

跨集水區淹水模擬之影響與探討

Modeling the Impact of Cross-Catchments on Inundation

國立臺灣大學
氣候天氣災害研究中心
助理研究員

張向寬

Hsiang-Kuan Chang

國立臺灣大學
氣候天氣災害研究中心
助理研究員

林永峻*

Yong-Jun Lin

國立臺灣大學
水工試驗所
研究員

賴進松

Jihn-Sung Lai

國立臺灣大學
生物環境系統工程學系
教授

譚義績

Yih-Chi Tan

摘要

臺灣地區常受颱風、豪雨侵襲而造成淹水災害，致使人民生命及財產蒙受損失，為了對於此類災害預防及應變有所參考，經常使用數值模式進行淹水潛勢模擬。受限於模式之計算能力與時間或硬體設備不足，一般常以區域排水之集水區為一單元進行模擬分析。然而在高重現期暴雨與洪水條件下，邊界地區之地表漫地流將會跨集水區流動，如僅考慮單一集水區，易造成邊界地區之淹水水位產生較大的誤差。本研究以典寶溪排水系統與後勁溪排水系統為例，使用 SOBEK 水理模式進行淹水模擬，選擇凡那比颱風與莫拉克颱風兩個事件，作為模式參數之檢定與驗證。之後，再進行重現期 10 年、25 年、50 年、100 年情境的模擬，並分別進行各別單一集水區淹水模擬與跨集水區淹水模擬，以探討相鄰兩集水區之邊界區域其淹水面積、平均淹水深度、淹水點淹水深度之差異與影響，以作為未來建置淹水模式模擬區域之重要參考。

關鍵詞：地表漫地流，SOBEK 水理模式，跨集水區。

ABSTRACT

In Taiwan, floods are usually induced by heavy rain triggered by typhoons or torrential rain, and they claimed residents' lives or huge property losses. The flood simulations are used by different levels of governments to assist on flood disaster mitigation and prevention. The flood simulations are often performed based on one single catchment delineated by the drainage system due to the limited computing power of model, limited time, or insufficient computation resources.

*通訊作者，國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心助理研究員，10617 臺北市大安區羅斯福路四段 1 號，
vovman@gmail.com

However, the overland flows sometimes run across the boundaries of two nearby catchments under torrential rain of large return periods. If two single adjoined-catchments are adopted for flood simulations (i.e. simulating the two catchments separately), the error of flood depth of flood simulation along the boundaries of two catchments may increase. To investigate the impacts of using two single catchments or one combined catchments (cross-catchments) as computation domain, Dian-Bao-Chi drainage system and Hou-Chin-Hsi drainage system are chosen for the study area.

SOBEK flood simulation model are adopted for flood simulation in this study. The scenarios of Typhoon Fanapi and Typhoon Morakot are used for model calibration and verification. The flood simulation scenarios with rainfall of return period of 10-year, 25-year, 50-year, and 100-year are simulated respectively for comparing the impacts of two single catchments and one combined catchments. The results of inundation area and average inundation depth over the computation domain, inundation depth of selected locations are compared for the two cases, and it can provide useful references for correctly choosing computation domains for flood simulation.

Keywords: Overland flows, SOBEK flood simulation model, Cross-catchments.

一、前言

在進行防洪管理的規劃時，常使用已發展成熟且應用良好的排水與淹水模擬來評估各種設定改善方案的可行性(Majewski, 2006)。一般而言，都市地區與鄉村地區的地表逕流現象不同，因地表漫地流地區的方向會受到人造設施如排水系統、道路、漁塭與建築物的影響。當地表逕流量小於排水系統之設計流量時，地表逕流會流入排水系統內往下游排出，地面則不會有淹水現象發生。在這種情況下，排水系統能負擔所有的地表逕流量，則不需要二維漫地流淹水模式進行淹水模擬；然而如果地表逕流量大於排水系統之設計流量，排水系統將無法負荷地表逕流量，有一部份的水流來不及流入排水系統，蓄積於地表，另有一部份在排水系統內的水流，因滿管溢出人孔或溢出渠道兩岸，這種情況必須使用二維地表漫地流模式進行寬闊地表漫地流傳播之模擬。

地表漫地流的數值模式必須能進行模擬洪水與乾網格，並越過複雜的地形變化，通常是一件困難的工作。以往關於地表洪水波傳播運行模

擬之相關研究包含 Balloffet and Scheffler (1982) 等曾以一維變量流方程式為基本控制方程式，將洪氾區依地勢分隔為若干網格區塊，網格區塊間以管線相連接，利用管網分析法建立二維網路模式(two-dimensional network model)，以研究潰壩後洪水在洪氾區中傳播之情形。Horritt and Bates (2002)及 Horritt (2006)等以一維運動波方程式及美國工兵團一維水理模式(HEC-RAS)銜接二維淺水波方程式，用以預測並模擬河岸兩側洪泛平原之淹水狀況，並探討可能影響模擬結果的各種不確定因素；Bates *et al.* (2003)以二維淺水波方程式建立二維淹水模式，並使用高精度之地理資訊增加模擬結果之準確性；Yu and Lane (2006)利用水深平均之 Navier-Stokes 方程式簡化為擴散波方程式建立二維淹水模式，並更進一步利用高解析度遙測資料，將地表小尺度之建物圍牆等構造物納入考慮。國內顏清連與葉克家(1980)曾應用水庫瀦蓄之概念，以一維變量流理論探討濁水溪下游堤防潰決後洪水波傳遞之狀況；蔡長泰等(1988)曾應用 Cunge (1980)所推導的擬似二維流原理建立擬似二維變量流模式(quasi-two-dimensional flood plain flow model)進行淹水分析，其原理乃

係依據研究範圍內地物、地勢及河川等狀況，將研究區域分成若干分區(cell)，各相鄰分區間水流以合乎水理現象之流量律及連續方程式建立，藉以模擬研究區域淹水過程。並將模式廣泛應用於八掌溪南岸(蔡長泰等，1996)及濁水溪兩岸(蔡長泰等，1986；蔡長泰等，1988)的暴雨氾濫模擬，亦曾將此模式應用於高雄都會區大眾捷運系統洪水位之研究(蔡長泰等，1996)，用以提供高雄捷運各車站及設施防洪排水設計的依據；許銘熙(1992)曾以上述模式之概念建立淹水核胞模式(cell model)應用於台灣地區八掌溪北岸流域。許銘熙(1999)在行政院國科會防災計畫的支持下，利用二維零慣性淹水模式進行北部的淡水河流域與南部的鹽水河流域(王如意等，2001)之淹水模擬，其中分別模擬不同一日降雨量下各地區可能的淹水區域，是國內首先應用淹水模式進行淹水潛勢推估者。經濟部水利署亦利用 SOBEK 模式進行易淹水區域河川與區排水理模擬與地面淹水模擬(經濟部水利署，2013)。張喬亞(2013)整合 HEC-RAS 與 FLO-2D 模式，探討典寶溪區域排水於不同空間解析度下淹水結果之影響，結果顯示在網格大小為 60 公尺 × 60 公尺時有最佳結果。黃成甲等(2015)以曾文溪北岸流域為例，使用不同尺度格網(600 公尺 × 600 公尺、200 公尺 × 200 公尺、40 公尺 × 40 公尺)搭配平行演算法進行二維漫地流淹水模擬，研究結果顯示考慮數值模式之穩定性，不同尺度格網之演算時距需相互配合，以符合可蘭條件。由現地案例模擬結果可知，多重格網搭配模擬與全區細格網模擬結果有著相同的淹水趨勢，而多重格網配合平行演算可大幅減少計算時間。Chang *et al.* (2013)以二維零慣性淹水模式結合一維水道與管線水理模式(Storm Water Management Model, SWMM)，探討氣候變遷影響下之區域排水之改善與防洪管理。Yin *et al.* (2013)結合一維河道模式與二維淹水模式，用來預測黃浦江在各種重現期情境下水流和洪水氾濫程度，以了解沿岸農村與城市之淹水潛勢。Zhou *et al.* (2013)以調適動態有限體基法建立淹水模式，並由不同的測試案例模擬結果，

顯示能有效改善乾濕網格交界之震盪情形與提高精確度與空間解析度。Yu *et al.* (2015)利用二維淹水模式與真實淹水事件，探討淹水模式中水文參數的作用，其中關鍵參數包括土壤水力傳導敏感度、計算網格精度、粗糙度與入滲等，尤其在城市和農村之混合地區更為重要。Aksoy *et al.* (2016)利用地理資訊系統(GIS)與數值高程資料找出高逕流系數的潛在易淹水區，再使用一維水理模式(Hec-Ras)模擬不同重現期之洪水淹沒的地區，用於生命和財產損失之預防措施。綜觀以上，目前針對相鄰的兩個單一集水區與合併跨集水區淹水模擬的研究付之闕如，是故本文以此為主軸進行研究與討論。

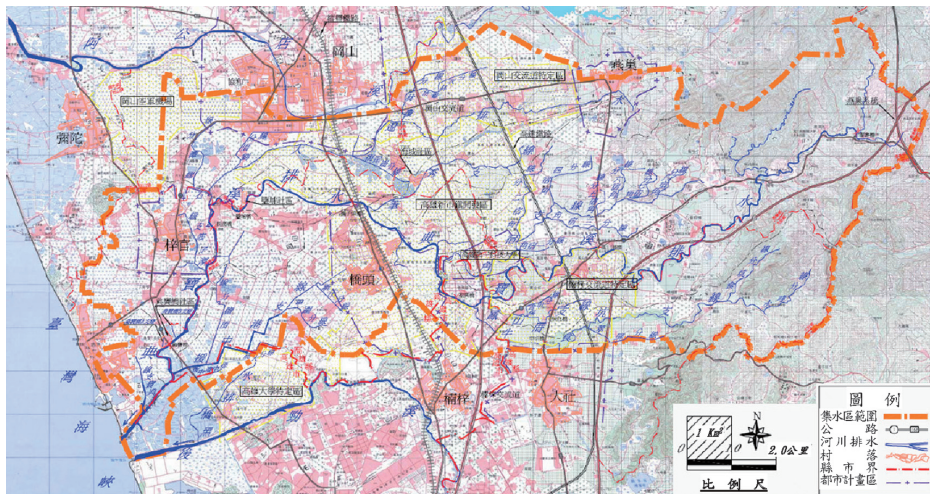
典寶溪與後勁溪分屬於中央管及市管區域排水，位於高雄市西北沿海區域，其流域涵蓋了岡山、彌陀、梓官、橋頭、燕巢、大社、楠梓、仁武、左營、鳥松區，兩集水區互相相鄰，尤其在其下游地區皆屬於平坦低窪之地貌，今年來由於都市開發快速，造成區域排水改善用地受限，而其下游區域地勢較低窪且受下游潮位影響，漫地流積水宣洩本已不易，加上上游大量之山區逕流等因素，每當豪大雨或颱風來臨時，如莫拉克颱風與凡那比颱風等，常造成下游之楠梓區與梓官區有嚴重之積淹水情形。本研究將探討典寶溪與後勁溪排水系統在各別單獨集水區模擬與合併跨集水區模擬，於重現期 10 年、25 年、50 年、100 年情境下，兩集水區相鄰邊界區域其淹水面積、平均淹水深度、淹水點淹水深度之差異與影響，以了解兩集水區在高重現期時越域性之漫地流造成之淹水情形。

二、研究區域概述

典寶溪排水集水區發源於高雄市燕巢區烏山頂，發源地標高約 320 m，向西流經高雄市燕巢區、大社區後，流經部分高雄市楠梓區轄區，再轉入高雄市橋頭區、岡山區、梓官區等區域，最後於蚵子寮漁港南側約 750 m 處注入臺灣海峽。排水集水區北鄰阿公店河流域，南為後勁溪排水流域，東至中央山脈丘陵帶，大抵與高雄市

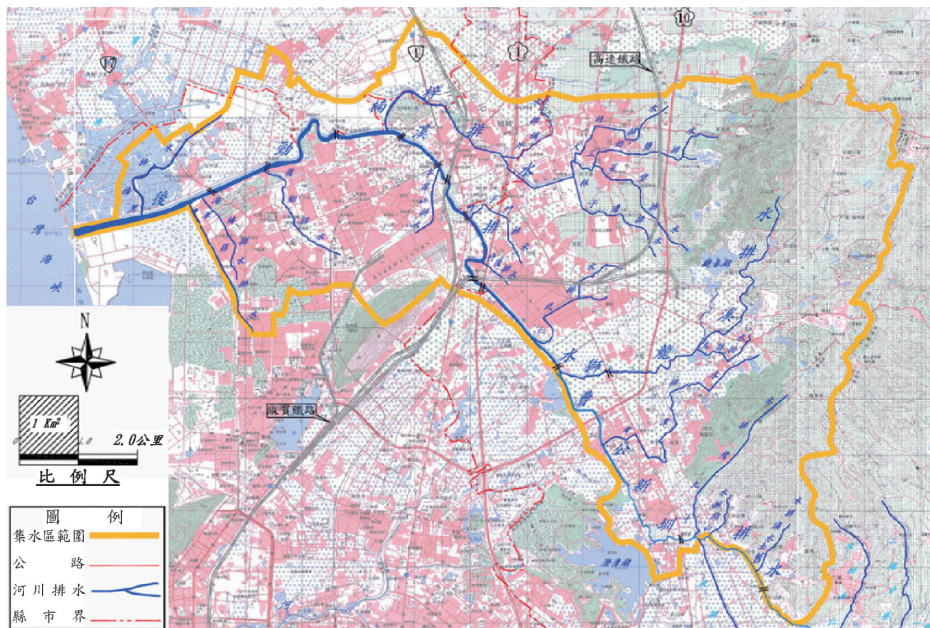
燕巢區、大社區轄區邊界重合，西側邊界至高雄市彌陀區轄區邊界，排水集水區概況如圖 1 所示。排水集水區範圍內大部分為平原，貫穿流域主要幹道有高速公路及縱貫鐵、公路(臺 1 縣、臺 17 縣)，其他如縣道(183 號、186 號、188 號)、鄉鎮市間聯絡道路等密佈如網狀，交通極為便

利。典寶溪排水幹流長度約 32 km，集水面積約 106 km²，地勢自東向西傾斜，集水區東西向長約 19 km，南北平均寬約 6 km。其中，中山高速公路西側排水幹線渠床平均坡降約 1/1586，中山高速公路東側排水幹線渠床平均坡降則約達 1/280，顯示中山高速公路西側地勢平坦，而東側



資料來源：經濟部水利署，2008，「高雄地區典寶溪排水系統整治及環境營造規劃報告」

圖 1 典寶溪排水集水區概況圖



資料來源：經濟部水利署，2009，「高雄地區後勁溪排水系統整治及環境營造規劃報告」

圖 2 後勁溪排水集水區概況圖

地勢相對陡峻，河流平均坡度則約為 1/400。坡陡流短，洪峰到達時間甚短。

後勁溪排水集水區橫跨高雄縣市，北鄰典寶溪排水，南接仁愛河，西臨臺灣海峽，東倚中央山脈南端的大坵園台地與高屏溪分水嶺為界，水源發源於石坎山，流向西南蜿蜒而下，至仁武西南角與曹公新圳渠道匯合流入後勁溪排水(原名草潭埤)，沿途流經高雄市鳥松、仁武、大社、橋頭與楠梓區，後至楠梓地區排入台灣海峽。排水集水區概況如圖 2 所示。後勁溪排水位於高雄縣、市交界地區，隨著高雄市在邁向海洋都市目標時，本區域在地理上具有阻絕高雄地區山區洪水及提供山區遊憩腹地條件。隨著高雄市之發展，地區內之工商業活動非常發達，計有仁大工業區、楠梓加工區及仁武工業區，另有開發中之高雄大學特定區、高雄新市鎮開發計畫及澄清湖特定區等重要計畫等，可預期本地區工商業有與日俱盛之趨勢。

三、水文分析資料

本研究根據「高雄縣淹水潛勢圖第二次更新計畫」(經濟部水利署，2014)之歷史淹水調查資料與水文分析成果，雨量站採用位於本研究區域附近且監測紀錄年限至少二十年以上的測站，包括三爺、岡山、鳳雄、金山、尖山、竹子腳、左營與溪埔，其雨量站位置分佈與本研究區域之關係如圖 3 所示。而近年來造成本研究區域最嚴重淹水事件為 2010 年 9 月 17 日凡那比颱風，其次為 2009 年 8 月 5 日莫拉克颱風，在排水系統下游附近之梓官區、橋頭區、岡山區與楠梓區均發生嚴重淹水災害，兩次颱風事件之各監測雨量資料如圖 4 與圖 5 所示，其中在凡那比颱風事件中最大時雨量為岡山雨量站之 129.5 mm/hr，莫拉克颱風事件中最大時雨量為岡山雨量站與鳳雄雨量站之 100 mm/hr。因此，本研究選用此兩次有嚴重淹水災情之颱風事件作為淹水模式參數檢定驗證之案例。另外各雨量站一日總降雨量之頻率分析成果(經濟部水利署，2014)如表 1 所示，配合 Horner 設計雨型(經濟部水利署，2014)得出

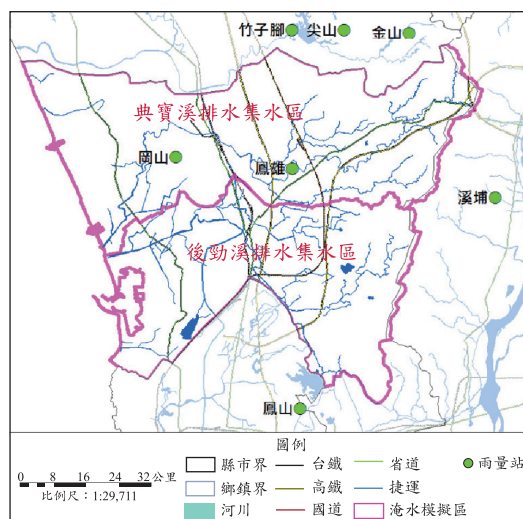


圖 3 雨量站分佈與淹水模擬範圍圖

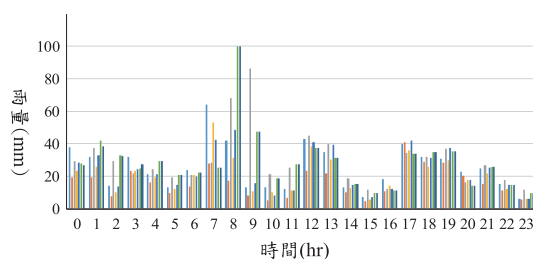


圖 4 莫拉克颱風各雨量站雨量組體圖

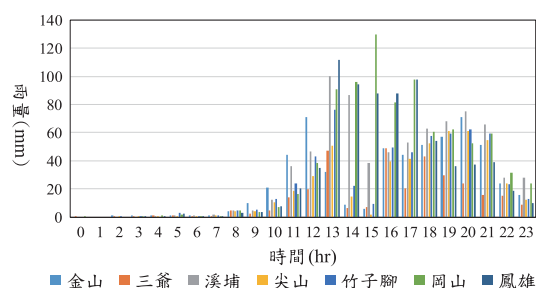


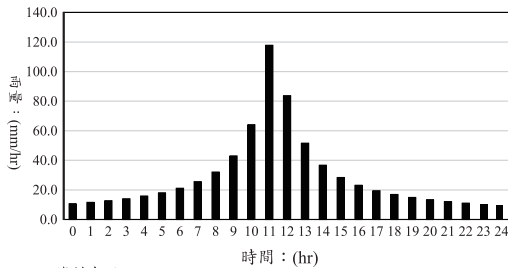
圖 5 凡那比颱風各雨量站雨量組體圖

重現期 10、25、50、100 年 24 小時延時之設計降雨組體圖，其中重現期 25 年設計降雨組體圖(以岡山區為例)如圖 6 所示。

表 1 各雨量站各重現期之一日設計降雨總量

重現期 雨量站	10 年	25 年	50 年	100 年
三爺	289.21	325.48	349.32	371.05
岡山	526.39	707.38	849.04	994.50
鳳雄	565.89	706.72	810.12	911.93
金山	504.76	633.35	733.31	836.62
尖山	470.26	551.19	606.74	658.96
竹子腳	496.40	597.26	668.14	735.89
左營	514.78	599.74	656.90	709.86
溪埔	573.10	733.24	854.21	975.60

資料來源：經濟部水利署，「高雄縣淹水潛勢圖第二次更新計畫」，2014。



資料來源：經濟部水利署，「高雄縣淹水潛勢圖第二次更新計畫」，2014

圖 6 岡山站重現期 25 年雨量組體圖

四、水理模式簡介與檢定驗證

本研究採用 SOBEK 模式之降雨-逕流模組 (Rainfall Runoff Module, RR)、一維渠流模組 (Channel Flow Module, CF)及二維漫地流模組 (Overland flow Module, OF)，並配合數值高程資料計算淹水範圍。SOBEK 模式為荷蘭 Deltare 公司所研發，為一套整合性軟體，整合河川、都市排水系統與集水區管理的套裝程式。模式以水理 (Flow) 模組為基礎，可結合降雨逕流 (Rainfall-Runoff) 模組進行流域特性模擬。此外，亦可結合二維漫地流 (Overland Flow) 模組與下水道 (Sewer) 模組，瞭解流域內之可能淹水地區或外水及內水漫地流特性。模式可模擬明渠流或管流，並適用於各種斷面條件；可模擬超臨界流與亞臨界流之混合流況；亦可模擬複雜之河川網路 (主支流) 情形，若水位高程高於堤防高度，則配合數值高程模型 (DEM)，進行溢出堤防之漫地流演算。各模

組簡要說明如下：

(1) 降雨-逕流模組

由於研究範圍遼闊，且包含許多排水系統，為利模式有效整合及計算，可將計算範圍依其是否涵括雨水下水道系統，區分為一般河川排水集水區域及都市雨水下水道集水區域，分別採用不同分析模組計算逕流量。對於一般河川排水集水區域，根據地文特性與土地使用狀況，採用 SCS 單位歷線降雨-逕流模組進行不同降雨事件下之地表逕流量分析；而都市區域雨水下水道之人孔集水區則依合理化公式計算逕流量。

(2) 一維渠流模組

SOBEK 中之河川水理模擬採用一維水理模式，所採用之控制方程式 (Deltares, 2016) 為：

$$\text{質量方程式：} \frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = q_{lat} \quad (1)$$

動量方程式：

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{Q^2}{A_f} \right) + g A_f \frac{\partial h}{\partial s} + \frac{g Q |Q|}{C^2 R A_f} - B \frac{\tau_w}{\rho} = 0 \quad (2)$$

式中， Q ：流量；

g ：重力加速度；

t ：時間；

s ：沿流動方向之空間座標；

h ：水位；

R ：水力半徑；

q_{lat} ：側入流量；

A_f ：濕周面積；

C ：Chezy 係數；

B ：河流寬度；

τ_w ：風剪力；

ρ ：水密度。

(3) 二維漫地流模組

SOBEK 模式中之淹水模擬採用二維水理模式，其所採用之控制方程 (Deltares, 2016) 為：

質量方程式：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(ud)}{\partial x} + \frac{\partial(vd)}{\partial y} = q_{lat} \dots\dots\dots(3)$$

動量方程式：

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{u|V|}{C^2 d} + au|u| = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + g \frac{v|V|}{C^2 d} + av|v| = 0 \quad (5)$$

式中， x, y ：模擬區域之迪卡兒空間座標

u, v ： x, y 方向之平均流速

d ：模擬區地表水深

a ：邊牆摩擦係數

$$V = \sqrt{u^2 + v^2}$$

排水路洪流演算係以一維變量流之動力波傳遞理論為依據，即利用迪聖凡南氏(de Saint-Venant)所導出之緩變量流方程式來描述排水路水流之動態，並使用非線性隱式差分法求解各時段之水深與流量，在主、支流匯流處，則以主支流水位相等及進出流量之平衡為匯流條件，以求解各斷面之水深及流量。並採用河系溢堤洪水演算模式，根據堤防內外水位及閘門操作

條件，與二維漫地流模式進行整合，以下說明之。

一維河道與二維漫地流模式之銜接部分，當排水路水位低於堤防高度時，即河道斷面未發生溢流之情形時，二維模式沿堤防可視為無水流通過之封閉內邊界，一、二維模式可分別進行演算，僅在堰、抽水機及閘門等處有交互流量發生，可根據通過這些控制點之流量進行模式銜接。而當排水路水位高出堤防時，則採用河系溢堤洪水演算模式，考慮二模式地表水路出口與排水路水位之水流交互作用，同時演算出河道水位與集水區淹水狀況。

本研究選用 2010 年凡那比颱風作為淹水模式參數檢定之案例，而 2009 年莫拉克颱風作為淹水模式參數驗證之案例，以 SOBEK 模式模擬出典寶溪及後勁溪個別單一集水區之淹水範圍，並與實際淹水範圍進行比對，其淹水範圍準確度公式如(6)式所示。模式的演算時距為 0.2 小時，檢定與驗證可以調整之參數包括排水路斷面與雨水下水道管線之曼寧糙度係數 n 值(採用之數值如表 2 所示)、地表粗糙摩阻係數 kn 值(White-Colebrook) (採用之數值如表 3 所示)、SCS

表 2 河川區排斷面與雨水下水道管線曼寧糙度係數 n 值

渠道情況	曼寧 n 值		
	最小值	正常值	最大值
1.區排及下水道			
(1)陶管(上釉)	0.010	0.012	0.014
(2)陶管(未上釉)	0.011	0.013	0.015
(3)混凝土管、磚砌	0.012	0.013	0.015
(4)鑄鐵管(裡襯)	0.011	0.012	0.013
(5)鋼管	0.010	0.012	0.013
(6)混凝土襯砌	0.012	0.014	0.016
(7)石棉管	0.011	0.012	0.013
(8)塑膠管、玻璃纖維管	0.010	0.011	0.012
2.新開挖或疏浚河道			
(1)乾淨的新完成平直河道	0.016	0.018	0.020
(2)彎曲、流速慢、無植生河道	0.023	0.025	0.030
3.天然河道			
(1)低水河槽			
乾淨、平直、滿水、無支流或深塘	0.025	0.030	0.033
(2)高灘地			
無灌木、短牧草	0.025	0.030	0.035
無灌木、長牧草	0.030	0.035	0.050

表 3 地表粗糙摩阻係數 kn 值

土地使用類別	摩阻係數 kn 值
農業使用土地	0.5(稻作) 0.8(其他)
森林使用土地	0.8
交通使用土地	1.0
水利使用土地	0.2
建築使用土地	10.0
公共設施使用土地	10.0
遊憩使用土地	3.0
礦鹽使用土地	10.0
其他使用土地	10.0

單位歷線降雨-逕流模組之逕流曲線值 CN(Curve Number) (都市區域 70~90、非都市區域 50~80)。淹水模擬結果如圖 7~10 所示，其中淹水深度達 0.3m 以上列入淹水範圍計算，典寶流域於凡那比颱風之淹水範圍準確度計算結果為

73.7%(準確度定義如式(6))，而莫拉克颱風之淹水範圍準確度計算結果為 71.3%；後勁溪流域於凡那比颱風準確度計算結果為 67.7%，莫拉克颱風之淹水範圍準確度計算結果為 65.4%，另外比較模擬最大淹水深度與實際淹水調查深度，如表 4 所示共比較 13 處地點，其水深峰值誤差小於 5 公分者有 8 處，誤差介於 6~10 公分者有 2 處，誤差介於 10~20 公分者有 3 處。由模擬之準確度結果可知，本研究之模式皆能有效反應本區域之可能淹水深度及淹水範圍。

淹水範圍之準確度：

$$A_a = \frac{A_c}{A_s + A_o - A_c} \dots\dots\dots (6)$$

其中 A_c 為淹水調查及模擬重疊面積。

A_s 為淹水調查面積(實測值)。

A_o 為淹水模擬面積(預測值)。

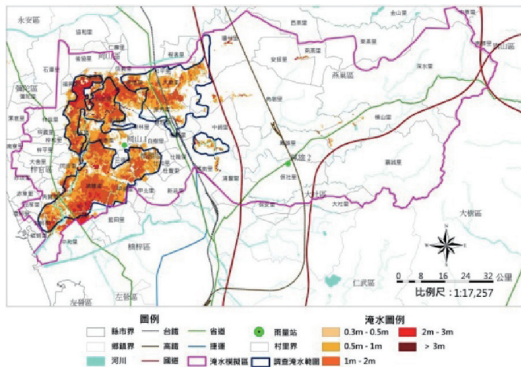


圖 7 凡那比颱風淹水結果(典寶溪)



圖 8 凡那比颱風淹水結果(後勁溪)

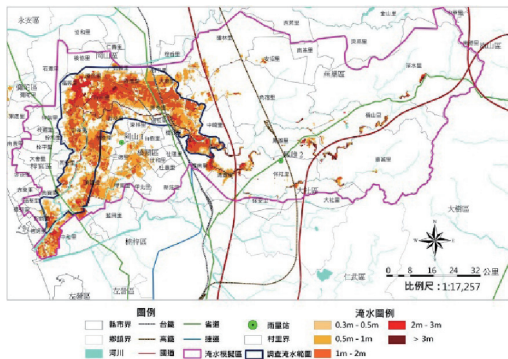


圖 9 莫拉克颱風淹水結果(典寶溪)

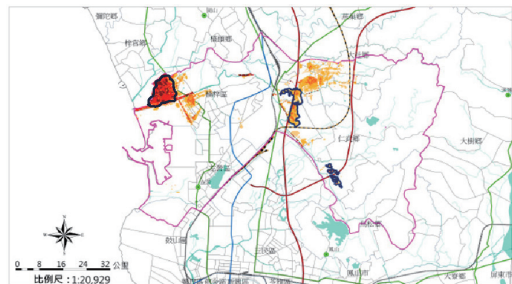


圖 10 莫拉克颱風淹水結果(後勁溪)

表 4 淹水深度比較表

流域	比較事件	行政區	TM97_X	TM97_Y	實測淹水深(cm)	模擬淹水深(cm)	水深峰值誤差(cm) (實測-模擬)
典寶溪	莫拉克颱風	岡山區	176763.00	2520440.00	30-40	34	0
		橋頭區	176097.00	2517042.00	50-100	81	0
		梓官區	174760.00	2516116.00	50-150	105	0
	凡那比颱風	橋頭區	176202.00	2519521.00	150	132	18
		梓官區	174358.00	2514439.00	100	110	-10
		橋頭區	177718.00	2517401.00	80-120	102	0
後勁溪	莫拉克颱風	仁武區	183520.00	2509080.00	40	39	1
		仁武區	183160.00	2509720.00	100	81	19
		仁武區	181480.00	2513320.00	40	38	2
	凡那比颱風	楠梓區	176000.00	2514200.00	120	114	6
		大社區	182480.00	2514040.00	90	95	-5
		楠梓區	176520.00	2513160.00	150	149	1
		大社區	184120.00	2512960.00	90	74	16

五、模擬結果與討論

本研究以重現期 10 年、25 年、50 年與 100 年之 24 小時延時降雨作為情境模擬之水文條件，分析典寶溪與後勁溪兩排水系統各別集水區分開模擬與合併兩集水區一起模擬對整體淹水潛勢結果之影響。因兩個排水系統在下游接近出海口附近，主流渠道接近且地勢低窪，一旦發生溢堤的現象，洪水將很容易流入相鄰對方的集水區，因此決定以接近出海口高程 5 公尺以下且兩主流渠道接近之區域，作為淹水模擬結果之探討分析區域，並選擇兩集水區邊界位置(編號 4 與 6)、最低窪位置(編號 5)與距集水區邊界較遠位置(編號 1、2 與 3)，共 6 點，作為分析比較的淹水點位(如圖 11 所示)。各重現期之最大淹水深度與範圍模擬結果如圖 12 至圖 19 所示，兩集水區合併模擬時，後勁溪南岸區域與兩條排水渠道間區域之淹水範圍較兩集水區分開模擬時較小；典寶溪北岸區域，在重現期 10 年與 25 年時，兩集水區合併模擬之淹水範圍較兩集水區分開模擬時小，但在重現期 50 年與 100 年時，兩集水區合併模擬之淹水範圍較兩集水區分開模擬時大；區域內整體淹水面積與平均淹水深度如表 5 與表 6 所示，由分析可知，兩集水區合併模擬之整體淹

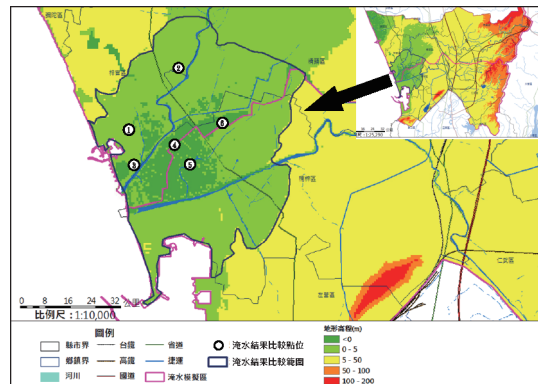


圖 11 淹水結果比較點位與範圍

水面積皆單一集水區之模擬結果較小，最大可減少 121 公頃，誤差約可達 10%。而兩種模擬方式之平均淹水深度差異約為 0.01~0.04m，誤差不大約在 4%以下。

綜合以上模擬結果顯示，當兩排水系統合併跨集水區一起模擬時，因邊界區域之洪水漫地流將會互相流通，亦即淹水較深之水體會流向淹水較淺之水體，並趨於平衡，因此原本淹水規模較小的排水系統有可能會變得較為嚴重，而原本淹水規模較大的排水系統有可能會變得較為輕微。以重現期 25 年為例，分析各淹水點位之淹水深度歷線與最大淹水深度，其分析結果如圖

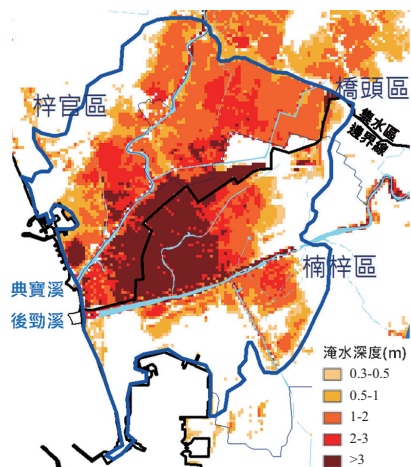


圖 12 重現期 10 年淹水結果(各別模擬)

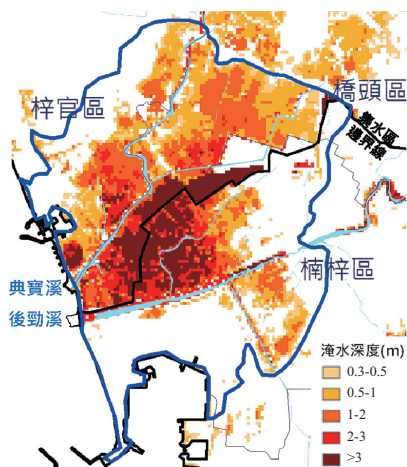


圖 13 重現期 10 年淹水結果(合併模擬)

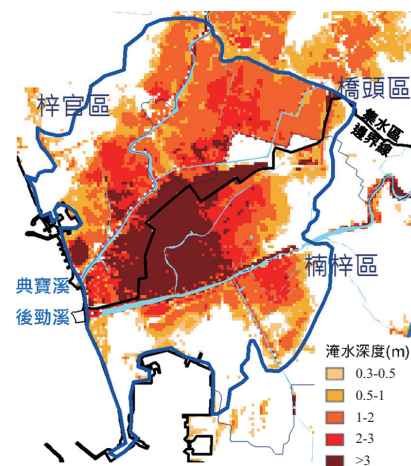


圖 14 重現期 25 年淹水結果(各別模擬)

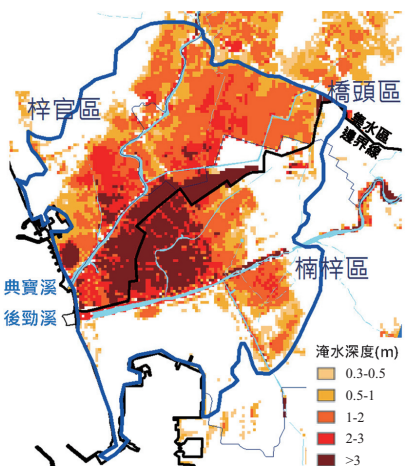


圖 15 重現期 25 年淹水結果(合併模擬)

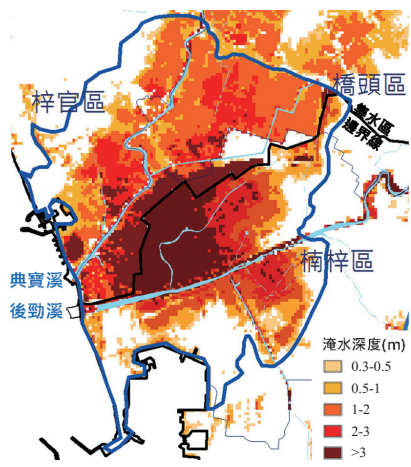


圖 16 重現期 50 年淹水結果(各別模擬)

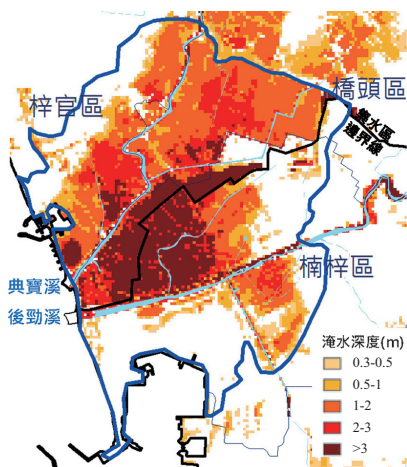


圖 17 重現期 50 年淹水結果(合併模擬)

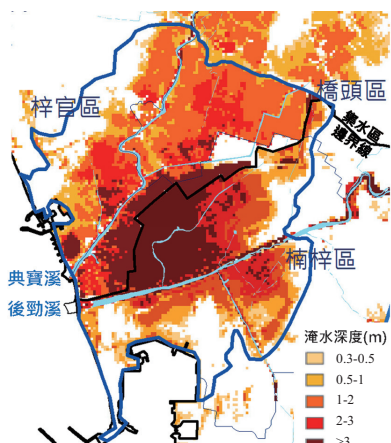


圖 18 重现期 100 年淹水結果(各別模擬)

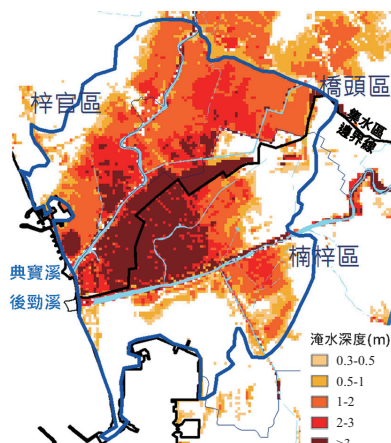


圖 19 重现期 100 年淹水結果(合併模擬)

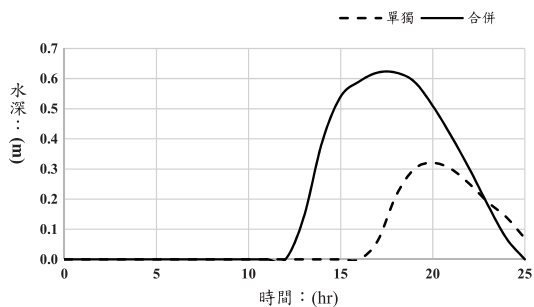


圖 20 淹水點位 1 比較結果

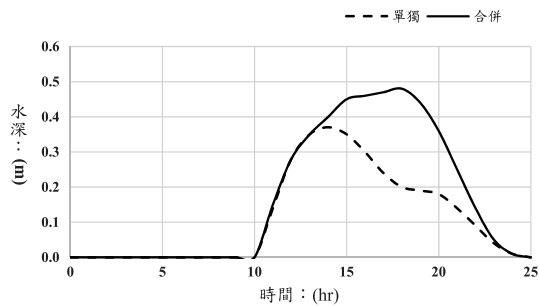


圖 21 淹水點位 2 比較結果

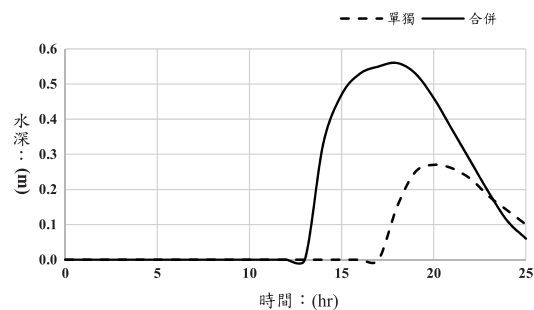


圖 22 淹水點位 3 比較結果

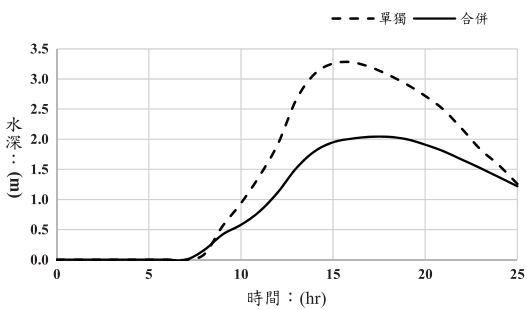


圖 23 淹水點位 4 比較結果

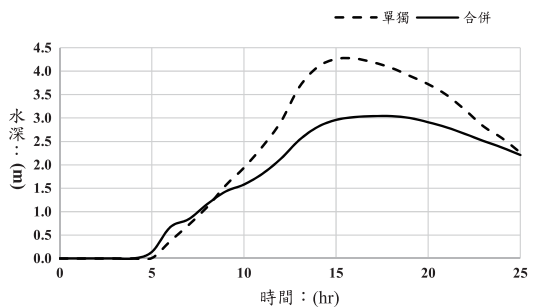


圖 24 淹水點位 5 比較結果

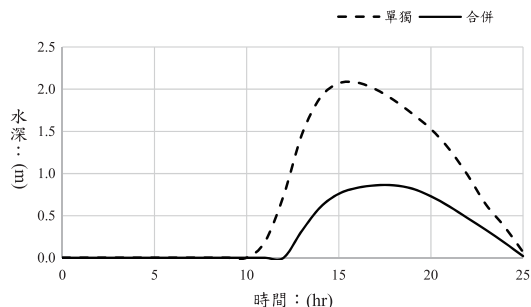


圖 25 淹水點位 6 比較結果

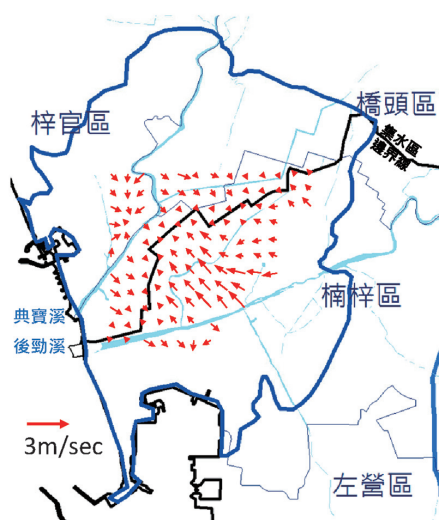


圖 26 重現期 50 年最大流速分布(各別模擬)



圖 27 重現期 50 年最大流速分布(合併模擬)

表 5 淹水面積比較表

重現期	各別集水區 (ha)	合併集水區 (ha)	差值(ha) (合併-單獨)	誤差 $\left(\frac{ \text{差值} }{\text{合併集水區}} \right)$
10	998.72	957.44	-41.28	4.31%
25	1177.76	1068.16	-109.60	10.26%
50	1252.64	1131.52	-121.12	10.70%
100	1301.76	1188.96	-112.80	9.49%

註：淹水深度大於 0.3m 以上

表 6 平均淹水深度比較表

重現期	各別集水區 (m)	合併集水區 (m)	差值(m) (合併-單獨)	誤差 $\left(\frac{ \text{差值} }{\text{合併集水區}} \right)$
10	2.18	2.10	-0.08	3.81%
25	2.27	2.28	0.01	0.44%
50	2.36	2.40	0.04	1.67%
100	2.44	2.48	0.04	1.61%

註：淹水深度大於 0.3m 以上

表 7 比較點位之最大水深比較表

點位編號	各別集水區(m)	合併集水區(m)	差值(m) (合併-單獨)	誤差 $\left(\frac{ \text{差值} }{\text{合併集水區}} \right)$
1	0.32	0.62	0.30	48.39%
2	0.37	0.48	0.11	22.92%
3	0.27	0.56	0.29	51.79%
4	3.28	2.04	-1.24	60.78%
5	4.27	3.04	-1.23	40.46%
6	2.08	0.86	-1.22	141.86%

20~圖 25 所示，點位編號 1~3 位於典寶溪及後勁溪相鄰邊界較遠處，因此合併集水區之淹水深度歷線較高於各別集水區淹水深度，而點位編號 4~6 位於典寶溪及後勁溪下游相鄰邊界處與最低窪處，合併集水區之淹水深度歷線低於各別集水區淹水深度；表 7 為各比較點位最大淹水深度之差值(比較點位位置如圖 11 所示)，由分析結果可知編號 1~3 之最大淹水深度差值為 0.11~0.3 m，編號 4~6 之最大淹水深度差值為 1.2 m。另外繪製兩集水區邊界附近之流速分布圖(如圖 26 與圖 27 所示)，由流速大小分布可知，在兩集水區分開模擬時，集水區邊界線附近流速較小且接近於零，當兩集水區合併模擬時，集水區邊界線附近流速較大；由此可知在兩集水區交界處附近，當集水區各別模擬時，因集水區的邊界為封閉，故水流無法穿越邊界造成流速較小且接近於零，且隨著降雨強度愈大溢流之淹水體積愈多，水體會積存在邊界低窪處造成淹水位不斷上升；而當集水區合併模擬時，水流在邊界可依地勢及彼此水深高低互相流通，並趨近於平衡，故原本在集水區邊界附近水位較高區域之水體會流向水位降低之區域，如此原本水深較深之區域水深會變淺，原本水深較淺的區域水深會變深。另由圖 11 之高程與各別模擬和合併模擬的比較可知，在圖 11 中較低窪區域於合併模擬時，其淹水之水深較一致，即低窪處積水深而較高處積水較淺；而各別模擬時相水體無法交換，故造成邊界附近積水深度較高，高程處的淹水也很高(淹水深大於 3 公尺)。是故，合併模擬可得較正確之物理結果。

六、結論與建議

本研究以典寶溪與後勁溪排水系統為例，採用檢定驗證過之 SOBEK 模式，進行各別集水區與合併跨集水區之兩種淹水模擬。於重現期 10、25、50、100 年 24 小時延時降雨情境下，在相鄰邊界附近區域中，分析其淹水面積、平均淹水深度與淹水點位之淹水深度歷線等之影響與差異，得到以下結論與建議：

1. 一般進行淹水潛勢模擬時，常依據單一區域排水系統之集水區畫設當作模式之邊界，卻忽略下游低窪地區在高降雨強度下，溢流至地表之水體會與鄰近之集水區互相流通，因而造成集水區下游邊界低窪處模擬出淹水深度過高之情形。
2. 當兩排水系統合併跨集水區一起模擬時，邊界區域之漫地流將會互相流通，亦即淹水較深之水體會流向淹水較淺之水體，並趨於平衡。
3. 最大淹水深度在愈靠近邊界位置其變化量愈大，離邊界位置愈遠其變化量愈小。在本研究案例之重現期 25 年情境中，在選擇的淹水點，其淹水深差值最高可達 1.2 公尺，推測原因為當各別模擬時，集水區的邊界為封閉，水流無法穿越邊界，在邊界低窪處水體會蓄積升高；而當合併模擬時，水流在邊界可流通，水位較高區域之水體會流向水位降低之區域。
4. 合併跨集水區模擬之淹水面積會較小，且隨著重現期愈大與各別集水區分開模擬之差值愈大，在本研究案例之重現期 25 年情境中，最大可達 121 公頃，誤差約可達 10%；但是平均淹水深度差異不大，其原因為合併跨集水區模擬後，原本超出區域排水設計容量溢出之水體，將可跨區較順暢的流回低地排水渠道。
5. 未來在進行淹水潛勢模擬時，如在軟體硬體與模擬時間條件允許之下，在平原低窪地區應盡量合併模擬，應不必刻意依照集水區分開模擬，較能符合實際淹水互相流通之現況，避免邊界處產生較大的模擬誤差。

參考文獻

1. Aksoy, H., Kirca, V. S. O., Burgan, H. I. and Kellecioglu, D., "Hydrological and hydraulic models for determination of flood-prone and flood inundation areas," 7th International Water

- Resources Management Conference of ICWRS, Bochum, Germany, pp. 18-20, 2016.
2. Bates, P. D., Marks, K. J. and Horritt, M.S. "Optimal use of high-resolution topographic data in flood inundation models," *Hydrol. Process*, 17, pp. 537-557, 2003.
 3. Balloffet, A. and Scheffler, M. L. "Numerical Analysis of the Teton Dam Failure Flood," *Journal of Hydraulic Research*, 20, pp. 317-328, 1982.
 4. Chang, H. K., Tan, Y. C., Lai, J. S., Pan, T. Y., Liu, T. M. and Tung, C. P., "Improvement of drainage system for flood management with assessment of climate change effects," *Hydrological Sciences Journal*, 58, pp. 1581-1597, 2013.
 5. Cunge, J. A., "Unsteady Flow in Open Channel", Water Resource Publishing Limited, London, pp. 705-762, 1980.
 6. Deltares, SOBEK User Manual-Version:1.00, Netherlands, 2016.
 7. Horritt, M.S. and Bates, P. D., "Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation," *Journal of Hydrology*, 268, pp. 87-99, 2002.
 8. Horritt, M.S., "A methodology for the validation of uncertain flood inundation models," *Journal of Hydrology*, 326, pp. 153-165, 2006.
 9. Majewski, W., "Measures and solutions for flood management. A local case: flash flood 2001 in Gda'sk, Poland," *Irrigation and Drainage*, 55, pp. S101-S111, 2006.
 10. Yu, D. and Lane, S. N., "Urban fluvial flood modeling using a two-dimensional diffusion-wave treatment, Part 1: mesh resolution effects," *Hydrological Processes*, 20, pp. 1541-1565, 2006.
 11. Yin, J., Yu, D., Yin, Z., Wang, J. and Xu, S. Y., "Multiple scenario analyses of Huangpu River flooding using a 1D/2D coupled flood inundation model," *Natural Hazards*, 66, pp. 577-589, 2013.
 12. Yu, D. and Coulthard, T., "Evaluating the importance of catchment hydrological parameters for urban surface water flood modelling using a simple hydro-inundation model," *Journal of Hydrology*, 524, pp. 385-400, 2015.
 13. Zhou, F., Chen, G. X., Huang, Y. F., Yang, J. Z. and Feng, H., "An adaptive moving finite volume scheme for modeling flood inundation over dry and complex topography," *Water Resources Research*, 49, pp. 1914-1928, 2013.
 14. 王如意、鄭思蘋等，「台北盆地及鹽水溪流流域示範區颱風災害危險度分析（三）」，經濟部水資源局研究計畫報告，國立台灣大學生物環境系統工程學系，2001。
 15. 經濟部水利署，「高雄地區典寶溪排水系統整治及環境營造規劃報告」，2008。
 16. 經濟部水利署，「高雄地區後勁溪排水系統整治及環境營造規劃報告」，2009。
 17. 經濟部水利署，「全國淹水潛勢圖資更新及整合先期計畫」，2013。
 18. 經濟部水利署，「高雄縣淹水潛勢圖第二次更新計畫」，2014。
 19. 許銘熙，鄧慰先，吳啟瑞，「八掌溪流域淹水模擬（一）河川演算模式與沿岸地區淹水模式之建立」。行政院國科會，防災科技研究報告 80-56，1992。
 20. 許銘熙，「台北縣市淹水潛勢資料」，防災國家型科技計畫辦公室，NAPHM PH-004，1999。
 21. 張喬亞，「整合 HEC-RAS 與 FLO-2D 應用於典寶河流域之淹水模擬」，國立成功大學論文，2013。
 22. 黃成甲、許銘熙、徐子堯，「應用多重尺度格網於淹水模擬之研究」，臺灣水利，第 63 卷第 2 期，pp. 1-15，2015。
 23. 蔡長泰，「八掌溪南岸淹水及排水之研究 (III)」，行政院國家科學委員會計畫編號：NSC86-2621-P006-008 號，1996。

24. 蔡長泰、顏沛華、呂育勳、陳聰智、莊仕城，「濁水溪潰堤演算模式之初步研究」，行政院國科會防災科技研究報告 75-37 號，1986。
25. 蔡長泰、顏沛華、呂育勳、吳慶現，「濁水溪沿岸潰堤淹水模式之研究(1)」，行政院國科會防災科技研究報告 77-35 號，1988。
26. 顏清連、葉克家，「濁水溪洪災模式初步研

究」，國立臺灣大學土木工程研究所水利組研究報告，水利 6904 號，1980。

收稿日期：民國 105 年 4 月 22 日

修正日期：民國 105 年 6 月 16 日

接受日期：民國 105 年 6 月 21 日