



107
年度大規模土砂災害
防災對策先期研究

成果報告書

107
年度

行政院農業委員會水土保持局

107年度大規模土砂災害 防災對策先期研究

成果報告書



行政院農業委員會水土保持局

與您一起打拼



行政院農業委員會水土保持局
54044南投市中興新村光華路6號
<https://www.swcb.gov.tw>



行政院農業委員會水土保持局 編印
中華民國107年12月

**107 年度大規模土砂災害
防災對策先期研究**

**The Preparatory Study of Prevention
Strategy for Large-scale Sediment Disaster**

執行單位：財團法人農業科技研究院

研究主持人：翁瑋蓮 組長

研究人員：林家興、黃奉琦、劉維則、吳軒蘋、林詠喬

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 107 年 12 月

107 年度大規模土砂災害防災對策先期研究

摘要

本計畫為三年期(105-10 年度)之連續型計畫案，三年計畫執行期間研究成果論文發表共計 27 篇，期刊論文總計產出 2 篇，水保領域研討會總計 18 篇，跨領域研討會總計 7 篇，在 25 篇研討會論文中，屬於國際研討會總計 3 篇。

本年度計畫完成工作項目包含：水土保持技術研究發展規劃與建議、盤點水土保持局歷年已完成之土砂防災技術研究成果、土砂災害模擬相關模式測試與分析、土砂防災研究發展議題等四大項，各項工作摘要成果分述如下：

在水土保持技術研究發展規劃與建議方面，為因應氣候變遷的衝擊影響，複合型天然災害之高度不確定性，對目前組織內部與外部因素進行問題分析與探討，並藉由召開水土保持發展策略規劃推動工作坊，逐步釐清技術研究發展上所面臨挑戰與困境。同時，對各業務發展短、中、長期規劃為主軸，提出水土保持局技術研究發展方向之整體性規劃與建議，並藉由綜整「土砂論壇」之中各界(產、官、學、研)專家建議，以擬訂未來土砂相關治理策略，期能建立水土保持局擘劃前瞻策略機制之基礎參據。

在盤點歷年已完成之土砂防災技術研究成果方面，共彙整 97 年度至 106 年度水土保持局相關之委辦與研究計畫成果報告計 1545 冊，主要是針對計畫成果進行檢核，對於基礎資料，規劃基礎資料標準化格式與規範、以確保成果延續發展可行性，並以資料彙整與資源共享為目標，將值得增值應用與可持續發展技術之重要資料，提出後續應用方向與建議。其具體成果包括：(一)定期召開基礎資料發展工作坊 (資料彙整與檢索)、(二)規劃水土保持局技術研究基礎資料管理平台 (資源整合與共享)、(三)規劃計畫招標採購說明預期成果清單 (專案控管)、(四)定期檢視成果資料統整，發掘計畫成果可增值用途 (增值應用)。

在土砂災害模擬相關模式測試與分析之工作項目，今年度分別以「視覺化 IRIS 模式」、「HEC-RAS 2D 潰壩模擬」及「坡地降雨致災區警戒模式」三種軟體或模式針對不同災害案例建立數值模型，評估分析模式的適用性與其限制。其中坡地降雨致災區警戒模式，是整合 QPE 雷達降雨網格資料與歷年崩塌地變化率，並提出坡地降雨致災熱區評估指標，應用網格方式建立警戒發布機制。在 HEC-RAS 2D 模式應用於潰壩模擬方面，由於堰塞湖存在時間短暫，現地資料取得不易，特別是在颱風豪雨事件中形成後潰決者，往往對於下游民眾造成極大威脅，因此，如何在短時間內快速評估影響範圍與潰壩衝擊評估，是非常重要課題，本研究已建立以 HEC-RAS 2D 模擬堰塞湖潰壩之能力。在應用整合式降雨入滲崩塌預測模式(IRIS)方面，其整合降雨、入滲及邊坡穩定分析等多個模組，計算快速並以視覺化方式動態呈現降雨入滲過程中土壤含水量之變化與臨界滑動之關聯性，能有效模擬崩塌時間及臨界滑動面位置。

在土砂防災研究發展議題研擬項目，則透過「土砂論壇」之預備會議、正式會議以及專家會議後，經由會議之意見交流與討論得出三大議題分述如下：山河共治-集水區土砂收支與管理，掌握先機-坡地監測與資訊智慧管理平台，永續利用-氣候變遷下水土保持總合調適策略。本研究團隊提出後續建議：(一)落實集水區土砂智慧管理，結合出流管制與逕流分擔機制，以達成長期土砂收支平衡之目標；(二)透過提昇組職內外各部門間橫向聯繫及縱向連結，建構大規模災害防減災體系；(三)善用新興監測科技與技術，健全全國性坡地土砂災害防災策略，完成整合型坡地土砂災害警戒機制。

關鍵字：水土保持技術與研究發展趨勢、歷年成果盤點、土砂災害模擬、土砂防災研究發展

The Preparatory Study of Prevention Strategy for Large-scale Sediment Disaster

Abstract

The duration of this project is three years (2016-2018), and this report showed the research results of the third year. In the past three years, we worked together with the Research and Technology Development Team of SWCB and has published 27 research paper, which included 2 journal paper and 25 conference paper.

The main achievements of the project in this year are composed of four parts: (1) propose the plan and recommendations for research and technology development of soil and water conservation, (2) inventory the results of SWCB annual projects, (3) test and analysis of sediment-related disaster numerical model, (4) integrate the future development issues for sediment-related disaster prevention and mitigation strategy. The result of four major terms are described as follows:

The planning and recommendations of research and technology development directions for SWCB in the future. The goal is to provide a suggestion for better prospective policy to managing high uncertainty and risk of large-scale sediment-related disasters under climate change. The workshop of soil and water conservation planning and development strategy is used to analyze the challenges and difficulties in research and technology development. The workshop proposes overall strategies for short-term, mid-term and long-term soil and water conservation affairs of different divisions. Furthermore, through the sediment forum and with the combination of industry-government-academic-institute of expert's discussions, which proposes future sediment-related disaster management strategies and aims to be the foundation of

forward-looking policy.

The inventory of project report of sediment-related disaster strategies and technologies, which collect and check 1545 reports from 2008 to 2017. The stocktaking project report focuses on the results and its data format, which is aim to establish core data of soil and water conservation bureau with standard data format and regulations. Furthermore, base on the data collection and sharing, the data value-added application, and feasibility of the continuous develop technology, which provide supporting suggestions as follows: (1) convene regularly workshop of core data for research and development; (2) establish core research data management platform of SWCB; (3) planning the tender document of project expected result checklist; (4) regular review and assessment the feasibility of project result.

The numerical simulation and analysis of sediment-related disasters are performed with three kinds of model. Three different numerical model include: “IRIS, HEC-RAS 2D, and Rainfall-based warning model” are served as different sediment-related disaster cases to evaluate the model’s applicability and limitations. In the case study of Rainfall-based warning, model use QPESUM rainfall data, landslide variation ratio from the satellite image, and disaster records together for predicting landslides. The study proposes an evaluation index for rainfall-induced disaster hot zone and set up critical rainfall warning mechanism under the cell size of QPESUM. In the study case of landslide-dammed lake breach simulation by using HEC-RAS 2D to estimate the flooding area and impacts on downstream reach during emergency response action plan is the most priority topics for government officials. In the study case of the IRIS model to simulate landslide occurrence time and failure slip surface. The numerical model of IRIS, which contains rainfall-infiltration, slope stability analysis, and critical slip

surface dynamic modules.

The future developing issue for slope disaster prevention and mitigation strategies, through sediment forum and expert's meeting to gathering ideas and conduct the conclusions. The combination of sediment forum and expert meeting on comprehensive slope land management and disaster prevention measures has conducted three major strategies as follows: (1) sediment budget and management in watershed; (2) intelligent slope land monitor and inspection work and data management platform; (3) strengthen soil and water conservation adoption strategy under climate change. In addition, in order to promote future issues of sediment-related disaster to formulate a comprehensive management strategy, we propose supporting suggestion as follows: (1) intelligent watershed sediment budget and runoff distribution and control management; (2) promote the organizational culture and assist connection of each division in SWCB to identify large-scale disaster prevention and mitigation frameworks; (3) apply advanced technology and techniques in to promote efficiency and accuracy of disaster monitor and establish an integrated slope disaster early warning system.

Keyword: Plans and recommendations for research and technology development of soil and water conservation, inventory the result of SWCB annual projects, test and analysis of sediment-related disaster numerical model, future development of slope disaster prevention and mitigation strategies.

目次

摘要	I
Abstract	III
目次	VI
表次	X
圖次	XII
第一章 緒論.....	1-1
第一節 研究背景	1-1
第二節 研究目標	1-2
第三節 研究報告架構	1-3
第二章 水土保持技術研究發展規劃與建議	2-1
第一節 「水土保持發展策略規劃推動工作坊」	2-1
一、 監測管理組發展策略規劃.....	2-1
二、 保育治理組發展策略規劃.....	2-6
三、 土石流防災中心發展策略規劃.....	2-14
四、 綜合企劃組發展策略規劃.....	2-21
五、 技術研究發展小組發展策略規劃.....	2-24
第二節 前瞻策略工作坊	2-28
一、 中長期策略發展主軸計畫.....	2-28
二、 工程技術核心業務行動計畫與產出分類.....	2-31

第三章 歷年完成之防災技術與研究成果盤點	3-1
第一節 盤點工作範圍	3-1
一、 97-106 水土保持局及分局委辦及研究計畫成果	3-1
二、 委辦計畫成果盤點工作項目說明	3-5
第二節 盤點成果分析	3-8
一、 盤點結果	3-8
二、 評估歷年成果延續發展之可行性	3-15
三、 小結	3-18
第四章 土砂災害模擬相關模式測試與分析	4-1
第一節 坡地降雨致災熱區警戒模式	4-1
一、 緣起	4-1
二、 文獻回顧基本資料	4-1
三、 材料與方法	4-5
四、 分析成果	4-13
五、 小結	4-17
第二節 南投縣鹿谷鄉東蚋埔溪堰塞湖潰壩模擬	4-20
一、 緣起	4-20
二、 基本資料	4-20
三、 模式說明	4-23
四、 分析方法	4-24
五、 模擬條件設定	4-28
六、 分析成果	4-30
七、 小結	4-44

第三節 視覺化整合式降雨入滲促崩模擬(IRIS 模式).....	4-46
一、緣起.....	4-46
二、基本資料.....	4-46
三、模式說明.....	4-50
四、分析方法測試.....	4-58
五、分析成果.....	4-66
六、小結.....	4-69
第五章 土砂防災研究發展議題	5-1
第一節 土砂論壇執行策略	5-1
一、坡地管理專責機關與協作.....	5-2
二、國家級地圖資訊建置與整合.....	5-3
三、全方位地圖監測物聯網建置.....	5-3
四、整合型地圖警戒技術研發.....	5-3
五、地圖決策智慧雲建置.....	5-4
六、創新型保育治理技術開發及坡地防災及維生通道管理.....	5-4
七、國土永續利用與管理.....	5-5
八、提升基層防災力量.....	5-5
第二節 小結	5-8
一、落實集水區土砂智慧管理，結合出流管制逕流分擔機制，以達成長期土砂收支平衡之目標：	5-8
二、透過提昇組織內外各部門間橫向聯繫及縱向連結，建構大規模災害防減災體系：	5-9
三、善用新興監測科技與技術，健全全國性坡地土砂災害防災策略，完成整合型坡地土砂災害警戒機制：	5-9

第六章 結論與建議	6-1
第一節 結論	6-1
一、水土保持技術研究發展規劃與建議.....	6-1
二、歷年完成之防災技術與研究成果盤點.....	6-2
三、土砂災害模擬相關模式測試與分析.....	6-4
第二節 研究成果發表	6-7
第三節 建議	6-14
一、水土保持技術研究發展規劃.....	6-14
二、土砂防災研究發展議題研擬.....	6-15
三、歷年委辦案件成果可延續性建議.....	6-15
參考文獻	參-1
附錄	附-1
附錄一、107 年度對外發表成果	附-1

表次

表 3-1	97-106 年度委辦及研究計畫數量統計.....	3-3
表 3-2	106 年大規模崩塌防減災計畫各策略委辦計畫數量統計	3-4
表 3-3	委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (1)	3-7
表 3-3	委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (2)	3-8
表 3-4	細部盤點項目與統計數量	3-14
表 3-5	核心圖資資料集 (1)	3-22
表 3-5	核心圖資資料集 (2)	3-23
表 4-1	降雨危害度指標 HR 之定義.....	4-8
表 4-2	QPE 編號 110025 網格降雨危害指標值 HR 對應值	4-8
表 4-3	各 QPE 網格範圍內之每年新生崩塌地面積及相關統計(摘錄).....	4-10
表 4-4	研究區內地文脆弱度指標 FP 分布特徵與分級.....	4-11
表 4-5	地文脆弱度指標驗證結果	4-14
表 4-6	歷年降雨致災風險等級與新生崩塌發生率(1/5)	4-15
表 4-6	歷年降雨致災風險等級與新生崩塌發生率(2/5)	4-16
表 4-6	歷年降雨致災風險等級與新生崩塌發生率(3/5)	4-16
表 4-6	歷年降雨致災風險等級與新生崩塌發生率(4/5)	4-16
表 4-6	歷年降雨致災風險等級與新生崩塌發生率(5/5)	4-17
表 4-7	高程-蓄水面積-蓄水體積關係表	4-29
表 4-8	模擬案例設定	4-30
表 4-9	潰壩情境案例結果	4-39
表 4-10	潰壩參數分析結果 (1)	4-39
表 4-10	潰壩參數分析結果 (2)	4-40
表 4-11	下游出口水理量分析結果	4-41

表 4-12 輸入模式之不飽和土壤力學參數	4-63
表 4-13 輸入模式之土壤力學參數	4-63
表 4-14 武玄宮崩塌量體估算值	4-67
表 4-15 土壤參數測試結果	4-69
表 5-1 土砂論壇策略修正歷程彙整表	5-2
表 5-2 土砂論壇策略及措施修正歷程彙整表 (1)	5-6
表 5-2 土砂論壇策略及措施修正歷程彙整表 (2)	5-7
表 6-1 研究成果-2016 論文發表	6-10
表 6-2 研究成果-2017 論文發表	6-10
表 6-3 研究成果-2018 論文發表	6-12

圖次

圖 2-1 監測管理組規劃策略一流程暨產出成果	2-2
圖 2-2 監測管理組規劃策略二流程暨產出成果	2-3
圖 2-3 監測管理組規劃策略三流程暨產出成果	2-4
圖 2-4 監測管理組規劃策略四流程暨產出成果	2-5
圖 2-5 監測管理組規劃策略五流程暨產出成果	2-5
圖 2-6 保育治理組業務策略規劃圖	2-6
圖 2-7 (a) (b) 保育治理組規劃策略一流程暨產出成果	2-7
圖 2-7 (a) (b) 保育治理組規劃策略一流程暨產出成果	2-8
圖 2-8 保育治理組規劃策略二流程暨產出成果	2-9
圖 2-9 (a) (b) 保育治理組規劃策略三流程暨產出成果	2-10
圖 2-10 保育治理組規劃策略四流程暨產出成果	2-11
圖 2-11 (a) (b) 保育治理組規劃策略五流程暨產出成果	2-12
圖 2-12 (a) (b) 保育治理組規劃策略六流程暨產出成果	2-13
圖 2-13 土石流防災中心業務策略規劃圖	2-14
圖 2-14 (a) (b) (c) 土石流防災中心規劃策略一流程暨產出成果	2-15
圖 2-14 (a) (b) (c) 土石流防災中心規劃策略一流程暨產出成果	2-16
圖 2-15 (a) (b) 土石流防災中心規劃策略二流程暨產出成果	2-17
圖 2-16 (a) (b) 土石流防災中心規劃策略三流程暨產出成果	2-19
圖 2-17 (a) (b) 土石流防災中心規劃策略四流程暨產出成果	2-20
圖 2-18 綜合企劃組業務策略規劃圖	2-21
圖 2-19 綜合企劃組規劃策略一流程暨產出成果	2-22
圖 2-20 綜合企劃組規劃策略二流程暨產出成果	2-23
圖 2-21 綜合企劃組規劃策略三流程暨產出成果	2-24

圖 2-22 技術研究發展小組業務策略規劃圖	2-25
圖 2-23 (a) (b) 技術研究發展小組規劃策略一流程暨產出成果	2-26
圖 2-24 技術研究發展小組規劃策略二流程暨產出成果	2-27
圖 2-25 技術研究發展小組規劃策略三流程暨產出成果	2-28
圖 2-26 中長期策略發展主軸計畫	2-29
圖 2-27 國家地網計畫措施暨產出成果	2-31
圖 3-1 歷年委辦計畫性質數量統計	3-3
圖 3-2 歷年委辦計畫數量統計	3-4
圖 3-3 97-106 年間各組室(中心、分局)委辦計畫數量統計	3-5
圖 3-4 空間資訊基礎資料應用 (107 年統合運用大規模崩塌防減災空間資訊計畫)	3-12
圖 3-5 集水區相關基礎資料應用	3-12
圖 3-6 系統平台資料應用 (水土保持局技術研究發展小組官網)	3-13
圖 3-7 圖資下載分類原則	3-20
圖 3-8 水土保持局同仁圖資申請與審核機制原則	3-21
圖 3-9 委辦廠商圖資申請與審核機制原則	3-21
圖 4-1 高雄市六龜區範圍及 QPE 網格分布	4-6
圖 4-2 崩塌地變遷及分類示意(陳俞旭, 2008)	4-9
圖 4-3 各網格之地文脆弱度指標	4-12
圖 4-4 以矩陣法定義之降雨致災風險等級指標(R_h)	4-13
圖 4-5 歷年降雨事件期間之降雨致災風險等級變化情形與新生崩塌事件之時間 序列圖(1/4).....	4-18
圖 4-5 歷年降雨事件期間之降雨致災風險等級變化情形與新生崩塌事件之時間 序列圖(2/4).....	4-18
圖 4-5 歷年降雨事件期間之降雨致災風險等級變化情形與新生崩塌事件之時間	

序列圖(3/4).....	4-19
圖 4-5 歷年降雨事件期間之降雨致災風險等級變化情形與新生崩塌事件之時間	
序列圖(4/4).....	4-19
圖 4-6 鳳凰雨量站 (C0I090) 2017/06/01 至 2017/06/04 資料	4-21
圖 4-7 東蚋埔溪堰塞湖崩塌坡面	4-22
圖 4-8 研究流程圖	4-25
圖 4-9 集水區模擬範圍圖	4-27
圖 4-10 流量歷線	4-29
圖 4-11 壩體上游側水位-流量歷線圖 (Run 1, Run 19, Run 20)	4-33
圖 4-12 壩體下游側水位-流量歷線圖 (Run 1, Run 19, Run 20)	4-34
圖 4-13 潰口堰流係數模擬水位-流量歷線圖 (Run 1, Run 2, Run 3)	4-35
圖 4-14 潰壩延時模擬水位-流量歷線圖 (Run 1, Run 7, Run 13)	4-36
圖 4-15 潰口堰流係數模擬水位-流量歷線圖 (Run 4, Run 5, Run 6)	4-37
圖 4-16 潰壩延時模擬水位-流量歷線圖 (Run 4, Run 10, Run 16)	4-37
圖 4-17 災後武玄宮示意圖 (水土保持局南投分局，2017)	4-48
圖 4-18 長豐雨量站 2017/06/13 至 2017/06/16 雨量資料	4-48
圖 4-19 不同巡行高度拍攝任務示意圖	4-49
圖 4-20 地面控制點示意圖	4-49
圖 4-21 岩盤出露示意圖	4-50
圖 4-22 地形及土物理參數界面設定圖	4-51
圖 4-23 初始狀態界面設定圖	4-52
圖 4-24 土層初始孔隙水壓模擬圖	4-52
圖 4-25 降雨入滲及邊坡穩定分析界面圖	4-53
圖 4-26 分析結果產製界面圖	4-53
圖 4-27 (a) 動態規劃法應用於臨界滑動面求解之路徑節點示意圖 (b) 相關符號	

示意圖 (陳振宇等人, 2014).....	4-58
圖 4-28 剖面位置圖	4-60
圖 4-29 簡化邊坡模型	4-60
圖 4-30 長豐雨量站 2017/5/1 至 2017/6/30 雨量資料.....	4-61
圖 4-31 研究流程圖	4-64
圖 4-32 土壤參數測試流程圖	4-65
圖 4-33 武玄宮後側邊坡崩塌量體估算圖	4-66
圖 4-34 IRIS 模擬之崩塌滑動面.....	4-68

第一章 緒論

目前國內正對潛在大規模崩塌區進行調查及劃設影響範圍，並對潛在大規模崩塌區之災害規模及災害應變等課題展開相關研究工作，然國內針對此類議題仍屬起始階段，對於相關防減災技術之開發及應用尚未有完整研究與論述。此外，面對大規模土砂災害之高度不確定性及災害風險，現有治理強度及防減災體制對應大規模災害及減低風險之能力有限，為強化大規模崩塌防減災技術與提升防災應變工作，本研究將藉由收集、研析並更新國內外土砂研究技術文件，與研析、盤點歷年土砂防災計畫執行成果與延續性分析，以及進行集水區土砂災害模擬模式精進測試、研擬土砂防災研究發展議題等方式，以達成規劃大規模土砂災害相關研究議題設定、發展大規模災害情境模擬架構、建立大規模土砂災害風險與衝擊評估機制、研擬大規模土砂災害防災對策等目標。

第一節 研究背景

為減少大規模崩塌災害高強度規模與災害風險之不確定性，水土保持局於 106 年訂定大規模崩塌相關議題為年度重大政策，以大規模崩塌潛勢區為對象，期望透過區域盤查以及問題分析，預先規劃大規模崩塌災害處理與調適工作，以強化氣候變遷影響之因應能力，精進

大規模崩塌防減災技術提升，建構智慧防災的坡地環境。面對氣候變遷，未來天然災害之頻率及規模有加劇趨勢，水土保持局在集水區土砂治理、土砂監測與防災管理、坡地永續利用等工作將面臨重大挑戰。同時，為因應極端氣候變遷的影響，水土保持局雖已投注大量的人力及預算，然面對不可預期之複合型災害，組織內部應隨時審視、檢核、重整業務之執行步驟，以保持各部門間之協調性與競爭力。本研究期望藉由收集、參考國內外相關技術、法規、政策等文獻進行分析，並參酌鄰近國家因應氣候變遷所擬定之對策與發展的新型技術，循此脈絡研擬提升國家土砂災害防災能力之策略。再者，利用分年分期之各項調適策略步驟，達成「建構科技、創新、智慧的坡地防災」、「維護安全、生態、多樣的水土環境」、「營造保育、利用、永續的國土資源」之目標，並朝最終達成「建構智慧防災的坡地環境」之願景邁進。

第二節 研究目標

本研究為全程共三期之延續型計畫案，第三期執行期程為 107 年 01 月 01 日至 12 月 31 日，於本期計畫完成工作項目包含：水土保持技術研究發展規劃與建議、盤點水土保持局歷年已完成之土砂防災技術研究成果、土砂災害模擬相關模式測試與分析，以及研擬土砂防災研究發展議題等四大項，其中，水土保持技術研究發展規劃與建議，

係針對水保局未來水土保持技術研究發展方向提出整體性的規劃與建議，透過邀集局內業務單位同仁以「水土保持發展策略規劃」工作會議方式進行，期能做為建立擘劃前瞻策略機制之基礎。在盤點歷年已完成之土砂防災技術研究成果方面，共彙整 97 年度至 106 年度水土保持與防災類相關之委辦計畫計 1545 冊，並以此為依據對執行計畫成果可延續性及成效分析，評估各項技術或研究持續發展之可行性。在土砂災害模擬相關模式測試與分析之工作項目方面，分別以「降雨致災警戒模式」、「HEC-RAS 2D」及「視覺化 IRIS 模式」等三個模式以實際案例建立數值模式災害模擬測試與分析。另外，土砂防災研究發展議題研擬項目則以土砂論壇之結論為基礎，希望透過分年分期策略規劃，達成水土保持「均衡土砂收支，建構安定流域系統」、「兼顧防災生態，建構和諧坡地環境」、「創新監測技術，建構智慧資訊平台」、「整合預測模式，建構準確警戒系統」、「普及防災教育，建構永續防災社區」之 5 大目標，最後朝向「和諧山林」、「智慧防災」之 2 大願景前行，以凝聚共識，並彙整會議討論結果，研擬土砂防災研究未來發展議題。

第三節 研究報告架構

第一章，緒論，說明研究背景、目標及研究架構。

第二章，水土保持技術研究發展規劃與建議，為因應氣候變遷衝擊與複合型天然災害之高度不確定性，對目前組織內部與外部因素進行問題分析與探討。除了推動「水土保持發展策略規劃工作坊」，逐步釐清技術研究發展上所面臨挑戰與困境，對各業務發展短、中、長期規劃為主軸，提出水土保持局技術研究發展方向之整體性規劃與建議，期能建立水土保持局擘劃前瞻策略機制之基礎參據。

第三章，透過盤點過往之委辦案件執行成果，檢視重大政策推動情形，探討其發展歷程與分析其持續投入相關研究的必要性。主要針對委辦計畫與研究補助案中依盤點工作項目進行各報告書檢核，冀能對於技術研究發展基礎資料，建立相關基礎資料標準化規範與格式，並以資料成果彙整作為未來資料管理與加值應用之前置作業。各計畫成果盤點分類統計，期能達成資料彙整與資源共享目標，將值得加值應用與可持續發展技術之重要原始資料項目，提出後續應用方向。

第四章，土砂災害模擬相關模式測試與分析，旨在探討國內重要集水區在極端降雨事件後，邊坡崩塌造成土砂災害的危害程度，並評估其破壞發生機制，本章節分別以坡地降雨致災熱區警戒模式、視覺化整合式降雨入滲促崩模擬 IRIS 模式、及南投縣鹿谷鄉東蚋埔溪堰塞湖潰壩模擬等，三個實際案例進行數值模式測試，並評估模式的適用性與其限制。

第五章，土砂防災研究發展議題研擬項目，本研究團隊與水土保持局同仁以工作會議方式凝聚共識，經剖析、討論、修正討論事項，同時，彙整「土砂論壇」之中各界(產、官、學、研)專家建議，共同規劃後提出未來可能發展議題項目建議，以擬訂未來土砂相關治理策略，期能協助水土保持局擬定相關執行方針、行動計畫及推動期程等規劃。

第六章，結論與建議，依據本年度執行之工作項目分別為：水土保持技術研究發展規劃與建議、盤點歷年土砂防災技術研究成果、土砂災害模擬相關模式測試與分析、土砂防災研究發展議題等四大項，提出各項工作結論與建議。

第二章 水土保持技術研究發展規劃與建議

為因應氣候變遷的衝擊影響，複合型天然災害之高度不確定性，對目前與未來內部與外部因素進行問題分析與探討。本研究藉由召開水土保持發展策略規劃推動工作坊，逐步釐清技術研究發展上所面臨挑戰與困境。同時，對各業務發展短、中、長期規劃為主軸，提出水土保持局技術研究發展方向之整體性規劃與建議。

第一節 「水土保持發展策略規劃推動工作坊」

為建立水土保持相關業務之短、中、長期發展策略規劃及各業務組分工執行方式，本計畫協助水保局召開業務工作坊的方式共同討論，各組核心業務及核心產出，以各組擬訂推動之策略進行整合，本工作項目以各業務組之業務項目為撰寫主軸，以下依據會議結果及各業務組規劃之執行路徑圖彙整近期規劃發展的業務項目進行說明。

一、監測管理組發展策略規劃

依據日常業務及未來業務規劃，提出 5 大策略 13 項措施分別為「健全山坡地環境資料」、「推動特定水土保持區之劃定、治理與廢止」、「落實水土保持計畫審核監督」、「強化山坡地查報取締」、「優化山坡地管理法規」等五項策略，其規劃執行期程 107 至 111 年，並羅列 4 項業務亮點，說明如下：

(一) 策略一「健全山坡地環境資料」

此項策略之業務措施為「通盤檢討山坡地範圍」、「推動山坡地土地利用調查」、「精進山坡地土地可利用限度查定」且擬訂「通盤檢討山坡地範圍」為業務執行亮點之一，並規劃 8 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-1 所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生「山坡地範圍圖」、「山坡地土地利用圖」、「圖資辦理查定分類標準作業流程(SOP)」、「山坡地保育利用條例第 16 條、水土保持法施行細則第 26 條及查定工作要點之修正」等 4 項產出成果。

年度 措施	107年	108年	109年	110年	111年
1-1.通盤檢討山坡地範圍	1-1-1山坡地範圍通盤檢討		1-1-3整合直轄市山坡地範圍及國有林事業區、試驗用林地、保安林地	1-1-4因應地籍資料異動，持續更新山坡地範圍圖	
	1-1-2金門縣及連江縣之山坡地範圍劃定				
產出成果	山坡地範圍圖				
1-2.推動山坡地土地利用調查	1-2-1山坡地土地利用現況調查		1-2-2因應國土計畫法辦理山坡地範圍土地利用調查		
產出成果	山坡地土地利用圖				
1-3.精進山坡地土地可利用限度查定	1-3-1.推動山坡地土地可利用限度查定因子圖資化		1-3-2.因應國土計畫法探討查定分類相關規定		
產出成果	圖資辦理查定分類標準作業流程(SOP)		山坡地保育利用條例第16條、水土保持法施行細則第26條及查定工作要點之修正。		

圖 2-1 監測管理組規劃策略一流程暨產出成果

(二) 策略二「推動特定水土保持區之劃定、治理與廢止」

此項策略之業務措施為「檢討特定水土保持區相關法規與制度」、「控管特定水土保持區劃定、治理與廢止歷程」且擬訂「檢討特定水土保持區相關法規與制度」為業務執行亮點之二，並規劃 5 項行動計

畫及工作執行內容，如圖 2-2 所示，各項行動計劃執行期程、銜接方式及預定可產生「特定水土保持區相關法規」、「特定水土保持區範圍圖」、「各特定水土保持區基本資料」「特定水土保持區劃定歷程查詢系統」等 4 項產出成果。

措施	年度	107年	108年	109年	110年	111年
2-1.檢討特定水土保持區相關法規與制度。		2-1-1修正特定水土保持區劃定與廢止準則、特定水土保持區長期水土保持計畫審核作業要點、訂定特定水土保持區一定規模地貌改變之核定辦法				
			2-1-2評估分局執行長期水土保持計畫之可行性			
產出成果		特定水土保持區相關法規				
2-2.控管特定水土保持區劃定、治理與廢止歷程。		2-2-1盤點歷年未劃定之特定水土保持區，推動特定水土保持區之劃定工作				
		2-2-2更新特定水土保持區地籍圖				
		2-2-3控管特定水土保持區劃定進度、治理成效與廢止情形				
產出成果		1.特定水土保持區範圍圖2.各特定水土保持區基本資料3.特定水土保持區劃定歷程查詢系統				

圖 2-2 監測管理組規劃策略二流程暨產出成果

(三) 策略三「落實水土保持計畫審核監督」

此項策略之業務措施為「檢討審核監督管理制度」、「技術檢討及防災能力提升」、「落實法規執行及宣導」且擬訂「技術檢討及防災能力提升」為業務執行亮點之三，並規劃 10 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-3 所示，各項行動計劃執行期程、銜接方式及預定可產生「水土保持計畫相關法規」、「共同供應契約」、「水土保持技術規範」、「水土保持永久設施管理措施」、「水土保持計畫審核監督常見問題」

「水土保持示範區」等 6 項產出成果。

措施	年度	107年	108年	109年	110年	111年
3-1.檢討審核監督管理制度		3-1-1協助推動共同供應契約			3-1-3水土保持計畫審查收費標準	
		3-1-2中央機關水保計畫委任分局審核監督管理			3-1-4水土保持計畫審核監督辦法	
產出成果		水土保持計畫相關法規、共同供應契約				
3-2.技術檢討及防災能力提升		3-2-1研修水土保持技術規範				
		3-2-2水土保持計畫設施現勘及效益評估			3-2-3訂定水土保持永久設施管理措施	
產出成果		水土保持技術規範、水土保持永久設施管理措施				
3-3.落實法規執行及宣導		3-3-1各縣市政府及相關機關之督導及訪查				
		3-3-2山坡地開發相關法規及專業技術教育訓練				
		3-3-3水土保持計畫示範區建立及運用				
產出成果		水土保持計畫審核監督常見問題、水土保持示範區				

圖 2-3 監測管理組規劃策略三流程暨產出成果

(四) 策略四「強化山坡地查報取締」

此項策略之業務措施為「衛星影像變異監測精進」、「山坡地管理績效考核評鑑」、「司法人員聯繫座談」且擬訂「衛星影像變異監測精進」為業務執行亮點之四，並規劃 7 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-4 所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生「提高衛星影像變異點之判釋準確率」、「優化評鑑指標」、「建立司法與行政聯繫平台」等 4 項產出成果。

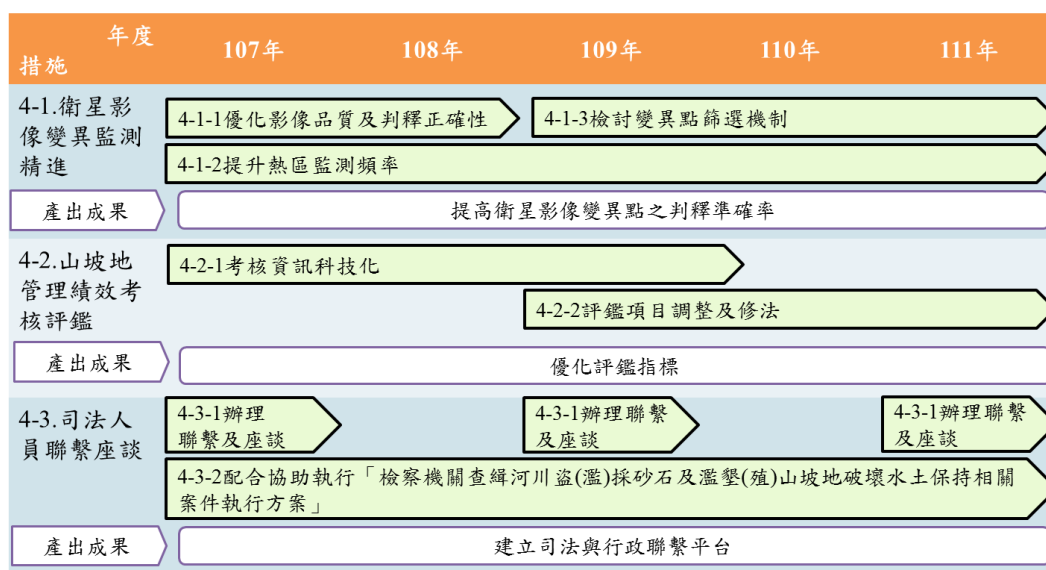


圖 2-4 監測管理組規劃策略四流程暨產出成果

(五) 策略五「優化山坡地管理法規」

此項策略之業務措施為「水土保持法之研修」、「崩塌地管理法規之建構」，並規劃 6 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-5 所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生「擬具水土保持法草案推動立法」、「擬具崩塌地管理法草案推動立法」等 4 項產出成果。

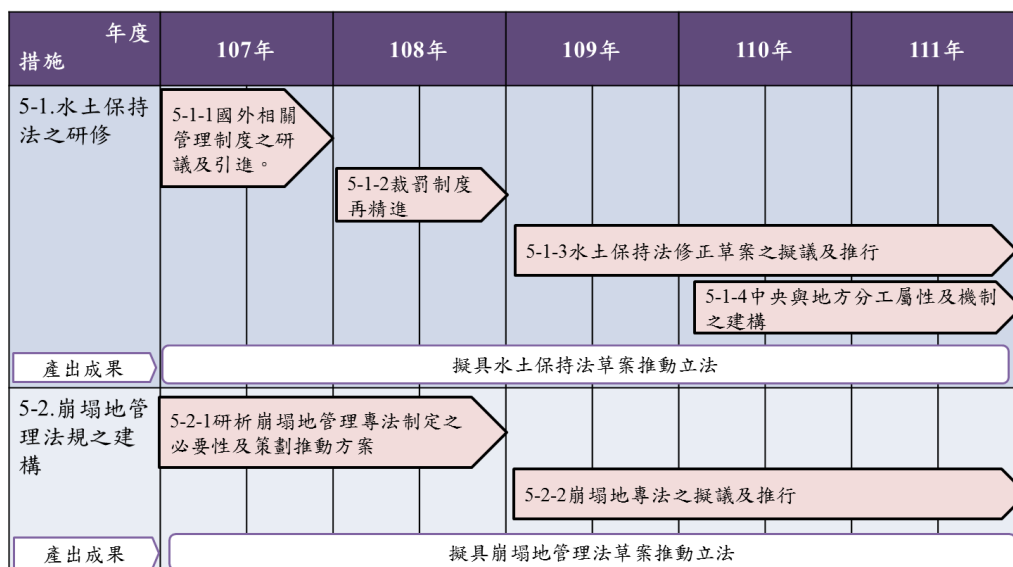


圖 2-5 監測管理組規劃策略五流程暨產出成果

二、保育治理組發展策略規劃

在均衡性、和諧和及智慧性等考量下，將未來執行業務劃分為建立土砂收支控制及模式、持續推動水庫資源保育、改善坡地防災維生通道、推動保育治理工程環境友善、優化農塘強化滯洪保水、提昇工程智慧管理及技術等 6 大類，如圖 2-6 所示。

策略規劃

■ 均衡性

- 建立土砂收支控制及模式
- 持續推動水庫資源保育

■ 和諧性

- 改善坡地防災維生通道
- 推動保育治理工程環境友善
- 優化農塘強化滯洪保水

■ 智慧性

- 提昇工程智慧管理及技術



圖 2-6 保育治理組業務策略規劃圖

依據日常業務及未來業務規劃，提出 6 大策略 19 項措施分別為「土砂收支控制及模式建立」、「推動保育治理工程環境友善」、「工程智慧管理與技術提昇」、「坡地防災維生通道改善」、「持續推動水庫資源保育」、「優化農塘強化滯洪保水」等六項策略，其規劃執行期程 107 至 110 年，並研擬「推動土砂管理」「優化農塘保水滯洪」「落實環境友善，強化公眾參與」等 3 項業務執行亮點，說明如下：

(一) 策略一「土砂收支控制及模式建立」

此項策略業務措施為「土砂收支模式建置」、「土砂收支管理值訂與推動」、「技術研發」、「保育治理實施計畫及治理工程」，並規劃 17 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-7(a、b)所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生「歷年土砂資料」、「土砂收支模式」、「11 座水庫集水區土砂收支模式」、「示範集水區」、「土砂收支資料庫、模式庫」、「土砂管理管理值及規範」、「沖刷深度模式」、「底床載動態輸砂量推估模式」、「全臺年降雨沖蝕指數及查詢平台」、「調整型防砂壩操作手冊及設計規範」、「流域綜合治理及保育治理實施計畫」等 11 項產出成果。

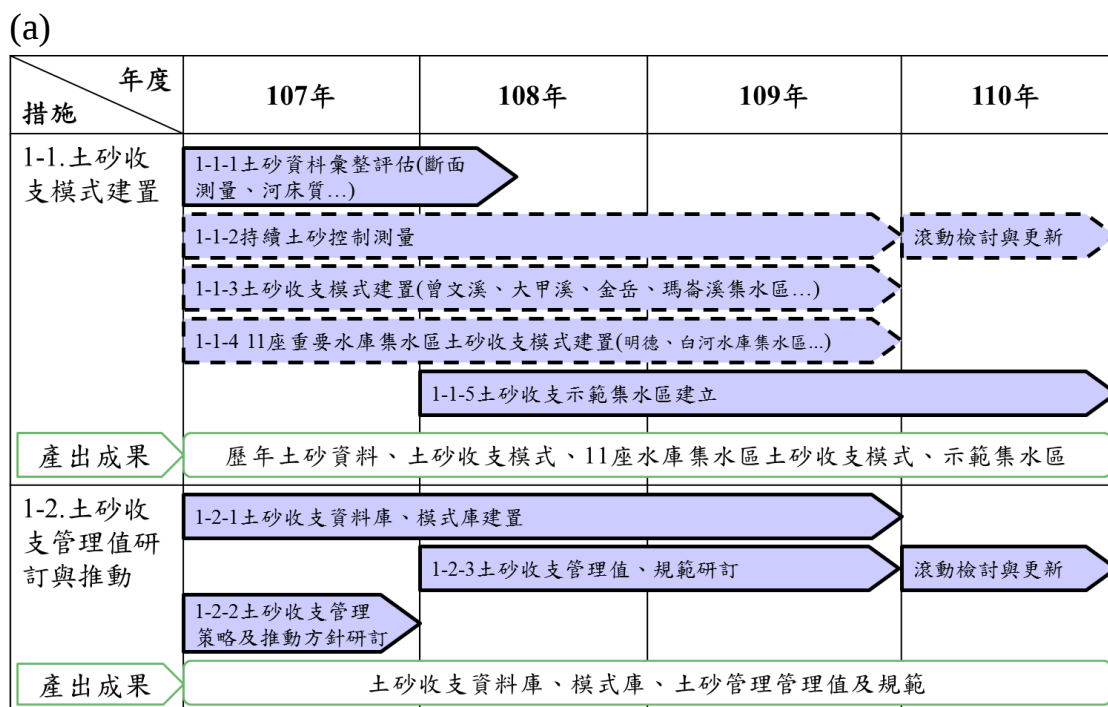


圖 2-7 (a) (b) 保育治理組規劃策略一流程暨產出成果

(b)

年度 措施	107年	108年	109年	110年
1-3.技術研發	1-3-1即時沖刷深度監測技術研發及模式推估			
	1-3-2河道底床載觀測系統研發	1-3-5河道底床載動態輸砂量模式推估		滾動檢討與更新
	1-3-3臺灣地區年降雨沖蝕指數之更新與查詢平台建置			
	1-3-4調整型防砂壩之技術研發與應用			
產出成果	沖刷深度模式、底床載動態輸砂量推估模式、全臺年降雨沖蝕指數及查詢平台、調整型防砂壩操作手冊及設計規範			
1-4保育治理實施計畫及治理工程	1-4-1重點治理區細部規劃			
	1-4-2編列保育治理實施計畫分年分期經費及執行			滾動檢討與更新
	1-4-3整體性治山防災、大規模崩塌防減災中程計畫研擬			
	1-4-4編列整體性治山防災、流域綜合治理計畫分年分期經費及執行			
產出成果	中程計畫、流域綜合治理及保育治理實施計畫、分年分期經費表			

圖 2-7 (a) (b) 保育治理組規劃策略一流程暨產出成果

(二) 策略二「土砂收支控制及模式建立」

此項策略業務措施為「生態檢核資料建置及資訊公開」、「民眾參與機制研究及案例彙編」，並規劃 8 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-8 所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生「友善環境生態資料庫」、「生態檢核成果圖冊」、「治理工程資訊公開平台」、「民眾參與區域性人力資料庫」、「民眾參與參考手冊」等 5 項產出成果。

年度 措施	107年	108年	109年	110年
2-1.生態檢核資料建置及資訊公開	2-1-1環境友善措施SOP及全生命週期生態檢核執行條件檢討修正			
	2-1-2環境生態資料盤點與友善環境生態資料庫建置運用			
	2-1-3生態檢核成效分析與成果彙編			
	2-1-4生態檢核教育訓練及宣導			
	2-1-5治理工程資訊公開平台精進			
產出成果	友善環境生態資料庫、生態檢核成果圖冊、 治理工程資訊公開平台			
2-2.民眾參與機制研究及案例彙編	2-2-1民眾參與機制研究及參考手冊編擬		2-2-3民眾參與案例分析及彙編	
	2-2-2民眾參與區域性人力資料庫建置及在地協力平台研析			
產出成果	民眾參與區域性人力資料庫、民眾參與參考手冊			

圖 2-8 保育治理組規劃策略二流程暨產出成果

(三) 策略三「土砂收支控制及模式建立」

此項策略業務措施為「工程智慧管理」、「工法提昇與手冊編修」、「構造物調查及延壽」，並規劃 15 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-9(a、b)所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生完善「工程履歷資料庫」、「常用材料規範適用條件率定」、「施工作業環境注意要點」、「水保手冊單元叢書」、「2850 座構造物調查及資料建置、巡檢作業要點、構造物調查報告」等 5 項產出成果。

(a)

年度 措施	107年	108年	109年	110年
3-1.工程智慧管理	3-1-1工程竣工圖說資料先期建置收集	3-1-3依工程生命週期之各階段工程履歷圖資進行完整建置收集工作		
	3-1-2 BIM與IOT結合自動分析、BIM與3D GIS整合分析		3-1-4 完成核心資料庫與行動裝置、IOT資料串接收集	
	產出成果			
	完善工程履歷資料庫			
3-2.工法提昇與手冊編修	3-2-1優良工程或特殊工法蒐集與分析			
	3-2-2檢討常用材料規範率定適用條件		持續滾動檢討與更新	
	3-2-3工法檢討及創新工法研發			
	3-2-4水保手冊單元叢書檢討與修正			
	3-2-5檢討施工作業環境並修正作業注意要點或事項			
	3-2-6工程人員教育訓練			
	產出成果			
	常用材料規範適用條件率定、施工作業環境注意要點、水保手冊單元叢書			
產出成果	水保手冊單元叢書系列 溪床穩定設施(防砂壩)	溪岸保護設施 (護岸、丁壩)	坡地排水設施 (集水井、洩槽、水溝暗渠)	邊坡穩定設施 (擋土牆、椿、土釘)

(b)

年度 措施	107年	108年	109年	110年
3-3.構造物調查及延壽	3-3-1執行單位持續辦理構造物巡檢			
	3-3-2治山防災構造物調查及建置(高屏溪、曾文溪、新竹、苗栗、嘉義、屏東、台東、花蓮等縣)			
		3-3-5治山防災構造物調查報告		
	3-3-3研擬巡檢作業要點			
	3-3-4編列構造物維護經費及執行			
產出成果	2850座構造物調查及資料建置、巡檢作業要點、構造物調查報告、預算需求			

圖 2-9 (a) (b) 保育治理組規劃策略三流程暨產出成果

(四) 策略四「坡地防災維生通道改善」

此項策略業務措施為「坡地防災道路改善」、「坡地防災維生通道盤點」、「坡地防災維生通道及防災道路改善」，並規劃 6 項行動計畫及工作執行內容如圖 2-10 所示，各項行動計劃執行期程、銜接方式

及預定可產生「完成農路目標改善值 900 公里」、「完成盤點與資料建置」、「完成坡地防災維生通道補助標準」等 3 項產出成果。

年度 措施	107年	108年	109年	110年
4-1.坡地防 災道路改善	4-1-1依「重劃區外緊急農路設施改善106-109中程計畫」，持續辦理農路設施改善，考量未來組改及農路業務分工，視狀況於108年由本局辦理山坡地農路改善。			
	4-1-2各分局持續辦理重劃區外農路設施改善			
產出成果	完成農路目標改善值900公里			
4-2.坡地防 災維生通道 盤點	4-2-1研擬108-113年「坡地防 災及維生通道改善」中程計畫， 爭取108年起納入前瞻計畫辦理			
	4-2-2辦理全國坡地 防災維生通道盤點			
產出成果	完成盤點與資料建置			
4-3.坡地防 災維生通道 及防災道路 改善	4-3-1訂定補助標準、 及審查相關機制	分年分期辦理改善坡地防災維生通道及坡防災道路預算需求編列		
產出成果	完成坡地防災維生通道補助標準、目標值6年900公里、108-113中程計畫			

圖 2-10 保育治理組規劃策略四流程暨產出成果

(五) 策略五「持續推動水庫資源保育」

此項策略之業務措施為「水庫環境基礎資料盤點及調查分析」、「水庫集水區整體調查規劃及治理」、「水庫集水區保育治理防砂效益等成效評析」，並規劃 8 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-11(a、b)所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生「水庫集水區多期航、遙測圖資蒐集與建置」、「水庫集水區崩塌歷程評估、監測」、「水庫集水區多元多期圖資蒐集與更新」、「重要水庫集水區土砂收支模式、降雨量與入庫土砂量關係」、「重要水庫集水區防砂效益評析」

等 5 項產出成果。

(a)

年度 措施	107年	108年	109年	110年
5-1.水庫環境基礎資料盤點及調查分析	5-1-1 水庫環境基本資料收集 5-1-2 水庫環境基本資料調查 5-1-3 重要水庫集水區災害容受力及環境復原力分析 5-1-4 11座水庫重要集水區土砂收支模式建置			
產出成果	66座水庫集水區多期航、遙測圖資蒐集與建置， 66座水庫集水區崩塌歷程評估、監測， 95座水庫集水區多元多期圖資蒐集與更新， 11座重要水庫集水區土砂收支模式、降雨量與入庫土砂量關係等			

(b)

年度 措施	107年	108年	109年	110年
5-2.水庫集水區整體調查規劃及治理	5-2-1 水庫集水區整體調查規劃 5-2-2 水庫集水區水土保持處理與維護			
產出成果	完成(院及經濟部核定)水庫集水區保育施計畫-整體調查與治理規劃、 每年分期經費表			
5-3.水庫集水區保育治理防砂效益等成效評析	5-3-1 水庫集水區防砂效益評析 5-3-2 前瞻計畫水庫集水區治理分年成效報告研提			
產出成果	11座(陳報院長石門、曾文等)重要水庫集水區防砂效益評析、 前瞻工作指標評析及研提成效報告			

圖 2-11 (a) (b) 保育治理組規劃策略五流程暨產出成果

(六) 策略六「優化農塘強化滯洪保水」

此項策略之業務措施為「農塘盤點」「農塘細部調查與建檔」「農塘活化」「農塘相關研發」，並規劃 15 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-12(a、b)所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生「農塘基本資料調查」、「全國農塘資料庫建檔」、「集水區重點區選

定及農塘活化規劃」、「訂定農塘計畫補助基準」、「20處滯洪保水重點區活化工程」、「訂定農塘各項管理要點、設計技術手冊、施工規範」等6項產出成果。

(a)

年度 措施	107年	108年	109年	110年
6-1.農塘盤點	6-1-1局簽辦花蓮、台東及台北等分局農塘盤點 6-1-2南投分局辦理農塘盤點			
產出成果	完成6,000座農塘基本資料調查			
6-2.農塘細部調查與建檔	6-2-1農塘細部調查與資料庫及圖資建檔 6-2-2集水區內重點區選定及農塘活化規劃			
產出成果	完成全國農塘資料庫建檔、9處集水區重點區選定及農塘活化規劃			
6-3.農塘活化	6-3-1增訂農塘計畫補助基準 6-3-2辦理農塘活化清淤與滯洪保水改善工程			
產出成果	完成訂定農塘計畫補助基準、20處滯洪保水重點區活化工程			

(b)

年度 措施	107年	108年	109年	110年
6-4.農塘相關研發	6-4-1農塘多功能智慧操作研究 6-4-2灌溉水源之水權取得評估 6-4-3農塘維護原則之研究 6-4-4彙編農塘設計標準圖 6-4-5訂定農塘施工規範 6-4-6訂定農塘養護及管理要點	6-4-7農塘串聯運作研究 6-4-8土壩式農塘排砂活化研究 6-4-9彙編農塘設計技術手冊		
產出成果	訂定農塘各項管理要點、設計技術手冊、施工規範等			

圖 2-12 (a) (b) 保育治理組規劃策略六流程暨產出成果

三、土石流防災中心發展策略規劃

在準確性、智慧性及自主性等考量下，將未來執行業務劃分為完備土砂災害基礎資料、精進土砂災害潛勢區劃設方法、提昇土砂災害風險評估準確性、應用物聯網技術規劃自動監測、導入人工智慧等資訊分析技術、強化應變決策平台、建構永續自主防災社區、深化地方政府與防災社區連繫、結合企業防災資源等 9 大項，如圖 2-13 所示。



圖 2-13 土石流防災中心業務策略規劃圖

依據日常業務及未來業務規劃提出 4 大策略 9 項措施分別為「土砂災害基礎資料建置與風險評估」、「全方位土砂監測智慧雲建置」、「發展整合型土砂災害警戒模式」、「強化地方能量、推動自主防災」其規劃執行期程 107 至 111 年，並研擬「.物聯網於防災監測之應用」「.防災社區 2.0 推動」「整合性土砂災害預警機制建立」等 3 項業務執行亮點，說明如下：

(一) 策略一「土砂災害基礎資料建置與風險評估」

其中業務措施為「完備歷史土砂災害資料庫」、「健全土砂災害潛勢區基礎資料管理」、「土砂災害風險評估」，並規劃 27 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-14(a、b、c)所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生「事件型崩塌判釋圖層」、「歷史重大災例及分布圖層」、「災害歷史照片、空拍、正射、LiDAR 圖資」、「更新土石流及集水區圖層」、「修訂土石流潛勢溪流劃設作業要點、疏散避難計畫」、「建置更新大規模崩塌聚落及其影響範圍、劃設作業指南及影響範圍劃設作業要點草案」、「事件型崩塌判釋圖層、重大災例及分布圖層」、「土砂災害風險地圖」、「集水區崩塌率變遷分析」、「防災保險制度」等 10 項產出成果。

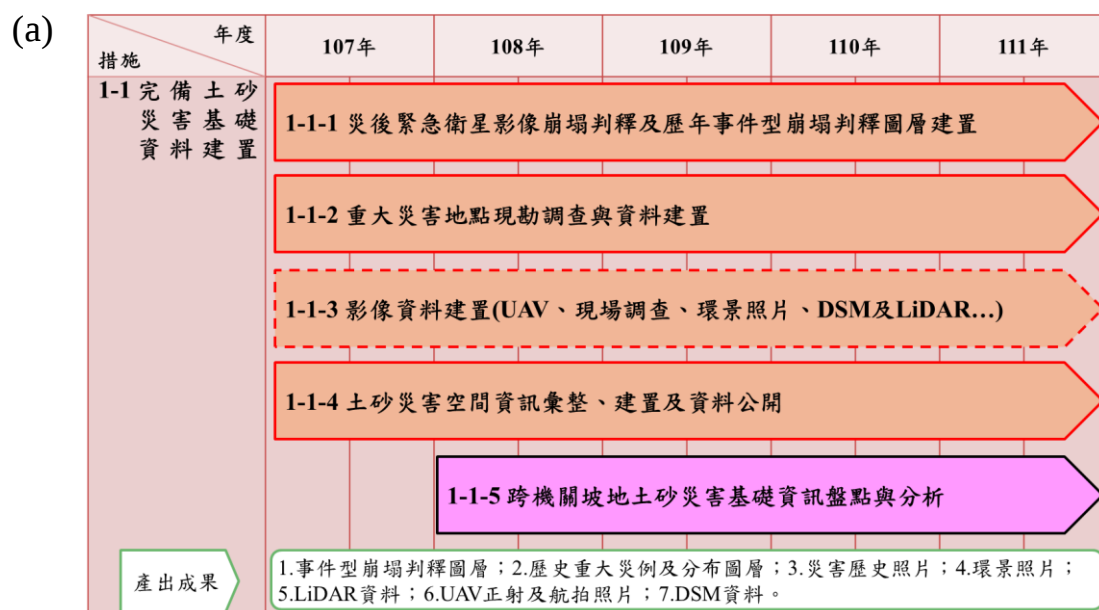


圖 2-14 (a) (b) (c)土石流防災中心規劃策略一流程暨產出成果

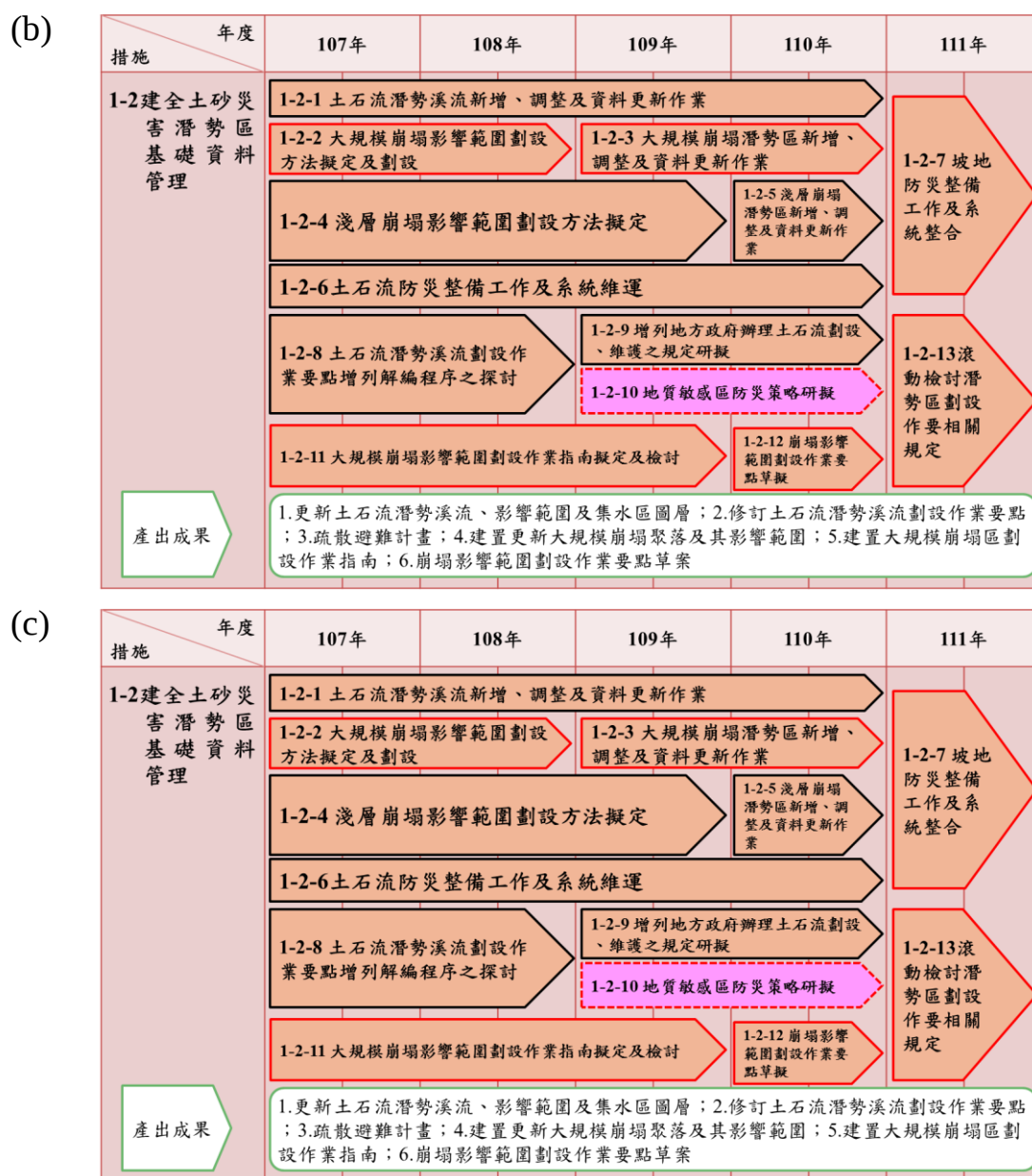


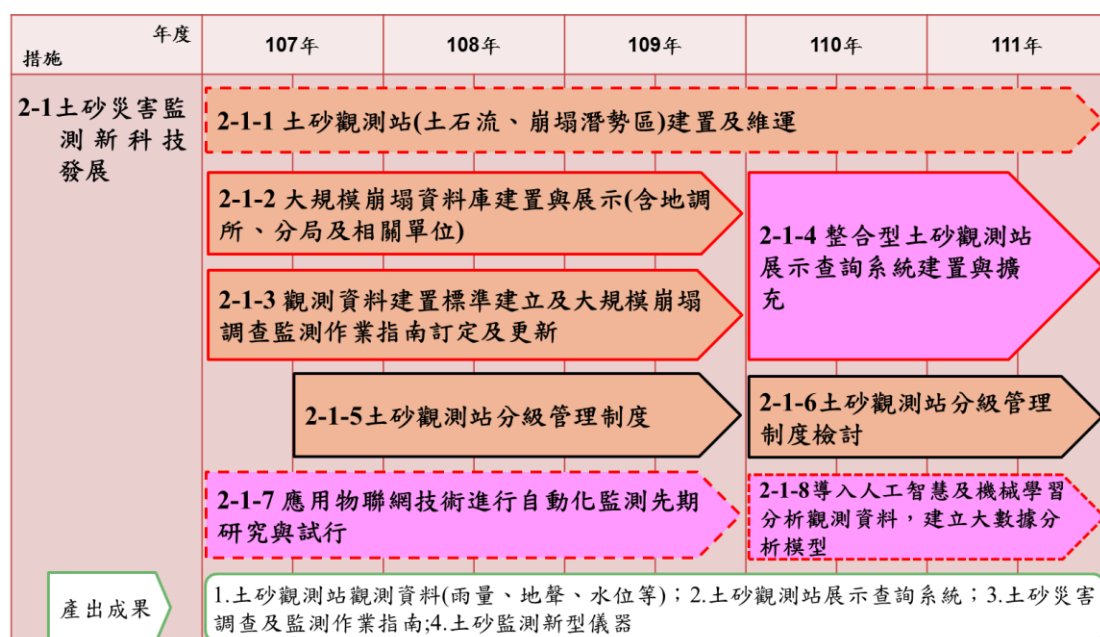
圖 2-14 (a) (b) (c)土石流防災中心規劃策略一流程暨產出成果

(二) 策略二「全方位土砂監測智慧雲建置」

其中業務措施為「土砂災害監測新科技發展」、「土砂災害監測示範區建置」，並規劃 11 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-15(a、b) 所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生「土砂觀測站

各類觀測資料」、「土砂觀測站展示查詢系統」、「土砂災害調查及監測作業指南」、「土砂監測新型儀器之應用」、「土石流及大規模崩塌觀測示範區」、「國際交流、防災技術輸出與預警合作機制」等 6 項產出成果。

(a)



(b)

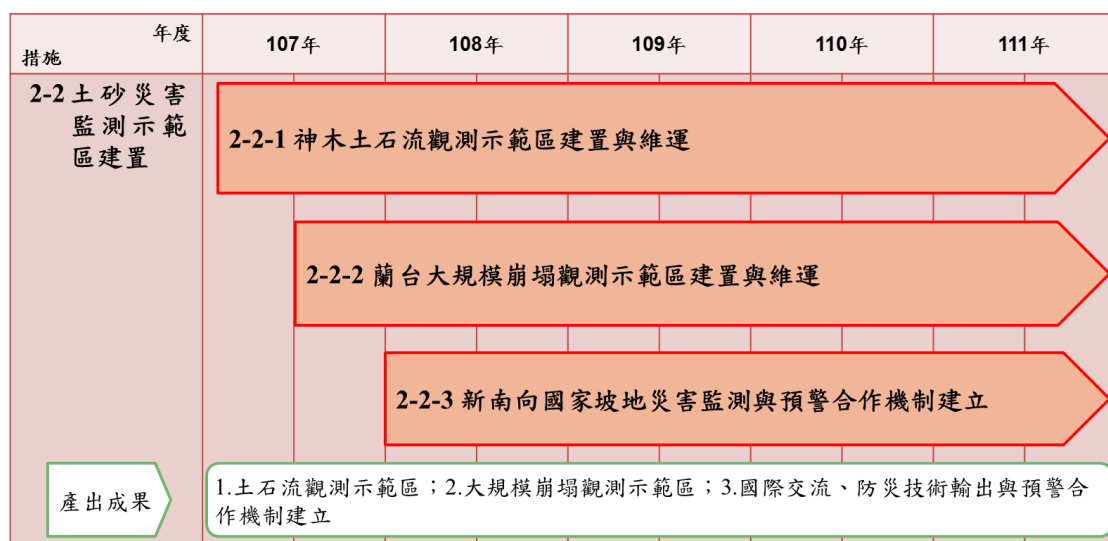


圖 2-15 (a) (b) 土石流防災中心規劃策略二流程暨產出成果

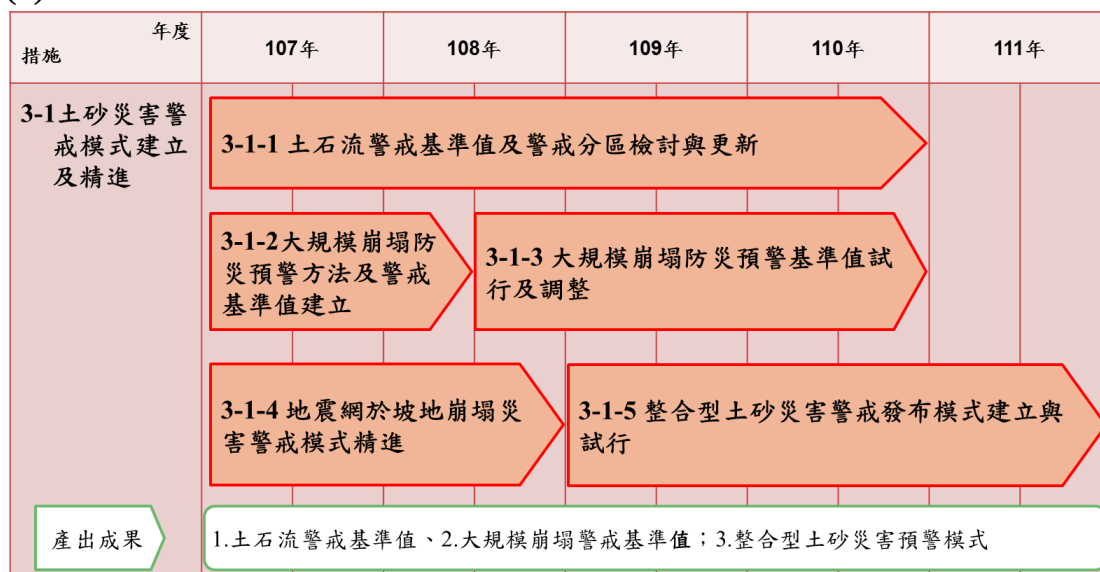
(三) 策略三「發展整合型土砂災害警戒模式」

其中業務措施為「土砂災害警戒模式建立及精進」、「強化土砂災害應變決策及資訊發布平台」，並規劃 10 項行動計畫及工作執行內容。如圖 2-16(a、b)所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生「土石流、大規模崩塌警戒基準值」、「整合型土砂災害預警模式」、「FEMA」、「整合型土砂災害管理系統」、「社群媒體自動式服務」等 5 項產出成果。

(四) 策略四「強化地方能量、推動自主防災」

其中業務措施為「強化地方政府防災作業能量」、「建立民眾自主防災永續機制」，並規劃 15 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-17(a、b)所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生「保全清冊及保全對象分布」、「更新土石流災害防救業務計畫」、「土石流防災評核制度」、「土砂災害業務計畫及相關法規研擬」、「土石流防災專員分布圖」、「土石流自主防災社區分級管理制度、評鑑及認證制度」、「企業防災機制建立」、「自主防災教育基地」等 8 項產出成果。

(a)



(b)

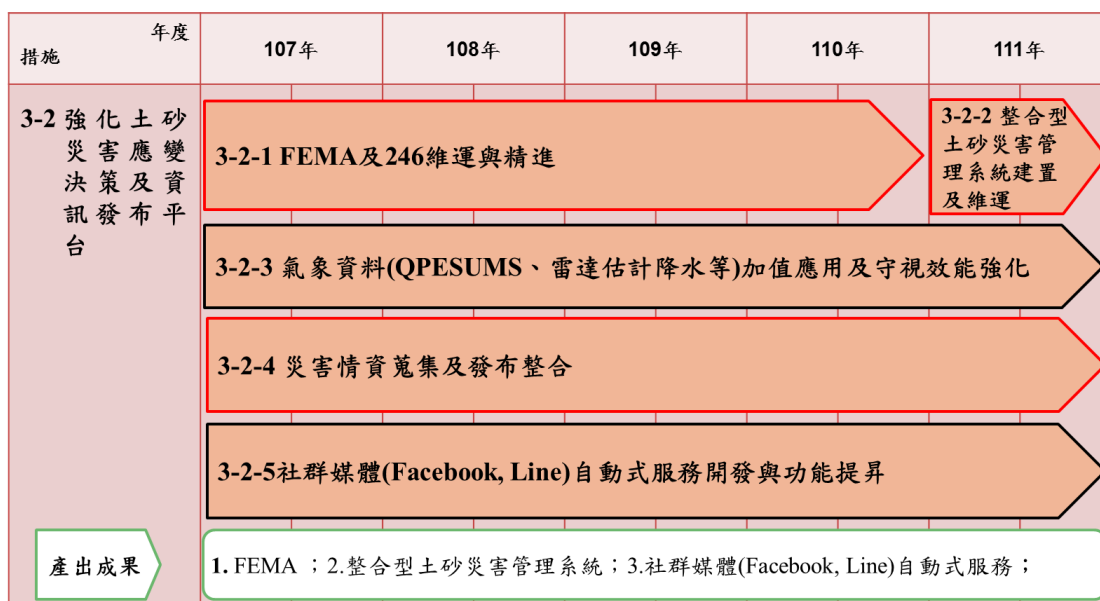
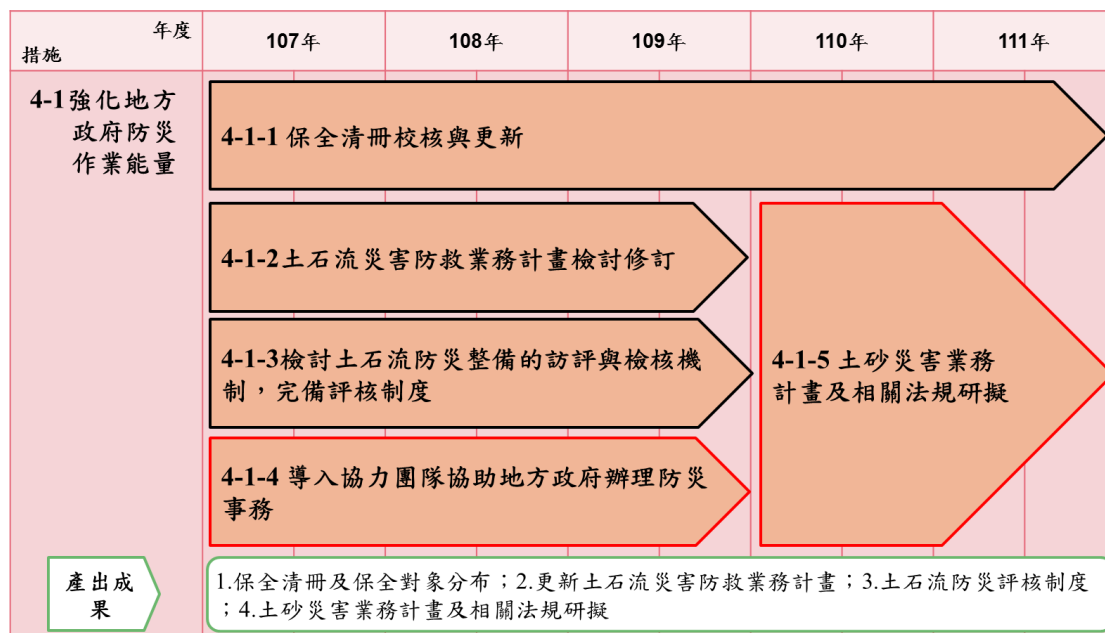


圖 2-16 (a) (b) 土石流防災中心規劃策略三流程暨產出成果

(a)



(b)

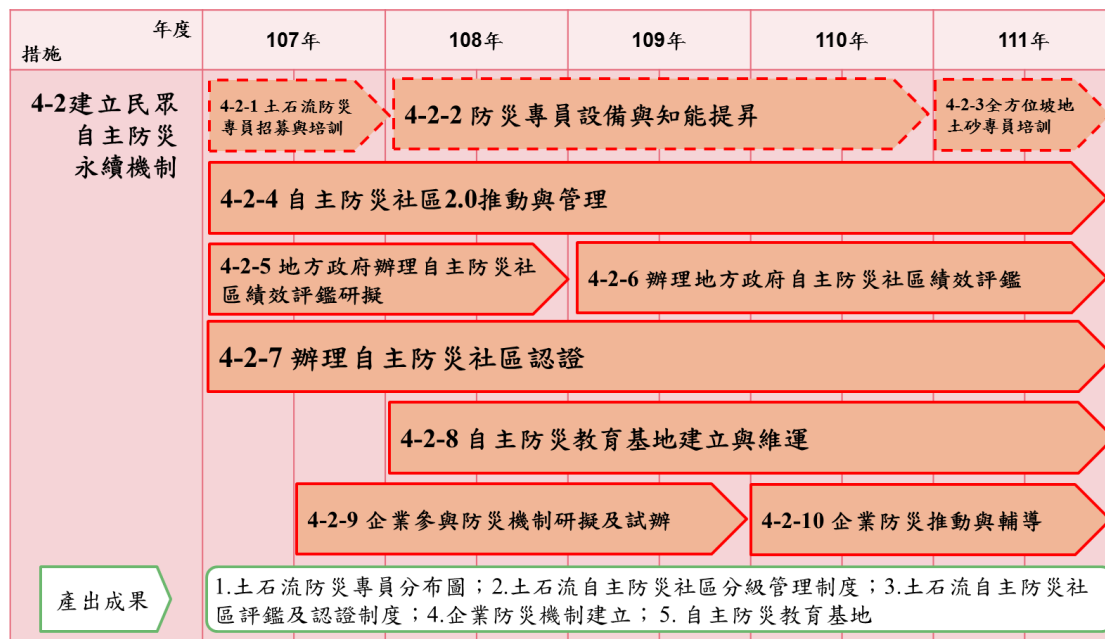


圖 2-17 (a) (b) 土石流防災中心規劃策略四流程暨產出成果

四、綜合企劃組發展策略規劃

在自主性及智慧性考量下，將未來執行業務分類為一年扎根四年擴散十年新藍海、建構智慧決策平台、打造水土保持國際品牌等三大業務主軸，如圖 2-18 所示。



圖 2-18 綜合企劃組業務策略規劃圖

綜合企劃組依據日常業務及未來業務規劃提出 3 大策略 10 項措施，其中，綜合企劃組研提之策略分別為「一年扎根四年擴散十年新藍海」、「建構智慧決策平台」、「打造水土保持國際品牌」，其規劃執行期程 107 至 110 年，並研擬「水土保持教育推廣扎根與擴散」、「建構新制度迎向新未來」、「邁向國際、創造品牌」等 3 項業務執行亮點，綜合企劃組規劃內容說明如下：

(一) 策略一「一年扎根四年擴散十年新藍海」

其中業務措施為「水土保持校園深耕計畫」、「引動企業參與水土保持教育-臺灣共好計畫」、「推廣水土保持生活化」、「規劃水土保持專業職能學習平台」、「線上線下網內網外多元社群脈絡」，並規劃 11 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-19 所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生「繪本、教具、教案，累計 660 款教育資源」、「水土保持教育中心」、「促進社會企業參與水土保持教育推廣」、「水土保持戶外教室兼具環境教育設施場所」、「跨域結合公部門推動水保及環教」、「掌握社群趨勢，洞悉輿情脈絡」等 6 項產出成果。

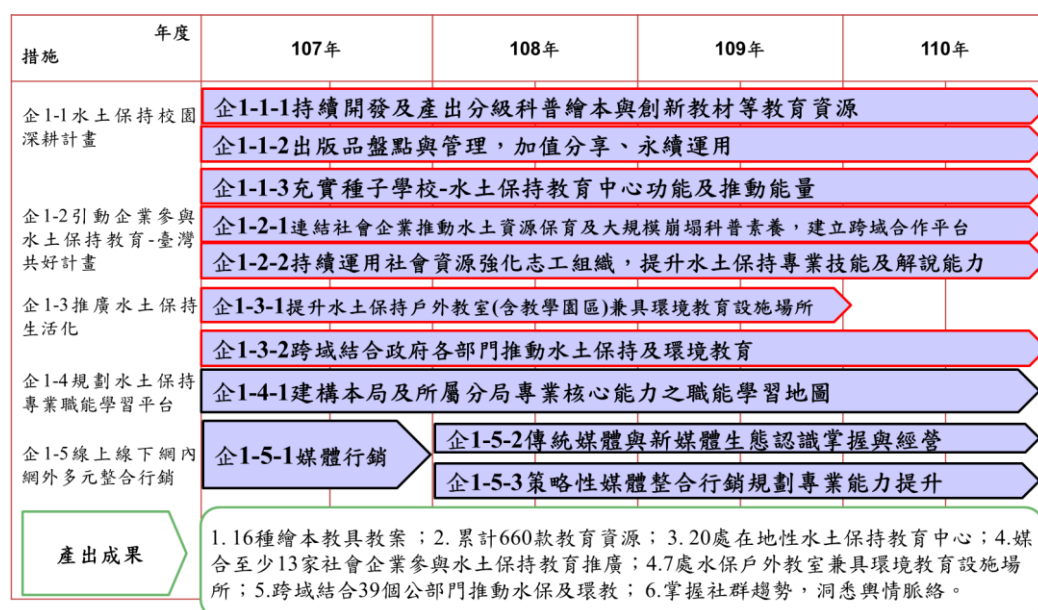


圖 2-19 綜合企劃組規劃策略一流程暨產出成果

(二) 策略二「建構智慧決策平台」

其中業務措施為「強化智慧考核能力及內控機制」、「計畫成果加值利用」、「落實國土計畫」、「規劃水土保持專業職能學習平台」，並規劃 9 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-20 所示，各項行動計畫

執行期程、銜接方式及預定可產生「計畫成果資料庫」、「建構組織績效分析平台，有效組織智慧管理」、「促進產學合作，強化研發能力」、「確保內部控制聲明書簽署為（有效）類」、「建立國土復育促進地區劃定方法」等 5 項產出成果。

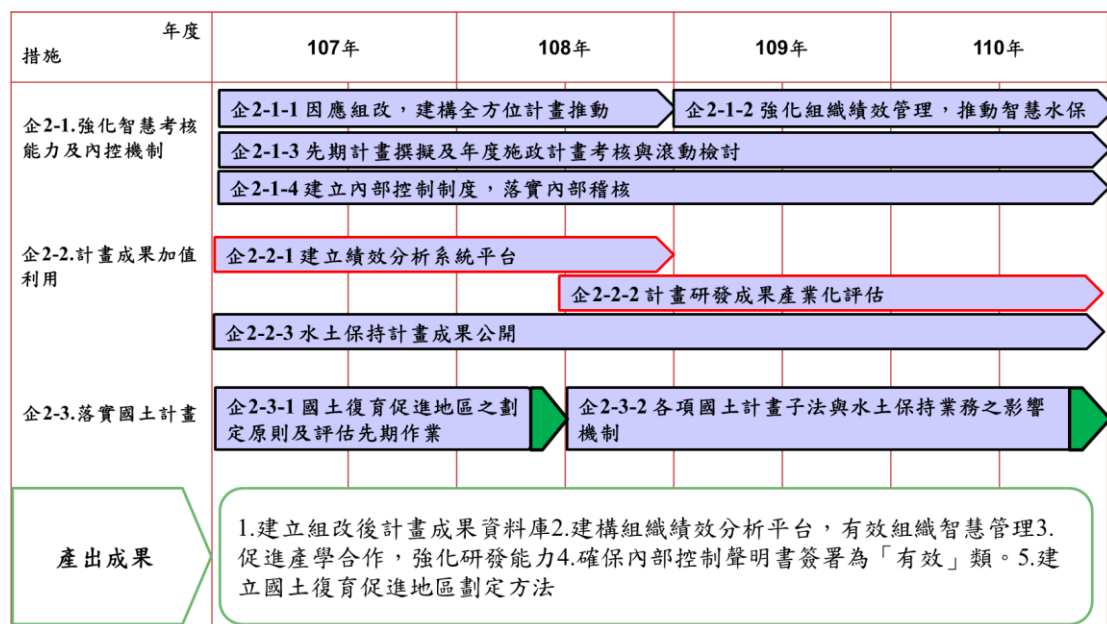


圖 2-20 綜合企劃組規劃策略二流程暨產出成果

(三) 策略三「打造水土保持國際品牌」

其中業務措施為「線上線下網內網外多元社群脈絡」、「強化國際知名度」、「建立海外示範基地」，並規劃 7 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-21 所示，各項行動計劃執行期程、銜接方式及預定可產生「協助國內廠商國際能見度」、「深化及擴展雙邊國際合作關係」、「盤點土砂監測研發成果，評估可商品化項目及其開發方向」、「建立農地水土保持各項技術工法教材教案」、「建立海外示範基地」等 5 項

產出成果。

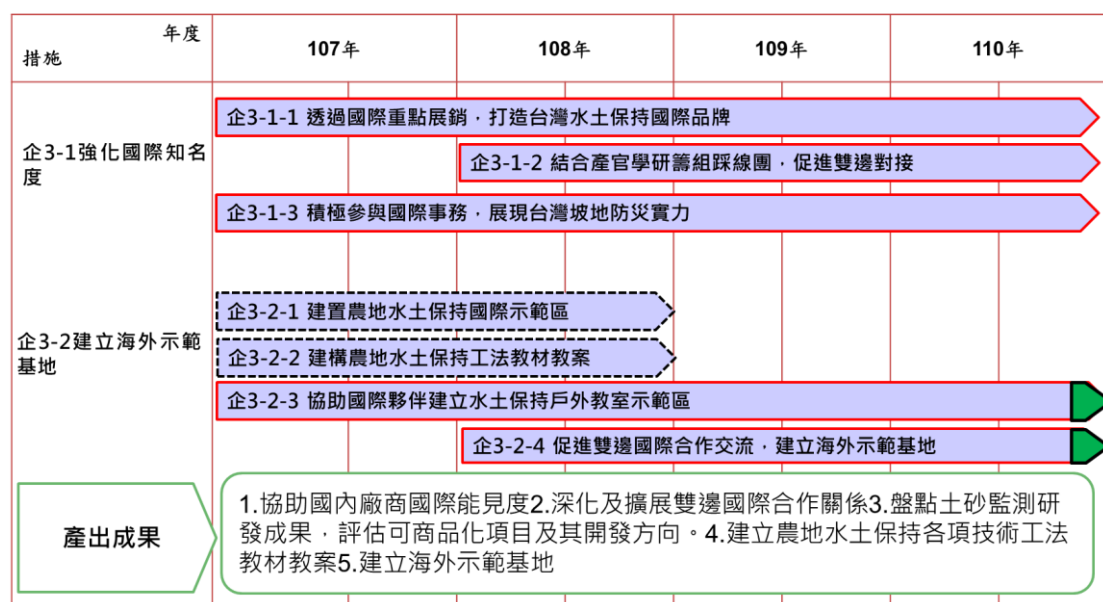


圖 2-21 綜合企劃組規劃策略三流程暨產出成果

五、技術研究發展小組發展策略規劃

在自主性，將未來執行業務劃分為「強化技術支援能力」、「建立研究發展能量」、「成立技術支援與研究團隊」；在準確性目標下，將業務策略分為「基礎資料盤點與整合」及「資料分享與加值應用」；在智慧性考量下，將未來業務劃分為「提昇資訊基礎架構」、「資料探勘與大數據分析」、「智慧化資安管理與雲端共享」，如圖 2-22 所示。

技術研究發展小組依據日常業務及未來業務規劃提出 3 大策略 8 項措施，分別為「提昇自主技術能力暨推動技術與研究支援團隊」、「資料整合與加值」、「建立安全、優質、便利之數位辦公環境」，其規劃執行期程 107 至 111 年，並研擬「成立坡地災害緊急對策支援團

隊」、「推動資料整合加值與大數據分析」、「打造智慧雲端協作與共享平台」等 3 項業務執行亮點，技術研究發展小組規劃內容說明如下：

策略規劃



圖 2-22 技術研究發展小組業務策略規劃圖

(一) 策略一「提昇自主技術能力暨推動技術與研究支援團隊」

其中業務措施為「建立跨域交流機制」、「技術推廣與落實」、「推動成立技術支援與研究團隊」，並規劃 7 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-23(a、b)所示，各項行動計劃執行期程、銜接方式及預定可產生「國內外水土保持發展研究趨勢報告」、「水土保持技術多語詞彙」、「產官學研交流、案例分享與討論平台」、「技術或新工具應用教材及師資培訓」、「成立坡地災害緊急對策支援團隊、建立相關培訓課程」、「成立水土保持技術綜合研究所」等六項產出成果。

(a)

措施 \ 年度	107年	108年	109年	110年	111年
技1-1 建立跨域交流機制	1-1-1 水土保持相關研究發展與策略趨勢研析				
	1-1-2 強化產官學研多元合作與創新加值				
產出成果	1.國內外水土保持發展研究趨勢報告。2.水土保持技術多語詞彙。3.產官學研交流成果分享平台。				
技1-2 技術推廣與落實	1-2-1 建立優質案例庫			1-2-1 滾動式檢討精進	
	1-2-2 建立技術或新工具應用培訓課程				
	1-2-3 建立現場調查與數值模式自主技術能力				
產出成果	1.歷年獲獎案例分享與討論平台。2.技術或新工具應用教材及師資培訓				

(b)

措施 \ 年度	107年	108年	109年	110年	111年
技1-3 推動成立技術支援與研究團隊			1-3-1 推動成立坡地災害緊急對策支援團隊		
			1-3-2 推動成立水土保持技術研究發展單位		
產出成果			1.建立相關培訓課程。2.成立坡地災害緊急對策支援團隊。3.成立水土保持技術綜合研究所		

圖 2-23 (a) (b) 技術研究發展小組規劃策略一流程暨產出成果

(二) 策略二「資料整合與加值」

其中業務措施為「基礎資料盤點與整合」、「資料分享與加值運用」，並規劃 5 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-24 所示，各項行動計

劃執行期程、銜接方式及預定可產生「虛實整合電子圖書資料庫」、「基礎資料建置標準參考手冊」、「全台紅色地圖」、「基礎資料展示與管理平台」、「Open data 及 Open API 管理平台」、「大數據分析平台」等 6 項產出成果。

措施	年度	107年	108年	109年	110年	111年
技2-1 基礎資料盤點與整合	2-1-1 建立虛實整合電子圖書資料庫					
	2-1-2 基礎資料定義、格式標準化與整合					
產出成果	1.虛實整合電子圖書資料庫。2.基礎資料建置標準參考手冊。3.全台紅色地圖					
技2-2 資料分享與增值運用	2-2-1 建置基礎資料展示與管理平台					
	2-2-2 建立資料管理與分享機制					
	2-2-3 資料探勘與大數據分析					
產出成果	1.基礎資料展示與管理平台。2.Open data及Open API 管理平台。3.大數據分析平台					

圖 2-24 技術研究發展小組規劃策略二流程暨產出成果

(三) 策略三「建立安全、優質、便利之數位辦公環境」

其中業務措施為「提昇資訊基礎架構」、「智慧化資安管理與雲端共享」，並規劃 5 項行動計畫及工作執行內容，如圖 2-25 所示，各項行動計畫執行期程、銜接方式及預定可產生「實體主機數量減少、機房 PUE<1.5」、「視覺化管理平台」、「通過 ISO27001 認證、www 通過無障礙 2.0AA 認證」、「水保協作雲」等 4 項產出成果。

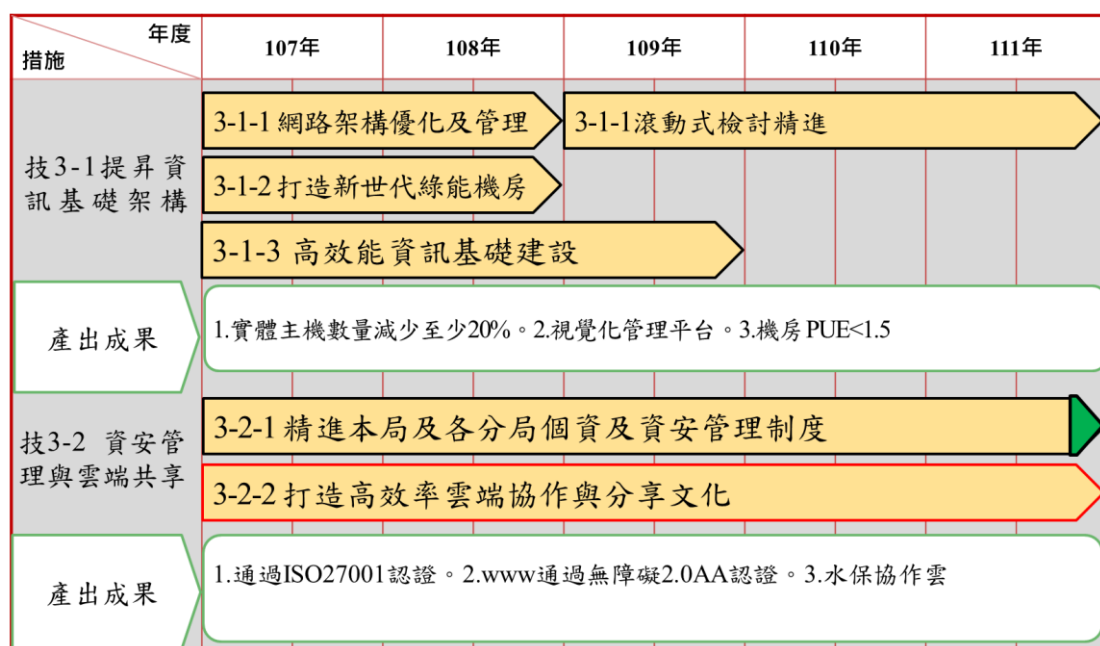


圖 2-25 技術研究發展小組規劃策略三流程暨產出成果

第二節 前瞻策略工作坊

當外部環境變遷頻繁度遠超過以往，且社會形態改變與機關內部環境的限制，僅憑過去的傳統技術與經驗，已無法因應目前與未來的挑戰，本次推動「水土保持發展策略規劃推動工作坊」即利用組織內部的審視、檢核業務執行步驟，以保持各部門間之協調性與競爭力為原則，逐步盤點自身所擁有的資源和長短處，建立專屬的「轉型策略」和「水土保持技術發展藍圖」，以下茲就工作坊會議結論說明之。

一、中長期策略發展主軸計畫

藉由會議討論取得共識，擬訂「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」、「整體性治山防災計畫」、「坡地防災維生通道計畫」、「國家地網計畫」以及「打造台灣坡地防災品牌」等5項主軸計畫，如圖 2-26，

說明如下：

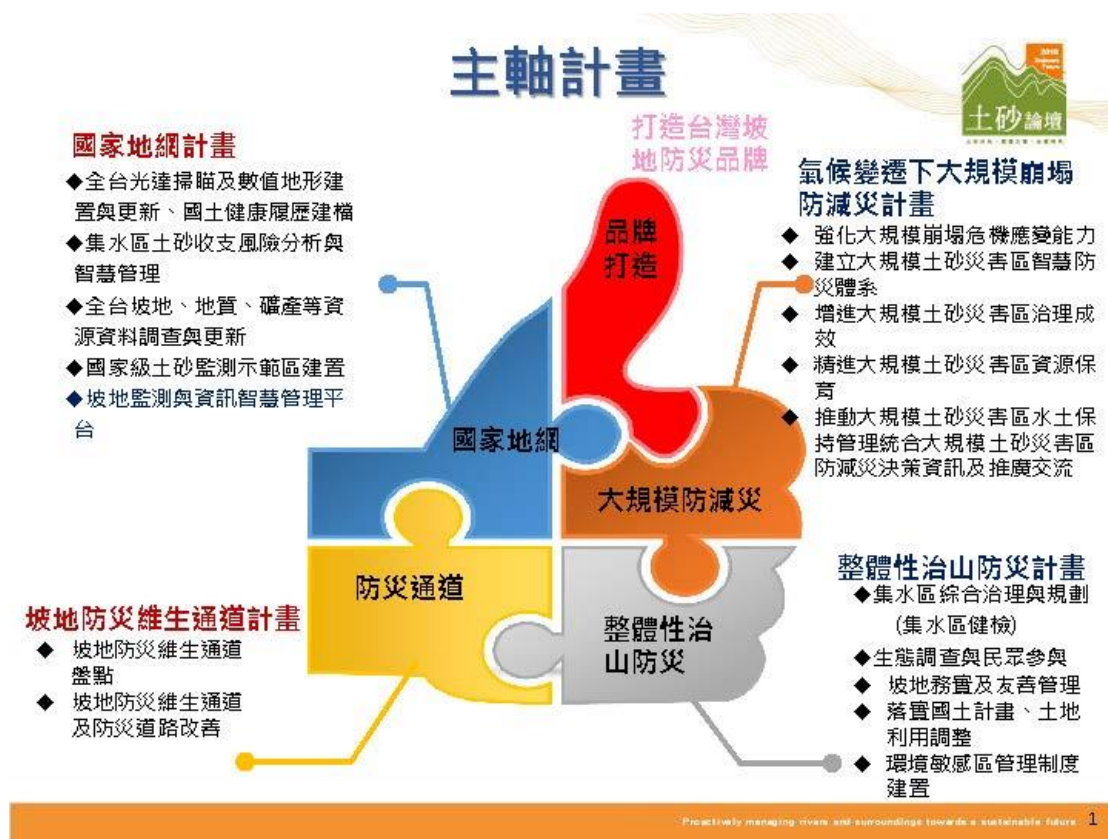


圖 2-26 中長期策略發展主軸計畫

1. 除為建構社區安全之山坡地防災體系，而推動「整體性治山防災」及「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」外，亦因應行政院組織改造而規劃 110 年至 114 年執行年限之「國家地網計畫」，如圖 2-27 所示，其內容規劃「因應組改主管法規檢討與修訂」、「全台光達掃瞄及數值地形建置與更新」、「全台岩心資料建置與數化建檔」、「全台地質、礦產資料調查與更新」、「坡地聚落易致災區判釋與調查」、「坡地易致災區風險與評估」、「全台集水區土砂控制與風險量化分級」、「國家地網資料庫規劃與建置」等八項行動計畫，預定可產生「全台

數值地形」、「全台岩心數化建檔」、「全台地質、礦產資料更新」、「坡地聚落易致災區判釋與風險評估」、「集水區土砂控制與分級」、「國家地圈智慧雲」等六項產出成果。

2. 針對山坡地聚落辦理道路設施改善計畫，以對外聯絡道路為主要對象，加強水土保持設施，維持邊坡穩定及路面排水設施改善，以維持道路的完整與暢通，避免颱風引發崩塌、地滑及土石流等土砂災害時，發生道路中斷危及居民對外聯絡之通道，因此，提出「坡地防災維生通道計畫」其中包含「坡地防災維生通道盤點」、「坡地防災維生通道及防災道路改善」等 2 項措施。

3. 以過去土石流防災的成功經驗為基礎，整合水土保持防災教育宣導教案、山坡地監督管理準則及法案，以及土砂災害監測技術等防災軟硬體產業，規劃「打造坡地防災形象品牌」以作為行銷防災產業的依據。

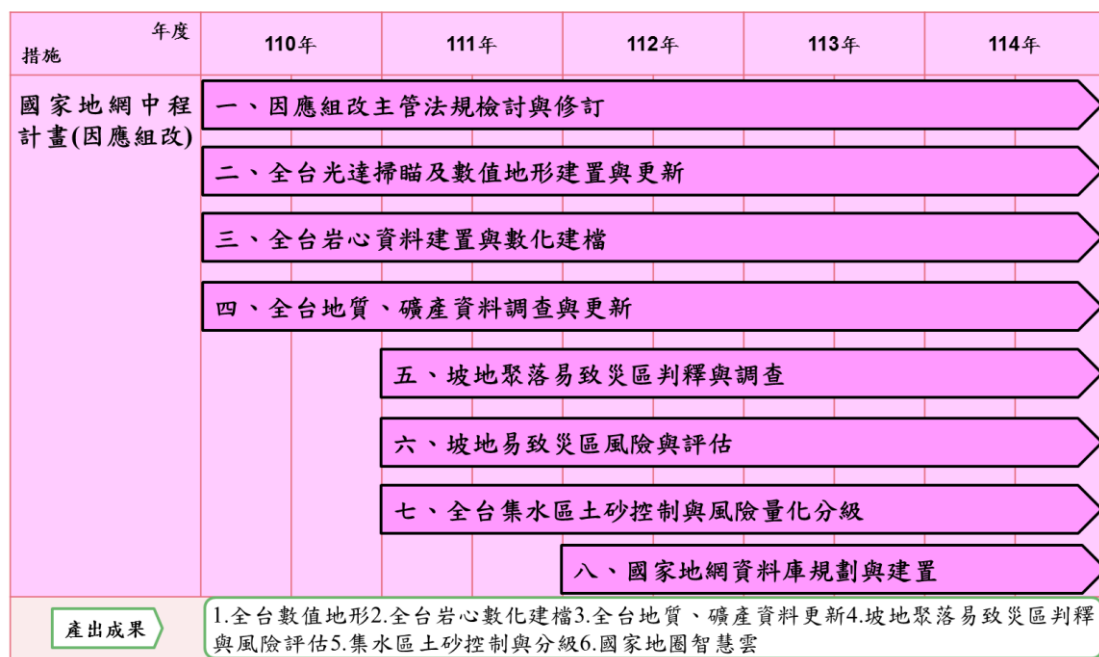


圖 2-27 國家地網計畫措施暨產出成果

二、工程技術核心業務行動計畫與產出分類

彙整各業務組中長期發展策略規劃，共計 21 項策略、58 項措施、212 項行動計畫，其中與土砂論壇結論相關之行動計畫計 130 項，與大規模崩塌防減災計畫相關之計有 88 項，國家地網相關之行動計畫計有 18 項。依據計畫執行屬性分類，跨組室整併之行動計畫計有 14 項，經常性持續辦理之業務有 135 項，評估後辦理之項次計有 25 項，創新研究之類別有 20 項，參酌 107 年度「水土保持技術研究發展規劃與建議」報告書附錄一。

第三章 歷年完成之防災技術與研究成果盤點

本研究透過盤點水保局過往之委辦案件執行成果，檢視重大政策推動情形，以探討其發展歷程與分析其持續投入相關研究的必要性。盤點之內容主要針對委辦計畫與研究補助案中依盤點工作項目進行各報告書檢核，冀能對於技術研究發展基礎資料，建立相關基礎資料標準化規範與格式，並以資料成果彙整作為未來資料管理與增值應用之前置作業。各計畫成果盤點分類統計，期能達成資料彙整與資源共享目標，將值得增值應用與可持續發展技術之重要原始資料項目，提出後續應用方向。

本期盤點工作內容為擴大收集包括 97 年度至 106 年度水土保持局各業務組（中心）及分局執行之委託辦理及研究案共計 2166 件，其中初步篩選可能包含常用基礎資料與後續增值應用之計數案件，共計 1545 件委辦計畫成果報告，並依據各業務單位較常使用之參考資料進行較詳細的成果盤點。

第一節 盤點工作範圍

一、97-106 水土保持局及分局委辦及研究計畫成果

本項盤點工作是依據水土保持局電子圖書管理中心系統資料庫，查詢民國 97 年至 106 年之委辦及研究計畫。其中，依各組室、中心

與分局進行分類篩選，統計計畫數量如表 3-1 所示，自 97 年至 106 年間計畫總共計 2166 件委辦計畫，每年平均約 200 件委辦計畫。

本年度盤點 106 年相關委辦計畫總計為 237 件，以計畫性質進行區分，如圖 3-1 所示，共計可分為水土保持試驗研究、流域綜合治理計畫、氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫、整體性治山防災、農村再生建設與發展、農村再生規劃及人力培育、重劃區外緊急農路設施改善計畫及一般行政等 8 大類別，其中以氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫盤點數量 83 筆最多，次之為整體性治山防災計畫盤點數量共 73 筆。

在氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫下，其對於潛勢區內調適工作分別擬訂六項調適策略，依序如下：策略一強化大規模崩塌危機應變能力、策略二建立大規模土砂災害區智慧防災體系、策略三增進大規模土砂災害區治理成效、策略四精進大規模土砂災害區資源保育、策略五推動大規模土砂災害區水土保持管理、策略六統合大規模土砂災害區防減災資訊及推擴交流等六項策略。106 年度執行委辦計畫計有 83 件，屬策略一及二的有 23 件、策略三及四有 45 件，策略五有 6 件、策略六有 9 件，如表 3-2 所示。

水土保持局歷年委辦計畫數量變化如圖 3-2 所示，其中 97 年度為 158 件，98 年度受莫拉克颱風影響，增加了許多相關委辦計畫，

共辦理 311 件委辦計畫，而後續自 99 年度至 106 年度，平均每年水土保持局辦理約 200 件委辦計畫，而 106 年度統計計畫數為 237 件。

表 3-1 97-106 年度委辦及研究計畫數量統計

各組室(分局) \ 年度	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	個別 加總
綜合企劃組	8	26	24	15	26	25	23	23	18	13	201
保育治理組	24	16	15	16	13	13	21	23	36	34	211
農村建設組	17	21	22	27	26	21	23	21	23	21	222
監測管理組	15	12	12	11	11	9	11	7	9	13	110
土石流防災中心	14	43	35	29	27	20	29	24	19	18	258
台北分局	11	28	19	10	15	14	17	18	21	28	181
台中分局	14	34	21	18	20	20	20	22	20	31	220
南投分局	16	44	21	22	26	21	24	23	21	29	247
台南分局	23	40	11	13	23	23	21	18	16	20	208
花蓮分局	9	24	14	15	17	18	19	14	13	16	159
台東分局	7	23	20	12	14	16	17	14	12	14	149
年度加總	158	311	214	188	218	200	225	207	208	237	總計 2166

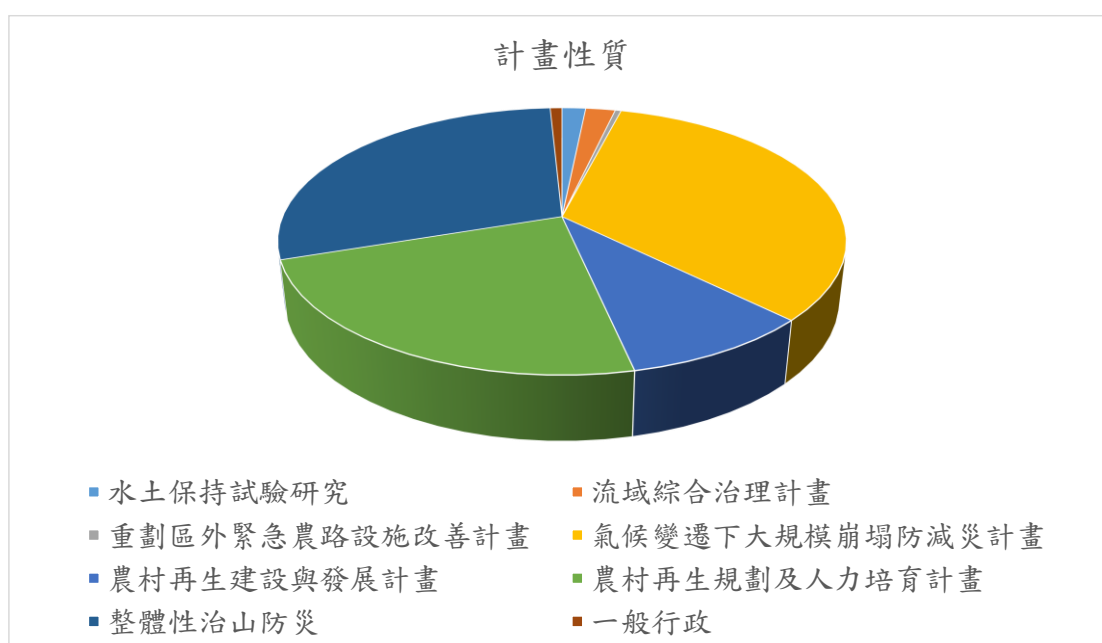


圖 3-1 歷年委辦計畫性質數量統計

表 3-2 106 年大規模崩塌防減災計畫各策略委辦計畫數量統計

各組室(分局)	策略一、 二	策略三、 四	策略五	策略六
土石流防災中心	6	-	-	-
技術研究發展小組	-	1	-	3
保育治理組	1	15	-	-
監測管理組	-	2	6	-
綜合企劃組	-	-	-	6
台北分局	3	3	-	-
台中分局	4	8	-	-
南投分局	5	6	-	-
台南分局	1	5	-	-
台東分局	1	2	-	-
花蓮分局	1	3	-	-
農村建設組	1	-	-	-
合計	23	45	6	9

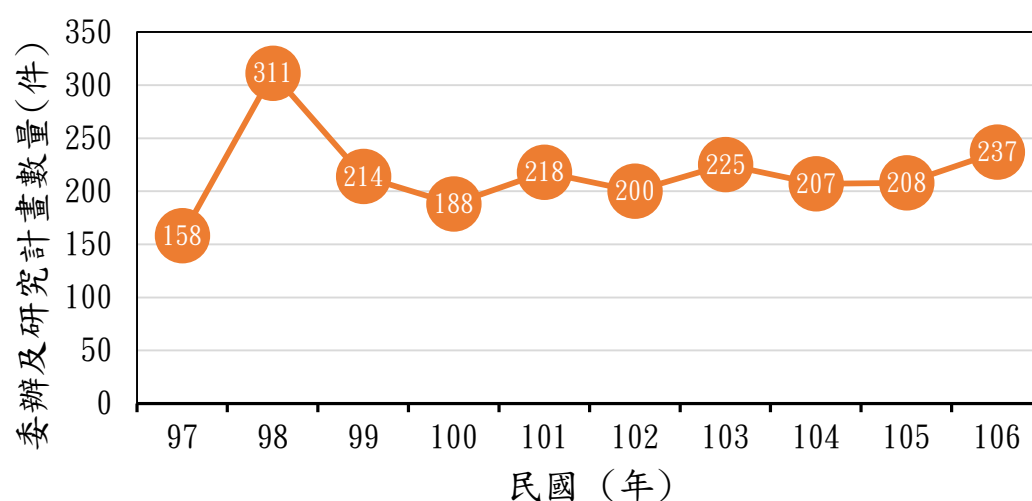


圖 3-2 歷年委辦計畫數量統計

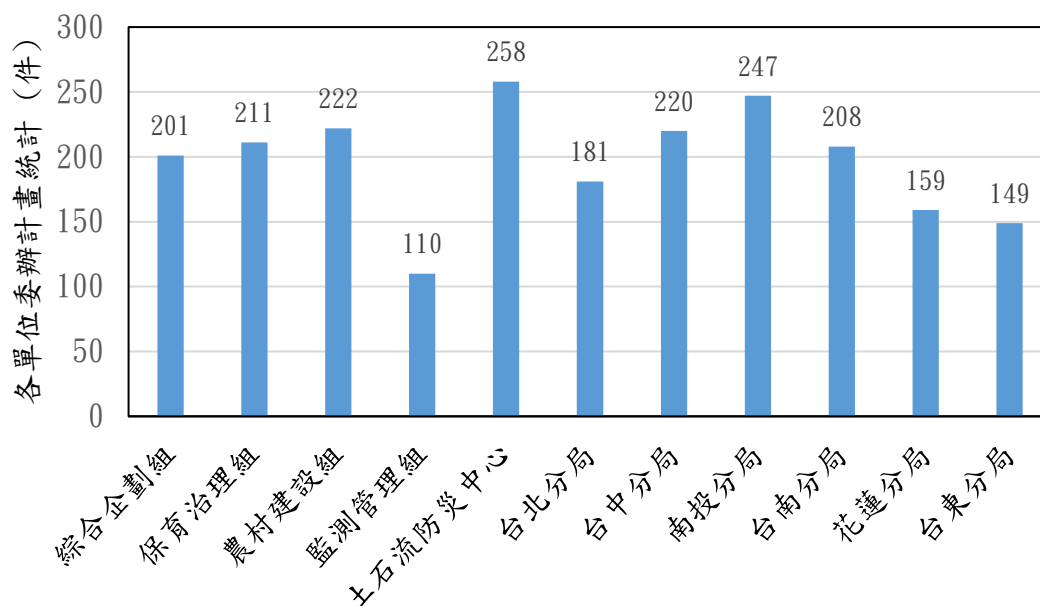


圖 3-3 97-106 年間各組室(中心、分局)委辦計畫數量統計

圖 3-3 為統計歷年來各組室委辦計畫數量，統計自民國 97 年至 106 年度完成委辦計畫數量。

二、委辦計畫成果盤點工作項目說明

本項工作項目為使各計畫成果之資源整合，對於盤點項目之資料整合與資源共享為主要目標，期能達成調查資料延續性與格式一致性等，避免不同時期間調查資料格式不相容，以達成資源整合效益，供水土保持局後續成果延續發展之可行性，資料彙整與檢索、資源整合與共享之策略依據。

本項工作預計完成歷年委辦計畫產出成果盤點，並檢視水土保持局電子圖書管理中心所收錄之成果報告其正確性與完整度，針對計畫項目羅列 30 項檢核內容，其可分類為報告書格式(電子書或紙本)，空

間資訊類(UAV 拍攝影像、航遙測影像、光達產製資料)，集水區相關資料類(崩塌地判釋、河道測量、地文、水文資料、土壤力學參數)，數值模式與統計回歸公式，監測及現場資料類(監測站設置及量測儀器，地球物理探測，災害工程案例與災害照片，構造物調查，生態調查相關)，資料加值應用類(平台建置，虛擬實境等技術)，教育訓育與出版品等，相關的內容說明如表 3-3。藉由本計畫的盤點統計資料，瞭解水土保持局歷年委辦計畫具體成果並予以彙整，並探討其成果延續發展之可行性，以回饋給業務單位持續相關研究。本次盤點亦針對成果報告書繳交項目、格式及檢核提出建議，以提高計畫成果之完整度。

表 3-3 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (1)

編號	盤點項目(單位)	內容說明
1	報告書格式之正確性	報告書是否符合水保局格式、是否完整單一檔案、能下載查看等等
2	檢核電子書之正確性	是否能在線上使用，是否與報告書內容一致
3	UAV 拍攝項目(處)	斜拍、正射、DSM、影片、環景、3D 建模
4	航遙測影像相關圖資	光學衛星、航空正射、雷達衛星、資源衛星
5	光達產製 DEM	是否有產製 DEM 或者是紅色地圖相關研究
6	斷面樁設置數量(支)	報告書中提及斷面樁設置並有詳細描述資料
7	斷面量測(km ²)	報告書中針對河道斷面量測的範圍統計
8	河床質調查數量(處)	報告書中針對河床質調查量測報告，是否有完整實驗成果資料
9	土壤力學參數	產出相關土壤力學參數，如 C、 ϕ 、 K_h 等
10	年平均雨量資料	針對研究區域蒐集平均雨量相關資料
11	重現期雨量資料	針對研究區域蒐集或計算其重現期雨量
12	重現期洪峰流量資料	針對研究區域蒐集或計算其重現期洪峰流量
13	土砂產量推估計算	運用土砂量計算公式或是數值模式推估集水區土砂產量
14	運用數值模式計算	如一維、二維水文水理模式、邊坡穩定模式、降雨入滲模式、土石流模擬模式、警戒模式
15	監測站相關資料(處)	針對災害潛勢區設置土石流、淺層崩塌、大規模崩塌、流量、土砂相關監測站

表 3-3 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (2)

16	沖蝕針運用相關資料	紀錄沖蝕針相關量測資料
17	崩塌量測儀器	如雨量筒、地質鑽探、地下水監測站、孔內傾斜儀、伸縮計、GPS 變位計、地表位移樁等等
18	地球物理探測相關資料	如地電阻、孔內電測(自然電位、電阻率、射線等)、孔內攝影
19	相關平台建置、維護	與水土保持局業務相關之平台建置與維護並記錄其名稱
20	崩塌判釋	如地質地表調查或是衛星影像判釋
21	災害案例或工程案例相關	有相關災害與工程的詳細調查研究報告
22	回歸公式及其屬性	產出回歸公式並記錄其屬性
23	災害照片紀錄	蒐集災害相關照片
24	構造物調查	紀錄構造物調查並統計件數
25	實境模擬相關	是否將水土保持局業務結合最新科技如 VR、AR、MR
26	生態檢核相關	如生態敏感區位、重要物種棲地、環境改善建議
27	教育訓練	統計報告書中教育訓練項目與其類型
28	相關出版品	如專書、摺頁、海報、影片、微電影
29	值得進入倉儲系統的圖資	研究是否有產出新的 GIS 圖資，可以給後續計畫進行參考
30	特殊分析技術	其他有特別可以紀錄的內容或是技術

第二節 盤點成果分析

一、盤點結果

本年度盤點結果，主要針對 106 年度委辦計畫與研究補助案，依盤點工作項目進行各報告書檢核，冀能對於技術研究發展(重要原始)

基礎資料，建立相關基礎資料標準化規範與格式，並以資料成果彙整作為未來資料管理與增值應用之前置作業。

本項盤點成果依計畫成果產出大致可分為：向量資料、空間影像、調查(監測)資料、圖(書)資資料、系統平台等五大項分類，主要在於資料彙整與資源共享目標，將值得增值應用與可持續發展技術之重要原始資料項目，進行各計畫成果盤點分類統計。根據歷年盤點統計結果，1545 冊報告書中有 1093 冊符合規定格式，電子圖書則為 1036 冊符合，其餘不符合規定之主要的樣態包含：未上傳單一完整檔案、報告書內容格式有誤、報告書為無須上傳驗收報告書等，皆列為不符合項目，盤點歷年統計結果如表 3-4 所示。

依照資料取得及其運用在委辦計畫與研究案中作用，可將資料性質概略分為六個大項：空間資訊類、集水區相關資料類、現場資料類、數值模式與統計回歸公式、資料增值應用類(系統平台)、教育訓育與出版品等六大項，以下說明各大項資料類別 97 年至 106 年盤點結果。

在空間資訊盤點及分類方面，主要將計畫成果分類為以 UAV 影像、衛星影像及光達增值應用產製之紅色地圖資料，其可作為多時期影像資料建置，透過空間分佈及時間序列之查詢方式，即可瞭解查詢地區過去發生災害歷史影像資料，以達資料整合應用、資源共享之用。此類別空間資訊項目，亦包含了正射影像、UAV 建置 DSM 模型、環

景照片與 3D 數位模型等，詳細各項基礎資料應用如圖 3-4 所示，今年度盤點工作項目上有關空間資訊項目成果報告書計有 271 本。

在集水區相關資料盤點及分類方面(崩塌地判釋、河道測量、地文、水文資料、土壤力學參數)項目中，主要是利用定點儀器量測資料、現場量測資料、室內實驗分析等方法得到此類資料，其作為水理分析與土砂收支分析等率定驗證之用，詳細各項基礎資料應用如圖 3-5 所示，今年度盤點工作項目上有關集水區相關資料項目成果報告書計有 376 本。

監測及現場資料盤點及分類方面(監測站設置及量測儀器，地球物理探測，災害工程案例與災害照片，構造物調查，生態調查相關)項目中，主要是利用各式儀器進行不同地表、地層資料類別取得監測資料，另外現場調查災害點位、生態物種、災害工程及災防構造物調查等，則由專業人員現地踏勘而得，其可作為受災地區持續監測及生態環境之影響進行後續整治策略及工程治理成效依據。今年度盤點工作項目上有關現場資料項目成果報告書計有 425 本。

在數值模式與統計回歸公式盤點及分類方面，主要是利用各類型數值模式，針對土砂災害進行趨勢及設計事件進行應用，並配合實測資料加以驗證，亦可將多時期資料進行統計回歸，以供後續延續型計畫參考應用，今年度盤點工作項目上有關數值模式與統計回歸公式項

目成果報告書計有 201 本。

在資料加值應用類盤點及分類方面(系統平台、虛擬實境等技術)，主要是以 3D 實景建模方式建置坡地三維空間模型，並於實景模型中匯入歷年調查成果圖資，建置坡地虛擬實境空間展示或是於相關系統平台展示(沉浸式訓練平台)。VR 是近年快速興起的新領域，透過訓練模式的開發可作為新進工程師專業能力輔助訓練平台，讓使用者毋需親臨現場也能瞭解現場狀況，其可作為討論災害緊急處理方案、工程配置，強化人員教育訓練之用，提升工程技術防災能力。有關資料加值應用如圖 3-6 所示，今年度盤點工作項目上有關系統平台、虛擬實境技術項目成果報告書計有 168 本。

在教育訓育與出版品盤點及分類方面，主要是對於水土保持教育進行推廣及規畫專業職能學習等，並將計畫成果加值利用，因此在教育宣導方面如校園推廣、社會企業公益等，打造水土保持教室及科普叢書等，以推廣水土保持生活化，今年度盤點工作項目上有關教育訓育與出版品項目成果報告書計有 678 本。

未來規劃將會針對此 30 個項目，做進一步的資料校正，並將已彙整之資料與圖資建立使用索引方便查詢，並建立成果報告書基本檢核項目，能夠在彙整時快速校正其正確性，供未來成果統計時搜尋、參考。

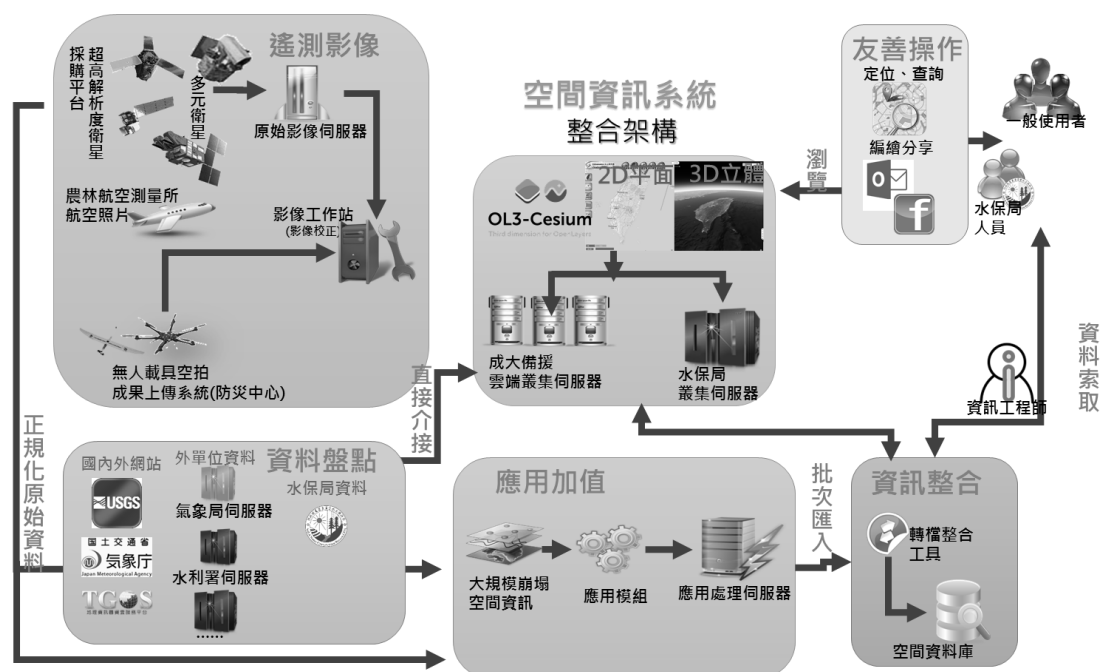


圖 3-4 空間資訊基礎資料應用 (107 年統合運用大規模崩塌防減災)

空間資訊計畫)

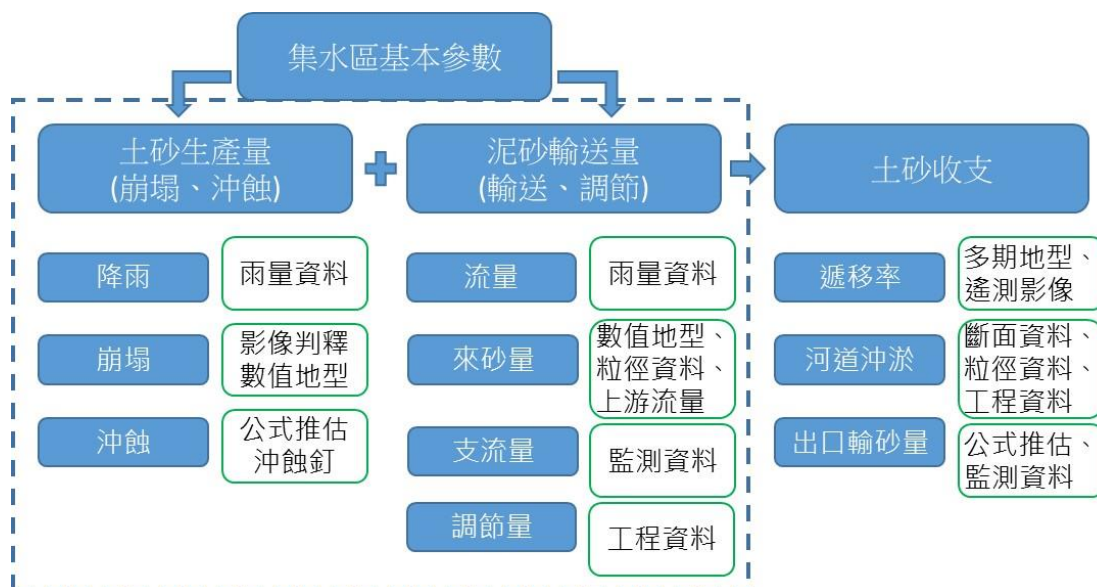


圖 3-5 集水區相關基礎資料應用



圖 3-6 系統平台資料應用 (水土保持局技術研究發展小組官網)

表 3-4 細部盤點項目與統計數量

編號	盤點項目(單位)	統計數量
1	報告書格式是否正確	1093 符合
2	電子書是否完整與報告書相同	1036 符合
3	UAV 拍攝(處)	460
4	是否申請遙測相關圖資	156
5	是否運用光達產製 DEM	58
6	斷面樁設置數量(支)	25
7	斷面量測(km ²)	52
8	河床質調查數量(處)	96
9	是否有土壤力學參數參考	51
10	是否有年平均雨量資料	223
11	是否有重現期雨量資料	180
12	是否有重現期洪峰流量資料	172
13	是否有土砂產量推估計算	214
14	是否有運用數值模式	270
15	監測站相關資料(處)	144
16	是否有沖蝕針運用相關資料	9
17	是否有崩塌儀器量測資料	373
18	是否有地球物理探測相關資料	81
19	是否有相關平台建置、維護	192
20	是否有運用崩塌判釋技術	236
21	災害案例或工程案例相關	127
22	是否有產出回歸公式	35
23	是否有災害照片紀錄	126
24	是否有構造物調查	207
25	虛擬實境、擴增實境相關	7
26	是否有生態檢核相關	166
27	是否有教育訓練	388
28	是否有產出相關出版品	633
29	值得進入倉儲系統的圖資	115
30	是否有包含特殊技術分析	191

二、評估歷年成果延續發展之可行性

今年度盤點資料由 97 年度至 106 年度共 1545 件委辦及研究案件成果，為能將盤點成果有效利用、管理、查詢、儲存，以掌握歷年調查成果之時間及空間分布情形，有利於資源整合應用，以作為未來資料系統平台建置之前置作業。盤點成果顯示每年百件委辦計畫產出成果豐碩，但在各項基礎資料之格式與名稱不一致，建議未來應該與各業務單位討論相關資料產出之統一規範與格式，希望能有案件執行成果產出之標準化依循與統一規格及資料格式化。

歷年盤點資料成果，可以概略分成：空間資訊類、集水區相關資料類、現場(監測)資料類、數值模式類、加值應用類、教育訓練與出版品等六類。以空間資訊類而言，可以大面積檢視山坡地歷年之變化過程，作為時間與空間之資料之記錄資料，而在集水區資料類與現場資料類，其可作為數值模式之輸入參數使用，以推估山區災害之影響評估，或是工程整治成效評估之用；現場與監測資料類，則是對於潛勢災區具有預警之用，並可依蒐集資料即時調整潛勢區治理之軟硬體策略方法；在加值應用類，則是將所有計畫產出成果，加以彙整至資料管理平台，以提供水土保持局人員或民眾查詢、應用及後續計畫研提之用；最後教育訓練及出版品，則是將水土保持教育生活化，使民眾有感於氣候變遷與災害頻率及規模擴大等影響，將出版品管理、分

享、永續運用，推動機關人員專業技能學習，並提升民眾水土保持知識。

然在歷年盤點資料亦顯示出目前水土保持局在資料管理與維護上所遭遇之問題如下：

- 1.各項圖資資料未能有效管理與分類，導致各計畫產出之成果，因資料格式與準標不一，後續維護及資料彙整不易。
- 2.各觀測站之觀測與調查資料成果分散至各平台，不易有效分類管理與整合，再者，部份架設之觀測站於該執行計畫結束後，即失去觀測站維護，形成無後續觀測資料之蒐集，對於長時間監測災區作災情研判及治理成效無法有快速找到過去觀測歷程及資料變化。
- 3.不同現場資料項目，例如生態調查、構造物調查等，分散於各計畫成果中，但未有專門集中管理之平台，將造成寶貴專家現場勘查資料失散，將無法資源彙整與共享。
- 4.此外，目前水土保持局委辦及創新研究計畫多元，引進許多新型態之研究工具及技術導入計畫中，其產出成果皆屬新創資料格式，應針對此類新型態之特殊技術與產出成果，對其是否納入基礎資料及延續發展可行性進行討論。

本年度累積歷年盤點成果，根據上述四項資料管理與維護，提出

以下建議方法：

- 1.為將各項圖資等紀錄有效整理及儲存，以避免重複施作、浪費資源，建議進行基礎資料定義及格式規範標準化，並將各項基礎資料能以時間、空間等方式管理與應用。
- 2.各觀測站之觀測與調查資料除能整合至目前觀測站查詢平台，除單純的點位資料外，也應將不同時期之資料收錄其中，所以當進行災害相關調查時，將能更快找到過去的觀測資料及資料變化歷程。同時，為因應未來計畫導入新型監測儀器產製成果，建議水土保持局建立對應各類型觀測資料專門管理資料平台，以方便資料管理與維護。
- 3.各項不同類別的構造物調查、生態檢核表等成果，建議納入工程管考系統或是治山防災集思網中，以有效管理與應用。
- 4.針對特殊技術與值得進入倉儲系統的圖資，新型態之研究工具及技術，其產出成果新型態資料格式，應針對此類新型態之資料類其應用性、發展性來探討是否能在未來結合與使用。
- 5.各項資料未來如欲整合至相應之資料庫，於作業機制上，應整合於行政流程內，例如在完成成果上傳後，由資料庫(平台)出具上傳證明俾能作為驗收依據。
- 6.在資料整合上，應於上傳平台上建立資料檢核機制(或第三方檢

核機制)，以確保資料格式正確性及資料內含之完整性，並上傳證明以作為驗收依據。

7.在操作便利性及合理性上，所有上傳的過程應統一在同一入口內，採一站式服務，除方便檢核流程是否有遺漏外，亦能降低使用者之不便。

三、小結

本年度盤點共收集自 97 年度至 106 年度共 1545 件委辦案件成果，依盤點工作項目進行各報告書檢核，對於技術研究發展(重要原始)基礎資料，建立相關基礎資料標準化規範與格式，並以資料成果彙整作為未來資料管理與加值應用之前置作業。

依據今年度盤點工作過程，建議水土保持局各業務單位未來可以「基礎資料標準與格式工作坊」形式討論各項基礎資料名稱之率定及資料格式之標準訂定一參考格式，以作為未來計畫案例執行之成果產出標準化與資料格式依據。本研究設計 30 項細部關鍵項目，依據其盤點結果提出下列建議：

(一)定期召開基礎資料發展工作坊

後續盤點工作建議水土保持局各業務單位可以「基礎資料標準與格式工作坊」形式參與，並討論各項基礎資料名稱之率定及資料格式之標準化，以作為未來計畫案例執行之成果產出標準化與資料格式依

據。除新技術導入產製之新格式資料產出外，建議水土保持局定期進行基礎資料定義、名詞統一及格式標準化。

(二)定期盤點並確認水土保持核心圖資及基礎資料

經由 107 年度本計畫協助水土保持局圖資工作圈整合相關圖資管理，自 108 年度起圖資下載申請與圖資下載審核機制限分為「自由下載」、「限制下載」及「管制下載」三類，如圖 3-7 所示，其中「限制下載」與「管制下載」則如圖 3-8 與圖 3-9 所示。水土保持局之核心圖資共 68 項(如表 3-5)，未來依照此作法定期檢視與定義核心基礎資料，納入行政流程，定期追縱與更新。

(三)建立水土保持基礎資料管理平台

透過盤點資料發現，水保局歷年來的計畫成果豐碩，如依資料格式區分，各計畫產出成果大致可分為：向量資料、系統平台、空間影像、觀測資料、圖書資料等五大類。為能有效儲存、管理、查詢、應用，能有效將基礎資料依時間、屬性、空間方式進行管理。建議後續宜建立這些歷年成果水土保持基礎資料管理平台。

(四)規劃計畫招標採購說明預期成果清單

建議水土保持局於各項計畫公開招標之後，可依照水土保持技術研究發展基礎資料項目，規劃設計各項計畫預期產出成果清單，可將

各項產出成果，依照基礎資料定義及格式進行標準化，將有助於承辦人員於期初、期中、期末之檢核單進行計畫專案控管。此外，執行團隊應在計畫期初期間依據水土保持局提供之預期產出成果清單，進行計畫應產製資料清單，提供承辦同仁參考，於計畫執行期間進行增刪或修正，有助於計畫成果之檢核及資料品質控管。

(五)定期檢視成果資料，統整與發掘計畫成果可加值用途

建議透過滾動式檢討，調整水土保持局中、長期規劃，並藉由歷年計畫成果盤點能發掘其新的議題與重要參考資料，如觀測資料與調查資料的大數據分析，特殊技術重新檢視及發展，定期的盤點與檢討的過程，將可使歷來的成果與產出，轉化為有效的資料，進而形成知識，並透過更多的討論與加值形成機關與單位的智慧。

以上工作期望能使各計畫調查資料能具資料延續性及一致性，避免前期與後期調查資料格式不相容，減少調查資源浪費等，使得基礎資料及後續加值運用上，能達到資料彙整及資源共享目標，供水土保持局在發展策略方向及措施評估依據。

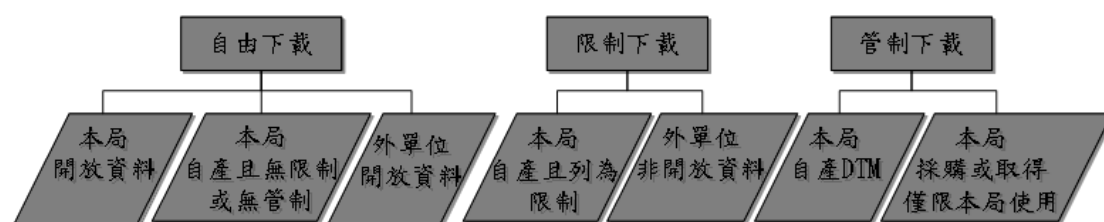


圖 3-7 圖資下載分類原則

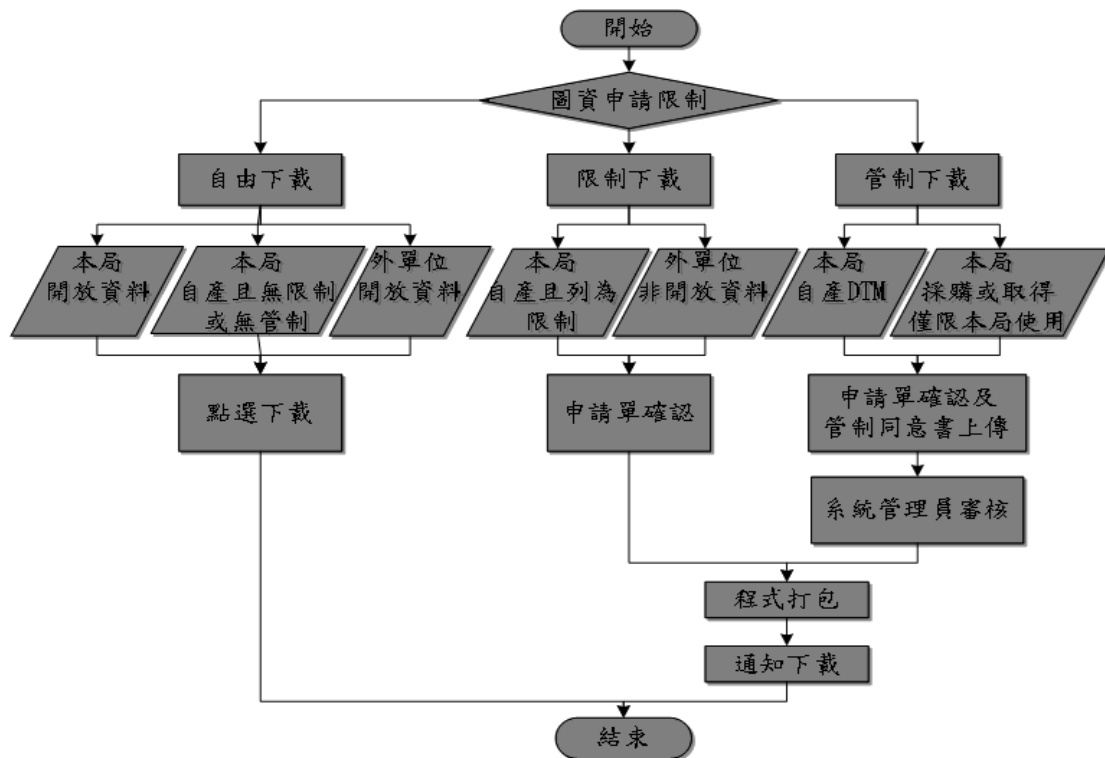


圖 3-8 水土保持局同仁圖資申請與審核機制原則

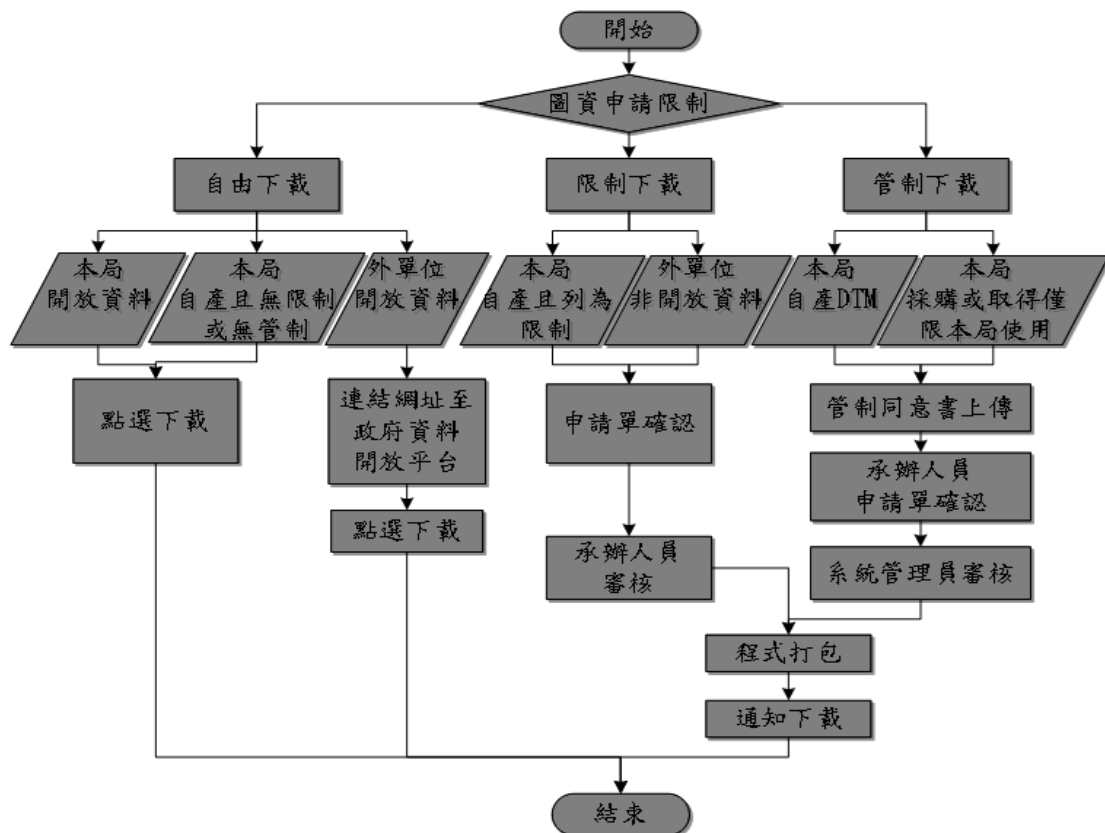


圖 3-9 委辦廠商圖資申請與審核機制原則

表 3-5 核心圖資資料集 (1)

NO	核心圖資資料集名稱	NO	核心圖資資料集名稱
H_01	水土保持戶外教室及教學園區分布圖	K01	衛星正射影像
I_01	農路圖	K02	全島鑲嵌影像
I_02	上游坡地水土保持及治山防洪計畫範圍圖	K03	全臺全部變異點分布圖
I_03	治山防災治理單元 ABC 分級圖	K04	全臺疑似違規變異點分布圖
I_04	全臺集水區範圍圖	K05	山坡地違規檢舉告示牌位置圖
I_05	河川界點位置圖	K06	全臺山坡地地籍圖
I_06	全臺主要水庫位置圖	K07	山坡地範圍圖(水保法)
I_07	水系圖	K08	山坡地範圍圖(山保條例)
J01	農村區域亮點計畫分布圖	K09	山坡地土地利用調查圖
J02	農村再生計畫社區分布圖	K10	特定水土保持區範圍圖
NO	核心圖資資料集名稱	NO	核心圖資資料集名稱
J03	農村再生執行計畫工程位置分布圖	L_01	土石流潛勢溪流圖
J04	農村地籍圖	L_02	土石流潛勢溪流影響範圍圖
J05	農村非都市土地使用分區圖	L_03	災害事件崩塌地判釋圖
J06	農村非都市土地使用地類別圖	L_04	土石流觀測站分布圖
J07	休閒農業區圖	L_05	災害事件後衛星影像
J08	農業經營專區圖	L_06	雨量站分布圖
J09	漁村分布圖	L_07	大規模崩塌潛勢區分布圖
J10	原住民地區鄉鎮分布圖	L_08	莫拉克颱風災區特定區域分布圖
J11	客家文化重點發展區鄉鎮分布圖	L_09	莫拉克颱風災區安全堪虞區域分布圖
J12	偏遠地區鄉鎮分布圖	L_10	土石流疏散避難場所分布圖
L_11	地調所環境地質圖地質災害潛勢圖	L_15	土石流潛勢溪流集水區圖
L_12	保全對象分布圖	L_16	歷年重大土石災例分布圖
L_13	區域地質圖	L_17	地震測站分布圖
L_14	活動斷層地質敏感區圖	L_18	山崩與地滑地質敏感區圖

表 3-5 核心圖資資料集 (2)

QA_01	全臺高解析度衛星影像	QA_11	全臺保安林分布概略圖
QA_02	直轄市、縣市界圖	QA_12	國家公園區分布圖
QA_03	鄉鎮市區界圖	QA_13	都市計畫範圍分布圖
QA_04	村里界圖	QA_14	等高線地形圖
QA_05	交通路網數值圖	QA_15	國土利用現況圖
QA_06	農航所五千分之一全台正射影像	QA_16	山坡地數值高程地形圖
QA_07	臺灣通用電子地圖	QA_18	山坡地土壤圖
QA_08	經建版地形圖	QA_19	水位站分布圖
QA_09	臺灣地區像片基本圖	QA_20	省道里程碑(樁號)圖
QA_10	林班圖	QA_21	衛星判釋全島崩塌地圖

第四章 土砂災害模擬相關模式測試與分析

第一節 坡地降雨致災熱區警戒模式

一、緣起

臺灣自 2005 年起採用 RTI(Rainfall Triggering Index, RTI)模式設定各鄉鎮雨量警戒值，並建立土石流紅黃警戒發布機制，有效降低民眾傷亡。但 RTI 模式有效累積雨量計算方式，主要受到雨場分割方式，導致雨場數目及降雨指標差異甚大、地面雨量站空間密度不足、未整體考量坡地災害、長延時降雨情境等因素，造成在某些特殊型態雨場常導致警戒誤報率偏高。為此，本研究整合 QPESUMS (Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors, QPESUMS)雷達降雨網格資料與單位網格範圍內歷年坡地裸露率變化，提出坡地降雨致災熱區評估指標，並以網格方式建立坡地降雨致災熱區之警戒發布機制。以高雄市六龜區 2005-2017 年之降雨事件為例，本研究建立之警戒模式可有效預測新生崩塌發生之時間及區域。

二、文獻回顧基本資料

建立警戒系統並適時疏散災害潛勢區內的民眾，為降低天然災害導致人命傷亡風險的有效方式。儘管多數研究結果顯示，降雨導致坡地崩塌或土石流發生的主因係與土壤含水量有直接關連，但限於現地

觀測資料取得及實務操作之可行性，現行降雨導致坡地災害之警戒模式多僅使用雨量及其衍生之參數等作為監測指標(Wieczorek and Glade, 2005)。此外，台灣現行土石流警戒機制，僅針對已公開之 1 千多條土石流潛勢溪流發布紅黃警戒，對於山坡地上更常見的崩塌災害，並未提供預警資訊，且目前採用逐條發布土石流警戒之發布機制，亦不利於地區整體坡地災害風險之評估(陳振宇等，2017)。

台灣自 2005 年起正式改以 60 分鐘累積雨量及考慮前七天降雨效應之有效累積雨量組合而成的降雨驅動指標(Rainfall Triggering Index, RTI)模式，據以設定各鄉鎮之土石流警戒基準值，並建立土石流紅、黃警戒發布機制，歷經十多年來的實際應用，已有效降低土石流災害造成民眾之傷亡數目(詹錢登、李明熹，2004)。其計算及警戒值設定方式簡述如下：

$$RTI = I \times R_t \text{ 式 (4.1)}$$

$$R_t = \sum_{i=0}^7 \alpha^i R_i \text{ 式 (4.2)}$$

其中 I 為 60 分鐘累積雨量； R_t 稱為有效累積雨量， R_i 為前 i 日的 24 小時累積雨量(例如 R_0 即為目前時間之前的 24 小時累積雨量)， α_i 為前 i 日的折減係數； α 目前採用 0.7。而在訂定各鄉鎮警戒基準值時，須先蒐集該鄉鎮內參考雨量站之歷年降雨資料進行雨場分割，再將每一個雨場以一個雨量強度 I 及一個有效累積雨量值 R_t 代表之，並

據以計算該雨場之 RTI 值。其中，如該雨場為已發生土石流災害之雨場事件，則其代表之雨量強度及有效累積雨量採用土石流發生時刻之值；反之，如該雨場期間未發生土石流災害或有發生但不知明確發生時間，則其代表之雨量強度及有效累積雨量採用該雨場最大雨量強度發生時刻之值。

完成該鄉鎮參考雨量站歷年降雨資料之雨場分割、設定代表值並計算各雨場之 RTI 值後，再將歷年雨場之 RTI 值依照大小排列，並以韋伯法計算出歷年雨場 RTI 值較小的 10%，設為 RTI_{10} （記為下警戒值，表示僅有 10% 的 RTI 值小於此值），以及 RTI_{90} （記為上警戒值，表示有 90% 的 RTI 值小於此值）。最後將上下警戒值（ RTI_{10} 與 RTI_{90} ）以 $RTI_M = RTI_{10} + \left(\frac{M-10}{80}\right)(RTI_{90} - RTI_{10})$ 式（4.3 式（4.3）進行線性內插，即可求出其它的 RTI 特定值，例如： RTI_{50} 或 RTI_{70} 等。

$$RTI_M = RTI_{10} + \left(\frac{M-10}{80}\right)(RTI_{90} - RTI_{10}) \text{ 式 (4.3)}$$

此外，為便於一般民眾理解及實務操作之便利性，水土保持局以鄉鎮為單元，將各地區之 RTI 值轉換為以有效累積雨量為單一指標之土石流警戒基準值（ R_c ），目前採用 RTI_{70} 除以降雨強度 10mm/hr，並取 50mm 為一個級距，訂出各鄉鎮之土石流警戒基準值。現行台灣 159 個轄區內有土石流潛勢溪流的鄉鎮，其土石流警戒基準值之範圍為 200 至 600mm 共 9 個級距。

儘管台灣現行的土石流警戒系統對於颱風豪雨導致之土石流災害，在事前預警上已有顯著成效，但在警戒值設定過程及警戒發布之實務運作上，仍有一些問題待解決。包含：

(一)目前警戒值之設定及警戒發布，仍完全仰賴地面自動雨量站。儘管近年來相關單位已大幅提昇山區自動雨量站之設置密度(截至 2106 年止，依據水土保持局統計，全台 85%土石流潛勢溪流距離參考雨量站均在 3 km 以內)，但由於台灣山區地形變化大，此密度似仍顯不足。

(二)現行 RTI 模式對於前期降雨之處理，係採用「逐日折減」方式，即便是降雨延時僅 1 小時的降雨，在 24 小時內其對於土壤飽和度變化之影響均視為相同，與實際狀況不符。

(三)現行警戒雨量模式雖已藉由調整不同警戒雨量以表現各地區之地文地質等條件差異，但未有一套明確的評估方式可表達各地區之地文脆弱度(Physiographic fragility)。

(四)現行之警戒模式僅針對土石流災害提供預警，但對於常見的淺層崩塌則尚未提供警戒資訊；且現行以土石流潛勢溪流為標的之紅黃警戒發布模式，無法提供各地區整體的坡地災害風險等級警示，不利於各級政府防災單位全面掌握狀況。

為此，本研究將針對前揭國內現行雨量警戒模式所面臨的問題，

提出相應之改進方案。首先藉由歷年坡地裸露率變化，建立各網格範圍內之地文脆弱度，再整合 QPE (Quantitative Precipitation Estimation) 定量降雨估計資料與地文脆弱度，提出坡地降雨致災熱區風險評估指標，並建立具視覺化之網格式警戒模式。本研究將以高雄市六龜區為例，進行本警戒模式於空間域及時間域預測精度之驗證。

三、材料與方法

(一)研究試區

本研究係以高雄市六龜區為驗證案例，面積約有 180.32 km²，計有 147 個 QPE 網格，每個網格解析度為 1.3 x 1.3 km²，崩塌位置使用 2004 年~2016 年林務局衛星判釋全島崩塌圖層，災害發生時間依據水土保持局重大土石災例報告 2006~2016 年災報，雨量資料方面採用建立已逾 10 年，空間解析度較高的 QPESUMS 網格式雷達降雨資料取代地面自動雨量站，並蒐集 2005 年~2017 年中 145 個降雨事件，並直接以 QPESUMS 網格作為警戒發布單元。本研究試區內 QPE 網格之空間分布如圖 4-1。

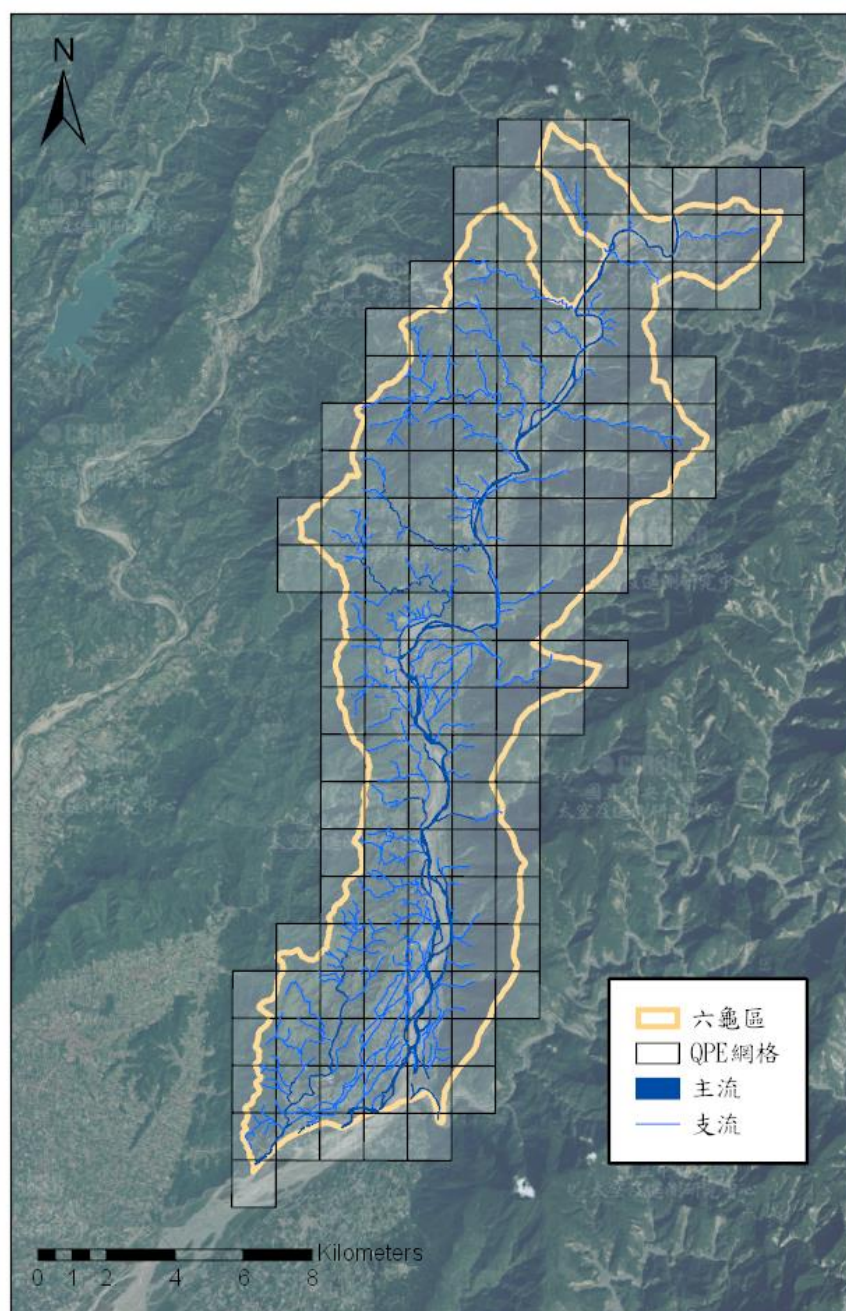


圖 4-1 高雄市六龜區範圍及 QPE 網格分布

(二)降雨危害度指標

本研究係僅針對降雨引致之崩塌進行致災熱區評估，亦即視降雨為危害(Hazard)，為評估不同規模之降雨造成之危害度差異，本研究參考並改良現行 RTI 模式之作法建立降雨危害度指標。首先，為解決

現行 RTI 模式對於前期雨量處理方式之疑義，本研究使用陳振宇等 (2017) 所提出的逐時折減之有效累積雨量 (Effective accumulated rainfall, EAR) 計算公式，如式(4.4)：

$$EAR_t = I_t + EAR_{t-1} \times (0.7)^{1/24} \quad \text{式 (4.4)}$$

其中 I_t 為目前的時雨量， EAR_{t-1} 為 1 小時前的有效累積雨量。相較於式 (4.2) 每次運算均需分別計算前七日之 24 小時累積雨量並乘上折減係數後再累加，式(4.4)之計算僅有一次折減及一次累加，其計算量大幅減少，有利於後續大量網格運算時使用。

此外，由於不同的雨場分割方式，將造成統計時使用之雨場數目及降雨指標代表值差異甚大(詹錢登等，2003)，為簡化雨場分割問題，本研究取 2005 年 7 月至 2017 年 7 月每個月最大的 EAR 值作為該月雨場代表值，亦即每個 QPE 網格均有 145 個雨場。惟考量在台灣引致坡地災害之雨量一般多在 150mm 以上(水土保持局，2017)，故本研究定義大於 150mm 之雨場方為具危害度之雨場，並據以定義降雨危害度指標，其程序如下：

各 QPE 網格均先剔除小於 150mm 之雨場資料後，再參照 RTI 模式以韋伯法計算出 EAR_{10} 、 EAR_{90} 及 EAR_{95} 三個值，其中 EAR_{10} 代表該 QPE 網格歷年來僅有 10% 的具危害度之雨場小於此值。同時，本研究取 EAR_{10} 、 EAR_{90} 作線性內插(類同式(4.3))，分別計算出 EAR_{30} 及

EAR_{60} 後，定義降雨危害度指標(Rainfall-hazard index, H_R)，如表 4-1。

以位於六龜區寶來里之 QPE 編號 110025 網格為例，經刪除 EAR 小於 150mm 之雨場後，餘 43 個雨場 (亦即平均 1 年 3.6 個致災性雨場)，考量每年颱風襲台次數與梅雨季，此值尚屬合理。將此 43 個致災性雨場以韋伯法計算後，此網格之降雨危害指標值對應值如表 4-2，其中 EAR_{max} 為該網格雨場資料之歷史最大 EAR，發生 2009 年 8 月莫拉克颱風。

表 4-1 降雨危害度指標 H_R 之定義

危害度等級	1	2	3	4	5
意義	低	中	中高	高	極高
指標 H_R	$<EAR_{30}$	$EAR_{30} \sim$ EAR_{60}	$EAR_{60} \sim$ EAR_{90}	$EAR_{90} \sim$ EAR_{95}	$>EAR_{95}$

表 4-2 QPE 編號 110025 網格降雨危害指標值 H_R 對應值

EAR_{10}	EAR_{30}	EAR_{60}	EAR_{90}	EAR_{95}	EAR_{max}
171mm	313mm	525mm	738mm	815mm	1266mm

(三)地文脆弱度指標

由於地質、地形、地表植生及人為開發利用(如開闢道路等)均會直接、間接或交互影響該地區在降雨期間是否產生崩塌或沖蝕等現象，此部份較不易直接由前揭各項因子單獨進行評估。因此，本研究係採

用各 QPE 網格內每年是否產生新生崩塌(亦即反映崩塌發生頻率),以及崩塌規模等二項指標來代表該網格範圍內之地文脆弱度(Physiographic fragility)。本研究使用 2004~2016 林務局年度衛星判釋全島崩塌圖層作為各網格歷年是否發生新生崩塌之評估基準,並以相鄰二年之 GIS 圖層相減方式,建立 2005~2016 年間,每一個 QPE 網格範圍內之每年新生崩塌面積。此處之新生崩塌面積,係指「舊有崩塌地擴大」加上「新生崩塌地」的部分,即圖 4-2 之(3)與(4)。此外,由於林務局年度衛星判釋全島崩塌圖層之最小判識面積為 0.1 公頃,若每年度新生崩塌地面積如小於 0.1 公頃者,均視為無新生崩塌。

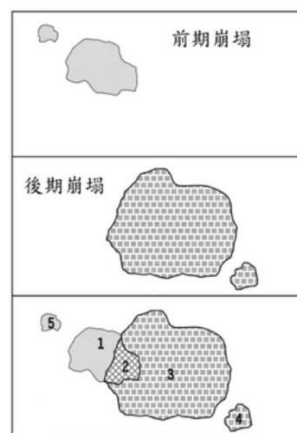


圖 4-2 崩塌地變遷及分類示意(陳俞旭, 2008)

為驗證本研究所提出之地文脆弱度指標具有代表性,本研究僅取 2005~2014 年新生崩塌地面積作為基礎資料以建立每一個 QPE 網格的地文脆弱度指標,再以 2015 及 2016 年之資料進行驗證。其中, 2005~2014 十年內均未有新生崩塌之網格計有 40 格,而每年均有新

生崩塌者有 1 格，即位於六龜區寶來里之 QPE 編號 110025 網格。表

4-3 摘錄部份 QPE 網格範圍內之每年新生崩塌地面積及相關統計。

表 4-3 各 QPE 網格範圍內之每年新生崩塌地面積及相關統計(摘錄)

QPE 編號	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2009 年	2010 年	N_n	A_a
101641	0	0	0	0	0	0	0	0
102962	0	1,685	0	0	0	0	1	1,685
106935	0	0	0	0	0	6,366	2	5,599
109585	2,209	18,898	0	0	0	144,656	6	32,614
110025	6,471	99,080	8,183	8,758	32,481	130,574	10	30,187
108261	24,127	16,881	0	3,454	5,029	274,572	7	55,572
QPE 編號	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	N_n	A_a
101641	0	0	0	0	0	0	0	0
102962	0	0	0	0	0	0	1	1,685
106935	4,833	0	0	0	0	0	2	5,599
109585	18,866	1,609	9,446	0	0	0	6	32,614
110025	2,882	5,981	6,124	1,338	1,717	2,125	10	30,187
108261	60,048	0	4,893	0	0	0	7	55,572

N_n ：2005-2014 年新生崩塌頻率(次數) A_a ：2005-2014 年平均新生崩塌面積(m²)

為便於後續與降雨危害度指標整合，本研究將新生崩塌頻率(N_n)與平均新生崩塌面積(A_a)整併為單一指標，並定義為地文脆弱度指標

(Physiographic fragility index, F_P)如式 (4.5)：

$$F_P = \begin{cases} N_n \times \log A_a & \text{if } N_n > 0 \\ 0 & \text{if } N_n = 0 \end{cases} \quad \text{式 (4.5)}$$

其中 2005~2014 十年內均無新生崩塌之 40 個 QPE 網格其 F_P 均設

為 0，研究區內 147 個網格之 F_P 值範圍、特徵及分級標準如表 4-4。

分級後各網格之地文脆弱度指標，如圖 4-3。

表 4-4 研究區內地文脆弱度指標 F_P 分布特徵與分級

F_P 值	網格數	特徵	脆弱度	意義
0	40	10 年內無新生崩塌	A	低
0~10	35	崩塌 1~2 次，面積 0.1~4.0 公頃	B	中
10~15	18	崩塌 3~4 次，面積 0.3~7.9 公頃	C	中高
15~20	15	崩塌 4~5 次，面積 0.6~3.5 公頃		
20~25	13	崩塌 5~6 次，面積 1.2~4.7 公頃	D	高
25~30	7	崩塌 6 次，面積 1.7~6.3 公頃		
30~35	8	崩塌 7~8 次，面積 0.6~5.5 公頃	E	極高
>35	11	崩塌 8~10 次，面積 1.0~4.7 公頃		

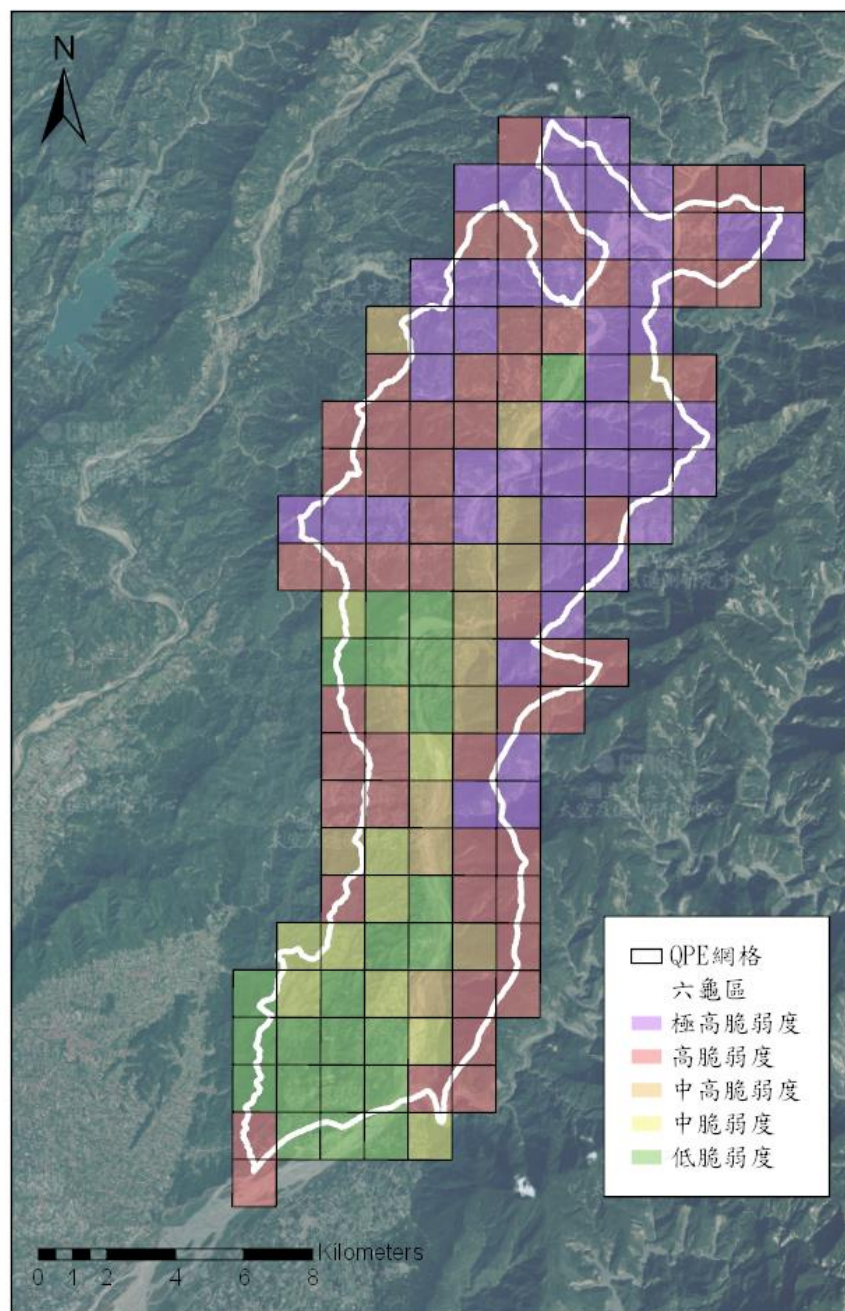


圖 4-3 各網格之地文脆弱度指標

(四)降雨致災風險等級指標

坡地崩塌發生之條件，可概分為誘因與基因，以本研究之範疇為例，誘因即為降雨，基因即為地質與地形等地文條件。為有效整合前揭所提出之降雨危害度指標(誘因)及地文脆弱度指標(基因)，本研究

採用矩陣法定義「降雨致災風險等級指標」(Risk index of rainfall-induced hazard, R_h)，詳如圖 4-4。其中，由於前已考量在台灣引致坡地災害之雨量一般多在 150mm 以上，故圖 4-4 中 EAR 小於 150mm 時，均強制設為低致災風險；同時，為考量極端降雨仍可能帶來高風險之情境，故圖 4-4 中若 EAR 大於 1000mm 時，均自動調昇一個致災風險等級。

降雨危害度指標	5	高	極高	極高	極高	極高
		中高	高	高	極高	極高
	4	中	中高	高	高	極高
	3	低	中	中高	高	高
	2	低	中	中	中高	高
	1	低	低	低	中	中高
		A	B	C	D	E
地文脆弱度指標						

圖 4-4 以矩陣法定義之降雨致災風險等級指標(R_h)

四、分析成果

(一)地文脆弱度指標驗證

為評估式(4.5)及表 4-5 所設定之地文脆弱度指標是否合宜，本研究以 2015 及 2016 年之新生崩塌網格所在位置作為驗證。以 2015 年為例，該年度計有 14 個網格發生新生崩塌，其中位於地文脆弱度指

標等級為「極高」與「高」之網格分別有 7 個及 4 個，亦即近 8 成的新生崩塌確實位於地文脆弱度指標評估為高度脆弱的地區(如表 4-5)；同時，2016 年之驗證結果，其預測正確率亦逾 8 成，故可知本研究所提之地文脆弱度指標 F_p ，確實可在空間域上有效指出容易新生崩塌之區域。

表 4-5 地文脆弱度指標驗證結果

年度	新生崩塌網格總數	位於不同地文脆弱度等級網格數				
		極高(E)	高(D)	中高(C)	中(B)	低(A)
2015	14	7	4	1	2	0
2016	6	4	1	1	0	0

(二)降雨致災風險等級指標驗證

為驗證不同地文脆弱度網格在歷年 (2005/7~2017/7) 145 個雨場事件中，其降雨致災風險等級變化情形與實際新生崩塌之關連性，本研究分別就「極高脆弱度」、「高脆弱度」、「中高脆弱度」、「中脆弱度」及「低脆弱度」五種地文脆弱度等級各選一代表網格，將歷年雨場資料及新生崩塌事件及其規模進行事件時序分析。五種地文脆弱度代表網格之分析結果詳如表 4-6，極高脆弱度至中脆弱度代表網格於歷年降雨事件期間之降雨致災風險等級變化情形與新生崩塌事件之時間序列圖，詳如圖 4-5。

由表 4-6 之結果呈現，本研究所提出之降雨致災風險等級對於新

生崩塌預測具有一定之成效。例如，表 4-6 中 5 個代表網格於歷次雨場期間其致災風險等級達到「極高」者，均發生新生崩塌；致災風險等級達到「高」者，亦有約 45%的機率發生新生崩塌，且其發生機率亦隨風險等級降低而減少，符合一般對於警戒模式之期待。此外，透過圖 4-5 以時間軸序列方式呈現各代表網格新生崩塌發生時間與規模，大致也呈現規模較大之新生崩塌亦多發生於其致災風險等級達到「極高」時。亦即，後續如能將此模式導入即時雨量計算，並整合呈現於 GIS 平台，即可作為具視覺化的廣域型土砂災害警戒模式，有利於防災業務人員整體掌握災害趨勢，並據以進行相關決策分析。

表 4-6 歷年降雨致災風險等級與新生崩塌發生率(1/5)

QPE 編號 110025 (極高脆弱度)	雨場數	新生崩塌雨場數	新生崩塌發生率(%)
降雨致災風險等級(R_h)			
極高 ($EAR > EAR_{90}$)	4	4	100.0
高 ($EAR_{30} < EAR < EAR_{90}$)	15	8	53.3
中高 ($150\text{mm} < EAR < EAR_{30}$)	20	0	0.0
中 (Undefined)	-	-	-
低 ($EAR < 150\text{mm}$)	106	0	0.0

$EAR_{30}=313\text{mm}$ $EAR_{60}=525\text{mm}$ $EAR_{90}=738\text{mm}$ $EAR_{95}=815\text{mm}$

表 4-6 歷年降雨致災風險等級與新生崩塌發生率(2/5)

QPE 編號 108260 (高脆弱度)	雨場 數	新生崩塌雨 場數	新生崩塌發 生率(%)
降雨致災風險等級(R_h)			
極高 ($EAR > EAR_{95}$)	2	2	100.0
高 ($EAR_{60} < EAR < EAR_{95}$)	11	3	27.3
中高 ($EAR_{30} < EAR < EAR_{60}$)	8	2	25.0
中 ($150\text{mm} < EAR < EAR_{30}$)	20	0	0.0
低 ($EAR < 150\text{mm}$)	104	0	0.0

$EAR_{30}=289\text{mm}$ $EAR_{60}=477\text{mm}$ $EAR_{90}=665\text{mm}$ $EAR_{95}=894\text{mm}$

表 4-6 歷年降雨致災風險等級與新生崩塌發生率(3/5)

QPE 編號 109142 (中高脆弱度)	雨場 數	新生崩塌雨 場數	新生崩塌發 生率(%)
降雨致災風險等級(R_h)			
極高 ($EAR > 1000\text{mm}$)	1	1	100.0
高 ($EAR > EAR_{90}$)	2	2	100.0
中高 ($EAR_{60} < EAR < EAR_{90}$)	6	2	33.3
中 ($EAR_{30} < EAR < EAR_{60}$)	11	0	9.1
低 ($EAR < EAR_{30}$)	125	0	0.0

$EAR_{30}=321\text{mm}$ $EAR_{60}=529\text{mm}$ $EAR_{90}=738\text{mm}$ $EAR_{95}=880\text{mm}$

表 4-6 歷年降雨致災風險等級與新生崩塌發生率(4/5)

QPE 編號 107377 (中脆弱度)	雨場 數	新生崩塌雨 場數	新生崩塌發 生率(%)
降雨致災風險等級(R_h)			
極高 ($EAR > 1000\text{mm}$)	1	1	100.0
高 ($EAR > EAR_{95}$)	1	0	0.0
中高 ($EAR_{90} < EAR < EAR_{95}$)	1	1	6.3
中 ($EAR_{30} < EAR < EAR_{90}$)	16	0	0.0
低 ($EAR < EAR_{30}$)	126	0	0.0

$EAR_{30}=315\text{mm}$ $EAR_{60}=532\text{mm}$ $EAR_{90}=748\text{mm}$ $EAR_{95}=904\text{mm}$

表 4-6 歷年降雨致災風險等級與新生崩塌發生率(5/5)

QPE 編號 102521(低脆弱度)	雨場 數	新生崩塌雨 場數	新生崩塌發 生率(%)
降雨致災風險等級(R_h)			
極高 (Undefined)	-	-	-
高 ($EAR > 1000\text{mm}$)	0	0	0.0
中高 ($EAR > EAR_{95}$)	2	0	0.0
中 ($EAR_{90} < EAR < EAR_{95}$)	3	0	0.0
低 ($EAR < EAR_{90}$)	140	0	0.0

$EAR_{30}=253\text{mm}$ $EAR_{60}=392\text{mm}$ $EAR_{90}=531\text{mm}$ $EAR_{95}=844\text{mm}$

五、小結

國內外現行實際應用之土砂災害警戒模式，仍多以雨量為主要指標，未將地質、地形等地文條件同步納入警戒分析研判流程，致警戒之誤報率往往偏高。本研究提出降雨致災熱區警戒模式，係採降雨危害度及地文脆弱度雙指標之方式建立降雨期間各 QPE 網格範圍內之降雨致災風險等級；透過不同顏色的呈現，可以視覺化方式完整提供各地區之致災風險，有利於防災業務人員掌握全盤狀況。此外，經由 2005~2017 年實際之降雨事件驗證結果，本研究所提出之降雨致災熱區警戒模式確實可在時間域及空間域上有效預測崩塌可能發生之時間及空間分布，未來有潛力成為廣域型之複合型土砂災害警戒模式。

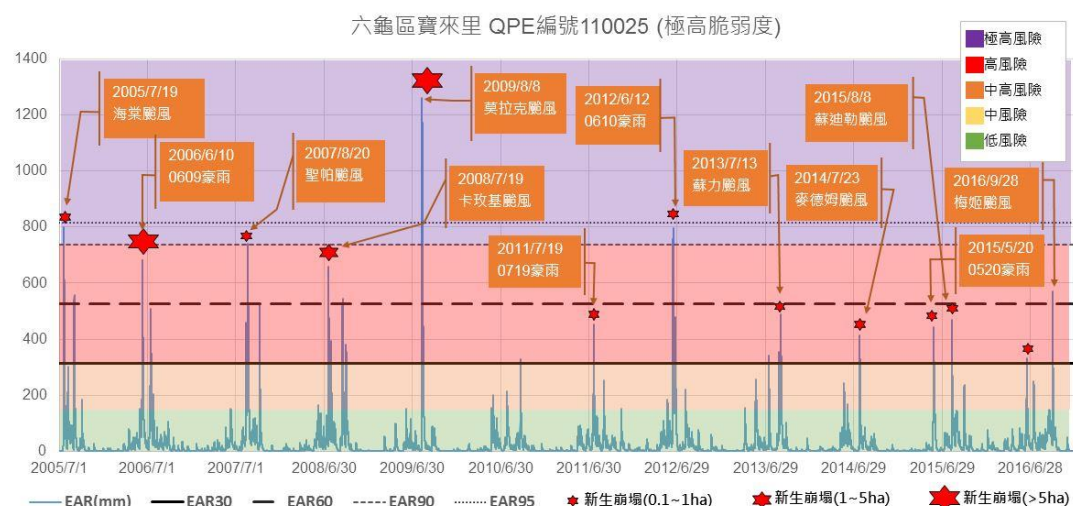


圖 4-5 歷年降雨事件期間之降雨致災風險等級變化情形與新生崩塌

事件之時間序列圖(1/4)

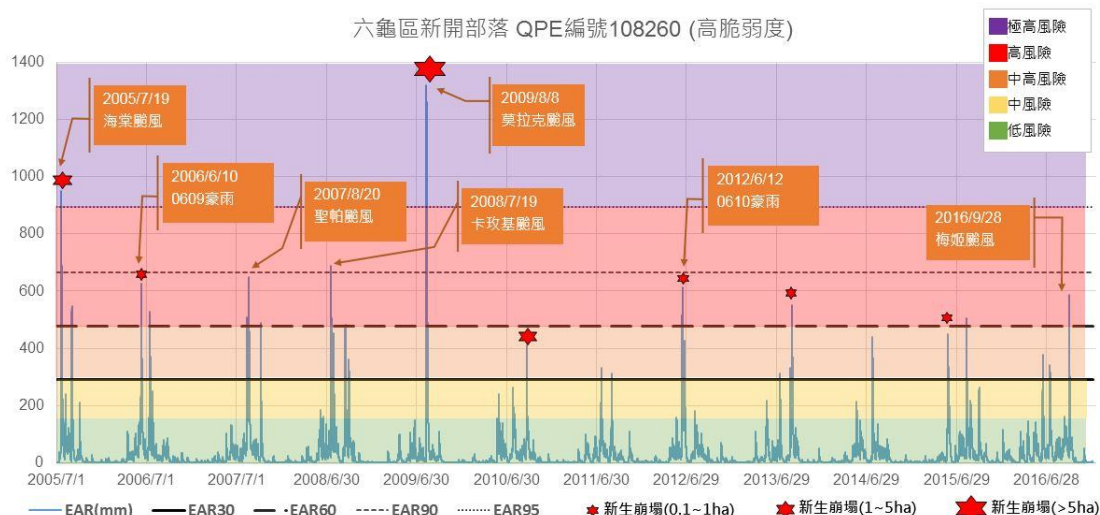


圖 4-5 歷年降雨事件期間之降雨致災風險等級變化情形與新生崩塌

事件之時間序列圖(2/4)

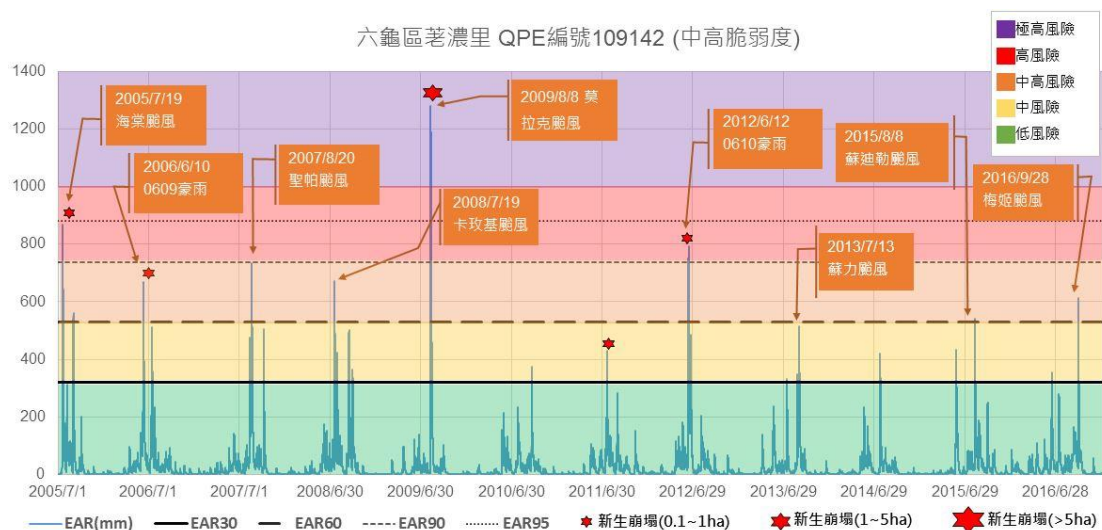


圖 4-5 歷年降雨事件期間之降雨致災風險等級變化情形與新生崩塌

事件之時間序列圖(3/4)

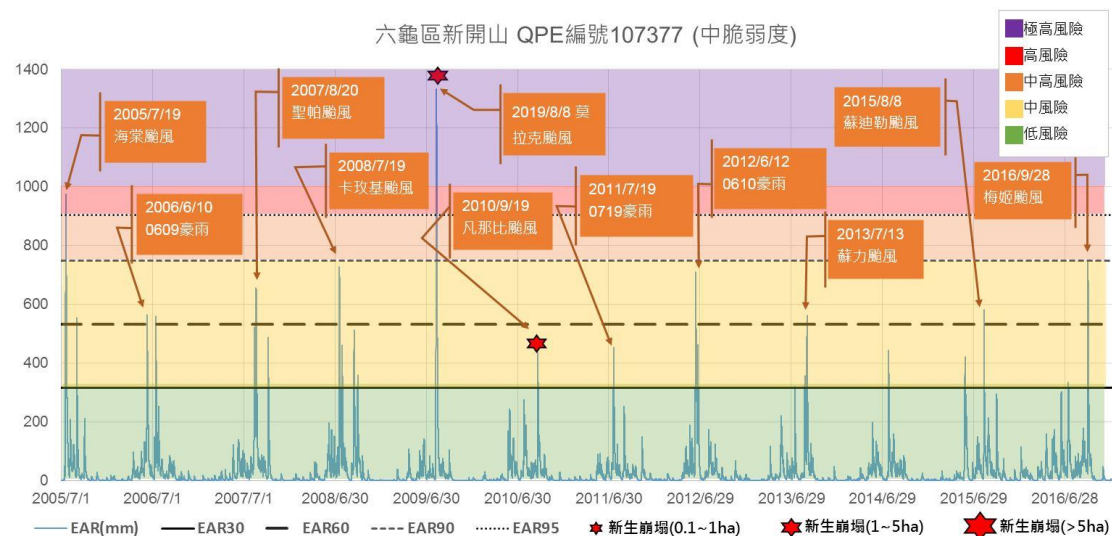


圖 4-5 歷年降雨事件期間之降雨致災風險等級變化情形與新生崩塌

事件之時間序列圖(4/4)

第二節 南投縣鹿谷鄉東蚋埔溪堰塞湖潰壩模擬

一、緣起

由於天然壩發生形成，受到其存在時間短的特性，因此對於現地壩體資料之取得非常不易，特別是對於在颱風豪雨事件中形成然後潰決的天然壩。但是在訂定緊急及避難對策時，皆需要評估壩體穩定及對下游保全對象影響。因此，如何在短時間內快速評估堰塞湖迴水長度對上游保全對象的影響，甚至發生潰壩事件對下游保全對象的衝擊，是非常重要的課題。對此，美國陸軍工兵團 HEC-RAS 2D 數值模式其可提供穩定快速的潰壩模擬計算 (Brunner, 2014; Brunner and CEIWR-HEC, 2016a)，本研究利用此模式進行潰壩過程模擬及其洪水演算。

二、基本資料

2017 年 0601 豪雨期間南投縣鹿谷鄉竹林村東埔蚋溪左岸於 6 月 3 日 23 時發生邊坡崩塌，其堵塞河道形成天然壩堰塞湖，約位於小半天瀑布下游 100 公尺處。根據中央氣象局鳳凰雨量站 (C0I090) 記錄，總累積降雨量從 2017 年 6 月 1 日早上 10 點到 2017 年 6 月 4 日晚上 8 點為 765 mm，其尖峰降雨強度為 62 mm/h，此次崩塌發生時刻之累積降雨量約為 605mm，降雨強度為 47mm/hr (圖 4-6)。

東埔蚋溪上游小半天集水區，其面積約為 835.16 公頃，集水區高程由高至匯流口約從 1,537 公尺至 345 公尺，溪流流向約由東南往西北方向。由現地調資料顯示，邊坡崩塌面積評估約為 2.2 公頃，平均崩塌深度約 3 公尺，崩塌土方量約 15,000 立方公尺，另潛在崩塌土方量約為 45,000 立方公尺(圖 4-7)。

依據水土保持局重大土砂災例調查成果，壩體堵塞河道形成迴水長度約為 80 公尺，寬約 25 公尺，最大水深約 10 公尺，蓄水面積約為 1,600 平方公尺，初估蓄水體積約為 5,000 ~ 8,000 立方公尺，若估計不穩定土方皆落入河道，則在壩高 17 公尺計算下，迴水面積約 2,400 平方公尺，其蓄水體積約為 16 萬立方公尺 (水土保持局, 2017)。

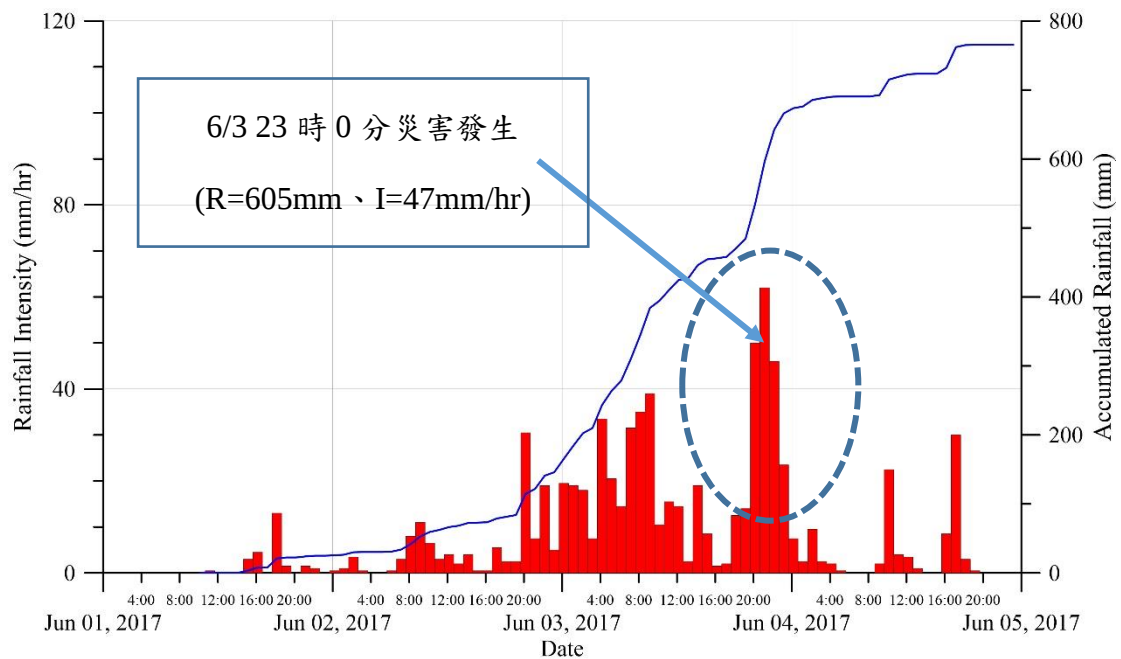


圖 4-6 鳳凰雨量站 (C0I090) 2017/06/01 至 2017/06/04 資料

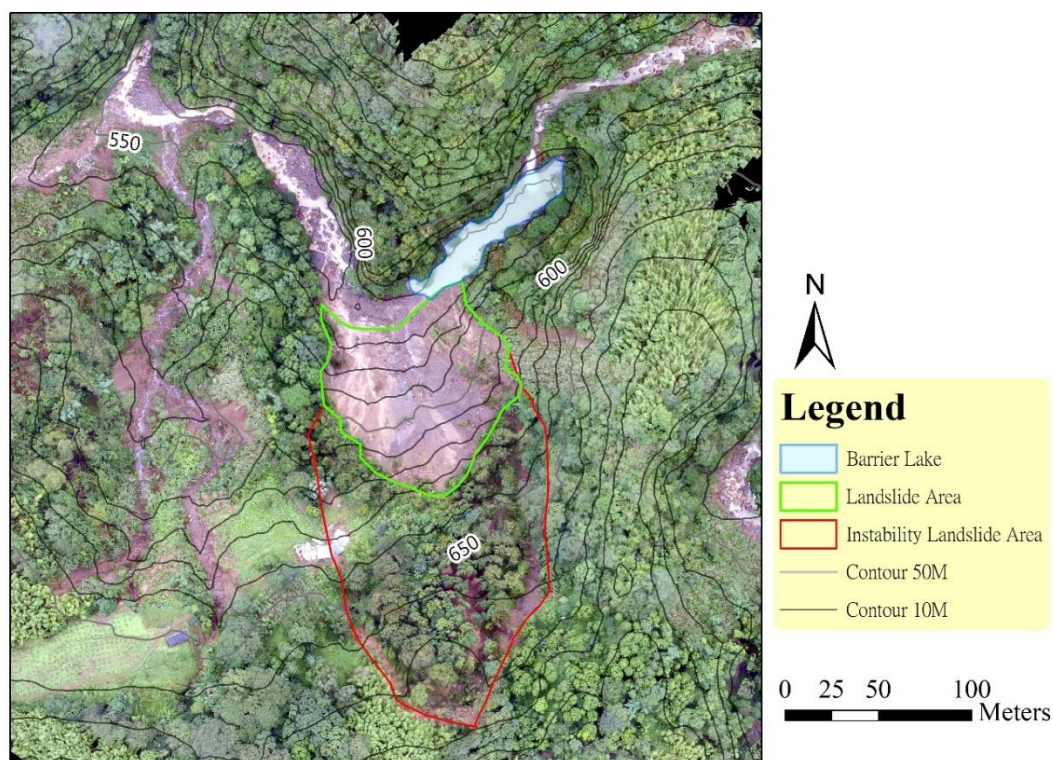


圖 4-7 東蚋埔溪堰塞湖崩塌坡面

本研究應用 HEC-RAS 2D 與現場調查資料，進行天然壩潰決模擬及洪水演算。在 2017 年 6 月 1 日，於南投小半天瀑布下游左側邊坡崩塌，造成了河道堵塞，形成堰塞湖。在潰壩模擬方面，主要是考慮在可能的潰壞機制條件及不同潰壩參數。演算結果顯示堰塞湖潰決並未對下游造成明顯的水位變化，但在靠近堰塞湖附近則受到較嚴重的影響，而洪水波逐漸往下游傳，其水位變化隨著通過河道距離，亦逐漸遞減。對政府部門於可能潛在災情推估，應用 HEC-RAS 2D 緊急評估堰塞湖潰決能對下游保全住戶之影響，此法可快速達成其影響範圍之模擬，並在災情應對與避難決策上有直接助益。

三、模式說明

本研究使用 HEC-RAS 建置潰壩模擬及其所造成之洪水演算。在過去已有許多研究使用 HEC-RAS 模擬潰壩分析，其並提供準確及良好的結果 (Lin et al., 2011; Jung et al., 2017; Xiong, 2011; Zhang et al., 2010)。

HEC-RAS 模式是藉由連續方程式、能量方程式、動量方程式及阻力公式 (resistance equation)，配合標準步推法 (Standard Step method) 進行求解。在目前更新版本中 HEC-RAS 5.0.3，其可以使用二維水理方程式進行潰壩模擬及洪水演算。

HEC-RAS 2D 變量流水理 (unsteady flow hydrodynamics) 控制方程式是藉由簡化納維-斯托克斯方程式 (Navier-Stokes equations) 而來，並假設流體為不可壓縮 (incompressible flow)、靜水壓力 (hydrostatic pressure) 及均勻密度 (uniform density) (Brunner and CEIWR-HEC, 2016a, 2016b)。HEC-RAS 2D 模式是包含了二維聖維南淺水波方程式 (Saint Venant of the Shallow Water Equation) 及二維擴散波方程式 (Diffusion Wave Approximation Equation) 此兩種方程式 (Brunner and CEIWR-HEC, 2016b)，本節對 HEC-RAS 2D 之控制方程式以淺水波方程式進行說明，其連續及動量方程式如下：

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \quad \text{式 (4.6)}$$

其中 H 為水位高， h 為水深， t 為時間， u 及 v 為 x 及 y 方向流速分量， q 為源項。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f_v \quad \text{式 (4.7)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f_u \quad \text{式 (4.8)}$$

其中 u 及 v 為在卡式座標中流速分量， g 為重力加速度， ν_t 為渦流黏滯係數， c_f 為底床摩擦係數， f 為科氏力參數。在方程式等號左邊為對流加速度及局部加速度項，而在方程式等右邊為水壓力項、渦流擴散項(eddy diffusion)、底床摩擦項及科氏力項 (Brunner and CEIWR-HEC, 2016b)。

四、分析方法

本研究使用 HEC-RAS 2D 模式之研究流程圖，如圖 4-8 依序為現場資料收集，根據現地資料建立崩壞土體地形資料，並調整計算網格解析度。在數值網格模型建立完成後，藉由事件雨量資料計算其降雨逕流資料，作為模式上游邊界入流條件。最後再藉由不同潰壩情境設定，進行潰壩洪水波分析，本研究計 20 組不同參數組合進行潰壩分析。

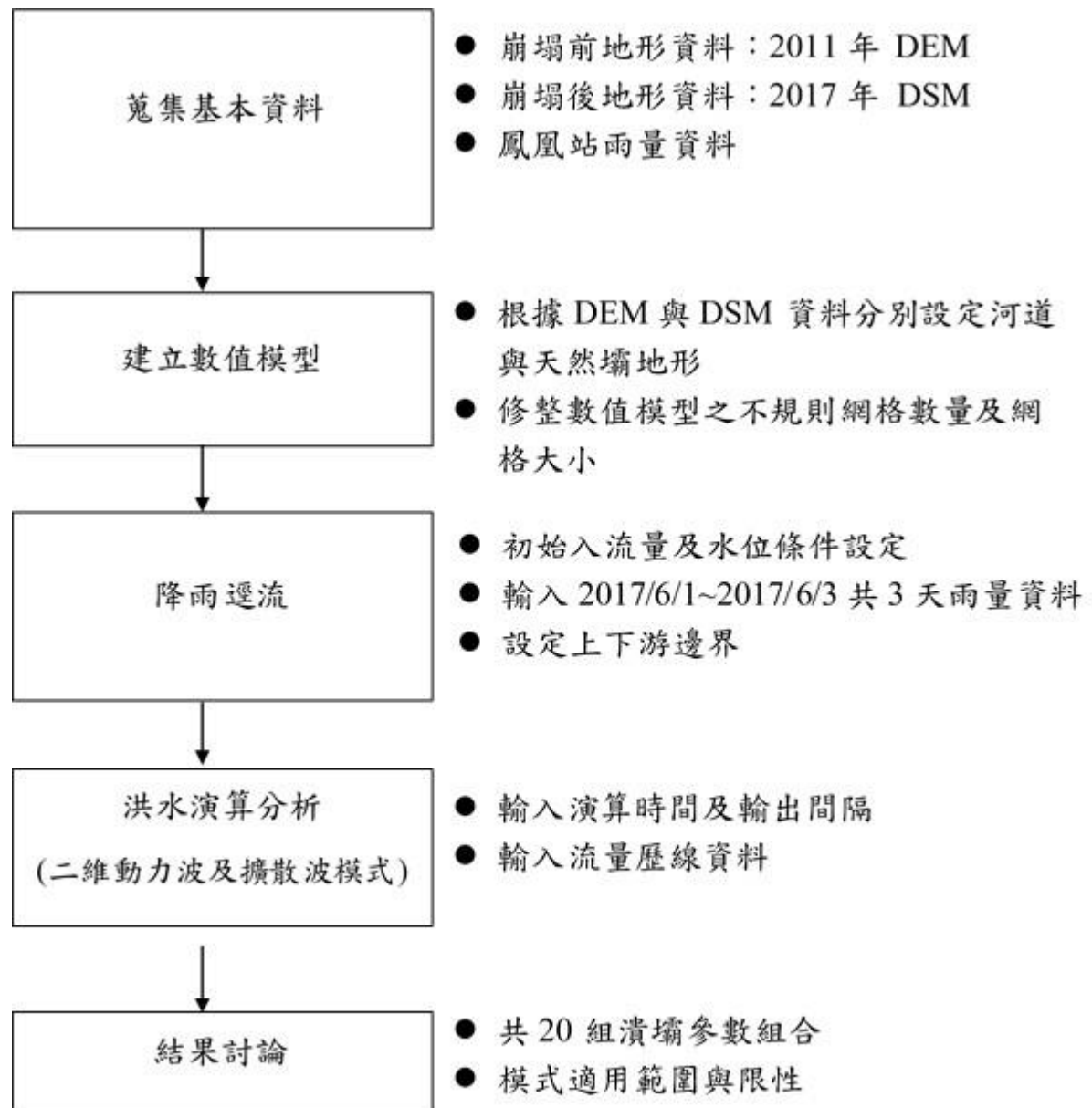


圖 4-8 研究流程圖

此次在 2017 年 6 月 1 日降雨事件由邊坡崩塌形成之堰塞湖，並於降雨事件後即潰決，此區域河道位於南投縣鹿谷鄉竹林村，在東埔蚋溪上游圍包含小半天瀑布上游及其下游至匯流前河道，即東埔蚋溪自小半天瀑布上游至下游約 3.5 公里 (如圖 4-9 所示)。HEC-RAS 2D

模式所需要入參數包含地形資料、天然壩壩體幾何參數、河道曼寧 n 值及降雨逕流資料。

在建置模式時所需之地形資料，包含了崩塌前及崩塌後之地形資料，本研究在崩塌前地形資料使用 2011 年數值高程模型 (Digital Elevation Model) 之 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 精度的地形資料，在崩塌後之地形則是使用了由無人載具飛行器 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 產製之 $0.1\text{ m} \times 0.1\text{ m}$ 地形資料。

本研究利用 UAV 拍攝崩塌後地形影像，透過高重疊方式拍攝現場航空影像，以影像基礎建模 (Image-Based Modeling)，藉由 Bentley Context Capture 處理連續高解析度空拍影像，並建置為三維地形資料 (劉維則等人, 2018)。後續利用此數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM) 配合崩塌前 DEM 資料，即可做為崩塌壩體參數估算使用。

另外藉由 ArcGIS 將崩塌前 DEM 與 UAV 產製之數值地表模型資料進行融合，則可以此融合地形模型，進行天然壩及堰塞湖詳細地形資料萃取，並用 ArcGIS 裡空間分析功能進行高程-迴水面積-蓄水體積曲線估計，其結果如表 4-7 所示。因此，藉由崩塌前 DEM 模型，搭配崩塌後現場 DSM 模型，即可建置 HEC-RAS 2D 模式所需地形資料。



圖 4-9 集水區模擬範圍圖

五、模擬條件設定

本研究模擬範圍包含小半天瀑布上游及其下游至匯流前河道，即東埔蚋溪自小半天瀑布上游至下游約 3.5 公里 (如圖 4-9 所示)。

在建置潰壩模型時，除了天然壩及其上下游地形資料外，在潰壩參數方面則是需要壩體幾何參數 (包含壩高、壩頂寬度、壩底寬度) 之設定。壩體幾何參數，則是以崩塌前 DEM 和 UAV 所產製之地形資料由 ArcGIS 萃取，其壩高約為 7 公尺，另參照水保局堰塞湖應變手冊定義，在堰塞湖壩底長度概估值，採平行河流主軸方向量測，崩塌壩體堵塞長(壩底長度)約為 60 公尺，壩寬為天然壩壩頂寬度概估值，採垂直河流主軸方向量測，壩體堵塞河道寬度(壩寬)約為 22~25 公尺，壩頂長度採平行河流主軸方向量測，壩頂長度約為 35 公尺。

在水文方面需要上游入流量及堰塞湖蓄水高程體積曲線，根據中央氣象局鳳凰雨量站 (C0I090) 記錄，總累積降雨量從 2018 年 6 月 1 日早上 10 點到 2018 年 6 月 4 日晚上 8 點為 765 mm，其尖峰降雨強度為 62 mm/hr (圖 4-6)。本研究利用三角形單位歷線公式，進行估算此場降雨事件之流量歷線 (圖 4-10)。

本研究透過不同潰壩參數設定，探討不同參數對於下游衝擊之影響。在潰壩模式中，可設定控制變數包含 3 種潰口堰流系數 (Breach Weir Coefficient, $C_{bw} = 1.1, 1.5, 1.8$)、3 種潰壩延時 (Breach Formation Time, $T_f = 0.1\text{hr}, 0.5\text{hr}, 1\text{hr}$)、2 種潰壞模式 (Failure Mode = Overtopping, Piping)，共計 18 組模擬案例，其參數設定如

表 4-8 所示。另為了對照潰壩模擬之結果，並設定了河道上無天然壩之地形與有天然壩而無發生潰壞之兩組模擬案例，總計 20 組模擬案例進行分析。

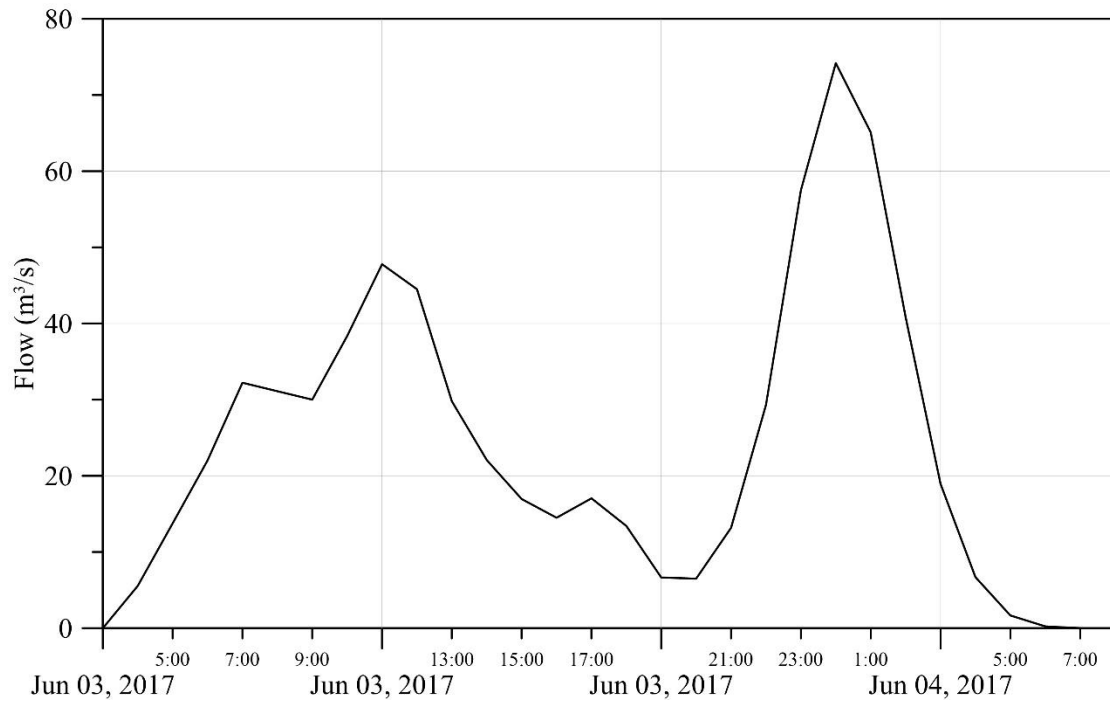


圖 4-10 流量歷線

表 4-7 高程-蓄水面積-蓄水體積關係表

高程 (m)	蓄水面積 (m ²)	蓄水體積 (m ³)	高程 (m)	蓄水面積 (m ²)	蓄水體積 (m ³)
571	2173	6.96	578	3663	29.29
572	2625	9.32	579	3846	33.79
573	2642	12.09	580	3879	35.65
574	2890	15.2	581	4206	39.86
575	3000	16.91	582	4374	44.23
576	3220	20.71	583	4532	48.2

表 4-8 模擬案例設定

案例編號	壩體高度	潰口堰流係數	潰壩延時	潰壞型式
Run-1	7	1.1	10	溢流破壞
Run-2	7	1.5	10	溢流破壞
Run-3	7	1.8	10	溢流破壞
Run-4	7	1.1	10	管湧破壞
Run-5	7	1.5	10	管湧破壞
Run-6	7	1.8	10	管湧破壞
Run-7	7	1.1	30	溢流破壞
Run-8	7	1.5	30	溢流破壞
Run-9	7	1.8	30	溢流破壞
Run-10	7	1.1	30	管湧破壞
Run-11	7	1.5	30	管湧破壞
Run-12	7	1.8	30	管湧破壞
Run-13	7	1.1	60	溢流破壞
Run-14	7	1.5	60	溢流破壞
Run-15	7	1.8	60	溢流破壞
Run-16	7	1.1	60	管湧破壞
Run-17	7	1.5	60	管湧破壞
Run-18	7	1.8	60	管湧破壞
Run-19	7	1.1	-	有天然壩地形無潰壞
Run-20	7	-	-	無天然壩地形

六、分析成果

(一)堰塞湖穩定性緊急評估

目前國內外針對堰塞湖穩定性緊急評估最常使用的方法為無因次堵塞指標 (Dimensionless Blockage Index, DBI)，其是由 Ermini and Casagli (2003) 所提出如下 $DBI = \log\left(\frac{A_b * h_b}{V_b}\right)$ 式 (4.9)：

$$DBI = \log\left(\frac{A_b * h_b}{V_b}\right) \quad \text{式 (4.9)}$$

其中， A_b 為天然壩上游集水區面積 (m^2)， h_b 為天然壩壩高 (m)， V_b 為天然壩體積 (m^3)。此方法在使用上非常簡便，當 $DBI < 2.75$ 時壩體為穩定，當 $DBI > 3.08$ 時則壩體為不穩定，當 DBI 介於 2.75 至 3.08 之間，則屬於兩者之間的過渡範圍。此指標估算上只需要蒐集天然壩上游集水區面積，壩體高程及堰塞湖體積此三者之資料即可計算。

本研究利用崩塌前期 DEM 及崩塌後期 DSM 地形資料，配合 ArcGIS 即可計算天然壩上游集水面積及壩體幾何資料萃取。上游集水面積約為 475 公頃，壩高為 7 公尺時，其預估蓄水面積約為 4,800 ~ 9,300 立方公尺，本案例分析以壩體高度為 7 公尺進行計算，其分析之 DBI 指標值為 3.69，分析之結果屬於不穩定狀態，顯示此壩體存在潰壩的危險性。

(二)潰壩模擬

本研究透過變量流演算，以二維淺水波方程式進行潰壩模擬，計算堰塞湖從蓄水到發生潰壩最後至降雨結束的整場事件模擬。利用現場調查之地文資料配合 DEM 和 DSM 地形資料，另根據雨量站資料進行降雨逕流轉換推估天然壩上游之流量歷線，作為模式建置及給定上游邊界條件。

以下模擬案例分析設定為潰決破壞、無潰決破壞及無天然壩地形三者模擬結果進行比較，其結果如圖 4-11 與圖 4-12 及表 4-9 所示。

圖 4-11 為在壩體上游側水位及流量歷線之演算結果，其包含了潰壩 (Run 1)、無潰壩 (Run 19) 及無天然壩 (Run 20) 地形三種模擬情境。在圖中，小半天堰塞湖在發生潰壩時，其水位變化高差約 10 公尺左右，以無天然壩地形其模擬水位為最低。三者當中，無潰壩地形者，其平均水位約為 576 公尺上下；而產生潰壩情形者，其最大水位約為 576.6 公尺，之後隨著潰壩發生逐漸降低至模擬結束時約為 566 公尺；在無潰壩發生案例中，其水位由 564 公尺上升至 568 公尺，之後逐漸下降至水位 564 公尺左右。另外在比對潰壩尖峰流量部份，潰壩尖峰流量約為無潰壩的 2.20 倍，在無天然壩地形之尖峰流量比約為 2.22 倍。

在潰壩及無潰壩模擬中，壩體後方的河道在給定流量歷線條件下在一個小時內即已蓄滿並發生溢流的情況。當發生潰壩後，其流量急劇加大，而其水位大幅下降，這也表示出堰塞湖蓄積水體大量流出。

圖 4-12 為在壩體下游側水位及流量歷線之演算結果，其包含了潰壩 (Run 1)、無潰壩 (Run 19) 及無天然壩 (Run 20) 地形三種模擬情境。在天然壩下游側水位也反應出堰塞湖蓄滿約需要 1 小時，在 1 小時後，水位急劇上升，而在潰壩發生時，壩體下游尖峰水位約較無潰壩發生增加 0.6 公尺，較無壩體地形增加約 2 公尺。

而此三者當中，在潰壩發生案例中，壩體下游側最大水位約為

567.6 公尺；而在無潰壩地形者，其水位由 564 公尺上升至 565 公尺，之後逐漸下降；在無潰壩發生者，其水位由最大約為 567 公尺。

由圖 4-11 及圖 4-12 的結果可以得知，由於潰壩產生瞬間潰決情形，造成壩體上游側及下游側通過流量及水位突然增加，隨著潰壩過程結束，其流量則逐漸與無潰壩及無壩體地形兩者模擬結果接近，另外在水位變化方面，則是由於三者河道通洪斷面積皆不同，因此，在壩體上游側的水位變化中，其通洪面積小於無壩體地形者，造成其水位在潰壩後仍高於無壩體地形者。

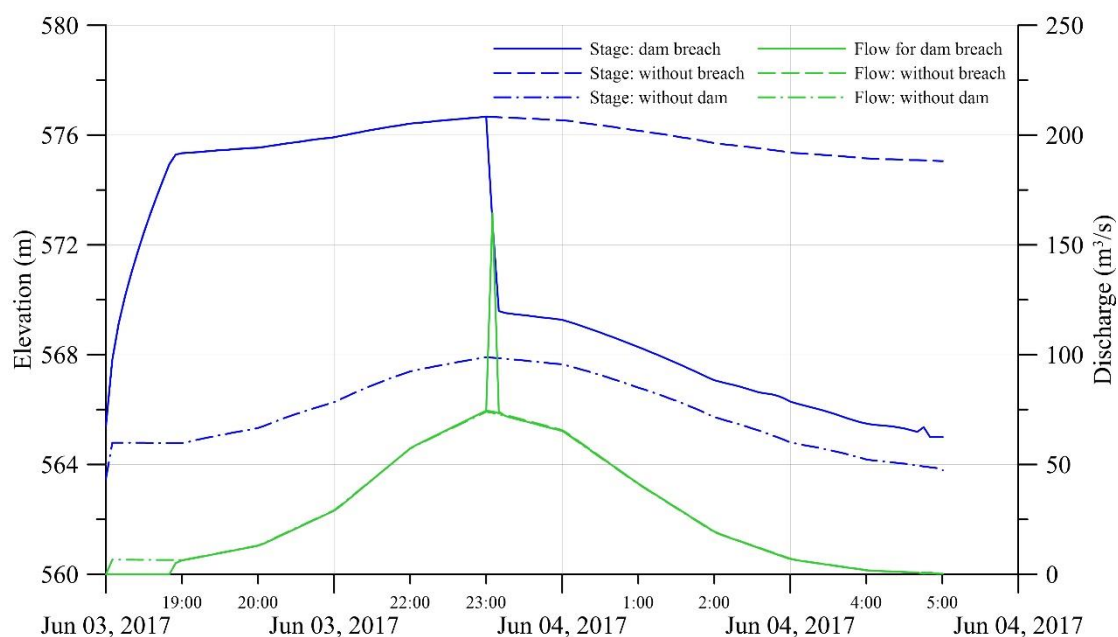


圖 4-11 壩體上游側水位-流量歷線圖 (Run 1, Run 19, Run 20)

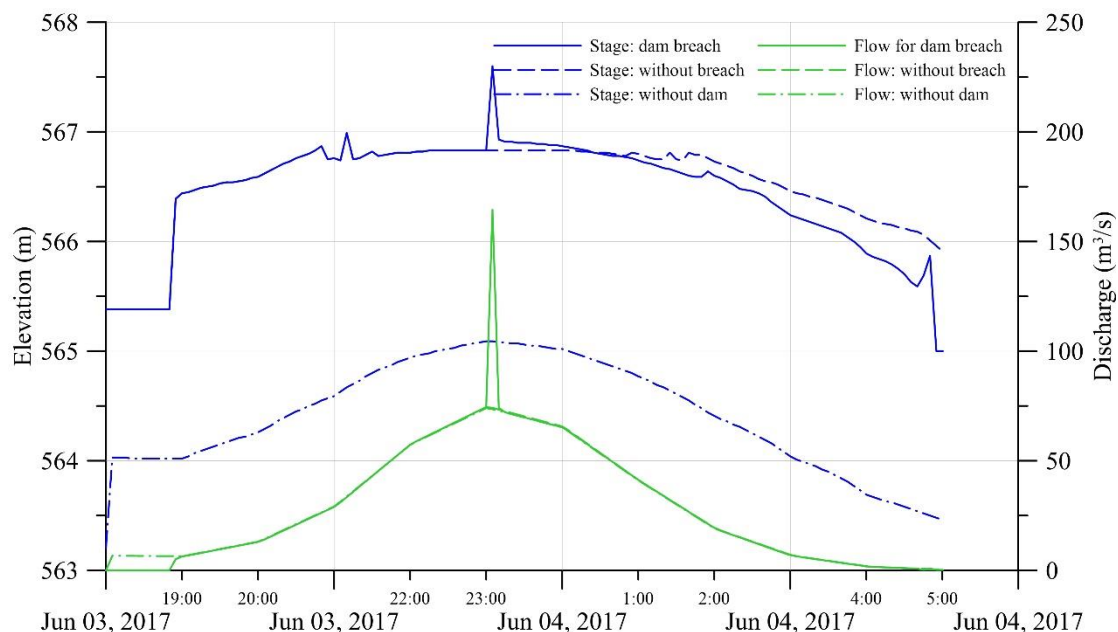


圖 4-12 壩體下游側水位-流量歷線圖 (Run 1, Run 19, Run 20)

另外在潰口堰流係數變動上，以溢流破壞的案例 1，2 及 3 進行比較，其結果如圖 4-13 及表 4-10 示。在圖中可以看出，在潰壩發生前，壩體上游側最大水位皆為 576.67 公尺，當潰壩發生後，則壩體下游側水位分別為 567.6，567.58，567.55，其變化幅度不大，而在潰壩尖峰流量方面，則是以案例 3 結果為最大值約 166 (cms)。

而在潰壩延時變動上，以溢流破壞的案例 1，7，13 進行比較，其結果如圖 4-14 及表 4-10 所示。在圖中可以看出，在潰壩發生時，隨著潰壩延時的增加，其尖峰流量逐漸減小，以案例 1 潰決尖峰流量為最大，案例 13 潰決尖峰流量為最小。另相對在水位下降時間則是以案例 1 最快，案例 7 次之，案例 13 最慢，此水位下降時間隨潰壩延時增加的情況在壩體下游側亦是同樣的變化。

表 4-10 中當破壞型式為溢頂破壞，但設定不同之潰口堰流係數及潰壩延時分析之結果。在表 4-10 中，隨著潰口堰流係數增加，其潰決尖峰流量分別增加 0.63% 及 1.0%；然在設定不同潰壩延時，隨著潰壩延時增加，其潰決尖峰流量分別減少為 41.66% 及 48.95%。

由表 4-10 模擬設定不同堰流係數與潰壩延時變動結果可知，當潰壩發生時，潰壩延時參數的變動量對於潰決尖峰流出量變動幅度影響最大，而在堰流係數的變動量方面，則相對造成潰決尖峰流量動變幅度遠小於潰壩延時變動案例之結果。因此，皆在溢頂破壞條件分析案例下，潰壩延時參數的變動量對於潰決尖峰流量所造成的變動幅度敏感性遠大於堰流係數。

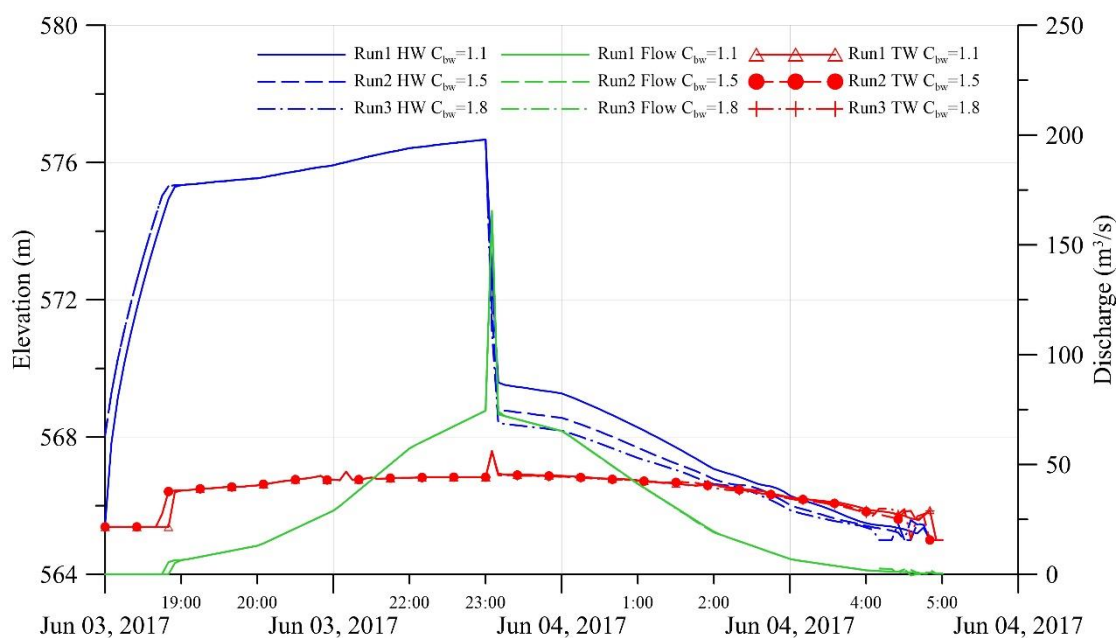


圖 4-13 潰口堰流係數模擬水位-流量歷線圖 (Run 1, Run 2, Run 3)

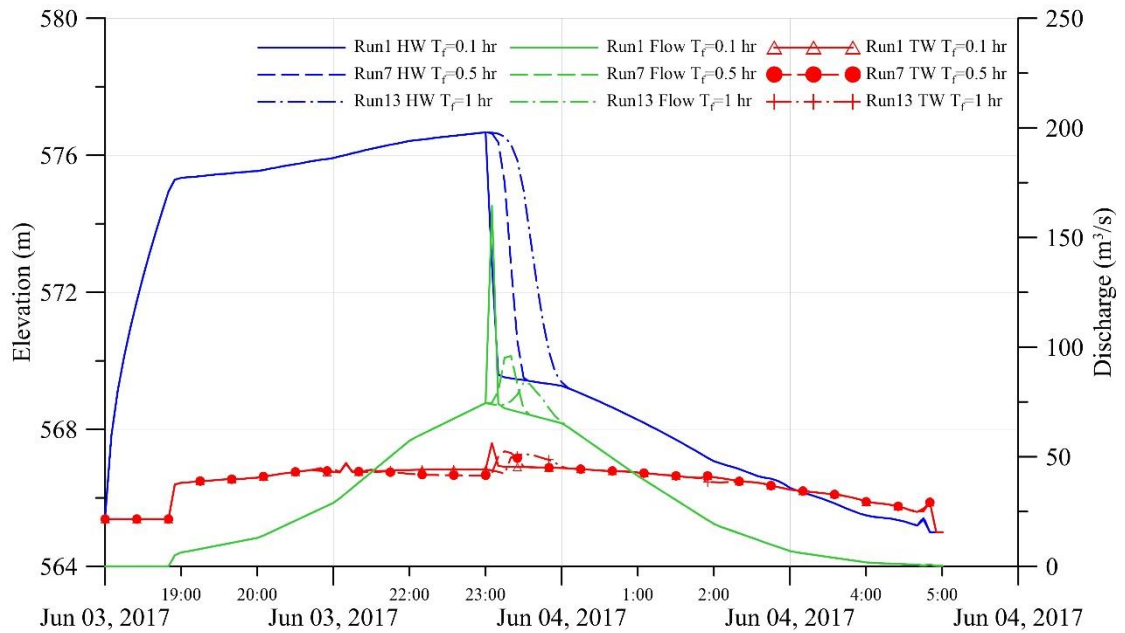


圖 4-14 潰壩延時模擬水位-流量歷線圖 (Run 1, Run 7, Run 13)

當潰壩模式轉變為管湧破壞時，以潰口堰流係數變動的案例 4，5，及 6 進行比較，其結果如圖 4-15 及表 4-10 所示。隨著潰口堰流係數增加，在壩體上游側最大水位在此三個案例結果並無差別，其最大水位值約 576.7 公尺，僅在潰壩發生時，其水位下降幅度產生變化；而在潰壩尖峰流量方面，其結果則隨著堰流係數增加而增加，以案例 6 為最大值約為 172 (cms)，而此三者在此壩體下游側水位之變動幅度大致相同，並無較明顯之差異出現，其水位值約為 567.4 公尺左右。

而在管湧破壞的潰壩延時變動上，以溢流破壞的案例 4，10，16 三者進行比較，其結果如圖 4-16 及表 4-10 所示。在圖中可以看出，在潰壩發生時，隨著潰壩延時的增加，其潰壩尖峰出流量亦相對減小，以案例 16 為最小，在壩體上游側水位下降時間則是以案例 4 最快，

案例 10 次之，案例 16 最慢，此水位下降時間隨潰壩延時增加的情況

在壩體下游側亦是同樣的變化，僅是壩體下游側水位在潰壩期間變動

幅度較小。

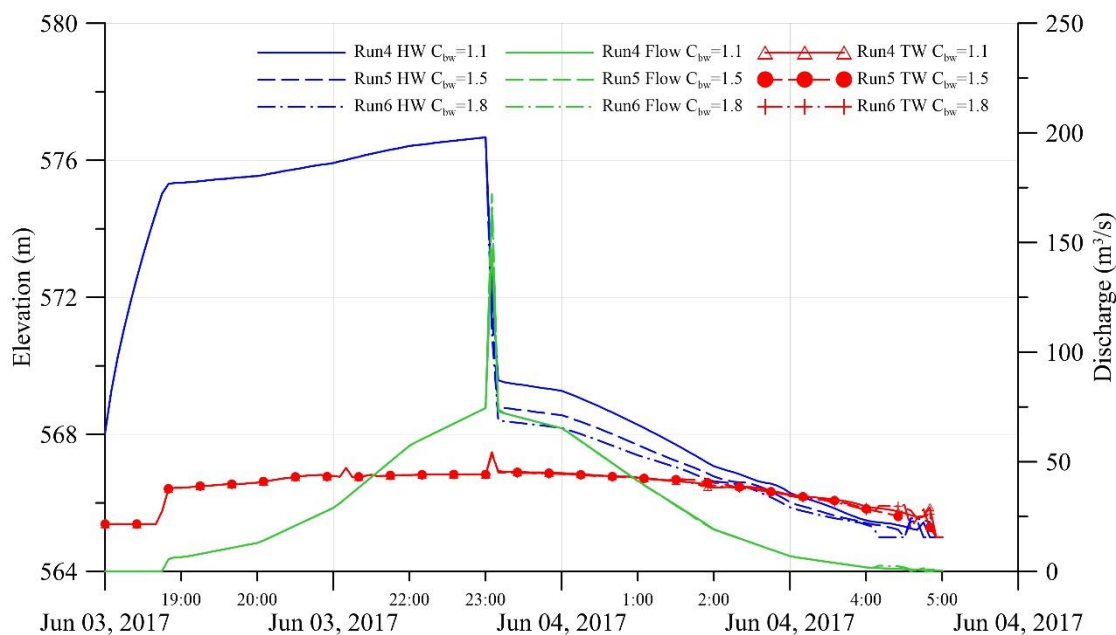


圖 4-15 潰口堰流係數模擬水位-流量歷線圖 (Run 4, Run 5, Run 6)

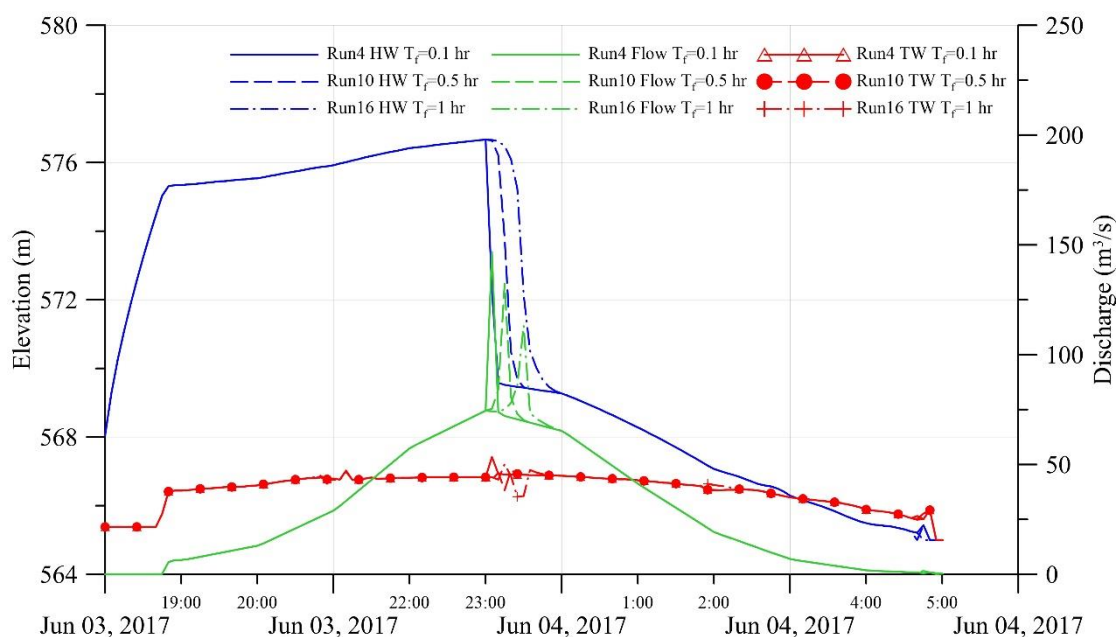


圖 4-16 潰壩延時模擬水位-流量歷線圖 (Run 4, Run 10, Run 16)

在表 4-10 中設定為管湧破壞分析結果，隨著潰口堰流係數增加，其潰決尖峰流量分別增加 13.12% 及 17.25%；隨著潰壩延時增加，其潰決尖峰流量分別減少為 9.86% 及 22.87%。在表 4-10 模擬分析不同堰流係數與潰壩延時變動結果可知，當潰壩發生時，潰決尖峰流量的變動幅度在 9.8%至 22.9%之間，在本次分析管湧破壞條件下，仍是以潰壩延時參數的變動量對於潰決尖峰流量的變動敏感性較大。

再者，對於不同參數變化造成潰壩洪水傳播速度的影響方面，藉由分析下游河道出口之平均流速、平均水深、流量等水理量來探討各個分析案例參數變動之影響，其結果如下表 4-11 所示。由表中可以看出，當潰壩延時設置為 0.1 小時 (Run 1 ~ Run 6)，其平均水深在 2 公尺以上，而當潰壩延時為 0.5 小時 (Run 7 ~ Run 12) 及 1 小時 (Run 13 ~ Run 18) 案例時，其平均水深變化在 1.7 至 1.8 公尺間。另外在出口平均流速部分，亦是當潰壩延時在 0.1 小時之模擬結果最大，其範圍約在 6.5 至 7.4 (m/s) 之間，而當潰壩延時增加為 0.5 至 1 小時之模擬結果，則其平均流速範圍則下降至 4.96 至 5.69 (m/s) 之間。參照水土保持技術規範最大容許流速，在河道為混凝土材料其最大容許流速為每秒 6.1 公尺，而在鋼筋混凝土材料之容許流速為每秒 12 公尺，本次分析 18 個模擬結果下，以潰壩延時 0.1 小時模擬案例中 (Run 1 ~ Run 6)，其下游出口平均流速約達每秒 6.5 公尺以上，可能對於下

游河道造成沖刷現象，且比較下游出口處斷面，由於下游出口平均水深約為 2.1~2.3 公尺左右，其並未造成水流溢淹至道路之情形。在潰壩延時為 0.5 小時及 1 小時案例中，其出口平均流速最大約為 5.7(m/s)，其未超過混凝土材料最大容許流速，次此模擬東埔蚋溪，其河道在現場屬於較上游山區河道，並未施作水泥護岸，因此對於下游出口河道而言，仍有可能造成沖刷情形發生。

表 4-9 潰壩情境案例結果

潰壩情境	溢流破壞 (Run1)		無潰壩設定(Run19)		無壩地形(Run20)	
項目	水位 (m)	尖峰流量 (cms)	水位 (m)	尖峰流量 (cms)	水位 (m)	尖峰流量 (cms)
壩體上游	576.67	164.45	576.67	74.49	576.91	74.02
壩體下游	567.6		566.99		565.09	

表 4-10 潰壩參數分析結果 (1)

溢流破壞	$C_{bw}=1.1$ (Run1)		$C_{bw}=1.5$ (Run2)		$C_{bw}=1.8$ (Run3)	
項目	水位 (m)	尖峰流量 (cms)	水位 (m)	尖峰流量 (cms)	水位 (m)	尖峰流量 (cms)
壩體上游	576.67	164.45	576.67	165.49	576.67	166.1
壩體下游	567.6		567.58		567.55	

表 4-10 潰壩參數分析結果 (2)

溢流破壞	$T_f=10$ (Run1)		$T_f=30$ (Run7)		$T_f=60$ (Run13)	
項目	水位 (m)	尖 峰 流 量 (cms)	水位 (m)	尖 峰 流 量 (cms)	水位 (m)	尖 峰 流 量 (cms)
壩體上游	576.67	164.45	576.67	95.94	576.67	83.95
壩體下游	567.6		567.36		567.29	
管湧破壞	$C_{bw}=1.1$ (Run4)		$C_{bw}=1.5$ (Run5)		$C_{bw}=1.8$ (Run6)	
項目	水位 (m)	尖 峰 流 量 (cms)	水位 (m)	尖 峰 流 量 (cms)	水位 (m)	尖 峰 流 量 (cms)
壩體上游	576.67	146.76	576.67	166.01	576.67	172.08
壩體下游	567.42		567.48		567.49	
管湧破壞	$T_f=10$ (Run4)		$T_f=30$ (Run10)		$T_f=60$ (Run16)	
項目	水位 (m)	尖 峰 流 量 (cms)	水位 (m)	尖 峰 流 量 (cms)	水位 (m)	尖 峰 流 量 (cms)
壩體上游	576.67	164.45	576.67	132.28	576.67	113.19
壩體下游	567.6		567.03		567.21	

表 4-11 下游出口水理量分析結果

案例	Run1	Run2	Run3	Run4	Run5
水深 (m)	2.12	2.24	2.29	2.17	2.25
平均流速 (m/s)	6.59	7.10	7.19	6.71	7.15
出口流量 (m ³ /s)	154	173.7	180.6	159.2	175
案例	Run6	Run7	Run8	Run9	Run10
水深 (m)	2.33	1.8	1.79	1.81	1.86
平均流速 (m/s)	7.36	5.44	5.39	5.38	5.55
出口流量 (m ³ /s)	187.8	98.5	98.8	98	101.8
案例	Run11	Run12	Run13	Run14	Run15
水深 (m)	1.83	1.81	1.70	1.73	1.74
平均流速 (m/s)	5.45	5.5	4.97	4.99	4.92
出口流量 (m ³ /s)	101.8	102.9	83.8	84.6	87.5
案例	Run16	Run17	Run18	Run19	Run20
水深 (m)	1.88	1.85	1.86	1.66	1.64
平均流速 (m/s)	5.7	5.74	5.64	4.56	4.59
出口流量 (m ³ /s)	107.8	107.8	107.8	74	74

(三)潰壩型態與水理現象

溢頂破壞主要可以將潰決過程分成四個階段：(1) 在壩體下游坡面發生向源侵蝕；(2) 向源侵蝕逐漸向上擴展至壩頂；(3) 當向源侵蝕擴展至蓄水區時，潰口形成；(4) 當蓄水區逐漸洩降時，伴隨著壩頂逐

漸下切與側向侵蝕，最終導致壩體潰決形成 (Hanson et al. 2005; Wu et al., 2011)。

而在管湧破壞主要是因上下游壓力差造成細小土砂顆料沿內部滲流線往下游沖蝕。當壩體內部管湧擴大時，較大土砂顆料受到向後侵蝕 (backward erosion) 隨水流往下游輸送，主要為剪應力增大影響使得水流輸砂能力增加，亦造成明顯的潰口出流量。最後，在壩體頂部崩塌後，其破壞特性變為由溢頂破壞主導，逐漸對殘餘壩體進行下刷及側向拓寬等作用 (Wu et al., 2011)。

在邊坡崩塌土方落下堵塞河道，形成天然壩堰塞湖，在溢頂及管湧潰壩型態變化分析下，造成在潰壩上游、下游等水理流況皆不相同。隨著上游端開始供水後，流量逐漸蓄積堰塞湖，在不同潰壩型態時，於溢頂破壞時，當水位高於壩頂高度時，後方水流開始於堰塞湖蓄滿時流出，其潰壩尖峰流量隨著潰壩延時增加而減小。於管湧破壞時，其潰壩尖峰流量亦隨著潰壩延時增加而遞減。溢頂破壞與管湧破壞之尖峰流量可能在某設定潰壩延時裡，會有相同的值，之後隨著潰壩延時增長，其兩者計算之尖峰流量雖然都會遞減，但管湧破壞之尖峰流量值會較大於溢頂破壞。

此兩者模擬結果不同的原因在於，隨著潰壩延時的增加，在溢頂破壞時，壩體潰壞的比例相對隨時間逐漸減小，使得潰壩尖峰流量下

降，然在管湧破壞時卻相反，隨著潰壩延時的增加，其使得管湧上部壩體崩壞的形成時間增加，以致上游庫容水體較慢大量排出，因此當管湧潰口擴大時，壩體上層土體崩壞，水體大量沖出，導致其尖峰流量短時間內快速上升。

在不同潰壩參數變化下，以潰壩堰流係數之變化，其所造成尖峰流量隨著係數值增加成正比，但在溢頂破壞之模擬結果，其潰決尖峰流量增加幅度相較於管湧破壞之模擬結果為小。由於管湧模式計算之基準是依據孔口流公式計算，而在潰決完成時，是依照堰流公式計算，因此潰決後變化幅度較大。

天然壩潰決所帶來的危害主要仍是取決於天然壩規模與堰塞湖所蓄積的水量，當天然壩規模越大，蓄積水體越多，當其潰決時，所造成之危害影響範圍程度越大。在 HEC-RAS 2D 潰壩模式中，考量到壩體幾何參數、水文條件、潰壞模式，雖然程式尚未考量土壤性質，因無法在潰壩模式中輸入土壤力學參數，這點對於壩體形成中，其土壤堆積狀況是鬆散或是緊實，或是黏性力強弱等造成潰口變化、潰決尖流量及洪水傳遞等影響在本文中並無法比較。但是此模式之介面操作簡便且其所提供之模擬相當快速可以得到結果，對於緊急事件之快速評估危險範圍等有直接的助益。

七、小結

本研究以 2017 年 6 月豪雨期間南投縣鹿谷鄉東蚵埔溪堰塞湖進行潰決模擬。藉由多種參數設定數值模式，以潰壩延時、潰壩型態及潰壩堰流係數，探討影響範圍、洪水波影響等模擬成果。本研究依據模擬結果，提出以下幾點結論：

(一)當天然壩潰決型態為溢頂破壞時，潰壩延時越短，所造成之潰決尖峰流量越大。但當潰決型態為管湧破壞時，潰壩延時越長，其所造成之潰決尖峰流量較溢頂破壞為大。

(二)由於潰壩瞬間產生潰決流量劇烈變化，造成壩體上游側及下游側通過流量及水位突然增加，在潰壩尖峰流量部份，約為無潰壩的 2.20 倍，約為無天然壩地形之尖峰流量 2.22 倍。

(三)應用 HEC-RAS 2D 模擬，在分析溢頂破壞案例下，堰流係數的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度在 0.6%~1.4% 之間，潰壩延時的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度在 41.7%~49.0% 之間。

(四)應用 HEC-RAS 2D 模擬，在分析管湧破壞案例下，堰流係數的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度在 13.1%~17.3% 之間，潰壩延時的變動量方面，其造成之尖峰流量的變

動幅度在 9.8% ~ 22.9% 之間。

(五)兩種破壞案例分析之結果顯示，以潰壩延時係數變動時，對於潰決尖峰流量的敏感性大於堰流係數之結果，進一步分析比較，則是溢頂破壞的潰決尖峰流量更大，其變動幅度最大可達 49.0%。

第三節 視覺化整合式降雨入滲促崩模擬(IRIS 模式)

一、緣起

2017 年 6 月 13 日豪大雨造成南投國姓鄉武玄宮旁邊坡崩塌。本研究人員於崩塌後利用無人載具 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 進行現場崩塌範圍拍攝，以取得崩塌邊坡與旁邊武玄宮及交通道路之間空間資訊。依據災後調查資料包含空拍照片、數值地表模型 (Digital Surface Model)產製出崩塌區域，再利用不同時間之數值地形模型 (Digital Terrain Model)進行比較並計算崩塌土方量。除此之外，本研究亦利用數值模式：坡面降雨入滲崩塌預測模式 (Integrated Rainfall-Infiltration Slope Stability Model, IRIS, <https://tech.swcb.gov.tw/Results/ResultsIRIS>，水保局技術研究發展小組)來模擬崩塌滑動面。其一，先利用 Richard 方式式模擬降雨入滲過程，藉由不同含水量進行測試，並由有限元素法求解；其二，此階段則是採用極限平衡法概念，以 Janbu 簡化法來分析邊坡穩定；最後，則是藉由動態規劃法 (Dynamic Programming Method, DP)來求解臨界滑動面。利用 UVA 進行現場調查，可以達到快速崩塌事件土砂量估算，並配合 IRIS 模式可有效地解析崩塌發生時間及破壞滑動面。

二、基本資料

本研究以 2017 年 0613 豪雨事件期間所造成南投縣國姓鄉武玄

宮後側邊坡崩塌災害為例。武玄宮旁邊坡於 2017 年 6 月 15 日下午 3 點，受降雨影響造成邊坡發生崩塌，崩塌最深處約 10 公尺，平均崩塌深度約為 4 公尺，崩塌面積約 1400 平方公尺 (上邊坡崩塌區)，長約 60 公尺，寬約 30 公尺，估計土方量約 7,200 立方公尺，造成下方防砂壩遭掩埋，崩塌堆積深度約 2~3 公尺，如圖 4-17，土石堆積材料多為砂岩及礫岩 (水保局，2017)。本次事件參考長豐雨量站 (C1H920) 2017 年 6 月 13 日至 2017 年 6 月 17 日降雨紀錄，其累積降雨量約 275mm 時，如圖 4-18 所示。

本研究於崩塌後利用 UAV 儀器(Phantom 4 Professional)進行現場調查，執行不同高度之巡行拍攝任務，其巡行軌跡如圖 4-19 所示。此外，為了驗證數值地表模型，本研究佈設地面控制點以檢核數值地表模型之精確度，如圖 4-20 所示。本研究使用 Bentley Context Capture Version 4.0 進行空拍照片空中三角點之計算轉換，以產製三維 DSM 資料，其網格解析度為 0.02m。再者，邊坡破壞崩塌區滑動面中，在岩盤出露中，部份為砂頁或是頁岩顯露，如圖 4-21 所示，此部份現地調查結果，亦使用在數值模擬設定中。



圖 4-17 災後武玄宮示意圖 (水土保持局南投分局，2017)

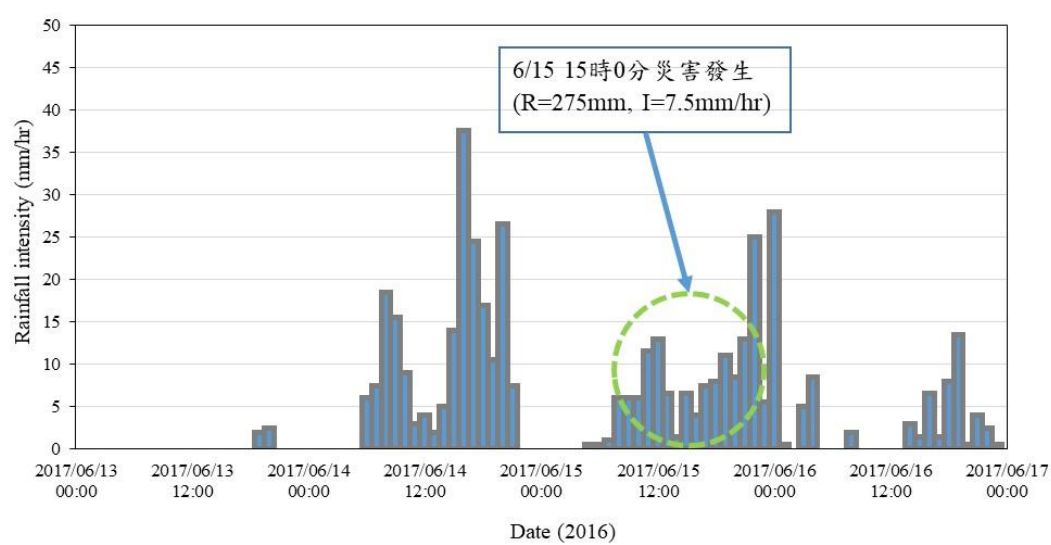


圖 4-18 長豐雨量站 2017/06/13 至 2017/06/16 雨量資料

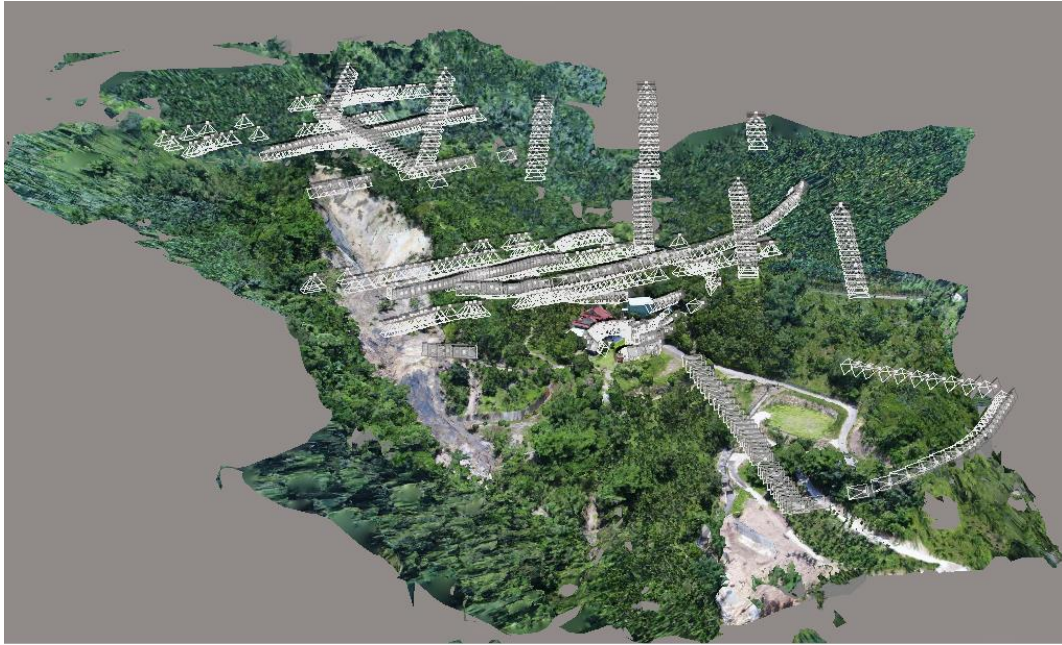


圖 4-19 不同巡行高度拍攝任務示意圖

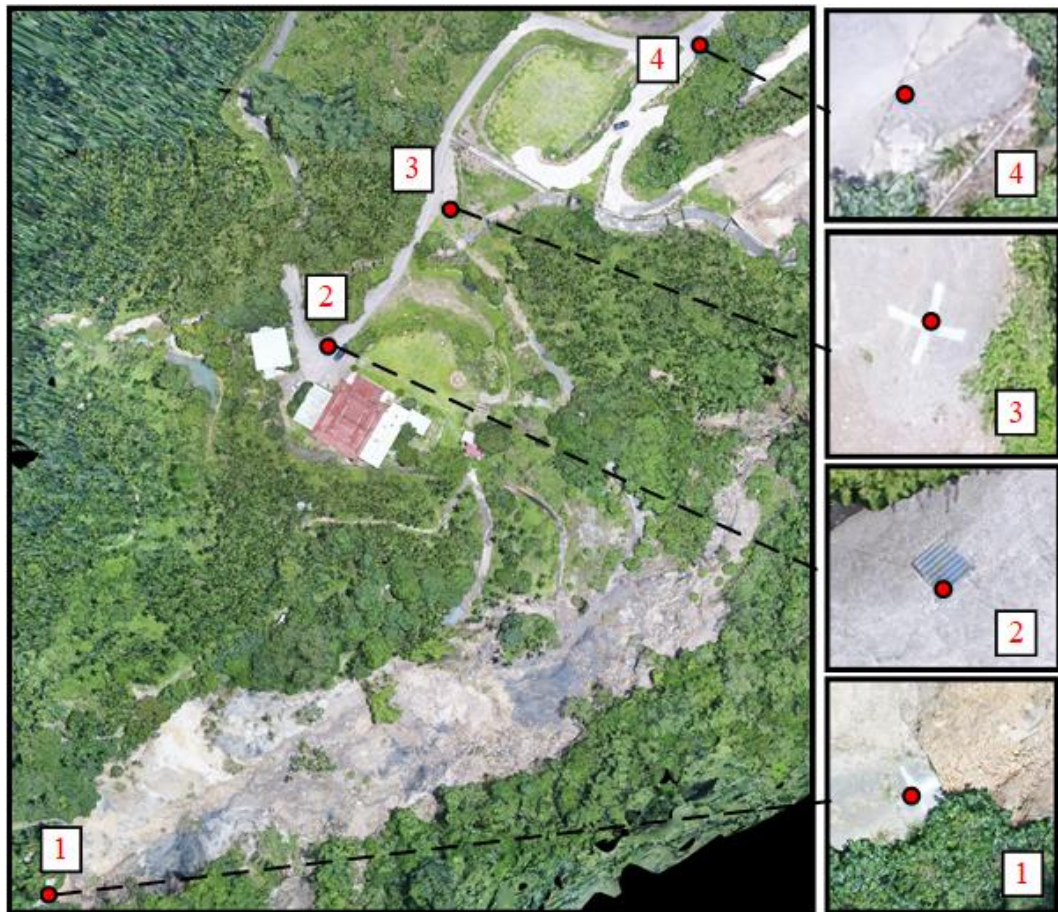


圖 4-20 地面控制點示意圖



圖 4-21 岩盤出露示意圖

三、模式說明

IRIS 模式之計算流程分為三部分，首先使用三維 Richard's 方程式模擬土層中之含水量變化，並以有限元素法求解降雨-入滲過程，再以簡易 Janbu 切片法進行邊坡穩定分析，最後以動態規劃法結合變分法自動找出臨界滑動面。

(一)視覺化 IRIS 模式規劃

本研究使用水保局技術研究發展小組與日本京大學合作開發之視覺化 IRIS ((Integrated Rainfall-Infiltration Slope Stability Model, IRIS) 模式進行武玄宮後側邊坡崩塌模擬。此模式之視覺化規劃如下，第一步首先由地形與物理參數設定，包含地形資料設定、有限元素網格設

定、土壤含水參數設定；第二步則為初始條件設定，包含有初始孔隙水壓模擬、視覺化孔隙水壓展示；第三步為降雨入滲暨邊坡穩定耦合分析；最後則為分析結果，其可提供崩塌時間、規模及動態分析成果展示，分析圖表即時產製，各項流程之圖形化界面如下所示。

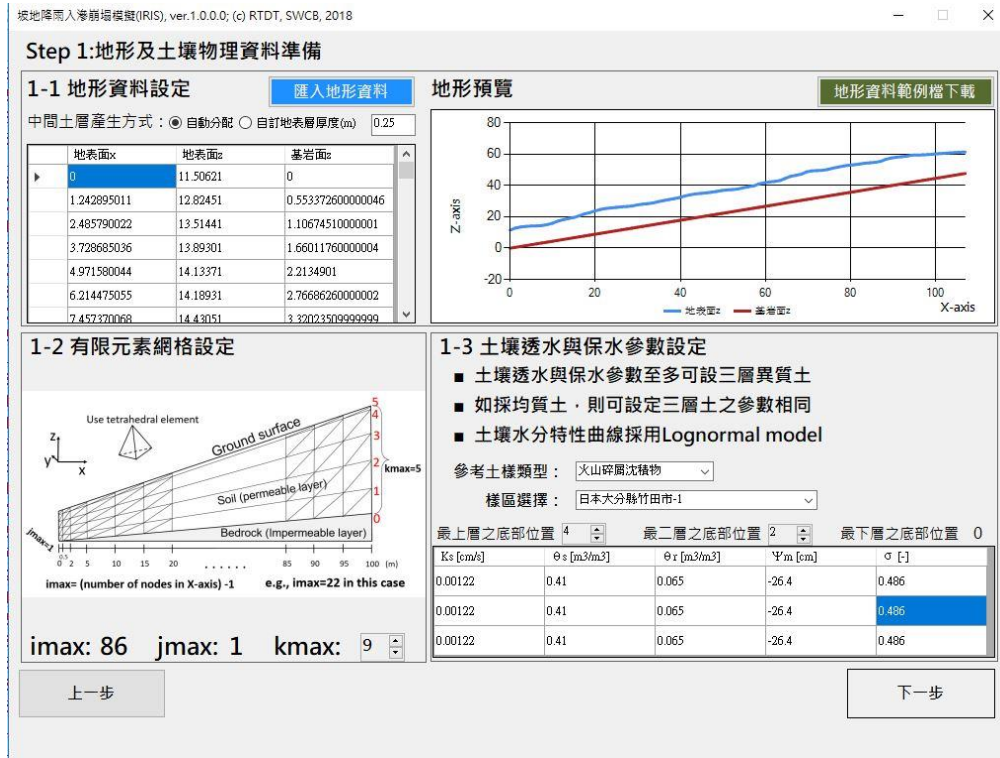


圖 4-22 地形及土物理參數界面設定圖



圖 4-23 初始狀態界面設定圖

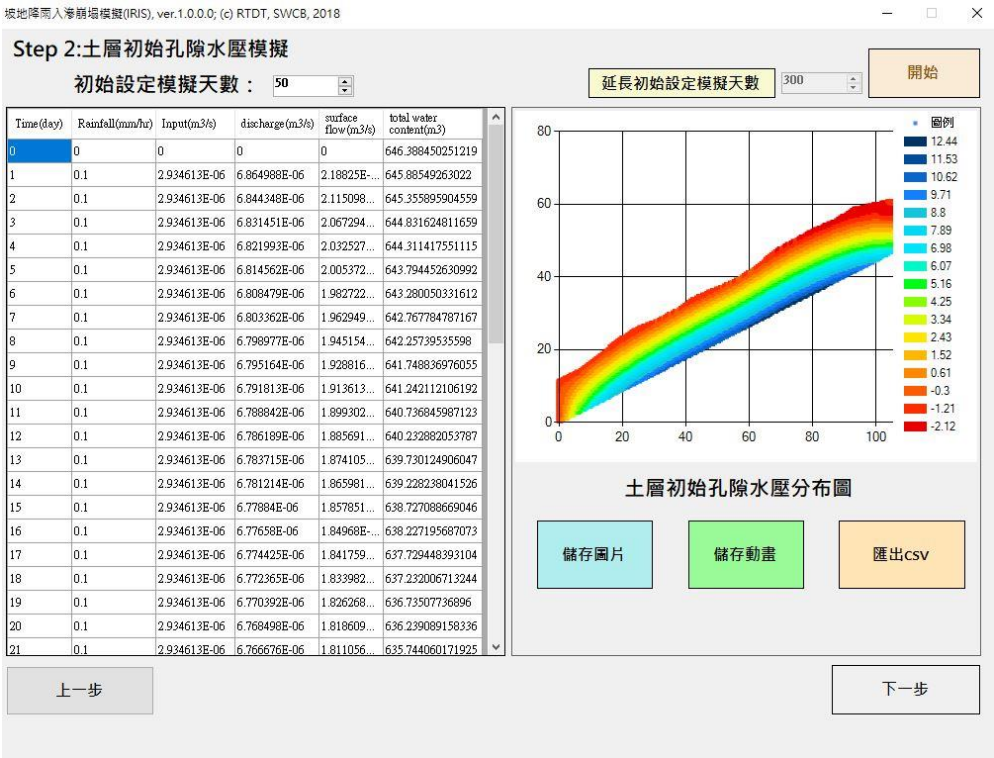


圖 4-24 土層初始孔隙水壓模擬圖

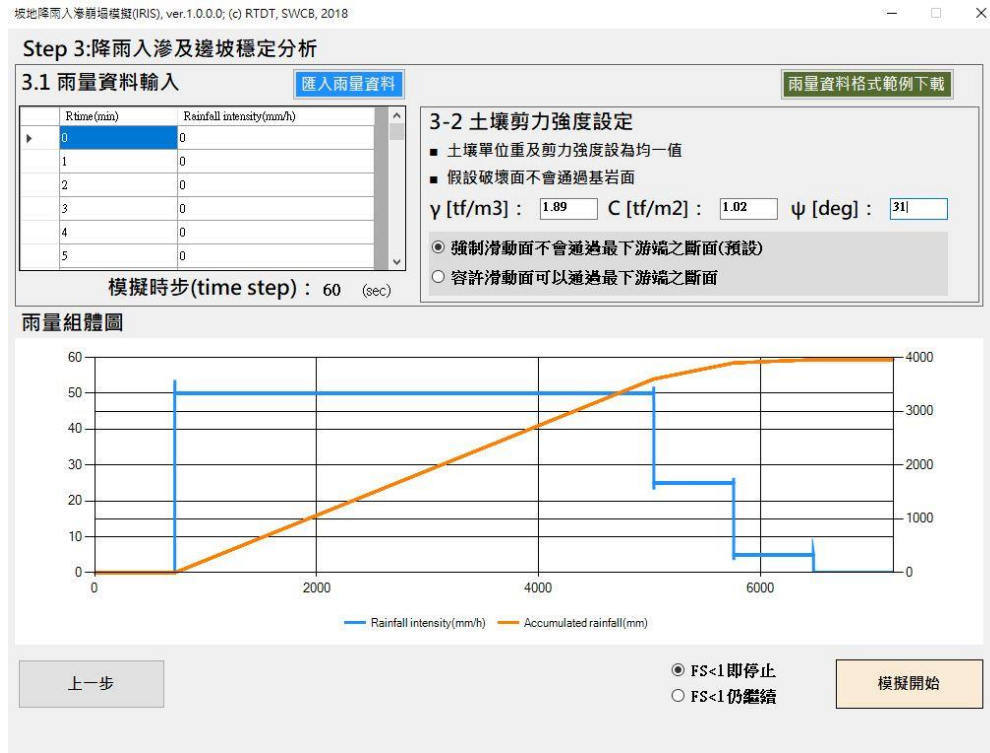


圖 4-25 降雨入滲及邊坡穩定分析界面圖

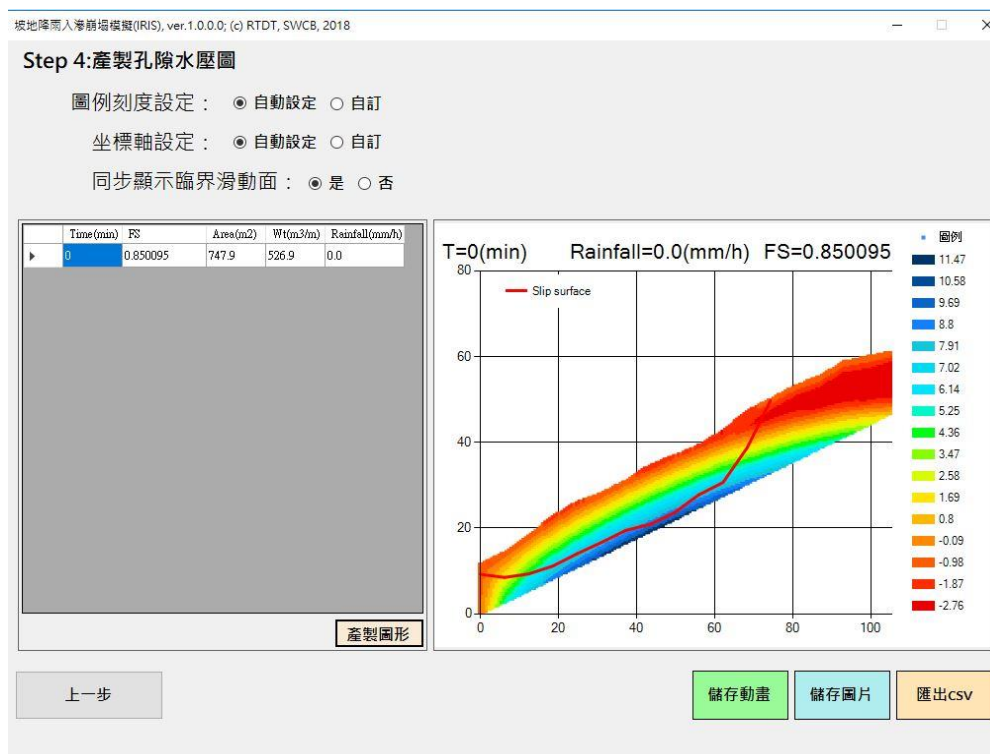


圖 4-26 分析結果產製界面圖

(二)降雨-入滲模組

IRIS 模式採用三維 Richard's 方程式模擬土層中滲流的現象，其含水量的變化由下式表示：

$$C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} = \nabla \{K(\psi) [\nabla(\psi + z)]\} \quad \text{式 (4.9)}$$

其中 $C(\psi)$ 為土層之水容量(water capacity)， $K(\psi)$ 為水力傳導度(hydraulic conductivity)，土壤水份特性曲線則採用 Kosugi (1996) 提出的 LN 模式(lognormal distribution model)，係假設土壤孔隙半徑為對數常態分布，依此模式在不飽和土層中 ($\psi < 0$)，有效飽和度 S_e (effective saturation)、 $C(\psi)$ 與 $K(\psi)$ 可表示為：

$$S_e \left(\equiv \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \right) = Q \left(\frac{\ln(\psi/\psi_m)}{\sigma} \right) \quad \text{式 (4.10)}$$

$$C(\psi) = \frac{d\theta}{d\psi} = \frac{\theta_s - \theta_r}{\sqrt{2\pi}\sigma(-\psi)} \exp \left\{ -\frac{[\ln(\psi/\psi_m)]^2}{2\sigma^2} \right\} \quad \text{式 (4.11)}$$

$$K(\psi) = K_s \left[Q \left(\frac{\ln(\psi/\psi_m)}{\sigma} \right) \right]^{1/2} \left[Q \left(\frac{\ln(\psi/\psi_m)}{\sigma} + \sigma \right) \right]^2 \quad \text{式 (4.12)}$$

其中 $\theta_s [m^3/m^3]$ 為飽和水分含量(saturated soil water content)、 $\theta_r [m^3/m^3]$ 為殘餘水分含量(residual soil water content)、 $\psi_m [m]$ 為土壤孔隙半徑中位數(the median soil pore radius)所對應之壓力勢能(pressure potential)， σ 為描述土壤孔隙半徑分布範圍的無因次參數、 $K_s [m/s]$ 為飽和土壤之水力傳導係數、 $Q(x)$ 稱為餘正規分布函數

(residual normal distribution)，並可表示為：

$$Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \quad \text{式 (4.13)}$$

當土壤達飽和狀態時 ($\psi \geq 0$)，則令 $K(\psi) = K_s$ 且 $C(\psi) = 0$ 。由於式 (4.13) 為高度非線性方程式，不易獲得解析解，故採用有限元素法求解(Istok, 1989)。

(三) 邊坡穩定分析模組

上述由有限元素法求解的降雨入滲結果，用來定義土層中每個網格的孔隙水壓，再進行邊坡穩定分析之計算。此階段採用極限平衡法中的簡易 Janbu 法進行計算，係將滑動土體分割成垂直切片，對每一個切片進行應力平衡計算。此方法所採用之邊坡穩定安全係數 F_s 方程式為：

$$F_s = \frac{\sum [c'_i l_i \cos a_i + (W_i - u_i l_i \cos a_i) \tan \varphi'_i] / m_a}{\sum \tan a_i} \quad \text{式 (4.14)}$$

$$= \frac{\sum A_i}{\sum B_i}$$

$$m_a = \cos^2 a_i \left(1 + \frac{\tan a_i \tan \varphi'_i}{F_s} \right) \quad \text{式 (4.15)}$$

其中 i 為滑動面上垂直切片的編號， c'_i 為土壤凝聚力， φ'_i 為土壤之內摩擦角， W_i 為滑動土體之垂直切片重量， a_i 為垂直切片之滑動面角度， l_i 為垂直切片之滑動面長度， u_i 為垂直切片滑動面上之孔隙水壓。

式 (4.14) 之 A_i 為抵抗力、 B_i 為驅動力。

(四)求解臨界滑動面

由於前述簡易 Janbu 法或 Spencer 法等切片分析方法，需事先自行假設多個可能之滑動面，分別計算安全係數後，再取安全係數最小之滑動面為臨界滑動面；然而，此過程中缺少一客觀及標準程序，往往不易找到真正之臨界滑動面。為此，IRIS 模式採用動態規劃法 (Dynamic Programming method, DP) 結合變分法方式計算出安全係數最小之臨界滑動面 (Yamagami and Ueta, 1986；Baker, 1980)。然而，動態規劃法只能用於滿足加法性之函數 (additive functions)，而式 (4.14) 之型式並不符合此條件，故 Baker (1980) 參考古典變分理論之作法，定義輔助函數 G 如式 (4.16)，並證明求解輔助函數 G 之最小值與式 (4.14) 安全係數 F_s 之最小值為等價 (equivalent)。亦即如能解出輔助函數 G 之最小值路徑，該路徑代表此坡面安全係數最小之滑動面；如此時 F_s 小於 1 時，則此路徑即為坡面崩塌之臨界滑動面 (critical slip surface)。

$$G = \sum_{i=1}^n (A_i - F_s \cdot B_i) \quad \text{式 (4.16)}$$

其中 n 為分析滑動面之切片數量， F_s 為安全係數；式 (4.16) 中的 A_i 、 B_i 及 F_s 均為未知數，故需以迭代方式計算，並先任意設定一初始值，例如 $F_s = 1$ 。

為將動態規劃法導入此求解臨界滑動面問題，須先將坡面適當分成 $n + 1$ 階(stage)，如圖 4-27 (a)之垂直線。同時，每一階均可再適當分成若干層(state)，如圖 4-27 (a)之圓點。如圖 4-27 (b)，若 (i, j) 及 $(i + 1, k)$ 為任二相鄰階的節點，則 $\overline{jk}$ 即可視為滑動面的其中一段，亦即四邊形 $abkj$ 即可視為該滑動面的其中一塊切片，並可依式 (4.14) 及式 (4.15)計算其相應的 A_i 及 B_i 。因此，由 (i, j) 至 $(i + 1, k)$ 之 G 的變量 $DG_i(i, k)$ 可表示為：

$$DG_i(j, k) = A_i - F_s \cdot B_i \quad \text{式 (4.17)}$$

同時，若定義函數 $H_i(j)$ 為第一階至 (i, j) 之輔助函數 G 最小值，則可表示為：

$$H_{i+1}(k) = \min_{j=1 \sim S_{n+1}} [H_i(j) + DG_i(j, k)]_{k=1 \sim S_{i+1}}^{i=1 \sim n} \quad \text{式 (4.18)}$$

在路徑起點處之邊界條件為：

$$H_1(j) = 0, j = 1 \sim S_1 \quad \text{式 (4.19)}$$

在路徑終點處之邊界條件為：

$$G_m = \min G = \min_{j=1 \sim S_{n+1}} [H_{n+1}(j)] \quad \text{式 (4.20)}$$

其中 S_i 為第 i 階的總層數。

藉由上述方式，即可逐步求出 F_s 最小之滑動面，在將此滑動面所

對應之各段路徑 A_i 及 B_i 代回式 (4.14)，即可計算出該滑動面之 F_s 值。

當 $F_s < 1$ 時表示坡面已崩塌，即為臨界滑動面。

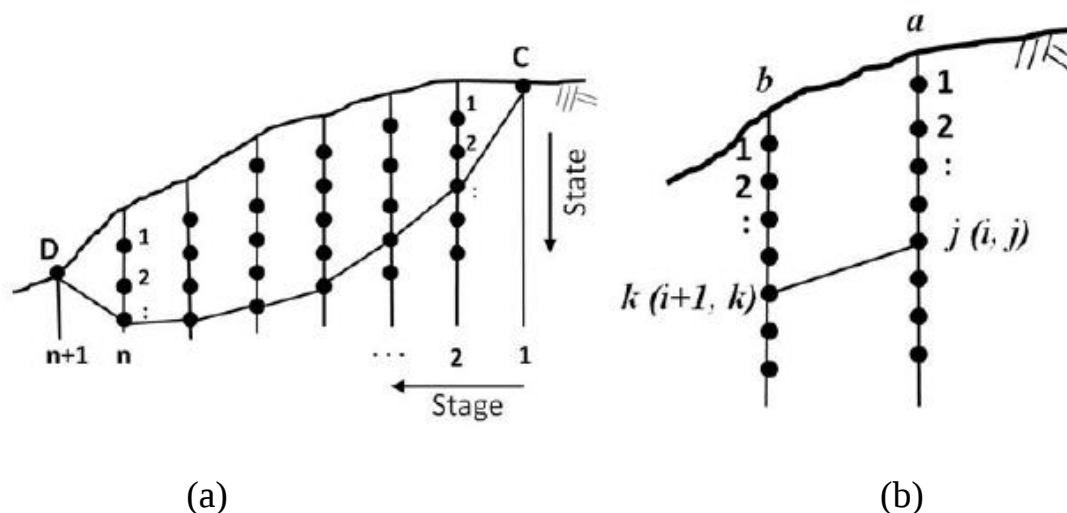


圖 4-27 (a) 動態規劃法應用於臨界滑動面求解之路徑節點示意圖

(b) 相關符號示意圖 (陳振宇等人, 2014)

四、分析方法測試

本章節主要說明 IRIS 模式之研究流程(圖 4-31)，首先蒐集案例基本資料，再根據基本資料建立邊坡模型，並依模型幾何條件決定網格大小。模型建置完成後，輸入歷史雨量資料並進行降雨入滲分析，此步驟為決定模型之初始孔隙水壓條件，最後再執行 0613 豪雨期間之邊坡穩定分析。以 72 組不同參數組合下之分析結果將用來探討模式之適用性與限制性，各流程之項目詳列如下。

(一) 蒐集基本資料

IRIS 降雨入滲邊坡穩定模式所需輸入參數包含地形剖面線、土壤

力學參數、物理性質參數、不飽和土壤力學參數以及歷史雨量資料。

地形剖面資料來源為 2011 年內政部拍攝之 1m 網格數值高程模型 (DEM)，以及 2017 年水土保持局進行無人載具(Unmanned Aerial Vehicle)調查所得之數值地表模型(DSM)，其網格精度為 0.02m。歷史雨量資料來源為中央氣象局長豐雨量站於 2017 年 6 月 13 日至 2017 年 6 月 17 日蒐集之雨量資料。

(二)建立邊坡幾何模型

邊坡模型之幾何條件主要決定於數值地形模型(DTM)，崩塌前之邊坡模型剖面線擷取自 2011 年內政部拍攝之數值高程模型(DEM)；崩塌後之剖面線則取自水土保持局於 2017 年 6 月 18 日以無人載具 Phantom 4 professional 進行現場調查後，由 Context Capture version 4.0 進行空中三角測量解算特徵點而產置之數值地表模型(DSM)。圖 4-28 為武玄宮後側邊坡崩塌後之剖面位置圖，本研究之邊坡模型主要係依據災後 DSM 之二相對坡向面找出具代表性的滑動面，如圖 4-28 所示之剖面線。

為了簡化分析，基岩的位置本研究則是假設其位於崩塌深度最深處約 10 公尺，綜合現地調查成果，基岩位置定義為 $\beta = 25^\circ$ 、 $L = 108\text{ m}$ 以及 $n_s = 10\text{ m}$ 。建置完畢之邊坡模型圖如圖 4-29 所示，原始地表線之資料來源為 DEM，以黑色線段表示，崩塌後地表量測值之

資料來源為 DSM，以紅色圓點線段表示。

IRIS 模式限制網格數量需小於 2000 格與 x 方向之節點數量需小於 200 個，且為了節省分析時間，所有網格在 x 方向之間距設定為 108 公尺，共 86 格，z 方向之網格數量共 9 格。



圖 4-28 剖面位置圖

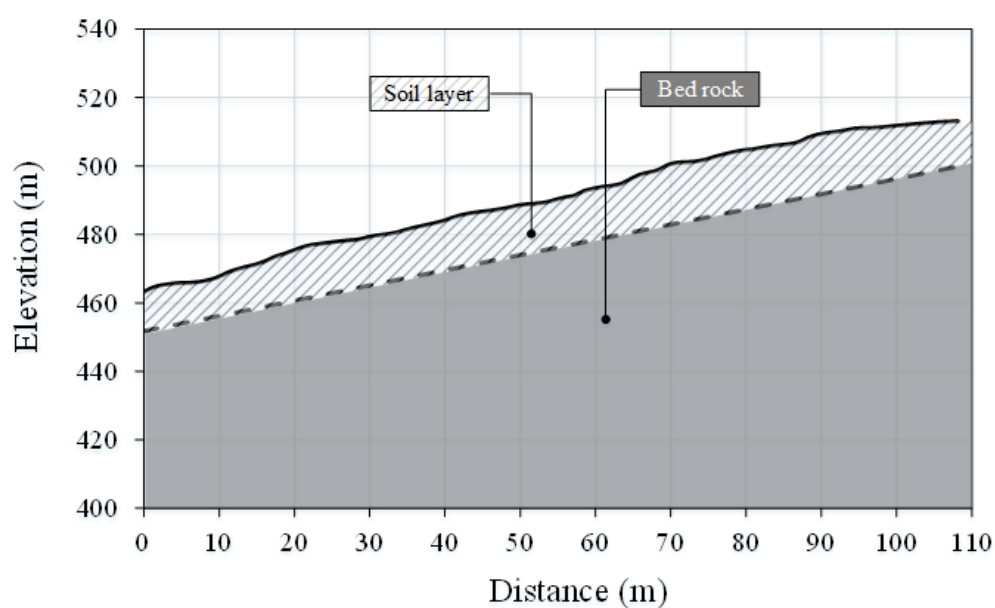


圖 4-29 簡化邊坡模型

(三)降雨入滲分析

為了模擬自然情況下，邊坡模型內土壤水份分布情形，並消除土體內不同起始孔隙水壓條件對後續模擬之影響，先設定所有坡面內土壤之初始壓力水頭為-0.01m，再給予強度 0.1mm/h 之固定降雨，持續進行模擬(陳振宇等，2014)。本研究在初始孔隙水壓條件設定階段，採用上述方式進行 300 天之固定降雨，再加上長豐雨量站於 0613 豪雨事件來臨前，如圖 4-30，2017 年 5 月 1 日 0 時至 6 月 30 日 23 時共 60 天之降雨資料，使土壤內之水份自然流動分布與排放，直至降雨入滲量與下游端自然排出之基流(base flow)流量大致相等，且土體總含水量維持定值，此時的孔隙水壓分布即為邊坡模型之初始孔隙水壓條件。

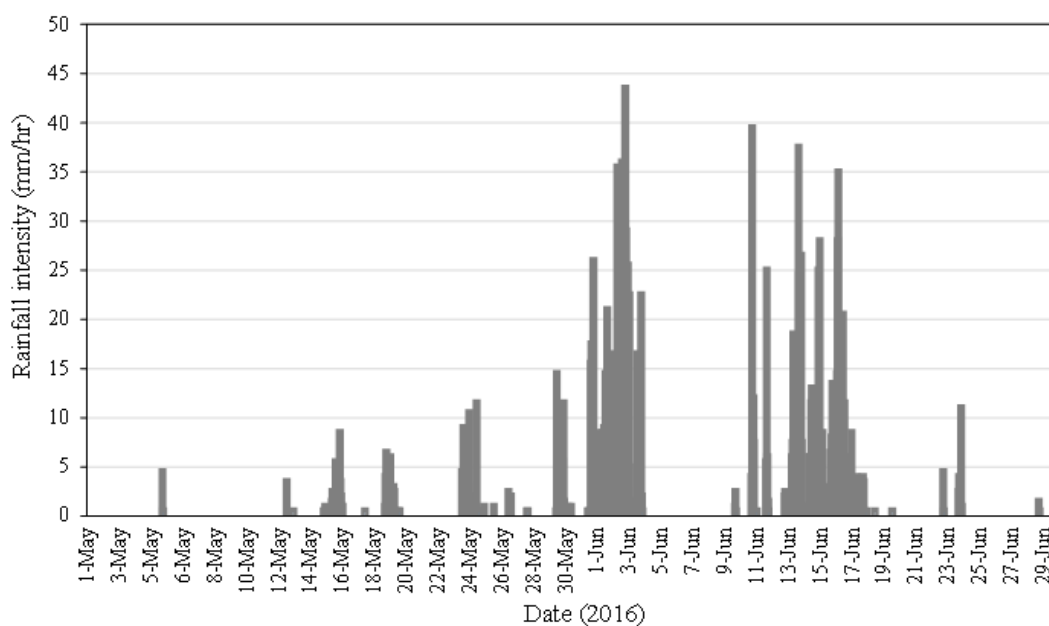


圖 4-30 長豐雨量站 2017/5/1 至 2017/6/30 雨量資料

本模式需輸入之土壤力學性質分為兩部分，第一部份為一般土壤力學物理與工程性質；另一部分則是不飽和土壤物理性質。在降雨入滲分析階段，控制土體內孔隙水壓分布之主要因子為不飽和土壤力學性質。

IRIS 模式採用 Kosugi(1996)提出以 LN 模式表示土壤水份特性曲線，為日本用以描述不飽和土壤物理行為，與台灣常用的描述方式不同，經由換算後求得之輸入參數如表 4-12 所示，分別為飽和含水量、殘餘水分含量、土壤孔隙半徑、土壤孔隙半徑分布範圍等四項參數。

(四)邊坡穩定分析

初始孔隙水壓條件設定完成後，下一階段為模擬 0613 豪雨期間之邊坡穩定分析，此時輸入的歷史雨量為 2017 年 5 月 1 日 23 時至 2017 年 6 月 17 日 23 時，共 48 天之時雨量資料。另一方面，在 IRIS 模式中，除了降雨資料外，尚需要土壤參數，然而由於地質上的不確定性及非均質性，因此，本研究假設基岩之凝聚力 c'_b 為 $100 \text{ (t/m}^2\text{)}$ 且摩擦角 ϕ'_b 為 60 (degree) ，作為反算分析，圖 4-32 彙整 72 組土壤參數組合，作為 IRIS 模式參數之設定，其土壤力學性質如表 4-13 所示，分別為土壤單位重 γ 、滲透係數 k_s (k_1 、 k_2 、 k_3)、凝聚力 c' 分別為 1.02、1.52 與 $2.04 \text{ (t/m}^2\text{)}$ 、土壤摩擦角 ϕ' 之範圍為 $25^\circ \sim 32^\circ$ 等此四項參數。

表 4-12 輸入模式之不飽和土壤力學參數

θ_s (m^3/m^3)	θ_r (m^3/m^3)	ψ_m (cm)	σ
0.41	0.065	-26.4	0.486

備註： θ_s 為飽和水分含量(m^3/m^3)， θ_r 為殘餘水分含量(m^3/m^3)， ψ_m 為土壤孔隙半徑中位數所對應之壓力勢能(m)， σ 為描述土壤孔隙半徑分布範圍的無因次參數。

表 4-13 輸入模式之土壤力學參數

Soil properties	Max	Min	Mean
γ (t/m^3)	2.04	1.73	1.89
c' (t/m^2)	2.0	1.02	1.53
ϕ' (degrees)	32	25	28.5
k_s (m/s)	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}

備註： γ 為土壤單位重(t/m^3)， c' 為凝聚力(t/m^2)， ϕ' 為土壤摩擦角(degrees)， k_s 為滲透係數(m/s)。

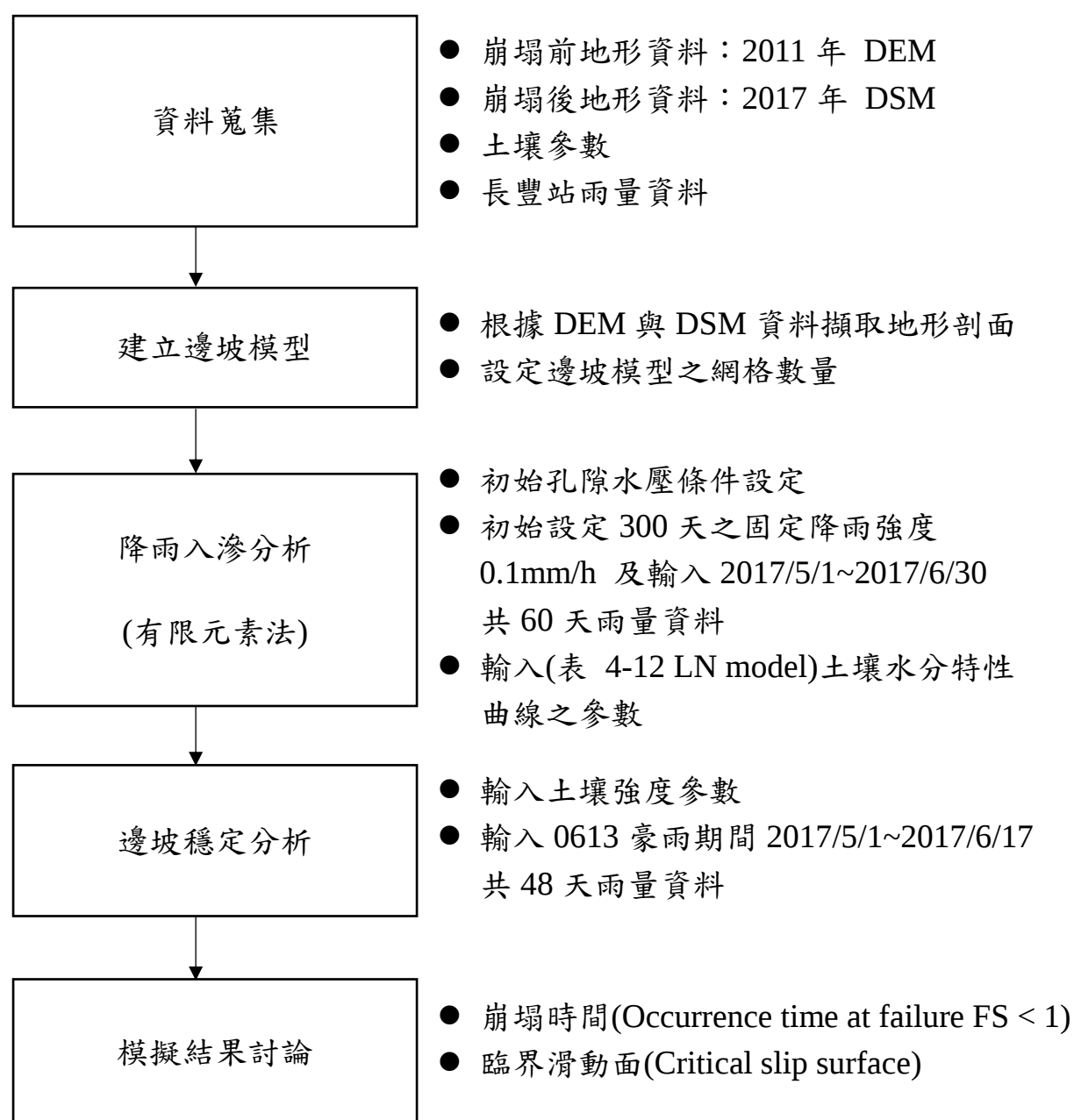


圖 4-31 研究流程圖

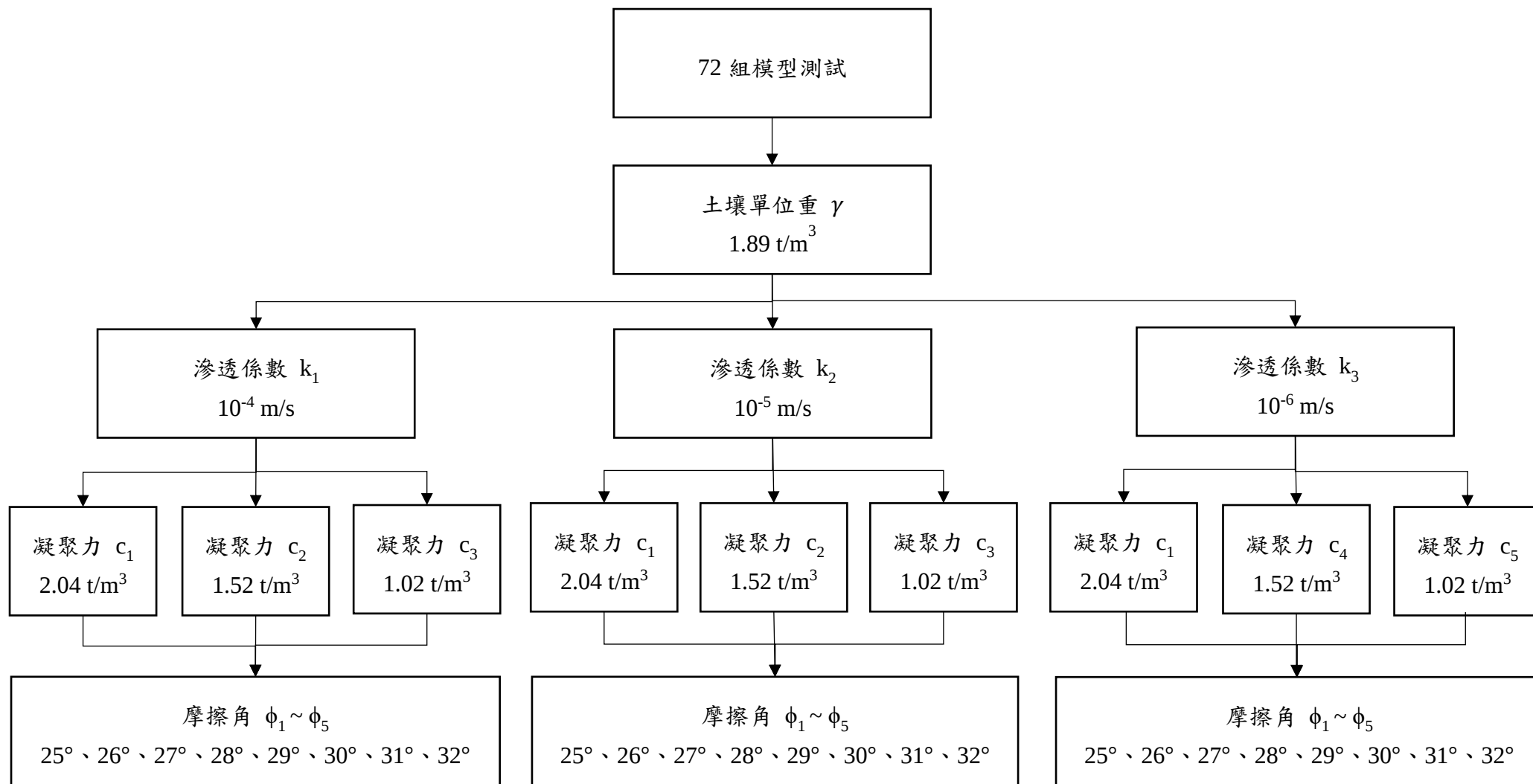


圖 4-32 土壤參數測試流程圖

五、分析成果

(一)崩塌地地形變化及土方估計

在崩塌量體估算上，本研究利用 Bentley Context Capture Version 4.0 建立崩塌區三維點雲資料，透過高精度點雲資料進行崩塌區長、寬、面積、體積等估算。使用災前 2011 年 1 米解析度 DEM 和災後由 UAV 產製之 0.02 m 解析度之 DSM 資料進行估算，且為了比較兩時期不同解析度之地形資料，將 DSM 網格解析度粗化為 1 m*1 m，以得到相同網格解析度進行網格編號估算不同崩塌深度之量體及面積估算作業。本崩塌區面積為 2,729 平方公尺，崩塌體積為 19,278 立方公尺，估算之成果如圖 4-33 及表 4-14 所示。

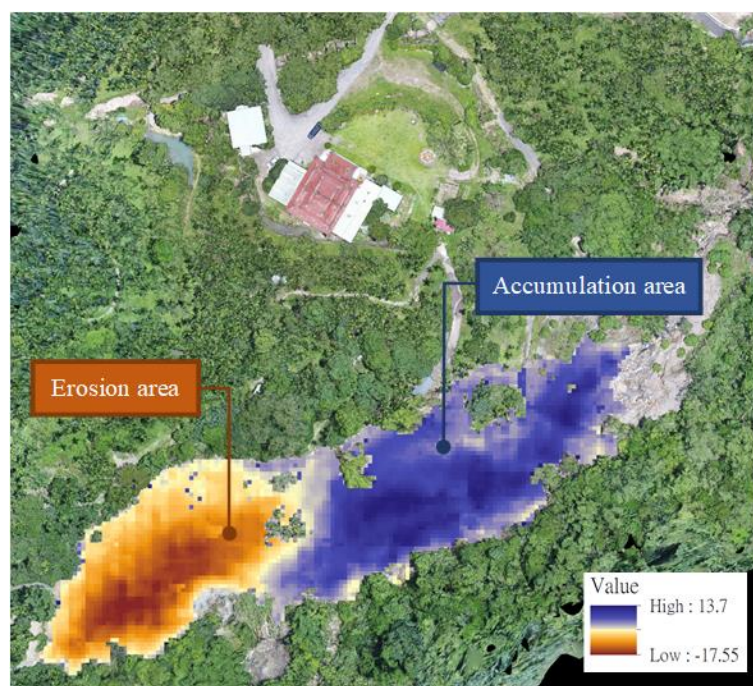


圖 4-33 武玄宮後側邊坡崩塌量體估算圖

表 4-14 武玄宮崩塌量體估算值

Depth (m)	Number of grid	Mean EL. (m)	Volume (m ³)
0.0 ~ 2.5	831	1.25	1039
2.5 ~ 5.0	443	3.75	1661
5.0 ~ 7.5	441	6.25	2756
7.5 ~ 10.0	366	8.75	3203
10.0 ~ 12.5	375	11.25	4219
12.5 ~ 15.0	340	13.75	4675
15.0 ~ 17.5	106	16.28	1725
Total			19278

(二)崩塌模擬結果

由於 IRIS 模式採用極限平衡法進行邊坡穩定分析，輸出的結果係為可能發生之滑動面，即最小安全係數發生位置，因此檢核崩塌與否的依據為安全係數小於 1。再者，IRIS 模式根據歷史雨量資料來模擬崩塌發生時間。雨量資料的起始點，即發生時間之基準值為 2017 年 5 月 1 日 23 時，此時的發生時間設定為 0 min；而實際崩塌發生時間為 15 日 3 時，此時發生時間為 65810 min；當程式模擬至雨量資料結束時，IRIS 模式將停止計算並回傳最小安全係數之可能滑動面。

本研究以圖 4-32 所設定之 72 組模擬中，其中有 15 組模擬結果最小安全係數小於 1，即邊坡屬於不穩定，表 4-15 彙整 15 組土壤參數測試結果，其變數為 1 組滲透係數、2 組土壤凝聚力以及 8 組土壤

摩擦角，而基岩位置在分析之剖面上為固定值（如圖 4-29）與降雨資料。由 72 組模型中挑選出安全係數小於 1，但基於崩塌發生時間為 0，即為在前期降雨入滲階段已經破壞，並非 0613 豪雨期間造成的武玄宮後側邊坡破壞，故將其視為失效之組合。

藉由模擬反算分析結果，第 58 組模擬案例崩塌滑動發生時間為 2017/06/15 16:50，其與現地發生崩塌之時間非常接近。在此案例中，土壤滲透係數、凝聚力、摩擦角分別設定為 10^{-6} m/s， 1.52 t/m^2 ， 31 (degree)。利用 IRIS 所模擬之臨界滑動面與災後現場調查之結果，繪製於圖 4-34，於圖中可以看出，弱面存在於崩塌積和岩盤之間。但由於受到 IRIS 模式的限制，其數值模擬於安全係數小於 1 時，即停止模擬，造成此模式不能模擬二次崩塌，或是多次崩塌的情況，因此，上邊坡崩塌模擬的結果高於現地崩塌地形。

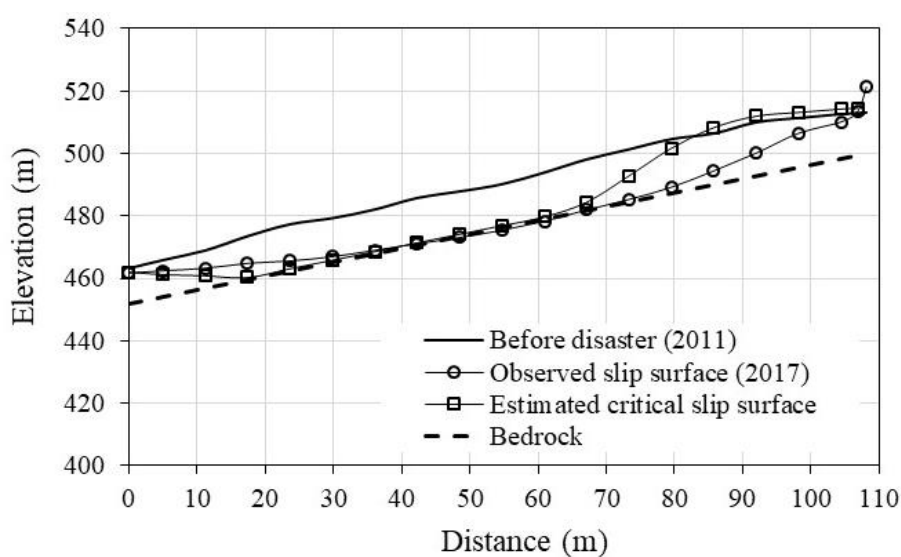


圖 4-34 IRIS 模擬之崩塌滑動面

表 4-15 土壤參數測試結果

編號	k_s (m/s)	c (t/m ²)	ϕ' (degree)	崩塌	發生 時間	安全 係數
58	10^{-6}	1.52	31	Y	2017/06/15 16:50	0.99
59			30	N	2017/05/01 00:00	0.98
60			29	N	2017/05/01 00:00	0.95
61			28	N	2017/05/01 00:00	0.91
62			27	N	2017/05/01 00:00	0.89
63			26	N	2017/05/01 00:00	0.86
64			25	N	2017/05/01 00:00	0.83
65		1.02	32	N	2017/05/01 00:00	0.99
66			31	N	2017/05/01 00:00	0.94
67			30	N	2017/05/01 00:00	0.91
68			29	N	2017/05/01 00:00	0.88
69			28	N	2017/05/01 00:00	0.84
70			27	N	2017/05/01 00:00	0.82
71			26	N	2017/05/01 00:00	0.79
72			25	N	2017/05/01 00:00	0.76

六、小結

(一)IRIS 模式採用 2011 年內政部拍攝之 1m 網格數值高程模型 (DEM)建立邊坡幾何地形模型，並以 2017 年水土保持局進行無人載具(Unmanned Aerial Vehicle)調查所得之數值地表模型

(DSM)作為崩塌後之滑動面，再輸入歷史雨量資料進行降雨入滲邊坡穩定分析。驗證方法其一為預測最小安全係數之滑動面與災後 DSM 進行比較，其二為崩塌發生時間。

(二)由 72 組模型中挑選出安全係數小於 1，並濾除崩塌發生時間為 0 之組數進行參數分析，結果顯示 IRIS 數值模擬於安全係數小於 1 時，即停止模擬，造成此模式不能模擬二次崩塌，或是多次崩塌的情況，因此，上邊坡崩塌模擬的結果高於現地崩塌地形。

(三)IRIS 模式可以有效模擬崩塌時間及臨界滑動面位置，其相較於現行商業軟體，IRIS 模式計算快速並兼具降雨入滲與邊坡穩定耦合分析能力。而此視覺化程式除能降低 IRIS 模式使用與推廣的門檻外，亦能作為相關教學課程輔助之利器。

第五章 土砂防災研究發展議題

第一節 土砂論壇執行策略

土砂防災研究發展議題研擬項目係以「土砂論壇」之預備會議及正式會議之結論為基礎，由此會議之意見交流與討論得出三大議題分述如下：山河共治-集水區土砂收支與管理，掌握先機-坡地監測與資訊智慧管理平台，永續利用-氣候變遷下水土保持總合調適策略。

研究團隊與水土保持局研究發展小組於今年度提出「水土保持技術研究發展規劃與建議」分析報告，參與四次「水土保持發展策略規劃推動工作坊」與「土砂論壇」會議及專家諮詢會議等，經剖析、討論、修正討論策略事項，將執行策略劃分為坡地管理專責與協作、國家級地圖資訊建置與整合、全方位地圈監測物聯網建置、整合型地圈警戒技術研發、地圈決策智慧雲建置、創新型保育治理技術開發及坡地防災及維生通道管理、國土永續利用與管理、提升基層防災力量等8+1策略，如表 5-1，相關內容摘錄如下。本年度工作項目以各業務組之業務項目為撰寫主軸，以下依據會議結果彙整近期規劃發展的業務項目進行說明。

表 5-1 土砂論壇策略修正歷程彙整表

議題	8 大策略 (土砂論壇)	8 大策略 (107.08.14 修正)	8+1 大策略 (107.08.15 修正)
一、 山河 共治	1-1 土砂治理策略 整合與協作	一、坡地管理與治理 專責任務確定與法規 檢討更新	一、坡地管理專責與 協作
	1-2 土砂收支調查 及分析技術	二、國家級坡地環境 資料調查與資料庫建 置與整合	二、國家級地圈資訊 建置與整合
二、 掌握 先機	2-1 全方位土砂監 測智慧雲	三、全方位土砂監測 物聯網技術研發	三、全方位地圈監測 物聯網建置
	2-2 土砂資訊智慧 管理決策平台	四、整合型土砂資訊 模式庫建立	四、整合型地圈警戒 技術研發
	2-3 整合型土砂災 害警戒策略	五、土砂資訊智慧管 理決策平台開發	五、地圈決策智慧雲 建置
三、 永續 利用	3-1 土砂災害風險 調適策略	六、氣候變遷國土安 全調適策略	六、創新型保育治理 技術開發
			+1、坡地防災及維生 通道管理
	3-2 設施優化及創 新工法開發	七、因應氣候變遷之 國土合理使用與管理	七、國土永續利用與 管理
	3-3 提升基層防災 力量	八、強化地方能量、 推動自主防災	八、提升基層防災力 量

一、坡地管理專責機關與協作

策略一主要為坡地災害中央主管機關任務規則、分工與評估，以及成立技術研發單位，其目的為建立坡地災害管理與治理分工機制，

在此策略下分列四項措施為「坡地管理專責任務評估規劃」、「建立水庫集水區土砂管理分工機制與協商平台」、「坡地管理法規檢討更新」、「成立技術研發單位」。

二、國家級地圈資訊建置與整合

策略二則針對不同期程(短期研究或長期調查)及眾多種類之各式業務資訊，以基礎資料取得至加值應用等各階段成果，規劃為「資料盤點、資料整合、資料庫建置、資料定期更新」等流程，分列四項措施「地圈環境既有資料盤點與整合」、「地圈環境資料庫建置」、「地圈環境資料定期調查與更新」、「地圈光達地形掃描更新」。

三、全方位地圈監測物聯網建置

策略三主要為監測技術的深化活用與推廣，包含坡面監測技術(水文、地表變動、地層中變位)、河道監測技術(水文、輸砂、土石流、河床等變動)、新興傳輸科技的研發(低功率廣域網路等…)以及觀測站(示範站)建置等，此策略規劃三項措施為「多元監測與傳輸科技發展與整合」、「國家級土砂監測示範區規劃與建置」、「新型土砂監測技術產業化推動」。

四、整合型地圈警戒技術研發

策略四為各式土砂資訊透過模式分析，所得結果作為後續決策參

據，其中包含情境分析技術、應變管理模式等，此策略規劃兩項措施「土砂情境分析技術開發與精進」、「整合型土砂應變管理模式發展」。

五、地圈決策智慧雲建置

策略五以智慧決策及各分析結果加值應用為主軸，並透過實際執行成果之回饋，提升智慧決策的成效，此策略規劃三項措施，「建立土砂資訊智慧管理決策平台」、「資料庫與模式庫雙向回饋機制建立」、「大數據人工智慧決策輔助技術研擬與應用」。

六、創新型保育治理技術開發及坡地防災及維生通道管理

策略六為坡地保育治理工程之轉型，主要透過環境友善工法、民眾參與、既有設施(如構造物及農塘)活化、擴增與延壽，並利用創新工法提升治理工程成效(包含環境永續、災害防治)，以扭轉工程形象及社會觀感，此項策略規劃四項措施「環境友善工法推動與工程智慧管理」、「動態土砂調整技術與工法研發及應用」、「設施擴展與加值利用」、「民眾參與機制推動」。再者，此項策略以防災維生通道改善及新建為主，藉以強化坡地社區與周邊鄉鎮之聯繫，避免產生防災孤島。同時，考量水土保持局研擬爭取後續納入前瞻計畫辦理，故將其提升為策略層級，修正原 8 大策略為「8+1 大策略」，並增列「坡地防災維生通道建構與維護」措施。

七、國土永續利用與管理

國土資源永續利用與發展規劃，其終極目標為「地盡其利」，然而，合理而永續利用土地資源，需運用住民的智慧與能力，配合自然環境創造足以滿足生活、生產、生態之需求，透過國土利用的務實管理，達到山坡地防災、減災及土地永續利用目標為此項策略之主軸，其規劃五項措施「環境敏感區調查與劃設」、「環境風險量化與分級評估」、「坡地聚落風險評估與處理對策」、「強化土地超限使用查報取締」、「優化土地使用管理法規」。

八、提升基層防災力量

策略八為透過教育深化及社會資源參與，提升個人、社區、企業、地方政府及中央機關之防災能量，此項策略規劃四項措施為「防災社會教育及企業參與推動」、「強化土砂災害資訊發布平台」、「強化地方政府防災作業能量」、「水保從業人員培訓及深化」。

綜上所述，將土砂論壇策略及措施修正歷程相關內容如表 5-2。

表 5-2 土砂論壇策略及措施修正歷程彙整表 (1)

8+1 大策略 (107.08.15 修正)	措施 (107.08.14 修正)	措施 (107.08.15 修正)
一、坡地管理 專責與協作	1.1 坡地管理專責任務評估 規劃	1.1 坡地管理專責任務評估規劃
	1.2 建立水庫集水區土砂管理 與治理分工機制與協商平台	1.2 建立水庫集水區土砂管理分 工機制與協商平台
	1.3 土砂管理與治理相關法 規盤點與檢討更新	1.3 坡地管理法規檢討更新
		1.4 成立技術研發單位
二、國家級地 圈資訊建置與 整合	2.1 土圈坡地環境資料盤點 與整合規劃	2.1 地圈環境既有資料盤點與整 合
	2.2 國家級土圈坡地環境資 料庫建置	2.2 地圈環境資料庫建置
	2.3 既有坡地環境資料格式 轉換與標準化	2.3 地圈環境資料定期調查與更 新
	2.4 全國坡地環境資料定期 調查與更新(全國光達掃描、 地質、礦產)	2.4 地圈光達地形掃描更新
三、全方位地 圈監測物聯網 建置	3.1 多元監測與傳輸科技發 展與整合	3.1 多元監測與傳輸科技發展與 整合
	3.2 國家級土砂監測示範區 規劃與建置	3.2 國家級土砂監測示範區規劃 與建置
	3.3 新型土砂監測技術產業 化推動	3.3 新型土砂監測技術產業化推 動
四、整合型地 圈警戒技術研 發	4.1 土砂情境分析技術開發 與精進	4.1 土砂情境分析技術開發與精 進
	4.2 整合型土砂應變管理模 式發展	4.2 整合型土砂應變管理模式發 展

表 5-2 土砂論壇策略及措施修正歷程彙整表 (2)

五、地圖決策智慧雲建置	5.1 建立土砂資訊智慧管理決策平台	5.1 建立土砂資訊智慧管理決策平台
	5.2 資料庫與模式庫雙向回饋機制建立	5.2 資料庫與模式庫雙向回饋機制建立
	5.3 大數據人工智慧決策輔助技術研擬與應用	5.3 大數據人工智慧決策輔助技術研擬與應用
六、創新型保育治理技術開發	6.1 環境友善工法推動與工程智慧管理	6.1 環境友善工法推動與工程智慧管理
	6.2 動態土砂調整技術與工法研發與應用	6.2 動態土砂調整技術與工法研發與應用
	6.3 既有設施活化與增值利用	6.3 設施擴展與增值利用
		6.4 民眾參與機制推動
+1、坡地防災及維生通道管理	6.4 坡地防災維生通道建構與維護	+1.1 坡地防災維生通道建構與維護
七、國土永續利用與管理	7.1 環境敏感區調查與劃設	7.1 環境敏感區調查與劃設
	7.2 環境風險量化與分級評估	7.2 環境風險量化與分級評估
	7.3 坡地聚落風險評估與處理對策	7.3 坡地聚落風險評估與處理對策
	7.4 強化土地超限使用查報取締	7.4 強化土地超限使用查報取締
	7.5 優化土地使用管理法規	7.5 優化土地使用管理法規
八、提升基層防災力量	8.1 民眾參與機制研究及案例彙編	8.1 防災社會教育及企業參與推動
	8.2 強化土砂災害資訊發布平台	8.2 強化土砂災害資訊發布平台
	8.3 強化地方政府防災作業能量	8.3 強化地方政府防災作業能量
		8.4 水保從業人員培訓及深化

第二節 小結

透過「土砂論壇」之預備會議及正式會議，由此會議之意見交流與討論得出三大議題分述如下：山河共治-集水區土砂收支與管理，掌握先機-坡地監測與資訊智慧管理平台，永續利用-氣候變遷下水土保持總合調適策略。

本研究團隊與水土保持局同仁以工作會議方式凝聚共識，經剖析、討論、修正討論事項，共同規劃後提出未來可能發展議題項目，其具體成果包括：(一)落實集水區土砂智慧管理，結合出流管制逕流分擔機制，以達成長期土砂收支平衡之目標；(二)透過提昇組職內外各部門間橫向聯繫及縱向連結，建構大規模災害防減災體系；(三)善用新興監測科技與技術，健全全國性坡地土砂災害防災策略，完成整合型坡地土砂災害警戒機制。以下就此三項研擬議題進行說明，供後續水土保持局做為土砂防災研究發展議題參考。

一、落實集水區土砂智慧管理，結合出流管制逕流分擔機制，以達成長期土砂收支平衡之目標：

(一)回歸到集水區尺度之土砂管理，以劇烈土砂變動集水區為對象落實集水區土砂智慧管理，綜觀考量整體土砂生產、運移及堆積之時間及空間特性，結合出流管制逕流分擔機制，並透過各級政府之策

略整合及協作平台，以達成土砂長期收支平衡之目標。

(二)精進土砂收支調查及分析技術，完整規劃全國河川及水庫集水區土砂收支管理，實現土砂災害防減、河道變遷平衡及確保重要公共設施有效運作。

二、透過提昇組織內外各部門間橫向聯繫及縱向連結，建構大規模災害防減災體系：

(一)公私協力已是未來趨勢，政府部門應跨域整合防災相關資源，補助地方政府強化防災體系與訓練，以高風險地區優先辦理，導入風險管理概念，加入風險潛勢分級，並融入專業團隊協助縣市政府執行，民眾參與防災操演與實際討論。

(二)透過政府組織再造，整合土圈、災害防救相關機關任務，強化坡地災害專責機關任務，適時增加地方政府及各相關機關人力，以規劃及執行集水區管理與治理綱要計畫，並寬籌經費落實辦理。同時，應跨域整合防災相關公私部門資源，促進企業參與防災與防災教育之落實，以提昇全民自主防災行動力。

三、善用新興監測科技與技術，健全全國性坡地土砂災害防災策略，完成整合型坡地土砂災害警戒機制：

(一)善用新興監測科技與技術，並透過開放資料及共享機制，奠

基於土石流防災警戒基礎上，擴大結合崩塌及其他坡地土砂災害警戒方式，如崩塌潛勢區影響劃設、崩塌警戒值研擬與檢討及潛勢區的活動性評估等，健全全國性坡地土砂災害防災策略並完成整合型坡地土砂災害警戒機制。

(二)積極支持基礎研究，透過物聯網等新一代通訊技術克服山區傳輸與通訊不易等問題，打造流域坡地水文土砂觀測網；並藉由穩定且長期之監測資料，整合大數據分析及人工智慧等資訊技術，建立防災智慧雲與本土化應用公式、模式庫與規範。

第六章 結論與建議

第一節 結論

依據本年度工作計畫項目執行成果綜整如下：

一、水土保持技術研究發展規劃與建議

為建立水土保持相關業務之中長期發展策略規劃及各業務組分工執行方式，本研究團隊協助邀請各業務組(中心)以工作坊的方式共同討論，聚焦出各組核心業務及核心產出，以利各組擬訂推動之策略進行整合，並依據會議結果彙整近期規劃發展的業務項目，以及各業務組規劃之執行路徑圖。

面臨氣候變遷及大規模土砂災害之高度不確定性及災害風險，為提升防災技術發展與應變能力，以保持各部門間之協調性與專業職能來面對嚴峻挑戰。本研究團隊建議水土保持局應透過前瞻與宏觀的思考、基礎職能教育訓練的落實、創新能力及技術研發的精進強化、內外部技術資源交流與整合等多面向之整體策略規劃，完善水土保持局技術研究發展網絡，以因應現在與未來的挑戰，突顯水土保持局之價值；並期透過系統性的長期規劃與執行，採滾動式檢討及跨域合作，以提昇各部門間橫向聯繫及縱向連結，朝向建構「寧適多樣環境生態」、「全民和諧福祉社會」、「適應氣候風險調適」的國家永續發展願景中，

提供重要貢獻。

二、歷年完成之防災技術與研究成果盤點

本研究檢視水土保持局歷年委辦與研究案件成果，對於基礎資料，建立相關基礎資料標準化規範與格式，並以資料彙整與資源共享為目標，將值得增值應用與可持續發展技術之重要原始資料項目，提出後續應用方向。本研究共收集自 97 年度至 106 年度共 1545 件委辦及研究案件成果，並依 30 項細部關鍵項目進行盤點作業並提出下列建議：

(一)定期召開基礎資料發展工作坊 (資料彙整與檢索)

未來盤點工作建議水土保持局各業務單位可以「基礎資料標準與格式工作坊」形式討論各項基礎資料名稱之率定及資料格式之標準化，以作為未來計畫案例執行之成果產出標準化與資料格式依據。除新技術導入產製之新格式資料產出外，建議水土保持局定期召開工作坊進行基礎資料定義、名稱率定及格式標準化，推動資料彙整與檢索。

(二)建立水土保持局技術研究基礎資料管理平台 (資源整合與共享)

透過盤點資料發現水保局歷年來的計畫成果豐碩，各計畫產出成果依資料格式大致分為：向量資料、系統平台、空間影像、監測資料、圖書資料等五大類。而在眾多產出成果中，大致可以將上述五類資料

格式，依計畫性質將計畫產出成果分類為：空間資訊類、集水區相關資料類、現場資料類、數值模式與統計回歸公式、資料加值應用類(系統平台)、教育訓育與出版品等六大類，為能有效儲存、管理、查詢、應用，建議水土保持局後續可建立技術研究基礎資料管理平台，俾能有效將基礎資料依時間、屬性、空間方式進行管理，推動資源整合與共享。

(三)規劃計畫招標採購說明預期成果清單 (專案控管)

建議水土保持局於各項計畫公開招標之後，可依照水土保持技術研究發展基礎資料項目，規劃設計各項計畫預期產出成果清單，可將各項產出成果，依照基礎資料定義及格式進行標準化，將有助於承辦人員於期初、期中、期末之檢核單進行計畫專案控管。此外，執行團隊應在計畫期初期間依據水土保持局提供預期產出成果清單，進行計畫應產製資料清單，提供承辦同仁參考，於計畫執行期間進行增刪或修正，有助於計畫成果之檢核及資料品質控管。

(四)定期檢視成果資料統整，發掘計畫成果可加值用途 (加值應用)

建議透過滾動式檢討，調整水土保持局中、長期規劃，並藉由歷年計畫成果能發掘其新的議題與重要參考資料，如監測資料與調查資

料的大數據分析，特殊技術重新檢視及發展，定期的盤點與檢討的過程，將可使歷來的成果與產出，轉化為有效的資料，進而形成知識，並透過更多的討論與加值形成機關與單位的智慧。

三、土砂災害模擬相關模式測試與分析

(一)坡地降雨致災熱區警戒模式

1. 國內外現行實際應用之土砂災害警戒模式，仍多以雨量為主要指標，未將地質、地形等地文條件同步納入警戒分析研判流程，致警戒之誤報率往往偏高。

2. 本研究提出降雨致災熱區警戒模式，係採降雨危害度及地文脆弱度雙指標之方式建立降雨期間各 QPE 網格範圍內之降雨致災風險等級。透過不同顏色的呈現，可以視覺化方式完整提供各地區之致災風險，有利於防災業務人員掌握全盤狀況。

3. 經由 2005~2017 年實際之降雨事件驗證結果，本研究所提出之降雨致災熱區警戒模式確實可在時間域及空間域上有效預測崩塌可能發生之時間及空間分布，未來有潛力成為廣域型之複合型土砂災害警戒模式。

(二)南投縣鹿谷鄉東蚋埔溪堰塞湖潰壩模擬

1. 本研究發現當天然壩潰決型態為溢頂破壞時，潰壩延時越短，

所造成之潰決尖峰流量越大。但當潰決型態為管湧破壞時，潰壩延時越長，其所造成之潰決尖峰流量較溢頂破壞為大。

2. 應用 HEC-RAS 2D 模擬，在分析溢頂破壞案例下，堰流係數的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度在 0.6% ~ 1.4% 之間，潰壩延時的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度在 41.7% ~ 49.0% 之間。

3. 應用 HEC-RAS 2D 模擬，在分析管湧破壞案例下，堰流係數的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度在 13.1% ~ 17.3% 之間，潰壩延時的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度在 9.8% ~ 22.9% 之間。

4. 兩種破壞案例分析之結果顯示，以潰壩延時係數變動時，對於潰決尖峰流量的敏感性大於堰流係數之結果，進一步分析比較，則是溢頂破壞的潰決尖峰流量更大，其變動幅度最大可達 49.0%。

(三) 視覺化整合式降雨入滲促崩模擬(IRIS 模式)

1. IRIS 模式採用 2011 年內政部拍攝之 1m 網格數值高程模型 (DEM) 建立邊坡幾何地形模型，並以 2017 年水土保持局進行無人載具(Unmanned Aerial Vehicle)調查所得之數值地表模型(DSM)作為崩塌後之滑動面，再輸入歷史雨量資料進行降雨入滲邊坡穩定分析。驗證方法其一為預測最小安全係數之滑動面與災後 DSM 進行比較，其

二為崩塌發生時間。

2. 由 72 組模型中挑選出安全係數小於 1，並濾除崩塌發生時間為 0 之組數進行參數分析，結果顯示 IRIS 數值模擬於安全係數小於 1 時，即停止模擬，造成此模式不能模擬二次崩塌，或是多次崩塌的情況，因此，上邊坡崩塌模擬的結果高於現地崩塌地形。

3. IRIS 模式可以有效模擬崩塌時間及臨界滑動面位置，其相較於現行商業軟體，IRIS 模式計算快速並兼具降雨入滲與邊坡穩定耦合分析能力。而此視覺化程式除能降低 IRIS 模式使用與推廣的門檻外，亦能作為相關教學課程輔助之利器。

第二節 研究成果發表

本計畫為三年期(105-107 年度)之連續型計畫案，三年計畫執行期間研究成果論文發表共計 27 篇，期刊論文總計產出兩篇，水保領域研討會計 18 篇，跨領域研討會計 7 篇，其中屬於國際研討會計 3 篇。

105 年度完成兩篇研討會論文，並發表於 105 年度水土保持學術研討會，分別為：「崩塌災後緊急判識與土砂量估算-以莫蘭蒂颱風造成台東紅葉事件為例」、「使用 QPESUMS 雨量資料建立坡地災害降雨警戒模式」，如表 6-1 所示。

106 年度已完成兩篇期刊論文，分別為「Feng-Chi Huang, Yi-Hsuan Lee, Jiun-Ting Lin, Kuo-Wei Chen, Chen-Yu Chen, Kuo-Lung Wang, (2017). The Case Study for Evaluation of Landslides Volume and Moving Paths of Single Falling Rock. , Geotechnical Hazard Mitigations, 263-272」以及「陳振宇、劉維則、許家祥 (2017)，使用 QPESUMS 雨量資料建立坡地災害降雨警戒模式，中華水土保持學報，48(1)，44-55」(本篇榮獲 106 年度論文獎)，另已完成 6 篇研討會論文，並發表於 106 年 12 月 2 日 2017 水土保持學術研討會暨論文宣讀會議，分別為：「應用無人載具進行崩塌地快速調查與土砂量推估-以國姓鄉武玄宮崩塌為例」、「地工織物應用於坡面抗沖蝕之效益評估」、「以 IRIS 模式模

擬降雨入滲作用下之邊坡穩定分析-以紅葉村崩塌為例」、「HEC-RAS 於堰塞湖潰壩模擬之應用-以鹿谷小半天崩塌為例」、「改善多階加勁擋土結構受降雨入滲破壞之可行性分析」與「山區降雨災害熱區警戒模式初探」等 6 篇；國際研討會論文分別為：「5th GEDMAR - The Case Study for Evaluation of Landslides Volume and Moving Paths of Single Falling Rock」；另有 3 篇發表於 105 年度水土保持成果發表會，分別為：「臺灣與日本坡地防災相關法令之探討」、「崩塌災後地形判釋與土砂量估算-以莫蘭蒂颱風造成臺東紅葉事件為例」、「初探國內外防救災體系與全災害管理」，如表 6-2 所示。

107 年度已完成 2 篇國際研討會論文分別為：「ICSE 2018-A Case Study for Evaluation of Landslide Volume and Two-Dimensional Slope Stability Numerical Simulation Subject to Rainfall Infiltration.」、「砂防学会研究発表 - Proceeding Annual Meeting of Japan Society of Erosion Control Engineering-Simulation of Large-Scale Shallow Landslide Triggered by Heavy Rainfall using IRIS Model」；水保領域研討會 7 篇分別為：「坡地虛擬實境訓練平台開發」、「以新生崩塌面積探討降雨致災風險矩陣之可行性」、「南投小半天堰塞湖潰決評估」、「1996 年賀伯颱風陳有蘭溪流域災區復原現況調查」、「堰塞湖潰壩影響評估-以日本北海道地震為例」、「視覺化整合式降雨入滲崩塌模擬(IRIS)模式開發」、「淺談水土保持中之環境友善措施及工法」；跨領域研討會 4

篇分別為：「107 年天氣分析與預報研討會-坡地降雨致災熱區警戒模式初探」、「2018 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會-沉浸式訓練平台開發於坡地災害虛擬實境空間之應用」、「2018 森林集水區經營研討會-一維與二維水理整合模式應用於堰塞湖潰壩模擬初探」、「中華民國地質學會與中華民國地球物理學會 107 年年會暨學術研討會-以多時序無人機空中偵察評估崩塌地二次災害潛勢」，共計 13 篇論文發表，如表 6-3 所示且摘錄於附錄一。

表 6-1 研究成果-2016 論文發表

年度	類型	篇名	作者	期刊/會議名稱
2016	研討會	崩塌災後緊急判識與土砂量估算-以莫蘭蒂颱風造成台東紅葉事件為例	黃奉琦、李苡宣、劉維則、陳國威、莊志展	105 年度水土保持學術研討會
2016	研討會	使用 QPESUMS 雨量資料建立坡地災害降雨警戒模式	陳振宇、劉維則、莊志展、陳國威	105 年度水土保持學術研討會

表 6-2 研究成果-2017 論文發表

年度	類型	篇名	作者	期刊/會議名稱
2017	研討會	HEC-RAS 於堰塞湖潰壩模擬之應用-以鹿谷小半天崩塌為例	吳振佑、嚴曉嘉、吳宜青、陳振宇	106 年度水土保持學術研討會
2017	研討會	以 IRIS 模式模擬降雨入滲作用下之邊坡穩定分析-以紅葉村崩塌為例	吳軒蘋、陳振宇、陳均維、陳國威	106 年度水土保持學術研討會
2017	研討會	山區降雨災害熱區預警模式初探	陳振宇、吳軒蘋、陳國威、吳振佑	106 年度水土保持學術研討會
2017	研討會	應用無人載具進行崩塌地快速調查與土砂量推估-以國姓鄉武玄宮崩塌為例	劉維則、黃奉琦、嚴曉嘉、吳宜青	106 年度水土保持學術研討會
2017	研討會	地工織物應用於坡面抗沖蝕之效益評估	黃奉琦、陳國威、劉維則、嚴曉嘉	106 年度水土保持學術研討會

2017	研討會	改善多階加勁擋土結構受降雨入滲破壞之可行性分析	陳均維、楊國鑫、黃奉琦	106 年度水土保持學術研討會
2017	期刊	The Case Study for Evaluation of Landslides Volume and Moving Paths of Single Falling Rock	Feng-Chi Huang, Yi-Hsuan Lee, Jiun-Ting Lin, Kuo-Wei Chen, Chen-Yu Chen, Kuo-Lung Wang	Geotechnical Hazard Mitigations (由 5th GEDMAR 轉刊期刊)
2017	研討會	臺灣與日本坡地防災相關法令之探討	陳國威、陳振宇、莊志展、黃奉琦、劉維則、李苡宣	105 年度水土保持成果發表會
2017	研討會	崩塌災後地形判釋與土砂量估算-以莫蘭蒂颱風造成臺東紅葉事件為例	黃奉琦、李苡宣、劉維則、林俊廷、陳國威、陳振宇	105 年度水土保持成果發表會
2017	研討會	初探國內外防救災體系與全災害管理	李苡宣、陳振宇	105 年度水土保持成果發表會
2017	期刊	使用 QPESUMS 雨量資料建立崩塌災害預警模式【106 年度論文獎】	陳振宇、劉維則、許家祥	中華水土保持學報, 48(1): 44-55 (2017)

表 6-3 研究成果-2018 論文發表

年度	類型	篇名	作者	期刊/會議名稱
2018	研討會	坡地虛擬實境訓練平台開發	劉維則、陳振宇、陳均維、吳振佑	107 年度水土保持學術研討會
2018	研討會	以新生崩塌面積探討降雨致災風險矩陣之可行性	陳均維、陳振宇、劉維則	107 年度水土保持學術研討會
2018	研討會	南投小半天堰塞湖潰決評估	林家興、吳振佑、劉維則、陳國威、陳振宇	107 年度水土保持學術研討會
2018	研討會	1996 年賀伯颱風陳有蘭溪流域災區復原現況調查	林詠喬、陳振宇、陳均維、劉維則、吳振佑	107 年度水土保持學術研討會
2018	研討會	堰塞湖潰壩影響評估-以日本北海道地震為例	吳振佑、林家興、陳國威	107 年度水土保持學術研討會
2018	研討會	視覺化整合式降雨入滲促崩模擬(IRIS)模式開發	陳振宇、陳均維、黃健倫、黃奉琦	107 年度水土保持學術研討會
2018	研討會	淺談水土保持中之環境友善措施及工法	黃奉琦、陳國威	107 年度水土保持學術研討會
2018	研討會	A Case Study for Evaluation of Landslide Volume and Two-Dimensional Slope Stability Numerical Simulation Subject to Rainfall Infiltration	Jyun-Wei Chen, Feng-Chi Huang, Hsuan-Pin Wu, Wei-Ze Liou, Chen-Yu Chen	The 9th International Conference on Scour and Erosion
2018	研討會	坡地降雨致災熱區警戒模式初探	陳振宇、陳均維、陳國威、劉維則	天氣分析與預報研討會

2018	研討會	沉浸式訓練平台開發於坡地災害虛擬實境空間之應用	劉維則、陳振宇、嚴曉嘉、林家興	2018 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會
2018	研討會	一維與二維水理整合模式應用於堰塞湖潰壩模擬初探	吳振佑、林家興、陳振宇、嚴曉嘉	2018 森林集水區經營研討會
2018	研討會	Simulation of Large-Scale Shallow Landslide Triggered by Heavy Rainfall using IRIS Model	Chen-Yu Chen, Hsuan-Pin Wu, Jyun-Wei Chen, Kuo-Wei Chen	2018 日本砂防學會研究發表會
2018	研討會	以多時序無人機空拍偵查評估崩塌地二次災害潛勢	黃奉琦、李苡宣、林俊廷、劉維則、陳振宇、王國隆	中華民國地質學會與中華民國地球物理學會 107 年年會暨學術研討會

第三節 建議

技術研究發展規劃係一前瞻、長期持續的工作，除須以宏觀視野及思維進行擘劃，亦需時時檢視國內外最新發展趨勢，並持續滾動檢討調整，後續相關建議如下：

一、水土保持技術研究發展規劃

(一)水土保持局委託辦理及技術研究短中長期建議推動項目

水保局技術研究發展小組前於 105 年「水土保持技術研究發展規劃與建議」報告中已提出包含「策略與機制推動、工程技術發展、軟體防災對策、管理與法規研析、基礎調查、基礎研究」等六大面向，共 24 項策略要 902 項具體措施，並於本年度召集「水土保持發展策略規劃推動工作坊」凝聚全局共識，建議後續可持續配合預算、規劃時程，完善水土保持局技術研究發展網絡。

(二)長期基礎研究

建議從政策及資源等面向主導並支持長期基礎研究，強化人才培訓並建立本土模式，可透過專家會議討論後，擬訂核心研究項目，進行長期的研究補助計畫。

(三)建立計畫成果應用及回饋檢核機制

建議強化委辦計畫成果管理檢核機制，進而深化計畫成果應用，

透過檢查機制串聯局內相關計畫，增加委辦計畫成果之廣度、深度，並逐步提昇國內水土保持技術研究發展。

(四)、建立歷年計畫成果資料公開平台

開放資料是數位政府計畫核心政策。水土保持局歷年辦理委辦計畫成果豐碩，建議未來應朝向建立開放平台且分階段逐年開放，例如虛實整合電子圖書資料庫，並逐步朝向除機敏資料外，全面開放之目標邁進。

二、土砂防災研究發展議題研擬

透過「土砂論壇」之預備會議、正式會議及後續相關意見交流與討論得出三大議題分述如下：山河共治-集水區土砂收支與管理，掌握先機-坡地監測與資訊智慧管理平台，永續利用-氣候變遷下水土保持總合調適策略。本研究團隊提出後續議題項目：(一)落實集水區土砂智慧管理，結合出流管制與逕流分擔機制，以達成長期土砂收支平衡之目標；(二)透過提昇組職內部各部門間橫向聯繫及縱向連結，建構大規模災害防減災體系；(三)善用新興監測科技與技術，健全全國性坡地土砂災害防災策略，完成整合型坡地土砂災害警戒機制。

三、歷年委辦案件成果可延續性建議

本次盤點工作重點係以盤點項目之資料整合與資源共享為主要

目標，期能達成調查資料資料延續性與格式一致性等，避免不同時期間調查資料格式不相容；俾能達到資源整合效益、資料彙整與檢索、後續成果檢核與發展延續性，供水土保持局執行案件管理與控管之依據。

然在歷年盤點資料亦顯示出目前水土保持局在資料管理與維護上所遭遇之問題如下：

1.各項圖資料資料未能有效管理與分類，導致各計畫產出成果，受限於資料格式與準標不一，後續維護及資料彙整不易。

2.各項觀測站之觀測與調查資料成果分散至各平台，不易有效分類管理與整合，再者，部份架設之觀測站於該執行計畫結束後，即失去觀測站維護，形成無持續觀測資料之蒐集，對於長時間監測災區作災情研判及治理成效無法有快速找到過去監測歷程及資料變化。

3.不同現場資料項目，例如生態調查、構造物調查等，分散於各計畫成果中，但未有專門集中管理之平台，將造成寶貴專家現場勘查資料失散，後續無法資源彙整與共享。

4.目前水土保持局委辦及創新研究計畫多元，引進許多新型態之研究工具及技術導入計畫中，其產出成果皆屬新創資料格式，應針對此類新型態之特殊技術與產出成果，對其是否納入基礎資料及延續發展可行性進行討論。

本年度累積歷年盤點成果，根據上述四項資料管理與維護所發現的問題，提出以下建議：

1.為將各項圖資等紀錄有效整理及儲存，以避免重複施作，建議進行基礎資料定義及格式規範標準化，並將各項基礎資料能以時間、空間等方式管理與應用。

2.各項監測站之調查資料除能整合至目前監測站查詢平台，除單純的點位資料外，也應將不同時期之資料收錄其中，所以當進行災害相關調查時，將能更快找到過去的監測資料及資料變化歷程。並因應未來計畫導入新型監測儀器產製成果，建議水土保持局建立對應各類型監測資料專門管理資料平台，以方便資料管理與維護。

3.各項不同類別的構造物調查、生態檢核表等成果，建議納入工程管考系統或是治山防災集思網中，以有效管理與應用。

4.針對特殊技術與值得進入倉儲系統的圖資，新型態之研究工具及技術，其產出成果新型態資料格式，應針對此類新型態之資料類其應用性、發展性來探討是否能在未來結合與使用。

5.各項資料未來如欲整合至相應之資料庫，於作業機制上，應整合於行政流程內，例如在完成成果上傳後，由資料庫(平台)出具上傳證明俾能作為驗收依據。

6.在資料整合上，應於上傳平台上建立資料檢核機制(或第三方檢

核機制)，以確保資料格式正確性及資料內含之完整性，出具上傳證明以作為驗收依據。

7.在操作便利性及合理性上，所有上傳的過程應統一在同一入口內，採一站式服務，除方便檢核流程是否有遺漏外，亦能降低使用者之不便。

參考文獻

1. 中華民國交通部（2009）。公路排水設計規範。臺北。
2. 內政部營建署（2017）。國土計畫法重要工作辦理情形〔簡報〕。
3. 日本国土交通省（2016）。i-Construction 營造現場的生產力革命。日本。
4. 水土保持局土石流防災資訊網(2017)，重大災害事件，
<https://246.swcb.gov.tw/V2016/Achievement/DisastersContent?EventID=529>
5. 行政院農委會水土保持局（2014）。水土保持技術規範。南投。
6. 行政院農委會水土保持局（2016）。105 年度大規模土砂災害
防災對策先期研究成果報告。南投。
7. 行政院農委會水土保持局（2016）。水土保持手冊 2017 年修
訂版。南投。
8. 行政院農委會水土保持局（2016）。重大土砂災害土壤參數
資料建置成果報告。南投。
9. 行政院農委會水土保持局（2016）。野溪工程構造物效能提
升計畫-以投嘉地區為例。南投。

10. 行政院農委會水土保持局（2017）。國內外水土保持技術與研究發展趨勢。南投。
11. 行政院農委會水土保持局臺東分局（2016）。臺東縣延平鄉紅葉村崩塌地災後治理調查規劃期中報告。臺東。
12. 行政院農業委員會水土保持局土石流防災資訊網
<https://246.swcb.gov.tw/>
13. 国土交通省水管理・国土保全局砂防部（2010）。大規模崩塌推測頻率地圖 <http://www.mlit.go.jp/common/000121614.pdf>
14. 国土交通省水管理・国土保全局砂防部（2010）。大規模崩塌遺跡密度地圖 <http://www.mlit.go.jp/common/000223656.pdf>
15. 国土交通省国土技術政策総合研究所（2014）。深層崩壊対策技術に関する基本的事項。日本。
16. 国土交通省国土技術政策総合研究所（2014）。深層崩壊対策技術に関する基本的事項。日本。
17. 岩手県農業研究センター環境部病理昆虫研究室
<http://www.jeinou.com/technology/2016/01/28/094000.html>
18. 林秉勳（2016）。國土計畫法之推動與展望〔簡報〕。內政部營建署。
19. 陳振宇、劉維則、許家祥（2017）。使用 QPESUMS 雨量資料建立崩塌災害預警模式。中華水土保持學報，48（1），

- 44-55。
20. 陳振宇、藤田正治、堤大三（2014）。基岩位置及土層特性對降雨逕流與大規模崩塌之影響。中華水土保持學報，45（4），243-256。
21. 陳錕山（2009）。衛星遙測台灣地區土壤含水量與降雨量之研究。中央氣象局。
22. 堤大三、藤田正治、林雄二郎（2007）。2005 年台風 14 号により大分県竹田市で発生した斜面崩壊に関する数値シミュレーション。水工学論文集，51，931-936。(Tsutsumi, D., Fujita, M., and Hayashi, Y. (2007). “Numerical simulation on a landslide due to Typhoon 0514 in Taketa city, Oita prefecture.” Proceedings of hydraulic engineering, 51. 931-936. (in Japanese))
23. 經濟部（2015）。活動斷層地質敏感區劃定計畫書-F0009 鹿野斷層。臺北。
24. 經濟部中央地質調查所（2008）。五萬分之一臺灣區域地質圖臺東、知本圖幅及說明書。新北。
25. 經濟部中央地質調查所網頁（2016）。地質資料整合資訊 <http://gis.moeacgs.gov.tw/>
26. 經濟部水利署水利規劃試驗所（2007~2009）。美國國家計

算水科學及工程中心河道變遷模式之引進及應用研究

(1/3)~(3/3)。南投。

27. 經濟部水利署水利規劃試驗所

<https://www.wrap.gov.tw/index.aspx>

28. Baker, R. (1980). "Determination of the critical slip surface in slope stability computations." International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 4(4), 333-359.
29. Brunner, G. (2014). "Using HEC-RAS for Dam Break Studies."
30. Capart, H., Hsu Jammie, P. C., Lai Steven, Y. J., and Hsieh, M. L. (2010). "Formation and decay of a tributary-dammed lake, Laonong River, Taiwan." Water Resour Res, 46(11).
31. Chen, K. T., Tsang, Y. C., Kuo, Y. S., Lu, M. H., and Shieh, C. L. (2010). "Case Analysis of Landslide Dam Formation by Typhoon Morakot." Journal of the Taiwan Disaster Prevention Society, 2(1), 43-50. (In Chinese)
32. Chen, K.-T., Lin, C.-H., chen, X.-Q., Hu, G.-S., Guo, X.-J., and Shieh, C.-L. (2018). "An Assessment Method for Debris Flow Dam Formation in Taiwan." 2018, 22(1), 7.
33. Chen, S. C. (1999). "Failure mechanism and disaster mitigation on landslide-dammed lakes." Journal of Chinese Soil and Water Conservation, 30(4), 299-311. (In Chinese)
34. Chen, Y. S., Kuo, Y. S., Lai, W. C., Tsai, Y. J., Lee, S. P., Chen, K. T., and Shieh, C. L. (2011). "Reflection of typhoon morakot -

- the challenge of compound disaster simulation." J Mt Sci-Engl, 8(4), 571-581.
35. Costa, J. E., and Schuster, R. L. (1988). "The formation and failure of natural dams." Geol Soc Am Bull, 100(7), 1054-1068.
36. Dong, J.-J., Lai, P.-J., Chang, C.-P., Yang, S.-H., Yeh, K.-C., Liao, J.-J., and Pan, Y.-W. (2014). "Deriving landslide dam geometry from remote sensing images for the rapid assessment of critical parameters related to dam-breach hazards." Landslides, 11(1), 93-105.
37. Feng-Chi Huang, Yi-Hsuan Lee, Jiun-Ting Lin, Kuo-Wei Chen, Chen-Yu Chen, Kuo-Lung Wang. (2017). "The Case Study for Evaluation of Landslides Volume and Moving Paths of Single Falling Rock." 5th GEDMAR.
38. Gary, W. B., and CEIWR-HEC (2016). "HEC-RAS, River Analysis System, 2D Modeling User's Manual Version 5.0." US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center (HEC) 609 Second Street Davis, CA 95616-4687, 171.
39. Istok, J. (1989). Groundwater Modeling by the Finite Element Method, Washington DC, American Geophysical Union.
40. J. Hanson, G., R. Cook, K., and L. Hunt, S. (2005). "PHYSICAL MODELING OF OVERTOPPING EROSION AND BREACH FORMATION OF COHESIVE EMBANKMENTS." T Asae, 48(5), 1783.
41. Jung, C.-G., and Kim, S.-J. (2017). "Comparison of the Damaged

- Area Caused by an Agricultural Dam-Break Flood Wave Using HEC-RAS and UAV Surveying." *Agricultural Sciences*, 8(10), 1089-1104.
42. Kosugi, K.I. (1996). "Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties." *Water Resource Research*, 32(9), 2697-2703.
43. Kuo, Y. S., Tsai, Y. J., Chen, Y. S., Shieh, C. L., Miyamoto, K., and Itoh, T. (2013). "Movement of deep-seated rainfall-induced landslide at Hsiaolin Village during Typhoon Morakot." *Landslides*, 10(2), 191-202.
44. Kuo, Y.-S., Tsang, Y.-C., Chen, K.-T., and Shieh, C.-L. (2011). "Analysis of landslide dam geometries." *J Mt Sci-Engl*, 8(4), 544-550.
45. Lin, C. H., Shieh, C. L., and Tseng, C. M. "Water level simulation during Typhoon Morakot." *Proc., International symposium on sediment disasters under the influence of climate change and tectonic activity (2nd)*, The Japan Society of Erosion Control Engineering.
46. Lin, C. H., Shieh, C. L., Tseng, C. M., Tsai, Y. J., and Chen, Y. S. (2012). "Research on Water Level Simulation during Natural Dam Breach in Hsiaolin Village." *Journal of the Taiwan Disaster Prevention Society*, 4(1), 5-15. (In Chinese)
47. Marinos, P and Hoek, E. (2000). "GSI – A geologically friendly tool for rock mass strength estimation." *Proc.*

- GeoEng2000 Conference, Melbourne. 1422-1442.
48. Shieh, C. L., Wang, C. M., Chen, Y. S., Tsai, Y. J., and Tseng, W. H. (2010). "An Overview of Disasters Resulted from Typhoon Morakot in Taiwan." *Journal of Disaster Research*, 5(3), 236-244.
49. Shieh, C. L., Wang, C. M., Lai, W. C., Tseng, Y. C., and Lee, S. P. (2009). "The composite hazard resulted from Typhoon Morakot in Taiwan." *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, 62(4), 61-65.
50. Singh Vijay, P., and Scarlatos Panagiotis, D. (1988). "Analysis of Gradual Earth-Dam Failure." *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(1), 21-42.
51. Tsai, Y. J., Kuo, Y. S., Chen, Y. S., Shieh, C. L., and Miyamoto, K. "The landslide movement process at Shiao Lin Village during Typhoon Morakot." *Proc., International symposium on sediment disasters under the influence of cli-mate change and tectonic activity (2nd)* The Japan Society of Erosion Control Engineering.
52. Tsou, C.Y., Feng, Z.Y., and Chigira, M. (2011). "Catastrophic landslide induced by Typhoon Morakot, Shiaolin, Taiwan." *Geomorphology*, 127(3-4), 166-178.
53. Wahl Tony, L. (2004). "Uncertainty of Predictions of Embankment Dam Breach Parameters." *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(5), 389-397.
54. Wu, W. (2001). CCHE2D sediment transport model (version 2.1). Technical Rep. of National Center for Computational

- Hydroscience and Engineering NCCHE-TR-2001-03, Univ. of Mississippi.
55. Wu, W. and Wang, S. S. Y. (2004a). "Depth-averaged 2-D calculation of flow and sediment transport in curved channels," Int. J. Sediment Res., 19(4), 241 – 257.
56. Wu, W. and Wang, S. S. Y. (2004b). "Depth-averaged 2-D calculation of tidal flow, salinity and cohesive sediment transport in estuaries," Intl. J. Sediment Res., 19(3), 172 – 190.
57. Wu, W. and Wang, S.S.Y. (2003). "Selection and evaluation of nonuniform sediment transport formulas for river modeling." Proc. XXXth IAHR Congress, Thessaloniki, Greece.
58. Wu, W., Altinakar, M., Al-Riffai, M., Bergman, N., Bradford, S., Cao, Z., J. Chen, Q., G. Constantinescu, S., Duan, J., Gee, D., Greimann, B., Hanson, G., He, Z., Hegedus, P., Van Hoestenbergh, T., Huddleston, D., A. Hughes, S., Imran, J., Jia, Y., and Zhang, L. (2011). "Earthen Embankment Breaching." Journal of Hydraulic Engineering, 137(12), 1549-1564.
59. Wu, W., Shields, F. D., Jr., Bennett, S. J., and Wang, S. S. Y. (2005), "A depth-averaged 2-D model for flow, sediment transport and bed topography in curved channels with riparian vegetation, " Water Resources Research, AGU, 41, W03015.
60. Xiong, Y. (2011). "A Dam Break Analysis Using HEC-RAS." Journal of Water Resource and Protection, 3(6), 370-379.

61. Xu, Y., and Zhang, L. M. (2009). "Breaching Parameters for Earth and Rockfill Dams." J Geotech Geoenviron, 135(12), 1957-1970.
62. Yamagami, T., and Ueta, Y. (1986). "Noncircular slip surface analysis of the stability of slopes-An application of dynamic programming to the Janbu method." Landslides, 22(4), 8-16.
63. Zhang, L. M., Peng, M., and Xu, Y. (2010). "Assessing risks of breaching of earth dams and natural landslide dams." Proc. Indian Geotechnical Conference – 2010, GEOTrendz Macmillan Publishers India Ltd., IGS Mumbai Chapter & IIT Bombay, 81-92.
64. Zhang, Y., & Jia, Y. (2009). CCHE-MESH 2D Structured Mesh Generator Users Manual--version 3. x. NCCHE-TR-2009-01, University of Mississippi.

附錄

附錄一、107 年度對外發表成果

社團法人中華水土保持學會 107 年度年會議程



社團法人中華水土保持學會 107 年度年會議程

時間： 107 年 12 月 1 日(星期六)
 地點： 國立中興大學水土保持學系一館階梯教室
 主辦單位： 社團法人中華水土保持學會
 協辦單位： 行政院農業委員會水土保持局、臺北市政府工務局大地工程處、經濟部中央地質調查所、國立中興大學水土保持學系、國立屏東科技大學水土保持系、國立台灣大學生物環境系統工程學系、逢甲大學地理資訊系統研究中心、逢甲大學營建及防災研究中心、臺灣省水土保持技師公會、臺北市水土保持技師公會、中華民國水土保持技師公會全國聯合會、新北市水土保持技師公會、臺中市水土保持技師公會、高雄市水土保持技師公會、中興工程顧問社

時間	議題	主講人	主持人		
09:00-09:30	報到及分發資料				
09:30-09:40	開幕	社團法人中華水土保持學會段理事長錦浩			
09:40-10:10	107 年度褒獎活動頒獎		段理事長錦浩		
10:10-10:20	會務報告與討論		周常務監事天穎		
10:20-11:00	學術獎專題報告	葉昭憲教授	黃常務理事宏斌		
11:00-12:00	水土保持學系系友會		茶敘/交流		
12:10-13:20	午餐				
13:20-14:50	水土保持研討會(含 107 年度論文獎宣讀)				
	論文宣讀(一) 水土保持學系 一館一樓 階梯教室	論文宣讀(二) 水土保持學系 二館一樓 大二教室	論文宣讀(三) 水土保持學系 二館一樓 大三教室	論文宣讀(四) 水土保持學系 土石流防災中 心	學生論文競賽 水土保持學系 二館一樓 大四教室
	中興大學水土 保持學系 林昭遠 教授	台灣省水土保 持技師公會 陳智誠理事長	台中市水土保 持技師公會 王德鏞監 事	台北市水土保 持技師公會 魏迺雄理事長	張光宗 主任 陳建元 主任 許中立 教授 詹勳全 副教授 王咏潔 助理教授
14:50-15:10	茶敘/交流				
15:10-16:40	論文宣讀(一) 水土保持學系 一館一樓 階梯教室	論文宣讀(二) 水土保持學系 二館一樓 大二教室	論文宣讀(三) 水土保持學系 二館一樓 大三教室	論文宣讀(四) 水土保持學系 土石流防災中 心	
	逢甲大學水利 工程與資源保 育學系 連惠邦 教授	中華民國水土 保持技師公會 全國聯合會 郭玉麟理事長	嘉義大學土木 及水資源工程 學系 陳建元 主任	屏東科技大學 水土保持系 陳天健 主任	
16:40-16:50	摸彩			王監事德鏞、黃技師志彰	
16:50-17:00	閉幕式			周常務監事天穎	

坡地虛擬實境訓練平台開發

劉維則^{[1][2]} 陳振宇^{[1]*} 陳均維^[1] 吳振佑^[1]

摘 要 為重現重大土砂災區現場，讓災害現場可視化，本研究透過無人載具(Unmanned aerial vehicle, UAV)拍攝成果，以 3D 實景建模方式建置坡地三維空間模型，並於實景模型中匯入歷年調查規劃成果圖資資料，建置坡地虛擬實境空間展示及沉浸式訓練平台。虛擬實境(Virtual reality, VR)技術藉由高重疊方式拍攝航拍影像，使用三維建模軟體 ContextCapture 處理連續高解析度航拍影像，將其資訊重建為三維模型，並透過 Unity 進行 VR 虛擬實境環境開發。VR 是近年快速興起的新領域，透過訓練模式的開發可作為新進工程師專業能力輔助訓練平台，讓使用者毋需親臨現場也能瞭解現場狀況。此外，本研究開發成果並可讓多名使用者於 VR 虛擬空間中討論災害緊急處理方案或工程配置，跨越空間限制，提升防減災工作效能。

關鍵詞：無人載具、虛擬實境、三維建模。

1. Development of Training Platform about Slopeland by Using Virtual Reality

Wei-Ze Liou^{[1][2]} Chen-Yu Chen^[1] Jyun-Wei Chen^[1] Chen-Yu Wu^[1]

ABSTRACT In order to demonstrate and visualize the sites of serious sediment-related disasters, this study created 3D spatial model of slopelands by using aerial photos which were taken by Unmanned Aerial Vehicle (UAV). Additionally, previous investigating projects and images were merged into the visualizing models to establish the spaces of slopeland in virtual reality (VR) and immersive platforms for training. VR technology utilized highly overlapped methods to take aerial photos, and processed aerial photos with continuously high-resolution images through 3D modeling software which was ContextCapture. The data was reproduced 3D models and developed VR environments by Unity. Recently, VR had become the most innovative fields. By developing the training mode, new engineers could understand real disaster sites through professionally training platforms without being sites in person. Furthermore, the results of this research not only allowed several users to discuss emergency response or construction plans but also could be handled without spatial barriers and even improved the efficiency of disaster prevention.

Key Words: Unmanned Aerial Vehicle, Virtual reality, 3D modeling.

[1] 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan

[2] 財團法人農業科技研究院

Research Assistant, Agricultural Technology Research Institute, Taiwan

* Corresponding Author. E-mail : cychen59@gmail.com



以新生崩塌面積探討降雨致災風險矩陣之可行性

陳均維^{[1]*} 陳振宇^[1] 劉維則^{[1][2]}

摘 要 近年來氣候變遷趨勢日趨明顯，世界各地天然災害頻仍。由於建立警戒系統並適時疏散災害潛勢區內之民眾，為降低天然災害導致人命傷亡的有效方式，故現今坡地災害警戒已成為極度受到關注之議題。過去許多研究指出，降雨導致之坡地災害與土壤含水量及地文與地質等條件有直接關聯，但現行坡地災害之警戒模式多僅使用雨量及其衍生參數等作為監測指標，較少考慮現地地文與地質變異性等因素。因此，本研究整合 QPE 雷達降雨網格資料與各網格範圍內歷年新生崩塌面積變化，採機率分布概念提出以新生崩塌面積統計為基礎的地質脆弱度指標，以及以有效累積雨量為基礎的坡地降雨致災熱區評估指標，並以網格方式建立二維降雨致災風險矩陣及其警戒發布機制。另外，本研究以 2005~2015 年之高雄市六龜區為案例，證明其本研究所提出之模式可有效發布警戒。

關鍵詞：新生崩塌面積、降雨致災風險矩陣、地質脆弱度指標、警戒模式、QPESUMS。

1. Feasibility of Disaster Risk Matrix Subject to Rainfall by the Area of Newborn Landslide

Jyun-Wei Chen^{[1]*} Chen-Yu Chen^[1] Wei-Ze Liou^[2]

ABSTRACT The number of disasters is increasing since the climate changes were much more obviously in recent years. However, the efficient way to decrease casualties due to natural disaster is establishing the warning systems which can evacuate people who lived in the potential area of disaster. Although many results show that the water content in soil is the main reason which induces the landslide subject to rainfall, lots of warning systems of landslide are only measuring rainfall without the factors of geography and geological conditions. Hence, this study integrates quantitative precipitation estimation (QPE) radar rainfall data and the area of historical newborn landslide into a 2-D disaster risk matrix subject to rainfall. In this matrix, the assessment index of disaster hot zone during rainfall and the geo-vulnerability indexes are assumed as consequence and likelihood separately. Furthermore, the geo-frangibility index is defined by statistics of the newborn landslide area based on probability distribution. However, this study selects the cases of Liouguei District during 2005-2015 to demonstrate. Moreover, the result shows that this risk matrix and its warning system can predict reasonably.

Key Words: Area of Newborn Landslide, disaster risk matrix subject to rainfall, geo- vulnerability index, warning system, QPESUMS

[3] 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan

[4] 財團法人農業科技研究院

Research Assistant, Agricultural Technology Research Institute, Taiwan

* Corresponding Author. E-mail : jwchen0217@mail.swcb.gov.tw



RTDI
技術研發小組
Research and Technology Development Team

以新生崩塌面積探討降雨致災風險矩陣之可行性

陳均維^[1] 陳振宇^[2] 劉維則^[1]

災害、地產、環境

[1] 国土局地產技術研發小組
[2] 財團法人地產科技研究院

1. 緒論

本研究整合QPE雷達降雨網格資料與各網格範圍內歷年新生崩塌面積變化，採機率分布概念提出以新生崩塌面積統計為基礎的地質脆弱度指標，並建立二維降雨致災風險矩陣。

5. 結論

本研究所產製之二維降雨致災風險矩陣，於2005~2016年高雄市六龜區網格之警戒值發布趨勢恰符合相關需求。惟驗證事件較少，建議後續仍需利用真實事件進行更嚴謹的驗證。

2. 危害度指標及脆弱度指標

2.1 降雨危害度指標

$$EAR_t = I_t + EAR_{t-1} \times (0.7)^{\frac{1}{24}} \quad (\text{陳振宇等, 2017})$$

- EAR_t 為目前有效累積雨量， EAR_{t-1} 為1小時前的有效累積雨量， I_t 為目前的時雨量
- 為簡化雨場分割問題，本研究取2005年7月至2017年7月每個月最大的EAR值作為該月雨場代表值，亦即每個QPE網格均有145個雨場。惟考量在台灣引致坡地災害之雨量一般多在150mm以上(水土保持局, 2017)，故本研究定義大於150mm之雨場方為具危害度之雨場
- 各QPE網格均先剔除小於150mm之雨場資料後，再參照RTI模式以韋伯法計算出 EAR_{10} 、 EAR_{90} 及 EAR_{95} 三個值，其中 EAR_{10} 代表該QPE網格歷年來僅有10%的具危害度之雨場小於此值。同時，本研究取 EAR_{10} 、 EAR_{90} 作線性內插，分別計算出 EAR_{30} 及 EAR_{60} 後，定義**降雨危害度指標(Rainfall hazard index)**

2.2 地質脆弱度指標

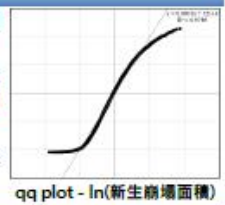
新生崩塌面積-切割計算

- 崩塌面積係使用林務局所進行判釋之結果
- 建立2005~2016年間，每一個QPE網格範圍內之每年新生崩塌面積
- 其中新生崩塌面積，係指「新生崩塌地」的部分(即圖中編號3,4部分)
- 本研究處理後所得之各每年度新生崩塌地面積如小於0.1公頃者，均視為無新生崩塌

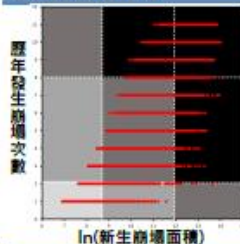
(陳俞旭, 2008)

新生崩塌面積-統計分析

- 本研究利用全島2005年~2014年間之新生崩塌面積進行統計分析
- 其中發現10年之新生崩塌面積呈現**對數常態分佈(Lognormal Distribution)**
- 因資料為對數常態分佈，故其 **$\ln(\text{新生崩塌面積})$** 即為常態分佈



地質脆弱度指標



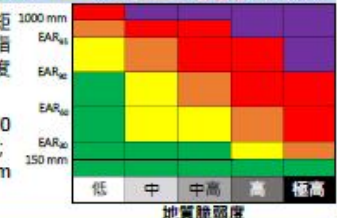
- 地質脆弱度分類係利用 **$\ln(\text{新生崩塌面積})$** 與**歷年發生崩塌次數(頻率)**進行±標準差之分類，其方法類似風險矩陣
- 共分為五種不同地質脆弱度，其中低脆弱度即為該網格未發生過崩塌事件

地質脆弱度				
低	中	中高	高	極高
10.296	1.877	1.090	5.280	2.513

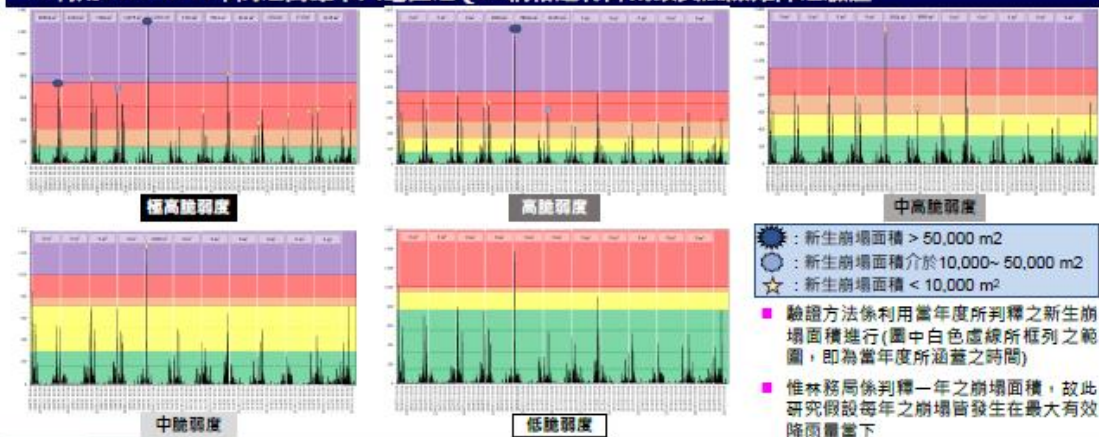
3. 二維降雨致災風險矩陣

降雨致災風險警戒值：低風險、中風險、中高风险、高風險與極高風險

- 二維降雨致災風險矩陣係由降雨危害度指標(EAR)及地質脆弱度指標所組成
- 其中定義若高於1,000 mm及提升一風險值；反之，若小於150 mm則降低一風險值。



4. 利用2005~2016年間之高雄市六龜區之QPE網格進行降雨致災風險矩陣之驗證



南投小半天堰塞湖潰決評估

林家興^{[1][2]*} 吳振佑^[1] 劉維則^{[1][2]} 陳國威^[1] 陳振宇^[1]

摘 要 天然壩堰塞湖主要受降雨事件或地震引發之崩塌土體堵塞河道而形成，而後受到上游來水來砂之影響，可能導致造成堰塞湖潰決，並造成中下游聚落及設施之毀損。為瞭解堰塞湖潰決所造成下游河道之洪水傳遞時間與規模，透過現地調查及數值模擬來重現歷史災害並進行災害影響範圍緊急評估，為防災應變上的重要工作。近年來新發展之 HEC-RAS 2D (Hydraulic Engineering Center River Analysis System two-dimensional hydrodynamic routing) 為二維變量流模擬模式，其包含潰壞機制之模組，可模擬溢流及管湧破壞(overtopping failure and pipping failure)，已被開始應用於天然壩潰壩之評估。本研究針對 2017 年 6 月 1 日發生於南投縣鹿谷鄉竹林村小半天瀑布下游邊坡崩塌形成之堰塞湖案潰決例進行分析，並利用 HEC-RAS 2D 模式進行不同潰壞機制之模擬分析，其成果可用於評估潰決洪水波對於下游聚落及基礎設施之影響，並提供相關管理單位於災情應對與避難決策上之輔助。

關鍵詞：堰塞湖、潰壞機制、洪水演算

1. A Case Study of the Landslide-induced Barrier Lake Breach Assessment in Nantou County

Chia-Hsing Lin^{[1][2]*} Chen-Yu Wu^[1] Wei-Ze Liou^{[1][2]} Kuo-Wei Chen^[1] Chen-Yu Chen^[1]

ABSTRACT The landslide-induced barrier lake was mostly triggered by the heavy rainfall or earthquake event. The barrier lake was influenced by the upstream discharge of water and sediment and caused dam breach and sediment disaster in the downstream area. To gain an understanding of the traveling time and scale of flooding wave of a barrier lake breach, the field investigation and numerical modeling were used to study breach assessment of the barrier lake. Hydraulic Engineering Center River Analysis System two-dimensional hydrodynamic routing was applied to simulate the breach processes of barrier lake. The HEC-RAS 2D model contains dam failure mode including overtopping failure and piping failure. This study model and analysis the landslide-induced barrier lake on 1 June 2017, in Nantou County. The HEC-RAS 2D is capable of assess the impact of flooding wave magnitude on a downstream area and provide the government officials to mitigation support and disaster assessments.

Key Words: Barrier lake, Dam failure mechanism, Flood routing

[5] 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan

[6] 財團法人農業科技研究院

Research Assistant, Agricultural Technology Research Institute, Taiwan

* Corresponding Author. E-mail : jasonslin@gmail.com



1. 結論

天然壩堰塞湖主要受降雨事件或地震引發之崩塌土體堵塞河道而形成，而後受到上游來水來砂之影響，可能導致造成堰塞湖潰決，並造成中下游聚落及設施之毀損。為瞭解堰塞湖潰決所造成下游河道之洪水傳遞時間與規模，透過現地調查及數值模擬來重現歷史災害並進行災害影響範圍緊急評估，為防災應變上的重要工作。近年來新發展之HEC-RAS 2D (Hydraulic Engineering Center River Analysis System two-dimensional hydrodynamic routing)為二維變量流模擬模式，其包含潰決機制之模組，可模擬溢流及管湧破壞(overtopping failure and pipping failure)，已被開始應用於天然壩潰決之評估。本研究針對2017年6月1日發生於南投縣鹿谷鄉竹林村小半天瀑布下游邊坡崩塌形成之堰塞湖潰決例進行分析，並利用HEC-RAS 2D模式進行不同潰決機制之模擬分析，其結果可用於評估潰決洪水波對於下游聚落及基礎設施之影響，並提供相關管理單位於災情應對與避難決策上之輔助。

2. 材料與方法

2.1 研究流程

HEC-RAS 2D模式之研究流程圖(圖1)，依序為現場資料及基本收集，再根據現地資料建立崩塌土體地形資料，並調整計算網格解析度。在數值網格模型建立完成後，由雨量資料計算降雨而進流資料，作為模式上游邊界入流條件。最後潰決情境設定，進行潰決洪水分析，藉由20組不同參數組合之分析結果(圖2)。



圖1 研究流程圖



圖2 潰決測試流程圖

研究區域：位於南投縣鹿谷鄉竹林村，在東埔納溪上游包含小半天瀑布上游及其下游至匯流前河道，即東埔納溪自小半天瀑布上游至下游約3.5公里。水文資料：上游入流量及堰塞湖蓄水高程體積曲線。根據中央氣象局鳳凰雨量站(COI090)記錄，總累積降雨量從2018年6月1日早上10點到2018年6月4日晚上8點為765 mm，其尖峰降雨強度為62 mm/hr (圖5)。本研究利用三角形單位歷線公式，進行估算此場降雨事件之流量歷線。



圖3 集水區及崩塌位置圖



圖4 河道模擬範圍圖

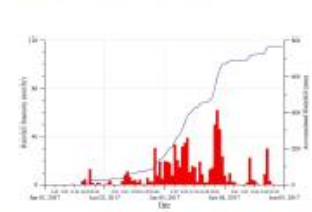


圖5 鳳凰雨量站(COI090) 2017/06/01至2017/06/04資料

地形資料：崩塌前及崩塌後之地形資料
崩塌前地形資料：2011年數值高程模型(Digital Elevation Model, 1 m*1 m)
崩塌後地形資料：無人載具飛行器(Unmanned Aerial Vehicle, UAV, 0.1 m*0.1 m)地形資料



圖6 UAV現場照片

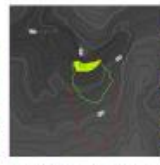


圖7 河道及崩塌地高程數值模型圖

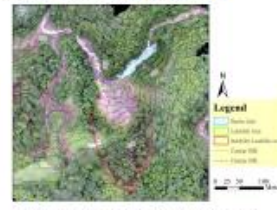
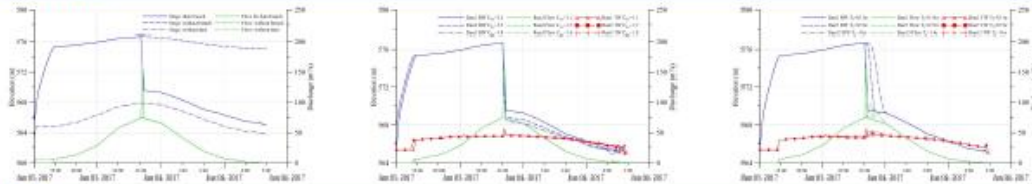


圖8 東埔納溪上游小半天堰塞湖崩塌位置

3. 成果與討論



4. 結論

1. 在分析溢頂破壞案例下，堰流係數的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度在0.6%~1.4%之間。
2. 在分析溢頂破壞案例下，潰決延時的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度在41.7%~49.0%之間。
3. 在本次分析管湧破壞下，堰流係數的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度在13.1%~17.3%之間。
4. 在本次分析管湧破壞下，潰決延時的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度在9.8%至22.9%之間。
5. 兩種破壞案例分析之結果顯示，以潰決延時係數變動時，對於潰決尖峰流量的敏感性大於堰流係數之結果。
6. 兩種破壞案例分析進一步比較，則是溢頂破壞的潰決尖峰流量更大，其變動幅度最大可達49.0%。

1996 年賀伯颱風陳有蘭流域災區復原現況調查

林詠喬^{[1][2]} 陳振宇^{[1]*} 陳均維^[1] 劉維則^{[1][2]} 吳振佑^[1]

摘 要 1996 年賀伯颱風重創南投陳有蘭流域，台 21 線新中橫公路沿線多處發生崩塌及土石流災害。為檢視相關復建工程現況，本研究透過現地勘查及 UAV 空拍，以相同視角比對歷史文獻及水土保持局歷史影像平台內 10 處重點災區照片，同時蒐集歷年崩塌地判識成果與雨量資料等進行分析與評估。初步調查結果顯示，10 處重點災區復建工程及坡面植生現況良好，除和社溪上游外，其餘地區新生崩塌面積呈現逐年縮小趨勢。如以位於陳有蘭溪上游的和社雨量站為代表，賀伯颱風期間累積雨量為 645mm (降雨延時 30h)，其後至 2018 年 10 月底止，超過大豪雨(350mm)之雨場計有 10 個，其中受災較為顯著的 2001 年桃芝颱風累積雨量僅 418mm(延時 24h)，推估為受九二一地震影響及平均降雨強度較大所致，其餘 9 個雨場期間(含莫拉克颱風等 3 個總降雨量超過 800mm 之雨場)，此 10 處重點災區均未傳出災情，初步顯示治理已見成效。

關鍵詞：賀伯颱風、陳有蘭溪、崩塌、土石流、歷史影像。

1. Investigation on the Currently Recovered Works of the Disaster Areas caused by Typhoon Herb around Chenyulan River

Yung-Chiau Lin^{[1][2]} Chen-Yu Chen^{[1]*} Jyun-Wei Chen^[1] Wei-Ze Liou^{[1][2]}
Chen-Yu Wu^[1]

ABSTRACT Typhoon Herb strongly attacked Tai-21st highway around Chenyulan River also triggered landslides and debris flow. In order to examine the current status of the related recovered works, this study recorded the changes of landslides by UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Moreover, this study compared the historical photos of the ten key disaster areas in the historical image platform of Soil and Water Conservation Bureau. In addition, we also collected the satellite image of the landslides of the past years and analyzed the rainfall data for analysis and evaluation. Primary results showed the current status of ten key disaster areas' recovery including engineering works and hillside revegetation of slopeland was well. Furthermore, areas of bare slopes were shrinking year by year from Typhoon Herb happened, except the area around upstream of Heshe River. Heshe Rainfall Station could be an example which located on the upstream of Chenyulan River. As Heshe Rainfall Station recorded, the accumulated rainfall during the typhoon Herb is 645mm (rainfall duration: 30hr). Then, until the end of October 2018, there were ten rainfall events over torrential rain (350mm). One of the rainfall events was in 2001, the cumulative rainfall of the typhoon Toraji was only 418mm (rainfall duration: 24h); however, typhoon Toraji caused some disaster areas which were considered to be caused by the impact of The 921 Earthquake and the higher average rainfall intensity. The other nine rainfall events which were including Typhoon Morakot and the other two typhoons rained over than 800mm, the ten key disaster areas were not reported. Therefore, it was indicated the recovered works had achieved initial goals.

Key Words: Typhoon Herb, Chenyulan River, landslide, debris flow, historical photographs

[7] 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan

[8] 財團法人農業科技研究院

Research Assistant, Agricultural Technology Research Institute, Taiwan

* Corresponding Author. E-mail: cychen59@gmail.com



RIDI 1996年賀伯颱風陳有蘭溪流流域災區復原現況調查

技術研發發展小組
Research and Technology Development Team

林詠喬^[1] 陳振宇^[2] 陳均維^[3] 劉維則^[4] 吳振佑^[5]

[1] 水土保持局技術研發發展小組
[2] 財團法人農林科技研究院

1. 前言

- 歷史影像常用於比較災害前後狀態，與後續災修工程成效之重要參考。故長期且持續地蒐集歷史影像，對災害紀錄與研究有相當大的助益。
- 1996年賀伯颱風重創陳有蘭溪台21線沿線，為檢視相關復建工程20年後的現況，本研究透過現地勘查及UAV空拍紀錄地貌變化，以相同視角比對歷史文獻及水土保持局歷史影像平台內10處重點災區照片，同時蒐集歷年崩塌地判識成果與雨量資料等進行分析，藉以評估災後復建工程之成效。

2. 材料與方法

現地拍攝當地復原照片
對照歷史影像照片
蒐集歷年崩塌面積及雨量資料
觀察歷年崩塌地差異



歷史影像平台 <https://photo.swcb.gov.tw>



- 蒐集1996年起歷史影像照片及和社雨量站測站數據
- 使用林務局衛星判釋全島崩塌地圖(2004-2016)，起始崩塌面積為2004年崩塌總面積。
- 本次報告以三條土石流潛勢溪流集水區為例，分別為：DF170(水里鄉新山村南平坑)、DF196(信義鄉神木村新興橋) DF199(信義鄉神木村 和社溪上游: 出水溪)

3. 成果與討論

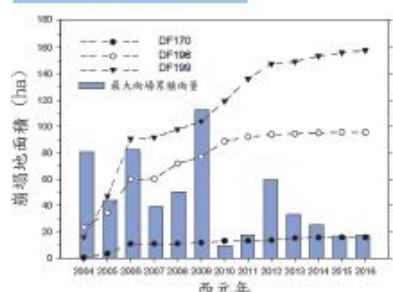
3.1 歷史影像對照

- (a) DF170 1996年賀伯颱風後
- (b) DF170 2018年拍攝
- (c) DF196 1996年賀伯颱風後
- (d) DF196 2018年拍攝
- (e) DF199 1996年賀伯颱風後
- (f) DF199 2017年拍攝

註：黃色箭頭表圖中對照之明顯地標。



3.2 崩塌地面積變化



2004-2016年崩塌地面積變化

3.3 討論

- 經過歷年各種大雨場發生後，DF170及DF196相對穩定，即便歷經2009年莫拉克颱風之重大災害，其集水區崩塌率及河床現況均無明顯變化，顯示復建工程成效良好。
- 然而DF199集水區因上游坡陡且土砂料源過大，歷年因考量效益等因素，亦未施作永久工程，現況僅採疏通及施作臨時便道方式處理，該集水區短期內尚不易達到穩定狀況。

4. 結論

本研究由歷史影像及崩塌地面積資料指出，在2006年後，5個重大降雨事件期間(含莫拉克颱風等2個總降雨量超過800mm之雨場)，除DF199外(和社溪上游處)，9處重點災區均未傳出重大災情，初步顯示治理已見成效。

年度	事件	總雨量 (mm)	降雨延時(h)	平均降雨強度 (mm/h)
1996	賀伯颱風	645	30	21.5
2001	桃芝颱風	418	24	17.4
2004	七二水災	808	75	10.8
2004	艾利颱風	460.5	54	8.5
2006	0609豪雨	825.5	75	11.0
2007	柯羅莎颱風	390	50	7.8
2008	卡致基颱風	439.5	22	20.0
2008	辛樂克颱風	506.5	74	6.8
2009	莫拉克颱風	1128.5	91	12.4
2012	0610豪雨	599	71	8.4

- DF170及DF196均在2010年後穩定無大量增加，然而DF199仍持續增加崩塌面積。
- 2004-2006年崩塌面積大量增加疑似與2004年七二水災及2006年0609豪雨有關
- 2009年莫拉克颱風後DF170及DF196崩塌面積增加不大，由歷史照片及實際資料可知二處防災工程重建良好。

堰塞湖潰壩影響評估-以日本北海道地震為例

吳振佑^{[1]*} 林家興^{[1][2]} 陳國威^[1]

摘 要 2018 年 9 月 6 日日本北海道發生規模 6.7 地震，根據日本國土交通省災害調查報告統計，地震造成 223 件土石流與崩塌等土砂災害，超過 2500 棟建築物受損，日本 TEC-FORCE 出動約 3000 人次進行緊急應變調查。位於厚真川支流的日高幌內川中，發現一處約 50 公頃的大規模崩塌，由於崩落地堆積範圍已經抵達對岸，阻塞河道形成天然壩，專家建議應盡快進行緊急應變監測，並規劃相關工程避免二次災害的發生。本研究嘗試利用 HEC-RAS 水理模式之二維洪水演算模組，探討在堰塞湖形成後，快速模擬不同情境下堰塞湖潰壩災害可能的影響範圍、洪水抵達時間等防災避難資訊，並持續關注現場處理狀況，提供未來國內堰塞湖潰壩災害緊急應變程序之參考。

關鍵詞：堰塞湖潰壩、影響範圍、HEC-RAS、二維水理演算。

1. The Landslide Dam Breach Impact Assessment - A Case Study of the Hokkaido Earthquake in Japan

Chen-Yu Wu^{[1]*} Chia-Hsing Lin^{[1][2]} Kuo-Wei Chen^[1]

ABSTRACT A magnitude 6.7 earthquake struck Hokkaido in Japan on 6th September 2018. According to the investigation report of Japan ministry of land, infrastructure, transport and tourism, the earthquake caused 223 sediment-related disasters such as debris flow and slope failure, more than 2,500 buildings were damaged, and TEC-FORCE dispatched about 3,000 people for emergency investigation. A deep-seated landslide of about 50 hectares was found in the Hidaka Horobawa creek which is tributary of the Atsuma river. Due to the landslide area has crossed the river bank and blocked the river to form a landslide dam, experts suggested that emergency monitoring and measures should be carried out as soon as possible to avoid secondary disasters. This study used two-dimensional flood routing model of HEC-RAS model to simulate the impact area and flood arrival time after the landslide dam breach in different scenarios. Simultaneously, we keep collecting the disposal information of the landslide dam to provide reference for the emergency response plan if the same disaster occurred in Taiwan.

Key Words: Landslide dam breach, Impact areas, HEC-RAS, two-dimensional hydraulic routing.

[9] 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan

[10] 財團法人農業科技研究院

Research Assistant, Agricultural Technology Research Institute, Taiwan

* Corresponding Author. E-mail : owen951753@mail.swcb.gov.tw



堰塞湖潰壩影響評估-以日本北海道地震為例

技術研發發展小組
Research and Technology Development Team

吳振佑^[1] 林家興^{[1][2]} 陳國威^[1]

(1) 水土保持技術研發發展小組
(2) 財團法人華南科技研究院

1. 緒論

2018年9月6日日本北海道發生規模6.7地震，根據日本國土交通省災害調查報告統計，地震造成223件土石流與崩塌等土砂災害，超過2500棟建築物受損，日本TEC-FORCE出動約3000人次進行緊急應變調查。位於厚真川支流的日高幌內川中，發現一處約50公頃的大規模崩塌，由於崩塌地堆積範圍已抵抵達對岸，阻塞河道形成天然壩，專家建議應盡快進行緊急應變監測，並規劃相關工程避免二次災害的發生。

4. 結論

- 透過模擬不同情境之潰壩可能影響範圍與洪水抵達時間將能協助災害預警發布
- 從模擬成果顯示，若發生潰壩洪水最遠影響至聚落3，當天然壩高度低於20m時將不會衝擊到聚落2，可作為挖除工程之參考依據
- 此次崩塌為地震型堰塞湖，若不處置後續將可能造成二次災害，透過快速的評估將能在災害應變中有效疏散避難與降低風險

2. 材料與方法

2.1 日高幌內川大規模崩塌

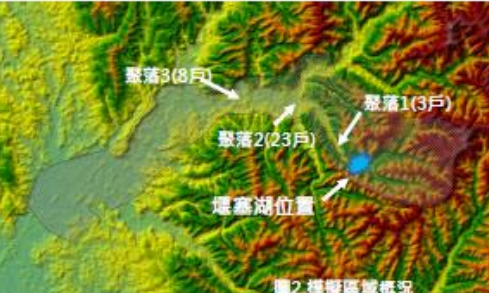


- 災害發生位置：日本北海道厚真町厚真川水系
- 災害發生時間：2018/9/06 03:07
- 地震規模：芮氏規模6.7
- 崩塌規模：崩塌面積約50公頃
- 堰塞湖資訊：壅高水位30.9m (2018/11/22紀錄)
- 天然壩高：初估40m~50m
- 資料來源：日本國土交通省砂防部

2.2 事件處理紀錄

地震發生	日期
災害初步調查、統計	9/6
專家現場探勘	9/9
監測儀器架設	9/12
UAV調查、紀錄	9/25
地質鑽探、採樣	9/28
災後事業所設立	10/2

2.3 模式情境與參數設定



現地基礎資料

- DEM來源：ASTER GDEM 2
- DEM解析度：30m
- 模擬區域河道長度：23公里
- 平均坡度：3.2%
- 上游集水區面積：935公頃
- 年平均降雨量：997mm
- 平均一小時最大降雨量：22.7mm/hr
- 資料來源：北海廳建設政策局臨時管理防災課

模擬參數及情境

- 水理模式：HEC-RAS
- 模擬面積：72平方公里
- 平均網格大小：50m*50m
- 曼寧粗糙係數：0.03~0.05(手冊建議)
- 潰壩時間情境：0.5、1、3、6小時
- 潰壩類型：溢頂破壞
- 潰壩壩高情境：壩高50m、40m、30m、20m、10m

3. 成果與討論




表1.不同壩高之堰塞湖規模推估

壩高(m)	潰壩影響最遠距離(km)	蓄水量(m³)	上游迴流長度(m)
50	8.5	1634萬	2200
40	7.3	866萬	1802
30	6.6	362萬	1630
20	3.9	140萬	532
10	1.7	36萬	366

表2.不同潰壩延時對下游保全對象衝擊評估

情境	潰壩延時(hr)	聚落1		聚落2		聚落3				
		洪水抵達延時(min)	最大水深(m)	洪水抵達延時(min)	最大水深(m)	洪水抵達延時(min)	最大水深(m)			
50	0.5	11	15.18	13.9	19	6.8	18.55	39	0.92	0.17
50	1	20	11.9	11.2	31	5.64	16.23	57	0.89	0.168
50	3	47	7.8	7.39	69	3.78	12.15	121	0.87	0.16
50	6	80	5.98	5.38	116	2.85	9.8	206	0.86	0.157

圖3.潰壩時造成各下游最大流速推估

圖4.比較不同壩高之潰壩影響範圍

■ 圖3成果顯示若發生潰壩洪水對下游河道及構造物衝擊程度，流速超過6m/s區域將可能損毀其中之構造物

■ 圖4透過不同的壩高情境，推估其洪水影響範圍，提供不同情境之警戒範圍與緊急處理工程挖除效益

■ 由於天然壩體強度不易評估，潰壩延時不易推算，故表2假設四組不同的潰壩延時，比較潰壩後洪水抵達下游保全對象時間及其水深與流速之影響

■ 從流速與水深之模擬成果顯示，不同情境下的洪水影響集中在聚落1與聚落2，其中最嚴重可能造成15m的洪水

視覺化整合式降雨入滲促崩模擬(IRIS)模式開發

陳振宇^{[1]*} 陳均維^[1] 黃健倫^[2] 黃奉琦^{[1][3]}

摘要 降雨為誘發崩塌最常見的原因之一，為掌握降雨引致崩塌之發生機制、時間與規模，進行現地基礎調查、設置監測系統，以及透過數值模擬來重現歷史災例並預測未來情境，係建立崩塌防減災機制之重要方式。整合式降雨入滲促崩模擬模式(Integrated Rainfall-Infiltration-Slope stability model, IRIS model)係使用三維 Richard's 方程式配合有限元素法模擬降雨入滲過程中土層含水量變化，再以簡易 Janbu 切片法進行邊坡穩定分析，最後以動態規劃法結合變分法自動找出臨界滑動面，近年已實際應用於許多降雨促崩案例，並能有效模擬崩塌發生之時間及規模。本研究嘗試改良 IRIS 模式較為繁複不便之使用者界面，並以視覺化方式動態呈現降雨入滲過程中土壤含水量之變化與臨界滑動面之關聯性，除能降低 IRIS 模式使用與推廣的門檻外，亦能作為相關教學課程輔助之利器。

關鍵詞：崩塌、入滲、IRIS、視覺化、模擬。

Development of Visualized Integrated Rainfall-Infiltration-Slope stability (IRIS) model

第4章

Chen-Yu Chen^{[1]*} Jyun-Wei Chen^[1]

Chien-lun Huang^[2] Feng-Chi Huang^{[1][3]}

第5章

ABSTRACT Rainfall is one of the most common causes of landslides. To understand the mechanism, occurring time and scale of landslides triggered by rainfall, the environment survey, setting up monitoring systems and establishing numerical simulation are the essential method to reduce casualties. According to the past case studies, the integrated rainfall-infiltration-slope stability model (IRIS model) can be applied to simulate the process of landslides during rainfall, and it is able to predict the occurring time and scale of landslides. The IRIS model is divided into three stages. Firstly, the variation of water content is described by Richard's equation, performing finite-element method to solve the process of rainfall-infiltration. Secondly, the concept of limit equilibrium using Janbu's simplified method is utilized for slope stability analysis. Afterward, the critical slip surface is determined by dynamic programming method. This study improves the existing unfriendly user interface of IRIS, and develops the visualized tool to display the change of water pressure in the soil and critical slip surface of landslide simultaneously. The results showed that the visualized IRIS model cannot only predict the landslides well, but also provide useful teaching aids.

Key Words: Landslide, infiltration, IRIS, visualized, simulation.

[11] 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan

[12] 逢甲大學地理資訊系統研究中心

GIS Research Center, Feng Chia University, R.O.C

[13] 財團法人農業科技研究院

Research Assistant, Agricultural Technology Research Institute, Taiwan

* Corresponding Author. E-mail : cychen59@gmail.com



IRIS 視覺化整合式降雨入滲促崩模擬 (IRIS) 模式開發

技術研發發展小組
Innovation and Technology Development Team

陳振宇¹* 陳均維² 黃健倫³ 黃奉琦⁴

1 交通部運輸研究所
2 逢甲大學地理資訊系統研究中心
3 財團法人國泰科技研究院

1. 前言

- 整合式降雨入滲促崩模擬模式(Integrated Rainfall-Infiltration-Slope stability model, IRIS model)係使用三維 Richard's 方程式配合有限元素法模擬降雨入滲過程中土壤含水量變化,並以簡易Janbu切片法進行邊坡穩定分析,最後以動態規劃法結合變分法自動找出邊坡臨界滑動面
- 本研究改良IRIS模式使用者界面,並以視覺化方式動態呈現降雨入滲過程中土壤含水量之變化與臨界滑動面之關聯性

4. 結論

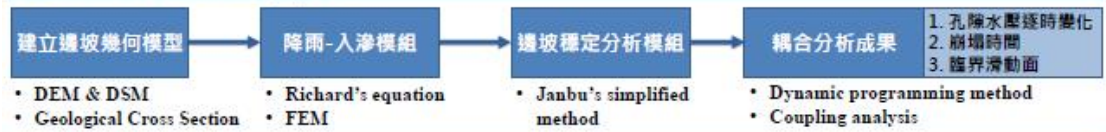
- IRIS模式可以有效模擬崩塌時間及臨界滑動面位置
- 相較於現行商業軟體,IRIS模式計算快速並兼具降雨入滲暨邊坡穩定分析能力
- 視覺化程式除能降低IRIS模式使用與推廣的門檻外,亦能作為相關教學課程輔助之利器

 立即下載使用
 

<https://tech.swbc.gov.tw/Results/ResultsIRIS>

2. 材料與方法

2.1 整合式降雨入滲促崩模擬(IRIS)模式



2.2 視覺化IRIS模式規劃

地形與物理參數設定

- 地形資料設定
- 有限元素網格設定
- 土壤含水參數設定

初始條件設定

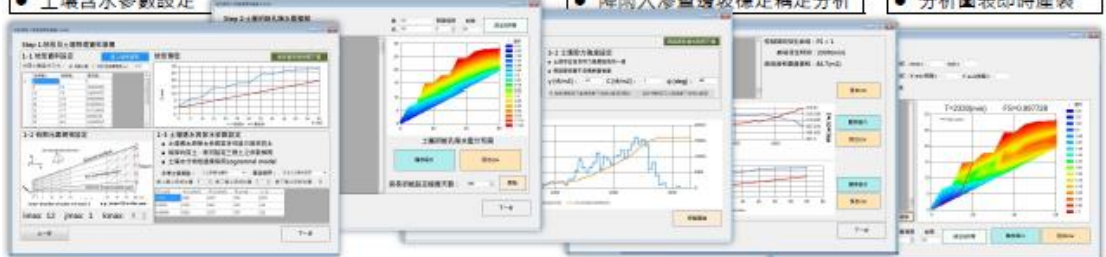
- 初始孔隙水壓模擬
- 視覺化孔隙水壓展示

降雨入滲暨邊坡穩定耦合分析

- 雨量資料輸入
- 土壤剪應力強度設定
- 降雨入滲暨邊坡穩定耦合分析

分析結果

- 崩塌時間及規模
- 動態分析成果展示
- 分析圖表即時產製

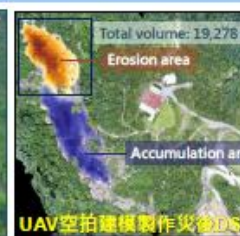


2.3 模擬案例



南投縣國姓鄉石門村武玄宮

2017年0613暴雨



Total volume: 19,278 m³

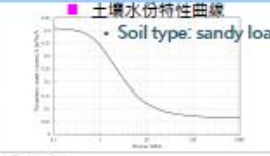
Erosion area

Accumulation area

UAV空拍建模製作災後DSM

■ 土壤水份特性曲線

• Soil type: sandy loam

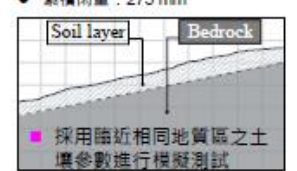


Soil properties	Max.	Min.	Avg.
Unit weight, γ (t/m ³)	2.04	1.75	1.89
Cohesion, c' (t/m ²)	2.04	1.02	1.53
Friction angle, ϕ' (degrees)	32	28	29.5
Permeability, k (m/s)	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}

● 災害發生時間: 2017/06/15 15:00

● 災害類型: 崩塌

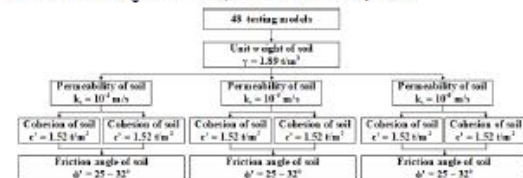
● 累積雨量: 275 mm



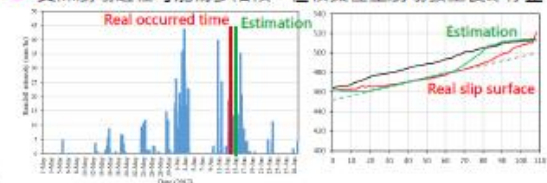
■ 採用附近相同地質區之土壤參數進行模擬測試

3. 結果與討論

- 土壤水份特性曲線測定值
- 測試 c' , ϕ' & K_s 共48種組合
- 最佳參數 $K_s = 10^{-6}$ m/s, $c' = 1.52$ t/m² & $\phi' = 31^\circ$



- 模式預測崩塌時間 6/15 16:30
- 模式預測崩塌規模略小於實際規模
- 實際崩塌過程可能為多階段,但模擬僅至崩塌發生後即停止



淺談水土保持中之環境友善措施及工法

黃奉琦^{[1][2]*} 陳國威^[1]

摘 要 健全生態系統及功能保育與國土保全息息相關，如何於工程施作亦兼具防災與生態效益為保育治理工作之重要課題。水土保持工程多設置於集水區與淺山地區，在這些區域裡，生物活動與人類有著非常密切的關係，本研究收集在工程生命週期的觀點下，不同階段之生態考量所需釐清之課題、應進行之保育措施以及運用之工法，並以案例說明歷經現場勘查、民眾參與、棲地評估以及繪製生態敏感地圖等方式，提出具體環境措施、工法選項，同時，透過生態紀錄追蹤、評估，各階段生態系統的衝擊率、復育率，探討友善措施執行的成效與改善。

關鍵詞： 環境友善措施、工程方法、工程生命週期、民眾參與

1. Environmentally friendly measures and methods in soil and water conservation

Feng-Chi Huang^{[1][2]*} Kuo-Wei Chen^[1]

ABSTRACT Conservation ecosystem are related to homeland security. An important issue is to create disaster prevention projects with ecological benefits. In field of soil and water conservation, the engineering is located in the catchment area and the low elevation mountains, and biological activities in these areas have a very close relationship with humans. This study takes of the engineering life cycle, Ecological considerations at different stages need to be clarified, the conservation measures to be carried out and the methods of application. This case shows exploration, citizen participation, habitat assessment, and mapping of ecologically sensitive maps, and propose specific environmental measures, construction options. Exploring the effectiveness and improvement of environmental measures, tracking and evaluation of ecological records, and the impact rate and re-incubation rate of ecosystems at various stages as indicators.

Key Words: Environmentally friendly measures, Engineering method, Engineering life cycle, citizen participation.

[14] 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan

[15] 財團法人農業科技研究院

Research Assistant, Agricultural Technology Research Institute, Taiwan

* Corresponding Author. E-mail : fchuang@mail.swcb.gov.tw

沉浸式訓練平台開發於坡地災害虛擬實境空間之應用

劉維則¹、陳振宇*、嚴曉嘉²、林家興²

摘要

一、前言

為重現重大土砂災區現場，讓災害現場可視化，本研究透過無人載具(Unmanned aerial vehicle, UAV)拍攝成果，以 3D 實景建模方式，建置坡地三維空間模行，並於實景模型中匯入歷年調查規劃成果圖資資料，結合虛擬實境(Virtual reality, VR)技術，建置坡地虛擬實境空間展示及沉浸式訓練平台，以提升崩塌防減災工作效能，更有利於掌握災害現場狀況、減少誤判、警戒區域防護及提昇人員訓練等效益。

二、研究方法

研究方法可分為三大部分，依序分別為：(1)三維場景拍攝與建置，透過規律等間隔高重疊方式拍攝航空影像，藉由三維建模軟體 ContextCapture 處理連續高解析度航拍影像，將其資訊重建為三維模型，再透過建模及動畫軟體 Autodesk 3ds MAX 編修重建的三維模型及製作其他場景中所需物件；(二)虛擬實境環境開發，程式以 Unity 進行開發，Unity 是一套跨平台的遊戲引擎，也可支援符合 WebGL 技術，並且提供網路多人連線的功能，最重要的是可支援 HTC Vive VR 裝置，對於開發 VR 虛擬實境環境有相當大的助益；(3)系統平台建置，則分為軟體程式開發及硬體建置，在軟體程式方面主要分為三大區塊，分別為虛擬實境場景製作、互動功能開發及訓練模式腳本開發；硬體則分為伺服器主機端及使用者端，兩端可以 WAN 廣域網路或 LAN 區域網路進行串聯。一般虛擬實境軟體僅需一套電腦主機與一套 VR 頭戴裝置即可獨立作業，然本研究除可單人連線使用外，另配置一伺服器主機做為資訊交換功能，配合兩套電腦主機與 VR 頭戴裝置，可進行異地連線及多人連線使用。

三、研究成果與討論

本研究使用之虛擬實境場景多為坡地災區，為達成場景擬真效果，採用近年興起之 UAV 攝影三維重建技術，如圖 1 所示，讓使用者視野會隨著頭部移動而改變，頭部位移量與頭盔所見場景畫面移動量具有 1:1 特性，因此使用者於實際空間內的身體動作可與 VR 空間內相符。本研究整合場景模型與 GIS 圖資，如圖 2 所示，而非 GIS 資料的調查照片、UAV 斜拍全景圖等則透過照片內 GPS 資訊匯入於場景之中，工程圖說、斷面資訊因其非正規地理資訊，則透過文件匯入功能匯入於場景中參照使用，鄰近雨量

¹ 財團法人農業科技研究院；水土保持局技術研究發展小組，研究助理

¹ 水土保持局技術研究發展小組，副總工程師

² 水土保持局技術研究發展小組，工程師

² 財團法人農業科技研究院；水土保持局技術研究發展小組，博士後研究員

2018 日本砂防學會鳥取大會

Simulation of Large-Scale Shallow Landslide Triggered by Heavy Rainfall using IRIS Model

○Chen-Yu Chen (陳振宇), Hsuan-Pin Wu(吳軒麟), Jyun-Wei Chen(陳均維), Kuo-Wei Chen(陳國威)

Soil and Water Conservation Bureau, Taiwan (台灣水土保持局)

1. INTRODUCTION

A large-scale landslide at Hongye village, Taitung, Taiwan was triggered by typhoon Meranti, causing accumulated rainfall of over 500mm within 24 hours in 2016 (Fig. 1). To obtain overall impact area of post disaster, the unmanned aerial vehicle (UAV) was used for survey. In addition, an integrated rain-fall-infiltration-slope stability model (IRIS model), which was developed by Tsutsumi (2008), was selected to simulate Hongye landslide. IRIS model is divided into three stages. Firstly, the variation of water content is described by Richard's equation, performing finite-element method to solve the process of rainfall-infiltration. Secondly, the concept of limit equilibrium using Janbu's simplified method is utilized for slope stability analysis. Afterward, the critical slip surface is determined by dynamic programming method. The soil physical and engineering properties were investigated from in-situ sampling and laboratory test by Soil Water Conservation Bureau. The results indicate that landslide occurrence time and failure slip surface can be effectively simulated by IRIS model.



Fig. 1 A large-scale landslide disaster at Hongye village, Taitung, Taiwan during typhoon Meranti in 2016.

Simulation of Large-Scale Shallow Landslide Triggered by Heavy Rainfall using IRIS Model

○Chen-Yu Chen (陳振宇), Hsuan-Pin Wu(吳軒蘋), Jyun-Wei Chen(陳均維), Kuo-Wei Chen(陳國威)

Soil and Water Conservation Bureau, Taiwan (台灣水土保持局)

1. INTRODUCTION

A large-scale landslide at Hongye village, Taitung, Taiwan was triggered by typhoon Meranti, causing accumulated rainfall of over 500mm within 24 hours in 2016 (**Fig. 1**). To obtain overall impact area of post disaster, the unmanned aerial vehicle (UAV) was used for survey. In addition, an integrated rain-fall-infiltration-slope stability model (IRIS model), which was developed by Tsutsumi (2008), was selected to simulate Hongye landslide. IRIS model is divided into three stages. Firstly, the variation of water content is described by Richard's equation, performing finite-element method to solve the process of rainfall-infiltration. Secondly, the concept of limit equilibrium using Janbu's simplified method is utilized for slope stability analysis. Afterward, the critical slip surface is determined by dynamic programming method. The soil physical and engineering properties were investigated from in-situ sampling and laboratory test by Soil Water Conservation Bureau. The results indicate that landslide occurrence time and failure slip surface can be effectively simulated by IRIS model.

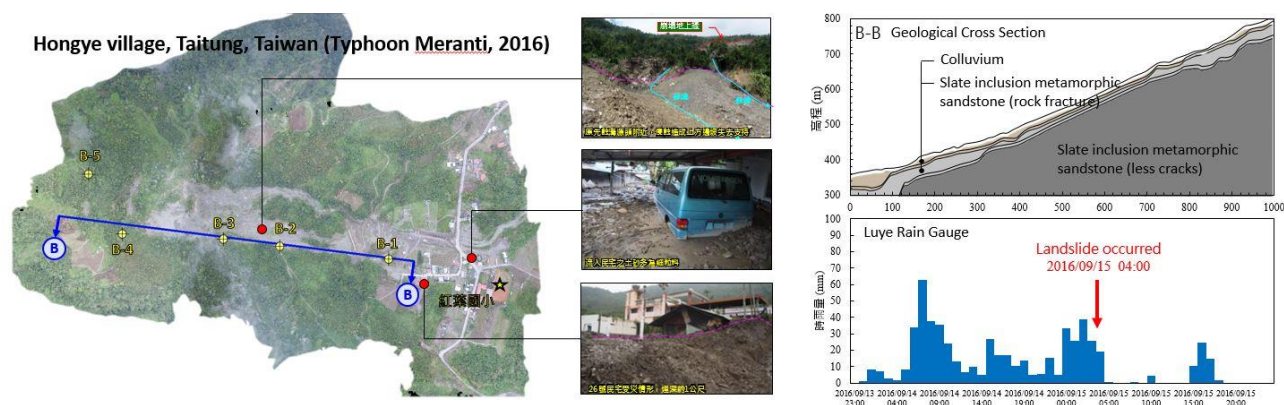


Fig. 1 A large-scale landslide disaster at Hongye village, Taitung, Taiwan during typhoon Meranti in 2016.

2. METHOD

(1) Post Disaster Survey and Assessment

To investigate the disaster situation, UAV was employed to build the 3D model, orthophoto and digital surface model (DSM). This study uses remote-controlled UAV Phantom 3 Professional equipped with digital camera and GPS to acquire airborne digital photographs on September 16, 2016 and March 24, 2017. The images recorded in 2016 is in emergency mission, the image resolution ranges between 0.042m to 0.370m, and did not set the ground control point. UAV mission in 2017 took different elevation as an aerial survey route to raise the image resolution which ranges between 0.036m to 0.190m, and 10 ground control points were set around the landslide area to calibrate the elevation. Moreover, Bentley Context Capture version 4.0

is used to feature the points of the aerial photos by aerotriangulation and produce the three-dimensional model, and the DSM grid size is 0.140m (Huang et al., 2017).

(2) Landslide simulation method

This study used the Integrated Rainfall-Infiltration Slope stability (IRIS) model to conduct the slope stability analysis. The IRIS model can be divided into several modules. The rainfall-infiltration module adopts the Richard's equation to simulate the infiltration and water flow in the soil. The result of infiltration analysis, which was calculated by the finite-element method, was then used to conduct a slope stability analysis simultaneously. A simplified Janbu method and dynamic programming (DP) method were used to determine the critical slip surface and the factor of safety (see Fig. 2).

According to the orthophoto and aspect map conducted by UAV after the disaster, the cross section of the landslide could be identified as the Fig. 3. The parameters used in the simulation were listed in Fig. 4, and they were obtained by filed survey and laboratory experiment. Therein, The lognormal model proposed by Kosugi(1996) can be used to represent $C(\psi)$ and $K(\psi)$ for unsaturated condition ($\psi < 0$). The simulation used the rainfall data of Luye rainfall station from July 1 to September 13 as the antecedent rainfall, and prime simulation duration was from September 14 to September 15 with 10 minutes as the time-step of the simulation.

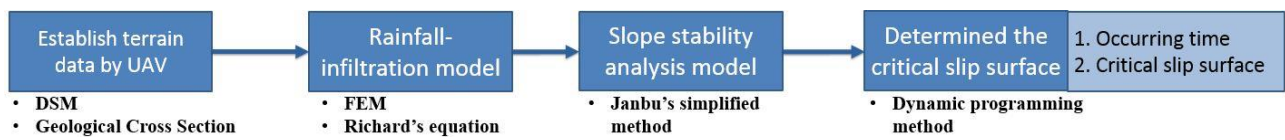


Fig. 2 The operating procedure of post-disaster survey and simulation.

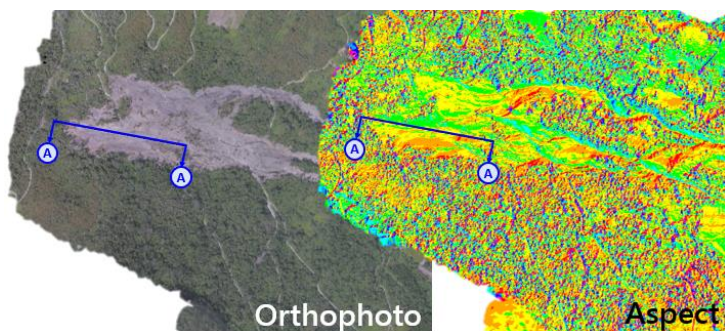


Fig. 3 Identify the cross section of landslide by orthophoto and aspect map

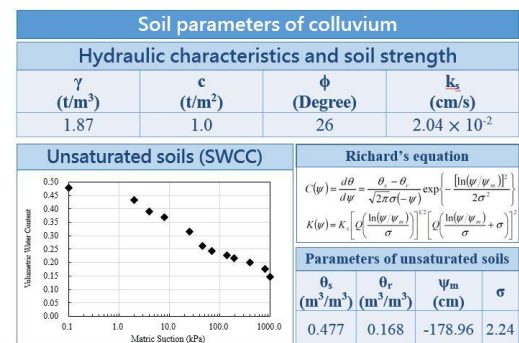


Fig. 4 Parameters of the simulation

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

(1) Terrain change and volume evaluation

To compare the DSM before and after the landslide, the elevation difference after landslide and evaluates the landslide volume is determined. The results show that the landslide area is about 56,194 m², and the mean elevation difference of the landslide area is 2.70 m, including the deepest erosion of 13.48 m and the highest accumulation of 21.25m (Fig. 5), and the landslide volume 211,466 m³ is evaluated (Huang et al., 2017).

(2) Landslide simulation results

The simulation results show that the calculated slip surface from the simulation was very similar compared with the actual event (**Fig. 6**). Furthermore, the landslide occurring time of simulation is at 04:20 September 15 was also close to the actual disaster.

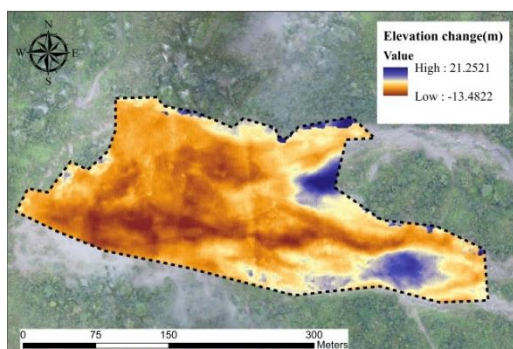


Fig. 5 Terrain change after landslide (Huang et al., 2017)

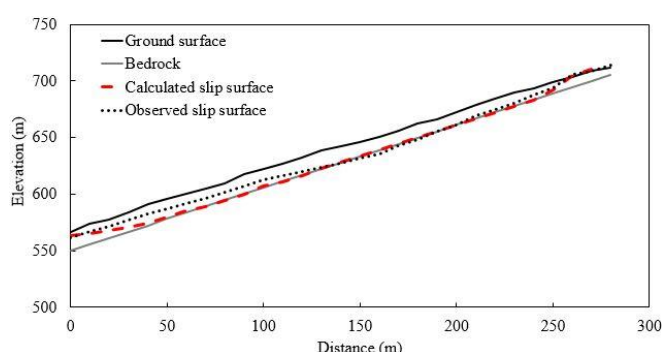


Fig. 6 The simulation results of landslide profile (A-A cross section)

4. CONCLUSIONS

UAV is an inexpensive, low-labor costs, effective, user-friendly and new remote-sensing tool, and it can quickly establish the orthophoto and DSM after post-disaster. Applying the terrain data and soil parameters, IRIS model can simulate the scale and occurring time of landslide. To integrate these processes, this study establishes an operable standard operating procedure (SOP) for post-disaster survey and simulation for landslides. The SOP can help government officials to make appropriate decisions for post-disaster survey.

Keywords: Landslide, UAV, simulation, IRIS model, sediment disaster.

References

- 1) Feng-Chi Huang, Yi-Hsuan Lee, Jiun-Ting Lin, Kuo-Wei Chen, Chen-Yu Chen, Kuo-Lung Wang (2017): The Case Study for Evaluation of Landslides Volume and Moving Paths of Single Falling Rock, 5th GEDMAR.
- 2) Tsutsumi, D. and Fujita, M. (2008): Relative importance of slope material properties and timing of rainfall for the occurrence of landslides, International Journal of Erosion Control Engineering, Vol. 1, No. 2, pp. 79-89.
- 3) Kosugi, K. I. (1996): Lognormal distribution model for unsaturated soil hydraulic properties, Water Resource Research, Vol. 32, No. 9, pp. 2697-2703.

2018 林試所森林集水區研討會

「2018 森林集水區經營研討會」議程表

日期：107 年 6 月 21 日(星期四)

地點：臺北市南海路 53 號 (林業試驗所行政大樓 4 樓會議室)

時 間	議 程	
8:30-09:00	報 到	
9:00-09:10	開 幕 致 詞 (林試所 張彬所長)	
時 間	講 題	主持人
09:10-09:35	臺灣中部地區降雨動能推估公式建置及年降雨沖蝕指數之修訂探討(范正成、郭嘉峻、黃建霖、范世億、李正鈞、高百毅)	林業試驗所 游漢明組長
09:35-10:00	以主成分分析探討德基水庫集水溪流水水化學之變異(江曜宇、成允聖、劉恩好、劉瓊霜)	
10:00-10:25	應用地面光達資料評估林木收穫搬運作業對林道之影響(湯適謙、謝漢欽、曾俊偉)	
10:25-10:45	休 息/交 流	
10:45-11:10	六龜試驗林氣候狀況及極端氣候分析(孫銘源、陸象豫)	水土保持局 黃振全所長
11:10-11:35	崩塌地治理後植生土壤水源涵養能力之研究(蘇子豪、邱予柔、陳凱琳、周立人、林信輝、劉瓊霜)	
11:35-12:00	大規模崩塌潛勢區野溪河道冲刷深度觀測之研究(廖雯慧、李正鈞、范世億、林柏瑋、張建輝、詹勳全)	
12:00-13:10	午 餐	
13:10-13:35	水庫集水區崩塌與入庫泥砂淤積來源的判釋(吳柏翰、吳慶現)	林務局 王昭堡組長
13:35-14:00	一維與二維水理整合模式應用於堰塞湖潰壩模擬初探(吳振佑、陳振宇、嚴曉嘉、劉維則)	
14:00-14:25	大規模崩塌區致災風險分析以六龜 D015 為例(黃敏郎)	
14:25-14:45	休 息/交 流	
14:45-15:10	莫拉克風災後之堰塞湖監測與土砂變遷分析(陳楠輝、呂明鴻、臧運忠、張偉顯、施保呈、陳建良)	水土保持局 徐森彥組長
15:10-15:35	堰塞湖防災與治理管理，以龍泉溪為例(臧運忠、林昂、吳定澄、劉瓊蓮、邱欣、張蘇能、施靜惠)	
15:35-16:00	集水區潛在滯洪保水區位之萃取及應用(林昭遠、張文彥、范世億、蔡明發、蕭惠民)	
16:00-16:25	大崙山區引發傾斜管變位之降雨強度特性研究(曹舜評、林珈仔)	
16:25-17:30	綜合座談及討論	張彬所長 李鎮洋局長 謝政道局長 黃宏斌教授 林昭遠教授

一維與二維水理整合模式應用於堰塞湖潰壩模擬初探

吳振佑^{1*} 林家興^{1,2} 陳振宇¹ 嚴曉嘉¹

【摘要】近年來在全球氣候變遷的影響下，災害事件可能擴大為複合型災害，如地震與颱風造成的大規模崩塌，導致滑落土砂達到溪谷對岸形成堰塞湖，一旦堰塞湖潰決，大量洪水伴隨土砂下移，可能形成二次災害，嚴重危及下游居民之安全。為快速評估堰塞湖潰決後，洪水對於下游保全對象影響程度，本研究採用 HEC-RAS 水理模式，以 2017 年 6 月鹿谷小半天崩塌形成堰塞湖事件為例，根據現場調查報告與數值高程模型資料，建立天然壩與溪流之數值模型。天然壩體高度為現場調查之 7 m 與可能之最大高度 17 m 兩種尺寸，分析 5 種不同潰壩延時對河道流量、水位與影響範圍，比較一維與二維模型在堰塞湖潰壩的模擬結果。從成果中顯示兩種模型對於天然壩體的位置認定方式不同，導致潰壩流量、水深的差異，而透過新增的檢視功能，將可以快速評估堰塞湖潰壩之影響範圍。在一維模式當中能提供簡易的模擬與內插成果，在初步危險度評估時能節省計算所需要的時間，而在二維模式當中，能夠克服較複雜的地形，並在淹水模擬有較好的效果，其相關成果可為未來災害事件進行潰壩風險評估之參考。

【關鍵詞】堰塞湖、HEC-RAS 模式、溢頂潰壩、水理模式。

A PRELIMINARY STUDY BASED ON HYDRAULIC ANALYSIS MODEL TO SIMULAE LANDSLIDE DAM BREAKING

Chen-Yu Wu^{1*} Chia-Hsing Lin^{1,2} Chen-Yu Chen¹ Hsiao-Chia Yen¹

【Abstract】 Due to the influence of climate change, sediment-related disaster events may develop

¹行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組，*通訊作者。電子郵件：owen951753@mail.swcb.gov.tw
Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan

²財團法人農業科技研究院。
Research Assistant, Agricultural Technology Research Institute, Taiwan

into compound disasters, such as large-scale landslides caused by earthquakes and typhoon events lead to sediment moving into the riverbed and forming a landslide dam. Once the landslide dam is broken, lots of sediment combined with flood may rush to downstream and will seriously jeopardize the safety of downstream residents and endanger protected targets. To estimate the safety of protected targets downstream after landslide dam breaking, this study used the HEC-RAS numerical model to simulate the peak discharge after landslide dam failure. According to investigation report and digital elevation model, the landslide dam and stream numerical model of the Xiao Ban Tain slope failure at Lugu County were established. We designed two sizes of dam according to the site investigation and the maximum estimated height with top dam height of 7 m and 17 m, respectively. Simulating and comparing discharges, flow depth and influential area by one-dimensional and two-dimensional models for five different dam breach durations. Results indicated that two models have different ways to identify the position of dam failures and lead to differences of simulated discharges and water depths between those two dimensions. Through the new inspection function, it will be able to quickly assess the scope of impact of the landslide dam break. After comparing with two different dimensional models, one-dimensional model provides simple simulation and interpolation results that saving the time for calculation in the preliminary risk assessment. In the two-dimensional model, it can overcome more complex terrain and have better results in flood simulation. In the future, the simulation process will assist with risk assessment of landslide dam breaking disaster.

【Key words】 Landslide dammed lake, HEC-RAS model, Overtopping failure, Hydrodynamic model.

I、前言

台灣每年地震和豪雨事件頻繁，導致山坡地發生崩塌事件，當崩塌土體可抵達溪谷對岸與土體最小堆積高大於溪谷水深時，將會形成一座天然壩體，並在壩體後方蓄積水體而形成堰塞湖，若堰塞湖發生潰決，大量洪水伴隨土砂下移，可能形成土石流、洪水等二次災害，嚴重危及下游居民安全。如九二一地震在南投九份二山所造成的韭菜湖溪堰塞湖及澗仔坑溪堰塞湖，當時各界十分關注，並執行緊急工程與架設相關監測設備，經過詳細評估並確認其

壩體的安全性，未來不會造成立即性的災害事件。

加上近年來在全球氣候變遷的影響下，極端降雨所導致的災害事件規模愈大，而在山坡地上引發大規模崩塌，並導致洪水、土石流、堰塞湖等複合型災害，如 2009 年莫拉克颱風事件，豪雨造成了大規模崩塌，加上堰塞湖潰壩所帶來的洪水、土石流導致小林村滅村事件，另外在南部不同流域中，總共形成了十多個堰塞湖，其中有幾個堰塞湖同時存在於一個流域當中是，若發生連續潰壩事件後果不堪設想，這也讓堰塞湖災害的緊急應變措施，需重新考量同時發生多個災區時該如何處理，也必須加強每一次事件的應變效率。根據水利署水利規劃試驗所在 2004 年統計，世界過去 285 個案例，約有二成的堰塞湖形成後在一天內就會潰決，約有三成的堰塞湖緊急應變的時間不到一星期，有一半以上的堰塞湖在一年內就會消失，這讓堰塞湖災害的處理難度更高，需在短時間內完成初步危險度評估，並建立潰壩影響範圍與預警機制，確保上、下游保全對象的安全，避免二次災害的發生。

為了能夠快速評估堰塞湖災害的危險性，除了統計回歸公式與經驗公式外，加入發展成熟的水文水理模式，將能針對壩體蓄水時間，不同潰壩情境所導致的淹水範圍等進行模擬，在初步危險度評估與詳細調查評估進行上，提供有利的參考數據，本研究以 2017 年 6 月在南投鹿谷鄉東埔蚋溪上游所發生的堰塞湖災害為例，使用 Hydrologic Engineering Center's River Analysis System (HEC-RAS) 水理模式建置一維與二維之數值模型，探討一維與二維模型在不同潰壩情境模擬的成果，並如何提升在緊急應變標準作業流程中的評估作業。

II、 材料與方法

(I)鹿谷小半天崩塌事件說明

本研究以 2017 年 6 月份的豪雨事件，在南投縣鹿谷鄉竹林村小半天瀑布風景區，發生的崩塌事件導致堰塞湖災害為例，推估於 6 月 3 日晚上 11 點時發生崩塌，當時的累積雨量達到 605 mm，降雨強度為 47 mm/h，在瀑布下方的河道左岸發生順向坡崩塌，並阻塞河道形成堰塞湖，崩塌土體與河川之縱剖面關係如圖 1 所示。經由民眾通報後，在專業團隊抵達現場時，堰塞湖已經發生溢流情形，由於壩體的蓄水體積不多，初步評估並無立即性的危險，天然壩體也在數月後的降雨事件消失。

根據現場調查結果如圖 2 所示，崩塌面積約為 2 ha，其中已裸露 0.5 ha，平均崩塌深度為 3 m，已崩塌土方量約為 15,000 m³，崩塌土體所造成的天然壩高約 7m，而潛在崩塌面積約為 1.5 ha，預估崩塌體積為 45,00 m³，若整個潛在滑動坡面崩塌，將可能會形成 17 m 的壩高，天然壩後方的迴水長度約為 80 m，蓄水量約為 5000 m³ 至 8000 m³。小半天瀑布上游集水區約為 475 ha，以合理化公式推估當時的入流量約為 50 cms，而東埔蚋溪從瀑布至下游匯流口距離約為 3.5 km，河道平均坡度約 6.3%。

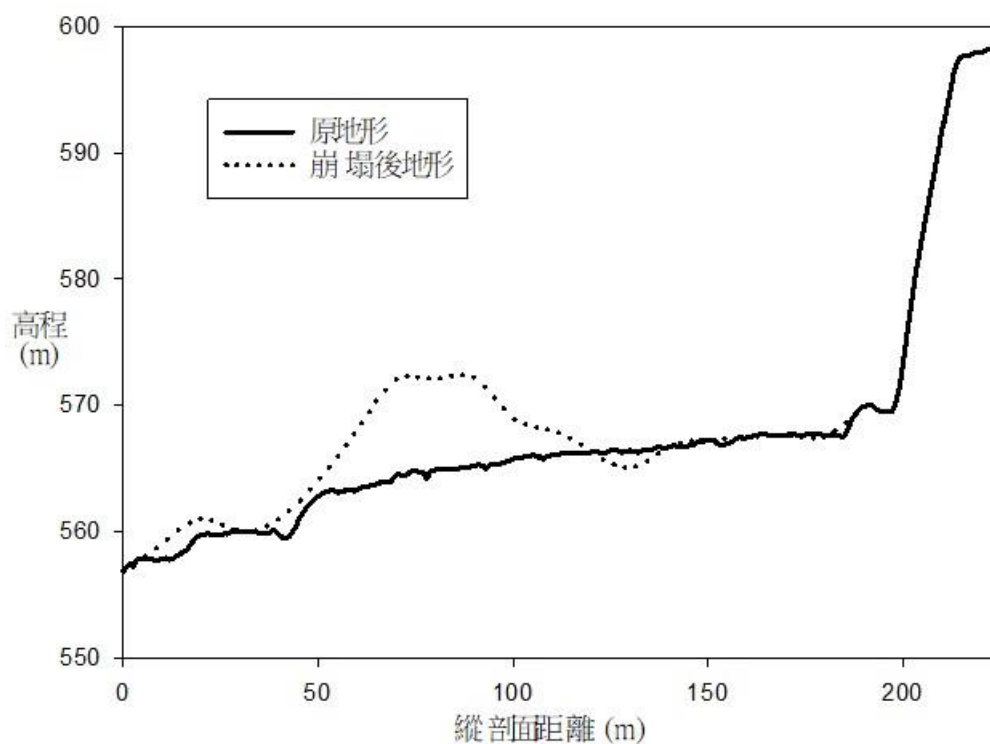


圖 1 小半天瀑布下游崩塌前、後之地形高程變化

Fig.1 Riverbed variation before and after the Xiao Ban Tain landslide dam

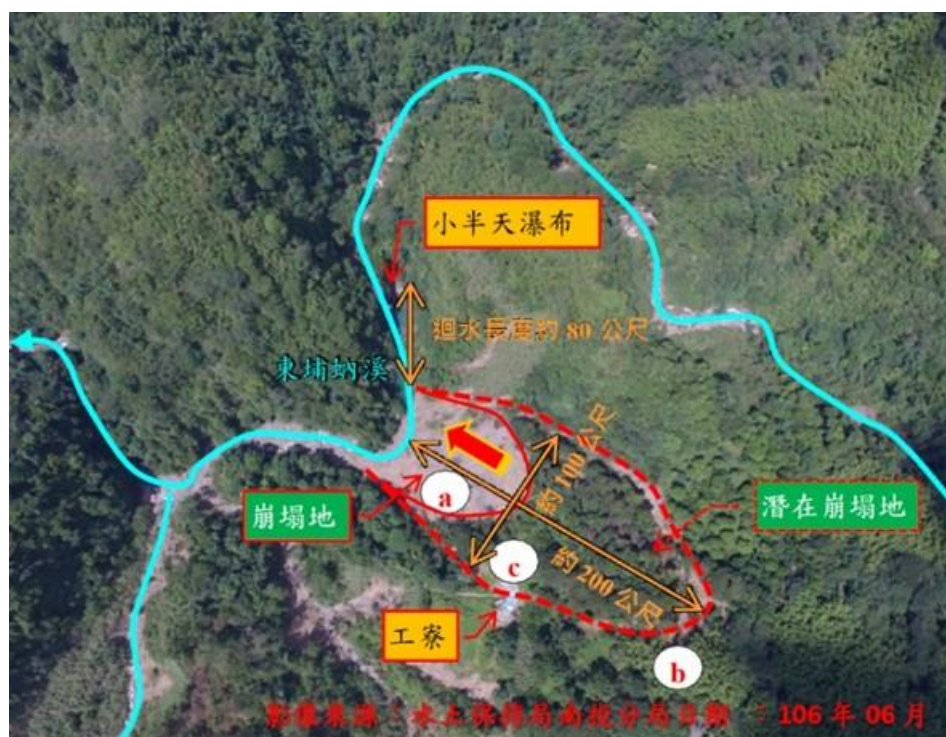


圖 2 現場災害調查空拍圖

Fig.2 Aerial-photo of Xiao Ban Tain landslide dam

(II) HEC-RAS 模式介紹

HEC-RAS 模式為美國陸軍工兵團水文工程中心所開發之河川分析系統，由於該模式發展許久和便利的操作方式，經常被使用來模擬定量流及變量流的河道水理演算，也可模擬輸砂及簡易的水質、水溫變化，其中還能模擬常見河川中的構造物如橋梁、涵管、閘門、堰等對於河道水理的影響，在進行一維河道水理演算時，常被各界所使用的模式，而在堰塞湖潰壩的模擬中，台灣學者也曾使用過 HEC-RAS 進行災害歷程重現，曾皇銘在 2011 年模擬莫拉克颱風時，在小林村發生大規模崩塌所導致的堰塞湖潰壩，對洪峰流量、水位歷線的影響變化，並以下游流量、水位測站，證明該模式可以模擬堰塞湖潰壩之情境。

在 2016 年時，HEC-RAS 推出二維水理分析功能，以及 Mapper 功能，增強對 GIS 圖資的處理能力，透過內插計算，能夠快速檢視一維及二維模擬成果之流速、水深、流場以及洪水淹沒範圍，其二維模型的建置方式以 Digital elevation model (DEM) 數值地形模型為底圖，劃設水理演算區域，並使用內建網格生成系統產生二維的網格，再透過特徵線調整地形上變

異過大的區域，針對河道及洪氾區域進行詳細的模擬，其中還能連結一維河道模型，設計不同的蓄水區及水工構造物，進行潰壩等混合流況的模擬，改善複雜水系與匯流口之模擬品質，而在解算二維變量流的方程式為聖維南方程 (Saint-Venant equations) 及擴散波方程 (Diffusion Wave equations)，數值方法則採用有限體積法求解，由於國內應用其二維模型相關研究較少，本研究希望嘗試利用該功能建立堰塞湖潰壩模型，並與一維之水理模型進行比較。

(III)一維及二維水理模型建置

本研究建置模型的範圍以小半天瀑布作為上游邊界開始至下游匯流口處，總長度約為 3.5km，以崩塌前幾年之 DEM 資料為底圖，分別建置一維及二維之水理模型，上游邊界之入流量為推估崩塌時間之附近雨量站所測得之降雨強度，以合理化公式所推估而得之逕流量，模擬的時間從發生崩塌形成堰塞湖後 3 小時，計算間隔為每 0.5 秒計算一次，每一分鐘輸出一筆資料，由於該支流過去並沒有整治工程為原始河道，溪流兩岸也較無保全對象，所以河床之粗糙係數沒有相關調查資料，本研究採用使用者手冊所建議之範圍為 0.03 至 0.05 之間，輸入至一維河川斷面之中與二維網格之中。

在一維的模型當中，採用 ArcGIS 當中的輔助程式，約每 50 公尺取一個寬度為 250 公尺的斷面資料，總共建置了 69 筆斷面資料，從上游至下游依照離匯流口距離依序編號如圖 3 的 (a)。而在二維的模型當中壩體後方的蓄水區設置為純蓄水空間，避免在計算的過程中因迴水導致的計算誤差，壩體下游的部分則是以二維網格涵蓋所有可能行水區的範圍，再以特徵線將河道兩岸加強，降低計算過程中網格之間高程變異過大導致的誤差。而在網格的設定上每一格以邊長 4m 的正方形進行自動建置，而特徵線所經過的網格再細分為邊長 2m 的網格，最終總共建置了 21,730 個計算網格如圖 3 的 (b) 所示。

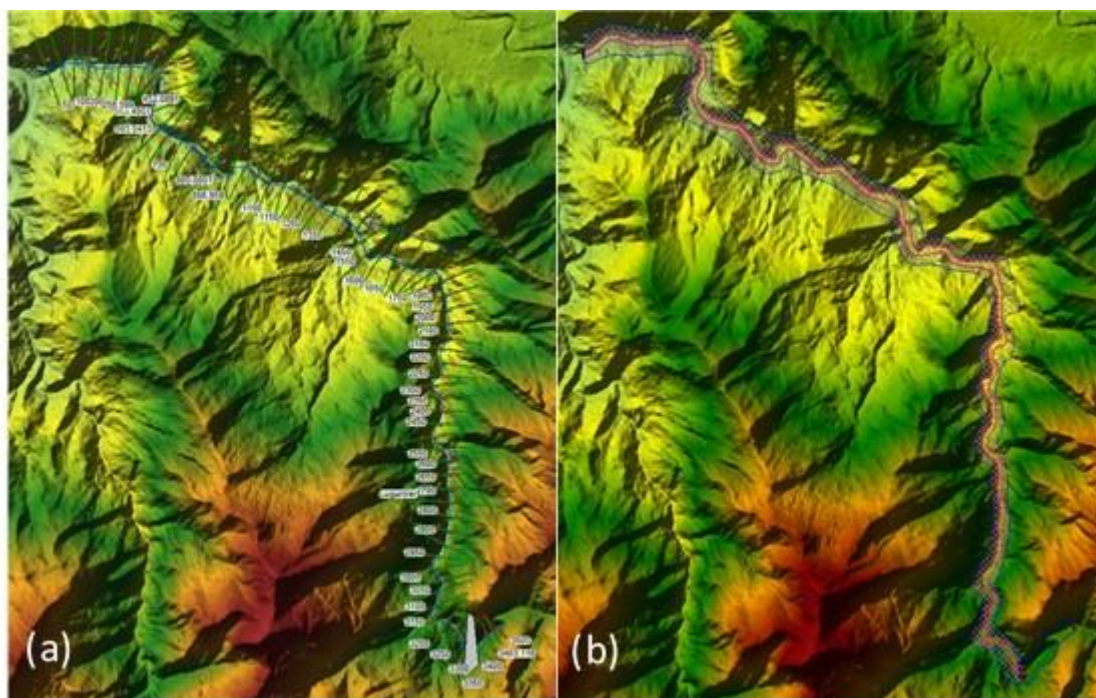


圖 3 HEC-RAS 模型建置示意圖： (a)一維模型、 (b)二維模型

Fig.3 Schematic diagram of HEC-RAS : (a) one-dimensional model、 (b) two-dimensional model

為了模擬河道中之天然壩體潰堤之情形，將利用 HEC-RAS 模式當中，河川構造物的天然壩或堰的功能，在一維模式中設定其與其他斷面之間的距離關係，壩體之寬度與其高程等資訊，而在二維模式中則是以地圖中設置邊界條件形式，並設定其堰的高程來當作天然壩體，而本研究是利用上游之蓄水區水位達到溢頂水位時，發生潰壩行為並將水體導向至下游二維水理網格當中。

由於並無實際壩體破壞歷程記錄，在災害發生當下也無法在短時間內完成實驗室土壤試驗，並計算壩體穩定分析得到可能之破壞類型與潰口形狀，所以通常只能進行假設來計算災害影響範圍，在模式當中針對潰壩的設定包含潰口的形狀設定、潰壩的形式、潰壩的發生條件、潰口沖刷的速度係數、壩體復原的機制等如圖 4 所示。

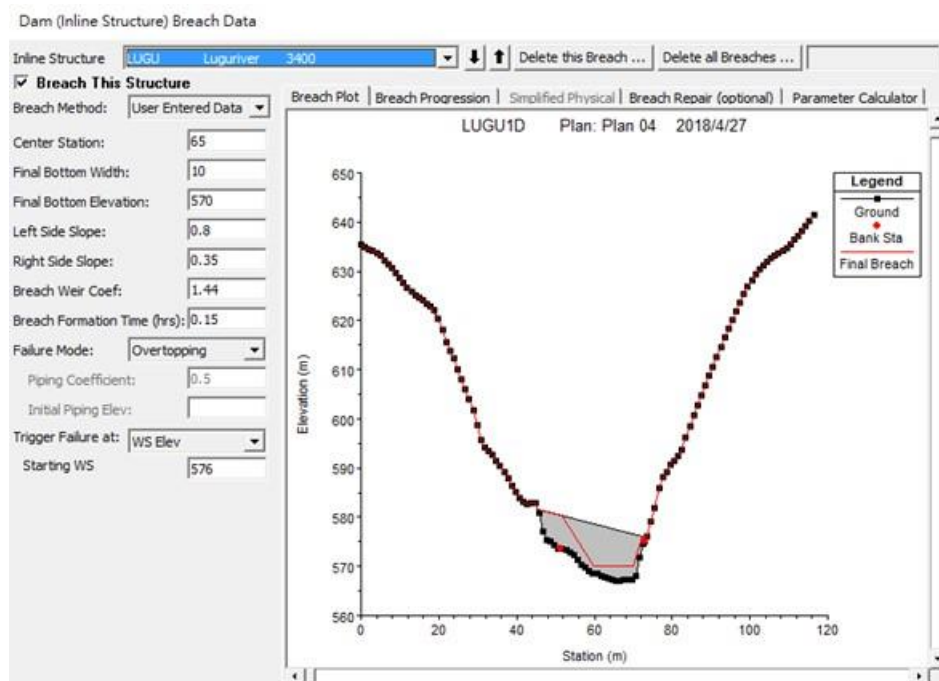


圖 4 在 HEC-RAS 中潰壩條件輸入介面

Fig.4 The input interface of landslide dam breaking conditions for the HEC-RAS model

為探討一維及二維模型在潰壩模擬中的成果比較，依據現場調查結果設計天然壩尺寸，其中將有 7m (現況)與 17m (最大可能高度)兩種壩高情境，並假設其皆會發生溢頂破壞事件，由於不知道其潰壩延時，但其為重要的影響參數，所以設定 3 分鐘、5 分鐘、10 分鐘、30 分鐘、60 分鐘五種不同潰壩延時情境，探討潰壩對下游河道之流量、水位等水理數據之影響，並比較其可能之洪氾影響範圍，再針對一維及二維模擬成果進行比較，所以上述所提到之情境皆會在一維及二維中進行模擬運算，總計有 20 個情境。

此次事件之模擬範圍內並無設置流量、水位測站，所以無法進行校正或驗證，而堰塞湖這類型的事件也大多發生在流域內較上游的地方，很少能夠取得完整的監測資料，所以必須利用少許的參考數據，評估可能的災害風險，本研究希望能提供一個可能持續發展的方向，在未來若發生重大災害時，有一個平時已經熟練其相關建置方式的模式，來進行初步或細部的評估。

III、結果與討論

(I)潰壩之流量、水位歷線

依據天然壩體之現況調查條件，與假設其潛在崩塌坡面全部破壞滑落至溪谷中，所形成之規模更大的天然壩，並模擬天然壩因溢頂破壞而導致不同延時之潰壩水理情境成果如下。在一

維模式中，假設天然壩體為 7m 高與 17m 高，並在一開始時就發生溢頂破壞之情形，其流量變化情形在不同潰壩延時中如圖 5 所示，隨著潰壩延時愈短和高度較高的壩體，流量歷線的洪峰值愈高，其中在最極端的情境 17m 壩高並在三分鐘內潰壩時，洪峰值為 $220\text{m}^3/\text{s}$ ，增加約 3.5 倍的原始流量，其餘的情境當中，7m 壩高洪峰流量超過 $100\text{m}^3/\text{s}$ 的情境為 3 分鐘的潰壩延時，而 17m 壩高的情境為 10 分鐘以內的潰壩延時，造成洪峰流量大於 $100\text{m}^3/\text{s}$ ，並使壩體刷深至指定高程。

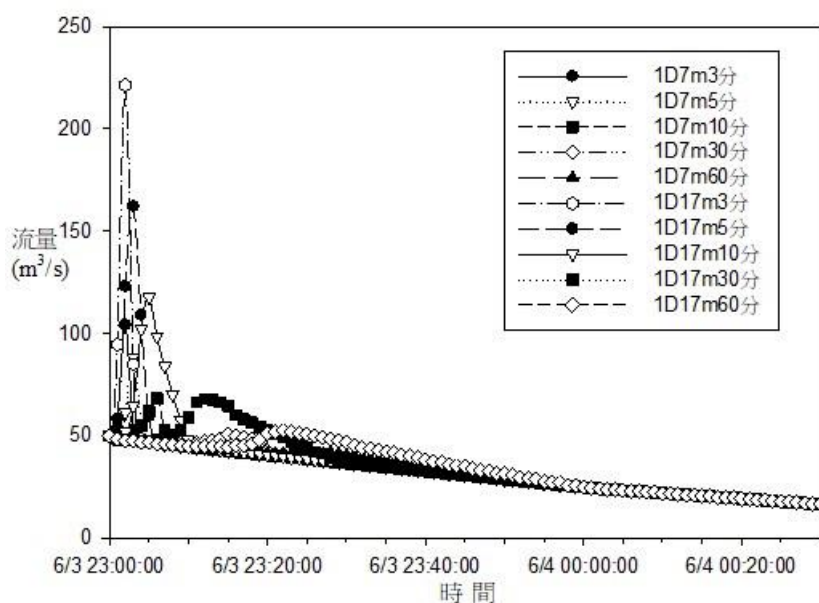


圖 5 一維模型中不同潰壩延時情境之流量歷線

Fig.5 Discharge hydrographs of different dam breach durations scenarios in 1D model

從下游邊界斷面水深變化來看，如圖 6 中顯示，最短潰壩延時與最高的天然壩體所造成的最大水位抬升量為 1m 左右，而從發生潰壩到洪峰流量到達下游的最短時間為 8 分鐘，最長約為 35 分鐘，另外在兩種不同壩高的情境模擬結果中可以發現，在天然壩較高的情況時，後方蓄水量也較大，在相同潰壩延時下，洪峰流量到達下游的時間會比較快，相對於壩體較低的情境中更加危險。以小半天崩塌事件這個案例來說，在不同潰壩延時的模擬結果來看，對於下游流量、水位的衝擊，在現況調查 7m 高度的壩體時，潰壩延時超過 10 分鐘以上，就不會明顯感受到洪峰到達的影響。

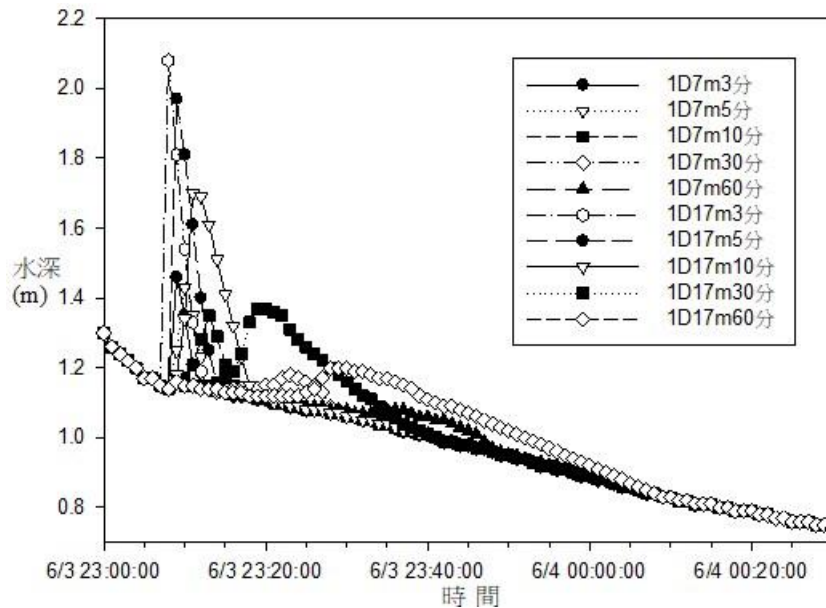


圖 6 一維模型中不同潰壩延時情境之下游水深歷線

Fig.6 Downstream boundary water depth hydrographs of different dam breach time scenarios in 1D model

在二維的模型當中，天然壩體之後方蓄水區假設為一個純蓄水空間，而當水位漫淹過天然壩體時，發生溢頂破壞，從圖 7 當中顯示蓄水區的水深變化，在壩高為 7m 的時候，蓄水時間大約 3 分鐘，而當壩高為 17m 時，蓄水時間約為 16 分鐘，由於蓄水空間就是天然壩體至瀑布前的空間，從入流時間至發生潰壩時間推估蓄水量在 7m 壩高的情境中約為 1.4 萬 m^3 ，在壩高 17m 的情境當中約為 4.8 萬 m^3 。

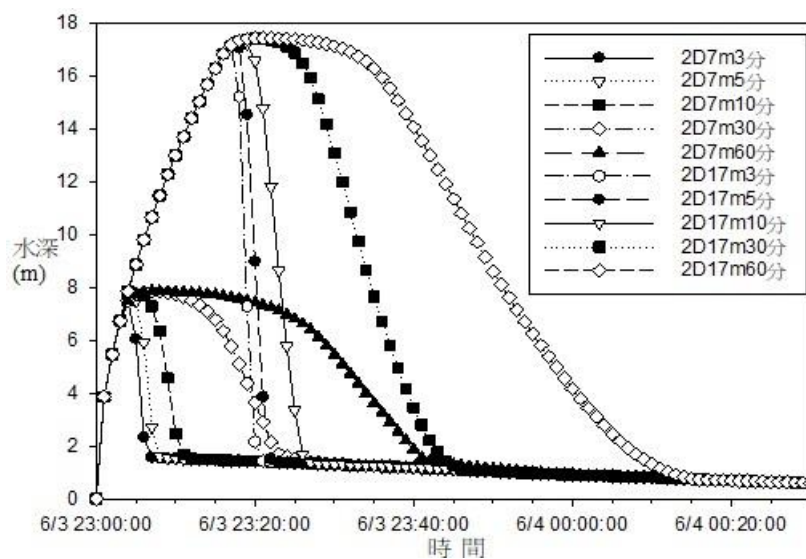


圖 7 二維模型中不同潰壩延時情境之壩體水深歷線

Fig.7 Landslide dam water depth hydrographs of different dam breach time scenarios in 2D model

從到達壩頂發生潰壩後，到潰壩結束時的水位變化也能從圖中看到所設定的破壞模式，在開始與結束時沖刷速度較慢，而中間過程較快的現象，未來如有記錄更多不同的類型的破壞歷程，將可以增加模擬的真實性。

而在二維情境中，潰壩所造成的流量歷線變化如圖 8 顯示，在兩種不同的壩高情境中，可以發現因為考量蓄水時間，所以洪峰流量明顯分為兩群，在壩高為 7m 的情境當中，潰壩延時最短的案例中，洪峰流量接近 $200\text{m}^3/\text{s}$ ，而壩高 17m 的 3 分鐘潰壩延時情境中，洪峰流量到達了 $440\text{m}^3/\text{s}$ 左右的值，相較於一維模擬的結果大了一倍，探究其可能原因在於，HEC-RAS 在建置一維壩體時，是以壩體上方最近的一個斷面做為參考基準，沒辦法利用壩體所在位置的 DEM 高程來模擬，所以當初建立的模型，造成壩體後方的蓄水體積會較少的現象，在壩高為 7m 與 17m 時，其一維模型中的蓄水體積約為 0.54m^3 與 1.82m^3 ，導致在壩高與潰壩延時都和二維相同時，洪峰流量會有一個倍數的差異，這也是未來在執行初步評估時需要特別注意，模式在建立時的壩體設置位置與最近斷面的關係。

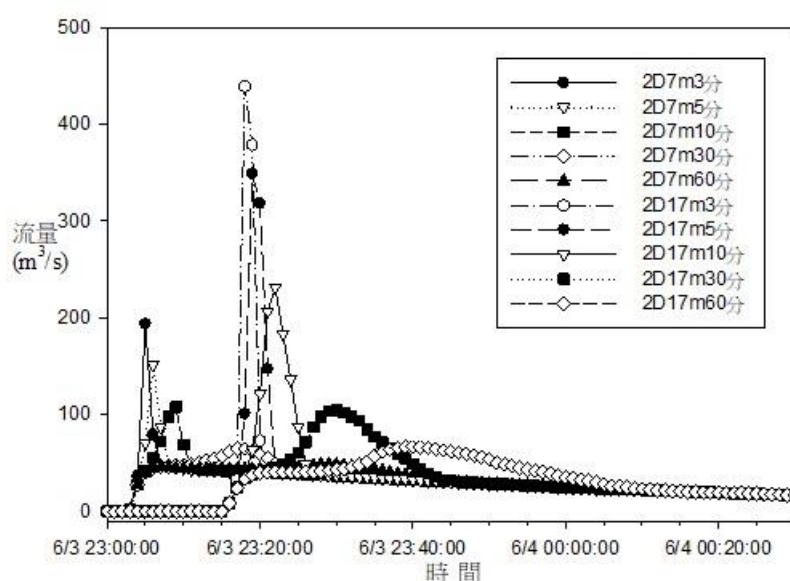


圖 8 二維模型中不同潰壩延時情境之壩體流量歷線

Fig.8 Landslide dam discharge hydrographs of different dam breach time scenarios in 2D model

在下游邊界條件水深變化的結果，如圖 9 所示，由於在二維模式建置中，本研究假設為乾床，壩體之上游蓄滿水後，發生潰壩至洪水到達下游邊界條件的時間約為 8 至 12 分鐘，而在潰壩延時大於 10 分鐘的情境當中，洪峰流量出現的時間會根據其潰壩延時設計，拉長洪峰

到達時間，另外洪水所導致的水位提升相較於一維模擬結果，最大水位增加量約為 1.2m，這與先前所提到之壩體在兩種不同環境中設置所導致的差異也有關係。而在洪水水位的變化中可以發現某些潰壩延時較長的情境會大於潰壩延時較短的情境，這可能與乾床的設定在潰壩延時短的情況下，二維計算所造成的誤差，或是資料在輸出時，由於是每分鐘擷取一筆資料，在短延時的變化中，洪峰流量變化也較快，模式並不會輸出其時間內最大值，導致結果不符合潰壩延時愈短洪峰流量愈高的情況。

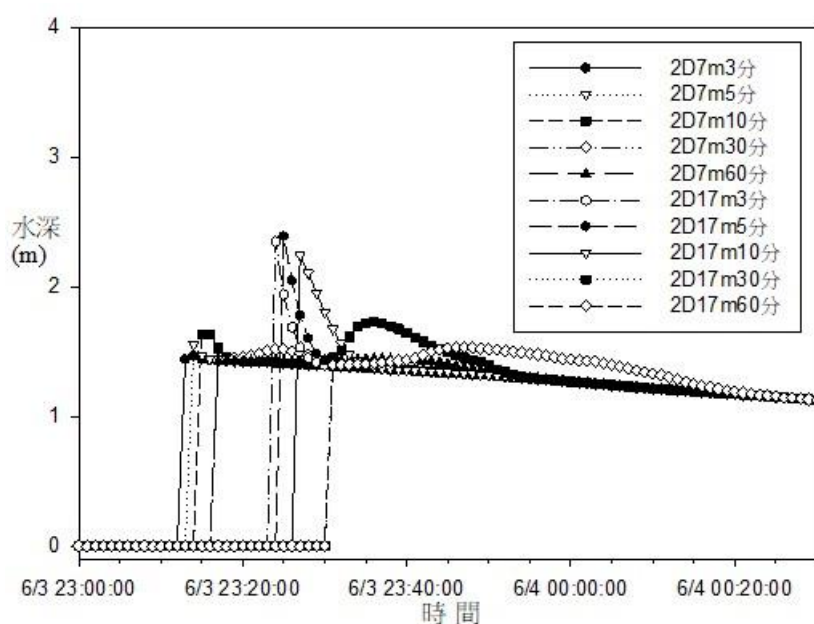


圖 9 二維模型中不同潰壩延時情境之下游邊界水深歷線

Fig.9 Downstream boundary water depth hydrographs of different dam breach durations scenarios in 2D model

(II) 潰壩影響範圍比較

利用 HEC-RAS 中內建的 Mapper 功能，可以將一維或二維模擬的結果，呈現在匯入的底圖中，或是連結線上的圖資，快速比對模擬的結果，圖 10 為由上游至下游潰壩所造成的河道最大水深，並套疊線上的衛星影像圖層，檢視是否會影響致河道周邊的保全對象，除此之外能檢視隨著時間變化，河道之水理數值變化，也能夠過視覺化的方式，了解二維平面水理變化情形。

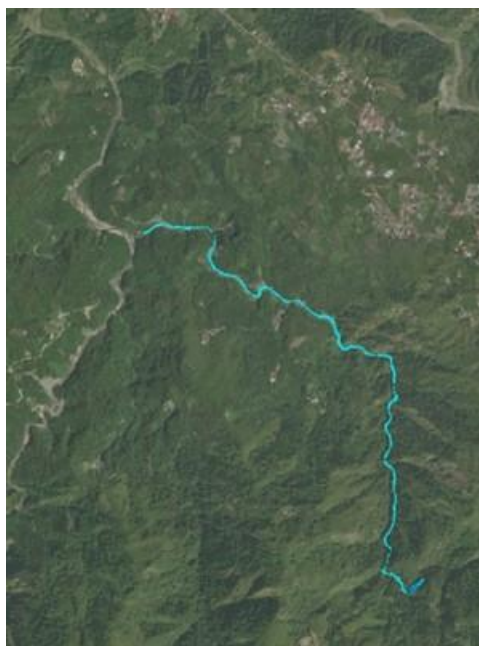


圖 10 在衛星影像中檢視潰壩的影響範圍

Fig.10 Assessing the scope of influence of landslide dam breaking in satellite imagery

利用不同圖層的開關、堆疊，能快速比較不同潰壩延時對河川水深變化與其影響範圍，如圖 11 所示，為 2D 情境中壩高 7 m 與 17 m 兩種情境，對於天然壩體後方淹水範圍的計算結果，快速比較出不同壩高的影響範圍，在 7 m 壩高的情境中，迴水面積約為 2560 m^2 ，而 17 m 壩高的情境當中，迴水面積約為 4460 m^2 ，在潰壩所造成的洪水也能利用相同的方式，比較不同的洪峰流量對於兩岸保全對象的影響，計算每一個情境當中，所增加的影響範圍。

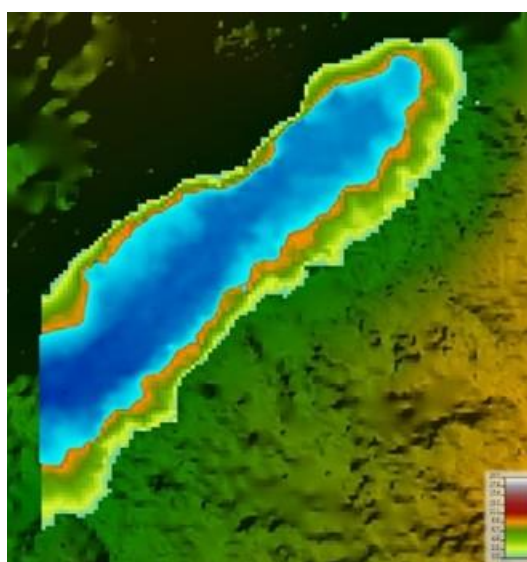


圖 11 二維模型中 7 m 和 17m 壩高的淹水範圍比較圖

Fig.11 Inundation area of different dam height with 7m and 17m in 2D simulation

IV、結論

應用 HEC-RAS 模式建置一維及二維水理模型，模擬鹿谷小半天崩塌事件之堰塞湖若發生潰壩將會對下游造成的影響，其中針對不同的壩高、潰壩延時總共設計了 20 個情境，依據建置的過程與模擬的成果整理出以下幾個重點。

1. 利用模式模擬可以快速計算出符合河道地形與不同斷面或網格之水理數據，相較於過去經驗公式能獲得更多的詳細的資訊，在一維與二維的模擬結果中發現在建置模型的過程中，由於其判斷壩體位置的基準不同，可能會造成洪峰流量與水位推估上的誤差，而在二維模式當中更能完整模擬從蓄水至潰壩在每一個網格的變化。
2. 在 HEC-RAS 最新版本的模式當中，提供快速檢視成果的工具，能夠匯入圖資或是使用網路上免費之線上圖資，快速評估堰塞湖之可能上游淹水範圍、面積，在潰壩造成的洪水影響範圍也能透過不同的情境，確認對於下游保全對象的影響，這能加速初步及細部評估的速度。
3. 在一維模式當中，壩體的相關地形數據是參考最近一個河道斷面，並假設其以內差的方式與下一個河道斷面連接，而在二維模式當中是以使用者所繪製之範圍中最靠近的網格，將其設置成邊界條件，較能針對實際地形模擬天然壩體的影響。
4. 實際在使用模式的過程中，一維模式建置的時間較短，每一個情境計算的時間與調整的時間也較短，由於計算成果是斷面之間的內插，對於較寬闊的河川或是淹水的情境模擬成果較差，但在初步評估時已經能提供許多有用的資訊。二維模型雖然對於較複雜之地形與淹水能夠模擬較精細，但是建置時間與計算時間將會因模型的大小，而有極大的差異，建議在有較詳細的調查資料與足夠的建置時間時應用。

V、參考文獻

行政院農業委員會水土保持局 (2017) 鹿谷小半天瀑布崩塌事件速報。行政院農業委員會水土保持局。

行政院農業委員會林務局 (2017) 國有林地堰塞湖應變標準作業程序。行政院農業委員會林務局。

國立交通大學防災工程研究中心 (2004) 堰塞湖引致災害防治對策之研究。水利規劃試驗所。

曾皇銘 (2011) 小林村潰壩研究。國立成功大學。107 頁。

賴桂文 (2016) HEC-RAS 水理模式 2D 模組介紹及應用。水利技師公會。

謝正倫 (2009) 莫拉克颱風引致之堰塞湖。經濟部中央地質調查所。66-67 頁。

Butt, M.J., Umar, M. and R. Qamar (2013). Landslide dam and subsequent dam-break flood estimation using HEC-RAS model in Northern Pakistan. *Natural Hazards*. Volume 65, Issue 1, pp 241–254.

Brunner G.W. (2016) HEC-RAS River Analysis System User's Manual Versions 5.0. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.

Brunner G.W. (2016) HEC-RAS River Analysis System, 2D Modeling User's Manual Versions 5.0. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.

Brunner G.W. (2016) HEC-RAS River Analysis System Reference Manual. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.

Carling, P., I. Villanueva and J. Herget (2010), Unsteady 1D and 2D hydraulic models with ice dam break for Quaternary megaflood, Altai Mountains, southern Siberia, *Global and Planetary Change*, Volume 70, Issues 1–4.

107 年天氣分析與預報研討會

107 年天氣分析與預報研討會

中華民國 107 年 9 月 11 日(星期二)至 13 日(星期四)，交通部中央氣象局，臺北市公園路 64 號
 主辦單位：交通部中央氣象局
 協辦單位：中華民國氣象學會、國家災害防救科技中心
 研討會網址：<http://photo.cwb.gov.tw/conf> 聯絡方式：大會秘書組 02-23491090, 02-23491091

2018 Conference on Weather Analysis and Forecasting

September 11-13, 2018, Central Weather Bureau, Taipei

議程大綱 General Agenda

時間	9 月 11 日 (星期二)			9 月 12 日 (星期三)			9 月 13 日 (星期四)	
08:30-09:00	報到(國際會議廳 B2)			報到(會議室 310 前)			報到(會議室 310 前)	
09:00-09:30	大會開幕式、團體合照			A1 環境遙測 (I) 會議室 501 主持人：周仲島、張保亮 (~9:50)	A3 天氣模擬與預報 (III) 會議室 310 主持人：馮欽賜、陳熾竹	A5 氣象防災及氣候調適應用 (I) 會議室 617 主持人：王世堅、陳永明	A4 氣候監測與預報 (I) 會議室 310 主持人：盧孟明、胡志文	A7 海象測報與應用 (I) 會議室 617 主持人：吳祥任、莊文傑
09:30-10:00	邀請關鍵議題講座一 國立中央大學 劉振榮講座教授 氣象衛星之應用與展望			休息 Tea Break 張貼論文發表 (會議室 310 前廣場)			休息 Tea Break	
10:00-10:10								
10:10-10:30	休息 Tea Break							
10:30-11:10	邀請關鍵議題講座二 環保署環境監測及資訊處 張順欽處長 氣象科技在空氣品質管理的應用與展望			A1 環境遙測 (II) 會議室 501 主持人：朱延祥、齊祿祥 (~11:50)	A3 天氣模擬與預報 (IV) 會議室 310 主持人：陳得松、黃小玲	A5 氣象防災及氣候調適應用 (II) 會議室 617 主持人：蕭金標、謝明昌	A4 氣候監測與預報 (II) 會議室 310 主持人：曾子恆、陳孟詩	A7 海象測報與應用 (II) 會議室 617 主持人：錢祥、陳仁曾
11:10-12:00	邀請關鍵議題講座三 內政部地政司 王成機副司長 國家測繪基準與氣象資訊之關聯 (~11:50)							
12:00-13:30	午餐 (報到在會議室 310 前)							
13:30-15:00	A2 大氣監測與分析 (I) 會議室 617 主持人：李育棋、徐天佑	A3 天氣模擬與預報 (I) 會議室 310 主持人：洪景山、連國洲	A6 氣象跨域應用與環境永續發展 (I) 會議室 501 主持人：賴信志、黃麗政	A1 環境遙測 (III) 會議室 501 主持人：鄭瑞璣、周鑑本 (~14:50)	A3 天氣模擬與預報 (V) 會議室 310 主持人：陳怡良、曾建翰	A5 氣象防災及氣候調適應用 (III) 會議室 617 主持人：陳振宇、黃藏芃	A4 氣候監測與預報 (III) 會議室 310 主持人：王嘉琪、李明營	A7 海象測報與應用 (III) 會議室 617 主持人：林演斌、張淑淨
15:00-15:20	休息 Tea Break			休息 Tea Break 張貼論文發表(會議室 310 前廣場)			休息 Tea Break	
15:20-17:05	A2 大氣監測與分析 (II) 會議室 617 主持人：紀水士、苟潔予	A3 天氣模擬與預報 (II) 會議室 310 主持人：陳建河、張庭槐	A6 氣象跨域應用與環境永續發展 (II)(綠能) 會議室 501 主持人：鄧仁星、潘琦	A1 環境遙測 (IV) 會議室 501 主持人：沈里音、張育承 (~16:20)	A3 天氣模擬與預報 (VI) 會議室 310 主持人：張惠玲、黃梅喜 (~16:05)	A5 氣象防災及氣候調適應用 (IV) 會議室 617 主持人：林秉煌、林品芳 (~16:35)	A4 氣候監測與預報 (IV) 會議室 310 主持人：陳雲蘭、羅寶婷 (~16:20)	A7 海象測報與應用 (IV) 會議室 617 主持人：廖建明、范揚銘

坡地降雨致災熱區警戒模式初探

陳振宇^{1*} 陳均維¹ 陳國威¹ 劉維則^{1,2}

行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組¹ 財團法人農業科技研究院²

摘要

建立警戒系統並適時疏散災害潛勢區內的民眾，為降低天然災害導致人命傷亡風險的有效方式。儘管多數研究結果顯示，降雨導致坡地崩塌或土石流發生的主因係與土壤含水量有直接關連，但限於現地觀測資料取得及實務操作之可行性，現行降雨導致坡地災害之警戒模式多僅使用雨量及其衍生之參數等作為監測指標。此外，台灣現行之土石流災害警戒機制，僅針對已公開之 1 千多條土石流潛勢溪流發布紅黃警戒，對於山坡地上更常見的崩塌災害，並未提供預警資訊，且目前採用逐條發布土石流警戒之發布機制，亦不利於地區整體坡地災害風險之評估。為此，本研究整合 QPE 雷達降雨網格資料與各網格範圍內歷年坡地裸露率變化，提出坡地降雨致災熱區評估指標，並以網格方式建立坡地降雨致災熱區之警戒發布機制。以高雄市六龜區 2005-2017 年之降雨事件為例，本研究建立之警戒模式可有效預測新生崩塌發生之時間及區域。

關鍵字：致災熱區、崩塌、土石流、預警系統、QPESUMS。

Preliminary Study of Disaster Hot Zone Warning Model in Slopeland during Rainfall

Chen-Yu Chen^{1*} Jyun-Wei Chen¹ Kuo-Wei Chen¹

Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan

ABSTRACT

To establish a warning system and evacuate residents before disaster occurring is the essential method to reduce casualties. While much research reveals the results that the landslide occurring during rainfall is related to the soil water content, due to the limitation of collecting monitoring data in mountainous areas, the existing warning system only uses the rainfall and its derived parameters as the critical index. Moreover, the existing warning system in Taiwan issues alerts only for the thousands of potential debris flow torrents, not included the slope failure disasters which are more common to see in mountainous areas. In addition, the existing alert-issuing system only shows the risk of potential debris flow torrents, and it cannot provide overall risk assessment in mountainous areas. Therefore, this study integrated the QPE radar rainfall data and the change of historical remote-sensing image to propose the assessment index of disaster hot zone during rainfall, and we also establish the warning model by using this index. In the case study of Liouguei District during 2005-2017, the new warning model could offer well-predicting for occurring time and areas of landslides.

Key Words: Disaster hot zone, landslide, debris flow, warning system, QPESUMS.

The 9th International Conference on Scour and Erosion

ICSE 2018 Program					
Nov. 4 (Sun.)	101AB	101C	101D	North Carpet/Foyer	103
15:00-17:30	Registration (1F, North Carpet)				
08:30-12:30				Constructor Move-in	
12:30-17:30				Exhibitor Move-in 13:00-15:00	Secretariat Move-in
Nov. 5 (Mon.)	101AB	101C	101D	North Carpet/Foyer	103
08:30-17:30	Registration (1F, North Carpet)				
09:30-10:00	Opening Ceremony			Exhibition Hours 09:00-17:00	Secretariat/Preview Room 08:30-17:00
10:00-11:00	Keynote Presentation 1 Prof. Jau-Yau Lu				
11:00-11:30	Refreshments (1F, North Carpet)				
11:30-12:30	Technical Session 1 Scour and Erosion Testing and Experiment	Technical Session 2 Geotechnical Issues Related to Scour and Erosion / Hillslope Conservation and Debris Flow	Technical Session 3 Sediment Transport: Grain Scale and Continuum Scale		
12:30-14:00	Lunch (4F, Joy/Elegance Lounge)				
14:00-15:30	Technical Session 4 Scour and Erosion Testing and Experiment	Technical Session 5 Advanced Numerical Modelling of Scour and Erosion	Technical Session 6 Sediment Transport: Grain Scale and Continuum Scale		
15:30-16:00	Refreshments (1F, North Carpet)				
16:00-17:30	Technical Session 7 Scour and Erosion Testing and Experiment	Technical Session 8 Advanced Numerical Modelling of Scour and Erosion	Technical Session 9 Management of Scour/Erosion and Sediment		
Nov. 6 (Tue.)	101AB	101C	101D	North Carpet/Foyer	103
08:30-17:30	Registration (1F, North Carpet)				
09:00-10:00	Keynote Presentation 2 Prof. Tetsuya Sumi			Exhibition Hours 09:00-17:00	Secretariat/Preview Room 08:30-17:00
10:00-11:00	Keynote Presentation 3 Dr. Michael Andrew Cline				
11:00-11:30	Refreshments (1F, North Carpet)				
11:30-12:30	Technical Session 10 Scour and Erosion Around Structures	Technical Session 11 River, Coastal, Estuarine and Marine Scour and Erosion	Technical Session 12 Rock Scour and Erosion		
12:30-14:00	Lunch (4F, Joy/Elegance Lounge)				
14:00-15:30	Technical Session 13 Scour and Erosion Around Structures	Technical Session 14 River, Coastal, Estuarine and Marine Scour and Erosion	Technical Session 15 Rock Scour and Erosion		
15:30-16:00	Refreshments (1F, North Carpet)				
16:00-17:30	Technical Session 16 Scour and Erosion Around Structures	Technical Session 17 River, Coastal, Estuarine and Marine Scour and Erosion			
Nov. 7 (Wed.)	101AB	101C	101D	North Carpet/Foyer	103
08:30-14:00	Registration (1F, North Carpet)				
09:00-10:00	Keynote Presentation 4 Mr. Khut Oberhaegemann			Exhibition Hours 09:00-16:00	Secretariat/Preview Room 08:30-17:00
10:00-11:00	Keynote Presentation 5 Dr. Andreas Roulund				
11:00-11:30	Refreshments (1F, North Carpet)				
11:30-12:30	Technical Session 18 Scour and Erosion Around Structures	Technical Session 19 River, Coastal, Estuarine and Marine Scour and Erosion	Technical Session 20 Internal Erosion		
12:30-14:00	Lunch (4F, Joy/Elegance Lounge)				
14:00-15:30	Technical Session 21 Remote Sensing, Instrumentation and Monitoring	Technical Session 22 Field Observation and Analyses / Scour and Erosion Around Structures	Technical Session 23 Internal Erosion		
15:30-16:00	Refreshments (1F, North Carpet)				
16:00-17:30	Technical Session 24 Natural Hazards Due to Scour and Erosion	Technical Session 25 Internal Erosion			
18:30-21:00	Conference Dinner (33F, Taipei World Trade Center Club)				
Nov. 8 (Thu.)					
07:30-18:00	Technical Tour (Meet at the TICC Lobby)				

9th International Conference on Scour and Erosion (ICSE 2018)

November 5–8, 2018, Taipei, Taiwan

Presenting author:

Jyun-Wei Chen –Research and Technology Development Team, Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan

No.6, Guang-Hua Rd., Chung-Hsing New Village, Nantou, Taiwan, R.O.C
jyunweichentw@gmail.com

Co-authors:

Feng-Chi Huang –Research and Technology Development Team, Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan

No.6, Guang-Hua Rd., Chung-Hsing New Village, Nantou, Taiwan, R.O.C
fchuang@mail.swcb.gov.tw

Hsuan-Pin Wu –Research and Technology Development Team, Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan

No.6, Guang-Hua Rd., Chung-Hsing New Village, Nantou, Taiwan, R.O.C
whp1024@mail.swcb.gov.tw

Wei-Ze Liou –Research and Technology Development Team, Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan

No.6, Guang-Hua Rd., Chung-Hsing New Village, Nantou, Taiwan, R.O.C
virjil@mail.swcb.gov.tw

Chen-Yu Chen –Research and Technology Development Team, Soil and Water Conservation Bureau Council of Agriculture, Executive Yuan

No.6, Guang-Hua Rd., Chung-Hsing New Village, Nantou, Taiwan, R.O.C
Cychen59@gmail.com

Keywords:

Unmanned aerial vehicles (UAV), landslide volume, IRIS model, rainfall infiltration, slope stability numerical analysis

Title:

A Case Study for Evaluation of Landslide Volume and Two-Dimensional Slope Stability Numerical Simulation Subject to Rainfall Infiltration

Abstract:

A landslide disaster was caused by 0613 torrential rainfall in 2017, which is located in Nantou, Taiwan. The field was investigated by unmanned aerial vehicles (UAV) to collect the spatial information. According to the post-disaster information, the orthophoto and digital surface model (DSM) were produced and used to map the landslide zone. Afterward, the different periods of digital terrain model (DTM) were compared to evaluate landslide volume. Moreover, the numerical analysis program, integrated rainfall-infiltration-slope stability model (IRIS) was selected to simulate landslide. The procedures of IRIS model are divided into three stages. Firstly, the variation of water content is described by Richard's equation, performing finite-element method to solve the process of rainfall-infiltration. Secondly, the concept of limit equilibrium using Janbu's simplified method is utilized for slope stability analysis. Afterward, the critical slip surface is determined by dynamic programming method. The results indicated that using UAV can efficiently observe the variation of micro-photography and evaluate the landslide volume. The application of IRIS model also effectively responded landslide occurrence time and failure slip surface.