

提升即時淹水模擬效能之研究

The Study on Enhancing Real-Time 2D Flooding Simulation Efficiency

主管單位：經濟部水利署水利規劃試驗所

張哲豪¹ 沈志全¹ 許至聰² 陳柏愷³ 王俊傑⁴

Che-Hao, Chang¹ Jhih-Cyuan, Shen¹ Chih-Tsung, Hsu² Bo-Kai, Chen³ Chun-Chieh, Wang⁴

¹ 國立臺北科技大學

摘要

為使預報成果與現地情況更加相似，水規所針對系統中運算結構及資料進行盤點，藉由資料分析調整部分系統結構，以提升即時淹水模擬效能。本計畫將持續搜集國內外文獻，以瞭解運算結構及改善方法，藉由歷年的計畫成果中，發現影響即時淹水模擬的主要因素，包含基礎資料來源、模式架構與作業化平台等三大條件，並整理出目前提供即時淹水模擬預報的方式，其可區分為：「以二維淹水模式進行即時演算」，以及「透過事先演算成果，提供最相似的淹水模擬成果」二種。

針對運算結構部份，除參考 AHPS 的淹水潛勢圖發展案例進行外，另以 Google 為例，其透過 Machine learning (ML) 與遙測影像資料，結合水文與水理模式，提供高解析度洪水預報 (Nevo et al. 2018) 之概念，與 JACOBS 公司透過 Flood Cloud 搭配 Parallel Works 平行運算技術提供，作為後續淹水模式效能提升的參考文件。

而在水理模式演算機制部份，影響即時淹水模擬準確性的因素大致上可分為模式演算方法、地文資料以及降雨逕流模組三方面的影響，配合逐步建立智慧河川、智慧防汛等 IoT 設備，預期將有大量即時現地資觀測資料，即時觀測資料在線上做為修正依據，提高淹水模擬結果的準確性，透過既有 Deltares SOBEK 淹水模式，以及新世代整合型淹水模式 DFlow-FM 進行模式比較。

最後則將以臺南地區即時二維淹水模擬作為標的，以近年來在該地區致災的數場颱風事件進行測試，分析預報結果並檢討改善方法，以期找出提昇即時淹水模擬效能之方向。

關鍵詞：即時淹水預警、IoT、SOBEK、DFlow

Abstract

In recent years, with the improvement of hydrological observation technology, many hydrological observation techniques have been gradually applied to drainage planning. WRPI has verified the hydrological model applicable to Taiwan through the verification of the local observation data. Also, through the establishment of the SOP of building the hydrological model, the accuracy and computational efficiency of the hydrological model was able to improve.

To implement regional flood prevention, since 2015 Water Resources Planning Institute (WRPI) has used the results of the third-generation Flood Inundation Map to build the integrated platform for the application of high-performance 2D inundation simulation called "Flood Early Warning System." It has successfully integrated the FEWS_Taiwan to the Flood Inundation Map. In the system, the SOBEK model for Taichung City and Tainan City in Flood Inundation Map uses the forecast data of the CWB to predict the possible flooding range for the next three hours. After integrating SOBEK 2D flooding mode, FEWS_Taiwan has improved the flooding mode from static situational simulation to dynamic real-time data simulation through immediate and forecasted rainfall information, which is a crucial milestone for early warning of flooding areas. As the computer computing speed increases, the use of FEWS_Taiwan has stabilized the scheduling capability, coupling with a fast parallel computing architecture and the stable update of the basic data that improves the correctness and calculation speed of the model, the goal of instant flood warning can be achieved.

In order to make the forecasting results faster and simulation similar to the local situation, this year WRPI evaluation and analysis the operational system structure and data of the system and adjusts part of the system structure by data analysis to improve the efficiency of the real-time flooding forecasting.

The project will continue to collect domestic and foreign literature to understand the computing structure and improvement methods, through the previous years' project achievements, found the main factors affecting real-time flood simulation, including the basic data source, model structure and operational platform.

For the computing structure part, there are two suggested directions at this stage: one is the flexible expansion and reduction of computing resources; the other is to remove computing resources for other requirements during non- typhoon flooding.

In the part of the hydraulic model calculation mechanism, the factors affecting the accuracy of real-time flooding simulation can be roughly divided into three aspects: the model calculation method, the geographic data and the rainfall-runoff module. At the same time using new hydraulic model D-Flow FM (base on the opensource model) to testing the possibility of 2D flooding simulation model transfer in the future.

Finally, the real-time 2D flooding simulation in Tainan area will be used as a target to test several flood events in the area in recent years, analyze the forecast results and review the improvement methods to find out the effect of improving the immediate flooding simulation.ed.

Keywords : real-time flooding simulation, hydraulic model, SOBEK, DFlow-FM

一、前言

現階段為使預報成果與現地情況更加相似，本所針對系統中運算結構及資料進行盤點，藉由資料分析調整部分系統結構，以提升即時淹水模擬效能。本計畫持續搜集國內外文獻，以瞭解運算結構及改善方法，藉由歷年的計畫成果中，發現影響即時淹水模擬的主要因素，包含基礎資料來源、模式架構與作業化平台等三大條件，並整理出目前提供即時淹水模預報的方式，其可區分為：「以二維淹水模式進行即時演算」，以及「透過事先演算成果，提供最相似的淹水模擬成果」二種。另外，在目前水文水理模式的發展應用上，透過結合物理模式的機械學習應用越來越受到各國的重視。

二、國內外相關資料搜集

本工作藉由搜集海外諸國的相關文獻，以了解目前世界各國對淹水模擬工作的趨勢與方向，以提供更完整的資料與訊息供計畫與研究參考，如表1為彙國內外淹水模擬之型態與模式，而本節參考文獻重點，如表2所列。

而為了找出提升效能的方向，綜觀所搜集資料內容，與國內外相關文獻資訊後，將提升淹水模式效率的改善與方法彙整如下，其概念為當模式正確性與合理性提升後，運算成果效率可以提升。

運算結構之研究與探討內容區分為兩大主軸，分別為提升運算正確與合理性來探討模式調整後，對於淹水範圍與淹水深度的不確定性；與提升運算效能來探討運算效能與成本等內容。主要探討主題與方向彙整，如表3所示，包含地文、水文、邊界條件、模式整合、運算方式等議題。

將上述內容針對模式中可能的造成淹水範圍與深度不確定影響的內容，進行各別模組或小區域的測試，利用改善前後對於淹水範圍與淹水深度的影響提供參考，並且就對應的成本，做為效能提升優先順序建議。整體效能提升主要內容，如圖1所示。

表1 現階段國內外淹水模擬之型態與模式

淹水模擬型態	模式
即時	SOBEK、3Di、DFlow-FM、 德州大學阿靈頓分校_高效能淹水演算、Google ML 日本早稻田大學 S-uiPS
離線	HEC-RAS (美國 NWS USGS)

表 2 國外相關系統與文獻分析

參考文獻來源	淹水模擬技術	資料分析趨勢
德國	利用 6 組 HEC-RAS 2D 模式專案, 搭配監視器影像處理進行即時運算。	透過感測器、手機影像、CCTV 影像、遙測影像等成果進行比對與分析, 或者搭配公民科學群眾等新一代資料搜集方式, 來取得現地資料內容
美國	美國德州大學阿靈頓分校, 透過高速電腦搭配分散式運算架構, 進行高解析度二維淹水模式演算	在都市區域淹水模式架構, 包含集水區、降雨量、降雨逕流、淹水模擬等內容資料與模式間具有一定程度的影響性與關連。透過基礎資料持續驗證與率定, 將有助於提升與改善淹水潛勢圖
日本	早稻田大學關根正人教授, 所發展都市淹水潛勢預報系統 S-uiPS, 進行東京都會區淹水預報系統的發展。	模式在資料需求上需要有河道、下水道系統、建物線、道路高程、下水道匯流分區、地下道、建築物邊界等完整資訊, 同時需要有對應水位監測資訊, 搭配高解析度降雨雷達提供即時與完整降雨量資訊。
荷蘭	SIM-CI 搭配三維虛擬實境展示淹水的建置的環境, 呈現空間內水工構造物位置與環境, 並且搭配淹水模擬成果展示。	進一步探討淹水範圍與受影響戶數之間的關聯分析, 以及當淹水預報失準的時候, 如何緊急因應與改善。
中國	上海浦東新區利用 SOBEK 模式搭配 Delft-FEWS 平台, 進行即時二維都市淹水之模擬。	未來規劃因應任務需求, 預計轉換成為作業化系統, 同時配合模式發展, 布在下一階段更換為 D-FlowFM (Delft3D FM) 模式, 以提供更完整的模擬應用。

表 3 探討主題與方向彙整

項目	內容	備註
地文	數值地形、網格解析度、多重網格	配合地形資料更新
水文	集水區架構、水文參數	因應地形資料更新與斷面新增, 調整集水區相關資訊
邊界條件	降雨量、水位、流量、潮位、IoT	探討模式輸入水文氣象資料對於淹水範圍影響
模式整合維護	資料 QA 與 QC、版本管理	模式整合流程與版本管理
運算方式	平行、高速運算, 與 AI (ML or DL)	伺服器主機運算效能排程管理 (AI 議題搜集相關文獻)

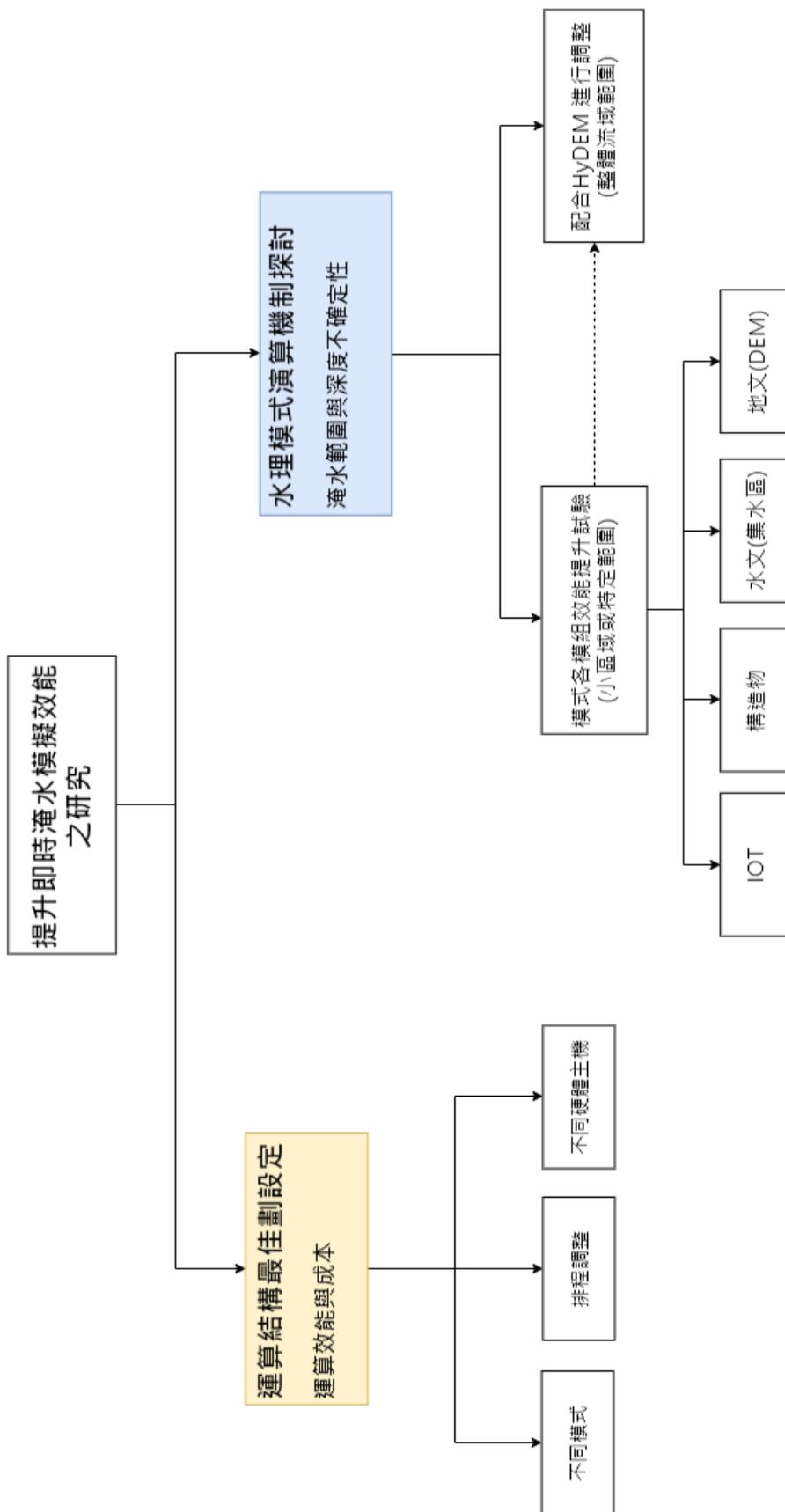


圖1 整體提升即時淹水模擬效能之實驗架構

三、運算結構之研究與探討

在FEWS伺服器架構與排程上，防汛作業過程中需要作業化24小時不間斷運作，持續更新與提供最新預報與模擬成果。考量自動化資料處理流程與模式運算所需的大量運算資源，因此透過伺服器主機架構的配置，將FEWS_Taiwan平台對應的功能與服務轉換成為網路架構。

上述整體資料作業流程在既有的預報作業流程中，目標為每一小時提供最新的淹水預報成果，目前測試在每小時內提供最新預報成果，搭配現有主機預算資源，完成未來三小時淹水預報模擬計算與成果供應服務。因此在整體作業流程，需要將相關運算服務進行最佳化的調整，評估對應排程可能最大影響與延遲時間，圖2為每小時伺服器主機運作的相關時間設定與對應作業流程。表4則為整體服務資料供應內容與項目。

此外，考量模式發展測試不同模式的運算作業需求與內容，做為下一階段模式版本維護更新之參考，為此，根據圖2的整體架構延伸至運算結構最佳化設定，如圖3所示，在有限運算效能與成本的條件下，使用不同主機環境進行模式專案的測試效能評估、搭配不同時間長度資料供應服務排程測試，評估可行的二維淹水模擬成果資料供應服務，並評估應用不同模式進行二維淹水模擬所需注意事項。

表4 即時二維淹水預報成果發布供應服務與範圍

供應服務	範圍
網頁	臺中地區、臺南地區、高雄地區、屏東地區
簡報	臺中地區、臺南地區、高雄地區、屏東地區
串流服務	臺中地區、臺南地區、高雄地區、屏東地區

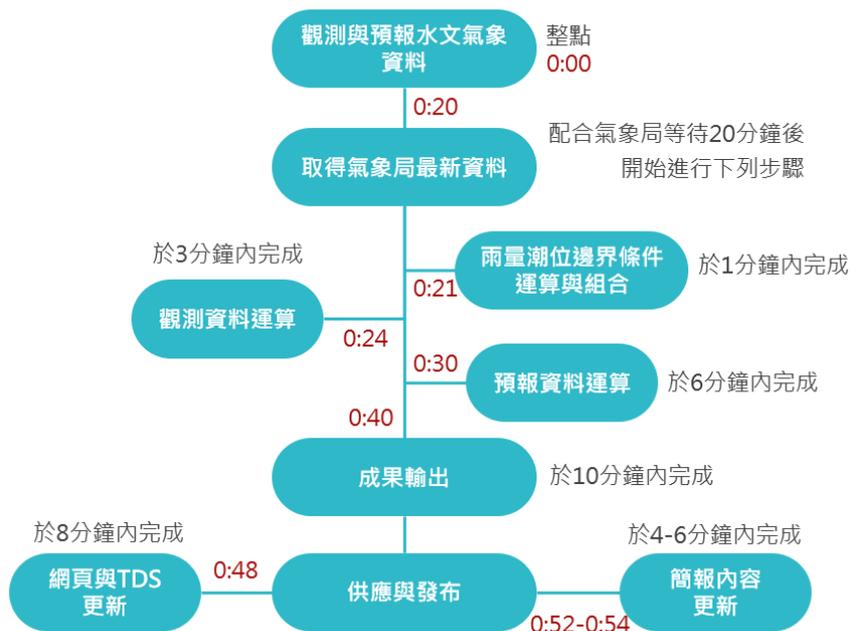


圖2 預報排程時間管理設定

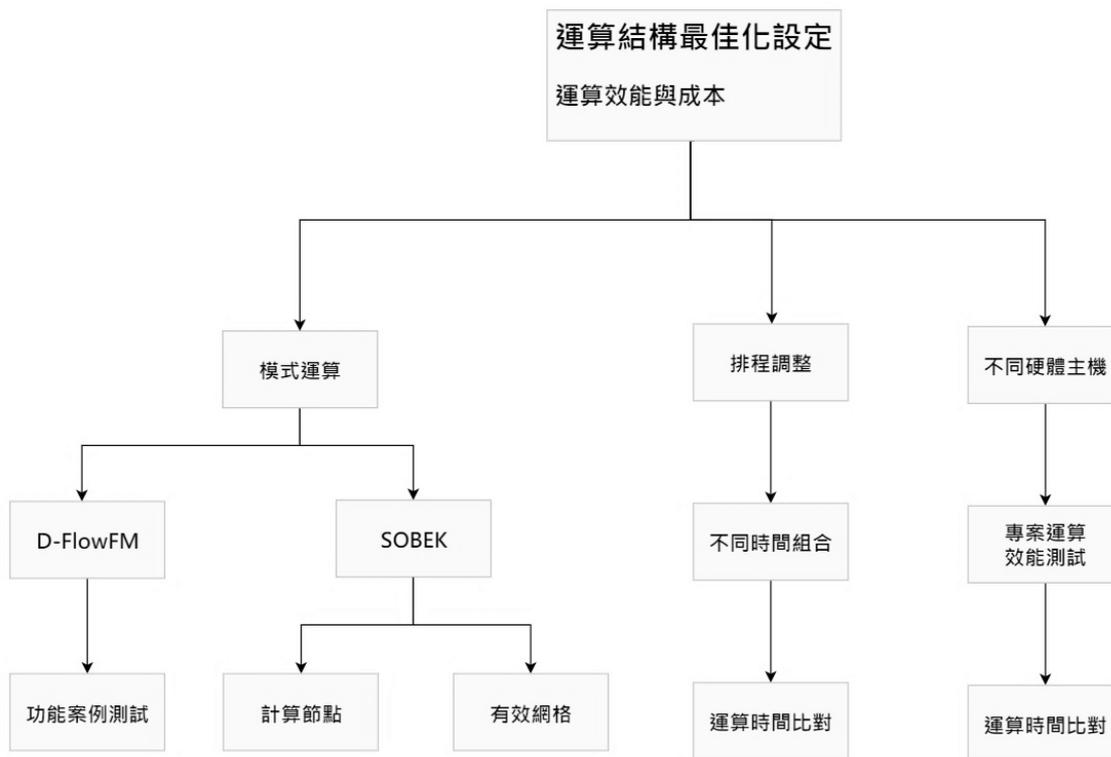


圖3 運算結構最佳化設定實驗與測試內容

四、水理模式演算機制探討

在模型建置與模擬過程中，如何有效提高模型建置的合理性與模擬結果的準確性，是即時淹水預報水理模式演算機制優化的重要目標。

為達到此目標，將淹水模式所使用的不同模組，透過特定區域範圍的實驗。測試各模組與功能調整前後的影響，與對應調整所需的時間與人力成本，作為模式資料維護更新過程中的優先順序參考，以下將簡述其中幾項重點成果，其餘詳細實驗成果可再參閱報告內容。

在地文資料部份，根據內政部地政司所產製之HyDEM，識別出來的河川堤防與渠道溢堤圖徵，本計畫新增既有鹽水溪模式缺漏的渠道。新增渠道長度佔原模式總長度43%，共計新增渠段429段合計162公里，新增斷面數791個，如圖4所示。另為解決斷面與DEM這兩種異質性資料存在的差異，亦利用高解析度DEM所顯示的河寬的堤岸高程來調整斷面。

實驗範圍以圖5為二仁溪河道交匯處為例，圖中為模式進行調整前後的河道與斷面位置分布，可明顯看出經調校過後之河道走向較符合DEM河道走向，且於河道銜接處抑或是斷面分布較少的渠道上，有新增虛擬斷面。

而在構造物部份，利用海棠颱風事件進行模擬，分別呈現在三爺溪增加抽水站前之淹水模擬成果，圖6為抽水站加入前後，其淹水模擬成果之差異。

以現有資料搭配相關抽水機操作規則進行模擬，經測試後，改善積淹水面積範圍8.787公頃（最大淹水深度 超過5公分以上變化區域），減少淹水淹水體積8122立方公尺(以標準游泳池體積1890立方公尺換算)，約4.29個標準游泳池。

- 模式既有渠道593段，合計376公里，斷面數2851
- 根據圖徵新增渠道429段，合計162公里，新增斷面數791

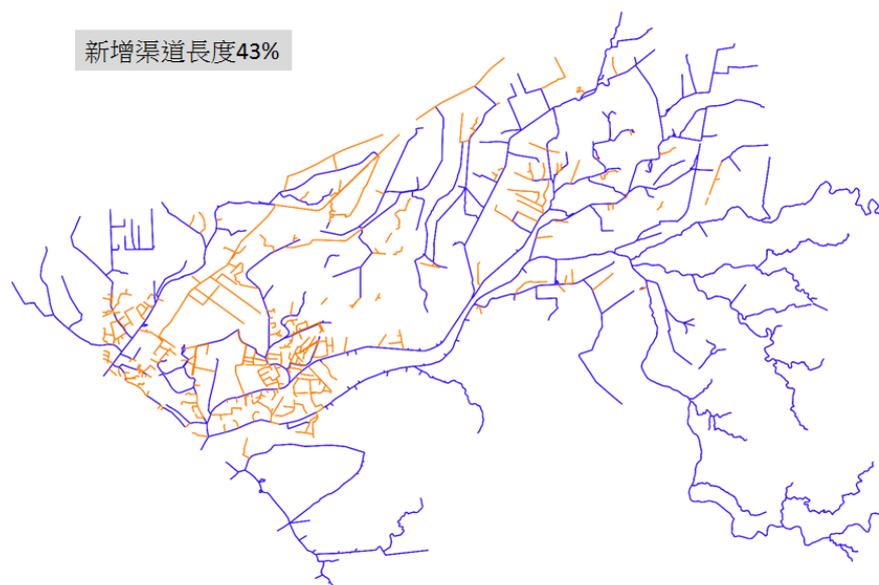


圖4 根據HyDEM新增鹽水溪模式渠道分布圖

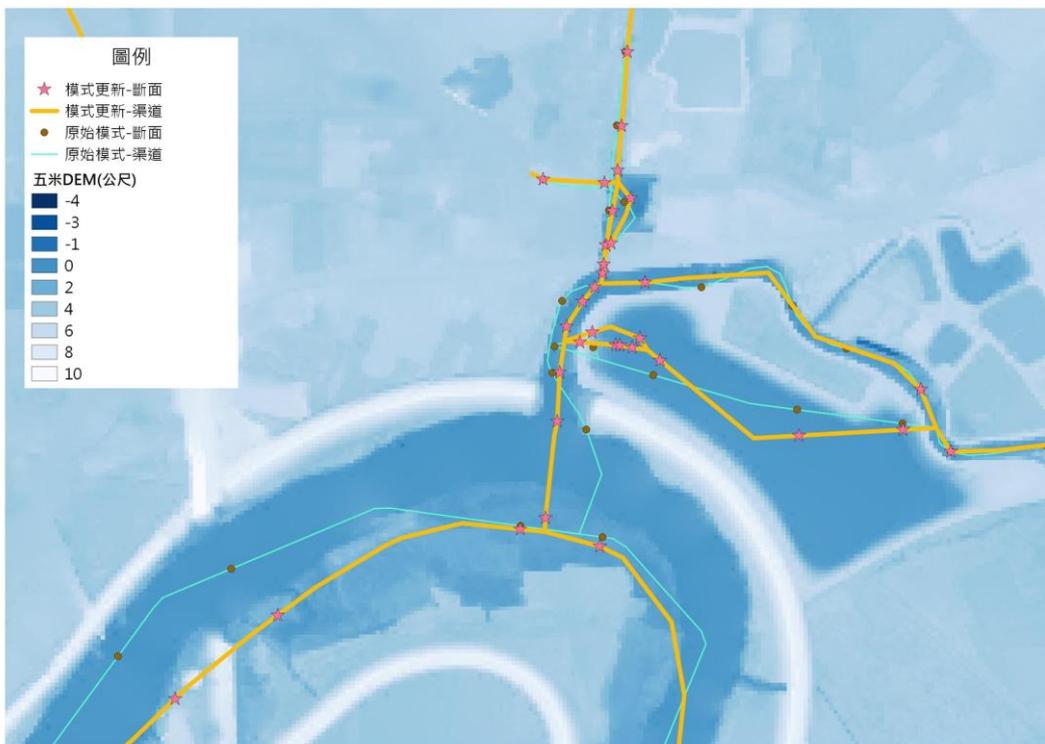


圖5 二仁溪河道交會處

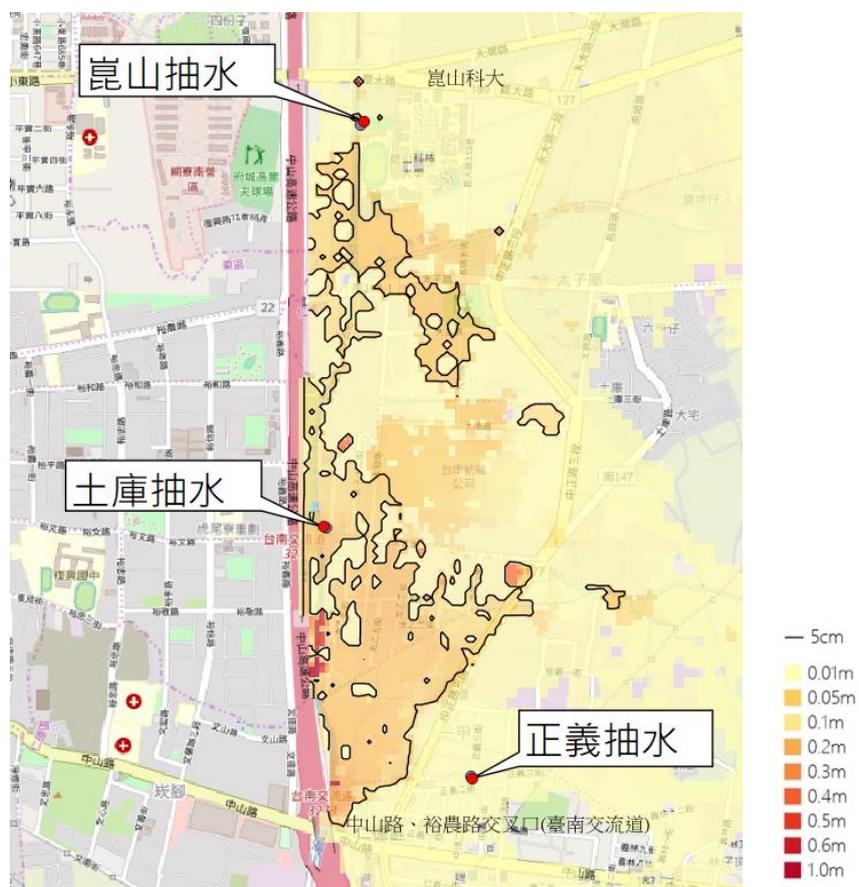


圖6 抽水站改善前後差異

五、運算結構最佳化設定

在運算結構最佳化的設定過程中，主要仍以SOBEK模式內有效網格為主要影響因子，與一維計算節點的影響進行測試與評估，以下將以臺南鹽水溪流域為範例介紹。

5.1 有效網格設定對於計算效能的影響

採用高重現期距的極端降雨情境進行淹水模擬，可以識別出有效(active)網格。透過降雨具有空間變異的特性，此處由QPESUMS雨量紀錄取一隨機點位。採用五種有效網格DEM分別進行模擬，再以200年重現期有效網格DEM的模擬結果為比較基準，計算淹水面積校驗係數及淹水深度平均誤差。其成果如表5所列。

根據QPESUMS雨量資料分析，梅姬颱風降雨期間發生的最大時雨量為86.6 mm，與鹽水溪流域鄰近的9個雨量站各重現期尖峰雨量相差不多，且有效網格是採用極端降雨情境，刻意延長尖峰降雨強度所產製的，因此這五種有效網格DEM應該都適用，從淹水面積校驗係數顯示97%相似性，且淹水深度平均誤差都不到1cm可以獲得佐證，表示採用這五種有效網格DEM的模擬是相當的。但從計算效能來看，10年重現期有效網格DEM的計算耗時僅為200年的75%。因此，選取適當且適用的有效網格，將有助於計算效能的提升。

表5 計算點間距對於計算效能與模擬精確度的影響

降雨情境	4 0m 有效網格	與 200Y 比較		CPU Time (hr/min/sec)	有效網格 (Active cell)	總網格 (Total cell)	計算效能比
		淹水面積 校驗係數	淹水深度 平均誤差(m)				
梅姬颱風	200Y	—	—	52m/28s	125,887	379,476	1.00
	100Y	0.9817	0.0045	49m/42s	111,798	379,476	0.95
	50Y	0.9807	0.0047	45m/52s	104,692	379,476	0.87
	25Y	0.9793	0.0051	44m/00s	99,732	379,476	0.84
	10Y	0.9761	0.0058	39m/36s	90,019	379,476	0.75
梅姬颱風(兩倍降雨強)	200Y	—	—	1h/15m/14s	125,887	379,476	1.00
	100Y	0.9744	0.0216	1h/07m/45s	111,798	379,476	0.90
	50Y	0.9611	0.0321	1h/05m/01s	104,692	379,476	0.86

度)	2 5Y	0.9420	0.044 8	59m/33 s	99,732	379,47 6	0. 79
	1 0Y	0.8807	0.086 4	54m/1 3s	90,019	379,47 6	0. 72

5.2 計算點間距對於計算效能的影響

表6將鹽水溪模式的計算點分別採用50m、100m及200m模擬梅姬颱風。若以50m間距的結果為比較基準，100m間距的結果其淹水面積校驗係數下降至90%，但計算耗時卻僅有71%，顯然100m間距的適用性，是效能與精確度兩者間取捨的問題。至於200m間距，由於淹水面積校驗係數進一步下降，但計算效能的提升卻相對有限，因此可將200m間距評定為不適用。

由於現場地形與河道型態的樣態太多，很難找到一致的特性，因此要建立計算點布置的通則，還需要更多的案例累積、歸納與分析。

表 6 計算點間距對於計算效能與模擬精確度的影響

計算點間距(m)	與間距=50m 比較		與間距=100m 比較		CPU Time (hr/min/sec)	計算效能比
	淹水面積校驗係數	淹水深度平均誤差(m)	淹水面積校驗係數	淹水深度平均誤差(m)		
50	—		—		5h/26m/57s	1.00
100	0.9028	0.0467	—		3h/51m/45s	0.71
200	0.8376	0.0743	0.8893	0.0501	3h/27m/41s	0.66
20m 解析度 有效網格 (Active cell)			516,268			
20m 解析度 總網格 (Total cell)			1,514,390			

處理器型號 Intel® Core™ i7-3770K CPU @ 3.50GHz

六、D-Flow FM 淹水模擬測試

在前述運算結構最佳化的設定過程中，為了下一階段模式的準備，其也可應用於D-FlowFM，進行淹水模擬的測試與評估工作。針對D-Flow FM淹水模擬，如圖7的介面圖所示，已經完成介面的測試。

測試結果顯示，系統可支援國內常用的坐標投影系統，同時也支援對應網路地圖服務WMTS，將有助於在模式建模過程中，對於現場狀況與空間資料處理及判斷將更為方便。

由於D-Flow FM模式仍在持續發展與開發中，同時目前國內應用之SOBEK模式建置的淹水潛勢圖使用之SCS降雨逕流模組尚未完成整合，因此在計畫執行期間優先採用邊界點流量點匯入方式，直接匯入流量成果進行而二維淹水模擬。

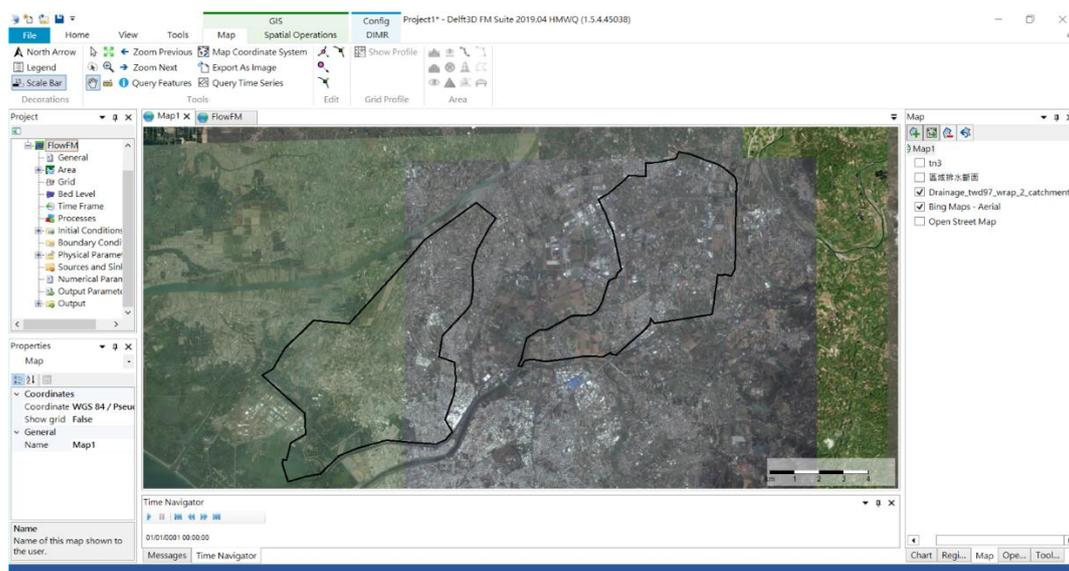


圖 7 鹽水溪區排與大州排水集水區資空間套疊於 D-Flow FM

參考文獻

1. Abedin, S., and Stephen, H. (2019). "GIS Framework for Spatiotemporal Mapping of Urban Flooding." *Geosciences*, 9(2), 77.
2. "JACOBS." (2019). Flood Cloud, <<https://www.floodmodeller.com/products/flood-cloud/flood-cloud/>> (May 4, 2019).
3. Nevo, S., Anisimov, V., Elidan, G., El-Yaniv, R., Giencke, P., Gigi, Y., Hassidim, A., Moshe, Z., Schlesinger, M., Shalev, G., Tirumali, A., Wiesel, A., Zlydenko, O., and Matias, Y. (2018). "ML for Flood Forecasting at Scale." Montréal, Canada., 4.
4. Wu, S.J.*, Chen, P.H., and Yang, J.C., 2011. Application of Weighted Semivariogram Model (WSVM) based on fitness to experimental semivariogram on estimation of rainfall amount. *Hydrology and Earth System Science Discussion*. 8(2), 4229-4259.
5. Shen, J.C., Chang, C.H., Wu, S.J.*, Hsu, C.T., and Lien, H.C., 2015. Real-time Correction of Water Stage Forecast using Combination of Forecasted Errors by Time Series models and Kalman Filter method. *Stochastic Environment Research and Risk Assessment*, 29(7), 1903-1920.
6. Wu, S.J., Lien, H.C., Chang, C.H., and Shen, J.C., 2012. Real-Time Correction of Water Stage Forecast during Rainstorm Events Using Combination of Forecast Errors. *Stochastic Environment Research and Risk Assessment*, 26(4),519-531.