持區之劃定。特定水土保持區，依據水土保持法第 3 條第五款之解釋，係指經中央或直轄市主管機關劃定亟需加強實施水土保持之處理與維護之地區。依據水土保持法第 16 條第一項第二款規定，主要河川上游之集水區需特別保護者，應劃設為特定水土保持區。水土保持法第 18 條並規定，特定水土保持區應由管理機關擬定長期水土保持計畫，報請直轄市主管機關層轉或逕請中央主管機關核定實施之；長期水土保持計畫，每五年應通盤檢討一次，並得視實際需要變更之；遇有特殊需要，並得隨時報請直轄市主管機關層轉或逕請中央主管機關核准變更之。水土保持計畫擬定之重點，參酌水土保持法第 19 條規定，海岸、湖泊沿岸及水道兩岸以防止崩塌、侵蝕、維護自然生態環境、保護鄰近土地為重點；沙丘地、沙灘：以防風、定砂為重點。雖然水土保持區亦可能即為國土保育地區甚至國土復育促進地區，但亦有待「國土計畫土地使用管制規則草案」完成訂定程序實施後，始可由細部規定中判別其特殊性。

4. 國家公園法：國家公園法管制規定中與水利主管機關較為相關者，為該法第 14 條第一項第二款對於一般管制區或遊憩區內之「水面、水道之填塞、改建或擴展」，規定為應經國家公園管理處之許可始得為之；就此，現行水利法第 78 條亦有規定河川區域內禁止填塞水路，從而若國家公園內存有遭劃定為河川區域者，縱使向國家公園法主管機關申請填塞水道而獲核准，水利主管機關仍應本其職權禁止填塞行為。然若國家公園內並無劃定河川區域之情形時，則其並無實質影響。

國土計畫法第 8 條第三項雖規定「國家公園計畫、都市計畫及各目的事業主管機關擬訂之部門計

畫，應遵循國土計畫。」但同法第 15 條第一項但書亦規定「但其全部行政轄區均已發布實施都市計畫或國家公園計畫者，得免擬訂直轄市、縣（市）國土計畫。」同法第 23 條第二項並規定「國土功能分區及其分類之使用地類別編定、變更、規模、可建築用地及其強度、應經申請同意使用項目、條件、程序、免經申請同意使用項目、禁止或限制使用及其他應遵行之土地使用管制事項之規則，由中央主管機關定之。但屬實施都市計畫或國家公園計畫者，仍依都市計畫法、國家公園法及其相關法規實施管制。」足見原已存在並完整規定之國家公園計畫仍得維持適用，不受國土計畫法與其以第 23 條授權訂定尚在審議之「國土計畫土地使用管制規則草案」之影響。

5.區域計畫法：區域計畫法目前尚在施行，依據區域計畫法第 23 條授權訂定之區域計畫法施行細則，其重點亦在於解釋區域計畫法重要名詞與訂定執行區域計畫法所需之細節性與技術性事項。區域計畫法施行細則第 11 條對非都市土地使用所劃設之分區計有特定農業區、一般農業區、工業區、鄉村區、森林區、山坡地保育區、風景區、國家公園區、河川區、海域區、其他使用特定區域等。其中河川區之定義為同條第九款規定之「為保護水道、確保河防安全及水流宣洩，依水利法等有關法令，會同有關機關劃定者」。可見區域計畫法規範下之河川區應不致與水利主管機關劃設之各種區域造成衝突。

區域計畫法之區域土地使用管制措施，應以根據該法第 15 條訂定之「非都市土地使用管制規則」為準；按照該規則第 3 條規定，非都市土地依其使用分區之性質，編定為甲種建築、乙種建築、丙種建築、丁種建築、農牧、林業、養殖、鹽業、礦業、窯業、交通、水利、遊憩、古蹟保存、生態保護、國土保安、殯葬、海域、特定目的事業等使用地。此分類有各種配套措施管制使用，例如同規則第 9 條便有規定上述各種土地不同之建蔽率。

按照國土計畫法第 45 條第三項規定「直轄市、縣（市）主管機關依前項公告國土功能分區圖之日起，區域計畫法不再適用。」因此洪氾區劃設時宜注意區域計畫法不再適用之時程並加以配合。

6.都市計畫法：都市計畫法於國土計畫法及國土計畫全面施行後仍將存在。都市計畫法之管制手段包括限制土地使用與限制建築。限制土地使用之手段，包括同法第 6 條規定不得為妨礙都市計畫之使用；第 34 條對住宅區土地不得有礙居住、安全、寧靜之限制；同法第 35 條對商業區土地不得有礙商業便利之限制；同法第 36 條對工業區土地以供工業使用為主之限制；同法第 37 條對其他行政、文教、風景等使用區內土地應以供其規定目的之使用為主之限制；以及同法第 38 條對特定專用區內土地使用不得違反其特定用途之限制。以上手段，與河川相關之土地利用並無特別關連。限制建築之手段則包括第 17 條對未發布細部計畫地區，應限制其建築使用及變更地形；第 33 條規定都市計畫地區，得視地理形勢，使用現況或軍事安全上之需要，保留農業地區或設置保護

區，並限制其建築使用。

由於洪氾區相關實務案例較少，上述土地管理法律並未明列洪氾區於法條之中，相關子法亦未見有列出洪氾區之規定，因此洪氾區劃設時並無法藉由上述法律之規定，與國土計畫法之相關管制規定結合。以下將就國土計畫法施行後，如何配合完成洪氾區劃設進行討論。

都市計畫法面對國土計畫法全面施行之調適，與國土計畫法相同，茲不贅述。

由上述討論可知，國土計畫法全面施行後，除國土計畫土地使用管制規則草案仍在審議階段外，大致可知國土計畫法將為現行土地管理法制保留一定空間以保持安定性。茲就現行土地管理法制與國土計畫法間之土地管理問題簡要比較如表 3：

表 3. 坡地區域與河川區域與國土計畫法間之土地管理問題簡要比較表

| 區域 | 坡地區域 | 河川區域 |
|----------|---|---|
| 主要土地管理機關 | 農委會林務局 | 經濟部水利署 |
| 取得土地 | 森林法第 8 條第一項及森林法施行細則第 8 條第一項 | 區域計畫法第 15 條第一項及「非都市土地使用管制規則」第 6 條第三項「附表一」；未來將由「國土計畫土地使用管制規則草案」及其附表所取代 |
| 各項土地 | 水土保持法：劃定特定水土保持區而禁止使用。 | 森林法：禁止未經主管機關許可即填塞、改造或擴展現水道及污染水體。 |
| 使用管制措施 | 森林法：因編入保安林而禁止使用。 未來國土計畫法施行：將受到國土保育地區及國土復育促進地區劃設之影響 | 水土保持法：同坡地區域。 國家公園法：與森林法類似。 區域計畫法：為保護水道劃定河川區。 都市計畫法：無相關河川水道管制手段。 未來國土計畫法施行：將受到國土保育地區及國土復育促進地區劃設之影響 |

五、如何在國土計畫法制下劃設洪氾區

國土計畫法相較於其他土地管理法律，具有若干彰顯其為特別法之規定，例如該法第 8 條第四項即規定「國家公園計畫、都市計畫及各目的事業主管機關擬訂之部門計畫，應遵循國土計畫。」因此，於直轄市與各縣市國土計畫實施後，水利主管機關對於洪氾區之土地使用限制，是否屬於應遵循國土計畫之範圍？不無疑問。然而若由同法第 17 條規定「I.各目的事業主管機關興辦性質重要且在一定規模以上部門計畫時，除應遵循國土計畫之指導外，並應於先期規劃階段，徵詢同級主管機關之意見。II.中央目的事業主管機關興辦部門計畫與各級國土計畫所定部門空間發展策略或計畫產生競合時，應報由中央主管機關協調；協調不成時，得報請行政院決定之。III.第一項性質重要且在一定規模以上部門計畫之認定標準，由中央主管機關定之」由該條第三項授權訂定之「性質重要且在一定規模以上部門計畫之認定標準」第二條附表，對於水利相關計畫僅列出「蓄水工程」「引水工程」及「防洪排水工程」等水資源設施項目，對於其他非工程方法完全未有列入考慮。因此，劃設洪氾區之際，恐須按本法第 17 條第一項規定，於先期規劃階段，徵詢同級主管機關之意見。此於實務上各機關間均時常互相徵詢意見，即令法未規定亦應非難

事。

依據目前洪氾區劃設之案例與實務，淡水河與基隆河劃設時均依據水利法第 65 條第二項訂定辦法，使得洪氾區劃設性質上為行政程序法第 150 條訂定法規命令之行政行為。而洪氾區之劃設目前實務上均分為一級管制區與二級管制區，管制之方法簡要列表如下：

未來劃設之洪氾區與國土計畫功能分區甚至國土復育促進地區互相重疊，已經無法避免。固然不同法律之間可依競合關係處理，然其處理順序仍可預先標明。因此，為因應國土計畫法施行與直轄市及各縣市國土計畫之實施，建議之洪氾區劃設配合方式步驟如下：

1. 先行於實施地之直轄市或各縣市國土計畫中，將實施區域之國土計畫分區指明。
2. 列出該分區可能國土功能分區與限制，與洪氾區劃設後擬實施之土地使用管制進行比較。
3. 有重疊疑問部分加以釐清。
4. 是否與其他國土管理法律有所競合。

我國最具歷史與實務經驗之實施案例為淡水河洪水平原管制辦法。按「淡水河洪水平原管制辦法」係 1968 年首次公告淡水河洪水平原管制區時即訂定，而其所依據之授權基礎，依目前可查詢得知之 1969 年「財政部 58 台財稅發第 02440 號令」函示內容「...復查淡水河洪水平原管制辦法，係依照水利法第六十五條「主管機關為減輕洪水災害，得就水道洪水泛濫所及之土地，分區限制其使用。前項土地限制使用之範圍及分區辦法，應由主管機關就洪水紀錄及預測之結果，分別劃訂，呈報上級主管機關核定公告後行之」及第八十二條「水道治理計畫線或堤防預定線內之土地，經主管機關報請上級主管機關核定公告後，得依法徵收之；未徵收者，為防止水患，並得限制其使用」之規定訂定，是該項土地應為受法律限制使用之土地，如經該廳查明該項土地確為空地，未作任何使用，應准依照土地法第一九四條規定予以免稅，設該項土地已作農地使用，則應課徵田賦。」可知當時所認定之法源基礎為水利法第 65 條及第 82 條，此係因此二條文均有得限制使用土地之文字。

1999 年精省第一階段開始時，所有省法規均因此必須因組織再造而重新檢討其法源基礎。淡水河洪水平原管制辦法之授權基礎，於最初訂定時認為係水利法第 65 條與第 82 條，但僅有水利法第 65 條具有第二項「前項土地限制使用之範圍及分區辦法，應由主管機關就洪水紀錄及預測之結果，分別劃訂，報請上級主管機關核定公告後行之。」符合法制作業授權依據必須於條文中明示之要求，因此將淡水河洪水平原管制辦法明訂授權基礎為水利法第 65 條，並由經濟部以新訂定法規命令發布施行。

淡水河洪水平原管制辦法之管制措施大致可分

為一律禁止之行為與應經許可之行為。其細部之管制內涵如表 4.：

表 4. 淡水河洪水平原管制辦法之管制內容表

| 管制內容 | 管制範圍 | 管制行為 |
|-------|----------------------------------|--|
| 一級管制區 | 1. 堤防預定地 2. 疏洪道用地 3. 天然洩洪區 | 應嚴格限制建築，除不得建造永久性建造物或種植多年生植物或設置足以妨礙水流之建造物外，並禁止變更地形或地目。 |
| 二級管制區 | 1. 經常淹水地區 2. 低窪地區 | 區內地上建築物之改建、修繕、拆除、變更原有地形、建造工廠、房屋或其他設施者，應向當地縣政府申請，報請經濟部核定後辦理之。 |

綜觀上述法規命令訂定沿革，我國洪氾區劃設早在行政程序法於 2001 年施行前即已歷經數次修訂，其管制措施是否歷久彌新仍值討論。此處先進行第 1. 步驟，將國土計畫法公布之功能分區與洪氾區圖相比較如圖 2.：

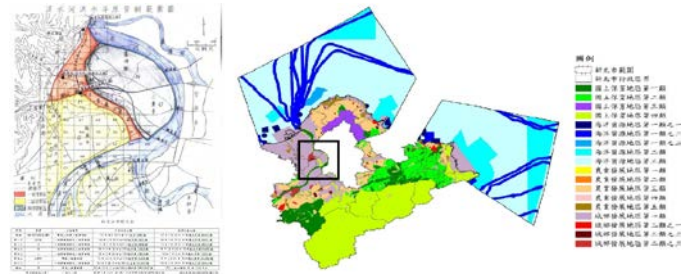


圖 2. 淡水河洪氾區與新北市國土計畫分區比較表(資料來源：新北市政府(2019)，葉兆彬(2016))

由以上圖 2.比較可知，過去之淡水河洪水平原之一級管制區(已解除，新北市政府(2021))實際上與國土計畫城鄉發展地區有所重疊，淡水河洪水平原二級管制區亦與國土計畫城鄉發展地區有所重疊。按照第 2. 步驟，將兩者之土地使用管制比較如表 4.：

表 5. 淡水河洪氾區劃設與國土計畫管制比較表

| 管制內容 | 管制行為 | 國土計畫：城鄉發展地區 |
|-------|--|--|
| 一級管制區 | 應嚴格限制建築，除不得建造永久性建造物或種植多年生植物或設置足以妨礙水流之建造物外，並禁止變更地形或地目。 | 1. 受到洪氾區限制不得建築 2. 影響水流者應拆除並補償 3. 原都市計畫難以貫徹 |
| 二級管制區 | 區內地上建築物之改建、修繕、拆除、變更原有地形、建造工廠、房屋或其他設施者，應向當地縣政府申請，報請經濟部核定後辦理之。 | 1. 改建修繕報水利主管機關 2. 原都市計畫難以貫徹 |

由上述管制措施之比較可知，國土計畫城鄉發展地區一旦確定，目前洪氾區劃設所採之管制措施將很難應用於此。上述第 3. 步驟中將發現雖然國土計畫之分區結果難以阻止洪氾區劃設，但劃設後所引起之限制建築與拆除建築問題將難以處理。而第 4. 步驟中上述土地管理法律，除區域計畫法將被國土計畫法取代，以及都市計畫法之都市計畫有所重疊外，其他土地管理法律似未有重疊區域。而已實施之都市計畫不受國土功能分區影響下，都市計畫並無排除劃設洪氾區之法律依據，劃設洪氾區仍會影響已經實施之都市計畫，亦即高度發展之區域如欲劃設為洪氾區，將會面臨嚴重挑戰。

六、結論與建議

6.1 結論

於國土計畫法全面施行後，劃設洪氾區所遭遇之問題並無法由本文全部勾勒，僅能就單一案例簡要予以分析。而取代土地管理實務上所熟知之非都市使用管理規則與其附表之「國土計畫土地使用管制規則草案及其附表」尚在審議，目前僅能原則性討論相關問題。由以上討論可知，就目前洪氾區劃設實務常用之一級管制區禁止建築與二級管制區限制建築之模式，洪氾區之劃設將有相當程度之困難，而使洪氾區劃設之功能受到諸多限制。

6.2 建議

本文之建議如下：

1. 洪氾區劃設功能宜予修改：水利法第 65 條之授權為「分區限制其使用」而土地之使用限制並非完全限於建築之允許與否。試舉一例：如將淡水河洪水平原之二級管制區之限制改為「一定程度之洪水警報下應全部撤離」或「二級管制區內建築物所有權人均應購買房屋保險並定期接受房屋檢測」...等不同措施，洪氾區劃設之實現可能性將會提高。

2. 洪氾區劃設與各種國土功能分區間宜先擬訂競合因應方式：洪氾區分區限制其使用之法律授權範圍非常廣泛，以致洪氾區劃設時可採用之管制措施仍有許多擴充空間。而因應洪災瞬時加劇之趨勢，各種劃設洪氾區之需求可能在近年內產生，假設洪氾區因應此種趨勢可能在每一種國土功能分區產生劃設需要，至少必須先行探討在每一種國土功能分區內，究竟能夠實施何種強度之管制措施。

3. 洪氾區劃設實務可與歐美經驗脫鉤：既然我國實務已走向洪氾區劃設不由河川中心線起始之方式，洪氾區之英文絕不可稱為 floodplain 以免使用英語之各國專業人士誤會而貽笑大方。從而我國洪氾區劃設可不受歐美相關洪水風險管理措施之影響，運用上更見靈活，如何在現今突發劇烈洪災屢見不鮮之趨勢下，善用水利法對洪氾區劃設之授權，有待繼續努力。

參考文獻

1. FEMA(2019), Guidance for Flood Risk Analysis and Mapping: Floodway Analysis and Mapping, Nov. 2019.
2. 新北市政府(2021), 新泰塭仔圳市地重劃, 第一區(中正路以北), 2021年7月6日更新, available at <https://xintai.ntpc.gov.tw/home.jsp?id=8c4540120c916d8b> (最後查詢: Aug 2, 2021)
3. 新北市政府(2019), 新北市國土計畫, 2019年5月。
4. 葉兆彬(2016), 綜合治水措施及方案研擬—淡水河流域綜合治水策略之過去與未來, 2016年10月14日, 第十河川局, 水利電子報, available at

http://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=35B8A5F6A2564630. (最後查詢: Jul 26, 2021)

5. 林建聰(2017), 淺談國土計畫法的制定對本局業務的影響, 國道視窗 2月刊, 106年2月刊。
6. 內政部營建署 (2020), 國土計畫法專區, Dec 18, 202更新, available at <https://www.cpami.gov.tw/最新消息/業務新訊/10182-國土計畫法專區.html> (最後查詢: Jul 26, 2021)

應用隱藏馬可夫模式序率模擬台灣地區河川日流量

李政哲^{1*} 蕭政宗²

1. 成功大學水利及海洋工程學系碩士班研究生

2. 成功大學水利及海洋工程學系教授

* 通訊作者，Email: cyc974a06@gmail.com

摘要

水資源是民生經濟、工業發展的重要資源，而河川流量是水資源管理中重要的輸入因子，過去研究多利用集水區特性建立逕流模式，但模式建立費時且其所需的物理因子蒐集不易，本研究考慮水文資料具有隨機變化的特性，透過序率模擬分析歷史資料之統計特性，快速建立符合實際狀況之模式。本文使用隱藏馬可夫模式(hidden Markov model, HMM)分析台灣地區不同河川日流量資料，假設流量受不可視隱藏狀態控制，並使用最小 AIC (Akaike information criterion)及 BIC (Bayesian information criterion)決定最佳隱藏狀態個數，同時對流量檢定最適連續分布。本文選定基隆河流域五堵站、濁水溪流域內茅埔站、鹽水溪流域新市站、秀姑巒溪流域玉里大橋站共四個測站作為研究案例，其日流量資料皆長於四十年。研究結果顯示利用馬可夫鏈之轉移機率矩陣，並搭配對數常態分布，可分析日流量受隱藏狀態影響而變化，進一步將最佳化模式進行序率模擬，產生與歷史流量長度一樣之模擬結果，相互驗證，結果顯示北部河川流量變化較容易以轉移機率矩陣掌握，而南部區域河川流量模擬結果變化較大而有待改善，本文研究結果初步驗證此序率模式對於台灣河川流量之適用性。

關鍵字：序率模式、隱藏馬可夫模式、日流量

Stochastic simulation of daily streamflow using the hidden Markov model in Taiwan

Cheng-Che Li^{1*} Jenq-Tzong Shiau²

1. Graduate student, Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

2. Professor, Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University

* Corresponding Author, Email: cyc974a06@gmail.com

Abstract

Water resources are important resources for economy and industrial development. Streamflow is the most important input factor for water resources management. Traditionally, runoff models are established based on the characteristics of catchment. However, it is time-consuming to collect the required physical factors. This study considers inherently stochastic characteristics of streamflow to establish models that mimic probabilistic characteristics of historical streamflow. The method used in this paper is known as the hidden Markov model with aims to stochastically simulate daily streamflow in Taiwan. The assumption of the hidden Markov model is that that the daily streamflow is controlled by the invisible hidden states. The minimum AIC (Akaike information criterion) and BIC (Bayesian information criterion) are used to determine the best number of hidden states. The most suitable continuous distribution of streamflow for each state are determined based on historical data. The study used the daily streamflow at Wu-Tu in Keelung River, Nei-Mao-Pu in Zhuoshui River, Hsin-Shih in Yanshui River, and Yu-Li Bridge in Xiuguluan River as case studies. The record length of

these four stations are all longer than forty years. This study stochastically generates the daily streamflow sequences with the same length of historical data to access probabilistic characteristics of simulated data. The result show that transition matrix of stations located in northern Taiwan can capture the variations of streamflow, which outperform the outcomes generated at southern Taiwan station. These results of this study validate the feasibility of the hidden Markov model to simulate the daily streamflow in Taiwan.

Keywords: Stochastic Model, hidden Markov model, daily streamflow

一、前言

水資源提供我們生活盥洗、農業灌溉及工業發展 (Cosgrove & Loucks, 2015)，是現代化社會發展之基礎，但受到台灣降雨與地理特性限制，需藉由各項水工構造物，將河川水流進行蓄水與調節，並考慮需水量進行水資源營運管理，因此透過分析歷史流量資料，掌握流量變化特性，甚至建立流量之模擬模式是水資源管理的重要課題。

過去為了推估集水區之河川逕流量，透過研究集水區地形與地表因子，建立該集水區之逕流模式(林昭遠, 林鶴儒, & 劉昌文, 2004)，但蒐集其物理因子不易且費時。而近十年使用序率模式模擬水文資料之研究理論越來越多，所需資料容易取得且計算時間快為其優勢，其中傳統序率模式自回歸移動平均模式 (autoregressive moving average model, ARMA)；無母數法之區塊拔靴法(block bootstrapping)、k-近鄰演算法 (k-nearest neighbor) 其相關研究 (Lee, Salas, Prairie, Frevert, & Fulp, 2010) 皆有不錯成果。隱藏馬可夫模式 (hidden Markov model, HMM) 為一序率模式，最早應用於語音辨識 (Rabiner, 1989)、生物信息 (Needleman & Wunsch, 1970) 等相關大量應用並獲得顯著之成果，因其具有強大分析序列的能力，被視為機器學習之發展雛形，因此前人開始使用隱藏馬可夫模式於分析水文資料 (Zucchini & Guttorp, 1991)，研究目標從降雨量 (Greene, Robertson, & Kirshner, 2008; Robertson, Kirshner, & Smyth, 2004)、月流量 (Khadr, 2016) 甚至日流量 (Pender, Patidar, Pender, & Haynes, 2016)。但目前尚無研究使用此序率模式模擬台灣地區流量資料。本文以台灣地區日平均流量為研究目標，從研究理論、狀態數及分布選擇，透過此研究檢視此模式於台灣地區日流量資料之適用性與發展性。

二、理論模式

2.1 隱藏馬可夫模式

隱藏馬可夫模式基本可分為兩個部分：t 時刻的隱藏狀態只與 t-1 時刻隱藏狀態有關 (一階馬可夫鏈)，與之前與未來狀態無關，滿足馬可夫鏈性質；每個狀態對應 N 個觀測值，t 時刻觀測值只與 t 時刻狀態有關，與過去或未來觀測值無關，而且隱藏狀態為不可視，因此具隱藏特性，其示意圖如圖 1 所示。

$$\Pr(C_t | \mathbf{C}^{(t-1)}) = \Pr(C_t | C_{t-1}) \quad (1)$$

$$\Pr(X_t | \mathbf{X}^{(t-1)}, \mathbf{C}^{(t)}) = \Pr(X_t | C_{t-1}) \quad (2)$$

上式 C_t 表示 t 時刻隱藏狀態， X_t 為 t 時刻觀測值。隱藏狀態因其相依性質可寫成 $M \times M$ 轉移機率矩陣 (transition probability matrix)，每列總合機率為 1；式 (2) 可寫成 $M \times N$ 發射機率矩陣 (emission probability matrix)，每列總和機率為 1。上述為離散隱藏馬可夫模式，因河川流量具連續變化之特性，本文使用連續隱藏馬可夫模式，其隱藏狀態對應一個連續分布，對於流量描述將更完整。

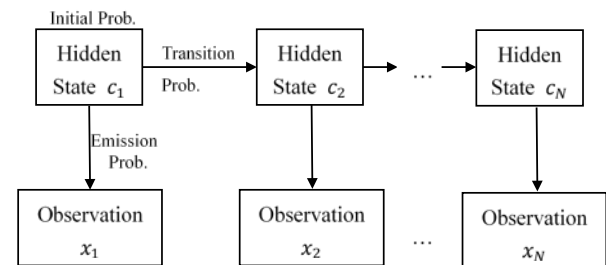


圖 1 隱藏馬可夫模式示意圖

2.2 維特比動態演算法

隱藏馬可夫模式的參數包括初始機率、轉移機率矩陣、狀態對應之分布參數，當計算得到各項參數，其實尚未得到此參數，最有可能發生之狀態路徑，是隱藏馬可夫三大問題之一 (Rabiner, 1989)，可以直覺的帶入所有路徑參數，將所有狀態路徑互相搭配相乘，雖然能得到機率最大之路徑，但當狀態數 M 增加與時間 T 拉長，計算複雜度 $O(M^T)$ 以指數增加，計算效率不彰。因此過去研究提出維特比演算法 (Viterbi Algorithm) (Viterbi, 1967)，為一動態規劃演算法，透過留下機率最高路徑，去除其他低機率路徑，計算複雜度大幅降為 $O(M^2T)$ 。

$$\max P(C_1 \dots C_{t-1}, x_1, x_2 \dots x_t, C_t | \lambda) \quad (3)$$

式中 λ 為隱藏馬可夫模式參數

2.3 分位圖與模式選擇準則

各式檢定樣本分布方式，分位圖 (quantile-quantile plot) 為其中較為視覺的方法，y 軸為實際資料之分位，x 軸為理論分布之分位，當資料符合某一分布時，點將落在 45 度斜直線上，利用此方法檢視流量整體對分布之合適程度，本文將對日流量資料分別檢定 Normal、Lognormal、Gamma、Weibull、Pearson 分布。

選擇隱藏馬可夫隱藏狀態數是個值得討論的問題，通常模型適合度檢驗會使用赤池資訊量準則 (Akaike information criterion, AIC)、貝葉斯資訊準則

(Bayesian Information Criterion, BIC)或交互驗證檢驗，但有研究指出對單一觀測序列交互驗證並不合適 (Celeux & Durand, 2008)，驗證方式較為複雜，因此本文使用 AIC 與 BIC 決定狀態數個數。

$$AIC = 2k - 2\ln(L) \quad (4)$$

$$BIC = \ln(n)k - 2\ln(L) \quad (5)$$

上式 L 表示計算之概似值， n 為樣本數量， k 為參數之個數。兩個模式選擇準則皆加入參數個數為懲罰項，其中 BIC 對樣本數多之懲罰更重，使模式傾向選用更少參數。

三、研究區域

本文從台灣地區北、中、南、東區域各選出一個流域，從該流域選擇日流量長度超過 40 年之測站，日流量紀錄直到最近為佳，以下為選定流域簡介與測站特性，表 1 所列為各測站基本資料。

3.1 淡水河流域

流域總面積 2726 平方公里，主流長度 158.7 公里，包含三大支流：基隆河、新店溪、大漢溪，範圍涵蓋新竹縣、桃園市、新北市、台北市、基隆市、宜蘭市，最終於淡水流入台灣海峽，河床平均坡降 1/122。夏季受到西南氣流及颱風影響，冬季則接受東北季風帶來持續降雨，因此流量無明顯乾季，年平均降雨量 2092 毫米。本文選擇支流基隆河之五堵流量站，日流量資料共 54 年，平均日流量 $25.33 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.2 濁水溪流域

流域總面積 3157 平方公里，主流長度達 187 公里，主要支流有清水溪、霧社溪、塔羅灣溪等，範圍涵蓋雲林縣、嘉義縣、南投縣，匯流合併後於彰化與雲林交界進入台灣海峽，河床平均坡降 1/190。全區氣候可依照降雨特性分成三區：近海區域受到大氣季風影響雨少；中游則呈現夏雨冬乾；靠近山上則冬夏皆有雨，平均年降雨量 2442 毫米，平均溫度 22.7 度。本文選擇支流陳有蘭溪之內茅埔測站，日流量資料共 47 年，平均日流量為 $23.32 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.3 鹽水溪流域

流域總面積 343 平方公里，主流長度 42 公里，主要支流為那拔林溪及虎頭溪，集水區範圍在台南市內，於安南、安平等地流入台灣海峽，河床平均坡降 1/295。雨量受到西南季風與颱風影響而多集中每年五月至九月，豐枯比極度不平衡，年平均降雨量 1650 毫米，年均溫 24 度，流域年蒸發量高。本文使用主流之新市測站，日流量資料共 44 年，平均日流量 $6.11 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.4 秀姑巒溪流域

流域總面積 1780 平方公里，主流全長 81 公里，重要支流有樂樂溪、卓溪、豐坪溪等，集水區位於花蓮縣境內，於豐濱鄉流入太平洋，河床平均坡度 1/34。雨季相對南部更長，從每年五月至十一月，年均降雨量 2700 毫米，月均溫 22.8 度，相對濕度高。本文使用秀姑巒溪之玉里大橋測站，日流量資料共 40 年，平

均日流量 $54.10 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

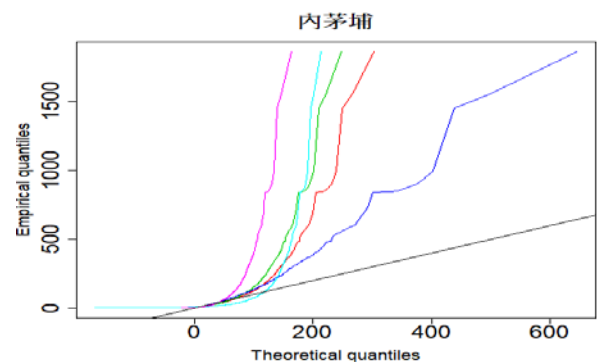
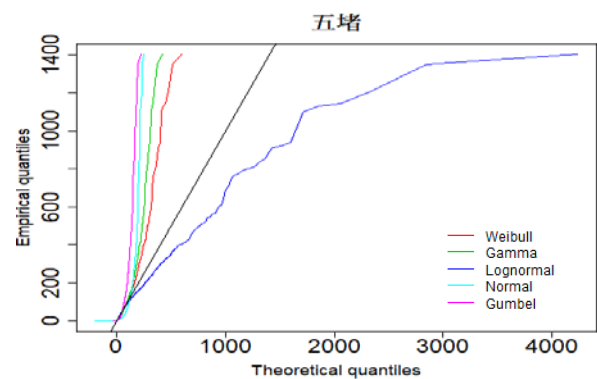
表 1 測站基本資料

| 測站 | 所在支流 | 站號 | 平均日流量(m^3/s) |
|------|------|----------|--------------------------------|
| 五堵 | 基隆河 | H0580660 | 25.33 |
| 內茅埔 | 陳有蘭溪 | H0490250 | 23.32 |
| 新市 | 鹽水溪 | H0060H00 | 6.11 |
| 玉里大橋 | 秀姑巒溪 | H0180H01 | 54.10 |

四、結果與討論

4.1 選擇分布及狀態數

假設流量受到不可視的隱藏狀態影響，選擇隱藏馬可夫模式所使用之連續分布，通常對該研究目標之合適分布有基本了解，如此每個狀態對應一個機率密度分布，計算其發生機率與解釋將較合理，檢視過去相關研究多使用 Normal 分布 (Thyer & Kuczera, 2000; Zucchini & Guttorp, 1991) 或 Gamma 分布 (Bracken, Rajagopalan, & Zagona, 2014)。為了更精準決定機率分布，本文先對日流量樣本進行 Normal(淺藍)、Lognormal(藍)、Gamma(綠)、Weibull(紅)、Gumbel(桃紅) 分布檢定，雖然分布檢定有母數法或無母數法，但本文使用視覺檢定合適分布，更能考量其趨勢及適合度，當畫出的線越接近黑色 45 度線，代表該分布越適合描述此樣本，而因為極端流量為離群值，在圖上與理論分位值相差甚大。圖 2 所示為各流量站不同理論分布與觀測流量之分位圖(Q-Q plot)，考量分布需代表整個流量機率密度，最終四個流量站皆以對數常態分布進行計算。



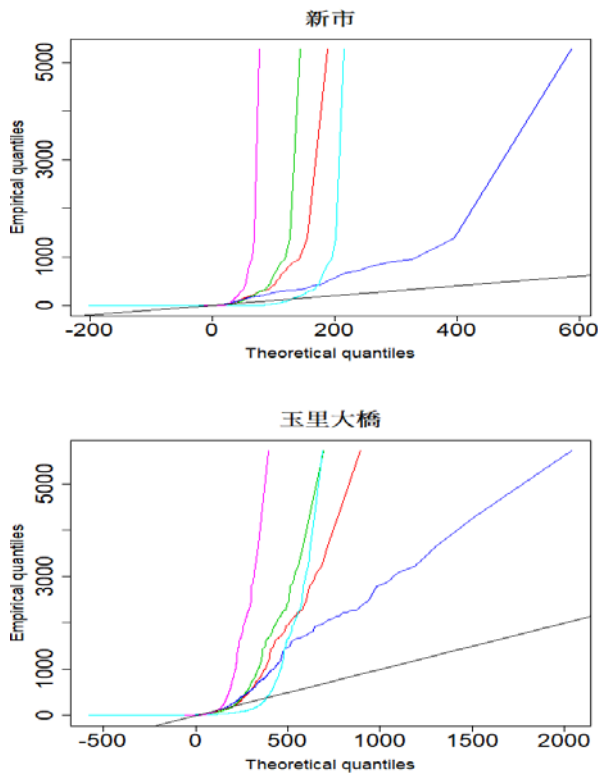


圖 2 各流量站日流量資料理論分布與紀錄之分位圖

利用模式選擇準則提供選擇狀態數之參考，過多狀態數將使模式過度擬合，可能喪失原始序列趨勢與預測能力，研究樣本數較多，對於 BIC 之懲罰項較重，因此本文主要依照 BIC 作為判斷，輔以 AIC 決策，經過檢定發現各流量站之狀態數皆大於十個，相比其他研究 Pender et al. (2016) 事先將流量分組，雖然與本文類似分成十組以上，但出發點與結果可能不盡相同。隱藏狀態是不可視，透過計算結果從氣候觀點解釋隱藏狀態 Bracken et al. (2014)，狀態數越多讓流量分類越細，也因模式以統計特性計算而缺乏物理參數失去明確解釋之能力。表 2 所列為本文選擇四流量站之隱藏馬可夫模式狀態數與對應之 AIC 及 BIC 值。

表 2 狀態數及模式選擇準則

| 測站 | 年數 | 狀態數 | AIC | BIC |
|------|----|-----|-----------|-----------|
| 五堵 | 54 | 13 | 29583.26 | 31113.22 |
| 內茅埔 | 47 | 14 | -12958.40 | -11229.99 |
| 新市 | 44 | 15 | 12900.67 | 14850.11 |
| 玉里大橋 | 40 | 15 | -4894.87 | -2960.88 |

4.2 狀態對應流量

Akintug and Rasmussen (2005) 比較 ARMA 及隱藏馬可夫模式之相似性，並分析得到其模式可用於自相關性高之資料。圖 3 所示為各流量站 2020 年日流量序列及對應之狀態圖，本文從解碼後的結果發現，北部日流量狀態變化快速，其自相關性較低；南部日流量狀態有明顯持續時間，其自相關性高，也就是台灣

河川流量能用轉移機率矩陣充分表示，當對角線機率值越大，狀態持續時間可能越長。

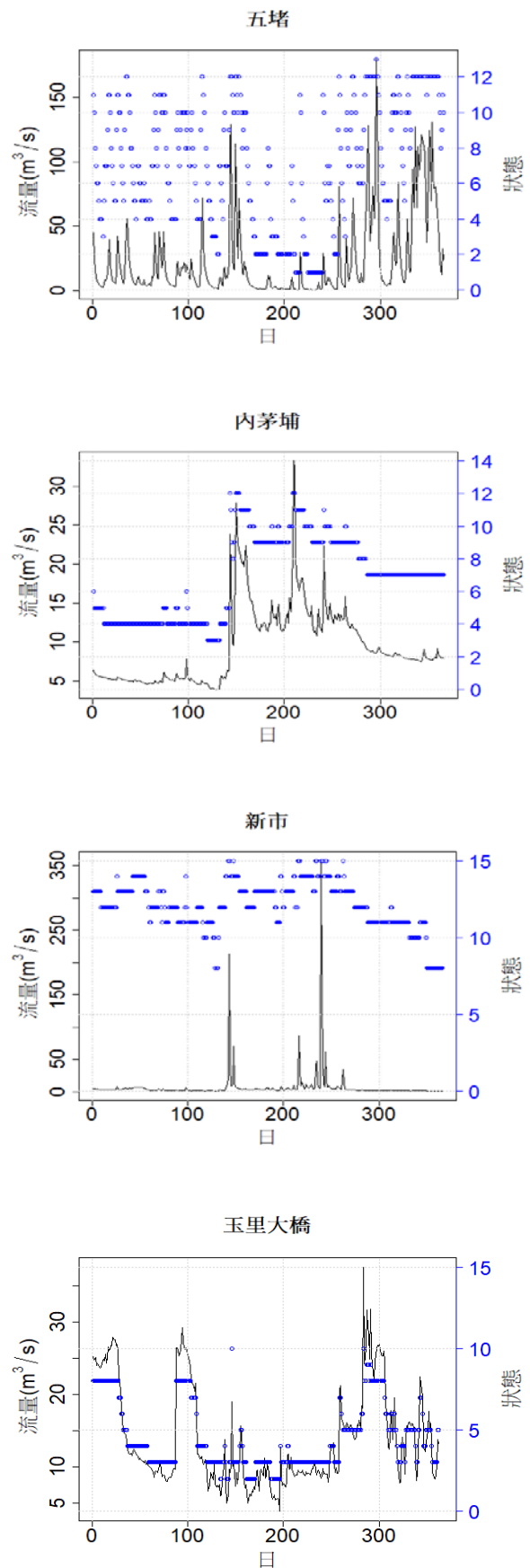


圖 3 各流量站 2020 年日流量序列及對應狀態圖

4.3 序率模擬及驗證

透過維特比演算法算出最有可能發生的狀態路徑，找出日流量受控制之狀態，由上方結果可以知道狀態對流量之影響是直接有效。隱藏馬可夫模式其隱藏狀態符合馬可夫鏈特性，具遍歷性序率過程，加上觀測值的序率特性，因此亦稱為雙重序率過程，為了驗證控制狀態之轉移機率，及選用分布之合適性。首先確認初始狀態，由轉移矩陣序率產生與資料長度相等之狀態，從該對應機率分布隨機產生模擬流量，重複以上步驟 50 次且以不同顏色線條表示，如圖 4 所示為各流量站模擬流量機率分布與觀測流量機率分布比較圖，其中組體圖為觀測流量，結果顯示流量機率非常接近，也代表轉移機率矩陣較能抓住狀態間變化。其中五堵流量站使用最少之狀態，但模擬出來之結果最為緊湊，呈現集中狀態，相比南部及東部因強烈豐枯不均，使的模擬結果較為分散，但大致趨勢與歷史資料相同。造成模擬結果差異可能來自轉移機率矩陣，對於自相關性較低之北部流量站較能描述其狀態變化，對比南部需考慮更多因素，使模擬結果更為接近歷史資料。

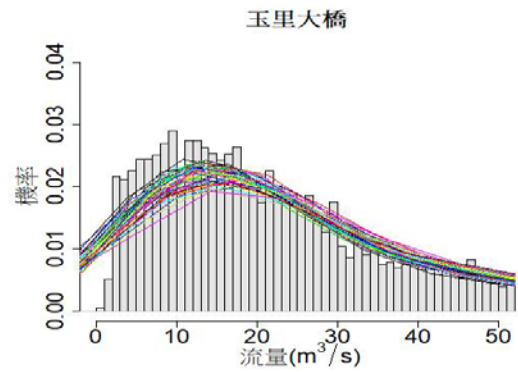
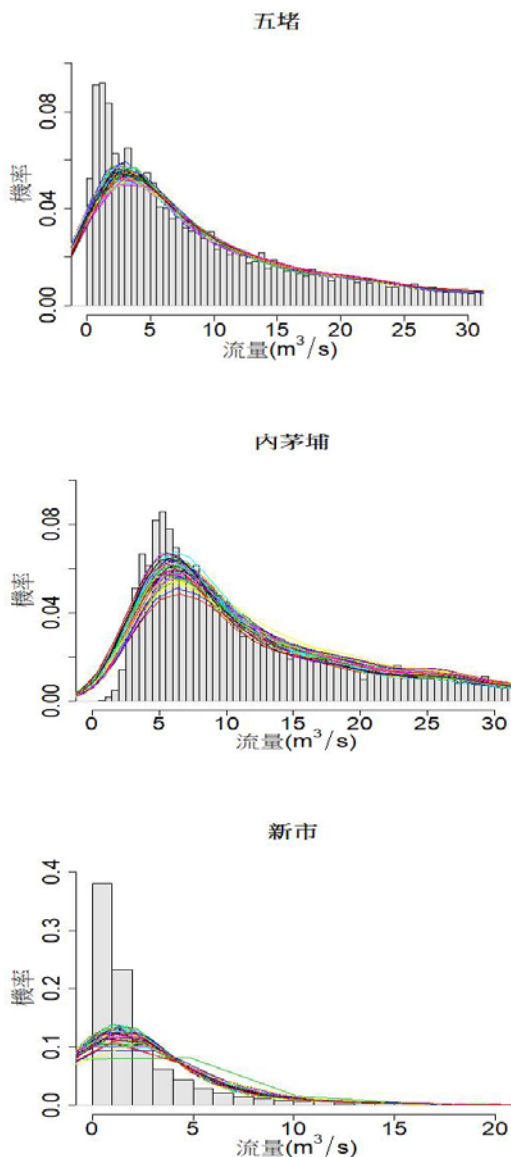


圖 4 各流量站序率模擬流量機率分布圖

五、結論

國外許多研究已使用隱藏馬可夫模式做眾多研究，透過本文分析台灣地區不同河川日流量序列，探討隱藏狀態個數選擇，一直以來都有不同做法，也不斷改善；過去研究多使用 Normal 或 Gamma 分布，本文利用分位圖檢定符合樣本特性之分布，因此使用 Lognormal 分布。模式大致底定，藉由計算所得參數進行序率模擬各河川日流量，可以看到南部河川具有強烈自相關性，使得轉移機率無法完全模擬其變化特性，相對北部所產生流量之機率更貼近歷史資料，顯示此模式可能較適合低自相關性。總結初步分析台灣河川特性及隱藏馬可夫模式適用性，並提供未來研究之參考方向。

謝誌

本研究承科技部經費補助(MOST 110-2221-E-006-060)，特此表示謝忱。

參考文獻

1. Akintug, B., & Rasmussen, P. (2005). A Markov switching model for annual hydrologic time series. *Water Resources Research*, 41(9).
2. Bracken, C., Rajagopalan, B., & Zagona, E. (2014). A hidden Markov model combined with climate indices for multidecadal streamflow simulation. *Water Resources Research*, 50(10), 7836-7846.
3. Celeux, G., & Durand, J.-B. (2008). Selecting hidden Markov model state number with cross-validated likelihood. *Computational Statistics*, 23(4), 541-564.
4. Cosgrove, W. J., & Loucks, D. P. (2015). Water management: Current and future challenges and research directions. *Water Resources Research*, 51(6), 4823-4839.
5. Greene, A. M., Robertson, A. W., & Kirshner, S. (2008). Analysis of Indian monsoon daily rainfall on subseasonal to multidecadal time-scales using a hidden Markov model. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography*, 134(633), 875-887.

6. Khadr, M. (2016). Forecasting of meteorological drought using Hidden Markov Model (case study: The upper Blue Nile river basin, Ethiopia). *Ain Shams Engineering Journal*, 7(1), 47-56.
7. Lee, T.-S., Salas, J. D., Prairie, J. R., Frevert, D., & Fulp, T. (2010). Stochastic simulation models with non-parametric approaches: Case study for the Colorado River basin. *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference*, 283-287.
8. Needleman, S. B., & Wunsch, C. D. (1970). A general method applicable to the search for similarities in the amino acid sequence of two proteins. *Journal of molecular biology*, 48(3), 443-453.
9. Pender, D., Patidar, S., Pender, G., & Haynes, H. (2016). Stochastic simulation of daily streamflow sequences using a hidden Markov model. *Hydrology Research*, 47(1), 75-88.
10. Rabiner, L. R. (1989). A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition. *Proceedings of the IEEE*, 77(2), 257-286.
11. Robertson, A. W., Kirshner, S., & Smyth, P. (2004). Downscaling of daily rainfall occurrence over northeast Brazil using a hidden Markov model. *Journal of climate*, 17(22), 4407-4424.
12. Thyer, M., & Kuczera, G. (2000). Modeling long-term persistence in hydroclimatic time series using a hidden state Markov Model. *Water Resources Research*, 36(11), 3301-3310.
13. Viterbi, A. (1967). Error bounds for convolutional codes and an asymptotically optimum decoding algorithm. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(2), 260-269.
14. Zucchini, W., & Guttorp, P. (1991). A hidden Markov model for space-time precipitation. *Water Resources Research*, 27(8), 1917-1923.
15. 林昭遠、林鶴儒、劉昌文(2004)陳有蘭溪集水區降雨-逕流模式動態分析系統建置之研究，水土保持學報第 36 卷第 3 期，頁 243-258。

納管農業水井以電管理之政策規劃

葛武松¹ 林育如² 黃詩評² 吳佳蓉³ 宋長虹^{4*}

1. 經濟部水利署南區水資源局課長
2. 經濟部水利署水利行政組副工程司
3. 經濟部水利署水利行政組助理工程司
4. 亞磊數研工程顧問有限公司總經理

* 通訊作者，Email: ureysong@gmail.com

摘要

「雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫」完成後針對雲彰地區 22 萬多口納管農業水井按既有水權登記制度辦理水權登記，實務上困難甚大。為積極管理，除對有意願者或水井更新者輔導農民取得水權，其他尚未取得水權農業水井先採以電管理柔性勸導方案進行管理，水利署研擬「納管水井輔導管理作業原則(草案)」提供雲彰二縣府參考辦理，以符合行政院 100 年核定「雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫」灌溉水井，採減少誘因、增加阻力之方式，軟性地勸導將水井封填政策方向。

關鍵字：農業水井、納管、以電管理

Policy Planning for the Management of Registered Agricultural Wells by Electricity Consumption

Wu-Song Ge¹ Yu-Ru Lin² Shin-Ping Huang^{2*} Jia-Rong Wu³ Chung-Hong Song^{4*}

1. Chief, Southern Region Water Resources Office, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs
2. Associate Engineer, Water Administration Division, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs
3. Assistant Engineer, Water Administration Division, Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs
4. General Manager, Tristones Engineering Solutions, Ltd.

* Corresponding Author, Email: ureysong@gmail.com

After the completion of the "Specific Solution and Action Plan for Land Subsidence in the Yunlin & Changhua Area", the water right licensing for more than 220,000 registered agricultural wells in Yunlin and Changhua according to the existing water rights registration system is rather difficult in practice. In addition to assisting agricultural workers who are willing to apply for water rights or renewals, the Water Resources Agency (WRA) chose to manage other unlicensed agricultural wells with a more flexible persuasion program – "Management by Electricity Consumption" for active well management. The WRA provided the Yunlin and Changhua Governments with "Principles for the Guidance and Management of Managed Water Wells for Yunlin & Changhua Area (Draft)" to meet the "Concrete Solution and Action Plan for Land Subsidence in Yunlin & Changhua Area" approved by the Executive Yuan in 2011, aiming to gently persuade well owner to seal their well by reducing incentives and increasing resistance.

Keywords: agricultural well, well registration, management by electricity consumption

一、前言

台灣地區係藉由《水利法》及其施行細則，以及《地下水管制辦法》等相關法令之規定構建著地下水資源開發運用及水井管理之架構體系；盱衡水利法規建構之管理架構，地下水資源及水井管理，係採公有財概念，以水權為運作核心，輔以量水設備(水表或獨立電表)之計量管理，配合地下水水位監測及地層下陷檢測與地下水水情燈號(綠燈、黃燈、橙燈與紅燈)之分析操作，採以地下水管制區劃設公告方式進行管制區內水井管理，縮限水井抽水行為。然此行政作為受限於民眾對於水權管理意涵之瞭解與長期累積之地下水為天然資源依附於其所有土地之私權觀念，違規使用狀況普遍；兼以監控計量設備安裝等客觀要件未臻成熟，且擅行取水裁罰多採被動管理方式，肇致水權登記情形與實際水井數量間存在明顯落差，未依法登記水權之違法水井普遍存在。

民國 99 年 5 月 24 日經濟部地層下陷防治推動委員會第 6 次會議原確立違法水井處置架構，其處置原則為：(1)地下水管制區內新增違法水井採即查即填，(2)既有違法水井依存在樣態分類分期填塞；概括言之，第 6 次會議認係違法水井填塞為唯一處置方式。而至民國 100 年 8 月 16 日行政院核定「雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫」(100~109 年)；揭槩雲彰地區為數近 20 萬口未合法登記水井實已與當地產業活動緊密結合之環境背景，倘執意依法查處填塞，勢同斷絕其水源，產業、生計將遭受重大衝擊，並且容易因產業發展需求模糊絕大多數水井未依法登記及地下水超量抽用等問題焦點，讓關鍵抽水者隱身未能浮出檯面而遲遲無法對症下藥。故為澈底解決地層下陷衍生國土保安及公共建設安全營運問題，期突破此無法確切掌握水井及其用水情形，致未能確實改善水資源癥結問題之困境，爰於規劃之具體解決措施架構下研訂「加強管理」，防治層面項下訂定「水井管理」工作項目，務實地銜諸前述雲彰地區水井存在之環境背景，為防貿然依法封填，增加計畫執行之阻力，採先進行水井清查，並予以分類、分級；對地層下陷影響潛勢較輕微之灌溉水井，採減少誘因、降低阻力之方式，軟性地勸導民眾將水井封填；對地層下陷影響潛勢較高之工業、民生水井，終極目標為全面強制納管；全面建置自來水供應系統，並配合修法，於自來水系統建置完成後，強制檢查封填。

換言之，「雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫」茲先進行各標的水井清查，再予以分類、分級，再依環境敏感程度及替代水源取得條件，規劃管理、管制計畫，循序納管或處置，以兼產業用水需求、民眾生計，並顧及地下水水資源保育條件，逐步降減地下水超量抽用對地層下陷之負面效應；亦即健全水井管理策略改以條件納管取代唯一填塞方式處理。基此，彰雲二縣茲依申報納管、水井複查、輔導合法及回歸法制之進程(請參見圖 1 所示)辦理未合法登記之

既有水井管理作業。其中，係以二年為期，全面重新清查雲彰地區水井申請納管(依用途別、井深、抽水量分別調查)，並訂定民生、工業水井於自來水系統建置前之短期措施。另為確立既有水井之定義，茲以經濟部民國 99 年 8 月 4 日訂定「經濟部補助地方政府辦理獎勵檢舉新增違法水井作業要點」，以該行政規則生效日作為新增或既有未經核准鑿井引水之判斷時點。另，經濟部配合既有未登記水井申報納管政策修訂《水利法》、《水利法施行細則》、《地下水管制辦法》等，除令雲彰地區得依進程推動外，其他縣市亦得據以實施。

基此，雲林縣及彰化縣於民國 101 年至 102 年辦理既有水井納管申報作業，於 103 年至 105 年完全納管水井複查作業，於 106 年起辦理納管水井輔導合法作業，至 109 年完成民生用水井及工業用水井之輔導合法作業；宜蘭縣則於 105 年起辦理水井納管申報及複查作業，107 年起辦理輔導合法作業；台中市及高雄市均於 106 年起辦理既有水井納管申報，現辦理複查作業中；屏東縣則以合法登記之畜牧業及工廠為對象辦理水井輔導合法作業；台北市則於 108 年 10 月公告辦理既有水井納管申報作業，唯迄截止期限，無申報案件；而嘉義縣則銜諸縣境高鐵沿線地層下陷面積之變化情形，109 年度優先針對六腳鄉及高鐵沿線鄉鎮(新港鄉、太保市、鹿草鄉)重新調查地下水管制區內違法水井數量，110 年度辦理縣境內合法畜牧業既有水井納管作業。

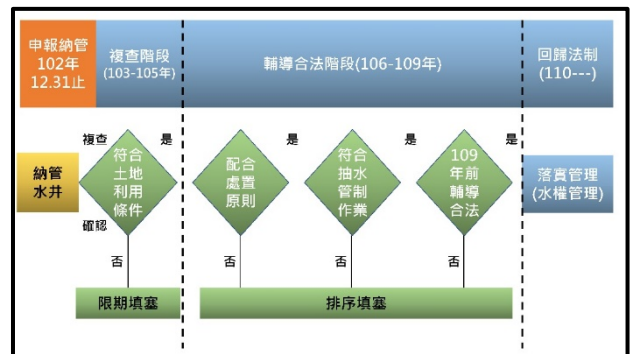


圖 1 雲彰地區水井申報納管分階段作業說明圖

二、農業納管水井輔導概況

水利署前努力督同縣府自 106 年起推動各納管農業水井按既有水權登記制度辦理水權登記，惟實務上面對 22 萬多口水井數量龐大、行政量能難以負荷、民眾反彈水權登記規費、應備文件繁多..等困難甚大。現況雲彰二縣府除採民眾有意願者主動申辦外，水利署為減少推動困難已研議相關政策辦理：(1)解決農民規費負擔，(2)農業灌溉井擬推動以電管理方案，茲分述研擬推動解決農民規費負擔及以電管理方案二項成果如后。

(一) 解決農民規費負擔

依《水利法》規定水井鑽鑿、管理均屬地方政府權責。申請人於水權登記時依繳納行政規費給地方政府納入公庫。水權行政規費係為核辦水權相關審查、履勘及核給權狀等行政成本費用(如同辦理護照、牌照收取行政規費)。於申請時繳納，於水權有效期間並無需再繳交。雲林及彰化縣政府前為考量照顧農民，採用編列預算補貼(屬地方行政裁量)，不收取水權規費。為減輕農民負擔，照顧農民生計，水利署推動對納管農業水井水權規費減免收修訂法規處理如下：

1. 民國 107 年 10 月 18 日完成修訂《水權登記收費標準》增訂第 8 條之 1：為地下水保育及地層下陷防治，政府推動既有未登記水井納管計畫，透過中央專案補助地方政府，以鼓勵民眾配合政策申報水井納管，惟考量農民於經濟上較為弱勢，為減輕其負擔，故對於配合政府地下水保育、地層下陷防治辦理水井納管計畫之農民，主管機關於辦理農民申報、複查等前置作業後，已取得水權登記或辦理履勘所需相關資料者，後續於農民申請水權登記時，主管機關基於簡政便民及其行政成本已有減少，得依其所減少之登記費用或履勘行政成本調整登記費及履勘費，爰增訂第 8 條之 1 規定(農民配合主管機關公告辦理既有未登記水井納管作業規完成申報並配合完成複查作業，於作業期限內申請農業用水水權登記時，主管機關得依附表收費基準計徵登記費及履勘費並將執行結果報中央主管機關備查)，自民國 108 年 1 月 1 日起實施。意即針對辦理水井納管計畫之農民，水權取得規費由 2,700 元，得免收登記費 1,200 元及履勘費 1,000 元，減為僅收權狀費 500 元。(縣府已編列預算補貼，亦免繳水權狀費。)
2. 民國 109 年 10 月 19 日發布修訂《水權登記收費標準》第八條以及刪除第八條之一，修訂條文為第八條「申請用水標的為農業用水之水權登記案，主管機關得免收第二條各款所定費用」；第八條之一規定刪除。全面免收農業水井水權登記規費。

表 1 水權登記收費標準第八條、第八條之一修正條文對照表

| 修正條文 | 現行條文 | 說明 | | | | | | | | | | | | |
|--|---|---|--|--------------------|----------------|---------------------|----------|-----------------|---|------------------|--|--------|--------|--|
| 第八條申請用水標的為農業用水之水權登記案，主管機關得免收第二條各款所定費用。 | 第八條為減輕農民負擔，農民申請用水標的為農業用水之水權展限登記案，主管機關得免收登記費。 | 為因應政府推動農用水井納管政策，以避地層下陷，保全有限水土資源，確保淹水改善及高遠鐵路安全；另為照顧弱勢農民、因應氣候激烈變遷及免於從事農業人口老化威脅等事項，涉及國土與糧食安全，影響及於全國各縣市，具有公共利益性質，爰修正本條，依據規費法第十三條第三款，基於公共利益考量，對用水標的屬農業用水之水權登記申請人(含自然人、法人機關或團體等)，主管機關得免收本標準第二條各款所定規費。 | | | | | | | | | | | | |
| 第八條之一(刪除) | 第八條之一農民配合主管機關公告辦理既有未登記水井納管作業規定完成申報並配合完成複查作業，於作業期限內申請農業用水水權登記時，主管機關得依附表收費基準計徵登記費及履勘費，並將執行結果報中央主管機關備查。前項規定，自中華民國一百零八年一月一日起施行。 | 一、本條刪除。 二、配合前條修正為得免收本標準第二條各款所定規費，對於納管農業水井另定收費基準已無必要，爰刪除本條規定。 | | | | | | | | | | | | |
| | 附表 農民水井納管申請農業用水水權登記費及履勘費收費基準 | 配合第八條之一刪除，爰刪除附表。 | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">水權登記費</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>經水井納管複查已取得水權登記相關資料</td> <td>減收或免收</td> </tr> <tr> <td>經水井納管複查尚未取得水權登記相關資料</td> <td>新臺幣一千二百元</td> </tr> </tbody> </table> | 水權登記費 | | 經水井納管複查已取得水權登記相關資料 | 減收或免收 | 經水井納管複查尚未取得水權登記相關資料 | 新臺幣一千二百元 | | | | | | | |
| 水權登記費 | | | | | | | | | | | | | | |
| 經水井納管複查已取得水權登記相關資料 | 減收或免收 | | | | | | | | | | | | | |
| 經水井納管複查尚未取得水權登記相關資料 | 新臺幣一千二百元 | | | | | | | | | | | | | |
| | <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">水權登記費</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>經水井納管複查已辦理水權履勘</td> <td>減收或免收</td> <td></td> </tr> <tr> <td>經水井納管複查尚未辦理水權履勘</td> <td>臺北市府、基隆市政府、新竹市政府、嘉義市政府、及離島地區(澎湖縣政府、金門縣政府、連江縣政府)</td> <td>左列以外之各直轄市、縣(市)政府</td> </tr> <tr> <td></td> <td>新臺幣五百元</td> <td>新臺幣一千元</td> </tr> </tbody> </table> | 水權登記費 | | | 經水井納管複查已辦理水權履勘 | 減收或免收 | | 經水井納管複查尚未辦理水權履勘 | 臺北市府、基隆市政府、新竹市政府、嘉義市政府、及離島地區(澎湖縣政府、金門縣政府、連江縣政府) | 左列以外之各直轄市、縣(市)政府 | | 新臺幣五百元 | 新臺幣一千元 | |
| 水權登記費 | | | | | | | | | | | | | | |
| 經水井納管複查已辦理水權履勘 | 減收或免收 | | | | | | | | | | | | | |
| 經水井納管複查尚未辦理水權履勘 | 臺北市府、基隆市政府、新竹市政府、嘉義市政府、及離島地區(澎湖縣政府、金門縣政府、連江縣政府) | 左列以外之各直轄市、縣(市)政府 | | | | | | | | | | | | |
| | 新臺幣五百元 | 新臺幣一千元 | | | | | | | | | | | | |

(二) 研擬推動以電管理方案

對後續納管農業水井除針對有意願者或水井更新者輔導農民取得水權，其他尚未取得水權農業水井亦應納入管理，衡諸完成複查之農業水井皆已掌握其抽水設備使用市電之電表電號，主管機關可據以向台電購買此電號之用電資料；而水井抽水量與耗用電量呈現正相關性，可以用電量變化評析其抽水量是否增加；基此，採以電管理柔性勸導方案進行管理，水利署茲研擬「納管水井輔導管理作業原則(草案)」(請參見三之說明)提供雲彰二縣府參考辦理，以符合行政院 100 年核定「雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫」灌溉水井政策方向。

三、以電管理原則與輔導對象分析

3.1 以電管理指標

水利署為協助雲林縣政府及彰化縣政府依據「雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫」執行其境

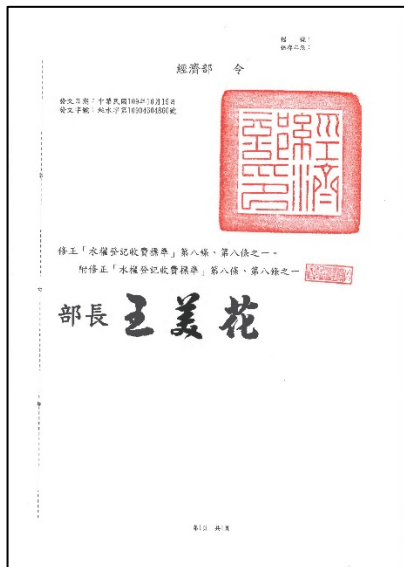


圖 2 水權登記收費標準第八條、第八條之一修正發布令

內納管水井輔導管理，以健全水井管理機制，茲研擬訂定「納管水井輔導管理作業原則(草案)」(以下簡稱輔導管理作業原則草案)供主管機關參考。水利署研擬之輔導管理作業原則草案，係銜諸農業灌溉水井允以獨立電表作為計量設備，乃基於水井抽水所耗電量與其抽水量具正相關性，然複查作業未辦理各灌溉水井之水電比(即每度電量之抽水量比值)試驗，無法以電量推計水井抽水量，故其管理採以水井使用電量為指標。基此，輔導管理作業原則草案茲研訂二管理指標參數，一為「用電參考度數」，二為「用電管理度數」，茲說明其意含如后。

(一) 「用電參考度數」：係指個別水井當年度前十年實際年用電度數之平均值，新年度更新之用電參考度數不得高於前一期用電參考度數，以期逐步降低各水井用電量及地下水使用；基本上，訂定用電參考度數主要目的係提供抽水行為人可藉參考電量值掌握其抽水是否超逾管理目標值；用電參考度數訂採滾動管理概念，茲考量水文循環周期以十年為統計基期，以基期平均用電量給定之(即初以不超逾基期平均抽水量為管理目標值)，新年度更新之用電參考度數不得高於前一期用電參考度數，以期逐步降低各水井用電量及地下水使用量。

(二) 「用電管理度數」：係個別水井用電參考度數加上三倍前十年實際年用電度數之標準偏差，且小於等於前十年實際年用電度數之最大值。即作為輔導管理各目標水井之度數。用電參考度數主要目的係提供主管機關篩選需納入輔導對象之作業原則；採三倍標準偏差除考量品質管理三倍標準差定律(three sigma rule)概念(以三倍標準差作為品質管制界限最符合經濟原則)外，亦銜酌地方政府辦理輔導作業之執行量能之建議值。

3.2 管理對象

銜諸彰化縣及雲林縣申報納管複查完成具電表電號之水井數分別為 125,941 口及 116,769 口，為期掌握關鍵對象加強管理，茲訂定(一)主要目標區域：位於第一級地下水管制區且位於高鐵沿線兩側各一點五公里(含)範圍內及(二)次要目標區域：位於第一級地下水管制區且位於高鐵沿線兩側各一點五公里範圍外。而加強管理之目標水井為主要目標區域內所有裝置電表之農業水井及次要目標區域內裝置電表之農業深井。主要目標區域：位於第一級地下水管制區且位於高鐵沿線兩側各一點五公里(含)範圍內。目標水井每年度將由水利署協助篩選並提供主管機關作後續管理。

3.3 管理步驟

1. 前一年度用電度數超逾用電管理度數且未曾受輔導之水井，進行第一次輔導，以書面宣導通知單提醒(養殖及畜牧得結合縣府農政單位意見研擬)。
2. 前一年度用電度數超逾用電管理度數且曾接受第

一次輔導之水井，進行第二次輔導，現場勘查及紀錄，並提供改善建議。

3. 前一年度用電度數超逾用電管理度數且曾接受第二次輔導之水井，進行第三次輔導，輔導方案先提報各縣市政府地層下陷防治推動小組會議討論確定，由縣政府水利及農政單位聯合現場勘查及紀錄，完成單井水電比率定，並輔導改善。
4. 列為各次輔導之水井均請縣政府水利單位轉知農政單位輔導產業調整轉型，以降低抽水量。

3.4 輔導對象

為提供雲林彰化二縣政府依輔導管理作業原則(草案)篩選 110 年度需辦理第一次輔導之對象，茲依據納管水井複查資料篩分主要目標區域(位於第一級地下水管制區且位於高鐵沿線兩側 1.5 公里(含)範圍內)及次要目標區域(位於第一級地下水管制區且位於高鐵沿線兩側各 1.5 公里範圍外)之目標水井，並統計目標水井數量。以民國 98 年 7 月 1 日至 108 年 6 月 30 日十年之用電量資料進行用電參考度數及用電管理度數之統計分析，以 108 年 7 月 1 日至 109 年 6 月 30 日之用電量資料依輔導管理原則進行篩選，110 年雲林縣需辦理第 1 次輔導之目標水井數為 1,805 口，彰化縣需辦理第 1 次輔導之目標水井數為 359 口，其位置分佈請參見圖 3 至圖 4 所示。其中，雲林縣以電管理需第 1 次輔導之目標水井數量以元長鄉、土庫鎮、虎尾鎮為其前三名，分別有 427、354、331 口，均位於地層下陷顯著地區。而彰化縣則以溪州鄉 241 口為最，埤頭鄉 78 口次之，再次為大城鄉及芳苑鄉之 18 口及 11 口。

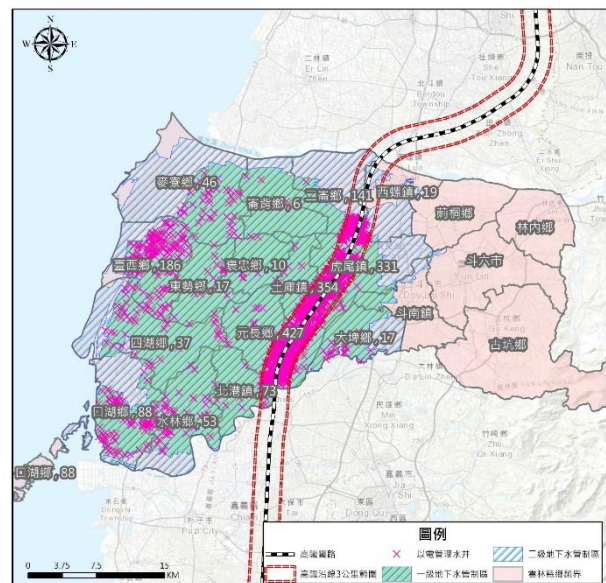


圖 3 民國 110 年雲林縣需辦理第 1 次輔導之目標水井分佈圖

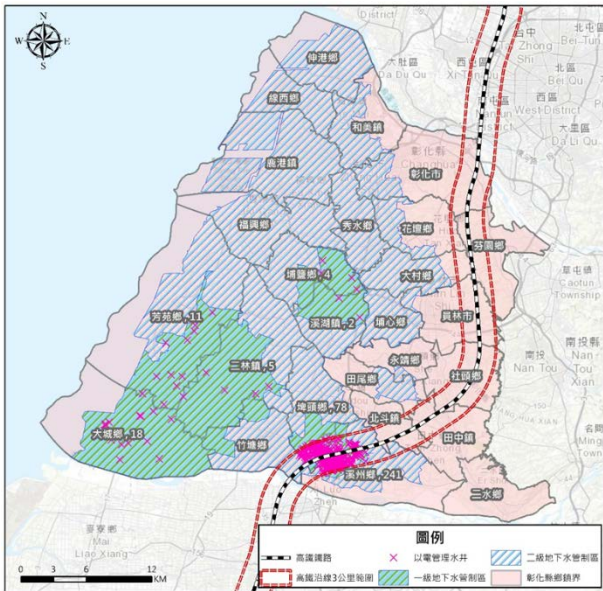


圖 4 民國 110 年彰化縣需辦理第 1 次輔導之目標水井分佈圖

四、結論與建議

4.1 結論

推動「納管水井輔導管理作業原則(草案)」其效益概為：

- 務實衡諸獨立電表計量特性採以電管理方式，訂定管理參數，一為用電參考度數提供納管農業灌溉水井用水行為人參考以使用電量管理其抽水量；二為用電管理度數提供主管機關篩選輔導對象進行產業用水行為改善，以落實地下水保育及地層下陷防治政策目標。
- 衡諸主管機關人力及資源，以目標區域內之目標水井為管理目標，加強管理，以符合品質管理三倍標準差定律(three sigma rule)概念，篩選掌握主要輔導對象，各次輔導之水井均請縣政府水利單位轉知農政單位輔導產業調整轉型，以降低抽水量。
- 主管機關，得本權責審酌轄區產業發展、水資源及水井條件等狀況，就地下水保育、地層下陷防治之需要，適當修正調整原則及納管水井輔導管理作法，在達成政策目標前提下，具因地制宜彈性修正之務實機制。

4.2 建議

水井納管為健全水井管理，合理使用地下水資源之基礎工作，未來水井管理檢討方向初步建議如下：

- 納管農業水井未輔導合法前暫依「納管水井輔導管理作業原則(草案)」(以電管理)進行輔導管理，依逐年輔導情形採滾動式檢討調整之。此外，加強各標的水井抽水用電量統計及其與產業規模、降雨條件、地下水水位變化及地層下陷關聯性分析，探討研擬建立地層下陷治之先期管理指標可行性。

- 位於自來水可及地區供水量可滿足需求時，納管工業及民生水井應衡諸異常乾旱時期區域供水角色定位，評量建立乾旱調配調度功能，檢討封填(或封停)水井排序原則(如有申報未進入複查、有複查未申請輔導合法、高鐵沿線 3 公里範圍內、第 1 級地下水管制區、顯著下陷地區、產業群落重要性等因子)。
- 協助縣市政府研訂未登記水井納管及違法水井處置計畫，研擬納管後容許存在條件及後續管理作為、不需存在水井排序填塞作法、執行期程規劃與經費籌措方式等內容。
- 納管水井政策可衡諸產業永水特性及其鑿井數量規模，以及考量政府推動之政策配合(如漁電共生太陽能發電計畫)等因素進行調整，採分類專案方式(如以養殖漁業列為納管水井之計畫目標)逐步推動。
- 納管水井輔導合法其水權狀展限課題應衡諸地方政府人力與財政條件、展限數量、法令規定及管理目的與目標務實進行檢討。
- 地層下陷防治工作，水井管理是最後端工作，仍須以上位端之產業制度調整、及水資源開發調度等先行著手，水井配合管理，以達地下水保育、地層下陷防治整體效益。

參考文獻

- 「地下水保育管理暨地層下陷防治第 2 期計畫(104-109 年)」，經濟部水利署，民國 104 年。
- 「地下水保育管理暨地層下陷防治第 3 期計畫(110-113 年)」，經濟部水利署，民國 109 年。
- 「雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫」，經濟部水利署，民國 100 年。
- 「雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫第二期(110-115 年)」，經濟部水利署，民國 109 年。
- 「108 年度水井管理實務推動計畫」成果報告，經濟部水利署，民國 108 年。

2020 年至 2021 年乾旱期間水資源管理策略-以石門水庫為例

翁琬晴^{1*}

1. 經濟部水利署北區水資源局工程員

* 通訊作者, Email: wanching@wanb.gov.tw

摘要

臺灣本島受限地理及氣候特性，河川坡度陡且水資源利用率偏低，近年產業型態的改變，用水需求日益增加，面對全球氣候變遷，除了長期水資源規劃外，緊急抗旱水源開發及靈活且彈性的水資源調配更顯得重要。以去（2020）年為例，無颱風侵台致使豐水期間（每年 5 月至 10 月）累積降雨量僅歷年平均 56%，缺少大量雨水挹注下，石門水庫蓄水量節節下降，於是同年 9 月成立旱災緊急應變小組因應嚴峻水情，隨著颱風季節結束，迫使抽穗前公告二期稻作停灌。時序進入枯水期（每年 11 月至翌年 4 月），經氣象條件及未來用水需求綜合考量下，今（2021）年一期作除了桃園第三灌區外，其餘灌區均公告停灌，然而今年春雨偏少且梅雨遲到，水情更趨嚴峻，抗旱期間各相關用水機關（單位）除了半日監看水情、日日管控水庫出水總量、旬旬檢討供配水措施，透過開鑿地下水、埤塘水源、河川水源抽取灌溉、海淡水及再生水等多元水源運用，並透過精緻水管理於有效水量內調度供配下以迎接梅雨到來解除旱象。

本文以石門水庫供水地區（含受、支援）為例，分析用水成長及降雨異常下，記錄及探討本次抗旱期間水源之開源、調度、備援及節流措施與經驗並予以改進，冀期提供未來水資源管理決策參考及相關單位建置石門水庫供水轄區之供配水模式情境設定之分析案例。

關鍵字：石門水庫、水源調度

Water resource management strategies in 2020-2021 drought-Shihmen reservoir

Wan-Ching Weng^{1*}

1. Assistant Engineer, Northern Region Water Resources Office. Water Resources Agency Ministry Economic Affairs.

* Corresponding Author, Email: wanching@wanb.gov.tw

Abstract

In Taiwan, the geography and climate characteristic lead to the steep river slope and low water resource utilization. In recent year, the changes of industry pattern give as a result in increasing demand of water use. Due to global climate change, water development for drought resistance was as emergency reserved and flexible water allocation are more important than a-long-period planning of water resource. Take 2020 for example, since no typhoons made landfall in Taiwan, the accumulated precipitation was 56% of average year during wet period. The drought emergency response center was established in September and announced irrigation curb from Oct. 14th. According to the weather forecast and water demand, the third division of Taoyuan irrigation area would be allowed to irrigate. Under the influence of the El Nino effect, the government managed and control daily amount of outflow from reservoir and must ease the water shortage

through transferring water for north to south, desalinating seawater, recycling water, activating drought wells and irrigating by rivers and ponds. Expect that the strategies within drought could be the decision reference.

Keywords: Shihmen reservoir, water allocation

一、前言

近年桃園及新竹地區因產業發展快速、政府極力招商引資促成台商回流及企業根留臺灣，整體產業用水需求量增加，目前北北基桃竹水源調配均優先使用河川天然流量，另透過自來水公司加壓站改善工程及備援管線工程執行北水南送，北區水資源運用及調度儼然成為生命共同體。因應桃園及新竹地區用水量成長，石門水庫供水範圍及支援新竹地區水量勢必增加，即使大漢溪水源利用率已接近六成，但近年受氣候變遷影響，降雨集中愈趨明顯，對於每年運用次數高達4次的石門水庫而言，肩負的供水壓力逐年攀升。

繼2002~2004年乾旱以來，石門水庫於2009年、2014~2015年亦經歷水情嚴峻的枯旱事件，顯見極端氣候週期漸短，尤以2020年無颱風侵臺，致使豐水期間（每年5月至10月）石門水庫集水區累積降雨量僅歷年平均56%，雖然板新淨水場可由臺北自來水事業處支援每日84萬噸水源並抽取三峽河川流量，餘裕水源南送北桃園地區，然而新竹用水成長迅速且自有水源不足，因此石門水庫尚須出水每日22.5萬噸支援新竹以維持民生及產業穩定。

自去年7月起，新冠肺炎疫情趨緩連帶景氣復甦，產業用水漸增且二期作供灌在即，為掌握各標的供水有效管理及節水管控措施，經濟部水利署及各區水資源邀集相關供水機關及用水單位協調供配水事宜，並於9月成立旱災緊急應變小組因應嚴峻水情，截至本年6月30日止，已召開中央應變中心15次、經濟部3次、水利署32次及本局20次會議，抗旱已持續一年餘，面對北部地區支援水量已達現階段最大調度量能、石門水庫供水轄區用水成長且民眾對缺水容忍度低，故本文將以石門水庫2020年7月至2021年6月抗旱期間開源、節流、調度及備援方案為例，汲取本次策略執行經驗並予以檢討及建議。

二、石門水庫水文及供水分析

石門水庫位於淡水河最大支流大漢溪主流河道上，屬在槽水庫，集水區面積約763平方公里，自1964年完工迄今已營運逾50年，是臺灣第一座具有灌溉、發電、給水、防洪及觀光的多目標水庫，長期扮演北部地區民生、產業及農業發展的重要腳色。主要供水轄區為新北市板橋、新莊區、桃園地區及新竹部分地區之公共用水，水庫農田灌溉區域分為桃園大圳及石門大圳區域。

2.1 集水區水文概述

石門水庫集水區歷年平均降雨量約2,473毫米，豐枯比約7:3，然而近年極端降雨事件發生頻率與強

度增加，降雨型態已有所改變，水庫入流情形隨之變話。以石門水庫2020年7月至2021年6月為分析期間，統計1965年7月至翌年6月，共計54年之年入流量如圖1，歷年平均入流量約14.5億立方公尺，近十年平均入流量約13.6億立方公尺，2020年7月至2021年6月入流量為8.1億立方公尺，僅歷年平均56%，為近十年最少。經分析2021年逐旬入流量直到5月下旬才逐漸增加，其餘各旬超越機率大多呈現98%，詳表1。

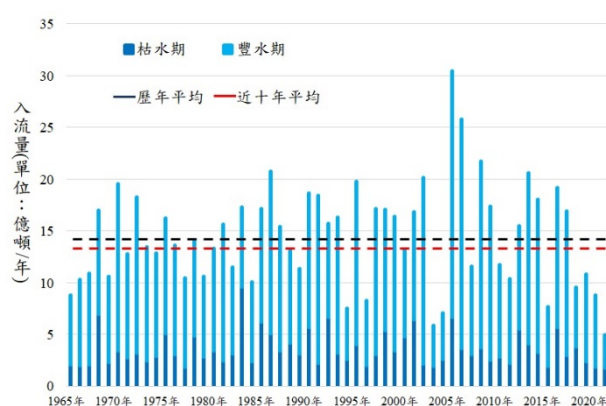


圖 1 歷年石門水庫入流量

表 1 石門水庫入流量及超越機率統計表

| 月旬 | 旬入流量 | 超越 機率 | 月旬 | 旬入流量 | 超越 機率 |
|------|--------|----------|------|--------|----------|
| 1月上旬 | 123.14 | 51% | 4月上旬 | 43.07 | 99% |
| 1月中旬 | 122.51 | 47% | 4月中旬 | 67.75 | 99% |
| 1月下旬 | 87.97 | 86% | 4月下旬 | 51.97 | 97% |
| 2月上旬 | 63.34 | 96% | 5月上旬 | 38.95 | 99% |
| 2月中旬 | 92.34 | 73% | 5月中旬 | 249.22 | 99% |
| 2月下旬 | 46.90 | 98% | 5月下旬 | 789.29 | 78% |
| 3月上旬 | 64.29 | 97% | 6月上旬 | 481.98 | 24% |
| 3月中旬 | 45.61 | 99% | 6月中旬 | 513.82 | 52% |
| 3月下旬 | 72.76 | 99% | 6月下旬 | 123.14 | 44% |

統計前述基期年月之累積降雨量為1,569毫米，約為歷年平均63%，每月累積降雨量與歷年同期平均比較如表2。經分析以2021年5月30日累積降雨量95毫米為最多，其單日累積降雨量為5月累積降雨量之54%，在此之前，石門水庫節節下降的蓄水量與地

區用水需求下，於5月29日有效蓄水量僅餘1,637萬噸，蓄水率8.08%，以每日公共出水管制總量120萬噸下，可謂捉襟見肘，石門水庫蓄水量歷線圖及日累積降雨量組體圖如圖2。

表 2 月累積降雨量與歷年同期平均

| 年 月 | 實際降雨量 (單位：毫米) | 歷年平均 (單位：毫 米) | 比值 |
|---------|------------------|---------------------|------|
| 109年7月 | 203.2 | 274.7 | 74% |
| 109年8月 | 158.2 | 423.2 | 37% |
| 109年9月 | 120.7 | 387.6 | 31% |
| 109年10月 | 98.0 | 197.4 | 50% |
| 109年11月 | 74.5 | 80.7 | 92% |
| 109年12月 | 133.8 | 73.9 | 179% |
| 110年1月 | 31.0 | 86.6 | 36% |
| 110年2月 | 42.6 | 128.1 | 33% |
| 110年3月 | 72.4 | 151.8 | 48% |
| 110年4月 | 63.6 | 145.3 | 44% |
| 110年5月 | 174.4 | 230.2 | 76% |
| 110年6月 | 396.8 | 305.3 | 130% |
| 合計 | 1,568.9 | 2,484.6 | 63% |

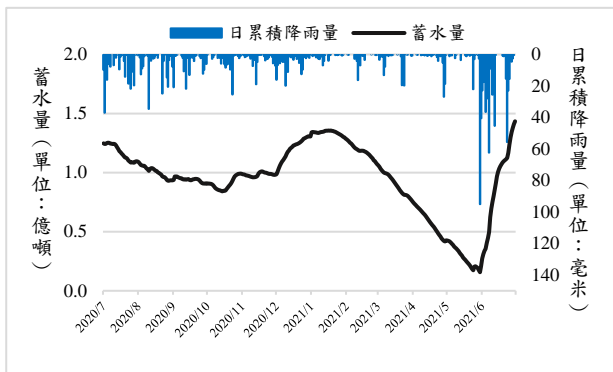


圖 2 石門水庫蓄水量歷線及日累積降雨量

2.2 石門水庫供水標的及現況

統計1964年至2020年門水庫各用水標的水量歷年資料，平均供應各標的水量約7.65億立方公尺，2020年石門水庫有效庫容測量結果為2.03億立方公尺，年運用次數約3~4次，其供水區各標的用水統計如表3：

表 3 近三年供水區各標的用水統計

| 供水標的 | 供水單位及其淨水場 | 平均日出水量 | 供水範圍 |
|-------|-----------|----------|--------------|
| 公共給水 | 自來水二區處 | | 桃園市及新竹縣湖口及新豐 |
| | 平鎮淨水場 | 49.6萬CMD | |
| | 石門淨水場 | 9.1萬CMD | |
| | 大湳淨水場 | 37.0萬CMD | |
| | 龍潭淨水場 | 13.4萬CMD | |
| | 十二區處支援 | 15.5萬CMD | |
| 支援三區處 | 4.0萬CMD | | |

| 供水標的 | 供水單位及其淨水場 | 平均日出水量 | 供水範圍 |
|------|-----------|-----------|--|
| | 合計 | 120.6萬CMD | 新北市板新地區 (板橋、新莊、泰山、五股、蘆洲、八李、三峽、鶯歌、土城、樹林及三重、中和部分地區) |
| | 自來水十二區處 | | |
| | 板新淨水場 | 47.9萬CMD | |
| | 北水處支援 | 50.2萬CMD | |
| | 支援二區處 | 15.5萬CMD | |
| | 合計 | 82.6萬CMD | |
| 農業用水 | 農水署桃園管理處 | 3.42億噸/年 | 灌溉面積22,677ha |
| | 農水署石門管理處 | 1.28億噸/年 | 灌溉面積12,085ha |

有鑑於桃園地區產業型態改變，石門水庫農業用水之年供水量逐漸減少(如圖3)。另統計自1982年至2019年石門水庫供水轄區之板新地區及桃園地區公共給水調度水量如圖4及圖5

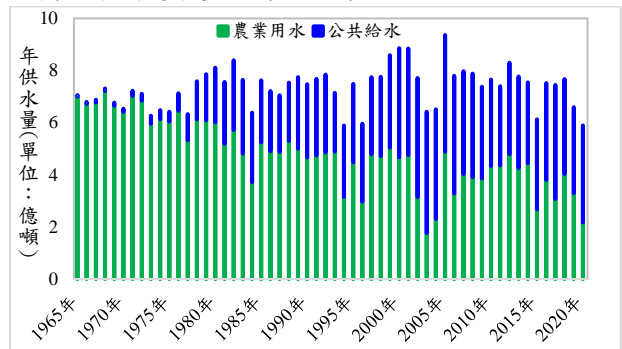


圖 3 石門水庫農業用水及公共給水年供水量

板新地區自來水由台灣自來水公司第十二區管理處板新淨水場及泰山淨水場供清水，水源分別有石門水庫原水及三峽河，近年為解決石門水庫供水壓力，提升臺北自來水事業處支援水量，目前板新地區水源南調桃園計畫已完成，2020年最大供水量已達成每日51萬噸。

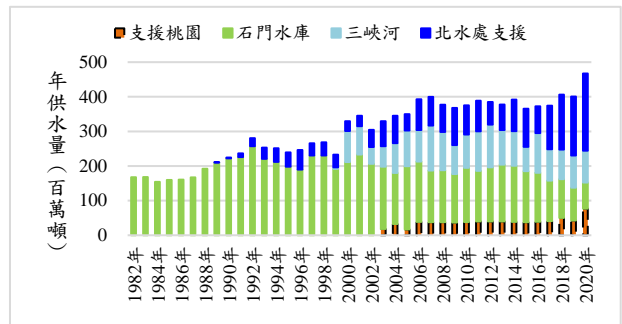


圖 4 板新地區公共給水調度變化

桃園地區自來水由台灣自來水公司第二區管理處轄下各淨水場供清水，水源以石門水庫佔最大比例，自桃竹雙向管線完成後可由第二區管理處及第三區管理處適時調配及支援地區不足水量，然而新竹地區為高科技產業重鎮且高耗水產業為大宗，亦為臺灣經濟命脈，2021年完工之桃竹備援管線在本次抗旱期間，每日支援最大量可達22.5萬噸以上。

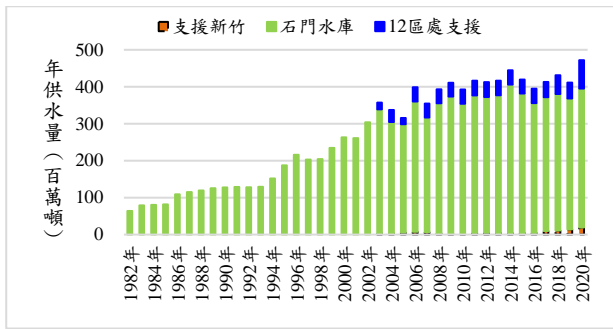


圖 5 桃園地區公共給水調度變化

三、石門水庫抗旱歷程

2020年7月11日石門水庫蓄水量1億2,278萬噸，蓄水率62%，適逢一期稻作抽穗期及二期稻作整田期大量用水階段，氣溫炎熱導致蒸發散量大，依據中央氣象局預估未來一季（即7月至9月）雨量偏少至正常且颱風時間可能遞延，以石門水庫7月11日蓄水量做起算蓄水量，入流量採用超越機率80%及90%兩種情境，推估至9月底石門水庫蓄水量結果如圖6，如入流量較超越機率80%低，則石門水庫有效蓄水量未及1億噸，故評估後請自來水公司第十二區處板新淨水場南送支援北桃園地區每日18萬噸，並請北水處自7月15日起支援每日72萬噸以上，支援新竹地區則以每日1萬噸以下管控，並以每2周檢討及調整跨域調度水量及備援方案。

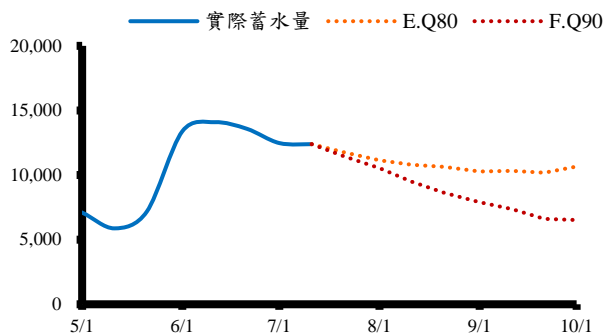


圖 6 2020年7月11日石門水庫蓄水量推估結果

然7月至9月降雨量異常偏少，僅歷年平均44%，且入流量持續下降，且依據中央氣象局說明2020年颱風生成機率低，受反聖嬰現象影響，2021年春雨可能偏少，由於二期稻作後續抽穗預計由水庫供灌至少7,600萬噸，行政院農業委員會不得不宣布二期作停灌，同時請各機關（構）預為盤點抗旱水源及啟用時機並持續加強工業節水。

進入枯水期使得抗旱更具艱辛，冬雨短暫舒緩水情，12月31日石門水庫蓄水量為1億3,049萬噸，仍較歷年蓄水量平均少4,000萬噸，緊接著為2021年一期稻作供灌，水利署及農田水利署共同精算水庫供灌水量及優先運用埤塘及河川水源，確保一期稻作可順利收割前提下，由早災中央災害應變中心公布桃園灌區第3分區不停灌。

2021年2月起至5月29日，石門水庫集水區降雨量嚴重偏少且集中於單日，扣除降水損失後反應的入流量破歷史新低，然而，整體供水尚需考慮民生及產業穩定，雖然石門水庫蓄水量節節下降，每日仍需支援新竹地區最大量22.5萬噸以上水量。依據中央氣象局預測，梅雨訊號延至5月底，而6月初有西南鋒面帶來降雨機會，因此，早災中央災害應變中心做出「新竹地區5月底前降雨量不足100毫米，將於6月1日起進入分區供水」的決議。

2021年5月30日梅雨及後續幾日鋒面滯留，石門水庫供水轄區持續實施節水及調度工作，抗旱水源亦不中斷，力求石門水庫蓄升以確保未來三個月供水穩定並訂定二期作供灌計畫。為期一年的抗旱工作，早災中央災害應變中心於6月22日由宣布撤除，由早災經濟部災害緊急應變小組接續水情應變會議。本次各階段應變機制彙整如表4。

表 4 石門水庫轄區抗旱歷程及應變措施

| 時間 | 降雨量 | 處置（應變）措施 |
|-------|-------|--|
| 109年 | 單位：mm | |
| 7月上旬 | 92.40 | 板新淨水場南送支援北桃園地區每日18萬噸，並自7月15日起由北水處支援最大量每日72萬噸以上。 |
| 7月中旬 | 32.90 | |
| 7月下旬 | 77.90 | |
| 8月上旬 | 67.30 | 跨域調度水量維持不變，農業用水視降雨動態機動減少水庫供水。每2周召開供水情勢檢討會議。 |
| 8月中旬 | 14.20 | |
| 8月下旬 | 76.70 | |
| 9月上旬 | 36.00 | 1. 評析運用淨水設施處理埤塘水源供民生及產業使用可行性、盤點抗旱水井及啟用時機 2. 各科學園區管理局、工業局及加工出口區管理處工業自主節水5%。 3. 板新淨水場南送支援北桃園地區每日35萬噸。 4. 9月16日，成立水利署早災災害緊急應變小組，桃園地區調整為水情提醒綠燈。 |
| 9月中旬 | 52.60 | |
| 9月下旬 | 32.10 | |
| 10月上旬 | 6.90 | 1. 成立早災經濟部災害緊急應變小組及早災中央災害應變中心，桃園地區調整為（夜間）減壓供水黃燈。 2. 開放水資源水收中心供次級用水使用。 3. 埤塘水源及備援水井啟動抽水作業。 4. 二期稻作公告停灌。 |
| 10月中旬 | 46.20 | |
| 10月下旬 | 44.85 | |
| 11月上旬 | 17.30 | 1. 北水處支援最大量每日81萬噸為目標。 2. 產業節水提升7%以上。 3. 抗旱期間取消工商水權限制，設有地下水井工廠優先使用自有地下水。 4. 優先使用水資源回收中心放流水作為掃街等環保清潔用水。 |
| 11月中旬 | 31.65 | |
| 11月下旬 | 25.50 | |
| 12月上旬 | 71.50 | 1. 支援新竹以8萬噸為目標。 |

| 時間 | 降雨量 | 處置(應變)措施 |
|----------------------------------|---------------------------|--|
| 12月中旬 12月下旬 | 26.15 36.15 | 2. 概算 2021 年一期稻作各水源供灌水量及評析供灌策略。 |
| 110 年 1 月上旬 1 月中旬 1 月下旬 | 13.10 15.90 1.95 | 1. 一期稻作除桃園灌區第 3 分區延後兩旬於 2 月 21 日供水灌溉，且優先使用埤塘及河川水源引灌，不足再由石門水庫供水，其餘灌區宣布停灌。 2. 桃竹備援管線完工前視管壓及供水穩定機動提升支援新竹水量。 |
| 2 月上旬 2 月中旬 2 月下旬 | 8.10 33.75 0.70 | 1. 桃竹備援管線完工，支援新竹以 20 萬噸以上為目標。 2. 移動式淨水設備機組及砂濾淨水設備產水。 |
| 3 月上旬 3 月中旬 3 月下旬 | 29.00 1.20 42.20 | 1. 支援新竹水量提升至每日 22.5 萬噸以上。 2. 桃園地區擴大為全日減壓，非工業之用水大戶節水率提升至 20%。 |
| 4 月上旬 4 月中旬 4 月下旬 | 1.15 3.70 58.70 | 1. 國軍支援移動式淨水設備及水車。 2. 農業用水加強河川抽灌量，減少石門水庫供水以延長水庫供水期程。 |
| 5 月上旬 5 月中旬 5 月下旬 | 4.30 5.45 164.65 | 1. 桃園地區 5 月 6 日起工業節水率提升至 11%，自 5 月 21 日起調整為減量供水橙燈，工業節水再提升至 13%。 2. 北水處支援量提升至每日 84 萬噸、支援新竹水量調降至每日 20 萬噸。 |
| 6 月上旬 6 月中旬 6 月下旬 | 231.20 48.00 117.55 | 1. 石門水庫蓄水量逐漸蓄升，雖時值汛期但蓄水量仍屬偏低，桃園地區 6 月 7 日起調整為(夜間)減壓供水黃燈，工業節水率調整為 7%，非工業之大用水戶調整為 10%；6 月 29 日調整為水情提醒綠燈。 2. 廢止「取消地下水用水範圍及引用水量限制」公告。 3. 概算二期稻作各水源供灌水量及評析供灌策略，評估二期稻作延後至 7 月 16 日起供灌，然須以優先蓄升石門水庫水量為目標，故北水處支援量維持每日 84 萬噸，支援新竹水量調降至每日 8 萬噸以下。 |

四、結果與討論

節水的成效為抗旱爭取時間，多元水源的利用為抗旱帶了更多可能性。經歷本次大旱，顯見各種具可行性的策略因地制宜並適時採用，抗旱才會成功。經盤點桃園地區備援、輔助及科技產水的水源已有埤塘返送淨水場工程、防災緊急備援井、水資源回收中心

放流水等，跨域水源調水工程除了板新第二期工程、北水南調計畫工程及今年初甫上場的桃竹緊急備援管線工程。

4.1 多元抗旱水源運用

在各地宣布停灌的決策下，桃園灌區第 3 分區計 7,174 公頃的農地經評估後可在水庫供水總量下供灌。危機即轉機，水資源匱乏的情況讓農田灌溉運用多種策略及多元水源，從濕式整田改成乾式整田、分區輪灌、精準灌溉、利用回歸水及地下水灌溉，另透過河川區排抽灌及埤塘串聯等方法，今年收成的單位面積產量比往年更高，桃三灌區的灌溉模式，在降低石門水庫供水負擔及靈活調度水資源下，發揮抗旱期間農業用水的韌性。

桃園素有千塘之鄉美名，經調查有效蓄水量合計約有五千萬噸，因此如何善加利用埤塘蓄存水源並作為輔助民生及產業用水的方案，已有多項計畫研究。考量埤塘水質、蓄水量、地點及供水方式等因素，透過埤塘串聯、水源返送淨水場及淨水設備應用，除了作為農業灌溉水源，亦輔助民生及產業使用。

另為減緩或避免進入第三階段限水，經濟部水利署於桃園市楊梅區及龍潭區建置共 7 口緊急備援井並納入自來水管網以提升備援水源可利用性，於備援井建置完成後與當地民眾協調運作時機及模式，故在本次抗旱期間配合限水措施順利執行抽水作業。

桃園及新竹是臺灣北部地區重點工業城鎮且人口成長迅速，然而工業用水多依賴自來水，枯旱期間如無替代水源方案將致使產能不穩或停產，為降低自來水依賴度，政府已推廣並媒合產業使用水資源回收中心放流水、埤塘水源以降低限水衝擊，由於今年旱象嚴峻，2 月引進移動式淨水設備並視各區水情及用水需求適時調配設置地點。桃園地區採用 RO 及砂濾兩種等級水處理設施，RO 等級可供工業冷卻水及生活次級用水、砂濾等級水質可供民生用水。

4.2 跨域水源調度

板新地區供水改善計畫工程及大漢溪水源南調計畫工程完成，實施新店溪和大漢溪水源共同調度供水機制。板新地區每日平均用水量約 85 萬噸，原本水源由三峽河抽水站抽取三峽河原水及鳶山堰取大漢溪未控量及石門水庫原水。板新地區供水改善計畫現階段已可常態供應板新地區每日 72 萬噸清水，最大量達每日 84 萬噸，因此，板新淨水場餘裕水源透過大漢溪水源南調計畫，尖山系統常態每日 11 萬噸、板南系統每日 20 至 40 萬噸南送至北桃園地區。

考量新竹頭前溪流域豐枯差異致使調配困難，且現有水庫蓄存設施難以新設，利用跨域調度及改善既有設備工程為優先因應策略。1999 年桃竹雙向跨區輸水管線每日支援量為 10 萬噸，後因桃園地區用水需求增加，支援能力僅餘每日 4.6 萬噸，為提升跨區域調度備援能力，2021 年初完成桃園新竹備援管線工程，由每日 10 萬噸支援量提升至 20 萬噸，另透過各淨水

廠調配及測試，自 2021 年 4 月起可穩定支援新竹達 22.5 萬噸。

4.2 調度及節水成效

抗旱期間透過上述應變機制以延長石門水庫供水期程，順利穩定供水至梅雨鋒面舒緩水情，彙整自 2020 年 7 月至 2021 年 6 月各應變機制成效如表 5。

表 5 應變機制及水量統計

| 標的用水 | 應變機制 | 水量(單位：萬噸) |
|------|------------|-----------|
| 公共給水 | 北水處支援十二區處 | 24,734 |
| | 十二區處支援二區處 | 9,748 |
| | 減壓及減量供水 | 1,952 |
| | 緊急備援井送淨水場 | 49 |
| | 埤塘返送淨水場 | 36 |
| | 淨水設備淨水量 | 0.04 |
| 農田灌溉 | 加強灌溉管理節餘水 | 7,779 |
| | 2020 二期作停灌 | 6,843 |
| | 2021 一期作停灌 | 23,203 |
| | 區排河川抽水灌溉 | 約 930 |
| (支援) | 二區處支援三區處 | 3,807 |
| 合計 | | 71,467 |

五、結論

乾旱時期，每一滴水都顯得珍貴，水資源管理在供水穩定前提下應以「供」定「需」，在跨區水量調度工程改善區域供水規模下，本次抗旱策略得以依流域生活圈理念及現有水源設施充分運用。為有效用水管理，概算各因應機制執行下北區整體用水需求，且依據氣象預報條件逐旬估算水庫剩餘蓄水量，進而適時採取合宜對策，使基隆河、新店溪、大漢溪及頭前溪足以有效調度支援。農作物生長因具有較高缺水忍受度，優先利用埤塘及河川水源灌溉，不足再由水庫供應延長水庫供水期程，靈活的調度措施促使農業灌溉更有效率。

雖然本次抗旱期間備援水源及淨水設備整體水量占比偏小，卻也提升多元水源應用比例，然而地下水及河川水易受氣候影響，地下水補注避免地層下陷困境仍屬重要課題，鑿井取水雖然快速、有效，然須審慎應對；再生水及海淡水雖涉及高成本、高耗能問題，但穩定供應是科技造水的最大優勢，為達成水資源永續經營管理目標，各種水源的應用均需建立完善使用時機與合理的法規環境，也是政府持續努力的方向。

參考文獻

1. 經濟部水利署水利規劃試驗所，西元 2021 年，「臺灣及離島水資源經理計畫(草案)」。
2. 經濟部水利署水利規劃試驗所，西元 2017 年，「地下水防災緊急備援井網規劃-桃園地區」。

桃園市智慧節水管理系統研發建置與推廣應用

劉振宇¹ 李金靖^{2*} 黃旭輝³ 趙本翰⁴ 陳豐文⁵ 張雅婷⁶

1. 桃園市政府水務局局長
2. 桃園市政府水務局副局長
3. 桃園市政府水務局綜合企劃科科长
4. 桃園市政府水務局綜合企劃科幫工程司
5. 財團法人農業工程研究中心研究員
6. 財團法人農業工程研究中心副研究員兼資源組組長

* 通訊作者，Email: 1215soling@gmail.com

摘要

近年由於氣候變遷影響與臺灣水資源時空分布不均的限制，以致水資源枯竭問題日益嚴重，各標的用水及產業發展亦面臨極大的挑戰。考量農業灌溉占整體水資源大宗約 71%，因應農業 4.0 及桃園市打造智慧城市的基礎，桃園市政府水務局自 2019 年起持續以桃園境內農田水利為節水的產業對象，透過物聯網(IoT)之感測技術整合、智慧環控、智慧管理技術等，於作物栽培過程，整合生長與環境參數，建立作物栽培之前瞻智慧節水管理系統，在不破壞環境平衡、水資源使用更有效率的前提下，結合給肥技術建立及回收收流水應用於農業等多元省水技術建立與推廣，盼可達成開源、節流且同時兼顧農業生產目標，期待全民及各產業均能受益。

關鍵字：智慧節水、水資源管理、多元省水

The Establishment and Promotion of Smart Water-saving Management System in Taoyuan City

Chen-Wuing Liu¹ Jin-Jing Lee^{2*} Hsu-Hui Huang³ Ben-Han Zhao⁴ Feng-Wen Chen⁵ Ya-Ting Chang⁶

1. Director, Department of Water Resources, Taoyuan
2. Deputy Director, Department of Water Resources, Taoyuan
3. Section Chief, Planning Section, Department of Water Resources, Taoyuan
4. Assistant Engineer, Planning Section, Department of Water Resources, Taoyuan
5. Research Fellow, Agricultural Engineering Research Center
6. Head and Associate Research Fellow, Resource Division, Agricultural Engineering Research Center

* Corresponding Author, Email: 1215soling@gmail.com

Abstract

Due to the impact of climate change and the uneven distribution of water resources in Taiwan, the problem of water depletion has become increasingly serious, and the water use and industrial development of various subjects are also facing great challenges. Considering that agricultural irrigation accounts for about 71% of the total water resources, in response to Agriculture 4.0 and Taoyuan City's foundation for building a smart city, Department of Water Resources, Taoyuan has continued to set Taoyuan City's agricultural irrigation as a water-saving goal since 2019 through the Internet of Things (IoT) technology integration, smart environmental control, smart management technology, etc., in the process of crop cultivation, integrate growth and environmental parameters, and establish a forward-looking smart water-saving management system for crop cultivation. Under the premise of not disrupting the balance of the environment and using water resources more efficiently, the establishment and promotion of multiple water-saving

technologies such as the establishment of fertilizer technology and the application of recycling water to agriculture, hoping to achieve the goal of water resource development, reducing water consumption and taking into account agricultural production. Looking forward to the benefit of the whole people and all industries.

Keywords: smart water saving, Water resources management, diversified water saving

一、前言

臺灣雨量豐沛，但受時空分布不均的限制，水資源蓄存不易。近年來更受到氣候變遷影響，旱澇交迭、溫室效應惡化，以致水資源枯竭問題日益嚴重，水資源供需嚴重失衡，致使各標的用水及產業發展亦面臨極大挑戰。依據 2019 年臺灣各標的用水統計資料，年使用水量 167.39 億噸，工業用水僅占 9.98 %、生活用水為 19.03 %、用水比例最高者為農業用水 70.99 %，農業用水 3 大用途(灌溉、養殖及畜牧)中又以灌溉用水為主，約占農業用水的 92.33 %，相當於臺灣整體用水需求的 65.54 % (經濟部水利署，2021)。

近年來產業智慧化為國際趨勢，智慧水資源的技術開發與應用亦開始蓬勃發展，針對上述不同產業的用水比例及特性，若能針對用水最大宗的農業灌溉，調整農作方法及用水方式，並將智慧節水技術導入農業生產過程，應可獲得最大的節省水資源效益。進行中的成功案例包含日本 AI 農業已於香川縣(柑橘類露天栽培)、山梨縣(番茄溫室栽培)等、日本 Spread 人造光生菜工廠、宮崎縣綜合農業試驗場導入富士通株式會社(FUJITSU)研發之 Akisai(秋彩)系統之智慧化系統(黃文意等，2016；楊智凱，2019；陳端武，2020)、非洲數位農業平台、澳洲 DAS 農業分析平台、以色列農業灌溉設備公司 Netafim 灌溉系統、印度推出的 Agribot 智慧農業，應用於澳洲棉花產業、土耳其-安塔利亞設立歐洲最大藉由人工智慧(AI)進行栽培管理的植物工廠、阿根廷針對乾旱地區應用網路遠程監控系統的精準灌溉管理新技術(PISys)，提供橄欖園作物用水的精準灌溉，減少灌溉使用水量等案例(農業科技決策資訊平台，2018、2019；郭儀蕙，2018；陳端武，2019；Capraro *et al.*, 2018；Farminova plant factory, 2020)均顯示農業生產過程透過智慧技術的投入可獲得省水及省工的國際新趨勢。

本研究即以桃園境內重要農業生產為節水的產業對象，透過物聯網(IoT)之感測技術整合、智慧環控技術、智慧管理技術等，透過作物栽培過程之相關生長與環境參數組合，建立不同作物之前瞻智慧節水管理系統，期能藉由精進農業節水管理技術的方式，於維持或提高作物產量及品質前提下節省水量；2019、2020 年皆以桃園市境內主要指標性旱作物進行節水示範栽培(桃園市政府水務局，2019、2020)，實地測試智慧環境監測與控制系統之適用性，再配合作物栽培管理分析平台，研發建置一套完整的智慧節水管理系統。

二、桃園市農業生產及灌溉用水背景

2.1 桃園市主要標的作物資料

(一).耕地面積統計：依據桃園市政府主計處統計資料，107 年底桃園市耕作地面積總計 31,895.5 ha，其佔總面積約 26.1 %，如表 2-1 所示。耕作地係指可以耕種之土地(包含短期休閒及休耕)。桃園市各行政區中以新屋區耕地面積最大為 5,373.7 ha、其次為觀音區 4,610.9 ha、桃園區耕地面積最小僅 591.5 ha。本文彙整 2016~2018 年期間資料顯示桃園市平均耕作地面積為 32,763.6 ha，其中稻米收穫面積亦以新屋區 4,991.3 ha 佔最大數，復興區因無稻作栽培。稻米產量，則以新屋區 20,821.9 公噸為最高，其次為楊梅區 9,638.2 公噸、觀音區 9,071.4 公噸，稻米產量較少之行政區為龜山區 285.4 公噸、桃園區 957.0 公噸(重點資訊詳圖 1)。

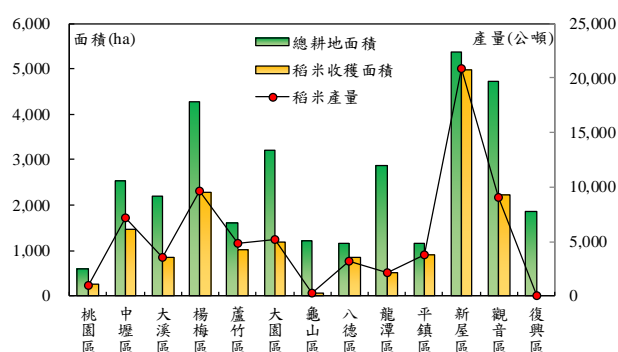


圖 1 桃園市各行政區之耕地面積、稻米收穫面積與產量統計(2016~2018 年)

(二).作物種植面積、產量及產值統計：本文歸納統計 2016~2018 年期間之桃園市境內作物種植面積與產量，顯示桃園市主要作物為水稻，種植面積為 16,596.7 ha，占桃園市總種植面積 64.8 %，其次為蔬菜類，種植面積 6,814.07ha (26.5 %)，其餘雜糧、特用作物、水果類及花卉種植面積合計約不足 10 %；為提高糧食自給率及維護生產環境，行政院農委會自 2013 年起推動「調整耕作制度活化農地計畫」，桃園市內大豆種植面積由 2015 年約 59 ha，增加到 2018 年的 476 ha。玉米、甘藷種植面積亦有明顯成長。產值方面：年平均總產值為 63 億 6,255 萬元，其中以蔬菜類產值最高為 24 億 9,188 萬元，相當於作物總產值之 39.2 %，其次為水稻，總產值 20 億 199 萬元(31.5 %)，第 3 為花卉類，總產值為 11 億 7,296 萬元(18.4 %)，其餘雜項作物總產值約為 12 %；各類作物種植面積、總產值比較分別如圖 2 及圖 3 所示。

桃園市旱作物種植面積最大者為蔬菜類，茲比較主要蔬菜作物之種植面積、產量及產值；顯示桃園市蔬菜類作物以不結球白菜種植面積最大，種植面積約 1,096.7 ha (16.1%)、年平均產量約 14,511 公噸、產值約 4 億 5,353 萬元(占蔬菜類作物產值 18.2 %)；其次作物為竹筍，種植面積約 878.8 ha，近 3 年年平均產量約 3,938 公噸(12.9 %)，產值約 2 億 2,211 萬元(8.9 %)，此外番茄種植面積約 19.5 ha(約 0.3 %)，年平均產量 279 噸，年產值 1,735 萬元，胡瓜種植面積約 9.2 ha(約 0.1 %)，年平均產量 100 噸，年產值 389.6 萬元，桃園市蔬菜類種植面積、產值比較如圖 4 及圖 5。

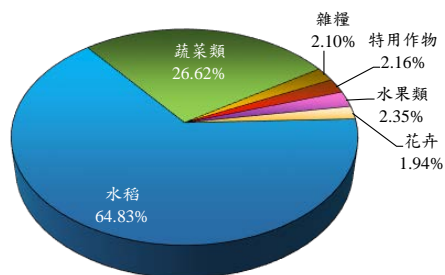


圖 2 桃園市境內作物種植面積比較

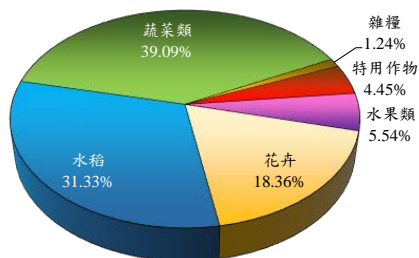


圖 3 桃園市境內作物產值比較

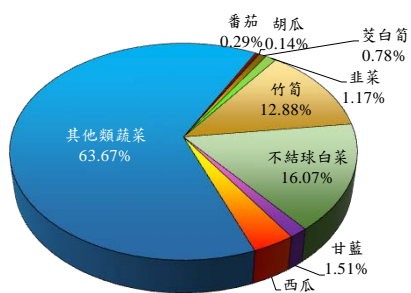


圖 4 桃園市蔬菜類種植面積比較

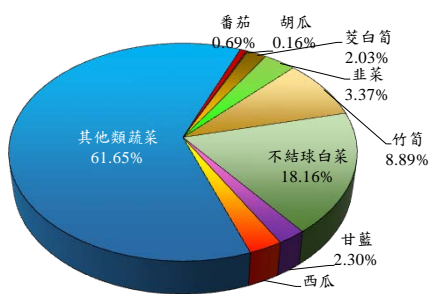


圖 5 桃園市蔬菜類產值比較

依前述內容可知，桃園市境內作物面積以水稻為最高，其次為蔬菜類、特用作物及水果類，本研究為了解作物耕種分布是否與地理位置有關，利用行政院農委會農試所針對全臺進行衛星影像、航照等判釋技術進行圖層套疊繪製，繪製成果如圖 6 所示，主要將作物分為水稻、水果及蔬菜等 3 種項目，水稻占有大部分面積，主要集中於沿海等地勢較平緩地帶，沿海往南靠近新竹縣地區水稻耕種密度相對較高；水果類作物所占面積較少，主要位於海拔較高之復興區等山區；蔬菜等作物分布較為零星，主要集中於大溪區、復興區之中海拔地帶，低海拔平地也有部分地區種植蔬菜並夾雜於水稻種植區。

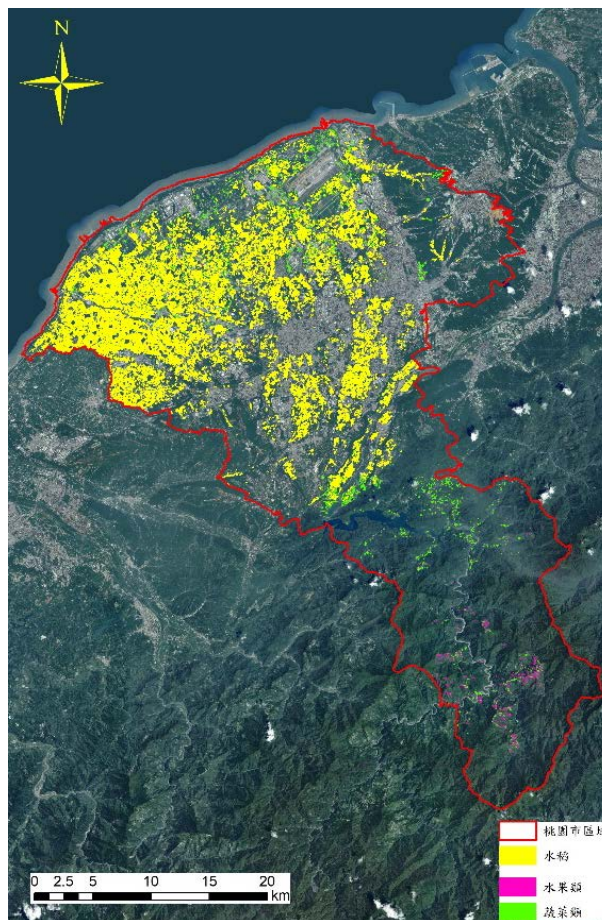


圖 6 桃園市不同作物栽培空間分布一覽

2.2 桃園市主要灌溉區域及用水資料分析

根據行政院農業委員會全省可供糧食生產地資料顯示，桃園市境內可供糧食生產地為 34,885.7 ha，依照農業使用方式大致可分為畜牧業、農糧作、養殖漁業及潛在可利用耕種地，4 個項目中以農糧作使用比例最高，約為 72.2 % (25,178.3 ha)。除了依照農業使用方式進行分類外，另利用行政院農業委員會農田水利署灌區範圍進行分類，桃園市轄區內有行政院農業委員會農田水利署桃園管理處(以下簡稱桃園管理處)及石門管理處(以下簡稱石門管理處)，石門水庫為此二管理處灌區之重要水源，桃園管理處灌區廣大分布於桃園市沿海地帶及部分新北市、新竹縣地區，石門管理處則銜接桃園管理處南方。桃園市境內桃園管理處灌溉面積約 14,536.7 ha、石門管理處則約 7,619.4

ha，總計桃園市境內屬管理處灌溉區域內面積約為 22,156.1 ha(63.5%)，而桃園市境內可耕地為管理處灌溉區外面積有 12,729.5 ha，約占全部面積 36.5%。以下茲就石門、桃園管理處之灌溉用水特性扼要說明。

(一).石門管理處：灌溉系統以石門大圳為主，灌溉系統現存埤塘總數共計 398 口，埤塘蓄水面積約 1,041 ha，總蓄水容量約 1,053 萬 7,328 噸。除石門大圳水路系統外，目前有攔河堰 228 座，自河川及區排取水補助灌溉；各區域之灌溉用水管理由 6 個工作站管理。

(二).桃園管理處：灌溉系統以桃園大圳為主，灌溉系統現存埤塘總數共計 202 口，埤塘蓄水面積約 1,422 ha，總蓄水容量約 3,276.7 萬噸。除桃園大圳水路系統外，目前桃園大圳灌溉系統含 256 座河水堰，自河川及區排取水補助灌溉；灌溉用水管理由 12 個工作站協助管理。用水實態方面：以桃園大圳 2000~2014 年灌溉用水資料為例說明如圖 7，顯示實際取水量與計畫用水量之變化趨勢相仿，計畫用水量介於 10.5~34.7 cms、實際取水量介於 1.4~19.4 cms。進一步分析桃園大圳進水口取水量與地面水配合量之比例關係，釐清灌溉用水來源組成，顯示灌溉水源以石門水庫供水為主，進水口取水比例約 61.8~85.9%，河水堰取入之地面水配合比例為 14.0~38.3%，取用地面水之高峰期為 5 月之梅雨季，此現象與埤塘可旱季供水、雨季蓄水之調蓄水資源特性相關。

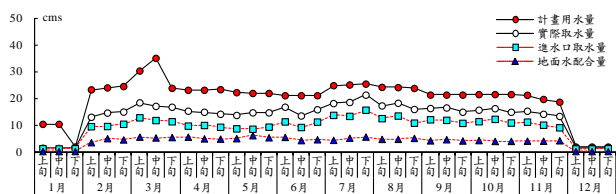


圖 7 桃園大圳逐月用水趨勢特性

三、智慧節水管理系統研發建置

智慧節水管理系統主要應用於農業灌溉使用，依據農業生產所需用水過程進行構建，為達智慧化目標，系統研發整合重點包含農地現場的感測設備、資料的紀錄及傳輸、系統中樞-智慧化控制系統、資訊管理平台等，以下簡述之：

3.1 智慧節水管理系統組成

智慧節水管理系統包含氣象觀測子系統、田間感測器子系統、灌溉子系統、溫室抽風機子系統、自動給肥子系統、微處理器控制子系統等，以下分述之：

(一).氣象觀測子系統：觀測農田周邊的氣象因子，作為作物不同生長期程之操作決策參考。設備包括紀錄擷取器、溫度計、溼度計、氣壓計、雨量計、日照計(日輻射計)、風速風向計…等；所有數據會自動上傳雲端伺服器。

(二).田間感測器子系統：藉以觀測田區之環境及土壤水分狀況，感測元件有土壤水分計(與抽水系統關聯)

與溫濕度計(量測溫室內外溫、濕度；與溫室抽風機關聯)；並利用廣域低功耗無線傳輸(LPWAN)模組將資料上傳至微處理器控制子系統進行判斷。

(三).灌溉子系統：包含灌溉設施及操控軟件。2019 年引進以色列 Netafim 出產之滴灌系統，配置示意圖如圖 8 所示；控制管理硬體包含 NMC PRO 灌溉控制器(軟體規格可輸入灌溉程式最多 15 組，灌溉觸發以日輻射累積值、時間及外部條件，可連接最多 50 組控制器網路，另可連接 PC 選項使用)、電腦工作站+MUX 傳輸設備等。上述設備經 2019 年操作及栽培測試，顯示可順利運行，唯設備購置成本過高為其缺點，因此經檢視田區硬體部份均可由臺灣既有市場取得相同功能之材料組裝，基於臺灣水利產業本土化的精神，已於 2020 年改以可編程邏輯控制器(Programmable Logic Controller, PLC)取代傳統電器控制裝置，進行「智慧化」灌溉之判斷與操作。灌溉子系統進一步依供水設備可區分為：

- 1.抽水系統：研發 3 種運作模式，分別為全自動模式(與土壤水分計關聯)、遙控模式(由手機網頁遙控)及現場手動模式。
- 2.流量計：記錄流量，資料自動上傳雲端伺服器。
- 3.電磁閥門：控制供水至田區灌溉，運作模式與抽水系統相同。

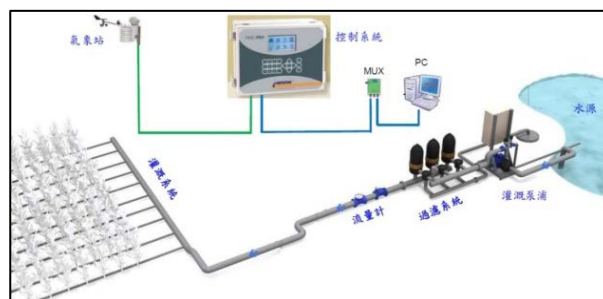


圖 8 Netafim 滴灌系統灌溉配置概念圖

(四).溫室抽風機子系統：由數組風扇構成。運作模式分為全自動模式(與田間溫濕度關聯)、遙控模式(由手機網頁遙控)及現場手動模式。

(五).自動給肥子系統：以電磁閥門控制肥料輸出，需搭配灌溉子系統同時運作，亦即灌溉時也同步施肥。這種搭配方式除了簡化系統設備降低成本外，也降低因液體肥料濃度過高造成植物毒害的意外機會。系統包含肥料桶放置液體肥料，可一次儲存多批次所需肥料，透過排程分日逐次將肥料送至田區，桶內並設有感測器，能偵測桶內剩餘肥料容量，並控制給肥量。

(六).微處理器控制子系統：類似整體系統的大腦，控制所有子系統並與雲端伺服器作連動。接收來自田間感測器子系統傳來的環境變化(如土壤水分

不足，室溫過高或濕度過高等)，然後進行判斷，並對判斷結果下達指令給灌溉、給肥或溫室抽風機等子系統作出反應，同時也會記錄觀測值作為備份。微處理器控制子系統也負責將資料透過通訊模組傳送至雲端伺服器，農民可透過手機或電腦監看現地情況，也可透過前述行動裝置對微處理器控制子系統下達指令，變更運作模式。智慧節水系統架構簡圖如圖 9 所示。

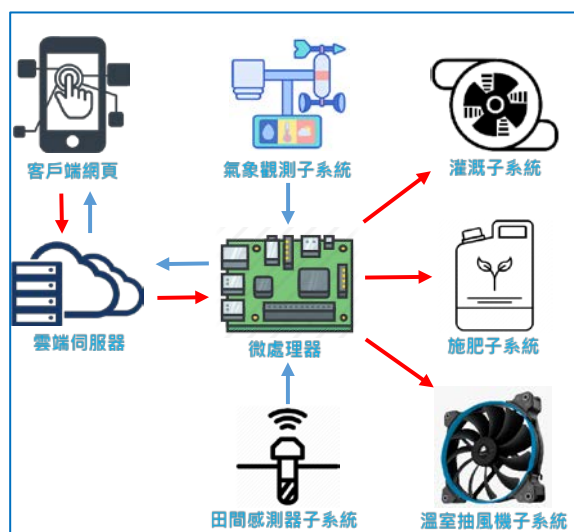


圖 9 智慧節水系統架構簡圖

3.2 智慧節水管理系統精進整合

於農業生產過程導入智慧化管理，達成節水且同時兼顧農業生產本質的目標為本研究重點。採用灌溉自動控制，由簡單手動操作至高度自動控制之設施有多種方式，其功能有簡單分水之開啟關閉操作、水壓開關、噴藥噴肥自動混入操控等，設置自動控制須依自然條件及農業經營方式充分檢討，分析比較投資經濟效益，作適切配置，一般均由控制設備及控制程式所組成，利用相關設備及控制指令完成控制系統，提供作物最佳生長環境。自動控制原理包含下列 3 項：

- (一).自動檢測：檢測管路壓力、流量、抽水機動力源及作物生理指標。
- (二).自動操作：抽水機及控制閥之啟動開關、輪灌之執行等。
- (三).自動調節：根據自動檢測結果，依實際需要，自動調節控制閥之開度及抽水機之轉速，以符合必要之條件。

以本研究自動灌溉系統為例，設計為 3 種運作模式，分別為全自動模式(與土壤水分計連動)、遙控模式(由手機網頁遙控)及現場手動模式。全自動模式又分自動啟動、強制啟動、強制關閉等三種控制方式。全自動模式係指抽水機會依據田間目前的含水量自動啟動灌溉或停止灌溉，無需人工操作，執行流程如圖 10 所示。此模式會依照事前設定的參數持續運作，人員可透過遙控模式改變參數且可變更抽水泵的運作條件。可設定參數包括：

- (一).水分計編號：指定由某支土壤水分計作為代表，其數值為自動啟動的依據。當該支水分計損壞時，可另指定其它水分計取代。
- (二).含水量上、下限：當田間含水量達到上限時，抽水機停止灌溉。當田間含水量達到下限時，抽水機開始灌溉。
- (三).灌溉時間：單次送水的時間。預設值為 10 分鐘。
- (四).間歇時間：單次送水後，停歇的時間，目的是讓水分能逐漸滲入至土壤。預設值為 10 分鐘。
- (五).監測頻率：控制器定時監測土壤水分計的間距時間。預設值為 1 小時。

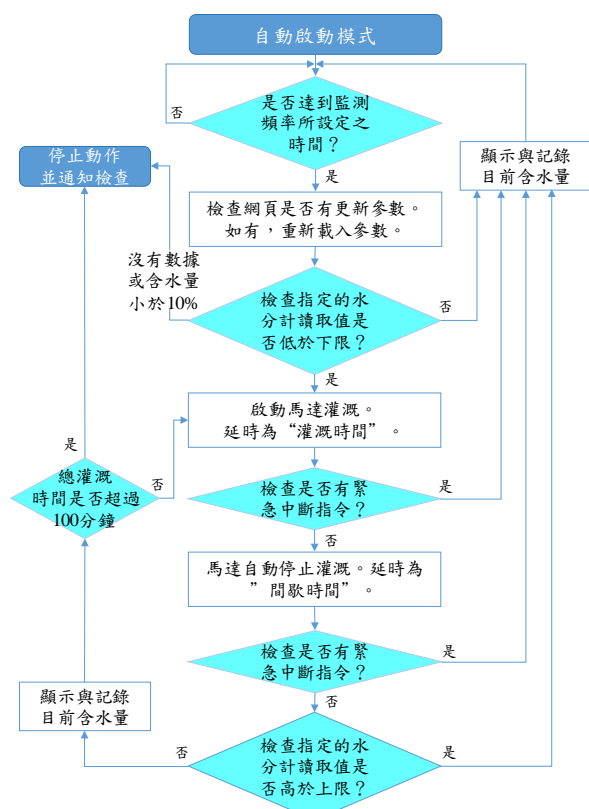


圖 10 灌溉全自動模式之運作流程圖

灌溉遙控模式係由人員透過手機或電腦網頁設定全自動模式的參數，或者立刻啟動抽水機灌溉或停止灌溉。此模式除了設定參數外，當土壤水分計故障，控制器無法判斷是否灌溉時，仍有補救措施。或於展示及特殊情況下，仍可覆蓋全自動模式的控制權，即時操控。現場手動灌溉模式則是於現場設有緊急停止開關，當全自動模式失效(土壤水分計故障)，網路又斷訊時，即可利用緊急開關停止抽水機的動作。

與灌溉系統相似，自動抽風系統有 3 種運作模式，分別為全自動模式(與溫溼度計連動)、遙控模式(由手機網頁遙控)及現場手動模式。全自動模式係指抽風機依據田間目前的溫、濕度自動啟動抽風或停止抽風，而無需人工操作。此模式會依照事前設定的參數持續運作，人員可透過遙控模式改變參數且可變更抽風機

的運作條件。依據農民種植經驗，因夏季炎熱，擔心作物熱傷害，抽風機可設定於日間保持開啟，日落後則關閉，因此控制器的判斷條件亦包括日出時間跟日落時間。抽風全自動模式運作流程如圖 11 所示。

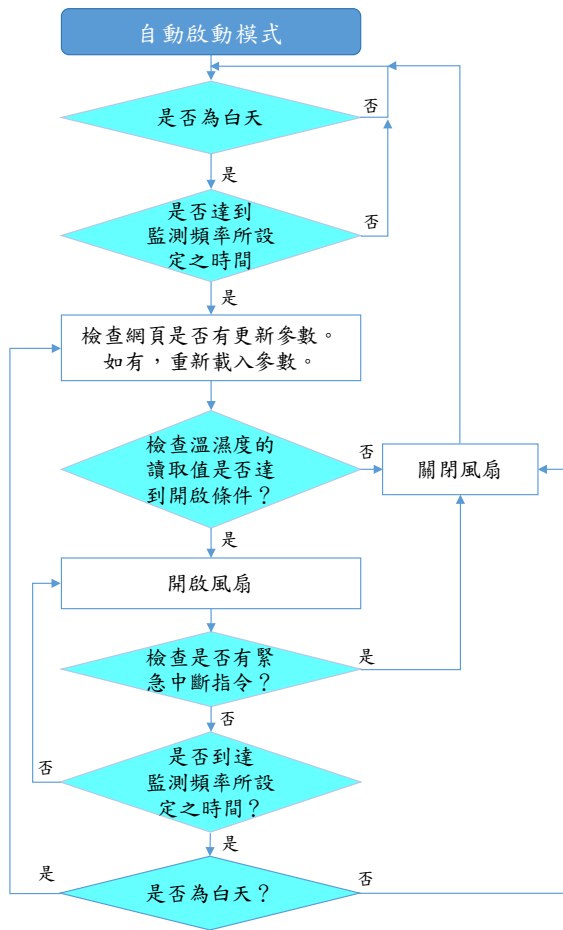


圖 11 抽風全自動模式運作流程圖

抽風機可設定之參數內容：

- (一).每日啟閉時間(dd/mm/yy, hh:mm)：預設值為早上 7 點開啟，晚上 7 點關閉。
- (二).室內、外溫度計編號：可指定由某支室內、室外溫度計作為代表，其數值為自動啟動之依據。
- (三).室外濕度計編號：指定由某支室外濕度計作為代表，其數值為自動啟動之依據。
- (四).溫室內外溫度差：當室內外溫度差在 2 度以內時，停止抽風。
- (五).溫室外溫度限制：當室外溫度低於 20 度時，停止抽風。
- (六).溫室外濕度限制：當室外濕度高於 75 % 時，停止抽風。(例如溫室外下雨則停止抽風)
- (七).監測頻率：控制器定時監測溫濕度計的間距時間，預設值為 10 分鐘。

抽風遙控模式係由人員透過手機或電腦網頁設

定全自動模式的參數，或是立刻啟動抽風機抽風或停止抽風。以避免溫濕度計故障，控制器無法判斷是否抽風時，仍有補救措施。或於展示及特殊情況下，仍可覆蓋全自動模式的控制權，即時操控。抽風現場手動模式是在現場設有緊急停止開關，當全自動模式失效(溫濕度計故障)，網路又斷訊時，可利用緊急開關停止抽風機的動作。

自動給肥系統則有兩種運作模式，分別為排程自動模式及強制停止。排程自動模式是先由人員將稀釋過的液體肥料倒入肥料筒中，再透過手機網頁設定日期及每次給肥量(可多次給肥，直到肥料用完)，控制器即會依據排程自動給肥。可設定的參數包括：給肥日期(設定給肥的日期跟時間，可多筆輸入)、肥料桶編號(設定送肥的肥料桶編號，可選擇一個以上的桶子)、給肥量。給肥強制停止模式係由人員透過手機或電腦網頁立刻停止給肥。此模式設立構想主要因應有不可預期的錯誤發生時(如肥料濃度錯誤)，仍可覆蓋自動模式的控制權，即時停止。現場亦設有緊急停止開關，當強制停止模式失效(如網路斷訊)，可利用緊急開關停止抽水系的動作。

3.3 構建作物栽培智慧管理平台

由於市面上農業用感測器種類繁多，目前尚難以規劃統一介面供農民與感測器互動，同時許多感測器只具推送資料功能(如氣溫、雨量等)，不需與農民互動。為達到精準農業耕作，本研究開發一具備用水智慧化管理精神的「作物栽培智慧管理平台」，供管理者及用戶(農民)共同使用，智慧管理平台除供使用者監控及查詢外，並建置雙向互動功能，可透過遠端手機 web 自行調整設定灌溉頻率及供水量等。惟雙向操作功能除智慧管理平台建置外，感測器端亦需有相對應功能才能達到互動之目的，因此智慧化管理系統建立了灌溉、抽風及給肥的互動功能，解決農民的主要需求。整個系統架構功能包含：

- (一).供農民監看耕地環境及作物生長狀況。
- (二).供農民遙控灌溉、排水、照明等設備之功能。
- (三).作為未來平台管理人員管理會員(農民)相關事宜之介面。
- (四).未來相關單位分析農業供水、生長、產量等數據之供應來源。

考量農民購置自動化系統的來源將會是多管道，因此未來通訊協定也可能是多樣性的，因此本平台接收感測器資料的傳輸協定包括 FTP、HTTP、MQTT、WebSocket 等。另一方面，資料傳入的格式同樣也會呈現多樣性，故智慧化平台朝向大資料池(Data Pool)方向規劃，即在平台前端設置一個臨時的資料庫(資料池)，所有感測器資料先傳送到資料池，再由平台分類匯入正式的資料庫，以容納各種型式的資料來源。

用戶瀏覽網站採用響應式網頁(Responsive Web Design, RWD)技術進行開發，提供使用者進行資料展示、數據填報、緊急開關、大數據資料、自動參數設定、編輯、查核等作業。系統架構、登入畫面與即時

資料展示畫面分別如圖 12~圖 14。農民可自行至「作物栽培智慧管理平台」(<http://tywrp.pjm.iisigroup.com/>)申請帳號後進行其農地管理與控制。

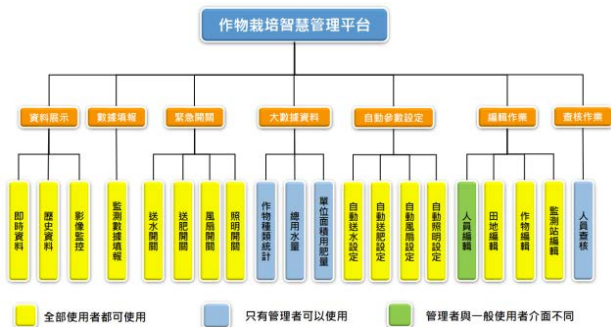


圖 12 作物栽培智慧管理平台之系統架構



圖 13 作物栽培智慧管理平台登入畫面



圖 14 即時資料詳細資料畫面

四、智慧節水管理系統之示範栽培

以桃園市為研究區域，經蒐集市內作物基本資訊、多元水源盤查後，就(一).作物需水特性、(二).用水來源、(三).作物代表性、(四).國土規劃適宜性、(五).是否為地方重點發展作物等篩選原則進行綜合評析，篩選出 2019 年標的作物為短期早作物-葉菜類蔬菜的小白菜及萵苣(如圖 15)；於大園區農地進行智慧節水示範栽培，示範場域包含試驗組(智慧灌溉)及對照組(傳統溝灌)，每一組試驗田長 25 m、寬 15 m(面積 375 m²)，試驗水源為桃園大圳原水。

2019 年第 1 次栽培(小白菜)綜合評估顯示滴灌或溝灌方式對作物生長無明顯趨勢，惟產量具增產 5 % 之正面影響，栽培期間滴灌區及溝灌區總給水量分別為 39.19 m³及 92.73 m³，節水率約 57.7 %。第 2 次栽培(福山萵苣)成果顯示滴灌區及溝灌區總給水量分別為 19.88 m³及 87.79 m³，採用智慧節水系統(滴灌)較

傳統農法(溝灌)節省水量約 77.3 %，顯見灌溉方法選用及感測元件之搭配決定灌排時機，有助於大幅節省水源又可確保(提升)作物產量之雙贏目標。



A.智慧節水系統(滴灌)

B.傳統農法(溝灌)

圖 15 2019 年示範栽培場地整備與種植情形

考量桃園市蔬菜栽種面積及生長日數，2020 年標的作物為果菜類蔬菜，示範栽培場地整備與種植情形如圖 16。第 1 次溫室栽培作物為玉女番茄，智慧節水系統搭配滴灌設備相較於傳統溝灌共節省 84.23 m³，節水率約 90.5 %，換算每公頃可節省水量約 2,246.1 m³。第 2 次溫室栽培作物為小黃瓜，智慧節水系統搭配滴灌設備相較於傳統溝灌約節省水量 94.2 m³，節水率約 70 %，換算每公頃可節省水量約 2,511.2 m³。



A.智慧節水系統(滴灌)

B.傳統農法(溝灌)

圖 16 2020 年示範栽培場地整備與種植情形

五、智慧節水管理系統推廣應用

為利於智慧節水管理系統之應用與推廣，桃園市政府水務局透過宣導影片製作、推廣手冊編定發放、舉辦論壇與參訪、媒體宣傳行銷，將桃園經驗分享予各相關單位及水利、農業從事人員並進行交流。

(一).宣導推廣影片：針對所建立之智慧節水系統包含感測元件、給水控制、給肥控制及展示系統等之說明及應用，2019、2020 年皆以影片方式記錄，2019 年影片重點為 1.示範場域介紹及設計基礎原理與架構概述；2.作物氣象設備及土壤水分等監

測設備說明；3.作物環境感測器整合(感測元件之整合與控制)介紹與應用；4.作物實地試驗過程(種植、收成等)與資料擷取；5.作物栽培管理分析平台操作與說明等，擷取影片畫面如圖 17。2020 年影片重點則為 1.桃園地區資料盤點及智慧農業發展潛力；2.回收放流水應用之可行性；3.節水系統之精進開發；4.作物實地試驗過程(種植、收成等)與資料擷取；5.節水計畫推動願景等，擷取影片畫面如圖 18。



圖 17 2019 年宣導推廣影片成品擷取畫面



圖 18 2020 年宣導推廣影片成品擷取畫面

(二).推廣手冊：2020 年就智慧節水管理概念編定管理設計及推廣手冊(如圖 19)，內容包含應用於旱作物之系統設計原理、架構、元件、管理平台等介紹，另根據最新相關規範標準，摘要地介紹溫室設備、管路灌溉系統包含滴灌、噴灌、微噴、穿孔管等節水灌溉管理技術，及合理施肥等兼具「環保」與「節水」之農業技術，使智慧節水系統之硬體設施效益得到充分發揮，並透過前言、智慧節水系統、系統元件、智慧管理平台、適用作物、溫室設備、管路灌溉系統、合理施肥、系統成本效益、參考文獻等章節，以扼要簡潔且圖文並列之說明方式，提供一般農民及有志投農的年輕朋友可以快速且清楚瞭解智慧節水系統之內容及使用方式，為利宣導及推廣，手冊發放至各農業相關單位包含農糧署、農田水利署、農田水利署管理處、農會、地方政府農業局等單位，由各單位協助發放予農民以進行推廣。此外也可至桃園市政府水務局官方網站下載，盼可廣泛應用以達成精進農業節水管理，提高面臨乾旱缺水事件時的調適韌性。



圖 19 智慧節水管理設計及推廣手冊擷取內容

(三).舉辦論壇與參訪：為達成桃園市短期提升智慧灌溉技術及觀念之目標，2020 年辦理大桃園智慧節水管理論壇及現地觀摩活動，邀請桃園市優秀青農與先進智慧農場進行經驗分享，現地觀摩則於蘆竹區的源鮮智慧農場辦理，其為全世界垂直智慧農業產業領先者，可作為其它智慧農場之設計參考典範。當日活動紀錄整理如圖 20 所示，共同針對節水目標集思廣益，期能達成維持產業效益並同時提高水資源利用率之目標。



圖 20 大桃園智慧節水管理論壇活動情形

六、結論

聯合國水資源評估報告指出臺灣是國際間第 18 位缺水國家(UNEP, 2006)，此外，氣候變遷對於台灣水資源的衝擊影響逐漸顯著，尤其位於北台灣的桃園地區，雖然已有石門水庫可蓄水調節，然而對於工商服務業及農業均發達的桃園都會區而言，為滿足區域性的水資源供需平衡，石門水庫每年需運轉 4 次以上，顯見水源調配壓力甚高；尤以 2020 年遭逢 56 年來最嚴重的乾旱事件，著眼於農業用水比例為最高的考量，因此以停灌為最終緊急的抗旱措施，避免因乾旱導致的旱災影響層面擴大。有鑒於此，後續如何防範或減緩旱災的衝擊影響對於石門水庫供水區域的桃園甚為關鍵及重要。針對不同產業的用水比例及特性，若能針對用水最大宗的農業產業(占臺灣整體水資源用量約 71%)，導入智慧管理工具來提升用水效率，調

整農作方法及用水方式，於平時透過農業產業用水方式的調整提升區域的抗旱能力，方能將乾旱事件帶來水情的衝擊降至最低。

針對上述問題，桃園市政府水務局因應桃園市打造智慧城市及政府推動農業 4.0 的目標，透過感測元件技術發展、資訊傳輸的整合，以桃園市為節水抗旱示範區域，建立智慧節水管理系統，以標的用水最大量之農業糧食生產用水著手，經由兩年實地作物栽培成果顯示作物產量及品質不受影響的條件下，省水效率達 55 % 以上，顯見透過農業節水管理技術精進，於維持或提高作物產量及品質前提下確實有節省水量之成效。

展望未來，桃園市政府水務局為達成智慧灌溉與中水有效利用之雙贏目標，桃園市政府水務局將持續就智慧多元省水技術進行整合評估，於既有的智慧節水技術基礎上，納入液體給肥技術及回收放流水應用於溫室水耕系統等，盼可成為兼具「智慧」、「環保」、「節水」之示範計畫，並透過逐步示範推廣，落實智慧化合理用水，同時推動利用大數據分析技術，彙整優秀農民在栽培作物過程所使用的用水量、施肥量等相關生長與環境參數組合，建立不同作物之前瞻智慧節水管理特徵檔案，未來可提供傳統農民及青農耕作參考，以促進高用水產業(農業)用水的最適調整利用。除了能幫助經濟部水利署降低石門水庫運轉壓力，更可使農委會減少因缺水而需施行之稻作停灌影響。相關技術與經驗可再提供給相關單位參考使用，亦可為國內政府單位推動智慧農業、智慧水利工作之指標。

參考文獻

1. Capraro, F. Tosetti, S., Rossomando, F., Mut, V., Serman, F. V. (2018), Web-Based System for the Remote Monitoring and Management of Precision Irrigation: A Case Study in an Arid Region of Argentina Flavio, Sensors 18(11), DOI: 10.3390/s181113847
2. Farminova plant factory (2020), <https://www.farminova.com/En>
3. UNEP (United Nations Environment Programme), (2006), Challenges to International Waters; Regional Assessments in a Global Perspective. GIWA (Global International Waters Assessment) Final Report.
4. 桃園市政府水務局(2019)，桃園市智慧節水管理系統研發與水資源多元應用計畫。
5. 桃園市政府水務局(2020)，109 年桃園市智慧節水技術研發建置與有效雨量應用計畫。
6. 陳端武(2019)，印度公司 Oizom 推 Agribot 智慧農業方案替農民監控土壤狀況，DIGITIMES 智慧應用。
https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&cat1=20&cat2=65&id=0000565143_h8d0a7ap5wtddy2ejxufr
7. 陳端武(2020)，因應人口老化，日本垂直農場起飛，DIGITIMES 智慧應用。
https://www.digitimes.com.tw/iot/article.asp?cat=158&id=0000576204_SUL3K2TFLXQP925HB908L
8. 黃文意、方怡丹、郭坤峯(2016)，2016 智慧農業日本觀摩研習團-農委會出國報告。
9. 楊智凱(2019)，智慧農業發展現況，菇類智慧化生產與農場經營管理研討會專刊:農業試驗所特刊第 216 號。
10. 經濟部水利署(2021)，經濟部水利署各項用水統計資料庫。
11. 農業科技決策資訊平台 (ASTSi)(2018)，Microsoft-Techno Brain 通過雲端數位平台促進非洲農業，專題報導
12. 農業科技決策資訊平台(ASTSi)(2019)，DAS 提供新的農業分析平台，幫助農場迎向未來挑戰，專題報導。

濁水河流域生態檢核作業及檢討計畫

謝光智^{1*} 陳進興² 李友平³ 陳宣安⁴

- 1.經濟部水利署第四河川局 副工程司
- 2.經濟部水利署第四河川局 課長
- 3.經濟部水利署第四河川局 局長
- 4.英國布里斯托大學地理學 博士

* 通訊作者，Email: wra04024@wra04.gov.tw

摘要

隨著環境及生態保護意識日增，工程建設牽涉之環境衝擊與潛在生態議題已成為現今水利治理工程面臨之重要課題。因此，相關政府單位近年來積極推動生態檢核機制，期待藉由蒐集與評估預定工程區域的生態環境特性，提出工程設計與施作的生態友善作為，達到防洪治理與生態環境共存之理想目標。本文針對經濟部水利署第四河川局辦理之 2 年度濁水河流域生態檢核計畫進行說明。計畫範圍包含核定、規劃設計與施工等各階段工程共計 57 件次，針對各工程進行現場勘查、生態調查、生態友善措施研擬、執行狀況追蹤，以及民眾參與、資訊公開等工作，計畫完成後亦編撰「濁水溪生態檢核作業參考手冊」供第四河川局同仁實務操作應用。本文選擇 3 處具生態議題代表性之工程案例進行說明，以具體呈現生態檢核對於達成水利防災與生態保育平衡之助益。

關鍵字：生態檢核、水利工程、環境保育、濁水河流域

Ecological Check and Review Plan in Zhuoshui River Basin

Kuang-Chih Hsieh^{1*} Chin-Hsing Chen² Youe-Ping Lee³ Shiuan-An Chen⁴

1. Associate Engineer, the 4th River Management Office, Water Resources Agency
2. Section Chief, the 4th River Management Office, Water Resources Agency
3. Commissioner, the 4th River Management Office, Water Resources Agency
4. PhD, School of Geographical Sciences, University of Bristol, UK

* Corresponding Author, Email: wra04024@wra04.gov.tw

Abstract

In recent years, the public's concern about the relationship between water conservancy, flood control projects, and ecosystem environment has gradually increased with the attention of environmental and ecological protection awareness. Therefore, the government is actively implementing ecological checks of hydraulic projects, expecting that the balance between flood control and environmental protection can be achieved by collecting and evaluating environmental data and implementing ecological-friendly construction measures. In this article, a two-year project of ecological check in Zhuoshui River Basin, conducted by the 4th River Management Office, Water Resources Agency, is described. The project includes 57 sub-projects at the reporting, planning and design, and constructing stages. The procedure of ecological check involves fieldwork, ecological investigation, ecological measures proposition and implementation, public participation, and information disclosure. At the end of this project, the overall procedure was compiled into a handbook. In this article, three constructions are chosen with typical ecological issues, in order to present the help of ecological checks for achieving the balance between flood control and ecological protection.

Keywords: ecological check, hydraulic engineering, environmental protection, Zhuoshui River Basin

二、濁水河流域環境概述

一、前言

臺灣的河川、區域排水及海岸等水岸環境經過政府機關多年來的計畫性治理，已有效降低水患潛勢，然而過去水利工程建設較著重於防汛需求，而缺乏考量對於生態環境造成之衝擊。為落實環境永續發展之理念，經濟部水利署自 2009 年起即逐年試辦水利工程生態檢核作業，藉由施工前收集區域生態資訊，了解當地生態環境特性及敏感區位，適度運用迴避、縮小、減輕、補償等保育措施，納入工程設計中，以降低工程對於生態環境的衝擊，維持治水與生態保育之間的平衡。

本計畫為經濟部水利署第四河川局辦理之 2 年度計畫(2019 至 2020 年)，執行範圍包含濁水河流域及彰化海岸之治理及環境改善工程。參酌 2020 年 11 月 2 日行政院公共工程委員會修正之「公共工程生態檢核注意事項」，依循計畫核定(提報)、規劃設計、施工等階段，辦理生態資料蒐集、調查、評析，將生態保育概念融入工程方案中。另外，為落實公民參與精神，於計畫執行過程中亦建立與民眾參與機制，藉由與專家學者、在地民眾、非政府組織相互交流，有效推行工程計畫，共同達成生態保育的目標。

本計畫協助核定階段工程辦理生態檢核作業共計 30 處，規劃設計階段工程共計 12 處，施工階段工程共計 15 處，總計 57 件次；排除各階段重複計算之工程，工程數量共計 40 件。計畫完成後，依據執行經驗，研擬「濁水溪生態檢核操作參考手冊」，建立工程各階段之生態檢核作業準則，以供第四河川局同仁實務操作應用內化為行政慣例，達到水利防洪治理與生態環境友善共存之目標。

本文首先概述濁水河流域環境特性及工作執行方法，接著根據上述三個工程階段，各選擇一處較具生態議題代表性之案例—濁水溪許厝寮堤段整建工程(核定階段)、湖子內及新虎尾堤段河川環境改善工程(規劃設計階段)及濁水溪社子二號堤防河川環境改善工程(施工階段)(圖 1)，分別說明生態檢核執行過程，最後提出結論與相關建議。



圖 1 濁水溪生態影響區位與本文工程案例位置

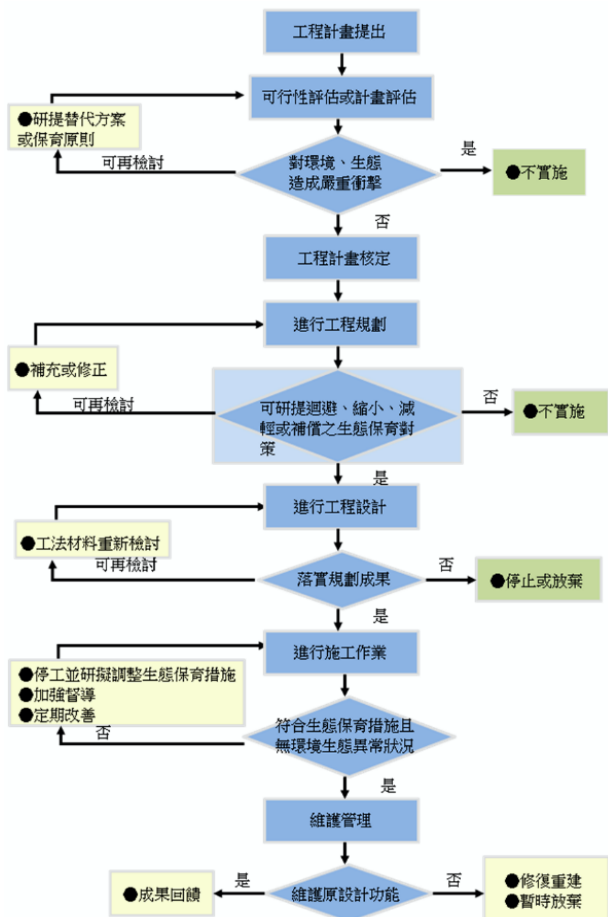
濁水溪位居臺灣中部，因其流水挾砂、終年混濁而得名。流域範圍包括南投、嘉義、彰化、雲林等 4 縣，幹流全長 186.6 公里，為臺灣最長河川；河道平均坡降約為 1/55；豐枯水期雨量懸殊，豐枯比約 8:2 流域年平均雨量約 2,500mm。本流域水質多屬中度污染，主要污染源為家庭生活污水、砂石場排放水、工業廢水、垃圾滲出水及旅遊污染等，其中家庭生活污水與事業廢水多分布於中、下游，旅遊污染則集中於中、上游的風景區。河川棲地類型受到豐枯水期流量變化影響，豐水期的棲地多樣性較高，且上游支流的多樣性優於主流。流域範圍包含太魯閣及玉山國家公園，以及數座野生動物重要棲息環境與國家重要濕地(圖 1)。河川水域的空間利用型態多元，以休閒遊憩為大宗，並包含高灘地農耕、養殖漁塭等。

根據「濁水溪水系河川情勢調查(3/3)」(2017)的四季調查成果，濁水河流域的水域生物共記錄有魚類 3 目 6 科 22 種、底棲生物類 5 目 9 科 13 種、水棲昆蟲 7 目 17 科、浮游性藻類 5 門 29 屬 46 種及附着性藻類 4 門 37 屬 61 種，其中保育類有第三級保育物種埔里中華爬岩鰍。上游以臺灣間爬岩鰍、明潭吻鰕虎為優勢種；中游地區推測受水體混濁之影響，以陳氏鰍鮪為主。至於陸域生物共紀錄有鳥類 15 目 45 科 97 種、哺乳類 7 目 14 科 21 種、兩棲類 1 目 5 科 17 種、爬蟲類 2 目 10 科 27 種及蜻蜓類 1 目 7 科 24 種。保育類包含林鵰、遊隼、藍腹鵰、黑翅鳶、大冠鷲、鳳頭蒼鷹、東方蜂鷹、領角鴉、黃嘴角鴉、朱鷲及穿山甲等 11 種第二級保育物種，以及燕鴿、紅尾伯勞、鉛色水鶉、黃腹琉璃、白尾鴿及龜殼花等 6 種第三級保育物種。物種組成主要受海拔影響。

三、工作流程與方法

本計畫參酌公共工程委員會之「公共工程生態檢核注意事項」(圖 2)，及根據第四河川局轄內工程之生命週期及實際工務行政運作辦理生態檢核作業，並研訂各工程階段之執行流程圖，納入「濁水溪生態檢核操作參考手冊」中。各階段工作的目的與內容分別說明如下。

核定階段工作的目標，為綜合考量生態影響、環境成本與效益，決定開發可行性，並研擬對生態環境衝擊較小的方案及保育對策原則。主要工作內容包含：(1)蒐集工程區位前期生態環境資料，包括可能之生態議題，並辦理現場勘查；(2)填寫快速棲地生態評估表與工程生態檢核自評表；(3)依據工程目的及預定方案評析生態影響，提出生態保育對策原則，供工程主辦單位核定工程之參考；(4)協助主辦機關辦理工程勘評(圖 3)。



資料來源：行政院公共工程委員會(2020)，「公共工程生態檢核注意事項」。

圖 2 公共工程生態檢核作業流程圖

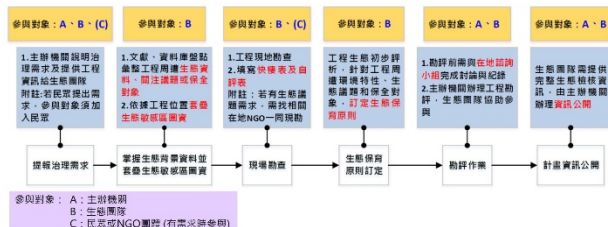


圖 3 核定階段執行流程圖

規劃階段工作的目標，為研擬生態衝擊之減輕與因應對策，以提出生態保育對策，並決定工程配置方案。主要工作內容包含：(1)生態調查，以確認須關注的生態議題；(2)繪製生態關注區域圖；(3)研擬生態保育對策；(4)參加設計說明會協助說明(圖 4)。本計畫另外應用無人載具製作工區範圍 0.25 公分精度之航拍正射影像，以協助掌握施工前現地環境狀況。

生態調查的項目分為水域生物、陸域植物及陸域動物，本計畫參考「動物生態評估技術規範」(2011)、「植物生態評估技術規範」(2002)及「河川情勢調查作業要點」(2015)之規範辦理。依各工程執行情況排定調查時間與項目，範圍為工程周邊 200 公尺以內之水陸域環境。生態關注區域圖，參考「河川情勢調查作業要點」(2015)的準則繪製，並將定案之生態保育

對策及生態保全對象標示於圖上，作為後續工程設計、施工及監測之依據。

生態保育對策之選擇，以干擾最少或儘可能避免負面生態影響之方式為優先，依循迴避、縮小、減輕與補償四個原則進行策略考量。工程位置及施工方法首先考量迴避生態保全對象或重要棲地等高度敏感區域，其次盡量縮小影響範圍、減輕永久性負面效應，並針對受工程干擾的環境，研擬原地或異地補償等策略，減少對環境的衝擊。

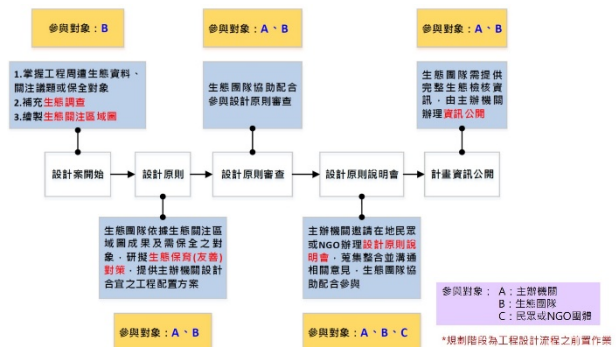


圖 4 規劃階段執行流程圖

設計階段工作的目標，為落實規劃階段成果至工程設計中。主要工作內容包含：(1)確認生態保育措施可行性，並納入設計圖說中；(2)完成生態保育措施平面圖，並製作施工階段生態保育措施自主檢查表(圖 5)。由於規劃階段屬於設計階段之前置作業，故本計畫並未進一步區分此兩階段工作的目標。

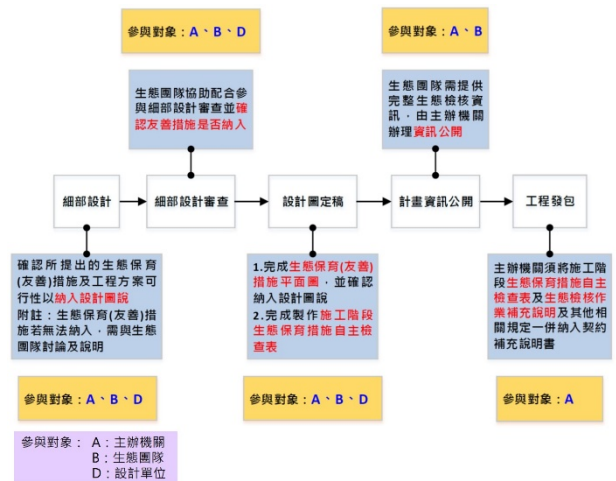


圖 5 設計階段執行流程圖

施工階段工作的目標，為落實前兩階段所擬定之生態保育對策與工法，確保生態保全對象、生態關注區域完好，並維護環境品質。主要工作內容包含：(1)參加施工前說明會，協助說明生態保育措施及保全對象；(2)進行現地勘查，以評估保育措施執行情形；(3)協助研擬工區環境生態異常狀況處理對策；(4)工程完工後，確認生態保育措施執行成果，並進行棲地覆核(圖 6)。

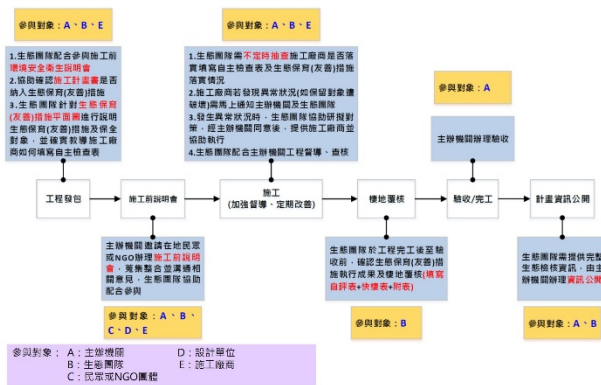


圖 6 施工階段執行流程圖

本計畫並未執行維護管理階段工作，但仍提出相關流程說明。維護管理階段工作的目標，為檢視生態環境恢復情況。主要工作內容包含：(1)生態調查，並填寫快速棲地生態評估表進行分析；(2)提出後續是否持續監測之建議(圖 7)。

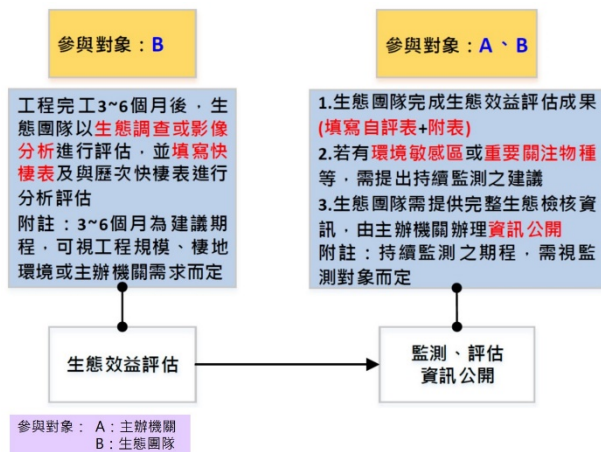


圖 7 維護管理階段執行流程圖

生態檢核成果除公開於第四河川局網站外，並發布至中央研究院研究資料寄存所生態檢核主題集，以進行資訊公開。另外，本計畫依據執行經驗，研擬「濁水溪生態檢核操作參考手冊」，以利同仁後續應用。

四、案例分析

4.1 核定階段工程案例—濁水溪許厝寮堤段整建工程

本工程位於雲林縣麥寮鄉，鄰近濁水溪出口，工程內容為堤防灘地維護配合工程。本計畫於現場勘查時，發現多處廢棄魚塢周圍已由草地與防風林覆蓋，自然演替成為可供水鳥棲息之空間(圖 8)。在參考在地學者的意見後，建議應將廢棄魚塢列為保全對象。

本工程之生態保育對策原則為：(1)蓄水池塘雖為人工開鑿，但可提供水鳥良好棲息環境，施工時應避免干擾鄰近廢棄魚塢，以降低驅趕作用；(2)工程機具或堆放施工物品應優先選擇裸地環境，避免影響草地拓殖；(3)工程機具行駛，除所產生之揚塵應定期實施灑水作業外，也應避免駛入施工路線以外的區域，

避免草地遭受破壞。



圖 8 濁水溪許厝寮堤段整建工程現場勘查照片

4.2 規劃設計階段工程案例—湖子內及新虎尾堤段河川環境改善工程

本工程位於雲林縣林內鄉，工程項目為湖子內工區 436 公尺的環境改善工程，及新虎尾工區施設 536 公尺護欄。兩工區周圍環境類型包括竹林地、草地、樹林地與農用地；水域環境不豐富，但在農耕地發現許多鳥類在此覓食。根據前期河川情勢調查、線上資料庫與本計畫生態調查成果，湖子內工區有 3 種保育類鳥類棲息，包括第二級保育物種黑翅鳶及第三級保育物種黑頭文鳥、燕鶯(圖 9、圖 10)，且本工區喬木、竹林生長茂密，因此須特別注意減少工程對於鄰近植物之干擾。擬定之生態友善措施如表 1 所示。

本工程另於設計階段辦理地方說明會(圖 11)，使地方里民了解本工程的施作內容及生態友善原則，並解答與討論里民所提出之水利相關疑問，增進里民對於工程狀況的了解及環境保育的重視。



圖 9 湖子內堤段生態調查照片(左：黑頭文鳥；右：燕鶯)



圖 10 湖子內堤段生態關注區域圖

表 1 湖子內及新虎尾堤段生態友善措施研擬

| 原則 | 生態友善措施 |
|----|---|
| 迴避 | 施工地及路徑應迴避濱溪環境，避免增加鳥類生存壓力。 |
| | 妥善安排工程施作時間，避免晨昏時段野生動物活動旺盛期間施工，應於 8:00 至 17:00 時段施工為宜。 |
| 減輕 | 施工期間避免高噪音機具同時施工，必要時須於周邊設置隔離圍籬降低噪音，以減少對鄰近野生動物之干擾。 |
| | 施工車輛運行易產生揚塵，定時對施工道路及車輛進行灑水降低揚塵量，並配合防塵網或禾桿覆蓋，降低揚塵對周圍植物之危害。 |
| | 施工便道及設置臨時置料區應優先使用既有道路，新闢施工便道應以草生地或裸露地為主要路徑。 |
| | 既有側溝增設動物通道，並採用粗糙表面，以利野生動物落入溝內逃脫使用。 |
| 補償 | 施工期間將遺留之民生及工程廢棄物集中處理，並帶離現場。 |
| | 部分施工後裸地，可嘗試灑播原生禾本科植物(如:稗子)，以持續吸引黑頭文鳥。 |



圖 11 湖子內及新虎尾堤段設計階段地方說明會

4.3 施工階段工程案例—濁水溪社子二號堤防河川環境改善工程

本工程位於南投縣水里鄉，在水里溪、拔馬坑溪及濁水溪匯流口處，內容為濁水溪右岸既有水里親水公園設施改善以及拔馬坑溪設置箱涵橋、生態引水溝及景觀平台等工程。根據現場勘查，拔馬坑溪溪水豐沛清澈、濱溪帶狀況良好，周邊之草生地有多處澤蟹巢穴(圖 12)。另根據前期與本計畫生態調查成果，本

工區紀錄有多種保育類動物，包括第一級保育類石虎，第二級保育類臺灣畫眉、黃嘴角鴉、領角鴉、大冠鶯、林鵰、鳳頭蒼鷹等鳥類，以及第三級保育類埔里中華爬岩鰍，顯示本工程生態資源豐富，須注意工程對水質、生態廊道與周圍植被之干擾。施工階段具體執行的生態友善措施如表 2 所示，實際執行狀況參見圖 13。



圖 12 濁水溪社子二號堤防現場勘查照片(左：拔馬坑溪右岸草生地；右：澤蟹巢穴)

表 2 濁水溪社子二號堤防生態友善措施執行狀況

| 原則 | 生態友善措施 |
|----|--|
| 迴避 | 親水工程避開澤蟹棲地，移至戲台附近。 |
| | 於 8:00 至 17:00 時段施工，避免晨昏時段野生動物活動旺盛期間施工。 |
| 減輕 | 施工工期避開汛期，並於施作箱涵橋下游增設臨時沉砂池一座，降低工程對水質影響。 |
| | 為避免溪水斷流，採取半半施工，減輕工程對水域棲地之影響。 |
| | 新闢施工便道迴避草生地，避免擾動濱溪植被。 |
| | 施工車輛運行易產生揚塵，定時對施工道路及車輛進行灑水降低揚塵量，降低其對周圍植物之危害。 |
| | 移除戲台附近銀合歡一株，減輕其對周圍植被及新植苗木之影響 |
| | 新設親水跳石及擋排水設施，以人工排石、疊石方式施作，減輕橫向構造物對水域生物之縱向阻隔 |
| 補償 | 施工車輛於工區周圍速限每小時 30 公里以下。 |
| | 新植綠帶混合種植香蒲、燈心花、臺灣胡頹子、方莖金絲桃、燈稱花、臺灣山茶及杜虹花，以達成喬木、灌木及地被植物多層次的生態綠化，維持生物多樣性。 |



圖 13 濁水溪社子二號堤防生態友善措施執行紀錄
(左上：保留澤蟹棲地；右上：增設沉砂池；左下：移
除銀合歡；右下：新植綠帶)

五、結論與建議

本文闡述第四河川局辦理之「濁水河流域生態檢核作業及檢討計畫」辦理流程、方法與成果，並根據不同的生態檢核執行階段，選擇三處具生態亮點之工程案例進行介紹，以具體說明生態檢核應用成果。「濁水溪許厝寮堤段整建工程」於現場勘查時，發現廢棄魚塢多處已演替成為可提供水鳥良好棲息之空間，因此建議列為保全對象；「湖子內及新虎尾堤段河川環境改善工程」於規劃設計階段，發現並記錄許多保育類鳥類，故建議特別注意對鄰近植物之保護；「濁水溪社子二號堤防河川環境改善工程」於施工階段迴避蟹類棲地，並剷除外來種銀合歡，準確完成生態檢核工作。濁水河流域的水利工程納入生態檢核作業，預期可達到水環境治理、生態保育、公私協力與資訊共享等多重目標。

另根據計畫執行經驗，提出以下建議，供未來生態檢核作業參考：(1)於核定與規劃設計階段時，應盡可能取得詳細工程資訊與設計平面圖，以協助盡早提出生態友善措施建議；(2)施工階段時，應維持施工前主辦機關(含生態檢核團隊)、監造與施工單位三方會勘，以協助施工廠商辨識保全對象及各友善措施執行方式；(3)應重新探討快速棲地生態評估表於生態檢核中的角色，因遠離水域環境之工程無法通盤適用，且該評估表於生態檢核中無法反饋友善措施建議，故後續可再商榷修訂更適合的版本；(4)建議未來各工程皆完整進行生態檢核生命週期，從核定階段進場執行至施工階段結束，並評估是否進入維護管理階段。

參考文獻

1. 行政院公共工程委員會(2020)，「公共工程生態檢核注意事項」，工程技字第 1090201171 號函。
2. 行政院農業委員會特有生物保育中心(2017)，「2017 臺灣維管束植物紅皮書名錄」。
3. 行政院環境保護署(2002)，「植物生態評估技術規範」，環署綜字第 0910020491 號公告。

4. 行政院環境保護署(2011)，「動物生態評估技術規範」，環署綜字第 1000058665C 號公告。
5. 林德貴、賴原崇、劉文宗(2004)，「河溪整治自然生態工法之設計與分析」。
6. 經濟部水利署(2017)，「中央管河川、區域排水及海岸工程環境生態檢核與景觀營造改善建議」。
7. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2013)，「台灣地區主要河川流域水文與水理設計分析系統平台建立總報告」。
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2015)，「河川情勢調查作業要點」，經水河字第 10316166710 號函。
9. 經濟部水利署第四河川局(2017)，「濁水溪水系河川情勢調查(3/3)」。
10. eBird Taiwan，<https://ebird.org/region/TW/>
11. 行政院農業委員會林務局，生態調查資料庫系統，<https://ecollect.forest.gov.tw/Ecological/ProjectManager/ResultPresentation.aspx/>
12. 行政院農業委員會特有生物保育中心，台灣生物多樣性網絡，<https://www.tbn.org.tw/>
13. 行政院環境保護署全國環境水質監測資訊網，<https://wq.epa.gov.tw/EWQP/zh/Default.aspx/>
14. 經濟部水利署，水利地理資訊服務平台，<https://gic.wra.gov.tw/gis/>

臺中港監測資料智慧檢核及補遺

Quality Control and Interpolation of Monitoring Data in Taichung Harbor

陳冠宇^{1*} 劉俊志² 蔡立宏³ 林雅雯⁴ 蔡世璿⁵ 陳人玉⁶

1. 國立中山大學海洋科學系教授
2. 國立中山大學海洋科學系助理研究員
3. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
4. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長
5. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員
6. 國立中山大學海洋科學系研究助理

* 通訊作者，Email: guanyu@faculty.nsysu.edu.tw

摘要

觀測後的資料需經資料品管才能避免使用者於後續資料分析產出錯誤的結果，若資料出現缺失則可透過合理的資料補遺來健全資料完整性。本研究參考美國海洋綜合觀測系統(IOOS)的海洋即時資料品保手冊(QARTOD Manual)所建議的相關檢驗項目及資料狀態標記建立一套自動化品管程序，並對臺中港資料庫的 AWAC 波浪計以及風速計資料進行品管。對於未通過品管的風速資料則使用多元迴歸分析(MRA)和倒遞迴類神經網路(BPN)進行資料補遺來增加資料的可用性，使用臺中港 6 站風速計的歷史資料進行補遺驗證結果使用顯示 MRA 或 BPN 補遺的差異不大，在平均風速或最大風速經補遺後的相關係數皆超過 0.9。而在平均風向相關性除了 ID19 站偏低之外，皆有 0.7 以上的相關性。6 站之中的平均風速和最大風速 RMSE 和 MAE 皆以 ID6 站最高，其 RMSE 介於 1.5 到 2.5 m/s，而 MAE 範圍在 1.0 到 1.5 m/s 之間。

關鍵字：資料品管、資料補遺、MRA、BPN

Quality Control and Interpolation of Monitoring Data in Taichung Harbor

Guan-Yu Chen^{1*} Chung-Chi Liu² Li-Hung Tsai³ Ya-Wen Lin⁴ Shih-Hsuan Tsai⁵ Jen-Yu Chen⁶

1. Professor, Department of Oceanography, National Sun Yat-sen University
2. Assistant Researcher, Department of Oceanography, National Sun Yat-sen University
3. Chief, Harbor and Marine Technology Center, Institute of Transportation, Ministry of Transportation and Communications.
4. Section Chief, Harbor and Marine Technology Center, Institute of Transportation, Ministry of Transportation and Communications.
5. Assistant Researcher, Harbor and Marine Technology Center, Institute of Transportation, Ministry of Transportation and Communications.
6. Research Assistant, Department of Oceanography, National Sun Yat-sen University.

* Corresponding Author, Email: guanyu@faculty.nsysu.edu.tw

Abstract

Observation data needs quality control to avoid error and sustain data quality. If some of the data are missing, it can be

improved by interpolation. In this study, we establish an automatic data quality control process for the AWAC wave meter and anemometers of Taichung Harbor based on the Manual of Quality Assurance of Real-Time Ocean Data (QARTOD), Integrated Ocean Observing System (IOOS) of NOAA. For data that fails to pass the quality control, the multiple regression analysis (MRA) and Backpropagation Network (BPN) are applied for data interpolation. Historical wind data recorded by six anemometers shows there was no obvious difference between the interpolation results of MRA and BPN. After interpolation, the correlation coefficient is more than 0.9 for both average wind speed and maximum wind speed. For wind direction, the correlation coefficient is more than 0.7 except for the ID19 anemometer station. For all six stations, average wind speed and the maximum wing speed in ID6 were the highest in terms of both root-mean-square error (RMSE) and maximum error rate(MER). The RMSE is between 1.5-2.5m/s, while the value of MRA is between 1.0-1.5 m/s.

Keywords: data quality control, missing data interpolation, MRA, BPN

一、前言

海氣象觀測資料除了運用在分析區域性海氣象長、短期變化統計的特徵，或是解釋某種天然災害的佐證，亦常可用於輔助海氣象數值模式的調整與驗證。而資料庫的資料通常是到現場佈放儀器進行觀測、然後回收儀器且接收資料，最後將資料儲存進資料庫，其過程中可能因現場環境的短期劇烈干擾導致儀器未能正常收訊，甚至使儀器設備故障，導致資料缺失；或可能因人為疏失，導致資料處理錯誤或缺失。類似的錯誤資料若未經資料品管，可能會造成後續資料使用者分析出錯誤的結果，進一步導致工程設計或是學術研究方面的錯誤。對於長期的資料以人工方式一一進行資料品管，須耗費的人力物力甚鉅，且較易出現人為疏失。故本計畫目的在於建立自動化品管程式對資料進行品管檢驗能力。

對於未通過品管檢驗的資料，可考慮利用資料補遺的方式來健全資料的完整性。目前資料補遺主要採用線性內插、迴歸方程和類神經網路等三種方式。線性內插僅適於填補短時間的資料缺失，而長時間的資料通常存在非線性變化，則建議使用迴歸方程或類神經網路。迴歸方程是利用連續觀測資料透過迴歸分析得到的係數建立迴歸方程式，如果迴歸方程的估算值與實際值的相關係數高且誤差小的話，則該方式可合理作為資料補遺的方法。類神經網路則是建立類似於迴歸方程係數的權重係數和偏差值，可透過過去的觀測資料進行學習來建立權重和偏差，權重可描述輸入值與輸出值之間的關係，藉由適當的學習與驗證所建立的類神經網路同樣可有效的進行資料補遺。基於海氣象資料的長期資料補遺需求，故本計畫採用迴歸方程和類神經網路兩種補遺方式。

二、資料品管

2.1 資料品管與流程

本計畫針對臺中港海氣象資觀測資料建立自動化資料品管系統，參考曾等人(2018)和陳等人(2020)的檢驗程序，主要是利用各儀器的使用手冊、美國海洋綜合觀測系統 (Integrated Ocean Observing System, IOOS) 所管理維護的海洋即時資料品保手冊

(Manual of Quality Assurance of Real-Time Ocean Data, QARTOD Manual)等相關準則來檢驗資料，進而降低資料錯誤率，提高數據品質。

美國海洋綜合觀測系統是全球海洋觀測系統的重要指標，其前身是 1990 年代全球海洋觀測系統 (Global Ocean Observing System, GOOS)，為海洋、海岸與美國五大湖水域的環境觀測 提供資料品管與資訊的專門組織。該組織任務之一是對資料品管檢測方案進行持續且定期性更新與檢討以確保觀測資料的代表性與正確性。目前 QARTOD 手冊已對高頻 (HRF) 雷達海面海流儀、浮游植物計、超音波都卜勒海流波剖面儀、水中營養鹽計、溶氧計、被動聲學設備(水下聽音器)、溫鹽儀、水位計、波浪計、風力計等儀器提出一些品管檢驗的標準程序和相關建議。本計畫參考 QARTOD 手冊的檢驗標準，利用 11 個品管檢驗項目，每個項目的相關說明如表 3.1 所示。依照檢驗的必要性將 11 個檢驗項目區分成 3 個群組，其中第 1 組為必要執行的檢驗項目，第 2 組為強烈建議的檢驗項目，而第 3 組為建議執行的檢驗項目。依 QARTOD 手冊的建議，品管流程從 test1 開始，依次進行到 test11。

表 1. 品管檢驗項目

| 必要性分群 | 測試項目 | 檢驗說明 |
|---------------------|---------------------------|-------------------------|
| Group 1 Required | Test 1: Timing / Gap Test | 檢驗資料的時間連續性與間隔時間是否符合觀測頻率 |
| | Test 2: Syntax Test | 檢驗資料的格式型態與編碼是否正確 |
| | Test 3: Location Test | 檢驗觀測儀器經緯度座標的合理性 |
| | Test 4: Gross Range Test | 檢驗數值是否超過儀器或是物理現 |

| | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | | 象的限制範圍 |
| | Test 5: Climatology Test | 檢驗資料是否超過季節性變化的極限值 |
| Group 2 Strongly Recommended | Test 6: Spike Test | 檢驗資料是否為短時間震盪之離群值 (outlier) |
| | Test 7: Rate of Change Test | 檢驗資料的變化率是否超過短期的數倍標準差 |
| | Test 8: Flat Line Test | 檢驗資料值是否出現連續多點毫無變化 |
| Group 3 Suggested | Test 9: Multi-Variate Test | 使用同測站其他具有相關性之物理量來輔助檢驗變化率的合理性 |
| | Test 10: Attenuated Signal Test | 檢驗資料值在短期內的變化是否合理 |
| | Test 11: Neighbor Test | 使用鄰近測站具相關性的相同物理量資料來輔助檢驗時變率的合理性 |

本計畫的品質狀態標記參考 IOOS QARTOD 2017 即時海洋資料品質標記手冊 (Manual for Real-Time Oceanographic Data Quality Control Flags) 版本 1.1 的分級及定義，將資料的品質狀態標準標記分成 5 種標記值，分別是標記 1：狀態良好、標記 2：未檢驗、標記 3：狀態可疑、標記 4：狀態不良、標記 9：資料缺失。

原始觀測數據經資料品質檢驗後會依照檢測結果給予相應的品質狀態標記，海氣象觀測資料的應用範圍與方法相當廣泛與多樣化，各種應用對於資料品質的需求亦是不同。一般是選擇狀態良好(標記 1)的資料，視情況加入狀態可疑(標記 3)的資料進行處理與分析，而捨棄狀態不良(標記 4)的資料。而本計畫於

後續針對標記 4 和 9 的資料進資料補遺，以健全資料的完整性。

以下針對每項品質檢驗項目說明。

一、時序列缺失檢驗(Test 1 - Timing/Gap Test)

若在取樣頻率的預定時間出現沒有資料，則視為資料遺失，給予標記值 9，否則視為通過檢驗，給予標記值 1。本研究中若長時間無觀測值，亦認定為資料缺失。

二、資料格式檢驗(Test 2 - Syntax Test)

檢驗從儀器接受到的資料訊息是否符合預定的輸出格式，包含各資料值所佔的位元長度與檢查碼是否正確。若資料通過檢驗，給予標記值 1，若訊息無法正確解析出觀測結果，則給予標記值 4。

三、座標資料檢驗(Test 3 - Location Test)

檢查回傳資料的儀器經緯度座標資訊是否正確，當定點式的測站不應出現座標移動，或是移動式的測站超出合理的移動範圍則給予標記 3；如果經度超過 -180 到 180 或緯度超過 -90 到 90 度則標記 4；否則視為檢驗通過，標記 1。

四、極限值檢驗(Test 4 - Gross Range Test)

所有觀測儀器皆存在有限的輸出範圍，該範圍可定義為資料極限值範圍。任何超出範圍的觀測值皆視為不合理。如果觀測值超過使用者自定義的極值範圍，則給予標記 3。若觀測值超過儀器的極限，則給予標記 4。否則視為檢驗通過，予以標記 1。

五、季節性極限值檢驗(Test 5 - Climatology Test)

此檢驗類似極限值檢驗，由於觀測值本身的極限值有時會隨著不同季節而改變，因此可對長時間的季節性觀測資料進行統計分析，針對不同季節來定義季節性極限值以利進一步檢驗資料品質的狀態。若觀測值超過季節性的極限值範圍，則給予標記 3。否則視為檢驗通過，給予標記 1。

六、離群值檢驗(Test 6 - Spike Test)

有時儀器可能受到外在的影響或是硬體的雜訊產生明顯的離群值。本檢驗用於檢查單個尖峰值，亦即利用時間連續的三點資料，以第一點與第三點的平均做為基準，比較第二點與基準的差值絕對值是否超過使用者定義的臨界值。若差值絕對值超過給定的臨界高限制值，則給予標記 4；若差值絕對值介於臨界低限制值與臨界高限制值之間，則標記 3，否則視為檢驗通過，給予標記 1。另外無法使用上述方法檢驗的資料點給予標記 2。

七、資料變化率檢驗(Test 7 - Rate of Change Test)

一般連續兩個時間點的資料變動會有一定的變化範圍，此檢驗在於檢查兩點的資料變化率是否小於

該資料點短期時間範圍內的臨界值，藉以篩選時變率過大的資料點。在此將臨界值定義為 3 倍標準差，若資料變化率大於 3 倍標準差，則給予標記 3，否則視為檢驗通過，給予標記 1。另外無法使用上述方法檢驗的資料點給予標記 2。

八、觀測值無變動檢驗(Test 8 - Flat Line Test)

某些儀器的感應器在觀測失敗後，可能會持續輸出最近一次量測成功的數值，為避免此情況造成的資料錯誤，須根據儀器解析度或是資料的最小變動量設定為判定值，用以檢驗連續數筆資料之時間變化皆是否小於判定值。當連續 5 點的時間變化率都小於判定值，則給予標記 4。當連續 3 點的時間變化率都小於判定值，則給予標記 3，否則視為檢驗通過，給予標記 1。另外無法使用上述方法檢驗的資料點給予標記 2。

九、複合變數檢驗(Test 9 - Multi-Variate Test)

檢驗方式類似於資料變化率檢驗(Test 7)，差別在於利用相同測站另外一組具有良好相關性的輔助資料(例如主要資料為示性波高和輔助資料為尖峰週期)，檢查兩組資料的時間變化率是否超過短期時間範圍內的臨界值作為品管標記的判斷基準。當主要資料變化率大於 3 倍標準差，而輔助資料的變化率小於 3 倍標準差時，給予標記 3，否則視為檢驗通過，給予標記 1。另外無法使用上述方法檢驗的資料點給予標記 2。

十、訊號衰減檢驗(Test 10 - Attenuated Signal Test)

訊號衰減常見於儀器的感應器因嚴重磨損的軸承、接地線故障、信號串擾或電線屏蔽等造成的靈敏度衰退。但有別於 Test 8 的連續數點無變動觀測值，訊號衰減會提供一段時間內變化不大的相近值。檢驗方式是短期內的標準差是否大於臨界值來判斷。在此分別定義警告臨界值和失效臨界值各為第二章長期資料標準差的 1/20 和 1/40。若短期標準差小於失效臨界值則標記 4。若短期標準差介於警告臨界值和失效臨界值則標記 3，否則視為檢驗通過，給予標記 1。另外無法使用上述方法檢驗的資料點給予標記 2。

十一、鄰近測站比較檢驗(Test 11 - Neighbor Test)

檢驗方式類似於複合變數檢驗(Test 9)，皆是使用到兩組資料，差別在於本檢驗使用的是鄰近測站之間相關性較佳的相同物理量(例如兩站之間的平均風速)。檢查兩組資料的時間變化率是否超過短期時間範圍內的臨界值作為品管標記的判斷基準。當主要資料變化率大於 3 倍標準差，而輔助資料的變化率小於 3 倍標準差時，給予標記 3，否則視為檢驗通過，給予標記 1。

綜合以上的檢驗說明，示性波高、尖峰週期、平均週期、平均風速以及最大風風速等五項物理量所需經過的品管流程如圖 3.22 所示，需經過 9 項檢驗，每項檢驗皆給予一個品管標記值。如果資料點在其中一項檢驗過程中被為標記 4 或 9，則不管其他檢驗的標

記值為何，直接將該點視為品管失敗，並於後續的品管檢驗中直接標記為 2 而不進行檢驗。另外當品管完成後，本計畫另外對資料點的每個檢驗被標記 3 的次數進行累加，當被標記 3 超過 3 次則將標記 3 更動為標記 4，目的在於將可疑程度高的資料點視為未通過品管。另外考慮波向和風向等方向性資料，其數值大小與能量無關，故簡化了檢驗的流程，僅需進行 4 項品管檢驗。

檢驗流程中 Test 1、4、5、6、7、8、10 等 7 項測試只使用單組物理量資料即可完成檢驗，而複合變數檢驗(Test 9)和鄰近測站比較檢驗(Test 11)需要額外利用同時期另一組輔助資料進行檢驗，所以在圖 3.22 流程中，讓訊號衰減檢驗(Test 10)排在 Test 9 和 Test 11 前面。

2.2 風速資料補遺

2.2.1 多元迴歸分析與倒遞迴類神經網路介紹

一、多元迴歸分析(MRA)

迴歸方程是利用連續觀測資料透過迴歸分析得到的係數建立迴歸方程式，如果迴歸方程的估算值與實際值的相關係數高且誤差小的話，則該方式可合理作為資料補遺的方法。多元迴歸是用於探討多個自變數 X 及一個應變數 Y 之間的關聯性，並建立出迴歸模型，藉此推估我們感興趣的應變數 Y，其迴歸方程式如下：

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i \text{ 其中 } i=1,2,\dots,n \quad (1)$$

其中 Y 為特定測站的迴歸值，X_i 為其他測站的觀測值， β_0 和 β_i 為迴歸係數，並符合下式：

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (2)$$

其中 $\hat{\beta}$ 代表迴歸係數矩陣，X 代表其他站的觀測值矩陣，Y 代表特定測站的迴歸值矩陣。本計畫利用其他測站和特定測站的觀測資料，透過 matlab 程式使用最小平方方法求解 $\hat{\beta}$ 。之後當特定測站出現資料缺失時，即可利用(1)式計算 Y 來進行資料填補。

二、倒遞迴類神經網路(BPN)

類神經網路是建立類似於迴歸方程係數的權重係數和偏差值，可透過過去的觀測資料進行學習來建立權重和偏差，權重可描述輸入值與輸出值之間的關係，藉由適當的學習與驗證所建立的類神經網路同樣可有效的進行資料補遺。

倒遞迴類神經網路是屬於多層連接型網路，其網路主要架構分為一輸入層、隱藏層及輸出層三種。輸入層為網路的輸入變數，例如風速或波高等物理量，其輸入函數通常使用線性函數。隱藏層表示輸入單元間交互作用的情況，其使用的轉換函數多為非線性轉換函數。輸出層的轉換函數一般為線性函數。輸入層和輸出層的數量按照使用者的特定目的來決定，而隱

藏層的數量選擇須經多次的測試才能得到較佳的結果，而一般初次選擇的方式為當輸入層的數量少時，可選擇輸入層與輸出層數量總和的一半；而輸入層數量多時，則以(3)式決定。輸出層為網路的輸出變數。

$$\text{隱藏層數量} = \sqrt{\text{輸入層數量} + 1} + 10 \quad (3)$$

網路計算的通式通常以下式表示：

$$Y_j = f(\text{net}_j) = f(\sum_{i=1}^n W_{ij}X_i - \theta_j) \quad (4)$$

其中 X_i 為輸入值， Y_j 為輸出值， f 為將輸入值的加權乘積和轉換成處理單元輸出的轉換函數。 W_{ij} 和 θ_j 各為權重值和偏差值。其中轉換函數則具有將輸入值轉換為單位向量的功用，本計畫採用對數雙彎曲函數作為轉換函數 f ，其各層的人工神經元可由下式模擬：

$$Y_j = \frac{1}{1 + e^{-\sum_{i=1}^n W_{ij}X_i - \theta_j}} \quad (5)$$

倒傳遞類神經網路的演算過程分為學習過程及回想過程。其中學習過程包含順向傳遞(forward pass)和逆向傳遞(backward pass)。順向傳遞由輸入層開始經權重處理後傳遞至隱藏層，再經轉換函數計算各層處理單元的輸出值，最後傳向輸出層。逆向傳遞則是由輸出層往輸入層方向傳遞，其目的在於計算輸出值與期望值之間的誤差，並修正網路的連接權重。透過權重的不斷修正，使網路的誤差達到最小化。而回想過程則為將學習過程所得到的連接權重直接套用，將輸入向量與連接權重作運算來計算輸出向量的過程。

由於 BPN 演算法屬於監督式學習，監督式學習旨在降低網路輸出值與實測值之間的差距，因此須定義一能量函數(或稱誤差函數)以代表學習的品質；一般採用以下的誤差函數：

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2 \quad (6)$$

式中， T_j 與 Y_j 分別代表目標輸出值與推論輸出值， E 為誤差函數。倒傳遞網路的學習過程藉由最陡坡降法的方式來調整權重值，使誤差函數往最大梯度的方向下降，以達到誤差最小化。權重修正的方式如下式：

$$\Delta W_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ij}} \quad (7)$$

其中 η 代表學習因子(learning factor)，作為疊代過程中的權重修正幅度，一般取於0.1到1範圍之間可達到良好的學習效果。

2.2.2 MRA 和 BPN 的風速補遺測試與誤差評估

由於多元迴歸分析(MRA)和倒遞迴類神經網路

(BPN)在應用上多利用不同測站的相同物理量來建立迴歸模型和類神經網路模型，所以本計畫利用臺中港區六個風速站的同時期資料來建立各自的模型，而因為波浪站僅有一站，故在此不作補遺處理。另外考慮風向資料無法直接利用 MRA 和 BPN 建立其模型，故在此亦不直接建立風速或風向的模型，取而代之的是將風速、風向換算成 U(東西)和 V(南北)方向的風速，並建立 U 和 V 的風速模型。對於時間缺失的風速和風向可利用 U 和 V 的風速模型進行補遺後再換算回風速和風向。

對於 ID6、ID7、ID17、ID18、ID19 和 ID20 等 6 站，每一站皆利用其他 5 站的輸入值進行資料補遺測試。在此依資料用來建立模型的期間以及補遺期間的不同，進行兩種測試。測試一為取 2019 年 3 月 16 日到 2020 年 12 月 31 日期間的資料進行 MRA 迴歸分析以及 BPN 模型訓練，然後在同樣時間範圍內產生補遺值。而測試二為取 2019 年 3 月 16 日到 2020 年 9 月 30 日期間的資料進行 MRA 迴歸分析以及 BPN 模型訓練，然後在 2020 年 10 月份產生補遺值。

三、研究區域

本計畫的波浪資料使用港灣技術研究中心資料庫提供的臺中港 AWAC 資料，其測站的資料庫 ID 為 5。另外使用資料庫的 6 個風速站資料以及一部分尚未輸入資料庫的風速站資料，6 站對應的資料庫 ID 各為 6、7、17、18、19 和 20，各測站的觀測位置如圖 1 所示。測量資料分別為 AWAC 觀測的示性波高、尖峰週期、平均週期以及平均波向、風速計 ID6 所觀測的平均風速、平均風向、最大風風速以及最大風風向。



圖 1 AWAC 波浪計(綠方塊)和風速計(黃三角)位置

四、結果與討論

4.1 波浪資料品質結果

港灣技術研究中心提供的臺中港 AWAC 波浪站資料，其物理量包括示性波高、尖峰週期、平均週期以及平均波向等 4 個項目，時間自 2016/01/01 至 2020/12/03，觀測頻率為 1 小時，共有 29,257 筆資料，參照表 2.1。依上述品質流程依序檢驗波浪資料的結果如下：

1. 時序列缺失檢驗(Test 1)：在 2016/01/01 至

2020/12/03 期間，波浪資料經檢驗後共有 13908 個時間點視為資料缺失(標記 9)，其中包含一些數個月無觀測的時段亦視為資料缺失。這些標記 9 的資料點於後續檢驗中會直接予以標記 2(未檢驗)。資料通過率為 67.779%。

2.極限值檢驗(Test 4)：資料通過率在示性波高為 99.991%、尖峰週期為 99.752%、平均週期為 99.59%、平均波向為 99.764%。標記 4 的部分在示性波高有 4 點、尖峰週期有 107 點、平均週期有 177 點、平均波向有 102 點。標記 3 的部分僅在尖峰週期有 5 點。

3.季節性檢驗(Test 5)：由於此檢驗並無標記 4，各資料通過率在示性波高、尖峰週期和平均週期皆為 100%。平均波向無檢驗此項目。可疑資料標記 3 的部分在示性波高有 28 點、尖峰週期有 29 點、平均週期有 29 點。

4. 離群值檢驗(Test 6)：資料通過率在示性波高為 99.998%、尖峰週期為 99.97%、平均週期為 100%。平均波向無檢驗此項目。標記 4 的部分在示性波高有 1 點、尖峰週期有 13 點、平均週期有 0 點、平均波向有 102 點。標記 3 的部分在示性波高有 8 點、尖峰週期有 48 點、平均週期有 0 點。

5.資料變化率檢驗(Test 7)：由於此檢驗並無標記 4，各資料通過率在示性波高、尖峰週期、平均週期和平均波向皆為 100%。標記 3 的可疑資料在示性波高有 29 點、尖峰週期有 334 點、平均週期有 55 點、平均波向有 187 點。

6.觀測值無變動檢驗(Test 8)：資料通過率在示性波高為 100%、尖峰週期為 100%、平均週期為 99.956%。平均波向無檢驗此項目。標記 4 的部分在示性波高有 0 點、尖峰週期有 0 點、平均週期有 2 點。標記 3 的部分在示性波高有 12 點、尖峰週期有 0 點、平均週期有 19 點。

7.訊號衰減檢驗(Test 10)：資料通過率在示性波高為 99.977%、尖峰週期為 100%、平均週期為 100%。平均波向無檢驗此項目。標記 4 的部分在示性波高有 10 點，而尖峰週期和平均週期皆為 0 點。標記 3 的部分在示性波高有 316 點，而尖峰週期和平均週期皆為 0 點。

8.複合變數檢驗(Test 9)：由於此檢驗並無標記 4，各資料通過率在示性波高、尖峰週期、平均週期皆為 100%。平均波向無檢驗此項目。標記 3 的可疑資料在示性波高有 20 點、尖峰週期有 333 點、平均週期有 55 點。

9.鄰近測站比較檢驗(Test 11)：由於此檢驗並無標記 4，各資料通過率在示性波高、尖峰週期、平均週期皆為 100%。平均波向無檢驗此項目。標記 3 的可疑資料在示性波高有 15 點、尖峰週期有 238 點、平均週期有 30 點。

4.2 風向與風速資料品管結果

臺灣技術研究中心提供的臺中港風速計資料共有 6 個測站，除了 ID6 和 7 站資料時間在 2017 年到 2020 年之外，其他 4 站的時間在 2019 年到 2020 年之間。其物理量項目包括平均風速、平均風向、最大風風速以及最大風風向，觀測頻率為 10 分鐘，資料筆數在 80919 到 216931 筆不等。依上述品管流程依序檢驗風速資料的各檢驗標記點數以及通過率如表 3.15 到 3.38 所示。表中的 Test 1 為時序列缺失檢驗、Test 4 為極限值檢驗、Test 5 為季節性檢驗、Test 6 為離群值檢驗、Test 7 為資料變化率檢驗、Test 8 為觀測值無變動檢驗、Test 8 為觀測值無變動檢驗、Test 9 為複合變數檢驗、Test 10 為複合變數檢驗、Test 11 為鄰近測站比較檢驗。

與波浪資料一樣同樣利用相同定義的綜合標記作為最終的品管結果，並以此計算通過率。依綜合標記計算 ID6、ID 7、ID 17、ID 18、ID 19 和 ID20 的平均風速通過率各為 96.879%、99.911%、99.892%、99.92%、83.492%和 91.228%。其中不含標記 9 的通過率各為 98.747%、99.964%、99.995%、99.994%、99.96%和 99.996%。

ID6、ID 7、ID 17、ID 18、ID 19 和 ID20 平均風向通過率各為 98.108%、99.948%、99.896%、99.926%、83.525%和 91.232%，其中不含標記 9 的通過率各為 100%、100%、100%、100%、100%和 100%。

ID6、ID 7、ID 17、ID 18、ID 19 和 ID20 最大風風速通過率各為 96.877%、99.899%、99.788%、99.886%、83.428%和 91.141%。其中不含標記 9 的通過率各為 98.744%、99.952%、99.892%、99.96%、99.884%和 99.901%。

ID6、ID 7、ID 17、ID 18、ID 19 和 ID20 最大風風向通過率各為 98.108%、99.948%、99.896%、99.926%、83.521%和 91.23%。其中不含標記 9 的通過率各為 100%、100%、100%、100%、99.995%和 99.998%，

4.3 風速資料補遺

為了解 MRA 和 BPN 兩種方式對臺中港風速和風向補遺是否具代表性。在此利用(8)式的均方根誤差、(9 式)的平均絕對值誤差及(10)式的相關係數作為補遺成效的評估指標。其中均方根誤差和平均絕對值誤差代表觀測值與推估值的誤差量，誤差越接近 0 代表準確性越高。而相關係數則表示觀測值與推估值之間的相關程度，該絕對值介於 0 與 1 之間，其值越接近 1 時，代表相關性越高，而接近 0 值則表示無兩者相關。兩種統計指標的定義分別如下：

$$\text{均方根誤差 RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (y^t - y_{obs}^t)^2}{n}} \quad (8)$$

$$\text{平均絕對值誤差 MAE} = \frac{\sum_{t=1}^n |y^t - y_{obs}^t|}{n} \quad (9)$$

$$\text{相關係數} R = \frac{\sum_{t=1}^n (y^t - \bar{y}^t)(y_{obs}^t - \bar{y}_{obs}^t)}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (y^t - \bar{y}^t)^2 \sum_{t=1}^n (y_{obs}^t - \bar{y}_{obs}^t)^2}} \quad (10)$$

其中 y^t 為推估值, \bar{y}^t 為推估值的平均值, y_{obs}^t 為觀測值, \bar{y}_{obs}^t 為觀測值的平均值。

圖 2. 為平均風速、平均風向、最大風風速和最大風風向在測試一使用 MRA 和 BPN 的補遺值與觀測值相關係數比較。由圖可知不管是用 MRA 還是 BPN 進行補遺, 其相關係數差距不大。各站在平均風速和最大風速的相關性皆為高度相關, 其係數皆超過 0.9。在平均風向和最大風風向方面除了 ID19 為偏低之外, 其他站的相關係數亦屬高度相關, 係數在 0.8 和 0.75 以上。

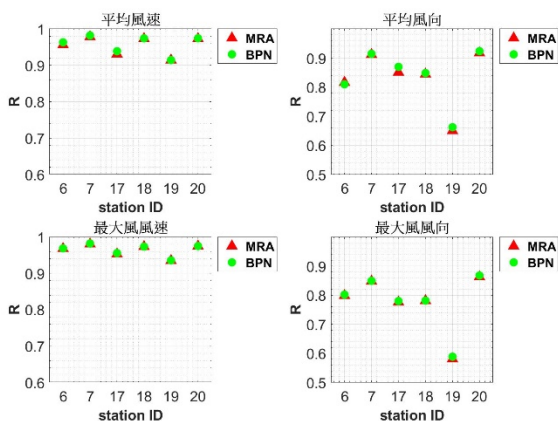


圖 2. MRA 和 BPN 補遺的相關係數比較(測試一)

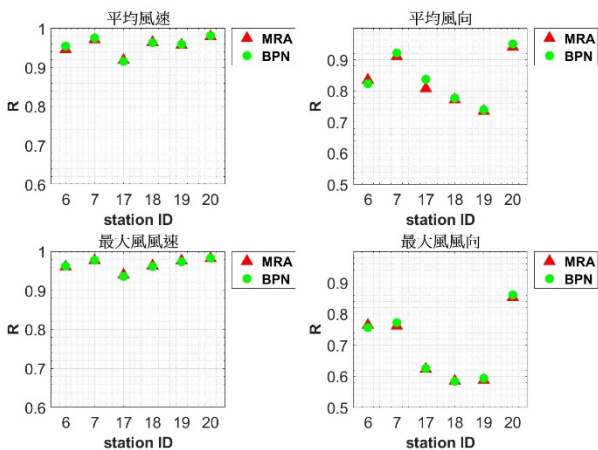


圖 3. MRA 和 BPN 補遺的相關係數比較(測試二)

圖 4. 為平均風速、平均風向在測試一使用 MRA 和 BPN 補遺的 RMSE 與 MAE 誤差比較。使用 MRA 和 BPN 進行補遺得到的 RMSE 和 MAE 差距不明顯。6 站平均風速的 RMSE 約在 0.5 到 2 m/s 之間, 而 MAE 則約在 0.5 到 1.5 m/s 之間, 其中以 ID6 和 ID19 的兩站誤差較大。6 站平均風向的 RMSE 約在 15 到 30 度之間, 而 MAE 約在 5 到 15 度之間。其中以 ID19 站的誤差較大。

圖 5. 為最大風風速和最大風風向在測試一使用 M 和 BPN 補遺的 RMSE 與 MAE 誤差比較。使用 MRA 和 BPN 進行補遺得到的 RMSE 和 MAE 差距不明顯。6 站最大風風速的 RMSE 範圍約在 1 到 2.5 m/s。而 MAE 範圍約在 0.5 到 1.5 m/s, 其中以 ID6 和 ID19 兩站的誤差較大。6 站最大風風向的 RMSE 約在 20 到 30 度之間, 而 MAE 則約在 10 到 20 度之間, 其中以 ID17 和 ID19 兩站的誤差較大。

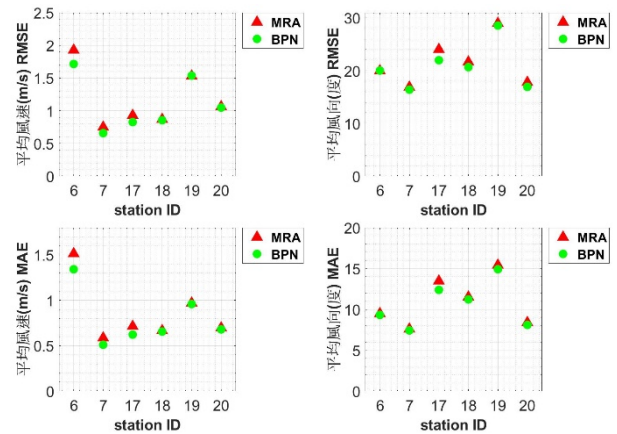


圖 4. 平均風速和平均風向的補遺誤差比較(測試一)

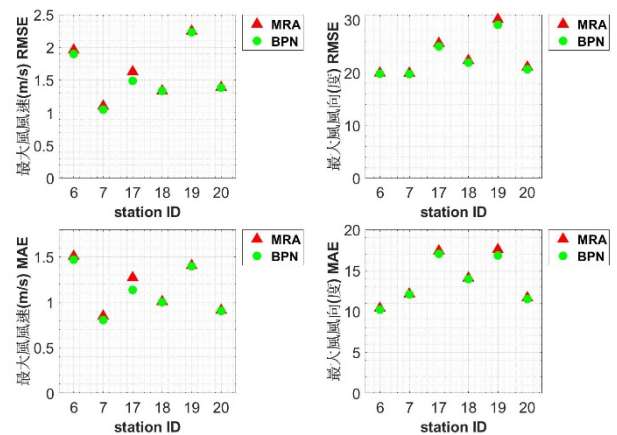


圖 5. 最大風風速和最大風風向的補遺誤差比較(測試一)

圖 6. 為平均風速、平均風向在測試二使用 MRA 和 BPN 補遺的 RMSE 與 MAE 誤差比較。同樣使用 MRA 和 BPN 補遺的 RMSE 和 MAE 差距不大。6 站平均風速的 RMSE 除了 ID6 站約 2 m/s 左右, 其餘 5 站約為 1 m/s, 而 MAE 除了 ID6 站在 1.5 到 2.0 m/s 之間, 其餘 5 站皆在 1 m/s 以內。6 站平均風向的 RMSE 約在 5 到 15 度之間, 而 MAE 皆在 10 度以內。

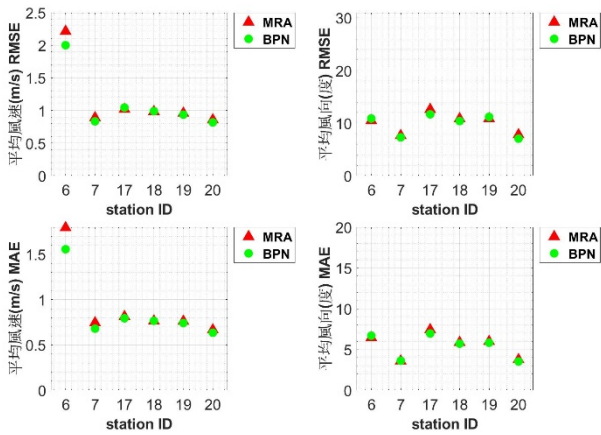


圖 6.平均風速和平均風向的補遺誤差比較(測試二)

圖 7.為最大風風速和最大風風向在測試二使用 MRA 和 BPN 補遺的 RMSE 與 MAE 誤差比較。MRA 和 BPN 兩者進行補遺的 RMSE 和 MAE 差距不多。6 站最大風風速的 RMSE 範圍約在 1 到 2.5 m/s。而 MAE 範圍約在 0.5 到 1.5 m/s，其中以 ID6 站的誤差較大。6 站最大風風向的 RMSE 約在 20 到 30 度之間，而 MAE 則約在 10 到 20 度之間，其中以 ID17 站的誤差較大。

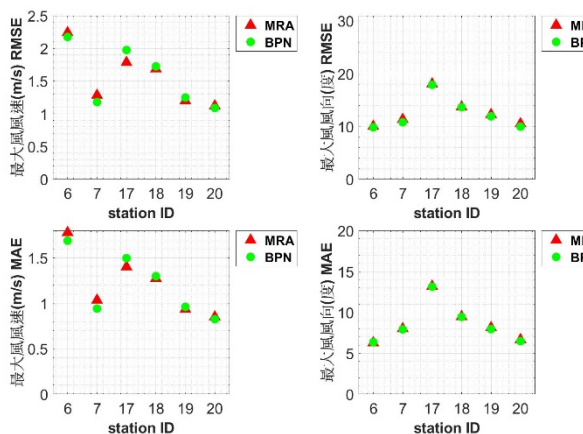


圖 7.最大風風速和最大風風向的補遺誤差比較(測試二)

根據以上的測試結果，利用 MRA 或 BPN 補遺應用在 6 站的平均風速或是最大風速上，皆可得到超過 0.9 的相關係數。而在平均風向相關性除了 ID19 站偏低之外，皆有 0.7 以上的相關性，原因可能是 ID19 站距離其他 5 站較遠。ID6 站平均風速和最大風風速的 RMSE 在 2.5m/s 以內，比起其他 5 站偏高，原因可能為該站設立在離外海較近的長堤盡頭，其相對於其他 5 站風速偏大所致。另外由圖 3.51 到 3.54 可知，測試一和測試二利用 MRA 和 BPN 補遺的誤差結果不大，故本計畫於 3.4 節僅使用 MRA 對 3.2 節資料品管中被標記 4 和 9 的資料點進行資料補遺。

4.4 品管後的風速資料補遺

利用測試一所建立的 MRA 迴歸模型對於品管檢驗被標記 4 和 9 的平均風速、平均風向、最大風風速和最大風風向進行補遺。當平均風速被標記為 4 或 9，不管平均風向是否被標記為 4 或 9，在進行 MRA 補

遺的過程中會同時對平均風速和平均風向兩者作補遺，並取代原來的值回傳至資料庫。對於最大風風速和最大風風向亦作相同的處理。

五、結論

本計畫根據 QARTOD 手冊建立了自動品管檢驗程序，並對臺中港資料庫的 AWAC 示性波高、尖峰週期、平均週期和平均波向進行資料品管，品管結果參照表 3.11 到 3.14。另外亦對 6 個風速站的平均風速、平均風向、最大風風速和最大風風向進行資料品管，品管結果參照表 3.15 到表 3.38。

利用臺中港資料庫的風速資料進行 MRA 和 BPN 補遺誤差評估的結果顯示在 6 站的平均風速或是最大風速上，皆可得到超過 0.9 的相關係數。而在平均風向相關性除了 ID19 站偏低之外，皆有 0.7 以上的相關性，原因可能是 ID19 站距離其他 5 站較遠(圖 1)。ID6 站平均風速和最大風風速的 RMSE 在 2.5m/s 以內，比起其他 5 站偏高，原因可能為該站設立在離外海較近的長堤盡頭(圖 2.1)，相對於其他 5 站的風速較大所致。此外使用 MRA 和 BPN 所得到的補遺值與觀測值之間的誤差差異不大，兩者皆能作為風速資料缺失的良好補遺方式。

參考文獻

1. 美國海洋綜合觀測系統(IOOS)，海洋即時資料品管手冊 (QARTOD Manual) : <https://www.oceanbestpractices.net/handle/11329/336>
2. 陳沛宏、薛憲文、李忠潘、許弘莒、劉明鑫(2020)，台北港海氣象觀測數據檢核，港灣季刊第 115 期，第 14 到 32 頁。
3. 曾以帆、廖奕鈞、謝志敏、薛憲文、陳陽益、李忠潘、許弘莒(2018)，金門海域海氣象特性分析及觀測系統維運，交通部運輸研究所合作研究計畫成果報告。

臺灣周圍海域海面溫度與臺灣月雨量相關性分析

莊峻歲¹ 蕭政宗²

1. 成功大學水利及海洋工程學系碩士班研究生
2. 成功大學水利及海洋工程學系教授

摘要

臺灣地區的水資源條件特殊，由於河川多坡陡流急、降雨時空分布不均，造成年均雨量遠高於世界平均的臺灣，人均可分配到的雨量卻遠低於世界平均值。近年來又因極端氣候加劇，對水資源狀況的掌握以及管理的重要性日益增加。本研究透過分析臺灣周圍海域的海洋表面溫度(sea surface temperature)與雨量的相關性，作為研究臺灣地區雨量特性以及作為雨量預測的參考。本研究蒐集了臺灣地區石碇、天池、屏東、大濁水和頭汴坑共五個雨量站從西元 1982 至 2019 年的月雨量資料，與臺灣周圍從 118°E~126°E、20°N~28°N 範圍內，1°×1°的網格內的月均海面溫度。本研究使用皮爾森積差相關係數(Pearson product-moment correlation coefficient)分析其間的關係。研究結果顯示海面溫度與降雨量多呈現負相關，也就是海面溫度較高時降雨量較少，海面溫度較低時雨量則較為充足。在北部與東部的雨量站中，所有網格的相關係數均分別小於-0.16 和-0.33，結果尤為顯著。

關鍵字：海面溫度、雨量、相關係數、遙相關

The Relationship between Near-Taiwan Sea Surface Temperature and Monthly Rainfall in Taiwan

Chun-Wei Chuang^{1*} Jenq-Tzong Shiau²

1. Master student, Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University
 2. Professor, Department of Hydraulic and Ocean Engineering, National Cheng Kung University
- * Corresponding Author, Email: cherisabellearthur1065@gmail.com

Abstract

Water resources conditions in Taiwan are unique due to the steep rivers as well as the temporal and spatial distribution of uneven rainfall. Although average annual rainfall in Taiwan is much higher than the global average, the rainfall per capita is much lower than the global average. In recent years, the intensified impact of climate change increase, the needs of efficient water resources management adapting to changing environment. This study analyzes the correlation between the sea surface temperature and rainfall in the seas around Taiwan, as a reference for studying the characteristics and prediction of rainfall in Taiwan. This study collected monthly rainfall data for the period of 1982-2019 at five rainfall stations which include Shiding, Tianchi, Pingdong, Dazhuoshui, and Toubiankeng in Taiwan, and sea surface temperature (SST) data range between 118°E-126°E、20°N-28°N around Taiwan, with 1°×1° grids. The relationship between these two monthly series is determined by Pearson product-moment correlation coefficient. The results show that the sea surface temperature and rainfall have negative correlation. That is, the higher sea surface temperature induce less rainfall, and lower sea surface temperature results in abundant rainfall. Two rainfall stations located in the east and north sides of Taiwan, indicate that the correlation coefficients with all grids are less than -0.16 and -0.33, respectively, which showing a significant negative correlations.

Keywords: Sea surface temperature, Rainfall, Correlation coefficient, Teleconnection.

一、前言

臺灣地區的降雨量充沛，年平均降雨量可達 2500 毫米，為世界平均值的三倍之多。但降雨大多集中在 5 月到 10 月的梅雨季與颱風季，降雨時空分布嚴重不均。再加上地形因素，導致大量水資源流失，無法妥善利用。造成人均可用水量遠低於世界平均值，中南部也時常有缺水甚至限水的情況發生。因此，對降雨特性的了解與預測對於水資源規劃至關重要。

海洋表面溫度(sea surface temperature, SST)與特定地區降雨量之間的關係常被用來作為預測雨量的功用，尤其是在熱帶地區的結果會更加的明顯。但在臺灣地區的相關研究卻較為稀少。在有關海面溫度與降雨關係的文獻中，Bazo 等(2013)建立了一個以 ENSO(El Niño-Southern Oscillation)、ATL3(Atlantic Oscillation)和 IOD(Indian Ocean Dipole)作為參數的回歸預測模式，闡釋了大型氣候因子對局部雨量的影響，並使用不同月數延時以應用於預測秘魯地區的雨量。Hiroshi 和 Julie(2018)使用菲律賓鄰近海域海面溫度而非遠距海面溫度進行研究，發現與當地季風季節時降雨量有顯著的負相關。Shukla 和 Misra (1977)使用了海面溫度與季風風速兩項參數觀察其與印度地區降雨量的關係，並在雨季一個月延時中有顯著的相關性。

本研究以皮爾森積差相關係數(Pearson product-moment correlation coefficient)分析臺灣周圍海面溫度與臺灣地區降雨量之關係，以同一月份的溫度和雨量資料探討其間的相關性。

二、研究區域與使用資料

2.1 海面溫度

本研究所使用的海面溫度資料取用自美國國家海洋暨大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)，採用臺灣周圍 118°E~126°E、20°N~28°N 範圍內從西元 1982~2019 年的月海面溫度，空間解析度為 4.24 公里。將 118°E~126°E、20°N~28°N 範圍內的海面分割成 1°×1°共 64 格網格，每格網格內包含 576 筆海溫資料，將其平均並統計自西元 1982 年 1 月至西元 2019 年 12 月的月均海溫資料。其中部分網格內因陸地面積比例較大或資料缺失較多，本研究僅採用保有 50%以上數據的網格共計 53 格，如圖 1 所示。

2.2 降雨量

本研究所使用的雨量資料取自經濟部水利署雨量站，各站月雨量資料的資料年限從西元 1938~2020 年到西元 1978~2020 年不等。因應海面溫度資料的完整性，因此本研究僅使用西元 1982 年 1 月至西元 2019 年 12 月的資料。為了避免雨量站過於集中、降雨型態類似，本研究於臺灣東、南、西、北與中部山區各取一雨量站，分別為大濁水、屏東、頭汴坑、石碇與天池，各站月平均雨量分布如圖 2 至圖 6 所示，雨量站分佈如圖 7，各雨量站基本資訊如表 1 與表 2 所示。

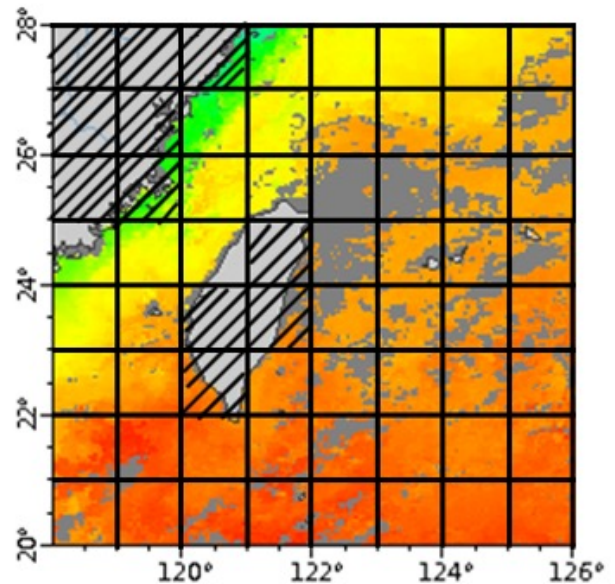


圖 1 海面溫度資料研究區域

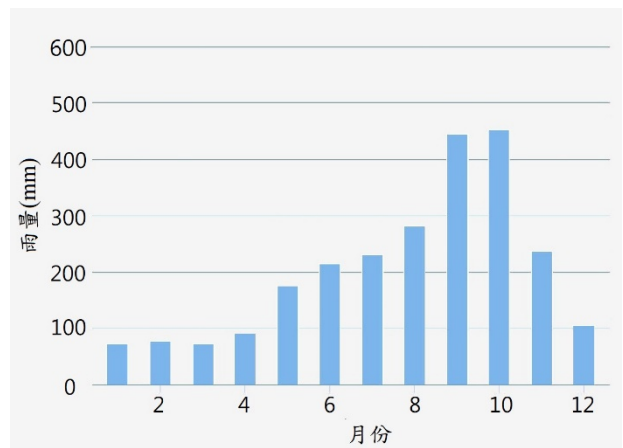


圖 2 大濁水月平均雨量分布

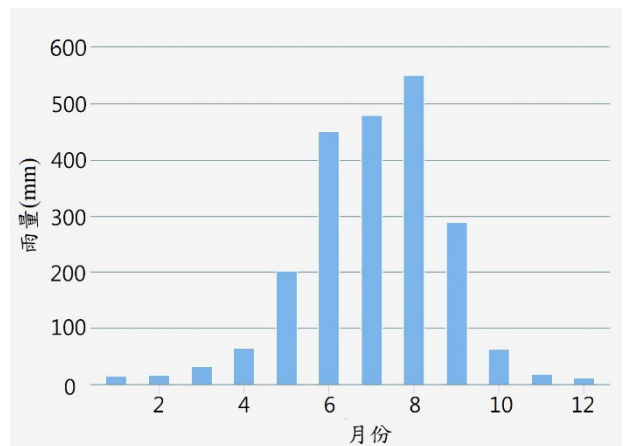


圖 3 屏東月平均雨量分布

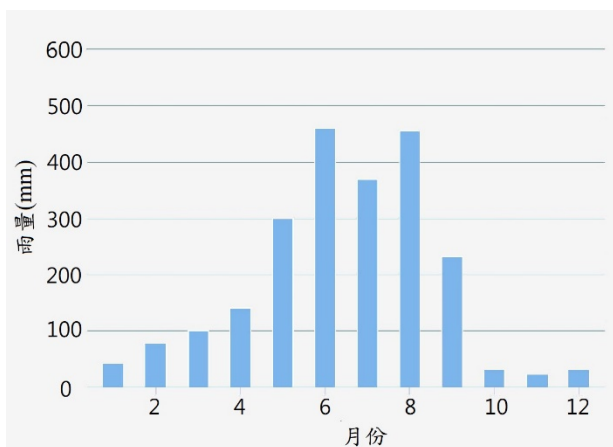


圖 4 頭汴坑月平均雨量分布

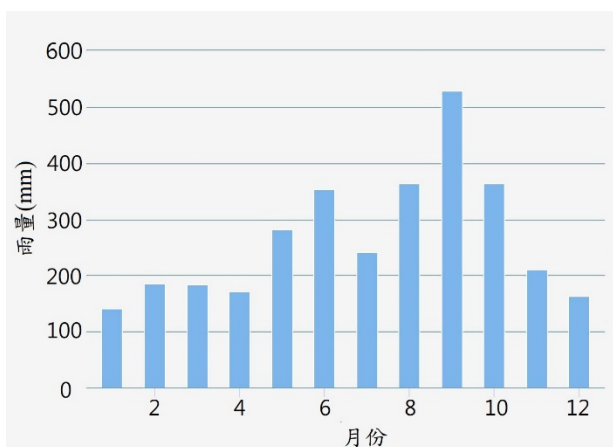


圖 5 石碇月平均雨量分布

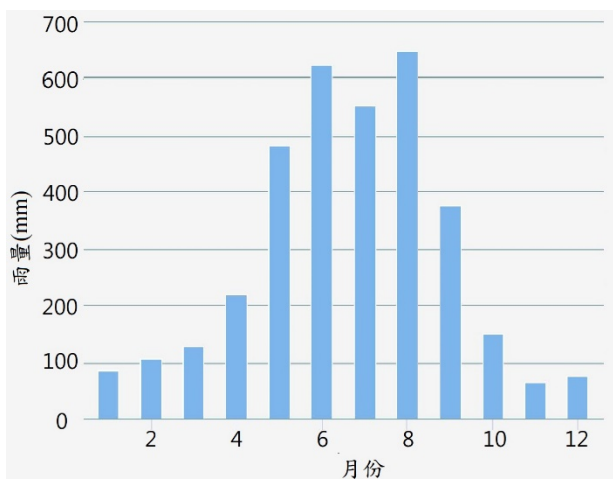


圖 6 天池月平均雨量分布



圖 7 雨量站位置圖

表 1 雨量站位置基本資訊

| 站名 | 站號 | 位置 |
|-----|----------|----------------------------|
| 大濁水 | 2500P003 | 121°43'52.0"E,24°19'51.0"N |
| 屏東 | 1730P060 | 120°27'59"E,22°39'18"N |
| 頭汴坑 | 1430P097 | 120°48'40"E,24°6'54"N |
| 石碇 | 1140P124 | 121°39'28"E,24°59'30"N |
| 天池 | 1730P125 | 120°55'1"E,23°16'39"N |

表 2 雨量站基本統計資料

| 站名 | 高程(m) | 資料年限 | 年平均值(mm) |
|-----|-------|-----------|----------|
| 大濁水 | 48 | 1952~2020 | 2392 |
| 屏東 | 25 | 1938~2020 | 2162 |
| 頭汴坑 | 477 | 1969~2020 | 2264 |
| 石碇 | 250 | 1968~2020 | 3139 |
| 天池 | 2230 | 1978~2020 | 3453 |

三、研究方法

3.1 標準化

將海面溫度與雨量資料分別依照式(1)進行標準化，其中 x 為原始資料， μ 為資料平均值， σ 為資料標準差， z 為標準化後的數值。

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (1)$$

3.2 相關係數

將海面溫度資料與雨量資料標準化後依 53 格網格與 5 個雨量站各 456 個月資料計算皮爾森積差相關係數，共計 265 筆相關係數數據。皮爾森積差相關係數用於度量兩項變數之間的相关程度，以 ρ 表示。此相關係數可定義為兩個變數的共變異數除以它們標準差的乘積，如式(2)所示。在本研究中 X 代表海面溫度資料，Y 代表雨量資料。共變異數 (Covariance) 定義如式(3)，其中 μ 和 ν 分別代表 X 和 Y 的平均值， σ_X 和 σ_Y 分別代表 X 和 Y 的標準差。

$$\rho_{X,Y} = \frac{cov(X,Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (2)$$

$$cov(X,Y) = E(X \cdot Y) - \mu\nu \quad (3)$$

四、結果與討論

4.1 網格對應各雨量站相關係數

各雨量站與海面溫度相關係數範圍與平均值如表 3 所示，除了頭汴坑與天池之外，其餘三個雨量站均全部呈現負相關，並在 Student's t-test 99% 信心水準下有顯著相關。各雨量站與逐一網格相關係數分別如圖 8 至圖 12 所示。

| | | | | | | | | |
|------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 28°N | | | | | | | | |
| 27°N | | | | | | | | |
| 26°N | | | | | | | | |
| 25°N | | | | | | | | |
| 24°N | | | | | | | | |
| 23°N | | | | | | | | |
| 22°N | | | | | | | | |
| 21°N | | | | | | | | |
| 20°N | | | | | | | | |

圖 8 海面溫度與大濁水雨量站相關係數

| | | | | | | | | |
|------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 28°N | | | | | | | | |
| 27°N | | | | | | | | |
| 26°N | | | | | | | | |
| 25°N | | | | | | | | |
| 24°N | | | | | | | | |
| 23°N | | | | | | | | |
| 22°N | | | | | | | | |
| 21°N | | | | | | | | |
| 20°N | | | | | | | | |

圖 9 海面溫度與屏東雨量站相關係數

| | | | | | | | | |
|------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 28°N | | | | | | | | |
| 27°N | | | | | | | | |
| 26°N | | | | | | | | |
| 25°N | | | | | | | | |
| 24°N | | | | | | | | |
| 23°N | | | | | | | | |
| 22°N | | | | | | | | |
| 21°N | | | | | | | | |
| 20°N | | | | | | | | |

圖 10 海面溫度與頭汴坑雨量站相關係數

| | | | | | | | | |
|------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 28°N | | | | | | | | |
| 27°N | | | | | | | | |
| 26°N | | | | | | | | |
| 25°N | | | | | | | | |
| 24°N | | | | | | | | |
| 23°N | | | | | | | | |
| 22°N | | | | | | | | |
| 21°N | | | | | | | | |
| 20°N | | | | | | | | |

圖 11 海面溫度與石碇雨量站相關係數

| | | | | | | | | |
|------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 28°N | | | | | | | | |
| 27°N | | | | | | | | |
| 26°N | | | | | | | | |
| 25°N | | | | | | | | |
| 24°N | | | | | | | | |
| 23°N | | | | | | | | |
| 22°N | | | | | | | | |
| 21°N | | | | | | | | |
| 20°N | | | | | | | | |

圖 12 海面溫度與天池雨量站相關係數

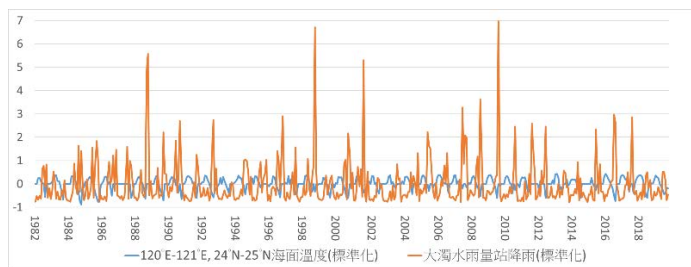


圖 13 120°E~121°E、24°N~25°N 海面溫度與大濁水雨量標準化後關係圖

表 3 各雨量站相關係數

| 雨量站 | 最大值 | 最小值 | 平均值 |
|-----|--------|--------|--------|
| 大濁水 | -0.337 | -0.446 | -0.393 |
| 屏東 | -0.021 | -0.338 | -0.137 |
| 頭汴坑 | 0.124 | -0.178 | 0.023 |
| 石碇 | -0.162 | -0.349 | -0.266 |
| 天池 | 0.059 | -0.204 | -0.037 |

4.2 空間分佈

整體數據多呈現海面溫度與雨量負相關，僅在頭汴坑、天池與臺灣東部海面呈現正相關。頭汴坑和天池與 124°E~126°E、22°N~26°N 範圍內的海面溫度分

別有 0.107 與 0.038 的相關性，並通過 99%信心水準 Student's t-test。此外，120°E~121°E、24°N~25°N 的網格與五個雨量站都有較顯著的負相關性，介於-0.178~-0.446 之間。負相關最顯著的 120°E~121°E、24°N~25°N 網格海面溫度與大濁水雨量標準化後歷年變化如圖 13 所示，可以觀察到在許多時間段中兩個數列呈現相反的走勢。

在本研究中，海面溫度多與降雨量負正相關，與 Hiroshi 和 Julie(2018)於菲律賓、Bazo 等(2013)在 ATL3 與秘魯的研究中有相近結果。不過在這些研究中，依據不同月份或其他條件下的相關係數結果可能不盡相同，在往後的研究中可以縮小範圍進行更仔細的相關性分析。

五、結論

臺灣周圍海域的海面溫度與臺灣地區雨量有明顯的相關性。本研究以臺灣周圍海面溫度對五個雨量站進行相關性分析，海面溫度與大濁水雨量站的相關係數平均值為-0.393，對石碇的相關係數平均值為-0.266。在空間分佈上，五個雨量站都與臺灣海峽區域的海面溫度有較強的負相關，約為-0.178~-0.446。臺灣東部太平洋海域與頭汴坑雨量站為研究範圍中正相關較明顯的部分，相關係數為 0.088。本研究目前僅針對相同時間段上海面溫度與雨量的關係進行研究，未來針對不同季節、月份以及有延時的相關性需要進一步分析，以便得到更精確的相關性或作為雨量預測之參考。

謝誌

本研究承科技部經費補助(MOST109-2221-E-006-020)，特此表示謝忱。

參考文獻

1. Mcgregor G.R., Phillips I.D. (2002) The relationship between monthly and seasonal south-west england rainfall anomalies and concurrent north atlantic sea surface temperatures. *International Journal of Climatology*, 22, 197-217.
2. Bazo J., Lorenzo M.N, Rocha R.P.(2013) Relationship between monthly rainfall in NW Peru and tropical sea surface temperature. *Advances in Meteorology*, Volume 2013, Article ID 152875, 9 pages.
3. Misra B.M., Shukla J. (1977) Relationship between sea surface temperature and wind speed over the central Arabian sea, and monsoon rainfall over India. *Monthly Weather Review*, volume105, 998-1002.
4. Dado J.M.B., Takahashi H.G. (2018) Relationship between Sea Surface Temperature and Rainfall in the Philippines during the Asian Summer Monsoon. June 2018 H. G. TAKAHASHI and J. M. B. DADO. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 96, No. 3, pp. 283-290.
5. Huang A., Yang Q., Jiang J., La M., Zhao Y., Zhou Y., (2015) Influence of the sea surface temperature

anomaly over the Indian Ocean in March on the summer rainfall in Xinjiang. *Theor Appl Climatol*, 119, 781-789.

6. Nguyen T.D., Rosbjerg D., Uvo C. (2007) Relationship between the tropical Pacific and Indian ocean sea-surface temperature and monthly precipitation over the central highlands, Vietnam. *International Journal of Climatology*, 27, 1439-1454.
7. Cai W., Chen H., Chen H., Chen Y., Jiang Z., Li H., Lu E., Song J., Tu J., Zhang Q., Zhou B., Zou X. (2015) *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 12, 27-36.
8. Carpenter T.H., Rasmusson E.M. (1982) The relationship between eastern equatorial Pacific sea surface temperatures and rainfall over India and Sri Lanka. NOAA, Climate Analysis Center, *Monthly Weather Review*, 111, 517-528.
9. Shea D.J., Trenberth K.E. (2005) Relationships between precipitation and surface temperature. *Geophysical Research Letters*, 32, L14703.
10. Brady M., C R.G. (2012) The interdependence between rainfall and temperature: copula analyses. *The ScientificWorld Journal*, 2012, 405675, 11 pages.

曾文水庫 PRO 風速改善—通氣斜坑規劃設計案例探討

曾炫學¹ 林信宏^{2*}

1. 經濟部水利署南區水資源局正工程司
 2. 聯合大地工程顧問股份有限公司組長
- * 通訊作者，Email: ug822@mail.ugi.com.tw

摘要

曾文水庫為增進防淤功能，將既有永久河道放水道(Permanent river outlet, PRO)之何本閘改為全水流斷面的射流閘門，年平均排砂量可增加 56 萬立方公尺。惟 PRO 操作時引致施工維護隧道風速達 12 級颶風，PRO 通氣隧道風速達 9 級烈風，故為維護現場人員安全，規劃設計通氣斜坑增加補氣量，以改善 PRO 操作風速過高現象。本文首先回顧基本設計階段利用現地風速觀測及三維數值模擬，掌握 PRO 操作過程之通氣需求，並研擬 PRO 操作風速改善策略。接著闡述 PRO 通氣斜坑之細部設計成果，包括斜坑洞口佈置、斜坑開挖支撐評估、斜坑與 PRO 閘室銜接方式等。最後說明規劃設計面臨之困難與對策研擬，期望能提供未來類似工程參考。

關鍵字：PRO、風速改善、斜坑

Improve the air quantity of PRO in Zengwen Reservoir — case study of the oblique tunnel plan and design

Hsuan-Hsueh Tseng¹ Hsin-Hung Lin^{2*}

1. Supervisor, Southern Region Water Resources Office, WRA, MOEA.
 2. Team Leader, United Geotech, Inc.
- * Corresponding Author, Email: ug822@mail.ugi.com.tw

Abstract

In order to improve the anti-siltation function of Zengwen Reservoir, the existing permanent river outlet (Pro) Howell-Bunger valve was changed to a jet gate with full flow section, which can increase the annual average sand discharge by 560,000 cubic meters. However, the operation of PRO caused the air speed of the construction and maintenance tunnel to reach a level 12 hurricane, and the air speed of the PRO ventilation tunnel reached a level 9 gale. Therefore, in order to maintain the safety of on-site personnel, the ventilation inclined tunnel was planned and designed to increase the air supply to improve the air quantity of PRO operation. This article first reviews the use of on-site air speed monitoring and three-dimensional numerical simulations in the basic design stage to grasp the ventilation requirements of the PRO operation process, and develop strategies for improving the air quantity of PRO. Next, the detailed design results of the PRO ventilation inclined tunnel are described, including the layout of the inclined tunnel opening, the evaluation of the support of the inclined tunnel excavation, and the connection method of the inclined tunnel and the PRO lock chamber. Finally, it explains the difficulties faced by planning and design and the development of countermeasures, and hopes to provide references for similar projects in the future.

Keywords: permanent river outlet, improve the air quantity, oblique tunnel.

一、前言

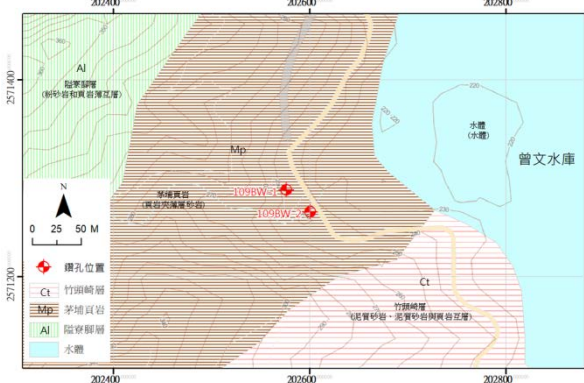
曾文水庫為台灣庫容最大之水庫，亦為嘉南地區最主要之水源，兼具灌溉、給水、發電及防洪功能。曾文水庫自 62 年 4 月蓄水至 98 年底為止，壩前庫床淤積高程達 EL.179 m，累計淤積高達 25,781 萬 m³，年平均淤積量約 705 萬 m³，達規劃設計平均年入庫砂量 561 萬 m³ 之 126%。因壩前庫床淤積高程已達 EL.179 m，遠高於永久河道放水道(Permanent river outlet, PRO)進水口底部 EL.153.37 m 發電進水口中心高程 EL.165 m，已嚴重威脅 PRO 及電廠之正常運轉，使曾文水庫營運功能受到嚴厲考驗。

有鑑於此，經濟部水利署南區水資源局(簡稱本局)辦理曾文水庫永久河道放水口防淤改善工程，利用#1 導水隧道作為水路，將 PRO 原有何本閘拆除，更換為全斷面射流閘門以利排砂，年平均排砂量可增加 56 萬 m³，排洪能力由 90 cms 增為 177 cms。惟於 PRO 操作時發現施工維護隧道風速最高達 12 級颶風，PRO 通氣隧道最高風速達 9 級烈風，若維護人員於隧道內進出有安全之虞，應予改善以確保人員安全。

本文首先回顧基本設計階段利用現地風速觀測及三維數值模擬，掌握 PRO 操作過程之通氣需求，並研擬 PRO 操作風速改善策略。接著闡述通氣斜坑之細部設計成果，包括斜坑洞口佈置、斜坑工程地質、斜坑開挖支撐評估等。最後說明規劃設計面臨之困難與對策研擬，期望提供未來類似工程參考。

二、區域地質概述

本工程範圍區域地質圖如圖 1 所示，內地層屬茅埔頁岩，岩性以暗灰色頁岩為主，夾 3~5 cm 之細粒砂岩和泥質頁岩之薄層。膠結性差，生物擾動性較弱，頁岩中富含孔蟲化石及貝類化石；由岩體強度分級圖顯示屬於 IV 類岩體，岩石強度為 100~250 kg/cm²，在地質災害潛勢圖中為災害低潛勢區。



(資料來源：中央地質調查所，2013)

圖 1 工程範圍區域地質圖

三、PRO 通氣需求

3.1 曾文水庫 PRO 相關結構物

曾文水庫 PRO 相關結構物包括 PRO、PRO 閘室、

PRO 操作維護隧道、PRO 通氣隧道、#1 導水隧道、#2 導水隧道及施工維護隧道，曾文水庫地下結構物平面圖如圖 2 所示。其中 PRO 操作維護隧道、PRO 通氣隧道、施工維護隧道皆為寬 5m x 高 5m 的馬蹄型，斷面積 22.3 m²；#1 及 #2 導水隧道皆為直徑 12 m；PRO 閘室平縱斷面圖如圖 3 所示。

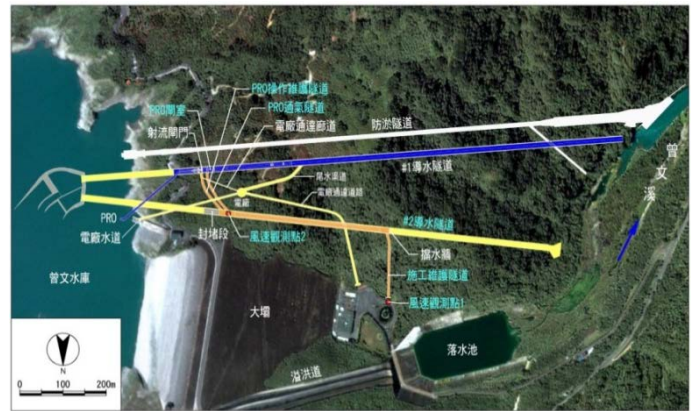


圖 2 曾文水庫地下結構物平面圖

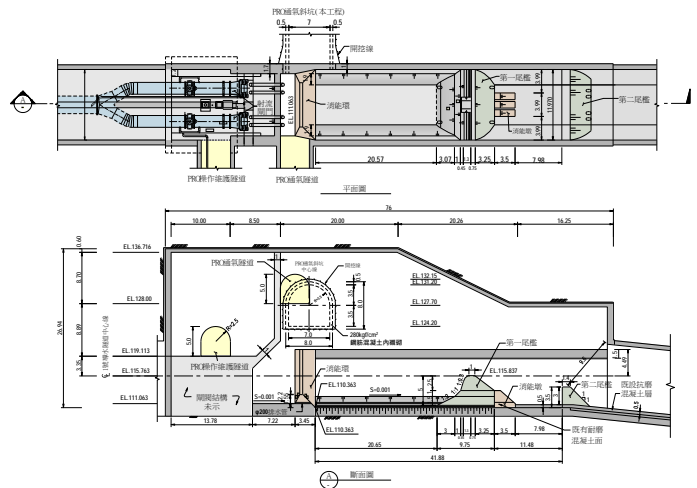


圖 3 PRO 閘室平縱斷面圖

3.2 PRO 操作風速蒐集與分析

曾文水庫 PRO 操作是利用射流閘門放流至 PRO 閘室進行消能，水流再經由 #1 導水隧道流至曾文溪。外部空氣主要是經由施工維護隧道、#2 導水隧道及 PRO 通氣隧道送至 PRO 閘室。為瞭解 PRO 操作時施工維護隧道與 PRO 通氣隧道補氣時之風速，於施工維護隧道與 PRO 通氣隧道各設置一風速觀測點，如圖 4 所示。

圖 5 則為 PRO 放流量與隧道補氣量關係圖，當 PRO 放流量達 167 cms 時(閘門開度 100%)，施工維護隧道風速最高為 118.7 km/hr，PRO 通氣隧道風速最高為 78 km/hr。PRO 操作時施工維護隧道的風速皆高於 PRO 通氣隧道。此外，因 PRO 操作時 #2 導水隧道風速甚小，故無列入記錄。為釐清 PRO 操作風速過高改善之通氣需求，利用 CFX 三維數值分析模擬 PRO 操作，掌握 PRO 操作時隧道內風速分佈，做為改善

工程設計依據。圖 3 為三維數值模型及邊界條件示意圖，模型的基本及邊界條件如下：(1)基本條件：流體為雙相流，流體為不可壓縮流，且為牛頓流體。考慮重力場及紊流場。(2)邊界條件：(a)射流閘門放流量為 167 cms (閘門全開)；(b)#1 導水隧道下游為 1 大氣壓；(c)施工維護隧道出口風速 87.6 km/hr (現場實際觀測)

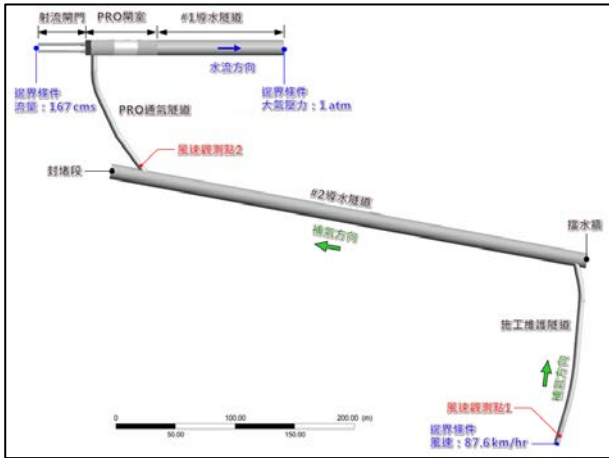


圖 4 CFX 三維數值模型及邊界條件示意圖(巨廷工程顧問公司, 2019)

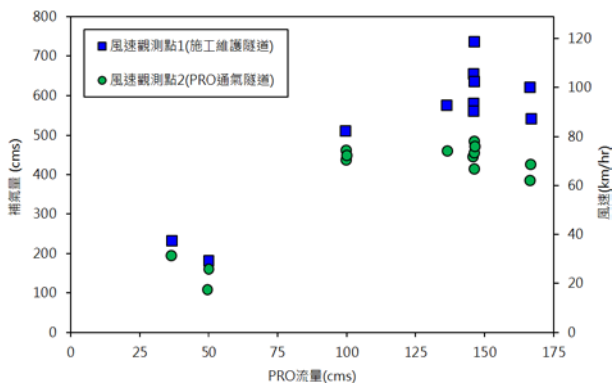
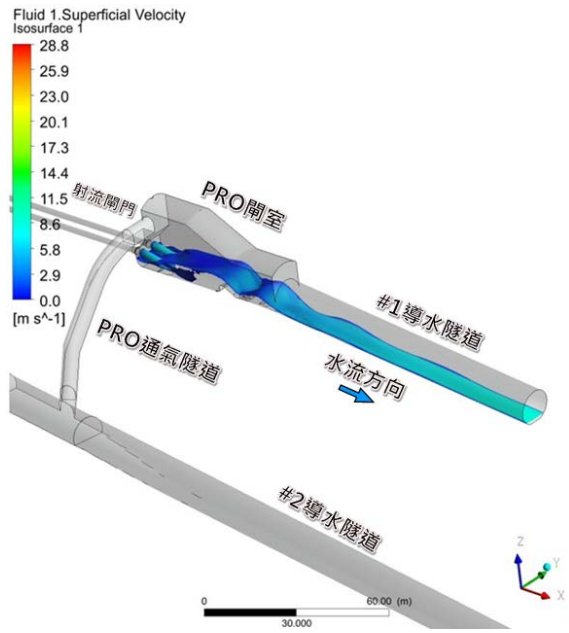


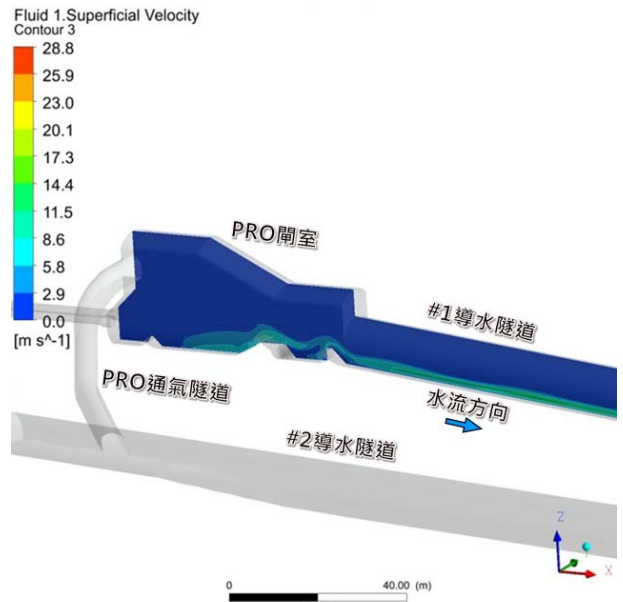
圖 5 PRO 放流量與隧道補氣量關係圖(巨廷工程顧問公司, 2019)

圖 6 為#1 導水隧道水流速度分佈圖，可見 PRO 放流至 PRO 閘室後，水流直接衝擊第一座尾檻，越過第一座尾檻後，在第二座尾檻形成一個水躍，水柱的速度最高約 10 m/s。圖 7(a)為施工維護隧道空氣速度分佈剖面圖，可見空氣由施工維護隧道進入#2 導水隧道時因隧道斷面積增加，風速明顯下降，最高風速發生於施工維護隧道入口處。

圖 7(b)為 PRO 通氣隧道空氣速度分佈剖面圖，顯示空氣自#2 導水隧道進入 PRO 通氣隧道時因隧道斷面積束縮，風速明顯上升，最高風速發生於#2 導水隧道與 PRO 通氣隧道交匯處。進一步比對分析成果與現場實測風速值，風速觀測點 2 之分析風速為 61.37 km/hr，而現場觀測風速約 62 km/hr，分析結果與實測風速相近，可見本分析模式有效掌握 PRO 操作時隧道內風速分佈。

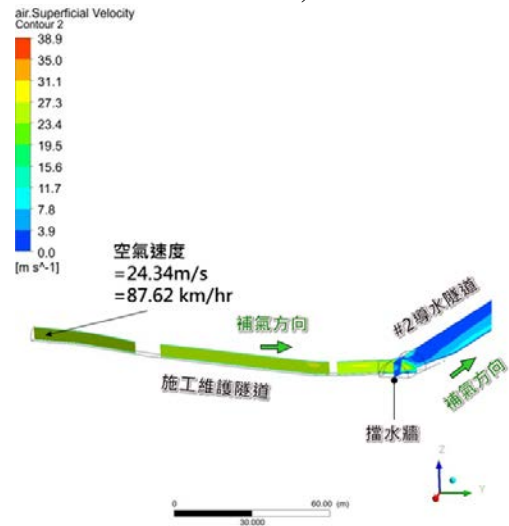


(a)水面速度分佈



(b)水流速度剖面分佈

圖 6 #1 導水隧道水流速度分佈圖(巨廷工程顧問公司, 2019)



(a)施工維護隧道

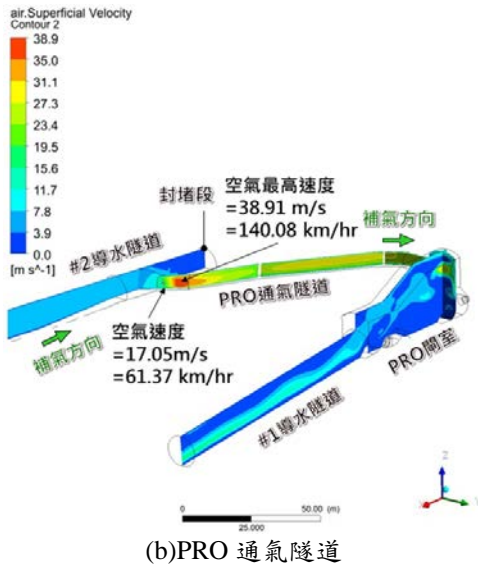


圖 7 空氣速度分佈剖面圖(巨廷工程顧問公司, 2019)

3.3 PRO 操作風速改善策略

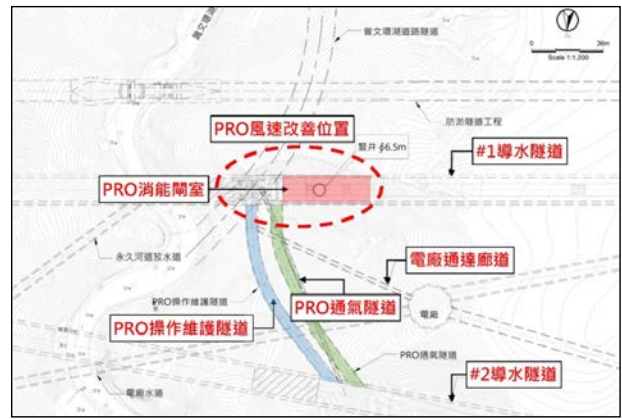
由 PRO 操作風速觀測可知，外部空氣主要是經由施工維護隧道、#2 導水隧道及 PRO 通氣隧道送至 PRO 開室，最高風速發生在施工維護隧道；次高風速發生在 PRO 通氣隧道；#2 導水隧道風速最低。惟施工維護隧道與 PRO 通氣隧道尺寸相同，開門全開時施工維護隧道最高風速卻為 PRO 通氣隧道的 1.5 倍，故有少部份氣體是由 PRO 操作維護隧道送入 PRO 開室，而非全經 PRO 通氣隧道送入。

依風速觀測值及英國 Beaufort 風級分類可知，PRO 操作時施工維護隧道風速為 12 級颶風，PRO 通氣隧道風速為 9 級烈風，恐影響現場人員之安全，應予以改善，故提出以下 2 策略：

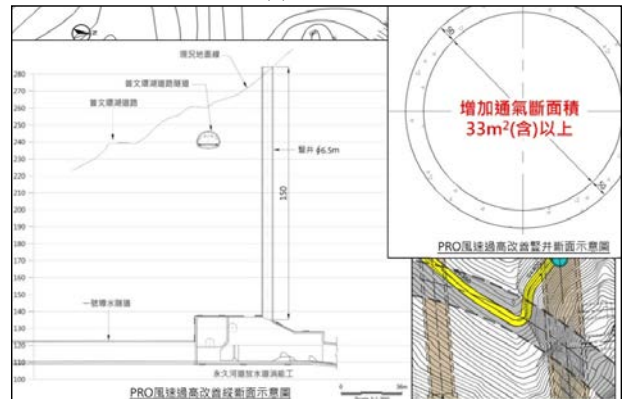
(1)策略一_從施工維護隧道：由於曾文南化聯通管興建時須將#2 導水隧道內擋水牆拆除，此時#2 導水隧道直接與外部聯通，外部空氣可透過#2 導水隧道與施工維護隧道送入隧道內，即可解決施工維護隧道風速過高現象。

(2)策略二_從 PRO 通氣隧道：建議於 PRO 開室新設與外部聯通之通氣設施(基設規畫方案為豎井)，或擴大既有 PRO 通氣隧道斷面。以風速 50 km/hr (Beaufort 6 級強風)為設計標準，需再增加 33 m²以上通氣斷面。

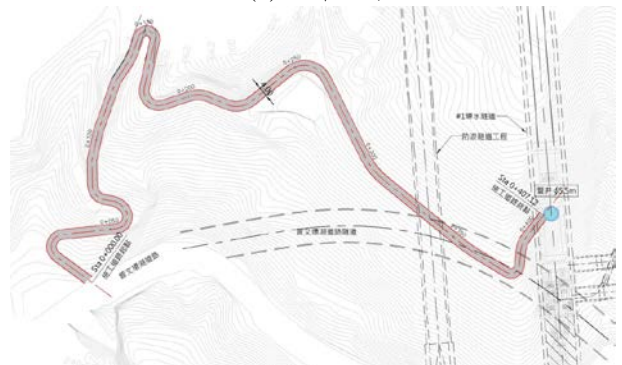
因此，經綜合評估選擇採用策略一及策略二併行，惟策略二於基設時擬於消能室上方興建直徑 6.5 m 之豎井，作為增加通風斷面之需求(圖 8(a)及圖 8(b))。後經本團隊(統包商)進行評估後發現，若要採用豎井方案，需修築現有產業道路作為施工期間通達道路及日後營運之維修道路(圖 8(c)及圖 8(d))，但受限於地形影響，此道路縱坡將高達 27.42%，過於陡峭無法供大型施工機具行駛，經評估後改採斜坑方案，無需進行大幅度之道路工程即可滿足需求。



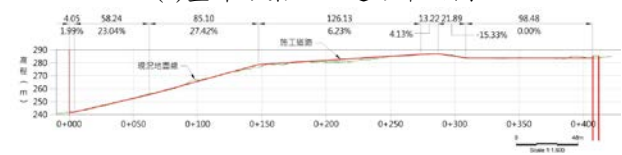
(a)平面圖



(b)縱斷面圖



(c)豎井方案施工道路平面圖



(d)豎井方案施工道路縱斷面圖

圖 8 基本設計 PRO 通氣改善方案(南區水資源局, 2019)

四、規劃設計

4.1 PRO 通氣斜坑工程布置

PRO 通氣斜坑位置如圖 9 與圖 10 所示，一端洞口位於嘉-145 縣道之產業道路上，另一端洞口與 PRO 開室銜接，斜坑傾斜角度達 32 度，傾斜角度相當大，為近年來少見之設計。本隧道依據不同需求，分為洞門及明隧道段、洞口段、一般段及切牆段等。

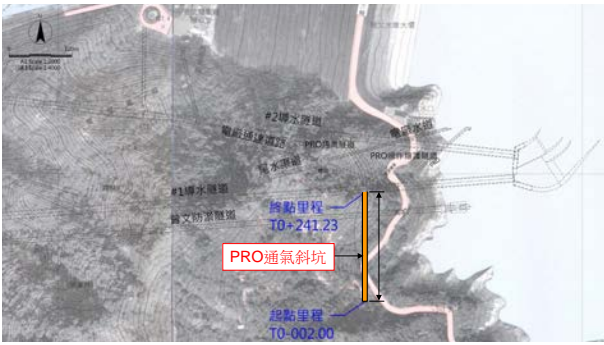


圖 9 PRO 通氣斜坑平面位置圖

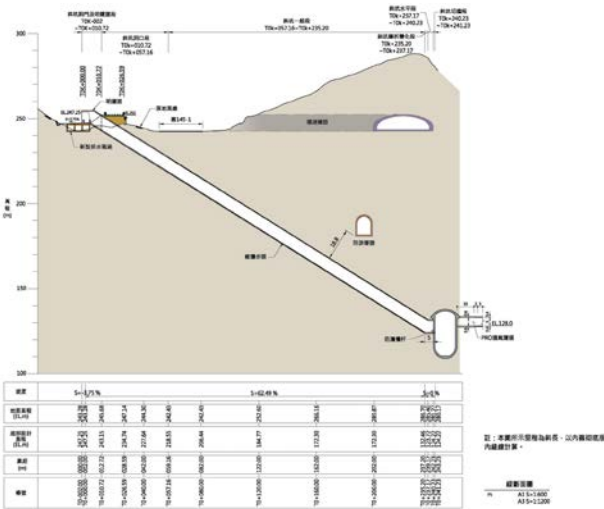


圖 10 PRO 通氣斜坑縱斷面圖(中華工程公司/聯合大地工程顧問公司, 2020)

4.2 PRO 通氣斜坑工程地質

通氣斜坑工程地質評估剖面如圖 11 所示。隧道長約 243.23 m，最大覆蓋約 146 m，沿線通過之岩性為粉砂岩、砂岩、泥質砂岩等，岩體大致完整，不連續面偶有夾泥及滲水情形，主要有三組不連續面。以岩體分類法推估，BIII 岩類約占 55%，BIV 岩類約占 35%，BV 岩類約占 10%。

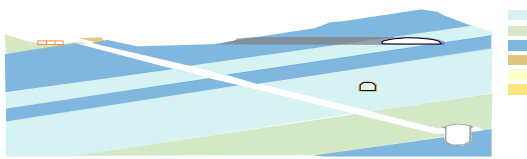
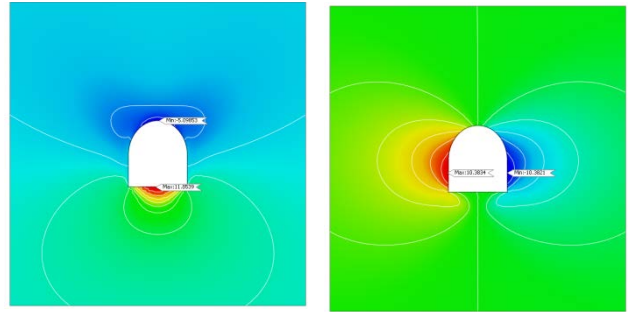


圖 11 PRO 通氣斜坑工程地質剖面圖(中華工程公司/聯合大地工程顧問公司, 2020)

4.3 PRO 通氣斜坑開挖支撐

根據工程地質評估結果與隧道幾何形狀，以經驗法擬定對應之開挖支撐設計，續以調查或推估所得之岩體參數為依據，再應用有限元素法，使用 MIDAS/GTS NX 程式，以二維板元素模擬岩體，一維梁元素模擬噴凝土及鋼支保，一維桁架元素模擬岩栓，破壞準則採用 Mohr-Coulomb 準則，並檢核斜坑變形量、塑性區大小及各種支撐材料受力情形，據以修訂經驗法之開挖支撐設計。模擬結果顯示，各類支撐之變形量均小於變形寬容量(圖 12)，岩栓長度亦能貫穿塑性區，滿足設計需求，斜坑開挖支撐設計如表 1 所示。



(a)一般段 TYPE II 垂直向位移量(Δy) (b)一般段 TYPE II 水平向位移量(Δx)

圖 12 開挖後岩體變位圖(中華工程公司/聯合大地工程顧問公司, 2020)

表 1 PRO 通氣斜坑開挖支撐表(中華工程公司/聯合大地工程顧問公司, 2020)

| 支撐形式 | 適用段別-一般段 TYPE II | 適用段別-一般段 TYPE II | 適用段別-一般段 TYPE II-2 | 適用段別-一般段 TYPE II | 適用段別-一般段 TYPE II | 適用段別-一般段 TYPE II |
|------|------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
| 支撐材料 | 鋼管 | 鋼管 | 鋼管 | 鋼管 | 鋼管 | 鋼管 |
| 管徑 | Φ100 | Φ100 | Φ100 | Φ100 | Φ100 | Φ100 |
| 間距 | 1.0m | 1.0m | 1.0m | 1.0m | 1.0m | 1.0m |
| 長度 | 2.0m | 2.0m | 2.0m | 2.0m | 2.0m | 2.0m |
| 安裝 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

五、困難與對策

5.1 淺覆蓋偏壓地形條件下斜坑開挖

PRO 通氣斜坑因受限於需以較短長度與 PRO 開室銜接，故考量斜坑傾斜角度，進洞位置選擇在嘉 145 縣道旁的無名產業道路上，此地形不僅具有偏壓，且其洞口位置又有既有之野溪，導致能進洞位置甚少；若以傳統方式，需俟覆土厚度達 1D (隧道開挖直徑) 後方可進洞，提升地拱形成機率；惟若至覆土厚度 1D 處才進洞(圖 13)，將會造成地表挖方量大增，與近年來降低環境衝擊理念明顯不符。爰此，PRO 通氣斜坑洞口設計以混凝土進行培厚，提早進洞避免大規模地表開挖。其餘輔助工法則為：於頂拱上方打設長 12 m、直徑 100 mm 之管幕鋼管以形成一傘狀之保護拱，增加開挖面穩定性。此外，考量友善環境之設計，於培厚混凝土上方設計植生空間，採用藤蔓類植物，讓其自然攀爬垂掛於混凝土表面上，以達綠美化之效果。

六、結語

本工程係因 PRO 操作時發現施工維護隧道風速最高達 12 級颶風，PRO 通氣隧道最高風速達 9 級烈風，為確保維護人員安全，故新建一隧道增加其通風斷面積達 44 m²，以滿足需求並增加 33% 之餘裕。此外，原基設規劃採用豎井方式施作，惟基於施工性與減低環境衝擊考量，於統包階段改採斜坑方式細設與施工，並依斜坑洞口位置之地形與地質特性，以培厚方式克服偏壓問題，同時設計開窗切牆工法銜接既有 PRO 閘室。希望藉由本文能提供未來類似工程之借鏡與參考。

參考文獻

1. 中央地質調查所，2013，「易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置：圖冊」。
2. 中華工程公司/聯合大地工程顧問公司，2020，「PRO 操作風速過高改善工程細部設計圖」，曾文南化聯通管統包工程 A1 標，經濟部水利署南區水資源局。
3. 中華工程公司/聯合大地工程顧問公司，2020，「PRO 操作風速過高改善工程設計計算書」，曾文南化聯通管統包工程 A1 標，經濟部水利署南區水資源局。
4. 巨廷工程顧問公司，2019，「曾文水庫永久河道放水水道操作風速改善策略報告」，曾文南化聯通管統包工程設計及施工諮詢，經濟部水利署南區水資源局。
5. 經濟部水利署南區水資源局，2019，「曾文南化聯通管工程 A1 標-機關需求書」。

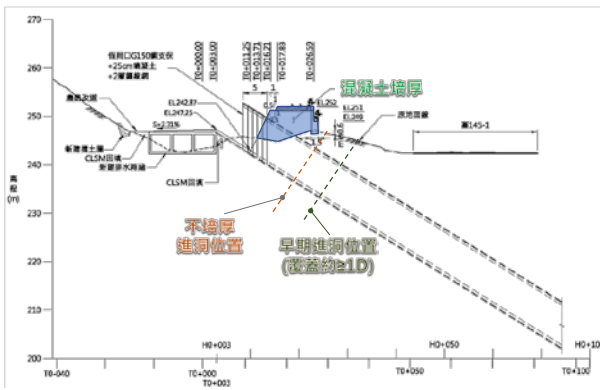


圖 13 進洞位置影響示意圖

5.2 通氣斜坑與 PRO 閘室銜接段開挖

本工程另外一個困難點為 PRO 通氣斜坑與 PRO 閘室銜接時如何施工。首先為了預留切除 PRO 閘室襯砌時之施工作業空間，於水平段時逐輪擴挖至跨度約 10 m (圖 14)，接著逐塊切除 PRO 閘室襯砌混凝土後，以間距 0.5 m 架設兩對 H200 鋼支保並植筋與 PRO 閘室連接，將兩個不同之結構予以連結固定。

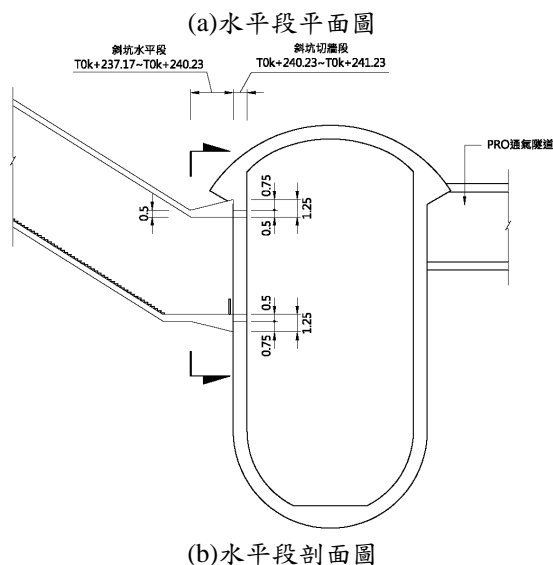


圖 14 PRO 通氣斜坑水段平、剖面圖(中華工程公司/聯合大地工程顧問公司，2020)

牡丹水庫集水區

汝仍溪攔木設施規劃設計

吳政哲¹ 蕭維德² 林冠傑^{3*}

1. 巨廷工程顧問股份有限公司

2. 經濟部水利署南區水資源局正工程司

3. 經濟部水利署南區水資源局工程員

* 通訊作者，Email: way410165@wrasb.gov.tw

摘要

牡丹水庫每逢颱風豪雨，水庫集水區崩塌地之樹林及枯木隨水流進入庫區，水庫因流木入侵問題，導致進水口攔污柵阻塞進而影響水庫營運；為有效攔阻颱風豪雨時所夾帶之大量流木，經濟部水利署南區水資源局決定於牡丹水庫汝仍溪上游適當位置設置攔木設施。本文說明攔木設施位置之選擇及鋼管壩攔木設施之設計。

關鍵詞：牡丹水庫，攔木設施，鋼管壩，水庫流木

Planning Design of Log Barrier on Luni Creek in Mudan Reservoir Drainage Basin

Zheng-Zhe Wu¹

Wei-De Xiao²

Guan-Jie Lin^{3*}

1. G. T. INTERNATIONAL

2. Engineer, Southern Region Water Resources Office, WRA, MOEA

3. Junior Engineer, Southern Region Water Resources Office, WRA, MOEA

* Corresponding Author, Email: way410165@wrasb.gov.tw

Abstract

During typhoon and storm periods, trees and dead woods induced by land slides in the Mudan Reservoir drainage basin often conveyed by flood flow, either floating or submerged, into the reservoir. These debris can clog up intake trashracks and hamper the reservoir operation.

To effectively cut-off massive quantity of floating logs, the Southern Region Water Resources Office, WRA, MOEA decided to construct a log barrier at a suitable upstream location of Luni Creek. This paper explains the location selection and present the design of steel-pipe barrier facility.

Keywords : Mudan Reservoir, Log Barrier, Steel-Pipe Dam, Reservoir Floating Debris.

一、計畫緣起及目的

每逢颱風豪雨，水庫集水區崩塌地之樹林及枯木隨水流進入庫區，水庫因流木入侵問題，可能導致進水口阻塞進而影響水庫營運；為有效攔阻颱風豪雨時所夾帶之大量流木，經濟部水利署南區水資源局(以下簡稱南水局)計畫於牡丹水庫之主流汝仍溪上游適當位置設置攔木設施，雖汝仍溪上游已有兩座既有防砂壩，惟就歷史統計資料顯示其攔截流木之效益有限，攔木設施有施作之必要，乃辦理本計畫。

二、基本資料蒐集整理分析

2.1 水庫水位特性

依據 1997 年至 2016 年旬末的平均水位(詳圖 2.1.1)，長期而言，平均水位介於 EL.127 公尺至 EL.139 公尺之間，其中每年 11 月至翌年 5 月為水位下降期，5 月至 7 月為水位上升期，7 月至 11 月處於豐水期及高水位期。又依據 1997 年至 2016 年以日水位記錄所分析而得之水位超越機率圖(詳圖 2.1.2)，其分別為全年、豐水期(5 月至 10 月)及枯水期(11 月至翌年 4 月)之超越機率曲線，若以高程 EL.132 公尺為參考，相應之超越機率相當大，皆在 70% 以上。

2.2 水庫淤積概況

牡丹水庫自 1996 年大壩完工開始蓄水後，至 2015 年為止共進行十次淤積測量，水庫標高-面積-庫容曲線詳圖 2.1.3，依據測量資料顯示水庫 1995 年 6 月竣工至 2008 年間年平均淤積量為 19.77 萬立方公尺，而 2009 年 8 月 8 日莫拉克颱風造成牡丹水庫 59.65 萬立方公尺的淤積量，為先前年平均量的 3.02 倍，亦將牡丹水庫年平均淤積量提高至 22.535 萬立方公尺，顯示水庫淤積情形相當嚴重。自 1995 年 6 月至 2015 年 10 月，間隔時間 20.35 年，期間總淤積量為 476.792 萬立方公尺，故年平均淤積量為 23.429 萬立方公尺。

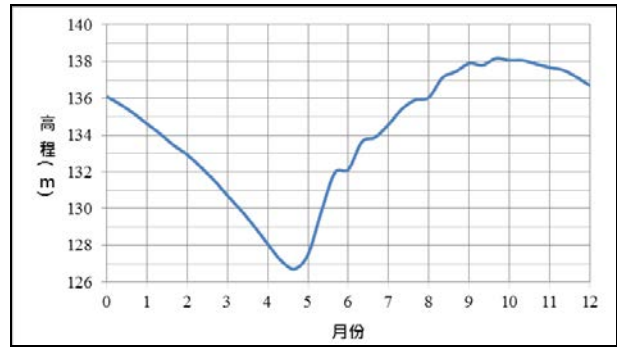


圖 2.1.1 牡丹水庫 1997 至 2016 年旬末平均水位圖

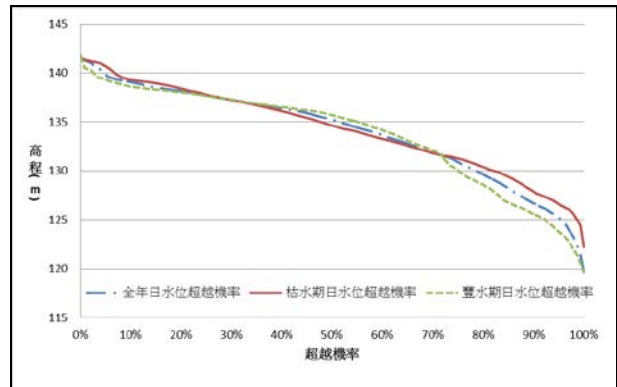
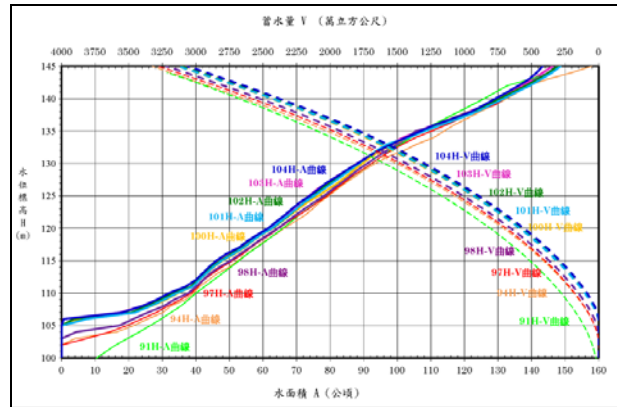


圖 2.1.2 牡丹水庫日水位超越機率圖



資料來源：104 年牡丹水庫淤積測量委託技術服務成果報告，經濟部水利署南區水資源局，民國 104 年 12 月。

圖 2.1.3 牡丹水庫標高一面積一容積曲線圖

2.3 上游崩塌地調查

汝仍溪佳洛崗橋上游共有 17 處崩塌地，其分佈如圖 2.3.1 及圖 2.3.2，其中殘餘土石量較大者為#7 崩塌地之 14,400 立方公尺，因本計畫攔木設施為透過性壩，判斷對本計畫影響不大。



圖 2.3.1 汝仍溪佳洛崗橋至二期防砂壩間崩塌地分佈圖



圖 2.3.2 汝仍溪二期防砂壩上游崩塌地分佈圖

2.4 流木清理量分析

牡丹水庫 2006 年至 2016 年颱風或豪雨事件水庫進流量與流木清理量比較如表 2.4.1。依該表數據，有以下發現：

表 2.4.1 牡丹水庫歷年水庫進流量與流木清理量比較表

| 年度 | 颱風或豪雨 事件水庫 進流量(萬 m ³) | 流木 清理量 (m ³) | 備註 |
|------|---|--------------------------------|----------------|
| 2006 | 5,297 | 378 | |
| 2007 | 6,938 | 1,049 | |
| 2008 | 4,507 | 900 | |
| 2009 | 10,893 | 1,475 | 莫拉克颱風 |
| 2010 | 4,927 | 850 | 汝仍溪防砂壩一期完工 |
| 2011 | 6,388 | 225 | |
| 2012 | 8,657 | 1,530 | |
| 2013 | 7,720 | 300 | |
| 2014 | 3,476 | 150 | |
| 2015 | 1,740 | 50 | |
| 2016 | 6,139 | 129 | 汝仍溪防砂壩二期 3 月完工 |

1. 一期防砂壩於 2010 年完工，2012 年庫區流木清理量仍達 1,530m³，無攔截流木功能。

2. 二期防砂壩能攔截部分流木，但仍有流木進入庫區。

3. 依水土保持局分析，牡丹水庫 80% 泥沙來自汝仍溪，依此比例估算，來自汝仍溪之流木體積約 1,224m³。

2.5 流木尺寸調查

根據近期流木清理工作時之現場量測，流木樹徑最大可達 30 公分，樹長經剪裁後亦近 3 公尺。

三、攔木設施方案研擬及評選

3.1 攔木設施設置區位檢討

牡丹水庫上游包括汝仍溪及牡丹溪兩條主流，經比較集水面積、崩塌地面積及通達道路，攔木設施以設置於汝仍溪為佳。為防止流木進入牡丹水庫水上型太陽光電發電系統設置專區，攔木設施應設置於 EL120 公尺以上水域。

3.2 攔木設施工法檢討

依國內外攔木設施案例分析，攔木設施可採用攔木索或鋼管壩，其中攔木索適用於低流速(低於 0.68 公尺/秒)之水域；而鋼管壩適用於較高流速之水域，依日本之經驗，其特別適用於溪床坡度 2% 以下之河段，本計畫區域符合此要求，故本計畫建議採用鋼管壩。依初步水理計算，50 年重現期洪水量時，水深約 5~6 公尺，出水高採用 1 公尺，則鋼管壩高約 6~7 公尺，依各種鋼管壩結構形式之比較，考量適用壩高、施工性，維護容易、經濟性，建議採用 B 型鋼管壩。

3.3 攔木設施方案評選

本計畫自佳洛崗橋上游防砂壩至佳洛崗橋下游河段，於直線河道研擬 3 個方案，如圖 3.3.1 所示。經以流木攔截條件、流木清理條件、設施維護條件、地質條件、工程費及施工條件等 6 項因子評估各方案之優劣，經採相對重要性比值法(Relative Importance Value) 加以評估後，以流木攔截條件、流木清理條件及工程費條件重要性最高，權重採 24%，其他三項因子重要性相對較低，權重採 9~10%。各參數因子經加權計算結果如表 3.3.1 所示，建議採用方案 B 即於佳洛崗橋上游 262 公尺處設置鋼管壩。

計 35m，地質剖面如圖 4.2.1 所示，單壓強度介於 141.88~251.03kg/cm²之間。

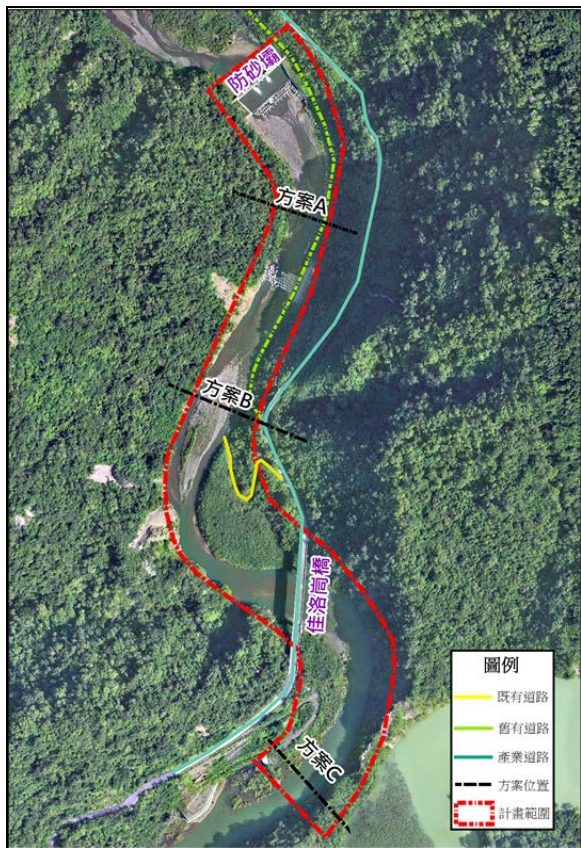


圖 3.3.1 汝仍溪攔木設施各方案位置圖

表 3.3.1 牡丹水庫汝仍溪攔木設施位置方案評選表

| 方案別 | 流木攔截條件 | 流木清理條件 | 設施維護條件 | 地質條件 | 工程費條件 | 施工條件 | 積分 (Σ 權重×評分) |
|-----|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------------|
| 權重 | (21%) | (21%) | (10%) | (17%) | (21%) | (10%) | |
| A | 3 | 1 | 1 | 3 | 5 | 1 | 2.60 |
| B | 4 | 3 | 3 | 5 | 3 | 5 | 3.75 |
| C | 5 | 5 | 5 | 1 | 1 | 3 | 3.28 |

*評分基準：依條件優劣，給予評分 1~5 分，分數越高，條件越佳。

四、設計資料補充調查分析

4.1 地形測量及地籍套繪

本計畫針對定案攔木設施壩軸上下游進行地形測量，測量範圍自防砂壩至佳洛崗橋上游，測量面積約 6 公頃。攔木設施用地包括牡丹段 942、947 及 721-1 地號等 3 筆地號，清運便道用地包括牡丹段 713、713-1 及 713-2，其中除 713-1 地號之土地權屬為私人用地，其餘地號之土地權屬為經濟部水利署南區水資源局。

4.2 地質鑽探及試驗

本計畫期中會議擇定方案 B 為較佳之攔木設施位置，故依契約書規定，於預定壩軸左右基座及河道共佈置三孔，總鑽孔深度共

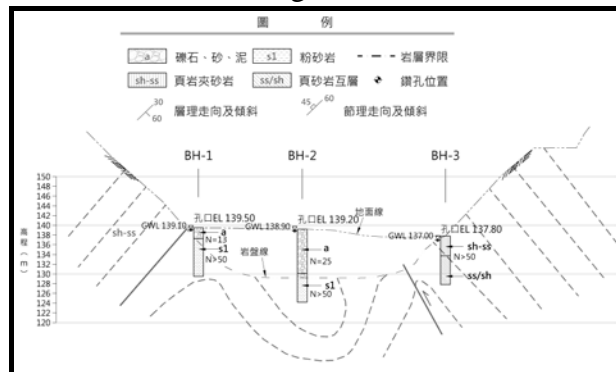


圖 4.2.1 攔木設施堰址地質剖面圖

五、攔木設施規劃設計

5.1 攔木設施主要構造物

本計畫攔木設施平面布置如圖 5.1.1，攔木設施立面及剖面如圖 5.1.2、圖 5.1.3 所示，主要構造物包括基礎混凝土堰及鋼架結構。

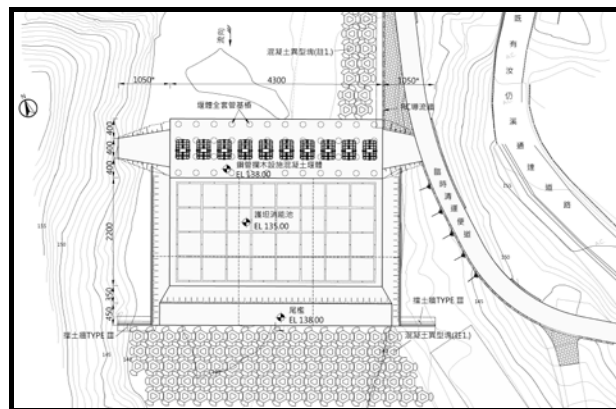


圖 5.1.1 攔木設施平面圖

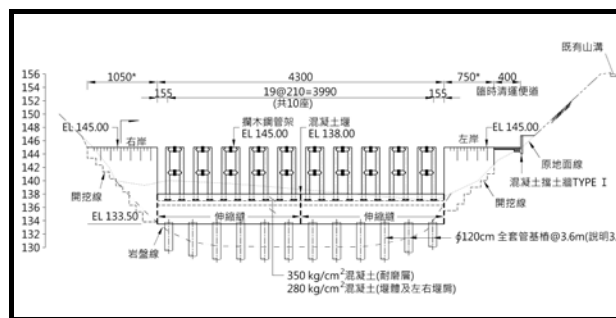


圖 5.1.2 攔木設施立面圖

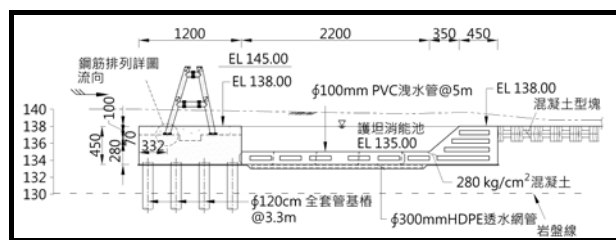


圖 5.1.3 攔木設施剖面圖

1. 基礎混凝土堰

- (1) 採重力式混凝土堰，以 280kg/cm² 混凝土分層澆置，表面 1 公尺為耐磨層，採 350kg/cm² 混凝土；基礎底部增設 φ120cm 全套管混凝土基樁。
- (2) 為確保攔木設施穩定性，攔木設施基礎底部之全套管混凝土基樁至少需入岩 1.5 倍以上樁徑(1.8m)。
- (3) 為維持河道穩定性，以現況平均河床高程作為堰頂高程，故混凝土結構物堰頂高程為 EL.138.0m。
- (4) 翼牆頂部高程以 50 年洪水位不溢淹為原則，故左右岸翼牆頂部高程訂為 EL.145.0m。

2. 鋼架結構

- (1) 考量日後易於維修抽換，攔木設施將採 B 型鋼管壩。
- (2) 以 50 年重現期洪水位不超過攔木設施頂部為原則，經水理分析，攔木設施之鋼架結構頂部高程訂為 EL.145.0m。
- (3) 依據現場流木及砂石粒徑，鋼架結構之淨間距採用 1.5m。

5.2 攔木設施結構及應力分析

1. 基本設計參數

- (1) 設計載重：鋼筋混凝土單位重 2,400 kg/m³、鋼材單位體積重 7,850 kg/m³。
- (2) 設計流速：以 50 年重現期洪水量水理分析，流速為 v=3.44m/s。

2. 基礎混凝土堰及樁基礎設計：受衝擊力、水壓力、土壓力、地震力、結構體自重及水之上舉力等外力之影響，安定分析結果如表 5.2.1 及表 5.2.2 所示。

表 5.2.1 基礎混凝土堰上游淤滿情境下安定分析成果表

| 分析情況 | | 分析成果 | 規範要求 | 檢核結果 |
|------|-------------|------|------|------|
| 常時 | 傾倒安全係數 | 1.56 | 1.5 | OK |
| | 滑動安全係數 | 1.64 | 1.5 | |
| | 抗浮力安全係數 | 2.65 | 1.5 | |
| | 基樁垂直支承力安全係數 | 4.87 | 3.0 | |
| 地震時 | 傾倒安全係數 | 1.22 | 1.0 | OK |
| | 滑動安全係數 | 0.79 | 1.0 | |
| | 抗浮力安全係數 | 2.51 | 1.0 | |

| | | | |
|-------------|------|-----|--|
| 基樁垂直支承力安全係數 | 3.75 | 2.0 | |
|-------------|------|-----|--|

表 5.2.2 基礎混凝土堰安定分析上游未淤滿情境下安定分析成果表

| 分析情況 | | 分析成果 | 規範要求 | 檢核結果 |
|------|-------------|------|------|------|
| 常時 | 傾倒安全係數 | 1.46 | 1.5 | OK |
| | 滑動安全係數 | 1.41 | 1.5 | |
| | 抗浮力安全係數 | 2.65 | 1.5 | |
| | 基樁垂直支承力安全係數 | 4.39 | 3.0 | |
| 地震時 | 傾倒安全係數 | 1.19 | 1.0 | OK |
| | 滑動安全係數 | 0.73 | 1.0 | |
| | 抗浮力安全係數 | 2.51 | 1.0 | |
| | 基樁垂直支承力安全係數 | 3.61 | 2.0 | |

3. 鋼架結構設計：

- (1) 鋼架結構以法蘭及高張力螺栓接合。
- (2) 鋼架結構上游側受力大，採用 φ609mm、厚度 19mm 之鋼管。
- (3) 埋置深度 1.0m，並以膨脹螺栓固定基座。
- (4) 鋼管各桿件應力分析結果詳表 5.2.3。

4. 護坦設計：依水土保持技術規範分析如表 5.2.4，採 280 kg/cm² 混凝土澆置，長度 22m，厚度 1.5m，尾檻高度 3.0m。

表 5.2.3 鋼架結構各桿件 Capacity Ratio(強度比)分析成果表

| 桿件 | 分析成果 | 規範要求 | 檢核結果 |
|----|-------|------|------|
| 5 | 0.904 | 小於 1 | OK |
| 6 | 0.697 | 小於 1 | |
| 7 | 0.565 | 小於 1 | |
| 8 | 0.327 | 小於 1 | |

表 5.2.4 攔木設施水墊設計分析結果表

| 分析情況 | 設計成果 | 規範要求 | 檢核結果 |
|---------|------|-------|------|
| 護坦長度(m) | 22 | 18.78 | OK |
| 護坦厚度(m) | 1.5 | 0.5~1 | OK |
| 尾檻高度(m) | 3 | 1.4 | OK |

5.3 臨時清運便道

1. 本計畫攔木設施完成後，為方便至攔木設施上游溪底清理被攔木設施攔截之流木及砂石，需設置臨時清運便道。臨時清運便道一段利用佳洛崗橋上游左岸既有便道，

另一段沿汝仍溪左岸布置，由攔木設施下游通達攔木設施上游溪底。

2. 清運便道雖為臨時設施，惟考慮行車安全，乃參照交通部公路路線設計規範之六級路標準來設計，即便道縱坡 $\leq 10\%$ ，縱坡長度小於 150 公尺。

六、操作維護

6.1 流木清運規劃

藉由佳洛崗橋上游左岸既設便道進入及本工程新設臨時清運便道進入汝仍溪河床，將流木或砂石運出汝仍溪，再經由汝仍溪通達道路(約 5.3km)銜接 199 線運往牡丹水庫既有流木暫置場堆放。

6.2 攔木設施維護管理

每次完成攔木設施上游堆疊土石及流木清理作業後，即應展開攔木設施檢查工作，依鋼管各節塊變形或破損情形更換鋼管貼補鋼片；若鋼管支架嚴重變形，需將鋼管切除，再置換銲接於切除鋼管段上；若遇基礎混凝土堰破損或堰體左右翼牆裂縫，輕者採水泥砂漿修補，嚴重者，需敲除風化層再植筋灌注混凝土修復堰體。

七、結論與建議

結論

- 一、本計畫以流木攔截條件、流木清理條件、設施維護條件、地質條件、工程費條件及施工條件等 6 項因子，評估各位置方案之優劣，經綜合評估後，建議於汝仍溪佳洛崗橋上游 262 公尺處設置攔木設施。
- 二、本計畫攔木設施主要構造物包含基礎混凝土堰、護坦及鋼架結構。
 - (一) 基礎混凝土堰：
堰頂及底部高程分別為 EL.138.0m 及 133.5m。
 - (二) 護坦：
採 280 kg/cm² 混凝土澆置，長度 2m，厚度 1.5m，尾檻高度 3.0m。
 - (三) 上游導流牆及周邊相關設施：
包括上游左岸牆高約 5~7m 之 RC 導流牆及長 140m、寬 4m 之臨時清運便道。
 - (四) 鋼架：

採每座高度 7m 之 B 型鋼管壩，共 10 座。鋼架結構頂部為 EL.145.0m，淨間距為 1.5m，上游側採用 $\phi 609\text{mm}$ 、厚度 19mm 之鋼管，埋置深度 1.0m，並以膨脹螺栓固定基座。

三、流木清運動線可藉由佳洛崗橋上游左岸既設道路進入汝仍溪河床，將流木或砂石運出汝仍溪，再經由既通達道路(約 5.3km)銜接 199 線(約 1.3km)運往牡丹水庫既有流木暫置場堆放。

四、每次完成攔木設施上游堆疊土石及流木清理作業後，即應展開攔木設施檢查工作，依鋼管各節塊變形或破損情形更換鋼管貼補鋼片；若鋼管支架嚴重變形，需將鋼管切除，再置換銲接於切除鋼管段上；若遇基礎混凝土堰破損或堰體左右翼牆裂縫，輕者採水泥砂漿修補，嚴重者，需敲除風化層再植筋灌注混凝土修復堰體。

綜合以上攔木設施規劃設計及操作維護(含流木清運規劃、攔木設施維護管理)，本工程應可發揮減緩水庫集水區崩塌地之樹林及枯木隨水流進入庫區潛勢，避免河道之流木潛入庫底及流至進水口前，阻塞攔污柵等結構，達到水庫永續經營之功能效益。

建議

為避免受水庫水位影響，本攔木設施工程需配合於非汛期圍堰導排水，並採半半施工法施作，估計施工作業約需 441 天，建議配合水庫操作規限可擇 9 月開工，以避免水庫水位影響基礎工程進展。

八、參考文獻

1. 經濟部水利署南區水資源局(2017年4月)，「牡丹水庫機械清淤工程細部設計報告」。
2. 經濟部水利署南區水資源局(2009年1月)，「牡丹水庫第二次安全評估定稿本」。
3. 2009年11月20日福衛二號影像。
4. 水土保持局(2010年5月)，「大梅溪等集水區整體治理調查規劃」。
5. 經濟部水利署北區水資源局(巨廷工程顧

問股份有限公司2006年1月),「石門水庫
增設攔污索工程-規劃及設計報告」。

6. 濟部水利署南區水資源局(巨廷工程顧問股份有限公司2010年2月),「曾文水庫攔污索規劃設計」。
7. 農業委員會林業試驗所(2010年12月),
2010年日本國流木對策及處理實務研習
會講義。
8. 日本國土交通省國土技術政策總合研究
所(2007年3月),「土石流、流木對策設計
技術指針解說」。
9. 經濟部水利署南區水資源局(巨廷工程顧
問股份有限公司2012年10月),「曾文水
庫沙力基支流攔木設施工程規劃設計報
告(定稿本)」。

南部地區旱災應變機制之現況與未來

呂元鈞^{1*}

1. 經濟部水利署南區水資源局/副工程司

* 通訊作者, Email: yuanchunlu28@gmail.com

摘要

回顧 109 年上半年南部地區水源供需情勢，高屏溪攔河堰流量自 3 月起降至 10CMS 以下，於 5 月 7 日紀錄流量 6.2CMS(為當時的歷史最低紀錄)。後因滯留鋒面及西南氣流影響，5 月 22 日高屏堰集水區單日降下 358mm 雨量，至此解除 109 年上半年旱災。緊接而來的是 109 年下半年到 110 年上半年長達一年的抗旱歷程，本篇將抗旱歷程分為觀察期(觀察到汛期雨量明顯不足)、超前部署期(汛期高峰即啟動相關控管措施因應)、旱災應變上升期(農業停灌確保水庫水量)及早災應變高峰期(高屏堰流量驟減緊急新增水源措施)。水利署南區水資源局統籌南部地區水源調度重任，水資源調度及早災應變機制的進步，在 104 年 4 月下旬高屏溪攔河堰下探至 8.1CMS 時，水情燈號需轉為分區供水紅燈，而後透過開源、節流、調度及備援等措施，109 年流量遭遇更低流量 6.2CMS，水情燈號於 5 月 7 日僅轉為水情提醒黃燈，110 年最低流量 3.8CMS，面對百年大旱，還能將南部地區燈號守在橙燈，順利等到第一場雨解除旱災。

關鍵字：水資源、枯旱、調度、應變機制

一、前言

109~110 年度台灣地區經歷了一場印象深刻的百年枯旱事件，不僅是 56 年來唯一沒有颱風侵襲帶來降雨的一年，更是有紀錄以來降雨量最少的一年(資料來源：台灣大學大氣科學系許晃雄教授，1911~2021 6 月 1 日至 5 月 19 日止)。對於所有水資源管理單位而言，實為有史以來最嚴峻的一次抗旱歷程。

台灣地區年平均降雨量高達 2,500mm，但豐枯懸殊，以南部地區而言，豐枯比例更高達 9：1。民眾對於水滯的耐受度是較高的，水災來的快、去得快，災害的恢復是可以預期的。旱災則是一場遙遙無期的長期抗戰，難以準確預估何時能夠天降甘霖，解除旱象。目前的整體水資源條件而言，都須依賴汛期間降雨蓄滿水庫，並且枯旱期間以各種開源、節流、調度及備源等作為，延長供水期程，等待來年汛期降雨。今(110)年，我們幸運地等到了第一場雨紓解了旱象，但我們必須警惕，未來的豐枯將更極端，其因應之道是水資源管理單位首要面對的課題。

二、南部地區水資源現況概述

南部地區嘉義、台南及高雄為水源聯合調度區域，其中嘉義、台南為水庫型的供水型態，高雄則主要仰賴高屏堰引水，為川流水的供水型態。各地區水源均可透過原水或清水管線互相支援，以使水資源達到最有效利用，表 1. 詳主要水源設施一覽表、圖 1. 南部地區水源設施系統圖。

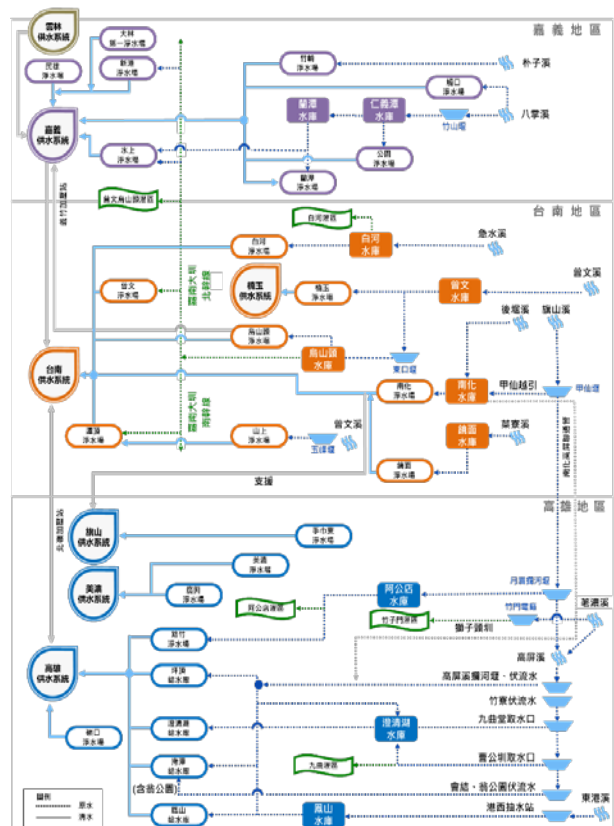


圖 1. 南部地區水源設施系統圖

表 1.主要水源設施一覽表

| 水庫名稱 | 管理機關 | 水系 | 集水面積 (平方公里) | 有效蓄水量 (萬立方公尺) | 備註 |
|--------|--------|------|----------------|------------------|------|
| 蘭潭-仁義潭 | 水公司五區處 | 八掌溪 | 91.5 | 3451 | 串聯水庫 |
| 曾文-烏山頭 | 南水局 | 曾文溪 | 481.0 | 58,814 | 串聯水庫 |
| 南化水庫 | 水公司六區處 | 曾文溪 | 104.0 | 9,098 | |
| 阿公店水庫 | 南水局 | 阿公店溪 | 31.9 | 1,526 | |
| 澄清湖水庫 | 水公司七區處 | 高屏溪 | 2.9 | 263 | |
| 鳳山水庫 | 水公司七區處 | 東港溪 | 2.8 | 716 | |
| 高屏攔河堰 | 南水局 | 高屏溪 | 3007.0 | -- | |
| 甲仙攔河堰 | 南水局 | 旗山溪 | 407.9 | -- | |

備註1：蘭潭-仁義潭水庫由八掌溪攔河堰引水，集水面積所指為攔河堰上游集水區。

嘉義地區主要水源設施為蘭潭-仁義潭水庫，水源調度上，北面可由雲林湖山水庫、集集攔河堰或區域地下水等水源調度清水支援嘉義地區，南面則由經由嘉南大圳北幹線調度烏山頭水庫原水供應水上、新港等淨水場取用，另外可由台南烏山頭淨水場經義竹加壓站調度清水支援嘉義地區。

台南地區主要水源設施為曾文-烏山頭水庫、南化水庫、白河水庫等，除南化水庫為單一標的民生用水，曾文-烏山頭、白河水庫均兼具農業、工業用水標的。水源調度上，北面可由嘉義系統調度清水支援，南面則可由高雄系統經北嶺加壓站調度清水支援，110 年 1 月份已可達最大支援 20 萬 CMD 之目標，最大化發揮調度功效，使枯水期間使南化水庫出水量降至最低，延長可供水期程。南化水庫則經由甲仙堰越域引水工程，將旗山溪水系水源引至南化水庫蓄存，惟通常僅在 6~12 月才有剩餘水源可以越引。嘉義台南相關水源設施位置如圖 2 所示。



圖 2.嘉義台南相關水源設施圖

高雄地區沒有大型水庫，主要水源為高屏溪水系，取水設施為高屏溪攔河堰，取水量佔總用水量約 75%。在高屏堰上、下游河段，近年來陸續完成八處伏流水取水工程，其位址及取水量等如圖 3 所示，目前實際

最大總取水量可達 79 萬 CMD，佔總用水量約 54%。另外尚有阿公店水庫、澄清湖水庫及鳳山水庫等，惟其蓄水量均不大，僅能短期發揮調蓄備援或少量供應，佔高雄地區水源供應量比例低。跨區支援部分，可利用清水管線支援高雄及南化高屏聯通管原水支援。



圖 3.高雄地區伏流水及主要水源設施圖

三、南部地區 109~110 年旱災應變重點歷程

南部地區 109~110 年旱災一直延續到 110 年 5 月下旬梅雨鋒面帶來降雨後才逐漸舒緩，110 年 6 月 7 日高雄水情轉正常，整體旱象則直至 110 年 6 月 30 日由旱災經濟部災害緊急應變工作小組決議嘉義、台南回復為水情正常才正式解除。

回顧至 109 年上半年度，109 年 5 月 21 日滯留鋒面及西南氣流影響，5 月 22 日高屏流域單日降下 358mm 雨量，至此解除南部地區 109 年上半年旱災。解除 109 年上半年旱災後，緊接而來的是有史以來最嚴峻的一次抗旱歷程。

觀察期(109/6/1~109/7/8)：

概略將本次旱災應變歷程區分為幾個期程，首先是觀察期，109 年度 5 月進入汛期後，5 月下旬總計在高屏堰集水區下降 622mm 雨量、曾文水庫集水區降下 484mm 雨量，在本波鋒面後南部地區就不再有較具規模降雨。後續 109 年 6 月份高屏堰集水區降雨量僅歷年平均 19%、曾文水庫集水區降雨量僅歷年平均 30%，7 月只有歷年平均的 32% 及 62%，詳如表 2. 南部地區主要集水區 109 年 6~12 月降雨量與歷年平均比較表。因此，經濟部水利署南區水資源局(下稱南水局)首次在南部地區原應為降雨高峰期間，於 109 年 7 月 9 日召開供水情勢檢討會議，以因應未來難以預測的降雨情勢。

表 2.南部地區主要集水區 109 年 6~12 月降雨量與歷年平均比較表

| | | 單位：mm | | | |
|---------|---------|-------|------|------|------|
| 水庫 | | 仁義潭 | 曾文 | 南化 | 高屏堰 |
| 109年6月 | 降雨量(A) | 70 | 154 | 153 | 117 |
| | 歷年同期(B) | 371 | 522 | 532 | 606 |
| | 比較(A/B) | 19% | 30% | 29% | 19% |
| 109年7月 | 降雨量(A) | 119 | 335 | 330 | 209 |
| | 歷年同期(B) | 476 | 541 | 648 | 647 |
| | 比較(A/B) | 25% | 62% | 51% | 32% |
| 109年8月 | 降雨量(A) | 394 | 395 | 619 | 485 |
| | 歷年同期(B) | 607 | 680 | 757 | 734 |
| | 比較(A/B) | 65% | 58% | 82% | 66% |
| 109年9月 | 降雨量(A) | 101 | 110 | 222 | 230 |
| | 歷年同期(B) | 307 | 343 | 415 | 427 |
| | 比較(A/B) | 33% | 32% | 53% | 54% |
| 109年10月 | 降雨量(A) | 3 | 19 | 23 | 28 |
| | 歷年同期(B) | 47 | 92 | 107 | 124 |
| | 比較(A/B) | 6% | 21% | 21% | 23% |
| 109年11月 | 降雨量(A) | 9 | 28 | 12 | 38 |
| | 歷年同期(B) | 18 | 31 | 26 | 49 |
| | 比較(A/B) | 50% | 90% | 46% | 78% |
| 109年12月 | 降雨量(A) | 17 | 38 | 26 | 33 |
| | 歷年同期(B) | 26 | 36 | 24 | 38 |
| | 比較(A/B) | 65% | 106% | 108% | 87% |
| 合計 | 降雨量(A) | 713 | 1079 | 1385 | 1140 |
| | 歷年同期(B) | 1852 | 2245 | 2509 | 2625 |
| | 比較(A/B) | 38% | 48% | 55% | 43% |

超前部署期(109/7/9~109/10/25)：

在正常氣候條件下，6~8 月份是南部地區的降雨高峰，因此往年水情會議的召開或是啟動加強灌溉管理措施的啟動，都約在 9 月底到 10 月初汛期末才開始。因應 109 年 6 月份降雨遠低於歷年平均降雨量，且 109 年曾文-烏山頭水庫灌區 2 期作已於 6 月 17 日由 1~2 組開始供灌，後續 3~4 組分別於 6 月 26 日及 7 月 6 日、5~6 組於 7 月 16 日開始供灌，計畫用水量約 3.3 億立方公尺。因此，南水局提早因應召開水情會議控管各水庫出水量並自 7 月 16 日起啟動加強灌溉管理措施，請農水署嘉南管理處(下稱嘉南管理處)加強節水灌溉。

後續觀察指標，則在曾文-烏山頭水庫及南化水庫蓄水量，目標在 9 月底之後讓三座水庫達到滿庫蓄水量。曾文-烏山頭及南化水庫 109 年 5 月~110 年 6 月實際蓄水量情形如圖 4、5。南化水庫集水區僅 104 平方公里，9 月份起降雨量快速減少後，入流量遞減快速，109 年 9 月 20 日又須配合南化防淤隧道工程有水試運轉，估計放水量約需 300 萬立方公尺。本局逐漸調降聯通管支援量外，並及時調降南化水庫出水控管量及提升高雄北送支援量，協調農水署高雄管理處(下稱高雄管理處)使甲仙堰得以最大量引水，順利於 9 月底南化水庫仍有 99.5% 蓄水量。

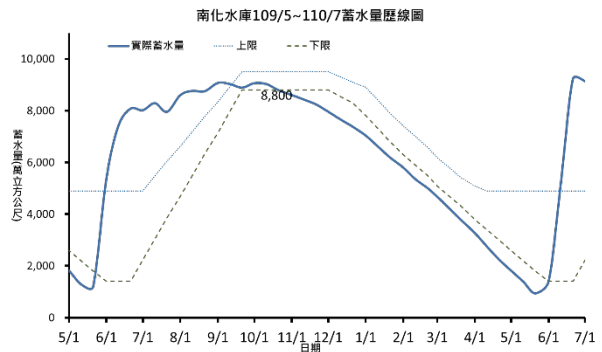


圖 4.南化水庫蓄水歷線圖

曾文水庫主要供水標的為農業用水，農業用水水權佔 86%，近年實際用水比例約 78%。6 月 17 日開始供灌 2 期作後，遲遲無大尺度降雨量挹注水庫入流，水庫蓄水量持續下降，所幸 8 月份每日午後降雨補充入流，且農業用水高峰已過，水庫蓄水量才於 9 月中旬逐漸回升至 2.6 億立方公尺。此時初步評估 2 期作尚可順利完成供灌任務，並於供灌完成後水庫蓄水量保有至次年 6 月底之蓄水量。

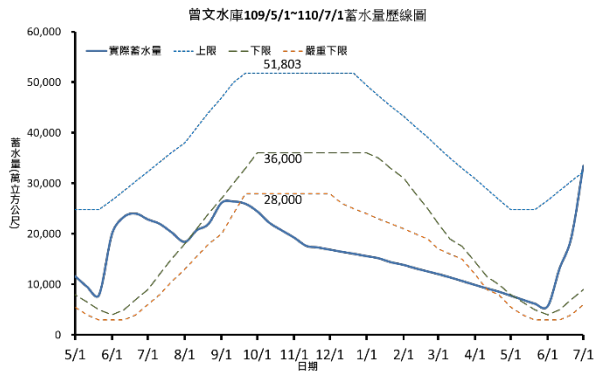


圖 5.曾文水庫蓄水量歷線圖

旱災應變上升期(109/10/26~110/3/31)：

時序進入 9 月中旬後，南部地區降雨高峰已過，後續降雨量已不可期待。水利署於 109 年 9 月 30 日召開旱災應變小組工作會議，次日(10 月 1 日)簽報經濟部成立旱災應變工作小組、10 月 14 日成立旱災中央災害應變中心(簡稱旱災中央應變中心)，依各部會分工執掌成立旱災應變八大任務分組，並奉行政院核定「109 年下半年旱災緊急應變-抗旱水源緊急利用計畫」共計 14 億元經費，此後旱災相關重大決策由旱災中央應變中心統籌並對外宣布。旱災中央應變中心決議自 109 年 10 月 26 日起南部地區嘉義、台南、高雄水情燈號轉為水情提醒綠燈，南水局同時成立「旱災經濟部水利署南區水資源局災害緊急應變小組」。

曾文-烏山頭水庫灌區透過加強灌溉管理，提前節約用水蓄存於水庫，並利用田間有效降雨機動降低水庫放水量甚至間斷供水，自 6 月 16 日開始供灌至 11 月 8 日完成供灌止，期間全面間斷累計 33 天，總計實際用水量 24,560 萬立方公尺，相較同期間農業基準配水量節省 9,501 萬立方公尺、較計畫用水量節省 1 億 1,440 萬立方公尺，順利完成 2 期作供灌任務，此

時中、北部地區皆面臨需停部分灌區供灌水量及補償事宜。

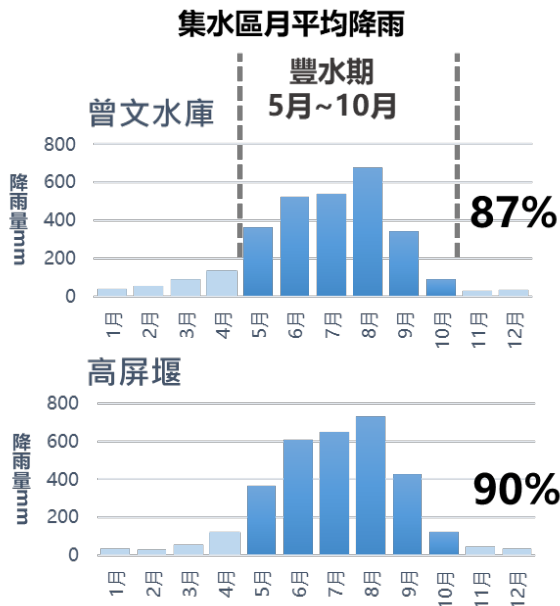


圖 6.南部地區主要集水區豐枯水期降雨量情形

南部地區降雨量豐枯極端，進入枯水期後幾乎不再降雨，由曾文水庫及高屏溪攔河堰歷年月平均降雨量可見，如圖 6。且氣象預估 110 年 2 到 4 月反聖嬰現象降雨量可能偏少，為加強節水力道，延長水庫可供水期程，早災中央應變中心決議自 11 月 18 日嘉義、台南水情燈號轉為減壓供水黃燈，更於 11 月 25 日宣布曾文-烏山頭水庫灌區 110 年 1 期作稻作停灌，給予停灌區域農民及相關產業補償及救助。當時曾文-烏山頭水庫合計蓄水量僅 1 億 7,106 萬立方公尺，已無法滿足 1 期作用水量(約需 2 億立方公尺)，故宣布停灌實為不得已措施。110 年 1 期作停灌後，公共用水暫時穩定下來，緊接而來的是農民對於 110 年春季甘蔗雜作的供灌需求，過程中經過多次會議討論、既有埤塘滯洪池等替代水源盤點及參考氣象預報資料，經推估若以當時嘉南管理處提出春季甘蔗雜作最節約供灌水量 3,800 萬立方公尺，曾文-烏山頭水庫蓄水量至 110 年 6 月底將僅剩 1,800 萬立方公尺，為安定社會民心並以嚴謹態度面對本次嚴峻水情，實無由水庫再供應 3800 萬立方公尺水源之理由。

110 年 2 月 10 日至 11 日雖有鋒面通過，曾文水庫集水區降雨僅 18mm，水情仍相當嚴峻，依氣象局降雨預估 2、3 月可能偏少，4~6 月偏少至正常，惟不確定性高，為提前部署及強化節水措施，早災中央應變中心決議自 2 月 25 日起嘉義及臺南地區調整為減量供水橙燈，高雄地區調整為減壓供水黃燈。

早災應變高峰期(110/4/1~110/5/31)：

持續無雨已經 7 個月，各地旱象趨於嚴峻，抗旱工作來到最嚴峻的高峰期，早災中央應變中心決議自 4 月 1 日起高雄地區調整為減量供水橙燈。水利署為因應嚴峻水情，超前部署強化抗旱水源，包含強化區域調度、伏流水開發、淨水場周邊水源利用、增設緊

急海淡、增設淨水處理設備、建築工地地下水利用及適時動員國軍及民間支援等措施，報經行政院於 4 月 15 日核准「緊急抗旱水源應變計畫 2.0」。

此時南部地區整體水情焦點轉移到高雄地區，統計高屏溪攔河堰 109 年 6~12 月降雨量為歷年平均 43%、110 年 1~5 月降雨量為歷年平均 57%。高屏溪攔河堰流量急劇下降，川流量在 2 月 17 日低於 104 年枯旱最低流量 8.5CMS、在 3 月 8 日低於 109 年枯旱最低流量 6.2CMS，在 4 月 14 日達歷史最低點 3.8CMS。由於水情狀況急轉直下，橙燈階段所能節省的水量已到極限，為避免進入紅燈分區供水階段，南水局不得不啟動南化高屏聯通管路，以南化水源支援高雄，以南化所剩不多的蓄水量，增取時間等待降雨。

其中因應高屏堰流量驟降，南水局成立高雄台南抗旱 2.0 專案，結合高雄市政府水利局，辦理緊急抗旱水井鑿井工作，短短 1 個半月時間內，高雄各項抗旱 2.0 工作均如期完成並納入自來水供水系統，其中高雄市政府鑿井 32 口提前於 5 月 26 日完成(實際總出水量 9.9 萬 CMD)、南水局鑿井 30 口於 5 月 28 日完成(實際總出水量 3.98 萬 CMD)，有效補充高屏溪攔河堰不足水源。除新鑿井提供新增水源外，本次抗旱亦將盤點出既有深井包括高屏堰低水護岸 3 口、竹寮水管路 3 口、大泉淨水場周邊 2 口等，重新整理後就近納入淨水場，各項措施均發揮一定作用穩定支撐高雄地區水源。

此外，高雄地區能夠順利渡過本次旱象，最重要的就是近年來陸續完工的伏流水工程，由上游而下包括溪埔、興田、模場、大泉、竹寮、九曲堂、翁公園及會結，在最枯早期間 110 年 5 月份平均取水量可達 56.2 萬立方公尺，本次高雄地區旱災應變，發揮極大功能。由圖 7.高雄地區各水源量統計可知，高屏堰川流水取水量自 110 年 2 月起開始下降，3 月份高屏堰取水量更是比 2 月份還少 31.6 萬立方公尺，4~5 月下降到最低點 29.5 萬立方公尺。而所下降的取水量則適時由伏流水補充，再有不足則由台南調度聯通管原水或南化清水支援。這也是為什麼 104 年高屏堰流量 8.5CMS 須進入分區供水紅燈，109 年流量 6.2CMS，水情燈號於 109 年 5 月 7 日僅轉為水情提醒黃燈，110 年最低流量 3.8CMS，水情燈號還可維持在橙燈。

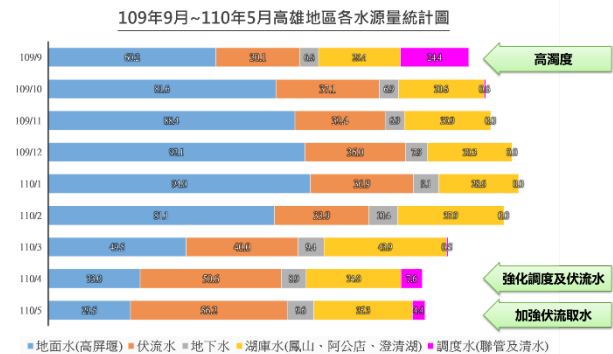


圖 7.高雄地區各水源量統計

旱象終於走到尾聲，5 月底梅雨鋒面帶來降雨，

高雄地區於5月29日率先轉燈號為黃燈，6月份幾波降雨挹注，6月7日高雄解除燈號，嘉義、台南於6月22日轉為黃燈、6月30日恢復水情正常。

四、旱災應變機制檢討及策進

筆者身為南水局水源調度工作主辦人員，以第一線工作人員經驗，對於本次旱災抗旱經歷提出些許個人觀點。臺南、高雄供水型態不同，臺南地區以水庫供水為主，缺點為水源來源單一，備援不足。優點在於只要汛期末將水庫蓄滿，較能確保未來一年供水穩定。高雄地區以川流水為主，其優點為水源多元化，包括地下水、伏流水及湖庫水等，一方不足八方來援，可適時遞補缺口。缺點在於川流水難以預估流量遞減變化，一旦長期不雨旱象較難評估亦無法完全取代。

臺南地區以現行水源調度之作法，係在汛期末、枯水期初儘量將水庫蓄滿，維持滿庫的時間越久越好。南化水庫維持滿庫的操作方式，就是南化高屏聯管關閉的時間必須及時、高雄清水北送台南水量要提升，以使南化出水量極小化。另一方面，因南化本流在汛期末就快速遞減，甲仙堰引水量就是可以使南化水庫持久滿庫的關鍵。惟因甲仙堰下游尚有旗山溪水系灌區供灌需求，並非所有流量都可引入南化水庫蓄存。而這些操作相關單位包括台水公司第六區、第七區管理處及高雄管理處。台水公司肩負國家自來水供應之公共事業，但難免有績效及成本考量。因此，建議應有適當機制，支持台水公司在公眾利益考量配合南水局調度作為時，可免除績效之壓力，使得未來不論在南化高屏聯通管開啟與關閉、高雄北送清水啟動等都能夠提早、且更機動有效率達成。而高雄管理處肩負旗山溪水系供灌任務，目前已逐步推行智慧節水管理系統，以提升灌溉用水配水效益，有機會可節約更多水量儲蓄於水庫。

曾文-烏山頭水庫主要供水標的為農業用水，全年度農業水權高達9億立方公尺，以嘉南管理處供灌經驗而言，配合田間有效降雨積極操作降低水庫放水量最為有效節約灌溉用水。因此未來若能建立田間降雨量與水庫減供水量機制，並智慧灌溉管理系統，結合降雨量-圳路水位流量-開門開度自動化控制系統，可有效強化用水調配提升節效率。

本次抗旱歷程中，最令人難以預測的就是高雄地區的高屏堰川流量，雖然高雄地區的水源相當多元，但主角仍是高屏溪，伏流水、深層地下水、湖庫水、跨區的調度原水及清水多為備援功能。因此當高屏堰川流水因長期不雨而下降時，其他備援水源都難撐大局。本次旱災大放光彩的伏流水工程，有效的在川流水不足情況下，填補取水缺口，使高屏堰川流水不再是唯一主角，伏流水取水量甚至可大於川流水發揮抗旱功效。惟川流水與伏流水相連通，本次經驗觀察，當川流水下降到10CMS以下時，伏流水取水量則與川流水產生競合影響，不能發揮1+1等於2的效果。此外，本次抗旱期間新增水源緊急抗旱深井及既有抗旱井復抽等，適度發揮功效，成為地面水及伏流水之外，另一個可靠的抗旱供水來源。高雄地區水庫蓄水

量少，澄清湖僅263萬立方公尺，水源仍須由高屏堰補充才能穩定供應淨水場取用。

最後，對於本次旱災應變的各項工作可以順利推動，各項水源足以撐到5月底降雨後紓解旱象，筆者認為還有一個重要關鍵，就是整體社會對於缺水氛圍的建立。在整個抗旱歷程中，不是只有水利署、水公司或農水署各管理處在抗旱，整個社會包括縣市政府、科學園區、工業產業園區、各級學校、民間用水大戶，小至個人，都有感受到強烈的缺水意識，做出不同程度的節水努力，使得各燈號管制的節水率多能達到目標，整體社會都有共體時艱的概念。因此，未來的抗旱工作，應可思考更有策略、更健全的節水宣導工作，讓節水思維深植人心，不只有利抗旱工作推展，對於水資源相關建設之推動也有幫助。

五、結論

整體而言，以南部地區現有的水源設施及氣候條件而言，僅能容忍一個汛期雨量偏少(例109~110年)，還可以透過調度、備援、開源、節流等措施，順利渡過枯旱等待隔年汛期來臨。但我們幾乎無法因應第二個汛期也沒有降雨挹注。台灣島嶼面積小、水庫蓄水量亦不足，無法儲蓄足以使用2年以上的大量淡水。早年氣候尚穩定、用水量亦不若現年多，還可以穩定用水至今。但現在豐則愈豐、枯則愈枯的情形越來越頻繁，需水量亦日漸上漲，這次我們順利等到第二個汛期帶來降雨，但下一次呢？如果雨再慢2個月或第二個汛期也沒有雨，我們要怎麼因應。

海島型國家的優勢，源源不絕的海水也許是其中一個解方，海淡廠的建置絕對可以提供穩定的供水來源。再生水廠則是另一解方，都市回收水經過在生水廠的製程淨水後，一樣可提供穩定RO等級的清水，雖然法規目前仍有限制不能供民生使用，但卻是工業用水一個穩定而潔淨的水源。雖然海淡廠或再生水廠現階段都還有成本太高、供水對象不確定等問題，但當旱災越發頻繁，缺水已為常態情形下，這些問題終將迎刃而解。

回顧本次旱災應變，不僅是一次長期抗戰，而且必須步步為營，其中任一環節沒有到位，很可能在旱災最後階段出現危機。過去這一年來，即使面臨百年最大旱，經過南水局全力調度下，南部地區沒有一個縣市水情燈號轉紅燈，實為一次相當成功的抗旱經驗。

六、參考文獻

1. 旱災中央災害應變中心例次會議結論。
2. 推動農田水利系統智慧化對精進灌溉管理之效益，水資源管理會刊，第二十二卷第二期。

聲波都卜勒流速儀與高屏堰流量率定及校正 Calibration and validation of discharge rating curve of Kaoping Weir using Acoustic Doppler Current Profiler

陳鼎家^{1*}

黃耀崧²

廖仲達³

魏紹唐⁴

- 1.經濟部水利署南區水資源局副工程司
 - 2.經濟部水利署南區水資源局正工程司
 - 3.國立陽明交通大學防災與水環境研究中心助理研究員
 - 4.國立陽明交通大學防災與水環境研究中心副工程師
- * 通訊作者，Email: dinja@wrasb.gov.tw

摘要

高屏溪攔河堰(以下簡稱高屏堰)為高雄地區重要的取水設施，由活動堰及固定堰組成，每日供應高雄市約 60%~70%用水。因其中活動堰採用充氣橡皮壩，不同於固定寬口堰有固定通水斷面，橡皮壩常受川流水壓或河床淤砂等外力變形影響高程，流量推估與觀測有其困難，本研究引用聲波都卜勒流速儀(以下簡稱 ADCP)，於高屏堰進水口、活動堰及放水路辦理量測，以精進流量率定曲線，並提供枯水期流量量測方式及流量衰減之推估。

高屏堰經 10 餘年建構 CCHE(河道動床數值模式)獲得良好成果。惟水面下地形往年皆以河川大斷面測量內插後進行模擬，本研究以 ADCP 儀器配合船載針對局部河道深槽區域，補充測線進行水下地形測量，以完成測量範圍水面下地形之不足。可回饋動床數值模式求得較精準之預測結果及分析，以研擬穩定取水對策。

關鍵字：高屏溪攔河堰、ADCP(聲波都卜勒流速儀)、水面下地形測量、流量率定

Abstract

Kaoping Weir is constituted by rubber weir and concrete weir that supply daily of about 60%~70% of the water used by residents in Kaohsiung City. It is the most important water resource facility in southern Taiwan. Affected by the width and deformation of the rubber weir, there are errors in flow discharge estimation and observation. In this study, the Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP is applied to measure the riverbed geometry and 3D flow velocity for the calibration and validation of the discharge rating curve of Kaoping Weir. The discharge of intake, rubber weir, and outlet of Kaoping Weir are measured and improved that provided the estimation of discharge during the dry season.

The mobile bed models of CCHE for the reach of Kaoping Weir are established after more than 10 years of construction. The data of riverbed geometry and discharge observed by ADCP could be supplied for the model calibration and validation. This study also has the value of improving the accuracy of the model for the propose of stable water supply countermeasures in Kaoping Weir.

Keywords: Kaoping Weir, ADCP, riverbed geometry measuring, discharge rating curve

一、前言

高屏堰取水設施包括攔河堰(活動堰、固定堰)、取水口(進水口、取水路、放水路、沈砂池)如圖 1 所示，高屏堰分活動堰與固定堰兩種構造斷面示意圖如

圖 2 所示，其中活動堰採用充氣橡皮壩，包括 6 座排洪道 (No.1 ~ No.6)，含墩座長 216 m；2 座排砂道 (No.7 ~ No.8)，含墩座長 70 m。活動堰充氣後壩頂高設計值為 EL.16.0 m，底座高程 No.1 ~ No.2 及 No.3 ~ No.8 分別為 14.0 m、13.5 m。固定堰部分，總長 674

m，右岸至左岸分段頂部高程為 EL.17.0 m、EL.17.8 m、EL.18.5 m。

因活動堰採用充氣橡皮壩，然常因河川淤砂導致橡皮壩充氣不完整，或河川水流擠壓橡皮壩變形，堰體高程並非固定值，水流經堰體並非穩定過堰，不同於固定寬口堰有固定通水斷面，流量推估與觀測有其誤差及挑戰，爰此，本研究引用 ADCP 以聲波都卜勒原理搭載移動式載具進行水面下流速量測。

高屏堰是否能穩定取水，常受河川水理及既設構造物影響，為節省工程經費，需有較可靠之動床數值模式做為參考。高屏堰已有 10 餘年建構之 CCHE2D 模式，惟仍須持續辦理水文資料蒐集建置及地形測量等基本資料收集。

ADCP 須持續進行流量量測增加數據，以精進流量率定曲線，計算表面流速及平均流速關係，可提供枯水期流量量測方式及流量衰減之推估。此外亦可量測較精確之水面下地形測量，可回饋動床模式獲得更精準之預測分析結果，並作為瞭解河道演變過程之基礎資料，以數值分析結果作為工程佈設成效之參考，以利研擬高屏堰穩定取水所需對策。



圖 1 高屏堰主要設施圖

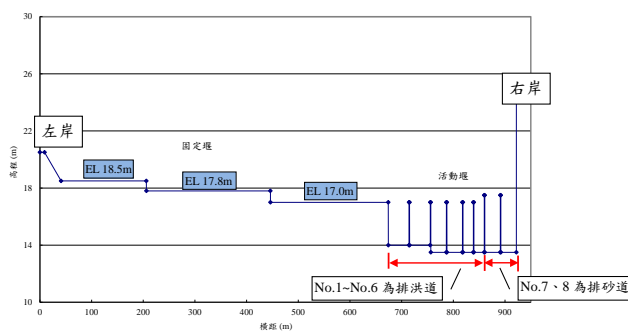


圖 2 高屏堰斷面示意圖

二、高屏堰取水設施量測儀器與方法

高屏堰以往流量推估係採堰流公式計算，因高屏堰係由 8 做活動堰及固定堰組成，以活動堰起立或倒伏狀態固定高程之複式斷面作為流量計算。豐水期時高屏溪水位較高，以複式斷面堰流公式推估流量誤差較小，惟枯水期時水位較低，且橡皮壩起立因受外力擠壓不完整，

僅單座堰局部過水時，流量推估精確有其困難，此時過堰之流量採用雷達波表面流速儀進行流速量測，以估算過堰流量。

為了獲得更精準之水深流速分布狀況，採用都卜勒 ADCP 儀器量測水面下之三維流速場，並即時量測水深及地形，利用軟體直接計算流量，為較為精準及快速之流量量測技術。本計畫將採用 ADCP 儀器配合雷達波表面流速儀，進行高屏堰相關取水設施（進水口、活動堰、放水路）之流速與流量量測，以精進流量率定曲線，並檢討修正。彙整採用之流速與流量量測儀器如表 1 所示。



ADCP 配備 2 種聲波系統，具有量測地下水深底床及剖面流速。在量測過程中，各系統連續發射不同聲波頻率之波數，並接收回傳之能量，以都卜勒原理進行水面下流速量測，剖面流速量測深度範圍 0.06 ~ 30m，流速精確度 ±0.25%，流速解析度 0.01m/s，最多可達 128 層垂直剖面分層，每一分層可設定最小 0.02m 至最大 4m。水深精度為 ±1%，水深解析度 0.001m。

以 ADCP 儀器觀察水下流場與流速變化，可獲得迴水情況下之水深流速剖面，據以作為流量率定曲線修正之參考，如圖 3 所示。一般具有迴水效應之河段，其流量具有正負值變化之特性，當觀測流量為正值，表示水流自上游向下游流動；觀測流量為負值，表示水流自下游向上游流動。若考慮水深不同分層之流動特性，觀測流量 (Q_m) 應為往下游之流量 (Q_{out}) 減去迴水逆流 (Q_{in}) 之流量，表示如下：

$$Q_m = Q_{out} - Q_{in}$$

於上下游水流動量作用接近平衡時，其流況處於較紊亂無固定方向，流速處於反轉方向且接近零之流況 ($Q_m \approx 0$)，故所測得之流量接近零，其表面流速、水深流速分布及水深等有一定關係存在。

表 1 採用流速與流量量測儀器資料表

| 儀器名稱 | 流速範圍 | 備註 | 儀器照片 |
|---------------|--------------|---|---|
| 雷達波表面流速儀 | 0.2~18.0 m/s | 當水流流速大於 3m/s 時，以接觸式流速儀進行量測有較高危險性，故目前各河川局於颱風期間，大多採非接觸式之手持微波雷達表面流速儀，於橋上進行表面流速量測。流速量測精度為每秒 ±0.1m，有效量測距離為 100m。 |  |
| 聲波都卜勒流速儀 ADCP | ±20m/s | 以都卜勒原理搭載移動式載具進行水面下流速量測，剖面流速量測深度範圍 0.06 ~ 30m，流速精確度 ±0.25%，流速解析度 0.01m/s，最多可達 128 層垂直剖面分層，每一分層可設定最小 0.02m 至最大 4m。水深精度為 ±1%，水深解析度 0.001m。 |  |

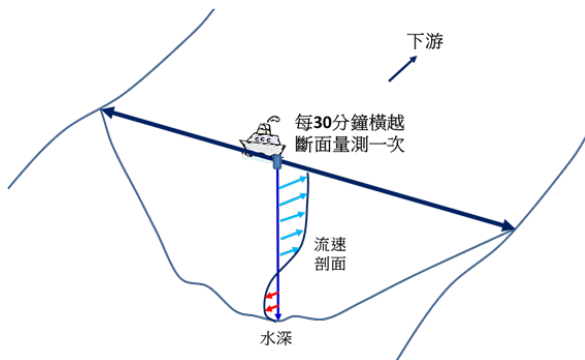


圖 3 以 ADCP 儀器進行水深流速剖面量測示意圖

三、高屏堰量測方案規劃

高屏堰流量為進水口進水量與活動堰溢流量總和，進水口進水量為台水公司高雄廠需取水量及放水路流量總和，放水路流量+活動堰溢流量即為高屏堰之放流量，相關取水設施關係表如表 2 所示。

其中自來水公司取水量有裝有水錶為已知值，需使用 ADCP 量測進水口、活動堰及放水路之流量。量測位置需距離構造物一段距離，以降低受到迴水等影響精確值。

本研究高屏堰取水設施流量量測，位置如圖 4、所示，包括高屏堰進水口、活動堰與放水路，相關設施水流進出關係如圖 5 所示。

表 2 高屏堰取水設施流量關係表

| 取水設施流量 | 計算方法 |
|-----------------|-------------------|
| 1.河川流量(攔河堰上游流量) | 進水口取水路流量+活動堰溢流量 |
| 2.放水路流量 | 進水口取水路流量-自來水公司取水量 |
| 3.高屏堰下游放流量 | 放水路流量+活動堰溢流量 |

備註：進水口、活動堰與放水路流量以 ADCP 量測，自來水公司取水量根據其導水管之超音波流量計量測。

高屏堰活動堰處因無通行橋樑，且河寬較大，故本研究以船筏掛載 ADCP 船體進行量測，船體將附於船側，以減少量測時受船筏影響。流量量測作業步驟說明如下如圖 6~8。

步驟 1：依據量測位置之作業環境，配戴相關安全護具及交通維護作業。

步驟 2：架設儀器，包含電腦、傳輸天線、RTK 定位儀，並將聲波都卜勒流速儀安裝於船載設備上，進行功能檢測及電磁羅盤校正。

步驟 3：設置牽引繩索或掛載於船筏船測，放置儀器至河面，人員於量測位置就定位。

步驟 4：人員於兩岸或橋上牽引繩索，拉動船體，量測剖面流速、水深，並搭配測速槍量測表面流速。然而高屏堰活動堰處，無通行橋樑，且河寬較大，故本計畫於高屏堰以船筏掛載 ADCP 船體進行量測，船體附於船側，以減少量測受船筏影響。拉動船體，量測剖面流速、水深。量測剖面流速、水深時，將進行

三至四次測回，一次測回，包含由左至右岸與由右至左岸之量測。

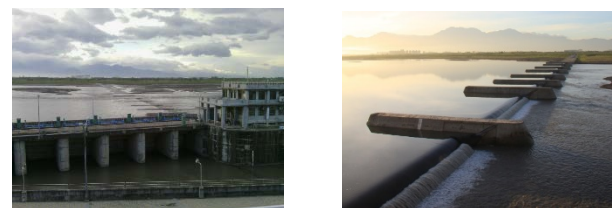
步驟 5：回收儀器並清潔設備上殘留物，結束量測。

於步驟 4 中，ADCP 儀器剖面量測分為起始河岸區域、實測剖面及結束河岸區域等三部分，如圖 9 所示，然受限於 ADCP 儀器安裝方式及功能限制等因素，實際上無法測得完整橫剖面資料，且當 ADCP 儀器安裝於載具時，受載具阻隔，儀器探頭離河岸存在一定間距，使探頭至河岸範圍無法量測，此為河岸估算範圍；儀器探頭需浸入於水面下，使探頭至水面範圍無法量測，此為水面估算範圍；近底床區域由於泥砂濃度或植生等因素，可能使聲波能量折減而無法量測，此為底層估算範圍，各估算及實測範圍如圖 10。其中，河岸估算範圍之流量係依據在河岸量測之水深、平均流速及河岸形式(垂直或傾斜坡面)估算該範圍之流量，而水面及底層估算範圍採用剖面流速外延法(Velocity Profile Extrapolation)，以下式計算水面及底層之流速：

$$\frac{u}{u^*} = 9.5 \cdot \left(\frac{z}{z_0}\right)^b$$

式中， u 為自河床起算距離為 z 處之流速， u^* 為河床底層剪力速度(shear velocity)， z_0 為底層粗糙高度(roughness height)， b 為一常數，預設為 1/6。依據估算流速、水深及量測單元間距計算水面及底層估算範圍之流量。

實測範圍部分則依據實測之水深、量測單元間距及剖面平均流速計算實測範圍之流量，其中系統會自動補償載具航測方向及航速變化引起之偏差。最後，系統將自動計算各估算範圍之流量，並與實測範圍之流量相加，總和即為總量測流量。



(a)進水口

(b)活動堰



(c)放水路

圖 4 高屏堰取水設施概況圖



圖 5 高屏堰流量量測位置及流量關係圖

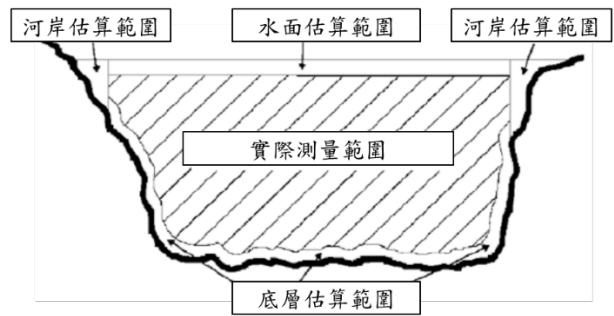


圖 10 ADCP 實測與估算範圍示意圖

受限 ADCP 儀器安裝方式及功能限制，總流量包含水面、河岸及底層等範圍之流量估算值。而量測誤差來源大致可分為環境因子及人為操作等兩部分，前者係指由於儀器採用聲波作為量測工具，故會影響聲波之因素，則將造成量測誤差，如鹽度、水溫、含砂濃度等環境因子；人為操作則包含離岸距離、入水深度之量測誤差及載具走航剖面與兩岸測點連線差異度等。

本研究每次於各量測位置施作時，皆會依據現況量測離岸距離及安裝儀器於相同標線位置，並控制載具航線，以減少人為操作誤差。同時搭配雷達波表面流速儀與水深量測，輔以計算推估範圍之流量，以進行檢核。

四、結果與討論

本研究量測於高屏堰活動堰進行 10 次、進水口進行 12 次流量量測，量測期間高屏堰水位介於 EL.16.1 m ~ EL.16.7 m，活動堰區域測得流量介於 2.5 ~ 56.0 cms，進水口實測流量與自來水公司抽水量相比，平均誤差為 1.91 cms (未考慮自來水公司抽水前沉砂池之側槽抽砂量)。

本研究流量量測成果彙整如表 3 所示，其中高屏堰水位係指堰前操作水位，即第 8 號壩前之水位高程。各次量測成果與過程分別如表 4~表 15 所示。

配合量測時之水位與壩頂高程，計算過壩水深 h ，再藉由實測流量 Q 除以壩長，推算單寬流量 q ，累積各壩之相關實測數據後，將過壩水深 h 與單寬流量 q 進行迴歸 ($q = C \times h^b$)，可獲得不同壩之修正流量率定曲線相關流量量測數據已回饋更新高屏堰流量率定曲線如圖 10 所示，高屏堰活動堰流量概估試算表，如表 16 所示。



圖 6 ADCP 儀器架設作業圖



圖 7 ADCP 儀器量測作業圖



圖 8 流速剖面量測作業圖

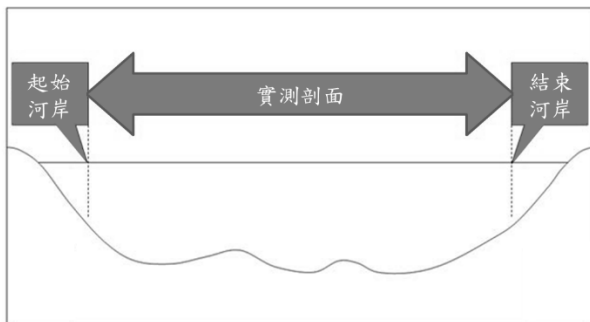


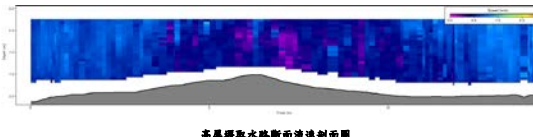
圖 9 ADCP 剖面流量量測分區示意圖

表3 高屏堰流量量測結果彙整表


| 量測日期 | 高屏堰量測結果 | | | 高屏堰公告值 | | | 量測結果 | |
|------------|------------|---------------------|------------|--------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------|
| | (1) 活動堰 | (2) 進水口 (取水路) | (3) 取水路 | 實測 水位 (EL.m) | 河川 流量 (cms) | 自來水公司 抽水量 (cms) | 河川流量 (探河堰上游流量) (cms) (1)+(2) | 取水量 (cms) (2)-(3) |
| | 無量測 | 無量測 | 無取水 | | | | | |
| 2019/3/20 | 無量測 | 12.6 | 無取水 | 16.2 | 18.4 | 11.3 | — | 12.6 |
| 2019/3/27 | 4.1 | 13.2 | 無取水 | 16.2 | 17.0 | 12.0 | 17.3 | 13.3 |
| 2019/4/10 | 2.5 | 13.5 | 無取水 | 16.1 | 16.0 | 12.8 | 16.0 | 13.5 |
| 2019/4/24 | 20.2 | 14.9 | 無取水 | 16.4 | 30.8 | 12.6 | 35.1 | 14.9 |
| 2019/4/24 | 19.3 | 14.7 | 無取水 | 16.4 | 30.4 | 12.6 | 34.0 | 14.7 |
| 2019/5/3 | 56.2 | 13.9 | 無取水 | 16.7 | 69.0 | 13.4 | 70.1 | 13.8 |
| 2019/10/2 | 無量測 | 12.1 | 無取水 | 16.5 | 121.0 | 9.5 | — | 12.1 |
| 2019/10/9 | 54.5 | 14.0 | 無取水 | 16.5 | 100.2 | 11.5 | 68.5 | 14.0 |
| 2019/10/16 | 48.7 | 14.3 | 無取水 | 16.4 | 84.9 | 11.1 | 63.0 | 14.3 |
| 2019/10/30 | 31.2 | 13.3 | 無取水 | 16.4 | 66.1 | 10.8 | 44.5 | 13.3 |
| 2019/11/13 | 18.6 | 13.3 | 無取水 | 16.3 | 49.9 | 11.4 | 31.9 | 13.3 |
| 2019/11/13 | 18.5 | 13.3 | 無取水 | 16.3 | 51.1 | 11.0 | 31.8 | 13.3 |

表4 0320 高屏堰取水路流量量測結果表

| 量測日期: 2019-03-20 | | 高屏堰水位: EL.16.2 m | | | 高屏堰流量: 18.4 cms | | | 流域平均前二日累積降雨量(mm): 0.0 | | | |
|------------------|----------------|------------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|-----------------------|---|---|--------|
| 高屏堰 量測結果 | 取水路 流量(cms) | 時間 | 11:24 | 11:28 | 11:30 | 11:42 | 11:45 | 11:49 | — | — | 平均 |
| 取水路 | 12.639 | 流量(cms) | 12.639 | 12.529 | 12.990 | 12.666 | 12.497 | 12.808 | — | — | 12.588 |



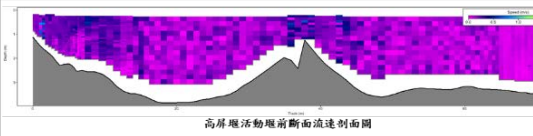
高屏堰取水路断面流速剖面圖



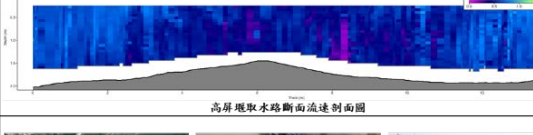
量測取水路
現場照片

表5 0327 高屏堰取水路及活動堰流量量測結果表

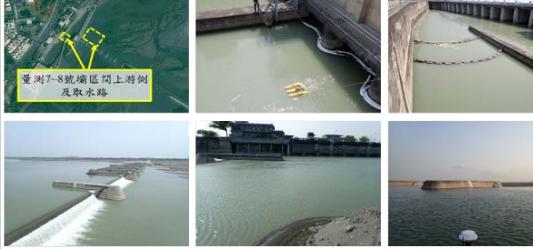
| 量測日期: 2019-03-27 | | 高屏堰水位: EL.16.2 m | | | 高屏堰流量: 17.0 cms | | | 流域平均前二日累積降雨量(mm): 0.1 | | | |
|------------------|----------------|------------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|-----------------------|---|---|--------|
| 高屏堰 量測結果 | 取水路 流量(cms) | 時間 | 11:13 | 11:18 | 11:30 | 11:34 | 11:41 | 11:46 | — | — | 平均 |
| 取水路 | 13.762 | 流量(cms) | 13.762 | 12.456 | 13.440 | 13.098 | 13.687 | 12.720 | — | — | 13.194 |
| 活動堰 | 3.589 | 流量(cms) | 3.589 | 3.613 | 3.335 | 4.502 | 5.508 | 4.338 | — | — | 4.148 |



高屏堰活動堰断面流速剖面圖



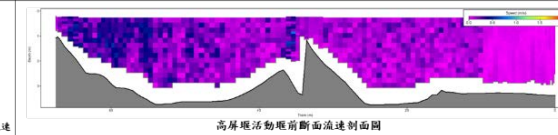
高屏堰取水路断面流速剖面圖



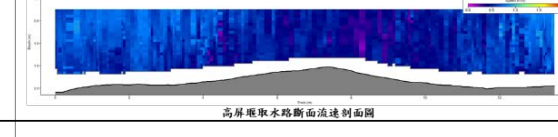
量測7-8號壩區間上游側
及取水路
現場照片

表6 0410 高屏堰取水路及活動堰流量量測結果表


| 量測日期: 2019-04-10 | | 高屏堰水位: EL.16.1 m | | | 高屏堰流量: 16.0 cms | | | 流域平均前二日累積降雨量(mm): 0.0 | | |
|------------------|----------------|------------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|-----------------------|---|--------|
| 高屏堰 量測結果 | 取水路 流量(cms) | 時間 | 14:51 | 14:54 | 15:00 | 15:04 | 15:07 | — | — | 平均 |
| 取水路 | 13.409 | 流量(cms) | 13.409 | 13.630 | 13.696 | 13.236 | 13.096 | 13.915 | — | 13.497 |
| 活動堰 | 2.620 | 流量(cms) | 2.620 | 1.945 | 2.597 | 2.705 | 2.002 | 2.994 | — | 2.477 |



高屏堰活動堰断面流速剖面圖



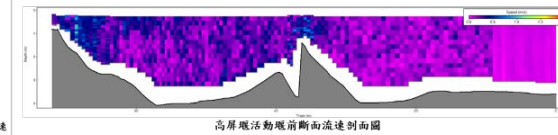
高屏堰取水路断面流速剖面圖



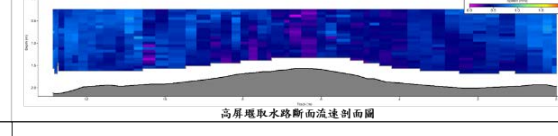
量測7-8號壩區間上游側
及取水路
現場照片

表7 0424 第一次高屏堰取水路及活動堰流量量測結果表

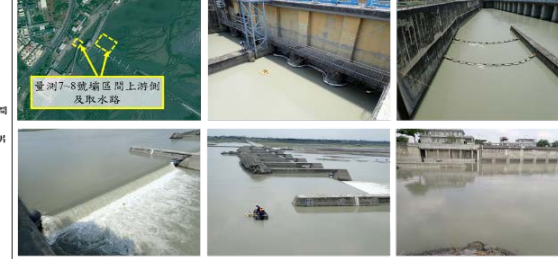
| 量測日期: 2019-04-24 | | 高屏堰水位: EL.16.4 m | | | 高屏堰流量: 30.8 cms | | | 流域平均前二日累積降雨量(mm): 2.9 | | | |
|------------------|----------------|------------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|-----------------------|---|---|--------|
| 高屏堰 量測結果 | 取水路 流量(cms) | 時間 | 12:22 | 12:26 | 12:29 | 12:31 | 12:33 | 12:41 | — | — | 平均 |
| 取水路 | 14.096 | 流量(cms) | 14.096 | 15.360 | 14.798 | 15.372 | 15.038 | 14.662 | — | — | 14.888 |
| 活動堰 | 18.653 | 流量(cms) | 18.653 | 21.496 | 18.849 | 24.461 | 19.138 | 18.859 | — | — | 20.243 |



高屏堰活動堰断面流速剖面圖



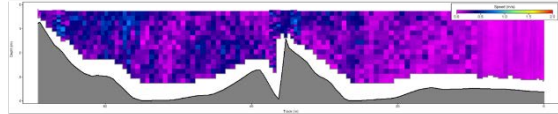
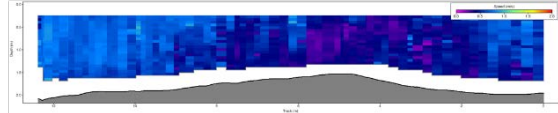
高屏堰取水路断面流速剖面圖



量測7-8號壩區間上游側
及取水路
現場照片

表 8 0424 第二次高屏堰取水路及活動堰流量量測結果表

| 量測日期: 2019-04-24 | | 高屏堰水位: EL.16.4 m | 高屏堰流量: 30.4 cms | 流域平均前二日累積降雨量(mm): 2.9 | | | | | | | |
|------------------|---------|------------------|-----------------|-----------------------|--------|--------|--------|-------|---|---|--------|
| 高屏堰 量測結果 | 取水路 | 時間 | 14:52 | 14:55 | 14:57 | 14:59 | 15:02 | 15:04 | — | — | 平均 |
| | 流量(cms) | 14.430 | 15.213 | 15.116 | 14.841 | 14.410 | 14.385 | — | — | — | 14.733 |
| 活動堰 | 時間 | 16:23 | 16:28 | 16:31 | 16:35 | 16:42 | 16:46 | — | — | — | 平均 |
| | 流量(cms) | 20.679 | 21.189 | 15.773 | 17.138 | 19.449 | 21.434 | — | — | — | 19.269 |

| | |
|-------------|---|
| 量測流速 剖面圖 |  |
| | 高屏堰活動堰前断面流速剖面圖 |
| 量測流速 剖面圖 |  |
| | 高屏堰取水路断面流速剖面圖 |







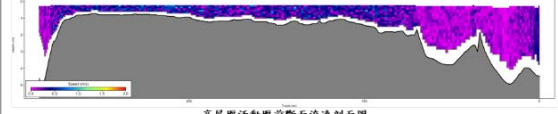
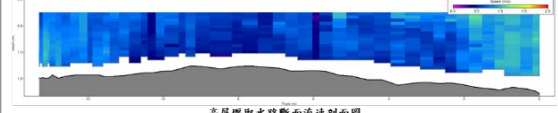
| | | | |
|-------------------|---|---|---|
| 量測區間 及 現場照片 |  |  |  |
| | 量測7-8號堰區間上游側及取水路 | | |
| 量測區間 及 現場照片 |  |  |  |

表 11 1009 高屏堰取水路及活動堰流量量測結果表

| 量測日期: 2019-10-09 | | 高屏堰水位: EL.16.5 m | 高屏堰流量: 100.2 cms | 流域平均前二日累積降雨量(mm): 1.1 | | | | | | | |
|------------------|---------|------------------|------------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 高屏堰 量測結果 | 取水路 | 時間 | 14:10 | 14:14 | 14:17 | 14:20 | 14:23 | 14:27 | 14:30 | 14:33 | 平均 |
| | 流量(cms) | 14.894 | 14.647 | 12.142 | 13.933 | 15.294 | 11.953 | 14.775 | 14.060 | 13.962 | — |
| 活動堰 | 時間 | 17:23 | 17:32 | 17:38 | 17:45 | 17:51 | 17:57 | — | — | — | 平均 |
| | 流量(cms) | 62.575 | 49.137 | 54.277 | 50.538 | 58.951 | 51.561 | — | — | — | 54.507 |

| | |
|-------------|--|
| 量測流速 剖面圖 |  |
| | 高屏堰活動堰前断面流速剖面圖 |
| 量測流速 剖面圖 |  |
| | 高屏堰取水路断面流速剖面圖 |

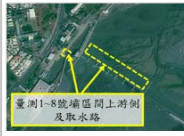





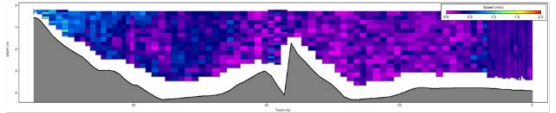
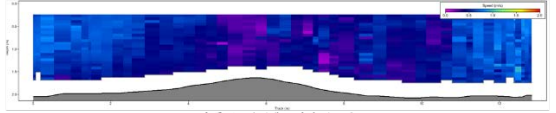
| | | | |
|-------------------|--|---|---|
| 量測區間 及 現場照片 |  |  |  |
| | 量測1-8號堰區間上游側及取水路 | | |
| 量測區間 及 現場照片 |  |  |  |

表 9 0503 高屏堰取水路及活動堰流量量測結果表

| 量測日期: 2019-05-03 | | 高屏堰水位: EL.16.7 m | 高屏堰流量: 69.0 cms | 流域平均前二日累積降雨量(mm): 76.7 | | | | | | | |
|------------------|---------|------------------|-----------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|---|---|--------|
| 高屏堰 量測結果 | 取水路 | 時間 | 15:24 | 15:26 | 15:29 | 15:31 | 15:34 | 15:38 | — | — | 平均 |
| | 流量(cms) | 13.830 | 13.407 | 13.773 | 14.344 | 14.146 | 13.824 | — | — | — | 13.889 |
| 活動堰 | 時間 | 13:11 | 13:15 | 13:19 | 13:23 | 13:27 | 13:31 | 13:35 | — | — | 平均 |
| | 流量(cms) | 53.722 | 55.996 | 58.175 | 54.164 | 56.301 | 55.412 | 59.329 | — | — | 56.157 |

| | |
|-------------|---|
| 量測流速 剖面圖 |  |
| | 高屏堰活動堰前断面流速剖面圖 |
| 量測流速 剖面圖 |  |
| | 高屏堰取水路断面流速剖面圖 |







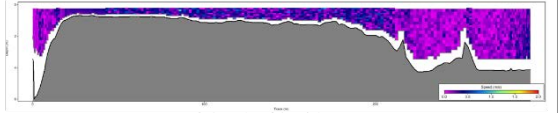
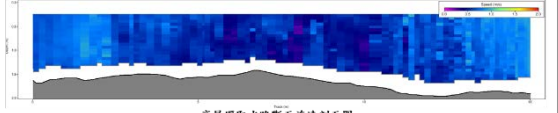
| | | | |
|-------------------|---|---|---|
| 量測區間 及 現場照片 |  |  |  |
| | 量測7-8號堰區間上游側及取水路 | | |
| 量測區間 及 現場照片 |  |  |  |

表 12 1016 高屏堰取水路及活動堰流量量測結果表

| 量測日期: 2019-10-16 | | 高屏堰水位: EL.16.4 m | 高屏堰流量: 84.9 cms | 流域平均前二日累積降雨量(mm): 2.8 | | | | | | | |
|------------------|---------|------------------|-----------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 高屏堰 量測結果 | 取水路 | 時間 | 10:59 | 11:02 | 11:05 | 11:08 | 11:11 | 11:18 | 11:22 | 11:24 | 平均 |
| | 流量(cms) | 13.179 | 14.269 | 14.498 | 14.788 | 14.651 | 14.809 | 14.366 | 13.997 | 14.320 | — |
| 活動堰 | 時間 | 14:56 | 15:02 | 15:07 | 15:12 | 15:17 | 15:22 | — | — | — | 平均 |
| | 流量(cms) | 46.048 | 51.410 | 50.295 | 50.564 | 43.070 | 50.606 | — | — | — | 48.666 |

| | |
|-------------|--|
| 量測流速 剖面圖 |  |
| | 高屏堰活動堰前断面流速剖面圖 |
| 量測流速 剖面圖 |  |
| | 高屏堰取水路断面流速剖面圖 |

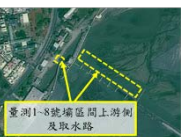





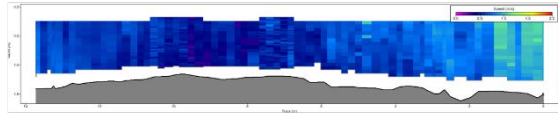
| | | | |
|-------------------|--|---|---|
| 量測區間 及 現場照片 |  |  |  |
| | 量測1-8號堰區間上游側及取水路 | | |
| 量測區間 及 現場照片 |  |  |  |

表 10 1002 高屏堰取水路流量量測結果表

| 量測日期: 2019-10-02 | | 高屏堰水位: EL.16.5 m | 高屏堰流量: 121.0 cms | 流域平均前二日累積降雨量(mm): 8.9 | | | | | | | |
|------------------|---------|------------------|------------------|-----------------------|--------|--------|--------|-------|---|---|--------|
| 高屏堰 量測結果 | 取水路 | 時間 | 14:07 | 14:12 | 14:15 | 14:19 | 14:22 | 14:26 | — | — | 平均 |
| | 流量(cms) | 11.922 | 11.636 | 11.066 | 12.063 | 12.816 | 12.958 | — | — | — | 12.077 |

| | |
|-------------|---|
| 量測流速 剖面圖 |  |
| | 高屏堰取水路断面流速剖面圖 |




| | | | |
|-------------------|---|---|---|
| 量測區間 及 現場照片 |  |  |  |
| | 量測取水路 | | |

表 13 1030 高屏堰取水路及活動堰流量量測結果表

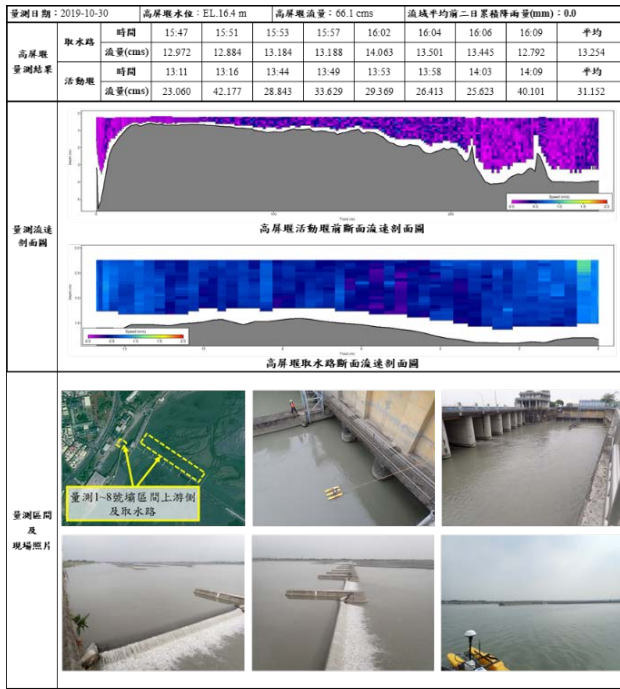


表 15 1113 第二次高屏堰取水路及活動堰流量量測結果表

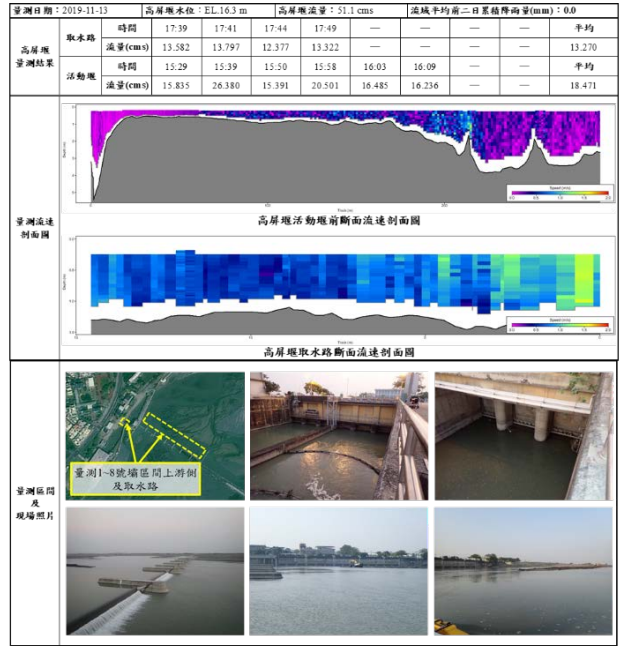


表 14 1113 第一次高屏堰取水路及活動堰流量量測結果表

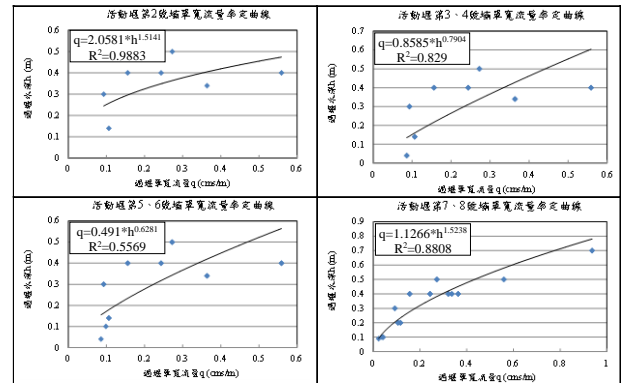
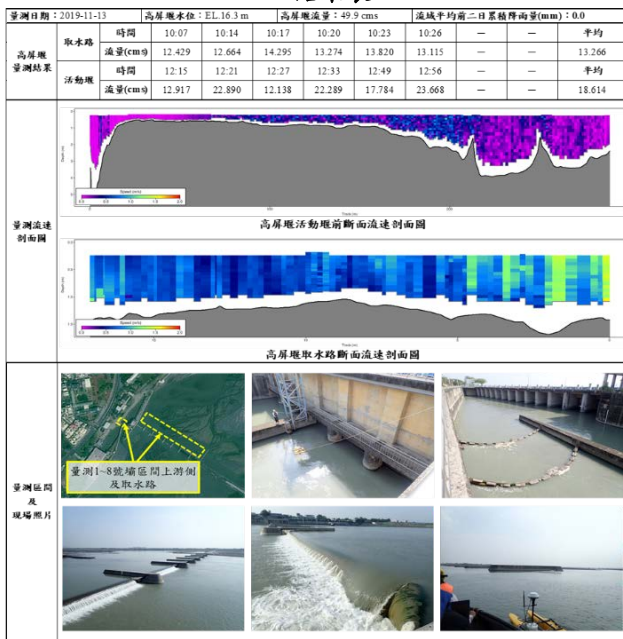


圖 11 高屏堰活動堰單寬流量率定曲線圖

表 16 高屏堰活動堰流量概估試算表

| 流量概估公式(水位EL.17 m以下適用) | | | | |
|-----------------------|---|-------------|----------|------------------|
| 右方請輸入該小時實測最高水位(EL.m) | | 16.4 | 既有率定曲線推估 | |
| 右方請輸入自來水公司抽水流量(cms) | | 0 | 流量 | 率定曲線修正後推估流量(cms) |
| 壩長度(m) | | 橡皮壩高程(EL.m) | | |
| 活動堰 | 1 | 40 | 17.20 | 20.56 |
| | 2 | 40 | 6.71 | 7.20 |
| | 3 | 30 | 5.30 | 7.22 |
| | 4 | 30 | 5.30 | 7.22 |
| | 5 | 20 | 3.88 | 3.57 |
| | 6 | 20 | 3.88 | 3.57 |
| | 7 | 30 | 5.30 | 2.91 |
| | 8 | 30 | 5.30 | 2.91 |
| 總合 | | | 52.87 | 55.16 |

五、結語

1. 透過 ADCP 儀器可獲得水面下之三維流速場分布狀況，配合雷達波表面流速儀，可建立平均流速與表面流速比值之關係式，以應用於快速流量推估。流速比 V_R ($V_R = a \times h^b$, h 為水深，單位為公尺) 可定義為平均流速與表面流速之比值。目前 ADCP 量測資料數尚不足，未來若增加量測

資料取得較精準之 V_R 值，可由一般非接觸式流速儀器（如手持雷達波測速儀），藉由表面流速乘以流速比 V_R 後，可換算獲得平均流速，於枯早期間迅速得知精確流量以利水資源調度。

2. ADCP 進行水面下之三維流速場量測，可解決高屏堰活動堰高程不固定，難以精確推估流量問題，未來可持續測量使流量率定曲線更趨精確。
3. ADCP 可較精確測量水面下河床地形，未來可持續測量建立較精確之水面下地形資料，回饋予 CCHE2D 模式，作為瞭解河道演變過程之基礎資料，以數值分析結果作為工程佈設成效之參考，以利研擬高屏堰穩定取水所需對策。

參考文獻

1. 經濟部水利署南區水資源局，「高屏堰取水設施流量率定暨河床質採樣及基本資料補充調查分析」，國立交通大學防災與水環境研究中心，民國 107 年。
2. 經濟部水利署南區水資源局，「高屏堰取水設施流量率定暨河床質採樣及基本資料補充調查分析」，國立交通大學防災與水環境研究中心，民國 109 年。

Study of the Same and Different Characteristics of the Land Subsidence in Taiwan and Mexico and how the Corresponding Authorities have Handled it.

羅以若^{1*} 許少華²
Denise Yeazul Shaohua Marko Hsu²
Fernández Rojas^{1*}

1. Master, College of Construction and Development, Feng Chia University
 2. Professor, Department of Water-Resources Engineering & Conservation, Feng Chia University
- * Corresponding Author, Email: m0971573@o365.fcu.edu.tw

Abstract

Land subsidence is the lowering of land level in which the land surface elevation falls due to ground compression. Subsidence is a consequence that various cities in the world must face in different and complex circumstances and has resulted from natural causes or from man-induced causes, such as the heavy withdrawal of groundwater from aquifers damaging important human infrastructures. Due to the extraction of aquifers under the city, the type of soil, and its tendency to suffer earthquakes, it is found that Taiwan and Mexico could have an interesting point of comparison on the different causes that subsidence can have in a city and how to manage it. With a compilation of information based on reading scientific articles, previous research, and public data from institution a compilation of characteristics was made on the situations of sub-occurrence present in the three places, this by comparing different factors such as the geological characteristics of the soil, the characteristics of the aquifers, what have been the numbers regarding the sinking and the reason for the reasons for the extraction of water, among others. Although both Mexico and Taiwan experience different situations with respect to subsidence, it is also true that it is a shared phenomenon that affects infrastructures of great value to both which can be handled with effective Actions and Policies taken by governments and populations are decisive factors to help counteract subsidence.

Keywords: Subsidence, water extraction, infrastructure damage, aquifer, effective actions.

1. INTRODUCTION

Mexico is considered a developing country, and although the subsidence that affects the capital (Mexico City) is serious, the actions taken have not been enough to stop the sinking. See examples of successful actions where subsidence has been managed (such as Taipei), can help to find other ways to try to handle the problem. The current subsidence in Choushui River Alluvial Fan is an active subsidence that is affecting infrastructures, a case that is being studied and that is being solved, so the example is also of great value.

When we are talking about subsidence, most of these areas known are along coasts where the phenomenon becomes obvious when the ocean or lake waters start coming further up on the shore. In some areas, the usually dense population and intensive industrial development are protected from being flooded by several meters of water only by construction of extensive and expensive

systems of dikes, flood walls, and pumping stations. The most common subsidence, that due to underground fluid withdrawal, is such a subtle phenomenon, that the problem is not evident in inland areas until new precise levelling takes place (Barens, et al. (Ed.), 1995). This singular subsurface fluid extraction can be induced by compaction of subsurface fluid reservoirs, for example, aquifer systems and hydrocarbon reservoirs (Galloway, 2014).

Groundwater is that portion of the water beneath the surface of the earth that can be collected with wells, tunnels, or drainage galleries, or that flows naturally to the earth's surface via seeps or springs. Groundwater has been an important water resource throughout the ages. Old, dug wells can be found along the wadis of the Middle East, the cradle of our civilization. An important environmental consequence of groundwater pumping is movement of the land surface. Movements of as much as almost 10 m downward and several meters horizontally

have been measured (Herman 1993). Mentioned about the prior of the initiation of pumping Domenico & Schwartz, 1990 say that ground water recharge is just balanced by the natural discharge of water. Discharge by wells is an additional stress put on the ground water body that must be balance by an increase in recharge, a decrease in natural discharge, a loss of storage in the ground water body, or a combination of these factors. Theis referred to this as a "State of dynamic equilibrium" whereby a new balance between inputs and outputs might be achieved at a new but lower storage level.

Vu, et al, 2021 discuss about how groundwater is a vital supplement for domestic use and essential for agriculture, industry, and related ecosystems in semi-arid regions where surface water is scarce. However, population growth, agricultural activities, urbanization, and climate change are threatening the groundwater quantity and quality in many groundwater basins. Some urbanization processes also cause radical changes in the quality of this recharge. This is widely the cause of marked, but essentially diffuse, pollution of groundwater by nitrogen compounds, increasing salinity, elevated dissolved organic carbon concentrations and, on a more localized basis, contamination by fecal pathogens. The intensity of impact on groundwater quality varies widely with the pollution vulnerability of underlying aquifers and with the type and stage of urban development (Foster, et al., 1999). Over the past few decades, the integration of various tools or methods has been proposed to protect and manage groundwater deterioration and degradation, whereby providing scientifically plausible instruction for policymakers and governors. Measurements for monitoring aquifer-system compaction can be classified to those based on the surface and those based below the surface. Typical surface measurements are derived from precision leveling, GPS, and InSAR methods. Such methods measure the total vertical displacement occurring below the surface, representing the result of all vertical deformation from the land surface to the center of the Earth, rather than depth-specific deformation that can be indicative of the cause of the vertical deformation below the surface (Hung, et al., 2021).

Hu, et.al, in 2014 talk about how urban Ground subsidence is the most commonly geologic hazard in many countries. For example, more than 44,200 km² in 45 states in the US and over 70,000 km² in 17 provinces in China have been directly affected by subsidence. The subsidence caused by the extraction of water from the subsoil affects important cities such as Mexico City, Venice, San Joaquin Valley (USA), Taipei (Taiwan), Tokyo (Japan), Beijing (China), Shanghai (China), (Tomas, et al., 2009). Areas with subsidence as much as 10 m are known in Countries such as Mexico, Japan, and the United States. Many more areas of subsidence are likely to develop in the next few decades because of accelerated exploitation of natural resources in order to meet the demands of increasing population and industrial development in many developed countries of the world. As developing countries expand their industry, subsidence is likely to occur in many more areas (Barens, et al. (Ed.), 1995). Significant land subsidence up to 10

cm/year in central Taiwan in the past decade has been detected (Hwang, et al., 2010).

2. METHODOLOGY

For the methodology, we talk about data collection reading various articles related to the subject, research, government bulletins, among others. Once the reading was done, the information, data obtained was collected and analyzed, thereby obtaining a more precise and understandable picture of the existing situation. The visiting of the places of interest and interviews with experts was an equally important tool to support our work. The collection of information from both countries would help to have not only a better understanding, but also a more comprehensive and global knowledge. Understanding the causes is important to be able to make decisions and carry out intelligent actions.

Seeing how subsidence is a serious problem, and how it is affecting us, it was formulated a clear comparison, that shows us the difference in subsidence between Mexico and Taiwan. Inside the analysis we go through different aspects, like which have been the consequences of this sinking; why this comparison is important, and what have been the different actions taken by each country, to counteract this. Among the subsidence cases to be analyzed, the remarkable case of the Choushui River in Taiwan will also be considered.

While it is true that the situations in which both countries find themselves are different and varied, there are also certain similarities that we be talking about. Various parameters want to be compared seeing their similarities and differences simplified into a table; these parameters are: Geologic Setting, Reported Sinking in meters, Seismic Activity, Actions taken to counter subsidence, Historical drop of groundwater table, Land subsidence and the Major compacted layers.

It was also considered important to make a compilation about the government response since it is considered something fundamental to try to give more clarity and understanding of the present problem. It is believed that it is necessary to have a government organization responsible to create a task force committee, and a commission for land subsidence prevention across different agency.

To begin with, it is important to understand that the development of the urban area in Latin America and Asia is occurring on a scale, and at a rate, unprecedented in human history. Many of the cities are sited on unconfined or semi-confined aquifers, depend on groundwater for much of their water-supply, and apply or dispose of most of their liquid effluents and solid residues to the ground. Urbanization causes radical changes in groundwater recharge, modifying existing mechanisms and introducing new ones (Foster, et al., 1999).

At the Asian continent land subsidence due to excessive groundwater pumping, groundwater contamination, and subsurface thermal anomaly have occurred frequently in coastal cities (Taniguchi, (ed), 2011). In the case of Latin America, it changes a bit, because not all the big cities are located in coastal areas,

but there is a significant problem in being able to supply the population with water. Either because of the large number of people or the poor infrastructure, but how to supply water to large cities is always a latent problem. Starting from this, it was seen that both countries suffer from soil subsidence that affects important human infrastructures, but they have been handling differently.

2.1 Overview of the subsidence situation in Taipei.

The Taipei area goes from rugged mountains into a sediment-receiving basin. The accumulation of fluvial and lacustrine sediments was estimated to be started at about 0.4 Ma. Under the combining influences of sea level fluctuations, volcanic activities, drainage system changes, and tectonic processes, the basin was filled with various types of sediments, including alluvial, lacustrine, marine, and pyroclastic deposits. Compaction of the loose sediments occurred mainly in the clayey layers of the uppermost 50 m Holocene deposits.

First massive utilization of groundwater source in the Taipei Basin was initiated by an English engineer W. K. Bardon in 1895. Under his advisory the government set up 150 wells. Since then, the number of wells was rapidly increasing, and the groundwater resource drained twice in 1906 and 1960 to early 1970s. For instance, subsidence of the land surface in Taipei was noted as early as 1961, when releveling of the first order benchmarks established in 1950 indicated changes in altitude of several centimeters to 3 decimeters in some areas. Subsequent leveling indicate an average rate of about 7.4 centimeter per year (Chen, et al., 2007).

The whole basin still subsided after the stop of groundwater pumping, but with a decreasing trend from 40–70 mm/yr to 0–30 mm/yr, during 1975 to 1989. The overall subsidence rate in the Taipei Basin gradually decreased since 1975, and around 1989 the basin switched to slight uplift throughout a large part of the basin. The basin-wide subsidence resulted from over pumping was particularly concentrated in the central portion of the Taipei Basin where maximum land subsidence exceeded 2 m. Water resource of the Taipei metropolitan since the 1970s has been supplied by surface water mainly from two reservoirs in upstream Dahan and Xindian Rivers. The trend of the ground level change in 1975–2003 essentially demonstrated the effects of natural recharge to previously depleted aquifers and is explained by the hydro-mechanical coupling of aquifer materials (Chen, et al., 2007). Taipei have already entered a stage where land subsidence is almost controlled (Taniguchi, (ed), 2011). In 2020, the maximum annual subsidence rate measured in Taipei area is 1.5 cm/year. It is in Wugu District with a significant subsidence area of 0.0 square kilometers. The subsidence rate at most detection points is about ± 1 cm/year, and there is no significant surface change (Overview of Taipei Subsidence).

Furthermore, while severe anthropogenic land subsidence has been stopped in the Taipei metropolitan area, concerns on potential earthquakes and related geohazards due to possible reactivation of the active Shanchiao fault continue to be discussed. Taiwan is

situated in a plate boundary between the actively converging Eurasian and Philippine Sea plates beginning about 5 Ma (Chen, et al., 2007).

2.2 Overview of the subsidence situation in Mexico City.

Most of the cases already given in this paper are of sinking cities, but which are located on coastlines. However, Mexico City is not only located about 300 km from the nearest beach, but it is also located at an altitude of 2,250 m above sea level. In the case of Mexico City, this problem is even more serious, since the city is located above what was once a lake, which was dried up by human action. Since the construction of the ancient city of Tenochtitlan on a lake, where the current city of Mexico is now located, it has always suffered from floods. After the conquest, the Spanish dried up the lake and since then you can see a constant sinking of the land, which increased in the last century after the exponential increase in population and the development of technologies.

Below the city there is an aquifer, which is over-exploited for the consumption of the city; a city that has a population of more than 20 million people, so the risks are clear and require action. Herman in 1993 already talk of how parts of Mexico City have subsided as much as 8 m since intensive ground-water pumping began in 1938. The subsidence is mostly located at the layer of clay in what was once the Lake area (Gonzales, et al., 2011). Maybe one of the biggest problems in Mexico City is that they are just not facing this difficult task, and it is left for later. Urgent matters will always be more attended. The line of action to put a stop to the problem would be a reasonable extra effort on the part of the government and society.

In the 2017 activity report, on the subsidence analysis of Mexico City, CENAPRED (National Center for Disaster Prevention), mentioned that the basin of the valley of Mexico is made up of the foothills, which is an area that ranges from 2,235 to 2,350 meters above sea level. It is considered as a cumulative ramp of volcanic material, which has a continuous development derived from the carrying and sedimentation of these materials towards the periphery of the mountains and of the volcanic structures located within the lake plain. After the erosion and transportation, the sedimentary soil deposits are formed followed by deposition and consolidation under their own weight (Rodriguez, 2003).

The former Lake is composed of deposits of compressible clay strata separated by sand layers with relatively low permeability. The lacustrine deposits are often covered superficially by alluvial soils, dried materials and artificial fill materials, the thickness of this package can exceed 50 m. The major subsidence, in the downtown area of Mexico City, you can see it in the clayey silt layer, that have the last mention depth. Next there is an 80 m thick of more permeable beds that comprise the main aquifer, mainly alluvial sands and gravels, as well as Pleistocene-Recent volcanic rocks at the depth of 100–400 m (Diaz, 2006; Cabral, et al., 2008; Juarez, 2016).

In accordance with the Update of Water Availability

in the Metropolitan Area Aquifer of Mexico City, Mexico City, 2020; made by CONAGUA “Comisión Nacional del agua (National Water Commission)”, the Metropolitan Area aquifer of Mexico City, defined with code 0901 in the Geographical Information System for Groundwater Management (SIGMAS) of CONAGUA, is located in the south west of the Valley of Mexico Basin, It occupies 17% of the surface of the endorheic basin, covers the whole of Mexico City and a portion of the State of Mexico. The Mexico City aquifer subsystem is recharged by rain infiltrations that are generated on the Sierras de las Cruces and Chichinautzin. The underground water circulates from the mountains to the center of the city, where it is extracted through wells (Illades & Gonzales, 2005).

The total saturated volume of the aquifer in the southern part of the basin has been estimated at 1,189.3 billion cubic meters. Annual exploitation in this region is estimated at 27.9 mcs¹. This extraction figure is equivalent to a loss of groundwater that ranges between 3.45 and 5.59 billion cubic meters per year. The difference is that the calculations considered, or not, that the water that remains in the aquitard contributes to the volume of water in the main aquifer. At this annual extraction rate, the calculated storage volume is 212 to 344 times the exploitation volume.

Aguilera in 2013 talk about that in the central zone of Mexico City the strata of human occupation on the natural crust are more than 15m and have pre-Hispanic structures of more than 11m deep. The soils that were loaded compressed the clayey strata and made them more resistant or less deformable points than those that did not support constructions. From 1898 to 1937, the sinking was practically linear of 4 cm per year. From 1937 to 1947, it was also linear with an average sinking of 14 cm per year. From 1947 to 1996, speeds of 40 cm per year were recorded. (Lesser & Cortés, 1998).

Drilling for groundwater started in the 1850s. Subsidence was eventually recognized as a serious problem, but the link between groundwater extraction and clay compaction was only recognized later. By 1952, total subsidence (1891–1952) had reached 6.0 m in the downtown area. More recent surveys show up to 2.5 m of additional subsidence between 1952 and 1973. Other studies show an average subsidence rate of 90 mm/yr for the 20 yr period 1965–1985 in the downtown area. The decrease in subsidence rates after 1965 reflects conservation measures instituted in the 1950s and 1960s, which included capping wells near the city center. (Ortega et al., 1993; Cabral, et al., 2008).

2.3 Overview of the subsidence situation in Choushui River Alluvial Fan

The Choushui River, the largest river in Taiwan (about 186 km in length), originates in a Zuo-Jiu-Jian Saddle that lies between the main peak and eastern peak of Mt. Hehuan with an elevation about 3,200 m above sea level. The river basin and elevation of Chou-Shui River descends from east to west with increasing slopes from west to east (Wen et al., 2010). The sediments in Choushui River Alluvial Fan originate from rock formations in the river's upstream watershed, including slate, metamorphic

quartzite, shale, sandstone, and mudstone. Sediment loads composed of weathered rock fragments of different sizes gradually settled on the riverbed, floodplain, and seabed to form Choushui River Alluvial Fan. The head of Choushui River Alluvial Fan contains mainly gravel and coarse sand, and the proximal Choushui River Alluvial Fan is a delta covered by fine sand (Hung, et al., 2020).

Liu, 2004 mentioned that the unconsolidated sediment underlying the alluvial fan contains abundant ground water and is of the late Quaternary age Generally, the nonmarine sequences, with coarse sediment sizes, ranging from medium sand to highly permeable gravel, can be considered as aquifers, while the marine sequences with fine sediment sizes, ranging from clay to low permeability fine sand, can be considered as aquitards. Meanwhile, the hydrogeological formation of the proximal fan, which is composed entirely of gravel and sand, is regarded as an unconfined aquifer. The proximal fan is a major region for aquifer recharging.

Severe land subsidence has occurred in the southwestern coastal areas, especially over Choushui River Alluvial Fan in recent years. Choushui River Alluvial Fan is the most important agricultural area in western, central Taiwan, with elevations ranging from 0 to 100 m. Choushui River Alluvial Fan covers a total area of 2000 km² and is bounded by Wu River (north), Pekang Creek (south), Douliu Mound (east) and Taiwan Strait (west) (Hung, et al., 2020). It was estimated about 310,000 pumping wells in Changhua and Yunlin Counties pump groundwater to meet agricultural and industrial water demands (Hwang, et al, 2016).

Groundwater over pumping and land subsidence. A shortage of water supply caused by the usage of streamflow diversion and the distinct water amounts during abundant-water periods and low-water periods make some irrigation works draft groundwater as a water source. Groundwater is also the main water source on the coastland because of its end position in the irrigation system where water supply is not sufficient, thus making high demands on the water supply due to the well-developed aquaculture industry (Wen et al., 2010).

Recent clay or sand layers by compression, accompanied by heavy with. From 1992 to 2007 an accumulative 80-90 cm of subsidence has been registered. Choushui River alluvial fan had 12.2 cm/yr in 2003 subsidence rate, and this was the highest due to a serious drought that occurred in Taiwan which led to excessive pumping of groundwater. A lot of efforts have been done in managing groundwater over-extraction and land subsidence in the coastal area (Tung & Hu, 2012).

Hung et al, 2012, describe that in Changhua is a county the layers can be described as: 0–120 m: interlayers of sand and clay. 120–220 m: clay with thick coarse sand interbed. 220–300 m: interlayers of sand and clay. And the depth of major compaction (m) 50–200 m. Based on the information obtained in their analysis, they realize that the major stratum compaction occurs at aquifer 2 and 3.

The results of leveling survey in Changhua County,

2020, shows that the maximum subsidence rate is about 3.2 cm/yr and Xizhou and Xihu Townships are the areas of subsidence rate over 3 cm/yr. In Yunlin County, 2020, the maximum subsidence rate is about 5.5 cm/yr. Huwei, Tuku, Yuanchang, Baozhong, Lunbei and Dapi Townships are the areas of subsidence rate over 3 cm/yr. Once the area data from Changhua area was analyzed it is concluded that in recent years, the subsidence tendency was gradually mitigating in Changhua County. Nevertheless, the compaction trends from the land surface to a depth of about 300 meters in inland areas were more serious than in coastal areas in 2020. And the subsidence rates in Xizhou and Xihu Townships areas are still larger than 3 cm per year, respectively. The area has affected and continues to affect the infrastructure of the Taiwan high speed rail; therefore, constant study and review remain a security tool.

3. RESULTS

3.1 Composition of Geological Materials

The three places presented show certain similarities in the sediment origin. The Sediment was carried from upstream to the deposit site into a Basin with fluvial and lacustrine sediments (clay, silt, sand, or gravel).

In the case of Taipei and Mexico City exist a past with volcanic activity, to later have volcanic deposits as well. At Taipei we can see alluvial, marine, and pyroclastic deposits; at Mexico City calcareous sedimentation, flysch type between, molasse-type continental sedimentation and alkaline basaltic fissure effusions. Finally, at Choushui River Alluvial Fan the sediments are slate, metamorphic quartzite, shale, sandstone, and mudstone, mainly gravel and coarse sand, fine sand.

3.2 Reported sinking in meters

The results obtained from the analysis of the subsidence information present in the three places is shown in this work in centimeters.

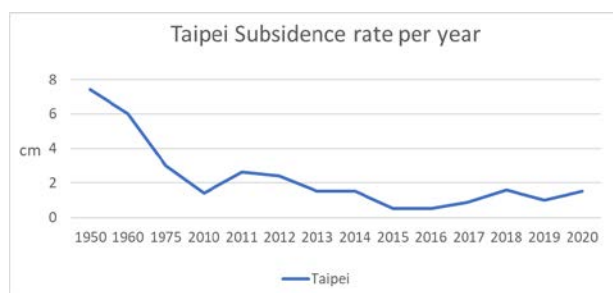


Figure 1. Taipei Subsidence Graph.

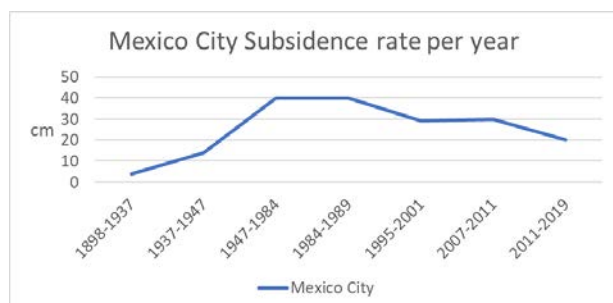


Figure 2. Mexico City Subsidence Graph.

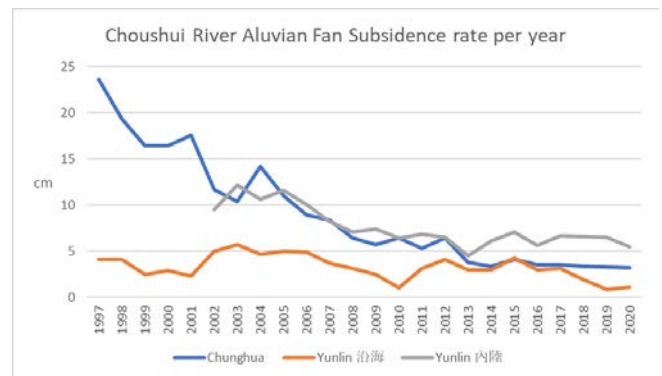


Figure 3. Choushui River Alluvial Fan Subsidence Graph.

We can see how, in the case of Taipei, the high subsidence, over the years, has reached numbers below 2 cm. Choushui had high numbers no more than 20 years ago, and even though the number has dropped, it still maintains a certain impact that must be controlled. Mexico began to have high numbers of subsidence for the same years as Taipei, but these have never stabilized, being a latent and current case.

3.3 Seismic activity

Speaking of the seismic movements present in both countries we must see that the Tectonic plates have a convergent or collision motion. In the case of Taipei and Choushui River Alluvial Fan, both in Taiwan, we can observe the collision boundary between the Eurasian Plate and the Philippine Sea Plate. In the other hand, in Mexico City, located in Mexico, we can see the influence of the collision of the North American Plate against Cocos plate, Orozco Plate and Rivera Plate.

It should be noted that both countries not only share similar seismic activities, but also that both are located on the ring of fire, which is highly known for its high seismic activity.

It is important to highlight the seismic movements in the subsidence of soils, as mentioned by Diaz, 2006, there is a strong correlation between the spatial distribution of the damage associated with seismic event and the location of the lake sediments.

3.4 Actions Taken to counter subsidence

Ideally Omoko, et al, 2018 talk about the prevention and Control Measures that we can apply to control or arrest subsidence include reduction of pumping draft, artificial recharge of aquifers from the land surface, and re-pressuring of aquifers through wells, or any combination of these methods. One of the particularities that we can see present in the three places, as a preventive measure of the subsidence of soils, is the construction of dams for the storage of water aimed at large cities.

Leaving at side the successful case of Taipei; in the case of Mexico City, in the downtown area various efforts have been made to prevent the collapse of buildings, with the construction of piles, which in the end were not very helpful. Later the solution was a sub-excavation that consisted of making holes or holes in the ground. After the sub-excavation process, the mortar was injected into

the subsoil, a procedure that was applied in 1997 (Aguilera, 2013).

In the case of Choushui River Alluvial Fan the Ground water overdraft is caused mainly by illegal fishpond wells, densely located in the coastal area, and the over issuing of ground water rights permits, exceeding the safe yield for the aquifer (Liu, 2004). For 2010, Wen et al, mention that no regulation control over groundwater usage has caused land subsidence to become even more serious. Only with well applied politics about the extraction of groundwater we will be able to really stop the subsidence of land.

3.5 Land Subsidence

The subsidence in Taiwan and Mexico could be clearly comparable because both increased after the second world war, coinciding with population growth and the development of technologies. On the other hand, the case of Choushui River Alluvial Fan is more recent, having a notable subsidence for around 30 years. In all three cases, the obvious and verifiable cause of the subsidence is the extraction of water from the aquifers located below the places already indicated. The results obtained in Figure 5 from the analysis of the information of the total subsidence, present in the three places, is shown in this work in meters taking zero as the initial point and the last number as the total subsidence presented.

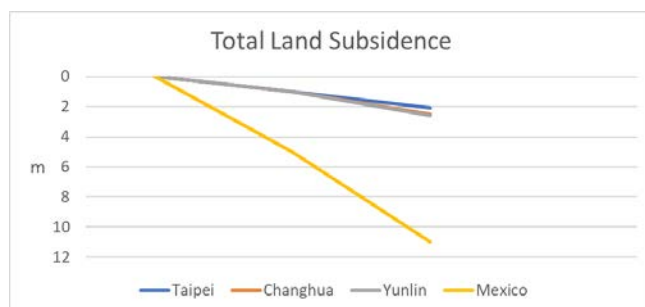


Figure 4. Graph of the total subsidence of Taipei, Choushui River Alluvial Fan and Mexico City.

The subsidence in Taipei was significant at the time, but it was controlled and these days it has a subsidence of less than 2 cm. In the case of Choushui River Alluvial Fan, the subsidence reached as high as 23 cm in the nineties, in Changhua County, after the number has stabilized until reaching 5.5 cm in Yunlin County, without ceasing to be significant. In the case of Mexico City, the numbers in general have never dropped below 20 cm per year since the 1940s, varying this number in the different places of the city, clarifying that the period from the 1940s to the 1990s was the most serious.

By the early 2000s, it was estimated that the total sinking of Mexico City in the last 100 years had been around 7.5m. For the year 2019 there are subsidence of up to 20 cm per year in the city, so it is clearly observed the lack of attention to the problem, and / or a clear failure of the policies to prevent the sinking of the city.

3.6 The major Compacted Layers

When we talk about the layers, there is a clear

correlation between the upper layers (Clay layer), where an obvious subsidence is present. Looking at the case of Taipei, we see that the major compacted layers are mainly in the clayey layers of the uppermost 50 m Holocene deposits.

At Choushui River Alluvial Fan there is a compression of the recent sand and clay layers. Chang & Chou, 2019, reported that in western central Taiwan, when Choushui River Alluvial Fan is located, the compression of the top three aquifer layers, which mainly consist of fine to coarse sand with occasional layers of gravel, contributed 83% of the ground subsidence during the period of 1997 to 2010. Specifically, the accumulated vertical compression observed in the confined aquifer layer at a depth from 52 to 153 m was up to 63.4 cm under the maximum pore pressure.

Finally at Mexico City the compacted layer is the one of clay-silt in what was once the Lake area. There the subsidence is characterized by a circular pattern caused by the consolidation of the clayey layers that constitute the aquifer-aquitard system (Navarro, et al., 2020).

3.7 The mechanism of Land Subsidence

When we talk about land subsidence due to water extraction from aquifers Chang & Chou, 2019, mentioned that the mechanism of how the soil behave, its important. Granular soils are highly nonlinear, anisotropic, and effective stress dependent materials with complex deformation characteristics. Long-term field monitoring data revealed that soil compression in aquifer layers could be a significant source of ground subsidence and conventional consolidation theory is incapable of describing the temporal variations in subsidence. Aquitards and interbeds consisting of fine-grained silts and clays are the main contributors to ground subsidence due to the higher compressibility of cohesive soils than those of granular ones.

Helping to understand how the soil behave we can try to understand the shakedown theorem that describe the behavior of elasto-plastic materials under cyclic loading. Plasticity refers to irreversible strains, as soil behavior is highly non-linear and irreversible like Martinez & Hinkelmann, 2015, talk in their work. The accumulation of plastic deformation ceases or slowly increases after a finite number of loading cycles. Granular soils show typical shakedown behaviors in drained condition.

If the downward pressure placed on the aquifer by the weight of overlying rock and water, remains constant, then, a reduction in upward pressure born by the fluid will result in an increase in the effective stress born by the aquifer. If pumping reduces the pressure head in a confined aquifer, the effective stress acting on the aquifer will increase and the aquifer will consolidate due to this increased stress. When we talk about the relationship between soft soil thickness and land subsidence, the mechanical response of the aquifer system to the increase in the effective stress and the distribution and thickness of unconsolidated soils play a key role in the magnitude of the developed settlements. At thick layer of alluvial sediments of different granulometry if there is a decrease

in the groundwater static level there will be an increase in stress causing permanent settlements in normally consolidated soils (Chang & Chou, 2019; Navarro, et al. 2020).

3.8 Government response

Both Taiwan and Mexico are part of the Creation of the Land Subsidence International Initiative based on the UNESCO Working Group, with the case of Mexico City, and with the case of Choushui River Alluvial Fan, which shows the global importance of these cases.

In Taiwan strong actions, reflected in the successful case of Taipei, have been taking for several years now. Now the efforts are concentrated in Choushui, where now the greatest subsidence of the country can be seen; but where various efforts are being made to manage it.

In Mexico there is a marked line between hybrid resources and the possible consequences of their mismanagement. In charge of the water is CONAGUA and taking care of possible problems derived from the sinking of soils, such as the collapse of infrastructures, this Civil Protection. There is no specific body commissioned in the management, study, and prevention of subsidence in Mexico City, and neither in the country, despite the importance of this

4. CONCLUSIONS

After studying the different and equal characteristics of both countries, clear similarities can be seen in subsidence in both countries when we talk about the origin in the type of soil and in the seismic movements present, as well as which are the layers with the highest subsidence.

However, the differences are notorious when we talk about management, and this just by looking at the numbers, because when Taiwan presented high numbers, they tried to counteract them in a few years, but in the case of Mexico the numbers have not stabilized, and the problem continues to be latent. Despite the apparent good management in Taiwan, the fact that some infrastructures are already threatened also speaks of the need not to stop paying attention and implement not only measures to attack the problem, but also to prevent them.

The subsidence is something that can be effectively controlled, as seen in the successful case of Taipei, but it is also observed that the actions that must be carried out must be concise and forceful to have the desired impact. So, it is fundamental the acceptance of the present problem, the detailed study, to allocate resources, implement policies and try to control the problem as soon as possible.

REFERENCES

1. Barends, Frans B.J.; Brouwer, Frits J.J. & Schröder, Frans H. (Ed.). (1995). "Land Subsidence". *IAHS Publication* No. 234
2. Galloway Devin L. (2014). "The Current Situations and Developing Trend of International Land Subsidence Research". *Shanghai Land &*

Resources. Vol.35-№.2

3. Bouwer, Herman. (1993). "Groundwater Hydrology". *McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS. Civil Engineering Series*.
4. Domenico, Patrick A. & Schwartz, Franklin W. (1990). "Physical and Chemical Hydrogeology". *John Wiley & Sons*. Pag. 200.
5. Vu, Tien-Duc; Ni, Chuen-Fa; Li, Wei-Ci; Truong, Minh-Hoang & Hsu, Shaohua Marko. (2021). "Predictions of groundwater vulnerability and sustainability by an integrated index-overlay method and physical-based numerical model". *Journal of Hydrology* 596 (2021) 126082.
6. Foster, S. S. D; Morris, B.L. & Chilton, P. J. (1999). "Groundwater in urban development-a review of linkages and concerns". *Impacts of Urban Growth on Surface Water and Groundwater Quality (Proceedings of IUGG 99 Symposium HS5, Birmingham, July 1999)*. IAHS Publ. no. 259, 1999.
7. Hung, Wei-Chia; Hwang, Cheinway; Sneed, Michelle; Chen, Yi-An; Chu, Chi-Hua & Lin, Shao-Hung. (2021). "Measuring and Interpreting Multilayer Aquifer-System Compactions for a Sustainable Groundwater-System Development". *Advancing Earth and Space Science: Water Resources Research*. 10.1029/2020WR028194.
8. Hu, Bo; Wang, Han-Sheng; Sun, Yong-Ling; Hou, Jian-Guo & Liang Jun. (2014). "Long-Term Land Subsidence Monitoring of Beijing (China) Using the Small Baseline Subset (SBAS) Technique". *Remote Sens.* 6, 3648-3661; doi:10.3390/rs6053648.
9. Tomás Roberto, Herrera Gerardo, Delgado José & Peña Fernando. (2009). "Subsistencia del Terreno". *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. (17.3) 295-302.
10. Barends, Frans B.J.; Brouwer, Frits J.J. & Schröder, Frans H. (Ed.). (1995). "Land Subsidence". *IAHS Publication* No. 234.
11. Hwang, Cheinway; Cheng, Tze-Chiang; Cheng, C.C. & Hung, W.C. (2010). "Land Subsidence using Absolute and Relative Gravimetry: a case study in central Taiwan". *Survey Review*, 42, 315 pp. 27-39.
12. Taniguchi, Makoto (Ed.). (2011). "Groundwater and Subsurface Environments: Human Impacts in Asian Coastal Cities". *Springer*. ISBN 978-4-431-53903-2
13. Chen, Chih-Tung; Hu, Jyr-Ching; Lu, Chia-Yu; Lee, Jian-Cheng & Chan, Yu-Chang. (2007). "Thirty-year land elevation change from subsidence to uplift following the termination of groundwater pumping and its geological implications in the Metropolitan Taipei Basin, Northern Taiwan". *Engineering Geology* 95. 30-47.
14. Gonzales, José Martínez; Lermo, Javier; Ismael, Eduardo & Angulo, Joel. (2011). "Efectos del Hundimiento Regional en los Cambios de Periodo Dominante del Suelo de la Cuenca de México: Propuesta de Nuevos Mapas para las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo

- (ntcds)". *XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Aguascalientes, México*.
15. CENAPRED "Centro Nacional de Prevención de Desastres" (National Center for Disaster Prevention). (May 2017). "Análisis de la Vulnerabilidad Física a la Subsistencia y Agrietamiento en la Ciudad de México".
 16. Díaz-Rodríguez, J. Abraham. (2003). "Characterisation and engineering properties of Mexico City lacustrine soils". *Swets & Zeitlinger, Lisse*, ISBN 90 5809 537 1.
 17. Díaz-Rodríguez, Jorge Abraham. (2006). "LOS SUELOS LACUSTRES DE LA CIUDAD DE MÉXICO". *Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*. Vol. 6(2) 111
 18. Cabral-Cano, Enrique; Dixon, Timothy H.; Miralles-Wilhelm, Fernando; Díaz-Molina, Oscar; Sánchez-Zamora, Osvaldo & Carande Richard E. (2008). "Space geodetic imaging of rapid ground subsidence in Mexico City". *Geological Society of America Bulletin*, November - December 2008. DOI: 10.1130/B26001.1
 19. Juárez-Camarena, Moisés, Auvinet-Guichard, Gabriel, & Méndez-Sánchez, Edgar. (2016). "Geotechnical Zoning of Mexico Valley Subsoil". *Ingeniería, investigación y tecnología*, 17(3), 297-308.
 20. CONAGUA "Comisión Nacional del Agua" (National Water Commission). December 2020. "Actualización de la Disponibilidad media anual de Agua en el Acuífero Zona Metropolitana de la CD". De México (0901), Ciudad de México.
 21. Lesser Illades, Juan Manuel & Gonzales Posadas, David. "El Agua Subterránea de la Ciudad de México". *V Congreso de Aguas Subterráneas Hermosillo, Sonora*, 2005-08-30. Text.
 22. Aguilera Jiménez, Patricia. (2013). "Catedral Metropolitana, Hundimiento y Rescate". *UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO © Instituto de Ingeniería*. Primera edición. ISBN: 978-607-02-4647-0.
 23. Lesser Illades, Juan Manuel & Cortés Pérez, Miguel Ángel. (1998). "El hundimiento del terreno en la ciudad de México y sus implicaciones en el sistema de drenaje". *Ingeniería hidráulica en México*. Vol. XIII, Núm. 3, Págs. 13-18, septiembre-diciembre de 1998.
 24. Ortega-Guerrero, A., Cherry, J. A., & Rudolph, D. L. (1993). "Large-Scale Aquitard Consolidation Near Mexico City". *Groundwater*, 31(5), 708-718. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1993.tb00841>.
 25. Liu, Chen Wuing. (2004). "Decision Support System for Managing Ground Water Resources in the Choushui River Alluvial in Taiwan". *Journal of the American Water Resources Association*. 40(2):431-442.
 26. Jet-Chau Wen, Kuo-Chyang Chang, Shao-Yang Huang, Chia-Chen Hsu, Keng-Yu Chang, Wen-Ni Chen. (2010). "Chapter 13 The water community case of Chou-Shui River in Taiwan". *Water Communities (Community, Environment and Disaster Risk Management, Volume 2)*, Emerald Group Publishing Limited, pp. 241 – 262.}
 27. Hung, Wei-Chia; Chen, Yi-An & Hwang, Cheinway. (2020). "IoT technology and big data processing for monitoring and analysing land subsidence in Central Taiwan". *IAHS*, 382, 103–109.
 28. Hwang, Cheinway; Yang, Yuande; Kao, Ricky; Han, Jiancheng; Shum, C. K.; Galloway, Devin L.; Sneed, Michelle; Hung, Wei-Chia; Cheng, Yung-Sheng & Li, Fei. (2016). "Time-varying land subsidence detected by radar altimetry: California, Taiwan and north China". *Scientific Reports*.
 29. Tung, Hsin & Hu, Jyr-Ching. (2012). "Assessments of serious anthropogenic land subsidence in Yunlin County of central Taiwan from 1996 to 1999 by Persistent Scatterers InSAR". *Tectonophysics* 578 (2012) 126–135.
 30. Hung, Wei-Chia; Hwang, Cheinway; Liou, Jyh-Chau; Lin, Yan-Syun & Yang, Hsiu-Lung. (2012). "Modeling aquifer-system compaction and predicting land subsidence in central Taiwan". *Engineering Geology* 147–148 (2012) 78–90.
 31. Omoko, E.N; Okeke, O.C, & Kelechi, Opara. (2018). "A Review of the Mechanism and Engineering/Environmental Problems of Subsidence Due to Groundwater Extraction (Withdrawal)". *IIARD International Journal of Geography and Environmental Management ISSN 2504-8821 Vol. 4 No. 4 2018*
 32. Chang, Wen-Jong & Chou, Shih-Hsun. (2019). "Experimental Study on Shakedown Compression of Saturated Granular Soils due to Pore Pressure Variation". *Journal of GeoEngineering*, Vol. 14, No. 4, pp. 247-257, December 2019.
 33. Martinez-Noguez & R. Hinkelmann. (2015). "Land subsidence caused by a single water extraction well and rapid water infiltration". *Copernicus Publications on behalf of the International Association of Hydrological Sciences. IAHS*, 372, 33–38, 2015 doi:10.5194/piahs-372-33-2015
 34. Navarro-Hernández, María Inés; Roberto Tomás; Lopez-Sanchez, Juan M.; Cárdenas-Tristán, Abraham & Mallorquí, Jordi J. (2020). "Spatial Analysis of Land Subsidence in the San Luis Potosi Valley Induced by Aquifer Overexploitation Using the Coherent Pixels Technique (CPT) and Sentinel-1 InSAR Observation". *Remote Sens*. 2020, 12, 3822; doi:10.3390/rs12223822.

以深度學習預測海溫及颱風冷卻效應對於珊瑚白化之風險

馮馨柔^{1*} 林遠見²

1. 國立中央大學土木工程學系防災與資訊應用組 碩士生
 2. 國立中央大學土木工程學系防災與資訊應用組 副教授
- * 通訊作者，Email: shannon98529@gmail.com

摘要

2020 年，澎湖南方四島發生嚴重的珊瑚白化現象且可能造成大量珊瑚死亡，珊瑚為海洋重要的生態庫，豐富海中的生物多樣性，但珊瑚可以存活的溫度範圍狹窄，暖化造成的海溫上升影響不容小覷，若極端氣候持續的發生，珊瑚將會更難生存，故能準確預測未來之海溫變化極為重要。除了海溫外，澎湖附近海域之珊瑚白化指數 DHW (Degree Heating Weeks) 也在 2020 年達到史上最高，且近 15 年珊瑚白化風險透過分析有著明顯上升。本研究以深度學習方法預測海溫，並反推算 DHW，準確度高達 99.22%，對於預測未來 SST (Sea Surface Temperature) 及 DHW 可以提供良好貢獻。澎湖在 2020 年也並未受到颱風侵襲，少了颱風攪動海水，冷卻海溫的效果，連續的高溫也是其中原因導致珊瑚白化，而颱風的強度、風速及海洋混和層厚度都會造成不同程度的海溫冷卻，本研究分析過去颱風事件不同因子對於海溫冷卻之相關性，建立機器學習模型分類不同颱風事件是否造成海溫冷卻效應，有著 91.7% 之準確率，其中以南方四島中心與颱風中心的距離特徵提供最顯著海溫冷卻因子。本研究希望建立之預測模型可以提供相關機構資訊，為珊瑚保育盡一份心力。

關鍵字：珊瑚白化、颱風特徵分析、深度學習、海溫、DHW、澎湖南方四島

Applying Deep Learning to Predict the SST Variation and Typhoon Induced SST Cooling on the Risk of Coral Bleaching

Shannon Feng^{1*} Yuan-Chien Lin²

1. Master, Department of Civil Engineering, Group of Information Technology, National Central University
 2. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Group of Information Technology, National Central University
- * Corresponding Author, Email: shannon98529@gmail.com

Abstract

In 2020, the South Penghu Marine National Park had experienced sever coral bleaching and may cause coral deaths. It's an important creature that enrich the biodiversity in the ocean. However, the SST that corals can survive is narrow. The impact of extreme weather can't be underestimate, and it is critical to accurately predict SST variations. In addition to SST, DHW near Penghu achieved the highest level in 2020, the risk of coral bleaching has increased significantly. In this study, the deep learning is applied to predict SST, and is already reached 99.22% accuracy. Penghu was not directly attacked by a typhoon in 2020, so lack of typhoon induced SST cooling, may be a reason that large area of coral bleaching. The intensity, wind speed, and the thickness of the ocean mixed layer would cause different degrees of SST cooling. A machine learning model is established to classify whether this typhoon would cause significant cooling effect. The accuracy of the model is 91.7%, and the distance provides the most obvious cooling factor. This research hopes provide relevant institutions with prediction information, that contribute to coral conservation in Penghu Marine National Park.

Keywords: Coral bleaching, typhoon characteristics, deep learning, SST, DHW, South Penghu Marine National Park

一、前言

位於澎湖南方海域的東吉嶼、西吉嶼、東嶼坪、西嶼坪統稱為澎湖南方四島，擁有台灣一座海洋型國家公園，富有大量生態資源且具有高度生物多樣性，由於海底地形與海流、潮汐的交互影響，湧升流現象使得周圍佈滿珊瑚，澎湖四島的珊瑚覆蓋率介在30~65% (張至維, 李展榮, 邱郁文, & 楊清閔, 2013)，顯示南方四島具有優良海洋條件提供珊瑚生存，豐富海洋生態的多變性。而在近幾年，因氣候變遷及全球暖化的影響，即便當地的環境沒有受到汙染，一旦海溫超過珊瑚可以適應的溫度，長時間下珊瑚便會排出體內的共生藻而白化，最後死亡導致生態浩劫。例如：1998年聖嬰現象引起全球的暖化事件，使全世界16-19%的珊瑚礁消失 (Glynn, Maté, Baker, & Calderón, 2001)。珊瑚可以存活的溫度範圍狹窄，暖化造成的影響不容小覷，珊瑚的復原時間也長達10年，若極端氣候持續的發生，珊瑚將會更難生存。特別在2020年，台灣並未受到颱風的侵襲，少了颱風攪動海水，冷卻海溫的效果，連續的高溫也導致台灣大面積的珊瑚白化。

在2020年的夏天，美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)的珊瑚礁觀測(Coral Reef Watch, CRW)系統發布台灣北部海域已進入第二級白化警示(NOAA, 2020)，即表示可能發生嚴重的珊瑚白化現象且有機會造成大量珊瑚的死亡，而不只台灣北部地區，南部地區及離島已發生多次珊瑚白化的現象。當海溫低於18°C或高於30°C則可能使珊瑚白化，持續下去便會使珊瑚永久死亡。本研究將針對澎湖南方四島利用實際的觀測資料分析，結合大尺度的海溫資料，利用日本氣象廳之Best Track data及颱風資料庫，萃取出近30年來的颱風資料進行特徵分析及颱風與海溫之關聯性進行探討，準確預測海溫並建立一套系統可供海洋管理單位參考颱風可能造成海洋環境之災害或影響。透過本研究希望可以更了解南方四島的海溫變動趨勢，未來能更進一步準確掌握並調適海洋環境在受到大尺度的氣候變遷、極端氣候、颱風等多方面影響下的變化，對於保育珊瑚礁有更多的貢獻。

二、研究方法

2.1 小波訊號分析法(Wavelet Analysis)

主要在處理長期資料數據，在處理訊號方面為一個強大的工具，最早於被應用在氣象數據的分析(Nalley, Adamowski, Khalil, & Biswas, 2016; Qin et al., 2008)，後來也被廣泛應用於經濟學及神經系統中對時間序列或訊號進行處理(Pichot et al., 2001; Yogo, 2008)。傅立葉轉換很難去區分訊號小尺度時間上的變化，而小波轉換法可以改變時間域及頻率域，擁有在估計訊號相位差及分析非穩態訊號的優勢(Hwang, Huang, & Wang, 2003)，這個方法將時間序列拆解為時間域及頻率域，可以更容易地去探討短週期的事件(Qin et al., 2008)。

連續小波轉換(Continuous Wavelet Transform, CWT)利用Morlet Wavelet為小波母函數 $\psi(t)$ ，將其

經過伸縮及平移可得小波序列，而連續小波變換為：

$$WT_x(a, t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt \quad (a \in \mathbb{R}^+, \tau \in \mathbb{R}) \quad (1)$$

其中WT為小波係數； $x(t)$ 為時間序列； a 為尺度因子(scale factor)， τ 為平移因子(translation factor)； t 為時間。

2.2 經驗正交函數(Empirical Orthogonal Function, EOF)

利用分解空間變化資料分析矩陣數據中的結構特徵，可以將隨時間變化的變量場分解為不隨時間變化的空間函數，經過乘積與線性疊加後，可以還原成原本的空間函數(Richman, 1986)，將包含空間資訊及時間的多維變數矩陣， $X(t, s)$ 拆解成多個時間係數與空間向量：

$$X(t, s) = \sum_{k=1}^M c_k(t) u_k(s) \quad (2)$$

其中 $X(t, s)$ 代表時間函數矩陣，維度包含時間序列及空間座標； $u_k(s)$ 代表此時空間函數的第 k 個空間特徵； $c_k(s)$ 表示此空間函數第 k 個時間特徵，可以當成第 k 個空間變數所佔之權重(expansion coefficient)； k 由1至 M 為EOF在原始資料上所佔可以解釋變異量大小之排序。EOF已被廣泛應用在分析氣象、大氣及海洋的結構(Richman 1986)，而後也被推廣至時間序列，當作預測因子等研究。

2.3 颱風類型指數(Typhoon Type Index, TTI)

為一個建立在空間上的統計迴歸模型，可以將颱風區分為風型颱風和雨型颱風，風型颱風定義為區域上的整體損壞由風進行控制，雨型颱風則為降雨進行控制(Lin, Wang, Lai, & Lin, 2020)。針對每個颱風事件 i 和每個氣象站 j 之TTI定義如下：

$$TTI_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_{ij} = y_{ij} - (\alpha_j + \beta_j x_{ij}), \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

其中 x_{ij} 為颱風事件於警備期間的累積降雨量(mm)， y_{ij} 是最高25%風速(m/s)。

2.4 隨機森林(Random Forest)

決策樹(Decision Tree)為用來處理分類的樹狀結構，由根(root)為起始點分支出子節點(Children node)，直至終點。隨機森林即以CART(Classification and Regression Tree)決策樹為單一分類樹，隨機方式創建一個決策樹森林，每一顆決策樹相互獨立，將數據以拔靴法(Bootstrap)隨機將訓練集重複抽樣出 n 組子集合，隨機選擇 m 的變數，以選擇達到最小的Gini Index的分割方式進行分類生成CART樹，根據 n 顆決策樹的 m 分類結果進行組合選出最佳的結果。此方法可以處理類別資料，準確度高且可以有效抑制訓練樣本雜訊的問題。本研究便利用此機器學習方法，隨機森林訓練颱風事件之樣本，80%為訓練集，20%為測試集，預測其分類擁有不同因子之事件是否為造成顯著海溫冷卻效應之颱風。

2.5 本研究之網路神經模型架構

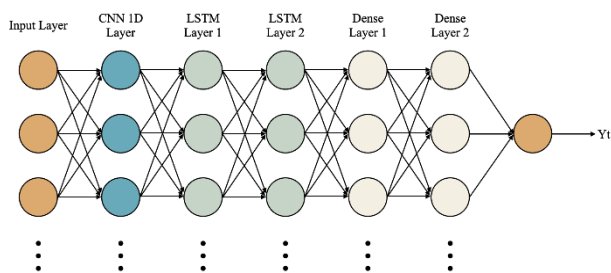


圖 1 LSTM 與 CNN 神經網路架構

現今多篇期刊都使用 RNN(Recurrent Neural Network)預測海溫 (Sharma, Prasad, Kumar, & Sharma, 2018; Xie, Zhang, Yu, Xu, & Letters, 2019)，本研究為了更加準確預測，使用 LSTM (Long Short-Term Memory)及 CNN(Convolutional Neural Network)架構學習 SST 的非穩態數據。準確預測 SST 非常重要，珊瑚白化指數 DHW 即利用 SST 所推算，將 SST 預測的越準確，對於精準推算 DHW 的會更為可信，對於預測澎湖南方四島未來之珊瑚白化情況更有貢獻。

LSTM 由 Hochreiter 及 Schmidhuber 提出 (Hochreiter & Schmidhuber, 1997)，模型架構包含輸入閘 (Input Gate)、輸出閘 (Output Gate)、遺忘閘 (Forget Gate) 及記憶單元 (Memory Cell)，各自擁有權重決定該閘的關閉或開啟，當利用梯度下降法 (Gradient Descent) 時，將誤差儲存並回傳，隨著時間反覆訓練而降低，將會逐漸收斂，解決傳統 RNN 存在梯度消失 (Gradient Vanishing) 問題。在處理及預測時間序列尤為強大，成果優於許多其他 RNN 模型，廣泛使用在文字、語音識別、蛋白質同源檢測，近年也被運用在預測大氣因子時間序列及股價等。然而海溫的變動為非線性之時間序列，單純只利用 RNN 及 LSTM 等遞歸神經網路，並無法準確預測到 SST 所有變動的高低起伏，故本研究將同時利用 CNN 解決此問題。而 CNN 模型在傳統上主要是針對二維影像數據所開發，但仍然可以使用單變量之 CNN 1D 提取時間序列特徵，降低維度，利用一個卷積神經網路提供時間上之平移不變性卷積，可以克服時間序列之複雜性，再將 CNN 之結果輸出給 LSTM 使得 LSTM 模型可以更有效率。

此神經網路架構與 CLDNN (Convolutional, Long Short-Term Memory, Fully Connected Deep Neural Networks) (Sainath, Vinyals, Senior, & Sak, 2015) 架構類似，本研究採用一層 CNN Layer，2 層 LSTM Layer，2 層全連接層 (Full Connected Layer, Dense Layer)，1 層 Lambda Layer 作為架構進行 SST 之預測，參考圖 1。

三、研究區域與資料

3.1 區域

為了探討海溫及珊瑚白化程度與其他因子的相互關聯性，海溫的計算範圍在南方四島周邊，參考圖 2(a)。颱風的最大半徑約可到達至 300 公里，故將範圍設置如參考圖 2(b)，若颱風中心到達此範圍內即會成為探討之颱風事件。

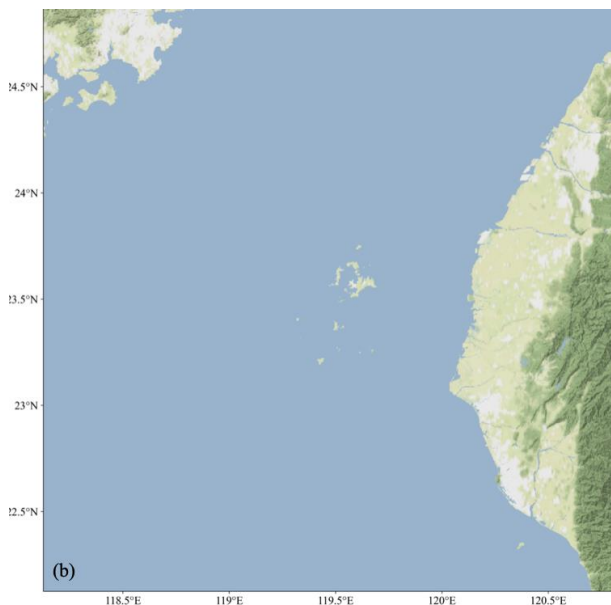
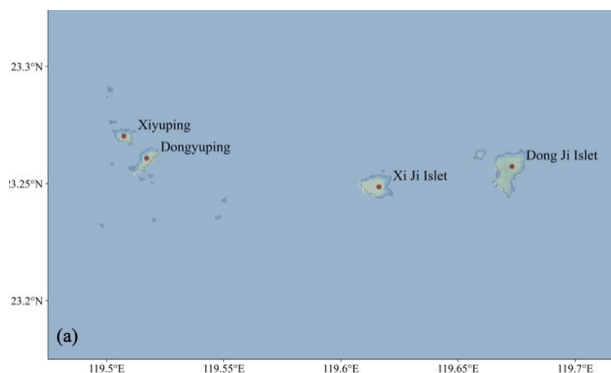


圖 2 研究區域

3.2 颱風資料

路徑資料為日本氣象廳 (JMA) Best Track 資料，六小時一筆，紀錄強度級別、中心經緯度、年份及編號、時間、中心氣壓、最大風速等颱風相關資料。

侵台路徑等來自颱風資料庫，氣象局依颱風中心最大風速，將颱風分成輕度、中度及強烈颱風。將颱風生成位置及侵台路徑分類可參考氣象局網站 (http://www.tyroom.url.tw/typhoon/statistics/tai_03.htm)。

3.2 SST 及 DHW

SST 為 NOAA 的 CRW，所開發，基於 AVHRR path finder 的 SST 數據 (<http://pathfinder.nodc.noaa.gov>)，並利用 CRW 之氣候模擬得出接近真實時間的產品。其空間覆蓋率為 0.05 度之全球網格，時間從 1985 年至今。本研究利用 CRW 的資料中取得日平均海溫資料，蒐集時間從 1991 年 1 月至 2020 年 12 月共計三十年之 SST 資料進行整理及分析，探討南方四島周邊海溫長時間尺度下的變化及趨勢。

DHW 同樣也為 NOAA 的 CRW 所建立的一個產品，其計算方式為利用過去 12 週之海溫平均值減去當地海溫閾值所算出，單位為攝氏度/週，若超出 1°C 就將其累加，這種方式便會考慮到溫度累加的效應。

四、結果與討論

4.1 澎湖南方四島海溫分析及預測

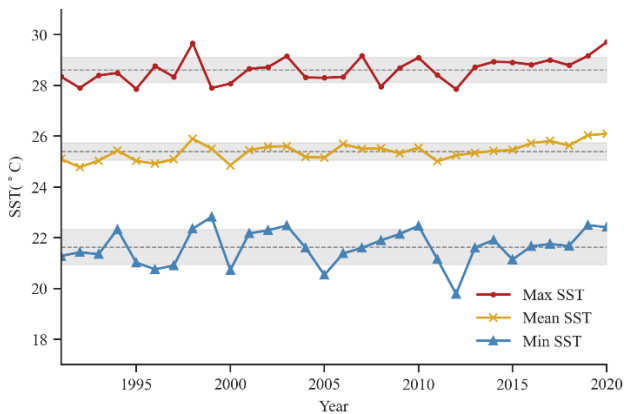


圖 3 30 年平均海溫

在澎湖南方四島的範圍內，海溫呈現些微上升的趨勢，利用線性迴歸模型可以得到南方四島的平均海溫以每年 0.0238°C 上升，在時間區間 1991 年至 2020 年，30 年共上升約 0.7149°C 。由圖 3 可觀察 SST 研究範圍海溫年平均，月平均最大值及月平均最小值，虛線為該 SST 類別平均線，灰色區域範圍為正負一個標準差之值。平均海溫從 2015 年開始有著一個穩定上升的趨勢。

值得注意的年份為 1998、2019 及 2020 年，不論是年平均、月平均最小值及最大值都超出一個標準差，1998 年在世界各地都發生了嚴重的暖化事件，造成世界許多景點都面臨了廣泛的珊瑚白化現象 (Glynn et al., 2001)，相較於 1998 年，1997 年的海溫相對較低，造成這現象的原因為 1997 年為顯著的聖嬰年，1998 年則為顯著的反聖嬰年，造成這海溫對比的差異是由於西太平洋暖池(Western Pacific Warm Pool)的溫度及地理範圍的變動在聖嬰-南方震盪 (El Niño-Southern Oscillation) 事件時發生。位於西太平洋的澎湖南方四島地區，聖嬰現象可能較具有相對的降溫效應，而反聖嬰現象具有相對的海溫暖化作用(Timmermann et al., 2018)。而近 2 年 2019 及 2020 年，也是聖嬰年及中強度的反聖嬰年。

海溫資料總計有 1991-2020 年 30 年之日資料，因從圖 3 觀察出從 2010 年以後之年平均海溫有穩定上升的趨勢，在時間預測模型中，資料量的多寡不一定可以代表模型的可信度，而是挑取趨勢對於近年要預測之資料較為相近的，對於模型的預測會更為有幫助，故本研究只利用 2010 年以後之海溫進行訓練，將 10 年之日資料 80% 分為訓練集，20% 為測試集，進行單變量之時間預測模型，如圖 4 所示，褐色線即為 SST 遙測資料，藍色線為模型預測結果，時間為測試集範圍，右下角之小圖為轉換為 2019 年與 2020 年 DHW 之值，發現雖然海溫預測之最高點差異看起來並不顯著，但轉換為 DHW 後仍有些保守，差異變大，故能夠準確預測海溫之高點非常重要。

本研究之神經網路架構相較於傳統之自迴歸模型 (ARIMA)，分類模型 (SVR) 及神經遞歸模型 (RNN, GRU, LSTM) 有著明顯的優勢，擁有較低之 MAE、RMSE、MAPE 及最高之準確度 (ACC)，可參考表 1，評估指標之公式可參考附錄 6.1。

表 1 各模型之誤差及準確度

| Methods | MAE(°C) | RMSE | MAPE | ACC |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| ARIMA | 1.0663 | 1.2575 | 4.1292 | 0.9587 |
| SVR | 0.4513 | 0.8727 | 1.6508 | 0.9835 |
| RNN | 0.2748 | 0.3483 | 1.0579 | 0.9894 |
| GRU | 0.2817 | 0.2363 | 1.0909 | 0.9891 |
| LSTM | 0.3263 | 0.4124 | 1.2623 | 0.9874 |
| CNN+LSTM | 0.1986 | 0.2579 | 0.7759 | 0.9922 |

4.2 DHW 與 SST 之相關性分析

珊瑚白化與海溫關聯性極高，故自從 1998 年遍佈世界的嚴重珊瑚白化事件以後，海洋熱點 (Ocean Hot Spots) 開始被重視，其是利用月平均海溫高於長期平均溫度 1°C 以上，便將該地視為海洋熱點，但有些珊瑚白化事件可能時間週期短於一個月，此方法對於珊瑚白化的現象可能較不敏銳，故使用 DHW，利用過去 12 週之海溫平均值減去當地海溫閾值並進行累加，除了對短週期事件較敏感外，也可以考慮到熱壓力的累加效應，比起單純利用海溫值，更可以準確判斷一個地方珊瑚白化的嚴重程度及影響範圍。



圖 4 模型測試集預測結果

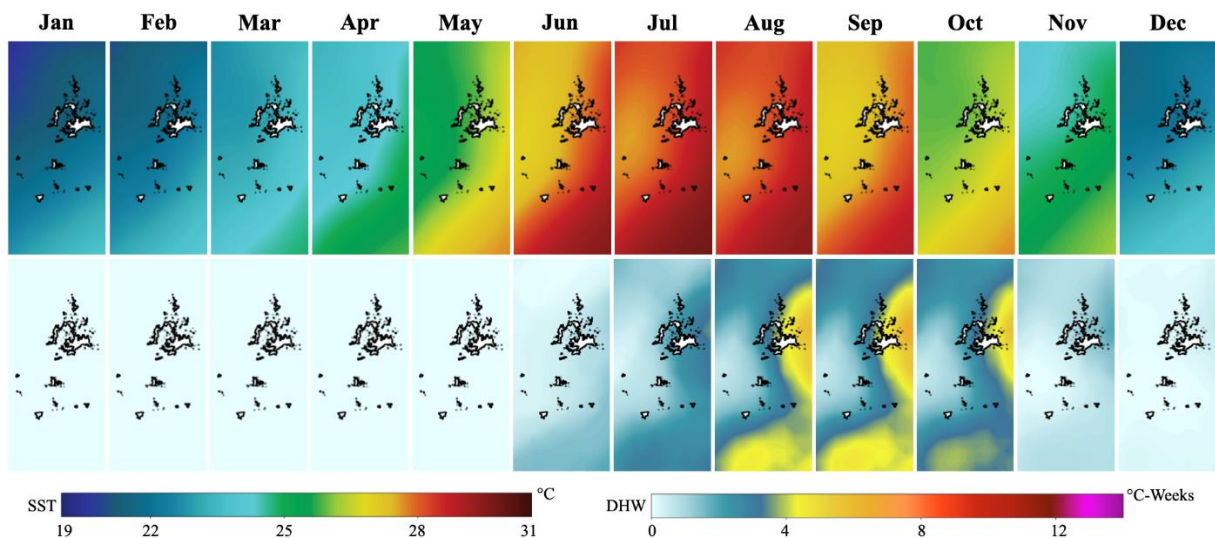


圖 5 SST 及 DHW 之 30 年月份平均

圖 5 為 SST 及 DHW 30 年來的月份平均，上排為 SST 圖，下排為 DHW，當 DHW 小於 4 時該地並沒有珊瑚白化風險，而大於 4 即代表此處有珊瑚白化風險，大於 8 則可能發生廣泛珊瑚白化或死亡的事件。從 6 月開始進入台灣的夏天，對珊瑚的熱壓力影響也逐漸開始直到 11 月才開始慢慢消退至沒有白化的風險，若以 30 年的平均來探討，8 月到 10 月為珊瑚白化較嚴重的月份，尤其以澎湖東部及南方四島南部最為嚴重，而南方四島的東邊，東吉嶼與西吉嶼也較西半部之西嶼坪嶼和東嶼坪嶼珊瑚白化風險高出一些。

險，但自從 2006 年以後，DHW 的數值平均較往年增加許多。2006-2010 年風險主要在澎湖東部及南方四島南部；2011-2016 年已南方四島南部為主；2016-2020 以澎湖地區，南方四島南部為珊瑚白化區熱點。

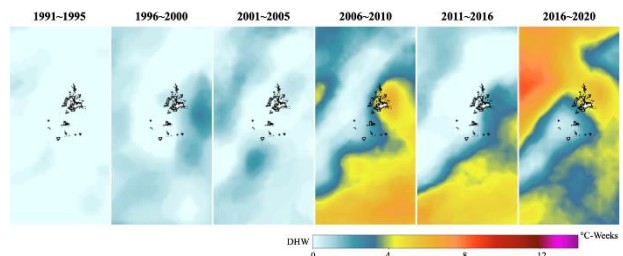


圖 7 每五年之 DHW 九月份平均

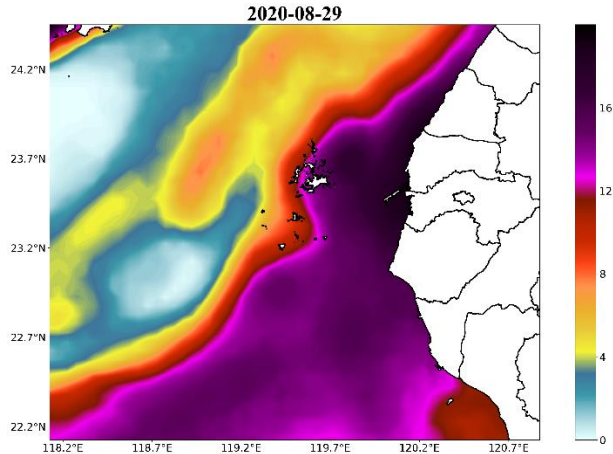


圖 6 2020/8/29 之海溫澎湖海域空間分布圖

圖 6 為 2020 年 8 月 29 日之海溫海域空間分布圖，從海溫空間分布圖並沒有辦法清楚知道珊瑚白化在地域上的風險，但從 DHW 圖即可明顯看出差異，而 2020 年的 DHW 指數甚至高達 12 以上，在這之前幾乎是從來沒有發生過的，代表澎湖地區的珊瑚礁在 2020 年面臨了從未面臨過的熱壓力事件。

考慮到後幾年之海溫平均有較早期漸漸升高的趨勢，而珊瑚白化風險最高的月份為每年之九月份，故本研究選取以每五年之九月份平均畫出澎湖附近範圍之 DHW 空間分布圖，可參考圖 7，發現前 15 年，對於澎湖附近海域的珊瑚整體來說並沒有太大的風

險，但自從 2006 年以後，DHW 的數值平均較往年增加許多。2006-2010 年風險主要在澎湖東部及南方四島南部；2011-2016 年已南方四島南部為主；2016-2020 以澎湖地區，南方四島南部為珊瑚白化區熱點。

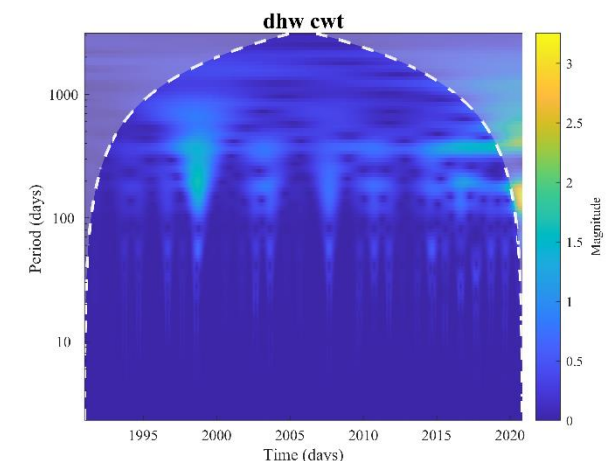


圖 8 DHW 連續小波轉換

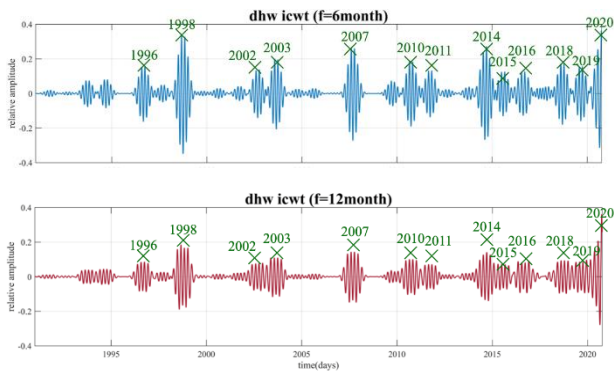


圖 9 DHW 逆小波轉換

圖 10 為透過 DHW 逆小波轉換被標出來的特定年份，對這 13 年畫出南方四島海溫與 DHW 之五月至九月之時間序列，因為海溫須超出閾值才會被計算，故在 6 月以前 DHW 值幾乎都為 0，澎湖的海溫閾值為 29.3°C，為圖中深藍色的虛線，兩條橘色的虛線為 DHW 等於 4 及 8 的線。其中 DHW 以圖中紫色線之 2020 年最高，其次為深藍色線之 1998 年。

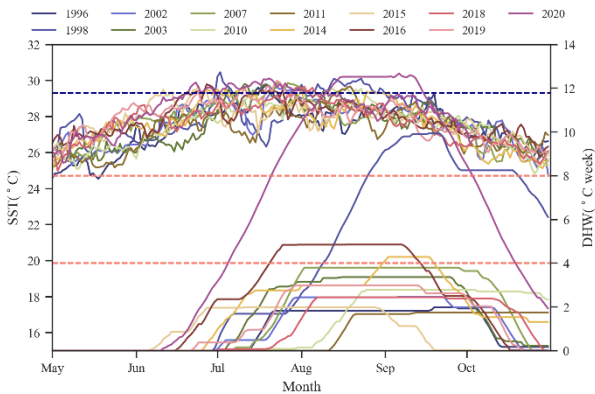


圖 10 特定年份海溫及 DHW 五月至十月之時間序列

4.3 颱風事件分析

此研究針對 1991 年至 2020 年之颱風中心經過研究區域內的颱風當作事件進行分析及探討，利用 Best Track 之颱風資料，在這 30 年間共有 59 個颱風事件經過，針對每一個颱風事件，將颱風到達區域內之 SST 減去颱風離開區域後之七天這一時間段之最小海溫值即為此颱風之冷卻溫度，在這 59 個事件中之平均冷卻溫度為 1.039°C，大部分的颱風冷卻都在 0-3°C 中，其中將冷卻效應超過 1°C 之颱風事件定義為有顯著冷卻效應之颱風，未超過 1°C 之颱風定義為無顯著冷卻效應之颱風。圖 11 為 1991 年至 2020 年所有之颱風事件頻率，褐色代表當年的颱風個數，藍色代表有顯著冷卻效應之颱風個數。

在 59 個事件中，共有 30 個颱風事件之冷卻溫度達 1°C 以上，圖 12 之上圖為有顯著冷卻效應之颱風路徑圖，下圖為另外 29 個並無顯著冷卻效應之颱風路徑圖，其中黃色的路徑代表熱帶低氣壓 (Tropical Depression, TD)，藍色代表熱帶風暴 (Tropical Storm, TS)，綠色為強烈熱帶風暴 (Strong Tropical Storm, STS)，橘色為颱風 (Typhoon, TY)，紫色為強烈颱風 (Extra-

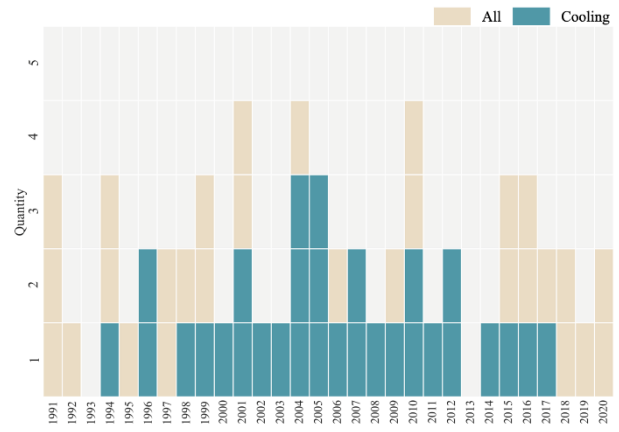


圖 11 1991 至 2020 年之經過澎湖之颱風頻率

tropical cyclone, L)。可發現大部分的颱風都會先經過台灣本島，受到中央山脈的關係導致颱風強度變低後才會進到澎湖區域，故經過澎湖的颱風大部分強度都較在太平洋時弱。由圖上也可以明顯發現說在有明顯冷卻效應的颱風裡，很多都是直接經過澎湖及南方四島地區，而在未顯著冷卻效應之颱風事件有許多颱風路徑並沒有直接經過澎湖，故海溫冷卻效應的發生與經過之路徑有著一定的關聯性。在冷卻效應的颱風中，颱風大部分都在太平洋生成，擁有較良好之颱風形成條件，故形成之颱風強度較強，而南海形成之颱風雖可能成為較直接接近澎湖之路徑，但許多強度都偏弱，故在圖上大部分為無顯著冷卻效應之颱風。

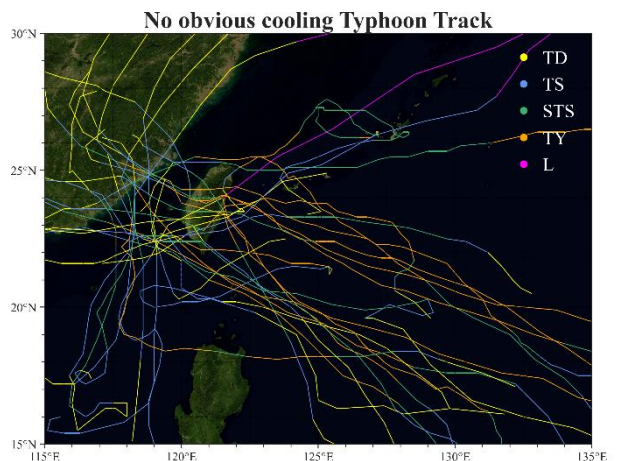
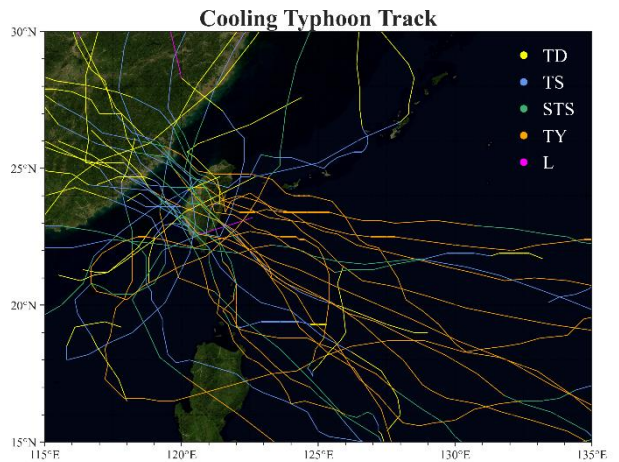


圖 12 颱風路徑

4.3.1 EOF 分析

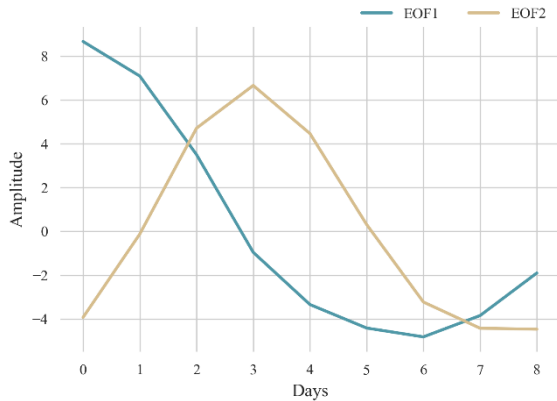


圖 13 颱風時 SST 之 EOF 分析

本研究想要看出颱風對於海溫冷卻的主要機制，使用所有颱風事件 SST 分解成主成分 (Principal Component, PC)，分析颱風來臨時最能夠解釋之海溫變動情形，這些 PC 可以根據其可以解釋時間序列的變異數 (Variance) 貢獻進行排序。應用 EOF 將多個變量分解為具有正交性的主成分統計工具。在此研究僅針對貢獻度較高的 EOF1 及 EOF2 進行探討及分析，參考圖 13 及圖 15，其中 EOF1 解釋之變異數為 39.69%，EOF2 為 28.59%。而 EOF1 對於海溫冷卻的效果較佳，而 EOF2 並沒有造成海溫有下降的現象。EOF1 為最顯著之海溫變動模式，從變化曲線來看，颱風來臨時澎湖海溫以下降的變化最為顯著，而 EOF2 之海溫變化趨勢與 EOF1 完全不同，在颱風來臨 (Days=1) 之後反而溫度上升，直至颱風離開研究範圍後 2 天海溫才開始下降，其可能造成之原因為該颱風事件可能不是直接造成澎湖地區海溫的下降，而是在颱風離開後引進西南氣流造成之強降雨，使得海溫下降的趨勢會是在颱風離開區域時發生。

利用 EOF 分析完，將所有颱風事件與 EOF1、EOF2 的 PC 權重 (loadings) 繪製成雙標圖，代表每一個颱風事件之 EOF 權重分布，如圖 14，橫軸為 EOF1，縱軸為 EOF2，在 59 個颱風事件中，有 42 個颱風都與 EOF1 有正相關，約有 28% 之颱風與之為負相關，雙標圖便是將其依象限分成 group1 至 group4。

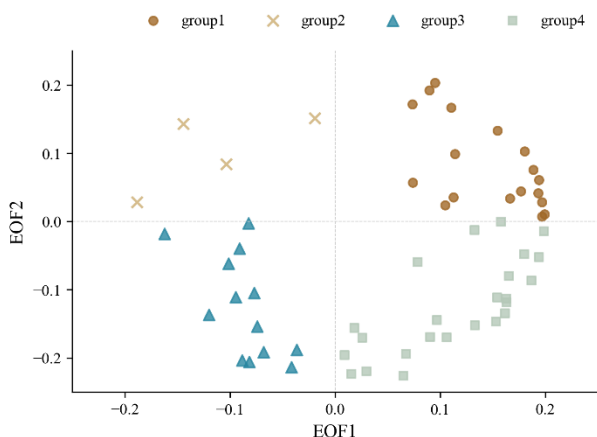


圖 14 颱風事件雙標圖(Biplot)

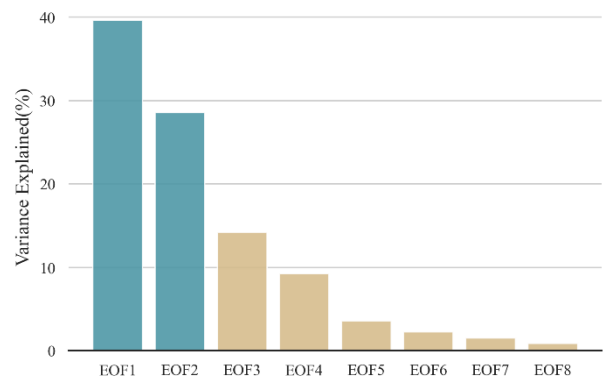


圖 15 各 EOF 所解釋之變異數

4.3.2 TTI 分類

本研究利用 TTI 除了將颱風分類為風型及雨型颱風，圖 16 為 1991-2020 年颱風事件在東吉嶼測站之 TTI 散佈圖，橫軸為中央氣象局東吉嶼測站之颱風期間累積雨量(mm)，縱軸為最高 25% 之平均風速，預測線為風型與雨型颱風之分類線，藍色三角形表示該颱風為風型颱風，褐色圓形表示為雨型颱風，該測站之颱風事件風型與雨型颱風各約為一半。為了更了解當地氣候因子對海溫冷卻效應的關聯性，本研究將強度分成了四個等級，分別為 L1 至 L4，來比較及分析探討不同分類結果對海溫之影響。

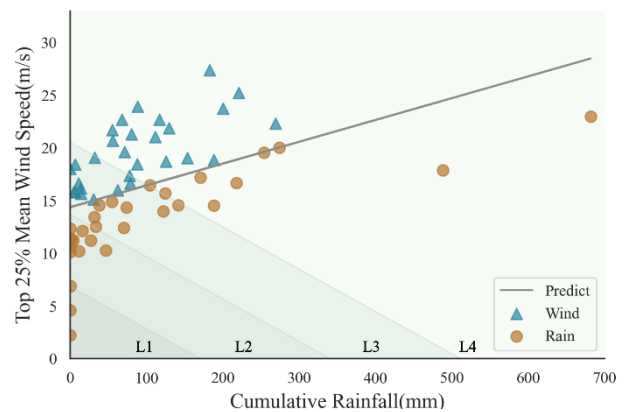


圖 16 東吉嶼 TTI 指數分布圖

4.3.3 颱風冷卻效應因子

一個颱風對於當地海溫造成之冷卻效應影響因子很多，其中包含路徑、強度、距離、氣壓、風速及雨量等等。其中最顯著的模式為海溫變化之 EOF1，及利用當地氣象局測站之風速及雨量的 TTI 分類結果。參考圖 17(a)，EOF 之 group1 及 group4 有造成冷卻效應之颱風很明顯，另外兩組之颱風總共只有 1 個有造成 1°C 以上之冷卻效應，可以說明 EOF1 與 SST 冷卻極為相關；反之，該颱風便難以對海溫降溫造成顯著影響。(b) 為 TTI 之強度分類，其中 L4 之強度有 69% 之颱風造成顯著之海溫降低，隨著強度的減弱，可以使海溫有降低的颱風數量也跟著減少。(c) 為由颱風資料庫之路徑分類，Non 代表此颱風並未在台灣

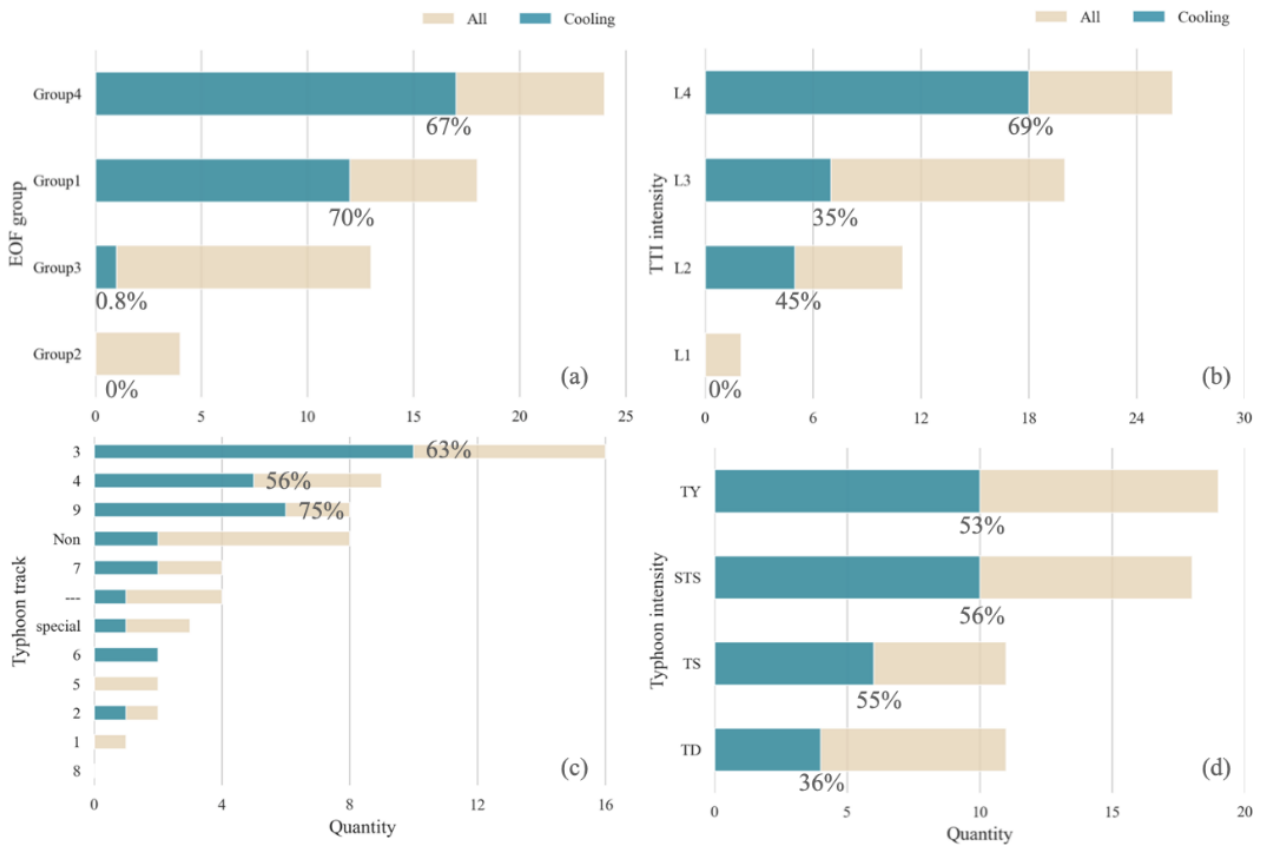


圖 17 各颱風柱狀圖

發布警報，所以無路徑分類，其中以第三、第四及第九類颱風經過次數最多，這三種路徑都是會直接經過澎湖附近海域，故次數最多也屬合理。(d) 為依據日本氣象廳定義出之颱風強度進行分類，發現強度最弱之熱帶低氣壓之冷卻效果較其他三種強度較弱，造成之冷卻效應差異並不明顯。颱風之冷卻效應單靠較主觀判定之強度可能較難準確判斷。本研究共挑出颱風路徑、強度、EOF 分類、TTI 強度及與南方四島中心與颱風中心的距離作為判斷颱風對海溫冷卻效應與否之因子，利用隨機森林分類器進行預測分類。

4.3.4 颱風對海溫之冷卻效應預測模型

分類目標為準確預測該颱風事件是否具有顯著海溫冷卻效應，將所有事件區分為訓練集 (80%) 及測試集 (20%) 進行預測分類，應用隨機森林模型，使用梯度提升樹 (Gradient Boosting Decision Tree, GBDT) 並用 5 折交叉驗證進行最佳化的參數選擇

，使得測試集之準確度(Accuracy)高達 91.7%，如表 2 所示，評估指標之公式可參考附錄 6.2，訓練集之 AUC(Area Under Curve) 也有 97.6%，而其中以南方四島之中心與颱風中心距離之特徵最為顯著，占了分類比重之 41%，參考圖 18，表示距離對於影響是否形成冷卻效應之颱風十分重要，其次為 EOF group 之分類結果，最不顯著的為強度。

表 2 隨機森林分類預測準確度

| | Accuracy | Precision | Recall | F1 |
|-----------|----------|-----------|--------|-------|
| Train set | 0.979 | 0.980 | 0.979 | 0.979 |
| Test set | 0.917 | 0.933 | 0.917 | 0.919 |

此模型事件數量較少，且僅為經過南方四島附近之颱風，故只適用在南方四島，不確定性可能較高，未來會將地域擴展至整個西太平洋，使用多個點進行分析，並蒐集更多颱風事件，提升模型可信度。

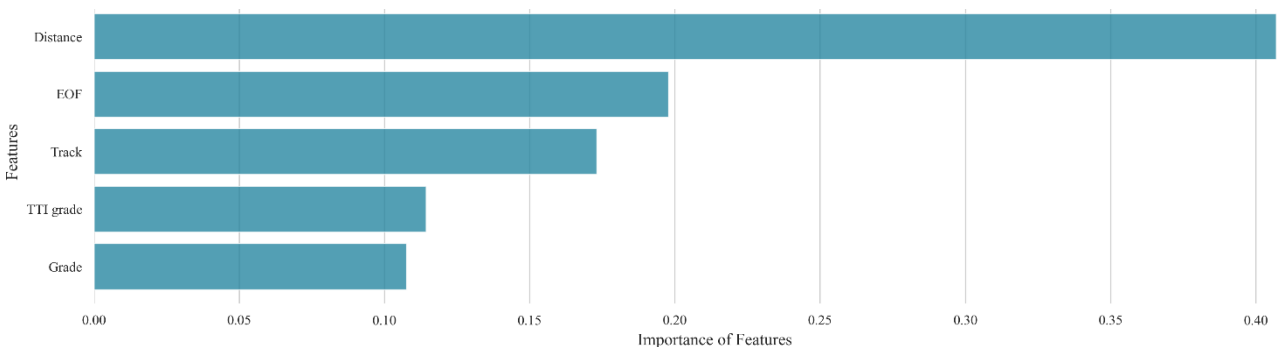


圖 18 各項特徵貢獻度

五、結論

澎湖南方四島周圍佈滿珊瑚，富有大量生態資源且具有高度生物多樣性，但 2020 年，美國國家海洋暨大氣總署的珊瑚礁觀測系統發布台灣可能發生嚴重的珊瑚白化現象且有機會造成大量珊瑚死亡，南部地區及離島已發生多次珊瑚白化的現象，而珊瑚可以存活的溫度範圍狹窄，暖化造成的海溫上升在這 30 年間已有 0.7149°C，且 2020 年澎湖並未直接受到颱風的侵襲，少了颱風攪動海水，冷卻海溫的效果，若極端氣候持續的發生，珊瑚將會更難生存。

故本研究利用深度學習方法，使用 CNN+LSTM 的神經網路架構準確預測歷史之海溫資料，並反演算 DHW。SST 之預測高達 99.22% 之準確率及 MAE 僅 0.1986°C，準確度及誤差值都明顯優於其他傳統模型，對於預測未來海溫及 DHW 具有較大的可信度，結果可供相關機構提前做好準備及政策。

由每 5 年之 DHW 澎湖附近海域空間分布圖，發現近 15 年之珊瑚白化風險升高許多，且以澎湖本島東側及南方四島南側最為顯著，尤其以 2020 年更是突破史上以來面臨珊瑚白化事件最嚴重之一年，而這個現象在未來更是有可能頻繁的發生。

颱風對於澎湖海溫冷卻效應之影響大多介在 0-3°C 之間，而在這 30 年來共有 59 個颱風事件接近澎湖海域，其中有 30 個事件使得海溫降至 1°C 以上，為顯著之海溫冷卻事件。本研究分析了可能與海溫冷卻相關之因子，包含颱風路徑、強度、與澎湖之距離、EOF 之海溫趨勢變化及利用氣象局資料之 TTI 強度分類，使用機器學習模型隨機森林分類器判斷事件是否發展為使澎湖海溫冷卻之颱風，預測之準確度也達到 91.7%，其中以南方四島與颱風中心距離之特徵對海溫冷卻效應最為顯著。

六、附錄

6.1 CNN+LSTM 神經網路之評價標準

本研究使用了 4 種指標的判斷來評估預測模型的準確度、誤差及性能之評估。

平均絕對誤差 (Mean Absolute Error, MAE):

$$MAE = \frac{1}{n} |\hat{y}_i - y_i| \quad (4)$$

均方根誤差 (Root Mean Square Error, RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2} \quad (5)$$

平均絕對百分誤差 (Mean Absolute Percentage Error, MAPE):

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|\hat{y}_i - y_i|}{y_i} \right) \times 100 \quad (6)$$

準確度 (Accuracy, ACC):

$$ACC = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{|\hat{y}_i - y_i|}{y_i} \right) \quad (7)$$

其中 y_i 為真值， \hat{y}_i 為預測值，MAE、RMSE、MAPE 越接近 0 則模型的效能較高，ACC 越接近 1 準確度越高。這四種指標常用於評估模型之效能。

6.2 隨機森林模型之評價標準

混淆矩陣(Confusion Matrix)通常用於機器學習中，評估或可視化模型在監督式學習之分類，若處理二元分類項目，混淆矩陣為一個二維方陣:

$$\begin{bmatrix} TP & FN \\ FP & TN \end{bmatrix}$$

其中列為實際類別，行為預測類別，P(Positive)為實際陽性數量，N(Negative)為實際陰性數，TP(True Positive)為真陽性數量，FP(False Positive)為偽陽性數量，FN(False Negative)為偽陰性數量，TN(Ture Negative)為真陰性數量，即可計算準確率(Accuracy)、精確率(Precision)、召回率(Recall)及 F1 Score。

準確率(Accuracy):

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{P + N} \quad (8)$$

精確率 (Precision, Positive Predictive Value, PPV):

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (9)$$

召回率 (Recall, Sensitivity, True Positive Rate, TPR):

$$Recall = \frac{TP}{P} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (10)$$

F1 Score:

$$F1 = \frac{2TP}{2TP + FP + FN} \quad (11)$$

偽陽率(Specificity, True Negative Rate, TNR):

$$Specificity = \frac{TN}{N} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (12)$$

除了 Confusion Matrix 外，ROC 曲線 (Receiver Operator Characteristic)及 AUC (Area Under Curve) 為更全面評估模型之指標，ROC 的 1-NTR 為橫軸，TPR 為縱軸，可以比較不同模型效能，AUC 即為 ROC 所覆蓋面積除以總面積之比例，比例越高模型效能越好。

誌謝

感謝海洋國家公園管理處提供 110 年度補(捐)助研究生進行專題研究計畫，計畫名稱「探討颱風特徵對於海溫之冷卻效應及珊瑚白化之風險-以澎湖南方四島為例」。

參考文獻

1. Glynn, P. W., Maté, J. L., Baker, A. C., & Calderón, M. O. (2001). Coral bleaching and mortality in Panama and Ecuador during the 1997–1998 El Niño–Southern Oscillation event: spatial/temporal patterns and comparisons with the 1982–1983 event. *Bulletin of Marine Science*, 69(1), 79-109.
2. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. J. N. c. (1997). Long short-term memory. 9(8), 1735-1780.
3. Hwang, P. A., Huang, N. E., & Wang, D. W. (2003). A note on analyzing nonlinear and nonstationary ocean wave data. *Applied Ocean Research*, 25(4), 187-193.
4. Lin, Y.-C., Wang, W.-H., Lai, C.-Y., & Lin, Y.-Q. (2020). Typhoon Type Index: A New Index for Understanding the Rain or Wind Characteristics of Typhoons and Its Application to Agricultural Losses and Crop Vulnerability. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 59(5), 973-989.
5. Nalley, D., Adamowski, J., Khalil, B., & Biswas, A. (2016). Inter-annual to inter-decadal streamflow variability in Quebec and Ontario in relation to dominant large-scale climate indices. *Journal of hydrology*, 536, 426-446.
6. NOAA. (2020, 7/22). Daily Global 5 km Satellite Coral Bleaching Heat Stress Alert Area. Retrieved from https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/index_5km_baa_max_r07d.php
7. Pichot, V., Buffiere, S., Gaspoz, J.-M., Costes, F., Molliex, S., Duverney, D., . . . Barthelemy, J.-C. (2001). Wavelet transform of heart rate variability to assess autonomic nervous system activity does not predict arousal from general anesthesia. *Canadian Journal of Anesthesia*, 48(9), 859-863.
8. Qin, Z., Ouyang, Y., Su, G.-l., Yu, Q., Li, J., Zhang, J.-e., & Wu, Z.-y. (2008). Characterization of CO₂ and water vapor fluxes in a summer maize field with wavelet analysis. *Ecological Informatics*, 3(6), 397-409.
9. Richman, M. B. (1986). Rotation of principal components. *Journal of climatology*, 6(3), 293-335.
10. Sainath, T. N., Vinyals, O., Senior, A., & Sak, H. (2015). *Convolutional, long short-term memory, fully connected deep neural networks*. Paper presented at the 2015 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP).
11. Sharma, A. K., Prasad, V., Kumar, R., & Sharma, A. (2018). *Analysis on the occurrence of tropical cyclone in the South Pacific region using recurrent neural network with LSTM*. Paper presented at the International Conference on Neural Information Processing.
12. Timmermann, A., An, S.-I., Kug, J.-S., Jin, F.-F., Cai, W., Capotondi, A., . . . Stuecker, M. F. J. N. (2018). El Niño–southern oscillation complexity. 559(7715), 535-545.
13. Xie, J., Zhang, J., Yu, J., Xu, L. J. I. G., & Letters, R. S. (2019). An adaptive scale sea surface temperature predicting method based on deep learning with attention mechanism. 17(5), 740-744.
14. Yogo, M. (2008). Measuring business cycles: A wavelet analysis of economic time series. *Economics Letters*, 100(2), 208-212.
15. 張至維, 李展榮, 邱郁文, & 楊清閔. (2013). 澎湖南方四島海域生態熱點調查與潛點規劃.

使用衛星降水資料研究印尼峇里島之崩塌事件降雨閾值

斯塔納¹ 劉千義^{2*}

1. 國立中央大學環境科技博士學位學程 (台灣聯合大學系統) 博士
2. 國立中央大學太空及遙測研究中心教授

* 通訊作者, Email: cyliau@g.ncu.edu.tw

摘要

衛星降水資料集 (SPDs) 提供了全球的空間覆蓋率, 以及不同時間解析度的降雨數據, 具有能識別崩塌發生之降雨條件, 因為雨量計觀測需要維修且覆蓋率不足, 再加上山區觀測資料有限。本研究使用 SPDs (即綜合多衛星反演之全球降水測量 [美國 NASA/IMERG]、全球衛星降水測繪 [日本 JAXA/GSMaP], 以及使用人工類神經網路從遙測訊息中估算降水量 [PERSIANN] 之資料集) 呈現峇里島上崩塌發生之平均降雨強度延時 (I-D) 及累積降雨延時 (E-D) 閾值, 冪律法用於表示 I-D 和 E-D 閾值。初步結果顯示, SPDs 建立的 I-D 和 E-D 閾值普遍低於雨量計觀測定義的閾值。在三個 SPDs 中, IMERG 在判定崩塌發生之降雨閾值方面表現最佳。SPDs 得成為建立區域崩塌發生預警系統之重要附加資料源。

關鍵詞: 峇里島、累積降雨量、山崩、平均強度、降雨閾值。

Rainfall Thresholds for Landslide Occurrences over Bali Island using Satellite Precipitation Datasets

Putu Aryastana¹ Chian-Yi Liu^{2*}

1. Ph.D., International Ph.D. Program in Environmental Science and Technology (University System of Taiwan), National Central University

2. Professor, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University

* Corresponding Author, Email: cyliau@g.ncu.edu.tw

Abstract

Satellite Precipitation Datasets (SPDs) present rainfall data on global spatial coverage and different temporal resolution have the potential to identify rainfall conditions for landslide occurrences because the rain gauge observations need to maintain, the coverage observation is not widespread enough and limited in the mountain areas. This study represents mean rainfall intensity-duration (I-D) and cumulated rainfall-duration (E-D) thresholds for landslide occurrences over Bali Island by using the SPDs (i.e., the Integrated Multi-satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement [IMERG], Global Satellite Mapping of Precipitation [GSMaP], and Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks [PERSIANN] datasets). The power-law method was used to represent the I-D and E-D threshold. The preliminary result shows that I-D and E-D thresholds established by SPDs are generally lower than the threshold defined by rain gauge observations. Among the three SPDs, IMERG is performing the best to determine the rainfall threshold for landslide occurrences. The SPDs be allowed to be an essential additional data source to establish a regional early warning system for landslide occurrence.

Keywords: Bali, cumulative rainfall, landslide, mean intensity, rainfall threshold

1. INTRODUCTION

The landslide triggered by rainfall is a popular natural hazard occurring around the world with serious impacts on property losses, fatalities, and environmental damages (Hong et al., 2017). According to the World Health Organization from 1998-2017, landslides affected an estimated 4.8 million people and cause more than 18000 deaths. Rainfall infiltration is associate with rainfall duration, cumulative rainfall, and antecedent rainfall causing a rise of the soil pore pressure so that the shear stress of the soil decreases (Guzzeti et al., 2007; Jeong et al., 2014). This is the main factor in the occurrence of landslides. To mitigate landslide hazard risk, early warning systems for the forecast of landslide-triggering rainfall were established at global and regional scales derived from different procedures and input raw data (Segoni et al., 2015; Piciullo et al., 2017). The prediction of rainfall-generated landslides calculates on physical or empirical approaches (Baum et al., 2010; Guzzetti et al., 2008; Brunetti et al., 2010).

The physical approach can forecast the failures by examining the terrain information, soil formation, and environmental condition of the study region. Whereas in the empirical method, to evaluate the possibility of landslide occurrences is determined by analyzing previously rainfall events that resulted in landslides. Recently, empirical rainfall thresholds have been used to establish the early warning system of landslide occurrences on a global and regional scale (Segoni et al., 2015). The rainfall thresholds are categorized into three parts: (i) mean rainfall intensity-duration (I-D), (ii) cumulative rainfall-duration (E-D), and (iii) cumulative -mean intensity rainfall (E-I) (Guzzeti et al., 2007; Guzzetti et al., 2008). The frequent rainfall thresholds were used in global and regional scale is the I-D and E-D threshold (He et al., 2020). Hence, the I-D and E-D thresholds are chosen in the current study.

The accuracy of I-D and E-D thresholds is highly dependent on the quality of rainfall data as a primary input (Brunetti et al., 2018). Reliable rainfall data used to define rainfall thresholds are obtained from rain gauge measurements. However, the spatial coverage of rain gauge stations which are very rare in remote areas and high terrain is a major issue in their use to develop rainfall threshold for landslide occurrences. Recently, remote sensing platforms are capable to present global satellite precipitation datasets (SPDs) at high spatial and temporal resolution. Various SPDs are accessible for their different retrieval algorithm, coverage area (global or regional), spatial resolution (0.04° - 0.25°), time resolution (half-hourly to monthly), and utilized sensor instrument (infrared, passive microwave). SPDs has the potential to be used to determine rainfall threshold for landslide occurrences because it provides global rainfall estimates over complex topography and has a high temporal resolution (Liu et al., 2020).

The first potential SPDs used to obtain the framework of global rainfall intensity-duration threshold for global landslide occurrences was the use of the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) datasets (Hong et al., 2006). The first framework was upgraded by Kirschbaum et al. (2012), who emphasize several issues in the original derivation because of the susceptibility map spatial resolution and need to re-analyze the I-D threshold for finer assessing regional climatology. A further study was achieved by Farahmand and AghaKouchak (2013) who used the Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Artificial Neural Networks (PERSIANN) to establish the global landslide forecast model. More currently, Mathew et al. (2014) determined I-D thresholds from the TRMM dataset over the Garhwal Himalaya region in India. Posner and Georgakakos (2015) analyze the accumulative rainfall probability for landslide occurrences used a grid rainfall dataset from the global Hydro-Estimator of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Nikolopoulos et al. (2017) compare the E-D threshold between rain gauge with TMPA and Climate Prediction Center morphing technique (CMORPH) datasets for debris flow occurrences in eastern Italian. Brunetti et al. (2018) assess the performance of TMPA, PERSIANN, CMORPH, and Soil Moisture TO RAIN-Advanced SCATterometer (SM2RASC) datasets to determine the E-D threshold for landslide events over Italy. He et al. (2020) used CMORPH to calculate the E-D threshold over the whole of China. The previous studies highly emphasize the potential of SPDs in determining rainfall threshold. However, the past studies only derived I-D and E-D separately so that in the current study will analyze both I-D and E-D thresholds by using the SPDs (i.e., the Integrated Multi-satellitE Retrievals for Global Precipitation Measurement [IMERG], Global Satellite Mapping of Precipitation [GSMaP], and PERSIANN).

Bali Island which is bordered by the sea has a complex terrain, where the border is a beach or flat area while the center part has a higher terrain with several mountains and hills (Liu et al., 2020). Based on the National Disaster Management Agency of Indonesia, Bali is one of the provinces in Indonesia that has a high risk of natural disaster vulnerability. Landslide events are frequently occurring in Bali. The number of landslides in Bali took the first position in 2017-2019 compared to other natural disasters (floods, earthquakes, volcanic eruptions, and strong winds) based on data from the Regional Disaster Management Agency of Bali Province. Therefore, it is important to develop the rainfall thresholds for landslide occurrences in Bali Island by using satellite-based rainfall datasets because the coverage of rain gauge stations in Bali Island is not widespread enough and is limited in the high terrain areas. Based on our knowledge, there are no previous studies in determining the rainfall threshold for landslide events using either rain gauges data or SPDs over Bali Island. The main contribution in the current study is the development of the mean rainfall intensity-duration (I-D) and cumulated rainfall-duration (E-D) thresholds for landslide occurrences over Bali Island by using the different spatial-temporal resolution of SPDs (IMERG, GSMaP, and PERSIANN).

2. STUDY AREA

Bali is a province of Indonesia, and it is located to the east of Java and the west of Lombok Island. Geographically, it is situated 8° south of the equator. Bali measures approximately 140 km by 80 km and has a total area of 5620 km² (Fig. 1). Bali Island is extremely susceptible to landslides because of its complex topography and frequent heavy rainfall. Rainfall in Bali is classified as monsoonal. Bali experiences a wet season from November until April and a dry season from May to October; this is the same seasonal pattern as in Indonesia in general (Aldrian et al., 2003). Based on the 2015–2017 rain gauge data from Balai Wilayah Sungai Bali-Penida (BWSBP), the average rainfall in Bali was determined to be approximately 180 mm/month; the highest rainfall occurs from December to February, whereas the lowest rainfall occurs from July to August (Liu et al., 2020).

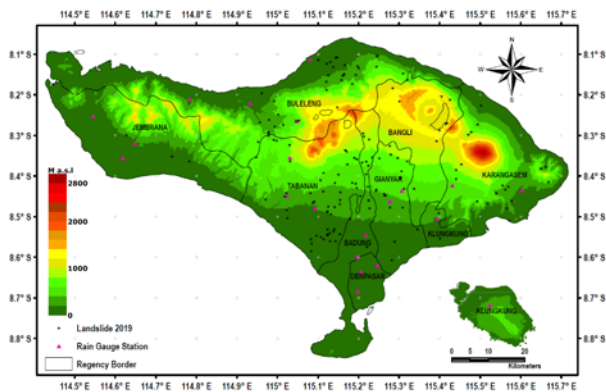


Fig. 1. Map of Bali Island including the location of the landslide events and the elevation.

3. DATA AND METHODS

3.1 Landslide data

The landslide events data is obtained from the Regional Disaster Management Agency of 8 regencies over Bali province. In this initial study, collected 66 landslide events were triggered by rainfall in 2019. For each landslide, the corresponding information includes location (village or site) and the occurrence time (hour or date). The latitude and longitude of the landslide events were acquired by field surveying. Fig. 1 shows the preliminary locations of landslide events and elevation distribution in Bali.

3.2 Rainfall data

Two kinds of rainfall datasets were used to determine the rainfall thresholds: (i) rain gauge observations and (ii) satellite rainfall products (IMERG, GSMaP, and PERSIANN). The hourly rain gauges data were obtained from the BWSBP Ministry of Public Works and Human Settlements of Indonesia. They only can provide 18 hourly rain gauge observations data for the completion in 2019. Since rain gauges are not always located close to landslide sites, we selected the nearest rain gauges for each landslide event's location.

The IMERG dataset is an improvement of TRMM-TMPA was lately publish and data available in

global coverage from June 2000 to the present. Its algorithm is inter calibrations of all available satellite microwave precipitation measurement, microwave-calibrated infrared measurement, surface rain gauge analyses, and other possible rainfall estimates at high temporal and spatial scales over the entire quasi-global (Huffman et al., 2019). The present study used the latest Level-3 IMERG half-hourly and 0.1° spatial resolution data from version-06B of the final run dataset. The IMERG dataset is available online at <https://gpm.nasa.gov/data/directory>.

The GSMaP is a satellite rainfall dataset built by the Core Research for Evolutional Science and Technology (CREST) program under the authority of the Japan Science and Technology Agency from 2002 to 2007, and the program was extended by the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) (Ushio et al., 2009; Liu et al., 2020). The GSMaP algorithm combines passive microwave sensors and infrared sensors to get high precision precipitation dataset (Kubota et al., 2007). The GSMaP_Gauge version 7 was used in the present study with the hourly temporal resolution, 0.1° spatial resolution, and can be accessed from the JAXA website (ftp://rainmap:Niskur+1404@hokusai.eorc.jaxa.jp/stand/ard/v7/hourly_G/).

The PERSIANN was established by the Center for Hydrometeorology and Remote Sensing at the University of California Irvine in association with the National Aeronautics and Space Administration (NASA), NOAA, and the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) program for the Global Network on Water and Development Information for Arid Lands (G-WADI). PERSIANN retrieval algorithm rainfall estimates based on infrared imagery by an artificial neural network method (Sorooshian et al., 2000). In this study, the PERSIANN-CCS dataset with 0.04° spatial resolution and hourly time resolution was used, this dataset is available online at <https://chrsdata.eng.uci.edu/>.

3.3 Methods

A frequently used equation form of rainfall thresholds for landslide occurrences is the power-law relationship (Guzzetti et al., 2007; Peruccacci et al., 2012), defined as:

$$I = \alpha \cdot D^\beta \quad (1)$$

$$E = \alpha \cdot D^\beta \quad (2)$$

Where I is the rainfall mean intensity, E is the rainfall accumulation, D is the duration of the triggering event; and α and β are the scaling and shape parameters, respectively. Based on the above formulation, this study used the frequentist estimation method proposed by Brunetti et al., (2010) to estimate the I-D and E-D threshold for all rainfall datasets. The rainfall thresholds, in the present study, are estimated at a 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% exceedance level, which means that the probability of the landslide due to rainfall events not exceeding the rainfall thresholds is less than 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%.

The preprocessing of rainfall datasets for the identification of landslides triggering rainfall events involved two main steps. First, landslide locations available from the catalog were spatially matched to satellite pixels and rain gauges. For the SPDs, the pixel covering the landslide initiation point was considered while for the rain gauges, the single nearest neighbor to the location of the landslide was considered, following what is commonly done in gauge-based landslide-triggering rainfall estimation (Nikolopoulos et al., 2014). Second, the time series extracted for each gauge/pixel were processed to identify and separate the rainfall events that triggered the landslide events. Events covering the date of occurrence of the landslide were considered and a 24-hour no-rain threshold was used as minimum interevent duration (Nikolopoulos et al., 2017). Several past studies obtained 7 days of antecedent rainfall as an essential factor for initiating landslide occurrences (Jakob, 2006; Chen et al., 2015). Hence, the present study further analyzed rainfall total for 7 days (168 hours) before the start of rainfall events that initiated landslide occurrences.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The I-D and E-D threshold were inferred from the rain gauge, IMERG, GSMaP, and PERSIANN datasets by using the landslide occurrences during 2019 in Bali Island.

4.1 Rainfall event conditions

Table 1 shows the mean intensity, rainfall duration, cumulative rainfall, and antecedent rainfall to trigger the landslide occurrences. Mean rainfall intensity for rain gauge range from 0.41 to 6.68 mm/h with an average of 2.16 mm/h, IMERG ranged from 0.20 to 2.66 mm/h with an average of 1.12 mm/h, GSMaP ranged from 0.12 to 2.12 mm/h with an average of 0.66 mm/h, and PERSIANN ranged from 0.31 to 4.83 mm/h with an average of 1.08 mm/h. The minimum rainfall duration triggers landslides of rain gauge and PERSIANN is equals, while IMERG and GSMaP are more longers. The average rainfall duration of all SPDs was confirmed higher with rain gauge observation. The maximum cumulative and antecedent rainfall of the rain gauge shows the highest compare to all satellite rainfall datasets.

Table 1. Rainfall events conditions.

| Dataset | Rainfall condition | Mean Intensity (mm/h) | Duration (h) | Cumulative rainfall (mm) | Antecedent rainfall (mm) |
|------------|--------------------|-----------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|
| Rain Gauge | Average | 2.16 | 64.73 | 105.80 | 36.63 |
| | Max. | 6.68 | 339.00 | 334.30 | 309.50 |
| | Min. | 0.41 | 2.00 | 5.60 | 0.00 |
| IMERG | Average | 1.12 | 132.58 | 116.26 | 44.42 |
| | Max. | 2.66 | 341.00 | 268.95 | 126.04 |
| | Min. | 0.20 | 6.00 | 5.97 | 0.00 |
| GSMaP | Average | 0.66 | 128.20 | 77.64 | 53.85 |
| | Max. | 2.12 | 347.00 | 244.36 | 136.76 |
| | Min. | 0.12 | 5.00 | 3.68 | 0.00 |
| PERSIANN | Average | 1.08 | 114.05 | 102.24 | 65.65 |
| | Max. | 4.83 | 326.00 | 317.00 | 182.00 |
| | Min. | 0.31 | 2.00 | 3.00 | 0.00 |

Fig. 2 reports the box plots of the rainfall duration (Fig. 2a), the mean rainfall intensity (Fig. 2b), the cumulative rainfall (Fig. 2c), and the antecedent rainfall (Fig. 2d) calculated using the rain gauge and SPDs responsible for the landslide occurrences. Inspection of Fig. 2a reveals that SPDs rainfall duration has a long duration compared with the rain gauge duration. Fig. 2b shows that all satellite datasets generally underestimate the mean rainfall intensity that induces landslides measured by the rain gauge. From Fig. 2c, the cumulative rainfall for PERSIANN is comparable to that of a rain gauge, while for IMERG and GSMaP show overestimate and underestimate, respectively. All satellite rainfall datasets depict overestimate the antecedent rainfall (Fig. 2d).

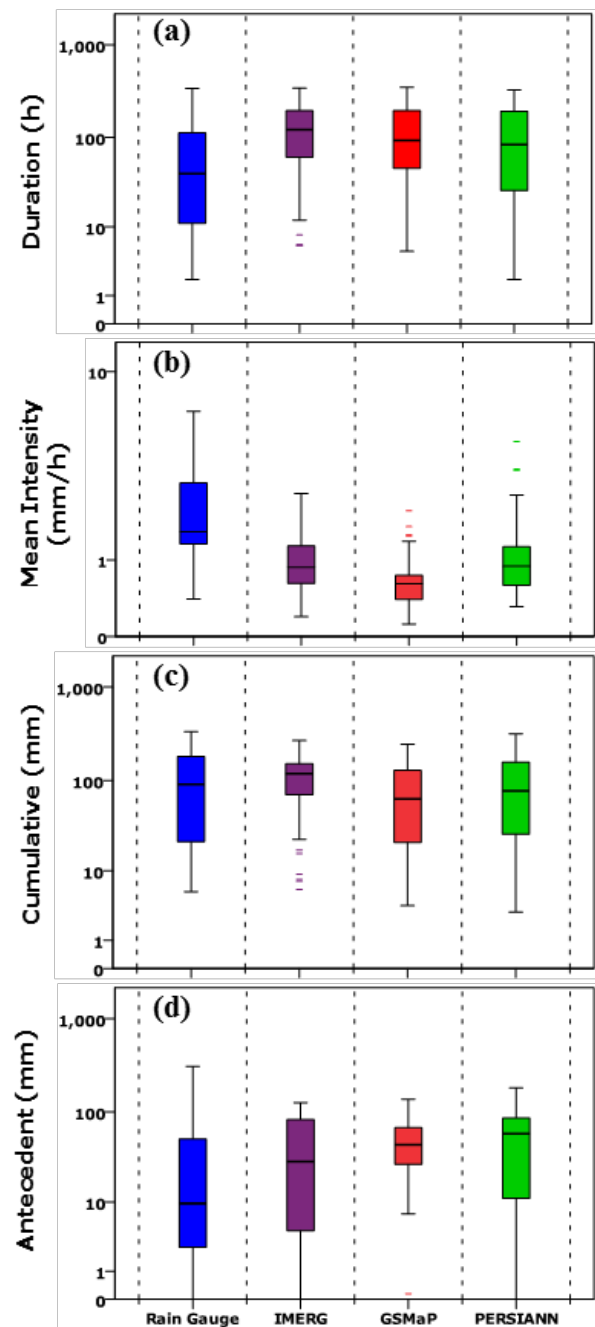


Fig. 2. (a) Box plots for the rainfall duration. (b) Box plots for the mean rainfall intensity. (c) Box plots for the cumulative rainfall. (d) Box plots for the antecedent rainfall.

4.2 Rainfall thresholds

Fig. 3 displays the I-D threshold at exceeding probabilities from 5% (T5%) to 50% (T50%) for the rain gauge (Fig. 3a), IMERG (Fig. 3b), GSMaP (Fig. 3c), and PERSIANN (Fig. 3d) datasets. The probability of every I-D threshold represents the potentiality of landslides when rainfall above the I-D curve happens. As presented in Fig. 3, the I-D threshold of the GSMaP dataset is a lower than other datasets. The IMERG threshold is relatively close to the I-D threshold determined by the rain gauge dataset, this might be due to the highest temporal resolution of the IMERG dataset. The accumulated half-hourly rainfall may produce a noteworthy overestimation of the rainfall needed to induce the landslide (Brunetti et al., 2018). The slope of the PERSIANN demonstrated relatively similar to the rain gauge observation, this is might due to the highest spatial resolution of the PERSIANN dataset.

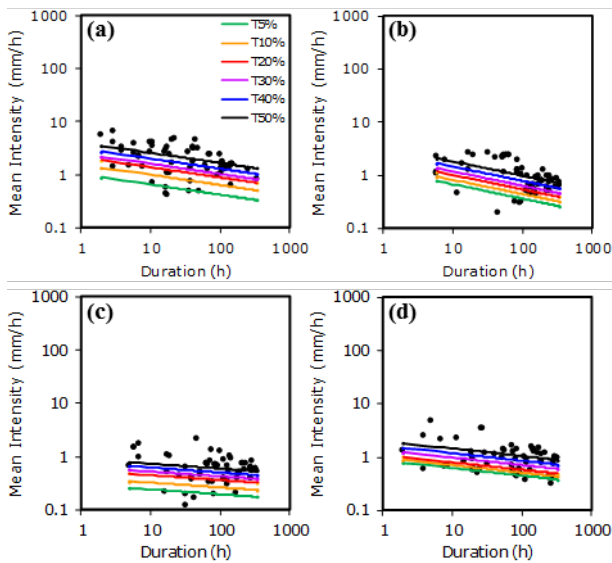


Fig. 3. (a) I-D thresholds for the rain gauge. (b) I-D thresholds for IMERG. (c) I-D thresholds for GSMaP. (d) I-D thresholds for PERSIANN.

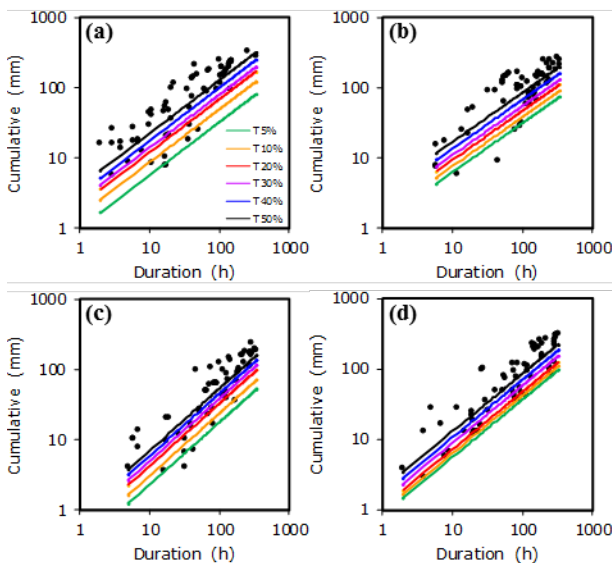


Fig. 4. (a) E-D thresholds for the rain gauge. (b) E-D thresholds for IMERG. (c) E-D thresholds for GSMaP. (d) E-D thresholds for PERSIANN.

The E-D threshold at exceeding probabilities from 5% to 50% for the rain gauge, IMERG, GSMaP, and PERSIANN datasets are shown in Fig. 4a, Fig. 4b, Fig. 4c, and Fig. 4d, respectively. The slope of the E-D threshold of all SPDs is comparable to that of a rain gauge, while the E-D thresholds of the three SPDs tend to be lower compared to the rain gauge observation.

4.3 Verification and prediction accuracy

The verification of landslide and no landslide occurrences for I-D and E-D threshold at different exceeding probabilities are shown in Fig. 5a and Fig. 5b, respectively. Most of the landslide events occur above the I-D and E-D lines for a probability of 20% (red line in Fig. 5a and Fig. 5b).

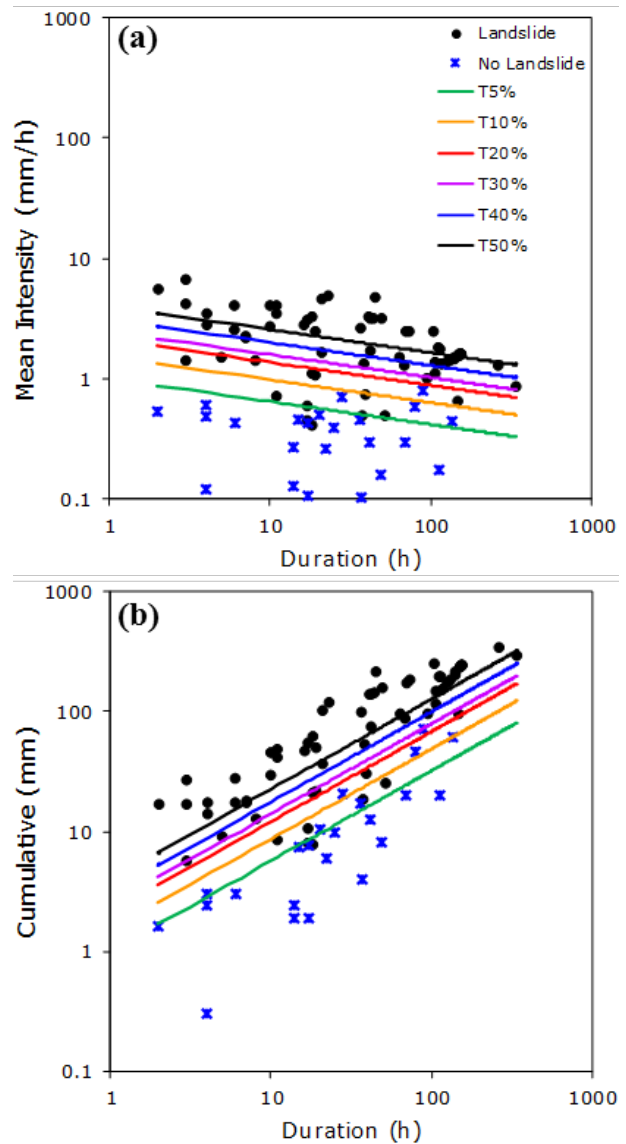


Fig. 5. (a) Verification landslide and no landslide for I-D threshold. (b) Verification landslide and no landslide for E-D threshold.

The I-D and E-D thresholds equation derived from the rain gauge and SPDs over Bali Island is tabulated in Table 2. Table 2 also depicts the relative deviation of the threshold parameters in estimating mean rainfall intensity, cumulative rainfall, and rainfall duration. The

deviation of the SPDs threshold parameters from the rain gauge threshold parameters is within 75%, with some datasets showing differences lower than 10%. All SPDs underestimate the intercept parameter (α), while for the slope parameter (β) the IMERG dataset overestimates in the I-D threshold. The slope parameter of the E-D threshold indicates that the IMERG underestimate, while both GSMaP and PERSIANN overestimate. Among the three SPDs, IMERG has the lowest relative deviation of α compare with other datasets. PERSIANN dataset exhibited better accuracy of β in the I-D threshold, while IMERG demonstrated better performance in the E-D threshold.

Table 2. Rainfall threshold equation and corresponding relative deviation to the rain gauge threshold parameters.

| Threshold | Dataset | Equation | The relative deviation of α (%) | The relative deviation of β (%) |
|-----------|------------|---------------------|--|---------------------------------------|
| I-D | Rain Gauge | $I=2.126D^{-0.191}$ | 0.00 | 0.00 |
| | IMERG | $I=1.860D^{-0.269}$ | -15.94 | 40.84 |
| | GSMaP | $I=0.551D^{-0.091}$ | -75.10 | -52.36 |
| | PERSIANN | $I=1.108D^{-0.141}$ | -49.92 | -26.18 |
| E-D | Rain Gauge | $E=2.126D^{0.753}$ | 0.00 | 0.00 |
| | IMERG | $E=1.860D^{0.701}$ | -15.94 | -6.91 |
| | GSMaP | $E=0.551D^{0.886}$ | -75.10 | 17.66 |
| | PERSIANN | $E=1.108D^{0.817}$ | -49.92 | 8.50 |

4.5 Comparison of rainfall thresholds

The I-D thresholds comparison with other regions of the world is shown in Fig. 6a. Caine (1980), Hong et al. (2007), and Guzzetti et al. (2008) have developed the world's I-D threshold for landslides as shown in Fig. 6a with symbols in the form of dots, dash lines, and long dash lines, respectively. Chien-Yuan et al. (2005) and Saito et al. (2010) established regional I-D thresholds in Taiwan (dash-dot lines) and Japan (dash double-dot lines), respectively. The I-D threshold calculated based on four rainfall datasets in the current study for the whole of Bali Island is lower than the I-D threshold in the past studies, including the world thresholds (Caine, 1980; Hong et al, 2007), and the regional threshold in Taiwan (Chien-Yuan et al., 2005), but higher than the world's I-D threshold was determined by Guzzetti et al. (2008). The slope of the I-D threshold curve established in this study is similar to the slope examined in Japan by Saito et al. (2010), but quite different from the slope revealed in Caine (1980), Chien-Yuan et al. (2005), Hong et al. (2007), and Guzzetti et al. (2008). Among of three SPDs, the IMERG dataset demonstrated the closest I-D threshold to the rainfall threshold set by Saito et al. (2010) in Japan.

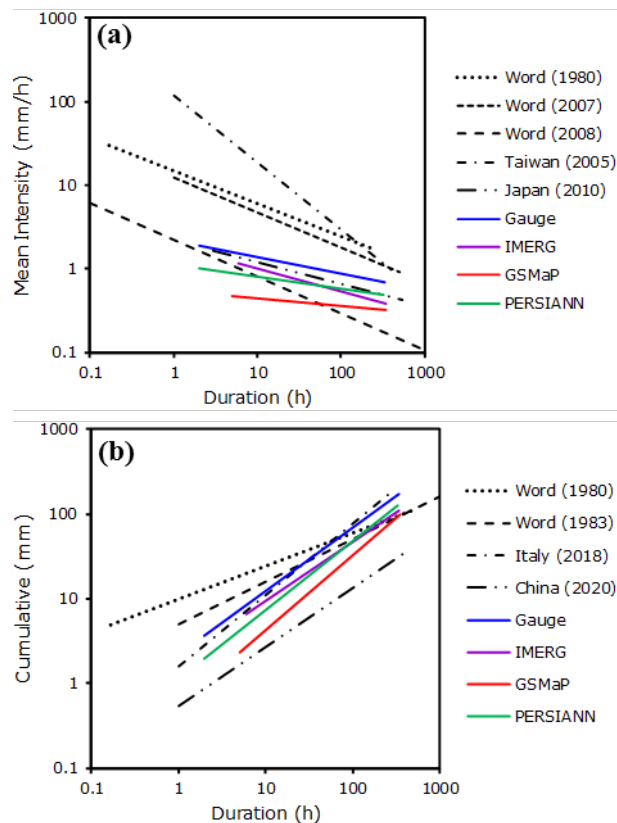


Fig. 6. (a) Comparison of I-D thresholds. (b) Comparison of E-D thresholds.

The E-D threshold curves are incomparable with other areas around the world is expressed in Fig. 6b. Caine (1980) and Innes (1983) established the world's E-D threshold for landslides as shown in Fig. 6b with symbols in the form of dots and dash lines, respectively. Brunetti et al. (2018) and He et al. (2020) developed regional E-D thresholds over Italy (dash-dot lines) and China (dash double-dot lines), respectively. Comparing the present E-D threshold with other regions of the world displays the E-D threshold for Bali Island is relatively close to the threshold for the world and Italy, but higher than the E-D threshold for China. The slope of the E-D threshold developed in the current study is relatively similar to the slope calculated in Italy and China, but slightly different from the E-D threshold reported by Caine (1980) and Innes (1983). Comparison of the I-D and E-D thresholds in this study with previous studies shows that the E-D threshold can reduce the uncertainty in satellite-based rainfall products, this indicates a high possibility of using the satellite rainfall datasets to establish the E-D thresholds.

5. CONCLUSIONS

The major advances in the satellite remote sensing precipitation estimation over the last few decades has to lead the availability of various satellite rainfall datasets with different coverage area and space-time resolution. However, some previous assessment studies have demonstrated that SPDs can be correlated with several errors (Gebremichael et al., 2005), but they present the rainfall information on the global scale that possibility to use for assessing high impact weather and natural

disaster monitoring, such as landslides and flood monitoring. The preliminary intercomparison of three SPDs (IMERG, GSMaP, and PERSIANN) to address the I-D and E-D threshold for the landslide occurrences in Bali Island was represented in this study. The I-D and E-D thresholds established by SPDs are generally lower than the threshold defined by rain gauge observations. Among the three SPDs, IMERG is performing the best to determine the rainfall threshold for landslide occurrences. The SPDs be allowed to be an essential additional data source to establish a regional early warning system for landslide occurrence.

The accuracy assessment of SPDs to determine the I-D and E-D thresholds in this study only using the relative deviation of intercept and slope parameter. Further studies are needed to analyze the accuracy more objectively by using skill scores and receiver operating characteristic (ROC) analysis.

REFERENCES

- Hong, M., Kim, J., & Jeong, S. (2017), "Rainfall intensity-duration thresholds for landslide prediction in South Korea by considering the effects of antecedent rainfall," *Landslide*, 15, 523-534.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C. P. (2007), "Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe," *Meteorog Atmos Phys*, 98(3), 239-267.
- Jeong S. S., Kim J. H., Kim Y. M., Bae D. H. (2014), "Susceptibility assessment of landslides under extreme-rainfall events using the hydro-geotechnical model; a case study of Umyeonsan (Mt.), Korea," *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2(8), 5575-5601.
- Segoni, S., Lagomarsino, D., Fanti, R., Moretti, S., & Casagli, N. (2015), "Integration of rainfall thresholds and susceptibility maps in the Emilia Romagna (Italy) regional-scale landslide warning system," *Landslides*, 12, 773-785.
- Piciullo, L., Gariano, S.L., Melillo, M., Brunetti, M.T., Peruccacci, S., Guzzetti, F., & Calvello, M. (2017), "Definition and performance of a threshold-based regional early warning model for rainfall-induced landslides," *Landslides*, 14, 995-1008.
- Baum, R.L., Godt, J.W., & Savage, W.Z. (2010), "Estimating the timing and location of shallow rainfall-induced landslides using a model for transient, unsaturated infiltration," *J. Geophys. Res.*, 115, F03013.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C.P. (2008), "The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flow: an update," *Landslides*, 5, 3-17.
- Brunetti, M.T., Perruccacci, S., Rossi, M., Luciani, S., Valigi, D., & Guzzetti, F. (2010), "Rainfall thresholds for the possible occurrence of landslides in Italy," *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10, 447-458.
- Segoni, S., Battistini, A., Rossi, G., Rosi, A., Lagomarsino, D., Catani, F., Moretti, S., & Casagli, N. (2025), "Technical Note: An operational landslide early warning system at regional scale based on space-time-variable rainfall thresholds," *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, 853-861.
- He, S., Wang, J., & Liu, S. (2020), "Rainfall Event-Duration Thresholds for Landslide Occurrences in China," *Water*, 12(494), 1-17.
- Brunetti, M.T., Melillo, M., Peruccacci, S., Ciabatta, L., & Brocca, L. (2018), "How far are we from the use of satellite rainfall products in landslide forecasting?," *Remote Sensing of Environment*, 210, 65-75.
- Liu, C. Y., Aryastana, P., Liu, G. R. Huang, W. R. (2020), "Assessment of satellite precipitation product estimates over Bali Island," *Atmospheric Research*, 244, 105032.
- Hong, Y., Adler, R., & Huffman, G. (2006), "Evaluation of the potential of NASA multi-satellite precipitation analysis in global landslide hazard assessment," *Geophys. Res. Lett.*, 33, L22402.
- Kirschbaum, D.B., Adler, R., Hong, Y., Kumar, S., Peters-Lidard, C., & Lerner-Lam, A. (2012), "Advances in landslide nowcasting: evaluation of a global and regional modeling approach," *Environ. Earth Sci*, 66 (6), 1683-1696.
- Farahmand, A., & AghaKouchak, A. (2013), "A satellite-based global landslide model," *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 1259-1267.
- Mathew, J., Babu, D. G., Kundu, S., Kumar, K. V., & Pant, C. C. (2014), "Integrating intensity-duration-based rainfall threshold and antecedent rainfall-based probability estimate towards generating early warning for rainfall-induced landslides in parts of the Garhwal Himalaya, India," *Landslides*, 11, 575-588.
- Posner, A. J., & K. P. Georgakakos, 2015: Soil moisture and precipitation thresholds for real-time landslide prediction in El Salvador. *Landslides*, 12, 1179-1196
- Nikolopoulos, E.I., Destro, E., Maggioni, V., Marra, F., & Borga, M. (2017), "Satellite Rainfall Estimates for Debris Flow Prediction: An Evaluation Based on Rainfall Accumulation-Duration Thresholds," *Journal of Hydrometeorology*, 18, 2207-2214.
- Aldrian, E., Gates, L. D., & Widodo, F. H. (2003), *Variability of Indonesian Rainfall and the influence of ENSO and resolution in ECHAM4 simulations and the reanalyses MPI Rep.*
- Huffman, G.J., Bolvin, D.T., Braithwaite, D., Hsu, K.-L., Joyce, R., Kidd, C., Nelkin, E.J., Sorooshian, S., Tan, J., & Xie, P. (2019), *Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) Version 06 NASA Global Precipitation Measurement (GPM) Integrated Multi-satellitE Retrievals for GPM (IMERG)*. National Aeronautics and Space Administration

- (NASA).
21. Ushio, T., Sasashige, K., Kubota, T., Shige, S., Okamoto, K., Aonashi, K., Inoue, T., Takahashi, N., Iguchi, T., Kachi, M., Oki, R., Morimoto, T., & Kawasaki, Z. I. (2009), "A Kalman Filter Approach to the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) from Combined Passive Microwave and Infrared Radiometric Data," *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 87A, 137-151.
 22. Kubota, T., Hashizume, H., Shige, S., Okamoto, K., Aonashi, K., Takahashi, N., Ushio, T., & Kachi, M. (2007), "Global precipitation map using satelliteborne microwave radiometers by the GSMaP project: Production and validation," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45, 2584-2587.
 23. Sorooshian, S., Hsu, K.L., Gao, X., Gupta, H. V., Imam, B., & Braithwaite, D. (2000), "Evaluation of PERSIANN system satellite-based estimates of tropical rainfall," *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81, 2035-2046.
 24. Peruccacci, S., Brunetti, M.T., Luciani, S., Vennari, C., & Guzzetti, F. (2012), "Lithological and seasonal control on rainfall thresholds for the possible initiation of landslides in central Italy," *Geomorphology*, 139(140), 79-90.
 25. Nikolopoulos, E.I., Crema, S., Marchi, L., Marra, F., Guzzetti, F., & Borga, M. (2014), "Impact of uncertainty in rainfall estimation on the identification of rainfall thresholds for debris flow occurrence," *Geomorphology*, 221, 286-297.
 26. Jakob, M. (2006), "Hydrometeorological thresholds for landslide initiation and forest operation shutdowns on the north coast of British Columbia," *Landslides*, 3, 228-238.
 27. Chen, C.W., Saito, H., & Oguchi, T. (2015), "Rainfall intensity-duration conditions for mass movements in Taiwan," *Progress in Earth and Planetary Science*, 2, 1-14.
 28. Caine, N. (1980), "The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows," *Geogr Ann A.*, 62, 23-27.
 29. Hong, Y., Robert, F., & Adle, J. G. (2007), "Evaluation of the potential of NASA multi-satellite precipitation analysis in global landslide hazard assessment," *Geophys. Res. Lett.*, 33, L22402.
 30. Chien-Yuan C, Tien-Chien C, Fan-Chieh Y, Wen-Hui Y, & Chun-Chieh T. (2005), "Rainfall duration and debris-flow initiated studies for real-time monitoring," *Environ. Geol.*, 47, 715-724.
 31. Saito, H., Nakayama, D., & Matsuyama, H. (2010), "Relationship between the initiation of a shallow landslide and rainfall intensity-Duration thresholds in Japan," *Geomorphology*, 118, 167-175.
 32. Innes, J. L. (1983), "Debris flows," *Prog. Phys. Geog.*, 7, 469-501.
 33. Gebremichael, M., Krajewski, W.F., Morrissey, M.L., Huffman, G.J., & Adler, R.F. (2005), "A detailed evaluation of GPCP 1° Daily Rainfall estimates over the Mississippi River Basin," *J. Appl. Meteorol.*, 44, 665-681.

歷屆水利工程研討會主辦單位

| | | |
|--------|------|-------------------------------------|
| 第 1 屆 | 1982 | 國立成功大學水利工程學系 |
| 第 2 屆 | 1984 | 國立臺灣大學土木工程學系 |
| 第 3 屆 | 1986 | 淡江大學水資源及環境工程學系 |
| 第 4 屆 | 1988 | 國立中興大學土木工程學系 |
| 第 5 屆 | 1990 | 國立成功大學水利及海洋工程學系 |
| 第 6 屆 | 1992 | 國立交通大學土木工程學系 |
| 第 7 屆 | 1994 | 國立臺灣海洋大學河海工程學系 |
| 第 8 屆 | 1996 | 國立臺灣大學農業工程學系 |
| 第 9 屆 | 1998 | 國立中央大學土木工程學系 |
| 第 10 屆 | 1999 | 逢甲大學水利工程學系 |
| 第 11 屆 | 2000 | 國立臺灣大學水工試驗所 |
| 第 12 屆 | 2001 | 國立成功大學水利及海洋工程學系 |
| 第 13 屆 | 2002 | 國立雲林科技大學水土資源防災科技中心 |
| 第 14 屆 | 2004 | 國立交通大學防災工程研究中心 國立交通大學土木工程學系 |
| 第 15 屆 | 2006 | 國立中央大學土木工程學系 |
| 第 16 屆 | 2007 | 國立聯合大學理工學院 |
| 第 17 屆 | 2008 | 逢甲大學水利工程與資源保育學系 |
| 第 18 屆 | 2009 | 國立屏東科技大學土木工程系 國立屏東科技大學災害防救科技研究中心 |
| 第 19 屆 | 2010 | 國立雲林科技大學水土資源防災科技中心 |
| 第 20 屆 | 2011 | 國立嘉義大學土木與水資源工程學系 |
| 第 21 屆 | 2013 | 國立宜蘭大學土木工程學系 |
| 第 22 屆 | 2015 | 國立成功大學水利及海洋工程學系 |
| 第 23 屆 | 2017 | 逢甲大學水利發展中心 逢甲大學水利工程與資源保育學系 |
| 第 24 屆 | 2019 | 國立臺灣大學水工試驗所 |
| 第 25 屆 | 2021 | 國立成功大學水利及海洋工程學系 |



經濟部水利署國立成功大學水工試驗所

地址：台南市安南區安南路三段500號5樓 電話：(06)237-1938 網址：http://www.thl.ncku.edu.tw

現場調查組

海氣象觀測分析、水文氣象觀測分析、土壤及地下水調查分析、水質及土壤底泥監測與檢驗分析。

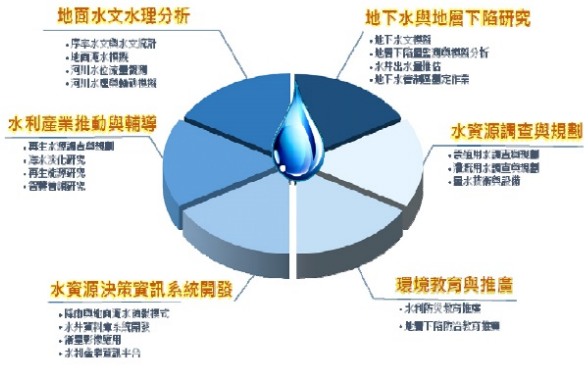


水文氣象觀測分析



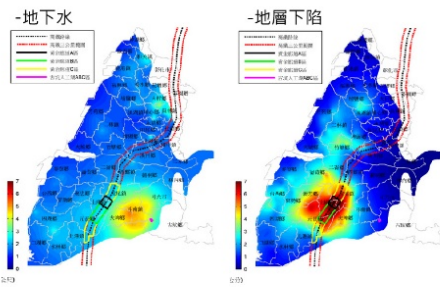
土壤及地下水調查分析

水資源環境組



地層下陷防治服務團

地層下陷原因探討與防治對策建議、地層下陷區土地利用輔導規劃、防治相關技術之檢討推廣、地層下陷防治相關資料庫建置、環境敏感區域檢討劃定等。



地下水與地層下陷數值模擬

水工模型試驗場

計有中大型斷面水槽與平面水池、溫擴散水池、油壓及伺服控制造波機等試驗設備，流速、拉壓力、水位、濁度、流量、距離等量測儀器。



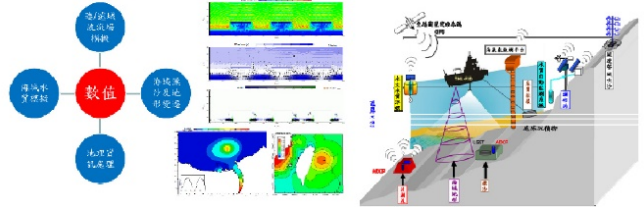
大型斷面水槽造波機



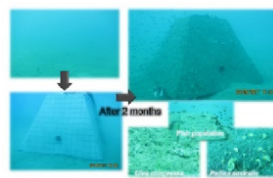
大型平面水池造波機

海岸環境資源組

海岸工程：海岸環境調查分析、海岸防護與災害防治、近岸與遠域水動力模擬、環境資料庫及地理資訊系統



海岸資源：環境水質生態調查與治理、生態保育與養殖及水產資源增裕、分子標記建立及漁業政策管理與環境教育推廣



水工試驗及綠能研究：水工模型試驗、離岸風能與海洋能系統、海域資源與空間利用、儀器與量測系統研發



水利產業知識化育成中心

協助引進先進水利產業及尖端技術，提供技術移轉與改進，提供水利產業「產、官、學、研」知識技術供需交流合作平台。

海洋能科技研究中心

海域潮流及波浪發電總體計畫、海洋潮流發電新興產業發展、輔導培育海洋能產業、海洋工程規劃設計、潮流發電現地Pilot測試、潮流發電商業運轉等。

