

土木水利

The Magazine of The Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering

December
2025



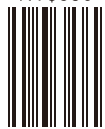
水利及環境工程在數位轉型下之推展 專輯

ISSN 0253- 3804



9 770253 438006

NT\$350



Volume 52, No. 6

社團法人
中國土木工程學會 發行
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

第27屆理事長
謝尚賢

理事長的話

特別報導

114年會暨
土木水利工程論壇
紀實

水利及環境工程在
數位轉型下之推展

專輯

義力營造股份有限公司

EARTHPOWER CONSTRUCTION CO., LTD

金安獎特優
優良品質
優良服務
優良信譽



大港系統交流道 | 兩邊 | 雙層階南下出口及北上入口匝道
交通部 2025 金路獎 傑出工程類組 - 名
台灣造橋士學會 2024 造橋士工程類特優

義承實諾 力呈卓越

義力營造創立於民國八十三年·甲等綜合營造業
深耕台灣，致力鑽研土木、環境、建築、區段徵收、開發工程
秉持追求全員工安、品質提升的精神
在誠信踏實的經營態度之下，堅守營建道德崗位
各項工程實績屢獲優良工程金安獎、公共工程金質獎



中沙大橋 全國最大跨河橋樑圍堰改水抽底補強
金質獎特優/金安獎特優等

土木 機場·整地·道路·排水橋梁
工程 護坡·植生景觀·管線工程

環境 掩埋廢棄物分類清除·土壤污染改良
工程 污水處理·復育工程·廢棄物分類機械製造

建築 辦公大樓·廠辦新建
工程 特殊建築·集合住宅

區段 區段徵收工程
徵收 土地重劃·公設工程施工

開發 工業園區開發
工程 社區開發·租售管理



臺中市中區華山路115號5樓
郵箱: www.earthpower.com.tw
網站: earthpower@msn.hinet.net
TEL: (04) 2213-0583
TEL: (04) 2213-0589



卓越 | 誠信 | 安全 | 技術 | 品質

TYLin

林同棧工程顧問股份有限公司
中棧工程顧問股份有限公司
美商同棧國際工程顧問股份有限公司 台灣分公司

橋梁工程 / 公路工程 / 鐵路工程 / 捷運工程 / 隧道工程 / 建築工程 /
營建管理 / 土地開發 / 機場港灣 / 環境工程 / 水資源工程 / 檢測評估 / 城鄉規劃 /
景觀工程 / 交通工程 / 建築資訊模型(BIM) / 高科技廠房安全分析 / 風電綠能生態鏈整合 /

台北市大安區仁愛路三段136號12樓1202室 • Tel: 02-27840988 • Fax: 02-27071430
高雄市新興區中正三路2號6樓A室 • Tel: 07-2356956 • Fax: 07-2356959
台中市西屯區市政路402號16樓之6 • Tel: 04-22548803





114年年會11月21日於
格萊天漾大飯店盛大舉行

土木水利



社團法人中國土木工程學會會刊

發行人：謝尚賢

出版人：社團法人中國土木工程學會

主任委員：周頌安 (中興工程顧問股份有限公司總工程師、編輯出版委員會主任委員兼總編輯)

定價：每本新台幣350元、每年六期共新台幣1,800元 (航郵另計)

繳費：郵政劃撥00030678號 社團法人中國土木工程學會

會址：10055台北市中正區仁愛路二段一號四樓

電話：(02) 2392-6325 傳真：(02) 2396-4260

網址：<http://www.ciche.org.tw>

電子郵件信箱：service@ciche.org.tw

美編印刷：中禾實業股份有限公司

地址：22161新北市汐止區中興路98號4樓之1

電話：(02) 2221-3160

社團法人中國土木工程學會第二十七屆理監事 (依姓氏筆劃排序)

理事長：謝尚賢

常務理事：朱惕之 林子剛 莫仁維 黃炳勳

理事：王宇睿 李政安 林其璋 林祐正 林聰利 邱建國 胡宣德

莊均緯 許泰文 陳仲賢 黃一平 楊正君 楊亦東 歐善憲

蔣啟恆 賴建信 謝震輝 嚴世傑

常務監事：高宗正

監事：呂良正 吳瑞賢 宋裕祺 沈景鵬 邱琳濱 楊偉甫

先進工程

- 混凝土工程
- 鋼結構
- 運輸工程
- 鋪面工程
- 資訊工程
- 工程管理
- 非破壞檢測
- 先進工程

永續發展

- 永續發展
- 國土發展
- 水資源工程
- 大地工程
- 海洋工程
- 環境工程
- 景觀工程
- 綠營建工程
- 能源工程
- 天然災害防治工程
- 工程美化
- 營建材料再生利用

國際兩岸

- 國際活動及亞洲土木工程聯盟
- 兩岸活動
- 亞太工程師

教育學習

- 工程教育
- 終身學習
- 土木史
- 工程教育認證
- 大學教育
- 技專院校
- 學生活動

學會活動

- 學會選舉
- 學術活動
- 土水法規
- 介紹新會員
- 專業服務
- 學會評獎
- 學會財務
- 年會籌備
- 會務發展
- 會士審查
- 公共關係 [工程倫理]

出版活動

- 中國土木工程學刊
- 土木水利雙月刊

分會

- 土水學會
- 土水南部分會
- 土水中部分會
- 土水東部分會

中國土木工程學會任務

1. 研究土木工程學術。
2. 提倡土木水利最新技術。
3. 促進土木水利工程建設。
4. 提供土木水利技術服務。
5. 出版土木水利工程書刊。
6. 培育土木水利技術人才。

土木水利雙月刊已列為技師執業執照換發辦法之國內外專業期刊，土木工程、水利工程、結構工程、大地工程、測量、環境工程、都市計畫、水土保持、應用地質及交通工程科技師適用。

中國土木工程學會和您一起成長！

中華郵政北台字第518號 執照登記為雜誌 行政院新聞局出版事業登記証 局版臺誌字第0248號

理事長的話

- 📖 繼往開來，共構「智慧韌性、跨域共榮」的新局 謝尚賢 3

114年年會 特別報導

- 📖 114年年會暨土木水利工程論壇紀實 4
 📖 莫若禔總裁紀念講座：工程師的品格 陳景文 16

「水利及環境工程在數位轉型下之推展」專輯 (客座主編：徐勝勇副總工程師)

- 📖 專輯序言：水利及環境工程在數位轉型下之推展 徐勝勇 19
 📖 水利署推動數位轉型之整體策略 蘇郁婷/李榮富/林元鵬/賴建信 20
 📖 物聯網即時監測與社群軟體推播服務應用於新北市智慧防汛
 王嘉和/何浩維/張倉榮/黃茂松/宋德仁/楊昇學/葉克家 27
 📖 水資源管理數位轉型—全臺水資源管理作業系統 林正杰/郭純伶/林元鵬 36
 📖 臺灣智慧水文監測技術發展與應用服務 馬家驊/李欣融/阮香蘭 40
 📖 生態水利於數位轉型下之應用與展望 黃國文/黃耀陞/楊欣樺 45
 📖 應用數位孿生評估水庫防淤的成效 李豐佐/杜豫云 50
 📖 水庫安全管理數位化整合之應用與展望 楊慶宗/楊朝敏/金士凱/施祖涵 56

工程技術及發展

- 📖 以數位資料流動循環推動：減距、減廢、減碳之工程永續發展路徑
 林芳輝/黃志民/呂斌豪/郭鴻祥/楊東益 61

學會資訊看板

- 📖 12月11日「建築物耐震之理論與實務研討會」及「結構動力學」新書發表會 68
 📖 海峽兩岸共同舉辦「土木工程創新技術研討會」 文：宮楠 圖：楊程凱/席婷婷/易際特/李凱純 69

廣告特搜

- 台灣世曦工程顧問股份有限公司 — 夢想和幸福 零距離的接軌 封底
 義力營造股份有限公司 — 義呈實諾 力呈卓越 封面裡
 林同棧工程顧問股份有限公司 — 專業·品質·信賴 封面裡
 中華工程股份有限公司 — 永續發展 Building in a Green Way 封底裡
 經濟部水利署南區水資源分署 — 提升區域豐 枯水期供水韌性 封底裡
 新北養工處 — 維護用路人安全 新北用心 市民安心 26
 交廣工程顧問有限公司 — 誠信 創新 品質 服務 永續發展 49
 亞新工程顧問股份有限公司 — 服務品質 ASSET 55
 台北市土木技師公會 — 專業·客觀·公益·永續 70
 安固工程股份有限公司 — 安得固 建築修復結構補強 70



理事長的話

繼往開來，共構

「智慧韌性、跨域共榮」 的新局



學會先進、理監事夥伴、全體會員，以及所有關心人居環境建設與工程發展的各界朋友，大家好：

能夠承擔「中國土木水利工程學會」第 27 屆理事長一職，我深感無比榮幸，更體認到這份傳承之重任。我謹代表新任理監事團隊，向所有前輩的付出以及全體會員的信任與支持，致上最誠摯的謝意。

學會歷經數十年的發展與積累，已成為台灣土木水利工程界最堅實的交流與合作平台。然而，面對極端氣候帶來的環境挑戰，同時也要追求 2050 淨零永續目標並迎戰劃時代的 AI 科技浪潮，我們必須以前瞻的視野主動擁抱變革。

因此，在未來兩年的任期內，我將以「智慧韌性，跨域共榮」作為學會的核心發展理念：

1. **智慧化轉型**：積極協助產業導入 AI、BIM 及數位孿生等新興科技，以全面提升工程規劃、設計與施工及運作維護的效率與品質。
2. **強化工程韌性**：借鏡近年重大災害經驗，推動更完善的防災應變與永續韌性機制之建立，確保關鍵基礎設施能抵禦風險，為國人守護安居樂業的家園。
3. **促進跨域共榮**：持續擴大與不同專業領域的合作，積極凝聚產官學研以及年輕世代的力量，讓土木水利工程的視野與影響力更廣、更深。

土木水利工程是國家建設的基石，我們的使命不僅是建造，更是守護與創新。我將竭盡所能，讓學會成為工程技術創新應用的重要推手，及公共工程政策的可靠智庫。

我衷心期盼各位先進、專家、學界與業界夥伴，持續不吝給予我們指導與建議，大家攜手合作，共同為台灣工程界開創更智慧、更永續的新局。

敬祝大家 身心安康、事業順利！

中國土木水利工程學會 第 27 屆理事長

謝尚賢 敬上

2025.12



AI 驅動創新整合 開啟工程永續篇章

114 年年會暨 土木水利工程論壇紀實

114 年 11 月 21 日
格萊天漾大飯店

中興工程顧問股份有限公司、社團法人中國土木工程學會 聯合主辦



會場及報到

感謝各界先進遠道而來，參與 114 年會盛事，大會光彩無限！



感謝各界先進贈送花籃賀禮

現場人潮絡繹不絕

開幕典禮



左起 林子剛常務理事、廖學瑞總經理、謝尚賢教授、余信遠總經理、高宗正理事長
右起 賴建信常務次長、陳景文名譽教授、陳仲賢理事、呂良正監事、莫仁維常務理事



高宗正理事長致詞



賴建信常務次長致詞

莫若楫總裁紀念講座

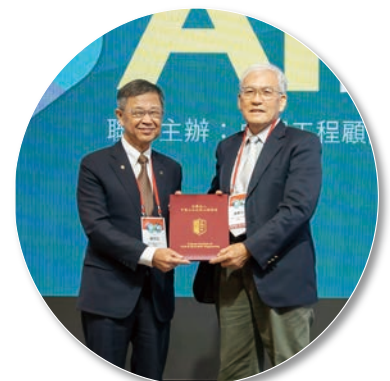
國立成功大學陳景文教授講座：「工程師的品格」



陳景文名譽教授演講莫若楫總裁紀念講座



現場貴賓專心聆聽演講



致贈感謝狀

工程獎章 頒獎



評獎委員會
張荻薇主委致詞



終身成就類得獎人
林其璋名譽教授



工程事業類得獎人
賴建信常務次長



優良設計類得獎人
余信遠總經理

114 年會士 頒發證書



會士 - 蔣啟恆代理副總經理

中技社學術獎 頒獎



中技社土木水利學術獎得獎人 - 蔡克銓講座教授

工程特殊貢獻獎 頒獎



工程特殊貢獻獎得獎人 - 黃金山先生

論文獎 頒獎

恭喜六篇論文獲獎



低矮建築物使用小口徑樁之抗液化效果：
離心模型試驗



钢筋混凝土外部黏貼碳纖維補強貼片之
錨碇性能試驗研究



以虛實整合及人機協作為基礎建構
全自動化營建機器人之螺旋型架構



鋼構工程結合預鑄構件設計評估之研究
—以工業廠房導入預鑄樓梯為例



應用物聯網技術長期監測軌道振動及
動態道碴阻力



提高瀝青永續性：使用黑液木質素改質
劑來表徵生物瀝青的抗老化性能

學生獎學金 頒獎

共 22 所學校 22 位同學獲獎



- 曾養甫獎學金：2 名
- 家源獎學金：1 名
- 朱光彩獎學金：2 名
- 中興社程禹紀念獎學金：7 名
- 中國土木水利工程學會獎學金：10 名

AI 應用獎 頒獎



AI 應用獎得獎人－吳日騰教授



AI 應用獎得獎人－呂斌豪 / 許睿叡 / 張哲瑜 / 林政宇

工程永續與環境美學獎 – 美學與景觀類 頒獎

共頒發 永續貢獻獎 1 件、首獎 1 件、特優 6 件、優等 11 件、佳作 10 件



周南山主任委員報告



永續貢獻獎 – ACL212-1 標高雄車站天棚（拱頂桁架）工程



首獎 – 大埔鄉和平社區音樂饗宴暨大地療育設施改善工程



特優 – 臺中市水湳 40M-11 號道路與中科東向道路銜接工程



特優 – 金瑞治水園區設施改善工程



特優 – 八里左岸漫步廣場新建工程



特優 – 中和安邦段青年社會住宅新建統包工程



特優 – 瑠公綠廊人行環境改造工程



特優 – 金山跳石觀海隙地景觀改善工程

工程永續與環境美學獎 – 環境與生態類 頒獎

共頒發 首獎 1 件、特優 5 件、優等 10 件、佳作 8 件



首獎 – 新烏山嶺引水隧道工程



特優 – 特富野古道設施改善工程



特優 – 東大溪水環境及鄰近區域環境改善計畫



特優 – 第三座液化天然氣接收站棧橋新建工程



特優 – 台 18 線



特優 – 淡水河五股蘆洲



特優 – 碧潭堰改善

2025 工程數位創新應用獎 頒獎

恭喜 5 件工程獲獎



楊亦東主委報告



桃園航空城區段徵收工程



桃園市道路養護資訊管理平台—智慧巡路幸福公路



114 年度道路巡查維修修繕成效式契約 (松山、信義區) (第 2 標)



臺鐵小清水溪橋搶修復舊工程專案之整合性數位應用



iSlope 邊坡風險管理系統

2025 全國大專生工程創意競賽 頒獎

頒發 金獎 1 件、銀獎 1 件、銅獎 1 件



林元生主委報告



高宗正理事長頒發
金獎—爆肝築橋部 / 國立臺灣大學土木工程學系



全國技願公會 陳仲賢理事長頒發
銀獎—人生起伏如橋不定 / 屏東科技大學土木工程系



IEET 呂良正理事長頒發
銅獎—凡是橋個原 / 中原大學土木工程學系

114 年年會務報告



倪惠妹秘書長進行會務報告



第二十七屆理事長交接典禮



第 27 屆理事長交接儀式



第 27 屆謝尚賢理事長致詞

論壇一 AI 轉動新未來：工程實務挑戰與創新應用



陳俊杉特聘教授主持



王幼行副院長演講



綜合討論



周頌安總工程師演講



游中榮資深經理演講



現場貴賓聆聽講座

論壇二

114 年工程永續與環境美學獎 – 美學與景觀類 頒獎暨優勝發表



頒發優勝隊伍



美學與景觀類 委員大合照



特優優勝發表



特優優勝發表



頒發佳作隊伍



全體大合照

論壇三

2025 工程數位創新應用獎 成果發表



桃園航空城區段徵收工程



桃園市道路養護資訊管理平台
— 智慧巡路幸福公路



114 年度道路巡查維修修繕成效式契約
(松山、信義區)(第2標)



臺鐵小清水溪橋搶修復舊工程專案之整合性數位應用



iSlope 邊坡風險管理系統

論壇四 AI 賦能水務治理



王藝峰副署長主持



武經文副總經理演講



主持人、講者大合照



范耀中教授演講



張麗秋教授演講



現場貴賓聆聽講座

論壇五 114 年工程永續與環境美學獎 – 環境與生態類 頒獎暨優勝發表



張武訓委員致詞



特優優勝發表



頒發優勝隊伍



特優優勝發表



頒發佳作隊伍



環境與生態類 委員大合照

論壇六 2025 全國大專院校學生工程創意競賽 優勝發表



國立臺灣大學土木工程學系
爆肝築橋部 發表



中原大學土木工程學系
凡是橋個原 發表



屏東科技大學土木工程系
人生起伏如橋不定 發表



全體大合照

大會圓滿成功 幕後工作人員居功厥偉



~新舊任理事長及秘書長合照~



~引導組合照~



~報到組合照~



~IT 組合照~



~頒獎組合照~



感謝陳郁惠及楊宗融兩位司儀，圓滿成功！

大會圓滿成功 全體工作人員大合照



~年會工作人員大合照~

感謝名單

感激各界熱烈迴響踴躍贊助，銘感五內！

台灣世曦工程顧問股份有限公司
 皇昌營造股份有限公司
 英谷企業股份有限公司
 義力營造股份有限公司
 築遠工程顧問有限公司
 中興工程顧問股份有限公司
 玉新開發建設股份有限公司
 交廣工程顧問有限公司
 禹順工程技術顧問有限公司
 泰興工程顧問股份有限公司
 馬來西亞商金務大工程股份有限公司
 台灣分公司
 喜利得股份有限公司
 森業營造股份有限公司
 新北市政府捷運工程局
 福清營造股份有限公司
 聚泰科技工程有限公司
 遠銀國際租賃股份有限公司
 歐力士小客車租賃股份有限公司
 環塑科技股份有限公司
 工信工程股份有限公司
 日商奧村組營造股份有限公司台灣分公司
 王正源建築師事務所
 立景工程顧問股份有限公司
 宇泰工程顧問有限公司
 利德工程股份有限公司
 亞新工程顧問股份有限公司
 林同棧工程顧問股份有限公司
 泛亞工程建設股份有限公司
 社團法人台灣省水利技師公會
 社團法人台灣循環經濟學會
 社團法人臺中市土木技師公會
 社團法人臺灣省土木技師公會

青山工程顧問股份有限公司
 展群營造股份有限公司
 桃園市政府捷運工程局
 真藝室內裝修有限公司
 國統國際股份有限公司
 崧澔科技有限公司
 清石營造有限公司
 統全工程有限公司
 惠盟電腦股份有限公司
 華光工程顧問股份有限公司
 新北市政府養護工程處
 業興環境科技股份有限公司
 達欣工程股份有限公司
 遠揚營造工程股份有限公司
 慧築營建科技股份有限公司
 黎明工程顧問股份有限公司
 內政部建築研究所
 台北市結構工程工業技師公會
 正楷有限公司
 汎佳旅行社股份有限公司
 宏鳴工程有限公司
 和建工程顧問股份有限公司
 桃園市政府水務局
 桃園市結構工程技師公會
 財團法人中技社
 財團法人中華民國輻射防護協會
 財團法人中華顧問工程司
 財團法人中興工程顧問社
 財團法人臺灣營建研究院
 國家住宅及都市更新中心
 農業部農田水利署石門管理處
 臺中市結構工程技師公會
 聯合大地工程顧問股份有限公司

中華民國地球物理學會
 東和鋼鐵企業股份有限公司
 財團法人中興工程科技研究發展基金會
 臺北市政府捷運工程局
 王傳焯
 上大小客車租賃有限公司
 大陸工程股份有限公司
 互助營造股份有限公司
 台北市土木技師公會
 台南市土木技師公會
 台灣車輛股份有限公司
 台灣電力股份有限公司
 台灣德國萊因技術監護顧問股份有限公司
 周一龍
 社團法人中國工程師學會
 社團法人中華民國水土保持技師公會
 全國聯合會
 社團法人桃園市土木技師公會
 訊美資訊股份有限公司
 高雄市結構工程工業技師公會
 經濟部水利署北區水資源分署
 經濟部水利署南區水資源分署
 農業部農田水利署屏東管理處
 農業部農田水利署瑠公管理處
 彰化銀行西松分行
 廣運機械工程股份有限公司
 毅泰小客車租賃有限公司
 環宇家具設計有限公司
 方冠人
 日商鹿島營造股份有限公司台灣分公司
 台灣工程技術顧問企業協會
 兆弘機電股份有限公司
 行政院公共工程委員會



114.12.11 莫若楫總裁紀念講座

工程師的品格

陳景文／國立成功大學 名譽教授

與莫若楫博士見面次數不多，對談次數也寥寥可數。若尋淵源，莫博士則是師祖輩。源於成大土木工程研究所碩士論文是由莫博士得意門生胡邵敏博士指導。

緬懷莫若楫總裁往事，50 年前～～

民國 64 年，就讀成功大學土木工程研究所時，亞新公司在那年成立。某天莫博士到成大拜訪土壤力學前輩游啟亨教授後，順道來探班。當時是在上成大土研所客座胡博士的課，課程是土壤穩定 …

那時是下課時間，莫博士很客氣，不想影響上課，說：只看一下就走！但同學們圍著莫博士，大家就站在教室外，談了整整一節多課的時間，事實上是聽莫博士講話 …

莫博士的講話有兩個重點：

1. Geotechnical Engineering 應該由土木工程領域中獨立出來，自行建立一個系統，若都 under 在某個部門內，這樣對工程的執行不是很好。
 - 這也是後續大地工程（莫博士對 Geotechnical Engineering 創始中譯）在台灣工程界被重視的濫觴。
2. 亞新公司要 support 土壤力學組的研究生。
 - 莫博士說到就立即做到。接著的下學期，成大和台大土力組的研究生就接到亞新公司的獎學金，金額頗豐。當今不少產官學資深「大老」當年都曾接受過莫博士及亞新的潤澤。
 - 通常機構捐設獎學金是在經營有成後，基於社會責任回饋，亞新公司創業之始即設置。前者可視為頂尖獎勵，後者誠為人才培育，感覺上，二者意義上似有不同。

土壤穩定 (Soil Stabilization)

“亞新公司成立初期很難拿到案子，「因為顧問公司賣的都是 know-how」 ………”

1977 年亞新有件很有意思的特殊工程案件 – 台北松山機場跑道緊急搶修。

當時跑道處處都是沉陷，憑藉著大膽的判斷，加上學術與實務經驗上對於整個土壤做出專業的評估，亞新擺脫以往需要超過兩個禮拜時間的工程，僅僅用六個小時完成重新搶修的工作，完成一塊 6m × 6m 的道面換置，包括混凝土道面、級配及土壤基礎的重置，亞新團隊運用非常多事前試驗及相關的評估 …”

（摘自 Berlin Paint 公司專訪亞新集團莫若楫董事長）

此工程之主要的 know-how 就是土壤穩定～～胡邵敏博士指導我的碩士論文正是關於土壤穩定：稻殼灰 – 石灰應用於道路工程基礎穩定研究，碩士論文，陳景文，成功大學土木研究所（1976）。

土壤力學大師們及其著作



Thomas William “Bill” Lambe (1921-2017)

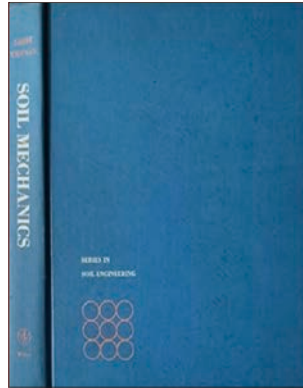
The Stress Path Method 應力路徑法：Lambe studied civil engineering at North Carolina State, receiving his bachelor's degree in 1942. He studied at MIT starting in 1943, working with Donald Wood Taylor in 1948. He assisted Karl von Terzaghi and Taylor in their work as consultants. He was Professor of Civil Engineering until his retirement in 1981, when he was the head of the Geotechnical Engineering Department and the director of the Soil Stabilization Laboratory. He also worked as a consulting engineer. (Wikipedia, the free encyclopedia)

看著表格就會做土力試驗
後續所有土力試驗之範本



Soil Testing for Engineers, 1951
T. William Lambe.
Massachusetts Institute

無法作為土力教科書的教科書
初學者的天書，不同階段讀會
有不同的領會，但愈讀愈入味

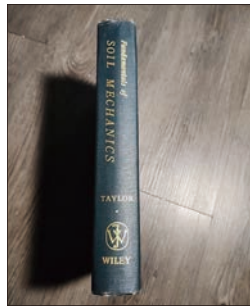


Soil Mechanics, 1969
T. William Lambe and Robert V. Whitman
John Wiley & Sons,



Donald Wood Taylor in MIT
(1900-1955)

第一本土壤力學的教科書
老師前輩們所用的教科書



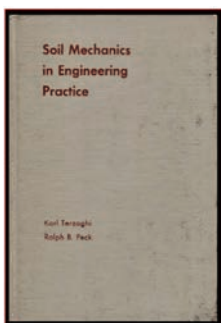
Fundamentals of Soil Mechanics, 1948
Donald Wood Taylor

2025 年是土壤力學創立 100 週年



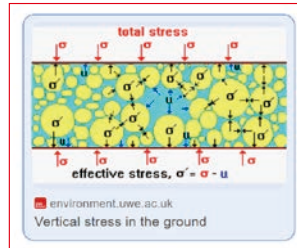
Erdbaumechnik auf Bodenphysikalischer Grundlage
("Earthwork mechanics based on the physics of soils") 1925

土壤力學之父
Karl von Terzaghi (賓碩健·德在基)
(1883-1963)



老師前輩們用的參考書，Dr. Peck
提供很多 Chicago 地下鐵工程資料
Soil Mechanics and Engineering Practice, 1948
Karl Terzaghi & Ralph B. Peck, Wiley

土壤力學的重要理論



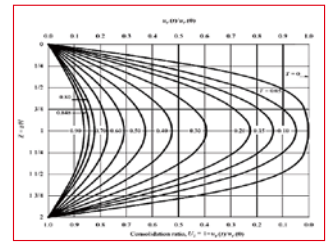
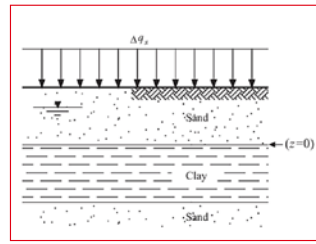
EFFECTIVE STRESS CONCEPT (Terzaghi, 1923)

$$\sigma = \sigma' + u$$

where

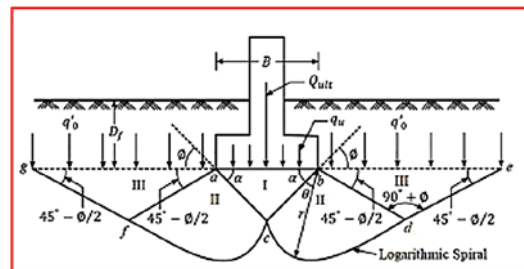
- σ = Total Vertical Stress
- σ' = Effective Stress
- u = Pore Water Pressure

Terzaghi's Effective Stress principle
K. Terzaghi, 1923



$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{k}{\gamma_w m_v} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

Terzaghi's One Dimensional Consolidation Theory
K. Terzaghi, 1923, 1924



General form of Terzaghi's Bearing Capacity Theory

$$q_{ult} = c' N_c S_c + \gamma' D_f N_q + 0.5 \gamma' B N_{\gamma} S_{\gamma}$$

Terzaghi's Bearing Capacity of Foundation Theory
K. Terzaghi, 1943

Terzaghi 提出如下充滿智慧的工程遊戲規則

THE GAME OF ENGINEERING
BY K. TERZAGHI

1. Engineering is a noble sport which calls for good sportsmanship. Occasional blundering is part of the game. Let it be your ambition to be the first one to discover and announce your blunders. If somebody else gets ahead of you, take it with a smile and thank him for his interest. Once you begin to feel tempted to deny your blunders in the face of reasonable evidence you have ceased to be a good sport. You are already a crank or a grouch.

工程有如運動賽事，賽者須具有運動家精神。賽事中偶而犯錯難免。吾等須有率先勇於認錯之心。若有人先於你，發現你的錯誤，坦然接受並感謝他的關心。若你不願面對已有合理證據顯示你的錯誤時，你已無法在此賽事中繼續下去。你將會是個令人厭惡的喋喋不休者。

面對失誤，勇於認錯
寬以待人，嚴以律己

2. The worst habit you can possibly acquire is to become uncritical towards your concepts and at the same time sceptical towards those of the others. Once you arrive at this state you are in the grip of senility, regardless of your age.

千萬不要養成失去對自己想法批判之心以及失去對別人觀點存疑檢視之心。只要你開始不對自己想法反思批判，也不對別人想法檢視存疑，那不論你年紀多大，事實上，你已經是在老年癡呆階段了。

永保自我批判之心
不時思檢他人觀點

3. When you commit one of your ideas to print, emphasize every controversial aspect of your thesis which you can perceive. Thus you win the respect of your readers and are kept aware of the possibilities for further improvement. A departure from this rule is the safest way to wreck your reputation and to paralyze your mental activities.

當你承諾要將你的觀念發表，特別在論文中提釋你所察覺到的每項爭議。事實上，你已贏得讀者對你的尊敬，同時也已獲得自己未來進步的空間。若偏離此道，則將失去你的聲望，也將癱瘓你的心智及認知。

開誠布公，就事論事
贏得尊榮，永得精進

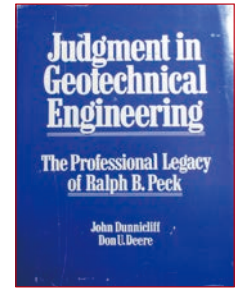
4. Very few people are either so dumb or so dishonest that you could not learn anything from them.

鮮少有人會糊塗或不誠實到令你無法從他那邊學到任何事情。

他山之石，可以攻錯
三人行，必有我師焉

工程師必讀的好書

大地工程決策中充滿對環境的判斷，諸多環境因素，其中有數據根據的，也有須直覺判斷的，工程師功力之展現，就取決於由實務經驗中累積的智慧。這本書值得實務工程師細品。



Professor Terzaghi 箴言
亦收錄於此書中

莫若楫博士一生是實踐的典範



莫若楫總裁墨寶、也是其一生的寫照

感恩與共勉

土木工程師與水利工程師都是具有專業的社會菁英，由過去到現在，不論國家在戰時艱困中對交通設施之搶修，對國家重要文物之運送，戰後對國家復興之重建，直到國家在經濟鼎盛繁榮之時，參與重大基礎建設，將國家經建推向世界知名行列。吾等土木工程師與水利工程師們永持不求名，不居功的誠摯之心。

我們來時，山高水深，遍地荒蕪，
當橋隧通行無阻，高樓處處矗立，
人們川流進駐之時，也就是我們離開的時候了！

期許青年工程師們，前輩先進們已留下了豐碩的資產，累積了寶貴的經驗，也豎立起可敬的典範，期望各位在這堅若磐石的基礎上，效法前輩們所保存下來的傳統精神，心存感恩，持續精進，為國家社會做出更大的貢獻！





水利署推動數位轉型之整體策略

物聯網即時監測與
社群軟體推播服務應用於新北市智慧防汛

生態水利於數位轉型下之應用與展望

水資源管理數位轉型 - 全臺水資源管理作業系統

應用數位孿生評估水庫防淤的成效

臺灣智慧水文監測技術發展與應用服務

水庫安全管理數位化整合之應用與展望

水利及環境工程

在數位轉型下之推展 專輯序言

專輯客座主編 徐勝勇* / 中興工程顧問股份有限公司 副總工程師

在全球氣候變遷與都市化快速發展的雙重壓力下，水利及環境工程面臨前所未有的挑戰與轉型契機。數位科技的蓬勃發展，正重新定義我們對水資源管理、洪災防治、環境監測與永續發展的思維與作法。本期專題以「水利及環境工程在數位轉型下之推展」為主軸，匯聚來自學術界、產業界與政府部門的研究成果與實務經驗，期望為讀者勾勒出一幅融合科技與工程的新世代藍圖。

數位轉型不僅是技術的革新，更是治理模式與工程思維的根本變革。從物聯網（IoT）感測器即時監控水文變化，到人工智慧（AI）預測洪水風險，再到數位孿生（Digital Twin）模擬城市排水系統的運作及生物的辨識，這些創新技術正逐步導入水利工程的各個環節，提升決策效率與系統韌性。同時，環境工程也透過大數據分析與雲端平台，強化污染源追蹤、水

質管理與生態復育的精準度與透明度。

本期刊所收錄的文章涵蓋多元面向，除包括水利主管機關推動數位轉型之整體策略、物聯網即時監測與社群軟體推播服務、水資源管理數位轉型之外，對於數位孿生於水庫防淤及生態環境永續也提出其應用及未來之展望，此外，對於攸關北部供水之重要水庫也提出如何建立其數位化之管理及成果。這些研究不僅展現台灣在水利與環境領域的技術實力，更反映出在數位轉型浪潮下，工程界如何回應社會需求與環境挑戰。

我們相信，數位轉型不只是工具的導入，更是價值的重塑。唯有在技術創新與制度設計之間取得平衡，才能真正實現智慧、韌性與永續的水利與環境治理。期盼本期專題能激發更多跨領域的對話與合作，共同推動台灣邁向下一個水環境治理的里程碑。🌱

* 通訊作者，shyu528@gmail.com



水利署 推動 數位轉型 之整體策略

蘇郁婷* / 經濟部水利署綜合企劃組 副工程司

李榮富 / 經濟部水利署綜合企劃組 組長

林元鵬 / 經濟部水利署 署長

賴建信 / 經濟部 常務次長

為因應未來氣候變遷極端災害衝擊與風險，提高工作效率以降低同仁工作負擔，水利署致力推動各項數位轉型策略與措施。包括在水資源細微管理方面，研發並且建置「全臺水資源管理作業系統」，包含全臺供水情勢動態介面、自來水取供水現況即時展示功能，以利日日監看並時時掌控水情資訊並迅速處置。在水旱災預警應變方面，結合淹水感測器與防災影像辨識技術，搭配行動水情 APP 及 AI 智慧應答機器人，輔以水旱災預警策進技術精進提升，有效提升各類災情監控預警及通報應變效能。在水利工程減碳方面，則透過數位轉型系統的持續升級，以及智能科技輔助模組與智能設計資料庫的開發及應用，逐步邁向「綠工程」轉型的永續經營管理目標。期藉由全面推動水領域數位轉型，為千年來最古老的服務業持續注入智慧創新元素，營造與水共生、互利共榮的友善水環境。

關鍵詞：水資源管理、防災應變、淨零減碳

數位轉型緣由

近年來全球暖化的影響無遠弗屆，氣候變遷衝擊更是全人類共同面對的關鍵課題，臺灣也無法自外其間。隨著極端氣候的頻率與強度遽增，旱澇交替已成常態現象，臺灣整體水環境面臨前所未有的挑戰。根據聯合國政府間氣候變遷專門委員會（IPCC）第六次評估報告（AR6）及國家災害防救科技中心（NCDR）分析結果顯示，未來臺灣極端降雨強度以及不降雨日數都將持續增加；影響臺灣的颱風數量將減少，但強颱風發生的比例將增加。未來臺灣將同時面臨缺水與淹水的衝擊與風險，亟需提升既有水利科研量能，持續精進韌性調適策略，方能因應詭譎多變的氣候危機。

此外，2050 淨零轉型是全球共同的願景，也是臺灣戮力推動的方針，為了加速接軌國際 NDC（國家自

定貢獻）的步伐，政府現階段重新檢視並設定 2032 年及 2035 年的減碳新目標，加大加速減碳力道。水利署亦積極配合參與淨零轉型，訂定逐年具體減碳目標，透過減少工程碳排放、增加植樹固碳及綠能等方式，邁向淨零排放的願景目標。

面對臺灣今後高齡化、少子化、都市化及產業集中的社會結構，部分地區的用水需求及災害風險有持續提高之趨勢。因此，目前的水資源管理、防洪治理、防災應變及環境保育等層面均需與時俱進，因勢利導，擊劃因時因地制宜的韌性調適措施；然而，政府單位的人力與資源有其限制，必須透過最新科技及前瞻思維，讓水利業務更精準、更即時、更契合人民的需要。為此，水利署力求創新突破，以人為本與時俱進結合數位科技，落實推動各項水利數位轉型策略，為民眾打造韌性宜居的水環境，優質美好的水生活。

* 通訊作者，ah8606@wra.gov.tw

以下將從水資源細緻管理、防災應變智慧化及水利工程淨零減碳等各面向，分別簡單介紹水利署近年來所陸續推動的各項數位轉型措施、技術研發架構與未來發展願景。

水資源細緻管理

為強化水資源管理效率，水利署建置「全臺水資源管理作業系統」^[1]，將重要水資源經營管理資訊整合，做為水資源經營管理業務邁向數位轉型的重要基礎。本系統經由介接全臺各水資源管理單位的各式水情資料，並開發各式具備高度互動功能的資料視覺化圖表，將現有資訊做有效展示，有效提升水資源管理效能。

全臺供水情勢動態呈現

「全臺供水情勢」功能以網頁方式呈現全臺各水

庫之蓄水情形總覽，依照庫容大小視覺化呈現所有主要供水水庫之蓄水量、蓄水率、降雨量、入流量、出水量、放水提示，並呈現各供水區之水情燈號，以利即時掌握各供水區枯旱情形以及區內各水庫蓄水情形（圖 1）。

自來水取供水現況即時展示

「自來水取供水系統」可分為北、中、南區系統，可呈現各供水調度分區之自來水取供水系統圖，及各供水區水庫蓄水量、蓄水率、入出流量；淨水場之取水量、出水量；同時透過各供水區取供水系統路徑展示，得以瞭解各水源或淨水設施之取水來源及供水去處，有助於水源設施發生狀況時迅速瞭解替代供水路徑，即時評估供水替代方案，確保自來水供水穩定（圖 2）。

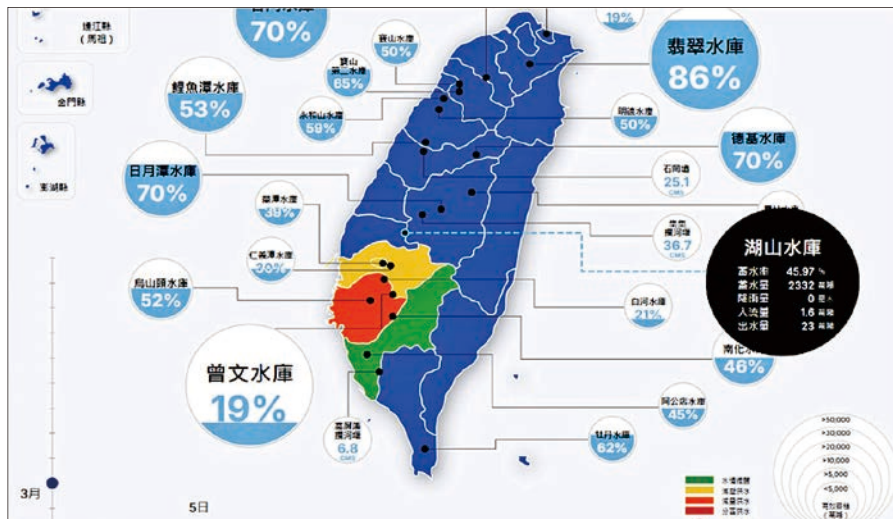


圖 1 全臺供水情勢展示頁面^[1]

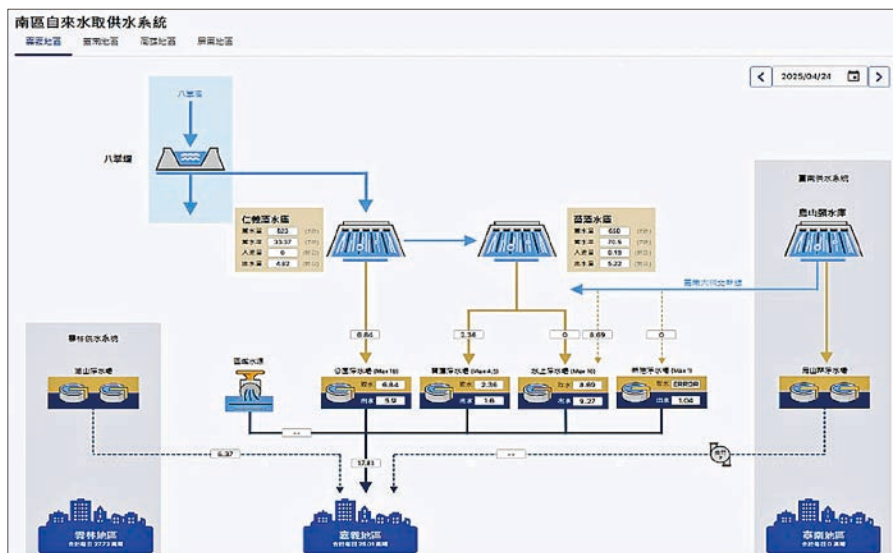


圖 2 自來水取供水系統展示頁面^[1]

水情日日監看時時掌控

為掌握每日重要之水情管控數據，水利署每日監看各項重要水情管控資料，包含水庫蓄水量變化、水庫出水量、水源調度量等，並以產出日日監看表方式作為內部管控依據，系統以表格方式呈現每日全臺各供水區之水情監控數據，包括水庫或蓄水設施之有效蓄水量、與前日蓄水量差、Q80 入流量、實際入流量、10 日平均入流量、公共出水量、農業出水量及水源調度量等，並包含實測值及各項控管值等。系統提供日期選取功能，依選取日期顯示水情監控資料。表格資料係由系統介接資料或人工填報取得，並由各水資源分署填列修改後，再由水利署核校確認資料正確性後匯出。相關數據除可瞭解各項水情管控措施執行情形外，亦可提供水情管理人員研判各項供水調度決策參考（圖 3）。

防災應變智慧化

近年來，致災性短延時強降雨頻繁，導致都市區域道路積淹水及河流水位迅速上升。針對此情況，水利署利用各類監控攝影機的即時畫面，結合 AI 影像智慧辨識技術，有效提升對道路積淹水和河流水位變化的即時研判能力。此外應用多元情資推播管道，可大幅強化汛期時的災害通報及應變效率；而藉由精進提升水旱災預警技術，更將進一步提升防災應變的整體效能，有效減低水旱災害衝擊與風險。經由整合既有及發展中的水情災情監控及防災預警等各類系統，可依據防災整備應變業務需求進行加值應用，並藉由整合性應用服務平台，有效支援汛期颱風應變決策所需。

淹水感測器結合防災影像辨識

為全面掌握颱風期間淹水範圍及深度等防災訊息，水利署自 2020 年起廣泛佈設淹水感測器，成為掌握積淹水災情的重要管道，目前全臺已部署 2,055 部淹水感測器，除提供民眾了解目前各地區實際淹水狀況，2025 年更提供國家災害防救科技中心（NCDR）有關淹水感測器 CAP（Common Alerting Protocol，共通示警協定）警示資訊，使 Google 等系統業者能加值運用，提供民眾所欲前往地點是否行經淹水區域之警示，以利及時避災。

此外，水利署水情影像雲端平台介接水利署及全國各單位建置之 9,365 支 CCTV 影像（圖 4），透過 AI 辨識淹水資訊，尤其在短延時強降雨或深夜凌晨期間積淹水時能即時監控^[2]。為進一步擴大監控的廣度與即時性，水利署於 2025 年 7 月與物流業合作，介接超過 800 台車載影像，利用 AI 道路淹水影像辨識技術進行遠端監測與應變，並有效輔助抽水機等防救災資源調度與撤離。

行動水情 APP 搭配 AI 智慧應答機器人

颱風期間不論水情監測與預警報訊息，以及災情應變避災資訊等各類情資，均可透過「行動水情 APP」^[3]（圖 5）以及「智慧應答機器人 Diana」^[4]（圖 6）等多元情資推播管道迅速推播，同時發布於水利署防災資訊服務網、Google Map（降雨警戒區域）及民生示警公開資料平台，並提供簡訊與市話語音通報申請服務。行動水情 APP 展示氣象、水情、積淹水、警戒、災情地圖等

地區	水源	項目	4/1	4/2	4/3	4/4	4/5	4/6	4/7	4/8	4/9	4/10	容量	
新北、桃園	石門	水位差(m)	0.41	0.23	0.03	0.02	0.09	0.18	0.11	-0.04	-0.03	0.14	--	
		後池蓄水量	264	243	276	268	281	279	279	286	283	259	--	
		與前次蓄水量差	-20	-21	33	-8	12	-2	0	7	-3	-24	--	
		入流量	Q80	79.8	79.8	79.8	79.8	79.8	79.8	79.8	79.8	79.8	79.8	798.3
			實際	437.0	291.9	231.8	187.9	207.2	270.0	211.8	170.7	163.5	185.8	2357.6
			10日平均	189.5	199.5	206.8	208.9	214.5	226.6	233.2	236.8	242.2	235.8	--
	放至中庄攔河堰水量	2.5	2.5	8.9	9.5	2.5	2.5	2.5	14.2	14.3	2.5	--		
	調節性放水(深洪)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	--		
	中庄調整池	中庄蓄水量	493	492	492	491	491	490	489	488	486	490	--	
		與前次蓄水量差	0	-0	-0	-1	0	-1	-1	-1	-2	4	--	
中庄調整池入流量		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	--		
出水量管控	公共出水量(含工業)	管控	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0.0	
		石門水量	71.3	65.9	61.2	65.9	65.9	65.9	65.9	76.2	77.5	75.2	690.9	
		中庄調整池	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
		實際(合計)	71.3	65.9	61.2	65.9	65.9	65.9	65.9	76.2	77.5	75.2	690.9	

圖 3 水情日日監看展示頁面^[1]



圖 4 水情影像雲端平台 [2]



圖 5 行動水情 APP [3]

主動示警資訊推播

主動提供天氣(大雨、豪雨、大雷雨、颱風等)及地震等災害示警服務,客製化提供即時示警訊息。

此功能基於本團隊於108年科技部「高可用性災害管理決策輔助對話系統」計畫中所研發之「警報訊息檢核系統」框架建置,並應用統計量研習之關海維運程式「Formosa」自動化繪製圖資。程式碼連結:
<https://jump.dianalab.net/formosa>

靜態資訊設計及查詢

系統除了能以文字回應外,亦搭配適當的圖片回應使用者,讓使用者不但可以有效掌握所需資訊,也能快速將該資訊透過通訊軟體發送給相關人員,提升應變期間資料傳遞與溝通之效率,及達到以視覺資料輔以文字提供直覺且易懂的資訊的目的。

「大雨」與「豪雨」定義

80毫米/24小時	200毫米/24小時	350毫米/24小時	500毫米/24小時
或	或	或	或
40毫米/1小時	100毫米/3小時	200毫米/3小時	
大雨	豪雨	大豪雨	超大豪雨

對話智慧搜尋

系統使用模糊比對技術,於使用者輸入錯別字,或提問不夠精確時,可與系統現有資料庫比對,建議數個可能與使用者之需求有關的關鍵字,供使用者選擇。

此功能應用本團隊於107年科技部「對話式防災決策輔助系統」計畫成果與本團隊之發明專利建置「環境資訊問答系統與方法」(中華民國發明專利證書號:1688873)

動態資料取得及維運

介接各行動態防災資料,以即時提供防災情資,且可識別資訊不重複推播。

使用「水利災害警報緊急應變系統」即時資料,以文字列出所屬單位圖說收斂與時隨外,並以紅橙黃三色於地圖中呈現圖層缺。

圖 6 AI 智慧應答機器人 [4]

資訊；智慧應答機器人 Diana 作為數位幕僚，提供即時水情、地震速報等服務，兩者共同打造智慧化防災資訊服務網絡，提升第一線防災人員與民眾的應變能力。

水旱災預警策進技術研發

近年極端氣候災害衝擊頻率遞增，旱澇交替頻繁，故水旱災預警技術尤為重要。水利署近年推動降雨預報結合水庫入流量推估技術（圖 7），有效精進水旱災害預警效能。

其中包括研發適用於臺灣水庫集水區的統計後處理技術，開發高時空解析度的中長期雨量預報產品。提供空間解析度 1 公里的中期（1~9 天）之 3 日累積降雨預報及降雨機率預報產品，並提高未來 1~6 個月水庫集水區的長期雨量預報能力 [5]。

水利工程淨零減碳

水利署自 2021 年起陸續推動工程數位化系統工作，以水利工程全生命週期思維，逐步建構系統化之管理方式（圖 8），並與時俱進響應聯合國氣候變遷專門委員會（IPCC）2050 年淨零之願景，整合水利工程碳排放量數位管理機制，結合主流科技（如 AI），以綠色及數位雙軸轉型方式，輔助所屬機關推動工程數位化轉型、

智能行動抽查與工程減碳紀錄等功能，使後續水利工程循科技輔助減碳願景藍圖及發展智慧營建管理準則，邁向「綠工程」轉型之永續經營管理目標願景。

水利工程數位轉型系統精進研發

「水利工程數位轉型系統」[7]，從工程計畫核定、設計、發包、施工至完工驗收的全流程數位化專案管理，並逐年設定量化減碳目標，使減碳策略與施政方針得以落實。為確保減碳成效，透過「碳預算管理」機制，採用數據分析、自動化程式輔助及工程碳排放量審查流程，使水利工程自預算提報與設計階段起，即依年度減碳目標進行碳排放量上限審核，並於設計過程中滾動檢討減碳效益。同時，透過「水利工程智能抽查 APP」與水利署公務雲 APP 整合，提供行動抽查服務，大幅提升現場作業效率，確保執行的即時性與便利性（如圖 9 所示）。

智能科技輔助機制評估

開發品管智能客服模組，依循《行政院及所屬機關（構）使用生成式 AI 參考指引》，運用自然語言處理技術，基於大型語言模型（LLM）提供智能服務，以提升服務效能與使用者滿意度，確保水利工程數位轉型的推動更加順暢及提高效能。

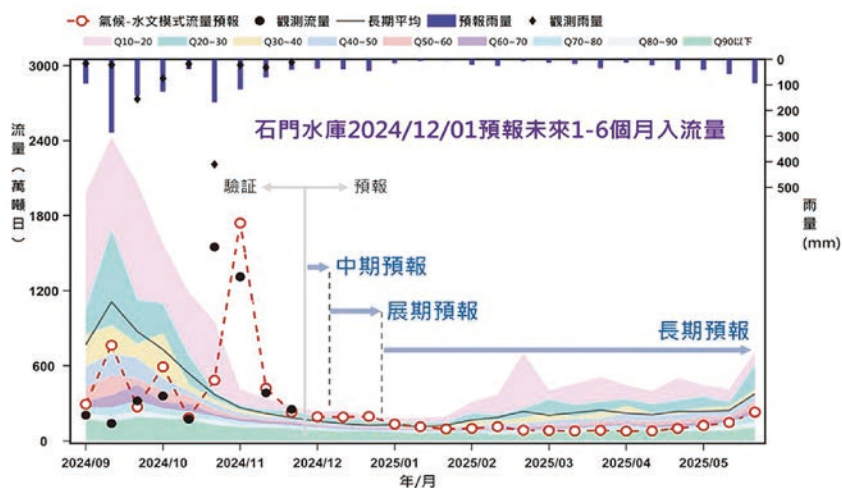


圖 7 降雨預報進行水庫流量推估 [5]



圖 8 水利工程數位轉型歷程 [6]

圖 9 淨零碳排與數位轉型雙軸推動^[6]

智能設計資料庫的開發與應用

規範 50 項水利工程常用元件，包含 2D 圖說與 3D 建模，提供規劃設計單位運用 BIM 技術生成 3D 可視化模型，以提升規劃設計人員的理解能力，並據此提出可行性評估與設計方案。同時，結合地區特性進行碳排計算與成本預算分析，建構智能設計資料庫^[8]（包含低碳工法），以作為水利工程導入科技輔助減碳的依據，使機關能具體實踐「綠工程」轉型的永續經營目標。

智慧水利發展願景

在極端氣候日益加劇的今日，水管理不僅需要延續與傳承過往的專業經驗，更需回應環境挑戰與資源分配的變革需求。如何善用 AI 提升水領域管理效能，已成為國際間共同關注的重要方向。水利署順應此一趨勢，積極啟動相關規劃與研議，除針對各業務面向研提未來推動策略，更進而盤點上、中、下游整體流域治理現況，分別提出相應的應用策略並勾勒未來的發展願景，冀以推動水領域的智慧化與韌性調適。期盼落實推動執行後，有助於建立更永續的治理模式，確保產業、農業及民生用水的循環穩定，並進一步促動跨領域、跨產業的創新鏈結，化氣候變遷的危機為水利產業蛻變躍升的轉機。

各面向推動策略

水資源管理

目前水庫入流量主要由水庫集水區雨量預報推估，未來規劃應用 AI 技術，結合氣候因子推估入流量，提升入流量推估成效，並結合系統視覺化展示，做為供水調度決策參考。其後，將透過水庫入流量推估，結合水文及枯旱發展趨勢，動態研擬未來供水操作方式。此

外，水情日日監看功能將持續精進優化，並規劃導入 AI 技術，讓水情管控項目得以自動偵測判釋是否達成預定目標，期能有效提升水資源細緻管理效能。

防災應變

為積極建構更即時、精確的 AI 洪水預報模式，以因應致災性短延時強降雨，2025 年以八掌溪、濁水溪及曾文溪三大流域作為試辦，模式整合歷史雨量、水文資料、即時觀測數據及氣象降雨預報產品，並且具備每 10 分鐘更新一次的能力，可預測未來 1 至 3 小時甚至更長時間的河川水位變化^[9]。未來，將持續透過颱風豪雨事件檢驗並優化此 AI 模式，逐步推廣至全臺中央管河川水系，期藉由災害情境模擬，提升 AI 系統在防災決策中的實務效益。

工程減碳

未來目標為建立智慧工程營造碳排放量估算及減碳資訊平台，針對施工過程開發 IoT 智慧行動感測裝置，導入智慧監造、AI 人工智慧的創新應用構想，輔助提升工程設計、監造及施工階段的作業效率與碳排放管理，並透過數位化的工程管理策略，詳細評估營造材料的使用量、精準掌握施工過程的碳排減量，同時透過數據分析進一步掌控機具施工能源消耗，落實工程減碳數位轉型，完善水利工程生命週期數位資訊，逐步實現水利綠工程及淨零排放目標。

全流域發展願景

上游：水庫安全與調度

在集水區上游，長期水情趨勢研判與水庫優養化風險是持續關注的課題，而水庫安全與調度更是治理核心。其中，壩體結構的安全檢核不可或缺。過去水庫運轉調度多依賴專業人員經驗，但隨著氣候變遷與不確定性增加，僅靠經驗已難以因應。



物聯網 即時監測 與 社群軟體 推播服務應用於 新北市智慧防汛

王嘉和／國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心 副研究員

何浩維／國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心 專任研究助理

張倉榮*／國立臺灣大學生物環境系統工程學系 教授

黃茂松／新北市政府水利局 總工程司

宋德仁／新北市政府水利局 局長

楊昇學／國立陽明交通大學防災與水環境研究中心 副研究員

葉克家／國立陽明交通大學防災與水環境研究中心 客座教授

近年，氣候變遷造成都市地區面臨短延時強降雨災害的嚴峻挑戰，為了能夠提升極端降雨的早期應變能力，新北市政府水利局設置智慧防汛平台系統與都市暴雨即時模擬預報服務系統，分別應用於即時監測資訊整合抽水站連動管理與應變，以及即時淹水模擬與積淹水熱點的早期預警與推播服務，達到雙管齊下的功效。

智慧防汛平台系統導入物聯網監測技術，包含都市周邊雨量站、都市內雨水下水道水位監測與路面淹水感測器、閉路電視（closed-circuit television, CCTV）淹水影像辨識訂定分級物聯網之都市雨水下水道汛洪指標警戒管理值，並利用整合水情資訊建立監測降雨及下水道水位等資訊，連動抽水站機組操作即時提示與警訊發布機制，達到智慧都市雨水管理調適與都市防災與減災之目的。

都市暴雨即時模擬預報服務平台導入臺大細胞自動機快速淹水模式，現階段以中和、永和與板橋地區為服務對象，介接即時降雨監測資料並透過熱啟動技術達到每 10 分鐘完成一次淹水模擬計算，搭配社群軟體推播服務，即時發送暴雨預警與淹水熱點的災害發生預判資訊供防災人員提早啟動應變作業。

藉由物聯網監測儀器與社群軟體推播服務等新興技術，都市水利防災的預警與應變作業皆能夠獲得大幅度的助益，降低災害影響程度與損失，保障大眾的生命財產安全。

極端降雨與都市水利防災之挑戰

氣候變遷導致災氣象事件的發生頻率與規模漸劇，自 21 世紀以來，全球各地的降雨型態逐漸轉變，極端降雨的發生頻率顯著增加，早年所建設的都市雨水下水道系統面臨到設計標準已無法容納現今的暴雨強度，淹水災害的發生與損害亦隨之增加。

受其影響，全球各國近年頻頻發生短延時雨造成的嚴重淹水災害，發生在人口稠密的都會地區造成的損害更是不堪設想。如 2022 年 8 月初發生在南韓首爾與京畿道區域的致災強降雨，當時觀測到最大 141.5 mm 的時雨量，並發生一起半地下屋住戶受困溺死的事件促進當局著手修正弱勢族群租屋的相關法律；2023 年 8 月初在中國北京、天津與河北發生的強降雨洪災，觀測到最大 111.8 mm 的時雨量，受災人數達到 500 萬人以上，經濟損失亦超過 1,000 億新台幣；2024 年 8 月下旬在日本東京發生的強降

* 通訊作者，tjchang@ntu.edu.tw

雨，多地觀測到接近 100 mm 的時雨量，造成多個地鐵站發生淹水灌入，數條鐵路路線停駛，嚴重影響下班時間眾多的通勤民眾。

在國內，近年也發生多次極端降雨引起的積淹水災害，如 2023 年 8 月 20 日下午的熱對流豪雨，在三峽區降下 122.5 mm 的時雨量，樹林區亦觀測到 108.5 mm 的時雨量，造成三峽老街、板橋大觀地下道及新莊幸福路周邊發生積淹水的災情；2025 年 7 月下旬至 8 月初，西南氣流為中南部地區帶來連日強降雨，約一週的時間在山區降下了超過 2,000 mm 的累積雨量，台中、南投、雲林、嘉義與臺南等縣市都有發生淹水災情，農業損失金額近 3.5 億元。2025 年 10 月下旬，受到風神颱風環流與東北季風共伴效應的影響發生連日強降雨，北北基宜等縣市皆達到大豪雨以上標準，統計 10 月 20 日至 22 日的 3 日累積降雨量，陽明山區域多個雨量站皆達到 1,000 mm 以上，平地區域亦有多處達到 500 mm 以上，最大降雨發生於鞍部雨量站，達到 1,497.5 mm；豪雨在北臺灣造成多處災害，北市陽明山、文山與新北汐止山區皆有發生土石崩落或邊坡崩塌，北市亦針對南港位於土石流紅色警戒區域的住戶進行疏散避難，在林口、台北港、新店、深坑、中和、外雙溪等地都有發生淹水災情，二重疏洪道的局部堤外道路也被大水淹沒，一度封路管制。

面對降雨型態的轉變，工程方法改善既有排水系統的手段往往受到施工經費與時間的限制，以及滯洪空間等基礎建設、道路下方之地下纜線與日常交通等因素影響，無法於短期內快速增進都市承洪能力，因此，非工程性質的避災與減災手段在都市防災便具有相當的重要性，如何在淹水前或是剛開始積水時進行即時積淹水預警是未來防災重點。

本文將介紹目前在新北市水利局所使用都市智慧防災之非工程監測方式，透過即時監控數據進行都市雨水管理調適，以減少都市淹水發生次數及縮短排除淹水情況的時間。

水利防災預警方法的發展

1978 年，美國的 Mogil 等人根據美國國家氣象局提供之集水區降雨特性，進行水文、水理演算，推算河道水位溢堤淹水之臨界雨量，訂定了汛洪指標 (Flash

Flood Guidance, FFG)。到了 2000 年代，此分析方法經過多次的修正與改善後全面推行，在美國可透過各所在地點與雨量資訊系統，查詢到即時與氣象預報等資訊進而得知是否會有淹水發生。隨後也納入洪水頻率概念、集水區雷達定量降雨估計 (quantitative precipitation estimates, QPE) 與定量降雨估計預測 QPF (quantitative precipitation forecasts) 技術後，發展出網格化 (GFFG) 與分布式 (DFFG) 的技術，以及透過實際情況修正來提供完整的預報和臨近預報系統^[1-3]，該系統也已在全球其他國家如南非、土耳其、印度以及東南歐等地實施運用。整體而言，FFG 系統易於理解和實施，因此被認為是改進快速洪水預警的實用手段^[4]。

目前國內的洪水預警系統，主要是使用經濟部水利署發布之淹水警戒資訊，該方法是利用歷史淹水事件資料分析各鄉鎮區可能致災的累積雨量進行警戒值訂定，設定 1 小時、3 小時及 6 小時等 3 種不同延時之雨量警戒值，並分二級及一級 2 種警戒級別，已成為各級政府水災防災應變實務中重要的參考指標。

不過從時空間分析尺度來看，FFG 指標是針對流域範圍的洪災為對象進行預警，通常會有 1 至 6 小時的反應時間，水利署的淹水警戒以 1 至 6 小時延時降雨作為標準也是以流域範圍尺度為警戒目標。

然而對於高密度開發的都市地區，特別是大臺北地區，短延時強降雨往往都是在 0.5 至 2 小時以內之超滲降雨造成積淹水情況，因此，需要小於 1 小時的警戒值方能達到即時積淹水預警，如 10 分鐘或 20 分鐘延時的降雨強度標準。

在物聯網監測技術普及後，監測儀器能夠廣設於低窪區域路面或雨水下水道系統，且監測的頻率亦從 1 小時或 10 分鐘間隔進步到 1 分鐘間隔時，便能夠更詳盡地觀測到都市地區雨量站及雨水下水道水位的變化，構築都市地表淹水與雨水下水道溢淹示警系統，以掌握局部區域之降雨、雨水下水道水位與地表淹水之關連。

為因應短延時強降雨造成的淹水災害，新北市政府水利局設置了智慧防汛平台系統^[5]與都市暴雨即時模擬預報服務系統^[6]。前者整合大氣與水文的即時監測儀器資訊，提供整合式資訊並進行關聯式系統即時管理與應變；後者透過即時的淹水模擬，整合降雨監測與預報資訊進行積淹水熱點的早期預判與預警推播。兩者相輔相成，提升新北市的極端降雨災害因應能力。

新北市智慧防汛平台

智慧防汛平台主要包含了雲端監測數據資料庫與都市雨水管理調適系統兩大部分，系統的流程架構如圖 1 所示，各部分的詳細說明如後述。

雲端監測數據資料庫

平台資料蒐集來源涵蓋政府開放資料與新北市設置的物聯網感測器資料，資料項目依據空間分布類型分為天空、地面、地下的下水道系統，以及抽水站四大部分，數據匯入資料庫後透過 GIS 展示圖台進行整合化決策參考資訊呈現。

天空雨量資料部分透過中央氣象署的應用程式介面 (Application Programming Interface, API)，定時接收地面雨量站觀測資料、雷達回波訊號，以及劇烈天氣監測系統 (Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor, QPESUMS) 的未來 1 小時降雨量預報資料。

地面水情資料則包含路面淹水感測器、閉路監視

器 (Closed-Circuit Television, CCTV) 影像、河川水位站與抽水站前池水位值，資料來源為水利署及新北市政府提供的 API，定時儲存相關儀器的即時監測數據。

下水道監測資料蒐集雨水下水道的水位高度與水深深度，API 亦由新北市政府提供。抽水站部分記錄前池水位的即時資料，作為系統決策抽水機組之待機、預抽或啟抽等操作之參考依據使用。

GIS 展示圖台將前述蒐整之觀測降雨量、預報降雨量、雷達回波強度、路面淹水感測器、河川水位、雨水下水道水位水深及抽水站前池水位等氣象與水情資訊進行整合，套疊於地圖呈現展示，平台資訊可隨時使用電腦或智慧型手機連線瀏覽，提供即時的水利防災調適決策參考資訊。

都市雨水管理調適

智慧防汛平台蒐整四大類的降雨與水情資訊後，透過這些指標資訊的警戒管理值設定與周邊監測設備的連動，建立一套如圖 2 所示的決策支援機制，以達到雨水管理的智慧型調適之目的。

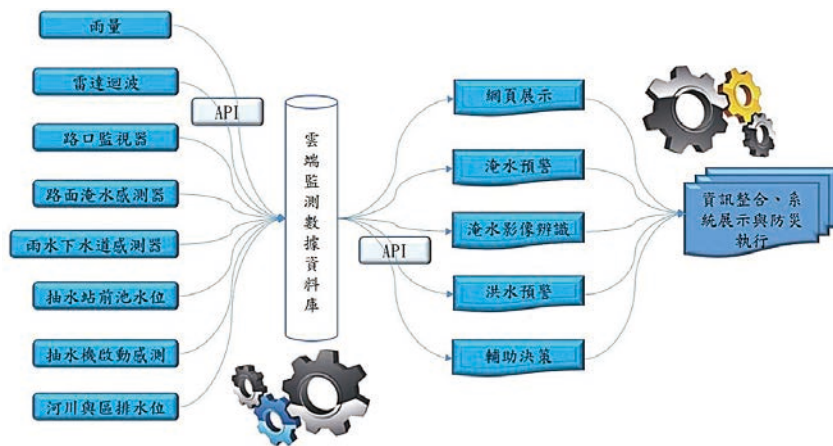


圖 1 新北市智慧防汛平台系統流程架構^[5]

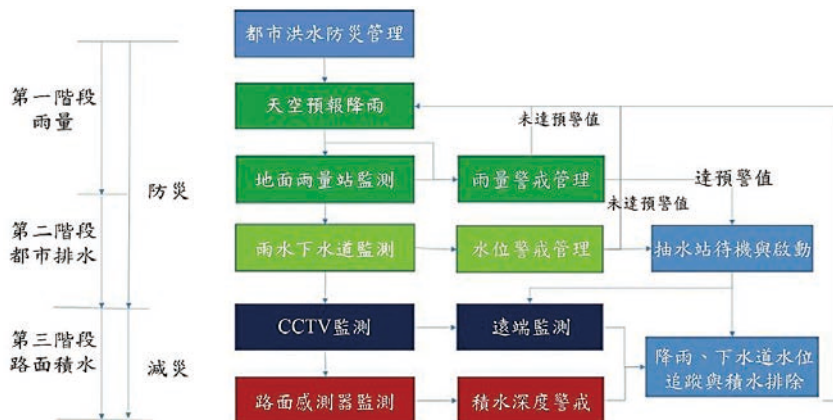


圖 2 都市雨水調適管理流程^[5]

雨量監測與對應作為

在管理調適上，雨量監測指標主要使用雷達回波資訊與地面雨量站即時雨量資訊，依據各項指標的設定情境，執行對應的管理作為。

雷達回波資訊與局部降雨情形具有最直接的相關性，並能夠在降雨發生之前進行觀測，可作為最早期且具空間前瞻性的監測指標，回波資料的更新頻率為每 10 分鐘一次，其空間解析度約為 1.25 公里見方，適用於即時掌握區域性強降雨發展動態。透過雷達影像辨識出回波反射強度，進一步轉換為降雨強度等級，此法可彌補地面雨量站分佈密度不足的區域內的推估降雨量。

智慧防汛平台依據區域的歷史積淹水資料訂定雷達回波強度的門檻值，若無，則以經驗預設值的 40dBZ 作為門檻值。當即時回波強度達到門檻值，且可能發生大雨情形時啟動預警提醒，且自動化追蹤可能發生局部強降雨區域，展示於 GIS 圖台，如圖 3 所示。

地面雨量站部分，為因應不同的降雨型態，設定了不同延時的監測指標門檻值。對於短延時強降雨的情形，考量到致災成因多為地面雨水蒐集設施在短時間內處理不及的特性，亦納入 10 分鐘降雨量 10 mm 的降雨監測指標，並作為關鍵預警監測指標使用。

而根據過去的防汛經驗，在多數降雨情境下，當 1 小時累積雨量達到 40 mm 時，雨水下水道系統通常已經達到半滿管的狀態，因此亦設定為其中一項管理指

標門檻。

當降雨情境達到前述任一指標時，系統會啟動降雨強度判識，若雷達回波強度資訊顯示強降雨仍持續發生時，進行雨水下水道容量評估及主動通知抽水站啟動機組之應變作為。

下水道管網監測與對應作為

然而僅依據降雨資訊進行監測及管理調適操作仍難以因應現今的降雨型態，地面雨量站的空間分布無法密集涵蓋所有區域並反映實際的強降雨空間分布情形。因此，智慧防汛平台進一步納入雨水下水道管網之監測機制，以強化整體水情掌握能力^[7]。

透過雨水下水道系統之水理模擬分析，並參考歷次淹水事件紀錄，可識別出易發生管線滿流的關鍵節點，於關鍵的人孔節點處裝設水位監測儀器，實時掌握管內排水動態。

下水道水位監測的管理原則以監測人孔處的水深高度為判斷基準，每個人孔的水深設定有警戒管理值，此管理值依據不同人孔處因地制宜，或以管徑尺寸大小之半滿管、滿管水深作為標準。當監測水深超過管理值的 1/2 時，通知抽水站待機或啟動抽水，並增加監測的頻率為每分鐘一次；當監測水深達到管理值的 2/3 時，通知抽水站持續抽水並監測附近路面是否有冒水情形發生。透過此機制，在短延時暴雨發生前提早提醒抽水站與水門操作，啟動抽水機組進行待機與

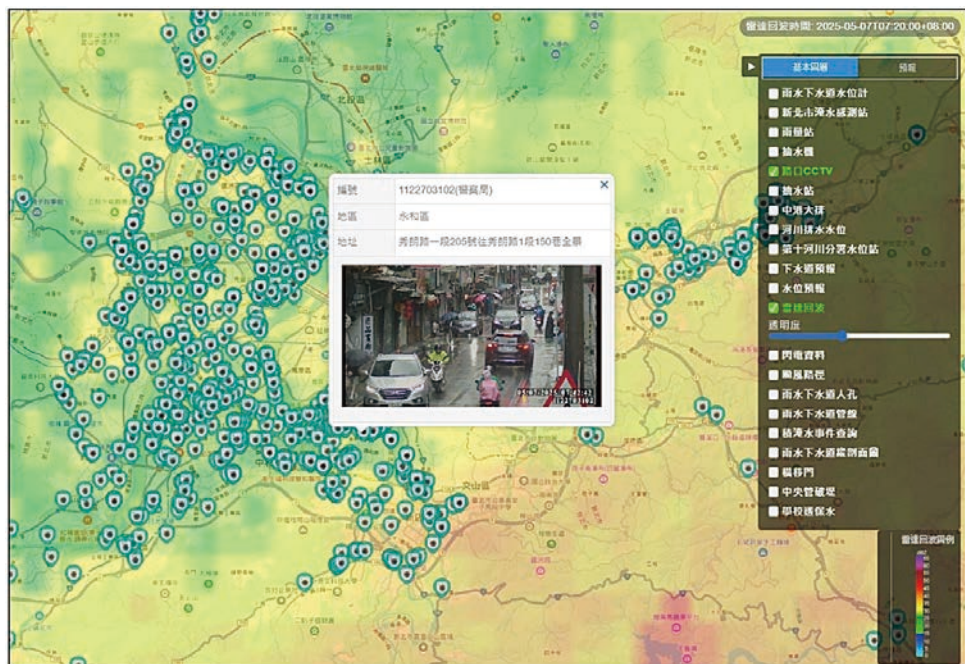


圖 3 雷達回波與 CCTV 即時影響確認^[5]

其他因應作為準備，如圖 4，達到降低路面積淹水發生機率的成效。

路面淹水感測與管理調適機制

為即時掌握都市地區路面積淹水情形，本平台搭配路面淹水感測器與 CCTV 影像進行路面積淹水的判斷。當感測器偵測到水位且達警戒管理值時，系統將即時比對鄰近雨水下水道的水位資訊，判斷是否處於滿管狀態。若下水道系統未達滿管狀態，則可能為道路側溝淤塞或局部阻水所致，此時會通知村里長或地方的防汛人員前往檢查與清理，同時通知下游抽水站同步進入待命狀態或啟動抽水作業，提前釋放雨水下水道系統內部的滯洪容量，以縮短積水滯留時間。

管理警戒值根據感測器位置的地形環境與歷史淹水情形所制定，劃分為兩個等級，較低者為二級，當感測器檢測到水深達到二級時，感測器將由平時的 10 分鐘一次更新轉為每分鐘更新一次監測資料；達到一級時會立即通知現場應變人員與抽水站人員。



圖 4 雨水下水道水位預警推播通知^[5]

CCTV 影像辨識採用深度學習的卷積式神經網路演算法建構，訓練用的影像資料先依據日間、夜間、晴天與雨天等各種情境分類，訓練完成的模式就能辨識即時的影像屬於哪種情境，執行對應作為如預警提醒或推送鄰近區域雨量、下水道與抽水站水位通知防災人員。

藉由兩種監測機制的相互搭配，提升路面積淹水的即時辨識準確性，並提早啟動應變作為，減輕淹水災害對民眾造成的影響。

透過此一整合了感測技術、排水系統監控與抽水站操作的多層次應變管理策略，有助於提升都市排水系統的調適能力與即時應變效率。

系統所介接的降雨量、淹水感測器、雨水下水道水位計、河川水位、抽水站運作以及 CCTV 監測影像等資訊，整合展示於資訊平台網頁上，提供防災人員即時瀏覽與決策參考使用，如圖 5 所示。

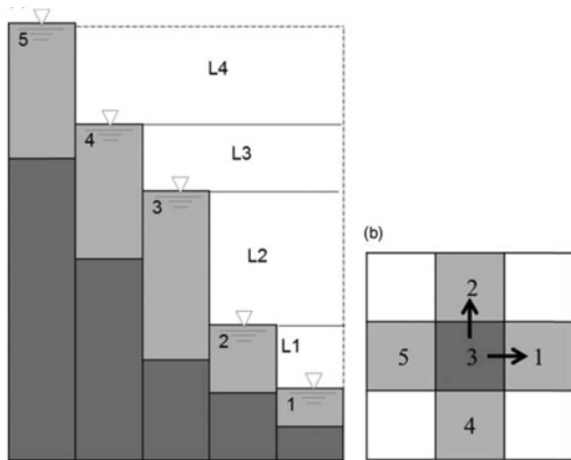
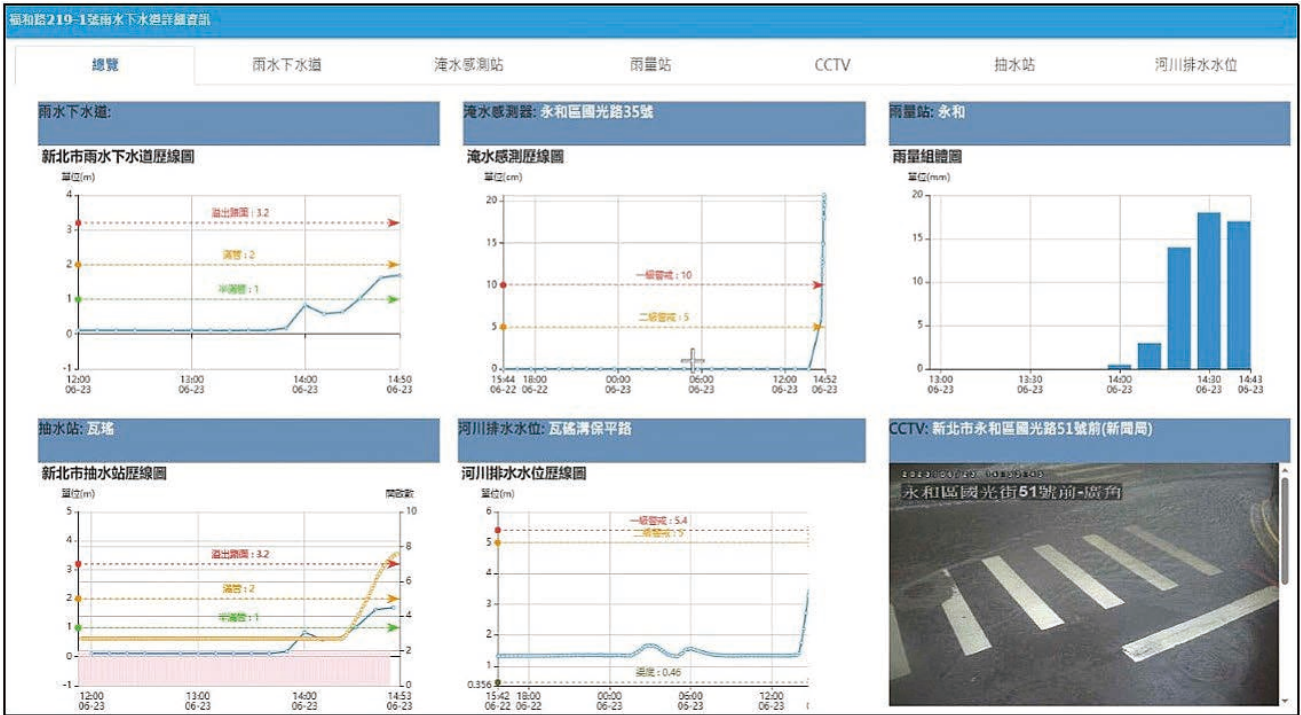
都市暴雨即時模擬預報服務平台

為能夠更加具體地掌握積淹水發生的地點、範圍與水深，淹水模擬的工具仍有其必要性，惟淹水模擬往往都需要較長的計算時間，以往都是運用在災前預想，作為評估區域在不同降雨情境下的淹水情形，如臺灣第二代與第三代淹水潛勢圖。然而此法仍屬被動，且短延時的小區域強降雨情形變化大，事先模擬有相當的難度。

因此，新北市導入了使用臺大細胞自動機快速淹水模型 (National Taiwan University Cellular Automata Flood Inundation Model, NTU-CAFIM) 的都市暴雨即時模擬預報服務平台。現階段以中和、永和與板橋為服務區域，每 10 分鐘產製一次未來 2 小時的預報淹水模擬資料，並推播發生強降雨及可能發生積淹水災害的區域資訊予水利局同仁作為應變決策之參考。

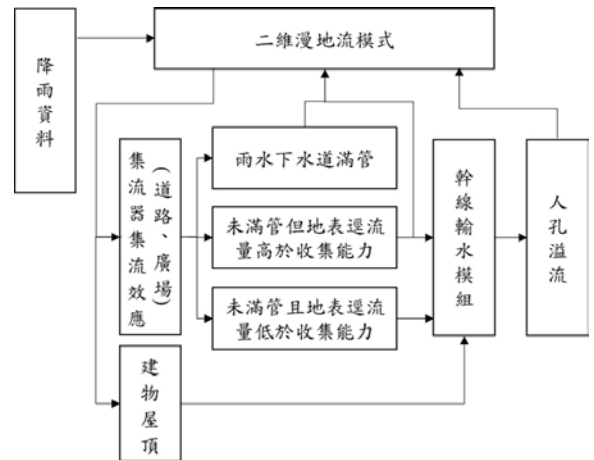
細胞自動機快速淹水模型

此平台使用的二維漫地流模式為細胞自動機快速淹水模型 (Cellular Automata model, CA-model)，此法採用細胞自動機的概念，將每個方形網格細胞與上下左右四個相鄰網格細胞的水位進行排序，藉此決定下一時距各個細胞得到水體量的權重係數^[8]，如圖 6。



此模式有三個特點：(1) 使用基於權重概念之轉換規則來計算中央細胞向鄰域細胞轉移的水量；(2) 中央細胞和鄰域細胞之間轉移的水量受曼寧方程式和臨界流方程式限制並加入慣性修正；(3) 模式中設置較大的更新時間步長 (Update Time Step) 來計算速度場與新的自適應時間步長，以便提高演算速度。

一維雨水下水道的部分，則是採用暴雨經理模式 (Storm Water Management Model, SWMM) 的幹線輸水模組進行模擬水體在雨水下水道系統內流動的過程，漫地流模式與雨水下水道模式的銜接採用雙向演算機制，整體模擬步驟流程如圖 7 所示 [9]。



為了減低模擬輸入雨量資料的不確定性，本系統在每次模擬時使用中央氣象署該時間點即時觀測雨量與未來 2 小時的預報雨量資料，計算未來 2 小時的積淹水情形，並透過模式熱啟動方法達到每 10 分鐘內完成一次模擬的計算頻率，提供盡可能接近實際降雨與排水情形的預估結果。

都市暴雨即時模擬預報展示

淹水模擬預報功能連結網頁展示平台主要提供三大類別的防災參考資訊，分別為淹水預報、雨量地圖、歷史淹水回顧。

淹水預報

淹水預報包含即時預報淹水與歷史預報淹水，即時預報淹水圖展示過去 3 小時內的淹水模擬結果圖，如圖 8 所示。而歷史預報淹水提供查詢過去 1 個月內的即時淹水模擬預報結果。平台亦介接臺灣大學大氣系與中央氣象署合作研發的 DeepQPF 預報雨量進行淹水模擬並展示結果提供參考。

雨量地圖

雨量地圖部分展示觀測雨量資料以及預報雨量資料。觀測雨量圖介接氣象署雨量站的即時降雨量觀測資料產製而成，為提升短延時暴雨的應變能力，系統設定當偵測到 10 分鐘雨量大於 15 毫米或 20 分鐘雨量

大於 20 毫米之情形時，會根據反距離權重法 (inverse distance weighting, IDW) 繪製強降雨區的影響範圍展示於平台中，並搭配推播通知，如圖 9 所示。

預報雨量地圖使用中央氣象署之 1.25 公里網格 QPESUMS 預報雨量繪製展示，介面可切換中和、永和、板橋地區或北北基兩種顯示範圍，點選網格會顯示未來 1 小時預報雨量。網格標色部分，預報雨量大於 40 毫米者以紅色呈現，預報雨量介於 30 至 40 毫米以橘黃色呈現，0.1 至 30 毫米者以淡藍色呈現，低於 0.1 毫米者以深灰色呈現，供防災人員能夠快速辨別可能發生暴雨的區域，如圖 10。平台亦介接臺灣大學大氣系與中央氣象署合作研發的 DeepQPF 預報雨量資料進行展示，提供對照參考使用。



圖 8 即時淹水預報資料查詢介面

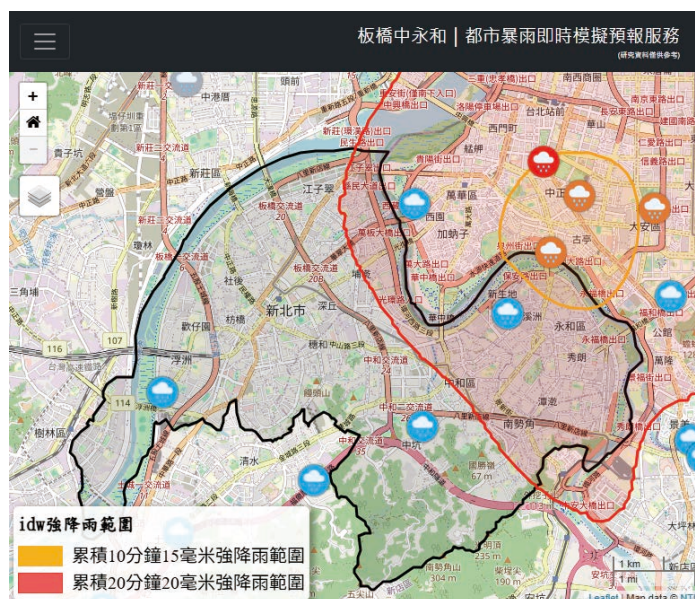


圖 9 強降雨 IDW 範圍圖

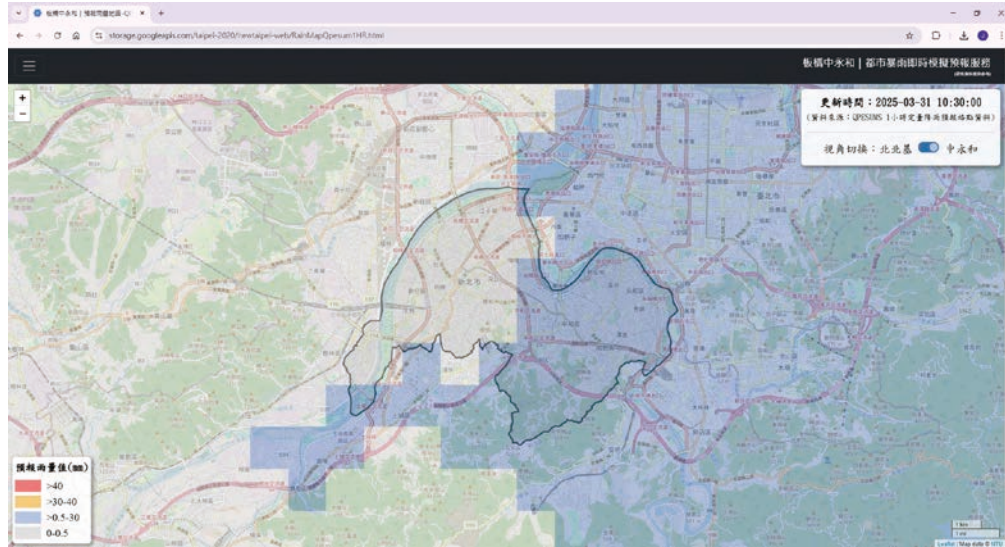


圖 10 即時 QPESUMS 預報雨量展示介面

歷史淹水回顧

歷史淹水事件回顧包含歷史淹水事件模擬結果與歷史淹水事件調查資料，資料涵蓋 2017 年至 2024 年間，中和、永和與板橋地區曾經發生較大範圍淹水災害的歷史颱風及豪雨事件。

歷史淹水事件模擬資料為使用事件當時的地形、雨水下水道管線、抽水站機組以及實際觀測降雨量紀錄，透過快速淹水模式模擬淹水範圍與深度，如圖 11。

歷史淹水事件調查資料根據市政府與消防署的災害調查記錄進行標示，展示當時實際通報有發生積淹水的點位。

警戒訊息推播服務

都市暴雨即時模擬預報服務平台全天候針對雨量進行監測，進行即時淹水模擬分析。針對預報降雨量、觀測降雨量與淹水模擬結果達到各自設定的警戒門檻值時，透過社群軟體主動推播預警訊息予水利局同仁，及早進行應變作為。

當有雨量站的未來 1 小時預報降雨量達到 40 mm 時，針對該站鄰近的區發布預報雨量警戒與時雨量 40 mm 以上區域的 IDW 影響範圍圖，如圖 12。

當觀測降雨量強度達到 15 mm/10 分鐘或 20 mm/20 分鐘的標準時，針對該站鄰近的區發布強降雨警戒通知，如圖 13。

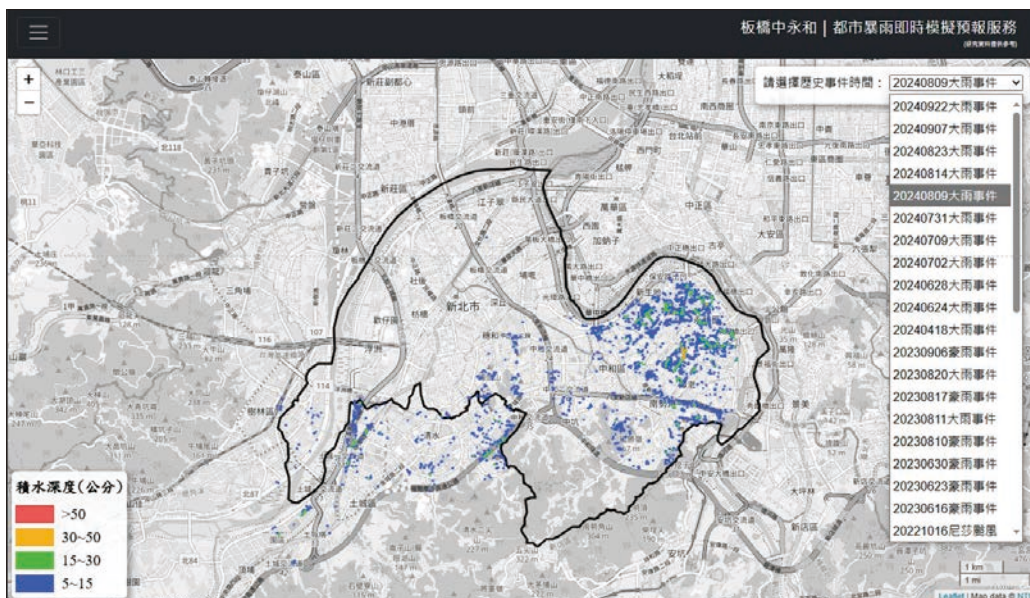


圖 11 歷史淹水事件模擬資料查詢介面



圖 12 1 小時累積雨量超過 40 mm 警戒推播



圖 13 20 分鐘累積雨量超過 20 mm 警戒推播



圖 14 淹水模擬預警推播

針對板橋、中和與永和區域內 29 處易積淹水熱點，如中和區圓通路北二高涵洞旁、永和區永貞永利路口、板橋區僑中二街 102 巷口等地，當未來 90 分鐘有積水發生的可能時（連續 3 次淹水模擬預報皆有淹水發生），發布熱點區域的淹水預警通知，如圖 14。

透過快速淹水模式與即時監測資料的搭配運用，能夠以最接近降雨發生時間的預報資料進行淹水模擬，減少降雨預報不確定性帶來的誤差。搭配社群軟體的即時推播訊息，當模式評估有高機率發生淹水災害時，能夠在最短時間內通知防災人員，提早啟動應變機制作業，避免或減輕淹水災害造成的損失。

此平台的相關資訊，已納入新北市智慧防汛平台之中，後續完成新北市更多區域時，會與新北市智慧防汛平台進行連動，將相關預警資訊、推播訊息相結合。

結語

透過物聯網儀器即時監測技術，智慧防汛方法便能夠整合多源的即時監測數據，進而發展同步的管理調適機制與系統，以災前與災中雨水管理的智慧調適策略，為提升都市對極端天氣事件之韌性提供可行解方。

新北市已建置了介接雨量、河川及下水道水位、淹水感測器、CCTV 影像與抽水站運作情形的資料庫及展示平台，透過即時監測資料與各項指標設定的門檻值進行管理，運用社群軟體即時推播讓應變人員在第一時間啟動因應作為。並搭配快速淹水模式，以 10 分鐘一次頻

率進行全天候的淹水模擬作業，即時掌握對象區域的淹水情形，亦藉由即時推播通報予應變人員。達到即時整合現地監測資料進行風險評估與管理提醒，進一步提升都市雨水管理與防災應變之即時性與智慧化程度。

參考文獻

1. Spyrou et al. (2020). Implementation of a Nowcasting Hydrometeorological System for Studying Flash Flood Events: the Case of Mandra, Greece. *Remote Sensing*, 12, 2784.
2. Varlas et al. (2019). A Multi-platform Hydrometeorological Analysis of the Flash Flood Event of 15 November 2017 in Attica, Greece. *Remote Sensing*, 11, 4.
3. Varlas et al. (2021). Evaluating the Forecast Skill of a Hydrometeorological Modelling System in Greece. *Atmosphere*, 12, 902.
4. Georgakakos, K.P. et al. (2022). The Flash Flood Guidance System Implementation Worldwide: A Successful Multidecadal Research-to-operations Effort. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 103, pp. E665-E679, 2022.
5. 王璽鈞、楊昇學、宋德仁、葉克家、石棟鑫 (2025)，氣候變遷下都市雨水管理調適之防災應用—以新北市智慧防汛為例，*農業工程學報*，71(3)，1-17。
6. 王嘉和、王嘉瑜、游翔麟、曾千瑜、林志峯、張倉榮 (2021)，地表細胞自動機快速淹水－街道集流器－雨水下水道管網之整合模擬分析：臺北市強降雨即時淹水預報平台之研發，*農業工程學報*，67(3)，1-17。
7. 楊昇學、陳高孝、顏慧敏、林宜賢、謝依蓉、宋德仁 (2024)，都市雨水容受力與智慧防災調適，*下水道·水再生*期刊，3:3，23-40。
8. Ghimire, B. et al. (2013). Formulation of a fast 2D urban pluvial flood model using a cellular automata approach. *Journal of Hydroinformatics*, 15(3), 676-686.
9. 林吉堃 (2018)，都會區快速淹水模擬模式之研發與應用，*國立臺灣大學生物環境系統工程學系碩士論文*。



水資源管理 數位轉型 — 全臺水資源管理 作業系統

林正杰* / 經濟部水利署水源經營組 視察

郭純伶 / 經濟部水利署水源經營組 組長

林元鵬 / 經濟部水利署 署長

近年氣候變遷加劇，臺灣也面臨枯旱事件挑戰，為能透過即時掌握水情進行有效節水調度措施，水資源管理數位轉型有其必要。

水利署於 2022 ~ 2024 年建置「全臺水資源管理作業系統」，整合水庫蓄水量、供水情勢、水情監控、濁度資訊等資料，並以視覺化介面及自動化報表產製功能提升決策效率。系統可即時掌握各供水區水情、供水調度與枯旱情勢，協助防旱及水資源調配。未來將導入 AI 技術提升入流量推估精準度、建立枯旱指標、動態研擬供水策略，以強化水資源管理韌性，確保供水穩定。

關鍵詞：水資源管理、視覺化介面、水情日日監看

前言

近年來因全球暖化氣候變遷加劇，枯水期降雨偏少，2020 年豐水期無颱風侵臺帶來足夠降雨，後續 2021 年春雨亦不如預期，造成臺灣百年來最嚴峻旱象。緊接著，2022 年 7、8 月全臺降雨不及平均的 4 成，為史上第 2 少雨，也因此造成基隆地區供水壓力。此外，從 2019 年 8 月下旬白鹿颱風登陸後，至 2023 年枯水期已 3 年多無颱風登陸，亦造成南部地區 2022 年全年降雨量為 30 年來最少，讓臺灣南部地區在 2022 年下半年至 2023 年上半年期間再次面臨旱象考驗，顯示在枯旱風險日益增加的情況下，水資源的經營管理工作日趨嚴峻。因此透過建置系統將相關水資源管理資料數位化，及時介接相關水情資料，並將日常所需水情管控報表朝自動化產製方向精進，有利於及時掌握水情變化及提前進行各項節水調度措施，同時可節省水資源管理人力負擔，更能提前做好防旱工作，實為未來水資源經營管理工作努力方向。

* 通訊作者，a620181@wra.gov.tw

全臺水資源管理作業系統，促進水資源管理邁向數位轉型

為強化水資源管理效率，水利署於 2022 ~ 2024 年建置「全臺水資源管理作業系統」，期盼將重要水資源經營管理資訊整合，提升水資源管理作業成效，亦為水資源經營管理業務邁向數位轉型之重要基礎。本系統經由介接全臺各水資源管理單位之各式水情資料，並開發各式具備高度互動功能之資料視覺化圖表（如圖 1 所示），將現有資訊做有效展示。系統亦具備日常業務報表之填報及自動產製等功能，期盼在現今水資源經營管理業務日趨繁雜及資訊量龐大的挑戰中，協助水資源管理同仁提升業務處理效能。本系統主要功能略述如下：

全臺供水情勢展示

「全臺供水情勢」功能以網頁方式呈現全臺各水庫之蓄水情形總覽，依照庫容大小視覺化呈現所有主要供水水庫之蓄水量、蓄水率、降雨量、入流量、出水量、放水提示，並呈現各供水區之水情燈號，以利即時掌握各供水區枯旱情形以及區內各水庫蓄水情形。

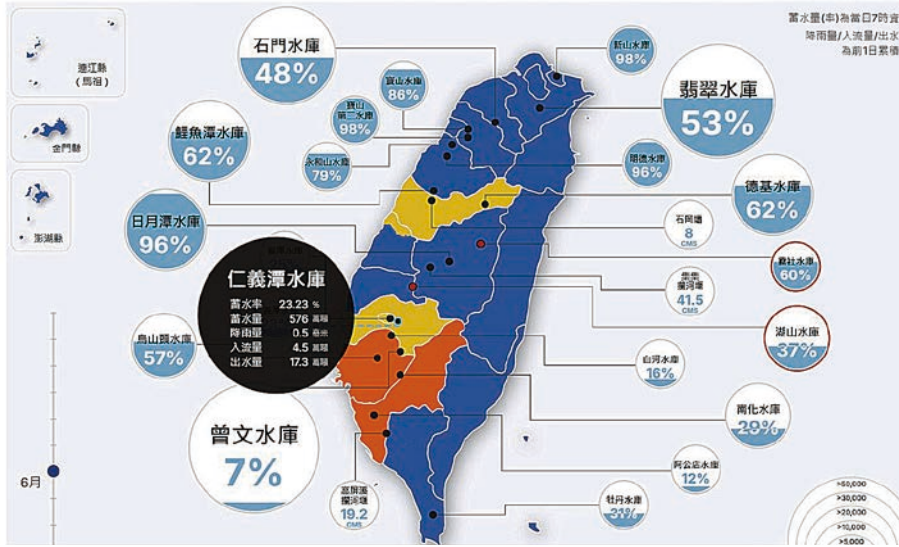


圖 1 全臺供水情勢展示頁面

自來水取供水系統

「自來水取供水系統」功能可分為北、中、南區系統，再分別選取供水調度分區，依日期呈現自來水取供水系統圖，可於圖 2 所示中呈現各供水區水庫蓄水量、蓄水率、入出流量；淨水場之取水量、出水量；同時透過各供水區取供水系統路徑展示，得以瞭解各水源或淨水設施之取水來源及供水去處，有助於水源設施發生狀況時迅速瞭解替代供水路徑，即時評估供水替代方案，確保自來水供水穩定。

水庫運轉歷程

本項展示功能可從北、中、南大分區中，再分別

選取單一水庫，以視覺化圖示方式呈現該水庫 3 日至 14 日內展示區間之水庫運轉情形資訊，包含水位、入流量、放水量、降雨量等，相關資訊可作為水庫防汛操作參考（如圖 3 所示）。

水情日日監看

為掌握每日重要之水情管控數據，水利署每日監看各項重要水情管控資料，包含水庫蓄水量變化、水庫出水量、水源調度量等，並以產出日日監看表方式作為內部管控依據，系統以表格方式呈現每日全臺各供水區之水庫監控數據，包括水庫或蓄水設施之有效蓄水量、與前日蓄水量差、Q80 入流量、實際入流量、10 日平均入

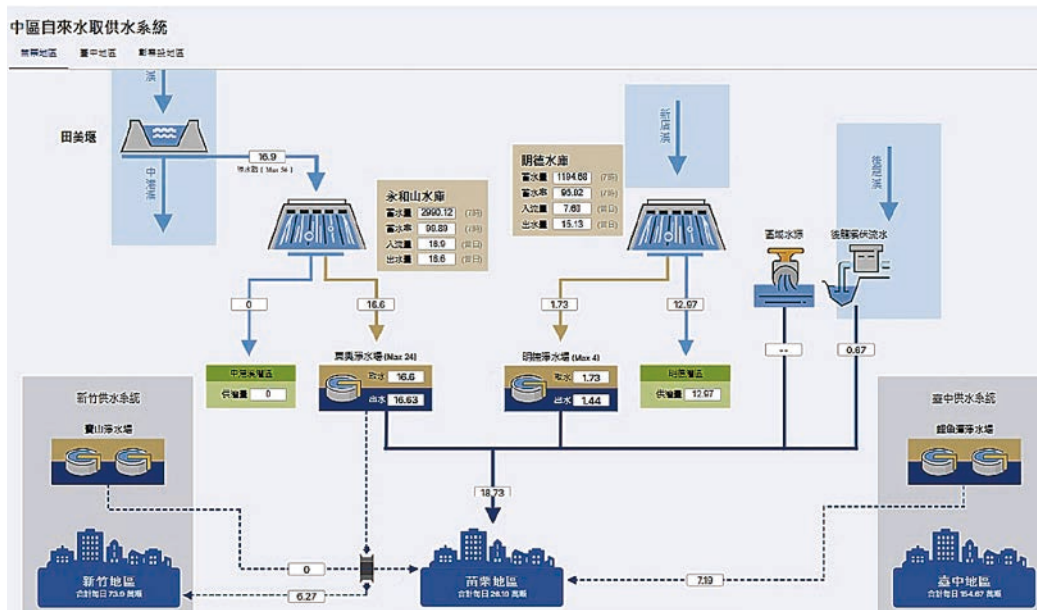


圖 2 自來水取供水系統展示頁面



圖 3 水庫運轉歷程展示頁面

流量、公共出水量、農業出水量及水源調度量等，並包含實測值及各項控管值等。系統提供日期選取功能，依選取日期顯示水情監控資料。表格資料係由系統介接資料或人工填報取得，並由各水資源分署填列修改後，再由水利署核校確認資料正確性後匯出。相關數據除可瞭解各項水情管控措施執行情形外，亦可提供水情管理人員研判各項供水調度決策參考（如圖 4 所示）。

水庫水情曲線展示

以實測曲線呈現北、中、南區各主要供水水庫實際蓄水量變化情形（如圖 5 所示）。同時呈現各月份最枯年、歷史平均、近 5 年平均雨量及實際雨量資料，以瞭解實際降雨量與歷史降雨量之比較及對水庫蓄水之影響。同時系統可加入其他過去特定年份或歷史特定年份區間之同期平均蓄水量變化，得以瞭解目前實際蓄水量與歷史同期蓄水量之差異，以瞭解目前水庫蓄水豐枯情形。

濁度資訊

颱風豪雨階段因降雨造成泥沙入庫，導致水庫蓄水濁度升高，可能對水庫供水造成影響，因此濁度資訊掌握對水庫取水操作甚為重要，本系統可依北、中、南分區，分別呈現重要供水設施、濁度量測點位、濁度值及測量時間等，有助於掌握各主要供水設施之濁度資訊，可做為供水操作決策參考（如圖 6 所示）。

未來推動策略

為進一步發揮「全臺水資源管理作業系統」效能，並因應未來更嚴峻的水資源挑戰，後續規劃持續精進措施如下，以提升水資源管理成效：

導入 AI 技術，強化水庫入流量推估成效並結合系統展示

因目前水庫入流量主要由水庫集水區雨量預報推估，後續規劃應用 AI 技術，結合氣候因子（如土壤濕



地區	水庫	項目	5/1	5/2	5/3	5/4	5/5	5/6	5/7	5/8	5/9	5/10	雨量	5/11	5/12	5/13	5/14	5/15	5/16	5/17	5/18	5/19	5/20
高雄	新山	實際蓄水量	973	974	974	974	974	973	978	977	976	982	--	989	985	979	978	978	978	978	990	970	980
		前日實際蓄水量	1	1	0	1	-1	-1	5	-1	1	4	10	6	-4	-5	-2	1	0	-1	2	-1	1
		進水量	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	8.2	0.0	1.6	4.7	19.6	9.7	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.5	3.1	0.5	1.0
		出水量	0.0	0.5	1.0	0.5	1.0	2.1	3.1	0.5	0.5	0.5	9.8	3.5	4.2	6.2	1.6	0.5	0.5	1.0	1.0	1.0	0.5
	新山	四野出水量	2.1	2.0	1.9	1.9	1.6	1.7	1.9	3.3	3.6	3.7	23.9	3.6	3.7	3.8	3.1	2.5	2.6	2.6	2.8	3.6	3.6
		高橋潭抽水站進水量	2.8	2.8	2.8	2.8	3.0	3.0	2.9	1.4	1.0	23.3	1.1	1.0	0.9	1.7	2.2	2.2	2.2	2.2	1.9	1.1	1.1
		八塊潭抽水站進水量	15.1	15.0	14.9	14.9	14.9	14.8	14.0	13.9	15.6	15.1	148.3	11.8	9.1	10.1	14.2	15.6	15.6	15.6	14.9	14.6	15.7
		潭底抽水站進水量	2.1	2.1	2.1	2.2	1.7	1.1	1.3	1.4	1.3	1.2	16.6	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.3	1.4
		真實進水量	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2	6.1	6.1	6.1	6.2	6.2	61.8	6.2	5.9	5.3	6.2	6.2	6.2	6.1	6.2	6.2	6.2
		空水處理量	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.1	1.1	2.4	1.5	1.2	11.5	1.3	1.4	1.4	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
		合計抽水水量	28.7	28.5	28.8	28.4	28.7	28.8	29.3	29.0	29.6	29.3	289.0	28.7	28.5	27.8	29.5	28.6	29.1	29.5	29.3	28.8	29.2
		實際蓄水量	20238	20193	20073	19799	19690	19768	20218	20176	19757	19470	--	19740	20031	20013	19920	19768	19723	19788	19798	19740	19715
前日實際蓄水量	-120	-43	-120	-94	-120	-94	453	-43	-419	-287	--	270	290	-17	-94	-154	-43	43	0	-26	-26		
石門	水位(m)	244.66	244.61	244.47	244.36	244.22	244.11	244.84	244.59	244.30	243.78	--	244.08	244.42	244.40	244.29	244.31	244.06	244.11	244.11	244.08	244.05	
	水位變(m)	-0.34	-0.05	-0.14	-0.11	-0.34	-0.11	0.53	-0.05	-0.49	-0.34	--	0.32	0.34	-0.02	-0.11	-0.18	-0.05	0.05	0.00	-0.03	-0.03	
	增加蓄水量	253	264	270	280	282	282	321	323	323	323	--	323	324	320	318	318	314	314	314	314	314	
	前日實際蓄水量	-16	12	6	10	2	0	39	2	0	0	--	0	2	-4	-2	-2	-2	0	0	0	-29	
	080	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5	102.5	102.51	132.8	132.8	132.8	132.8	132.8	132.8	132.8	132.8	132.8	132.8

圖 4 水情日日監看展示頁面



圖 5 水庫蓄水變化展示頁面

區域	站號名稱	濁度測量點位	濁度(NTU)	測量時間
北區	青潭壩	長興橋 青潭壩壩下水濁度	2.11	2025-04-29 23:14:00
北區	青潭壩	長興橋 濁水濁度	0.02	2025-04-29 23:14:00
北區	青潭壩	公館橋 濁水濁度	0.01	2025-04-29 23:14:00
北區	青潭壩	長興橋 濁水濁度	0.02	2025-04-29 23:14:00
北區	青潭壩	隔間壩 出水濁度	0.05	2025-04-29 23:14:00
北區	青潭壩	青潭壩 一壩取水口 濁度	2	2025-04-29 23:14:00
北區	五潭壩	五潭壩 濁水濁度	0.01	2025-04-29 23:14:00
北區	烏山水庫	烏山水庫壩底	1.3	2025-04-29 23:18:51
北區	曾文水庫	長興橋 濁水濁度	4	2025-04-29 23:18:41

圖 6 濁度資訊展示頁面

度、蒸發散等) 推估入流量，提升入流量推估成效，並結合系統視覺化展示，作為供水調度決策參考。

建立枯旱指標，作為防旱措施行動值參考基準

因應氣候變遷，在降雨可能不如預期情況下，水資源管理思維已從旱情發生後之抗旱轉變為旱情發生前之防旱，透過各項節水調度以及水庫出水管控作為，提前部署相關防旱措施，係未來水資源管理重要手段，未來將結合系統建立枯旱指標展示功能，並透過水情變化瞭解未來可能啟動防旱措施時機，及早因應準備，減低旱情發生之衝擊。

運用水庫入流推估成果，動態研擬未來供水操作方式

透過水庫入流量之推估，結合水文及枯旱發展趨勢，動態研擬未來供水操作方式，初期將先擇定特定供水區探討試辦，並依試辦結果持續檢討精進。

優化系統水情日日監看填報介面，並導入 AI 技術以提升效率

本系統所展示之日日監看功能將持續精進優化，並規劃導入 AI 技術，讓水情管控未達目標之管控項目

得以自動偵測判釋，除減輕水利署同仁彙整日日監看報表之工作負擔外，亦可提升相關作業效率。

結語

在近年氣候變遷加劇及產業用水成長情況下，未來在台灣水資源供應上面臨的挑戰也更大，水資源管理的數位轉型過程中，其中最重要工作即為水情掌握及水資源調度管控措施的機動性，在臺灣豐枯不均的降雨特性下，透過資訊平台即時掌握主要水庫蓄水量變化，並導入先進之 AI 技術，掌握精準之水情預測，以動態檢討各區水資源調度節水策略，讓有限的水資源做最有效的利用，並達到水庫蓄豐濟枯效果，可提升整體供水韌性。

參考文獻

1. 經濟部水利署，全臺水資源管理作業系統，2024 年 3 月。
2. 經濟部水利署，水情日日監看工作優化勞務採購案中報告，2025 年 7 月
3. 經濟部水利署，114 年人工智慧 AI 應用於水利領域先期計畫期中報告，2025 年 7 月。
4. 經濟部水利署，臺灣各區水資源經理計畫，2021 年 8 月。



臺灣智慧水文監測 技術發展 與 應用服務

馬家驊* / 經濟部水利署水文技術組 科長
李欣融 / 經濟部水利署水文技術組 副工程司
阮香蘭 / 經濟部水利署水文技術組 組長

臺灣長期的水文觀測發展，對國土安全與資源管理具有關鍵意義。這些觀測成果不僅有助於因應氣候變遷，支持地面與地下水資源的運用、颱風豪雨洪水的應變、河道沖淤趨勢的掌握、河防安全的維護，以及河口穩定與海岸變遷的監測。

隨著需求日益多元，水文資訊的整合與加值應用成為趨勢。地理空間資訊的運用、水文 AI 技術的發展，以及各項資源調度，都仰賴完善的觀測資訊提供支援。

因此，水利署未來的水文觀測重點，將不僅止於既有技術的持續應用，而是逐步從「資料收集」轉型為「資料驅動決策」。未來發展方向包括：AI 賦能的觀測、建立水文分析標準化流程、推動系統自動化與 AI 演算、建置可視化平台與智慧預警支援系統，以及強化人才培育。這些措施將有助於落實臺灣水文觀測的永續發展目標，並提升實際應用服務的效能。

關鍵詞：水文觀測、水文分析標準化、水文智慧預警支援系統

Abstract

The long-term development of hydrological observations in Taiwan is crucial for addressing the needs of climate change adaptation, the utilization of surface water and groundwater resources, emergency response during typhoon and heavy rainfall flooding, monitoring riverbed erosion and deposition trends and river defense safety, as well as estuary stability and coastal changes—all of which are key factors in national land and resource management.

In addition, the integration and value-added applications of diversified hydrological information, combined with the development of geospatial data, hydrological AI technologies, and decision-making resources, increasingly rely on observation data for support and utilization, making this an inevitable future trend.

Therefore, the future focus of the Water Resources Agency's hydrological observation development, apart from

continuing the application of existing observation technologies, will shift from data collection to data-driven decision-making. This includes establishing standardized hydrological analysis, automated system-based analysis integrated with AI computation, the construction of visualization platforms for intelligent hydrological decision-support systems, as well as talent cultivation. These initiatives aim to achieve the sustainable development goals of Taiwan's hydrological observation and its applied services.

Keyword : Hydrological Observation, Standardization of Hydrological Analysis, Intelligent Hydrological Decision-Support System

前言

臺灣早期的水文觀測資料主要用於河川流域規劃、水資源開發與防洪工程等，隨科技進步與業務需求擴展，物聯網（IoT）通訊技術已廣泛應用於雨量、水位、潮位等基礎觀測，監測儀器亦由單一功能朝多

* 通訊作者，jmatjc@gmail.com

元整合發展，如結合水位與流速推估流量、整合雨量與氣象要素等，並搭配 4G、5G 等即時通訊網路，用於即時水文分析與預警，然而洪水期間高水位下的流量、含砂量及泥砂觀測仍待突破。

隨著水文監測數據廣泛應用於民生用水、工業用水、農業灌溉及防災資訊等，已成為政府水資訊的重要基礎設施，需要兼顧即時資料預警與長期趨勢研判，也因此將面臨多重挑戰，外在包括氣候變遷、產業用水需求增加、AI 技術迅速興起以及國際觀測標準提升等因素，內部則存在人力不足、觀測業務推動不易、空間資訊掌握不足及惡劣天候下觀測困難等問題。氣候變遷使極端降雨事件更為頻繁，不僅影響地表逕流與地下水補注，亦加劇沿海地區海平面上升與鹽水入侵的風險，因此必須強化即時監測與長期資料整合能力，以提升對豪雨、乾旱、暴潮等事件的預警與應變能力；人口與產業結構的變遷改變了用水的分布與品質需求，需因應不同區域特性調整都市與偏鄉的觀測站網，並加強工業區周邊地表水與地下水監測，以避免超抽與污染，支援水資源調度與產業用水規劃；快速的國土開發對自然水文循環造成壓力，必須整合地表水、地下水及集水區與流域相關資訊，作為水土保持、國土規劃與災害防治的依據，以降低水患與地層下陷等複合性風險；AI 技術的應用可整合雷達、衛星、感測器等多元資料進行即時分析與預測，使水文觀測正從「資料收集」轉型為「資料驅動決策」，建立標準化、自動化的觀測系統與資料治理機制，以提升模型訓練品質與應變效率；另外，國際間正積極推動水文觀測標準化與資料共享，衛星遙測、IoT 感測器與數位孿生^[1,2]等先進技術亦日益普及，推動觀測由地點式走向網絡化與智慧化，臺灣需強化與國際接軌的能力，積極參與區域合作與災害聯防，並引進適應本地環境的新興技術；為因應防汛重點區域的監測需求，水位站設置已擴及中央管排水系統，未來亦需納入小水力發電的監測作業，然而隨著站網規模擴增，維運所需的人力與經費也將增加。此外，惡劣天候下的觀測仍具挑戰，智慧流量與含砂量監測技術尚待突破，雖已有微波雷達與 LSPIV^[3,4]等非接觸式技術投入應用，但仍受限於現地環境設置困難；泥砂監測^[3]在堤防、水工構造物、水力發電、橋梁、海岸漂沙及生態環境等領域皆具關鍵性，但目前自動化監測系統仍相當缺乏，亟需加強技術投入以推動普及應用；水文空間資訊需建置整合性數據平台^[5]，

匯集各類水文資料並提供資料共享、分析與視覺化等功能，以支援臺灣水資源管理與災害防治決策，並朝達成聯合國 SDG6 永續發展目標邁進。

綜合而言，未來臺灣水文觀測需建立先進且具韌性的體系，以因應多重外在挑戰與內部課題，並強化資料整合與應用價值。透過導入創新技術，提升對颱風、乾旱及泥砂等特殊事件的監測能力，推動跨域資料整合與分析，結合氣象、土地利用與社會經濟等因子，提供更科學的水資源管理與災害預警依據，同時打造智慧預警支援系統建立決策展示與知識傳承平台，以支援跨單位、多領域的決策與應用，最終落實聯合國 SDG 永續目標與韌性治理。

執行方法

現場水文觀測資訊的重要性與發展，為了達成臺灣智慧水文監測技術發展與應用服務等目標，水利署刻提出包含「觀測效能提升及技術創新」、「資料整合及數據分析應用」、「智能應用及預警展示平台」及「人才培育及水文資訊服務」等四大執行策略，作為臺灣水文觀測技術提升與應用的發展方向，如圖 1 所示，將水文現場端資料轉為空間資訊數據，進而將資料增值轉為資訊與服務端。細部內容包括現場端之水文觀測及設備維護管理、水文觀測技術提升及研發；數據端之自動化品管及資料整合分析、水文資料庫擴大管理與精進、水文分析應用及參數檢討；分析展示端之水文演算輔助平台、AI 分析技術模組建置、智慧預警展示平台；服務應用端之人力培育及水文分析資訊服務等發展目標。

觀測效能提升及技術創新

現場觀測端將強化維護既有的水文觀測設備及國內水文觀測技術提升及研發等 2 大觀測，說明如下：

在水文觀測與設備維護方面，地面水包含資料下載、流量與含砂量測驗，以及測站新建、遷移、廢止與設備保養檢校；地下水則進行水位與水質監測，並辦理觀測井建置、維護、修繕、洗井與補強，以確保觀測網正常運作；近海部分則監測潮位、暴潮、波浪、風場、流場及氣象要素，強化臺灣近海水文觀測體系與資料應用價值。

在觀測站數量方面，水利署依據社會發展、環境變遷及氣候變遷等因素，定期辦理水文觀測站之通盤

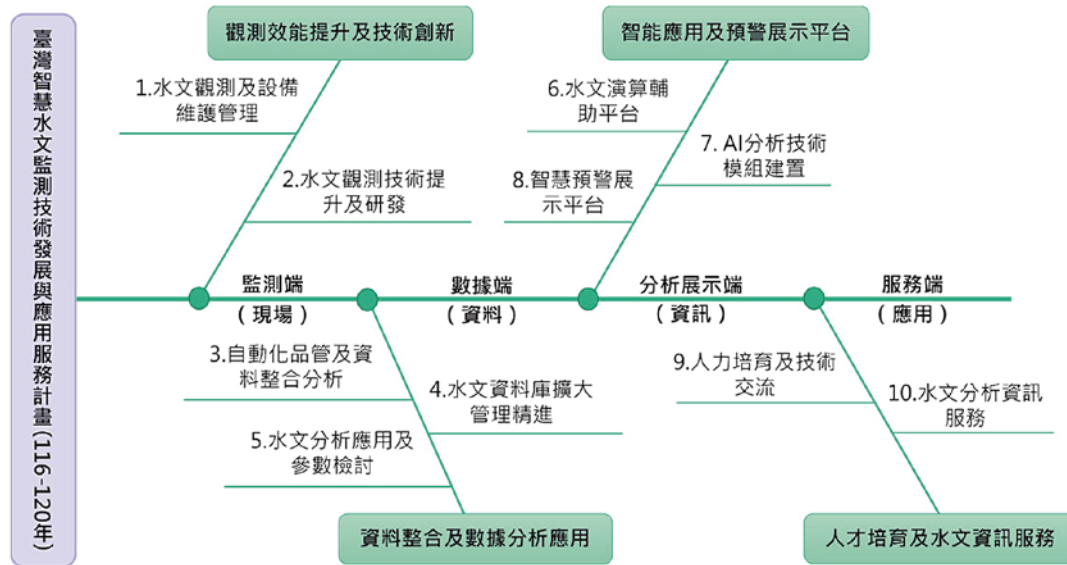


圖 1 計畫實施整體架構圖

檢討，目前已建置地面水文測站（雨量站 213 站、水位站 358 站、流量站 105 站）、地下水觀測站（地下水觀測井 822 口）及近海水文觀測站（潮位站 13 站、浮標站 7 站、雷達站 1 站）等。透過全盤檢討與調整測站設置位置，可提升水文觀測的精確度，進而提升水文分析的準確性與整體觀測效益。

在水文觀測技術研發與提升方面，地面水文觀測著重於精進國內外相關技術，包含遙測技術、自動化觀測、河床質調查及泥砂觀測技術整合等應用；同時導入非接觸式雷達水位計、影像辨識技術、ADCP 流速儀、震波式土砂監測設備、微型漂流浮標及無人載具等自動化儀器設備，以提升現地觀測的頻率與安全性。此外，透過高解析度定量降雨估計關鍵技術，整合氣象雷達、地面雨量站與衛星遙測資料，能對區域或流域在不同時間與空間尺度上的降雨量進行精確估算，增進對降雨事件的時空掌握能力。

地下水文觀測除持續運用傳統地下水觀測井進行水位變化監測外，同步導入非接觸式地下水觀測技術。透過地球物理探測及雷達遙測等非鑽井手段，可在不破壞地表或無需增設觀測井的情況下，進行大尺度地下水量變化評估，以補強現有觀測網絡在空間分布與資料取得上的盲點，建構混合型觀測系統，達成地下水監測智慧化、即時化與全面化之目標，並有助於未來地下水資源管理與地層下陷防治策略的推動。

近海水文觀測為強化臺灣海岸資源保護與防災韌性，亟需提升海岸漂沙、海岸侵淤、河口輸砂與暴潮水

位等觀測技術。目前我國多數海岸地區面臨沙洲流失、岸線退縮及地形劇烈變遷等問題。然而，現行觀測資料在密度與時效性上皆不足，無法有效支撐精準治理與災害預警需求，因此，推動自動化觀測技術的應用，在近岸與河口區設置漂沙、懸浮砂及水動力參數等連續觀測系統，以提升沙源掌握與海岸地形變遷分析效能。

現場調查資訊在數位化與技術標準方面，目前部分水文觀測作業仍須由人員親赴現場蒐集資料，內容涵蓋測量數據、影像紀錄及環境條件等。為提升作業效率與資料品質，未來將導入資訊數位化流程，結合行動裝置與數位表單進行即時記錄，可有效提升記錄效率與正確性，並有助於資料後續整理、存取與分析，也可降低人工作業錯誤及遺漏風險。為統一各單位執行標準，將制定各項水文觀測作業手冊與資料格式，涵蓋地面水、地下水與海象等不同調查類型，建立一致的技术依據，以提升作業品質與成果可比較性，作為後續長期監測與政策決策之重要依據。

資料整合及數據分析應用

觀測資料在進入資料庫前，會先透過自動化品管與資料分析技術，確保水文資料的可靠性與應用價值。再藉由智慧化整合流程，將原始監測數據進一步轉化為預測模型、警戒值設定及治理策略擬定的依據。此階段核心包含三項技術應用：自動化品管與資料整合分析、水文資料庫的擴充與精進，以及水文分析應用與參數檢討，藉以全面提升水文資料的品質、

效能與決策支援能力，說明如下：

1. 在自動化品管及資料整合分析方面，水文觀測資料導入自動化審核與品管分析機制，應用 AI 分析模式並結合跨系統資料庫，自動進行資料檢核與判斷，建立新一代數位化水文資料檢核作業體系。建置觀測站保養與校正履歷，並整合行動檢核 App，以支援現場作業與後續資料分析。同時，在系統端將建立即時資料異常偵測機制，確保水文資料於智慧治理與應變決策中具備高可靠性與應用價值。
2. 在水文資料庫擴大管理與精進方面，除定期辦理系統例行維護與功能更新外，強化系統穩定性監控、觀測資料即時性追蹤、設備狀態回報及觀測中斷管理機制，並將相關資訊回饋至資料庫，以提升系統靈活性，支援防救災人員於災害期間迅速查閱資料，增進異常觀測站管理與應變能力。同時，將建置統一的水文資料庫平台，進行全面性資料彙整與分類管理，透過標準化資料格式與儲存架構，確保歷史與即時資料的完整性及一致性，提升資料品質控管與應用效率。後續強化資料庫硬體資源，藉由平台與硬體優化，大幅提升全國水文資料整合效率、查詢效能與應變支援能力，打造多元、開放且安全的資料服務環境，支援智慧水資源管理與防災決策應用。
3. 水文分析應用及參數檢討：推動水文加值應用，建立水文分析標準化作業模組與預警機制，並定期檢討警戒值，以提升分析精度與決策支援效能。
 - (1) 水文分析標準化及輔助作業模組¹⁶：建置線上水文分析輔助作業模組，整合既有水文與水理模式，提供即時分析服務，提升成果品質並減少人力成本，同時培育兼具系統建置、水文判讀與資料分析能力的人才，並為後續數位孿生及 AI 應用奠定基礎。
 - (2) 預警機制建立與警戒值檢討，地面水納入近期整治成果與實測斷面資料，以提升警戒基準的準確性與即時性，並導入物聯網觀測資料、空間降雨預報及即時水位資訊，結合自動化分析與預報模型，提供河川高水位預警與決策支援，協助各單位即時查詢與趨勢研判。地下水部分整合水位、地層特性、抽水紀錄與水質參數，並針對補注潛勢評估與地層分類，研擬分區管理與評估機制。推動地下水水位預警機

制，結合模擬成果與預警參數設定，提供超抽警示與用水管制建議。海岸治理及分析應用，導入 AI 技術監測海岸地形變遷，結合無人機影像與衛星遙測資料，透過深度學習與影像辨識自動萃取海岸線等地貌變化特徵，進行長期變遷追蹤分析。未來建立 AI 監測流程，整合浮標、潮位站氣象預報資料進行動態建模，建構高解析的海況圖，支援海岸保護設計、災害風險評估與政策規劃。

智能應用及預警展示平台

人工智慧具備快速整合龐大資料並提供決策建議的優勢，因此建置智慧預警支援機制，提供跨領域、即時且具預測力的資訊服務，並透過水文資訊視覺化與智慧化平台進行展示，其中包含水文演算輔助平台、AI 分析技術模組建置及智慧預警展示平台等技術應用，說明如下：

1. 水文演算輔助平台建置模組化、高整合性的水文分析系統，可支援年度水文資料接收與更新，依據作業規範進行水位－流量、雨量、流量模擬等分析與建模，並提供決策建議與視覺化展示，亦可串接 AI/ML 模型，自動產出報告、圖表與資料下載。平台將整合資料接收、前處理、水文演算、水文模擬、AI 輔助、視覺化展示與決策預警等自動化模組，大幅提升水文分析的自動化與標準化程度，強化資料從接收、處理、分析到決策建議的完整流程，提供精準、高效且可視化的分析支援環境。
2. 水文整合資訊智慧預警輔助（洪、旱）支援展示平台：為整合水文、地理與風險資料的智慧預警系統，透過 API 串接即時與歷史觀測資料，搭配水文模型與地理資訊，進行洪水、旱災、地下水與氣候變遷等風險的整合分析，模擬特定降雨條件下可能發生的淹水或堤防損壞情境，提供具地理空間指標的預警輔助。同時，系統納入極端氣候下的水資源與用水風險評估，建構旱災風險分析模組，支援水資源調度與應變策略；針對地下水位變化造成的地層下陷或土壤液化風險，平台將整合監測與地質資料進行模擬，提供潛勢熱點與預警建議。另納入氣候變遷情境模擬，評估長期趨勢對水文環境、水資源可用性及災害風險的影響，協助政府進行中長期資源規劃與政策制定。

3. 新技術導入 – 模型數位孿生是指針對實體世界中的物體或系統，建立一個虛擬數位模型，以模擬不同河段的水位變化。此模型可即時接收現地感測數據進行模擬與預測，並可雙向互動。此技術結合感測器、物聯網 (IoT)、人工智慧 (AI) 及大數據分析等技術，河川水文觀測與水理計算符合其應用條件，可於後續發展中即時呈現模擬結果，未來透過即時數據與動態模擬，能協助決策者更快速且準確地進行判斷與決策。
4. AI 分析技術模組透過 AI-Agents 整合各種水文資料來源，提供跨領域整合性答案作為智慧決策支援依據。於不同資料庫間進行資料整合與串接，如水庫水位、河川流量、地下水位、潮汐、雨量等，再結合氣象資料、地理資訊 (GIS)、土地利用及災害潛勢圖層等資料，依據水文業務需求開發各類預測模組，例如水庫水位預測與放水建議、中長期無降雨下的地下水位變化或補注情況預測，以及洪水警戒水位與未來 3 至 5 旬的乾旱預警等技術應用，全面提升水文決策的智慧化與前瞻性。

人才培育及水文資訊服務

為提升資料應用效益與決策輔助能力，將成立國內水文技術人才資料庫，用於開發水文分析工具與加值應用，並整合國內學術研究機構及電腦資訊工程能量，協助建置智慧化水情分析與資訊整合系統，支援現場觀測人員、技術分析人員及防災決策單位，提供準確且即時的資料判讀與情勢研判能力，從資料蒐集、分析處理、視覺化呈現至決策支援，全面提升資訊服務的深度與效能。此外，透過此資料庫的建立，可同步強化人力與技術發展，減輕現場單位在技術轉型過程中的負擔，確保未來各項水文業務執行之順暢與品質穩定，推動智慧化水利治理目標之達成。


結語與展望

水文觀測是水利建設、防災預警、地面與地下水資源管理及海岸防護及保護等工作的基礎，長期累積的水文資料是辦理河川及排水整治、推動河川海岸及排水環境營造、地下水資源管理、地下水補注以及建構水空間資訊的重要依據。未來必須有效運用資源與技術，才能精準監控並因應各類管理需求，降低天然災害造成的損失，透過資料整合與分享，可建立高效率的水文資訊服

務體系，藉由網際網路使水文資料的蒐集與加值分析更加快速便捷，深化數位應用並提升政府施政效能。彙整未來臺灣水文觀測發展與執行策略：

1. 在觀測效能提升及技術創新 (觀測現場端)，除持續維護既有水文觀測作業外，將研發本土化河川流量與土砂觀測技術，補強現地觀測輔助設備工具，並開發動態流量觀測與計算輔助工具等，持續針對臺灣惡劣水文環境條件下的觀測方法進行改革與突破，藉此擴充與強化現有觀測能量，提供國家建設與防災決策所需的高品質水文資訊，以因應未來異常氣候變遷挑戰。
2. 在資料整合及數據分析應用 (資料端) 與智能應用及預警展示平台 (分析端)，後續擴充與維護水文資料倉儲與開放資料平台，全面提升水文資料品質與應用價值，優化資料整合與管理流程，增進資料即時性與可用性，並透過統一平臺與 API 服務，提升使用者取得與應用資料的便利性。同時，結合感測器、物聯網 (IoT)、人工智慧 (AI) 及大數據分析等技術，未來可透過即時數據與模擬，協助決策者做出更快速、準確且多元的智慧判斷。
3. 人才培育及水文資訊服務 (展示端) 除滿足水文業務功能需求外，將參考國內外實務經驗，建立使用者分級與資料分類架構，確保營運永續，並推動水文資訊加值服務，發展視覺化、決策支援與趨勢預測等模組，支援政府政策制定、學術研究與產業發展，全面提升資料應用效益與社會價值。

參考文獻

1. Yang, Y.F., Xie, C., Fan, Z. W., Xu, Z.H., Melville, B. W., Liu, G.Q. and Hong, L., (2024). "Digital twinning of river basins towards full-scale, sustainable and equitable water management and disaster mitigation", *Natural Hazards*, Vol. 1.
2. Kreuzer, T., Papapetrou, P. and Zdravkovic, J., (2024). "Artificial intelligence in digital twins—A systematic literature review", *Data & Knowledge Engineering*, Vol. 151.
3. 水利署 (2023)，中央管河川自動化土砂量測技術之發展應用，經濟部水利署研究報告，臺北。
4. 水利規劃試驗所 (2024)，非接觸式人工智慧流量自動觀測技術應用研究，經濟部水利署研究報告，臺北。
5. Carlos Gonzales-Inca, C., Calle, M., Croghan, D., Haghghi, A. T., Marttila, H., Silander, J and Alho, P., (2022). "Geospatial Artificial Intelligence (GeoAI) in the Integrated Hydrological and Fluvial Systems Modeling: Review of Current Applications and Trends", *Water*, 14, 2211.
6. 水利規劃試驗所 (2024)，水文分析參數方法標準化作業精進之研究。 



生態水利於數位轉型下之 應用與展望

黃國文* / 國立臺灣大學水工試驗所 技正暨特約研究員

黃耀陞 / 國立臺灣大學土木工程學系 碩士

楊欣樺 / 國立臺灣大學水工試驗所 計畫專員

生態水利學強調水文環境與生態系功能之整合，近年在政府推動自然工法、生態工法與工程生態檢核政策下，其應用重要性更為提升。然而，棲地品質評估需同時整合生物與環境因子，現地資料取得不易，致多以文獻推估替代，難以反映即時生態狀態。隨著人工智慧（AI）影像辨識與物聯網（IoT）水文水質感測技術成熟，棲地品質監測逐漸由人工定量轉向即時且連續之數位監測模式。以 AI 影像辨識魚類行為與族群組成，結合水位、水質、氣象等感測資料，可建構多類型棲地因子之資料，並透過統計分析方法推估棲地品質指標。此外，數位孿生（Digital Twin）技術可進一步將棲地環境於虛擬域中模擬、預測與情境分析，做為復育設計、調度操作及風險預警之決策支援。本文提出之棲地品質數位整合架構，將有助於實現水利工程與生態永續兼顧之智慧化治理。

關鍵詞：人工智慧、物種辨識、棲地品質、數位監測、數位孿生

前言

生態水利學（Ecohydraulics）是一門高度跨學科的學術領域^[1]，生態水利學是透過量化生態學和水利學的關係，來發展有效的措施，以減輕或彌補水利工程對生態造成的負面影響，或以水利工程方法增加生態系統效益^[2-4]。它整合了多個學科的知識，包括生物學（Biology）、生態學（Ecology）、河相學（Fluvial geomorphology）、水文學（Hydrology）及水利工程學（Hydraulic engineering）等。而生態水利學將生物與環境量化整合之量化棲地品質，為目前常用之關鍵指標^[5]，特別於近年政府大力推動自然工法、生態工法/工程、工程生態檢核^[6]、自然解方等作為下，更需要具

持續性、即時性、自動化判釋之棲地品質量化指標。惟棲地品質量化常需整合生物與環境因子，兩類因子現地調查資料取得不易，因此目前大部分常以文獻引用方式進行評估。

隨著全球數位化浪潮，「數位轉型」成為全球公共建設與環境治理的核心議題，近年人工智慧（AI）與物聯網（IoT）技術的成熟，使得以往依賴人工調查與定期採樣的生物及環境監測，部分得以轉變為即時、連續與高解析度的數位監測系統。例如環境部自 2020 年起推動的「智慧水聯網」^[7]，以水質感測器與 AI 分析進行每分鐘級監測（pH、導電度、溫度、溶氧等），連結網路作為異常警示與執法佐證的底層資料，現已於多縣市擴大建置。Shah *et al.*^[8] 開發基於深度學習的增強型 YOLOv5 模型，應對水下環境複雜和資料集類

* 通訊作者，gwhwang@ntu.edu.tw

別高度不平衡的挑戰，顯著提高水下魚種識別的準確性。Yang *et al.*^[9] 指出流域數位孿生應結合資料流、資料治理與可互操作之物理—資料驅動混合模型，以支援水質預測、環境流量管理與災害減緩等決策；相關研究亦提出了數位孿生架構藍圖與關鍵能力清單，凸顯資料、模型與跨域協作的挑戰與路徑。

在環境與生物因子之 AI 自動化判釋及監測持續發展下，本文將以 AI 影像辨識、水文水質感測與雲端資料整合為核心，探討棲地品質量化之數位整合系統，未來可運用「數位孿生」結合自動化辨識水域物種、監測水位變化、評估水質指標，並結合空間分析推估棲地適生性與長期變遷趨勢，提供水利設施與生態工程整合設計的重要依據。

AI 物種辨識技術的發展與應用

現況文獻案例

在淡水河與蘭陽河流域已有相關透過設置水下攝影機與 AI 影像辨識模型之案例，系統能自動辨識如吳郭魚、溪哥、香魚等主要魚種，準確率達 92% 以上。未來可依影像時間序列統計出棲息密度與行為活動週期，建立長期棲地監測資料庫。Boom *et al.*^[10] 介紹一個創新的跨學科研究工具，透過自動分析水下攝影機所記錄的長期且連續的影片內容，以支持海洋生態學家對珊瑚礁魚群組合進行研究。這個系統的獨特性在於其能夠處理極為龐大的監測數據量，例如目前已處理了約一年份的影片，其中包含超過 400 萬次魚類觀察記錄，這使得人工檢視變得不可行。為應對巨量數據的挑戰，該系統利用高效能計算設施進行處理（使用多達 1,000 個 CPU）和儲存（200 TB），並整合了多種自動化影像處理技術，包括使用如 ViBe 等演算法進行魚類偵測，採用 covariance-based 模型進行追蹤，以及利用平衡保證優化樹（BGOT）等方法來識別魚種，以實現魚群豐度與物種組成的分析。

Fish4Knowledge^[11] 計畫以臺灣珊瑚礁海域為場域，蒐集超過 8.7 ~ 9 萬小時的水下影像並自動偵測 14 億次魚類目標，是全球最具代表性的長期水下視覺生態大數據專案，對於長期族群趨勢與模型訓練資料公開具有開創性。另一方面，iNaturalist 的群眾科學影像與電腦視覺模型，持續滾動更新（例如 2024 年

v2.11），已被廣泛用於物種分布、行為、分類改良與生物多樣性變化等學術研究，顯示社群影像補強野外資料方面的價值。

影像辨識技術在生態調查之突破

傳統的生態調查多仰賴人工辨識與目視紀錄，不僅耗時費力，也受限於人員經驗。AI 深度學習（Deep Learning）在影像分類上的突破，使得自動化物種辨識成為可能。以卷積神經網路（CNN）為基礎的模型（如 ResNet、EfficientNet 等）可透過數千張標註影像進行訓練，達到對魚類、鳥類、兩棲爬蟲等高精度辨識。以深度學習為核心的水下影像辨識，在魚類偵測、行為辨識與族群趨勢上已具可用性。NOAA 團隊提出的強化版 YOLOv5 架構（引入 transformer 模組與類別不平衡損失）在魚類辨識上顯著提升精度與速度，展示了在受限算力環境中的落地潛力^[10]。

運用 AI 物種辨識技術的突破性發展，未來可應用於生態調查，突破目前受限於人力、交通、時間及經費等限制，無法完整蒐集調查生態資料之困境。未來將可建構具空間及時間完整性之生態資料庫，以利相關生態水利學及工程施做之參考使用。

棲地品質數位監測系統架構

棲地品質指標量化

在行政院公共工程委員會^[6] 規定下，各單位於工程規劃設計執行階段部分需辦理的工程生態檢核，例如水利署提供生態評估分析表與快速棲地生態評估表等工具，將水文水理—棲地—友善措施連動於工程規劃期，利於與 AI 監測輸出銜接。而水利署河川環境資訊平台彙整指標魚類生活史與棲地適合度曲線等資訊，作為生態工法與復育設計參考。

依據美國 EPA 與我國生態工法指標體系，棲地品質指標可分為三類：

1. 物理棲地結構：水深、流速、底質組成；
2. 水質環境：DO、pH、溫度、濁度；
3. 生物指標：生物密度、優勢種比例、群聚多樣性（Shannon Index）。AI 系統可將多類型資料整合後，以包絡線、模糊邏輯或主成分分析（PCA）等統計方法計算棲地品質分級，提供動態生態健康評估。

複合模式感測資料整合

國內縣市環保單位已在重點水域（如日月潭、工業區排水等）部署微型水質感測器，透過物聯網與太陽能供電實施即時異常通報與稽查；中央平台並提供河川監測資料與污染指數查詢，支援研判與教學示範。除了國際常用的生物多樣性與物理／化學指標外，國內工程實務亦發展了快速棲地生態評估表與水利署規劃設計階段生態評估分析表等工具，提供水域型態多樣性、過渡帶／底質、生物指標的原則檢核與友善措施建議，便於在規劃階段納入生態考量。

未來可整合影像感測（AI 影像辨識）、水位感測（超音波或壓力式水位計）、水質感測（pH、溶氧、濁度、電導度）及氣象資料（溫濕度、雨量），透過 LoRa 或 NB-IoT 模組回傳至雲端資料庫。資料以時序格式儲存，支援即時視覺化與異常警示。這部分棲地環境因子之數位化、長期且即時監測，即可建構棲地品質數位監測系統之資料，如圖 1，為棲地品質量化之重要基礎。

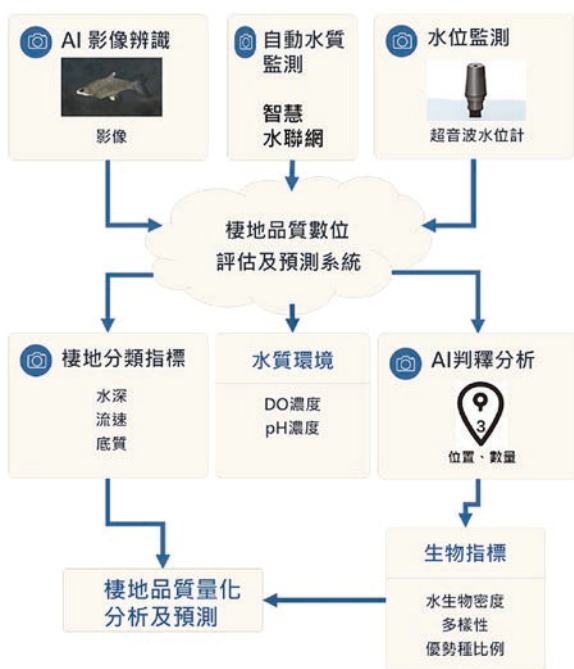


圖 1 AI 物種辨識技術及棲地品質量化之發展與應用示意圖

數位孿生之棲地評估與決策支援

數位孿生（Digital Twin）應用

數位孿生（Digital Twin, DT）是一種高度創新的虛擬技術，旨在將現實世界的物理實體或系統，在虛擬空間中創建一個整體且生動的虛擬複製品^[12]。數位孿生技術應用於自然環境，結合了基於物理的知識與數

據驅動的洞察，在解決重大環境挑戰（如水質惡化、極端水文事件、地貌改變和生物多樣性喪失）方面具有巨大的潛力^[13]。

Yang *et al.*^[9] 探討數位孿生流域（Digital-twin river basins）的框架、核心能力，以及在全球範圍內實現全面、永續和公平的水資源管理及災害緩解所面臨的重大挑戰。數位孿生流域被視為應對日益加劇的水災（如 2021 年德國 / 比利時洪水和中國鄭州洪水）以及實現聯合國永續發展目標（SDGs）的根本性轉變和關鍵解決方案。一個功能完善的數位孿生流域系統不僅是一個水文或城市水模型彙編，它必須足夠全面，能夠涵蓋所有與水相關的物理過程（包括水文、水力學、生態影響、人類活動及主要工程設施的運作）。此系統應具備預報、早期預警、演練和情境規劃這四項基石能力，以支持近乎即時的綜合智慧風險評估和決策制定。儘管數位孿生技術正在加速改變水資源管理方式，但其全球應用仍面臨三大挑戰。

1. 數據能力不足：數位孿生所需的數據（包括水質、水需求、污染物、流域形態和設施運營等）標準遠高於傳統用途。現有數據基礎設施需要重大升級，以支援更全面、更標準化的數據採集、治理與提供服務
2. 模型整合困難：現有的水模型往往未有效整合，且缺乏多物理過程的耦合，難以反映流域尺度的所有基本相關物理過程。例如，傳統方法常忽略洪水期間水體與地貌之間近乎即時且非線性的雙向交互作用。解決方案可能在於發展緊密耦合的模型框架，並利用物理資訊深度學習（PIDL）等先進的數據驅動方法。

因此研究人員、從業者和決策者必須採取果斷行動，優先研究並分配資源，促進跨界合作，以建立整合且廣泛的數位孿生流域系統，促進全球水資源的可持續性與韌性。

Pal *et al.*^[12] 提出流域數位孿生（Digital Twin, DT）概念性的藍圖與結構化框架，旨在將這一前瞻性的願景轉化為現實。流域數位孿生被定義為一個整體且生動的虛擬複製品，透過即時監測、歷史觀察、數據分析、預測建模和高效能計算的無縫整合，成為流域管理中創新的虛擬範例。該系統透過持續的雙向回饋迴路，超越了現有的決策支持系統（DSS），目標是優化運營效率、彌合關鍵知識差距，並持續推進流域決策過程。該藍圖提出了一個六維結構框架，包含實體流

域、後端基礎設施、數據、建模、服務和連通性。其中，數據是數位孿生的燃料，強調多域（氣候、水、土地、社會、經濟）數據的連續採集、標準化和融合；建模是驅動因素，需要結合結構、物理基礎和數據驅動的方法，並將混合建模視為增強預測能力和可解釋性的未來趨勢。設計實施遵循單元（Unit）、系統（System）和系統之系統（SoS）典範轉變工具。

目前數位孿生發展仍受限於部分數據能力不足及模型整合困難，故需進一步投入資源研發，惟其發展目標與生態水利之棲地品質量化一致，可作為決策支援系統架構。

AI 輔助決策

透過結合 AI 辨識與即時感測資料，可建立「生態棲地數位孿生模型」，如圖 2，模擬不同水文條件（枯水期、豐水期）下棲地變化。此模型可用於：

1. 生態工法設計前之敏感度分析；
2. 河川復育方案的成效追蹤；
3. 水利設施運轉（如堰、閘門開度）對棲地影響之動態模擬。

利用 AI 進行時間序列分析與預測，可提前偵測生態風險，如突發性濁度升高、溶氧下降或物種異常遷移，作為生態警示與水利操作調度之依據。未來更可與自動控制系統及自動判釋結合，達成智慧河川管理，更進一步發展數位孿生之棲地評估決策系統。

未來展望與挑戰

儘管 AI 與數位監測技術展現出強大潛力，但仍面臨若干挑戰：

1. 影像資料判釋成本高：物種辨識需仰賴大量人工標註，資料共享平台尚待建立。
2. 感測設備耐候性：水下環境易造成鏡頭污損與資料遺失。
3. 跨領域整合需求：水利工程師、生態學家與資訊科學家需建立共同語言。
4. 倫理與資料治理：AI 應用於生態監測須兼顧隱私、保育倫理與開放資料政策。

目前需持續發展推動之方向：

1. 資料治理與共享：建立在地資料庫（含水下影像與群眾影像）與模型紀錄適用範圍，串接水利署評估表與河川環境資訊平台，使 AI 指標 → 工程檢核 → 規劃設計調整，形成完整 SOP。
2. 感測器耐候與維護策略：在感測端導入自動鏡頭清潔、遮陽罩、電蝕防污與遠端自檢；在資料端布建品質控制（QC）規則與異常回補方法。
3. 跨域培力：以共同詞彙與可互操作 API，讓水工、生態與資料團隊協作；並建立實驗場域（living lab）加速政策落地。

未來可朝「開放式生態資料平台」與「跨域 AI 模型共享」發展，透過政府與學術研究機構協作，建立具在地化特徵的水生生物 AI 模型，結合無人機、衛星

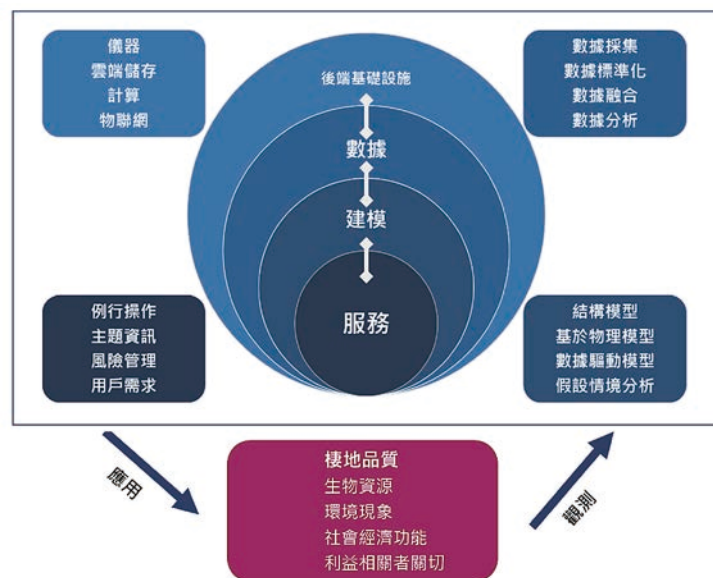


圖 2 數位孿生之棲地評估與決策支援示意圖

註：修改自 Pal et al. [12]

遙測與數位孿生河川模型，達成水利工程與生態永續共榮的目標。

結語

本文回顧生態水利學在數位轉型下之新興工具與發展方向，並提出棲地品質數位監測與數位孿生之整合架構，其主要結論如下：

1. AI 有效補強傳統生態調查限制：AI 影像辨識可突破人力、時間與區域可及性限制，建構具時間連續性與空間覆蓋度之生態資料庫，提升生物因子量測之精度與完整性。
2. 多類型感測資料是棲地品質量化的核心：水深、流速、底質、水質及生物指標需以感測系統長期與即時量測，方能建立棲地品質指標之穩定估算基礎。
3. 棲地品質量化指標必須與工程規劃流程連結：透過結合生態評估分析表、棲地適合度資訊與感測監測，可以形成監測－評估－設計－調整之工程生態檢核流程。
4. 數位孿生為智慧河川管理的重要方向：數位孿生可用於情境推算、生態風險預測、水利設施操作模擬，進而支援治理決策與生態影響降低。
5. 跨域協作與資料治理為推動之關鍵前提：生態學、水利工程與資料科學需建立共同資料格式、共享平台與判釋機制，才能擴大 AI 模型可用性與推廣性。

生態水利在數位轉型下的核心不僅是工具技術，而在於建立長期持續、資料完整、自動化的知識累積與決策系統，以達成水利工程與生態保育之智慧共榮目標。

誌謝

感謝國家科學及技術委員會、內政部國家公園署、農業部林業及自然保育署、宜蘭縣政府及國立臺灣大學水工試驗所提供相關經費協助。

參考文獻

1. Ian Maddock, Atle Harby, Paul Kemp, Paul Wood (2013). Ecohydraulics: an integrated approach. John Wiley & Sons.
2. 李鴻源、胡通哲、施上粟 (2012)，水域生態工程，中國水力水電出版社。
3. 吳富春 (1999)，生態水利工程，土木水利，第 26 卷第 2 期，第 11-15 頁。
4. 施上粟 (2022)，漫談生態水利自然解方，土木水利，第 49 卷第 2 期，第 6-10 頁。
5. 郭品含、黃耀陞、黃守忠、黃國文 (2022)，生態水利的起點—知己知彼從環境調查開始，土木水利，第 49 卷第 2 期，第 11-16 頁。
6. 行政院公共工程委員會 (2023)，公共工程生態檢核注意事項。
7. 環境部 (2020)，中央地方攜手合作全面啟動臺灣智慧水聯網，<https://enews.moenv.gov.tw/Page/3B3C62C78849F32F/2042f3c7-e254-47af-aeca-3a6999f0178c>
8. Shah, C., Alaba, S.Y., Nabi, M. M., Prior, J., Campbell, M.D., Wallace, F., Ball, J.E., and Moorhead, R. (2023). An enhanced YOLOv5 model for fish species recognition from underwater environments. In Ocean Sensing and Monitoring XV (Article 1254300). SPIE.
9. Yang, Y., Xie, C., Fan, Z. et al. (2024). Digital twinning of river basins towards full-scale, sustainable and equitable water management and disaster mitigation. npj Nat. Hazards 1, 43. <https://doi.org/10.1038/s44304-024-00047-2>.
10. Boom, B.J., He, J., Palazzo, S., Huang, P.X., Beyan, C., Chou, H.-M., Lin, F.-P., Spampinato, C., and Fisher, R.B. (2014). A research tool for long-term and continuous analysis of fish assemblage in coral-reefs using underwater camera footage. Ecological Informatics, 23, 83-97.
11. Fish4Knowledge. (2016). Collecting and Analyzing Massive Coral Reef Fish Video Data. March
12. Pal, D., Marttila, H., Ala-Ahoa, P., Lotsari, E., Ronkanen, A.-K., Gonzales-Incad, C., Croghan, D., Korppoo, M., Kämäri, M., van Rooijen, E., Bläfield, L., Silander, J., Baubekova, A., Bhattacharjee, J., Haghighi, A.T., Uvo, C.B., Kaartinen, H., Rasti, M., Klöve, B., and Alho, P. (2025). Blueprint conceptualization for a river basin's digital twin. Hydrology Research, 56(3), 197-212. doi: 10.2166/nh.2025.111.
13. Blair, G.S. (2021). Digital twins of the natural environment, Patterns, 2 (10), 100359. 



交廣工程顧問有限公司

誠信 | 創新 | 品質 | 服務 | 永續發展



案例實績

- 桃園捷運綠線GC03現況鑑定
- 高雄捷運黃線YC03、YC02建物調查
- 中壢污水下水道系統興建工程現況鑑定
- 臺大醫學院附設醫院西址院舍等12棟既有建築物耐震能力詳評
- 衛福部桃園醫院本院宿舍大樓結構補強工程委託設計
- 國防部空軍司令部馬公機場停機坪整建工程設計、監造
- 台灣自來水公司苗栗三義潛盾工程現況鑑定

服務項目

- | | |
|----------------|---------------|
| 01. 公共工程規劃設計 | 03. 房屋安檢鑑定 |
| 02. 私有建物耐震弱層補強 | 04. 自來水及下水道工程 |

台北總公司

- ☎ 02-2709-0716
- 🌐 www.jgce.com.tw
- 📍 台北市大安區忠孝東路三段52號2樓

桃園分公司

- ☎ 03-357-2323
- 🌐 www.jgce.com.tw
- 📍 桃園市桃園區莊二街24號7樓



應用 數位孿生 評估 水庫防淤 的成效

李豐佐* / 國立中興大學土木工程學系 助理教授
杜豫云 / 國立中興大學土木工程學系 專任助理

臺灣水庫淤積情形日益嚴重，因此臺灣各地水庫陸續建造防淤隧道，相關研究隨之興起，然而洪水期間在水庫現場進行量測具有相當的風險，因此利用二維數值模型進行模擬與評估成為重要方法，本研究利用數值模型模擬南化水庫防淤隧道之清淤成效，將模擬成果應用數位孿生概念將其無因次化後，進行不同規模洪水的南化水庫排砂效率評估，並將其應用於評估曾文水庫防淤隧道，比較不同情況下防淤隧道之排砂效率，研究分析發現當洪水規模越大時，防淤隧道之排砂效率越高，且當水流運移距離越短排砂效率也會高，在長期分析下，相對於曾文水庫的水庫壩前防淤，南化水庫之水庫中游防淤環境較利於防淤隧道進行排砂，且在 ICR (Inflow Capacity Ratio) 分析中也有相同的規則現象。

關鍵詞：數值模型、數位孿生、排砂效率

The sedimentation problem in Taiwan's reservoirs has become increasingly severe. As a result, desilting tunnels have been constructed in reservoirs across Taiwan, leading to a rise in related research. However, conducting measurements on-site during floods poses significant risks. Therefore, numerical modeling has become a crucial method for simulation and evaluation. This study employs a 2-D numerical model to simulate the sediment desilting efficiency of the desilting tunnel in Nanhua Reservoir. After digitizing the simulation results as digital twins, the study evaluates sediment desilting efficiency under different flood magnitudes and compares the efficiency of desilting tunnels under various conditions using data from Zengwen Reservoir. The analysis reveals that sediment desilting efficiency increases with flood magnitude and that shorter sediment transport distances lead to higher efficiency. Furthermore, long-term analysis indicates that the environmental conditions of Nanhua Reservoir are more favorable for sediment sluicing via the tunnel. The same findings are observed in the Inflow Capacity Ratio (ICR) analysis.

Key words: numerical model, digital twins, desilting efficiency

* 通訊作者，fzlee@nchu.edu.tw

前言

臺灣地處環太平洋地震帶以及副熱帶季風氣候，頻繁地震加上每年季風與颱風所帶來的豐沛雨量常導致山區脆弱地質泥沙沖刷至下游，導致臺灣地區水庫淤積情形日益嚴重，近年來政府陸續實施各種防淤措施，防淤隧道便是其中一種，目前國內已興建防淤隧道之水庫有石門水庫（阿姆坪隧道）、曾文水庫以及南化水庫，其中曾文水庫之防淤隧道位於大壩前，南化水庫之防淤隧道則是位於水庫中間段，本研究之主要研究對象為南化水庫，透過數值模型模擬不同重現期下的南化水庫防淤隧排砂情形，並將模擬資料與曾文水庫蒐集資料進行比較，以分析不同防淤隧道位址與水庫條件對防淤隧道的排砂效率影響。

根據文獻可知，傳統上常利用水平二維數值模式進行水庫防淤隧道排砂效率之評估，譬如 Lai *et al.* [1,2]、Huang *et al.* [3]、Huang and Lee [4] 均曾利用美國墾務局泥砂及河川水利研究群 (Sedimentation and River

Hydraulics Group) 所發展之異重流二維層平均數值模式 (Two-Dimension layer-averaged model, 2DLAM) [1,5], 模擬臺灣石門水庫之異重流運移情形, 並指出二維層平均數值模式 (2DLAM) 可用於了解渾水流於水庫中的二維運移特性。Wu *et al.* [6] 亦曾利用美國墾務局泥沙及河川水利研究群所研發之 SRH-2D 模式, 探討曾文水庫空庫排砂條件下, 水庫底床沖淤及排砂量推估之模擬分析。陳湘盈 [7]、Wang *et al.* [8]、Lee and Huynh Nguyen [9] 及 Lee and Du [10], 亦曾利用 SRH-2D 模式模擬曾文水庫及阿公店水庫具備導流槽條件下, 對於水庫防淤排砂效率之影響分析。然而每個水庫的水文、地文與操作皆不相同, 因此常常每個水庫均需要個別演算後方能準確評估其排砂隧道防淤成效, 因此如何能將單一水庫模擬成果應用至其他水庫, 則可借鏡於數位孿生 (Digital twins) 概念, 將模擬結果無因次化, 則可用於其他評估水庫防淤的成效。

Digital twins 在洪水預測與水資源管理中應用日益廣泛, 融合深度學習與物理模型的發展趨勢明顯。Castangia 等人 [11] 利用 Transformer 架構提升洪水預測的準確性與即時性; Kabir 等人 [12] 與 Hosseiny [13] 則分別運用 CNN 與 U-NetRiver 模型, 精準模擬淹水範圍與水深。Cedillo [14] 與 Adriano [15] 進一步探索 PINN 與 CNN 結合遙測資料, 提升空間解析度與模型泛化能

力。Jamali [16] 與 Deng [17] 則結合資料驅動與物理模型, 提高模擬速度與精度, 驗證於三峽水庫。Karim [18] 與 Patro [19] 指出, 儘管 ML/DL 模型具即時性與準確性優勢, 但仍受限於資料庫標準化與地區性差異。最後, Lukas [20] 與 Honek [21] 關注水庫泥沙淤積問題, 運用 MLP-ANN 與 RUSLE 等方法預測淤積趨勢, 反映氣候變遷對水資源永續性的挑戰。整體而言, Digital twins 正逐步朝向整合多源資料與模型互補發展, 助力洪水防災與資源管理決策。

研究區域

研究區域概述

南化水庫位於台南市後堀溪, 完工日期為民國 82 年, 水源不僅來自本身後堀溪還有高屏溪支流旗山溪的甲仙堰越域引水, 如圖 1 所示, 水庫設計容量為 1 億 5,805 萬立方米, 滿水位標高 180 公尺, 壩頂標高 187.5 公尺, 溢洪道形式為無閘門控制 U 型溢流堰, 堰頂標高 180 公尺, 自民國 98 年莫拉克颱風導致南化水庫壩前淤積面達 EL.152.5 公尺, 淤積情況十分嚴重, 而截至民國 101 年 10 月南化水庫之有效蓄水量約為 9,943 萬立方公尺, 僅剩原始設計容量之 63%, 因此於民國 100 年起計畫興建南化水庫防洪防淤設施, 於民國 104 年正式動工興建防淤隧道, 並於民國 110 年啟用。

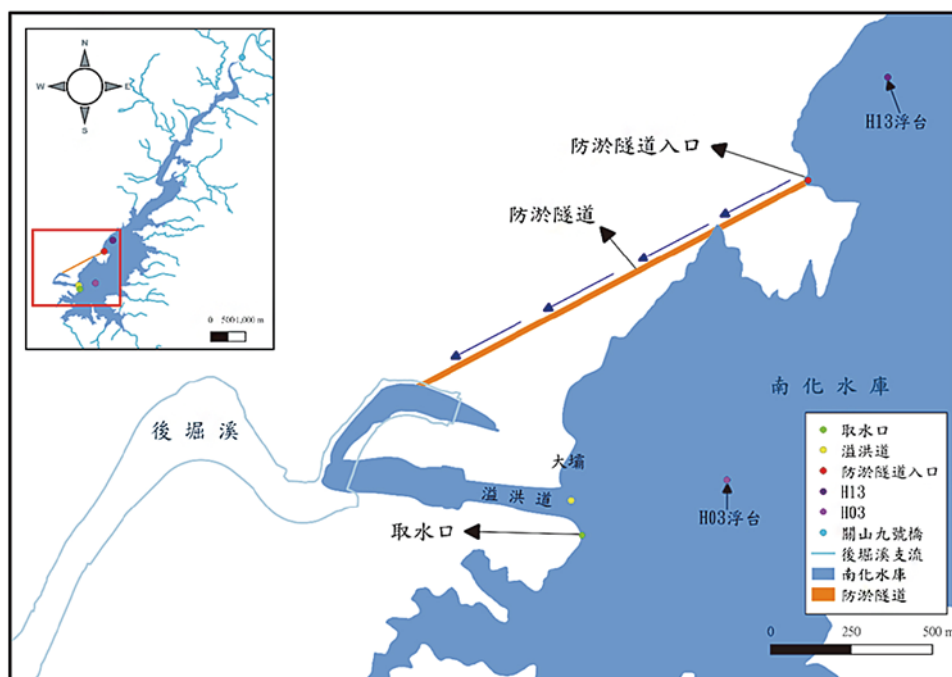


圖 1 甲仙堰越域引水位置圖

研究方法

本研究採用二維數值模型進行南化水庫沖淤模擬，採用民國 110 年盧碧颱風以及 113 年凱米颱風與模型試驗之卡玫基颱風與 25 年重現期試驗進行模式之檢驗證，確認模式設定與網格大小之準確性與模式穩定性，再整理出南化水庫各重現期之流量歷線並以固定之操作模式進行模擬，再蒐集曾文水庫之資料以及應用數位孿生的方式進行比較，分析兩者資料並觀察差異，以觀察不同水庫防淤條件對防淤隧道之影響。

數值模式 (SRH-2D)

本研究應用 SRH-2D 二維層平均數值模式 (Two-Dimension layer-averaged model, 2DLAM) 模擬南化水庫內渾水流，2DLAM 控制方程式包含渾水流混合之質量與動量守恆定律、泥沙運移與動床方程式，並考慮清水、渾水流、底床之間的交互作用，基於有限體積法求解進行渾水流模擬 [4,10,22-24]。

數值模式建置與驗證

網格編制

本研究採用 SMS (Surface-water Modeling System) 進行網格編制，並採用結構型網格，考量到水工結構物大小以及編制網格之合理性，參考 Hung *et al.* [22] 模擬水庫渾水運移特性所建議之值，防淤隧道及大壩、取水口附近之網格大小約為 10 公尺左右，整體網格大小平均約 20 公尺，總網格數為 19,456 個。

本研究以民國 113 年凱米颱風、民國 110 年盧碧颱風以及水工模型之卡玫基與 25 年重現期洪水作為檢驗證事件，將設定之模擬參數透過模擬值與真實情況進行比較，並修正模擬參數以達到最符合南化水庫現況之參數。其中凱米颱風採用民國 113 年 7 月 24 日至 7 月 28

日共計 120 小時之資料，主要比較防淤隧道之排砂量以及泥沙濃度變化，民國 110 年盧碧颱風則採用資料自民國 110 年 8 月 4 日至 8 月 8 日共計 120 小時，而卡玫基颱風以及 25 年重現期洪水情境，則採用來自於南化水庫防淤隧道工程計畫中的水工模型試驗報告 [25]，卡玫基颱風試驗洪峰值為 2,540 m³/s，試驗規劃將洪成區分為六個時段，入流量分別為 600 m³/s、2,540 m³/s、1,300 m³/s、600 m³/s、425 m³/s、以及 50 m³/s。25 年重現期試驗洪峰值為 1,659 m³/s，試驗規劃將洪成區分為八個時段，入流量分別為 425 m³/s、900 m³/s、1,300 m³/s、1,618 m³/s、1,300 m³/s、900 m³/s、425 m³/s 以及 50 m³/s，綜合以上四場模式模擬之檢驗證，數值模型在水工模型試驗模擬時在濃度變化以及排砂量上都有相當的準確程度，甚至誤差可以達到 2.4%，而在實際颱風事件模擬時雖不如水工模型試驗一般誤差較小，但是在濃度分布上模擬值範圍不超過實際量測值之範圍，且在預估排砂量之誤差約 ±14%，還是具有相當的準確程度，檢驗證參數如表 1 所列。

重現期模擬邊界條件

參考水利署曾文溪水系曾文溪治理規劃報告 [26]，建議採用無因次單位歷線法推估洪峰流量值及降雨延時 48 小時雨型分布，進行轉換後得出南化水庫重現期流量歷線，如圖 2 所示。此外，根據南化水庫防洪防淤操作規則以滿水位為優先考量，因此初始條件設定為滿水位，並優先由防淤隧道將超出庫容之流量排出，一旦超出流量大於防淤隧到設計最大流量 1,000 m³/s，多餘之流量再由溢洪道排出，以此做為防淤隧道操作設定進行每一場重現期之模擬，另外，入流濃度參考 112 年南化水庫運轉決策支援及泥沙運移監測報告 [27] 中的回歸公式 (如圖 3 所示)。

表 1 檢驗證參數

Parameter		Value
Time step(s)		0.1
Turbulence Model		PARA (Parabolic)
Turbulence parameter for the PARA Model (0.05-1.0)		0.7
Sediment Transport Capacity Equation		EH (Engelund-Hansen)
Adaptation Coefficients for Suspended Load	Deposition parameter	0.5
	Erosion parameter	1.0
Bedload Adaptation Length		default
Constant Manning Coefficient		0.01
Initial Condition		Full W.S.E = 180m

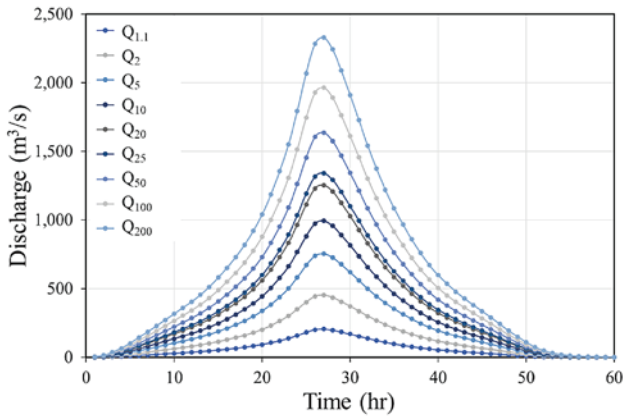


圖 2 南化水庫各重現期流量歷線

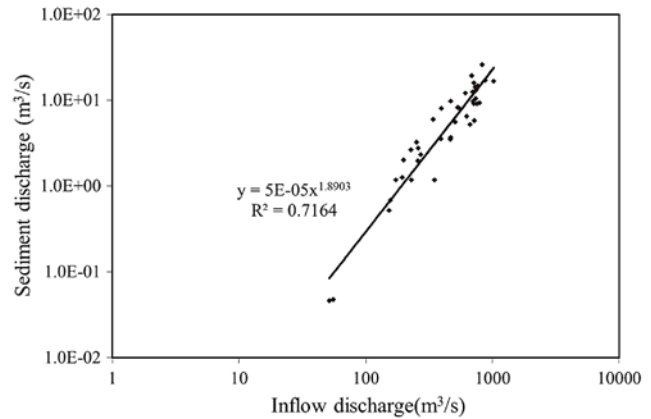


圖 3 南化水庫關山九號橋入流量與入砂量關係

模擬成果分析

入庫渾水泥砂運移模擬

圖 4 為當南化水庫防淤隧道達到最高峰濃度時，整體南化水庫之濃度分布，可以發現隨重現期距增加，整體濃度分布也隨之增加，運移至下游的泥砂也有明顯增加的現象。在濃度變化的分析，本研究將入流尖峰濃度設為 100%，並且將出水口位置與上游邊界距

離除以上下之間游距離換算成百分比比例，將不同出流邊界之濃度進行換算分析，可以發現當重現期距減小時，在相同的出流邊界，也就是相同的運移距離下濃度折減的情況就越明顯，表示在相同的運移距離下，當入流流量越大時，濃度折減的情況相對不明顯，可以排出較大量的泥砂（如圖 5 所示）。

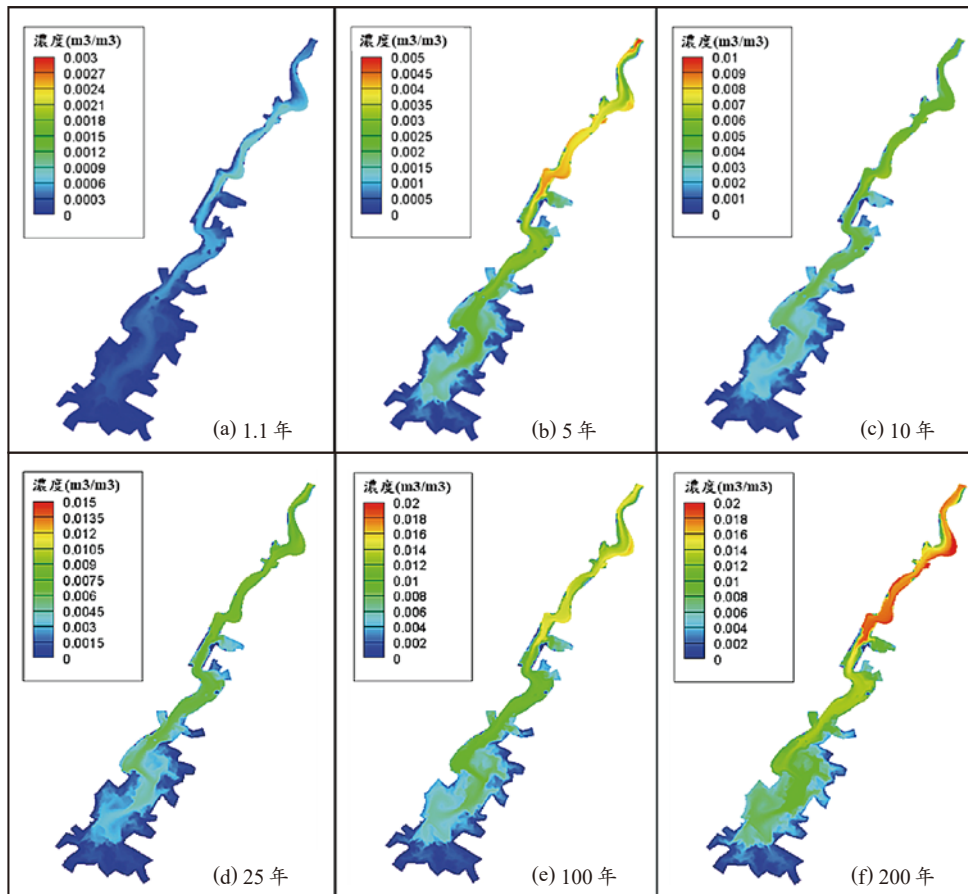


圖 4 不同重現期下南化水庫達尖峰濃度之濃度分佈

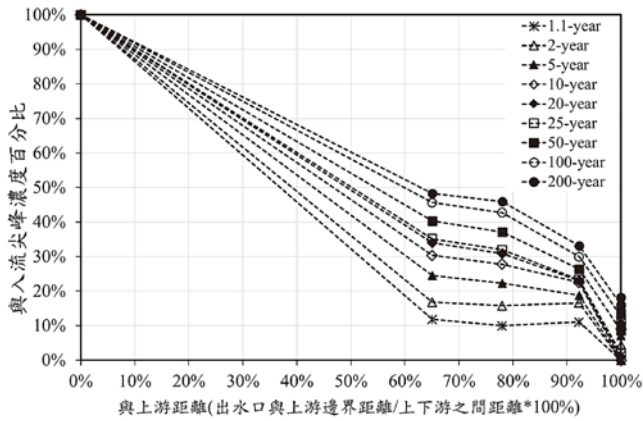


圖 5 南化水庫重現期濃度折減變化

無因次化分析

傳統模擬的方法僅能觀察單一水庫在特定事件，若要比較不同水庫之間差異，往往會因為水庫庫容或是地區不同之差異無法在同樣的尺度下比較，如圖 6 所示：

以數位孿生為概念，本研究將所模擬之南化水庫重現期資料與蒐集之曾文水庫資料無因次化的方式將水庫特性數位化後並進行比較與分析，圖 7 中縱軸排砂效率為排砂量 / 總入砂量 × 100%，橫軸 ICR (Inflow Capacity Ratio)， $ICR = \text{入流總量} / \text{水庫初始蓄水量}$ ，縱軸為排砂效率，可發現數位化後兩座水庫的資料即可在相同的尺度下比較，從圖中資料我們可以發現兩座水庫都呈現正比的趨勢，表示排砂效率會隨著 ICR 值上升而增加，代表水庫在高入流量以及低初始庫容時可以達到較高的排砂效率，且在相同的 ICR 下，南化水庫之排砂效率明顯高於曾文水庫，表示南化水庫具有較佳的防淤隧道排砂環境。

結論

本研究結合南化水庫重現期模擬並蒐集曾文水庫資料分析不同情況下水庫之排砂效率變化，透過重現期模擬的結果發現，防淤隧道之排砂比隨重現期距越大越高，在相同的運移距離下，當入流流量越大時，可以排出較大量的泥砂。在無數位化分析中，借用數位孿生之概念，將傳統模擬之南化水庫資料數位化，與曾文水庫資料進行分析與比較後發現，以曾文與南化水庫現階段情況，南化水庫具有較佳之防淤隧道排砂環境，在質量守恆分析中，長期分析下發現南化水庫隨時間淤積，庫容量減少的情況下會逐漸移動至適用防淤隧道做為防淤策略的區域，而曾文水庫之庫容量較大仍停留於適用上游管理的區域，因此相較之下南化水庫採用防淤隧道可以達到較高的排砂效率，與無因次化分析結果互相呼應。

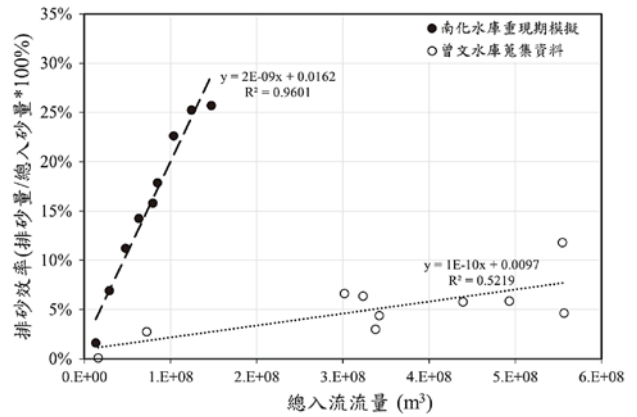


圖 6 總入流流量分析

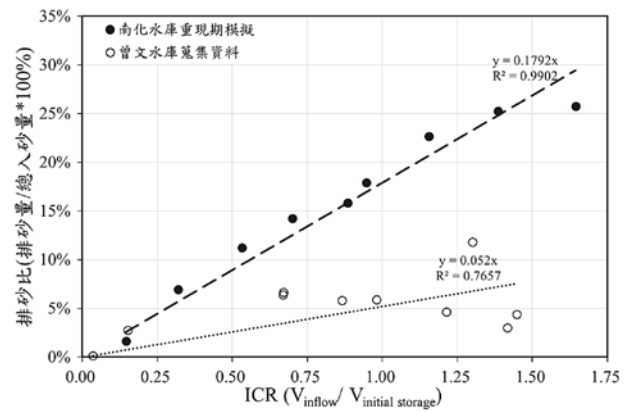



圖 7 ICR 分析

參考文獻

- Lai, Y.G., Huang, J.C., and Wu, K.W. (2015). Reservoir Turbidity Current Modeling with a Two-Dimensional Layer-Averaged Model. *Journal of Hydraulic Engineering*, 141(12). [https://doi.org/Artnt0401502910.1061/\(Asce\)Hy.1943-7900.0001041](https://doi.org/Artnt0401502910.1061/(Asce)Hy.1943-7900.0001041)
- Lai, Y.G. and Wu, K. (2018). A numerical modeling study of sediment bypass tunnels at shihmen reservoir, Taiwan. *Int. J. Hydrol*, 2, 72-81.
- Huang, C.-C., Lai, Y. G., Lai, J.-S., and Tan, Y.-C. (2019). Field and numerical modeling study of turbidity current in Shimen Reservoir during typhoon events. *Journal of Hydraulic Engineering*, 145(5), 05019003.
- Huang, C.-C. and Lee, F.-Z. (2025). Real time response strategy for reservoir storage maintenance and desiltation operations. *Scientific Reports*, 15(1), 14983.
- Lai, Y.G. (2008). SRH-2D version 2: Theory and User's Manual. Sedimentation and River Hydraulics—Two-Dimensional River Flow Modeling, US Department of Interior, Bureau of Reclamation, November.
- Wu, C.-W., Chou, F. N.-F., and Lee, F.-Z. (2020). Minimizing the impact of vacating instream storage of a multi-reservoir system: a tradeoff study of water supply and empty flushing. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2020, 1-62.
- 陳湘盈 (2020), 「應用異重流二維層平均數值模式分析曾文水庫出水工之出流泥砂濃度及排砂效率」, 國立臺灣大學生物環境系統工程學系學位論文。
- Wang, H.-W., Tsai, B.-S., Hwang, C., Chen, G.-W., and Kuo, W.-C. (2020). Efficiency of the drawdown flushing and partition desilting of a reservoir in Taiwan. *Water*, 12(8), 2166.
- Lee, F.-Z. and Huynh Nguyen, N.L. (2024). Application of artificial countermeasures to enhance desilting efficiency in a reservoir under normal and extreme events. *Journal of Water and Climate Change*, jwc2024632.

10. Lee, F.-Z. and Du, Y.-Y. (2025). Desilting efficiency assessment under four hydraulic sediment prevention operations. *Water Resources Management*, 1-22.
11. Castangia, M., Grajales, L.M.M., Aliberti, A., Rossi, C., Macii, A., Macii, E., and Patti, E. (2023). Transformer neural networks for interpretable flood forecasting. *Environmental Modelling & Software*, 160, 105581.
12. Kabir, S., Patidar, S., Xia, X., Liang, Q., Neal, J., and Pender, G. (2020). A deep convolutional neural network model for rapid prediction of fluvial flood inundation. *Journal of Hydrology*, 590, 125481.
13. Hosseiny, H. (2021). A deep learning model for predicting river flood depth and extent. *Environmental Modelling & Software*, 145, 105186.
14. Cedillo, S., Núñez, A.-G., Sánchez-Cordero, E., Timbe, L., Samaniego, E., and Alvarado, A. (2022). Physics-Informed Neural Network water surface predictability for 1D steady-state open channel cases with different flow types and complex bed profile shapes. *Advanced Modeling and Simulation in Engineering Sciences*, 9(1), 10.
15. Adriano, B., Yokoya, N., Yamanoi, K., and Oishi, S. (2022). Predicting Flood Inundation Depth Based-on Machine Learning and Numerical Simulation. *CEUR Workshop Proceedings*.
16. Jamali, B., Haghghat, E., Ignjatovic, A., Leitão, J.P., and Deletic, A. (2021). Machine learning for accelerating 2D flood models: Potential and challenges. *Hydrological Processes*, 35(4), e14064.
17. Deng, S., Xia, J., Chen, Y., Zhou, M., Zhou, Y., and Wang, Z. (2024). Integrated modelling of flow-sediment transport and power generation in the Three Gorges Reservoir. *Science of The Total Environment*, 921, 170983.
18. Karim, F., Armin, M.A., Ahmedt-Aristizabal, D., Tytsen-Smith, L., and Petersson, L. (2023). A review of hydrodynamic and machine learning approaches for flood inundation modeling. *Water*, 15(3), 566.
19. Patro, E.R., De Michele, C., Granata, G., and Biagini, C. (2022). Assessment of current reservoir sedimentation rate and storage capacity loss: An Italian overview. *Journal of environmental management*, 320, 115826.
20. Lukas, P., Melesse, A.M., and Kenea, T.T. (2024). Predicting reservoir sedimentation using multilayer perceptron-artificial neural network model with measured and forecasted hydrometeorological data in Gibe-III reservoir, Omo-Gibe River basin, Ethiopia. *Journal of environmental management*, 359, 121018.
21. Honek, D., Michalková, M.Š., Smetanová, A., Sočuvka, V., Velísková, Y., Karásek, P., Konečná, J., Némětová, Z., and Danáčová, M. (2020). Estimating sedimentation rates in small reservoirs-Suitable approaches for local municipalities in central Europe. *Journal of environmental management*, 261, 109958.
22. Hung, C.C., Lai, J.S., and Huang, C.C. (2022). An efficient and economic desilting strategy for reservoir sustainable development under the extreme flooding threaten [Article]. *Journal of Water and Climate Change*, 13(3), 1257-1274. <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.353>
23. Huang, C.-C. (2024). Navigating Reservoir Deposition Challenges: Evaluation of Reservoir Desilting Strategy Through a 4-Stage Life Cycle Assessment Approach. *Water Resources Management*, 1-16.
24. Lee, F.-Z., Lai, J.-S., and Sumi, T. (2022). Reservoir sediment management and downstream river impacts for sustainable water resources—case study of shihmen reservoir. *Water*, 14(3), 479.
25. 台灣自來水股份有限公司 (2013), 「南化水庫防淤隧道工程計畫—基本設計檢討及施工監造」, 水工模型試驗報告。
26. 經濟部水利署 (2014), 「曾文溪水系曾文溪治理規劃檢討」。
27. 臺灣自來水公司第六管理處 (2024), 「112-113 年南化水庫運轉決策支援及泥沙運移監測—112 年度報告」。



亞新工程顧問股份有限公司
MOH AND ASSOCIATES, INC.
台北 | 台中 | 高雄 | 仰光 | 曼谷 | 新加坡 | 香港 | 北京

運輸工程 | 大地工程 | 數位工程 | 結構工程 | 環水工程 | 專案及施工管理 | 建築、都市計劃、景觀及室內設計 | 機電工程

Tel: (886-2) 2696-1555 Fax: (886-2) 2696-1166 Website: www.maaconsultants.com E-mail: maagroup@maaconsultants.com



水庫安全管理 數位化整合之 應用與展望

楊慶宗* / 中興工程顧問股份有限公司水利工程部 技術經理

楊朝敏 / 中興工程顧問股份有限公司水利工程部 工程師

金士凱 / 中興工程顧問股份有限公司水利工程部 工程師

施祖涵 / 中興工程顧問股份有限公司結構工程部 工程師

隨著數位轉型及智慧化技術的快速發展，水庫安全管理模式正由傳統的人工監測逐步轉向整合式數位化管理。水庫為國家關鍵基礎設施，其安全穩定運作關係民眾生命財產及社會永續發展。然而現行水庫監測系統多為分散架構，資料整合度不足，不易即時掌握壩體安全風險。為因應極端氣候與地震頻仍之挑戰，推動管理數位化與智慧化為水庫管理重要發展方向。

本文以翡翠水庫為例，探討水庫安全管理數位化整合之架構與應用成果。包含導入失效模式之水庫安全風險管理、應用人工智慧演算法（如類神經網路）進行異常偵測與管理值訂定，並結合三維地形模型，建置水庫數位孿生系統，達成即時監控、視覺化呈現及自動通報之功能，可有效提升資料處理效率與決策精準度。人工智慧亦可應用於水庫入流量預報，支援颱風期間的防洪運轉決策。資訊整合平台亦支援報表自動產製，減輕行政負擔，促進管理自動化。

展望未來，水庫數位孿生系統可持續擴充至附屬構造物、排洪設施、發電與人員安全管理，並結合無人機與 AI 影像分析技術，以建立更全面的監控機制。同時，若能整合淤積測量、集水區環境監測，將可形成更完整的智慧水庫管理體系。

關鍵詞：安全風險管理、數位孿生、人工智慧、風險分析

前言

水庫可提供穩定供水的水源，乃水資源領域之國家關鍵基礎設施之一，其安全與穩定運作對民眾生命財產、國家安全和社會穩定至關重要。水庫興建之初即依各水庫特性設置客製化安全監測系統，並依水利建造物檢查及安全評估辦法，辦理定期、不定期之檢查及安全評估工作。

檢查工作於每年 1 月底前完成前 1 年之定期檢查結果彙整，安全評估則視災害潛勢及水庫規模區分為

一級水庫 5 年（如翡翠水庫、石門水庫），二、三級水庫 8 年辦理一次安全評估。安全監測系統之觀測紀錄則於評估水庫安全與否中扮演著重要的角色，惟現行作業多無法即時追蹤水庫安全狀態。

水庫營運管理除安全外，尚有供水、防洪、水質、淤積 … 等等課題，近年來水庫管理單位鑑於過往部分管理作業尚未數位化、監測系統零散，為提升管理效能，遂有建立能自動彙整各項監測數據進行即時分析及滿足管理業務需求之數位化整合資訊系統之需求。

茲以已完成監測系統自動化整合，並導入人工智

* 通訊作者，chris@mail.sinotech.com.tw

慧技術，應用於水庫安全管理之翡翠水庫智慧管理平台為案例，探討水庫安全管理數位化整合之之技術架構與實務應用。

安全風險管理

近年來鑒於極端氣候及地震事件仍頻，國際壩工界於蓄水建造物之安全管理實務上，已逐漸從風險之角度來管理蓄水建造物之安全，其主要作法為透過詳盡之失效模式分析得到建造物之失效模式及其發展過程，辨識出「可能」導致大壩失效之態樣。即關鍵失效模式，進而就失效模式發展過程之各階段，逐一探討其可能出現異常之物理量及徵兆。進而應用大數據、人工智慧演算法（如類神經技術等）及統計方法，針對監測儀器之測讀數據，研擬最適分析方法、訂定管理值、建立趨勢研判法則、異常行為成因研判。

以翡翠水庫為例，結合了加拿大 FMECA 及美國 PFMA 法，辨識出可能破壞 / 失效模式，再依據其發展過程之起始條件及發展過程中各環節事件之肇因或表現行為，根據這些肇因或表現行為擬定出各潛在破壞模式，於各發展階段之關鍵重點監測儀器，同時研訂各監測儀器之預警值、警戒值等不同級別的監測管理

值。藉由這些監測儀器測讀數據之異常偵測，發掘潛在失效模式之肇生及發展，再據以建立自動分析、視覺化呈現及主動通報服務。

圖 1 為翡翠水庫潛在破壞模式發生風險自動化分析成果，可展示關鍵儀器監測值變化情形，當監測值超過預警值或警戒值的儀器數量，大於 1 顯示黃色燈號，大於 2 顯示橙色燈號，供管理單位參考。

管理值訂定

異常偵測可運用安全監測數據，透過分析及判釋從中擷取出所隱含之訊息，藉以偵測出異常發生之徵兆進行預警及處置。分析與判釋之過程中，可借助各種之繪圖類型協助展示數據變化特性，再借助監測管理值及變化趨勢研判準則等辨識是否出現異常徵兆。

監測管理值可作為監測數據比較及研判建造物安全狀態之基準，實務上包含預警值及警戒值二級，可協助現場人員及預警系統立即辨識建造物之安全狀態，並瞭解是否已發生異常狀況。一般而言，各監測項目監測管理值之訂定或檢討可利用歷年數據迴歸統計分析、歷時變化趨勢、理論界限、設計條件、數值分析、物理量內涵及邊界條件等方式加以訂定。

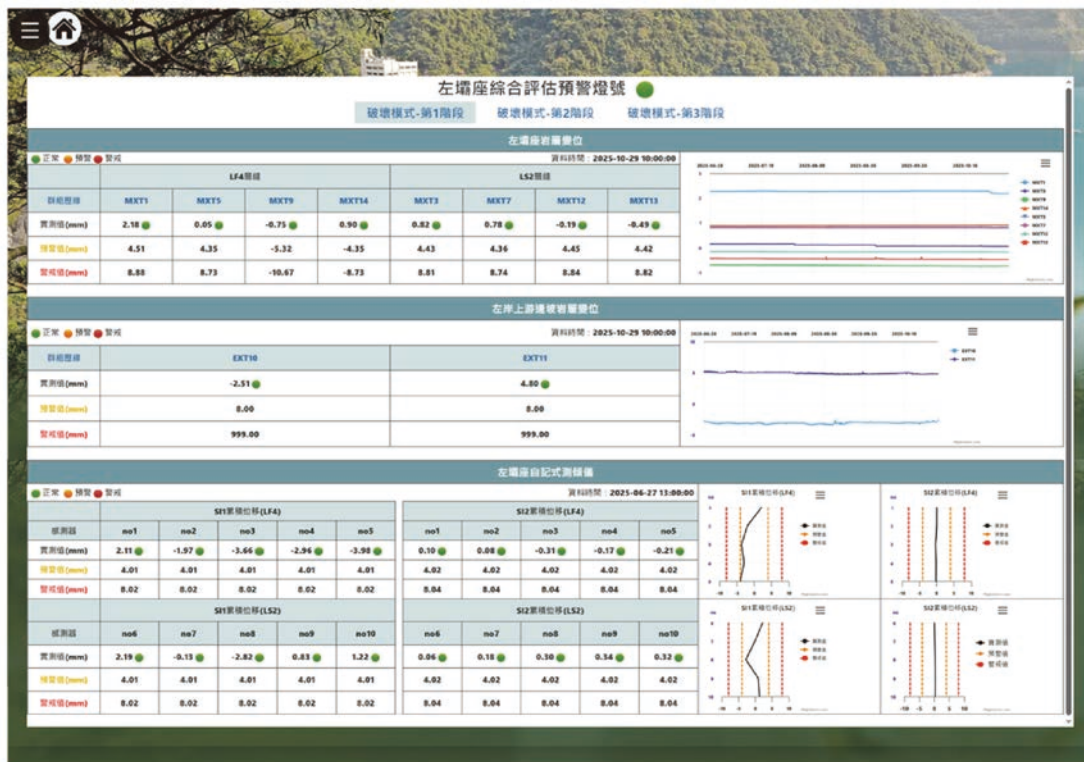


圖 1 翡翠水庫潛在破壞模式發生風險分析成果

其中，主要量測拱壩壩頂水平變位的擺線儀，由於擺線儀與環境因素（水位、氣溫）具有明顯之連動關係，翡翠水庫導入人工智慧技術，透過類神經網路模型建立大壩變位預測模型，再依預測成果來做為擺線儀之管理值。除可作為潛在失效模式之關聯儀器異常偵測外，亦可搭配相關資訊予以視覺化呈現（圖 2）。

水庫數位孿生

水庫安全監測設備主要包括應變計、無應力應變計、應力計、溫度計、測縫計、裂縫計、擺線儀、傾斜儀、照準系統、地震儀、岩盤伸縮儀、地下水水位

計、排水孔、滲水量測定堰、測傾孔、水位觀測井、地表沉陷觀測點、排水廊道量水堰等等，主要分布於大壩、壩座及其周圍邊坡，儀器數量則高達數百個。過去多依儀器類別分別標示於平面圖上，管理上並不掌握異常發生位置。

近年水庫管理單位已逐步建立大壩 3D 模型，並將監測儀器嵌入模型中，結合周邊實測地形、即時監測資料形成虛實融合之水庫數位分身，當數值達到警戒值時，資訊視窗及場景中儀器物件將標誌警告訊息，讓管理者可於平台上掌握最新之水庫安全狀態，並可進一步查詢監測數值變化歷程，圖 3 為翡翠水庫數位孿生建置成果。

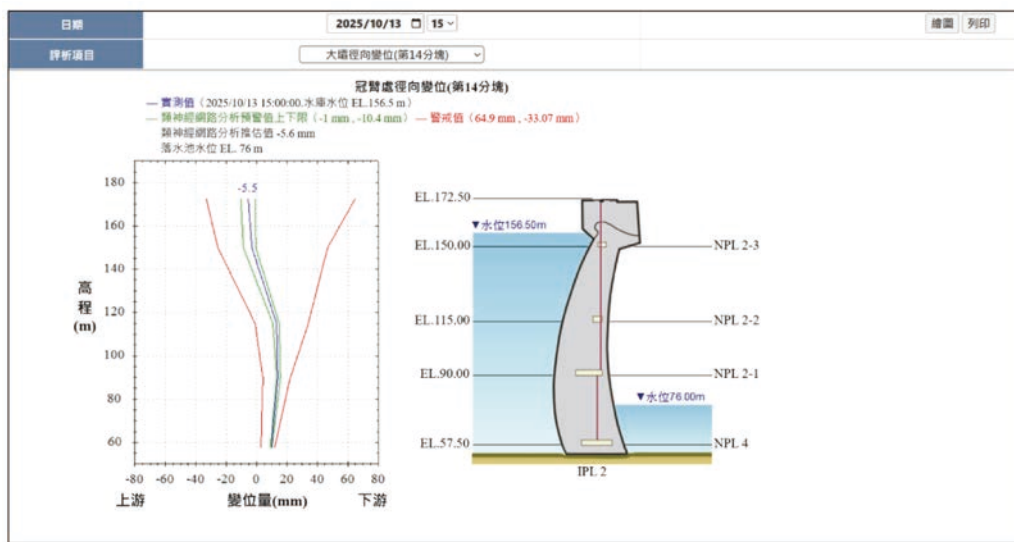


圖 2 翡翠水庫大壩徑向變位分析成果展示畫面

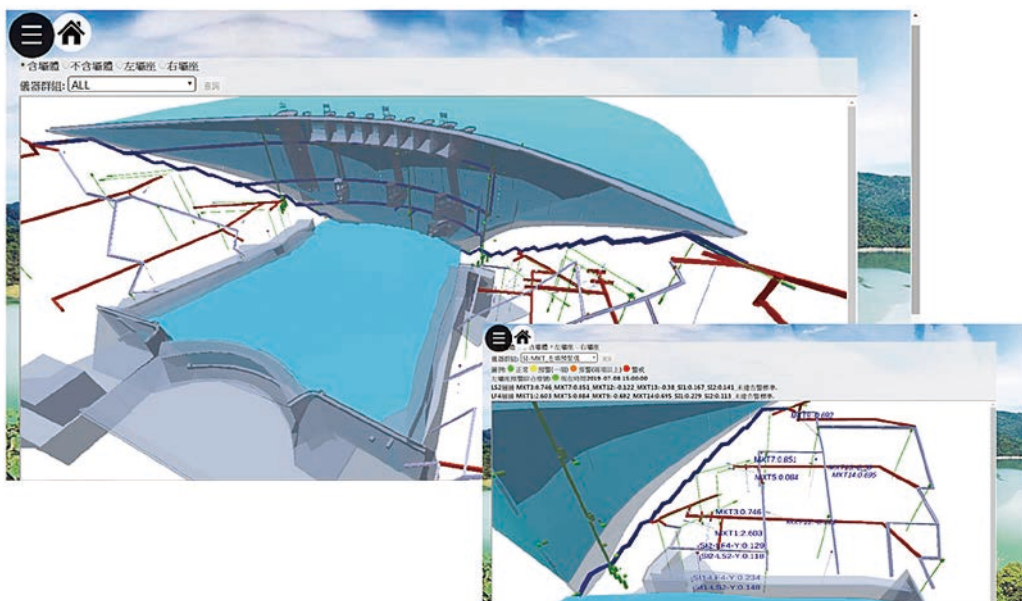


圖 3 翡翠水庫數位孿生建置成果

洪水預報

水庫安全風險除構造物之安全外，颱風期間的洪水操作亦為重要課題，水庫管理單位多會參考中央氣象署之降雨預報來預估颱風侵襲期間未來 72 小時之入流量，作為排洪操作之參考。近年隨著氣候變遷影響日趨明顯，為考量集水區降雨分布不均、不同降雨型態（梅雨、東北季風）及小規模颱風等情境，而有延長降雨預報之需求，期能爭取更多應變時間與提高水庫運用效益。

翡翠水庫管理局為精進水庫入流量預報，結合不同的降雨預報產品應用人工智慧技術將入流量預報延長至未來 10 天（圖 4）。前 5 天（1 ~ 120 小時）之逐時入流量，作為智慧決策系統颱風操作模擬之情境之一，經水庫洪水演算後提供防洪運轉之決策參考資訊（圖 5），以利增加防洪、發電效益，10 天期之流量預報則可作為供水操作之參考 [1-4]。

資訊整合與視覺化

水庫的管理除設施安全（含防洪操作）外，尚有供水、發電、水質、集水區保育、水文觀測等諸多面向，

各項管理資訊早期多依其辦理方式分散建立及保存。隨著資訊技術發展將水庫管理上之各項資訊進行數位化整合，除可便於資料查詢及協助例行管理業務（如各式報表產製）提高管理效率外，亦可藉由資料視覺化呈現，讓管理者更便利、更直觀的監控、掌握水庫最新狀況。

圖 6 為水庫管理資訊視覺化應用案例，(a) 整合管理單位自建、中央氣象署雨量站，搭配空間資訊顯示即時降雨資訊；(b) 綜整水庫上下游河川水位，搭配空間資訊顯示流域水情；(c) 介接即時水門啟閉資訊，據以計算放水量並搭配圖形展示；(d) 整合不同位置、深度水質自動監測資料，動態產製濁度變化歷程。

行政作業支援

水庫營運管理之各項資料數位化整合後，除提供安全風險辨識、通報、展示外，於行政作業上可自動產製各式報表，成為多功能管理平台。舉凡安全監測各儀器之月報、年報，營運管理之日、旬、月、年報，颱風操作紀錄，氣象水文、水質及淤積等相關報表，均可由管理系統自動化產出，減輕管理工作負擔。

此外，目視檢查工作亦為水庫安全管理之一環，透過電子表單協助現場巡檢作業之紀錄，將人工填表作業數位化並進一步建立歷次成果查詢、統計（圖 7）。

結語與展望

本文以翡翠水庫為例，探討水庫安全管理於數位轉型下之整合架構與實務應用，透過系統化資料整合、人工智慧演算法、風險分析方法及 3D 數位孿生技術之導入，所建立之具即時監控、視覺化展示與自動預警功能之智慧管理平台，可有效提升管理工作效率與準確性，可供後續其他水庫參考。

水庫營運管理之各項資料數位化整合後，經資料分析結合 3D 模型建立數

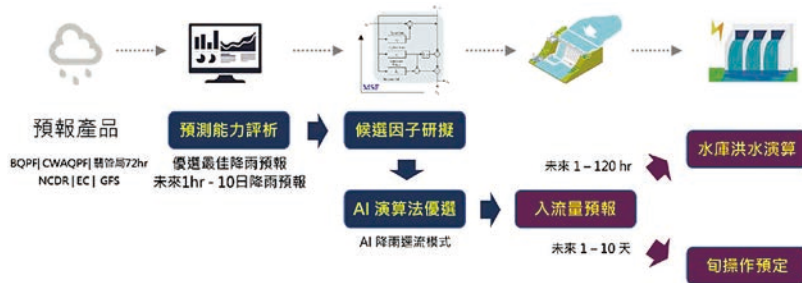


圖 4 翡翠水庫入流量預報架構



圖 5 翡翠水庫智慧管理系統颱風操作介面



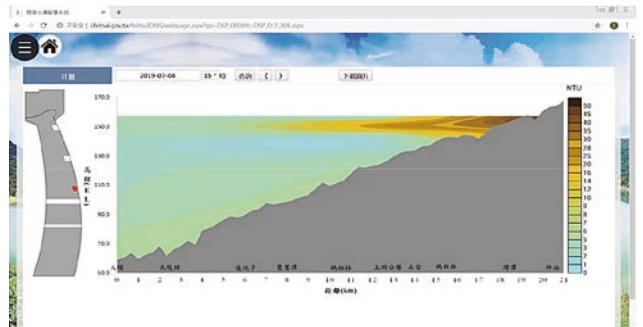
(a) 水庫集水區降雨分布



(b) 水庫上下游河川水位

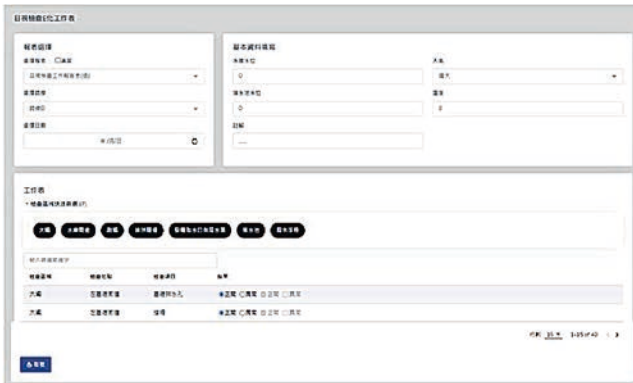


(c) 水門啟閉即時資訊

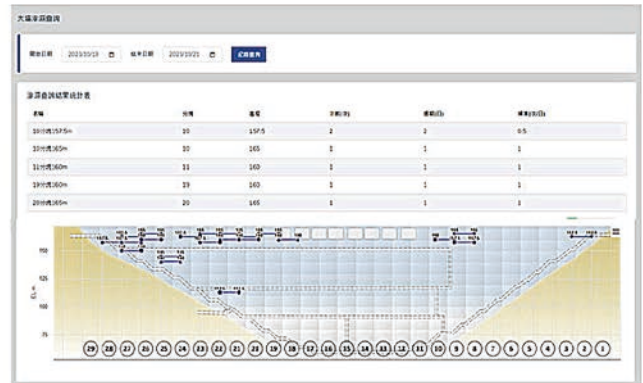


(d) 庫區水質濁度剖面

圖 6 水庫管理資訊視覺化應用案例



(a) 目視檢查電子表單



(b) 目視檢查成果統計展示

圖 7 翡翠水庫目視檢查數位化成果

位孿生系統視覺化安全管理資訊，現階段因模型係基於安全管理資訊可視化之需求所建置，模型範圍可予以擴大及細緻化，如取出水工、排洪設施、電廠、廊道、閘閘等附屬構造物建立，並可進一步建立完整通訊網絡，形成涵蓋安全、運轉與維護之全域模型。結合行動通訊與感測技術，建立現地檢查人員位置與生理狀況監控機制，同時顯示於數位孿生系統上，提升現場作業安全管理層級。

構造物模型結合地理資訊時，如壩址地形、蓄水範圍之水下地形解析度不足，會有無法緊密結合的狀況，若能將歷次淤積測資料予以整合，除能使數位孿生系統更貼近於實際外，蓄水範圍淤積、清淤成果之

空間及量體變化，亦可於系統上展現與進一步分析。

此外，無人機應用日漸普遍，可應用於水庫壩面裂縫監測、排洪設施巡檢及蓄水範圍高崩塌潛勢區之追蹤，拍攝結果再透過 AI 進行異常分析，減輕現地檢查之工作負擔及降低公安風險。

參考文獻

- 台北翡翠水庫管理局 (2016)「105 年度翡翠大壩安全風險鑑別與控管之研究總結報告」。
- 台北翡翠水庫管理局 (2017)「106 年翡翠水庫智慧決策系統建置」。
- 台北翡翠水庫管理局 (2023)「翡翠水庫第六次整體安全檢查與評估－智慧決策系統功能擴充－新增竣工及邊坡檢查資料查詢功能專題研析報告」。
- 台北翡翠水庫管理局 (2025)「翡翠水庫 AI 降雨逕流模式 2.0」。



以 數位資料流動循環 推動： 減距、減廢、減碳 之工程永續發展路徑

林芳輝／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 資深協理

黃志民／中興工程顧問股份有限公司研發及資訊部 協理

呂斌豪*／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 技術經理

郭鴻祥／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 組長

楊東益／中興工程顧問股份有限公司工程管理部 工程師

台灣工程產業面臨時間孤島、空間孤島與資料迷宮三大數位化困境，導致資訊延遲、系統碎片化與標準缺席。本文回顧公共工程資料交換標準發展歷程，從政府採購核心演進至工程全生命週期管理，參照國際經驗建立標準架構。行政院公共工程委員會將「建構公共工程雲端系統」、「推動資料交換標準」、「導入人工智慧應用」及「強化資料治理能力」列為核心政策目標，為產業數位轉型提供國家層級的政策支持。本文呼應此政策方向，提出完整資料循環架構：以端/網/雲為骨幹建立資料流動通道，以API/IoT串聯實現系統互通，以PMIS/KM為資料倉庫實現知識累積。

建議由公共工程委員會主導完善現行標準，特別針對工程管理面向建立統一資料交換標準。透過從外部專案管理到內部知識管理的轉化，形成「減距、減廢、減碳」之遞進路徑。此架構允許各方依需求發展專屬平台，透過統一資料交換標準實現互通，最終達成工程永續發展目標。

關鍵詞：工程永續、資料循環架構、資料交換標準、PMIS、CMIS、數位轉型、資料治理

前言

台灣工程產業正處於關鍵轉型時刻，內部面臨專業人力短缺、工程複雜度提升、行政效率待改善等挑戰，外部則有國家淨零碳排需求與國際數位競爭壓力。行政院公共工程委員會（以下簡稱工程會）111年8月公布之「公共工程節能減碳檢核注意事項」^[1]，即擬藉以建立公共工程全生命週期之節能減碳機制。

聯合國環境規劃署統計顯示，建築與營建工程約占全球二氧化碳排放量34%^[2]，營建工程減碳已成為

全球永續發展的重要課題。在工程全生命週期中，施工階段透過工程管理強化工作效率，實則為工程減碳的關鍵之一。當工程管理能有效減少重工、降低等待時間、優化資源配置時，不僅提升專案執行效率，更直接減少不必要的能源消耗與碳排放。透過數位化資訊流動強化工程管理效能，已成為達成工程永續發展目標的重要路徑。

工程會作為公共工程之統籌、審議、協調及督導機關，已將「推動公共工程結合科技，鼓勵創新，提升營建產業生產力」及「強化資料治理能力」列為核心施政主軸。綜觀近期所推動之政策重點含括建構公

* 通訊作者，ahow@mail.sinotech.com.tw

共工程雲端系統、營造全生命週期電子化整合環境、推動公共工程領域資料交換標準、建置集中化資料倉儲、應用人工智慧技術於公共建設計畫審議、建構政府資料隱私技術韌性等，皆為營建產業的數位轉型提供明確的政策方向與願景目標^[3,4]。

然而，當前多數營建單位於推動數位轉型時，常陷入工具導向思維，忽略資料流動與知識循環之根本問題。工程專案更普遍存在查驗資料需多日才能上傳、不同單位主張不同格式、各層級廠商系統難以整合、歷史經驗無法有效傳承等困境，反映出台灣工程產業缺乏統一資料治理架構與產業級共同標準。如何將國家政策的戰略目標轉化為產業實踐的具體行動，則是當前最迫切的課題。

為達到 2050 淨零轉型的目標，臺灣擬採四大策略、兩大基礎來推動轉型^[5]，如圖 1 所示。由治理基礎搭配轉型策略，透過資料流動循環的數位架構，亦是回應政策需求的系統性解決方案，為營建產業數位轉型提供可操作的實踐路徑。故倡議由政府主導制定營建產業資料交換標準，以開放式平台架構打破封閉式平台限制，使整個營建產業生態系統真正互聯互通。也唯有從國家政策高度推動，建立產業共識，提供政策支持，才能真正實現工程產業的數位轉型與永續發展。

工程產業的系統性障礙

標準缺席與資料治理失靈

台灣工程產業長期面臨資料流動不暢的困境，其

根源在於缺乏統一的高位階資料交換標準與完善的資料治理機制。各專案或組織自行定義資料格式，導致專案間、組織間資料無法互通。當每個組織都自行開發封閉式的資訊系統時，產業整體都將陷入重複投資卻無法互通的困境，造成相同功能重複開發、相同問題仍需重複解決、但相同的錯誤卻又持續一再發生的窘境。

此系統性障礙不僅影響工程專案執行的效率，更阻礙營建產業長期發展。當經驗無法累積、知識則無法傳承、創新更無法推廣時，整個產業將陷入重複困境的迴圈。若基礎資料缺乏標準化、結構化，人工智慧應用也將無從談起。這種困境具體表現為三種孤島現象：時間上的延遲、空間上的碎片、資訊上的混亂。

三大孤島現象的深層影響

時間孤島：資料延遲的管理困境

時間差異累積造成重工、等待與資源損耗。資料在時間軸上斷裂，爰用過時資訊的決策為次佳選擇，最終反映為專案延遲、成本超支、品質不穩定。這常反映在施工查驗資料需要數日才能回傳、感測數據無法及時呈現現場危害發生、材料資訊無法即時更新等狀況。

而此現象的本質是資料捕捉、傳輸、處理的時間落差，使管理者永遠在「追趕」專案資訊，而非「掌握」專案狀況。唯有建立端/網/雲三層架構，使資料能在產生當下即被捕捉、傳輸、應用，才能真正解決時間孤島問題。



圖 1 台灣 2050 淨零轉型機制架構

空間孤島：系統碎片化的整合困境

碎片化的訊息常使跨系統的風險評估難以精準執行，導致跨專案經驗傳承幾乎不可能。這常反映在如：業主發包文件、監造查驗表單、施工自主檢查各自使用不同編碼格式，缺乏共通專案編號、工區編號、材料代號、查驗項目定義時，整合最終只能靠人工比對。

而推動公共工程領域資料交換標準，正是要解決此空間孤島問題。然而，標準的制定只是第一步，真正挑戰其實在於如何讓產業各方都遵循標準，如何建立開放式平台架構使不同系統能夠互通資訊。

資訊迷宮：資料品質的信任危機

欄位定義不清導致填寫各異、流程權責不明導致資料重複遺漏、無規定管理導致標準不確定。一旦缺乏資料標準，資料持續累積卻缺乏條理，資訊明明存在卻形成迷宮，或找到了內容卻無法轉換使用。這種混亂不僅降低作業效率，更造成決策品質低落。唯有先建立清晰的資料定義、明確的流程規範、嚴謹的管理機制，才能在此基礎上談資料品質與資料安全。

突破困境的政策契機

打破三大孤島需要以產業的整體性系統觀點的解決方案，而工程會施政計畫的政策方向，可以為此提供了前所未有的契機。在時間維度上，需要建立即時資料捕捉與傳輸機制；在空間維度上，需要建立統一的資料交換標準；在資訊維度上，更需要建立清晰的資料定義與交換標準機制。

建構公共工程雲端系統、建置集中化資料倉儲，不是要尋求各單位分別建立為利己而資訊壟斷的封閉性平台，而是要建立資源共享的開放式的平台架構，允許各方依需求發展專屬系統，但透過統一標準實現資料交換互通。這種架構既尊重各方自主性，又確保整體互通性，是打破孤島、實現資料流動的關鍵路徑。

當國家政策明確支持、政府資源投入、產業共識建立時，過去推動資料交換標準時遇到的困難才能得到突破。工程會作為主管機關，應具有制定標準、推動應用、整合資源的責與權。台灣公共工程營建產業的各方惟有在政策的明確引導下，才能從各自為政轉向協力合作，從封閉系統轉向開放互通，從錯誤循環轉向為持續改善。

公共工程資料交換標準發展

政策背景與推動起源

台灣公共工程資料交換標準的發展，源自於行政院「挑戰 2008 – 國家發展重點計畫」(2002 ~ 2007) 所確立的國家數位化政策^[6]。在此政策框架下，工程會提出「公共工程資訊系統計畫」，目標是整合產、官、學、研各界資源，將推動公共工程生命週期各階段導入電子化資訊標準，使得公共工程資訊得以迅速交換共享。此計畫的推動理念，與目前打造營建產業數位化及推動資料交換標準的政策目標一脈相承，也展現了相關政策的延續性與深化。

此計畫自 2003 年開始執行，建立了產業協力推動機制。參與單位涵蓋工程顧問公司、資訊服務業者、學術研究機構及產業協會等，形成跨領域的協作網絡。標準制定方法論參考國際經驗並進行本土化調適。在資料交換架構方面，採用聯合國 UN/CEFACT's Modeling Methodology (UMM) 的核心概念；在工程文件管理方面，則部分參考了日本國土交通省之「電子納品要領·基準」的經驗，但也針對台灣工程管理特色進行調適，特別是配合公共工程品質管理制度、工程管理流程、文件遞送需求等，發展出符合台灣產業實務的標準規範。

標準發展的階段性推進

工程會從政策可行性的角度出發，選擇從「政府採購」相關環節著手。當時已有政府電子採購網作為平台基礎，較易將標準導入實際應用。此階段所完成的標準涵蓋了電子契約、共同供應契約、投標資料、決標資料、審查委員名單等政府採購流程中的關鍵資料，為後續的擴展奠定了基礎。

而標準制定方向隨後轉向「工程在生命週期裡面必須要遞送的文件」的面相予以制定。直至 2008 年為止，共計完成 8 大類 61 項標準制定，主要涵蓋政府採購領標及投標文件、公告、共同供應契約、技師及顧問公司管理、公共工程施工階段 B2G、執行階段 G2G、工程文件 MetaData 及傳輸封包等相關領域，並彙集了資料字典共 1,060 項，建立了相對完整的數位資料標準體系基礎資料^[7]。

階段性成果與持續挑戰

經過多年推動，政府採購相關資料交換標準已在公共工程招標採購制度上完成電子商務運作。政府電子採購網成為標準應用的核心平台，從招標公告、投標文件、決標資料到契約管理，都已建立標準化的電子化流程。這套機制有效提升了採購效率，減少了紙本作業，並使政府採購資訊得以公開透明，也成為政府資料交換標準應用的成功典範。

前期計畫推動期間在工程管理領域亦進行了多項試辦計畫應用，探索標準在工程管理領域應用的可行性與挑戰^[8]。然而，相較於招標採購領域的成功，有關工程管理領域的應用仍處於探索階段。這反映出工程執行階段的複雜性：涉及多方協作、現場環境多變、資料類型繁雜、即時性要求高等實務狀況。

在當時工程會已有推動部分資料交換標準的概念（工程文件 MetaData 資料交換標準及核心元件），並期盼後續成為國家標準，藉以提升標準的法制位階，並建立標準持續發展與應用推廣的長效機制。

迄今資料交換標準在招標採購制度上雖已建立成熟的電子商務運作機制，然而如何依據台灣公共工程品質管理制度架構的標準作業流程下推動工程管理數位化，係為當前的急迫挑戰。其中原因常在於工程管理相關資料散落在各個系統、各個專案、各個組織中，缺乏了統一的標準與格式，難以整合與分析。若要實現這些政策目標，首先需要解決資料標準化問題，建立開放式平台架構，使資料能夠流動、能夠整合、能夠累積。

資料循環架構的解決方案

從資料交換到資料循環

回顧過去政府採購相關資料交換標準的歷程及當前國際的數位化發展趨勢中發現，台灣營建產業需要的是一套完整的資料循環架構，讓資料不僅能「交換」，更能「流動」、「重用」、「累積」，最終轉化為企業及產業的知識與價值。

惟以往各單位於推動資料交換標準時，主要目標常常僅是將紙本作業轉為電子化。這種轉變雖然確實減少了紙張使用，也提升了資料傳遞速度，但電子化的 PDF 檔案或表單掃描，本質上仍是「電子化的紙

本」，缺乏結構化、標準化、可由電腦自動讀取的數位應用特性，往往並未發揮數位化的核心價值。

而「資料循環架構」則是對過往資料交換標準理念的延續與突破。在延續方面上，遵循既有所訂定的資料交換標準定義與格式，保持資料交換的相容性。在突破方面上，則將點對點交換擴展為端 / 網 / 雲的三層架構，從單次傳輸升級為即時流動的資料通道，從外部交換延伸至內部知識管理的轉化，從專案層級提升至產業生態的整體性建構。

開放式平台架構與推廣

建構公共工程雲端系統、營造公共工程全生命週期電子化整合環境，需要明確的技術路徑與實踐策略。解決方案是建構「開放式平台架構」，由產業鏈中每個角色發展具有各自需求特色的數位平台，透過統一的資料交換標準與 API 介面實現資料的互通。政府的角色是制定標準、提供推廣工具、建立示範案例，而非取代市場上的商業系統。

為實現開放式平台架構，並降低現階段中小型企業的數位化門檻，中興工程顧問股份有限公司（以下簡稱中興公司）基於實際多年於公共工程實務應用專案管理資訊系統（Project Management Information System，以下簡稱 PMIS）的經驗，為強化公共工程相關營建產業數位化的推動進程，中興公司正辦理二級品質查證之 PMIS 及一級品質管理之營造工程管理資訊系統（Construction Management Information System，以下簡稱 CMIS）之推廣版本捐贈予工程會相關事宜，使其成為台灣公共工程營建產業的公共財，更具有以下三個層面的積極意義：

首先，降低產業數位化門檻，促進普及應用。許多中小型工程顧問公司與營造廠，受限於資源與技術能力，無力開發自己的管理系統，也無法負擔昂貴的商業軟體。推廣版系統提供基本但完整的功能，涵蓋監造與施工核心作業，滿足公共工程品質管理制度要求，讓中小型企業也能跨越數位化門檻。

其次，建立標準應用示範，引導產業方向。推廣版系統內容符合工程會制定的資料交換標準，可成為產業的參考範例，展現標準如何在實際應用中落地，為其他系統開發者提供具體指引，促進整個產業向標準靠攏。

第三，促進產業生態互通，實現政策願景。當愈來愈多中小型企業使用推廣版系統，當這些系統都遵循統一標準，產業鏈中的資料流動就將愈順暢。大型企業即使使用自己開發的系統，只要也遵循相同標準，就能與使用推廣版系統的中小型企業無縫對接。

推廣版 PMIS 與 CMIS 的定位，是提供給公共工程營建產業的工具，可以依據企業的需求及數位發展能力與進程自由選擇使用。這種定位確保了推廣版系統不與商業系統競爭，而是補足產業現階段數位化發展的空缺，並透過政府的示範作用及基本應用工具的提供以帶動整個公共工程營建產業的數位化進程。

端 / 網 / 雲三層架構

資料循環架構的技術實現，建立在端 / 網 / 雲三層的架構之上。此架構透過 IoT 技術實現現場資料的即時捕捉，並透過 API 介接實現系統間的即時互通，相關架構如圖 2 所示。最終在雲端實現資料的存證與知識化，奠基未來智慧工地的磐石。

在端層，透過數位查驗應用程式、IoT 感測器、智慧安全設備等裝置，即時捕捉工地現場的人員動態、機具狀態、環境資訊、查驗結果等資料。資料在產生的當下就完成驗證與格式化，確保符合工程會制定的

產業標準。即使在離線狀態下，端層設備仍能繼續將資料暫存於本機，待網路恢復後自動同步至雲端。

在網層，透過 MQTT、HTTPS、5G 等現代通訊協定，搭配身分認證、加密機制、訊息佇列等技術，建立起端層與雲層之間安全可靠的資料傳輸通道。網層並扮演著流量管控、優先級排程、斷線重連、端對端加密等關鍵角色。

在雲層，資料以兩種形式存在：外部資料倉庫與內部資料倉庫。外部資料倉庫指的是各方建置的 PMIS/CMIS 系統，二級品管單位使用 PMIS 進行專案管控、一級施工廠商則使用 CMIS 進行施工管理、監造單位使用 PMIS 進行查證管理。這些系統雖然各自獨立，但透過統一的資料交換標準與 API 介接的方式，可以實現即時的資料互通。

內部資料倉庫則是指組織的知識管理 (Knowledge Management, KM) 系統，透過數位化的流程可以將多個專案累積的資料進行系統化彙整、比對、分析與評估。當這些資料經過結構化、關聯化、脈絡化處理，最終轉化為可搜尋、可引用、可學習的知識資產後，將可成為組織持續改善與 AI 智慧化應用的資料庫。

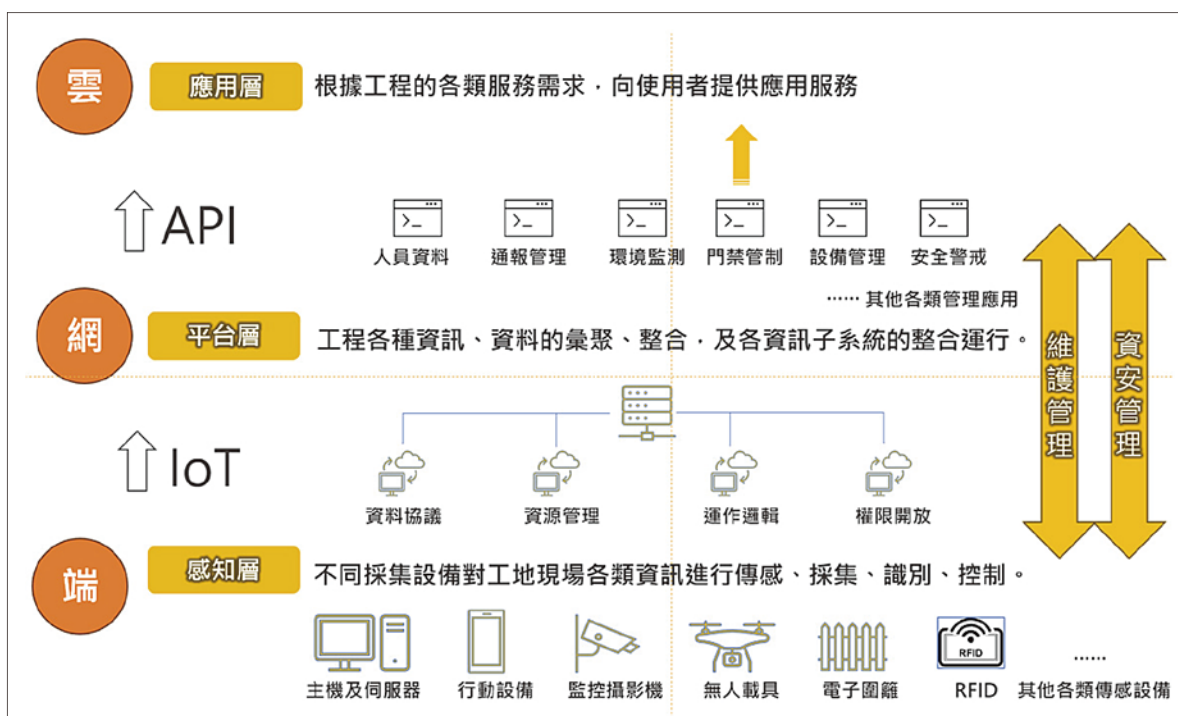


圖 2 端 / 網 / 雲及 IoT/API 架構

公共工程營建產業數位資訊體系

公共工程營建產業資料交換標準是資料循環架構得以運作的核心基礎。其交換標準的數位資訊體系包含四個核心內涵：

第一，共通識別碼體系。建立統一的識別碼體系，使專案、工區、工項、材料、設備、查驗項目、人員等類別都能被準確識別。當要建置集中化資料倉儲時，統一的識別碼體系使不同來源的資料能夠正確地整合在一起。

第二，共同資訊模型與資料字典。資料字典定義工程管理所需的核​​心資料元素，包括每個欄位的標準名稱、資料型別、計量單位、允許值範圍等，以使不同系統對相同概念陳述有一致的理解，藉以確保資料品質與一致性。

第三，開放 API 規範。使不同系統間能夠透過標準介面進行即時資料交換，從批次交換進化為即時對接。當各方系統都透過標準 API 即時傳送資料到集中化資料倉儲時，資料就能夠即時流動。

第四，版本管理與安全機制。嚴謹的版本管理確保標準演進可控可預期，透過角色型權限管理確保資料交換的權限控制，對敏感資料進行遮罩處理，實施金鑰定期輪替，建立起完整的資安操作稽核紀錄。

從資料流動到永續發展

減距、減廢、減碳的遞進路徑

工程產業的永續發展透過資料流動、效率提升、浪費減少、碳排降低的自然轉化過程來循序實現。而此轉化的關鍵就在於從外部的工程專案管理到內部的組織知識管理的兩層架構來發展。

各利害關係人透過各自的工程管理資訊系統管理專案執行。業主、設計、施工、監造各方系統功能不同、介面各異，但透過統一資料交換標準以 API 對接，實現資料在專案內各方間即時流通。此階段解決「時間孤島」與「空間孤島」問題，當資訊延遲消失、系統得以互通、協作效率提升，方能走出「資訊迷宮」。

內部知識管理層將多個專案累積的資料進行系統化彙整，經結構化、關聯化、脈絡化處理，轉化為組織的知識資產。當過往專案的成功經驗與失敗教訓被

系統化保存，新專案可快速學習、避免重複錯誤、採用最佳實務，組織整體能力持續提升。

此雙層架構形成「減距、減廢、減碳」之遞進路徑。減距（資料即時流動）解決時間孤島，減廢（資料重用與知識化）解決空間孤島與資訊迷宮，減碳（效率提升的自然結果）則是前兩者帶來效率改善後的必然成效。

工程減距：即時性的管理革新

透過端 / 網 / 雲三層架構建立資料即時流動通道。現場端透過數位查驗應用與 IoT 感測器即時捕捉資料，網路層確保資料安全即時傳輸，雲端層各方 PMIS/CMIS 系統將透過 API 即時接收資料。配合台灣公共工程品質管理制度，施工廠商 CMIS 的自主檢查資料即時傳送給監造單位 PMIS，監造單位查驗結果即時回饋給施工廠商，使工程品管作業能緊密銜接。

過去管理者只能事後管理，問題發生後才介入處理。現在管理者可以即時掌握專案狀況，在問題萌芽階段就進行干預，從「救火式管理」轉變為「預防式管理」。這種即時管理模式的轉變，減少了資訊延遲造成的決策失誤、溝通不良導致的重複作業、或問題覺察延宕造成的大量重工。

工程減廢：重用與知識化

產業級資料交換標準使不同專案、不同單位的資料能互通。但更深層的價值在於透過 KM 系統實現知識化。過去每個專案結束後，經驗隨之流失；如今透過 KM 系統，多專案的資料被系統化彙整，最終轉化為可搜尋、可引用、可學習的知識資產。

當工程師遇到施工問題時，可以搜尋知識庫找到過往類似案例與解決方案；當設計階段需要選擇材料時，可以查詢過往專案的材料性能數據與使用經驗。這種知識應用使新專案避免重複試錯、快速找到最佳解、提前識別風險，組織學習曲線大幅縮短。

工程減碳：效率提升的自然結果

工程減碳並非額外目標，而是工程減距與工程減廢帶來效率提升後的自然結果。當資料即時流動，決策更精準；當資料能夠重用，浪費自然減少；當知識得以累積，效率持續提升。這些改善的每一步，都在減少不必要的資源消耗，也伴隨碳排放的降低。透過

資料循環架構帶來的效率改善，預估可產生複合減碳效益：直接效應（行政流程數位化）與間接效應（管理效率提升、重工減少、協作優化），這些效益更將隨著應用範圍擴大而持續增長。

當資料依產業標準化且可追溯後，碳盤查工作得以自動化。系統根據材料規格、數量、供應商位置、運輸距離等資訊，自動查詢碳排放係數資料庫，計算每項材料的碳足跡，彙總至各層級，而可使減碳管理從年度總結的事後統計轉變為日常管理的持續監控^[9]。透過 KM 系統分析多個專案的碳排資料，識別出高碳排環節，在新的專案設計階段就可查詢，及早選擇低碳替代方案，整體碳排將能持續下降。

產業協力推動的落地實踐

資料循環架構與產業級標準的推動，需要務實漸進的策略。建構公共工程雲端系統與導入人工智慧應用，建議相關推動可以從試辦計畫的驗證開始，過程中系統化收集使用者回饋是關鍵工作，涵蓋資料字典定義、查驗項目標準、API 介面穩定性、系統操作便利性等層面。

推廣機制需要多管齊下，形成政策、教育、示範、誘因、社群的完整體系。如：辦理教育訓練降低學習門檻，藉由試辦計畫的示範可以建立信心，國家政策的誘因能讓率先採用者獲得實質好處，使用者社群或定期舉辦的論壇則讓已採用者能夠相互交流。

但是資料循環架構的成功，更需要產業生態中各方的協力合作。政府的角色是制定標準、建立規範、提供工具、營造環境。產業界的角色是實踐應用、貢獻經驗、形成示範。學術界的角色是提供研究支援、技術諮詢、方法論指導、人才培育。中小型企業需要把握機會、跨越門檻、參與生態。大型企業需要承擔責任、典範轉移、帶動升級。

這種各方協力的模式，不是政府單方面推動，也不是某個企業單打獨鬥，而是產業生態系統的共同建構。政府制定規則、產業實踐應用、學術提供支援、中小企業參與其中、大型企業帶頭示範，各方發揮所長，形成正向循環。

結語

建立公共工程營建產業的數位資料流動架構並非

僅只是技術工具的升級，而是台灣工程產業管理思維與協作模式的根本轉變。從單打獨鬥到產業協力，從封閉系統到開放互通，從專案層級到產業層級，從工具導向到價值創造，從專案管理到知識管理，公共工程營建產業正在進入全新發展階段。

擬藉由工程會施政計畫的推動，倡議為這種典範轉移提供了國家層級的政策支持。當產業將資訊視為資源而非庫存、將數位化視為投資而非費用、將標準視為共同語言而非束縛、將知識視為資產而非成本時，透過構建端 / 網 / 雲三層架構，發展 PMIS/CMIS 外部管理層，建立 KM 內部知識層，推廣開放式平台理念。當這些基礎建設完成，減距（資料即時流動）使管理更精準、減廢（資料重用與知識化）使效率持續提升、減碳（效率提升的自然結果）則水到渠成。

台灣工程產業正處轉型關鍵時刻，面對國家淨零碳排的戰略目標，及產業數位轉型的迫切需求，台灣工程產業正在建構一個資料能夠流動、知識能夠累積、效率持續提升、永續真正實現的新未來。而相關變革的成功更需要政府、產業界、學術界與所有利害關係人共同參與。唯有各方協力，才能實現公共工程營建產業的系統性轉型。

參考文獻

1. 行政院公共工程委員會 (2022), 「公共工程節能減碳檢核注意事項」。
2. United Nations Environment Programme (2025), Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025. <https://www.unep.org/resources/report/global-status-report-buildings-and-construction-20242025>
3. 行政院公共工程委員會 (2024), 「114 年度施政計畫」。
4. 行政院公共工程委員會 (2024), 「115 年度施政計畫」。
5. 行政院國家永續發展委員會 (2022), 「臺灣 2050 淨零排放 路徑及策略總說明」。
6. 行政院 (2002), 「挑戰 2008 – 國家發展重點計畫」。
7. 吳榮煌、李萬利、賴建中、賴鈺蒨 (2009), 「整合智慧工程管理建構新一代工程專案決策中樞系統」, 中華技術, 第 81 期, 第 246-255 頁。
8. 行政院公共工程委員會 (2008), 「營建工作組推動現況及進度說明」, 中華民國電子商務資料交換標準委員會 97 年第 2 次工作會議。
9. 呂斌豪、黃琬淇 (2024), 「工程發包策略與契約型態對施工階段碳管理：邁向碳有價的預算管理新紀元」, 中國土木水利學會會刊, 第 52 卷, 第 2 期, 第 47-53 頁。 



建築物耐震之理論與實務研討會 114.12.11

主辦單位：臺灣大學工學院地震工程研究中心、社團法人中國土木水利工程學會
協辦單位：臺灣省土木技師公會、台北市結構工程工業技師公會、台北市土木技師公會、
中華民國結構工程學會、中華民國地震工程學會



台灣位處地震帶，如何增強建築物耐震能力，是土木結構專業人士關心的課題。臺大地震工程研究中心自1990年成立以來，在建築物的耐震、隔震技術及實務，均累積豐富經驗，不斷精進為工程界服務。本研討會特別邀請三位重量級大師開講，精彩演講內容歡迎上網瀏覽。

研討會貴賓及講者合影

黃世建特聘教授演講：RC 建築物地震災害之調查、原因與補強技術

蔡克銓講座教授演講：鋼結構建築物耐（抗）震構件之種類、構造、原理及應用

張國鎮教授演講：台灣建築物隔震技術之發展與展望

RC建築物地震災害之調查、原因與補強技術

黃世建
土木工程系教授

簡報瀏覽

建築鋼結構抗震構件型式、原理與應用

蔡克銓
國立台灣大學土木工程學系教授
國家地震工程研究中心顧問

簡報瀏覽

台灣建築物隔震技術之發展與展望

張國鎮
國立台灣大學 名譽教授

簡報瀏覽

研討會下半場重頭戲是台大土木系陳永祥教授新書《結構動力學》發表會，簡報歡迎上網瀏覽。

陳永祥教授演講：《結構動力學》新書發表、動機、責任與傳承；內容、特色與應用（四大亮點）



簡報瀏覽



結構動力學

陳永祥·黃燕輝

四大焦點或亮點

- 結構動力學之理論與應用
- 超高速軌道之動力特性
- 台北 101 大樓之減震技術
- 台灣良好地震反應減震應用

台北 101 大樓

《結構動力學》以中文講述結構動力學，從基礎理論到實際應用，涵蓋層面包括土木、建築、橋梁、軌道、地震、造船、航空、離岸海域平台、機械、以及高科技廠房暨半導體製造設備等。

本學會官網有售，歡迎訂購。



購書連結



海峽兩岸共同舉辦「土木工程創新技術研討會」

文：廈門大學 宮楠／圖：楊程凱、席婷婷、易際特、李凱純

12月15日，海峽兩岸共同舉辦「土木工程創新技術研討會」在廈門大學思明校曾呈奎樓118報告廳舉行。本次研討會由廈門大學、中國土木水利工程學會、北京茅以升科技教育基金會共同主辦、廈門大學建築與土木工程學院承辦、廈門市建築遺產保護智慧技術集成應用重點實驗室協辦。來自兩岸高校和工程實踐領域的專家學者和北京茅以升科技教育基金會負責人參加會議。研討會圍繞土木工程領域的新技術、新方法與工程實踐開展交流，重點聚焦橋梁工程、結構健康監測、數位孿生與智慧技術等研究方向，旨在進一步加強兩岸學術交流，推動土木工程領域協同發展。

廈門大學校務委員會副主任、建築與土木工程學院院長張建霖教授在開幕致辭中對與會專家學者表示歡迎，介紹了廈門大學及土木工程學科的發展情況，回顧了學校百餘年來「人文社科與理工並重」的辦學傳統，指出廈大土木工程學科在關鍵歷史階段的建設與發展來

之不易。本次研討會的召開，是傳承學術傳統、深化兩岸交流的重要實踐。

研討會共邀請六位嘉賓主題報告，主旨內容圍繞車-橋耦合、臺灣地震監測暨建築結構健康診斷、臺灣金門大橋、鋼橋疲勞關鍵技術、結構健康監測以及人工智慧與數位孿生等方向展開，充分體現了土木工程領域的前沿研究與工程實踐結合。



張建霖教授開幕致辭



中興大學前副校長
林其璋教授開幕致辭



北京茅以升科技教育基金會
名譽理事長茅玉麟女士致辭

六位專家學者做主題報告



中國工程院院士、
重慶大學楊永斌教授



中興大學
林其璋教授



臺北市土木建築學會
蔡榮理理事長



北京茅以升科技教育基金會
劉曉光副理事長



廈門大學雷鷹教授



廈門大學李軼賢副教授



研討會圓滿成功

開路架橋 穿山越水
治河理川 穩土固石



專業、客觀
公益、永續



歡迎掃碼，獲知我們最新消息！



 **台北市土木技師公會**
Taipei Professional Civil Engineers Association

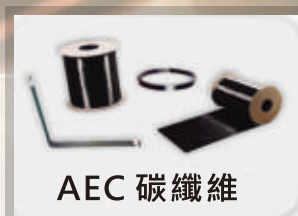
105612台北市松山區東興路28號9樓

02-27455168

tpce@tpce.org.tw

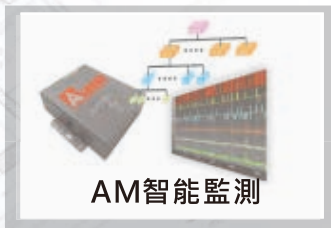


安得固



建築修復結構補強

STRUCTURE REPAIR & REINFORCE SYSTEM



免費服務電話
0800-009-666

台北 02-29813223 台中 04-23810055 高雄 07-3500090
桃園 03-4022192 雲林 05-5967603 上海 021-54370088
更多的資訊請上安得固官方網站 www.anchors.com.tw





茲附上廣告式樣一則
請按下列地位刊登於貴會出版之「土木水利」雙月刊

此致
社團法人中國土木工程學會

「土木水利」雙月刊
廣告價目表

(費率單位：新台幣元)

刊登位置	金額 (新台幣元)	敬請勾選
封面全頁 彩色	60,000	
內頁中間跨頁 彩色	80,000	
封底全頁 彩色	50,000	
封面裏/封底裏 全頁彩色	40,000	
內頁全頁 彩色 (直式)	30,000	
內頁半頁 彩色 (橫式)	15,000	
內頁 1/4 頁 彩色 (直式)	8,000	
折扣	3 期 9 折， 4 期以上 8.5 折	

刊登月份：

53.1 53.2 53.3 53.4 53.5 54.6 共 次
(2月) (4月) (6月) (8月) (10月) (12月)

註：稿件請提供設計完稿之廣告稿；
相片、圖片等請提供清楚原件或電腦檔。

上項廣告費計新台幣 元整

隨單繳送請查收摺據
請於刊登後檢據洽收

機構名稱：
商號 (請蓋公司印)

負責人：

地 址：

廣告聯絡人：

電 話：

廣告訂單聯絡：社團法人中國土木工程學會 電話：(02) 2392-6325 email: service@ciche.org.tw

98-04-43-04

郵政劃撥儲金存款單

收款 帳號	0	0	0	3	0	6	7	8	金額 新台幣 (小寫)	仟	萬	拾	萬	萬	仟	佰	拾	元
----------	---	---	---	---	---	---	---	---	-------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---

通訊欄 (限與本次存款有關事項)

收款戶名	社團法人中國土木工程學會	
姓名		
地 址	□□□□—□□	
電 話		

繳納會費
 常年會員年費 1,200 元
 初級會員年費 300 元

訂閱土木水利雙月刊，一年六期
 國內·個人會員 新台幣 300 元
 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800 元
自第 卷第 期起， 年期雙月刊 份

訂閱中國土木工程學刊，一年八期
 國內·個人會員 新台幣 1,600 元
 國內·非會員及機關團體 新台幣 3,600 元
 國外·個人 美金 80 元
 國外·機關團體 美金 200 元
自第 卷第 期起 年期學刊 份

寄 款 人	主管：
經辦局收款戳	

虛線內備供機器印錄用請勿填寫

◎ 寄款人請注意背面說明
◎ 本收據由電腦印錄請勿填寫

郵政劃撥儲金存款收據

收款帳號戶名	
存款金額	
電腦紀錄	
經辦局收款戳	

社團法人中國土木工程學會

信用卡繳納通知書

姓名		款別 註：入會時請先填入會申請書，傳真學會審查，我們會立即通知您，資格符合時請繳費，入會費一人僅需繳交一次	繳納會費 <input type="checkbox"/> 常年會員年費 1,200 元 <input type="checkbox"/> 初級會員年費 300 元
會員證號碼			訂閱土木水利雙月刊，一年六期 <input type="checkbox"/> 國內·個人會員 新台幣 300 元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 1,800 元 自第__卷第__期起，__年期雙月刊__份
身分證號碼			訂閱中國土木水利工程學刊，一年八期 <input type="checkbox"/> 國內·個人會員 新台幣 1,600 元 <input type="checkbox"/> 國內·非會員及機關團體 新台幣 3,600 元 <input type="checkbox"/> 國外·個人 美金 80 元 <input type="checkbox"/> 國外·機關團體 美金 200 元 自第__卷第__期起__年期學刊__份
卡別	<input type="checkbox"/> VISA <input type="checkbox"/> MASTER CARD <input type="checkbox"/> JCB		白天聯絡電話
信用卡卡號			通訊地址
信用卡末三碼			
信用卡有效期限	(月/年)		
信用卡簽名			
繳費金額			

回覆請利用傳真：(02) 2396-4260 或 email：service@ciche.org.tw

回覆後請務必電話：(02) 2392-6325 確認，謝謝！

郵政劃撥存款收據 注意事項

- 一、本收據請詳加核對並妥為保管，以便日後查考。
- 二、如欲查詢存款入帳詳情時，請檢附本收據及已填妥之查詢函向各連線郵局辦理。
- 三、本收據各項金額、數字係機器印製，如非機器列印或經塗改或無收款郵局收訖章者無效。

請寄款人注意

- 一、帳號、戶名及寄款人姓名地址各欄請詳細填明，以免誤寄；抵付票據之存款，務請於交換前一天存入。
- 二、每筆存款至少須在新台幣十五元以上，且限填至元位為止。
- 三、倘金額塗改時請更換存款單重新填寫。
- 四、本存款單不得黏貼或附寄任何文件。
- 五、本存款金額業經電腦登帳後，不得申請撤回。
- 六、本存款單備供電腦影像處理，請以正楷工整書寫並請勿摺疊。帳戶如需自印存款單，各欄文字及規格必須與本單完全相符；如有不符，各局應婉請寄款人更換郵局印製之存款單填寫，以利處理。
- 七、本存款單帳號與金額欄請以阿拉伯數字書寫。
- 八、帳戶本人在「付款局」所在直轄市或縣(市)以外之行政區域存款，需由帳戶內扣收手續費。

交易代號：0501、0502現金存款 0503票據存款 2212劃撥票據託收

本聯由儲匯處存查 600,000 束 (100 張) 94.1.210 × 110mm (80g/m² 模) 保管五年 (拾大)



中華工程股份有限公司
BES ENGINEERING CORPORATION



電廠
Power Plant



水利
Hydraulics



工業區及土地開發
Industrial Park and Land Development



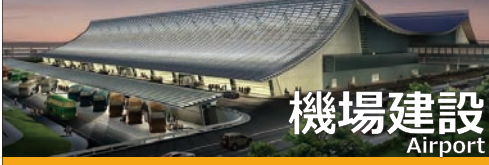
統包建築
Turnkey Architecture



港灣海事
Harbor



人工湖
Artificial Lake



機場建設
Airport



道路橋梁
Road and Bridge



管線
Pipeline



隧道
Tunnel



捷運系統
MRT



鐵路地下化
Underground Railway

TEL : 886-2-87876687 FAX : 886-2-87876987
Email : besbs0@bes.com.tw
Add : 台北市松山區東興路12號6樓 6F,12,Tungshing Rd.,Taipei,Taiwan,R.O.C.



提升區域豐、枯水期供水韌性



守護民生用水、長期穩定供水

經濟部水利署南區水資源分署 廣告

夢想和幸福

零距離的接軌

技術必須經得起考驗，專業來自於永不妥協的堅持，
夢想的城堡、幸福的家園，就座落在不遠的前方，
台灣世曦和您一起攜手而行，用築夢的心、關懷的情，
戮力建設出每一項希望的工程。



Creativity · Excellence · Conservation · Integrity

CECI



台灣世曦
工程顧問股份有限公司

台北市11491內湖區陽光街323號
Tel:(02) 8797 3567 Fax:(02) 8797 3568
<http://www.ceci.com.tw> E-mail:pr@ceci.com.tw