

專 論

極端颱風事件流量模擬之災害衝擊風險分析

Regional Drainage Characteristics and Overflow Prevention in a Fish Farm Area

國家災害防救科技中心
專案助理研究員

魏曉萍

Shiao-Ping Wei

國家災害防救科技中心
副研究員

李欣輯*

Hsin-Chi Li

國立交通大學土木工程學系
教授

葉克家

Keh-Chia Yeh

國立交通大學土木工程學系
助理研究員

楊昇學

Sheng-Hsueh Yang

國家災害防救科技中心
助理研究員

劉俊志

Jun-Jih Liou

摘 要

極端颱風降雨事件常導致人命的損失與社會經濟的衝擊，因此若能事先對極端颱風降雨事件所帶來的災害程度進行詳細評估，將有助於國內防減災之工作。本研究以曾文溪流域為示範區域，使用國內首見之動力降尺度資料，挑選未來(2075 至 2099 年間)前 10 大極端颱風降雨事件，結合SOBEK淹水模式之模擬且以國家災害防救科技中心(NCDR)已建置之臺灣颱風洪災損評估系統(TLAS)評估損失規模。由研究成果可得知，十場事件總損失的平均金額為 136 億，再進一步針對不同土地利用進行損失分析，其中又以工業、住宅及農業為主要的損失類別。統計十場事件之工業總損失平均約為 52 億、其次是住宅總損失平均 22 億、農業總損失為 21 億，三者佔總平均損失之 70%。因此若能有效減輕上述三類土地利用衝擊，將可大幅降低此流域面對極端淹水事所造成的損失。

關鍵詞：極端颱風事件，災害衝擊，風險分析，SOBEK，TLAS。

ABSTRACT

Extreme typhoon rainfall events can easily cause casualties and socio-economic impacts, thus thorough assessment of the potential losses beforehand will greatly enhance the disaster management conducted in Taiwan. This paper draws on the basin of Tsengwen Creek as an example and applies the unparalleled dynamical downscaling data as well as SOBEK inundation model along with Taiwan Typhoon Loss Assessment System (TLAS, by NCDR) to demonstrate the assessment system over the top ten occurrences in future 25 years (2075-2099). The results suggest an average loss of 13.6 billion dollars. And a further analysis aims at damage caused on lands of different-industrial, residential, and agricultural. The analysis shows an average loss of 52 billion on industrial lands, 22 billion on residential lands, and 21 billion on agricultural lands, which altogether, takes up 70% of all losses. A bating impacts resulted from the aforementioned land-use may decrease possible losses that the basin could undergo when are face with extreme inundation in future.

Keywords: Extreme typhoon rainfall event, Disaster impact, Risk analysis, SOBEK, TLAS.

一、前言

全球暖化氣候變遷影響下，水文極端事件頻傳，流域可能面臨的災害衝擊恐成常態，如欲降低災害風險，需擬訂相關因應策略。台灣位於西北太平洋地區為颱風侵襲的主要路徑，極易受天然災害的影響。Liu *et al.* (2009)指出近幾年科學家發現過去數十年全球各地溫度增加則強降雨事件也隨之增多，且中、小強度降雨則有減少趨勢。2010年「台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫 2/3」報告書，統計 1970~2009 年台灣地區發生極端強降雨颱風的頻率，統計結果為 2000 年以前發生強降雨颱風的頻率約 2 年 1 次，2000 年後發生頻率增加為 1 年至少發生 1 次以上。面對極端降雨颱風事件發生機率愈趨頻繁，將可能導致低窪地區淹水、都市排水不良、坡地災害與水庫土砂淤積，甚至是公共工程設施毀損…等，這些災害都會增加人命的損傷與社會經濟的衝擊。因此，政策規劃與決策者需積極面對氣候變遷在未來可能出現之超乎現有經驗之大規模災害或新類型災害，行政部門所面臨之挑戰將更為

嚴峻。

2009 年莫拉克颱風即是台灣史上最慘痛的極端災害事件，莫拉克颱風所夾帶的巨大雨量釀成台灣地區嚴重的災情，造成全台超過 700 人死亡，全台的經濟總損失經由「莫拉克颱風災後重建推動委員會」的調查及統計，將近新台幣 2 仟億元。就事後角度來看，若能事先針對此類極端颱風事件進行災害衝擊風險評估，勢必有助於災害減輕之整備工作。因此本研究利用 SOBEK 的淹水模擬技術，進行未來極端颱風降雨事件可能造成之淹水分析，並依土地利用之分類進行各類極端事件損失之評估，期望藉由災害風險分析的程序，推估未來極端颱風事件可能造成的災害與衝擊，進而提供給相關單位有用的防減災策略。

二、文獻回顧

早期洪災損失的推估方法，多半以單位面積之淹水損失乘上淹水面積來進行估算(Grigg, 1975, 蔡長泰 1995)。國內目前較常用的淹水模式有 FLO-2D、HEC-RAS、SOBEK、SWMM 及核胞模式等。顏清連等(1997)以流域為單元，進

行集水區逕流及河川洪流演算且建立低窪地區淹水模式，模擬流域於不同程度暴雨之淹水深度及範圍。施明文(2006)利用 SOBEK 二維淹水模式推估不同重現期下，洋子厝排水集水區淹水範圍。湯嘉芸等(2006)使用美國 FLO-2D 公司發展之 FLO-2D 模式及 Environmental Systems Research Institute (ESRI)與 Hydrologic Engineering Center (HEC)所合作開發之 HEC-GeoRAS 模擬敏督利颱風於南湖溪所造成之淹水情況，並且對 FLO-2D 模式及 HEC-GeoRAS 兩模式之應用與模擬結果進行進一步分析與探討。謝平城(2007)使用 HEC-GeoRAS 模式，模擬大甲溪上游之南湖溪集水區，於不同重現期尖峰流量之淹水情況。柯亭帆(2006)利用美國環境保護署所研發之暴雨經理模式(Storm Water Management Model, SWMM)，使用不同重現期的設計降雨進行現有排水系統的排水模擬，並依據模擬結果鑑定潛在的淹水地點。許銘熙等(1993~1995)修改 Cunge (1980)等建議之核胞(cell)模式，進行台灣南部嘉義地區及八掌河流域的淹水模擬。

近年來 GIS 的技術於防災工作上應用已相當的普遍，因此利用 GIS 技術來進行洪災相關的研究有不少。例如：張齡方、蘇明道(2001)以台北縣汐止市為研討區域，應用空間資料來掌握天然災害在時空上的變異。詹士樑等(2003)將災害風險概念應用於台北地區，透過繪製水災風險分區圖及相關評估方法，凸顯我國國土空間規劃對於防災的不足。Ni & Xue (2003)藉由 ANN 模型、GIS 模型系統的整合，模擬洪災發生的可能性及估算洪災風險的不確定性。Li, *et al.* (2008)及 Li, (2010)依據福利經濟學的理论，將家戶損失分成人力資源損失及家戶財產損失兩類，其中財產損失又包含房屋結構損失、家俱家電損失、交通工具損失及其他損失，並且透過實際的問卷調查求各類損失的資料，進而建立家戶災害損失模型，最後再利用 GIS 的將各類損失以空間化的方式來呈現。

上述文獻無論是淹水的模擬、風險地圖的製作、洪災損失的估算均是 GIS 技術應用的成果。然而這些成果多半為平時減災政策參考之用，因

此操作時較無時效性的問題。但防災需求總是瞬息萬變的，每次大規模的災害發生時，地形地貌可能隨之改變，先前建立之資訊可能不適用，故為了因應未來災防工作之需求，資訊的快速產出就變得非常重要。因此本研究亦透過 GIS 之模組計算的功能，進行災害損失評估工作。整合各類計算過程中所需要的資訊，提昇防災工作之效率。

三、研究方法

為了瞭解氣候變遷可能導致的極端氣候將帶來的多大衝擊與損失規模，本研究嘗試應用高解析度之氣候模擬推估值，進行極端颱風降雨事件之淹水損失評估。藉以了解氣候變遷下的淹水災害可能造成的災害與損失。

3.1 氣候推估值

本研究使用日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)氣象研究所(Meteorological Research Institute, MRI)發展的高解析度大氣環流模式 MRI-JMA)，以及德國研究機構 Max Planck Institute (MPI)發展的第五版大氣海洋環流耦合模式 (Roeckner *et al.* 2006, ECHAM5-MPI)計算出 2075~2099 年隨時間線性增加的海溫趨勢，再加上現今(1979-2003 年)隨時間線性增加的海溫變異結果，當作初始場及邊界條件來進行動力降尺度分析，兩組模式皆每 6 小時提供一筆三度空間的資料，資料包括風場、溫度場、濕度場及重力位(或是氣壓)場。

另外研究中採用美國大氣研究中心(NCAR)所主導發展的天氣研究與預報模式系統(Weather Research and Forecasting modeling system, WRF 模式)來進行水平解析度為 5 公里的動力降尺度工作(如圖 1 所示)。使用 Fita *et al.* (2009)針對 WRF3.1.1 版稍加修改之 CLWRF，將 IPCC AR4 中 A1B 情境的溫室氣體濃度改變的情境納入輻射的計算，並輸出氣候分析常用的參數。模式每 3 個小時輸出一批資料，而地面溫度及降水資料則為每個小時輸出一批。動力降尺度執行三個時期(現在 1979-2003，近未來 2015-2039 以及 21 世

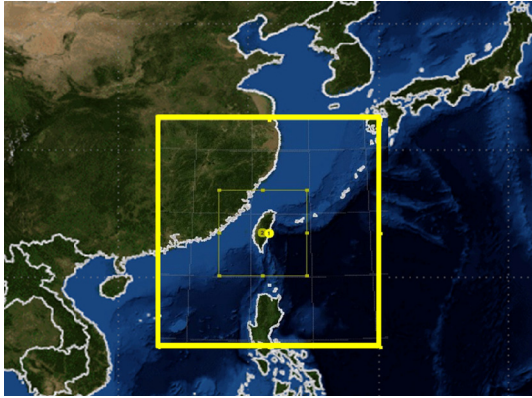


圖 1 粗線條方框為臺灣地區 5 公里解析度的動力降尺度所模擬的範圍，共計有 380 × 400 個網格點，涵蓋範圍 1900 × 2000 平方公里

紀末 2075-2099)各 25 年的氣候模擬，為了避免執行降尺度所導致太大的氣候偏移，而無法重現與全球模式相同的大尺度環流特徵，此計畫採用波譜調整(spectral nudging)的方法，以減少大尺度環流的氣候偏移。為了保留高解析度地形及地表使用對模擬結果增加的價值，在此僅針對邊界層以上的風場、重力位以及溫度場做波譜調整。

3.2 SOBEK 淹水模擬

SOBEK 模式為荷蘭 WL|Delft Hydraulics 公司所研發，為一套整合河川、區域排水與都市排水系統之商用水文、水理程式。模式分為 SOBEK Rural、SOBEK Urban 及 SOBEK River 三套模式，其中包含降雨逕流、河道演算、水質模式、輸砂模組、即時控制(real time control)及漫地流(overland flow)等模組。目前 SOBEK 模式較常應用於河川、都市下水道系統之水理及區域淹水之模擬，模擬結果可供防洪及水資源管理者進行管理、決策與分析之參考。

3.2.1 一維水理

SOBEK 一維水理模式包含河道與降雨逕流等模組組合，降雨逕流模組之水文分析採用 Sacramento 模式，模擬降雨至地面形成逕流之每一過程，包括蒸發、入滲、地表下逕流、地下水等，為一以物理機制為基礎之模式(physically based model)。河道模擬可於渠道上設置相關橋

樑、水庫、跨河構造物，如堰流(weir)、涵管流(culvert)、孔口流(orifice)與抽水站(pump station)等相關構造物。

3.2.2 二維淹水模式

二維淹水模式包含水理模式、降雨逕流模式、雨水下水道與淹水模式，可瞭解淹水地區漫地流及河川洪水位特性。二維淹水模擬於河道內邊界條件為藉助一維水理模擬結果之流量與水位，作為二維河道邊界條件。而河道外則利用區域降雨至地表產生地表漫地流進行演算。

本研究將所收集之地文與水文資料建置至 SOBEK 模式中，不過由於內水的區域排水資料較不足，因此模擬時先不考慮雨水下水道與區域排水，且假設內水因河道水位高漲而無法排至河川。

3.3 災害衝擊分析

根據 Li *et al.* (2008)提出的災害損失分析架構，可以明確得知損失分析流程，主要分成災害度分析(hazard)、受體資料分析(inventory)、脆弱性分析(vulnerability)三大類。一般來說災害的損失的計算結果即為這三項的乘積，分述如下：

3.3.1 危害度分析(hazard)

洪災危害度分析主要是針對區域的地形、地貌、氣候，以及排水系統、雨量站、水文站、河川及堤防斷面等現況資料加以蒐集，所進行的洪災潛勢模擬，透過此模擬結果，可以劃定不同降雨頻率下可能的淹水範圍。

3.3.2 受體(inventory)及脆弱性(vulnerability)分析

本研究之受體主要是指受到水災危害之各類土地利用上之地上物。本文依據國土測繪中心於 97 年最新完成之全國土地利用調查結果。此圖層共分九大類，在套入淹水模擬結果及土地利用圖層後，再利用 GIS 內建之計算功能，可以擷取淹水模擬圖層及土地利用圖層交集的面積，同時將兩圖層之屬性資料合併，估算出該算範圍內各類土地利用受淹面積。

3.3.3 損失推估

藉由上述的危害度分析與受體量推估的結果，災害衝擊的損失計算，主要是利用地理資訊

表 1 損失資料庫對應清單

模組	計算公式	損失參照資料	
影響人數 估算模組	$INP = \sum_{i=1}^N HN_i \times LA_i$	INP：影響戶數 HN _i ：住宅門牌點位(戶) LA _i ：影響範圍 I：縣市類別	內政部之門牌點位資料(99年、100年、101年)
土地流失 模組	$LL = \sum_{i=1}^N LV_i \times LLA_i$	LL：土地損失(元) LV：土地價值(元/平方公尺) LLA：影響面積(平方公尺) i：土地類別	1. 各縣之土地公告現值 2. 參考文獻：(Liu, 2009)
住宅損失 模組(水災)	$Ln(\text{水災損失}) = -0.421 + 1.875Ln(\text{淹水深度}) - 1.06(\text{房屋自有}) + 0.736Ln(\text{家戶人口數}) + 0.637Ln(\text{淹水延時}) - 0.834(\text{住居類型}) - 0.028(\text{居住年數}) + 1.159Ln(\text{收入})$		1. NCDR 自行研發之水災模組 2. 參考文獻：(Li, 2008)
農林漁牧 模組	$CL = \sum_i^N \alpha_i [CPA_i \times CLA_i]$	CL：地上(作)物損失(元) CPA _i ：單位面積地上(作)物價值(元/平方公尺) CLA _i ：地上(作)物受影響面積(公頃) α _i ：修正係數 i：地上物類別	1991-2011 重大颱風災害農林漁牧損失資料(農委會)
工商服務 模組	$ICL = \sum_i^N \alpha_i [ICP_i \times ICLA_i]$	ICL：工商損失值(元) ICP _i ：單位面積產值(元/平方公尺) ICLA _i ：工商用地受影響面積(平方公尺) α：修正係數 i：工商類別	2001、2006、2011 年之工商業普查資料(主計處)
公用建物 模組	$BL = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \alpha_i [BC_{ij} \times BLA_{ij}]$	BL：公用建物損失(元) BC _{ij} ：建築成本(元/平方公尺) BLA _{ij} ：公用建物受影響面積(平方公尺) α _i ：修正係數 i：縣市類別 j：建物類別	1. 2001-2011 年台灣地區住宅類建築造價參考表(中華民國產物保險商業同業公會) 2. 參考文獻：(Liu, 2009)
交通及水利 設施模組	$THL = \sum_{i=1}^N \alpha_i [SUC_i \times SLN_i]$	THL：交通及水利設施損失(元) SUC：結構物單位成本(元/公尺或元/平方公尺) SLN：結構物受損單位(公尺或平方公尺) α _i ：修正係數 i：結構物類別	1. 歷年颱風事件工程復建經費(公共工程委員會) 2. 88 風災後各地水利會搶修復建工程經費 參考文獻：(Liu, 2009)

系統，將模擬後的淹水潛勢資料輸出為網格資料，並套疊求得的暴露量資料，即可得知座落於淹水範圍中之不同淹水深度之地上物分佈，再依據各類損失的計算公式(如表 1)，進行損失的推估。

四、案例分析—以曾文溪流域為例

2009 年莫拉克事件中，主要的降雨分佈在南台灣，其中以曾文溪流域為主要的降雨中心，因此本研究選擇曾文溪流域作為分析案例。

4.1 淹水模擬

4.1.1 流域基本資料

使用 SOBEK 模式建置曾文溪流域(模擬範圍如圖 2 所示)進行未來極端颱風事件淹水模擬，需有河道斷面、水工建造物、未來氣候雨量、土地利用及水位等資料。由於 2009 年莫拉克颱風所挾帶大量雨量造成台灣地區大規模的淹水，因此選用莫拉克颱風雨量作為模式之檢定場次。模擬使用之地文與水文資料如表 2 所示。

雨量資料為推估流域流量之主要因子，研究中所使用未來氣候推估之颱風雨量資料為臺灣氣候變遷暨資訊平臺計畫(TCCIP)所提供，該資料為採用日本氣象廳(Japan Meteorological Agency,



圖 2 曾文溪流域模擬範圍

表 2 基本資料收集

水文特性	地文特性
1. 莫拉克颱風之雨量、水位、潮位資料。 2. 氣候變遷下之雨量、最大潮位推估資料。	1. 河道斷面資料：民國 99 年大斷面測量資料 2. 數值高程資料(DEM)：內政部提供之民國 95 年 DEM 資料之地表資料。 3. 土地利用資料：民國 95-96 年土地利用資料。 4. 跨河結構物資料：橋樑、取水堰。 5. 水庫資料：曾文水庫、南化水庫、烏山頭水庫 6. 主、支流集水區面積與地理特性資料：曾文溪主流、後堀溪、菜寮溪、官田溪、區域排水等支流。

JMA氣象研究所(Meteorological Research Institute, MRI)發展的高解析度大氣環流模式(MRI-AGCM)所模擬的氣候推估結果，利用 WRF 區域模式進行動力降尺度產製 5 公里解析度颱風個案，並從 2075 年至 2099 年間挑選出前 10 大極端颱風降雨事件，前 10 大極端颱風降雨事件(Top1-Top10)以曾文溪流域總雨量為挑選原則，前 10 大極端事件(Top1-Top10)之統計雨量統計值如表 3 所示。由表 3 可得知，2009 年莫拉克颱風總雨量大於 TOP1。

由於 WRF 氣候資料為網格式資料，因此挑選鄰近水利署雨量站的四個 WRF 網格式點取雨量平

均值為 SOBEK 輸入雨量資料，作為流域水文模式之流量分析使用，雨量站與 WRF 網格式點位置如圖 3 所示。水位資料之蒐集主要，可供水理模式之檢定與驗證使用，包含河川時水位測站資料與河口附近之時潮位測站資料。由於曾文溪河口未設置潮位站，因此藉由 NOA99 之天文潮模式先推估河口潮位，再加上颱風所引起之暴潮水位，而為河口下游邊界水位資料，藉此進行水理演算。

流域之集水區面積、流域長度與河川坡降為根據水利署水利規劃試驗所 94 年「台灣地區主要河川流域整體規劃地文與水文資訊查詢系統

表 3 極端事件降雨量分析

颱風事件	時間	總降雨 (mm)	總延時 (hr)	最大降雨強度					
				3 小時 (mm)	6 小時 (mm)	12 小時 (mm)	24 小時 (mm)	48 小時 (mm)	72 小時 (mm)
TOP1	2090071418~2090071712	856.06	49	191.34	274.58	393	726.92	855.95	-
TOP2	2078072112~2078072312	730.31	67	160.74	264.36	407.03	577.9	728.88	-
TOP3	2083092918~2083100118	478.06	49	108.63	181.64	294.55	437.2	478.03	-
TOP4	2086091112~2086091518	372.68	103	87.05	135.38	241.77	456.81	545.76	548.58
TOP5	2083062006~2083062300	313.49	133	104.78	172.51	271.73	383.29	464.79	476.74
TOP6	2088080700~2088081212	394.46	49	96.79	156.57	287.12	390.27	394.46	-
TOP7	2075082018~2075082206	542.34	43	185.65	301.31	452.59	540.6	-	-
TOP8	2099072312~2099072512	453.05	37	142.3	240.56	346.41	427.66	-	-
TOP9	2093090306~2093090606	312.55	61	49.17	84.41	140.25	200.11	298.08	-
TOP10	2097080612~2097080900	282.65	67	62.87	111.43	201.53	264.17	286.58	-
莫拉克	2090071418~2090071712	1069	72	144.32	230.55	417.77	636.18	1000.27	1107.5

PS：時間表示格式為西元年月日時。

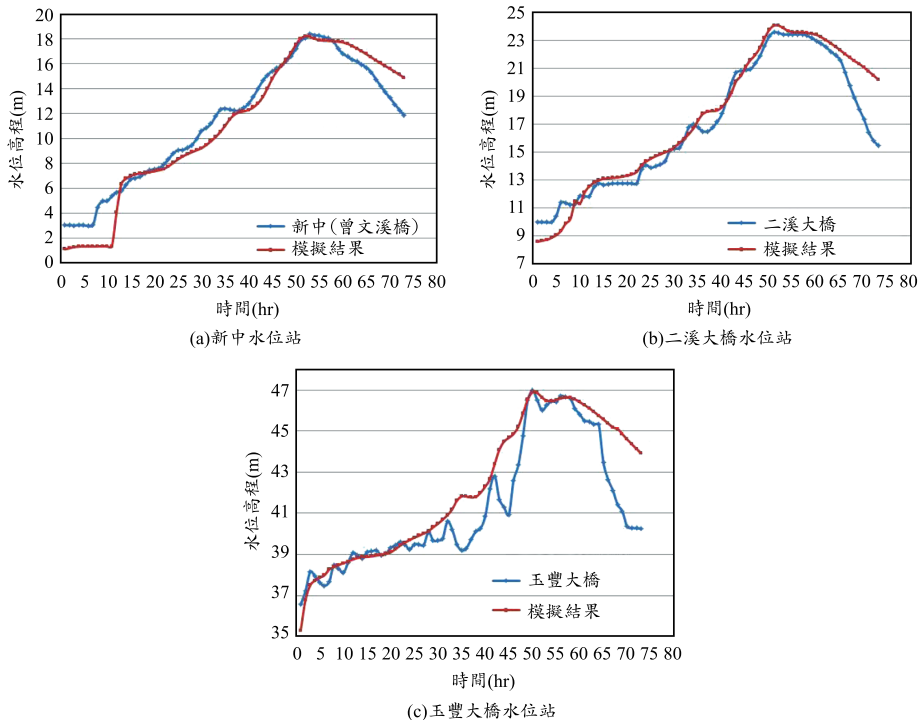


圖 3 曾文溪流域莫拉克颱風水位之比較

建立」計畫，利用其 GIUH 工具，可求得各流域相關之集水區面積、流域長度與河川坡降等資料。河川斷面資料來自水利署各河川局與水利規劃試驗所相關計畫之大斷面測量資料。

4.1.2 模式檢定

本研究使用 2075 至 2099 年間前十大的極端颱風雨量資料，利用淹水模擬技術，進行未來極端颱風降雨事件可能造成淹水之模擬。首先選用莫拉克颱風事件分別以新中、二溪大橋及玉豐大橋水位站進行模式參數檢定，圖 3 為曾文溪流域

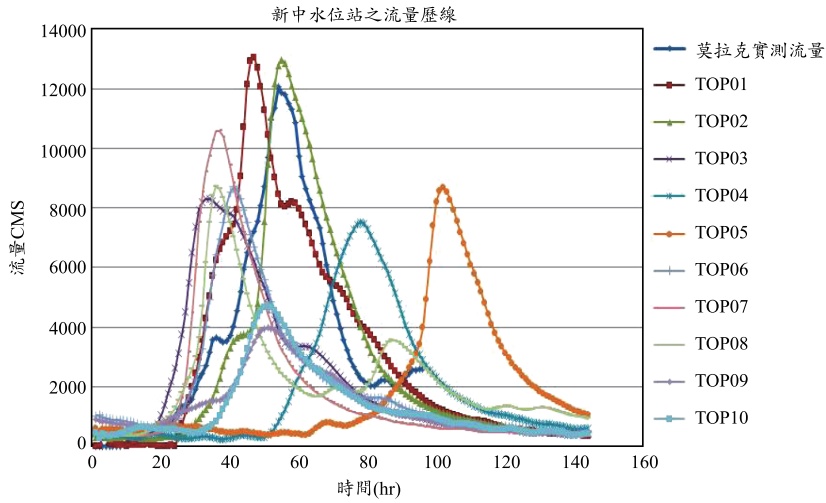


圖 4 TOP1 至 TOP10 極端事件之流量歷線

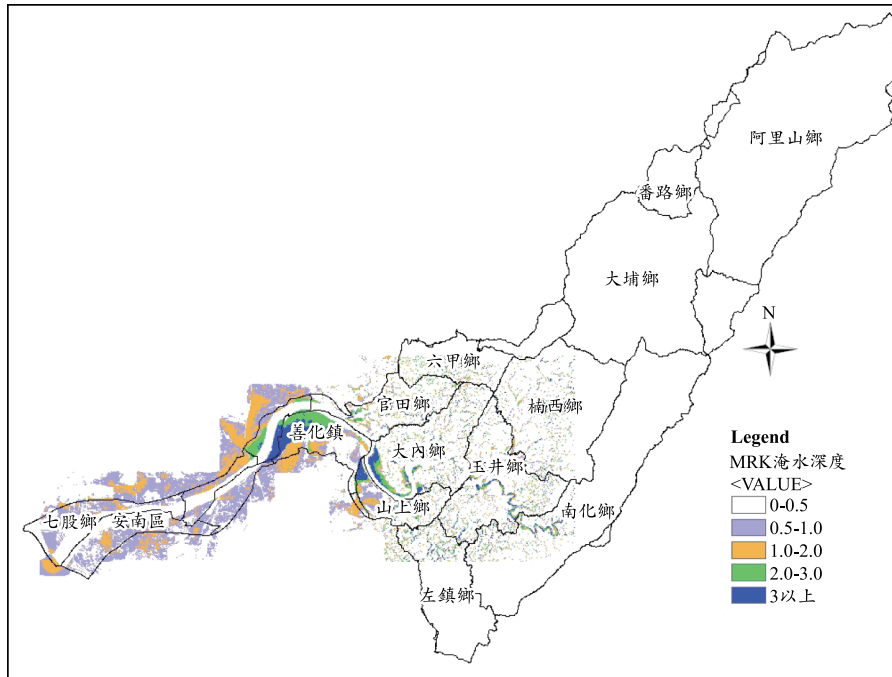


圖 5 莫拉克事件模擬之結果

莫拉克颱風時期新中、二溪大橋及玉豐大橋水位站與 SOBEK 模式所模擬水位之比較。由圖 3 可觀察出，模擬結果與實測值尚稱吻合。圖 5 為曾文溪流域於 2075 年至 2099 年間前十大極端事件之流量歷線。由圖 4 可觀察出，TOP1、TOP2 與 TOP3 尖峰流量分別為 13,047 cms、12,977cms 與

1,058cms，而莫拉克颱風尖峰流量則為 12,049cms 落於 TOP2 與 TOP3 之間。由表 3 可觀察出，莫拉克颱風連續降雨 3 至 6 小時之最大總降雨量也落於 TOP2 與 TOP3 之間。圖 5 為莫拉克事件模擬淹水區域之結果，由圖 5 可觀察出，淹水較為顯著之區域均沿著曾文溪河岸較低窪地區，如善

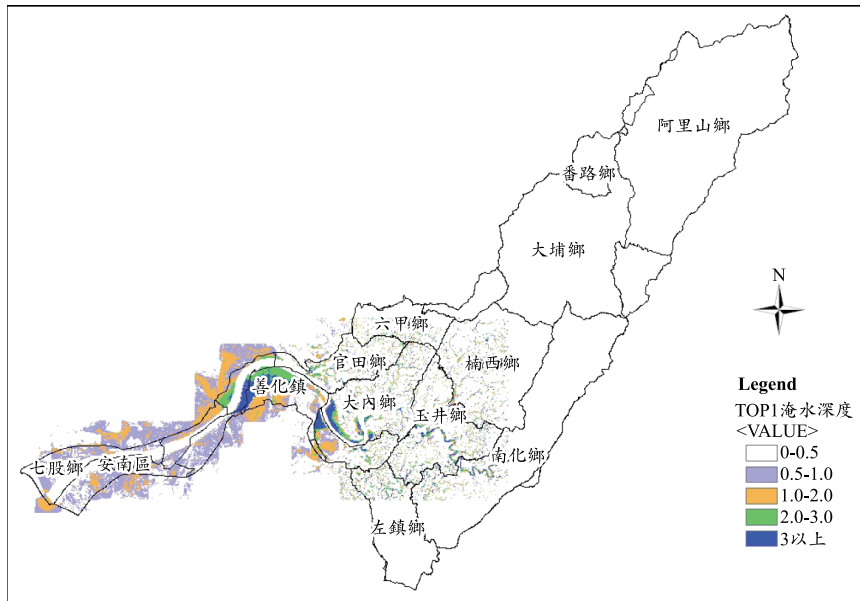


圖 6 TOP1 極端事件模擬之結果

化鎮、大內鄉、山上鄉、官田鄉、安定鄉、西港鄉、左鎮鄉、安南區、麻豆鎮等。圖 6 為 TOP1 事件模擬之結果，淹水區域與莫拉克模擬結果相似。由此模擬結果可得知，未來氣候變遷下嚴重淹水災害將可能再次上演。

現階段僅就河道加以模擬，並未考慮排水設施，造成模擬出的淹水程度較為嚴重，未來可加入排水設施加以探討。使用 SOBEK 模式模擬真實環境的反應，會受限許不確定因子的影響，因此，模擬出值與實際觀測狀況未必能完全相吻合。目前進行未來氣候模擬，所使用的地文與水文資料，大多因為無未來推估資料，除了雨量資料，對於模擬結果準確性較低，未來若有潮位推估資料、土地利用情境，將可提升模擬的準確度。

4.2 災害衝擊分析

4.2.1 危害度分析及受體量推估

本研究之受體主要是指受到水災危害之各類土地利用上之地上物。本文依據國土測繪中心於 97 年最新完成之全國土地利用調查結果。此圖層共分九大類，在套入淹水模擬結果(如圖 6)

及土地利用圖層後，再利用 GIS 內建之計算功能，可以擷取淹水模擬圖層及土地利用圖層交集的面積，同時將兩圖層之屬性資料合併，估算出該算範圍內各類土地利用受淹面積，如圖 7 所示。圖 7 中得知，這十場事件中受創最嚴重的均為農作，其次為水產及林地。

4.2.2 損失推估

藉由上述的危害度分析與受體量推估的結果，災害衝擊的損失計算，主要是利用地理資訊系統，將模擬後的淹水潛勢資料輸出為網格資料，並套疊求得的暴露量資料，即可得知座落於淹水範圍中之不同淹水深度之地上物分佈，再依據各類損失的計算公式(如表 1)，進行損失的推估。其中表 1 的模組是依據土地法、國土測繪中心的土地利用圖資，並參照莫拉克災後的調查報告(李維森等，2010)所歸納的模組，但主要可分成影響人數及財物損失兩大部份，計算結果分述如下：

(1) 影響人數

此計算的假設條件為，所有人口都居住於住宅用地上(實際若不居住於住宅用地上的人口，則無法估算)，再依據單位面積人口密度的理論，來推

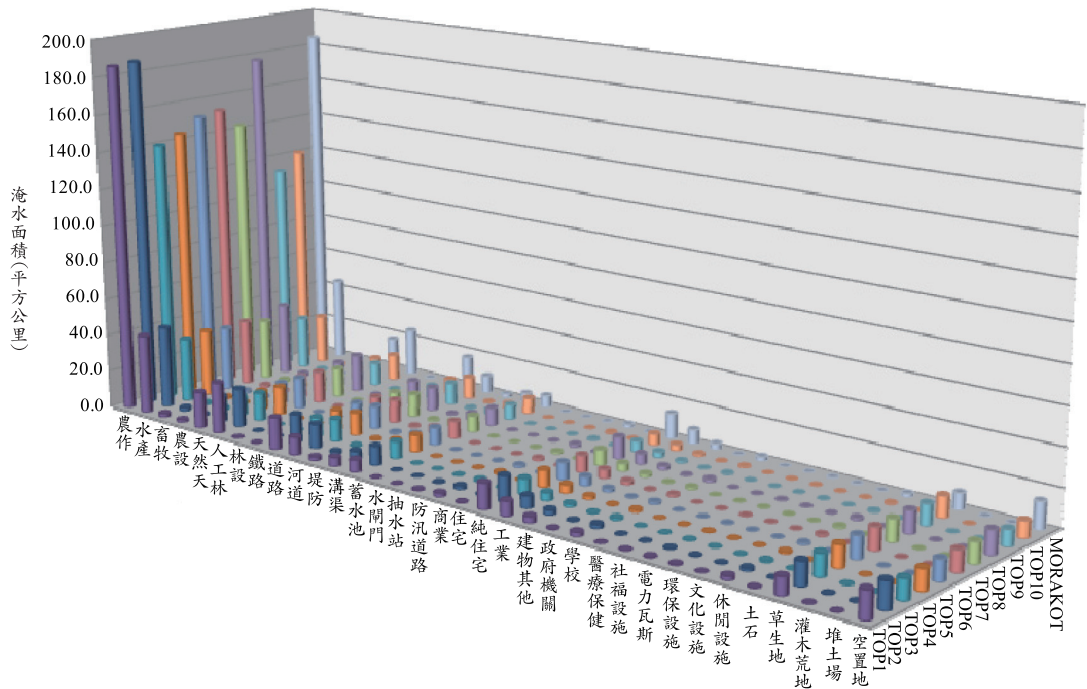


圖 7 各土地利用下之淹水面積

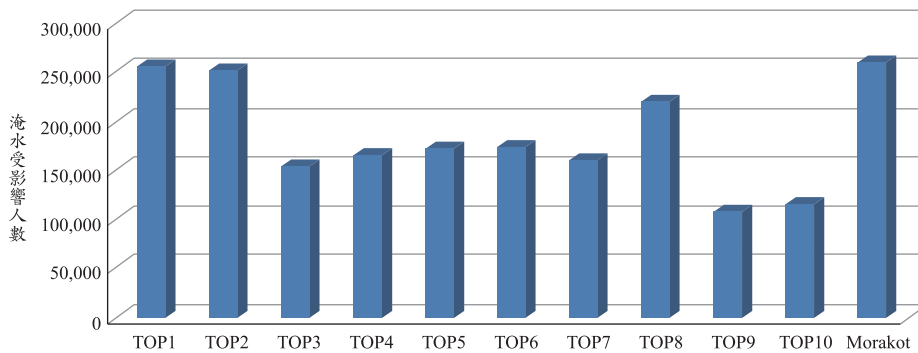


圖 8 十場極端淹水事件之影響人數分析

估在淹水範圍內受影響人數。最後十場極端降雨淹水事件的影響人數，如圖 8 所示。

根據圖 8 的分析結果，得知在示範區中，受淹水影響的總人數最多的事件，除了模拉克事件外，為 255,715 人之 TOP1 事件，其次才是 251,354 人之 TOP2 事件，其中影響人數最少者為 TOP9 之 107,458 人。模擬結果顯示無論那一場事件，所受影響的人數都超過十萬人，堪稱為大規模災害事件，因此相關政府單位可以審視目前的防災

能量，在因應未來極端災害威脅下，是否足以承擔 10 萬人甚至高達 25 萬人的防災整備工作，藉以進行適當的強化或調整。

(2)財產損失

財產損失的計算包括住宅損失模組、農林漁牧損失模組、工商服務損失模組、公用建物損失模組、交通及水利設施損失模組等結果，其中共包括 27 類不同型態的土地利用。首先十場極端淹水事件模擬計算損失結果，如圖 9 所示。

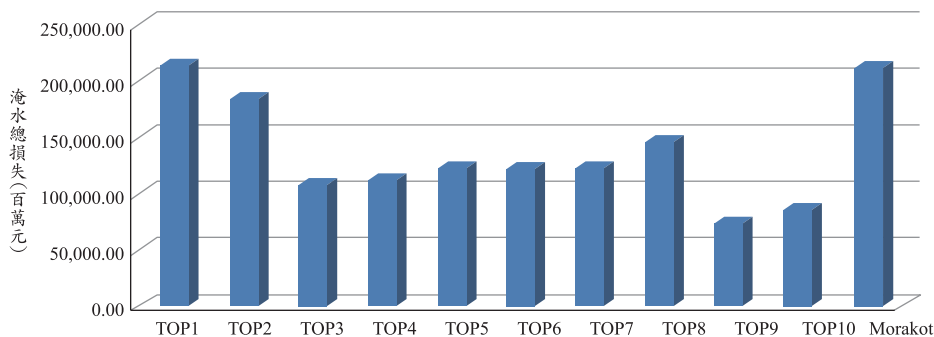


圖 9 十場極端淹水事件之總損失

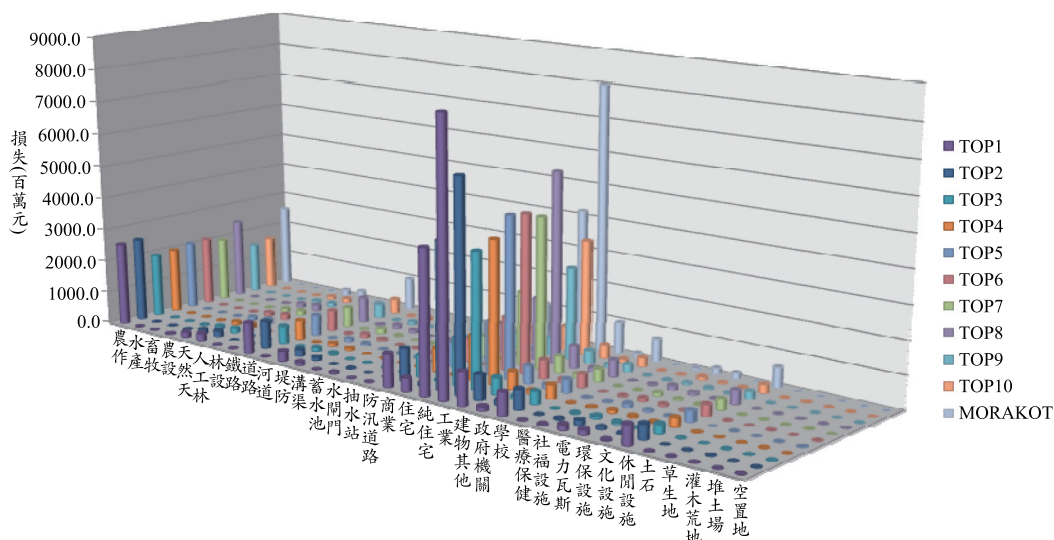


圖 10 十場極端淹水事件之各類損失

圖 9 中得知十場事件中，總損失的平均金額為 136 億，其中損失最大為 TOP1 事件之 214 億元，最小的為 TOP9 事件之 74 億元，但無論那一場模擬損失結果，除了莫拉克事件外(莫拉克總全台總損失近 2000 億元，若平分受創最嚴重的南部五縣市：雲林、台南、高雄、屏東、台東縣市，每縣市的平均損失近 350 億元)，相較於過去的台南市地區的災害歷史，連最小的 74 億也已算罕見的嚴重災情。

若再進一步針對不同土地利用進行損失分析，可以得知在受創的所有土地利用中，無論是那一場的極端事件，損失最大的三種土地利用分別為工業、住宅及農業，其中又以工業為最主

要的損失標的(圖 10)。統計十場事件之工業總損失平均約為 52 億、其次是住宅總損失平均 22 億、農業總損失為 21 億，三者佔總平均損失之 70%。故在土地利用的分析，工業、住宅及農業為此區重要的關鍵對象。

最後再依據十場極端事件各土地利用下之受災面積及損失值來看(圖 11)，平均受災面積最大的為農作用地，總淹水面積的 50%，其次是水產用地，佔 11.8%；若依損失比例來看的話，損失最大的為工業，佔總損失之 37.9%，其次是佔總損失 16.5%的住宅損失，第三才是佔總損失 15.6 的農作用地。然而若受災面積及損失兩者結合來看，受創最嚴重工業損失，損失面積卻只佔

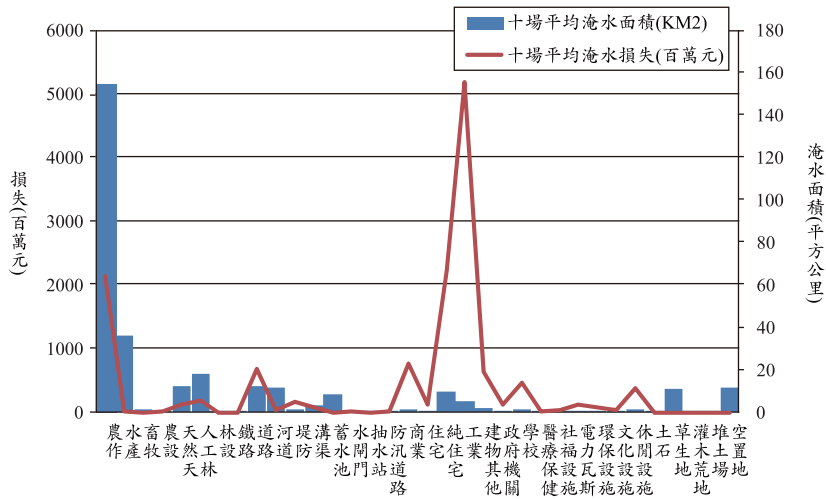


圖 11 淹水面積與損失比較

總淹水面積的 1.7%，損失次高之宅住損失面積也只佔總淹水面積的 3.2%。這結果說明，在防災資源有限的短期操作情況下，集中有限能量針對工業、其次住宅與農業進行減災工作，是該地區最有效益防災策略。

五、結論與建議

本研究以曾文溪流域為示範區域，使用動力降尺度資料，挑選未來 2075 至 2099 年間前 10 大極端颱風降雨事件，且將挑選出之雨量資料當 SOBEK 模式的輸入條件進行淹水模擬，最後將淹水模擬成果(位置、面積、水深)以國家災害防救科技中心(NCDR)建置之臺灣颱風災損評估系統 (TLAS) 模組進行可能之損失評估。

經由十場極端事件模擬之結果得知，淹水較為顯著之區域為沿著曾文溪河岸較低窪地區，如善化鎮、大內鄉、山上鄉、官田鄉、安定鄉、西港鄉、左鎮鄉、安南區、麻豆鎮等，其中又以 TOP1 事件之模擬之淹水區域與莫拉克颱風模擬結果最為相似。透過 TLAS 的計算結果，在 TOP1 至 TOP10 十場事件中，總損失的平均金額為 136 億，其中以 TOP1 極端事件受淹水影響的總人數 255,715 人，損失為 214 億元為最嚴重。若再進一步針對不同土地利用來看，工業及住宅用地的損失最為嚴重，佔總損失的 54%。因此，若可有

效減少這兩項的損失，單就十場極端事件的平均損失來說，至少可減少五成的損失，約 74 億元，若再考慮未來省去每年面對不同極端事件的損失，其效益就不只如此。

最後，本文目前直接使用氣候推估值資料有低估現象，後續研究擬進行氣候推估值的 bias-correction，且現階段僅就河道模擬，未考慮排水設施，未來可加入此一課題加以探討。目前進行未來氣候模擬，除了雨量資料外，其他如地文與水文資料、潮位及土地利用情境等，皆無未來推估的資料，後續若能逐步將上述推估資料加入分析，將可增加模擬的準確度，提升防災策略的效益。

致謝

本研究感謝行政院國家科學委員會補助經費(NSC100-2621-M-492-001)以及 TCCIP 計畫之陳淡容小姐協助產製未來氣候雨量資料，才得以順利完成，特此謹致謝忱。

參考文獻

1. Connolley, W. M. and T. J. Bracegirdle, "An Antarctic assessment of IPCC AR4 coupled model", *Geophys. Res. Lett.*, 34, L22505, doi: 10.1029/2007GL031648, 2007.

2. Fita, L., J., Ferná 'ndez, and M. Garcí 'a-Dí 'ez, "CLWRF: WRF modifications for regional climate simulation under future scenarios", Preprints, 11th WRF Users' Event, Boulder, CO, NCAR, P-26, 2010.
3. Grigg, N. S. and Helweg, O. J., "State-of-the-art of estimating flood damage in urban areas", *Water Resources Bulletin*, 11(2), 379-390, 1975.
4. IPCC, *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 104pp, 2007.
5. Ni, J.R., H.W. Zhang, Xue, A., Wieprecht, S., Borthwick, and A.G.L., "Modeling of hyper-concentrated sediment-laden floods in Lower Yellow River", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 130, No. 10, 1025-1032, 2004.
6. Liu, K.F., Li, H.C. and Hsu, Y.C., "Debris flow hazard assessment with numerical simulation", *Natural Hazards*, Vol. 49, No. 1, pp. 137-161, 2009.
7. Li H. C., "A Household Loss Model for Debris Flow", *Journal of Social and Regional Development*, Vol. 2, No. 2, P29-52, 2010.
8. Li, H.C., Kuo, Y.L., Shaw, D. and Huang, T.H., "The Household Benefits Assessment of the Flood Reduction Plan in a Flood-prone Area: A Case Study of Sinwen, Chiayi, Taiwan", *Agricultural and Resources Economics*, v. 5 n. 2, p 41-58, 2008.
9. Liu, S. C., Fu, C., Shiu, C.J., Chen, J.P. and Wu, F., "Temperature dependence of global precipitation extremes", *GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS*, VOL. 36, L17702, doi: 10.1029/2009GL040218, 2009.
10. Murakami, H., Wang, B. and Kitoh, A., "Future changes in the western North Pacific typhoons: Projection with a 20-km-mesh global atmospheric model", *Journal Climate*, 24, 1154-1169, 2011.
11. Roeckner, Erich; Lautenschlager, Michael; Schneider, Heiko, "IPCC-AR4 MPI-ECHAM5_T63L31 MPI-OM_GR1.5L40_20C3M run no.1: atmosphere 6 HOUR values MPImet/MaD Germany", World Data Center for Climate. [doi: 10.1594/WDCC/EH5-T63L31_OM-GR1.5L40_20C_1_6H, 2006.
12. WL|Delft Hydraulics, *SOBEK Software User's Manual*. Delft, the Netherlands, 2006.
13. 陳正達、許晃雄、盧孟明、隨中興、周佳、翁叔平、陳昭銘、林傳堯、鄭兆尊、朱容練、吳宜昭、卓盈旻、陳重功、張雅茹、林士堯、林修立、童裕翔與楊承道，「未來氣候變遷推估」，收錄於許晃雄、陳正達、盧孟明、陳永明、周佳、吳宜昭等，「2011：臺灣氣候變遷科學報告 2011」，行政院國家科學委員會，2011。
14. 李維森、葉克家、林其璋、謝正倫、溫志超、葉一隆、謝龍生、陳聯光、李欣輯、王怡文，「莫拉克颱風之災情勘查與分析」，行政院國家科學委員會專題研究計畫，編號 NSC 98-2625-M-492-010，台北，2010。
15. 施明文，「二維淹水模式應用於彰化縣三個排水系統淹水模擬之研究」，國立中興大學水土保持學系碩士論文，2006。
16. 柯亭帆、葉佳典、吳志興、王裕民，「都市低窪地區潛在淹水鑑定與滯洪池排水操控之研究」，2006年北京科技大學－國立屏東科技大學學術研討會。
17. 柯亭帆、葉佳典、吳志興、王裕民，「都市低窪地區潛在淹水與滯洪池操控之分析」，北京科技大學學報(*Journal of University of Science and Technology Beijing*)，Vol. 28 (S2), pp. 148-151, 2006.
18. 張齡方、蘇明道，「空間資料於洪災損失推估之應用」，*農業工程學報*，第 47 卷第 1 期，p. 20-28，2001.
19. 許銘熙，「八掌河流域北岸洪水與淹水預報模式之研究(二)」，行政院國科會研究計畫成

- 果報告，1996。
20. 湯嘉芸、謝平城、林俐玲，「FLO-2D 與 HEC-GeoRAS 應用於敏督利颱風造成南湖溪淹水之模擬」，水土保持學報 39(1)：87-96，2007。
21. 詹士樑、黃書禮、王思樺，「台北地區洪水災害風險分區劃設之研究」，都市與計劃，第 30 卷，第 4 期，頁 263-280,2003。
22. 蔡長泰、游保杉、周乃昉、史天元等，「地理資訊系統在淹水預警上之應用(1、2、3、4)」，臺灣省水利局專題研究計畫，1993、1994、1995、1996。
23. 謝平城、湯嘉芸、林俐玲，2008，「應用 HEC-GeoRAS 淹水模擬之研究—以南湖溪為例」，水土保持學報，第四十卷，第四期，第 455-467 頁。
24. 顏清連、蔡義本、陳亮全、許銘熙、林美聆、羅俊雄，「防災國家型科技計畫－規劃報告」，1997。

收稿日期：民國 102 年 1 月 21 日

修正日期：民國 102 年 5 月 24 日

接受日期：民國 102 年 6 月 3 日