

NCDR 106-T17

暖化情境下淡水河流域之極端颱風災事件風
險評估：淹水災害之衝擊分析

Risk Evaluation of Extreme Typhoon Events in
Tamsui River Basin under Warming Scenario:
Impact Assessment of Flood Disaster



國家災害防救科技中心

National Science and Technology Center
for Disaster Reduction

國家災害防救科技中心

中華民國 107 年 01 月

NCDR 106-T17

暖化情境下淡水河流域之極端颱風災事件風
險評估：淹水災害之衝擊分析

Risk Evaluation of Extreme Typhoon Events in
Tamsui River Basin under Warming Scenario:
Impact Assessment of Flood Disaster

李欣輯、趙益群、蕭逸華



國家災害防救科技中心

中華民國 107 年 01 月

摘要

淡水河流域為北台灣最重要的流域之一，流域跨區至臺北市、新北市、基隆市、桃園市及新竹縣，尤其包含了北台灣核心區域-大臺北地區，除了為台灣的政經中心外，亦是人口密最高的都會區。然而在未來氣候變遷威脅與日劇增的情況下，如何擬定合適的減災適調策略，將是未來災防的重點。

為了解氣候變遷對淡水河流域河道沖淤與下游淹水分布的影響，本研究使用依據日本氣象廳之動力降尺度資料(MRI-WRF)，所產製 5 公里空間解析度之 AR5 氣候資料，進行未來極端颱風情境之衝擊評估。文中從 20 世紀末期(1979-2003)共 87 場降雨事件及 21 世紀末期(2075-2099)共 43 場降雨事件中，挑選前 10%極端颱風降雨事件進行模擬分析。依據河道沖淤分析結果，未來在氣候變遷影下極端颱風降雨所帶來之洪水事件將會造成底床抬升，進而減少通洪斷面，淡水河兩岸堤防出水高不足及溢淹的風險將會增加。依據 SOBEK 淹水境況模擬結果，21 世紀末超過 0.5m 的淹水面積將較 20 世紀末增加約 16.3%。但整體來說淹水規模並不大，只在部份地區淹水深度上有明顯增加，預計共造成約 6.5 億元的直接經濟損失。

關鍵字：氣候變遷、河道沖淤、淹水、損失評估

ABSTRACT

The Tamsui river basin is one of the most important watersheds in North Taiwan. Not only because the New Taipei City, Keelung City, Taoyuan City and Hsinchu County are covered within the basin, more importantly, this watershed contains Taipei City, Taiwan's political and economic center, and also the most densely populated metropolitan area. Therefore, how to develop appropriate mitigation appropriate strategy, will be critical issue under the threatening of future climate change.

In order to understand the effect of climate change, this study used the climate data of AR5, based on the dynamic downscaling analysis (MRI-WRF), which produced by the Japan Meteorological Agency, to assess the impact of the future extreme typhoon events. This study adopt the top 10% of the extreme typhoon events from the end of 20th century from 1979 to 2003 (total 87 events) and the end of the 21th century from 2075 to 2099 (total 43 events) to figure out the difference of impacts. Results show that the extreme flood event of 21th century will cause the bed lifting compare with the results of 20th century, thus the cross-section of river will be reduced and the risk of overflowing will increase. Furthermore, according to the simulation results of SOBEK model, the flooded area above 0.5m in the 21th century will increase by about 16.3% compared with the end of the 20th century. But the scale of flooding is not severely, the flooding depth will increase significantly only in some specific areas, and expected to cause a total of about 650 million NTD direct economic losses.

Keywords : climate change, river erosion and sedimentation, flood, loss

assessment



目錄

摘要.....	III
ABSTRACT	IV
圖目錄.....	IX
表目錄.....	XI
第一章 前言	1
第二章 淡水河流域歷史積淹水災況分析	3
2.1 防洪整治計畫概述.....	4
2.2 文獻回顧.....	5
2.3 歷史颱風淹水災點分析.....	8
2.4 現地勘查	12
2.5 小結	18
第三章 淡水河防洪評估.....	19
3.1 前言	19
3.2 研究方法	19
3.2.1 降雨 - 逕流模式.....	19
3.2.2 水理演算模式	24
3.3 模擬成果與分析	26
3.3.1 氣候變遷影響下流量模擬.....	26

3.3.2 淡水河防洪安全評估	28
3.4 小結	36
第四章 淡水河流域臺北市蛋黃區淹水境況模擬	37
4.1 研究基本資料概述	37
4.2 研究方法	38
4.3 模擬成果與歷史災點比較	42
4.4 淹水模擬與成果分析	44
4.4.1 模擬資料前處理	44
4.4.2 模擬成果與分析	51
4.4.3 淹水損失成果分析	56
4.5 小結	59
第五章 氣候變遷下河道沖淤評估	60
5.1 水庫淤砂問題	60
5.2 石門水庫防淤措施	63
5.3 氣候變遷下大漢溪與淡水河河道沖淤影響評估	64
5.4 小結	69
第六章 結論	70
參考資料	73



圖目錄

圖 1	淡水河流域圖	3
圖 2	員山子分洪完工前歷史積淹水災點	10
圖 3	員山子分洪完工後歷史積淹水災點	11
圖 4	現勘調查照片-土城區	15
圖 5	現勘調查照片-三峽區與新莊區	16
圖 6	現勘調查照片-樹林區與暖暖區	17
圖 7	淡水河流域降雨—逕流模式子集水區劃分及模式所用流量站 相對位置圖	20
圖 8	降雨逕流所用雨量測站及徐昇式網格	22
圖 9	寶橋站降雨—逕流檢定與驗證結果圖	23
圖 10	屈尺站降雨—逕流檢定與驗證結果圖	23
圖 11	三峽站降雨—逕流檢定與驗證結果圖	23
圖 12	HEC-RAS 淡水河與大漢溪河道斷面建置結果	25
圖 13	HEC-RAS 模式中河道斷面示意圖	25
圖 14	20 世紀末期與 21 世紀末期極端事件推估流量與降雨強度關 係圖	28
圖 15	計畫洪水量現況水位模擬結果	32
圖 16	21 世紀末最極端事件現況水位模擬結果	33
圖 17	21 世紀末最極端事件水庫蓄洪現況水位模擬結果圖	34
圖 18	水利署(2013)A1B 情境重現期 200 年 48 小時現況水位模擬結 果圖	35
圖 19	淡水河流域臺北市蛋黃區淹水模擬範圍示意圖	37
圖 20	淡水河流域臺北市蛋黃區研究區域 SOBEK 模式模型圖	39
圖 21	Sacramento 概念圖(參考 SOBEK 手冊)	40

圖 22	一維渠道和二維漫地流耦合演算示意圖(摘自 SOBEK 手冊)	41
圖 23	淡水河流域臺北市蛋黃區雨量站和 WRF 網格點	43
圖 24	2015 蘇迪勒颱風—實際與模擬積淹水災況比較圖	43
圖 25	中正國中雨量站對應 WRF 網格雨量之降雨組體圖	47
圖 26	20 世紀末期_總降雨量分布圖	49
圖 27	21 世紀末期_總降雨量分布圖	50
圖 28	20 世紀末期排序前 10%場次最大淹水深度模擬成果圖	53
圖 29	21 世紀末期排序前 10%場次最大淹水深度模擬成果圖	54
圖 30	平均積淹水面積比較圖	55
圖 31	積淹水深度及淹水面積比較圖	55
圖 32	淹水深度 0.5m 以上淹水面積比較圖	55
圖 33	臺北市中央區淹水影響戶數	57
圖 34	臺北市中央區淹水直接經濟損失比較(單位：百萬元)	57
圖 35	影響戶數變化量(戶)	58
圖 36	淹水經濟損失變化量(百萬元)	58
圖 37	石門水庫歷年累積淤積量、清淤量及有效庫容變化趨勢圖	62
圖 38	阿姆坪大灣坪防淤隧道位置圖(摘自北水局，2017)	63
圖 39	大漢溪與淡水河底床比較(摘自北水局，2011)	64
圖 40	阿姆坪防淤隧道下游河道長期排砂模擬底床新增變化量	67
圖 41	未來阿姆坪排砂隧道排砂後水位模擬示意圖(此圖不含水理模擬結果)	68

表目錄

表 1	大臺北地區防洪三期計畫	4
表 2	基隆河整治二期計畫	5
表 3	歷史極端颱風事件基本資料	9
表 4	各隸屬區總淹水災點統計表	12
表 5	現勘調查災點詳細資料	13
表 6	氣候變遷下 20 世紀末淡水河水系流量推估	27
表 7	氣候變遷下 21 世紀末淡水河水系流量推估	27
表 8	計畫洪峰量與氣候變遷下 21 世紀末期極端事件之洪峰量比較 表	30
表 9	模擬事件基本資料	44
表 10	模式模擬基本資料	45
表 11	北市中山區及中正區淹水直接經濟損失	57

第一章 前言

為了解氣候變遷情境下對淡水河流域帶來的洪災影響，本研究所使用的氣候模式推估資料，係採用日本氣象廳氣象研究所發展的高解析度大氣環流模式(MRI - AGCM 3.2S)推估值(Mizuta et al. 2012)，使用 CMIP5 中氣候變遷暖化情境 RCP 8.5 (Mizuta et al. 2014)為條件，其水平空間解析度為 20 km。然而 20 km 空間解析度仍無法有效解析出臺灣地區因地形效應造成的強降雨，因此使用美國大氣研究中心所發展的天氣研究與預報模式系統(WRF 模式)對 MRI - AGCM3.2S 推估資料進行動力降尺度，WRF 模式的水平空間解析度設定為 5 km。經過動力降尺度資料文中以 WRF - MRI-5km 稱之。雖然透過動力降尺度能得到較佳的降雨模擬，但與觀測資料相比 WRF - MRI - 5km 之颱風降雨強度仍有低估的情形，因此採用累積機率密度分布函數對應法進一步對 WRF - MRI - 5km 資料進行偏差校正，以獲得所需之氣候變遷推估資料。

為挑選適合的氣候變遷條件下颱風降雨事件，本年度係以總雨量進行颱風事件排序，由於 20 世紀末期(1979 年至 2003 年間)及 21 世紀末期(2075 年至 2099 年間)的颱風降雨事件分別為 85 場及 43 場。基於比例原則，優先挑出 20 世紀末期與 21 世紀末時期颱風事件總雨

量排名前 10 %者進行分析比較；因此經篩選後在 20 世紀末期與 21 世紀末的颱風降雨場次分別為 8 場及 4 場。藉此將使用上述極端颱風降雨事件探討淡水河主河道防洪安全問題，以及在臺北市蛋黃區內氣候變遷極端降雨事件所造成的淹水境況，可將此作為後續防洪之參考。



第二章 淡水河流域歷史積淹水災況分析

淡水河流域為北臺灣重要流域，屬臺灣第三大河川、北部第一大河川。發源於中央山脈北端的品田山，標高 3,529 公尺，位於新竹縣及台中市交界處，流域面積約為 2,726 平方公里，佔全臺灣面積約 7.6%，其幹流長度約為 158.7 公里；整個流域是由大漢溪、新店溪、基隆河三大支流匯集而成，且三大支流分別有石門水庫、翡翠水庫及員山子分洪道，為北臺灣三大重要水利設施，則最終流入淡水河主流，流經區域包含臺北市全區、新北市 21 個區、基隆市 2 區、桃園市 4 區及新竹縣 2 區。淡水河流域圖如圖 1 所示。

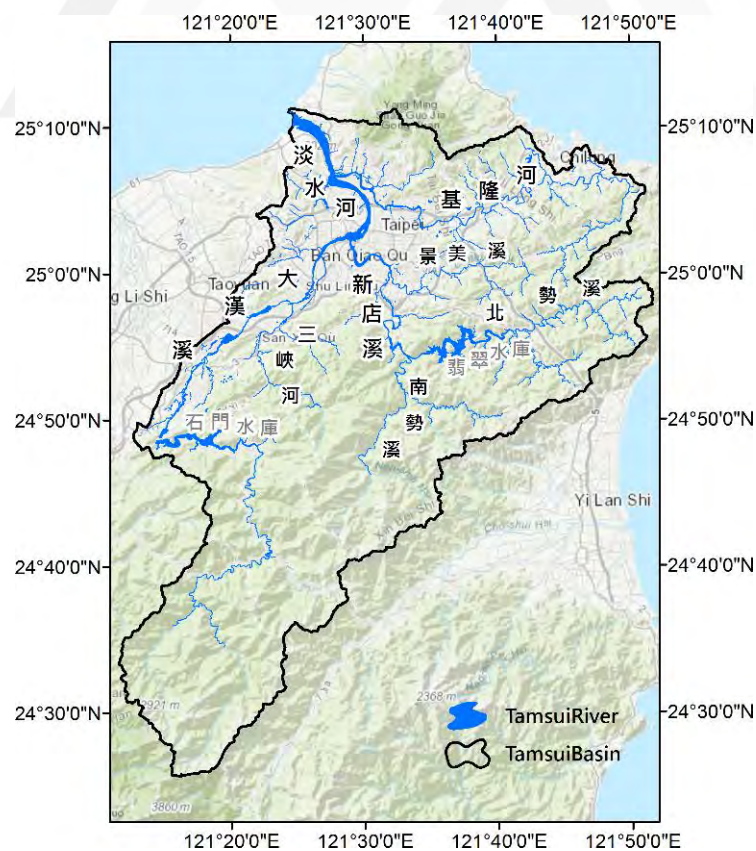


圖 1 淡水河流域圖

2.1 防洪整治計畫概述

大臺北地區往年公部門陸續執行了各項防洪整治計畫，從 1980 年至 2005 年不等，進行了各項分期工程。在防洪三期計畫部分，包含了堤防改建、抽水站、排水幹線及橋梁等防洪設施增修，以及二重疏洪道、五股疏左及社子島高保護等較大防洪計畫，相關內容如表 1。還有結合市管部分及中央管部分兩階段之基隆河整治計畫，包含截彎取直新舊河道、新生地開發、河道治理及員山子分洪道等相關整治，詳細內容如表 2 所示。

表 1 大臺北地區防洪三期計畫

分期計畫		經費	內容
分期工程	初期 (1980-1984)	99 億	Q ₁₀ 堤防 22km，二重疏洪道、抽水站 5 座及排水幹線 15.5km、用地 454 公頃
	第二期 (1985-1987)	63 億	堤防加高 25km 至 Q ₂₀₀ ，擴增鴨母港及蘆洲抽水站、橋梁 2 座
	第三期 (1990-1999)	996 億	堤防 31km，改建 2.2km，水門 15 座，洪水預報系統更新，排水幹線 23.5km，抽水站 14 座、橋梁 3 座，拆遷安置計畫等
後期或局部工程			五股疏左及社子島高保護

資料來源：經濟部水利署第十河川局

表 2 基隆河整治二期計畫

市管部分	(南湖大橋下游)
1991/11-1994/06	防洪體系的建立與截彎取直後新舊河道的轉換
1993/11-1996/12	新生地的開發
中央管部分	(南湖大橋上游)
1989	基隆河治理基本計畫 (南湖大橋—八堵橋段)
1993	基隆河治理基本計畫 (八堵橋—侯硐介壽橋段)
1998-2001	第一階段：基隆河初期治理工程
2002-2005	第二階段：基隆河整體計畫(前期計畫)

[備註] 2010 年五都改制，在改制後基隆河皆為中央管河川，治理到猴硐，猴硐以上僅管理。

資料來源：經濟部水利署第十河川局

員山子分洪道在大臺北地區防洪建設為其一大工程。從新北市瑞芳區開鑿，且可分流基隆河洪水最多達每秒 1,310 立方公尺，全長 2,483.5 公尺、內徑 12 公尺，經基隆山西麓，於台 2 線 79 公里處入東海的分洪隧道於 2005 年 7 月正式完工。員山子分洪道是基隆河整體治理計畫中極為重要的工程，功能是讓基隆河自介壽橋以下可達二百年重現期的保護標準，為了解此工程對於大臺北地區水患防禦的成效，本研究依據工程完工時間點分為前後期之淹水災情進行相關分析。

2.2 文獻回顧

依據員山子分洪道完工時間點分為前後期，在國內亦有眾多學者針對大臺北地區進行不同的相關研究計畫。在工程完工前期行政院國家科學委員會專題研究計畫(1999)進行了一系列整合計畫，包含臺北

都會區淹水區域預測之研究，並了解在不同重現期距降雨下之最大淹水分部概況；陳增壽、張倉榮等(1999)進行臺北市中央區洪災境況模擬與應變措施之研究，探討不同重現期降雨條件下之洪災境況及其相關應變措施。研究成果顯示區域內一些重要的抽水站若無法正常操作，可能會引發抽水建及其附屬雨水下水道系統連鎖溢淹效應，淹水範圍十分可觀；謝龍生等(2004)針對大漢溪及新店河流域防洪系統，評估未來短中長期各種可能氣候變遷情境條件下，河川洪峰流量對於集水區防洪系統之衝擊影響。研究結果顯示，不論是哪一種氣候變遷預設情境，其河川流域最大保護標準洪峰流量將有增加之趨勢。

工程完工後期研究甚多，虞國興等(2009)針對臺北都會區進行極端暴雨淹水境況模擬之研究，水災境況模擬區域為士林區及北投區，成果可看出在不同重現期降雨之現況抽水站正常及失效的條件下，淹水境況皆有明顯增加，可得知設計、管理好一個抽水站，可使避免缺水及淹水等水資源問題產生；柳文成等(2010)蒐集 2000 年至 2005 年之河口潮位資料，以一維變量流演算模式分析極端暴雨情境之淡水河系溢堤與破堤。大漢溪上游及中游溢堤地區以三重市及蘆洲市、溢堤地區以社子島及獅子頭附近。新店溪瓶頸段上游、中游溢堤情形為嚴重；李明儒(2010)應用 SOBEK 模式以臺北市玉成抽水站集水區為研究區域分析在該雨水下水道不同區段與程度之淤積條件下，對於都市

地區淹水範圍與深度之影響。分析結果可發現部份低窪地區(信義區等 5 個里)，在 5 年重現期及下水道無淤積情況下有大範圍之淹水情形發生，其地區防洪策略或設施有待改善；經濟部水利署(2011)進行氣候變遷水文環境風險評估研究計畫，使用 A1B、A2 及 B1 情境，24 個 GCMs 之系集平均加減一倍標準偏差之月降雨量。成果顯示未來短期在淡水河流域，上下游的未來雨量增加，中游為約略增加，而流量皆明顯增加；柳文成等(2013)以臺北中央區為示範區，就氣候變遷下之極端降雨及都市開發對都市淹水之衝擊影響進行模擬分析，進行淹水事件模擬並比較其淹水面積變化程度。模擬結果顯示若採取調適策略，淹水面積範圍較氣候變遷之面積降低了 20%至 42%，惟調適策略之效用隨重現期變大而減小；經濟部水利署水利規劃試驗所(2013)與臺灣大學合作，應用國家災害防救科技中心提供之統計降尺度月降雨量變化資料，水理計算採用 HEC-RAS 模式，以氣候變遷 A1B 情境針對淡水河流域因應氣候變遷防洪及河道土砂運移及堆積評估、進行極端氣候下水土災害對流域水利事業之衝擊評估，模擬成果可看出淡水河流域主支流河道之堤防未來有出水高度不足的情形在基隆河左右岸相對較多，次多為新店溪左岸、淡水河左岸及大漢溪右岸等區域，較明顯溢堤危險之點位多集中於基隆河下游及淡水河下游。

由上述過去的眾多研究與 4.1.1 節介紹之防洪治理成果可看出政

府與學者專家為提升防洪效益，一直以來針對淡水河流域及大臺北地區做了非常多的研究與計畫執行，讓大家了解由古至今的防洪歷程。

2.3 歷史颱風淹水災點分析

本研究依員山子分洪道 2005 年 7 月完工時間點分為前後時期，所使用之歷史災點時期約介於 2001 年至 2016 年，針對在這 16 年期間對大臺北地區造成積淹水災情之極端颱風事件進行分析，分析事件詳細資料，如表 3 所示。

國家災害防救科技中心-災害潛勢地圖網站針對積水與淹水做了相關的區分說明：在過去，人行道的高度與道路地面高差約 25 至 30 公分高，因此當道路積水高度超過 25 至 30 公分時，就會對兩旁的住家或商店造成影響，所以稱之為淹水，低於此高度就稱作積水；但後來依據法令「水災公用氣體與油料管線輸電線路災害救助種類及標準」第 3 條及「災害防救法」第 48 條，規定住屋因水災淹水達 50 公分以上且有居住事實者之住戶，可申請水災補助，即將 50 公分以上訂為淹水，以下則為積水。因為本研究分析時期長達 16 年，故依據過去積淹水分界為基準，以 30 公分作為為積水及淹水災點的區分，並以此了解災害嚴重程度。

根據分析結果可看出在員山子分洪道完工前 2001 年至 2005 年

期間約有 3 場影響較大颱風事件，總災點數量為 585，積水佔 12 點(約佔總災點 2%)、淹水佔 573 點(約佔總災點 98%)，災點多數集中於基隆河下游、大漢溪下游及蘆洲三重區之淡水河各支流匯流處，災點分布，如圖 2 所示；分洪道完工後 2006 年至 2016 年期間約有 19 場影響較大颱風事件，總災點數量為 494，積水佔 428 點(約佔總災點 87%)、淹水佔 66 點(約佔總災點 13%)，災點較為分散，且淹水災點大幅度減少，災點分布如圖 3 所示。由上述分析成果可看出在員山子分洪道完工前後造成大臺北地區積淹水境況有大幅度的變化，亦可看出防洪治理之功效。

表 3 歷史極端颱風事件基本資料

年份	颱風事件(災點數量)
員山子分洪道完工前歷史積淹水災點統計	
2001	納莉颱風(568)
2004	敏督利颱風(3)
2005	0512 豪雨(14)
員山子分洪道完工後歷史積淹水災點統計	
2007	柯羅莎颱風(5)
2008	辛樂克颱風(11)、薔蜜颱風(1)
2010	0621 豪雨(18)、0923 豪雨(9)
2012	蘇拉颱風(86)、天秤颱風(2)
2013	蘇力颱風(3)、潭美颱風(61)、天兔颱風(4)
2014	麥德姆颱風(6)、鳳凰颱風(9)
2015	0614 豪雨(12)、昌鴻颱風(3)、0723 豪雨(20)、蘇迪勒颱風(207)、 杜鵑颱風(30)
2016	尼伯特颱風(2)、馬勒卡颱風(5)

災點資料來源：經濟部水利署、行政院環保署(環境災害管理資訊系統)、國家災害防救科技中心、成功大學勘災調查報告書、新聞

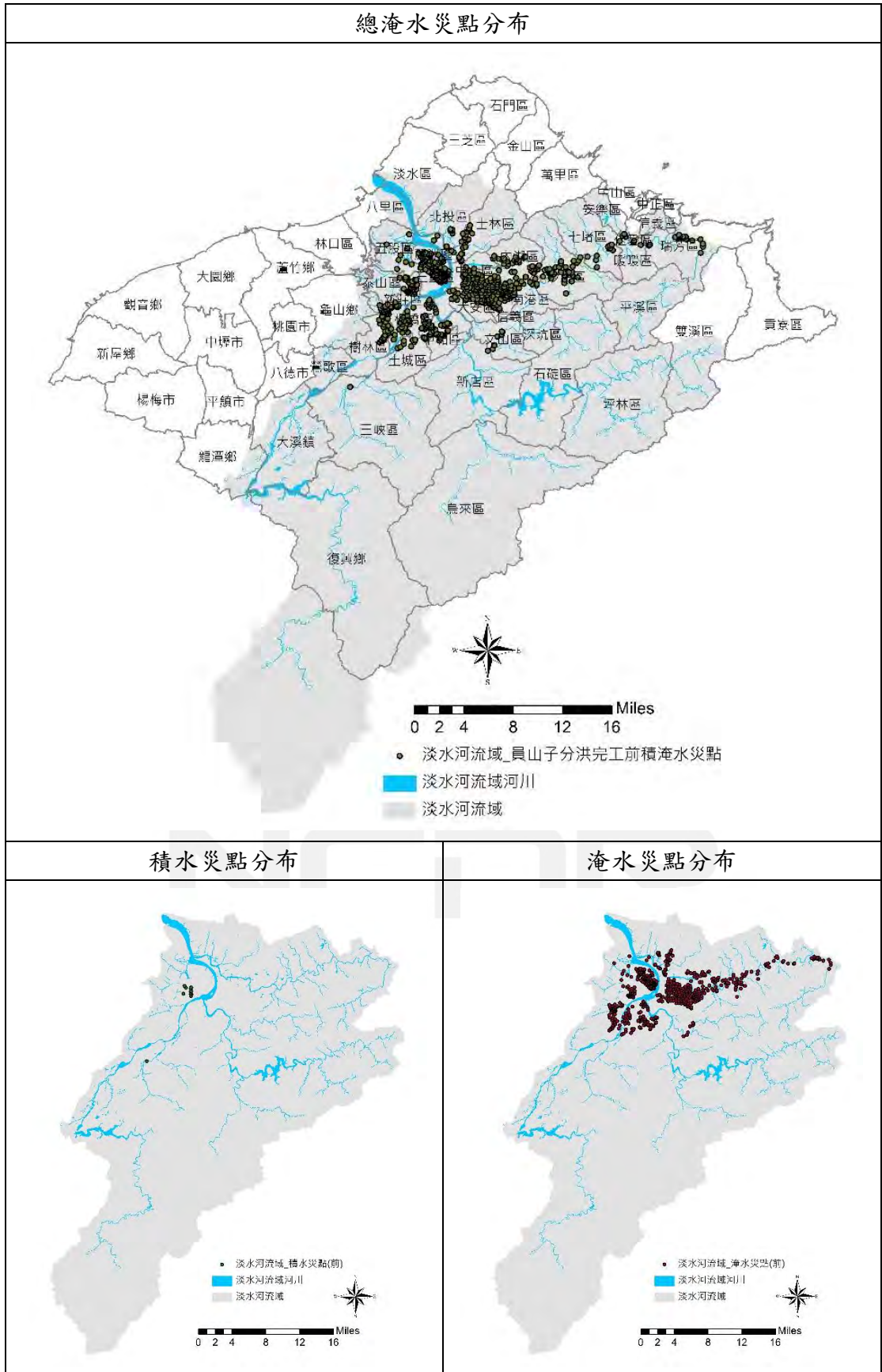


圖 2 員山子分洪完工前歷史積淹水災點

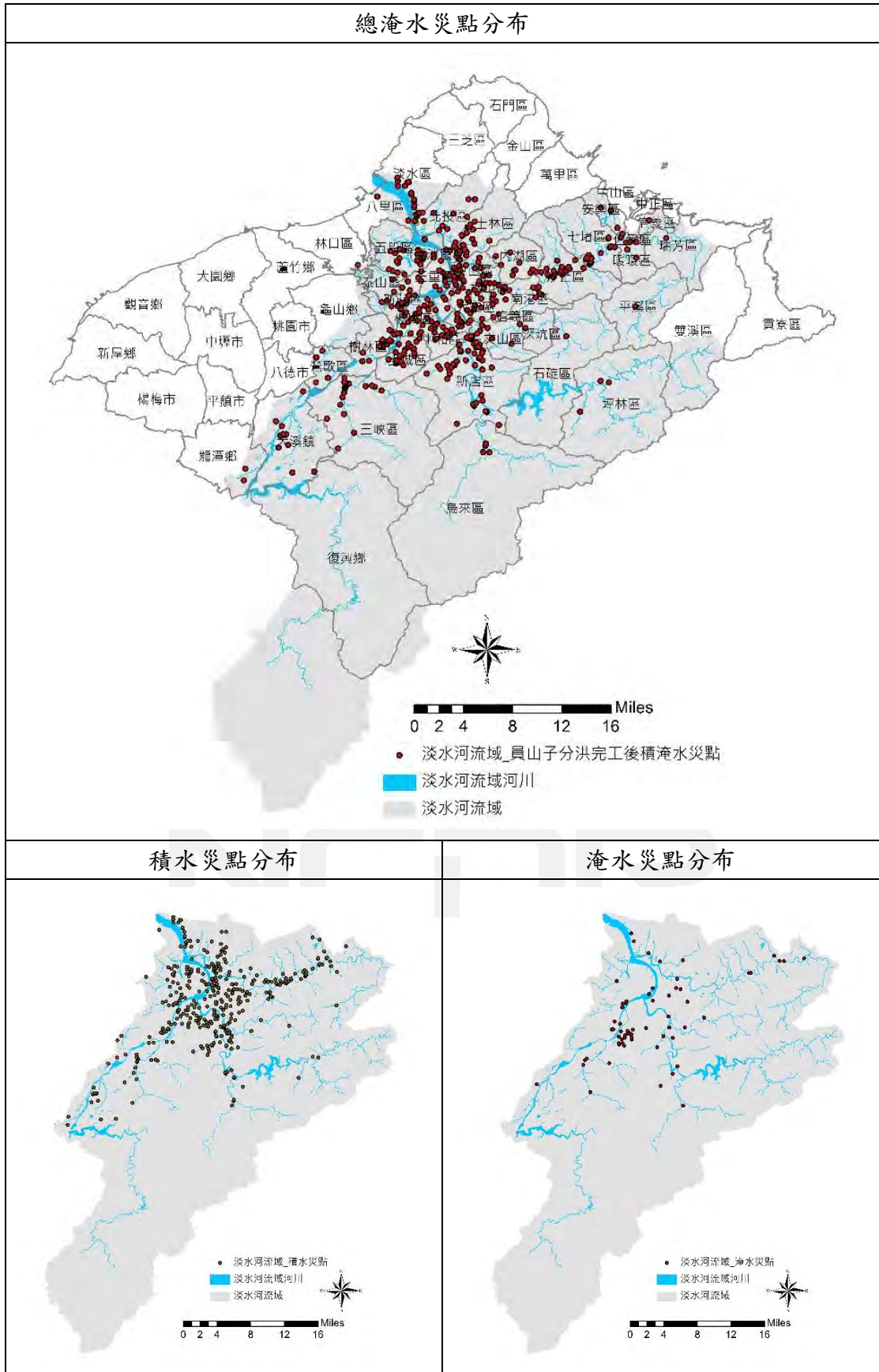


圖 3 員山子分洪完工後歷史積淹水災點

2.4 現地勘查

依據 4.3 節分析成果可了解員山子分洪道完工後歷史淹水災點部分將會是未來發生淹水機率較高的區域，因此本研究針對這些災點進行重點性現勘調查，各隸屬區總淹水災點統計表，如表 4 所示。分析其歷史淹水災點可看出災點統計前 5 名之隸屬區為土城區、新店區、三峽區、新莊區、樹林區及暖暖區，則新店區部分因多數淹水災點為新店溪上游伴隨土石流而造成的山區局部淹水災情，且在台灣氣候變遷推估與資訊平台第三期計畫成果(2017)已針對新店溪上游進行相關災況現勘，故此次現勘將著重在土城區、三峽區、新莊區、樹林區及暖暖區。

表 4 各隸屬區總淹水災點統計表

名次	隸屬區	總淹水災點	名次	隸屬區	總淹水災點
1	土城區	17	12	中正區	1
2	新店區	9(3)	12	中和區	1
3	三峽區	5	12	五股區	1
3	新莊區	5	12	文山區	1
5	樹林區	3	12	永和區	1(1)
5	暖暖區	3	12	松山區	1(1)
7	七堵區	2	12	板橋區	1
7	三重區	2(2)	12	信義區	1
7	中山區	2	12	烏來區	1
7	北投區	2	12	深坑區	1
7	淡水區	2	12	瑞芳區	1
12	士林區	1	12	萬華區	1

[備註] ()括弧內數字為河堤外災點數。

現地勘查以五個隸屬區重點性挑選較嚴重歷史災點，分別為土城區(6處)、三峽區(3處)、新莊區(2處)、樹林區(3處)及暖暖區(3處)，各現勘調查災點處詳細資料如表5所示。

表5 現勘調查災點詳細資料

隸屬區	編號	年份	極端降雨事件	淹水深度	地點概述
土城區	1	2008	辛樂克颱風	0.8m	清水路 28 巷(私人空地)
	2	2008	辛樂克颱風	1.0m	金城路二段 46 巷(大安水圳旁)
	3	2010	0621 豪雨	1.0m	永和街
	4	2010	0621 豪雨	1.0m	青雲路 322 巷(現為青和路)(區域排水路旁)
	5	2010	0621 豪雨	1.0m	亞洲路(大安水圳旁)
	6	2012	蘇拉颱風	0.5m	和平路工業區
三峽區	1	2012	蘇拉颱風	1.5m	民生街老街(三峽河旁)
	2	2015	蘇迪勒颱風	0.5m	民族街 5 巷 (麻園溪與三峽河交會處)
	3	2015	蘇迪勒颱風	0.5m	中園街 86 巷(麻園溪彎道處)
新莊區	1	2008	辛樂克颱風	0.5m	新泰路
	2	2012	蘇拉颱風	0.4m	瓊林路
樹林區	1	2008	辛樂克颱風	0.5m	中正路 35 巷
	2	2008	辛樂克颱風	0.5m	樹中街 61 巷
	3	2008	辛樂克颱風	0.5m	板林路(區域排水路旁)
暖暖區	1	2015	杜鵑颱風	0.36m	源遠路
	2	2015	杜鵑颱風	0.5m	興隆路
	3	2015	杜鵑颱風	0.5m	尚仁街(基隆河旁)

現勘成果說明如下：土城區過去多處地區因排水系統不良，每逢大雨必淹，在 2015 年積極整治後，根據居民表示本研究現勘處有 5 處近幾年都沒有淹水情況，僅編號 3 路段因在大安水圳旁，且通水斷面小，未來還有可能發生溢淹之情形；三峽區部分編號 1 和 2 處皆為

三峽老街附近且鄰近三峽河，過去皆因三峽河暴漲而導致溢淹，雖在編號 2 處有增建防水門及鐵板避免河水溢淹至路面，但未來氣候變遷情境下可能導致更大的洪水，不排除還有溢淹之可能性。編號 3 處則是麻園溪彎道處因水位暴漲，內水又無法排出而導致水從排水孔洞溢淹至路面，未來也有溢淹之可能性；新莊區 2 處依居民表示近幾年皆無淹水災情，此地區在環漢路二段(即大漢溪沿岸堤防旁道路)往五股方向，若遇豪大雨有時會有積淹水災情發生；樹林區分析期間較大淹水災情皆發生在 2008 年辛樂克颱風，近五年內無明顯災情發生。編號 1 和 2 處皆為皆為斜坡死巷，可能因此造成短時間內無法將水排出導致積淹。編號 3 處板林路淹水可能為區排水位高於雨水排水道口而造成回淹現象；暖暖區分析期間較大淹水災情皆發生在 2015 年杜鵑颱風，現勘後可看出僅地勢較低之編號 3 處尚仁橋下便道為基隆河溢淹之外，其他災點皆為排水不良所致。現勘調查照片，如圖 4 至圖 6 所示。

土城區



圖 4 現勘調查照片-土城區

三峽區



新莊區

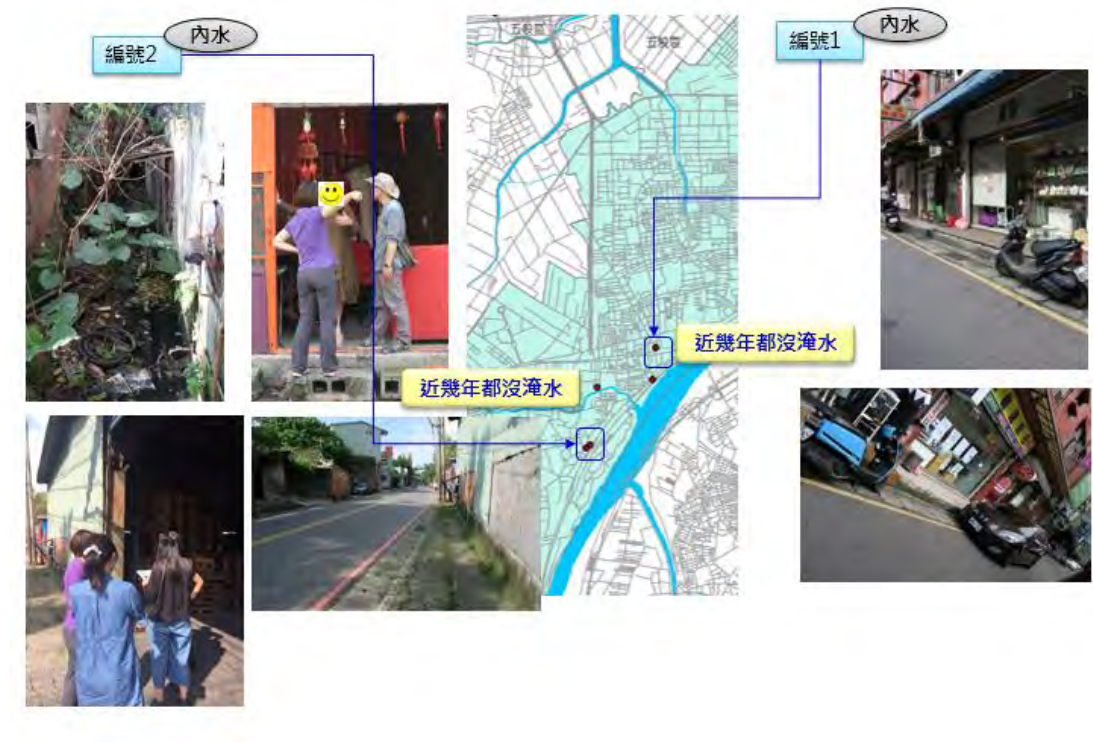


圖 5 現勘調查照片-三峽區與新莊區

樹林區



暖暖區



圖 6 現勘調查照片-樹林區與暖暖區

2.5 小結

本研究進行歷史颱風淹水災點分析，依據員山子分洪道完工時間點分為前後期分別統計積淹水災點分布，成果顯示積水災點比例從 2% 增至 87%，淹水災點比例從 98% 降至 13%，由此可看出員山子分洪道在大臺北地區帶來的防洪效益有目共睹。



第三章 淡水河防洪評估

3.1 前言

為探討淡水河主河道受到未來氣候變遷影響下河道沖淤與防洪安全，本章節將以動力降尺度雨量為邊界條件，模擬 20 世紀末期與 21 世紀末期淡水河流域各子集水區氣候變遷條件下之逕流量；接續利用此結果進行淡水河主河道之防洪安全評估。

根據第三章歷史災點分析成果顯示，在員山仔分洪完工後，歷史淹水災點統計前 5 名分別為土城、新店、三峽、新莊、樹林及暖暖區。其中新店區淹水原因多為新店溪上游伴隨土石流而造成的山區局部淹水災情。而暖暖區除了 2015 年杜鵑颱風造成尚仁橋下便道因基隆河溢淹外，其餘皆為排水不良所造。上述兩區域淹水主因與新店溪與基隆河堤防防洪安全無相對關係。而土城、三峽、新莊與樹林區均位處於大漢溪與淡水河沿岸，因此本章節將未來氣候變遷下河道防洪評估將著重於大漢溪與淡水河沿岸。

3.2 研究方法

3.2.1 降雨 - 逕流模式

本研究使用美國工兵團水文研究中心(Hydrologic Engineering

Center, HEC)所研發之水文模擬系統(Hydrologic Modeling System, HMS)4.2 版本(USACE, 2013), 後文簡稱 HEC-HMS, 進行氣候變遷情境下淡水河流域降雨逕流演算。並利用 HEC-GeoHMS 進行淡水河流域建模, 劃分出 15 個子集水區, 如圖 7 所示。

另選取淡水河流域內淡水、竹子湖(2)、五堵、瑞芳(2)、臺北、火燒寮、碧湖、大桶山、大豹、石門、高義嘎拉賀及白石等 13 個雨量測站, 以徐昇式(Thiessen Method)進行集水區內平均雨量計算。作為降雨逕流模式中降雨邊界條件。相關雨量測站及徐昇式法邊界, 如圖 8 所示。

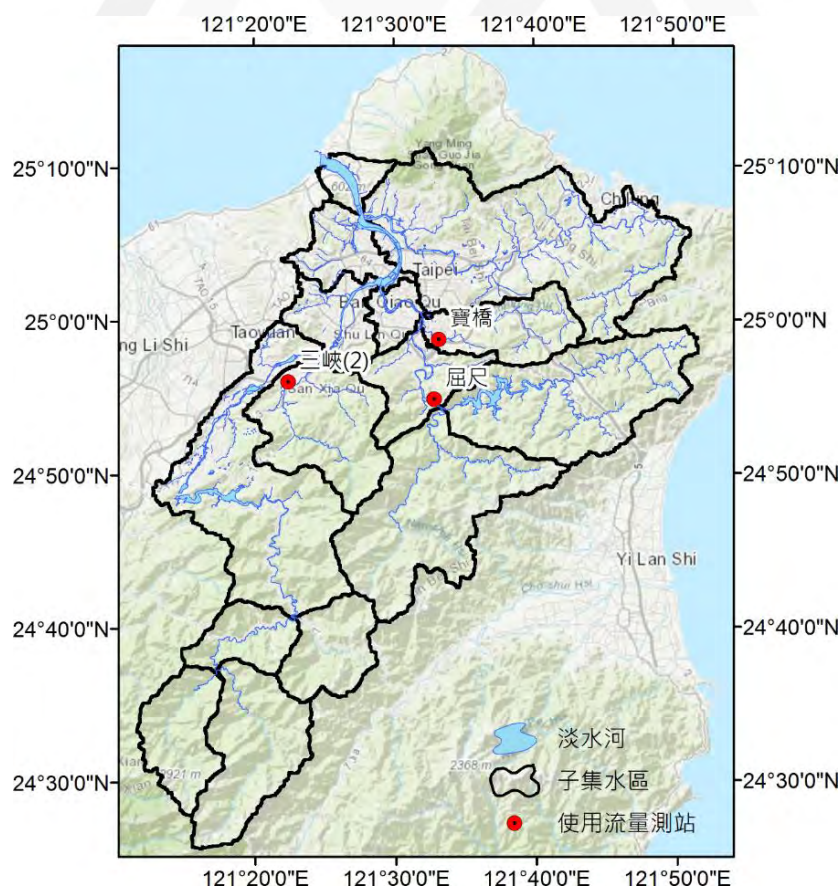


圖 7 淡水河流域降雨—逕流模式子集水區劃分及模式所用流量站相對位置圖

模式中降水損失採用 SCS Curve Number 方法，本研究 Curve Number(CN 值)介於 50 至 76 間。逕流模式採用 Clark Unit Hydrograph，基流推估採用 Recession 法，其參數介於 0.46 至 1.00 間。

由於受到氣候變遷影響，近年來降雨事件轉變為短延時強降雨特性；因此在降雨—逕流部分，應著重於洪峰流量及洪峰到達時間，以避免未來短延時強降雨所造成的洪峰量增加及洪峰到達時間縮短造成河道防洪之壓力。因此，降雨—逕流模式檢定與驗證將以峰值誤差 EQ_p (Error of peak discharge)及峰值到達時間誤差 ET_p (Error of time to peak discharge)等二項為模式檢驗之標準。各項檢驗定義如下所示。

(1) 峰值誤差(EQ_p)

$$EQ_p = \frac{|Q_{p,e} - Q_{p,o}|}{Q_{p,o}} \times 100\% \quad (\text{式 4-1})$$

式中， $Q_{p,e}$ 為模式推估之洪峰流量(m^3/s)、 $Q_{p,o}$ 為觀測之洪峰量(m^3/s)。當 EQ_p 為正值時，表示模式推估之洪峰量值大於觀測之洪峰量值；當 EQ_p 為負值時，表示模式推估之洪峰量值小於觀測之洪峰量值。

(2) 峰值到達時間誤差(ET_p)

$$ET_p = T_{p,e} - T_{p,o} \quad (\text{式 4-2})$$

式中， $T_{p,e}$ 為模式推估之洪峰到達時間(hours)、 $T_{p,o}$ 為觀測之洪峰

到達時間(時)。 ET_p 值越小，表示模式所推估之洪峰到達時間越準。

模式檢定與驗證分別採用寶橋、屈尺及三峽(2)之觀測流量作為淡水河流域降雨—逕流模式上游流量檢定與驗證使用。相關模式檢定與驗證結果，如圖 9 至圖 11 所示。洪峰誤差介於-5.61 至 4.32 間，而洪峰到達時間相差介於 1 至 7 小時間。由此結果可知，本研究所使用之降雨逕流模式可正確模擬淡水河流域在未來氣候變遷影響下極端降雨所產生之高流量事件。

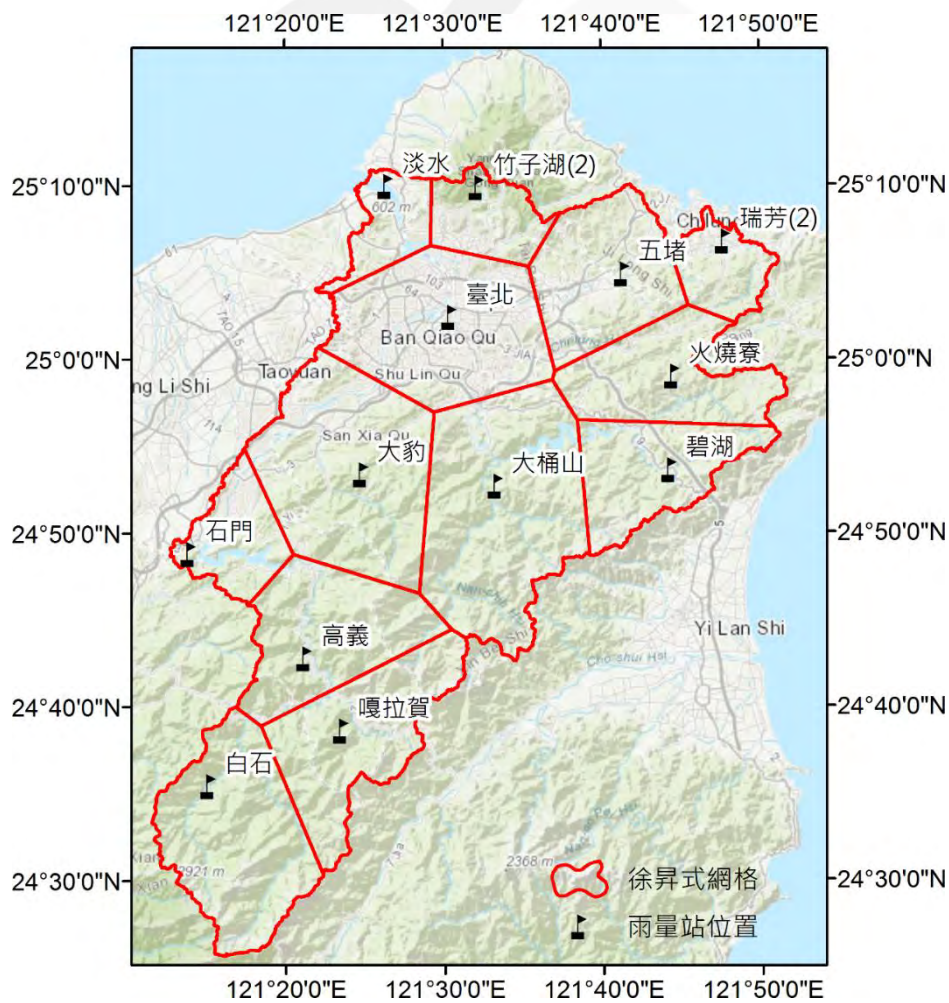
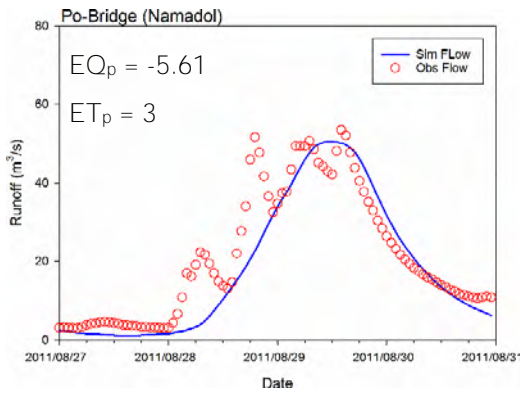
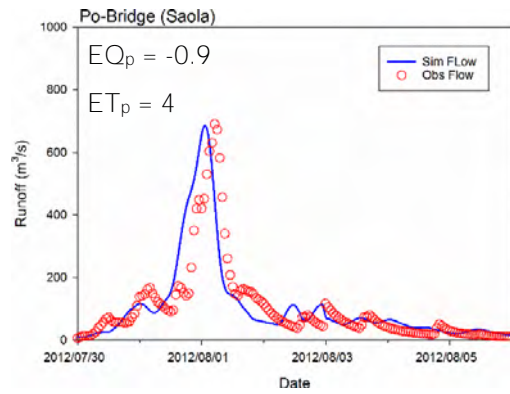


圖 8 降雨逕流所用雨量測站及徐昇式網格

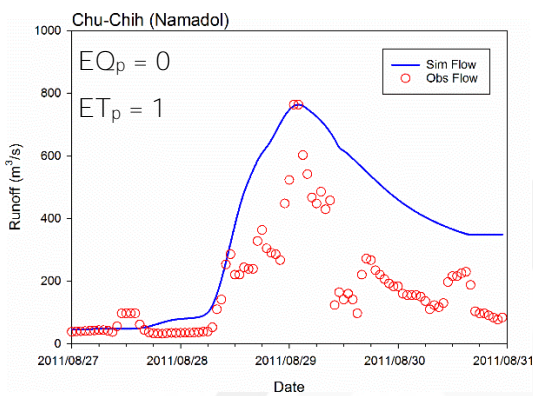


(a)檢定

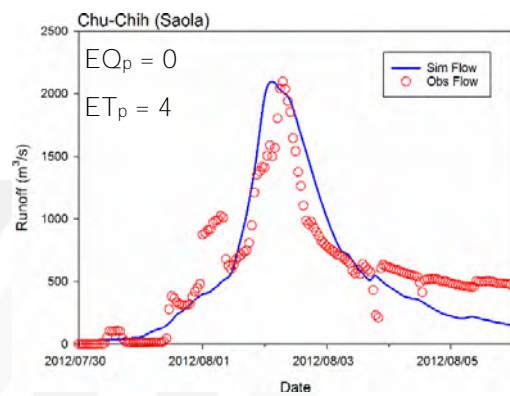


(b)驗證

圖 9 寶橋站降雨—逕流檢定與驗證結果圖

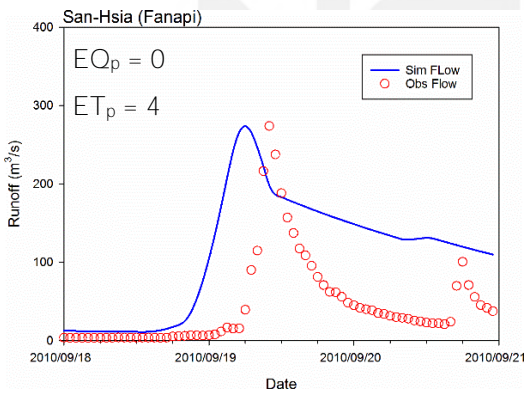


(a)檢定

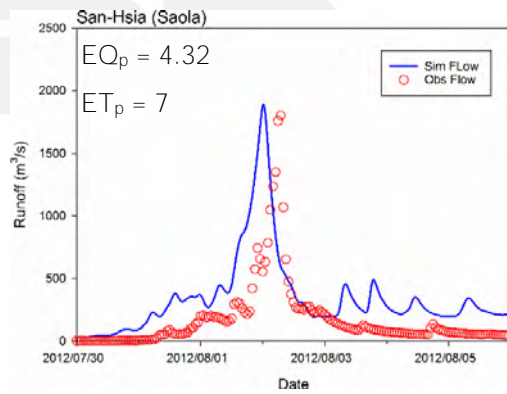


(b)驗證

圖 10 屈尺站降雨—逕流檢定與驗證結果圖



(a)檢定



(b)驗證

圖 11 三峽站降雨—逕流檢定與驗證結果圖

3.2.2 水理演算模式

一維水理演算亦是利用美國兵工團所發展的河川分析系統(River Analysis System, RAS)5.0 版本(USACE, 2016), 後文簡稱 HEC-RAS。本研究僅利用 HEC-RAS 內定量流水位剖面線計算模擬功能。主要利用標準步推法進行能量方程式之平衡並試算斷面水位, 其關係式如下所示:

$$d_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = d_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_e \quad (\text{式 4-3})$$

式中, d_1 及 d_2 為斷面水深(m)、 Z_1 及 Z_2 為河床高程(m)、 V_1 及 V_2 為平均流速(m/s)、 α_1 及 α_2 為流速權重係數、 g 為重力加速度(m^2/s)及 h_e 為能量水頭損失。

相關參數方面, 河道斷面採用 2011 年河道大斷面量測資料進行模式建置(圖 12); 河道粗糙係數曼寧 n 值參考「淡水河水系現有防洪設施水理分析檢討及因應措施研擬」(十河局, 2008)及「淡水河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫」(水規所, 2013)之模擬參數資料, 河道主深槽粗糙係數範圍為 0.025 至 0.05 間, 高灘地粗糙係數範圍 0.015 至 0.022 間。圖 13 為河道斷面 43 示意圖, 其中亦包含該斷面粗糙係數。模式中, 基隆河、新店溪及三峽河, 均係已側入流之方式進行模擬。

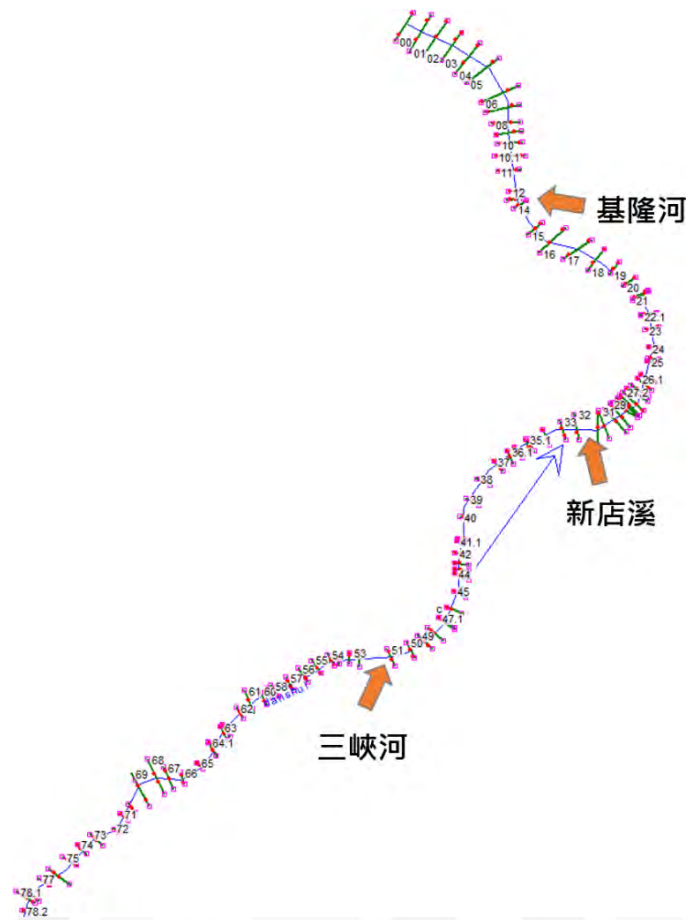


圖 12 HEC-RAS 淡水河與大漢溪河道斷面建置結果

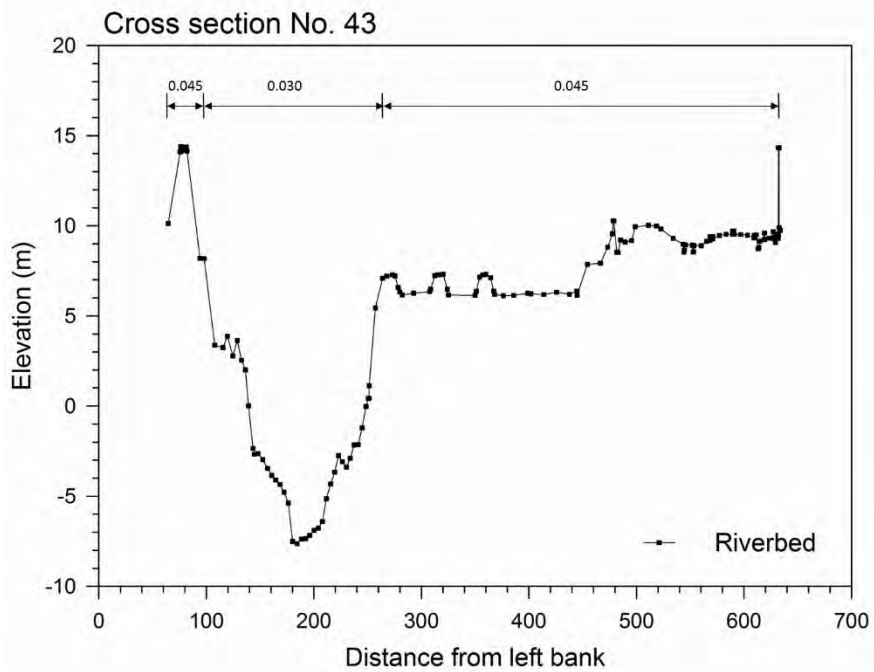


圖 13 HEC-RAS 模式中河道斷面示意圖

3.3 模擬成果與分析

3.3.1 氣候變遷影響下流量模擬

表 6 及表 7 為氣候變遷影響下 20 世紀末期及 21 世紀末期淡水河系極端降雨事件流量推估結果。表中為按照總雨量排序後之結果，其中颱風編號為在 WRF-MRI 模式中所生成的颱風分類方式，並不具任何意義。

根據推估結果可知，20 世紀末期總雨量前 10 % 的極端颱風降雨事件，總雨量介於 339.8 至 528.5 mm，平均雨量為 403.9 mm。此雨量經過降雨 - 逕流模式推估後，在 20 世紀末大漢溪(三峽河匯流後)與淡水河口洪峰量推估分別為 3,612 至 5,318 m^3/s (平均為 5,244 m^3/s) 與 8,080 至 13,968 m^3/s (平均為 11,153 m^3/s)。21 世紀末總雨量前 10 % 的極端颱風降雨事件，總雨量介於 39.0 至 706.0 mm，平均雨量為 525.5 mm。此雨量經過降雨 - 逕流模式推估後，在 21 世紀末期大漢溪(三峽河匯流後)與淡水河口洪峰量推估分別為 3,330 至 11,946 m^3/s (平均為 7,436 m^3/s) 與 7,219 至 21,785 m^3/s (平均為 15,053 m^3/s)。整體而言，氣候變遷影響下，21 世紀末總雨量改變率較 20 世紀末增加 1.3 倍，而大漢溪與淡水河口推估流量，21 世紀末較 20 世紀末分別增加 1.4 及 1.3 倍。

表 6 氣候變遷下 20 世紀末淡水河水系流量推估

颱風 編號	總雨量 (mm)	延時 (時)	新店溪 (m ³ /s)	大漢溪 (m ³ /s)	基隆河 (m ³ /s)	河口 (m ³ /s)
200001	528.46	61	4,580	5,318	1,752	12,129
199502	452.14	37	5,622	6,875	1,277	13,968
200202	419.41	25	4,486	6,179	1,254	12,108
198302	397.64	31	4,350	6,266	1,237	12,075
197902	381.34	37	4,331	4,512	1,563	10,930
200004	362.13	73	3,665	3,569	1,443	9,218
199402	350.52	37	4,054	5,618	849	10,713
200005	339.83	73	3,194	3,612	1,020	8,080

註：颱風編號不具任何意義

表 7 氣候變遷下 21 世紀末淡水河水系流量推估

颱風 編號	總雨量 (mm)	延時 (時)	新店溪 (m ³ /s)	大漢溪 (m ³ /s)	基隆河 (m ³ /s)	河口 (m ³ /s)
209601	705.95	37	6,863	11,946	2,011	21,785
209005	542.80	49	6,201	7,112	2,076	16,055
208301	455.33	25	5,904	7,356	1,559	15,154
209301	398.06	121	2,552	3,330	1,068	7,219

註：颱風編號不具任何意義

降雨強度方面，21 世紀末降雨強度均較 20 世紀末強，如圖 14 所示。20 世紀末降雨強度介於 4.66 至 16.78 mm/hr 間(平均 9.99 mm/hr)；21 世紀末降雨強度介於 3.29 至 19.08 mm/hr 間(平均 12.92mm/hr)。整體而言，21 世紀末平均降雨強度較 20 世紀末增加 2.93 mm/hr。然而，21 世紀末的極端颱風降雨事件中，編號為 209301 的颱風事件，延時長達 121 小時(約 5 天)，造成總降雨量較其他颱風事件的總降雨量大，但降雨強度卻偏弱的情形(3.29 mm/hr)。如該颱風事件不列入討論，21 世紀末平均降雨強度將較 20 世紀末增加 6.14 mm/hr 至 16.12 mm/hr。上述降雨強度計算方式為總雨量/延時而得。

另外，根據圖 14 推估流量與降雨強度之趨勢線結果顯示，在最極端的降雨強度下，21 世紀末降雨強度較 20 世紀末增加 1.5 mm/hr，在大漢溪與淡水河口的洪峰量將會增加 3,000 及 6,000 m^3/s 。此結果顯示，未來大漢溪及淡水河沿岸河道防洪壓力將會增加。

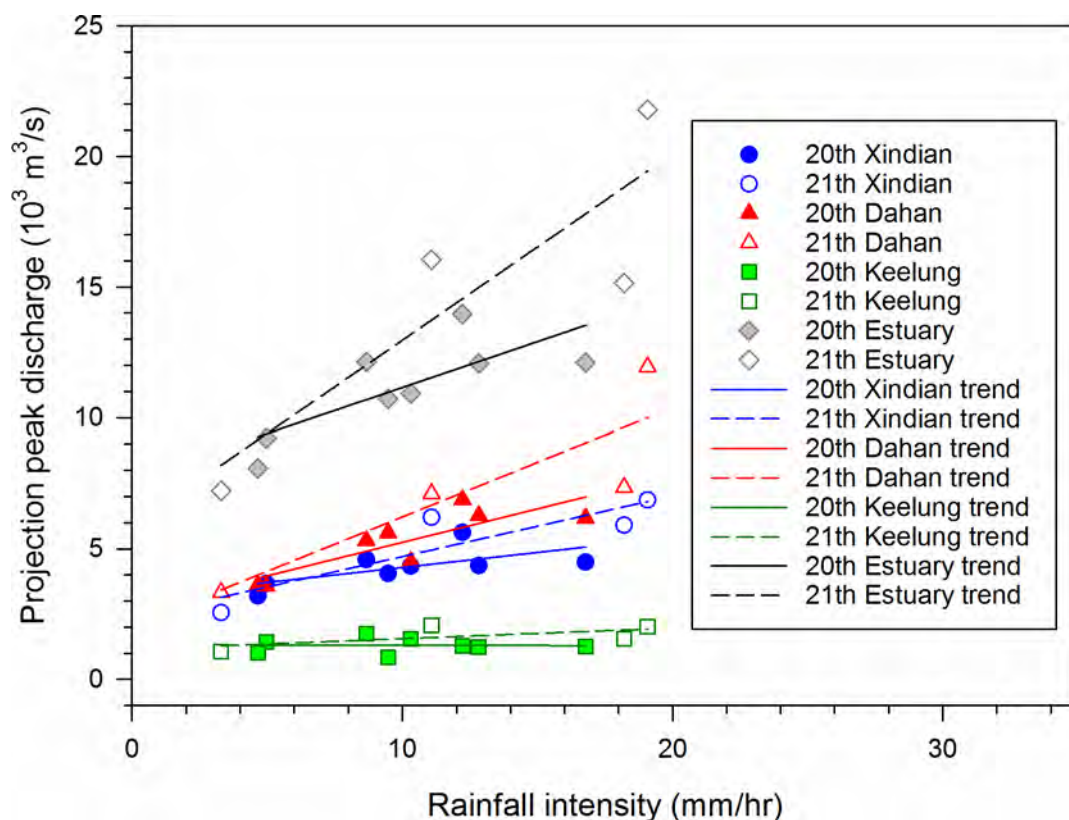


圖 14 20 世紀末期與 21 世紀末期極端事件推估流量與降雨強度關係圖

3.3.2 淡水河防洪安全評估

目前淡水河系防洪標準，為 1973 年經濟部所核定的「臺北地區防洪計畫建議方案」，以 200 年重現期洪水為防禦保護標準，並於 1999 年完成淡水河各項防洪治本建設。然而，近年來為因應氣候變遷對淡水河系之影響，水利署委由水利規劃試驗所辦理「淡水河系水文檢討」

計畫；依據最新分析成果顯示，淡水河河口之計畫流量將從 25,000 m³/s 增加至 28,200 m³/s，臺北橋之計畫流量將從 14,300 m³/s 增加至 20,000 m³/s，大漢溪出口之流量由 13,200 m³/s 增加為 15,300 m³/s，基隆河出口之流量由 4,180 m³/s 增加為 5,020 m³/s，新店溪則維持不變(經濟部水利署，2016)。

圖 15 為設計洪水量現況水位模擬結果圖；圖中明顯可看出，修改後設計洪水量在大漢溪主河道與三峽河匯流後(城林橋下游處)至淡水河河口，便開始出現溢流及出水高不足(堤頂高與水位不足 1.5 m)之問題。由此可看出，目前淡水河與大漢溪兩岸堤防高度，已無法防禦修改後之計畫流量。

氣候變遷條件下，21 世紀末極端颱風事件洪峰推估量與計畫洪峰量相比較後發現，21 世紀末所推估的洪峰量均小於計畫洪峰量，如表 8 所示。圖 16 為 21 世紀末極端颱風降雨事件水位模擬結果；從結果可看出，除了鐵路橋及其下游段有出水高不足之問題外，至重陽橋處堤防防洪均安全無虞。但在基隆河匯流後，關渡大橋上下游河段左岸或右岸均有些許河段出現溢堤及出水高不足之問題；而右岸在靠近出海口附近，亦有出水高不足之問題。

表 8 計畫洪峰量與氣候變遷下 21 世紀末期極端事件之洪峰量比較表

	新店溪 (m ³ /s)	大漢溪 (m ³ /s)	基隆河 (m ³ /s)	河口 (m ³ /s)
計畫洪峰量	10,800	15,300	5,020	28,300
變化率	0.64	0.78	0.40	0.76

註：變化率：推估洪峰量/計畫洪峰量

依據「石門水庫運用要點」指出，洪水來臨前如集水區開始明顯降雨，將會進行調節性放水降低水庫水位。洪峰發生前階段，當水庫進水流量大於 1,000 m³/s 以上至洪峰後之退水曲線流量為洪峰流量百分之九十前，將會進行放水，以確保水庫安全(經濟部水利署，2013)。因此，上述模擬為假設氣候變遷下，洪水期間水庫均處放水階段，並無蓄洪行為之模擬結果。

近年來因人口成長及社會經濟發展，需水量增加，水庫所擔負的供水比重愈來愈大；因此，近年來石門水庫操作方式，為根據降雨預報結果，判斷洪水來臨前是否需先進行調節性放水；洪水發生期間，則以蓄洪為主，以維持及確保水庫蓄水量可維持未來農業、工業及民生用水需水量。圖 17 為假設氣候變遷下 21 世紀末最極端颱風降雨事件水庫蓄洪現況水位模擬結果。圖中可明顯發現，當石門水庫於洪水期間發揮蓄洪功能時，淡水河及大漢溪河道除了關渡大橋周圍少部分河段有出水不足之問題外，其餘河段均安全無虞。

然而，上述模擬結果係根據 AR 5 中 RCP 8.5 氣候情境，MRI-

WRF 動力降尺度所提供的未來氣候模擬推估而得。另參考經濟部水利署(2013)「淡水河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫」中根據「氣候變遷水文情境評估研究(1/2)」(經濟部水利署, 2012)利用 AR 4 中 A1B 氣候情境所產出之雨量資料, 再以重現期 200 年 48 小時雨量, 進行降雨 - 逕流計算推估未來流量。推估洪峰量於大漢溪至淡水河河段分別為 14,600 m³/s(三峽河入匯)、21,200 m³/s(新店溪入匯)及 36,240 m³/s(河口)。此水利署(2013)推估值則遠大於目前修改後淡水河計畫流量。圖 18 為水利署(2013)A1B 情境重現期 200 年 48 小時現況水位模擬結果圖。模擬結果發現, 從城林橋往下游開始大漢溪及淡水河兩岸, 在氣候變遷影響下大部分河段會發生溢淹與出水高不足之問題。

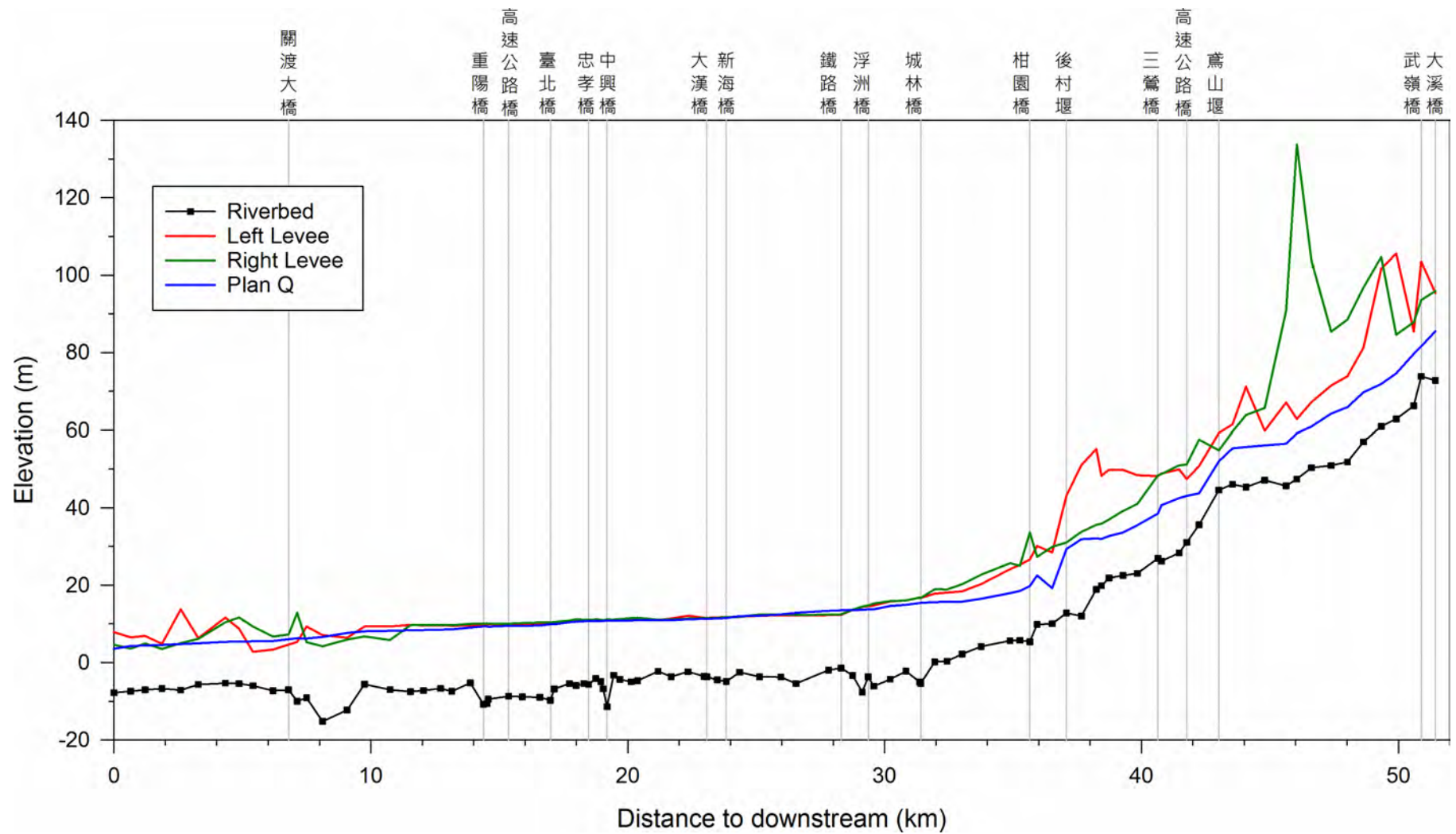


圖 15 計畫洪水量現況水位模擬結果

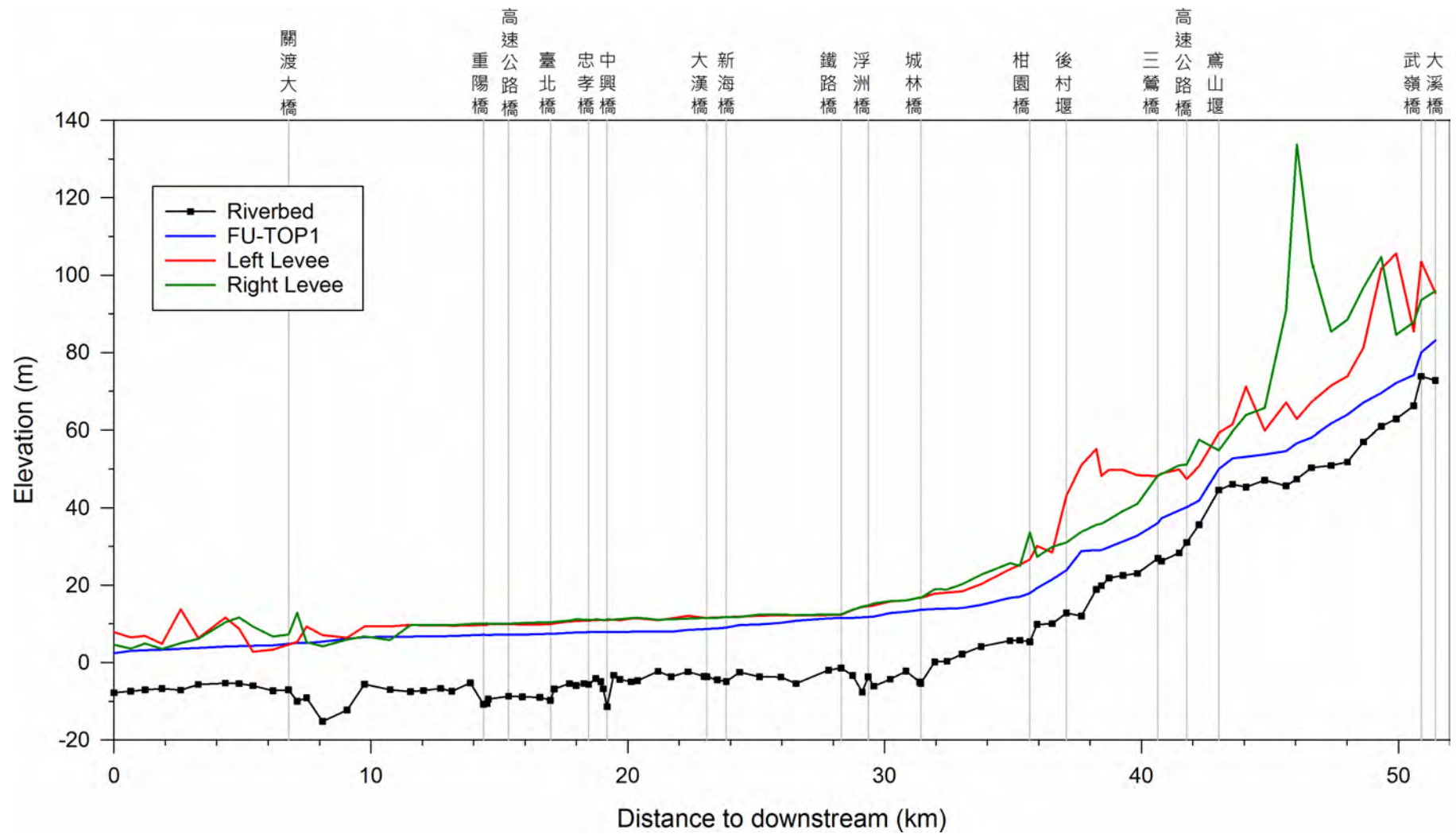


圖 16 21 世紀末最極端事件現況水位模擬結果

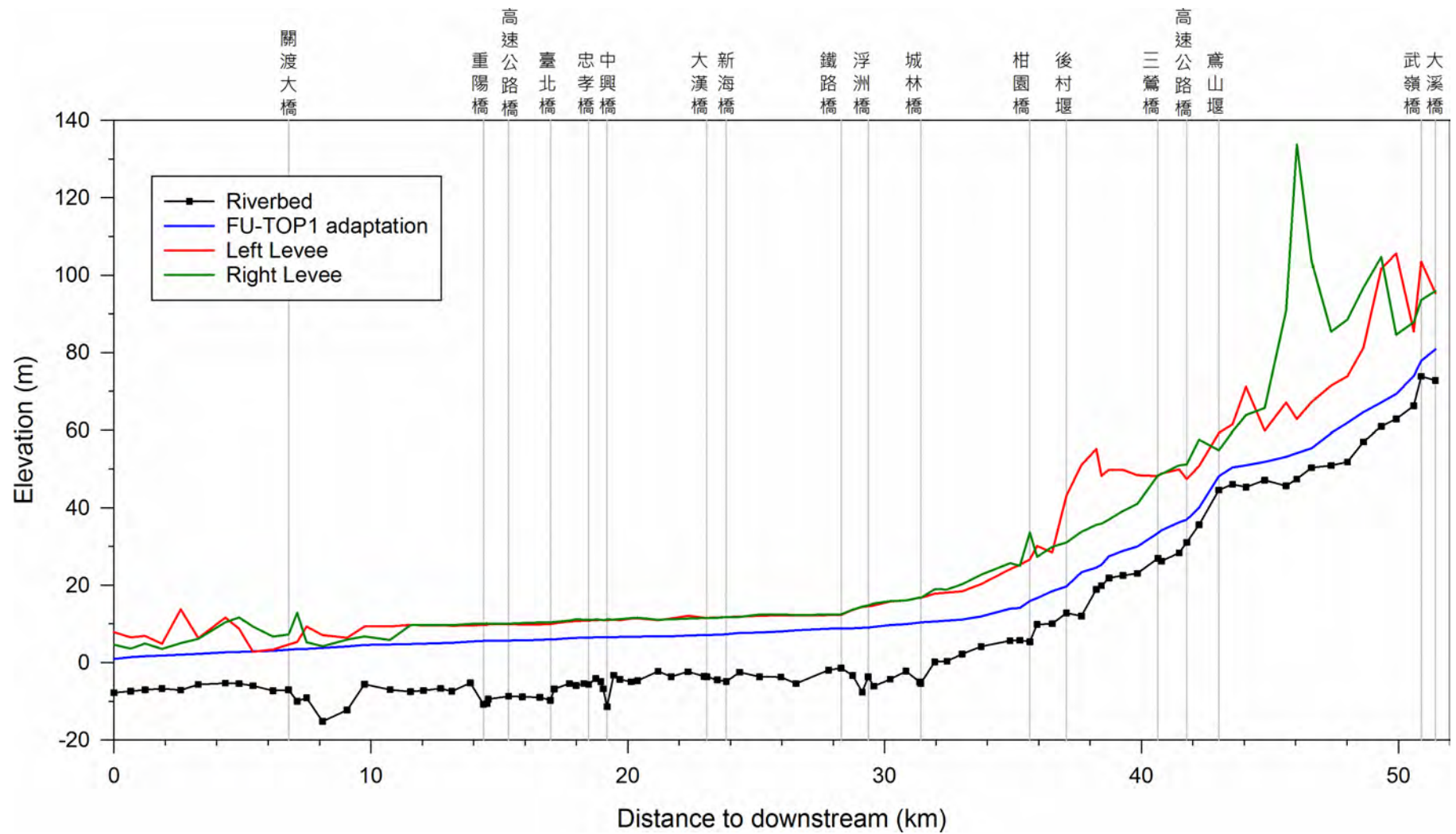


圖 17 21 世紀末最極端事件水庫蓄洪現況水位模擬結果圖

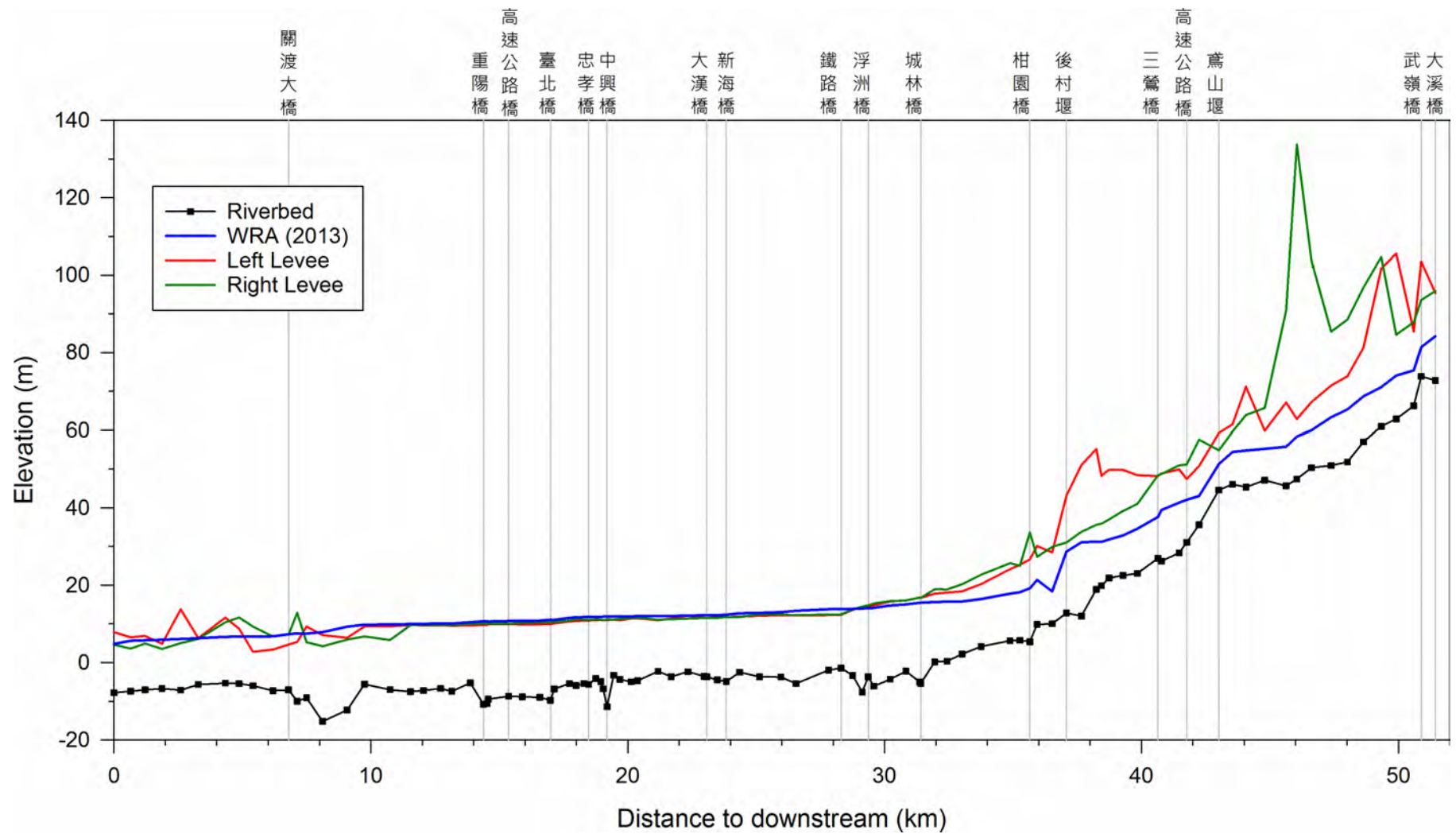


圖 18 水利署(2013)A1B 情境重現期 200 年 48 小時現況水位模擬結果圖

3.4 小結

根據本研究所建立之降雨 - 逕流模式與一維水理模式所推估的流量與水位模擬結果可知，在動力降尺度所提供之氣候變遷資料下，搭配石門水庫運用要點，未來淡水河防洪安全除了鐵路橋河段出水高不足及河口段有溢流之問題外，其他河段防洪安全均無疑慮。如未來颱風期間石門水庫採以滯洪方式進行相關調適措施，僅淡水河河口有少部分出水高不足問題外，其餘河段均安全無虞。

然而，根據水利署最新的計畫洪峰量與氣候變遷條件下重現期 200 年 48 小時雨量進行防洪安全評估；結果顯示，城林橋下游開始，大部分河段均出現溢堤及出水高不足之問題。

因此在氣候變遷影響下，強降雨事件所造成的防洪壓力將會較現在為重。未來除加強洪範區管制及洪水預警外，可在洪水來臨採取相關調適措施，如利用水庫滯洪，方可減輕下游河道防洪壓力。

第四章 淡水河流域臺北市蛋黃區淹水境況模擬

4.1 研究基本資料概述

為了解氣候變遷對淡水河流域下游淹水分布的影響，本研究依據 AR5 動力降尺度氣候資料中，挑選前 10% (20 世紀末期 8 場、21 世紀末期 4 場)極端颱風降雨事件，應用於 SOBEK 模式模擬淡水河流域下游臺北市蛋黃區之淹水境況。本研究因為模組僅臺北市蛋黃區部分較為完整，淡水河流域內其他區域模組目前還在調校中，故本研究模擬區域針對淡水河流域下游之臺北市蛋黃區進行淹水境況模擬，此區包含臺北市萬華區、中正區、大安區、大同區、中山區、松山區六區，如圖 19 所示。

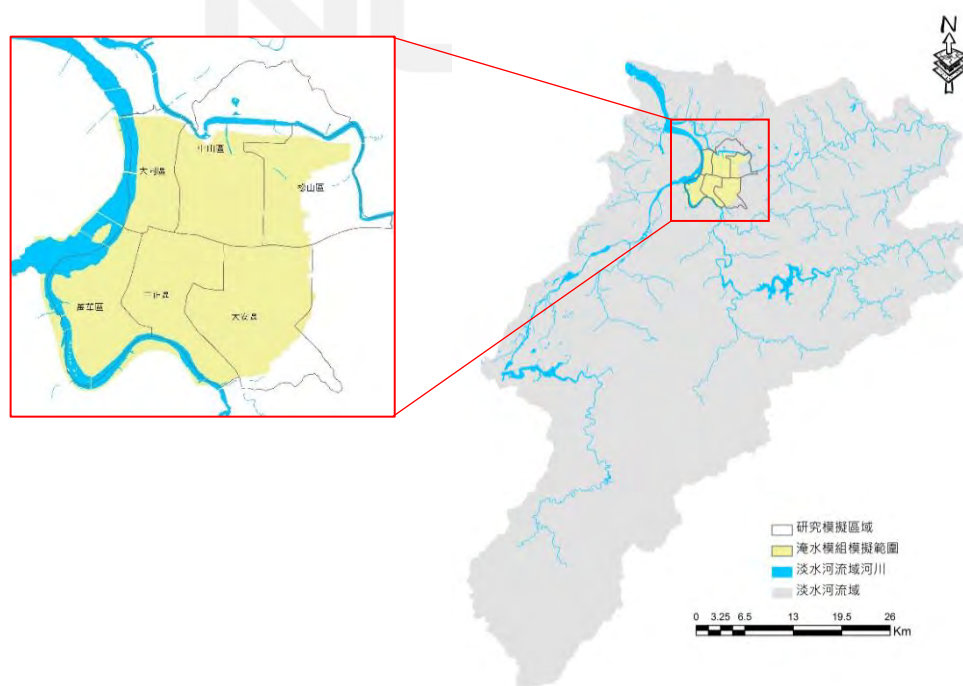


圖 19 淡水河流域臺北市蛋黃區淹水模擬範圍示意圖

4.2 研究方法

本研究選用荷蘭 WL|Delft Hydraulics 公司所研發之 SOBEK 模式進行淹水模擬，SOBEK 模式為一套整合河川、區域排水與都市排水系統之套裝程式。模式內有 Rural、Urban 及 River 三套模式，其中包含降雨逕流(rainfall-runoff)、渠流(channel-flow)、下水道(sewer-flow)、漫地流(overland-flow)、水質分析(water quality)、河川水流模組(river flow)、汙染傳輸模組(emissions)、即時控制模組(real-time control)等模組。SOBEK 淹水模式目前較常應用在河川、都市下水道系統之水理與區域淹水模擬等部分，模擬結果可提供防洪及水資源管理者進行管理、決策與分析之參考。

本研究淹水模擬在 SOBEK 模式上應用經濟部水利署第三代淹水模組進行模擬，以淡水河流域主河道為主，運用降雨逕流(rainfall-runoff)、渠流(channel-flow)及漫地流(overland-flow)模組，且研究區域臺北市蛋黃區部分之模組包含人孔、雨水下水道、區域排水路等區域排水系統相關模型，SOBEK 淹水模式模型圖如圖 20。



圖 20 淡水河流域臺北市蛋黃區研究區域 SOBEK 模式模型圖

研究內所應用之 SOBEK 模式包含了一維水理模式及二維淹水模式。其中一維水理模式包含降雨逕流與河道等模組，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的過程，其中有蒸發、入滲、地表下逕流、地下水等。河道模擬可於河道上設置橋樑、水庫、跨河構造物等，如堰流(weir)、涵管流(culvert)、孔口流(orifice)與抽水站(pump station)等相關結構物，是一個以物理機制為基礎的模式(physically based model)，Sacramento 水文模式概念圖如圖 21 所示。

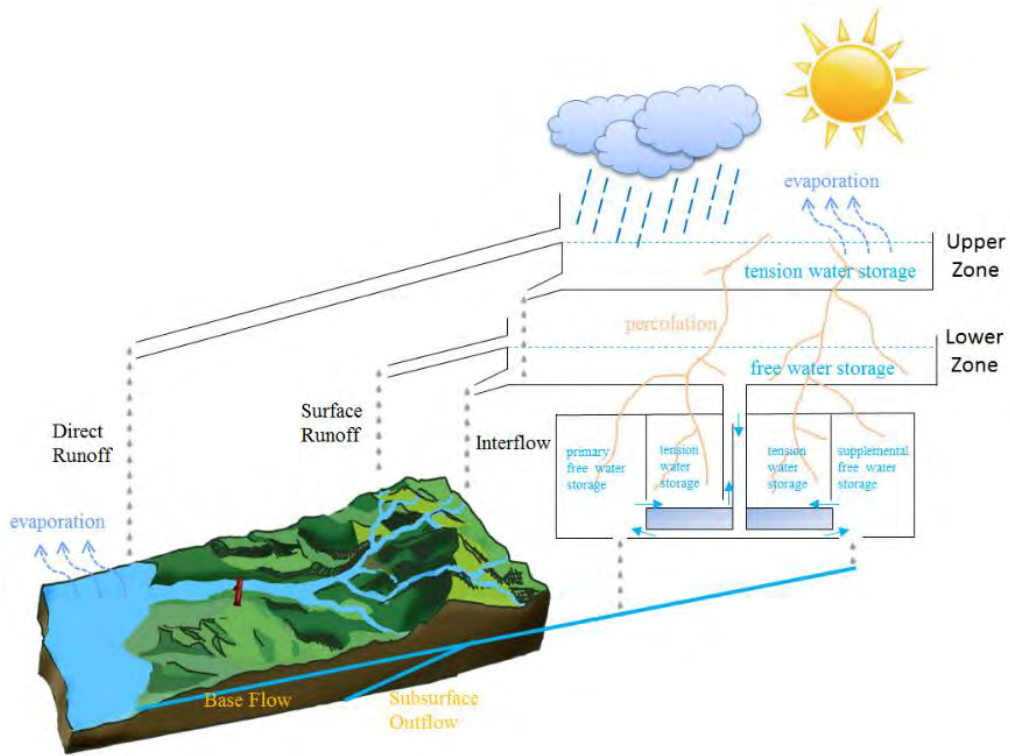


圖 21 Sacramento 概念圖(參考 SOBEK 手冊)

二維淹水模式部分是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，作為二維淹水區域邊界條件；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。藉由二維淹水模式模擬結果，可瞭解淹水地區漫地流及河川洪水位之特性。當模式在進行二維漫地流演算時，採用二維動力波方程式，其中式 5-1 為連續方程式，式 5-2、式 5-3 分別為沿 x, y 方向之動量方程式：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(ud)}{\partial x} + \frac{\partial(vd)}{\partial y} = 0 \quad (\text{式5-1})$$

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

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + g \frac{v|V|}{C^2 d} + av|v| = 0 \quad (\text{式5-3})$$

式中， u ：x 方向之平均流速(m/s)； v ：y 方向之平均流速(m/s)； V ：速度 $\sqrt{u^2+v^2}$ ； d ：模擬區地表水深(m)； g ：重力加速度(m/s²)； h ：地表水位 $h=d+z$ (m)； a ：邊牆摩擦係數； C ：Chezy 係數。

當模式執行二維漫地流演算時，採用完整之動力波方程式，可進行一維渠道變量流、二維漫地流及雨水下水道之模擬。而模式在進行一維渠流和二維漫地流耦合演算時，於地表網格與渠道演算節點交界處，將地表逕流視為渠道流之側流量，進而建構一維及二維演算之機制；如圖 22 所示，其中白點代表渠道演算節點，灰點代表地表網格計算節點，紅點代表連結點，黑線代表渠道，在渠道與地表附近選取最相近之計算節點連接計算。

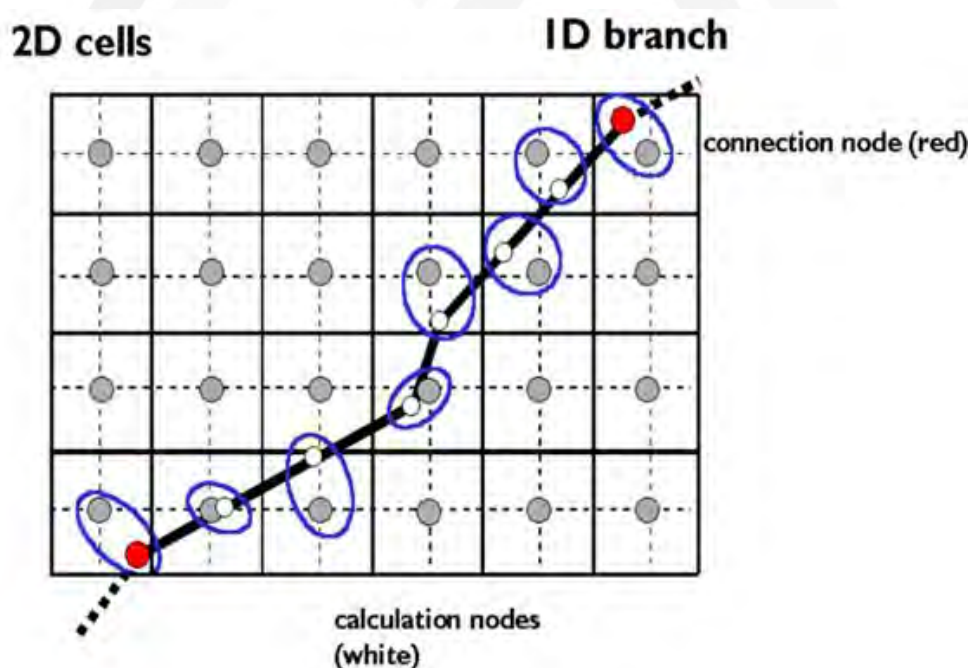


圖 22 一維渠道和二維漫地流耦合演算示意圖(摘自 SOBEK 手冊)

4.3 模擬成果與歷史災點比較

本研究使用經濟部水利署第三代 SOBEK 淹水模組，模組內包含主流與支流河道、區域排水路及雨水下水道系統等，模擬成果較以往僅主流與支流河道模組更為細緻。因為新版模組，所參照之模式建置資料為近幾年之資料，故挑選 2015 年蘇迪勒颱風作驗證場次，模擬時間為 2015 年 8 月 6 日 0 點至 8 月 9 日 23 點間，使用雨量站資料為台北市政府水利處、氣象局地面氣象站及遙測自動氣象站共 49 站，雨量站位置分布等，如圖 23。使用測站資料累積雨量最高者為四十份站，累積雨量約為 658mm；次高測站為臺北站，累積雨量約為 498mm；第三為舊莊國小站，累積雨量約為 444mm；其於測站累積雨量界於 300mm 至 400mm 之間約有 21 個測站。

模擬成果可看出與歷史災點僅少數重疊，如圖 24 所示。但蘇迪勒颱風在臺北市蛋黃區造成之歷史災點皆屬較輕微的積水災況，13 個災點之積水深度皆低於 0.5m，模擬成果積水深度 0.5m 以下約佔淹水面積的 97.5%，僅少數 2.5% 模擬淹水深度約達 0.6m，由此可得模擬成果與實際災況皆為積水，並無嚴重淹水災情，驗正成果尚屬合理。



圖 23 淡水河流域臺北市蛋黃區雨量站和 WRF 網格點

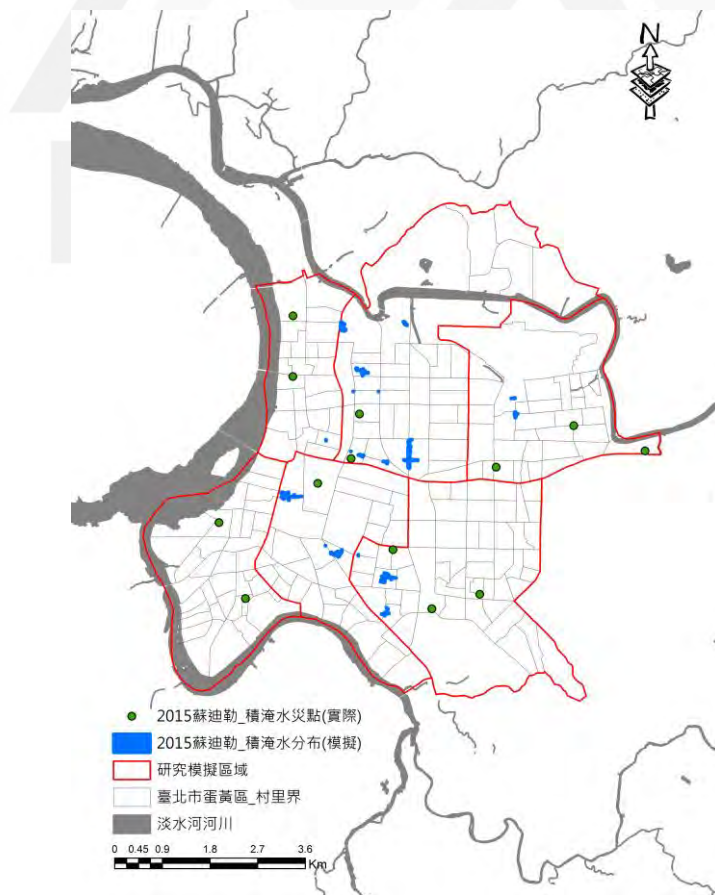


圖 24 2015 蘇迪勒颱風－實際與模擬積淹水災況比較圖

4.4 淹水模擬與成果分析

4.4.1 模擬資料前處理

因 WRF 氣候資料為網格資料，故挑選鄰近雨量站的 WRF 網格點取其雨量值為模式輸入雨量資料，作為流域水文模式分析使用，表 9 為模擬事件基本資料，包含各場次排序、延時、平均降雨量、最大 6 小時累積雨量及最大 12 小時累積雨量；**錯誤！找不到參照來源。**為雨量站位置與相對應 WRF 網格點。淹水模擬所需之地文與水文資料，如表 10 所示。

表 9 模擬事件基本資料

20 世紀末期(The late 20th century)					
Event	Level	Duration(hr)	Rainfall(mm)	Max6hr(mm)	Max12hr(mm)
200001	TOP1	61	551.83	201.49	295.21
200004	TOP2	73	480.93	87.67	150.50
199502-2	TOP3	37	467.28	202.08	335.72
200005	TOP4	73	445.36	117.05	206.70
197902	TOP5	37	445.27	161.26	264.05
200202	TOP6	25	429.72	191.00	297.87
198302	TOP7	31	384.36	189.44	271.04
199402	TOP8	37	333.55	147.73	239.10
21 世紀末期(The late 21st century)					
Event	Level	Duration(hr)	Rainfall(mm)	Max6hr(mm)	Max12hr(mm)
209601	TOP1	37	768.47	280.06	521.69
209301	TOP2	121	723.78	113.32	199.39
209005	TOP3	49	647.91	220.16	358.26
208301	TOP4	25	500.70	256.42	409.17

表 10 模式模擬基本資料

水文特性	地文特性
氣候變遷下雨量資料	1. 河道斷面資料：淡水河流域河道斷面測量資料。 2. 數值高程資料：內政部提供DEM地表資料(10m×10m)。 3. 土地利用資料：內政部提供土地利用九大類資料。 4. 跨河結構物資料：橋樑、取水堰等。 5. 水庫資料：石門水庫、翡翠水庫、新山水庫等。 6. 主、支流與區域排水路及雨水下水道系統等特性資料。

根據模擬區域雨量站位置中，分別在 21 世紀末期與 20 世紀末期挑選不同的雨量站對應之 WRF 網格雨量，在此以各事件之中正國中雨量站降雨組體圖做呈現，如圖 25。依據此 WRF 網格雨量比較，由圖可看出累積雨量的差異，且各降雨事件有不同的特性。20 世紀末期在降雨組體圖可看出累積雨量差異較小，TOP1 與 TOP7 降雨較為集中，且最高時雨量超過 50mm，其他場次最高時雨量皆界於 30mm 至 40mm 之間；21 世紀末期部分在降雨組體圖可看出 TOP1 累積雨量高達 700mm 以上，且降雨趨勢有兩個高峰，時雨量皆達到 80mm 以上，TOP3 雨量則較為集中於事件前半段，最高時雨量達到 60mm 以上，另外兩場降雨時間較為平均，時雨量僅 1 至 2 小時超過 40mm，其他時間都小於 40mm。依據以上分析可從降雨組體圖可比較 20 世紀末期與 21 世紀末期降雨事件之雨量、延時及降雨強度等差異。

另外應用 ArcGIS 軟體之普通克利金法(ordinary Kriging)分析工具繪製各場次之具繪製各場次之總雨量分布圖，如

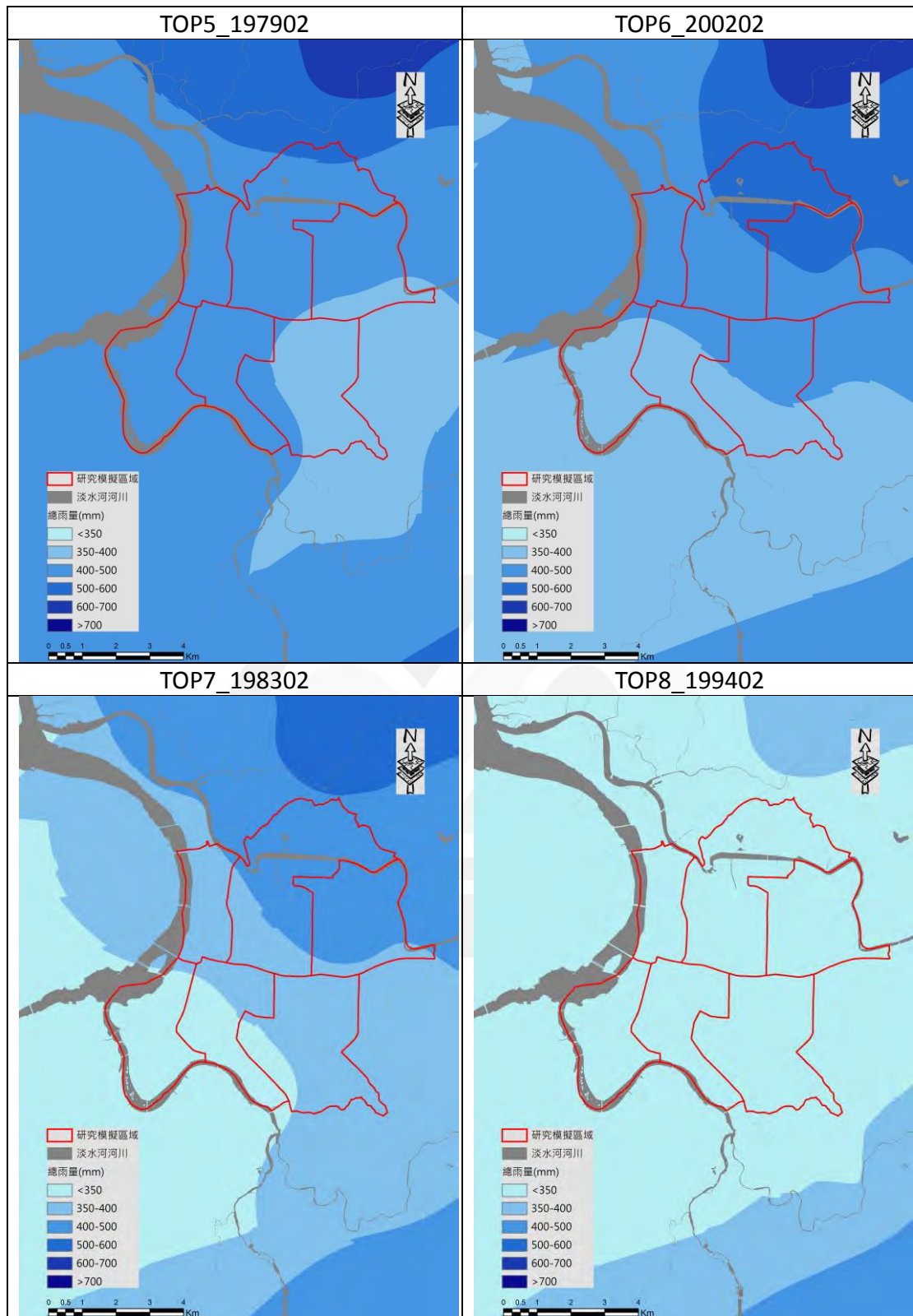
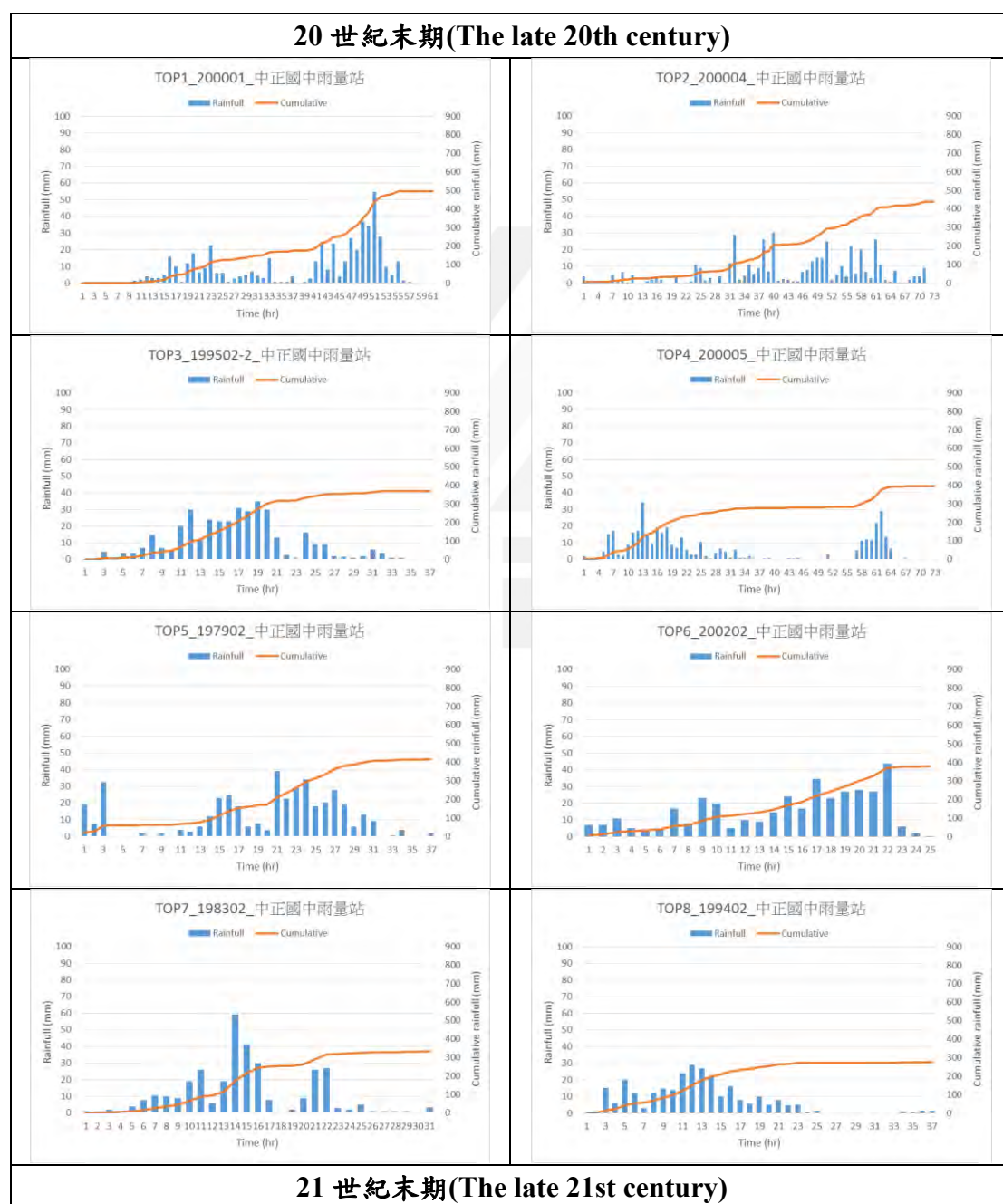


圖 26 及圖 27。由總雨量分布圖可看出兩時期較大雨量皆集中於陽明山山區、基隆河上游及北勢溪上游，則 20 世紀末期排序前 3 場

總雨量大小集中於 400mm 至 700mm，第 4 至 6 場集中於 350mm 至 500mm，最後 2 場總雨量大致都小於 400mm；21 世紀末期排序前 2 場總雨量皆大於 700mm，第 3 場則雨量大小較為極端，範圍大致介於 400mm 至 1000mm 之間，第 4 場則大致都小於 700mm。



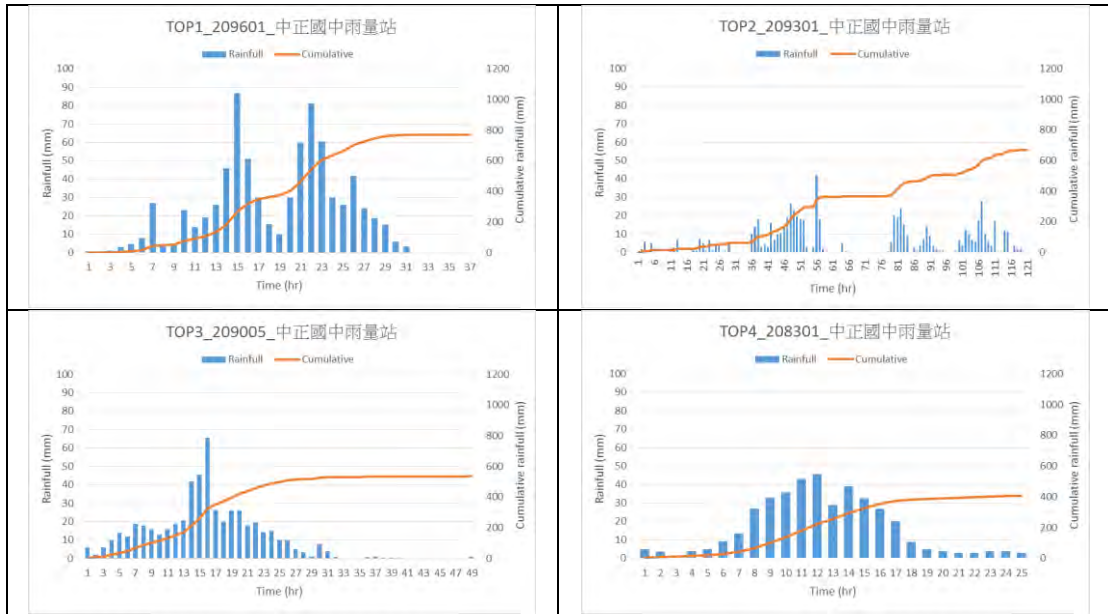
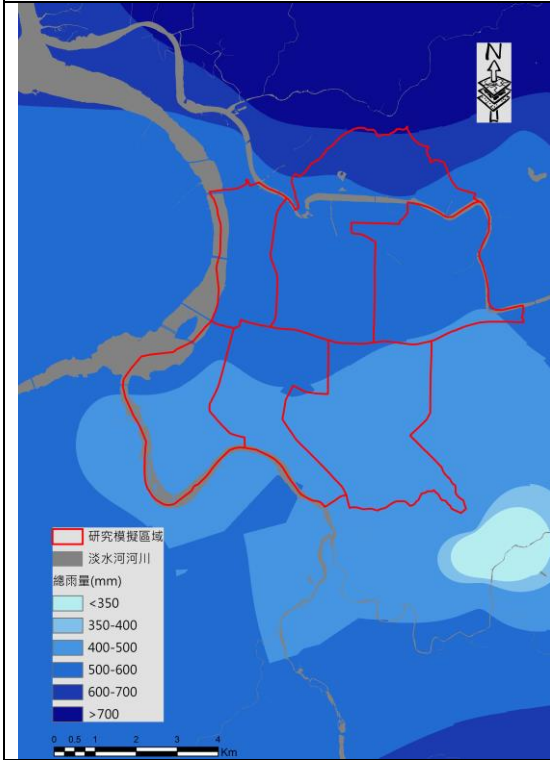


圖 25 中正國中雨量站對應 WRF 網格雨量之降雨組體圖

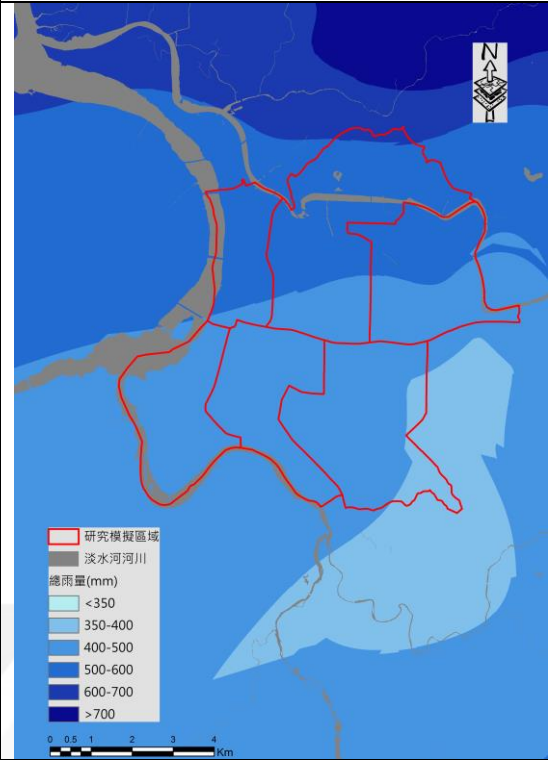


20 世紀末期(The late 20th century)

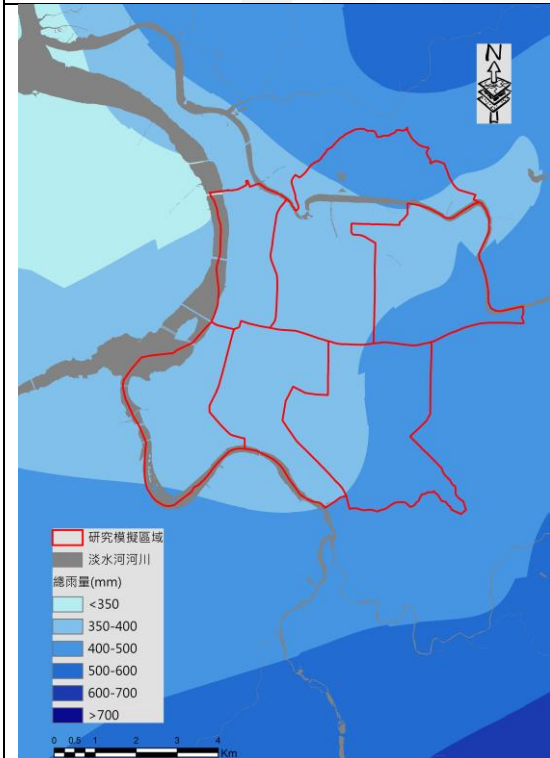
TOP1_200001



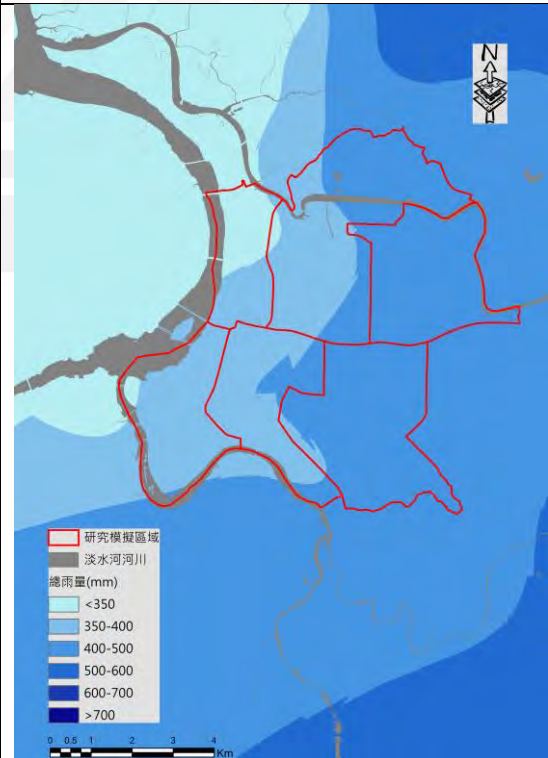
TOP2_200004



TOP3_199502-2



TOP4_200005



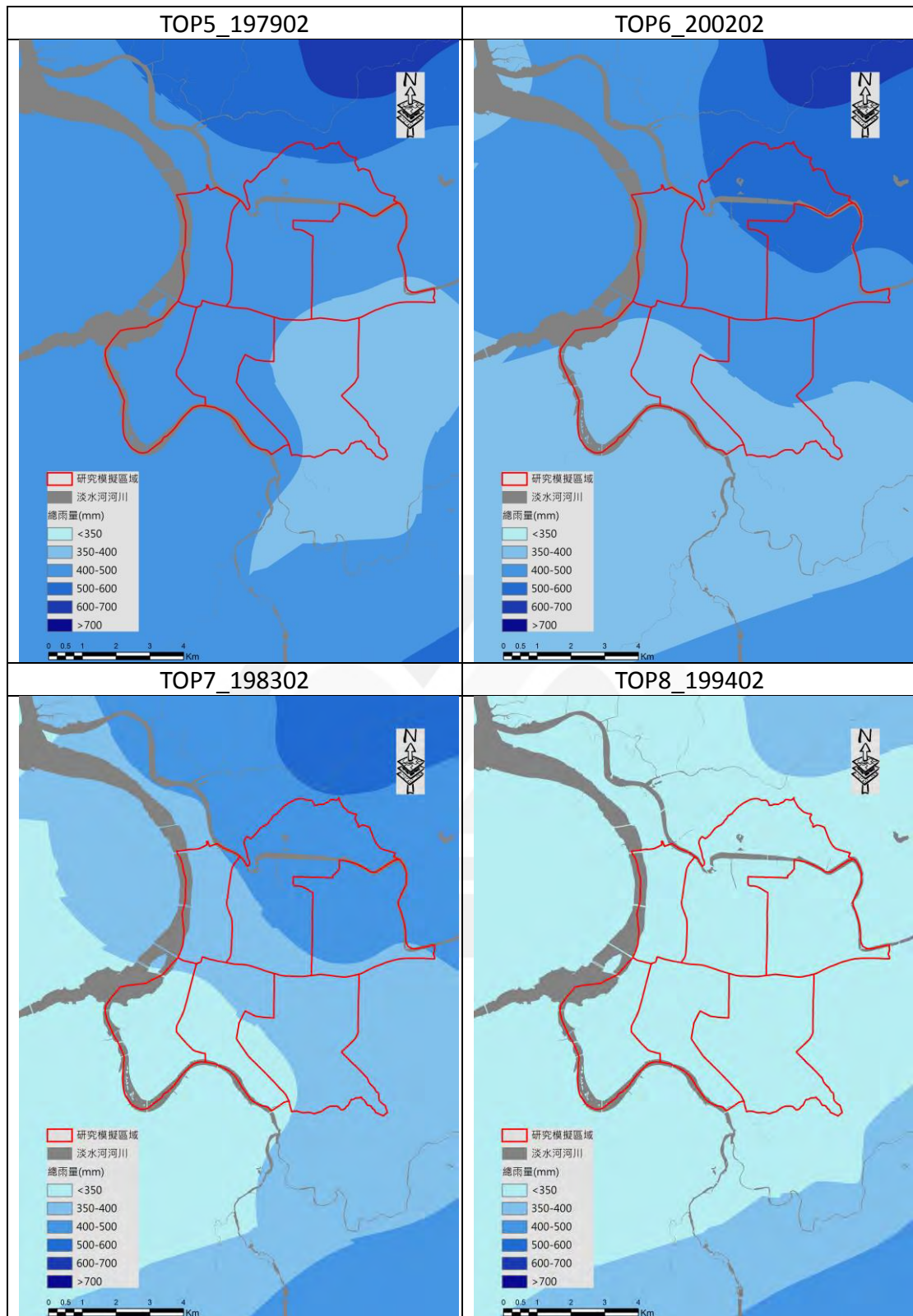


圖 26 20 世紀末期_總降雨量分布圖

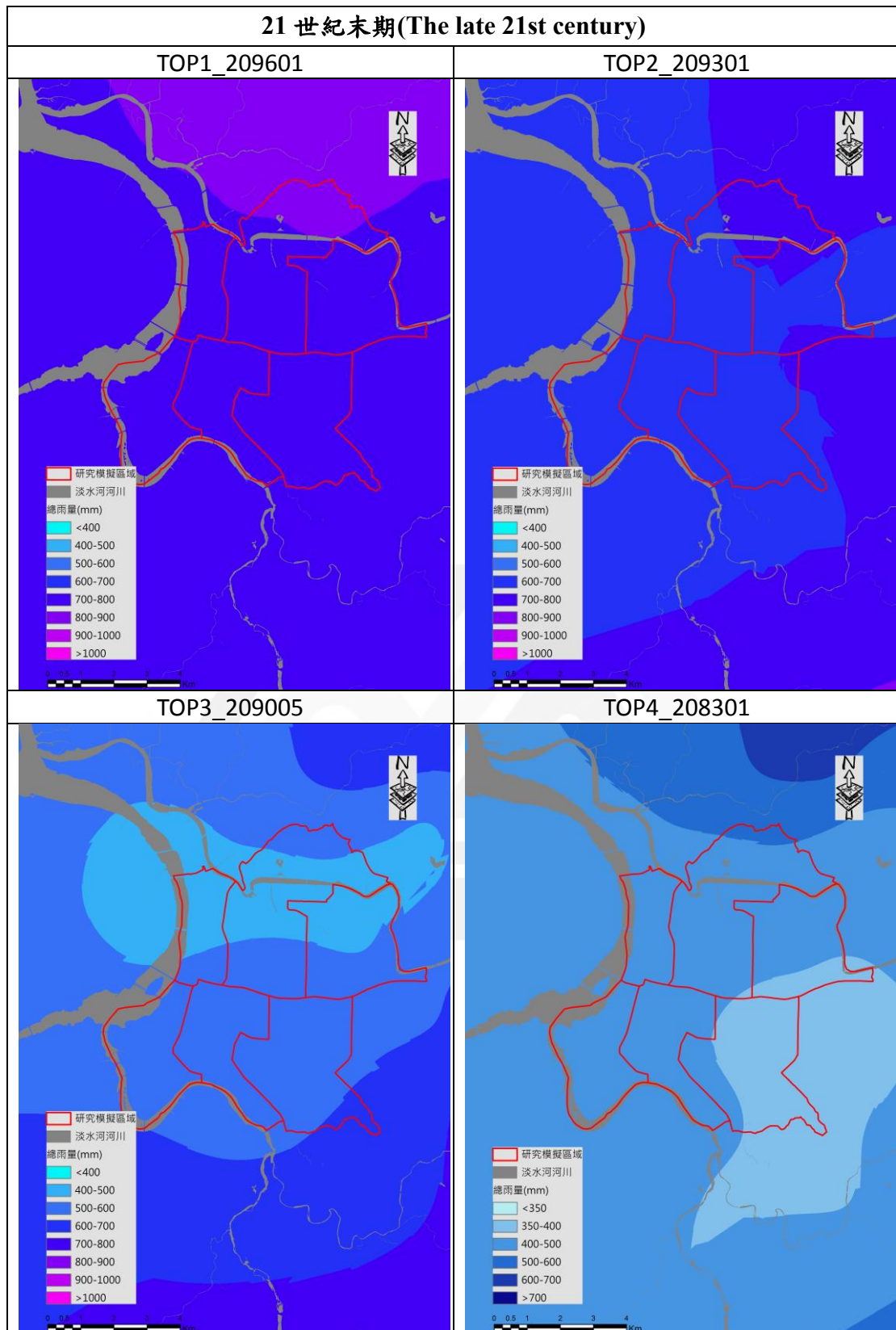


圖 27 21 世紀末期_總降雨量分布圖

4.4.2 模擬成果與分析

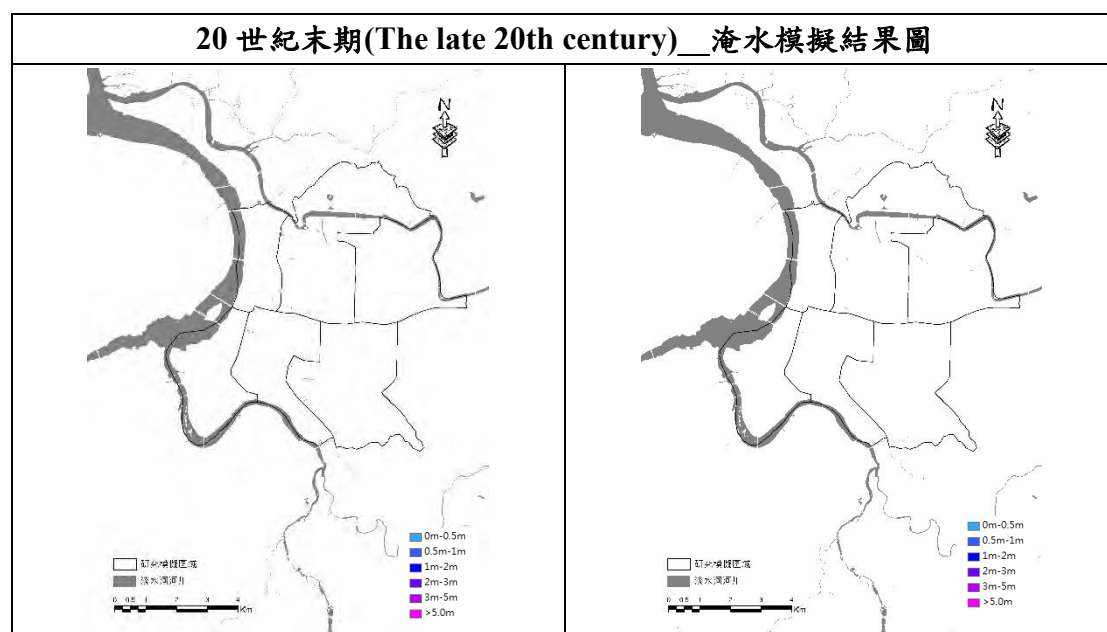
本研究動力降尺度下極端降雨事件降雨量係利用淡水河流域臺北市蛋黃區平均總降雨量進行排序，並從 20 世紀末期 1979 年至 2003 年間及 21 世紀末期 2075 年至 2099 年間，各挑選期間內前 10% 極端颱風降雨事件，應用 SOBEK 模式進行淹水模擬，最大積淹水深度模擬成果如圖 28 至圖 29。

由圖 28 至圖 29 可看出各場次在研究試區的淹水概況，20 世紀末期較無明顯積淹水境況，平均積淹水比例約佔總模擬面積之 0.033%，前 10% 場次積淹水比例皆在 0.1% 以下；21 世紀末期即可看出較明顯之積淹水境況，平均積淹水比例約佔總模擬面積之 0.554%，僅排序第 1 場積淹水超過 1%，積淹水比例約佔 1.849%，次高場次為排序第 3 場，約佔 0.287%，其餘場次則低於 0.1%。21 世紀末期較 20 世紀末期平均積淹水面積佔總模擬面積之比例提高約 0.5%，平均積淹水面積比較圖如圖 30。在 20 世紀末期前 10% 場次積淹水深度多數低於 0.5m 以下，約佔所有場次加總積淹水面積的 93.4%，僅有排序第 1 場、第 6 場及第 7 場有發生介於 0.5m 至 1m 之積淹水深度，約佔所有場次加總積淹水面積的 6.3%；21 世紀末期前 10% 場次積淹水深度多數低於 0.5m 以下，約佔所有場次加總積淹水面積的 77.1%，

積淹水深度介於 0.5m 至 1m 約佔 22.0%、1m 至 2m 約佔 0.9%。模擬積淹水深度及積淹水面積比較圖如圖 31。

若針對積淹水面積較嚴重之災況為淹水深度達 0.5m 以上做進一步討論，在 20 世紀末期淹水深度 0.5m 以上之淹水面積約佔總積淹水面積的 6.6%；21 世紀末期淹水深度 0.5m 以上之淹水面積約佔總積淹水面積的 22.9%，兩時期比較增加約 16.3%，由此結果可看出淹水面積有增加的趨勢，比較圖如圖 32。

以上淹水模擬成果分析可看出雖然積淹水面積皆佔研究試區比例較低，但亦可看出 20 世紀末期與 21 世紀末期淹水程度的差異，在積淹水深度上有明顯增加的趨勢。依據各時期的積淹水境況可看出積淹水多寡並無與排序場次依序遞減，此成果應為降雨延時及降雨強度所造成積淹水面積多寡之差異。



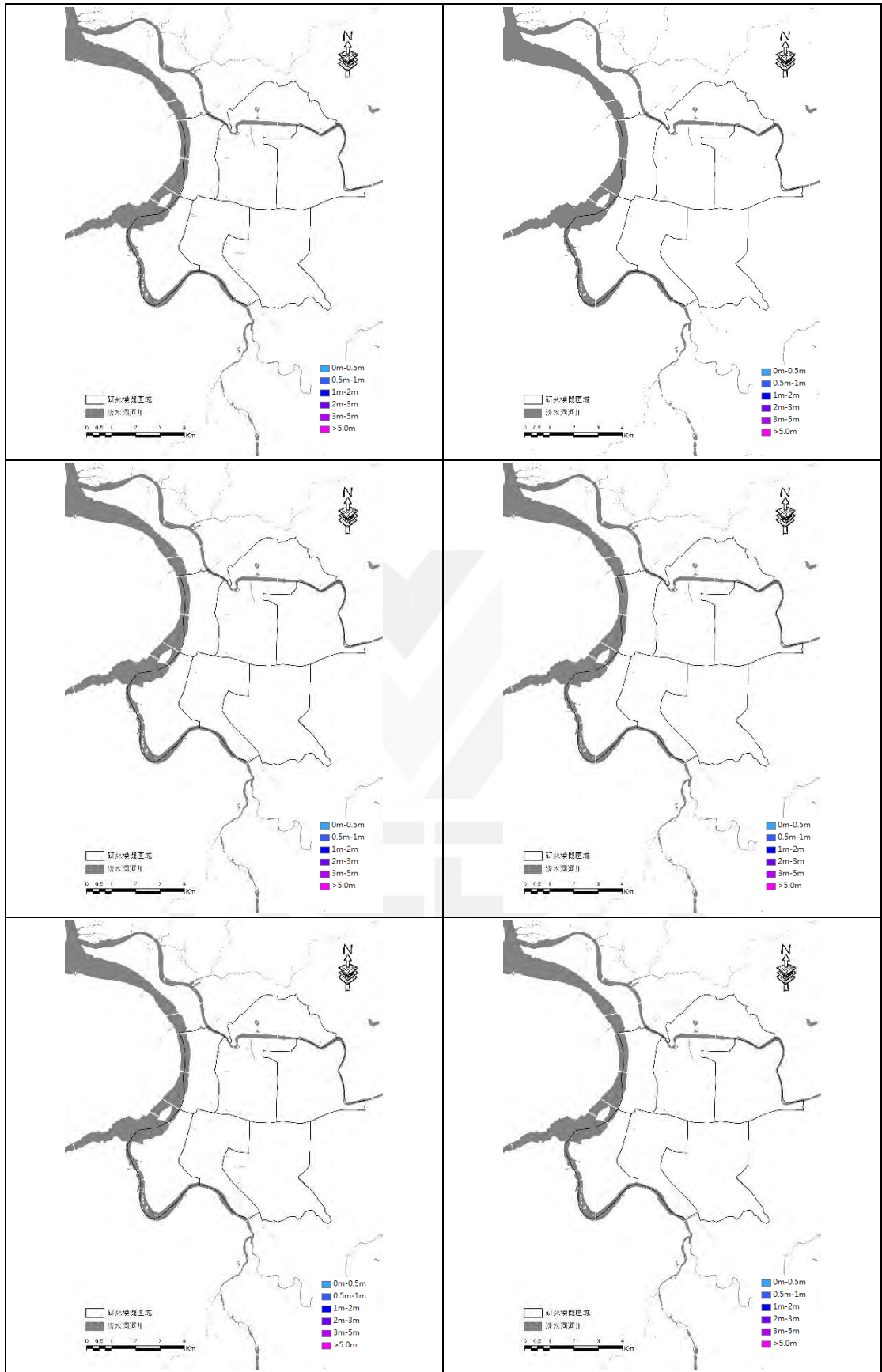


圖 28 20 世紀末期排序前 10%場次最大淹水深度模擬成果圖

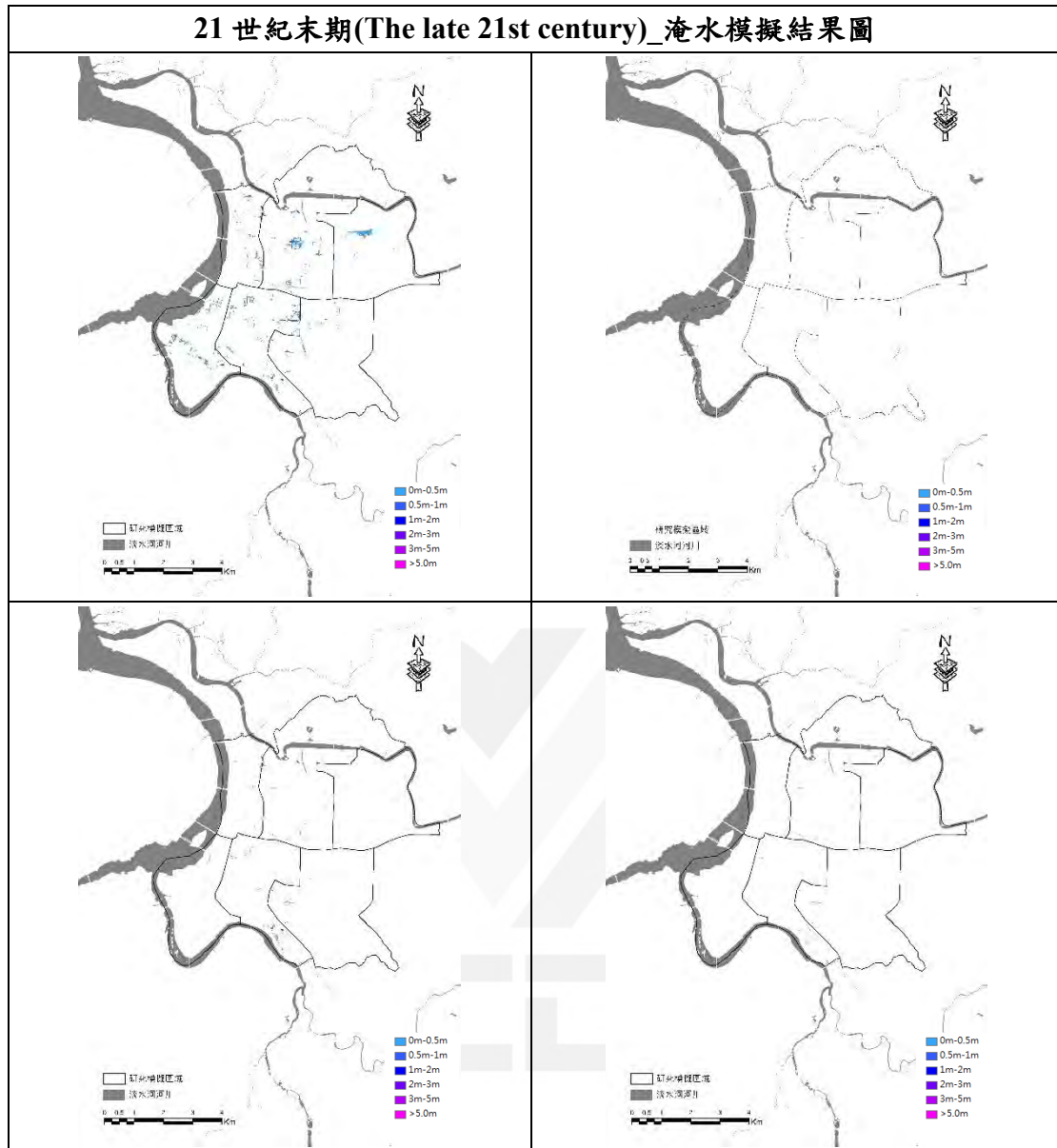


圖 29 21 世紀末期排序前 10%場次最大淹水深度模擬成果圖

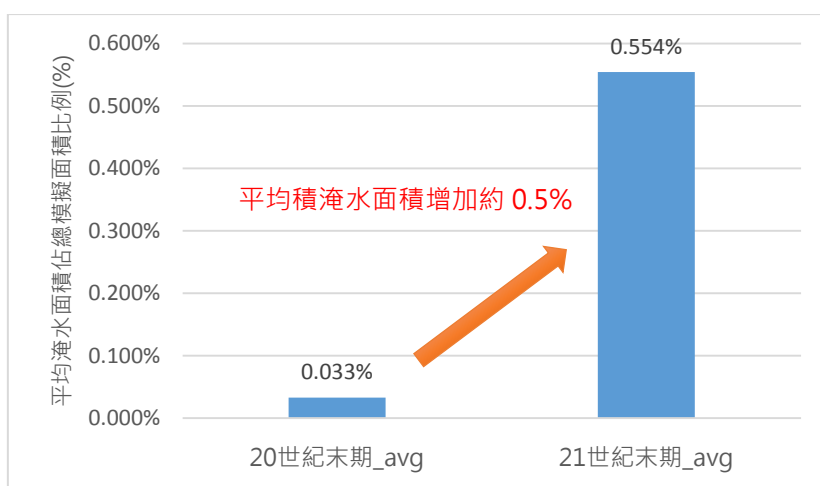


圖 30 平均積淹水面積比較圖

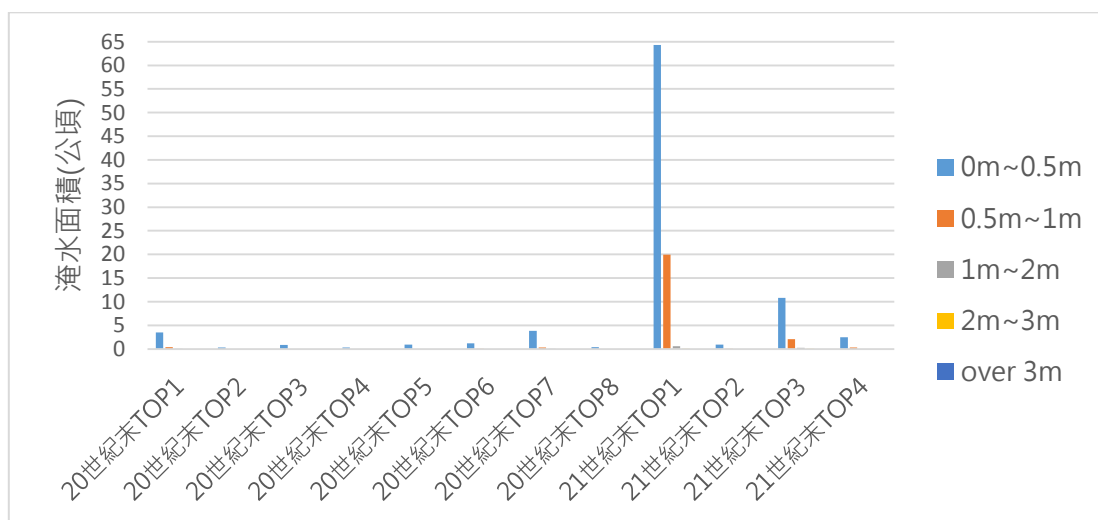


圖 31 積淹水深度及淹水面積比較圖

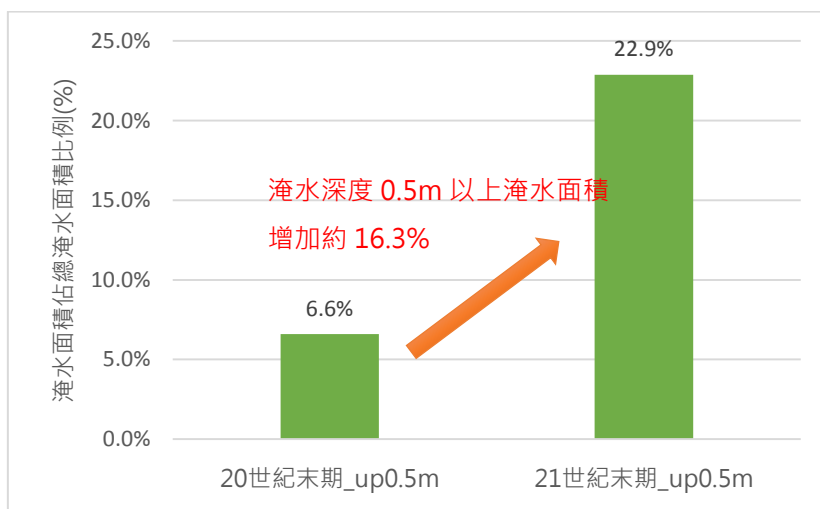


圖 32 淹水深度 0.5m 以上淹水面積比較圖

4.4.3 淹水損失成果分析

依據前文的計算結果，得知 21 世紀末的淹水規模將會比 20 世紀末來的嚴重。此節依據前文多場淹水模擬的結果，從 20 及 21 世紀末的淹水事件中，選取淹水面積衝擊最大的一事件進行損失的比較，各別為 20 世紀末的第 7 場事件及 21 世紀末的第 1 場事件。接者，將兩場事件之淹水模擬結果代入 TLAS 中的淹水模組進行計算(李欣輯，2013)。礙於 TLAS 模組的限制，此研究以現況為基準點，假設未來的經濟因子不變，單純只考慮氣候變遷對淹水災害的影響，進而分析損失的差異量。依據淹水災害對影響戶數之衝擊評估(如圖 33)，由於 20 世紀末淹水模擬的結果多為積水災況，算較輕微的災害，因此造成的影響戶數只有 978 戶；然而，21 世紀末之颱風事件造成的淹水規模較大，因此共有 19,908 戶將受到淹水災害的影響，較 20 世紀末來的嚴重。從圖 32 中得知，這些影響戶數的分佈以中山區最多，有 6,816 戶受影響；其次為萬華區，約 4,200 戶會受影響。

再者，依據淹水災害對各區之直接損失衝擊評估(如圖 34)，因為 20 世紀末的淹水事件以積水居多，因此造成的直接經濟損失亦不高，共約 3,700 萬元；相較於 20 世紀，21 世紀末最嚴重事件造成的洪災損失相當可觀，將造成 65,000 萬元的損失，主要集中在中山區及中正區。若再依據細部的各土地利用分類來看(表 11)，淹水造成最主要的

損失項目為商業，兩區的商業損失均超過 19,000 萬元，其次是住宅損失，但損失程度很小。

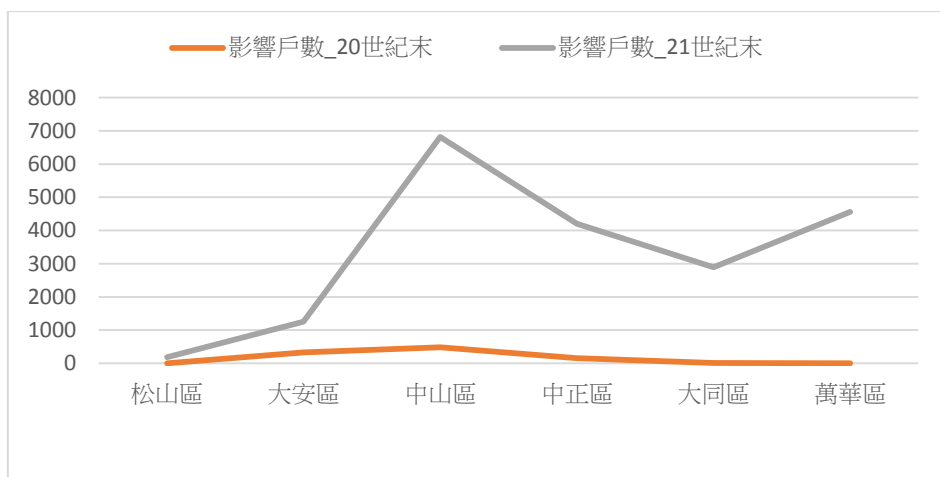


圖 33 臺北市中央區淹水影響戶數

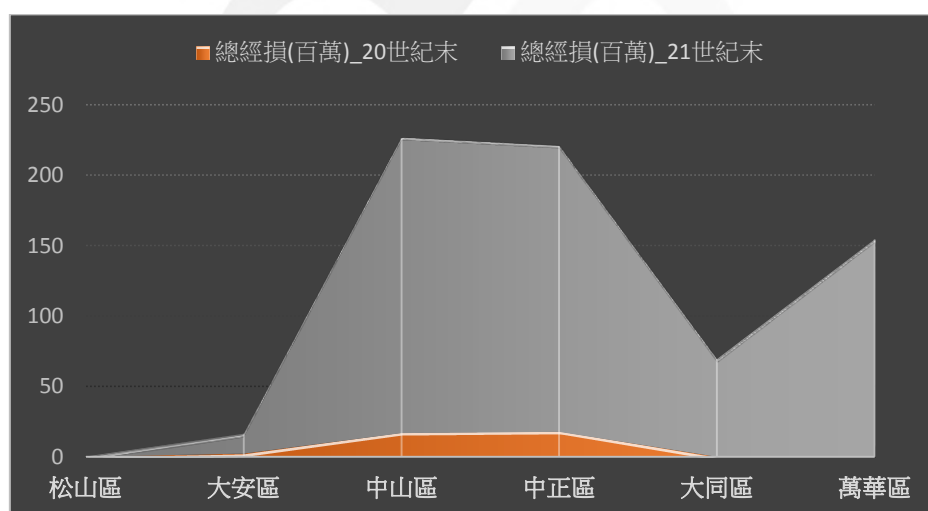


圖 34 臺北市中央區淹水直接經濟損失比較(單位：百萬元)

表 11 北市中山區及中正區淹水直接經濟損失

損失項目	中山區(百萬元)	中正區(百萬元)
道路	3	3
商業	193	194
住宅	9	3
工業	0	0
其他建築用地	1	0
政府機關	0	1
學校	0	1
其他	3	1

最後，本研究從整體性角度來分析(圖圖 35 及圖 36)，21 世紀末氣候變遷對臺北中央六區造成的淹水影響中，以中山區為主要受災區。中山區無論在淹水影響人或直接經濟損失上，均是受損最高的地區。中山區無論在淹水影響人或直接經濟損失上，均是受損最高的地區，因此在未來的淹水防治工作上，此區應是重點減災調適的對象。另外，在經濟損失部份，除了中山區外，中正區亦有嚴重的淹水損失，最主要的原因在於淹水將對此區的商業造成重大衝擊，例如重要的百貨公司、賣場、商圈等，此結果凸顯這些商業地區未來對於淹水適調之工作的重要性。不過需要強調的是，雖然 21 世紀末該場極端事件造成的淹水直接經濟損失將高達 6 億多元，但相較對 2001 年納莉颱風造成超過百億元的損失來看，臺北地區近年的防洪治理措施已有很大的成效，已大幅提升對洪災事件的防災韌性。

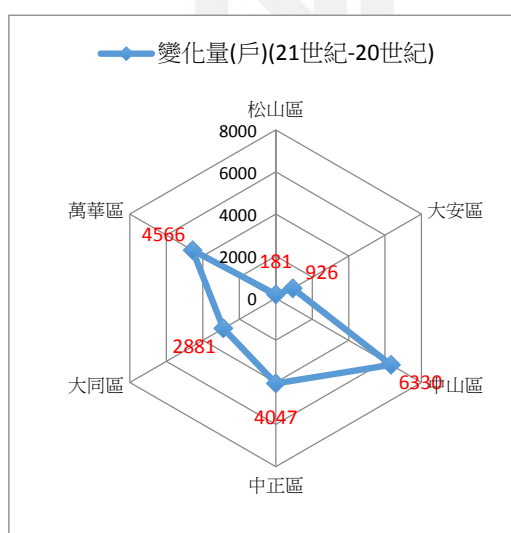


圖 35 影響戶數變化量(戶)

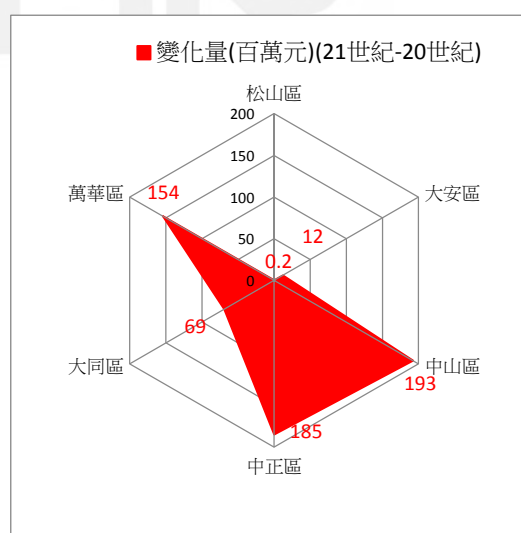


圖 36 淹水經濟損失變化量(百萬元)

4.5 小結

在淹水模擬部分應用動力降尺度後產製 5 公里空間解析度之 AR5 氣候資料的極端降雨事件，利用 SOBEK 模式進行淡水河流域臺北市蛋黃區淹水境況模擬。成果可看出 20 世紀末期平均淹水比例約佔 0.033%，前 10% 場次淹水比例皆在 0.1% 以下；21 世紀末期平均淹水比例約佔 0.554%，僅排序第 1 場淹水比例達到約佔 1.849%，21 世紀末期較 20 世紀末期平均淹水面積所佔比例提高約 0.5%。在積淹水面積內較嚴重之災況為淹水深度達 0.5m 以上部分，兩時期比較其佔總淹水面積之比例，增加約 16.3%。雖然淹水面積皆佔模擬面積比例較低，但亦可看出兩個時期淹水程度的差異，在淹水深度上有明顯增加的趨勢。依據各場次模擬淹水境況可看出淹水多寡並無與排序場次依序遞減，此成果應為降雨延時及降雨強度所造成淹水面積多寡之差異。

第五章 氣候變遷下河道沖淤評估

淡水河流域除了本研究闡述之中下游淹水災害外，在集水區上游尚有相關土砂災害。早期除了零星發生於基隆河集水區之崩塌及土石流等土砂災害外；淡水河流域較為嚴重之土砂災害大多數發生於石門水庫集水區，尤其以艾利(2004)、海棠(2005)及馬莎(2005)颱風在石門水庫集水區造成大量崩塌外，亦造成原水濁度飆高，進而影響相關民生及工業用水(水保局，2012)。近年主要土砂災害，則以蘇迪勒(2015)颱風引發翡翠水庫集水區上游崩塌，造成原水濁度飆高等問題。

上述章節僅討論定床水理及淹水模擬，無考慮氣候變遷影響下，上游土砂災害對下游河道之沖淤影響。故本章節將針對氣候變遷影響下之河道沖淤問題，進行相關評估。

5.1 水庫淤砂問題

上述崩塌及土石流災害所造成的大量土砂，除了基隆河集水區之土砂直接進入河道運移至下游外，石門水庫及翡翠水庫集水區上游之大多數土砂會直接進入水庫庫區，僅少部分土砂在颱風期間透過水力排砂及浚碟進入下游河道。翡翠水庫歷年淤積率至 2016 年，僅淤積 6.39 %，反觀石門水庫截至 2017 年初，總淤積量達 1 億 86 萬 m³，佔水庫設計蓄水容量 32.6 %。圖 36 為石門水庫歷年累積淤積量、清

淤量及有效庫容變化趨勢圖。尤以 2004 年艾利颱風所造成的大量土砂，對水庫庫容造成嚴重影響。



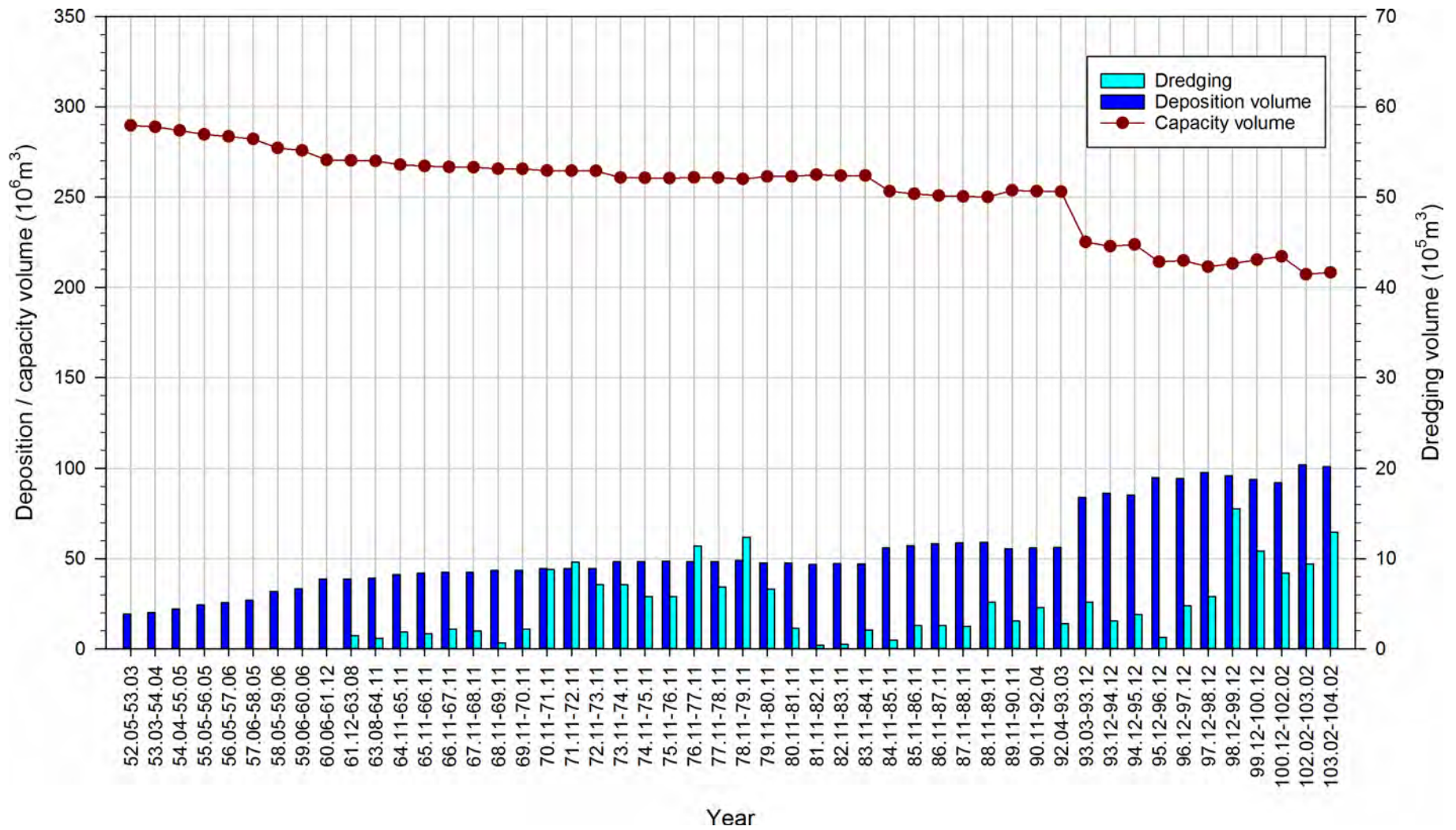


圖 37 石門水庫歷年累積淤積量、清淤量及有效庫容變化趨勢圖

5.2 石門水庫防淤措施

艾莉颱風後石門水庫淤積嚴重，加上面臨氣候變遷所導致的極端水文事件，使得水庫穩定供水及防洪操作之風險提高。為加強石門水庫防淤及排洪能力，經濟部水利署(2015)研擬於石門水庫蓄水範圍內阿姆坪及大灣坪等處增設防淤隧道，相關位置圖如圖 38 所示。

阿姆坪隧道於平時作為水庫土石清淤輸送通道，由佈設於隧道上方之抽泥(砂)管輸送至隧道出口沖淤池及浮覆地堆置，於颱風期間利用該通道排洪水量將沖淤池內可沖淤料排放至下游河道，不可沖淤料部分則進行標售。大灣坪隧道則利用颱風期間水量進行水力排砂操作，藉由水庫異重流到達時將高濃度泥流排放至水庫下游，以提升石門水庫防淤能力，減少水庫泥砂淤積。

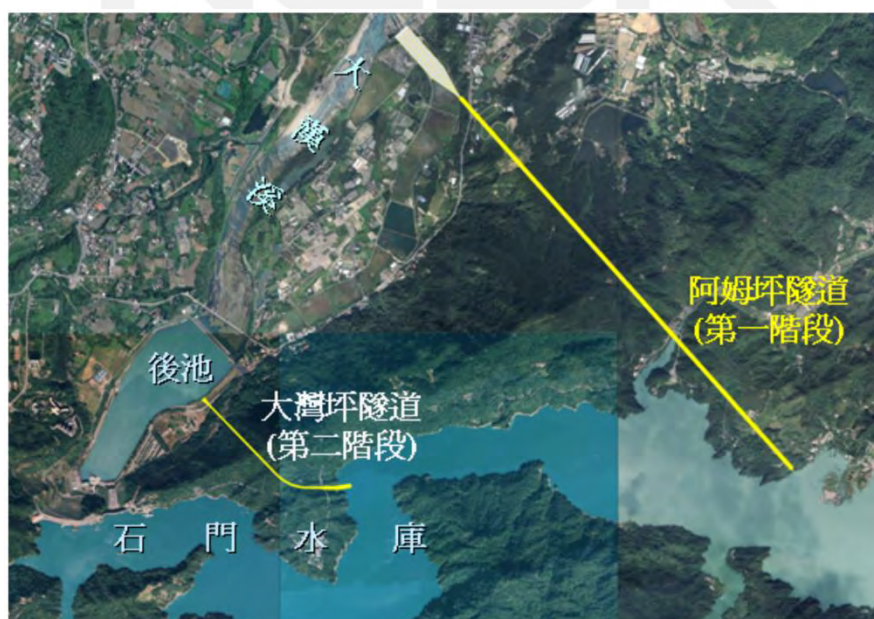


圖 38 阿姆坪大灣坪防淤隧道位置圖(摘自北水局，2017)

除利用水工模試驗進行水庫排砂相關問題研究外，北區水資源局(2011)亦利用數值模式進行「石門水庫防淤策略對下游河道影響之評估研究」。結果指出，未來不論石門水庫實施任何防洪防淤策略，都有助於下游河床回淤，使河道趨於沖淤平衡狀態。

5.3 氣候變遷下大漢溪與淡水河河道沖淤影響評估

大漢溪及淡水河因石門水庫興建後攔阻部分砂源，加上人為活動及地層下陷之緣故，使下游河床大幅下降。依據 1969 年與 2100 年實測縱剖面比較後發現，河道縱剖面高程差多在 5~15 公尺間，如圖 39 所示。而近年來，因政府公告禁止於淡水河流域進行採砂等活動，使河床漸有回淤之趨勢(北水局，2011)。

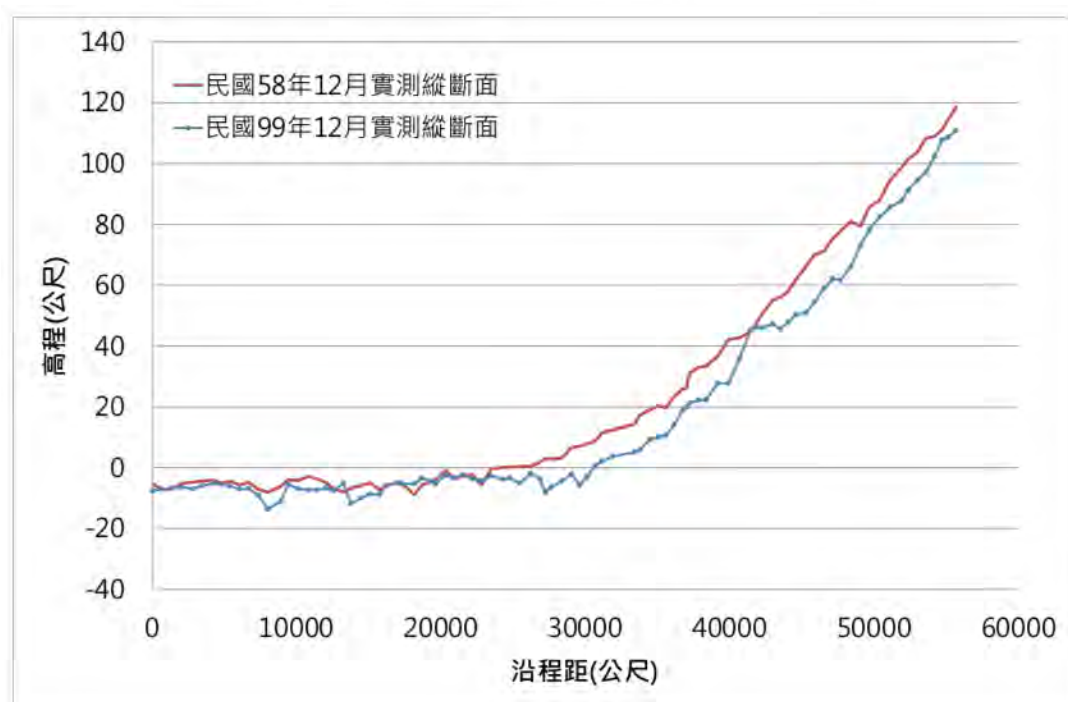


圖 39 大漢溪與淡水河底床比較(摘自北水局，2011)

然而，為增加石門水庫防洪能力及降低庫區泥砂淤積，國家發展委員會於 2014 年 7 月 21 日通過「石門水庫防淤隧道工程計畫(第 1 階段)」，並於 2014 年 9 月 1 日經行政院同意辦理，並優先推動阿姆坪防淤隧道工程。

此防淤隧道會促使下游河道自然回淤，使河道回復沖淤平衡之狀態。然而，排淤隧道雖增加石門水庫防洪能力，但長期而言，下游河道回淤將造成河道底床抬升，進而影響河道防洪能力。如北水局(2011)為瞭解防淤隧道長期排砂對下游河道造成之沖淤影響，以艾利(2004)鳳凰(2008)、薔蜜(2008)、辛樂克(2008)及莫拉克(2009)等五場具有實測及物理模型試驗等資料之颱風事件，以數值方法進行長約 48 年之長期模擬。其中將艾利颱風納入長期模擬，可瞭解未來極端氣候條件下，入庫泥砂量屢創新高時，對於下游河道沖淤之影響。

圖 40 為阿姆坪防淤隧道長期模擬新增底床變化量結果。長期而言，大漢溪因河道坡度較陡，造成流速較快之故，泥砂難以落淤在河道中，故泥砂多被水流帶往流速及坡度較緩之河段落淤。如圖中顯示，城林大橋至關渡大橋河段之新增底床變化最為明顯，新增底床變化量多在 2.0 m 以上，最高變化量甚至高達 5.0 m 以上。

根據第四章河道防洪評估結果顯示，再利用動力降尺度所提供之

氣候變遷資料所推估之氣候變遷河道防洪評估結果，尚屬安全範疇。但當未來石門水庫防淤隧道啟用後，將會促使水庫下游河道回淤。根據圖 39 結果保守假設回淤結果不嚴重之情形下，21 世紀末城林橋至臺北橋間底床回淤 2 m，臺北橋下游至河口底床回淤 0.5 m。此結果將造成城林橋至臺北橋間從原本兩岸防洪安全無虞，改變為大部分河段產生出水高不足且少部分河段溢堤之結果；此結果為與圖 15 相比較之結果，其示意圖如圖 41 所示。



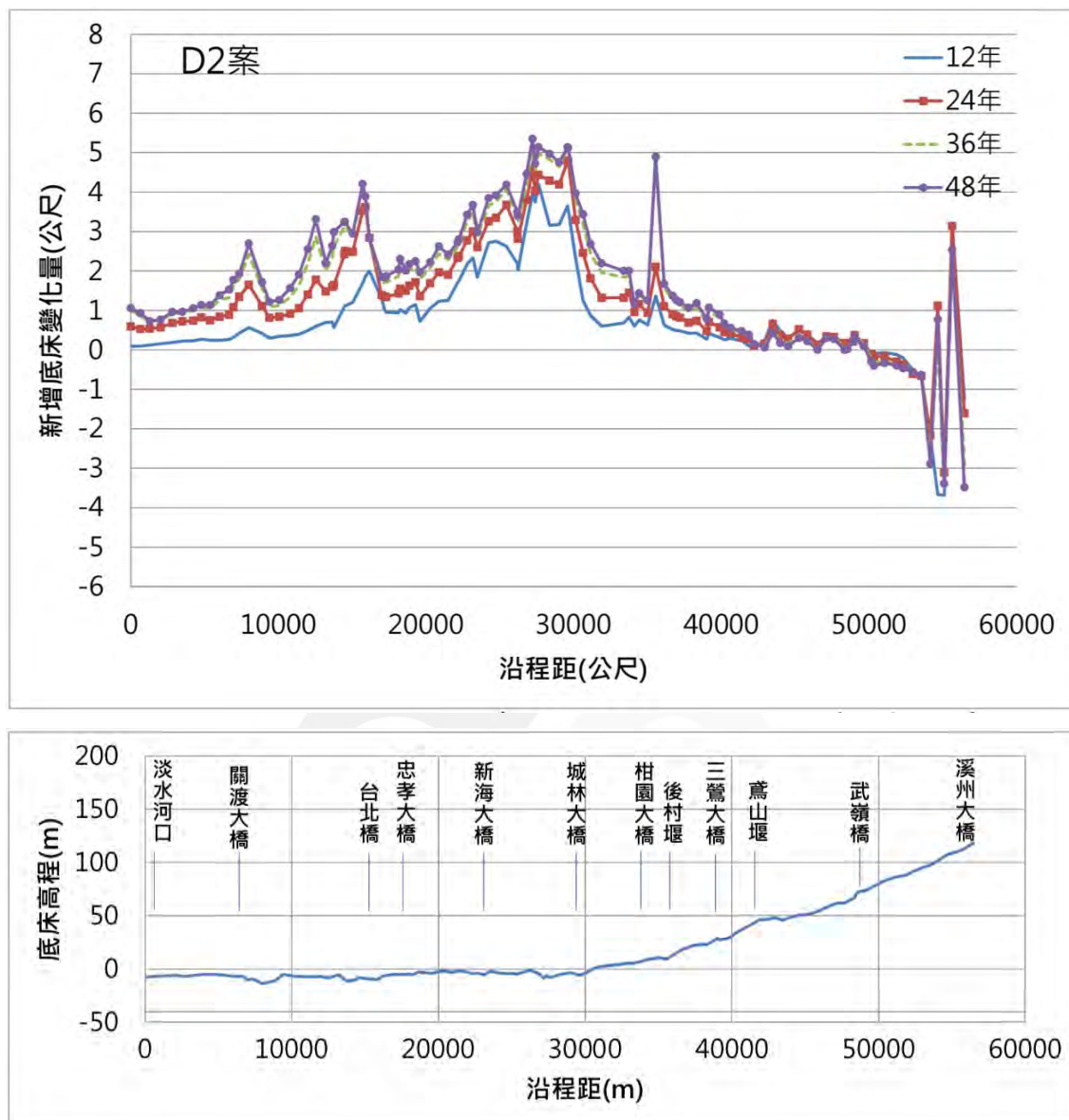


圖 40 阿姆坪防淤隧道下游河道長期排砂模擬底床新增變化量

(摘自北水局，2011)

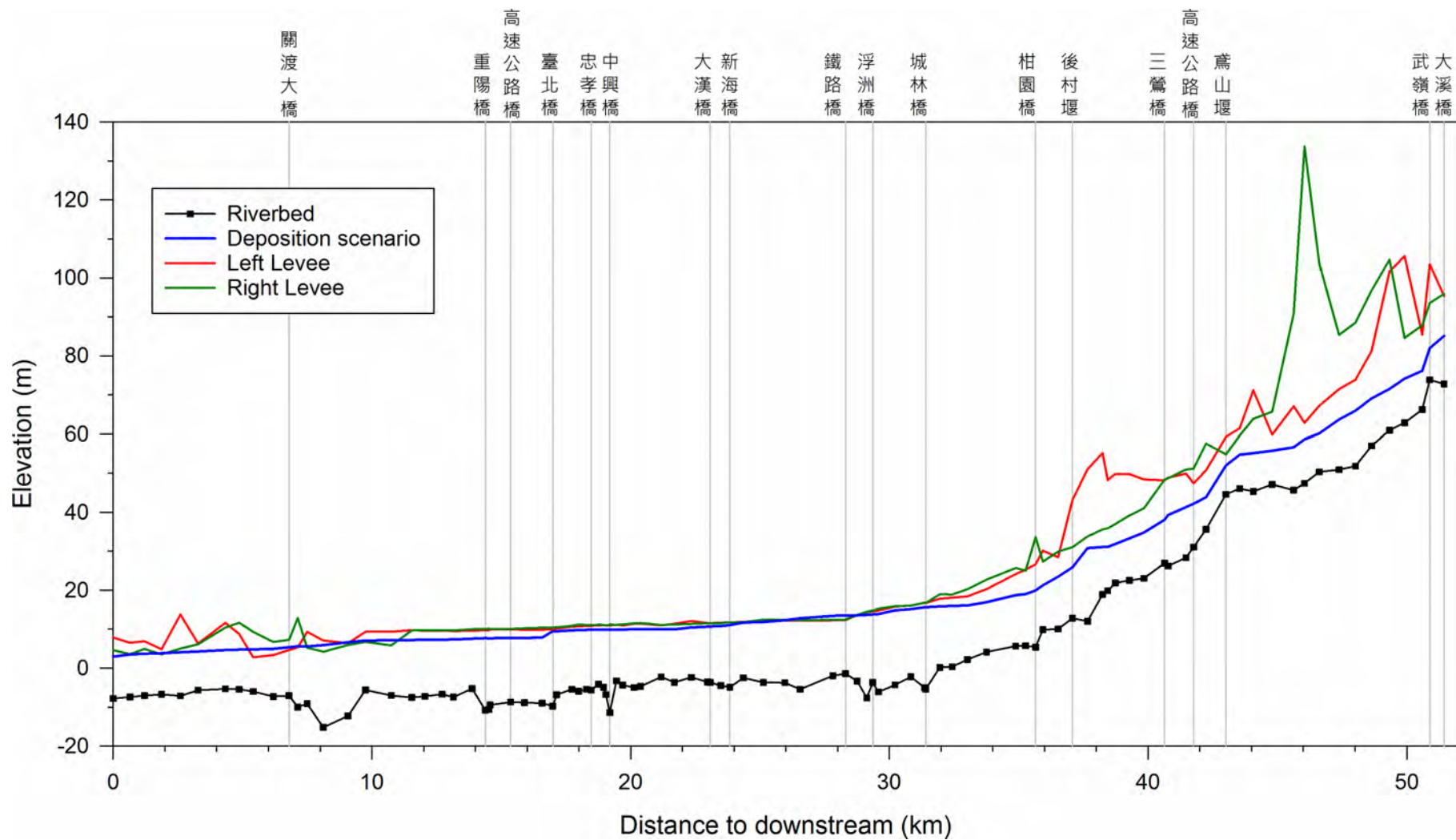


圖 41 未來阿姆坪排砂隧道排砂後水位模擬示意圖(此圖不含水理模擬結果)

5.4 小結

石門水庫防淤隧道之設置，預期將會增加水庫庫容、防洪能力與延長水庫壽命等。且此防淤隧道長期而言會促使下游河道回淤，改變河道下切狀態，回復原本河道沖淤平衡能力。但是，下游河道回淤將造成底床抬升，進而減少通洪斷面。造成未來在氣候變遷影下之極端颱風降雨所帶來之洪水事件，預計將會增加大漢溪與淡水河兩岸防洪壓力。

根據阿姆坪防淤隧道使用要點，除颱風期間排砂外，平時將作為水庫土砂清淤輸送通道，或由佈設於隧道上方之抽泥(砂)管輸送至隧道出口沖淤池及浮覆地堆置。再利用颱風期間之洪水量將沖淤池內可沖淤料排放至下游河道，不可沖淤料部分則進行標售。如為減緩未來大漢溪與淡水河兩岸防洪壓力，建議將非颱風期間清淤之土砂，運至其他區域堆置或提供給需要泥砂補給的河口區域。減緩下游河道回淤時間，以減少未來因河道抬升所造成的防洪壓力。但是，上述建議將會加重水庫維運成本，尚請相關單位酌量。

第六章 結論

為了解氣候變遷對淡水河流域河道沖淤與下游淹水分布的影響，本研究使用日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)氣象研究所(Meteorological Research Institute, MRI)所發展的高解析度大氣環流模式所模擬出氣候情境資料，再以美國大氣研究中心所發展的天氣研究與預報系統模式(Weather Research and Forecasting model system, WRF)進行動力降尺度的工作，所產製 5 公里空間解析度之 AR5 氣候資料，進行未來極端颱風情境之衝擊評估。並從 20 世紀末期(The late 20th century)1979 年至 2003 年間(87 場降雨事件)及 21 世紀末期(The late 21st century)2075 年至 2099 年間(43 場降雨事件)以平均降雨量排序，挑選前 10%(20 世紀末期 8 場、21 世紀末期 4 場)極端颱風降雨事件進行相關模擬。

首先從臺北都會區歷年防洪工程開始，據經濟部水利署第十河川局資料，為保護大臺北都會區密集人口及重要產業，政府於 1980 年開始擬定各種防洪計畫，期間包括完成二重疏洪道、完成蘆洲抽水站興建、基隆河河道的截彎取直、堤防改建、抽水站與水門增建及洪水預報系統更新，直至 2005 年更完成的員山子分洪道等重大工程。在上述工程完工後，整體的防洪水準已超過 100 年重現期距，其中臺北

市中央區部份更是到達 200 年的保護水準。因此本研究依據歷史颱風淹水災點分析結果，以員山子分洪道完工時間點分為前後期，分別統計積淹水災點分布，藉以探討臺北中央區的防洪能力。成果顯示，在員山子分洪道完工後，歷史積水災點比例從 2% 增至 87%，歷史淹水災點比例從 98% 降至 13%，由此可看出員山子分洪道為北部地區防洪一大功臣，亦說明大臺北都會區目前已具至一定的防洪水準。

因此本研究依據目前防洪現況，進行 20 世紀末及 21 世紀末臺北市蛋黃區淹水模擬評估。成果可看出 21 世紀末期較 20 世紀末期平均淹水面積所佔比例提高約 0.5%。在積淹水面積內較嚴重之災況為淹水深度達 0.5m 以上部分，兩時期比較其佔總淹水面積之比例，增加約 16.3%。唯淹水面積佔全部模擬面積比例都較低，因此整體的淹水程度並不嚴重，只有特定地區之淹水深度上有較明顯的增加。

另外，在河道沖淤分析上，石門水庫防淤隧道之設置，預期將會增加水庫庫容及防洪能力。且該隧道長期而言會促使下游河道回淤，改變河道下切狀態，回復原本河道沖淤平衡能力。但是，下游河道回淤將造成底床抬升，進而減少通洪斷面，造成未來在氣候變遷影下之極端颱風降雨所帶來之洪水事件，預計將會增加大漢溪與淡水河兩岸防洪壓力。

最後綜整本研究結果，未來在氣候變遷影響下，大漢溪與淡水河沿岸有部分河段會出現出水高不足或溢堤之模擬結果。因此，在氣候變遷影響下，21 世紀末強降雨事件所造成的防洪壓力將會較現階段來的大。未來除了長期的加強洪範區管制及提高防洪標準外，短期在石門水庫排砂及滯洪調節的操作策略，將是下游減輕洪災壓力的重要關鍵。



參考資料

- Deltares: Delft, The Netherlands (2015), Delft Hydraulics SOBEK User Manual(suitable for SOBEK 2.14)
- Mizuta, R., H. Yoshimura, H. Murakami, M. Matsueda, E. Hirokazu, O. Ose, K. Kamiguchi, M. Hosaka, M. Sugi, S. Yukimoto, S. Kusunoki and A. Kitoh (2012), Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid. J. Meteor. Soc. Japan., 90A, 233-258.
- Mizuta, Ryo, Osamu Arakawa, Tomoaki Ose, Shoji Kusunoki, Hirokazu Endo, and Akio Kitoh (2014), Classification of CMIP5 Future Climate Responses by the Tropical Sea Surface Temperature Changes. SOLA 10 (0): 167–71. doi:10.2151/sola.2014-035.
- USACE (2013), “HEC-HMS, Hydrologic Engineering Center, Hydrologic Modeling System”, Hydraulic Reference Manual Version 4.0.
- USACE (2016), “HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center, River Analysis System,” Hydraulic Reference Manual Version 5.0.
- 李明儒(2010)。雨水下水道淤積對於都是淹水之影響評估，國立交通大學碩士論文。
- 柳文成、吳仲英等(2010)。以一維變量流演算模式分析極端暴雨情境之淡水河系溢堤與破堤，臺灣水利，第 58 卷，第 3 期。
- 柳文成、卓昱宏、陳志鴻、蔡萬春、吳澄維、涂芹嬌等(2013)。都市區域洪水減災調適策略之研究。
- 經濟部水利署第十河川局 (2008)，「淡水河水系現有防洪設施水理分析檢討及因應措施研擬」。
- 經濟部水利署(2011)。氣候變遷水文環境風險評估研究(2/2)。

經濟部水利署水利規劃試驗所(2013)。淡水河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫(2/2)正式報告書。

經濟部水利署(2016)。綜合治水措施及方案研擬－淡水河流域綜合治水策略之過去與未來，水例署電子報。

經濟部水利署(2013)。石門水庫運用要點。

經濟部水利署(2012)。氣候變遷水文情境評估研究(1/2)。

經濟部水利署(2015)。石門水庫阿姆坪防淤隧道可行性規劃總報告。

經濟部水利署北區水資源局(2011)。石門水庫防淤策略對下游河道影響之評估研究。

經濟部水利署北區水資源局(2017)。重大工程，石門水庫防淤隧道計畫，<http://www.wranb.gov.tw/>。

行政院國家科學委員會(1999)。臺北都會區淹水區域預測之研究，專題研究計畫整合計畫。

謝龍生、柳文成、童慶斌等(2004)。氣候變遷對大漢溪及新店河流域防洪系統潛在衝擊影響之研究。

陳增壽、陳宣宏、張倉榮等(1999)。臺北市中央區洪災境況模擬與應變措施之研究，第十二屆水利工程研討會。

水土保持局(2012)。土石流防災資訊網，<http://246.swcb.gov.tw/>。

國家災害防救科技中心(2017)。災害事件簿，<https://den.ncdr.nat.gov.tw/>。

虞國興、鄭思蘋、王鵬瑞、蔡宜樺、李禧年、張宗烜等(2009)。都市
地區極端暴雨淹水境況模擬之研究-極端暴雨情境分析與降雨-
逕流模擬之研究，行政院國家科學委員會補助專題研究計畫。



書名：暖化情境下淡水河流域之極端颱風災事件風險評估：淹水災害之衝擊分析=Risk Evaluation of Extreme Typhoon Events in Tamsui River Basin under Warming Scenario: Impact Assessment of Flood Disaster

發行人：陳宏宇

出版機關：國家災害防救科技中心

地址：新北市新店區北新路三段 200 號 9 樓

電話：02-8195-8600

報告完成日期：中華民國 106 年 12 月

出版年月：中華民國 107 年 01 月

版 次：第一版

非賣品



地址：23143新北市新店區北新路三段200號9樓

電話：++886-2-8195-8600

傳真：++886-2-8912-7766

網址：<http://www.ncdr.nat.gov.tw>