國立屏東科技大學土木工程系

博士學位論文

臺東野溪集水區土砂治理策略之研究

A Study on Management Strategies of Sediment in the Wild Stream Watersheds of Taitung County

指導教授：李錦育 博士

研究生：王冬成

中華民國 110 年 6 月 5 日

DOI:10.6346/NPUST202100182

DOI:10.6346/NPUST202100182

國立屏東科技大學

博士學位論文口試委員會審定書

土木工程系(所)博士班　　研究生　王冬成　君

所提之論文　臺東野溪集水區土砂治理策略之研究

經本委員會審定通過，特此證明。

論文口試委員會（加註委員職稱及服務單位）

委　　員：許中立(國立屏東科技大學水土保持系教授)

林昭遠(國立中興大學水土保持學系教授)

游保杉(國立成功大學水利及海洋工程學系退休教授)

陳朝圳(國立屏東科技大學森林系退休教授)

指　導　教　授：李錦育(國立屏東科技大學水土保持系教授)

中　華　民　國　110　年　6　月　5　日

DOI:10.6346/NPUST202100182

摘要

學號：P9742004
論文題目：臺東野溪集水區土砂治理策略之研究　　總頁數：228 頁
學校名稱：國立屏東科技大學　　系（所）別：土木工程系
畢業年月: 2021 年 6 月　　學位別：博士學位論文
研究生：王冬成　　指導教授：李錦育博士

論文摘要內容：

近年來受到氣候變遷與極端降雨的影響，每逢颱風豪雨事件常誘發山區土石崩塌而引起土砂災害，然而土砂發生機制過於複雜，若能藉由模式有效預測土砂運移過程，將有助研擬土砂管理及治理策略。本研究以過去相關研究模式為基礎，選定臺東野溪樣區，根據其土砂主要來源坡地崩塌與地表沖蝕，分析其土砂生產量與運移狀況，進而採滾動式評估管理方式，針對淤積嚴重河道進行清疏，以恢復河道安全通洪功能。

鑑於 2009 年莫拉克颱風造成臺東南部產生大量土砂災害，選定臺東沿海河系之太平溪、太麻里溪、金崙溪、大竹溪、大鳥沿海及達仁沿海等七個主要次集水區作為研究樣區，比對莫拉克颱風前後各重點樣區之土砂變遷空間分布，及莫拉克颱風前衛星影像判釋，顯示研究樣區在颱風前之總崩塌面積約 1131.8ha，而颱風後衛星影像判釋之崩塌地有明顯增加，面積總計達約 5292.5ha，總土砂量體約為原來之 4.68 倍，此為造成臺東縣多處野溪嚴重土砂淤積之主因。又 2010-2012 年期間，臺東歷經凡那比、南瑪都及天秤等颱風，災害已部份轉移至臺東北部之新武呂溪，因此 2012 年另增加新武呂溪作為研究樣區，而原本臺東沿海河系中僅保留五個重點集水區加上新武呂溪，共以六個集水區作為 2012 年天平颱風後之研究樣區，經 2012 年天秤颱風後衛星影像判釋，比對各重點集水區之土砂變遷空間分布，結果顯莫拉克颱風初期六個重點集水區崩塌面積總計約 6443.1ha，而天秤颱風後六個重點集水區崩塌面積總計約 5,724.9ha，顯示從 2010-2012 年期間，崩塌已趨於穩定或復育良好。

DOI:10.6346/NPUST202100182

本研究亦發現臺東土砂清疏採滾動式管理檢討結果，可依野溪集水面積大小及其地形特性與土砂淤積程度不同，所應用策略也各有不同。而野溪治理策略除須改變既有傳統思維外，並可參考時間與空間等因素，依據時間長短劃分為三階段，分別為短期(臨時性防災措施)、中期(野溪)護岸(修復)及長期(集水區整體性規劃)。在空間與治理工法之應用，可依據土壤地質條件劃分為三個區域，分別為縱谷線(中央山脈)、海線(海岸山脈)及南迴線。

對於未來治理策略與應用，應該從以下十大面向考慮：1.臺東地區野溪特性與問題；2.臺東野溪治理工法之演進；3.改變舊思維與導入新科技；4.野溪清疏時機與空間考量；5.參考地域特性及工法創新；6.增加滯洪保水與減災避災；7.設計階段之施工風險評估；8.落實生態檢核與友善措施；9.規劃預警系統及自主防災；10.加強設施構造物維護管理。本研究分析臺東地區 2009~2012 年期間，集水區土砂空間分布，並進行現地調查，綜合理論與實務經驗，提出災害管理與治理策略建議，期望可提供未來集水區土砂治理策略之參考。

關鍵字：颱風事件、土砂災害、野溪清疏、土砂治理、治理策略

DOI:10.6346/NPUST202100182

Abstract

Student ID: P9742004
Title of Thesis: A Study on Management Strategies of Sediment in the Wild Stream Watersheds of Taitung County Total Pages: 228
Name of Institute: National Pingtung University of Science &Technology
Name of Department: Department of Civil Engineering
Date of Graduation: June, 2021
Degree Conferred: Doctoral Dissertation
Name of Student: Wang, Tung-Cheng Adviser: Dr. Lee, Chin-Yu

The Contents of Abstract in this Thesis:

Due to the climate change and extreme rainfall, sediment disasters characterized by landslides triggered by typhoons with extremely heavy rain are getting quite common and serious in Taiwan. The causes of sediment are very complicated; however, with the help of the models to effectively predict the processes of sediment transportation, it will be beneficial to working on proper sediment management strategies. This study, based on the previous related research on models, aimed to explore the problems of landslides of main slopelands and soil erosion caused by the extreme rainfall of Typhoon Morakot in the wild stream watersheds in Taitung County. By analyzing sediment yield and its transportation, the study provided the rolling evaluation management to carry out river dredging for sediment deposition in order to restore the safe river transport capacity.

Typhoon Morakot in 2009 with characteristics of heavy rainfall intensity and long duration caused many severe landslides in Taitung County. This study selected seven wild stream watersheds in Taitung County as the study sample and compared the spatial distribution of sediment changes in the above-mentioned areas before and after Typhoon Morakot. According to the interpretation of satellite images before Typhoon Morakot, it was found that there was an obvious increase in the area of landslides from 1131.8 hectares to 5292.5 hectares and the total amount of sediment was about 4.68 times that of the original sediment. The increase in landslides was the main cause of sediment of many wild stream watersheds in Taitung County. During post-Typhoon Morakot periods with three typhoons hitting

DOI:10.6346/NPUST202100182

Taitung County, including Typhoon Fanapi (2010), Typhoon Nanmadol (2011), and Typhoon Tembin (2012), Hsinwulu River Basin also suffered from sediment disasters, so this area was added to the study sample along with the previous five hotspots of watersheds for the purpose of the study. The interpretation results of satellite images after Typhoon Tembin showed the total area of landslides in six hotspots of watersheds was 6443.1 hectares after Typhoon Morakot and 5724.9 hectares after Typhoon Tembin respectively, indicating that the conditions of landslides were getting stable or well restored from 2009 to 2012.

Based on the results of rolling evaluation management of sediment dredging in Taitung County, this study also found the size of wild stream watersheds, the geographical characteristics, and the extent of sediment deposition were factors in adopting different strategies for river dredging. Besides, it was suggested that wild stream watershed management should take time and spatial factors into consideration. In terms of time, it was better to divide management time into three phases, including the short-term period (focusing on temporary preventative measures), the mid period (emphasizing restoration of bank protection work of wild streams), and the long-term period (centering on integrated planning of watersheds). As for spatial consideration in management strategies, it was suggested, on the basis of geographical conditions of soil, three areas could be divided, including those in Central Range, Coastal Range, and South-Link Line.

This study suggested that future management strategies of sediment in Taitung County should take into account the following ten aspects, including the characteristics and problems of wild streams, the development of wild stream management and construction methods , the incorporation of new technology, time and spatial factors in river dredging, geographical characteristics and innovation of construction methods, the improvement of detention and water retention as well as prevention measures of disasters, the construction risk assessment at the engineering stage, the implementation of ecological checks and environmentally-friendly measures, the planning of early warning systems and disaster resistant policies, and strengthening maintenance and management of engineering structures. This study explored the spatial distribution of sediment in the wild stream watersheds of Taitung

DOI:10.6346/NPUST202100182

County from 2009 to 2012, conducted the field surveys, combined academic theories and practical engineering experiences, and provided findings on proper management and prevention strategies of sediment disasters caused by the climate change and extreme rainfall. It is also hoped that the results of this study could be used for the reference of future management strategies of sediment in wild stream watersheds.

Keywords: Typhoon event, Sediment disaster, River dredging, Sediment management, Management strategies

NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY
國立屏東科技大學

DOI:10.6346/NPUST202100182

DOI:10.6346/NPUST202100182

謝誌

首先要感謝恩師李錦育教授、本校水保系前系主任許中立教授、本校前副校長陳朝圳教授、成功大學前工學院院長游保杉教授及中興大學水保系前系主任林昭遠教授等論文口試委員，在百忙之中參加 2021 年 6 月 5 日下午 3 點的論文口試，過程中給予本論文許多指導及建議，讓本人倍感榮幸且獲益良多，特別是在全球遭受 COVID-19 疫情肆虐，國內全面進入三級警戒當下，為遵循防疫政策防止室內群聚感染，本次論文口試依學校規定申請採室外現場及視訊方式進行，加以口試進行當下受梅雨鋒面影響風雨交加，在室外臨時克難場地及風雨夾雜聲中辛苦完成，特此感激所有委員一致給予通過本論文口試。

回首來時路，攻讀博士念頭從剛退伍時強烈的欲望，慢慢隨年紀增長與工作事業繁忙，漸漸沒有那麼強烈的想法了，尤其在業界當執業技師根本不需要博士學位的光環，反而工作實務經驗與賺錢養家才是真正的當務之急，唸博士或許只是想證明自己也有這個能力吧？不過 2008 年初許中立教授仍鼓勵我報考，這件事當時著實讓我猶豫一陣子，畢竟當年已與內人討論生小孩的家庭計畫，不過幾經討論思索後還是姑且一試報考了，後來也順利考上水保系與土木系共同開設的「坡地防災及水資源工程研究所」博士班第四屆(後來改為土木工程系博士班)，在此特別感謝許中立教授當年的鼓勵，讓我得以有繼續抱持實現夢想的機會。

2008 年 9 月開學前，積極與系上老師討論未來想要研究方向與內容，也獲得多位老師的寶貴意見做參考，開學後決定跟隨李錦育教授學習做研究，而且也很榮幸成為李錦育教授的第一位博士生(同時也是最後一位畢業的關門弟子)，延續本人是李錦育教授 1989 年到屏東農專(三專制，今屏科大前身)服務的第一屆學生緣份，對於李錦育教授的治學研究理念與能力早已深感敬佩，彼此的關係除了當年在校時期外，畢業後也常多所接觸與交流，然而離校

DOI:10.6346/NPUST202100182

十八年後再續前緣建立起密切的師生關係，是件非常令人愉快的事，感謝恩師的接納與指導。

開學後依照開課內容選擇比較符合自己想要研究的相關課程，時常在板橋與屏東間南北往返上課，為的是想儘快修完學分並尋找研究議題，學期間也欣聞內人惠玲依原先的家庭計畫懷孕了，因此歡喜期待新生命帶給我們夫妻新生活目標，至此，我除了公司業務與課業要忙，多了一個照顧孕妻的重要任務，因此在女兒出生之前我即在臺中設立辦公據點及轉移生活重心，回臺中陪伴內人及等待女兒的誕生，2009 年六月女兒苡人平安順利來報到，開啟了我們夫妻新一階段生活模式，而此時我也早已過不惑之年，感謝內人惠玲一路走來的支持與對小孩的辛苦照顧及付出，平時除了她自己的教學工作，有時也在文章翻譯上給我許多協助，讓我得以在家庭、事業及課業間取得平衡，無後顧之憂的往前進取。

2009 年 8 月 8 日原本是該快樂過我的第一個父親節，然而臺灣卻發生百年洪水大災難，也就是莫拉克颱風重創臺灣的 88 風災事件，由於本人長期在臺東服務，因此，88 風災後除了自己公司在臺東積極參與相關調查規劃及復建工程，同時也參與臺灣省水土保持技師公會在臺東地區災後野溪清疏專案管理計畫，擔任計畫之協同主持人，一直到 2013 年 12 月本人接任公會理事長仍延續相關計畫之執行，期間皆邀請臺東在地的劉吉興技師參與計畫任務，聘請林志燦先生擔任駐點工程師，以滾動式管理方式執行計畫，本論文之基石即建構在清疏專案管理計畫、公司承攬之調查規劃案與本人在臺東累積近 20 年災害復建工程執行經驗。感謝期間參與的團隊成員及公司同仁協助，方有本論文之誕生。同時非常感謝期間王耀德同學及張文彥學弟在投稿 SCI 期刊及論文上諸多的協助幫忙。

研究期間更感謝恩師李錦育教授的體恤與師母對我們家庭的關愛，讓我在研究期間得以因為接任公會理事長及事業繁忙而兩

DOI:10.6346/NPUST202100182

度休學，同時也因個人健康因素而幫我向學校特簽申請展延修業年限，在在都體現恩師對我的期許與厚愛，銘感五內、恩重如山，如今方得以順利完成博士學位論文，讓我欣喜能與讀小學的女兒苡人一起畢業，這學位論文猶如我辛苦孕育出的另位孩子，感觸良多。

最後謹以此學位論文獻給九十五歲高齡年邁的父親，與來不及等我畢業分享喜悅榮耀的母親，敬愛的母親是最在乎我的學業、事業及健康狀況的天使，藉此感謝母親大人一生的奉獻與栽培，同時感謝所有親人的支持與鼓勵，並感謝岳父岳母的信任與勉勵。

謹識於臺中
2021.06.05

NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY
國立屏東科技大學

DOI:10.6346/NPUST202100182

DOI:10.6346/NPUST202100182

目錄

摘要 ..... **I**

Abstract ..... **III**

謝誌 ..... **VII**

目錄 ..... **XI**

表目錄 ..... **XIII**

圖目錄 ..... **XVII**

壹、前言 **1**

一、 研究動機 1

二、 研究目的 2

三、 研究內容與流程 3

貳、文獻回顧 **5**

一、 崩塌相關研究 5

二、 河川相關研究 10

三、 災害風險分析相關研究 15

四、 災害管理策略相關研究 16

參、研究樣區概況與研究方法 **17**

一、 研究樣區概況 17

二、 研究方法 47

肆、結果與討論 **63**

一、 2004~2009 年期間崩塌地空間分布 63

二、 重點土砂集水區 65

三、 莫拉克颱風初期土砂生產量分析結果 66

四、 2009~2012 年期間土砂生產量分析結果 99

五、 莫拉克災害前期與後期土砂運移探討 141

六、 現地土砂調查 146

DOI:10.6346/NPUST202100182

七、　野溪清疏需求評估與對策探討 175
八、　災害管理與防災治理策略探討 193

伍、結論與建議 217
一、　結論 217
二、　建議 218

參考文獻 221
作者簡介 227

NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY
國立屏東科技大學

DOI:10.6346/NPUST202100182

表目錄

表 2-1 造成崩塌之基本因子及其元素與內容 6
表 2-2 坡地移動類型簡化分類方法 6
表 2-3 河川型態分類 11
表 2-4 河道基準面下切可能效應 12
表 2-5 截彎取直的可能效應 12
表 2-6 清疏常見問題 13
表 2-7 清疏具體作為 14
表 3-1 臺東地區之潛在震害斷層 23
表 3-2 歷年侵襲臺東縣之颱風造成歷史災害資料統計表 41
表 3-3 崩塌深度估計參考表 54
表 4-1 2004~2009 年臺東縣各集水區崩塌統計分析表 64
表 4-2 莫拉克颱風前後臺東沿海河系主要次集水區崩塌資料 68
表 4-3 2009 年太平溪次集水區崩塌土方量 69
表 4-4 2009 年太麻里次集水區崩塌土方量 70
表 4-5 2009 年金崙溪次集水區崩塌土方量 71
表 4-6 2009 年大竹次溪集水區崩塌土方量 72
表 4-7 2009 年大鳥沿海次集水區崩塌土方量 72
表 4-8 2009 年大武溪次集水區崩塌土方量 73
表 4-9 2009 年達仁沿海次集水區崩塌土方量 73
表 4-10 2009 年太平溪次集水區土壤沖蝕量 75
表 4-11 2009 年太麻里溪次集水區土壤沖蝕量 76
表 4-12 2009 年金崙溪次集水區土壤沖蝕量 77
表 4-13 2009 年大竹溪次集水區土壤沖蝕量 78
表 4-14 2009 年大鳥沿海次集水區土壤沖蝕量 79
表 4-15 2009 年大武溪次集水區土壤沖蝕量 79
表 4-16 2009 年達仁沿海次集水區土壤沖蝕量 80

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-17 2009 年莫拉克颱風臺東沿海河系子集水區土砂生產運移變遷 84
表 4-18 2009 年莫拉克颱風臺東沿海河系集水區圖例說明表 88
表 4-19 2009 年莫拉克颱風臺東沿海河系集水區土砂生產運移變遷 89
表 4-20 莫拉克颱風前後及天秤颱風後各集水區崩塌資料 100
表 4-21 2012 年新武呂溪次集水區崩塌土方量 102
表 4-22 2012 年太麻里溪次集水區崩塌土方量 103
表 4-23 2012 年金崙溪次集水區崩塌土方量 104
表 4-24 2012 年大竹溪次集水區崩塌土方量 105
表 4-25 2012 年加羅板溪子集水區崩塌土方量 106
表 4-26 2012 年安朔溪子集水區崩塌土方量 107
表 4-27 2012 年新武呂溪次集水區土壤沖蝕量 112
表 4-28 2012 年太麻里溪次集水區土壤沖蝕量 113
表 4-29 2012 年金崙溪次集水區土壤沖蝕量 114
表 4-30 2012 年大竹溪次集水區土壤沖蝕量 115
表 4-31 2012 年加羅板溪子集水區土壤沖蝕量 116
表 4-32 2012 年安朔溪子集水區土壤沖蝕量 117
表 4-33 2012 年新武呂溪次集水區圖例說明 123
表 4-34 2012 年太麻里溪次集水區圖例說明 123
表 4-35 2012 年金崙溪次集水區圖例說明 124
表 4-36 2012 年大竹溪次集水區圖例說明 124
表 4-37 2012 年加羅板溪子集水區圖例說明 124
表 4-38 2012 年安朔溪子集水區圖例說明 125
表 4-39 2012 年新武呂溪次集水區土砂生產運移變遷表 126
表 4-40 2012 年太麻里溪次集水區土砂生產運移變遷表 127
表 4-41 2012 年金崙溪次集水區土砂生產運移變遷表 128
表 4-42 2012 年大竹溪次集水區土砂生產運移變遷表 129
表 4-43 2012 年加羅板溪子集水區土砂生產運移變遷表 130

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-44 2012 年安朔溪子集水區土砂生產運移變遷表 131
表 4-45 新武呂溪次集水區 2009 年莫拉克颱風與 2012 年天秤颱風後土砂生產運移變遷比較..... 142
表 4-46 太麻里溪次集水區 2009 年莫拉克颱風與 2012 年天秤颱風後土砂生產運移變遷比較..... 143
表 4-47 金崙溪次集水區 2009 年莫拉克颱風與 2012 年天秤颱風後土砂生產運移變遷比較..... 144
表 4-48 大竹溪次集水區 2009 年莫拉克颱風與 2012 年天秤颱風後土砂生產運移變遷比較..... 144
表 4-49 加羅板溪子集水區 2009 年莫拉克颱風與 2012 年天秤颱風後土砂生產運移變遷比較..... 145
表 4-50 安朔溪子集水區 2009 年莫拉克颱風與 2012 年天秤颱風後土砂生產運移變遷比較..... 145
表 4-51 工程舊思維與新思維差異 198
表 4-52 集水區野溪區位適用工法 199

國立屏東科技大學
NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

DOI:10.6346/NPUST202100182

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖目錄

圖 1-1 莫拉克災害太麻里溪上游崩塌 1
圖 1-2 莫拉克災害大武溪下游土砂堆積 2
圖 1-3 莫拉克災害太麻里溪包盛社堰塞湖 3
圖 1-4 研究流程 4
圖 2-1 坡地移動分類 7
圖 2-2 土砂運移過程 8
圖 2-3 如何確定土砂災害相關危險區域 9
圖 2-4 疏濬策略系統圖 15
圖 2-5 災害管理週期 16
圖 3-1 研究樣區海拔高程分布 17
圖 3-2 臺東縣地質特性分布圖 22
圖 3-3 臺東縣斷層帶分布示意圖 23
圖 3-4 臺東縣土壤特性分布圖 26
圖 3-5 臺東縣行政區域圖 27
圖 3-6 臺東縣轄屬集水區域圖 30
圖 3-7 海岸山脈東側河系轄屬次集水區與水系分布圖 31
圖 3-8 卑南溪流域與秀姑巒溪流域轄屬次集水區與水系分布圖 32
圖 3-9 臺東沿海河系轄屬次集水區與水系分布圖 33
圖 3-10 臺東縣土地權屬分類圖 35
圖 3-11 臺東縣土地使用分區圖 36
圖 3-12 臺東縣特殊自然生態環境區域分布圖 39
圖 3-13 子集水區及河系串接示意圖 48
圖 3-14 子集水區概念化示意圖 49
圖 3-15 子集水區土砂生產及運移分析概念圖 49
圖 3-16 衛星影像判釋崩塌地流程圖 52
圖 3-17 新增崩塌地示意圖 54

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 3-18 降雨-逕流計算流程 58
圖 3-19 泥砂生產計算流程 60
圖 3-20 泥砂輸送計算流程 61
圖 4-1 水土保持局劃定之崩塌分布圖 65
圖 4-2 土砂問題重點集水區 65
圖 4-3 臺東沿海河系莫拉克颱風後崩塌土方量分布圖 74
圖 4-4 臺東沿海河系莫拉克颱風期間坡地土壤沖蝕量分布圖 81
圖 4-5 2009 年莫拉克颱風太平溪次集水區土砂運移魚骨圖 90
圖 4-6 2009 年莫拉克颱風太麻里溪次集水區土砂運移魚骨圖 91
圖 4-7 2009 年莫拉克颱風金崙溪次集水區土砂運移魚骨圖 92
圖 4-8 2009 年莫拉克颱風大竹溪次集水區土砂運移魚骨圖 93
圖 4-9 2009 年莫拉克颱風加津林溪及大鳥溪土砂運移魚骨圖 94
圖 4-10 2009 年莫拉克颱風大武溪次集水區土砂運移魚骨圖 95
圖 4-11 2009 年莫拉克颱風達仁沿海次集水區土砂運移魚骨圖 96
圖 4-12 2009 年莫拉克颱風臺東沿海河系次集水區土砂變異情形 ... 97
圖 4-13 2009 年莫拉克颱風後臺東沿海河系殘餘土方量分布圖 98
圖 4-14 2012 新武呂溪集水區崩塌土方量分布圖 108
圖 4-15 2012 年太麻里溪次集水區崩塌土方量分布圖 108
圖 4-16 2012 年金崙溪次集水區崩塌土方量分布圖 109
圖 4-17 2012 年大竹溪次集水區崩塌土方量分布圖 109
圖 4-18 2012 年加羅板溪子集水區崩塌土方量分布圖 110
圖 4-19 2012 年安朔溪子集水區崩塌土方量分布圖 110
圖 4-20 2012 年新武呂溪次集水區坡地土壤沖蝕量分布圖 118
圖 4-21 2012 年太麻里溪次集水區坡地土壤沖蝕量分布圖 118
圖 4-22 2012 年金崙溪次集水區坡地土壤沖蝕量分布圖 119
圖 4-23 2012 年大竹溪次集水區坡地土壤沖蝕量分布圖 119
圖 4-24 2012 年加羅板溪子集水區坡地土壤沖蝕量分布圖 120
圖 4-25 2012 年安朔溪子集水區坡地土壤沖蝕量分布圖 120

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 4-26 2012 年天秤颱風新武呂溪次集水區土砂運移魚骨圖 132
圖 4-27 2012 年天秤颱風太麻里溪次集水區土砂運移魚骨圖 133
圖 4-28 2012 年天秤颱風金崙溪次集水區土砂運移魚骨圖 134
圖 4-29 2012 年天秤颱風大竹溪次集水區土砂運移魚骨圖 135
圖 4-30 2012 年天秤颱風加羅板溪子集水區土砂運移魚骨圖 136
圖 4-31 2012 年天秤颱風安朔溪子集水區土砂運移魚骨圖 137
圖 4-32 2012 年新武呂溪次集水區殘餘土方量分布圖 138
圖 4-33 2012 年太麻里溪次集水區殘餘土方量分布圖 138
圖 4-34 2012 年金崙溪次集水區殘餘土方量分布圖 139
圖 4-35 2012 年大竹溪次集水區殘餘土方量分布圖 139
圖 4-36 2012 年加羅板溪子集水區殘餘土方量分布圖 140
圖 4-37 2012 年安朔溪子集水區殘餘土方量分布圖 140
圖 4-38 新武呂溪流域全圖 148
圖 4-39 2012 年新武呂溪土砂現地調查照片 149
圖 4-40 太麻里溪流域全圖 152
圖 4-41 2012 年太麻里溪土砂現地調查照片(1/6) 153
圖 4-42 2012 年太麻里溪土砂現地調查照片(2/6) 154
圖 4-43 2012 年太麻里溪土砂現地調查照片(3/6) 155
圖 4-44 2012 年太麻里溪土砂現地調查照片(4/6) 156
圖 4-45 2012 年太麻里溪土砂現地調查照片(5/6) 157
圖 4-46 2012 年太麻里溪土砂現地調查照片(6/6) 158
圖 4-47 金崙溪流域全圖 160
圖 4-48 2012 年金崙溪土砂現地調查照片(1/3) 161
圖 4-49 2012 年金崙溪土砂現地調查照片(2/3) 162
圖 4-50 2012 年金崙溪土砂現地調查照片(3/3) 163
圖 4-51 大竹溪流域全圖 165
圖 4-52 2012 年大竹溪土砂現地調查照片(1/3) 166
圖 4-53 2012 年大竹溪土砂現地調查照片(2/3) 167

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 4-54 2012 年大竹溪土砂現地調查照片(3/3) 168
圖 4-55 加羅板溪流域全圖 170
圖 4-56 2012 年加羅板溪土砂現地調查照片 171
圖 4-57 安朔溪流域全圖 173
圖 4-58 2012 年安朔溪土砂現地調查照片 174
圖 4-59 野溪清疏需要性評估流程圖 175
圖 4-60 太麻里溪清疏成效圖 178
圖 4-61 太麻里溪流域清疏工程成效照片 179
圖 4-62 金崙溪清疏成效圖 181
圖 4-63 金崙溪流域清疏工程成效照片(1/2) 182
圖 4-64 金崙溪流域清疏工程成效照片(2/2) 183
圖 4-65 大竹溪清疏成效圖 185
圖 4-66 大竹溪流域清疏工程成效照片 186
圖 4-67 大鳥溪清疏成效圖 188
圖 4-68 大鳥溪流域清疏工程成效照片 189
圖 4-69 安朔溪清疏成效圖 191
圖 4-70 安朔溪流域清疏工程成效照片 192
圖 4-71 研究各階段重點摘錄 193
圖 4-72 治理策略應考慮之面向 193
圖 4-73 臺九線朝庸橋通洪斷面不足常造成溢堤淹水 194
圖 4-74 臺東 DF109 土石流潛勢溪流臺九線箱涵瓶頸 194
圖 4-75 臺東 DF105 土石流潛勢溪流末端穿越房舍暗溝 195
圖 4-76 臺東 DF051 土石流潛勢溪流末端銜接路邊溝 195
圖 4-77 太平坑一號壩為早期常見高壩攔砂工法 195
圖 4-78 古庄地區野溪坑溝早三面光治理工法 195
圖 4-79 早期攔砂壩基礎淘空損毀情況 196
圖 4-80 楠溪支流砌塊石護岸及固床工 196
圖 4-81 文里溪集水區造型模板防砂壩 196

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 4-82 泥水溪新設石籠護岸 196
圖 4-83 大丘園鋼構固床工及丁順條護岸組立 197
圖 4-84 柑仔林野溪預鑄生態槽護岸 197
圖 4-85 南美山野溪橫向動物通道 197
圖 4-86 防砂壩空間規劃配置 198
圖 4-87 UAV 飛行範圍與空標布設 200
圖 4-88 UAV DSM 產製成果 200
圖 4-89 時間與治理目標 203
圖 4-90 野溪清疏現地拌合工法 204
圖 4-91 安朔溪野溪清疏臨時設施 204
圖 4-92 加津林溪野溪清疏乾砌石 205
圖 4-93 區域空間與治理工法建議 206
圖 4-94 A 區縱谷線適用工法 208
圖 4-95 B 區海線適用工法 208
圖 4-96 C 區南迴線適用工法 209
圖 4-97 相關滯洪設施 211
圖 4-98 橫向生態通道 212
圖 4-99 生態預鑄槽工法 213
圖 4-100 舊壩改善高壩低矮化 213
圖 4-101 山坡地人工邊坡調查建檔標準作業程序 215
圖 4-102 人工邊坡查詢 216
圖 4-103 實體告示牌 216

DOI:10.6346/NPUST202100182

DOI:10.6346/NPUST202100182

壹、前言

一、研究動機

近年由於颱風挾帶之超大豪雨，致使坡地產生大量崩塌(圖 1-1)，加上河道原有淤積之土石，隨地表逕流進入野溪及更下游的河道，所經之處造成許多災情。整體而言，超大豪雨是天災、土石崩落是自然現象，而土石運移過程對社會產生的傷害卻是人民需承擔的風險。因此，風災過後至次年防汛期前，必須對目前溪床及河道大量堆積的土石(圖 1-2)，進行緊急處理或為長期的處置之前期作業。為防止二次災害發生，政府投入大量資源配合地方建設發展，目的為保障災區居民在颱風豪雨期間之生命財產安全。

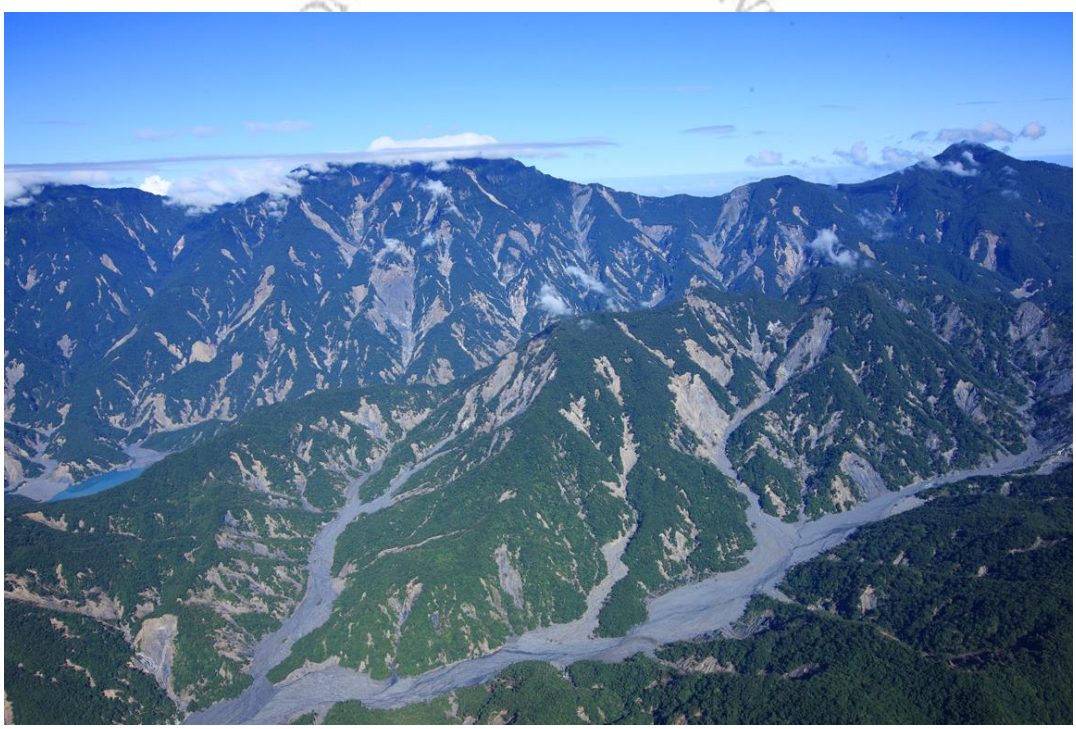


圖 1-1 莫拉克災害太麻里溪上游崩塌(資料來源:水土保持局)

當集水區面臨土砂流出量短時間難以清除時，野溪土石清疏為集水區土砂調節方法之一。一般而言，清疏可分為：「緊急處理」及「長期處置」兩大項。「緊急處理」即是以清疏作業為主，目的在於清除阻礙水流的土石堆積。當集水區內的野溪及主河道均淤積嚴重，難以發揮

DOI:10.6346/NPUST202100182

正常排洪能力，甚至於遇降雨就很容易造成水流漫溢，可能對鄰近村落產生莫大的威脅，應儘速勘查並予以評估。而野溪堆積土石的清疏作業「長期處置」作為，宜作整體性的考量，並且作為後續復建工作的第一步（銜接後續復建工程）。若風災造成的災害相當嚴重，而其淤積土石的處置急迫，依既有之處理方法似無法解決已產生之問題，亟需另謀對策。

圖 1-2 莫拉克災害大武溪下游土砂堆積(資料來源:水土保持局)

二、研究目的

2009 年莫拉克颱風挾帶歷年最大暴雨，降下超過百年頻率豪雨，造成臺灣南部地區溪水暴漲溢流護岸、淘空路基、農地沖淤，護岸設施及過路橋梁損害，多處道路、橋梁中斷，影響居民進出交通。臺東地區於莫拉克颱風期間，強降雨所引發之大量土石崩塌滑落阻塞河道造成太麻里溪上游形成堰塞湖(圖 1-3)；大鳥部落野溪土石災害；達仁、大武鄉內多處村落亦遭土石掩埋。基於災後復建、防災減災整體治理與整體水土保持工程治理規劃等問題考量，本研究研擬相關調查，藉以提出執行方案，建立研究區內土砂災害發生區位復建執行策略與原則，並將

DOI:10.6346/NPUST202100182

可能發生之土砂災害影響衝擊降至最低，最後期可作為未來災害相關治理策略之參考。

圖 1-3 莫拉克災害太麻里溪包盛社堰塞湖(資料來源:水土保持局)

國立屏東科技大學

三、研究內容與流程

為探討野溪集水區土砂治理策略，本研究回顧相關文獻成果，歸納研究基本概念，並利用土砂生產模式分析颱風事件土砂量，再與現地資料進行驗證；另以 2009 年莫拉克颱風及 2012 年天秤颱風事件作為案例分析，蒐集臺東集水區數值高程模型、遙測影像、土壤圖及逕流量等資料，探討模式預測成效，並加值應用於野溪清疏評估與探討，作為土砂管理與治理策略之參考。本研究流程如圖 1-4 所示，本研究各章節內容如下：

壹：說明研究動機與目的及研究內容。

貳：說明土砂災害成因與類型、野溪清疏與土砂分析等相關研究，並進行研究重點回顧與彙整相關研究成果。

參：研究樣區基本資料蒐集，包含地文與水文及衛星影像等相關資料，供基本研究分析之依據；並建立集水區管理分析方法流程，

DOI:10.6346/NPUST202100182

包含崩塌估算、沖蝕量估算與土砂輸砂分析等。

肆：以臺東地區案例分析，探討風災與集水區土砂生產量之間關係，並探討因應策略。

伍：依據研究成果，提出具體結論以及建議。

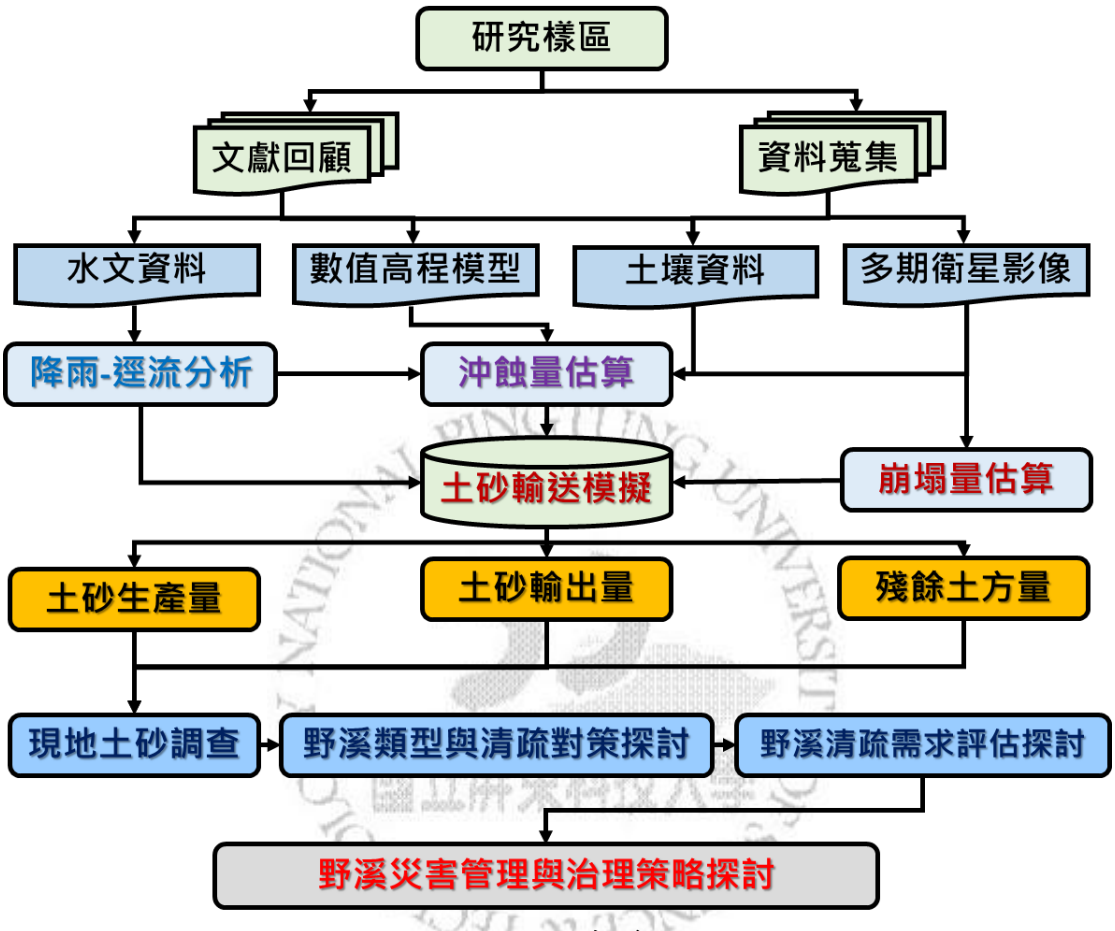


圖 1-4 研究流程

DOI:10.6346/NPUST202100182

貳、文獻回顧

一、 崩塌相關研究

崩塌為坡面土石崩塌落之現象，係指坡面之土石因雨水滲透、地震、坡面上方之荷重增加、坡腳淘刷等外力作用，致使坡面失去平衡，而使土塊破碎急速崩解掉落對現象。依據水土保持技術規範(2020)第 66 條定義：「崩塌係指邊坡土石之崩落或滑動現象，主要分為陷落、山崩及地滑」。水土保持手冊(2017)中將邊坡土體因受重力作用，發生向下滑動或崩落之塊體運動現象稱之為崩塌(Landslide)。以崩塌分類可分為：墜落 (Fall)、傾翻 (Topple)、滑動 (Slide)及流動(Flow)。

(一)崩塌

許多研究顯示崩塌地發生與地質條件有密切關係(Lee, 2004; Migoń, 2014；Xia, 2018)，而每年 5~10 月為臺灣梅雨季節，在這期間颱風及豪雨常造成河川嚴重侵蝕，容易形成崩塌之主要誘因，另加土地超限利用導致災害加劇。觸發崩塌的影響因子繁多，且崩塌的發生過程極為複雜，並非單一因子所造成，因此有許多關於崩塌因子的相關研究(Liu *et al.*, 2011；Torkashvand *et al.*, 2014；Wistuba,2018；Listo, 2020)。崩塌發生原因可分為潛因與誘因兩大類(李三畏，1984)。崩塌潛因為環境地理條件，包含地質與地形特性。崩塌誘因為外在因素的影響，包含自然因素及人為因素兩大類。自然因素為降雨、地下水、地震及河川侵蝕等，人為因素為道路開闢及土地開發等。此外，造成崩塌因子可分類為地質、環境及人為因子(潘國樑，1991) (表 2-1)。

Varnes(1978)研究中指出可根據發生與移動機制，將災害分為滑動(Slide)、流動(Flow)、側滑(Spread)、崩落(Fall)及翻倒(Topple)。依據移動類型與土壤地質材料進行分類，詳細分類方法如表 2-2 及圖 2-1。

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 2-1 造成崩塌之基本因子及其元素與內容

基本因子	元素	內容
地質因子	地形	地形發育、地形變遷
	組成	岩性、礦物、風化產物
	構造	斷層、褶皺、節理、葉理、地層傾斜
環境因子	氣候	降雨量、蒸發量、溫溼度、風化、變質作用
	水文	水系、地下水、海浪活動
	災害	地震、火山活動、海嘯、颱風、洪水、地盤下陷
人為因子	人為活動	建築、開挖、採礦、表層覆蓋物之崩解、超荷負載、震動

(潘國樑，1991)

表 2-2 坡地移動類型簡化分類方法

移動類型 (Type of movement)		物質類型(Type of material)		
		基岩 (Bedrock)	工程土壤 (Engineering soils)	
			粗顆粒為主 (Coarse)	細顆粒為主 (Fine)
墜落(Falls)		岩石墜落	土石墜落	泥砂墜落
翻倒(Topple)		岩石翻倒	土石翻倒	泥砂翻倒
滑動 (Slides)	轉動 (Rotational)	岩石崩移	土石崩移	泥砂崩移
	移動 (Translational)	岩塊滑動	土石塊滑動	泥砂塊滑動
		岩石滑動	土石滑動	泥砂滑動
側滑(Lateral spreads)		岩石側滑	土石側滑	泥砂側滑
流動(Flows)		岩石流	土石流	泥砂流
		深層潛移	土層潛移	
複合運動(Complex)		綜合兩種（或兩種以上）同時發生運動方式		

(Varnes, 1978)

DOI:10.6346/NPUST202100182

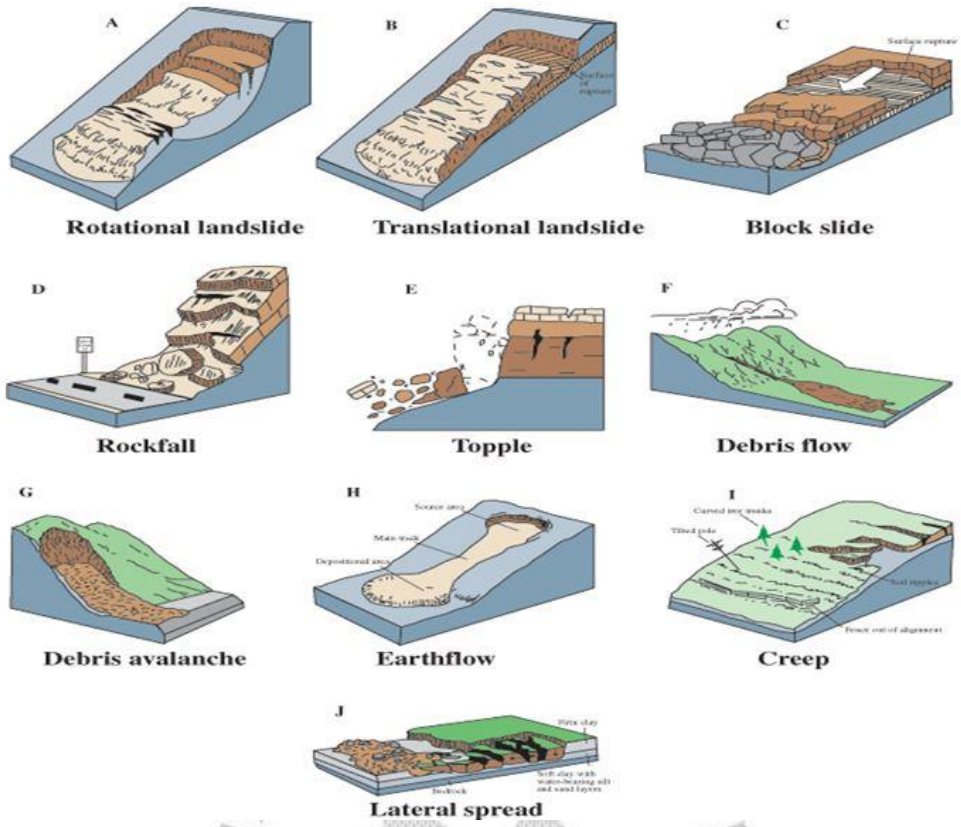


圖 2-1 坡地移動分類(Varnes, 1978)

(二)土砂相關災害

在亞洲地區，亞洲減災中心（Asian Disaster Reduction Center, 2012）報告指出，依據災害流行事件研究中心緊急事件數據庫(Centre for Research on the Epidemiology of Disasters- Emergency Events Database, CRED EM-DAT)，在颱風委員會（Typhoon Committee, TC）成員的地區，所有自然災害中有 13.2%與土砂（塊體運動）有關，在自然災害中死亡中有 17.0%與土砂災害有關（19 起事件和 2,567 人死亡）。從生命損失和嚴重的社會經濟影響而言，土砂相關災害為颱風委員會成員地區最嚴重的自然災害之一。其中，降雨為誘發土砂災害關鍵之一，從降雨驅動崩塌發生的角度，大致可分為原生災害與衍生災害。原生災害係指崩塌地，然而藉由重力與逕流的傳輸，可能會造成中下游二次災害發生(衍生災害)，例如：土石流(Debris flow)或土壤沖蝕(Soil erosion)等災害。降雨可能誘發的土砂災害，並分為以下 3 種情況(圖 2-2)，分別為:

DOI:10.6346/NPUST202100182

1. 河床沖蝕(Bed erosion)：因為地表逕流影響，導致坡面蝕溝與紋溝沖蝕。
2. 崩塌轉移(Transformation from landslide)：上游源頭崩塌後受重力影響，導致邊坡下游土砂沉積。
3. 潰壩(Dam break)：集水區上游崩塌料源阻塞河道，當河水溢流或水壓過大，即可能發生潰壩現象。

在日本，與土砂相關災害可分為以下三種類型：土石流(Debris flow)、崩塌(Landslide)和邊坡破壞(Slope failure)，以利於針對每種不同現象制定有效結構性和非結構性對策。崩塌和邊坡破壞之間的差異如下；崩塌主要是由地下水引起的，滑動表面深度較深（大約 10 m 或大於 10m），且運動較為緩慢（通常一年幾毫米），崩塌通常發生在特定的地質環境中（例如第三紀沉積岩）；邊坡破壞非常迅速，滑動表面深度較淺（約 1-2m），斜坡破壞發生在坡度大於 30°的陡坡上(Hayashi *et al.*, 2013)。日本砂防協會於 2003 年報告指出，如何根據土石流(Debris flow)、崩塌(Landslide)和邊坡破壞(Slope failure)判釋危險區域(圖 2-3)。在日本，這些如何確定危險區域的方法與「土砂相關的災害預警區域」的方法類似，並且這些方法，是根據過去與土砂有關災害的受災區域的經驗建置而成。

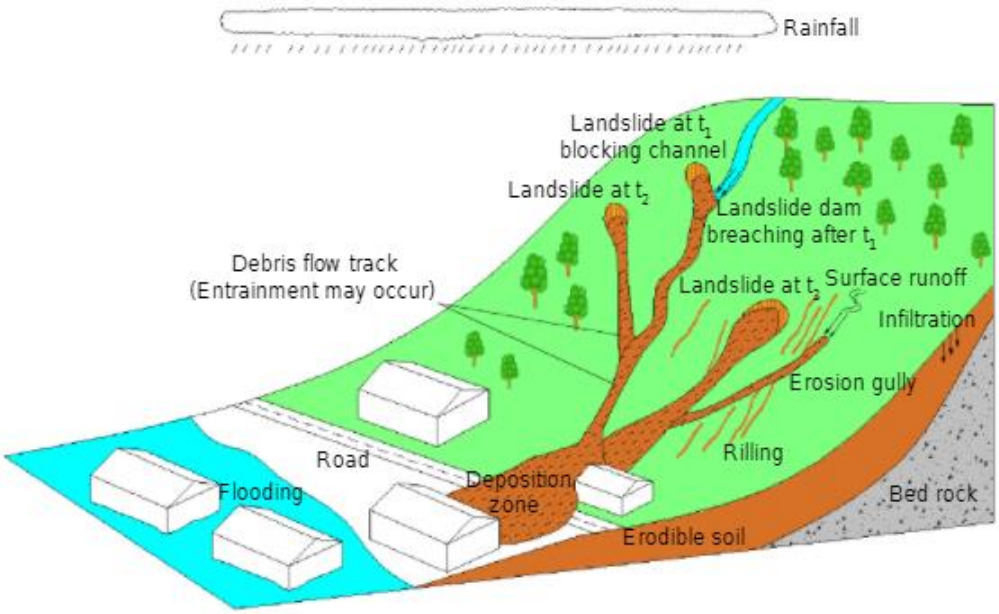


圖 2-2 土砂運移過程(Shen *et al.*, 2018)

DOI:10.6346/NPUST202100182

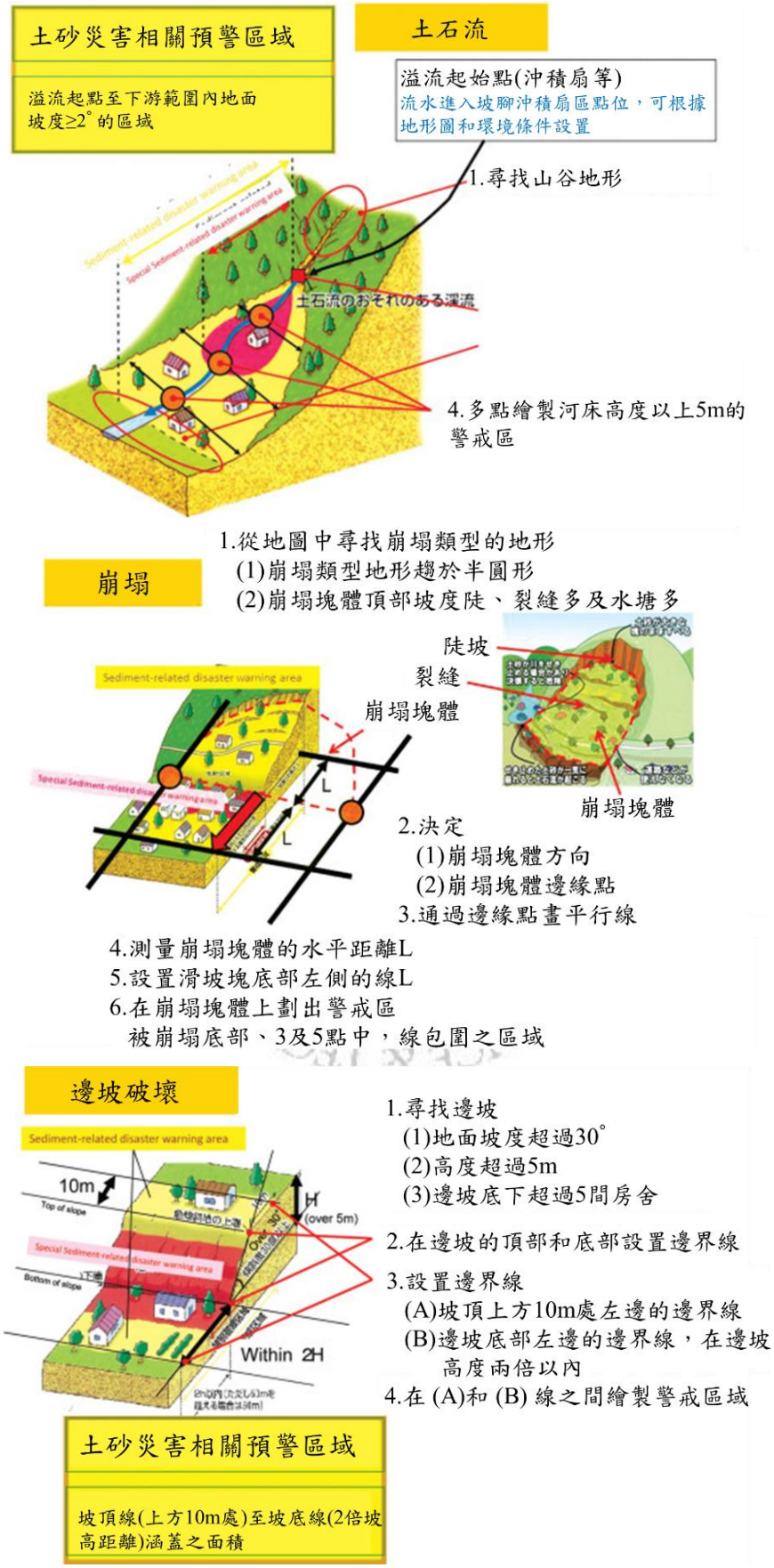


圖 2-3 如何確定土砂災害相關危險區域
(Japan SABO Association, 2003)

DOI:10.6346/NPUST202100182

近年來坡地的土壤沖蝕是一個全球性的環境問題，會導致嚴重的土地退化及農作物減產。在中高緯度地區的自然條件下，農田遭受多種沖蝕，例如凍融作用、融雪、風及降雨(Jia *et al.*, 2015; Liu *et al.*, 2017)。這些多重冲蝕立在一年內隨季節變化而發生，並疊加在空間中，相互作用嚴重威脅土地生產力。重要的是要量化多種沖蝕力，在時間和空間上如何相互作用以影響土壤沖蝕。目前土壤沖蝕的研究主要集中在事件、年度和更長的時間尺度上(Polyakov and Nearing, 2004; Kimoto *et al.*, 2006; Polyakov *et al.*, 2009)。

土石流是由重力驅動質量的運動，由水和各種粒徑大小沉積物混合物組成，向下運動的現象(Coussot and Meunier, 1996; Hutter *et al.*, 1994; Pudasaini *et al.*, 2005)。這種現象的運動受固體和流體力的影響，土石流通常具有高流速、高衝擊力及長跳動距離的特點，是最危險的崩塌類型之一(Hutter *et al.*, 1994; Takahashi and Das, 2014)。

二、河川相關研究

洪水的擾動和恢復是河川形態(Schumm, 1976; Wolman and Gerson, 1978; Lewin, 1989; Simon and Rinaldi, 2006; Phillips and Dyke, 2016)和生態(Resh 1982; Ward and Stanford, 1983; Lake, 2000)的重要組成部分。河川的種類，可由型態與特性，討論河道安定性。由美國土木工程師學會 1994 年出版美國陸軍工程兵團技術手冊中「防洪工程渠道穩定性評估(Channel Stability Assessment for Flood Control Projects)中」，可知河川型態與特性分類，如表 2-3。河道下切主要原因包括蝕溝成長及河川沖蝕，可能為河川水系的不安定，為啟動地質上的所謂回春作用，會在河川水系發生一連串的反應與變化。Simons and Senturk 於 1977 說明河道下切與截彎取直可能發生的效應，對整體沖積系統的許多部分均會造成影響(表 2-4 表 2-5)。

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 2-3 河川型態分類

河川野溪種類	特徵	常見問題
山區洪流(Mountain torrents)：野溪	1.陡坡(溪床) 2.礫石分布 3.跌水、滯流	1.河床淘刷 2.土石流
沖積扇(Alluvial fans)：山溝谷口	1.複數的流路 2.粗顆粒的沉積	1.流路突然改變 2.淤積、堵塞
辮狀河道(Braided rivers)	1.交錯的流路 2.通常為粗粒料 3.高河床載	1.主河常遷移 2.淘刷與淤積
乾河(Arroyos)	1.非經常水流 2.寬、平之河道 3.突然有洪水 4.高泥砂量	1.河道型式及縱橫剖面 2.很容易急劇變化
蜿蜒河道(Meandering rivers)	1.河道方向交錯 2.平坦的河床坡度 3.寬廣的洪水平原	1.河岸沖蝕 2.蜿蜒遷移 3.淘刷與淤積
已治理河道(Modified streams)	1.過去實施渠道化 2.河道基準面變更	1.蜿蜒發展 2.刷深或淤積 3.河岸侵蝕
已調節河道(Regulated rivers)	1.上游水庫、蓄水池 2.灌溉取水、分水 3.離槽水庫取水 4.水力發電分水	1.搬運能力降低 2.下游刷深 3.支流侵蝕基準面降低 4.支流匯流口淤積
三角洲(Deltas)	1.複數渠道 2.細粒沉積	1.流路改變 2.沉積並不斷擴大延伸
無能河谷地(Underfit streams)	1.平面型式 2.低平的坡度	蜿蜒遷移
粘質渠道	不規則，特殊平面型式	多變不定

(USACE, 1994)

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 2-4 河道基準面下切可能效應

局部的效應(Local Effects)	上游的效應(Upstream Effects)	下游的效應(Downstream Effects)
1.向源侵蝕 (Headcutting) 2.一般性淘刷 (General scour) 3.局部的淘刷 (Local scour) 4.河岸的不穩定 (Bank instability) 5.高流速 (High velocities)	1. 增加流速(Increased velocity) 2. 增加輸砂(Increased material transport) 3. 不穩定的河床(Unstable channel) 4. 可能改變河道形態(Possible change of form of river)	1. 增加輸砂入主河道(Increased transport to main channel) 2. 淤積(Aggradation) 3. 提高洪水量(Increased flood stage) 4. 可能改變河道形態(Possible change form river)

(Simons and Senturk, 1977)

表 2-5 截彎取直的可能效應

局部的效應(Local Effects)	上游的效應(Upstream Effects)	下游的效應(Downstream Effects)
1.較陡的河道(Steeper slope) 2.較高的流速(Higher velocity) 3.較大的輸砂(Increased transport) 4.刷深並向源侵蝕 (Degradation and possible heascutting) 5.河岸不穩定(Banks unstable) 6.河道編狀化(River may braid) 7.支流下切 (Degradation in tributary)	(同局部的效應)	1. 下游淤積(Deposition downstream of straightened channel) 2. 洪水位提高(Increased flood stage) 3. 排洪能力降低(Loss of channel capacity)

(Simons and Senturk, 1977)

DOI:10.6346/NPUST202100182

莫拉克颱風後，各重災區土砂淤積在區域排水與主次要河川的上游集水區，野溪亟待儘速推動清疏作業，針對清疏作業可能遭遇困難之問題，可以分四大類(鄭旭涵等人，2010)，分別為：

1.清疏作業工程的問題

2.堆置處所的問題

3.法令的困擾

4.執行面的問題

表 2-6 清疏常見問題

問題	內容
清疏作業工程	1. 清疏量體各單位陳報方式在數量與規模皆差異很大。 2. 上游集水區林班地河段未配合清疏，致使土砂下移，無法順暢排水。
堆置處所的問題	1. 災後產生大量土石淤積，難以覓得堆置處所（含永久堆置及臨時堆置）。 2. 地方機關執行上，難尋合法堆置地點(涉及地目變更)及承辦對清疏仍存有不安全感。
法令的困擾	1. 堆置選址不易取得，採河道沿岸堆置方式，造成部分地方民眾反對。 2. 暫置場地取得困難，及後續管理人力缺乏。
執行面的問題	1. 山區交通運輸不易，清疏土砂品質不一，處理及運費成本過高等。 2. 地方政府提報清疏案件速度緩慢，審查機制繁瑣與核定公文函轉耗時。

(整理自鄭旭涵等人，2010)

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 2-7 清疏具體作為

問題	內容
執行面	1. 對執行中之遭遇問題，提至清疏專案小組討論，若問題非水土保持局可解決者，陳核提報工程會或重建會等跨部會研商解決。 2. 增加訓練課程：第一線執行單位之執行人員因涉及「砂石」敏感問題均不願面對，建議開設由執行經驗單位作「經驗分享」課程，並包括法務及檢調人員協助解說。 3. 依據政府採購法委由軍方執行(代辦)：針對現場砂石數量龐大，且利益金額較大者，建議比照石門水庫疏濬模式委由軍方辦理執行之。
砂石再利用	1. 現場砂石再利用，將砂石施作土石籠護岸：減少外運，避免不必要的爭議。 2. 將砂土堆置公有垃圾場(無價砂石)：減少地方政府購土回填垃圾場(中間層覆蓋)費用，及降低清淤泥沙對環境的衝擊。 3. 加強辦理防砂工程，減少砂石下移，針對集水區上、中、下游整體考量清疏。 4. 長期土砂須疏需外運者，檢調認為有價砂石料以採售分離方式辦理，較不易滋生弊端。 5. 水土保持局各分局、縣市政府及鄉鎮公所分工辦理，如分局負責土砂清疏及運輸至地方政府指定堆置場地，由地方政府負責管理及標售。
堆置場所的問題	1. 對清疏量體或堆置場所等宜整體規劃事項，可委託專業團隊協助研提具體執行方案，俾利後續執行。 2. 清疏作業土石堆置地點，可由地方政府尋覓合法地點及後續砂石拍賣所得亦由地方政府依規定辦理，無價土石方送營建剩餘土石方收容處理場所再生利用。

(整理自鄭旭涵等人，2010)

為解決莫拉克災害後，河川野溪及水庫大量土石堆積嚴重問題，各級單位積極檢討，並由行政院會核定「加強河川野溪及水庫疏濬方案」，為整體清疏之重要依循。有關疏濬策略流程可以參照水利署於 2009 年編制「加強河川野溪及水庫疏濬方案(核定本)」(圖 2-4)。

DOI:10.6346/NPUST202100182

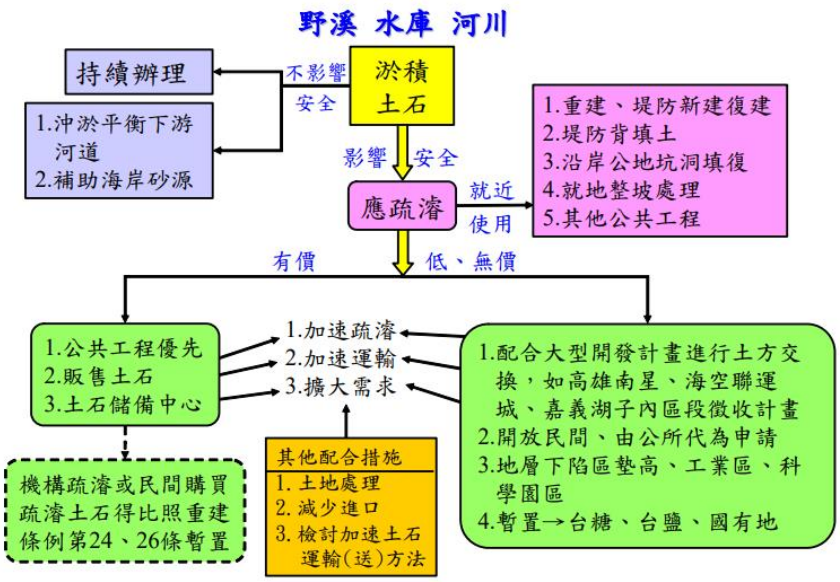


圖 2-4 疏濬策略系統圖(鄭旭涵等人，2010)

三、 災害風險分析相關研究

在面臨各種災害衝擊，風險評估(Risk assessment)為風險管理中最為重要的任務，可能會直接影響面對風險時之重要計畫與政策。主要過程可分為風險鑑別(Risk identification)、風險分析(Risk analysis)和風險評估(Riske valuation)。風險鑑別相當於災害潛勢分析，可藉由災害環境因子、歷史發生事件、原理分析來描述，通常會與風險分析過程中的災害頻率分析共同討論，而形成所謂的危害度分析(Hazard analysis)。共通特性就是風險鑑別必須基於某個災害規模的想定，作為後續風險管理的基準，一般稱之為災害規模設定或災害防護規模(Defense magnitude)。此外，風險分析涵蓋範圍廣泛，可參考元素包括機率(Probability)、頻率(Frequency)、脆弱性(Vulnerability)、風險等級(Level of risk)等。

1979 年於聯合國在瑞士召開專家學者會議，並針對各項名詞定義，聯合國救難協調員辦事處(Office of the UNDisaster Relief Co-Ordinator, UNDRO)於該會議中，定義風險為「在某事件下預估，將導致的生命損失、人員受傷、財產毀損或經濟活動干擾」，並將風險定義成三部份之組合：危害度(hazard)、暴露度 (exposure)、脆弱度 (vulnerability) (UNDRO, 1991)，並可將公式定義如下：

$$Risk = H\times E\times V \cdots (2\text{-}1)$$

式中，H 為危害度：在某特定區域與時間內，發生潛在危害自然事

DOI:10.6346/NPUST202100182

件的可能性；E 為暴露度：暴露在風險下的物件，例如人口、建築物、工程設施、基礎建設、公共設施等；V 為脆弱度：暴露在風險下，物件在自然災害強度下，所受到的損失程度。

四、 災害管理策略相關研究

依據聯合國自然災害報告中，可知當災害風險下降，可有效穩定國際政治，並可降低災害發生的衝擊(UNISDR, 2009)。然而無論在已開發國家和開發中國家，皆面臨自然災害嚴重影響。在多數已開發國家都採取相關措施來因應，然而有更多國家沒有適當對應自然災害相關措施(Djimesah *et al.*, 2018)。減災管理策略應涵蓋脆弱度與風險評估，及相關評估制度的能力，其中脆弱度評估的基本元素有基礎設施、社會經濟、應用科學、預警系統以及相關技術等，而風險係指有害結果的可能性與預期性損失，主要受到自然或人為誘發的危害與脆弱條件所造成(ISDR,2004)。災害風險管理目標，主要為預測、預防或減輕災害衝擊，災害期間可將過程分為四個階段，在災前過程可分為預防 (Prevention)及防備 (Preparedness)，而災後可分為反應(Response)及回復(Recovery)(Cinnamon *et al.*, 2016)，然而控制災害之間界線並不容易，因此災害階段相互考量，將有助於減緩災害(圖 2-5)。本研究即綜合運用前人研究成果，作為研究分析之基礎，檢討 2009 年莫拉克風災後土砂相關管理及策略，提出更為積極之作為。

圖 2-5 災害管理週期(Cinnamon *et al.*, 2016)

DOI:10.6346/NPUST202100182

參、研究樣區概況與研究方法

一、研究樣區概況

臺灣東部地區東臨海岸、西倚山脈，位處海洋板塊與大陸板塊交接處；經數百萬年之板塊推擠作用，又經歲月侵蝕作用及河川切割、沖蝕營力及海浪衝擊等天然作用，形成現今的地形。臺東縣西側屬中央山脈與大武山高山群，東側緊鄰太平洋，故地勢由西向東遞減，水系由西向東流入太平洋內，海拔高程自 3,662m 低降至海平面（如圖 3-1）。

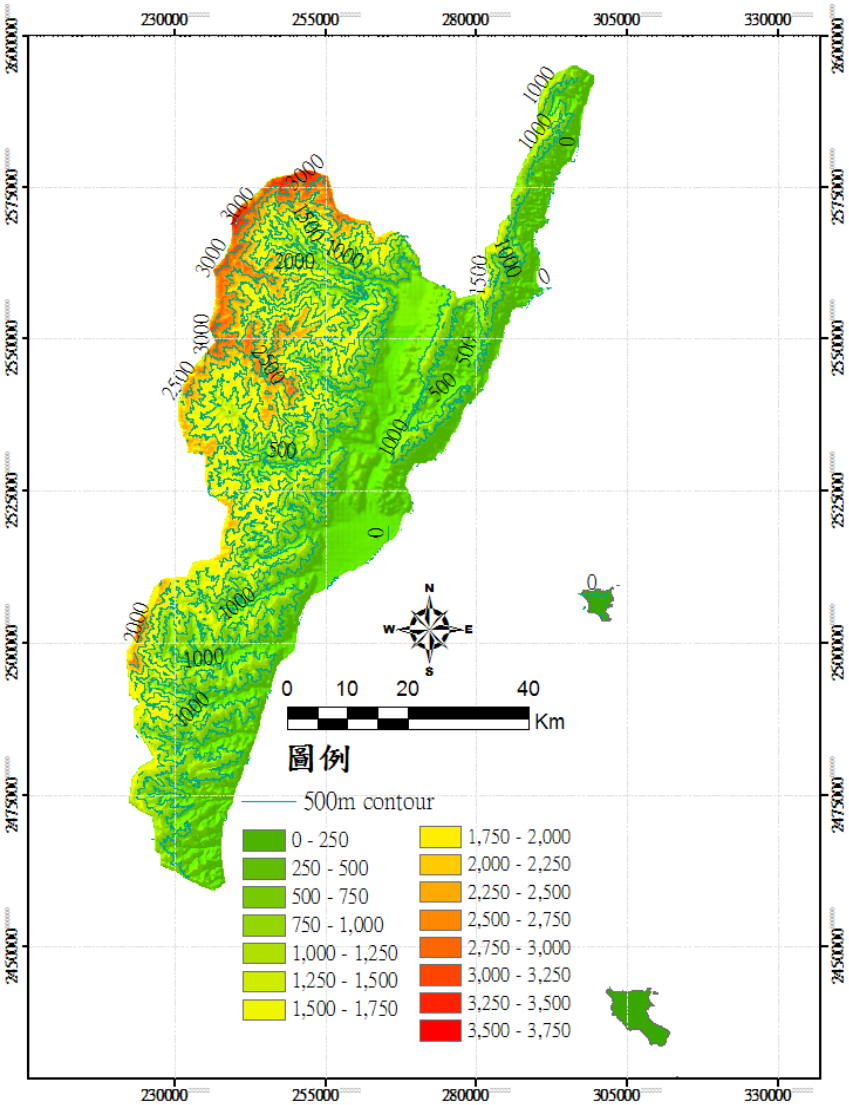


圖 3-1 研究樣區海拔高程分布

DOI:10.6346/NPUST202100182

(一)地質

本研究區位處於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊交接處，在地質上以中新世的廬山層、蘇樂層居多，次以古生代晚期-中生代的大南澳片岩分布於大麻里溪集水區以北至新武呂溪集水區山嶺區間；位居第三之地質特性則以始新世之畢祿山層地質。東側緊鄰太平洋區域，則衍生出現代-沖積層；於卑南溪主流區塊地勢較低，地質特性發展上以更新世-臺地堆積及現代-沖積層為主。而海岸山脈東側之地質特性較為複雜，包含上新世-更新世大港口層、中新世-都巒山層、上新世晚期-利吉層、現代-沖積層與極小面積之更新世-堆積層。

此外分布範圍較少之特殊地質尚包括更新世-頭嵙山層，卑南山礫岩及其相當地層與時代不詳之基性火成岩地層。而外海島嶼區域蘭嶼地區屬中新世-上新世之安山岩及安山岩質碎屑岩，綠島地區則以中新世-上新世之安山岩及安山岩質碎屑岩分布於島嶼四周，中央區域地質屬更新世-臺地堆積層。地質分布情形詳圖 3-2，各地質特性概略描述於下：

1.中新世-廬山層與蘇樂層

廬山層、蘇樂層分布自宜蘭平原起，同南延經中央山脈嶺線之合歡山、能高山、秀姑巒山等地，至屏東縣境的荖濃溪流域以及恆春半島旭海地區。本層多由深灰色至黑色的硬頁岩、板岩及千枚岩和深灰色的硬砂岩互層組成，含有零星散佈的泥灰岩團塊，剝理構造相當發達，本研究區幾乎為此類地層。

2.古生代晚期-中生代的大南澳片岩

大南澳片岩多屬綠色片岩及黑色片岩，緊沿中央山脈斷層西側，即為中央山脈東斜面出露地層最老之變質雜岩帶。此種變質雜岩帶北端從龍泉海端以南烏岩角開始南延至臺東縣太麻里溪上游北岸，呈一弧形帶狀分佈，全長約 240 km。

此類變質雜岩系由五種岩類組成，分別以黑色片岩(雲母、石墨、石英片岩)、綠色片岩（綠泥片岩、角閃片岩、角閃岩、變質

DOI:10.6346/NPUST202100182

輝緣岩及蛇紋岩等）及結晶石灰岩等組成，並夾有矽質片岩（石英岩、石英片岩、隧石及石英脈等）及片麻岩（准片麻岩、正片麻岩、混合岩及偉晶花崗岩等）。

而此種變質雜岩係由地質年代推測為古生代，由岩類組成成分在地質分類上屬於大南澳片岩，地層代表臺灣地槽發育的第一階段，此地質主要分布於太麻里溪集水區內-金峰鄉嘉蘭村一帶。

3.始新世-畢祿山層

畢祿山層為中央山脈梨山段層，以東的所有始新世地層，以取代「新高層」的舊名。其主要岩性以板岩和千枚岩為主，然而變質的泥質岩層中，亦夾有變質砂岩層。畢祿山層的板岩，特點為常夾有綠色至暗紅色的火山岩或基性凝灰岩，其可為除化石以外認識脊樑山脈中，始新世地層的主要指標之一。畢祿山層的岩性和在板岩帶中，與其他地層不同是夾有較多變質砂岩層，同時含有較特殊的綠色變質火山岩體、變質石灰岩層和礫岩夾層。

4.現代-沖積層

沖積層主要由粘土、粉砂、砂和礫石所組成，分布於海岸平原、沖積扇帶，本研究區於太麻里溪、金崙溪、大竹溪、加津林溪、大鳥溪及大武溪等六條溪出海口處地質皆屬於沖積層。

5.更新世-臺地堆積層

臺地堆積層屬更新世時期產物，大多由未經膠結的礫石及夾雜在其中的平緩砂質或粉砂質凸鏡體及粘土等沉積物所組成，一般層理和淘選度都很差，主要為礫石、紅土、土及砂組成。主要分布於卑南溪左岸一帶。

6.更新世-頭嵙山、卑南山礫石及其相當地層

頭嵙山、卑南山礫石及其相當地層亦屬更新世時期產物，主要由砂岩、泥岩、頁岩與礫岩（石灰岩）組成。主要分布於卑南溪左岸一帶。

DOI:10.6346/NPUST202100182

7.上新世-更新世大港口層

大港口層覆蓋於都巒山層之上，由頁岩、砂岩和礫岩混合著火山物質成。代表著沉積在火山弧西側的層狀海相岩層；大致反映出一個較深海的沉積環境，其厚度可達三千至四千 m。在海岸山脈南部地區，大港口層多為深灰色的泥岩、粉砂岩、及厚薄不一的砂岩，局部也含礫質泥岩及岩塊。部分學者將大港口層中的砂質岩層分為兩種來源。一來自火山弧，多含火山碎屑物；另一來自古亞洲大陸的碎屑岩層，也包括厚層濁流作用造成的礫岩。前者多位於大港口層的下部，另名蕃薯寮層；後者則以大港口層的上部為主，另名八里灣層。

8.中新世-都巒山層

都巒山層以火山角礫岩、火山礫岩、凝灰岩、礫岩、凝灰質砂岩和石灰岩為主，偶夾有薄層的熔岩流。早期學者根據海岸山脈南段的都巒山所出露的厚層集塊岩，命名為「都巒山層」。

都巒山層分佈的範圍不到海岸山脈的二分之一，卻是構成海岸山脈主脊樑的部分。其為火山島弧噴發的產物，各地厚度變化相當大，平均約為 400 到 500m 之間，局部地區厚度可達 1,000m 以上。由於都巒山層的岩性和產狀變化大，故可依其岩性和產狀再加以細分為「石門火山角礫岩」、「石梯坪凝灰岩」和「港口石灰岩」三個岩段。

9.上新世晚期-利吉層

利吉層廣泛地分佈在海岸山脈的南脈南端。主要是灰色泥岩夾雜著許多種類繁多而大小不一的外來岩塊，這是標準的混同層，常形成惡地形。利吉層的外來岩塊以蛇綠火成岩系佔最多數，其次為砂岩，有頁岩的夾層。其泥岩填充物常呈非常混亂狀態，而且缺乏明顯的層理。

DOI:10.6346/NPUST202100182

10.中新世-上新世之安山岩及安山岩質碎屑岩

安山岩及安山岩質碎屑岩亦稱為蘭嶼層，由安山岩、集塊岩及凝灰岩組成，間夾石灰岩。安山岩有輝石安山岩與角閃石安山岩，黑雲母安山岩甚少。集塊岩直接蓋於安山岩之上，呈塊狀或層狀，其中合有輝長岩及蛇紋岩之岩塊。石灰岩與凝灰岩形成薄互層，富含化石。

(二)斷層分布

臺東縣鄰近之活動斷層分布，依據經濟部中央地質調查所於2010年新繪製之臺灣活動斷層分布圖，彙整鄰近臺東縣之活動斷層及分布。資料顯示有3條斷層帶位於臺東縣境內，分別為池上斷層、鹿野斷層及利吉斷層；而較鄰近之斷層分別有奇美斷層與玉里斷層。（如圖3-3與表3-1）。由表3-1斷層分布情形可知，鹿野斷層與利吉斷層，對臺東地區為害可能性較高，該兩斷層雖然尚未判定為第一類活動斷層，但其對臺東市潛在威脅性仍然不可忽視。2006年4月1日，主震位於卑南山正下方，規模達6.8，災損雖不大，卻造成不小震撼，因此對此兩斷層仍需留意。

DOI:10.6346/NPUST202100182

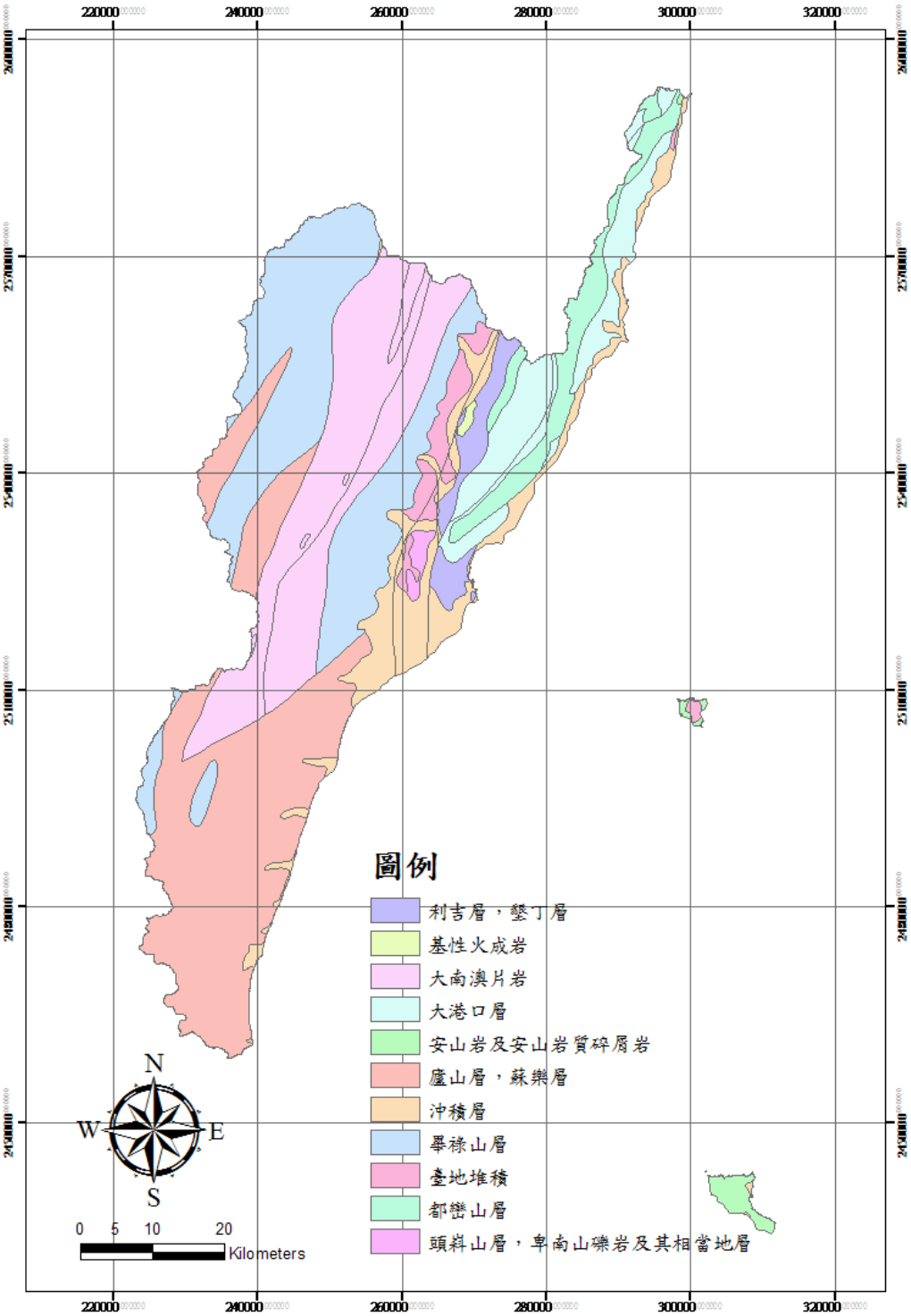


圖 3-2 臺東縣地質特性分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 3-1 臺東地區之潛在震害斷層

編號	名稱	起訖鄉鎮	估計長度 (km)	斷層分類	斷層性質
29	奇美斷層	花蓮縣玉里-豐濱	18	第一類斷層	逆移斷層兼具左移分量
30	玉里斷層	花蓮縣瑞穗-玉里	40	第一類斷層	逆移斷層
39	池上斷層	花蓮縣瑞穗-臺東縣池上	47	第一類斷層	左移兼逆移斷層
41	鹿野斷層	臺東縣鹿野鄉-臺東市	24	第二類斷層	逆移斷層
42	利吉斷層	臺東縣卑南鄉-臺東市	13	第二類斷層	逆移斷層

(經濟部中央地質調查所，2008)

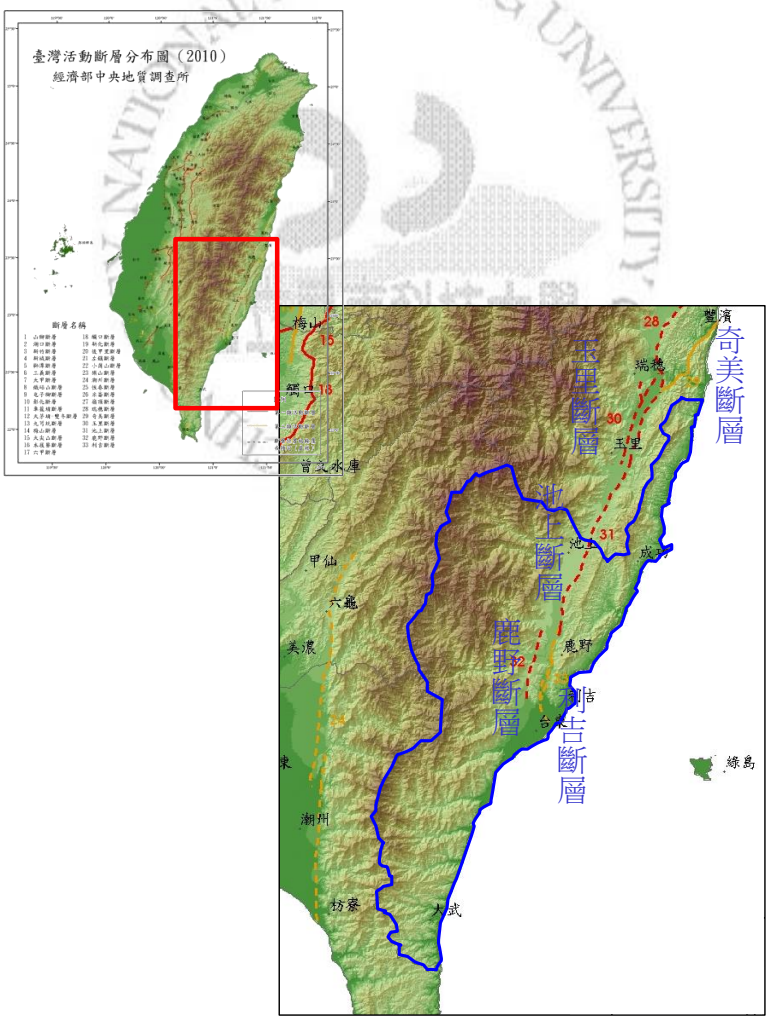


圖 3-3 臺東縣斷層帶分布示意圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

(三)土壤

本研究彙整本研究區內土壤調查 GIS 圖資成果可知，西偏南山嶺範圍內之土壤特性尚未完全調查完成，根據既有資料顯示臺東縣土壤特性多屬石質土，次為黑色土（詳圖 3-4）。

1.石質土（新成土）

為母質受到物理、化學風化作用，而生成之土壤，含石量達 50% 以上，其排水、通氣良好，缺點為土層淺肥力低，多分布於山坡地或森林地之陡峭地區，其地形較不穩定，並且容易崩塌，不適合農牧用途，只適合造林、保育。此土壤在新分類系統均屬新成土。

2.黑色土

土壤剖面呈現黑色佔大部份者。實際分析土壤形態與理化性質時，臺東地區黑色土則大致可依新土壤分類系統分成：(1)黑沃土(Mollisols)－其土色黑且肥力高，土壤構造為團粒，是作物高產量區之一，在臺灣此類土壤面積很小；(2)膨轉土(Vertisols)－為火成岩混合泥岩生成之黑色土，土層深厚，保肥、保水力強，但其土壤粘性高，內部排水很差，在潮濕時易膨脹，乾燥時易龜裂，耕性很差，此種土壤不適用於蓋房子、建公路等。

3.沖積土

土壤物質經河流沖刷後帶至下游而漸次淤積成固定土壤者，土層起先很薄，越來越厚，且時間久了，土層中之顏色亦因人為耕作有所改變成淡黃色，因此有「新沖積土」與「老沖積土」之稱。此類土壤為臺灣地區之主要耕地土壤，主要分佈於臺灣西部，大都由丘陵地上之砂頁岩沖積生成的，但彰化平原、屏東平原及蘭陽平原則是由中央山脈之粘板岩物質經河流沖積而生成的。臺灣東部之花東縱谷，則是由臺灣中央山脈東部之片岩或片底岩沖

DOI:10.6346/NPUST202100182

積生成者。此類土壤由於沖積及化育時間不同，因此土壤性質變化及差異很大，例如土層深淺、排水好壞、質地粗細、酸鹼度等均有不同。一般而言，新沖積土在新分類系統上均屬於新成土，而老沖積土在新分類系統上則屬於弱育土。

4.崩積土（新成土）

此乃鄰近高山地區之土壤物質因滾落、滑降、甚至崩塌等位移作用而生成者，新生成者表土有機物多，表層較暗者稱為「暗色崩積土」，堆積時間較久其有機物已分解殆盡顏色較淡，稱為「淡色崩積土」。基本上，土壤剖面沒有化育作用，多發生於山區坡度較緩和的崩積地形上，含石量約 25% ，通氣、排水良好，可用作農牧地，但須做好水土保持工作。在新分類上屬新成土。

5.黃壤

本類土壤為板岩母質風化形成之黃棕色或黃紅色黃壤，因生成年代早，受氣候的影響較大，淋溶較深，質地一般而言，較為粗重，而缺少養分，分布在達仁鄉坡度較緩或地形安定之山坡地，剖面粒度約 50cm，中至細質地，一般呈強酸性反應，多分布於達仁鄉新化、安朔及森永等村。

6.紅壤

此乃自第四紀洪積層物質，近百萬年來經高溫多雨，乾濕循環交替之條件下，使土壤中之物質淋洗殆盡，僅剩大部份為鋁、鐵氧化物質者。主要分佈於臺灣西部之各個洪積層臺地上，是臺灣最古老的土壤。紅壤土層深厚，一般在 2~5m，有時厚達 20~30m 者亦有。土壤構造明顯，通氣、排水良好，物理性質絕佳。唯土壤呈強酸性，肥力差，粘性及可塑性佳，因此生產力差，但可配合適當之肥培管理亦可使作物生產達高產量。目前大都種植茶葉、鳳梨、甘蔗等農作物。此土壤在新分類系統下屬極育土或氧化物土，但大都屬前者。

DOI:10.6346/NPUST202100182

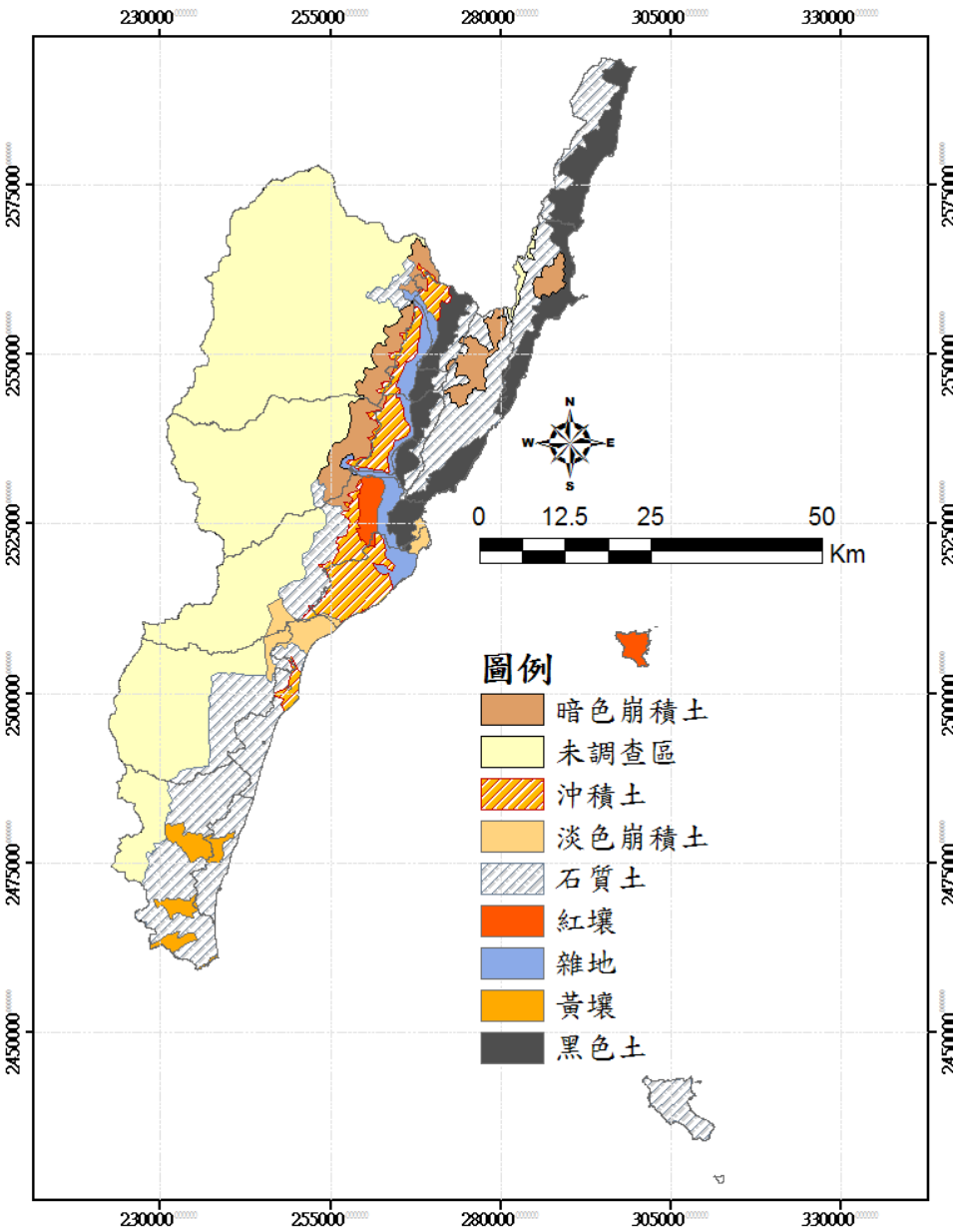


圖 3-4 臺東縣土壤特性分布圖

(四)人文

臺東縣行政轄區計有 16 個鄉鎮市，分別為臺東市、成功鎮、關山鎮、綠島鄉、蘭嶼鄉、延平鄉、卑南鄉、鹿野鄉、海端鄉、池上鄉、東河鄉、長濱鄉、太麻里鄉、金峰鄉、大武鄉、達仁鄉等，涵括 146 個村里，全縣總面積約 3515.25km^2。圖 3-5 為臺東縣轄屬行政區域分布圖。

DOI:10.6346/NPUST202100182

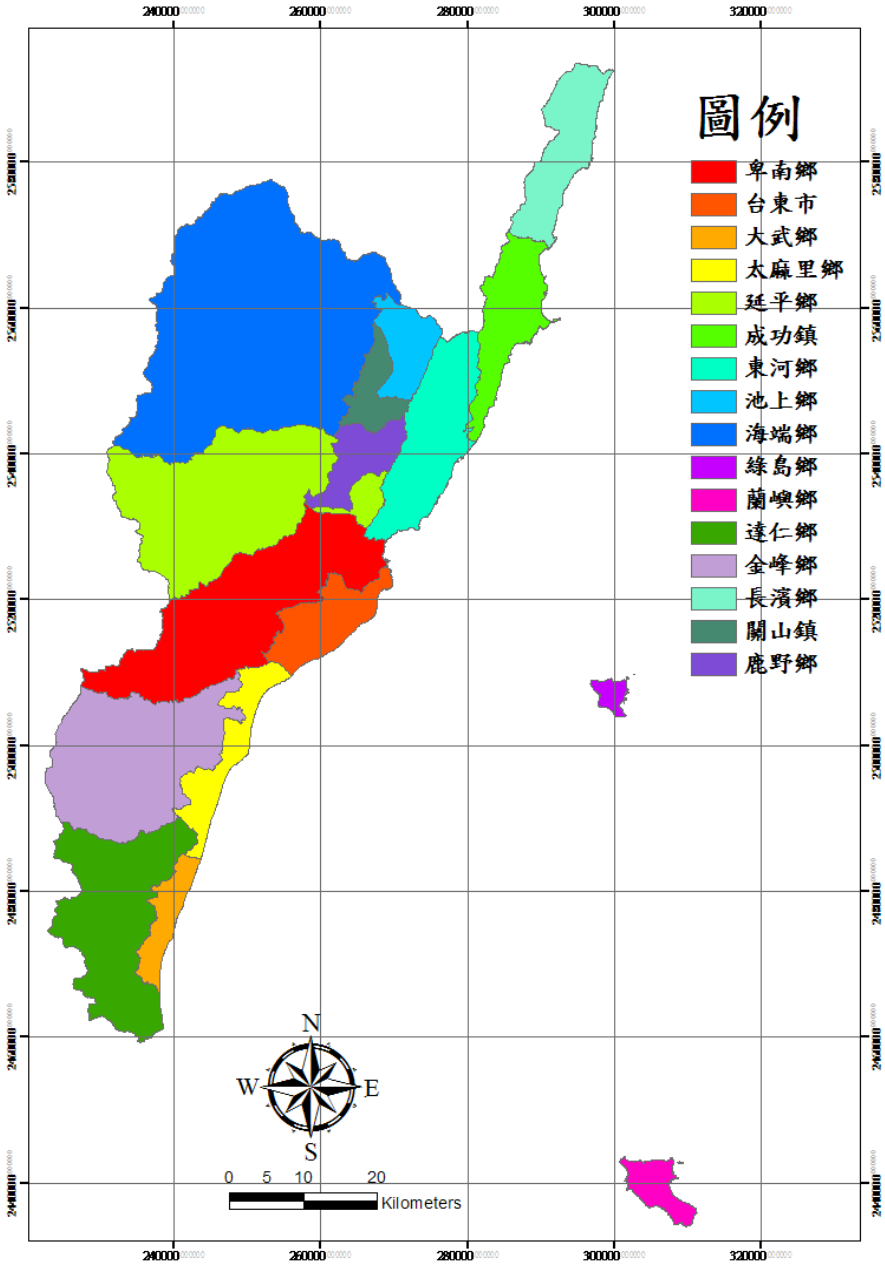


圖 3-5 臺東縣行政區域圖

臺東縣東側瀕臨的太平洋，因黑潮流經而帶來豐富的漁業資源；低緩的平原出產聞名全臺的優質稻米；茶葉、金針及洛神花則隨著丘陵坡地分布起伏。

臺東主要農產品除稻米外，尚包括有釋迦、鳳梨釋迦、桶柑、晚崙西亞、枇杷、紅甘蔗、葡萄柚、白柚、百香果、鳳梨、波羅蜜、金針、白玉米、紅龍果、梅、梨、小米、洛神花、福鹿茶、太峰茶、柴魚片、茗花、茗葉等，主要產期及產地詳見表 2-5。

DOI:10.6346/NPUST202100182

臺東優良水田主要分布於縱谷平原而臨近溪流的地區。包括卑南溪與鹿寮溪之間，卑南溪流域關山和池上；優良旱田多分布於土壤排水性佳的緩坡地區，主要分布於知本溪附近、利嘉溪兩側，以及鹿野、池上等地區。生產力高的地區主分布於知本溪、卑南溪流域，初鹿、鹿野、池上等地區。

臺東縣人口自戰後開始，由於「土地資源指向」的人口移入，人口逐年增加，1971 年以後，又隨臺灣工業化「都市指向」的人口移動，而逐年減少。因此，臺東縣人口結構，在 1971 年以前為移入人口型的地區，1971 年以後則為人口移出區的型態。

由縣府統計資料顯示，歷年來臺東縣人口減少，人口佔臺灣地區及東部區域的比重逐年下降，在 2006 年，僅佔全臺灣人口數的 1%。其中原住民佔臺東縣人口 33%，為全省原住民比例最高之縣，縣內有六族原住民族群，分別為布農、排灣、魯凱、阿美、卑南與雅美(達悟)等族，種族與文化歧異度高。

(五)氣象與水文

臺東縣位於北回歸線以南，季風帶之中，深受其影響，大致屬熱帶氣候型南部熱帶性高山氣候區。中央氣象局新屬氣象站於臺東境內的有成功、臺東、大武及蘭嶼等測站。

夏季颱風頻擾本島，由於臺東縣的海岸線很長，是故，颱風路徑多朝臺東縣直撲而來。依據統計颱風約有 60%以上朝臺東登陸。所帶來的強風與豪大雨對地區影響甚鉅，其發生率多集中 7~9 等三個月份。

臺東縣山坡地面積廣大地形複雜，加以地質脆弱，與降雨豐沛，尤其降雨多集中於高山地區，使得河川密布。除卑南溪外，一般河流長度不長，流域面積小。於豐水時期流量大，在雨季及颱風季節時甚至成災，造成淹水及土石流等災害，枯水期則細水涓涓，甚至乾竭，嚴重時偶有旱象出現。而由於集水區地質多屬砂、頁、板岩，質地脆弱，易崩塌，河水含砂量也高。臺東縣境轄屬集水區共計 4 大主流域，分別為海岸山脈東側河系、卑南溪流域、臺東沿海河系

DOI:10.6346/NPUST202100182

及秀姑巒溪流域，共涵蓋 16 個次集水區、64 個子集水區（詳圖 3-6）。河川以卑南溪及其支流鹿野溪及鹿寮溪為主，其次有利嘉溪、知本溪、太平溪，縣管河川有太麻里溪等 26 條（如圖 3-70 至圖 3-9）；圖 3-7 至圖 3-9 分別為海岸山脈東側河系、卑南溪流域與秀姑巒溪流域及臺東沿海河系各主集水區轄屬次集水區及水系分布圖。

卑南溪是臺東第一大溪，又稱卑南大溪，流貫花東縱谷平原，是灌溉縱谷及臺東平原的主要河川。卑南溪發源於中央山脈關山主峰，主流上游稱為新武呂溪。重要支流有大崙溪（源自卑南主峰）、萬安溪（源自海岸山脈）、鹿野溪、鹿寮溪；全長約有 84.35km，流經臺東縣的七個鄉鎮市，分別是海端鄉、池上鄉、鹿野鄉、關山鎮、延平鄉、卑南鄉、臺東市，河流最後於臺東市北郊注入太平洋。流域面積廣達 1,603.21km^2，平均坡降為 1/23。卑南溪全流域的降雨中心在卑南主山與關山間，其年降雨量可達 4000mm 以上，然後向下游逐漸減少。流域之年平均降雨量約 2760.3mm，較臺灣各地平均 2510mm 高約 10%。豐水期（5 月至 10 月）降雨量 2286.7mm，為枯水期 473.6mm 的 4.8 倍。本流域逕流之時間分布，豐水期佔年平均逕流量之 83.6%是枯水期的 5.12 倍。

知本溪，發源於中央山脈霧頭山，幹線長度 38.20km，流域面積 198.45km^2，水系分布於金峰鄉、太麻里鄉、卑南鄉、及臺東市等地區。平均比降為 1/23。流域年平均雨量為 2766.5mm，在濱海地區的降雨量最低約 2000mm，漸次向山區增加，以中央山脈河源地區 4000mm 為最高。本流域逕流豐枯水期相當懸殊，豐水期（5 月至 10 月）降雨量 2370.9mm，佔全年的 85.7%，是枯水期的 6.0 倍。本流域之豐水期逕流量佔年平均逕流量的 85.5%，是枯水期的 5.9 倍。利嘉溪發源於中央山脈大浦山，幹線長度 35.30km ，流域面積 174.7km^2，水系分布涵蓋卑南鄉大部及臺東市之南半部。河流於臺東市豐原里與建東里之間注入太平洋。河床平均坡度 1/17.7。流域年平均雨量為 2640.6mm，濱海地區降雨量最低 2000mm，漸次向西隨山勢增高而增加，至西邊分水嶺地區為 3000mm。豐水期（5~10 月）降雨量佔全年的 81.1%是枯水期的 4.3 倍。本流域逕流豐枯水

DOI:10.6346/NPUST202100182

期也相當懸殊，豐水期時佔年平均逕流量之 86.38%，是枯水期的 6.1 倍。太平溪發源於馬里山，重要支流有太巴六九溪，幹線長度 18.30km，流域面積 95.05km^2，流經區域為卑南鄉與臺東市。

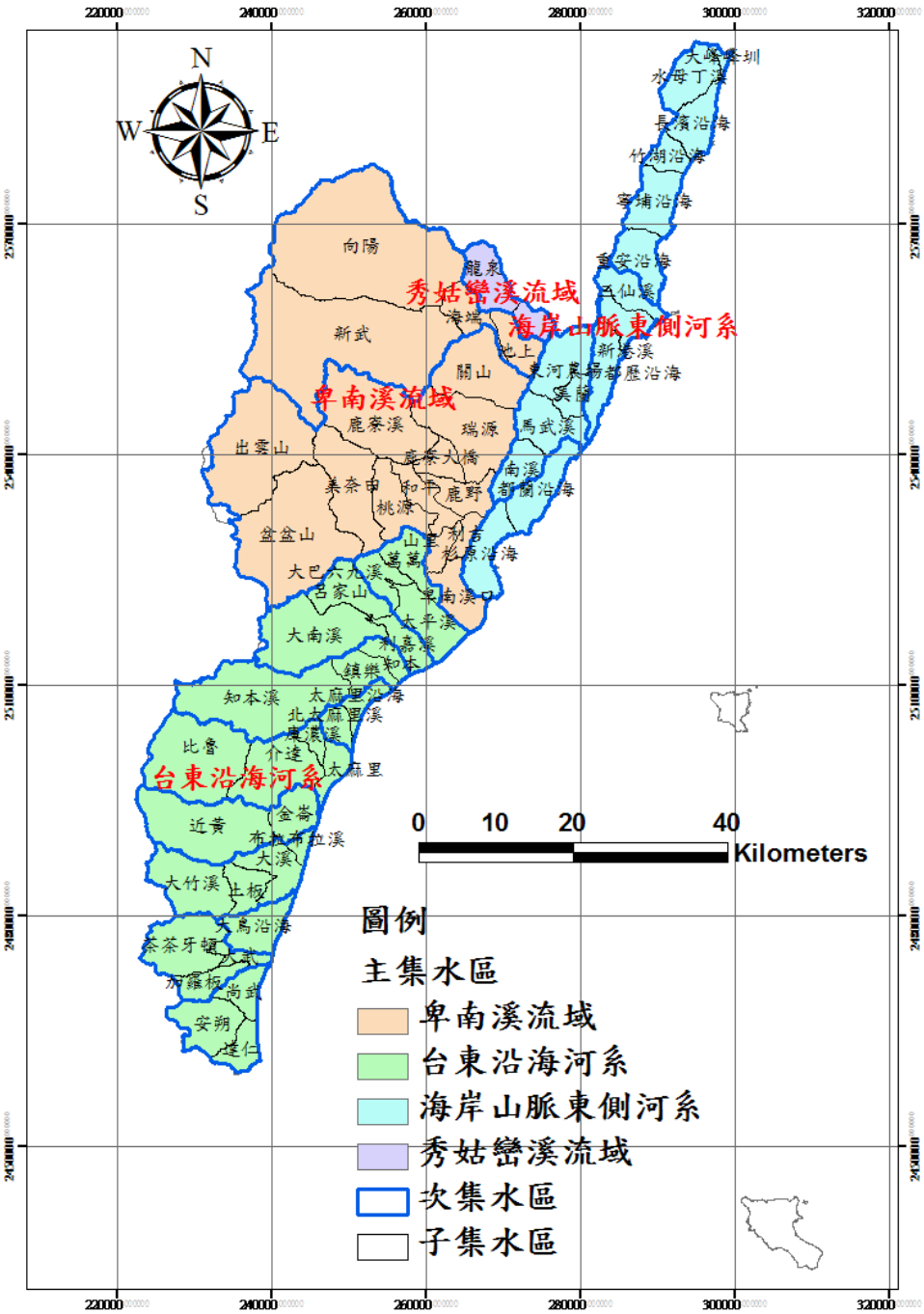


圖 3-6 臺東縣轄屬集水區域圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

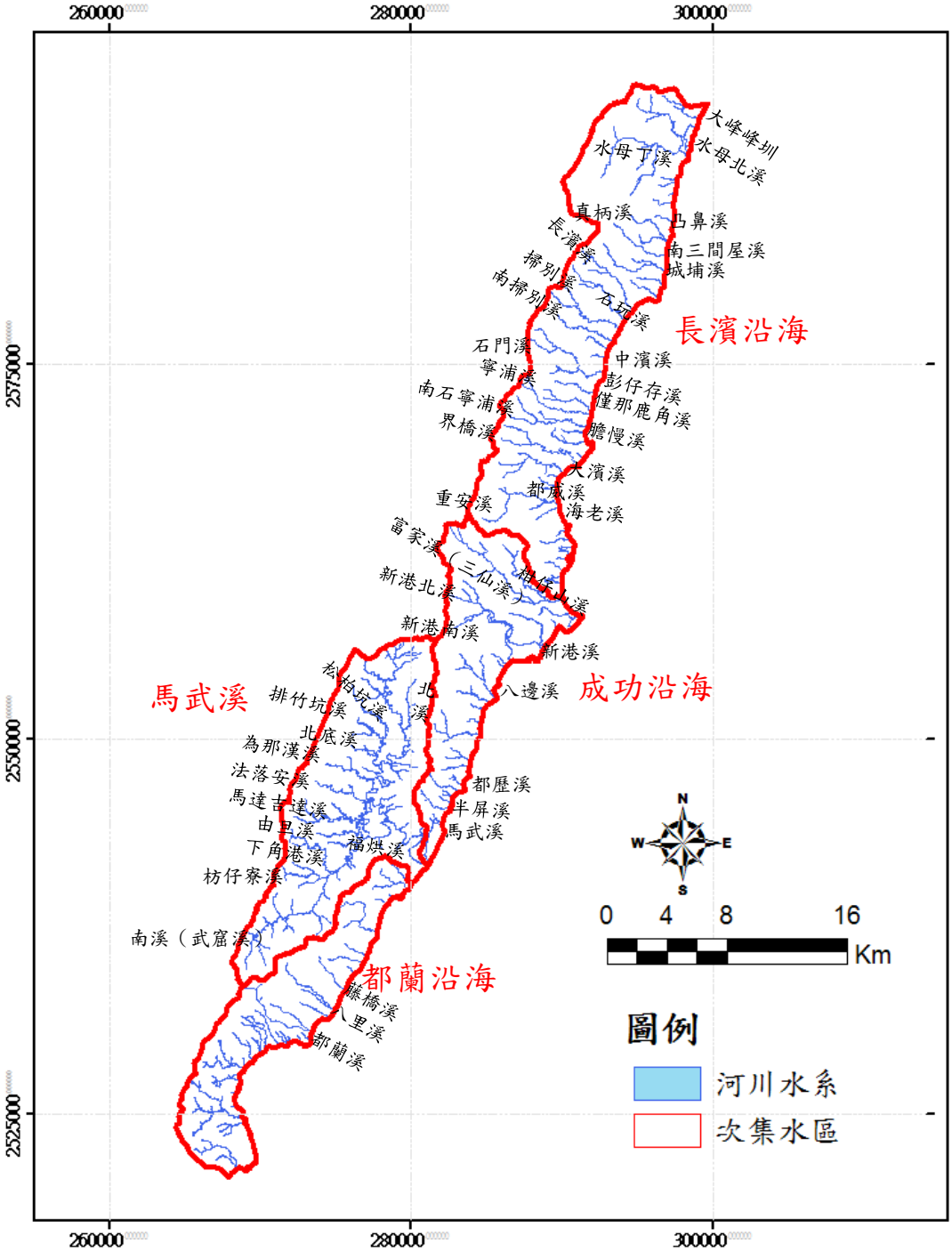


圖 3-7 海岸山脈東側河系轄屬次集水區與水系分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

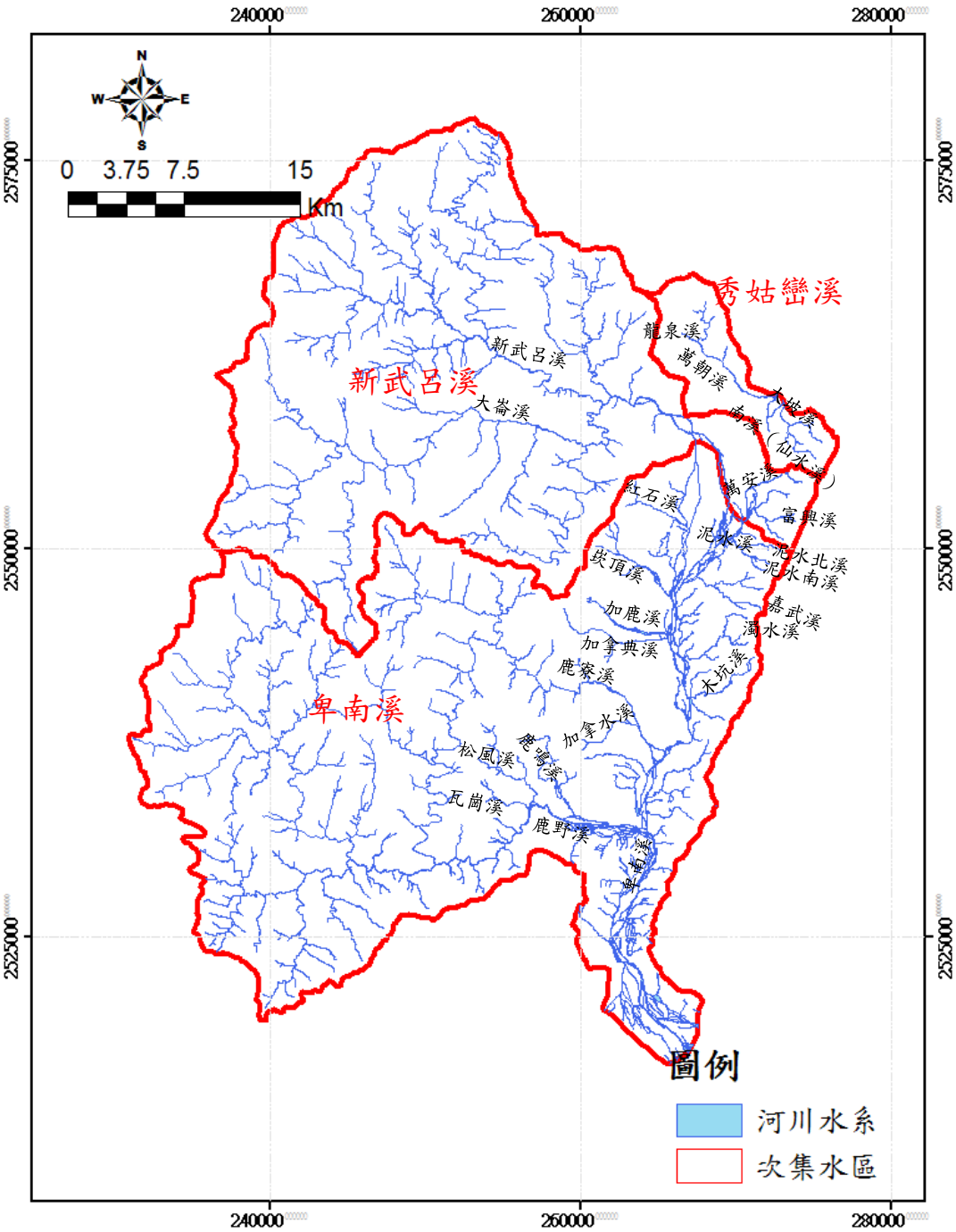


圖 3-8 卑南溪流域與秀姑巒溪流域轄屬次集水區與水系分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

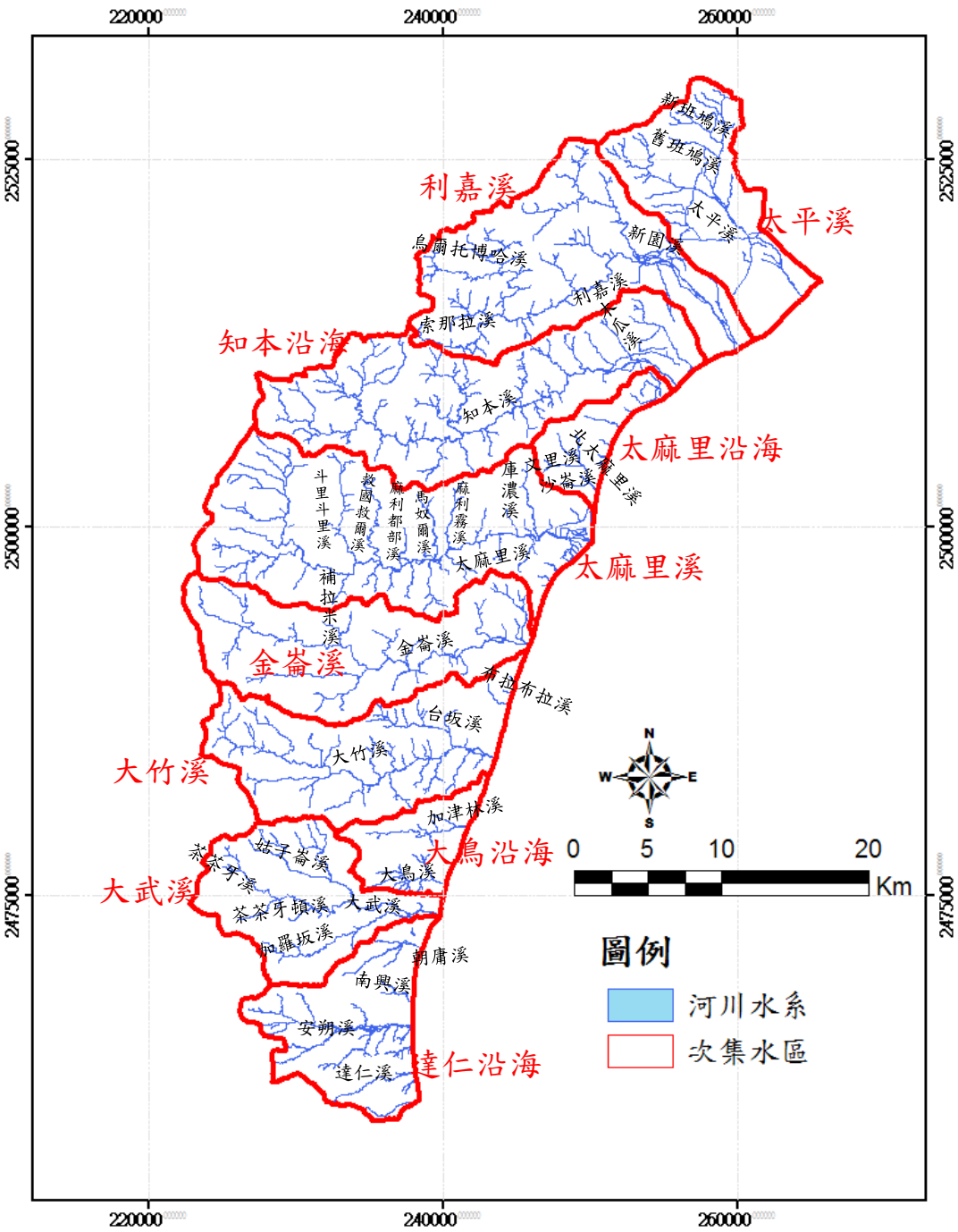


圖 3-9 臺東沿海河系轄屬次集水區與水系分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

(六)土地利用限度

依據山坡地保育利用條例第六條規定，山坡地應按土地自然形勢、地質條件、植生狀況、生態及資源保育、可利用限度及其他有關因素，依照區域計畫法或都市計畫法有關規定，分別劃定各種使用區或編定各種使用地。

山坡地保育利用條例第十六條規定山坡地供農業使用者，應實施土地可利用限度分類，並由中央或直轄市主管機關完成宜農、牧地、宜林地、加強保育地查定。山坡地土地可利用限度分類標準係依山坡地之平均坡度、土壤有效深度、土壤沖蝕程度及母岩性質等條件將山坡地區分為六等級：其中一級地至四級地為「宜農牧地」，可供農耕或畜牧經營利用；五級地為「宜林地」，應實施造林或維持自然林木及植生覆蓋；六級地為「加強保育地」，應加強保育處理，減免災害之發生。凡是在宜林地或加強保育地的山坡地上，從事農、漁、牧業的墾殖、經營或使用，都屬於超限利用。其它濫建、濫葬及開挖整地等開發使用，是屬違規行為。

行政院水土保持局自 1964 年起辦理山坡地範圍土地可利用限度查定，依據目前水土保持局 2006 年 7 月底統計資料顯示：臺東縣山坡地面積 97,540ha，其中加強保育地面積為 297ha，約佔山坡地範圍 0.30%；宜林地面積 44,689ha，約佔山坡地範圍 45.82%；宜農牧地 42,029ha，約佔 43.09%；不屬查定範圍面積 10,288ha，約佔山坡地範圍 10.49%。

DOI:10.6346/NPUST202100182

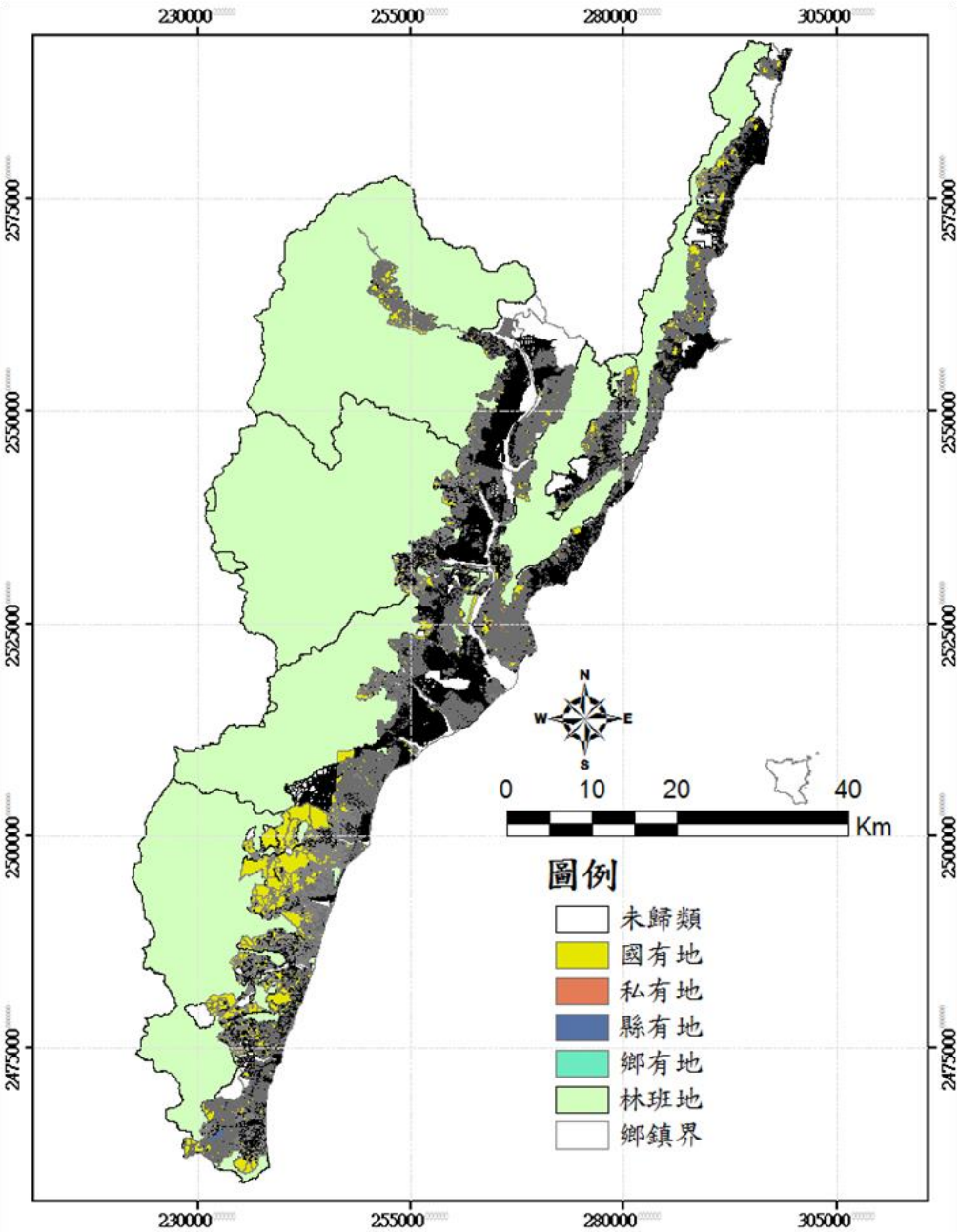


圖 3-10 臺東縣土地權屬分類圖

(七)土地利用

土地利用是人與土地間互動過程所呈現的具體型式之一，社會文化、政治經濟發展及自然環境的不同，所展現的土地利用型式也不同。健全而完整的全國性土地利用現況調查資料，透過定期的更新維護作業，讓這些資料更為有效及延續性的使用。土地使用分區分為都市計劃區及非都市計畫區使用分區，而本研究針對全縣整體區域圖資進行說明。

DOI:10.6346/NPUST202100182

依據國土利用調查土地使用分類共分為 9 大類，農業使用土地、森林使用土地、交通使用土地、水利使用土地、建築使用土地、公共使用土地、遊憩使用土地、礦鹽使用土地及其他使用土地。臺東地區土地使用分類以森林使用土地為大宗其次為其他使用與農業使用。臺東地區土地使用分佈位置如圖 3-11。

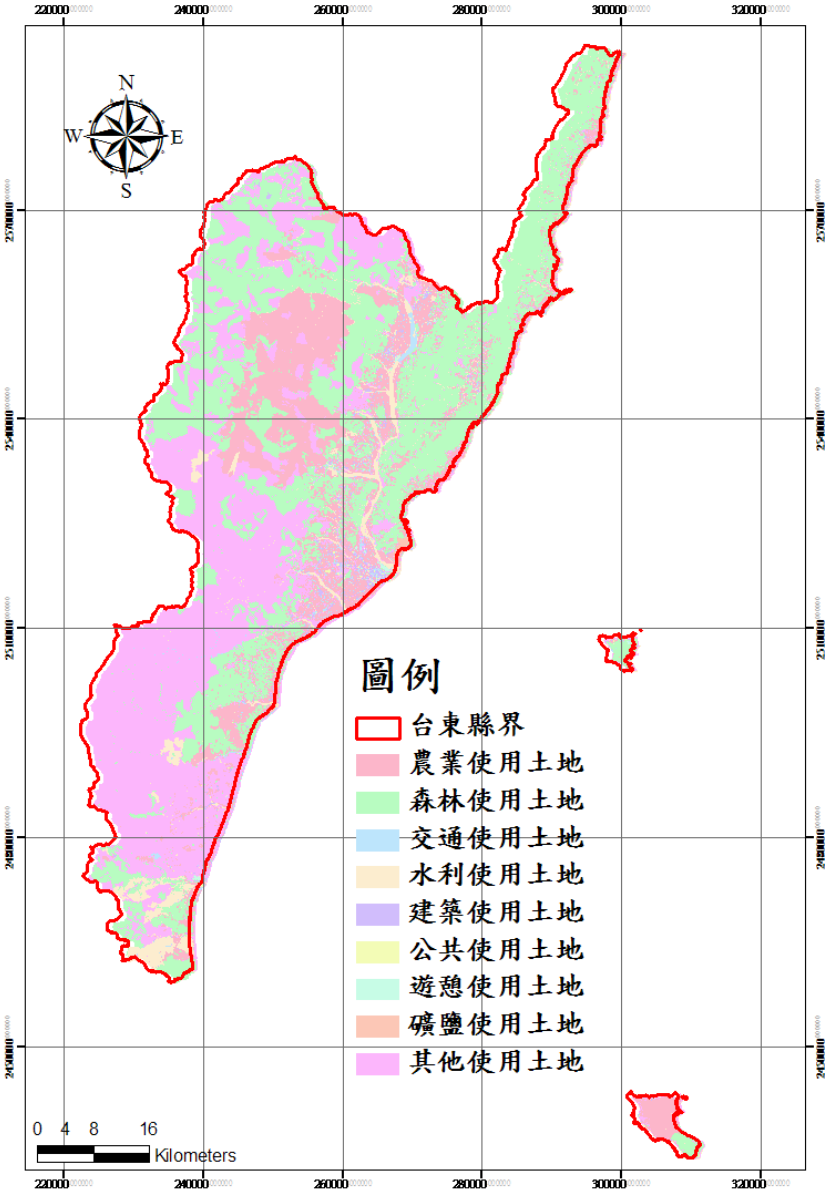


圖 3-11 臺東縣土地使用分區圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

(八)環境生態

臺東縣地形高低起伏自西側 3,600m 的高山向東測逐漸低降至海平面，地貌複雜豐富，包含寒帶、溫帶、熱帶等不同的生態系，兼有海域、淡水、溼地、陸地等截然不同的生物棲息環境，孕育出無數的生態物種，生態保育的種類及分布範圍廣大。主要動植物特性概述如下：

1.動物

目前臺東全境已發現之鳥類約有 38 科 104 種，烏頭翁、鉛色水鸝、朱鸝、五色鳥、雁鴨、鷸鳥、燕鷗、鷺鷥等皆不難見到。除了鳥類外，臺東境內尚有 13 科 24 種奇珍異獸，其中以臺灣黑熊、臺灣彌猴、果子狸（白鼻心）、赤腹松鼠、臺灣山豬、鼬鼠等最具代表性。

蝶類則擁有 282 種，佔全國 400 多種的 70%，為臺灣地區的蝴蝶寶庫，臺灣蝶類研究自日治時代開始，主要採集地為臺東縣泰源、埡口、臺東市、太平村、知本、太麻里、大武、綠島及蘭嶼等地，顯示這些地區為臺東縣蝴蝶主要棲地；其中泰源盆地蝶類資源豐富佔 140 種以上，特別在尚德附近最多，而整體最熱門的採集地區則以知本、蘭嶼及綠島三地為主。南橫公路利稻以北屬於中高海拔蝶類高山地帶代表區域，曙鳳蝶、雙環鳳蝶和昇天鳳蝶為該區代表，本段最佳賞蝶區為利稻和向陽。綠島及蘭嶼特有種非常多，黃裳鳳蝶（金鳳蝶）、珠光鳳蝶被列為本區代表，但數量少，被列為保育類昆蟲。經政府公告列為保育類野生動物的有龍田地區、蘭嶼的珠光鳳蝶，大武、鹿野等地的黃裳鳳蝶及高山地帶的曙鳳蝶等三種。

2.植物

臺東地形於重山峻嶺與蔚藍海洋間，故在植物景觀上，又可區分為森林植群與海洋植物；由於林相優美稀有珍奇，除了最佳之課外範本外，更具豐富之學術研究價值。森林植群中包括亞熱

DOI:10.6346/NPUST202100182

帶雨林與熱帶雨林，目前仍保持的相當完整；其林相剖面，按海拔高度可分成 4~5 層，大體上最上層為 20m 以上之喬木；次層為小喬木，高約 15~20m；第三層為灌木層，高度在 5~8m 之間；第四層為草本植物，高度在 1~2m，種類繁多。

海岸線最特殊的為荊棘林與珊瑚礁植物帶，荊棘林為一種具刺灌木林，主要分布在長濱、界橋、三仙臺、小野柳等地；其高度約 2m，植物密度大結構密實，因此大型動物不易居中活動，而成為小型囓齒類動物與鳥類最佳之棲息地。珊瑚礁植物因寄生於由珊瑚石灰及海中生物遺體育化而成的土壤中，故其植物外觀與種類皆非常特殊；其中又以濱龍吐珠、海梅（水芫花）、馬鞍藤、象牙樹為最，為大自然神奇之植物教材。

3.水生態

海岸綿延，珊瑚群礁生物珍奇，因此溯溪性魚類，以及海洋生物，一直是臺東縣珍貴野生動物資產。目前在溪澗源流間已發現淡水魚類達 29 種之多；其中以高身鏟頜魚（又稱高身鋼魚）、何氏棘叭魚、椰子蟹、長臂蝦、過山蝦等最為珍貴。海洋生物方面，則因珊瑚成林，棲息其間之法螺、乳鯊、海葵、熱帶魚類及各式無脊椎動物豐富而多樣，增添了婀娜之熱帶風情。此外，臺東緊臨太平洋，鯨豚種類常可一探蹤跡。

4.特殊生態環境

由於臺東縣地處偏遠，開發較晚，自然環境維護最為完善。其中包括臺東海岸山脈闊葉自然保護區、臺東紅葉村臺灣蘇鐵自然保護區、海岸山脈臺灣蘇鐵保護區、大武山自然保留區、大武山臺灣穗花杉自然保留區、關山臺灣胡桃自然保護區、關山臺灣海棗自然保護區、大武臺灣油杉自然保護區、臺東臺灣獼猴自然保護區及雙鬼湖野生動物棲息環境等 10 處（詳圖 3-12）。

DOI:10.6346/NPUST202100182

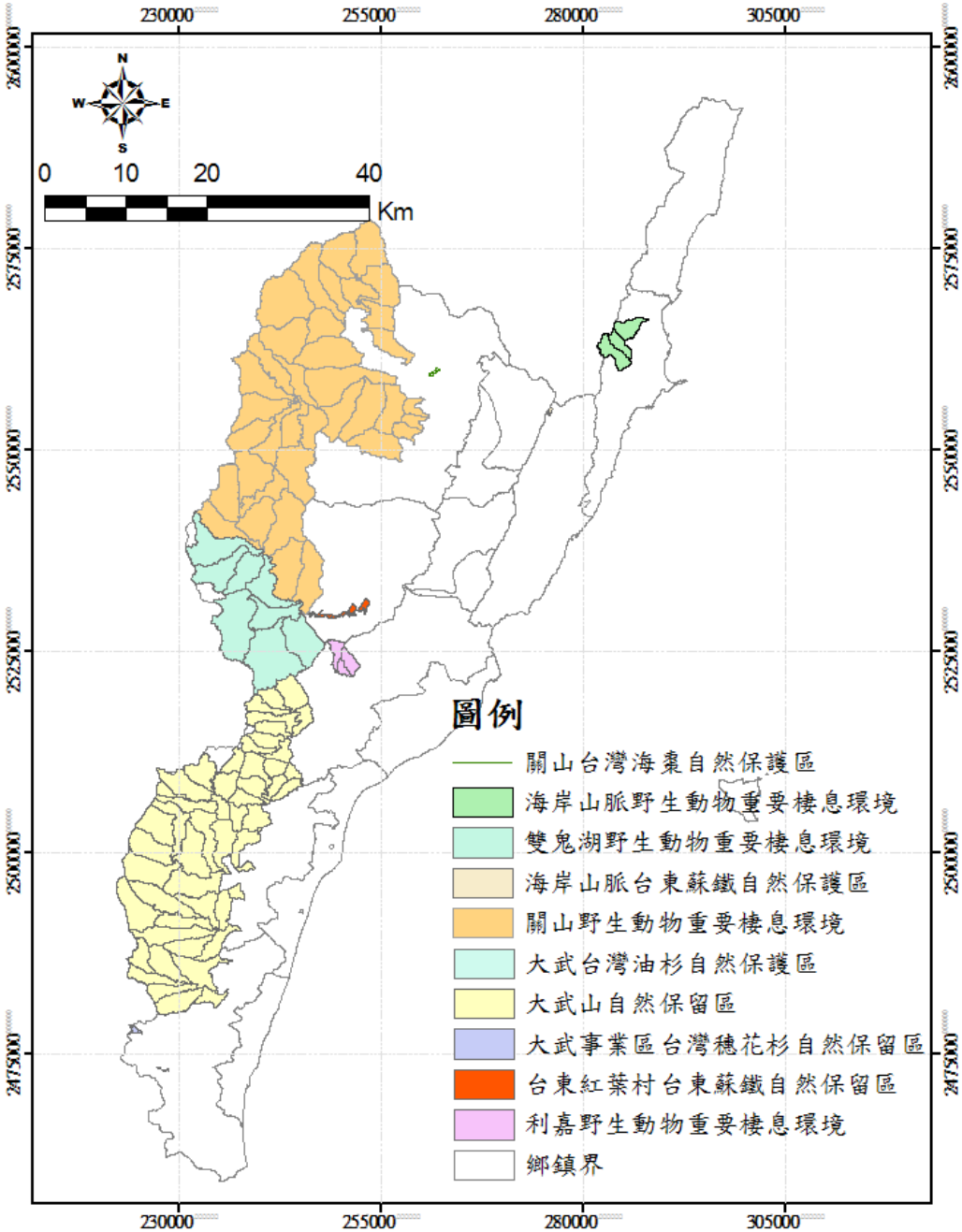


圖 3-12 臺東縣特殊自然生態環境區域分布圖

(九)土石流潛勢溪流

依據行政院農業委員會水土保持局土石流防災資訊網 2021 年資訊可知全臺有 1726 條土石流潛勢溪流，臺東縣土石流潛勢溪流共有 166 條。部分溪流每逢颱風或豪雨多會發生災害，其中較特別的在 1973 年，造成延平鄉至金崙、大武一帶，有多處溪流發生嚴重災害，甚至有多處發生整個村落遭掩埋的案例；2009 年莫拉克颱風造成太麻里以南多條河川嚴重土砂災害，及金峰鄉嘉蘭村與大武鄉

DOI:10.6346/NPUST202100182

大鳥村等村落遭洪流或土砂掩埋案例。另外近年來襲臺之數次颱風，包括 2000 年象神颱風、2001 年納莉颱風、2005 年海棠颱風、2010 年萊羅克與莫蘭蒂、凡那比，2012 年天秤颱風，2013 年天兔颱風、2014 年哈吉貝與鳳凰颱風，2016 年尼伯特與莫蘭蒂颱風，2019 年白露颱風等，也造成部分地區發生災害。

(十)災害特性與歷史災害

根據統計颱風由臺灣東部登陸之機率較高，進而臺東縣常遭受颱風侵襲或受引入西南氣流影響，產生諸多天然災害；因此政府相關單位期望能降低臺東地區發生之災害程度，已規劃逐年有系統的治山防洪整體治理之相關工作。然而對於治山防洪整體治理之規劃，仍需對研究區內相關歷史災害做更詳盡之瞭解，以提供規劃治山防災整體治理相關內容時之參考。表 3-2 為臺東縣歷年遭受颱風侵襲之災害歷史彙整表及依據土石流潛勢溪流彙整過去發生之歷史災害。由表可瞭解，臺東縣受影響較大之災害以海棠颱風和莫拉克颱風侵襲最為嚴重，自海棠颱風侵襲後，臺東縣尤以太麻里溪以南之集水區產生明顯崩塌與土砂淤積問題；然而歷經莫拉克風災後，臺東縣多數溪流土砂災害問題更為嚴重，且多數施設之既有工程亦因水流淘刷與土砂沖刷或淤埋而毀損。

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 3-2 歷年侵襲臺東縣之颱風造成歷史災害資料統計表

編號	颱風名稱	侵襲期間	颱風災情概述
1	艾瑞絲	1955.08	臺東縣境內死亡 26 人，失蹤 6 人，重傷 5 人，房屋損壞全倒 1,069 戶，半倒 276 戶。
2	娜拉	1973.10	受害面積達 8,410ha，受災人口 26,238 人，房屋損失達 5,597 仟元
3	韋恩	1983.07	太麻里溪拉灣橋下游堤防遭沖毀。
4	亞力士	1984.07	卑南鄉泰安村上游源頭土石地滑崩落
5	耐特	1991.09	臺 9 線瀧橋被沖毀，安朔橋被沖斷，朝庸溪金龍橋橋墩下陷，下游堤防被沖毀
6	歐馬	1992.09	臺 11 線都蘭段多處坍方
7	葛樂禮	1996.07	臺東地區鐵路、公路、航空交通中斷，有 3 人死亡。
8	瑞伯	1998.10	山區多處崩塌，形成土石流，造成約 3ha 農地流失
9	啟德	2000.07	1.農業損失約 1,700 百餘萬元，臺 20 線、東 197 線多處坍方道路中斷。 2.花東鐵路關山至月美段路基流失 90m。 3.臺 20 線 183km 處(海端鄉利稻至霧鹿間)土石坍方 $80m^3$，交通阻斷。 4.省道 20 線 176km 處(海端鄉)土石坍方 $150m^3$，交通阻斷。 5.省道 197 線 29km、31km 處(鹿野鄉)土石坍方 $100m^3$，交通阻斷。 6.南迴鐵路(臺東至高雄)7 月 9 日上午 6 時停駛。 7.北迴鐵路關山至月美 128km 處路基流失長 90m，深 6m。
10	碧利斯	2000.08	造成加鹿溪防砂壩破損，土石掩沒農地。
11	象神	2000.10	豐源大橋上游 400m 處堤防潰堤，淹沒附近民房，另造成知本溫泉區約 41 名民眾受困。
12	利奇馬	2001.09	1.臺 9 線道路涵洞溢流造成道路中斷，廣源村大龍橋下游左岸道路護坡受洪流沖損約 100m。 2.臺東縣救出 1 人，疏散 37 人。
13	卡莫里	2002.08	東河、成功地區多處土石流，造成農地流失
14	莫拉克	2003.08	1.環臺東都會區多處積水，部分公路坍方，用戶停電及農牧業損失。利嘉溪溪水暴漲，造成該溪鐵路橋左岸下游 400m 堤岸坡面破損 50m、基礎設施沖走 150m。

DOI:10.6346/NPUST202100182

(續)表 3-2 歷年侵襲臺東縣之颱風造成歷史災害資料統計表

編號	颱風名稱	侵襲期間	颱風災情概述
15	敏督利	2004.06	1.大武地區 15 戶民宅遭土石流侵襲。 2.公路臺 11 線 155k-160k（富岡）附近防波堤 2 處淘空範圍約 20m。 3.臺東縣南橫公路 158k 處向陽往利稻段坍塌，雙向無法通行。 4.臺東地區（臺東、成功、東河及泰源等供水系統）部分供水系統之取水口損壞。
16	納坦	2004.10	1.臺 9 線 421+300k 處路基流失約 100m。 2.臺東富岡二號海堤樁(0+135~0+165 間)混凝土襯排塊石坡面裂損約 30m。
17	海棠	2005.07	1.臺 9 線多處坍方，道路中斷。 2.太麻里溪下游左岸堤防潰堤，沖毀金峰鄉嘉蘭村衛生所、教 堂等 16 棟民宅。 3.東 66 線崩塌損毀，造成歷坵村三百多人受困。 4.臺東市到達仁鄉安朔村單線通車。 5.太麻里溪多處堤防破壞，金峰鄉嘉蘭村拉灣橋上游左岸約 300m 處，堤防潰堤約 400m，計 16 戶房屋沖毀、土地流失，無人員傷亡。 6.臺 9 線南興村南約 439m 處道路坍方，達仁鄉對外聯絡道路中斷。 7.臺 20 線(南橫公路)147K+700,152K+300 及 161K+300 埡口向陽、栗松附近邊坡坍方。 8.大武鄉大武村太福路 9 號淹水，金峰鄉歷丘村歡迎光臨飯店前道路掏空中斷。 9.卑南鄉溫泉村溫泉路 136 巷親水公園水位暴漲橋面斷裂，溫泉村 136 巷淹水。 10.達仁鄉南田村對外聯絡道路二處水泥板橋遭洪水沖毀，金崙往歷坵村道路中斷，臺 9 線 427k 大武消防分隊轉報，落石坍方，交通受阻，臺 9 線 432k 大武派出所轉報，落石坍方，勉強單線通車。

DOI:10.6346/NPUST202100182

(續)表 3-2 歷年侵襲臺東縣之颱風造成歷史災害資料統計表

編號	颱風名稱	侵襲期間	颱風災情概述
18	珊瑚	2005.08	臺 20 線栗園段坍方，道路中斷。 南迴公路臺 9 線 424~425k 路段(大溪明隧道附近)公路坍方。 道路坍方： 1.南橫公路臺 20 線 161k+300 處(栗園附近路段)、152k+100(向陽山到埡口路段)、184k 及 205k(霧鹿到利稻路段)。 2.東 36 線，往紅葉村方向。距松風橋以北 100m 處道路坍方。 3.東河鄉東富公路(臺 23 線)美蘭段道路坍方。 4.延平鄉下里道路、松楓橋下方道路坍方。
19	泰利	2005.08	1.太麻里鄉金崙村金崙溪右岸下游堤防潰堤太麻里溪溪水暴漲下游北岸沖毀，影響農作物範圍損失 2.30 甲。 2.南橫公路臺 20 線 179k+850 利稻附近道路坍方，全線無法通車。金崙溪橋墩有裂痕。
22	龍王	2005.10	大武鄉大竹村富山部落發生土石流，疏散民眾 37 人前往大武鄉活動中心及南漁活動中心。
23	珍珠	2006.05	1.臺東縣海端鄉臺 20 線 152K+300、160K+700、184K+950 邊坡土石崩塌阻斷交通。 2.道路災損搶修金額 2,499,000； 3.河堤災修工程金額 219,000。
25	碧利斯	2006.07	1.碧利斯颱風加上規模 4.6 地震，臺東縣海端鄉龍泉溪上游發生嚴重坍方，形成掩塞湖。 2.道路災損搶修金額 2,100,000。
26	凱米	2006.07	1.關山鎮 1 戶鐵皮屋倒塌、人員受困。 2.林管處通報海端鄉堰塞湖有溢流現象，臺 20 線(南橫公路新武、利稻等路段)道路中斷。
28	寶發	2006.08	臺東市浙江路、中興路、太平路、漢陽北路交叉路口等多處路面積水。
30	帕布	2007.08	1.臺東縣海端鄉臺 20 線利稻~霧鹿間邊坡坍方阻斷交通。 2.埡口~栗松間道路坍方。 3.太麻里、蘭嶼停電 2,159 戶。
31	梧提	2007.08	河堤災修工程金額 7252,000。

DOI:10.6346/NPUST202100182

(續)表 3-2 歷年侵襲臺東縣之颱風造成歷史災害資料統計表

編號	颱風名稱	侵襲期間	颱風災情概述
32	聖帕	2007.08	1.大武鄉大竹村土石流紅色警戒；160 條潛勢溪流發布黃色警戒。 2.臺東縣長濱鄉成功地區有五處民宅屋頂被強風吹落，撤離 21 人。
34	柯羅莎	2007.1	海端鄉臺 20 線 147K+710，大關山隧道附近，邊坡坍方。
37	鳳凰	2008.07	農林漁牧業產物損失 2,200 萬元
39	辛樂克	2008.09	1.臺東縣海端鄉臺 20 線 順樁 160 K.+450 栗松坍土石方 300 m^3，阻斷交通。 2.農林漁牧業產物損失 1,060 萬元
41	薔蜜	2008.09	1.臺東縣海端鄉臺 20 線 159K+900，栗松附近，土石坍方阻斷交通。 2.農林漁牧業產物損失 19,257 仟元
42	蓮花	2009.06	臺東縣達仁鄉，南橫公路向陽治埡口段 3 處坍方全天中斷。
44	莫拉克	2009.08	1.太麻里鄉金崙村 14 鄰 18 戶民宅半掩埋，並漫流至東 66 縣鄉道上。 2.金峰鄉嘉蘭村 63 戶民宅沖毀，道路毀損約 500m。 3.大武鄉大竹村民宅受損 15 棟，道路毀損 100m。 4.大武鄉大鳥村 346 號等 8 戶遭土石流掩埋，聯外道路亦遭土石掩埋。 5.大武鄉大竹村愛國蒲教會後方發生崩塌，初估約 17 萬 m^3 土砂。 6.海端鄉臺 20 線 181K+977 霧鹿至利稻橋梁沖毀。 7.海端鄉臺 20 線 148K+813 雪峰橋遭沖毀。 8.卑南鄉知本溫泉金帥飯店倒塌；聯外道路中斷。 9.卑南鄉嘉豐村鹿鳴橋畔堤防潰堤。 10.海端鄉新武附近，臺 20 線 198K+250 路基流失 100m。 11.卑南鄉知本溪溫泉 2 號堤防潰堤。 12.金峰鄉太麻里溪嘉蘭左岸堤防潰堤，撤離居民約 200 人。 13.臺 20 線 145K+905 向陽至埡口間道路路基流失。
45	芭瑪	2009.10	臺東市中興路四段附近水淹及膝。

DOI:10.6346/NPUST202100182

(續)表 3-2 歷年侵襲臺東縣之颱風造成歷史災害資料統計表

編號	颱風名稱	侵襲期間	颱風災情概述
46	萊羅克	2010.09	1.臺 20 線 182K+470 道路，預警性封閉，引道沖刷所至。 2.太麻里溪溪水暴漲便橋沖毀。 3.大武鄉大鳥村與大竹愛國浦部落已屆土石流警戒，並進行疏散至安全處所。 4.愛國蒲部落後方山壁於莫拉克颱風時發生大崩塌，萊羅克颱風來臨時於崩塌處所施作之坡面治理工程尚未完成，雨水造成崩塌範圍擴大，裸露坡面遭受雨水沖刷產生蝕溝，將土石帶往愛國蒲部落，造成部落內民宅與道路遭受崩塌土石淤積，深度約 70 公分。 5.土石淤埋：愛國蒲部落內聯通道路與民宅 5 戶遭受淤埋，深度最深約 70 公分。
47	莫蘭蒂	2010.09	1.南橫公路山區的利稻村發生土石崩塌災害，無人員傷亡。 2.臺 9 線初鹿段 359km，因為落石坍方，交通中斷。 3.達仁鄉土坂部落聯外道路中斷。 4.大武鄉大鳥村累積雨量達撤村標準，縣府與國軍協助撤村。 5.臺 9 線臺東往高雄南迴公路有多處路段發生坍方落石和積水，僅能單線通車。 6.大武鄉金崙地區一處排水系統因為水位上漲，威脅道路安全，鄉公所緊急採取防洪措施。 7.臺 20 線 145K+905 向陽至埡口間道路路基流失表單的底部。
48	凡那比	2010.09	1.大武鄉大鳥村、大竹村、太麻里鄉金崙村、多良村、海端鄉利稻村等等村落疏散撤離至安全避難處所。 2.洪水沖刷造成太麻里溪、大竹溪等下游區域邊坡潰堤，以及海端鄉利稻鋼便橋等多處橋梁封閉。 3.南迴鐵路太麻里段鐵路橋路基淘空。 4.臺東南端香蘭至大竹部落一帶住戶停電。 5.至臺東觀光之遊客疏散至香蘭國小避難。

DOI:10.6346/NPUST202100182

(續)表 3-2 歷年侵襲臺東縣之颱風造成歷史災害資料統計表

編號	颱風名稱	侵襲期間	颱風災情概述
49	天秤	2012.08	天秤颱風強勁風勢造成臺東大武地區災情慘重，瞬間強陣風達 17 級，上百戶民宅屋頂吹翻，路燈和電線桿受損，受強勁風勢樹林搖動木導致區內邊坡數處小面積崩落
50	天兔	2013.09	太麻里鄉美和村： 1.災情描述：天兔颱風所挾帶之豪雨影響，造成富野飯店後方邊坡發生崩塌。崩塌沖蝕坑溝挾帶大量泥水沖入富野飯店，土砂堆積飯店 1 樓，部分土砂沖蝕飛濺侵入飯店 2 樓。 2.災害規模：上游推測有新崩塌地發生。飯店後方坑溝緊鄰飯店，距離約 5m。坡面已發展 1 沖蝕坑溝，溝寬約 5m 以下，坡度約 15 度。目視已坑溝仍有大量土砂堆積。 3.災損統計：富野飯店及員工宿舍共 2 棟建物受災，住宿房客約 100 人緊急撤離至高野飯店入住避難。
51	哈吉貝	2014.06	大武鄉大竹村： 1.災情描述：因 98 年莫拉克颱風造成崩塌，本次又受哈吉貝颱風所挾帶之豪雨影響，發生土砂下移之災害，導致原本於 6 月 9 日清疏沉砂池一夕之間淤滿。 2.災害規模：土砂沖刷下移規模概估長度約 150 m，寬度 25 m，深度約 0.3 m，土砂量約 1125 立方 m。 3.災損統計：箱涵前沉砂池淤滿。
52	鳳凰	2014.09	卑南鄉溫泉村： 1.災情描述：因鳳凰颱風期間降下超大豪雨，引發土石流潛勢溪流東縣 DF058 溪水暴漲及大量土石下移，造成射馬干土石流觀測站上、下游鋼索斷裂，大量土石淤積於河道；洪水溢淹至下游農民用地。 2.災害規模：土砂淤積概估長度約 120 m，寬度約 10 m，深度約 1.5 m，土砂量約 1800 立方公尺。 3.災損統計：射馬干土石流觀測站上、下游鋼索斷裂，支流 2 處過水路面阻塞，主支流會合處下游左側壩翼小規模崩塌，農地遭土石侵入。

DOI:10.6346/NPUST202100182

(續)表 3-2 歷年侵襲臺東縣之颱風造成歷史災害資料統計表

編號	颱風名稱	侵襲期間	颱風災情概述
53	尼伯特	2016.07	東河鄉尚德村： 1.受尼伯特颱風期間降雨影響，泰源南溪一處溪岸邊坡發生崩塌，堵塞河道後形成堰塞湖，威脅下游民眾之安全。 2.災害規模：崩塌範圍長約 130m、寬約 90m，平均深度約 6m，崩塌面積約 11,700m^2，崩塌土方量約 70,200m^3；堰塞湖面積約 3,500m^2。 3.災損統計：無。
54	莫蘭蒂	2016.09	大武鄉大竹村： 1.災情描述：受莫蘭蒂颱風之降雨影響，大竹溪(土石流潛勢溪流 DF164)一處支流源頭發生崩塌，土砂淤滿河道後，一部分隨地表水沖刷流入愛國蒲部落，多戶房舍遭到堆積。 2.災害規模：崩塌面積約 1ha，土方量約 15,000m^3。 3.災損統計：7 戶民宅遭土砂淤積，道路遭掩埋長度約 60m。
55	白鹿	2019.08	延平鄉紅葉村： 1.災害規模：崩塌面積約 4.8ha，土方量約 80,000m^3。 2.災損統計：民宅遭土砂堆積約 29 戶，道路遭掩埋約 200m，農地遭掩埋約 0.5ha。 臺東縣大武鄉尚武村，東縣 DF105 因山上雨水夾帶泥流沖下來，導致環港路泥沙淹過路面。

(整理自：土石流防災資訊網)

二、研究方法

(一)土砂生產模式架構

臺灣地形陡峭、地表破碎、地質複雜脆弱且多斷層等特殊地質條件，使地表鬆散土石材料豐富，每逢颱風或豪雨便易發生土砂災害。集水區內的土砂生產來源大多是受颱風或豪雨的作用下使坡面上的土石失去原有的安定狀態，藉由降雨沖蝕、地表逕流運移或崩塌等土砂運動現象而生成，所以除了地質、地形、土壤及覆蓋等集水區本身的地文因子外，降雨成為集水區土砂生產及輸出的主要驅動因素。換言之，山區集水區之泥砂主要由坡地的崩塌及地表沖蝕

DOI:10.6346/NPUST202100182

所供應，再藉由降雨形成之逕流沿著陡峻溪流攜出或堆積於集水區。因此，本研究採用流域土砂管理模式(經濟部水利署，2002)進行臺東沿海河系集水區土砂生產及運移分析，流域土砂管理模式主要考慮降雨—逕流、坡地崩塌及地表沖蝕等三個機制，茲將土砂生產模式的架構說明如下。

集水區產砂模組是採用空間分散、參數集塊(Spatially varied, Lumped parameter)方式，先將集水區細分成許多具地文水文均一性的子集水區，針對每一子集水區進行分析，獲得各項參數後，再將各子集水區串聯成一整體，如圖 3-13 所示。空間分散、參數集塊模式之優點如下：

1.依地形將集水區細分成多個子集水區，每一子集水區依現地狀況個別求取參數，參數較具均一性。
2.透過河道系統將各子集水區串聯，可反映區域地文水文條件的差異，且能表現流域系統特性。
3.模式中加入水工結構物之工程分析因子對於各項工程整治研究之評估，只需修改子集水區相關工程配置參數，即可透過河川網路反映到整個流域系統。

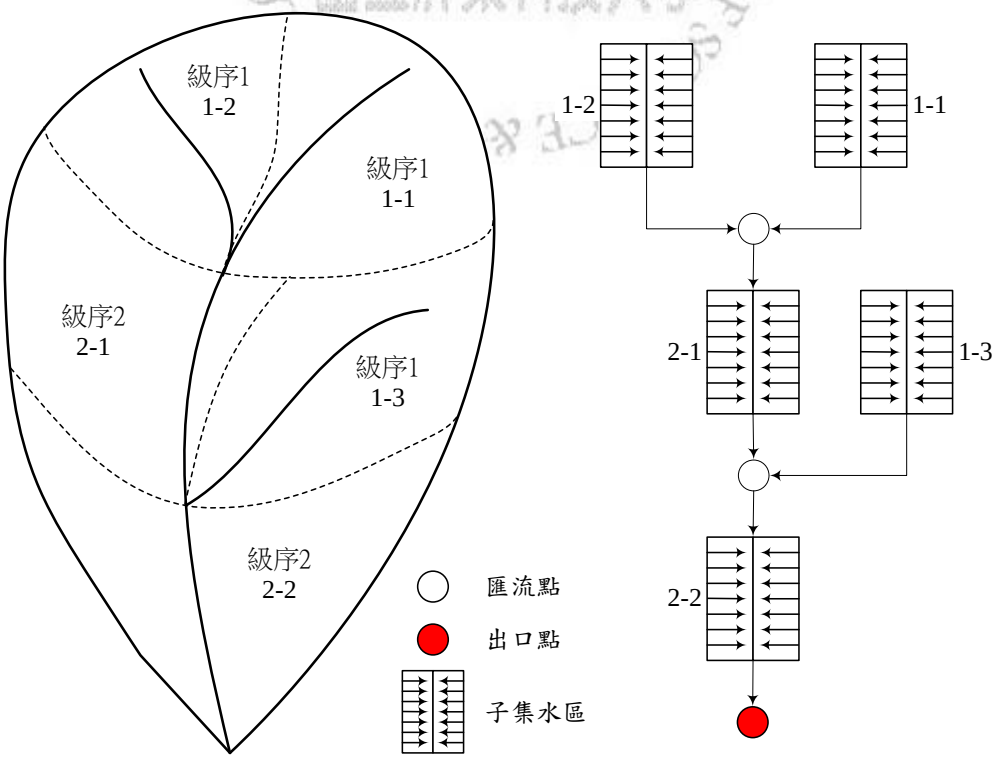


圖 3-13 子集水區及河系串接示意圖(經濟部水利署，2002)

DOI:10.6346/NPUST202100182

在集水區產砂模組中，子集水區是計算的基本單元，其主要輸入為降雨以及來自上游的水砂，如圖 3-14 所示，圖中將子集水區概念化成兩平面斜坡及中央河道之組合，降雨落於坡面後部分雨水滲入地表下，超滲降雨則轉化為地表逕流並引起表土沖蝕藉由地表逕流向河道匯集，若降雨持續使得地下水位上升將造成坡面發生崩塌破壞，此土方量落入河道後形成土砂來源，所有坡面水砂匯集於河道後，連同來自上游子集水區的水砂往下游輸送至子集水區出口處，這些程序構成子集水區基本產砂機制。

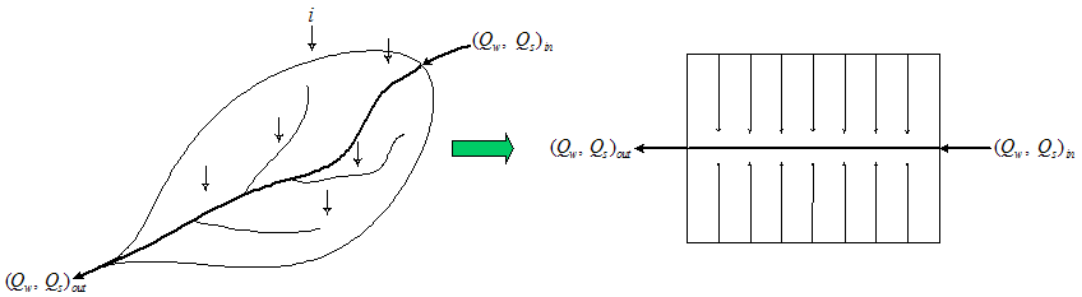


圖 3-14 子集水區概念化示意圖(經濟部水利署，2002)

綜合上述之產砂過程，一個子集水區的泥砂產出量可由水文演算(降雨逕流)、產砂演算(沖蝕、崩塌)以及輸砂演算等三個子機制共同完成，將其以概念圖表示如圖 3-15 所示。

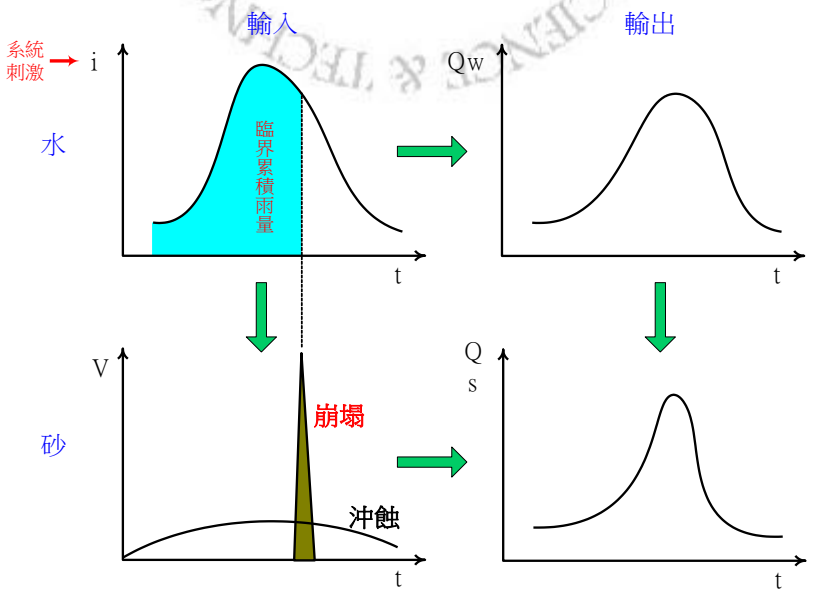


圖 3-15 子集水區土砂生產及運移分析概念圖(經濟部水利署，2002)

DOI:10.6346/NPUST202100182

(二)降雨－逕流估算

1.有效降雨量

由於 SCS 曲線值模式(SCS Curve Number model)於美國本土及海外都被廣泛接受，在國內也有不錯的應用成果，而且模式中所需之集水區地文參數建立完整且適合結合衛星影像資料與地理資訊系統方法來輔助求取。因此，本模式選用 SCS 曲線值法推求有效降雨量。SCS 曲線值模式係美國土壤保持局所創(Soil Conservation Service Curve Number model，簡稱 SCS CN model)，模式之使用只需要決定曲線值(Curve Number，簡稱 CN)一個參數即可，CN 值隨土壤種類、土地利用及臨前土壤水分條件而改變。經驗方程式如下：

$$P_e=(R-0.2S_d)^2/(R+0.8S_d) \quad , R>0.2S_d \ldots (3\text{-}1)$$

$$S_d=(25400/CN)-254 \ldots (3\text{-}2)$$

式中

P_e 為累積超滲降雨；

R 為累積總雨量；

Sd 為最大滯留量潛勢，其與流域特性間之關係是透過 CN 值決定。

2.直接逕流歷線

超滲降雨如何轉換成谷口輸出之直接逕流歷線，一般採用下列兩種方法，一為經驗模式，單位歷線模式(Unit Hydrograph model)；另一為概念模式，運動波模式(Kinematic-wave model)。單位歷線模式需要有大量的實測資料做參數檢定、驗證，由於山區各子集水區少有實測資料可供使用，因此運動波模式為較佳的選擇，因為其所需的參數可藉由地理資訊系統加以估算。運動波模式可同時應用於坡面上的漫地流以及集水區河道水流。

DOI:10.6346/NPUST202100182

(1)坡面漫地流模式

運動波模式假設集水區為一非常寬廣之渠道，其側入流量等於超滲降雨量，由於漫地流水深較淺，坡面之底床坡度 So 與能量坡度 S_f 相近，而能量坡度可由 Manning's Equation 近似，則

$$Q=\frac{1}{n}AR^{2/3}S_f^{1/2}\approx\frac{1}{n}AR^{2/3}S_o^{1/2}=\alpha A^m \quad \ldots(3\text{-}3)$$

其中，Q 為流量；R 為水力半徑；A 為斷面積；n 為漫地流阻力因子（非 Manning's n 值），其由地表覆蓋所決定；α, m 為與地文因子相關之參數，由於集水區視為寬廣渠道，因此 $\alpha=S^{1/2}/n$, m=5/3。

水流連續方程式表示如下

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=q \quad \ldots(3\text{-}4)$$

式中，q 為側入流量，在此為超滲降雨量。

將(3-4)式代入得

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\alpha\cdot m\cdot A^{m-1}\frac{\partial A}{\partial x}=q \quad \ldots(3\text{-}5)$$

(3-5) 式為漫地流之運動波方程式。

(2)集水區河道水流模式

由於上游集水區內之河道坡度陡，迴水效應小，渠道窄深，河岸瀦蓄效應亦小，運動波模式可滿足要求，因此本模式選擇運動波模式進行河道水理計算，其適用範圍約為河道坡降大於 0.002(即 0.36 度)。(3-5)式亦可作為集水區河道水流控制方程式，惟其中 q 為坡面漫地流側入流量，n 為 Manning 粗糙係數（即 Manning's n）。

(三)崩塌量估算

崩塌起因於坡面堆積土層或已風化岩盤，受重力或水流作用，使土體驅動力大於抵抗力而下滑崩落。在崩塌土方生產量之估算方

DOI:10.6346/NPUST202100182

面，本研究係採用衛星影像之崩塌地面積判釋結果，配合現場調查所得之崩塌厚度，進而估算崩塌土方生產量。以衛星影像判釋崩塌地面積之判釋流程如圖 3-16，判釋流程說明如下：

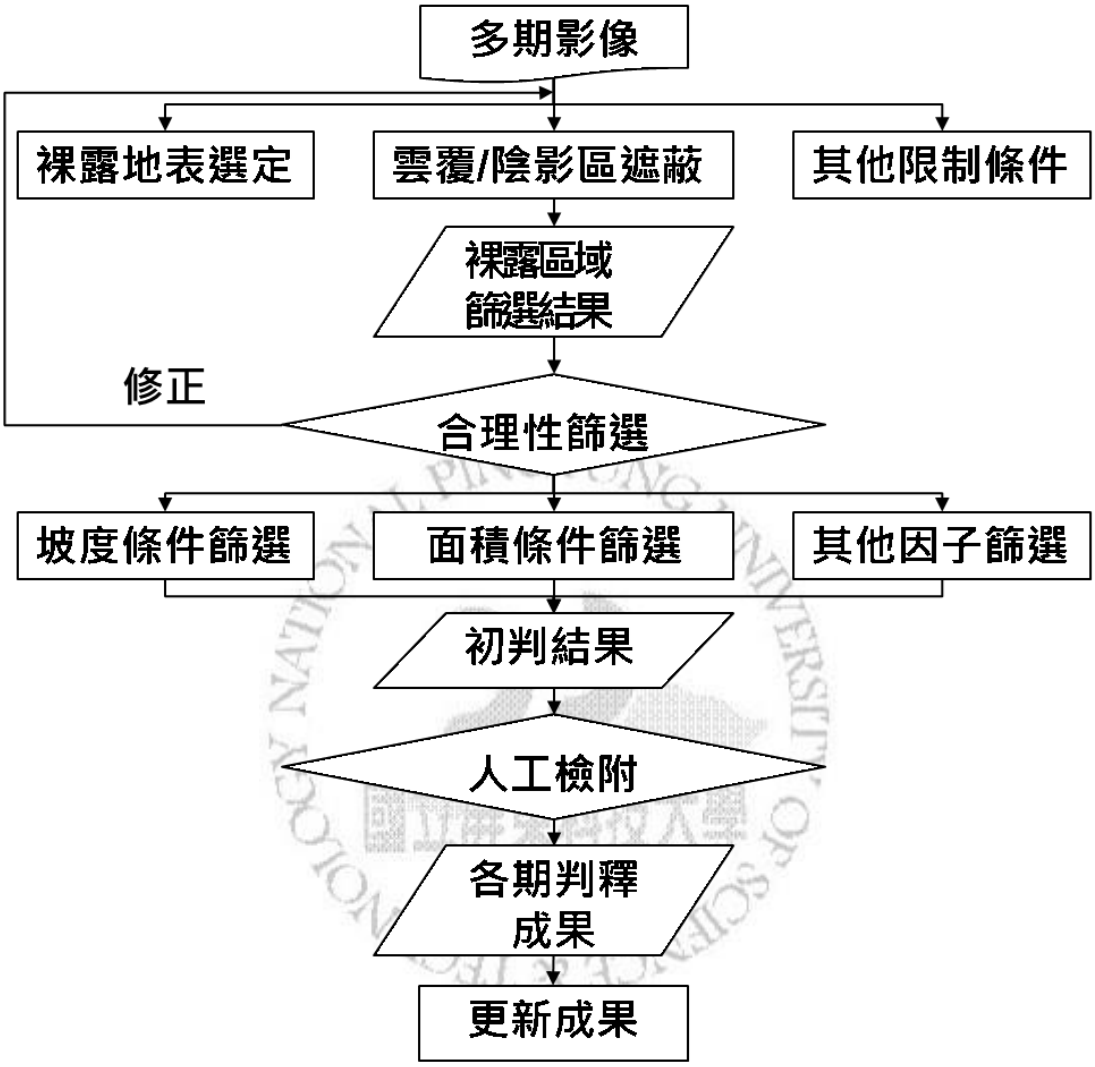


圖 3-16 衛星影像判釋崩塌地流程圖

1.不同時期影像配準

新增崩塌地分析，必需先進行不同時期的影像對位，以減少不同時間點衛星取像時因為軌道與姿態的不同所造成的影響，然後再進行崩塌地的判釋。

2.裸露區域篩選

本項作業的目的在於挑出所有影像上地表裸露的區域，藉由

DOI:10.6346/NPUST202100182

NDVI 的門檻界定，篩選出地表無植生覆蓋與植生覆蓋稀疏的區域；藉由雲覆/陰影區域遮蔽的動作，剔除白雲、高亮度反光物(建築物、水體、道路…等)、低亮度區域(植生復育區、道路、雲影…等)；如果有其他空間限制條件，亦一併加入篩選，本階段作業完畢，可以得到裸露區的分布狀況，將這些成果與影像進行套疊，即可了解各條件之門檻是否需要修正，如成果為高估或低估的狀況則重新給定各條件的篩選門檻，重複篩選動作直至成果合乎需求，隨即進行下一階段動作。

3.地文條件篩選

在地形條件的篩選上，主要以坡度與面積為主要因素，如果有其他地形限制條件，亦一併加入篩選，至此可獲得初步的崩塌地判釋成果。

4.人工檢覈

在完成前述步驟後，初步的崩塌地判釋成果已經出來了，但難免還有一些誤判的資料夾雜其中，在此作業程序中，利用誤判資料庫快速篩選誤判項目，並藉由專業人力進行最後的檢查，務求減少誤判增進成果精確度。

5.新增崩塌地分析

藉由先前步驟所得成果再進行前後期成果之聯集，聯集後的成果扣除前期成果，即可得到後期實際新生、擴大的部份，如圖 3-17。圖中，A 為原有崩塌地；C 為新生崩塌；B 為舊有崩塌擴大，B+C 則為新增崩塌。

DOI:10.6346/NPUST202100182

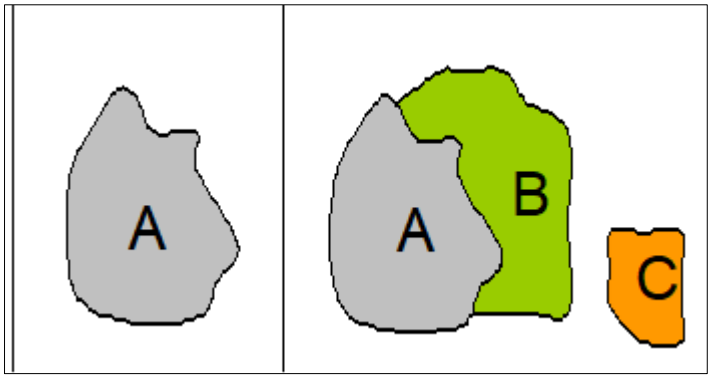


圖 3-17 新增崩塌地示意圖

崩塌總土方量的計算，是以崩塌面積乘以其崩塌深度進行估算，崩塌深度除可藉由現地調查方式進行評估外，人或車輛所不及之崩塌處可藉由過去相關文獻，得知崩塌深度與坡面坡度之關係，如表 3-3 所示(行政院農業委員會水土保持局，2008；詹勳全等人，2015)。雖然 2009 年莫拉克颱風後國家災害防救科技中心有定義所謂大規模崩塌之面積、深度及量體之大小。但本研究因時空因素仍依上述文獻作為分析之依據。本研究經分析統計平均深度約為 1.3~2.5m，雖然大規模崩塌深度較深，但其範圍占比不大，整體而言並不影響平均崩塌深度估算。

表 3-3 崩塌深度估計參考表

坡面坡度（°）	深度(m) Khazai and Sitar(2000)	深度(m) 國家災害科技研究中心(2004)
＜30	2.0	5.0
30~40	1.5	4.0
40~60	1.0	3.0
＞60	0.5	2.0

資料來源：行政院農業委員會水土保持局，2008；詹勳全等人，2015

(四)沖蝕量估算

對於山坡地土壤沖蝕量之估算，國內目前較常用者為通用土壤流失公式(Universal Soil Loss Equation, USLE)。由於其估算時間多以年為單位，而本研究之模擬時間單位為小時，直接採用 USLE 公式並不適合。因此本研究引用 Williams and Berndt 於 1977 年所提出

DOI:10.6346/NPUST202100182

的修改版通用土壤流失公式(Modified Universal Soil Loss Equation, MUSLE)進行單場暴雨土壤沖蝕量模擬，再利用流量歷線依加權分配的方式分配到各個模擬時距。MUSLE 與 USLE 最大的差別在於，USLE 利用降雨做為沖蝕能量的指標，而 MUSLE 利用逕流總量及尖峰流量（間接反映降雨特性）估算泥砂生產量。採用 MUSLE 的主要優點有二：1.不需要再另外估算泥砂遞移因子(Soil Delivery Ratio, SDR)，2.可用於估算單場暴雨事件的泥砂產量。其公式型式如下：

$$Q_s = 11.8 \cdot (V_{eff} \cdot q_p)^{0.56} \cdot K \cdot C \cdot P \cdot L \cdot S \ldots (3\text{-}6)$$

式中，

V_{eff} ：有效降雨量(Effective rainfall) (m^3)；

q_p ：尖峰逕流量(Peak flow discharge) ($m^3/\sec$)；

K ：土壤沖蝕指數(Soil erodibility factor) (*(ton·ha·hr)/(ha·MJ·mm)*)；

C ：覆蓋及管理因子(Cover-management factor)；

P ：水土保持處理因子(Support practice factor)；

L ：坡長因子(Slope length factor)；

S ：坡度因子(Slope steepness factor)。

(五)土砂輸送估算

坡面沖蝕及崩塌所產生的土砂匯入河道後，即沿著河道往下游輸送，泥砂在河道中的運移受水流流量、河道坡度、床質組成及河道尺寸等因素影響，輸砂能力沿程改變。在山區河道土砂運移方面，何智武教授於臺灣山區河道的輸砂量從事多年的觀測研究，並利用實測資料對多條輸砂公式加以測試比較，藉以獲得較適用於臺灣山區的輸砂公式。經由過去多年的使用經驗推薦(a)何、黃氏公式，(b)Schoklitsch 公式較為適用。另外，在上游河道坡度較陡地區本研究亦引入(c)Shieh(1997)針對 Takahashi(1982)實驗資料及迴歸式所

DOI:10.6346/NPUST202100182

修正的輸砂平衡濃度公式。茲將各公式詳列如下：

1.何、黃氏公式(1992)

$$q_B = 0.438 S^{1.41}\left(q - q_C\right)$$

$$q_C = 1.259\times10^{-7}\times D_g^{1.56}\times S^{-1} \quad \ldots(3\text{-}7)$$

$$D_g = \frac{D}{\left[\dfrac{\nu^2}{\left(\sigma/\rho-1\right)g}\right]^{1/3}}$$

式中，

q_B：單位河寬河床載運移量(cms/m)；

S：河床坡度$(\%)$；

q：單位河寬流量(cms/m)；

q_C：單位河寬之河床載起動流量(cms/m)；

D_g：河床之無因次粒徑；

D：河床載之粒徑(m)，一般可以D_{50}為代表；

σ：泥砂密度(kg/m^3)，一般石英砂約為 2650 kg/m^3；

ρ：水密度(kg/m^3)，水溫$20^\circ C$時，約為 1000 kg/m^3；

ν：水之運動黏滯係數(m^2/sec)，水溫$20^\circ C$時，$\nu = 1.0\times10^{-6}\ m^2/sec$；

g：重力加速度(m/sec^2)，一般取$g = 9.8\,m/sec^2$。

2. Schoklitsch 公式(1943)

$$q_S = 2500 S^{3/2}\left(q - q_C\right)$$

$$q_C = 0.26\left(\frac{\gamma_S-\gamma}{\gamma}\right)^{5/3}\frac{D^{3/2}}{S^{7/6}} \quad \ldots(3\text{-}8)$$

DOI:10.6346/NPUST202100182

式中，

q_S：單位河寬河床載運移量$(kg/sec/m)$；

q：單位河寬流量(cms/m)；

q_C：單位河寬之河床載起動流量(cms/m)；

γ_S：泥砂單位重(N/m^3)；

γ：泥砂單位重(N/m^3)；

S：河床坡度$(\%)$；

D：河床材料粒徑(m)，採D_{50}為代表粒徑。

3.輸砂平衡濃度公式(Shieh，1997)

$$C_{d\infty} = \exp(1.73 \cdot \ln\theta - 5.83) \ldots (3\text{-}9)$$

式中，

$C_{d\infty}$：體積濃度(m^3/m^3)；

θ：河道縱向坡度$(^\circ)$。

此公式為 Shieh(1997)以 Takahashi 實驗資料及迴歸式為基礎修正之平衡濃度公式，適用於河床坡度大於 2 ˚之山區河道，可求得不同河床坡度之輸砂平衡濃度，再配合流量計算輸砂量。

(六)土砂分析流程

集水區水砂生產模組之降雨—逕流、泥砂生產及泥砂輸送等三個機制之細部計算流程說明如下：

1.降雨-逕流模組

新增崩塌地分析，必需先進行不同時期的影像對位，以減少不同時間點衛星取像時因為軌道與姿態的不同所造成的影響，然後再進行崩塌地的判釋(圖 3-18)。

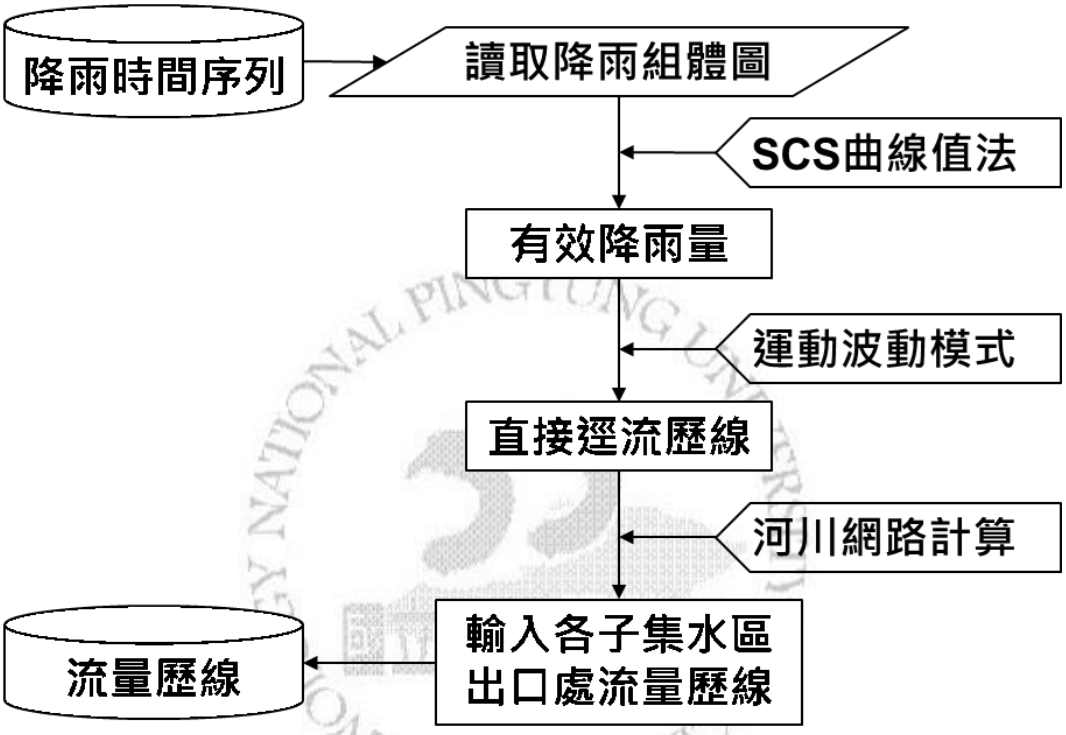
A.讀取各子集水區之實測歷史降雨記錄或設計降雨時間序列。

DOI:10.6346/NPUST202100182

B.利用 SCS 曲線值法求得各子集水區之有效降雨量。

C.利用運動波模式計算有效降雨量由坡面匯集至河道的側流量歷線及其於河道中運行至子集水區出口之流量歷線。

D.透過流域河川網路之水理演算，模擬各子集水區輸出之水流於河道中向下游運行及匯集情形，求得各子集水區出口處之直接逕流歷線。



(修改自：經濟部水利署，2002)

圖 3-18 降雨-逕流計算流程

2.泥砂生產模組

泥砂生產包含崩塌及沖蝕兩部份分別計算，個別計算完成後再透過時間上的線性疊加，形成各子集水區的泥砂生產過程，泥砂生產計算流程如圖 3-20。泥砂生產之計算流程說明如下：

A.坡面崩塌

a.讀取降雨時間序列。

b.利用衛星影像在各場降雨期間之崩塌面積判釋結果，計算各子集水區產生之崩塌土方量。

c.將所求得之崩塌量指定至臨界崩塌降雨時刻投入子集水區。

DOI:10.6346/NPUST202100182

B.地表沖蝕

a.計算各子集水區於各場洪水之尖峰流量及逕流總體積（即有效降雨量）。

b.利用 MUSLE 公式計算各場降雨於各子集水區造成之土壤沖蝕量。

c.依流量比例將沖蝕土壤分配到各時刻。

C.泥砂輸送模組

a.讀取每一時刻泥砂生產模組所計算之各子集水區產砂量。

b.將產砂量疊加到河道原本堆積之土方量，求得目前時刻之河道堆積土方量，做為河道輸砂之泥砂來源。

c.由該時刻之水流流量計算其飽和輸砂量

d.比較水流之輸砂潛勢及河道堆積土方量，以其較小者為可輸砂量。

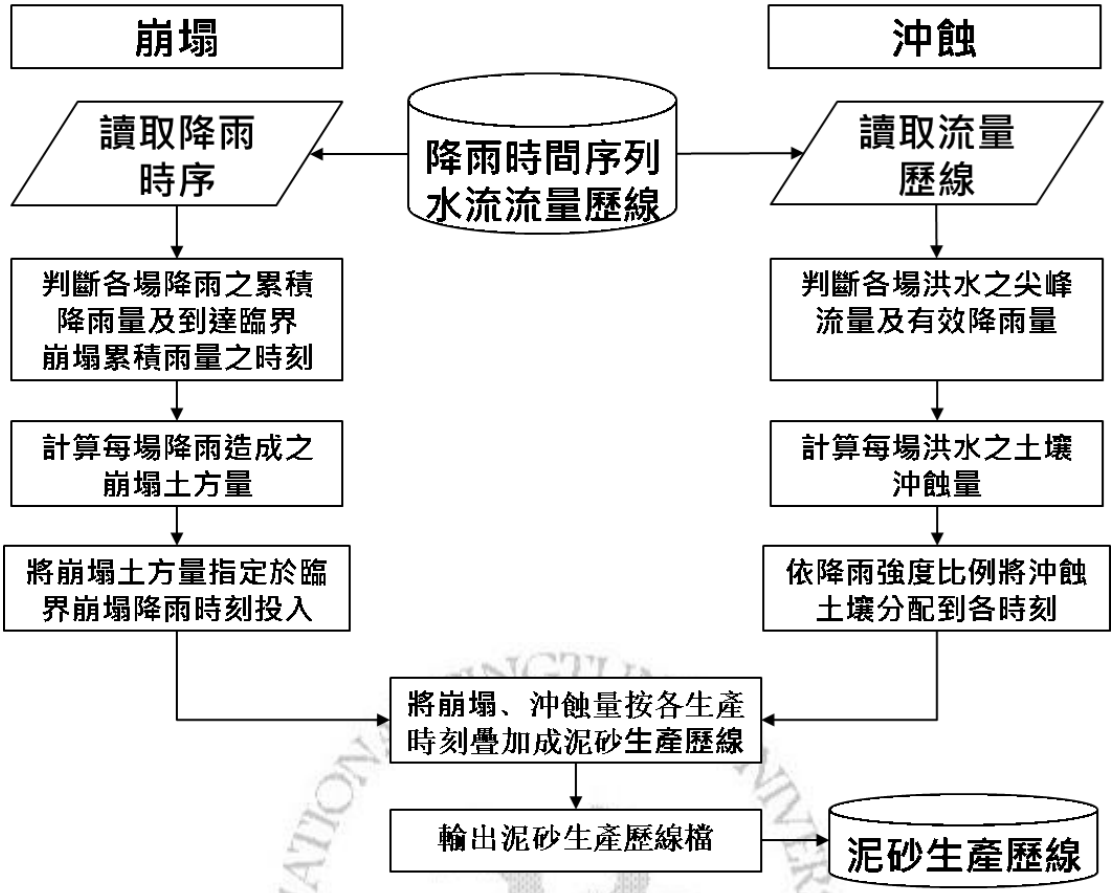
e.若子集水區內存在砂防設施，則砂防設施攔砂量等於其空容量減去已堆在設施內的土方量。

f.若可輸砂量大於砂防設施攔砂量，則多餘的輸砂量即為實際輸砂量，否則得考慮設施之囚砂率，部分泥砂由砂防設施攔截，其餘部分依特定濃度越（穿）過設施。

g.將每一子集水區之實際輸砂量疊加到其下接子集水區之河道堆積土方量，做為該子集水區下一時刻可提供輸砂之土方量。

h.於各指定地點（治理界點處）記錄每一時刻之流量及輸砂量，作為河道水理模式之入流邊界條件。

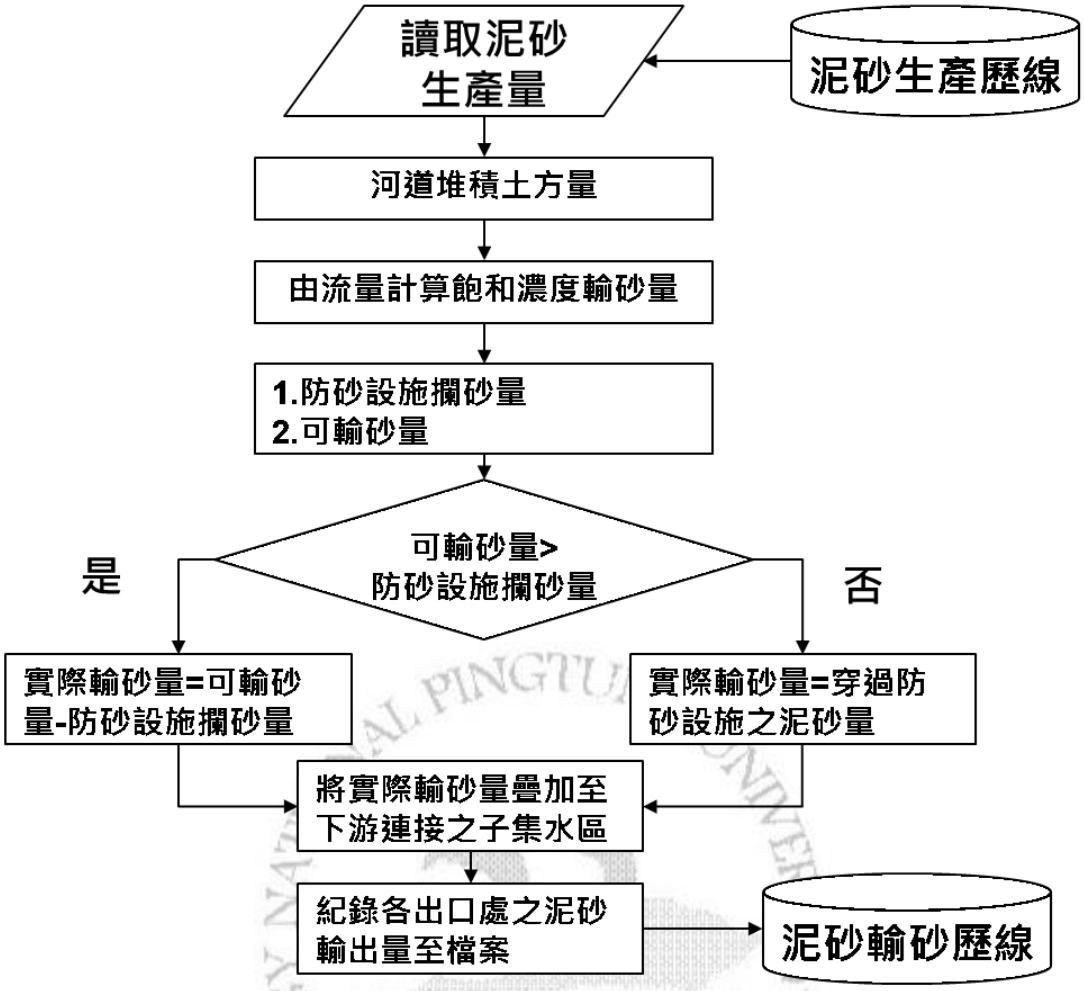
DOI:10.6346/NPUST202100182



(修改自：經濟部水利署，2002)

圖 3-19 泥砂生產計算流程

DOI:10.6346/NPUST202100182



(修改自：經濟部水利署，2002)

圖 3-20 泥砂輸送計算流程

DOI:10.6346/NPUST202100182

DOI:10.6346/NPUST202100182

肆、結果與討論

一、2004~2009 年期間崩塌地空間分布

本研究區地處臺東縣，屬亞熱帶性氣候，地勢愈往西高程愈高，因此氣候帶差異較大，全年雨量多集中於 5 至 10 月份間，大部分均為颱風所挾帶之豪雨；而東臺灣東側多為高山峻嶺，提高了降雨機率，因此常發生地形雨，故山區降雨多於平地。山崩是岩土遭受破碎，再加上誘因如集中豪雨或地震而導致災害發生。臺東縣全縣境內土地有一半以上屬國有林班地，雖極少受人為開發影響，但仍可能因既有開墾之古道或山間小路、降雨逕流量過大甚或受地震天災等之影響，而產生邊坡崩塌破壞。一般而言，集水區內可能產生之災害問題主要為坡面沖蝕、崩塌裸露、河道沖淤或土石流失破壞等問題，因此需先針對區內現況進行調查及現有相關圖層資料分析，方能進一步研擬研究構想。由於本研究為瞭解溪流土石清疏狀態，因此對於集水區崩塌地情形，則以彙整政府部門或學術單位歷年判釋之既有資料分析比較說明之。

由圖 4-1 為 2004~2009 年福衛二號影像判釋崩塌地分布圖，可瞭解 2006 年與 2004 年時透過 SPOT 衛星影像判釋之崩塌範圍差異不大，而至 2009 年莫拉克颱風侵襲後判釋之崩塌範圍明顯擴增，增加的崩塌區域提供了大量之土砂料源，為造成臺東縣多處溪流土砂淤積問題之主因。

表 4-1 為彙整行政院農業委員會水土保持局 2004 年、2006 年與 2009 年判釋之崩塌圖資，經統計分析結果可知， 2009 年受莫拉克颱風侵襲後新武呂溪、卑南溪、知本沿海、太麻里溪、金崙溪、大竹溪與大武溪等集水區崩塌面積明顯擴增，尤以太麻里溪、卑南溪與金崙溪之崩塌面積明顯較 2006 年時判釋之崩塌範圍各多出 1000ha 以上；而全臺東縣總崩塌面積更明顯較 2006 年時之崩塌面積增加了約 1.75 倍。

另本研究蒐集中央地質調查所之莫拉克颱風前後期之崩塌資料，結果顯示臺東沿海河系之次集水區內，從表 4-1 中太平溪以南至達仁沿海集水區(10 個次集水區：太平溪、利嘉溪、知本沿海、太麻里沿海、太麻里溪、金崙溪、大竹溪、大鳥沿海、大武溪及達仁沿海)，2006 年

DOI:10.6346/NPUST202100182

莫拉克颱風前的崩塌地面積總計約 820.56ha，2009 年莫拉克颱風後之崩塌面積高達 5618.55ha，莫拉克颱風所造成之新增崩塌面積約達 5.8 倍之多。

表 4-1 2004~2009 年臺東縣各集水區崩塌統計分析表

集水區	2004 年崩塌面積(ha)	佔全部崩塌面積之百分比(%)	2006 年崩塌面積(ha)	佔全部崩塌面積之百分比(%)	2009 年崩塌面積(ha)	佔全部崩塌面積之百分比(%)
長濱沿海	219.05	6.29	239.05	6.77	11.45	0.12
成功沿海	59.71	1.71	62.71	1.78	0.48	0.005
馬武溪	100.35	2.88	105.35	2.98	10.39	0.11
都蘭沿海	28.43	0.82	29.93	0.85	0.69	0.01
秀姑巒溪	27.05	0.78	25.65	0.73	12.91	0.13
新武呂溪	1016.58	29.18	1018.58	28.85	1590.07	16.39
卑南溪	1223.53	35.13	1228.53	34.80	2455.05	25.31
太平溪	19.69	0.57	19.69	0.56	1.66	0.02
利嘉溪	142.99	4.10	142.99	4.05	94.10	0.97
知本沿海	102.73	2.95	105.73	2.99	404.83	4.17
太麻里沿海	35.16	1.01	35.16	1.00	—	—
太麻里溪	286.42	8.22	294.42	8.34	2518.21	25.96
金崙溪	86.63	2.49	86.63	2.45	1492.50	15.39
大竹溪	83.76	2.40	83.76	2.37	593.89	6.12
大鳥沿海	17.98	0.52	17.98	0.51	41.78	0.43
大武溪	11.96	0.34	12.96	0.37	451.63	4.66
達仁沿海	21.30	0.61	21.30	0.60	19.95	0.21
合計	3483.32	100.00	3530.42	100.00	9699.57	100.00

資料來源：水保局及本研究彙整

DOI:10.6346/NPUST202100182

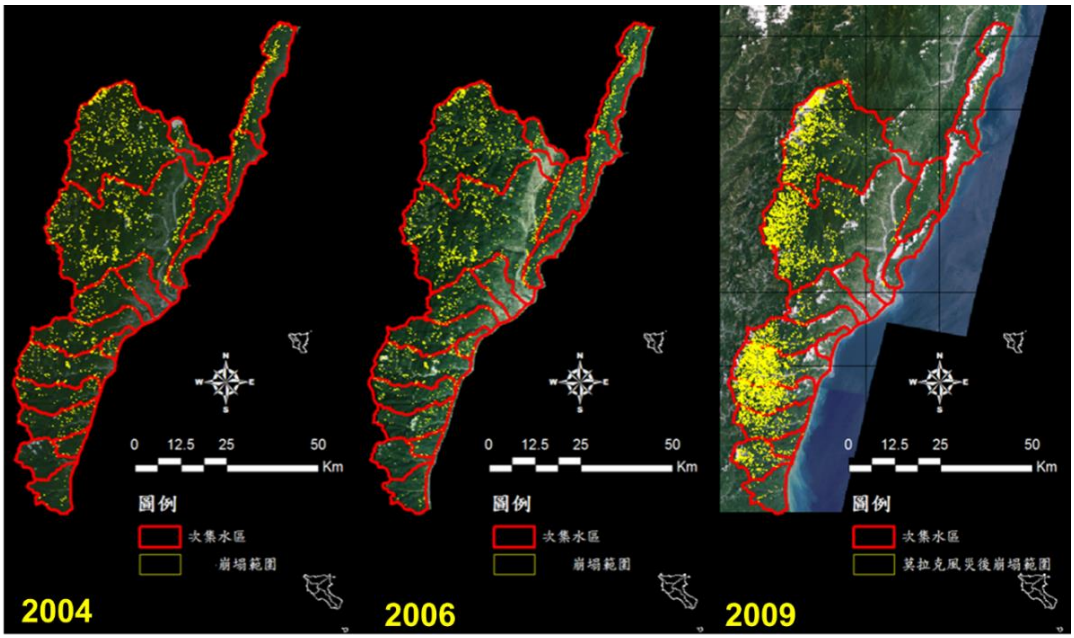


圖 4-1 水土保持局劃定之崩塌分布圖

二、重點土砂集水區

本研究後續內容將以 2009 年莫拉克颱風與 2012 年天坪颱風進行土砂生產量分析，並針對這兩個時期重點區詳細探討。2009 年莫拉克颱風重點區為太平溪、太麻里溪、金崙溪、大竹溪、大鳥沿海、大武溪及達仁沿海；而 2012 年天坪颱風重點區則為新武呂溪、太麻里溪、金崙溪、大竹溪、加羅板溪及安朔溪(圖 4-2)。由過去兩時期歷史災害資料，顯示太麻里溪、金崙溪及大竹溪，皆屬於重點土砂區位。

圖 4-2 土砂問題重點集水區

DOI:10.6346/NPUST202100182

三、 莫拉克颱風初期土砂生產量分析結果

2009 年莫拉克颱風期間由於高強度，長延時降雨特性，造成臺東沿海河系產生多起且嚴重的土砂災害，水土保持局初步推估莫拉克颱風後臺東南部沿海集水區(10 個次集水區：太平溪、利嘉溪、知本沿海、太麻里沿海、太麻里溪、金崙溪、大竹溪、大鳥沿海、大武溪及達仁沿海)，崩塌地面積增加約 5.8 倍。洪水挾帶大量土石往下游運移，淤高阻塞河道，減少通洪斷面，對跨河橋梁、山區公路等公共設施造成重大衝擊。為瞭解此次莫拉克颱風造成坡地土砂生產量及河道沖淤情形，本研究依據集水區土砂生產分析方法，並藉由災前及災後衛星影像圖資與現地勘查結果，進行莫拉克颱風後坡面地表土壤沖蝕量、坡地崩塌量及河道沖淤情形進行研析。為進行土砂生產量及土砂輸運計算，本研究將莫拉克風災影響較明顯之臺東沿海集水區次集水區共區分為 102 個子集水區進行模擬計算，各子集水區計算及分析結果如下：

(一)崩塌量分析結果探討

本研究根據太平溪、太麻里溪、金崙溪、大竹溪、大鳥沿海、大武溪及達仁沿海各次集水區莫拉克颱風後崩塌面積判釋結果，崩塌土方量推估方式是參考 Khazai and sitar (2000)所建議之崩塌深度範圍進行崩塌土方量推估，若坡面坡度介於某區間則以內插方式進行崩塌深度推估。參考 Khazai and Sitar(2000)所提出的崩塌深度與坡面坡度之關係求得臺東沿海河系各次集水區之崩塌土方量(表 4-2)，由計算成果顯示，莫拉克颱風期間，所有次集水區之崩塌土方量約達 9,644.8 萬 m^3，為區域內歷年來單場降雨之最大的土砂生產量。太平溪、太麻里溪、金崙溪、大竹溪、大鳥沿海、大武溪及達仁沿海各次集水區之坡面地表崩塌量計算結果如表 4-3~表 4-9 所示，莫拉克颱風後坡面崩塌土方量分布情形如圖 4-3，圖中顯示臺東南部沿海流域內之崩塌位置主要為太麻里溪集水區之上及中游段、金崙溪集水區之上、中游段及大鳥社區北側等，以上皆為流域內崩塌情形較為嚴重的區域，茲將各集水區崩塌情形分述如下：

DOI:10.6346/NPUST202100182

1.太平溪次集水區崩塌量分析

太平溪集水區無明顯重大土砂災情及人員傷亡事件，經過集水區崩塌土方量分析，顯示主要崩塌土方量集中在子集水區編號50，其塌面積約 1 萬 m^2，崩塌土方量約 2.2 萬 m^3。

2.太麻里溪次集水區崩塌量分析

太麻里溪集水區為臺東沿海河系內崩塌土方生產量最多地區，太麻里溪主流崩塌情形較為嚴重的區域，是自麻利霧溪匯流口以上至包盛社一帶處為止，且以包盛社以上地區崩塌情形最為嚴重，包盛社以下崩塌情形較為嚴重的區域為斗里斗里溪子集水區。透過分析後概估崩塌面積約 2,522.1 萬 m^2，崩塌土方量約 4,744 萬 m^3。

3.金崙溪次集水區崩塌量分析

金崙溪集水區近黃至金崙溪上游存在大量崩塌，大量土砂材料堆積於河道中，概估崩塌面積約 1,695 萬 m^2，崩塌土方量約 3,019 萬 m^3。

4.大竹溪次集水區崩塌量分析

太竹溪集水區無明顯重大土砂災情及人員傷亡事件，經過集水區崩塌土方量分析，顯示大竹溪崩塌土方量較為分散，總體崩塌面積約 566 萬 m^2，崩塌土方量約 995 萬 m^3。

5.大鳥沿海次集水區崩塌量分析

大鳥沿海集水區的達萬上游等地皆傳出重大土砂災情及人員傷亡事件，為大鳥沿海集水區主流崩塌情形較為嚴重及大量土砂生產的區域，概估崩塌面積約 47 萬 m^2，崩塌土方量約 113 萬 m^3。

DOI:10.6346/NPUST202100182

6.大武溪次集水區崩塌量分析

大武溪集水區無明顯重大土砂災情及人員傷亡事件，經過集水區崩塌土方量分析，顯示大武溪崩塌土方量較為分散。另可知子集水區編號 84 土方量為最高，其崩塌面積約 139 萬 m^2，崩塌土方量約 264 萬 m^3。而總體崩塌面積約 441 萬 m^2，崩塌土方量約 742 萬 m^3。

7.達仁沿海次集水區崩塌量分析

達仁沿海集水區無明顯重大土砂災情及人員傷亡事件，經過集水區崩塌土方量分析，顯示達仁沿海崩塌土方量較為分散且量體不大。此外，可知子集水區編號 101 新增土方量為最高，其崩塌面積約 13 萬 m^2，崩塌土方量約 20 萬 m^3。而總體崩塌面積逾 19 萬 m^2，崩塌土方量約 29 萬 m^3。

表 4-2 莫拉克颱風前後臺東沿海河系主要次集水區崩塌資料

集水區	2009 年莫拉克災前崩塌		2009 年莫拉克災後崩塌	
	面積(ha)	崩塌率(%)	面積(ha)	崩塌率(%)
太平溪	1.0	0.01	1.0	0.01
太麻里溪	788.9	3.74	2522.1	11.94
金崙溪	259.2	1.72	1695.4	11.28
大竹溪	35	0.27	566.5	4.26
大鳥沿海	16.7	0.49	47.1	1.37
太武溪	29	0.26	441.1	4.57
達仁沿海	2	0.02	19.4	0.23
總　計	1,131.8	1.4	5292.5	6.61

資料來源：經濟部中央地質調查所及本研究彙整

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-3 2009 年太平溪次集水區崩塌土方量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	崩塌面積(m^2)	崩塌土方量(m^3)
45	10348800	0	0
46	6219200	0	0
47	2751999	0	0
48	4646400	0	0
49	2230401	0	0
50	20249600	9666	22231
51	4632000	0	0
52	6355200	0	0
53	4556799	0	0
54	790401	0	0
55	9326400	0	0
56	2825599	0	0
57	4350400	0	0
58	11456000	0	0
總計	崩塌面積(m^2)	9,666	崩塌率
總計	崩塌土方量(m^3)	22,231	0.01%

NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY
國立屏東科技大學

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-4 2009 年太麻里次集水區崩塌土方量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	崩塌面積(m^2)	崩塌土方量(m^3)
1	25309042	5977956	11358116
2	7919018	1445607	2023850
3	2836699	576569	1095482
4	5297021	854757	1624038
5	1709965	317486	761967
6	7176686	494393	692150
7	5589098	434296	825162
8	5547898	1193187	2267055
9	3411254	738280	1402731
10	5670374	3537366	6720996
11	3474430	681974	1295751
12	5481072	710581	1350104
13	1928992	92026	220863
14	25165866	6043163	11482009
15	1535113	79053	189728
16	13658818	357550	679345
17	6552881	638186	1212553
18	5795150	299097	568284
19	5841275	186672	448014
20	7370313	158342	380022
21	734131	11676	28021
22	8923752	254189	482958
23	6554206	12739	30574
24	10273013	23844	57225
25	23271675	102494	245987
26	11865077	0	0
27	2334895	0	0
總計	崩塌面積(m^2)	25,221,483	崩塌率
總計	崩塌土方量(m^3)	47,442,985	11.94%

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-5 2009 年金崙溪次集水區崩塌土方量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	崩塌面積(m^2)	崩塌土方量(m^3)
28	8104570	1019481	1937014
29	8252321	1514404	2877368
30	9306680	2234482	4245516
31	17030421	4061560	5686184
32	8876676	1590864	3022642
33	4441613	1100887	2091686
34	15242981	2213696	4206023
35	15503808	961407	1826672
36	669781	106955	203215
37	3929384	505656	960747
38	8684299	1218020	2314239
39	29697980	429806	816631
40	7532115	0	0
41	1697015	0	0
42	11316322	0	0
總計	崩塌面積(m^2)	16,954,218	崩塌率
總計	崩塌土方量(m^3)	30,187,936	11.28%

NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY 國立屏東科技大學

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-6 2009 年大竹次溪集水區崩塌土方量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	崩塌面積(m^2)	崩塌土方量(m^3)
59	8038400	0	0
60	10222400	186148	279222
61	7065601	562455	956173
62	1646399	0	0
63	4414400	19030	28545
64	18286401	2392836	4307104
65	814400	4883	7324
66	16347201	301982	483171
67	6350401	956806	1817930
68	8235199	3861	5019
69	3195200	181080	316891
70	4990399	72742	109113
71	4072000	70347	116072
72	4396800	89822	134733
73	556800	0	0
74	6763200	129639	220386
75	1537600	9515	14273
76	6835199	157708	268103
77	9769600	147162	250175
78	1649601	16459	24689
79	7705600	362032	615454
總計	崩塌面積(m^2)	5,664,507	崩塌率
總計	崩塌土方量(m^3)	9,954,377	4.26%

表 4-7 2009 年大鳥沿海次集水區崩塌土方量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	崩塌面積(m^2)	崩塌土方量(m^3)
43	16425016	20395	48948
44	17805453	450216	1080518
總計	崩塌面積(m^2)	470,611	崩塌率
總計	崩塌土方量(m^3)	1,129,466	1.37%

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-8 2009 年大武溪次集水區崩塌土方量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	崩塌面積(m^2)	崩塌土方量(m^3)
80	14068800	350540	595918
81	8649600	621601	1056722
82	12819201	379566	569349
83	3648001	81586	155013
84	9009601	1390645	2642225
85	2307200	181536	290458
86	13376000	278185	417277
87	7132801	537676	806514
88	5780799	119996	179994
89	25448002	461553	692329
90	5864001	7888	14988
總計	崩塌面積(m^2)	4,410,772	崩塌率
總計	崩塌土方量(m^3)	7,420,787	4.57%

表 4-9 2009 年達仁沿海次集水區崩塌土方量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	崩塌面積(m^2)	崩塌土方量(m^3)
91	12428799	4928	7392
92	5355199	0	0
93	4756799	9972	14959
94	11195200	33952	50927
95	4952000	2704	4056
96	2440000	1793	2689
97	8332800	2846	4270
98	302400	0	0
99	2446400	2890	4336
100	11496000	2394	3591
101	8068801	132065	198098
102	13158401	0	0
總計	崩塌面積(m^2)	193,544	崩塌率
總計	崩塌土方量(m^3)	290,318	0.23%

DOI:10.6346/NPUST202100182

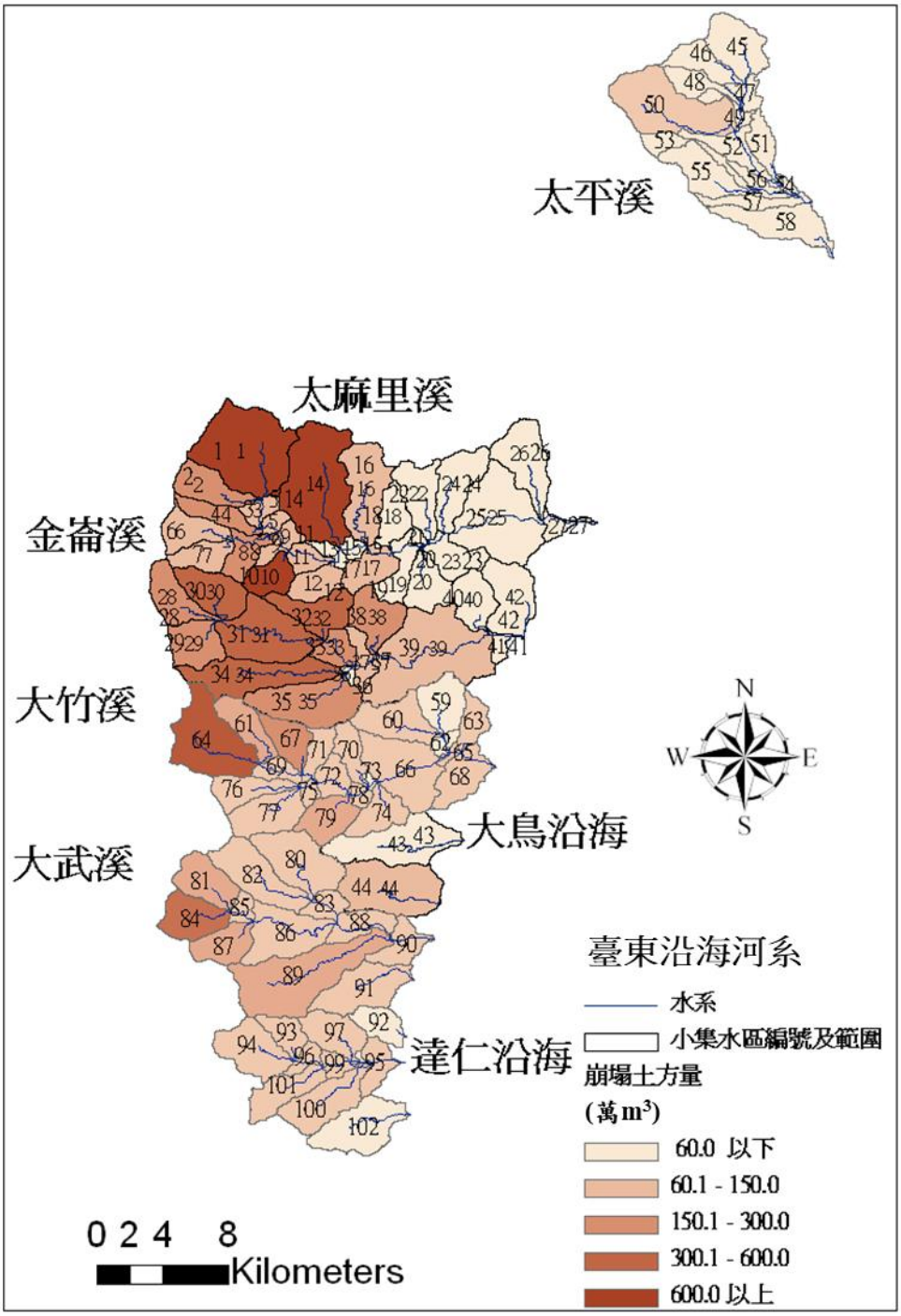


圖 4-3 臺東沿海河系莫拉克颱風後崩塌土方量分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

(二)沖蝕量分析結果探討

本研究參考臺東沿海河系之太平溪、太麻里溪、金崙溪、大竹溪、大鳥沿海、大武溪及達仁沿海各次集水區之地文特性及參數，以修改版通用土壤流失公式（MUSLE）進行莫拉克颱風單場暴雨土壤沖蝕量模擬，由計算成果顯示，莫拉克颱風期間，全集水區之土壤沖蝕量達 371.1 萬 m^3，為區域內歷年來單場降雨之最大的土壤沖蝕量，各集水區之土壤沖蝕量計算結果如表 4-10~表 4-16 所示，莫拉克颱風後坡面地表土壤沖蝕量如圖 4-4，圖中顯示臺東沿海河系內之坡地土壤沖蝕較為嚴重地區為太麻里溪中及上游段集水區、金崙溪上游段集水區，其中以金崙溪集水區土壤沖蝕情形最為嚴重，平均土壤沖蝕深度達 7.67mm。

表 4-10 2009 年太平溪次集水區土壤沖蝕量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	土壤沖蝕量(m^3)	沖蝕深度(mm)
45	10348800	11381	1.10
46	6219200	6883	1.11
47	2751999	2072	0.75
48	4646400	4628	1.00
49	2230401	1995	0.89
50	20249600	29100	1.44
51	4632000	3368	0.73
52	6355200	1654	0.26
53	4556799	9056	1.99
54	790401	21	0.03
55	9326400	14790	1.59
56	2825599	250	0.09
57	4350400	277	0.06
58	11456000	601	0.05
總計	土壤沖蝕量(m^3)	86,074	
總計	平均沖蝕深度(mm)	0.8	

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-11 2009 年太麻里溪次集水區土壤沖蝕量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	土壤沖蝕量(m^3)	沖蝕深度(mm)
1	25309042	387409	15.31
2	7919018	185711	23.45
3	2836699	7783	2.74
4	5297021	212664	40.15
5	1709965	8400	4.91
6	7176686	179323	24.99
7	5589098	23349	4.18
8	5547898	62324	11.23
9	3411254	17045	5.00
10	5670374	19094	3.37
11	3474430	7801	2.25
12	5481072	10830	1.98
13	1928992	2913	1.51
14	25165866	217487	8.64
15	1535113	1422	0.93
16	13658818	17548	1.28
17	6552881	9681	1.48
18	5795150	6471	1.12
19	5841275	9377	1.61
20	7370313	9538	1.29
21	734131	372	0.51
22	8923752	9053	1.01
23	6554206	11814	1.80
24	10273013	8634	0.84
25	23271675	39358	1.69
26	11865077	41893	3.53
27	2334895	2151	0.92
總　計	土壤沖蝕量(m^3)	1,509,444	
總　計	平均沖蝕深度(mm)	6.21	

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-12 2009 年金崙溪次集水區土壤沖蝕量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	土壤沖蝕量(m^3)	沖蝕深度(mm)
28	8104570	410577	50.66
29	8252321	68650	8.32
30	9306680	88234	9.48
31	17030421	108122	6.35
32	8876676	20235	2.28
33	4441613	14031	3.16
34	15242981	128326	8.42
35	15503808	80032	5.16
36	669781	1938	2.89
37	3929384	12891	3.28
38	8684299	14842	1.71
39	29697980	98198	3.31
40	7532115	18428	2.45
41	1697015	4796	2.83
42	11316322	53948	4.77
總　計	土壤沖蝕量(m^3)	1,123,247	
總　計	平均沖蝕深度	7.67	

NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY 國立屏東科技大學

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-13 2009 年大竹溪次集水區土壤沖蝕量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	土壤沖蝕量(m^3)	沖蝕深度(mm)
59	8038400	23394	2.91
60	10222400	27465	2.69
61	7065601	27843	3.94
62	1646399	3702	2.25
63	4414400	10161	2.30
64	18286401	149790	8.19
65	814400	1719	2.11
66	16347201	84775	5.19
67	6350401	13283	2.09
68	8235199	37230	4.52
69	3195200	8627	2.70
70	4990399	10860	2.18
71	4072000	8254	2.03
72	4396800	11227	2.55
73	556800	1649	2.96
74	6763200	27588	4.08
75	1537600	3011	1.96
76	6835199	13248	1.94
77	9769600	25477	2.61
78	1649601	7007	4.25
79	7705600	16005	2.08
總計	土壤沖蝕量(m^3)	512,313	
總計	平均沖蝕深度(mm)	3.12	

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-14 2009 年大鳥沿海次集水區土壤沖蝕量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	土壤沖蝕量(m^3)	沖蝕深度(mm)
43	16425016	51788	3.15
44	17805453	67638	3.80
總計	土壤沖蝕量(m^3)	119,426	
總計	平均沖蝕深度	3.48	

表 4-15 2009 年大武溪次集水區土壤沖蝕量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	土壤沖蝕量(m^3)	沖蝕深度(mm)
80	14068800	24879	1.77
81	8649600	14550	1.68
82	12819201	27387	2.14
83	3648001	10274	2.82
84	9009601	15924	1.77
85	2307200	5604	2.43
86	13376000	22223	1.66
87	7132801	11428	1.60
88	5780799	6233	1.08
89	25448002	33500	1.32
90	5864001	9385	1.60
總計	土壤沖蝕量(m^3)	181,386	
總計	平均沖蝕深度(mm)	1.81	

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-16 2009 年達仁沿海次集水區土壤沖蝕量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	土壤沖蝕量(m^3)	沖蝕深度(mm)
91	12428799	18694	1.50
92	5355199	12120	2.26
93	4756799	22877	4.81
94	11195200	25620	2.29
95	4952000	10281	2.08
96	2440000	7511	3.08
97	8332800	12742	1.53
98	302400	145	0.48
99	2446400	3169	1.30
100	11496000	12380	1.08
101	8068801	12101	1.50
102	13158401	11874	0.90
總計	土壤沖蝕量(m^3)	149,514	
總計	平均沖蝕深度(mm)	1.90	

DOI:10.6346/NPUST202100182

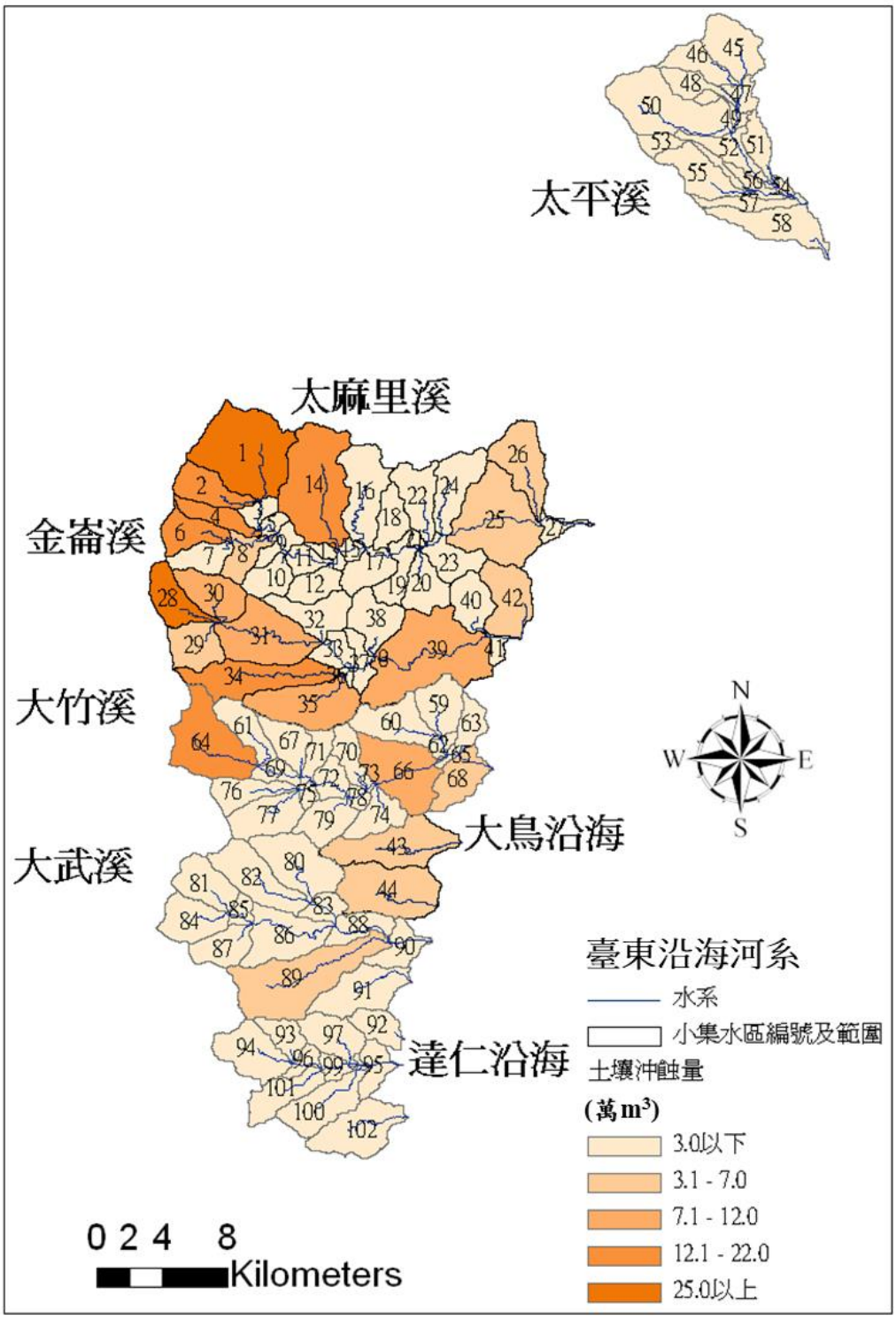


圖 4-4 臺東沿海河系莫拉克颱風期間坡地土壤沖蝕量分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

(三)土砂運移與堆積結果探討

計算過程以表 4-17 中之小集水區編號 1 及小集水區編號 3 為例。小集水區編號 1 中之土砂生產量為 1174.6 萬 m^3，河道初始土方量為 80.6 萬 m^3，由於無上接集水區土砂輸出量，總輸入量即是 1255.2 萬 m^3(1174.6 萬 m^3 加上 80.6 萬 m^3)，而土砂輸出量為 99.3 萬 m^3，故殘存土方量為 1155.9 萬 m^3(1255.2 萬 m^3 減去 99.3 萬 m^3)。若有上接集水區，以小集水區 3 為例，小集水區 3 中之土砂生產量為 110.3 萬 m^3，河道初始土方量為 13.2 萬 m^3，由於有兩個上接集水區土砂輸出量(分別來自小集水區編號 1 及編號 2)，總輸入量即是 270.5 萬 m^3(110.3 萬 m^3 加上 13.2 萬 m^3 並加上兩個上接集水區土砂輸出量 99.3 及 47.6 萬 m^3)，而土砂輸出量為 59.3 萬 m^3，故殘存土方量為 211.2 萬 m^3(270.5 萬 m^3 減去 59.3 萬 m^3)。計算過程以方程式表示為：殘餘土砂量=土砂生產量+上游來砂量+河床初始土砂量-河床載運移量。

而在上游河道坡度較陡地區採 Shieh(1997)針對 Takahashi (1982)實驗資料及迴歸式修正的輸砂平衡濃度公式進行上游河道土砂運移模擬。由於本研究所區分之子集水區個數為 102 個，為便於了解及應用各集水區土砂生產及運移變遷情形，將各集水區泥砂運移過程以主流與支流匯流之節點方式展示，臺東沿海河系內共分 27 個節點，節點編號及匯流支流之溪流名稱如表 4-18。莫拉克颱風期間臺東沿海河系內各節點之集水區面積、土砂生產量、土砂輸出量及殘餘土方量如表 4-19 所示。莫拉克颱風期間臺東沿海河系內之太麻里溪次集水區、金崙溪次集水區、大鳥沿海次集水區、太平溪次集水區、大竹溪次集水區、大武溪次集水區及達仁沿海次集水區等共七個次集水區內子集水區之主流上重要的鄉鎮、村莊及部落相對位置與土砂運移及堆積結果分布情形如圖 4-5~圖 4-11。莫拉克期間太麻里溪、金崙溪、大鳥沿海、太平溪、大竹溪、大武溪及達仁沿海各次集水區之土砂流出量分別為 15.1 萬 m^3、12.4 萬 m^3、9.4 萬 m^3、0.3 萬 m^3、34.3 萬 m^3、22.1 萬 m^3 及 8.6 萬 m^3，如圖 4-12 所示。莫拉克期間臺東沿海河系內之土砂材料量約達 10015.9(=崩塌

DOI:10.6346/NPUST202100182

9,644.8+沖蝕 371.1)萬 m^3，是歷年來最大的土砂材料量，目前絕大數的土砂材料仍堆積在集水區內，各子集水區土砂運移及堆積後之殘餘土方量如圖 4-12 及圖 4-13，殘餘土方量的多寡以顏色深淺來表示，圖中顯示臺東沿海河系內之土砂堆積位置主要為太麻里溪中及上游段、金崙溪上游段，以上皆為流域內土砂堆積情形較為嚴重的區域。

太麻里溪上游於莫拉克颱風期間新增許多崩塌地，並產生千餘萬 m^3 的土砂材料，部分堆積於上游包盛社附近，大量土砂搬運至集水區之中及下游，造成河床高程抬高，降低通水斷面。太麻里溪主流河段變化劇烈，河道沿程的變化情形包括，斗里斗里溪匯流處至麻利都部溪河段，此河段及以上區域於莫拉克颱風期間崩塌嚴重，新增崩塌面積約 1,733ha，推估總土方量約 4,744 萬 m^3，大量土石均淤積此河段，推估未來將成為此集水區主要的土砂供應來源；麻利都部溪至麻利霧溪河段，為明顯的淤積段，主要受馬奴爾溪及麻利都部溪帶來大量的土砂淤積，使河道明顯變寬，河床坡度變緩，河道原主深槽已不存在，尤以主之流交會處土砂堆積最為明顯可見；金峰溫泉至庫濃溪河段，河床抬高，多處河寬變寬，原嘉蘭村河岸遭河水掏刷，導致部分房舍被洪水沖入溪流中；太麻里溪下游段（庫濃溪匯流處）至出海口河段堤防因受高流量水流淘刷堤腳而潰堤，大量土砂堆積於河道，使河寬大幅增加，並造成河岸旁農田淹沒，鐵路幹線及臺 9 線遭沖毀。另外臺東分局於 2010 年進行太麻里溪集水區坡地保育調查規劃，集水區相關之更詳細調查分析結果可參閱該規劃調查報告。

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-17 2009 年莫拉克颱風臺東沿海河系子集水區土砂生產運移變遷

子集水區編號	集水區面積 (ha)	土砂生產量 (萬 m^3)	河道初始土砂量(萬 m^3)	總輸入量 (含上游來砂量 (萬 m^3))	土砂輸出量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)	備註:
1	2530.9	1174.6	80.6	1255.1	99.3	1155.8	
2	791.9	221.0	13.2	234.2	47.6	186.5	
3	283.7	110.3	13.2	270.5	59.3	211.2	
4	529.7	183.7	5.7	189.4	32.1	157.2	
5	171.0	77.0	34.0	202.5	34.4	168.1	太麻里溪主流上游
6	717.7	87.1	95.5	182.7	46.0	136.6	
7	558.9	84.9	6.2	91.1	33.7	57.4	
8	554.8	232.9	135.1	447.7	101.3	346.4	太麻里溪上游支流
9	341.1	142.0	38.2	315.9	28.5	287.4	
10	567.0	674.0	8.7	682.7	35.3	647.3	
11	347.4	130.4	33.5	227.7	46.5	181.2	
12	548.1	136.1	16.8	152.9	23.7	129.2	
13	192.9	22.4	51.7	144.3	18.1	126.2	
14	2516.6	1169.9	27.1	1197.1	46.9	1150.2	斗里斗里溪
15	153.5	19.1	8.2	92.3	16.5	75.7	
16	1365.9	69.7	267.1	336.8	12.7	324.2	救國救爾溪
17	655.3	122.2	49.3	200.8	13.8	187.0	
18	579.5	57.5	26.6	84.1	14.2	69.9	麻利都部溪
19	584.1	45.7	50.2	123.9	52.4	71.5	
20	737.0	39.0	98.1	137.0	7.3	129.8	讀吾溪
21	73.4	2.8	14.3	76.8	64.1	12.7	
22	892.4	49.2	13.5	62.7	8.1	54.6	馬奴爾溪
23	655.4	4.2	81.7	158.1	42.5	115.6	
24	1027.3	6.6	17.3	23.9	7.4	16.4	麻利霧溪
25	2327.2	28.5	189.1	267.6	31.2	236.3	
26	1186.5	4.2	93.1	97.3	9.6	87.6	庫濃溪
27	233.5	0.2	35.1	76.2	15.1	61.1	太馬里溪出口
28	810.5	234.8	34.6	269.3	101.1	168.2	
29	825.2	294.6	16.9	311.5	49.1	262.4	
30	930.7	433.4	19.3	452.6	53.9	398.7	
31	1703.0	579.4	93.9	877.5	96.9	780.6	
32	887.7	304.3	28.4	332.7	31.1	301.6	

DOI:10.6346/NPUST202100182

(續)表 4-17 2009 年莫拉克颱風臺東沿海河系子集水區土砂生產運移變遷

子集水區編號	集水區面積 (ha)	土砂生產量 (萬 m^3)	河道初始土砂量(萬 m^3)	總輸入量 (含上游來砂量 (萬 m^3))	土砂輸出量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)	備註:
33	444.2	210.6	15.7	354.3	22.7	331.5	金崙主流上游
34	1524.3	433.4	312.4	745.8	89.3	656.6	
35	1550.4	190.7	13.8	204.4	59.9	144.6	
36	67.0	20.5	8.2	177.9	31.8	146.0	金崙支流(都飛魯溫泉旁)
37	392.9	97.4	84.0	236.0	19.6	216.4	
38	868.4	232.9	62.6	295.5	28.4	267.1	金崙野溪(近黃左側)
39	2969.8	91.5	133.9	273.3	27.3	246.1	
40	753.2	1.8	48.0	49.9	17.3	32.5	金崙溫泉旁野溪
41	169.7	0.5	64.7	109.8	10.2	99.6	金崙村旁野溪
42	1131.6	5.4	17.9	23.3	2.2	21.0	金崙溪出口
43	1642.5	10.1	129.2	139.3	5.7	133.5	
44	1780.5	114.8	107.7	222.5	3.7	218.8	
45	1034.9	1.1	3.9	5.0	0.6	4.4	太平溪上游
46	621.9	0.7	3.5	4.2	2.2	2.0	新班鳩溪
47	275.2	0.2	4.1	7.1	1.3	5.8	
48	464.6	0.5	2.5	2.9	1.8	1.2	舊班鳩溪
49	223.0	0.2	2.7	3.3	1.9	1.4	
50	2025.0	4.6	18.3	22.9	14.6	8.4	太巴六九溪
51	463.2	0.3	3.5	3.8	0.1	3.7	南王旁野溪
52	635.5	0.2	60.8	77.4	2.6	74.8	
53	455.7	0.9	1.0	1.9	0.3	1.5	
54	79.0	0.1	20.0	22.8	1.0	21.8	
55	932.6	1.5	5.8	7.3	0.6	6.7	
56	282.6	0.1	17.1	18.1	0.3	17.8	太平坑溪

DOI:10.6346/NPUST202100182

(續)表 4-17 2009 年莫拉克颱風臺東沿海河系子集水區土砂生產運移變遷

子集水區編號	集水區面積 (ha)	土砂生產量 (萬 m^3)	河道初始土砂量(萬 m^3)	總輸入量 (含上游來砂量 (萬 m^3))	土砂輸出量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)	備註:
57	435.0	0.1	3.3	4.6	0.3	4.3	太平溪出口
58	1145.6	0.1	48.7	48.8	0.1	48.6	
59	803.8	2.3	3.6	6.0	3.6	2.4	
60	1022.2	30.7	5.2	35.9	21.9	13.9	
61	706.6	98.4	4.6	103.0	70.3	32.7	
62	164.6	0.4	3.5	29.4	5.4	24.0	臺板溪
63	441.4	3.9	1.2	5.0	3.1	2.0	
64	1828.6	445.7	6.6	452.3	76.6	375.6	
65	81.4	0.9	17.1	58.2	18.5	39.7	
66	1634.7	56.8	96.4	178.2	34.9	143.3	
67	635.0	183.1	1.8	184.9	19.8	165.1	
68	823.5	4.2	79.4	105.2	34.3	70.9	
69	319.5	32.6	6.2	185.7	27.4	158.2	
70	499.0	12.0	2.3	14.3	8.7	5.5	新興後野溪
71	407.2	12.4	3.2	62.9	7.4	55.4	大竹溪上游
72	439.7	14.6	7.8	47.8	6.6	41.2	
73	55.7	0.2	13.2	29.8	7.0	22.8	
74	676.3	24.8	4.5	29.3	17.9	11.4	新興前野溪
75	153.8	1.7	2.7	46.4	17.9	28.5	大竹溪上游支流
76	683.5	28.1	6.3	34.4	21.6	12.8	
77	977.0	27.6	5.5	33.1	20.5	12.6	
78	165.0	3.2	17.7	68.1	7.7	60.4	
79	770.6	63.1	2.5	65.7	40.7	25.0	土坂護管所旁野溪
80	1406.9	62.1	6.5	68.6	42.6	26.1	
81	865.0	107.1	4.9	112.0	42.4	69.7	
82	1281.9	59.7	9.1	68.8	35.9	32.9	
83	364.8	16.5	16.3	111.3	23.3	88.0	姑子崙溪
84	901.0	265.8	3.5	269.3	24.2	245.1	
85	230.7	29.6	4.0	33.6	20.3	13.4	
86	1337.6	43.9	55.3	140.9	16.6	124.3	茶茶牙頓溪
87	713.3	81.8	3.8	85.6	21.3	64.3	
88	578.1	18.6	65.6	124.1	15.9	108.3	

DOI:10.6346/NPUST202100182

(續)表 4-17 2009 年莫拉克颱風臺東沿海河系子集水區土砂生產運移變遷

子集水區編號	集水區面積 (ha)	土砂生產量 (萬 m^3)	河道初始土砂量(萬 m^3)	總輸入量 (含上游來砂量 (萬 m^3))	土砂輸出量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)	備註:
89	2544.8	72.6	31.6	104.2	15.6	88.6	加羅板溪
90	586.4	2.4	65.3	99.2	18.5	80.6	
91	1242.9	2.6	48.0	50.6	3.6	47.0	
92	535.5	1.2	6.7	7.9	1.0	6.9	
93	475.7	3.8	1.4	5.2	3.1	2.1	
94	1119.5	7.7	8.3	15.9	9.6	6.3	
95	495.2	1.4	64.1	72.1	3.9	68.2	
96	244.0	1.0	14.9	28.6	6.4	22.2	達仁溪上游
97	833.3	1.7	14.9	16.6	7.8	8.8	阿塱衛溪
98	30.2	0.1	14.5	26.9	3.8	23.1	
99	244.6	0.8	39.4	56.5	4.6	51.9	
100	1149.6	1.6	31.0	32.6	2.8	29.8	安朔前野溪
101	806.9	21.0	9.2	30.2	9.9	20.3	達仁溪上游支流
102	1315.8	1.2	85.3	86.5	6.0	80.4	
合計	81240.9	10012.8	3784.4	16059.8	2436.4	13622.4	

NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY 國立屏東科技大學

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-18 2009 年莫拉克颱風臺東沿海河系集水區圖例說明表

編號	NO. 土砂分析節點	編號	支流名稱 支流集水區	編號	鄉村聚落
1	太麻里溪出海口	T 01	庫濃溪	A.	太麻里
2	麻里霧溪匯流處	T 02	麻利霧溪	B.	嘉蘭
3	麻利都部溪匯流處	T 03	馬奴爾溪	C.	金崙
4	斗里斗溪匯流處	T 04	讀吾溪	D.	歷坵
5	太麻里溪上游匯流	T 05	麻利都布溪	E.	加津林
6	金崙溪出海口	T 06	救國救爾溪	F.	大鳥
7	金崙溫泉旁野溪匯	T 07	斗里斗里溪	G.	臺東
8	金崙溪上游匯流處	T 08	太麻里溪上游支流	H.	南王
9	加津林溪出海口	T 09	太麻里溪主流上游	I.	普濟宮
10	大鳥溪出海口	G 01	金崙村旁野溪	J.	初鹿
11	太平溪出海口	G 02	金崙溫泉旁野溪	K.	大溪
12	太平坑溪匯流處	G 03	金崙野溪(近黃左側)	L.	新高社
13	太巴六九溪匯流處	G 04	金崙主流上游	M.	新興
14	新斑鳩溪匯流處	G 05	金崙支流(都飛魯溫泉	N.	大武
15	大竹溪出海口	P 01	太平溪上游	O.	加羅板
16	臺坂溪匯流處	P 02	新班鳩溪	P.	苗圃
17	新興前野溪匯流處	P 03	舊班鳩溪	Q.	達仁
18	大竹溪上游匯流處	P 04	太巴六九溪	R.	安朔
19	大武溪出海口	P 05	南王旁野溪	S.	尚武
20	加羅板溪匯流處	P 06	太平坑溪	T.	南興
21	大武溪上游匯流處	J 01	大竹溪上游	U.	舊南田
22	達仁溪出海口	J 02	大竹溪上游支流		
23	安朔前野溪匯流處	J 03	土坂護管所旁野溪		
24	達仁溪上游匯流處	J 04	新興後野溪		
25	尚武出海口	J 05	新興前野溪		
26	南興出海口	J 06	臺板溪		
27	楓港溪出海口	E 01	茶茶牙頓溪		
		E 02	姑子崙溪		
		E 03	加羅板溪		
		D 01	達仁溪上游		
		D 02	達仁溪上游支流		
		D 03	阿塱衛溪		
		D 04	安朔前野溪		

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-19 2009 年莫拉克颱風臺東沿海河系集水區土砂生產運移變遷

編號	溪流名稱	集水面積 (ha)	土砂生產量 (萬 m^3)	土砂輸出量 (萬 m^3)	殘餘土方量 (萬 m^3)
T 01	庫濃溪	1,187	4.2	9.6	87.6
T 02	麻利霧溪	1,027	6.6	7.4	16.4
T 03	馬奴爾溪	892	49.2	8.1	54.6
T 04	讀吾溪	737	39.0	7.3	129.8
T 05	麻利都部溪	580	57.5	14.2	69.9
T 06	救國救爾溪	655	122.2	13.8	157.8
T 07	斗里斗里溪	1,366	69.7	12.7	324.2
T 08	太麻里溪上游支流	2,517	1,169.9	46.9	1,150.2
T 09	太麻里溪主流上游	1,831	404.9	101.3	460.7
G 01	金崙村旁野溪	1,132	5.4	2.2	21.0
G 02	金崙溫泉旁野溪	753	1.8	17.3	32.5
G 03	金崙野溪(近黃左側)	1,328	350.8	28.4	425.8
G 04	金崙主流上游	5,601	2,057.0	22.7	1,911.1
G 05	金崙支流(都飛魯溫泉旁)	3,142	644.6	31.8	798.1
P 01	太平溪上游	1,035	1.1	0.6	4.4
P 02	新斑鳩溪	622	0.7	2.2	2.0
P 03	舊班鳩溪	465	0.5	1.8	1.2
P 04	太巴六九溪	2,025	4.6	14.6	8.4
P 05	南王旁野溪	463	0.3	0.1	3.7
P 06	太平坑溪	283	0.0	0.3	17.8
J 01	大竹溪上游	3,897	772.2	7.4	787.2
J 02	大竹溪上游支流	1,814	57.4	17.9	54.0
J 03	土坂護管所旁野溪	771	63.1	40.7	25.0
J 04	新興後野溪	499	12.0	8.7	5.5
J 05	新興前野溪	676	24.8	17.9	11.4
J 06	臺板溪	165	0.4	5.4	24.0
E 01	茶茶牙頓溪	4,048	528.3	16.6	516.7
E 02	姑子崙溪	3,054	138.3	23.3	146.9
E 03	加羅板溪	2,545	72.6	15.6	88.6
D 01	達仁溪上游	1,839	12.5	6.4	30.6
D 02	達仁溪上游支流	807	21.0	9.9	20.3
D 03	阿朔衛溪	833	1.7	7.8	8.8
D 04	安朔前野溪	1,150	1.6	2.8	29.8

DOI:10.6346/NPUST202100182

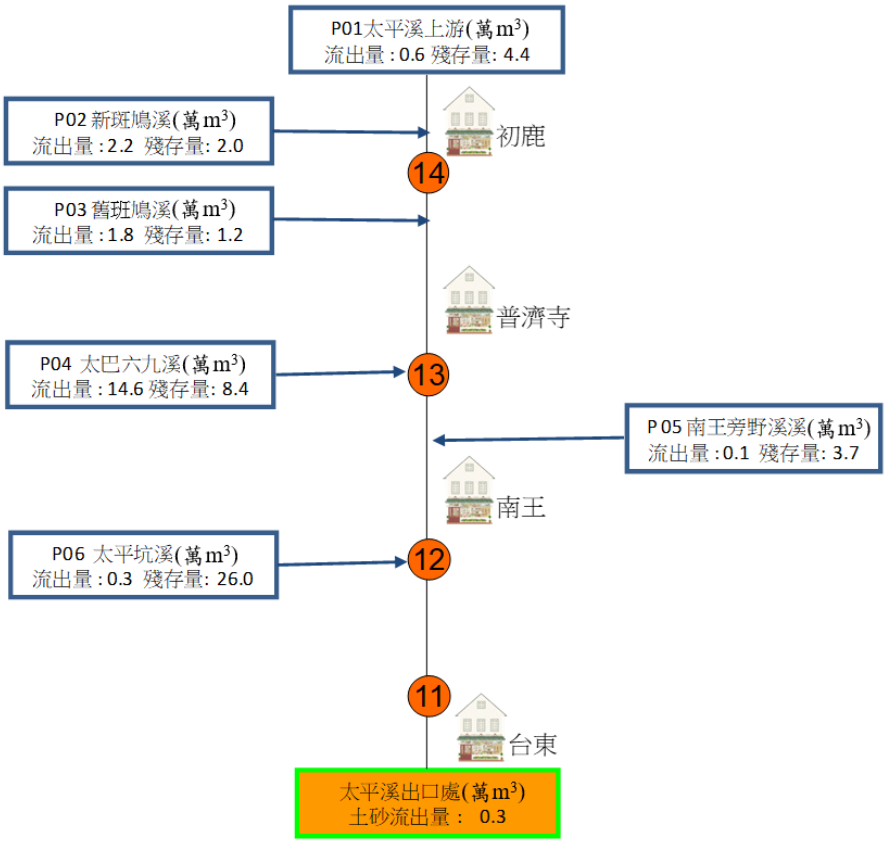
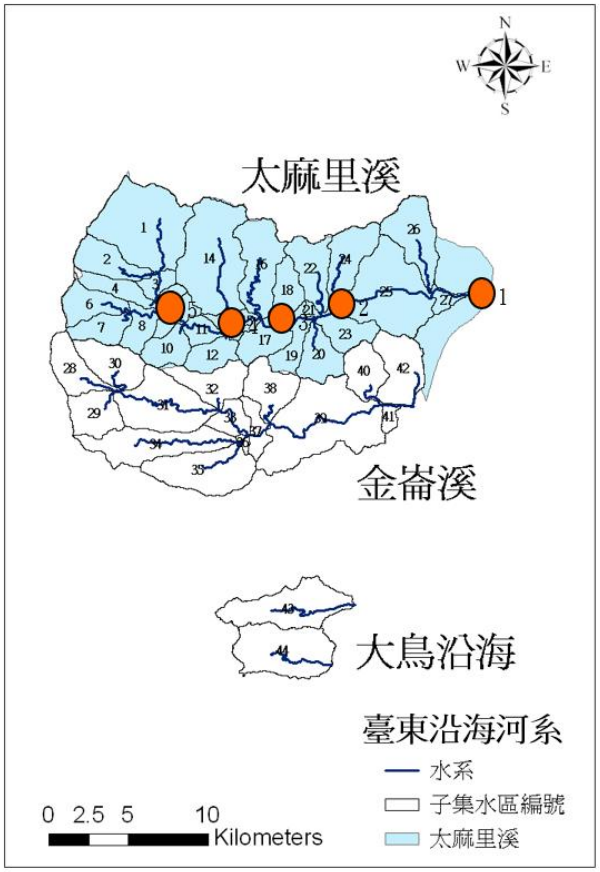


圖 4-5 2009 年莫拉克颱風太平溪次集水區土砂運移魚骨圖

DOI:10.6346/NPUST202100182



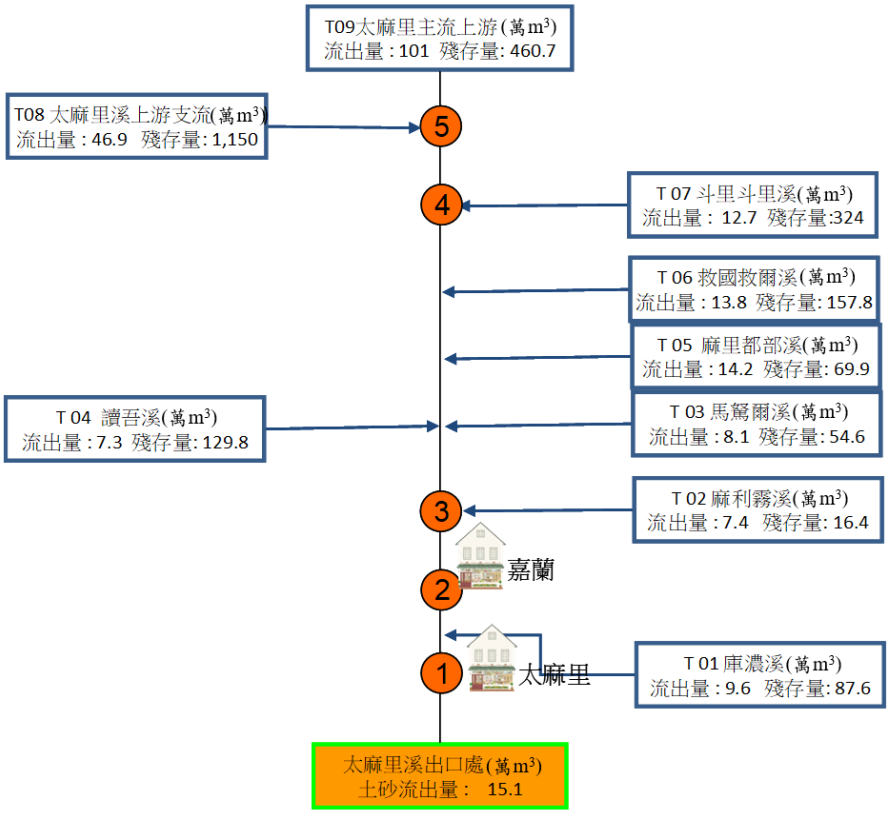
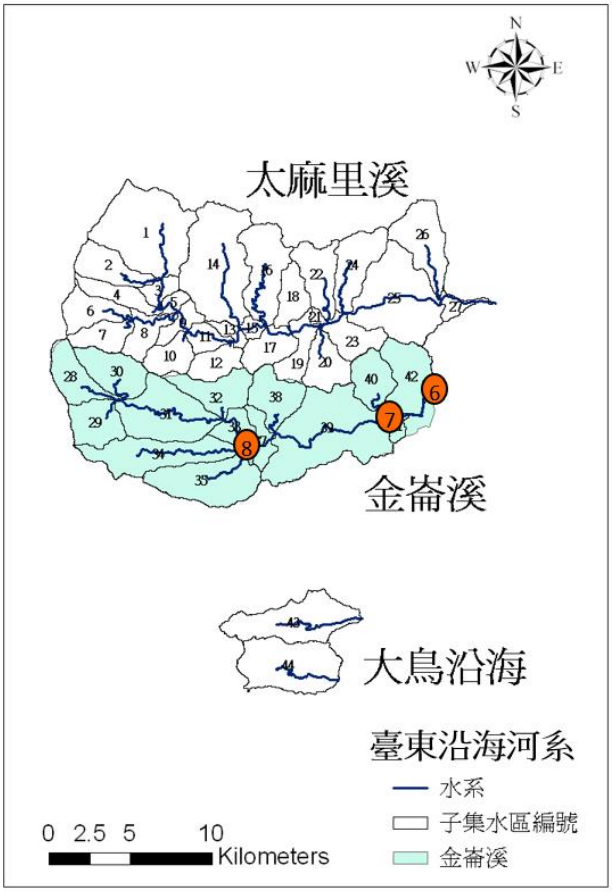


圖 4-6 2009 年莫拉克颱風太麻里溪次集水區土砂運移魚骨圖

DOI:10.6346/NPUST202100182



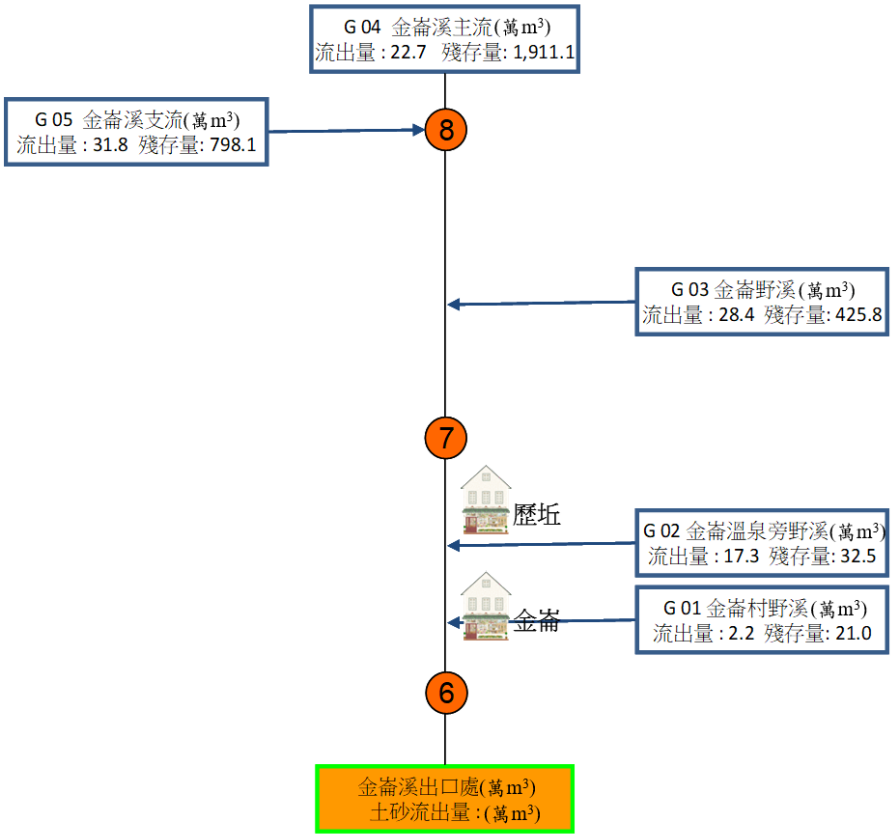
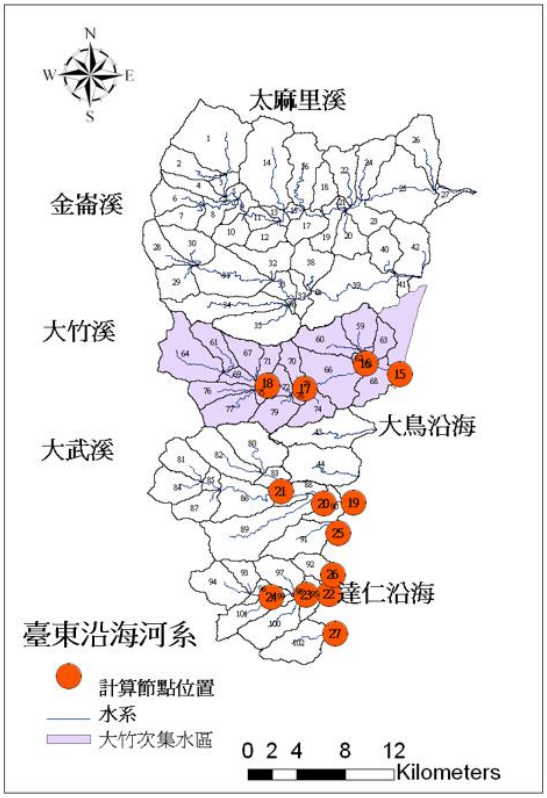


圖 4-7 2009 年莫拉克颱風金崙溪次集水區土砂運移魚骨圖

DOI:10.6346/NPUST202100182



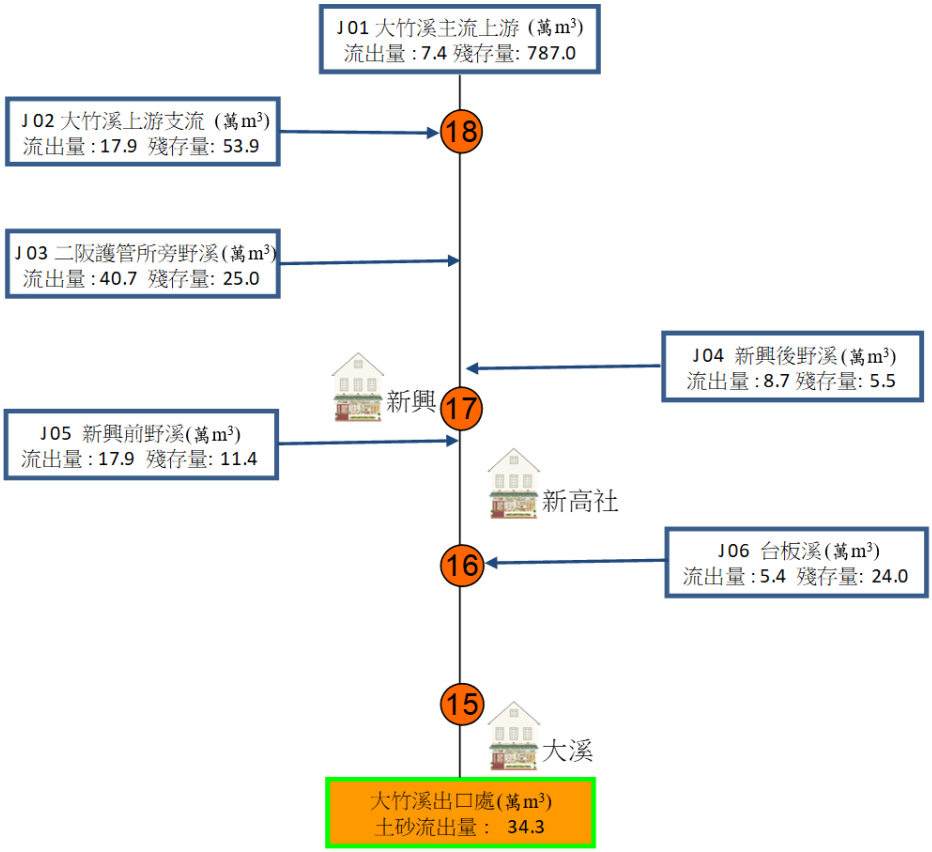


圖 4-8 2009 年莫拉克颱風大竹溪次集水區土砂運移魚骨圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

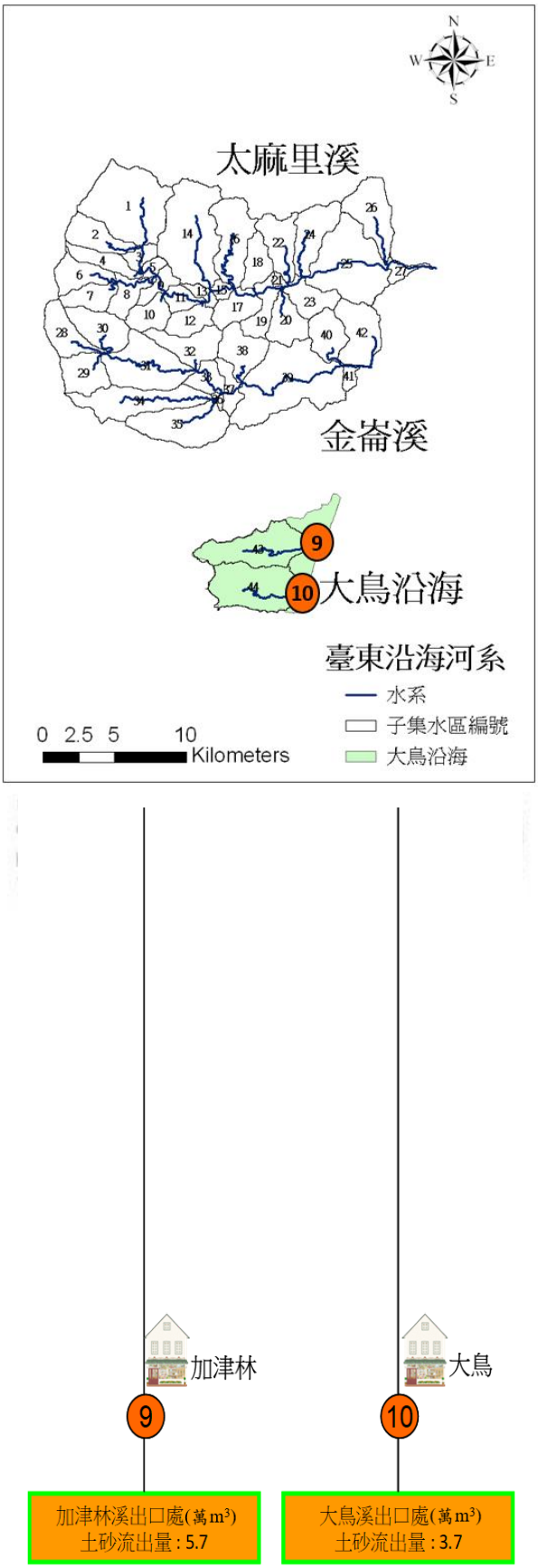


圖 4-9 2009 年莫拉克颱風加津林溪及大鳥溪土砂運移魚骨圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

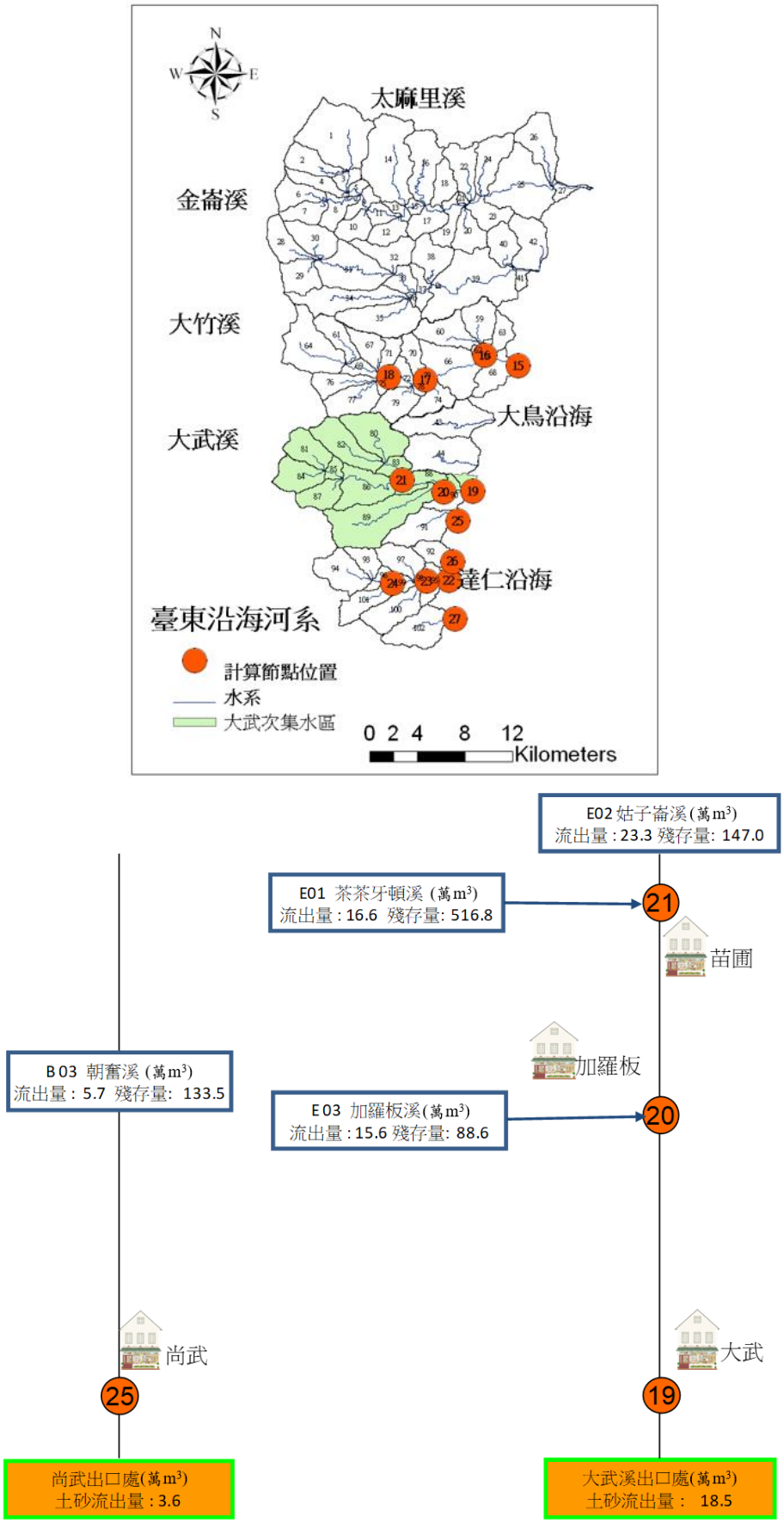


圖 4-10 2009 年莫拉克颱風大武溪次集水區土砂運移魚骨圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

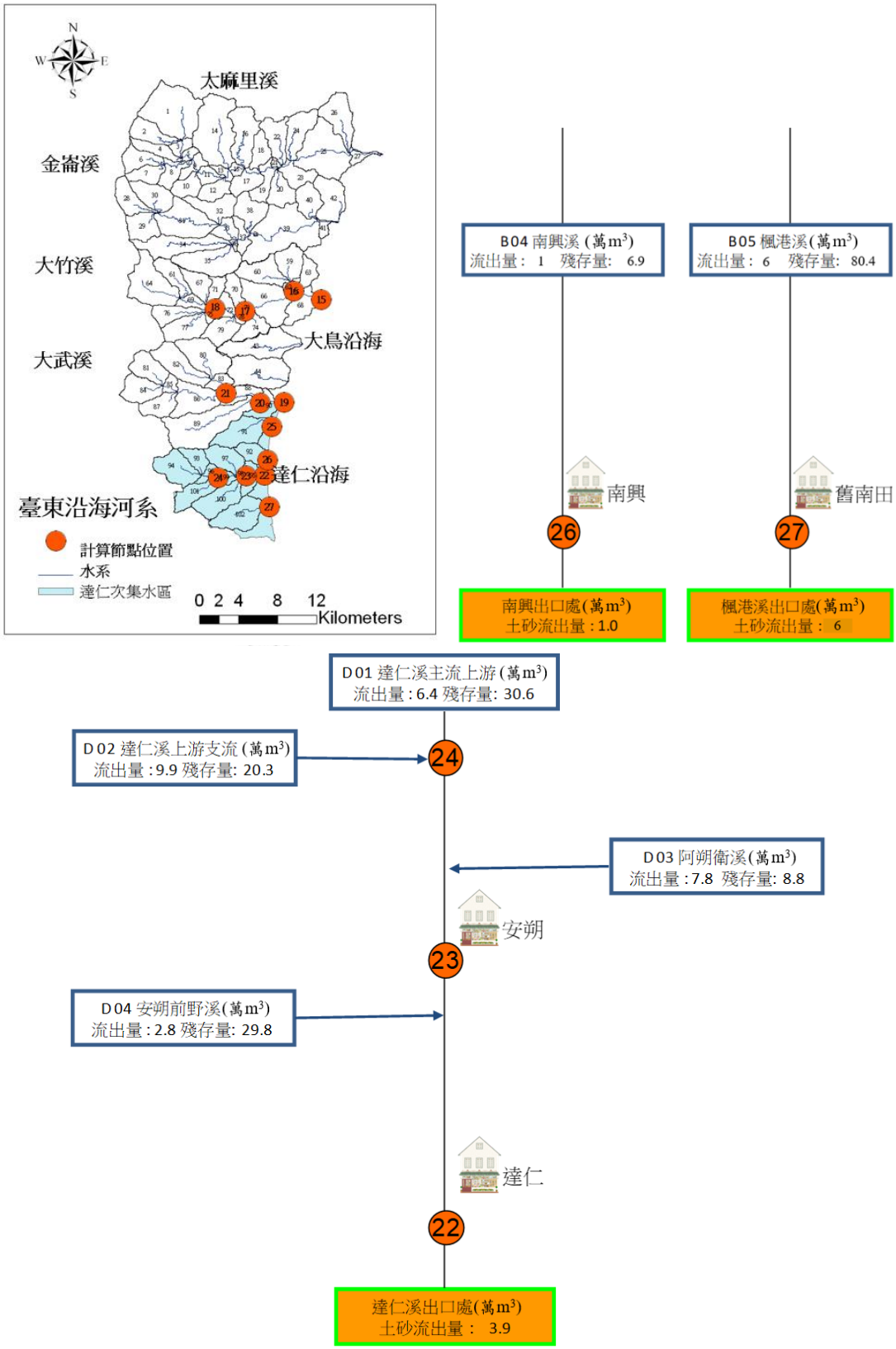


圖 4-11 2009 年莫拉克颱風達仁沿海次集水區土砂運移魚骨圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

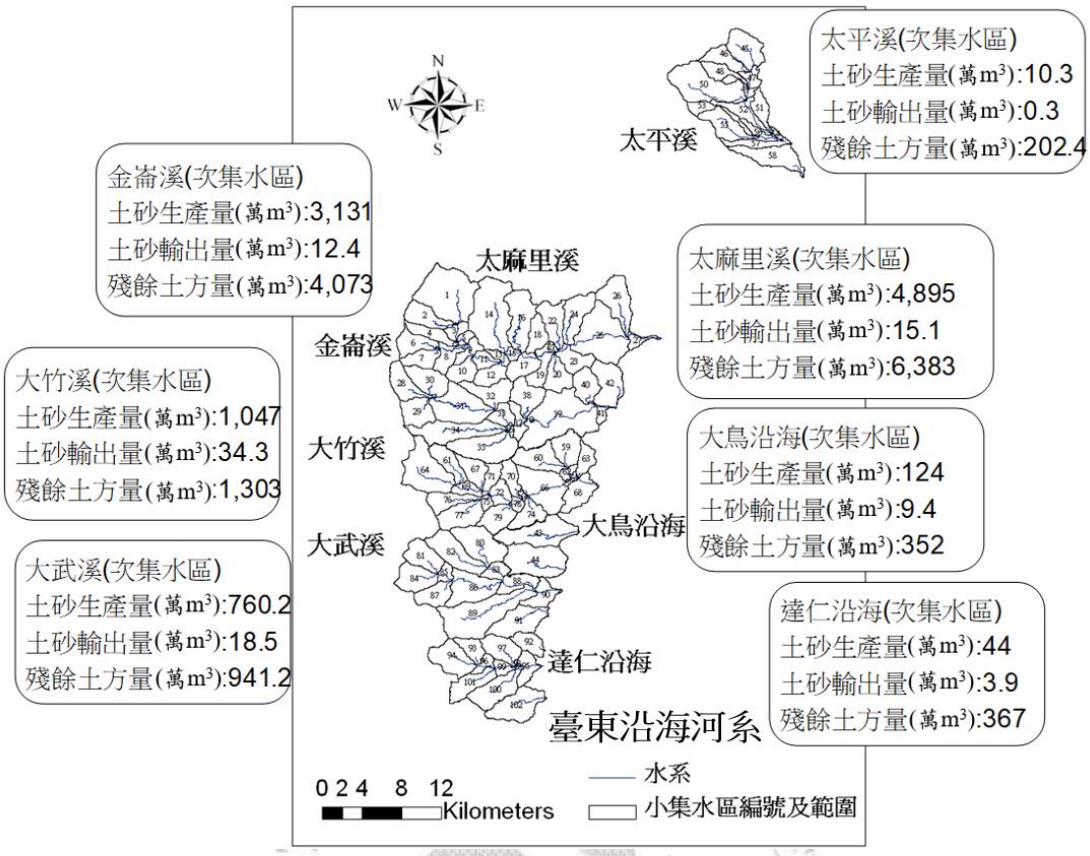


圖 4-12 2009 年莫拉克颱風臺東沿海河系次集水區土砂變異情形

DOI:10.6346/NPUST202100182

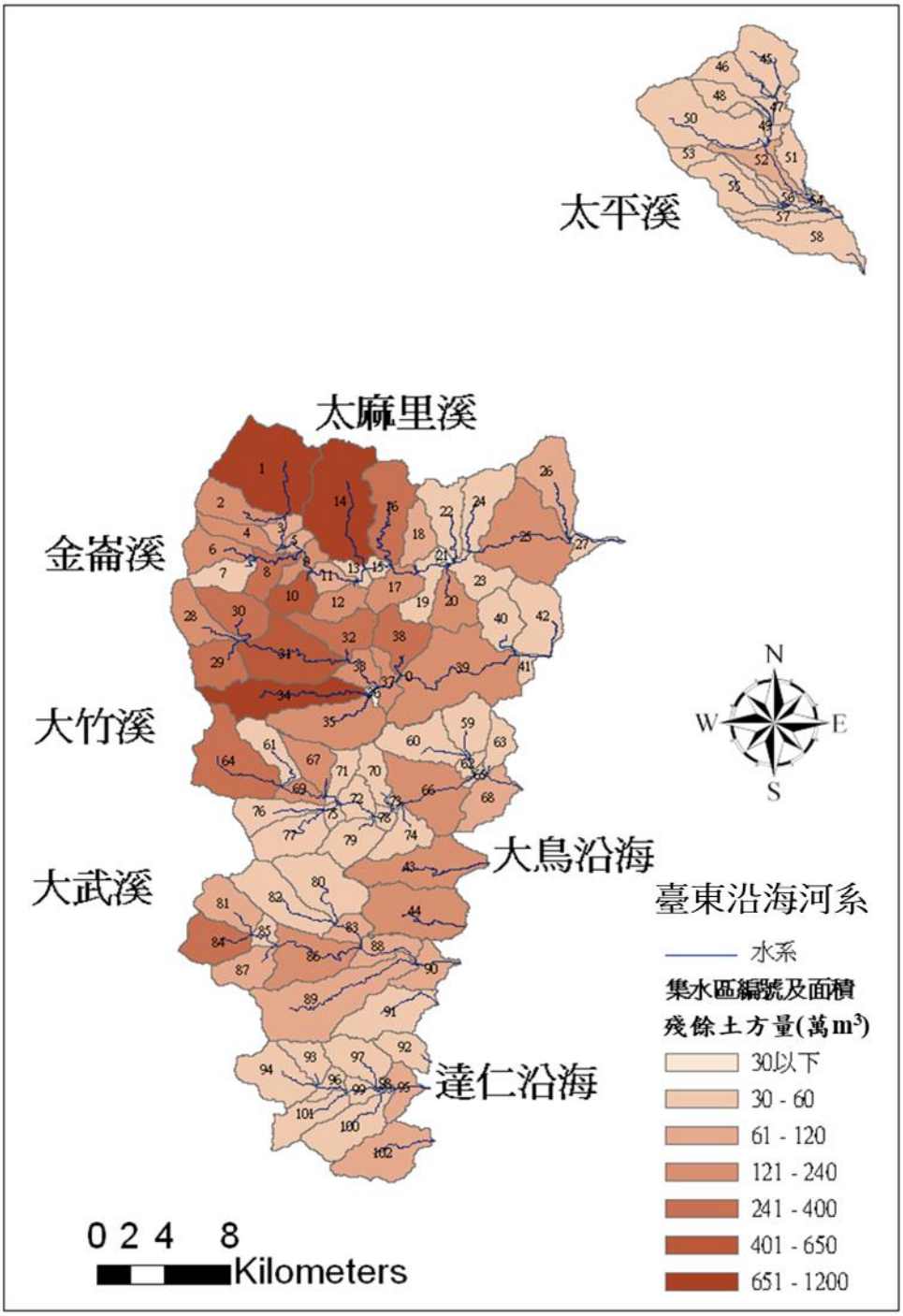


圖 4-13 2009 年莫拉克颱風後臺東沿海河系殘餘土方量分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

四、2009~2012 年期間土砂生產量分析結果

本研究依據集水區土砂生產分析方法，並藉由災前及災後衛星影像圖資與現地勘查結果，進行 2009 年莫拉克颱風後至 2012 年間颱風所造成的坡面地表土壤沖蝕量、坡地崩塌量及河道沖淤情形進行研析。為進行土砂生產量及土砂輸運計算，本研究將新武呂溪、太麻里溪、金崙溪、大竹溪、安朔溪及加羅板溪集水區分為子集水區進行模擬計算，各集水區之計算及分析結果如下：

(一)崩塌量分析結果探討

2009 年莫拉克颱風至 2012 年天秤颱風後集水區內坡面崩塌特性的分析，是蒐集莫拉克颱風前後期之崩塌資料是以中央地質調查所之衛星影像圖(解析度為 8m*8m) 進行判釋，2012 年崩塌則是以成大防災中心之衛星影像圖(解析度為 2m*2m) 進行判釋。判釋結果顯示，臺東地區集水區內莫拉克颱風前的崩塌地面積總計約 2,108.6ha，莫拉克颱風後之崩塌面積高達 6,443.1ha，顯示莫拉克颱風造成之的崩塌面積約達 3 倍之多，而歷經 2010 年凡那比颱風、2011 南瑪都颱風及 2012 天秤颱風後，2012 年崩塌面積約 5,724.9ha，較莫拉克颱風後之崩塌面積小 718.2ha，顯示從 2009 年莫拉克颱風造成之崩塌至今已開始趨於穩定並逐漸復育。各集水區之 2009 年莫拉克颱風前後及 2012 年臺東地區集水區崩塌資料，如表 4-20 所示。

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-20 莫拉克颱風前後及天秤颱風後各集水區崩塌資料

集水區	2009 年莫拉克災前崩塌		2009 年莫拉克災後崩塌		2012 年天秤災後崩塌	
	面積 (ha)	崩塌率 (%)	面積 (ha)	崩塌率 (%)	面積 (ha)	崩塌率 (%)
新武呂溪	1,018.6	4.00	1,590.1	6.25	1,366.9	5.37
太麻里溪	788.9	3.74	2,522.1	11.94	1,950.7	10.17
金崙溪	259.2	1.72	1,695.4	11.28	1,564.3	10.39
大竹溪	35.0	0.27	566.5	4.26	782.5	5.90
加羅板溪	3.3	0.12	49.7	1.98	45.4	1.80
安朔溪	3.6	0.07	19.3	0.80	15.1	0.63
總　計	2,108.6	-	6,443.1	-	5,724.9	-

資料來源：中央地質調查所、水保局、成大防災中心及本研究彙整。

本研究根據新武呂溪、太麻里溪、金崙溪、大竹溪、加羅板溪及安朔溪各集水區莫拉克颱風後至 2012 之崩塌面積判釋結果，參考 Khazai and Sitar(2000)所提出的崩塌深度與坡面坡度之關係求得臺東地區各集水區之崩塌土方量，由計算成果顯示，2012 年所有集水區之崩塌土方量達 8,253 萬 m^3，其中以太麻里溪之崩塌土方量達 2,839 萬 m^3 為區域內歷年來降雨之最大的土砂生產量。各集水區之坡面地表崩塌量計算結果詳如表 4-21~表 4-26 所示。2012 年坡面崩塌土方量分布情形如圖 4-14~圖 4-19，圖中顯示臺東地區流域內之崩塌位置主要為太新武呂溪及麻里溪集水區之上及中游段、金崙溪集水區之上、中游段及大竹溪上游段等，以上皆為流域內崩塌情形較為嚴重的區域，茲將各集水區崩塌情形分述如下：

1.新武呂溪次集水區崩塌量分析

由表 4-21 可知新武呂溪集水區於莫拉克颱風災後之崩塌面積約為 1,018.6ha，2012 年崩塌面積則約為 1,366.9ha，整體而言崩塌率增加 1.37%，主要為既有崩塌持續擴大及零星小崩塌產生所致。崩塌土方主要分布於主流上游及西部支流上游為主。

DOI:10.6346/NPUST202100182

2.太麻里溪次集水區崩塌量分析

由表 4-22 可知莫拉克颱風災後太麻里溪集水崩塌面積約為 2,522.1ha，為臺東沿海河系內崩塌土方生產量最多地區，2012 年崩塌面積則約為 1,950.7ha，崩塌率降低 1.77%，顯此區內植生復育情形良好。太麻里溪崩塌情形主要以主流上游較為嚴重，其主要崩塌自太麻里溪以上至包盛社一帶處為主，且以包盛社以上地區崩塌情形最為嚴重，包盛社以下崩塌情形較為嚴重區域為斗里斗里溪子集水區。

3.金崙溪次集水區崩塌量分析

由表 4-23 可知金崙溪集水區於莫拉克颱風災後之崩塌面積約為 1,695.4ha，2012 年崩塌面積則約為 1,564.3ha，整體而言崩塌率減少 0.89%，顯此區內植生復育情形較緩慢。

4.大竹溪次集水區崩塌量分析

由表 4-24 可知大竹溪集水區於莫拉克颱風災後之崩塌面積約為 566.5ha，2012 年崩塌面積則約為 782.5ha，整體而言崩塌率增加 1.64%，且經過判釋後發現大竹溪現況崩塌較嚴重地區為主流上游之子集水區，此區崩塌大多為 2009 年莫拉克颱風時所造成的，顯示此區植生復育情形緩慢，又受到 2010 年凡那比等颱風衝擊不僅造成新崩塌產生且既有崩塌面積亦持續擴大。

5.加羅板溪子集水區崩塌量分析

由表 4-25 可知莫拉克颱風後加羅板溪崩塌面積約為 49.7ha，2012 年崩塌面積約為 45.4ha，整體而言，崩塌率減小 0.18%，主要是因為下游子集水區於 2009 年莫拉克颱風所造成零星小崩塌，目前植生復育情形良好，但上游子集水整體而言，植生復育情形緩慢，且自 2009 年莫拉克颱風產生之崩塌有持續擴大之虞。

6.安朔溪子集水區崩塌量分析

由表 4-26 可知莫拉克颱風後安朔溪崩塌面積約為 19.3ha，

DOI:10.6346/NPUST202100182

2012 年崩塌面積約為 15.1ha，整體而言，崩塌率減小 0.17%，主要因為子集水區於 2009 年莫拉克颱風所造成零星小崩塌，目前都已有植生入侵逐漸復育中。

表 4-21 2012 年新武呂溪次集水區崩塌土方量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	崩塌面積(m^2)	崩塌土方量(m^3)
1	20,400,450	3,983,121	5,425,882
2	9,258,850	309,484	482,701
3	6,848,650	204,860	234,698
4	6,357,125	1,309,397	2,005,909
5	8,421,625	611,398	858,357
6	2,768,725	120,846	168,132
7	5,220,175	922,315	1,342,399
8	10,340,600	774,478	1,162,481
9	1,509,050	164,587	192,925
10	9,382,525	1,257,503	1,959,549
11	4,528,425	300,203	465,832
12	9,050,400	702,908	1,049,675
13	1,200	0	0
14	14,666,075	572,557	631,111
15	3,032,150	117,418	117,418
16	26,513,425	1,022,272	1,432,610
17	1,809,150	0	0
18	18,284,975	233,334	341,171
19	20,607,200	510,470	607,994
20	3,634,200	12,884	8,332
21	6,551,025	7,290	7,854
22	37,046,975	452,959	474,695
23	2,704,550	3,964	5,945
24	4,833,025	5,978	8,967
25	20,667,650	69,214	76,412
總計	崩塌面積(m^2)	13,669,440	崩塌率
總計	崩塌土方量(m^3)	19,061,049	5.37%

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-22 2012 年太麻里溪次集水區崩塌土方量

集水區編號	集水區面積(m^2)	崩塌面積(m^2)	崩塌土方量(m^3)
1	25,278,300	4,385,514	6,256,731
2	7,954,300	1,239,659	1,665,045
3	2,826,025	333,930	503,756
4	5,286,850	599,765	855,606
5	1,694,900	318,569	475,244
6	7,183,975	347,042	471,450
7	5,599,400	224,836	302,186
8	5,529,975	676,770	991,011
9	3,352,000	336,940	498,551
10	5,664,900	2,599,629	3,898,764
11	3,562,925	481,053	541,992
12	5,488,675	335,140	450,834
13	1,839,800	79,015	124,182
14	25,212,175	4,821,752	7,302,881
15	1,595,900	69,754	79,318
16	13,627,675	152,636	228,406
17	6,589,275	882,974	1,304,174
18	5,803,500	982,278	1,473,163
19	5,813,800	59,845	96,892
20	7,329,425	59,131	101,721
21	773,400	19,961	29,941
22	8,941,250	320,802	509,935
23	6,417,725	2,558	3,837
24	10,100,325	16,475	24,410
25	18,538,400	160,723	202,322
總計	崩塌面積(m^2)	19,506,751	崩塌率
總計	崩塌土方量(m^3)	28,392,352	10.17%

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-23 2012 年金崙溪次集水區崩塌土方量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	崩塌面積(m^2)	崩塌土方量(m^3)
1	7,997,700	1,015,540	1,473,788
2	8,245,875	1,363,183	2,051,477
3	131,925	20,039	20,039
4	9,302,975	2,632,184	3,825,453
5	17,006,650	3,436,503	4,540,446
6	8,899,450	989,530	1,560,737
7	4,449,575	690,886	1,010,713
8	15,240,800	2,194,787	3,154,599
9	15,543,100	1,112,339	1,621,499
10	651,575	65,471	92,779
11	3,957,775	705,697	1,186,922
12	8,665,875	953,058	1,537,312
13	29,593,325	439,812	669,208
14	7,532,400	20,336	34,567
15	1,693,325	0	0
16	11,338,675	3,677	5,182
總計	崩塌面積(m^2)	15,643,042	崩塌率
總計	崩塌土方量(m^3)	22,784,721	10.39%

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-24 2012 年大竹溪次集水區崩塌土方量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	崩塌面積(m^2)	崩塌土方量(m^3)
1	17,937,475	3,369,437	4,862,878
2	7,141,575	872,004	1,316,812
3	3,180,975	266,219	310,241
4	6,368,000	1,113,502	1,660,606
5	4,057,475	122,167	193,268
6	6,769,350	288,885	404,517
7	9,844,825	300,222	437,381
8	1,155,800	20,442	25,412
9	4,478,950	122,619	182,339
10	8,044,150	545,808	766,238
11	7,231,975	123,990	178,438
12	6,642,150	124,181	214,556
13	17,063,725	205,533	342,356
14	10,490,750	168,883	273,964
15	7,696,925	64,206	127,242
16	1,495,525	14,723	29,445
17	13,094,050	102,568	203,759
總計	崩塌面積(m^2)	7,825,386	崩塌率
總計	崩塌土方量(m^3)	11,529,454	5.90%

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-25 2012 年加羅板溪子集水區崩塌土方量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	崩塌面積(m^2)	崩塌土方量(m^3)
1	2,389,150	15,993	19,027
2	1,363,700	90,618	142,029
3	816,675	14,926	18,485
4	2,043,075	225,087	336,147
5	139,025	0	0
6	1,852,100	8,254	11,788
7	1,379,975	3,412	3,412
8	395,800	1,339	2,009
9	215,375	29,718	29,839
10	1,830,475	798	798
11	5,718,325	26,664	46,467
12	2,391,075	673	1,345
13	4,637,500	36,233	58,130
總計	崩塌面積(m^2)	453,715	崩塌率
總計	崩塌土方量(m^3)	669,476	1.80%

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-26 2012 年安朔溪子集水區崩塌土方量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	崩塌面積(m^2)	崩塌土方量(m^3)
1	3,129,150	14,643	21,690
2	2,501,550	1,265	1,454
3	1,384,800	533	533
4	2,888,325	3,779	4,922
5	1,475,750	2,967	4,487
6	4,740,825	4,060	5,231
7	2,845,825	7,913	12,892
8	8,684,675	5,7018	92,012
9	1,461,675	2,171	4,273
10	2,230,650	5,597	11,194
11	1,269,875	1,579	3,157
12	1,571,525	187	333
13	1,753,450	3,600	7,200
14	1,451,925	9,314	17,555
15	78,650	0	0
16	2,986,825	3,761	5,777
17	2,122,550	2,699	4,488
18	6,095,550	14,768	28,316
19	1,694,475	2,225	4,450
20	2,292,375	12,319	24,303
21	400,550	254	381
總計	崩塌面積(m^2)	150,652	崩塌率
總計	崩塌土方量(m^3)	254,648	0.63%

DOI:10.6346/NPUST202100182

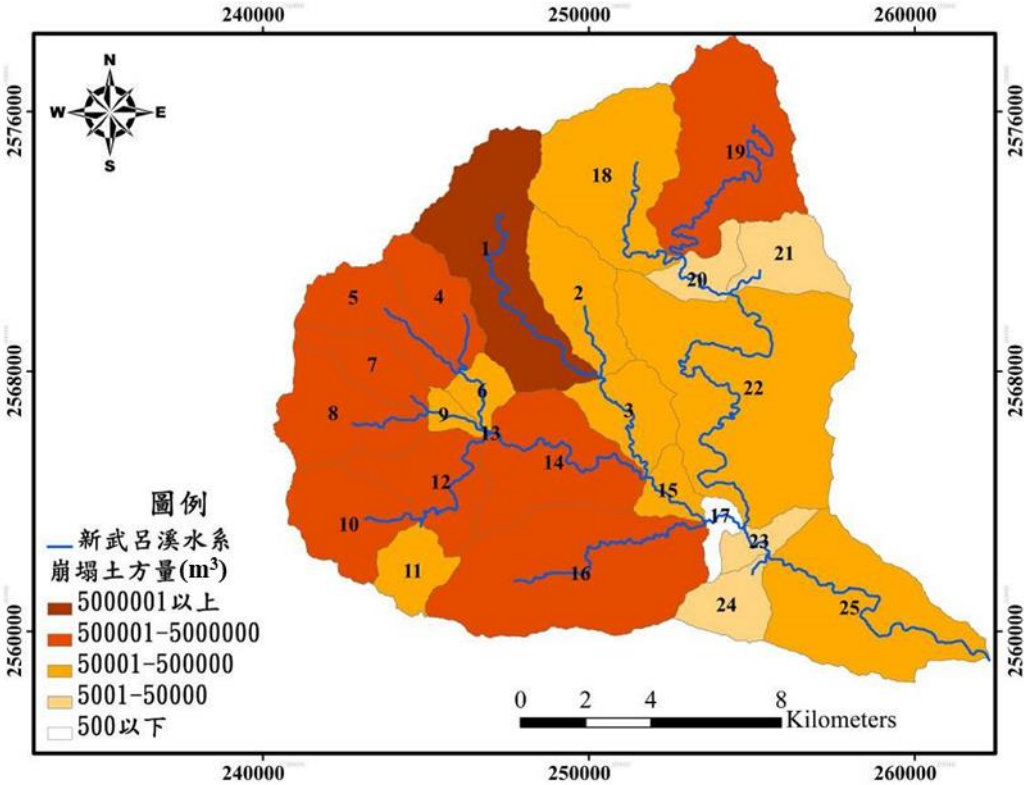


圖 4-14 2012 新武呂溪集水區崩塌土方量分布圖

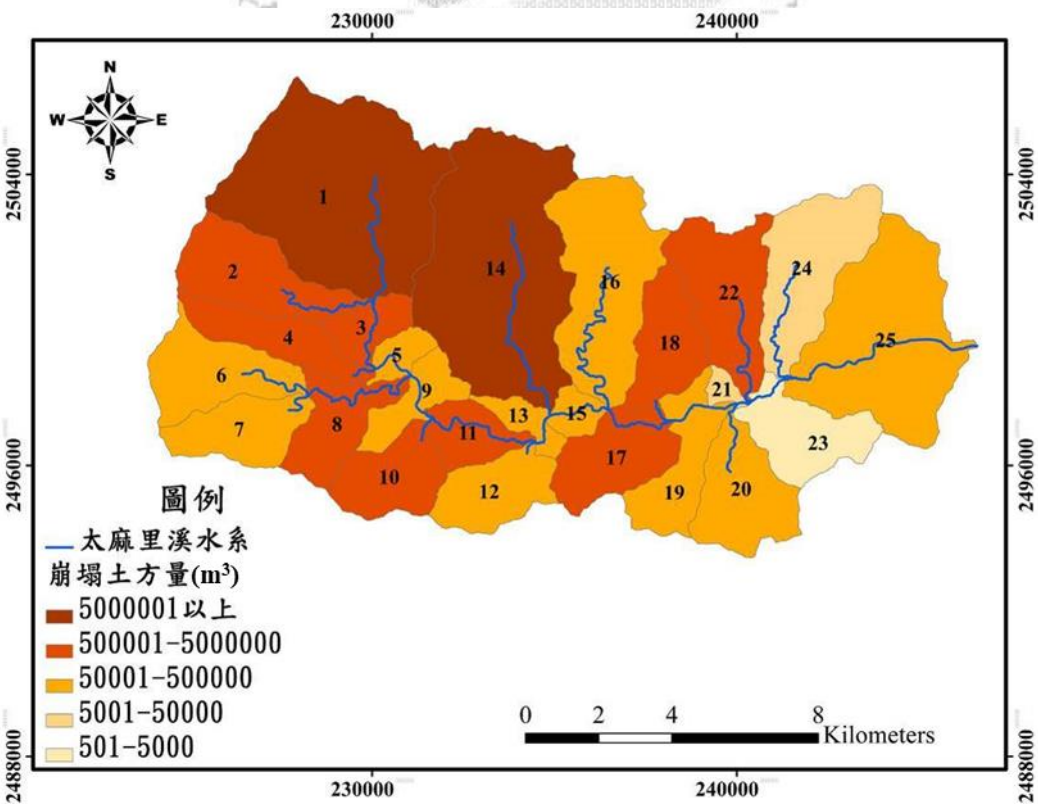


圖 4-15 2012 年太麻里溪次集水區崩塌土方量分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

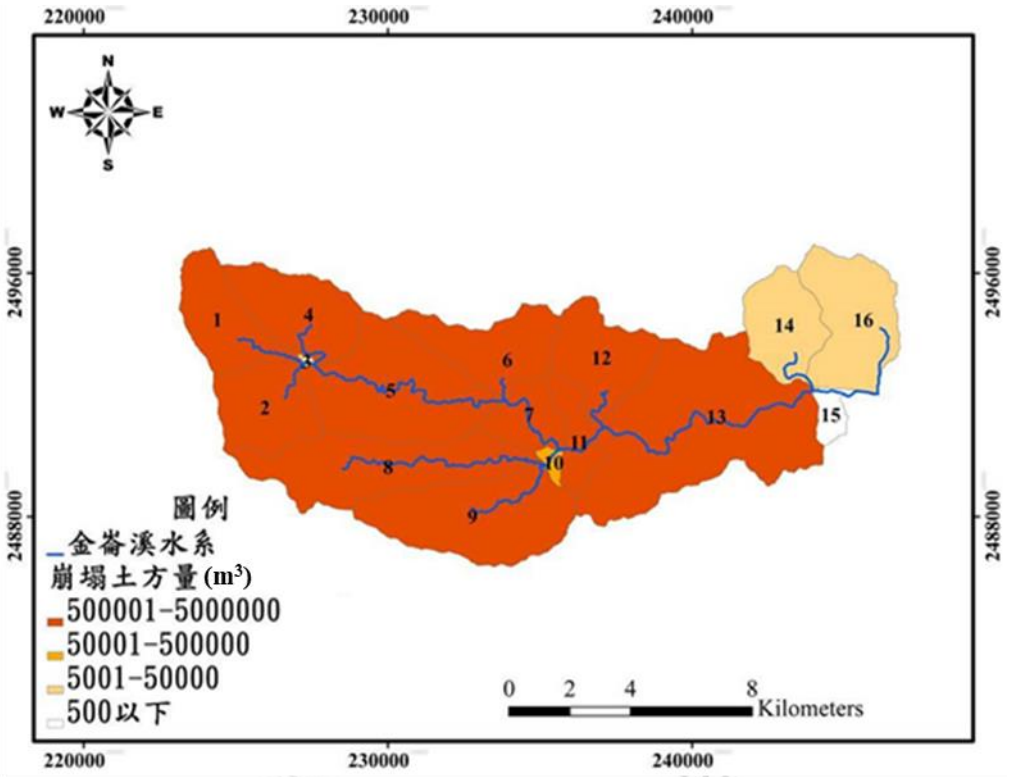


圖 4-16 2012 年金崙溪次集水區崩塌土方量分布圖

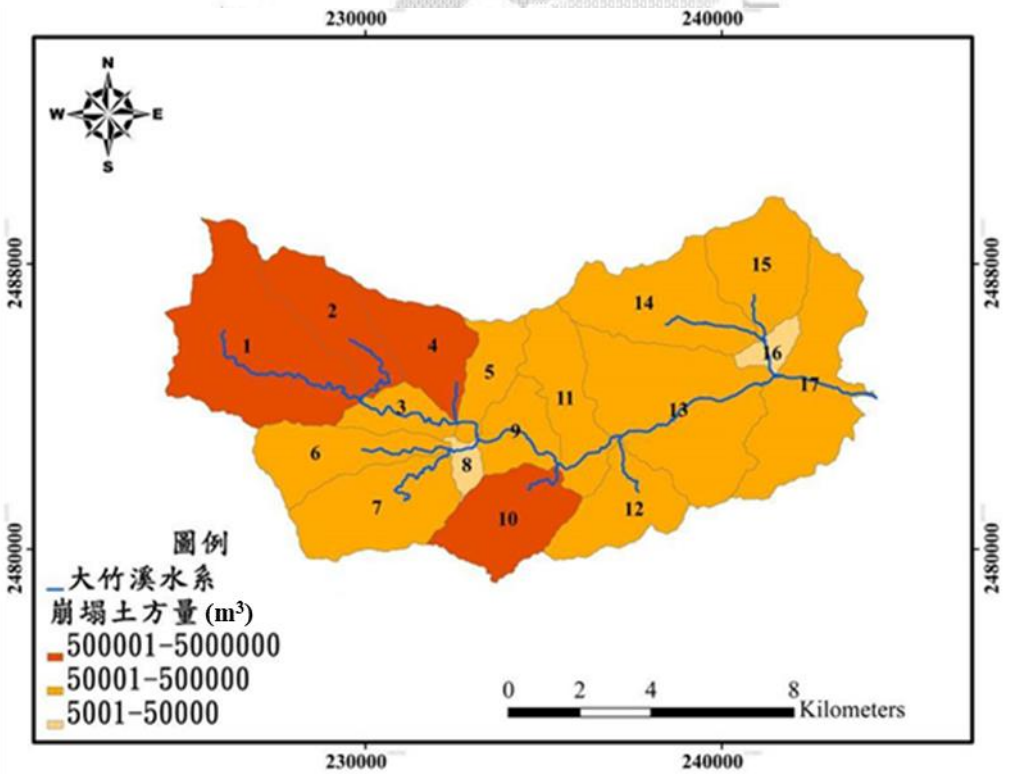


圖 4-17 2012 年大竹溪次集水區崩塌土方量分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

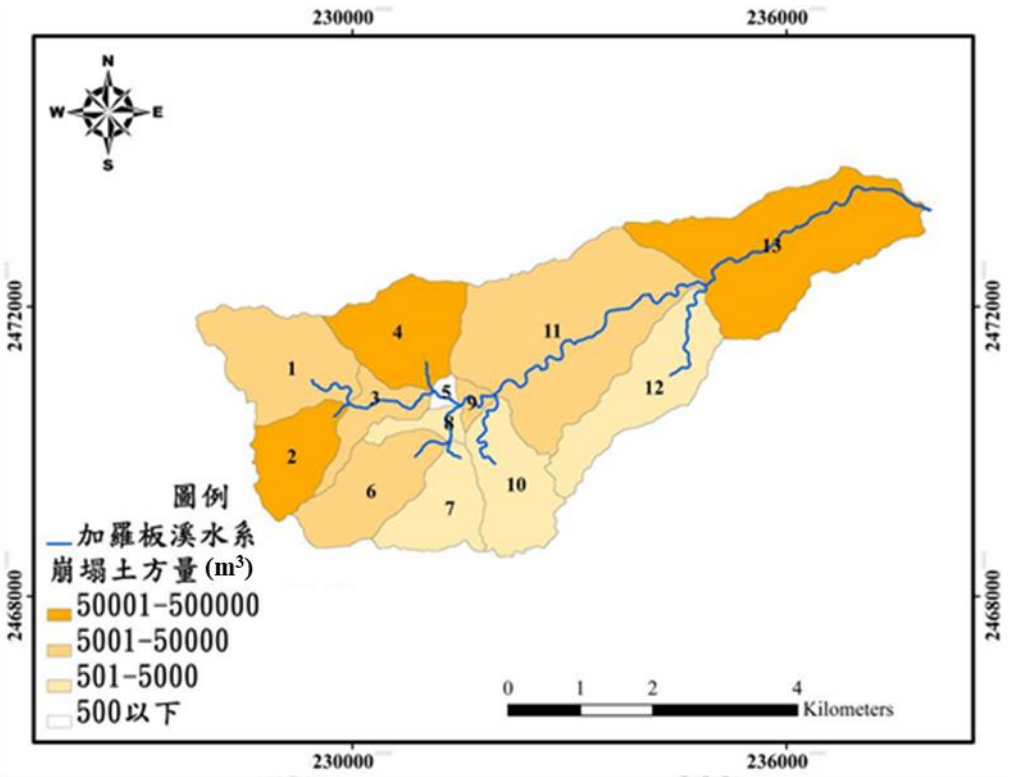


圖 4-18 2012 年加羅板溪子集水區崩塌土方量分布圖

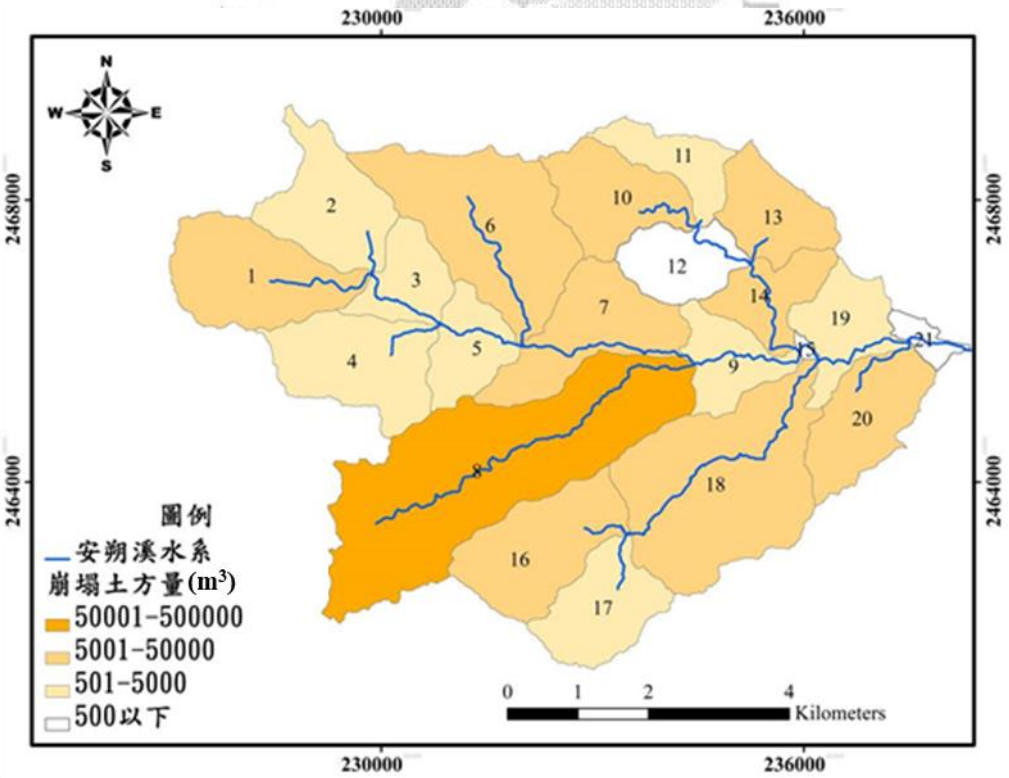


圖 4-19 2012 年安朔溪子集水區崩塌土方量分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

(二)沖蝕量分析結果探討

本研究參考臺東地區之新武呂溪、太麻里溪、金崙溪、大竹溪、加羅板溪、安朔溪各集水區之地文特性及參數，以修改版通用土壤流失公式（MUSLE）進行 2009 年莫拉克颱風後至 2012 年天秤颱風期間之單場暴雨土壤沖蝕量，由計算成果顯示，模擬土壤沖蝕量新武呂溪 655 萬 m^3、太麻里溪 725 萬 m^3、金崙溪 301 萬 m^3、大竹溪 24 萬 m^3、加羅板溪 4 萬 m^3 及安朔溪 18 萬 m^3，各集水區之土壤沖蝕量計算結果如表 4-27~表 4-32 所示。2012 年天秤颱風後各集水區之坡地土壤沖蝕較為嚴重地區為新武呂溪及太麻里溪中上游、金崙溪中下游段、安朔溪支流，其中又以太麻里溪集水區土壤沖蝕情形最為嚴重，平均土壤沖蝕深度達 39.9mm，其次為金崙溪平均土壤沖蝕深度達 20.9mm。

國立屏東科技大學 NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-27 2012 年新武呂溪次集水區土壤沖蝕量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	土壤沖蝕量(m^3)	沖蝕深度(mm)
1	20,400,450	1,374,651	67.4
2	9,258,850	127,404	13.8
3	6,848,650	167,526	24.5
4	6,357,125	171,365	27.0
5	8,421,625	113,639	13.5
6	2,768,725	54,074	19.5
7	5,220,175	89,803	17.2
8	10,340,600	218,485	21.1
9	1,509,050	34,773	23.0
10	9,382,525	100,305	10.7
11	4,528,425	166,549	36.8
12	9,050,400	422,922	46.7
13	1,200	16	13.3
14	14,666,075	783,246	53.4
15	3,032,150	109,869	36.2
16	26,513,425	748,333	28.2
17	1,809,150	87,312	48.3
18	18,284,975	54,153	3.0
19	20,607,200	156,688	7.6
20	3,634,200	30,026	8.3
21	6,551,025	4,572	0.7
22	37,046,975	249,338	6.7
23	2,704,550	97,328	36.0
24	4,833,025	27,587	5.7
25	20,667,650	1,162,180	56.2
總計	土壤沖蝕量(m^3)	6,552,145	
總計	平均沖蝕深度(mm)	25.0	

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-28 2012 年太麻里溪次集水區土壤沖蝕量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	土壤沖蝕量(m^3)	沖蝕深度(mm)
1	25,278,300	2,661,658	105.3
2	7,954,300	488,270	61.4
3	2,826,025	219,712	77.7
4	5,286,850	116,888	22.1
5	1,694,900	178,447	105.3
6	7,183,975	186,140	25.9
7	5,599,400	120,404	21.5
8	5,529,975	395,059	71.4
9	3,352,000	332,850	99.3
10	5,664,900	187,623	33.1
11	3,562,925	377,889	106.1
12	5,488,675	99,898	18.2
13	1,839,800	175,552	95.4
14	25,212,175	1,007,619	40.0
15	1,595,900	46,996	29.4
16	13,627,675	98,775	7.2
17	6,589,275	258,811	39.3
18	5,803,500	35,265	6.1
19	5,813,800	59,567	10.2
20	7,329,425	14,736	2.0
21	773,400	3,451	4.5
22	8,941,250	26,981	3.0
23	6,417,725	51,131	8.0
24	10,100,325	15,799	1.6
25	18,538,400	85,627	4.6
總計	土壤沖蝕量(m^3)	7,245,149	
總計	平均沖蝕深度(mm)	39.90	

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-29 2012 年金崙溪次集水區土壤沖蝕量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	土壤沖蝕量(m^3)	沖蝕深度(mm)
1	7,997,700	175,997	22.0
2	8,245,875	160,991	19.5
3	131,925	3,043	23.1
4	9,302,975	142,603	15.3
5	17,006,650	447,328	26.3
6	8,899,450	77,953	8.8
7	4,449,575	189,599	42.6
8	15,240,800	281,742	18.5
9	15,543,100	244,208	15.7
10	651,575	12,378	19.0
11	3,957,775	85,381	21.6
12	8,665,875	55,614	6.4
13	29,593,325	870,105	29.4
14	7,532,400	68,337	9.1
15	1,693,325	80,313	47.4
16	11,338,675	111,562	9.8
總計	土壤沖蝕量(m^3)	3,007,154	
總計	平均沖蝕深度(mm)	20.91	

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-30 2012 年大竹溪次集水區土壤沖蝕量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	土壤沖蝕量(m^3)	沖蝕深度(mm)
1	17,937,475	34,888	4.4
2	7,141,575	13,403	4.2
3	3,180,975	12,575	5.7
4	6,368,000	10,824	4.4
5	4,057,475	10,043	5.1
6	6,769,350	5,176	0.6
7	9,844,825	12,596	1.2
8	1,155,800	1,916	0.5
9	4,478,950	14,187	7.0
10	8,044,150	11,916	3.7
11	7,231,975	9,687	2.9
12	6,642,150	5,563	2.9
13	17,063,725	36,746	15.7
14	10,490,750	11,422	1.2
15	7,696,925	1,194	0.1
16	1,495,525	428	0.2
17	13,094,050	49,939	13.7
總計	土壤沖蝕量(m^3)	242,503	
總計	平均沖蝕深度(mm)	4.3	

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-31 2012 年加羅板溪子集水區土壤沖蝕量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	土壤沖蝕量(m^3)	沖蝕深度(mm)
1	2,389,150	107	0.0
2	1,363,700	854	0.6
3	816,675	998	1.2
4	2,043,075	1,959	1.0
5	139,025	114	0.8
6	1,852,100	543	0.3
7	1,379,975	276	0.2
8	395,800	156	0.4
9	215,375	599	2.8
10	1,830,475	437	0.2
11	5,718,325	18,453	3.2
12	2,391,075	673	0.3
13	4,637,500	14,257	3.1
總計	土壤沖蝕量(m^3)	39,426	
總計	平均沖蝕深度(mm)	1.08	

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-32 2012 年安朔溪子集水區土壤沖蝕量

子集水區編號	集水區面積(m^2)	土壤沖蝕量(m^3)	沖蝕深度(mm)
1	3,129,150	5,034	1.6
2	2,501,550	3,188	1.3
3	1,384,800	2,368	1.7
4	2,888,325	3,224	1.1
5	1,475,750	3,273	2.2
6	4,740,825	11,865	2.5
7	2,845,825	10,341	3.6
8	8,684,675	60,075	6.9
9	1,461,675	4,654	3.2
10	2,230,650	9,892	4.4
11	1,269,875	1,682	1.3
12	1,571,525	2,461	1.6
13	1,753,450	4,762	2.7
14	1,451,925	4,382	3.0
15	78,650	94	1.2
16	2,986,825	3,920	1.3
17	2,122,550	1,062	0.5
18	6,095,550	30,293	5.0
19	1,694,475	7,662	4.5
20	2,292,375	7,923	3.5
21	400,550	2,127	5.3
總計	土壤沖蝕量(m^3)	180,282	
總計	平均沖蝕深度(mm)	2.8	

DOI:10.6346/NPUST202100182

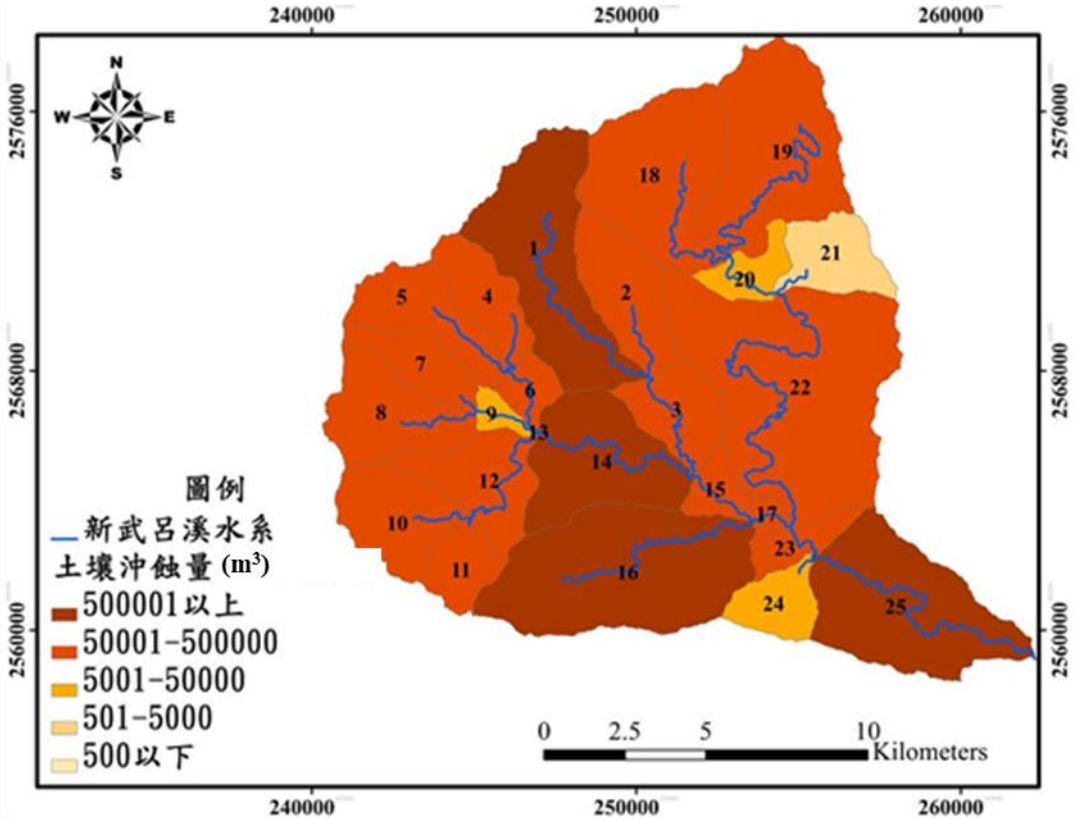


圖 4-20 2012 年新武呂溪次集水區坡地土壤沖蝕量分布圖

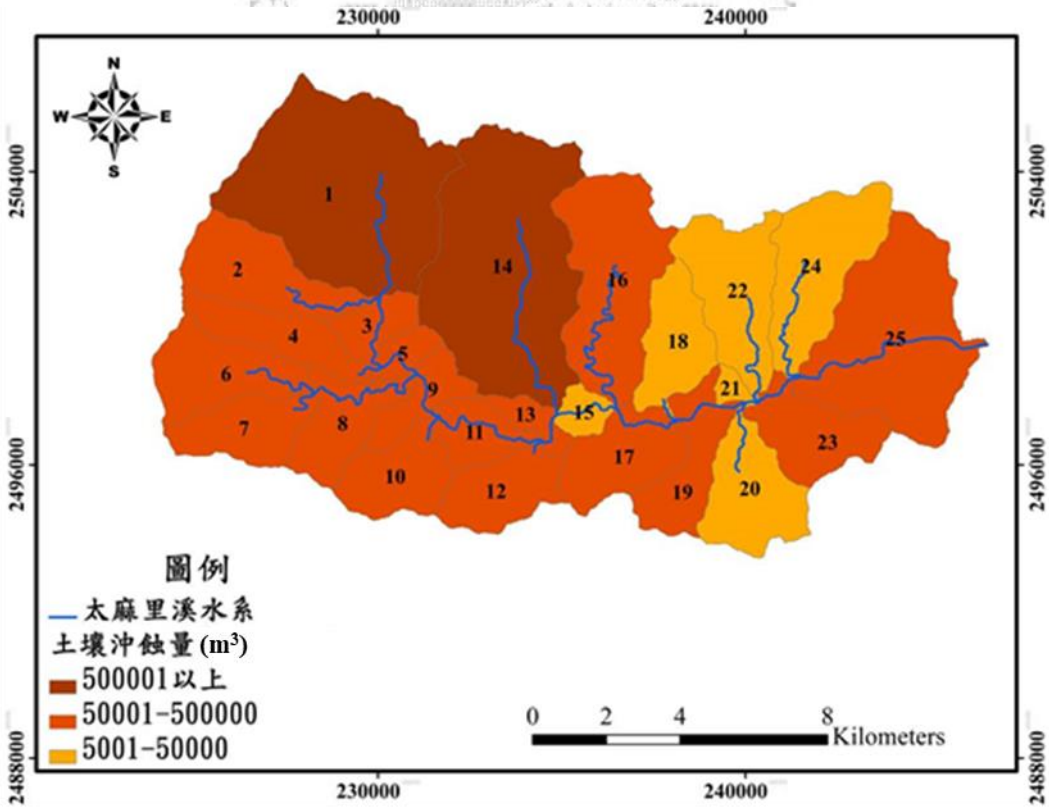


圖 4-21 2012 年太麻里溪次集水區坡地土壤沖蝕量分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

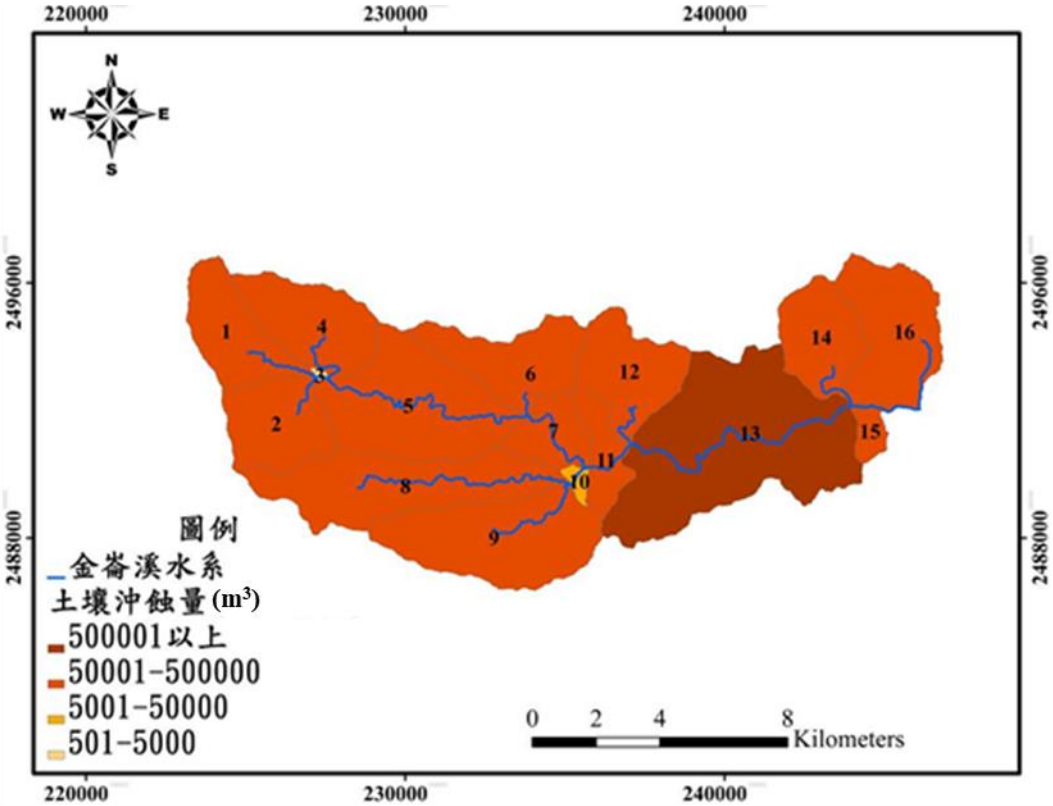


圖 4-22 2012 年金崙溪次集水區坡地土壤沖蝕量分布圖

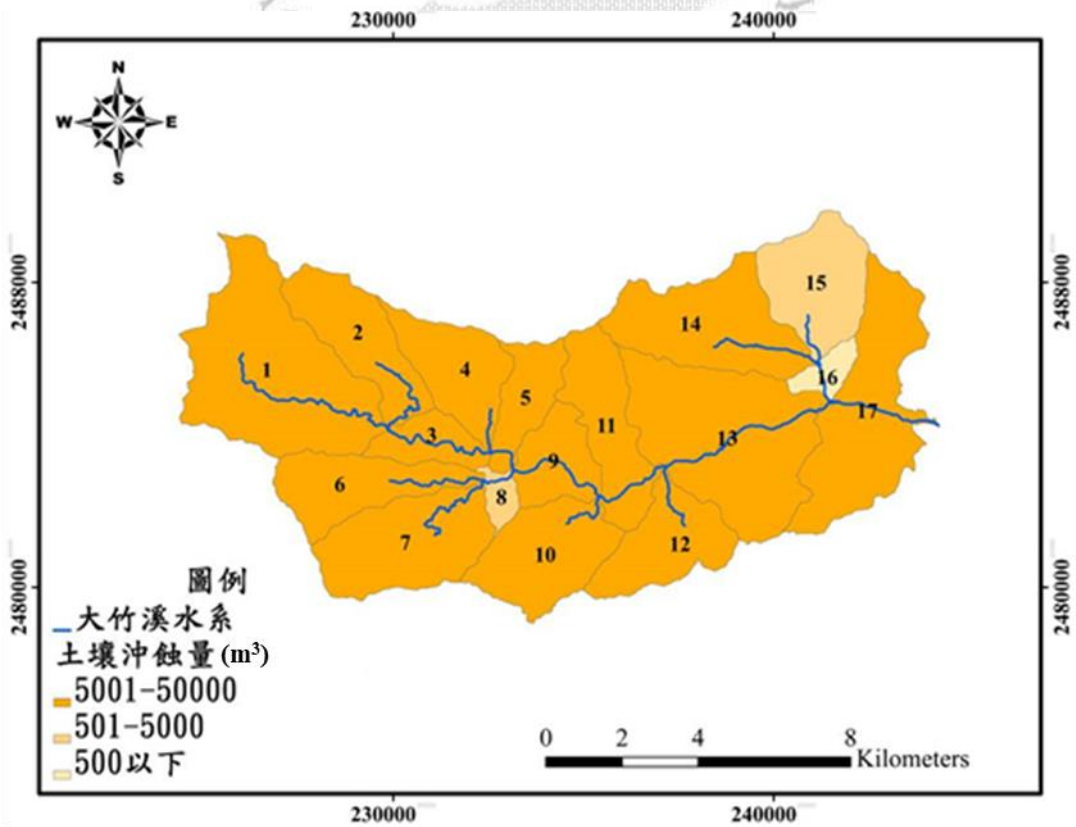


圖 4-23 2012 年大竹溪次集水區坡地土壤沖蝕量分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

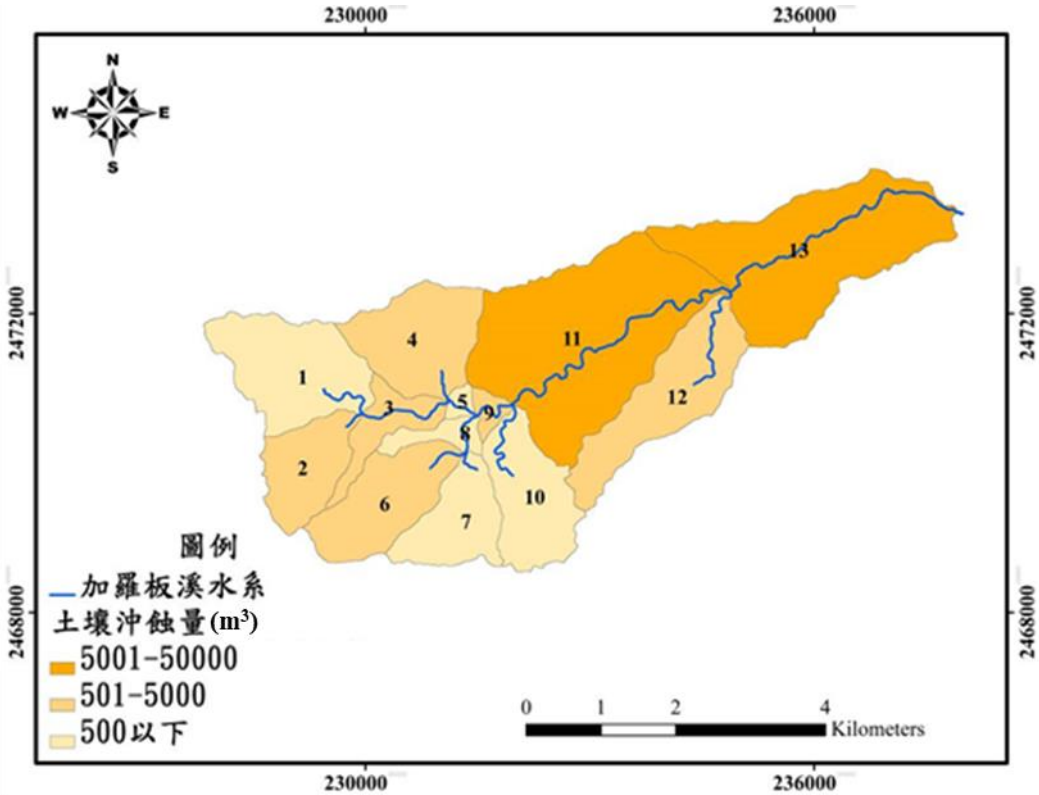


圖 4-24 2012 年加羅板溪子集水區坡地土壤沖蝕量分布圖

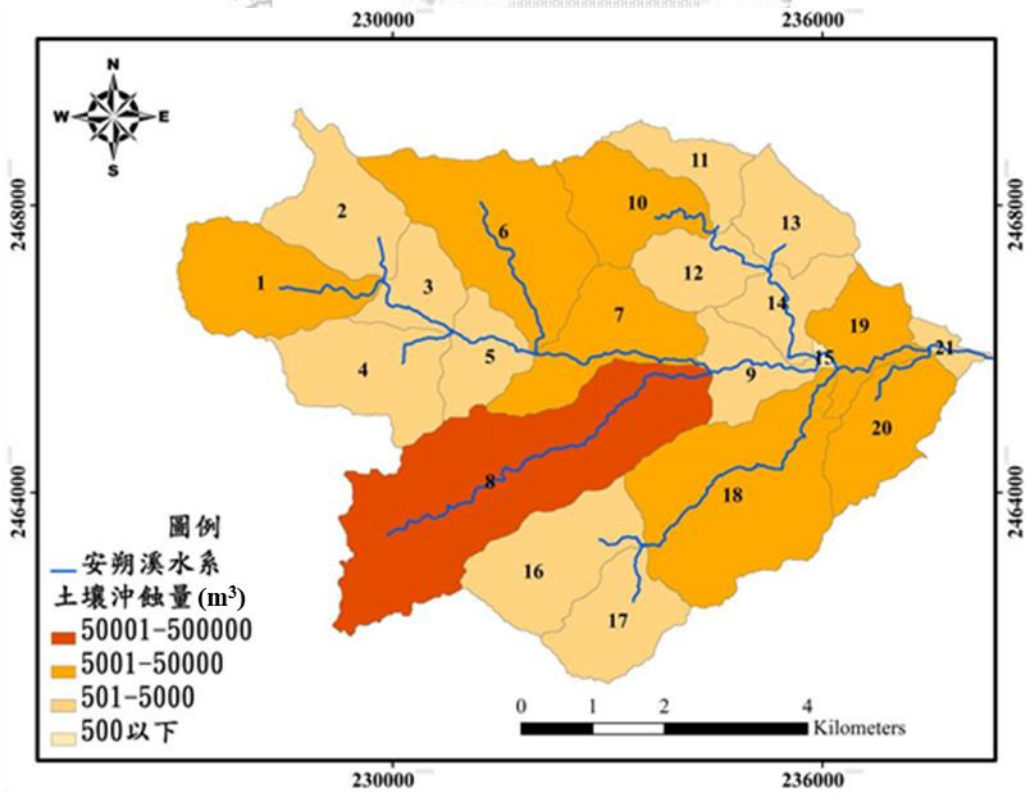


圖 4-25 2012 年安朔溪子集水區坡地土壤沖蝕量分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

(三)土砂運移與堆積結果探討

坡面沖蝕及崩塌所產生的土砂經由降雨及地表逕流匯入河道後，沿著河道往下游輸送，泥砂在河道中的運移能力與水流流量、河道坡度、床質組成及河道尺寸等因素影響，輸砂能力沿程改變。本研究以流域土砂管理模式(2002)，模擬新武呂溪及臺東沿海河系內各子集水區之土砂生產量、土砂輸送量以及殘餘土砂堆積量。流域土砂管理模式之土砂輸運模擬採 Schoklitsch 輸砂公式進行莫拉克颱風單場暴雨河道土砂運移模擬；而在上游河道坡度較陡地區採 Shieh(1997)針對 Takahashi(1982)實驗資料及迴歸式修正的輸砂平衡濃度公式進行上游河道土砂運移模擬。由於本研究所區分之子集水區個數分別為新武呂溪 25 個、太麻里溪 25 個、金崙溪 16 個、大竹溪 17 個、加羅板溪 13 個、安朔溪 21 個，為便於了解及應用各集水區土砂生產及運移變遷情形，將各集水區泥砂運移過程以主流與支流匯流之節點方式展示，各集水區內節點個數分別為新武呂溪 3 個、太麻里溪 5 個、金崙溪 3 個、大竹溪 4 個、加羅板溪 3 個、安朔溪 4 個，節點編號及匯流支流之溪流名稱如表 4-33~表 4-38 所示。2012 年天秤颱風後研究區域內各節點之集水區面積、土砂生產量、土砂輸出量及殘餘土方量如表 4-39~表 4-44 所示。2012 年天秤颱風後新武呂溪、太麻里溪、金崙溪、大竹溪、加羅板溪及安朔溪集水區之主流上重要的鄉鎮、村莊及部落相對位置與土砂運移及堆積結果分布情形如圖 4-26~圖 4-31。由計算結果顯示，2010 年至 2012 年天秤颱風期間，新武呂溪、太麻里溪、金崙溪、大竹溪、加羅板溪及安朔溪各集水區出口處之土砂流出量分別為 105.7 萬 m^3、25.3 萬 m^3、30.9 萬 m^3、41.0 萬 m^3、2.6 萬 m^3 及 2.9 萬 m^3。各子集水區土砂運移及堆積後之殘餘土方量如圖 4-32~圖 4-37 所示，殘餘土方量的多寡以顏色深淺來表示，圖中顯示研究區域內之土砂堆積位置主要為新武呂溪及太麻里溪中上游段、金崙溪上游段及中游段、大竹溪上游段，以上皆為流域內土砂堆積情形較為嚴重的區域。茲將各集水區土砂堆積情形分述如下：

DOI:10.6346/NPUST202100182

1.新武呂溪次集水區土砂堆積情形分析

新武呂溪集水區共分割為 25 個小集水區，總面積為 25,444ha，經計算結果顯示，總沖蝕土方量為 655.2 萬 m^3，總崩塌土方量為 1,906.5 萬 m^3，總土砂生產量為 2,561.3 萬 m^3，2010 年至 2012 年清疏土方量為 18.3 萬 m^3，故新武呂溪集水區殘存土方量為 2,183.1 萬 m^3。

2.太麻里溪次集水區土砂堆積情形分析

太麻里溪集水區共分割為 24 個小集水區，總面積為 19,200.5ha，經計算結果顯示，總沖蝕土方量為 724.5 萬 m^3，總崩塌土方量為 2,839.0 萬 m^3，總土砂生產量為 3,564.0 萬 m^3，2010 年至 2012 年清疏土方量為 105.0 萬 m^3，故太麻里溪集水區殘存土方量為 2,396.2 萬 m^3。

3.金崙溪次集水區土砂堆積情形分析

金崙溪集水區共分割為 16 個小集水區，總面積為 15,025ha，經計算結果顯示，總沖蝕土方量為 300.7 萬 m^3，總崩塌土方量為 2,278.5 萬 m^3，總土砂生產量為 2,579.2 萬 m^3，2010 年至 2012 年清疏土方量約為 228.0 萬 m^3，故金崙溪集水區殘存土方量為 1,973 萬 m^3。

4.大竹溪次集水區土砂堆積情形分析

大竹溪集水區共分割為 17 個小集水區，總面積為 13,269ha，經計算結果顯示，總沖蝕土方量為 24.3 萬 m^3，總崩塌土方量為 1,152.9 萬 m^3，總土砂生產量為 1,177.2 萬 m^3，2010 年至 2012 年清疏土方量為 56.9 萬 m^3，故大竹溪集水區殘存土方量為 871.7 萬 m^3。

5.加羅板溪子集水區土砂堆積情形分析

加羅板溪集水區共分割為 13 個小集水區，總面積為 2,517ha，經計算結果顯示，總沖蝕土方量為 3.94 萬 m^3，總崩塌土方量為

DOI:10.6346/NPUST202100182

66.95 萬 m^3，總土砂生產量為 70.89 萬 m^3，2010 年至 2012 年清疏土方量為 3.6 萬 m^3，故大竹溪集水區殘存土方量為 60.37 萬 m^3。

6.安朔溪子集水區土砂堆積情形分析

安朔溪集水區共分割為 21 個小集水區，總面積為 5,306ha，經計算結果顯示，總沖蝕土方量為 18.0 萬 m^3，總崩塌土方量為 25.5 萬 m^3，總土砂生產量為 43.5 萬 m^3，2010 年至 2012 年清疏土方量為 20.1 萬 m^3，故安朔溪集水區殘存土方量為 13.2 萬 m^3。

表 4-33 2012 年新武呂溪次集水區圖例說明

編號	NO. 土砂分析節點	編號	支流名稱 支流集水區	編號	鄉村聚落
1	新武呂溪出口	A01	新武呂溪野溪	A.	新武部落
2	新武呂溪支流 02 匯流處	A02	新武呂溪支流 01	B.	霧鹿村
3	新武呂溪支流 03 匯流處	A03	新武呂溪支流 02	C.	利稻村
		A04	新武呂溪支流 03		
		A05	新武呂溪主流上游		

表 4-34 2012 年太麻里溪次集水區圖例說明

編號	NO. 土砂分析節點	編號	支流名稱 支流集水區	編號	鄉村聚落
1	太麻里溪出海口	T 01	庫濃溪	A.	太麻里
2	麻里霧溪匯流處	T 02	麻利霧溪	B.	嘉蘭
3	麻利都部溪匯流處	T 03	馬奴爾溪		
4	斗里斗溪匯流處	T 04	讀吾溪		
5	太麻里溪上游匯流處	T 05	麻利都布溪		
		T 06	救國救爾溪		
		T 07	斗里斗里溪		
		T 08	太麻里溪上游支流		
		T 09	太麻里溪主流上游		

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-35 2012 年金崙溪次集水區圖例說明

編號	NO. 土砂分析節點	編號	支流名稱 支流集水區	編號	鄉村聚落
1	金崙溪出海口	G 01	金崙村旁野溪	A.	金崙
2	金崙溫泉旁野溪匯流處	G 02	金崙溫泉旁野溪	B.	歷坵
3	金崙溪上游匯流處	G 03	金崙野溪(近黃左側)		
		G 04	金崙主流上游		
		G 05	金崙支流 (都飛魯溫泉旁)		

表 4-36 2012 年大竹溪次集水區圖例說明

編號	NO. 土砂分析節點	編號	支流名稱 支流集水區	編號	鄉村聚落
1	大竹溪出海口	D01	臺坂溪與拉里巴溪	A.	大溪部落
2	臺坂溪與拉里巴溪匯流處	D02	大竹溪支流 01	B.	愛國埔
3	大竹溪支流 01 匯流處	D03	大竹溪支流 02	C.	土坂
4	大竹溪支流 03 匯流處	D04	大竹溪支流 03		
		D05	大竹溪野溪		
		D06	大竹溪主流上游		

表 4-37 2012 年加羅板溪子集水區圖例說明

編號	NO. 土砂分析節點	編號	支流名稱 支流集水區	編號	鄉村聚落
1	加羅板溪出流口	E01	加羅板溪支流 01	A.	加羅板部落
2	加羅板溪支流 01 匯流處	E02	加羅板溪支流 02		
3	加羅板溪支流 02 匯流處	E03	加羅板溪支流 03		
		E04	加羅板溪主流上游		

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-38 2012 年安朔溪子集水區圖例說明

編號	NO. 土砂分析節點	編號	支流名稱 支流集水區	編號	鄉村聚落
1	安朔溪出海口	F01	安朔溪支流 01	A.	達仁
2	阿塱衛溪匯流處	F02	安朔溪支流 02	B.	安朔
3	安朔溪支流 03 匯流處	F03	阿塱衛溪		
4	安朔溪主流上游匯流處	F04	安朔溪支流 03		
		F05	安朔溪支流 04		
		F06	安朔溪主流上游		

NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY
國立屏東科技大學

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-39 2012 年新武呂溪次集水區土砂生產運移變遷表

編號	溪流名稱 (野溪界點)	涵蓋子集水區編號	集水區總面積 (ha)	沖蝕土方量 (萬 m^3) (1)	崩塌土方量 (萬 m^3) (2)	土砂生產量 (萬 m^3) (3)=(1)+(2)	土砂流出量 (萬 m^3) (4)	清疏土方量 (萬 m^3) (5)	殘存土方量 (萬 m^3) (6)=(3)-(4)-(5)
-	新武呂溪出口處(新武)	25	2,067	116.2	7.6	123.9	105.7	-	18.2
A01	新武呂溪野溪	24	483	2.8	0.9	3.7	0.9	-	2.8
A02	新武呂溪支流 01	18~22	8,612	49.5	144.0	193.5	14.6	16.2	162.7
A03	新武呂溪支流 02(向陽)	16	2,651	74.8	143.3	218.1	12.3	-	205.8
A04	新武呂溪支流 03	4~14	7,225	215.5	983.6	1,199.2	136.2	2.1	1,060.8
A05	新武呂溪主流上游	1~3	3,651	167.0	614.3	781.3	59.7	-	721.6
輸送河段涵蓋子集水區：15、17、23			755	29.5	12.3	41.8	30.5	-	11.3
總計			25,444	655.2	1,906.1	2,561.3		18.3	2,183.1

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-40 2012 年太麻里溪次集水區土砂生產運移變遷表

編號	溪流名稱 (野溪界點)	涵蓋子集水區編號	集水區總面積 (ha)	沖蝕土方量 (萬 m^3) (1)	崩塌土方量 (萬 m^3) (2)	土砂生產量 (萬 m^3) (3)=(1)+(2)	土砂流出量 (萬 m^3) (4)	清疏土方量 (萬 m^3) (5)	殘存土方量 (萬 m^3) (6)=(3)-(4)-(5)
-	太麻里溪出海口 (介達)	25	1,854	8.6	20.2	28.8	60.2	-	3.5
B01	麻利霧溪	24	1,010	1.6	2.4	4.0	1.0	2.2	0.8
B02	馬奴爾溪	22	894	2.7	51	53.7	3.0	42.3	8.4
B03	讀吾溪	20	733	1.5	10.2	11.6	1.1	8.2	2.3
B04	麻利都布溪	18	580	3.5	147.3	150.8	3.5	52.3	95.0
B05	救國救爾溪	16	1,363	9.9	22.8	32.7	5.1	-	27.6
B06	斗里斗里溪	14	2,521	100.8	730.3	831	28.6	-	802.4
B07	太麻里溪上游支流	6~8	1,831	70.2	176.5	246.6	154.3	-	92.4
B08	太麻里溪主流上游	1~5	4,304	366.5	975.6	1,342.1	279.3	-	1,062.8
輸送河段涵蓋子集水區：9、10、12、13、15、17、19、21、23			4,110	167.9	720.8	862.2	561.4	-	372.4
總計			19,200	724.5	2,839.2	3,563.5		105.0	2,396.2

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-41 2012 年金崙溪次集水區土砂生產運移變遷表

編號	溪流名稱 (野溪界點)	涵蓋子 集水區 編號	集水區 總面積 (ha)	沖蝕 土方量 (萬 m^3) (1)	崩塌 土方量 (萬 m^3) (2)	土砂 生產量 (萬 m^3) (3)=(1)+(2)	土砂 流出量 (萬 m^3) (4)	清疏 土方量 (萬 m^3) (5)	殘存 土方量 (萬 m^3) (6)=(3)-(4)-(5)
C01	金崙村旁野溪 (金崙 05)	16	1,134	11.2	0.5	11.7	4.2	-	7.5
C02	金崙溫泉旁野溪	14	753	6.8	3.5	10.3	3.0	3.0	4.3
C03	金崙野溪 (近黃左側) (金崙 01)	12	867	5.6	153.7	159.3	2.4	38.0	118.9
C04	金崙支流(都飛魯溫泉旁)	8~10	3,144	53.8	486.9	540.7	31.3	186.6	322.8
C05	金崙主流上游	1~7	5,603	119.8	1,448.3	1,568.0	197.2	-	1,370.8
輸送河段涵蓋子集水區：11、13、15			3,524	103.6	185.6	289.2	140.5	-	148.7
總計			15,025	300.7	2,278.5	2,579.2		-	2,200.7

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-42 2012 年大竹溪次集水區土砂生產運移變遷表

編號	溪流名稱 (野溪界點)	涵蓋子集水區編號	集水區總面積 (ha)	沖蝕土方量 (萬 m^3) (1)	崩塌土方量 (萬 m^3) (2)	土砂生產量 (萬 m^3) (3)=(1)+(2)	土砂流出量 (萬 m^3) (4)	清疏土方量 (萬 m^3) (5)	殘存土方量 (萬 m^3) (6)=(3)-(4)-(5)
D01	臺坂溪與拉里巴溪 (大溪 03)	14~16	1,968	1.3	43.1	44.4	14.9	15.9	13.6
D02	大竹溪支流 01 (土坂 01)	12	664	0.6	21.5	22.0	4.8	8.6	8.7
D03	大竹溪支流 02	11	723	1.0	17.8	18.8	7.6	2.3	8.9
D04	大竹溪支流 03	10	804	1.2	76.6	77.8	7.7	30.1	40.0
D05	大竹溪野溪	6~8	1,777	2.0	86.7	88.7	20.4	-	68.3
D06	大竹溪主流上游	1~5	3,869	8.2	834.4	842.6	141.3	-	701.3
輸送河段涵蓋子集水區：9、13、17			3,464	10.1	72.8	82.9	52.0	-	30.9
總計			13,269	24.3	1,152.9	1,177.2		56.9	871.7

NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY 國立屏東科技大學

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-43 2012 年加羅板溪子集水區土砂生產運移變遷表

編號	溪流名稱 (野溪界點)	涵蓋子集水區編號	集水區總面積 (ha)	沖蝕土方量 (萬 m^3) (1)	崩塌土方量 (萬 m^3) (2)	土砂生產量 (萬 m^3) (3)=(1)+(2)	土砂流出量 (萬 m^3) (4)	清疏土方量 (萬 m^3) (5)	殘存土方量 (萬 m^3) (6)=(3)-(4)-(5)
-	加羅板出口處 (大武)	13	464	1.40	5.81	7.24	2.49	-	4.75
E01	加羅板溪支流 01	12	157	0.07	0.13	0.20	0.01	0.003	0.19
E02	加羅板溪支流 02	10	223	0.04	0.08	0.12	0.00	0.010	0.11
E03	加羅板溪支流 03	6~8	1,627	0.10	1.72	1.82	0.18	0.020	1.62
E04	加羅板溪主流 上游	1~5	1,138	0.40	51.57	51.97	1.47	3.570	46.94
輸送河段涵蓋子集水區：9、11			593	191.00	7.63	9.54	2.78	-	6.76
總計			2,517	3.94	66.95	70.89		3.600	60.37

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-44 2012 年安朔溪子集水區土砂生產運移變遷表

編號	溪流名稱 (野溪界點)	涵蓋子 集水區 編號	集水區 總面積 (ha)	沖蝕 土方量 (萬 m^3) (1)	崩塌 土方量 (萬 m^3) (2)	土砂 生產量 (萬 m^3) (3)=(1)+(2)	土砂 流出量 (萬 m^3) (4)	清疏 土方量 (萬 m^3) (5)	殘存 土方量 (萬 m^3) (6)=(3)-(4)-(5)
F01	安朔溪支流 01 (達仁)	20	229.2	0.8	2.4	3.2	0.2	2.0	1.0
F02	安朔溪支流 02 (安朔)	16~18	1,120.5	3.5	3.9	7.4	0.6	4.5	2.3
F03	阿塱衛溪 (安朔)	10~15	835.6	2.3	3.9	6.3	4.0	0.1	2.2
F04	安朔溪支流 03	8	868.5	6.0	9.2	15.2	0.5	10.8	3.9
F05	安朔溪支流 04	6	474.1	1.2	0.5	1.7	0.1	0.6	1.0
F06	安朔溪主流上游	1~5	1,138.0	1.7	3.3	5.0	0.7	2.1	2.2
輸送河段涵蓋子集水區：7、9、19、21			640.3	2.5	2.2	4.7	4.1	-	0.6
總計			5,306.1	18.0	25.5	43.5		20.1	13.2

NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY 國立屏東科技大學

DOI:10.6346/NPUST202100182

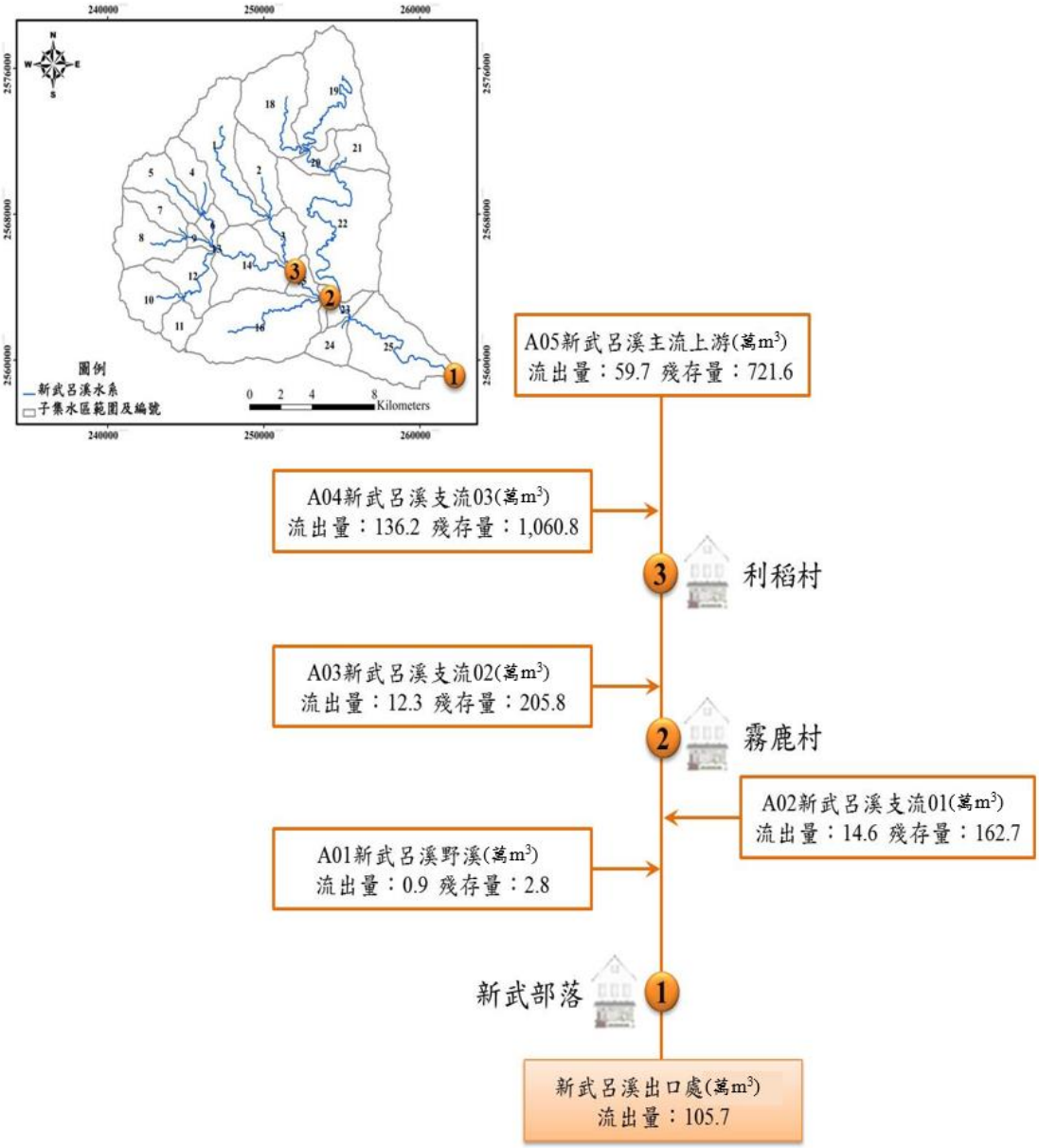


圖 4-26 2012 年天秤颱風新武呂溪次集水區土砂運移魚骨圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

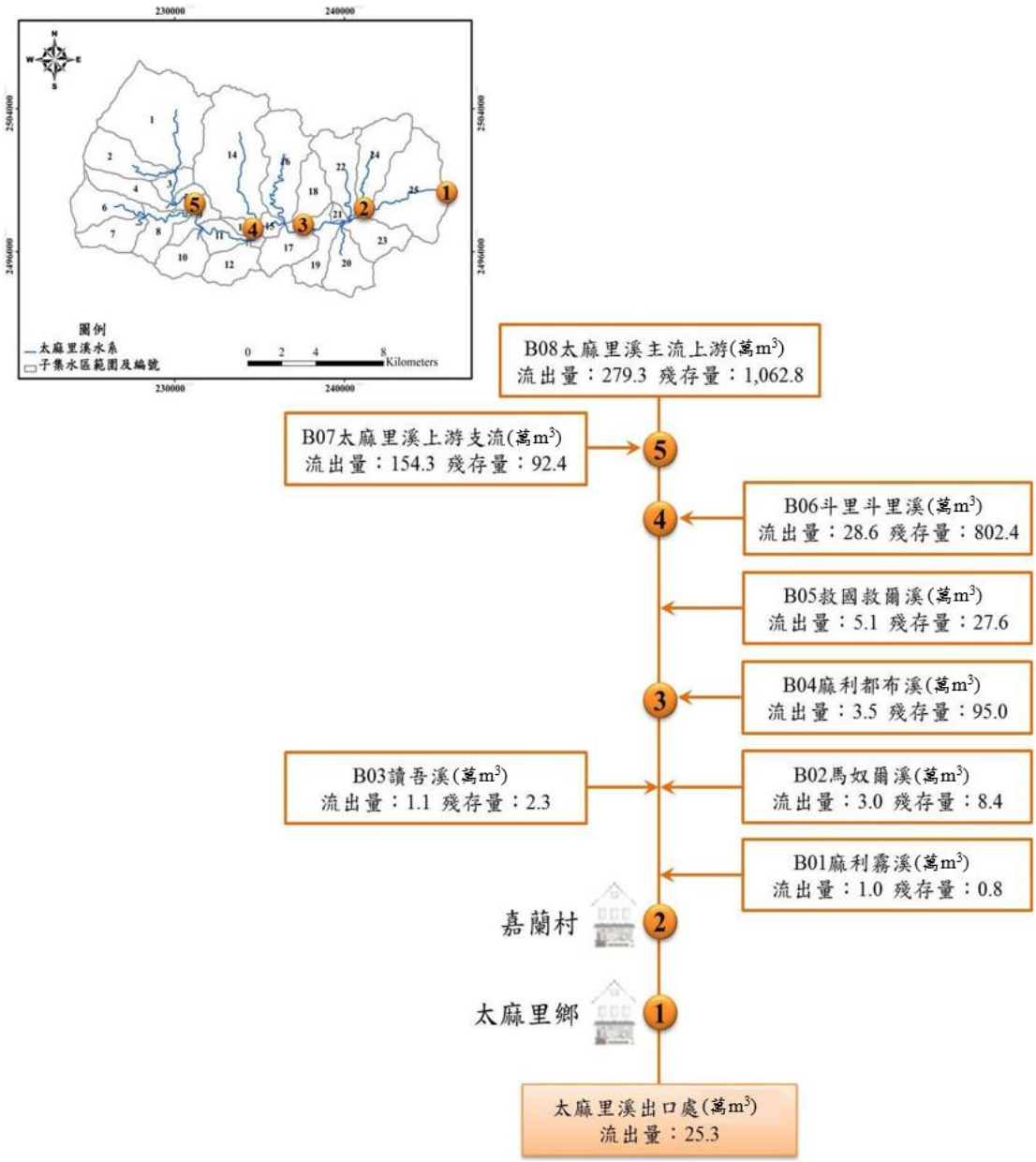


圖 4-27 2012 年天秤颱風太麻里溪次集水區土砂運移魚骨圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

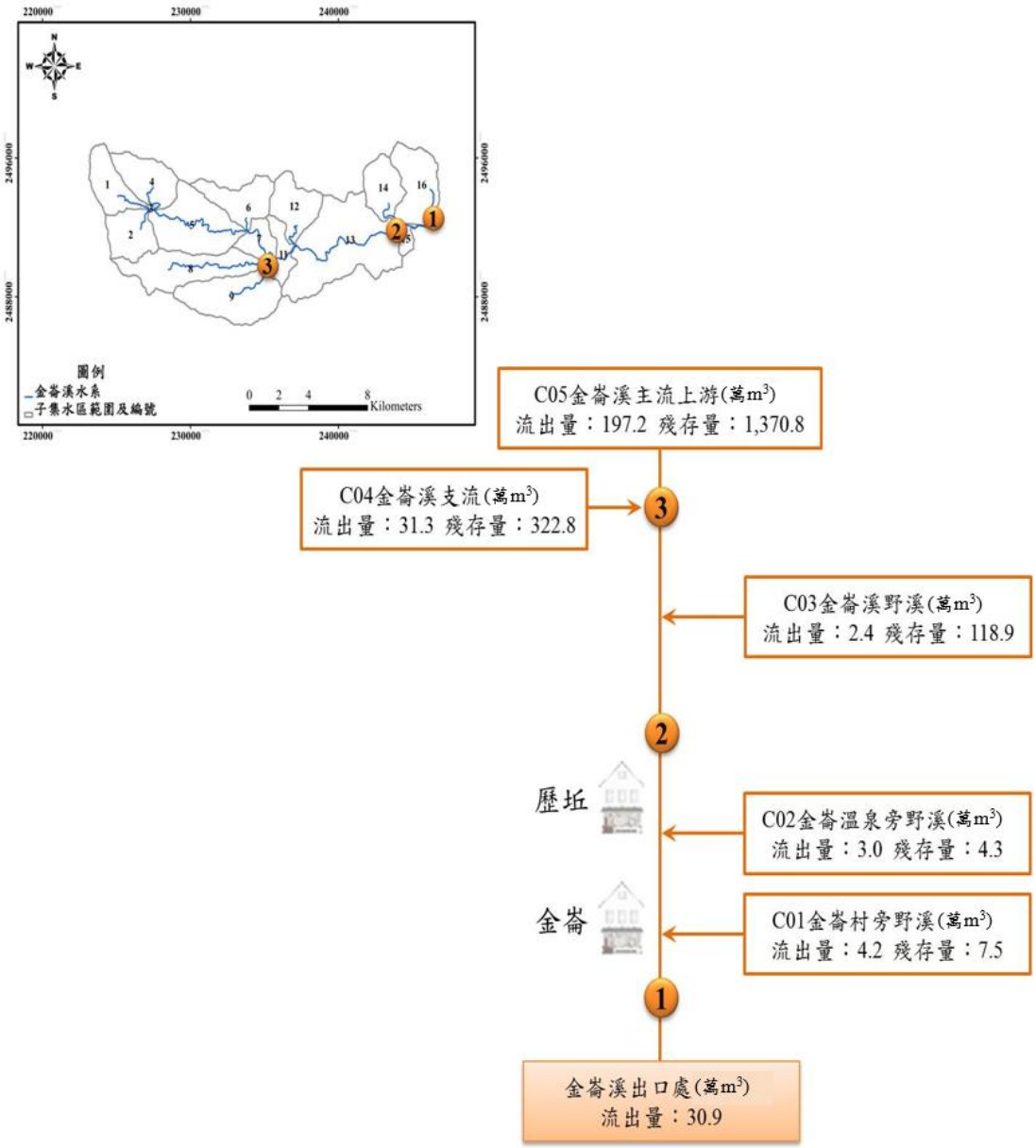


圖 4-28 2012 年天秤颱風金崙溪次集水區土砂運移魚骨圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

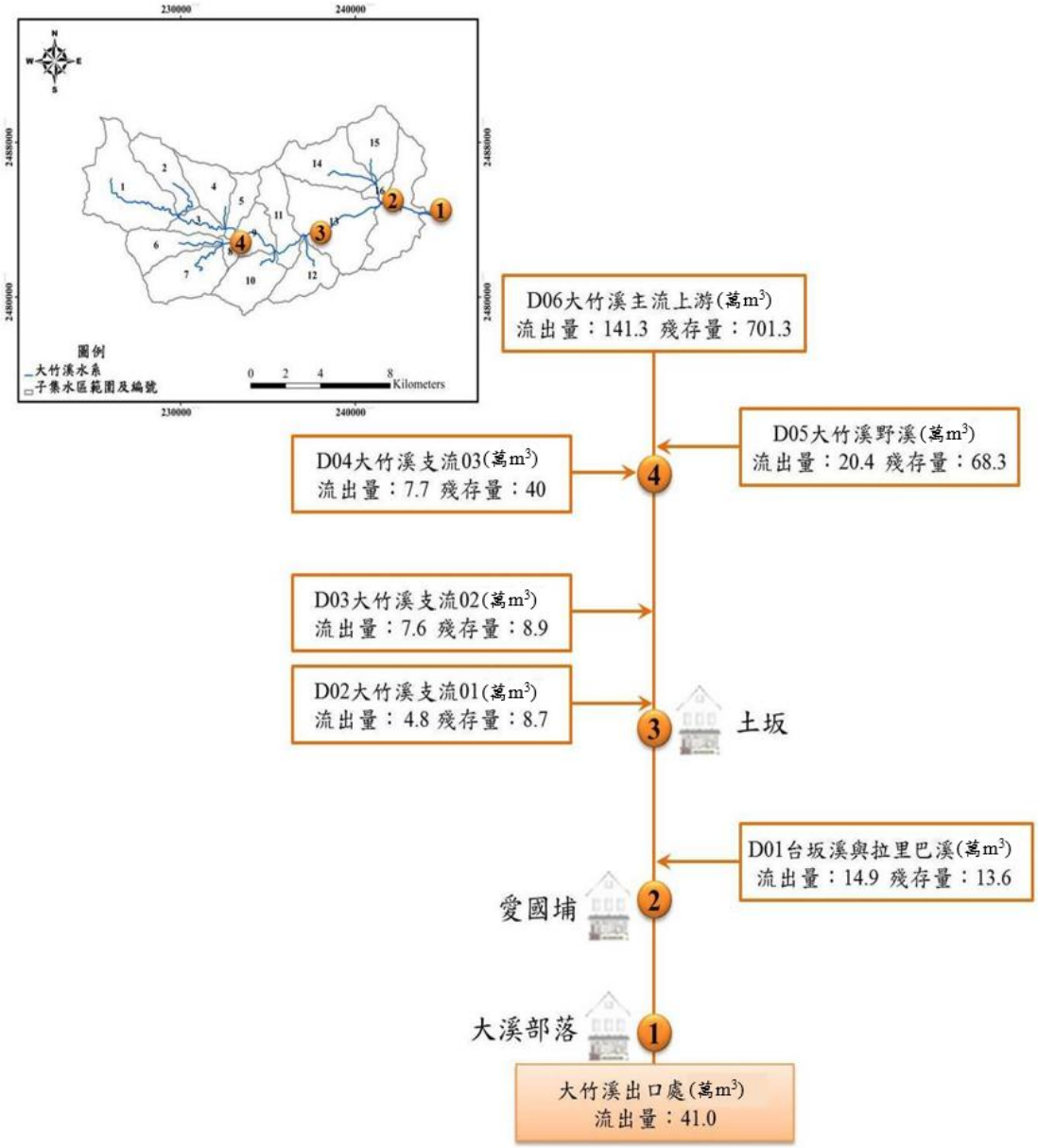


圖 4-29 2012 年天秤颱風大竹溪次集水區土砂運移魚骨圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

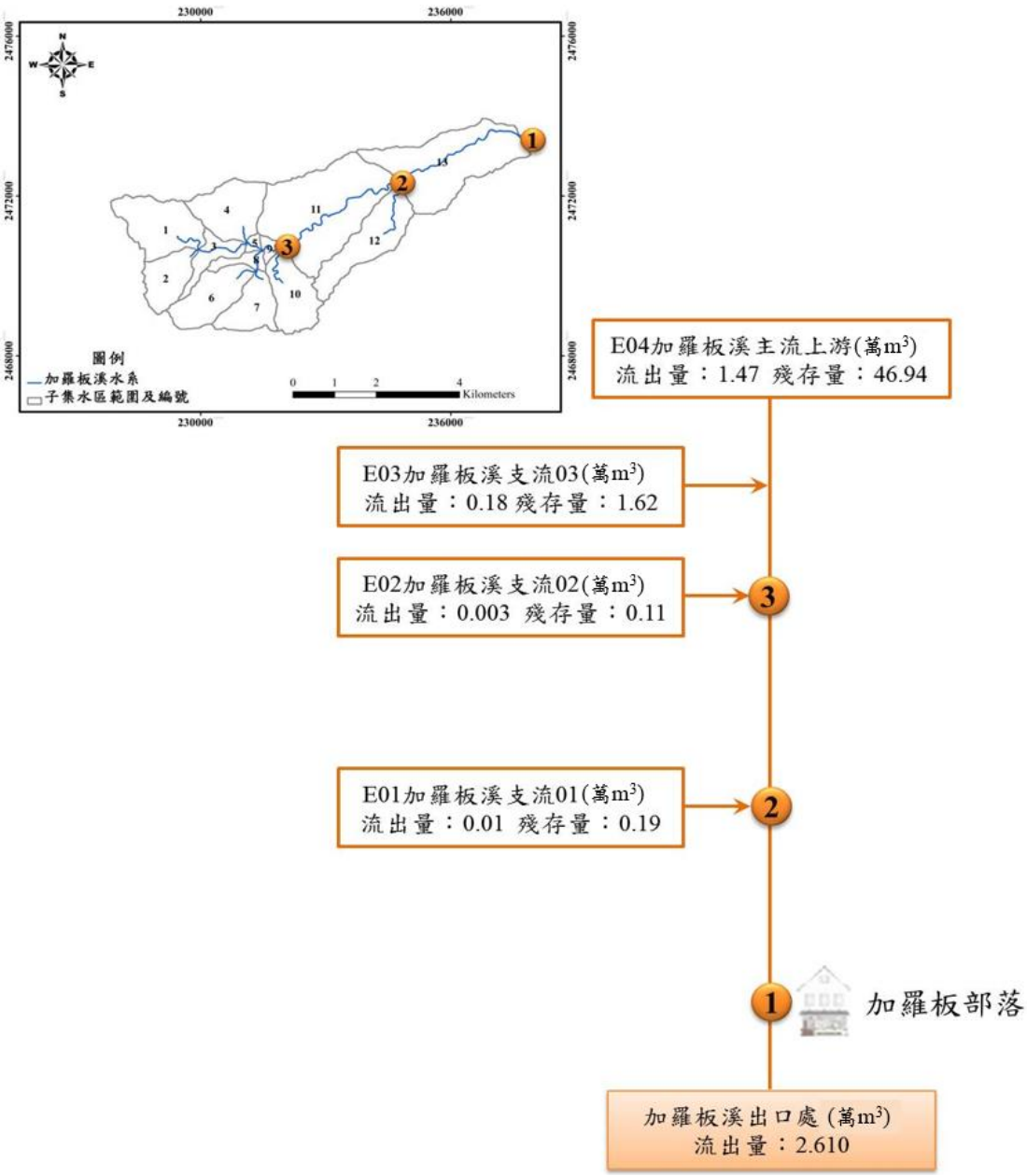


圖 4-30 2012 年天秤颱風加羅板溪子集水區土砂運移魚骨圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

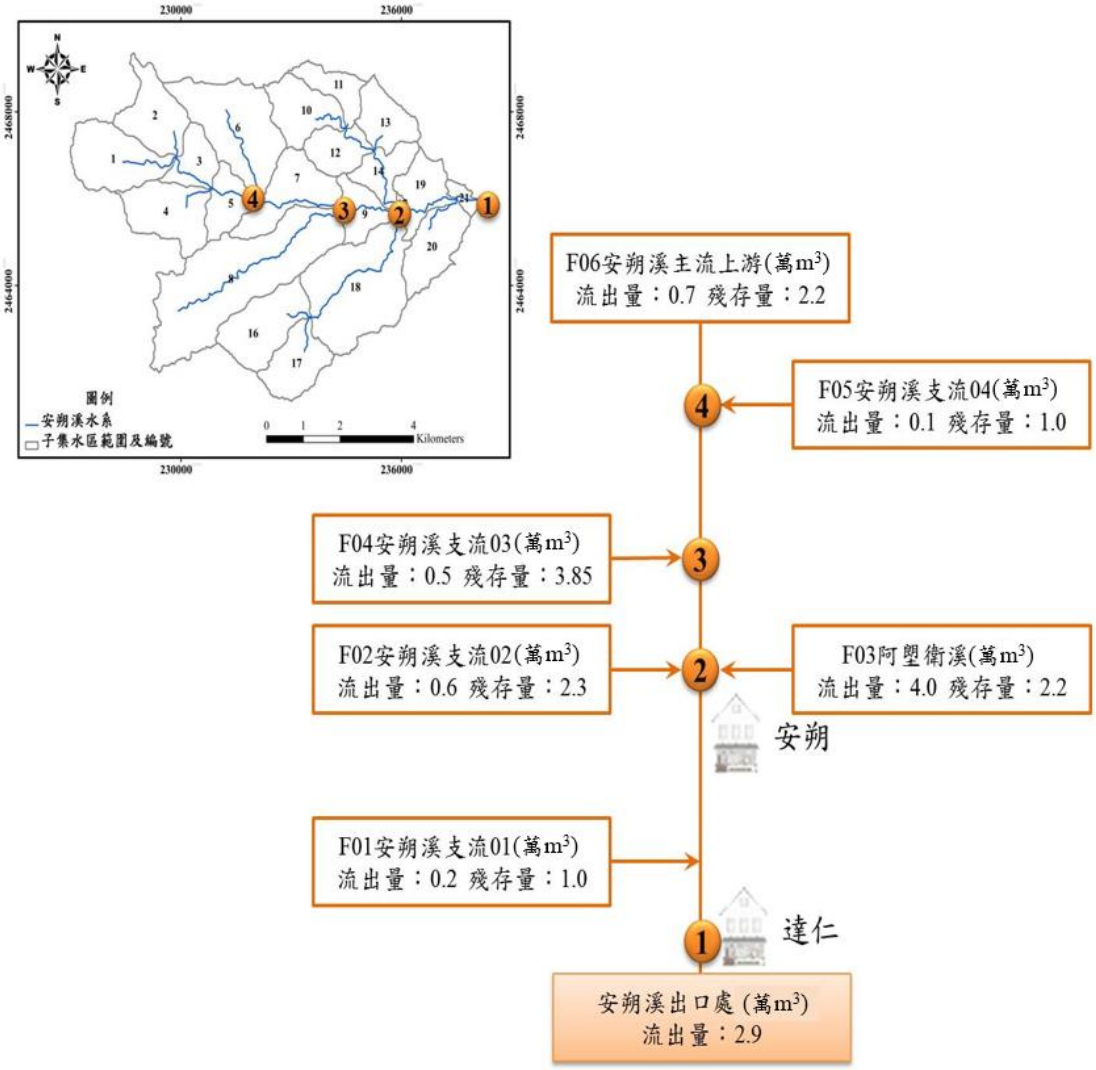


圖 4-31 2012 年天秤颱風安朔溪子集水區土砂運移魚骨圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

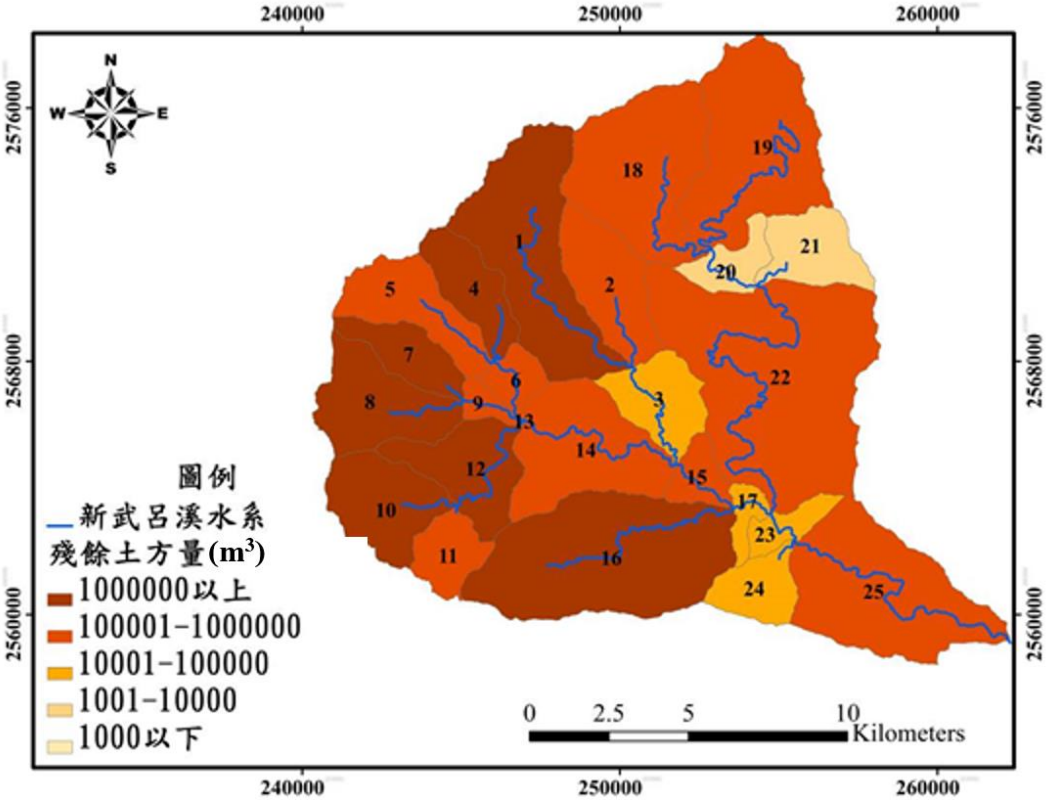


圖 4-32 2012 年新武呂溪次集水區殘餘土方量分布圖

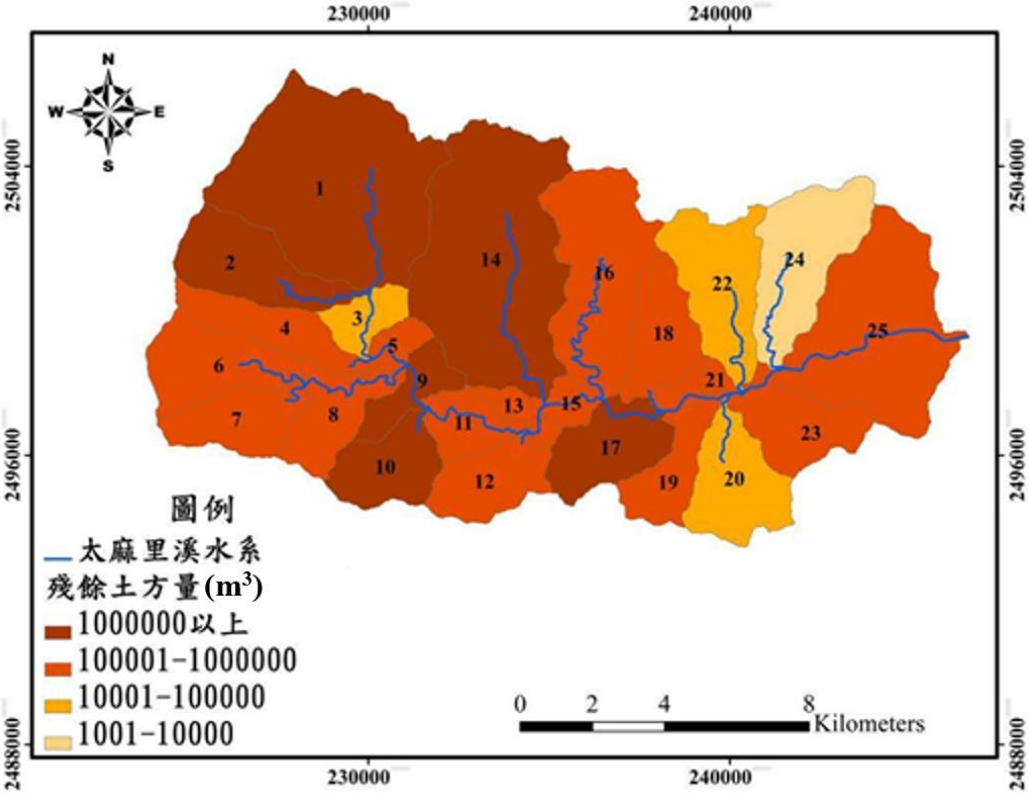


圖 4-33 2012 年太麻里溪次集水區殘餘土方量分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

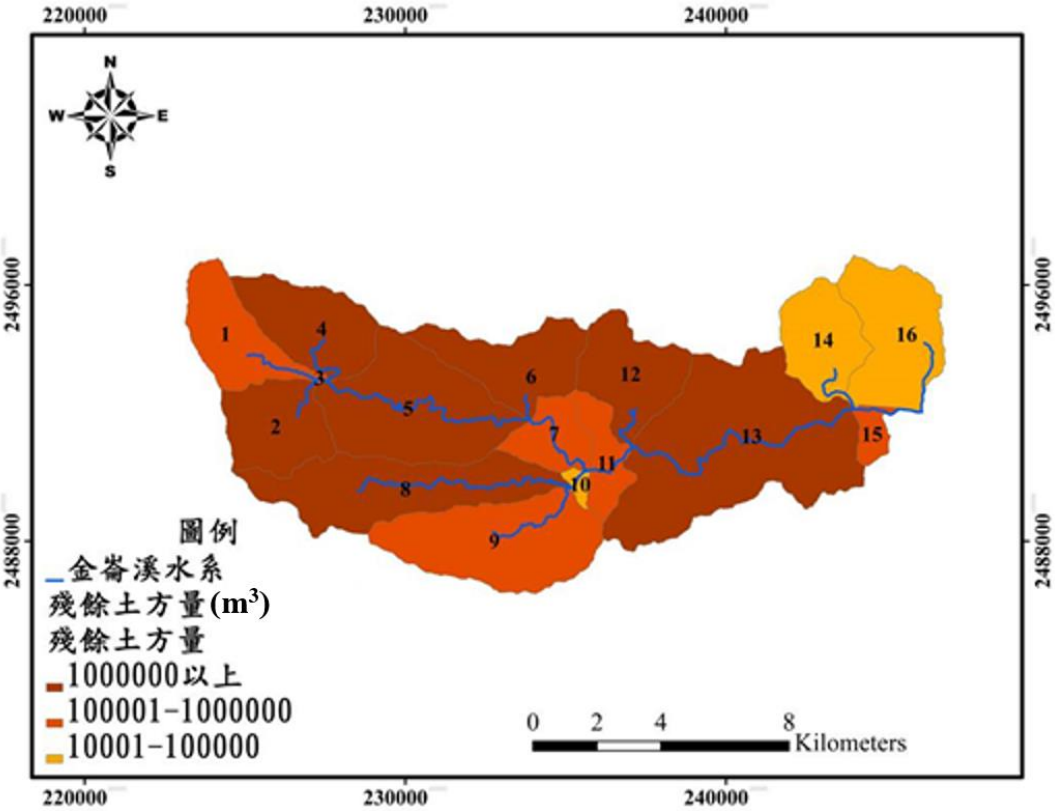


圖 4-34 2012 年金崙溪次集水區殘餘土方量分布圖

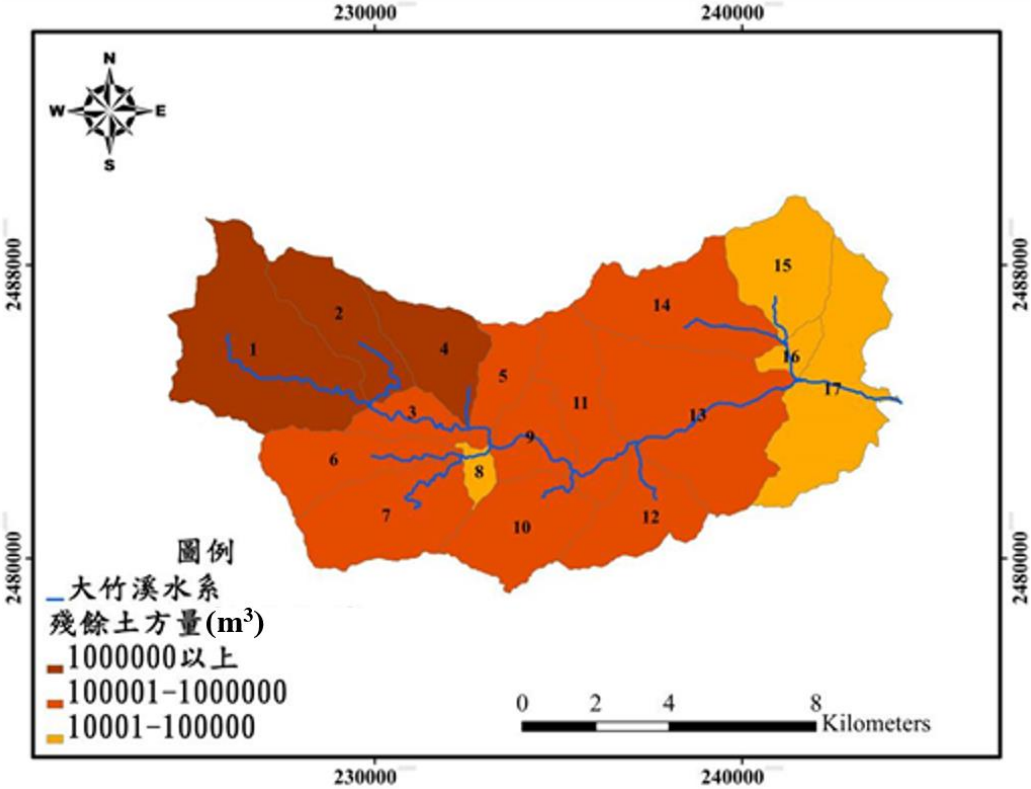


圖 4-35 2012 年大竹溪次集水區殘餘土方量分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

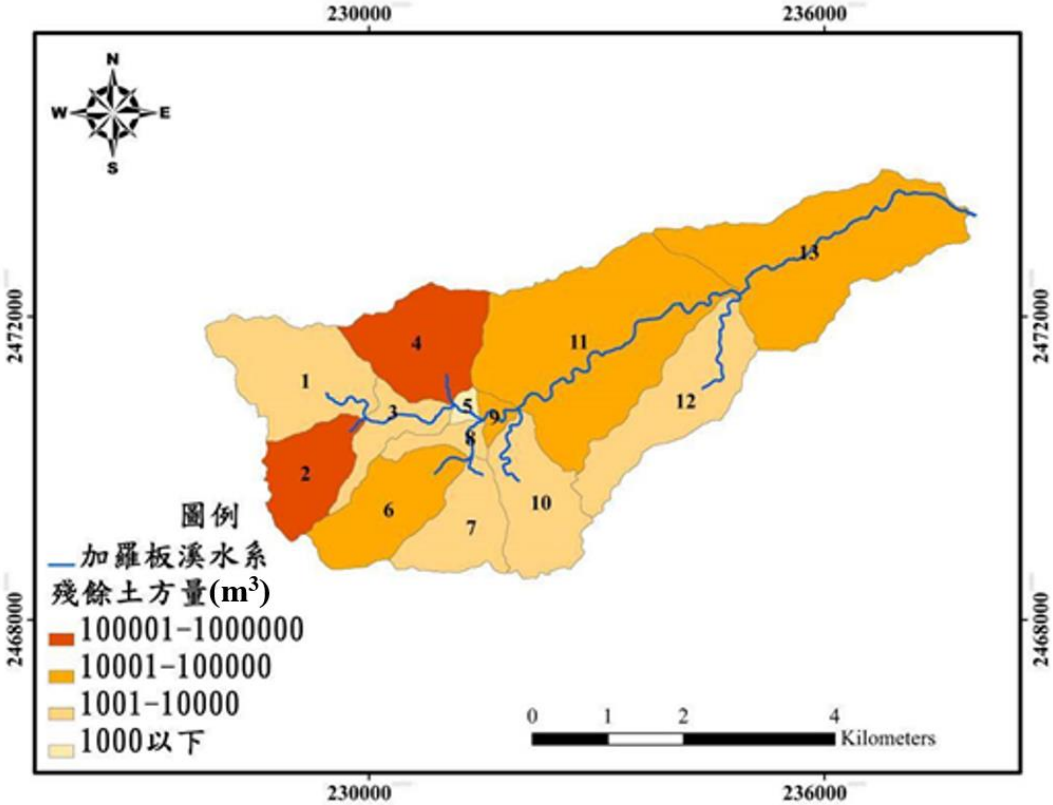


圖 4-36 2012 年加羅板溪子集水區殘餘土方量分布圖

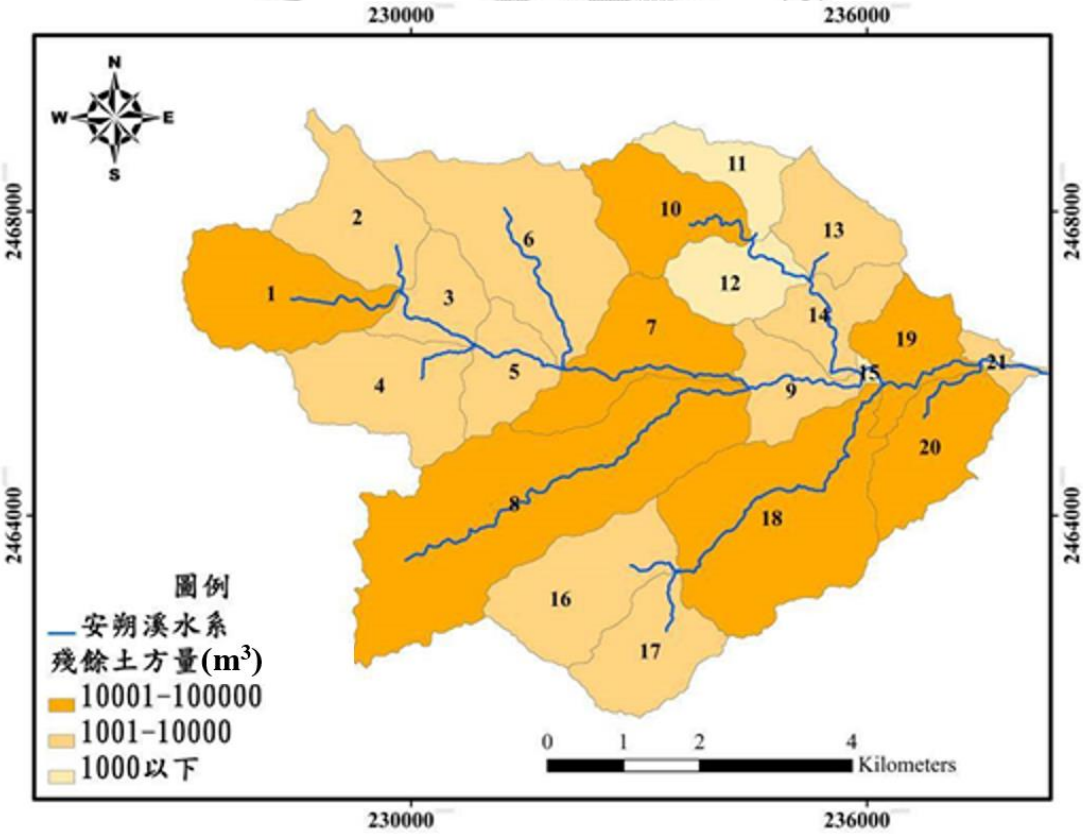


圖 4-37 2012 年安朔溪子集水區殘餘土方量分布圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

五、莫拉克災害前期與後期土砂運移探討

表 4-45~表 4-50 為太麻里溪、金崙溪、大竹溪、加羅板溪及安朔溪 2009 年莫拉克颱風後與 2012 年天秤颱風後土砂生產、運移變遷比較表。從表 4-45 中可看出，2009 年新武呂溪之總土砂生產量 2,062.0 萬 m^3，土砂總流出量為 455.1 萬 m^3，總殘存土方量為 1,606.9 萬 m^3；2012 年總土砂生產量為 2,519.7 萬 m^3，土砂總流出量為 329.4 萬 m^3，清疏土方量為 18.3 萬 m^3，總殘存土方量為 2,171.9 萬 m^3。新武呂溪整體而言，2012 年的土砂生產量皆比 2009 年多。此外，新武呂溪經過三年的清疏工程後，目前的殘存量在各溪流幾乎都比 2009 年多，主要是因為 2012 年所產生之土砂總量較 2009 年多 457.7 萬 m^3 的土砂，但總土砂流出量卻少 125.7 萬 m^3，導致 2012 年河道殘存土方量較 2009 年多。

從表 4-46 中可看出，2009 年太麻里溪主要各支流之總土砂生產量為 3,807.8 萬 m^3，土砂總流出量為 232.3 萬 m^3，總殘存土方量為 3,574,7 萬 m^3；2012 年總土砂生產量為 2,672.5 萬 m^3，土砂總流出量為 475.9 萬 m^3，清疏土方量為 105.0 萬 m^3，總殘存土方量為 2,091.7 萬 m^3。太麻里溪整體而言，2012 年的土砂生產量幾乎皆比 2009 年少，僅有麻利都布溪和馬奴爾溪地比 2009 年多。此外，太麻里溪經過三年清疏工程後，目前的殘存量在各溪流幾乎都比 2009 年少，僅有麻利都布溪較 2009 年多。

從表 4-47 中可看出，2009 年金崙溪主要各支流之總土砂生產量為 3,233.7 萬 m^3，土砂總流出量為 110.4 萬 m^3，總殘存土方量為 3,123.0 萬 m^3；2012 年總土砂生產量為 2,290.0 萬 m^3，土砂總流出量為 238.1 萬 m^3，清疏土方量為 227.6 萬 m^3，總殘存土方量為 1,824.3 萬 m^3。金崙溪在 2012 年的土砂生產量都比 2009 年少，殘存土方量僅有麻利都布溪 2012 年的量比 2009 年多，其他溪流都較 2009 年少。

表 4-48 中可看出，2009 年大竹溪主要各支流之總土砂生產量為 917.9 萬 m^3，土砂總流出量為 89.3 萬 m^3，總殘存土方量為 901.6 萬 m^3；2012 年總土砂生產量為 1,005.6 萬 m^3，土砂總流出量為 176.3 萬 m^3，清疏土方量為 56.9 萬 m^3，總殘存土方量為 772.5 萬 m^3。由於大竹溪在這三年，崩塌地面積從 2009 年莫拉克颱風後為 593.16ha 至現在增加為

DOI:10.6346/NPUST202100182

782.54ha，崩塌率從原本 4.47%上升至目前為 5.9%，且崩塌主要分布於主流上游地區，此為造成大竹溪集水區上游土砂生產量變多的主因。

表 4-49 中可看出，2009 年加羅板溪之總土砂生產量為 72.6 萬 m^3，土砂總流出量為 15.6 萬 m^3，總殘存土方量為 88.6 萬 m^3；2012 年總土砂生產量為 70.9 萬 m^3，土砂總流出量為 2.5 萬 m^3，清疏土方量為 3.6 萬 m^3，總殘存土方量為 64.8 萬 m^3。

表 4-45 新武呂溪次集水區 2009 年莫拉克颱風與 2012 年天秤颱風後土砂生產運移變遷比較

溪流名稱	2009 年莫拉克颱風後			2012 年天秤颱風後			
	土砂生產量 (萬 m^3)	土砂流出量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)	土砂生產量 (萬 m^3)	土砂流出量 (萬 m^3)	清疏土方量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)
新武呂溪出口處(新武)	88.3	80.1	8.2	123.9	105.7	-	18.2
新武呂溪野溪	1.6	0.3	1.3	3.7	0.9	-	2.8
新武呂溪支流 01	232.1	84.1	148.1	193.5	14.6	16.2	162.7
新武呂溪支流 02(向陽)	177.3	9.1	168.2	218.1	12.3	-	205.8
新武呂溪支流 03	876.4	157.3	719.1	1,199.2	136.2	2.1	1,060.8
新武呂溪主流上游	686.3	124.2	562.0	781.3	59.7	-	721.6
合計	2,062	455.1	1,606.9	2519.7	329.4	18.3	2,171.9
						殘存土方差異	+565

從表 4-50 中可看出，2009 年安朔溪主要各支流之總土砂生產量為 36.8 萬 m^3，土砂總流出量為 26.9 萬 m^3，總殘存土方量為 89.5 萬 m^3；2012 年總土砂生產量為 33.8 萬 m^3，土砂總流出量為 6.1 萬 m^3，清疏土方量為 15.6 萬 m^3，總殘存土方量為 12.1 萬 m^3。在 2012 年的土砂生產量都比 2009 年來的少，僅有阿塱衛溪、安朔溪支流 01(達仁)野溪較 2012 年的量多。目前主要溪流之殘存量也減少很多。

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-46 太麻里溪次集水區 2009 年莫拉克颱風與 2012 年天秤颱風後土砂生產運移變遷比較

溪流名稱	2009 年莫拉克颱風後			2012 年天秤颱風後			
	土砂生產量 (萬 m^3)	土砂流出量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)	土砂生產量 (萬 m^3)	土砂流出量 (萬 m^3)	清疏土方量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)
麻利霧溪	14.7	7.4	7.3	4.0	1.0	2.2	0.8
馬奴爾溪	49.2	8.1	41.1	53.7	3.0	42.3	8.4
讀吾溪	39.0	7.3	31.7	11.6	1.1	8.2	2.3
麻利都布溪	57.5	14.2	43.3	150.8	3.5	52.3	95.0
救國救爾溪	69.7	12.7	57.0	32.7	5.1	-	27.6
斗里斗里溪	1,235.0	46.9	1,188.0	831.0	28.6	-	802.4
太麻里溪上游支流	484.7	101.3	383.3	246.6	154.3	-	92.4
太麻里溪主流上游	1,858.0	34.4	1,823.0	1,342.1	279.3	-	1,062.8
合計	3,807.8	232.3	3,574.7	2672.5	475.9	105	2,091.7
						殘存土方差異	-1,483

國立屏東科技大學 NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-47 金崙溪次集水區 2009 年莫拉克颱風與 2012 年天秤颱風後土砂生產運移變遷比較

溪流名稱	2009 年莫拉克颱風後			2012 年天秤颱風後			
	土砂生產量 (萬 m^3)	土砂流出量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)	土砂生產量 (萬 m^3)	土砂流出量 (萬 m^3)	清疏土方量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)
金崙村旁野溪	13.5	10.2	3.3	11.7	4.2	-	7.5
金崙溫泉旁野溪	29.1	17.3	11.8	10.3	3.0	3.0	4.3
金崙野溪(近黃左側)	232.9	28.4	204.5	159.3	2.4	38.0	118.9
金崙支流(都飛魯溫泉旁)	773.2	31.8	741.4	540.7	31.3	186.6	322.8
金崙主流上游	2,185.0	22.7	2,162	1,568.0	197.2	-	1,370.8
合計	3,233.7	110.4	3,123	2,290	238.1	227.6	1,824.3
						殘存土方差異	-1298.7

表 4-48 大竹溪次集水區 2009 年莫拉克颱風與 2012 年天秤颱風後土砂生產運移變遷比較

溪流名稱	2009 年莫拉克颱風後			2012 年天秤颱風後			
	土砂生產量 (萬 m^3)	土砂流出量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)	土砂生產量 (萬 m^3)	土砂流出量 (萬 m^3)	清疏土方量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)
大竹溪主流上游	772.2	7.4	787.2	842.6	141.3	-	701.3
大竹溪支流 03	57.4	17.9	54.0	77.8	7.7	30.1	40.0
大竹溪支流 02	63.1	40.7	25.0	18.8	7.6	2.3	8.9
大竹溪支流 01 (土坂 01)	24.8	17.9	11.4	22.0	4.8	8.6	8.7
臺坂溪與拉里巴溪 (大溪 03)	0.4	5.4	24.0	44.4	14.9	15.9	13.6
合計	917.9	89.3	901.6	1,005.6	176.3	56.9	772.5
						殘存土方差異	-129.1

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-49 加羅板溪子集水區 2009 年莫拉克颱風與 2012 年天秤颱風後土砂生產運移變遷比較

溪流名稱	2009 年莫拉克颱風後			2012 年天秤颱風後			
	土砂生產量 (萬 m^3)	土砂流出量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)	土砂生產量 (萬 m^3)	土砂流出量 (萬 m^3)	清疏土方量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)
加羅板溪	72.6	15.6	88.6	70.9	2.5	3.6	64.8

表 4-50 安朔溪子集水區 2009 年莫拉克颱風與 2012 年天秤颱風後土砂生產運移變遷比較

溪流名稱	2009 年莫拉克颱風後			2012 年天秤颱風後			
	土砂生產量 (萬 m^3)	土砂流出量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)	土砂生產量 (萬 m^3)	土砂流出量 (萬 m^3)	清疏土方量 (萬 m^3)	殘存土方量 (萬 m^3)
達仁溪上游	12.5	6.4	30.6	9.1	1.4	2.7	5.0
達仁溪上游支流	21.0	9.9	20.3	15.2	0.5	10.8	3.9
阿塱衛溪	1.7	7.8	8.8	6.3	4.0	0.1	2.2
安朔溪支流 01 (達仁)	1.6	2.8	29.8	3.2	0.2	2.0	1.0
合計	36.8	26.9	89.5	33.8	6.1	15.6	12.1
						殘存土方差異	-77.4

DOI:10.6346/NPUST202100182

六、 現地土砂調查

上游集水區土砂調查，除了模式分析之外，還配合現地調查來檢視模式分析是否合理，上游集水區土砂調查，其土砂淤積較嚴重地區如下：

(一)新武呂溪流域現地土砂情形

新武呂溪流域位於臺東縣北側海端鄉，全流域面積約為66,776ha。本集水區由下游至上游，共分為海端、新武、向陽等三個子集水區。其野溪治理界點位於新武呂溪與大崙溪匯流口，新武橋以上較大型支流由下游至上游依序為：大崙溪、馬里蘭溪、利稻溪、馬斯博爾溪、哈里博松溪，而重要的交通要道，由下游至上游分別為：初來橋、新武橋、霧鹿橋、利稻橋，為現地調查的重要點位。

初來橋，位於臺20線，卑南溪與新武呂溪匯流口，此河段河道深度約有3m，平均河道寬度約有500 m，土砂淤積深度至少有5m以上，雖有土砂淤積，由於位於河川下游匯流口，河道斷面相當寬敞，通洪斷面尚無不良，但已呈現回淤以致影響上游河段淤積現象，現地調查情形，如圖4-39點位1。

新武橋，位於臺20線，新武社區北方，新武呂溪與大崙溪匯流口，此河段河道深度約有30m，平均河道寬度約有60 m，土砂淤積深度至少有10m以上，雖有大量土砂淤積，由於位於峽谷地形，因此此河段能有很深的河道深度，目前通洪斷面尚足夠，而保全對象僅有重要交通橋梁，因此無大量清疏需求，現地調查情形，如圖4-39點位2。

霧鹿橋，位於臺20線，利稻溪與馬里蘭溪匯流口，天龍飯店旁，此河段河道深度約有30m，平均河道寬度約有20 m，土砂淤積深度至少有15m以上，雖有大量土砂淤積，由於位於峽谷地形，因此此河段能有很深的河道深度，目前通洪斷面尚足夠，保全對象僅有重要交通橋梁，因此無大量清疏需求，現地調查情形，如圖4-39點位3。

利稻橋，位於臺20線，為哈里博松溪與馬斯伯爾溪之匯流口，為進入利稻村之要道，此河段河道深度約有30m，平均河道寬度約

DOI:10.6346/NPUST202100182

有 40 m，土砂淤積深度至少有 15m 以上，雖有大量土砂淤積，由於位於峽谷地形，因此能此此河段能有很深的河道深度，目前通洪斷面尚足夠，保全對象僅有重要交通橋梁，現地調查情形，如圖 4-39 點位 4。

新武呂溪流域崩塌面積約為 1,366.94ha，主要大型崩塌地有二處，第一處大型崩塌地位於主流段新武呂溪上游盡頭，崩塌面積約為 51ha，第二處大型崩塌位於哈里博松溪上游盡頭，崩塌面積約為 20ha，新武呂溪並無特別之堆沙段，崩塌土砂大致分佈於主支流匯流口及平均分布於新武呂溪河道之中。

新武呂溪流域，自野溪治理界點上游：包括新武橋、霧鹿橋、利稻橋等區，土砂淤情形仍然嚴重，土砂淤積深度至少有 10m 以上，但由於位於峽谷地形，通洪斷面尚足夠，重要的保全之對象除了公路之外，並無其他保全對象，因此暫時無太大之清疏需求，調查點位圖如圖 4-38。

國立屏東科技大學 NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

DOI:10.6346/NPUST202100182

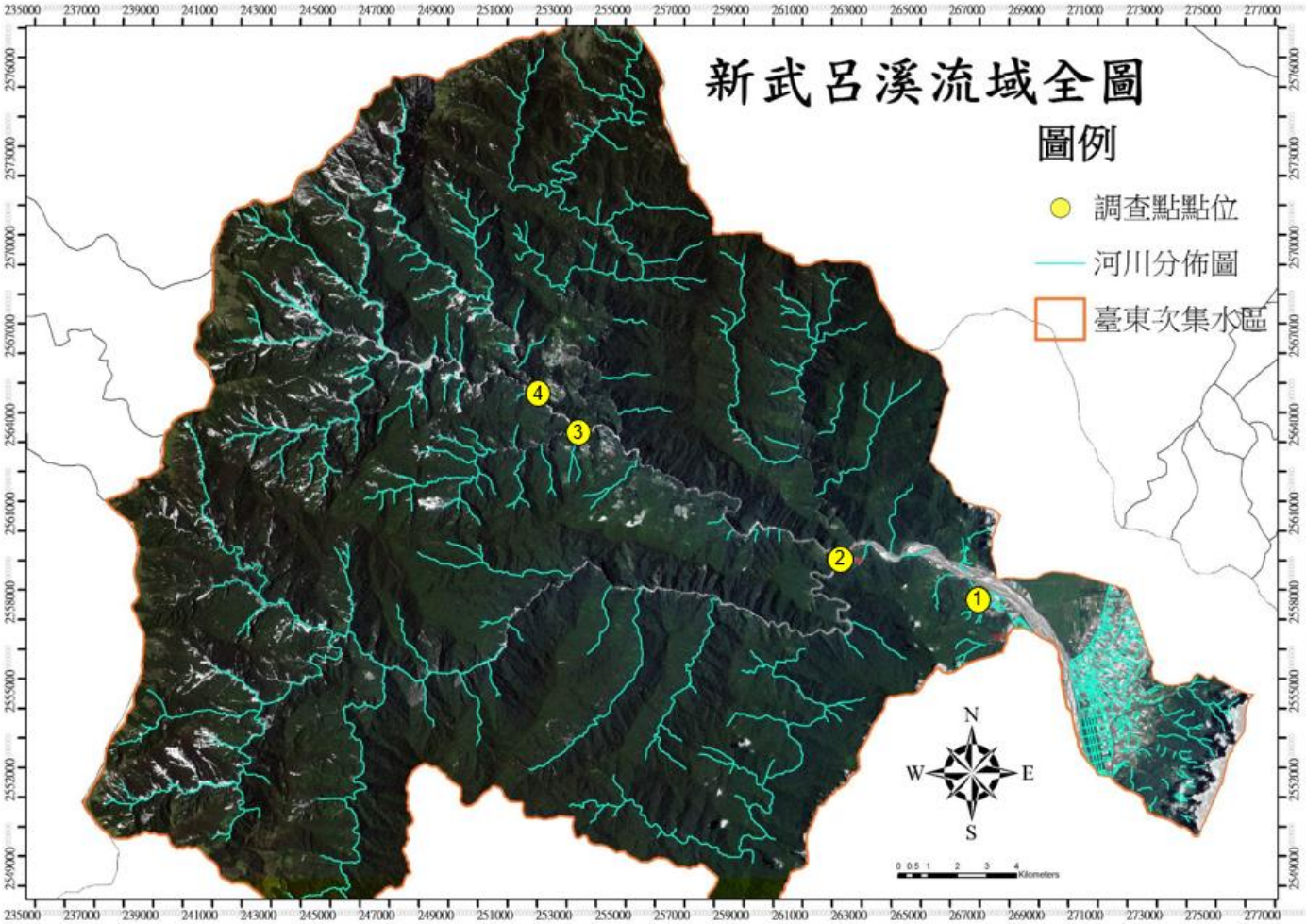


圖 4-38 新武呂溪流域全圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

01 照片點位 4，新武呂溪利稻橋面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/04/09

02 照片點位 3，新武呂溪霧鹿橋面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/08

03 照片點位 3，新武呂溪霧鹿橋面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/08

04 照片點位 3，新武呂溪霧鹿橋面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/08

05 照片點位 2，新武呂溪新武橋面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/08

06 照片點位 2，新武呂溪新武橋面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/08

07 照片點位 1，新武呂溪初來橋面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/08

08 照片點位 1，新武呂溪新武橋面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/08

圖 4-39 2012 年新武呂溪土砂現地調查照片

DOI:10.6346/NPUST202100182

(二)太麻里溪流域現地土砂情形

太麻里溪流域位於臺東縣南側金峰鄉，全流域面積約為23,066ha。本集水區由下游至上游，共分為太麻里、庫濃溪、介達、比魯等四個子集水區。野溪治理界點位於金峰鄉嘉蘭橋，嘉蘭橋以上較大型支流由下游至上游依序為：麻利霧溪、馬奴爾溪、達巴拉頓溪、讀吾溪、地那巴蘭溪、麻利都部溪、提那巴蘭溪、補拉米溪、救國就爾溪、斗里斗里溪。

現地土砂調查部分，大略可以將太麻里溪分為，主流段：太麻里溪嘉蘭橋至麻利霧溪匯流口主流段、馬努爾溪匯流口至斗里斗里溪匯流口主流段，包盛社堰塞湖上游主流段，支流以麻利都部溪、斗里斗里溪兩條上游崩塌較嚴重之支流為調查目標。

太麻里溪嘉蘭橋至麻利霧溪匯流口之主流段：此河段為較靠近嘉蘭村之河段，為 2009~2012 年野溪清疏之主要清疏河段，此河段河道深度約有 15m 以上，平均河道寬度約有 60 m，最狹窄之河道寬度則約有 40m，土砂淤積深度至少有 5m 以上，經過 2009~2012 年的清疏工程後，目前河川已有下切現象，且溪床斷面呈現拋物線型，通洪狀態良好，目前通洪斷面尚足夠，現地調查情形，如圖 4-41 點位 1~4。

馬努爾溪匯流口至斗里斗里溪匯流口主流段：此河段河道深度約有 15m 以上，平均河道寬度約有 300 m，最狹窄之河道寬度則約有 40m，最寬敞之河道寬度則約有 600m 以上，土砂淤積深度至少有 15m 以上。此河段為淤砂較嚴重之河段，共有三處較大之堆砂段分別為馬奴爾溪與太麻里溪匯流口堆沙段(圖 4-42 點位 5、6)、麻里都部溪與太麻里溪匯流口堆砂段(圖 4-42 點位 7)、斗里斗里溪與太麻里溪匯流口堆砂段(圖 4-43、圖 4-44 點位 10~13)。

馬奴爾溪與太麻里溪匯流口堆沙段，堆沙面積約有 80ha，平均河道寬度約在 350m 以上，最寬處達 580m 以上，土砂淤積深度至少大於 15m 以上，如圖 4-42 點位 5、6 所示。麻里都部溪與太麻里溪匯流口堆沙段，堆沙面積約有 50ha，平均河道寬度約在 300m 以上，最寬處達 500m 以上，土砂淤積深度至少大於 15m 以上，如圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

4-42 點位 7 所示，斗里斗里溪與太麻里溪匯流口，堆沙面積約有 30ha，平均河道寬度約在 400m 以上，土砂淤積深度至少大於 15m 以上，如圖 4-43、圖 4-44 點位 10~13 所示。

包盛社堰塞湖上游主流段，為土砂淤積最嚴重之河段，此主流段上方最大崩塌地面積約有 286.3ha，由於溪水湍急，無法進入調查，匯流口照片如圖 4-43 點位 11 所示。

支流斗里斗里溪，為土砂崩塌較嚴重之支流，此河段河道深度約有 30m 以上，平均河道寬度約在 200m 以上，最狹窄段河道寬度至少還有 100m，平均河道深度在 30m 以上，斗里斗里溪上游盡頭，有一大型崩塌地，面積約為 81.3ha，如圖 4-43~圖 4-45 點位 12~20。

支流麻利都部溪，為土砂崩塌較嚴重之支流，此河段河道深度約有 15m 以上，平均河道寬度約有 150 m，其主支流匯流口，也因 88 風災的影響，河道寬度擴張到 700m 以上，土砂淤積深度至少有 15m 以上，麻里都部溪上游盡頭，有一大型崩塌地，面積約為 98.2ha，如圖 4-46 點位 21~24。

太麻里溪流域，太麻里溪嘉蘭橋至麻利霧溪匯流口之主流段，土砂淤積已逐漸受到控制，而馬努爾溪匯流口上游主流段，土砂淤情形仍然嚴重，土砂淤積深度至少有 15m 以上，但由於位於峽谷地形，通洪斷面尚足夠，上游處並無重要之保全對，因此暫時無太大之清疏需求，調查點位圖如圖 4-40。

DOI:10.6346/NPUST202100182

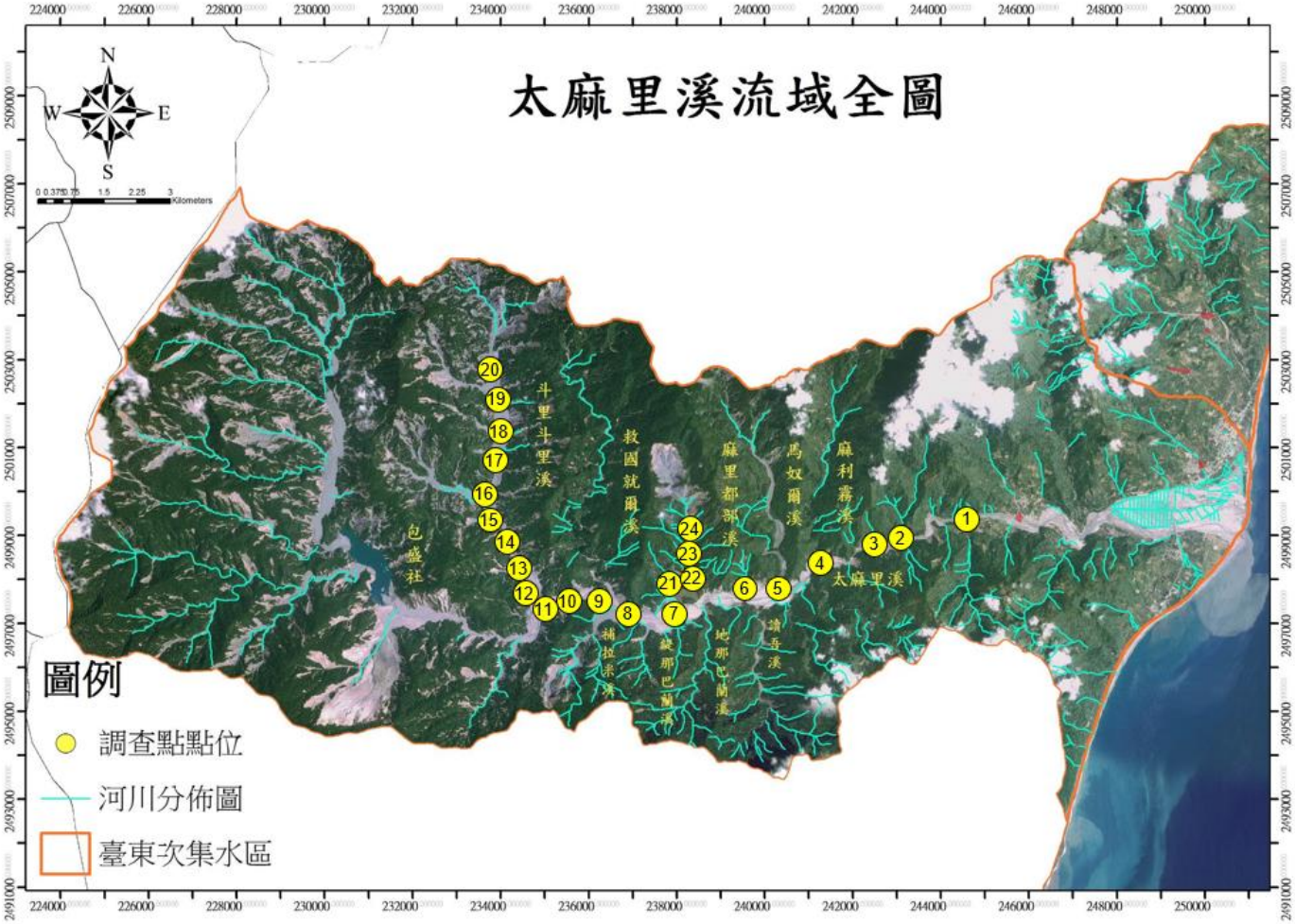


圖 4-40 太麻里溪流域全圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

01 照片點位 1，太麻里溪主流嘉蘭橋段面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/30

02 照片點位 1，太麻里溪主流嘉蘭橋段面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/30

03 照片點位 2，太麻里溪主流段面向上游拍攝照片。拍攝時間：2011/12/24

04 照片點位 2，太麻里溪主流段面向下游拍攝照片。拍攝時間：2011/12/24

05 照片點位 3，太麻里溪主流段面向上游拍攝照片。拍攝時間：2011/12/24

06 照片點位 3，太麻里溪主流段面向下游拍攝照片。拍攝時間：2011/12/24

07 照片點位 4，太麻里溪主流與支流麻利霧溪匯流口面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

08 照片點位 4，太麻里溪主流與支流麻利霧溪匯流口面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

圖 4-41 2012 年太麻里溪土砂現地調查照片(1/6)

DOI:10.6346/NPUST202100182

09 照片點位 5，太麻里溪主流與支流瑪奴爾溪匯流口面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

10 照片點位 5，太麻里溪主流與支流瑪奴爾溪匯流口面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

11 照片點位 6，太麻里溪主流與支流達巴拉頓溪匯流口面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

12 照片點位 6，太麻里溪主流與支流達巴拉頓溪匯流口面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

13 照片點位 7，太麻里溪主流與支流麻里都部溪匯流口面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

14 照片點位 7，太麻里溪主流與支流麻里都部溪匯流口面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

15 照片點位 8，太麻里溪主流段與林班地之界點面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

16 照片點位 8，太麻里溪主流段與林班地之界點面向下游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

圖 4-42 2012 年太麻里溪土砂現地調查照片(2/6)

DOI:10.6346/NPUST202100182

17 照片點位 9，太麻里溪主流與支流救國救爾溪匯流口面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

18 照片點位 9，太麻里溪主流與支流救國救爾溪匯流口面向下游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

19 照片點位 10，太麻里溪主流段面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/27

20 照片點位 10，太麻里溪主流段面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/27

21 照片點位 11，太麻里溪主流與支流斗里斗里溪匯流口面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

22 照片點位 11，太麻里溪主流與支流斗里斗里溪匯流口面向下游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

23 照片點位 12，太麻里溪支流斗里斗里溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

24 照片點位 12，太麻里溪支流斗里斗里溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

圖 4-43 2012 年太麻里溪土砂現地調查照片(3/6)

DOI:10.6346/NPUST202100182

25 照片點位 13，太麻里溪支流斗里斗里溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

26 照片點位 13，太麻里溪支流斗里斗里溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

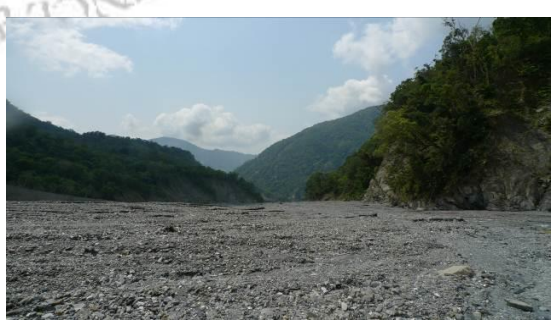
27 照片點位 14，太麻里溪支流斗里斗里溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

28 照片點位 14，太麻里溪支流斗里斗里溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

29 照片點位 15，太麻里溪支流斗里斗里溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

30 照片位 15，太麻里溪支流斗里斗里溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

31 照片點位 16，太麻里溪支流斗里斗里溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28



32 照片點位 16，太麻里溪支流斗里斗里溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

圖 4-44 2012 年太麻里溪土砂現地調查照片(4/6)

DOI:10.6346/NPUST202100182

33 照片位 17，太麻里溪支流斗里斗里溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

34 照片點位 17，太麻里溪支流斗里斗里溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

35 照片位 18，太麻里溪支流斗里斗里溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

36 照片點位 18，太麻里溪支流斗里斗里溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

37 照片點位 19，太麻里溪支流斗里斗里溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

38 照片點位 19，太麻里溪支流斗里斗里溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

39 照片點位 20，太麻里溪支流斗里斗里溪盡頭面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

40 照片點位 20，太麻里溪支流斗里斗里溪盡頭面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/28

圖 4-45 2012 年太麻里溪土砂現地調查照片(5/6)

DOI:10.6346/NPUST202100182

41 照片點位 21，太麻里溪支流麻里都部溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/27

42 照片點位 21，太麻里溪支流麻里都部溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/27

43 照片點位 22，太麻里溪支流麻里都部溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/27

44 照片點位 22，太麻里溪支流麻里都部溪面向下拍游攝照片。拍攝時間：2012/03/27

45 照片點位 23，太麻里溪支流麻里都部溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/27

46 照片點位 23，太麻里溪支流麻里都部溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/03/27

47 照片點位 24，太麻里溪支流麻里都部溪盡頭面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

48 照片點位 24，太麻里溪支流麻里都部溪盡頭面向下游拍攝照片。
拍攝時間：2012/03/27

圖 4-46 2012 年太麻里溪土砂現地調查照片(6/6)

DOI:10.6346/NPUST202100182

(三)金崙溪流域現地土砂情形

金崙溪流域位於臺東縣南側太麻里鄉與金峰鄉，全流域面積約為 15,016ha。本集水區由下游至上游，共分為金崙、近黃等二個子集水區。野溪治理界點位於太麻里鄉虹橋上游吊橋，虹橋以上較大型支流由下游至上游依序為：巴拉歐溪、都老老恩溪。現地調查部分，大略可以將金崙溪分為，虹橋至巴拉奧橋上游主流段全長 4.7km 已清疏河段，以及未辦理清疏區主流段。

虹橋至巴拉奧橋上游主流段全長 4.7km 已清疏河段，於 2009~2012 年野溪清疏之主要清疏河段，此河段河道深度約有 6m 以上，平均河道寬度約有 70 m，最狹窄之河道寬度則約有 40m，土砂淤積深度約為 3m。第一堆沙段則位於此段盡頭，第一處大型堆沙段位於巴拉奧橋上游 4km 處，堆沙面積約有 90ha，平均河道寬度約在 200m 以上，最寬處達 330m 以上，土砂淤積深度至少大於 5m 以上，如圖 4-48 點位 4 所示，在經過 2009~2012 年的清疏工程後，目前河川已有下切現象，且溪床斷面呈現拋物線型，通洪狀態良好，目前通洪斷面足夠，現地調查情形，如圖 4-48 點位 1~4。

野溪清疏終點往上游 2km 主流段為峽谷河段，峽谷段上游為廣大淤積河段，此河段河道深度約有 15m 以上，平均河道寬度約有 200 m，最狹窄之河道寬度則約有 100m，最寬敞之河道寬度則約有 300m 以上，土砂淤積深度至少有 10m 以上。此河段為淤砂較嚴重之河段，有一處較大之堆砂段，為金崙溪第二處大型堆沙段，堆沙面積約有 85ha，如圖 4-49、圖 4-50 點位 5~12。

金崙溪溪流域，虹橋至上游 4.7km 清疏主流段，土砂淤情形已受到控制，土砂淤積深度約為 3m，通洪斷面足夠，建議分年分期辦理清疏工程，以保持通洪斷面，保障歷坵村以及金崙村之安全，上游處仍有大量土砂，但並無重要之保全對，因此暫時無太大之清疏需求，調查點位圖如圖 4-47。

DOI:10.6346/NPUST202100182

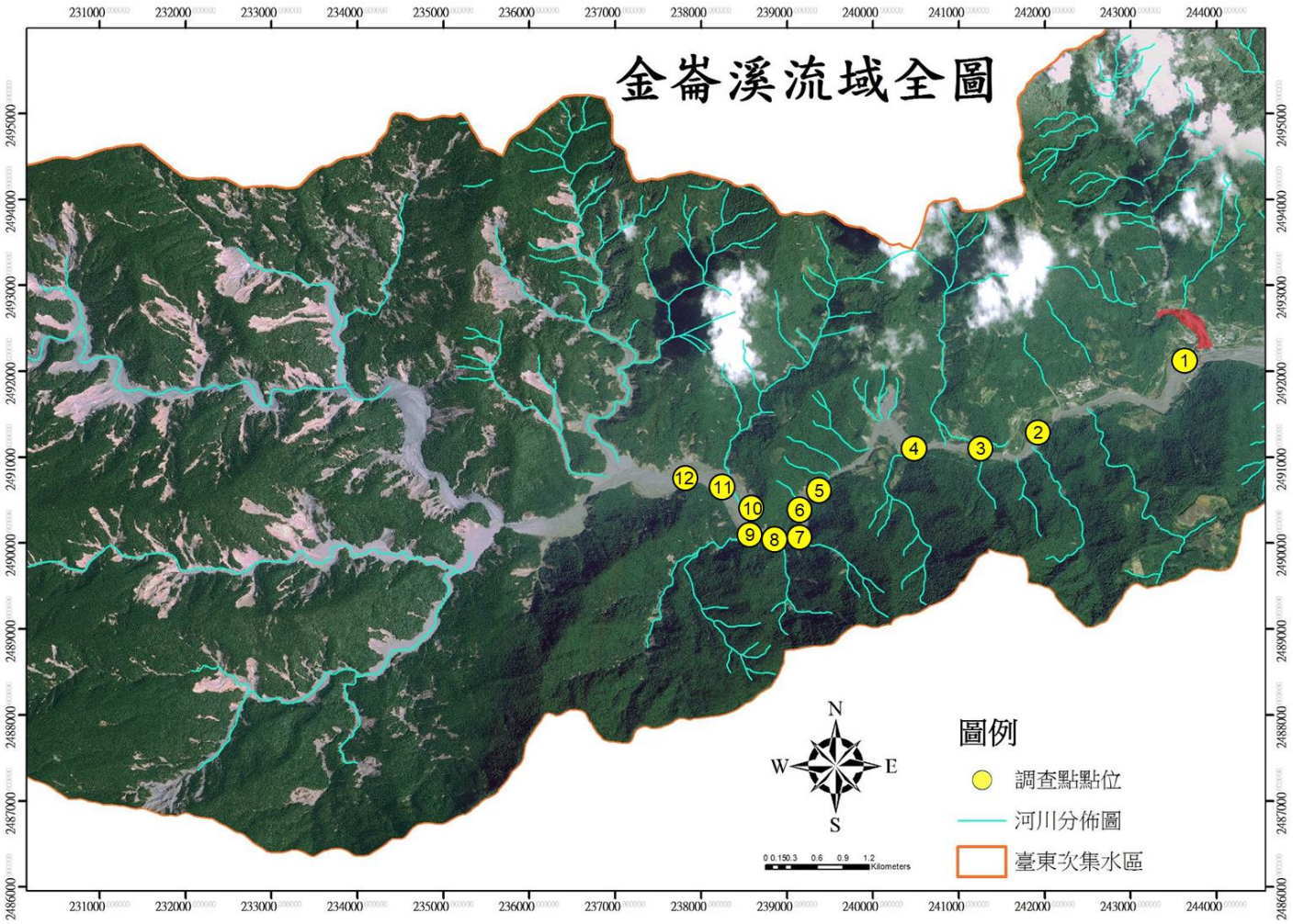


圖 4-47 金崙溪流域全圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

01 照片點位 1，金崙溪虹橋面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/06/28

02 照片點位 1，金崙溪虹橋面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/06/28

03 照片點位 2，金崙溪隘口面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/23

04 照片點位 2，金崙溪隘口面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/23

05 照片點位 3，金崙溪巴拉奧橋上游處面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/23

06 照片點位 3，金崙溪巴拉奧橋上游處面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/23

07 照片點位 4，主流巴拉澳橋上游 4km，第一堆沙段面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/10/23

08 照片點位 4，主流巴拉澳橋上游 4km，第一堆沙段面向下游拍攝照片。
拍攝時間：2012/10/23

圖 4-48 2012 年金崙溪土砂現地調查照片(1/3)

DOI:10.6346/NPUST202100182

09 照片點位 5，金崙溪面向上游拍攝照片。

拍攝時間：2012/10/23

10 照片點位 5，金崙溪面向下游拍攝照片。

拍攝時間：2012/10/23

11 照片點位 6，金崙溪面向上游拍攝照片。

拍攝時間：2012/10/23

12 照片點位 6，金崙溪面向下游拍攝照片。

拍攝時間：2012/10/23

13 照片點位 7，金崙溪支流照片。

拍攝時間：2012/10/23

14 照片點位 7，金崙溪面向下游拍攝照片。

拍攝時間：2012/10/23

15 照片點位 8，金崙溪支流照片。

拍攝時間：2012/10/23

16 照片點位 8，金崙溪面向下游拍攝照片。

拍攝時間：2012/10/23

圖 4-49 2012 年金崙溪土砂現地調查照片(2/3)

DOI:10.6346/NPUST202100182

17 照片點位 9，金崙溪支流照片。
拍攝時間：2012/10/23

18 照片點位 9，金崙溪面向下游拍攝照片。
拍攝時間：2012/10/23

19 照片點位 10，金崙溪主流堆沙段面向上游攝照片。拍攝時間：2012/10/23

20 照片點位 10，金崙溪主流堆沙段面向下游攝照片。拍攝時間：2012/10/23

21 照片點位 11，金崙溪主流堆沙段面向上游攝照片。拍攝時間：2012/10/23

22 照片點位 11，金崙溪主流堆沙段面向下游攝照片。拍攝時間：2012/10/23

23 照片點位 12，金崙溪主流堆沙段面向上游攝照片。拍攝時間：2012/10/23

24 照片點位 12，金崙溪主流堆沙段面向下游攝片。拍攝時間：2012/10/23

圖 4-50 2012 年金崙溪土砂現地調查照片(3/3)

DOI:10.6346/NPUST202100182

(四)大竹溪流域現地土砂情形

大竹溪流域位於臺東縣南側達仁鄉與太麻里鄉，全流域面積約為 15,016ha。本集水區由下游至上游，共分為大溪、土板、大竹溪等三個子集水區。其野溪治理界點位於達仁鄉土新產業道路新興橋，新興橋以上較大型支流由下游至上游依序為：廈布魯溪、新興野溪、佳佳站溪。現地調查部分，大略可以將大竹溪分為，大竹溪新興橋至普通段堆砂區之主流段，普通段堆砂區以上之主流段。

大竹溪新興橋至普通段堆砂區之主流段：此河段為較靠近土板村之河段，堆沙面積約有 48ha，平均河道寬度約在 200m 以上，最寬處達 300m 以上，土砂淤積深度至少大於 5m 以上，為 2009~2012 年野溪清疏之主要清疏河段，此河段河道深度約有 10m 以上，平均河道寬度約有 100 m，最狹窄之隘口河道寬度則約有 40m，土砂淤積深度約為 5m，在經過 2009~2012 年的清疏工程後，目前河川已有下切現象，且溪床斷面略呈現拋物線型，通洪狀態尚可，目前通洪斷面尚足夠，現地調查情形，如圖 4-52 點位 1~4。

普通段堆砂區以上 1km 之主流段為峽谷型河段，接續峽谷河段後為延續 2.3km 長之廣大堆砂區，面積 68ha，最大寬度約 360 公尺，淤積深度約 10m，如圖 4-53、圖 4-54 點位 5~12。

整理體來看，大竹溪新興橋至普通段堆砂區之主流段，土砂淤情形逐漸受到控制，土砂淤積深度約為 5m，通洪斷面尚足夠，建議分年分期辦理清疏工程，以保持通洪斷面，保障土板村之安全，上游處仍有大量土砂，但並無重要之保全對象，因此暫時無太大之清疏需求，調查點位圖如圖 4-51。

DOI:10.6346/NPUST202100182

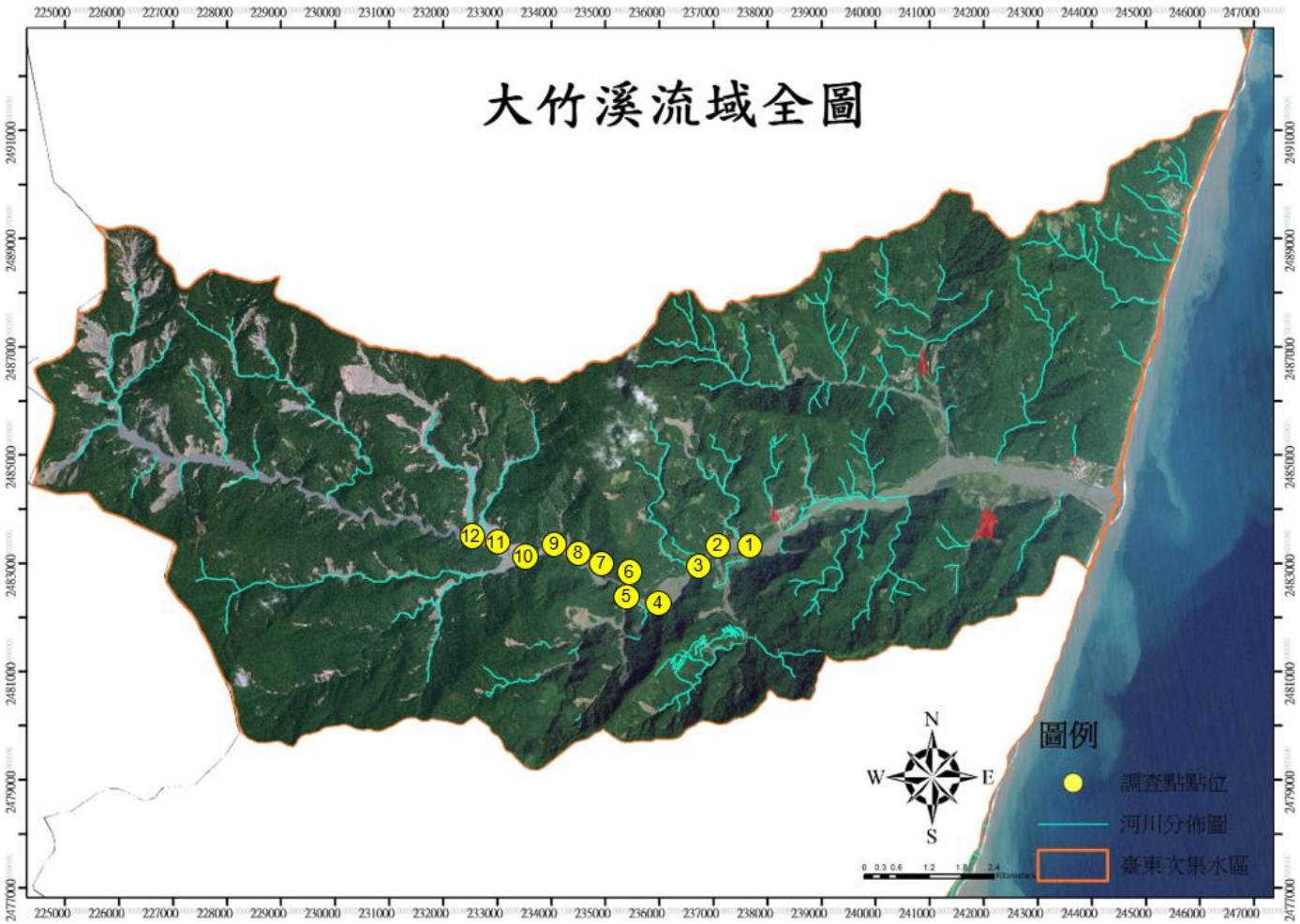


圖 4-51 大竹溪流域全圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

01　照片點位 1，大竹溪新興橋面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/03

02　照片點位 1，大竹溪新興橋面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/03

03　照片點位 2，大竹溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/03

04　照片點位 2，大竹溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/03

05　照片點位 3，大竹溪隘口面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/03

06　照片點位 3，大竹溪隘口面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/03

07　照片點位 4，大竹溪第一堆沙段向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/07/18

08　照片點位 4，大竹溪第一堆沙段面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/07/18

圖 4-52 2012 年大竹溪土砂現地調查照片(1/3)

DOI:10.6346/NPUST202100182

09　照片點位 5，大竹溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

10　照片點位 5，大竹溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

11　照片點位 6，大竹溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

12　照片點位 6，大竹溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

13　照片點位 7，大竹溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

14　照片點位 7，大竹溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

15　照片點位 8，大竹溪主流堆沙段面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

16　照片點位 9，大竹溪主流堆沙段面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

圖 4-53 2012 年大竹溪土砂現地調查照片(2/3)

DOI:10.6346/NPUST202100182

17　照片點位 9，大竹溪主流堆沙段面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

18　照片點位 9，大竹溪主流堆沙段面向下游攝照片。拍攝時間：2012/10/15

19　照片點位 10，大竹溪主流堆沙段面向上拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

20　照片點位 10，大竹溪主流堆沙段面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

21　照片點位 11，大竹溪主流堆沙段面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

22　照片點位 11，大竹溪主流堆沙段面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

23　照片點位 12，大竹溪上游主支流匯流口面向上游拍攝照片。
拍攝時間：2012/10/15

24　照片點位 12，大竹溪上游主支流匯流口面向下游拍攝照片。
拍攝時間：2012/10/15

圖 4-54 2012 年大竹溪土砂現地調查照片(3/3)

DOI:10.6346/NPUST202100182

(五)加羅板溪流域現地土砂情形

加羅板溪位於臺東縣南側大武鄉，全流域面積約為 2,504.7ha。本集水區為大武溪之子集水區。其野溪治理界點位於大武鄉加羅板與主流大武溪匯流口。

加羅板溪流域，平均河道寬度約有 100 m，最狹窄之隘口河道寬度則約有 40m，土砂淤積深度至約為 5m，主要崩塌來源為主流段上游崩塌地，崩塌地面積約 20ha，大型堆沙段只有一處，位於野溪治理界點大武溪與加羅板溪匯流口上游 1.3km 處，堆沙面積約有 7ha，平均河道寬度約在 100m 以上，最寬處達 150m 以上，土砂淤積深度至少大於 5m 以上，如圖 4-56 點位 3~4 所示。

整理體來看，加羅板溪流域土砂災害並不嚴重，建議分期辦理短期清疏工程，以保持通洪斷面，保障加羅板之安全，調查點位圖如圖 4-55。

國立屏東科技大學 NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

DOI:10.6346/NPUST202100182

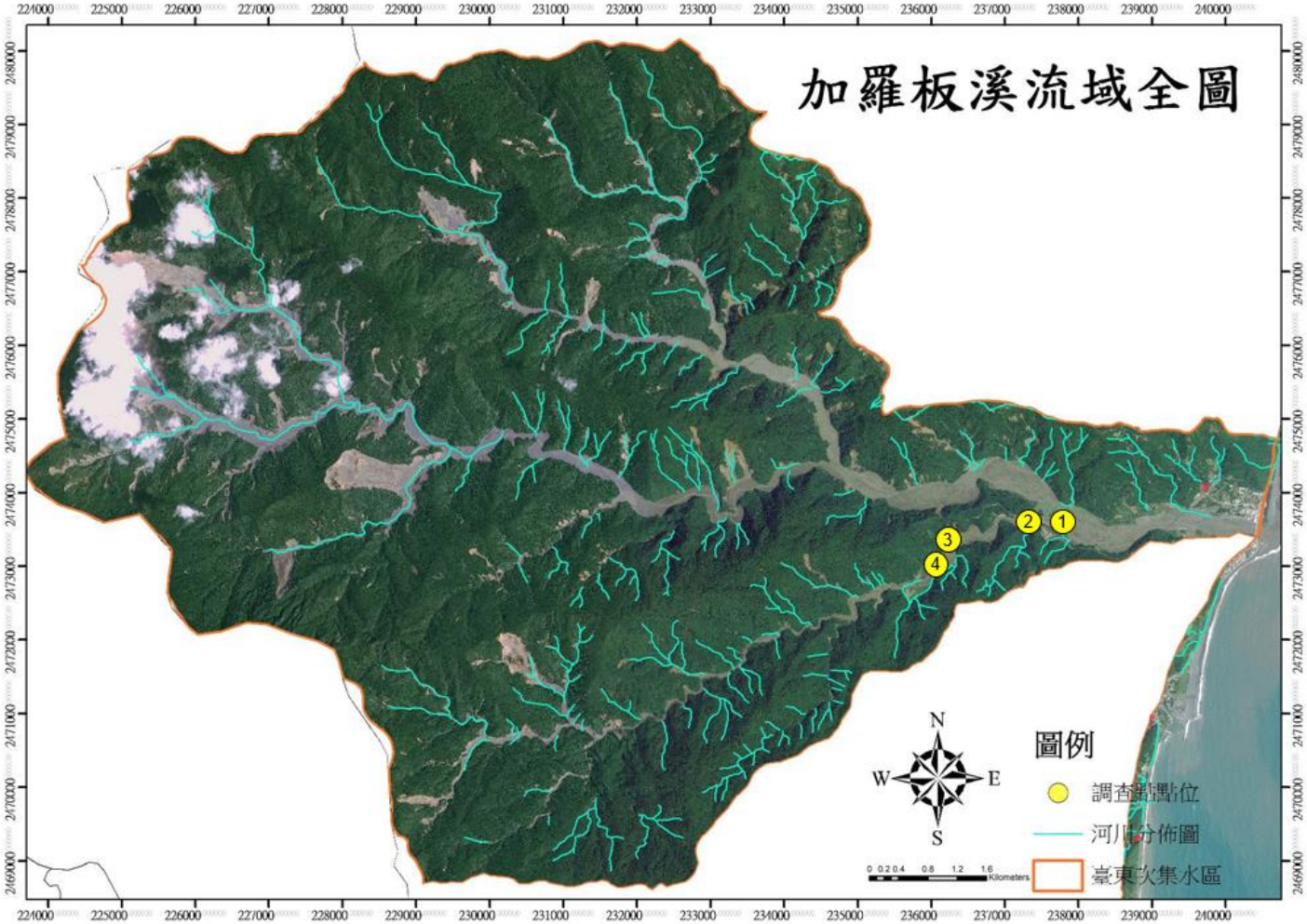


圖 4-55 加羅板溪流域全圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

01　照片點位 1，加羅板溪與大武溪匯流口面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

02　照片點位 1，加羅板溪與大武溪匯流口面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/15

03　照片點位 2，加羅板橋面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/20

04　照片點位 2，加羅板橋面向下游拍攝照\片。拍攝時間。2012/1020。

05　照片點位 3，加羅板溪堆沙段面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/20

06　照片點位 3，加羅板溪堆沙段面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/1020

07　照片點位 4，加羅板溪堆沙段面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/20

08　照片點位 4，加羅板溪堆沙段面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/1020

圖 4-56 2012 年加羅板溪土砂現地調查照片

DOI:10.6346/NPUST202100182

(六)安朔溪流域現地土砂情形

安朔溪位於臺東縣南側大武鄉，全流域面積約為 5,696.9ha。本集水區由下游至上游，共分為達仁、安朔等二個子集水區。其野溪治理界點位於達仁鄉梅園橋前主支流匯流口。

安朔溪流域，河道深度約有 8m，平均河道寬度約有 100 m，土砂淤積深度至約為 5m，主要崩塌來源為主流段上游崩塌地，大型堆沙段總只有一處，位於主流段與天公廟支流匯流口，堆沙面積約有 20ha，平均河道寬度約在 150m 以上，最寬處達 200m 以上，土砂淤積深度至少大於 5m 以上，如圖 4-58 點位 3~4 所示。

整理體來看，安朔溪流域土砂災害並不嚴重，建議分年分期辦理清疏工程，以保持通洪斷面，保障森永村、安朔村之安全，調查點位圖如圖 4-57。

NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY
國立屏東科技大學

DOI:10.6346/NPUST202100182

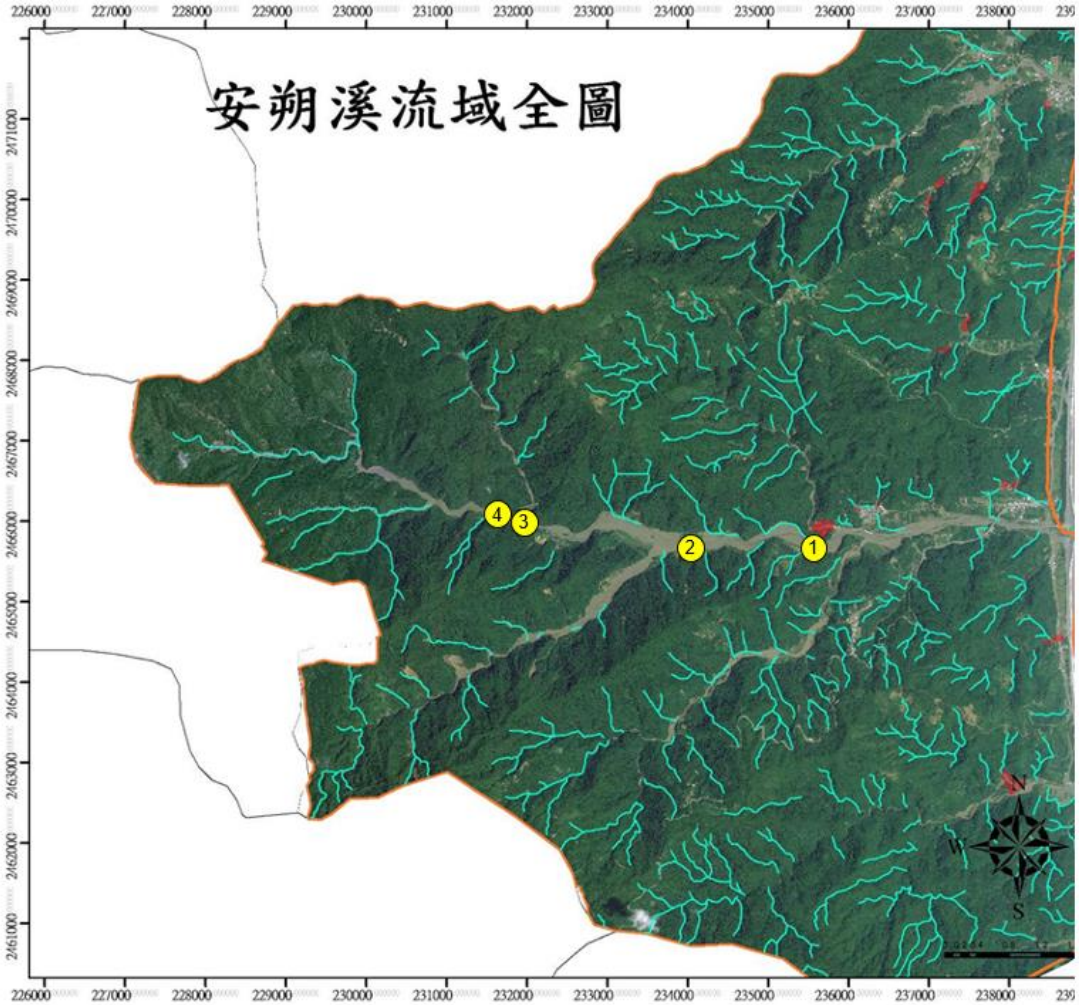


圖 4-57 安朔溪流域全圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

01　照片點位 1，安朔溪梅園橋面向上游拍攝片。拍攝時間：2012/10/20

02　照片點位 1，安朔溪梅園橋面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/20

03　照片點位 2，安朔溪堆沙段面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/20

04　照片點位 2，安朔溪堆沙段面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/1020

05　照片點位 3，安朔溪面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/20

06　照片點位 3，安朔溪面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/10/20

07　照片點位 4，安朔溪鐵路橋面向上游照片。拍攝時間：2012/10/20

08　照片點位 4，安朔溪鐵路橋面向下游照。拍攝時間：2012/10/20

圖 4-58 2012 年安朔溪土砂現地調查照片

DOI:10.6346/NPUST202100182

七、野溪清疏需求評估與對策探討

本研究野溪清疏範圍以臺東各集水區之治理界點範圍內，進行集水區及野溪清疏需要性評估，提出清疏可行性及建議做法，如圖 4-59 所示。

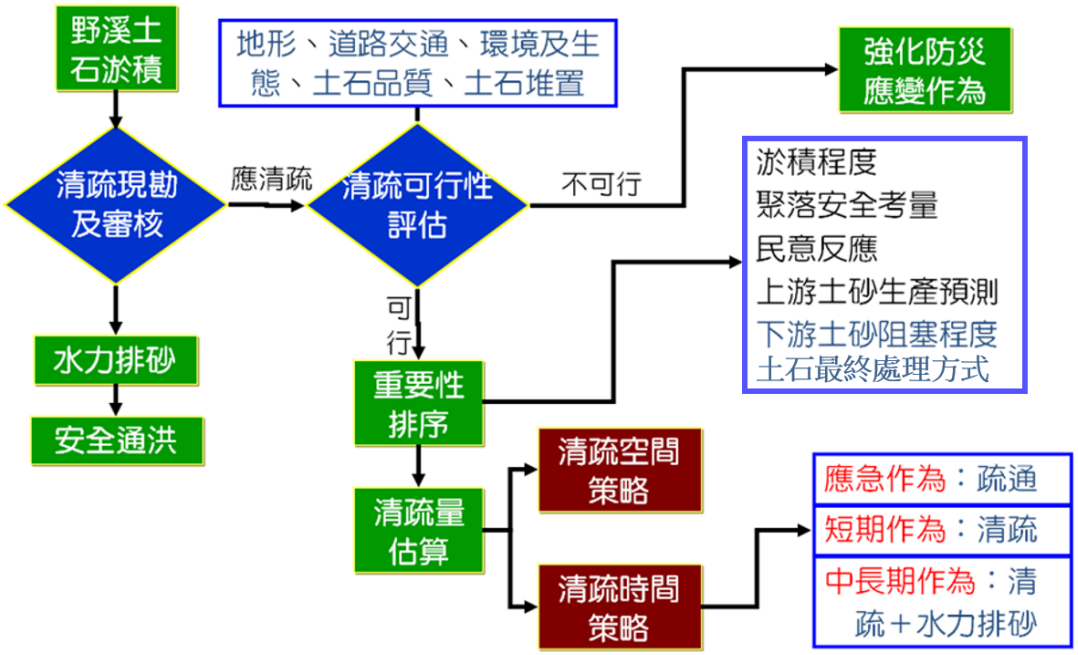


圖 4-59 野溪清疏需要性評估流程圖

本研究期間於臺東縣境內進行了集水區及野溪勘查，特別針對野溪淤砂現況情形，及各項安全措施排洪等相關問題進行現場勘查與探討。勘查後進行野溪清疏需求之評估。經由勘查評估結果全縣需清疏野溪河段長度為 34.88km，再依其重要性排序，以便於後續相關主管機關進行清疏之規劃，而達到保護全縣居民生命財產安全之目的。

莫拉克颱風帶來罕見的高強度、長延時降雨，造成臺東縣集水區崩塌、土砂淤積及流域水砂災害嚴重，由於人為的力量有限，因此為確保野溪兩岸保全對象部落、公路、農田之安全，辦理清疏工程，防止野溪瓶頸段產生淤積，防止颱風豪雨來臨時產生二次災害，以達到坡地保育，並透過滾動式管理的方式，有效利用經費，達到永續經營之目標。

DOI:10.6346/NPUST202100182

本研究經調查及多次現地會勘之結果，臺東縣地區就野溪型態與建議清疏方式可大致上分成五大類如下：

1. 集水區面積較大(約 80km^2 以上)

   崩塌地面積廣大者：土砂搬運量體大，清疏斷面無法一次見效，需長期辦理清疏，並逐年檢視清疏成果，於適當保全對象區段，評估清疏成效，持續辦理清疏，如太麻里溪、金崙溪、大竹溪、鹿野溪等。

2. 集水區面積中等(約 20~80km^2)

   本類型野溪由於集水區面積中等，上游崩塌土砂量仍多，清疏斷面經水理演算(以 Q50 計算)，經過 2~3 年清疏工程後，將具有相當清疏成效，屬中長期清疏。唯仍應持續觀察河道變化狀況持續辦理，類型如大鳥溪、安朔溪、加羅板野溪。

3. 集水區面積較小(小於 20km^2)

   上游崩積土砂量中等，由於集水區面積不大，野溪溪床顆粒分佈均勻，此類型野溪清疏工作規劃設計時，以大於 Q50 洪峰流量，計算通洪斷面，並以適當保護工保護兩岸邊坡，及簡易固床工防止縱向侵蝕，即可達到清疏成效，屬短期清疏方式，如五福谷溪、多利野溪、朝庸溪、加津林溪、霧嶺野溪、庫濃溪、臺坂溪、新興野溪。

4. 集水區面積超大之峽谷上游(80~300km^2)

   淤積土砂量較多，位於集水區上游之野溪類型，且溪床狹窄，屬峽谷類型，溪床坡度大，降雨在 30mm 以上、集流時間約 15~25min 時，極易產生洪水，藉助自然搬運力，使淤積溪床下切，足以維持河道通暢，該清疏方式為緊急疏通，防止瓶頸段產生淤積，需持續觀察配合上、中、下游整體清疏研究辦理清疏，案例如新武呂溪、大崙溪。

5. 已辦理野溪治理工程

   土砂搬運過程中，淤積於壩體、橋涵、整流工溝底(固床工)、沉砂池。本類型野溪，因水工構造物回淤，清疏方次屬清空沉砂空間，屬預防性清疏，以短期清疏即有成效，案例如紅石溪、崁頂溪、加拿典溪、大坡溪、加鹿溪、富興溪、萬安溪、舊班鳩野溪。

DOI:10.6346/NPUST202100182

經過 2009~2012 年之清疏工程，臺東地區整體性清疏工程，大致上可以分為太麻里溪流域、金崙溪流域、大竹溪流域、大鳥溪流域、安朔溪流域等五大流域。

(一)太麻里溪流域清疏工程之成效

2009~2012 年清疏長度共 11.9km、清疏土方量體達 121.4 萬 m^3，土方佈設區面積為 14.3 萬 m^2，土方佈設區保護工法以乾砌石護岸為主，清疏斷面平均為 40 m×2.5 m，清疏斷面面積約 100 m^2，平均通洪斷面約為 60 m×10 m，平均通洪斷面面積約 600 m^2。

由圖 4-60 太麻里溪清疏成效圖可知，圖 4-61 點位 1 於嘉蘭村河道，可以從照片中明顯看出，嘉蘭村以跟太麻里溪河道高差相距 15m 以上，嘉蘭社區因 2009 至 2012 年一系列之清疏工程及治理工程，逐漸受到了保護，圖 4-61 點位 2 則為 2010 至 2012 年野溪清疏工程之較廣大土方佈設區，此土方佈設區經歷了 2011 年南瑪督颱風，2012 年泰利、天秤等颱風侵襲後仍然完好無損壞，因此金峰鄉公所導入工程從事金峰溫泉復建工作，更進一步有效利用土方佈設區。圖 4-61 點位 3、4、5 則可看出太麻里溪河道經過清疏後工程後，在幾次的颱風、豪雨侵襲下，河段逐漸下切，呈現拋物線形狀，水流集中，洪水快速通過。

於太麻里溪流域，清疏工程雖無法完全掌握其河道狀況，但略見其成效，惟本流域上游仍有大量河道土砂淤積約有 2,091.7 萬 m^3，且有持續下移淤積河道現象，靠近嘉蘭村節點編號 1 至節點編號 2 涵蓋範圍之河段，殘存土砂量體僅約為 29.2 萬 m^3，因此本河段清疏策略，建議太麻里溪辦理中長期清疏工程，重點清疏區段為嘉蘭橋以上至 1.5km 處，靠近村落之河道範圍，保持足夠之通洪斷面，使土砂能安全快速通過，以保障嘉蘭村及鄰近道路、橋梁等設施安全，經 2009-2012 年清疏工程，現在毛蟹已逐漸復育出現於河道之中。

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 4-60 太麻里溪清疏成效圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

01 照片點位 1，太麻里溪已向下刷深，河床嘉蘭村至少相距 15m 以上
拍攝時間：2012/10/30

02 照片點位 2，為太麻里溪清疏之大型佈設區
拍攝時間：2012/10/30

05 照片點位 3，為太麻里溪嘉蘭橋上游段，清疏前照片。拍攝時間：2011/04/23

06 照片點位 3，為太麻里溪嘉蘭橋上游段，清疏後照片，河道明顯下切。
拍攝時間：2011/10/28

07 照片點位 4，為太麻里溪嘉蘭橋上游段，清疏前照片。拍攝時間：2011/04/23

08 照片點位 4，為太麻里溪嘉蘭橋上游段，清疏後照片，河道明顯下切。
拍攝時間：2011/10/28

09 照片點位 5，為太麻里溪嘉蘭橋上游段，清疏前照片。拍攝時間：2012/04/23

10 照片點位 5，為太麻里溪嘉蘭橋上游段，清疏後照片，河道明顯下切。
拍攝時間：2011/10/28

圖 4-61 太麻里溪流域清疏工程成效照片

DOI:10.6346/NPUST202100182

(二)金崙溪流域清疏工程之成效

2009~2012 年清疏長度共 13.5km、清疏土方量體達 113.8 萬 m^3，土方佈設區面積 15 萬 m^2，土方佈設區保護工法以乾砌石護岸為主，清疏斷面平均為 50 m×3 m，清疏斷面面積約 150 m^2，平均通洪斷面約為 70 m×8 m，平均通洪斷面面積約 560 m^2。

由圖 4-62 金崙溪清疏成效圖可知，圖 4-63 點位 1、2 位於太麻里鄉金崙溪虹橋，為金崙溪的瓶頸段之一，由於八八水災造成東 66 線的沖毀，河道漫流，於 2009 至 2012 年期間藉由清疏工程，暢通河道，並將清疏土方提供於東 66 線做為道路基礎並作為保護。圖 4-63 點位 6 為金崙巴拉奧橋，原橋墩遭土砂淹沒，現今已經可以看到原有橋墩，表示清疏有所成效。圖 4-63、圖 4-64 點位 4、5、7、9 為金崙溪河道照片，可以看出金崙溪河道大幅下切，呈現拋物線形狀，通洪狀況良好，而圖 4-63、圖 4-64 點位 3、8、10、11 則為土方佈設區照片，由照片可以發現，部分土方佈設區開始自然綠化，有利於當地環境復育。

於金崙溪流域，清疏工程已完全掌握其河道狀況，惟本流域上游仍有大量河道土砂淤積約有 1,824.3 萬 m^3，且有持續下移淤積河道現象，靠近金崙村及歷坵村節點編號 1 至節點編號 2 涵蓋範圍之河段，殘存土砂量體僅約為 279.4 萬 m^3，因此本河段清疏策略，建議金崙溪辦理中長期清疏工程，重點清疏區段為虹橋以上至巴拉奧橋上游 4km 處堆砂段，於回淤較嚴重之河段分段清理，並對過去之土方佈設區設置現地拌合工法，加強土方佈設區之保護，辦理野溪清疏之年度維護工作，確保於颱風豪雨來臨期間能有足夠的通洪斷面，使水流能輸砂並快速通過，保障歷坵村、賓茂村、金崙村、吧拉奧橋安全。

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 4-62 金崙溪清疏成效圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

01　照片點位 1，為金崙溪金崙段，清疏前照片。拍攝時間：2011/06/15

02　照片點位 1，為金崙溪金崙段，清疏後照片，河道明顯下切。
拍攝時間：2011/08/15

03　照片點位 2，金崙溪金崙段，清疏後土砂佈設於東 66 線。拍攝時間：2012/10/23

04　照片點位 3，於已修復之東 66 線上。
拍攝時間：2012/10/23

04　照片點位 4，2010、2011 年金崙溪清疏工程之土方佈設區。拍攝時間：2012/10/23

06　照片點位 5，金崙溪之隘口，河道明顯下切。拍攝時間：2012/10/23

07　照片點位 6，巴拉奧橋照片，橋墩已露出，河道明顯下切。
拍攝時間：2012/10/23

08　照片點位 8，2011 年金崙溪清疏工程之佈設區。拍攝時間：2012/10/23

圖 4-63 金崙溪流域清疏工程成效照片(1/2)

DOI:10.6346/NPUST202100182

11　照片點位 8，2011 年金崙溪清疏工程之佈設區，已見自然綠化。
拍攝時間：2012/10/23

12　照片點位 8，2011 年金崙溪清疏工程之佈設區，已見自然綠化。
拍攝時間：2012/10/23

13　照片點位 7，2011 年金崙溪清疏工程之佈設區，已見河川下切。
拍攝時間：2012/10/23

14　照片點位 7，2011 年金崙溪清疏工程之佈設區，已見河川下切。
拍攝時間：2012/10/23

15　照片點位 10、11，2011 年金崙溪清疏工程之佈設區。拍攝時間：2012/10/23

14　照片點位 9，2011 年金崙溪清疏工程之佈設區。拍攝時間：2012/10/23

16　照片點位 10，2011 年金崙溪清疏工程之佈設區。拍攝時間：2012/10/23

17　照片點位 11，2011 年金崙溪清疏工程之佈設區。拍攝時間：2012/10/23

圖 4-64 金崙溪流域清疏工程成效照片(2/2)

DOI:10.6346/NPUST202100182

(三)大竹溪流域清疏工程之成效

2009~2012 年清疏長度合計約 5.1km、清疏土方量體達 56.8 萬 m^3，土方佈設區面積 9.5 萬 m^2，土方佈設區保護工法以乾砌石護岸為主並導入現地拌合工法保護其基腳，清疏斷面平均為 70 m×3 m，清疏斷面面積約 210 m^2，平均通洪斷面約為 80 m×7 m，平均通洪斷面面積約 560 m^2。

由圖 4-65 大竹溪清疏成效圖可知，圖 4-66 點位 1 於土板橋，照片點位 2 於臺坂橋，可以從圖 4-66 中明顯看出，臺坂溪河道已向下下切，通洪狀況良好，圖 4-66 點位 3 位於大竹溪新興橋，從土砂調查可知，大竹溪上游仍然有大量的土砂，而大竹溪一系列之清疏工程，於 2011 年才開始，也只經歷了兩年的清疏工程，支流臺坂溪以及新興野溪部分，皆已受到良好的掌控，大竹溪主流段上游河段土砂災害仍然相當嚴重，清疏工程雖無法完全掌握其河道狀況，但略見其成效，河段已逐漸下切，野溪流心線已改善，呈現拋物線形狀，惟本流域上游仍有大量河道土砂淤積約有 772.5 萬 m^3，且有持續下移淤積河道現象，靠近大竹溪新興橋段節點編號 1 至節點編號 3 涵蓋範圍之河段，殘存土砂量體僅約為 102.1 萬 m^3，因此本河段清疏策略，建議持續於大竹溪野溪治理界點新興橋以上 1.8km 內，辦理野溪清疏之年度維護工作，確保於颱風豪雨來臨期間能有足夠的通洪斷面，使水流能輸砂並快速通過，保障臺坂村、土坂村、新興橋、新興部落等安全，經 2009-2012 年清疏工程，現在毛蟹已逐漸復育出現於河道之中，土方佈設區方面則需加強土方佈設區之利用，建議於大竹溪右岸之土方佈設區可進行農耕或種植花卉營造花海，增加土方佈設區之利用價值。

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 4-65 大竹溪清疏成效圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

01　照片點位 1，為臺坂溪土板橋面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/09/10

02　照片點位 2，為臺坂溪臺坂橋面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/09/10

03　照片點位 3，大竹溪新興橋，清疏前面向上游照片。拍攝時間：2011/06/23

04　照片點位 3，大竹溪新興橋，清疏後面向上游照片，河道略呈拋物線型。拍攝時間：2012/09/10

05　照片點位 3，大竹溪新興橋，清疏後面向上游照片，河道略呈拋物線型。拍攝時間：2012/09/10

06　照片點位 4，大竹溪清疏工程右岸之廣大佈設區。拍攝時間：2012/09/10

07　照片點位 5，大竹溪支流新興野溪清疏後面向下游照片，河道明顯下切。拍攝時間：2012/09/10

08　照片點位 6，大竹溪普通段清疏工程左岸之廣大佈設區。拍攝時間：2012/09/10

圖 4-66 大竹溪流域清疏工程成效照片

DOI:10.6346/NPUST202100182

(四)大鳥溪流域清疏工程之成效

2009~2012 年清疏長度共 7.5km、清疏土方量體達 41 萬 m^3，土方佈設區面積 11.4 萬 m^2，清疏斷面平均為 35m×2m，清疏斷面面積約 70 m^2，平均通洪斷面約為 40 m×4m，平均通洪斷面面積約 160 m^2。

由圖 4-67 大鳥溪流域清疏成效圖可知，圖 4-68 點位 1 於支流卡卡場，可以從照片中明顯看出，卡卡場河道已下切至原有構造物，回復原有通洪斷面，圖 4-68 點位 2 為大鳥溪清疏工程之主流段，由於最上游崩塌處仍有不少料源，造成河段於颱風過後又回淤。圖 4-68 點位 3、4，則為一系列清疏工程之廣大佈設區，當地農民已進入佈設區進行耕種，圖 4-68 點位 5 則為大鳥溪上游茅卡場段，由照片可以看出上游河段已逐漸受到控制，河川水流已向下刷深至岩盤，回到河川原始斷面。清疏工程於大鳥溪已掌握其河道狀況，河道均下切。建議於水田橋以上 1.4km 內，持續辦理野溪清疏工程，進行滾動式管理，以確保充足之通洪斷面，保障大鳥村、水田橋及兩岸農地安全。

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 4-67 大鳥溪清疏成效圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

01　照片點位 1，支流卡卡場 88 水災後災害照片，河道完全被掩埋。
拍攝時間：2010/06/07

02　照片點位 1，支流卡卡場清疏後面向上游拍攝照片，河川水流順暢。
拍攝時間：2012/10/20

03　照片點位 2，大鳥溪主河段清疏後面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/01/10

04　照片點位 2，大鳥溪主河段清疏後，2012 年
天秤颱風後又回淤。拍攝時間：2012/10/20

05　照片點位 3，大鳥溪清疏工程之廣大佈設區。拍攝時間：2012/10/20

06　照片點位 4，大鳥溪清疏工程之廣大佈設區。拍攝時間：2012/10/20

07　照片點位 5，大鳥溪上游茅卡場段，此為面向上游之拌合工法照片。
拍攝時間：2012/10/20

08　照片點位 6，大鳥溪上游茅卡場段，經歷兩次清疏工程已略見成效。
拍攝時間：2012/10/20

圖 4-68 大鳥溪流域清疏工程成效照片

DOI:10.6346/NPUST202100182

(五)安朔溪流域清疏工程之成效

2009~2012 年清疏長度合計約 3.9km、清疏土方量體達 46.5 萬 m^3，土方佈設區面積 2.9 萬 m^2，土方佈設區保護工法以乾砌石護岸為主並導入現地拌合工法保護其基腳，清疏斷面平均為 40 m×2.5 m，清疏斷面面積約 100 m^2，平均通洪斷面約為 100 m×5 m，平均通洪斷面面積約 500 m^2。

安朔溪流域大致上可以分為安朔溪主流段以及五福谷溪支流段，從圖 4-69 點位 1、2、3 為安朔溪主流段，可以從照片中明顯看出經過清疏工程後，河道以逐漸成拋物線狀，水流集中，圖 4-70 點位 4、5、6 則為支流五福谷溪，可從圖 4-70 看出，五福谷溪已完全受到控制，且土方佈設區為當地居民有效利用。因此安朔溪流域清疏工程，建議於梅園橋下游主支流匯流口往上游 1.5km 及其支流，持續辦理野溪清疏工程，透過清疏手法，使天公廟段土砂逐漸下移，確保此段河道之安全，進行滾動式管理，以確保充足之通洪斷面，保障安朔村、森永村安全，經 2009-2012 年清疏工程，現在毛蟹已逐漸復育出現於河道之中。

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 4-69 安朔溪清疏成效圖

DOI:10.6346/NPUST202100182

01　照片點位 1，安朔溪梅園橋面向上游拍攝照片。拍攝時間：2012/09/24

02　照片點位 1，安朔溪梅園橋面向下游拍攝照片。拍攝時間：2012/09/24

02　照片點位 2，安朔溪主流清疏斷面向上游照片。拍攝時間：2012/09/24

04　照片點位 3，安朔溪清疏工程佈設區照片，含現地拌合工法。
拍攝時間：2012/09/24

05　照片點位 4，支流五福谷溪清疏工程佈設區，已有農民進入種植作物。
拍攝時間：2012/09/24

06　照片點位 5，2011 年五福谷溪清疏工程，原佈設區已自然植生綠化。
拍攝時間：101/09/24

07　照片點位 6，2012 年五福谷溪清疏工程清疏前面向上游照片。
拍攝時間：2012/01/20

08　照片點位 6，2012 年五福谷溪清疏工程清疏後面向上游照片。
拍攝時間：2012/09/24

圖 4-70 安朔溪流域清疏工程成效照片

DOI:10.6346/NPUST202100182

根據前述清疏工程成效評估，各重災區河川如太麻里溪、金崙溪、大竹溪、大鳥溪、安朔溪仍需長期作清疏成效評估，其餘小區塊集水區清疏工程、既有構造物清疏工程，如萬萬溪、加津林野溪、五福谷野溪等清疏工程，其淤積土砂情形已由 2009~2012 年清疏工程獲得改善，未來亦持續觀察其土砂淤積情形，以達滾動式管理。

八、 災害管理與防災治理策略探討

本研究已藉由模式分析、現場調查、評估與對策及成效探討，瞭解臺東野溪集水區於 2009~2012 年期間土砂運移狀況，因此可據以提出相關治理策略建議(圖 4-71)。近年來受全球氣候變遷的影響，導致既有思維已無法因應災害衝擊，因此本研究彙整各面向策略提供參考(圖 4-72)。

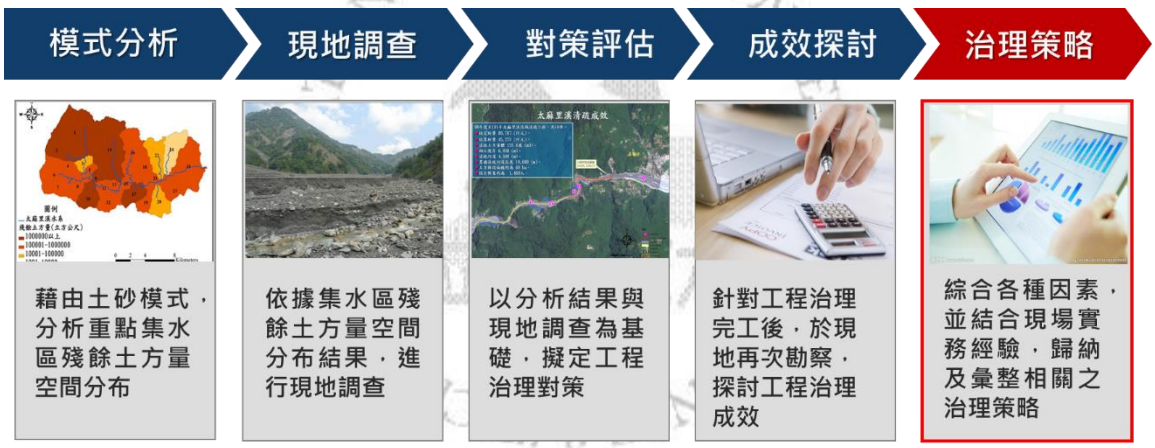


圖 4-71 研究各階段重點摘錄

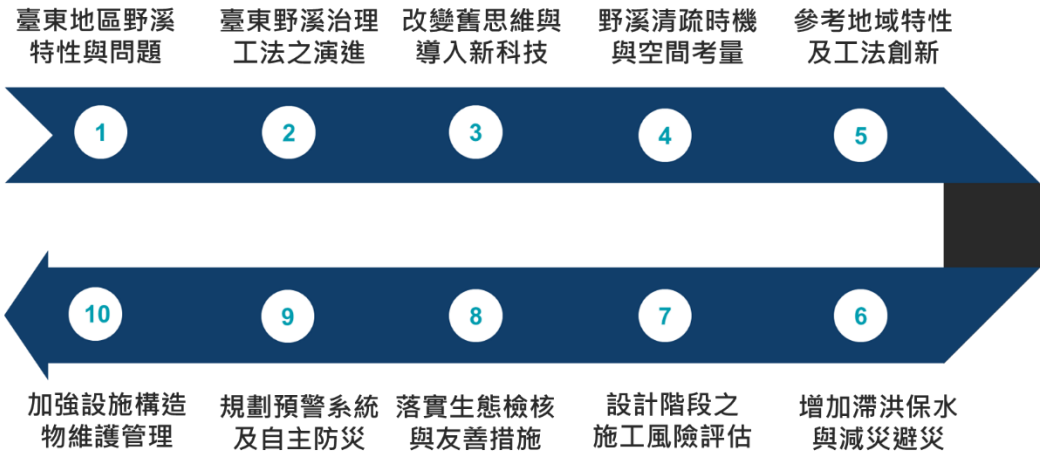


圖 4-72 治理策略應考慮之面向

DOI:10.6346/NPUST202100182

(一)臺東地區野溪特性與問題

臺東地區因為地形南北向狹長，東西向從中央山脈經縱谷再到海岸山脈最終治海岸線，高差從 3662m 到海平面，地形變化複雜，加以從前述土砂運移模式節點參考河川序級可知，各河川支流及野溪分布密集且因地形高差多變而蜿蜒，可說是野性十足，因此災害發生之際攻擊破壞力強，當其流至平地時卻往往因人為土地發利用之故，造成瓶頸無法順利排放至大海，最常見之情況如鐵、公路箱涵或橋梁，因斷面遭土砂淤積或設計斷面已不足以安全排放因氣候變遷下的巨大土砂量及逕流洪水(圖 4-73)。再者，因為鐵公路橋涵位於平地，其設計縱坡比較平緩，流速至此因而減緩，造成阻塞而漫溢或破壞之狀況，以太麻里溪出河口在莫拉克颱風前河寬僅約 318m，莫拉克颱風時因土砂及洪流破壞堤岸，將河幅寬度擴大至約 1,215m，即可見其災害程度。

臺東地區野溪除本文主要調查分析之河川，尚有許多小型野溪或支流與坑溝，因此亦常見野溪或坑溝自坡面而下後，最終無明顯水路而漫地流或僅銜接路邊溝之情況(圖 4-74、圖 4-75 及圖 4-76)，一旦颱風豪雨便有淹水或土砂淤積情況，影響用路人之安全。

圖 4-73 臺九線朝庸橋通洪斷面不足常造成溢堤淹水

圖 4-74 臺東 DF109 土石流潛勢溪流臺九線箱涵瓶頸

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 4-75 臺東 DF105 土石流潛勢溪流末端穿越房舍暗溝

圖 4-76 臺東 DF051 土石流潛勢溪流末端銜接路邊溝

(二)臺東野溪治理工法之演進

臺東地區早期以治山防洪為主要水土保持治理策略，因此以防砂壩、堤防護岸及固床工或帶工為主要治理工法，尤其防砂壩大多以重力式高壩型式設計，爾後推動高壩低矮化及表面粗糙化，以漸進式改變工法符合美觀與生態環境融合為導向，構造物逐漸以造型模板或砌石工法取代早期三面光之作為，特別是小型野溪坑溝之治理，同時石籠壩或護岸之應用也漸增加(圖 4-77~圖 4-82)。

圖 4-77 太平坑一號壩為早期常見高壩攔砂工法

圖 4-78 古庄地區野溪坑溝早三面光治理工法

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 4-79 早期攔砂壩基礎淘空損毀情況

圖 4-80 楠溪支流砌塊石護岸及固床工(照片堤供：林志賢)

圖 4-81 文里溪集水區造型模板防砂壩

圖 4-82 泥水溪新設石籠護岸

近來預鑄單元護岸及鋼構固床工應用在臺東地區是後期國內工法轉變之先驅(圖 4-83)，而今因生態議題更為公共工程委員會推動之重大政策，因此，在生態檢核上考慮必須縱橫向動物通道(圖 4-84 及圖 4-85)，成為治理工法重要考量之因素。再者，過往防砂壩一但淤滿便無庫容量存蓄下一次土砂災害量體，只好繼續往上游或下游增設防砂壩，如此一來便造成更大的生態環境破壞與擾動，同時對於下游而言，因為上游不斷攔截土砂造成下游泥砂補充不足，對於固床工及護岸等設施形成淘空基礎現象，嚴重者造成構造物損壞，如此重復性的治理模式已不符合當今社會需求與經濟效益。

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 4-83 大丘園鋼構固床工及丁順條護岸組立(照片堤供：林志賢)

圖 4-84 柑仔林野溪預鑄生態槽護岸(照片堤供：林志賢)

圖 4-85 南美山野溪橫向動物通道

國立雲林科技大學 NATIONAL YUNLIN UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

(三)改變舊思維與導入新科技

隨著時空背景工法持續精進外，應逐步修正舊有思維，將有助於調適災害衝擊。表 4-51 明確說明整體性、水資源及防洪排水三個面向，舊思維與新思維的差異。自莫拉克颱風以來土砂產量趨緩，集水區整體土砂調控變為相當重要。然而，野溪各區位因為地形環境條件不同，有不同考量，因此野溪區位主要可分為：上游集水區坡面段、野溪流動段、野溪坡度漸緩段、野溪最下游段，其各區位有適用工法(詳如圖 4-86、表 4-52)。

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-51 工程舊思維與新思維差異

	舊思維	新思維
整體性	1.人定勝天 2.以支持經濟發展為主 3.以工程手段(硬體)為主 4.流域管理事權明確分工	1.尊重及順應自然 2.永續發展(兼顧環境生態、經濟發展及社會公義) 3.強化非工程(軟體)措施 4.流域整體規劃及分工執行
水資源	1.充裕水源供應 2.需求導向管理(以需定供) 3.以傳統水源開發為主	1.天然水資源開發總量管制(落實世代 公平原則) 2.供給導向管理(以供定需) 3.多元化水源發展(推動海淡及水再生利用等新興水源)
防洪排水	1.傳統治水對策(築堤束洪、與水爭地) 2.集中處理(依賴河道排洪) 3.興建防洪排水工程為主	1.綜合治水對策(增納保水、滯洪、分洪、減洪、雨水貯留及耐洪建築物興建等措施) 2.分散風險(流域共同分擔雨水) 3.增納非工程防洪措施(土地利用管制、防災預警)

(陳，2010)

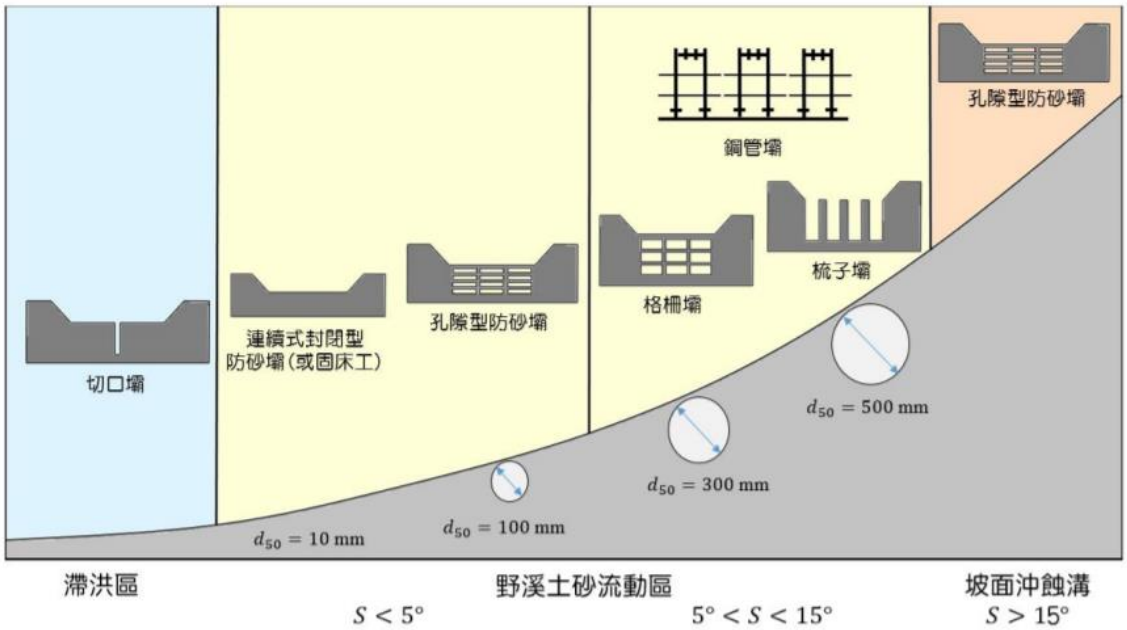


圖 4-86 防砂壩空間規劃配置(陳樹群等人，2016)

DOI:10.6346/NPUST202100182

表 4-52 集水區野溪區位適用工法

區位	特性與目的	工法
上游集水區坡面段	坡陡顆粒細，此區位之沖蝕溝應以防止繼續沖蝕為主，並回淤土壤以安定邊坡。	連續低矮孔隙型防砂壩
野溪流動段	為保持生態及水流連續性	可設置開口型防砂壩，但可以因區位再做微調。例如：土石流源頭區，因河床多屬巨石且流動能量大，可設置開口較大的梳子壩，以阻擋巨石移動，同時使卵礫石顆粒得以往下游移動。
野溪坡度漸緩段	以減緩水流速度，穩定河床為主。	可加裝橫桿及降低壩高以格子壩方式呈現，或是進一步改為孔隙型壩體。
野溪最下游段(堆積區)	水流動能已減緩，但為穩定流心及避免下一波洪水的掏刷。	可興建連續固床工或封閉型矮壩等型態。有些開發區，為減緩洪峰流量，常使用切口壩來構築滯洪池以達到滯洪效果。

(整理自：陳樹群等人，2016)

近年除了工法精進外，隨著科技進步無人載具（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）廣泛應用災害初期勘災，因為遙控無人載具其具備有高機動性、高解像力、不受交通或地形條件限制之優勢，進行區域環境現況調查與災情資訊蒐集，並結合歷史航遙測資料進行分析，以提供防救災規劃及治理決策參考。UAV 設備可快速有效掌握潛在危險的區域之狀況，透過創新的航拍流程與新的測繪技術，能大幅提升航拍技術的效能。空中三角測量平差時的平面與高程地面控制點（Ground Control Points, GCPs），為挑選較不易變動的道路標記地面控制點，其中點位做為製作地形及正射影像校正之地面控制點，其餘點位做為精度檢核用之檢核點，相關成果可用於比對分析地形變化差異量。控制點位坐標以電子化全球衛星即時動態定位

DOI:10.6346/NPUST202100182

（RTK）系統 E-GPS 進行控制點量測，平面坐標系統採用 TWD97 坐標，高程坐標系統採用正高系統。地面控制點如圖 4-87。藉由產製正射影像外，另可轉化數值地表模型 DSM 如圖 4-88。

圖 4-87 UAV 飛行範圍與空標布設(水土保持局，2019)

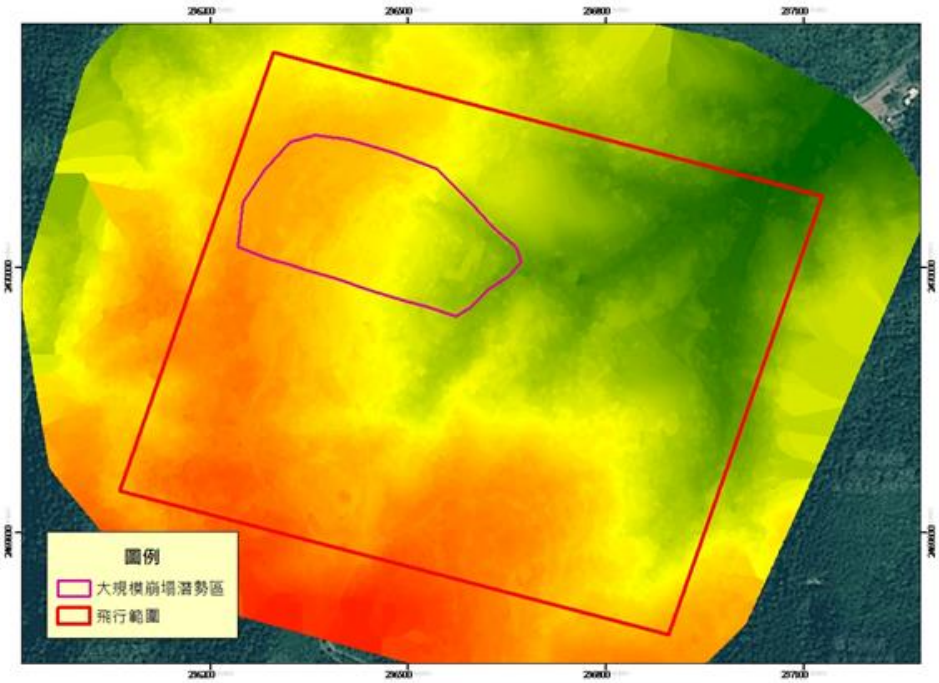


圖 4-88 UAV DSM 產製成果(水土保持局，2019)

DOI:10.6346/NPUST202100182

(四)野溪清疏時機與空間考量

災害防治法主要將防災程序分以下四個步驟：減災、整備、應變及復原，如圖 2-5。各階段與野溪清疏工程相關之部分如下述：

1.減災（一般清疏）

野溪清疏工程為治理工程的第一步，在平日災害尚未發生時，於河道通洪斷面不足之處，先執行野溪清疏工程，維持且暢通河道，使河道擁有足夠的通洪斷面，待河道下切逐漸穩定之後，導入治理工程，若該地區已有既有構造物，則回復其舊有通洪斷面，保障構造物之功能。

2.整備（建立機制）

於平日建立緊急清疏之應變機制，並透過野溪清疏工程減少二次災害之發生。

3.應變（緊急清疏）

於颱風豪雨期間搶險、搶通及復舊，於致災地點，緊急辦理清疏工程，增加其淤積河道通洪斷面，減少災害嚴重性，保全其重要橋梁或道路或聚落之安全。

4.復原（重建復原）

於致災地點進行野溪清疏工程，恢復其河道舊有通洪斷面，或將野溪清疏工程清疏後之土方佈設於被沖毀之農田或道路，亦或是製造成土堤，重建家園。

DOI:10.6346/NPUST202100182

野溪清疏工程策略主要分成五大部份，詳述如下：

1.淤積土石就近利用

(1)就近提供重建工程、堤防新建或復建工程使用，減少交通運輸困擾，快速使用疏濬土石。

(2)堤防復建一併填復流失公、私有土地，就近快速大量使用當地淤積土石，兼顧原有農地恢復其使用功效，有利於復建或新建堤防之穩固、安全。

(3)疏濬土石就近回填河川沿岸公有地遭盜採遺留之坑洞，以回復原有景觀兼顧整體環境安全。

(4)就地整坡固灘，快速有效處理淤積土石，避免影響排洪。

(5)提供其他公共工程使用。

2.清疏作業應分為長期作為及緊急處理

長期以集水區為整體考量，針對目前淤積與後續土砂所可能引發之二次災害，預先作處置，以防止再造成傷害。緊急處理係於防汛期間，以疏通野溪通洪斷面為首要目的，清疏後之土石倘因山區道路交通不便，無法即時運出，短期以就地處置為宜。

3.清疏作業應依現地特性，分期分區施作，並持續滾動式管理

清疏工作的實施，應考慮區內土石堆積的分佈與特性，分期分區擬定實施計畫，其間並應以滾動式管理的概念，就每期每區施作之成果，加以檢討，並持續調整施作方式。

4.營造具深槽之複式斷面溪床

大量淤積土砂限於經費及時間短缺，清疏作業實施的方法，以營造具深槽的複式斷面為較佳，集中水流導正流心，運用水力輸砂，加速土砂運移，即所謂束水攻砂。

5.清疏段水文水理計算

在土石堆積嚴重河道，以營造溪流深槽為目的，初步規劃 2~5 年重現期之洪峰流量為原則，並在之後持續規劃施作複式斷面，

DOI:10.6346/NPUST202100182

以 50 年重現期之洪峰流量且不溢堤為目標。

大地受到地震、颱風、豪雨侵襲，山坡地集水區產生大規模崩塌造成土砂災為自然現象，崩塌地土砂移動或土石流型態產生災害，使中、下游地區河道淤積，洪水水位抬升，沖刷河道兩岸保全對象包括公共設施道路、橋梁、聚落、農地等，為保全設施安全，降低洪水水位使洪水無害通過是減災首要，採取清疏策略以疏通河道瓶頸段使河道暢通兼具束水攻砂成效。

(五)參考地域特性及工法創新

1. 時間軸考量

受全球氣候環境變遷影響，高強度降雨導致山坡地許多崩塌發生，長時間大量土砂流入河道，造成河床內淤積大量土砂，現況因清疏效果有限，且外運困難，無法長時間維持溪床通洪斷面，且該處溪床流心擺盪，每逢颱風期間，高灘地、農田易遭洪水沖損，為減緩災害衝擊，災後可針對不同時間點，進行不同工程設計考量(圖 4-89)，時間點規劃可分為短期、中期及長期。短期：河道規劃除可進行緊急疏通外，可配合臨時性防災措施，例如：現地拌合工法、乾砌石塊、石籠工法、混凝土異形塊(圖 4-90~圖 4-92)，並不適合在土砂淤積處設置永久性措施；中期：可針對野溪護岸損害修復，並持續觀察護岸損壞程度，而進行適當處置；長期：應作集水區整體性考量，規劃適當永久性設施。

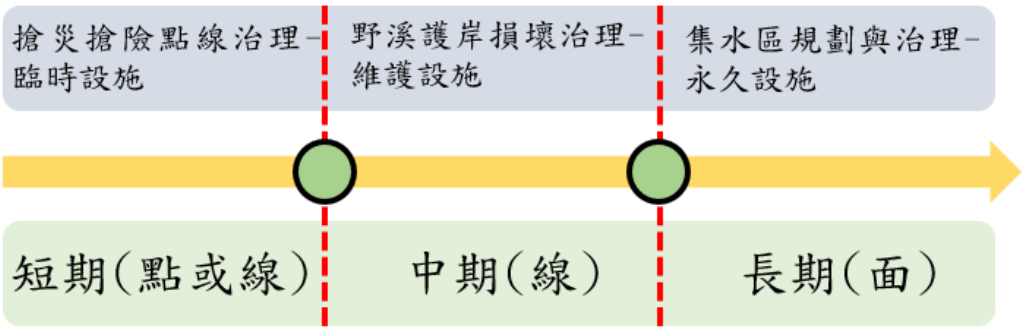


圖 4-89 時間與治理目標

DOI:10.6346/NPUST202100182

01 五福谷野溪現拌工法(1/2)

02 五福谷野溪現拌工法(2/2)

03 大竹溪基礎現拌工法(1/2)

04 大竹溪基礎現拌工法(2/2)

圖 4-90 野溪清疏現地拌合工法

01 安朔溪現拌工法

02 安朔溪梅園橋右岸現拌基礎乾砌石

03 安朔溪梅園橋全景

04 安朔溪梅園橋上游左岸蛇籠護岸

圖 4-91 安朔溪野溪清疏臨時設施

DOI:10.6346/NPUST202100182

01 加津林溪乾砌石(1/2)

02 加津林溪乾砌石(2/2)

圖 4-92 加津林溪野溪清疏乾砌石

2.防砂壩改良

臺東地區可依據土壤地質條件劃分為 3 個區域(圖 4-93)，分別為：A.縱谷線：縱谷西側為中央山脈野溪集水區上游，坡度陡峭，岩石崩落，易產生大塊石粒徑，因此適用梳子壩或調整型鋼管壩進行攔阻(圖 4-94)；B.海線：主要為海岸山脈野溪集水區，因地質條件關係，尤其利吉層易堆積細顆粒土砂，因此適用石籠壩或封閉式調整型防砂壩控制土砂(圖 4-95)；C.南迴線：受地質條件影響，該區域多為礫石及風化岩屑，因此適用 H 型鋼格柵式調整型防砂壩(圖 4-96)。

又近幾年因為生態議題的凸顯，在設計實務上著重改變傳統思維，將傳統防砂壩改良應用，在臺東土石流潛勢溪流臺東 DF051 太平坑既有潛壩之改善中，即應用近年常被討論之 H 型鋼格柵式透過性壩，水土保持單位自 2014 年導入可調控土砂之調整型防砂壩概念，此工法在西部地區應用多年效果良好，也廣為被接受。因此未來在工法上臺東地區可以參考區域地質與土砂粒徑條件不同，採用各類較為生態且可以調控土砂之設計型式，減少一再設置傳統固定式的防砂工程設施，也減少對生態棲地的衝擊。

DOI:10.6346/NPUST202100182

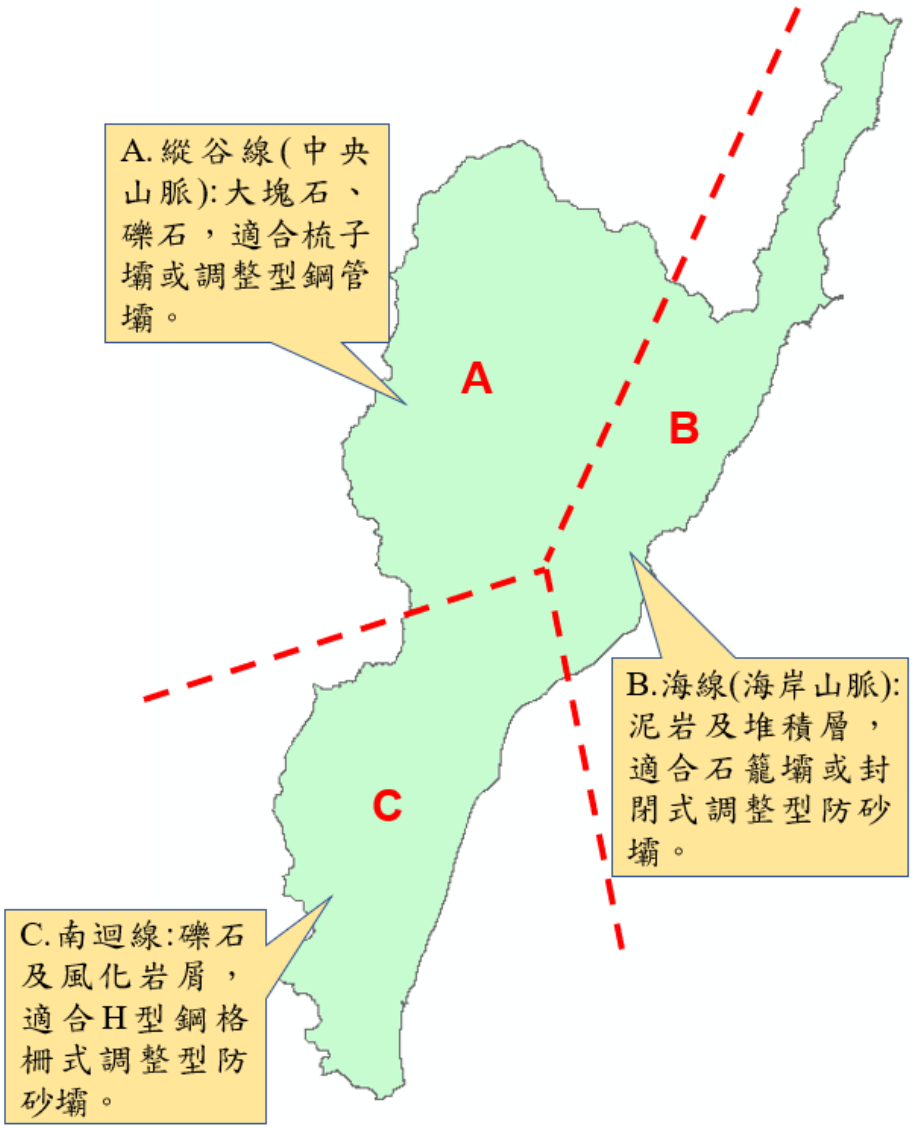


圖 4-93 區域空間與治理工法建議

調整型防砂壩可依照區域土砂粒徑粗細調整間距，方便攔阻土砂安全排放洪水逕流，淤滿後經適度的土砂排放機制中可以避免壩體下游護岸或固床工甚至是壩體本身的淘空或破壞，同時減少清淤經費，而其鋼構材料若因年久遭撞擊變形，則可當一般耗材更換，在經濟的角度上而言，可以減少主體工程的費用支出甚鉅。

DOI:10.6346/NPUST202100182

目前調整型防砂壩發展趨勢與應用逐漸廣泛，一般可分為:

(1)鋼管加橫桿調整型

可攔阻大塊石功能類似梳子壩，但淤滿後可以視設計高度分階或單階拆除調節，也可以單座或多座配合拆解調控土砂量 2017 年及 2018 年分別於惠蓀林場一號橋及二號橋上游設計或改造兩座調整型鋼管壩(經費來源水保局南投分局)。

(2)型鋼格柵式調整型

依現場粒徑設計不同間距，一般可以再區分為內填卵塊石或不填卵塊石兩種型式，可以過濾土砂安全排放逕流，惟調整型格柵式防砂壩一般不內填卵塊石，避免拆卸時阻力過大。另在 2016 年及 2021 年南投林管處轄 1704 保安林班內分別設置兩座型鋼調整型防砂壩，臺東則在臺東分局 2020 年太平坑土石流潛勢溪流設計施作系列四座型鋼格柵式調整型防砂壩。

(3)封閉式橫板調整型:

此類封閉式調整型防砂壩是 2014 年在恆春東門溪滯洪池上游支流三臺山野溪，為水保局臺南分局設計施作兩座由傳統重力式防砂壩所改良之封閉式調整型防砂壩，主要考量是該地區為泥岩地質，屬細顆粒之材料，又是三軍聯訓基地火砲射擊場域，泥砂來源相對較多，2015 年完工約四年即淤滿，該場域於 2020 年局部拆卸橫板進行重力排砂試驗，而此種工法洽可適度應用於臺東海岸山脈利吉層泥岩地區野溪之治理。

長期河道規劃考量集水區上、中、下游，整體土砂量收支平衡，然而傳統型重力式防砂壩為最常使用工法之一，缺點為完工後無法調整攔砂量，當過多的攔砂量，可能會導致集水區下游泥砂補充不足，形成河道下切而致使護岸或固床工淘空或損毀，嚴重則有海岸線退縮等問題，且逢每年東北季風期間，易有揚塵發生(如：卑南溪)；若攔砂量不足，可能會導致下有土砂災害或海岸線土砂淤積嚴重，因此可設置調整型防砂壩因應。

DOI:10.6346/NPUST202100182

01-鋼管加橫桿調整型防砂壩
(惠蓀一號橋上游)

02-鋼管加橫桿調整型防砂壩雙層
(惠蓀二號橋上游)

圖 4-94 A 區縱谷線適用工法

01-恆春三臺山封閉式橫板調整型防砂壩(三孔)

02-恆春三臺山封閉式橫板調整型防砂壩(單孔)

圖 4-95 B 區海線適用工法

DOI:10.6346/NPUST202100182

01-透過性防砂壩內填卵石固定型不可拆卸

02- H 型鋼格柵式調整型防砂壩未填卵石

03-田中林班地弧形型鋼格柵式調整型防砂壩(施工中)

04-臺東 DF051 太平坑型鋼格柵式調整型防砂壩

05-大鳥部落上游梳子壩加橫稈鋪網(照片提供：林志賢)

06-大鳥部落上游梳子壩加橫稈初期(照片提供：林志賢)

圖 4-96 C 區南迴線適用工法

DOI:10.6346/NPUST202100182

(六)增加滯洪保水與減災避災

滯洪保水可分為天然窪地與人工營造水環境，其中人工部分包含滯洪池、滯洪壩、農塘、蓄水池等保水空間，亦可將傳統防砂壩改為滯洪壩，增加蓄水空間(圖 4-97)。依水土保持技術規範規定，山坡地凡涉及開發行為，皆須要設置滯洪池，如果設計僅考慮滯洪功能，其設計容易造成保水空間浪費，水環境營造向來是生態資源最為豐富地方之重要要素，因此若能在設計滯洪池時，考量多功能目標，更有助於環境營造，近年國內許多新興開發區或重劃區都因海綿城市概念而有防災滯洪池之設計。

臺東縣許多野溪，下游無水路排放或縮減排洪斷面情況嚴重，如果從逕流分擔的觀念營造滯洪保水空間，有助於分散野溪下游逕流,應多尋找野溪上游是當地點設置滯洪池,除減少下游土砂洪害,也可補注地下水。尤其近來鑑於氣候異常出現乾旱缺水嚴重，有關地下伏流水議題相當受到重視，若能配合地下伏流水之利用，已可提供臺東地區各項用水來源，此為未來野溪治理策略通盤檢討應用之方向。

近年臺東分局在朝庸溪上游保安林地規劃設置一處滯洪壩，並完成細部設計也獲得林務局臺東林管處同意執行；此外，在臺東富源地區已完成一處滯洪農塘，近期正在規劃武陵農塘之設計，該計畫係跨域合作之典範，計畫位於鹿野武陵戒治所(外役監)內，原有農塘設施供戒治所農場澆灌使用，配合原水利會改制農水署後之業務需求及水保局滯洪農塘政策之推動，計畫藉由整合三個單位需求將擴大農塘範圍，增加蓄水量及提共更大灌區使用，同時可達到水保局減洪、滯洪及減災之目的，因此武陵戒治所提共用地，水保局提撥經費及工程施作，而農水署則利用原有灌溉水圳提供自上游溪流引水至本計畫滯洪農塘，相關計畫配置詳圖。此類計畫未來應可以再繼續推廣應用達到多贏的目標。

DOI:10.6346/NPUST202100182

01-富源地區野溪坑溝設置滯洪農塘

02-朝庸溪上游保安林內已規劃設置滯洪壩

03-野溪整治將伏流水另置蓄水池提供農民使用

04-武陵農塘規劃設計位置

圖 4-97 相關滯洪設施

(七)設計階段之施工風險評估

依據 2020 年勞動部職業安全衛生署核定「營造工程施工風險評估技術指引解說手冊」，明確說明工程設計者應就工程設計成果實施施工風險評估。大致可分為以下階段：第一階段：評估時應將環境及工程需求納入考量，依序實施各階段，並發掘不可接受風險，各別擬定不同對策。第二階：由設計部門主管，召集設計工作相關人員與具風險評估專業能力之職業安全衛生人員，組成施工風險評估小組，辦理風險評估。第三階段：設計前，發掘潛在危害，作為發展設計方案之重要參考。第四階段：設計階段施工風險對策，對不可接受之風險，應優先考量修改設計，選擇安全工法因應。

(八)落實生態檢核與友善措施

「生態檢核」為行政院公共工程委員會近年來推動政策，目的為提升國內水土保持工程，對環境友善措施，減輕工程對環境生態

DOI:10.6346/NPUST202100182

造成的衝擊。在規劃治理工程前，進行調查周邊生態環境，評估工程可能之影響，依據迴避、縮小、減輕、補償等原則，擬定生態友善策略與措施，並邀請在地民眾與專業團體，多方協調溝通，尋求最佳規劃方案，以達成生態永續之目標(行政院農業委員會水土保持局，2019)。

水土保持局於 2019 年出版「生態檢核 HANDNBOOK」中，說明工程常見 11 項生態議題，分別為保留自然棲地、保留或復育天然濱溪帶、保護大樹、維持溪流棲地自然樣貌、施工期間濁度控制、避免連續性陡直護岸、避免壩體造成溪流生物縱向阻隔、道路排水及集水設施設置動物逃生坡道、避免外來入侵植物隨工程進入、當地人文相關課題及工區關注物種保護。

以「避免壩體造成溪流生態縱向阻隔」為例，溪流橫向構造物造成的高低落差，會成為水生動物上下游遷徙或移動的障礙，因此可減少工程量體，保留天然溪段或溪流環境(縮小)，與降低橫向構造物高度，減低溪流高低落差(減輕)(圖 4-98~圖 4-100)。

圖 4-98 橫向生態通道

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 4-99 生態預鑄槽工法

圖 4-100 舊壩改善高壩低矮化

(九)規劃預警系統及自主防災

預警系統（Early Warning System, EWS）經常被用作針對自然災害，具有成本效益的風險緩解措施，可提供未來或正在進行中事件即時傳達訊息，以減少生命財產損失。與工程構造物保護措施相比，預警系統較為便宜，且安裝時間短，對環境的影響更小。 在過去的十年中，預警系統經歷快速的技術發展，如今已作為綜合風險管理方法中的緩解措施，並被廣泛採用(Sättele *et al.*, 2015)。土石流造成高山經濟損失和人員傷亡，主要是由暴雨導致，暴雨的特徵是每小時降雨強度，有不同的高峰，取決於所考慮流域特徵。針對每個流域類別確定降雨警戒值，依據歷史記錄的統計分析，可向當地政府發出警報(Tiranti *et al.*, 2015)。

DOI:10.6346/NPUST202100182

極端降雨事件頻傳,除工程設計嚴謹要求外,應配合避難逃生,降低人員傷亡，因此近年來政府積極推動自主防災社區。水保局於2004年推動土石流自主防災社區，利用各種方式進行宣導，包含演練講習、兵棋推演及防災宣導等，從中宣導社區人員相關土石流防災知識，提昇基層防救災能量，並輔導防災社區管理與維護。

(十)加強設施構造物維護管理

過去水土保持局完工後，工程轉給地方政府管理，但往往地方政府，並無人力與財力做維護與管理，除管考系統外，無法滾動式管理維護，對於構造物生命週期，未能獲得即時發揮補救措施。因此建議可效仿香港與臺北市，建立構造物例行性巡勘及工程構造物標示 QR Code，將構造物履歷登載清楚。有關台北市坡地人工邊坡調查建檔，其標準流程如圖 4-101，在前往調查點位前可先進入資訊系統，並根據地理資訊及地形圖等相關資料，查詢與填寫人工邊坡基本資料。臺北市已建立山坡地人工邊坡資訊系統(http://163.29.39.163/TCGEMSIS/)，可提供人工邊坡查詢(圖 4-102、圖 4-103)。未來各單位相關工程完工後，建議可參考前例，建立相關管理系統，可提升工程安全及工程壽命。

DOI:10.6346/NPUST202100182

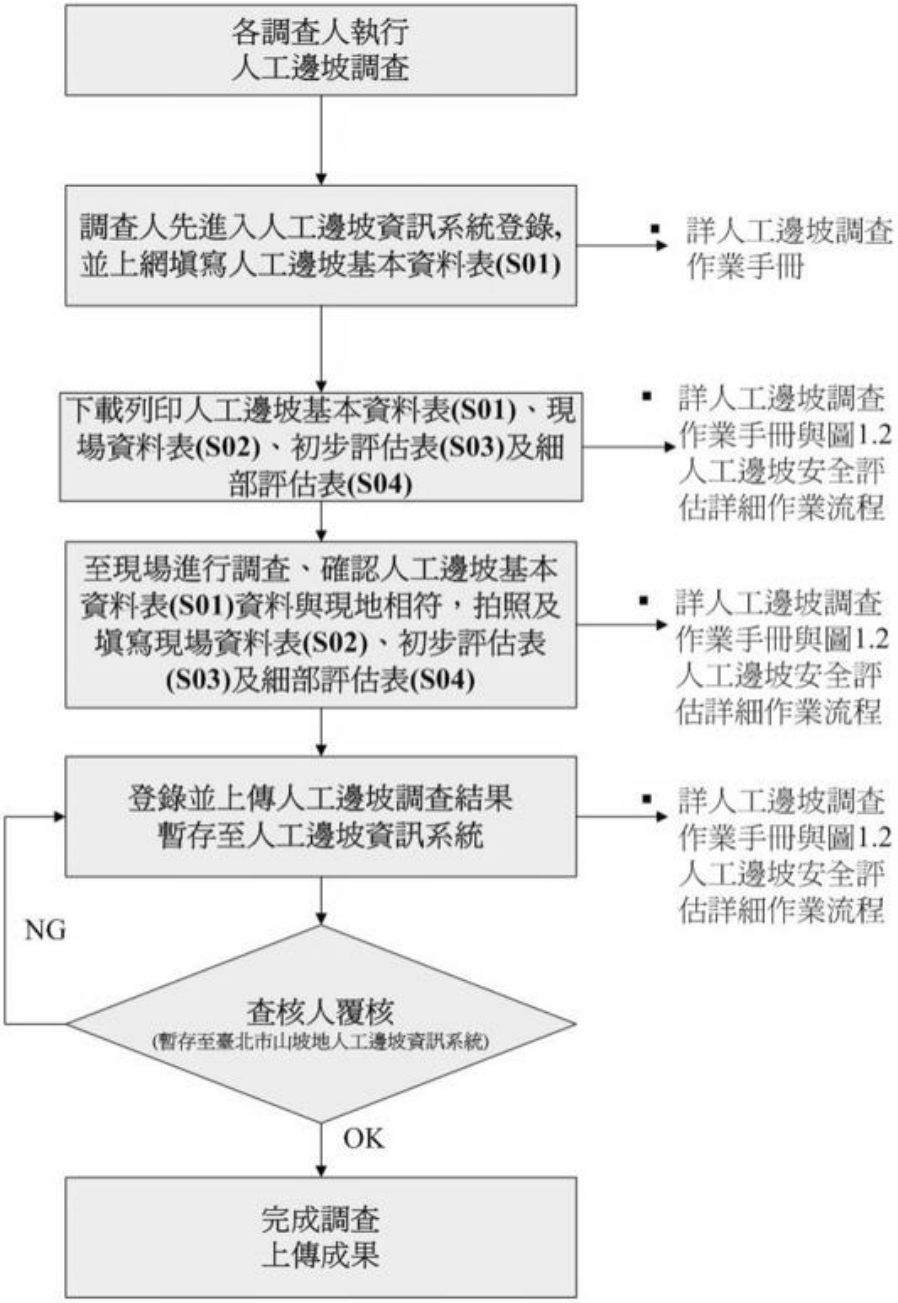


圖 4-101 山坡地人工邊坡調查建檔標準作業程序
(資料來源：台北市政府大地工程處)

DOI:10.6346/NPUST202100182

圖 4-102 人工邊坡查詢
(資料來源：台北市政府大地工程處)

圖 4-103 實體告示牌
(資料來源：台北市政府大地工程處)

DOI:10.6346/NPUST202100182

伍、結論與建議

本研究利用環境參數建置土砂模式，可由分析結果與現場調查，探討風災土砂運移過程。為了解颱風事件降雨與土砂之間關係，因此利用多期衛星影像、土壤資料及水文監測數據等進行分析，探討風災期間土砂量之空間分布，並與現場土砂進行驗證。最後，本研究依據土砂生產量與清疏成效，並提出災害管理與治理策略建議，由本研究可彙整以下結論與建議:

一、結論

(一) 2009 年莫拉克颱風造成臺東地區災害相當嚴重，因此本研究各別分析臺東野溪集水區 2009 年~2012 年期間，集水區之崩塌量、沖蝕量、土砂運移與堆積空間分布，並與現地土砂調查結果趨勢相符。

(二) 崩塌分析結果，顯示 2009 年莫拉克災前各不同年度之崩塌範圍差異不大，而至莫拉克颱風侵襲後，崩塌範圍明顯擴增，增加的崩塌區域提供大量之土砂料源，為造成臺東縣多處野溪土砂淤積問題之主因。

(三) 臺東沿海河系中七個重點次集水區範圍，2009 年莫拉克颱風後之崩塌面積約為 5,292.5ha，是莫拉克颱風前崩塌間約 1,131.8ha 的 4.68 倍，而颱風後之崩塌總量體近約 9,465 萬 m^3。

(四) 2012 年天秤颱風後之六個重點集水區之崩塌面積約 5724.9ha，約比 2009 年莫拉克颱風後肢崩塌面積 6443.1ha，減少約 718.2ha，顯示 2009 年莫拉克颱風後崩塌地有明顯之穩定復育。

(五) 土壤沖蝕分析結果，顯示莫拉克颱風初期臺東沿海河系內之重點次集水區坡地土壤沖蝕較為嚴重地區為太麻里溪中及上游段集水區、金崙溪上游段集水區；2010 年至 2012 年天秤颱風後各集水區之坡地土壤沖蝕較為嚴重地區為新武呂溪及太麻里溪中上游、金崙溪中下游段、安朔溪支流。

(六) 土砂運移與堆積結果，顯示莫拉克颱風期間臺東沿海河系內之土砂堆積較嚴重區域為太麻里溪中及上游段、金崙溪上游段；2010 年

DOI:10.6346/NPUST202100182

至 2012 年天秤颱風期間之土砂堆積較嚴重區域為新武呂溪及太麻里溪中上游段、金崙溪上游段及中游段、大竹溪上游段。

(七) 臺東土砂清疏大致可依野溪集水面積大小及地形特性，分類為 1.已辦理清經常清疏之構造物河段;2.集水面積 20km^2 以下小型集水區；3.集水面積 20~80 km^2 中等集水區；4.集水區面積 80 km^2 以上較大集水區及 5.集水區面積 80~300km^2 超大之峽谷上游。其清疏應用策略各有不同。

(八) 依據文獻回顧與現場實務經驗，治理策略除須改變既有傳統思維外，並可參考時間與空間等因素，選擇適當治理工法，將有助於提升集水區治理之成效。

(九) 臺東地區野溪治理目標，可依據時間長短劃分為 3 個時段，分別為短期(臨時性防災措施)、中期(野溪護岸修復)及長期(集水區整體性規劃)。在空間與治理工法之應用，可依據土壤地質條件劃分為 3 個區域，分別為縱谷線(中央山脈)、海線(海岸山脈)及南迴線。

(十) 對於未來臺東治理策略與應用，可參考本研究歸納十大面向進行考慮，分別為：1. 臺東地區野溪特性與問題；2. 臺東野溪治理工法之演進;3.改變舊思維與導入新科技;4.野溪清疏時機與空間考量;5.參考地域特性及工法創新；6.增加滯洪保水與減災避災；7.設計階段之施工風險評估；8.落實生態檢核與友善措施；9.規劃預警系統及自主防災；10.加強設施構造物維護管理。

二、建議

(一)臺東地區五月後即進入梅雨季與颱風季節，因此每年一至四月為清疏最佳時段，故建議在雨季來臨前完成各項清疏工作，以達到清疏之目的。

(二)近年來的極端氣候與異常降雨事件頻傳，降雨無論是強度、延時或累積雨量常都超過百年重現期，造成集水區上游沖蝕、崩塌、地滑、土石流與堰塞湖潰決等，同時存在的複合型土砂災害經常性發生，因此集水區內淤積土砂的調控為當務之急。

(三)中上游地區淤積的大量土砂除應儘可能找尋適當堆置場所進行清

DOI:10.6346/NPUST202100182

除工作外，不論是用採售合一或分離的方式管控機制都必須強化與活化。故研擬土砂資源應用於工程施工佈設或直接作為工程材料的一部分，亦應是重要策略之一，並以滾動式的檢核觀念逐步的修正執行，才能有一定的成效。

(四)集水區在短、中期災害搶修與治理外，長期應有集水區整體性治理規劃，並以滾動式檢討。

(五)本研究分析臺東地區 2009~2012 年期間，集水區土砂空間分布，並進行現地調查，未來可持續蒐集相關資料，作為修正治理策略之參考。

NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY
國立屏東科技大學

DOI:10.6346/NPUST202100182

DOI:10.6346/NPUST202100182

參考文獻

1. 行政院農業委員會水土保持局，1992，*崩塌地調查、規劃與設計手冊(地滑篇)*。
2. 行政院農業委員會水土保持局，2005，*水土保持手冊(工程篇)*。
3. 行政院農業委員會水土保持局，2008，*集水區整體調查規劃工作參考手冊*。
4. 行政院農業委員會水土保持局，2010，*99 年度台東分局清疏作業專案管理計畫*。
5. 行政院農業委員會水土保持局，2010，*台東南部沿海地區莫拉克風災整體復建規劃*。
6. 行政院農業委員會水土保持局，2012，*101 年度台東分局清疏作業專案管理計畫*。
7. 行政院農業委員會水土保持局，2019，*生態檢核 HANDNBOOK*。
8. 行政院農業委員會水土保持局，2019，*朝庸溪集水區(主流古庄橋上游、支流東縣 DF102、DF103 及大武鄉-D025 大規模崩塌潛勢等重點區域)細部規劃*。
9. 行政院農業委員會水土保持局，2020，*水土保持技術規範*。
10. 何智武、黃宏斌，1983，「台灣上游湍流河道之輸砂模式研究」，*中華水土保持學報*，第 14 卷，第 2 期，第 95-106 頁。
11. 李三畏，1984，「台灣崩塌地問題探討」，*地工技術*，第 7 卷，第 43-49 頁。
12. 姜燁秀、吳上豪、蔡正壽、連榮吉、蘇苗彬，2011，「野溪清疏作業方法之二：河溪現況的分類與評估」，*水保技術*，第 6 卷，第 4 期，第 225-242 頁。
13. 姜燁秀、吳上豪、蔡正壽、連榮吉、蘇苗彬，2012，「野溪清疏作業方法之三：河道淤積分佈與規模評估作業」，*水保技術*，第 7 卷，第 3 期，第 190-197 頁。
14. 國家災害防救科技中心，2004，*石門水庫淤積及上游集水區崩塌分析評估報告*。
15. 陳伸賢，2010，「氣候變遷對水利工程挑戰與調適」，*學術天地*。

DOI:10.6346/NPUST202100182

16. 陳樹群、安軒霈、國領ひろし、林永欣，2016，「野溪高土砂災害之模組化防砂壩管理」，*中華水土保持學報*，第 47 卷，第 3 期，第 111-121 頁。
17. 黃宏斌，1992，「陡坡水槽之輸砂量模式研究」，*台灣水利*，第 40 卷，第 1 期，第 209-215 頁。
18. 經濟部水利署，2002，*流域土砂管理模式之研究*。
19. 詹勳全、張嘉琪、陳樹群、魏郁軒、王昭堡、李桃生，2015，「台灣山區淺層崩塌地特性調查與分析」，*中華水土保持學報*，第 46 卷，第 1 期，第 19-28 頁。
20. 臺北市政府工務局大地工程處，2017，*臺北市山坡地人工邊坡調查建檔與巡勘檢查工作人工邊坡調查與巡勘檢查作業手冊*。
21. 歐陽元淳，2003，「水庫集水區土壤沖蝕之研究-以石門、翡翠水庫為例」，*國立台灣大學地理環境資源學研究所碩士論文*。
22. 潘國樑，1991，*坡地開發與調查*，台北市，詹氏書局。
23. 鄭旭涵、吳上豪、蔡正壽、陳志雄、蘇苗彬，2010，「野溪清疏作業方法之一：莫拉克風災後野溪的清疏策略」，*水保技術*，第 5 卷，第 4 期，第 239-249 頁。
24. Center, A. D. R., 2012, Natural disaster data book, Asian Disaster Reduction Center (ADRC).
25. Cinnamon, J., Jones, S. K. and Adger, W. N., 2016, "Evidence and future potential of mobile phone data for disease disaster management," Geoforum, Vol. 75, pp. 253-264.
26. Coussot, P. and Meunier, M., 1996, "Recognition, classification and mechanical description of debris flows," Earth-Science Reviews, Vol. 40, No. 3-4, pp 209-227.
27. Djimesah, I.E., Okine, A.N.D. and Mireku, K.K., 2018, "Influential factors in creating warning systems towards flood disaster management in Ghana: An analysis of 2007 Northern flood," International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 28, pp. 318–326.
28. Hayashi, S. I., Mizuno, H., Okamoto, A., Hiruma, M. and Kondo, R., 2013, "Activities of the ESCAP/WMO Typhoon Committee Regarding Sediment-Related Disaster Prevention Using Non-Structural Measures,

DOI:10.6346/NPUST202100182

Based on Japa Nese SABO Technology," Tropical Cyclone Research and Review, Vol. 2, No. 1, pp. 55-64.
29. Hutter, K., Svendsen, B. and Rickenmann, D., 1994, "Debris flow modeling: A review. Continuum mechanics and thermodynamics," Vol. 8, No. 1, pp. 1-35.
30. ISDR (International Strategy for Disaster Reduction), 2004, Living with risk: A global review of disaster reduction initiatives, vol. 2.Geneva.
31. Japan SABO Association., 2003, Handbook of the Sediment Disasters Prevention Act in Japanese.
32. Jia, H., Wang, G., Guo, L., Zhuang, J. and Tang, L., 2015, "Wind erosion control utilizing standing corn residue in Northeast China," Soil and Tillage Research, Vol. 153, pp. 112-119.
33. Khazai, B. and Sitar, N., 2000, "Assessment of Seismic Slope Stability Using GIS Modeling," Geographic Information Sciences, Vol.6, NO.2, pp 121-128.
34. Kimoto, A., Nearing, M. A., Shipitalo, M. J. and Polyakov, V. O., 2006, "Multi-year tracking of sediment sources in a small agricultural watershed using rare earth elements," Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group, Vol. 31, No. 14, pp. 1763-1774.
35. Lake, P. S., 2000, "Disturbance, patchiness, and diversity in streams," Journal of the north american Benthological society, Vol. 19, No. 4, pp. 573-592.
36. Lee, B. D., Graham, R. C., Laurent, T. E. and Amrhein, C., 2004, "Pedogenesis in a wetland meadow and surrounding serpentinitic landslide terrain, northern California, USA," Geoderma, Vol. 118, No. 3-4, pp. 303-320.
37. Lewin, J., 1989, Floods in fluvial geomorphology. In Floods, hydrological, sedimentological and geomorphological implications. Workshop, joint meeting of the BGRG and the British Hydrological Society (pp. 265-284).
38. Listo, F. D. L. R., Gomes, M. C. V. and Ferreira, F. S., 2020, Evaluation of shallow landslide susceptibility and Factor of Safety variation using

DOI:10.6346/NPUST202100182

the TRIGRS model, Serra do Mar Mountain Range, Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 103011.
39. Liu, J. P., Zeng, Z. P., Liu, H. Q., and Wang, H. B., 2011, "A rough set approach to analyze factors affecting landslide incidence," Computers & geosciences, Vol. 37, No. 9, pp. 1311-1317.
40. Liu, T., Xu, X. and Yang, J., 2017, "Experimental study on the effect of freezing-thawing cycles on wind erosion of black soil in Northeast China," Cold Regions Science and Technology, Vol. 136, pp. 1-8.
41. Migoń, P., Pánek, T., Malik, I., Hrádecký, J., Owczarek, P. and Šilhán, K., 2010, "Complex landslide terrain in the Kamienne Mountains, middle Sudetes, SW Poland," Geomorphology, Vol. 124, No. 3-4, pp. 200-214.
42. Phillips, J. D. and Van Dyke, C., 2016, "Principles of geomorphic disturbance and recovery in response to storms," Earth Surface Processes and Landforms, Vol. 41, No. 7, pp. 971-979.
43. Polyakov, V. O. and Nearing, M. A., 2004, "Rare earth element oxides for tracing sediment movement," Catena, Vol. 55, No. 3, pp. 255-276.
44. Polyakov, V. O., Kimoto, A., Nearing, M. A. and Nichols, M. H., 2009, "Tracing sediment movement on a semiarid watershed using rare earth elements," Soil Science Society of America Journal, Vol. 73, No. 5 , pp. 1559-1565.
45. Pudasaini, S. P., Wang, Y. and Hutter, K., 2005, "Modelling debris flows down general channels," Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 5, No. 6, pp. 799-819.
46. Resh, V. H., 1982, Age structure alteration in a caddisfly population after habitat loss and recovery. Oikos, 280-284.
47. Sättele, M., Bründl, M. and Straub, D., 2015, "Reliability and effectiveness of early warning systems for natural hazards: Concept and application to debris flow warning," Reliability Engineering & System Safety, Vol. 142, pp. 192-202.
48. Schumm, S. A., 1976, Episodic erosion: a modification of the geomorphic cycle. Colorado State Univ Fort Collins Dept of Earth Resources.
49. Shen, P., Zhang, L., Chen, H. and Fan, R., 2018, "EDDA 2.0: integrated

DOI:10.6346/NPUST202100182

simulation of debris flow initiation and dynamics considering two initiation mechanisms," Geoscientific Model Development, Vol. 11, pp. 2841-2856.

50. Simon, A. and Rinaldi, M., 2006, "Disturbance, stream incision, and channel evolution: The roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response," Geomorphology, Vol. 79, No. 3-4, pp.361-383.
51. Simons, D. S. and Senturk, F., 1977, Sediment transports technology. Water Research Publ. Fort Collins, Colorado 80522 USA.
52. Takahashi, T. and Das, D. K., 2014, Debris flow: mechanics, prediction and countermeasures. CRC press.
53. Tiranti, D., Cremonini, R., Marco, F., Gaeta, A. R., and Barbero, S., 2014, "The DEFENSE (debris Flows triggEred by storms–nowcasting system): An early warning system for torrential processes by radar storm tracking using a Geographic Information System (GIS)," Computers & Geosciences, Vol. 70, pp. 96-109.
54. Torkashvand, A. M., Irani, A. and Sorur, J., 2014, "The preparation of landslide map by landslide numerical risk factor (LNRF) model and geographic information system (GIS) ," The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, Vol. 17, No. 2, pp. 159-170.
55. UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction), 2009, Terminology on disaster risk reduction, Int. Strategy Disaster Reduct. (ISDR), pp. 1-30.
56. USACE., 1994, Channel Stability Assessment for Flood Control Projects.
57. Varnes, D.J., 1978, Slope movement types and processes. In: Schuster RL, Krizek RJ (eds) Landslides: analysis and control. National Research Council, Transportation Research Board, Washington, DC, Special Report 176, pp. 11-33.
58. Ward, J. W. and Stanford, J. A., 1983, Intermediate-disturbance hypothesis: an explanation for biotic diversity patterns in lotic ecosystems. Dynamics of Lotic Systems, Ann Arbor Science, Ann Arbor MI. 1983. 347-356 p, 2 fig, 35 ref.
59. Wistuba, M., Malik, I., Krzemień, K., Gorczyca, E., Sobucki, M.,

DOI:10.6346/NPUST202100182

Wrońska-Wałach, D. and Gawior, D., 2018, “Can low-magnitude earthquakes act as a triggering factor for landslide activity? Examples from the Western Carpathian Mts, Poland,” Catena, Vol. 171, pp.359-375.

60. Wolman, M. G. and Gerson, R., 1978, “Relative scales of time and effectiveness of climate in watershed geomorphology,” Earth surface processes, Vol. 3, No. 2, pp. 189-208.
61. Xia, X., and Liang, Q., 2018, “A new depth-averaged model for flow-like landslides over complex terrains with curvatures and steep slopes,” Engineering Geology, Vol. 234, pp. 174-191.

NATIONAL PINGTUNG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY
國立屏東科技大學

DOI:10.6346/NPUST202100182