



# 物聯網 即時監測 與 社群軟體 推播服務應用於 新北市智慧防汛

王嘉和／國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心 副研究員

何浩維／國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心 專任研究助理

張倉榮\*／國立臺灣大學生物環境系統工程學系 教授

黃茂松／新北市政府水利局 總工程司

宋德仁／新北市政府水利局 局長

楊昇學／國立陽明交通大學防災與水環境研究中心 副研究員

葉克家／國立陽明交通大學防災與水環境研究中心 客座教授

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

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

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

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

## 極端降雨與都市水利防災之挑戰

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

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

\* 通訊作者，tjchang@ntu.edu.tw

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

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

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

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

## 水利防災預警方法的發展

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

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

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

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

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

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

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

## 新北市智慧防汛平台

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

### 雲端監測數據資料庫

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

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

地面水情資料則包含路面淹水感測器、閉路監視

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

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

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

### 都市雨水管理調適

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

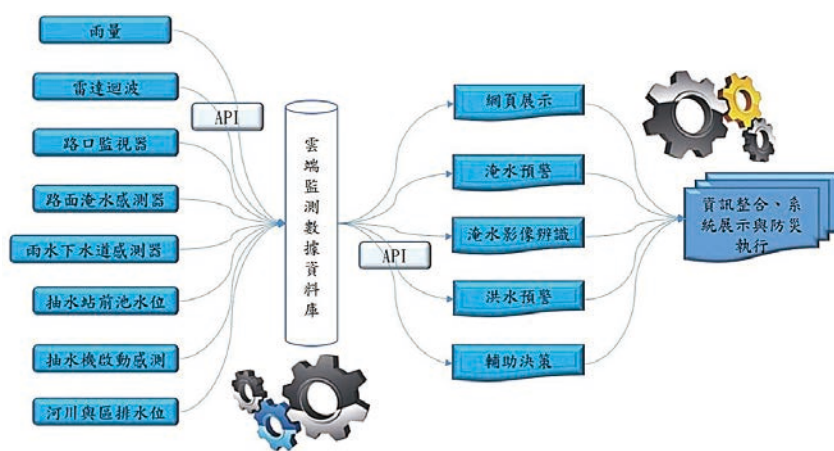


圖 1 新北市智慧防汛平台系統流程架構<sup>[5]</sup>

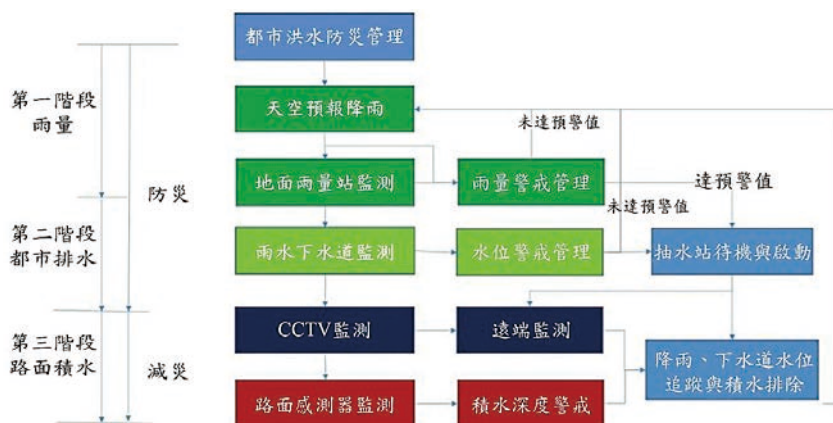


圖 2 都市雨水調適管理流程<sup>[5]</sup>

### 雨量監測與對應作為

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

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

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

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

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

標門檻。

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

### 下水道管網監測與對應作為

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

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

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

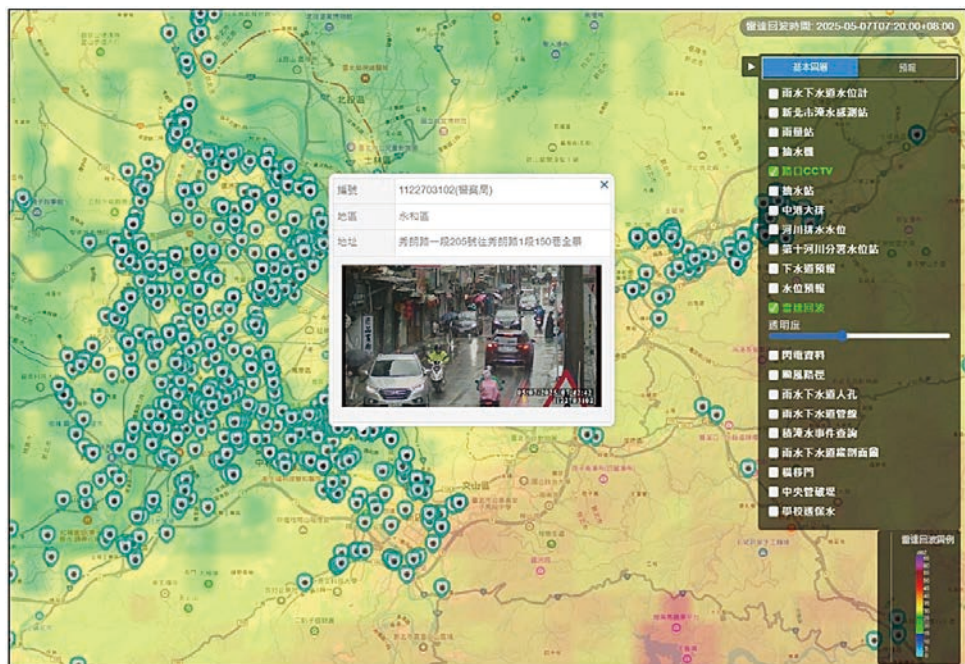


圖 3 雷達回波與 CCTV 即時影響確認<sup>[5]</sup>

其他因應作為準備，如圖 4，達到降低路面積淹水發生機率的成效。

### 路面淹水感測與管理調適機制

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

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



圖 4 雨水下水道水位預警推播通知<sup>[5]</sup>

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

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

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

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

### 都市暴雨即時模擬預報服務平台

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

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

### 細胞自動機快速淹水模型

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

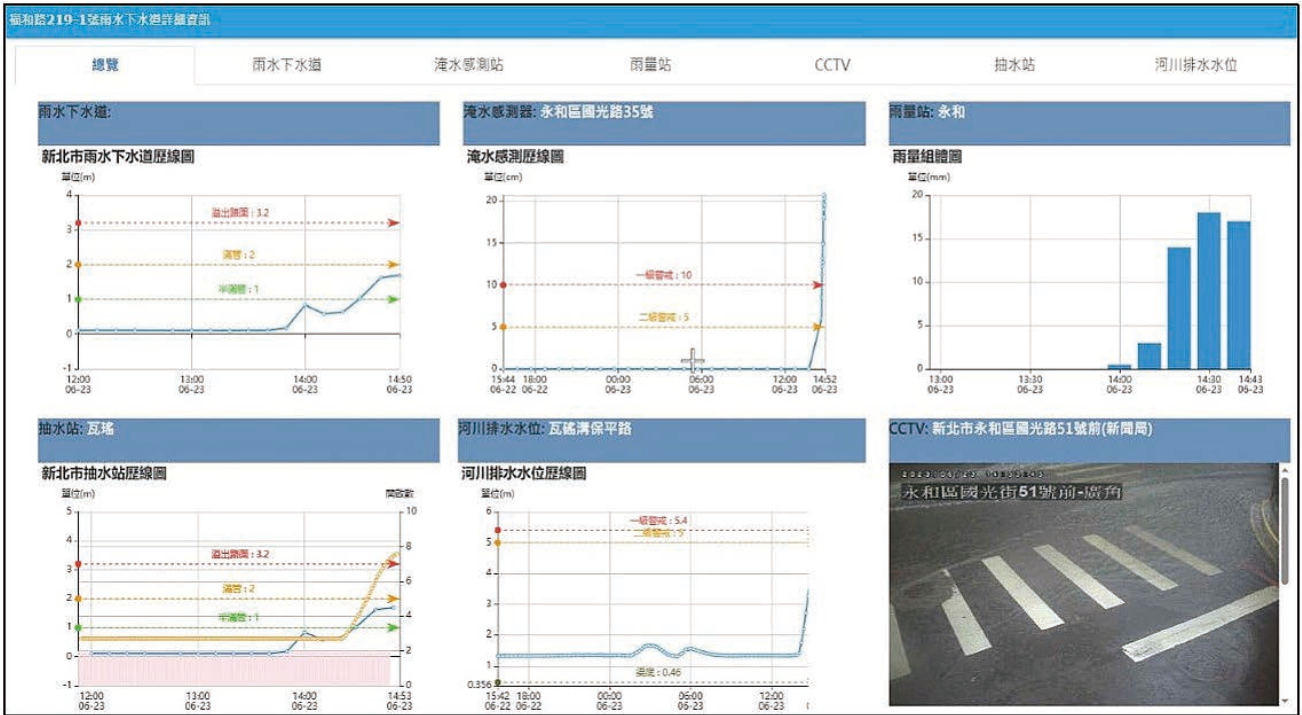


圖 5 智慧防汛平台整合資訊介面 [5]

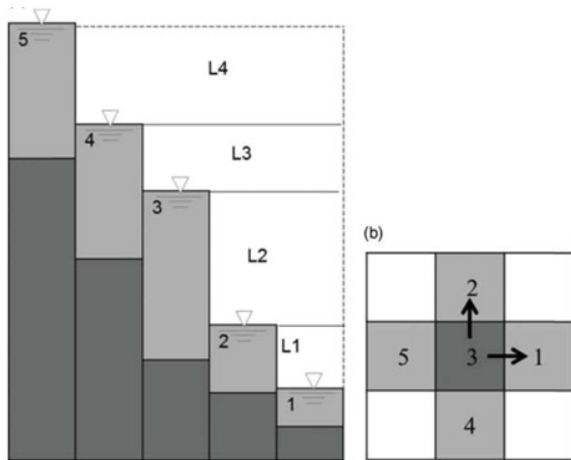


圖 6 細胞自動機快速淹水演算法示意圖 [8]

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

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

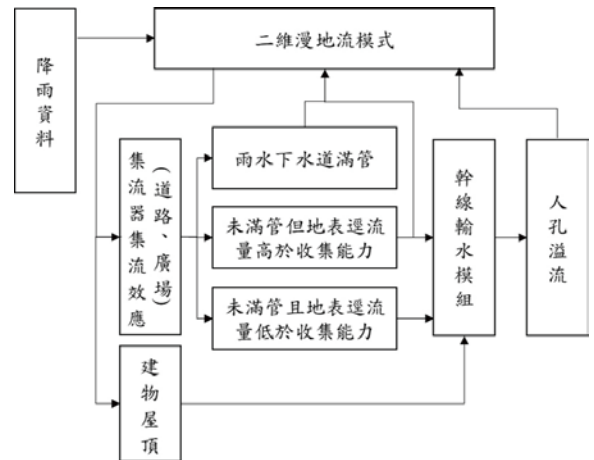


圖 7 漫地流模式與下水道模式銜接架構 [9]

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

### 都市暴雨即時模擬預報展示

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

### 淹水預報

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

### 雨量地圖

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

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

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



圖 8 即時淹水預報資料查詢介面

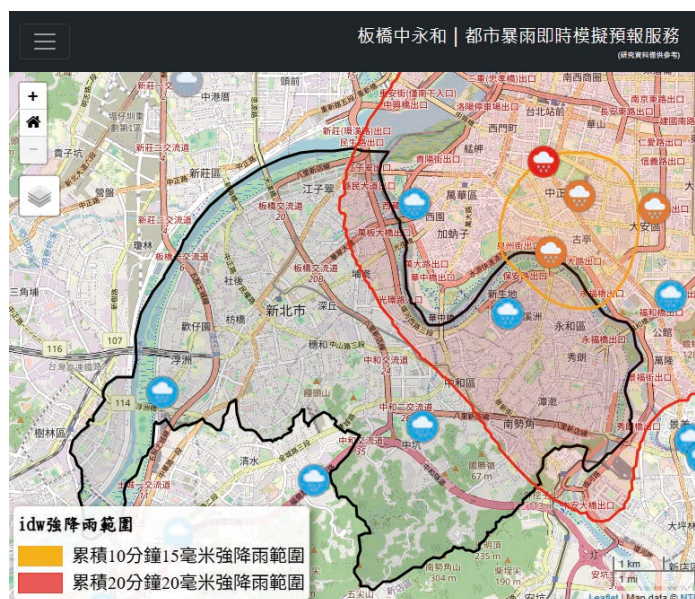


圖 9 強降雨 IDW 範圍圖

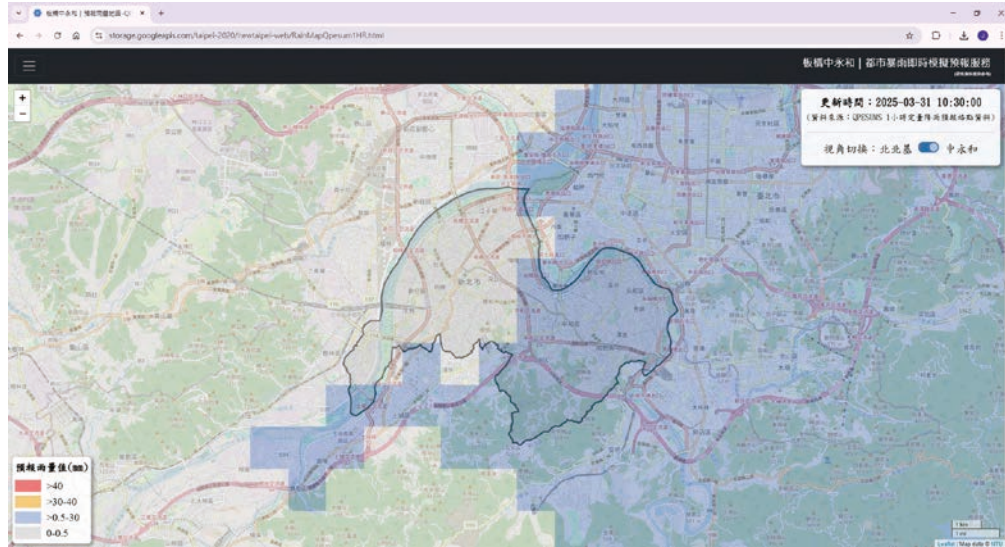


圖 10 即時 QPESUMS 預報雨量展示介面

### 歷史淹水回顧

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

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

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

### 警戒訊息推播服務

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

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

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

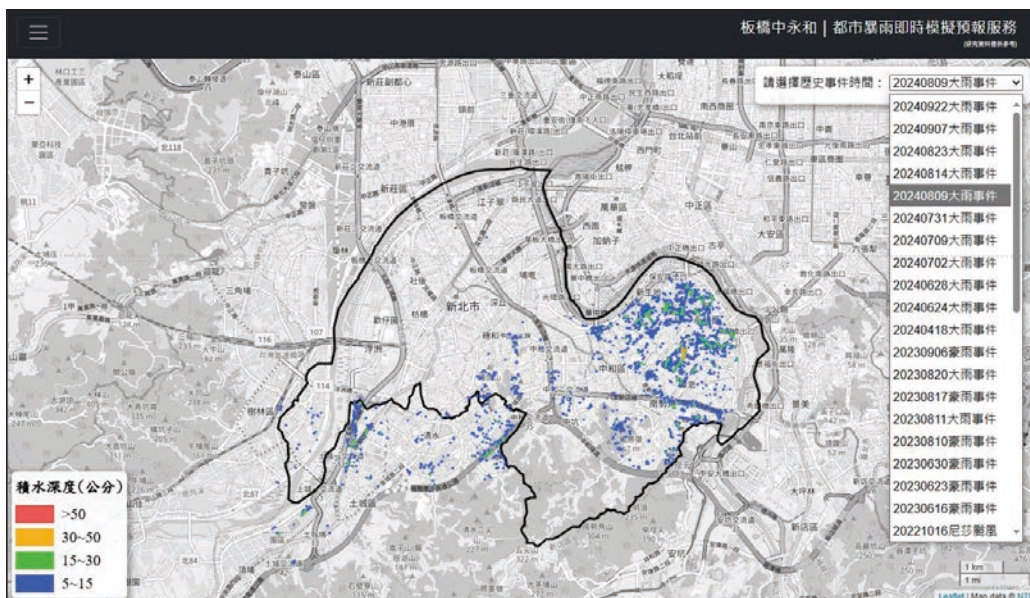


圖 11 歷史淹水事件模擬資料查詢介面



圖 12 1 小時累積雨量超過 40 mm 警戒推播



圖 13 20 分鐘累積雨量超過 20 mm 警戒推播



圖 14 淹水模擬預警推播

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

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

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

## 結語

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

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

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

## 參考文獻

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