

曾文溪流域因應氣候變遷防洪及土砂研究

A Study of Flood Control and Sediment Management due to Climate Change of Zeng-wen River

主管單位：經濟部水利署

謝正倫¹

陳俞旭²

潘志宏³

Shieh, Chjeng-Lun¹

Chen, Yu-Shiu²

Pan, Jih-Hong³

¹國立成功大學水利及海洋工程學系

²國立成功大學防災研究中心

³經濟部水利署水利規劃試驗所

摘要

本研究範圍為曾文溪流域，主要目的在於檢討近未來氣候變遷下水文環境變化對曾文溪流域洪氾及土砂災害之衝擊。採用氣候變遷 A1B 100 年、200 年重現期設計降雨，以及極端降雨設計事件，建立洪災綜合風險評估模式、坡地崩塌風險評估模式、氣候變遷對波浪及暴潮位模式、土砂產生推估模式、洪災、土砂災害處理對策評估模式 5 種相關模式。評估曾文溪流域洪水與土砂生產以及沖淤運移之影響，評估相關土砂環境特性之改變對水利事業之衝擊，並繪製風險地圖，檢討現行預警系統並提出建議，並研擬水土災害處理對策及其行動調適策略方案建議。

關鍵字：氣候變遷、極端氣候、曾文溪、洪泛災害、土砂災害、因應策略、行動方案

Abstract

Changes in climate trends impacting the scale and frequency of disasters continuously improve. Furthermore, a single natural extremely phenomena can produce multi-disasters in the same time. In 2009, deep-seat landslide, debris flow and floods so called compound disasters were triggered by more than 3,000 mm of accumulated rainfall at 120 hrs during Typhoon Morakot. The watershed where called Zeng-wen River also suffered catastrophic loss cause the typhoon Morakot.

It results that challenge of compound disasters and extremely events caused by climate change become a new topic for watershed management.

This is a project for Zeng-wen River watershed to adapt climate change and environmental change. This project planned adaptation strategies and action plans depending on hydrological scenarios due to climate change, evaluation of hydraulic structures (e.g. levees), vulnerability and risk analysis. First of above, the hydrological scenarios due to climate change are set according to project of "Climate Change Impacts and Adaptation on Water Environment" from WRA Secondly, based on those scenarios, the hydraulic structures

are evaluated by numerical models. Thirdly, the vulnerability and risk analysis are performed on GIS. Last, adaption strategies and action plans are proposed for improving the capacity of adaptation of Zeng-wen River watershed.

Keyword: Zeng-wen River, Climate Change, adaption strategy, vulnerability, risk

一、前言

本研究為「氣候第一階段管理計畫」中「氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究計畫」之一環，係為因應氣候變遷造成的極端氣候影響，整合應用水文環境變化、衝擊評估、脆弱度及風險評估等既有科技研究發展專案計畫研究成果，搭配河道土砂沖淤運移之模擬，針對流域內防洪與土砂之處理對策與調適策略擬定，以曾文河流域為例，進行南部土砂災害處理對策示範性研究。

國內外氣候變遷之相關研究，均指出全球因氣候變遷之影響，導致年平均溫度上升、降雨量改變、極端降雨事件頻率及單日暴雨強度增加等現象，近百年來全臺平均氣溫上升 0.8°C 較全球暖化 0.74°C 為大。近百年最高溫超過 30°C 日數全臺平均增加 28 天，近 50 年最低溫低於 10°C 日數山區減少 19 天，平地減少 1 天。降雨型態趨於極端化，但不確定性高：近百年侵臺颱風次數有減少趨勢，但近 40 年內，則呈上升趨勢。1990 年代後期以來，西北太平洋颱風減少，但侵臺颱風增加，可能因此期間西北太平洋暖池突然增暖且季風槽增強，導致颱風路徑偏向臺灣。影響臺灣之颱風強度與降雨量可能變遷，無法判斷；唯若考量溫度高則水氣多之關係，則侵臺颱風雨量可能增加。

二、研究地區與研究方法

曾文河流域位於台灣西南部，北鄰急水溪，東界高屏溪，南接鹽水溪，西臨台灣海峽。主流發源於阿里山脈之水山（標高 2,609 公尺），集水區地形即以流域東北端的溪流源頭區地勢最高，往西南方向地勢高度漸減，主流路隨地勢由東北往西南方向蜿蜒流經阿里山山脈地區，並流入曾文水庫；出水庫壩址後至玉井一帶，主流路轉向西，行經較低矮的嘉義丘陵與新化丘陵之間，至台南市的山上一帶進入地勢平坦的嘉南平原。曾文溪重要支流有後堀溪及菜寮溪。後堀溪發源於三角南山（標高 1,186 公尺），流經南化區，於玉井區西南方匯入曾文溪。菜寮溪發源於牛湖山（標高 798 公尺），流經左鎮區後匯入主流。

2.1 防洪、土砂產生、處理對策評估模式建立

2.1.1 洪災風險綜合評估模式

曾文河流域的災害影響類型及範疇界定，從環境基本資料顯示，受到四個水庫的控制，包括有曾文水庫、烏山頭水庫、南化水庫及鏡面水庫。以水庫及出海口為控制點，將其空間範疇劃分界定為：(1) 水庫上游集水區；(2) 水庫庫區；(3) 水庫下游河道與易淹水地區；以及 (4) 河口及沿海低窪區，流域經水庫及出海口劃分後範疇界定示意如圖 1。

● 水庫上游集水區

災害影響主要來自坡面土砂瞬間供應，本計畫透過流域坡地風險評估模式的建立，針對水庫上游集水區土砂供應能力進行量化評估，將有助於掌握水庫上游集水區崩塌高潛勢區域，及其未來泥砂調節減量的治理標的。

● 水庫庫區

災害影響主要來自泥砂出入平衡的失調，由於颱風豪雨期間將高含砂水流拘留於庫

區，過量的泥砂促使水庫的壽命縮短，最後使水庫失去調洪蓄水的功能。評估成果以研擬曾文溪流域水庫入出平衡的調適方案。

- 水庫下游河道與易淹水地區

災害主要為洪水及土砂在河道運移過程中所導致的災害，例如河床淤高導致通洪空間不足形成的溢淹，主要根據推估洪水及土砂交互作用下可能影響的範圍及深度，然後調整區域內的防洪、滯洪、蓄洪及減洪規劃。

- 河口及沿海低窪區

河口及沿海地帶常因氣象潮或天文潮等暴潮影響致使發生積淹水災害。建立波浪和暴潮位影響評估，並據以評估成果來進行本計畫的聚落圍堤和道路改善方案。

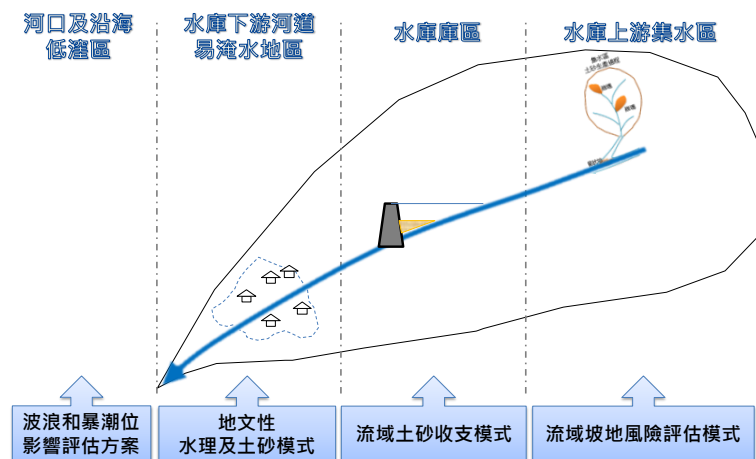


圖 1 災害影響類型及範疇界定圖

2.1.2 流域坡地崩塌風險評估模式

本研究應用經濟部中央地質調查所「易淹水上游集水區地質調查及資料庫建置計畫」，第二期曾文溪及其鄰近流域之分析成果（李錫堤，2011），採用流域引發重大崩塌的促崩事件，透過判釋該事件前後期之衛星影像，建立統計訓練用之山崩目錄，以進行研究流域之山崩潛感分析暨潛勢評估。

針對曾文溪流域選用民國 85 年賀伯颱風前後、90 年納莉颱風前後、94 年海棠颱風前後，以及 98 年莫拉克颱風前後，共 8 期的衛星影像山崩判釋建立歷史山崩目錄。依據李錫堤教授所提出之地域分區系統，分為淺山區、高山區與泥岩區 3 種不同的地域分區，分別以羅吉斯迴歸建立山崩潛感分析迴歸式。使用山崩潛感值配合山崩目錄繪製成功率曲線 (success rate curve)，顯示曾文溪及其鄰近流域山崩潛感分析結果與實際山崩分布頗為符合，也印證了山崩潛感值越高則崩壞比越高的趨勢，淺山區、高山區及泥岩區的潛感模型應屬合理。

而為將山崩潛感成果整合應用至氣候變遷 A1B 情境條件，再應用山崩潛感值與崩壞比之間關係，利用雙曲正弦函數的迴歸式擬合全區之山崩潛感值與崩壞比的曲線分布，以下為擬合之迴歸式：

- 淺山區： $y = 0.000735 \cdot \sinh(4.1799x)$ (1)

- 高山區： $y = 0.026399 \cdot \sinh(2.3934x)$ (2)

- 泥岩區： $y = 0.011623 \cdot \sinh(4.4985x)$ (3)

其中， x 為山崩潛感值， y 為山崩崩壞比。將崩壞比以專家評分法區分等級，可得崩壞比為基礎的山崩潛感機率圖，再將重現期距的時雨量及三日雨量代入山崩潛感模型即可計算各個重現期距的降雨誘發山崩潛感值，經由迴歸式轉換為山崩機率並繪製山崩機率圖 (圖2)。

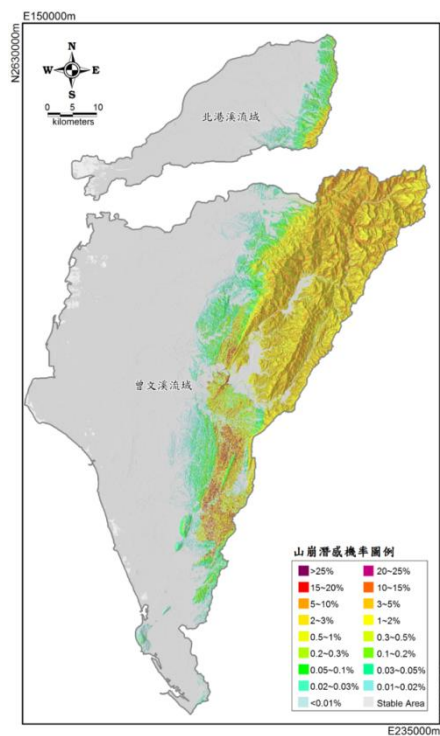


圖 2 曾文溪及其鄰近流域 100 年重現期距降雨量山崩潛感機率圖

2.1.3 氣候變遷對波浪及暴潮位評估模式

採用經濟部水利署「強化台灣西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫」成果，分析海平面、波浪與潮位變化，建立曾文溪流域目標年下之影響評估。

- 海平面上升量分析

運用潮位觀測資料，分析基期為 1980 至 1999 年，考慮潮位站至少需滿足樣本長度須滿足基期觀測資料為原則，故選定西南海域塭港及將軍共兩個潮位站進行海平面變動分析。配合水利署計畫所設定之基期年 (1980 至 1999 年) 分析台灣西南海域 2020 至 2039 年變遷量之平均變動範圍約在 10.19 至 14.57 公分間。

- 颱風波浪與暴潮位變遷趨勢

根據中央氣象局颱風資料庫歷年颱風最低氣壓資料，選擇 1980 至 1999 年每年最大颱風最低氣壓的平均值 (921.55百帕)，作為現階段侵台颱風氣壓均值。目標情境年之颱風氣壓均值，則假設以歷史最大颱風強度的 846百帕 (1961年)。根據水利署計畫「花蓮海岸災害監測預警系統建置」建立之 WWM 風浪模式，成果圖繪製如圖4至圖6所示，數據彙整如表1所示。

表 1 氣候變遷曾文溪口附近海域颱風波浪與潮位變化統計

	最大波高 (公尺)	週期 (秒)	最大潮位 (公尺) (暴潮+天文潮)
基期 (1980-1999)	8.67	10.5	1.63
目標年 (2020-2039)	12.53	12.66	2.27
倍數	1.45	1.21	1.39
增率	45%	21%	39%

(資料來源：強化台灣西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫)

2.1.4 建立土砂產生推估模式

本計畫分為坡面土壤侵蝕量與崩塌土砂生產兩個不同的來源。

- 坡面土壤侵蝕量

對於山坡地土壤沖蝕量之估算，採用修正版通用土壤流失公式 (MUSLE)，估算單場設計暴雨內之坡面沖蝕土砂生產量。除土壤沖蝕指數 (Km) 之設定外，其餘參數可透過土地利用調查成果、坡面防砂工程點位與數值高程模型資料取得。過去農委會水土保持局公告之水土保持技術規範中，針對臺灣各地進行土壤沖蝕指數調查。經彙整曾文溪流域內之既有調查成果，多集中於曾文溪流域之中下游處，本計畫於調查資料較為缺乏處進行坡面土壤侵蝕試區補充調查，共設置有 6 處坡面土壤侵蝕試區。配合前述水土保持技術規範之既有建議值，繪製曾文溪流域之坡面土壤沖蝕指數分布圖如圖3所示。

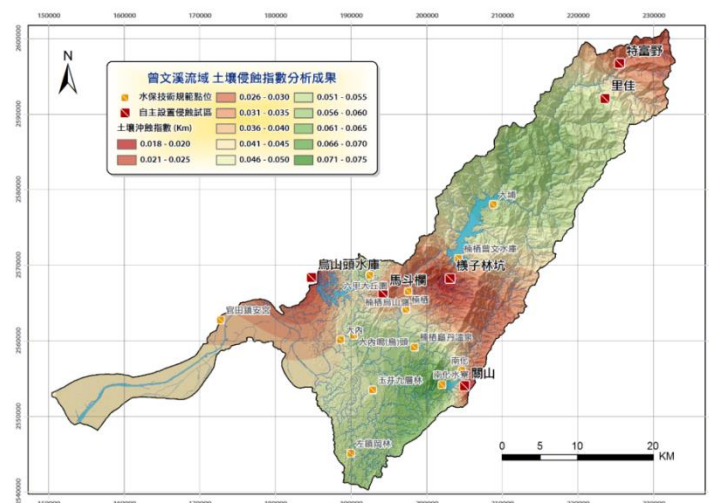


圖 3 曾文溪流域坡面土壤沖蝕指數分布圖

● 崩塌土砂生產量

(1) 崩塌新增面積

考慮到崩塌面積增加與累積降雨量間之關係，藉由打荻珠男於 1971 年提出崩塌與累積降雨量之關係，應用選定事件前後的衛星影像資料判釋成果分析，共計有 17 個選定事件在流域內造成新增崩塌之產生，利用崩塌率與事件降雨量進行率定臨界雨量後，再由確定之臨界雨量進行迴歸係數 (alpha) 與打荻式次方 (Order) 之率定，並於率定事件中加入 R-square 進行模式率定優劣之判斷，表 2 為迴歸計算的成果。

表 2 曾文溪主集水區及次集水區之崩塌與降雨參數推算成果

曾文溪流域 (主集水區)	Alpha	R0	Order
	0.99	129	1.29
$y = \frac{\sum a}{A} = 0.99 \times 10^{-6} \cdot (x - 129)^{1.29}$			
曾文溪次集水區	Rsq	Alpha	R0
	0.61	0.38	35
$y = \frac{\sum a}{A} = 0.38 \times 10^{-6} \cdot (x - 35)^{1.11}$			
曾文水庫次集水區	Rsq	Alpha	R0
	0.75	2.05	299
$y = \frac{\sum a}{A} = 2.05 \times 10^{-6} \cdot (x - 299)^{1.19}$			
烏山頭水庫次集水區	Rsq	Alpha	R0
	0.46	1.56	165
$y = \frac{\sum a}{A} = 1.56 \times 10^{-6} \cdot (x - 165)^{1.21}$			
南化水庫次集水區	Rsq	Alpha	R0
	0.72	0.49	158
$y = \frac{\sum a}{A} = 0.49 \times 10^{-6} \cdot (x - 158)^{1.52}$			

(2) 崩塌新增土砂量

Guzzetti et al. (2009) 研究義大利 Umbria 地區之崩塌地，針對區域內 677 崩塌資料，利用 Power Law 定律，發現崩塌面積 AL (m²) 與崩塌體積 VL (m³) 成冪次關係。本計畫收集台灣地區共 301 處崩塌地測量資料 (經濟部中央地質調查所，「101 年度集水區侵蝕與堆積之調查與評估計畫」) 進行統計分析，得知崩塌面積與崩塌體積間之關係，表示如下：

$$V = 0.048 \cdot A^{1.497} \quad (4)$$

2.1.5 建立洪災、土砂災害處理對策評估模式

本研究依曾文河流域之特性，按「水庫上游集水區」、「水庫庫區」、「水庫下游河道與易淹水地區」及「河口及沿海低窪區」四個區域不同的調適目標，探討各種氣候變遷調適方案，組合各式處理對策與因應策略，並透過短、中、長期對策評估各種調適方案之預期成效，然後設定效益評估指標，規劃最佳方案。

2.2 曾文河流域氣候變遷情境設定

本計畫應用「氣候變遷水文情境評估研究」計畫成果 A1B 氣候變遷情境條件中，100 年重現期 48 小時之設計暴雨，作為後續各類評估模式所需要之輸入條件。

將歷史基期之分析結果，與目標年之分析結果，以 100 年重現期延時 48 小時之雨量繪製區域雨量分布圖，據其空間比對成果可知，變化較為明顯區域，位於曾文水庫上游集水區內，在曾文水庫以下範圍內，雨量區域分布情形大致相符。

本研究採用之氣候變遷情境，則設定以前述氣候變遷 A1B 情境下，100 年與 200 年重現期延時 48 小時之設計降雨，另選定莫拉克颱風降雨條件作為極端氣候降雨情境，作為研究設計情境。

— 氣候變遷 A1B 100 年重現期 48 小時設計降雨 (共 12 個雨量站)

— 氣候變遷 A1B 200 年重現期 48 小時設計降雨 (共 12 個雨量站)

— 極端降雨氣候 (莫拉克颱風，採用同樣 12 個雨量站)

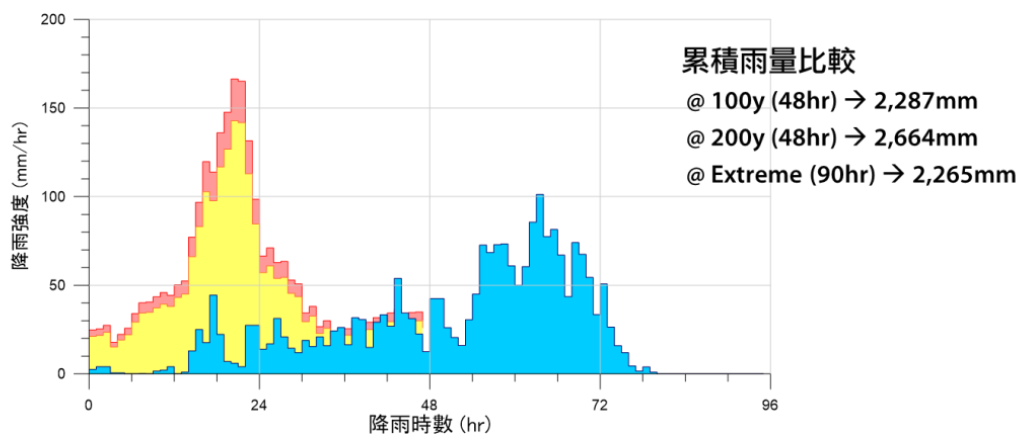


圖 4 曾文河流域氣候變遷與極端降雨情境

2.3 曾文河流域氣候變遷下衝擊評估

2.3.1 氣候變遷情境下坡面土砂生產量評估

氣候變遷情境與極端氣候情境下，因曾文河流域歷經 98 年莫拉克等颱風，坡面裸露面積遠較莫拉克颱風之前較高，土壤沖蝕量與坡面崩塌量也高達千萬立方公尺以上，如曾文水庫與南化水庫次集水區，土砂總生產量分別可達 18,905 和 3,540 萬立方公尺，與水庫以下曾文溪次集水區的 719 萬立方公尺相比，都有較高的生產量體。

再者，水庫出口排砂量雖可藉由排砂操作排出，但既有規劃排砂量體與上游生產量相較，仍遠不及其生產量，說明了土砂影響最終多落至水庫控制點，而以水庫大壩為土砂直接衝擊之分嶺，上游之土砂材料超過 90% 仍將保留於水庫集水區上游，成為曾文

河流域氣候變遷下土砂生產與運動衝擊特性。

2.3.2 氣候變遷對曾文河流域防洪標準及設施衝擊評估

曾文溪為中央管河川，由曾文溪河口至曾文水庫後池堰保護標準為 100 年重現期距洪水量，將洪峰流量推估成果與民國 83 年公告計畫流量以及民國 101 年檢討建議流量比較如 表3 與 圖5，差異量主要偏重於上游河段，形成此現象之主要因素可能來自於氣候變遷情境之雨量分佈，主要偏重於曾文水庫以上區域之集水區，因此愈上游側之推估流量差異愈大。主要的大幅度差異影響區位是在菜寮溪匯流處以上之河段。再將氣候變遷情境下之洪水量依各斷面水理因素及各重現期距洪水位計算成果與河床兩岸高度比較，主要溢堤潛勢範圍在二溪堤防至溪尾排水合流處間之河段，後續再針對河防構造物進行進一步之危險度與脆弱度分析。

表 3 曾文溪 100 年重現期距洪峰流量比較表

單位：立方公尺/秒

控制點	83 年 公告值	101 年 檢討建議	A1B 情境	差異 (%) (比較 83 年)	差異 (%) (比較 101 年)
後堀溪合流前	4,940	8,450	13,020	164%	54%
菜寮溪合流前	6,800	10,630	14,900	119%	40%
官田溪合流前	8,030	12,450	15,640	95%	26%
溪尾排水合流前	8,630	13,200	15,640	81%	18%
西港大橋	9,200	13,200	15,640	70%	18%
曾文溪口	9,200	13,200	15,640	70%	18%

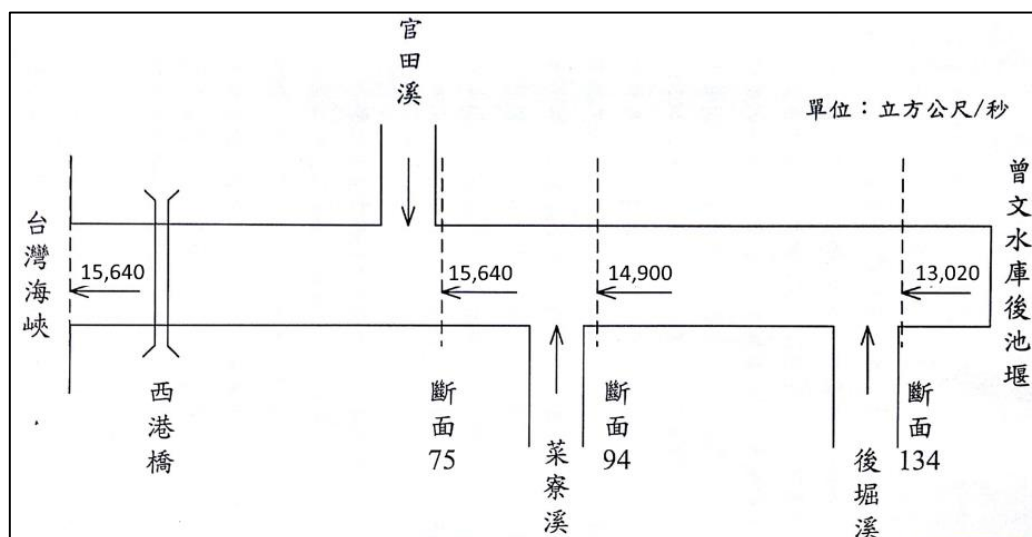


圖 5 氣候變遷 A1B 情境 100 年重現期距洪水量分配圖

除對河川流量與水位進行評估外，本計畫亦對溢淹範圍進行模擬與分析評估，同樣採用氣候變遷情境下之設計降雨，搭配水庫最大洩洪量與極端暴潮位狀態進行模擬，其結果在搭配不同時序之潮位歷線時，其分析所得最大淹水深度仍有些微差異，但差異量

不明顯。

無論是 100 年重現期或 200 年重現期降雨事件，其溢淹面積與深度略大於莫拉克颱風事件重現之情形，顯示氣候變遷後極端降雨事件之淹水情形可能較莫拉克颱風事件嚴重。由於曾文水庫之洩洪量相當大，故部分主河道兩岸較低區域有溢淹問題，此受限於主河道通洪能力與兩岸高程故改善不易。大內、山上河段與北岸官田一帶河段，為河道通洪瓶頸河段，在洪水溢淹之最不利條件下，有順地勢往麻豆、學甲、下營一帶（跨流域）運移之潛勢。中游南岸善化安定一帶，曾文溪堤防至溪尾排水間為洪水極易倒灌區位，為一天然條件良好之滯洪區，惟仍有溢淹善化、安定一帶，再順著台南科學園區四周低地漫淹至新市、永康一帶之越域淹水潛勢。而曾文溪下游段依模擬結果顯示並無溢堤導致淹水之問題，亦無河水倒灌區排之問題。

2.3.3 河道土砂運移及堆積評估

A1B 情境下 100 年重現期設計降雨之分析成果，仍以水庫作為河道堆積現象之分界節點，水庫以上集水區，多呈現整體堆積抬升的情形，在水庫以下之河道侵蝕與堆積情形受到水庫控制節點之影響，變遷情形較小，侵蝕與堆積之平均深度也多在 1 公尺以下，堆積河段在主流為山區進入平原之緩衝河段，以及支流菜寮溪與後堀溪通過泥岩地區丘陵之河段內，與上游呈現不同的河道堆積特性。

應用極端降雨情境，分析成果與氣候變遷情境之成果甚為接近，呈現水庫以下河段之河道侵蝕與堆積情況較小，水庫以上集水區劇烈堆積之情形。

另根據長期之年平均趨勢變化分析，主流曾文溪橋以下河段，以及巴沙那橋以上河段、曾文水庫大壩以下至東口段河段、沙力基溪河段為侵蝕河段，其餘河段則多呈現為輕微堆積之河道段，年平均河道堆積高度約為 0.2 至 0.5 公尺，最大值出現在曾文水庫集水區，樂野段，以及山美段之主流河道，年平均河道堆積量分別達到 1.5 公尺及 1.0 公尺，呈現長期持續堆積之情形。

在氣候變遷或極端降雨之設計條件下，水庫上游集水區在單場颱風事件之河道堆積抬升量，可能數倍於原年平均趨勢變化，造成水庫集水區上游之河道在一次事件中快速抬升，與河道環境的突然改變，尤其在支流集水區產生沖淤趨勢互換之現象，也對原有之河道環境造成衝擊；另在水庫下游集水區部分，曾文溪、後堀溪因曾文水庫、南化水庫之效應，設計情境與長期年平均趨勢之河道變遷量相較變化較小，僅有菜寮溪有較大之河道堆積情形轉變，在長期年平均趨勢中，菜寮溪河段呈現小幅堆積之趨勢，但在氣候變遷或極端降雨情境下，河道則始有較為明顯之堆積趨勢。

三、研究成果

3.1 氣候變遷下曾文河流域脆弱度及風險評估

本研究應用 102 年 5 月 24 日經濟部水利署水利規劃試驗所辦理「高屏河流域因應氣候變遷防洪及土砂更新研究計畫」第 2 次專家座談會-綜整淡水河、濁水溪、曾文溪及高屏河流域研究機制之會議紀錄，並經由執行機關（國立台灣大學氣候天氣災害研究中心）依據專家所提出之相關建議修正（經濟部水利署水利規劃試驗所，2013）。繪製曾文河流域之洪氾與土砂災害風險地圖，成果如圖6與圖7所示。成果顯示，在洪氾

風險中，以曾文溪主流之中下游段以中等級（第三級）風險為主，其中少部份為高等級（第四級）風險；在土砂災害風險中，以阿里山鄉、左鎮區之風險度可達中至高等級，其餘行政區則多位於低至非常低等級。

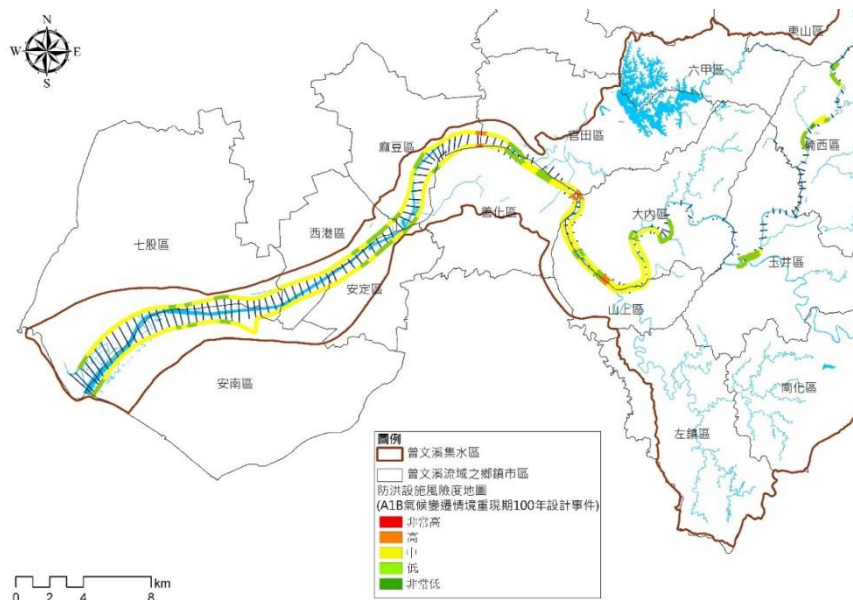


圖 6 曾文河流域防洪設施之風險地圖

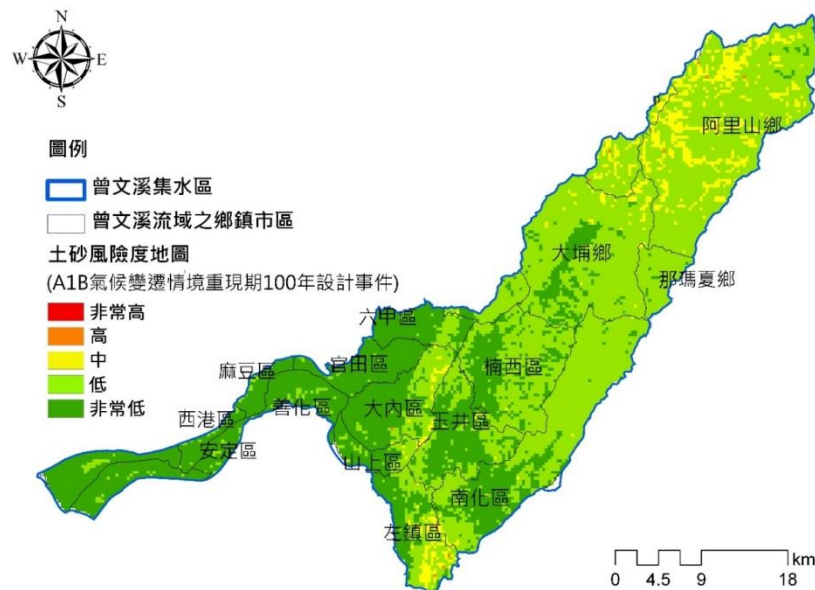


圖 7 曾文溪土砂之風險地圖 (100 年重現期)

3.2 研擬曾文河流域因應氣候變遷之水土災害調適對策暨行動方案

在水庫上游集水區，治理目標為：集水區坡面與河道土砂適地暫置穩定，減少濁水及土砂洪峰流出量；在水庫庫區治理目標為：考量洪氾及土砂災害之衝擊，檢討既有排水、排砂及淤沙控制與操作方法，扣除想定外事件之淤積量，維持水庫原有運作之合理土砂堆積量；在水庫下游河道及易淹水地區，治理目標為：規劃因應氣候變遷條件下想定外之洪水與土砂策略，設定市鎮聚落及重要產業區位，調整區位內之整體減洪避洪能

力(防洪時間操作),確保洪水未受土砂運移與堆積之影響,於預定洪氾區域溢淹(防洪空間操作);在河口及沿海低窪區治理目標為:避免曾文溪河口沙洲侵蝕,以及沿岸聚落安全。

曾文溪流域因應氣候變遷調適對策經研擬後,本計畫研提「曾文溪流域因應氣候變遷調適策略暨行動計畫」,其調適策略暨行動計畫書的撰寫原則,考量業務相關各部會單位能共同瞭解計畫推動的重要性,並藉此來凝聚相關業務單位的共識和能量,以利透過團體間資源互相的流通和扶持,來促成計畫的順利執行。

本計畫在不動既有防洪標準與水庫操作規劃的前提下,分為應急與中長程兩個階段規劃,若既有因應對策在短程中仍無法解決氣候變遷所帶來之衝擊效應,則需考量在中長程規劃中考慮新思維與新技術的評估與引進,以水資源、防災等多功能操作考量為出發點,制定防災計畫或流域綱要計畫。

四、結論與建議

4.1 結論

1. 根據洪泛與土砂衝擊模式之評估成果,雖在氣候變遷及極端降雨之情境中,集水區上游土砂材料受到水庫節點之控制,河道堆積量並未若水庫上游集水區嚴重,但在支流後堀溪(指南化水庫大壩以下範圍),以及支流菜寮溪,土砂仍有生產與運移至主流之趨勢,故不論是長期年平均趨勢、氣候變遷、極端降雨情境,後堀溪匯流口段、菜寮溪匯流口段至曾文溪橋段河段,仍呈現持續堆積、河道抬升之河段。再者,因氣候變遷情境之影響,流域內設計降雨時雨量強度遽增,造成主流洪峰流量增加,同時造成主流通洪能力不足,以及兩側排水無法順利導入主流之現象,為水庫下游河道及易淹水地區未來將面對之問題。
2. 針對曾文溪流域之特性,本計畫設定「水庫上游集水區」、「水庫庫區」、「水庫下游河道及易淹水地區」及「河口及沿海低窪區」四個區段進行衝擊與因應策略之擬訂。在水庫上游集水區,治理目標為:集水區坡面與河道土砂適地暫置穩定,減少濁水及土砂洪峰流出量;在水庫庫區治理目標為:考量洪泛及土砂災害之衝擊,檢討既有排水、排砂及淤沙控制與操作方法,扣除想定外事件之淤積量,維持水庫原有運作之合理土砂堆積量;在水庫下游河道及易淹水地區,治理目標為:規劃因應氣候變遷條件下想定外之洪水與土砂策略,設定市鎮聚落及重要產業區位,調整區位內之整體減洪避洪能力(防洪時間操作),確保洪水未受土砂運移與堆積之影響,於預定洪泛區域溢淹(防洪空間操作);在河口及沿海低窪區治理目標為:保護曾文溪河口沙洲,以及沿岸聚落安全。

4.2 建議

1. 臺灣有關天然災害之防救對策,一向採取針對災害之規模先設定期基準,並在此標準下進行各種軟硬體防災隊的研擬、規劃與設計。但在氣候變遷的前提下,原先訂定之災害規模或是設計標準,常常被輕易突破,以致於災害頻傳。氣候變遷似乎不斷考驗台灣長期以來的防災單位所依賴的所謂「標準」,使得現行的防災思維捉襟見肘。本計畫針對此種狀況,提出想定外的災害處理原則,來

因應氣候變遷所引致的「巨災」問題，對於設計標準以下或想定規模以下之天然災害，應以「防災」為目標，換句話說，「不允許災害發生」，但對於「想定外」或是超過設計標準之災害，則以「減災」為目標，允許低程度之災害，而非全面棄守。具體而言有下列四項建議：

- (1) 溢堤不潰堤：溢堤不潰堤係指允許水流溢過堤頂，但不允許水流沖刷造成全面潰堤，只要堤防仍然存在，依然可以發揮「減災」功能。
 - (2) 淹水不失控：允許溢堤造成之淹水狀態，但淹水範圍、時間以及深度，須有一定的控制，不允許水流到處氾濫。
 - (3) 災害不重複：災害防護標準雖不須全面性提升，但是針對災害常發生之地點，可以有局部的標準提升，並達到相同條件之災害不重複在同一地點發生。
 - (4) 防線不單一：防線不單一係指不依靠單一種類防災措施（如堤防），而是整合其他手段（如道路、空地、滯洪池等），建構多重防線達到減災目的。
2. 本計畫在既有防洪標準不動、水庫操作規劃不動的前提下，設定適當的因應對策及其行動方案，分為應急與中長程兩個階段規劃。但因氣候變遷與極端氣候兩種不同情境之衝擊評估中，對曾文河流域洪氾、土砂災害之衝擊仍大，若既有因應對策在短程中仍無法解決氣候變遷所帶來之衝擊效應，則需進一步考量防洪標準或是水庫規線的檢討制定，以水資源、防災等多功能操作考量為出發點，制定防災計畫或流域綱要計畫。
 3. 呈前，既有氣候變遷與極端氣候情境對集水區之衝擊仍大，但其情境仍多為推估與模式繁衍之結果，建議中央研究單位仍需持續監測追蹤台灣、亞太地區之氣候變遷現況，及早掌握其變遷趨勢並做出因應行動。
 4. 既有策略仍無法有效減災之情形下，則須考慮新思維與新技術的評估與引進，如曾文溪口設置可調整堰，與上游曾文、南化與烏山頭水庫之並聯、串聯操作，或是水庫集水區、水庫庫區土砂去除化技術、水庫正向與逆向繞庫排砂等技術，減輕氣候變遷為台灣所帶來之洪氾與土砂災害衝擊，並維持水資源與環境之永續使用經營。

參考文獻

1. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2013)，「重要河川環境營造計畫(98-103 年)總檢討及改善策略研究(1/2)」。
2. 經濟部(2013)，「曾文河流域整體治理綱要計畫暨 101~104 年第一期實施計畫」。
3. 經濟部水利署南區水資源局(2013)，「曾文水庫集水區土地變異及土砂災害監測」。
4. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2013)，「高屏河流域因應氣候變遷防洪及土砂更新研究計畫：風險評估因子及評估方法修正本」。
5. 經濟部水利署南區水資源局(2012)，「曾文溪水情預警系統檢討規劃建置」。
6. 經濟部水利署(2012)，「曾文水庫放淤對下游河道變遷影響分析(101-104 年)」。
7. 經濟部水利署(2012)，「氣候變遷水文情境評估研究(1/2)」。

8. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2012),「台南大湖水資源規劃檢討」。
9. 經濟部水利署(2012),「強化台灣西北及東北地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫(1/2)」。
10. 經濟部水利署(2012),「氣候變遷對中部地區水旱災災害防救衝擊評估及調適策略擬定(1/2)」。
11. 經濟部水利署第六河川局(2012),「曾文溪泥沙供應海岸漂沙源改善之研究」。
12. 經濟部水利署第六河川局(2012),「河川疏濬土石作為鄰近海岸養灘之研究」。
13. 經濟部水利署第六河川局(2012),「曾文溪河道沖刷成因調查監測及防治策略研究(2/2)」。
14. 經濟部水利署第六河川局(2012),「曾文溪水系支流官田溪治理規劃檢討」。
15. 經濟部水利規劃試驗所(2012),「曾文水庫防洪防淤整體綱要計畫」。
16. 經濟部水利署(2011),「氣候變遷水文環境風險評估研究(2/2)」。
17. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2011),「都市防洪示範區之研究-以臺南市為例(1/2)」。
18. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2011),「氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究-以高屏溪為例」。
19. 經濟部水利署(2011),「水災危險度、脆弱度與風險地圖製作技術手冊」。
20. 經濟部水利署(2011),「曾文溪、北港溪、八掌溪、朴子溪、急水河流域與臺南市、嘉義市、嘉義縣脆弱度及風險地圖製作」。
21. 經濟部水利署(2011),「氣候變遷對水旱災災害防救衝擊評估研究計畫(2/2)」。
22. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2011),「氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究-以高屏溪為例(2/2)」。
23. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2011),「淡水河流域因應氣候變遷防洪及土砂研究計畫(1/2)」。
24. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2011),「強化高屏河流域因應氣候變遷防洪調適能力研究計畫」。
25. 經濟部水利署第六河川局(2011),「菜寮溪治理規劃檢討」。
26. 經濟部水利署南區水資源局(2011),「曾文水庫集水區工程泥沙減量成效評估(3/3)」。
27. 經濟部中央地質調查所(2011),「集水區侵蝕及堆積之調查與評估」。
28. 經濟部水利規劃試驗所(2011),「流域洪氾防災及土砂資源管理研究」。
29. 自來水公司(2011),「南化及鏡面水庫集水區保育治理之研究」。
30. 農業委員會林務局(2011),「烏山頭水庫集水區保育實施計畫」。
31. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2010),「強化高屏河流域因應氣候變遷防洪調適能力研究計畫」。
32. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2010),「氣候變遷下台灣南部河川流域土砂處理對策研究-以高屏溪為例(1/2)」。
33. 經濟部水利署(2010),「曾文水庫水力排砂工程計畫可行性評估」。
34. 農田水利會(2010),「烏山頭水庫上游集水區治理工作整合實施計畫」。

35. 自來水公司(2010),「南化水庫集水區保育實施計畫」。
36. 經濟部水利署(2010),「曾文水庫集水區保育實施計畫(檢討修訂本)」。
37. 經濟部水利署(2010),「曾文南化烏山頭水庫治理及穩定南部地區供水實施計畫」。
38. 經濟部水利署(2009),「易淹水地區水患治理綱要計畫-縣(市)管區排-番子田排水系統及渡子頭排水系統規劃」。
39. 經濟部水利署(2009),「易淹水地區水患治理計畫-安定排水系統整合及環境營造規劃」。
40. 經濟部水利署(2009),「易淹水地區水患治理計畫-曾文溪支流系統內江、大內、石子瀨、山上及後營等排水規劃」。
41. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2008),「海岸環境營造計畫(98-103 年度)(台南、高雄海岸)」。
42. 經濟部水利署(2008),「易淹水地區水患治理綱要計畫-縣(市)管區排-溪尾排水系統規劃」。
43. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2008),「因應氣候變遷之河川與海岸災害防治對策」。
44. 經濟部水利署第六河川局(2006),「曾文溪治理、區域排水及都市計畫之整體排洪關係」。
45. 臺北市政府(2004),「總合治水推動與相關配合法規探討」。
46. 經濟部水利署(2003),「水庫集水區土砂整治成效評估(2/2)」。
47. 經濟部水利署(2003),「流域土砂管理模式之研究(3/3)」。
48. 經濟部水利署(2002),「水庫集水區土砂整治成效評估(1/2)」。
49. 經濟部水利署水利規劃試驗所(1999),「強化高屏河流域水資源供水系統因應氣候變遷之調適能力」。
50. 經濟部水利處(1994),「曾文溪水系治理規劃報告」。
51. 台灣省水利局(1994),「曾文溪水系治理基本計畫」。