

氣候變遷下都市雨水管理調適之防災應用 -以新北市智慧防汛為例

ADAPTIVE STORMWATER MANAGEMENT UNDER CLIMATE CHANGE:
SMART FLOOD CONTROL APPLICATIONS IN NEW TAIPEI CITY

國立陽明交通大學
土木工程學系
博士班研究生

王璽鈞*
Xi-Jun Wang

國立陽明交通大學
防災與水環境研究中心
副研究員

楊昇學
Sheng-Hsueh Yang

新北市政府
水利局
局長

宋德仁
Der-Ren Song

國立陽明交通大學
防災與水環境研究中心
客座教授

葉克家
Keh-Chia Yeh

國立陽明交通大學
土木工程學系
教授

石棟鑫
Dong-Sin Shih

摘要

在氣候變遷與極端降雨事件帶來之都市淹水災害威脅下，雨水管理調適已成為都市雨水防災之關鍵。都市雨水管理調適係指利用現有水情資訊、人工智慧技術、自動化展示即時防災資訊並整合防災應變策略，使相關防汛人員快速應變。本研究藉由水文監測之雨量與水位資訊、路口 CCTV 淹水影像辨識技術、河川與區域排水監測與抽水站運作之即時資訊，搭配物聯網即時傳輸之資訊，構成智慧防災平台與地圖化展示，並將區域排水、雨水下水道管網與抽水設備等即時監測數據，形成都市集水區系統監測網絡，並從中建立雨量、水位、抽水系統之關連性與展示平台。此外，透過設定警戒管理值與即時數據監測，可監測數據超過管理值時自動推播至防災群組協助防汛人員預先分析判斷潛在制災因子。亦可搭配提早啟動抽水機進行雨水下水道內抽水作業，與備用機組待機之策略，提升雨水下水道管渠內部雨水滯洪空間，達成超前部屬與都市可滯洪空間之監控與調適。以上措施可有效強化都市淹水防災之應變能力，爭取更多防災應變時間，進而縮短淹水時間並降低其淹水發生機率，增加都市雨水容受度，達到韌性城市都市雨水調適之目的。本文以新北市智慧防汛平台為例，探討相關應用以及實務操作方法。

關鍵詞：淹水影像辨識、警戒管理值、雨水管理調適。

* 國立陽明交通大學土木工程學系博士班研究生

300 新竹市大學路 1001 號 · lavendbread0222@gmail.com

ADAPTIVE STORMWATER MANAGEMENT UNDER CLIMATE CHANGE: SMART FLOOD CONTROL APPLICATIONS IN NEW TAIPEI CITY

Xi-Jun Wang*

National Yang Ming Chiao Tung
University
Department of Civil Engineering

Sheng-Hsueh Yang

National Yang Ming Chiao Tung
University
Disaster Prevention & Water
Environment Research Center

Der-Ren Song

New Taipei City Government
Water Resources Department

Keh-Chia Yeh

National Yang Ming Chiao Tung University
Disaster Prevention & Water Environment
Research Center

Dong-Sin Shih

National Yang Ming Chiao Tung University
Department of Civil Engineering

ABSTRACT

Under the increasing threats of urban flooding disasters caused by climate change and extreme rainfall events, adaptive stormwater management has become a critical component of urban flood risk management. This approach involves the integration of hydrological monitoring data—such as rainfall and water levels—with advanced technologies including flood image recognition through intersection CCTV footage, real-time monitoring of rivers and regional drainage systems, and the operational status of pump stations. These data are transmitted via IoT networks to support an intelligent disaster prevention platform with geospatial visualization capabilities. By incorporating real-time monitoring data from regional drainage systems, stormwater sewer networks, and pumping equipment, a comprehensive urban catchment monitoring network can be established. This network enables the correlation and visualization of rainfall intensity, water level fluctuations, and pump operations. In addition, setting up warning thresholds and utilizing real-time data surveillance allows for automated alerts to be pushed to disaster response teams once values exceed predetermined thresholds, assisting emergency personnel in identifying potential disaster-inducing factors in advance. The system also enables proactive strategies such as the early activation of pumping stations and preparation of standby units, thereby enhancing the internal detention capacity of sewer systems and enabling early deployment for flood mitigation. These measures significantly improve emergency response capabilities, increase lead time for flood response, reduce inundation duration and probability, and ultimately enhance urban stormwater tolerance. This study uses the New Taipei City Smart Flood Prevention Platform as a case study to explore its applications and practical operation strategies, with the aim of advancing adaptive urban flood management and promoting the development of resilient cities.

Keywords: Flooding image recognition, Alert management value, Adaptive stormwater management.

Wang, X.J.*, Yang, S.H., Song, D.R., Yeh, K.C., & Shin, D.S. (2025). "Adaptive Stormwater Management under Climate Change: Smart Flood Control Applications in New Taipei City." *Journal of Taiwan Agricultural Engineering*, 71(3), 1-17. [https://doi.org/10.29974/JTAE.202509_71\(3\).0001](https://doi.org/10.29974/JTAE.202509_71(3).0001)

一、前言

氣候變遷造成極端降雨的發生已成為常態化，早期建設的都市雨水下水道其設計標準，在極端降雨下造成都市道路淹水也難以避免，甚至短時期內發生兩次以上，如新北市永和區局部低窪地區於 2023/6/16 及 2023/6/23，發生積淹水事件造成經濟損失與交通問題。在高度開發的都市之低窪區域，其排水能力之提升，受滯洪空間等基礎建設、道路下方之地下纜線與日常交通等因素影響，若要透過工程解決低窪地區之排水困境，則需要時間與經費等多方面配合，方能達到保護標準的提升。而在工程改善執行完成前，可使用都市智慧防災之非工程監測方式，透過即時監控數據進行都市雨水管理調適，以減少都市淹水發生次數及縮短排除淹水情況的時間。

在物聯網監測技術尚未普及時，都市內防災主要以雨量與河川或區域排水渠道水位觀測為主。如今物聯網通訊技術與設備已發展成熟，都市地區內除了雨量站與水位站外，尚有都市低窪地區路面淹水感測器與影像監測、雨水下水道水位監測、抽水站抽水機啟動監測與排水閘門啟閉監測與雷達回波監控等物件可以於都市調適與預防策略之使用。

在早期防災主要以雨量與河川水位流量進行關連對應，作為防災預警之依據。在方法層面，Mogil *et al.* (1978) 根據美國國家氣象局 (US National Weather Service, NWS) 所提供之集水區降雨特性，進行水文、水理演算，推估河道水位是否超過堤防高度，而造成淹水之臨界雨量，並根據此概念訂定汛洪指標 (Flash Flood Guidance, FFG)。Georgakakos (2004) 則以 Sacramento model 水文模型為基礎，考量集水區土壤特性以及土壤飽和後降雨逕流關係，繼而訂出集水區出流處之臨界雨量值。在水文模式使用上，Ntelekos *et al.* (2005) 利用 FFG 方法於小集水區，結合地表逕流門檻值圖 (threshold-runoff mapping) 與 Sacramento model 土壤飽和度之水文演算，討論水文資料之不確定性 (sources of uncertainty)。其又以水文模式之 Sacramento model 與 Monte Carlo 隨機特性繁衍出水文組合之不確定性分析，並以此擬定 FFG 操作方法，藉以提高準確性。Georgakakos (2006) 利用 FFG 系統分析方法，修正降雨量之體積與地表逕流之關係，以提升降雨與淹水之關係之準確性。NWS 根據此方法建立有效降雨與地表逕流而造成淹水之降雨門檻值。考量到實際應用，河川預報中心 (River Forecasting Centers) 利用每小時降雨逕流之關係曲線查詢方式，可以得到

各地淹水之降雨門檻值。此方法在全美國執行多年，透過各所在地點與雨量資訊系統，可以查詢到即時與氣象預報等資訊進而得知是否會有淹水發生。Reed *et al.* (2007) 考量實務應用，於 FFG 方法上增加洪水頻率 (flood frequency) 概念，並結合集水區雷達定量降雨估計 (quantitative precipitation estimates, QPE) 與定量降雨估計預測 QPF (quantitative precipitation forecasts) 技術，可判斷是否發生淹水情況。後也發展出網格化的 FFG, Gridded Flash Flood Guidance (GFFG) (Schmidt *et al.*, 2007) 與分布式的 FFG, Distributed Flash Flood Guidance (DFFG) (Clark *et al.*, 2014) 等技術。並透過實際情況修正來提供完整的預報和臨近預報系統 (Spyrou *et al.*, 2020; Varlas *et al.*, 2019; Varlas *et al.*, 2021) 該系統也已在全球範圍內得到應用，在南非、土耳其、印度以及東南歐等地實施了該系統 (Georgakakos *et al.*, 2022)。整體而言，FFG 系統易於理解和實施，因此被認為是改進快速洪水預警的實用手段 (Georgakakos *et al.*, 2022)。

在流域空間分析尺度上，從流域由縮小至都市地區，防災任務由 1-6 小時的 FFG，縮短至 0.5-2 小時之尺度時，因造成都市淹水往往都是在 0.5-2 小時以內之超滲降雨造成淹水情況。FFG 提供了預警準備時間，透過雷達回波資訊提供 (GFFG 與 DFFD)，緊接就是都市地區之區域對策研擬。在物聯網監測技術普及後，監測可以設在低窪區域路面或雨水下水道監測時，監測數據以 1 小時或 10 分鐘數據轉為 1 分鐘之數據，進一步建立雨量與雨水下水道水位之 FFG 作為都市雨水下水道溢淹示警系統為可行方法，可以掌握局部區域之降雨與雨水下水道水位之關連。因此，對都市雨水下水道水位監測系統可對都市雨水管理調適成為重要關鍵水情資訊。本文也在都市地區利用相似方法分析與概念加上經驗值訂出新北市雨水下水道之 FFG 管理，透過資訊整合介面作為應變時使用。另一方面，因應氣候變遷下之極端降雨，在都市防災應變上需要有區域與排水系統之決策輔助與即時應變系統規則建立，作為都市雨水調適與因應水文不確定性進行情境推延與策略研擬等因應作為。本研究根據上述對都市地區防災所面臨之防災預警時間問題，系統排水需要快速整合水情資訊與提供正確資訊進行應變，導入物聯網監測數據之資料，包含都市周邊雨量站、都市內雨水下水道水位監測與路面淹水感測器、閉路電視 (closed-circuit television, CCTV) 淹水影像辨識訂定分級物聯網之都市雨水下水道 FFG 警戒管理值，並利用整合資訊之排水下游出口之抽水站水位與抽水量，建立監測數據關連操作即時提示與警訊發佈，來

達到智慧城市之都市雨水管理調適與都市防災與減災之目的，相關研究方法與成果茲說明如下。

二、研究方法

都市雨水管理調適研究方法主要為，根據水情資訊進行 FFG 警戒管理值的設定與周邊監測設備資訊關連與連動，提前提出應變機制，將即水情監測資訊透過即時訊息傳遞至管理單位，使防災啟動即時應變傳遞與回報，降低與減少路面積淹水發生，研究流程，如圖 1 所示，包含雲端監測數據資料庫與後續資訊整合、系統展示與防災執行兩大主軸，說明如下：

2.1 雲端監測數據資料庫

雲端監測數據資料庫係利用政府開放資料與新北市建置感測器資料組合而成，主要分為天空、地面、路面下與抽水站啟動抽水量等四部分構成雲端監測數據資料庫與 GIS 空間資訊圖台展示其地理位置，相關說明：

1. 天空雨量資料主要來自中央氣象署之觀測資料，包含地面雨量站（點位）與雷達回波資料（面網格資料）與 QPESUMS 未來 1 小時預報降雨（網格資料），透過應用程式介面（Application Programming Interface, API）定時接收資訊至資料庫分類資料存放。

2. 地面有路面淹水感測器與 CCTV 監測與水位站、抽水站前池水位，均屬於點位資料，資料來源包含水利署河川水位資料、新北市政府區域排水水位資料與抽水站前池水位資料與路口 CCTV 等即時水位與影像。亦是透過 API 定時接收資訊至資料庫分類資料存放。
3. 路面下為雨水下水道水位與水深監測，資料來源新北市政府，亦是透過 API 定時接收資訊至資料庫分類資料存放。
4. 抽水站啟動抽水量：前池即時水位進行抽水站之抽水機組之待機、預抽與啟抽機制，使都市地區之雨水下水道提供最大滯洪空間，減少都市淹水時間與淹水發生機率。資料來源新北市政府，亦是透過 API 定時接收資訊至資料庫分類資料存放。
5. 地理資訊圖台：為空間系統展示，包含地理空間資訊與道路交通等路網，將基礎資料建構在網頁圖台上，將空間雷達回波、地面雨量站、水位站、路面淹水感測器、雨水下水道感測器、抽水站之抽水基礎資料等具有空間資訊之監測資料進行套疊與資料展示，形成水情資訊展示平台，可透過電腦與智慧型通訊手機取得空間即時資訊，作為都市雨水調適與洪水防災之即時資訊來源。

2.2 建構都市雨水管理調適

在都市地區，淹水事件大多由短延時強降雨所引發，而現行都市雨水下水道排水系統的集流時間大多

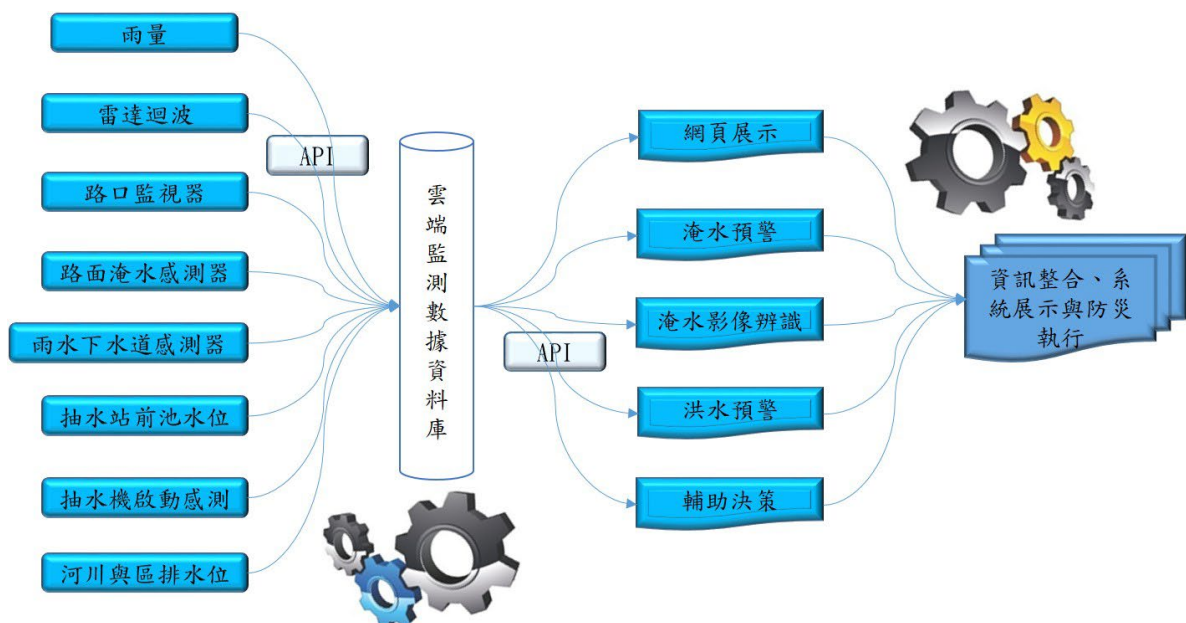


圖 1 研究流程圖

介於 10 至 30 分鐘之間，使得強降雨往往在淹水發生後才能被察覺，在都市防災時效性約有 30 分鐘之延時，加上淹水資料蒐集與傳輸延時，整體防災應變往往滯後約 1 小時。此一時間差導致淹水面積可能因持續降雨而擴大，進一步增加都市積水排除的難度。

為強化都市水患的即時應對與調適能力，本研究提出一套智慧型雨水管理調適方法。該方法整合四類水情資訊來源，包括：即時雨量觀測、雨水下水道水位監測、路面感測器之積淹水深度、以及 CCTV 影像之淹水辨識。透過這些資訊的警戒管理值設定與周邊監測設備資訊關連與連動，如圖 2 流程所示，建立一套可提早啟動應變的決策支援機制，進一步降低路面積水的發生與擴大風險。此研究方法不僅著重在災後資料分析，更強調災前與災中雨水管理的智慧調適策略，為提升都市對極端天氣事件之韌性提供可行解方。

1. 雷達回波資訊於都市雨水調適管理之應用:降雨為都市積淹水最主要之致災因素，因此在雨水管理調適策略中，雷達回波資訊作為最早期且具空間前瞻性的監測工具，具有關鍵性地位。雷達回波資料可提供每 10 分鐘更新一次之降雨強度資訊，空間解析度約為 1.25 公里，適用於即時掌握區域性強降雨發展動態 (如圖 3 所示)。本研究透過雷達影像所產生之空間強度網格圖，配合顏色與灰階強度進行視覺化判釋，建立對應之警戒管理值，作為預警參考依據。影像之灰階強度值可有效對應雷達回波反射強度 (dBZ)，進一步轉換為降雨強度等級，當回波強度超過特定閾值 (例如 50 dBZ)，即可視為高風險區域，提前啟動應變流程。此一方法可彌補

地面雨量站分佈稀疏所造成之空間監測不足，提升都市降雨預警系統之即時性與空間完整性，並作為啟動下游雨水下水道容量評估與抽水作業之依據，為智慧型雨水管理調適提供有效的資訊支撐：

$$R_{x,y} \geq 50 (dBz) \dots\dots\dots(1)$$

$$SR_{x,y} = \sum_{i=x-1}^{x+1} \sum_{j=y-1}^{y+1} R_{i,j} \geq SR \dots\dots\dots(2)$$

其中， R_{ij} 為網格點雷達回波強度， $SR_{i,j}$ 為周邊雷達回波強度累積，可能發生強降雨之範圍， x,y 為都市地區雷達回波之網格座標位置，如都市地區內之雷達回波之網格資料超過 50 dBz，可能發生短延時強降雨之可能性。SR 為雷達回波警戒管理值，可以歷史資料統計或防汛人員實務經驗訂定，如過去發生路面積水之歷史資料或防汛人員之實務經驗 (40 dBz)；本研究使用之經驗預設值 (40 dBZ)，主要根據防汛人員實務經驗：當雷達回波值為 40 dBZ 時，現場可能發生大雨情境，如降雨強度增加可能導致路面積淹水，故需進行預警。本研究 SR 設定原則係根據雨水下水道周遭路面是否有發生過積淹水，如有，則根據歷史資料進行設定，若未發生路面積淹水，採用經驗預設值。透過此資料進行預警提醒，與自動化追蹤可能局部強降雨區域，於地理資訊圖台套疊可得知都市哪些地區正在發生降雨情況，並透過鄰近 CCTV 影像確認實際降雨，如圖 3 所示。

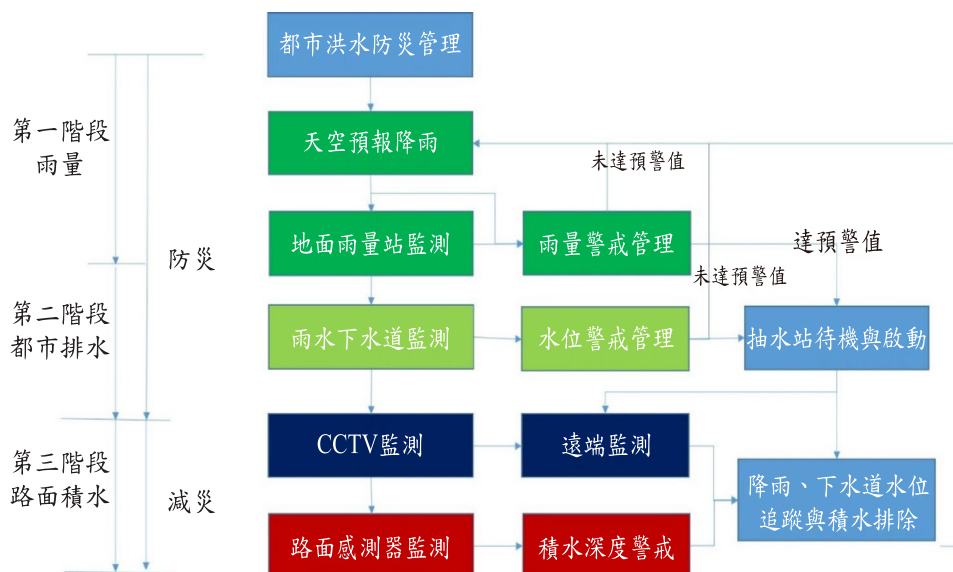


圖 2 都市雨水管理流程



統內部之滯洪空間。透過本機制可有效降低都市面積淹水事件之發生頻率、積水時間與範圍，提升整體都市排水系統於極端短延時強降雨情境下之調適與應變能力。此外，因本機制主要為藉由雨量風險閾值，當達設定之風險閾值進行降水位作業，以利增加雨水下水道滯洪空間，故本研究設定之新北市雨水下水道系統雨量風險閾值皆一致。

3. 雨水下水道管網監測，在都市環境中，雨量站空間分佈密度普遍偏低，通常每一行政區僅設定一座雨量觀測站，導致在面對空間分佈高度不均的強降雨事件時，現有雨量資料難以全面反映實際雨勢變化。為彌補此監測盲點，本研究進一步納入雨水下水道管網之監測機制，以強化整體水情掌握能力。透過雨水下水道系統之水理模擬分析，並參考歷次淹水事件紀錄，可識別出易發生管線滿流（即「滿管」）的關鍵節點。於此類人孔設定水位監測設備，實時掌握管內排水動態，進而建立各節點之警戒管理值。一旦水位達到預設警戒管理值，系統即發出預警訊息，作為後續現場應變與抽水排程之依據。此一以科學化方法導入之雨水下水道監測機制，能有效補足雨量站監測侷限，並提升都市排水系統在極端降雨下的預警能力與調適韌性。

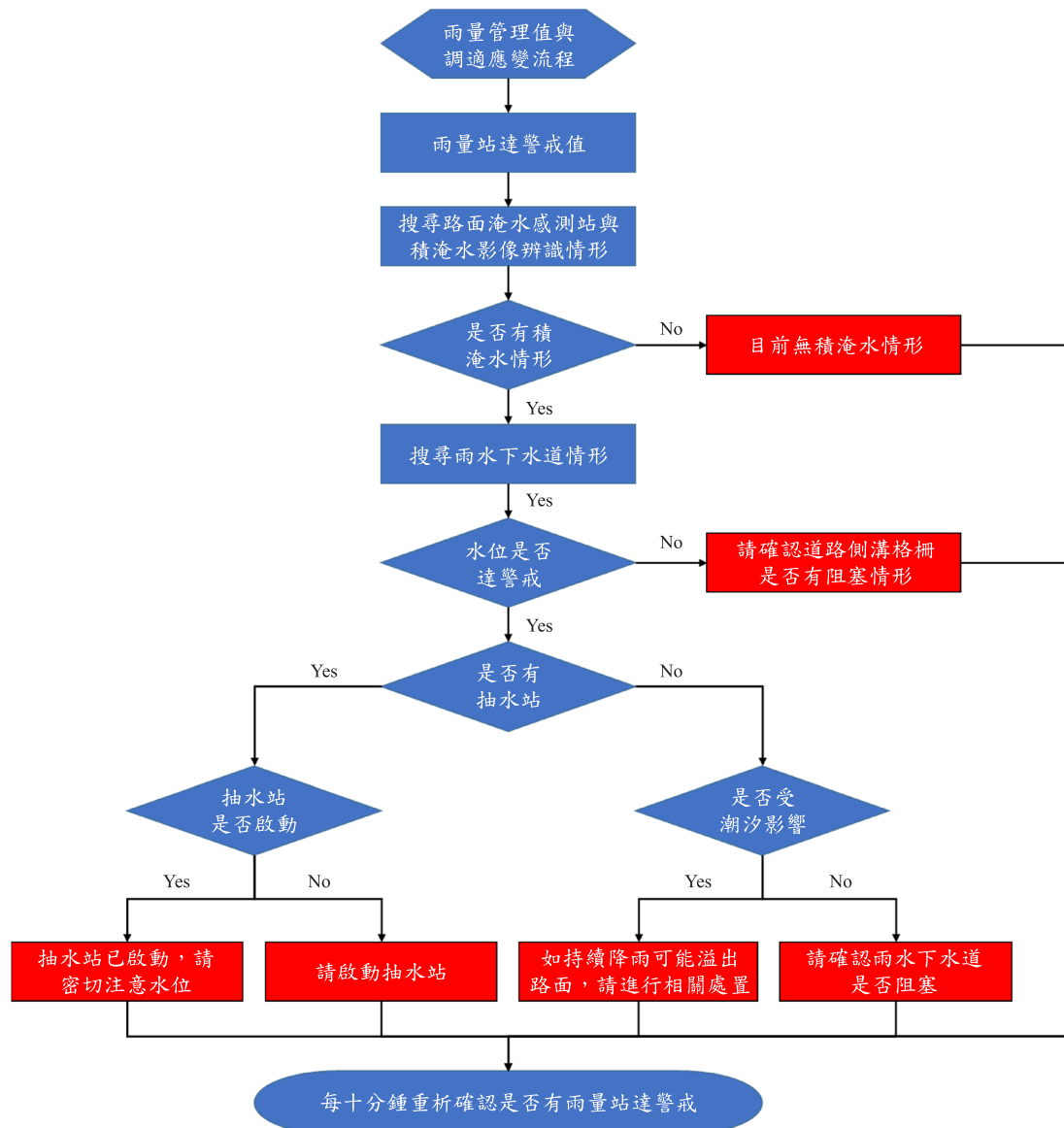


圖 4 雨量管理值與調適應變流程

$$PWD(t) = \begin{cases} < \frac{1}{2} PD \rightarrow \text{持續水位追蹤} \\ \geq \frac{1}{2} PD \rightarrow \text{抽水站待機與抽水、監測與推估雨量} \\ \geq \frac{2}{3} PD \rightarrow \text{抽水站持續抽水降水位與增加滯洪空間、注意路面冒水} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(3)$$

其中， $PWD(t)$ 為放置於人孔處水位計，監測雨水下水道管徑內之水深。 PD 為雨水下水道警戒管理值，以管徑尺寸大小之半滿管、滿管之因地制宜加以設定，相關管理與應變流程如圖 5 所示。而當水深達警戒管理值時發送訊息至特定防汛群組

進行預警提醒，而水深資訊傳輸頻率由原本 10 分鐘一筆資料，縮短監測時間至每分鐘進行水位追蹤趨勢直到狀況解除，主要為提醒抽水站與水門操作，提前進行抽水站之抽水機待機與啟動因應，使都市雨水下水道能夠有更多排除市區內之雨水滯

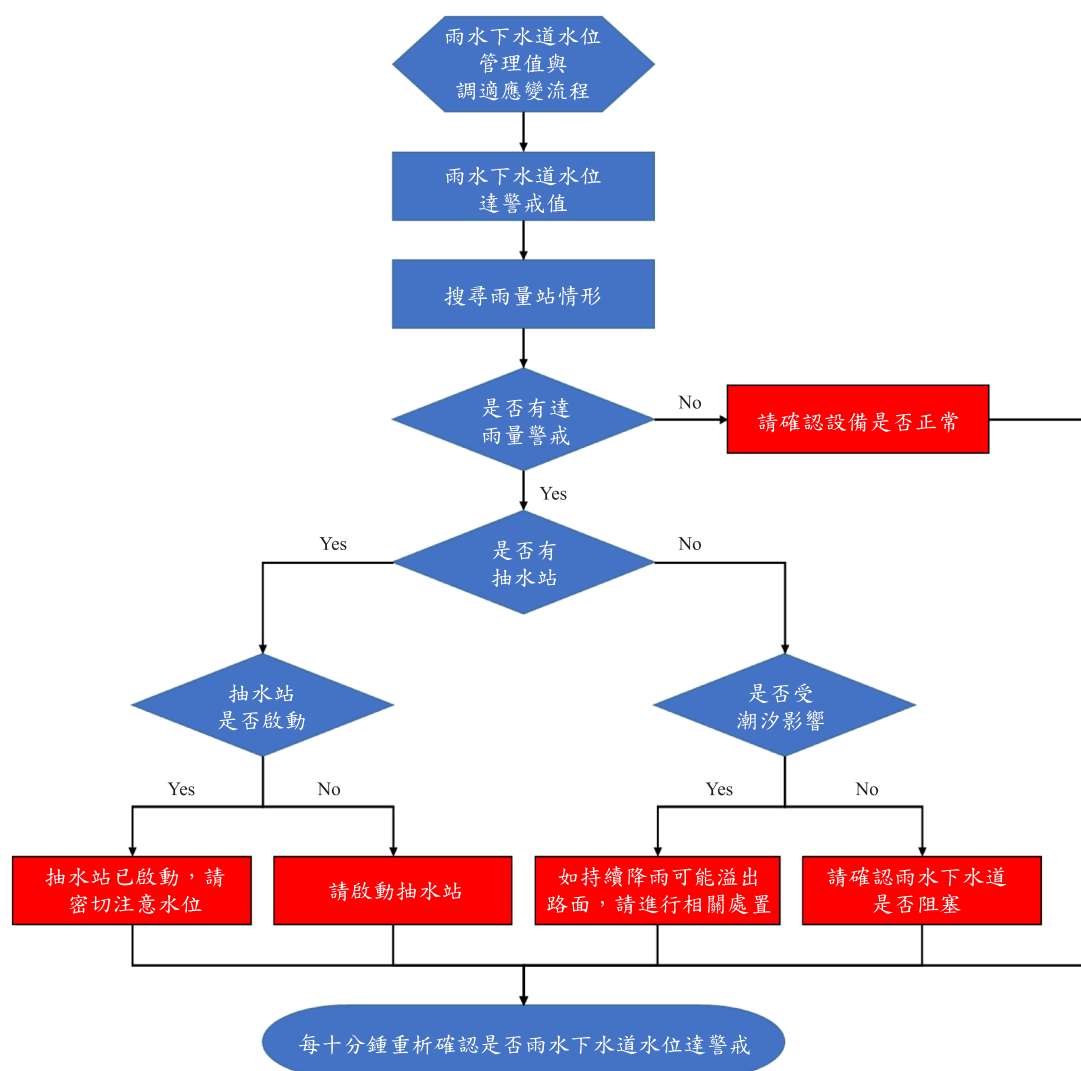


圖 5 雨水下水道管理值與調適應變流程

洪空間，降低路面積淹水發生機率。

4. 路面淹水感測與管理調適機制：為即時掌握都市地區路面積淹水情形，本研究根據於歷史淹水熱點與地勢低窪區域之路面淹水感測器，當感測器偵測到水位且達警戒管理值時，代表該處已出現初步積水現象，啟動後續之水情追蹤與應變機制，如圖 6 所示。系統將即時比對該區鄰近雨水下水道之水位資訊，判斷是否處於滿管狀態。若水位尚未達滿管，則可能為道路側溝淤塞或局部阻水所致。此時，通知村里長或地方防汛人員進行現地檢查與清理作業，可有效排除局部積水。同時，最下游之抽水站亦同步啟動抽水作業或進入待命狀態，以提前釋放雨水下水道系統內部之滯洪容量，以縮短積水滯留時間，減輕對交通通行與民生活動之影響。此一多層次應變策略，整合了感測技術、排水系統監控與

抽水站操作，有助於提升都市排水系統的調適能力與即時應變效率。

$$D(t) = \begin{cases} > \text{二級警戒} \rightarrow \text{持續水位追蹤與降雨情況} \\ > \text{一級警戒} \rightarrow \text{現場狀況排除、抽水站啟動情況確認} \end{cases} \dots\dots\dots(4)$$

其中， $D(t)$ 為隨時間之路面水深監測，平時每 10 分鐘為監測間距，一旦達到警戒值時則轉為每分鐘傳回監測數據追蹤其歷線變化。一級與二級警戒因地制宜訂定，如一級警戒 10 公分，已有路面積水情況。二級警戒 5 公分，可能道路側溝堵住積淹水已接近路面，如裝設位置位於局部低窪處，可適當調整一級與二級警戒。

5. CCTV 影像與人工智慧於淹水辨識之應用：都市地區之監視攝影系統 (Closed-Circuit Television,



圖 6 路面感測器、路口淹水影像辨識管理與調適應變流程

CCTV) 廣泛設定於道路路口，主要用途為交通流量監控與公共安全管理。由於 CCTV 所拍攝之影像涵蓋道路表面，因此亦可視為一類視覺型感測器，可用於辨識路面積淹水情況。本研究將 CCTV 即時影像導入自動化接收系統，進行淹水影像之蒐集與分析。為提升影像辨識效率與準確性，採用深度學習架構中的遷移學習技術，並以 Google Inception V3 模型為基礎進行影像分類與訓練。透過標註資料集之訓練過程，模型可逐步學習淹水特徵樣態，最終取得具代表性之特徵向量，進行即時

淹水影像之分類辨識 (分析流程如圖 7 所示)。此一方法結合現有都市監控基礎設施與人工智慧技術，可在無需新增大量硬體設備的前提下，大幅提升都市雨水管理調適之智慧化與即時性，對於災中資訊判讀與即時應變具高度應用潛力。分析步驟如下：

- (1) 蒐集不同情境之 CCTV 影像，進行影像資料儲存，主要分為白天、晚上、晴天與雨天等各種情境影像蒐集，如圖 8 所示。
- (2) 選用人工智慧深度學習之卷積神經網路

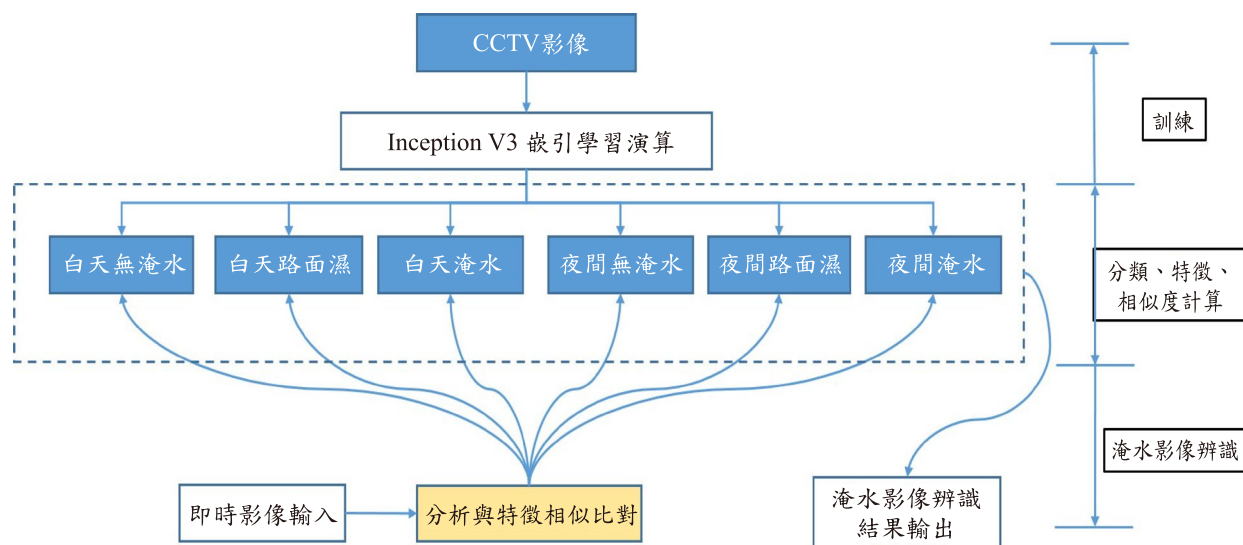


圖 6 淹水影像辨識分析流程示意 (AI 技術：Google Inception V3)

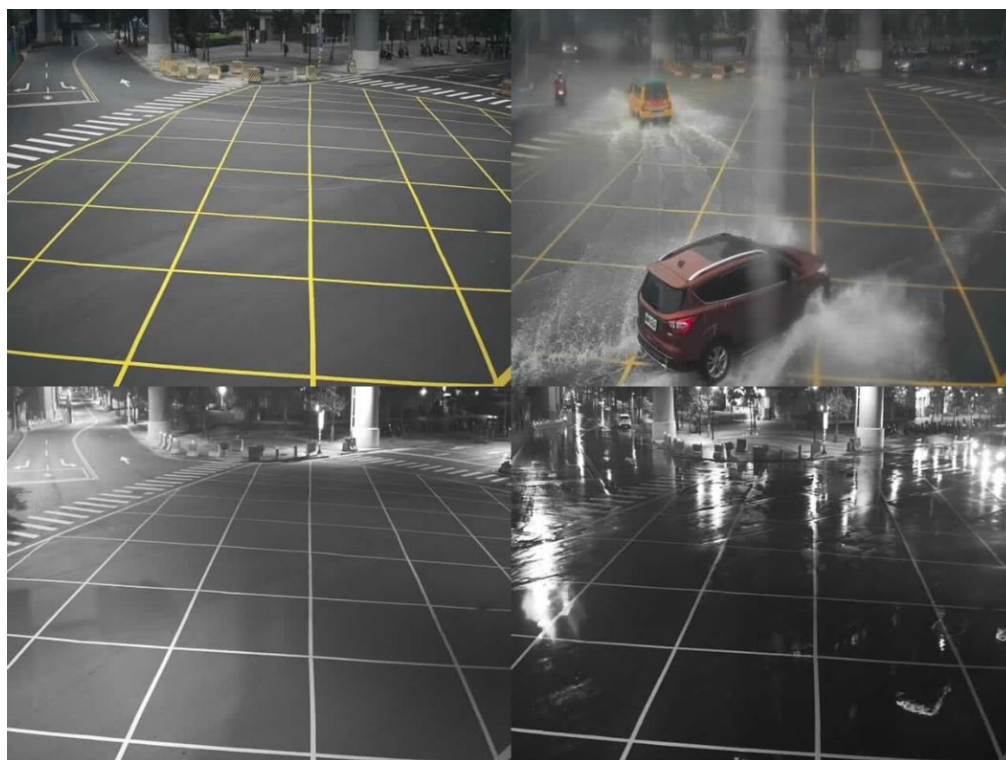


圖 7 蒐集 CCTV 不同情境影像示意

(CNN) inception v3 遷移學習的訓練與預測工具取得各種情境下淹水與否之特徵。

- (3) 事先將各影像資料進行分類與個別進行學習與訓練：每一 CCTV 位置透過事先的影像擷取，分為六個資料夾群組，進行特徵學習與遷移學習特徵積淹水與否，透過大量影像資料經深度學習後，獲得影像形成特徵數據資料串，供後

續即時影像資料帶入時之快速相似度比對。

- (4) 積淹水影像辨識學習完成後，透過自動擷取影像程式，於降雨時定時擷取遠端 CCTV 影像進行淹水影像判斷。若辨識結果有道路積淹水情況則進行即時影像提醒與建立關連區域之雨量、雨水下水道感測器、抽水站內水位等情況，通報鄰近村里防災人員進行淹水情況排除。

三、研究成果

3.1 研究範圍

本研究以新北市作為研究區域，該市為臺灣地區人口最多之直轄市，總面積約 2,053 平方公里。新北市轄區範圍涵蓋多樣地形與都市發展型態，如圖 9 所示，其主要都市計畫區集中分佈於淡水河沿岸，由下游河口段之淡水、八里，向上游延伸至蘆洲、三重、五股、新莊、板橋、中和、永和、新店、土城、三峽、鶯歌與汐止等區，皆為高度都市化地區。該區域主要受春夏交接之梅雨鋒面、夏秋之午後對流降雨與颱風所影響，短延時強降雨頻繁，對既有排水設施形成高度挑戰。因應此一情勢，本研究整合雨量、水位、影像等多源監測數據，建置雲端資料庫平台，發展出包含網頁式資訊展示、即時淹水預警、CCTV 影像辨識與洪水預測模組之多功能決策支援系統。本系統已能主動推播潛在淹水熱點位置，並即時整合現地監測資料進行風險評估與管理提醒，進一步提升都市雨水管理與防災應變之即時性與智慧化程度。以下將針對本研究於新北市建立之整體都市雨水管理調適系統與具體應用成效進行說明與分析。

3.2 新北市智慧防災雨水管理調適實作成果與成效分析

為有效掌握都市區域淹水風險與即時雨水管理，本研究建立一套涵蓋天空、地表與地下水文資訊之整合型監測系統，並如圖 10 與圖 11 所示，展示其空間配置與視覺化成果。監測資訊依水文流程自天空降雨、道路地表至地下雨水系統分為三大類，說明如下：

3.2.1 天空降雨資訊整合與警戒應用

天空降雨資訊主要整合雷達回波、地面雨量站與氣象預報等資料源，涵蓋新北市及鄰近臺北市共 128 處地面雨量站，並經由資料格式轉換後即時展示於網頁平台。系統同時設定多項降雨警戒值，包括雷達回波強度達 50 dBZ (圖 10 中深紅色區域)、未來一小時預報雨量超過 40 mm、地面雨量站一小時累積雨量超過 40 mm 等情況，進行圖示與顏色監控空間資訊。圖 11 顯示 112 年 9 月豪雨事件期間之系統執行成果，右上角小圖顯示即時降雨情況，右下角 CCTV 顯示即時現場情況，左上則顯示下水道水位變化；左下為抽水站抽水狀況，包括抽水機啟用數量與前池水位變化；中上及中下方則為路面淹水感測器及關連區域排水水

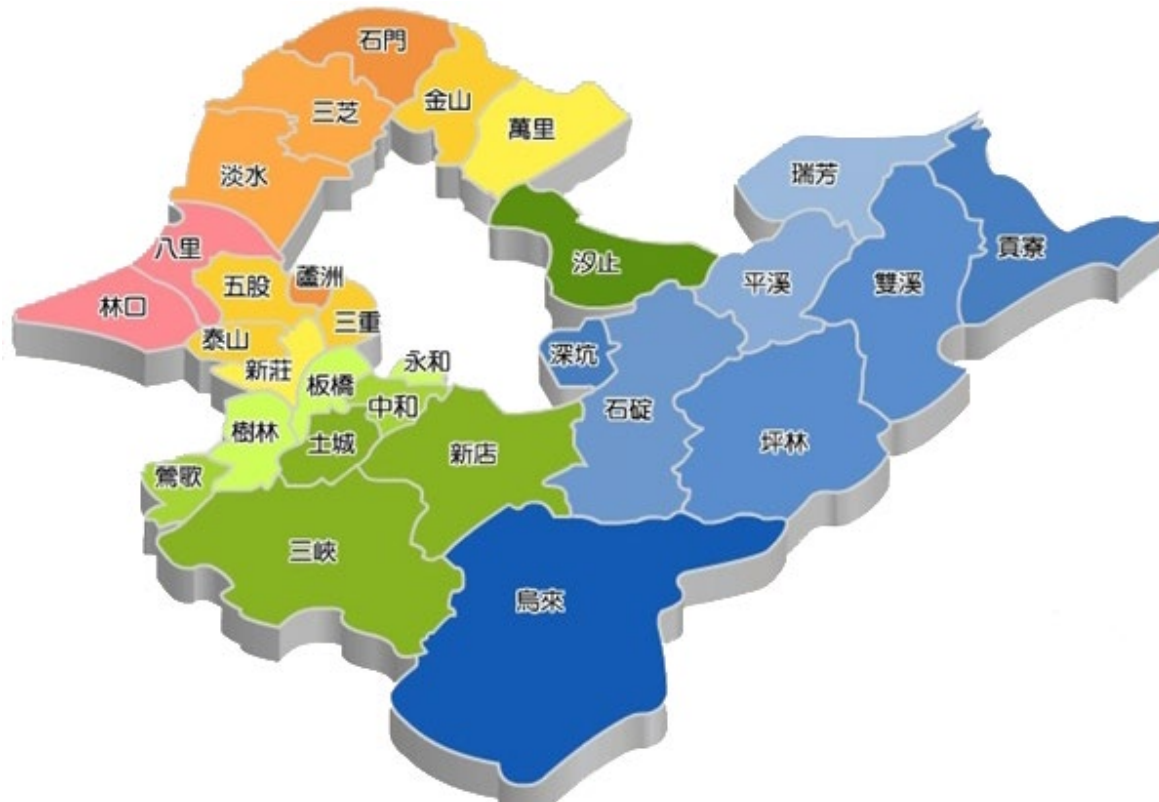


圖 8 新北市轄區與範圍示意

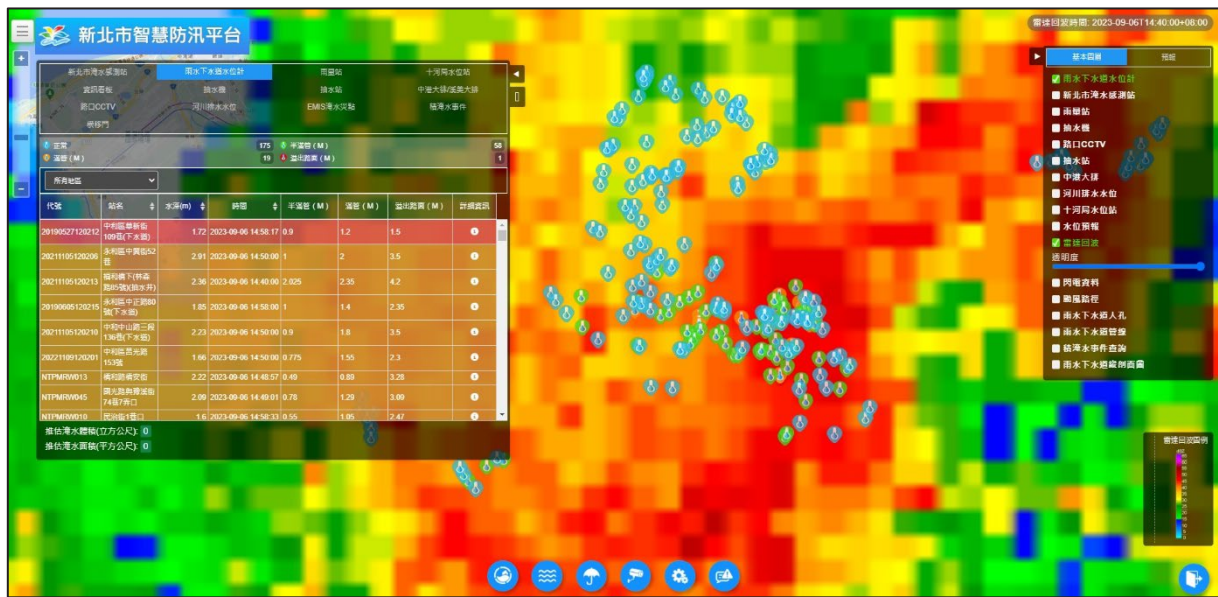


圖 9 新北市監測設備空間分布與展示示意



圖 10 監測設備與周邊水情資訊整合

位。該系統並結合自動化防汛通報群組，將警戒雨量及相關水情即時通知防汛應變人員。根據 111 年至 112 年間統計，透過雨量警戒提前啟動抽水站進行預抽操作之次數高達 104 次，有效降低都市淹水風險，提升整體防災應變效能。

3.2.2 雨水下水道監測與抽水站調適操作

都市雨水調適管理核心在於掌握雨水下水道之即時水位情況。在過去發生都市淹水積淹水主要有兩種情況，一為雨水人孔冒水後發現雨水下水道滿管、另

一為雨水下水道滿管後，道路側溝迴水淹出路面。而發現此情況時都市地區道路都已經發生積水現象，時效上僅能快速排除都市雨水積淹。因此，為能有效掌握時效與降低區域水患問題，本研究導入預抽水調適策略，主要方法為將雨水下水道關聯之抽水站提前抽水增加雨水下水道滯洪空間，容受更多的都市雨水進入雨水下水道，以降低積淹水發生機率與受積淹水影響時間，以維持市區交通正常。執行如圖 5 之流程圖與圖 11 (左上與左下小圖) 為雨水下水道系統之雨水下水道監測網與抽水站關連分析，透過雨水下水管道

網系統之半滿管、滿管等水位，搭配各抽水站前池（或管線內水位）位置，進行雨水下水道監測系統與抽水站抽水機開啟數量之連動操作。

以永和抽水站雨水下水道管網為例，於不同幹線上裝設 3 處雨水下水道感測器，如有任一處感測器因降雨達到半滿管之情況，啟動永和抽水站內 5 台抽水機之其中一台進行抽水，一台待機、以快速排除雨水下水道管內之雨水流量，隨後若降雨持續，則依據雨水下水道水位上升速率及降雨量大小，依序開啟抽水機與一台待機來增加抽水量，排除永和市區之雨水量，以抽水機 3 CMS 為例，一小時則可排除市區雨水下水道之 $3.0 \text{ m}^3/\text{sec} \times 3600 (\text{sec}) = 10800 \text{ m}^3$ 之都市雨水，相當於中小型滯洪池，來增加都市雨水下水道之容受能力。

於 111 年至 112 年間，執行過 56 次雨水下水道之降水位操作，如圖 12 所示，主要位於感潮河段之三重、蘆洲、板橋、中和、永和等區域，藉由進行抽水站預抽，此操作可讓都市雨水調適得到降低水患之效果。

3.2.3 道路積淹水監測與影像辨識應用

道路淹水監測系統整合路面感測器與即時 CCTV

監控影像（圖 13、圖 6 所示），進行多重驗證與智慧判斷。

1. 路面淹水感測器為新北市政府水利局依照過去發生積淹水位置設置超過 110 處路面淹水感測器，進行路面積水監測，亦設定積水深度警戒管理值，如深度 5 公分為預警並啟動局內通報與追蹤、10 公分則為啟動區里長進行現場情況排除。如圖 13 所示，為偵測到路面積水（上中小圖）、淹水之初始歷線與影像（右下小圖）。為確保資料正確，如圖 6 尚會增加降雨資料的確認，可避免誤報之發生。確認之後逐步查詢鄰近雨水下水道之水位狀況，若雨水下水道無滿管情況，則可初步判斷格柵可能受阻，請里長前往協助積水排除。反之，則會請抽水站加開抽水機，快速降低雨水下水道之水位。而同樣情況也用於淹水影像辨識使用。
2. 展示平台內之 CCTV 影像來源為新北市交通局、新聞局與水利局之影像，共約 400 處 CCTV 即時影像。從當中歷史淹水區域或具高淹水潛勢共 160 處 CCTV 影像進行積淹水影像辨識，如圖 13 左圖，於降雨期間，固定時間會進行遠端影像抓取、執行



圖 11 雨水下水道之抽水站降水位操作

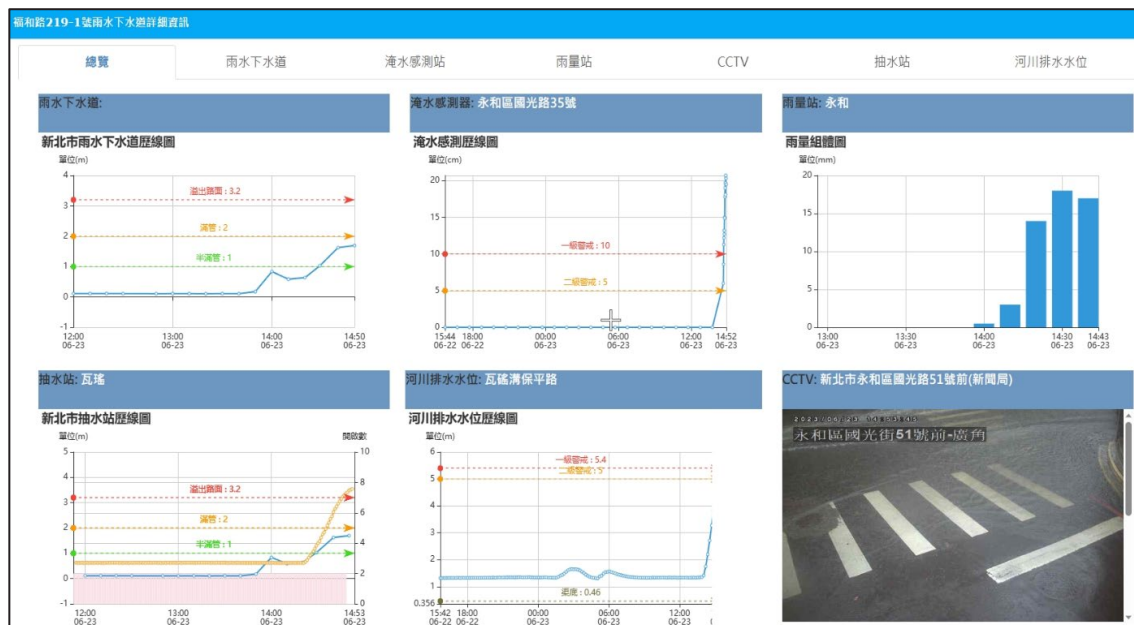


圖 12 路面淹水感測器淹水後之整合資訊

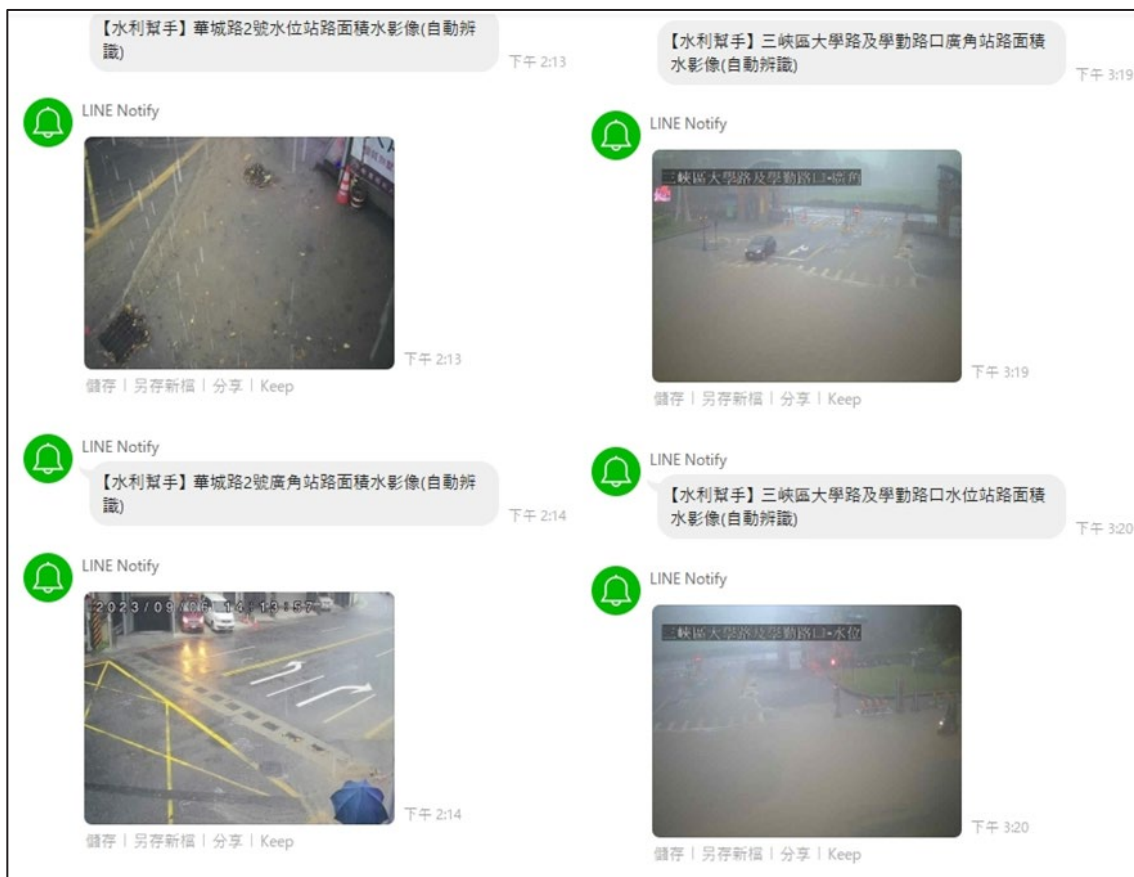


圖 13 淹水影像辨識與即時資料傳送

淹水影像辨識。當辨識為路面積淹水影像時，則自動化將現場影像傳送至防汛群組，如圖 14 所示，

同時也提供即時影像與連結下游抽水站、區里長、防汛志工在安全情況下對現場積水情況進行系列

表 1 淹水影像辨識發布之對應雨量站紀錄表

雨量單位：mm

發布淹水影像位置	對應之雨量站	時間	十分鐘雨量	三十分鐘雨量
樹林區佳園路三段 145 巷	桃改台北分場	2023/6/24	19.5	48.5
		2023/7/11	17	40.5
		2023/7/19	14	26
		2023/8/10	20	52.5
		2023/8/11	20.5	40.5
		2023/8/19	12	31
		2023/8/20	27.5	74
		2023/9/6	11.5	32

排除因應。

於 111-112 年間汛期，透過道路淹水監測系統整合路面感測器與即時 CCTV 監控影像，其中路面淹水感測器發佈了 67 則警戒通知，而淹水影像辨識發佈了 193 則淹水影像至防汛群組，通知防汛人員進行現地檢查與清理作業，排除局部積水。同時，最下游之抽水站亦同步啟動抽水作業或進入待命狀態，以提前釋放雨水下水道系統內部之滯洪容量，以縮短積水滯留時間。並透過當下發佈淹水影像之同時，並記錄其對應之雨量站 10 分鐘與 30 分鐘最大累積雨量，如表 1 所示，可作為修正該區域雨量管理之設定值。如樹林區佳園路三段 145 巷該區域，歷史 10 分鐘與 30 分鐘雨量發生積淹水情況之最小雨量值分別為 11.5 mm 與 26 mm，故可依較保守考量，將雨量管理之設定值，10 分鐘雨量設定大於 10 mm 與 30 分鐘雨量設定大於 25 mm 進行警戒通知，以利防汛人員可及早針對該區進行應變處置。

四、結果與討論

本研究針對新北市雨水管理調適，整合智慧水情監測平台之多元資料，根據新北市智慧防汛平台資料進行關聯式系統即時管理與應變，建立即時資訊傳遞與應變決策架構，並搭配人力與物力執行都市可能之積淹水狀況排除，且注重每一細節的發展過程與管理對策，並依據 110 年至 112 年汛期期間實際應用成果進行分析與討論。藉由空間分佈綿密之感測設備，結合自動化資訊整合與決策推播機制，提升都市防汛調適之效能。以下分別就雨量監測、雨水下水道水位感測、路面淹水感測與 CCTV 影像辨識等四大面向，說明實際之資訊連動運作機制與成效：

1. 整合式資訊連動與智慧防汛應變機制建構，因應氣候變遷，傳統以人力為主之水情監視與應變方式已不敷現代都市防災需求。因此，本研究透過與各單位之需求訪談，建立一套以監測資料為基礎之資訊整合平台，並將警戒值觸發後之應變程式流程化。透過自動化之推播與資料串接，可即時提供包括抽水站管理科、河川計畫科、雨水下水道科與高灘地管理處等部門防汛決策依據，協助執行水門啟閉、抽水調節、河川水位監控與市區下水道運作等任務，發揮跨單位整合與即時調控之效益，有效降低都市積淹水風險，維持交通順暢與民眾生活秩序。
2. 當雨量站達警戒管理值時，於智慧防汛平台與推播主動通報之運作情況。為雨量達到預警時，新北市水利局內細節資訊包含淹水感測器路面情形、路面與路口影像辨識結果推播出有無積淹水情況。若有積淹水則對雨水下水道管網內之雨水下水道感測器即時水位情況，若處於低水位，確認區里之道路側溝格柵是否阻塞、若為高水位，確認下游抽水站之抽水情況，並推播抽水站抽水量、待機情況或無抽水站之是否受潮汐漲退影響，若降雨持續則預計幾分鐘後可能發生雨水溢出路面情況，請進行可能積淹水後之相關處置。
3. 雨水下水道感測器警戒時運作情況，水位達警戒管理值時，自動帶出周邊關聯之雨量站實際的降雨情況，若降雨未達警戒，則進行設備確認是否異常。反之則聯繫最鄰近抽水站之抽水情況或判斷水位是否為潮汐影響，進行後續都市內雨水情況確認與追蹤，藉以縮短都市積水時間與積淹水情況發生，避免影響到都市交通與民生活動等狀況。
4. 路面淹水感測器與 CCTV 淹水影像辨識為系統即時反映地面積淹水情況之重要依據。當路面淹水感測器或影像辨識達警戒值時，此情況為已有積淹水

情況，而積淹水時間長短與雨量有關係，因此，系統將即時整合降雨趨勢與雷達回波強度，推估積淹水持續時間與範圍擴張潛勢，是否會使積淹水範圍擴大或不影響交通與民生情況。同時同步顯示雨水下水道水位與抽水站運轉狀況，提供決策者完整判斷依據，是否通知村里長進行格柵清除或加開抽水設備等應變措施，使防汛人員各司其職，短時間內排除積水等情況。

綜合上述，透過水情監測與管理值設定與自動化資訊連動概念提供不同單位在水情資訊上之整合，本研究建構之智慧雨水管理調適架構，成功實現都市水患應變機制數位化、即時化與精準化。透過多元資料交叉比對與推播機制，提升淹水應變時效，亦促進跨單位防災協作，有效落實智慧城市之雨水管理調適與防災預警功能。

五、結論與建議

1. 本研究整合水情資訊強化決策效能，所建置之新北市智慧防汛平台整合多源資料，包括雷達回波、QPESUMS 定量降水預報、雨量站、雨水下水道感測器、路面淹水感測器、路口 CCTV 影像辨識、抽水站水位監測與啟動資訊、以及河川與區域排水水位等。透過空間資訊圖台展示與感測器警戒值即時連動推播，實現動態監測與決策支援之自動化流程。
2. 在都市雨水調適之防災階段上，建構預警型主動調適機制，從過去被動蒐集資料轉為主動水情資訊管理。智慧防汛平台可透過雨量與下水道水位的關聯邏輯進行即時風險判斷，對應都市排水系統 1 小時 60~80 mm 設計容受度，設定 10 mm/10 min 及 40 mm/hr 之雨量為關鍵監控閾值。一旦達標，即自動啟動預警通知、比對鄰近下水道監測水位並檢查是否進入半滿管以上之高風險階段。此時將觸發抽水站先期啟動或備用機組待命等作業，使雨水下水道能夠容納更多滯洪空間，降低路面積淹水時間與範圍與發生積淹水機率等。
3. 在都市雨水調適之減災階段上，建立自動監控與即時通報，過去淹水發生時主要透過當地居民通報後再處理，在處理時效上已經有延遲。智慧防汛平台導入路面積水感測器與 CCTV 影像辨識，可實現積水即時監控與通報自動化。當積水深度達 5 cm，系統即啟動預警與局內通知機制，達 10 cm 則連動區里長即時應變作業。平台自動比對積水點周邊雨

水下水道水位與抽水站啟動狀態，並同步傳送影像與警訊至防汛應變群組，有效縮短災中處置時間，提升整體災害應變效率。

4. 本研究建置之智慧防汛平台透過資料整合、智慧警戒管理與視覺化展示，降低以往需跨機關手動查詢與確認設備狀況所需之行政成本與應變時間，並內化歷年防汛經驗，建立標準化預警與應變邏輯。此模式不僅強化新北市作為智慧城市在防洪災減災上的能力，更可作為國內都市型區域因應氣候變遷風險之政策典範，有助於強化城市韌性與降低災損風險。

參考文獻

1. Abrahart, R.J., See, L.M., and Solomatine, D.P., "Practical Hydroinformatics: Computational Intelligence and Technological Developments in Water Applications." Springer, 2008.
2. Ashrafi, M., Chua, L.H.C., Quek, C., and Qin, X., "A Fully-online Neuro-fuzzy Model for Flow Forecasting in Basins with Limited Data." *J. Hydrol.*, 545, pp.424-435, 2017.
3. Chang, D.L., Yang, S.H., Hsieh, S.L., Wang, H.J., and Yeh, K.C., "Artificial Intelligence Methodologies Applying to Prompt Inundation Estimation and prediction." *Water*, 12,12,3552, 2020.
4. Chang, L.C., Amin, M.Z.M., Yang, A.N., and Chang, F.J., "Building ANN-based Regional Multi-step-ahead Flood Inundation Forecast Models." *Water*, 10, 1283, 2018.
5. Clark, R.A. *et al.*, "CONUS-wide Evaluation of National Weather Service Flash Flood Guidance Products." *Weather Forecasting*, 2014.
6. Dahm, R.J., Hsu, C.T., Lien, H.C. Chang, C.H., and Prinsen, G., "Next Using Generation Flood Modelling 3Di: A Case Study in Taiwan." *Proceedings of the 25th DSD International Conference*, 2014.
7. Georgakakos, K. P., "Mitigating Adverse Hydrological Impacts of Storms on a Global Scale with High Resolution, Global Flash Flood Guidance." *Australian Meteorological Society*, Brisbane, Australia, pp.23-30, 2004.
8. Georgakakos, K. P., "Analytical Results for Operational Flash Flood Guidance." *Journal of Hydrology*, 317, pp.81-103, 2006.
9. Georgakakos, K.P. *et al.*, "The Flash Flood Guidance

- System Implementation Worldwide: A Successful Multidecadal Research-to-operations Effort.’ *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 103, pp. E665-E679, 2022.
10. Ghorbani, M.A., Zadeh, H.A., Isazadeh, M., and Terzi, O., “A Comparative Study of Artificial Neural Network (MLP, RBF) and Support Vector Machine Models for River Flow Prediction.” *Environ. Earth Sci.*, 75, 476, 2016.
11. Han S. and Coulibaly, P., “Bayesian Flood Forecasting Methods: A Review.” *J. Hydrol.*, 551, pp.340-351, 2017.
12. HEC-RAS (US Army Corp. of Engineers). Available Online: <https://www.hec.usace.army.mil/> (accessed on 5 May 2019).
13. Hsu, M. H., Lin, S. H., Fu, J. C., Chung, S. F., and Chen, A. S., “Longitudinal Stage Profiles Forecasting in Rivers for Flash Floods.” *Journal of Hydrology*, 388, pp.426-437, 2010.
14. Kim, H.I., Ho J.K., and Han, K.Y., “Real-time Urban Inundation Prediction Combining Hydraulic and Probabilistic Methods.’ *Water*, 11, 2,:293, 2019.
15. Liang Q.H. and Smith, L.S., “New Prospects for Computational Hydraulics by Leveraging High-performance Heterogeneous Computing Techniques.” *Journal of Hydroinformatics*, Vol. 28, pp.977-985, 2016.
16. Liu, L., Liu, Y., Wang, X., Yu, D., Liu, K., Huang, H., and Hu, G., “Developing an Effective 2-D Urban Flood Inundation Model for City Emergency Management Based on Cellular automata.” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15, pp.381-391, 2015.
17. Lo, S.W., Wu, J.H., Lin, F.P., and Hsu, C.H., “Visual Sensing for Urban Flood Monitoring. *Sensors*.” 15, pp.20006-20029, 2015.
18. MIKE (DHI). Available Online: <https://www.mikepoweredbydhi.com/mike-2019> (accessed on 5 May 2019).
19. Mogil, H.M., Monro, J.C., and Groper, H.S, “NWS’s Flash Flood Warning and Disaster Preparedness Programs.” *Bulletin of the American Meteorological Society* 59, pp.690-699, 1978.
20. Mount, N.J., Maier, H.R., Toth, E., Elshorbagy, A., Solomatine, D., Chang, D.F.J., and Abrahart, R.J., “Data-driven Modeling Approaches for Social-hydrology: Opportunities and Challenges Within the Panta Rhei Science Plan.” *Hydrol. Sci. J.*, 61, pp.1192-1208, 2016.
21. Norbiato, D., Borga, M. Esposti, S. D., Gaume, E., and Anquetin, S., “Flash Flood Warning Based on Rainfall Thresholds and Soil Moisture Conditions: An Assessment for Gauged and Ungauged Basins.” *Journal of Hydrology*, 362, pp.274-290, 2008.
22. Ntelekos, A. A., Georgakakos, K. P., and Krajewski, W. F., “On the Uncertainties of Flash Flood Guidance: Toward Probabilistic Forecasting of Flash Floods.” *Journal of Hydrometeorology*, Vol.7, pp.896-915, 2005.
23. Reed, S., Schaake, J., and Zhang, Z., “A Distributed Hydrologic Model and Threshold Frequency-based Method for Flash Flood Forecasting at Ungauged Locations.” *Journal of Hydrology*, 337, pp.402-420, 2007.
24. SOBEK or 3Di (Deltares). Available online: <https://www.deltares.nl/en/software/sobek/> (accessed on 5 May 2019).
25. Spyrou, C., Varlas, G., Pappa, A., Mentzafou, A., Katsafados, P., and Papadopoulos, A., “Implementation of a Nowcasting Hydrometeorological System for Studying Flash Flood Events: the Case of Mandra,” *Greece. Remote Sensing*, 12, 2784, 2020.
26. SWMM (US EPA). Available online: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm> (accessed on 5 May 2019).
27. Varlas, G., Anagnostou, M.N., Spyrou, C., Papadopoulos, A., Kalogiros, J., and Mentzafou, A., “A Multi-platform Hydrometeorological Analysis of the Flash Flood Event of 15 November 2017 in Attica.” *Greece.Remote Sensing*, 11, 4, 2019.
28. Varlas, G., Papadopoulos, A., Papaioannou, G., and Dimitriou, E., “Evaluating the Forecast Skill of a Hydrometeorological Modelling System in Greece.” *Atmosphere*, 12, 902, 2021.
29. Yang, C., and Chen, C., “Application of Integrated Backpropagation Network and Self-organizing Map for Flood Forecasting.” *Hydrol. Process.*, 23, pp.1313-1323, 2009.
30. Yu, Y., Zhang H., and Singh, V.P., “Forward Prediction of Runoff Data in Data-scarce Basins with an Improved Ensemble Empirical Mode Decomposition (EEMD) model.” *Water*, 10, 4, 388, 2018.

收稿日期：民國 114 年 05 月 18 日
修改日期：民國 114 年 05 月 23 日
接受日期：民國 114 年 05 月 28 日