

建置作業化城市尺度閃洪災害預警模組

Implementing An Operational High-Performance Forecasting System for City-Scale Pluvial Flash Floods

國家災害防救科技中心 坡地洪旱組

Slopland and Hydrology Division, National Science and Technology Center for Disaster Reduction

摘要

閃洪是一種快速淹水現象，主要由暴雨、雷雨或颱風等惡劣天氣系統引起的強降雨所引起。閃洪致災的原因與地形、土地使用和基礎建設有關，是臺灣最具破壞性的自然災害之一。此類洪水通常在數分鐘至數小時內發生，對人口密度高的大範圍平原都會地區構成嚴重威脅。為提早期預警閃洪災害，本專案應用有限元素數值方法建立一種高性能二維水動力模式，並結合包括天氣研究和預報 (Weather Research and Forecasting) 模式、暴雨管理模式 (Storm Water Management Model) 及地圖式視覺化之展示軟體。為精確模擬城市規模的閃洪災害，預警模式採用 1 公尺解析度的地形資料，由追報之歷史淹水事件可知，模擬積淹水區域與調查數據相當吻合，證明預警模組的可靠性和準確性。作業化高效能預警模組可於 8 至 10 分鐘內完成計算未來 24 小時是否可能發生都市尺度閃洪災害，預警成果每 6 小時更新，並提供相關之視覺化預警資訊。此預警模組的開發，有助於提高臺灣閃洪災害預警及應對能力，進而保障人民生命財產安全。此外，預警模組亦可做為未來城市防洪規劃與設計之參考工具。

關鍵字：城市尺度、閃洪災害、作業化預警模組、二維水動力模式

ABSTRACT

A pluvial flash flood is rapid flooding induced by intense rainfall associated with a severe weather system, such as thunderstorms or typhoons. Topography, land use & land cover, and infrastructure account for pluvial flash floods. Pluvial flash floods are among the most devastating natural disasters in Taiwan, and these floods always occur within a few minutes or hours of excessive rainfall. Pluvial flash floods usually threaten large plain areas with high population densities; therefore, there is a great need to implement an operational high-performance forecasting system for pluvial flash flood mitigation and evacuation decisions. This study developed a high-performance two-dimensional hydrodynamic model using the finite-element method and unstructured grids. The operational high-performance forecasting system comprises the Weather Research and Forecasting (WRF) model, the Storm Water Management Model (SWMM), a two-dimensional hydrodynamic model, and a map-oriented visualization tool. The forecasting system employs digital elevation data with a 1-m resolution to simulate city-scale pluvial flash floods. The extent of flooding during historical inundation events derived from the forecasting system agrees well with the surveyed data. The operational high-

performance forecasting system predicts pluvial flash floods in the subsequent 24 h within 8–10 min and forecasts updates every six hours.

KeyWords: city scale, pluvial flash flood, operational high-performance forecasting system, two-dimensional hydrodynamic model

一、前言

閃洪 (flash flood) 是由極端暴雨引起的快速洪水，可以透過短時間尺度與一般的淹水或洪水事件做區隔，研究顯示，閃洪淹水通常短於六小時 (Yin et al., 2016)。在颱風、季風或西南風 (特別是在臺灣) 盛行期間，閃洪是全球範圍內普遍可能發生的自然災害，對於擁有大面積低窪或平坦地區的都會區而言，氣候變遷將很大程度上加劇閃洪災害的強度和頻率，並提高其所帶來的損失 (The University Corporation for Atmospheric Research, 2010)。因此，對災害防救業務工作而言，亟需開發一個作業化高效能都會尺度的閃洪預警模組，以降低淹水災損，並提供疏散避難的最佳時間與路徑。

二、專案研究方法

在淹水模擬中，由於垂直水深尺度遠小於水體的水平方向尺度，因此，透過求解深度平均之二維淺水方程組 (動力波) 足以模擬大範圍的積淹水流動 (Chang et al., 2021; Chen et al., 2019)。本專案基於 Zhang et al. (2016) 所開發的 SCHISM (semi-implicit cross-scale hydroscience integrated system model) 模式中，垂直平均水平二維 (2DH) 和擬似一維 (quasi-1D) 之模擬功能，建置 SCHISM-FLOOD-2D 閃洪預警核心水動力模式，用於追報或模擬強降雨引發之城市尺度瞬時淹水。圖 1 為作業化高效能閃洪預警模組之運作流程圖及其組成模式元件。

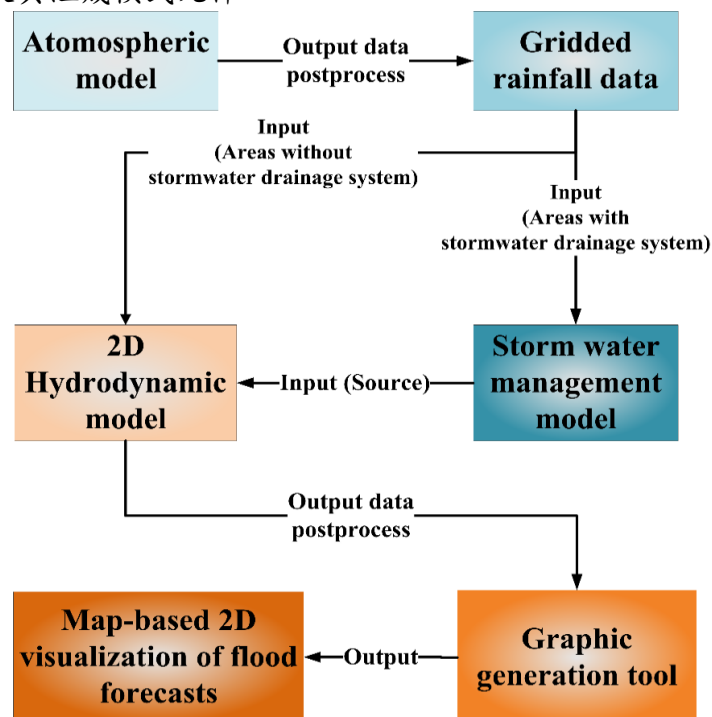


圖 1、作業化高效能閃洪預警模組之流程圖與其主要組成模式

三、 專案亮點成果

為考慮雨水下水道系統對都會區短延時、強降雨涵容內水與排洪之能力，本專案應用暴雨管理模式 (Storm Water Management Model, SWMM) 耦合二維水動力模式 (SCHISM-FLOOD-2D)，成為一個完整之都會尺度閃洪預警分析水文水理模組，並作業化產出示警成果。SWMM 為美國環保署 (U.S.EPA) 公開發行 (open source) 之軟體，已被廣泛應用於規劃、分析和設計都市區域或非都市區域之暴雨逕流排水系統、混合流式下水道系統及其它排水系統，並可用以模擬都市區域因單一事件或長期 (連續) 降雨事件衍生之逕流所引起水量變化現象。在導入暴雨逕流模組後，都會區閃洪預警可於 8 分鐘內，完成過去 24 小時積淹水模擬及未來 24 小時積淹水預警，結合三維建物，可進行 4D (立體三維加上時間) 數位視覺化展示，民眾可易於掌握閃洪警戒點位。本專案最大年度亮點即是提出一個平行計算的高速預警模組，並克服使用二維動力波進行大區域暴雨暴洪模擬時，過於耗時的重大弱點，亦填補目前研究與實際應用之間的技術落差。圖 2 為 2022 年 9 月 11 至 13 日，臺北市士林區閃洪模組預警中度颱風梅花，可能造成部分道路積水事件之空間分布。



圖 2、都會區閃洪預警 2022 年梅花颱風期間臺北市部分道路可能之積水分布

四、 結論與建議

本專案開發了一個新的作業化高性能都會尺度閃洪預警模組，並用於臺灣都會區平地致災性水動力現象預警，核心二維水動力模式 (SCHISM-FLOOD-2D) 採用基於 CPU 的平行計算技術，並結合具備 5 公里水平網格間距高解析度的區域氣象預報模式 (WRF)，預測降水空間分布與時間序列、都會區暴雨管理模式 (SWMM)，分析都會區雨水下水道排洪能力，並應用高解析視覺化程式軟體，對預警的淹水範圍和深度進行四維展示處理。民眾可透過地圖式導向之二維視覺化呈現，檢視未來 24 小

時內可能發生閃洪災情之區域。本專案所開發之預警模組可提供從降雨到淹水發生時，城市尺度之高精度淹水分析與評估，以便更有效地進行疏散避難工作。預警模組目前已於國家災害防救科技中心作業化運行，並用於城市尺度的閃洪預警，未來將會持續建置更多因惡劣天氣所引起、與水有關的大範圍災害或危害的作業化預警模組。此外，透過都會區綿密的街道監控閉路電視 (CCTV) 網絡與衛星影像，可用於立即驗證閃洪預警成果，可大幅減少災後現場調查之誤差。

五、參考文獻

1. Chang, T.-Y., Chen, H., Fu, H.-S., Chen, W.-B., Yu, Y.-C., Su, W.-R., Lin, L.-Y. (2021). An Operational High-Performance Forecasting System for City-Scale Pluvial Flash Floods in the Southwestern Plain Areas of Taiwan. *Water*, 13(4), 405.
2. Chen, Y.-M., Liu, C.-H., Shih, H.-J., Chang, C.-H., Chen, W.-B., Yu, Y.-C., Su, W.-R., Lin, L.-Y. (2019). An Operational Forecasting System for Flash Floods in Mountainous Areas in Taiwan. *Water*, 11, 2100.
3. Yin, J., Yu, D., Yin, Z., Liu, M., He, Q. (2016). Evaluating the impact and risk of pluvial flash flood on intra-urban road network: A case study in the city center of Shanghai, China. *J. Hydrol.* 2016, 537, 138–145.
4. The University Corporation for Atmospheric Research. *Flash Flood Early Warning System Reference Guide*; The University Corporation for Atmospheric Research: Boulder, CO, USA, 2010.
5. Zhang, Y., Stanev, E.V., Grashorn, S. (2016). Unstructured-grid model for the North Sea and Baltic Sea: Validation against observations. *Ocean Model.*, 97, 91–108.