

國立臺灣大學生物資源暨農學院

生物環境系統工程學研究所

碩士論文

Department of Bioenvironmental Systems Engineering

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master's Thesis

集水區水砂災害分析與調適策略研擬-以港口溪集水區為例

Analysis of Water and Sediment Disasters in the Watershed

and Development of Adaptation Strategies:

A Case Study of Gangkou River Watershed

魏楷倫

Kai-Lun Wei

指導教授：廖國偉 教授

Advisor: Professor Kuo-Wei Liao

中華民國 113 年 7 月

July 2024







誌謝

首先要感謝我的指導教授，廖國偉教授，在我就讀生工所的這兩年，受到廖教授的諄諄教誨，除了學業上的指導以外，對於未來的方向也給了許多意見，使我獲益良多，在此表達最深的感謝。

在論文審查期間，感謝范正成教授以及葉克家教授，百忙之中抽空前來擔任口試委員，並對我的論文提供許多寶貴的意見，在此同樣致上誠摯的謝意。

研究所的兩年生涯，也有許多身邊的人需要感謝。首先感謝我的家人，提供我經濟以及精神層面的支持，讓我能順利完成我的學業。接著是研究室的夥伴，感謝佳宏學長、嘉揚學長、浚哲學長以及思叡學長，在我剛進研究室時，提供了我許多生活以及研究方面的幫助；感謝同屆的宗祐、冠余以及伯軒，在這兩年的研究所生活中，互相鼓勵以及扶持，並且與土木系水利組的政霖一同前往維也納參加研討會，收穫了非常難忘的回憶；感謝研究室的學弟妹，在需要幫忙的時候願意提供幫助。接著是大學時期的朋友，感謝斐勛、治陞、衍慶以及柏宇，在我休息的空檔提供快樂的泉源。最後感謝共同合作計畫的顧問公司，偉哲執行長、柏宏學長以及閔婷學姊，在執行計畫的過程讓我獲得到許多實務方面的經驗。

這兩年的生活，相信還有許多曾經幫助過我的人沒有提到，在此對所有人表達感謝，相信這兩年的訓練及成長，將會成為我人生道路上最寶貴的經驗。

摘要



臺灣位於歐亞板塊及菲律賓海板塊的交界帶上，板塊之間的運動造成了臺灣地勢多呈現坡陡流急，加上颱風等短延時強降雨的事件，使許多地區淹水及土砂災害頻繁發生。對此，本研究將屏東縣港口溪集水區作為研究區域，透過二維水理及輸砂模式、現地勘查、統整當地居民及相關利害關係人之意見等方式，分析整個集水區所面臨的問題，並找出相對應的調適策略。

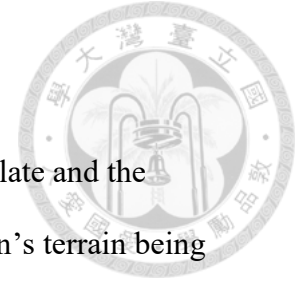
常用於分析集水區之二維水理及輸砂模式有 HEC-RAS 2D、SRH-2D、FLO-2D、CCHE-2D 等，綜合考量下選擇使用 HEC-RAS 2D 作為本研究分析之二維水理及輸砂模式，透過 HEC-RAS 2D 模擬在集水區的淹水及土砂災害，並利用歷史致災資料以及政府單位先前在此區域的治理規劃報告作為模式的驗證。經過驗證後，證實透過二維水理及輸砂模式分析所得出的結果有一定的可信度，再透過其結果設計出對應的調適策略。

水砂溢淹區顧名思義為讓水及土砂漫淹之區域，不同於滯洪池，水砂溢淹區的設計目標不在於延緩洪峰或減少保全對象之淹水面積等，其目標之一為利用劃定區域之面積決定土地持有者的補償費用，減少政府單位因水砂災害導致堤防等工程設施破損時，所需撥款作為修復設施之花費，進而達到節省經費以及生態友善之雙贏局面。

在眾多模擬土石流影響範圍的模式中，同樣選擇利用 HEC-RAS 2D 進行模擬，除了方便與先前模擬淹水之結果進行比對之外，HEC-RAS 2D 之土石流模組相較於其他模擬工具，能夠以較短的時間模擬較大的範圍。將土石流的模擬結果與歷史災害等資料進行驗證後，利用模擬之土石流影響範圍檢視現有土石流避難路線及避難所之合適性。結果顯示在港口溪下游左岸靠近出海口有部分區域之避難路線經過土石流影響範圍，然而目前無更加合適之避難所，故此處民眾在進行避難時需更加留意，後續也會常是利用模擬結果與政府單位商討其他解決方案。

關鍵字：HEC-RAS、二維水理及輸砂模式、水砂溢淹區、土石流、避難路線

Abstract



Taiwan is located at the boundary between the Philippine Sea Plate and the Eurasian Plate. The movement between these plates results in Taiwan's terrain being characterized by steep slopes and high river gradients. Combined with short-duration heavy rainfall events such as typhoons, many areas frequently experience flooding and debris flow disasters. This study focuses on the Gangkou River watershed in Pingtung County as the research area. By using a two-dimensional hydrological and sediment model, on-site explorations, and consolidating the opinions of local residents and relevant stakeholders, the study analyzes the issues faced by the entire watershed and identifies corresponding adaptation strategies.

Commonly used two-dimensional hydrological and sediment models for watershed analysis include HEC-RAS 2D, SRH-2D, FLO-2D, and CCHE-2D. After comprehensive consideration, HEC-RAS 2D was selected as the two-dimensional hydrological and sediment model for this study. HEC-RAS 2D was used to simulate flooding and debris flow disasters in the watershed, and historical disaster data, as well as previous governance planning reports from government agencies, were utilized to validate the model. After validation, it was confirmed that the results obtained through the two-dimensional hydrological and sediment model analysis are reasonably reliable. Based on these results, appropriate adaptation strategies were designed.

One adaptation strategy is the flood-prone area. As the name suggests, a flood-prone area is a region submerged by water. Unlike detention basins, flood-prone areas do not significantly delay peak flows or reduce the flooding extent of protected area. Their primary function is to determine the compensation fees for landowners based on the designated area, thereby reducing the funds required for repairing engineering structures such as levees damaged by water and sediment disasters. This approach aims

to achieve a cost-saving and ecologically friendly win-win situation.

Among the various models for simulating the impact area of debris flows, HEC-RAS 2D was also chosen for this study. This allows for easy comparison with the previous flood simulation results. The debris flow model of HEC-RAS 2D, compared to other models, and simulate larger areas in a shorter time. After verifying the simulated debris flow impact area with historical disaster date, the suitability of existing debris flow evacuation locations and routes was examined. The results indicate that the evacuation route on the left bank of the downstream Gangkou River near the estuary passes through the debris flow impact area. However, there are currently no more suitable shelters. Therefore, residents need to be extra cautious during evacuation. Future efforts will involve using the simulation results to discuss other solutions with government agencies.

Keywords: HEC-RAS, two-dimensional hydrological and sediment model, flood-prone area, debris flow, evacuation route

目次



誌謝	I
摘要	II
Abstract	III
目次	V
圖次	VII
表次	X
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與背景	1
1.2 研究流程	3
1.3 論文架構	5
第二章 文獻回顧	6
2.1 港口溪集水區水砂災害	6
2.2 自然解方	8
2.3 常見水砂災害之調適策略	12
2.4 二維水理及輸砂模式比較	15
第三章 研究方法	25
3.1 統整利害關係人之意見	25
3.2 HEC-RAS 2D 模擬	37
第四章 結果與討論	58
4.1 HEC-RAS 模式驗證	58
4.2 HEC-RAS 定床模擬	64
4.3 HEC-RAS 動床模擬	72

4.4 HEC-RAS 土石流模擬	76
4.5 綜合討論	84
第五章 結論與建議	87
5.1 結論	87
5.2 建議	87
參考文獻	89

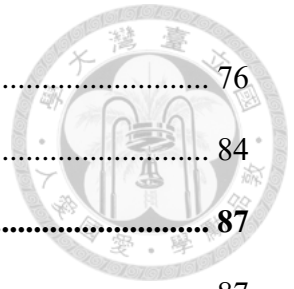


圖 次



圖 1-1 港口溪集水區範圍.....	2
圖 1-2 研究流程圖.....	4
圖 2-1 民國 100 年南瑪都颱風檳榔雨量站降雨組體圖.....	7
圖 2-2 民國 101 年天秤颱風佳樂水雨量站降雨組體圖.....	7
圖 3-1 小路溪與港口溪匯流處位置.....	34
圖 3-2 泰安橋下游處之舊有整治工程位置.....	35
圖 3-3 港口溪集水區內土石流潛勢溪流空間分布圖.....	36
圖 3-4 設計雨型(25 年重現期距).....	44
圖 3-5 ArcGIS 切割子集水區步驟 1 (Fill).....	48
圖 3-6 ArcGIS 切割子集水區步驟 2 (Flow Direction).....	49
圖 3-7 ArcGIS 切割子集水區步驟 3 (Flow Accumulation).....	50
圖 3-8 ArcGIS 切割子集水區步驟 4 (Raster Calculation).....	51
圖 3-9 ArcGIS 切割子集水區步驟 5 (Stream Link).....	52
圖 3-10 ArcGIS 切割子集水區步驟 6 (Watershed).....	53
圖 3-11 土砂粒徑分佈曲線.....	54
圖 3-12 水流含砂量於 HEC-RAS 2D 之設置.....	55
圖 3-13 Rating Curve 參數設定.....	55
圖 3-14 Unsteady Computation Options and Tolerances 參數設置.....	56
圖 3-15 土石流模擬輸入參數.....	57
圖 4-1 Q50 淹水潛勢模擬結果與衛星照片疊圖.....	59
圖 4-2 治理規劃報告之淹水範圍示意圖.....	60
圖 4-3 Q50 出流邊界設定之比較.....	61
圖 4-4 Q100 出流邊界設定之比較.....	62
圖 4-5 民國 101 年天秤颱風致災範圍.....	63

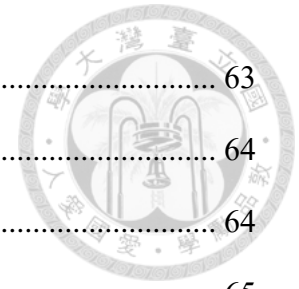


圖 4-6 HEC-RAS 模擬天秤颱風淹水區域.....	63
圖 4-7 Q10 淹水潛勢模擬結果.....	64
圖 4-8 Q25 淹水潛勢模擬結果.....	64
圖 4-9 Q50 淹水潛勢模擬結果.....	65
圖 4-10 Q100 淹水潛勢模擬結果.....	65
圖 4-11 港口溪及小路溪匯流處 Q10 水深變化.....	67
圖 4-12 港口溪及小路溪匯流處 Q25 水深變化.....	67
圖 4-13 港口溪及小路溪匯流處 Q50 水深變化.....	68
圖 4-14 港口溪及小路溪匯流處 Q100 水深變化.....	68
圖 4-15 港口溪及小路溪匯流處 Q10 流速變化.....	69
圖 4-16 港口溪及小路溪匯流處 Q25 流速變化.....	69
圖 4-17 港口溪及小路溪匯流處 Q50 流速變化.....	70
圖 4-18 港口溪及小路溪匯流處 Q100 流速變化.....	70
圖 4-19 港口溪及小路溪匯流處 Q1.11 之淹水潛勢與水砂溢淹區.....	71
圖 4-20 港口溪及小路溪匯流處 Q100 之淹水潛勢與水砂溢淹區.....	71
圖 4-21 50 年重現期距現況模擬結果.....	73
圖 4-22 100 年重現期距現況模擬結果.....	74
圖 4-23 50 年重現期距調適策略模擬結果.....	75
圖 4-24 100 年重現期距調適策略模擬結果.....	76
圖 4-25 DF064 無整治構造物.....	79
圖 4-26 DF064 有整治構造物.....	79
圖 4-27 DF070 無整治構造物.....	80
圖 4-28 DF070 有整治構造物.....	80
圖 4-29 DF063 無整治構造物.....	80
圖 4-30 屏東縣滿州鄉防災地圖.....	82

圖 4-31 DF064 避難計畫檢視.....	83
圖 4-32 DF070 避難計畫檢視.....	83
圖 4-33 DF063 避難計畫檢視.....	84



表 次



表 2-1 港口溪集水區近年來較嚴重之淹水事件.....	7
表 2-2 土石流災情雨量概況.....	8
表 2-3 NbS 設計的 8 項準則及 28 項指標.....	9
表 2-4 不同二維水理及輸砂模式之比較.....	23
表 3-1 經現地勘查後預期於利害關係人蒐集之意見.....	25
表 3-2 當地居民與 NGO 組織意見整理表.....	26
表 3-3 相關政府單位之意見整理.....	29
表 3-4 港口溪流域雨量站其控制面積及權度表.....	41
表 3-5 港口溪流域各重現期距一日最大暴雨量機率分佈表.....	41
表 3-6 港口溪流域各重現期距二日最大暴雨量機率分佈表.....	42
表 3-7 石門站 Horner 公式參數表.....	43
表 3-8 集水區特性及三角形單位歷線參數表.....	45
表 3-9 三角形單位歷線法計算之洪峰流量結果表.....	46
表 4-1 水位及流速驗證.....	62
表 4-2 滿州鄉土石流歷史災情.....	77
表 4-3 土石流潛勢溪流模擬資料說明表.....	78



第一章 緒論

1.1 研究動機與背景

臺灣由於位處板塊交界帶，長期的板塊運動導致地形多呈現坡陡流急，故在此之前已有許多人針對坡地集水區進行二維水理及輸砂模式分析，探討局部區域所面臨之水砂災害，並且針對集水區所面臨問題做出相對應的治理工程。

然而在氣候變遷下，極端降雨或乾旱等越發頻繁發生，集水區保育治理策略逐漸由先前常見的治理工程轉變為對生態環境較為友善、開發衝擊較低之工法為主。

對此，本研究希望能以整個集水區的角度探討所面臨的問題，除了透過現地勘查之外，也多次與在地人士交流溝通，了解當地居民及利害關係人的想法，以確保後續針對問題所提出之調適策略能夠成為一個有效的解決方案。

在確定整個集水區待解決之各種問題後，選定可以用二維水理及輸砂模式進行分析之問題作為後續的延伸，從眾多二維水理及輸砂模式中挑選 HEC-RAS 2D 做為模擬的工具，並且透過定床模擬、動床模擬以及土石流模擬，分析集水區所面臨之不同的問題及調適策略。

港口溪集水區位於屏東縣滿州鄉、恆春鎮及牡丹鄉，大致上可分為港口溪上游、港口溪以及林祿溪三個子集水區，平均坡度 1:62，港口溪主流長度 31.18 公里，流域面積 101.60 平方公里，如圖 1-1 所示。

港口溪集水區的土地利用有超過 50% 為森林用地，其次為農業用地。集水區內有豐富的自然資源，如蛙類、蝙蝠、陸蟹及多種植物。綜觀整個集水區，有許多先前為了因應各種問題所設置的治理工程，這些工程間接證實了港口溪集水區面臨著許多水砂災害等問題，而其中又有部分工程已無當初設計時之效果，故本研究除了盤點集水區遭遇課題之外，也會針對現有構造物進行評估，嘗試利用二維水理及輸砂模式分析，找出相對應的調適策略。



1.2 研究流程

本研究主要目標為探討集水區所面臨的災害，利用二維水理及輸砂模式分析水砂災害及其調適策略。

首先，透過現地勘查的方式，對港口溪集水區有初步的了解，再透過與在地人士的交流，了解當地居民和相關利害關係人認定集水區所面臨的問題。當地居民包括各個村里長及社區發展協會，相關利害關係人則包含了各個 NGO 組織，如屏東環境保護聯盟、落山風解說工作室、臺灣蜻蜓學會等，其他還有專門研究陸蟹的地方專家，以及墾丁國家公園管理處、農業部農村發展及水土保持署臺南分署、屏東縣政府等相關政府單位，將不同的意見進行整合後，更能判斷問題的嚴重性及調適策略的可行性。

在確定要分析的問題後，透過文獻蒐集獲得所需資料，並利用二維水理及輸砂模式分析面臨問題及調適策略。文獻蒐集包括二維水理及輸砂模式之水文資料，以及定床模擬、動床模擬、土石流模擬三種不同模擬方式所需設定之參數。將模擬結果與歷史資料等進行驗證，以證實模式的可信度。最後利用模擬結果進一步分析相對應的調適策略，以解決所面臨到的各種問題。

依據上述本研究之設計理念，彙整出相關流程圖如圖 1-2 所示，藉由選定研究區域、現地勘查、統整當地居民及利害關係人之意見、選定待分析之問題、蒐集文獻資料、設定模式參數、二維水理及輸砂模式分析、模式驗證等，最後設計出各問題相對應的調適策略。

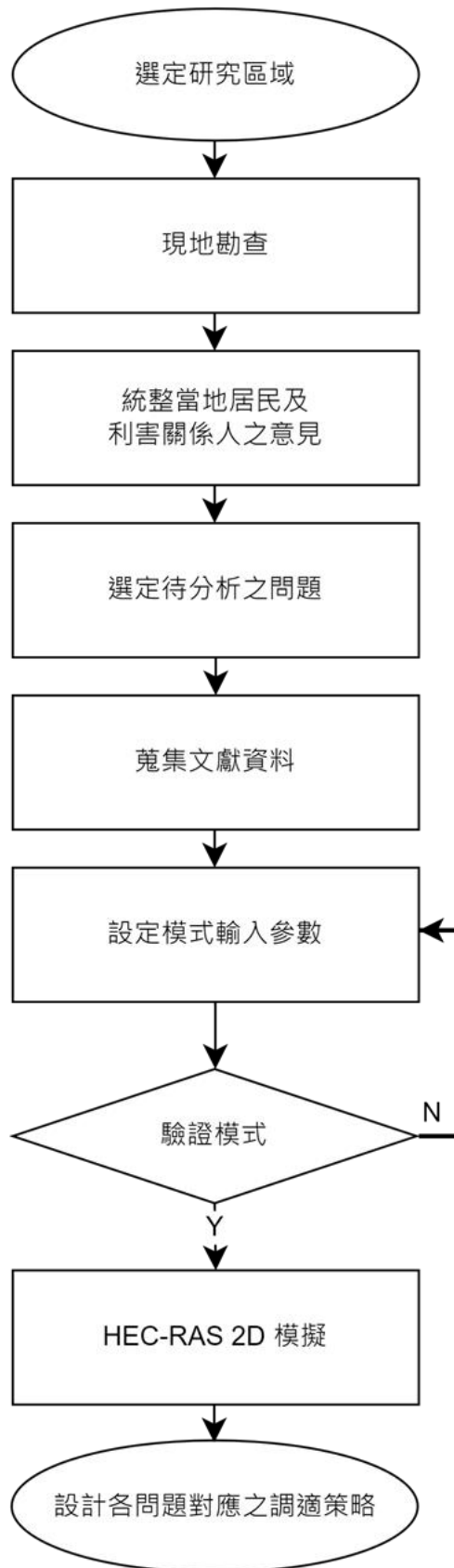


圖 1-2 研究流程圖



1.3 論文架構

本研究分成五個章節，再依據各章節之內容細分，主要內容概述如下：

第一章 緒論

說明研究動機，並概述研究流程與架構。

第二章 文獻回顧

蒐集港口溪集水區歷年災害、水砂災害之調適策略、常見二維水理及輸砂模式等相關文獻，並將其彙整。

第三章 研究方法

統整蒐集到之意見，並說明 HEC-RAS 各模擬之相關建置方式及參數設定。

第四章 結果與討論

依據 HEC-RAS 模擬結果及設計之相對應調適策略探討其成效及可行性。

第五章 結論與建議

依據模擬及規劃結果提出總結，並提出未來可改進之事項及後續研究之建議。



第二章 文獻回顧

本研究目的在於利用二維水理及輸砂模式分析整個集水區之水砂災害及調適策略，故將蒐集相關文獻資料，包含港口溪集水區曾發生之水砂災害、常見之水砂災害調適策略、國內外常見二為水理及輸砂模式之比較等相關文獻，作為本研究後續延伸之參考。

2.1 港口溪集水區水砂災害

港口溪集水區位於屏東縣滿州鄉、恆春鎮及牡丹鄉，集水區內有豐富的生態資源，其中陸蟹是港口溪集水區中受到高度重視的物種之一。李政璋 (2023) 針對恆春半島之相手蟹科進行研究，將相手蟹物種做更明確的劃分，對於各物種在臺灣分布與基礎生態也有初步的了解。王熙茜 (2022) 研究恆春半島對於陸蟹的路殺問題及改善方案，透過改良排水涵洞的方式，以減少路殺的問題。

然而除了生態問題之外，港口溪集水區同時也存在部分水砂災害相關的問題。港口溪集水區有兩次較為嚴重的颱風災害事件，分別為民國 100 年的南瑪都颱風以及民國 101 年的天秤颱風，主要淹水區集中於港口溪兩岸，淹水災害資料如表 2-1 所示。

兩場颱風均造成村落淹水災害，其中又以港口村較為嚴重，推估原因為港口村位於河口處，若暴雨期間與漲潮時間重疊，將使淹水災情更加嚴重，且兩個村落均鄰近港口溪，村落內無滯洪池或抽水站等水利設施。綜觀上述兩場災害，可以推測滿州鄉淹水的致災原因大多為雨量過大、排水不良以及河水溢堤等因素。

港口溪集水區內有 3 條土石流潛勢溪流，上述提到南瑪都颱風及天秤颱風除了導致村落淹水災害之外，也造成兩場土石流災害，分別為屏縣 DF070 以及屏縣 DF064，參考農業部農村發展及水土保持署提供之風災事件雨量組體圖進行探討，如圖 2-1 及圖 2-2 所示，兩場事件累積降雨量分別達到 824mm 及 596mm，最大降雨強度則分別為 108.5mm/hr 與 78.5mm/hr，如表 2-2 所示。由此可知，此兩場事件皆為連續強降雨導致大規模土石災害發生。

表 2-1 港口溪集水區近年來較嚴重之淹水事件

致災淹水事件	村里別			
	港口村		里德村	
	淹水歷程	淹水深度	淹水歷程	淹水深度
南瑪都颱風	12~15 小時	0.3~2.5 公尺	6~12 小時	0.3~1.5 公尺
天秤颱風	12~24 小時	0.3~2.5 公尺	6~12 小時	0.3~1.5 公尺

(資料來源：101 年屏東縣易致災環境指標調查與評估報告-易致災環境指標調查)

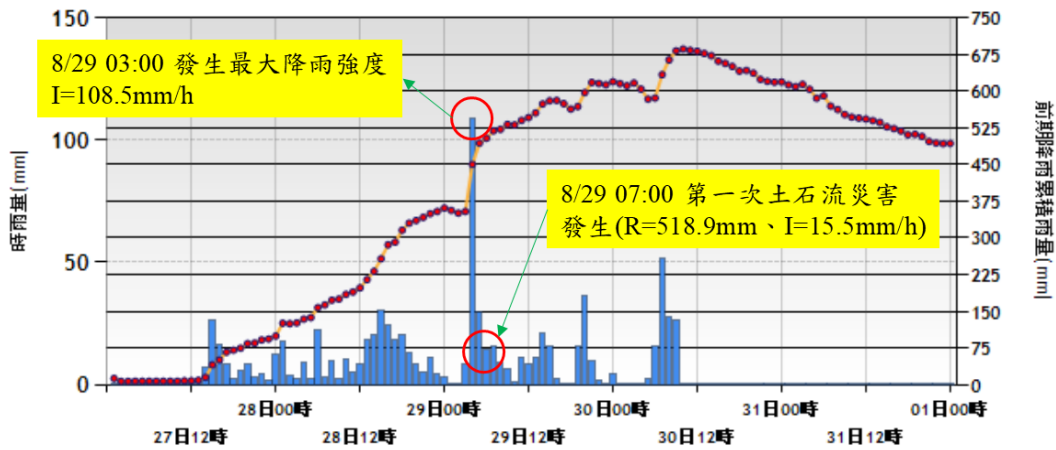


圖 2-1 民國 100 年南瑪都颱風檳榔雨量站降雨組體圖

(資料來源：100 年南瑪都颱風重大土砂災例最速報)

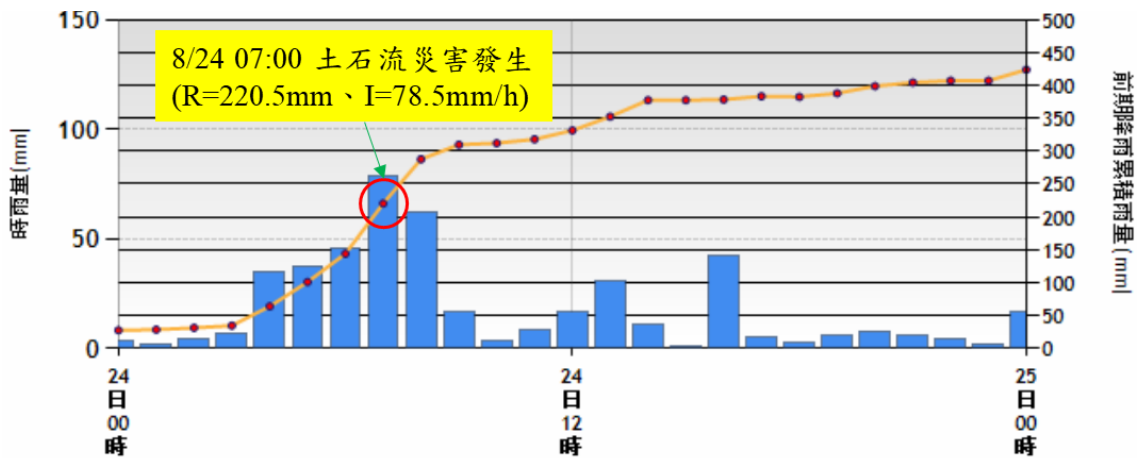


圖 2-2 民國 101 年天秤颱風佳樂水雨量站降雨組體圖

(資料來源：101 年天秤颱風重大土砂災例最速報)



表 2-2 土石流災情雨量概況

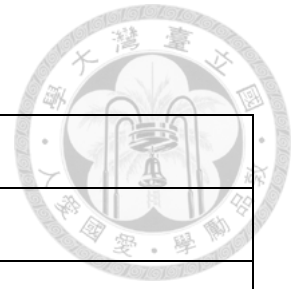
土石流潛勢溪流編號	屏縣 DF070	屏縣 DF064	
日期	2011//8/27~2011/8/30	2012/8/24~2012/8/28	
災害事件	南瑪都颱風	天秤颱風	
雨量站設置單位	中央氣象局	中央氣象局	
參考雨量站	檳榔 (C0R280)	佳樂水 (C0R370)	
雨量 資料	土石流災害點時雨量 (mm / hr)	108.5	78.5
	土石流災害點累積雨量 (mm)	518.9	220.5
	災害事件總雨量 (mm)	824	596

2.2 自然解方

自然解方 (Nature-Based Solutions, NbS) 是目前全球熱門的調適策略。其概念於 2008 年由世界銀行 (World Bank) 所提出 (MacKinnon et al., 2008)，國際自然保育聯盟 (International Union for Conservation of Nature, IUCN) 將 NbS 定義為「可以有效且調適應對社會挑戰，提供永續管理、保護和復育自然或經過改造的生態系統所採取之行動，進而提供人類福祉及生物多樣性之效益」。

國際自然保育聯盟於 2016 年訂定 8 項原則 (principles)，2020 年出版自然解方全球標準手冊 (IUCN Global Standard for Nature-based Solutions)，手冊中提到的 8 項準則 (criterion) 以及 28 項指標 (indicators) 如表 2-3 所示，透過 8 項準則與 28 項指標組成自我評估工具，用以支持永續發展和調適性管理。

表 2-3 NbS 設計的 8 項準則及 28 項指標




準則 1：NbS 能有效應對社會挑戰。	
1.1	優先考慮到利害關係者最急迫的社會挑戰。
1.2	所對應的社會挑戰能被清楚的理解與紀錄。
1.3	確立、設定基準並定期評估 NbS 所提升的人類福祉。
準則 2：NbS 的設計應考慮尺度。	
2.1	NbS 的設計反應出經濟、社會及生態系統間的交互作用。
2.2	NbS 的設計整合其他互補措施及跨部門的協同合作。
2.3	NbS 的設計包含實施地區以外的風險辨識及風險管理。
準則 3：NbS 帶來生物多樣性淨效益及生態系統完整性。	
3.1	NbS 行動直接反應生態系統現況的實證評量以及退化主因。
3.2	確立、設定基準並定期評估明確且可衡量的生態多樣性保育成效。
3.3	監測及定期評估 NbS 對自然造成的非預期負面影響。
3.4	確認增進生態系統完整性的機會並納入 NbS 策略。
準則 4：NbS 具有經濟可行性。	
4.1	確立並記錄 NbS 相關的直接及間接成本效益，例如誰付出及誰受益。
4.2	提供成本效益研究以紙持 NbS 的選擇，包括相關法規和補助的可能影響。
4.3	NbS 設計的可行性相較於備選方案是合理的，並顧及相關外部影響。
4.4	NbS 設計考慮資源選擇的組合，如市場導向、公部門、自發性提供與符合規範的行動。
準則 5：NbS 是基於包容、透明和賦權的治理過程。	
5.1	在啟動 NbS 前，設定明確且取得共識的回饋及申訴解決機制以供所有利害關係者使用。
5.2	參與基於互敬平等的基礎，不受性別、年齡、社會地位影響且保障原住

	民自由、事前且充分告知、同意的權益。
5.3	盤點受 NbS 直接或間接影響的利害關係者，並使其能參與 NbS 措施的所有過程。
5.4	決策過程記錄並回應所有參與及受影響利害關係者的權益。
5.5	若 NbS 的尺度超過管轄範圍，建立受影響管轄區利害關係者共同決策的機制。
準則 6：NbS 在達成主要目標與持續提供多重效益間，要進行公平的權衡。	
6.1	確認 NbS 措施相關權衡的潛在成本和利益，並告知保護和適當的改善措施。
6.2	承認與尊重不同利害關係者在土地與資源的權利、使用、許可與責任。
6.3	定期檢視已建立的保護措施，以確保達成共識之權衡條件且不破壞整體 NbS 的穩定性。
準則 7：NbS 根據實證進行調適管理。	
7.1	NbS 策略可作為定期監測和評估的基礎。
7.2	在 NbS 措施的生命週期中，發展並實施監測和評估計畫。
7.3	在 NbS 措施的生命週期中，應用調適管理的反覆式學習框架。
準則 8：NbS 為永續且可成為主流。	
8.1	分享 NbS 的設計、實施與經驗傳承以帶來改變。
8.2	NbS 加強促進政策與規範框架以支持理解與主流化。
8.3	NbS 對人類福祉、氣候變遷、生物多樣性和人權（包括「聯合國原住民族權利宣言（UNDRIP）」等相關的國家及全球目標有所貢獻。

(資料來源：IUCN (2020))

；臺灣溪流自然解方分析架構與防洪標準之建立-以磺溪為例)



在臺灣有部分相關政府單位開始嘗試利用自然解方解決所面臨之問題，包括農業部農村發展及水土保持署、農業部林業試驗所及經濟部水利署等，也有國內學者針對自然解方進行研究，王丰聖 (2023) 透過地形、水位、流速等現地調查，收集水文、泥砂、空照圖資等歷史資料，建立數值模擬並進行驗證，研究結果證實紅樹林提供近岸藻礁生態系自然囚砂機制，其效益展現了紅樹林作為延緩國土流失之自然解方的潛力；柯品華 (2023) 則是透過文獻蒐集整理大量關於 NbS 相關資料，並透過農業部農村發展及水土保持署執行「111 年後龍溪導入 NbS 調適研究計畫」與「111 年度集水區 NbS 調適策略研究計畫-花蓮縣大不岸溪規劃示範區」兩計畫為例，探討臺灣推動自然解方於河川溪流治理之機會與障礙，研究顯示目前仍有設計廠商思維受限於既有框架、缺乏遊說地主之制度工具、缺乏設計自然解方專業知識、缺乏足夠時間與地方溝通等問題。

除了國內的學者之外，也蒐集國外 NbS 案例相關文獻，作為後續設計自然解方之參考。

2.2.1 Burgess-Gamble (2012)

研究區域為位於英國倫敦巴金和達格納姆自治市 (London Borough of Barking and Dagenham) 的梅斯布魯克公園 (Mayes brook Park)，此區域主要問題為梅斯布魯克河與其左岸之梅斯布魯克公園被堤防隔離，且公園大部分區域植被為草本植物，導致棲地環境對生態多樣性較不友善，且由於梅斯布魯克河右岸低於左岸，在發生重現期距較大之流量時，容易導致右岸之保全對象受到威脅。對此，期望透過相關調適策略進行改善。

研究結果顯示，透過河流修復、設置 1.5 公頃洪氾平原作為漫灘蓄水以及種植大約 3 個足球場面積之樹木等調適策略，能有效改善公園的生態環境及娛樂價值，同時在模擬 100 年重現期距以及氣候變遷之洪水事件後，可發現洪水水位有降低的趨勢。另外，在經過調適策略之改善後，預計每年可減少 50% 關於疏浚、修剪成本、植被管理等經費。



2.2.2 Wilkinson et al. (2010)

研究區域為英國諾福克北部 (North, Norfolk) 的格拉文河 (River Glaven)，由於此處曾為了工業目的及保護鄰近洪氾區農田，設置攔河堰、水閘、堤壩等多種構造物，這些歷史上對河道的改造，降低了棲息地的密度和多樣性，同時也使格拉河沿岸有多處區域存在洪災風險。研究使用 MIKESHE 與 MIKE11 耦合水文和水理模型來評估洪氾區重新連結之影響，希望通過恢復河道和重新連結河流及漫灘來改善河道之棲息地。

研究結果顯示，在拆除堤壩後，流量較大時將大面積淹沒洪氾區，且於重現期距較低之事件發生時，也加劇了河岸地區的洪水；對於生態方面，除了增加地下水的儲量外，漫灘草地有規律且持續時間短的淹沒，增強了棲息地的連通性。然而對於堤壩拆除等措施，雖然對於生態有正面的幫助，仍需考慮土地持有者或者相關法律之規定。


2.2.3 Nicholson et al. (2015)

研究區域位於英國貝爾福德村 (Belford village)，該區域於 1997 年至 2007 年發生了 10 次洪災，然而在評估後認為採用傳統防洪措施之成本效益較低，故透過持續設立監測系統、設計逕流衰減特徵 (run-off attenuation features, RAFs)、重新規劃排水系統等，期望能改善淹水情況。

因各個 RAF 設計特性不同，需針對不同設計採用適應性管理，如大型木頭組成之壩體預計會在 5 至 15 年內退化，若退化嚴重需全面更換結構，且暴露在潮濕的條件下，可能會縮短結構的使用壽命，維護情況以及溢流結構和溢洪道是否充分設計等也同樣會對其造成影響。研究結果顯示，透過單個 RAF 的監測可以證實其對於中小型事件的洪峰最多減少 10%，但對於較大的洪災事件較無明顯效果；除了減緩洪災外，RAF 也有其他成效，如沉積物捕獲和水質改善。

2.3 常見水砂災害之調適策略

在討論水砂災害之調適策略前，需先將內、外水進行區分，根據經濟部水利



署水利規劃分署之定義說明，水利防洪設施所定義之內水為堤防或護岸設施鄰陸面（堤內）地區所產生之逕流，外水則是堤防或護岸設施鄰水面（堤外）之水域，由於本研究主要探討港口溪之水砂災害，以定義而言屬於外水，故對於改善排水設施、更改都市計畫土地利用等與內水積淹相關之調適策略將不再討論。

以往最為常見的即為利用工程手段解決溢淹問題，利用堤防加高解決河道溢淹，或是設置固床工、丁壩等河道中的橫向構造物，達到減緩坡度、改變流向等功能，這些治理構造物若有損毀的情況，有時會減少其效益，或是失去原有的功能，更嚴重者將危害保全對象生命財產安全。以堤防為例，針對堤防進行內部的非破壞性檢測，可以在堤防內部出現淘空時盡快發現並進行改善，避免發生更嚴重的災害，常見的方式以透地雷達居多，然而檢測時間長且使用於暴雨後的堤防更加危險，對此，莊雯茹 (2011) 利用紅外線熱影像法進行檢測，林品均 (2012) 則是透過目視法搭配無人飛行載具 UAV，以更便利且安全的方式檢測。除了儘早發現堤防破損程度並進行修補外，也能透過其他構造物的建置，降低堤防毀損的機率，像是利用設置丁壩於河道中，以保護堤防之基腳沖刷。(賴姿伊，2019)

然而現今社會較不能接受利用混凝土建置堤防、護岸、固床工等構造物，雖然利用混凝土可以使構造物較為堅固，但若是考量到生態等多方面議題，此類工法便不是首選。許金龍 (2017) 參考日本傳統護岸生態工法之一，利用柳枝工及木梢沈床工作為堤防之材料，以取代鋼筋混凝土等材料，改善生態環境，然而此材料雖然對生態較為友善，其強度仍無法與鋼筋混凝土比擬，故在使用柳枝工與木梢沈床工時，須審慎評估施作環境，避免坡陡流急且為主流直衝之河段，且在完工後仍需積極維護，若有災損必須進行補強，以達到其原有之功能。郭正壹 (2008) 則是針對固床工之不同形式、設置間距及填石大小等進行水工試驗，研究結果顯示木梢式固床工在兩倍河寬之設置間距、回填兩倍原河床粒徑之塊石下，能提供兼具安全性及生態性之河川棲地環境。

除了護岸、堤防或固床工等工程手段外，設置滯洪池也是水砂災害之調適策




略之一。邱鵬豪 (2022) 探討滯蓄洪設施在不同情境下之優劣，研究結果顯示，在其研究區域內，短延時的降雨較適合使用蓄洪設施，而當降雨延時或降雨強度增加時，滯洪設施的效果擇優於蓄洪。

滯洪池等設施通常設置於公共空間，然而當公共空間有限時，便需要尋找其他替代方案。呂冠毅 (2022) 比較公共設施用地與農地作為滯洪設施之效益，研究結果顯示在部分地區由於公共設施用地有限，以農地挖蓄之措施能達到更好的減洪效果。莊孟矩 (2020) 也利用坡地既有農塘進行串聯操作，以地區本身之防災綜合能力，達到降低下游區域洪患之目的。

在土地資源有限的條件下，除了利用農地、農塘等其他土地作為滯洪設施設置位置，增加滯洪設施之功能也是解決方法之一。林宸亘 (2023) 研究滯洪池除了防災滯洪之外，透過加入智慧管理、自動化操作等因素，結合生態景觀、水資源再利用等特色，使其兼具防災、滯洪、休憩及娛樂之功能。陳柏碩 (2016) 也透過研究證實，滯洪池除了減少淹水面積、降低淹水機會之防洪功能外，也有創造景觀營造、帶動區域環境發展之附加效益。

然而設置滯洪池並不一定能一勞永逸，黃浣婷 (2021) 研究臺南市將軍區廣山社區一帶洪池，雖在完工後大幅改善當地淹水災害，但仍在民國 110 年經歷一場豪雨後，為社區及周遭帶來淹水問題，研究結果顯示，當地有集水越域、村落圍堤缺損、部分排水位達保護標準等問題。由此案例可知，在現今極端氣候導致短延時強降雨發生頻繁，單一工程手段已無法有效解決水砂災害，必須以提升集水區整體之韌性為主，強化及承災能力，以工程及非工程手段交互使用，才能有效減輕水砂災害之威脅。

另外針對 NbS 所採取之調適策略，考量研究區域之適用性，本研究將選擇農業部農村發展及水土保持署訂定之「農業部農村發展及水土保持署推動韌性坡地補助試辦方案」中的水砂溢淹區，並透過國內曾設計水砂溢淹區之相關文獻作為後續設計之參考。如「111 年臺南分局集水區治理規劃導入 NbS 調適研究計畫」



針對屏東縣保力溪集水區設計數個大小不一的水砂溢淹區，透過 HEC-RAS 2D 分析水砂溢淹區之效益，研究結果顯示，透過設置水砂溢淹區，於其研究區域內可使部分保全對象之洪峰流量明顯下降，並且在分析綜合效益後，可發現水砂溢淹區相較於傳統護岸工程，在碳吸存、水土保持、淹水治理等方面都更具有價值。

2.4 二維水理及輸砂模式比較

水理及輸砂模式分為一維、二維及三維數值模式，可以依照各研究之需求選定不同維度之數值模式。一維模式通常用於河道中的流動情況，優點為計算速度快；二維模式分析水流在平面的運動，可模擬河道的洪水溢淹等情況，優點為更精確之描述流場；三維模式最為複雜，通常用於模擬地下水流動，其優點為可獲得更加精確之模擬結果。(林庭任，2023)

考量到本研究主要模擬洪水溢淹、河道土砂運移以及土石流模擬，故選擇使用二維水理及輸砂模式做為後續之模擬。


常見於模擬河道之二維水理及輸砂模式有許多種，包含 HEC-RAS 2D、FLO-2D、CCHE-2D、SRH-2D 等，故本研究蒐集數個二維水理及輸砂模式之文獻資料，評估對於本研究最合適之二維水理及輸砂模式，作為後續模擬之工具。

2.4.1 HEC-RAS 2D

HEC-RAS 為美國陸軍工程師團水文工程中心 (Hydrologic Engineering Center，簡稱 HEC) 開發之河川分析系統，具備一維定量流 (Steady Flow)、一維及二維變量流 (Unsteady Flow)、動床輸砂計算、水溫及水質傳輸模擬能力 (水利技師公會，2016)，並且於 HEC-RAS 6.0 版之後，新增了一維及二維非牛頓流體模組。(農村發展及水土保持署，2022)

1. 陳彥丞 (2020)

利用 AWE-GEN 模擬結果估算 24 小時延時不同重現期距之降雨量，並且應用在 HEC-RAS 水理及輸砂模式中，透過 HEC-RAS 2D 模擬之結果觀察及比較在未來情境條件下高屏地區淹水情形。



在經過模擬調教後，利用扣除 50%降雨損失之 HEC-RAS 模式淹水模擬結果，與經濟部水利署所公布利用 SOBEK 模擬之淹水潛勢圖進行比較，HEC-RAS 模擬結果在高雄地區淹水區域能反映 SOBEK 模擬結果所呈現之淹水情形，且大寮區、林園區等區域，HEC-RAS 模擬結果與實際情況更為相似。

2. Desalegn and Mulu (2021)

研究區域位於衣索比亞阿拜盆地上游的費塔姆河 (Fetam River, Upper Abbay Basin, Ethiopia)，使用 ArcGIS、HEC-GeoRAS 以及 HEC-RAS 進行模擬，透過 GPS 現場測量之數據以及現地訪談的資料作為模式校準及驗證。

研究結果顯示，在靠近費塔姆河的低窪地區，淹水情形嚴重，並且在 100 年重現期距的流量下，洪水深度達 5.34 公尺，對保全對象的生命財產將造成劇烈影響，故研究建議儘快整治河川，例如興建壩體、堤防等設施，也應考慮在洪水易發之地區採取適當的土地利用規劃，以減少洪災帶來的損失。

3. 呂冠毅 (2022)

蒐集從 2016 年到 2022 年國內外學者利用 HEC-RAS 2D 模擬之案例，利用 HEC-RAS 2D 及蒐集到研究區域之水文和地文資料建置二維模式並模擬演算，同時以三場降雨進行模式參數的率定驗證。

研究顯示在對模式進行敏感度分析時，以地表粗糙度影響最大，且較精細的網格尺寸也會使模擬結果更加精確。而在探討模擬氣候變遷下逕流暫存措施之效益時，以公共設施用地進行逕流暫存之成效不彰，利用農田挖蓄之減洪效果更為顯著。

4. Phyo et al. (2023)

研究區域為緬甸的 Swa Chaung 大壩，建造此大壩的目的為儲存多餘的雨水，防止下游平原地區發生洪水，並在旱季提供耕作灌溉用水，然而大壩雖具有防洪效益，其安全性仍有不確定性，故本研究模擬潰壩等極端情形，收集相關數據以預防風險。

透過 HEC-RAS 模擬之結果，了解洪水易發地區、洪水深度、影響範圍、洪水到達時間以及潰壩潛在風險區域，利用相關數據可加強緊急應變、公眾意識和政府規劃，以減輕該區域受潰壩及洪水之影響。



2.4.2 FLO-2D

FLO-2D 淹水模式是由 O'Brien et al. (1998) 所研發之二維洪水災害模擬程式，可用於都市淹水、洪水平原管理、工程風險設計、不規則形狀河道水理演算、橋樑涵洞水理演算與滯洪池水理演算，並且可處理漫地流、都市水文、泥流及土石流。(水利技師公會，2007)

1. 張喬亞 (2013)

整合 HEC-RAS 1D 與 FLO-2D 應用於典寶溪，利用民國 97 年卡玫基颱風、民國 98 年莫拉克颱風及民國 99 年凡那比颱風進行模式驗證，建立包括降雨逕流分析、河道水理演算、淹水模擬等，同時考慮渠道 (HEC-RAS 1D) 與漫地流 (FLO-2D) 間水流交換之機制，並探討不同空間解析度對淹水模擬之影響。

雖然 FLO-2D 即時演算有時間上之困難，但可以應用評估國土規劃對減少淹水之對策，供災害防救等業務執行單位研擬減災應變對策與進行災害之防救、減災、整備、應變等相關工作之參考。

2. 陳智誠 (2015)

在張喬亞 (2013) 研究之基礎上，利用 HEC-RAS 1D 模擬渠道水位並計算土砂量後，再分析與 FLO-2D 模擬土砂量結果進行比較，與清疏量體作回饋分析，模擬正確性。

由碼崙溪集水區崩塌地及土砂產出運移量分析結果，與土砂清疏量體大致接近，故在進行模擬時，可採用 HEC-RAS 1D 及 FLO-2D 搭配使用，增加分析結果之正確性。

3. Erena et al. (2018)

研究區域位於衣索比亞的德雷達瓦市 (Dire Dawa City, Ethiopia)，透過 FLO-

2D 辨識容易發生洪水的村莊，由於沒有完善的氣象水文等資料，故利用現地訪談調查、極端事件期間受影響之樹木和其他物體等作為模型之驗證。

透過模擬結果可以繪製出洪水災害圖，並探討當地的洪水風險管理策略，研究建議儘管在沒有相關洪水模擬分析前，當地制定的洪水預報等適應策略成功的減少保全對象的損失，但若考量到極端降雨之風險，仍應利用模擬結果所繪製之洪水災害圖進行未來洪水風險規劃和管理。

4. 黃啟峰 (2019)

利用 HEC-RAS 1D 以及 FLO-2D 模式於屏東縣武洛溪排水系統進行水理分析，以推得不同重現期距之洪峰水位高程，再以豪雨水位觀測紀錄進行水理驗證。

經水理模式分析結果，在兩岸堤防加高、底床疏濬等治水方案實施後，增加河道通洪斷面以加速排水，大幅改善淹水情形，排水幹線全縣可容納 10 年重現期距降雨，並確保下游段於 25 年重現期距降雨條件下無溢堤情形。

2.4.3 CCHE-2D

CCHE-2D 為美國密西西比大學內國家計算水科學及工程中心 (National Center for Computational Hydroscience and Engineering, NCCHE) 所發展之二維水理及輸砂模式 (盧錫彥, 2012)。其優點在於可模擬複雜天然環境之自由液面流況及流速、輸砂、水質及汙染傳輸等機制 (水利署, 2016)，可用來模擬沖積河槽遷移過程、預測三維之流場及河床剪應力分佈情況。(張盈俊, 2022)

1. 盧錫彥 (2012)

比較多個二維水理及輸砂模式，包括 CCHE-2D、FESWMS-2DH、MIKE 21、TABS-2、考量研究需求，模式須具備變量流 (Unsteady flow) 模擬能力，同時河道演變趨勢模擬之輸砂演算亦為重點之一。上述四個模式皆可模擬變量流，然而對於輸砂演算模型之考量，CCHE-2D 相較於其他模式更加完整，除了泥砂粒徑可選擇均一粒徑或級配粒徑，針對不同河段進行泥砂粒徑之設定外，非平衡



輸砂模組與岸壁沖刷模組亦為該模式之特色。

此研究利用 CCHE-2D 預測大甲溪流流域石岡壩下游至出海口河段底床分佈，藉由自動化模組之發展定量分析河道變遷之特性。研究成果顯示大甲溪石岡壩下游有足夠輸砂量時，河道演變穩定性越高，河道即使受兩岸防洪構造物影響，仍遵循一定的模式使其逐漸趨近平衡狀態。

2. 張盈俊 (2022)

蒐集國內外數個與 CCHE-2D 相關之文獻，統整 CCHE-2D 相較於其他二維水理及輸砂模式之優勢，包括河道輸砂及河岸沖刷。

透過現勘蒐集研究區域之水土保持構造物尺寸及評估構造物毀壞程度，利用土砂通過率及 CCHE-2D 水理計算兩種方式，探討老人溪可拆式鋼管壩體拆除後可能發生之情形。研究顯示，隨著壩體拆解的開口越大，上游土砂將會往下游輸送，使下游的淘刷得到改善。

3. 吳奕汶 (2022)

比較 CCHE-2D、FLO-2D、MIKE-21、NETSTARS 及 SRH-2D，鑒於模式取得之便利性，以及過往研究之經驗，選定 CCHE-2D 作為分析工具。

利用 CCHE-2D 模式，篩選適合之輸砂公式、水理參數及輸砂參數後，進行不同沉砂池方案之模擬，模擬結果可提供未來沉砂池建置之參考。

2.4.4 SRH-2D

SRH 數值模式是由水利署及美國墾務局官方共同開發之公開免費軟體，其功能包括河川水理、河道泥砂運移、軟岩沖蝕、岸壁沖刷及異重流分析等，經廣泛測試後，目前已可實際應用於臺灣河川案例。(水利規劃試驗所，2019)

1. 黃晶瑩 (2018)

利用自行開發之 CAMP1DF 一維河道數值模式，透過與 HEC-RAS 及 SOBEK 驗證模式之可信度後，進行河道洪水位演算，再利用 SRH-2D 河道動床數值模式，探討鳳山溪中游河段之泥砂傳輸情形，以不同輸砂公式及入砂條件進行模式



之敏感度分析，進行沖刷探討。

利用 Wu et al. (2000)、Wilcock & Crowe (2003) 及 Parker (1990) 輸砂公式，分別進行不同重現期距洪水沖淤比較，結果顯示，Wu et al. (2000) 整體沖淤程度較顯著，且隨流量增大，越快達到最大下刷深度；Wilcock and Crowe (2003) 在較大洪水量時才開始出現下刷行為，且沖淤情形較穩定；Parker (1990) 則無論是升水段或退水段皆出現先淤積後沖刷的現象。

2. 黃炎培 (2023)

比較 SRH-2D、SMS、FLO-2D、CCHE-2D、EFA-2D 及 RESED-2D，考量研究需探討河道整理前後的水理及輸砂現象，選定 SRH-2D 與 CCHE-2D 做最後比較，其中 SRH-2D 是以有限體積法 (Finite volume method) 進行數值計算，相較於 CCHE-2D 的有限元素法 (Finite element method)，具有效率更高之優勢。

(Frisani et al., 2015)


根據二維定床水理演算以及動床模擬，比較河道整理前後的水理現象及底床沖淤變化現象，可發河道經過整理後，高灘地的漫灘流量變大、通洪能力增加，且河道流路擺盪的情形有所改善，並且對底床剪應力有減緩的效果，在沖淤程度降低的條件下，進而減緩河道變遷。

2.4.5 SOBEK

SOBEK 是由荷蘭 WL|Delft Hydraulics 所發展，為一套整合了河川、都市排水系統與流域管理的套裝城市，包含降雨逕流、河道演算、水質模式、輸砂計算等九套模組，對於水利及水資源管理者在進行管理、決策與分析時提供了相當大的助益。(水利技師公會，2007)

1. 林宜虹 (2017)

研究區域選定新店溪流域，研究區域內共有七座堰壩，透過 SOBEK 模式之即時控制模組建立研究區域內水利設施之堰壩操作機制，結合一維水理運算方式，藉以探討結合多個堰壩操作的操作連續性與影響評估。



研究結果顯示，雖新店溪流域水利設施多，且位置、運作規定皆不相同，為複雜的水資源系統，但仍可以透過即時控制操作模組建置新店溪流域的堰壩運作機制，再從其操作成果來探討該流域適合的閘門操作方式，亦可透過模式模擬之數據談論解釋該區域之議題。

2. 宋威毅 (2017)

參照經濟部水利署水利規劃試驗所之 SOBEK 二維淹水模式作為研究基礎，選擇臺中都會區及臺南都會區作為研究區域，探討目前第三代淹水潛勢圖的 SOBEK 二維淹水模式中集水區劃分是否劃設過度精細。

透過 SOBEK 模擬不同集水區劃分尺度之結果，比較一維河川水位、二維淹水造成的淹水面積、淹水深度及發生初始溢淹時間，可以證明若使用面積更大的集水區進行一維渠道二維漫地流淹水模式 (SOBEK)，會導致模式之模擬結果無法模擬出局部小區域的河川溢淹現象，進而導致淹水成果與現地不符。

2.4.6 3Di

3Di 為台夫科技大學 (TU Delft) Guus Stelling 教授於 2009 年發展，以 SOBEK 為基礎更新演算法，並結合 Quandtree 法與 Subgrid 法，與 SOBEK 相比，其計算更快且更準確。(林庭任，2023)

1. 賴茂修 (2022)

以台中市南屯區筏子溪作為研究區域，使用相同的地形資料 (DEM)，利用二維 HEC-RAS 和二維 3Di 分析水理模式建模和淹水潛勢地圖對於地形資料、幾何配置、邊界條件和模型類型之敏感性。

研究結果顯示 HEC-RAS 2D 模式預測的洪災影響範圍更大，與現實情況相比有所高估，而 3Di 水理模式的顯示出更精確的模擬結果，故 3Di 比 HEC-RAS 2D 更適合應用於台中市等都市地區的洪災模擬。

2. 林庭任 (2023)

在蒐集各數值模式、逕流管理策略及水土保持措施等文獻後，選定 3Di 二維

數值模擬作為模擬，同時導入不同逕流管理措施與水土保持工法等方案，分析其成效，提出最佳策略之改善方案。

通過 3Di 數值模式之檢定與驗證，建立集水區在降雨過程中產流 (runoff yield) 與集流 (runoff converge) 之基本規律，並以開挖式農塘作為坡面主要之水土保持措施，模擬集水區在不同區位構築各種規模之開挖式農塘後，其溪流下游控制點位之水位或流量變化，藉以分析農塘蓄洪功能對於集水區逕流量減少之效益。

2.4.7 River2D

River2D 模式是由加拿大淡水研究所 (Freshwater Institute，簡稱 FWI)、亞伯特大學土木與環境系 (Civil and Environmental Department of the University of Alberta)、美國地質調查局中部生態科學中心 (Midcontinent Ecological Science Center of the U.S. Geological Survey，簡稱 MESCC)、亞伯特漁業部 (Fisher's Division of the Alberta Government) 共同研發與測試。(陳仲安，2006)

1. 陳仲安 (2006)

利用 HEC-RAS 1D 的水理模式結合 RHABSIM 1D 的水理模式及棲地模式模擬一維水理棲地狀況，再利用 River2D 的河川棲地模式模擬二維水理棲地狀況，針對棲地類型與河床底質探討。

研究結果顯示利用 River2D 在有詳細的地形高程圖之情況下，可完整模擬出棲地使用類型，相較於 RHABSIM 1D 需要自訂權重，可降低變數，增加模擬之可信度。

2. 葛奕良 (2011)

研究區域為台中筏子溪，結合一維水理模式 HEC-RAS 和河川棲地二維模式 River 2D 進行模擬，探討丁壩對魚群棲地之影響範圍，以及丁壩建置要素對其範圍之影響，包括河寬、壩高、壩長、流量、河道平均坡降等。

研究結果分別對丁壩建置要素進行影響範圍之探討，以壩長及壩高為例，壩



長 (阻水率) 增加會使上下游影響範圍隨之增加；當丁壩高度高於水面高度時，上下游影響範圍較大。針對魚類棲地計算可使用面積，模式僅以流速及水深兩個環境因子探討，建議後續可以考慮底床變化、水溫、溶氧等其他因子。

3. 柴家豪 (2011)

以烏溪之大旗橋段作為研究區域，利用河川棲地二維模式 River 2D 結合 HEC-RAS 1D 進行現場實測之流速水深模擬，驗證模擬資料是否合理，進而探討權重可用棲地面積 (WUA) 與河川流況歧異度 (H') 之關係。

研究顯示，在研究河段高流量的情況下，原先岸邊灘地、沙洲及灌木叢因水位上升，流速較主流槽緩慢，有形成新棲地的可能；流況歧異度 (H') 越高，權重棲地可用面積 (WUA) 值越高。然而研究僅單一河段模擬結果，未來仍因應不同類型河段、不同魚種以及不同水工構造物進行探討。

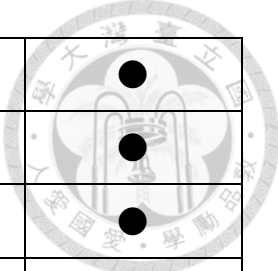
2.4.8 小結

透過蒐集以上多個二維水理及輸砂模式之文獻資料，利用前人研究案例之經驗作為本研究選定二維水理及輸砂模式之參考。

考量到本研究主要目的在分析集水區所面臨之水砂災害及調適策略，故先把主要為模擬都市淹水或河川棲地等模式排除，如 SOBEK、3Di 以及 River 2D，再將剩餘模式之功能稍做統整比較，如表 2-4 所示，最後依據比較的結果，搭配本研究室先前模擬之經驗，選定 HEC-RAS 2D 作為本研究之二維水理及輸砂模式。

表 2-4 不同二維水理及輸砂模式之比較

模式名稱		HEC-RAS 2D	FLO-2D	CCHE-2D	SRH-2D
水 理 分 析	定量流	●	●	●	●
	變量流	●	●	●	●
	超臨界流	●	●	●	●
	亞臨界流	●	●	●	●



	混合流	●	●	●	●
輸	均勻粒徑	●	●	●	●
	砂	●	●	●	●
分	級配粒徑	●	●	●	●
	析	●		●	●
	非平衡輸砂	●		●	●
	岸壁沖刷			●	●
	河工結構	●	●	●	●
	圖形介面	●	●	●	●



第三章 研究方法

3.1 統整利害關係人之意見

在透過現地勘查港口溪集水區，對集水區有一定的了解之後，與在地人士進行交流溝通，統整當地居民及相關利害關係人之意見，以便整理所面臨的問題。

在整理問題時，大致上將其分為三類，並透過現地勘查後對集水區的了解，針對三大類提出預期蒐集之問題，如表 3-1 所示。

在完整蒐集相關問題後，再利用二維水理及輸砂模式分析部分問題及其調適策略。

表 3-1 經現地勘查後預期於利害關係人蒐集之意見

分類	生活	生產	生態
主旨	社區部落 居住安全	永續農業生產 及產業願景	港口溪生物棲地保育 及生態旅遊
大綱	港口溪集水區曾發生兩起較嚴重水砂災害之強降雨事件，分別為 2011 年的南瑪都颱風以及 2012 年的天秤颱風，再加上氣候變遷所造成現今有許多短延時強降雨的發生，易增加水砂災害的風險，因此提升集水區居民居住安全的工作刻不容緩。	港口溪集水區經濟產業以農業生產及生態旅遊兩類為主，其支流欖仁溪兩岸為雨來菇密集種植區域，對於水質及水量皆有要求，再加上極端氣候導致風枯水期之落差，使水資源分配管理成為重要課題。	港口溪集水區下游為陸蟹重要棲地，中游及上游溪畔沿線保留完整濱溪帶植被，及淺山的覆層森林，為螢火蟲、梅花鹿等生物優良的棲地，並成為生態旅遊資源，故如何保育港口溪集水區內的生物資源為此議題之目標。
預期蒐集之問題	1. 集水區潛在風險地區 2. 在地居民對於農村發展及水土保持署之韌性坡地補助方案(草案)之看法	1. 地方居民農業行為在未來氣候變遷下可能存在之風險 2. 友善農耕及推動意願 3. 低耗水農作之可行性討論	1. 地方居民發展生態旅遊之自然資源重點區域 2. 生物棲地改善需求及區位



3.1.1 當地居民

由於較不易蒐集當地居民之意見，故以蒐集在地代表所統整之意見為主，包含鄉長、村長及社區發展協會理事長，提高蒐集當地居民意見之效率。

當地居民之意見將與後續 NGO 組織之意見共同整理成表格。

1. 鄉長

滿州鄉

2. 村長

滿州村、里德村、永靖村、港口村、響林村、長樂村、九棚村、港仔村

3. 社區發展協會理事長

滿州社區、里德社區、永靖社區、港口社區、響林社區、長樂社區、分水嶺社區、九棚社區、港仔社區

3.1.2 NGO 組織

在港口溪集水區中，相關利害關係人包含許多 NGO 組織，如屏東縣環境保護聯盟、落山風解說工作室、東峰生態工作室、臺灣蜻蜓協會等，透過上述各種生態環境團體，能從更多面向探討港口溪集水區所面臨的問題，以便後續選定待分析之問題。

將當地居民與 NGO 組織所提出之意見稍作分類，除了分成表 3-1 提到之三大類，同時將面臨問題之區域細分上、中、下游或全區，如表 3-2 所示。

表 3-2 當地居民與 NGO 組織意見整理表

區域	項目	課題	提出單位人員
下游	生活	港口村附近 6 條坑溝過往為達治理成效以三面光工法進行，間接造成粗糙度下降，流速增加，希望未來可討論改善方案。	港口社區生態旅遊解說員
	生產	農作偶見受梅花鹿破壞，造成農民的困擾，希望可以透過相關計畫，輔導農民防範。	港口社區生態旅遊解說員

	生態	草鴉過去曾有出現在河口地區的紀錄，近年則沒有紀錄，此生態資訊可提供給相關單位。	臺灣蜻蜓學會
中游	生活	對於目前提出的韌性補助表示肯定，可鼓勵民眾接受溢淹區劃設或緩坡化，除減少對生態的影響外，亦可增加防減災的空間。	東峰生態工作室、臺灣蜻蜓學會、港口社區生態旅遊解說員、落山風解說工作室
	生產	支流攬仁溪近年多種植兩來菇，因此水資源分配的課題越加重要。	里德村、里德社區發展協會、屏東環境保護聯盟
	生態	支流林祿溪與港口溪匯流口，常見外來種刺軸含羞木，於河灘地大肆生長，希望可以有移除計畫。	里德社區發展協會、屏東環境保護聯盟、永靖村、里德村
上游	生活	長樂村下部落因位於地質災害敏感區，近年開始有遷村的討論，可參考分水嶺部落(已完成遷村)過去的經驗，來持續推動。	落山風解說工作室
	生產	在地農產品(如：黑豆及盤固拉牧草)之附加價值普遍偏低，希望有相關單位可以輔導。	港口社區生態旅遊解說員
	生態	可持續維護原始自然地貌，維持生物多樣性高的環境。	臺灣蜻蜓學會、落山風解說工作室
全區	生活	公所有「水保服務團」的設立，民眾如有需求可前往諮詢了解，可多加利用。	屏東縣政府水利處
	生產	集水區內常見農作受台灣獼猴破壞	港口社區居民、落山風解說工作室
		農業生產可參考「墾丁國家公園友善農業」的模式經營。	墾丁國家公園管理處
	生態	外來種刺軸含羞木，於河灘地大肆生長，希望後續可以有移除計畫。	里德社區發展協會、屏東環境保護聯盟、永靖村、里德村
早期為達治理成效，集水區內部分區域以三面光工法施做，希望未來可討論改善方案。		東峰生態工作室、臺灣蜻蜓學會、里德村、里德社區發展協會、港口社區生態旅遊解說員	

(資料來源：112 年度集水區調適規劃研究計畫-港口溪集水區)



3.1.3 相關政府單位

除了與在地人士交流之外，相關政府單位的意見也需要進行整合，對於政府部門之間各單位之權責分工或跨機關之合作，以及確認不同意見預設調適策略之可行性。

與港口溪集水區相關之政府單位包含農業部農村發展及水土保持署臺南分署、農業部林業及自然保育署屏東分署、農業部農田水利署屏東管理處、經濟部水利署第七河川分署、財政部國有財產署南區分署、墾丁國家公園管理處、屏東縣政府、屏東縣滿州鄉公所、屏東縣牡丹鄉公所及屏東縣恆春鎮公所等。

對於政府部門各單位之權責分工或跨機關合作，以及確認不同問題預設調適策略之可行性，皆需要進一步進行討論，故本研究整理透過現地勘查、統整當地居民及 NGO 組織所提出之意見，以及初步之二維水理及輸砂模式分析，選定數個港口溪集水區所面臨之問題，並整理相關政府單位之意見，如表 3-3 所示。



表 3-3 相關政府單位之意見整理

內容說明	分工討論	結論
<p>經本研究初步分析港口溪及小路溪匯流處在港口溪集水區之保護標準 Q50 情境下發生溢淹，希望能運用水砂溢淹區及緩衝綠帶等規劃推動調適策略之方案。</p>	<p>農業部農村發展及水土保持署臺南分署：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.港口溪及小路溪匯流處經查現況為私有土地。 2.農村發展及水土保持署為提升山坡地韌性承災能力、降低易致災區域淹水風險、控制土壤沖蝕及營造生物棲地，將集水區保育治理策略，除工程治理手段外，納入藏水、保土、自然解方及生態永續之調適策略，於 112 年 10 月 15 日推動韌性坡地補助試辦方案正式通過，規劃辦理棲地友善、緩衝綠帶及水砂溢淹區等三項補助，作為推動韌性坡地之措施。 3.有關緩衝綠帶希望能請教農業部林業及自然保育署屏東分署提供專業建議(如植栽配置、樹種選擇及樹苗提供等)，以利於緩衝綠帶之營造。 <p>農業部林業及自然保育署屏東分署：</p> <p>建議參考農業部農村水保署於 101 年 12 月出版「緩衝綠帶適生植物及其栽植方法彙編」，農業部林業及自然保育署屏東分署可提供該書建議之苗木，並以適地適種為原則。</p>	<p>後續針對水砂溢淹區進行更細部之模擬，緩衝綠帶之設置除參考 101 年 12 月出版之書籍外，也會洽詢農業部林業及自然保育署之專業建議。</p>
<p>經本研究初步分析永港橋上游左岸地勢低處在港口溪集水區保護標準之 Q50 情境下發生溢淹，希望能運用水砂溢淹區及緩衝綠帶等規劃推動調適策略之方案，經查溢淹範圍鄰近河川區域且為公有土地。</p>	<p>農業部農村發展及水土保持署臺南分署：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1.永港橋上游左岸地勢低處鄰近河川區域且為公有土地(國有財產署)。 2.農村發展及水土保持署於 112 年 10 月 15 日推動韌性坡地補助試辦方案正式通過，規劃辦理棲地友善、緩衝綠帶及水砂溢淹區等三項補助。 3.以永港橋上游左岸溢淹區域為例，由於鄰近河川區域且為公有地，需與經濟部水利署第七河川分署及屏東縣政府共同確認可供水砂溢淹區及緩衝綠帶規劃設置之區域。 4.有關緩衝綠帶，希望請教農業部林業及自然保育署屏東分署提供專業建 	<p>後續針對水砂溢淹區進行更細部之模擬，緩衝綠帶之設置除參考 101 年 12 月出版之書籍外，也會洽詢農業部林業及自然保育署之專業建議。</p>



	<p>議(如植栽配置、樹種選擇及樹苗提供等)，以利於緩衝綠帶之營造。</p> <p>農業部林業及自然保育署屏東分署： 建議參考農業部農村水保署於 101 年 12 月出版「緩衝綠帶適生植物及其栽植方法彙編」，農業部林業及自然保育署屏東分署可提供該書建議之苗木，並以適地適種為原則。</p> <p>經濟部水利署第七河川分署： 無意見</p> <p>屏東縣政府： 1.對於公有土地設置水砂溢淹區，無意見。 2.設置在私有土地若能取得居民同意，無意見。 3.因應法規，對於使用公有土地設置緩衝綠帶，無意見。</p>	
<p>近年來攬仁橋上游支流攬仁溪沿岸雨來菇業者數量增加，需要大量灌溉用水，且取水管線欠缺規劃，亦存在水資源分配的問題。</p>	<p>農業部農村發展及水土保持署臺南分署： 可提供資料蒐集(如取水區域及取水量)，亦可請教相關單位提供既有或未來可能改善方案之構想。</p> <p>屏東縣政府： 當地舊有灌溉設施已廢棄，屏東縣政府對於灌溉用水無管轄權。</p> <p>農業部農田水利署屏東管理處： 1.攬仁溪於民國 71 年以後便已經劃出農田水利署的事業區外，之後便無興建灌溉用水設施。 2.民國 109 年後，配合改制有擴大灌溉服務計畫，可套用在攬仁溪區域對農民的改善。 3.擴大灌溉服務內容包括：水源之水權、設施盡量設置在公有地上、若有設置於私有地需取得同意書。補助計畫可由滿州鄉公所提出，送屏東縣政</p>	<p>將相關政府單位所提供之資訊轉達給當地居民，以逐漸改善攬仁溪區域水資源問題。</p>



	<p>府書審，申請書可提及當地作物產能及經濟價值。</p> <p>4.當地具有農田水利作業基金土地，若有配合農田灌溉之需求，農田水利署皆會同意使用。</p> <p>5.若有個人需要申請管線等灌溉設施，農田水利署有旱作補助，可補助至大約 49%。</p>	
<p>港口溪近出海口右岸排水，匯入港口溪主流既有構造物毀損，形成高約 2 公尺之落差，阻隔水域生物棲息(感潮段高生態系服務潛勢區域)。</p>	<p>農業部農村發展及水土保持署臺南分署： 針對此議題，希望請教相關單位提供未來可能改善方案之構想。</p> <p>屏東縣政府： 屏東縣政府將於後續現地勘查後再提出意見。</p> <p>經濟部水利署第七河川分署： 無意見</p> <p>墾丁國家公園管理處： 無意見</p>	<p>提供此案例之位置座標：TWD97 (X = 232931, Y = 2432175)，提供屏東縣政府現地勘查及後續改善方案之構想。</p>
<p>支流林祿溪與港口溪匯流處刺軸含羞木蔓延嚴重，於河灘地大肆生長，生態團體極為重視，希望逐步推動改善計畫。</p>	<p>農業部農村發展及水土保持署臺南分署： 1.針對此議題，希望請教相關單位提供未來可能改善方案之構想，如移除計畫等。 2.建議屏東縣政府於工程預算編列時，將稻草或種子敷蓋採密集鋪設方式辦理，以減少刺軸含羞木生長空間。</p> <p>屏東縣政府： 刺軸含羞木於施工當下協同廠商清除，完工後便無經費清除。後續會研擬是否編列專責經費清除入侵物種。</p> <p>經濟部水利署第七河川分署： 因港口溪集水區未涉及經濟部水利署第七河川分署之轄區，故未能支援外</p>	<p>為防止刺軸含羞木蔓延，需請屏東縣政府於日後編列工程預算時，將額外編列排除外來種之工法所需經費。</p>



	<p>來種移除工作。</p> <p>農業部林業及自然保育署屏東分署： 農業部林業及自然保育署屏東分署於民國 109 年成立「高屏澎地區外來入侵植物防治聯繫平台」，定期召開會議邀請相關機關針對港口溪刺軸含羞木分年分期執行排除工作，並與墾丁國家公園管理處確認一處地點是否為陸蟹或其保育熱點，避免進行排除工作時影響陸蟹生態及破壞物種棲地；另外港口溪為國土滷網關注獨流溪，下游位恆春半島海岸保育軸帶，需關注保育棲地及物種</p> <p>墾丁國家公園： 無意見</p>	
--	---	--

(資料來源：112 年度集水區調適規劃研究計畫-港口溪集水區)



3.1.4 意見整理後選定後續分析之問題

透過文獻回顧、現地勘查以及統整利害關係人之意見，並且考量使用二維水理及輸砂模式分析之可行性，最終選定以下三個問題，以 HEC-RAS 2D 不同模擬方法進行後續之研究。

1. 河道溢淹問題

經由初步模擬結果發現，位於小路溪與港口溪匯流處為淹水潛勢區域，並透過與當地居民和相關政府單位交流後，確認此處每逢雨量較大時，便會沖毀堤防等設施，導致淹水災害發生，進而使保全對象受損，故後續研究將透過 HEC-RAS 2D 之定床模擬針對此區域分析淹水潛勢，並設計相對應之調適策略。

小路溪與港口溪匯流處位置如圖 3-1 所示。



圖 3-1 小路溪與港口溪匯流處位置

2. 河道土砂沖淤問題

經由現地勘查後發現，泰安橋下游處之舊有整治工程，其固床工下游處發生嚴重沖刷坑，如所示，除了有固床工毀損之安全疑慮外，較大之落差也使生物縱向廊道遭受阻隔，對此，本研究後續將透過 HEC-RAS 2D 之動床模擬分析河道土



砂運移之情形，並設計相對應之調適策略。

泰安橋下游處之舊有整治工程位置如圖 3-2 所示。



圖 3-2 泰安橋下游處之舊有整治工程位置

3. 土石流潛勢溪流

透過蒐集相關文獻後了解港口溪集水區內有三條土石流潛勢溪流，其中兩條



曾發生嚴重之土砂災害，災後已有整治工程，後續研究也將透過 HEC-RAS 2D 之土石流模擬分析土石流潛勢溪流之影響範圍，並利用模擬結果檢驗現有避難計畫之合理性。

港口溪內的三條土石流潛勢溪流分布位置如所示。

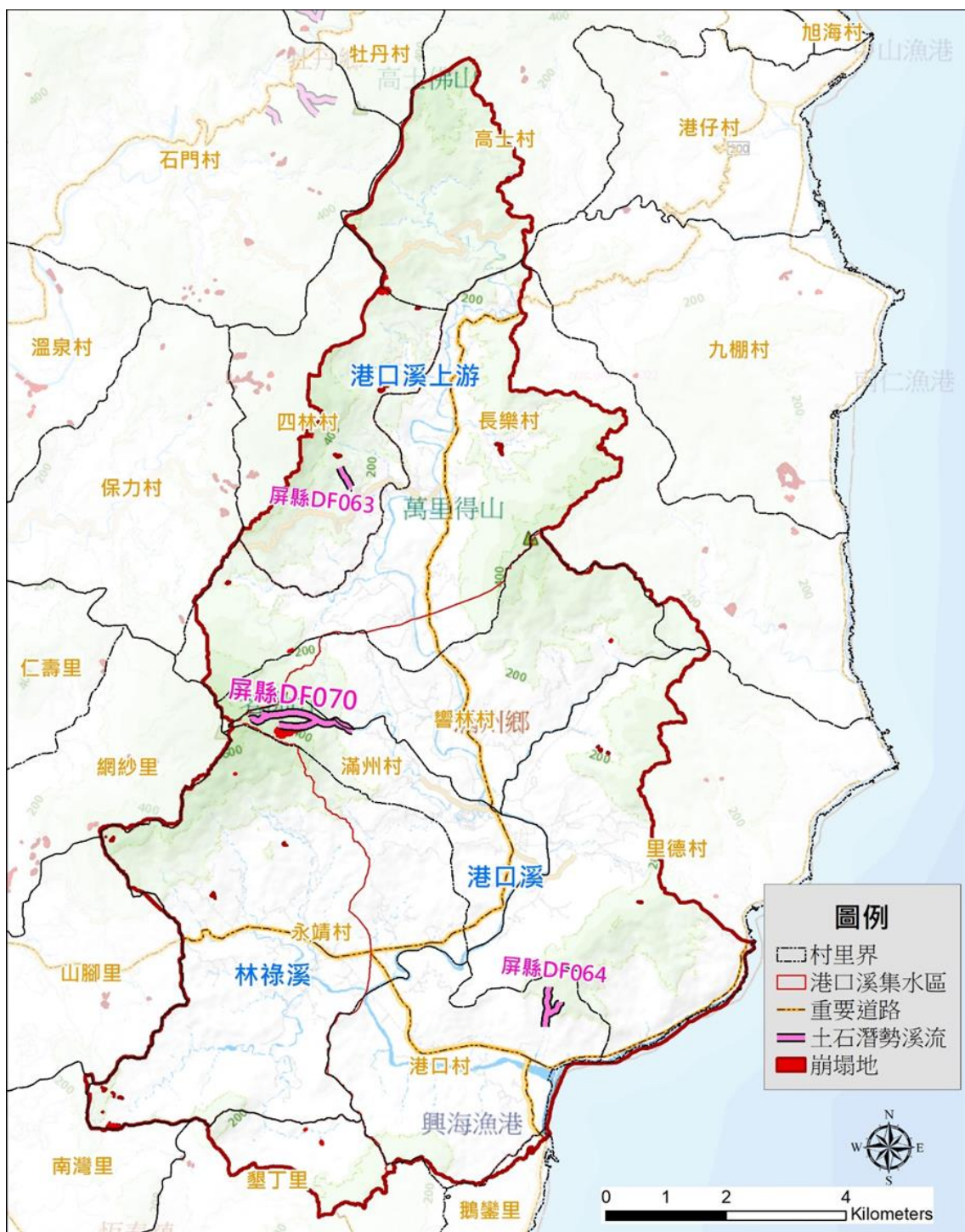


圖 3-3 港口溪集水區內土石流潛勢溪流空間分布圖



3.2 HEC-RAS 2D 模擬

二維水理及輸砂模式是分析集水區之水砂災害常見的一種工具，本研究從眾多水理及輸砂模式中選定 HEC-RAS 2D 建立數值模型，透過參數設定及模式驗證等，在確定建立之數值模型有一定的可信度後，再利用所得之模擬結果分析港口溪流集水區之水砂災害及調適策略。

3.2.1 模式介紹

HEC-RAS 為美國陸軍工兵團 (U. S. Army Corps of Engineers, USACE) - 水文研究中心 (Hydrologic Engineering Center, HEC) 所開發之水理及輸砂模式分析工具，二維模擬之主要控制方程式為質量守恆方程式 (Mass conservation equation) 與動量方程式 (Momentum equation)，分別如下所示：

1. 質量守恆方程式 (Mass conservation equation)

不可壓縮流之二維流體連續方程式如(式 3.1 所示

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \quad (\text{式 3.1})$$

式中 t 為時間， u 為 x 方向之速度， v 為 y 方向之速度， q 為單位流量。若將上式以向量方式表示，則如(式 3.2 所示

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \nabla \cdot (hV) + q = 0 \quad (\text{式 3.2})$$

其中， $V = (u, v)$ 為二維速度向量， ∇ 為向量微分算子，在二維情況下，

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$$

2. 動量方程式 (Momentum equation)

當流場內的水深水平方向尺度遠大於垂直方向尺度時，可忽略垂直方向之速度，並假設水流為靜水壓力分佈，三維動量方程式如(式 3.3 及(式 3.4 所示。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + V_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f_v \quad (\text{式 3.3})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + V_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f_u \quad (\text{式 3.4})$$

其中， u 為 x 方向卡氏座標之速度， v 為 y 方向卡氏座標之速度， g 為重力加速度， V_t 為水平方向之渦流黏滯係數， c_f 為底床摩擦係數， f 為科氏參數。若將上述兩式以向量表示，則如(式 3.5 所示

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + \mathbf{V} \cdot \nabla \mathbf{V} = -g \nabla H + V_t \nabla^2 \mathbf{V} - c_f \mathbf{V} + \mathbf{k} \times \mathbf{V} \quad (\text{式 3.5})$$

其中 $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$ ， \mathbf{k} 為垂直方向上之單位向量。

在二維模式演算過程中，其控制方程式可分為二維擴散波方程式 (diffuse wave equations) 及二維聖維南方程式 (Saint Venant equations)，如(式 3.6~(式 3.9 所示，兩者計算時皆採用有限體積法 (Finite Volume Method, FVM)，以下針對兩種方程式進行大略說明。

$$\text{Diffuse wave equations:} \quad C = \frac{V \Delta T}{\Delta X} \leq 2.0 (\text{當 } C \text{ 有最大值 } 5.0) \quad (\text{式 3.6})$$

$$\Delta T = \frac{\Delta X}{V} (\text{當 } C = 2.0) \quad (\text{式 3.7})$$

$$\text{Saint Venant equations:} \quad C = \frac{V \Delta T}{\Delta X} \leq 1.0 (\text{當 } C \text{ 有最大值 } 3.0) \quad (\text{式 3.8})$$

$$\Delta T = \frac{\Delta X}{V} (\text{當 } C = 1.0) \quad (\text{式 3.9})$$

其中 C 為庫朗數 (Courant number)， V 為波速， ΔT 為計算時距， ΔX 為平均網格大小。

二維擴散波方程式是模組默認之求解方法，其運算速度快且穩定性高，大多數二維建模都以擴散波方程式計算；二維聖維南方程式是一種全動量的計算方法，可以用於模擬紊流與柯氏力效應，但會使模擬時間拉長，導致數值不穩定的可能性增加，故在模擬時需要更小的演算時間步長。(呂冠毅，2022)

根據 HEC-RAS 2D 6.2 版使用手冊，其建議可於建模時將兩種方程式都進行模擬，根據模擬結果決定繼續使用何種模式，並且提到部分情況下使用聖維南方程式將會是更好的選擇，以下將稍作說明：



1. Highly Dynamic Flood Waves:

若在執行潰壩或山洪分析時，洪水波將快速上升及下降，速度及加速度在空間和時間上的變化都較大，為獲得準確的模擬結果，應使用聖維南方程式。

2. Abrupt Contractions and Expansions:

若有突然收縮或擴張的區域，利用聖維南方程式能更準確地模擬。

3. Flat Sloping River Systems:

在模擬坡度較為平坦的河流時，若重力和摩擦力不是作用在水體上的主要用力，使用聖維南方程式較為適合。

4. Tidally Influenced Conditions:

若模擬區域為受潮汐影響的海灣、河口或河流，潮汐之波的傳遞無法用擴散波方程式建模。

5. General Wave Propagation Modeling:

若需要對快速打開或關閉結構所導致的波進行建模，及波在牆壁或物體周圍上升等情況，需使用聖維南方程式。

6. Super Elevation around Bends:

若在模擬渠道中有急彎，且欲查看彎道凹岸處之水面高是否溢出岸頂，應使用聖維南方程式。


7. Detailed Velocities and Water Surface Elevations at Structures:

若想嘗試計算水工結構物及其附近的詳細速度分布，使用聖維南方程式將會得到更準確的結果。

8. Mixed Flow Regime:

利用聖維南方程式能更準確地模擬亞臨界流及超臨界流之間的轉變。

參考 HEC-RAS 2D 使用手冊之說明，本研究定床模擬及土石流模擬採用模式預設之二維擴散波方程式，動床模擬則是選擇使用二維聖維南方程式作為模式輸入之參數。



利用 HEC-RAS 2D 進行水理分析時，其主要步驟為利用兩型及單位歷線進行疊加，得到流量歷線後輸入 HEC-RAS 2D 模式，並分析模擬結果。本研究關於 HEC-RAS 2D 之輸入參數設定參考民國 99 年「易淹水地區水患治理計畫」屏東縣管河川港口溪水系規劃報告，其水文資料統計至民國 94 年。

淹水潛勢以 HEC-RAS 2D 變量流定床模擬，其模擬將同時作為模式可信度之驗證。河道土砂運移方式以 HEC-RAS 2D 變量流動床模擬，其模擬結果顯示河道中構造物之上下游處土砂平衡狀態，以利後續設計調適策略。土石流則是以 HEC-RAS 2D 變量流土石流模組的方式進行模擬，分析土石流潛勢溪流之影響範圍，後續再以模擬結果檢驗現有應變對策中避難所及避難路線之合理性。

3.2.2 參數設定

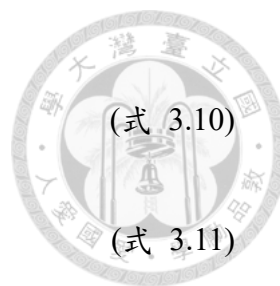
HEC-RAS 2D 在模擬時有許多參數需要進行設定，如數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 即為重要的分析基礎，本研究定床模擬以及土石流模擬採用 20 公尺解析度之 DEM，動床模擬則利用申請之 1 公尺解析度 DEM 模擬局部區域。

網格設定的部分，定床模擬及土石流模擬採用 $10\text{m} \times 10\text{m}$ ，動床模擬則是於模擬範圍使用 $3\text{m} \times 3\text{m}$ ，構造物建置使用 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 。另外在設置網格時，參考港口溪治理規劃報告所建議，將其曼寧 n 值設定為 0.035。

其餘參數設定將透過以下章節進行說明。

1. 水文頻率分析

採用鄰近流域且紀錄年限較長之牡丹、石門、恆春(1)、恆春(2)四座雨量站資料，以徐昇多邊形法求得各雨量站所控制之流域面積權度，如表 3-4 所示，推算集水區平均雨量，再分別以三參數對數常態、皮爾遜 III 型、對數皮爾遜 III 型及極端值 I 型等四種機率分佈進行降雨頻率分析，利用卡方檢定進行機率分佈之適合度檢定，確定四種機率分佈均通過卡方檢定後，以平方差和(SSE)及標準誤差(SE)兩種方式加以確認最佳之機率分佈，公式如下：



$$SSE = \left[\sum_{i=1}^n (X_i - \hat{X}_i)^2 \right] \quad (式 3.10)$$

$$SE = \left[\frac{SSE}{n-r} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (式 3.11)$$

式中：

n：資料年數

r：機率分佈之參數個數

X_i ：實測資料由大至小排列之第 i 大值

再利用 Hazen 點繪法計算求得 SE 及 SSE 之最小值之分佈即為最佳分佈，表 3-5 及表 3-6 為港口溪集水區一日及二日最大暴雨之機率分佈，綜觀表內 SE 及 SSE 值，選定對數皮爾遜 III 型為最適當之機率分佈。

由於本研究區域河道坡陡流急，急流時間較短，故依規劃報告分析結果，採用一日降雨量較為適宜。

表 3-4 港口溪流域雨量站其控制面積及權度表

測站		面積(km ²)	權度(%)
1850P001	牡丹	2.17	2.14
1850P002	石門	34.07	33.50
467590	恆春(1)	34.07	15.78
1865P003	恆春(2)	16.05	48.58
合計		101.69	100.00

(資料來源：「易淹水地區水患治理計畫」屏東縣管河川港口溪水系規劃報告)

表 3-5 港口溪流域各重現期距一日最大暴雨量機率分佈表

機率分佈 重現期距	LOG-NORMAL	PEARSON	LOG-PEARSON	EXTREME
	III (mm)	III (mm)	III (mm)	I (mm)
2	213.0	209.8	214.7	217.3

5	295.2	295.7	296.7	309.3
10	352.3	355.6	352.5	370.2
20	408.8	413.7	407.2	428.6
25	427.0	432.2	424.8	447.2
50	484.2	489.2	479.8	504.2
100	542.8	545.9	535.8	560.9
(SSE)	7497	9322	7972	14270
(SE)	13.2	14.72	13.62	18.01

Mean	Value	=	231.935
Standard	Deviation	=	93.64
Skewness	Coefficient	=	1.518

(資料來源：「易淹水地區水患治理計畫」屏東縣管河川港口溪水系規劃報告)

表 3-6 港口溪流域各重現期距二日最大暴雨量機率分佈表

機 率 分 佈 重 現 期 距	LOG-NORMAL	PEARSON	LOG-PEARSON	EXTREME
	III (mm)	III (mm)	III (mm)	I (mm)
2	288.6	284.1	295.8	294.9
5	387.6	387.8	394.8	406.3
10	457.4	461.6	458.4	480.1
20	527.2	534.0	518.0	550.9
25	549.9	557.1	536.7	573.4
50	621.5	628.9	593.8	642.5
100	695.4	700.6	650.1	711.2
(SSE)	37930	42420	35120	44400
(SE)	29.7	31.41	28.58	31.77



Mean	Value	=	312.63
Standard	Deviation	=	113.44
Skewness	Coefficient	=	1.635

(資料來源：「易淹水地區水患治理計畫」屏東縣管河川港口溪水系規劃報告)

2. 雨型設計

使用治理規劃報告所採用之 Horner 降雨強度公式，計算得到各延時之降雨強度，如(式 3.12 所示。

$$I_T = \frac{a}{(T + b)^c} \quad \text{(式 3.12)}$$

式中：

I_T ：降雨延時 T 小時內之平均降雨強度(mm/hr)

T：降雨延時(min)

a、b、c：常數

因權重最大之恆春(2)為普通雨量站，無時雨量記錄，故採權重次之的石門站作為雨型代表，依照經濟部水利署提供之臺灣地區雨量測站降雨強度-延時 Horner 公式分析，如表 3-7 所示。

透過 Horner 降雨強度公式計算出各單位時間之降雨量後，利用位序法設計雨型，將降雨量百分比最大值放在第 12 小時，按照大小依次左右排列，如圖 3-4 所示。

表 3-7 石門站 Horner 公式參數表

重現期距(年)	a	b	C
2	1040.013	18.256	0.5972
5	934.951	10.688	0.5409
10	810.131	5.644	0.4984
20	711.614	1.482	0.4616

25	685.197	0.542	0.4508
50	603.573	-2.998	0.4175
100	544.380	-5.060	0.3888

(資料來源：「易淹水地區水患治理計畫」屏東縣管河川港口溪水系規劃報告)

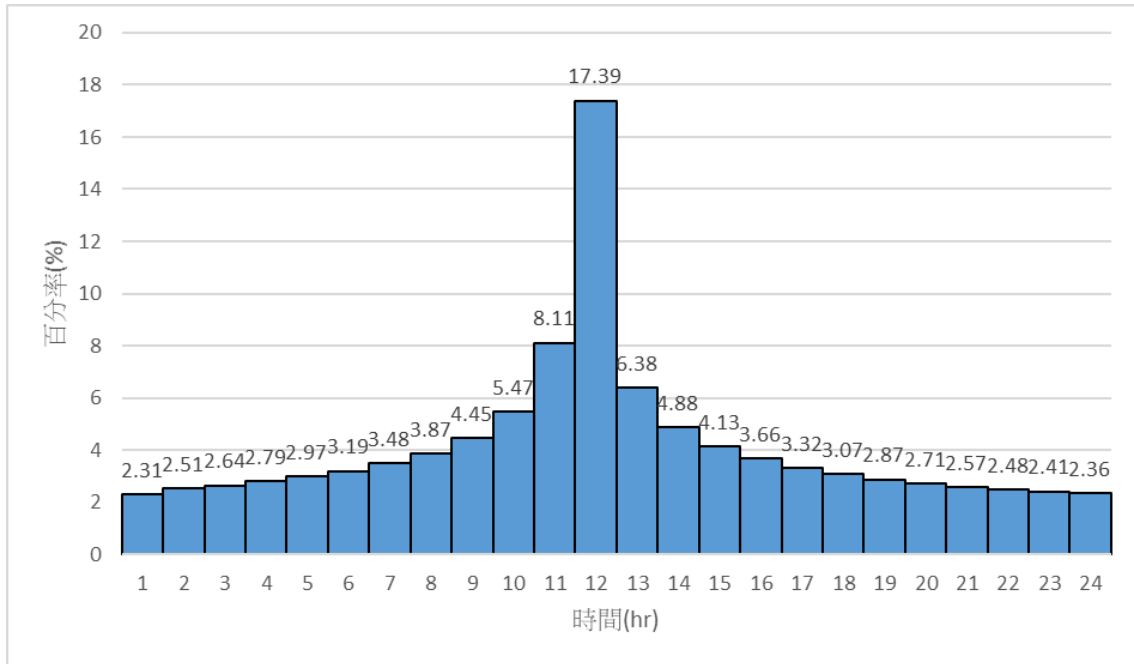


圖 3-4 設計雨型(25 年重現期距)

(資料來源：「易淹水地區水患治理計畫」屏東縣管河川港口溪水系規劃報告)

3. 單位歷線

計算單位歷線常見的方法有三角形單位歷線法及順時單位歷史線法，也可以使用合理化公式推估洪峰流量後再計算單位歷線。本研究採用治理規劃報告所建議使用之方法，即三角形單位歷線法。

依據美國水土保持局之經驗公式：

$$Q_p = \frac{0.208 \times A \times R_e}{T_p} \quad (\text{式 3.13})$$

$$T_p = \frac{D}{2} + 0.6T_c \quad (\text{式 3.14})$$

$$T_r = 1.67T_p \quad (\text{式 3.15})$$



式中：

Q_p ：洪峰流量(cms)

A ：流域面積(km²)

R_e ：超滲雨量(mm)

T_p ：開始漲水至洪峰發生之時間(hr)

D ：單位降雨延時(hr)，需與雨型單位刻度一致

T_r ：洪峰流量發生至歷線終端之時間(hr)

T_c ：集流時間(hr)

其中雨型單位刻度 D 由 T_c 之推算值依下列原則選擇。

$$T_c > 6\text{hr} \quad D = 1.0\text{hr} \quad (\text{式 } 3.16)$$

$$3\text{hr} < T_c \leq 6\text{hr} \quad D = 0.8\text{hr} \quad (\text{式 } 3.17)$$

$$1\text{hr} < T_c \leq 3\text{hr} \quad D = 0.4\text{hr} \quad (\text{式 } 3.18)$$

$$T_c \leq 1\text{hr} \quad D = 0.15\text{hr} \quad (\text{式 } 3.19)$$

集流時間 T_c 採用治理規劃報告所建議之加州公路局公式，如(式 3.20 所示

$$T_c = \left(\frac{0.87L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (\text{式 } 3.20)$$

L ：集水區內排水路最上游點至控制點水平距離(km)

H ：集水區內排水路最上游點至控制點高程差(m)

依上述公式及集水區特性，可得三角形單位歷線參數，如表 3-8 所示。再利用各重現期距 24 小時暴雨量及暴雨時間分配之設計雨型，扣除治理規劃報告所建議之降雨損失 4.5 mm/hr，並應用線性疊加原理推算各重現期距之流量歷線，以及其洪峰流量，如表 3-9 所示。

表 3-8 集水區特性及三角形單位歷線參數表

控制點	集水 面積 $A(\text{km}^2)$	流路長 $L(\text{km})$	高差 $H(\text{m})$	集流 時間 $T_c(\text{hr})$	降雨 延時 $D(\text{hr})$	洪峰 時間 $T_p(\text{hr})$	$T_r(\text{hr})$	基期 時間 $T_b(\text{hr})$

出海口	101.69	31.18	400	5.02	0.8	3.41	5.69	9.10
林祿溪 匯流前	69.03	27.27	390	4.34	0.8	3.00	5.02	8.02
攬仁溪 匯流前	39.61	20.65	364	3.23	0.8	2.34	3.91	6.25
林祿溪 出口	22.97	6.50	150	1.20	0.4	0.92	1.53	2.45
攬仁溪 出口	10.22	4.20	100	0.84	0.15	0.58	0.97	1.55

(資料來源：「易淹水地區水患治理計畫」屏東縣管河川港口溪水系規劃報告)

表 3-9 三角形單位歷線法計算之洪峰流量結果表

重現期距 洪峰流量	Q ₂ (cms)	Q ₅ (cms)	Q ₁₀ (cms)	Q ₂₀ (cms)	Q ₂₅ (cms)	Q ₅₀ (cms)	Q ₁₀₀ (cms)
出海口	611	784	879	965	991	1068	1213
林祿溪匯流前	445	569	636	696	714	767	818
攬仁溪匯流前	294	373	413	449	460	490	519
林祿溪出口	275	343	375	401	409	429	447
攬仁溪出口	150	186	202	217	220	233	243

(資料來源：「易淹水地區水患治理計畫」屏東縣管河川港口溪水系規劃報告)

4. 支流之入流歷線

透過上述治理規劃報告能夠得到部分控制點之洪峰流量及流量歷線，再透過 ArcGIS 將集水區進行分割，利用分割後的面積與控制點以上的面積之比值，將其與所對應控制點之數據相乘，即可換算支流之洪峰流量及入流歷線。

ArcGIS 集水區分割之功能為 ArcMap 中數個功能之結合，透過以下數個步驟，可以將一個集水區切割成數個子集水區，以供後續利用面積比換算洪峰流量及流量歷線。



(1) Fill

因原始 DEM 中可能有些窪地，故透過 Spatial Analyst Tools, Hydrology, Fill 之功能，將窪地填充，以避免模式在分割子集水區時判斷錯誤。

(2) Flow Direction

利用 Fill 生成之新的 DEM 檔案，透過 Spatial Analyst Tools, Hydrology, Flow Direction，生成流向。

(3) Flow Accumulation

利用上個步驟生成之流向，透過 Spatial Analyst Tools, Hydrology, Flow Accumulation 計算流量相加。

(4) Raster Calculator

透過 Spatial Analyst Tools, Map Algebra, Raster Calculator 計算各子集水區的大小，可自行定義網格數之門檻值，以呈現設想之子集水區。

(5) Stream Link

利用上個步驟所得到之 Stream Raster 與先前的 Flow Direction，透過 Spatial Analyst Tools, Hydrology, Stream Link 計算各個子集水區之最低點。

(6) Watershed

利用 Flow Direction 與 Stream Link，透過 Spatial Analyst Tools, Hydrology, Watershed 計算各個子集水區之邊界。

透過以上六個步驟，如圖 3-5~圖 3-10 所示，將原先之集水區切割成數個子集水區，再將各支流所對應子集水區之面積與距離最近之控制點所涵蓋之面積相除，利用面積比與控制點之洪峰流量及流量歷線推估支流之輸入參數。

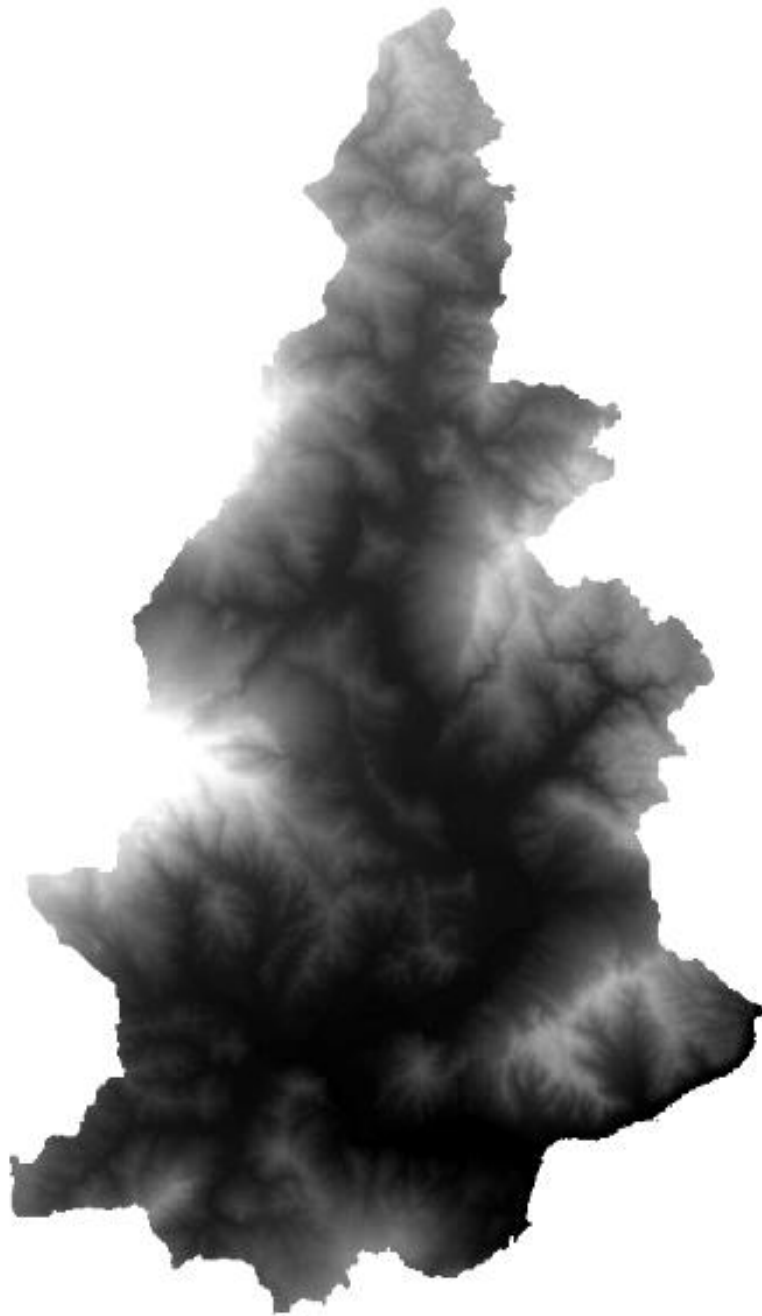


圖 3-5 ArcGIS 切割子集水區步驟 1 (Fill)

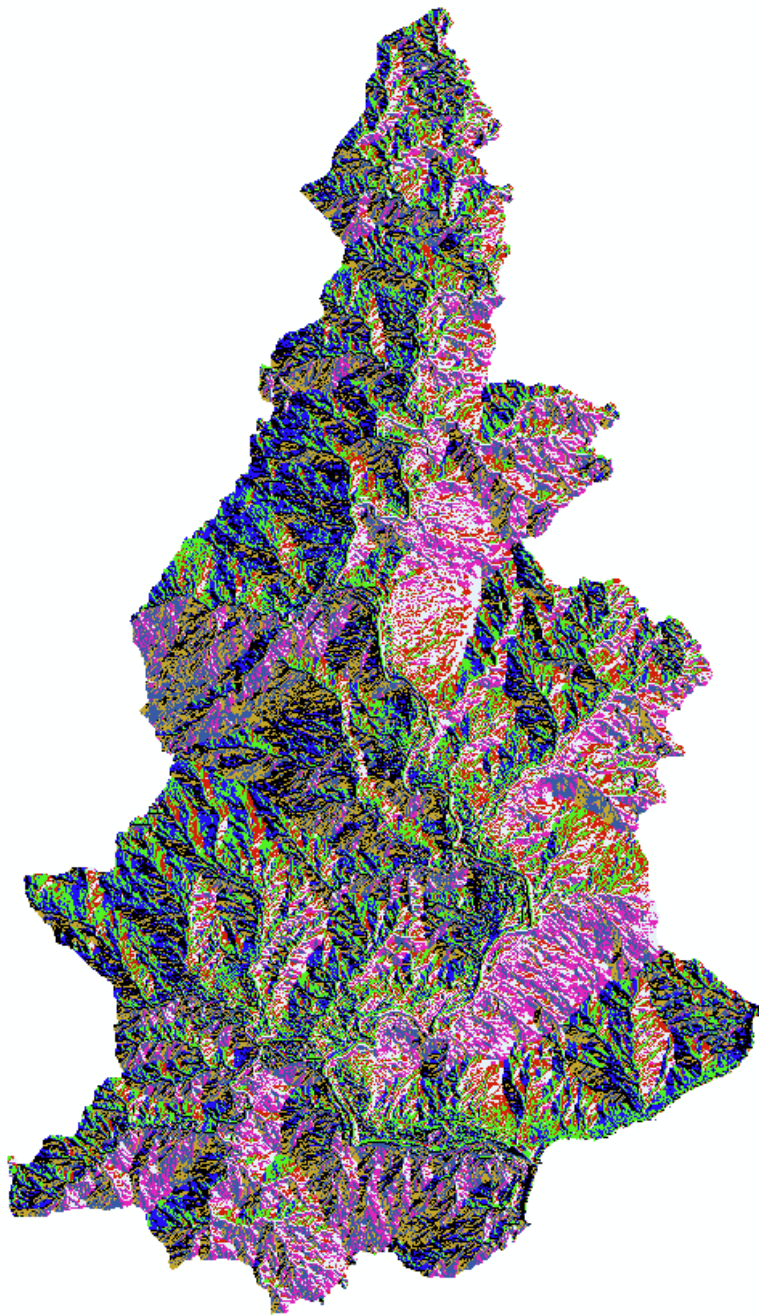


圖 3-6 ArcGIS 切割子集水區步驟 2 (Flow Direction)

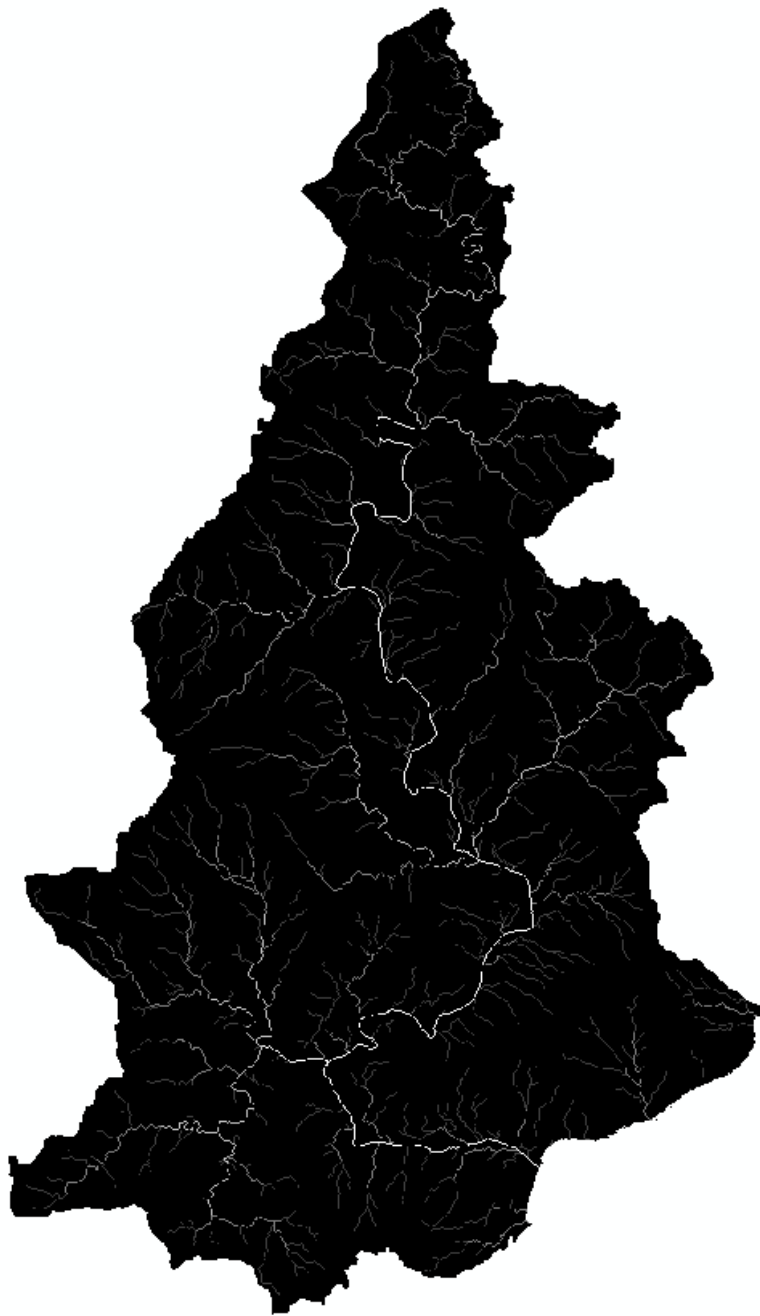


圖 3-7 ArcGIS 切割子集水區步驟 3 (Flow Accumulation)

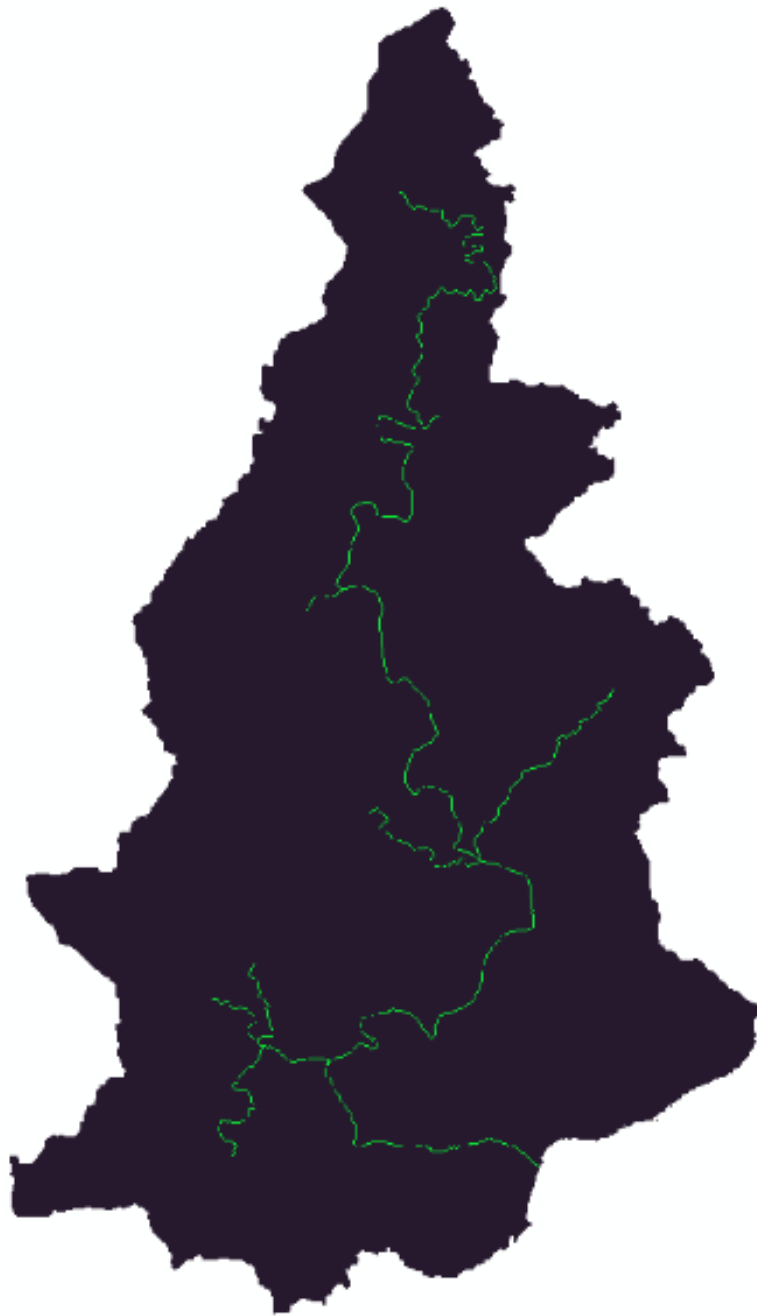


圖 3-8 ArcGIS 切割子集水區步驟 4 (Raster Calculation)

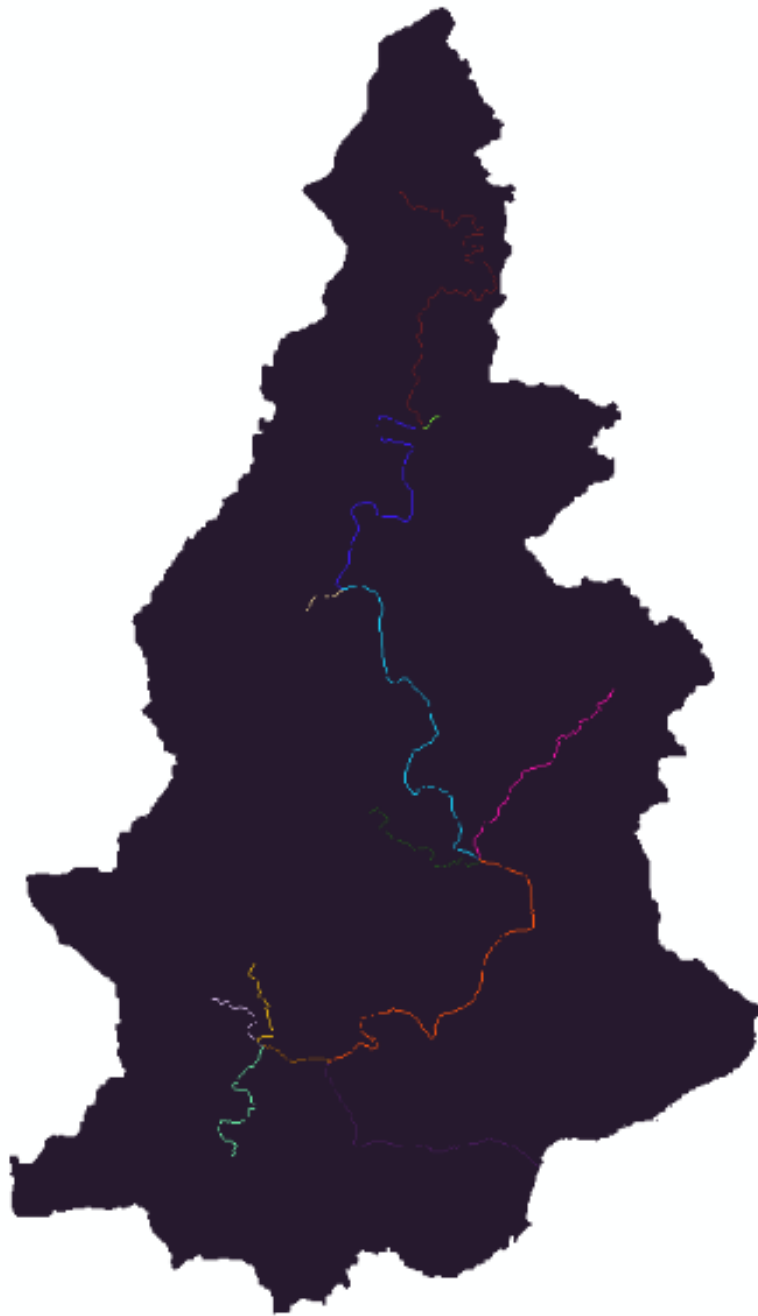


圖 3-9 ArcGIS 切割子集水區步驟 5 (Stream Link)

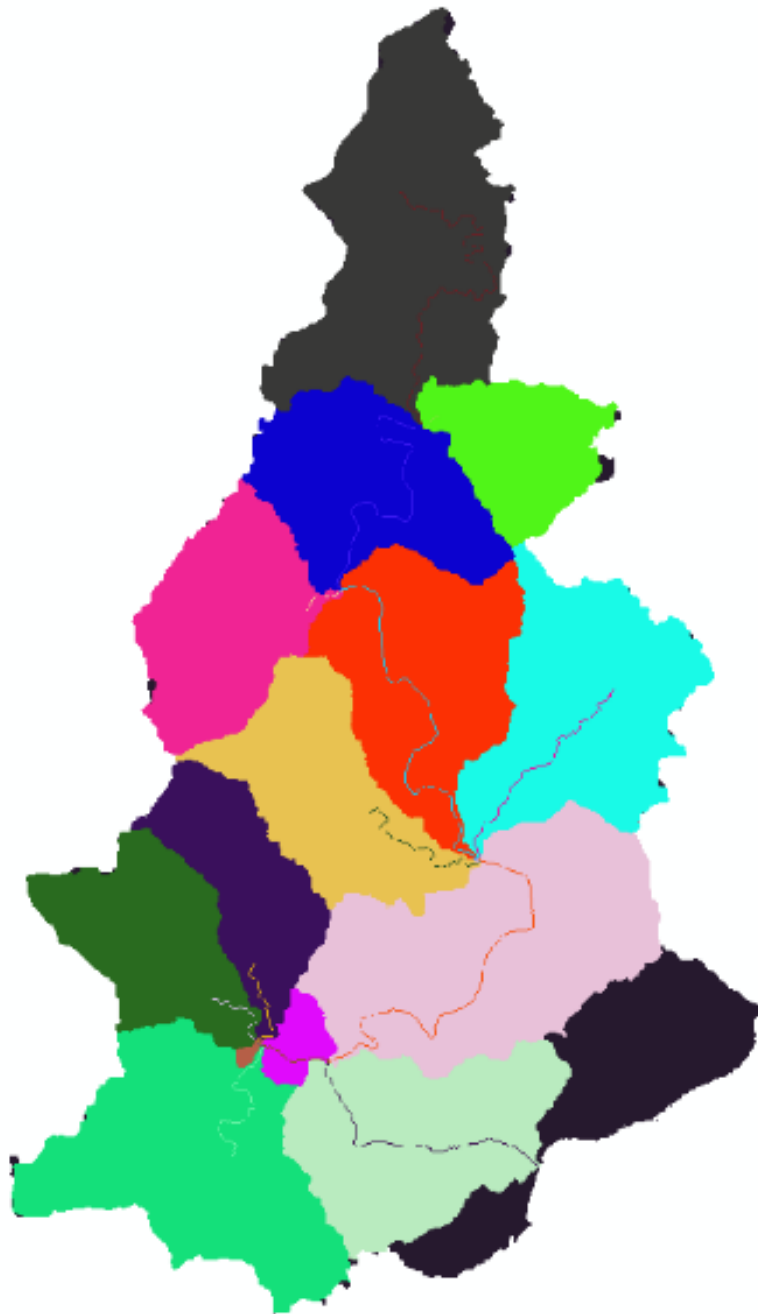


圖 3-10 ArcGIS 切割子集水區步驟 6 (Watershed)

5. 動床模擬參數設定

(1) 土砂粒徑分佈

在進行動床模擬時，土砂粒徑分佈是重要的輸入參數之一。本研究參考治理規劃報告中河床粒徑採樣之結果，繪製成粒徑分佈曲線，如圖 3-11 所示。

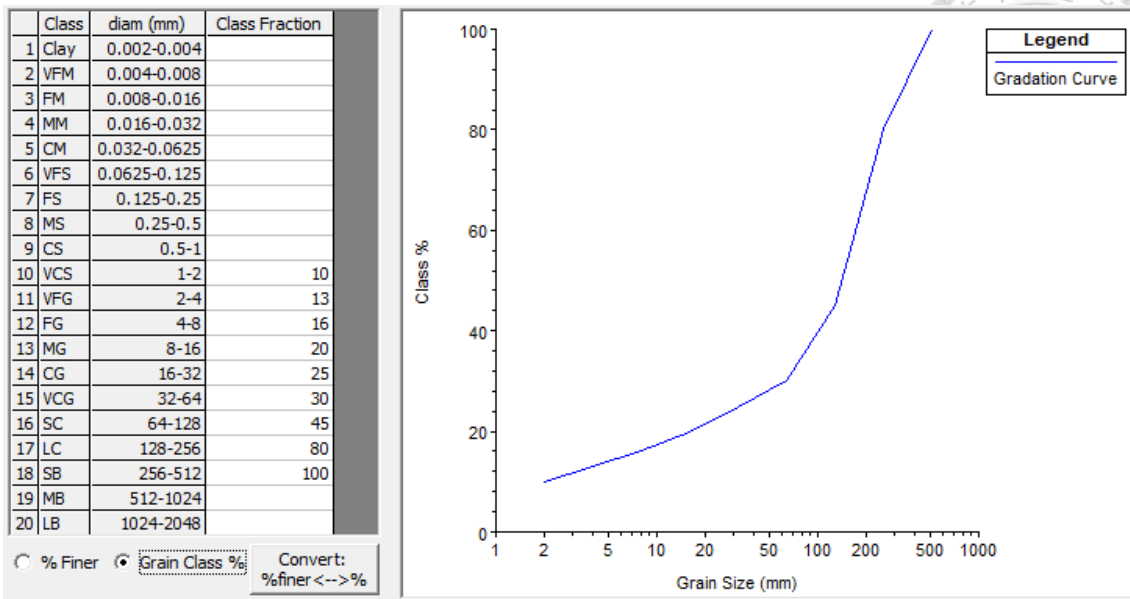


圖 3-11 土砂粒徑分佈曲線

(2) 水流含砂量

HEC-RAS 2D 在沉積物邊界條件(Sediment Boundary Conditions)中可設定水流含砂量，其分為 5 種輸入方式，分別為 Rating Curve、Sediment Load Series、Equilibrium Load、Capacity Ratio 以及 Clear Water (no Sed)，如圖 3-12 所示，以下將分別說明。

(a) Rating Curve

Rating Curve 是以泥砂運移率(tons/day)或水中含砂濃度(mg/l)作為輸入，並且可輸入不同粒徑土砂占比，作為邊界條件中含砂水流之設定。

(b) Sediment Load Series

Sediment Load Series 同樣以泥砂運移率(tons/day)或水中含砂濃度(mg/l)作為輸入，並且可輸入不同粒徑土砂占比，不同之處在於 Sediment Load Series 可隨時輸入不同泥砂運移率，在有實際量測資料時，可更加精確地建置模式。

(c) Equilibrium Load

Equilibrium Load 為 HEC-RAS 2D 自動依據流量大小和底床級配計算土砂運送能力作為水流含砂量，在資料不足或初次建立模型時，可先使用 Equilibrium



Load，能更快速獲得模擬結果。

(d)Capacity Ratio

Capacity Ratio 需自行設定邊界之含砂濃度，其數值為與 Equilibrium Load 之比值。廣義上來說 Capacity Ratio 也算 Equilibrium Load 的一種。

(e)Clear Water (no Sed)

Clear Water (no Sed)將邊界之含砂濃度視為零，即為模擬清水流於河道的土砂運移，此邊界條件不常使用。

在經過現地勘查後，利用試誤法的方式嘗試多種情況，最終選定模擬結果與現況最相似之含砂水流參數設置，即 Rating Curve。

Rating Curve 相關參數設定中，流量與總負載量參考研究是先前之經驗，而粒徑則是依照治理規劃報告之採樣結果作為輸入資料，如圖 3-13 所示。

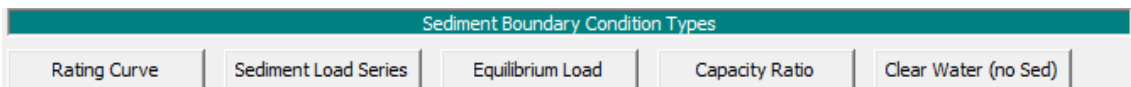


圖 3-12 水流含砂量於 HEC-RAS 2D 之設置

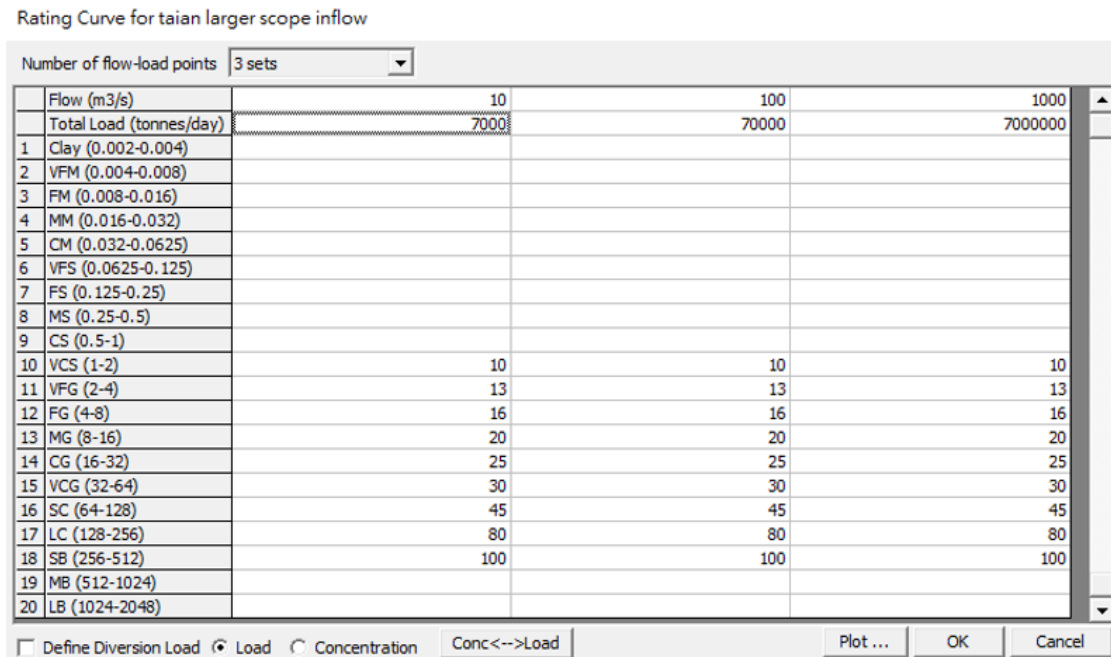


圖 3-13 Rating Curve 參數設定



(3) 其他參數設定

除了上述兩點之外，動床模擬仍有許多需要設定之參數，本研究並無將每一個參數都進行模擬後比較其差異，多數參數為參考 HEC-RAS 手冊及先前研究室之經驗所設置，其中包含 Transport Function、Sorting Method、Fall Velocity Method、Unsteady Computation Options and Tolerances 及 Transport Energy Slope Method，其餘未提到之參數皆為 HEC-RAS 2D 之預設，無進行其他改動。

進行改動之參數設置如下：

Transport Function：Wu

Fall Velocity Method：Active Layer

Fall Velocity Method：Soulsby

Transport Energy Slope Method：Averaged (Centered)

至於 Unsteady Computation Options and Tolerances，其改動之參數皆為子標籤 2D Flow Options 之細項，如圖 3-14 所示。

HEC-RAS Unsteady Computation Options and Tolerances

General 2D Flow Options 1D/2D Options Advanced Time Step Control 1D Mixed Flow Options			
<input type="checkbox"/> Use Coriolis Effects (not used with Diffusion Wave equation)			
	Parameter	(Default)	Taian sediment
1	Theta (0.5-1.0)	1	1
2	Theta Warmup (0.5-1.0)	1	1
3	Water Surface Tolerance [max=0.06](m)	0.003	0.001
4	Volume Tolerance (m)	0.003	0.001
5	Maximum Iterations	20	20
6	Equation Set	Diffusion Wave	SWE-ELM (original/faster)
7	Initial Conditions Time (hrs)		0.03
8	Initial Conditions Ramp Up Fraction (0-1)	0.1	0.1
9	Number of Time Slices (Integer Value)	1	1
10	Turbulence Model	None	None
11	Longitudinal Mixing Coefficient	0.3	0.3
12	Transverse Mixing Coefficient	0.1	0.1
13	Smagorinsky Coefficient	0.05	0.05
14	Boundary Condition Volume Check	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15	Latitude for Coriolis (-90 to 90)		
16	Solver Cores	All Available	All Available
17	Matrix Solver	PARDISO (Direct)	PARDISO (Direct)
18	Convergence Tolerance	0.00001	
19	Minimum Iterations	3	0
20	Maximum Iterations	30	0
21	Restart Iteration	10	10
22	Relaxation Factor	1.5	1.5
23	SOR Preconditioner Iterations	10	10

圖 3-14 Unsteady Computation Options and Tolerances 參數設置



6. 土石流模擬參數設定

土石流模擬和定床模擬及動床模擬最大的差別在於需要進行非牛頓流體的假設以及相關參數的設定，部分參數取得不易，故本研究輸入之參數參考 HEC-RAS 手冊中關於土石流模擬的範例，如圖 3-15 所示。

其中在選定土石流模擬之非牛頓流體假設時，除了賓漢流體(Bingham Fluid)之外，還有歐布萊恩方程式(O'Brien Equation)、礫石流(Clastic Grain-Flow)、一般型赫歇爾-布克利經驗式(Generalized Herschel-Bulkley)等，選擇賓漢流體的原因為需要設定的參數較少，在參數幾乎都為假設而非實際取得的情況之下，選擇參數多的其他模擬方式並不一定能獲得更準確的模擬結果，且國外已有相關研究使用賓漢流體進行土石流模擬，故最終選定賓漢流體作為本研究之非牛頓流體假設。

Non-Newtonian Methods and Parameters

Non-Newtonian Method: **Bingham**

Concentration and Bulking

Volumetric Concentration (Cv) (%):

Select Bulking Method:

Shear Components

Yield Strength: τ Pa

Mixture Dynamic Viscosity: μ Pa-s

Representative Grain Size - ds (mm): Max Cv (%) (Opt):

Generalized Herschel-Bulkley Parameters: K n

Clastic Methods: ϕ

圖 3-15 土石流模擬輸入參數

第四章 結果與討論



4.1 HEC-RAS 模式驗證

為確保數值模擬之結果有一定的可信度，本研究將以定床模擬之模擬結果作為模式的驗證，包含淹水潛勢區域、流量歷線、水位及流速，以及曾發生較嚴重水砂災害之颱風事件，其致災範圍之比較。

4.1.1 淹水潛勢區域

本研究進行不同重現期距之模擬，並利用治理規劃報告之淹水潛勢結果作為初步的模式驗證，由於港口溪集水區之計畫保護標準為 25 年重現期預留 1 公尺出水高，或 50 年重現期不發生溢岸，取較高者為原則，故以本研究所模擬之 50 年重現期距模擬結果與治理規劃報告之淹水範圍示意圖進行比較，如圖 4-1 及圖 4-2 所示。

治理規劃報告中提到，其淹水範圍示意圖（圖 4-2）從上游至下游大致分為四塊淹水區域，分別為：

鄰近響林橋兩側農地，淹水面積約 20 公頃（後續稱此處為一區）

秀林橋以西至滿州國中之區域，淹水面積約 10 公頃（後續稱此處為二區）

港口橋以西至永港國小區域，淹水面積約 20 公頃（後續稱此處為三區）

港口溪下游出海口段，淹水面積約 25 公頃（後續稱此處為四區）

透過本研究 HEC-RAS 2D 定床模擬之淹水潛勢結果（圖 4-1）計算淹水潛勢區域之面積，選定與治理規劃報告說明中提到之區域進行粗略比較，並在計算時扣除河道的部分。結果如下：

一區淹水面積約為 20.6 公頃，與治理規劃報告相差 3%

二區淹水面積約為 10.1 公頃，與治理規劃報告相差 1%

三區淹水面積約為 18.1 公頃，與治理規劃報告相差 9.5%

四區淹水面積約為 23.6 公頃，與治理規劃報告相差 18%

兩者比較後的結果，其差異皆在 20% 以下，且有部分區域差異極小，然而由於模擬結果中淹水區域之範圍屬於人為主觀之判斷，故本研究綜觀後認定淹水潛勢區域作為驗證方法之一，其淹水範圍相似。

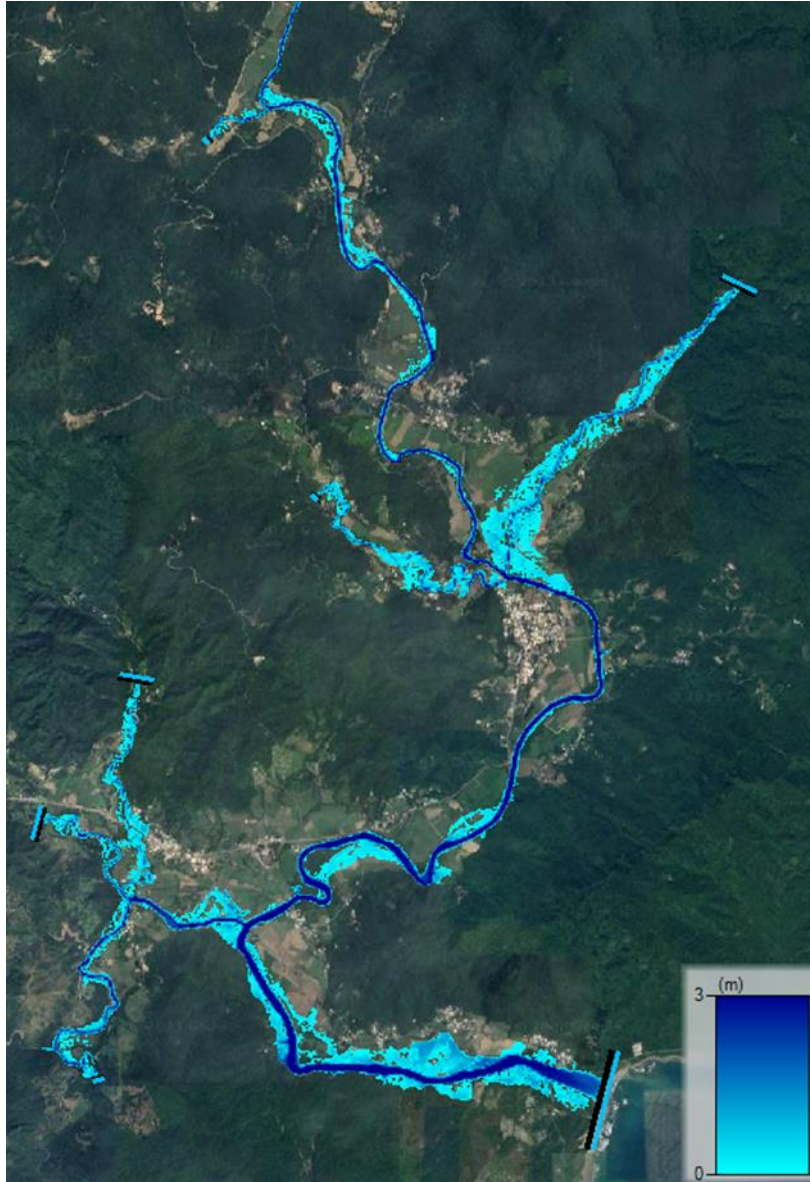


圖 4-1 Q50 淹水潛勢模擬結果與衛星照片疊圖

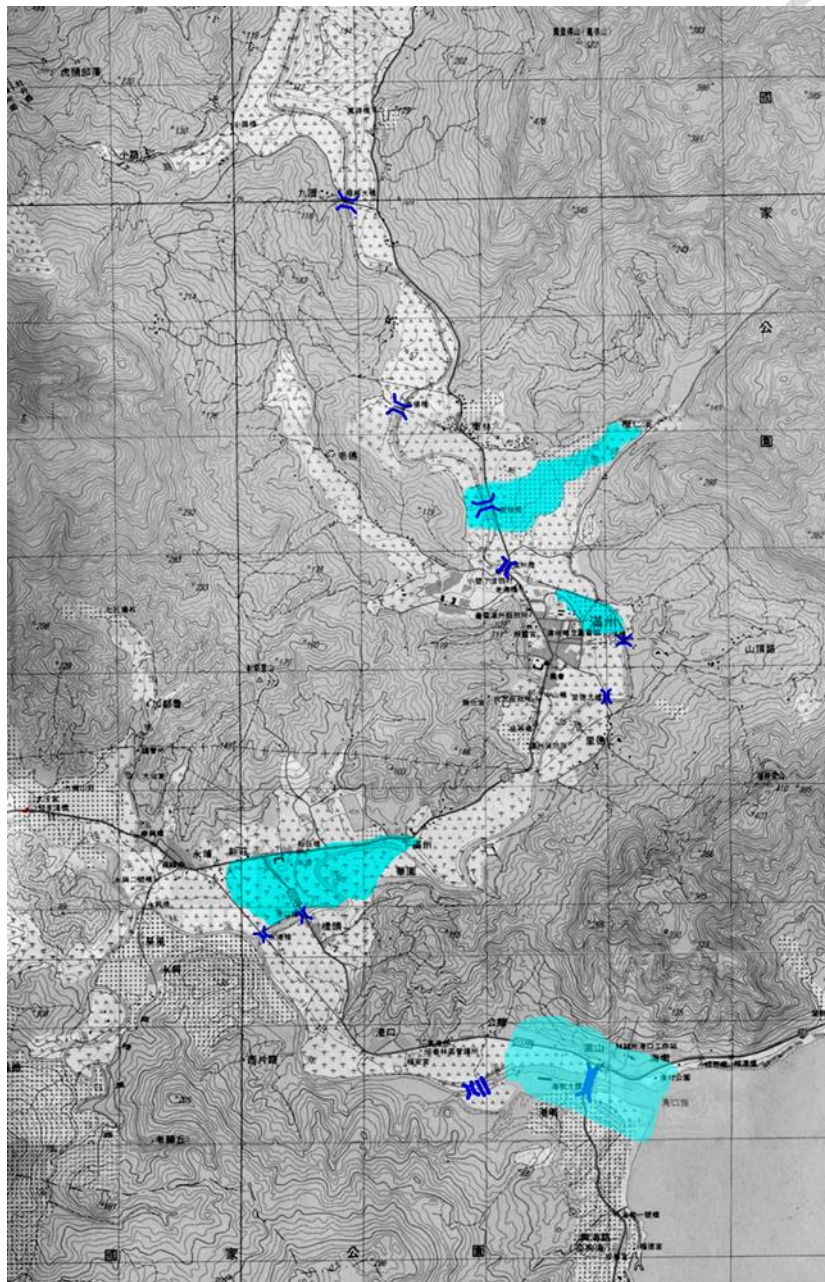


圖 4-2 治理規劃報告之淹水範圍示意圖

4.1.2 流量歷線

選定靠近出海口處作為流量歷線之驗證，利用出流邊界為治理規劃報告中的流量歷線，以及出流邊界為 Normal Depth，兩者進行比較，如圖 4-3 及圖 4-4 所示。

模擬結果顯示，無論是以港口溪集水區之保護標準 50 年重現期距，亦或是考量極端降雨之 100 年重現期距，兩者之流量歷線都十分相似。

另外由於出流邊界位於出海口，可能受到潮汐之影響，故在使用 Normal Depth 作為出流邊界之設定時，應檢驗出海口之水位。本研究參考港口溪治理規劃報告，採用離港口溪出海口最近之蟬廣嘴潮位站，其暴潮水位為 2.2 公尺。而本研究利用 Normal Depth 作為出流邊界設置，並檢驗靠近出海口之水位，結果顯示保護標準之 50 年重現期距大約為 2.2 公尺，極端降雨之 100 重現期距則大約為 2.3 公尺，皆大於暴潮水位，故認定其符合檢驗。

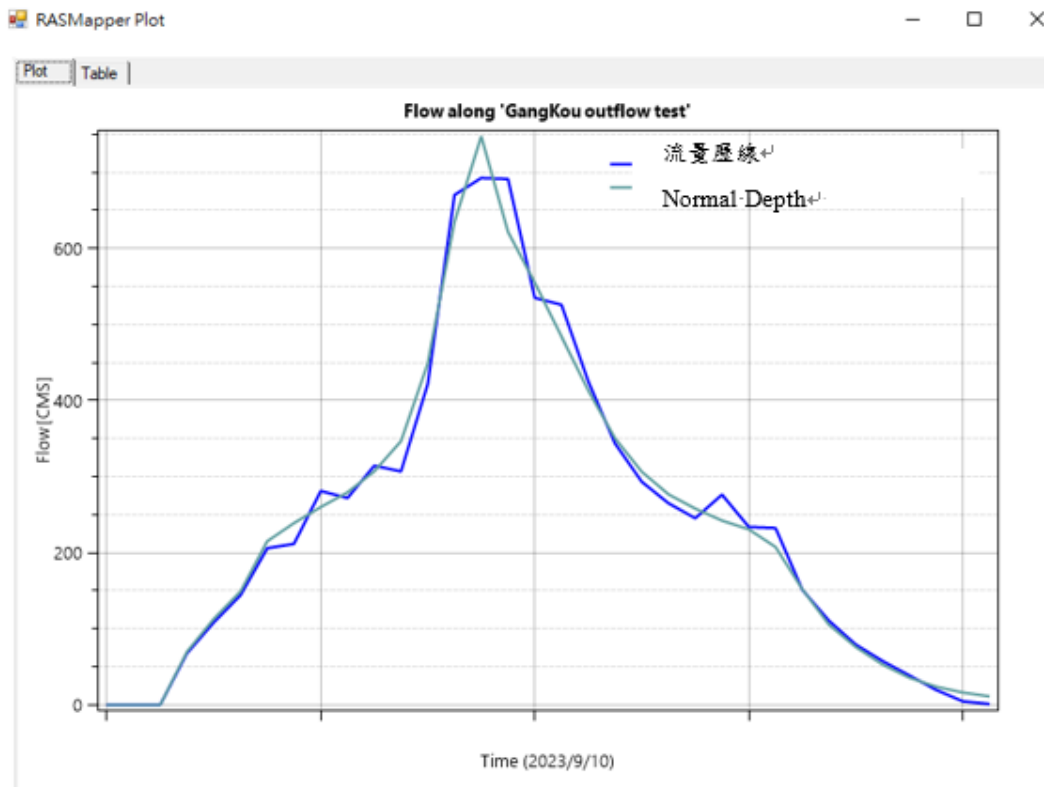


圖 4-3 Q50 出流邊界設定之比較

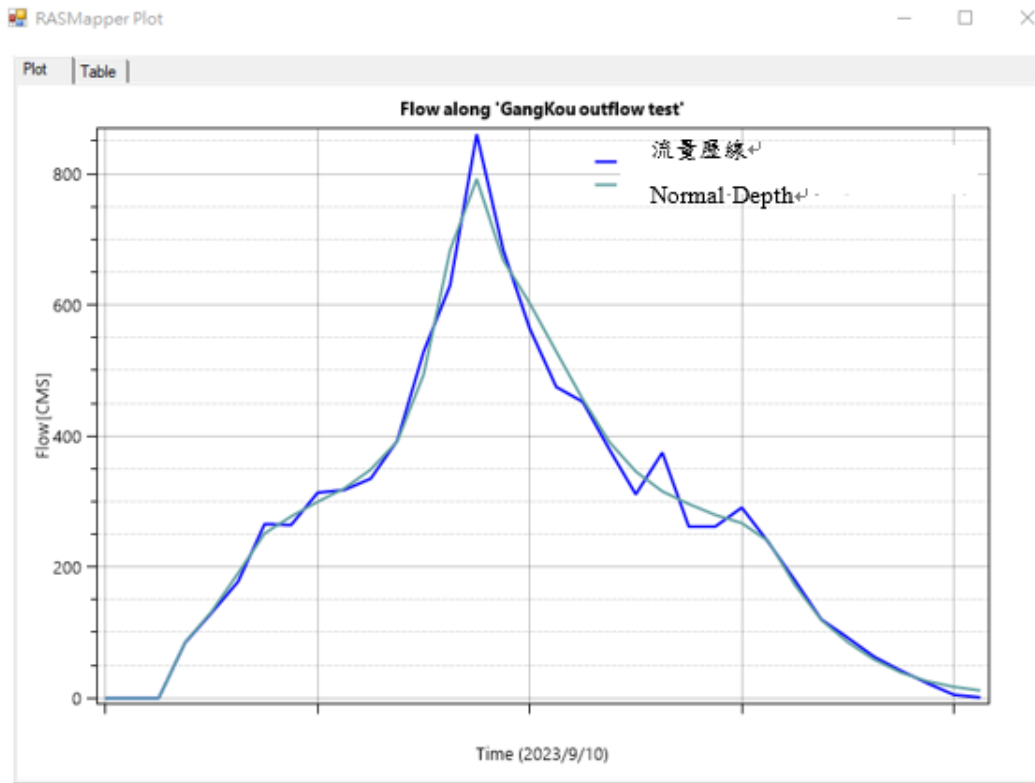


圖 4-4 Q100 出流邊界設定之比較

4.1.3 水位及流速

在經過淹水潛勢範圍的初步驗證後，本研究同樣利用模擬結果的水位及流速進行驗證，在選定幾處斷面後，利用模擬的結果與治理規劃報告進行較，如表 4-1 所示，雖然治理規劃報告中水位都大於模擬結果之水位，但流速的結果相似，整體也有相同的趨勢。

表 4-1 水位及流速驗證

位置	模擬結果		治理規劃報告	
	水位(m)	流速(m/s)	水位(m)	流速(m/s)
海墘大橋	2.83	2.52	4.19	2.53
老佛橋	3.90	4.36	4.56	4.70
福興大橋	3.01	3.17	4.24	3.03



4.1.4 颱風致災範圍

考量到極端事件的發生，本研究模擬港口溪集水區曾發生較嚴重水砂災害之颱風事件，即民國 101 年發生之天秤颱風，將其模擬結果與颱風致災範圍進行比較，如圖 4-5 及圖 4-6 所示，其影響範圍相似。

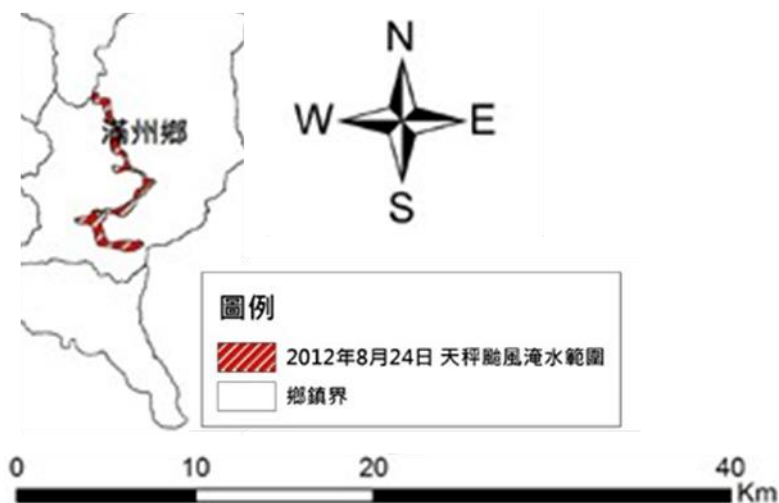


圖 4-5 民國 101 年天秤颱風致災範圍

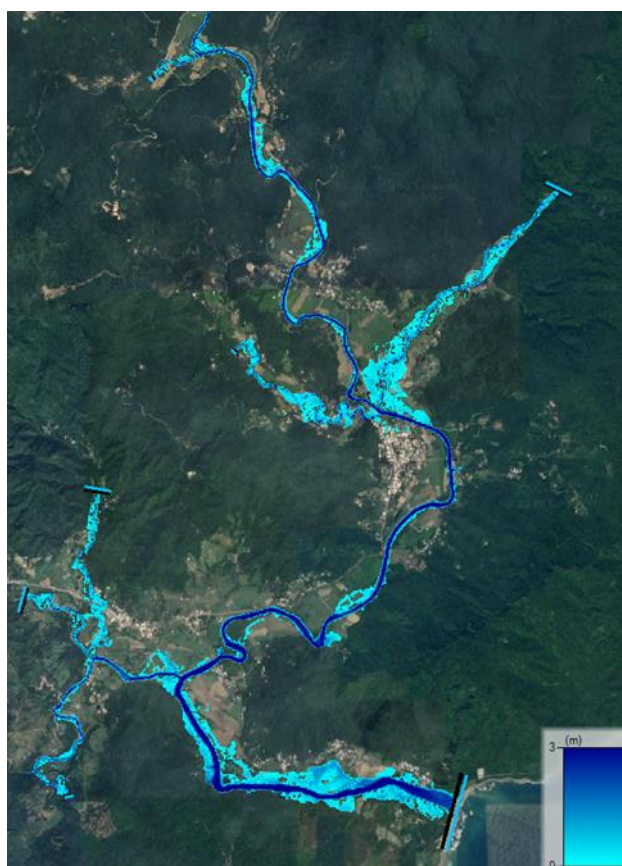


圖 4-6 HEC-RAS 模擬天秤颱風淹水區域



4.2 HEC-RAS 定床模擬

定床模擬為 HEC-RAS 中較為基礎的模擬，在設定好邊界條件、流量歷線等參數後，即可透過模式模擬出淹水範圍。

本研究模擬 10 年、25 年、50 年及 100 年之不同重現期，並透過模擬結果與先前藉由統整之意見所了解的問題，制定相對應的調適策略。

4.2.1 模擬結果

模擬整個港口溪集水區不同重現期距之淹水潛勢，如圖 4-7~圖 4-10 所示。



圖 4-7 Q10 淹水潛勢模擬結果



圖 4-8 Q25 淹水潛勢模擬結果



圖 4-9 Q50 淹水潛勢模擬結果



圖 4-10 Q100 淹水潛勢模擬結果

4.2.2 調適策略

對於淹水災害的治理對策，傳統上通常以加高河岸堤防或其他工程手段為主，也有採用滯洪池或蓄洪池等工法，本研究則是選用農業部農村發展及水土保持署近年提出的水砂溢淹區作為調適策略，期待能藉此解決相關問題。

1. 水砂溢淹區

水砂溢淹區為農業部農村發展及水土保持署近年來所提出，其目的為提升山坡地韌性承災能力、推動集水區調適策略及自然解方、降低易致災區域淹水風



險、控制土壤沖蝕、營造生物棲地，並達成水資源涵養等效益，為了達到上述目的，農村發展及水土保持署訂定了韌性坡地補助之政策，其中包含了棲地友善、緩衝綠帶以及水砂溢淹區。

水砂溢淹區顧名思義為讓水及土砂漫淹之區域，與常聽到的滯洪池不同之處在於，水砂溢淹區在延緩洪峰或減少保全對象之淹水面積等方面並沒有明顯的作用，其功用最主要為利用劃定區域之面積決定土地持有者的補償費用，減少政府單位因水砂災害導致堤防等工程設施破損時，所需撥款作為修復設施之花費，進而達到節省經費以及生態友善之雙贏局面。

2. 選定分析區域

透過先前統整之意見，本研究決定將港口溪及小路溪匯流處規劃為水砂溢淹區，如圖 3-1 所示，此處由於位在主支流匯流處，當發生較大之降雨事件時，容易使周圍發生溢淹之情形，期許後續水砂溢淹區設立後，能減少當地居民的損失。

3. 分析結果

將不同重現期距之結果進行比較，觀察港口溪及小路溪匯流處之水深及流速，分別由圖 4-11~圖 4-14 及圖 4-15~圖 4-18 所示，其不論水深或流速，在不同重現期距的模擬結果下，都有相同的趨勢。

在確定設立水砂溢淹區之區域後，追加模擬常態發生之洪水($Q_{1.11}$)，並依照常態發生之洪水($Q_{1.11}$)及極端降雨(Q_{100})所對應之淹水範圍，訂定不同大小之水砂溢淹區，如圖 4-19 及圖 4-20 所示。

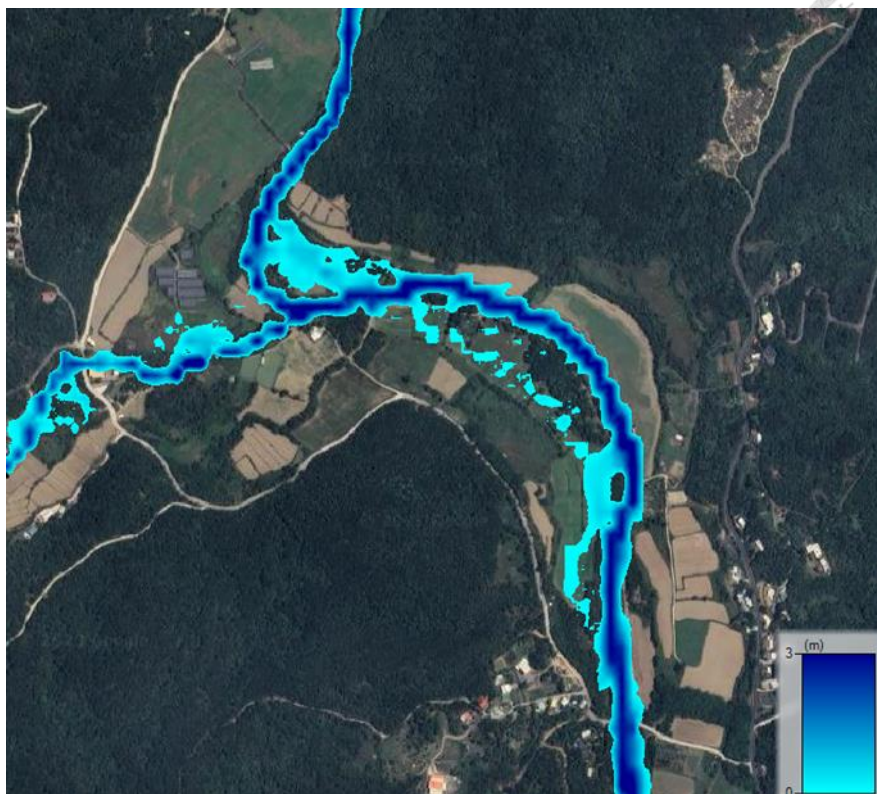


圖 4-11 港口溪及小路溪匯流處 Q10 水深變化

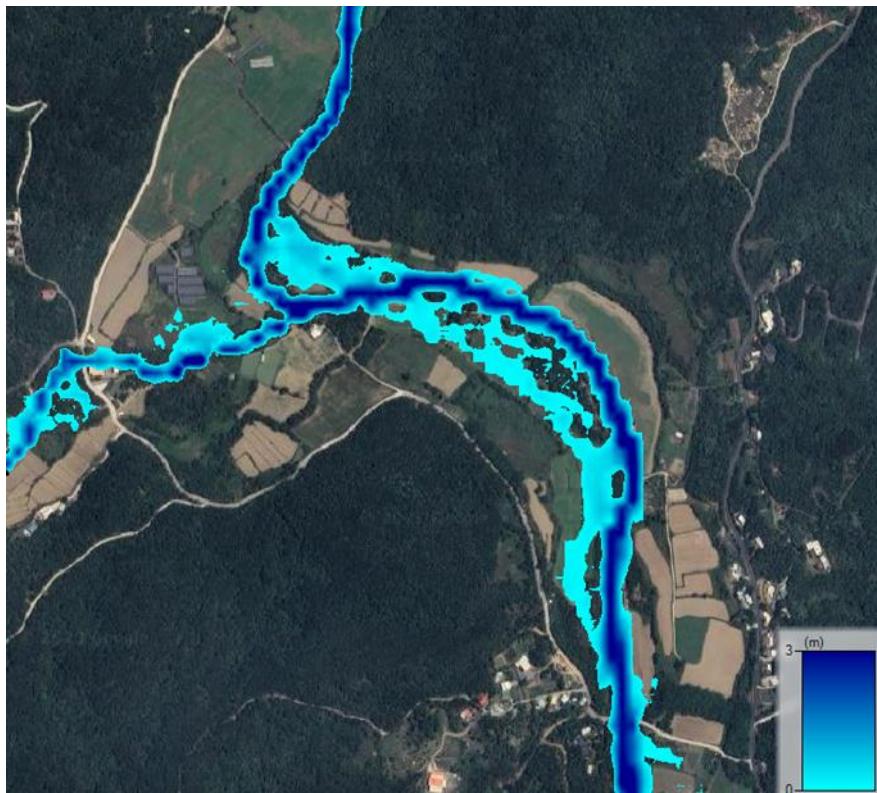


圖 4-12 港口溪及小路溪匯流處 Q25 水深變化

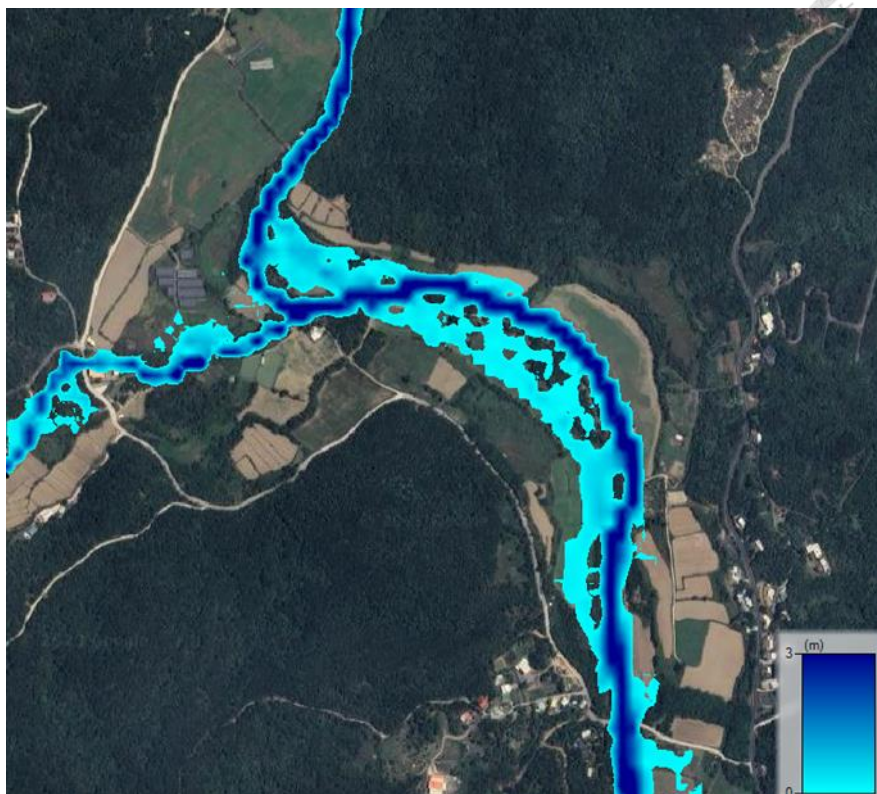


圖 4-13 港口溪及小路溪匯流處 Q50 水深變化

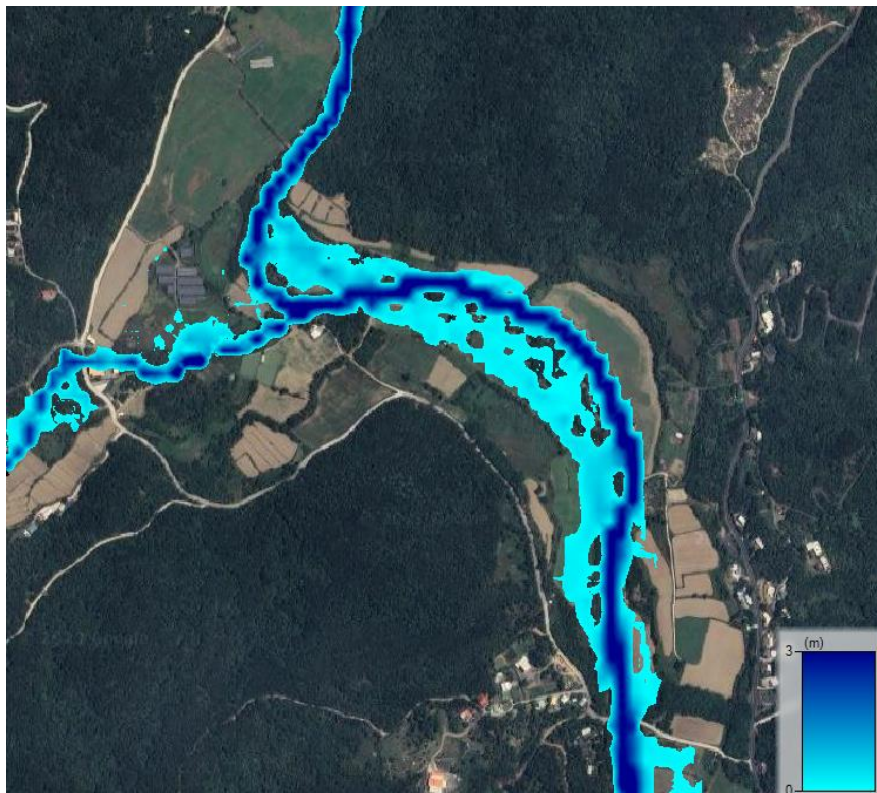


圖 4-14 港口溪及小路溪匯流處 Q100 水深變化

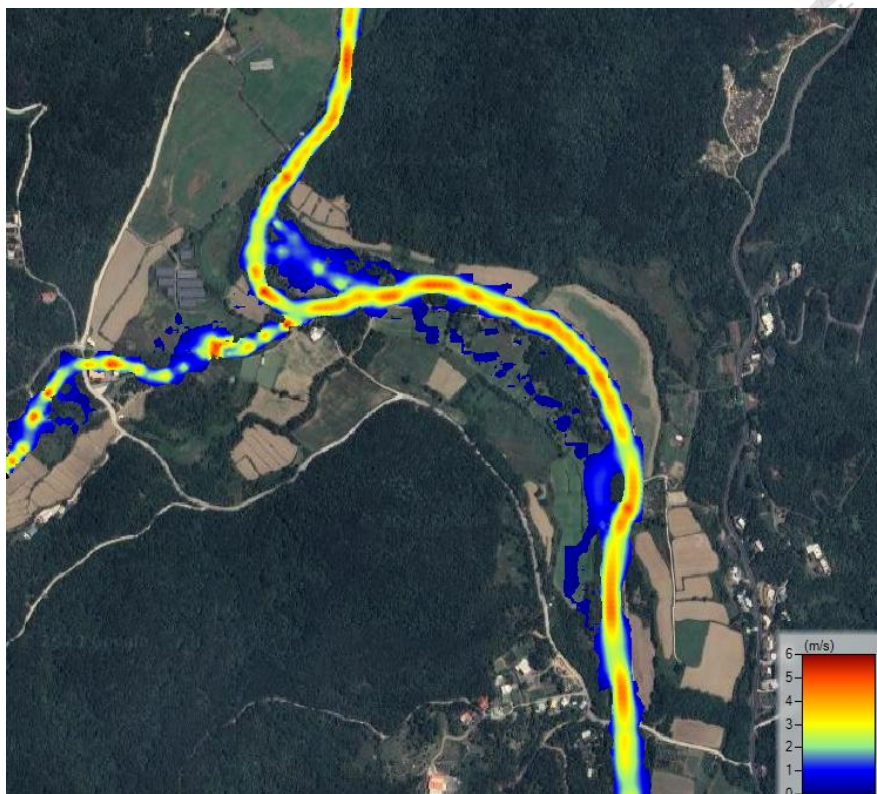


圖 4-15 港口溪及小路溪匯流處 Q10 流速變化

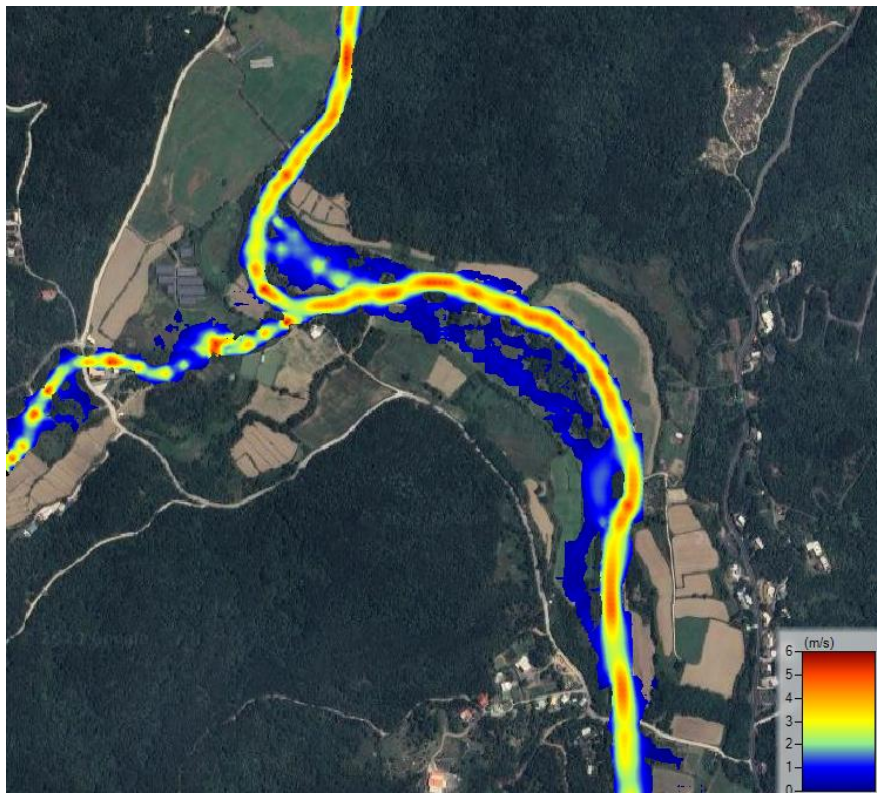


圖 4-16 港口溪及小路溪匯流處 Q25 流速變化

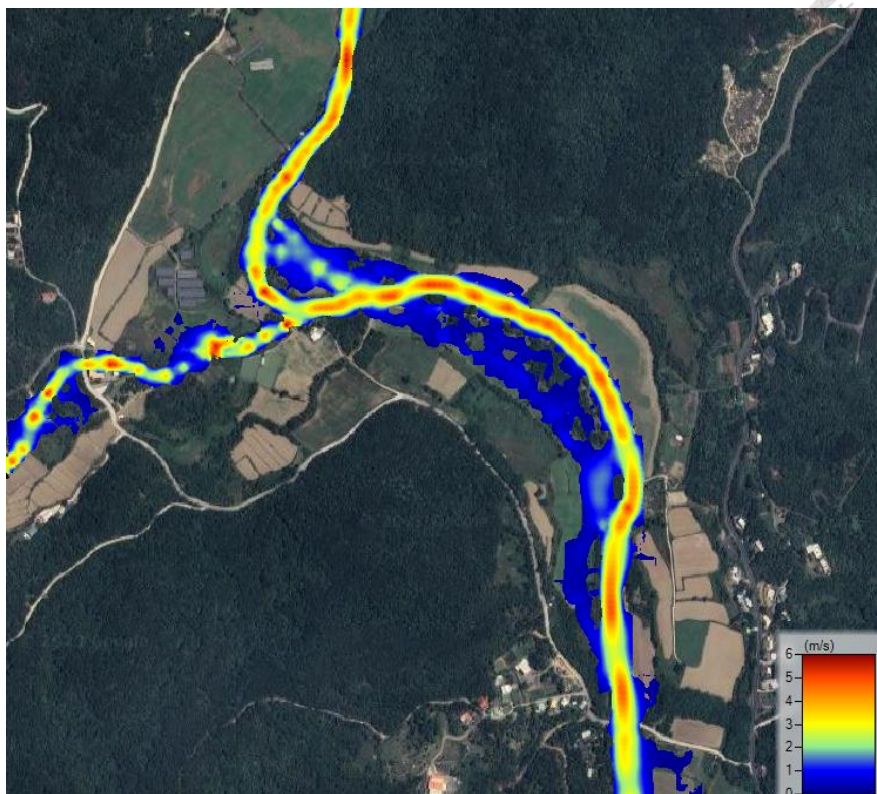


圖 4-17 港口溪及小路溪匯流處 Q50 流速變化

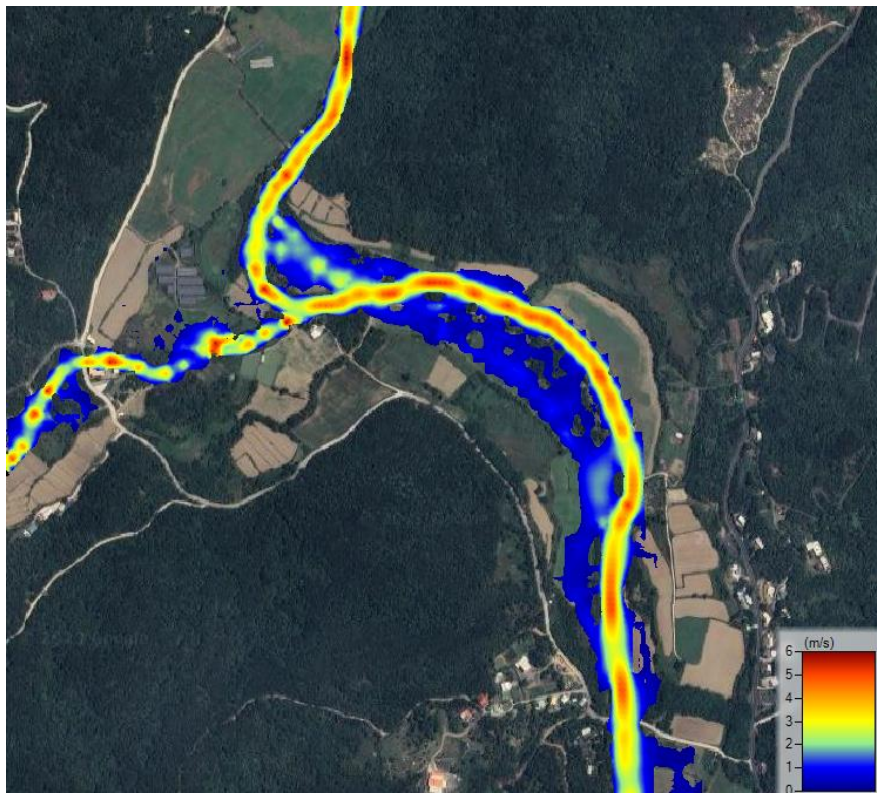


圖 4-18 港口溪及小路溪匯流處 Q100 流速變化

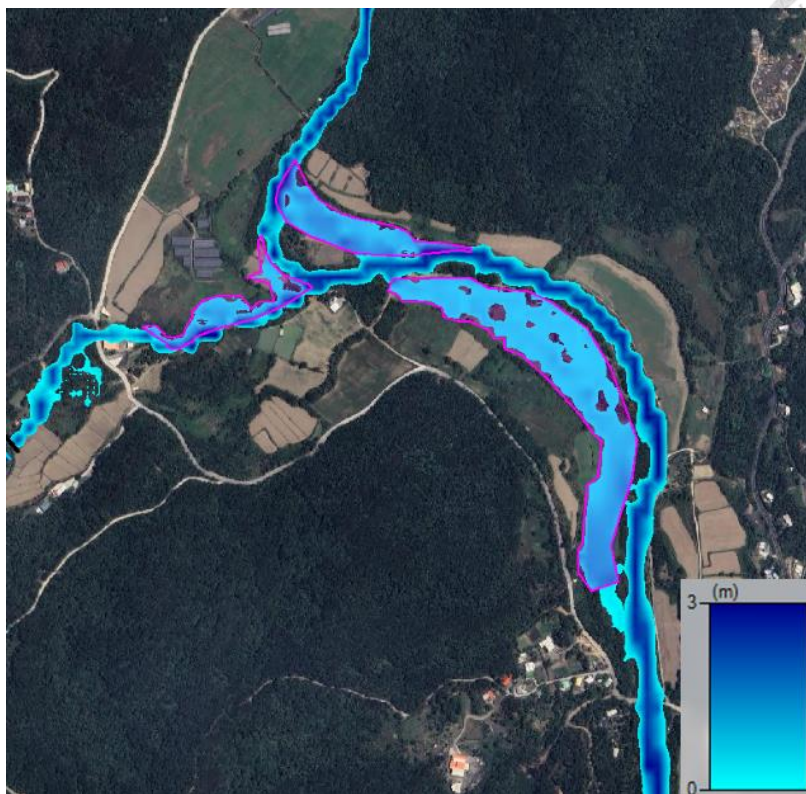


圖 4-19 港口溪及小路溪匯流處 Q1.11 之淹水潛勢與水砂溢淹區

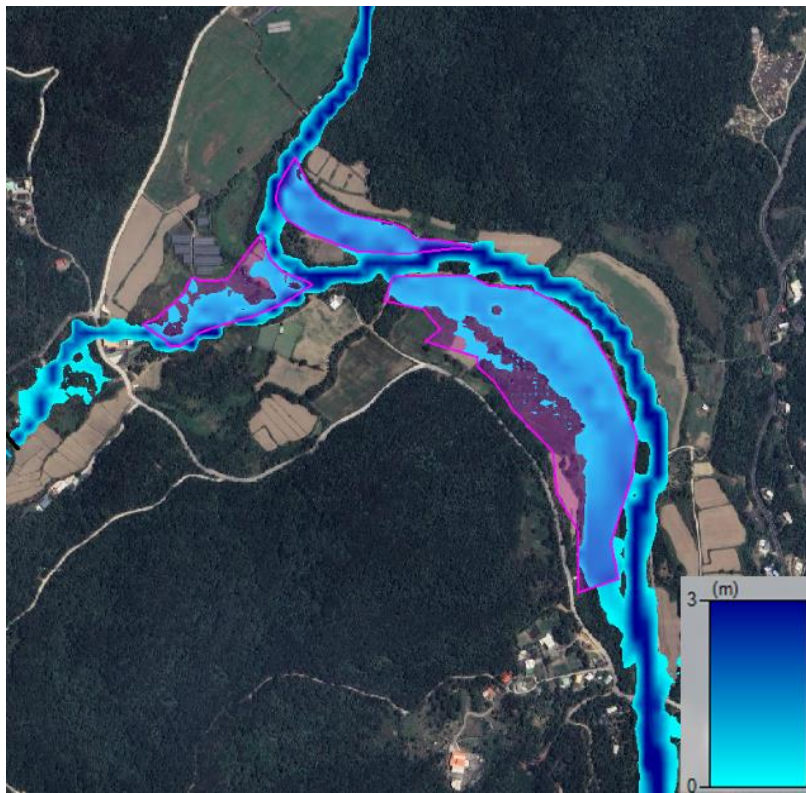


圖 4-20 港口溪及小路溪匯流處 Q100 之淹水潛勢與水砂溢淹區



4.3 HEC-RAS 動床模擬

動床模擬相比於定床模擬，其最大的差異在於需要補上輸砂相關參數設定，如土砂粒徑分佈、輸砂公式之選定及不可沖刷區域等，受限於模式之運算能力，只能模擬局部範圍，故本研究以先前統整意見時討論有需要改善之區域作為模擬範圍，模擬現況以及改善後的差異。

4.3.1 模擬結果

模擬區域之上游邊界位於泰安橋，模擬範圍約為 600 公尺，如圖 3-2 所示，經現地勘查後發現泰安橋下游約 500 公尺處有一舊有之固床工，其固床工下游有明顯之沖刷坑，除了有使固床工損害之風險外，高落差的問題也造成生物縱向通道遭受阻隔。

本研究以保護標準之 50 年重現期距，及考量極端降雨之 100 年重現期距進行模擬，將模擬結果局部放大後，探討固床工周圍之沖淤情況，如圖 4-21 及圖 4-22 所示。

由模擬結果可以發現，50 年重現期距固床工下游處左岸發生較嚴重的沖刷情形，其沖刷深度最深達 2 公尺，而固床工下游其他位置之沖刷深度大約為 0.4 至 0.8 公尺；100 年重現期距固床工下游處則是呈現多處有較大沖刷深度之趨勢，雖然固床工下游處最大沖刷深度為 1.6 公尺，然而其固床工下游整體的沖刷深度約為 0.8 公尺至 1.5 公尺，其沖刷仍比 50 年重現期距嚴重。

綜觀現況模擬結果，不論是 50 年重現期距或 100 年重現期距，其模擬結果都顯示固床工下游處有沖刷的情形發生，且沖刷深度確實會造成一定程度的落差，可能進而導致固床工毀損，同時對於縱向生態廊道有所阻攔，對生態較不友善。

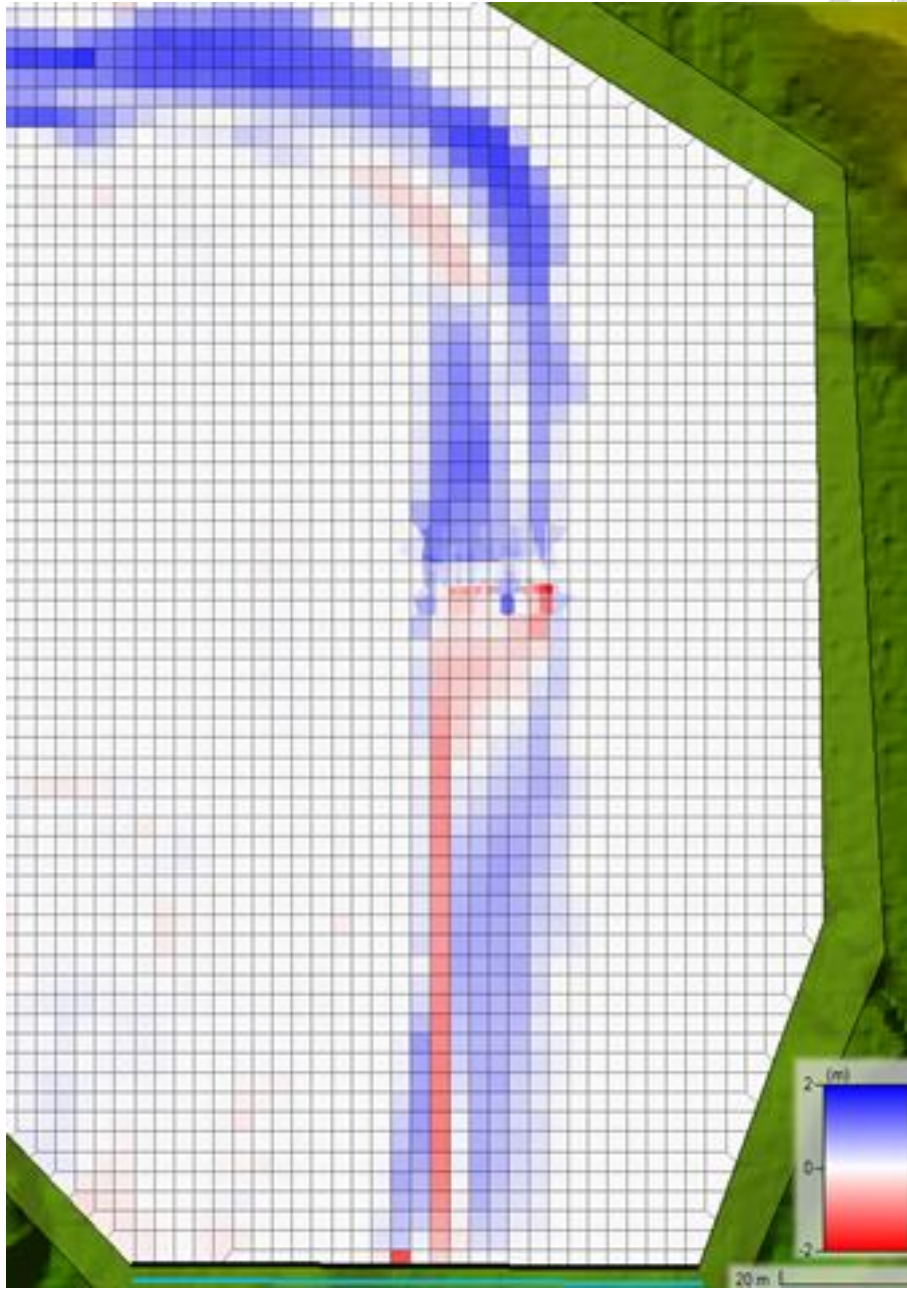


圖 4-21 50 年重現期距現況模擬結果

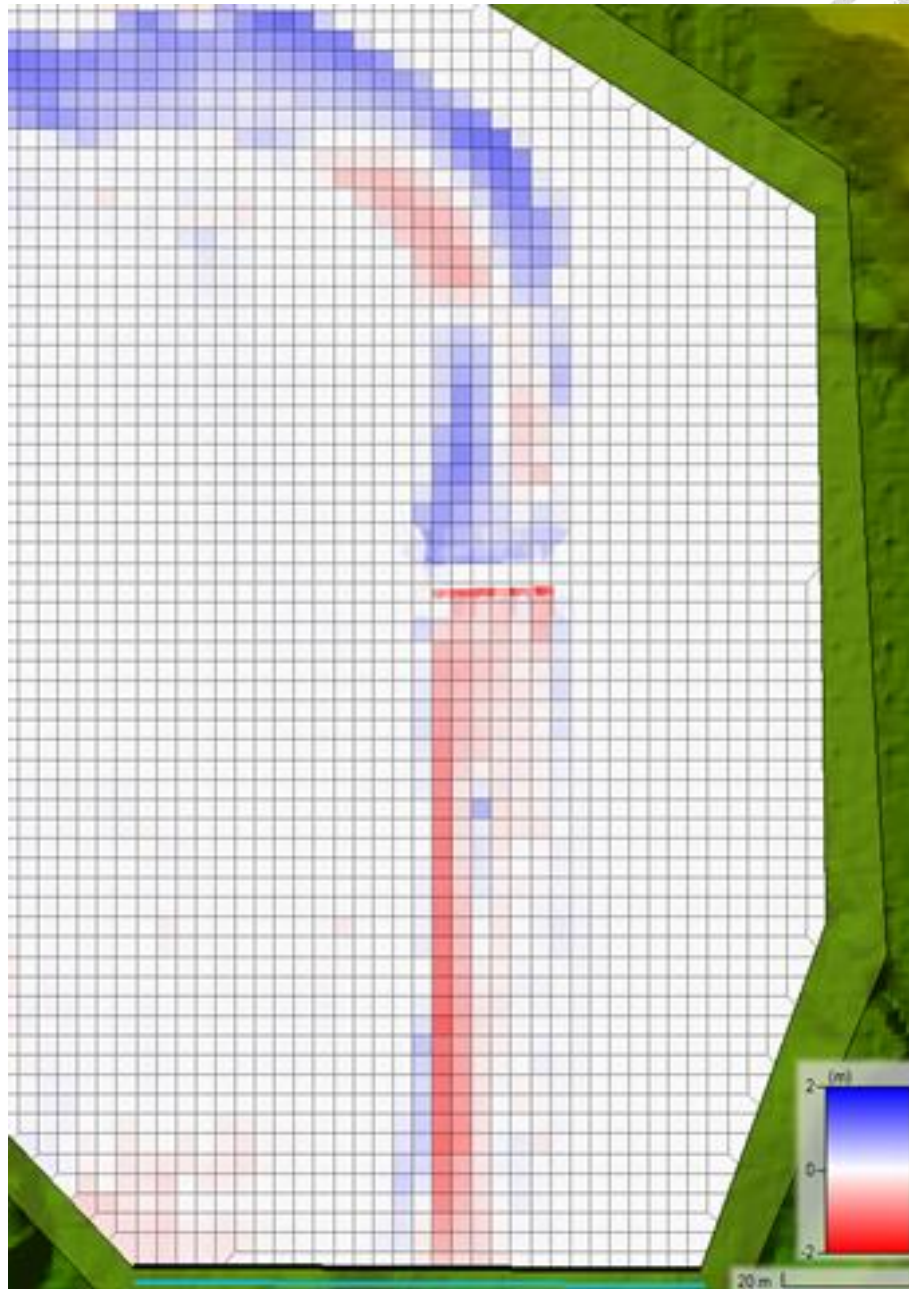


圖 4-22 100 年重現期距現況模擬結果

4.3.2 調適策略

設計調適策略時，需在保障保全對象生命財產安全的同時，不造成生態環境等其他問題，故本研究同樣以保護標準之 50 年重現期距以及考量極端降雨之 100 年重現期距進行模擬，嘗試將舊有之固床工拆除作為調適策略，如圖 4-23 及圖 4-24 所示。

模擬結果顯示，50 年重現期距在拆除固床工後，其沖刷深度降低為 0.5 至 1



公尺；100 年重現期距沖刷深度也降低為 0.6 至 1.2 公尺。

綜觀調適策略模擬，透過拆除現有固床工，可以減緩整體沖淤情況，除了避免固床工受到沖刷坑影響導致毀損，也能降低高低落差，改善生物縱向廊道受阻絕之問題。

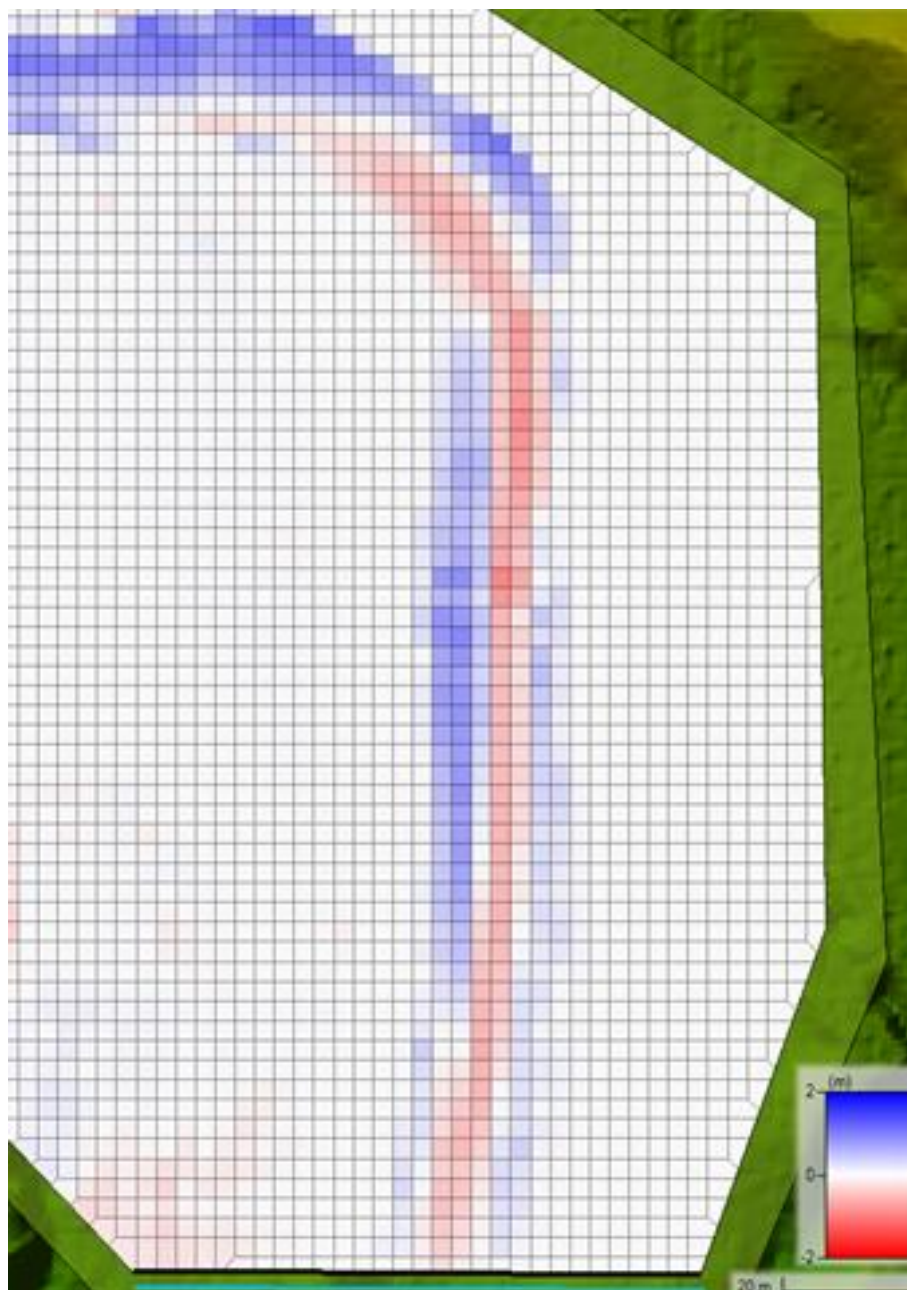


圖 4-23 50 年重現期距調適策略模擬結果

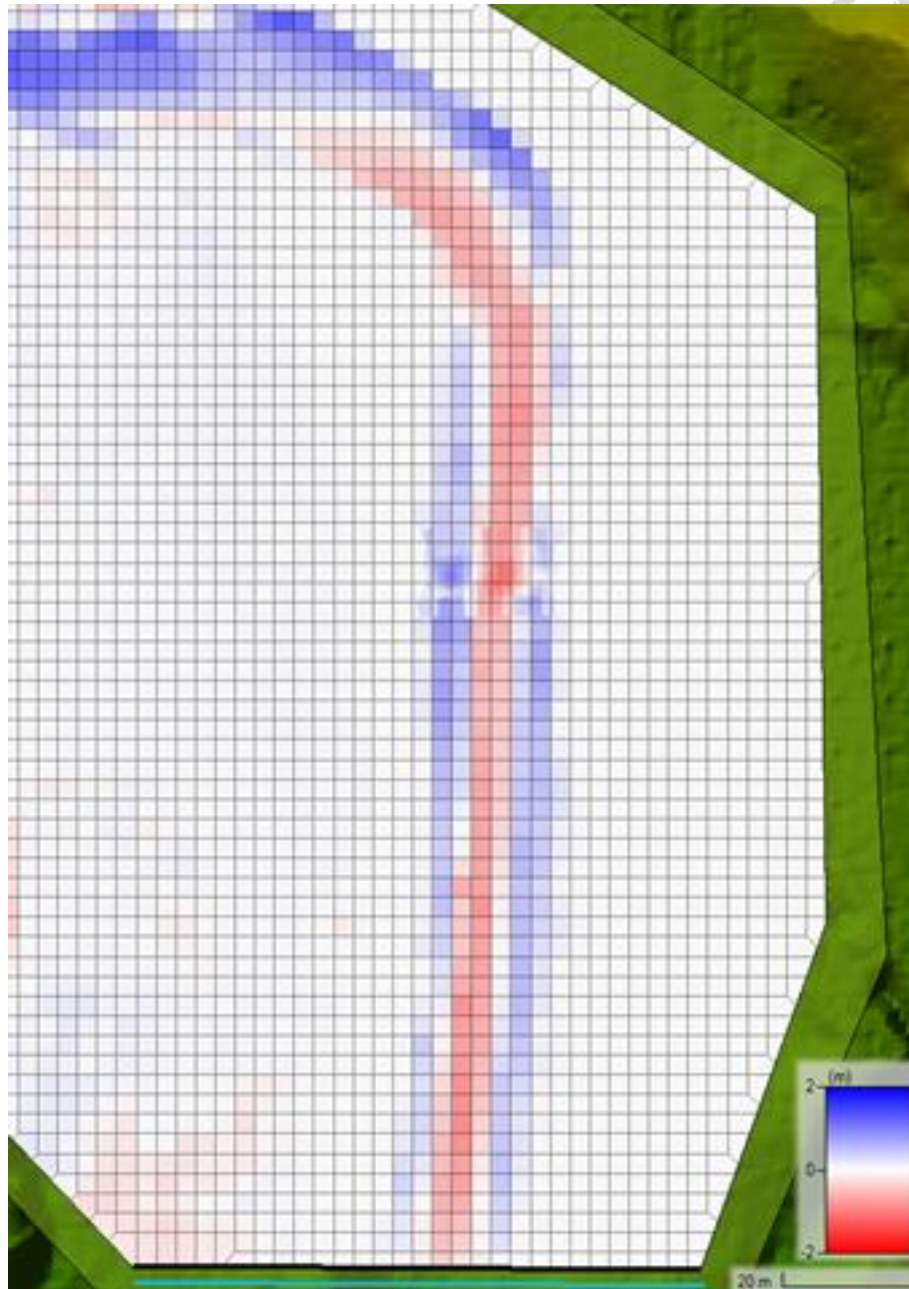


圖 4-24 100 年重現期距調適策略模擬結果

4.4 HEC-RAS 土石流模擬

港口溪集水區有三條土石流潛勢溪流，分別位於上游四林村附近的「屏縣 DF063」，中游滿州村順天宮附近的「屏縣 DF070」及下游港口溪出海口港口村的「屏縣 DF064」，如圖 3-3 所示，其中位於中游的 DF070 以及下游的 DF064 都受過較嚴重之水砂災害，分別為民國 100 年的南瑪都颱風以及民國 101 年的天秤颱風，如表 4-2 所示，災後相關單位也積極於多處新建治理工程，故本研究在模擬



DF070 及 DF064 之影響範圍時，也會分別進行有無構造物之設定。

HEC-RAS 土石流模擬與定床模擬有相似之處，不同的地方在於將定床模擬的水改為含砂水流，流體的流動方式也從牛頓流體改為非牛頓流體，然而相關參數取得不易，對此，本研究參考 HEC-RAS 使用手冊進行參數設定，以利於後續之模擬。

相較於其他模式的模擬，HEC-RAS 土石流模擬具有模擬時間較短之優勢，同時也代表能夠模擬的範圍較大，考量到模擬土石流潛勢溪流時，若模擬範圍包含土石流潛勢溪流之集水區及影響範圍，選定 HEC-RAS 土石流模擬將會是合適的選擇。

表 4-2 滿州鄉土石流歷史災情

項次	災害事件	
土石流潛勢溪流	屏縣 DF064	屏縣 DF070
鄉鎮	滿洲鄉	
村里	港口村	滿州村
所屬流域	港口溪	
主要災情描述	屏縣 DF064 土石流潛勢溪流受天秤颱風連日豪雨影響，漂流木及土砂淤埋溪床導致水溢流發生土石流災害，造成溪流右岸 6 戶民宅及久光橋受災。	屏縣 DF070 土石流潛勢溪流於南瑪都颱風期間，陸續發生三次崩塌行土石流。發生時間分別為 8 月 29 日 7 時、30 日 18 時及 31 日 15 時。29 日土砂泥流溢淹至民宅、農田及順天宮；30 日土石流淤埋民宅及順天宮近半層樓高；31 日土石流再次發生，完全淤埋順天宮。

道路毀損	茶山路遭土砂淤埋約 100m	老佛路遭土砂淤埋約 300m
------	----------------	----------------

(資料來源：社團法人中華水土保持學會 102 年度年會

-屏東滿州鄉近年土石流致災成因探討)

4.4.1 模擬結果

本研究利用 HEC-RAS 2D 內的土石流模組進行土石流模擬，在輸入參數、設定邊界條件及模擬範圍等前置事項完成後，分別模擬曾經致災之 DF064、DF070 以及未曾致災之 DF063，其中 DF064 及 DF070 參考歷史影像平台等資料，將整治構造物設置於模式中，以模擬整治前後之差異。

DF064 及 DF070 模擬分析之資料說明如表 4-3 所示，DF063 則因無致災颱風事件，故採用港口溪集水區之保護標準 50 年重現期之流量，並採用同樣之土石流模組輸入參數進行模擬。

模擬成果如圖 4-25~圖 4-29 所示，分別為 DF064 有無整治構造物、DF070 有無整治構造物及 DF063 無整治構造物之模擬結果。

表 4-3 土石流潛勢溪流模擬資料說明表

項次	DF064	DF070
地形	全台 20 公尺網格數值地形模型(2022)	
整治構造物	參考歷史影像平台之影像庫，大略繪製五座固床工以及左右護岸各兩段。	參考南瑪都重大土砂災例復勘報告及老佛野溪土砂災害整治效益探討，大略繪製防砂壩、梳子壩及系列固床工。
上游邊界條件	民國 101 年天秤颱風 24 小時最大雨量換算之流量歷線	民國 100 年南瑪都颱風 24 小時最大雨量換算之流量歷線

下游邊界條件	土石流潛勢溪流 DF064 與港口溪匯流處，正常 水深能量坡降(Sf = 0.01)	土石流潛勢溪流 DF070 與港口溪支流(老佛溪)匯 流處，正常水深能量坡 降(Sf = 0.01)
土石流非牛頓流體假設	賓漢流體(Bingham)	
體積百分濃度	69.2%	
降伏強度(應力)	98 Pa	
動力黏滯係數	1.92 Pa-s	



圖 4-25 DF064 無整治構造物



圖 4-26 DF064 有整治構造物



圖 4-27 DF070 無整治構造物



圖 4-28 DF070 有整治構造物

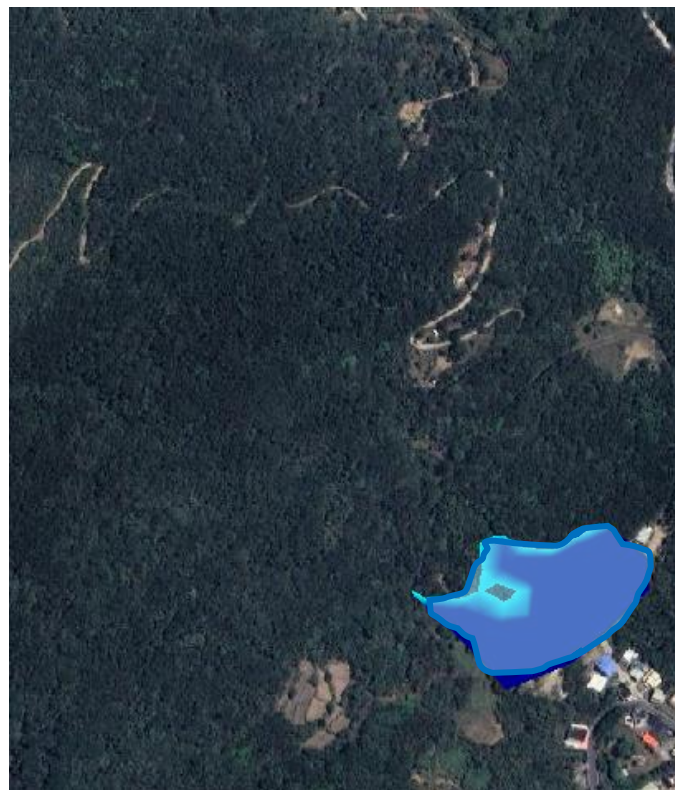


圖 4-29 DF063 無整治構造物



4.4.2 檢視避難計畫

為保障居民生命財產安全及避免土石流防災疏散避難時之混亂，相關政府單位提供了土石流防災疏散避難計畫，使居民能自主防災，減少災損發生。滿州鄉居民可以參考圖 4-30 所指示之避難方向，盡速前往避難場所。

本研究將透過土石流潛勢溪流之模擬結果，觀察避難所的位置及避難路線是否與土石流潛勢溪流之影響範圍重疊，檢驗現有避難計畫之合理性。

編號 PTH-1001324 (1/16,800)

屏東縣滿州鄉防災地圖

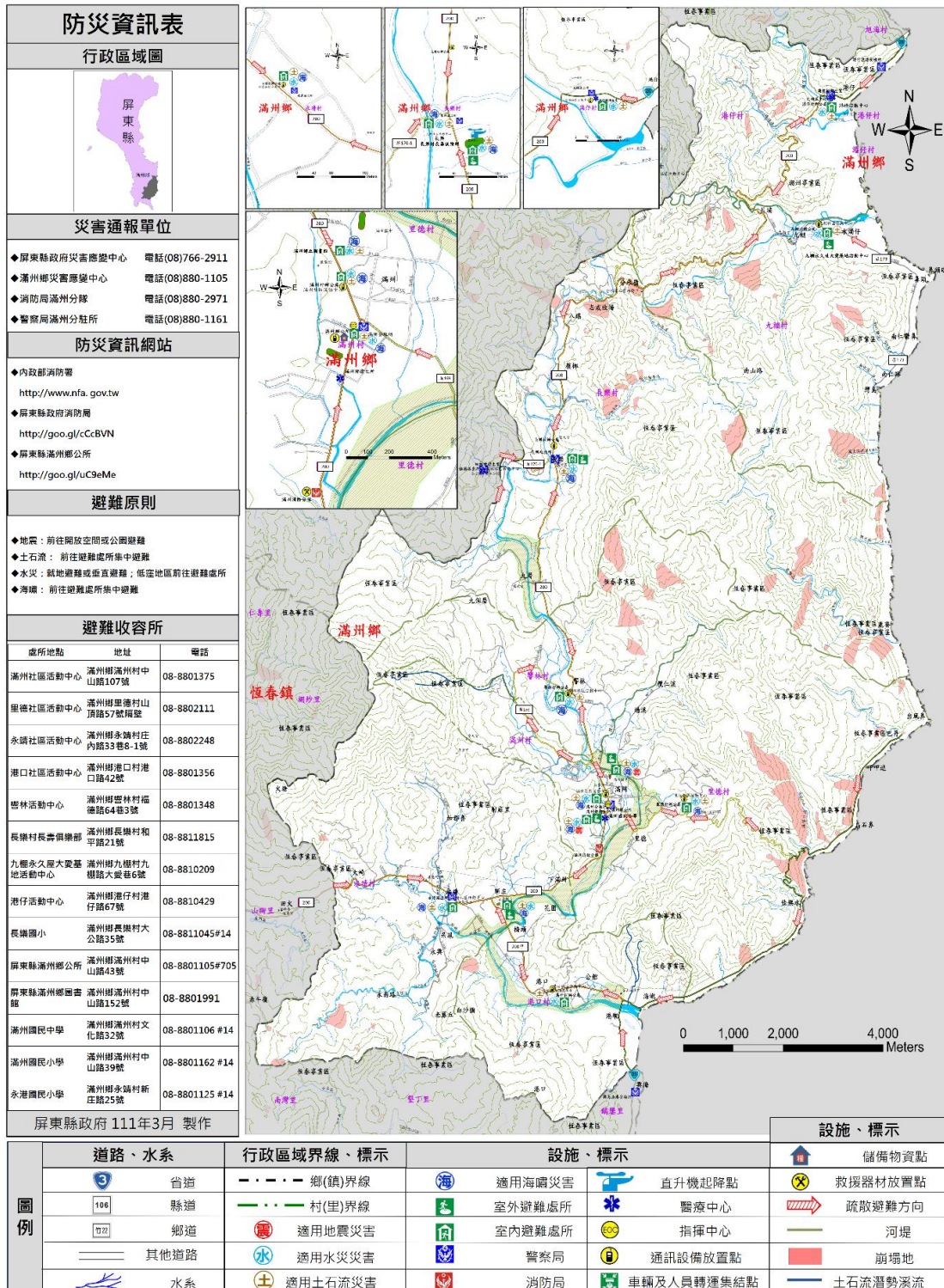


圖 4-30 屏東縣滿州鄉防災地圖

本研究透過圖 4-25~圖 4-29 模擬土石流潛勢溪流之影響範圍，檢視目前避難計畫是否有需要注意或改善之處。圖 4-31~圖 4-33 分別為 DF064、DF070 及



DF063 避難計畫與土石流影響範圍疊圖後的結果，將根據此結果討論避難計畫之合理性。

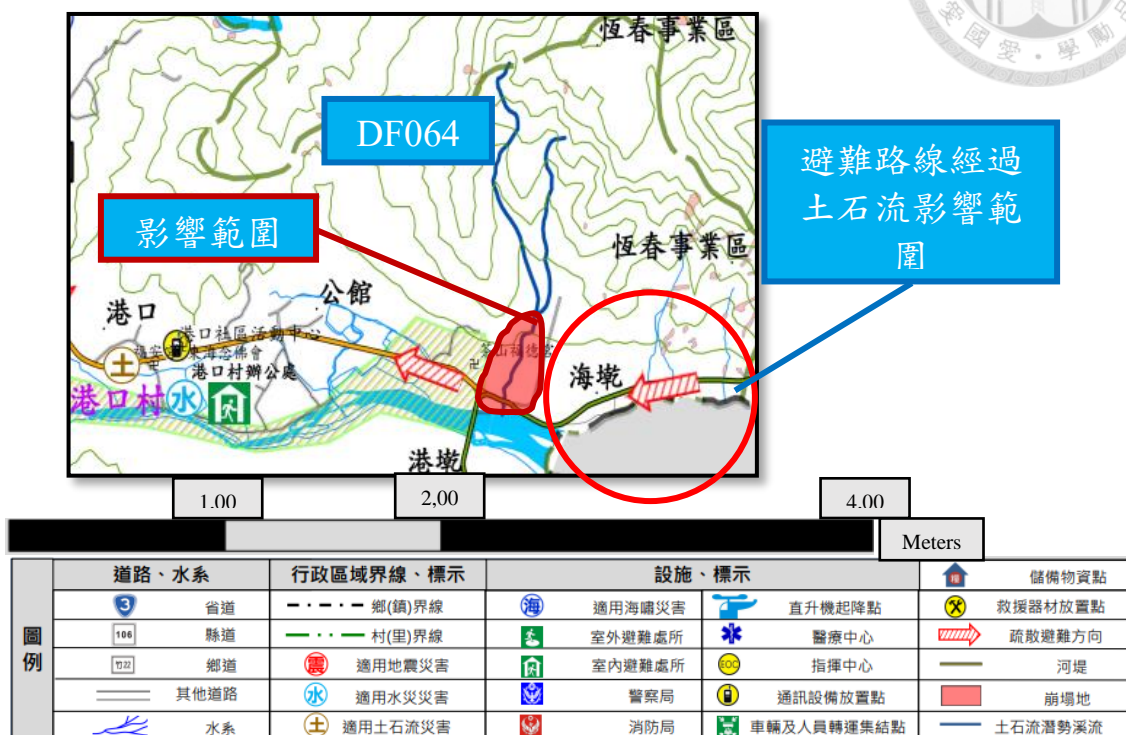


圖 4-31 DF064 避難計畫檢視

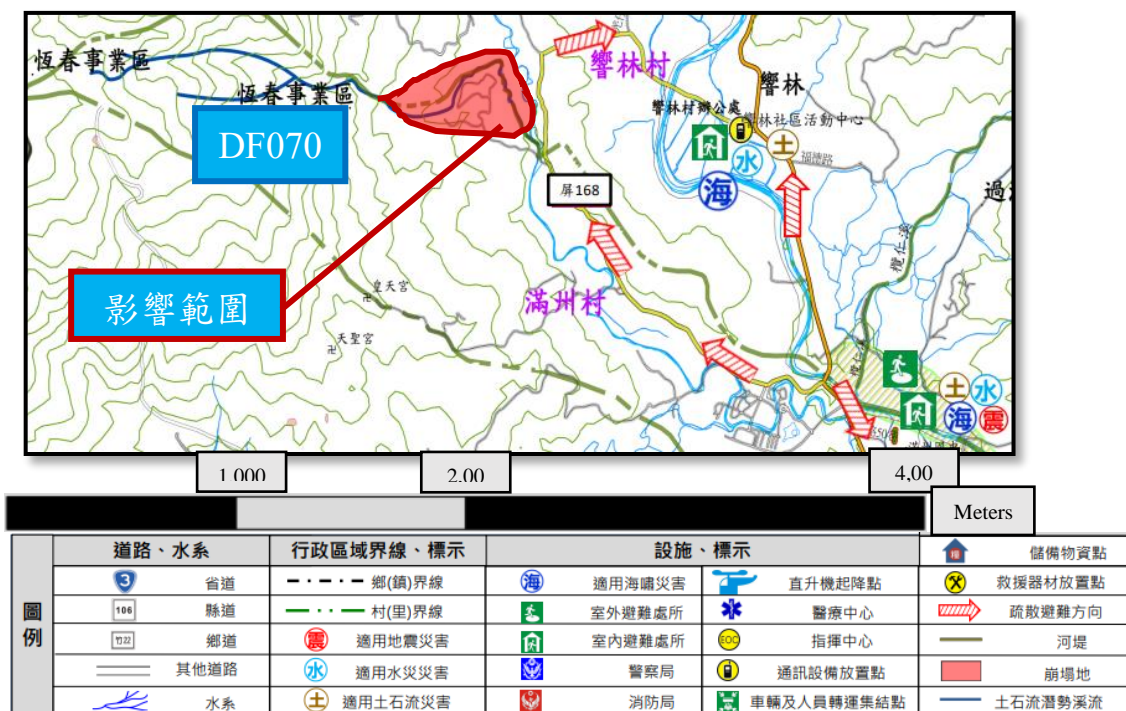


圖 4-32 DF070 避難計畫檢視



圖 4-33 DF063 避難計畫檢視

由圖 4-31~圖 4-33 可知，除了圖 4-31(DF064)之避難路線外，其餘避難計畫中避難路線及避難所都沒有經過或位於土石流潛勢溪流之影響範圍。DF064 的避難場所為港口村辦公室，土石流潛勢溪流之影響範圍將造成海墘方向居民之避難路線有安全上的疑慮，然而經評估目前海墘東側並無更加合適之避難場所，故避難場所仍建議為港口村辦公室，海墘方向之當地居民則需要在發布警報後更加快速且小心地撤離。

另外圖 4-33 中，土石流潛勢溪流 DF063 目前規劃的避難場所(高士國小杜林分校)雖然並未位於土石流影響範圍內，但已十分鄰近，建議避難時需更加留意與警戒，並持續觀察土石流影響範圍之變化。

4.5 綜合討論

本研究透過文獻回顧、現地勘查以及統整利害關係人意見，選定待分析之水砂問題後，透過二維水理及輸砂模式進行模擬，並利用模擬結果訂定相對應的調適策略。



4.5.1 河道溢淹問題

河道溢淹問題選定小路溪及港口溪匯流處作為分析區域，其位置如圖 3-1 所示。在統整利害關係人之意見後，發現此處每逢較大的降雨事件發生時，常導致堤防等構造物破損，進而使保全對象受到損失，故本研究參考農村水保署因應 NbS 所推動的韌性坡地補助之其中一項，水砂溢淹區，作為此處的調適策略。

透過 HEC-RAS 2D 之定床模擬分析淹水潛勢，模擬不同重現期距之淹水範圍，最終選定以常態洪水 (Q1.11) 以及極端降雨 (Q100) 作為不同大小之水砂溢淹區劃定範圍。

而水砂溢淹區作為調適策略，以經濟方面來看，政府單位將節省每逢大雨所造成堤防破損後須進行修復之經費，而土地持有者則可以透過補償之費用解決土地因水砂災害導致的經濟損失；另外對於生態方面，由於在設置水砂溢淹區後，將不再重新修復堤防等構造物，可以使原先因構造物導致生物棲地被分割之問題得到改善。

故本研究認為水砂溢淹區作為小路溪與港口溪匯流處河道溢淹問題之調適策略，除了改善財產損失之外，也能改善生態棲地之問題。

另外由於水砂溢淹區之劃定大小將影響補助之經費，故建議後續研究可以探討修復堤防之費用與水砂溢淹區補助之經費，兩者之間的關係，以經濟層面分析出最佳的補助策略。

4.5.2 河道土砂沖淤問題

河道土砂沖淤問題選定泰安橋下游處之舊有整治工程，其位置如圖 3-2 所示。在經過現地勘查後發現此處有一固床工，其下游處有明顯沖刷坑，除了有使固床工受損之疑慮之外，也阻隔了此處生物之縱向廊道，故本研究透過固床工拆除之方法，嘗試改善現地之情況。

透過 HEC-RAS 2D 動床模擬分析河道沖淤變化，模擬港口溪集水區保護標準之 50 年重現期距以及考量極端降雨之 100 重現期距，並利用模擬結果之沖淤變



化，判定此處固床工拆除之效益。

模擬結果顯示，不論是保護標準之 50 年重現期距，或是極端降雨之 100 年重現期距，在拆除固床工後，皆能減緩此處之沖刷現象，解決了原先由於沖刷坑問題導致固床工損壞之安全疑慮，並且改善生物之縱向廊道。

故本研究認為拆除固床工作為泰安橋下游河道土砂沖淤問題之調適策略，除了可以改善構造物損壞導致之安全問題，也恢復了生物之縱向廊道。

另外由於本研究在使用 HEC-RAS 2D 進行動床模擬時，是以保護標準之 50 年重現期距以及考量極端降雨之 100 年重現期距作為模擬條件，即模擬兩個不同重現期距之單一事件作為土砂沖淤之結果討論，建議後續研究可以嘗試利用長期的流況取代目前的單一事件，並進一步針對土砂沖淤平衡進行探討。

4.5.3 土石流潛勢溪流

港口溪集水區有三條土石流潛勢溪流，如圖 3-3 所示。在蒐集文獻後發現其中兩條土石流潛勢溪流曾發生較嚴重之土砂災害，故本研究將針對集水區內之土石流潛勢溪流進行影響範圍之模擬，並利用模擬結果檢驗現有之避難計畫。

透過 HEC-RAS 2D 土石流模擬分析土石流潛勢溪流之影響範圍，未曾致災之土石流潛勢溪流 DF063 採用港口溪集水區保護標準之 50 年重現期距進行模擬，而曾經致災之土石流潛勢溪流 DF064 及 DF070 則採用致災之颱風所對應 24 小時最大雨量進行模擬，並利用模擬結果之影響範圍與三條土石流潛勢溪流之避難計畫進行疊圖，檢驗避難計畫之合理性。結果顯示，位於港口溪下游鄰近出海口之土石流潛勢溪流 DF064 避難計畫，有部分避難路線經過影響範圍，然而目前現地無更加適合之避難場所，故建議當地居民在收到警報後需更加快速且小心地前往避難場所；另外港口溪上游處土石流潛勢溪流 DF063，雖避難場所不在土石流潛勢溪流影響範圍內，但已十分鄰近，需持續注意影響範圍之變化。

本研究認為 HEC-RAS 2D 土石流模擬能有效分析出土石流潛勢溪流之影響範圍，對於檢驗避難計畫有所幫助。

第五章 結論與建議




本研究之研究區域為屏東縣港口溪集水區，透過文獻回顧、現地勘查以及統整利害關係人之意見，選定待分析之水砂災害，再透過二維水理及輸砂模式分析集水區之水砂災害及調適策略，得出結論與建議如下：

5.1 結論

1. 透過統整當地居民及相關利害關係人之意見，再搭配文獻回顧以及現地勘查，可有效的找出各種方面的問題及後續模擬的方向。
2. HEC-RAS 2D 作為一個二維水理及輸砂模式分析之模型，可透過定床模擬、動床模擬及土石流模擬分析不同種類之水砂問題，利用同一個模式進行模擬可以減少模式初始設定參數等步驟，並且方便進行比較。
3. 水砂溢淹區作為淹水潛勢的調適策略，其非工程手段可以改善土地持有人的經濟損失，且也有利於當地生態環境。
4. 利用拆除固床工的方式，解決河道土砂沖淤之問題，除了可以改善原有的沖刷坑之外，也恢復了生物之縱向廊道。
5. 透過 HEC-RAS 2D 土石流模擬可獲得土石流潛勢溪流之影響範圍，對於檢驗避難計畫有所幫助。

5.2 建議

1. 建議可以將水砂溢淹區對於經濟方面之效益量化，如韌性坡地之補償經費與政府原先需用來修復堤防之花費，兩者相互比較後是否仍具有經濟效益。
2. 除了水砂溢淹區之外，建議可以搭配農村水保署於韌性坡地中提到的其他策略，即緩衝綠帶和棲地友善之措施。
3. 本研究於 HEC-RAS 2D 動床模擬分析河道土砂沖淤情形時，採用保護標準之 50 年重現期距以及考量極端降雨之 100 年重現期距，建議可以使用長期的沖淤變化取代目前研究中使用之單一事件。

- 
4. HEC-RAS 2D 之土石流模擬，由於此模組較新，故相關參數皆參考 HEC-RAS 使用手冊，建議可透過現地勘查及採樣，或參考更多國內外相關文獻，以取得更加符合現地情況之參數。
 5. HEC-RAS 模式之驗證，除了現有的驗證方式外，建議可以透過現地相關測站所測得流量歷線、水深、流速等資料進行驗證，使模式更具有可信度。

參考文獻



1. 水利技師公會 (2007)。水利工程相關應用軟體簡介。水利會訊，第十期，頁120~123。
2. 王丰聖 (2023)。紅樹林作為國土保育自然解方之潛力評估。〔碩士論文。國立臺灣大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/aug88b>。
3. 王熙茜 (2022)。恆春半島地區陸蟹對改良式排水涵洞之利用。〔碩士論文。國立清華大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/j397y2>。
4. 行政院農業委員會水土保持局台南分局 (2023)。111年臺南分局集水區治理規劃導入NbS調適研究計畫。
5. 吳奕汶 (2022)。沉砂池改善設施效益評比及水理模擬分析。〔碩士論文。國立中興大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/j87szx>。
6. 呂冠毅 (2022)。探討氣候變遷下都市土地空間之減洪方案—以將軍溪流域為例。〔碩士論文。國立成功大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/kfqj26>。
7. 宋威毅 (2017)。微型集水區對都市淹水模式之影響。〔碩士論文。國立臺北科技大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/xmj7yq>。
8. 李政璋 (2023)。臺灣相手蟹科蟹類分類與生態研究。〔博士論文。國立中山大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/nmfuq3>
9. 周欽源 (2015)。老佛野溪土砂災害整治效益探討。〔碩士論文。國立屏東科技大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/v4r5xu>。

- 
10. 林宜虹 (2017)。以 SOBEK 即時控制模組建立新店溪上游 堰壩機制之研究。〔碩士論文。國立臺北科技大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/8c9843>。
 11. 林品均 (2012)。利用目視調查法探討混凝土堤防外觀與淘空程度相關性之研究。〔碩士論文。國立成功大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/xt7f5z>。
 12. 林宸亘 (2023)。複合型防災滯洪池公園設置效益探討-以臺中市大里區大峰路防災公園為例。〔碩士論文。國立中興大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/2uwurp>。
 13. 林庭任 (2023)。3Di 應用於坡地農塘減洪效率之可行性研究。〔碩士論文。逢甲大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/7z2d6p>。
 14. 邱鵬豪 (2022)。因應集水區水文特性之兩洪源頭管理措施政策探討-以桃園地區排洪及下水道建設為例。〔博士論文。國立臺灣大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/w2zm3k>。
 15. 屏東縣政府 (2022)。屏東縣牡丹鄉防災地圖。屏東防災資訊整合平台。
 16. 屏東縣政府 (2022)。屏東縣滿州鄉防災地圖。屏東防災資訊整合平台。
 17. 柯品華 (2023)。臺灣推動自然解方於河川溪流治理之障礙與機會。〔碩士論文。國立臺北大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/f96b2f>。
 18. 柴家豪 (2011)。河川棲地多樣性與指標物種棲地面積之相關研究-以烏溪大旗橋河段為例。〔碩士論文。中華大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/t2r54m>。
 19. 國家災害防救科技中心 (2012)。易致災環境指標調查。101 年屏東縣致災環境指標調查與評估報告，第三章。

- 
20. 張盈俊 (2022)。老人溪集水區於莫拉克風災後土砂變遷之治理對策探討。
〔碩士論文。國立屏東科技大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/pkfc6g>。
21. 張喬亞 (2013)。整合 HEC-RAS 與 FLO-2D 應用於典寶河流域之淹水模擬。
〔碩士論文。國立成功大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/px949y>。
22. 莊孟矩 (2020)。易淹水集水區農塘活化優選與韌性改善之研究。〔碩士論文。國立中興大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/vs8f64>。
23. 莊雯茹 (2011)。堤防與混凝土結構物的熱像法檢測。〔碩士論文。朝陽科技大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/htvgz8>。
24. 許金龍 (2017)。柳枝工及木梢沈床工法與節能減碳及成效之探討-以卑南溪新興堤防為例。〔碩士論文。國立屏東科技大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/7fc787>。
25. 郭正壹 (2008)。河溪固床工配置生態化之研究。〔碩士論文。逢甲大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/dp7zg3>。
26. 陳伸安 (2006)。二維水理棲地模式運用於南崁溪生態規劃之研究。〔碩士論文。國立中央大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/yqjz4r>。
27. 陳彥丞 (2020)。應用小時雨量產生器於氣候變遷下之淹水潛勢分析。〔碩士論文。國立中興大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/2ps23n>。
28. 陳柏碩 (2016)。滯洪池設置對鄰近地區發展的探討—以寶業里滯洪池為例。〔碩士論文。高苑科技大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。



- <https://hdl.handle.net/11296/84dc2p>。
29. 陳智誠 (2015)。宜蘭縣碼崙溪集水區土砂災害之研究。〔碩士論文。國立臺北科技大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/7awbg6>。
30. 黃炎培 (2023)。以 SRH-2D 模式評估河道整理對輸砂之影響。〔碩士論文。國立成功大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/3aenu3>。
31. 黃浣婷 (2021)。廣山滯洪池週邊淹水檢討。〔碩士論文。國立嘉義大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/q8y7fv>。
32. 黃啟峰 (2019)。屏東縣武洛溪排水治理之研究。〔碩士論文。高苑科技大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/j6g426>。
33. 黃晶瑩 (2018)。建立巢狀模擬系統評估河道泥砂運移之研究—以新竹鳳山溪流域為例。〔碩士論文。國立中興大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/x5ypnm>。
34. 黃傭評 (2016)。淺談 CCHE2D 模式相關應用心得。水利期刊，第 0184 期。
https://epaper.wra.gov.tw/Article_Detail.aspx?s=3068&n=0
35. 經濟部水利署第七河川局 (2010)。「易淹水地區水患治理計畫」屏東縣管河川港口溪水系規劃報告。
36. 葛奕良 (2011)。丁壩工設置對生態棲地之影響及範圍評估。〔碩士論文。國立中央大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/yl2542>。
37. 農業部農村發展及水土保持署臺南分署 (2023)。112 年度集水區調適規劃研究計畫-港口溪集水區。
38. 蔡宗賢 (2022)。HEC-RAS 6.X 新增土石流模擬功能！水土保持電子報，第 47 期。



39. 盧錫彥 (2012)。應用二維水理模式評估河道演變之研究。〔碩士論文。國立中興大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/et4n6u>。
40. 賴姿伊 (2019)。河道堤防之基腳沖刷與丁壩保護試驗研究。〔碩士論文。國立中興大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/rvs46g>。
41. 賴茂修 (2022)。應用洪災指標於二維 HEC-RAS 及 3Di 模式之評估。〔碩士論文。國立臺灣大學〕臺灣博碩士論文知識加值系統。
<https://hdl.handle.net/11296/2rbtd9>。
42. 賴桂文 (2016)。HEC-RAS 水理模式 2D 模組介紹及應用。水利會訊，19 期，頁 1-17。
<https://tpl.ncl.edu.tw/NclService/JournalContentDetail?SysId=A2021071905>
43. Burgess-Gamble, L. (2012). Case study 2. Mayes Brook river restoration, Mayesbrook park, east London.
44. Desalegn, H., & Mulu, A. (2021). Mapping Flood Inundation Areas Using GIS and HEC-RAS Model at Fetam River, Upper Abbay Basin, Ethiopia. *Scientific African*, 12, e00834. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00834>
45. Erena, S. H., Worku, H., & Paola, F. D. (2018). Flood Hazard Mapping Using FLO-2D and Local Management Strategies of Dire Dawa City, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 19, 224–239.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.09.005>
46. Frisani, A., & Hassan, Y. A. (2015). On the Immersed Boundary Method: Finite Element versus Finite Volume Approach. *Computers & Fluids*, 121, 51–67.
<https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2015.08.006>
47. HEC-RAS Mud and Debris Flow (2023). “Mud and Debris Flow.” U.S. Army

Corps of Engineering Hydrologic Engineering Center



48. HEC-RAS User's Manual (2023). "HEC-RAS User's Manual." U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center.
49. MacKinnon, K., Sobrevila, C., & Hickey, V. (2008). Biodiversity, climate change, and adaptation: nature-based solutions from the World Bank portfolio (No. 46726, pp. 1-112). The World Bank.
50. Nicholson, A., Quinn, P., & Wilkinson, M. (2015). Case study 16. Belford Natural Flood Management Scheme, Northumberland.
51. Physo, A. P., Yabar, H., & Richards, D. (2023). Managing Dam Breach and Flood Inundation by HEC-RAS Modeling and GIS Mapping for Disaster Risk Management. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100487. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100487>
52. Wilkinson, M., Addy, S., Clilverd, H., Sayer, C., Thompson, J., & Axmacher, J. (2010). Case study 5. River Glaven, North Norfolk.