

ISSN : 2791-3805
GPN : 2011100010

下水道
● 水再生期刊

下水道水再生 期刊

第五卷第一期 115年04月

下水道韌性提升及前瞻處理技術:下水道防災整備管理技術

12

下水道韌性提升及前瞻處理技術 × 下水道防災整備管理技術

內政部國土管理署



本期刊下載



中華民國
內政部國土管理署 National Land Management Agency,
Ministry of the Interior

電話總機 (02)8771-2345
105404 台北市松山區八德路2段342號

中華民國
內政部國土管理署
National Land Management Agency,
Ministry of the Interior

主編的話

面對極端氣候趨勢與都市化加速，雨污水下水道系統的防災任務已明顯升級。過去以「設計重現期」與「管渠容量」作為防洪主軸的思維，雖仍是必要基礎；但在短延時強降雨、颱洪連續降雨、潮位與河道水位攀升等多重情境下，災害往往呈現「尖峰流量提高、反應時間縮短、影響區由點擴及面」的型態。同時，災害常伴隨含砂泥流造成快速淤堵、道路中斷，乃至供電與通訊受損，使應變窗口被極度壓縮、調度難度大幅提高。

近期發生的『馬太鞍溪堰塞湖事件』，為我們深刻展示極端災害由『點狀災情迅速蔓延為面狀衝擊』的演變歷程，此類危機並非單一因子所致，而是外在邊界條件於極短時間內劇烈變動的結果：上游崩塌阻斷河道形成堰塞湖，蓄水位急遽抬升；一旦潰決，洪峰挾帶巨量土砂與漂流物傾瀉而下，將使下游瞬間承受外水暴漲、防洪設施淤堵、市區倒灌風險遽增等複合式壓力。面對此等排山倒海的危機，若前端的監測訊號、警戒發布與應變流程未能提早「制度化」，管理者極易陷入「察覺異狀，卻猝不及防」的決策困境。強調唯有強化「從預警到行動」的銜接效率，方能有效阻斷災情連鎖擴大的風險。

基於上述，本期策劃聚焦於「整合學術研究與地方實務」，致力提出一套可具體落實於水務設施「全生命週期管理」的現代化操作架構，其核心策劃理念建立在四大基礎之上，包含：

- **決策一致化**：明訂警戒分級與啟動條件，確保各單位在極端情境下維持一致的研判邏輯與決策程序。
- **行動具體化**：將預警訊息轉譯為現地處置行動，確保跨單位共同依循。
- **資源最適化**：建立制度化設施檢核機制，結合風險評級驗證處置績效，確保資源精準配置於關鍵點，落實維護經費之最適化分配。
- **制度韌性化**：落實災後實測數據回饋，將應變處置經驗內化為管理範式，並回饋至工程設計基準與維護機制之雙軌優化。

本專刊共收錄八篇精采專文，目的在於把複合風險轉化為實際的技術工具與管理機制。為引領讀者全盤掌握當代水務發展藍圖，本期內容依核心議題歸納為三大主題：

主編的話

主題一：韌性治理、智慧預警與數位決策 面對瞬息萬變的極端降雨與複合災害，唯有從政策治理、風險辨識到數位監測同步強化，方能真正搶占應變先機。本主題整合四篇文章，從制度規劃到智慧應用，逐步建構都市下水道的「韌性大腦」。

- 《運用大數據與水理模組建構都市降雨容受力—以桃園市為例》：率先提出將積淹水通報、感測數據與 SWMM 模擬結合，建立「降雨容受力」的量化方法。協助地方政府將警戒值「在地化」與「時間化」，大幅提升初期判識能力。
- 《整合智慧監測與水理模擬之都市下水道應變及預警體系之介紹》：進一步將法規、水理模型與 AIoT 監測串接。強調預警不應僅是資訊發布，更必須落實為操作觸發值與行動清單，據以精準啟動阻絕或跨區支援。
- 《都市排水整治管理及異常預警智慧管理之應用》：以臺中柳川為例，展示在兼顧水質與防洪目標下，如何透過 AIoT 異常預警系統及早辨識設備偏離，避免微小異常在多重壓力疊加下演變為系統性失效。
- 《城市保衛戰：韌性下水道與極端氣候的對話》：以跨部會論壇對談為主軸，從下水道、水資源、國土管理及環境風險調適等面向，說明面對短延時強降雨、複合災害與都市化壓力時，未來下水道建設已不能只停留在容量思維，而應同步導入韌性治理、分散滯洪、智慧預警與跨域協作，作為打造氣候韌性城市的重要起點。

主題二：資源復育與淨零轉型 氣候變遷帶來的挑戰不僅是防洪，更包含水資源稀缺與全球暖化。本主題收錄三篇文章，探討下水道系統如何化被動為主動，成為環境永續的推手。

- 《利用雨水下水道系統補注地下水資源復育》：以雲林地層下陷區為背景，提出「調蓄-入滲補注」策略。將極端降雨的尖峰逕流「削峰、錯峰」並轉為地下水補注資源，在降低淹水負荷與提升供水韌性間創造雙贏。
- 《污水處理廠淨零減碳方案可行性及效應之研析—以內湖污水處理廠為例》：將減碳理念化為實際行動。透過精確的溫室氣體盤查，證實老舊廠區藉由鼓風機汰換與自動化控制，能達成顯著且可量化的減碳節電效益，為國內淨零實務樹立標竿。

主編的話

- 《公共污水處理廠氮氮資源化潛勢與技術研析》：為落實下水道系統之資源永續治理，氮氮應被重新定位為具市場價值的含氮資源。透過技術整合可有效緩解側流液回流導致的曝氣能耗與系統負荷壓力。藉由「氮氮回收-純化-再利用」路徑，結合分散回收與集中模式，產出符合工業或高科技產業需求規格化產品。此藍圖不僅能提升放流水與再生水之水質穩定性，更是串聯北、中、南區域資源、推動國內氮循環供應鏈實體化之重要基礎。

主題三：管網延壽案例分享 無論數位科技如何進步，深埋地下實體管線與第一線從業人員，始終是撐起系統運作的基礎。本主題收錄文章聚焦於硬體韌性的實際施作經驗。

- 《免開挖工法 - 臺南市老舊污水管線修繕應用案例分享》：針對老舊管網，分享臺南市採用 CIPP 熱水 / 熱蒸氣養護免開挖工法的實務經驗。該技術不僅成功克服市區狹小空間，更實質延長管線壽命、提升地下管網抗災韌性。

綜整本期主題，下水道防災管理之思維，應由單純聚焦於硬體的「設計容量」，實質轉化為動態可見、效能可評估且保有高度彈性的「防災韌性與應變能力」。其核心策略可歸納為六大面向：

- **監測基準與預警值**：建立系統容受力之標準與警戒數據，作為各單位步調一致啟動應變的科學依據。
- **熱點清單滾動更新**：建立熱點分級盤點機制，針對易積淹人孔、易堵塞集水口及關鍵抽排設施，落實定期巡檢；並銜接災後檢討與實測數據，滾動式修正設施維護清單與預防策略。
- **預警到無縫應變**：明確定義分級判斷機制與跨域分工架構，配套標準化行動指引，徹底落實防災處置的「實戰演練、效能稽核、持續追蹤」。
- **工程韌性與維管精進**：優化設施維護韌性與備援效能，落實緊急搶修工法之常態化驗證，以杜絕災害應變時系統失靈之風險。
- **資訊整合與協同調度**：整合多元關鍵資訊於智慧管理平台，建構跨機關協作決策空間，確保資訊對稱與同步；災後落實實測數據回饋，滾動式修正水理演算與系

主編的話

統調度規則。

從馬太鞍溪的自然反撲，到都市地下的管網挑戰，印證當代水務工程的任重道遠。我們期盼，本期文章所淬鍊出的工具、指標與作業框架，能為產官學界提供具備高度操作性的制度化建言，進而構築一套「可檢核、演練、持續精進」的現代化防災體系。藉由明訂警戒分級與標準作業程序，確保在極端氣候的不確定性中，仍能穩固決策品質、有效斬斷系統連鎖失效的風險。

值此期刊付梓之際，誠摯感謝所有作者的無私奉獻與審查委員的嚴謹把關。冀望本期心血能發揮拋磚引玉之效，激發更深層的跨域對話與技術創新，攜手為臺灣開創安全、智慧且永續的水務新局。

祝 開卷有益

山林水環境工程股份有限公司總經理 廖宗銘

目錄

專題分享

- 運用大數據與水理模組建構都市降雨容受力—以桃園市為例
.....劉振宇1
- 整合智慧監測與水理模擬之都市下水道應變及預警體系之介紹...
.....陳一銘 ...17
- 都市排水整治管理及異常預警智慧管理之應用.....江吉人 ...29
- 利用雨水下水道系統補注地下水資源復育吳益裕 ...45

能資源

- 污水處理廠淨零減碳方案可行性及效應之研析-以內湖污水處理廠
為例簡瑞宏 ...65
- 公共污水處理廠氨氮資源化潛勢與技術研析吳旻臻... 77

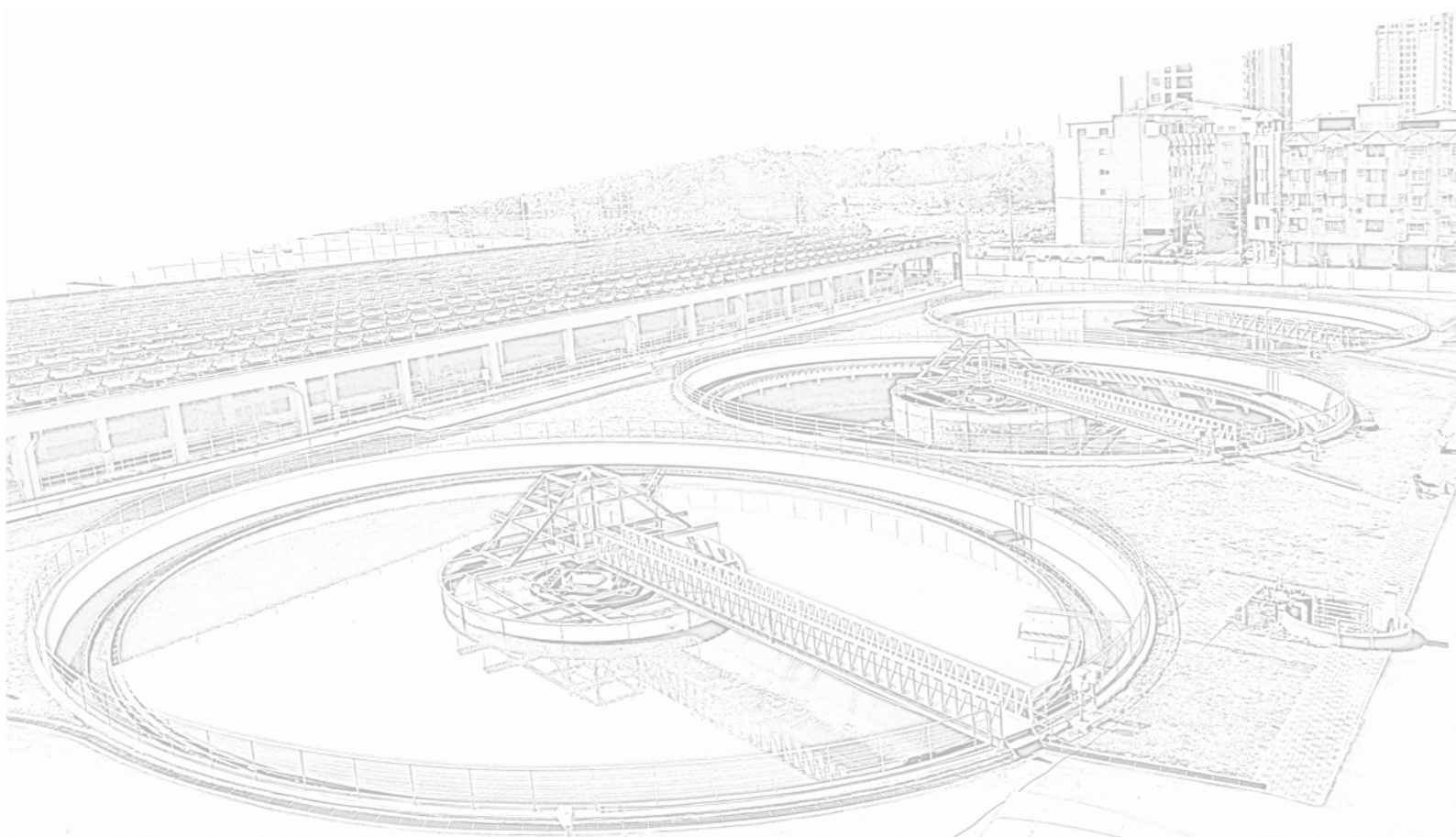
工法分享

- 免開挖工法 - 臺南市老舊污水管線修繕應用案例分享..陳逸群...91

目錄

活動新訊

城市保衛戰：韌性下水道與極端氣候的對話..... 萬騰州...109





摘要

氣候變遷使短延時強降雨事件頻率與強度顯著提升，對高度都市化的桃園市排水系統造成嚴峻挑戰，精準辨識系統弱點成為防洪工作的核心。本研究提出一套降雨容受力評估方法，彙整 2023 年至 2025 年間 322 件積淹水通報案件，結合水位監測、淹水感知器資料，並以 SWMM 水理模式分析排水系統容受力，訂定雨量淹水門檻值。研究結果顯示，SWMM 分析指出桃園市雨水下水道系統之降雨容受力約為 50 mm/60min、30 mm/20min。監測數據迴歸分析顯示部分幹線於 20 分鐘累積降雨約 27.6 – 41.8 mm 時將溢淹。另透過混淆矩陣分析積淹水通報事件與 20 分鐘累積降雨量之關聯性，桃園、中壢、八德區最佳關鍵成功指數 (Critical Success Index, CSI) 值介於 0.50 – 0.647，顯示短延時降雨門檻具實務判識意義。本研究成果可作為都市排水系統改善優先順序與淹水警戒值訂定之參考。

關鍵字：降雨容受力、積淹水、大數據分析、維護管理、智慧防汛

1. 桃園市政府水務局/局長
2. 桃園市政府水務局/副局長
3. 桃園市政府水務局/總工程司
4. 崇峻工程顧問有限公司/總經理

運用大數據與水理模組 建構都市降雨容受力—以桃園市為例

劉振宇¹、李金靖²、邱鵬豪³、林冠宇⁴

Abstract

Climate change has significantly increased the frequency and intensity of short-duration extreme rainfall events, posing serious challenges to the storm-water drainage system of highly urbanized Taoyuan City. Identifying system weaknesses has therefore become a critical task in urban flood mitigation. This study proposes a rainfall tolerance capacity methodology by compiling 322 reported pluvial flooding events between 2023 and 2025 and integrating sewer water-level monitoring and inundation sensor data. The Storm Water Management Model (SWMM) was applied to analyze drainage system tolerance capacity and to determine rainfall-based inundation thresholds.

Results indicate that the rainfall tolerance capacity of Taoyuan's storm sewer system is approximately 50 mm for a 60-minute rainfall duration and decreases to about 30–40 mm for a 30-minute duration, indicating that short-duration rainfall exceeding 30 mm within 30 minutes is likely to trigger surface inundation. Regression analysis of monitoring data further shows that several sewer trunks reach full-pipe or surcharge conditions when 20-minute cumulative rainfall ranges from approximately 27.6 to 41.8 mm. In addition, confusion matrix analysis reveals that the optimal Critical Success Index (CSI) values for the three administrative districts range from 0.50 to 0.647, demonstrating that short-duration rainfall thresholds provide practical discrimination capability for identifying pluvial flooding events. The results of this study can support prioritization of drainage system improvements and the determination of rainfall-based flood warning thresholds.

Keywords: Rainfall capacity; flooding; Big data; Drainage maintenance management; Intelligent flood management

壹、前言

近年來氣候變遷導致極端天氣事件頻率增加，短延時強降雨的強度與總雨量明顯提高（游勝傑，2022）。對於人口與產業高度集中的桃園市而言，此趨勢帶來嚴峻挑戰：數次劇烈暴雨已在桃園多處引發淹水災情，特別是在 2025 年汛期前發生多場暴雨，造成多處積淹水災情。依據聯合國永續發展目標 (SDGs)，都市應朝向安全性與韌性發展。然而，在有限的經費與資源下，如何精準找出下水道系統的弱點並制定改善優先順序，成為當務之急。

儘管桃園市政府過去十年（2009 年－2019 年）陸續推動東門溪主流整治、拓寬河道並新建滯洪池、截流導流及下水道等工程，並建置「桃園市智慧水資源回收中心雲端管理平臺」導入物聯網監測強化防洪能力（吳文峰和李成偉，2024；林家宏等人，2024），城市排水系統面對極端降雨時仍存在易淹水熱區與瓶頸。有限的財政資源下，如何精準盤點下水道系統弱點並優先強化，已成當務之急。

傳統排水規劃多依據設計暴雨重現期設定標準，但極端降雨往往超出設計值，使某些地區排水不及而積水。觀測亦顯示短時間內集中 30 mm 以上的強降雨常引發市區積淹水。另一方面，排水不良的成因有相當一部分源自系統維護管理不周：例如側溝淤積、路側洩水孔堵塞等問題大

幅降低下水道功能（楊昇學等人，2024）。桃園市水務單位即指出，若能落實清疏檢修管網與進水口，許多路面積水情形可望避免。因此，都市防洪提升不僅仰賴工程興建，更有賴非工程措施與智慧管理減災並行。

本研究引入透過暴雨管理模型 (SWMM) 模擬桃園都會區不同降雨情境下排水系統的極限容受能力，換言之，以水文水理模型分析雨水下水道在特定設計雨型下所能承受的最大降雨強度，直到模擬中人孔節點開始發生溢流為止，即定義為系統的降雨容受力。據此可量化評估現有排水網路之實際保護標準，進一步辨識易淹水的瓶頸區段並研擬分期改善計畫。同時，參考經濟部水利署淹水警戒值（水利署，2025）淹水警戒值訂定方法，本研究彙整桃園市近年淹水事件的大數據資料，訂定容受力相應的降雨警戒值，作為淹水警戒值。

貳、桃園市排水現況與積淹水成因分析

一、都市計畫雨水下水道規劃概況

桃園市目前已實施 33 處都市計畫區，其中 26 處已由水務局完成雨水下水道重新檢討規劃，現行雨水下水道依規劃報告採用 5 年重現期距作為設計保護標準，降雨強度平均約為 76.2 mm/hr，與臺北市標準相當。然而，桃園市多為丘陵

台地地形，雨水下水道長度與集流時間相對較短，加上近年來「北北桃」都會區成形，巨型都市熱島已擴大到桃園市桃園、八德及中壢區等都會區，降雨型態呈現延時縮短、強度增強之趨勢，降雨多於 1 小時內即傾瀉完畢，造成路面積淹水案件頻傳。

二、積淹水案件紀錄分析

經統計 2023 年至 2025 年間桃園市水情資訊系統之積淹水通報案件，共計 322 件。相關數據統計如表 1 所示，空間分布如圖 1 所示。透過數據統計積淹水通報案件致災成因、空間分布、積淹水深度與時間等，分析歸納出以下特徵：

- 1. 成因結構：**「維管問題」（如側溝淤積、格柵蓋堵塞）佔比最高，約佔 50%（160 件）；其餘非維管問題中則以「設施改善」（如洩水孔或斷面不足、缺乏排水系統等）佔比次高，約佔 26%（84 件）。
- 2. 空間分布：**案件高度集中於人口密集區，依序為中壢區（76 件）、桃園區（64 件）及八德區（43 件），合計佔總案件數近六成。
- 3. 時間特徵：**呈現季節性雙峰分布，分別為 4 月的春雨（主要反映防汛整備前的設施狀況）及 8 月的颱風季。2025 年通報案件量激增至 142 件，反映出短延時強降雨頻率增加對系統

造成的壓力。

4. 淹水深度：多數案件集中於 20 公分以下的淺層積水（約佔七成），屬於

表 1 2023 至 2025 年積淹水成因類別統計成果表

年度	年度總計	維管問題	其他
2023 年	98 30.4%	48 49.0%	50 51.0%
2024 年	82 25.5%	49 59.8%	33 40.2%
2025 年	142 44.1%	63 44.4%	79 55.6%
合計	322 100.0%	160 49.7%	162 50.3%

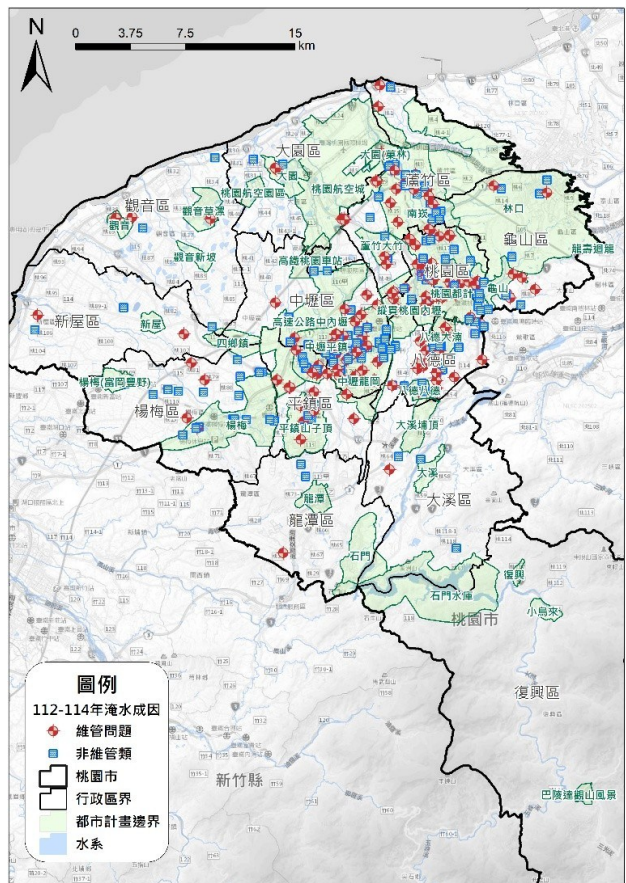


圖 1 2023-2025 年積淹水通報事件分布圖

地表逕流宣洩不及的暫時性現象。

參、降雨容受力壓力測試與評估

為量化評估都市降雨容受能力，本研究以「桃園市都市計畫區」作為示範區，該區涵蓋龜山工業區及重大交通建設，具有高保全價值。

一、分析方法

本研究採用三種方法探討建置容受力，比較表詳見表 2 及圖 2 所示：

1. 水理模式壓力測試 (SWMM 模式)：利用已建置的現況下水道與地表逕流複合模式，輸入(1)桃園都市計畫區雨水下水道系統重新檢討規劃 5

年重現期距 Horner 公式 (降雨延時 10、20、30、60 分鐘)、(2)以 5 年重現期距 Horner 公式降雨延時 60 分鐘之雨型分配 10、20...、120 mm 累積雨量、(3)近三年短延時強降雨事件 (20230810 大雨、20240922 大雨、20250410 大雨) 之雨型分配 10、20...120 mm 累積雨量等進行壓力測試。

2. 監測數據回歸：利用雨水下水道水位監測站與鄰近雨量站數據建立回歸模型，分析水位上升至滿管及地面時之對應降雨量。

3. 積淹水通報分析：透過混淆矩陣 (Confusion Matrix) 評估淹水事件通

表 2 容受力探討方式比較表

容受力分析方法	1.水理模式 壓力測試	2.監測數據回歸	3. 積淹水通報分析
適用條件	具有現況 SWMM 模式	下水道已有佈設水位監測站且鄰近已有雨量站，且有長期穩定資料	需有淹水通報紀錄或淹水感測紀錄
場域 覆蓋度	局部	單點	廣
應用面	建置時間長，可用於防洪操作及工程方案決策	用以掌握單一系統排水瓶頸點狀況，可做為淹水成因參考	可快速、概略檢視全市淹水情形及降雨容受力
分析 淹水成因	人孔溢淹	人孔溢淹	人孔溢淹、強降雨造成積淹水

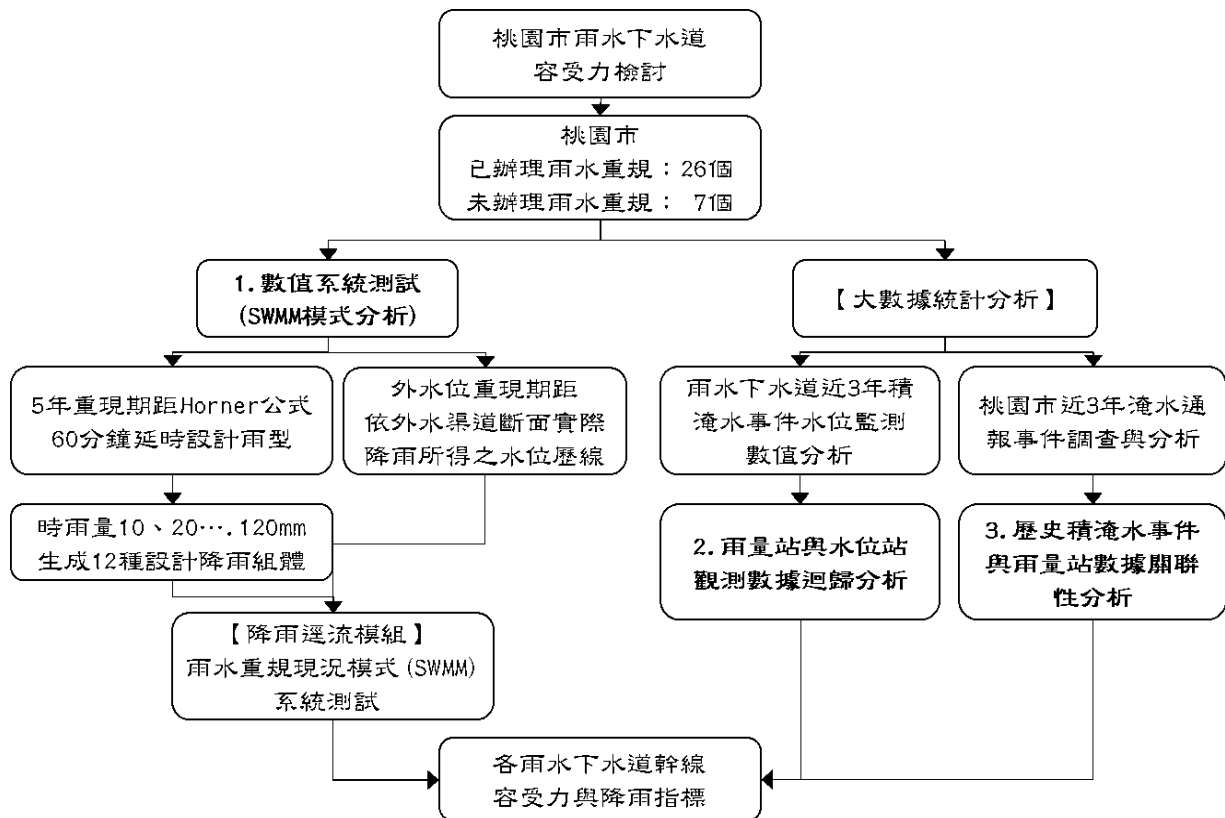


圖 2 容受力分析方式

表 3 各種累積雨量與降雨延時溢淹點數量、節點最大溢淹體積統計

累積雨量 (mm)	情境一 (60分鐘延時)		情境二a (10分鐘延時)		情境二b (20分鐘延時)		情境二c (30分鐘延時)	
	冒孔數 (個)	節點最大溢淹體積 (m ³)	冒孔數 (個)	節點最大溢淹體積 (m ³)	冒孔數 (個)	節點最大溢淹體積 (m ³)	冒孔數 (個)	節點最大溢淹體積 (m ³)
10	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
20	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
30	0	0.0	1	17.5	0	0.0	0	0.0
40	0	0.0	17	736.8	5	170.5	1	42.7
50	2	32.0	50	1,438.1	20	1,075.0	14	846.8
60	16	600.1	87	2,042.8	54	1,764.1	43	1,592.1
70	24	1,741.4	124	2,737.4	82	2,336.5	68	2,173.3
80	46	2,340.3	145	3,406.7	125	2,996.4	102	2,727.6
90	70	2,749.4	173	4,068.2	149	3,688.5	140	3,398.1
100	103	3,043.0	191	4,745.8	167	4,377.9	157	4,079.6
110	121	3,679.8	206	5,503.1	191	5,079.4	176	4,768.9
120	149	4,352.3	218	6,261.9	205	5,774.4	193	5,461.5

報之判識準確性，並據此訂定適當之淹水警戒值。

二、容受力分析結果

1. 水理模式測試 (SWMM 模式)

本研究針對桃園市都市計畫區現況雨水下水道系統的容受力，茲以整個都市計畫為單元，將現況雨水下水道建置於 EPA

SWMM 模式中，現況雨水下水道分布及幹線名稱如圖 3 所示。

SWMM 模式模擬成果顯示在 60 分鐘延時降雨下約為 50 mm 即有冒孔情形；然而，若遭遇降雨量集中於 10 至 30 分鐘內之短延時極端強降雨，其容受力則顯著下降至 30 至 40 mm。

其中，TX 系統因大智路與樹仁三街一

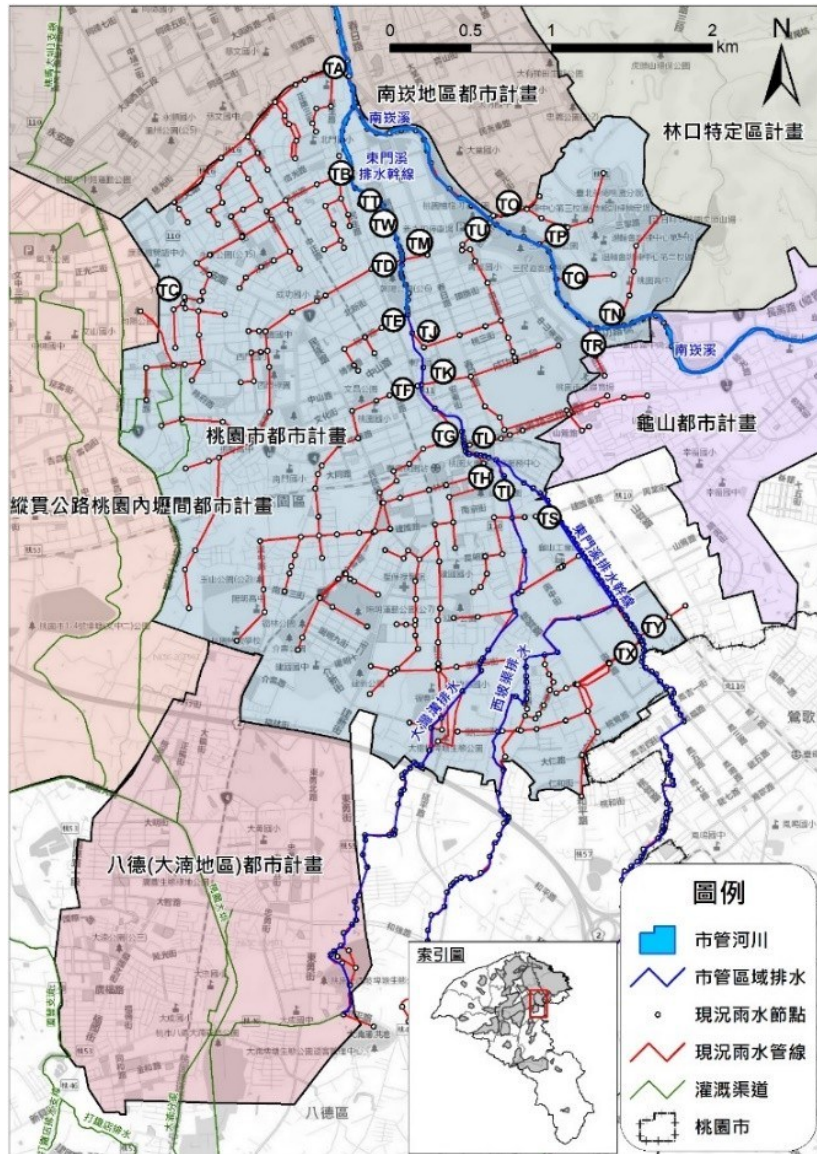


圖 3 都市計畫 SWMM 現況雨水下水道分布圖

帶現況仰賴重力與機械抽排並行，臨界值最低，於 60 分鐘延時降雨量 50 mm 情境下，即出現冒孔（2 處）；而 TG 系統因其上游管線末端集水範圍相對較大，容受力略為不足，其臨界值次之，60 分鐘延時降雨量 60 mm 情境下即出現冒孔（4 處），顯示二條雨水幹線為全桃園市都市計畫區排水系統中容受力低的區域，

如表 4 所示。

2. 監測數據回歸

本研究蒐集 2024 年度雨水下水道水位觀測值達 80 %或滿管之降雨事件，剔除降雨分布不均等特殊事件後，選用 2024 年 09 月 22 日與 2024 年 10 月 30 日兩場降雨事件，分別以 10、20 分鐘累

表 4 情境一各幹線溢淹點和上限值統計表

幹線系統	溢淹點數量	降雨容受力上限值(mm)
TA	6	90
TB	2	80
TC	1	110
TD	1	60
TE	4	80
TF	2	60
TG	4	60
TH	4	100
TI	4	100
TJ	1	110
TK	1	70
TS	2	60
TX	2	50
TY	1	110

[註]：雨量站採用桃園氣象站、桃園市政府水務局樹仁三街滯洪池、文欣國小雨量站

積雨量在 10、20、30 分鐘等不同稽延時間條件下，分析雨水下水道水位上升過程中之累積降雨量與水位變化關係（詳圖 4）；經迴歸分析比較不同稽延時間條件後，以 20 分鐘累積降雨在稽延時間 20 分鐘條件下之迴歸分析相關性結果最佳（詳圖 5）。

以此方法分析桃園都市計畫區內八個雨水下水道水位站之觀測水位與 20 分鐘累積降雨量關係後（如表 5），其中 R1-

012、R1-081、R1-082、R1083 等四個水位站迴歸係數較佳，雨水下水道容受力約 20 分鐘累積降雨量約介於 27.6 mm 至 41.8 mm 間。

3. 歷史積淹水事件比對

統計桃園市政府水務局水情中心自 2023 年至 2025 年 9 月底之桃園都會區（桃園、八德及中壢區）降雨量及通報件數彙整如表 6 所列，積淹水通報紀錄共計 322 件，通報日期共計 55 日。

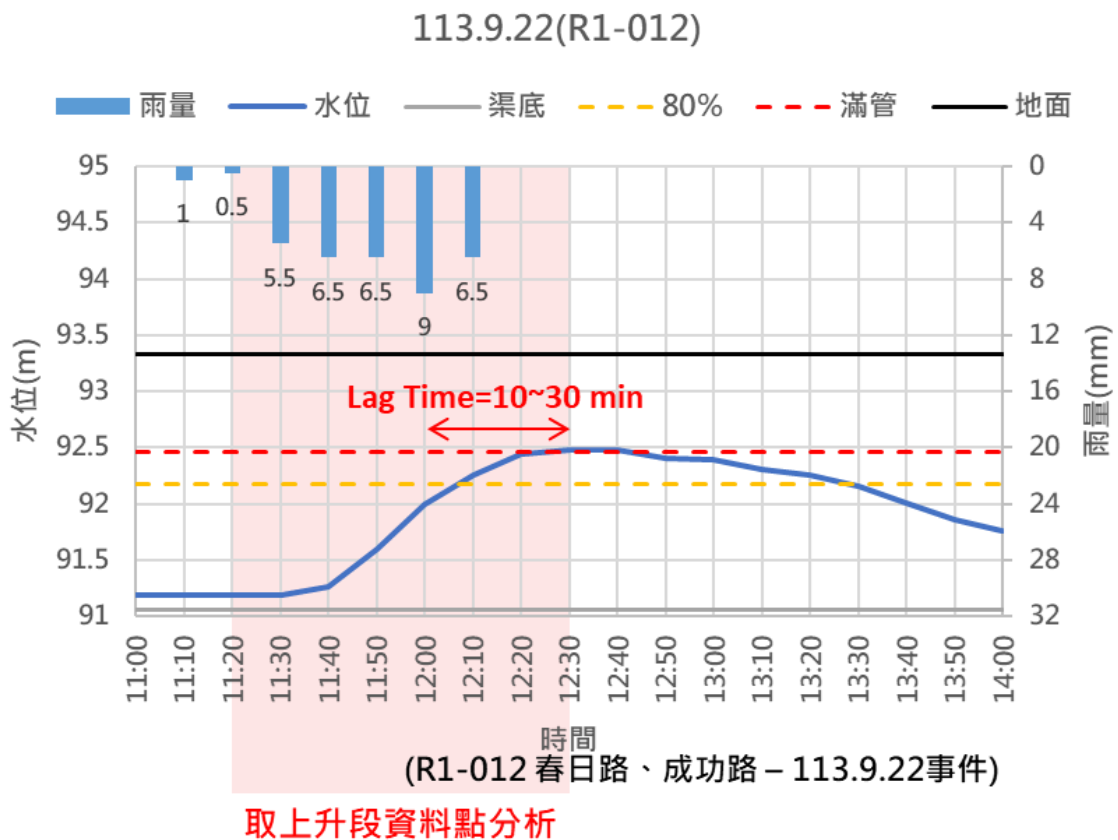


圖 4 TK-T 幹線成功路口處與桃園雨量站(R1-012)觀測降雨與水位變化圖

20分鐘雨量與水位關係-延遲10~20分鐘

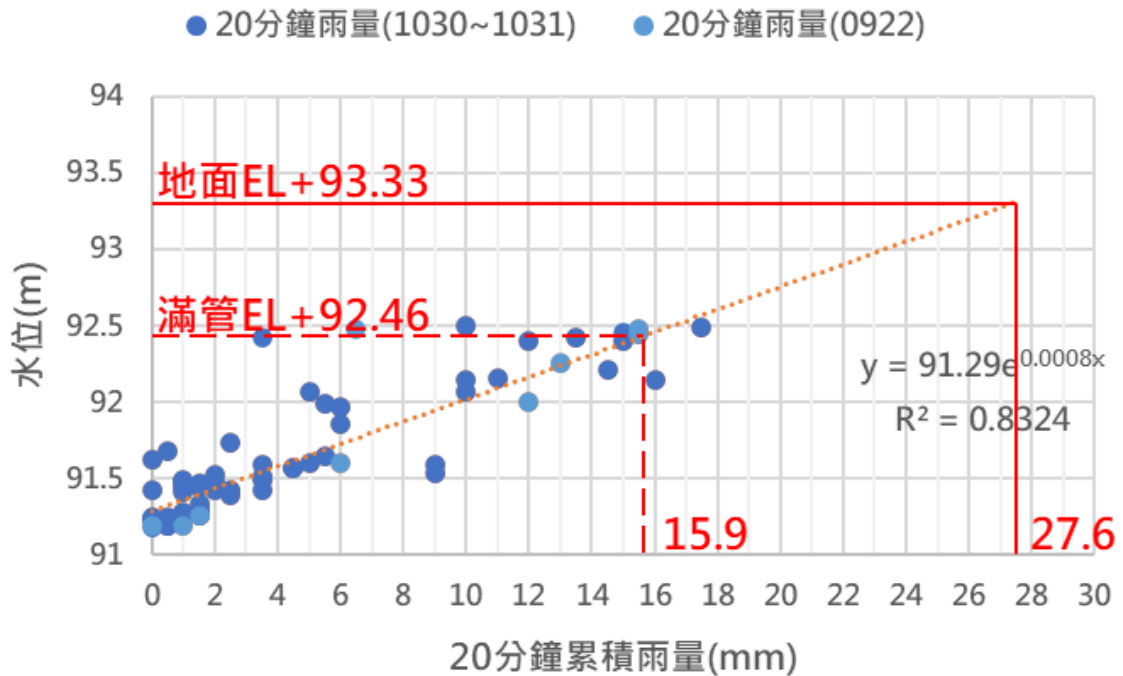


圖 5 TK-T 幹線成功路口處與桃園雨量站迴歸分析

表 5 水位監測站與鄰近雨量站回歸分析成果表

項次	水位監測站站名	代號	雨量站	判定係數 (R ²)	達到管徑 80%水位	達到 滿管水位	達到地表高程 (容受力)
1	春日路、成功路	R1-012	桃園	0.8	12	15.9	27.6
2	興邦路 上展金屬旁側溝	R1-017	樹三	0.6	10.5	14	16.6
3	仁和街 280 巷	R1-019	桃園	0.7	11.5	15.5	25
4	TS-T2 支線 (大誠路明溝)	R1-077	桃園	0.55	7	11	35.8
5	TS-T6 支線 (榮華街 64 巷)	R1-078	桃園	0.61	13	16.5	33.8
6	TK-T 幹線(春日路)	R1-081	桃園	0.8	13.5	18	41.8
7	TG-T 幹線 (介壽路 11-4 號)	R1-082	樹三	0.73	11.5	15	28.2
8	TG-T 幹線 (建國路 151 號)	R1-083	樹三	0.79	8.5	11	28.3

表 6 桃園市都會區積淹水通報事件與降雨量關係表

通報日期	行政區	維管問題	非維管問題	通報件數	20分鐘最大降雨量(mm)
2023-08-10	桃園區	4	6	10	32
2025-07-29	桃園區	0	2	2	30
2023-07-12	桃園區	1	0	1	30
2024-09-22	桃園區	4	4	8	22.5
2023-07-02	桃園區	6	2	8	18
2025-03-15	桃園區	1	0	1	18
2024-10-31	桃園區	0	1	1	17.5
2025-07-25	桃園區	1	0	1	17.5
2024-08-10	桃園區	3	1	4	16
2023-05-22	桃園區	2	0	2	15
2025-04-12	桃園區	0	2	2	15
2023-05-19	桃園區	0	1	1	13
2025-03-13	桃園區	1	1	2	12
2025-04-10	桃園區	1	1	2	9.5
2023-06-01	桃園區	1	0	1	6.5
2025-04-13	桃園區	0	2	2	1.5
2024-08-14	中壢區	2	1	3	32.5
2025-08-01	中壢區	1	1	2	30.5
2025-05-10	中壢區	1	0	1	22
2024-09-22	中壢區	3	3	6	21.5
2023-07-02	中壢區	0	1	1	20.5
2025-03-13	中壢區	2	4	6	20
2025-03-15	中壢區	1	2	3	19.5
2023-05-22	中壢區	4	1	5	19
2025-04-12	中壢區	1	0	1	19
2023-05-19	中壢區	1	0	1	18
2025-07-25	中壢區	0	1	1	17
2024-10-31	中壢區	1	2	3	15.5
2023-08-10	中壢區	2	0	2	13
2025-04-10	中壢區	12	10	22	11
2023-06-04	中壢區	0	1	1	8
2025-08-27	中壢區	1	0	1	7
2023-04-19	中壢區	0	1	1	6.5
2023-06-15	中壢區	1	0	1	4
2023-06-01	中壢區	0	1	1	2
2025-04-13	中壢區	1	0	1	1.5
2025-08-27	八德區	1	1	2	51.5
2023-08-10	八德區	1	2	3	33
2023-09-06	八德區	1	2	3	32.5
2023-07-02	八德區	2	0	2	30.5
2024-09-22	八德區	1	1	2	29.5
2023-08-17	八德區	0	1	1	20
2025-03-13	八德區	0	2	2	19.5
2025-03-15	八德區	3	3	6	19
2025-04-12	八德區	1	1	2	18
2024-10-31	八德區	1	0	1	16
2025-04-10	八德區	6	9	15	8.5

通報日期中當天全市僅有一件通報紀錄者計有 20 日，全市通報紀錄有 1~10 件者有 25 日，10 件以上者則有 10 日，其通報位置與 20 分鐘累積降雨量等值線如圖 6 所示。其中排名前三者為 2025 年 04 月 10 日之 59 件通報紀錄、2023 年 08 月 10 日之 27 件通報紀錄及 2024 年 9 月 22 日之 27 件通報紀錄。

由通報事件顯示，半數通報事件屬於零星區域小規模積水情事，少數案件通報數較高，除 2025 年 04 月 10 日恰逢氣象局雨量站檢修期間降雨量有偏低情形外，通報案件與否與降雨強度強弱有關，反映現況仍存在排水不及的問題，後續在排水系統改善、維護管理面尚有加強空間。為探討桃園市都會區（桃園區、八德區、中壢區）積淹水通報事件與「20 分鐘最大降雨量」之關聯性，本次採用混淆矩陣 (Confusion Matrix) (如表 7)，評估不同降雨門檻對於淹水事件的預警能力，混

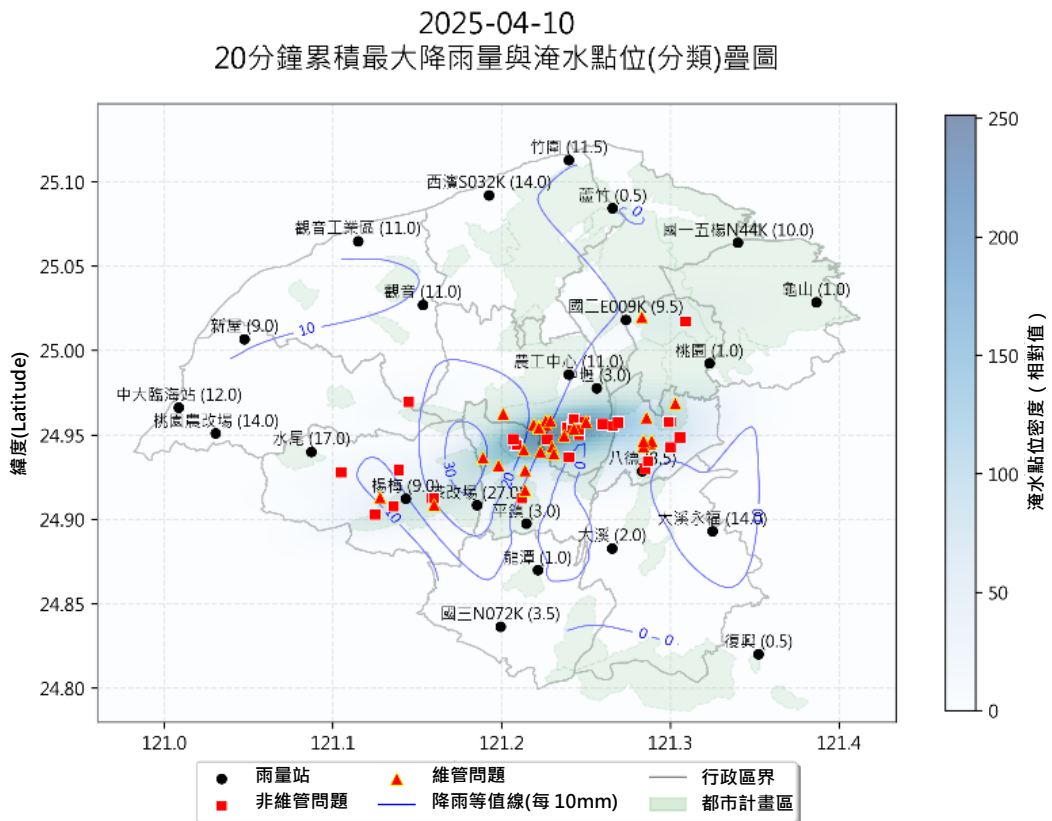
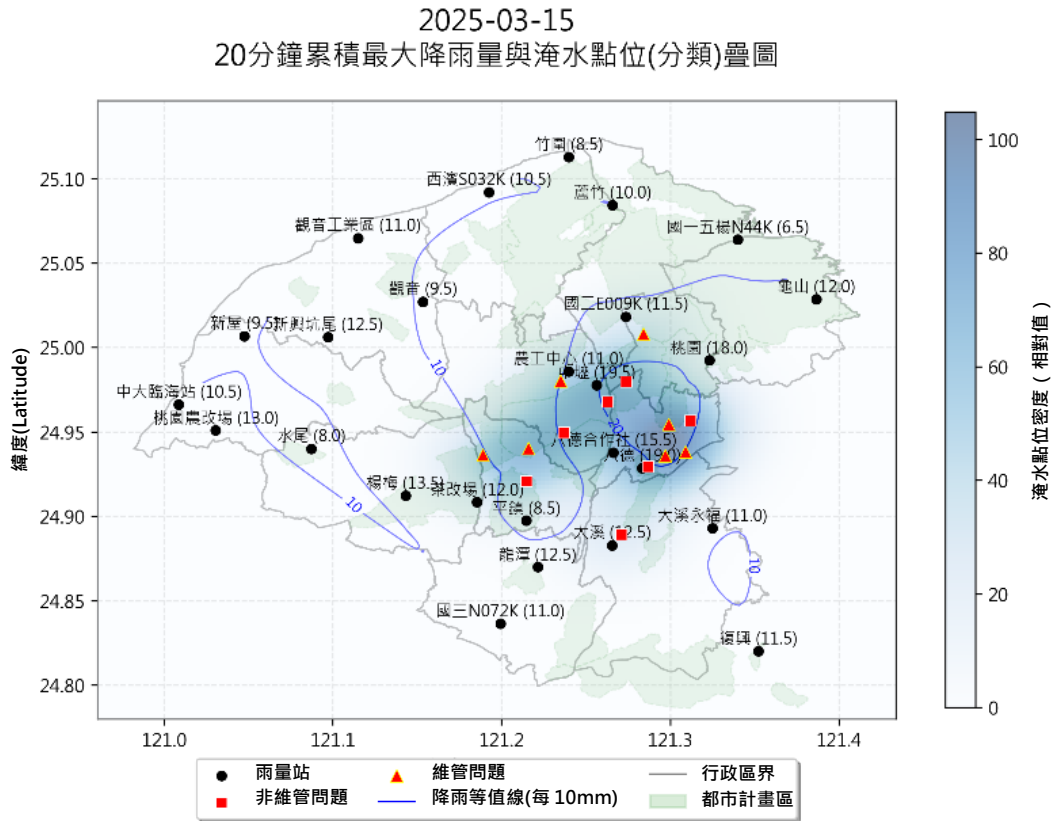
淆矩陣，以混淆矩陣可計算的指標包括：
偵測率 (Probability of Detection, POD)： $POD = TP / (TP + FN)$ 。代表發生淹水時能被成功預警的機率。
誤報率 (False Acceptance Rate, FAR)： $FAR = FP / (TP + FP)$ 。代表發布預警時，實際未發生淹水的機率。
關鍵成功指數(CSI)： $CSI = TP / (TP + FP + FN)$ 。綜合考量命中、誤報與漏報，是水利與氣象領域評估預警效能的關鍵指標，數值範圍 0~1，越高代表效能越好。

本次分析降雨量以 5 mm 為間距，分析 10 mm 至 100 mm 之各項評估指標值，桃園區與中壢區於 20 分鐘累積降雨量門檻為 10 mm 時，其 CSI 分別為 0.50 與 0.56，對應之 POD 為 0.722 與 0.636，顯示在該降雨條件下，通報淹水事件之判識結果具有中等以上之準確度，能合理反映實際淹水發生情形，但仍伴隨

表 7 混淆矩陣示意圖

	預測為正 (Positive)	預測為負 (Negative)
實際為正 (Positive)	TP (真正例-預測正確)	FN (偽負例-漏報)
實際為負 (Negative)	FP (偽正例-誤報)	TN (真負例-預測正確)

註：正代表有積淹水事件通報，反之負則代表無



註：藍色色階為非屬維護管理問題之通報位置分布密度集中情形

圖 6 歷史前十名積淹水事件熱力圖

一定比例之誤報。八德區則於 15 mm 降雨門檻下表現最佳，其 CSI 為 0.647，POD 為 0.917，顯示該區淹水通報事件與短延時累積降雨量之關聯性較為明確，於較高降雨門檻設定下仍可有效辨識實際淹水事件，漏報情形相對較少。三個行政區最佳 CSI 值介於 0.50 – 0.647，顯示利用混淆矩陣結合 CSI 與 POD 指標，能作為評估短延時降雨門檻與淹水通報關聯性之有效方法，並可支援不同都市區域淹水警戒值之訂定與比較，如表 8 及圖 7 所示。

肆、結論

1. 本研究因應近年短延時強降雨事件頻率與強度提升所造成之都市積淹水風險，針對傳統設計標準難以反映實際排水效能之問題，以桃園市為例，建立結合水理模式、監測數據與歷史通報資料之降雨容受力評估架構，作為都市排水系統風險辨識與管理決策之基礎。
2. SWMM 模擬結果顯示，桃園市雨水下水道系統於 60 分鐘延時降雨情境下之整體容受力約為 50 mm，惟當降雨集中於 10 至 30 分鐘內時，系統容受力明顯下降至約 30 – 40 mm，部分雨水幹線於此條件下即出現人孔冒溢，顯示短延時強降雨為造成排水系統失效之關鍵因素。
3. 透過雨水下水道水位站與鄰近雨量站資料之回歸分析，結果顯示多數測站於 20 分鐘累積降雨約 27.6 – 41.8 mm 時即達滿管或溢淹狀態，其臨界降雨量範圍與水理模式壓力測試結果高度一致，驗證以實測資料輔助判定排水系統容受力之可行性。
4. 以混淆矩陣分析桃園區、中壢區及八德區積淹水通報事件與 20 分鐘累積降雨量之關聯性，結果顯示三區最佳 CSI 值介於 0.50 – 0.647，其中八德區於 15 mm 門檻下具較高偵測率

表 8 桃園市都會區積淹水通報事件與 20 分鐘降雨量之評估指標表

行政區	雨量門檻 (mm)	關鍵成功指數 (CSI)	偵測率 (POD)	誤報率 (FAR)
桃園區	10	0.5	0.722	0.381
中壢區	10	0.56	0.636	0.176
八德區	15	0.647	0.917	0.312

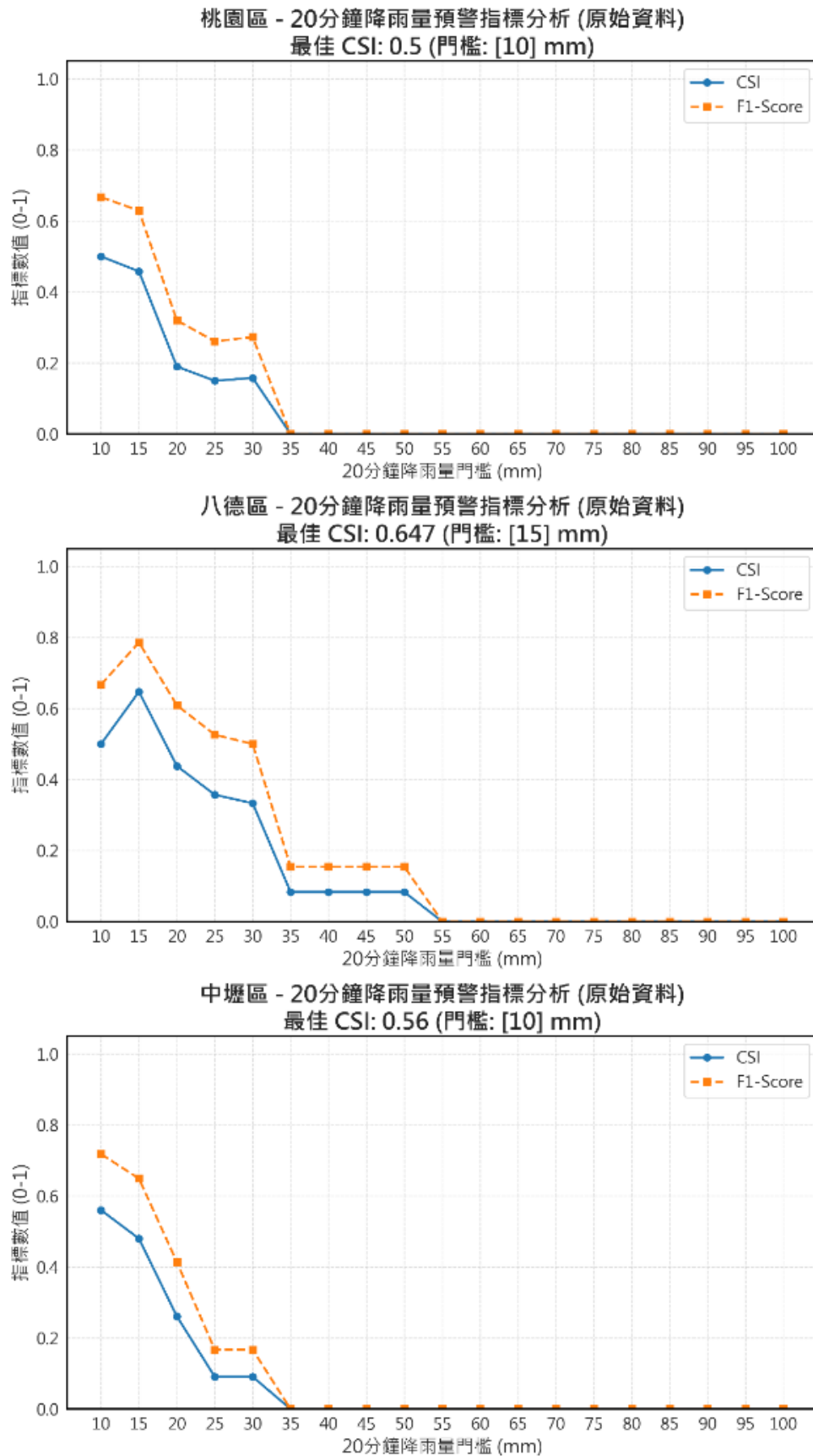


圖 7 桃園區與八德區積淹水通報件數與 20 分鐘降雨量 CSI 指數圖

($POD=0.917$)，顯示短延時降雨門檻可有效反映實際淹水通報發生情形，具作為淹水警戒值設定依據之實務價值。

5. 整合水理模式、監測數據回歸與歷史通報分析結果可知，桃園市都市排水系統於短延時強降雨條件下之實際保護能力有限，且約半數積淹水事件源於可透過維護管理改善之因素。未來都市防汛策略宜同步強化排水瓶頸工程改善、系統性維護管理及降雨警戒值應用，以提升都市面對極端降雨事件之整體韌性。

3(3)，第 23-40 頁，2024。

5. 經濟部水利署，114 年提升水災防災及淹水警戒整合精進，2025。

參考文獻

1. 游勝傑，應用臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台於加速下水道建設與推廣，下水道水再生期刊，1(1)，第 103-116 頁，2022。
2. 吳文峰、李成偉，AIoT 技術於下水道智慧防災應用，下水道水再生期刊，3(3)，第 1-10 頁，2024。
3. 林家宏、蔡明璋、李金靖，應用多元水情於下水道防災調控，下水道水再生期刊，3(3)，第 11-22 頁，2024。
4. 楊昇學、陳高孝、顏慧敏、林宜賢、謝依蓉、宋德仁，都市雨水容受力與智慧防災調適，下水道水再生期刊，



摘要

隨氣候變遷引發之短延時強降雨頻率顯著提升，都市下水道系統與污水處理設施正由基礎建設期轉型至「智慧化維護管理(Smart O&M)」之關鍵階段。本報告整合下水道實務維管經驗，並針對極端降雨、震災及非法排放等威脅，構建一套整合「法規行政 SOP」、「水理與大數據容受力」及「AIoT 智慧監測」之全方位應變架構。在技術層面，利用 SWMM 模式壓力測試，識別出桃園市管網於 20 分鐘短延時強降雨下之溢淹臨界值僅約 27.6 至 41.8 mm，實證 20 分鐘警戒應變時間之判識。針對天然災害，本報告提出以 4R 韌性框架，結合地方政府之緊急應變計畫，提出預測性維護與自動化阻絕機制。本報告可作為各下水道操作人員對於防洪韌性與智慧化管理之參考。

關鍵字：下水道緊急應變、降雨容受力、AIoT 智慧監測、4R 韌性框架

1. 禾銘環境工程顧問有限公司 / 執業技師

整合智慧監測與水理模擬之

都市下水道應變及預警體系之介紹

陳一銘
1

Abstract

The frequency of short-duration intense rainfall events induced by climate change has significantly increased, pushing urban sewer systems and wastewater treatment facilities to transition from the infrastructure development phase to a critical stage of "Smart Operation and Maintenance (Smart O&M)." This report integrates practical sewer system maintenance and management experience and addresses threats such as extreme rainfall, seismic disasters, and illegal discharges. It establishes a comprehensive response framework that integrates "Regulatory and Administrative SOPs," "Hydraulic and Big Data Capacity," and "AIoT Smart Monitoring."

From a technical perspective, this report employs the SWMM model for stress testing, identifying the critical overflow thresholds of Taoyuan City's sewer network under 20-minute short-duration intense rainfall, which range between approximately 27.6 mm and 41.8 mm. This validates the identification of a 20-minute warning response time. In response to natural disasters, the report proposes a 4R resilience framework combined with local government emergency response plans, introducing predictive maintenance and automated blockage mechanisms.

This report serves as a reference for sewer system operators in enhancing flood resilience and advancing smart management practices.

Keywords: Sewer Emergency Response, Rainfall Capacity, AIoT Smart Monitoring, 4R Resilience Framework

壹、前言

臺灣城市雨水下水道與污水下水道處理從早期大規模基礎建設期，逐步邁向現今智慧化維護管理(Smart O&M)期的轉型過程。在過去的工程實務中，業界習於仰賴靜態的設計標準，例如以五年或十年的重現期距作為防洪設計的原則。然而，隨著氣候變遷導致全球降雨型態發生劇烈震盪，極端天氣事件發生的頻率與強度已顯著提升，特別是「短延時強降雨」已成為現代城市排水系統的嚴峻考驗。

對於高度都市化的區域而言，污水下水道系統如同人體的代謝系統與防禦系統，平時負責民生與產業廢水的收集與處理，汛期雨水下水道系統則肩負起排洪的重任。但在有限的經費與資源下，既有的硬體設施難以無止盡地擴張以應對極端的自然災害。近年來，數次劇烈的暴雨已在桃園、臺中等都會區引發嚴重的積淹水災情，部分區域降雨多於一小時內即傾瀉完畢，遠遠超出傳統雨水下水道的設計標準（如桃園市設計降雨強度平均約為 76.2 mm/hr）。這種趨勢不僅威脅市民的生命財產安全，因國內普遍存在著雨污混流的問題，更對公共污水處理廠處理設施的穩定操作產生造成巨大衝擊，特別是瞬間流量過載可能導致生物處理系統失衡。

依據聯合國永續發展目標(SDGs)，現代都市應朝向安全性與韌性發展。這意味著下水道的管理模式必須從傳統的

「災後被動修復」轉向基於 4R 韌性框架（強健性 Robustness、系統備援性 Redundancy、資源豐富性 Resourcefulness、快速恢復力 Rapidity）的「主動預警」機制。在實務上，透過大數據分析發現，一定數量之積淹水案件並非單純因為設施規格不足，而是源自於維護管理不周，如側溝淤積、格柵堵塞或路側洩水孔堵塞。因此，如何在有限資源下精準辨識系統弱點，並制定改善的優先順序，已成為當務之急。

此外，雨水及污水下水道系統的健全不僅關乎防洪，更涉及國土安危與環境衛生。當發生如地震等天然災害時，地下管線極易受損（如接頭脫開或管材錯位），若缺乏完善的緊急應變計畫與設施耐震強化，極可能引發二次災害。同時，隨著環境保護意識提升，民生污水之排放監控日益嚴格。處理廠若遭遇高濃度污水或超量進流排入或設備突發故障，若無智慧化的預警機制(Early Warning System)及時阻絕，極易導致生物處理系統崩潰，進而造成嚴重的環境污染。

在此背景下，本報告整理了在雨水下水道部分之暴雨管理模型(SWMM)與物聯網(AIoT)監測技術，並結合智慧統計製程控制(iSPC)與自動化機器學習(AutoML)等手段，試圖量化評估城市的「降雨容受力」。透過對積淹水通報案件、水位監測數據與歷史降雨量的大數據分析，我們能更科學地訂定淹水警戒值，

並優化緊急應變 SOP。例如透過混淆矩陣分析與關鍵成功指數(CSI)的計算，能有效評估不同降雨門檻下淹水發生的機率，從而為地方政府與管理單位提供精準的決策支持。在污水下水道部分則以國內水資中心之實務案例，展示智慧預警(如 pH、導電度自動分析連動閘門)如何在污水處理之控管中發揮關鍵作用。

本報告旨在整合國內各縣市(如臺中市、桃園市)在下水道緊急應變之實務經驗，結合《下水道法》行政框架、天然災害應變策略及最前瞻的監測技術。我們將探討如何建立從預警門檻訂定、事故通報機制到災後復原的標準流程，引導系統從單純維運提升至智慧防汛與環境永續的高度。透過跨領域技術整合，期望能為臺灣都市韌性(Urban Resilience)與智慧化管理提供參考。

貳、下水道法規架構與行政應變機制

下水道系統建設與維管體系之健全，高度仰賴堅實的法規基礎與嚴密的行政指揮系統。由於下水道設施多埋設於地底，其高度隱蔽性使得平日的管考監督與災時的應變決策難度倍增。若缺乏法理支撐，技術端的應變作為，將難以在資源調度與行政授權上獲得有效保障。因此，本節將從國家法規之高度出發，結合地方政府實務操作計畫，深度剖析下水道行政應變的

核心邏輯與執行框架。

一、緊急事故之行政界定與通報義務

在行政管理與技術實務之交疊點，下水道緊急事故依其性質被歸納為三大類，其界定與通報流程均有標準化規範：

1. 設施損毀事故：包括管渠斷裂、人孔塌陷、抽水站電力失效或機械重大故障，導致系統收集或排水功能喪失。
2. 水質異常事故：指因非法排放或意外洩漏，導致高濃度有毒廢水排入下水道，進而威脅生物處理系統穩定或造成放流水超標。
3. 天然災害事故：包含地震引發之結構受損、颱風洪汛造成之系統過載或頂托倒灌。

行政體系之反應效能取決於通報機制之嚴密程度。標準 SOP 要求現場人員在偵測到異常之第一時間(事故發生當日)必須啟動行政通報，初步告知事故位置與預估影響範圍。事故處理完竣後，營運單位須於規定時間內提交正式書面報告，內容包含事故原因調查、應變作為設施改善方案及受納水體之監測紀錄。

二、地方政府緊急應變 SOP 實務

具體之應變計畫(如臺中市下水道緊急事故處理計畫)為現場技術操作提供了行政支援之邏輯。其技術處置程序(SOP)

之核心聚焦於「攔阻抑制」與「繞流紓流」兩大主軸：

1. 攔阻與排除措施：針對洩漏或損壞點，應優先啟動備份設備或操作相關水門閘門，將受災區域阻絕於最小範疇。若涉及水質污染，需利用攔除設施阻絕污染物擴散至處理廠生物池。
2. 繞流與紓流(Bypass and Relief)：此為應變中技術難度最高之環節。行政計畫會預先盤點全區各熱點之移動式抽水機資源，當區域幹管受損導致重力流中斷時，需指派大流量抽水機進行污水繞流，將污水引導排入鄰近之備援系統或溢流堰，以防止污水溢流至街道造成二次污染。

決策支援指標：管理單位需根據監測平台回傳之即時水位、流量與水質數據，決定啟動減流操作或完全關閉特定節點。

三、天然災害下的行政決策與韌性思維

面對大範圍天然災害（如規模 6 以上震災或超大豪雨），下水道系統之管理思維需從單點應變提升至系統層次之「韌性管理(Resilience Management)」。研究指出，衡量應變效能之三大指標包含：預警準確性、反應時間與恢復速度。

韌性思維要求行政決策者在平時即推動「管線網路化(Network Connectivity)」之投資。當特定區塊之管渠因地震

斷裂時，行政體系應能迅速啟動預設之繞流路徑，利用系統連結性分散水流負荷，將災害損失降至最低。此外，韌性亦體現在跨行政資源之整合，包含抽水設備支援機制，以及智慧化雲端監測平台。透過資訊共享與資源連動，使單一城市在面對超越其設計保護標準之極端災害時，仍能維持基本機能而不致完全癱瘓。

總結而言，下水道之行政應變機制並非單純之行政程序，而是法律責任、工程決策與動態資源調度之高度整合。透過對齊法規標尺並結合智慧監測手段，行政框架能有效支撐技術端之應變作為，將「被動修復」轉化為「智慧韌性」之主動守護能量。

參、都市降雨容受力分析與預警門檻之建立

在雨水下水道工程實務中，長期以來均以「設計重現期」作為規劃基準，例如國內普遍採用的 5 年重現期保護標準。然而，面對極端氣候下頻發的短延時強降雨，既有的設計強度（如桃園市平均保護標準約為 76.2 mm/hr）往往難以真實反映系統在動態降雨下的實際負荷與洩漏風險。本節旨在說明「降雨容受力(Rainfall Capacity)」之概念，透過壓力測試與大數據分析，將抽象的設計標竿轉化為科學化的預警門檻。

一、降雨容受力之定義與分析架構

降雨容受力係指以水理模型分析雨水下水道在特定設計雨型下，直到系統人孔節點開始發生溢流(Surcharge or Flooding)為止，所能承受的最大降雨強度。為確保評估之全面性，本報告採取「三軌並進」之分析架構：

水理模式壓力測試 (SWMM 模式)：利用現況管網與地表逕流複合模式，輸入不同累積雨量與降雨延時情境，模擬系統之極限承載點。

監測數據回歸分析：彙整水位監測站與鄰近雨量站之歷史數據，建立累積降雨量與水位上升率之回歸模型，據以推估滿管與溢淹之臨界雨量。

積淹水通報分析：利用歷史災情數據進行統計校核，計算不同降雨門檻下之偵測率與誤報率，確立具實務意義之警戒值。

二、SWMM 式壓力測試與瓶頸辨識

有關桃園都市計畫區之現況管網曾經進行壓力模擬，其模擬結果揭露了系統在不同時間尺度下顯著的容受力差異：

1. **時間尺度的敏感性**：系統在 60 分鐘延時降雨下之整體容受力約為 50 mm。然而，若遭遇降雨高度集中在 10 至 30 分鐘內的極端強降雨，容受力將大幅滑落至 30 至 40 mm 之間。這解釋了為何許多符合設計標準的

區域，在短延時強降雨下仍頻傳災情。

2. 系統瓶頸分佈：

其中某管段系統，受限於現況採重力排與機械抽排並行，其臨界值最低，在 60 分鐘累積降雨達 50 mm 時即發生冒孔。

其中某主幹管系統，因上游集水面積過大，管徑配置相對飽和，其臨界值約為 60 mm。

這些數據為水務管理單位提供了精確的改善優先順序建議。

三、實務觀點與智慧維管結合

數據分析之核心價值在於驅動「非工程措施」之執行。過去我們常抱怨淹水通報與雨量站數據對不起來，往往是因為忽略了「短延時」的重要性。本報告整理相關資料顯示，利用 20 分鐘作為預警時間窗口，較傳統的一小時雨量更能捕捉都市積淹水的爆發性特徵。

對於管理單位而言，當智慧防汛平台監測到降雨接近上述臨界值 (如 10 mm/20 min) 時，不應僅消極等待淹水發生，而應立即啟動相關之行政應變 SOP：

1. **預先佈署**：針對低容受力幹線區域，提早調派移動式抽水機至預設熱點。

2. **精準巡查**：針對有維管問題之熱點（如格柵堵塞），派員於降雨初期進行即時疏通。
3. **減災轉型**：將原本耗時的災後復原轉變為災前的「主動減災」，有效提升都市對極端降雨之韌性。

肆、民生污水與產業園區之智慧化預警技術

污水下水道設施的操作維護與管理，正經歷從傳統「定點採樣與被動反應」向「動態監測與預測性預警」的數位轉型。在污水處理廠之維護管理實務中，最令人頭痛、也最可能導致設施功能失效的主因，無非是進流水(Influent)性質的急遽變化，包括極端降雨引發的瞬時超量雨污混流，以及非法或意外排入的毒性工業廢水。為此，導入 AIoT 物聯網技術與多維度預警模型，建立一套具備主動偵測與即時阻絕能力的智慧體系，已成為現代廠站管理的標準配置。

一、民生污水廠之進流防禦

在實務上水資中心建立智慧化進流防禦機制包含以下核心環節：

1. **感測器第一道防線**：於進流端佈設高靈敏度的 pH 計、導電度計(EC)及化學需氧量(COD)自動分析儀，全天候監控進流水質。

2. **自動連動阻絕機制**：一旦系統偵測到 pH 值偏離安全範疇（如強酸、強鹼排入）或導電度突發性飆升，預警系統將立即觸發自動化程序，連動進流閘門切換流向，將受污染水質疏流至他處，避免生物污泥因中毒而喪失處理效能。
3. **數位溯源稽查**：透過雲端平台累積的水質歷線，管理單位能針對異常排放時段進行精確回溯，並與環保主管機關合作，針對管網節點進行溯源稽查，有效遏止非法排放。

二、產業園區廢水監控與源頭控管實務

產業園區的廢水特性具備高變異性與高有機負荷，其管理核心在於「源頭控管」而非末端處理。

1. **工廠端強制監控**：園區內主要產源工廠被要求設置自動監測設備，其排放水質數據必須即時回傳至管理中心。當工廠排放值超標時，系統可自動發布停排指令，並要求廠家將廢水回收至其內部的緊急貯留池。
2. **不明水(I/I)精準診斷**：智慧監測技術被廣泛用於診斷管網中的「不明水」(Infiltration and Inflow)。透過各收集區域節點流量計的動態比對與水平衡分析，管理單位能精確鎖定管渠破損的滲入點或不當排水的接入點，這對於維持園區處理廠的處理餘裕至關

重要。

三、AIoT 硬體整合與多層級雲端管理平台

一套成功的智慧預警體系必須達成硬體感測器與軟體演算平台的高度耦合：

1. **感測層(Perception Layer)：**整合全自動化超音波水位計、電磁式流量計及多參數水質儀，確保現場原始數據的採集頻率（如每分鐘一筆）與準確度。
2. **傳輸與運算層（Cloud Layer）：**透過無線通訊將數據匯流至雲端伺服器，由 AutoML 預測模型進行即時演算，判定風險層級。
3. **展示與應變層(Application Layer)：**系統會透過通訊軟體（如 Line）或專屬 APP 將預警訊息推播至操作人員，包含預測的異常時間及具體的操作建議（如：預先降抽水位、啟用 2 號備用泵、調整曝氣強度等）。

四、技術統合：數據模型與實務決策的協同效應

在智慧化轉型的進程中，數據並非取代管理經驗，而是成為專業決策的感官延伸。實務上的智慧預警之設定，在雨水下水道中必須考量「降雨容受力」、在污水下水道中必須考量「處理廠處理極限」。

當系統監測到的降雨量接近警戒值，同時預警模型提示進流流量將激增時，管理單位即可判定複合式災害即將發生。此時，智慧預警技術能精確告訴我們，哪一個系統環節（例如某一段老舊幹管或某一組生物反應池）正處於失效邊緣，使管理單位能依據第二節所述之行政應變 SOP，精準下達分流、繞流或阻絕決策，而非在災害發生時手足無措。這種從「數據偵測」到「智能研判」再到「精準應變」的閉環流程，是確保現代都市與產業園區面對極端環境挑戰下，仍能維持下水道系統功能不墜的關鍵。

伍、天然災害下之系統韌性與災後復原策略

無論硬體設計標準訂定得再高（如重現期距的提升），地面下的設施面對大自然極端力量時，仍存在不可避免的失效風險。因此，現代下水道管理的策略核心已由傳統的「抗災(Resistance)」試圖以剛性構造阻擋災害，轉向「韌性(Resilience)」強調系統在遭受衝擊後，能維持基本機能並迅速復原之能力。

一、天然災害對下水道系統之破壞機理分析

下水道系統作為都市核心維生管線(Lifeline)，其結構具有廣域分布與深埋地底的特性，這導致受災特徵往往具備隱蔽性，損害影響常具備延遲性與連鎖性。

1. 地震災害之結構性破壞：

接頭與管體失效：強烈震波引發的地表位移或剪力，極易導致柔性不足的管線接頭脫開或剛性管材斷裂。特別是在土層液化區，管線可能因浮力或不均勻沉陷而錯位，造成重力流功能喪失。

處理廠單元損毀：污水處理廠內的大型沉澱池、反應池等鋼筋混凝土結構，常因地震產生結構裂縫導致滲漏。精密機電設備（如鼓風機、污泥刮泥機）則可能因水平震動導致基座偏移或軸承損壞。

2. 颱風與洪泛之水理性衝擊：

頂托作用(Backwater Effect)：極端降雨導致受納水體（如河川）水位過高，產生頂托作用，使雨水下水道無法排洪，甚至引發倒灌。

系統淤積與撈污失效：洪水挾帶大量泥沙、路面垃圾與不明雜物排入下水道，導致管渠有效斷面縮小。瞬時巨大的流量衝擊常導致泵站之格柵(Raking)設備因過載或被大型漂流物卡死而停機。

二、系統韌性的量化指標(The 4R's Framework)

為了科學化評估應變效能，本報告提出國際公認的「4R 韌性框架」，將抽象的應變能力轉化為可量化的技術指標：

1. 強健性(Robustness)：指設施抵抗

外力破壞的物理能力。實務上體現於提升管材之耐震係數、加固處理廠結構，或在易受災區採用具抗震接頭（如球墨鑄鐵管）之設施。

2. 系統備援性(Redundancy)：系統應具備備援機制。核心在於推動「管網網路化」，當某一幹管段因地震或坍塌損壞時，可透過水門操作將流量導向備援管路，避免單點失效(Single point of failure)導致大範圍溢流。

3. 資源豐富性(Resourcefulness)：災害發生時，管理單位對於關鍵資源（如移動式抽水機組、緊急臨時供電、外部專業清淤）的整備與調度速度。

4. 快速恢復力(Rapidity)：指設施從故障點復歸至基本運轉功能的時間。這仰賴於災後的「精準診斷」與預先制定的緊急復原程序(Standard Recovery Procedure)。

三、災中緊急應變與動態決策實務

天然災害發生當下，應變主軸須立即從「平時監測」轉入「災時減災」模式。

1. 數據導向的災中診斷：利用第四節所述之 AIoT 監測數據。若發現區域水位與降雨歷線出現顯著「非對稱性」（例如雨停後水位仍持續上升，或水位異常陡升），可判定管線可能已受

損阻塞或遭異物堵塞。此時應結合 SWMM 模型進行動態研判，確認風險最高的溢流點。

2. **抑制與繞流作業(Bypass Operations)**：針對受損區段，應優先啟動閘門阻絕污水流入受損點。同時，行政應變計畫需指派移動式抽水機組進行「繞流」作業，將污水跳過損壞段引至鄰近系統。
3. **跨區域支援機制**：基於行政應變計畫中的連防機制，應根據即時災情通報，動態調度全國性或縣市間的清淤車與大型泵浦，集中能量攻堅最嚴重的瓶頸段。

陸、結論與建議

經過本報告針對下水道緊急應變計畫、水理模擬技術及智慧化監控體系之深度整合，我們成功建構出一套從「法規行政 SOP」、「水理與大數據容受力評估」到「AIoT 智慧監測預警」的全方位管理架構。下水道工程已從單純的地下構造物建設，演進為極度複雜的數位資訊整合與動態風險管理工程。面對極端氣候的常態化，唯有將數據轉化為決策建議，方能守護都市的安全底線。

本研究透過實務數據與模型分析，歸納出以下四項核心結論，作為未來下水道維管之技術基石：

一、短延時強降雨為系統失效之關鍵：

根據桃園市之 SWMM 水理模擬與歷史災情回歸分析，當降雨高度集中於 10 至 30 分鐘內，都市排水系統的容受力會從原本一小時可承受 50 mm 劇降至 30-40 mm。這證實了傳統以「時雨量」為單位的警戒機制存在顯著的偵測盲點，未來必須將 20 分鐘短延時監測 作為行政預警與抽水機佈設的核心指標，方能精準捕捉積淹水的爆發性特徵。

二、維護管理(O&M)之減災效益優於大規模擴建：

大數據統計揭露了一個關鍵事實：大部分積淹水通報案件並非導因於管徑不足，而是由於側溝淤積、路側洩水孔堵塞或格柵攔污失效等維管問題。這意味著透過智慧化的巡檢排程與降雨前的重點清疏，能以遠低於新設管渠工程的成本，獲得最高價值的減災成效。

三、智慧監測由「事後報警」進化為「預測性防禦」：

透過智慧監測模型，污水處理廠能針對流量與水質異常提前 1 至 3 小時發出預警。這種緩衝時間(Lead Time)對於調整流程、啟動緊急貯留機制以保護生物處理系統之穩定至關重要，有效防免了非法排放引發的系統崩潰風險。

四、4R 韌性框架決定災後復原之速度：

在面對震災或複合式天然災害時，單純的抗災強度(Robustness)已不足夠。本報告驗證了「系統備援性(Redundancy)」與「快速恢復力(Rapidity)」的重要性。健全的行政 SOP 結合管網網路化(Network Connectivity)，能讓系統在局部斷裂時仍能透過繞流作業維持基本機能，將受災復原時間縮短至最低。

基於上述結論，本研究針對主管機關、維護單位與產業園區管理機構，提出以下四項精進方向：

1. 推動警戒值「在地化」與「動態矩陣」管理：

各行政區應效法桃園模式，針對轄內不同幹管系統訂定專屬的「20 分鐘降雨門檻」。建議建立動態預警矩陣，將降雨門檻與即時水位監測連動，當偵測值接近臨界點（如桃園區 10 mm – 20 min）時，即自動啟動第一線人員的防汛巡查機制。

2. 建置 AI 預警與移動式設備調度之連動平台：

建議開發智慧化決策指揮系統，將系統預測流量與可調配之移動式抽水機、清淤車資源庫上線。當系統預測未來 1 小時流量將超過系統容受力時，行政指令應在淹水發生前即完成應變設備的預置與繞流路徑的準備，落實「精準應變」。

3. 落實工業廢水源頭之「智慧阻絕」與「自動溯源」：

應強制高風險產業園區廠家建置具備連動功能的智慧監測站。當偵測到導電度(EC)或 pH 值異常波動時，系統必須具備自動關閉排放口並連動回抽至內貯池之功能。同時，應利用數位 AI 技術建置地下管網水質歷線，讓非法偷排行為無所遁形。

4. 轉型「網路化管網」與「韌性補強工程」之規劃思維：

未來的下水道系統規劃應從獨立集水區思維轉向「互聯網思維」。在管線修復與新建過程中，優先強化各區幹管間的連通性，並於關鍵節點設置遙控閘門。此舉能確保在地震引發的大規模管損或處理廠大修時，仍能利用備援路徑進行紓流，確保都市的基本維生功能與環境衛生不因災害而中斷。

參考文獻

1. 劉振宇、李金靖、邱鵬豪、林冠宇，運用大數據與水理模組建構都市降雨容受力—以桃園市為例，下水道水再生期刊，5(1)，第 1-10 頁，2026 年（出版中）。
2. 臺北市政府工務局衛生下水道工務處 (202512)，下水道系統防災應變 <https://www.sso.gov.taipei/>

cp.aspx?n=E77AC6B02FE63E4E

3. 羅薪又、劉恆昌，污水下水道之緊急應變措施，台灣下水道協會【第九屆下水道研討會論文集】，第 85-98 頁，1999 年。

<https://www-ws.e-land.gov.tw/>

Download.ashx?

u=LzAwMS8yMDE1eWlsYW4vMTgzL3JlbGZpbGUvNTgxNS80NTYzLzU2MDdiNDQ3LThkZTUtNGRjOC05MDI3LWE2Yjk1ODY5MzM4MS5wZGY

%

3D&n=NTnmsaHmsLTkulvmsLTpgZPkuYvnt4rmgKXmh4norormjqrmIr0ucGRm

4. 南投縣政府環境保護局，水質保護科 (FAQ) · <https://www.ntepb.gov.tw/sub/faq/Details.aspx?Parser=27,18,280,,,,114>

5. 內政部國土管理署(202404)，首次舉辦「污水下水道防災示範演練」國土署：面對無預警災害強化各縣市污水下水道應變機制

<https://www.nlma.gov.tw/ch/>

titlelist/news/4653

6. 王健勛(2023)，污水下水道管網設置智慧監測設備探討 - 從可持續發展視角，銘傳大學。



摘要

隨時代演進，污水妥善處理觀念已漸受重視，而國內也如火如荼進行污下水道設施建置，但河川污染改善仍屬刻不容緩之工作，本篇以臺中市柳川排水之中華水淨場為例，水淨場其平均處理量以達 8,401 CMD 供應至下游段低衝擊開發(Low Impact Development, LID)景觀河段，放流平均 RPI 之指標為 1.5，由中度污染處理至未(稍)污染等級，有效提升柳川整體治水成效，達到水質淨化目的。而於下游 LID 段除具景觀河段之外，在設計上亦兼具區域防洪之目標，藉此將柳川景觀水岸打造成防洪、治水及安全之水岸空間。為強化該場域在操作維護管理及異常應變之管理，乃以柳川中華水淨場系統為主軸，導入「AIOT 異常預警系統」並搭配臺中市水利局建置之「臺中現地處理設施整合管理平台」及「LID 防災預警系統」提出垂直整合應變預警操作管理方案。藉由供水預警、設備異常預警及資料資訊化輔助，即時掌握水情、快速應變並縮短異常狀況之處理時間，進而使 LID 段在防洪、治水及安全景觀水岸之維護管理更臻完備。

關鍵字：河川污染整治、AIOT 異常預警系統、LID 防災預警系統

1. 鴻傑工程股份有限公司 / 技師
2. 鴻傑工程股份有限公司 / 協理
3. 臺中市政府水利局 / 局長

都市排水整治管理及異常預警智慧管理

之應用

江吉人¹、蘇奎仲²、范世億³

Abstract

With the progression of time, the concept of proper wastewater treatment has gained increasing attention. In Taiwan, the construction of sewer infrastructure is actively underway; however, river pollution remains an urgent issue requiring immediate improvement. This study uses the Zhonghua Water Treatment Plant along the Liuchuan Canal in Taichung City as a case study. The plant provides an average treatment capacity of 8,401 CMD, supplying treated water to the downstream Low Impact Development (LID) landscape river section. The average effluent River Pollution Index (RPI) is 1.5, indicating an improvement from moderate pollution to slightly polluted levels. This has effectively enhanced the overall flood control performance of the Liuchuan River, achieving the goal of water quality purification.

In addition to serving as a landscape river section, the downstream LID area is also designed with the goal of regional flood mitigation. Through this dual-purpose design, the Liuchang riverside has been transformed into a multifunctional space that integrates flood prevention, water management, and public safety. To strengthen the management of operations, maintenance, and abnormal event response in this area, the Zhonghua Water Treatment System was adopted as the core infrastructure. An "AIoT-based anomaly early warning system" was introduced and integrated with both the "Taichung On-site Treatment Facilities Integrated Management Platform" and the "LID Disaster Prevention and Early Warning System" to develop a vertically integrated response and warning operation management framework.

This system includes water supply alerts, equipment anomaly warnings, and data informatization support, enabling real-time monitoring of water conditions, rapid response, and reduced handling time for abnormal events. Consequently, it enhances the comprehensive maintenance and management capabilities of the LID section in terms of flood control, water treatment, and the safety of the landscaped riverside.

Keywords: River Pollution Remediation, AIoT, LID (Low Impact Development)

壹、前言

河川因生活污水直接排入加劇污染情形，嚴重影響污染河段周邊居民生活品質。近年臺中市政府水利局以透過「水安全、水環境、水文化」為核心的整治工程方式辦理都市河川整治工作，將其轉變為兼具防洪、水質改善、生態復育與文化景觀的親水河岸。

貳、以柳川現地治水改善成效為例

一、柳川污水整治及親水環境改善工作

柳川因其上游兩岸民生污水直接排入進而造成污染，臺中市水利局為改善柳川各河段水質污染問題，積極辦理柳川污染整治，其內容包括水潔淨、水安全、水空間等三個方向。對於淨化水質部分，以截流方式截取上游污染源，再經礫間水質淨化處理後放流回柳川運用，達到水質淨

化目的。其次為水安全，配置防洪設施，確保護岸強度，提供市民安全的水環境。最後為打造親水休憩空間，恢復生物棲息環境，營造河川自然生態景觀，柳川排水流域範圍與整治區段說明如圖 1 所示。

整體排水整治工作共分為三期進行，首期整治範圍係自崇德柳橋至中正柳橋段，包含沿岸截流設施設置及河道景觀營造，並於中正柳橋至民權柳橋區間施作 LID 示範段工程，且建置「柳川中華水淨場」，第二期則將整治範圍分別向上、下游延伸至舊社公園及三民柳橋，並於中正公園內建置「柳川中正水淨場」。柳川排水藉由三期工程施作完成沿岸污水截流、景觀營造及水文化設施建置等工作，並經兩座水淨場進行污水水質淨化後放流補注至柳川排水河道以提升河道基流量，達成水環境改善之目標，本篇主要針對「柳川中華水淨場」整治區段作說明，如圖 2



圖 1 柳川排水範圍與整治區段



圖 2 柳川中華水淨場服務範圍區域圖

所示。

「柳川中華水淨場」排水截流設施之截流量量，於崇德柳橋至中正柳橋區段設計截流量為 30,000 CMD，其中分配 10,000 CMD 進入柳川中華水淨場進行淨化處理，另外 20,000 CMD 直接輸送至福田水資源回收中心進行處理。為有效改善柳川排水水質，另於柳川中華水淨場進流端亦直接於柳川排水原河道設置取水工進行河道水截流，並透過水淨場系統進行水質淨化，藉以提升河川水質改善成效，如圖 3 說明。

二、柳川中華水淨場簡介及處理功能

本場由截流系統後包含前處理、礫間曝氣處理工法，將淨化完成之放流水排放至下游景觀防洪 LID 示範段，淨化後之放流水除可作為河道補注水源具備河川整治功能外，亦具備作為非接觸性景觀用水，符合都市水資源循環再利用之理念，藉此完成區域性的都市治水工作，有關整體處理流程如圖 4 說明。其自 2021 年 2023 年止系統處理量部分，最大處理量為 9,852 CMD；最小為 6,556 CMD；系統日平均處理量為 8,401 CMD 達系統處理量 80% 以上。

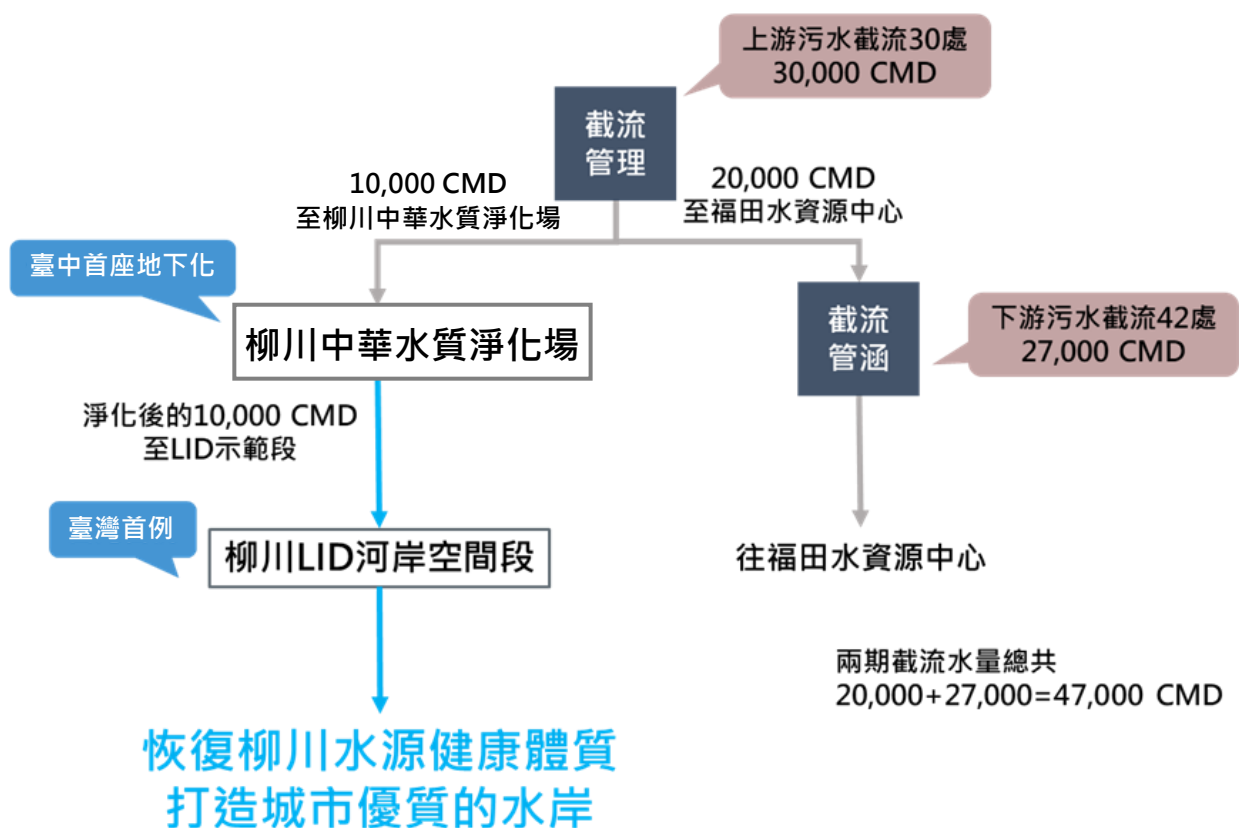


圖 3 柳川中華水淨場收集處理容量

場域之水質處理指標，以生化需氧量、懸浮固體物、溶氧量及氨氮等四項主要河川污染指數 RPI 水質檢測分析結果進行說明，處理水質變化趨勢如圖 5，整體去除效益均達 85 % 以上，RPI 指數由進流 6.8 降至 1.5，達未(稍)受污染等級。

- (1) BOD₅ 平均進流濃度 16.0 mg/L，平均出流濃度 2.3 mg/L，平均去除率 85.6 %。
- (2) SS 平均進流濃度 13.6 mg/L，平均出流濃度 1.9 mg/L，平均去除率 86.0 %。

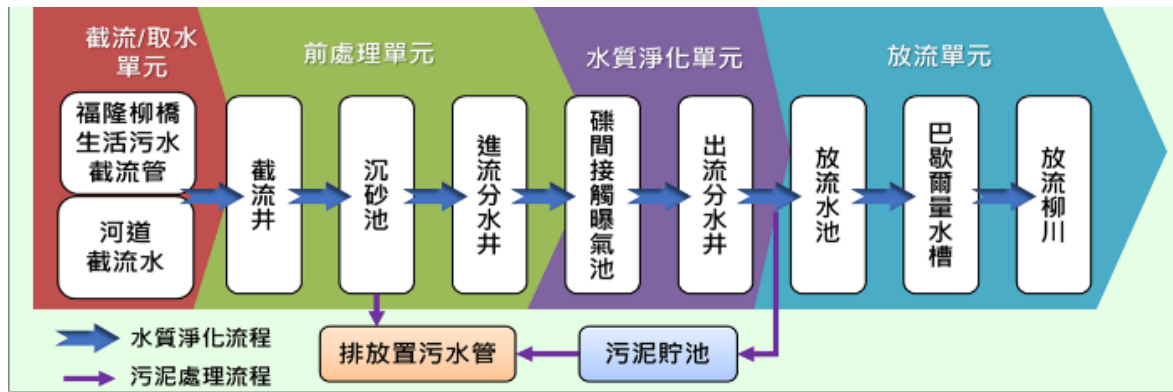


圖 4 處理流程

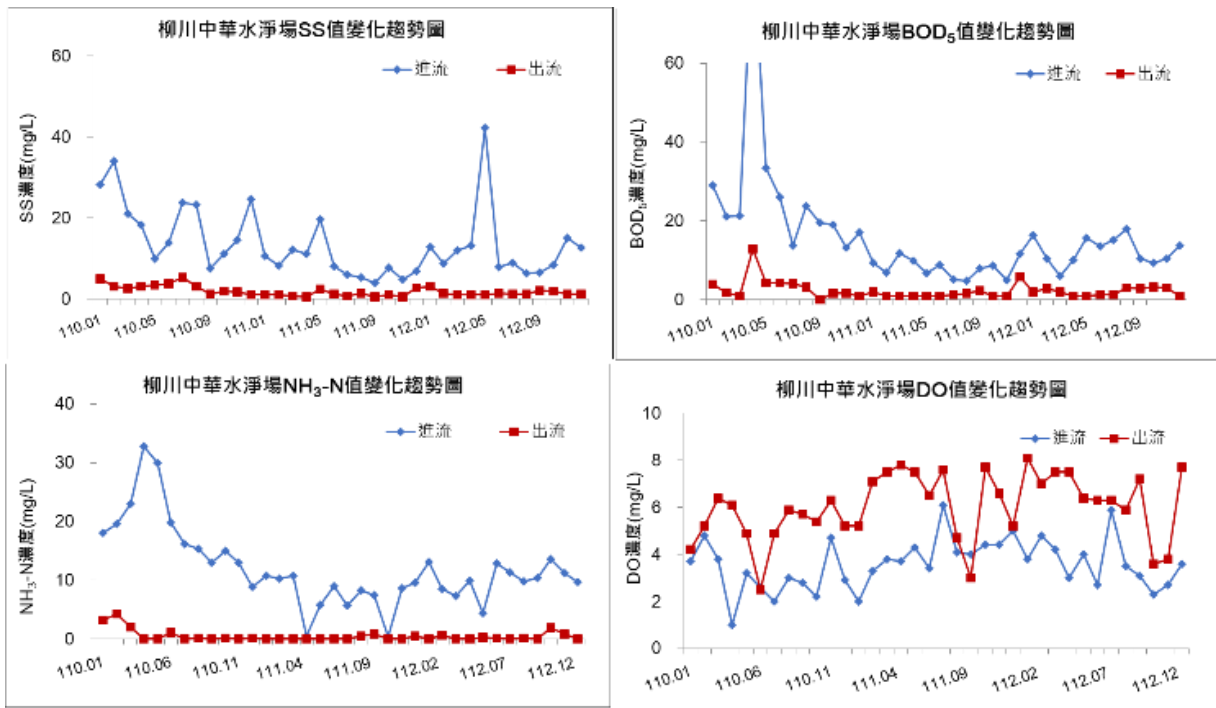


圖 5 處理水質變化趨勢

- (3) 溶氧量(DO)： DO 平均進流濃度 3.6 mg/L，平均出流濃度 6.0 mg/L。
- (4) NH₃-N 平均進流濃度 12.0 mg/L，平均出流濃度 0.5 mg/L，平均去除率 95.8 %。

三、柳川整治水質改善效益

有關柳川排水水質變化趨勢，本篇收集臺中市政府環境保護局已完成流域沿岸 3 處監測點（東山第三柳橋、學士柳橋與三民柳橋等），定期採樣檢測資料，

詳圖 6 說明。以柳川中華水淨場整治範圍上游學士柳橋至下游三民柳橋來看，平均由 5~6 降至 2~4 之間，顯示有顯著之整治成效，後續搭配污水用戶接管及上游中正水淨場等之投入將更進一步提整柳川整體水質改善效益。

參、柳川防洪、觀光景觀水岸

柳川中華水淨場下游景觀 LID 段，市府於 2013 年辦理都市計畫變更，還地於河，將中正柳橋至林森柳橋河道往兩側拓



資料來源：臺中市政府環境保護局

圖 6 環保監測站 RPI 指標變化趨勢圖

寬，並增設防洪箱涵於河道兩側下方，林森柳橋至三民柳橋河道則採單側左岸拓寬，經歷多次豪大雨考驗，證實防洪安全無虞，同時透過設置雨水花園、植生過濾帶、植生溝及滲透溝等 LID 措施，整體透過上游水淨場生物處理工法，水質有效改善提升，再經臺中市整合景觀親水環境規劃，沿岸美麗水岸景觀步道成為新的熱門打卡景點，帶動中區的復甦，不論中區或周邊的旅店、特色景點及店家，如第二市場、東協廣場等，皆有愈來愈多的遊客造訪，對周邊觀光與商業活動具一定促進

效果。

近年來，臺中市政府每年舉辦台中耶誕嘉年華，於柳川水岸周邊佈置燈飾造景，吸引民眾前來欣賞耶誕燈飾，共同歡慶耶誕佳節。柳川水岸景觀河道整治的成效，根據臺中市新聞局之新聞稿指出 2021 年臺中耶誕嘉年華 17 天的展期共吸引超過 79 萬人次造訪，另於 2022 年柳川耶誕嘉年華 18 天展期吸引 84 萬人次，平均每人消費 1200 元，創造超過 10 億的產值，詳如圖 7 說明。



圖 7 臺中市歷年燈會活動

肆、導入 AIOT 預警、搭配資訊平台及配合 LID 防災預警整合管理方案

本案操作維護期間(2021年至2023年)為因應柳川景觀 LID 河段現況掌握並加強管理能力，以提升系統異常預警應變能力，故建置 AIOT 物聯異常預警管理系統並結合市府水利局下游防洪預警及資訊管理平台，提出整合性的管理解決架構，詳如圖 8 所示。

一、AIOT 異常預警系統

以柳川中華水淨場系統為主軸客製化 AIOT 異常預警系統，有效掌握系統異常情形達快速應變目標。透過對水量的監控及計算、系統運轉電流即時狀態並結合警報推播等以增加應變速度，相關預警機制如圖 9 所示。

有關柳川中華水淨場 AIOT 異常預警系統整體系統組成包含如下：

1. 整合場站重點資訊：包含原有自動控



圖 8 整合性的有效管理解決方案示意圖

制流量計、設備狀態及液位感測訊號收集、新增重點設備迴路電流及運轉感測儀器等。

2. 數據庫收集及分析：收集數據並分析包含流量、供水等曲線趨勢、設備運轉趨勢等重點資訊以確保預先警示。

3. 預警系統：系統階段性自動告警以搭配標準化應變程序辦理快速應變。

透過物聯網數據收集分析及整合預警，提供供水預警系統（圖 10）及設備狀態預警系統兩大系統（圖 11）

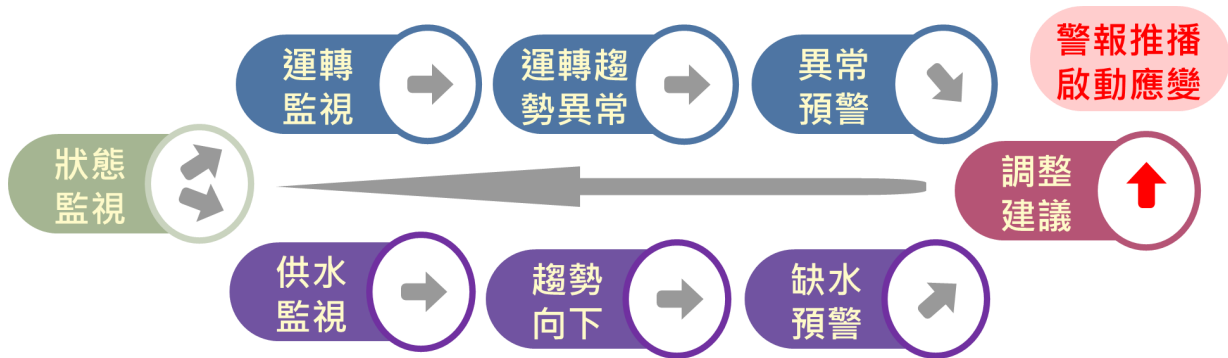


圖 9 中華 AIOT 異常預警系統機制流程圖

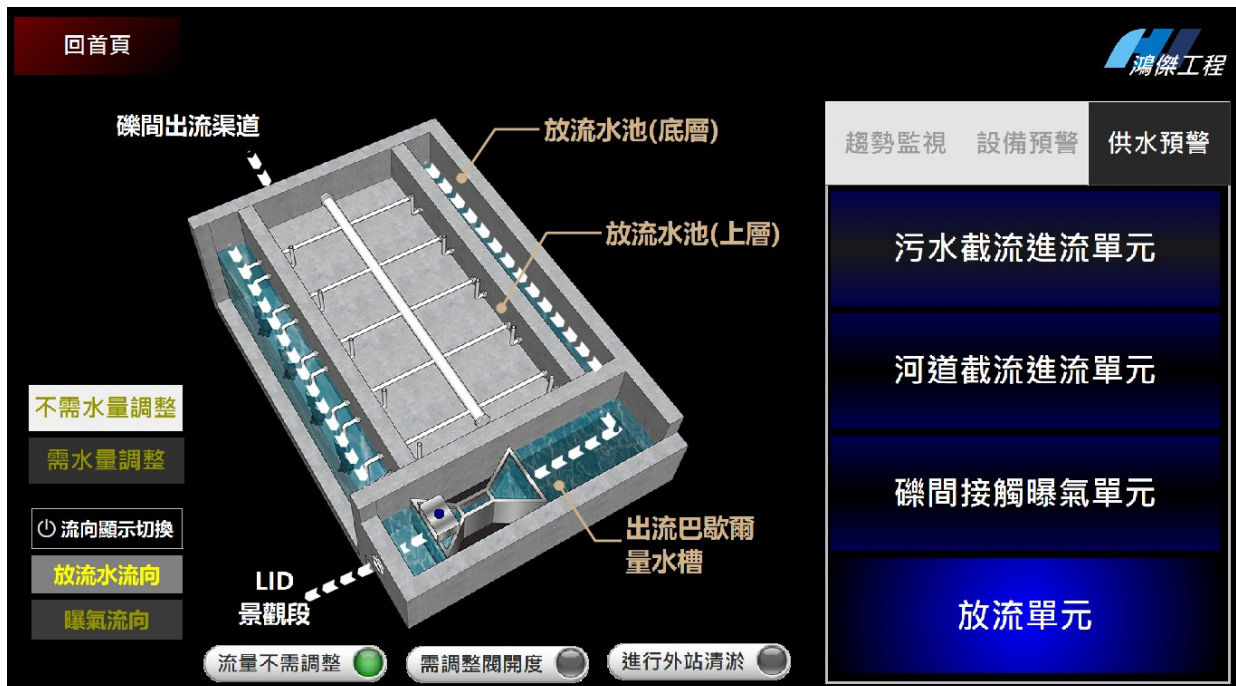


圖 10 供水預警系統

二、市府水利局資訊管理平台

為掌握臺中市各水淨場資訊及相關管理數據，市府水利局於 2010 年建置「臺中現地處理設施整合管理平台」，藉由大數據收集分析及雲端物聯監控（圖

12），達到各水淨場域操作維護管理，包含水質、水量等大數據資訊收集。

系統包含組成如下，整體架構如圖 13 所示。

1. 基本資料展示：包含各場站基本資

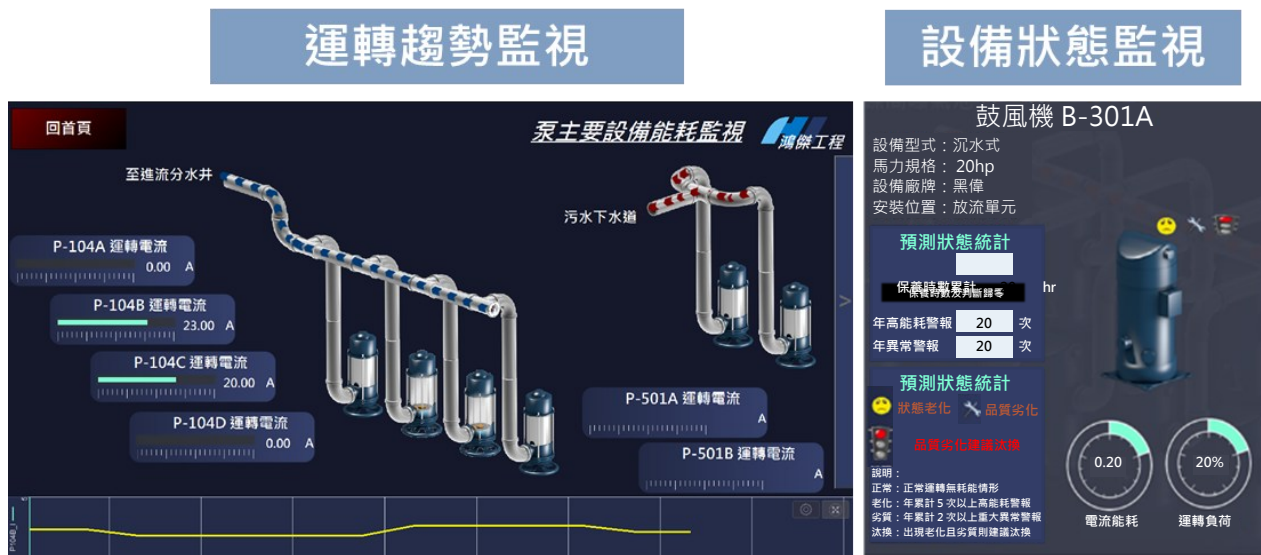


圖 11 設備狀態預警系統



圖 12 管理平台場域重點資訊監視畫面

料、單元流程及設備清冊等。

2. 操作巡檢及設備維護管理系統：包含各場站水質、水量及設備維護狀態等數據收集。
3. 備品耗材管理：包含各場站剩餘備品耗材進出料管控等。

藉由彙整上述各項資訊，平台彙整出重點儀表板，以供機關、專管單位及操作單位快速查詢，除可進一步掌握歷史資訊、操作管理狀態外，遇緊急供水異常、水質異常等情形亦可用於進行快速資訊調閱及分析使用，圖 14、圖 15 即為重點儀表板歷年水量、水質趨勢分析圖。



圖 13 現地處理設施整合管理平台架構圖

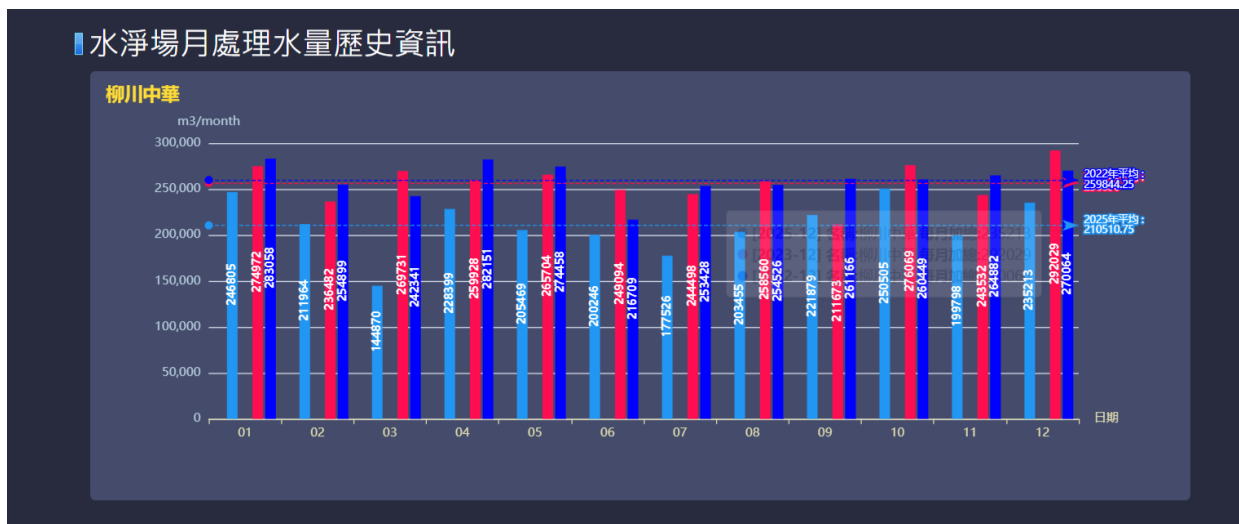


圖 14 資訊平台-柳川中華場域水量歷史趨勢

水淨場水質去除效益資訊



圖 15 資訊平台-柳川中華場域水質歷史趨勢

三、LID 防災預警系統

除水淨場客製之「AIOT 管理系統」及「市府水利局水淨場數據收集資訊平台」外，為掌握下游 LID 景觀河段，另包

含防洪預警、供水異常預警等「防災預警系統」進一步完善整體預警體系，該系統主要係針對 LID 景觀河段水位監視、數位影像監視等兩大部分（圖 16）。



圖 16 LID 景觀防災預警及影像辨識技術

四、垂直整合應變預警操作管理方案

藉由客製化 AIOT 預警系統進行上游段柳川中華水淨場供水情形及設備運轉趨勢進行預警監視，同時搭配雲端資訊平台對歷史數據之掌握並配合下游 LID 段防災預警系統的垂直整合（如圖 17），三段

警戒搭配標準化應變程序，可有效快速達預警之目標。

例如在上游段因旱季或缺水時期造成供水不足之情形，藉由「AIOT 預警系統」感應到趨勢下降即進行預警及調配建議後，操作人員可經由「資訊平台」快速



圖 17 垂直整合應變預警操作管理方案

查閱該時段歷史資訊，經確認後進行回報及低流量操作參數調整策略決策，最後經由 LID 水位監視及影像監控等遠端掌握景觀河道情形並進行參數調整，此即達垂直整合及應變預警之管理方案最主要之目標。(詳圖 18 所示)

伍、結語與未來展望

臺中市積極推動各區都市治水方案，以柳川排水中華水淨場為例，目前放流水質平均達未(稍)受污染之等級，同時搭配用戶接管等相關工作推行，於下游三民柳橋環境部測站檢測數據來看亦有顯著治

水成效，在放流搭配 LID 景觀水域，已成功打造兼具景觀遊憩、防洪安全之區域性整治，同時更有效帶動臺中市觀光發展，將之推進另一個階段之里程碑。

由此，以傳統的管理手段，針對柳川水岸之操作維護已顯不足，故將 AIOT 智慧預警、資訊平台收集等相關技術整合至包含預警、應變及管理策略上尤其重要，藉助垂直的整合方式所提出的管理方案，其顯著提升整體應變及情形掌握能力。

隨著時代巨輪智慧化管理之演進，對於智慧管理落地應用上，仍有很大的發展



圖 18 垂直整合方案應變機制流程

空間，未來在都市治水及智慧管理的整合應用上持續發展，將使「水安全、水環境、水文化」的治理理念更臻完備。

參考文獻

1. 臺中市政府環境保護局(2023)，台中市河川、排水渠監測結果. from <https://www.epb.taichung.gov.tw/17293/Lpsimplelist>. April, 2024 accessed
2. 臺中市政府觀光旅遊局(2022)，大玩台中-柳川水岸步道. from <https://travel.taichung.gov.tw/zh-tw/attractions/intro/1104>. April, 2024 accessed
3. 青年日報，中市智慧防汛導入 AI 提升柳川水岸安全，2023。 https://www.ydn.com.tw/tw/News/ugC_News_Detail.aspx?ID=461458
4. 陳怡瑄(2024)，河川現地處理設施建置對於水質污染程度改善成效之評析-以臺中市柳川為例，國立中興大學環境工程學系所，碩士論文。
5. 內政部國土管理署(原營建署)(2022)，Low Impact Development 水環境低衝擊開發設施操作手冊。
6. 臺中市政府(2018)，綠柳川整治成果及帶動中區整體商機專案報告。
7. 卓伯全、鄭博之、謝宏炅、劉厚伯、邱俊憲，水資源 AIoT 管理平台的發展與應用，工業材料雜誌 440 期(202308)。
8. 羅英維、張王冠、梁德明，數位科技「大人物」於智慧水處理之運用，工業污染防治第 158 期(202309)。
9. 臺中市政府，柳川全線整治專案報告(202010)。



摘要

雲林地區因地面水供應不足，長期依賴地下水作為農業主要水源，自 1970 年代起具成效；然而，農業用水高度依賴地下水的結構仍需進一步調整。

本研究係以大埤鄉為研究範圍，針對聯美、北鎮、怡然、興安及西鎮等五個非灌區示範村進行地下水使用情形全面盤點，蒐集農業用水型態、灌溉水源、供灌水質及水井抽水量等資料，研析各村輪抽與減抽之可行性。為提升地面水供應比例並降低地下水抽取量。

本研究提出結合雨水下水道系統之地下水補注策略，並規劃調蓄池、前池試操作及農田蓄水設施等工程措施，以強化地面水利用及雨水入滲效能，期望透過雨水下水道系統輔助補注地下水之資源復育模式，改善農業用水結構，建立完整的農業用水資料庫平台，作為未來擴大推動至其他鄉鎮之管理與應用基礎。

關鍵字：地層下陷、雨水下水道系統、地下水資源復育、非灌區、地下水管理

1.五湖四海營造公司 / 水利博士、水利技師、水保技師

2.雲林縣政府水利行政科 / 科長

Abstract

Due to insufficient surface water supply, agriculture in the Yunlin area has long relied on groundwater as its primary water source. Land subsidence has been observed since the 1970s, with affected areas gradually expanding from the coast toward inland regions. In recent years, the government has promoted the “Yunlin – Changhua Land Subsidence Mitigation Action Plan.” As of 2024, the significantly subsided area has decreased by approximately 293.8 square kilometers compared with the past, demonstrating the effectiveness of mitigation measures. However, the agricultural sector’s structural dependence on groundwater still requires further adjustment.

This study focuses on Dapi Township, conducting a comprehensive inventory of groundwater use in five non-irrigated demonstration villages—Lianmei, Beizhen, Yiran, Xingan, and Xizhen. Data related to agricultural water use patterns, irrigation water sources, water quality, and groundwater extraction from wells were collected to assess the feasibility of rotational pumping and pump-reduction strategies in each village, with the goal of increasing the proportion of surface water supply and reducing groundwater withdrawal.

The study proposes a groundwater recharge strategy that integrates the stormwater drainage system and includes engineering measures such as detention ponds, forebay pilot operations, and on-farm water retention facilities. These measures aim to enhance the utilization of surface water.

Keywords : land subsidence, sewer system, groundwater recharge, non-irrigation area, groundwater management

壹、計畫緣起與目的

為積極改善雲林地區地層下陷問題並強化水資源調配能力，本計畫選定近年地層下陷日益嚴重的大埤鄉非灌區作為地下水復育示範地區。雲林縣為全國重要農業產區，地面水供應不足致使農業灌溉高度仰賴地下水，進而造成地層下陷問題持續惡化。

大埤鄉不僅為雲林地層下陷的顯著區域，亦為全國稻米主要產區，尤其非灌區（聯美村、北鎮村、怡然村、興安村及西鎮村）近年地層下陷情況尤為嚴重。為強化地面與地下水資源之調配與永續利用，本計畫以該地區作為地下水資源復育工程示範區，並彙整相關成果研擬利用雨水下水道系統補注地下水資源復育整體規劃，作為未來推動雲林地層下陷防治與水資源調配策略的重要藍圖。

貳、計畫目標

本計畫之規劃理念，旨在透過雨水下水道系統來增供地面水、減少地下水超抽、提升地下水補注量（含工程與非工程措施），以改善區域水資源長期供需失衡的問題，同時達到低維護成本、永續利用的目標。

為此，本計畫將全面調查並掌握當地環境背景與水資源使用現況，包含水源供需評估、使用者需求調查與現地訪談，以

深入了解民眾的實際需求與意見，並取得地方共識。

在工程規劃部分，將透過現地勘察與專業評估，研擬適宜之地下水復育方案，包含地下水補注、調蓄供灌等措施。同時也將尋覓合適場址，優先推動具可行性與成效的地下水復育工程。

其中，北港溪具有可利用水源、水量、入滲率及工程可行等優勢，其水質可作為地面水補充水源並用於灌溉，有助於提升區域農業灌溉穩定性。本計畫將提出以北港溪水源搭配地下水補注及調蓄的整體構想，以改善灌溉水源供應，強化地區水資源韌性。

參、計畫背景

本計畫係以雲林縣大埤鄉轄區內非列為行政院農業委員會農田水利署雲林管理處事業範圍之聯美村、北鎮村、怡然村、興安村及西鎮村等 5 村里作為計畫區域，故相關之環境背景資料蒐集對象以上述 5 村里為主。計畫區域位置圖，如圖 1 所示，其中包含河川、灌溉排水渠道、灌區範圍分布位置，由圖可明顯看出計畫區域內多為灌溉渠道分布，呈雨水下水道網路排水系統。

一、地文環境特性

計畫研究區域之地文環境概況，蒐集經濟部中央地質調查所（以下簡稱地調

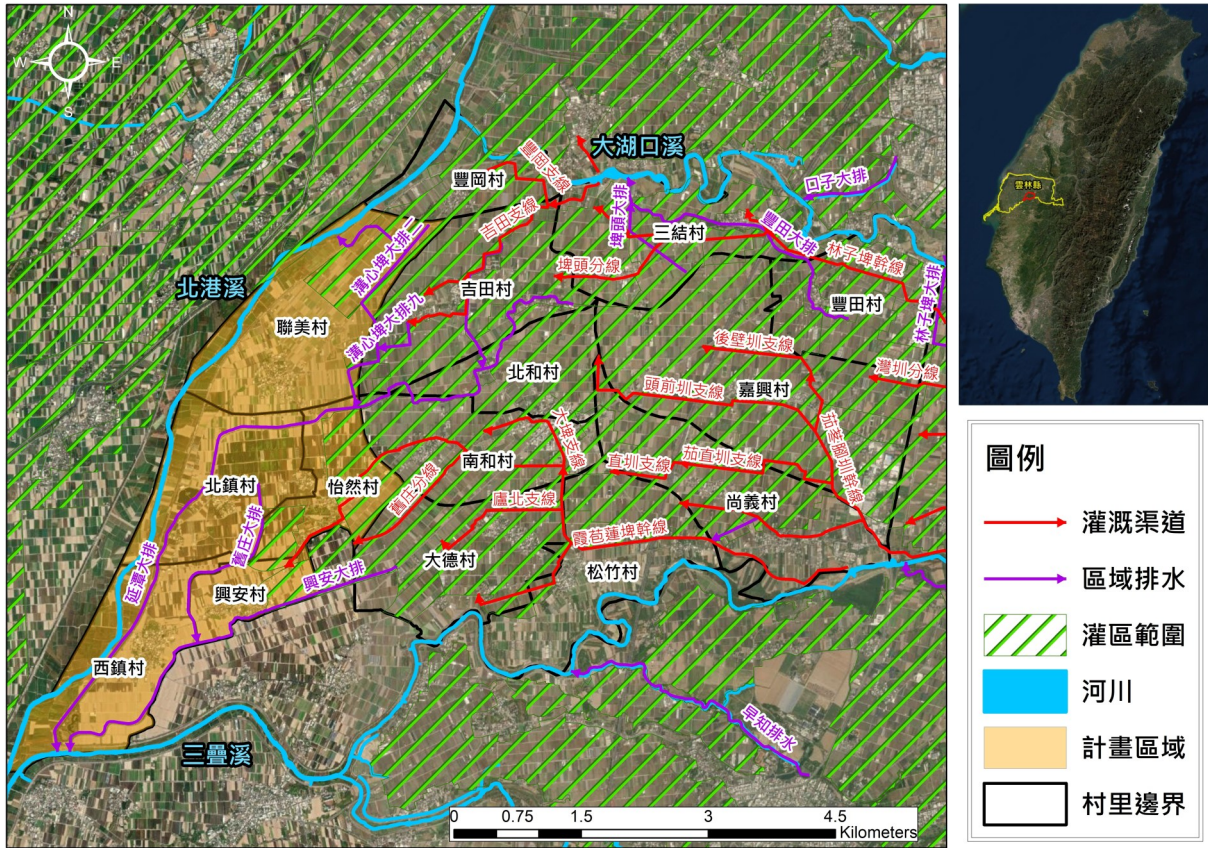


圖 1 計畫研究區域位置圖

所) 之地質鑽探井、水文地質剖面圖資料及地質資料整合查詢系統、內政部國土測繪中心 2015 年國土利用調查成果、行政院農委會農業試驗所 (以下簡稱農試所) 之農地土地覆蓋與土壤圖資等資料。以下針對計畫研究區域之地形與地貌、區域水文地質特性及土壤情形進行說明：

二、地形與地貌

本計畫範圍位於雲林縣大埤鄉境內，雲林縣地形東邊以斗六丘陵與南投縣相隔，北邊以濁水溪與彰化縣相接，南邊以北港溪與嘉義縣相接，地勢由東北斗六丘陵向西南至臺灣海峽緩傾，其地形可分為

斗六丘陵與濁水溪沖積扇兩大地形，並以觸口斷層為界。雲林縣共 20 個鄉鎮市，其中斗六市、古坑鄉及林內鄉為靠近山區之鄉鎮，其餘鄉鎮則位於濁水溪沖積扇左側為地勢平坦之平原地區。

而大埤鄉位於平原地區，全鄉地形平緩且遼闊，其地形高程介於 10~22 m，平均高程約為 17.11 m，本計畫區域高程分布圖，如圖 2 所示；另外，為瞭解計畫區域之地貌分布情形，參考該地區土地利用圖資資料，如圖 3 所示，主要的土地利用為農業使用土地、水利使用土地、建築使用土地等，其中該區域農業使用土地所

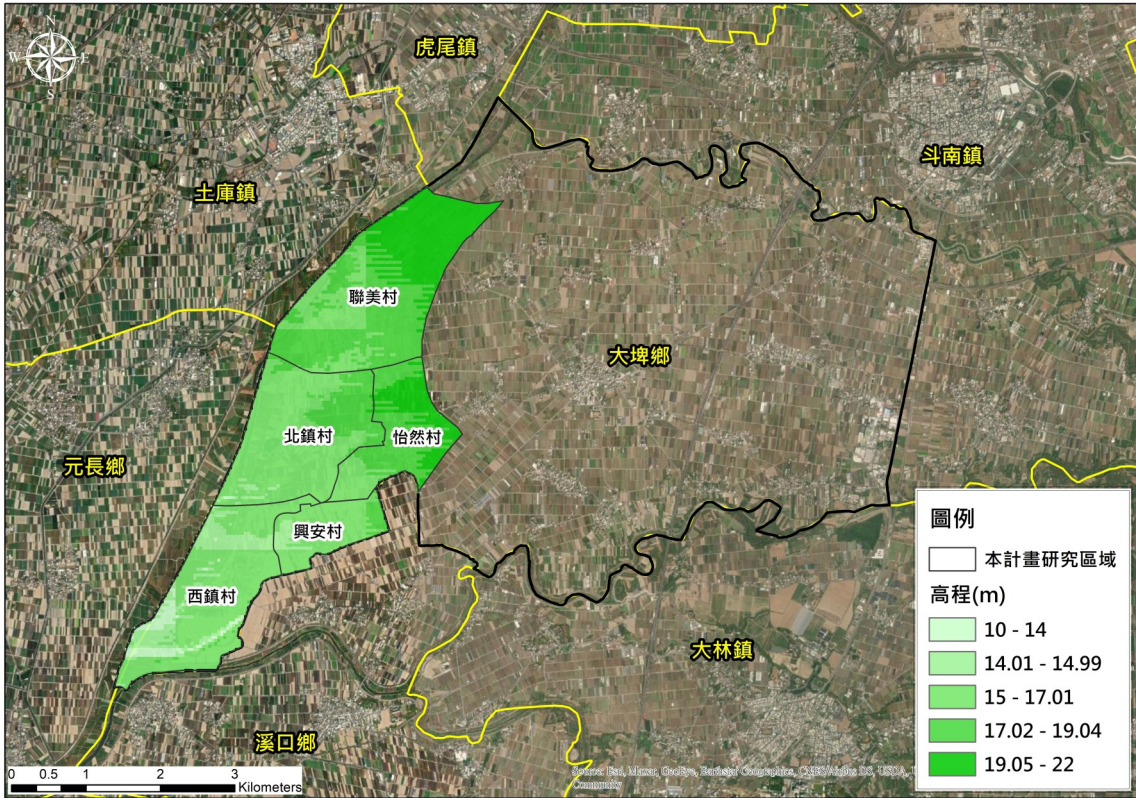


圖 2 計畫區域高程分布圖

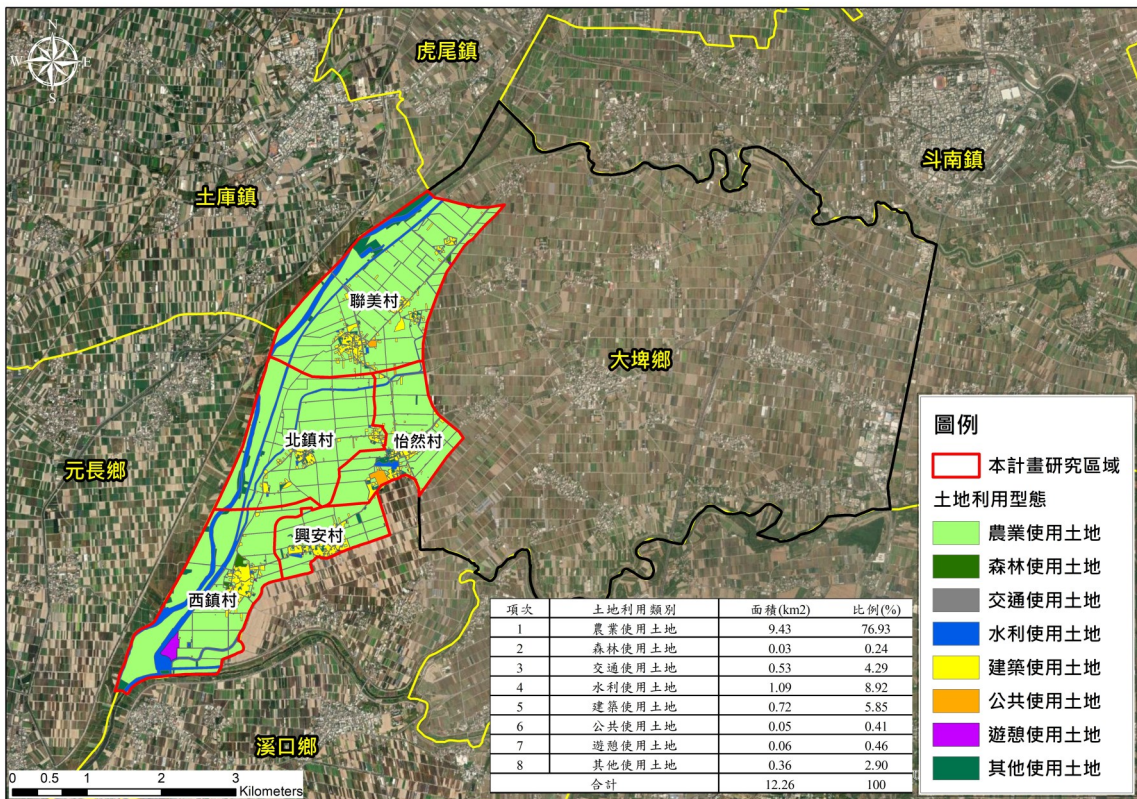


圖 3 計畫區域土地利用型態分布圖

占比例約為 77%。

三、區域地質與水文地質

蒐集地調所的地質資料整合查詢系統之 1/50,000 臺灣區域地質圖顯示，本計畫區域的地質大部分為全新世(Holocene)沖積層(Alluvium)，氾濫平原堆積以泥為主組成，部分為河道、舊河道或舊河道堆積以砂及礫石為主，土質屬微酸性至微鹼性沖積土，母岩為第三季之砂岩，土質肥沃適合農耕。

另外，蒐集地調所於雲林縣的地質鑽

探井點位資料，其水文地質鑽探井位置分布圖，如圖 4 所示，於計畫區域內的地質鑽探井為舊庄井，其地質柱狀圖，如圖 5 所示。

由圖 5 顯示，舊庄井之地層較為複雜，其 300.0 m 之地質鑽探資料中細砂及泥分布交疊其中，79.0 m 至 81.6 m 開始出現粗礫、185.9 m 至 199.9 m 開始出現中礫及砂質中礫、其餘皆由極細砂、細砂、粉砂、中砂、粗砂及泥所組成。

計畫區域位於宜梧至東和水文地質剖

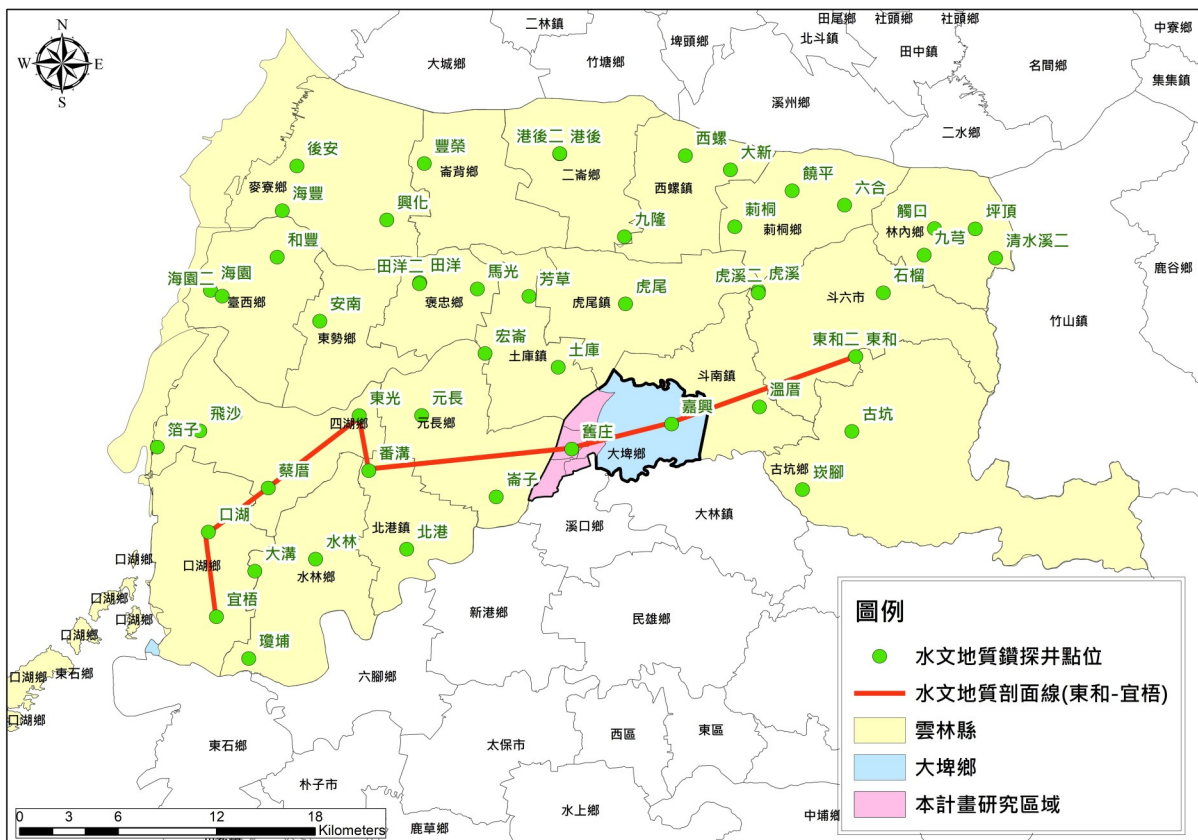
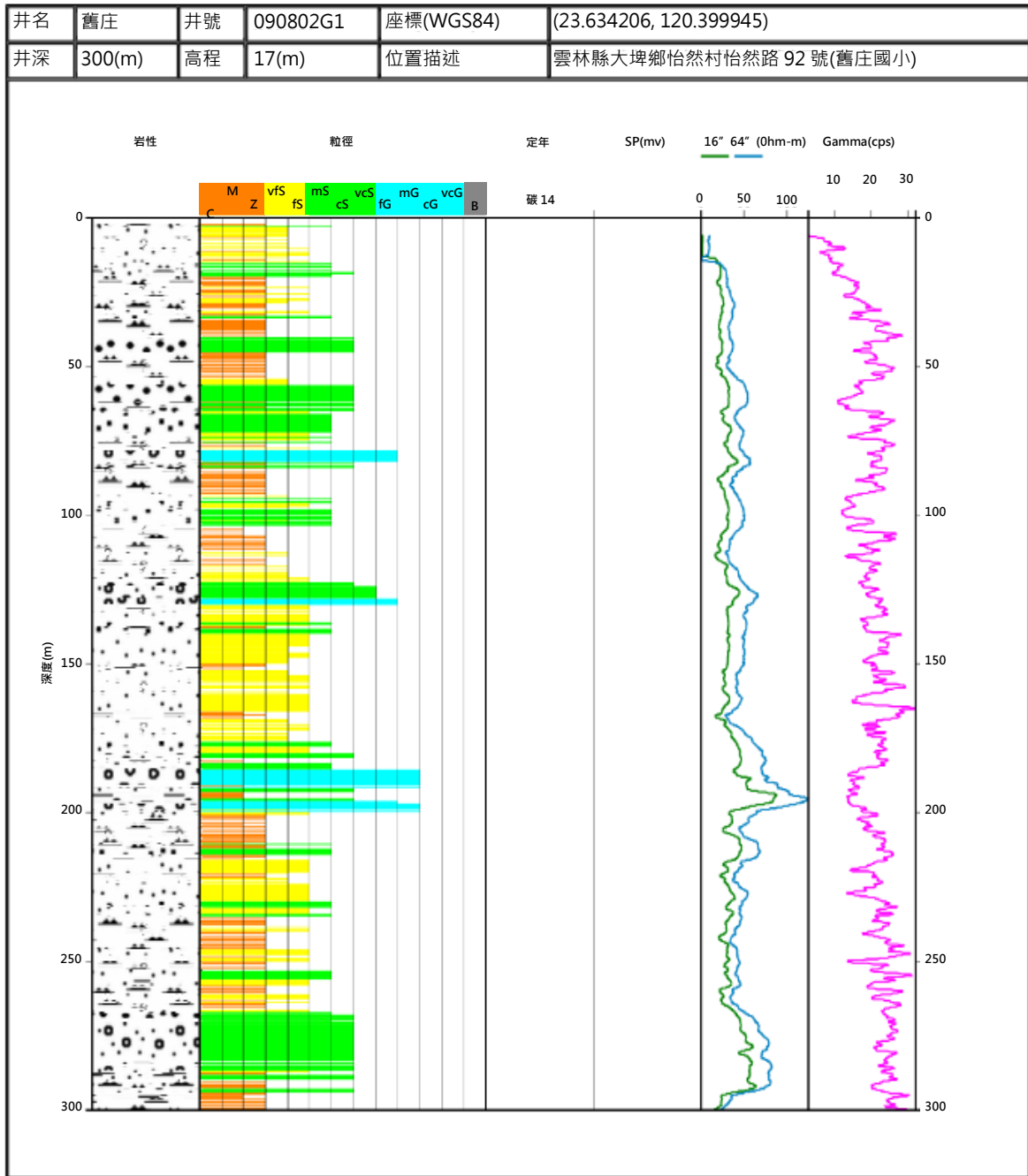


圖 4 計畫區域水文地質鑽探井及水文地質剖面位置圖



- 礫岩
- 砂岩(中砂、粗砂、極粗砂)
- 砂岩(細砂、極細砂)
- 粉砂、泥、黏土

圖 5 水文地質鑽探井柱狀圖 (舊庄井)

面，如圖 6 所示，剖面共計 8 個鑽探點，番溝以東，由礫石層、粗砂層所組成，間夾薄層之泥層與細砂層；番溝以西，多為細砂層交錯泥層與薄粗砂層所組成。除嘉興、番溝及口湖在近地表處有約 5 至 10 公尺厚之泥層外，其餘均能讓雨水直接入滲至淺層之含水層。

四、區域環境

大埤鄉鄰近北港溪之非灌區（聯美村、怡然村、北鎮村、興安村、西鎮

村），受限於地面水資源不足，長期以來灌溉與生活用水多仰賴地下水抽取，故全區除被劃設為地下水管制區外，亦為近年地層下陷情形最為顯著的區域之一。根據各項監測資料顯示，該區域下陷速率高、範圍廣，且受降雨量變化、農業用水需求及北港溪沿岸沉積地層特性影響，地層壓密情形屢見不減。

此外，區域地形屬沖積平原，土層由砂、粉土與黏土交互堆積，具高壓縮性與低透水性特性，加上農地分布密集，抽取

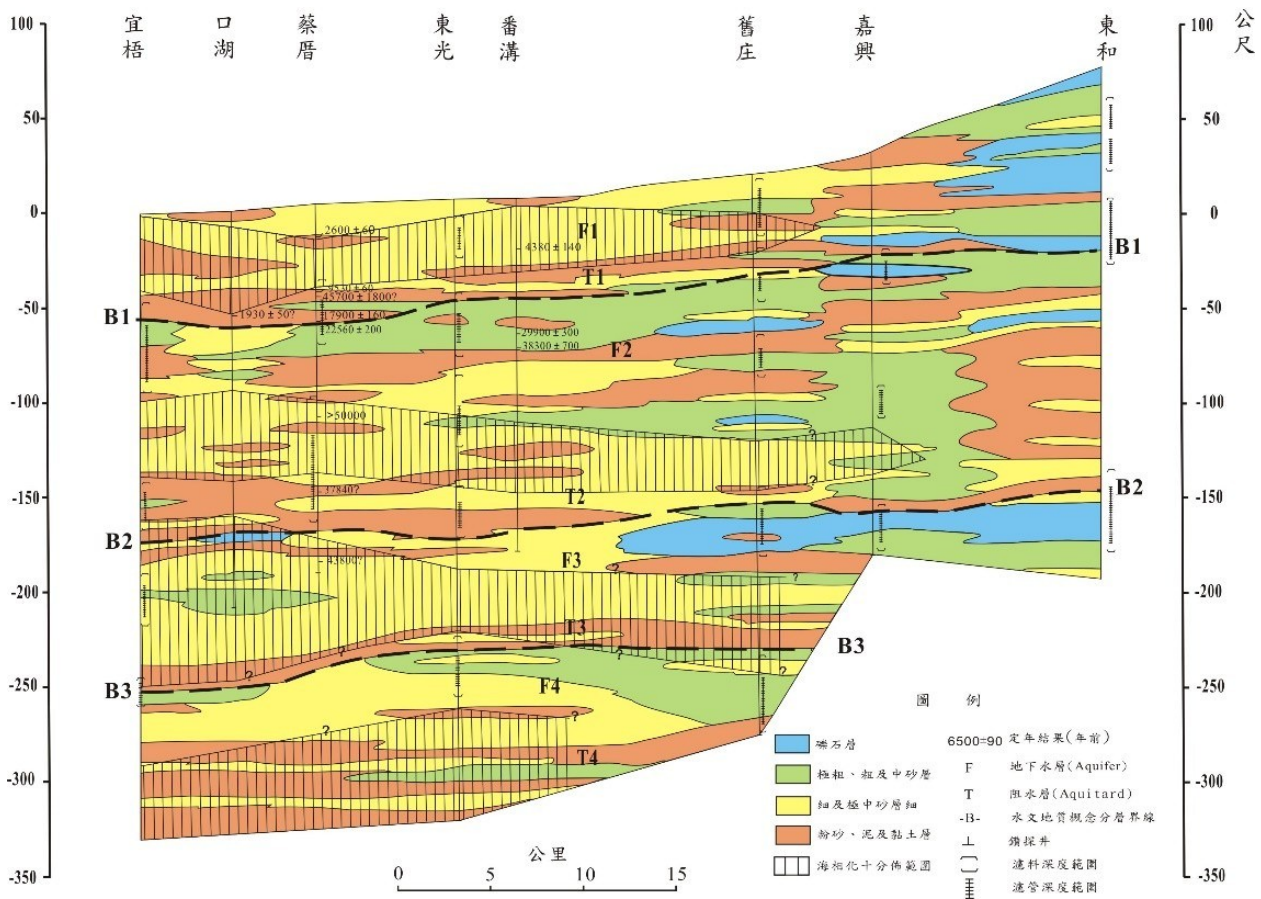


圖 6 宜梧至東河水文地質剖面圖

量長期維持高負載，使地層承載能力逐年下降，進一步加劇地層下陷問題。近年政府雖透過推動人工補注井、引進地面水、灌溉管理改善等方式試圖減緩下陷情勢，但部分村落仍位於下陷熱點範圍內，需長期持續進行監測與治理。

計畫區位與地下水管制區之分布關係圖，如圖 7 所示，計畫區位與主要地層下陷區之對應情形圖，如圖 8 所示，可清楚呈現計畫位置位於下陷風險較高之敏感區。計畫現場照片拍攝點與空間位置關係圖，如圖 9，可供後續工程規劃與環境評估之參考。

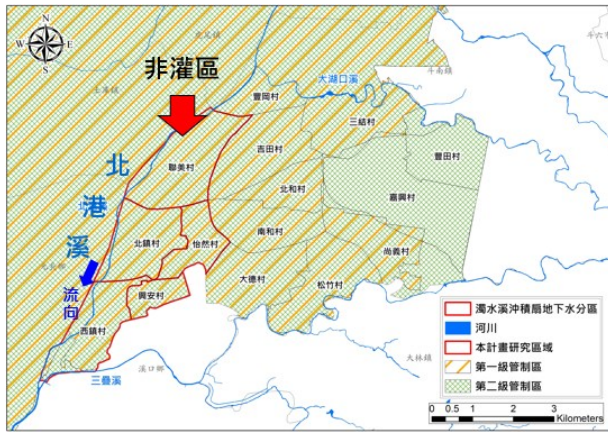


圖 7 計畫區位與地下水管制區分布圖



圖 8 計畫區位與主要下陷區分布圖

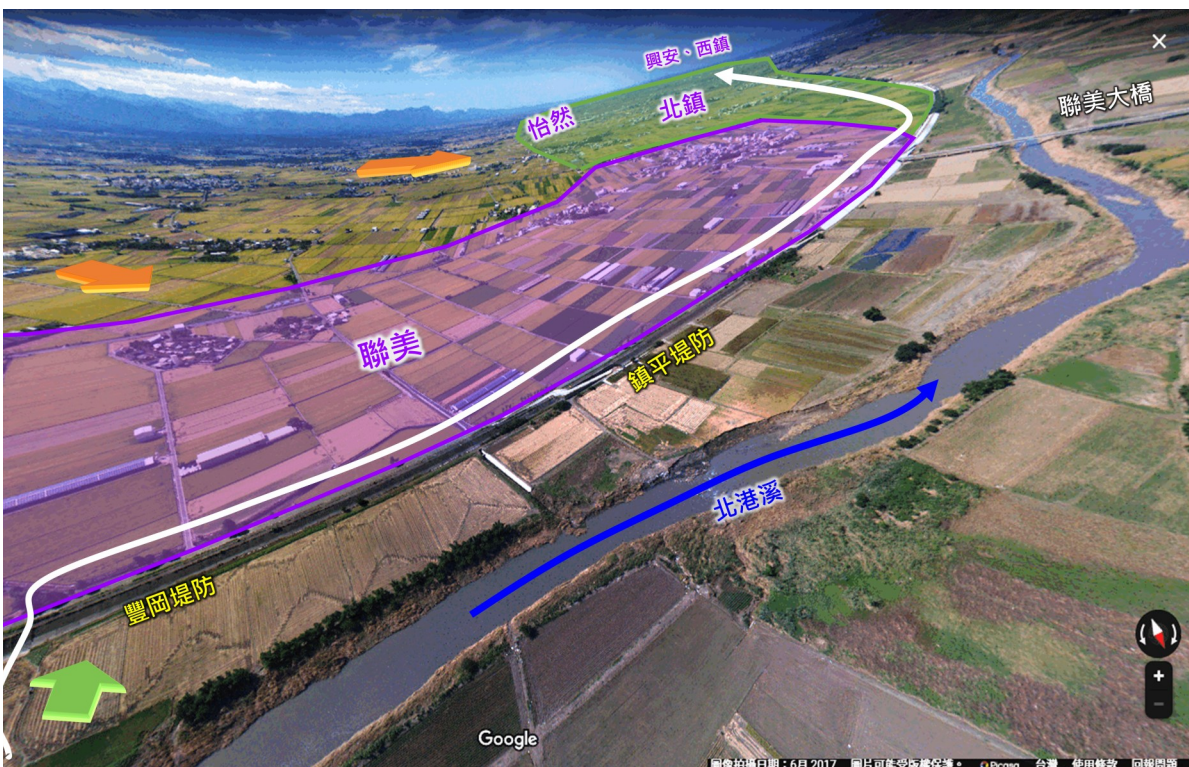


圖 9 計畫現場照片位置圖

五、水源調查

雲林縣大埤鄉受限於地形及地表水資源匱乏，早期除部分農民自行集資設置的私人引水設施（如北港溪引水、地下水與區域排水混用等）外，整體灌溉水源普遍不足。由於無法取得穩定且充足的地面水，農業灌溉多以抽取地下水為主，長期形成高度依賴地下水的灌溉型態。

目前調查顯示，全鄉水井共計 3,062 口，其中非灌區納管水井達 901 口，約佔全鄉的 29.5%，顯示未納入正式灌溉系統管理的取水井仍具相當比例。相關水井分布圖，如圖 10 所示，有助掌握地下水使用密度與空間分布情況，亦可作為後續水源整合及管理策略的重要參考。

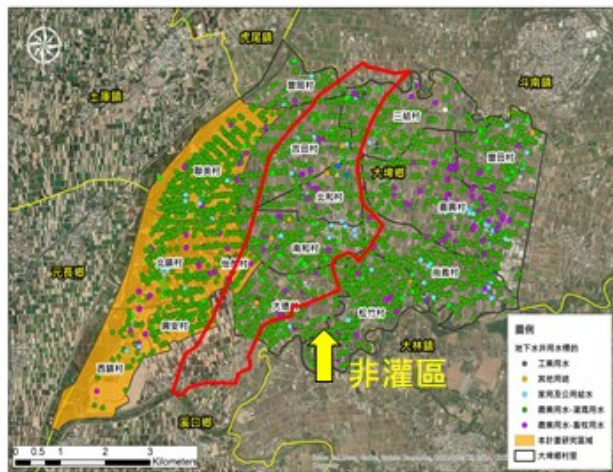


圖 10 雲林縣大埤鄉納管水井分布圖

此外，為了解早期自設引水設施的使用現況，特於現地拍攝部分設施現況，如照片 1 所示，可見農民利用簡易構造將北港溪之水量或區域排水系統加以擋水、導水後再行取用，呈現出在缺乏正式灌溉系

統下，農民於地形與條件限制中自行調適的真實情形。



照片 1 早期由部分農民集資設置之引水設施現場照片

區域排水擋水取用現場，如照片 2 所示，進一步地可觀察到當地農民透過臨時堰體或土堤方式，於排水渠道內進行擋水，以截取逕流作為農業用水。此類取用方式多屬臨時性操作，取水點的位置、結構形式與導水方式皆受到排水渠水量及地形限制。



照片 2 區域排水擋水取用現場照片

而照片 3 則呈現河川基流量擋水取用現場，於枯水期間仍保有基本基流之河段，利用簡易堰體將水流集中至取水口，引導基流作為農業灌溉或日常用水來源。此類方式反映出在無穩定灌溉水路之情況下，農民對河川基流的高度依賴與實地運用方式。



照片 3 河川基流量擋水取用現場照片

綜合而言，大埤鄉目前之灌溉水源呈現「地下水為主、地面水為輔」的特性；私人設置之引水構造、區域排水擋水取用及河川基流擋水取用方式，皆為地面水不足下衍生出的因地制宜措施。此現地調查

成果，除呈現既有取水使用狀態外，亦作為未來規劃改善灌溉設施、減少地下水抽取及強化水源永續管理系統的重要依據。

本區因無充足地面水源，農業灌溉多仰賴地下水供應。統計資料顯示，2011 年至 2020 年間灌溉水井之年抽水量介於 860 萬噸至 1,700 萬噸，年平均約 1,250 萬噸，整體呈現逐年升高趨勢。隨著抽水量增加，含水層自然補注量相對不足，導致地下水位持續走低，部分地區更出現地層壓密與下陷問題。

由區內抽水井及鄰近觀測井之長期水位監測可見，水位變動與抽水行為高度相關，抽水量增加之時，地下水位即呈現下降趨勢；而水位回升幅度有限，顯示含水層回補能力逐漸減弱。區域長期水位變化情形，如圖 11 所示。區內抽水暨鄰近觀測井長期水位變化情形圖，可清楚呈現抽水量逐年上升、地下水位逐年下降之關聯性，如圖 12 所示。

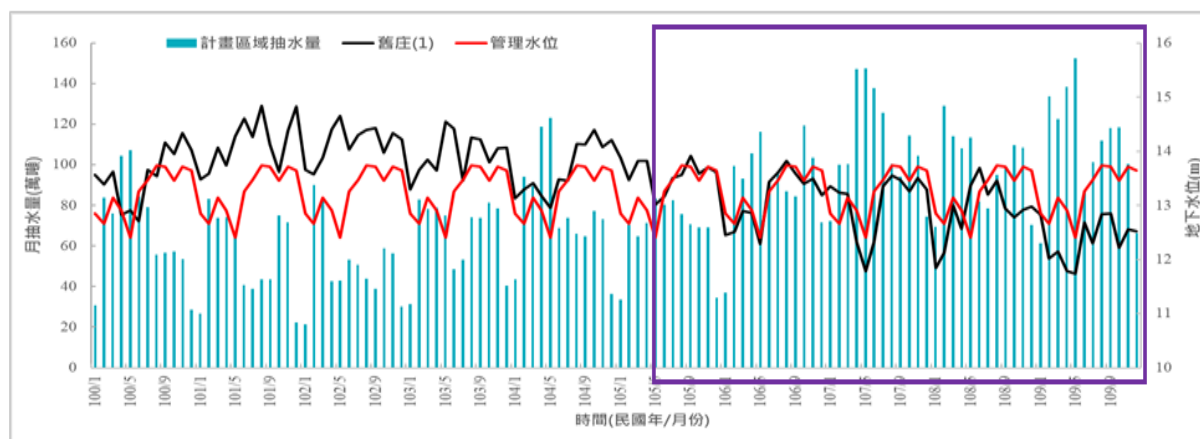


圖 11 區內抽水暨鄰近觀測井長期水位變化情形圖

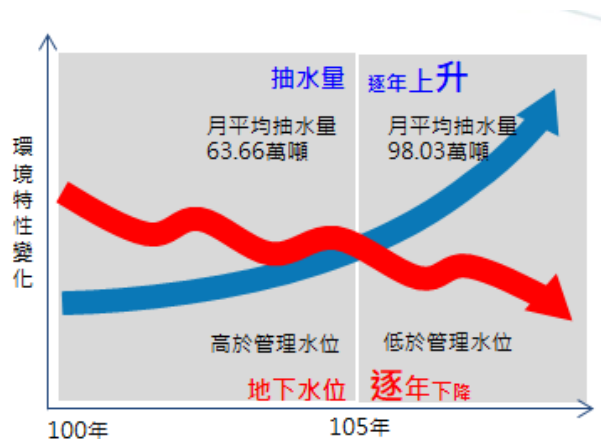


圖 12 區內抽水暨鄰近觀測井長期水位變化情形圖

肆、計畫調查訪談成果

現地訪談結果顯示，多數農民在枯水期對轉（契）作意願偏低，主因包括土壤條件不佳、農民年齡較高及早作效益不足；惟農民普遍期望能以地面水作為供灌來源，以降低地下水抽取並提升土壤肥力。各村灌溉水源現況差異明顯：聯美村與興安村主要依賴地下水及區域排水；北鎮村與西鎮村則使用引水設施、地下水與區域排水；怡然村部分可取得雲管處地面水，其餘仍仰賴地下水。

雖整體轉作意願有限，但聯美村農民相對願意配合，偏好種植硬質玉米、青花菜、花椰菜、高粱、小麥、蕎麥與花生等作物。在輪抽與減抽方案方面，農民普遍表示若地面水供應充足，願意配合完全不抽地下水；但因耕作時間與習慣因素，多數難以配合地下水輪抽制度。基於此，本計畫將優先針對水井密度高且地面水缺乏

之區域規劃改善方案，並以「增加地面水供應、減少地下水抽取」為目標，研擬適宜之水資源調適和減緩對策。

伍、地下水復育方案構想

一、短期階段（立即改善缺水熱點）—聯美村南側灘地調蓄池

聯美村南側為本區灌溉最缺水的地段，地下水抽取密度高，枯水期缺水情況尤為明顯；因此，短期需優先於該處設置灘地型調蓄池，藉由截留區域排水及逕流作為灌溉補充來源，以迅速減輕地下水抽取需求並穩定農作供水。調蓄池應與農田灌排系統有效銜接，使降雨後能迅速蓄水，同時配置簡易沉砂設施，以降低淤積並減少後續維護成本，確保調蓄池功能可長期維持。

二、中期階段（提升村里蓄水能力，建立分散式調蓄網）

中期階段以前述短期成果為基礎，進一步以「村里為單位」擴大蓄水設施的布設，逐步形成分散式調蓄網，以提升各村的水源自給能力、降低整體灌區對地下水的依賴。

於聯美村北側增設灘地調蓄池，使南北兩側形成雙調蓄池系統，可有效提升聯美村整體灌溉水穩定性。興安村則可在農田區增設蓄水池，以改善耕地蓄水不足問題，藉由多點分散蓄水提升水源調適能

力。北鎮村可利用既有引水設施的前池進行蓄水測試，藉此評估地面水替代的可行性；西鎮村則可透過抽水閘門的試操作，提高引水效率，使枯水期仍能取得可利用水源，進而降低地下水抽取量。

在中期推動過程中，應同步建立水源調度的基礎資料，包括水位、抽水量與降雨量等，以利後續進行管理優化與科學化調度，使雨水下水道採分散式調蓄網能達到最大效益。

三、長期階段 (全面提升灌區韌性，打造示範模型) — 怡然村農田蓄水池擴建

在長期階段中，建議以具備部分地面水來源條件的怡然村作為示範推動地區。透過農田蓄水池的逐步擴建，結合在地農民需求與耕地配置，建立「地面水優先供灌、調蓄池補強供水、地下水抽取減量」的整體示範模式，提升村里水源調適能力與灌區韌性。此外，亦可在此區導入兼具滯洪與蓄水功能的複合型設計，於雨季提升蓄洪能力、枯水期提供穩定灌溉水源，並作為未來推廣至其他村里的可複製治理案例。其地下水復育方案構想圖，如圖 13 所示。

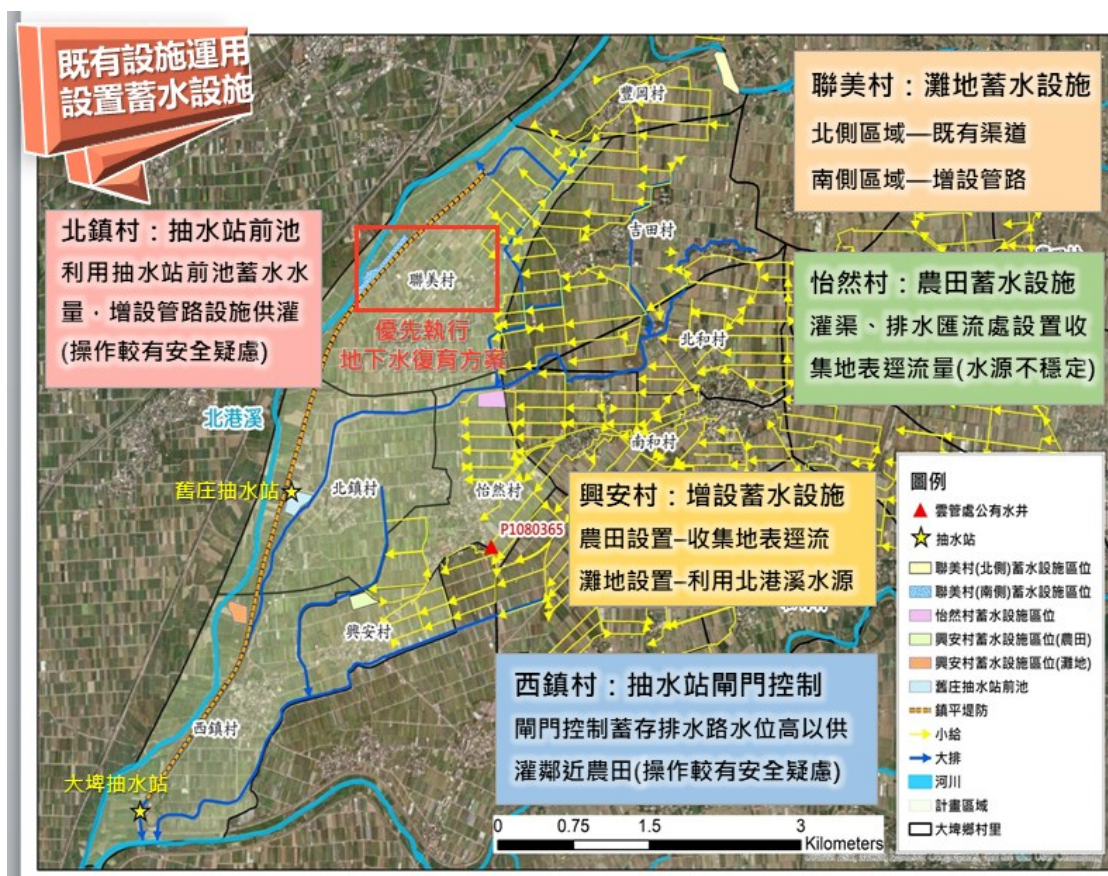


圖 13 地下水復育方案構想圖

陸、地下水復育工程初步規劃

本地下水復育工程以改善區域灌溉缺水情形、降低地下水超抽及強化高灘地水資源調蓄功能為主要目標。供水系統以「即有雨水下水道+暗管配置」為原則，管線多沿現有一般道路地下埋設，以降低施工介面並維持地面交通暢通。工程整體項目涵蓋調蓄池、滯水設施（含導水設施）、道路改善工程、供水管路設施、水工機械設備及監測與控制系統等，形成一套兼具蓄水、分配、導流與監控功能的復育系統。

調蓄池為本工程核心設施，其上、下游分別設置一口簡易式地下水觀測井，用以掌握地下水位變化、補注成效及確保抽補作業對周邊環境的影響可被即時掌控。為兼顧施工彈性與環境友善，本計畫中之調蓄池、滯水設施及導水設施皆以臨時性措施為主，可視後續調整需求進行擴建或移設。

因工程設置位置多位於高灘地，設施設計均以治理計畫「不影響計畫通洪斷面」為最高原則，透過低干擾、可拆卸或地面型式的設計，確保高灘地排洪能力。

第一期工程規模擬提供灌溉面積達 67.64 公頃，依區域作物需水量估算，至少須每日提供 1.27 萬噸灌溉用水。本工程將整合調蓄池蓄水、區域逕流及排水再利用、地下水補注與智能監控等多項措

施，建構一套穩定、可調度、具韌性的農業用水供應系統，兼顧永續水資源管理與區域地下水環境回復。其地下水復育工程初步規劃圖，如圖 14 所示。

柒、方案初步效益評析

本工程方案以調蓄池、加壓池及相關配套設施為核心，建構兼具地面水供應、地下水補注與智慧管理的整體水資源調度系統。工程設施內容包含主體工程（調蓄池、加壓池）、臨時性擋水設施、輸配水管路（輸水管線、給水管線）、水工機械及監控儀器系統等，以強化區域灌溉供水能力並減緩地下水超抽問題。

一、主體工程規模

1. 調蓄池

- 開發面積：1.5 公頃
- 設計容量：30,000 噸
- 底部坡度：2%（具排砂功能）
- 結構形式：採不封底或部分封底設計，以利地下水入滲補注

2. 加壓池

- 開發面積：1.5 公頃
- 設計容量：15,000 噸
- 功能：配合加壓設備穩定供灌水壓，



圖 14 地下水復育工程初步規劃圖

提高輸水效率

二、工程效益分析

工程效益分為「可量化效益」與「不可量化效益」，並兼顧地面水開源、地下水永續、灌區服務擴大等多重目標。

(一) 可量化效益

1. 地面水取代地下水

透過調蓄池及滯水設施，將北港溪地面水蓄存後供作灌溉使用，有效降低區域水井抽水量。

2. 地下水入滲補注

調蓄池採不封底或部分封底設計，使

剩餘水量自然入滲，提升地下水補注量，改善長期降趨勢。

(二) 不可量化效益

1. 節省水井抽水用電、降低碳排：減少機具抽水時間，可有效減碳。
2. 地層下陷防治：減少非灌區地下水抽取，有助改善地層沉陷趨勢。
3. 跨部會資源整合與治理效率提升：強化中央、地方及農田水利署協作，形成永續治理模式。
4. 提升民眾認同與參與：減抽地下水、改善農田水源可有效提升農民支持度。
5. 農村社經加值效益：穩定農業生產、提升作物品質、增加農村活力。

三、效益量化與經費概估

- 工程總經費：3.32 億元
- 年計成本：約 1,326 萬元
- 可量化直接效益：約 404 萬元
- 益本比(B/C Ratio)：約 0.31

雖益本比偏低，但地層下陷防治與地下水環境復育屬「公共安全與公共利益」的重要政策，效益屬長期累積型，非可立即量化；因此，本方案仍具高度推動必要性。

捌、結論與建議

一、結論

1. 本方案能有效運用雨水下水道系統與調蓄設施，提高地面水供給並降低地下水依賴。

透過雨水下水道匯集逕流，再由調蓄池、滯水設施與導水系統加以蓄存與調度，可穩定供應第一期 67.64 公頃農地灌溉，減少地下水超抽，是改善缺水與推動永續水資源治理的重要策略。

2. 雨水下水道結合調蓄池具有地下水補注功能，有助改善地層下陷。

採不封底或部分滲透設計，將雨水下水道匯流之剩餘水量有效入滲補注地下含水層，可提升地下水位，對長期遏止非灌區地層下陷具正面效果。

3. 雖量化效益不高，但屬公共安全與地下水資源復育之必要工程。

本方案益本比僅 0.31，惟地下水補注、農業穩定供水、地層下陷防治等屬長期累積效益，應將其視為公共利益與永續治理工程，而非以短期經濟評估為主。

4. 雨水下水道水源量與沿線土地條件均具可行性。

北港溪與雨水下水道系統之整合水量經驗證具有可利用空間，加上沿線具公地

可布設調蓄與補注設施，使本方案具備推動基礎與實務可行性。

5. 可作為跨部會整合與民眾參與的地下水復育模式。

透過雨水下水道、農田水利、地方政府與水利署的協作，可提升水資源治理效率，並因有效減抽地下水。

二、建議

1. 持續推動雨水下水道結合調蓄池替代水源策略，逐步降低地下水抽用。

配合降雨時的逕流截集與調蓄，建議將本模式長期化，並視供水穩定度擴大灌區，以提升地下水保育成效。

2. 強化地下水補注監測，完善降水—蓄儲—雨水下水道輸送—補注—抽用之資訊管理。增加觀測井監測頻率，建立補注量與抽用量之整合平台，提升地下水資源復育的科學管理能力。
3. 多元化調蓄池功能，提升雨水下水道系統的整體效益。評估加入滯洪、防災、生態、景觀質休憩功能，使其成為兼具水資源、環境與社會效益的複合型工程。
4. 推動水井管理與農業節水措施同步進行。透過地下水井減量化、合法化，以及噴滴灌等節水技術，可提高整體水利利用效率，強化雨水補注工程的效

益。

5. 強化地方溝通，提升對雨水下水道系統補注工程的社會支持度。

定期與農民、社區及灌溉單位交流，說明工程效益與供水方式，增進共識並提高推動效率。

6. 將跨部會協作制度化，形成長期水資源治理架構。

由中央統籌協調雨水系統利用、水源調度、土地管理等職責，打造可持續運作的地下水復育模式。

參考文獻

1. 行政院(2011)，雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫。
2. 行政院農業委員會農田水利署(2019)，灌溉排水營運管理。
3. 行政院農業委員會農田水利署(2020)，109年度農田水利會擴大灌溉服務政策推動與行政輔導計畫。
4. 逢甲大學營建防災中心，農業用水與三生功能之探討—灌溉用水量估算公式檢討，2006。
5. 雲林縣政府，雲林地區多元水資源開發需求與可行性評估，2009。
6. 雲林縣政府，易淹水地區水患治理計

- 畫—雲林縣管區域排水延潭大排系統
規劃報告，2009。
7. 經濟部，雲彰地區地層下陷具體解決方案暨行動計畫第二期(110~115 年)核定本，2020。
 8. 經濟部，地下水保育管理暨地層下陷防治第 3 期計畫(110~113 年)核定本，2020。
 9. 經濟部水利處，濁水溪沖積扇地表地下水聯合運用，2000。
 10. 經濟部水利署，水資源開發利用總量管制策略推動規劃檢討，2012。
 11. 經濟部水利署，臺灣地下水區可用水量調查分析及伏流水調查規劃先期作業成果報告，2015。
 12. 經濟部水利署，地面水水權登記申請手冊，2018。
 13. 經濟部水利署，107 年度地層下陷防治專案服務計畫，2018。
 14. 經濟部水利署，108 年度地層下陷防治專案服務計畫，2019。
 15. 經濟部水利署，108 年度地下水觀測網營運及地下水保育專案服務計畫，2019。
 16. 經濟部水利署，109 年度地層下陷防治專案服務計畫，2020。
 17. 經濟部水利署，110 年度彰化與雲林地區地層下陷監測及分析，2021。
 18. 經濟部水利署中區水資源局，彰雲地區農業用水合理需水量之探討，2001。
 19. 經濟部中央地質調查所，濁水溪沖積扇水文地質調查研究總報告，1999。
 20. 臺灣雲林農田水利會，古坑人工湖規劃-現地調查及試驗，2006。
 21. 臺灣雲林農田水利會，斗六大圳輸配水模式計畫，2008。
 22. 臺灣雲林農田水利會，古坑人工湖可行性規劃及綜合評估計畫，2008。
 23. 臺灣雲林農田水利會，灌溉用水水源聯合運用及配放調度操作模式分析，2011。
 24. 臺灣雲林農田水利會，古坑人工湖設置多目標供水與經濟效益評估可行性評估以及營運管理方案規劃，2012。
 25. 臺灣雲林農田水利會，雲林地區灌溉水源及土壤調查計畫，2015。
 26. 臺灣雲林農田水利會，古坑人工湖開發可行性評估及細部規劃，2017。
 27. 臺灣雲林農田水利會，古坑多功能調

- 蓄池入滲補注效益評估計畫，2018。
28. 臺灣雲林農田水利會，古坑多功能調蓄持入滲補注效益評估計畫，2019。
 29. 內政部國土測繪中心，國土測繪圖資e 商城，<https://whgis.nlsc.gov.tw/GisMap/NLSCGisMap.aspx>。
 30. 內政部國土測繪中心，國土測繪圖資服務雲，<http://maps.nlsc.gov.tw/>
 31. 大埤鄉戶政事務所，<https://dounanhousehold.yunlin.gov.tw/>
 32. 行政院農業委員會農業試驗所，臺灣土壤資源與農地土地覆蓋圖資瀏覽查詢系統，<http://soilsurvey.tari.gov.tw/SOA/index.aspx>
 33. 行政院農業委員會，農地資訊查詢系統，<https://taliss.coa.gov.tw/ALIES/>
 34. 行政院農業委員會農業試驗所，農業試驗所土壤資料供應查詢平台，<https://tssurgo.tari.gov.tw/Tssurgo/Map>。
 35. 行政院農業委員會農糧署，農糧統計資料庫，<https://www.afa.gov.tw/cht/index.php?code=list&ids=324>
 36. 行政院農業委員會，農業統計資料查詢，<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/book/Book.aspx>。
 37. 行政院農業委員會，農業氣象觀測網監測系統，https://agr.cwb.gov.tw/NAGR/history/station_day。
 38. 行政院環境保護署，全國環境水質監測資訊網，<https://wq.epa.gov.tw/EWQP/zh/Default.aspx>。
 39. 雲林縣政府，雲林縣重要統計資料庫，<http://pxweb.yunlin.gov.tw/Pxweb2007/Dialog/statfile9L.asp>。
 40. 經濟部中央地質調查所，地質資料整合查詢，<https://gis3.moeacgs.gov.tw/gwh/gsb97-1/sys8/t3/index1.cfm>。
 41. 經濟部中央地質調查所，水文地質資料庫，<https://hydrogis.moeacgs.gov.tw/map/zh-tw>。
 42. 經濟部水利署，水文資訊傳輸管理維護系統，<https://gweb.wra.gov.tw/hyadmin/>。
 43. 經濟部水利署，水文資訊網整合服務系統，<https://gweb.wra.gov.tw/Hydroinfo/?id=Index>。



摘要

隨全球 2050 淨零排放目標的推動，內湖污水處理廠積極進行溫室氣體盤查與節能減碳改善工程。根據 2024 年盤查結果，該廠主要的溫室氣體排放源為輸入電力間接排放（佔 74.68 %），其中以鼓風機(46 %)與進流泵(16 %)用電量最高。為達成減碳目標，該廠實施多項改善措施：在用電減量方面，透過更新高效率氣浮離心式鼓風機與曝氣盤，每年預估可節電 4,022,300 kWh，減少約 2,298 公噸 CO₂e 排放；更新進流泵則每年可減少約 618 公噸 CO₂e。在藥劑與節水方面，藉由增設餘氯監測與 PID 自動加藥控制，每年可減少 688 公噸次氯酸鈉使用量，減碳約 361 公噸 CO₂e；同時透過消防管線更新與再生水替代方案，每年節省約 49,000 立方公尺自來水。本研究成果展現了老舊污水處理廠透過設備更新與自動化控制達成顯著減碳效益的可能性，可作為未來污水廠轉型之參考。

關鍵字： 污水處理廠、溫室氣體、減碳

1. 惠民實業股份有限公司 / 經理
2. 臺北市政府工務局衛生下水道工程處/處長

污水處理廠淨零減碳方案可行性及 效應之研析——以內湖污水處理廠為例

簡瑞宏¹、黃群²

Abstract

In response to the global 2050 Net-Zero emission targets, the Neihu Sewage Treatment Plant (NSTP) has implemented greenhouse gas (GHG) inventories and carbon reduction improvement projects. According to the 2024 inventory results, the primary source of GHG emissions is indirect emissions from purchased electricity (74.68%), with blowers (46 %) and inflow pumps (16%) being the most energy-intensive equipment. To achieve carbon reduction goals, the plant implemented several measures: regarding electricity reduction, updating to high-efficiency air-suspension centrifugal blowers and aeration disks is estimated to save 4,022,300 kWh annually, reducing approximately 2,298 tons of CO₂e; replacing inflow pumps further reduces emissions by about 618 tons of CO₂e per year. In terms of chemical and water conservation, the installation of residual chlorine monitoring and PID automatic dosing control has reduced sodium hypochlorite usage by 688 tons annually, cutting carbon by approximately 361 tons of CO₂e; meanwhile, fire pipeline updates and the use of recycled water have saved approximately 49,000 m³ of tap water per year. The results of this study demonstrate the potential for aging sewage treatment plants to achieve significant carbon reduction through equipment upgrades and automated controls, serving as a vital reference for future facility transformations.

Keywords: sewage treatment plant, greenhouse gas, carbon reduction

壹、前言

隨全球各國經濟發展使溫室氣體排放增加，造成近年全球極端氣候頻發已嚴重影響人類生存及國家安全。因此全球已有超過 130 個國家訂定 2050 年淨零排放目標，期望透過減碳、固碳、再生能源等方式達成溫室氣體總量平衡。

污水處理廠作為重要都市發展且能源需求龐大之公共設施，配合中央政府政策進行減碳工作勢在必行。臺北市內湖污水處理廠自 2004 年啟用至今，設計污水處理量為每日 24 萬立方公尺為臺灣第二大二級污水處理廠，主要處理內湖、大直、汐止、南港地區納管污水及部分晴天截流水，近年亦投入經費辦理設備更新工程，除汰換老舊設備外亦採用新型設備及改善控制方式同時達成節能減碳之目標。

內湖污水廠污水自內湖主幹管、大直主幹管及越基隆河幹管匯流至 G14 人孔後由閘門調整進流量，經粗攔污柵、進流泵、細攔污柵、渦流沉砂池、初沉池後進入階梯式 VIP 生物處理系統，處理水及污泥由二沉池固液分離後出流水經加氯消毒後排放至基隆河。放流水中 20,000 CMD 經機械過濾產生回收水，回收水中再取用 200 CMD（2023 年增加為 500 CMD）經 UF 過濾後作為再生水使用。粗、細攔污篩渣及初沉浮渣等與生活垃圾相同經壓縮車清運至臺北市焚化爐，初沉、二沉廢棄污泥及二沉浮渣則經由專管

輸送至污水下水道下游人孔，進入迪化污水處理廠併同處理，沉砂則經由合格污泥車運送至熱處理廠處置。

貳、研究方法

本研究透過內湖污水處理廠溫室氣體盤查確認主要碳排項目，並彙整 2020 年至 2025 年活動數據，分析比較改善工程前後溫室氣體排放數量，評估各改善工程節能減碳之效益。

參、研究成果分析

一、溫室氣體盤查

內湖污水處理廠 2024 年溫室氣體盤查結果如表 1 所示，依據盤查結果其中第一為「輸入電力間接排放」佔 74.68 % 排放量；第二為「組織購買原料開採、製造與加工過程所產生之排放」佔 20.80 %；第三為「逸散排放源直接排放」佔 3.46 %；其餘「處置固體與液體廢棄物產生之排放」、「上游原料運輸產生之排放」、「移動燃燒源直接排放」、「固定燃燒源直接排放」分別佔 0.83 %、0.16 %、0.04 %及 0.03 %。

其中排名第一「輸入電力間接排放」為廠區向台電採購使用之用電排放量。排名第二「組織購買原料開採、製造與加工過程所產生之排放」中包含用電佔總排放量 15.33 % 最多；其次為次氯酸鈉佔 5.214 %；再次為氫氧化鈉佔 0.1089

表 1 內湖污水處理廠 2024 年度各類溫室氣體排放源排放總量

排放類別	排放量 (公噸 CO ₂ e/年)	占比 (%)
類別 1 直接排放	626.8730	3.54
1.1 固定燃燒源直接排放	5.9396	0.03
1.2 移動燃燒源直接排放	7.3855	0.04
1.3 生產製造過程直接排放	0.0002	0.00
1.4 逸散排放源直接排放	613.5477	3.46
類別 2 輸入能源間接排放	13,237.8246	74.68
2.1 輸入電力間接排放	13,237.8246	74.68
類別 3 運輸間接排放	28.6170	0.16
3.1 上游原料運輸產生之排放	28.6170	0.16
3.2 下游產品運輸產生之排放	NA	NA
3.3 員工通勤產生之排放	NS	NS
3.4 客戶與訪客來訪運輸所產生之排放	NS	NS
3.5 業務或員工出差運輸所產生之排放	NS	NS
類別 4 組織使用產品間接排放	3,833.7145	21.63
4.1 組織購買原料開採、製造與加工過程所產生之排放	3,686.6323	20.80
4.2 資本財製造與加工過程所產生之排放	NS	NS
4.3 處置固體與液體廢棄物產生之排放	147.0822	0.83
4.4 資本財租賃使用之排放	NS	NS
4.5 輔導、清潔、維護、郵遞、銀行業務等服務所產生之排放	NS	NS
類別 5 組織產品使用間接排放	NA	NA
5.1 產品使用階段產生之排放	NA	NA
5.2 客戶租賃使用產生之排放	NA	NA
5.3 產品廢棄處理所產生之排放	NA	NA
5.4 股權債務、投資債務、計劃資金及其他投資所產生之排放	NA	NA
類別 6 其他間接排放	NA	NA
6 由其他來源產生的間接溫室氣體排放	NA	NA
合計	17,727.029	100

%；剩餘亞氯酸鈉、鹽酸、硫酸、汽油、柴油、用水分別為 0.05623 %、0.05157 %、0.01328 %、0.01029 %、0.009050 %、0.007096 %。

排名第三「逸散排放源直接排放」中包含污水處理有機污染物移除佔總排放量 3.068 % 最多；其次為污水處理氮污染物移除佔 0.2529 %；剩餘包含緊急發電機用油、維護工作所需汽柴油、空調冷媒等共佔 0.2159 %。

排名第四「處置固體與液體廢棄物產生之排放」中包含沉砂清運熱處理佔 0.4973 %；攔污篩渣及生活垃圾清運焚化處理佔 0.3310 %；實驗室廢液清運焚化處理佔 0.001204 %。

排名第五「上游原料運輸產生之排放」中包含次氯酸鈉佔 0.1527 %；其次為氫氧化鈉佔 0.06467 %；剩餘硫酸、亞氯酸鈉、鹽酸共佔 0.002243 %。

彙整上述資料，內湖污水處理廠產業活動造成溫室氣體排放多寡分別為用電佔 90.01 %、次氯酸鈉使用佔 5.367 %、有機污染物移除佔 3.068 %、沉砂清運熱處理佔 0.4973 %、攔污篩渣及生活垃圾清運焚化處理佔 0.3310 %、氮污染物移除佔 0.2529 %、氫氧化鈉使用佔 0.1154 %、冰水機冷媒逸散佔 0.1105 %。

綜上本廠如需進行溫室氣體減量，首先須將用電降低；其次要在不影響放流水

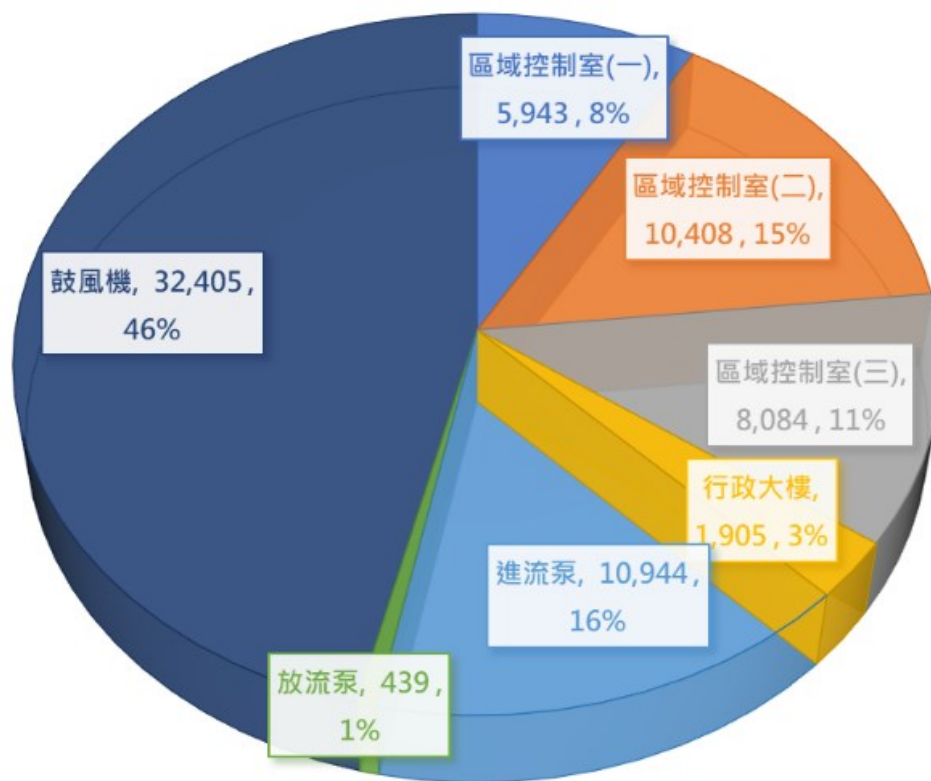
大腸桿菌群處理功能下減少次氯酸鈉使用量；而污水處理主要目標為污染物去除，為維持本廠主要功能有機、氮污染物亦除產生之溫室氣體暫無法減量；至於沉砂、篩渣物及生活垃圾因會造成系統設備故障及環境整潔等因素產量無法減少，但可以檢討在異味不造成周界二次污染下減少清運車次則可以減少碳排放量；另因本廠進流水鹼度不足需添加氫氧化鈉補充鹼度，如需減量則須控制放流水 pH 值合格下減少氫氧化鈉用量。

二、用電減量

內湖污水處理廠 2022 年 10 月至 2025 年 12 月各區域主要設備每日平均用電量如圖 1 所示，其中可以發現用電設備第一為鼓風機佔總用電量 46 %，第二為進流泵佔 16 %，第三為區域控制室（二）佔 15 %，第四為區域控制室（三）佔 11 %，第五為區域控制室（一）佔 8 %，第六為行政大樓佔 3 %，最後為放流泵佔 1 %。

（一）鼓風機節電措施

本廠生物池曝氣鼓風設備用電佔全廠總用電 46 %，如能有效節電將獲得最高效益。考量原設置 8 台 6.9 kV、600 HP 多段離心式鼓風機（4 用 4 備）且無法以變頻控制，設備除效能較低外亦無法微量調整風量造成操作時必須頻繁將設備開關造成設備壽命減少。於 2023 年 5 月起已



資料來源：2022 年 11 月至 2025 年 12 月月報告

圖 1 內湖污水廠各區域主要設備每日用電量

更新 2 台為 380 V、600 HP 單段氣浮離心式鼓風機（設備用電效率超過 90 %）並且可以變頻控制。此外本廠各台鼓風機雖有配置獨立外部引風管，但因風阻較大，故部份進風仍由鼓風機室提供，而既有鼓風機室未配置通風散熱系統，致使機房內部溫度偏高，使鼓風機進氣溫度偏高而影響鼓風機效率，本次更新時同時將所有鼓風機出口管線保溫包覆，使原室內溫度約 40 °C 降低至 35 °C 以下。另本廠生物池共有 12 池於 2023 年 6 月起至

2024 年 6 月止共進行 9 池清池及好氧池曝氣盤更新，將既有傳氧效率 28 % 曝氣盤更新為 37 %，更新前後用電分析如表 2 所示。

由更新前後單位用電分析，於鼓風機更新完成前（2023 年 4 月以前）鼓風機設備單位用電為 0.208 kWh/m³，而更新設備啟用後單位用電為 0.150 kWh/m³（包含曝氣盤更新成效）整體省電 27.9 %，如以資料期間約 19 萬 CMD 處理水量預估，每年鼓風機可省電 4,022,300

表 2 鼓風機及生物池曝氣盤更新前後用電分析

鼓風機更新	更新情境	每日用電量 (kWh/d)	總用電量 (kWh)	處理水量 (m ³)	單位用電 (kWh/ m ³)
2023 年 4 月前	更新前	38,172	8,092,433	38,852,103	0.208
2023 年 5 月後	更新後	31,152	30,404,367	186,939,219	0.163
好氧池曝氣盤更新	更新情境	每日用電量 (kWh/d)	總用電量 (kWh)	處理水量 (m ³)	單位用電 (kWh/ m ³)
2023 年 4 月前	更新前	38,172	8,092,433	38,852,103	0.208
2023 年 5 月	更新前	38,051	1,179,571	6,122,878	0.193
2023 年 6 月	更新 1 池	34,928	1,047,851	6518364	0.161
2023 年 7 月	更新 2 池	35,680	1,106,072	6351981	0.174
2023 年 8 月	更新 3 池	35,934	1,113,958	5877338	0.190
2023 年 9 月	更新 4 池	35,130	1,053,891	5320531	0.198
2023 年 10 月	更新 5 池	36,617	1,135,137	5700707	0.199
2023 年 11、12 月	更新 6 池	28,592	1,744,118	11,933,624	0.146
2024 年 1~4 月	更新 7 池	37,986	4,596,284	23,562,379	0.195
2024 年 5 月	更新 8 池	33,702	1,044,750	5986726	0.175
2024 年 6 月後	更新 9 池	28,792	16,382,735	109,564,691	0.150

資料來源：2022 年 11 月至 2025 年 12 月月報告

kWh，共可減少溫室氣體約 2,298 公噸 CO₂e/年。

其中曝氣盤更新前單位用電約為 0.193 kWh/m³，更新 9 池後為單位用電量為 0.150 kWh/m³，整體省電 22.3 %，如以資料期間約 19 萬 CMD 處理水量預估，每年可省電 2,982,050 kWh，共可減少溫室氣體約 1,704 公噸 CO₂e/年，更新 2 台鼓風機每年可省電 1,040,250 kWh，共可減少溫室氣體約 594 公噸 CO₂e/年。

(二) 進流泵節電措施

本廠進流泵設備用電佔全廠總用電 16 % 為第二高，既有進流泵共有 5 台 500 HP 抽水機（2 用 3 備）及 2 組變頻設備（1 對多，1 用 1 備）於供電及操作模式無法大幅調整，現況於 2023 年已更新 1 台抽水機，更新主要採用新型式且揚程略高 1 m 之較大規格抽水機調整最佳

操作點，相關用電分析如表 3 所示。

由更新前後單位用電分析，於進流泵更新完成前（2023 年 11 月以前）進流泵設備單位用電為 0.0676 kWh/m³，而更新設備啟用後單位用電為 0.0520 kWh/m³ 整體省電 23.1 %，如以資料期間約 19 萬 CMD 處理水量預估，每年鼓風機可省電 1,081,860 kWh，共可減少溫室氣體約 618 公噸 CO₂e/年。

(三) 未來節電規劃

有鑑於上述節電成效，現況規劃於 2026 年將完成 3 台單段氣浮離心式鼓風機更新、2 台進流抽水機汰換及全廠水銀投射燈更新為 LED 燈等節能工程。

現況鼓風機需求為 4 用 4 備，更新後使用中鼓風機可以保持 4 台皆為效率較高之機組，目前預估更新後每年可省電 1,040,250 kWh，共可減少溫室氣體約

表 3 進流泵更新前後用電分析

進流泵更新	2023 年 11 月前	2023 年 12 月後
更新情境	更新前	更新後
每日用電量 (kWh/d)	12,772	9,922
總用電量 (kWh)	5,440,823	7,560,598
處理水量 (m ³)	80,499,990	145,291,332
單位用電 (kWh/m ³)	0.0676	0.0520

資料來源：2022 年 11 月至 2025 年 12 月月報告

594 公噸 CO₂e/年。

現況進抽泵需求為 2 用 3 備，更新後使用中進抽泵可以保持 2 台皆為效率較高之機組，目前預估更新後每年可省電 1,081,860 kWh，共可減少溫室氣體約 618 公噸 CO₂e/年。

現況全廠約有 950 盞 200 W 水銀燈，現況預定 2026 年會全數更新為 150 W 以下之 LED 燈，預估每年照明可省電 416,100 kWh，共可減少溫室氣體約 238 公噸 CO₂e/年。

三、次氯酸鈉減量

內湖污水處理廠 2021 年至 2025 年各年放流水大腸桿菌群、放流水平均餘氯及次氯酸鈉(12%)加入量如圖 2 所示。

本廠放流水使用次氯酸鈉消毒，共有 4 條消毒渠道，並設置 3 組定量加藥機 (2 用 1 備)，1 台加藥機加入 2 條渠道。除加藥機本體可調整衝程外，亦設置變頻器可進行加藥量調整，但既有系統無法自動調整加藥量必須由人員定期調整，且既有設施並未設置放流水餘氯監測，故操作人員無法有參考數據調整加藥量。為提升消毒穩定度及節藥於 2022 年時增設放流餘氯監測設備並連動變頻器於 PLC 內設置 PID 加藥控制，可設定放流餘氯設定值維持濃度由 PLC 自動控制變頻器輸出轉速，可有效隨水質變化調整加藥量。

於設置前 (2021 年) 加藥量為 3.64 (mg/L-污水) 但大腸桿菌群僅能控制在平均 1.2x10⁴ (CFU/100 mL)，但自 2022 年啟用餘氯 PID 控制後加藥量降低至

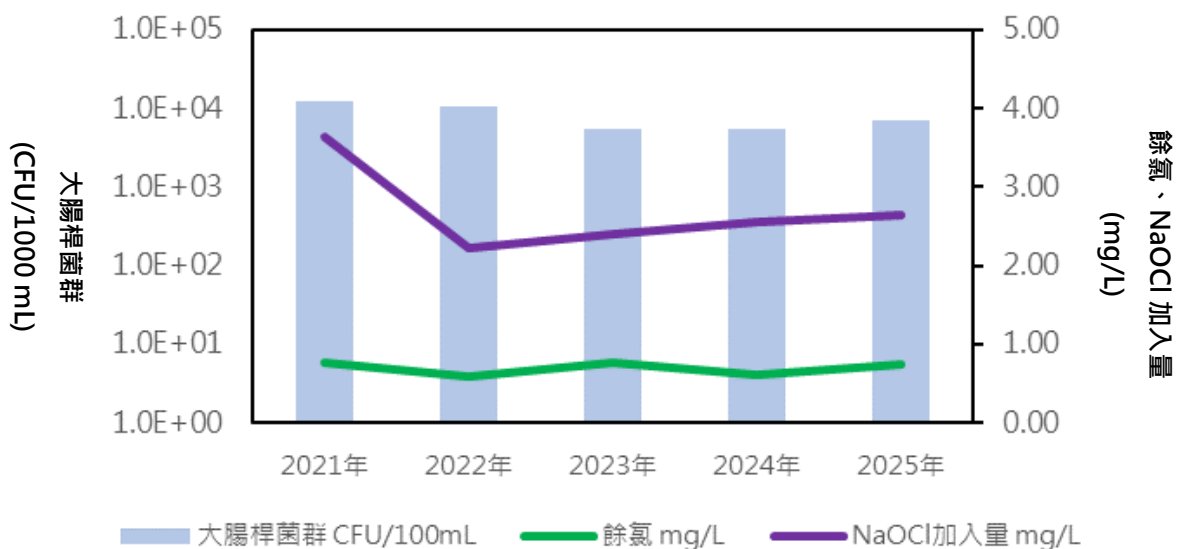


圖 2 次氯酸鈉、餘氯及放流水大腸桿菌群分析

2.45 (mg/L-污水)，而大腸桿菌群則降低至 7.1×10^3 (CFU/100 mL)，如以 19 萬 CMD 處理水量預估，每年可節省次氯酸鈉 688 公噸，共可減少溫室氣體約 361 公噸 CO₂e/年。

四、自來水減量

內湖污水處理廠 2020 年至 2025 年各年自來水用量如圖 3 所示。本廠既設進流泵、迴流污泥泵、生物廢棄污泥泵、除臭洗滌塔、消防用水、廁所沖廁及上部運動公園夏季開放戲水池等皆使用自來水。

其中大部分消防管線為埋設管線，經本廠 2004 年啟用後經歷多次地震等造成隱蔽處漏水無法檢修，於 2020 年時自來水用量已高達 207 CMD，故於 2020 年底進行消防管線變更為明管，將既有埋設

管線停用，經改善後 2021 年自來水用量降低為 167 CMD；於 2021 年完成除臭補水管線改善，引用 UF 再生水取代自來水，2022 年使用量再降低為 106 CMD；於 2022 年完成迴流污泥水封水管線改善，引用 UF 再生水取代自來水，2023 年使用量再降低為 73 CMD。

綜上所述，經改善後現況每年可節省自來水約 49,000 m³，共可減少溫室氣體排放約 4.6 公噸 CO₂e/年。

肆、結語

本研究以內湖污水處理廠溫室氣體盤查結果作為溫室氣體排放計算基準，彙整自 2020 年至 2025 年相關資料進行各項工程改善及節能減碳效益評估，其中包含更新鼓風機及抽水機進行節電，增設 PID

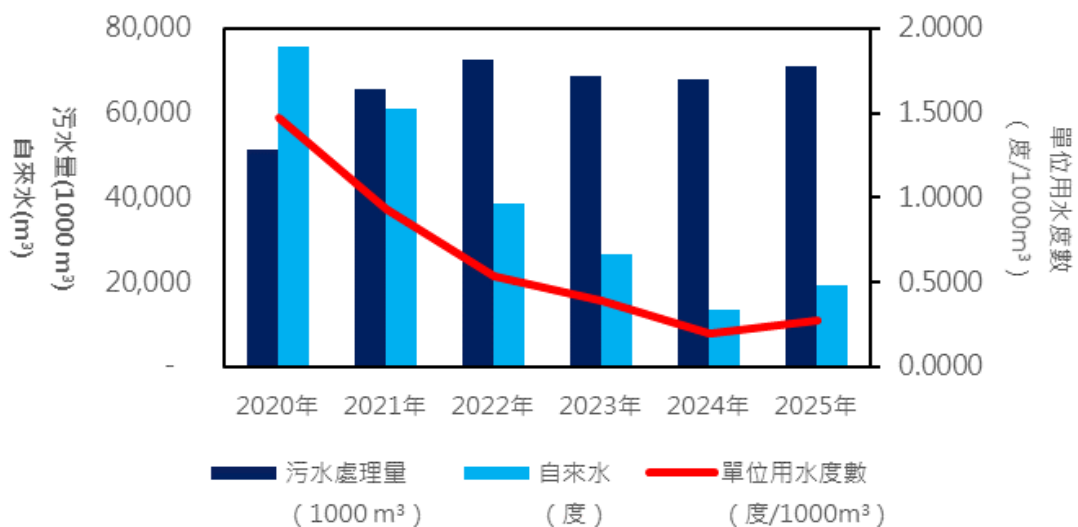


圖 3 自來水用量分析

控制達成節藥及穩定操作，管線改善達成節水成效。依據本研究成果可作為臺灣未來老舊污水處理廠更新方案研擬及減少溫室氣體排放解決方案之重要參考。

參考文獻

1. 光宇工程顧問股份有限公司，內湖污水處理廠 2024 年度排放量清冊及溫室氣體盤查報告書報告書，臺北市政府工務局衛生下水道工程處，2025。
2. 惠民實業股份有限公司，「內湖污水處理廠委託操作維護工作第一期」109 年 7 月至 110 年 6 月月報告書，臺北市政府工務局衛生下水道工程處，2021。
3. 惠民實業股份有限公司，「內湖污水處理廠委託操作維護第二期暨設備更新與功能提升-操作維護」110 年 7 月至 113 年 6 月月報告書，臺北市政府工務局衛生下水道工程處，2024。
4. 惠民實業股份有限公司，「內湖污水處理廠委託操作維護第二期暨設備更新與功能提升-設備更新」細部設計報告書，臺北市政府工務局衛生下水道工程處，2022。
5. 惠民實業股份有限公司，「內湖污水處理廠委託操作維護第二期暨設備更新與功能提升-操作維護」(第二階段) 113 年 7 月至 114 年 12 月月報告書，臺北市政府工務局衛生下水道工程處，2026。
6. 惠民實業股份有限公司，「內湖污水處理廠委託操作維護第二期暨設備更新與功能提升-設備更新」(第二階段) 細部設計報告書，臺北市政府工務局衛生下水道工程處，2025。



摘要

氨氮為公共污水處理系統中重要之污染物，隨著水再生與資源循環理念之推進，已由傳統污染管制對象逐步轉變為具回收潛力之氨氮資源。本文聚焦於公共污水處理廠厭氧消化污泥脫水濾液之氨氮管理議題，探討其回流至前端生物處理系統後所衍生之能源成本與氮負荷挑戰。由於側流液具有高氨氮濃度特性，回流後將增加曝氣需求與電力消耗，並可能對系統穩定運轉造成負擔；然而，此一特性亦提供氨氮濃縮與資源回收之契機。本文系統性評析現行氨氮去除與回收技術，包括生物法、物理化學法及電化學法，比較其適用濃度範圍、操作特性與資源化潛力，並提出「氨氮回收—純化—再利用」之工程路徑。該路徑結合前端提濃、中段分離吸收、後端集中精煉與規格化供應，可將氨氮廢水轉化為工業級或電子級液氨及銨鹽產品，並作為臺灣推動區域集中提煉與規模化氨循環供應鏈之規劃基礎。整體而言，此一架構有助於降低主流程氮負荷與曝氣能耗，提升水質穩定性與資源利用效率，並促進下水道系統朝向水再生、資源循環與永續治理之整合發展。

關鍵字：氨氮、公共污水處理廠、厭氧消化污泥脫水濾液、氨循環供應鏈

1. 國立臺灣大學環境工程學研究所 / 博士候選人
2. 國立臺灣大學環境工程學研究所 / 專任研究助理
3. 國土管理署下水道建設組 / 組長
4. 國土管理署下水道建設組 / 科長
5. 國立臺灣大學新碳勘科技研究中心 / 助理研究員
6. 國立臺灣大學環境工程學研究所 / 特聘教授

吳旻臻¹、黃靖芳²、曾淑娟³、鄭惠君⁴、范振軒⁵、侯嘉洪⁶

公共污水處理廠氨氮資源化潛勢與技術研析

Abstract

Ammonia nitrogen is a major pollutant in municipal wastewater treatment systems. With increasing attention to water reuse and resource circularity, ammonia nitrogen is being redefined from a conventional treatment target to a potentially recoverable resource. This study examines $\text{NH}_3\text{-N}$ management in anaerobic digestion sludge leachate, with emphasis on the energy demand and nitrogen loading induced by sidestream recirculation. High ammonia nitrogen concentration in sidestreams increases aeration and energy requirements, potentially compromising process stability, while also providing favorable conditions for ammonia concentration and recovery. Current ammonia removal and recovery technologies, including biological, physicochemical, and electrochemical approaches, are systematically reviewed and compared in terms of applicable concentration range, operational characteristics, and resource recovery potential. Based on this assessment, an engineering pathway of “ammonia recovery – purification – reuse” is proposed. By integrating upstream concentration, intermediate separation and absorption, and downstream centralized refining, ammonia-containing wastewater can be converted into industrial- or electronic-grade products. This framework may also serve as a planning basis for regional centralized refining and the development of a scaled circular ammonia supply chain in Taiwan. Overall, the proposed approach has the potential to reduce nitrogen loading and aeration energy demand in mainstream treatment processes, improve effluent stability and resource use efficiency, and promote the integrated development of sewerage systems toward water reuse, resource circularity, and sustainable governance.

Keywords: Ammonia nitrogen, municipal wastewater treatment, anaerobic digestion sludge leachate, circular ammonia supply chain

壹、前言

氨氮為水體中常見之污染物之一，若未經妥善處理即排放至自然水體，將可能導致水質優養化、溶氧降低及水生生態失衡等環境衝擊，並進一步影響放流水水質安全與再生水利用之可行性。因此，氨氮廢水之有效控管與處理為長期以來公共污水處理系統中不可忽視之關鍵議題。近年隨著下水道系統與污水處理廠朝向高效處理及資源循環利用發展，氨氮已不再僅被視為需去除之污染物，而逐步被重新定位為具有回收潛力之重要資源。

氨氮於水環境中可串聯為一完整之資源循環鏈，其架構可概分為廢水來源、回收技術及資源利用三大階段（如圖 1 所示）。前端來源主要包括工業製程排水，

以及公共污水處理廠厭氧消化程序所衍生之厭氧消化液或相關高氨氮側流；中段則透過化學、電化學、膜分離或氣液轉移等單元操作，進行氨氮之轉化、分離與濃縮；末端則可將回收之氨氮物質進一步製備為具應用價值之產品。此一流程顯示氨氮管理模式正由線性去除思維，逐步轉向循環利用導向之策略。

由於氨氮廢水來源廣泛，且不同來源之氨氮物種組成與濃度特性具有差異，因此其回收與再利用策略亦需配合適當技術路徑進行設計。以硝酸鹽氮為主之含氮廢水為例，可先藉由電還原反應 (Electroreduction) 將硝酸鹽氮轉化為氨氮，再透過電化學程序或膜分離技術進行氨氮之分離與濃縮。當氨氮濃度提升至一定程度後，可進一步結合氣提與吸收程序

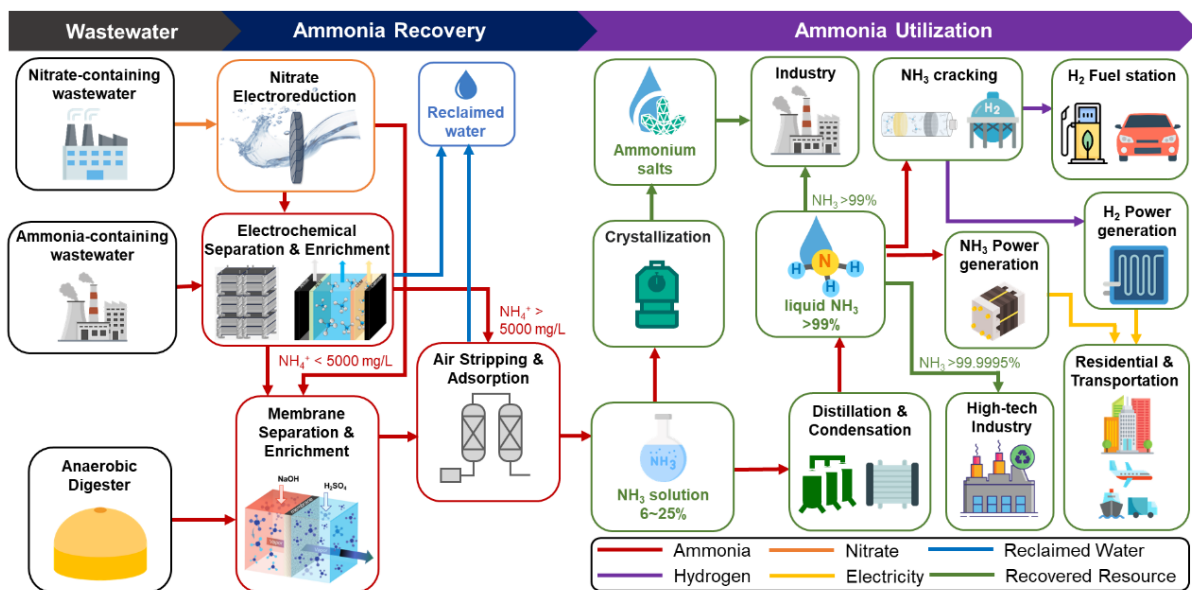


圖 1 廢水氨氮回收技術與策略

回收氨水，並藉由後續結晶或純化步驟製備銨鹽產品或高純度液氨，以供後續再利用。透過上述技術整合，不僅可提升氨氮去除效率，亦可同步回收可再利用水資源與氨氮產物，進而提升污水處理系統整體之資源效率與循環效益。

此外，氨氮回收產物具有多元應用價值，可作為化學工業原料、能源載體、高科技產業及新興氫能系統等領域，顯示氨氮已由傳統污染管制對象，轉變為兼具環境與經濟價值之循環資源。對公共污水處理廠而言，推動氨氮之有效轉化與回收，不僅有助於降低環境衝擊與處理成本，亦可提升污水及側流處理之資源化價值，對建構永續下水道系統具有重要意義。

貳、公共污水處理廠厭氧消化污泥脫水濾液之削減策略

公共污水處理廠通常透過固液分離、生物處理與消毒等單元程序，將進流水處

理至符合放流水標準後排放。其中，污水中氨氮主要仰賴生物處理程序中硝化與脫硝作用加以去除。於硝化階段，系統需提供大量曝氣，以提供足夠氧氣使氨氮氧化為硝酸鹽；其後再經脫硝反應，將硝酸鹽轉化為氮氣逸散，從而達成氨氮去除目的。另一方面，污水處理過程所產生之污泥，則需經由後端污泥處理程序，包括污泥濃縮、厭氧消化及脫水等單元，以降低污泥體積並提升後續處理效率。

在廢水資源化與能源回收逐漸受到重視之趨勢下，厭氧消化已成為公共污水處理廠污泥處理流程中之關鍵技術。該技術不僅可降低污泥產量、提升污泥穩定性，亦可藉由有機物分解產生沼氣，進一步回收能源並提升廠內能源自給能力。然而，厭氧消化後所產生之污泥脫水濾液（亦稱側流液）通常含有高濃度氨氮與其他營養鹽類。文獻指出（如表 1 所示），典型污水處理廠脫水濾液中之氨氮濃度可達 400 – 650 mg-N/L (Metcalf & Eddy,

表 1 典型污水處理廠之厭氧消化槽水質數據(Metcalf & Eddy, 2014)

水質 (mg/L)	原污水	側流液		
		重力濃縮液	厭氧消化液	脫水濾液
SS	130-390	100-350	1000-11,500	100-2,000
BOD	133-400	60-400	500-5,000	50-500
TKN	24-70	20-70	850-1,800	410-730
NH ₄ ⁺ -N	14-41	8-45	800-1,300	400-650
NO _x -N	0	0-8	0	0

2014)；以國內迪化污水處理廠為例，其脫水濾液氨氮濃度約為 563 – 876 mg-N/L (林志高, 2021)。目前實務上，此類側流液多回流至前端二級生物處理系統進行再處理，而脫水後之污泥餅則經乾燥後外運處置。然而，側流液回流將增加前端水處理單元之氮負荷，進而影響系統操作穩定性及整體處理效能。

一、能源成本挑戰

能源消耗為污水處理廠營運成本之主要組成之一，約占整體操作成本之 25 – 40%。透過合理之系統設計與操作管理，雖可有效降低能源使用，但傳統污水處理廠仍普遍面臨高能耗問題。其主要能耗來源包括生物處理程序中之曝氣單元，約占總能耗之 55-70 %；初沉池與二沉池之污泥輸送與幫浦系統約占 16 %；污泥脫水程序則約占 7 % (Panepinto et al., 2016)。其中，曝氣單元為最主要之耗能來源，顯示其操作效率對整體廠務能源成本具有決定性影響。因此，提升曝氣設備能效，例如導入高效率鼓風機、先進控制設備及智慧化操作策略，以因應水量與污染負荷波動並降低不必要曝氣，已成為污水處理廠節能管理之核心方向。

此外，除主流水處理程序本身之能耗外，厭氧消化污泥脫水濾液回流亦構成額外能源挑戰。由於該側流液常具有高濃度氨氮與營養鹽，回流至前端生物處理系統後，將提高整體氮負荷與氧需求，進而增

加曝氣強度及總體電力消耗。

針對此問題，已有研究指出，可透過提升厭氧消化產生之沼氣利用效率，以降低污水處理廠能源負擔並提升整體運轉效益。沼氣可作為鍋爐加熱與厭氧消化槽溫控之熱能來源，亦可進一步轉化為生物替代天然氣 (Bio-substitute natural gas, Bio-SNG)，供廠內設備或外部能源使用。此外，沼氣亦可藉由熱電聯產 (Combined heat and power, CHP) 系統同時產生電力與熱能，供應曝氣、幫浦、污泥濃縮/脫水及加熱等單元使用 (Bidart et al., 2014; Venkatesh et al., 2013)。因此，透過沼氣之多元回收與利用，可提升能源自給率，並緩解脫水濾液回流所帶來之能源成本壓力。

二、氮負荷困境

在污泥處理流程中，經濃縮後之污泥通常含有大量有機含氮物質，例如蛋白質、胺基酸、尿素及微生物細胞殘餘物等。於厭氧消化過程中，這些有機含氮成分經微生物水解與代謝後，逐步轉化並釋放為無機氨氮，致使厭氧消化污泥脫水濾液中氨氮濃度顯著升高。當此類側流液回流至前端處理系統時，其所造成之氮負荷可占污水處理廠總氮負荷約 25 % (Devos et al., 2023)，對既有生物處理系統形成明顯壓力 (如圖 2 所示)。

就公共污水處理廠厭氧消化污泥脫水

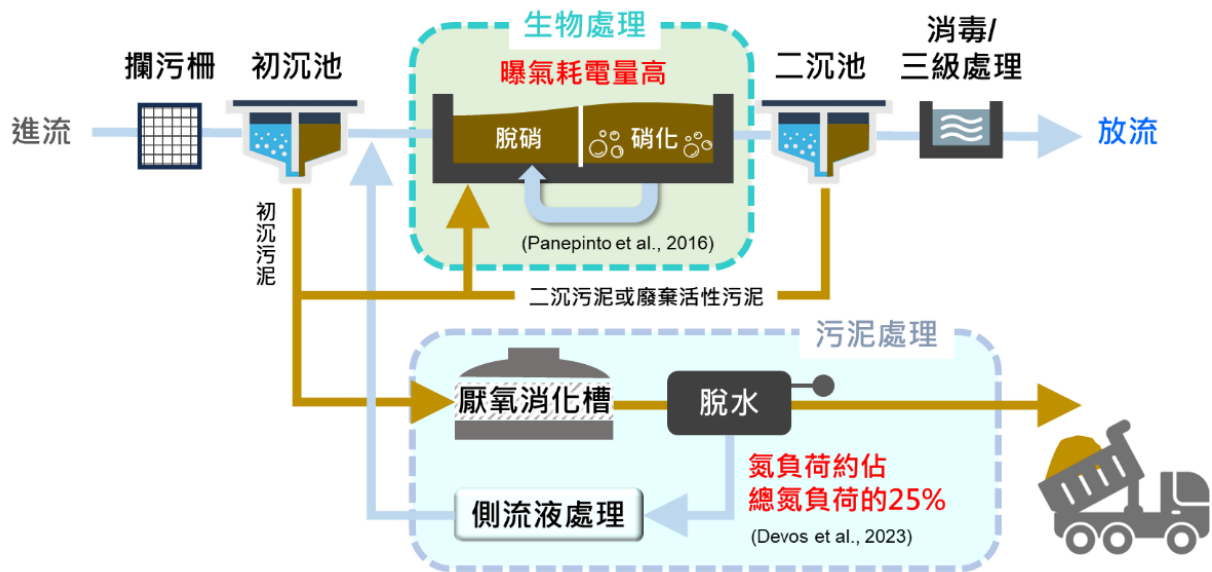


圖 2 公共污水廠厭氧消化污泥脫水濾液之氮負荷

濾液之削減策略而言，其核心不應僅侷限於末端去除，而應朝向氨氮回收與資源化利用發展。由於脫水濾液中含有高濃度氨氮，具備作為含氮資源回收來源之潛力，若能自該側流液中有效回收氨氮，不僅可降低其回流前端處理系統所造成之氮負荷與能源消耗，亦有助於促進含氮資源之循環利用。相較於傳統以污染物去除為導向之處理模式，發展兼具氨氮濃縮、回收及再利用效益之技術，將有助於降低整體處理能耗、提升污水處理系統之資源化效益，並促進公共污水處理設施朝向綠色低碳與永續運行之目標發展。

參、廢水氨氮去除與回收技術之系統性評析

迄今，氨氮處理技術已朝多元化發

展，涵蓋傳統以污染削減為目標之處理方法，以及兼顧資源回收之新興技術。整體而言，現行氨氮去除與回收技術可依其處理機制與操作原理，大致分為生物法、物理化學法及電化學法三大類。各類技術在適用氨氮濃度範圍、操作成本、處理效率及資源化潛力等方面各具不同特性（如圖 3 所示）。因此，實務應用上應依據廢水水質特性、氨氮濃度及最終處理目標，選擇適當技術或進行程序整合，以提升整體處理效能與資源利用效率。

一、生物法

生物法因具備低化學藥劑需求及高環境友善性，長期廣泛應用於污水處理系統中。此類方法主要藉由微生物代謝作用將氨氮轉化為其他含氮型態或氮氣，以達成除氮目的。常見之生物型氨氮處理技術主

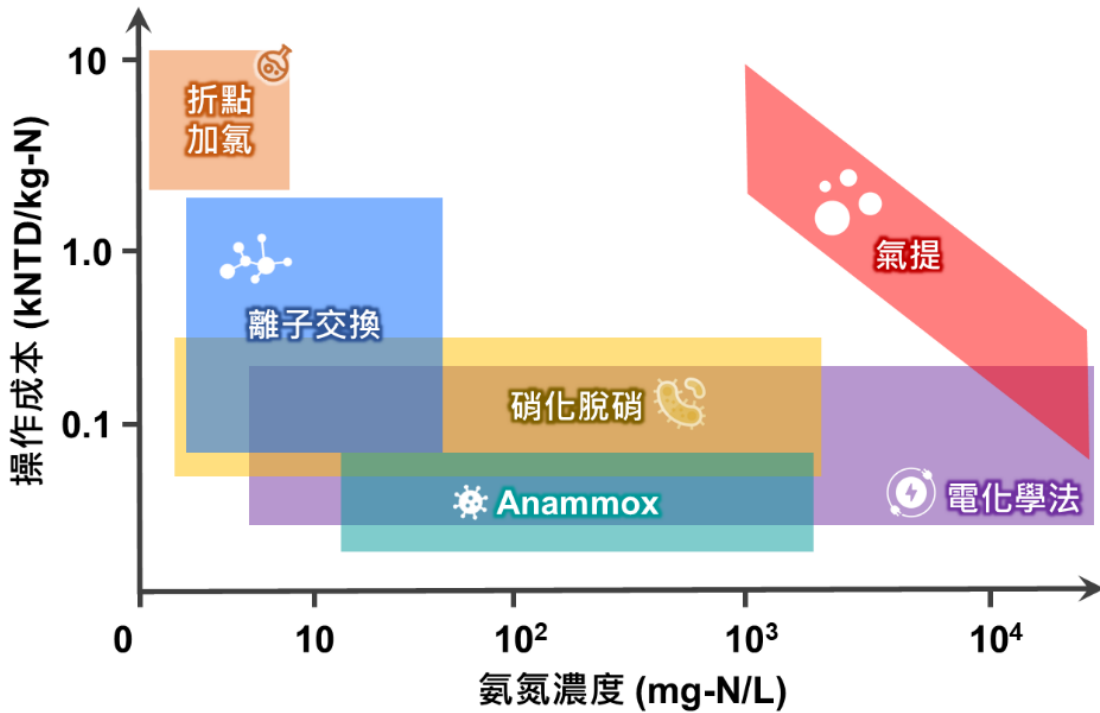


圖 3 氨氮處理技術之適用範圍比較

要包括硝化 - 脫硝與厭氧氨氧化兩類。

(一) 硝化-脫硝

硝化與脫硝為公共污水處理廠中最成熟且應用最普遍之生物除氮程序。於好氧條件下，氨氮首先由氨氧化菌(Ammonia-oxidizing bacteria, AOB)氧化為亞硝酸鹽，其後再由亞硝酸鹽氧化菌(Nitrite-oxidizing bacteria, NOB)進一步氧化為硝酸鹽。隨後，在缺氧環境中，以有機物作為碳源，並以硝酸鹽或亞硝酸鹽作為電子受體，經脫硝菌作用逐步還原為氮氣，最終達成氨氮去除目的(Thakur Li et al., 2019)。由於其技術成熟且處理穩定，硝

化 - 脫硝目前仍為公共污水處理系統最主要之除氮技術。

(二) 厭氧氨氧化

厭氧氨氧化(Anammox)係在厭氧條件下，以氨氮為電子供體、亞硝酸鹽為電子受體，直接將氨氮轉化為氮氣之生物反應。相較於傳統硝化 - 脫硝程序，Anammox 可顯著降低曝氣需求，且無須額外投加有機碳源，因此在節能與降低操作成本方面具明顯優勢。此外，該程序所產生之剩餘污泥量較低，可較傳統生物除氮程序減少約 90 %，有助於降低後續污泥處理負擔(Ali et al., 2015)。

二、物理化學法

物理化學法為氨氮去除與回收之常用技術，通常具備反應快速、操作彈性高及處理效率佳等優點，可在短時間內有效降低廢水中之氨氮濃度，亦可進一步將氨氮轉化或回收為具再利用價值之產品，因此在資源化應用上具有高度潛力。常見技術包括離子交換(Ion exchange)、氣提(Air stripping)及折點加氯(Breakpoint chlorination)等。

(一) 離子交換

離子交換係利用具陽離子交換能力的材料，透過表面可交換離子與水中銨離子之間的置換反應，將銨離子自水相中移除。由於其吸附與脫附程序通常具有可逆性，因此不僅可達成氨氮去除，亦有利於後續回收再利用。相關研究指出，天然沸石、合成地質聚合物及高分子型吸附劑等材料，於高鹽度條件下，仍可維持良好之銨離子吸附效能。整體而言，離子交換技術具有對銨離子親和力高、操作簡便及成本較低等優點(Pinelli et al., 2022)。

(二) 氣提

氣提技術係透過將空氣導入廢水中，使氨依氣液平衡由液相轉移至氣相，再將逸散之氨氣導入吸收系統，與酸液反應形成可再利用之氨氮資源化產物。其操作通常需配合調整 pH 值，以促使銨 / 氨平衡於鹼性環境偏向游離氨型態，提升氨氣逸

散效率；並可藉由提高溫度進一步增加氨於氣相中之分率，強化分離與回收效果。由於氣提技術特別適用於高濃度氨氮廢水，具備將氨氮轉化為資源化產品之潛力(Farghali et al., 2024)。

(三) 折點加氯

折點加氯係透過投加氯氣或次氯酸鈉，使氨氧化生成氯胺或氮氣。當系統中氨氮完全被氧化消耗時，所對應之氯投加量即為折點；超過折點後，水中將產生自由餘氯，可用於消毒殺菌，確保用水安全。然而，折點加氯仍受限於氧化劑需求量大，增加整體藥劑成本(Zhang et al., 2022)。

三、電化學法

近年來，電化學技術於廢水處理領域之研究與應用快速發展，其在氨氮分離、濃縮、去除與回收方面展現出良好之處理效率、選擇性與系統可擴展性。常見技術包括電透析(Electrodialysis, ED)、電容去離子(Capacitive deionization, CDI)及電化學氧化(Electrochemical oxidation, EO)等。

(一) 電透析

電透析係利用外加電場驅動離子移動，使陽、陰離子分別選擇性通過離子交換膜，進而實現廢水中氨氮之分離與濃縮，不僅有助於後續氨氮回收利用，亦可

降低溫室氣體排放及能源消耗。為進一步提升其長期操作效能，未來仍需持續改善膜材抗污性、整合再生能源、發展自動化控制，以及深化對離子競爭效應與節能操作策略之研究，以強化其商業化可行性與系統穩定性(Maqdasi et al., 2025)。

(二) 電容去離子

電容去離子技術係藉由施加低電壓，使溶液中離子遷移並吸附於多孔碳電極表面形成電雙層，以達成離子去除之目的。薄膜電容去離子(Membrane capacitive deionization, MCDI)透過引入陽離子與陰離子交換膜於碳電極前，可有效降低同離子干擾、提升銨離子選擇性與吸附效能。於操作上，MCDI 可在充電階段去除水中銨離子，並於放電階段將吸附之銨離子釋出至濃縮液中，進而達到氨氮富集與濃縮之效果，因此在高效氨氮去除與回收方面展現良好應用潛力(Maqdasi et al., 2025)。

(三) 電化學氧化

電化學氧化是一種高級氧化處理技術，其作用機制包括陽極直接氧化與由強氧化性物種介導之間接氧化反應，可將氨氮進一步氧化轉化為氮氣，達成污染物完全去除之目的。此技術具有氧化能力強、適用範圍廣、設備相對簡單、無須大量外加化學藥劑、化學穩定性佳及使用壽命長等優點(Zhang et al., 2020)。

綜上所述，氨氮去除與回收技術種類繁多，且不同氨氮濃度範圍之廢水，其適用處理方式亦有所差異。整體而言，對於氨氮濃度較低之廢水(低於 100 mg-N/L)，折點加氯或離子交換法通常較具應用優勢；對於中低濃度氨氮廢水(低於 1,000 mg-N/L)，生物處理程序仍為較具成本效益之選擇；而對於高濃度氨氮廢水(高於 1,000 mg-N/L)，則適合採用氣提或電化學技術。因此，未來氨氮處理技術之發展方向，更應朝向多程序整合、能源效率提升及資源循環利用之目標邁進。

肆、氨氮回收之再利用路徑

基於前述對廢水氨氮去除與回收技術之系統性評析，本研究據以建構一套具工程可行性之「氨氮回收-純化-再利用」落地路徑(如圖 4 所示)。該路徑以分散式回收、集中式精煉與規格化供應為核心架構，促使含氨氮廢水由傳統污染物去除，轉化為兼具商品化與回用潛力之氨氮資源。依流程設計，事業機構端首先針對低濃度氨氮廢水(< 5,000 mg-N/L)導入前端提濃單元，例如膜分離技術(如逆滲透)或電驅動分離技術(如薄膜電容去離子)，透過膜傳質或電化學遷移等機制，將氨氮自大量稀溶液中有效富集，並轉換為可運輸之高濃度氨氮廢水。此階段之工程關鍵在於以提升濃度為主要設計目標，當濃度達一定門檻時，可銜接後端之氣提

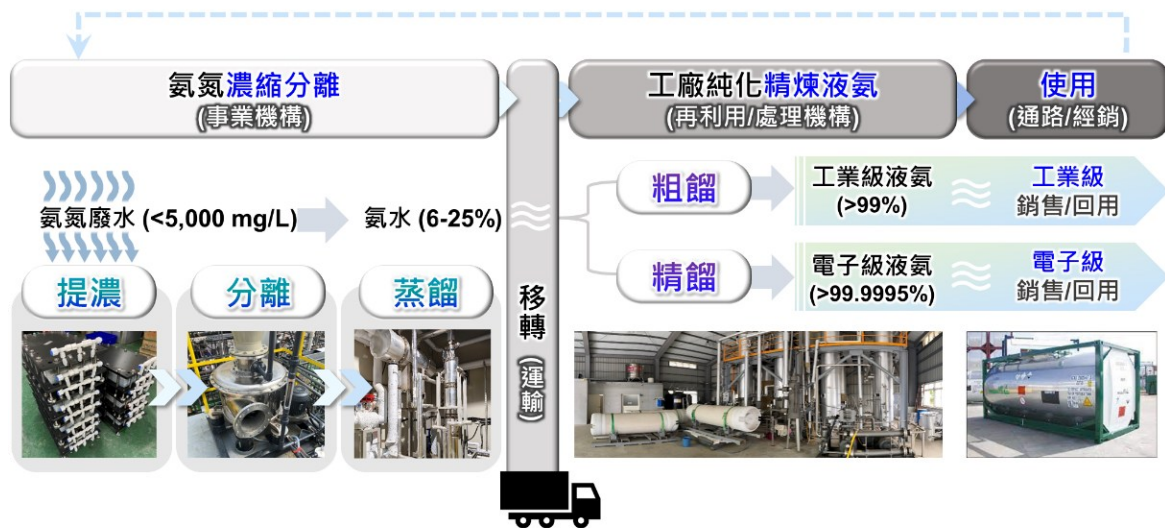


圖 4 氨氮資源化之供應鏈架構示意圖

-吸收等精煉程序，以提升整體資源化效率。

完成前端提濃後，事業機構端應進一步銜接「分離-吸收」步驟，以提升中間產物流之品質一致性、可接收性與供應鏈適配性。在此階段，可透過分離單元（如氣提、超重力分離或薄膜蒸餾）將氨氮以氣相形式自液相基質中脫離，達成氨與其他溶質/水相之有效分離再利用吸收系統（如洗滌塔），將逸出之氨氣吸收回收並轉化為濃度約 1 %之氨氮溶液；隨後導入負壓蒸餾系統，轉化為目標濃度之氨水（約 6 – 25%），以符合後續運輸與下游精煉製程之進料需求。

隨後流程進入「移轉（運輸）」階段。由於氨水及其後續液氨產品具備一定之危害特性，運輸管理應採取全程密閉化與風險導向之設計與作業規範，包括使用

密閉式槽車、配置防洩漏措施與壓力釋放裝置，並推動裝卸接頭與管線介面之規格化，以降低裝卸過程逸散、誤接與洩漏所衍生之事故風險。同時，應建立符合職業安全衛生要求之操作訓練與緊急應變程序，以強化運輸與交付環節之安全韌性。透過集中化輸送與後端集中式精煉之模式，前端事業機構得以在不需自建高資本密集之精煉設備前提下，仍可有效參與氨氮資源化供應鏈；同時亦可降低將高氨氮側流液回送至主處理流程所導致之曝氣負荷上升與能耗增加等營運風險，提升整體系統之能源效率與資源循環效益。

到達再利用/處理機構後，流程進入「工廠純化精煉液氨」的核心段落，可針對前端輸入之氨水進行深度除雜、脫水與精煉，以產出符合不同市場規格之液氨產品，產品可分為兩條規格路徑：其一為粗餾產出工業級液氨(>99 %)，適用於一般

化工製程、冷媒、還原劑或相關工業用途；其二為精餾產出電子級液氨 (>99.9995%)，供應半導體或高純化學品需求。粗餾段重點移除易揮發雜質與降低含水量、酸性氣體及有機物殘留；精餾段則以高回流比為核心，針對微量超低水分與金屬雜質進一步控制，以滿足電子級材料對製程良率與設備可靠度的要求。

最後進入「使用(通路/經銷)」階段，產品依等級進行銷售或回用，本路徑不僅完成氨氮之去除，更將氨氮資源導入可被管理與消納的市場機制，使污水系統從末端處理轉向資源循環。整體而言，該架構可同時達成(1)降低主流程氮負荷與曝氣能耗、(2)提升放流水/再生水水質穩定性、(3)建立氮資源產品之規格與應用通路，進一步強化下水道水再生體系之永續化與產業化推動。

伍、結語

因應環境部於 2024 年 12 月 18 日修訂《放流水標準》，新設事業及部分工業區氨氮排放限值已加嚴至 30 mg/L，顯示我國放流水管制趨勢日益嚴格。在排放標準強化的同時，相關政策亦逐步納入污水資源化、循環利用及低碳處理之治理思維。因此，氨氮不應僅被視為公共污水處理系統中需去除之污染物，而需進一步定位為可回收、可轉化且具市場價值之重要含氮資源。除公共污水處理廠厭氧消化污泥脫水濾液外，科技業與其他工業廢水以及畜牧業沼液，亦為重要之高氨氮來源，具有良好之資源化與回收潛力。未來氨氮管理可朝向「區域集中提煉、跨部門資源整合及多元產品利用」之模式發展(如圖 5 所示)，透過北、中、南液氨提煉中心串聯不同來源之氨氮廢水，並依據各類氨

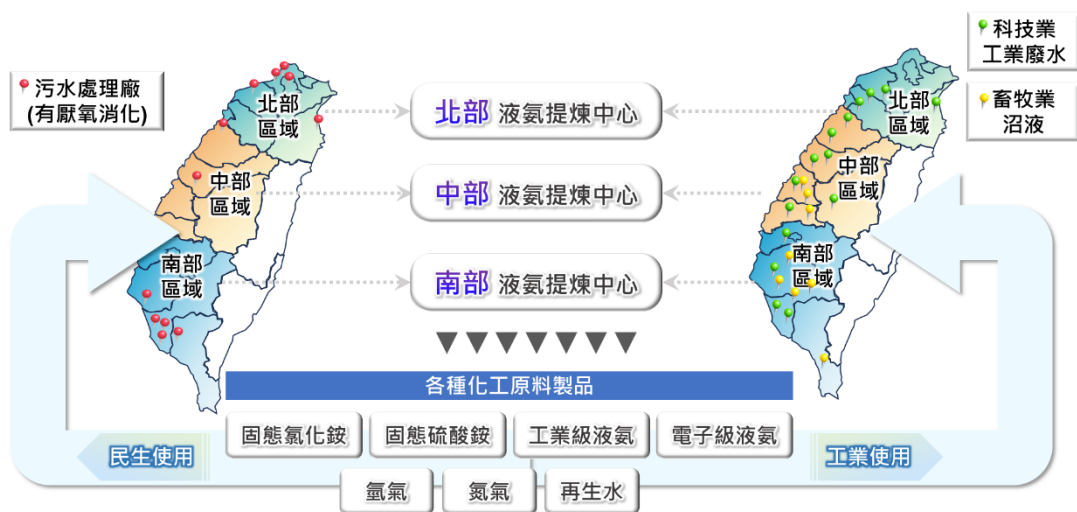


圖 5 臺灣氨循環供應鏈藍圖

氮去除與回收技術之適用範圍進程序整合，建立由前端收集、提濃、純化、運輸至後端規格化產品供應之完整資源循環鏈，具潛在發展模式。

此一氮循環供應鏈藍圖之核心，在於將分散之污染來源轉化為可規模化處理之資源流，並依不同應用需求進一步製備固態氯化銨、固態硫酸銨、工業級液氮與電子級液氮等化工原料產品，以支援民生與工業領域之多元需求。基於此，未來推動氮資源化之關鍵，除持續精進各類去除、濃縮與回收技術外，亦應著重於區域化處理中心之建置、產品規格與品質標準之建立、運輸安全管理機制之完善，以及整體經濟可行性之評估。唯有有效串聯污染削減、資源回收與產業應用，方能真正促使下水道系統由末端處理導向，轉型為兼具水再生、資源循環與永續治理功能之基礎設施。

參考文獻

1. Ali, M., & Okabe, S. (2015). Anammox-based technologies for nitrogen removal: advances in process start-up and remaining issues. *Chemosphere*, 141, 144-153.
2. Bidart, C., Fröhling, M., & Schultmann, F. (2014). Electricity and substitute natural gas generation from the conversion of wastewater treatment plant sludge. *Applied energy*, 113, 404-413.
3. Devos, P., Filali, A., Grau, P., & Gillot, S. (2023). Sidestream characteristics in water resource recovery facilities: a critical review. *Water Research*, 232, 119620.
4. Farghali, M., Chen, Z., Osman, A. I., Ali, I. M., Hassan, D., Ihara, I., ... & Yap, P. S. (2024). Strategies for ammonia recovery from wastewater: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 22(6), 2699-2751.
5. Maqdasi, B., Alhseinat, E., Rodríguez, J., & Al-Ali, K. (2025). Ammonia recovery from wastewater: A critical review of technologies with emphasis on capacitive deionization. *Chemical Engineering Journal Advances*, 100901.
6. Metcalf & Eddy, A. E. C. O. M. (2014). *Wastewater engineering treatment and resource recovery*. McGraw-Hill Education.
7. Panepinto, D., Fiore, S., Zappone, M., Genon, G., & Meucci, L. (2016). Evaluation of the energy efficiency of a large wastewater treatment

- plant in Italy. *Applied Energy*, 161, 404-411.
8. Pinelli, D., Foglia, A., Fatone, F., Papa, E., Maggetti, C., Bovina, S., & Frascari, D. (2022). Ammonium recovery from municipal wastewater by ion exchange: Development and application of a procedure for sorbent selection. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(6), 108829.
 9. Thakur, I. S., & Medhi, K. (2019). Nitrification and denitrification processes for mitigation of nitrous oxide from waste water treatment plants for biovalorization: Challenges and opportunities. *Bioresource technology*, 282, 502-513.
 10. Venkatesh, G., & Elmi, R. A. (2013). Economic – environmental analysis of handling biogas from sewage sludge digesters in WWTPs (wastewater treatment plants) for energy recovery: Case study of Bekkelaget WWTP in Oslo (Norway). *Energy*, 58, 220-235.
 11. Zhang, G., Ruan, J., & Du, T. (2020). Recent advances on photocatalytic and electrochemical oxidation for ammonia treatment from water/wastewater. *Acs Es&T Engineering*, 1(3), 310-325.
 12. Zhang, Y., Yin, S., Li, H., Liu, J., Li, S., & Zhang, L. (2022). Treatment of ammonia-nitrogen wastewater by the ultrasonic strengthened break point chlorination method. *Journal of Water Process Engineering*, 45, 102501.
 13. 林志高、黃靖修、劉穎川、胡振中、陳文興、黃良銘、黎德明、蘭茜茹。廢(污)水生物處理氮轉化過程。工業污染防治第 152 期。2021。



摘要

臺南市自 1986 年開始發展污水下水道迄今已超過 40 年，管線系統老舊滲水導致地下水進入污水系統，導致水資源回收中心處理負擔增加。因此，辦理公共污水下水道系統修繕作業勢在必行。本文主要以工程執行案例為例，透過施工廠商自主研發 EP 樹脂硬化材料配方，克服管線積水問題。本工程管線修繕材料中，需配合地震影響而考量內襯材料之可撓性，方可有效克服地震造成管線修繕後二次損壞之風險。在管線修繕工法設計中，參考施工規範 02538 章之規定，本工程主要採用熱水/熱蒸氣養護硬化之 CIPP 工法，利用環氧樹脂及無紡布混和材料達到具可撓性及高抗壓強度之高分子材料，一次性完成免開挖管線修繕長度達 274.51 公尺。

預防勝於治療並非口號，應實際付出行動，在災害發生前逐年進行管理維護計畫，確保污水下水道系統可永續利用，並透過管線修繕計畫使既有污水下水道達到延壽使用之成效。

關鍵字：免開挖修繕工法、管線延壽、既有管線修復

1. 水宇宙科技股份有限公司 / 總經理
2. 佳綸工程科技有限公司 / 副總經理
3. 臺南市政府水利局 / 局長
4. 臺南市政府水利局 / 科長
5. 臺南市政府水利局 / 工程司

免開挖工法——臺南市老舊污水管線修繕

應用案例分享

陳逸群¹、林新皓²、邱忠川³、石國宏⁴、王逸翔⁵

Abstract

Since 1986, Tainan City has been developing its sewerage system for over 40 years. Aging pipelines have led to groundwater infiltration, increasing the operational burden on Water Resources Recycling Centers. Consequently, the rehabilitation of the public sewerage system has become imperative. This paper presents a case study of an engineering project that utilizes a contractor-developed EP (Epoxy) resin curing formula to overcome water accumulation challenges within the pipelines. Given the region's seismic activity, the flexibility of the lining material was a critical consideration to mitigate the risk of secondary damage post-repair. In accordance with Section 02538 of the construction specifications, the project primarily adopted the Cured-in-Place Pipe (CIPP) method with hot water/steam curing. By utilizing a composite of epoxy resin and non-woven fabric, a high-strength yet flexible polymer material was achieved, enabling the trenchless repair of 274.51 meters of pipeline in a single operation.

"Prevention is better than cure" should be more than a slogan; it requires proactive implementation. Annual management and maintenance plans must be executed before disasters occur to ensure the sustainability of the sewerage system. Through systematic pipeline rehabilitation, the service life of existing infrastructure can be effectively extended.

Keywords: Trenchless Repair Method, Pipeline Life Extension, Existing Pipeline Rehabilitation

壹、前言

下水道屬國家重要的基礎建設，污水下水道建設更屬全球各地競爭力重大指標之一，且此項公共建設為臺灣永續發展重要一環。然而伴隨長年都市發展下，市鎮住宅已逐漸破舊、違建加蓋及化糞池，加上既有管線年久失修，致使住宅後巷髒亂不堪，更衍生臭氣、鼠患、病媒蚊等問題。有鑑於 1988 年 8 月 18 日行政院核定「污水下水道發展方案」，並自民國 81 年納列國家重點發展政策中，且逐年編列經費投入建設，盼加速普及地方接管率。

臺南市自 1986 年開始發展污水下水道迄今已超過 40 年，管線系統老舊滲水導致地下水進入污水系統，導致水資源回收中心處理負擔增加並進一步影響再生水產能。因此，辦理公共污水下水道系統修繕作業勢在必行。

臺南市自 2014 年開始進行「計畫型管線修繕」工程，希望透過整體系統評估，優先針對損壞風險高之區域優先辦理，截至 2025 年度已投入 6.8 億元辦理管線檢視及修繕工作。

由於管線修繕工法眾多，且污水下水道系統主要發展於都市計畫區範圍，人口多且道路交通量大，思考如何在有限區域內減低交通衝擊並縮短工期，追求淨零減碳及老舊管線達到延壽使用為主要目標。

本文主要依據臺南市工程執行案例為例。

貳、可利用空間低導致免開挖修繕困難

臺南市早期建置之污水下水道系統主要以重劃區為主優先辦理建設，包含臺南市五期重劃區、南區新興國宅地區及鄭子寮重劃區等地區。其中，管線建置超過 30 年以上之管線以臺南市五期重劃區及南區新興國宅地區為主，如圖 1 所示。

經現場調查發現，早期重劃區建設之下水道系統中，污水人孔主要以 60 公分圓形短管搭配 90 公分方形底座建構，如圖 2 所示。

目前國內常見管線免開挖修繕工法中，無論全段修繕之螺旋內襯工法、拉鋪內襯工法（如圖 3）以及局部修補如膠膜內襯補漏工法（如圖 4）等，施工空間在底座部分至少須達 1.2 公尺以上，人員及機具設備方可同時進入辦理修繕作業。因此，現場人孔尺寸造成施工空間不足，在有限條件下如何克服施工空間問題為免開挖修繕施工之主要重點。

參、因應現場狀況進行施工法選用

由於現場人孔施工空間不足，依據目前國內常用修繕工法包含明挖更新置管、推進施工繞流以及免開挖修繕工法等，進行工法評估並優選最適合現場條件之施工

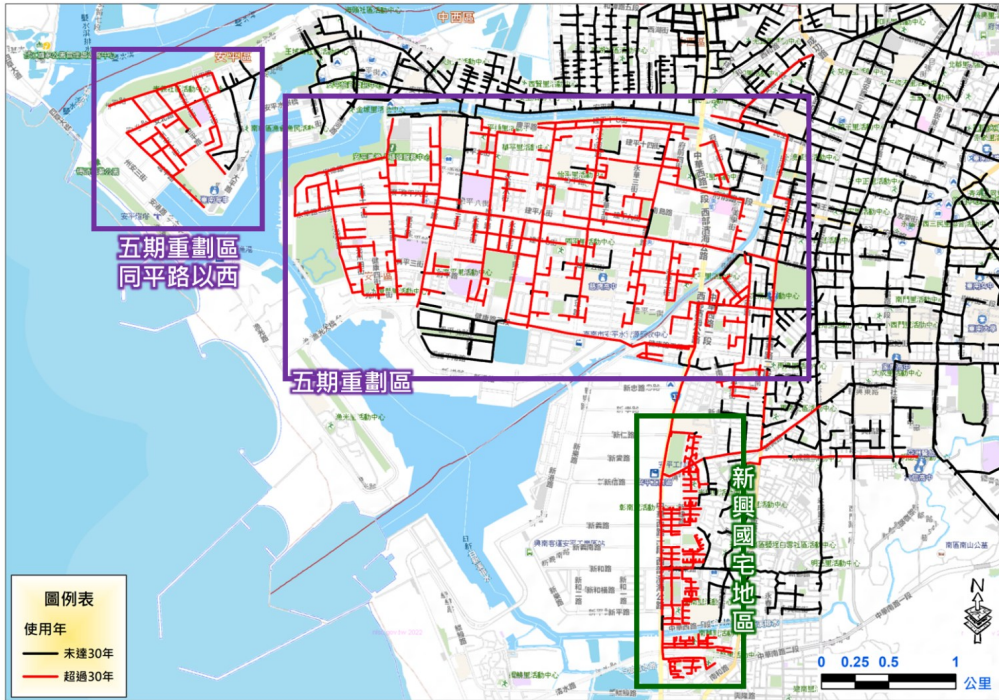


圖 1 管線使用超過 30 年管段分佈圖

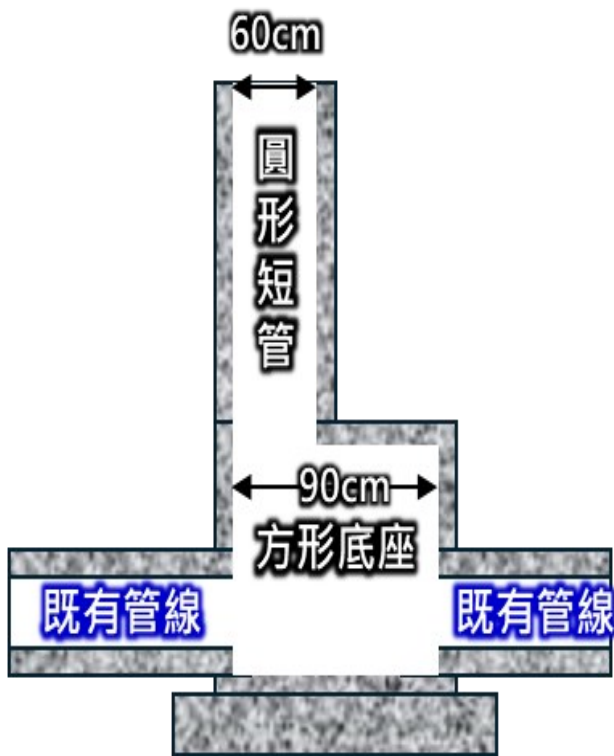
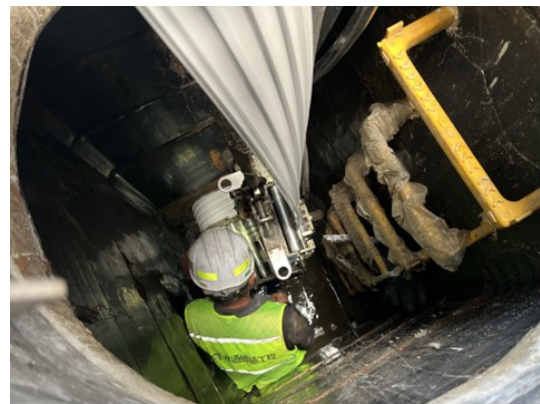
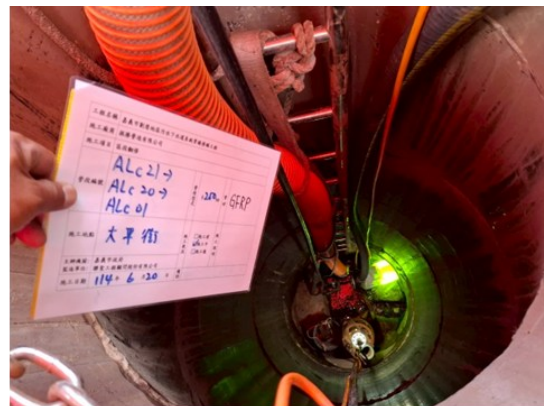


圖 2 既有污水人孔尺寸示意圖



資料來源：臺北市政府新聞稿



資料來源：全基企業有限公司

圖 3 螺旋內襯及拉鋪內襯工法施工示意圖

法。

一、明挖更新置管

明挖工法乃在現有之道路按工程所需

之寬度開挖，達計畫深度後將管線鋪設於溝底，完成後再覆土並恢復原有之道路狀態。本工法一般標準施工步驟，如圖 5。

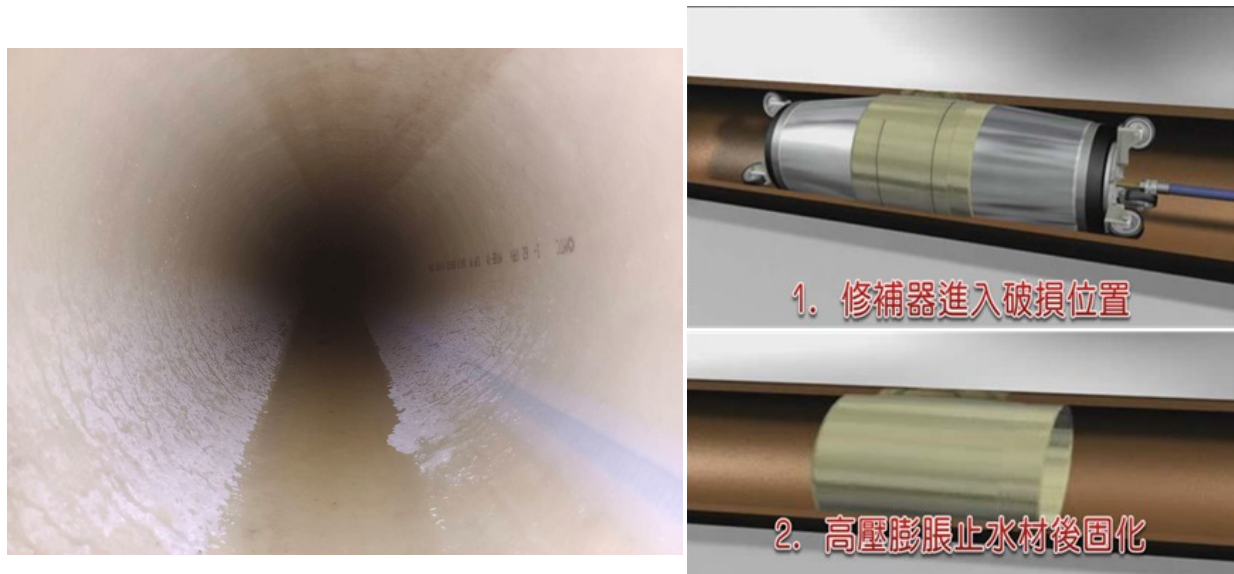


圖 4 膠膜內襯補漏工法施工示意圖

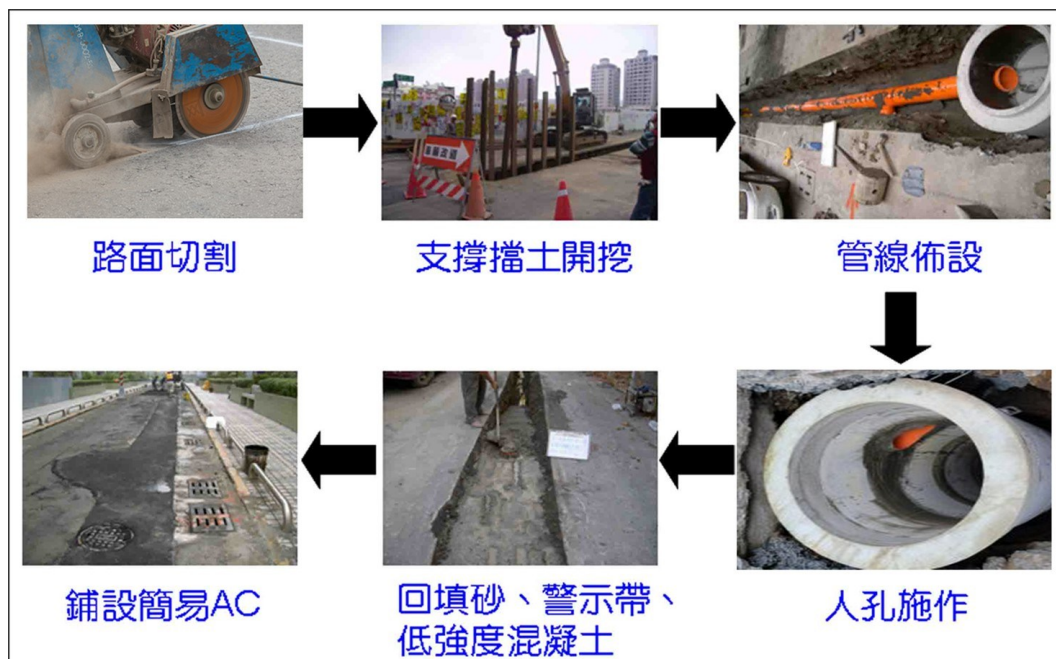


圖 5 明挖施工流程圖

二、推進施工繞流

如管線內部損壞嚴重需重新置管之狀況下，深度超過一定深度之管段，明挖更新施工除所需時間長且施工不易，因此，採推進施工重新置管完成繞流，推進施工示意圖如圖 6，原管線採內部灌漿封填方式辦理，以避免上方道路下陷問題產生。

三、免開挖修繕 (以熱水反轉 CIPP 工法為例)

由於全段免開挖修繕工法中，螺旋內襯工法、拉鋪內襯工法均須人員進入人孔內部進行施工，在空間不足的狀況下施工風險高，因此，可考量以 CIPP 工法作為設計方案考量。由於 CIPP 工法主要利用水壓 / 氣壓方式將材料擠壓進入管線內部，因此，人員及機具無須同時進入人孔

內部，在狹小空間的狀況下成為較為有利的施工法。CIPP 工法之施工流程如圖 7 所示。

四、綜合比較

經前述各類管線修繕工法，針對人文環境、交通、施工期程、土方處理、碳排放、地下管線、地下水位、地質條件等影響因子進行整體綜合評估，評估成果如表 1 所示。

經整體評估後，由於免開挖修繕工法在各項指標影響性最低，因此，主要修繕工法以免開挖修繕為主，如管線塌陷嚴重或管段錯位率超過 20 % 之管段，依據管線埋設深度選擇明挖 / 推進工法。免開挖修繕工法之比較成果如表 2 所示。

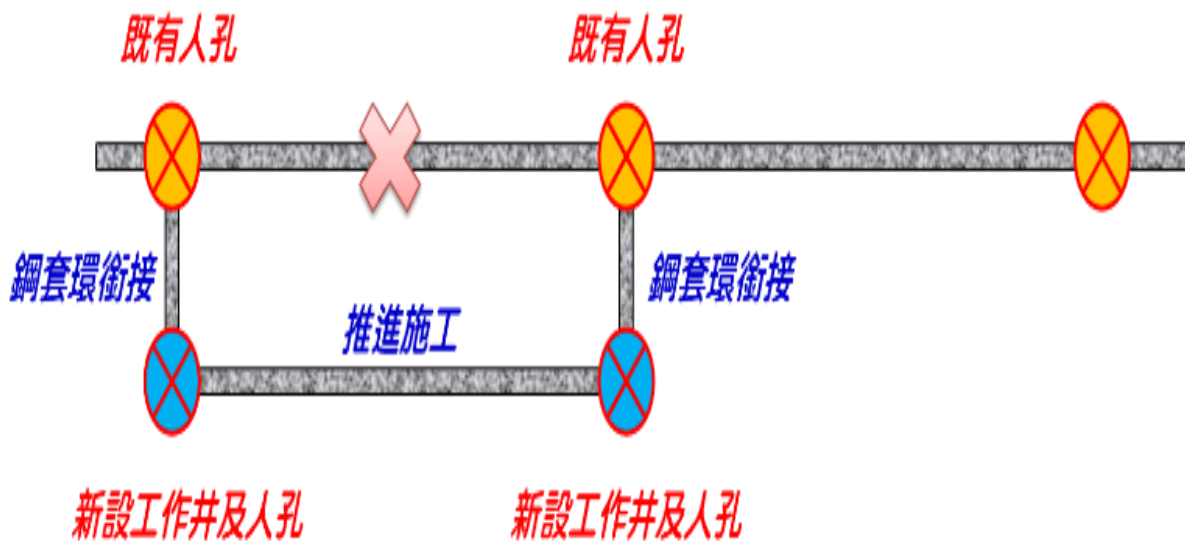


圖 6 推進管線繞流施工示意圖



資料來源：水宇宙科技股份有限公司

圖 7 CIPP 施工示意圖

表1 修繕工法綜合評估成果表

施工法	明挖置換新管	推進置管繞流	免開挖修繕工法
	中	高	低
地質條件 影響	明挖施工多以淺層開挖為主，地質狀況主要影響擋土工法選用。	由於工作井開挖後地質條件為選用推進機具之基礎，因此地質條件影響最大。	主要利用人孔及管線既有空間進行修繕，現場須執行開挖機率低，無論何種地質條件均可辦理。
	高	中	高
地下水位 影響	在開挖面遭遇高水位狀況可能導致周邊土壤流失，導致周邊道路下陷。	利用工作井侷限地下水影響範圍，可開挖至設計高程後澆置水中混凝土進行底部止水。	由於管線老舊狀況下，地下水沿既有管線縫隙處滲入管線內部，導致管線修繕過程中持續受地下水降溫無法固化。
	高	中	低
地下管線 影響	由於採直線性淺層開挖作業，遭遇管線抵觸風險高。	地下管線影響主要以工作井區域為主。	現場無須開挖，地下管線並無影響。
	高	中	低
人文環境 衝擊	開挖範圍大且長，受開挖面影響之住戶數較多。	僅工作井位置開挖，受開挖面影響之住戶數較少	僅在反轉塔施工位置影響較大。
交通衝擊	高	中	低
土方 處理量	高	中	低
碳排放	高	中	低
施工工期	中	高	低
	10 M/日	6 M/日	50~100 M/日
經費需求	低	高	中
	約7千元/M	約2萬元/M	約8千元/M
分數統計	21	18	11
建議序位	3	2	1

註：採序位法，高=3分，中=2分，低=1分，分數越低代表優勢度越高

表 2 免開挖區段翻修比較表

工法 特徵 比較 項目			
工法名稱	現地成形固化工法 (簡稱：CIPP)	螺旋內襯工法 (簡稱：SPR)	拉鋪內襯工法 (簡稱：GRP-CIPP)
施工模式	將樹脂浸透於強韌且水(氣)密性良好的編織柔性管材(Liner)內，利用專屬水壓或氣壓設備，加壓翻轉進入既設管內，以熱水循環或蒸氣進行樹脂固化，當樹脂養治固化完成，就形成一連續且緊貼舊管壁的新管道。	在現場以硬質聚氯乙烯(PVC)或聚乙烯(PE)製成之板帶螺旋捲製成既有管之內襯管，且板帶之表面具有公母卡榫設計，藉由製管機將環帶旋轉於舊管內成新管，同時在板帶間嵌入鋼製加勁材以強化螺旋管的勁度。最終，環帶及鋼製加勁材與舊管內壁之間必須灌注水泥砂漿，以達一體成形管。	以拖拉方式將 GFRP 內襯軟管拉入整建管段內，應用紫外線光源或蒸氣使樹脂固化，就形成一連續且緊貼舊管壁的新設管道。
國際通用標準規範	ASTM F-1216	ASTM F-1741	ASTM F-2019
施工材料	<ul style="list-style-type: none"> ● PE 或 PP(行水層)+Felt (無紡布) ● EP(環氧樹脂) 	<ul style="list-style-type: none"> ● 聚氯乙烯(PVC)或聚乙烯(PE) ● 鋼製加勁材(SUS 304) ● 水泥砂漿 	<ul style="list-style-type: none"> ● PE(行水層)+GRP(玻璃鋼)
單次施工長度	預修復之管徑及人孔底部導槽一致性，可連續穿越數個人孔進行整建修復。	須採逐段式(人孔至人孔)進行整建修復。	預修復之管徑及人孔底部導槽一致性，可連續穿越數個人孔進行整建修復。
允許轉角	11.25°、22.5°、30°、45°、90°	11.25°、22.5°	11.25°、22.5°
適用場域	長距離、起伏蛇行、倒虹管、少許彎管	短距離、起伏及偏心管段施工不易	長距離、起伏及偏心管段施工不易、少許偏角管段

肆、創新材料研發

由於臺灣屬於高地震頻率之地區，因此，在本工程管線修繕材料中，需配合地震影響而考量內襯材料之可撓性，方可有效克服地震造成管線修繕後二次損壞之風險。在管線修繕工法設計中，參考施工規範第 02538 章以及 ASTM F-1216 章之規定，採用熱水 / 熱蒸氣養護硬化之 CIPP 工法，進行設計。

由於第 02538 章之規範中，在 CIPP 工法之固化材料過去常用不飽和苯乙烯基熱固性樹脂（不飽和聚酯樹脂）作為固化主要材料，但由於不飽和聚酯樹脂親水性強且毒性高，在管內水氣充足或有滲水狀況下無法有效達成硬化，其具有之苯乙烯 (Styrene) 單體，該物質具揮發性、易燃，且長期吸入可能導致頭暈、頭痛、神

經系統受損，因此，考量老舊管線系統中往往出現滲水狀況，需重新考量選擇硬化材料，材料選用及測試流程如圖 8，材料組成如圖 9 所示。

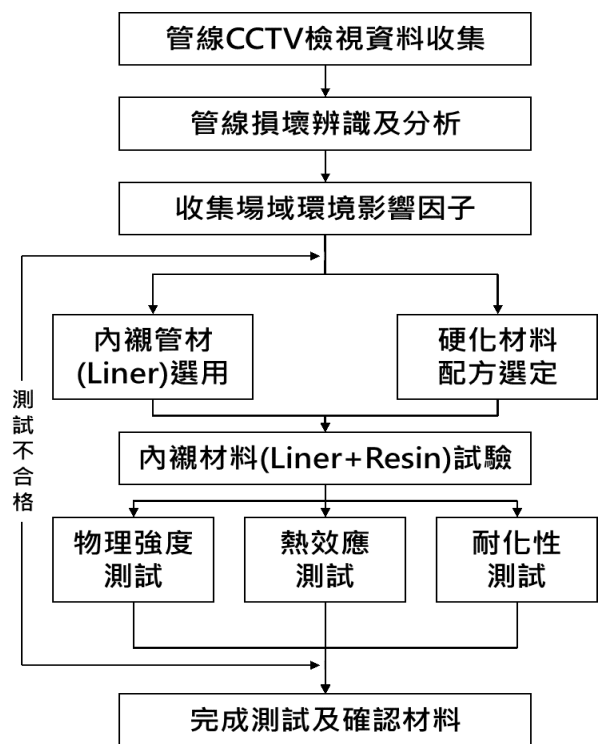


圖 8 材料選用及試驗流程圖

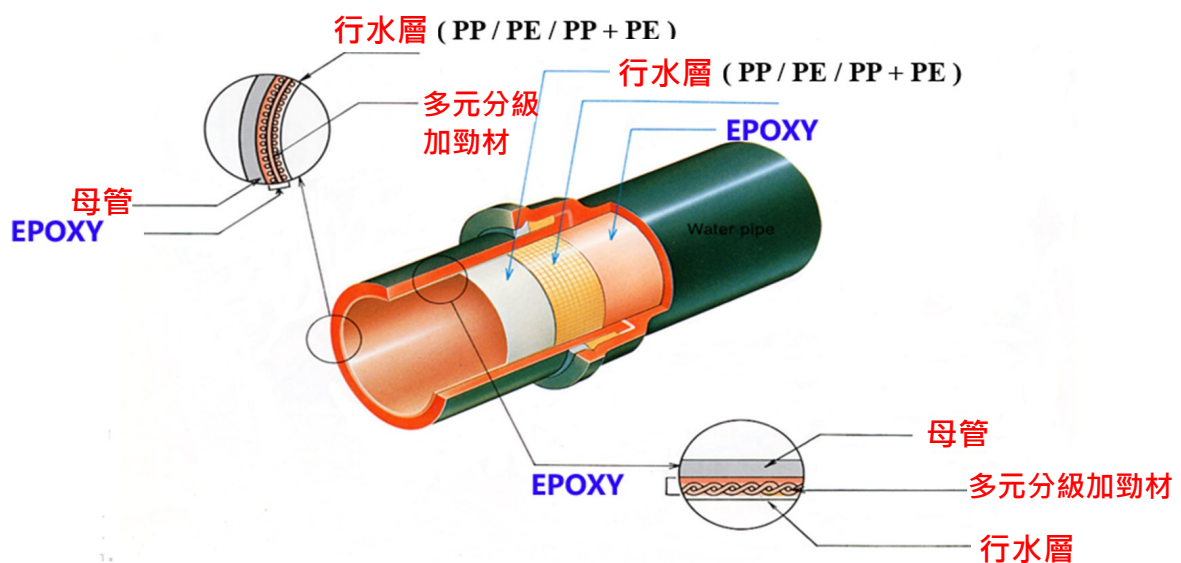


圖 9 材料組成示意圖

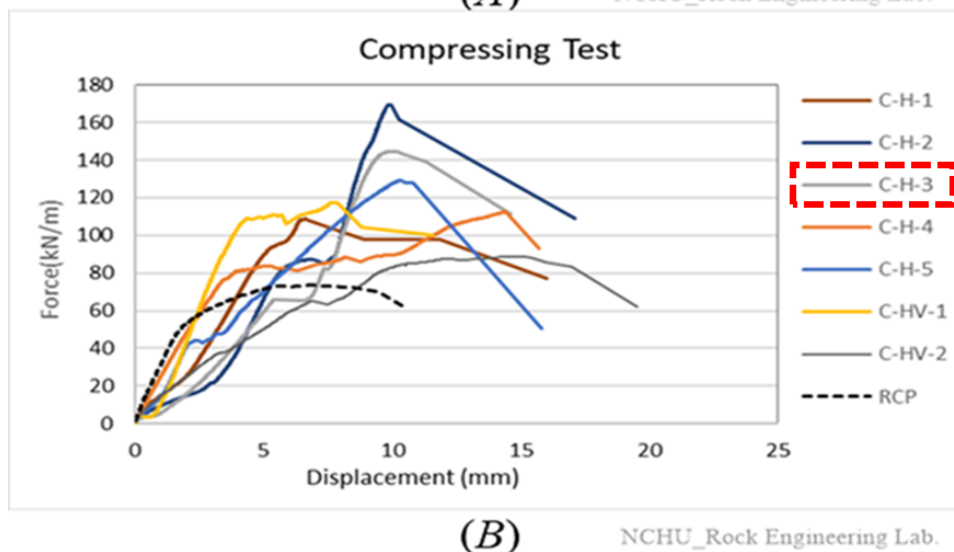
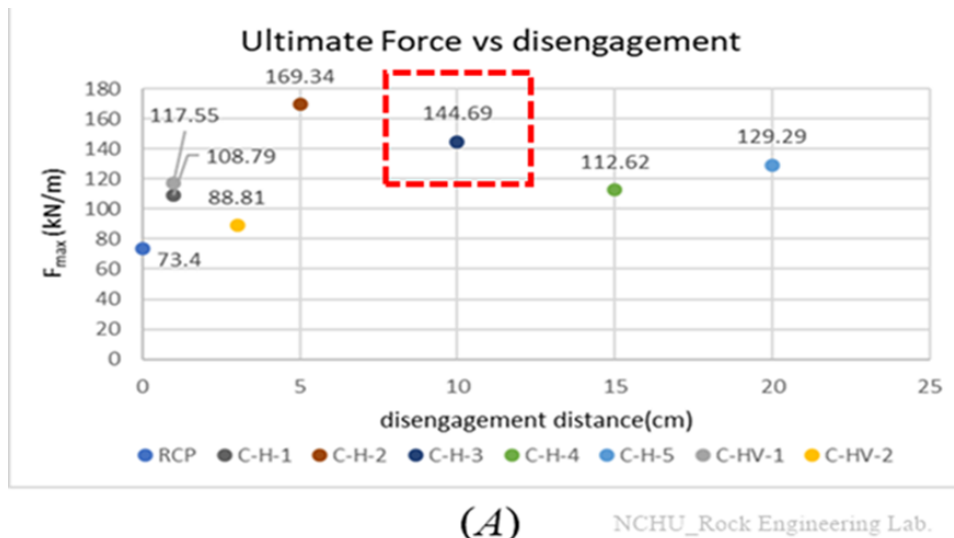
伍、材料特性與力學試驗分析

本工程主要利用非親水性材料「環氧樹脂」及無紡布混和材料達到具防水、可撓性及高抗壓強度之高分子材料，並具備耐腐蝕、抗磨損、耐衝擊性、展延性、高水密性及無毒性等特質，且經廠商自主研發材料在污水管線修繕作業時展現高耐腐蝕及耐強酸鹼等特質，近年在臺南市執行

案例中遭遇七股 3.7 級地震，發現內襯材料均未發生變形及損壞現象。

在徐瑞旻(2022)之研究中，針對未辦理內襯修繕之 RCP 管與辦理內襯之管線進行抗壓強度比對分析，試驗數據如圖 10 所示。

經試驗後發現，設定 RCP 管完全破壞狀況下，內襯材料完全脫離外層 RCP



資料來源：徐瑞旻，內襯反轉工法修復地下管道接頭脫管之力學行為分析研究，2022

圖 10 力學試驗成果圖

管之壓力相較未內襯狀況下約可提升 2 倍，表示在完成內襯作業後可有效提升既有管線強度並具備可撓性，在因應地震條件下可有效保護既有污水排放功能。

陸、案例說明-安平區安北路管線修繕

工程執行期間，接獲安北路道路下陷通報後（如圖 11），立即辦理管內 CCTV 檢視，發現管線內部多處嚴重滲水（圖 12），除管線外，人孔內壁因使用近 39 年且腐蝕嚴重發生破損滲水。由於

安北路道路下陷位置主要位於感潮帶，研判管線及人孔可能遭受海水侵蝕導致滲水現象。



圖 11 安北路道路下陷位置圖

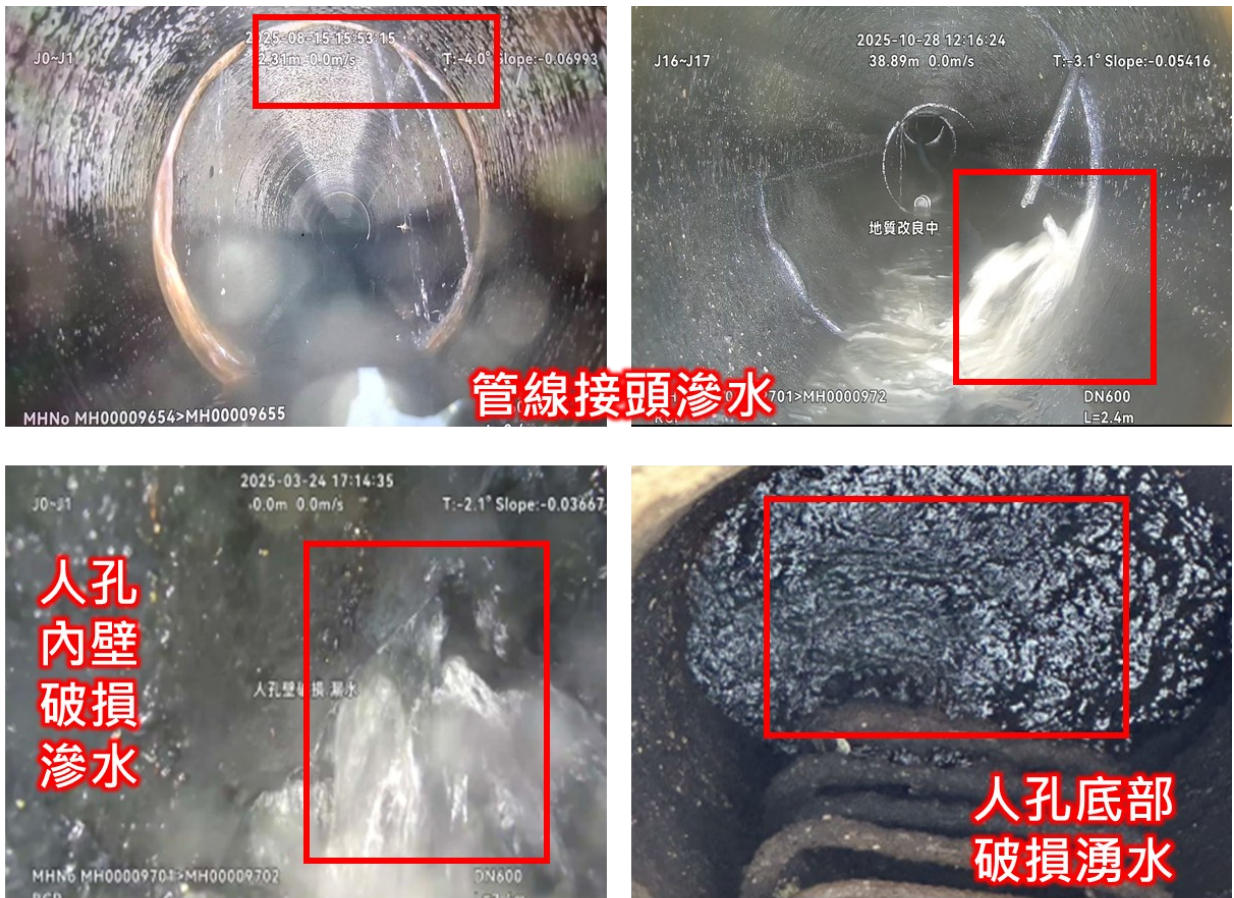


圖 12 管線及人孔滲水現況

因此，安北路管線修繕除須克服既有人孔施工空間不足問題，另需解決既有管線滲水問題。此外，由於安北路管徑為 600 mm 次幹管系統，管內水量大，亦須考量如何擋抽排水以及控制上游大量污水問題，以下針對各項狀況處理對策進行說明。

一、既有人孔及管線滲水處理

在免開挖修繕工法主要課題在於如何儘量減少管內污水量，在管線檢視成果中發現既有人孔及管線均有大量滲水問題，處理方案主要採用 CCP 方式進行處理，依據 CCTV 檢視漏水位置進行現場地表位置定位後，在管線兩側打入 CCP 灌漿

管，漿體主要以水泥砂漿及水玻璃等材料混合達到加速凝固效果。

滲水處理方案主要以 CCP 灌漿管打入管線 / 人孔滲水處下方約 50 cm 處逐步往上提升至管線 / 人孔滲水處上方約 1 m 處，達到滲水範圍止水效果 (圖 13)，現場成果如圖 14 及圖 15 所示。

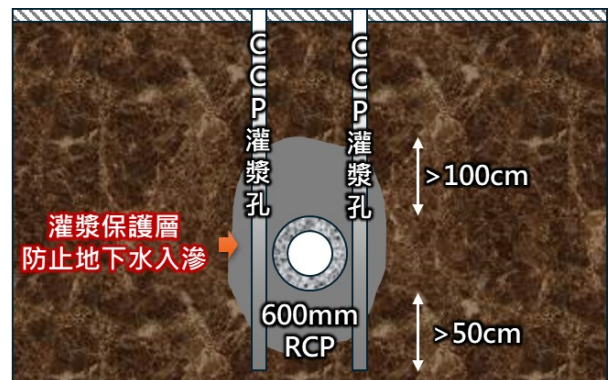


圖 13 CCP 灌漿示意圖

1.路面下陷:安北路鄰近城平路口·管段接頭滲水(MH00009654~MH00009655)管段外部 CCP 地盤改良止水修繕



2.路面下陷:安北路大員皇冠飯店前·管段接頭滲水(MH00009702~MH00009701)管段外部 CCP 地盤改良止水修繕



圖 14 管線 CCP 灌漿止水現況成果

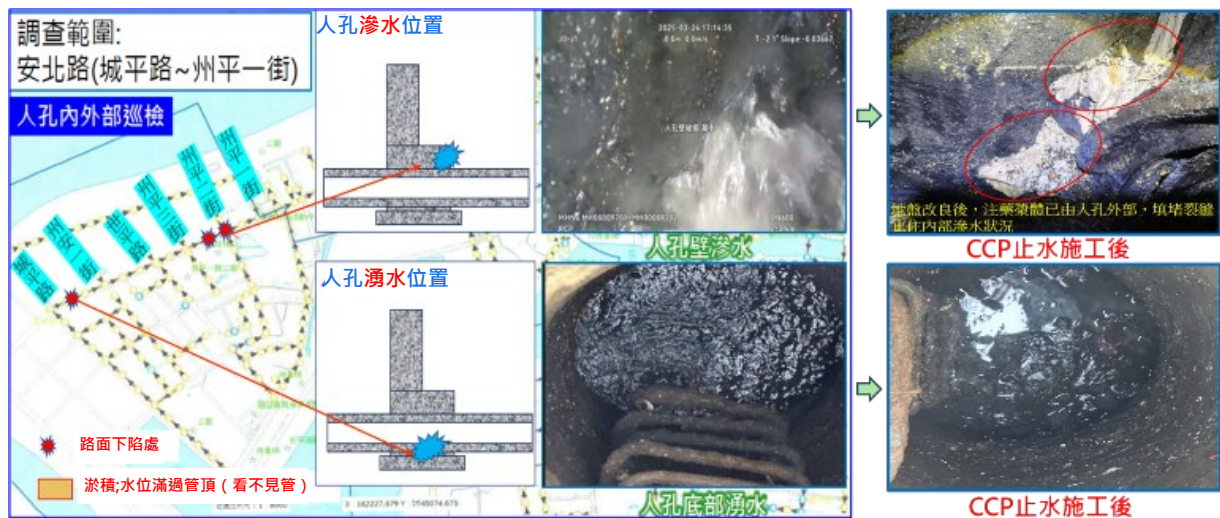


圖 15 人孔外部止水成果

二、新增工作井實現長距離修繕

考量在既有人孔位置進行挖除重新放置新人孔曠日費時，且安北路地下水水位高，貿然開挖置換人孔（約 5.7 m）受地下水水位影響大。因此，主要策略在既有管線上方利用 1890 圓形鋼環工作井打除舊管，並收築人孔作為後續管理維護作業進入孔。另考量人員進入工作井內安全性，設計導引彎頭，使人員在區段翻修作業階段無須進入人孔 / 工作井內部，增加施工階段人員安全性，如圖 16 所示。

設置工作井完成後，本工程將管線修繕區間設定為三階段完成總長 754.87 m 600mm 管線修繕作業。第一階段共計完成 206.17 m，耗時 5 日完成；第二階段共計完成 274.19 m，耗時 5 日完成；第三階段共計完成 274.51 m，耗時 4 日完成。成果如圖 17 所示。

透過長距離修繕管線，完成台灣目前污水管線翻修（熱水反轉 CIPP）最長距離，可減少交通影響，翻修作業時間減少一半以上。有效大幅縮短施工日數，大幅減少附屬工程經費。

陸、具體效益說明

一、工法之創新及挑戰性

1. 在管線滲水嚴重條件下，經施工單位自主研發免開挖 CIPP 修復工法之環氧樹脂材料，成功克服過去在管線滲水狀況導致材料無法硬化問題。
2. 在既有人孔施工空間不足時，管線修繕工法中包含螺旋內襯及拉鋪內襯工法均因空間問題無法施工，透過圓形工作井設計克服採水壓翻轉施工，達成一次性長距離（超過 200 公尺）修繕目標，有效減少因逐段修繕產生



圖 16 工作井設置成果



圖 17 安北路管線修繕成果

之交通衝擊。

3. 施工單位設置導引彎頭，CIPP 作業階段人員無須進入人孔內，除增加施工中作業人員安全性外，在管段錯位狀況下，拉鋪內襯及螺旋工法無法施工位置，施工單位特引進德國氣壓翻轉機具（國內首例引進）並聘請德國

技師現場指導施工及辦理教育訓練，成功克服既有管線錯位及人孔施工空間不足問題，並有效提升施工中人員安全。

4. 過去安平五期重劃區常因管線滲水嚴重及既有人孔施工空間不足問題，需更換大尺寸人孔方可完成管線修繕作

業，導致管線修繕所需時間及經費損耗甚大，在施工單位、顧問公司及臺南市政府水利局共同努力下成功克服現況問題，在現有條件下成功完成管線修繕作業。

二、SDGs 執行指標

本工程達成 17 項指標中 6 項指標，包含項目如下：

1. 應用 CIPP 工法進行污水管線修繕，全面修補後可有效減低污染滲出，提升水資源利用效率及污水處理率，達到【SDG6 乾淨飲水與衛生】指標。
2. 由於 CIPP 屬於創新基礎設施修復紀錄，無須大規模開挖行為，既能延長污水管線使用壽命外，亦可有效節省管線維護成本，達到【SDG9 工業、創新及基礎建設】指標。
3. 在 CIPP 修復過程中，大幅減少噪音、交通阻塞對用路人影響，減低市民生活干擾，使城市基礎建設更具韌性，達到【SDG11 永續城市與社區】指標。
4. 廠商自主研發之 CIPP 環氧樹脂材料，可循環再利用於既有污水管線修繕，達到【SDG12 消費責任與生產】指標。
5. 由於採用 CIPP 工法進行管線修繕，可有效減少開挖、運輸所需能源，有

效減低碳排放量，相較傳統開挖修復工法可減少 50 %~80 % CO₂ 產生，達到【SDG13 氣候行為】指標。

6. 目前採用熱水/熱蒸氣養護硬化之 CIPP 工法，涉及跨國技術交流，促進全球技術合作，建立可維持之基礎建設修復方案，達到【SDG17 夥伴關係】指標。

此外，在工法設計中，主要採用 ASTM F-1216 章設計參數進行設計，在使用年限至少可達 50 年使用壽命之品質標準參數，有效提升管線使用年限並減低後續維護管理所需經費。

三、防災與安全

1. 防災效益

- (1). CIPP 工法為全段管線修繕工法，具備封阻管道裂縫，避免地下水及地下土壤因管道裂縫產生道路下陷風險，有效提升用路人安全。
- (2). 在管線修繕過程中可一併調查不明管線接入問題，減少管線內部不明水體，減低人孔框蓋因不明水灌入導致孔蓋噴飛意外產生。
- (3). 採用 CIPP 修繕後之管段具備一定可撓性，有效克服地震造成管線斷裂風險，避免污水管線外滲導致土壤污染問題。

2. 施工安全

- (1). 採用免開挖修繕工法可避免大面積開挖所產生之施工現場交通阻塞及車禍風險。
- (2). 人員無須進入管線內部進行修繕，有效提供施工人員安全性。
- (3). 使用 CIPP 工法無須大範圍開挖路面，有效縮短工期，減少長時間施工帶來之工程隱患。

3. 增加基礎設施韌性

- (1). 使用 CIPP 工法修繕污水管線，修復後可增加至少 50 年使用壽命外，減低災害發生同時亦可減少管線破損機率，增加污水管線韌性。
- (2). 管線經修繕後可有效增加通水斷面，穩定污水排放系統，在本工程主要修繕之安平地區亦有增加再生水產能之附加效益。

四、工程效益及環境保育

1. 工程效益

- (1). 經本工程進行污水管線修繕作業後，近 2 年臺南市已無道路下陷新聞，且接獲通報道路下陷位置經檢視後均非因污水管線造成，有效抑止因污水管線損壞導致道路下陷之風險。

- (2). 管線修繕完畢後，有效增加污水管線通水斷面，在增加污水輸送能量同時，亦直接增加再生水產能供臺南科技園區等產業使用，增加污水再生之使用效益。

2. 環境保育

- (1). 管線修繕後，污水管線縫隙已完全修補，污水無法外滲污染水源及土壤。
- (2). 透過 CIPP 工法修繕管線，相較於一般傳統明挖修繕工法，有效減低碳排放，經比較後，與管線開挖修繕之碳排放減少約 50 %~80 %。

捌、結語

既有污水下水道管線老舊問題已成為管理維護作業不可忽視的一環，老舊管線接頭滲水、破損進而引發之道路下陷問題，不只影響水資源回收中心處理效能，更是增加用路人安全隱患。

「本研究強調預防性維護對下水道系統永續營運之重要性，並透過實例驗證延壽成效」，在災害發生前逐年進行管理維護計畫，確保污水下水道系統可永續利用，並透過管線修繕計畫使既有污水下水道達到延壽使用之成效。

管線修繕工法中，無論明挖更新置管或是推進置管繞流等工法均會造成大量碳排放污染環境，免開挖修繕工法兼具速度

快、低碳排等優點，在管線形狀保持完整的狀態下應儘量選用免開挖，以促進環境保育之低碳排目標。

參考文獻

1. 徐瑞旻，內襯反轉工法修復地下管道接頭脫管之力學行為分析研究，2022。
2. 內政部國土管理署，下水道管渠修繕更新設計及施工，2023。
3. 中華民國地下管道技術協會，中華民國地下管道技術協會，2024。
4. 內政部國土管理署，污水下水道管渠及設施維護管理手冊，2019。
5. 內政部國土管理署，下水道管渠及設施維護管理手冊，2021。
6. 臺南市政府水利局，113 年度臺南市污水下水道設施管理維護專案管理計畫委託專業服務期末成果報告書，2025。
7. 臺南市政府水利局，污水下水道 GIS 系統資料 (<https://sewergis.tainan.gov.tw/Default.aspx?ReturnUrl=%2f>)

跨部會齊心協作：打造適應極端氣候的「韌性城市」



摘要

本次論壇聚焦於跨部會對話，旨在強化下水道及水資源系統以應對極端氣候。內政部國土管理署指出，傳統截流標準已不足應對，未來策略轉向落實都市總合治水，於都市計畫階段即納入高程管制與滯洪規劃。此外，針對設施老化隱憂，需強化維護及災後快速復原機制，並持續推動再生水利用與碳盤查。水利署重新定義「韌性」為災害超標時仍能維持運作並迅速復原的能力。面對強降雨傳統築堤恐致市區積水難排，故提出「城市即河川」的分散式管理，透過滯洪池提升土地承洪韌性。科技上則導入 AI 技術，大幅優化旱澇預警以爭取應變時間。環境部強調涉及多重因子的「複合性災害」威脅，目前正建立跨部會科研平台與風險評估準則，協助各單位盤點氣候風險並執行調適行動計畫。總結而言，臺灣水資源藍圖已升級為跨部會系統性治理，結合國土署的都市總合治水、水利署的智慧防災與環境部的風險調適，共同建構氣候韌性城市。

關鍵字：水資源政策、下水道、氣候韌性

1. 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系 / 特聘教授
2. 中原大學環境工程學系 / 助理教授

城市保衛戰：

韌性下水道與極端氣候的對話

萬騰州¹、蔡大偉²

Abstract

This forum centers on inter-ministerial discussion, aiming to strengthen sewerage and water resource infrastructures against the extreme climatic events. The National Land Management Agency posits that conventional interception standards are no longer adequate; consequently, future strategies shall pivot towards the implementation of comprehensive urban stormwater management, integrating elevation controls and detention planning at the very inception of urban planning. Furthermore, addressing the concerns regarding infrastructure ageing necessitates the reinforcement of maintenance protocols and rapid post-disaster recovery mechanisms, alongside the sustained promotion of reclaimed water utilization and carbon inventorying. Simultaneously, the Water Resources Agency has redefined "resilience" as the capacity to maintain operational functionality and achieve speedy restoration even when catastrophic events exceed protective thresholds. Facing torrential precipitation where traditional embankment protection risks impeding urban drainage, the Agency proposes a decentralized "City as River" concept, enhancing the land's flood-bearing resilience through the deployment of detention ponds. Technologically, the incorporation of Artificial Intelligence significantly optimizes early warning systems for both droughts and floods, thereby securing vital temporal margins for emergency response. The Ministry of Environment underscores the menace of "compound disasters" involving diverse factors; currently, it is establishing an inter-ministerial scientific research platform and risk assessment guidelines to assist various entities in inventorying climate risks and executing adaptation action plans. In summation, Taiwan's blueprint for water resources has ascended to a level of systemic, cross-departmental governance. By integrating the National Land Management Agency's comprehensive urban water management, the Water Resources Agency's smart disaster prevention, and the Ministry of Environment's risk adaptation frameworks, the nation is collectively constructing cities resilient to the vagaries of the climate.

Keywords : Water policy, Sewer system, Resilience

壹、前言

台灣水環境再生協會為推動國內下水道建設，定期每年辦理下水道及水環境再生研討會專題論壇，本年度為第三十五屆大會，以促進臺灣下水道與水再生領域專家學者之交流與研討，共同擘劃國家下水道建設未來推動方針。本屆大會特別搭配「下水道·水再生期刊」新期刊發表，辦理「城市保衛戰：韌性下水道與極端氣候的對話」專題討論（如圖 1），邀請國內重要官方代表進行研討於下水道範疇之氣

候韌性管理具體方向與未來規劃，邀請各界集思廣益共同針對強化氣候韌性措施提出專業建議。筆者為國立雲林科技大學特聘教授，有幸擔任本論壇主持人，本論壇邀請內政部國土管理署（下稱：國土署）陳志偉組長、經濟部水利署（下稱：水利署）王藝峰副署長及環境部氣候變遷署葉信君副組長擔任與談人，分別請三位與談人針對「韌性下水道與極端氣候的對話」主題進行與談，以說明臺灣未來整體下水道邁向強化氣候韌性世代之政策與推動具體方向。



圖 1 臺灣水未來論壇花絮

貳、下水道的氣候韌性管理規劃

首先由國土署陳志偉組長針對我國下水道建設與未來對於強化氣候韌性進行說明，國土署主管國家整體下水道建設規劃與推動。首先下水道在規劃的時候，會依據所謂的攔污標準，截流時間其實也跟水利署的區域排水不太一樣，國土署經常面對的都是一個短延時強降雨的狀況，需要迅速的將市區內的水排掉。近幾年，其實相當多的淹水事件究其原因都是因為外水頂托，使得內水無法順利排出，所以在整個水利署逕流分擔與出流管制的概念下，未來也會落實在都市計畫裡面的相關作業。例如目前署內有初步在規劃類似社區的出流抑制設施，如臺北市或新北市都有針對這部分的自治條例去訂定，或是未來在都市計畫裡面是否要去做一個高程的管

制等。未來都市計畫在開發的時候，需要針對未來可能淹水的風險就高程的部分事先規劃，不再等淹水或是大雨時才進行後續的救災處理。期望從一開始都市規劃時就將其做好，以降低相關淹水的風險。

此外，關於未來要如何使用科技去做防災，國土署已經針對防災系統做了很長的一段時間，在都市總合治水裡面，也補助各縣市政府去做水位計的裝設，可以即時的了解各個雨水下水道裡面水位狀況，如水位影像與 AI 辨識應用（圖 2），期望讓整個水文分析和預測能夠更精準，未來皆會持續精進。目前大部分做法都是用鄉鎮去做大範圍預警，期望未來在相關技術及資料更完善時，預警可以準確到市區內某一個街口、某一個地區在何時會淹水，這樣可以即時通知民眾，讓大家可以



資料來源：吳文峰、李成偉，2024。

圖 2 下水道水位影像技術應用

事先防範。

提到韌性的部分，觀察近幾年的災害，不論是颱風也好、地震也好，下水道受損的機會並沒有想像的高，反而是因為老化而造成的風險比較高。舉例來說最近在日本東京埼玉縣，因為污水系統老舊所造成的地層下陷，造成將近 40 多米寬、60 米深的大洞（圖 3）。當時署裡面也一直在跟進日本如何處理這種災害，我們發現日本在這種大規模系統之下要進行處理，其實難度也非常高，最後只能呼籲上游的民眾盡量減少用水，來減少污水的進

流，降低復原工作的難度。那過去臺北市南京西路也發生類似的狀況，所以現在對於我們整個下水道的韌性，設備老舊的因素是令人擔憂的，萬一發生類似的災害，要如何讓下水道還有民眾能夠很快速的回復到原來的生活狀況為重要議題。署裡也一直在思考這個問題的解方，從丹娜絲颱風的經驗來看，可以觀察到近年每一次的災害發生都是複合性的。災害發生時，倘若發現通訊、電力中斷，交通也發生中斷的情形，在這樣的情況下要如何執行救援工作，最重要的是救災資源的整備、資源



資料來源：中央社，2025。

圖 3 日本東京埼玉縣天坑事件

的分配。未來下水道如何去應付這樣的狀況，所以我們需要規劃未來下水道的救災資源在哪裡？需要事先建立未來資源的儲備及災害發生時資源調度的制度，這將是未來國土署強化下水道系統韌性的重點之一。

配合氣候變遷部分，國土署現在要推動的是再生水，目前整個進度是循序在推進，不過再生水的前端就是污水建設，污水建設其實還是要依照國家規劃循序漸進推展。但現在面臨財劃法的問題、補助比例的問題，造成地方政府是不是還有辦法像以前那樣全力投入整個建設，這也是未來我們的隱憂，這部分也是未來需要克服的議題。在這對於整個氣候變遷來看，極端氣候降雨事件的發生，對下水道的挑戰來講，未來重點工作為將相關的預警做好，讓民眾可以事先去做準備，再來是如何復原，讓民眾可以趕快恢復到原來的生活狀態。

未來跨部會的合作將是執行上的重點，而環境部已有把相關調適計畫之規定在研擬中，國土署也是全力配合。而署內對於氣候變遷的看法有兩部分，第一部分為水太多，水太多這部份國土署除了持續與水利署合作外，過去也從都市計畫、土地規劃的面向推動都市總合治水。目前署內正草擬下一個六年期的都市總合治水，此部分還是會持續從都市規劃的角度及雨水下水道建設的目標進行。第二部分是缺

水情況，這部分國土署會持續推動再生水的工程，因目前很多開發地區及科學園區的籌設對於再生水的要求非常殷切，國土署會盡力去開發水源，以滿足整個園區廠商再生水的需求。這部分未來推動的面向會變得很廣，其中包含直接供水至園區，或是採取換水的形式來使用，署內也會持續的努力推動。

另外針對節能減碳的部分，署內在過去這幾年也有許多實質推動，也建立整個污水處理廠的碳盤查系統，同時要求各縣市政府所管轄的污水處理廠每年都要做完整的碳盤查，並每三年進行第三方認證。規劃未來將持續的推動，期望能夠建立整個污水處理廠碳盤的基線，設定減碳目標。針對未來資源循環再利用，包括在下水道中磷元素的回收，還有氫能及污泥再利用，這是未來國土署在整個因應氣候變遷和環境變遷所要做的努力。

參、水資源的氣候韌性管理規劃

在水資源的氣候韌性管理規劃的部分，很榮幸邀請到經濟部水利署王藝峰副署長進行分享。首先是署長分享回顧人類的歷史，可以發現其實氣候變遷一直都存在，在歷史上有十幾年大旱的時間。但是最近這幾年，氣候變遷是來自於我們人類工業化及很多的行為引起，致使極端降雨事件發生的頻率變得特別的快速及密集。從水利方面來說，氣候變遷最大的問題，應該不是來自於雨量變大，而是來自於降

兩型態不一樣，過去在從事防災工作的時候，其實很少看到時雨量超過 100 毫米，個人經驗第一次看到應該是八八風災的時候，但是現今只要下一場雨，就有很高的機率會發生。

以往水利署治水的目標，主要是在河川的治理，其最重要的是在防溢淹，我們在中下游用堤防來做治理，也會用疏洪道、分洪道，甚至是洪氾區來處理洪水問題，但是這些方法並沒有辦法解決現在面對的問題，因為現在所面臨的問題是短延時強降雨，關鍵是這些水流不進河道，幾乎都被堵在市區、農田排水之內，而導致淹水。如果把傳統的築堤治理方法，再往中上游去延伸的話，就會發現這個方法會讓剛才提到的積淹問題更嚴重，因為雨水流不進河道中，所以可能會造成更嚴重的問題，我們必須跟上下水道建設，否則防洪工作上會遭遇到很大的挑戰。

目前河川的治理率在中央管河川非常的高，所以在近年洪災裡面，以中央管河川來講，它面對的洪水都是兩日、三日的降雨所造成集水區的洪水。以近幾年來講，幾乎除了少數縣市管河川還沒有完成治理外，幾乎都不會發生溢堤的現象。但是高的水位，我們把河川的水位束在河道裡面，讓它維持高水位，卻造成內水排上有很大的挑戰。這個挑戰成為水利署、農田水利署、國土署共同要面對的問題。那其實不只氣候在變，我們的對防洪的需求也在變，從以前洪災的統計來看，它一

定會統計人命的損失、房屋被沖毀的戶數，以及會統計農田被流失的面積。但是現在從內政部消防署的統計年報來看，會發現這些都很少發生，最近特別大的損失都來自於淹進家裡、工廠裡所造成的損失及生活的不便。

從最近的颱風救災的措施可以發現一個重要現象，目前都在朝向降低災害對民眾生活所造成不便之目標前進，因為這個代價越來越大，這是我們社會發展開發所要付出的成本，所以如果要面對這樣的問題，韌性就是很關鍵的角色。什麼叫韌性？個人的定義就是當它超過原來的保護標準，這個情況下你還能不淹水、不缺水的解決方案就是韌性。而政府要提供的韌性，應該從幾個層面來想，第一個就是當你在從事治水的時候，不能只想到水利署自己的責任只是在防溢淹，一定還要想到國土署積淹、農田水利署灌溉排水的需求，要想到其他單位以及環境部相關需求，所以必須系統思考。這樣做目的是在防止淹水，例如說假設在南科附近做治水，需提供整個科學園區幾乎 365 天每天 24 小時都不會淹到水的公共服務，如果要達成這個目標，就要從每一個環節都要完成，因為只要有一個環節出了問題，這個目標就達不到了。

水利署常強調已有 99% 的河川完成治理，淹水少退水快。但是你沒有滿足客戶的需求，民眾完全都不想淹水，也不想一分鐘的積水，你淹水面積少退水時間

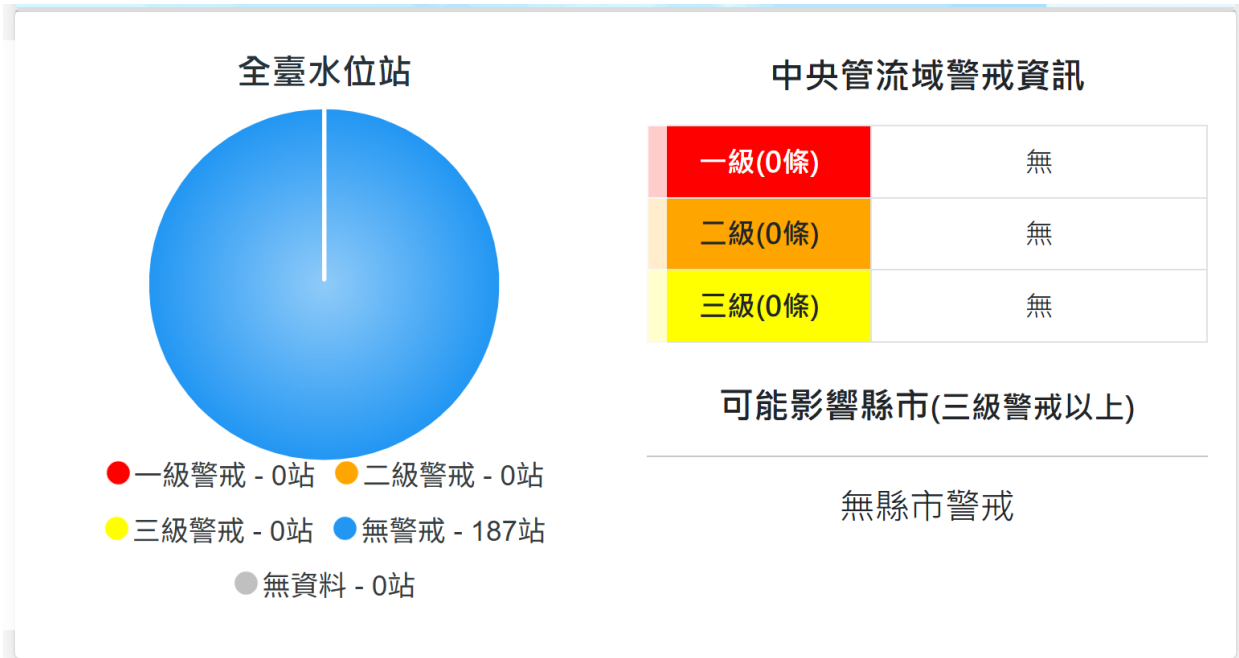
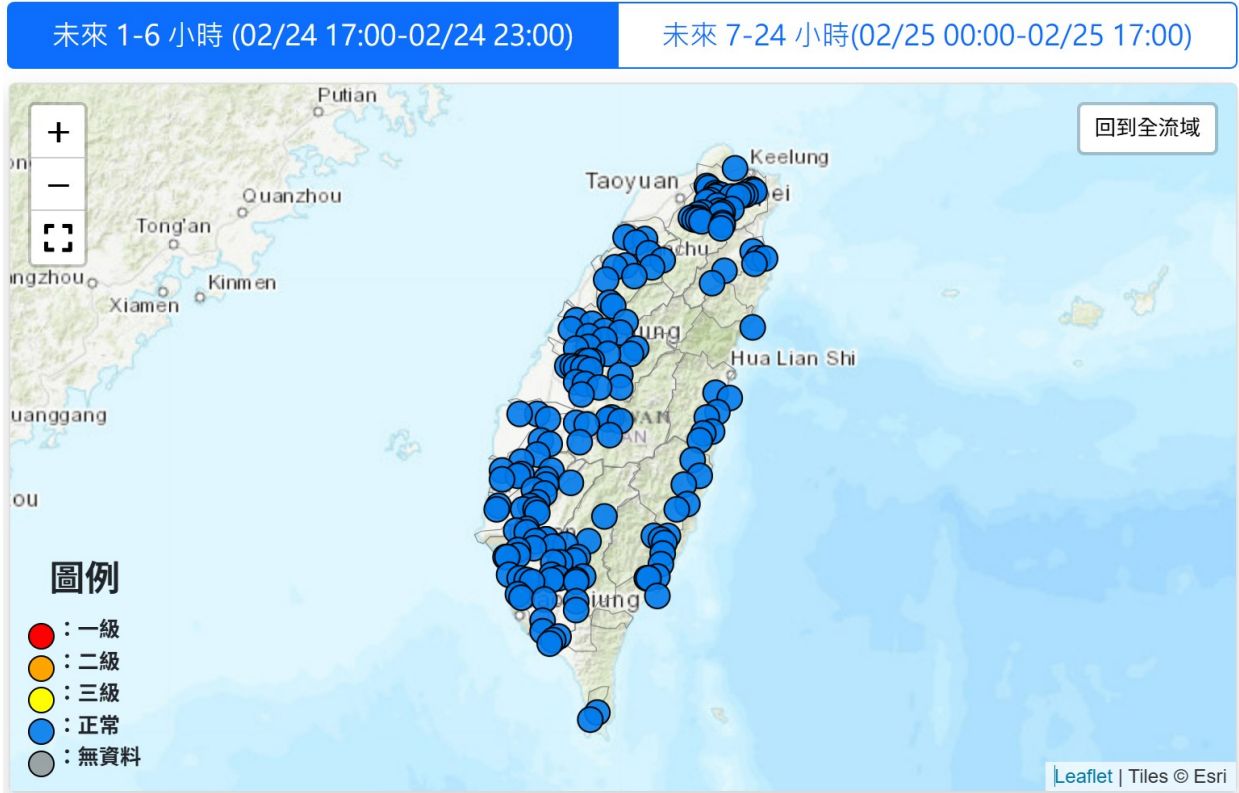
快，並不是他的需求，你必須再重新調整目標，但是要調整目標就水利署蓋提高堤防來講，難度很高。

以大台北防洪來講，已經做了 20 幾年最後還有三條橋樑沒辦法排放抬高。到目前為止，每次只要颱風來，市政府就須去注意這三條橋樑封閉了沒，新北市政府有沒有派警察在那裡阻止民眾使用，成本非常高。但是這樣的一個治水理念，如果不想提高保護標準，就要進入另外一個思維，那就必須採取分散式管理。分散式管理就是水利署最近在強調的，城市就是河川，河川就是城市。所以近年來一直在推動逕流分擔、出流管制，讓城市的每個單元都要負擔起防洪的責任，必須把部份的水留在那裡，才能克服不提高防洪標準所要付出的代價。那像這樣的一個措施，水利署近年來一直都在進行，包括最近提到的承洪韌性，我們要用可以使用的土地來讓做淹水的使用，以及水利署跟國土署一起合作，做了很多都市計畫區內的滯洪池，希望來減緩淹水，特別是接下來的重建預算，或者是四年一千億，水利署都會跟國土署一起攜手。有相當比例的經費會由國土署來執行，如果沒有國土署的雨水下水道，事實上要完成治水的目標是不可能的，所以未來水利署在治水的工程上，一定會跟國土署一起好好努力。

當然治水還有最後一個層面就是要有風險貼損的觀念，所有的層面不管在房屋的設計上，或者是你在災害的應變上，都

要提前來應變、提前預警，政府的責任就是在於提供足夠的預警資訊。要讓預警資訊能夠提前，AI 是關鍵的科技，水利署現在正大力的追隨政府的政策會投入 AI 的應用，希望能夠看到乾旱的預警，能夠提前到三個月前。這樣子我們才能在十二月就決定第一期稻作要不要休耕。目前雖已建立洪水預警系統（如圖 4），也希望的淹水預警能夠提前到三天前，如此方能疏散長照中心老人，否則當年汐止長照中心的悲劇還會再重演。現在的治水需求必須跟著人民而變，不只是氣候變遷要因應，環境的每個環節都要調整。接下來的四年一千億水利署希望跟國土署、環境部、農田水利署及在座的各位一起努力，讓我們的水患更少，讓老百姓的安全可以獲得保障。

調適氣候變遷的目標在臺灣已是社會的共識，但是要調適氣候變遷所採取的方法以及付出的代價及風險，仍有非常大的爭議。因此氣候變遷調適計畫，要做好各項的風險評估，而水利署也會在權責之內來充分配合。要如何降低每個採取的步驟所衍生的後遺症、風險以及成本，這需要學術界的突破，以及工程顧問界的巧思。以最具爭議的核能案例而言，現有技術沒有突破的話，其帶來的爭議負面效果仍會存在。突破也不見得是從現有的方法來突破，如同先前提到 AI 技術，以往的科學思考會把觀察到的數據及現象，先轉換成物理模式，然後進入計算方法，再進行預



資料來源：水利署, 2026。

圖 4 水利署洪水預警系統示意圖

測；而 AI 則直接跳過物理模式，可從觀察的數據直接進入計算。因此，相信未來科學研究的思考方式會改變，且發展速度會提升。如果在學界以及工程界，還有政府針對調適氣候變遷已有共同的目標，相信未來可以努力克服問題。在面對一個問題推動一項政策，歷經反覆討論與修正是很正常的現象，但在過程中最終還是會前進。在跨部門之間合作也相當的重要，因此行政院成立水及流域永續推動小組來整合，由各個單位來推動，以建立部會之間溝通橋梁。希望透過小組溝通，能夠加強調適氣候變遷與建立韌性。

肆、環境品質氣候韌性管理規劃

最後邀請環境部氣候變遷署葉信君副組長為大家說明有關環境品質在氣候韌性管理面向重要作為與成果，以及未來努力的方向。首先呼應水利署所提到現在的降雨型態，在意的比較不是量的問題，是型態的改變，這一點環境部最近剛好在做抗高溫的討論，努力在處理溫度的一個變化。從環境部在推「熱」的部分，就發現其實像高溫也一樣，農民曆告訴我們最近剛好 8 月 23 日是處暑，應該是暑期要結束，不過大家還是可以感覺到最近的熱度其實沒有減。像這幾天環境部跟氣象署合作，氣象署針對溫度的部分，在新北五股已經連續三天亮紅燈，然而紅燈是需要連續三天 38 度以上會發第一次紅燈，所以其實是五天 38 度以上。整個溫度的部分

其實氣象署也有與環境部合作並做一個了解，每天的溫度下降的幅度跟型態，哪一種情境對民眾影響最大，如果極高溫很高，但是下降的很快，對於民眾的影響比較小，倘若下降很慢怎麼辦？民眾在這個溫度持續保持高溫的期間，就會受到影響。

環境部也做了一些分析，從 2020 年開始高溫，開始陸續接著幾年百年大旱。但到最近幾年轉變成有颱風、強降雨，甚至今年的丹娜絲颱風是從嘉義登陸，其實這個氣候變遷帶來很多的災害。這些複合災害的部分，環境部請國家災害防救科技中心提供一些資訊，在災害的部分其實越來越多是複雜性的風險、複合性風險及連鎖式的風險。所以在這麼多的複合風險發生的時候，已經是很多氣候跟非氣候的因子都可能互相的去影響。以下舉兩個例子，如 2012 年熱帶颶風 Sandy 對美國造成史上第五大災損（圖 5），所造成的原因為同時發生暴潮、颶風降雨及海平面上升，而暴潮為主因，颶風降雨為次要原



資料來源：AGCS, 2022。

圖 5 美國 Sandy 颶風風災

因，再加上當地有海平面上升的長期趨勢。所以對其影響範圍是很大的區域。另一個案例是 2017 年 12 月加州森林大火加 2018 年 1 月土石流（圖 6），其型態屬於連動的，先發生極度乾燥的天氣，再來因為大雨過後，土壤的吸水力降低，因此一旦下雨就會產生土石流。由此可知複合性風險的形態可能是同時發生，也可能是連動發生。



資料來源：Spectrum News, 2017。

圖 6 美國 2017 年加州森林大火

這些複合災害，主要是多重因子組合，以日本為例，可以看到在大氣系統滯留鋒面的影響，還有熱帶季風的季內震盪，然後在氣候因子的部分，就是一個東亞夏季季風，那危安事件是強降雨造成當地淹水及熱浪問題，對民眾來說所造成的衝擊為設施損壞甚至是傷亡。國科會跟環境部在去年的時候也發布科學報告，科學報告裡面點出，目前臺灣其實有 73 % 的土地面積，其實有三種以上的天然災害，所以在這樣的複合體系部分，我們其實也有點擔心會不會跟國外一樣發生這樣一些

極端的案例。以下是大概整理最近丹娜絲颱風影響的情形，這次最主要的除了剛剛水利署提到的就是強風的問題，另一個是西南氣流進來後，帶來很大的雨量，造成這樣災害的情形。因此環境部跟國科會這邊，現在在所有的科研資料的部分，也建立了一個平台，從上游就是國科會的科研資料，中間的話是像各部門收集相關基礎環境資料，從而建立一個資料庫，包含淹水或者是都市內的下水道相關的資料等，透過這樣的平台來逐步進行相關的圖資建立。在複合風險的部分，目前科學報告也有一個針對複合風險初步評估的草稿，主要還是看各種類型，在不同升溫的情境下也在科學報告裡面點出可能會對海平面上升的情況，所以這大概是環境部初步的資料。

現在整個氣候變遷的背景下災害是不可避免的，調適的部分也是現在環境部想要積極做的工作，所以從高溫或者是枯旱甚至淹水，會有短期的防災部分，甚至是調適部分要去執行；那長期的話，就是各部門一起在法律及長期的工作上進行規劃。從中央到地方，環境部持續在思考有哪些東西是可以互相合作的，像是經濟部，如同剛剛水利署提到的水源的部分及農區用水的情形；在國土署的話，考慮到整個基地保水、雨水下水道、下水道工程的部分，還有河川排水，除了中央之外在這次地方政府也開始要訂定調適執行方案。在今年的 2 月 17 號環境部也已核

定，所以在地方的部分，其實對照科學報告所注意的衝擊的危險，縣市也有提出相應措施，所以如同剛剛所有與談人都有提到，這個防災跟調適工作，其實已經不能是一個單一部會的工作，而是從中央到地方每個部會及每個縣市政府都有責任。

在跨部會合作的面向，執行中的 2023 年到 2026 年國家氣候變遷調適行動計畫為重點，同時也準備進行下一期行動計畫擬定，其中牽涉到大眾最關心的議題，即氣候變遷的影響帶來衝擊與風險評估的部分，而環境部在 2025 年 7 月 16 日也按照氣候法訂定氣候變遷風險評估作業準則，因此未來準則及科學報告部分，會請各部會開始做風險評估的系統化操作。其中水利署目前經驗是最充足的，從過去淹水累積大量的經驗。而在國土署方面，已在政策規劃上含括風險的概念在裡

面，因此後續這個部分環境部氣候署會針對氣候變遷調適工作再加把勁，也希望靠大家一起合作。

最後，環境部未來也希望在碳費徵收之後，能夠在對這個經費的部分去做一些挹注，除了現在推地方政府去做調適執行方案的規劃之外，另外未來跟中央部會也可以有一些合作，希望在整個氣候變遷調適可以把工作再規劃得更完整。

伍、結語

透過臺灣主管國家水資源管理主要單位與重要協會研討，可以描繪我國未來水資源氣候韌性管理的藍圖，茲彙整重要的臺灣水資源氣候韌性管理願景如表 1，而有關實現願景的主要做法，在下水道建設的面向，國土署主要分成四個面向來**推動**，一個是研擬都市總合治水措施，以減

表 1 臺灣未來水資源氣候韌性管理路徑願景

水資源面向	未來強化韌性願景
下水道建設	推動都市總合治水措施 發展多功能預警系統 強化救災資源整備 持續推動再生水開發
水環境管理	推動跨部會多面向共同治水 整合風險貼損的思維發展精準預警系統
環境品質	跨部會發展複合型災害科研 積極推動跨部會調適行動計畫

輕外水頂托的影響，減少淹水事件發生。第二是應用最新科技的預警系統發展，讓民眾可事先防範降低災損風險。第三是強化救災資源的整備，以因應緊急災害事件搶救。第四是持續推動再生水開發，以強化國家供水韌性。在水資源環境管理面向，水利署由傳統防溢淹工程思維轉換跨部會的共同治水為未來發展重點。此外，引入風險貼損的思維，建立更精準更提前的預警系統也是努力的方向。在環境品質方面，環境部特別注意到異常高溫的風險，開始與多個單位共同研究複合型災害，此外更是積極推動跨部會調適工作行動計畫，以做為下一階段執行重點。

臺灣四面環海，地理位置特殊，就如環境部最新的研究所提到，需同時面對地震、乾旱及強降雨等不可預期的氣候挑戰。因此不管是公務機關、學術界、工程界或是科技業，各領域一同努力引入新的思維，才能共同面對這嚴峻的挑戰，並集思廣益提出解方。所幸我國具有極高的研發與製造能力，並致力於投入 AI 的發展與應用，若能積極擴大應用至強化國家整體氣候韌性，將極具國際競爭優勢，不管是在城市治理、災害預防，或是未來不確定的氣候變遷這塊，相信會有很多正向效果。期望未來可藉由各水資源部門政策資源整合與合作，共同提升臺灣水環境氣候韌性管理之效能，持續透過各界對話來達到保衛城市優質環境之目標。

參考文獻

1. 水利署，2026。水利署水利防災組洪水預警展示系統。<https://web.wra.gov.tw/winwin/powerwra/waterstationwarning/>
2. 中央社，2025。日本埼玉天坑擴大，受困者事發 72 小時後仍待救。2025 年 1 月 31 日。
3. 吳文峰、李成偉，2024。AIoT 技術於下水道智慧防災應用。下水道水再生期刊，第三卷第三期，p.1-10。
4. AGCS, Allianz Global Corporate & Specialty (2022). Superstorm Sandy 10 years on: key lessons for storm resilience
5. Spectrum News . Deadly wildfires swallowing up parts of Northern California. Oct. 10, 2017.

下水道·水再生期刊稿約

壹、誠徵稿件

- 一、本期刊為內政部國土管理署針對下水道領域所發行之期刊，每年三、七、十一月下旬出版，誠徵稿件。
- 二、歡迎下水道從事人員以及設計、產銷有關下水道工程之器材業者提供相關文稿，如創見或新研究成果；國外新知或工程報導；下水道工作現場發表感想；國內有關下水道發展之研究計畫；國內、外與下水道相關之新書介紹等。
- 三、惠稿每篇以伍千至壹萬字為宜，特約文稿及專門論著不在此限，本期刊對於文稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明；無法出刊之稿件將儘速通知。
- 四、惠稿（含圖表及著作權讓渡同意書，並請提供一張圖片作為封面圖片）請用電子檔寄至 twea900606@gmail.com，並請註明真實姓名、通訊地址（含電話及電子郵件地址）、服務單位及撰稿人之專長簡介，以利刊登。
- 五、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。

貳、稿件格式

- 一、版面設定：頁面紙張請以 A4 規格 21cm * 29.7cm 直式編排；本文版面規格：版面上下左右邊界各為 1.27 cm；內文段落採單行間距，並設定左右對齊。除摘要，其餘皆以兩欄型式呈現。內文首行需位移 2 字元。
- 二、字型設定：字體中、英文請採微軟正黑體字型。字體大小：頁首頁尾及頁碼採 12 號字，標題採 18 號粗體字（置中）作者姓名、任職單位及職稱採 12 號字（置右），“摘要”標題採 14 號粗體字（置中），各章節標題採 14 號粗體字（置左），內文採 12 號字，圖表標題採 11 號字。
- 三、文章篇幅：每篇文章以 10 頁為限（含所有內容及圖表）
- 四、文章架構：
 - ◆中&英文標題：宜簡明
 - ◆作者姓名、任職單位及職稱：請以置右方式依序條列
 - ◆中文摘要（300 字為限）及中文關鍵字（3 至 5 個）

◆英文摘要 (300 字為限) 及英文關鍵字 (3 至 5 個)

◆本文 (章節之編序以：壹、一、(一)、1、(1)、… 為原則)

◆參考文獻

五、圖表配置：本文中之圖表請隨文插入 (與文字排列)，圖表之編號一律以 1,2,...等阿拉伯數字表示，圖標題請以置中方式標註於圖下方；表標題以置中方式標註於表正上方。

六、數據規範：內文中之數字請以阿拉伯數字呈現，並採用半型，可量化數字超過 3 位數請以逗號區隔，如 1,234；年份請以西元紀年；文中所使用數據單位請以公制單位，如：min、 $^{\circ}\text{C}$ 、mg/L 等，數字及單位之間請空半形 1 格。

七、參考文獻格式

期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。

書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。

機關出版品：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。

【參考文獻 格式範例】

1.歐陽嶠暉，下水道工程學，長松出版社，增訂版，第 45-56 頁，臺北(1992)。

2.黃國文、李方中、於望聖、陳志偉、顏慧敏、施上粟、林旺德、林佳薇 (2017)，公共污水下水道維護管理訪評計畫之研訂與推動，農業工程學報，63(2)，第 1-10 頁。

3.陳余育、劉振宇、鍾淑女、李金靖、陳怡寧、游勝傑，“臺灣地區性水資源回收中心新冠肺炎病毒檢測初探”，中華民國環境工程學會 2021【廢水處理技術研討會】研討會，110 年 8 月 19 日，第 132 頁(2021)。

八、文章內文格式範例 (請洽本期刊編輯組)

參、本期刊內容將刊載於內政部國土管理署資訊入口網歡迎各界參閱。



著作權授權使用同意書

_____(作者/機關名) 保證除本次投稿至「下水道·水再生」期刊之
文章_____ (文章名) _____，相同內容未專屬授權至國內外其他有版
權之期刊或有抄襲之情事，若有涉及著作權之侵權或其他不法行為，本人
願負相關之法律責任。

_____(作者/機關名) 同意將本篇文章之著作權自接受刊登日起，授
權內政部國土管理署有重新編排並將本篇文章置於所屬網站及刊物等刊載
供外界查詢之權利，但需註明本文章作者。

此 致

內政部國土管理署

立 書 人 ：

通 訊 處 ：

聯 話 電 話 ：

(親簽後掃描為電子檔與文稿一併寄送至編輯組)

中 華 民 國 年 月 日

中華民國 一百一十五年四月出刊

第 5 卷第 1 期

中華民國 一百一十一年七月創刊

發行人：蔡長展

指導委員：宋德仁、邱忠川、范世億、陳志偉、黃一平、劉振宇、蔡易勳(依
姓氏筆畫順序)

編輯委員：王朝民、朱錫麟、阮春騰、邱敏錦、周黎明、林舜宏、侯嘉洪、
洪俊雄、胡念英、康世芳、陳立儒、張添晉、莊順興、黃成龍、
黃良銘、黃靖修、楊仁彰、廖宗銘、鍾志成、蘇玫心(依姓氏筆
畫順序)

總編輯：曾淑娟

副總編輯：周世銘、張建偉

執行編輯：游勝傑

出版單位：內政部國土管理署

地址：臺北市松山區八德路 2 段 342 號

電話：(02)8771-2345

網址：<https://www.nlma.gov.tw/>

執行單位：社團法人台灣水環境再生協會

地址：臺北市松山區復興南路一段 1 號 1204 室

電話：(02)2777-2675

網址：<https://www.twea.org.tw/contact.html>

GPN:2011100010 ISSN:27913805

★☆☆本刊文章版權所有，非經同意不得轉載★☆☆

★本刊文章屬個人學術發表，不代表內政部國土管理署立場★