



108
年度大規模土砂災害防減災對策與衝擊研究

成果報告書

108年度大規模土砂災害防減災對策與 衝擊研究 成果報告書



行政院農業委員會水土保持局
與您一起打拼

108
年度

行政院農業委員會水土保持局



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108年12月

108 年度大規模土砂災害防減災對策與衝擊研究

**The Study of Mitigation Strategies and
Impact for Large-Scale Sediment Disasters
Report in 2019**

執行單位 ： 財團法人農業科技研究院

研究主持人 ： 黃德秀 研究員

研究人員 ： 林家興、林詠喬、林宥伯、林恩如

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 108 年 12 月

108 年度大規模土砂災害防減災對策與衝擊研究

摘要

本計畫為三年期(108-110 年度)之連續型計畫案，108 年度完成工作項目包含：國內外土砂防災研究及技術文獻分析、水土保持局歷年土砂防災成果盤點與分析、水土保持基礎資料管理精進方案、集水區土砂災害模擬測試與分析，土砂防災研究發展議題等相關成果，並發表研究論文共計 12 篇，其中期刊論文 2 篇，國際研討會論文 2 篇，國內研討會論文 8 篇。各項工作成果摘要如下：

國內外土砂防災研究及技術文獻分析，鑑於 2018 年 7 月豪雨造成廣域性土砂災害情況，日本中央政府立即對「防災重點農塘」之整備、管理、廢止等方針進行檢討，並重新制訂防災重點農塘選定標準。其檢討過程及修訂後之策略對於國內未來在推動農塘相關管理對策研擬與推動上，極具參考價值，本項工作擬就此方面進行相關文獻蒐集，並討論其所面臨問題及各項分類策略上的應對方法，重點摘錄相關配套法規制度，以提供未來在推動後續計畫時參考。

歷年已完成之土砂防災技術研究成果則以彙整 97 年度至 107 年度水土保持局之委辦與研究計畫成果報告計 2391 冊，並以此為依據執行成效分析，並評估各項技術或研究案持續發展之可延續性。由盤點結果，建議未來相關資料管理平台之規劃，主要以「鏈結 (links)」、「共享」、「提供」等三大功能為目標，應用此功能，提供資料檢索查詢、交換流通、儲存管理與交易等服務，期能成為坡地相關資訊與資料情報之渠道，可作為水保局提供相關單位有利用價值之資訊所用。

水土保持基礎資料管理精進方案，建構智慧防災的坡地環境一直

是水保局努力的願景，智慧防災不僅強調科技面，對於資料儲存、管理、交換等資料治理亦是重點之一，因此，以水保局目前業務型態，其資料類型多元化，需訂定相關資料標準及作業規範，以達成水土保持基礎資料有效整合、增值、共享之目標。藉由水土保持基礎資料管理精進方案，期能透過有效的資源整合，避免重複性支出，同時提升機關內部知識共享，促進資料流通及增值應用，使本局在資料管理符合國際相關標準與國內相關標準並遵循國內法規。

土砂災害模擬相關模式測試與分析，108 年度完成「臺灣近年降雨誘發之土砂災害變遷趨勢」、「日本厚真町堰塞湖之形成與潰決潛勢分析」、「大湖口溪老舊防砂壩調查及遙控無人機建模研究」等三個研究案例，建置數值模型評估土砂變遷趨勢並探討模式適用性與模擬分析。

臺灣近年降雨誘發之土砂災害變遷趨勢藉由有效累積雨量值、新增崩塌面積、重大土砂災例資料之整合分析並利用空間特性，推估歷年全台年度最大土壤含水量分佈，並分析其與重大土砂災例之時、空間分佈關聯性；結果顯示臺灣各地區主要因降雨分佈、形態差異性而導致其各有相異之災害型態。

日本厚真町堰塞湖之形成與潰決潛勢分析，應用 HEC-RAS 2D 二維水理模式，有效分析潰決洪峰水流之運動特性。對於緊急評估分析下游保全住戶之影響，其可快速計算並評估潰壩時所產生之潰決洪峰流量、洪水到達時間、洪水氾濫情況等模擬成果。透過不斷精進的基礎資料建置與管理，將能在第一時間取得災害區域大範圍之基本重要資料，能夠提升緊急應變決策之效率，而隨著災害規模提升和複合性災害之衝擊，輔以情境設定及模擬分析來規劃實際應變之相關策略。

大湖口溪現地調查主要目的為評估老化防砂壩之防護功能，為掌握大湖口溪集水區三支水防砂壩之概況，此次現地調查時間為 108 年 11 月 14 日，進行無人載具空拍及建模、構造物調查及河床質表面粒徑調查，以瞭解此集水區之特性。三支水第一號至第三號防砂壩，設施建造年限已接近 50 年，長年土砂沖擊及耐用年限老化下所造成機能降低甚至是機能損壞，建議後續進行長期觀測，藉由觀測方法、定期檢查、維護及更新等硬體對策，可作為砂防設施延壽活化示範區。

在土砂防災研究發展議題項目，主要是針對日本防災重點農塘、國土交通省砂防部、農林水產省等相關技術文件及災害報告等進行蒐集與研析，綜整日本農塘防減災對策相關整備、管理、法條資料，並於 108 年出版「108 年度國內外水土保持技術發展趨勢-日本農塘維護與防災對策演進」報告 1 冊。

關鍵詞：大規模土砂災害、土砂災害模擬、土砂災害防減災對策、水土保持技術與研究發展

The Study of Mitigation Strategies and Impact for Large-Scale Sediment Disasters Report in 2019

Abstract

This project is a continuous research from 2019 to 2021. The main achievement of the project in 2019 includes four items: (1) case study and data collection of sediment-related disaster prevention and technology literature, (2) inventory the sediment-related research results and annual projects of the Soil and Water Conservation Bureau (SWCB), (3) test and analyze the numerical model of watershed sediment-related disasters, (4) integrate the future development issues for sediment-related disaster prevention and mitigation strategy. We conducted the above items with the Research and Technology Development Team of SWCB, and has published 12 research papers including two journal papers and ten conference papers. The results of the four items are briefly described as follows:

First, In view of the severe broad regional sediment-related disaster, “The Heavy Rain Event of July 2018”, in Japan, the central government of Japan immediately reviewed the guidelines for the preparation, management, abolition, and so on of Specific Farm Ponds and re-developed the criteria for selecting Specific Farm Ponds. The review process and the revised strategies of Japan are useful for promoting farm ponds’ development and management in future in Taiwan. This project item aims to collect literature published by Japan Ministry of Agriculture

Forestry and Fisheries and summarize relative literature, prevention strategies, corresponding law and regulation as this analytical report did. Furthermore, this project item is a supporting reference for relevant policy-making, management strategies, and action plans in the future.

Second, we inventoried the SWCB annual project reports of sediment-related disaster strategies and technology through collecting and analyzing 2391 reports (2008-2018). Base on the inventory result, we conducted effectiveness analysis and evaluated the potential development and feasibility of each report. Further, we provided recommendation about the plan of data management platform that are represented by three main functions, including “links,” “share,” and “provide.” By applying these three functions, SWCB will provide several data services including retrieval, query, exchange, circulation and moreover, storing and trading management. The data management platform based on inventory results is a root for slope-related research and data intelligence. Furthermore, the platform offered by SWCB could provide valuable information for relevant government units.

Consequently, the data management platform has been sustained developing with an advanced project for basic data management. By data management, SWCB keep committed in the vision of building an intelligent environment of slope disaster prevention. An intelligent environment of slope disaster prevention not only emphasizes the technical aspect, but also focuses on data management such as data storage, management, and exchange. Therefore, in order to effective integration,

value-added and sharing of diverse data types, data standards and operating specifications need to be established. With the advanced project for basic data management of soil and water conservation, it is anticipated avoiding repetitive expenditures and improving the internal knowledge sharing through effective resource integration. Moreover, data management could promote data circulation and value-added applications, further, make SWCB's data management comply with relevant international standards, domestic related standards and following domestic regulations.

Third, in 2019, we had two research cases, “The Preliminary Study on Trend of Sediment-related Disasters Triggered by Rainfall in Taiwan in The Past Decades” and “The Formation and Dam Breach Analysis of Landslide Dam Lake in Atsuma Town in Japan,” both of which are numerical model of watershed sediment-related disasters.

The former estimated the distribution of annual EAR(max) over the years through the integrated analysis of effective accumulated rainfall, newborn area of landslides, and severe sediment-related disasters. Besides, the study clarified the spatial and temporal characteristics of severe sediment-related disasters between these factors. The result showed that, in Taiwan, we have various disaster patterns due to the different rainfall distribution and modes.

In the latter case, we use free two-dimensional flood routing model of HEC-RAS model to establish a standard operating procedure for rapid assessing the impact on the downstream protecting targets after a landslide dam breach. The landslide dam caused by Hokkaido earthquake in Atsuma

Town in Japan on September 6th of 2018 is a case study in this research. A numerical model is selected to simulate the process of dam breach and analyze the characteristics of flooding wave, including the peak discharge, flooding arrival time, and inundation area. The result presented the simulation of different landslide dam heights and breach duration to recognize disaster risks. Based on these results, the local government can not only delimit the inundated area and protect targets but also decide emergency evacuation plan and set early-warning criterion.

To evaluate the sediment trapping function of the sabo dam, the third research case represented the in situ survey result of the Sanzhishui sabo dam, located on the Dahukou River. To understand the characteristics of study area, the in situ surveys were conducted including aerial-photo and 3D reality mech of UAV, sabo facilities survey, and river-bed material survey. The construction period of these three sabo dams is close to 50 years, and the sediment trapping function caused by long-term sediment-related impact and durability aging may decrease or even damage. The research recommended that hardware countermeasures such as inspection, maintenance and renewal can be used as a demonstration area for prolonging the life of aging sediment-related facilities.

The future developing issue for slope sediment-related disaster prevention and mitigation strategy, which was collected relevant strategies based on disaster reduction and prevention of farm ponds in Japan and published a report entitled “Trend for Research and Technology Development of Soil and Water Conservation in 2019: Farm Pond

Maintenance and Disaster Prevention and Mitigation Strategies in Japan”.

Keywords : Large-scale Sediment Disaster, Simulation of Sediment-related Disasters, Mitigation Strategies for Large-Scale Sediment Disasters, Soil and Water Conservation Technology and Research Development

目次

摘要	II
ABSTRACT	V
目次	X
表次	XIII
圖次	XV
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 歷年土砂防災技術與研究成果盤點	2-1
第一節 盤點工作範圍	2-2
一、 水土保持及分局委辦及研究計畫成果	2-2
二、 委辦計畫成果盤點工作項目說明	2-5
第二節 盤點成果分析	2-7
一、 盤點結果	2-7
二、 盤點文字雲	2-15
三、 評估歷年成果延續發展之可行性	2-20
第三章 水土保持基礎資料管理精進方案	3-1
第一節 前言	3-1
第二節 資料盤點現況	3-2
一、 歷年委辦及研究計畫成果	3-2
二、 各組室(中心)預計產出資料	3-2
第三節 面臨課題	3-8
第四節 精進策略	3-8
一、 強化資料管理與開放審議機制	3-9
二、 擴大資料建置管理範疇	3-12
三、 資料建置與管理納入業務流程	3-24
四、 完備資料管理環境及平台	3-27
五、 公私跨域合作應用推廣	3-32
第五節 推動期程與分工	3-35
一、 重要工作期程及分工	3-35
二、 各組室(中心)及分局配合事項	3-35

第六節	預期效益	3-37
第四章	土砂災害變遷趨勢及數值模擬分析	4-1
第一節	臺灣近年降雨誘發之土砂災害變遷趨勢	4-1
一、	緣起	4-1
二、	材料與方法	4-3
三、	結果與討論	4-10
四、	結論	4-26
第二節	日本厚真町堰塞湖之形成與潰決潛勢分析	4-27
一、	前言	4-27
二、	材料及方法	4-31
三、	成果與討論	4-40
四、	結論	4-48
第三節	大湖口溪老舊防砂壩調查及遙控無人機建模研究	4-51
一、	前言	4-51
二、	材料及方法	4-51
三、	調查結果	4-64
四、	評估與建議	4-70
第五章	日本農塘防減災對策演進	5-1
第一節	前言	5-1
第二節	農塘特性與類型	5-1
一、	農塘構造與種類	5-2
二、	農塘多功能類型	5-4
三、	農塘受災破壞型態	5-4
第三節	農塘防減災整備與管理方針	5-7
一、	管理組織的活動及角色	5-7
二、	保全管理方針及保全構想的擬定	5-8
三、	2018 年 7 月前日本防災重點農塘選定構想	5-9
第四節	2018 年 7 月豪雨農塘災害狀況	5-17
一、	災害狀況與災因	5-17
二、	修訂後防災重點農塘選定標準	5-18
三、	農塘整備、管理、廢止對策概要	5-20
第五節	災後相關法令修訂-農塘管理與保全法	5-22
一、	農塘管理與保全法架構	5-22
二、	總則	5-22
三、	農塘申報與管理	5-25
四、	特定農塘之選定	5-28

五、	行為限制	5-29
六、	防災工程施作	5-31
七、	通告居民之措施	5-31
八、	農塘管理權之設定	5-32
九、	補助及援助	5-33
第六節	小結	5-34
第六章	結論與建議	6-1
第一節	結論	6-1
一、	水土保持技術研究課題	6-1
二、	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	建議	6-7
一、	水土保持技術研究發展規劃	6-7
二、	歷年委辦案件成果可延續性建議 (資料管理與維護).....	6-9
第三節	研究成果發表	6-12
參考文獻		1
附錄一 政府資料開放作業相關資料		1
一、	資料開放相關指導文件	1
二、	資料 5 顆星評等	2
附錄二 研究成果發表		3

表次

表 2-1 歷年委辦及研究計畫數量統計	2-4
表 2-2 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (1)	2-5
表 2-3 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (2)	2-6
表 2-4 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (3)	2-7
表 2-5 盤點資料成果類別	2-8
表 2-6 細部盤點項目與統計數量	2-14
表 2-7 文字雲分析應用工具表	2-16
表 3-1 成果內容分類項目	3-5
表 3-2 各組室(中心)預計產出資料	3-6
表 3-3 水土保持局開放資料	3-16
表 4-1 台灣北中南東地區所包含之縣市	4-4
表 4-2 2006-2018 年歷年災害事件與重大土砂災例件數	4-5
表 4-3 2006-2015 年各年度新生崩塌面積	4-10
表 4-4 2006-2018 年台灣重大土砂災例類型分析	4-13
表 4-5 2018 年 7 月至 2019 年 6 月新聞報導案件之報導原因、件數與災害類型	4-25
表 4-6 潰壩情境參數整理	4-39
表 4-7 不同壩高情境下之災害潛勢分析	4-41
表 4-8 不同壩高情境之保全對象水理數值分析整理	4-41
表 4-9 不同潰壩延時情境之保全對象水理數值分析整理	4-45
表 4-10 不同運算網格大小情境之比較	4-48
表 4-11 外業調查儀器	4-52
表 4-12 P4P PRO2 規格性能諸元	4-55
表 4-13 MAVIC PRO 規格性能諸元	4-56
表 4-14 手持式 GPS 規格性能諸元	4-57
表 4-15 E-GNSS R6 移動站規格性能諸元	4-57
表 4-16 表面粒徑調查記錄表	4-59

表 4-17 不同代表粒徑之曼寧 N 值經驗公式	4-60
表 4-18 構造物調查表	4-62
表 4-19 防砂相關設施的健全度評估	4-63
表 5-1 農塘潰壞統計表	5-17
表 5-2 農塘整備、管理、廢止對策內容	5-21
表 5-3 農塘防災工程概要.....	5-25
表 6-1 研究成果-2019 論文發表	6-13
附錄表 1 資料 5 顆星評等說明.....	2

圖次

圖 1-1 計畫研究架構圖	1-5
圖 2-1 盤點工作架構及流程	2-3
圖 2-2 歷年委辦計畫性質數量統計	2-4
圖 2-3 資料管理平台-綜合資料查詢	2-8
圖 2-4 HOST 地圖應用案例	2-11
圖 2-5 空間資訊資料成果應用 (BIGGIS 巨量空間資訊系統)	2-12
圖 2-6 BIGGIS 應用案例-武界水庫蓄水變化	2-12
圖 2-7 資料加值應用類-虛擬實境工具	2-13
圖 2-8 教育訓練課程	2-13
圖 2-9 文字雲分析流程圖	2-16
圖 2-10 計畫名稱文字雲分析成果	2-18
圖 2-11 計畫關鍵字文字雲分析成果	2-18
圖 2-12 計畫名稱詞頻關聯統計圖	2-18
圖 2-13 計畫關鍵字詞頻關聯統計圖	2-19
圖 3-1 數位治理-資源整合與共享	3-2
圖 3-2 委辦計畫盤點流程圖	3-4
圖 3-3 各組核心產出資料	3-4
圖 3-4 農業資料開放平台 (HTTPS://DATA.COA.GOV.TW/)	3-10
圖 3-5 國家發展委員會建置之政府資料開放平臺 (HTTPS://DATA.GOV.TW/DATASETS/SEARCH?QS=水土保持局)	3-10
圖 3-6 水土保持資料管理平台	3-11
圖 3-7 各資料類別範例	3-11
圖 3-8 五顆星開放資料 (HTTPS://5STARDATA.INFO/ZH-TW/)	3-14
圖 3-9 政府開放資料集品質標章 (國發會)	3-15
圖 3-10 資料推廣應用案例	3-15
圖 3-11 正射影像精度檢核	3-24
圖 3-12 UAV 空拍成果-幾何偏差檢核表	3-25

圖 3-13 產製驗收證明文件流程	3-26
圖 3-14 於電子圖書管理中心提交基礎資料檔案示意	3-26
圖 3-15 政府網站資料開放宣告	3-28
圖 3-16 資料使用限制類型	3-29
圖 3-17 資料管理平台-API 服務.....	3-29
圖 3-18 開放地理空間協會國際標準	3-30
圖 3-19 資料標準文件	3-30
圖 3-20 資料整合原則	3-31
圖 3-21 資料平台整合架構.....	3-31
圖 3-22 創新研究計畫	3-32
圖 3-23 2018 土砂災害宣導創新實踐黑客松 (南投分局).....	3-33
圖 3-24 資料視覺化 (水保局技術研究發展小組).....	3-33
圖 3-25 技術研究發展小組-技術交流 SEMINAR 專題.....	3-34
圖 3-26 技術研究發展小組-創新型研究計畫.....	3-34
圖 3-27 重要工作期程及分工	3-35
圖 3-28 水土保持基礎資料管理-預期效益	3-37
圖 4-1 研究流程圖	4-3
圖 4-2 2006-2018 年重大土砂災例分布	4-5
圖 4-3 崩塌地變遷及分類示意(改繪自陳俞旭，2008).....	4-9
圖 4-4 2006-2017 年全台年度最大土壤含水量指標分布圖	4-11
圖 4-5 2006-2017 年年最大平均有效累積雨量與新生崩塌面積	4-14
圖 4-6 2006-2018 年年度最大平均有效累積雨量與重大土砂災例數.....	4-14
圖 4-7 2006-2018 年月平均最大有效累積雨量及重大土砂災例數	4-14
圖 4-8 2006-2018 年降雨誘發重大土砂災例發生機率.....	4-15
圖 4-9 不同降雨情境下之各類災害比例	4-15
圖 4-10 各地區 2006-2017 年之月平均最大有效累積雨量及 2006-2018 年各月份 災例數量	4-19
圖 4-11 各地區 2006-2015 年新生崩塌面積及 2006-2017 年年度最大平均有效累 積雨量：(A)北部，(B)中部，(C)南部，(D)東部	4-20

圖 4-12 各地區 2006-2018 年重大土砂災害及類別，與 2006-2017 年年度最大平均有效累積雨量：(A)北部，(B)中部，(C)南部，(D)東部	4-21
圖 4-13 2018 年 7 月~2019 年 6 月土砂災害相關之新聞災點位分布圖	4-25
圖 4-14 天然壩類型 (COSTA, J. E., AND SCHUSTER, R. L., 1988).....	4-28
圖 4-15 研究流程圖	4-30
圖 4-16 北海道地震震度分布圖 (日本氣象廳).....	4-31
圖 4-17 崩塌調查資料示意圖(日本國土地理院).....	4-32
圖 4-18 研究區域之集水區範圍	4-34
圖 4-19 厚真町地區歷年最大一小時降雨強度	4-34
圖 4-20 研究區域之保全對象位置與堰塞湖之距離.....	4-35
圖 4-21 研究區域之模式模擬範圍示意圖.....	4-38
圖 4-22 HEC-RAS 模式 2D 潰壩參數設定介面	4-38
圖 4-23 不同壩高情境之上游迴水影響範圍	4-42
圖 4-24 堰塞湖水位-面積-體積曲線圖.....	4-43
圖 4-25 不同壩高情境之下游影響範圍	4-44
圖 4-26 潰壩最大水深分布圖：(A) CASE6 (B) CASE8.....	4-46
圖 4-27 潰壩最快流速分布圖：(A) CASE6 (B) CASE8.....	4-46
圖 4-28 洪水來臨時民眾可步行避難之流速及水深範圍(小川芳也等，2014) .	4-47
圖 4-29 潰壩水深乘流速最大分布圖：(A) CASE6 (B) CASE8	4-47
圖 4-30 台灣省防砂壩工程調查報告(71 年)	4-51
圖 4-31 農林航空照片(62 年 12 月 10 日).....	4-64
圖 4-32 集水區衛星影像圖.....	4-64
圖 4-33 三支水第一號防砂壩	4-65
圖 4-34 三支水第一號防砂壩 3D 建模成果 (1)	4-66
圖 4-35 三支水第一號防砂壩 3D 建模成果 (2)	4-66
圖 4-36 第二號防砂壩(現地照片 1)	4-67
圖 4-37 第二號防砂壩(現地照片 2)	4-68
圖 4-38 第二號防砂壩(3D 建模成果).....	4-68
圖 4-39 第三號防砂壩(現地照片 1)	4-69

圖 4-40 第三號防砂壩(現地照片 2)	4-69
圖 4-41 第三號防砂壩(3D 建模成果).....	4-70
圖 5-1 農塘構造 (農林水產省，2019).....	5-2
圖 5-2 農塘取水設施構造示意圖 (HOKUKON MAGAZINE, 2015).....	5-3
圖 5-3 農塘構築型式分類 (農林水產省，2019).....	5-3
圖 5-4 農塘多功能類型 (農林水產省).....	5-4
圖 5-5 農塘破壞型式 (HTTPS://DAMFAILURES.ORG).....	5-5
圖 5-6 降雨引致農塘破壞型式 (農林水產省，2015).....	5-6
圖 5-7 地震引致農塘破壞型式 (農林水產省，2015)	5-6
圖 5-8 農塘管理相關機關之活動及角色 (農林水產省，2014).....	5-8
圖 5-9 保全管理方針及保全構想之內容	5-9
圖 5-10 行動示範案例流程	5-10
圖 5-11 大雨、洪水之應變對策 (農林水產省，2015).....	5-11
圖 5-12 農塘低水位管理示意圖 (農林水產省，2018).....	5-11
圖 5-13 農塘低水位調節示意圖 (農林水產省，2018).....	5-12
圖 5-14 溢洪道閘門調節效果示意圖 (農林水產省，2018).....	5-12
圖 5-15 尖峰水位超過時間示意圖 (農林水產省，2018).....	5-13
圖 5-16 農塘洪水調整機能評估示意圖 (農林水產省，2018)	5-14
圖 5-17 地震後之應變方式 (農林水產省，2015).....	5-15
圖 5-18 緊急放流應變措施 (農林水產省，2015).....	5-16
圖 5-19 防災重點農塘潰決影響範圍 (農林水產省，2019).....	5-19
圖 5-20 農塘管理與保全法-總則概要	5-24
圖 5-21 農塘定義概念圖 (農林水產省，2019).....	5-24
圖 5-22 申報對象之農塘 (農林水產省，2019).....	5-27
圖 5-23 農塘資料庫之整備與公布 (農林水產省，2019).....	5-27
圖 5-24 農塘之管理與勸告概要	5-28
圖 5-25 農塘蓄水與潰決影響範圍.....	5-29
圖 5-26 行為限制範圍示意圖 (農林水產省，2019)	5-30

圖 5-27 行為限制與非行為限制事項 (農林水產省，2019)	5-30
圖 5-28 防災工程計畫之申報 (農林水產省，2019)	5-31
圖 5-29 申請裁定管理權之流程 (農林水產省，2019).....	5-32
圖 5-30 相關補助要件 (農林水產省， 2019)	5-33

第一章 緒論

近年來受極端氣候變遷影響，導致颱風豪雨之降雨延時與強度改變，並造成複合型土砂災害事件，不再是以往單一災害型態，且大規模土砂災害影響面積廣、規模大、災害類型多，使得山區面臨崩塌、土石流、堰塞湖等災害，而下游地區則是面臨洪水氾濫、水庫大量淤積、水資源供給調節等不同類型災害的威脅。

自莫拉克颱風引發小林村大崩塌事件之後，引起國內外對「大規模崩塌」、「深層崩塌」的討論與調查。為因應氣候變遷衝擊，行政院於 105 年正式核定氣候變遷下大規模崩塌防減災第一期計畫(106 至 109 年度)，目前各項行動計畫已依續推動，希冀能逐漸提升坡地災害應變能力。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於因應大規模災害應變及減低風險之能力有限，為強化大規模崩塌防減災之能力，降低災害之風險並提升聚落安全防護能力，完整建構大規模崩塌防減災體系，實有需要預先籌備第二期(110-113) 計畫先期工作，以利大規模崩塌防減災工作之推動。

第一節 研究背景

為強化大規模崩塌防減災技術與提升防災應變能力，將藉由蒐集、更新與研析國內外土砂研究技術文件、盤點歷年土砂防災計畫執行成果與延續性分析、集水區土砂災害模擬模式精進測試與分析、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、基礎資料集彙整整合與建置、研擬大規模土砂災害防災對策等目標。

在氣候變遷衝擊下，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，以因應氣候變遷之影響。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，組織內部需隨時審視、檢核、重整業務執行步驟，以保持各部門間之協調性與競爭力。期望藉由蒐集、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，循此脈絡做為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

本期計畫之工作項目包含：收集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、集水區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項研究目標，分別說明如下：

1. 本計畫藉由蒐集國內外土砂防災研究及技術相關資料進行文獻分析，此次主要針對日本平成 30 年 7 月豪雨事件探討農塘防減災對策演進，以提供國內未來在推動農塘相關管理對策研擬與推動時參考。
2. 盤點水土保持局歷年土砂防災計畫，對於研究計畫成果進行分析，檢視重大政策推動情形，以探討其發展與分析其持續

投入相關研究的必要性，並初步篩選基礎資料進行整合、標準化與格式化，以作為建立未來資料管理與加值應用之前置作業。

3. 此次更藉由集水區土砂災害模擬，以有效累積雨量為指標，配合土壤含水量峰值分布之視覺化表示方式，並蒐集降雨引致之重大土砂災例、有效累積雨量與新生崩塌面積等相關資料，探討臺灣近年降雨誘發土砂災害變遷趨勢；由於天然壩之形成及其衍生之二次災害難以事前預測，故一旦發現後，其緊急應變計畫之研擬通常十分急迫。堰塞湖潰決影響衝擊研析，則是蒐集日本北海道地震所形成之厚真町堰塞湖相關資料，利用二維水理模式測試與分析堰塞湖潰決潛勢，期在推算堰塞湖潰決後各種影響範圍與衝擊程度並建立快速評估作業程序。
4. 研擬土砂防災研究發展議題，則是透過研擬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、基礎資料蒐集整合與建置、研擬大規模土砂災害防災對策等目標，以提升大規模崩塌防減災技術並強化防災應變工作。

第三節 研究報告架構

本研究「大規模土砂災害防減災對策與衝擊研究」，由上述四大項研究目標規劃本研究報告架構，整體研究流程如圖 1-1，各章節內容分別說明如下：

第一章，緒論，說明研究背景、目標及研究架構。

第二章，歷年土砂防災技術與研究成果盤點，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。

第三章，水土保持基礎資料管理精進方案，數位治理時代，資料蒐集與分析將是政府決策及施政的重要依據，資料類型多元化，在資料管理之建置及標準化下，為達成水土保持基礎資料有效整合、增值、共享之目標，提出基礎資料管理精進方案，期能透過有效的資源整合，避免重複性支出，同時提升機關內部知識共享，促進資料流通及增值應用，使水土保持局在資料管理符合國際相關標準與國內相關標準並遵循國內法規。

第四章，土砂災害變遷趨勢及數值模擬分析，旨在探討國內集水區在極端降雨事件後，以有效累積雨量為指標，配合土壤含水量峰值分布之視覺化表示方式，並蒐集降雨引致之重大土砂災例、有效累積雨量與新生崩塌面積等相關資料，探討臺灣近年降雨誘發土砂災害變遷趨勢；由於天然壩之形成及潰決所影響之災害範圍與衝擊難以事前預測，故堰塞湖一旦形成後，其緊急應變時間通常十分急迫，故針對堰塞湖潰決影響衝擊研析，則是蒐集日本北海道地震所形成之厚真町堰塞湖相關資料，利用二維水理模式測試與分析堰塞湖潰決潛勢，期在推算堰塞湖潰決後各種影響範圍與衝擊程度並建立快速評估作業程序。

第五章，國內外研究與技術發展，本章節以日本農塘防減災對策

蒐集相關資料，此次主要以日本平成 30 年 7 月豪雨事件探討防災重點農塘選定標準、農塘防減災整備與管理方針、農塘管理與保全法之演進，以提供國內未來在推動農塘相關管理對策研擬與推動時參考。

第六章，結論與建議，依據本年度執行之工作項目分別為：收集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、集水區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，提出各項工作結論與建議。

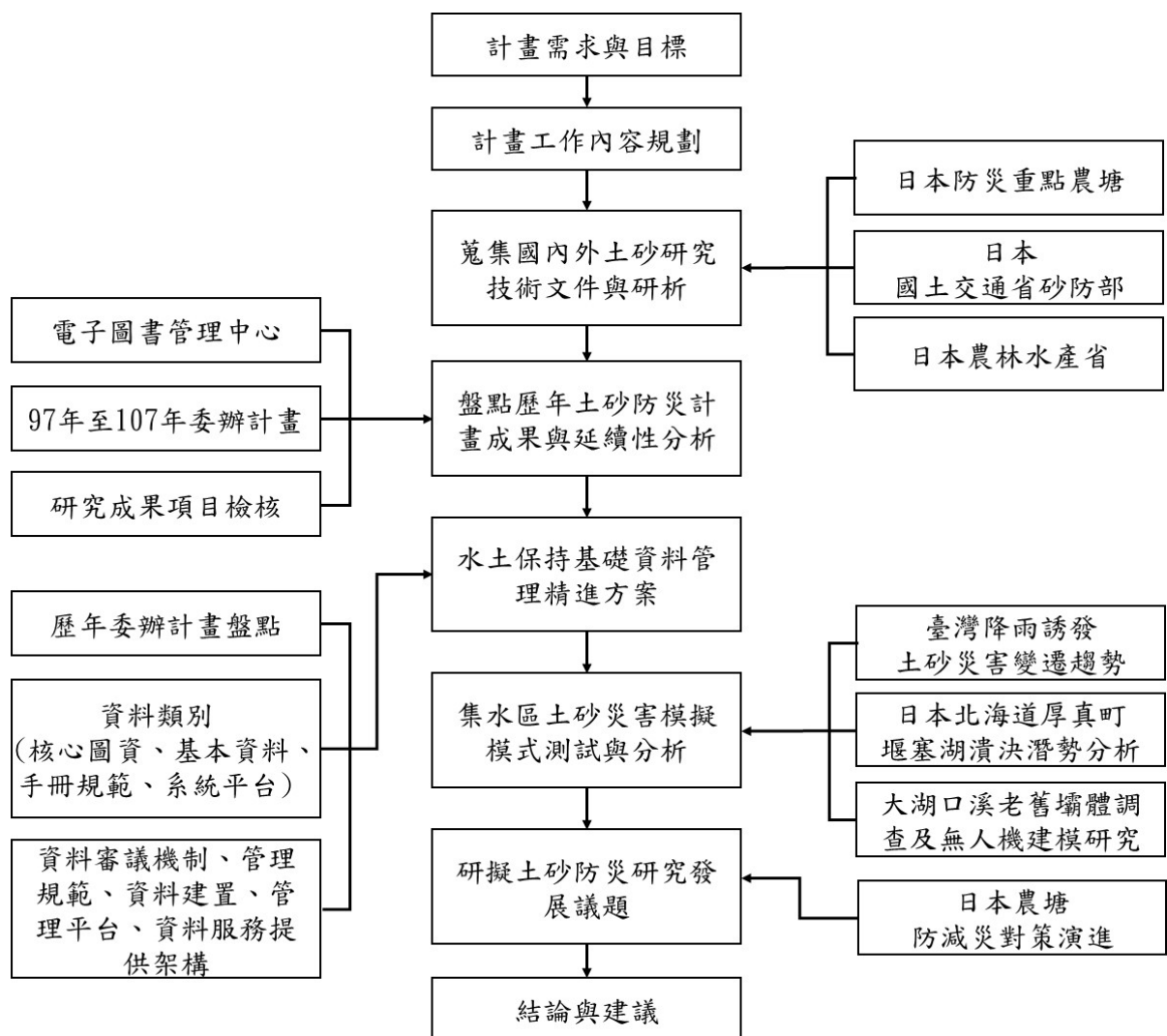


圖 1-1 計畫研究架構圖

第二章 歷年土砂防災技術與研究成果盤點

水土保持局歷年土砂防災技術與研究成果盤點所累積之基礎資料、核心資料、向量資料、影像資料等成果相當豐碩，為能將資料數位化與彙整，達到資源整合效益、資料分類與流通，對後續成果檢核與發展延續性評估，供水土保持局執行資料管理，並藉由每季召開「資料管理工作圈」會議，持續檢討各項委辦計畫產出圖資及核心圖資之標準，以作為資料控管之依據。

藉由盤點目項逐一檢視各項委辦及研究計畫所產出之成果，除報告書格式及上傳內容有無缺漏外，其餘各盤點細項主要是將產出資料進行盤點、清查、整合，並探討各項資料之格式及開放資料所需之共通性欄位是否符合水保局共通性資料欄位編碼規範，以避免不同時期之產出成果資料格式不一致、不相容。

後端資料之整合歸檔、儲存與共享，則是以目前水保局規劃之基礎資料管理平台，提供資料有效進行整合並共享資源給全局同仁使用，對於委辦廠商使用之需求，提供給委辦廠商使用則依申請審核機制辦理，並為達成開放環境、跨領域合作應用與推廣，利用 API 服務將資料與外單位進行流通與交換。

本年度盤點工作內容為 97 年至 107 年度水土保持局各業務組(中心)及分局所執行之委辦及研究案共計 2391 件，其中初步篩選可能包含基礎資料與後續增值應用之案件，共計 1705 件委辦計畫成果報告，並依據各業務單位常使用之參考資料進行詳細的成果盤點。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。

第一節 盤點工作範圍

一、水土保持及分局委辦及研究計畫成果

本研究檢視水土保持局歷年委辦與研究案件成果，對於開放資料、核心資料、基礎資料、向量資料、影像資料等，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，由上述工作項目規劃盤點架構及流程如圖 2-1 所示。

本項盤點工作是蒐整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 107 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 2-1 所示。自 97 年至 107 年之委辦與研究案共計 2391 件，平均每年約 200 件委辦計畫。

本年度盤點 107 年相關委辦計畫總計為 222 件，以計畫性質進行區分，如圖 2-2 所示，共計可分為一般行政、前瞻基礎建設計畫、重劃區外緊急農路設施改善計畫、農村再生建設與發展計畫、整體性治山防災、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、農村再生規劃及人力培育計畫等 9 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 98 筆最多，次之為整體性治山防災計畫盤點數量共 82 筆。

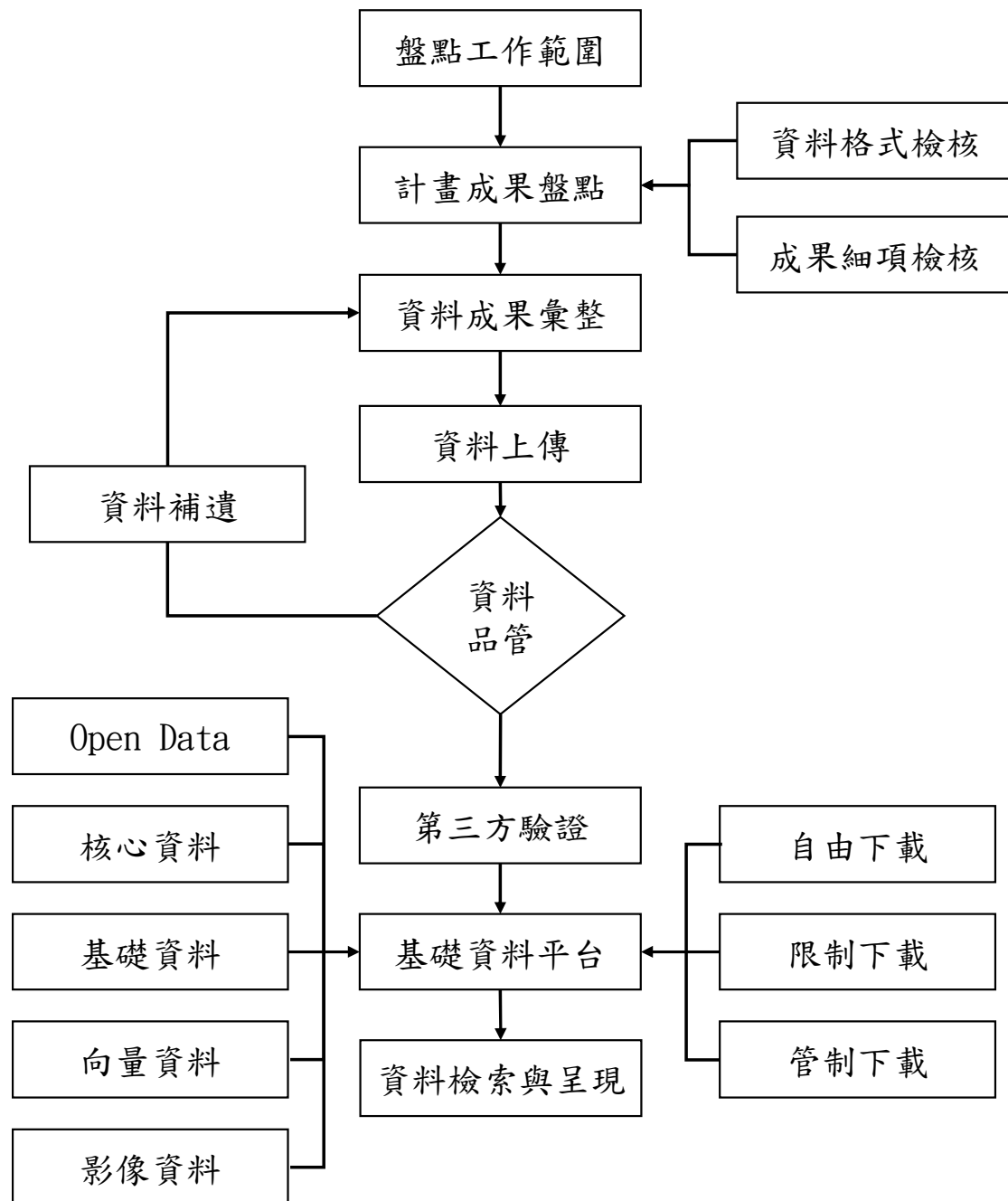


圖 2-1 盤點工作架構及流程

表 2-1 歷年委辦及研究計畫數量統計

年度 各組室(分局)	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	個別 加總
綜合企劃組	8	26	24	15	26	25	23	23	18	13	11	212
保育治理組	24	16	15	16	13	13	21	23	36	34	30	241
農村建設組	17	21	22	27	26	21	23	21	23	21	18	240
監測管理組	15	12	12	11	11	9	11	7	9	13	12	122
土石流防災中心	14	43	35	29	27	20	29	24	19	18	18	276
技術研究發展小組	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	12	15
台北分局	11	28	19	10	15	14	17	18	21	28	22	203
台中分局	14	34	21	18	20	20	20	22	20	31	27	247
南投分局	16	44	21	22	26	21	24	23	21	29	20	267
台南分局	23	40	11	13	23	23	21	18	16	20	23	231
花蓮分局	9	24	14	15	17	18	19	14	13	16	15	174
台東分局	7	23	20	12	14	16	17	14	12	14	14	163
年度加總	158	311	214	188	218	200	225	207	208	237	222	總計 2391

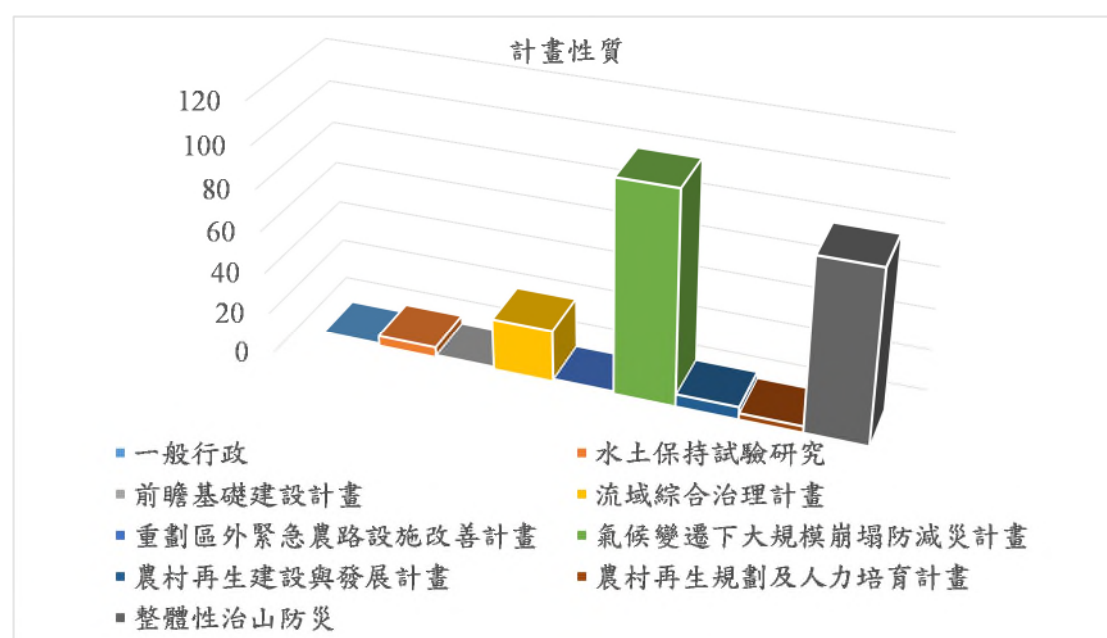


圖 2-2 歷年委辦計畫性質數量統計

二、委辦計畫成果盤點工作項目說明

本次盤點工作重點係對於計畫成果進行細部盤點，將盤點工作項目分為 30 項，主要是依照報告格式及上傳內容有無缺漏、航遙測影像資料 (含 UAV 及其產製資料)、集水區水文資料、集水區地文資料、監測儀器相關資料、現場調查 (災害照片、構造物調查)、生態檢核 (生態敏感區位、重要物種棲地)、教育訓練及出版品 (專書、海報、微電影)、特殊分析技術等等項目進行盤點，依 30 項細部關鍵項目進行盤點作業 (表 2-2、表 2-3、表 2-4)。

表 2-2 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	是否符合水保局格式、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 、Kh 等
10	雨量資料 (時雨量、年平均)	針對研究區域蒐集平均雨量相關資料

表 2-3 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (2)

11	重現期雨量資料 (不同頻率年)	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 (不同頻率年)	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 (土砂收支)	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 (數值模式名稱)	如降雨逕流水文模式、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)	計畫研究區設置土石流、淺層崩塌、大規模崩塌、水文、地文、土砂等相關監測站
16	土壤沖蝕相關資料	如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	平台建置 (維護)	委辦計畫之平台建置與維護並記錄其名稱
20	崩塌判釋	如地表地質調查、衛星影像判釋
21	災害案例或工程案例相關	災害案例、治理工法、工程案例的詳細調查研究報告
22	回歸公式 (屬性)	回歸公式並記錄其應用屬性 (崩塌面積、體積估算、流量估算、流速估算、災損估算)
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

表 2-4 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (3)

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空間資訊圖資，如 GIS 圖資、KML 圖資
30	特殊分析技術	其他有特別可以紀錄的內容或是技術如水下聲納探測、光學式自動化雨滴頻譜儀、海事衛星通訊整合、地聲探測

第二節 盤點成果分析

一、盤點結果

今年度盤點資料由 97 年度至 107 年度共 1705 件委辦及研究計畫成果，以目前盤點成果顯示每年逾兩百件研究計畫產出成果相當豐碩，為掌握歷年盤點成果，技術研究發展小組先行將今年度盤點成果進行資料數位化（水文資料、河川水理、雨量、地質鑽探、現地試驗、地電阻）並匯整於水土保持局基礎資料管理平台，在資料之呈現上考量各計畫研究區調查時間及空間關係，以年度、縣市、關鍵字、空間範圍等選取方式以利使用者進行檢索查詢（圖 2-3）。

盤點資料成果，可以概略分成：空間資訊類（航遙測資料、UAV 資料、紅色地圖）、現場（監測）資料類（雨量、流量、地下水、鑽探、地電阻）、數值模式類（降雨逕流水文模式、水理模式、邊坡穩定模式、降雨入滲模式、土石流模擬模式）、集水區相關類（河床質、斷面測量、水文資料、生態調查）、加值應用類（3D 模型、環景影像、AR、VR、MR）、教育訓練與出版品（專書、海報、影片）等六大類（表 2-5）。



圖 2-3 資料管理平台-綜合資料查詢

表 2-5 盤點資料成果類別

空間資訊類	UAV、航遙測影像、光達產品
集水區相關	河道質、斷面測量、土壤參數、水文資料、土砂產量、崩塌判釋
數值模式類	數值模式、回歸公式
現場資料類	監測、崩塌儀器、地球物理探測、案例、災害照片、構造物調查、生態檢核
資料加值應用	平台建置、虛擬實境模擬
教育訓練與出版品	教育訓練、出版品

根據歷年盤點統計結果，1705 冊報告書中有 1196 冊符合規定格式，電子圖書則為 1129 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、電子書不完整等，皆列

為不符合項目，盤點歷年統計結果如表 2-6 所示。

1. 空間資訊類：

在盤點各委辦研究計畫時，以 UAV 影像、航遙測影像及光達資料加值應用如紅色地圖 (圖 2-4)、CS 地圖等資料作為檢核項目，將委辦廠商所產出之資料成果透過電子圖書管理中心系統進行上傳後，再由後端程式介接至各資料儲存伺服器統一管理，並將成果公開於 BigGIS 巨量空間資訊系統平台上 (圖 2-5)，方便民眾及局內同仁共同使用，提升資源之使用效益，並達成有效資源整合與共享，對比過往資料僅委辦廠商使用即儲存在地理倉儲系統，其資源流通及使用效益有明顯改善 (圖 2-6)。

2. 現場(監測)資料類：

於細項資料盤點時，對於委辦研究計畫設置現場監(觀)測站(如土石流、淺層崩塌、大規模崩塌、水文、地文、土砂等相關監測站)進行盤點，其透過之儀器如地表沖蝕、雨量、流量、地下水、GPS、傾斜計、地電阻等等資料，提供長期現場研究區各項記錄資料，其為重要之基礎資料，對於瞭解各集水區長期變化趨勢提供相當大的助益，且對於災害事件前後治理工程之設計規劃及工程治理成效提供基礎資料，以供工程人員及相關單位參考之依據。

3. 集水區相關類：

此類集水區資料是基礎研究不可獲缺之重要資料，以集水區之河床質、斷面測量、坡面測量、水文資料、地文資料、生態資料等進行蒐集，依委辦計畫成果可分成定點儀器量測、現場採樣作業及室內物性分析等方式獲得此類資料，其後續可將成果提供於降雨逕流分析、水理分析、土砂收支分析、邊坡穩定分析等數值模擬之用。

4. 數值模式類：

主要是應用不同類型之水文、水理、土砂運移、邊坡穩定等模式推估降雨逕流(流量歷線)、水理量(水深、流速、影響面積)、土砂潛勢影響區(崩塌區、流動區、侵蝕區、堆積區)、邊坡破壞面(臨界破壞深度、破壞面、滑動量體)等資料，並藉由現場(監測)資料及集水區相關類資料進行率定驗證，由長期監測之基礎資料進一步迴歸不同屬性之經驗公式，供管理單位對災害事件後續推衍長期趨勢變遷使用，且配合設計事件之情境設定演算，供後續工程設計參考。

5. 加值應用類：

在資料加值應用類方面，是以 UAV 影像資料之加值應用成果如 3D 模型、環景影像、AR、VR、MR 等擴增實境、虛擬實境、混合實場之數位 3D 科技之體感應用，讓使用者透過穿戴裝置儀器，藉由土砂事件建置之展示空間，體驗災害區之現況，可作為工程設計及規劃探討之用，亦可透過如沉浸式訓練平台之輔助，作為工程人員教育訓練之用 (圖 2-7)。

6. 教育訓練與出版品：

各項委辦計畫在教育訓練主要分成兩個類別，一個是對民眾宣導活動，如土石流防災教育宣導、酷學校行動知識、水土保持教育宣導，並透過水土保持相關出版品，使民眾易於瞭解水土保持、土石流防災教育相關知識，了解山坡地災害潛勢，學習面臨大規模災害的應變措施；另一個則是供水保局工作同仁提升專業技能知識之用，如工程技術、治理工程、生態檢核、職業安全衛教、資訊安全管理、固床工設計研習、水土保持工程管考系統教育訓練、大規模崩塌災害調查及治理策略教育訓練等，除了業務職能外，藉由各類型教育訓練提供同仁

在技術面、工程面、資訊面、法制面等不同層面之技能知識學習並強化自主技術能力 (圖 2-8)。



圖 2-4 HOST 地圖應用案例



圖 2-5 空間資訊資料成果應用 (BigGIS 巨量空間資訊系統)

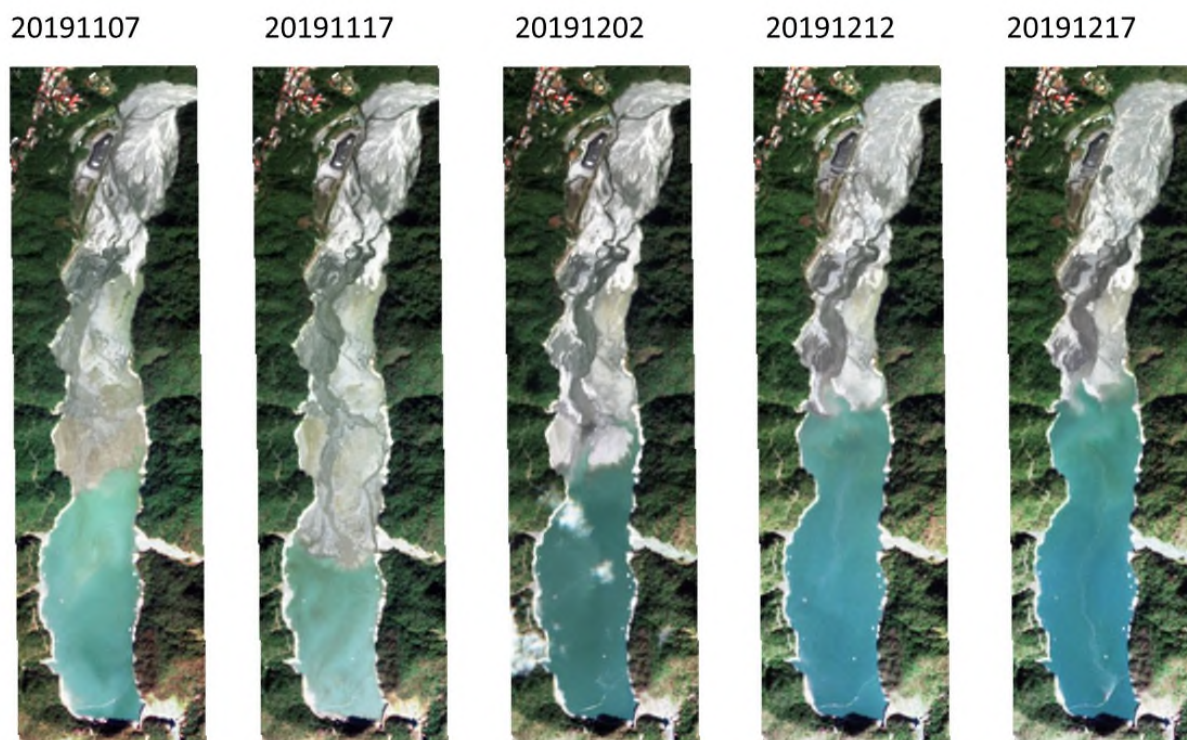


圖 2-6 BigGIS 應用案例-霧社水庫蓄水變化

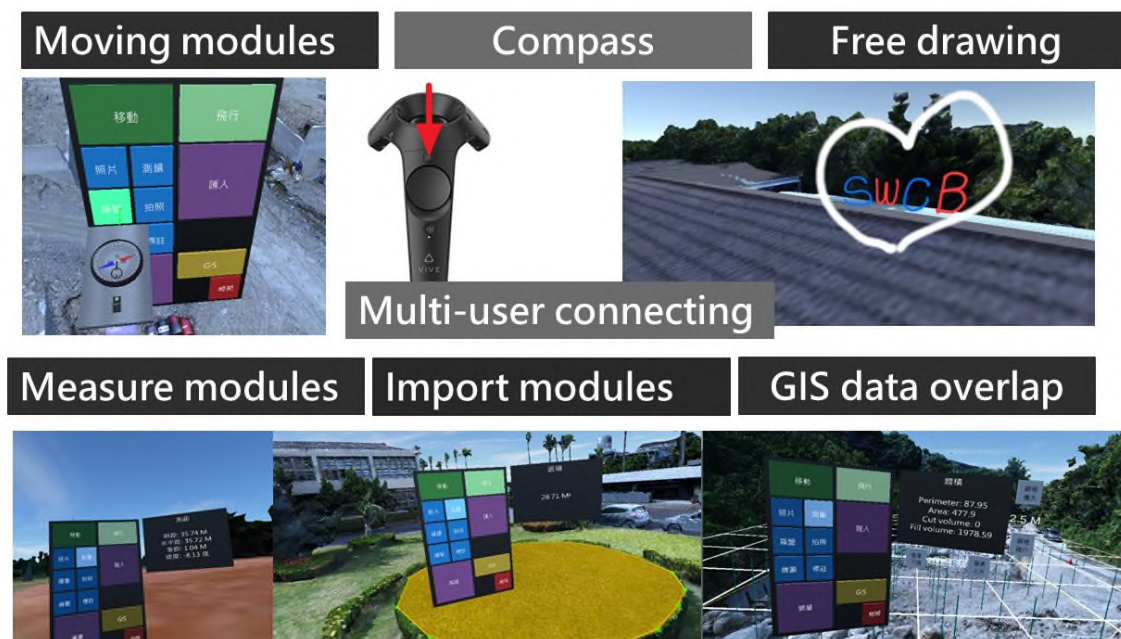


圖 2-7 資料加值應用類-虛擬實境工具

課程列表			
	課程名稱	梯次名稱	主辦機關/單位
1 外	野溪治理友善設計成果發表會		行政院農業委員會水土保持局
2 內	台灣人權腳步-普世人權價值與臺灣人權歷程	1	臺北分局/保育推廣課
3 內	資安威脅趨勢及防護經驗分享		局本部/技術研究發展小組
4 內	台灣人權腳步-司法人權		臺北分局/保育推廣課
5 外	2019大規模崩塌防減災技術交流國際研討會		行政院農業委員會水土保持局
6 外	108年度「環境友善及民眾參與機制暨資料庫系統操作」教育訓練	第1場	局本部/保育治理組/坡地保育科(治二)
7 外	山坡地土壤沖蝕量估算之案例研究(臺東分局)		行政院農業委員會水土保持局

圖 2-8 教育訓練課程

表 2-6 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	1196 符合
2	電子書是否完整與報告書相同	1129 符合
3	UAV 拍攝(處)	596
4	是否申請遙測相關圖資	185
5	是否運用光達產製 DEM	68
6	斷面樁設置數量(支)	26
7	斷面量測(km ²)	59
8	河床質調查數量(處)	106
9	是否有土壤力學參數參考	58
10	是否有年平均雨量資料	246
11	是否有重現期雨量資料	200
12	是否有重現期洪峰流量資料	193
13	是否有土砂產量推估計算	236
14	是否有運用數值模式	314
15	監測站相關資料(處)	159
16	是否有沖蝕針運用相關資料	10
17	是否有崩塌儀器量測資料	503
18	是否有地球物理探測相關資料	117
19	是否有相關平台建置、維護	212
20	是否有運用崩塌判釋技術	260
21	災害案例或工程案例相關	130
22	是否有產出回歸公式	36
23	是否有災害照片紀錄	132
24	是否有構造物調查	224
25	虛擬實境、擴增實境相關	18
26	是否有生態檢核相關	175
27	是否有教育訓練	449
28	是否有產出相關出版品	697
29	值得進入倉儲系統的圖資	123
30	是否有包含特殊技術分析	210

二、盤點文字雲

標籤雲(Tag cloud)為搜尋者在分類中常見的顯示方式，藉由標籤之頻率和熱門度以文字方式呈現 (林倩奴，2010)。Rivadeneira 等人 (2007) 定義標籤雲為利用文字集合作為視覺化呈現 (Visual presentations)，通常文字集選取是以文字屬性之大小、形狀、權重、顏色等因素選取，以表現其關聯性特徵如詞頻方式。

在進行文字採礦(Text mining)時常會使用的技術就是文字雲 (Text cloud / World cloud)，它是在眾多文字集之中，找出關鍵字詞的方法，並對詞彙(字詞)加以統計，以精鍊並具現化其特徵，簡單來說，文字雲是以視覺化方式來將文件檔案之用詞，藉由頻率統計與權重關聯的分析，將其結果具體化並由大小、顏色及形狀來表現 (謝邦昌、宋龍華、李紹綸等人，2017)。

本部份應用文字雲分析盤點成果初探，根據水保局電子圖書管理中心查詢歷年委辦計畫之計畫名稱與關鍵字進行詞頻 (time frequency)與權重清單(weighted list)關聯性分析。藉由計畫名稱與關鍵字詞頻分析之結果，探討歷年委辦計畫之趨勢與特徵，由詞頻次序排列組合，詞頻次數越高隱涵在委辦計畫的工作項目和研究領域裡面出現次數越多，亦代表該年度產、官、學界對此字詞之關注程度。

初步文字雲分析方法詳見表 2-7，過程為盤點清冊建檔資料萃取計畫書，分別進行計畫報告書名稱及關鍵字萃取，將純文字檔斷詞數據利用斷詞分析工具並產出斷詞表，並配合中文詞知識庫小組之詞性標註、自訂詞庫等功能(表 2-7)，修正斷詞表，最後利用 HTML5-文字雲工具或是文字探勘分析器輸出視覺化成果，初步分析文字雲流程如圖 2-9 所示。

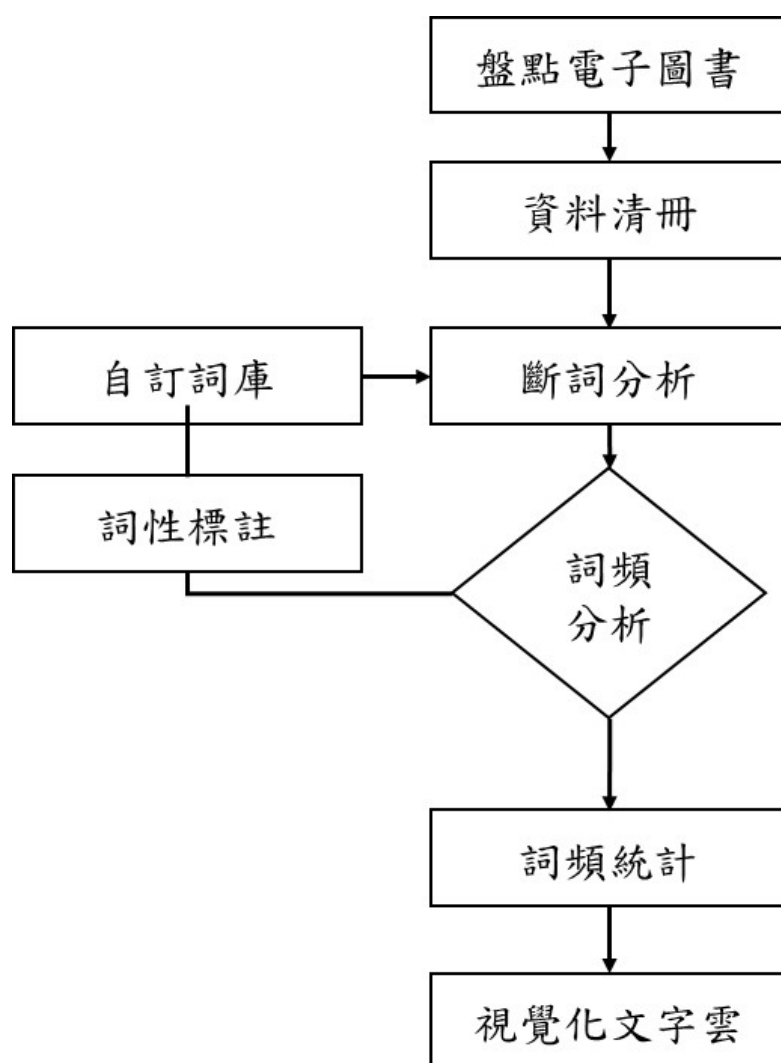


圖 2-9 文字雲分析流程圖

表 2-7 文字雲分析應用工具表

工具	用途	來源
Jieba-JS 結巴中文斷詞	斷詞	http://blog.pulipuli.info/2017/03/jieba-js-online-chinese-analyzer-jieba.html
CKIP 中文詞 知識庫小組	詞性標註、自訂詞 庫、斷詞表	https://ckip.iis.sinica.edu.tw/service/ckiptagger/
中文斷詞系統	詞頻統計	http://ckipsvr.iis.sinica.edu.tw/
文字探勘分析器	斷詞表、詞頻統計 表、視覺化文字雲	http://blog.pulipuli.info/2017/10/text-analyzer-for-text-mining.html#c1186872169003582414
HTML5 文字雲	斷詞、詞頻統計、 視覺化文字雲	https://wordcloud.timdream.org/#

利用資料庫已數位化之報告清冊，藉由斷詞資料檔進行詞頻統計與權重關聯分析，並將初步分析文字雲成果如圖 2-10、圖 2-11、圖 2-12 及圖 2-13 所示，於圖可知以計畫名稱進行文字詞頻之結果，以「規劃」、「土石」、「調查」此三者為前三名，而在計畫關鍵字進行文字詞頻分析之結果，以「土石流」、「崩塌」、「防災」此三者為前三名，由此顯示計畫名稱所關注的是土石類災害相關之調查規劃案，而關鍵字則可快速瞭解委辦計畫的執行工作項目與欲解決之問題或是關注目標。

此次利用電子圖書管理系統進行文字雲分析初探，目前在計畫名稱文字雲的呈現以土石、規劃、調查為主，但較難呈現出計畫名稱之意涵，由於在文字清洗、詞性標注、詞庫上仍有待調整，將持續進行文字清洗及斷詞分析，以精鍊出計畫名稱之特徵，並作為後續探討計畫標題之熱門程度，即可再分析年度所關注之議題與重大政策之關聯性。



圖 2-13 計畫關鍵字詞頻關聯統計圖

三、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 107 年度共 1705 件委辦及研究案件成果，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，其可作為數值模式輸入參數之使用，以推估山區災害之影響，或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. 目前盤點計畫成果產出相當豐碩，惟各計畫產出之專有名詞、產出資料格式 (欄位命名、類型、代碼)、數化資料 (水文資料、河川水理、雨量、地質鑽探、現地試驗、地電阻)、地理圖資等皆不相同，增加資料之整合、管理、查詢、儲存之難度。
2. 各委辦計畫於計畫執行期間，委辦廠商於計畫研究區架設監(觀)測系統，以利蒐集汛期前後或是監測地表、地中、地下變位等各種監(觀)資料，然由於各委辦廠商分年分期使用之監測設備不同，亦造成後續資料匯整、補遺上之困難，且於計畫結案後，監測系統亦隨之失去維護，使得資料無法持續蒐集。
3. 委辦廠商於計畫期間自行建置資料管理系統，其資料庫之建

置項目與儲存格式並未依循水保局資料管理平台之規範，且資料庫檔案未繳交回水土保持局，然於計畫結案後，該資料庫於承租之伺服器空間失去維護後，使得監(觀)測成果流失。

4. 目前水土保持局在空間資料如多元衛星遙測影像、UAV 空拍成果上傳系統皆有第三方驗證機制，每個上傳資料類別有限定檔案格式、系統自動提示及錯誤提醒，上傳完成後進行精度檢核，惟目前在其他類型資料上傳後，並未建置自動化驗證機制或第三方驗證機制，因此，基礎資料管理平台仍需專人進行資料檢核，以確保資料格式正確性及資料內容之完整性。
5. 隨著科技進步，目前 IoT 物聯網、AI 人工智慧、大數據等新興應用科技在環境資料之記錄、分析上非常多元，然目前眾多資料未能整合且相互通用，且以各自形式儲存，無法相容整合，因此，對於新型態資料的共通性資料欄位編碼規範等，亦需要引入「資料管理工作圈」進行討論，並且對於業務屬性變更不再更新及維護之資料探討下架規則，以提升資料流通效率並減低資料維運成本。

本年度累積歷年盤點成果，根據上述五項資料管理與維護，提出以下建議方法：

1. 由負責資訊業務及資料整合之水土保持局技術研究發展小組作為水土保持局基礎資料及地理圖資管理之窗口單位，定期召開「資料管理工作圈」會議檢討委辦計畫數值資料、地理圖資及開放資料之管理規則。
2. 目前水保局及各分局委辦案廠商在計畫期間建置監(觀)測站進行資料蒐集，在驗收時目前廠商僅繳交成果報告及簡報資

料，建議將監(觀)測資料隨期初、期中、期末及驗收階段進行成果繳交，以免寶貴資料隨計畫期程結束失散，而未能收錄至資料管理平台。

3. 委辦廠商於計畫期間自行建置資料管理系統之問題，亦造成寶貴資料無法收錄至資料管理平台，且委辦廠商並無法負擔長期伺服器租賃費用而使資料流失，因此，建議在監(觀)測類型委辦案，於計畫契約規範廠商應將建置資料庫之資料成果繳交至資料管理平台，並依其資料庫資料類型，儲存於對應之平台，如災害照片上傳完成，後台自動轉介至歷史影像平台。
4. 目前在資料上傳後檢核驗證機制僅有多元衛星遙測影像、UAV 空拍影像已建置第三方驗證機制，但在其他眾多類型資料尚未有自動化驗證機制，建議建置對應於各類型資料之自動化驗證機制，以增加資料驗收之正確性及完整性並可降低承辦人員之檢驗作業時間。
5. 目前 IoT 物聯網等新興應用科技所蒐集之資料品項眾多，如溫度、濁度、雨量、地表位移等，輔以大數據、人工智慧(AI)工具之應用，需整合於專用資訊共享平台(可相互鏈結、共享、流通)，藉由大量應用科技進行整合環境數據提供明確建議，提高分析精確度，可提升水保局在坡地智慧管理之效益。
6. 鑑於委辦計畫廠商眾多且各計畫產出成果型態眾多。因此，建議於計畫執行期間如期中驗收前後，針對廠商進行資料成果上傳教育訓練，使廠商瞭解各項產出成果所需繳交標準及格式，並至少符合開放資料格式，以避免未來盤點時，出現如報告格式錯誤、缺漏，甚至產出資料成果無法數位化等問題。

經盤點本局歷年之委辦及研究成果相當豐碩，惟大部分之成果尚未數位化或分散儲存於各業務單位所設置之系統，形成系統眾多維護不易、資料分散、資安風險等相關疑慮，因此，為達成資料有效整合、加值、共享之目標，於下節提出水土保持基礎資料管理精進方案，以達資料之管理歸類、檢索查詢、交換流通、共享管理到最佳效能。

第三章 水土保持基礎資料管理精進方案

第一節 前言

進入數位治理時代，資料蒐集與分析將是政府決策及施政的重要依據，資料類型多元化，包含業務資訊系統類型資料、委辦及研究案類型資料，對水土保持局（以下簡稱本局）而言都是相當重要的資產；在資料管理（規範）之建置及標準化下，以分散式產出集中管理進行資料整合，將資源整合單一窗口，同時，為因應未來組織再造工作，資料之治理、歸類、維護、流通及整合運用，以提升跨機關資料交換及運用效能，為基礎資料管理（資料標準化及作業規範）必須面臨的首要課題(圖 3-1)。

經盤點本局歷年之委辦及研究成果相當豐碩，惟大部分之成果尚未數位化或分散儲存於各業務單位所設置之系統，形成系統眾多維護不易、資料分散、資安風險等相關疑慮，且資料之歸類、查詢、交換、流通、管理均能達到最佳效能。

目前，水土保持局在資料數位化、集中管理、資料交換（資安風險管理）、資料運用（附加價值）等數位治理已有初步管理方針及作業規範，然目前依盤點成果，仍有待改善之處。有鑑於此，為達成水土保持基礎資料有效整合、加值、共享之目標，爰提出本精進方案，期能透過有效的資源整合，避免重複性支出，同時提升機關內部知識共享，促進資料流通及加值應用，使本局在資料管理符合國際相關標準與國內相關標準並遵循國內法規。

數位時代－ 資料將是機關最重要的資產

未來組織改造，**水保局定位？**
國家地網、地圈資料如何**整合？**



圖 3-1 數位治理-資源整合與共享

第二節 資料盤點現況

一、歷年委辦及研究計畫成果

本局 94 年至 108 年之委辦案約有 3,000 案，經盤點 97 年至 106 年 1,520 件水土保持相關案委辦計畫成果報告，其資料盤點流程如圖 3-2 所示，依序進行成果報告屬性分類並確認資料類別 (What)、產出單位 (Where)、產出時間 (When)，檢視各組核心產出資料內容包含核心圖資、基本資料、手冊規範、系統平台等 (圖 3-3)，由各委辦類型圖資及核心圖資之標準制定，以作為資料平台整合之前置作業，另由統計分析獲得重要參數及經驗公式配合滾動檢討，以協助業務組擬定中長程計畫之參據，初步確認資料數量及品質可將成果內容分為 22 類別，60 項目，如表 3-1。

二、各組室(中心)預計產出資料

本局以「和諧山林、智慧防災」為願景，研擬「山河共治」、「掌握先機」、「永續利用」三項議題，於 107 年 4 月 23 日召開土砂論

壇，透過專家學者的發表及與會機關共同討論，期望能達到「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」五大目標。

為逐步推動與落實土砂論壇之結論，並建立水土保持相關業務之長期發展策略與各業務組分工及執行方式，於 107 年 5-6 月辦理 4 場次水土保持發展策略規劃推動工作坊，邀請局內各業務組、中心參與，藉由工作坊方式，共同討論各組核心業務及核心產出，規劃短、中、長期發展主軸，建立水土保持技術發展藍圖，並提出水土保持局技術研究發展方向之整體性規劃與建議。各組室(中心)預計產出資料，如表 3-2 所示。

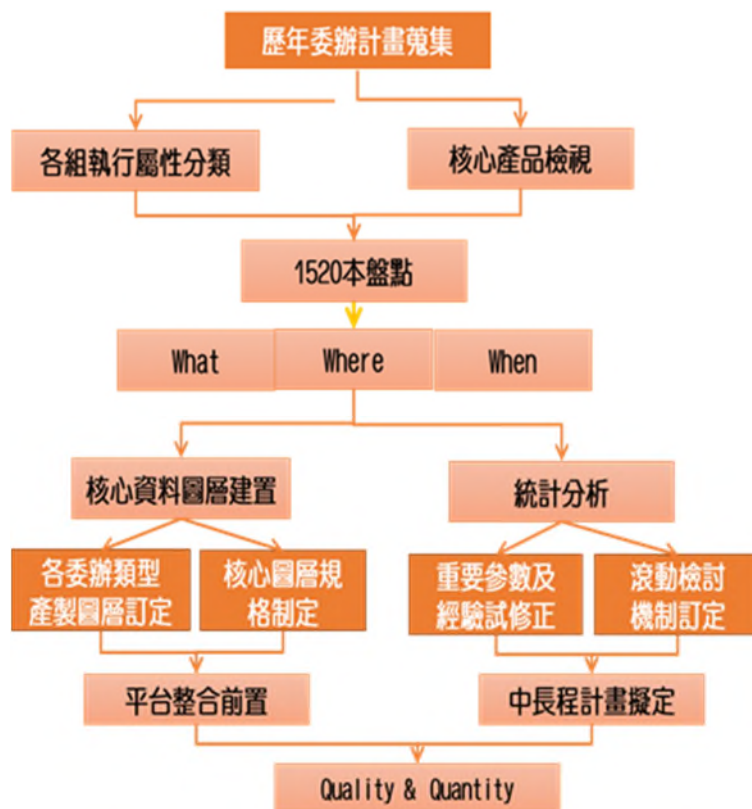


圖 3-2 委辦計畫盤點流程圖

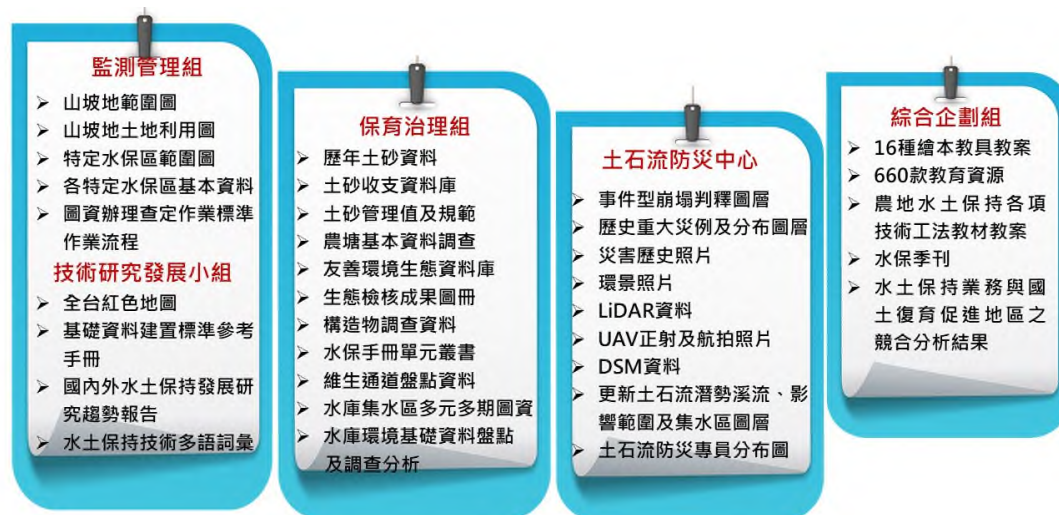


圖 3-3 各組核心產出資料

表 3-1 成果內容分類項目

項次	類別項目	項次	類別項目
1	UAV (斜拍、正射、DSM、影片、環景、3D 建模)	12	崩塌判釋 (微地形、衛星影像)
2	航遙測影像 (光學衛星、航空正射、雷達衛星、資源衛星)	13	案例 (災害、工程或工法)
3	光達 DEM	14	回歸公式 (如降雨、警戒、沖刷、崩塌、土砂等)
4	河道斷面測量 (設斷面樁、斷面測量、河床質調查)	15	災害照片
5	土壤力學參數 (C、 ϕ 、Kh 等)	16	構造物調查 (件)
6	水文資料 (年平均雨量、降雨頻率估算、重現期雨量、重現期流量)	17	實境模擬 (VR、AR、MR、SR)
7	數模 (一維水文水理、二維水理、邊坡穩定、降雨入滲、土石流模擬、警戒模式)	18	生態檢核 (生態敏感區位、重要物種棲地、環境改善、生態效益)
8	監測 (土石流、淺層崩塌、大規模崩塌、流量、土砂)	19	教育訓練 (如軟體應用、防災講習、平台訓練等)
9	沖蝕針運用	20	出版品
10	崩塌觀測儀器 (雨量筒、鑽探、地下水位、孔內傾斜、伸縮計)	21	產出值得進倉儲的 GIS 圖資 (圖名)
11	平台建置 (如 GIS 平台、監測平台、圖資平台等)	22	特殊分析技術 (名稱)

表 3-2 各組室(中心)預計產出資料

組室(中心)	預計產出資料
綜合企劃組	繪本教具教案 教育資源 內部控制制度、內部稽核報告 農地水土保持各項技術工法教材教案 水土保持季刊 國土復育促進地區之劃定原則建議方案 各項農地水土保持工法教學手冊、影音等教材教案 水土保持業務與國土復育促進地區之競合分析結果
保育治理組	歷年土砂資料 土砂收支資料庫 土砂管理值及規範 農塘基本資料調查 農塘設計標準圖彙編 農塘施工規範 農塘養護及管理要點 農塘設計技術手冊 友善環境生態資料庫 生態檢核成果圖冊 構造物調查資料 水保手冊單元叢書 維生通道盤點資料 民眾參與參考手冊 民眾參與案例彙編 66 座水庫環境基礎資料彙整 95 座水庫集水區多元多期圖資 水庫集水區生態檢核成果圖冊 水庫環境基礎資料盤點及調查分析 調整型防砂壩操作手冊、圖說及規範 構造物調查資料
監測管理組	山坡地範圍圖 山坡地土地利用圖 特定水土保持區範圍圖 各特定水土保持區基本資料 特定水土保持區相關法規

	水土保持法草案 崩塌地管理法規草案 圖資辦理查定作業標準作業流程 歷年山坡地範圍劃定及檢討變更圖資 可利用限度查定資料
土石流防災中心	事件型崩塌判釋圖層 事件前後衛星影像 歷史重大災例及分布圖層 歷史災害照片、環景照片 LiDAR 資料、UAV 斜拍及正射影像、DSM 資料 土石流潛勢溪流圖 土石流潛勢溪流影響範圍圖 土石流潛勢集水區圖 土石流防災專員分布圖 大規模崩塌影響範圍劃設方法 淺層崩塌影響範圍劃設方法與劃設成果 淺層崩塌潛勢區新增、調整及資料更新作業成果 各層級疏散避難計畫 各年度重機械待命分布圖 各年度防災通訊錄 修訂後之土石流潛勢溪流劃設作業要點、手冊 山崩與地滑地質敏感區之防災策略 土石流地質敏感區之防災策略 大規模崩塌潛勢區現地調查及破壞機制評估報告 地形特徵圖制訂製圖流程與規範 8 處大規模崩塌地區土砂觀測資料 土砂災害調查及監測作業指南 大規模崩塌監測作業指南 土砂觀測站分級管理指南 土砂災害保全清冊
技術研究發展小組	全台紅色地圖 多尺度衛星影像及 API 服務 UAV 正射影像 API 服務 基礎資料建置標準參考手冊 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

第三節 面臨課題

本局委辦及研究成果相當豐碩，惟在資料數位化、集中管理、資安風險、附加價值等方向尚未有較完整之管理方針及規範，將目前所面臨課題分述如下：

1. 大部分計畫之基礎資料成果尚未完全數位化，使得基礎資料之品質、格式、管理及流通等未有一套標準驗證方法、程序及規範；
2. 部份基礎資料成果分散儲存於各業務單位所設置之系統，形成各業務單位未能有統一系統化之資料倉儲系統或資料管理平台可用，造成資料分散對內及對外無單一窗口；
3. 資料附加價值認知度不足，則是由於資料分散、缺乏品質管理及相關規範，以致同仁在資料查詢、使用及後續資訊化及資產化過程遭遇困難，連帶使得資料流通性及應用性不足，造成資料附加價值損失；
4. 資料在跨機關交流與應用上，各單位人員之資安意識不足，易衍生機敏資訊洩露問題，且網路交換硬體裝置之防護措施未修補與漏洞未更新，造成相關之網路資安風險問題。

第四節 精進策略

為增進同仁對資料價值之認知、強化資料整合、資料共享、創造附加價值及符合相關規範等課題，本方案擬定本局推動水土保持基礎資料管理 5 大精進策略，包括強化資料管理與開放審議機制、擴大資料建置管理範疇 (建置各領域資料管理規範)、資料建置與管理納入業務流程、完備資料流通環境及管理平台以及公、私跨域合作應用推廣 (規範資料服務提供架構)，其具體作法如下：

一、強化資料管理與開放審議機制

(一) 強化運作機制

依據「行政院農業委員會水土保持局資訊推動小組設置要點」成立資訊推動小組，會議重點包含推動本局與各分局資訊系統、資料庫之整合建置及應用以及資料開放盤點、推廣及資料品質檢查等開放資料事項。

同時，為強化前揭推動小組之幕僚作業及業務聯繫，另由技術研究發展小組召集各業務組(中心)及分局成立資料管理工作圈，以每季召開一次工作圈會議為原則。各單位應指派熟悉整體業務之主管及承辦同仁各 1 名加入工作圈，其中主管層級，各組室(中心)由簡任正工、分局由秘書擔任為原則，會議重點包含資料盤點、檢視完整性、確認核心資料等事項。

(二) 資料定期公開

以行政院農業委員會資料開放平台 (<https://data.coa.gov.tw/>，圖 3-4) 為窗口，提供資料名稱、資料說明、資料分類、資料格式、提供單位、更新日期、更新頻率等資訊，為開放資料之對外公開平台，此外在國家發展委員會建置之政府資料開放平臺 (<https://data.gov.tw/datasets/search?q=水土保持局>，圖 3-5) 亦提供查詢水土保持局相關資料集，並提供中央機關、地方機關、法人機構等政府開放資料；非開放資料，則以水土保持資料平台 (以下簡稱資料平台，圖 3-6) 做為對內及對外之資料流通供應單一窗口。

(三) 定義資料類別

檢視本局歷年委辦與研究計畫成果，初步盤點產出資料類型，將資料分為五大類別，分別為地理圖資 (網格資料、向量資料)、基礎資

料 (水文、地文及其他調查、監測資料)、電子文件 (成果報告書、工程預算書、出版品、手冊、竣工圖等)、統計資料 (業務統計、加值統計)、API 服務等類別，各類別資料之範例如圖 3-7 所示。



圖 3-4 農業資料開放平台 (<https://data.coa.gov.tw/>)



圖 3-5 國家發展委員會建置之政府資料開放平臺
(<https://data.gov.tw/datasets/search?q=水土保持局>)



圖 3-6 水土保持資料管理平台



圖 3-7 各資料類別範例

二、擴大資料建置管理範疇

(一) 盤點資料

資料盤點範圍包括系統資料庫、API 服務及歷年計畫成果報告，藉由定期召開資料管理工作圈，討論資料開放、授權範圍、核心業務資料範疇、資料公開優先順序 (依法應公開、核心業務、常使用或依申請提供資料)，並得參考民間對政府機關開放資料之建議進行調整。

(二) 確認資料開放及授權範圍

依據行政院及所屬各級機關政府資料開放作業原則 (國發會，民國 108 年 1 月 17 日院授發資字第 1081500073 號函修訂)，政府資料依其提供方式，區分為「開放資料」及「依申請提供資料」兩類。開放資料係以開放格式提供，採無償且不限使用目的、地區及期間，並不可撤回之方式授權利用；依申請提供資料係以開放格式提供，採有償、保留撤回權或其他限制條件之方式授權利用。

各機關依申請就職權範圍內作成或取得之已存在政府資料，並以開放格式提供時，除有正當理由外，應予提供。各關發展創新應用服務時，宜優先以開放資料提供個人、學校、團體、企業發展創新服務及開發加值應用。

此外，針對機敏資料或外單位提供本局之非開放資料，則採僅供合作機關及本局委託辦理廠商或委託(補助)研究單位申請，或僅供本局內部使用。

(三) 建置資料集

1. 決定資料格式

為鼓勵政府資料的擁有者以「互連資料」的方式開放政府資料，

現行政府開放資料分為5顆星 (<https://5stardata.info/zh-TW/>，圖 3-8)，說明如下：

- (1) 一顆星開放資料，採用開放授權，讓資料可在網路上取得；
- (2) 二顆星開放資料，使資料能以結構化方式取得；
- (3) 三顆星開放資料，使用開放格式取代專屬格式；
- (4) 四顆星開放資料，使用固定網址來表示資料，透過網路連結到資料在網絡中的位置；
- (5) 五顆星開放資料，鏈結資料到其他資料，以提供資料之間的脈絡關係。

本局建置之資料集原則採用 3 星以上之開放資料格式，各組室(中心、小組)及分局於委託辦理系統維運或資料建置案時，於招標文件規範該案蒐集或產製之資料，應以符合至少 3 星以上開放資料格式(如 CSV、XML、JSON 等)之檔案或以應用程式介面(API 或 Web Service)等方式提供容易取得且具結構性與時效性之高品質資料。

2. 完備詮釋資料

為鼓勵各機關提升資料品質，提供正確、易用、結構化之資料，國發會針對政府資料開放平台所有資料集進行機器檢測，依據各資料集完整性(可取得性、易於被處理、易於理解等三項評核構面)，分別授予金標章、銀標章或銅標章(圖 3-9)，本局建置之資料集原則以符合金標章為標準。

3. 提升資料品質

各組室(中心、小組)及分局應提供具正確性、易用性、即時性及適當格式之資料，並參考「政府資料開放資料集管理要項」(<https://www.ndc.gov.tw/cp.aspx?n=CD8D209966B676B3&s=E534CE1>

E81FD757F) 規定，不得任意分割資料，以確保資料集之完整性。同時，為確保資料品質，可善用「DATA.GOV.TW 品質檢測系統」(<https://quality.data.gov.tw>) 所提供之檢測功能，確認可順利被讀取、呈現及利用，以提升資料之可用度。

4. 建立資料集

對外公開之資料以行政院農業委員會資料開放平台為原則，現行之資料分類包含：農業旅遊、地理圖資、農業法規、主計、水土保持、農村再生等六大項，共計 51 資料 (表 3-3)；對內以本局資料平台為主要管理窗口，初期以各組室核心資料為主，如表 3-2 所示。

5. 推廣應用案例

蒐集資料活化應用及推廣案例，以供本局同仁做為資料加值應用之參考，以本局 UAV 成果上傳與管理平台為例，已整合 824 處計 20 萬公頃 UAV 成果及圖磚發布，另在多元衛星遙測影像整合申購成果，減少重複購置 3.6 萬平方公里衛星影像，省下 107 萬元，藉由統一議價節省 40 萬元，合計 107 年省下 147 萬元 (圖 3-10)。



圖 3-8 五顆星開放資料 (<https://5stardata.info/zh-TW/>)



圖 3-9 政府開放資料集品質標章 (國發會)

整合 - 遙測資料匯流與共享



圖 3-10 資料推廣應用案例

表 3-3 水土保持局開放資料

資料名稱	資料說明	資料分類	資料格式
農村市集資料	提供資料包含：縣市、市集名稱、市集介紹、營業時間、電話、GPS、營業地址、交通資訊等欄位資料。	農業旅遊	JSON
			CSV
			Xml
水土保持局產製地理資料詮釋資料	提供資料包含：圖檔編號、主題圖名稱、完成日期、資料比例尺分母、資料類型、圖層型態、圖檔生產單位、供應單位、聯絡科別組室等欄位資料。	地理圖資	JSON
			CSV
水土保持法相關解釋函	資料提供包括：日期、文號、主旨、說明等欄位資訊。	農業法規	JSON
			CSV
			Xml
災害事件衛星影像判識成果	提供水土保持局防災中心，各年度發生之災害事件災前、災後遙測影像與地貌變異判釋之檔案介接 API	地理圖資	JSON
UAV 空拍正射影像圖磚	蒐集 UAV 空拍影像，經地理定位與正射處理發布，建立 UAV 空拍正射影像圖磚提供應用系統介接。	地理圖資	JSON
農村小旅行	提供資料包括：遊程主題、標題、內容、圖片等欄位資訊。	農業旅遊	JSON
			CSV
			Xml
台灣地區山坡地面積統計表	統計年報-12. 臺灣地區山坡地面積，提供資料包括：年度、月份、縣市別、土地總面積-公頃、山保條例山坡地-公頃、山保條例山坡地-%、國有林+保安林+試驗林-公頃、水保法山坡地-公頃、水保法山坡地-%等欄位資料。	主計	JSON
			CSV
土石流警戒資料	提供土石流警戒資料之 county(縣市)、town(鄉鎮)、vill(村里)、debrisNo(土石流潛勢溪流編號)、alert_date(紅色警戒發布時間)、alert_date_yellow(發布黃色警戒時間)等資訊，本項目需有警戒發布時始有資料顯示。	水土保持	JSON
			CSV
			Xml
土石流潛勢溪流資料	提供土石流潛勢溪流資料縣市、鄉鎮、村里、土石流潛勢溪流編號、警戒值、參考雨量站 1ID、參考雨量站 2ID、參考雨量站 1 站名、參考雨量	水土保持	JSON
			CSV
			Xml

	站 2 站名等資訊，本項目必須土石流潛勢溪流發布才有資料顯示。		
土石流觀測站影像	資料提供包括：攝影機名稱、縣市、行政區、架設或拍攝地點、影像連結網址、經度、緯度等欄位資訊。	水土保持	JSON
			CSV
			Xml
重大土石災情報告	資料提供包括：年度、事件名稱、災害類型、縣市、鄉鎮、村里、災害地點、速報連結、災害時間、審查會議等欄位資訊。	水土保持	JSON
			CSV
			Xml
水土保持戶外教室	提供資料包含：名稱、簡介、開放時間、連絡電話、影音簡介、網址連結、GPS 定位點等欄位資料。	水土保持	JSON
			CSV
			Xml
104 年度行政院農業委員會水土保持局單位預算	行政院農業委員會水土保持局 104 年度預算案歲入來源別預算表、歲出機關別預算表、歲入項目說明提要表、歲出計畫提要及分支計畫概況表、各項費用彙計表、歲出一級用途別科目分析表、資本支出分析表、人事費分析表、預算員額明細表、公務車輛明細表、現有辦公房舍明細表、補助經費分析表、捐助經費分析表、派員出國計畫預算總表、派員出國計畫預算類別表-考察、視察、訪問、派員赴大陸計畫預算類別表、歲出按職能及經濟性綜合分類表、跨年期計畫概況表、委辦經費分析表等 19 個表。	主計	JSON
			CSV
104 年度行政院農業委員會水土保持局單位預算案	歲入來源別預算表、歲出機關別預算表、歲入項目說明提要表、歲出計畫提要及分支計畫概況表、各項費用彙計表、歲出一級用途別科目分析表、資本支出分析表、人事費分析表、預算員額明細表、公務車輛明細表、現有辦公房舍明細表、補助經費分析表、捐助經費分析表、派員出國計畫預算總表、派員出國計畫預算類別表-考察、視察、訪問、派員赴大陸計畫預算類別表、歲出按職能及經濟性綜合分類表、跨年期計畫概況表、委辦經費分析表	主計	JSON
			CSV

104 年度行政院農業委員會水土保持局會計報告	歲入類、經費類平衡表：資力及資產科目及金額、負擔及負債科目及金額；歲入類、經費類現金出納表：項目及摘要、總計；歲入類累計表：科目、原預算數、預算追加(減)數、全年度預算數、截至本月止分配預算數、收入憑證字號、本月實收數、截至本月止累計實收數、應收數、保留數、未收入之分配數、本月納庫數、累計納庫數截至本月止；經費累計表：科目、原預算數、預算追加(減)數、第一預備金、第二預備金、經費流用數、全年度預算數、截至本月止分配預算數、原始憑證字號、本月實現數、截至本月止累計實現數、應付數、保留數、分配數餘額、備註	主計	JSON
			CSV
103 年度行政院農業委員會水土保持局單位決算	歲入來源別決算表：科目、名稱及編號、原預算數、預算增減數、預算數合計、決算實現數、應收數、保留數、決算數合計；歲出政事別、機關別決算表：科目、名稱及編號、原預算數、預算追加(減)數、動支第一預備金數、動支第二預備金數、經費流用數、預算調整數、預算調整數小計、實現數、應付數、保留數、決算數合計；以前年度歲出政事別、機關別轉入數決算表：科目、名稱及編號、以前年度轉入數、本年度減免(註銷)數、本年度實現數、本年度調整數、本年度未結清數；歲入類、經費類平衡表：資產科目及編號及金額、負債科目及編號及金額	主計	JSON
			CSV
105 年度行政院農業委員會水土保持局單位預算	歲入來源別預算表、歲出機關別預算表、歲入項目說明提要表、歲出計畫提要及分支計畫概況表、各項費用彙計表等	主計	JSON
			CSV
105 年度行政院農業委員會水土保持局會計報告	歲入類、經費類平衡表：資力及資產科目及金額、負擔及負債科目及金額；歲入類、經費類現金出納表：項目及摘要、總計；歲入類累計表：科目、原預算數、預算追加(減)數、全年度預算數、截至本月止分配預算數、收入憑證字號、本月實收數、截至本月止累計實收數、應收數、保	主計	JSON

	留數、未收入之分配數、本月納庫數、累計納庫數截至本月止；經費累計表：科目、原預算數、預算追加(減)數、第一預備金、第二預備金、經費流用數、全年度預算數、截至本月止分配預算數、原始憑證字號、本月實現數、截至本月止累計實現數、應付數、保留數、分配數餘額、備註		CSV
106 年度行政院農業委員會水土保持局單位預算案	歲入來源別預算表、歲出機關別預算表：本年度預算數、上年度預算數、前年度決算數、本年度與上年度比較、說明等。歲入項目說明提要表、歲出計畫提要及分支各項費用彙計表、歲出一級用途別科目分析表、資本支出分析表、人事費分析表、預算員額明細表、公務車輛明細表、現有辦公房舍明細表、補助經費分析表、捐助經費分析表、派員出國計畫預算總表、派員出國計畫預算類別表-考察、視察、訪問、開會、談判、派員赴大陸計畫預算類別表、歲出按職能及經濟性綜合分類表、跨年期計畫概況表、委辦經費分析表：名稱、金額。等	主計	JSON
			CSV
行政院農業委員會水土保持局歷年補(捐)助資料	預算別、機關名稱、補助對象、直轄市或縣市別、計畫名稱、核定日期、核定金額、備註(工作計畫)	主計	JSON
			CSV
104 年度行政院農業委員會水土保持局單位決算	歲入來源別決算表：科目、名稱及編號、原預算數、預算增減數、預算數合計、決算實現數、應收數、保留數、決算數合計；歲出政事別、機關別決算表：科目、名稱及編號、原預算數、預算追加(減)數、動支第一預備金數、動支第二預備金數、經費流用數、預算調整數、預算調整數小計、實現數、應付數、保留數、決算數合計；以前年度歲出政事別、機關別轉入數決算表：科目、名稱及編號、以前年度轉入數、本年度減免(註銷)數、本年度實現數、本年度調整數、本年度未結清數；歲入類、經費類平衡表：資產科目及編號及金額、負債科目及編號及金額	主計	JSON
			CSV

山坡地可利用限度查定成果統計表	統計年報-9. 山坡地土地可利用限度查定成果統計表，提供資料包括：年度、月份、縣市別、山坡地面積_公頃、已查定面積_宜農牧地_公頃、已查定面積_宜林地_公頃、已查定面積_加強保育地_公頃、已查定面積_不屬查定範圍土地_公頃、已查定面積_合計公頃、未查定面積_公頃等欄位資料。	主計	JSON
			CSV
統計年報-歷年水土保持處理面積	統計年報-4. 歷年水土保持處理面積，提供資料包括：年度-公頃、合計-公頃、山邊溝-公頃、果園山邊溝-公頃、平台階段-公頃、石牆-公頃、窄階段-公頃、其他-公頃等欄位資料。	主計	JSON
			CSV
			Xml
統計年報-歷年編制人數	統計年報-1. 編制人數，提供資料包括：年度、法定員額_合計、法定員額_10~14 職等、法定員額_6~9 職等、法定員額_1~5 職等、法定員額_簡任、法定員額_薦任、法定員額_委任、法定員額_雇員、現有員額_合計、現有員額_10~14 職等、現有員額_6~9 職等、現有員額_1~5 職等、現有員額_簡任、現有員額_薦任、現有員額_委任、現有員額_雇員等欄位資料。	主計	JSON
			CSV
			Xml
臺灣地區山坡地違規使用查報取締案件	統計年報-13 山坡地違規使用查報與取締案件，提供資料包括：年度、縣市別、查報取締案件_件數、查報取締案件_面積公頃、處罰案件_件數、處罰案件_面積公頃、移送司法偵辦案件_件數等欄位資料。	主計	JSON
			CSV
			Xml
臺灣地區農路改善及維護工程	統計年報-7. 臺灣地區農路改善及維護工程，提供資料包括：年度、縣市別、工程件數、道路總長度_改善_公里、道路總長度_維護_公里、總工程費_合計_新台幣元、總工程費_中央_新台幣元、總工程費_省(市)_新台幣元、總工程費_縣(市)_新台幣元、總工程費_其他_新台幣元等欄位資料。	主計	JSON
			CSV
			Xml
臺灣治山防災整體治理工程	統計年報-6. 臺灣地區治山防災整體治理工程，提供資料包括：年度、縣市別、總工程費_合計_新台幣元、總工程費_中央_新台幣元、總工程費_省市_新台幣元、總工程費_縣市_新台幣元、總工程費_其他_新台幣元、工作數量_防砂壩_	主計	JSON
			CSV
			Xml

	座、工作數量_潛壩_座、工作數量_堤坊_公尺、工作數量_整流_公尺、工作數量_固床工_座、工作數量_護岸_公尺、工作數量_蓄水池_座、工作數量_農塘_座、工作數量崩塌地處理_公頃、工作數量_丁壩_公頃、工作數量_植生綠美化_平方公尺、工作數量_排水工程_公尺、工作數量_補強_處、工作數量_灌溉面積_公頃、工作數量_擋土牆_公尺、工作數量_植生_平方公尺、工作數量_魚道_座等欄位資料。		
臺灣地區水土保持處理	統計年報-5. 水土保持處理面積縣市別，提供資料包括：年度、縣市別、農地水土保持_合計_公頃、農地水土保持_平台階段_公頃、農地水土保持_山邊溝_公頃、農地水土保持_石牆_公頃、農地水土保持_其他_公頃、蝕溝控制_處、邊坡穩定_處、排水溝系統-安全排水_公尺、排水溝系統_其他_處、植生處理_全園植草_公頃、植生處理_草花種植_平方公尺、植生處理_喬灌木及藤類種植_株、植生處理_其他_公頃、植生處理_台壁植草_平方公尺、植生處理_山邊溝植草_公頃、植生處理_道路植草_平方公尺等欄位資料。	主計	JSON
			CSV
			Xml
土砂觀測站水位資料	提供土砂觀測站水位資料的網址連結。	水土保持	JSON
			CSV
土砂觀測站流速資料	提供土砂觀測站流速資料的網址連結。	水土保持	JSON
			CSV
水土保持工程進度表	提供資料包括：計畫年度、工作項目、執行單位、執行單位[課室]、縣市、鄉鎮、執行進度[%]、施工方式、原住民鄉等欄位資訊。	水土保持	JSON
			CSV
107 年度行政院農業委員會水土保持局單位預算案	107 年度行政院農業委員會水土保持局單位預算案	主計	JSON
			CSV
106 年度行政院農業委員會水土保持局會計報告	106 年度行政院農業委員會水土保持局會計報告	主計	JSON
			CSV

持局會計報告			
105 年度行政院農業委員會水土保持局單位決算	105 年度行政院農業委員會水土保持局單位決算	主計	JSON CSV
108 年度行政院農業委員會水土保持局單位預算案	提供 108 年度行政院農業委員會水土保持局單位預算案下載檔案	主計	JSON
106 年度行政院農業委員會水土保持局單位決算	提供 106 年度行政院農業委員會水土保持局單位決算下載檔案	主計	JSON
107 年度行政院農業委員會水土保持局會計月報	提供 107 年度行政院農業委員會水土保持局會計月報下載檔案	主計	JSON
水土保持工程生態檢核表	提供資料包括：列號、計畫年度、執行單位、工程序號、工程名稱、檢核階段、生態檢核資料[生態保育措施類別]、生態檢核資料[生態保育措施說明]等欄位資訊。	水土保持	JSON CSV
水土保持工程基本資料	提供資料包括：計畫年度、計畫別、子計畫、工作項目、工程名稱、執行單位、原住民鄉、縣市、鄉鎮等欄位資訊。	水土保持	JSON CSV
觀測站基本資料	提供資料包含：站代碼、站名稱、站英文名稱、經度、緯度、行政區、土石流潛勢溪流、類型、溪流名稱、流域、集水區、子集水區等欄位資料。	水土保持	JSON CSV Xml
水土保持局雙語詞彙	提供水土保持局雙語詞彙	水土保持	JSON CSV
	決議、附帶決議及注意事項、辦理情形	主計	JSON

行政院農業委員會水土保持局特別決算-流域綜合治理計畫第一期			CSV
土石流疏散避難圖	提供土石流疏散避難圖縣市、鄉鎮、村里、避難圖 1、避難圖 2、更新年度等資訊，本項目需有警戒發布時始有資料顯示。	水土保持	JSON CSV Xm1
培根社區	提供資料包含：縣市名稱、鄉鎮名稱、社區名稱、村落名稱、協會名稱、協會聯絡人、協會 Email、協會地址、社區介紹、協會電話、協會傳真、圖片網址等欄位資料。	農村再生	JSON CSV Xm1
水土保持工程採購案件一覽表	提供資料包括：列號、決標日期、計畫年度、計畫別、子計畫、縣市、鄉鎮等欄位資訊。	水土保持	JSON CSV
遙控無人載具技術成果展示	資料提供包括：標的、年度、縣市、行政區、空拍日期、地點、備註、案件 url、簡報 url 等欄位資訊。	水土保持	JSON CSV Xm1
農村再生及農舍解釋函查詢系統	提供資料包括：發文文號、原網連結、發布日期、說明等欄位資料。	農業法規	JSON CSV Xm1
農村再生基金計畫基本資料	提供資料包括：計畫編號、工程序號、計畫中文名稱、計畫年度_民國年、核定日期_民國年、核定金額_元、核銷日期_民國年、核銷金額_元等欄位資訊。	水土保持	JSON CSV
農村好讚	資料提供包括：代碼、名稱、社區代碼、經度、緯度、內容、更新日期等欄位資訊。	農村再生	JSON Xm1
農村再生	提供資料包含：縣市名稱、鄉鎮名稱、社區名稱、聯絡人姓名、協會名稱、地址、傳真等欄位資料。	農村再生	JSON CSV Xm1
富麗農村	提供資料包含：縣市、鄉鎮、社區名稱、社區介紹、圖片連結、原網連結等欄位資料。	農村再生	JSON CSV Xm1

三、資料建置與管理納入業務流程

(一) 建立重要資料第三方驗證機制

為提升資料品質，重要資料可推行第三方驗證機制，校核及驗證後之資料方能納入資料平台，以確保資料之正確性；本局現行已有衛星影像、UAV 成果納入第三方驗證機制 (圖 3-11、圖 3-12)，藉由設置地面控制點或圖面控制點進行調整，降低幾何偏差過大問題，並將邊緣扭曲、破碎進行裁切處理，使正射影像排除邊緣或偏移扭曲後，重新產製影像，改善偏差。



圖 3-11 正射影像精度檢核



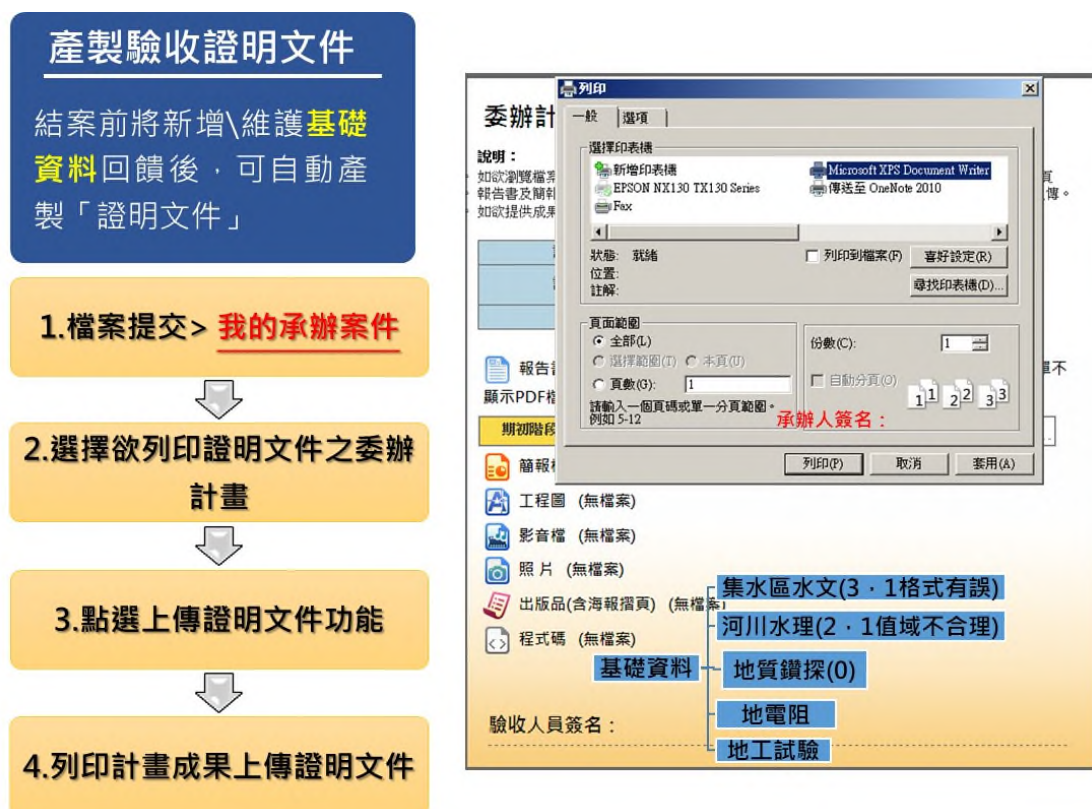
圖 3-12 UAV 空拍成果-幾何偏差檢核表

(二) 資料建置列入驗收流程

以電子圖書管理中心作為廠商上傳成果之單一窗口，計畫期程結束後提交基礎資料檔案，並於系統自動產出上傳完成之證明文件，供主驗人員以該證明文件辦理驗收，其流程及示意圖如圖 3-13 及圖 3-14 所示。

(三) 獎勵機制納入年終考核增加誘因

為鼓勵各單位加強資料建置，本局得將資料建置情形納入年終考核。例如：業務轉化為資料比例、提供符合金標章資料量等。



四、完備資料管理環境及平台

(一) 訂定資料建置與開放指導規範

1. 定義資料使用權限

資料管理平台網站資料開放宣告包含：授權方式及範圍、相關事項說明、應注意不得侵害第三人之著作人格權（包括姓名表示權及禁止不當變更權）、使用本授權提供之資料與素材，不得惡意變更其相關資訊，若利用後所展示之資訊與原資料與素材不符，使用者須自負民事、刑事上之法律責任、本網站之授權，並不授予使用者代表本機關建議、認可或贊同其加值衍生物之地位（圖 3-15）。

水土保持局開放資料：係指水土保持局因應資料公開，共享等規劃，並考量資料串接等便利性，將本局可開放資料上架至 CDX、行政院農業委員會資料開放平台、地理資訊圖資雲服務平台等開放平台，以利相關單位或機關可快速取得所需資料進行加值應用。

本局資料平台內之資料使用權限：分為對一般民眾提供之「開放資料」及「依申請提供」兩類，對局內同仁、委辦計畫廠商及外單位提供則分為「自由下載」、「限制下載」、「管制下載」等 3 類進行管理（圖 3-16）。

2. 統一共同欄位格式

由技術研究發展小組統一訂定共通性資料之欄位編碼規範 (<https://data.swcb.gov.tw/DataSpecification/Download/1050>)，以利資料流通交換介接使用，各組室（中心）、分局之系統配合調整資料庫，或以 API 匯入資料平台時，完成格式轉換，以利各系統進行串接（圖 3-17）。

3. 確保資料格式符合國際標準

資料格式以符合國際標準化組織(ISO)或是開放地理空間協會(OGC, <https://www.opengeospatial.org/>)之國際標準為原則(圖 3-18),以 NGIS Standards 國土資訊系統標準制度入口網站之資料標準為例(圖 3-19),資料管理平台各項資料之資料標準訂定包含:土石流潛勢溪流資料標準(文件編號:NGISTD-ANC-031-2019.0121)、山坡地範圍資料標準(文件編號:NGISTD-ANC-032-2019.01.21)、特定水土保持區資料標準(文件編號:NGISTD-ANC-033-2019.01.21)。

(二) 建立資料品質評鑑機制

參考國際推動資料開放相關組織之經驗,建立資料品質評鑑機制並據以發展改善機制。

(三) 確定資料建置與整合分工

各業務組(中心)負責資料產出、建置與品質管理,技術研究發展小組負責資料整合(圖 3-20)及資料平台建置(圖 3-21),並以該資料平台擔任本局對內及對外之資料流通供應單一窗口。



政府網站資料
開放宣告

資料管理平台網站資料開放宣告

- 1. 授權方式及範圍**
為利各界廣為利用網站資料,水土保持局技術研究發展小組網站上刊載之所有資料與素材,其得受著作權保護之範圍,以無償、非專屬、得再授權之方式提供公眾使用,使用者得不計時間及地域,重製、改作、編輯、公開傳輸或為其他方式之利用,開發各種產品或服務(簡稱加值衍生物),此一授權行為不會嗣後撤回,使用者亦無須取得本機關之書面或其他方式授權;然使用時,應註明出處。
- 2. 相關事項說明**
 - A. 本授權範圍僅及於著作權保護之範圍,不及於其他智慧財產權利,包括但不限於專利、商標、及機關標誌之提供。
 - B. 當事人自行公開或依法令公開之個人資料是否得被蒐集、處理及利用,使用者須自行依照個人資料保護法之相關規定,規劃並執行法律要求之相應措施。
 - C. 部分之影音、圖像、樂譜、專人專業撰述或其他著作,經機關特別聲明須經同意方可使用者。
- 3. 應注意不得侵害第三人著作人格權(包括姓名表示權及禁止不當變更權)。**
- 4. 使用本授權提供之資料與素材,不得惡意變更其相關資訊,若利用後所展示之資訊與原資料與素材不符,使用者須自負民事、刑事上之法律責任。**
- 5. 本網站之授權,並不授予使用者代表本機關建議、認可或贊同其加值衍生物之地位**

圖 3-15 政府網站資料開放宣告

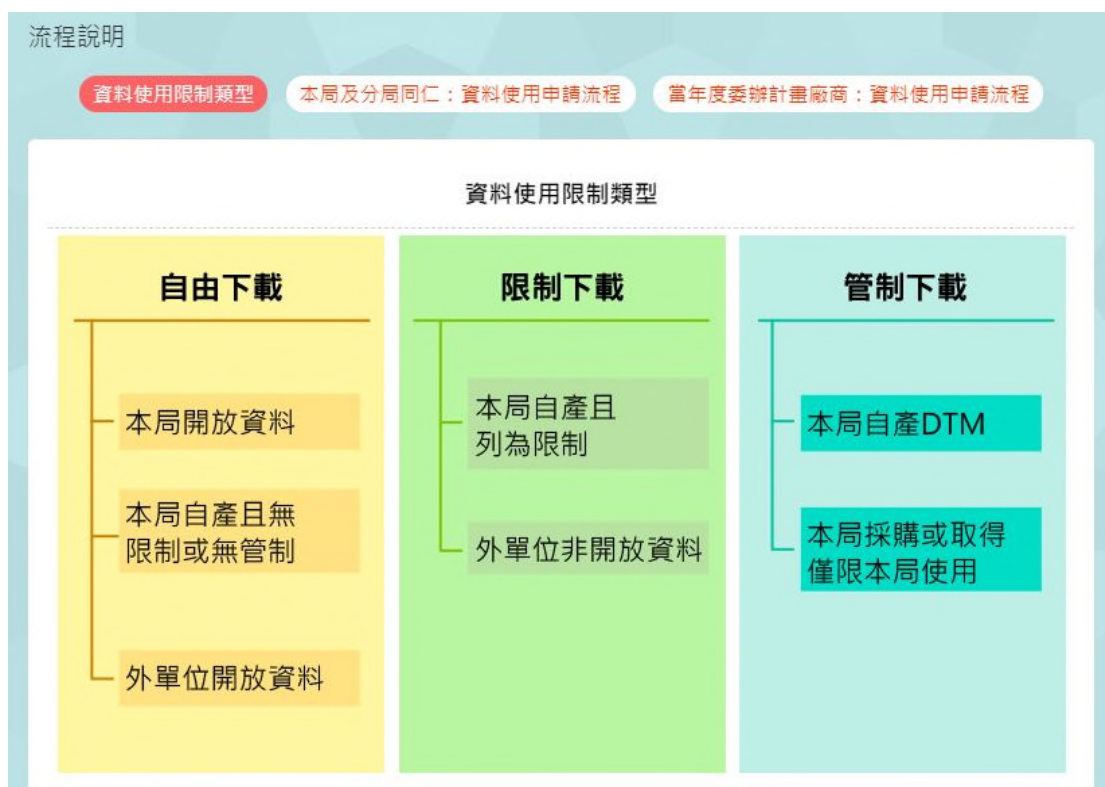


圖 3-16 資料使用限制類型



圖 3-17 資料管理平台-API 服務



info@opengeospatial.org

About ▾ Standards ▾ Innovation ▾ News & Events ▾ Membership ▾ Resources

Abstract Specifications

The OGC Technical Committee (TC) has developed an architecture in support of its vision of geospatial technology and data interoperability called the OGC Abstract Specification. The Abstract Specification provides the conceptual foundation for most OGC specification development activities. Open interfaces and protocols are built and referenced against the Abstract Specification, thus enabling interoperability between different brands and different kinds of spatial processing systems. The Abstract Specification provides a reference model for the development of OGC Implementation Standards.

Document Title (click to view/download)	Version	Doc.#	Editor	Date
Topic 0 - Overview	5.0	04-084	Carl Reed	2005-06-27
Introduction and roadmap to the Abstract specification.				
Topic 1 - Feature Geometry	5.0	01-101	John Herring	2001-05-10
Same as ISO 19107, available at http://www.iso.org .				
Topic 2: Referencing by coordinates	5.0	18-	Roger Lott	2019-02-08

- OGC® Standards
 - 3D Tiles
 - 3dP
 - ARML2.0
 - Cat: ebRIM App Profile: Earth Observation Products
 - Catalogue Service
 - CDB
 - CityGML
 - Coordinate Transformation
 - Filter Encoding
 - GML in JPEG 2000
 - GeoAPI
 - GeoPackage
 - GeoSciML
 - GeoSPARQL
 - Geography Markup Language

圖 3-18 開放地理空間協會國際標準 (OGC ,
<https://www.opengeospatial.org/docs/as>)

NGIS Standards 國土資訊系統標準制度入口網站 English | 網站導覽

重要資訊 | 資料標準推動 | **文件下載** | 資料產品註冊資訊 | 網路資源連結 | 教育訓練 | 標準規範生命週期管理系統

SYSTEM STANDARDS NGIS MOI

目前所在位置：文件下載 \ 資料標準(最新版)

文件下載 字級 小 中 大 查詢

資料標準

參考手冊
標準制度推動
NGIS通訊季刊
專案報告書
共同規範
國際標準
TCOG

資料標準(最新版)

舊版檢索

編號	資料標準	制訂機構 公告日期	標準文件	應用綱要	GML範例	提案 計畫書	落實 計畫書
31	土石流潛勢溪流資料標準 (第1版)	行政院農業委員會水土保持局 2019/01/21	下載	下載	下載	下載	下載
32	山坡地範圍資料標準 (第1版)	行政院農業委員會水土保持局 2019/01/21	下載	下載	下載	下載	下載

圖 3-19 資料標準文件(<https://standards.moi.gov.tw/Download.aspx>)

資料整合原則－不改變現有機制



圖 3-20 資料整合原則

資料平台整合架構

- ✓ 技研小組建立全局資料池，整合結構化資料
- ✓ 各組業務系統可取用全局結構化資料，進行大數據分析或AI應用

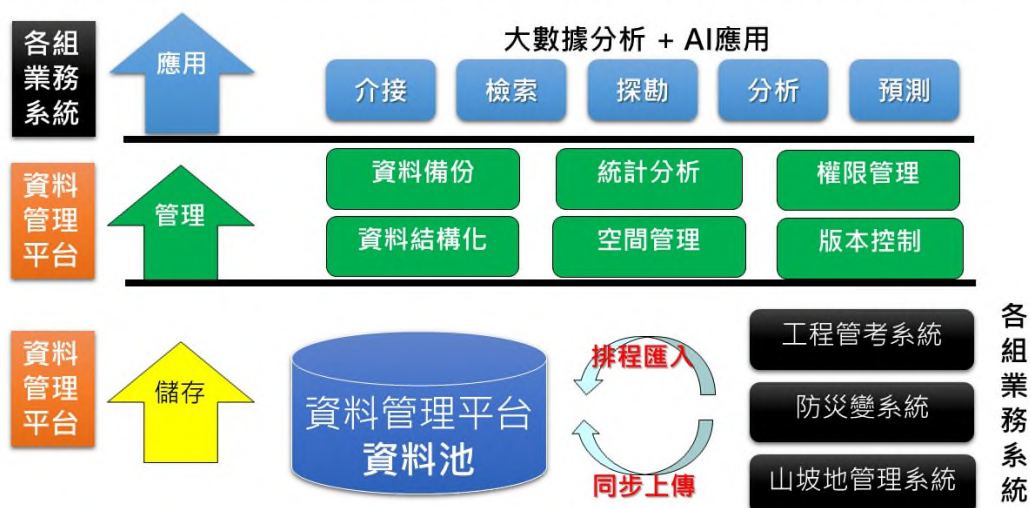


圖 3-21 資料平台整合架構

五、公私跨域合作應用推廣

(一) 建立跨機關合作機制

合作方式可分為「外單位加盟」及「加盟外單位」二種方式。其中，如 UAV 成果、歷史影像平台、監測、土砂收支等本局已有完整管理機制平台者，原則以鼓勵外單位加盟本局方式進行；另如雨量資料及鑽探資料等外單位已有完整管理機制平台者，則採加盟外單位方式進行，如中央氣象局之雨量資料庫以及中央地質調查所的工程地質探勘資料庫等。

(二) 鼓勵產學研應用本局資料

為鼓勵國內學研單位應用本局資料進行相關分析研究，本局創新研究計畫得指定相關議題優先錄取 (圖 3-22)。

(三) 辦理資料應用示範及推廣活動

為強化資料應用推廣及示範，如黑客松 (圖 3-23，https://www.swcb.gov.tw/News/news_more?id=C06B3CE9D74F4B6B95609049D0963029)、資料視覺化 (圖 3-24) 等應用示範及活動。

(四) 定期彙整與發表資料應用成果

藉由本局水土保持成果發表會或技術研究發展小組 Seminar 專題討論方式，定期發表彙整成果 (圖 3-25、圖 3-26)。

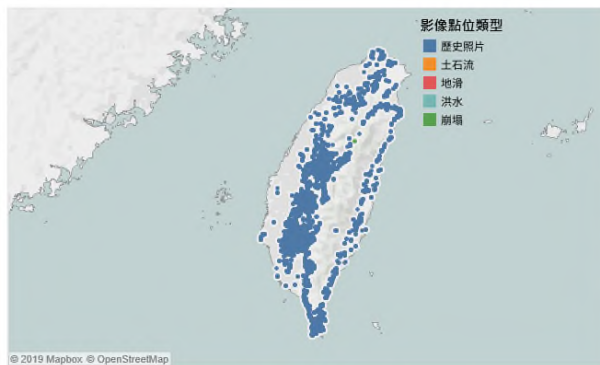


圖 3-22 創新研究計畫

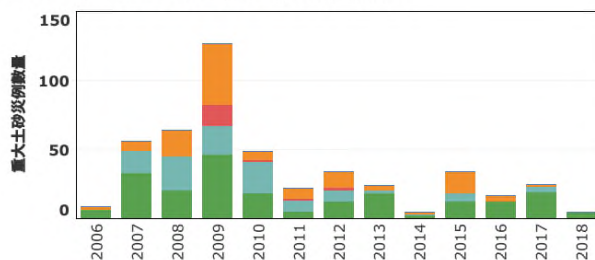


圖 3-23 2018 土砂災害宣導創新實踐黑客松 (南投分局)

水土保持局技術研究發展小組 - Profile



2006年-2018年重大土砂災害類型



災害照片描述

災情描述：杜鵑颱風期間，烏來地區降下大豪雨，造成那魯灣飯店及雲仙樂園上方之道路邊坡發生沖蝕型崩塌，崩落之土砂隨逕流向下游流動，部分流入那魯灣飯店及雲仙樂園內，部分堆積於那魯灣飯店門口，造成飯店內人員受困。另那魯灣飯店下方尚有其他數間店家，亦遭到土砂堆積或沖入，堆積高度最高約 3m。災害規模：崩塌面積約 1,200 平方公尺，崩塌土方量約 1,200m³。災損統計：房舍建物共 6 棟

圖 3-24 資料視覺化 (水保局技術研究發展小組)

技術交流

 **每週專題討論日程**

年度 類別

關鍵字

項次	日期	題目
+ 1	2019/11/19	加勁擋土牆於工程、防災與自然生態保護之應用
+ 2	2019/11/19	日本「融入河川景觀之預鑄混凝土塊護岸展示手冊」導讀
+ 3	2019/11/12	Surveyors for 3D Reality Modeling and BIM Application for Civil Engineering and Building Construction
+ 4	2019/11/05	區域性水土保持綠環境營造與農塘調查規劃案
+ 5	2019/11/05	「河川砂防技術基準調查編-地滑調查」導讀
+ 6	2019/10/29	因應氣候變遷下野溪多樣化環境設計指標開發

圖 3-25 技術研究發展小組-技術交流 Seminar 專題

技術情報

 **創新型研究計畫**

年度 關鍵字

2019
創新型研究計畫

地溝地搶救大作戰互動教具...



0 1

2019
創新型研究計畫

生活化水土保持推廣



0 1

2019
創新型研究計畫

盤點校園水土保持教學資源...



0 0

2019
創新型研究計畫

發展全臺網路直播技術臺製...



0 0

2019
創新型研究計畫

以多視角及3D影像模型於水...



0 0

2019
創新型研究計畫

溪流防砂設施美質評估



0 0

2019
創新型研究計畫

拱型固床工之力學性質探討



0 0

2019
創新型研究計畫

土砂收支關係之視覺化展示...



0 0

« 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ... 20 »

圖 3-26 技術研究發展小組-創新型研究計畫

第五節 推動期程與分工

一、重要工作期程及分工

精進策略	108年	109年	110年	111年	主政單位
一、強化資料管理與開放審議機制	(一)強化運作機制				技術研究發展小組
	(二)資料定期公開				
	(三)定義資料類別				
二、擴大資料建置管理範疇	(一)盤點資料				技術研究發展小組
	(二)確認資料開放及授權範圍				技術研究發展小組
	(三)建置資料集				各業務組(中心)、分局
三、資料建置與管理納入業務流程		(一)建立重要資料第三方驗證機制			各業務組(中心)、分局
	(二)資料建置列入驗收流程				企劃組
		(三)獎勵機制納入年終考核增加誘因			技術研究發展小組
四、完備資料管理環境及平台	(一)訂定資料建置與開放指導規範				技術研究發展小組
	(二)建立資料品質評鑑機制				技術研究發展小組
	(三)確定資料建置與整合分工				各業務組(中心)、技術研究發展小組
五、公私跨域合作應用推廣		(一)建立跨機關合作機制			技術研究發展小組
		(二)鼓勵產學研應用本局資料			技術研究發展小組
		(三)辦理資料應用示範及推廣活動			技術研究發展小組
		(四)定期彙整與發表資料應用成果			技術研究發展小組

圖 3-27 重要工作期程及分工

二、各組室(中心)及分局配合事項

- (一) 由技術研究發展小組召集各業務組(中心)及分局成立資料管理工作圈，各單位應指派熟悉整體業務之主管及承辦同仁各 1 名加入工作圈，其中主管層級，各組室(中心)由簡任正工、分局由秘書擔任為原則。

- (二) 公務預算系統內補助計畫之成果報告或相關資料，亦需上傳或介接至電子圖書管理中心及資料平台；基金預算之補助計畫成果報告，考量未來組改情境，原則以介接方式傳至電子圖書管理中心。
- (三) 技術研究發展小組應參考國際標準，訂定資料建置與開放指導規範。
- (四) 現有系統應依據技術研究發展小組研訂之資料建置與開放指導規範及共通資料欄位格式，配合調整資料庫，或以 API 匯入資料平台時，應完成格式轉換。
- (五) 各業務組(中心)建立之資料格式，宜參考資料建置與開放指導規範及共通資料欄位格式，且應至少符合三星級開放資料格式。
- (六) 既有系統之資料原則採 API 方式定時匯入基礎資料平台，未來新增資料類型則採直接建置於基礎資料平台方式，集中建置，以利流通。
- (七) 本局「開放資料」及「依申請提供資料」(含各業務系統之 API 服務)，統一由基礎資料平台申請及管理。
- (八) 另擇期召開會議討論各業務組之重要資料，逐步建立第三方驗證機制細節，以確保資料品質。
- (九) 資料建置列入驗收流程配套，應納入採購案契約文件。

第六節 預期效益

政府資料有效加值應用已被各國視為經濟成長與政府治理重要之一環，因此完善建立資料蒐集與管理機制，以強化機關內部知識共享，整合資源避免工作及經費重複支出，係現階段必須面臨的重要課題，亦為因應未來組織再造之重要準備工作。藉由本方案之推動，期能提升本局資料之質與量，並結合產官學界智慧與創意，促進公私跨域合作應用推廣，提升資料應用經濟效益，其概念如圖 3-28 所示。



圖 3-28 水土保持基礎資料管理-預期效益

第四章 土砂災害變遷趨勢及數值模擬分析

第一節 臺灣近年降雨誘發之土砂災害變遷趨勢

一、緣起

臺灣近年來極端氣候事件發生的次數與強度日漸增加，導致土砂災害頻仍。根據戴義欽、詹錢登(2016)的研究報告顯示：台灣地區 20 年間(1994~2013)降雨事件中，大於 350 mm 的降雨事件平均每年增加 5 次；總雨量 350~600 mm 的降雨事件數平均每年增加 2.6 次；600~1,000 mm 的降雨事件數平均每年增加 1.7 次；而 1,000 mm 以上的降雨事件，每年增加 0.7 次。此外，日本統計 1976 年至 2017 年，一小時內降雨量超過 100 mm 的事件數，結果顯示 1976 年至 1985 年間，每年平均為 1.9 次，但在 2007 年至 2016 年間，已增加到每年平均 3.2 次(国土交通省，2018)，顯示在日本地區，極端降雨事件亦日趨頻繁。以全球尺度來看，國際災害資訊庫(EM-DAT)近 20 年來(1998-2017)平均每年的重大災害數量是 329 件，為 1978 年至 1997 年間平均每年重大災害數量的兩倍(165 件)(Wallemacq, 2018)。

劇烈降雨常伴隨崩塌、土石流、地滑等土砂災害及水患，也造成經濟、農作上重大損失。例如，日本平成 30 年 7 月豪雨(2018)在西日本地區造成平均每觀測點 215.4 mm 的雨量(日本氣象庁，2018a)，為 1982 年以來最大紀錄(日本氣象庁，2018b)，豪雨與土砂災害造成 237 人死亡，建物全毀 6,767 棟、半毀 11,243 棟(日本氣象庁，2019)。2018 年山竹颱風(Typhoon Mangkhut)造成香港 35 年來最嚴重的風暴潮(storm surge)，超過 200 人受傷；同時也造成菲律賓多處嚴重的洪水與崩塌災情，並導致 114 人死亡，菲律賓全國總損失 339 億披索(約

188 億新台幣)(國家災害防救科技中心，2019)。2009 年侵襲台灣的莫拉克颱風降下超大豪雨造成中南部山區嚴重的洪水與崩塌災害，超過 700 人傷亡與失蹤，公路橋梁損毀 115 座(財團法人中興工程顧問社，2010)，淹水面積超過 300 平方公里，估計高達 900 億元的經濟損失(行政院科技部，2014)，是台灣自 1959 年以來最嚴重的水患。

2005 年世界銀行指出台灣有 90%的面積、95%的人口以及 96.5% 的 GDP，可能遭受三種以上土砂災害的威脅與影響(Dilley et al., 2005)。因為地形條件、地理環境及氣候影響，土砂災害頻仍的台灣，對於降雨引致之土砂災害的防範與治理已推動長遠的政策與相關應變規劃(陳振宇，2013；楊明德及徐瑞宏，2013；詹錢登及王志賢，2017；尹孝元等，2019)，例如在 2000 年頒布的災害防救法，已建立天然災害防救的規範及任務分工，與災害發生前後的四大階段：平時減災階段、災前整備階段、災中應變階段以及災後復原階段；其中，特別強調在災害未發生時，掌握災害發生特性與評估各地區災害潛勢，在災害發生時，其應變措施及資訊決策，為災害防救的重點工作。

儘管歷年來中央氣象局等單位已建立全台各地面雨量站觀測及相關統計資料(中央氣象局，2019；國家災害防救科技中心，2015)，惟其統計方式均以不同降雨延時之累積雨量進行，無法反應降雨期間影響邊坡穩定之土壤含水量等變化，例如台灣水土保持局採用的有效累積雨量及日本砂防單位使用的土壤雨量指數(陳振宇，2013)。本研究擬以有效累積雨量為指標，提出呈現年度全台土壤含水量峰值分布之視覺化表示方式，並蒐集台灣近年來降雨引致之重大土砂災例、有效累積雨量與新生崩塌面積等資料，探討其時間及空間等相關性，期掌握災害發生之特性與趨勢，期有助於未來防災政策的擬定。

二、材料與方法

(一) 研究地區

本研究資料範圍涵蓋台灣全島，不含離島地區，蒐集整理包含歷年重大土砂災例資料、雨量資料及新生崩塌面積，並以上述資料應用 GIS 及 Tabular 等工具進行土砂災害變遷趨勢分析，研究流程如圖 4-1。為討論空間區位導致降雨與土砂災害之變異，將台灣分成北、中、南、東四區(表 4-1)。

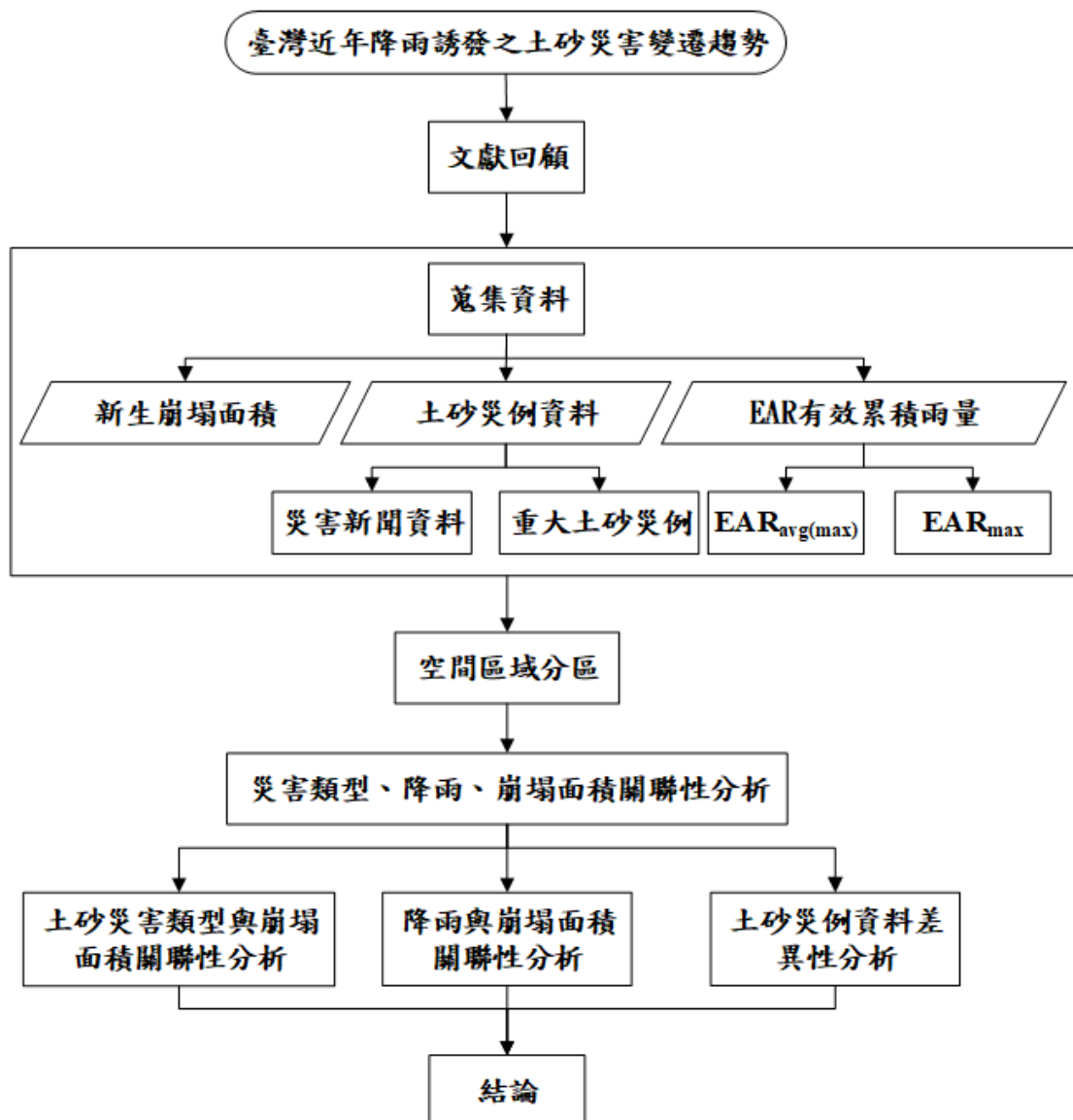


圖 4-1 研究流程圖

表 4-1 台灣北中南東地區所包含之縣市

地區	縣市	QPE 網格數	重大土砂災例數
北部	台北市、新北市、基隆市、宜蘭縣、桃園縣、新竹縣、新竹市	4,359	127
中部	苗栗縣、台中市、南投縣、彰化縣、雲林縣	6,130	127
南部	嘉義縣、嘉義市、台南市、高雄市、屏東縣	5,798	184
東部	花蓮縣、台東縣	4,713	33
總計		21,000	471

(二) 重大土砂災例

重大土砂災例資料來源為水土保持局 (<https://246.swcb.gov.tw/Achievement/MajorDisasters>)，自 2006 年 0609 豪雨開始至 2018 年 0823 熱帶低壓，去除地震及降雨為 0 之事件後，計有 44 個颱風及豪雨事件與 6 個其他事件，共計 471 個降雨引致的重大土砂災例(表 4-2)。資料內容包含災害類型(概分為崩塌、土石流、地滑及洪水四類)、發生時間、地點、災情概況與災害發生時有效累積雨量等，其空間分布如圖 4-2。由於部份災例發生時混雜有多重災害類型，為方便後續分類與討論，本研究僅選擇災害類型項目條列的第一項，作為該重大土砂災例的主要災害類型。

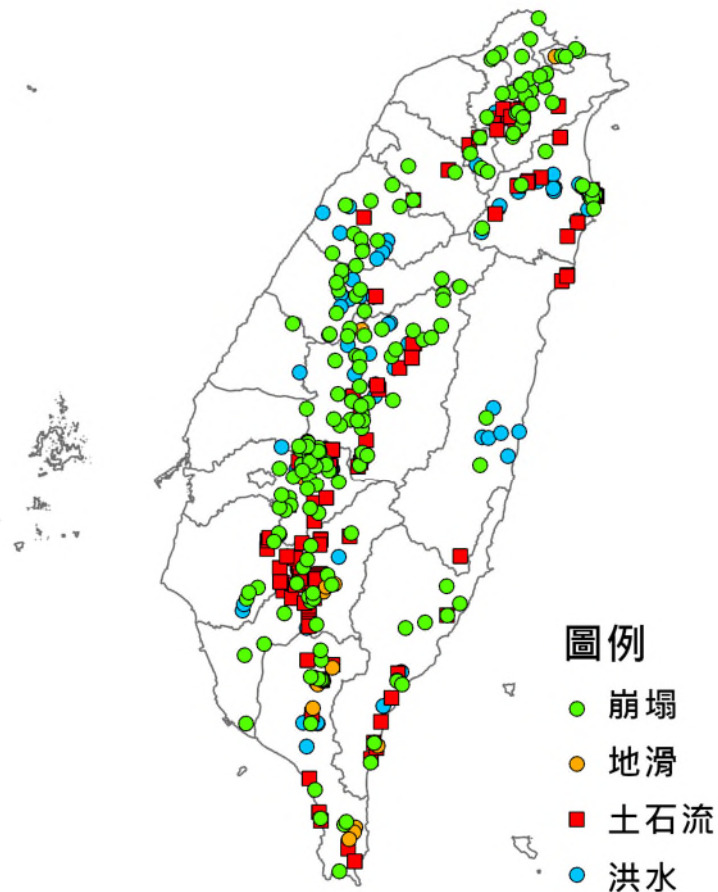


圖 4-2 2006-2018 年重大土砂災例分布

表 4-2 2006-2018 年歷年災害事件與重大土砂災例件數

西元年	災害事件	重大土砂災例 (件)	¹ 地區(件)	² EAR_{max} (mm)
2006	0609 豪雨	9	中部(7)	865.8
2007	0604 豪雨	17	中部(13)	662.3
2007	0809 豪雨	18	南部(13)	1170.5
2007	其他	3	中部(1)南部(1)東部(1)	848.1(東部)
2007	柯羅莎颱風	8	北部(4)	1002.4
2007	韋帕颱風	5	北部(3)	673.5
2007	聖帕颱風	5	南部(4)	1170.5
2008	卡玫基颱風	37	南部(24)	1123.0
2008	辛樂克颱風	18	中部(14)	1184.6
2008	其他	5	中部(4)	842.5

西元年	災害事件	重大土砂災例 (件)	¹ 地區(件)	² EAR_{max} (mm)
2008	鳳凰颱風	3	東部(2)	726.8
2008	薔蜜颱風	1	北部(1)	1117.9
2009	芭瑪颱風	1	北部(1)	1001.6
2009	莫拉克颱風	125	南部(92)	1998.6
2010	0924 豪雨	1	北部(1)	650.7
2010	1016 豪雨	4	東部(4)	668.3
2010	凡那比颱風	8	南部(8)	1086.8
2010	其他	1	北部(1)	249.4
2010	梅姬颱風	34	北部(34)	1256.3
2010	萊羅克颱風	1	東部(1)	656.8
2011	0719 豪雨	2	中部(1)南部(1)	580.7(南部)
2011	1001 豪雨	13	北部(12)	1308.4
2011	南瑪都颱風	7	南部(7)	1031.5
2012	0504 豪雨	1	中部(1)	370.6
2012	0610 豪雨	21	中部(12)	922.5
2012	天秤颱風	1	南部(1)	712.1
2012	蘇拉颱風	11	北部(6)	1382.8
2013	0517 豪雨	1	中部(1)	356.7
2013	天兔颱風	1	東部(1)	713.7
2013	其他	2	南部(2)	935.3
2013	康芮颱風	14	北部(5)南部(5)	840.9(南部)
2013	菲特颱風	2	北部(2)	437.8
2013	蘇力颱風	4	中部(3)	868.8
2014	哈吉貝颱風	1	東部(1)	207.7
2014	麥德姆颱風	3	北部(1)南部(1)東部(1)	589(東部)
2014	鳳凰颱風	1	東部(1)	636.5
2015	0902 豪雨	1	北部(1)	704.5
2015	杜鵑颱風	3	北部(3)	704.5
2015	蘇迪勒颱風	30	北部(30)	998.8
2016	0611 豪雨	1	南部(1)	616.0
2016	尼伯特颱風	1	東部(1)	570.6
2016	其他	6	北部(3)南部(3)	879.0(南部)
2016	梅姬颱風	7	南部(5)	879.0

西元年	災害事件	重大土砂災例 (件)	¹ 地區(件)	² EAR_{max} (mm)
2016	莫蘭蒂颱風	2	東部(2)	902.2
2017	0601 豪雨	10	中部(8)	1008.1
2017	0613 豪雨	3	中部(3)	1008.1
2017	尼莎暨海棠 颱風	3	北部(1)中部(1)南部(1)	818.6(南部)
2017	1011 豪雨	9	東部(6)	N/A
2018	0823 熱帶低壓	4	南部(4)	N/A
2018	其他	1	中部(1)	N/A
總計	50 個颱風豪雨事件；471 件重大土砂災例			

註：粗體為重大土砂災例數逾 10 件之災害。¹ 地區(件)為該災害事件中重大土砂災例最多地區，括號內為該地區之災例件數。² EAR_{max} (mm)為該災害事件重大土砂災例最多地區內所有 QPE 網格之當月最大有效累積雨量；若有災例件數相同的狀況，則顯示 EAR_{max} 較大的地區，並在括號中顯示地區名稱。N/A 為尚未取得該時間之 EAR_{max} 資料。

(三) 雨量資料

本研究採用自 2005 年 7 月正式啟用，空間解析度 1.3km x 1.3km 的 QPESUMS 網格式雷達降雨估計資料(Quantitative precipitation estimation, 以下簡稱 QPE)取代地面自動雨量站，並直接以 QPE 網格進行有效累積雨量及新生崩塌地面積計算之處理單元；其中台灣本島部分共 21,000 個，北中南東各區範圍內之 QPE 網格數如表 4-1。儘管許多研究指出，由於雷達波在山區因地形遮蔽或與地面校正雨量站距離較遠等因素，QPE 於部分地區之準確度會受到影響(中央氣象局，2015；唐玉霜等，2016)，例如在高山邊緣常有雨量低估的情況發生(黃碧慧，2017)；但考量 QPE 空間解析度較高、具備對於過去 72 小時內高解析度定量降水估計、閃電分析及未來 0 至 1 小時定量降雨預報等優點(張保亮，2011)，近年來已廣泛應用於輔助風、水災及土石流警戒發佈等(陳振宇等，2019；詹錢登、王志賢，2016)。

本研究使用 2006/1/1 至 2017/7/31 共計 139 個月的整點時雨量資料，且為反應降雨期間土壤含水量等變化，本研究採用逐時折減之有效累積雨量(Effective Accumulated Rainfall, EAR)計算公式(陳振宇等，2017)作為降雨期間土壤含水量變化指標，如式(4-1)。

$$EAR_t = I_t + EAR_{t-1} \times (0.7)^{\frac{1}{24}} \quad \text{式(4-1)}$$

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，相較於現行以 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，逐時折減法不需考慮雨場之起點與終點，且計算快速，適合大量網格運算(陳振宇等，2017)。

(四) 歷年新生崩塌面積估算

本研究所稱之新生崩塌面積，係指「舊有崩塌地擴大」加上「新生崩塌地」的部分，如圖 4-3 之(3)與(4)，並採用林務局 2004 年至 2016 年各年度衛星判釋全島崩塌圖層，以相鄰二年之 GIS 圖層相減方式，建立各年度每一個 QPE 網格範圍內之當年度新生崩塌面積。由於該衛星判釋圖層僅使用當年度 1 至 7 月之衛星影像進行崩塌地判識，如 2009 年 8 月莫拉克颱風造成之新生崩塌需於 2010 年之圖層方能顯現，經比對各年度重大颱風豪雨事件發生月份後，本研究調整建立 2006~2015 年之各年度新生崩塌面積如表 4-3。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，因此，若計算所得之新生崩塌地面積小於 0.1 公頃時，則予以忽略。同時，為探討北中南東不同地區之崩塌狀況，QPE 網格內之新生崩塌面積的中心點落在任一地區，便將該新生崩塌面積劃分為該地區。

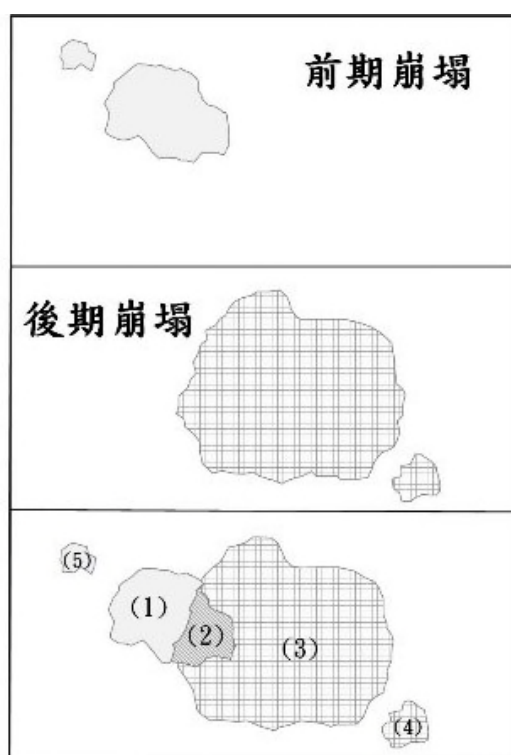


圖 4-3 崩塌地變遷及分類示意(改繪自陳俞旭，2008)

表 4-3 2006-2015 年各年度新生崩塌面積

年度	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
新生崩塌面積(Km ²)	51.7	69.3	29.0	283.1	58.9	46.0	28.5	31.4	15.0	11.7

三、結果與討論

(一) 歷年全台年度最大土壤含水量指標分布情形

目前氣象單位針對雨量之空間分布多以某場颱風豪雨事件期間繪製不同延時(如 1 小時、24 小時等)之累積雨量圖來表示，無法反應全年度各地區土壤含水量峰值分布情形，因此不易呈現與比較各年度間整體降雨致災的風險。為比較各年度降雨致災之風險程度，本研究採用有效累積雨量(EAR)作為降雨期間土壤含水量指標，並找出每一個 QPE 網格各年度之年度最大有效累積雨量($Annual\ EAR_{max}$)，繪製出 2006 年至 2017 年全台年度最大土壤含水量指標分布圖(如圖 4-4)；其中，為配合目前氣象局針對豪雨之定義，分別採 200mm(豪雨)、350mm(大豪雨)、500mm(超大豪雨)、1000mm、2000mm 等作為不同級距標準。由於 2017 年本研究僅取得 1 至 7 月之 QPE 雨量資料，故 2017 年的全台年度最大有效累積雨量分布圖呈現的資料為 2017 年 1 月至 7 月中各個網格的 EAR_{max} 。

由圖 4-4 可看出，2009 年全台年度最大土壤含水量指標 $Annual\ EAR_{max}$ 不論在峰值大小及分布範圍均為歷年之冠，其中在中南部地區有近半數面積之 $Annual\ EAR_{max}$ 超過 1000 mm 以上，且山坡地範圍之 $Annual\ EAR_{max}$ 均逾 500mm，因此反應在當年度之重大土砂災例高達 126 件，占全部重大土砂災例之 27%。又如東部地區於圖 4-4 顯示，僅 2016 年有較高且範圍較廣之 $Annual\ EAR_{max}$ ，故相較於其

他地區該處之重大災例亦明顯較少(如圖 4-2)。此外，圖 4-4 亦顯示 2013 年至 2016 年間各網格 $Annual\ EAR_{max}$ 均未逾 1000 mm 以上，逾 500 mm 雨量的面積也較 2006 年至 2012 年少；經比對重大土砂災例，2007 至 2012 年間每年均有一個颱風豪雨災害事件之重大土砂災例達到 10 件以上，每年平均 58.6 件；而 2013 年至 2016 年間僅兩個事件逾 10 件，每年平均僅 21.2 件(表 4-2)，此結果亦與圖 4-6 結果一致。

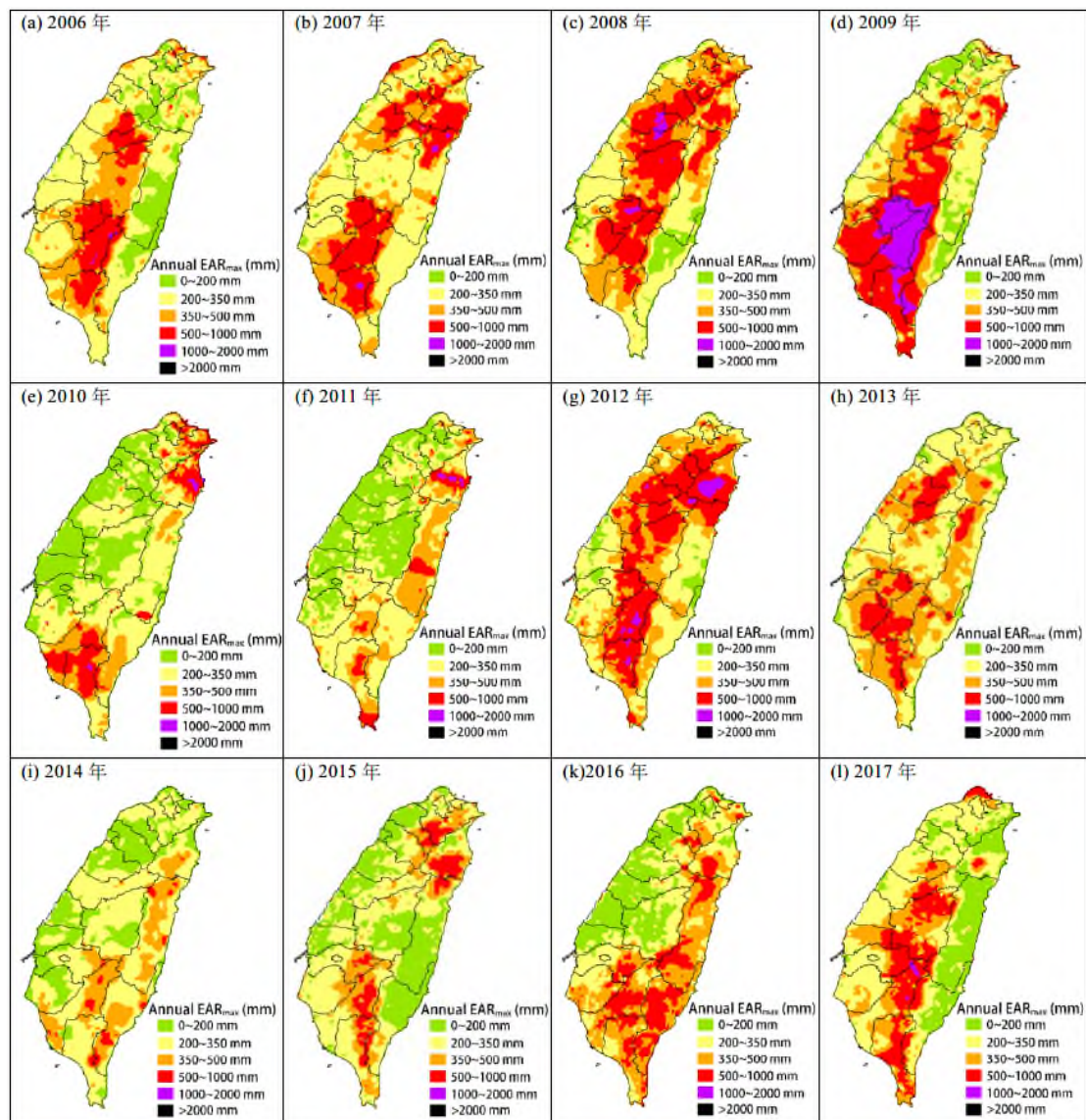


圖 4-4 2006-2017 年全台年度最大土壤含水量指標分布圖

(二) 台灣重大土砂災例類型與雨量及時間關聯分析

彙整 2006-2018 全台重大土砂災例資料顯示，以崩塌類型佔 49.6%最多(207 件)，土石流佔 31.4%次之(131 件)，而洪水佔 27.3%(114 件)，地滑災害則最少，僅 4.6%(19 件)，如表 4-4。為比較各年度全台有效累積雨量、新生崩塌面積及重大災例數之關連性，本研究取該年度研究區內各月份所有網格之 EAR_{max} 值取平均後，選擇該年度內最大之平均值，定義為「年度最大平均有效累積雨量 $Annual\ EAR_{avg(max)}$ 」，並分別比較其與新生崩塌面積及重大災例數之關連性，如圖 4-5 及圖 4-6。綜整各年度雨量、新生崩塌面積及災例資料後，顯示 2009 年新生崩塌面積、重大災例件數及全台 $Annual\ EAR_{avg(max)}$ 均為最高，此為 2009 年 8 月侵襲台灣的莫拉克颱風帶來大範圍且大量雨量所造成。自 2009 年以後，重大災例件數與新生崩塌面積無增加的趨勢。在 2014 年重大土砂災例件數僅有 5 件，比較當年度全台年度最大土壤含水量指標分布圖(圖 4-4)，顯示 2014 年之 $Annual\ EAR_{max}$ 在 500 mm 以上的分佈為 2006-2017 年間最低的一年。

在月份方面，全台歷年重大土砂災例多集中在 6 到 10 月間(共 464 件，占整體 98.5%)，尤以 8 月最高，為 214 件(占整體 45.4%)。如取 2006-2017 年同月份全台 QPE 網格當月 EAR_{max} 之平均值，定義為「月平均最大有效累積雨量 $Monthly\ EAR_{avg(max)}$ 」，並與歷年重大土砂災例比較繪製為圖 4-7。其中 $Monthly\ EAR_{avg(max)}$ 以 6-10 月較高，最高為 8 月達 858.6 mm，且重大土砂災例數量也最多。

如進一步以各重大土砂災例發生時之有效累積雨量分析其與降雨的關聯性，並將重大土砂災例發生時之有效累積雨量繪製成累積機率分布圖，結果顯示，有 90%的重大土砂災例發生於有效降雨量 150

mm 以上(圖 4-8)；在災害發生時的有效累積降雨量為 440 mm 時，重大土砂災例發生的機率為 50%，與超大豪雨之定義 500 mm 相當接近；而當有效累積降雨量為 600 mm 時，有 70% 重大土砂災例已發生，與現行土石流警戒基準值最高範圍大致相同。另一方面，在不同有效累積雨量的累積機率區間內觀察不同災害類型的分布，顯示當有效累積雨量增加時，土石流與地滑災害類型的比例有增加的趨勢，崩塌災害有減少的趨勢，而洪水則較無顯著趨勢(圖 4-9)。

表 4-4 2006-2018 年台灣重大土砂災例類型分析

類型	件數	比例(%)	不計洪水後比例(%)
崩塌	207	49.6	58.0
土石流	131	31.4	36.7
地滑	19	4.6	5.3
洪水	114	27.3	-

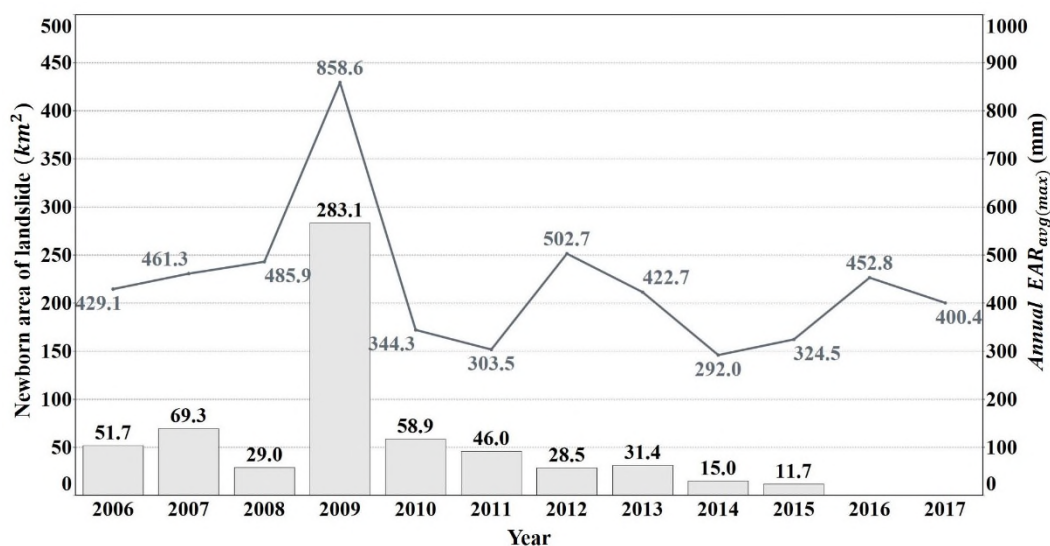


圖 4-5 2006-2017 年年最大平均有效累積雨量與新生崩塌面積

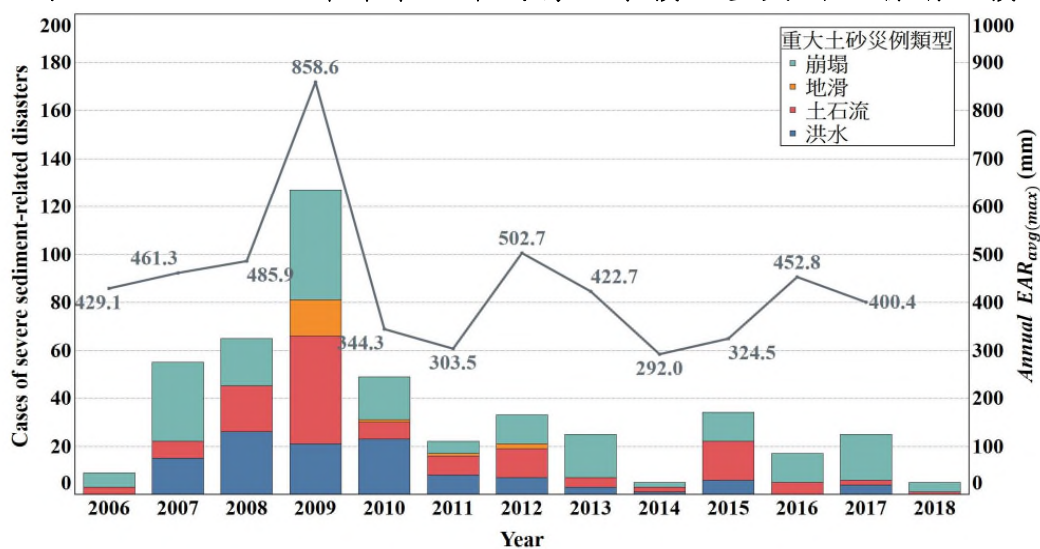


圖 4-6 2006-2018 年年度最大平均有效累積雨量與重大土砂災例數

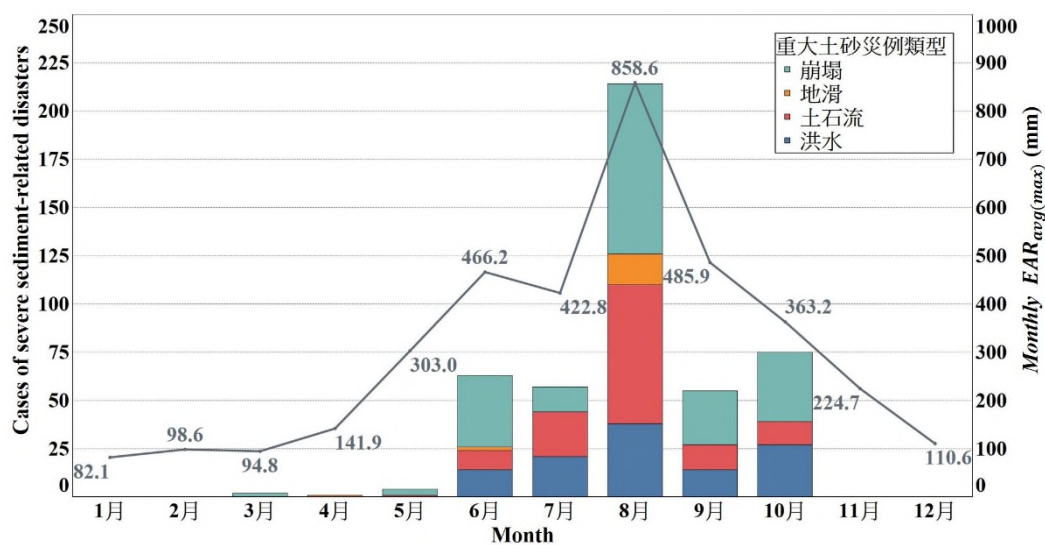


圖 4-7 2006-2018 年月平均最大有效累積雨量及重大土砂災例數

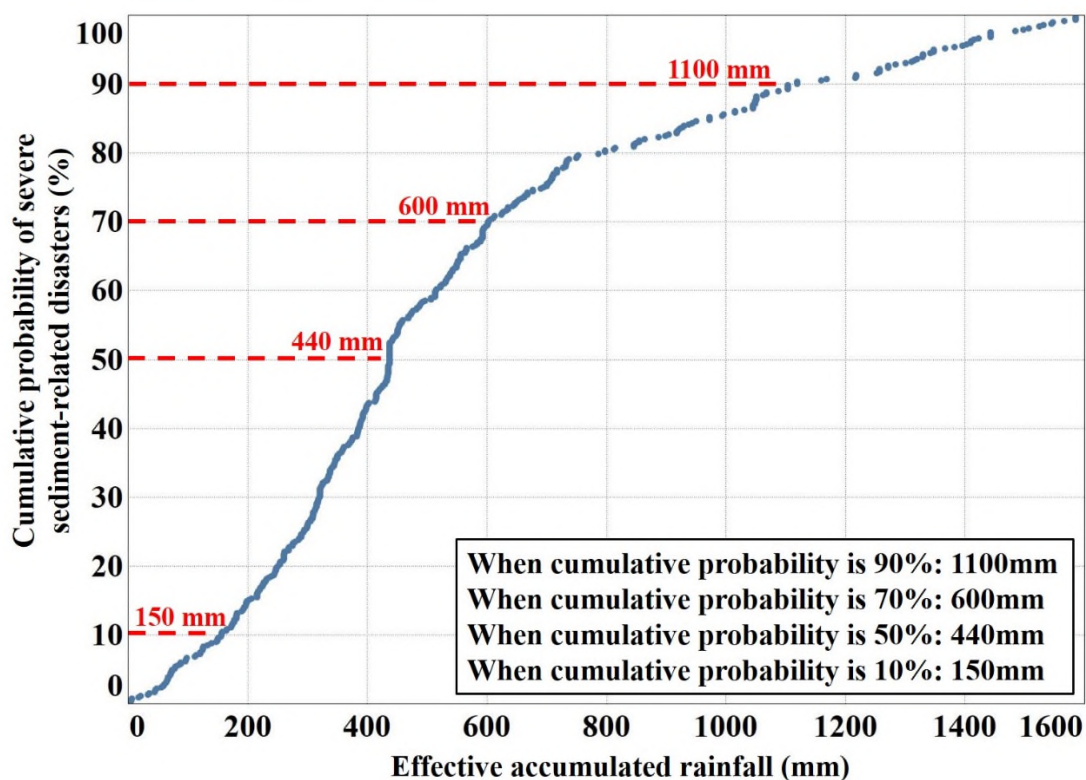


圖 4-8 2006-2018 年降雨誘發重大土砂災例發生機率

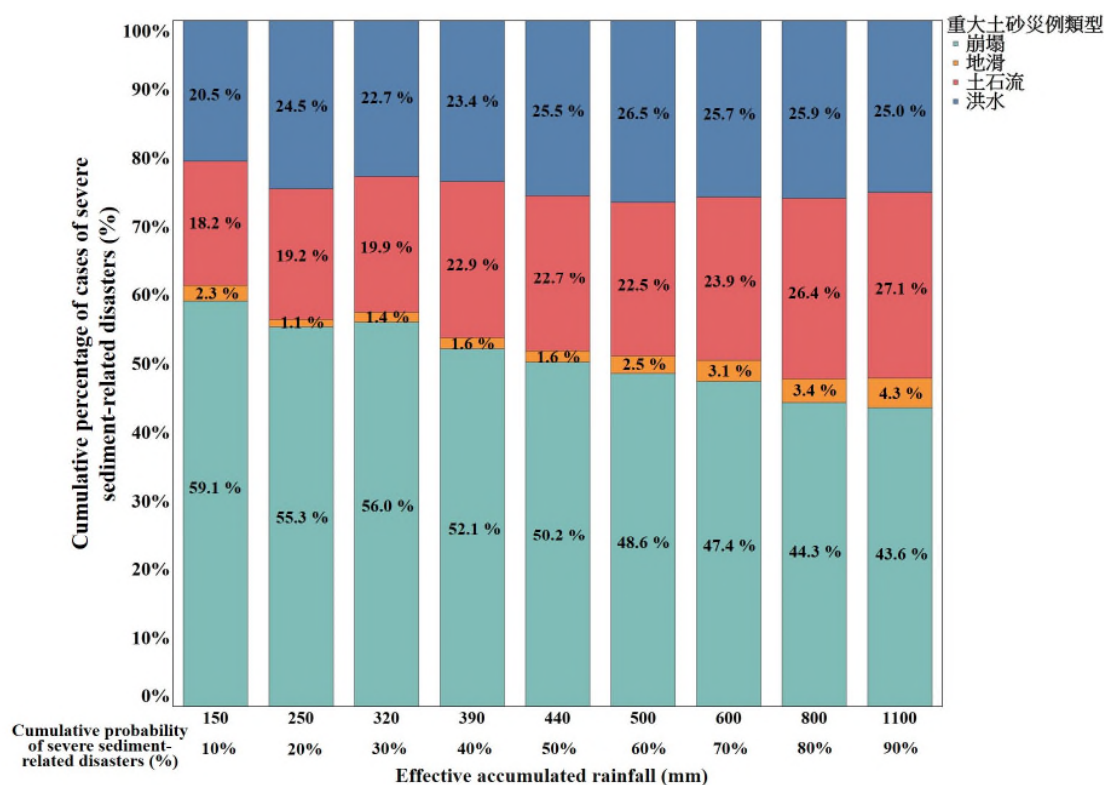


圖 4-9 不同降雨情境下之各類災害比例

(三) 台灣重大土砂災例類型與空間分布特性分析

由於台灣的降雨主要受到 5 月中旬至 6 月中旬的梅雨季、7 至 9 月的颱風季及西南風系統，以及 10 月開始的東北季風系統之影響，降雨集中之月份亦有區域性之不同(國家災害防救科技中心，2015)。為進一步探討台灣重大土砂災例類型與空間分布特性，本研究依表 4-1 之北中南東四個分區，繪製如圖 4-10、圖 4-11 及圖 4-12。由圖 4-10 顯示，如取 $Monthly\ EAR_{avg(max)}$ 為 300mm 為界，北部及東部地區降雨集中於 8-10 月，中部及南部地區則為 6-9 月，且重大土砂災例集中之月份 $Monthly\ EAR_{avg(max)}$ 與趨勢一致。如以重大土砂災例分布數量及類型來看，各區災例數量以南部最多(184 件)，主要類型為土石流(70 件)及崩塌(60 件)；北部與中部均為 127 件，其中北部的類型主要為崩塌(62 件)及洪水(31 件)，中部則為崩塌(71 件)及土石流(20 件)；而東部災例數量最少(33 件)，主要類型為崩塌(14 件)及土石流(10 件)。在新生崩塌面積部份，北部新生崩塌面積最少，南部最多；其中南部與東部地區均在 2009 年莫拉克颱風時出現最大的新生崩塌面積(圖 4-11)，以及最多重大土砂災例(圖 4-12)，之後則無明顯趨勢。

此外，由圖 4-10 知北部地區主要降雨及災害月份為 8-10 月，雖然 10 月份北部之 $Maximum\ EAR_{avg(max)}$ 無明顯增加，但 10 月份土砂災害數量最多，且多為洪水與崩塌災害(圖 4-10)，並以宜蘭件數最多，推測可能為熱帶氣旋與東北季風共伴效應造成東北部尤其是宜蘭地區小範圍大量降雨所致(范鈞燦等，2008)，圖 4-4 也顯示宜蘭地區相較於其他北部縣市較容易有累積雨量大於 500 mm 的情況出現。由圖 4-11 顯示，北部地區在 2005 年至 2015 年之新生崩塌面積在四個地區裡為最少，僅在 2012 年有較大的雨量與崩塌面積，對照圖 4-4，

其原因為 2012 年侵台的蘇拉颱風造成宜蘭地區出現大於 1000 mm 的 EAR_{max} 與大範圍 500 mm 以上的 EAR_{max} ，在北部也造成較多的災害事件(表 4-2、圖 4-11)。根據中央氣象局統計，蘇拉颱風在北部的宜蘭地區帶來超大豪雨，其中太平山地區總計累積降雨量達 1815 mm，造成土石流與洪水等重大災情(蔡甫甸, 2015)。

另一方面，對照圖 4-11 及圖 4-12，2010 年梅姬颱風及 2015 年蘇迪勒颱風，造成北部地區共 34 件及 30 件重大土砂災例，但圖 4-11 卻未顯示新生崩塌面積有增加趨勢，其原因係為梅姬颱風之降雨主要集中於宜蘭，例如該月份北部地區的 EAR_{max} 為 1256.3 mm，但 $EAR_{avg(max)}$ 僅為 295.2 mm，且 34 件重大土砂災害地點皆發生於宜蘭縣，並有 27 件位於蘇澳鎮；圖 4-4 亦顯示 2010 年宜蘭附近之 EAR_{max} 大部分皆大於 500 mm，更有大於 1000 mm 的情況。因此梅姬颱風主要影響範圍僅限於宜蘭地區，因此當年度北部地區之總新生崩塌面積不大。類似之情形亦見於 2015 年蘇迪勒颱風，蘇迪勒颱風雖造成新北市烏來區、新店區、三峽區與宜蘭縣大同鄉等北部地區大量重大土砂災例，也是 2015 年最嚴重的災害事件(羅雅尹, 2015)，然而 2015 年北部地區的新生崩塌面積並無大量增加(圖 4-11)。根據 2015 年蘇迪勒颱風災害調查彙整報告指出，蘇迪勒颱風過後並未造成大量新崩塌地，且林相並未受明顯破壞(張志新等, 2015)，此外，研究指出，天然林林相完整，在林相未受破壞的情況下，新生崩塌地的面積可能因衛星影像無法判釋林相下的狀況而造成低估(林松駿、梁偉立, 2018)；另一方面，由於本研究的新生崩塌面積判定方法為增加的面積，若強降雨造成的原有崩塌地刷深，則無法計入。這兩個原因可能導致蘇迪勒颱風未造成大量新生崩塌面積。

對於中部地區而言，由圖 4-10 顯示 6 月梅雨季節造成之重大土砂災例以中部比例最高，類型則以崩塌最多。於表 4-2 所列 2006-2018 年全台災害事與重大土砂災例件數顯示，歷年重大土砂災例數逾 10 件的颱風豪雨事件計有 12 次，其中災例件數比例最高者，北中南區恰各佔 4 次。檢視中部地區 4 次中，有 3 次分別為 2007 年 0604 豪雨、2012 年 0610 豪雨及 2017 年 0601 豪雨。四個分區中，南部地區的土砂災例數量最多(184 件)，且 8 月發生的重大土砂災例相較於其他地區高出 2 倍至 3 倍，主要為崩塌及土石流類型，尤其是 8 月的雨量較其他地區高出許多(圖 4-10)，可能因為南部夏季除了颱風之外更有西南氣流的影響，造成大量降雨，使崩塌和土石流災害大幅增加(圖 4-10)。另一方面，2006 年莫拉克颱風在 2009 年造成大量的降雨，重創南部地區，在南部造成 126 件重大土砂災例，並且造成近年來最多的新生崩塌面積，莫拉克颱風的嚴重程度可見一斑。

相較於其他三區，東部重大土砂災例數量僅為其他三區之 $1/4 \sim 1/6$ 左右(33 件)，東部地區的災害多發生於 8 月至 10 月，8 月土石流類型最多，而 10 月則主要為崩塌及洪水(圖 4-10)。雖然東部地區在 6 月至 10 月份的 $EAR_{avg(max)}$ 與北部及中部沒有明顯落差(圖 4-10)，且歷年新生崩塌面積高於北區及中區(圖 4-11)，但其災害數量比北部及中部地區(127 件)少了三分之二。可能原因為東部地區占地雖廣，人口密度卻為全台最低；根據內政部 108 年 5 月統計，全台平均人口密度為每平方公里 651 人，而花蓮縣為每平方公里 76 人，台東縣為 62 人，而水土保持局所建立的重大土砂災例主要為保全對象受土砂災害的紀錄及報告，因此重大土砂災例的數量便會相對較少。此外，在月平均最大有效累積雨量東部與北部及中部相差不大之情況

下，新生崩塌面積卻高於北部及中部地區，是否係由於東部地區地震較為頻繁所致，值得後續進一步分析。

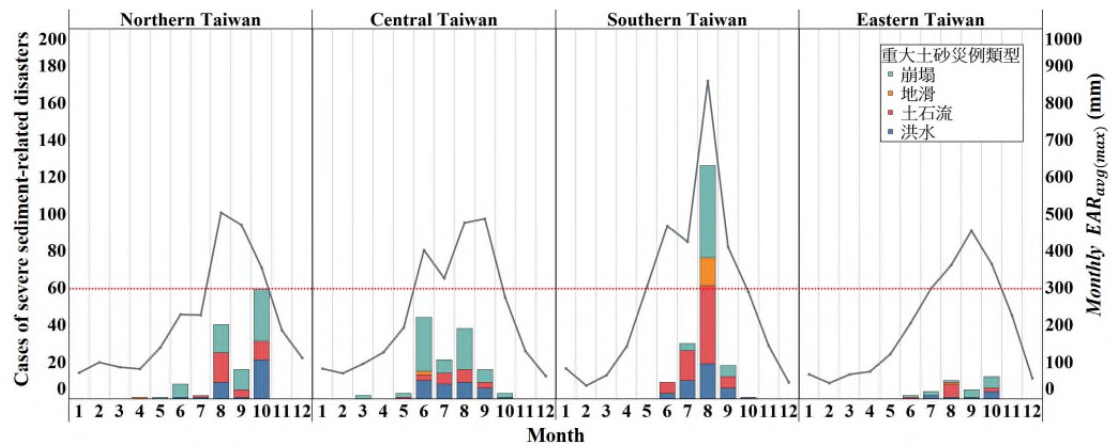


圖 4-10 各地區 2006-2017 年之月平均最大有效累積雨量及 2006-2018 年各月份災例數量

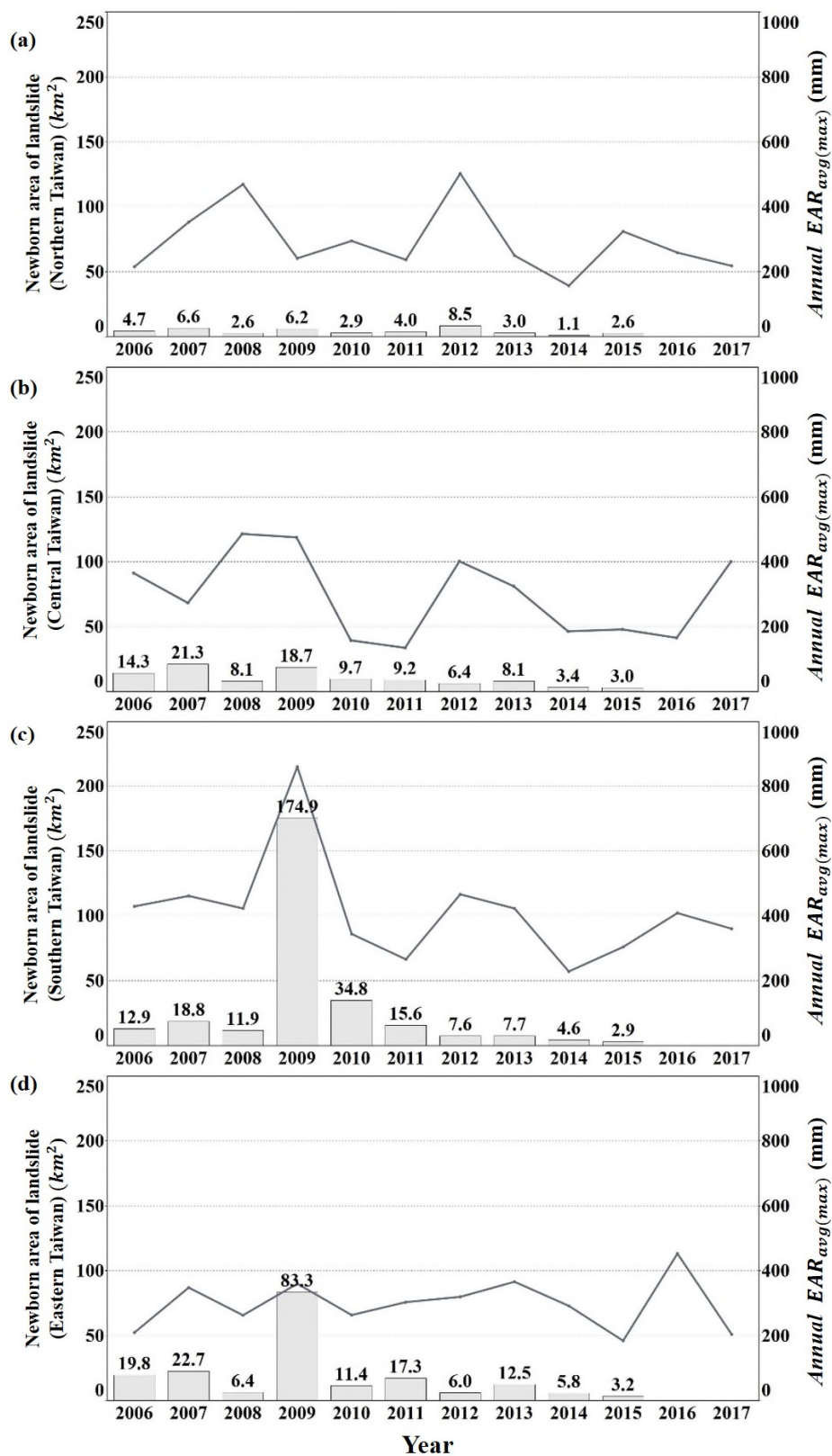


圖 4-11 各地區 2006-2015 年新生崩塌面積及 2006-2017 年年度最大平均有效累積雨量：(a)北部，(b)中部，(c)南部，(d)東部

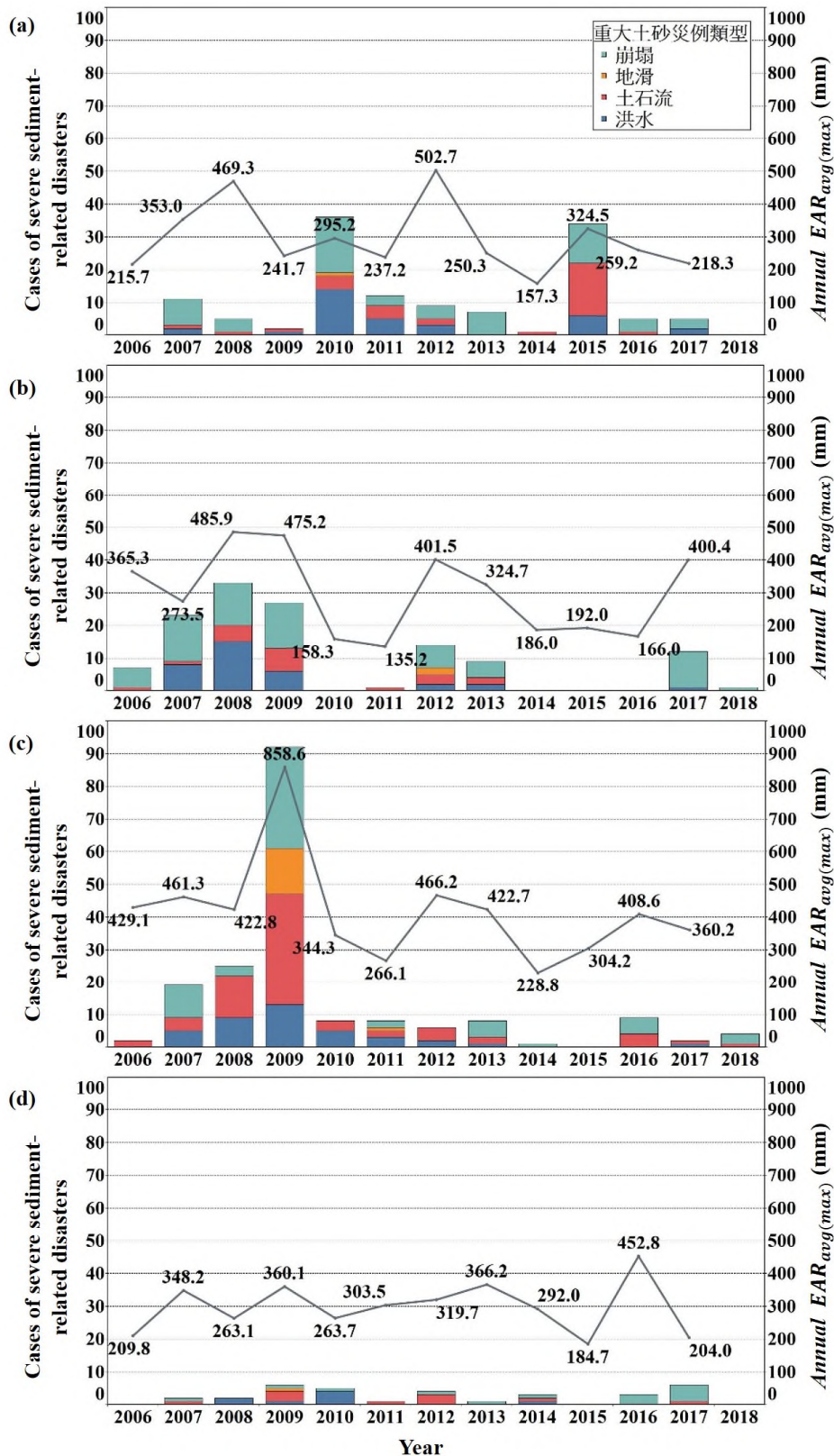


圖 4-12 各地區 2006-2018 年重大土砂災害及類別，與 2006-2017 年年度最大平均有效累積雨量：(a)北部，(b)中部，(c)南部，(d)東部

(四) 討論

1. 由於國內目前所能取得之較完整的歷年全台崩塌地圖層，僅有林務局 2004-2016 年衛星判釋全島崩塌圖層，惟該圖層僅使用當年度 1 至 7 月之衛星影像進行崩塌地判識，由前述統計結果可知，逾 7 成以上之土砂災害實際發生於 8 至 12 月，因此在計算各年度新生崩塌面積時，將造成某些崩塌無法確認是否真為當年度降雨所致。建議未來宜建置事件型山崩目錄，或有機會改善。
2. 由於重大土砂災例之認定及後續之資料建置，往往受到人為判斷與認知之影響，為了解其影響及差異，本研究蒐集並整理 2018 年 7 月至 2019 年 6 月間各大新聞台報導與災害相關之電子新聞，剔除地震等非降雨事件造成之災害，分類為崩塌、土石流、地滑及洪水四種主要災害共計 280 則。資料內容包含日期、地點、座標、主要災害及相關新聞描述，經繪製為新聞災點分布圖 (圖 4-13)。比較圖 4-2 及圖 4-13 可知新聞報導災害點位大致分布於北中南區，東部地區資料較少(圖 4-13)。在新聞資料點位中，災害事件最多的是崩塌(173 件)和洪水(104 件)，而土石流和地滑則僅各 2 件和 1 件(表 4-5)。新聞報導災例中崩塌和洪水的比例佔大部份，可能因為多數報導著重於交通受阻、洪水及影響民宅。在全部 280 則報導中，就有 166 件報導內容為交通阻塞的描述(59%)，包含路樹倒塌、邊坡落石與崩塌等內容描述；而關於洪水部分的報導原因則多為交通要道、都市精華區因為大量降雨而淹水等(表 4-5)。相較於水土保持局建立之重大土砂災例，新聞報導之災害案件多著眼於是否影響民生日常作為取材

標準，其空間分佈也較重大土砂災例點位分散(圖 4-2、圖 4-13)。由於本項新聞災點目前僅蒐集近一年之資料，且同期間之重大土砂災例僅 4 件，尚無法進一步分析與建立其關聯性，未來將持續擴充此新聞報導災例資料庫，後續應用相關資訊分析其關聯性。

3. 對於台灣的強降雨事件是否有增加的趨勢，不同專家學者亦有不同的看法，許多研究認為，在近 30-50 年來，台灣的強降雨事件有增加的趨勢。例如吳宜昭等(2016)分析 1993 年至 2015 年的短延時降雨事件，顯示 23 年來 3 小時延時強降雨事件的發生日數存在上升趨勢，平均每年增加 0.2 日。而涂建翊等(2011)分析 1960 年 2009 年(共 50 年)的時雨量資料，顯示台灣地區時雨量小於 2 毫米的降雨時數與降雨量均明顯減少，2000 年後時雨量大於 30 毫米以及 50 毫米的強降雨則顯著增加。此外，盧孟明等(2007)分析 1951 年至 2005 年時雨量資料，結果顯示台灣東北部 1979 年後短延時極端降雨事件有增加的現象，而中部和南部地區則無。另一方面，洪致文(2012)觀察台灣 1885 年至 2010 年之降雨分佈，顯示近 30 年至 50 年不等出現的強降雨災難事件，在 1920 年至 1960 年已有類似的雨量分佈趨勢，因此近年在雨量紀錄的離群值有可能是時間尺度差異所造成。綜合以上前人研究結果，顯示不同時間尺度與地區劃分的研究成果有相當的差異，因此若要了解近年來強降雨是否有增加的趨勢，建議可拉長時間尺度至前一次相似雨量分佈趨勢出現時，與納入不同降雨原因分析。

4. 本研究結果顯示，當有效累積雨量達 320 mm 以上時，崩塌、地滑與土石流災例類型比例開始有明顯變化，其中崩塌類型減少，而地滑與土石流類型增加(圖 4-9)。一般而言，地滑災害常與豪大雨導致地下水位上升有關，在總共 19 件的地滑災例中，有 15 件發生於莫拉克颱風，並且集中在南部地區，同時其比例呈現隨著有效累積雨量增加而上昇之趨勢。另一方面，土石流災害的比例隨累積雨量增加的現象，推測可能原因為在累積雨量較高的事件中時崩塌與土石流都有發生，但崩塌事件發生於上游的部分，為土石流災害提供料源，使流動距離及影響範圍更廣的土石流災害危害下游保全對象而被紀錄為重大災例；另一方面，根據研究指出，隨著累積雨量增加，土石流影響範圍也會隨著擴大，並增加保全對象受到的損害(劉格非等，2013)。由於本研究每一件重大土砂災例僅選擇一種土砂災害類型作為代表，因此在雨量增加時，土石流的災害範圍若擴大，則土石流很可能被記錄為主要災害類型，同時間或較早發生的崩塌災害便未被納入，建議未來可針對複合型土砂災害進行加權分析，以進一步了解不同有效累積雨量對土砂災害類型的影響。

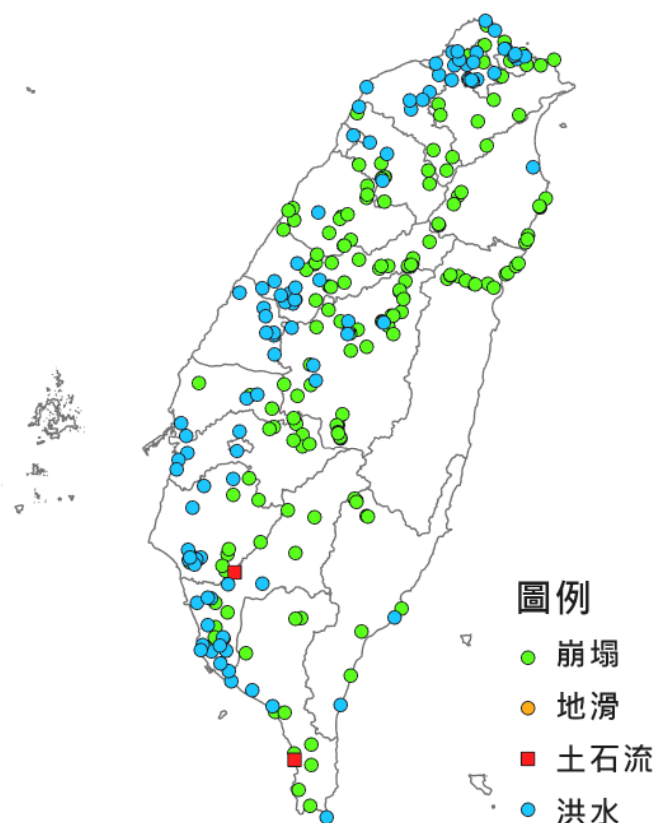


圖 4-13 2018 年 7 月~2019 年 6 月土砂災害相關之新聞災點位分布圖

表 4-5 2018 年 7 月至 2019 年 6 月新聞報導案件之報導原因、件數
與災害類型

災情描述	總件數	災害類型	件數
交通受阻	166	崩塌	142
		洪水	22
		土石流	2
淹水	66	洪水	66
民宅受損	25	洪水	16
		崩塌	8
		地滑	1
落石與人員傷亡	23	崩塌	23
		總計	280 件

四、結論

本研究藉由有效累積雨量值之繪製與觀察歷年全台年度最大土壤含水量分佈，顯示其與重大土砂災例的時間及空間分佈相吻合；北中南東各地區亦因主要降雨系統不同而有相異的災害型態。本研究結果顯示，在 2013 年後重大土砂災例與全台年度最大土壤含水量分佈均較 2006-2012 年少，雖未觀察許多研究指出之極端降雨與土砂災害增加的現象，其原因可能為所採用之雨量資料時間區間較短導致。整體而言，歷年重大土砂災例中，崩塌所佔災害比例最高(45%)，其次為土石流(27%)。在災害發生的時間方面，6 月至 10 月為台灣重大土砂災害發生高峰期。觀察有效累積雨量與重大土砂災例的關聯性，結果顯示 90% 的重大災害發生時有效累積降雨量均大於 150 mm；在災害發生時的有效累積降雨量為 440 mm 時，重大土砂災例發生的機率為 50%，與超大豪雨之定義 500 mm 相當接近；而當有效累積降雨量為 600 mm 時，有 70% 重大土砂災例已發生，與現行土石流警戒基準值最高範圍大致相同。此外，降雨規模不同，土砂災害類型之比例亦有所變化；其中土石流及地滑類型之災害比例，隨雨量增加而增加。本研究淺探近年土砂災害趨勢，囿於災害點位數量與資訊較少，建議可進一步蒐集其他政府相關部門或民間團體紀錄之災害事件。另外，本研究未考慮複合型災害，一筆災害事件僅選取一個主要災害，然而重大土砂災害常同時發生一個類型以上的災害，未來可進一步考慮複合災害事件的影響。本研究綜合各地區 2006 年至 2018 年重大災害，新生崩塌面積與雨量，分析台灣地區降雨致災的土砂災害趨勢，或可供未來相關防災措施與研究參考。

第二節 日本厚真町堰塞湖之形成與潰決潛勢分析

一、前言

近年來極端降雨事件頻傳，導致大規模崩塌與複合型災害發生頻率增加 (Shieh et al., 2009; Shieh et al., 2010)，其中部份大規模崩塌阻塞河道成為天然壩，並進一步形成堰塞湖，若發生堰塞湖潰壩將會導致嚴重的二次災害。2018 年中國四川金沙江上游發生 2 次大規模崩塌並形成堰塞湖，之後壩體潰決所形成的洪水沖毀許多橋梁與村落，疏散約 2 萬人；2004 年日本年新潟縣中越地震、2011 年 9 月紀伊半島豪雨災害，多處崩塌形成堰塞湖且第一時間因天候不佳未能即時察覺，潰決後衍生許多重大災情，日本政府從這些災害處理經驗中認知到堰塞湖災害的危險性與急迫性，並著手建立相關 SOP。台灣因地理條件特殊經常發生地震及颱風事件，時有大規模崩塌形成堰塞湖，如 1999 年集集大地震時形成之草嶺與九份二山堰塞湖；2009 年莫拉克颱風，造成全台形成了十多處堰塞湖 (陳昆廷，2010；陳樹群與許中立，2009)。

根據 Schuster & Costa (1986) 的統計，不論是地震或降雨崩塌引致的堰塞湖，約有 50% 於形成後 10 日內潰決，約有 80% 堰塞湖其形成時間約在半年內潰決，大約 85% 於一年內潰決，僅 15% 案例其存在時間超過一年。Costa, J. E., and Schuster, R. L. (1988) 則以地形學之分類將堰塞湖分為六個類型，第 I 型為崩塌阻塞河道，但未到達對岸；第 II 型為崩塌阻塞河道並到達對岸；第 III 型為崩塌阻塞河道並往上下游堆積；第 IV 型為兩側邊坡發生崩塌並阻塞河道；第 V 型為崩塌分成兩股進入河道；第 VI 型為天然壩係由河底之破壞面升起，如下圖 4-14 所示。

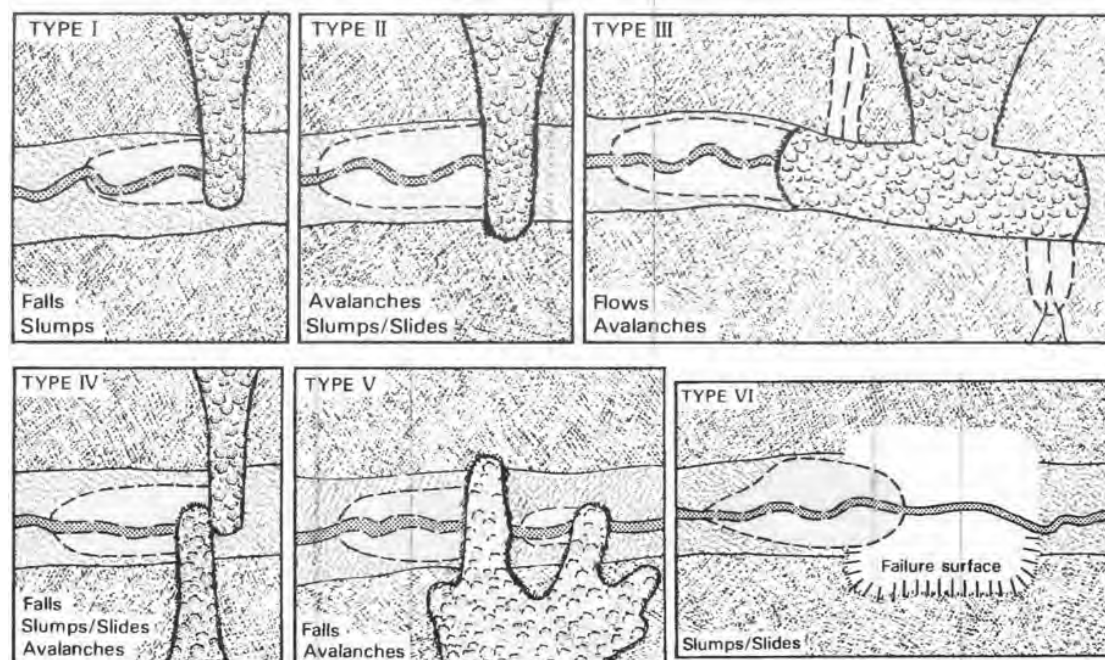


圖 4-14 天然壩類型 (Costa, J. E., and Schuster, R. L., 1988)

一般而言，發現堰塞湖形成後，首要須先判定其穩定性，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阻塞指標 (Dimensionless Blockage Index, DBI)。此法係由 Ermini and Casagli (2003) 所提出之經驗式，其統計天然壩壩高、天然壩體積與堰塞湖集水面積並推演出其與壩體穩定性之關係，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。

由於堰塞湖從形成到潰決期間，常受到諸多條件限制未必能於第一時間發現，且存在時間長短不確定，亦不易取得崩塌後壩體材料與幾何資料；甚至在颱風豪雨事件中形成之堰塞湖，經常伴隨著大雨直接發生潰決，導致大量土砂伴隨洪水沖至下游，形成河岸侵蝕、洪水溢淹、維生管道、設施損毀等情形，嚴重威脅下游聚落居民生命財產之安全。因此，如何在短時間內快速評估天然壩壩體是否穩定、堰塞湖對上下游保全對象的影響，甚至發生潰決事件後對下游保全對象的

衝擊，以擬定緊急疏散及避難對策等是非常重要的課題。日本在 2004 年新潟中越地震時，成功處理崩塌所形成的堰塞湖避免二次災害的發生，並開始針對堰塞湖災害進行相關緊急應變策略之擬訂，於 2011 年修訂土砂災害防止法，規定堰塞湖災害緊急調查條件與初步影響範圍分析方法(水野秀明等，2011)，隔年紀伊半島豪雨透過 QUAD-L 模式之模擬成果，發布堰塞湖災害可能影響範圍資訊，提供縣市政府初步需要疏散避難之區域(清水武志等，2012)。

由於天然壩之形成及其衍生之二次災害難以事前預測，故一旦發現後，其緊急應變計畫之研擬通常十分急迫。因此，如何以短時間內調查所得資料，並在最快速的時間內評估、判斷災害潛勢並發布防災避難決策，值得不斷探討與精進改善。對此，本研究期在建立一套災後可快速評估及預測堰塞湖潰決後各種可能情境之標準作業程序，以及上游迴水區與下游潰決後之淹沒區之影響範圍與衝擊程度，其研究流程如圖 4-15 所示，並以 2018 年北海道地震 (Hokkaido Earthquake) 所造成之厚真町堰塞湖為研究案例並進行潰決模擬分析。

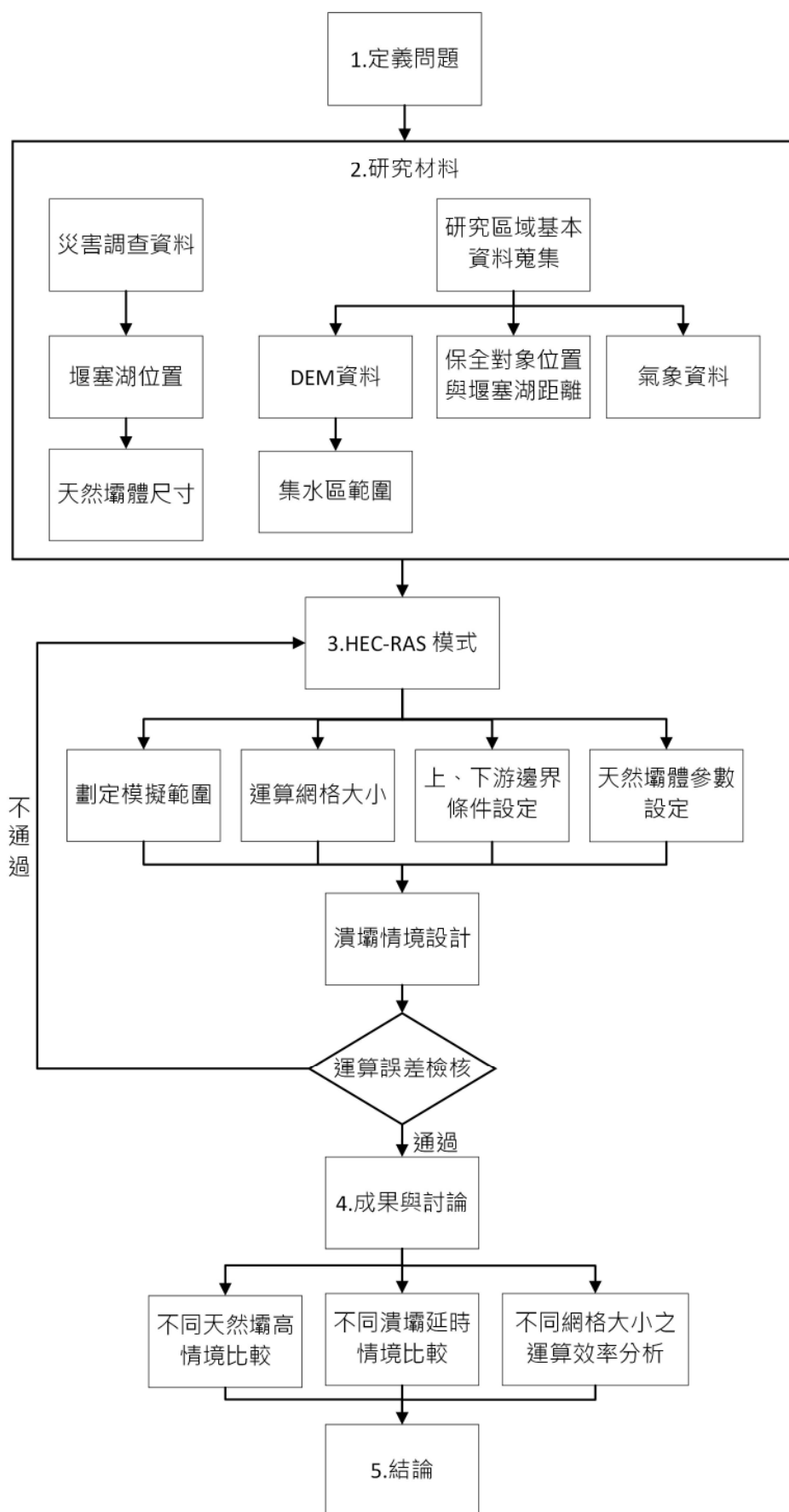


圖 4-15 研究流程圖

二、材料及方法

(一) 北海道地震事件說明

2018 年 9 月 6 日凌晨 3 時 7 分北海道發生芮氏規模 6.7 地震，震央位於北緯 42.72 度，東經 142.0 度，震源深度約 37km，屬西北-東南向之逆向斷層。依據日本氣象廳資料圖 4-16 顯示，最大震度發生在厚真町地區達 7 級，其他城市如札幌、千歲、夕張、函館等分別為 5 至 6 級 (Yamagishi and Yamazaki, 2018; 中央災害防救會報, 2018)，地震導致北海道地區多處發生崩塌，崩塌面積估計約為 13.4km²，創下從 1891 年紀錄以來日本崩塌面積最大的一次地震。本次地震造成 42 人死亡、762 人受傷，日本緊急災害對策派遣隊(TEC-FORCE)成員出動 3,064 人次協助本次災害的調查與各項技術支援，根據調查結果顯示，土砂災害統計為 227 件，其中厚真町地區佔了 201 件，住宅損壞統計全倒 462 棟、半倒超過 1500 棟，多處道路因地震而產生裂縫及高低落差，部分住宅區也發生土壤液化之情形。

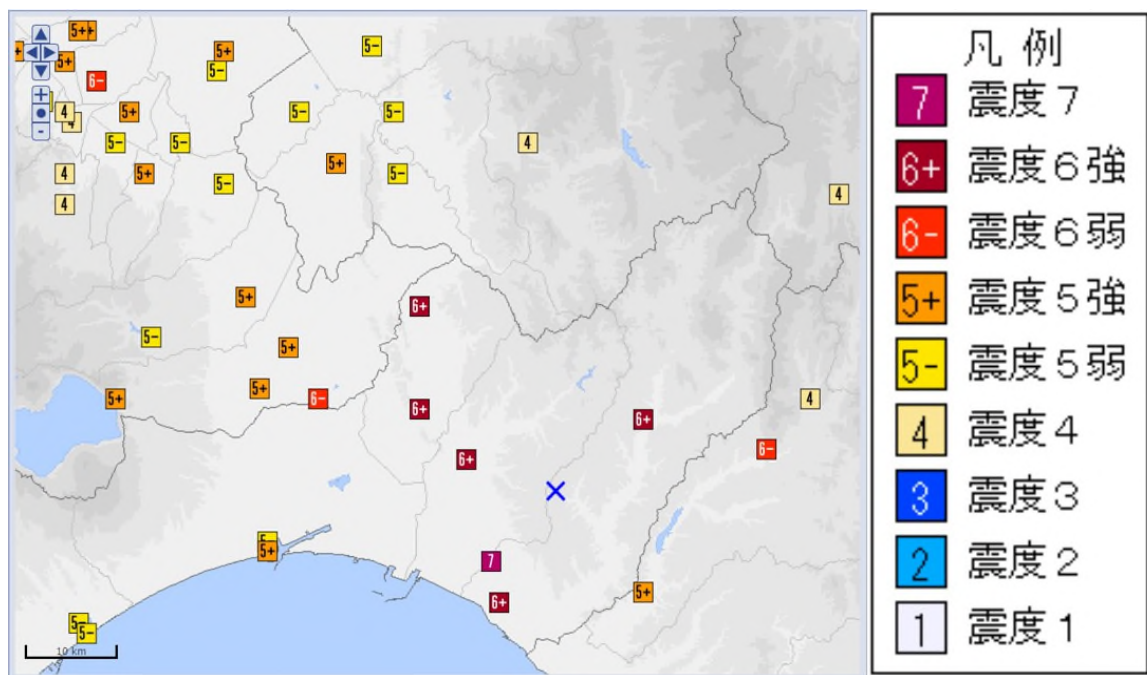


圖 4-16 北海道地震震度分布圖 (日本氣象廳)

北海道地震造成多處坡地崩塌，許多崩塌土砂堆積於河道與排水路上，導致河道阻塞形成天然壩，其中一處大規模崩塌位於厚真町厚真川上游的日高幌內川(如圖 4-17)：崩塌長度約 1km，崩塌面積約 50ha，崩塌土體阻塞河道長約 850m，並形成高約 50m、最大寬度約 230m 之天然壩體，估計最大上游迴水長度可達約 2km。由於該崩塌量體較大，無法在短時間內透過工程手段移除土體，第一時間防災人員先進行堰塞湖基礎資料調查與緊急監視設備設置，日本國土交通省派遣之 TEC-FORCE 成員分別在天然壩上、下游設置水位監測設備，當天然壩體上游蓄水高度上升時，或天然壩體下游滲水量增加時，能夠提早提供下游保全對象疏散避難相關資訊。水位資料每日上網發布，提供民眾及相關防災人員目前水位高度，也透過 UAV 無人飛行載具空拍現場狀況，並進行地質鑽探了解該崩塌區域地質型態，以利進行後續的挖降工程規劃。

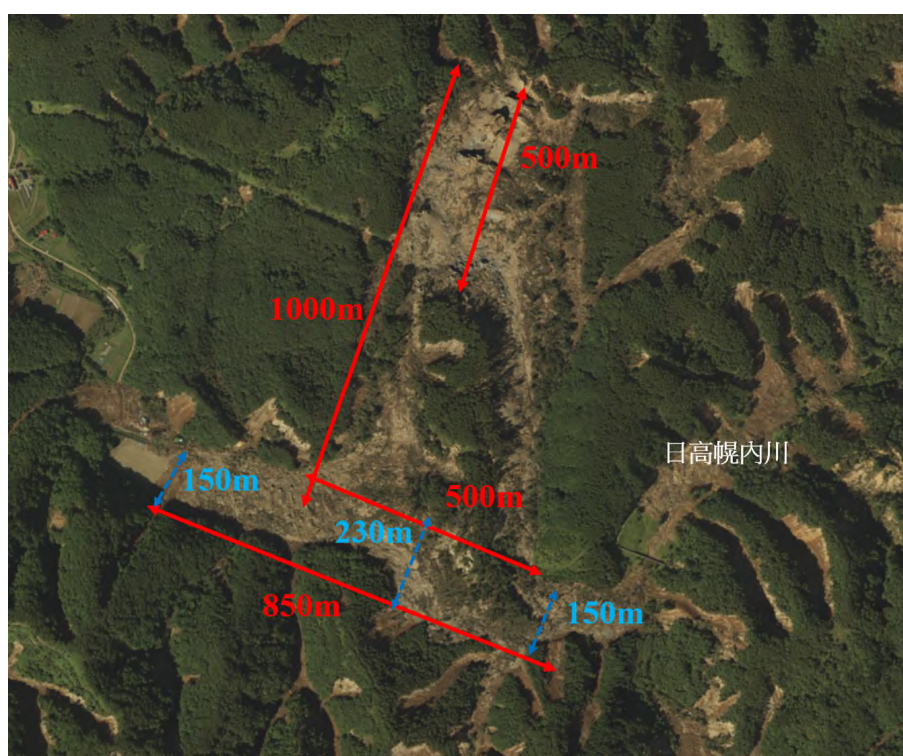


圖 4-17 崩塌調查資料示意圖(日本國土地理院)

(二) 研究區域基本資料

為了推估堰塞湖災害之可能災害潛勢範圍，本研究擬透過模式模擬天然壩體若發生潰決後對下游保全對象之影響。首先需透過基礎資料蒐集及現場相關調查資料，提供模擬環境參數設定及模擬情境設計，其模擬所需基礎資料包括數值高程模型(DEM)、當地氣象資料、上游與下游保全對象基本資料、天然壩體位置及其形狀相關資料。

本研究使用的 DEM 資料為美國太空總署 Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM) Version 2 的免費公開資源，該 DEM 為 2011 年產製的 30m 解析度數值高程模型，分析研究區域之集水區資料如圖 4-18 所示，日高幌內川集水區總面積為 13.59km²，而天然壩上游集水區面積為 8.29km²，平均坡度為 2.42%，天然壩下游至厚真川匯流處平均坡度為 0.62%，而厚真川模擬區域之河道平均坡度約為 0.19%，相較於台灣的河川，該區域的河道坡度相對平緩，若發生潰壩導致之洪水將無法短時間內順利排除。本研究蒐集厚真町氣象站紀錄自 1976 年至 2017 年的雨量資料，平均年降雨量為 997mm，每年最大一小時降雨強度如圖 4-19 所示最大為 46 mm/hr，最小為 9 mm/hr，其平均為 22.85 mm/hr，日平均溫度約為 8 度，冬天氣溫會低於 0 度，導致降雪及蓄水區域結冰之情形，而到春天融雪時可能會有大量水體補充至蓄水範圍內，或是透過地下水至天然壩體下游滲出，可能會造成天然壩體滲流破壞。

為了降低堰塞湖災害對於保全對象的影響，在確認堰塞湖位置後立即調查天然壩上游迴水範圍內及下游行水區周邊保全對象之資料，本研究透過衛星影像初步確認該區域之建築物分布情形如圖 4-20，

由於天然壩上游區域並無發現相關建築物，所以假設無保全對象位於此區，而天然壩下游依照建築物分布及潰壩可能影響的範圍，選定三處聚落作為災害可能影響之重點區域，並透過分析結果判斷影響範圍及其流速與水深。其中聚落 1 距離堰塞湖約為 0.5km 約有 3 戶保全對象位於此處，聚落 2 距離堰塞湖約為 3.5km 且有逾 20 戶住宅於此，若堰塞湖潰壩洪水衝擊此區域，恐將會造成嚴重的災害；而聚落 3 約有 8 戶保全對象，距離堰塞湖約為 5.5km。三個聚落離河道都不到 50m，且河道斷面深度約 3m 至 5m，洪水來臨時容易溢淹至兩岸，對於兩岸保全對象將有致災的風險。

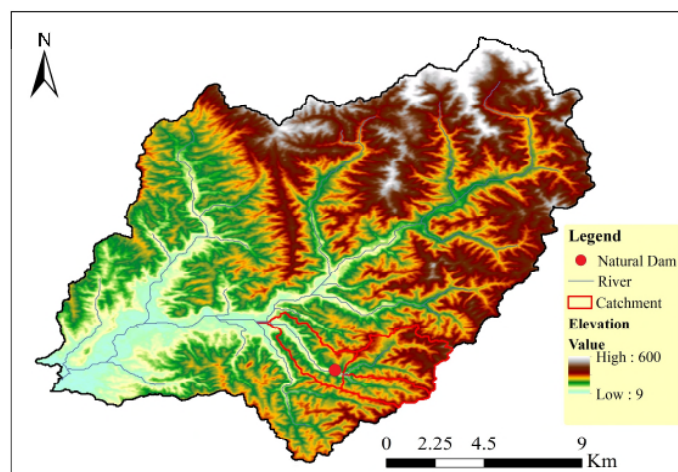


圖 4-18 研究區域之集水區範圍

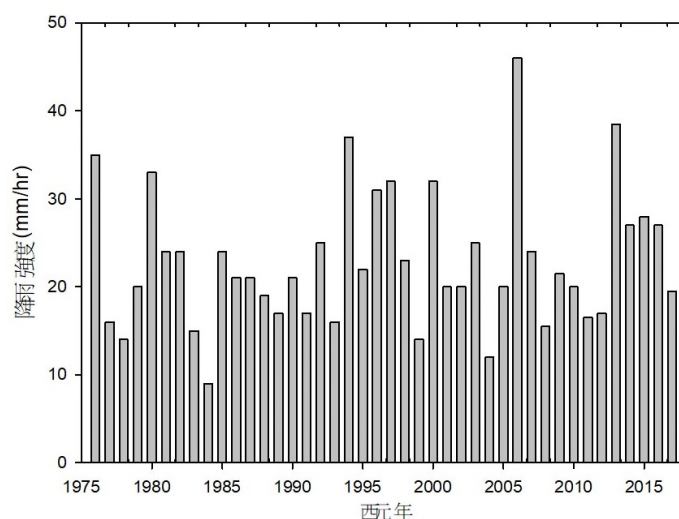


圖 4-19 厚真町地區歷年最大一小時降雨強度

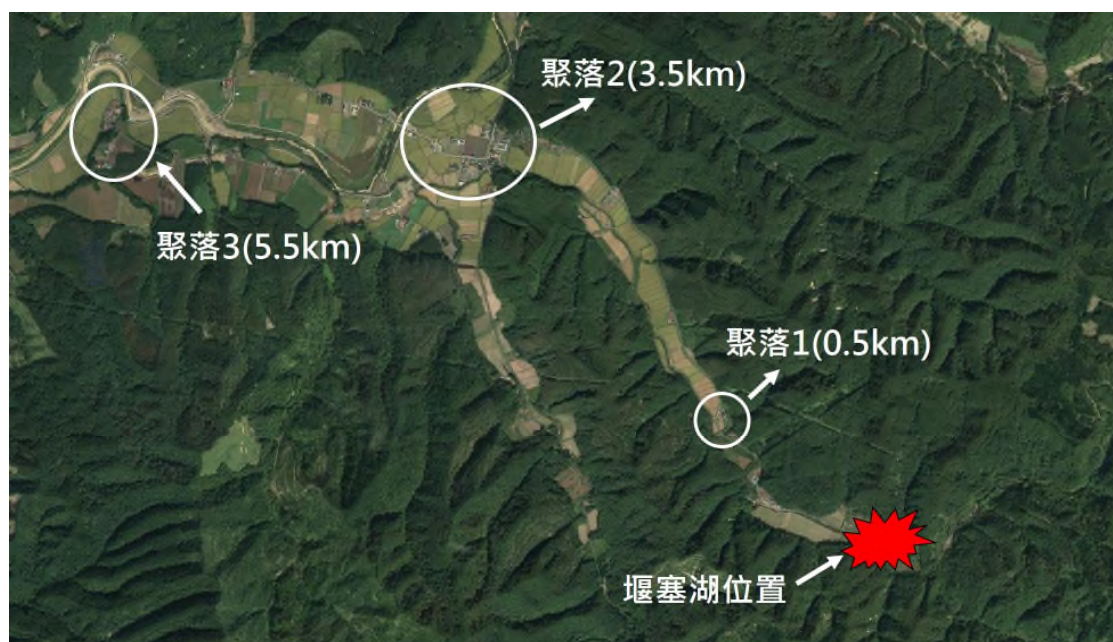


圖 4-20 研究區域之保全對象位置與堰塞湖之距離

(三) 模式介紹及情境設計

本研究採用美國陸軍工兵團水文工程中心所開發之 HEC-RAS 模式河川分析系統，其提供一及二維河道水理演算模式，包含定量流 (steady flow water surface profiles) 計算、變量流 (unsteady flow water surface profiles) 計算及動床輸砂 (mobile bed sediment transport) 計算等三大項計算功能。

在定量流模組下，水理模式可分析模擬河川系統為單一河段或是網狀河川；另外，對於亞臨界及超臨界流況或是兩者混合之流況均可模擬進行水理計算。在變量流模組下，水理模式則是可進行超臨界、亞臨界或是混合流況之水理計算。輸砂/動床單元係用以模擬在中、長期內（一般為數年，單場洪水事件亦適用）河道沖淤變化所造成之輸砂/動床演算。輸砂潛能係依照粒徑分配計算，因此可模擬水力篩選 (Hydraulic Sorting) 及護甲作用 (Armoring)。

HEC-RAS 5.0 以上的版本提供二維水理分析模組，並透過 Mapper

圖台功能，簡化基礎資料輸入步驟。其二維運算模式可採用擴散波方程式 (Diffusion wave equation) 或是淺水波方程式 (Shallow water equation)，並可以依照模擬精度需求調整運算方法，再以二維水理演算透過有限體積法 (Finite Volume Method, FVM) 來解算結構及非結構化網格。此外，二維的分析方法較適用於寬廣的洪水平原模擬、潰堤後的下流流況、複雜流況等情境，亦較能處理匯流口水流交會、轉移之情形，但模型的整體大小與網格大小將會影響運算時間。

1. 控制方程式

HEC-RAS 2D 變量流水理 (Unsteady flow hydraulic) 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)。

本節 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：

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \quad \text{式(4-2)}$$

其中 $H=h+z$ 為水位高， h 為水深， z 為底床高程， t 為時間， u 及 v 分別為 x 及 y 方向之流速分量， q 為源項 (source / sink flux term)。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + fv \quad \text{式(4-3)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + fu \quad \text{式(4-4)}$$

其中 g 為重力加速度， v_t 為渦流黏滯係數， c_f 為底床摩擦係數， f 為科氏力參數。在動量方程式等號左邊為對流加速度及局部加速度項，而在方程式等號右邊為水壓力項、渦流擴散項(Eddy diffusion)、底床摩擦項及科氏力項 (Brunner and CEIWR-HEC, 2016b)。

為了離散化 (Discretize) 連續及動量方程式，藉由有限差分進行時間項離散化，另外對空間項則是使用有限差分及有限體積的複合方式 (Hybrid approximation) 進行離散化。

2. 天然壩潰壩情境設置

本研究採用全區域透過二維水理網格建置模擬範圍如圖 4-21，以 ASTER DEM 為底圖，模擬總面積約為 25km^2 ，設定模擬網格大小為 $50\text{m} \times 50\text{m}$ 進行自動化計算平均分布，考量地形關係及模擬範圍邊界，統計使用的網格數為約為 28,775 個。在天然壩上游邊界，設置為 3 處入流起點，其入流量透過合理化公式計算，其洪峰流量約為 40cms ，出流終點處則為此天然壩集水區出口，設定其邊界條件為正常水深，且該區域平均坡度 0.19% 。由於無法快速取得該地區土地利用分區圖層，為加快模式計算速度及縮短成果取的時間，本研究依手冊建議值，曼寧 n 值採用 0.04 ，作為洪水氾濫之行水區參考依據，天然壩體距離匯流進主流厚真川約 3.5km ，模擬河道總長度自天然壩下游處起算至下游邊界條件約為 12km 。

以 HEC-RAS 2D 執行潰壩模擬時，需設定天然壩體位置形狀及潰壩時潰口等相關參數(如圖 4-22)；其中在潰壩設定介面中有幾項重要的參數，目前潰壩模式能提供 2 種潰壞模式 (Failure mode) 為溢頂破壞和管湧破壞，本研究採用最多歷史案例的溢頂破壞作為潰壩模式，而在天然壩形狀及潰口參數方面，除了現場調查壩體高度外，另包含

潰口堰流係數 (Breach Weir Coefficient)、潰壩延時 (Breach Formation Time)、啟動水位 (Starting WS) 及最終壩體底部高程 (Final Bottom Elevation) 等相關設定。考量現場狀況之不確定性及防災評估需求，本研究將透過影響潰壩結果最大的參數，壩體高度及潰壩延時進行不同情境之設計，並假設當堰塞湖水體溢流過天然壩之後開始發生潰壩，潰壩最終將會刷深至原地表高程值。



圖 4-21 研究區域之模式模擬範圍示意圖

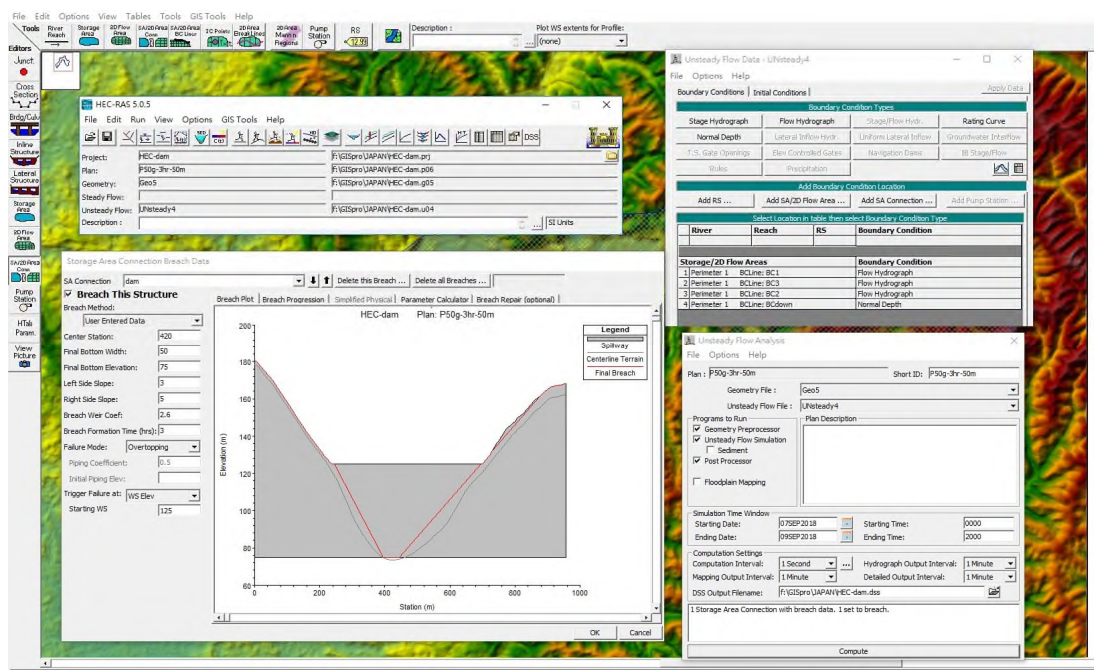


圖 4-22 HEC-RAS 模式 2D 潰壩參數設定介面

為了能夠快速評估堰塞湖潰壩對下游保全對象的影響，以及考量到對於天然壩體組成材料的不確定性，本研究將透過不同天然壩壩高情境及潰壩延時，探討堰塞湖上游迴水範圍以及潰壩後下游影響範圍，再比較不同網格大小運算所需要的時間，並分析其水深、流速及洪水抵達時間等結果，模擬成果將能提供防災應變之參考依據，表 4-6 整理本研究 10 種不同潰壩情境之參數設定。

表 4-6 潰壩情境參數整理

NO.	壩高(m)	潰壩延時 (hr)	網格大小	曼寧 n 值	上游入流量 (cms)
Case1	10	1	50m*50m	0.04	40
Case2	20	1	50m*50m	0.04	40
Case3	30	1	50m*50m	0.04	40
Case4	40	1	50m*50m	0.04	40
Case5	50	1	50m*50m	0.04	40
Case6	50	0.5	50m*50m	0.04	40
Case7	50	3	50m*50m	0.04	40
Case8	50	6	50m*50m	0.04	40
Case9	50	1	25m*25m	0.04	40
Case10	50	1	100m*100m	0.04	40

三、成果與討論

(一) 不同壩高情境之災害潛勢分析

由於災害第一時間天然壩組成材料未必可得知，且壩體強度難以推估，無法在短時間內推理預測其潰壩形式及潰壩速率，故藉由不同壩體高度之設置，進行各種情境之潰決模擬分析，可以得知不同壩體高度所造成之上游迴水長度、蓄水面積、蓄水體積和對下游區域影響範圍，如表 4-7 所示。當壩體高度為 10m 時，其所造成之蓄水體積約為 $20 \times 10^3 \text{ m}^3$ ，迴水長度約為 230m，迴水面積約為 $60 \times 10^3 \text{ m}^2$ ，潰壩影響範圍約為下游 0.5km，亦即包含聚落 1；壩體高度為 20m 時，蓄水體積約為 $97 \times 10^3 \text{ m}^3$ ，迴水長度約為 840m，迴水面積約為 $125 \times 10^3 \text{ m}^2$ ，潰壩影響範圍落在聚落 1 與聚落 2 之間，洪水影響距離約為 2.2km；壩體高度為 30m 時，蓄水體積約為 $313 \times 10^3 \text{ m}^3$ ，迴水長度約為 1km，迴水面積約為 $320 \times 10^3 \text{ m}^2$ ，潰壩影響範圍擴大至聚落 2，潰壩影響距離較大幅升高至 4.2km；壩體高度為 40m 時，蓄水體積約為 $734 \times 10^3 \text{ m}^3$ ，迴水長度約為 1.5km，迴水面積約為 $495 \times 10^3 \text{ m}^2$ ，潰壩影響範圍擴大至聚落 3，潰壩影響距為 4.7km；壩體高度為 50m 時，蓄水體積約為 $1271 \times 10^3 \text{ m}^3$ ，迴水長度約為 1.54km，迴水面積約為 $608 \times 10^3 \text{ m}^2$ ，潰壩影響範圍完全淹沒聚落 3，潰壩影響距為 5.5km。

為了確定在不同天然壩體高度情境下對於保全對象的影響，針對模擬分析結果之洪水到達時間及各聚落淹水最大深度與最快流速如表 4-8 所示，在天然壩體高度為 50m 之情境中，洪水在潰壩 20 分鐘後抵達聚落 1 並造成近四層樓高的洪水與 11.9 m/s 之流速，根據水土保持技術規範之混凝土最大容許流速為 6 m/s 而鋼筋混凝土則是 12

m/s，洪水將有可能對聚落 1 造成嚴重的破壞；而在潰壩發生後 31 分鐘抵達聚落 2，可能發生兩層樓高之洪水與強力洪水之衝擊，隨後洪水的衝擊力開始下降並在 57 分鐘到達聚落 3，水深與流速數值已經大幅減少，顯示堰塞湖潰壩的洪水主要影響最遠距離約在聚落 3 附近。在天然壩體高度 30m 及 40m 之情境中，潰壩洪水也會造成聚落 1 與聚落 2 嚴重之影響，且洪水抵達時間與天然壩體 50m 之情境相差不到 10 分鐘，而隨著天然壩體高度降低至 20m 以下，潰壩所導致的洪水僅影響聚落 1。

表 4-7 不同壩高情境下之災害潛勢分析

No.	壩高 (m)	潰壩延時 (hr)	潰壩影響 距離 (km)	洪水抵達 聚落 (-)	蓄水量 (10^4m^3)	上游迴 水面積 (10^3m^2)	上游迴水 長度 (m)
Case1	10	1	0.5	聚落 1	20	60	230
Case2	20	1	2.2	聚落 1	97	125	840
Case3	30	1	4.2	聚落 2	313	320	1300
Case4	40	1	4.7	聚落 2	734	495	1500
Case5	50	1	5.5	聚落 3	1271	608	1540

表 4-8 不同壩高情境之保全對象水理數值分析整理

No.	聚落 1			聚落 2			聚落 3		
	洪水 到達 時間	水深 最大值	最快 流速	洪水 到達 時間	水深 最大值	最快 流速	洪水 到達 時間	水深 最大值	最快 流速
	(min)	(m)	(m/s)	(min)	(m)	(m/s)	(min)	(m)	(m/s)
Case1	52	0.5	1.1	-	-	-	-	-	-
Case2	24	2.8	3.5	-	-	-	-	-	-
Case3	22	4.9	6.1	40	1.5	8.6	-	-	-
Case4	21	7.7	8.6	34	3.6	13.8	-	-	-
Case5	20	11.9	11.2	31	5.6	16.2	57	0.89	0.17

由於不同壩高可能造成上游迴水並導致聚落淹水其情境模擬，可應用 HEC-RAS 2D 分析工具模組，搭配線上免費底圖及匯入自製圖層，輔助災害潛勢範圍分析。如圖 4-23 為不同壩體高度情境時上游迴水範圍，透過不同顏色能夠快速分辨不同壩體高度情境之迴水可能影響的範圍；若上游有其他保全對住戶，將能夠及早透過水位監測，提供相關防災避難資訊。

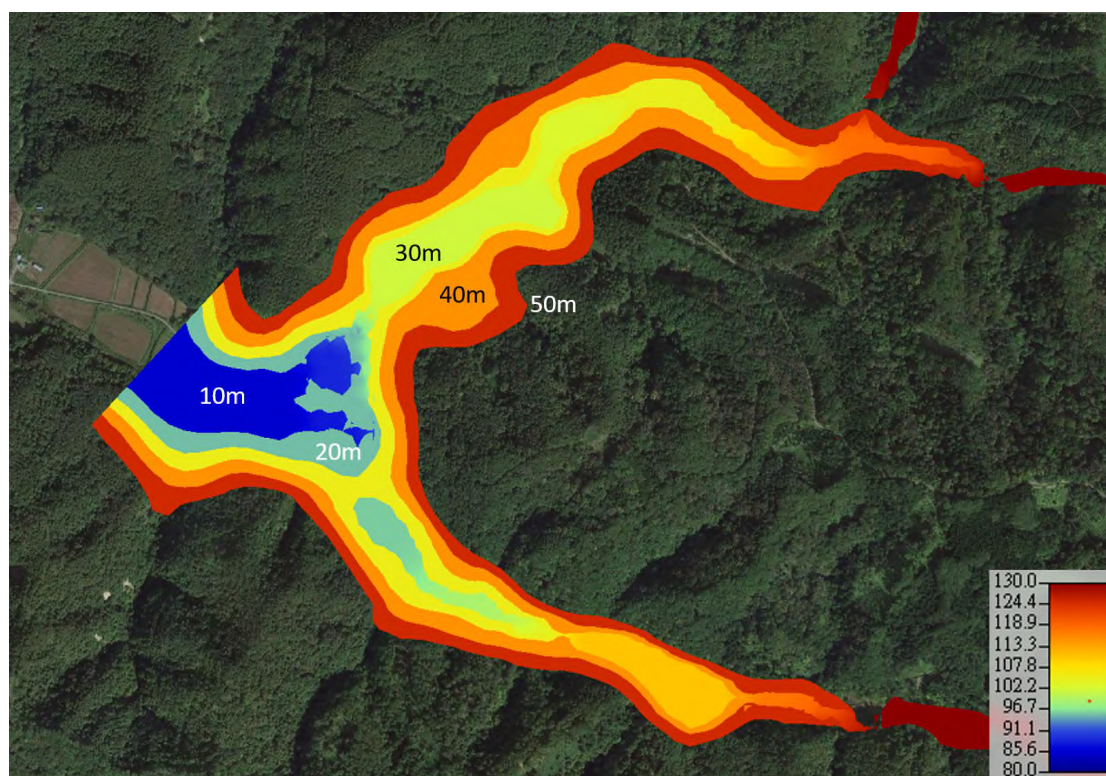


圖 4-23 不同壩高情境之上游迴水影響範圍

此外，為了解堰塞湖水位-迴水面積-蓄水體積之關係，以作為後續防災監測上之應用評估依據，本研究採用 ArcGIS 之空間分析模組估算高程-迴水面積-蓄水體積曲線，其結果如圖 4-24 所示，由天然壩體高度配合 DEM 模型進行估算，得知當壩體高度超過 30m 時，蓄水體積將會呈線性的增高，而壩體高度在 20m 至 30m 蓄水面積擴大最快。

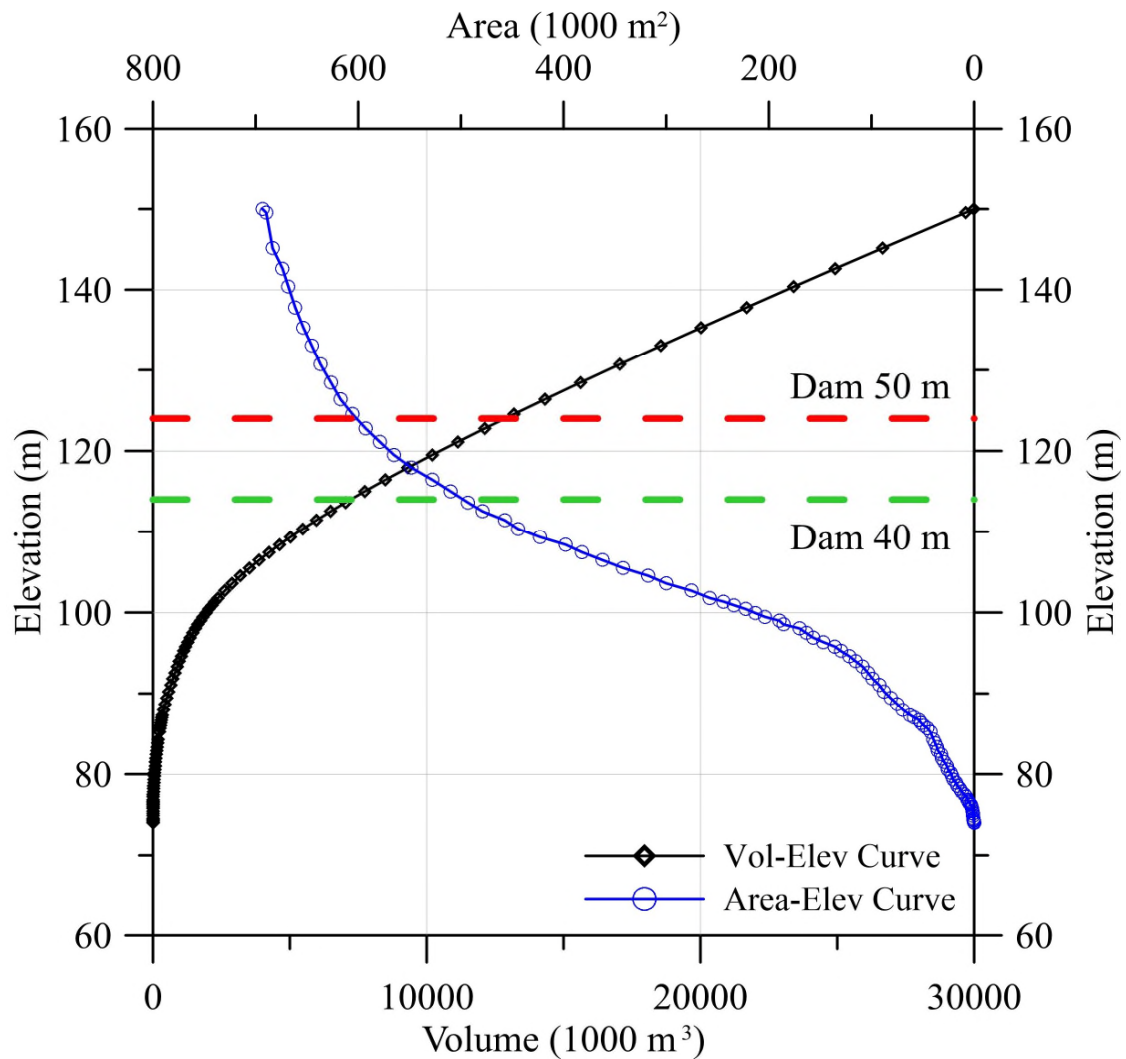


圖 4-24 堰塞湖水位-面積-體積曲線圖

而從不同天然壩高情境成果中顯示，比較潰壩時洪水氾濫之主要區域，由圖 4-25 顯示當天然壩體高度為 50m 時，堰塞湖潰壩將會直接衝擊天然壩下游三個不同的聚落，並淹沒洪水行經區域造成嚴重的災害，而天然壩體高度為 30m 及 40m 高度情境時，潰壩洪水主要影響的區域至聚落 2 的位置，並且衝擊厚真川主流，若天然壩體透過工程手段挖降至 20m 以下，將能避免洪水衝擊影響至厚真川主流及聚落 2。以地圖的方式直接顯示不同潰壩情境之影響，相較於經驗公式推估，其相關資訊更能方便於民眾溝通，並擬定相關疏散避難計畫。

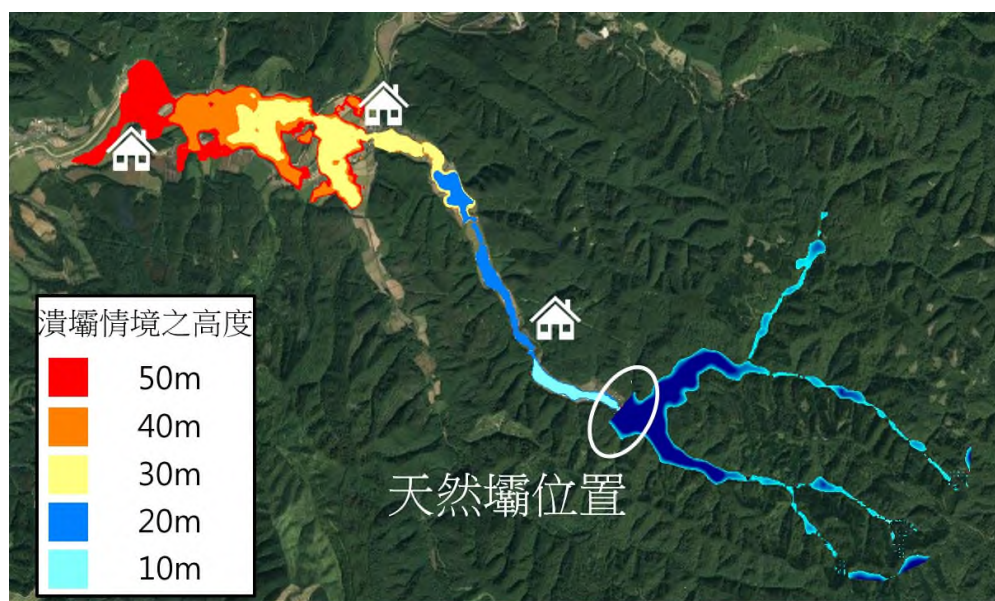


圖 4-25 不同壩高情境之下游影響範圍

(二) 不同潰壩延時之災害潛勢分析

現場調查結果天然壩高最高約為 50m，由於天然壩體的潰壩機制與其當下狀態、材料組成有許多影響因素，對於實際可能發生潰壩延時難以精準推估，考量不同潰壩延時可能對下游之衝擊不同，本研究模擬在相同天然壩壩體高度而不同潰壩延時之情境結果如表 4-9 所示。對下游河道沿岸所造成之衝擊，以 Case6 天然壩體高度 50m 及潰壩延時 30 分鐘最為嚴重，其在壩體潰決後第 11 分鐘即抵達第一個聚落，其產生之河道最快流速約為 14 m/s，第 19 分鐘後抵達第二個聚落，其最快流速約為 18.5 m/s，洪水將有可能嚴重衝擊其範圍內之構造物，第 39 分鐘後抵達第三個聚落，其最快流速降至約 0.2 m/s，但其水深仍有 0.9 公尺。由於聚落 1 離堰塞湖距離近，在四個不同潰壩延時情境中，皆會有致災性的洪水發生；聚落 2、聚落 3 隨著潰壩延時之增加，其四種潰決模擬分析之結果皆顯示，到達時間、水深、流速及淹水面積等皆減緩，但仍具有危險性，隨著洪水抵達時間延長能夠增加疏散避難的時間，降低造成居民傷亡的可能。

表 4-9 不同潰壩延時情境之保全對象水理數值分析整理

	聚落 1			聚落 2			聚落 3			
No.	洪水 到達 時間	水深 最大 值	最快 流速	洪水 到達 時間	水深 最大 值	最快 流速	洪水 到達 時間	水深 最大 值	最快 流速	淹水 面積
	(min)	(m)	(m/s)	(min)	(m)	(m/s)	(min)	(m)	(m/s)	(km ²)
Case5	20	11.9	11.2	31	5.6	16.2	57	0.89	0.17	5.7
Case6	11	15.2	13.9	19	6.8	18.6	39	0.92	0.17	5.9
Case7	47	7.8	7.4	69	3.8	12.2	121	0.87	0.16	5.4
Case8	80	6	5.4	116	2.9	9.8	206	0.86	0.16	5.1

從圖 4-26 中顯示當天然壩體高度為 50m 及潰壩延時為 30min 與 6hr 情境下最大水深分布，可以當作潰壩時洪水經過的區域水深變化情形，並能顯示低窪地區可能因洪水發生嚴重淹水區域，當潰壩延時為 30min 時天然壩下游日高幌內川流域中幾乎都有水深超過 10m 的情形，洪水將有可能淹沒河道兩岸的房屋與道路，而在聚落 2 與聚落 3 區域的低窪處也會有較大的水深情形；當潰壩延時增加為 6hr 時堰塞湖潰壩淹水深度超過 10m 的區域減少，主要影響天然壩下游較低窪地區，從此情境可以看到洪水匯入厚真川主流後，洪水淹沒區域在潰壩延時快速與緩慢兩個情境中相似，因地形平緩並無明顯原始河道流路，導致該區域洪水以擴散形式滯留在該區域低窪處，天然壩體快速與緩慢潰決皆會對下游帶來一定的衝擊，位於水深較大區域應提早規劃疏散避難機制，若發生堰塞湖快壩將能降低致災區域的風險。

透過流速大小可以評估堰塞湖潰壩後，洪水對於構造物的衝擊情形與洪水波主要影響範圍，當流速超過一定程度將有可能嚴重掏刷結構物甚至是直接沖毀。從圖 4-27 中顯示當天然壩體高度為 50m 時，潰壩延時為 30min 與 6hr 情境中最大流速分布，當堰塞湖在短時間內

完全潰決後，潰壩引致的洪水對於日高幌內川將造成破壞性的衝擊，由於流速在此區皆高於 6m/s 可能會直接沖毀該區域所有的混凝土構造物，而流速在洪水匯入厚真川主流後逐漸降低。當堰塞湖潰壩延時拉長後，天然壩瞬時提供的流量下降，使得天然壩下游洪水流速明顯降低，只有零星坡度較陡區域有較高流速分布，而潰壩對於保全對象的影響主要以淹水為主，而在此情境中由於洪水來的較慢，能增加較多疏散避難之時間，若堰塞湖水位上升速度較快，除了投入抽水機降低水位外，應導入相關臨時工程避免潰口快速擴大及相關導流工程減緩水流淘刷天然壩趨勢。

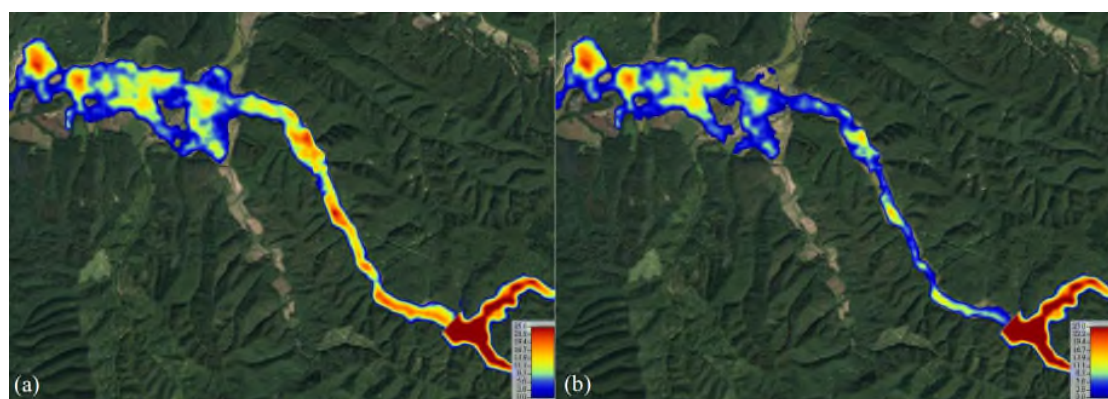


圖 4-26 潰壩最大水深分布圖：(a) Case6 (b) Case8

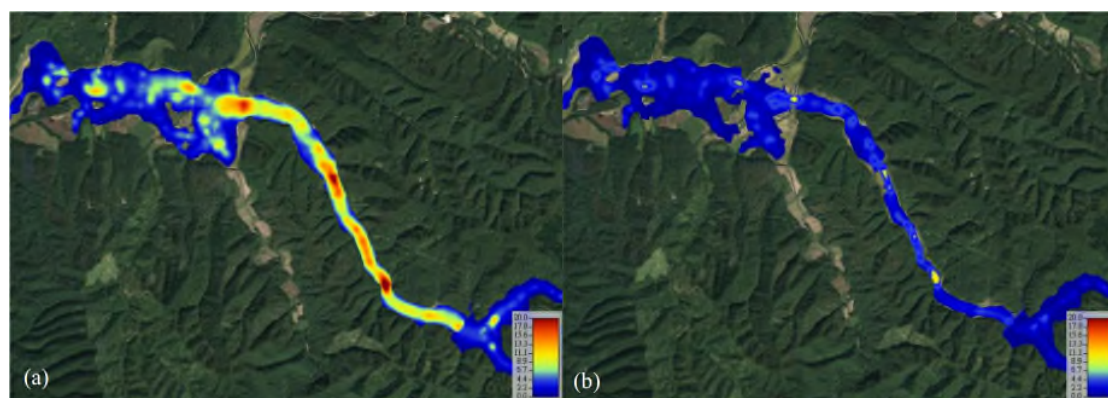


圖 4-27 潰壩最快流速分布圖：(a) Case6 (b) Case8

降雨或堰塞湖潰壩引致的洪水災害，在洪水來臨時民眾若要自行疏散避難，必須考量到淹水深度及流速，避免在移動時無法抵抗洪水衝擊而發生意外，其步行抵抗流速與水深考量身高之比較如圖 4-28 所示(小川芳也等，2014)。在 HEC-RAS 模式當中，透過計算每一時刻流速及水深相乘之值，並顯示每一網格之最大值如圖 4-29，在 50m 壩高情境中，潰壩延時 30min 及 6hr 兩個情境中顯示，在洪水來臨時日高幌內川流域內不適合在道路上移動，應在潰壩發生前提早離開該區域，而隨著洪水匯入厚真川主流區域後，潰壩延時較長之情境受到流速較低影響，黃、紅色高危險區域也較少，透過同時考量水深及流速對於避難之可行性，凸顯堰塞湖潰壩災害主要影響區域，若災害影響範圍較大，此項分析結果能夠做為災害潛勢區域避難分級劃設參考。

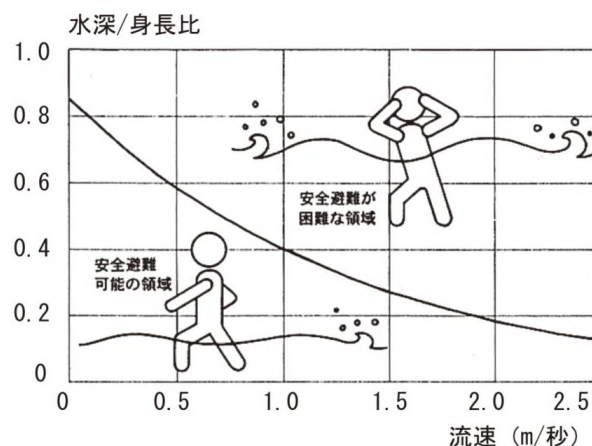


圖 4-28 洪水來臨時民眾可步行避難之流速及水深範圍(小川芳也等，2014)

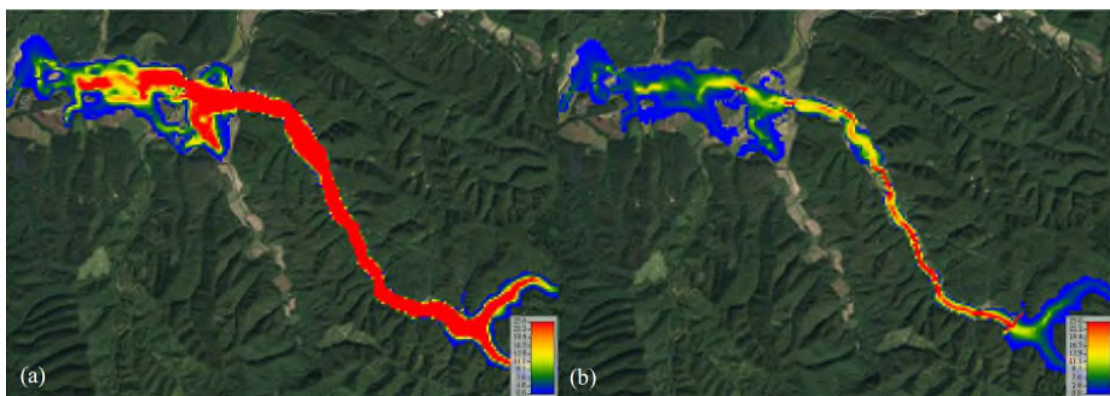


圖 4-29 潰壩水深乘流速最大分布圖: (a) Case6 (b) Case8

(三) 不同網格大小之運算效率分析

由於堰塞湖災害各種不確定因素及致災的危險性，在發現崩塌形成的堰塞湖後須盡早提出緊急應變對策，如何在短的時間內分析災害影響範圍是重要的課題，本研究嘗試比較此次堰塞湖潰壩模型，在不同運算網格精度情境下，運算所需要花費的時間，由於每次災害事件蒐集災害現場資料與集水區基本資料所需時間不盡相同，若只單純考量每一個模型運算所需要的時間比較如表 4-10 所示，若採用 50m*50m 的網格運算一個案例需要約一個半小時，隨著網格大小增加 4 倍，運算所需要的時間增加約 3.5 倍，而天然壩體形狀設計會隨著網格大小變化反應地形起伏真實程度，運算誤差也會隨著網格變小更能反應地形變化，而實際採用網格大小建議需考量每一個堰塞湖災害規模與地形模型之精度來調整。

表 4-10 不同運算網格大小情境之比較

No.	網格大小	運算時間(hr)	天然壩體設計	運算誤差
Case5	50m*50m	1.5	普通	中
Case9	25m*25m	5.5	精細	小
Case10	100m*100m	0.5	簡略	大

四、結論

崩塌形成天然壩堰塞湖由於存在時間不確定、崩塌料材組成強度較難估計、潰決時間無法預測、防災應變之時效性，因此，其潰決一旦形成，將造成下游沿岸地區嚴重傷亡及財產損失。本研究依據文獻蒐集之資料，進行堰塞湖潰決之洪水模擬分析，模擬之結果顯示：

- (一) 利用 HEC-RAS 2D 模式，可模擬堰塞湖潰壩後河道內隨時間變化之洪水水深、流速、洪水抵達時間與淹水面積等影響範圍圖，透過衛星影像及模擬結果快速套疊分析結果，並且

進一步評估不同潰壩情境之衝擊評估以做為未來相關單位研究與避難之參考。

- (二) 不同壩體高度所造成之堰塞湖迴水面積與蓄水量積截然不同，隨著壩體高度增加，其迴水長度越往上游發展，且蓄水深度超過 30m 時，蓄水體積將會大幅增加，因此，上游地區如有保全住戶受到蓄水範圍之影響，應通知居民注意疏散避難訊息。
- (三) 經由模式中天然壩潰決模擬，其流速及水深分布圖成果顯示，不同壩體高度情境潰壩所造成下游影響範圍亦不相同，在降低受影響範圍考量下，建議將壩體潰口高度逐漸下降，以降低壩體後方蓄水體積，更可將潰決之衝擊逐漸減小，若能將壩體高度降低至 20m 以下，將能避免厚真川主流區域之保全對象受到影響。
- (四) 在不同潰壩延時情境中，當潰壩延時越小，其所造成之擊衝越大，因此，需在天然壩形成之時，緊急設置雨量、水位及流量等觀測儀器，以作為監測警戒之用，其不同潰壩延時情境之洪水抵達時間也能作為應變計畫之疏散避難時間之參考，當集水區發生大量降雨造成水位急劇上升達到警戒水位時，應當立即執行緊急應變計劃，進行疏散避難。
- (五) 透過堰塞湖潰壩模擬隨時間流速及水深相乘最大之成果，提供影響範圍內主要受災區域範圍，並且評估保全對象需要提早撤離之區域，以及能夠自行抵抗較小洪水衝擊來避難的地區，在洪水災害影響範圍較大時，能夠提供疏散避難緊急程度之參考。

(六) 由於堰塞湖災害有防救災之時效性，必須盡早提供防災應變策略計畫，建議分階段以不同精度之 DEM 以及運算網格大小來模擬災害影響範圍，透過經驗公式與模式模擬組合來提升防災應變之效率。

採用 HEC-RAS 2D 二維水理模式，有效分析潰決洪峰水流之運動特性。對於緊急評估分析下游保全住戶之影響，其可快速計算並評估潰壩時所產生之潰決洪峰流量、洪水到達時間、河道溢淹情況等模擬成果。另外可避免當天然壩穩定性未明情況下，進行現場調查作業之危險，降低衍生之現勘人員傷亡的風險，在颱風豪雨期間，災害應變中心於災情研判與決策分析上有直接助益。未來透過不斷精進的基礎資料建置與管理，將能在第一時間取得災害區域大範圍之基本重要資料，能夠提升緊急應變決策之效率，而隨著災害規模提升和複合性災害之衝擊，應及早透過不同情境之假設及模式模擬來規劃實際應變之相關策略。

(一) 外業調查儀器

調查儀器包括：P4P Pro2、Marvic Pro、手持式 GPS、e-GNSS、腳架、數位相機、望遠鏡、調查地點禁航區地圖、外業拍攝地點任務規劃、箱尺、皮捲尺等外業調查設備 (表 4-11)。各測量儀器規格之性能諸元如表 4-12~ 表 4-15 所示。

表 4-11 外業調查儀器

儀器名稱	功能	照片
P4P Pro2	執行 自動/半自動 光學遙測與 現勘巡檢、 測繪	
Marvic Pro	執行 自動/半自動 光學遙測與 現勘巡檢、 測繪	
手持式 GPS	於現勘測繪 時進行座標 與高程校準	

儀器名稱	功能	照片
EGNSS	於現勘測繪時進行座標與高程校準	
腳架	輔助 EGNSS 相關儀器進行現場定位固定用	
數位相機	輔助現場進行現勘紀錄，結合 GPS 系統輔助地面測繪與建模	
望遠鏡	現地觀測	

儀器名稱	功能	照片
調查地點 禁航區地圖	現勘內業規劃與任務擬定、簡報用	
外業拍攝地點 任務規劃	現勘內業規劃與任務擬定、簡報用	
箱尺	現場勘查， 輔助標的物 測繪用	
皮捲尺	現場勘查， 輔助標的物 測繪用	

表 4-12 P4P Pro2 規格性能諸元

飛行器		
重量（含電池及槳）	1388 g	
軸距	350 mm	
最大上升速度	運動模式：6 m/s	
	定位模式：5 m/s	
最大下降速度	運動模式：4 m/s	
	定位模式：3 m/s	
最大水平飛行速度	運動模式：72 km/h	
	姿態模式：58 km/h	
	定位模式：50 km/h	
最大可傾斜角度	運動模式：42°	
	姿態模式：35°	
	定位模式：25°	
最大旋轉角速度	運動模式：250°/s	
	姿態模式：150°/s	
最大起飛海拔高度	6000 m	
最大可承受風速	10 m/s	
最大飛行時間	約 30 分鐘	
工作環境溫度	0℃ 至 40℃	
衛星定位模組	GPS/GLONASS 雙模	
GPS 懸停精度	垂直	±0.1 m（視覺定位正常工作時）
		±0.5 m（GPS 定位正常工作時）
	水平	±0.3 m（視覺定位正常工作時）
		±1.5 m（GPS 定位正常工作時）
相機		
影像感測器	1 英寸 CMOS	
	有效像素 2000 萬	
鏡頭	FOV 84° 8.8 mm/24 mm（35 mm 格式等效）	
	f/2.8 - f/11 帶自動對焦（對焦距離 1 m - 無窮遠）	
ISO 範圍	影片：100 - 3200（自動）；100 - 6400（手動）	
	照片：100 - 3200（自動）；100 - 12800（手動）	
機械快門速度	8 - 1/2000 s	
電子快門速度	8 - 1/8000 s	
雲台		
穩定系統	3-軸（俯仰，橫滾，偏航）	
可控轉動範圍	俯仰：-90° 至 +30°	
最大控制轉速	俯仰：90°/s	
角度控制精度	±0.02°	
紅外感知系統		
障礙物感知範圍	0.2 - 7 m	
FOV	水平 70°，垂直±10°	
測量頻率	10 Hz	

表 4-13 MAVIC Pro 規格性能諸元

飛行器	
尺寸	H83mm x W83mm x L198mm
軸距	335 mm
重量（含電池及槳）	734 g（不包含雲台保護罩）、743 g（包含雲台保護罩）
最大上升速度	運動模式：5 m/s
最大下降速度	3 m/s
最大水平飛行速度	65 km/h（運動模式，海平面附近無風環境）
最大飛行海拔高度	5000 m
最大飛行時間	30 分鐘（無風環境 25 km/h 勻速飛行）
最長懸停時間	27 分鐘（無風環境）
電調方案	FOC
最遠續航里程	15 km（無風環境）
工作環境溫度	0℃ 至 40℃
衛星定位模組	GPS/GLONASS 雙模
雲台	
可控轉動範圍	俯仰：-90° 至 +30°
	橫滾：0° 或 90°（橫拍及豎拍模式）
穩定系統	3-軸（俯仰，橫滾，偏航）
相機	
影像傳感器	1/2.3 英寸 CMOS；有效像素 1235 萬（總像素 1271 萬）
鏡頭	FOV 78.8° 26 mm（35 mm 格式等效） f/2.2
	對焦點：0.5 m 至無窮遠；畸變<1.5%
ISO 範圍	影片：100 - 3200
	照片：100 - 1600
電子快門速度	8s - 1/8000 秒
照片尺寸	4000×3000

表 4-14 手持式 GPS 規格性能諸元

操作介面	正體中文/英文操作及顯示功能
接收頻道	高感度接收晶片
衛星系統	GPS+GLONASS
定位準確度	<10 公尺，95%、RMS、Typical、無 S/A 干擾下、單機定位
接收天線	四螺旋天線，支援外接天線
顯示器	2.6 吋彩色 TFT 液晶螢幕；160x240 像素
支援記憶卡格式	micro SD 記憶卡
防水功能	IPX7(水下一公尺，30 分鐘內防水)
操作溫度	-20℃ ~70℃
接收機重量	230g (含電池)
接收機大小	6.1 x 16.0 x 3.6cm
電力供應	約 16 小時 (背光 50%恆亮，開啟 GPS)2 顆 3 號電池
內鍵儲存空間	8 GB
傳輸介面	miniUSB
無線傳輸	2.4Ghz ANT+ / 藍牙 4.0
大地座標系統	虎子山系統(TWD67)、WGS84(TWD97)、WGS72、使用者自行定義系統等
座標格式	經緯度、台灣二度分帶座標、UTM / UPS、MGRS 以及使用者自行定義系統等
電子地圖	預載台灣地區等高線電子地圖
航點/航線/航跡記錄	5,000 點航點 / 200 條航線 / 10,000 航跡點
	200 條航跡記錄

表 4-15 e-GNSS R6 移動站規格性能諸元

Code 編碼差分 GPS 定位	
水平	$\pm 0.25 \text{ m} + 1 \text{ ppm RMS}$
垂直	$\pm 0.50 \text{ m} + 1 \text{ ppm RMS}$
WAAS 差分定位精度	一般 < 5 m 3DRMS
靜態和快速靜態 GPS 測量	
水平	$\pm 5 \text{ mm} + 0.5 \text{ ppm RMS}$
垂直	$\pm 5 \text{ m} + 1 \text{ ppm RMS}$
動態測量	
水準	$\pm 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm RMS}$
垂直	$\pm 20 \text{ m} + 1 \text{ ppm RMS}$
初始化時間	一般 < 25 - 30 秒
初始化可靠性	一般 > 99.9%
硬體	
尺寸 (W×H)	19cm x 11.5cm 包括連接器
重量	1.35 kg
耐候	IPX7 防水等級，可侵入水下 1m

(二) 河床質調查

為瞭解河床質組成材料粒徑及研判集水區河道特性，並做為後續水理模式分析之參數及泥砂生產量調查之基礎依據。

在進行河床質調查分為兩種，調查包含樣孔粒徑調查及表面粒徑調查，本次現場調查進行表面粒徑調查，除依照水土保持手冊（水保局，2017）載明之表面粒徑調查方法，並使用無人載具進行空拍，做為後續河道粒徑變遷之記錄使用。其中，粒徑現場調查表如表 4-16 所示。

表面粒徑調查分析方法：

1. 每五百公尺至少取一處為調查之主斷面，於主斷面上、下游每間距十公尺，另取二個副斷面，合計共五個斷面。
2. 每一個斷面以等間隔（或整數距離）之測點（半徑零點五公尺），量測在該測點上之表面粒徑，每一個斷面以不少於五個測點，測點之間隔不得超過五公尺。
3. 每一個測點量測五公分以上之粒徑，依粒徑大小統計資料繪製粒徑分佈曲線圖。

藉由河床粒徑分布範圍及變化，配合經驗公式用以推估曼寧 n 值，Yen (2002) 彙整研究者們所提出之代表粒徑 d_x 的建議作為推估曼寧 n 值之參考（表 4-17）。依據現場調查所得之河床質表面粒徑，利用表 4-17 之經驗公式，即可推求曼寧 n 值，後續可提供水理演算、土砂收支分析、河床載運移量等所需之參數。

表 4-16 表面粒徑調查記錄表

施工計畫名稱： _____
 調查坑編號： _____ 試驗編號： _____
 調查範圍位置說明： _____
 調查範圍中心點座標： Y _____ X _____
 (TWD97)
 調查範圍： 寬*長= _____ m * _____ m
 調查者： _____ 日期： _____ 年 _____ 月 _____ 日

[illegible]

現地記錄（照片）：

(含參與人員、當地街景等)

資料來源：水土保持手冊，基本資料調查與分析篇(2017)

表 4-17 不同代表粒徑之曼寧 n 值經驗公式

研究者	代表粒徑 (d_x)	$\alpha_x = k_s / d_x$	$n = C_n \times k_s^{1/6} = \frac{k_s^{1/6}}{7.66\sqrt{g}}$
Ackers&White (1973)	d_{35}	1.23	$0.0431d_{35}^{1/6}$
Stickler (1923)	d_{50}	3.3	$0.0509d_{50}^{1/6}$
Keulegan (1948)	d_{50}	1	$0.0417d_{50}^{1/6}$
Mayer&Peter (1948)	d_{50}	1	$0.0417d_{50}^{1/6}$
Thompson & Campbell (1979)	d_{50}	2	$0.0468d_{50}^{1/6}$
Hammond et al. (1984)	d_{50}	6.6	$0.0571d_{50}^{1/6}$
Einstein & Barbarossa (1952)	d_{65}	1	$0.0417d_{65}^{1/6}$
Irmay (1949)	d_{65}	1.5	$0.0446d_{65}^{1/6}$
Engelund & Hansen (1967)	d_{65}	2	$0.0468d_{65}^{1/6}$
Lane & Carlson (1953)	d_{75}	3.2	$0.0506d_{75}^{1/6}$
Gladki (1979)	d_{80}	2.5	$0.0468d_{80}^{1/6}$
Leopold et al. (1964)	d_{84}	3.9	$0.0523d_{84}^{1/6}$
Limerinos (1970)	d_{84}	2.8	$0.0495d_{84}^{1/6}$
Mahmood (1979)	d_{84}	5.1	$0.0547d_{84}^{1/6}$
Hey, Bray (1979)	d_{84}	3.5	$0.0514d_{84}^{1/6}$
Ikeda (1983)	d_{84}	1.5	$0.0446d_{84}^{1/6}$
Colosimo et al. (1986)	d_{84}	3 6	$0.0501d_{84}^{1/6}$ $0.0562d_{84}^{1/6}$
Whiting & Dietrich (1990)	d_{84}	2.95	$0.0499d_{84}^{1/6}$
Simons & Richardson (1966)	d_{85}	1	$0.0417d_{85}^{1/6}$
Kamphuis (1974)	d_{90}	2	$0.0468d_{90}^{1/6}$
Van Rijn (1982)	d_{90}	3	$0.0501d_{90}^{1/6}$

資料來源：Yen (2002)，Open channel flow resistance

(三) 構造物調查

水土保持構造物須以現地踏勘方式進行調查，為求調查內容一致和便於資料庫建置，各種水土保持構造物之調查表格內容應力求統一，以利彙整。水土保持構造物調查內容應包括基本資料、工程構造物現況概述、座落位置、分布及數量、致災原因、建議修復方式、工程位置圖及現況照片等。

本次調查依據構造物調查所需之基本資料，使用水土保持局所研擬構造物細部調查項目進行現場調查，調查記錄表如表 4-18 所示，調查項目包含：基本資料、環境現況、功能評估、建議修復方式、構造物位置圖、構造物現況照片。

再者，根據日本國土交通省有關防砂相關設施耐用年限延長計畫指導方針（國土交通省，2014），依據定期檢查與因應需求之詳細檢查所得到的結果，再加上各項防砂相關設施本身的構造或材料特性，可具體掌握設施機能降低、性能老化的情況。依據其降低或老化程度，可判定防砂相關設施的健全度，並進行統整。

判定健全度目的，是為根據其損壞程度，制定處置方針並實施相關作業。而所謂的健全度，指的是依據各項防砂設備的檢查結果，確認其預期機能及性能是否正常發揮，同時，也必須將現場狀況納入考量，以利綜合評估（表 4-19）。

在評估處置工程時，應綜合檢討流域狀況或損壞原因、成本、施工方式、生態環境影響等，再確定處置對策。此外，為了有效利用設施，可考慮進行修繕，以提升設施相關機能。進行設施改建時，應進一步提高其機能及性能；若是廢止原有設施，則進行設施之整備更新作業時，應考慮在地活用程度，以提昇設施機能。

表 4-18 構造物調查表

構造物編號：		治理區名稱：		調查編號：		
基本資料	調查人員			調查日期		
	集水區 (含編號)			縣(市)及鄉 (鎮、區)		
	構造物型式			附屬設施		
	構造物坐標 (TWD97)	X: Y:	X: Y:	X: Y:	構造物尺寸	
環境現況	定位說明	起點	中點	末點		
	構造物周遭 堆積材料粒 徑概況	☐ 多砂質； ☐ 多礫石； ☐ 多塊石 粒徑約：_____mm		河岸 邊坡	☐ 穩定 ☐ 河岸淘刷崩塌(面積約：_____m ²) ☐ 山腹崩塌 (面積約：_____m ²)	
功能評估	構造物周遭 溪床坡度	☐ 構造物上游約：_____％ ☐ 構造物下游(含護岸處)約：_____％				
	外觀檢視劣 化型態 (可複選)	☐ 良好 ☐ 裂縫； ☐ 磨蝕； ☐ 傾倒； ☐ 沉陷； ☐ 錯動斷裂； ☐ 錯動變形； ☐ 位移； ☐ 砌石鬆脫； ☐ 外框損毀； ☐ 其他() 補充說明(劣化區位與量化資訊)：				
	劣化管力 (可複選)	☐ 良好 ☐ 床面淤升(☐ 影響通洪斷面)； ☐ 床面沖降(☐ 基礎裸露)； ☐ 回填土(石)流失； ☐ 其他() 補充說明(劣化區位與量化資訊)：				
	功能評估	☐ 無(無劣化型態者) ☐ 溪床沖蝕 ☐ 凹岸淘刷 ☐ 溪岸溢流冲刷 ☐ 兩岸邊坡崩塌土石撞擊 ☐ 土石(或洪流)撞擊 ☐ 其他()				
		狀況說明		初步處理建議		
		☐ A 級：構造物狀況良好，功 能健全		☐ A1 級：無需修復，持續觀察		
☐ B 級：些微磨損，仍可維持 原功能		☐ B1 級：無需修復，持續觀察				
功能評估	☐ C 級：部分受損，可能影響 功能性		☐ C1 級：經評估，已明顯影響安全者，建議優先處理修復或重建。 ☐ C2 級：經評估，需修復但無急迫性。 ☐ C3 級：無明顯需要立即修復者(保全對象消除或工程已有替代者)，建 議暫緩修復，持續觀察。			
	☐ D 級：全部損毀或功能喪失		☐ D1 級：具有保全對象或工程無替代者，建議優先修復或打除重建。 ☐ D2 級：保全對象消除或工程之原有施作目的已有替代者，建議暫緩 修復，持續觀察。			
建議 修復 方式	方式	建議處理方式	尺寸	初步概估經費	備註	
	☐ 打除重建					
	☐ 結構補強					
	☐ 增建補強					
構造物位置圖						
構造物現況 照片	① 日期：	照片重點說明： 拍攝位置說明：		② 日期：	照片重點說明： 拍攝位置說明：	
	③ 日期：	照片重點說明： 拍攝位置說明：		④ 日期：	照片重點說明： 拍攝位置說明：	

表 4-19 防砂相關設施的健全度評估

健全度	損壞程度
不需處置	設施未損壞，或雖有輕微損壞，但經判定不致造成機能降低或性能老化，不必進行處置的狀態
列入觀察	設施雖有損壞，但尚未導致機能降低及性能老化。現階段雖然不需要進行處置，但由於將來情況尚有疑慮，必須透過定期檢查及臨時檢查持續監控設施狀態
須處置	設施已有損傷，且損傷已造成該機能降低，恐影響設施性能的穩定性或強度

資料來源：<https://tech.swcb.gov.tw/Results/ResultsTranslation>

三、調查結果

最上游之三支水第一號防砂壩（座標：TWD97 X = 210909，TWD97 Y = 2611917），興建後之影像紀錄如圖 4-31 所示。此壩體高度約 7 米，壩體長度約 104 公尺，位置示意如圖 4-32 所示。壩體上下游表面剝落，加上長年劣化下，其基礎嚴重淘刷，表面磨損、錯動，且副壩左側已遭土石沖毀，導致水流流心向左岸，在防砂壩左側之護岸亦已沖毀（圖 4-33）。



圖 4-31 農林航空照片(62 年 12 月 10 日)



圖 4-32 集水區衛星影像圖



(a) 消能池毀損



(b) 基礎淘刷、錯動、表面磨損



(c) 副壩左側毀損



(d) 流心向左岸



(e) 右側護岸完整



(f) 左側護岸毀損



(g) 落差約 6 米

圖 4-33 三支水第一號防砂壩

(一) 三支水第一號防砂壩(62 年興建)

1. 第一號防砂壩上游攔蓄土砂粗估 5 萬立方以上。
2. 因年久老化，壩體龜裂變形、淘刷嚴重，下游具有保全對象，建議納入相關計畫優先修復。

由調查結果顯示，三支水第一號防砂壩壩體劣化、壩體部分崩落、基礎淘刷嚴重，左岸側牆已沖毀，且防砂壩上游側淤滿土砂，估計上游河道堆積土砂量體約達 5 萬立方米 (圖 4-34、圖 4-35)，下游為居民農業生產之產業道路及聚落，需進行維護作業以確保下游保全對象。



圖 4-34 三支水第一號防砂壩 3D 建模成果 (1)



圖 4-35 三支水第一號防砂壩 3D 建模成果 (2)

(二) 三支水第二號防砂壩(62 年興建)

1. 第二號防砂壩，些微磨損，部份混凝土流失，目前結構物本體無明顯淘刷現象，尚無立即修復之需要，建議持續觀察，上游集水區坡面是否有新增崩塌，以釐清新生產之土砂料源往下游運移量。
2. 目前第二號防砂壩上游游於砂空間皆已淤滿，且上下游河床高低落差大，建議可於汛期前進行清疏砂作業，增加防砂空間，避免汛期間土砂往下游運移，阻塞行懷橋通洪空間(圖 4-36 及圖 4-38)。



圖 4-36 第二號防砂壩(現地照片 1)



圖 4-37 第二號防砂壩(現地照片 2)



圖 4-38 第二號防砂壩(3D 建模成果)

(三) 三支水第三號防砂壩(68 年興建)

1. 壩體磨蝕嚴重、砌石鬆脫、危及橋樑安全(圖 4-39 至圖 4-41)。
2. 109 年度已核定維護；行懷橋下游野溪整治二期工程(測設中)。



圖 4-39 第三號防砂壩(現地照片 1)



圖 4-40 第三號防砂壩(現地照片 2)



圖 4-41 第三號防砂壩(3D 建模成果)

四、評估與建議

本次三支水防砂壩位於雲林縣古坑鄉桂林村北港溪上游之大湖口溪上游集水區，由建造至今已約 50 年，經過多場地震、颱風及豪雨等事件，使得上游第一號防砂壩毀損嚴重，且防砂壩因砂空間已淤滿土砂，對於下游保全對象具有一定程度致災風險，實有必要進行相關修復、整建等硬體工程措施，以活化其滯洪、防砂之功能，本調查提出建議事項如下：

- (一) 三支水第一號防砂壩上游攔蓄土砂粗估約 5 萬立方以上，因年久老化、基礎淘刷、壩體龜裂、變形錯動嚴重，且下游具有保全對象，建議納入相關計畫優先修復。
- (二) 大湖口溪中游河川，為河道較寬廣之處，受制於上游一號壩及下游二號壩之淤砂坡度控制效應，因此河床面淤滿土砂，建議於汛期前，可進行土石清疏作業，以減緩下游保全對象受土石沖擊之危險。

- (三) 三支水第三號壩與行懷橋坐落於同位置上，在洪峰來臨時，有可能造成通洪斷面不足，且壩體磨蝕嚴重、砌石鬆脫、危及橋樑安全，建議將防砂壩與行懷橋分開設計，以確保橋樑安全。
- (四) 大湖口溪下游河川因三支水防砂壩因砂之控制功能，使得下游河床補充之土砂料源不足，長期沖蝕情形下，造成河床下刷，建議可採調節型防砂壩進行規劃設計，適度調節土砂。
- (五) 三支水第一號至第三號防砂壩，設施建造年限已接近 50 年，長年土砂沖擊及耐用年限老化下所造成機能降低甚至是機能損壞，建議後續進行長期觀測，藉由觀測方法、檢查頻率、維護及整備、改建更新等硬體對策，可作為砂防設施延壽活化示範區。
- (六) 防 砂 壩 3 維 建 模 成 果 ， 請 詳 參
https://tech.swcb.gov.tw/3D/Dam_No_Control_1/App/#%2F

第五章 日本農塘防減災對策演進

第一節 前言

日本 2018 年 7 月豪雨事件，造成以西日本為中心的縣市，發生廣域性土砂災害事件，此次事件共計造成 2,512 件土砂災害，導致死亡人數高達 237 人，之後日本氣象廳將此次事件稱為「平成 30 年 7 月豪雨」。

在此事件中，除受降雨導致之土石流、崩塌、堰塞湖等土砂災害外，亦發現農塘潰決所衍生災害傷亡現象。經統計資料顯示，近 10 年來日本農塘毀損的原因，約 70%為豪雨事件所致，約 30%為地震及其它因素造成；其中在導致農塘堤體潰決的主因，98%都是降雨事件引起，僅 2%為地震造成。

2018 年 7 月豪雨事件災後，日本各界對於災害檢討聲浪不斷，如內閣府即對水災及土砂災害之避難機制進行檢視至提出具體修正建議，國土交通省亦對於土砂災害與避難計畫等進行調整，而農林水產則針對農塘部份進行一系列的檢視與改善檢討。

第二節 農塘特性與類型

鑑於此次 2018 年日本 7 月豪雨所造成土砂災害情況，以及後續日本中央政府對於「防災重點農塘」在整備、廢止、管理等方針進行重新檢討，並使用新的選定標準進行防災重點農塘評估，對於國內在推動農塘相關管理政策研擬與推動上，極具參考價值，故本文擬就此方面進行相關文獻蒐集，並討論其所面臨問題及各項分類策略上的應對方法，重點摘錄相關配套法規制度，以提供未來推動後續計畫參考。

一、農塘構造與種類

農塘的基本構造包含：「堤體」、「取水設施」、「溢洪道」等三者組成。一般來說，利用堤體建造出蓄水空間以儲存農業用水；取水設施，則是將儲蓄的水體導引向下游用於農業灌溉；溢洪道則是將降雨時將農塘中過多水量透過自然溢流方式向下游排放（圖 5-1）。

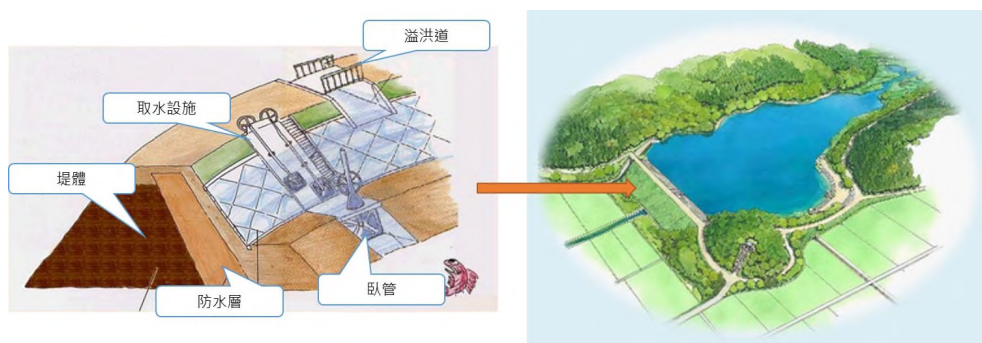


圖 5-1 農塘構造（農林水產省，2019）

（一）堤體

農塘堤體為在坡地、平原窪地等使用當地土材築造之蓄儲水結構物，通常使用分層填土施工，將細粒土壤填壓夯實，配合黏土材料和不透水層施作，以增加堤體阻水效果並強化不透水性，防止水流侵潤形成入滲或滲流破壞等。

（二）溢洪道

溢洪道可分為明渠型式及豎井型式，其作用為降雨期間，有足夠排洪能力，將蓄積水體安全向下游排出，並避免堤體發生溢流破壞發生，故溢洪道不得建置在鬆軟基礎上，並應以鋼筋混凝土進行建造。

（三）取水設施

農塘儲蓄之水體，通常透過堤體設置之取水設施進行不同高度之取水作業。臥管則位於農塘下方，除可以進行取水作業外，還可搭配排砂閘門作為排空設施，以清空蓄水進行底部土砂清淤作業（圖 5-2）。

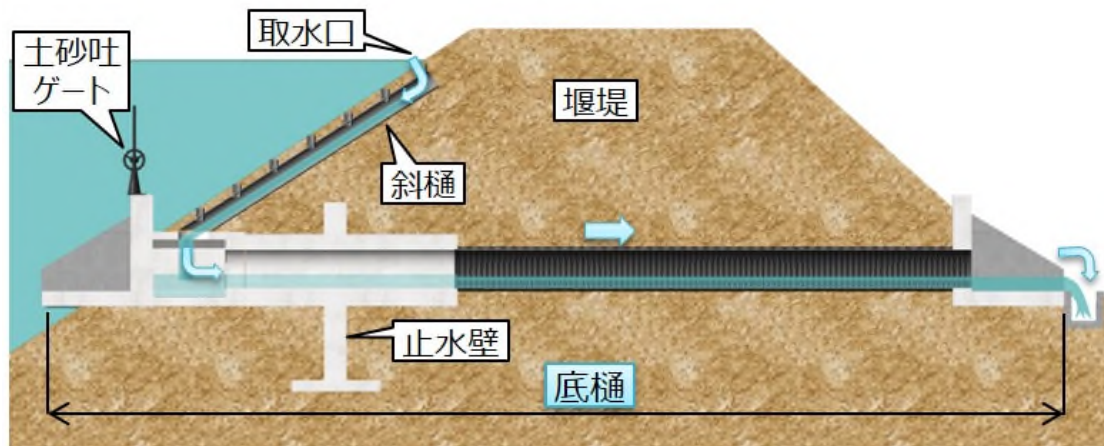


圖 5-2 農塘取水設施構造示意圖 (Hokukon Magazine, 2015)

(四) 農塘類型

農塘依構築類型可分成以下三種型式：

1. 築壩式農塘(丘陵地配合構築土壩使用)，於丘陵山坡地區，在溪溝匯流處、坑溝、低窪地等選擇適當地點建構農塘，用以儲蓄地表逕流以提供農業用水。
2. 開挖式農塘(窪地配合挖掘土方築堤使用)，利用山坡窪地或是平原地區較低窪地，配合挖掘土方建構農塘，經由引水入流、自然降雨等型式儲蓄水量，以提供農業用水。
3. 串連式農塘(複數農塘連結使用)，藉由複數農塘之建立，並於各農塘間建立導水及引水設施，可大幅提升農塘水資源應用，提供農業用水 (圖 5-3)。



圖 5-3 農塘構築型式分類 (農林水産省，2019)

二、農塘多功能類型

農塘儲蓄水量不僅僅是提供農業畜牧用水，保全多樣性生態場所，亦能作為地域性水資源用水之調節。同時，農塘在降雨時期可儲存所需之農業灌溉用水，而在暴雨時期亦具有洪水流量調節及防止土砂流出等功能。再者，對於各地方而言，農塘具有水資源利用、滯洪防災、綠電、遊憩觀光等功能，且遊憩觀光之發展具有地區復興、景觀遊憩、傳統文化傳承等不同面向功能（圖 5-4）。

三、農塘受災破壞型態

農塘受到破壞的類型，大致可分為受到外力如降雨、地震因素影響引致，另外則是老化、荒廢、堤體內部、堤體外部及進/排水設施機能弱化等類型（圖 5-5）。

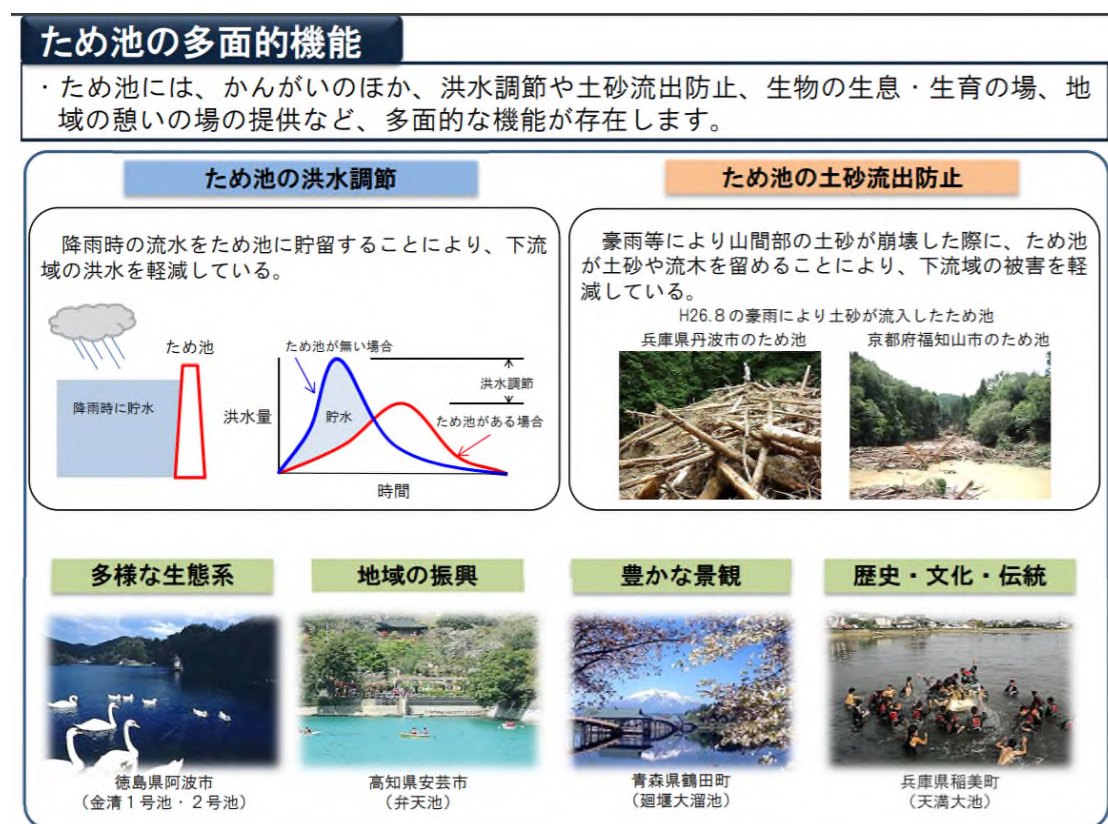


圖 5-4 農塘多功能類型（農林水産省）

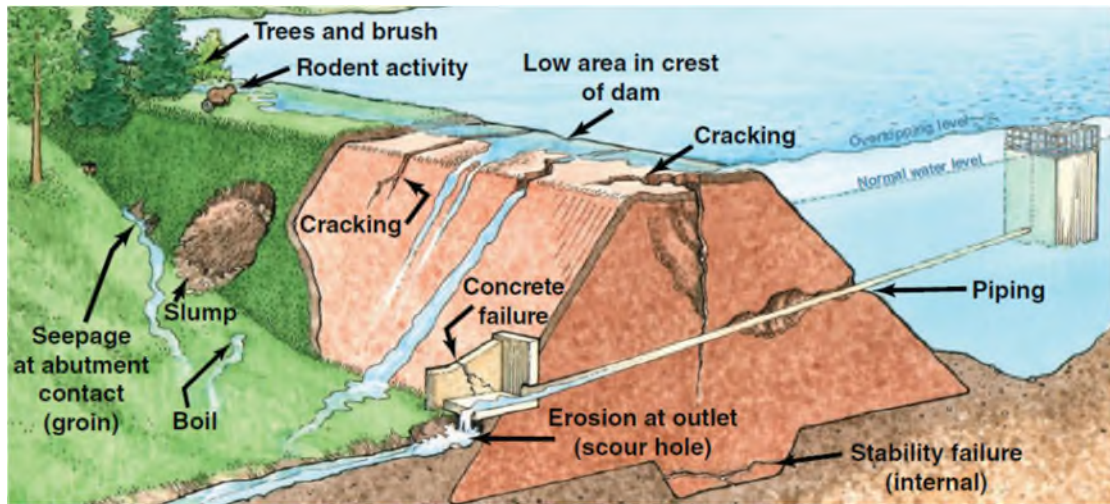


圖 5-5 農塘破壞型式 (<https://damfailures.org>)

(一) 降雨引致破壞類型

由於堤體老化及防水機能下降，從農塘內部儲存水體浸潤形成滲流，造成土體抗剪強度減弱，而使得農塘堤體發生滲流破壞或是管湧破壞；受到降雨影響，造成堤體外側因降雨入滲土體的防水層上面，而堤體內側蓄水則是由於蓄水增加導致水壓上升，並影響堤體的土體強度，進而造成土壤摩擦力下降導致堤體邊坡崩塌；受到颱風豪雨之影響，導致蓄水量急速上升，使得水流越過堤頂而溢流，並造成堤體下游坡面受到水流沖刷破壞，其破壞示意圖如圖 5-6 所示。

(二) 地震引致破壞類型

受到地震外力影響，概略可分成 5 種破壞類型，第一為堤體產生龜裂狀況，並引致堤體漏、滲水產生；第二為農塘構築在鬆軟地盤上，受地震外力影響，使得農塘發生變形及沉陷；第三種為堤體上游坡面發生崩塌並發生變形；第四種為堤體上游側坡面產生大量滑動；第五種為受地震影響，孔隙水壓增加且土壤抗剪強化減弱，形成土壤液化現象，造成堤體產生崩塌，其破壞示意圖如圖 5-7 所示。

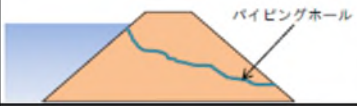
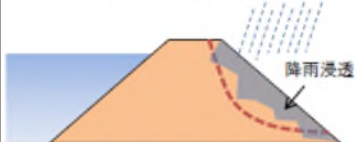
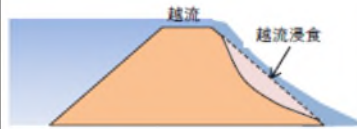
被災形態	被災メカニズム
<浸透破壊> 	堤体内部が劣化して、水を遮る機能が低下すると、貯水位が上昇した時に堤体の中の水圧も上昇して強度が低下し、破壊する可能性がある。また堤体内に上流から下流まで貫通した水みちが発生し破壊する可能性がある。
<すべり破壊> 	貯留した水と降雨が堤体の中に浸透して、堤体内部の水分量が増加し、堤体の法面部の強度が低下することによって、法面部ですべりが発生し破壊する可能性がある。
<越流破壊> 	豪雨により、貯水位が急激に上昇し、堤体を越えて流れ出すと、下流法面を流下することによって、破壊する可能性がある。また、貯水位の上昇により、堤体内の水圧も上昇し、強度が低下して破壊する可能性がある。

圖 5-6 降雨引致農塘破壊型式（農林水産省，2015）

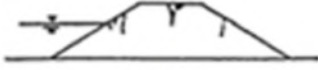
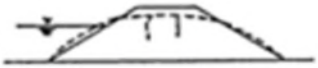
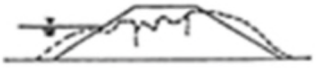
被災形態	被災メカニズム
 クラック	堤体の頂部などにクラック（亀裂）が発生する可能性がある。堤体の上下流方向に生じるクラック（亀裂）は水みちとなることがあり、特に注意が必要である。
 沈下	堤体の形状をほぼ保ち、クラック（亀裂）などを伴いながら堤体が沈下する可能性がある。多くは軟らかい地盤で発生している。
 斜面崩壊	堤体法面の上部が沈下し、下部がはらんで変形が生じる可能性がある。
 斜面すべり	地震動により堤体の法面にすべりが発生する可能性がある。
 崩壊	堤体や地盤が大きく変化し、崩壊する可能性がある。決壊に至ることが多く、堤体や基礎地盤の液状化によるものと考えられる。

圖 5-7 地震引致農塘破壊型式（農林水産省，2015）

第三節 農塘防減災整備與管理方針

農業用水的水資源利用是農塘的主要機能，但隨著農村經濟型態及人口高齡化，在管理、維護及防災整備方面亦面臨轉型的挑戰。日本農塘過去多由當地農民管理，但由於進、排水設施老舊、缺少補強工程、防災工程等等軟、硬對策等技術面課題逐漸浮現，因此在保全管理體制的整備中，除了使用傳統的管理組織外，由近年來日本政府機關協助並建立由當地民眾和公民團體參與的維護管理組織，並由都道府縣和市町村提供支援。

一、管理組織的活動及角色

農民高齡化及農業人口減少的問題，直接或間接造成農塘管理保全問題出現，因此，有必要建立一個緊密合作的管理組織系統。

目前日本政府對於農塘管理相關機關的活動及角色如圖 5-8 所示，係由中央政府、都道府縣、市町村、地方農政局等政府單位進行相關規劃與管理，而當地農民所組成的保全管理組織團體，則是向政府單位申請技術諮詢及技術支援。外部支援單位則有包括農工研、保全協議會、農地防災專門技術者千一ム等；其中農工研屬於國立研究開發法人農業與食品產業技術綜合研究機構，在日本為負責全國農業和農村技術的開發、傳播和指導的核心組織；保全協議會則是由都道府縣、市町村等組成，主要在共享和彙整區域內的意見，用以促進強化都道府縣內保全管理體制的理事會(協議會)；農地防災專門技術者千一ム則由專業技術專家所組成的團隊，提供保全管理組成技術支援。

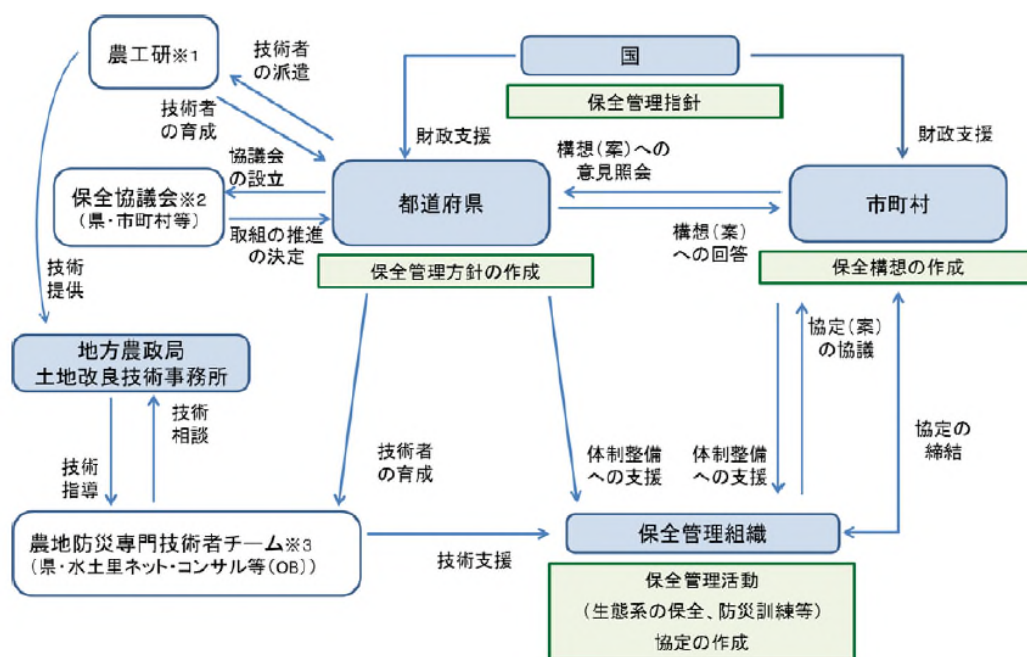


圖 5-8 農塘管理相關機關之活動及角色 (農林水產省，2014)

二、保全管理方針及保全構想的擬定

日本農塘之管理策略分為二個層級，包含由都道府縣所指導的保全管理方針，以及由市町村所指導的保全構想。農塘由於所處位置及地域條件不同，以統一的方式制定保全管理方針，對於促進系統整備的發展非常重要。

因此各都道府縣在擬定推動農塘保全管理的方針，應以反映該地區的實際情況及相關組織在促進農塘維護管理的作用。此外，保全構想的制定由市町村主導，其內容大致上與都道府縣之管理方針考量相同，但不納入農塘保全協議會及農地防災專門技術團隊這兩者。就保全管理組織而言，市町村是農塘維護、管理的第一線行政單位，並負責當地的防災減措施。在推動保全管理過程中，市町村需要制定保全管理的願景，並顯示保全管理的方向和相關機關、組織所扮演的角色，以順利促進體制的整備、發展 (圖 5-9)。

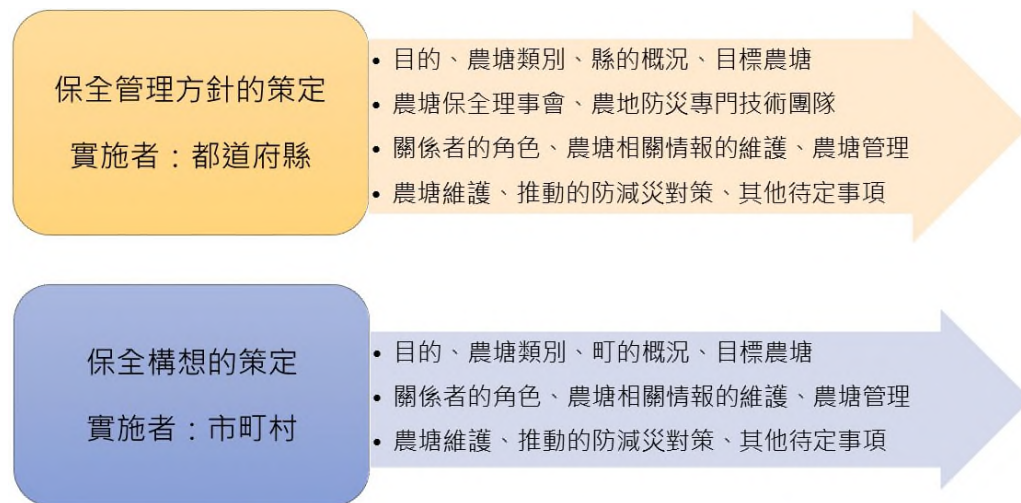


圖 5-9 保全管理方針及保全構想之內容

三、2018年7月前日本防災重點農塘選定構想

近年來，由於土地利用型態轉變，農業用地區域開發為住宅、商業區或工業區等，形成農業用地與住商工業用地混合使用，再加上許多農地廢耕，使得農業用地面積減少，導致許多農塘荒廢使用率減少等情況。此外，農塘維護管理及補強工程等軟、硬體對策不足，增加農塘致災之風險因子，因此近年來日本中央及地方政府不得不開始思考農塘相關防災與減災對策。

(一) 防災重點農塘選定標準

防災重點農塘選定標準為符合下列任何一項即可納入：

1. 農塘下游有住宅或公共設施且一旦潰決會造成災害者；
2. 堤體高度大於 10 米以上者；
3. 蓄水量大於 10 萬噸以上者；

地方單位依據上述選定標準進行盤點，至 2017 年 3 月止確認日本全國防災重點農塘為 11,362 處。但由於有由地方單位在選定上除第一項外，須具備第二或第三項才能選定為防災重點農塘，顯示各地評定標準不一。因此，於 2018 年 7 月豪雨事件，許多未被列入防災

重點農塘，卻發生潰決並造成人員傷亡，顯示有必要重新檢討防災重點農塘的選定標準，以推動更適當的農塘防減災對策。

(二) 防災重點農塘應變對策

農塘之緊急狀況時的應變對策包含豪雨、地震等災害整備，災害情報連絡體制的整備等，摘要說明日本農塘之緊急聯絡體制整備、豪雨、地震發生後之應變方式及緊急應變措施。

1. 緊急聯絡體制的整備

在豪雨或是地震等災害可能發生潛勢地點，農塘的防災觀點是利用監測及緊急檢查等方式加以應對，相關人員及單位的連絡體制必須要保持暢通無礙。因此，除了每天確保緊急應變人員和必要的準備(如緊急工程所需機具、砂包、砂袋、抽水機具等)外，並確認與市町村回報並安排防災體制緊急聯絡系統整備等事項。下圖 5-10 為農塘防災管理系統於豪雨、洪水時之行動示範案例。

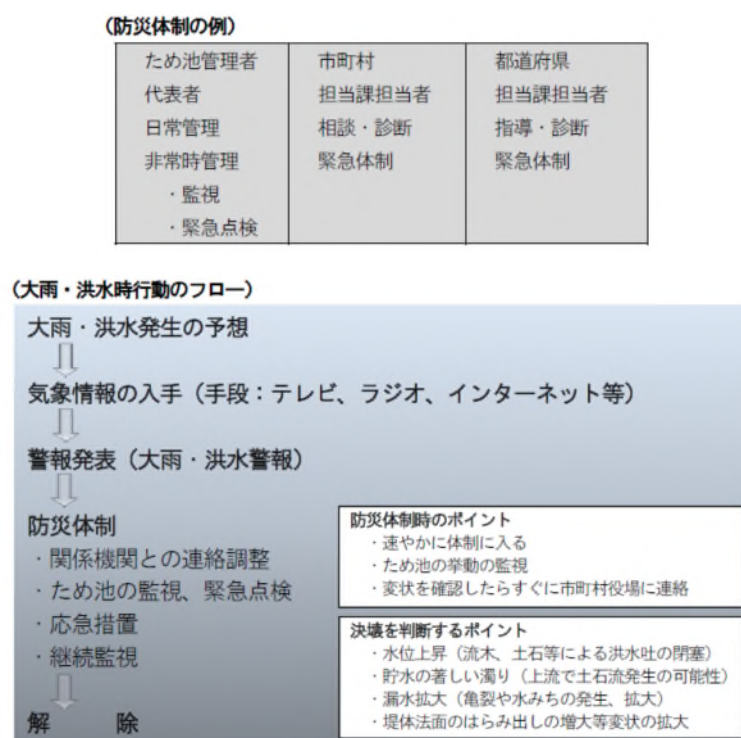


圖 5-10 行動示範案例流程

2. 豪雨、洪水時之應對方式

當氣象局等相關單位預報當地會有大雨或豪大雨等情況，則必須十分注意農塘的監控情況，當農塘蓄水水位有可能達到危險水位，請立即聯繫市町村辦公室或相關聚落等緊急連絡體制連絡人（圖 5-11）。農塘在洪水調節功能對策方法，則是在雨季或是颱風豪雨來臨之前，先行將農塘之蓄水量降至低水位，並配合溢洪道閘門及底部排砂閘門之操作，作為豪雨、洪水時，農塘可調節洪水容量之操作方法，藉以降低洪峰流量值及減少洪峰流量，以防止農塘發生潰壞，並衍生進一步下游聚落相關災害（圖 5-12～圖 5-14）。

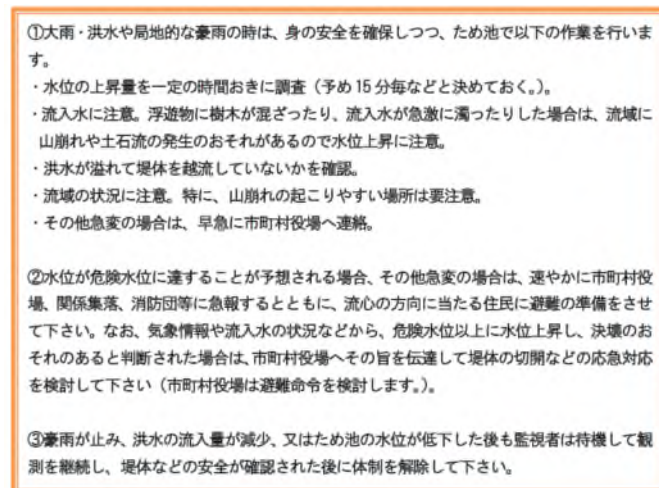


圖 5-11 大雨、洪水之應變對策（農林水產省，2015）

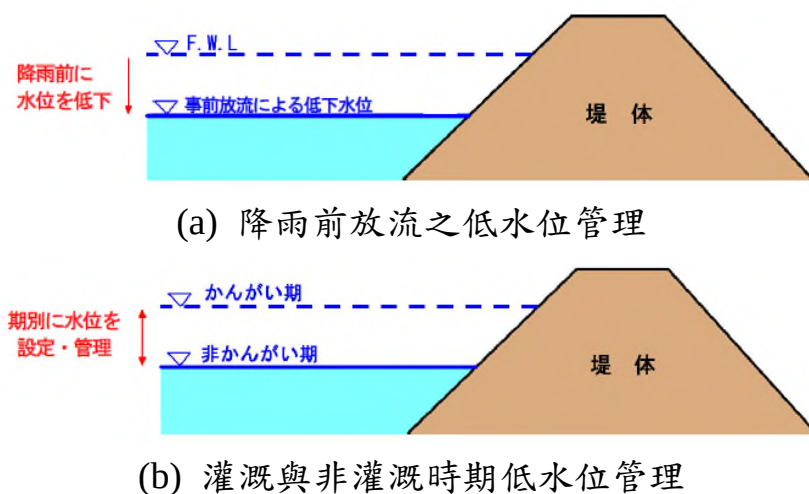


圖 5-12 農塘低水位管理示意圖（農林水產省，2018）

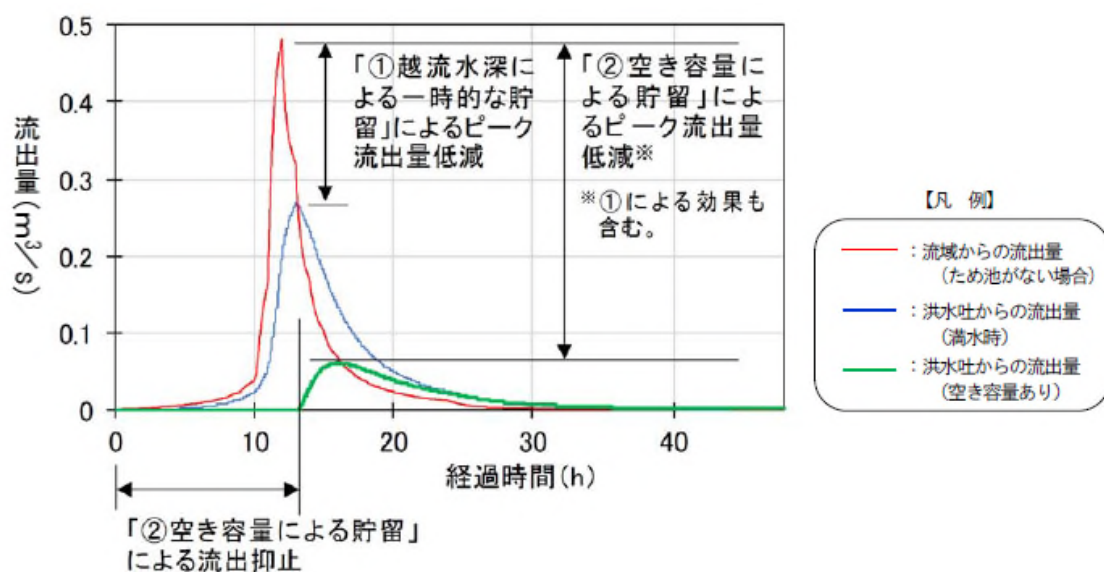


圖 5-13 農塘低水位調節示意圖 (農林水産省，2018)

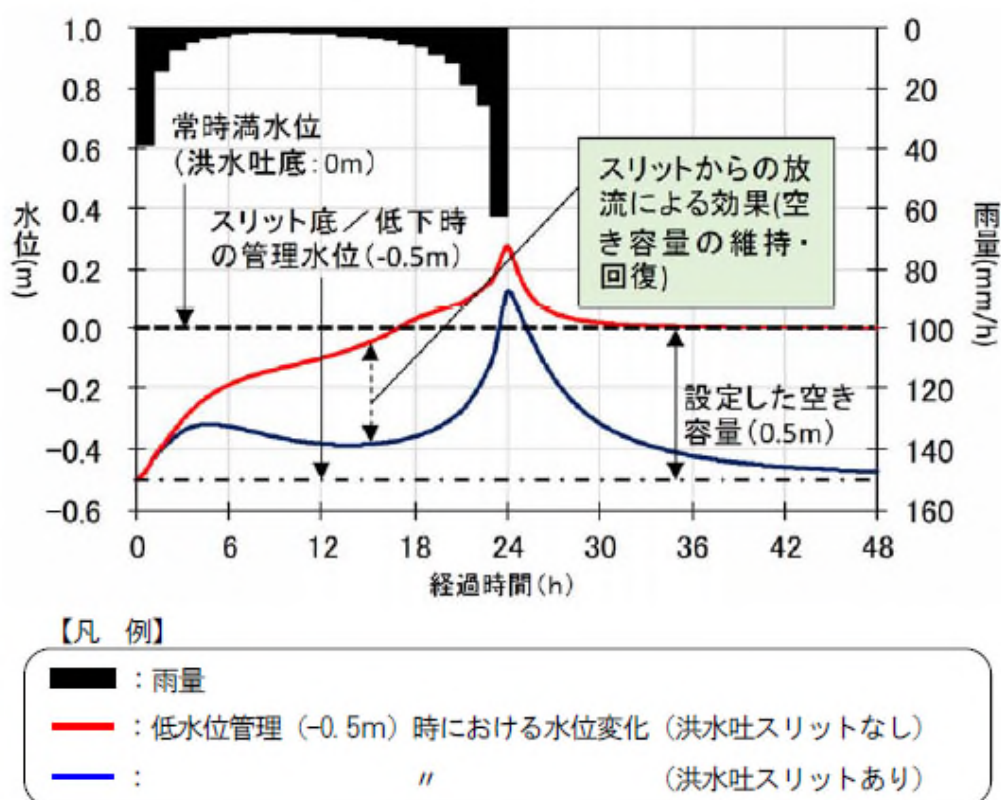


圖 5-14 溢洪道開門調節效果示意圖 (農林水産省，2018)

農塘洪水調節功能的有效性評估，則是利用「尖峰流量折減率」、「尖峰流量折減量」、「尖峰水位」、「超過時間」等四項指標進行估算。

- (1) 尖峰流量折減率，是指無設置農塘者之尖峰流出量(Q_n)與設置農塘者之尖峰流出量(Q_p)兩者相減之比值，藉以判斷農塘洪水調節功能。

$$\text{尖峰流量折減率(\%)} = \left(\frac{Q_n - Q_p}{Q_n} \right) \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

- (2) 尖峰流量折減量，是指農塘流出洪水尖峰流量折減之量體($Q_n - Q_p$)。當農塘下游河道或是排水路通水斷面是相同的，且尖峰流量折減率是相同的，但蓄水面積越大之農塘可提供更多尖峰流量折減量，並減緩下游排水路溢流發生情形。

- (3) 尖峰水位下降，尖峰水位是指當豪雨時，農塘發生溢流之最大水位。當降雨時農塘發生溢流，堤體可能發生表面沖蝕破壞或是堤體發生漏水進而形成滲流破壞，因此降低農塘中尖峰水位可以有效防止潰決進一步發生。

- (4) 超過時間之縮短，超過時間是指農塘處於超過滿水位狀態的時間。當農塘本身設施已發生劣化或設備故障等原因，縮短水位上升時間，即縮短處於超過滿水位時間，可以有效防止潰決進一步發生 (圖 5-15)。

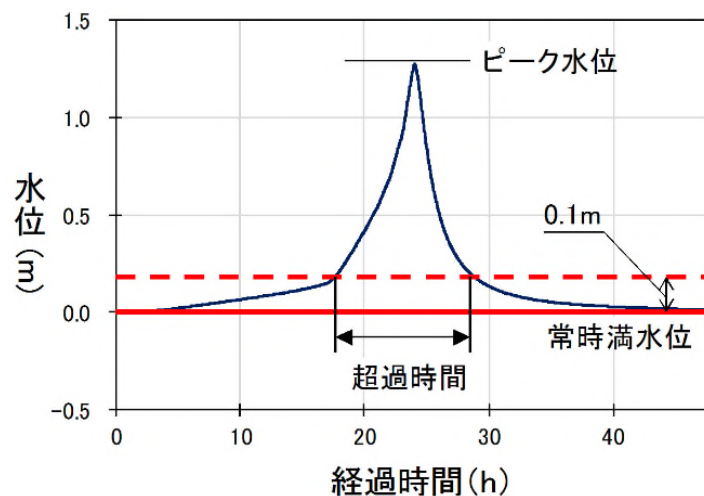


圖 5-15 尖峰水位超過時間示意圖 (農林水產省，2018)

一般來說，農塘洪水調節機能，會考慮到流域比（流域面積/蓄水面積）、農塘規模（蓄水面積）大小之影響與降雨條件（降雨強度，降雨延時、鋒面雨、地形雨、輻合雨等）進行操作。農塘所在地區屬於流域比較小情況者，利用溢洪道排水閘門之設置，並與低水位管理及閘門開口幅度進行操作，可以降低尖峰洪水位及尖峰流量；在有設置溢洪道排水閘門之農塘，對於尖峰水位及超過時間之調降效果較無設置者有明顯較佳之折減效果。在執行農塘洪水調節機能時，需考慮到溢洪道排水閘門本身硬體設施需進行強化，並加強低水位管理之操作流程，但需要特別注意如果農塘本身溢洪道放流能力不足者，農塘本身需先進行硬體設施之強化。另外，由於豪雨期間溢流水深增加，造成農塘蓄水亦隨之增加，需考慮到堤體本身強度、農塘排水設施等狀況及不同地區之降雨型式，以減少潰決風險。因此，為達到不同洪水調節機能目的，不同調節對策的有效性等，利用上述四項指標互相搭配以達到各別農塘洪水調節機能（圖 5-16）。

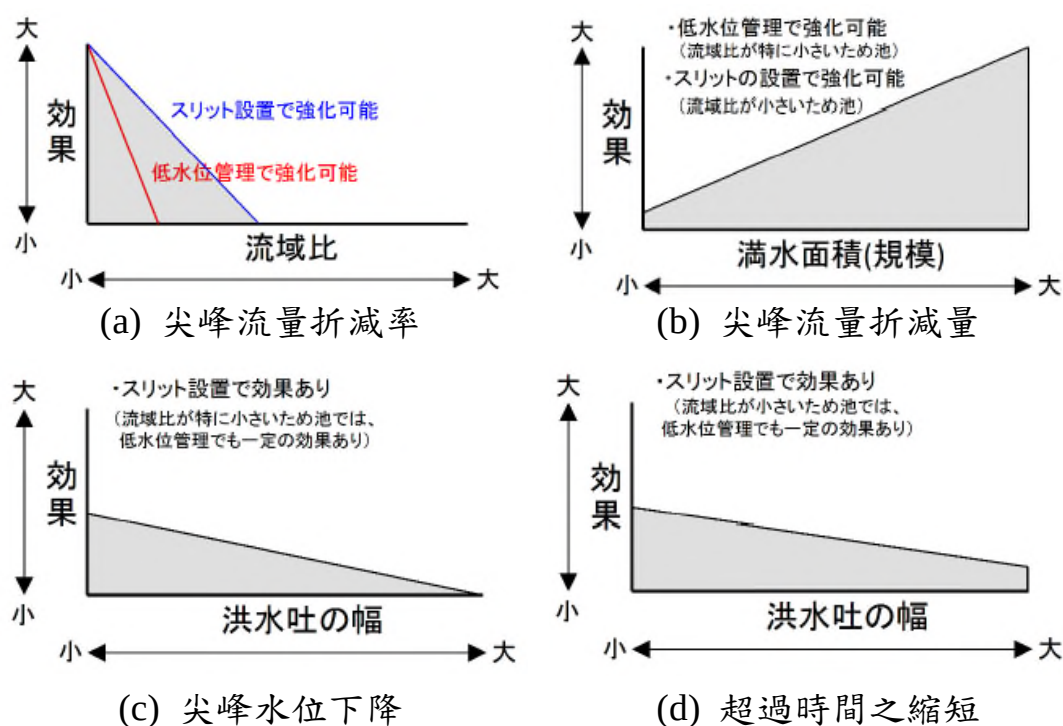


圖 5-16 農塘洪水調整機能評估示意圖（農林水產省，2018）

3. 地震後應變方式

當地震發生後，農塘所有人或管理人或相關單位，應該立即儘速於一日內檢查農塘受損情況，並將農塘檢查結果即時通知市町村或相關聚落。當氣象局發布地震之震度達 4 以上時、農塘堤體高度達 15 公尺以上者，應快速進行堤體外觀目視檢查，並將檢查結果通知市町村辦公室。對於無異常的農塘，也要同樣要進行回報。震度 5 弱以上的農塘、堤體高度 10 公尺以上者，同樣進行檢查及回報（圖 5-17）。

①緊急点検（24時間以内、速やかに）

- ・堤体全体の確認（亀裂、崩壊、段差等）
- ・堤体や洪水吐の確認（漏水、亀裂、崩壊、段差等）
- ・洪水吐の障害物
- ・周辺地山の段差、亀裂確認
- ・流域の地山の崩壊、地すべり等

②被害の発見

ため池の堤体に亀裂、漏水等の被害が発生した場合は、速やかに市町村役場、関係集落、消防団等に急報するとともに、流心の方に当たる住民に避難の準備をさせて下さい。なお、気象情報や流入水の状況などから危険水位以上に水位上昇し、決壊のおそれがあると判断された場合は、市町村役場へその旨を伝達して堤体の切開などの応急対応を検討して下さい（市町村役場は避難命令を検討します。）。

③継続点検（1週間を目安）

比較的強い地震の場合は、発生直後に被害が認められなくても、一定期間を経過した後被害が発生することがあります。このため、1週間を目安に緊急点検と同様の目視による点検を行い、異常があれば、市町村役場へ連絡して下さい。

圖 5-17 地震後之應變方式（農林水產省，2015）

4. 緊急應變措施

當大雨、洪水或地震後之緊急檢查或農塘監測，發現堤體發生明顯變形或已導致潰壞，應立即聯繫市町村辦公室，並由管理員採取可能的緊急措施，以確保下游區域的安全。由於堤體龜裂、漏水等情況

將形成潰壞，管理者為防止二次災害，優先進行緊急放流作業，以降低堤體承載之水體達到安全水位，減緩農塘潰壞造成下游水、砂災害(圖 5-18)。

①緊急放流

ため池の堤体に豪雨や地震によるすべり、亀裂、漏水等の異常が発生した場合、管理者は二次災害を防止するために緊急放流を行い、安全な水位まで下げて下さい。この時、水位急降下による堤体上流法面のすべりや下流水路が溢れるおそれがありますので、放流量に注意して下さい。

緊急放流を行う場合は、下流住民及び市町村役場等の関係機関と十分に連絡調整を行います。

②応急対策

ため池堤体の法面にすべり、沈下、亀裂、陥没、崩れ、はらみだし、漏水等の変状が確認された場合は、市町村、関係集落や防災組織へ速やかに連絡します。

管理者は、市町村、消防団等と連携し、土のう、むしろ、カマス、縄、杭等あらかじめ用意した応急資材を持ち現地に急行し、シートかけ、土のう積みなど被害拡大を防止するための応急対策を実施して下さい。

圖 5-18 緊急放流應變措施 (農林水産省，2015)

第四節 2018 年 7 月豪雨農塘災害狀況

一、災害狀況與災因

此在 7 月豪雨事件，廣島縣共計造成 48 口農塘潰決，主要原因為滲流破壞、坡面崩塌、溢流破壞及上游土砂流入破壞等四種因素，其數量統計如表 5-1。

滲流破壞為農塘內水位上升，堤體內部因承受水位升高，形成浸潤線，導致下游側坡面或是坡趾處滲水量增大，並形成管湧而後潰決。坡面破壞為堤體內水位升高，孔隙水壓增加，使得堤體抗剪強度降低，造成部分堤體表面崩塌現象，後續降雨蓄積之水體超過堤體強度，導致堤體潰壞。溢流破壞則是上游入流量和降雨量大於溢洪口排水能力，導致蓄積水位超過堤體形成溢流沖刷，且由於堤體表面僅用泥土築成，受溢流沖刷影響繼而逐漸潰壞。土砂流入破壞則為上游集水區發生崩塌、土石流等土砂災害，產生大量土砂材料，隨水流挾帶流入農塘，由於土石沖衝力造成堤體毀損甚至潰決，此類型之破壞為過去歷史文獻中較少見的类型。

表 5-1 農塘潰壞統計表

主要因素	地點數目	備註
滲流破壞	25	
坡面崩塌	2	
溢流破壞	4	
土砂流入破壞	17	13 處為土石流造成災害

依國土交通省、農林水產所調查此次災害資料，顯示農塘在管理所需面對問題如下：

1. 農塘之健全度及保全管理較完整者，其發生潰壞案例較少，顯示補強、維護等硬體對策有一定之效果。
2. 稟除降雨因素外，農塘堤體建構是否確實夯實，後續保全管理是否完善者，皆是引致潰壞原因。
3. 農塘主要是供給農業用水進行蓄水灌溉，雖有攔阻土砂功能，但設計時並無考量承受土石衝擊或巨石撞擊之情境，因此上游產生崩塌或土石流，仍可能造成農塘潰壞。
4. 多數農塘在颱風、豪雨時期並不會出現立即危險，但定期盤點檢查並進行維護、補強，有助於降低潰壞致災情形。
5. 老化、荒廢之農塘，由於溢洪口或排水設施損壞，且堤體草木植生茂密，植物根系深入堤體，造成堤體弱化，受降雨影響，易形成農塘潰壞情況。

二、修訂後防災重點農塘選定標準

鑑於 2018 年 7 月豪雨於西日本地區發生廣域性災害，在廣島縣造成 48 處農塘潰決，其中許多未列入防災重點農塘，而衍生下游保全對象傷亡損壞事件。因此，針對此次事件所導致農塘潰決造成之災害，日本政府重新定義防災重點農塘，依據過去農塘潰決之淹水潛勢區域圖，推估不同蓄水量所影響範圍 (圖 5-19)，另，各農塘淹水區域應由蓄水量體和地形推定，若不易據此推定，則以淹水數值模擬分析，再行製作淹水潛勢圖推估影響範圍，並整合成下列 1~3 項標準。

1. 距離農塘未滿 100 公尺的淹水區域內存在保全對象；
2. 距離農塘 100 公尺以上未滿 500 公尺的淹水區域內存有保全

對象且蓄水量達 $1,000 \text{ m}^3$ 以上者；

3. 距離農塘 500 公尺以上的淹水區域內存有保全對象且蓄水量達 $5,000 \text{ m}^3$ 以上者；
4. 都道府縣或市町村可依據農塘規模、構造、地形條件、民宅、公共設施等位置關係、維護管理狀況、上游區域地區指定狀況、崩塌地土質及地形等實際狀況，自行增加設定必要之評定標準。

基本上符合上述 1～3 項任何一項者，即可列入修訂後防災重點農塘，但都道府縣和市町村仍應配合各地農塘實地勘查情況，設定必要之防災農塘選定標準。

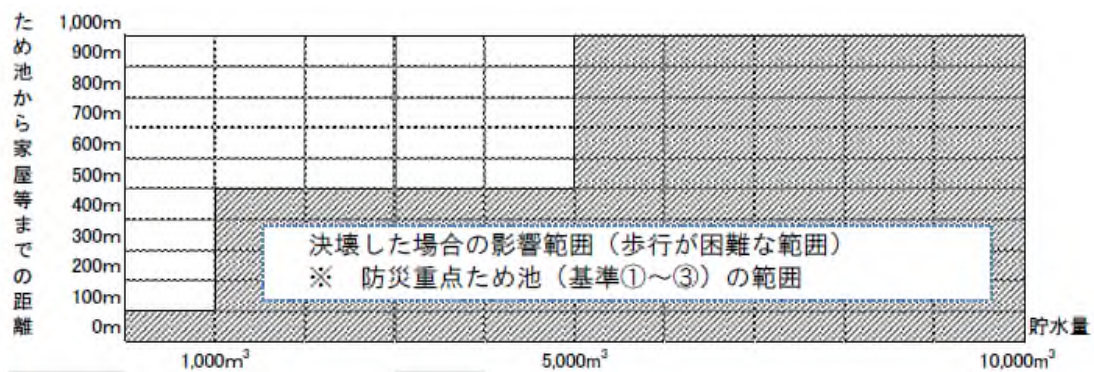


圖 5-19 防災重點農塘潰決影響範圍（農林水產省，2019）

三、農塘整備、管理、廢止對策概要

農塘潰堤除直接造成下游地區災害外，受災地區之耐災能力、災後恢復能力、應變對策、農塘潛勢災區所造成人員傷亡，皆應詳細調查，以制定綜合性對策。其一為「推動可達成迅速避難之對策」：為求達成可迅速避難，必須製作、整理民眾所需資訊，以淺顯易懂方式對防災重點農塘影響區民眾發出防災資訊，其二為「設施機能維護、補強及廢止對策」：防災重點農塘應考量緊急性及影響性，在確保農塘維護、良好管理體制條件下，逐步實施整備、補強等對策工程；同時針對已無農用且對下游區域民眾有造成傷亡風險之虞者，應由市町村長提報都道府縣確認此農塘是否廢棄不用，並勘查其安全性，然後逐步整合及廢止。

為協助農塘潰決潛勢地區居民緊急避難行動，市町村平常時應先提供當地居民判斷避難所需相關資訊，且在居民判斷是否該避難時，須注意降雨後農塘水位上升等的直接影響，以及農塘上游地區發生土石流、漂流木等之連動影響。主要對策內容如表 5-2 所示，對策內容之分類，共可分為 11 項行動方案，其中 1 到 5 項屬於「可達成迅速避難行動之方案」，6 到 8 項屬於「強化緊急應變時必要之防災支援系統」，其餘 9 至 11 項者為「設施機能維護、補強及廢止對策」。

在防災重點農塘評選標準制訂後，應儘速區分所有防災重點農塘之調查及資訊更新，後續實施相關維護、補強對策，並配合農塘潰決影響程度對淹水潛勢地區進行分階段實施相對應對策，以有效率推動農塘防災與減災對策。

表 5-2 農塘整備、管理、廢止對策內容

推動可達成迅速避難之對策	1 製作農塘地圖	農塘名稱、位置、蓄水量、堤高、管理者、地區氣象觀測系統
	2 緊急聯絡體制	農塘管理者、市町村、都道府縣、消防、警察、中央政府單位之聯絡系統
	3 淹水潛勢圖	農塘潰決淹水分析，制作淹水潛勢範圍圖
	4 防災地圖	考量潰決影響度，標示緊急避難設施、避難場所、避難路線、避難路線相關事項
	5 農塘在地區防災計畫中的定位	讓相關機構分享農塘防災對策資訊、避難行動、維護檢查等，並製定防災重點農塘在地區防災計畫之定位
農塘防災支援系統	6 重新整理農塘資料庫	農塘資料庫登錄、管理狀況、老化狀況、整修記錄、更新相關資訊等
	7 農塘災害支援系統	即時預測豪雨、地震時有潰決潛勢之農塘及災害危險度
	8 建立農塘監測體制	針對影響度較大農塘，設置水位計等監測設施，迅速掌握農塘狀況
強化農塘管理與機能	9 強化農塘保全管理體制	強化農塘災害維護檢查現地巡邏及保全管理體制，以提升居民對潰決風險的瞭解
	10 農塘機能維護補強對策	針對耐震、豪雨、老朽化影響程度及緊急性，實施補強對策工程
整合、廢止無農用農塘	11 農塘整合或廢止管理	無農用之農塘、非防災重點農塘之整合及廢止，將以降低潰決風險防災對策作業

第五節 災後相關法令修訂-農塘管理與保全法

農塘管理與保全法之目的揭示農塘係農業生產所不可或缺、供給農業用水之設施。其中，位於西日本為主的農村地區數量較多，但近年來屢屢發生農塘受損之災害事件，農業經濟型態轉變，加上農塘所有人、使用人等管理體制問題，造成許多農塘缺乏維護管理。農塘管理與保全法為因應此狀況並確保農塘所具備供給農業用水之機能，故立法推動強化農塘防減災對策之必要措施。

一、農塘管理與保全法架構

農塘管理與保全法之訂定主要是為針對農塘實施適當農塘管理與保全，穩定農業用水供給機能，防止潰堤引致相關災害。農塘管理與保全法為平成三十一年法律第十七號（平成三十一年四月二十六日公布），並於令和元年七月一日施行；此法概要組成為第一章 總則、第二章 農塘管理、第三章 特定農塘之指定、第四章 依裁定進行特定農塘之管理、第五章 雜則及第六章 罰則等組成。該法詳細制定農塘管理與保全之目的、農塘管理者、責任與義務、農塘之申報與管理、特定農塘之指定、防災工程施作、依裁定進行特定農塘管理、其他（補助、援助及罰則）等共計 21 條法條。

二、總則

農塘管理與保全法（以下簡稱本法）第一章總則之部份，包含目的、定義及責任與義務等三個大項（圖 5-20），本法之定義則包含「農塘」、「管理者」、「防災工程」等三項，以下依序說明本法之目的、定義、責任與義務。

本法之「目的」旨在推動適當農塘管理與保全之必要措施，確保

農業用水，防止農塘潰堤引發之水、砂災害。本法之「農塘」指供給農業用水之蓄水設施，且符合農林水產省令所規定要件者（圖 5-21）。

本法之「管理者」指依所有權外的權源而進行操作、維護、修繕及其他管理行為者（包含法人團體之代表人或管理人）。本法之「防災工程」係指以防止農塘潰決為目的而施作的工程，含廢止農塘之工程（表 5-3）。

本法之「責任與義務」，係指中央政府與地方公共團體之責任與義務。在地方公共團體方面，都道府縣管轄區域所有農塘，進行農塘整備與農塘資料庫管理、選定防災重點農塘等工作；市町村則負責地區防災責任，掌握農塘管理狀況，擬定周邊居民之避難對策等。因此，本法中都道府縣及市町村之責任義務為互相合作，進行農塘資訊蒐集與現況調查等，以及依本法推動措施及農塘適當管理與保全之對策。

中央政府之責任與義務，除指中央政府從高位階角度協調都道府縣與市町村完成前述合作之責任與義務外，並提供推動農塘適當管理與保全對策所需調查研究、資訊提供與其他必要支援。例如建立資料庫統一格式，以避免都道府縣彼此間做法產生差異，並提供預測豪雨、地震農塘潰決與衍生災害之防災資源系統、農塘防減災對策補助相關資訊、農塘管理手冊、優良保全管理活動事例等案例蒐集彙整。

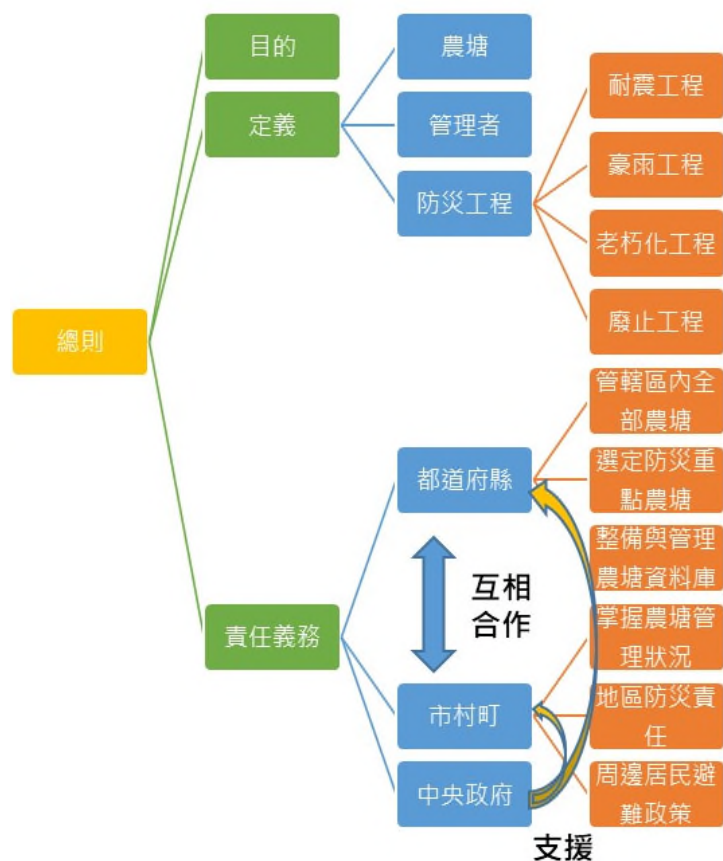


圖 5-20 農塘管理與保全法-總則概要

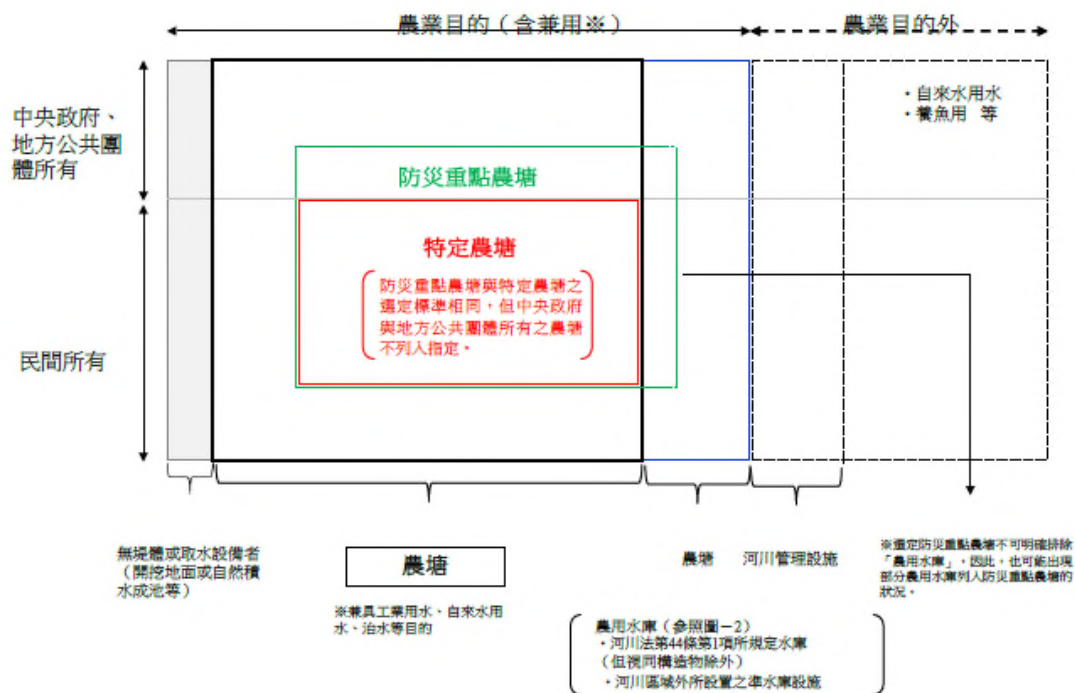


圖 5-21 農塘定義概念圖 (農林水產省，2019)

表 5-3 農塘防災工程概要

工程類型	工程施作概要
耐震對策工程	對應地震堤體破壞之對策工程，以堤體加寬或邊坡趾部填方等補強、整修工程
豪雨對策工程	對應豪雨時堤體可能溢流或滲流破壞之對策工程，以拓寬排洪口或增高堤體等讓入流洪水安全排出等工程
老朽化對策工程	對應堤體老朽化引致堤體破壞之對策工程，以防止漏水、整修受侵蝕堤體、護岸整備等工程
廢止工程	為廢止農塘而去除堤體或開挖、填土等工程
非防災工程	修繕堤體與取水設施或排洪口及清除水底堆積物等農塘管理行為不屬於防災工程

三、農塘申報與管理

本法第二章則為農塘申報與管理，包含「農塘申報」、「資料庫之整備與公布」、「農塘之管理與勸告」等三大項。

本法農塘之申報，係指農塘所有者完成農塘設置時（中央政府或地方公共團體所有者除外，圖 5-22），須依規定向都市府縣申報下列事項：

1. 農塘名稱及所在地；
2. 農塘所有者姓名及名稱、住址；
3. 農塘管理者姓名及名稱、住址（包含管理權源之種類及內容）；
4. 其他農林水產省令等所規定農塘管理相關事項（堤高、堤頂長度、蓄水容量）。

依農塘管理與保全法施行前，都道府縣應整備現有資料庫掌握農塘總蓄水量、堤高及堤頂長等資料，事先提供資訊給所有者，減輕其申報之負擔。

有關於農塘之申報者依照上述所規定，在農塘完成時，即應主動

向都道府縣申報，所有者能依財產權行使全部權利，且依登記內容確認其權限所在。對於複數民眾共有農塘財產權時，權利者應共同申報，但若部分權利者不明，則由已知者申報即可。對於農塘所有者為法人或是非法人之團體時，以代表者名義進行管理者申報。

已廢止農塘部份，所有者仍須向都道府縣進行申報，包含已拆除農塘堤體、蓄水池掩埋而廢止農塘蓄水機能者、完全廢止農塘農業利用並轉作治水或工業用水等其他用途時，也須進行廢止申報。另外，市町村長發現管轄區內有未申報之農塘時，應立即通知都道府縣，因此，市町村協助農塘所有者需申報資訊，確認所有者申報狀況等，以及所有者可透過市町村完成申報，此外，都道府縣也可依地方自治條例，委託市町村辦理申報相關業務。

本法資料庫之整理與公布，係為讓所有農塘完成特定農塘指定、告知周邊居民並協助防災避難，依本法所規定登錄相關必要事項。此外，防災重點農塘及特定農塘，除本法所規定事項外，對於推動防災對策所必要之詳細農塘各項資訊（潰決淹水預測危險度，堤體型式、材質、坡度、構造、排洪口、取水設備、及臥管式型、尺寸等設備資訊、堤體建造時間、受益面積、受益戶數、流域面積、蓄水面積等相關資訊）及各種對策實施狀況等相關資訊也都應進行登錄（圖 5-23）。

本法農塘之管理與勸告，係指農塘所有者應致力於適當管理該農塘，充分發揮農塘之機能，防止農塘潰壞所衍生之水、砂災害，內容包含設施維護檢查、整備、補強、清除堆積土砂與漂流木、堤體維護等事項。此外，本法勸告並無強制力，其為都道府縣發現農塘所有者未進行農塘管理所必要措施時，得勸告該農塘所有者、管理者等施作防災工程並進行其他必要措施（圖 5-24）。

因此，當發現農塘有堤體變形、漏水、損壞、堆積漂流木、土砂堆積阻礙排洪口、底部閘門無作用等事項，認為所有者未進行適當之管理，但由於各農塘之管理內容不盡相同，因此都道府縣可依據「農塘管理手冊」、「農塘機能診斷手冊」進行判斷。

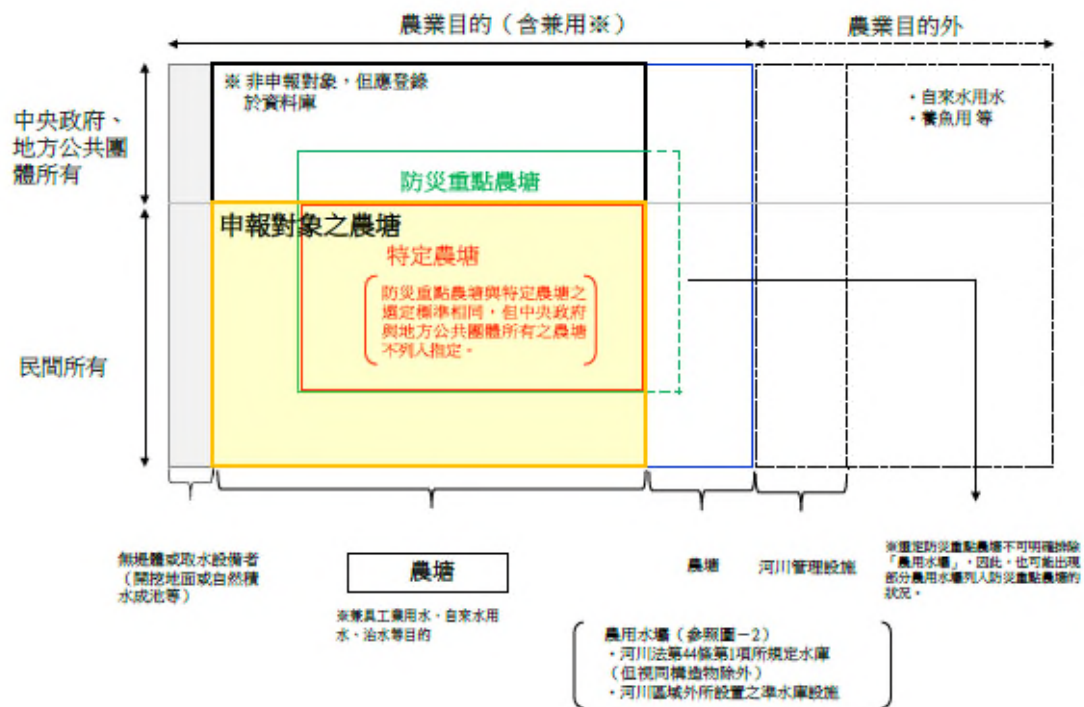


圖 5-22 申報對象之農塘 (農林水產省，2019)

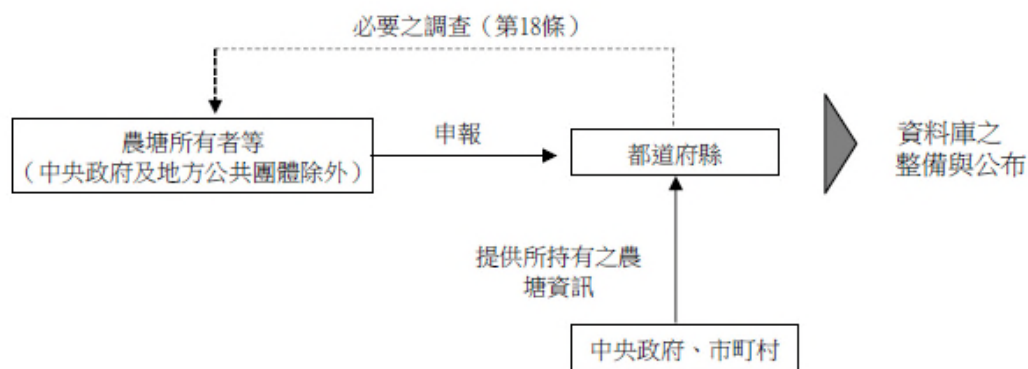


圖 5-23 農塘資料庫之整備與公布 (農林水產省，2019)

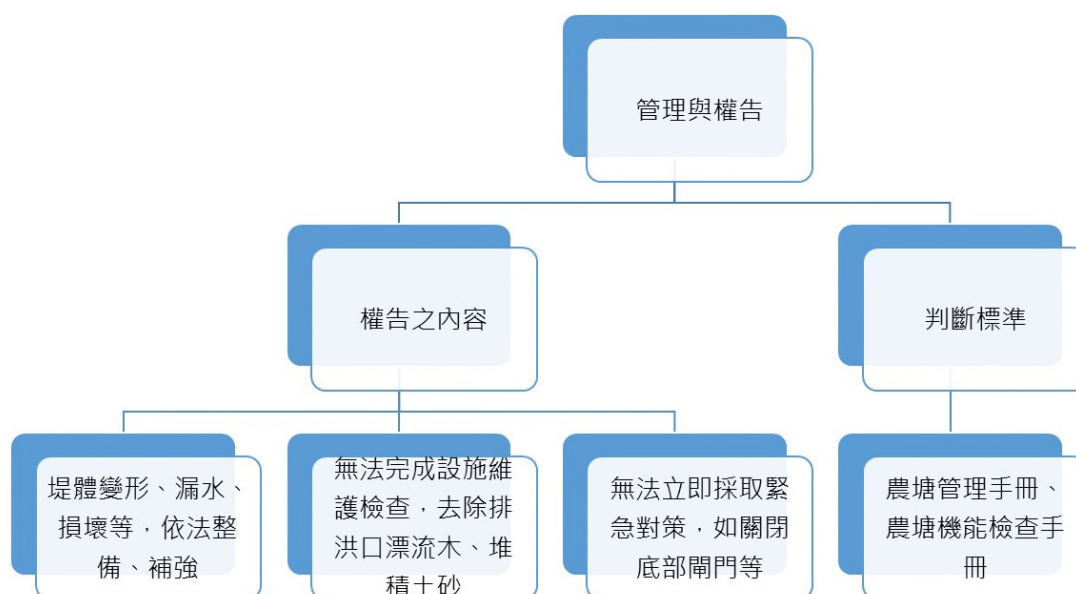


圖 5-24 農塘之管理與勸告概要

四、特定農塘之選定

特定農塘之指定，可依據蓄水量與地形推估農塘潰決可能造成淹水之區域 (圖 5-25)，其指定標準如下 (同防災重點農塘指定標準)：

1. 該農塘潰決可能淹水區域內與該農塘距離小於 100 公尺有住宅 (包含住宅或學校、醫院及其他公共設施，但該淹水並無造成居住者或利用者避難困難者除外)；
2. 該農塘潰決可能淹水區域內有住宅且與該農塘距離小於 500 公尺，同時蓄水容量大於 1000 立方米者；
3. 該農塘潰決可能淹水區域內有住宅且與該農塘距離大於 500 公尺，同時蓄水容量大於 5000 立方米者；
4. 都道府縣及市町村根據農塘周邊自然地形條件與住宅位置關係、維護狀況等進行指定，認定防止潰壞所造成水災或其它災害必要性特別高者，符合農林水產省令所規定要件，亦可納入特定農塘。

特定農塘之指定要件與防災重點農塘選定標準相同，且特定農塘適用本法「行為限制」和「防災工程施作」等規定，但防災重點農塘之中，屬中央政府及地方公共團體所有之農塘，應依國有財產法或地方自治法等法令為適當之管理，因此不列入特定農塘指定對象。

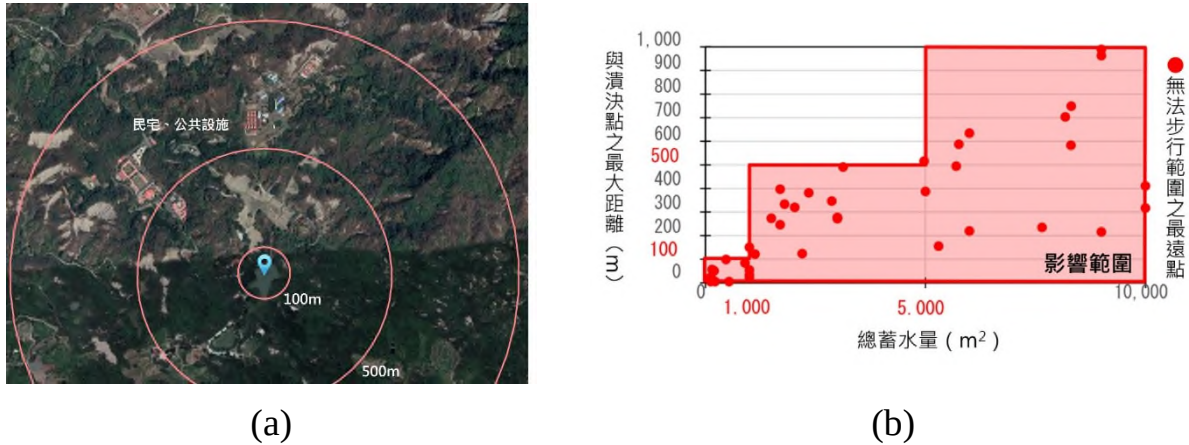


圖 5-25 農塘蓄水與潰決影響範圍

五、行為限制

行為限制主要是針對「有影響特定農塘保全之行為」，對於「堤體」、「水底」、「堤岸」、「取水設施」、「溢洪道」等與堤體密切關係部份之變更 (圖 5-26)，或會影響基礎地盤安全性之行為，都是必須取得都道府縣許可才可進行相關限制行為 (圖 5-27)。

對於不需要許可之行為，主要是由土地改良事業依土地改良法制定之土地改良事業計畫，通過審查及公告等程序而確定之計畫；非常災害必要應急措施，「非常災害」指氣象或突發事件造成農塘全部或部分潰決引致災害或其他災害、對於國民財產及生命造成損傷。「應急措施」指防止農塘潰壞或損傷擴大、防止災害再度發生而實施堤體填方補強、鋪設砂袋、清除堆積土砂、清除漂流木、臨時排水路施工等對策措施 (圖 5-27)。

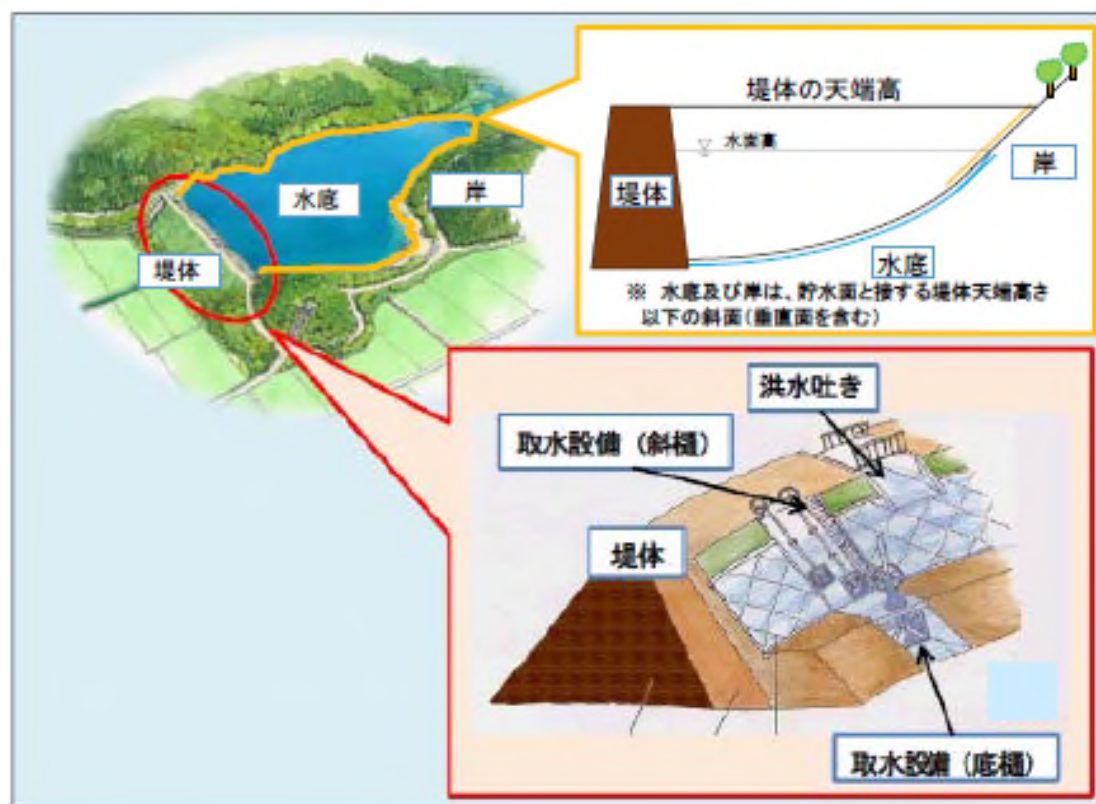


圖 5-26 行為限制範圍示意圖 (農林水產省，2019)



圖 5-27 行為限制與非行為限制事項 (農林水產省，2019)

六、防災工程施作

防災工程之施作，需在工程施作前 30 日向都道府縣申報防災工程計畫。另外，指定為特定農塘前已在施作防災工程之農塘，應於完成指定日起 30 日內向都道府縣申報該防災工程計畫（圖 5-28）

防災工程計畫之內容包含「實施防災工程之特定農塘名稱及所在地」、「預定開工日期及完工日期」、「防災工程之種類及內容」及「防災工程實施方法」。此外，依土地改良法實施土地改良事業及防範非常災害所需應急措施，可不必申報防災工程計畫，再者，災害復原工程、堤體、取水設施、溢洪道修繕、堆積物清理等農塘管理相關行為，不屬防災工程。

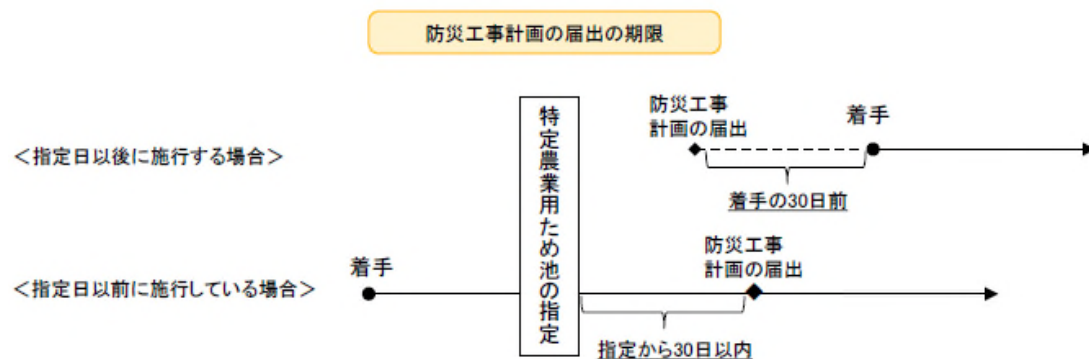


圖 5-28 防災工程計畫之申報（農林水產省，2019）

七、通告居民之措施

市町村長對於區域內特定農塘潰壞相關資訊的傳達方式、避難設施、避難場所、避難路線、避難路線相關事項、確保順利避難所需事項，應透過印刷品及其他相關必要措施記載上開事項，努力通知居民。各地區防災重點農塘皆有所不同，為數較多農塘的市町村難以在短時間內完成所有農塘防災地圖，若有此狀況，可先製作農塘基本資訊（名稱、所在地、總貯水量、緊急連絡人等）農塘地圖並通告居民。總體而言，優先考量農塘潰壞影響程度大的場所，製作防災地圖並公布

說明緊急避難路線、避難場所。此時，希望能反應該地區民眾的意見，最好能舉辦該地區和當地居民的防災工作坊、防災教育、防災演練等，提升居民的防災意識。

八、農塘管理權之設定

由於農塘實施適當之日常管理可以預防止災害，但因為農業人口減少以及高齡化關係，未來管理不良之農塘將持續增加。特別是所有者不明的農塘，可能發生無法維持現在管理體制，新的管理者無法選任的困境，將造成日常維護管理無法進行。

市町村長在判斷未來農塘利用的必要性時，若目前已無實施管理上的必要措施，未來也無法確認其所有者（數人共有之農塘，該特定農塘超過二分之一持分所有者）時，基於市町村長的申請將採取措施裁定管理權，根據都道府縣之裁定，設定給市町村取得設施管理權。此外，特定農塘所有者、使用者及其他利害關係人，得建議管轄地之市町村長，依據規定應提出特定農塘之操作、維護、修繕及其他管理權利裁定之申請。對於都道府縣之裁定，裁定時應需確認申請裁定之農塘名稱及所在地，設施管理權開始日期及存續期間，依設施管理權進行相關處置之內容（圖 5-29）。

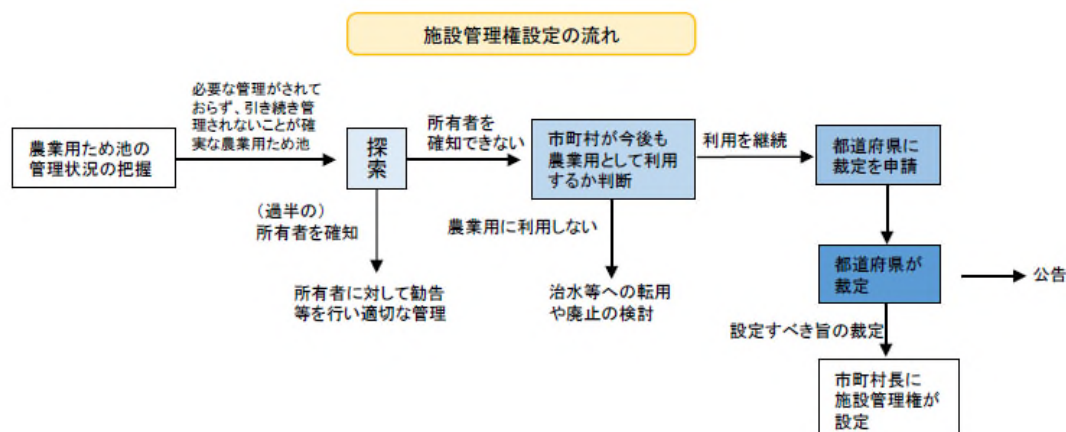


圖 5-29 申請裁定管理權之流程（農林水產省，2019）

九、補助及援助

中央政府及地方公共團體須確保農塘所有者等具有實施農塘適當管理所需資金，並提供技術性指導及其他援助。再者為提升援助效果，中央政府及地方公共團體認為上開援助有必要時，得要求土地改良區或土地改良事業團體提供必要之援助（管理相關技術指導、技術性操作等）。都道府縣得對市町村或農塘所有者等，於預算範圍內補助該防災工程所需部分費用。中央政府得於其預算範圍內補助上開規定之部分費用或補助都道府縣自行施作防災工程所需部分費用（圖5-30）。

確認 農塘相關之國庫補助事業 (2019年4月)		
實施項目	國庫補助事業	重要條件等
①農塘各單元之調查	農村地區防災減災事業 (農塘防災對策資訊整備)	未設定面積要件 固定比例(到2020年為止的額度)
②都道府縣建立資料庫		
③市町村製作防災地圖	農業灌溉渠道等長壽命化與防災減災事業(製作防災地圖)	未設定面積要件 固定比例(到2020年為止的額度)
④農塘管理(市町村實施管理等)	農業灌溉渠道等長壽命化與防災減災事業(強化監測與安全管理)	未設定面積要件 固定比例(到2020年為止的額度)
⑤防災工程 (耐震、豪雨、老朽化對策、廢止) 都道府縣代執行	農村地區防災減災事業 (農塘整備)	・實施補強對策時 受益面積大於2公頃，固定比率(50%等) ・統廢合(替代水源之整備及農塘之廢止)時 定額
	農業灌溉渠道等長壽命化與防災減災事業(農塘整備)	・實施補強對策時 受益面積小於2公頃，固定比率(50%等) ・統廢合(農塘廢止)時 定額(視堤高而定，最多3仟萬日圓/口)

※事業實施主體為都道府縣與市町村等。主要與明法所記載之要件與補助比率。
詳細內容請洽所屬事業負責人。

圖 5-30 相關補助要件（農林水產省，2019）

第六節 小結

日本防災重點農塘對策推動方法，在防災重點農塘指定標準制訂後，日本政府各都道府縣、市町村等各級單位重新盤點防災重點農塘，並持續更新農塘資料庫，據以制定後續實施相關防災工程、設施維護及補強等對策。此外，各地區依照依序分階段實施「推動迅速避難行動對策」、「農業用水利用農塘之管理強化及補強對策」、「無農用農塘整合及廢止對策」，以有效推動農塘防減災對策。

此次日本在平成 30 年 7 月豪雨事件過後，已迅速進行農塘相關調查、防災工程施作等事項。再者，由於近年來農塘潰壞事件、農業經濟型態轉變、農塘管理人或組織失能等問題，為確保農塘供水機能及強化農塘防減災對策，日本於 2019 年 4 月 26 日公布「農塘管理與保全法」並於同年 7 月 1 日施行，其推動重點如下：

1. 農塘所有者申報制度及管理義務之制定。
2. 特定農塘選定制度 (防災重點農塘選定標準)。
3. 農塘防災工程施行命令及代執行之制定。
4. 農塘所有者不明且管理維護失能者，得依裁定進行管理權指定。

日本政府期藉由上述措施，確保農塘穩定供水，並減低農塘潰壞衍生之災害，有助於達成「農塘持續發展」及「國土保全」。

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、水土保持技術研究課題

國內外土砂防災研究及技術文獻分析，以日本農塘防減災對策演進蒐集相關文獻，並於 108 年 11 月出版「108 年度國內外水土保持技術發展趨勢-日本農塘維護與防災對策演進」報告 1 冊。

鑑於此次 2018 年 7 月豪雨所造成土砂災害情況，日本中央政府立即對於「防災重點農塘」之整備、管理、廢止等方針進行檢討，並重新制訂防災重點農塘選定標準。其檢討過程及修訂後之策略對於國內未來在推動農塘相關管理對策研擬與推動上，極具參考價值，故「108 年度國內外水土保持技術發展趨勢-日本農塘維護與防災對策演進」報告擬就此方面進行相關文獻蒐集，並討論其所面臨問題及各項分類策略上的應對方法，重點摘錄相關配套法規制度，以提供未來在推動後續計畫時參考。

日本農塘防減災策略的首要工作係指定具風險的防災重點農塘。在防災重點農塘指定標準制訂後，日本政府各都道府縣、市町村等各級單位即據此重新盤點防災重點農塘，並將調查之資訊持續更新（盤點農塘及資訊更新），同時實施相關防災工程、設施維護、補強等對策。此外，各地區依照影響程度大小（農塘潰決影響程度、淹水影響範圍）分段實施「推動迅速避難行動對策」、「農業用水利用農塘之管理強化及補強對策」、「無農用農塘整合及廢止對策」等政策，逐步強化農塘防減災工作。

此次日本在平成 30 年 7 月豪雨事件過後，已迅速進行農塘相關調查、防災工程施作等事項。再者，由於近年來農塘潰壞事件、農業經濟型態轉變、農塘管理人或組織失能等問題，為確保農塘供水機能及強化農塘防減災對策，日本於 2019 年 4 月 26 日公布「農塘管理與保全法」並於同年 7 月 1 日施行，其推動重點如下：

- (一) 農塘所有者申報制度及管理義務之制定
- (二) 特定農塘選定制度 (防災重點農塘選定標準)
- (三) 農塘防災工程施行命令及代執行之制定
- (四) 農塘所有者不明且管理維護失能者，得依裁定進行管理權指定

日本政府期藉由上述措施，確保農塘穩定供水，並減低農塘潰壞衍生之災害，有助於達成「農塘持續發展」及「國土保全」。

值得注意的是，由於全日本 20 萬座農塘中，約 9 成均逾百年歷史且以築壩式為主，此情況與台灣農塘多以開挖式構築且歷史尚短之現況不同，建議國內相關單位如欲參考日本制度建立防災重點農塘選定標準時，應聚焦於具潰壩風險之築壩式農塘。

二、防災技術與研究成果盤點

歷年已完成之土砂防災技術研究成果則以彙整 97 年度至 107 年度水土保持局之委辦與研究計畫成果報告計 2326 冊，依據各業務單位常使用之參考資料，分為 30 項細部關鍵項目進行成果盤點。

- (一) 目前盤點成果顯示每年逾兩百件研究計畫產出成果相當豐碩，為掌握歷年盤點成果，技術研究發展小組先行將今年度盤點成果進行資料數位化 (水文資料、河川水理、雨量、地

質鑽探、現地試驗、地電阻) 並彙整於水土保持局基礎資料管理平台，在資料之呈現上考量各計畫研究區調查時間及空間關係，以年度、縣市、關鍵字、空間範圍等選取方式以利使用者進行檢索查詢。

- (二) 根據歷年盤點統計結果，1705 冊報告書中有 1196 冊符合規定格式，電子圖書則為 1129 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、電子書不完整，皆列為不符合項目。
- (三) 利用資料庫已數位化報告清冊，以斷詞資料檔進行詞頻統計與權重關聯分析，以計畫名稱進行文字詞頻之結果，以「規劃」、「土石」、「調查」此三者為前三名，而在計畫關鍵字進行文字詞頻分析之結果，以「土石流」、「崩塌」、「防災」此三者為前三名，由此顯示出計畫名稱所關注的是土石類災害相關之調查規劃案，而在關鍵字則可快速瞭解委辦計畫其執行工作項目欲解決之問題或是關注目標。
- (四) 利用電子圖書管理系統進行文字雲分析初探，目前在計畫名稱文字雲呈現為以土石、規劃、調查為主，較難呈現出計畫名稱之意涵，由於在文字清洗、詞性標注、詞庫上仍有待調整，將持續進行文字清洗及斷詞分析，以精鍊出計畫名稱之特徵，以作為後續探討計畫標題之熱門程度，即可深入分析年度所關注之議題與重大政策之關聯性。
- (五) 經盤點本局歷年之委辦及研究成果相當豐碩，惟大部分之成果尚未數位化或分散儲存於各業務單位所設置之系統，形成系統眾多維護不易、資料分散、資安風險等相關疑慮。

因此，由盤點結果，建議未來相關資料管理平台之規劃，主要以「鏈結 (links)」、「共享」、「提供」等三大功能為目標，應用此功能，提供資料檢索查詢、交換流通、儲存管理與交易等服務，期能成為坡地相關資訊與資料情報之渠道，可作為水保局提供相關單位有利用價值之資訊所用。

三、土砂災害模擬相關模式測試與分析

土砂災害變遷趨勢與分析，本年度完成「臺灣近年降雨誘發之土砂災害變遷趨勢」及「日本厚真町堰塞湖之形成與潰決潛勢分析」此兩個研究案例建置數值模型並評估土砂變遷趨勢。

(一) 臺灣近年降雨誘發之土砂災害變遷趨勢

1. 本研究以有效累積雨量值推估歷年全台年度最大土壤含水量分佈，並分析其與重大土砂災例之時、空間分佈關聯性；結果顯示臺灣各地區主要因降雨分佈、形態差異性而導致其各有相異之災害型態。
2. 土砂災害變遷趨勢整體而言，重大土砂災例與全台年度最大土壤含水量分佈呈現正相關趨勢並隨有效累積雨量而變化，研究結果顯示在歷年重大土砂災例中，崩塌所佔災害比例最高(45%)，其次為土石流(27%)。
3. 在災害發生的時間方面，6 月至 10 月為台灣重大土砂災害發生高峰期。藉由有效累積雨量與重大土砂災例關聯性分析，結果顯示 90%的重大災害發生時有效累積降雨量均大於 150 mm；在災害發生時的有效累積降雨量為 440 mm 時，重大土砂災例發生的機率為 50%，與超大豪雨之定義 500 mm 相

當接近；而當有效累積降雨量為 600 mm 時，有 70% 重大土砂災例已發生，與現行土石流警戒基準值最高範圍大致相同。

4. 降雨規模型態方面，土砂災害類型之比例亦有所變化；其中土石流及地滑類型之災害比例，隨雨量增加而增加。
5. 本研究以降雨及崩塌資料分析近年土砂災害趨勢初探，囿於災害點位數量與資訊較少，建議可進一步蒐集其他政府相關部門或民間團體紀錄之災害事件。
6. 本研究未考慮複合型災害，然而重大土砂災害常同時發生一個類型以上的災害，未來可進一步考慮複合災害事件的影響。
7. 本研究綜合各地區 2006 年至 2018 年重大災害，新生崩塌面積與雨量，分析台灣地區降雨致災的土砂災害趨勢，可供未來相關防災措施與研究參考。

(二) 日本厚真町堰塞湖之形成與潰決潛勢分析

由於天然壩之形成及其衍生之二次災害難以事前預測，故一旦發現後，其緊急應變計畫之研擬通常十分急迫。藉由不同潰壩情境設置，進行堰塞湖潰決之洪水模擬和對下游衝擊影響範圍分析。

1. 利用 HEC-RAS 2D 模式，可模擬堰塞湖潰壩後河道內隨時間變化之洪水水深、流速、洪水抵達時間與淹水面積等影響範圍圖，透過衛星影像及模擬結果快速套疊分析結果，並且進一步評估不同潰壩情境之衝擊評估以做為未來相關單位研究與避難之參考。
2. 不同潰壩高度之模擬結果顯示，天然壩體高度為 50m 之情境中，洪水波在潰壩 20 分鐘後抵達聚落 1 並形成最大水深約 12m 與 11 m/s 之流速。在天然壩體高度 30m 及 40m 之情

境中，潰壩洪水波將會造成聚落 1 與聚落 2 嚴重之影響，且洪水抵達時間與天然壩體高度 50m 之情境相差不到 10 分鐘，而隨著天然壩體高度降低至 20m 以下，潰壩所導致的洪水僅影響聚落 1。

3. 應用 HEC-RAS 2D 工具模組，分析不同壩體高度之上游迴水範圍，用以輔助災害潛勢範圍判釋，並透過不同顏色能夠快速分辨不同壩體高度情境下迴水影響潛勢範圍；若上游有其他保全對住戶，並搭配設置現場水位監測系統，提供相關防災避難資訊。
4. 潰壩時洪水氾濫主要受影響區，當天然壩體高度為 50m 時，堰塞湖潰壩將會直接衝擊天然壩下游三個不同的聚落，而天然壩體高度為 30m 及 40m 時，潰壩洪水波主要影響區域至聚落 2 為止，因此，若天然壩體透過緊急工程挖降至 20m 以下，將能降低洪水波衝擊影響區域。
5. 在不同潰壩延時情境中，當潰壩延時越小，其所造成之擊衝越大，因此，需在天然壩形成之時，緊急設置雨量、水位及流量等觀測儀器，以作為監測警戒之用，其不同潰壩延時情境之洪水抵達時間也能作為應變計畫之疏散避難時間之參考，當集水區發生大量降雨造成水位急劇上升達到警戒水位時，應當立即執行緊急應變計劃，進行疏散避難。
6. 洪水波流速災害潛勢分析，當天然壩體高度為 50m 時，潰壩延時為 30min 情境下流速皆高於 6m/s，當堰塞湖潰壩延時增長為 6hr 後，天然壩潰決提供的流量下降，使得天然壩下游洪水流速明顯降低。

7. 潰決洪水波對民眾避難疏散之影響，必須考量身高、水深及流速彼此間之影響，避免在移動時無法抵抗洪水衝擊而發生意外，此項分析結果能夠做為災害潛勢區域其可步行避難分級劃設參考。
8. 由於堰塞湖災害有防救災之時效性，必須盡早提供防災應變策略計畫，建議分階段以不同精度之 DEM 以及運算網格大小來模擬災害影響範圍，透過經驗公式與模式模擬組合來提升防災應變之效率。

採用 HEC-RAS 2D 二維水理模式，有效分析潰決洪峰水流之運動特性。對於緊急評估分析下游保全住戶之影響，其可快速計算並評估潰壩時所產生之潰決洪峰流量、洪水到達時間、河道溢淹情況等模擬成果。另外可避免當天然壩穩定性未明情況下，進行現場調查作業之危險，降低衍生之現勘人員傷亡的風險，在颱風豪雨期間，災害應變中心於災情研判與決策分析上有直接助益。未來透過不斷精進的基礎資料建置與管理，將能在第一時間取得災害區域大範圍之基本重要資料，能夠提升緊急應變決策之效率，而隨著災害規模提升和複合性災害之衝擊，應及早透過不同情境之假設及模式模擬來規劃實際應變之相關策略。

第二節 建議

一、水土保持技術研究發展規劃

綜觀日本目前農塘防災對策，主要方針可分為三大項，推動迅速避難行動對策、農塘管理強化及補強、無農用農塘整合及廢止。目前農塘亦為國內重要的水資源及設施，參考日本經驗，其核心基礎工作為盤點調查及建置農塘資料庫，本研究提出以下建議：

- (一) 加速進行農塘盤點，確認農塘相關機能是否存在？農塘管理人或組織是否失能？並確認農塘之健全度等相關現況資訊。其中，築壩式農塘調查項目、資料庫建立及危險度評估方式，建議可參考日本農林水產省「農塘機能檢查手冊（ため池機能診断マニュアル）」及其相關作法。
- (二) 建議參考日本制度，針對本局興辦或補助之築壩式農塘研擬管理機制，此部份可參考日本農林水產省「農塘管理及保全指引」及其相關做法。
- (三) 針對目前本局正在推動的防砂構造物調查總體檢及延壽策略評估，建議可將築壩式農塘納入調查與評估標的，並可參考日本農林水產省「農塘管理手冊（ため池管理マニュアル）」與「農塘機能檢查手冊（ため池機能診断マニュアル）」及其相關做法。
- (四) 加強相關法規、補助、罰則之訂定，對於農塘管理之關係人明確化（區分所有人及管理者），農塘維護之補助及罰則（蓄水面積等級、灌溉受益面積等級、補助比率及額度分類），農塘開挖及廢止相關程序（新設、變更、活化、廢止之規範），農塘水資源功能之規範（蓄水、灌溉、滯洪防砂、觀光遊憩），此部分可參考日本農林水產省「農塘管理及保全指引」及其相關做法。
- (五) 強化現行水土保持義務人對農塘之經營管理及維護事項，包含補助政策之研究、活化缺乏管理、老化或荒廢的農塘，且在目的事業主管機關監督下，使管理人進行良善維護管理，以恢復農塘水資源利用、生態保育、滯洪防砂等功能

二、歷年委辦案件成果可延續性建議 (資料管理與維護)

彙整 97 年度至 107 年度水土保持局之委辦與研究計畫成果報告計 2391 冊，並以此為依據執行成效分析，並評估各項技術或研究案持續發展之可延續性。目前歷年盤點資料顯示出水土保持局在資料管理與維護上所遭遇之問題如下：

- (一) 目前盤點計畫成果產出相當豐碩，惟各計畫產出之專有名詞、產出資料格式 (欄位命名、類型、代碼)、數化資料 (水文資料、河川水理、雨量、地質鑽探、現地試驗、地電阻)、地理圖資等皆不相同，增加資料之整合、管理、查詢、儲存之難度。
- (二) 各委辦計畫於計畫執行期間，委辦廠商於計畫研究區架設監(觀)測系統，以利蒐集汛期前後或是監測地表、地中、地下變位等各種監(觀)資料，然由於各委辦廠商分年分期使用之監測設備不同，亦造成後續資料匯整、補遺上之困難，且於計畫結案後，監測系統亦隨之失去維護，使得資料無法持續蒐集。
- (三) 委辦廠商於計畫期間自行建置資料管理系統，其資料庫之建置項目與儲存格式並未依循水保局資料管理平台之規範，且資料庫檔案未繳交回水土保持局，然於計畫結案後，該資料庫於承租之伺服器空間失去維護後，使得監(觀)測成果流失。
- (四) 目前水土保持局在空間資料如多元衛星遙測影像、UAV 空拍成果上傳系統皆有第三方驗證機制，每個上傳資料類別有限定檔案格式、系統自動提示及錯誤提醒，上傳完成後進行精度檢核，惟目前在其他類型資料上傳後，並未建置自動化

驗證機制或第三方驗證機制，因此，基礎資料管理平台仍需專人進行資料檢核，以確保資料格式正確性及資料內容之完整性。

- (五) 隨著科技進步，目前 IoT 物聯網、AI 人工智慧、大數據等新興應用科技在環境資料之記錄、分析上非常多元，然目前眾多資料未能整合且相互通用，且以各自形式儲存，無法相容整合，因此，對於新型態資料的共通性資料欄位編碼規範等，亦需要引入「資料管理工作圈」進行討論，並且對於業務屬性變更不再更新及維護之資料探討下架規則，以提升資料流通效率並減低資料維運成本。

本年度累積歷年盤點成果，根據上述五項資料管理與維護，提出以下建議：

- (一) 由負責資訊業務及資料整合之水土保持局技術研究發展小組作為水土保持局基礎資料及地理圖資管理之窗口單位，定期召開「資料管理工作圈」會議檢討委辦計畫數值資料、地理圖資及開放資料之管理規則。
- (二) 目前水保局及各分局委辦案廠商在計畫期間建置監(觀)測站進行資料蒐集，在驗收時目前廠商僅繳交成果報告及簡報資料，建議將監(觀)測資料隨期初、期中、期末及驗收階段進行成果繳交，以免寶貴資料隨計畫期程結束失散，而未能收錄至資料管理平台。
- (三) 委辦廠商於計畫期間自行建置資料管理系統之問題，亦造成寶貴資料無法收錄至資料管理平台，且委辦廠商並無法負擔

長期伺服器租賃費用而使資料流失，因此，建議在監(觀)測類型委辦案，於計畫契約規範廠商應將建置資料庫之資料成果繳交至資料管理平台，並依其資料庫資料類型，儲存於對應之平台，如災害照片上傳完成，後台自動轉介至歷史影像平台。

- (四) 目前在資料上傳後檢核驗證機制僅有多元衛星遙測影像、UAV 空拍影像已建置第三方驗證機制，但在其他眾多類型資料尚未有自動化驗證機制，建議建置對應於各類型資料之自動化驗證機制，以增加資料驗收之正確性及完整性並可降低承辦人員之檢驗作業時間。
- (五) 目前 IoT 物聯網等新興應用科技所蒐集之資料品項眾多，如溫度、濁度、雨量、地表位移等，輔以大數據、人工智慧(AI)工具之應用，需整合於專用資訊共享平台(可相互鏈結、共享、流通)，藉由大量應用科技進行整合環境數據提供明確建議，提高分析精確度，可提升水保局在坡地智慧管理之效益。
- (六) 鑑於委辦計畫廠商眾多且各計畫產出成果型態眾多，建議於計畫執行期間如期中驗收前後，針對廠商進行資料成果上傳教育訓練，使廠商瞭解各項產出成果所需繳交標準及格式，並至少符合開放資料格式，以避免未來盤點時，出現如報告格式錯誤、缺漏，甚至產出資料成果無法數位化等問題。

第三節 研究成果發表

本研究今年度執行期間研究成果論文發表共計 12 篇，期刊論文為 2 篇，國際研討會論文 2 篇，國內研討會論文 8 篇。如表 6-1 所示並摘錄於附錄二。

已完成兩篇期刊論文，分別為：「陳振宇、陳均維、陳國威、林詠喬 (2019)，坡地降雨致災熱區警戒模式，中華水木保持學報，50(1): 1-10」(年度最佳論文獎)、「林家興、吳振佑、蔡元融、陳振宇 (2019)，HEC-RAS 2D 於天然壩潰決模擬評估，中華防災學刊，11(2): 137-150」。

國際研討會論文兩篇，分別為：「Development of Visualized Integrated Rainfall-Infiltration-Slope stability (IRIS) model」，「The Landslide Dam Breach Impact Assessment – A Case Study of the Hokkaido Earthquake in Japan」，並發表於 2019 年 5 月 21 日至 23 日日本砂防學會岩手大會。

國內研討會論文八篇，其中 6 篇發表於 2019 年 11 月 30 日 2019 水土保持學術研討會暨論文宣讀會議，分別為：「以坡地降雨致災熱區警戒模式建立村里警戒發布機制」、「南投縣仁和村土石流災害事件及流動影響區模擬」、「堰塞湖潰壩災害情境模擬-以新竹梅花大規模崩塌潛勢區為例」、「苗栗縣大安部落土石流災害潛勢數值模擬」、「以視覺化整合式降雨入滲崩塌模式 (IRIS) 模擬邊坡受降雨入滲」、「臺灣近年治山防災構造物概況與變遷趨勢初探」等六篇；其中 2 篇發表於 2019 年海峽兩岸水土保持學術研討會，分別為：「臺灣近年降雨誘發之土砂災害變遷趨勢初探」(最佳論文獎)、「日本厚真町堰塞湖之形成與潰決潛勢分析」等兩篇。

表 6-1 研究成果-2019 論文發表

年度	類型	篇名	作者	期刊/會議名稱
2019	期刊	坡地降雨致災熱區警戒模式	陳振宇、陳均維、 陳國威、林詠喬	中華水土保持學報 (年度最佳論文獎)
2019	期刊	HEC-RAS 2D 於天然壩潰決模擬評估	林家興、吳振佑、 蔡元融、陳振宇	中華防災學刊
2019	研討會	The Landslide Dam Breach Impact Assessment - A Case Study of the Hokkaido Earthquake in Japan	Chia-Hsing Lin, Chen-Yu Wu, Kuo-Wei Chen, Chen-Yu Chen	2019 日本砂防學會研究發表會
2019	研討會	Development of Visualized Integrated Rainfall-Infiltration-Slope stability (IRIS) model	Chen-Yu Chen, Jyun-Wei Chen, Chia-Hsing Lin, Chen-Yu Wu	2019 日本砂防學會研究發表會
2019	研討會	臺灣近年降雨誘發之土砂災害變遷趨勢初探	林詠喬、陳振宇、 陳均維、詹婉妤	2019 年海峽兩岸水土保持學術研討會 (最佳論文獎)
2019	研討會	日本厚真町堰塞湖之形成與潰決潛勢分析	吳振佑、林家興、 陳國威、陳振宇	2019 年海峽兩岸水土保持學術研討會

2019	研討會	以坡地降雨致災熱區警戒模式建立村里警戒發布機制	林恩如、陳振宇、 陳均維、詹婉妤	108 年度水土保持學術研討會
2019	研討會	南投鄉仁和村土石流災害事件及流動影響區模擬	林家興、吳振佑、 陳均維、陳振宇	108 年度水土保持學術研討會
2019	研討會	堰塞湖潰壩災害情境模擬-以新竹梅花大規模崩塌潛勢區為例	吳振佑、林家興、 陳國威、陳振宇	108 年度水土保持學術研討會
2019	研討會	苗栗縣大安部落土石流災害潛勢數值模擬	林宥伯、林家興、 吳振佑、陳振宇	108 年度水土保持學術研討會
2019	研討會	以視覺化整合式降雨入滲崩塌模式(IRIS)模擬邊坡受降雨入滲	陳均維、陳振宇、 林宥伯、吳振佑	108 年度水土保持學術研討會
2019	研討會	臺灣近年治山防災構造物概況與變遷趨勢初探	林詠喬、陳振宇、 陳均維、陳國威	108 年度水土保持學術研討會

參考文獻

1. Brunner G.W. (2016) HEC-RAS River Analysis System Reference Manual. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Costa, J. E., and Schuster, R. L. (1986). “A perspective on landslide dams.” In Schuster, R. L. (Edited), Landslide dam: Processes Risk and Mitigation, Vol. 3, pp. 1-20.
6. Costa, J. E., and Schuster, R. L. (1988). "The Formation and Failure of Natural Dams." Geol Soc Am Bull, 100(7), 1054-1068.
7. Dilley, M., Chen, R. S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A. L., & Arnold, M. (2005). “*Natural disaster hotspots: a global risk analysis.*” The World Bank.

8. Ermini, L. and Casagli, N. (2003), "Prediction of the Behaviour of Landslide Dams Using a Geomorphological Dimensionless Index," *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 28, pp. 31-47.
9. Geospatial Information Authority of Japan Website: <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30-hokkaidoiburi-east-earthquake-index.html> #3, accessed Jan. 13, 2019.
10. Hokkaido Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Website: <https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/release/splaat00000194ji-att/splaat000001esm3.pdf> , accessed March 13, 2019.
11. Rivadeneira, A.W., Daniel M. Gruen, Michael J. Muller, David R. Millen, (2007). "Getting Our Head in the Clouds: Toward Evaluation Studies of Tagclouds." CHI2007 Prodeedings, Tags Tagging & Notetaking.
12. Shieh, C. L., Wang, C. M., Lai, W. C., Tsang, Y. C. and Lee, S. P. (2009). "The composite hazard resulted from Typhoon Morkot in Taiwan," *Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering*, 62, 4, 61-65.
13. Wallemacq, P. (2018). "*Economic Losses, Poverty & Disasters 1998-2017.*" Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED.
14. Yamagishi, H. and Yamazaki, F. (2018): Landslide by the 2018 Hokkaido Iburi-Tobu Earthquake on September 6, Landslides, Vol. 15, No. 2, pp. 2521-2524. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1092->

Z.

15. 小川芳也、賴良昌憲、澤井健二、足立考之、小笠原裕介、正岡 聡 (2014), 氾濫解析とリンクした洪水時の避難判断支援情報の提供に関する研究, 自然災害科学, J.JSNDS, 33-1, 43-52。
(Ogawa, Y., Sera, M., Sawai, K., Adachi, T., Ogasawara, Y., and Masaoka, S. (2014). “Study on the information for the evacuation from flood disaster linked with inundation analysis.” Bulletin of the Natural Disaster Science. J. JSNDS, 33-1, 43-52.(in Japanese))
16. 中央氣象局 (2015), 氣象遙測觀測-氣象衛星與氣象雷達。Central Weather Bureau (2015). “Meteorological remote sensing-meteorological satellite and meteorological radar” .
17. 中央氣象局 (2019), 107 年氣候資料年報-地面資料。Central Weather Bureau (2019). “CLIMATOLOGICAL DATA ANNUAL REPORT 2018 PART I – SURFACE DATA” .
18. 尹孝元、王晉倫、簡以達、詹錢登、王志賢 (2019), 臺灣坡地災害管理策略之演進與發展, 天氣分析與預報研討會, 中央氣象局編印。(Yin, H.Y., Wang, C.L., Jian, Y.D., Jan, C.D., and Wang, C.H. (2019). “The evolution and development of Taiwan's slopeland disaster management strategy.” , *Conference on Weather Analysis and Forecasting*, Central Weather Bureau. (in Chinese))
19. 日本氣象庁 (2018a), 「平成 30 年 7 月豪雨」及び 7 月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について。(Japan Meteorological Agency. (2018a). “The characteristics and factors of the record high temperature after 2018 July heavy rain and the middle

- of July, 2018.” (in Japanese))
20. 日本気象庁 (2018b), 「平成 30 年 7 月豪雨」の大雨の特徴とその要因について(速報)。(Japan Meteorological Agency. (2018b). “About the feature and the factor of 2018 July heavy rain (preliminary report).” (in Japanese))
21. 日本気象庁 (2019), 平成 30 年 7 月豪雨による被害状況等について (第 32 報)。(Japan Meteorological Agency. (2019). “About the damage situation by 2018 July heavy rain, No. 32.” (in Japanese))
22. 日本気象庁, 2018, 「平成 30 年 7 月豪雨」の大雨の特徴とその要因について (速報)。
23. 日本気象庁, 2018, 平成 30 年 7 月豪雨前線及び台風第 7 号による大雨等), 災害をもたらした気象事例。
24. 日本消防庁, 2018, 平成 30 年 7 月豪雨及び台風第 12 号による被害状況及び消防機関等の対応状況 (第 59 報)。
25. 日本農林水産省, 2009, 農地防災事業～安全で安心な農業・農村づくりに～, http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_bousai/index.html。
26. 日本農林水産省, 2013, 柔構造底樋によるため池改修工法, 官民連携新技術研究開発事業 新技術概要書, http://www.maff.go.jp/j/nousin/sekkei/kanmin/.../ka023_01.pdf。
27. 日本農林水産省, 2014, ため池の保全管理体制整備の手引き(平成 26 年 7 月作成), http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attac

- h/pdf/index-28.pdf。
28. 日本農林水産省，2015，ため池管理マニュアル(平成27年10月)，
http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/index-36.pdf。
29. 日本農林水産省，2018，平成30年7月豪雨等を踏まえた今後のため池対策の進め方について，
http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/bousai/181113_9.html。
30. 日本農林水産省，2018，全国ため池緊急点検の結果について，
<http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/bousai/180906.html>。
31. 日本農林水産省，2019a，ため池ハザードマップポータルサイト，
http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/portall.html。
32. 日本農林水産省，2019b，防災重点ため池の再選定について，
<http://www.maff.go.jp/j/press/nousin/bousai/190611.html>。
33. 日本農林水産省，2019c，農業用ため池の管理及び保全に関する法律の運用について（令和元年7月1日付け元農振第872号農村振興局長通知），
http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/hourei_tameike-3.pdf。
34. 日本農林水産省，2019d，農業用ため池の管理及び保全に関する法律案に関するガイドライン（令和元年7月1日付け元農振第884号防災課長通知），
http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/attach/pdf/hourei_tameike-4.pdf。

35. 水野秀明、石塚忠範、小山内信智 (2011)，土砂災害防止法の改正に基づく緊急調査の手引き，土木技術資料，53-12。(Mizuno, H., Ishizuka, T., and Osanai, N. (2011). “Guide to emergency investigation based on the revision of the landslide disaster prevention act.” Civil engineering journal. 53-12. (in Japanese))
36. 行政院科技部 (2014)，災害領域行動方案 102-106 年。(Ministry of Science and Technology, ROC. (2014). “Action plan for disasters in 2013-2017, ROC.” (in Chinese))
37. 行政院農業委員會水土保持局，2017a，水土保持手冊。
38. 行政院農業委員會水土保持局，2017b，106 年度南部地區水土保持保育治理專案管理計畫，臺南分局。
39. 行政院農業委員會水土保持局，2017c，中苗地區重要水庫集水區農塘保水優化及農塘活化計畫，臺中分局。
40. 行政院農業委員會水土保持局，2017d，坡地滯洪保水空間之影響及改善。
41. 行政院農業委員會水土保持局，2017e，南高屏三縣市農塘調查及永續利用先期計畫
42. 行政院農業委員會水土保持局，2017f，結合農塘活化與綠水生態產業營造生態農村之研究。
43. 行政院農業委員會水土保持局，2018，107 年度山坡地滯洪保水空間區域性調查及設施規劃，臺北分局。
44. 行政院農業委員會水土保持局，2018，107 年度區域性水土資源及綠環境營造與農塘等蓄水滯洪設施先期規劃(臺南分局)，臺南分局。

45. 行政院農業委員會水土保持局，2018，107 年度區域性水土資源及綠環境營造與農塘等蓄水滯洪設施先期規劃，花蓮分局。
46. 行政院農業委員會水土保持局，2018，南部地區農塘調查及保育治理需求評估。
47. 吳宜昭、龔楚嫻、王安翔、于宜強 (2016)，台灣地區短延時強降雨事件氣候特性分析，國家災害防救科技中心災害防救電子報 (第 132 期)。(Wu, Y.C., Kung, C.Y., Wang, A.X., and Yu, Y.C. (2016). “Analysis of climatic characteristics of duration heavy rainfall events in Taiwan.” Online newspaper of National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR), 132. (in Chinese))
48. 国土交通省 (2018)，平成 30 年 7 月豪雨について，事業評価小委員会 (第 11 回)。(Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan. (2018). “Report about July, 2017 heavy rain.” Project Evaluation Subcommittee, 11th. (in Japanese))
49. 林松駿、梁偉立 (2018)，衛星影像判釋與現地探查天然林集水區新生崩塌地分布之比較：以 2015 年蘇迪勒颱風誘發崩塌為例，中華水土保持學報，49(1)，1-11。(Lin, S.J. and Liang, W.L. (2018). “Landslide distributions identified by satellite images and field investigations in a natural forested catchment: the case of landslides induced by typhoon Soudelor in 2015.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 49(1), 1-11 (2018). (in Chinese))
50. 林倩紋、卜小蝶 (2010)，「標籤雲在圖書館資訊服務之應用初探」，2010 海峽兩岸圖書資訊學學術研討會論文 B 輯。
51. 洪致文 (2012)，臺灣降雨指數(TRI)的建立與其分析應用，地理

- 學報(67)73-96。(Hung, C.W. (2012). “The construction of TCCIP Taiwan Rainfall Index (TRI) and its applications.” *Journal of Geographical Science*, (67)73-96. (in Chinese))
52. 范鈺燾、趙家民、葛晉澤 (2008)，秋颱侵襲台灣之路徑與降雨特性研究，台南科技大學通識教育學刊，(7)233-258。(Fan, Y.S., Chao, C.M., and Ger, J.Z. (2008). “A Study on the tracks and rainfall of the autumn typhoons invading Taiwan.” *Journal of General Education*, Tainan University of Technology, (7)233-258. (in Chinese))
53. 唐玉霜、黃葳芃、張保亮、陳嘉榮 (2016)，劇烈天氣監測系統 (QPESUMS)之防災應用，中央氣象局氣象衛星中心。(Tang, Y.S., Huang, W.P., Chang, P.L., and Chen, J.R. (2008). “Disaster prevention and application of Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors (QPESUMS).” Central Weather Bureau. (in Chinese))
54. 根馬 清志，2006，ため池改修における柔構造底樋の設計施工について，農業土木学会誌，Vol.74(4)，p. 341-342，<https://doi.org/10.11408/jjsidre1965.74.341>。
55. 涂建翊、陳俐盈、高端鞠、黃靖甯、朱熾儒、吳敏暉、林紋伊、張家華 (2011)，從時雨量看臺灣降雨強度的頻率變化，2011 年地球科學系統學術論壇論文集，113-117，中國文化大學理學院，台北，台灣。(Tu, J.Y., Chen, L.Y., Gao, D.J., Huang, C.N., Zhu, Y.R., Wu, M.W., Lin, W.Y., and Chang, J.H. (2011). “Evaluating the frequency change of Taiwan's rainfall intensity from the hourly

- rainfall.” *Proceedings of the Earth Science System Academic Forum*, 113-117, College of Science, Chinese Culture University, Taipei, Taiwan. (in Chinese))
56. 財團法人中興工程顧問社 (2010)，八八水災災害調查成果與復健工程建議，財團法人中興工程顧問社/中興工程顧問股份有限公司編印，台北，台灣。(Sinotech Engineering Consultants, INC. (2010). “*Investigation results and rehabilitation project suggestions of Typhoon-Morakot-caused flood.*” Sinotech Engineering Consultants, INC, and Sinotech Engineering Consultants, LTD, Taipei, Taiwan. (in Chinese))
57. 國家災害防救科技中心 (2019)，2018 天然災害紀實，國家災害防救科技中心編印，台北，台灣。(National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) (2019). “*Natural Disaster Yearbook, 2018.*” National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR), Taipei, Taiwan. (in Chinese))
58. 國家災害防救科技中心(2015)，台灣極端降雨事件－1992-2013 年重要事件彙整，台北，台灣。(National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) (2013). “*The Rank of Extreme Rainfall Events over Taiwan, 2018.*” National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR), Taipei, Taiwan. (in Chinese))
59. 張志新、王俞婷、傅鏗漩、林又青、張駿暉、劉哲欣、呂喬茵、吳啟瑞、蘇元風 (2015)，「2015 年蘇迪勒颱風災害調查彙整報告」，國家災害防救科技中心。(Chang, C.S., Wang, Y.T., Fu, H.S.,

- Lin, Y.C., Chang, J.H., Liu, C.S., Lu, C.Y., Wu, C.R., and Su, Y.F. (2015). “*The aggregate report of the disaster caused by typhoon SOUDELOR in 2015.*” National science and technology center for disaster reduction. (in Chinese))
60. 張保亮 (2011), 「QPESUMS 產品應用介紹」, 氣象防災應用資訊研討會。(Chang, P.L. (2011). “Introduction of QPESUMS.” Central Weather Bureau (CWB). (in Chinese))
61. 清水武志、内田太郎、山越隆雄、石塚忠範 (2012), 天然ダムによる土石流想定範囲計算システム (QUAD-L) の開発と 2011 年台風 12 号災害における適用, 土木技術資料, 54-10。(Shimizu, T., Uchida, T., Yamakoshi, T., and Ishizuka, T. (2012). “Development of computer application for estimating debris flow prone area induced by landslide dam overtopping, and its application to landslide dams created by Typhoon Tales in 2011.” Civil engineering journal. 54-10. (in Japanese))
62. 陳怡良 (2009), 民國 98 年颱風調查報告—第 8 號莫拉克(Morakot) 颱風(0908), 中央氣象局, 台北, 台灣。(Chen, Y.L. (2009). “Typhoon Investigation Report of the Republic of China in 2009 - No. 8 Morakot Typhoon (0908).” Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan. (in Chinese))
63. 陳昆廷、臧運忠、郭玉樹、呂明鴻、謝正倫 (2010), 莫拉克颱風引致堰塞湖之案例分析, 中華防災學刊, 2(1), 43-50。(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))
64. 陳俞旭 (2008)，地震對崩塌與土石流發生影響之研究，國立成功大學水利及海洋工程學系博士論文。(Chen, Y.S. (2008). “An Influence of Earthquake on the Occurrence of Landslide and Debris Flow.” Department of Hydraulic and Ocean Engineering, doctoral dissertation. (in Chinese))
65. 陳振宇 (2013)，以雨量為基礎之土砂災害警戒系統成效評估——以台灣及日本為例，水土保持學報，44(1)，50-64。(Chen, C.Y. (2013). ” Evaluation of rainfall-based sediment disaster warning systems: case studies in Taiwan and Japan.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 44(1), 50-64. (in Chinese))
66. 陳振宇、陳均維、陳國威、林詠喬(2019)，「坡地降雨致災熱區警戒模式」，中華水土保持學報，50(1)，pp.1-10。(Chen, C.Y., Chen, J.W., Chen, K.W., Lin, Y.C. (2019). “Warning Model for Predicting the Risk Zones of Rainfall-Induced Slopeland Disasters.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 50(1), 1-10. (in Chinese))
67. 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。(Chen, C.Y., Liou, W.Z., and Hsu, C.H. (2017). “A rainfall-based warning model for predicting landslides using qpesums rainfall data.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 48(1), 44-55. (in Chinese))

68. 陳樹群、許中立(2009)，莫拉克颱風形成之堰塞湖及危險度評估，地工技術，第 122 期，pp. 79-88。(Chen, S.C., and Hsu, C.L (2009). “Landslide dams induced by typhoon morakot and its risk assessment” Sino-geotechnics, 122, pp. 79-88. (in Chinese))
69. 黃碧慧 (2017)，QPE 於颱風事件的估計差異與空間之關聯性分析，期末報告，行政院農業委員會水土保持局編印。(Huang, P.H. (2017). “An analysis of the correlation between the estimated difference of QPE and space in the typhoon events.” inal report, Soil and Water Conservation Bureau, Nantou, Taiwan. (in Chinese))
70. 楊明德、徐瑞宏 (2013)，應用雷達雨量於陳有蘭溪流域之疏散避難預警，環境工程會刊。(Yang, M.T., and Hsu, R.H. (2013). “Application of QPESUMS to warning and evacuation in Chen-yulan Creek Basin.” *Environmental Engineering Journal*. (in Chinese))
71. 詹錢登、王志賢 (2016)，105 年土石流警戒基準值檢討與更新，期末報告，行政院農業委員會水土保持局編印。(Jan, C.D., and Wang, C.H. (2016). “The modification and review of the debris-flow warning criteria.” final report, Soil and Water Conservation Bureau, Nantou, Taiwan. (in Chinese))
72. 詹錢登、王志賢 (2017)，降雨誘發土砂災害警戒機制之研究，成果報告，水土保持局編印。(Jan, C.D., and Wang, C.H. (2017). “Study on warning system of rainfall-induced sediment disaster.” results report, Soil and Water Conservation Bureau, Nantou, Taiwan. (in Chinese))
73. 農林水產局，2019e，ため池の整備・廃止・管理等に関する方針，

日 本 廣 島 縣 。

<https://www.pref.hiroshima.lg.jp/uploaded/attachment/347867.pdf> 。

74. 劉格非、魏士超、鄺寶成 (2013)，累積雨量對土石流影響範圍評估之影響，中華水土保持學報，44(3)，225-233。(Liu, K.F., Wei, S.C., and Li, P.C. (2013). “The influence of accumulated precipitation on debris flow hazard.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 44(3), 225-233. (in Chinese))
75. 蔡甫甸 (2015)，民國 101 年颱風調查報告，中央氣象局，32-59，台北，台灣。(Tsai, F.D. (2015). “Report Typhoons in 2012”，Central Weather Bureau, 32-59, Taipei, Taiwan. (in Chinese))
76. 盧孟明、陳佳正、林昀靜 (2007)，1951-2005 年台灣極端降雨事件發生頻率之變化，大氣科學，35(2)，87-103。(Lu, M.M., Chen, C.J., and Lin, Y.C. (2007). “Long-term variations of the occurrence frequency of extreme rainfall events during the period of 1951-2005.” *Atmospheric Sciences*, 35(2), 87-103. (in Chinese))
77. 賴桂文 (2016)，HEC-RAS 水理模式 2D 模組介紹及應用，臺灣省水利技師公會會訊，第 19 期，1-17。(Lai, K.W. (2016). “Introduction and application of HEC-RAS water mode 2D module.” Taiwan Association of Hydraulic Engineer, 19, 1-17.(in Chinese))
78. 戴義欽、詹錢登 (2016)，集水區大規模土砂災害風險辨識與耐受力盤查（成果報告書，計劃編號：SWCB-105-085）。南投，行政院農委會水土保持局。(Tai, Y.C., and Jan, C.D. (2016). “Risk identification and tolerability investigation of large-scale sediment-related disasters in watershed.” results report, no.: SWCB-105-085,

- Soil and Water Conservation Bureau, Nantou, Taiwan. (in Chinese))
79. 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，第 28 卷，第四期，66-67 頁。(Shieh, C.L. (2009). “The landslide dam caused by Typhoon Morakot.” 28, 4, 66-67.(in Chinese))
80. 謝邦昌、宋龍華、李紹綸 (2017)，「大數據分析 SQL Server 2016 與 R 全方位應用」，基峰資訊股份有限公司。
81. 羅雅尹 (2016)，民國 104 年颱風調查報告－第 13 號蘇迪勒 (Soudelor) 颱風(1513)，氣象學報，53(1)，61-84。(Luo, Y.Y. (2016). “Report on Typhoon 1513 (Soudelor) of 2015.” Meteorological Bulletin, 53(1), 61-84. (in Chinese))
82. 龔楚嫻、顏葆琳、李宗融、吳宜昭、于宜強 (2015)，「《台灣極端降雨事件：1992-2013 年重要事件彙整》專書導讀」，國家災害防救科技中心氣象組，第 120 期。(Kung, C.Y., Yen, P.L., Lee, T.J., Wu, Y.C., and Yu, Y.C. (2015). “Guild book of "Taiwan's Extreme Rainfall: A Summary of Important Events in 1992-2013".” National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR). (in Chinese))

附錄一 政府資料開放作業相關資料

一、資料開放相關指導文件

(一) 行政院及所屬各級機關政府資料開放作業原則

說明：為推動行政院及所屬各級機關政府資料開放，結合民間資源及創意，達成施政便民及公開透明之目的，特訂定本原則。

文號：102 年 2 月 23 日院授研訊字第 1022460185 號函

106 年 10 月 24 日院授發資字第 1061502736 號函修訂

108 年 1 月 17 日院授發資字第 1081500073 號函修訂

(二) 政府資料開放優質標章暨深化應用獎勵措施

說明：有鑒於各機關對推動資料開放觀念逐步成熟，為強化與永續發展政府資料開放，並提升政府資料品質及其加值應用效益，爰規劃藉由標章認證及民眾參與機制，鼓勵各機關優化資料開放作業，期能促使各機關提供高品質、便於民眾利用之資料集，並善用資料輔助施政，以促進整體正向激勵作用，強化公共事務推動成效。

文號：106 年 8 月 29 日 院授發資字第 1061502362 號函

(三) 政府資料開放資料集管理要項

說明：為利行政院及所屬各級機關辦理政府資料開放資料集管理，特訂定本要項。

文號：中華民國 102 年 3 月 1 日會訊字第 1022460186 號函訂定
中華民國 104 年 8 月 27 日發資字第 1041501052 號函部分修訂

(四) 行政院農業委員會水土保持局資訊推動小組設置要點

說明：行政院農業委員會水土保持局為精進本局資訊業務需要，促進水土保持及農村再生業務發展，提升行政效率，特設置「資訊推動小組」。

文號：105 年 1 月 21 日水保企字 1051862150 號函

二、資料5顆星評等

英國學者提姆·柏納-李(Tim Berners-Lee)為鼓勵政府推動開放資料，於 2010 年提出 5 顆星評等建議，每一星等在授權利用基礎下，均為開放資料，詳細資料如表 1 所示。

表 1 資料 5 顆星評等說明

星等	說明	格式範例
1 星	資料公開上網，格式不拘，開放授權	PDF、JPG、DOC
2 星	提供結構化的資料	Excel
3 星	使用非專屬的資料格式	CSV、XML、JSON
4 星	使用 URI 來標定資料，讓人/機器可以直接標示/存取/運用資料集裡的每一個單筆資料	RDF、SPARQL
5 星	將資料與其他資料進行連結，建立/提供脈絡	

附錄二 研究成果發表

社團法人中華水土保持學會 108 年度年會議程



社團法人中華水土保持學會 108 年度年會議程

時間： 108 年 11 月 30 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周理事長天穎			
09:40-10:10	108 年度褒獎活動頒獎	周理事長天穎			
10:10-10:20	會務報告與討論	許常務監事中立			
10:20-10:40	茶敘/交流				
10:40-11:10	邀請演講：水利署賴建信署長 演講題目：Be Better, Together	周理事長天穎			
11:10-11:30	學術獎得獎人演講：中興水保系詹勳全教授 演講題目：上拱型固床工水流與冲刷之型態	林系主任德貴			
11:30-11:50	事業獎得獎人演講：水保局南投分局陳榮俊分局長 演講題目：民安居為本，農樂業為先	李局長鎮洋			
11:50-13:20	午餐				
13:20-14:50	水土保持研討會(含 108 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 林德貴 教授	屏東科技大學 水土保持系 陳天健 主任	中興大學水土 保持學系 林昭遠 教授	臺北市水土保 持技師公會 魏迺雄理事長	李明焄 副教授 莊永忠 副教授 吳俊毅 助理教授 洪啟耀 助理教授
14:50-15:10	茶敘/交流				
15:10-16:40	論文宣讀(五) 水土保持學系 一館一樓 階梯教室	論文宣讀(六) 水土保持學系 二館一樓 大二教室	論文宣讀(七) 水土保持學系 二館一樓 大三教室	論文宣讀(八) 水土保持學系 土石流防災中 心	
	中興大學水土 保持學系 張光宗 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	臺灣省水土保 持技師公會 陳智誠理事長	臺中市水土保 持技師公會 李國正理事長	
16:40-16:50	摸彩				王監事德鑑、黃技師志彰
16:50-17:00	閉幕式				許常務監事中立

以坡地降雨致災熱區警戒模式建立村里警戒發布機制

林恩如^{[1][2]*} 陳振宇^[1] 陳均維^[1] 詹婉妤^[1]

摘要 儘管許多坡地災害警戒模式發展時，為強化災害預警的空間解析度，常採用如 QPE 網格或斜坡單元作為警戒發布單元，並以之作為模式驗證的依據。惟防災實務上，考量警戒通報與人員疏散避難實際作業之可行性，國內外對於警戒發布仍多以村里或鄉鎮等行政區作為警戒發布單元。坡地降雨致災熱區警戒模式係整合 QPE 雷達降雨網格資料所建立之降雨危害度指標(H_R)，以及各網格範圍內歷年新增崩塌地發生頻率與規模所建立的地文脆弱度指標(F_P)，並以矩陣方式據以提出的坡地降雨致災風險等級(R_h)。本研究將以該模式為基礎，嘗試採用二種門檻值設定方式，分別建立以村里為發布單元的警戒機制，並以 2008~2010 年高雄市六龜區降雨事件為案例，與現行土石流警戒模式進行比較。結果顯示，本研究以坡地降雨致災熱區警戒模式為基礎所設定的村里警戒發布門檻值，將能有效降低警戒誤報率，亦能於災害發生前及時發布該村里之警戒。

關鍵詞：崩塌、降雨致災風險矩陣、颱風、警戒模式、土石流警戒

The Village-unit-based Warning Model for Predicting the Risk Zones of Rainfall-induced Slopeland Disaster

En-Ju Lin^{[1][2]*} Chen-Yu Chen^[1] Jyun-Wei Chen^[1] Wan-Yu Chan^[1]

ABSTRACT To improve the spatial precision and the accuracy of landslide disaster warning system, usually, the spatial unit of the warning model is based on the QPE grid or slope unit. But those results of methods don't correspond with the village-unit-based or administrative-region-based warning from government. This study aims to establish a warning model for predicting the risk zones of rainfall-induced slopeland disaster. We integrate the definition of rainfall-hazard index (H_R) based on frequency and size of new-landslide inventory during numerous years and the physiographic fragility index (F_P) based on the QPESUMS data into the risk level of rainfall hazard (R_h) index. Then, we use two statistic methods to find out the village-unit-based or administrative-region-based warning thresholds. The result shows that, during the Kalmaegi, Morak and Fanapi typhoon events between 2008 and 2010, the village-unit-based or administrative-region-based warning model based on R_h index and thresholds finds out the real time warning before the disaster happened in Liugui County. In addition, the model improves the accuracy of warning system and fits the real landslide events better than the current warning model.

Key Words: Landslide, Risk level of rainfall hazard, typhoon, warning system, debris flow warning

[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 : brtd123@mail.swcb.gov.tw



1. 結論

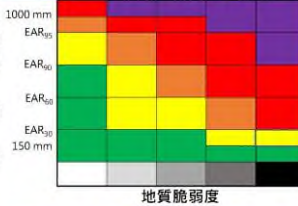
本研究考量警戒通報與人員疏散避難實際作業之可行性，以村里或鄉鎮等行政區作為警戒發布單元、降雨危害度指標(Hr)為指標，並採用三種門檻值設定方式，分別建立以村里為發布單元的警戒機制，並以2008~2016年高雄市六龜區降雨事件為案例，與現行土石流警戒模式進行比較。

2. 村里警戒發布機制之建立

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、中高風險、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。



門檻值訂定

- 方法一：尚未考慮保全對象(P為0)
 - 方法二：考慮保全對象(境內若含保全對象P=1;反之，P=0)
 - 方法三：任一具保全對象網格或半數不含保全對象網格達中高風險及發布警戒
- $$R_j = \frac{\sum_{i=1}^N (W_{ij} + P)}{N}$$
- R: 村里災害風險值;
 N: 網格數量;
 I: 風險警戒值;
 j: 村里;
 P: 布林值(境內含保全對象與否)

3. 結果比較-2008至2016間發生重大災例之五場致災事件

EAR: Effective Accumulated Rainfall ★: 重大災例發生時間



重大災例發生時間與警界模式之比較

災害時間	致災事件	發布時間	警界模式	方法一	方法二	方法三
20080716	卡戎基颱風	寶來里	-1	-2	-1	-1
		中興里	-2	MSS	MSS	-1
		寶來里	-2	0	0	2
		大津里	10	-2	-2	4
20090805	莫拉克颱風	興隆里	15	10	17	22
		六龜里	MSS	1	7	8
		中興里	21	12	15	17
		新發里	21	19	22	28
		大津里	13	MSS	MSS	-1
20100917	凡那比	文武里	16	MSS	-4	7
		荖寮里	MSS	MSS	1	2
20120610	0610豪雨	新發里	3	-4	0	0
		興隆里	1	-6	-2	-6
20160926	梅姬颱風	荖寮里	-1	-5	-1	1
		平均早報(Hr)	12.5	10.5	12.4	10.1
		平均晚報(Hr)	-1.5	-3.8	-2.0	-2.3
		漏報(次數)	2	4	2	0
		平均過估(村里/事件)	5.6	2.9	3.8	5.0
		平均準確(村里/事件)	3.3	5.8	5.1	4.0

4. 結論與討論

本研究蒐集六龜區共12場降雨事件(5場事件發生重大災例)，在時間準確度上(災害發生時間與警報發布時間差)，方法二之平均早報與晚報時間與現行紅黃土石流警報相當；事件準確度上(有/無發布警報且有/無發生重大災例)，方法一與二之準確率大幅上升，其主要貢獻來自於過估數量之減少。又，方法三受



本研究訂定之保全對象之定義(人工建物)分布廣泛，故容易有過估現象。此外，地質脆弱度越高之村里其過估現象相對顯著，未來應針對事件型崩塌目錄以客觀評估過估程度之現象。



南投縣仁和村土石流災害事件及流動影響區模擬

林家興^{[1][2]*} 吳振佑^[1] 陳均維^[1] 陳振宇^[1]

摘 要 2019 年 8 月 15 號由於受到連續多日降雨，造成名間鄉仁和村山腳巷聚落受到土石流沖擊，造成 5 處民宅受到土石沖擊受損，現場土石堆積量體預估約 4 萬 5 千立方米。本研究應用 iRIC 土石流二維模擬模式，進行名間鄉仁和村土石流災害模擬，藉由土石流災前之數值地形模型作為模式計算起始地形資料，搭配災後現場調查資料及無人機載具之航照資料以作為模式分析成果驗證之用。土石流模擬模式可提供土石流影響範圍、流動速度、堆積深度等估算成果，作為土石流防救災單位未來執行相關防災、減災與避難疏散計畫參考。

關鍵詞：土石流災害、影響範圍、二維數值模式

Simulation of Debris Flow Disaster and Influence Zone in Renhe Village, Nantou County

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

ABSTRACT On 15 Aug, 2019, a debris flow occurred and rush into downstream village in Nantou County and caused 5 residential were damaged and the in situ survey showed that the deposited sediment was estimated 45,000 m³. A debris flow model based on the constitutive equation derived from energy conservation and is suitable for debris flow and sediment laden flow was applied. To analyze the debris flow disaster and influence zone, this study uses the digital elevation model (DEM) prior to the event was set as initial topographic data and field investigation data and the posterior DEM was produced by UAV aerial-photo to verified the simulation result. The numerical model can provide the estimated characteristics of debris flow hazard zone, flow velocity, and deposition depth. The simulated result can providing public agencies with necessary information for disaster prevention, mitigation, and evacuation plan.

Key Words: Debris flow disaster, Influence zone, Two-dimensional numerical model

[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 Policy Research Center, Agricultural Technology Research Institute, Taiwan

* Corresponding Author. E-mail: lin0710@mail.swcb.gov.tw



1. 緒論

2019年8月15號由於受到連續多日降雨，造成名間鄉仁和村山脚巷聚落受到土石流沖擊，造成5處民宅受到土石沖擊受損，現場土石堆積量預估約4萬5千立方米。本研究應用土石流二維模擬模式，進行名間鄉仁和村土石流災害模擬，藉由土石流災前之數值地形模型作為模式計算起始地形資料，搭配災後現場調查資料及無人機載具之航照資料以作為模式分析成果驗證之用。土石流模擬模式可提供土石流影響範圍、流動速度、堆積深度等估算成果，作為土石流防救災單位未來執行相關防災、減災與避難疏散計畫參考。

2. 材料與方法

2.1 研究流程

土石流二維模擬模式之研究流程圖(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逕流資料，作為模式上游邊界入流條件。藉由情境設定，考慮不同參數組合進行流動區模擬，其流量影響之分析結果。



圖1 研究流程圖



圖2 名間雨量站 2019/08/15至2019/08/17資料

研究區域：南投縣名間鄉仁和村山脚巷，在番子寮溪上游邊坡發生崩塌，崩塌面積約3公頃，長約560公尺，寬約70公尺，土砂量約45,000立方公尺，上游集水區面積約7公頃，土石流潛勢溪流長度約407公尺(圖3及圖4)。

災損資料：房屋受損5戶，橋樑受損2座，道路損壞約100公尺(圖5)。根據中央氣象局名間雨量站記錄，總累積降雨量從2019年8月14日晚上12點到2019年8月17日晚上12點為316.5 mm，其尖峰降雨強度為34.5 mm/hr(圖4)。

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3 集水區及崩塌位置圖



圖4 土石流潛勢溪流影響區圖



圖5 災害現況照片(水保局南投分局)

3. 成果

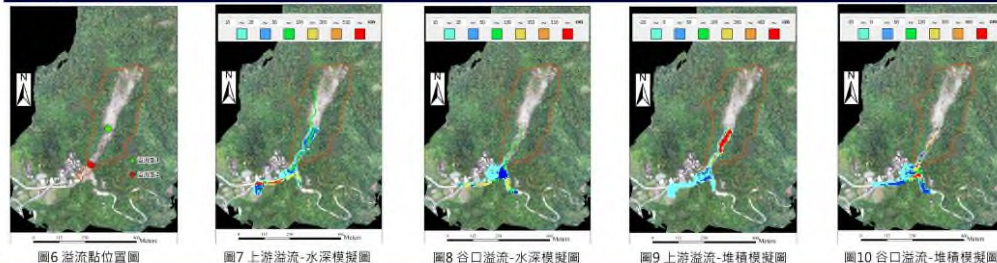


圖6 溢流點位置圖

圖7 上游溢流-水深模擬圖

圖8 谷口溢流-水深模擬圖

圖9 上游溢流-堆積模擬圖

圖10 谷口溢流-堆積模擬圖

4. 結論

1. 依據土石流潛勢溪流集水區及影響範圍資料，當溢流發生於溢流點1時，其模擬流動水深約20至50公分(圖7)。
2. 當潛勢溪流谷口處設置為溢流點時(溢流點2)，其模擬流動水體集中於下方聚落，流動水深約0.5至3公尺(圖8)。
3. 在仁和村土石流模擬分析，當溢流發生於溢流點1時，其堆積土體高度約5公尺，在聚落處土石堆積高度約0.5公尺(圖9)。
4. 當溢流口設置於下游谷口處(溢流點2)，則土石大都堆積於谷口處附近民宅，堆積土體高度約0.5至5公尺之間(圖10)。

堰塞湖潰壩災害情境模擬-以新竹梅花大規模崩塌潛勢區為例

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

摘 要 在全球氣候變遷的影響下，許多地區面臨大規模崩塌災害的潛在威脅，水土保持局為降低大規模崩塌災害風險，已選定 34 處具保全對象之大規模崩塌潛勢區優先進行初步評估與防減災工作規劃。依據堰塞湖應變作業手冊，當大規模崩塌影響範圍涵蓋河道，崩塌土體抵達河道對岸且最小堆積高度大於溪谷水深時，恐將形成堰塞湖；因此如何快速評估堰塞湖潰決後的二次災害衝擊與影響，係為防災工作上的重要課題。本研究以新竹梅花-D052 大規模崩塌潛勢區域為例，設定該地區發生堰塞湖之情境，透過 HEC-RAS 水理模式之二維洪水演算模組，模擬崩塌可能的壩高情境下，堰塞湖潰決時所產生之洪水深度、洪水抵達時間、洪水影響範圍等，俾協助防災單位未來研擬緊急災害應變計畫參考。

關鍵詞：堰塞湖潰壩、影響範圍、HEC-RAS、大規模崩塌。

The Landslide Dam Breach Simulation - A Case Study of the Meihua Potential Large-Scale Landslide in Hsinchu County

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

ABSTRACT Facing threatens of large-scale landslide disasters is widely concerned in Taiwan when global climate change. In order to decrease the risks of large-scale landslide disasters, Soil and Water Conservation Bureau keeps committed in preliminary large-scale landslide investigation and disaster prevention, including 34 high-risk potential large-scale landslide areas have been proposed. According to the landslide dam standard operating procedures, the large-scale landslide covered the river, landslide soil reaches opposite bank, and the minimum accumulated height is greater than the water depth, the landslide dam is formed. Therefore, how to assess the impacts of second disaster after a landslide dam breach is an important issue in disaster response works. This study choose a high-risk potential large-scale landslide areas, Meihua-D052 in Hsinchu County, for a case study of landslide dam breach. Using free two-dimensional flood routing model of HEC-RAS model, this study simulates the process of dam breach and analyzes the characteristics of flooding wave, such as the flow depth, flooding arrival time, and inundation area by the preliminary assessment of landslide dam possible height. Based on the results, the local government can not only set early-warning criterion but also decide emergency evacuation plan for reference.

Key Words: Landslide dam breach, Impact areas, HEC-RAS, Large-scale landslide.

[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農業政策研究中心

Agricultural Policy Research Center Research Assistant, Agricultural Technology Research Institute, Taiwan.

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



苗栗縣大安部落土石流災害潛勢災害模擬

林宥伯^{[1][2]*}、林家興^{[1][2]}、吳振佑^[1]、陳振宇^[1]

摘要：2019 年 6 月苗栗縣泰安鄉大安部落土石流潛勢溪流(苗縣 DF075)集水區上游坡面發生崩塌，崩塌後續是否衍生土石流等二次災害及其影響範圍與風險極需快速評估。本研究利用土石流二維數值模式，配合不同設計降雨事件與現地調查結果，進行土石流流動區與堆積區範圍模擬，並探討後續聚落遭受土石流影響之風險。數值模擬使用之參數，利用合理化公式及三角單位歷線，作為模式之入流歷線，配合現場調查成果提供模式之土砂入流濃度歷線，最後探討土石流潛勢溪流溢流點之位置與其影響範圍，其結果可提供相關單位做避難疏散規劃之參考。

關鍵字：土石流潛勢溪流、數值模擬、HyperKANAKO model

Numerical Simulation of Debris Flow Potential Disaster

In Da'an Tribe, Miaoli County

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

ABSTRACT : On June 2019, the landslide occurred and sediment deposited in the upstream of debris flow potential creek in Da'an tribe, Miaoli County (No. DF075, Miaoli County). The safety and risk assessment of debris flow disaster and sediment-related disaster influence area is needed. In this study, the two-dimensional numerical model of debris flow was applied to simulate the debris flow influence zone and deposition area and damage assessment was discussed. The numerical boundary condition was set as input discharge hydrography which was using rational equation cooperated with triangular unit discharge to obtain. The sediment concentration hydrograph was obtain from field investigation data. The simulation result of debris flow overflow location and influence zone can provide public agencies for evacuation and mitigation plan.

Key words: Debris flow potential creek, Numerical simulation, HyperKANAKO model

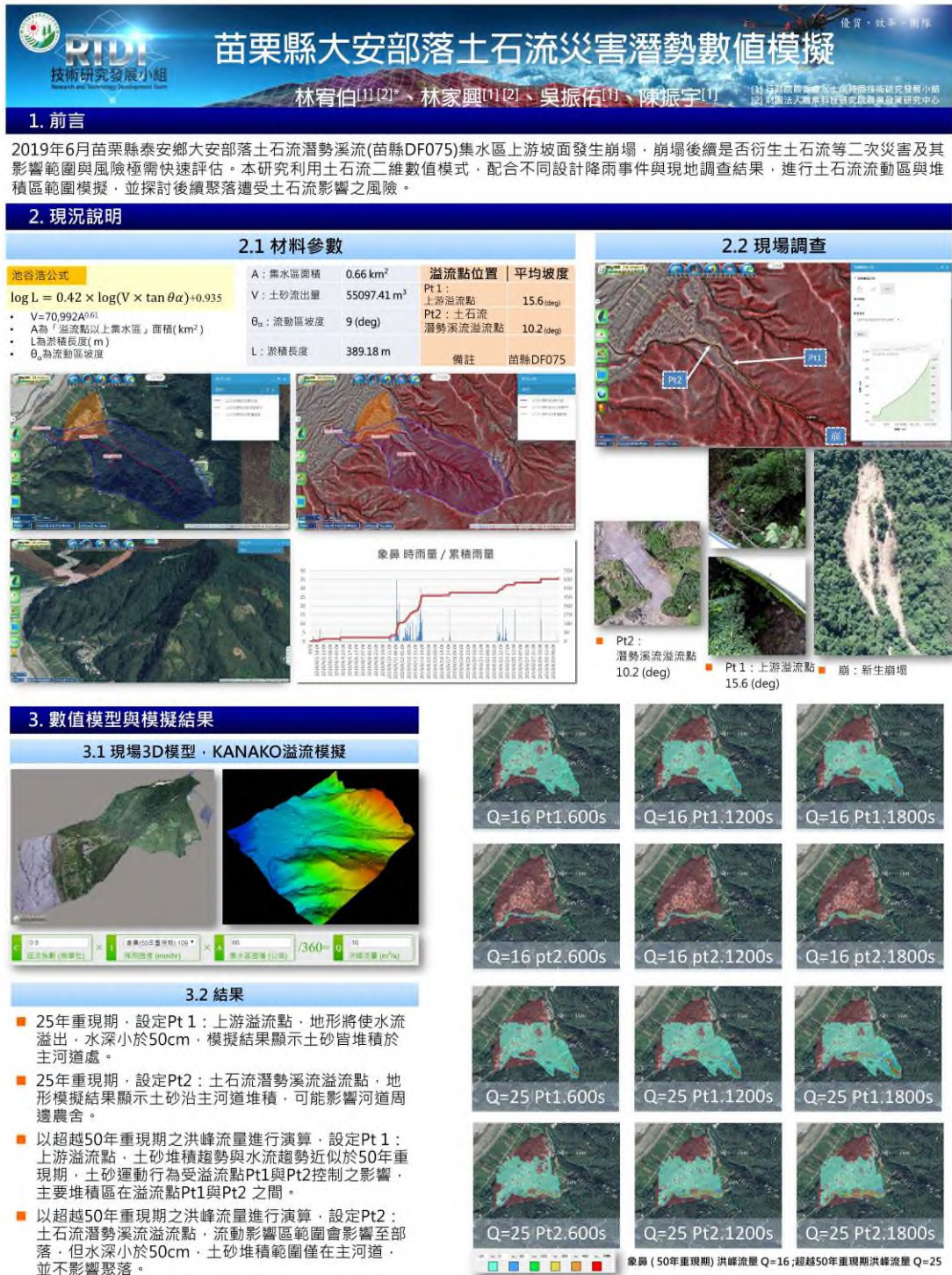
[1] 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Nantou 540, Taiwan

[2] 財團法人農業科技研究院農業政策研究中心

Agricultural Policy Research Center Research Assistant, Agricultural Technology Research Institute, Hsinchu 300, Taiwan.

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



以視覺化整合式降雨入滲崩塌模式(IRIS)模擬邊坡受降雨入滲作用之影響 – 以南投縣民間鄉仁和村崩塌為例

陳均維^[1] 陳振宇^{[1]*} 林宥伯^{[1][2]} 吳振佑^[1]

摘 要 2019 年 0815 豪雨於南投縣民間鄉土石流潛勢溪流-投縣 DF126 上游造成崩塌，後續並引發土石流，造成下游至少 5 戶民宅受損及 2 座橋梁毀損。本研究以此事件為例，採用視覺化之整合式降雨入滲崩塌模式(Integrated Rainfall-Infiltration-Slope stability model, IRIS model)模擬降雨入滲作用下，該土石流潛勢溪流上游之邊坡穩定分析。該模式之降雨入滲過程中土層含水量變化係採用三維 Richard's 方程式配合有限元素法模擬，而其邊坡穩定分析則利用簡易 Janbu 切片法進行模擬。而後，利用動態規劃法結合變分法自動找出臨界滑動面，並以視覺化方式動態呈現降雨入滲過程中土壤含水量變化與臨界滑動面之關聯性。依結果顯示，此模式可有效模擬並展示在降雨事件情境下，崩塌發生時間、規模及其含水量變化。

關鍵詞：降雨入滲、邊坡穩定分析、視覺化、整合式降雨入滲崩塌模式。

Use Visualized Integrated Rainfall-Infiltration-Slop Stability (IRIS) Model to simulate Slope Stability subject to Rainfall Infiltration – A Case Study of Renhe Landslide in Nantou

Jyun-Wei Chen^[1] Chen-Yu Chen^{[1]*} Yu-Po Lin^{[1][2]} Chen-Yu Wu^[1]

ABSTRACT An intense landslide disaster at Renhe village, Nantou, Taiwan which resulted in great damage to the houses and bridges was triggered by 0815 torrential rainfall in 2019. This landslide was occurred at the top of the potential debris flow torrent DF126, and induced the debris flow after a while. A visualized integrated rainfall-infiltration-slop stability (IRIS) model was selected to simulate Renhe landslide. In this numerical model, simulation of slope stability is divided into three parts. In first step, 3D Richard's equation is selected to evaluate the variation of water content. Moreover, the finite-element method is chosen to solve the process of rainfall-infiltration. Secondly, the concept of limit equilibrium using Janbu's simplified method is utilized for slope stability analysis. Further, the critical slip surface is determined by dynamic programming method. Afterward, the correlation between variation of the water content and critical slip surface subject to rainfall infiltration are visualized in animation. The results indicate that landslide occurrence time, failure slip surface and the variation of water content can be effectively simulated by IRIS model.

Key Words: Rainfall infiltration, slope stability analysis, visualization, integrated rainfall-infiltration-slope stability model (IRIS).

[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 : jwchen0217@mail.swcb.gov.tw



臺灣近年治山防災構造物概況與變遷趨勢初探

林詠喬^{[1][2]} 陳振宇^{[1]*} 陳均維^[1] 陳國威^[1]

摘 要 臺灣特殊的地理環境與豪雨事件造成土砂災害頻仍，治山防災構造物在土砂災害的工程管理與保育治理方面扮演不可或缺的角色。本研究蒐集 2014 年以來全台治山防災構造物狀態盤點共 3549 處調查成果，包含固床工 2684 座，非透過性壩 686 座及透過性壩 179 座，分析其現地情形與分布，探討全台治山防災構造物工法變遷趨勢、毀損狀態及補強措施，以期提供未來防災措施與研究參考。

關鍵詞：治山防災構造物。

The preliminary study on the general situation and trend of Taiwan's structures of watershed management and erosion control

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

ABSTRACT The sediment-related disasters were frequency in Taiwan because of special geography environments and torrential rainfall. The constructions of watershed management and erosion control played an indispensable role in management and conservation of soil sand disasters. This study collected 3,549 survey results of structures watershed management and erosion control since 2014, including 2,684 ground sill works, 686 non-permeability dams and 179 permeable dams. Then, the different methods and trend of disaster prevention structures were analyzed. The methods, damage state and the reinforcement measures are expected to provide future disaster prevention measures and research references.

Key Words: structures of watershed management and erosion control

[9]

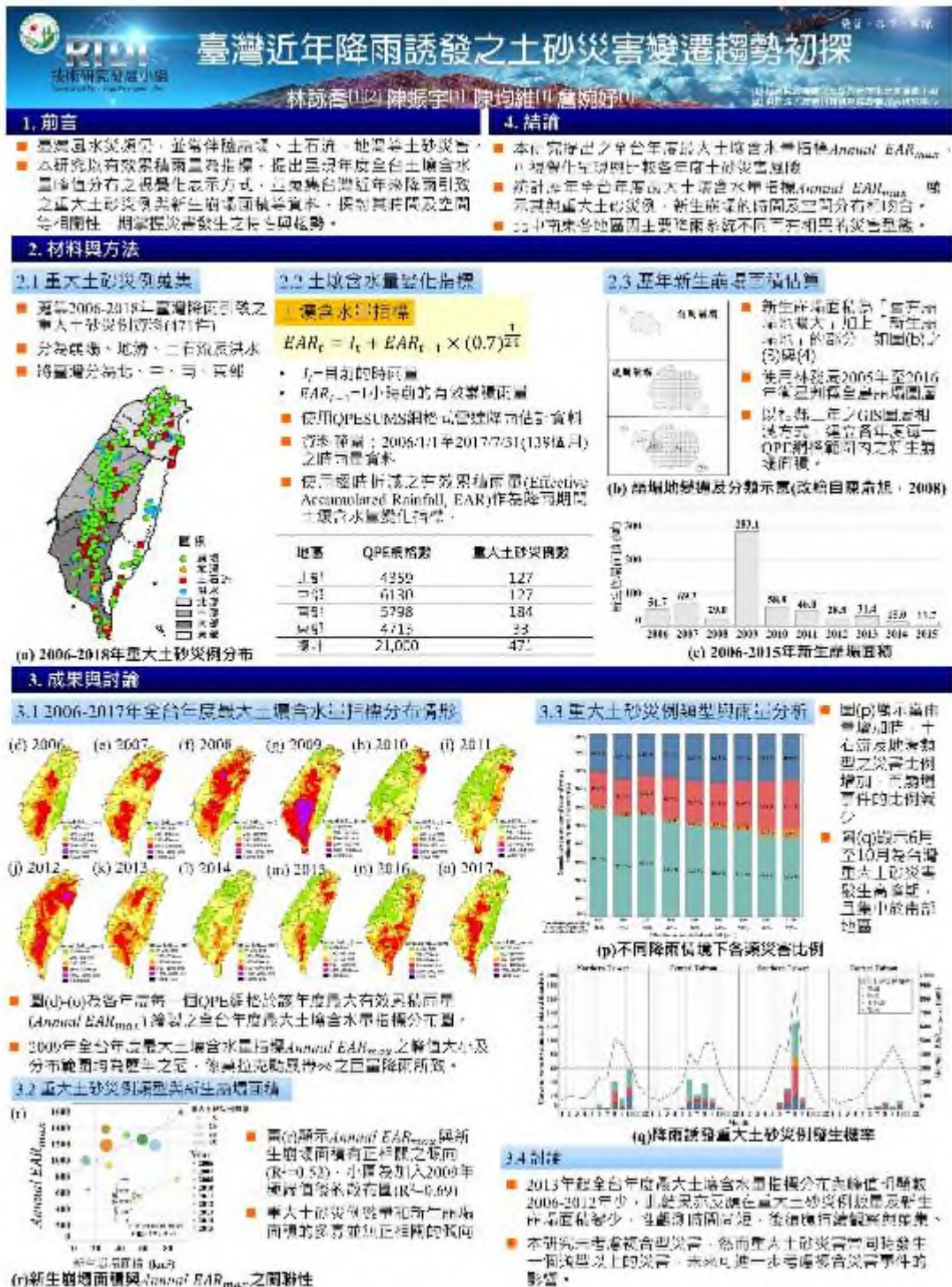
行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組 (* 通訊作者)

者 E-mail: cychen@mail.swcb.gov.tw)

Assistant Researcher, Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Nantou 540, Taiwan.

[10] 財團法人農業科技研究院農業政策中心

Assistant Engineer, Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Nantou 540, Taiwan.



坡地降雨致災熱區警戒模式

陳振宇^{[1]*} 陳均維^[1] 陳國威^[1] 林詠喬^{[1][2]}

摘 要 儘管降雨誘發的坡地災害與該地區之地質、地形、植生等條件有關，但多數警戒模式僅針對降雨指標進行量化。例如，現行國內的 RTI 土石流警戒雨量模式及日本的 RBFN 土砂災害雨量警戒模式，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，但仍未有一套明確的量化評估方式可表達各地區之地文脆弱度。本研究採用 QPESUMS 雷達降雨網格資料之歷史相對雨量值，以及各網格範圍內歷年新增崩塌地之發生頻率及規模，提出降雨危害度指標 (H_R) 與地文脆弱度指標 (F_P)，並以此二指標建立颱風豪雨期間各 QPE 網格內之坡地降雨致災風險等級 (R_k)。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，並以視覺化方式展示可能的坡地降雨致災熱區。

關鍵詞：災害、脆弱度、危害度、崩塌、預警系統

Warning Model for Predicting the Risk Zones of Rainfall-Induced Slopeland Disasters

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

ABSTRACT Slopeland disasters triggered by rainfall are related to geology, topography, and vegetation conditions; however, most warning models are only quantified for rainfall indicators. For example, although the current debris flow warning model in Taiwan and the sediment-related disaster warning model in Japan employ different critical lines, indicating the differences in the geology and terrain of the two regions, these models do not comprise a defined set of quantitative assessment methods for expressing the physiographic fragility of each region. In this study, we used historical relative rainfall data from QPESUMS to define a rainfall hazard index (H_R) and adopted the frequency and scale of new collapses in each QPESUMS mesh to determine a physiographic fragility index (F_P). Then, we integrated these two indicators to obtain the risk level of rainfall-induced hazard (R_k) for each QPESUMS mesh during a typhoon or heavy rainfall. Finally, we considered rainfall events from 2005 through 2017 in Liougui District of Kaohsiung City as an example. The results indicate that the warning model can predict the occurrence and location of new collapses and also display the risk zones of rainfall-induced slopeland disasters through a visualization platform.

Key Words: Disaster, fragility, hazard, landslide, warning system

一、前 言

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; Baum RL and Godt JW, 2010; Osanai et al., 2010; 陳振宇, 2013)。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 7 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：

$$RTI = 1 \times R_t \quad (1)$$

$$R_t = \sum_{i=0}^7 \alpha^i R_i \quad (2)$$

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 (水土保持局, 2016)。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_i 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

[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 and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, R.O.C

[2] 財團法人農業科技研究院

Agricultural Technology Research Institute, R.O.C

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

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，並以式 (3) 經驗機率公式之韋伯公式計算出歷年雨場 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)。

$$P(X \geq X_T) = \frac{m}{n+1} \quad (3)$$

式(3)中， P =變量大於或等於某一變量值 X_T 的超越機率 (exceedance probability)； m =由大到小排列的序號，亦即在 n 次觀測資料中出現大於或等於某一值 X_T 的次數； n =樣本系列總量，此處即為雨場總數。

最後將上下警戒值(RTI_{10} 與 RTI_{90})以式(4)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。

$$RTI_M = RTI_{10} + \left(\frac{M-10}{80} \right) (RTI_{90} - RTI_{10}) \quad (4)$$

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 10 mm/hr，並取 50 mm 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 600 mm 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：

1. 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，全台 85% 土石流潛勢溪流距離參考雨量站均在 3 km 以內 (水土保持局，2016)，已遠高於國際氣象組織 (World Meteorological Organization, WMO) 對於不同地形雨量站網最小密度之建議 (例如，具有高山且不規則降雨之島嶼，每 25 km² 設置一雨量站)(WMO, 1970)，但由於台灣山區地形複雜，區域雨量變化大，此密度恐仍顯不足。
2. 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，此與現地土壤含水計觀測結果明顯不同。此外， RTI 模式在設定各地區土石流警戒基準值時，必須先將參考雨量站之歷年雨量資料進行雨場分割，但不同的雨場分割方式將造成後續統計時所使用的雨場數目及降雨指標代表值差異甚大，進而影響所設定之土石流警戒基準值 (陳振宇等，2017)。
3. 許多以雨量為基準之警戒模式在實務操作時，多著重於當下之雨量值多寡，常忽略該雨量與過去歷史紀錄之相對值為何？例如同樣是日雨量 300 mm 的降雨，如落在年平均雨量為 3000 mm 以上的地區未必致災；但若下在年平均雨量僅為 300 mm 的地區則可能造成重大災情。因此，近期一些研究已開始採用相對值的概念設定降雨致災風險，例如，Saito and Matsuyama (2012) 定義 NSWI (Normalized Soil Water Index) 為目前某網格之土壤雨量指數除以過去 10 年該網格的最大歷史土壤雨量指數，並應用於 2011 年 Talas 颱風造成重大災情的紀伊半島地區，獲得比單純使用土壤雨量指數更好的預測結果。

4. 儘管降雨引致之坡地災害與該地區之地質、地形、植生等條件有關，但多數警戒模式僅針對降雨指標進行量化。例如，現行國內的 RTI 土石流警戒雨量模式及日本的基底函數網路 (Radial Basis Function Network, RBFN) 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，但仍未有一套明確的量化評估方式可表達各地區之地文脆弱度 (Physiographic fragility)。

5. 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土石流災害雨量警戒模式所面臨的問題，提出相應之改進方案，期建立坡地降雨致災熱區警戒模式；此外，由於觸發坡地災害的誘因除降雨外，尚可能包含地震、風化、森林火災、人為擾動或複合型誘因，為避免個案式的零星災情案例可能導致警戒模式在操作上過於複雜或過度預測，故本研究提出之降雨致災熱區警戒模式僅針對颱風豪雨期間可能發生的群發型坡地災害進行預警。在研究架構上，本研究先藉由歷年新生崩塌地之發生頻率及規模，建立各劇烈天氣監測系統 (Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor, QPESUMS) 網格範圍內之地文脆弱度，並由歷史雨量資料之相對值定義出降雨危害度指標，最後整合 QPESUMS 的雷達降雨估計網格資料與地文脆弱度，提出坡地降雨致災熱區風險等級指標，同時建立具視覺化之網格式警戒模式，相關流程詳如圖 1。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結果之驗證及討論。

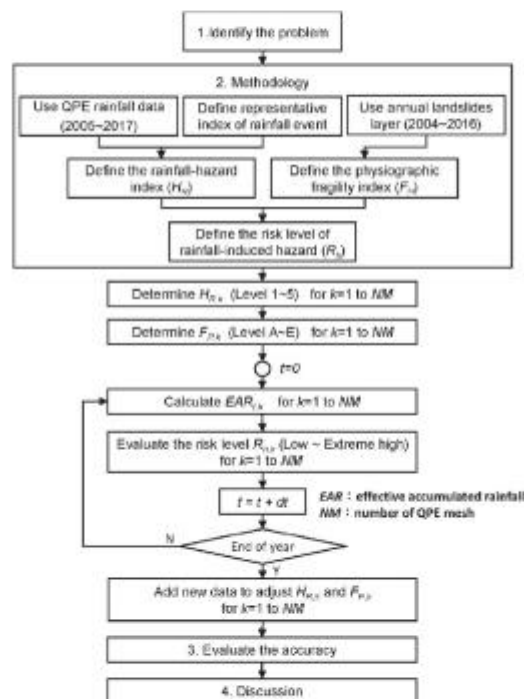


圖 1 研究流程圖

Fig.1 Flow chart of the study process

二、材料及方法

1. 研究試區及雨量資料

本研究係以高雄市六龜區為驗證案例，同時採用自 2005 年 7 月正式啟用，建立已逾 10 年，空間解析度較高 (1.3 km x 1.3 km) 的 QPESUMS 網格式雷達降雨估計資料 (Quantitative precipitation estimation, 以下簡稱 QPE) 取代地面自動雨量站，並直接以 QPE 網格作為警戒發布單元；所使用之雨量資料為 2005 年 7 月 1 日至 2017 年 7 月 31 日，共計 145 個月的各 QPE 網格時雨量。本研究試區內計涵蓋 147 個 QPE 網格，其空間分布及地形坡度如圖 2。

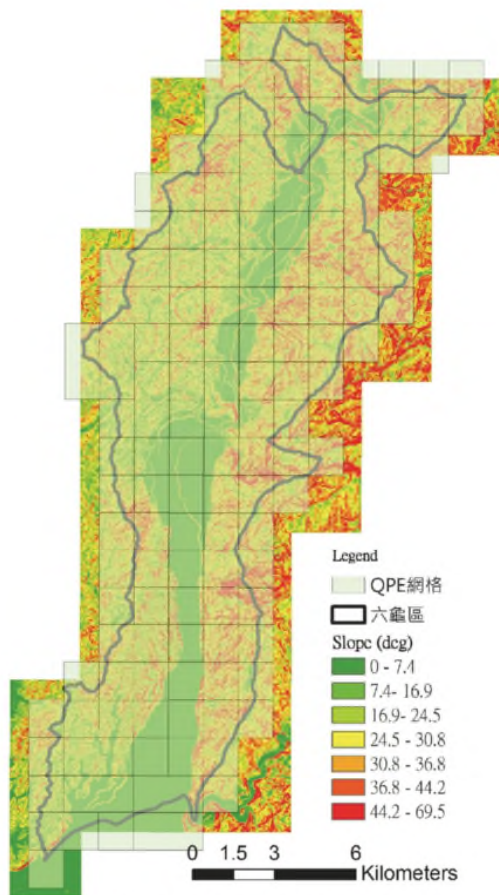


圖 2 高雄市六龜區範圍與 QPE 網格分布及坡度

Fig.2 Distribution of QPE meshes and slope in Liougui District of Kaohsiung City

2. 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。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 (5)：

$$EAR_t = I_t + EAR_{t-1} \times (0.7)^{\frac{1}{24}} \quad (5)$$

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 (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 (5) 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，本研究採用各 QPE 網格之每月最大 EAR 值作為該月份之雨場代表值；例如本研究取 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。此外，因台灣各地降雨量變化與季節有明顯關連性，以六龜地區的 QPE 編號 110025 網格為例，2005/07~2017/07 間的 145 個雨場中，有效累積雨量 (EAR) 小於 50 mm 的雨場約佔 4 成 (如表 1)。

表 1 QPE 編號 110025 網格每月最大 EAR 統計 (2005/07~2017/07)

Table 1 The statistics of monthly maximum EAR on No.110025 of QPE mesh (2005/07~2017/07)

每月最大 EAR (mm)	<50	50~100	100~150	150~200	>200
雨場數量	60	27	15	10	33

由於本研究係針對降雨引致之群發型崩塌進行致災熱區評估，故對於不致造成坡地災害的較小雨場，擬先予以剔除，僅將「致災性雨場」納入後續建立降雨危害度指標時之統計資料。為定義前揭「致災性雨場」，本研究整理水土保持局 2006~2017 年所建立之 464 件全台重大土砂災例報告 (土石流防災資訊網, 2018)，扣除災害發生時其累積雨量為零的 5 件案例，將剩餘的 459 件災例依其發生時的累積雨量由小而大排列後，統計出不同累積雨量下，降雨誘發重大土砂災例累積發生機率如圖 3。其中，僅有 10% 的重大土砂災例發生時的累積雨量小於 150 mm，且多為非颱風豪雨期間的零星個案式邊坡崩塌 (例如 2010 年 4 月 5 日 14:33 發生之國道三號 3.1 公里處走山事件，發生時有效累積雨量為 17.5 mm)，亦即 90% 的重大土砂災例其發生時之累積雨量均大於 150 mm，故本研究定義大於 150 mm 之雨場方為「致災性雨場」，並據以定義降雨危害度指標，其程序如下：

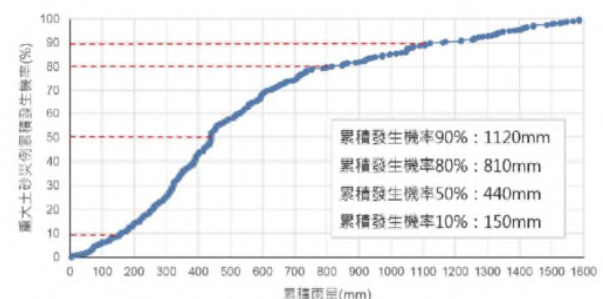


圖 3 降雨誘發重大土砂災例累積發生機率

Fig.3 Accumulated occurring probability of rainfall-induced sediment-related disaster

各 QPE 網格均先剔除小於 150 mm 之雨場資料後，再參照 RTI 模式以韋伯公式計算出 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 (4) 式），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 2。以位於六龜區寶來里之 QPE 編號 110025 網格為例，經刪除 EAR 小於 150 mm 之雨場後，餘 43 個雨場（亦即平均 1 年有 3.6 個致災性雨場），考量每年颱風侵襲南台灣次數與梅雨季，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 3，其中 EAR_{max} 為該網格雨場資料之歷史最大 EAR ，發生於 2009 年 8 月之莫拉克颱風。

3. 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。值得注意的是，由於林務局年度衛星判釋全島崩塌圖層係使用當年度 1~7 月之衛星影像判識而得，故如 2009 年 8 月莫拉克颱風所導致之新生崩塌，係於 2010 年之圖層才會呈現。而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 中之(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 0.1ha，本研究處理後所得之各每年度新生崩塌地面積如小於 0.1ha 者，均視為無新生崩塌。

為驗證本研究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 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。

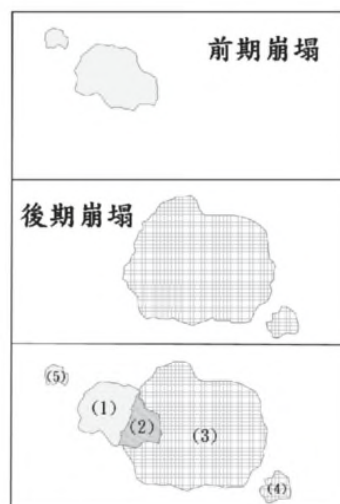


圖 4 崩塌地變遷及分類示意（修改自陳俞旭，2008）

Fig.4 The change of landslides and classification (Chen, 2008)

表 2 降雨危害度指標 H_R 之定義

Table 2 The definition of rainfall-hazard index (H_R)

危害度等級	1	2	3	4	5
意義	安全	注意	稍危險	危險	極危險
指標 H_R	$<EAR_{30}$	$EAR_{30} \sim EAR_{60}$	$EAR_{60} \sim EAR_{90}$	$EAR_{90} \sim EAR_{95}$	$>EAR_{95}$

表 3 QPE 編號 110025 網格降雨危害指標值 H_R 對應值

Table 3 The value of rainfall-hazard index (H_R) on No.110025 of QPE mesh

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

表 4 各 QPE 網格範圍內之每年新生崩塌地面積 (m^2) 及相關統計 (摘錄)

Table 4 Annual new collapse area and related statistics in each QPE grid (excerpt)

QPE編號	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年	N_n	A_n
101641	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102962	0	1,685	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1,685
106935	0	0	0	0	0	6,366	4,833	0	0	0	0	0	2	5,599
109585	2,209	18,898	0	0	0	144,656	18,866	1,609	9,446	0	0	0	6	32,614
110025	6,471	99,080	8,183	8,758	32,481	130,574	2,882	5,981	6,124	1,338	1,717	2,125	10	30,187
108261	24,127	16,881	0	3,454	5,029	274,572	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_n ：2005~2014 年平均新生崩塌面積 (m^2)

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 , 單位為次數) 與平均新生崩塌面積 (A_a , 單位為 m^2) 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 (6) :

$$F_P = \begin{cases} N_n \times \log A_a & \text{if } N_n > 0 \\ 0 & \text{if } N_n = 0 \end{cases} \quad (6)$$

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 5。分級後各網格之地文脆弱度指標, 如圖 5。

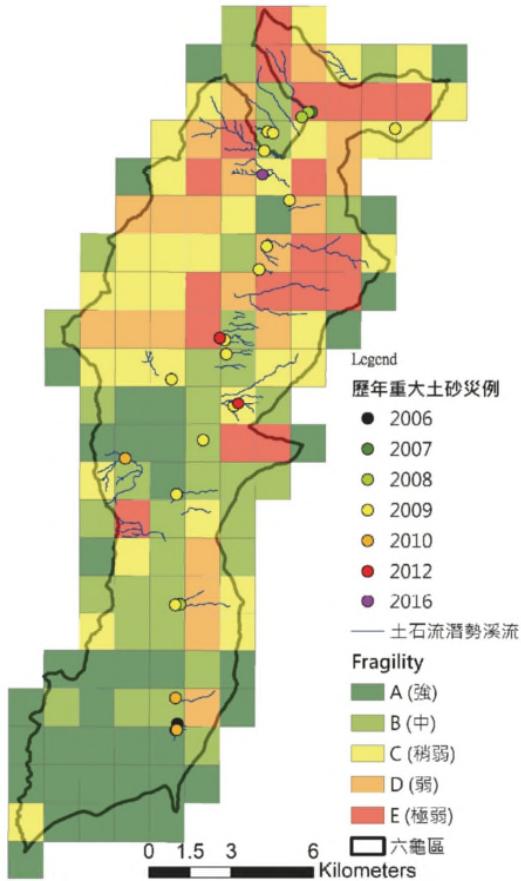


圖 5 各 QPE 網格之地文脆弱度指標
Fig.5 The physiographic fragility index (F_P) of each QPE mesh

表 5 研究區內地文脆弱度指標 F_P 分布特徵與分級
Table 5 Distribution characteristics and classification of physiographic fragility index (F_P) in the study area

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

4. 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」 (Risk level of rainfall-induced hazard, R_h), 詳如圖 6。其中, 由於前已考量在台灣引致坡地災害之雨量一般多在 150 mm 以上, 故圖 6 中 EAR 小於 150 mm 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境, 故圖 6 中若 EAR 大於 1000mm 時, 均自動調昇一個致災風險等級。

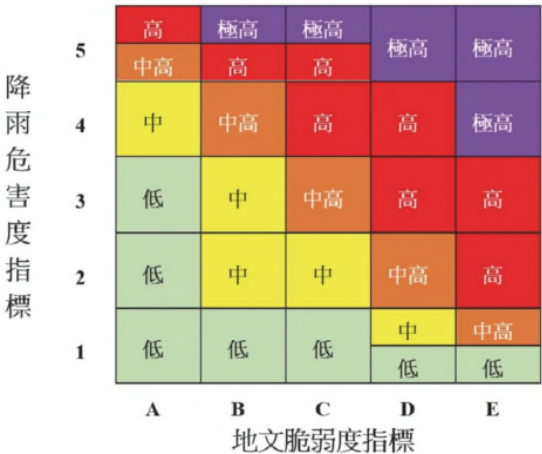


圖 6 以矩陣法定義之降雨致災風險等級指標 (R_h)
Fig.6 The definition of risk level of rainfall-induced hazard (R_h) by matrix

三、結果與討論

1. 地文脆弱度指標驗證

為評估式 (6) 及表 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 E 與 D 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極弱與弱的地區 (如表 6); 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 6 地文脆弱度指標驗證結果
Table 6 The verification results of physiographic fragility index

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

2. 降雨致災風險等級驗證

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 7，脆弱度 E 至 B 之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 7。

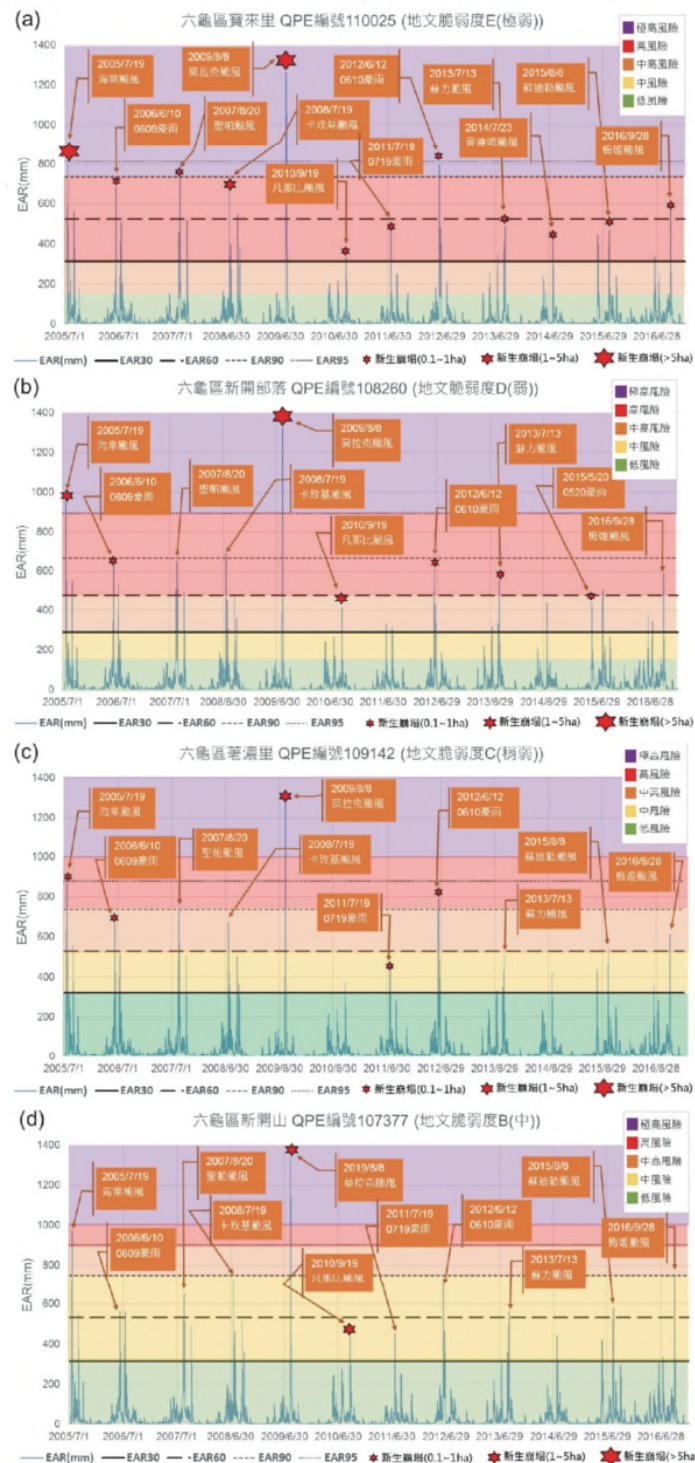


圖 7 歷年降雨事件期間之降雨致災風險等級變化情形與新生崩塌事件之時間序列圖 (a) 六龜區寶來里，(b) 六龜區新開部落，(c) 六龜區荖濃里，(d) 六龜區新開山

Fig.7 Timeline of changes in rainfall-induced hazard level and new collapses during rainfall events in previous years. (a) Baolai Vil., Liugui Dist. (b) Xinkai Tribe, Liugui Dist. (c)Launong Vil., Liugui Dist. (d)Xinkaishan, Liugui Dist.

由表 7 之結果呈現，本研究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 7 之 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 40% 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 7 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 WebGIS 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 7 歷年降雨致災風險等級與新生崩塌發生率

Table 7 The risk level of rainfall-induced hazard and proportion of new collapse in previous years

QPE編號110025 (脆弱度等級E)		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 ($EAR_{90} < EAR < EAR_{95}$)		19	8	42.1
中高 ($150\text{mm} < EAR < EAR_{30}$)		20	0	0.0
中 (Undefined)		-	-	-
低 ($EAR < 150\text{mm}$)		102	0	0.0
$EAR_{30}=313\text{ mm}$ $EAR_{60}=525\text{ mm}$ $EAR_{90}=738\text{ mm}$ $EAR_{95}=815\text{ mm}$				
QPE編號108260 (脆弱度等級D)		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
$EAR_{30}=289\text{ mm}$ $EAR_{60}=477\text{ mm}$ $EAR_{90}=665\text{ mm}$ $EAR_{95}=894\text{ mm}$				
QPE編號109142 (脆弱度等級C)		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	1	16.7
中 ($EAR_{30} < EAR < EAR_{60}$)		11	1	9.1
低 ($EAR < EAR_{30}$)		125	0	0.0
$EAR_{30}=321\text{ mm}$ $EAR_{60}=529\text{ mm}$ $EAR_{90}=738\text{ mm}$ $EAR_{95}=880\text{ mm}$				
QPE編號107377 (脆弱度等級B)		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
$EAR_{30}=315\text{ mm}$ $EAR_{60}=532\text{ mm}$ $EAR_{90}=748\text{ mm}$ $EAR_{95}=904\text{ mm}$				
QPE編號102521 (脆弱度等級A)		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
$EAR_{30}=253\text{ mm}$ $EAR_{60}=392\text{ mm}$ $EAR_{90}=531\text{ mm}$ $EAR_{95}=844\text{ mm}$				

3. 重大土砂災例發生地點與時間驗證

依據水土保持局 2006~2017 年所建立之 464 件重大土砂災例報告，六龜區歷年計有 35 件重大土砂災例；其中扣除 7 件洪水災害後，餘 28 件崩塌及土石流災例之空間分布如圖 5。分析此 28 件崩塌及土石流災例所在之 QPE 網格地文脆弱度，發現位處地文脆弱度為 A(強) 及 B(中) 等級之災例竟佔 60.7%，似不合理。惟水保局所記錄之重大災例點位，係以保全對象(如家屋)受災處為主，多已在土石流潛勢溪流之堆積區或平坦地，並非建立地文脆弱度時所考量之坡地崩塌區或土石流潛勢溪流中上游區，故如改以災例點位中上游之 QPE 網格重新檢視其地文脆弱度，則地文脆弱度為 D(弱) 及 E(極弱) 等級之災例所佔比例即變為 57.1% (詳如表 8)。因此，後續如應用此模式進行警戒發布時，宜同時考量保全對象所在處及其中上游之 QPE 網格之降雨致災風險等級變化。

為驗證本模式於重大土砂災例發生前能有效提供預警資

訊，本研究進一步將前揭 28 件重大土砂災例逐一檢視於災害發生前，其所在 QPE 網格或其中上游所在 QPE 網格之降雨致災風險等級變化情形。其中，92.9%之重大土砂災例於發生前已達「中高」致災風險等級，82.1%之重大土砂災例於發生前已達「高」致災風險等級，另有 39.3%已達「極高」致災風險等級，詳如表 9。為進一步檢視各案例之狀況，表 10 摘錄位於不同地文脆弱度網格上之重大土砂災例發生前之致災風險等級變化情形，其中致災風險等級達「極高」之案例，均造成大規模之土砂災害，並導致重大傷亡。此外，2016 年梅姬颱風—荖濃里土石流潛勢溪流高市 DF097 之災例，如以災例處之 QPE 網格(編號 109142)檢視，其地文脆弱度為 C，故其致災風險等級之臨界雨量值較高，造成災例發生前 1 小時其致災風險等級僅達「中高」。但如取災點中上游 QPE 網格(編號 109141，地文脆弱度為 D)檢視時，則其致災風險等級達「中高」時間提前為 9/27 15:00，並於 9/27 20:00(災害前 2 小時)達「高」致災風險等級。

表 8 六龜區歷年重大土砂災例處之地文脆弱度指標統計

Table 8 The statistics of physiographic fragility index in historical major sediment-related disaster in Liougui District

地文脆弱度等級	災例所在點位地文脆弱度 (災例數)	比例 (%)	災例點位中上游地文脆弱度 (災例數)	比例 (%)
A(強)	6	21.4	1	3.6
B(中)	11	39.3	9	32.1
C(稍弱)	5	17.9	2	7.1
D(弱)	2	7.1	6	21.4
E(極弱)	4	14.3	10	35.7

表 9 六龜區歷年重大土砂災例發生前 QPE 網格降雨致災風險等級統計

Table 9 The statistics of risk level of rainfall-induced hazard before historical major sediment-related disasters in Liougui District

	重大災例件 數	達中高致災風險等級		達高致災風險等級		達極高致災風險等級	
		件數	比例 (%)	件數	比例 (%)	件數	比例 (%)
2006年0609豪雨	2	2	100.0	1	50.0	0	0.0
2007年聖帕颱風	1	1	100.0	1	100.0	0	0.0
2008年卡玖基颱風	4	4	100.0	4	100.0	0	0.0
2009年莫拉克颱風	15	15	100.0	14	93.3	11	73.3
2010年凡那比颱風	3	2	66.7	1	33.3	0	0.0
2012年0610豪雨	2	1	50.0	1	50.0	0	0.0
2016年梅姬颱風	1	1	100.0	1	100.0	0	0.0
小計	28	26	92.9	23	82.1	11	39.3

表 10 六龜區重大土砂災例發生前 QPE 網格降雨致災風險等級 (摘錄)

Table 10 The risk level of rainfall-induced hazard before historical major sediment-related disasters in Liougui District (excerpt)

災例點位 網格編號	地文脆弱度	災例事件	災情狀況	達中高致災 風險時間	達高致災 風險時間	達極高致災 風險時間
110025	E (極弱)	2008年卡玖基颱風-寶來里高市DF047	7/17 23:00 EAR=640 mm土石流沖毀農路250 m，阻斷台20線	7/17 14:00	17/17 15:00	未達
108260	D (弱)	2009年莫拉克颱風-新發里高市DF078	8/8 21:00 EAR=1399 mm土石流堆積深度逾6 m，面積逾20ha，造成38棟房屋受損，28死。	8/7 13:00	8/7 22:00	8/8 09:00
109142	C (稍弱)	2016年梅姬颱風-荖濃里高市DF097	9/27 22:00 EAR=598 mm 土石流堆積區面積約0.3 ha，1戶民宅遭土石入侵	9/27* 21:00	未達*	未達
107377	B (中)	2009年莫拉克颱風-新發里	8/9 06:00 EAR=1327 mm 新發里14鄰後方崩塌，6棟房屋遭埋，5死12傷。	8/8 06:00	8/8 09:00	8/8 10:00

註 1：EAR=災例所在 QPE 網格之有效累積雨量

註 2：2016 年梅姬颱風—荖濃里高市 DF097 災例，如取災點中上游 QPE 網格(編號 109141，地文脆弱度為 D)，則中高致災風險時間為 9/27 15:00，高致災風險時間為 9/27 20:00，未達極高致災風險等級。

4. 預警系統建立

藉由各 QPE 網格之降雨致災風險等級之建立，於颱風豪雨期間如能即時接收及計算各網格之 EAR，即可隨時更新各網格目前之降雨致災風險等級，同時藉由不同顏色之呈現，可協助防災人員以視覺化的方式掌握各地區整體災害風險，鑑視出可能的坡地降雨致災熱區（圖 8）。後續如能持續整合各式災害潛勢圖資（如土石流潛勢溪流、山崩地滑地質敏感區、歷史

災例點位、道路重點監控路段、封路封橋資訊等），將有助於強化地方政府於颱風豪雨應變期間之防災資源之調度及進行疏散避難決策等（陳振宇等，2017）。此外，由於本研究所使用之 EAR 之計算方式簡單快速，故如能導入預測雨量資料，將可進一步推估未來各網格降雨致災風險等級之變化，如事前律定相應之防災作為，即可建立降雨致災熱區警戒模式；同時，若導入未來 12~24 小時的預測雨量，亦可進一步於入夜前發布預防性疏散地區。

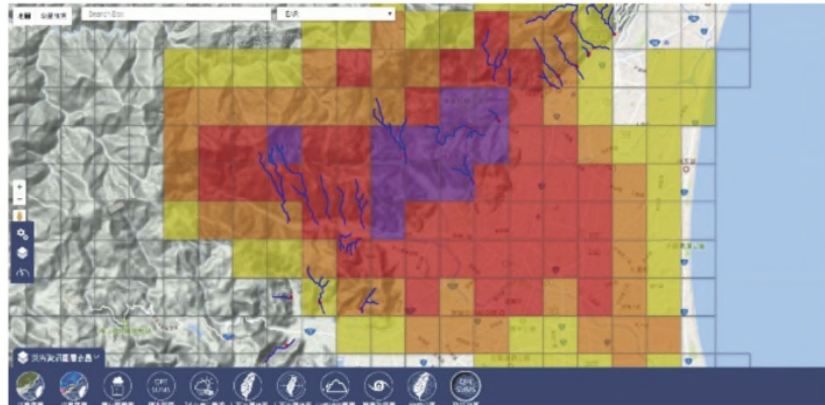


圖 8 降雨致災風險展示平台

Fig.8 The display platform of risk level of rainfall-induced hazard

一個完整的土砂災害預警系統，除精確的警戒模式外，尚需考量與設計完善的警戒訊息發布與傳遞機制；亦即一個好的預警系統除了必須能辨識出災害風險，並要能提供明確易懂的警戒資訊及建議作為，以適當的途徑即時傳送至相關單位及保全對象，促使其作出適當的反應（如疏散避難），以降低災害風險（Thiebes, 2012；陳振宇，2013）。本研究目前已初步建立坡地降雨致災熱區警戒模式，惟後續欲建立完整的坡地土砂災害預警系統，尚須考量警戒如何發布方能符合實際防災應變之運作。例如，為利於疏散避難之行政作業，警戒發布單元可能仍以村里為宜，但是否村里範圍內任一 QPE 網格達到「高」致災風險等級時，即應發布警戒？或是僅考慮有保全對象之 QPE 網格即可？此外，由前節之討論可知，集水區中上游之崩塌可能導致下游保全對象受災，故評估是否發布警戒，似乎宜以集水區範圍作整體評估？且警戒的等級是否比照現行土石流警戒，採紅、黃警戒二級制即可？此外，即便本研究已提供視覺化平台供使用者掌握整體狀況，但如何將警戒發布的結果轉化為明確易懂的訊息，快速傳播且讓受訊者有感，尚須進一步研究。

四、結論

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，已分別將地質、地形等條件（致災基因），以及地區歷史雨量納入評估的降雨頻率（致災誘因）整合考量，並採降雨

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。同時，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，本研究提出之坡地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坡地災害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。

參考文獻

- [1] 土石流防災資訊網 (2018), <http://246.swcb.gov.tw> (Debris Flow Disaster Information Website, <http://246.swcb.gov.tw> (in Chinese))
- [2] 水土保持局 (2016), 「105 年土石流警戒基準值檢討與更新」。(Soil and Water Conservation Bureau (SWCB) (2016). *The modification and review of the debris-flow warning criteria in 2016*. (in Chinese))
- [3] 陳俞旭 (2008), 「地震對崩塌與土石流發生影響之研究」, 成功大學水利及海洋工程學系碩士論文。(Chen, Y.S. (2008). "An Influence of Earthquake on the Occurrence of Landslide and Debris Flow." *Master's thesis of Department of Water Resources and Ocean Engineering, National Cheng Kung University*. (in Chinese))
- [4] 陳振宇 (2013), 「以雨量為基礎之土砂災害警戒系統成效評估—以台灣及日本為例」, 中華水土保持學報, 44(1), 50-64. (Chen, C.Y. (2013). "Evaluation of Rainfall-Based Sediment Disaster Warning Systems: Case Studies in Taiwan

- and Japan.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 44 (1), 50-64. (in Chinese))
- [5] 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。 (Chen, C.Y, Liou, W.Z., and Hsu, C.H. (2017). “A Rainfall-based Warning Model for Predicting Landslides Using QPESUMS Rainfall Data.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 48(1), 44-55. (in Chinese))
- [6] 詹錢登、李明熹、黃婷卉 (2003), 「土石流發生降雨警戒值模式之研究」, 九十一年度防救災專案計畫成果研討會。 (Jan, C.D., Lee, M.H., and Huang, T.H. (2003). “Rainfall Threshold Criterion for Debris Flow Initiation.” *Proceeding of disaster prevention project conference*. (in Chinese))
- [7] 詹錢登、李明熹 (2004), 「土石流發生降雨警戒模式」, 中華水土保持學報, 35(3), 275-285。 (Jan, C.D. and Li, M.H. (2004). “A Debris-Flow Rainfall-Based Warning Model.” *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 35(3), 275-285. (in Chinese))
- [8] Baum RL and Godt JW (2010). “Early warning of rainfall-induced shallow landslides and debris flows in the USA.” *Landslides*, 7(3), 259-272.
- [9] Osanai, N., Shimizu, T., Kuramoto, K., Kojima, S., and Noro, T. (2010). “Japanese early-warning for debris flows and slope failures using rainfall indices with Radial Basis Function Network.” *Landslides*, 7(3), 325-338.
- [10] Saito, H. and Matsuyama, H. (2012). “Catastrophic landslide disasters triggered by record-breaking rainfall in Japan: Their accurate detection with Normalized Soil Water Index in the Kii Peninsula for the year 2011.” *SOLA*, 8, 81-84.
- [11] Thiebes, B. (2012). *Landslide Analysis and Early Warning Systems: Local and Regional Case Study in the Swabian Alb*, Germany. Springer Berlin Heidelberg.
- [12] Wieczorek, G.F., and Glade, T. (2005). Climatic factors influencing occurrence of debris flows. In: Jakob M, Hunger O (eds) *Debris-flow Hazards and Related Phenomena*, Praxis, Springer Berlin Heidelberg, 325-362
- [13] WMO (1970). *Guide to Hydrometeorological Practices*. WMO Tech. Pap. 82. Geneva, Swiss.

2019 年 02 月 10 日 收稿

2019 年 03 月 27 日 修正

2019 年 04 月 01 日 接受

(本文開放討論至 2019 年 06 月 30 日)

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

Chia-Hsing Lin (林家興), Chen-Yu Wu(吳振佑), Kuo-Wei Chen(陳國威), Chen-Yu Chen(陳振宇)
Soil and Water Conservation Bureau, Taiwan (台灣水土保持局)

1. INTRODUCTION

A large-scale landslide near Atsuma Town, Hokkaido, Japan was induced by 6th September 2018 Hokkaido Iburi-Tobu Earthquake, causing natural dam and barrier lake formed. On September 6, 2018, in the early morning and JMA magnitude of 6.7 earthquake struck Hokkaido, Japan. The Iburi-Tobu Earthquake event resulted in 36 deaths (Yamagishi and Yamazaki, 2018). The large-scale landslide formed a natural dam of 40 ~ 50 m height, 400 ~ 500 m width, and dammed the river about 1100 m length in the flow direction and resulted in a backwater length of 2 km long (Fig. 1). To study and understand the overall impact area of potential sediment disaster, the numerical model was used to simulate Hidaka Horobon Inukawa natural dam breach. The potential natural dam break was modeled and analyzed using HEC-RAS 2D model based on available geometry data. Physiographic parameters are determined from Geospatial Information Authority of Japan Website and Hokkaido Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Website. The results indicate that natural dam break increases the downstream flooding risk as breach formation time decrease.



Fig. 1 Location of large-scale landslide at Atsuma Town, Hokkaido, Japan (Geospatial Information Authority of Japan Website).

2. MATERIALS AND METHOD

(1) Site condition

The earthquake occurred just after typhoon Jebi (No. 21 in Japan) and the precipitation was accumulated up to 100 mm over 3 days from September 3 to 5, 2018 (Yamagishi and Yamazaki, 2018). To analyze the sediment disaster condition, this study uses the digital elevation model (DEM) data from the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model Version 2 (GDEM V2) and orthophoto from the Maps of Geospatial Information Authority of Japan. The resolution of GDEM V2 is 30 x 30 m. The large-scale landslide formed natural dam of 400 width in right bank side, 50 m height, and sediment blocked the river about 1100 m long. The barrier lake water surface is 92 (m) on October 1, 2018, and 97.8 (m) on March 18, 2019 (Hokkaido, MLIT website, 2019).

(2) Scenario of natural dam breach simulation

This study used the Hydrology Engineering Center River Analysis System 2D model to simulate the flood propagation and dam breach analysis. The HEC-RAS 2D can be divided into three modules. The geometry data was developing from the terrain model and convert it into a gridded data format. The detailed and accurate hydraulics model relies on the quality of the terrain model the user can import. The boundary condition types are flow hydrograph at upstream and normal depth at the outlet. Once the simulation was complete, the results can be viewed within RAS Mapper for inundation areas, velocity, water depth, and other types of output.

The simulation has been made for unsteady flow routing for 2 days duration. Based on the GDEM V2 terrain model data, the simulation domain could be identified as Fig. 2. The parameters used in the model were listed in Table 1, and the mesh size is 50 x 50 m, dam height is 50m, and with different breach formation time (0.5 to 6 hours). The hydrograph of the discharge could be estimated by the rational formula and imposed as the upstream boundary condition for overtopping failure breach analysis. The estimated elevation-volume curve of the barrier lake (Fig. 3) is also imposed at the upstream boundary of the computational domain for this dam breach simulation.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The results of the flood map indicate that flooding and rapidly flow is observed in the downstream area. The flood wave arrival time result showed the short breach formation time was earlier than that of the long breach formation time. The simulation using short breach formation time showed that flow depth, velocity, and inundated area much larger, and a flood wave arrival time earlier 2 to 8 times, than that modeled by the longer breach formation time cases (Table 2).

4. CONCLUSIONS

HEC-RAS 2D has a graphic-user-interface for unsteady flow hydrodynamics analysis and it can easily setup the model to estimate potential impact risk of a dam break. In this preliminary study, the simulating of inundated areas, velocity, water depth, and outflow of dam break were estimated. The result indicates that the outburst of the dam breach increase the impact of downstream reach depends on the breach development time. The inundated areas, flow depth, velocity, and arrival time are very important for officials to make a decision and early warning response to the emergency plan.

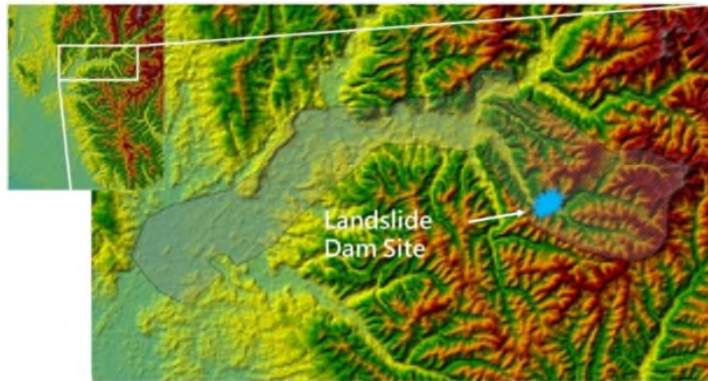


Fig. 2 Study map of the natural dam location and simulation domain

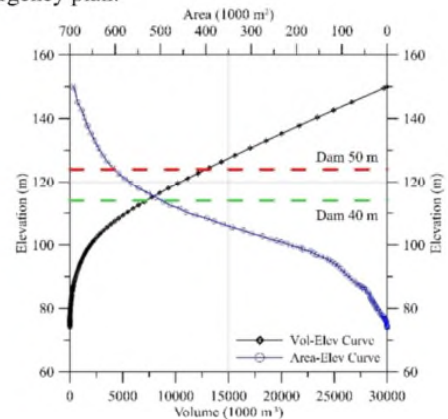


Fig. 3 The estimated elevation-area-volume curve of impounded lake

Table 1 Parameters of the simulation

Case Number	Failure mode	Water supply discharge Q_p (m³/s)	Model parameter				Empirical methods and their breach formation time	
			n	h_b	C_{bw}	T_f	Method	C_{bw}
Run 1	Overtopping	40	0.04	50	2.6	0.5	MacDonald et al (1984)	0.96
Run 2		40	0.04	50	2.6	1	Forehlich (1995)	0.33
Run 3		40	0.04	50	2.6	3	Forehlich (2008)	0.3
Run 4		40	0.04	50	2.6	6	Von Thun & Gillete	1.05
Note	h_b : Dam height (m); C_{bw} : Breach Weir Coefficient (-); T_f : Breach formation time (hour); n : Manning's n (s/m ^{1/3})							

Table 2 Summary of dam breach analysis

Case Number	Village 1			Village 2			Village 3			Inundated area (km²)
	Arrival time (min)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Arrival time (min)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Arrival time (min)	Depth (m)	Velocity (m/s)	
Run 1	11	15.2	13.9	19	6.8	18.6	39	0.92	0.17	5.9
Run 2	20	11.9	11.2	31	5.6	16.2	57	0.89	0.17	5.7
Run 3	47	7.8	7.4	69	3.8	12.2	121	0.87	0.16	5.4
Run 4	80	6.0	5.4	116	2.9	9.8	206	0.86	0.16	5.1



Fig. 4 Inundated area of dam break in Atsuma river

References

- 1) Yamagishi, H. and Yamazaki, F. (2018): Landslide by the 2018 Hokkaido Iburi-Tobu Earthquake on September 6, Landslides, Vol. 15, No. 2, pp. 2521-2524. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1092-z>
- 2) Geospatial Information Authority of Japan Website: <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30-hokkaidoiburi-east-earthquake-index.html> #3, accessed Jan. 13, 2019.
- 3) Maps of Geospatial Information Authority of Japan Website: <https://maps.gsi.go.jp/#13/42.756208/142.005614/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1j0h0k0l0u0t0z0r0s0f1>, accessed March 13, 2019
- 4) Hokkaido Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Website: <https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/release/splaat00000194ji-att/splaat000001esm3.pdf>, accessed March 13, 2019.

Keywords: Flood routing, Natural dam, Two-dimensional simulation, Dam breach analysis.



技術研究發展小組

Soil and Water Conservation Bureau, Taiwan

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

優質、效率、團隊

Chia-Hsing Lin, Chen-Yu Wu, Kuo-Wei Chen, Chen-Yu Chen

1. INTRODUCTION

- A large-scale landslide near Atsuma Town, Hokkaido, Japan was induced by 6th September 2018 Hokkaido Iburi-Tobu Earthquake, causing natural dam and formed a barrier lake.
- Hydrologic Engineering Center River Analysis System (HEC-RAS)** can be applied to simulate the natural dam break based on available geometry.
- This study considers four scenarios to model the dam breach analysis and to display inundation depth, velocity, and inundated area.

4. CONCLUSIONS

- Based on available terrain data and hydrograph data, HEC-RAS 2D can simulate the arrival time and hydraulic of dam breach.
- The Mapping results cannot only predict the dam breach well, but also offer officials the potential impact of the downstream area.

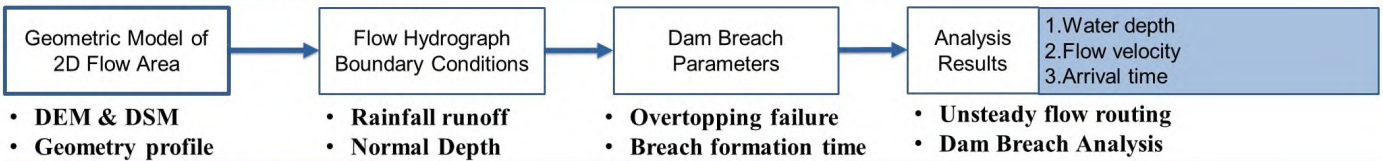


Case Study demo

<https://tech.swcb.gov.tw/Results/BarrierLake>

2. MATERIALS AND METHODOLOGY

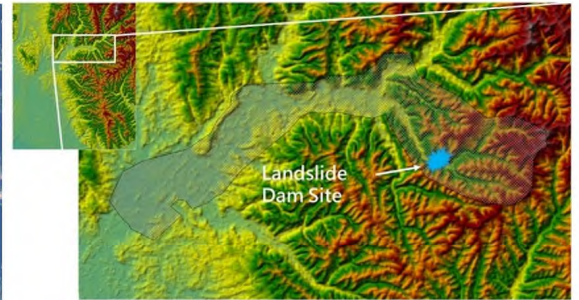
2.1 HEC-RAS River Analysis System



- DEM & DSM**
- Geometry profile**
- Rainfall runoff**
- Normal Depth**
- Overtopping failure**
- Breach formation time**
- Unsteady flow routing**
- Dam Breach Analysis**

2.2 Framework of HEC-RAS model

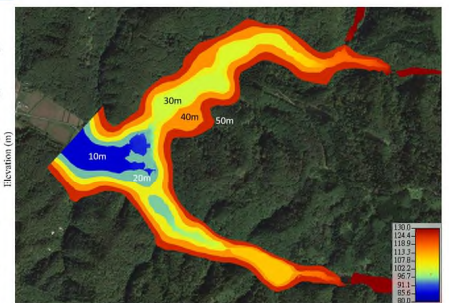
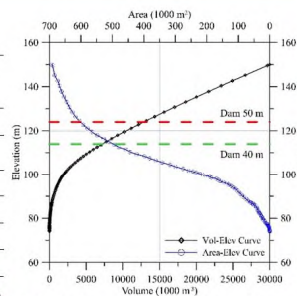
Editing Geometric Data	Unsteady Flow Data	Dam Breach Analysis	Analysis results
- Developing the 2D Flow Area - Adding Break lines - Edit Computational Mesh	- Setting Boundary condition types - Setting Initial Conditions	- Breach Parameters - Breach Progression - Failure Mode	- Time Series Output Plots - Animating Map Layers - Plotting Magnitude of Velocity



2.3 Model Parameters

- Parameters of the simulation

Case Number	Failure mode	Water supply discharge Q_p (m ³ /s)	Model parameter				Empirical methods and their breach formation time	
			n	h_b	C_{bw}	T_f	Method	C_{bw}
Run 1	Overtopping	40	0.04	50	2.6	0.5	MacDonald et al (1984)	0.96
Run 2		40	0.04	50	2.6	1	Forehlich (1995)	0.33
Run 3		40	0.04	50	2.6	3	Forehlich (2008)	0.3
Run 4		40	0.04	50	2.6	3	Von Thun & Gillete	1.05
Run 4		40	0.04	50	2.6	6	Xu & Zhang (2009)	1.14
Note	h_b : Dam height (m); C_{bw} : Breach Weir Coefficient (-); T_f : Breach formation time (hour); n : Manning's n (s/m ^{1/3})							



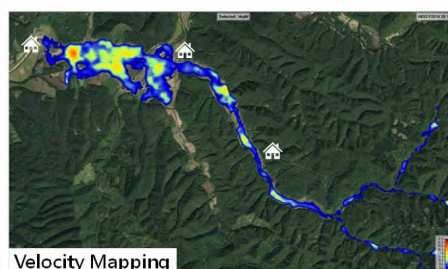
Elevation-Area-Volume Curve

Upstream Backwater Area

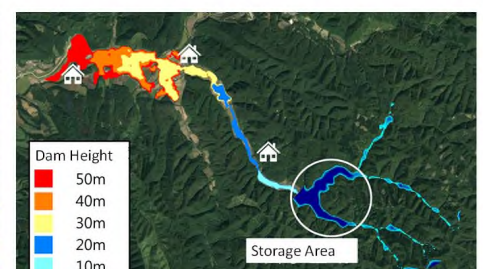
3. RESULTS AND DISCUSSIONS



Inundated Area



Velocity Magnitude



Potential Impact Area

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

○Chen-Yu Chen, Jyun-Wei Chen, Chia-Hsing Lin, Chen-Yu Wu
Soil and Water Conservation Bureau, Taiwan (台湾水土保持局)

1. INTRODUCTION

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. This study improves the existing unfriendly user interface of IRIS model, and develops the visualized tool to display the change of water pressure in the soil and critical slip surface of landslide simultaneously.

2. MATERIALS AND METHODOLOGY

(1) Integrated Rainfall Infiltration Slope stability (IRIS) model

This study used the Integrated Rainfall-Infiltration Slope stability (IRIS) model to conduct the slope stability analysis. 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. (Fig. 1).

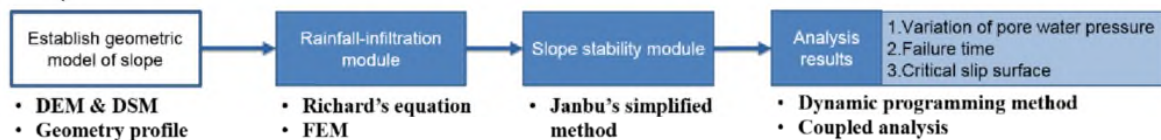


Fig. 1 The operating procedure of Integrated Rainfall Infiltration Slope stability (IRIS) model.

(2) Framework of visualized IRIS model

While the IRIS model had been verified the applicability for the simulation of landslides triggered by rainfall, its user interface was unfriendly (Tsutsumi and Fujita, 2008; Chen and Fujita, 2014). This study established a visualized user interface for IRIS model, and it is easy to use based on step by step procedure (Fig. 2). Moreover, the program of visualized IRIS model also offers the function of exporting dynamic GIF which can not only express the change of water content of soil but also the critical slip surface during simulation.

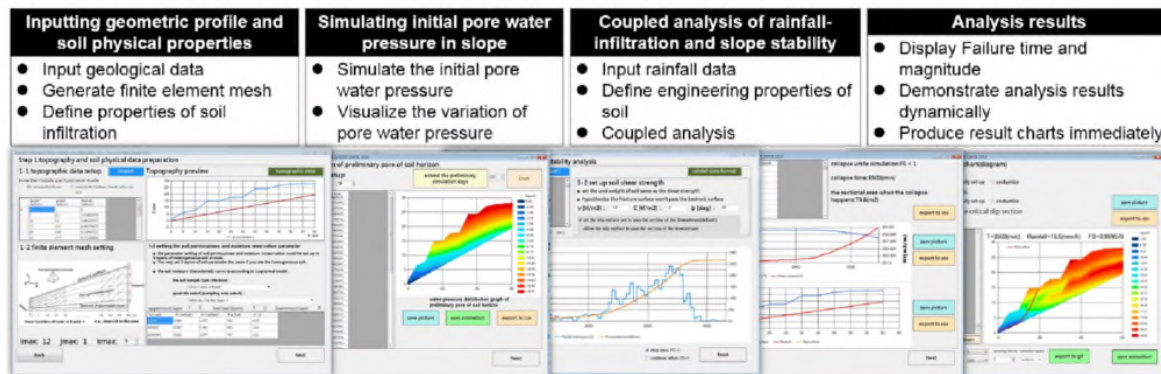


Fig. 2 The framework of visualized IRIS model.

(3) Case study

In this study, a landslide occurred at Wushen temple in Nantou, Taiwan will be introduced. During the torrential rainfall, a landslide near Wushen temple in Guoxing township, Nantou was occurred at 3:00 p.m. on 15th June in 2017. According to the precipitation in Changfeng rainfall station, which was the closet rainfall station to Wushen temple, the accumulated rainfall at slope failure time was 275 mm. In order to establish a post-disaster survey report, an unmanned aerial vehicles (UAV) has been used to investigate and measure the spatial information of this landslide. Afterward, a digital surface model (DSM) would be produced and used

to map the landslides zone. Moreover, the digital elevation model in 2011 which before disaster is used to compare with the digital surface model mentioned in post-disaster survey for estimating the landslide volume. Therefore, the landslide volumes can be estimated by the area and change of height. After estimating, the area of erosion equals 2,729 m² and the landslide volume equals 19,278 m³ (**Fig. 3**). The parameters used in the simulation were listed in **Fig. 4** and **Table 1**.

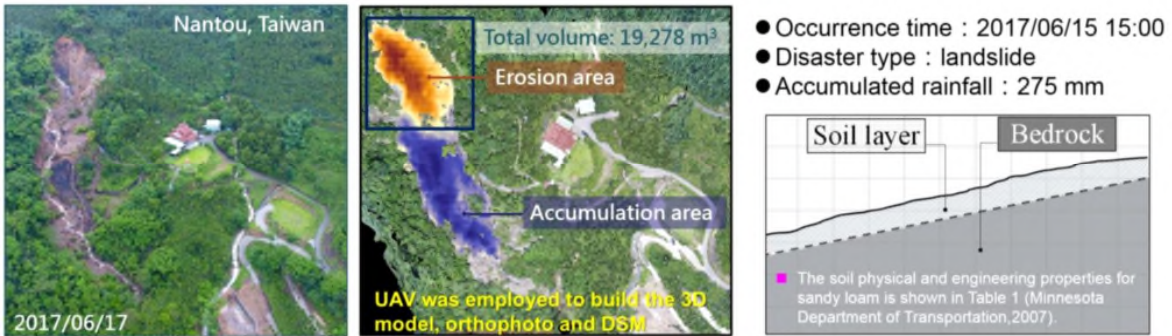


Fig. 3. The disaster photo and orthophoto after landslide in 2017

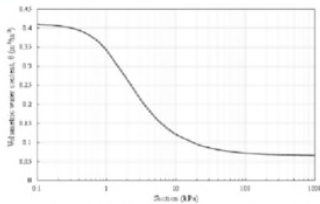


Fig.4 Soil-water characteristic curve of typical sandy loam

Table 1 The typical soil properties of sandy loam

Soil properties	Max.	Min.	Avg.
Unit weight, γ (t/m ³)	2.04	1.73	1.89
Cohesion, c' (t/m ²)	2.04	1.02	1.53
Friction angle, ϕ' (degrees)	32	25	28.5
Permeability, k_s (m/s)	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}

(Minnesota Department of Transportation, 2007).

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

Because of the inhomogeneity and uncertainty in geology, this study tests different values based on the typical properties of sandy loam for back analysis. The test models of different values have 48 cases as shown in **Fig. 5**. Therein, SWCC is constant in each simulation case, and c' , ϕ' and k_s is variable for 48 simulation cases. The best fitting result was shown as **Fig.6** ($k_s=10^{-6}$ m/s, $c'=1.52$ t/m² & $\phi'=31^\circ$). The landslide occurrence time of the simulation result was similar with the actual landslide event. However, because the actual collapse maybe be formed by multi-stage, the landslide scale of simulation result was less than actuality.

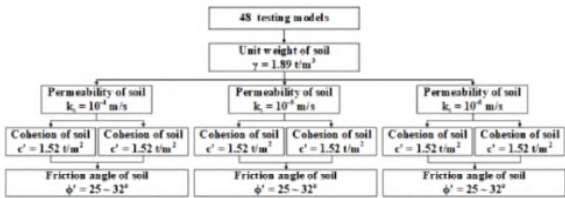


Fig.5 Flow chart for model testing

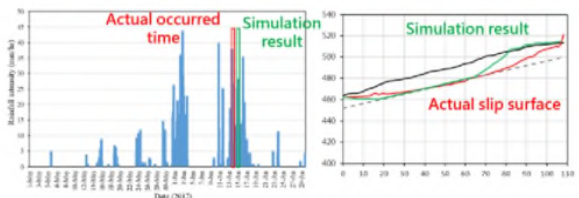


Fig.6 The simulation results

4. CONCLUSIONS

Applying the terrain data and soil parameters, IRIS model can simulate the scale and occurring time of landslide. The results showed that the visualized IRIS model cannot only predict the landslides well, but also provide useful teaching aids. (Download IRIS software: <https://tech.swcb.gov.tw/Results/ResultsIRIS>)

Keywords: Landslide, simulation, IRIS, Visualization.

References

- 1) 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.
- 2) Chen, C.Y., and Fujita, M. (2014): A method for predicting landslides on a basin scale using water content indicator, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B1 (Hydraulic Engineering), Vol. 70, No.4, pp.I_13-I_18.
- 3) Minnesota Department of Transportation. 2007. Pavement Design. USA



技術研究發展小組
Research and Technology Development Team

Soil and Water Conservation Bureau, Taiwan

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

優質、效率、團隊

Chen-Yu Chen, Jyun-Wei Chen, Chia-Hsing Lin, Chen-Yu Wu

1. INTRODUCTION

- 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.
- This study develops the visualized IRIS model to display the change of water pressure in the soil and critical slip surface of landslide simultaneously.

4. CONCLUSIONS

- Applying the terrain data and soil parameters, IRIS model can simulate the scale and occurring time of landslide.
- The visualized IRIS model cannot only predict the landslides well, but also provide useful teaching aids.



Operation
demo



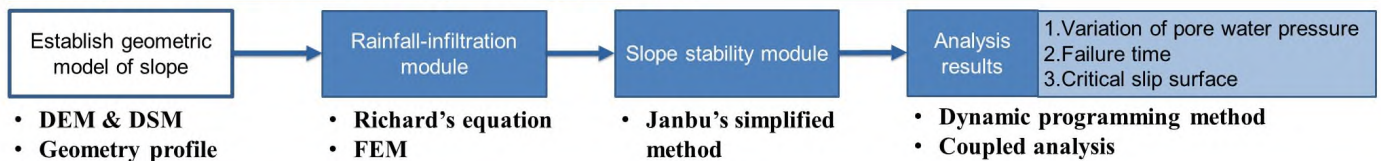
Download IRIS



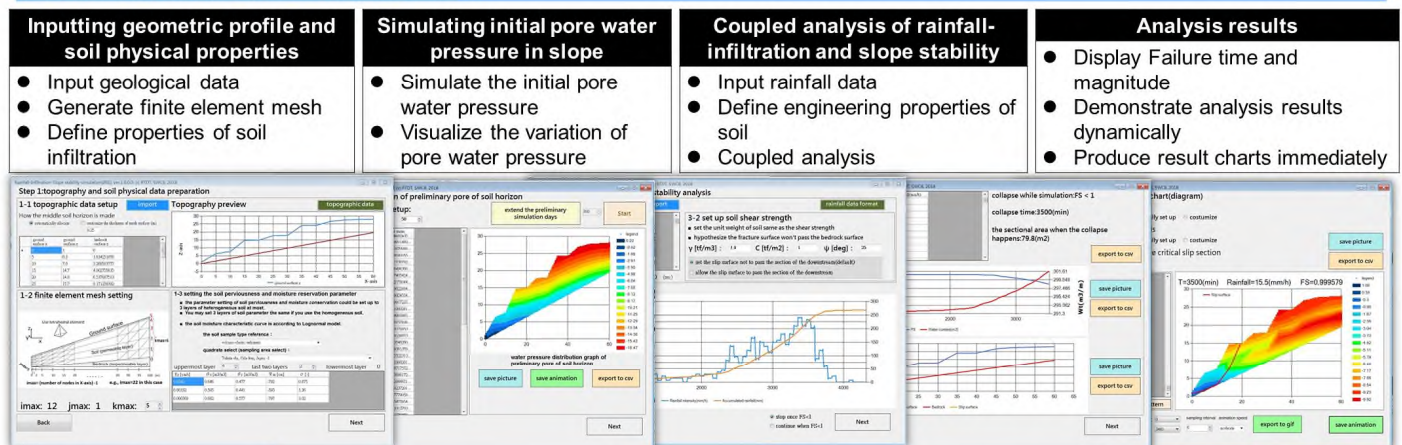
<https://tech.swcb.gov.tw/Results/ResultsIRIS>

2. MATERIALS AND METHODOLOGY

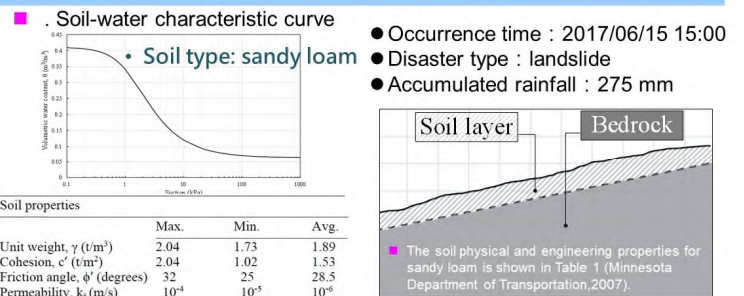
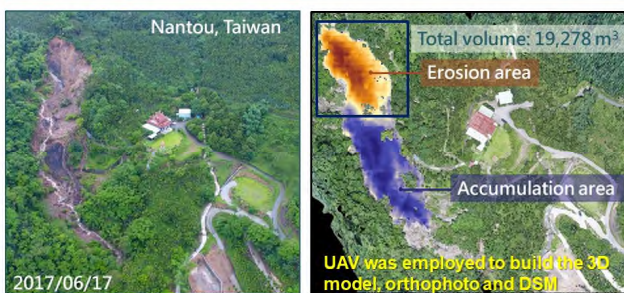
2.1 Integrated Rainfall Infiltration Slope stability (IRIS) model



2.2 Framework of visualized IRIS model

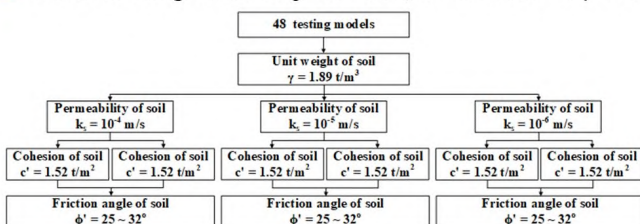


2.3 Case study

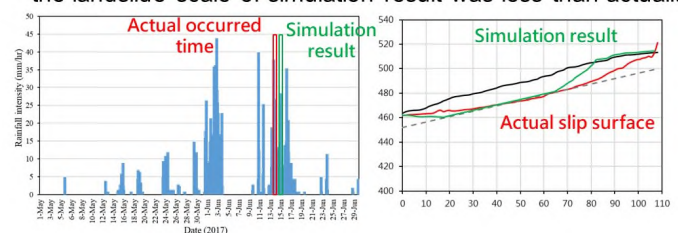


3. RESULTS AND DISCUSSIONS

- SWCC is constant in each case.
- c' , ϕ' & K_s is variable for 48 cases
- The best fitting result : $K_s = 10^{-6}$ m/s, $c' = 1.52$ t/m^2 & $\phi' = 31^\circ$



- The occurrence time of Simulation result : 6/15 16:30
- Because the actual collapse maybe formed by multi-stage, the landslide scale of simulation result was less than actuality



HEC-RAS 2D 於天然壩潰決模擬評估

林家興^[1,2]、吳振佑^[2]、蔡元融^[3]、陳振宇^[2]

| 摘要 |

本文應用 HEC-RAS 2D 模式以及崩塌前 DEM 與崩塌後 UAV 拍攝資料，進行天然壩潰決模型建置及洪水演算。在 2017 年 6 月 3 日，於南投縣小半天瀑布下游發生邊坡崩塌，造成河道堵塞，形成堰塞湖。使用 HEC-RAS 2D 進行潰決模擬時，避免在壩體穩定性未明情況，衍生之現勘人員傷亡的風險。目前潰壩模式能提供潰壩機制及潰壩參數，可進行參數調整，以此評估潰決影響方案探討。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，而其洪水波沿著下游逐漸遞減。應用 HEC-RAS 2D 緊急評估其對下游保全住戶之影響，對政府部門於災情應對與避難決策上有直接助益。

關鍵字：洪水演算、天然壩、潰壩模式、潰決參數

Apply HEC-RAS 2D on Natural Dam Breach Assessment

Chia-Hsing Lin^[1,2], Chen-Yu Wu^[2], Yuan-Jung Tsai^[3], Chen-Yu Chen^[2]

| Abstract |

This paper applied the HEC-RAS 2D to analyze the natural dam break and resultant floods based on field investigated geometry data from UAV and pre-event DEM data. On 03 June 2017 a rainfall-induced landslide occurred in the Xiou-Ban-Tien, Nantou County and formed a landslide dam lake. The natural dam breach was modeled and analyzed using HEC-RAS 2D to lower the damage of people in field investigation under potential dam breach condition. The HEC-RAS 2D supply the modules of failure mechanism and dam breach parameter for unsteady flow routing with dam breach analysis. The simulation scenario considering different dam breach parameters and failure mechanism. The result indicate that the landslide dam lake break does not increase the downstream maximum water level significantly. Dam break has a severe impact on the downstream reach near to it and the water level of flooding wave gradually decrease at different downstream locations. HEC-RAS 2D model can provide government officials to mitigation support and response to hazard assessments.

Keywords : Flood Routing, Natural Dam, Dam Failure Mode, Dam Breach Parameter

1. 財團法人農業科技研究院 (通訊作者)

Agricultural Technology Research Institute

Corresponding Author TEL : +886-6-2347533 E-mail: lin0710@mail.swcb.gov.tw

2. 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 and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan

3. 國立成功大學防災研究中心 創新育成組 組長

Chief, Innovation and Incubation Division, DPRC, NCKU

一、前言

近年來受極端氣候影響，導致颱風豪雨事件之降雨強度越來越大，造成大規模崩塌與複合型災害發生 (Shieh et al., 2009; Shieh et al., 2010)。根據現場調查及衛星影像判釋結果，在 2009 年 8 月，莫拉克颱風事件中，共計形成 16 處天然壩堰塞湖 (Chen et al., 2010)。而此颱風事件所造成之最嚴重土砂災害，為高雄縣小林村受大規模崩塌及天然壩之潰決，造成 400 多人死亡 (Shieh et al., 2009; Shieh et al., 2010; Chen et al., 2011; Lin et al., 2011; Tsai et al., 2011; Kuo et al., 2013)。

天然壩及堰塞湖易受到降雨及地震之影響而產生，若崩塌土體阻塞峽谷河道易形成天然壩，並受到上游流量及降雨之影響而蓄水形成堰塞湖。近年來，受氣候變遷影響，降雨強度增強，於山區河道受土石流或邊坡崩塌阻塞形成堰塞湖 (Capart et al., 2010; Chen, 1999; Chen et al., 2018; Kuo et al., 2011; Dong et al., 2014)。天然壩發生潰決時，通常大部份為溢頂破壞 (overtopping)，次者為管湧破壞 (piping)，小部份為滑移破壞 (sliding) 等此三種破壞型式為主 (Costa and Schuster, 1988; Hanson et al., 2005; Wu et al., 2011; Xu and Zhang, 2009)。當潰決發生時，其發生大量土砂伴隨洪水沖至下游，形成河岸侵蝕、洪水溢淹、維生管道、設施等損毀等情形，更將嚴重威脅下游聚落居民生命財產之安全。

近年來民眾受自然災害的威脅，因此自主防災意識逐漸成長。天然壩所造成的威脅主要來自於堰塞湖蓄積之水量及潰決時產生之洪峰流量。然而影響天然壩潰決特性、潰壞機制 (Failure mechanism) 及潰決洪峰流量是一個非常複雜的問題。Singh and Scarlatos (1988) 指出良好的潰壩模擬取決於壩體之幾何參數、壩體後方蓄水體積及其他物理參數的取得。但是不管是受到地震或是降雨引致的天然壩，大抵有 50% 於形成後 10 日內潰決，只有 15% 天然壩其形成時間超過 1 年 (Costa and Schuster, 1988)。然實際發生天然壩災害事件時，通常受到地震或降雨事件引致，因此，對於天然壩之幾何參數、潰壞機

制及潰決過程 (Breach Progression) 等參數合理估計對於潰決出流量、下游洪水漫淹、洪峰抵達時間、流速等模擬準確性是非常重要的 (Brunner, 2014; Singh and Scarlatos, 1988; Wahl, 2004; Zhang et al., 2010)。

由於天然壩從發生到形成，受到諸多影響造成存在時間短之特性，因此對於崩塌後壩體幾何資料之取得非常不易，特別是在於颱風豪雨事件中形成然後潰決的天然壩。但是在訂定緊急疏散及避難對策時，皆需要評估壩體是否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且計算快速的潰壩模擬演算 (Brunner, 2014; Brunner and CEIWR-HEC, 2016a)，本研究利用此模式進行潰壩模擬及其洪水演算。

二、研究區域

2017 年 0601 豪雨事件中，最大降雨強度為 62 mm/hr，其 48 小時總降雨量為 660 mm，總累積降雨量約為 765 mm，造成南投縣鹿谷鄉竹林村東埔蚋溪上游左岸發生邊坡崩塌，並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 (圖 1)。東埔蚋溪上游小半天集水區，其面積約為 835.16

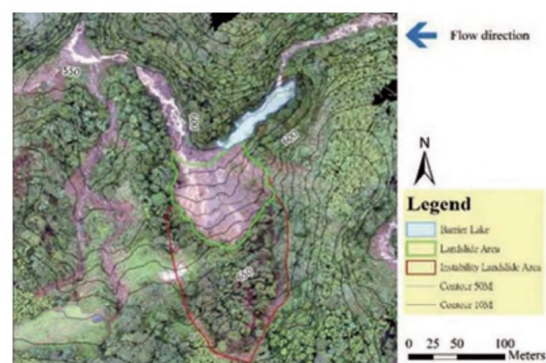


圖 1 天然壩範圍圖

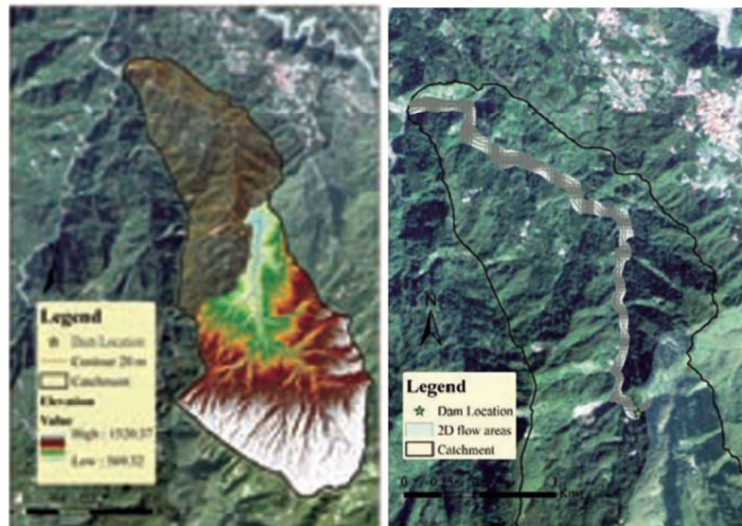


圖 2 研究區域圖：(1) 集水區天然壩位置圖（左）；(2) 集水區模擬範圍圖（右）

公頃，集水區地勢由高至匯流口約從 1,537 公尺至 345 公尺，溪流流向約由東南往西北方向（圖 2）。

由現地調查資料與水土保持局 106 年 0601 豪雨重大土砂災例最速報顯示（水土保持局，2017），邊坡崩塌面積評估約為 2.0 公頃，平均崩塌深度約 3 公尺，估算現場之崩塌土方量約 15,000 立方公尺，並利用手持式雷射測距儀進行簡易壩體幾何參數量測，壩體高約為 6 ~ 8 公尺。再者藉由無人載具飛行器（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）拍攝現場地形空拍影像資料，進行室內作業，藉由 Bentley Context Capture 處理影像建立三維地形資料，並利用 ArcGIS 空間分析功能估算壩體之幾何參數。另在利用 UAV 拍攝之影像進行估算，坡面上潛在崩塌土方量約為 45,000 立方公尺，若當此不穩定坡面崩塌土方全部崩落，將可能形成天然壩壩高約達 17 公尺。

現場簡易測量調查崩塌土方堵塞河道形成迴水長度約為 80 公尺，寬約 25 公尺，初估最大水深約 10 公尺，其壩體後方蓄水面積約為 1,600 平方公尺，估算蓄水體積約為 5,000 ~ 8,000 立方公尺；另外在估計當不穩定土方皆落入河道，則壩高達 17 公尺計算下，使用 Arc GIS 進行估算，其迴水面積約 2,382 平方公尺，其蓄水體積約為 16 萬立方公尺。

三、研究方法

本文使用 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 (Boussekine M. and Djemili L., 2016; Butt et al., 2013; Ehsan et al., 2016; Jung et al., 2017; Lin et al., 2011; Xiong, 2011; Zhang et al., 2010)。

3.1 控制方程式

HEC-RAS 2D 變量流水理 (unsteady flow hydraulic) 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)。在本研究使用版本 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 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)，使用者可以選擇使用淺水波或擴散波方程式進行二維模擬計算。本節 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：

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \dots\dots\dots(1)$$

其中 $H = h + z$ 為水位高， h 為水深， z 為底床高程， t 為時間， u 及 v 分別為 x 及 y 方向之流速分量， q 為源項 (source / sink flux term)。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f u + f v \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + f u \dots\dots\dots(3)$$

其中 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。在動量方程式等號左邊為對流加速度及局部加速度項，而在方程式等號右邊為水壓力項、渦流擴散項 (eddy diffusion)、底床摩擦項及科氏力項 (Brunner and CEIWR-HEC, 2016b)。

在渦流擴散項部分，程式則是將其設定為一梯度擴散 (gradient diffusion process) 的過程，而在此設定下，其可將此擴散速率參數化如下渦流黏滯係數 (eddy viscosity coefficient, ν_t) 所示：

$$\nu_t = Dhu_* \dots\dots\dots(4)$$

其中 D 為混合係數 (Mixing coefficient)，為一無因次經驗常數，查 HEC-RAS 技術手冊關於混合係數 D ，其隨著渠道底床和邊壁表面的變動而有不同，混合係數 D 如表 1 所示， u_* 為摩擦剪力速度，其可以用曼寧公式表示為：

$$u_* = \frac{n\sqrt{g}}{R^{1/6}} |V| \dots\dots\dots(5)$$

上式中， n 為曼寧粗糙係數， R 為水力半徑， $V = \sqrt{u^2 + v^2}$ 為流速。

為了離散化 (discretize) 連續及動量方程式，藉由有限差分進行時間項離散化，另外對空間項則是使用有限差分及有限體積的複

合方式 (hybrid approximation) 進行離散化。在數值方法上，HEC-RAS 使用了線性化差分方式 (Linearized scheme)，其空間項為二階精度；在時間項精度方面，則是依據所選擇的 θ 而有所不同，當 $\theta=1$ 使用後項差分，則時間項為一階精度，當 $\theta=0.5$ 使用 Crank-Nicolson 數值方法，則時間項為二階精度 (Brunner and CEIWR-HEC, 2016b)，其條件如下：

$$\frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} < \frac{1}{(2-4\theta)}, \quad \theta=1, \text{ Backward difference} \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{\Delta t}{(\Delta x)^2} < \frac{1}{(2-4\theta)}, \quad \theta=1/2, \text{ Crank-Nicolson} \quad (7)$$

其中， Δt 為計算時間間距， Δx 為計算網格間距， θ 為隱式權重因子 (Implicit weight factor)，程式預設 $\theta=1$ ，有關數值差分方式及隱式權重因子更詳細的數值方法請參照 Brunner and CEIWR-HEC (2016b)。

表 1 混合係數 (Brunner and CEIWR-HEC, 2016b)

D	Mixing Intensity	Geometry and surface
0.11 ~ 0.26	Little mixing	Smooth surface
0.30 ~ 0.77	Moderate mixing	Moderate surface
2.0 ~ 5.0	Strong mixing	Rough surface

3.2 地形資料設定

在建置模式時所需之基本資料，包含崩塌前及崩塌後之地形資料，本研究在崩塌前地形利用 2011 年數值高程模型 (Digital Elevation Model) 之 1 m * 1 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 0.2 m * 0.2 m 地形資料。本研究三維地形資料建置參考劉維則等人 (2018)，以 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) 方式，利用 Bentley Context Capture 處理連續高解析度空拍影像。後續利用此數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM) 配合崩塌前 DEM 資料，即可做為崩塌壩體之幾何參數估算。

在進行天然壩穩定性評估時，使用 Ermini and Casagli (2003) 所提出之方法進行估算，藉由現場簡易測量壩體與崩塌坡面之長、寬、高及迴水長度等資料，用以推估崩塌堆積土方量及堰塞湖壩體幾何資料。而後藉由 ArcGIS 空間分析功能，使用網格融合功能處理崩塌前與後地形資料，用以修正崩塌土方量及天然壩壩體之幾何參數修正，再由所萃取網格數值資料進行壩體穩定性評估計算。另外以 ArcGIS 將崩塌前 DEM 與 UAV 產製之數值地表模型 (DSM) 資料進行差異分析，以將兩期數值資料進行疊合，則可將崩塌前、後之地形網格融合成一新地形模型 (圖 3)。後續以 ArcGIS 之空間分析模組獲取堰塞湖詳細地形資料，並藉此估算高程—迴水面積—蓄水體積曲線，其結果如圖 4 所示。最後，藉由崩塌前 DEM 模型，建置模擬範圍之河道

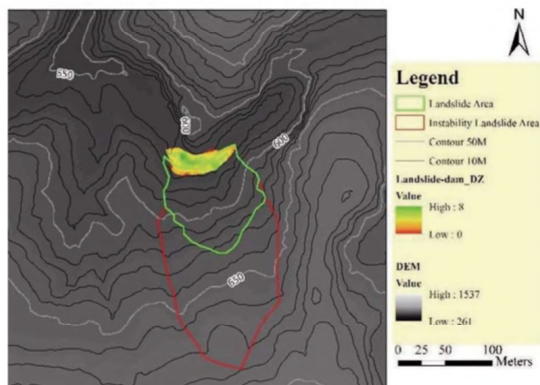


圖 3 崩場地數值模型圖

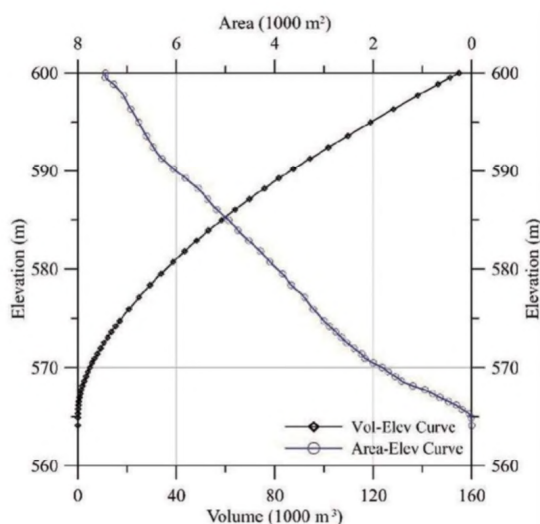


圖 4 堰塞湖水位—面積—體積曲線圖

地形資料，並搭配崩塌後現場 DSM 模型，建置潰壩模組所需地形資料。

3.3 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 2 所示)。

以 HEC-RAS 2D 作為潰決模擬時，目前潰壩模式能提供 2 種潰壞模式 (Failure mode) 為溢頂破壞和管湧破壞；而在潰壩參數方面，則是包含了潰口堰流係數 (Breach Weir Coefficient, C_{bw}) 及潰壩延時 (Breach Formation Time, T_f) 等可供設定。另外在 HEC-RAS 2D 模式中，壩體參數定義如圖 5 所示，包含壩體高度 (h_b)，壩頂潰壞寬度 (B_t)，壩底潰壞寬度 (W_b) 此三項參數需設定。

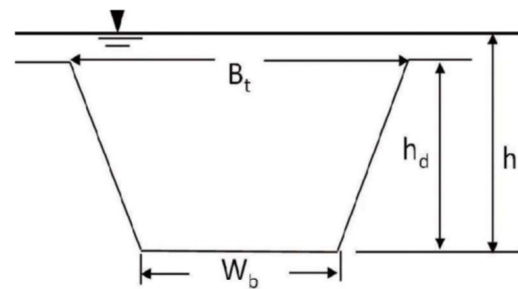


圖 5 HEC-RAS 2D 模式之壩體幾何參數

本研究參考 Wahl (1998) 及 Brunner and CEIWR-HEC (2016b) 研究指出，潰壩延時介於 0.1 至 4 小時之間，而在 Wahl (1998) 所統計 108 處案例中潰壩延時介於在 0.1 至 1 小時之間。再者，由於潰壩延時越短，堰塞湖潰決所造成之影響結果越大，因此本研究對於潰壩延時設定上，選取在 0.1 至 1 小時變動之間。而在潰口堰流係數則是參考 Brunner (2014) 及 Brunner and CEIWR-HEC (2016a) 報告指出，堰流係數之範圍值在 1.1 至 1.8 之間，對此本研究在堰流係數設定上則是設定為最小值 1.1，中間值 1.5 及最大值 1.8 三者。

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 種潰口堰流係數 (C_{bw})

= 1.1, 1.5, 1.8)、3 種潰壩延時 ($T_f = 10, 30, 60 \text{ min}$)、2 種潰壩模式 (Failure Mode = Overtopping, Piping)，共計 18 組模擬案，其參數設定如表 2 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壩之兩組模擬案例。

在建置潰壩模擬時，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，崩塌壩體阻塞長（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，壩體阻塞河道寬度（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。

另外在水文條件方面需要上游入流量及堰塞湖蓄水高程體積關係曲線。根據中央氣象局鳳凰雨量站 (C01090) 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 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 7）。

最後，在上下游邊界條件中，於上游蓄水區中給定上游流量歷線及蓄水區高程一體積關係曲線 (Elevation-Volume Curve)。在下游出口處，由於下游並無設置水位流量測站，因此利用 2011 年 1 米解析度 DEM 估算集水區出口高程坡度，並於二維流動區邊界 (2D flow area) 出口給定正常水深。

表 2 實驗編號與條件

Case Number	Model parameter			Water supply discharge	Dam Failure mode
	h_b (m)	C_{bw} (-)	T_f (min)	Q_p (m ³ /s)	
Run 1	7	1.1	10	74	Overtopping failure
Run 2	7	1.5	10	74	Overtopping failure
Run 3	7	1.8	10	74	Overtopping failure
Run 4	7	1.1	10	74	Piping failure
Run 5	7	1.5	10	74	Piping failure
Run 6	7	1.8	10	74	Piping failure
Run 7	7	1.1	30	74	Overtopping failure
Run 8	7	1.5	30	74	Overtopping failure
Run 9	7	1.8	30	74	Overtopping failure
Run 10	7	1.1	30	74	Piping failure
Run 11	7	1.5	30	74	Piping failure
Run 12	7	1.8	30	74	Piping failure
Run 13	7	1.1	60	74	Overtopping failure
Run 14	7	1.5	60	74	Overtopping failure
Run 15	7	1.8	60	74	Overtopping failure
Run 16	7	1.1	60	74	Piping failure
Run 17	7	1.5	60	74	Piping failure
Run 18	7	1.8	60	74	Piping failure
Run 19	7	None	None	74	None failure
Run 20	None	None	None	74	None dam

Note h_b : Dam height Rate; C_{bw} : Breach weir coefficient; T_f : Breach formation time; Q_p : Peak water discharge

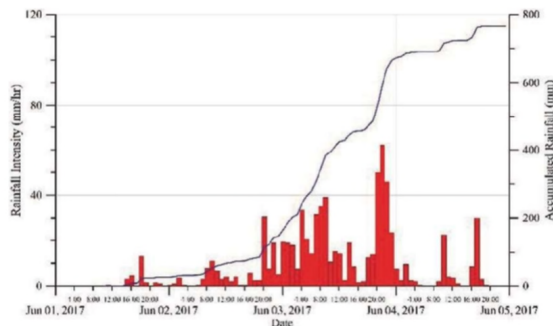


圖 6 雨量組體積 (鳳凰雨量站, C01090)

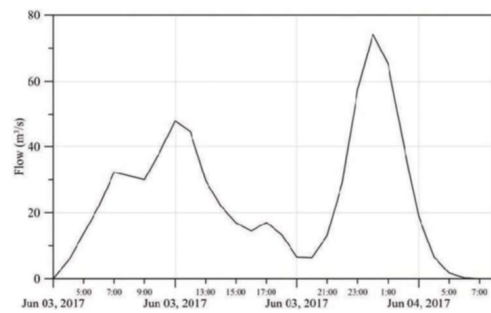


圖 7 流量歷線

3.4 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阻塞指標 (Dimensionless Blockage Index, DBI)，其是由 Ermini and Casagli (2003) 所提出如下式 (1)：

$$DBI = \log \left(\frac{A_b * h_b}{V_b} \right) \dots \dots \dots (8)$$

其中， A_b 為天然壩上游集水區面積 (km^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。且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。

四、結果與分析

4.1 天然壩穩定度分析

本研究利用崩塌前期 DEM 及崩塌後期 DSM 地形資料，使用 ArcGIS 計算天然壩上游集水面積及壩體之幾何資料。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，而當潛在土方量全部崩落，可能造成壩高達 17 公尺時，推估其蓄水體積可達 35,000 ~ 44,000 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；另當壩高為 17 公尺時，其分析之 DBI 指標值為 3.59，此兩者之分析結果皆屬於不穩定狀態，顯示此堰塞湖體存在潰壩的危險性。

4.2 潰壩模擬分析

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 8 及表 3 所示。

圖 8 (1) 為在天然壩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，無潰壩者 (Run 19)，其平均水位約為 576 公尺上下；而產生潰壩情形者 (Run 1)，其最大水位約為 576.6 公尺，之後隨著壩體高程隨時間潰壞逐漸降低至模擬結束時約為 566 公尺；在無天然壩者 (Run 20) 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，天然壩後方的蓄水區在給定之流量歷線條件下，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，這也表示堰塞湖蓄積水體大量流出。

圖 8 (2) 為在天然壩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) 及無天然壩地形 (Run 20) 三種模擬情境。在天然壩下游側水位歷線變化中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案例增加 0.6 公尺，較無天然壩地形案例增加約 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；而在無天然壩地形者，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 8 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天然壩地形兩者模擬結果接近，另外在水位變化方面，則是由於三者在壩址處其通洪斷面皆不同，因此，在壩體上游側的水位變化中，由於其河道寬度面積小於無壩體地形者，造成其水位在潰壩後仍高於無天然壩地形者。

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 9 (1) 及表 4 所示。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 及 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 及 13 進行比較，其結果如圖 9 (2) 及表 4 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 為溢頂破壞模擬案例之結果，其分別設定不同之潰口堰流係數 (C_{bw}) 及潰壩延時分析 (T_f)。在表 4 不同之潰口堰流係數結果中，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結果中，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 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變動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。

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 10 (1) 及表 5 所示。隨著潰口堰流係數增加，在天然壩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)，而此三者在天然壩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。

另在管湧破壞模擬分析上，對設定不同潰壩延時的案例 4, 10 及 16 三者進行比較，其結果如圖 10 (2) 及表 5 所示。在圖中可以看出，在潰壩發生時，隨著潰壩延時的增加，其潰壩尖峰流量亦相對減小，以案例 16 為最小，在天然壩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天然壩下游側亦是同樣的變化，僅是天然壩體下游側水位在潰壩期間變動幅度較小。

表 5 為管湧破壞模擬案例之結果，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 5 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 6 所示。由表中可以看出，當潰壩延時設置為 10 分鐘 (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 10 分鐘之模擬結果最大，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 5.74 (m/s) 之間。參照水土保持技術規範最大容許流速，當河道若修整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 10 分鐘模擬案例中 (Run 1 ~ Run 6)，其下游出口平均流速約達每秒 6.5 公尺以上，有可能對於下游河道造成冲刷現象，但仍然需要經由現地河道條件進行判斷，才可知道是否會發生冲刷現象。且比較下游出口處斷面，由於下游出口平均水深約為 2.1 至 2.3 公尺左右，其並未造成水流發生溢淹至道路之情形。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，仍有可能造成冲刷情形發生。

4.3 潰壩型態及其水理現象變化

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冲刷。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並堵塞河道，形成天然壩堰塞湖，在溢頂及管湧破壞型態變化分析下，造成在潰壩上游、下游等水理流況皆不相同。隨著上游端持續供水後，流量逐漸蓄積於天然壩後方堰塞湖區，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。由表 4 及表 5 之結果顯示，溢頂破壞與管湧破壞之尖峰流量隨著潰壩延時增長，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

表 3 不同潰決模擬情境分析表

Scenario	Dam Breach (Run 1)		Without Dam Breach (Run 19)		Without Dam (Run 20)	
Location	Water level (m)	Peak Flow (cms)	Water level (m)	Peak Flow (cms)	Water level (m)	Peak Flow (cms)
Upstream of dam	576.67	164.45	576.67	74.49	567.91	74.02
Downstream of dam	567.6		566.99		565.09	

表 4 溢流破壞潰壩參數變異分析表

Scenario	Overtopping Dam Breach		Weir coefficient			
	Run 1, $C_{bw} = 1.1$		Run 2, $C_{bw} = 1.5$		Run 3, $C_{bw} = 1.8$	
Location	Water level (m)	Peak Flow (cms)	Water level (m)	Peak Flow (cms)	Water level (m)	Peak Flow (cms)
Upstream of dam	576.67	164.45	576.67	165.49	576.67	166.1
Downstream of dam	567.6		567.58		567.55	
Scenario	Overtopping Dam Breach		Weir coefficient			
	Run 1, $T_f = 10$ (min)		Run 7, $T_f = 30$ (min)		Run 13, $T_f = 60$ (min)	
Location	Water level (m)	Peak Flow (cms)	Water level (m)	Peak Flow (cms)	Water level (m)	Peak Flow (cms)
Upstream of dam	576.67	164.45	576.67	95.94	576.67	83.95
Downstream of dam	567.6		567.36		567.29	

表 5 管湧破壞潰壩參數變異分析表

Scenario	Piping Dam Breach		Weir coefficient			
	Run 4, $C_{bw} = 1.1$		Run 5, $C_{bw} = 1.5$		Run 6, $C_{bw} = 1.8$	
Location	Water level (m)	Peak Flow (cms)	Water level (m)	Peak Flow (cms)	Water level (m)	Peak Flow (cms)
Upstream of dam	576.67	146.76	576.67	166.01	576.67	172.08
Downstream of dam	567.42		567.48		567.49	
Scenario	Piping Dam Breach		Failure formation time			
	Run 4, $T_f = 10$ (min)		Run 10, $T_f = 30$ (min)		Run 16, $T_f = 60$ (min)	
Location	Water level (m)	Peak Flow (cms)	Water level (m)	Peak Flow (cms)	Water level (m)	Peak Flow (cms)
Upstream of dam	576.67	146.76	576.67	132.28	576.67	113.19
Downstream of dam	567.42		567.03		567.21	

表 6 下游出口水深、流速、單寬流量結果

Case No. (T _f =10 min)	Run 1		Run 2		Run 3		Run 4		Rn 5		Run 6					
Water depth (m)	2.124		2.239		2.286		2.166		2.249		2.325					
Averaged velocity (m/s)	6.588		7.099		7.186		6.705		7.147		7.359					
Discharge of outlet (m ² /s)	154.0		173.7		180.6		159.2		175.0		187.8					
Case No. (T _f =30 min)	Run 7		Run 8		Run 9		Run 10		Run 11		Run 12					
water depth (m)	1.801		1.791		1.806		1.862		1.828		1.806					
Averaged velocity (m/s)	5.438		5.384		5.381		5.550		5.448		5.494					
Discharge of outlet (m ² /s)	98.5		98.8		98.0		101.8		101.8		102.9					
Case No. (T _f =60 min)	Run 13		Run 14		Run 15		Run 16		Run 17		Run 18		Run 19		Run 20	
water depth (m)	1.699		1.730		1.740		1.867		1.848		1.856		1.658		1.644	
Averaged velocity (m/s)	4.967		4.993		4.918		5.702		5.741		5.635		4.559		4.589	
Discharge of outlet (m ² /s)	83.8		84.6		87.5		107.8		107.8		107.8		74.0		74.0	

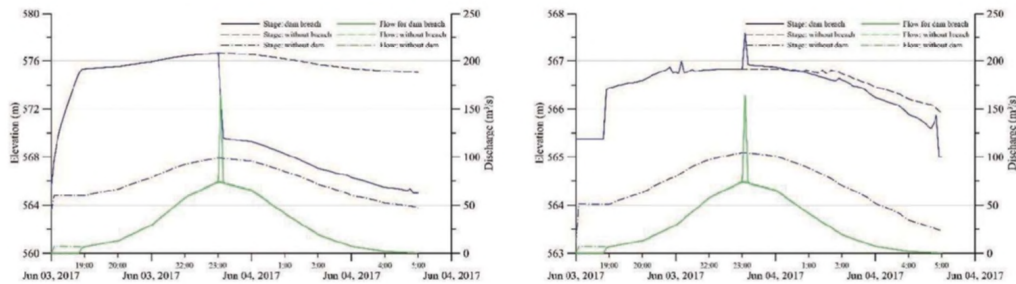


圖 8 水位—流量歷線圖 (Run 1, Run 19, Run 20) : (1) 壩體上游側斷面 (左); (2) 壩體下游側斷面 (右)

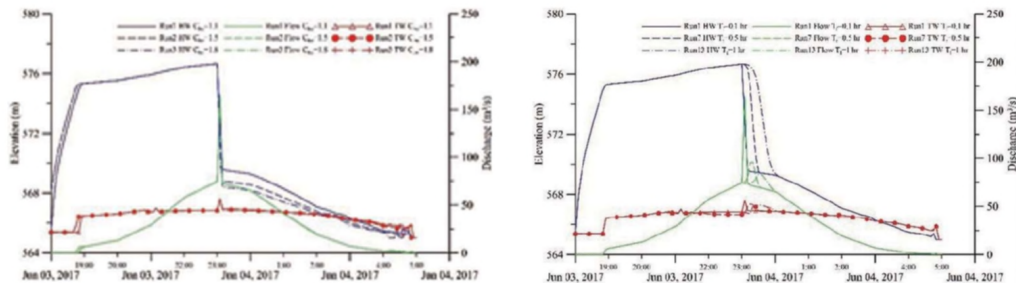


圖 9 溢流破壞水位—流量歷線圖 : (1) 潰口堰流係數變化 (Run 1, Run 2, Run 3) (左); (2) 潰壩延時變化 (Run 1, Run 7, Run 13) (右)

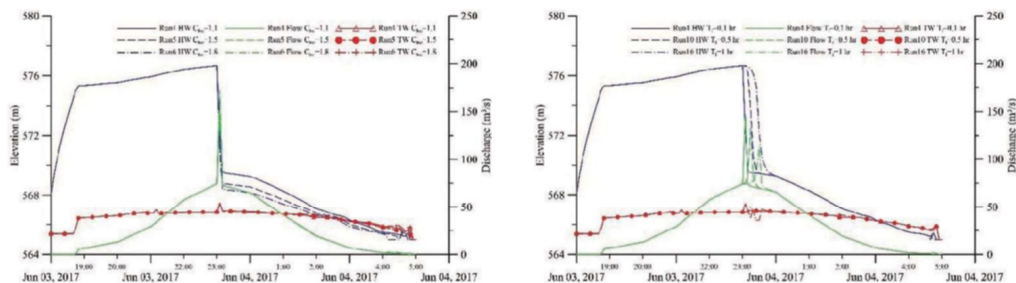


圖 10 管湧破壞水位—流量歷線圖 : (1) 潰口堰流係數變化 (Run 4, Run 5, Run 6) (左); (2) 潰壩延時變化 (Run 4, Run 10, Run 16) (右)

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，以致上游蓄積之水體緩慢逐漸排出，因此當管湧潰口擴大時，壩體上層土體崩壞，水體大量沖洩而出，導致其尖峰流量在短時間內快速上升。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，如表 4 及表 5 所示。由於管湧模式計算之基準是依據孔口流公式 (orifice equation) 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。

五、結論

本文以 2017 年 6 月豪雨事件所引致南投縣鹿谷鄉竹林村小半天瀑布下游左岸邊坡崩塌所形成堰塞湖進行潰決模擬。藉由一系列潰壩數值模擬，並以潰壩延時、潰壞型態及潰壩堰流係數，探討潰決流量、下游淹水範圍、洪峰到達時間、流速等模擬成果。由模擬結果，可以得到以下幾點結論：

1. 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. 由於潰壩瞬間產生潰決流量劇烈變化，造成潰壩處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。另外在水位變化方面，由於壩址處通洪斷面皆不同，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。
3. 在分析溢頂破壞案例下，潰壩延時參數

天然壩潰決所帶來的危害主要仍是取決於天然壩堆積土體規模與堰塞湖所蓄積的水量，當天然壩之壩體規模越大，蓄積水體越多，並發生潰決時，所造成之危害影響範圍程度越大。在 HEC-RAS 2D 潰壩模式中，藉由壩體之幾何參數、水文條件、潰壞模式之設定進行潰決影響分析模擬，但目前此二維數值模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，這點對於天然壩形成中，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、潰決尖流量及洪水尖峰流量到達時間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模擬所需計算時間相當快速即可得到結果，對於緊急事件之快速評估危險範圍等有直接的助益。

- 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，其造成之尖峰流量的變動幅度在 0.63% ~ 1.00% 間，但在潰壩延時的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度在 41.66% ~ 48.95% 之間，因此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。
4. 在本次分析管湧破壞下，當潰壩發生時，堰流係數的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度在 13.12% ~ 17.25% 之間，而在潰壩延時的變動量方面，其造成之尖峰流量的變動幅度方面在 9.86% 至 22.87% 之間，因此在管湧破壞下，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。
 5. 比較兩種不同破壞案例下，皆是以潰壩延時參數變動時，兩種破壞型式對於潰決尖峰流量的敏感性皆大於堰流係數之結果，進一步比較，則是對於溢頂破壞的潰決尖峰流量更大，其變動幅度最大可達 48.95%。

本次模擬分析中，HEC-RAS 2D 模式在計算時間上提供相當快速的解析結果，對於山區河道邊坡崩塌形成天然壩時，若潰壩情形尚未發生，災害應變中心可就潰壩型態之溢流及管湧破壞進行情境模擬，在參數的設置上，僅需考慮壩體幾何參數、潰壩延時及堰流係數等三者之設定。在壩體之幾何參數方面，可就現場簡易光學測距儀量測、航照資料或 UAV 拍攝影像及其產製之 DSM 資料提供數據，另在 Brunner (2014) 及 Brunner and CEIWR-HEC (2016a, 2016b) 研究報告中皆提供潰壩延時及堰流係數參數設定之預設值及歷史案例資料可供參考，對於緊急評估分析下游保全住戶之影響，其可快速計算並評估

潰壩時所產生之潰決尖峰流量、洪水到達時間、河道溢淹情況等模擬成果。另外可避免當天然壩穩定性未明情況下，對於現場土體進行採樣分析，降低衍生之現勘人員傷亡的風險，在颱風豪雨期間，災害應變中心於災情研判與決策分析上有直接助益。

六、誌謝

感謝國立成功大學防災研究中心提供現場調查資料、UAV 拍攝資料及雨量資料，特此誌謝。

收件：2019/02/12
修正：2019/03/08
接受：2019/03/27

參考文獻

1. Boussekine, M., and Djemili, L., (2016). "Modelling approach for gravity dam break analysis." *Journal of Water and Land Development*, No. 30, 29-34.
2. Brunner, G. W. (2014). "Using HEC-RAS for Dam Break Studies." US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center (HEC), TD-39, 74.
3. Brunner, G. W., and CEIWR-HEC (2016a). "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), CPD-68A, 171.
4. Brunner, G. W., and CEIWR-HEC (2016b). "HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual." US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center (HEC), CPD-69, 547.
5. Butt, M.J., Umar, M. & Qamar, R. (2013). "Landslide dam and subsequent dam-break flood estimation using HEC-RAS model in Northern Pakistan." *Nat Hazards*, 65, 241-254. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0361-8>
6. 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 Resource Research*, 46(11).
7. 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)
8. 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." *Earth Science Research Journal*, 22(1), 37-43.
9. 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)
10. 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." *Journal of Mountain Science*, 8(4), 571-581.
11. Costa, J. E., and Schuster, R. L. (1988). "The formation and failure of natural dams." *Geol Soc Am Bull*, 100(7), 1054-1068.
12. 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.

13. Ehsan, S., Afzal, S., Usman, M., Rasheed, M., and Jamil, Waqas. (2016). "Dam Break Modeling by Using HEC-RAS." *NFC-IEFR Journal of Engineering and Scientific Research*, 4, 26-31.
14. Ermini, L., and Casagli, N. (2003). "Prediction of the behavior of landslide dams using a geomorphological dimensionless index." *Earth surface Processes and Landforms*, 28, 31-47.
15. Huang, F. C., Lee, Y. H., Lin, J. T., Chen, K. W., Chen, C. Y., Wang, K. L. (2017). "The Case Study for Evaluation of Landslide Volume and Moving Paths of Single Falling Rock." 5th International Conference on Geotechnical Engineering for Disaster Mitigation and Rehabilitation, Sep. 13 - Sep. 14, 2017, Taipei.
16. 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.
17. 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.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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)
22. 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.
23. 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.
24. Singh Vijay, P., and Scarlatos Panagiotis, D. (1988). "Analysis of Gradual Earth-Dam Failure." *Journal of Hydraulic Engineering*, 114(1), 21-42.
25. 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 climate change and tectonic activity (2nd)* The Japan Society of Erosion Control Engineering.
26. Wahl Tony, L. (1998). "Prediction of Embankment Dam Breach Parameters - A Literature Review and Needs Assessment." *Water Resources Research Laboratory, U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, Dam Safety Research Report, DSO-98-004.*
27. Wahl Tony, L. (2004). "Uncertainty of Predictions of Embankment Dam Breach Parameters." *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(5), 389-397.
28. 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.
29. Xiong, Y. (2011). "A Dam Break Analysis Using HEC-RAS." *Journal of Water Resource and Protection*, 3(6), 370-379.
30. Xu, Y., and Zhang, L. M. (2009). "Breaching Parameters for Earth and Rockfill Dams." *J Geotech Geoenviron*, 135(12), 1957-1970.
31. 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.
32. 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>
33. 劉維則, 陳振宇, 嚴曉嘉, 林家興 (2018) 沉侵式訓練平台開發於坡地災害虛擬實境空間之應用, 2018 台灣地理資訊學會年會暨學術研討會, 台中, 逢甲大學, 2018 年 7 月 4 日~5 日。



2019



海峽兩岸水土保持學術研討會

SYMPOSIUM ON CROSS-STRAIT SOIL AND WATER CONSERVATION

10月21日(國際會議廳)			
時間	議題	主講人	主持人
08：30-09：00	報到及分發資料		
09：00-09：30	開幕及貴賓致詞		
主題	專題討論		
09：40-10：00	主要水蝕區水土流失防治成效評估	劉國彬	周天穎理事長
10：00-10：20	台灣水土保持手冊新版編修後的未來發展趨勢	陳樹群	
10：20-10：30	大合照		
10：30-10：45	茶敘/交流		
主題	水土流失防治與區域永續發展(植生工程、坡地災害)		
10：45-11：00	植物時間與空間動態變化下的固土固坡效能研究	王雲琦	王雲琦副院長 段錦浩教授
11：00-11：15	崩塌地應用無人飛行載具(UAV)播種植生粒劑 可行性評估	許愷岐	
11：15-11：30	極端天氣（暴雨）條件下植被對坡面產水產沙的 調節作用	張豔	
11：30-11：45	阿里山二萬坪地區之植生邊坡穩定度分析	章之嘉	
11：45-12：00	基于試驗和數值模擬的降雨入滲過程中根系固土 能力動態變化研究	李通	
12：00-13：30	午餐		
主題	水土流失防治與區域永續發展(水文、輸砂、坡地災害)		
13：30-13：45	2016年九寨溝景區則查洼溝泥石流災害成因分析	陳昆廷	呂春娟副教授 林德貴教授
13：45-14：00	日本厚真町堰塞湖之形成與潰決潛勢分析	吳振佑	
14：00-14：15	不同土壤類型堆積體坡面侵蝕過程比較研究	高照良	
14：15-14：30	高陡岩石邊坡破壞型態及土砂移動現象之探討	邱雅筑	
14：30-14：45	鐵尾砂不同複壑基質坡面產流產沙研究	呂春娟	
14：45-15：15	茶敘/交流		
主題	工程建設與水土保持		
15：10-15：25	水潤豐澤 土固大美 —— 深圳市水土保持工作的 幾點做法與體會	胡細銀	王飛副所長 許中立教授
15：25-15：40	北京市城市生產建設項目水土保持主要措施	陳芳孝	
15：40-15：55	土砂動態分析與水土保持管理策略-以旗山溪為例	曾品潔	
15：55-16：10	黃土高原生態海綿流域建設與實踐	蒲玉宏	
16：10-16：25	水土保持計畫之永久設施調查及績效評估	許中立	
16：25-16：40	水土保持學科內涵與研究對象的新思考	王飛	
16：40-17：10	閉幕典禮		



2019



海峽兩岸水土保持學術研討會

SYMPOSIUM ON CROSS-STRAIT SOIL AND WATER CONSERVATION

海報簡報列表(地點:國際會議廳,張貼時間:8:30-17:00)

編號	作者	題目
1	丁建新	北京市山洪災害監測預警技術
2	王改玲	黃土丘陵區土壤侵蝕特徵及防治
3	甯滿江	北京市水土保持法律制度建設
4	任杰	北京市生產建設項目天地一體化監管技術
5	劉煥煥	旱作果園土壤不同植被覆蓋水分入滲特徵及模擬研究
6	孫發政	水土生態的理論與實踐
7	覃瓊	水土保持在長輸管道工程建設中的應用探討
8	樂吉福	不同水土保持措施對坡面徑流小區產流產沙的影響
9	林軍	深圳市水土保持科技示範園建設的新理念
10	鄭佳麗	深圳市生產建設項目水土保持監督管理的主要做法
11	曾毅	從水土保持角度淺析海綿城市設計——以深圳市某中學為例
12	黨晨席、劉靜、鄭佳麗	城市水土生態理念在深圳市福田河綜合整治工程中的實踐
13	黨晨席、郭睿、宋維念、鄭佳麗	深圳市水庫消漲帶水土生態修復技術體系研究
14	黨晨席、陳霞、郭睿、鄭佳麗、郭立鵬	深圳市城市土壤侵蝕預測模型的建立
15	洪政義、黃博暉	牛埔農塘泥岩環境與地景優化規劃
16	許中立、李哲宇、陳淑慈	臺東縣向陽森林遊樂區之事件型山崩潛感分析
17	張郡庭、李錦育、陳金諾	高屏河流域流量-輸砂量率定曲線修正之研究
18	蔣季翰、諸予涵、黃敏郎、林瑞仁、洪政義	利用Scoops3D進行潛在大規模崩塌區之邊坡穩定分析
19	林詠喬、詹婉妤、陳振宇、陳均維	臺灣近年降雨誘發之土砂災害變遷趨勢初探
20	洪啟耀、陳慈惜	一維土石流型堰塞湖潰決演算及運動波洪水傳遞模型
21	莊嘉銘、馮正一	應用Scoops3D於上游集水區之邊坡穩定性評估
22	梁閔智、陳樹群、席克懷	漂流木有無根系對底床之影響
23	郭庭佑、李明熹	運用雷射雨滴譜儀進行臺灣北部及南部降雨特性之量測與分析
24	賴原崇、蘇裕城	水庫集水區土砂治理效益之研究

日本厚真町堰塞湖之形成與潰決潛勢分析

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

摘 要 統計結果顯示，不論是地震或降雨引致崩塌所形成的堰塞湖，約有 50%於形成後 10 日內潰決，故如何快速評估堰塞湖潰決後的衝擊與影響，係防災工作上的重要課題。本研究嘗試使用免費的 HEC-RAS 水理模式的二維洪水演算模組，建立一套快速評估堰塞湖潰決後對下游之衝擊與影響的標準作業程序，並以 2018 年 9 月 6 日日本北海道地震導致之厚真町堰塞湖為案例，藉由水理數值模式，分析堰塞湖潰決之洪峰水流運動特性，包括潰壩時所產生之潰決尖峰流量、洪水到達時間、河道溢淹情況等。透過不同壩高與潰壩延時之潰壞參數變動情境模擬成果，可協助防災單位掌握相關風險，並據以劃定影響範圍及保全對象、研擬緊急避難計畫，以及設定警戒發布時機等相關防災措施。

關鍵詞：堰塞湖潰壩、洪水演算、影響範圍、北海道地震。

The Formation and Dam Breach Analysis of Landslide Dam Lake in Atsuma Town in Japan

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

ABSTRACT Many studies showed about 50% landslide dams will breach within 10 days, whether they were induced by earthquake or rainfall. Therefore, how to assess the disaster impact after a landslide dam breach is an important issue in the disaster response works. This study used free two-dimensional flood routing model of HEC-RAS model to establish a standard operating procedure for rapid assessing the impact on the downstream protecting targets after a landslide dam breach. The landslide dam caused by Hokkaido earthquake in Atsuma Town in Japan on 6th September 2018 is a case study in this research. A numerical model is selected to simulate the process of dam breach and analysis the characteristics of flooding wave, including the peak discharge, flooding arrival time, and inundation area. The results presented the simulation of different landslide dam height and breach duration to recognize disaster risks. Base on the results, the local government cannot only delimit the inundated area and protect targets but also decide emergency evacuation plan and set early-warning criterion.

Key Words : landslide dam breach, flood routing, impact areas, Hokkaido earthquake

[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, Nantou 540, Taiwan

[2] 財團法人農業科技研究院農業政策研究中心

Agricultural Policy Research Center Research Assistant, Agricultural Technology Research Institute, Hsinchu 300, Taiwan.

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

一、前言

近年來極端降雨事件頻傳，導致大規模崩塌與複合型災害發生頻率增加 (Shieh et al., 2009; Shieh et al., 2010)，其中部份大規模崩塌阻塞河道成為天然壩，並進一步形成堰塞湖，若發生堰塞湖潰壩將會導致嚴重的二次災害。2018 年中國四川金沙江上游發生 2 次大規模崩塌並形成堰塞湖，之後壩體潰決所形成的洪水沖毀許多橋梁與村落，疏散約 2 萬人；2004 年日本年新潟縣中越地震、2011 年 9 月紀伊半島豪雨災害，多處崩塌形成堰塞湖且第一時間因天候不佳未能即時察覺，潰決後衍生許多重大災情，日本政府從這些災害處理經驗中認知到堰塞湖災害的危險性與急迫性，並著手建立相關 SOP。台灣因地理條件特殊經常發生地震及颱風事件，時有大規模崩塌形成堰塞湖，如 1999 年集集大地震時形成之草嶺與九份二山堰塞湖；2009 年莫拉克颱風，造成全台形成了十多處堰塞湖 (陳昆廷，2010；陳樹群與許中立，2009)。

根據 Schuster & Costa (1986) 的統計，不論是地震或降雨崩塌引致的堰塞湖，約有 50% 於形成後 10 日內潰決，約有 80% 堰塞湖其形成時間約在半年內潰決，大約 85% 於一年內潰決，僅 15% 案例其存在時間超過一年。Costa, J. E., and Schuster, R. L. (1988) 則以地形學之分類將堰塞湖分為六個類型，第 I 型為崩塌阻塞河道，但未到達對岸；第 II 型為崩塌阻塞河道並到達對岸；第 III 型為崩塌阻塞河道並往上下游堆積；第 IV 型為兩側邊坡發生崩塌並阻塞河道；第 V 型為崩塌分成兩股進入河道；第 VI 型為天然壩係由河底之破壞面升起，如下圖 1 所示。

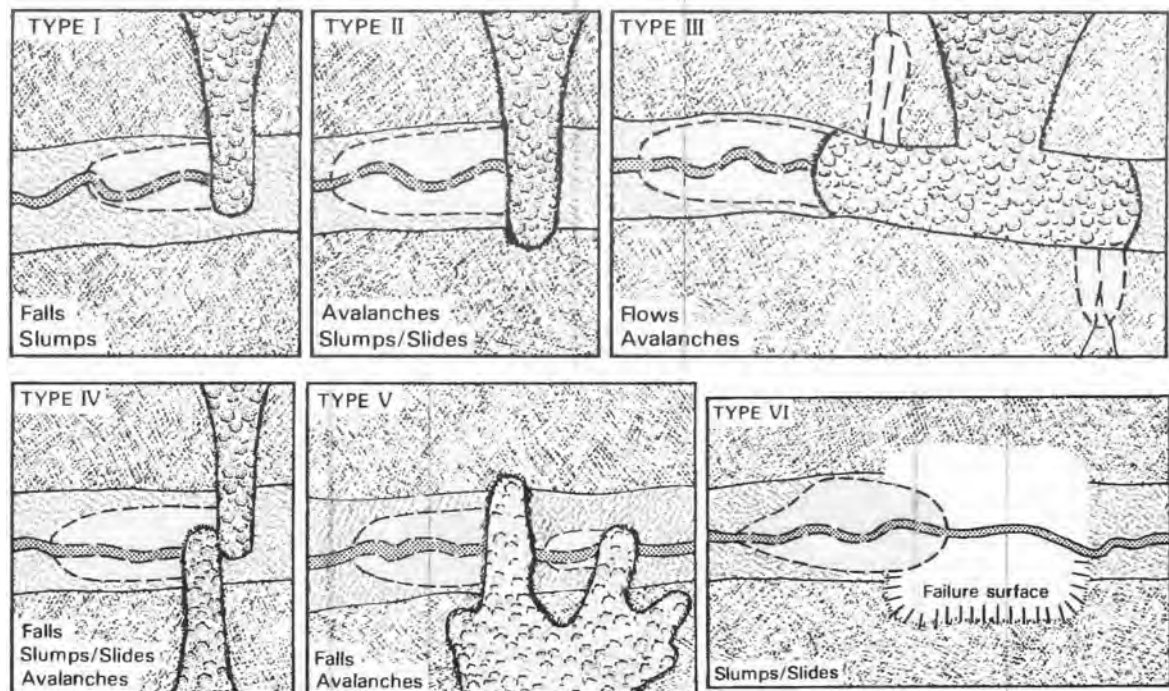


圖 1 天然壩類型 (Costa, J. E., and Schuster, R. L., 1988)

Fig.1 Types of landslide dam (Costa, J. E., and Schuster, R. L., 1988)

一般而言，發現堰塞湖形成後，首要須先判定其穩定性，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阻塞指標 (Dimensionless Blockage Index, DBI)。此法係由 Ermini and Casagli (2003) 所提出之經驗式，其統計天然壩壩高、天然壩體積與堰塞湖集水面積並推演出其與壩體穩定性之關係，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。

由於堰塞湖從形成到潰決期間，常受到諸多條件限制未必能於第一時間發現，且存在時間長短不確定，亦不易取得崩塌後壩體材料與幾何資料；甚至在颱風豪雨事件中形成之堰塞湖，經常伴隨著大雨直接發生潰決，導致大量土砂伴隨洪水沖至下游，形成河岸侵蝕、洪水溢淹、維生管道、設施損毀等情形，嚴重威脅下游聚落居民生命財產之安全。因此，如何在短時間內快速評估天然壩壩體是否穩定、堰塞湖對上下游保全對象的影響，甚至發生潰決事件後對下游保全對象的衝擊，以擬定緊急疏散及避難對策等是非常重要的課題。日本在 2004 年新潟中越地震時，成功處理崩塌所形成的堰塞湖避免二次災害的發生，並開始針對

堰塞湖災害進行相關緊急應變策略之擬訂，於 2011 年修訂土砂災害防止法，規定堰塞湖災害緊急調查條件與初步影響範圍分析方法(水野秀明等，2011)，隔年紀伊半島豪雨透過 QUAD-L 模式之模擬成果，發布堰塞湖災害可能影響範圍資訊，提供縣市政府初步需要疏散避難之區域(清水武志等，2012)。

由於天然壩之形成及其衍生之二次災害難以事前預測，故一旦發現後，其緊急應變計畫之研擬通常十分急迫。因此，如何以短時間內調查所得資料，並在最快速的時間內評估、判斷災害潛勢並發布防災避難決策，值得不斷探討與精進改善。對此，本研究期在建立一套災後可快速評估及預測堰塞湖潰決後各種可能情境之標準作業程序，以及上游迴水區與下游潰決後之淹沒區之影響範圍與衝擊程度，其研究流程如圖 2 所示，並以 2018 年北海道地震 (Hokkaido Earthquake) 所造成之厚真町堰塞湖為研究案例並進行潰決模擬分析。

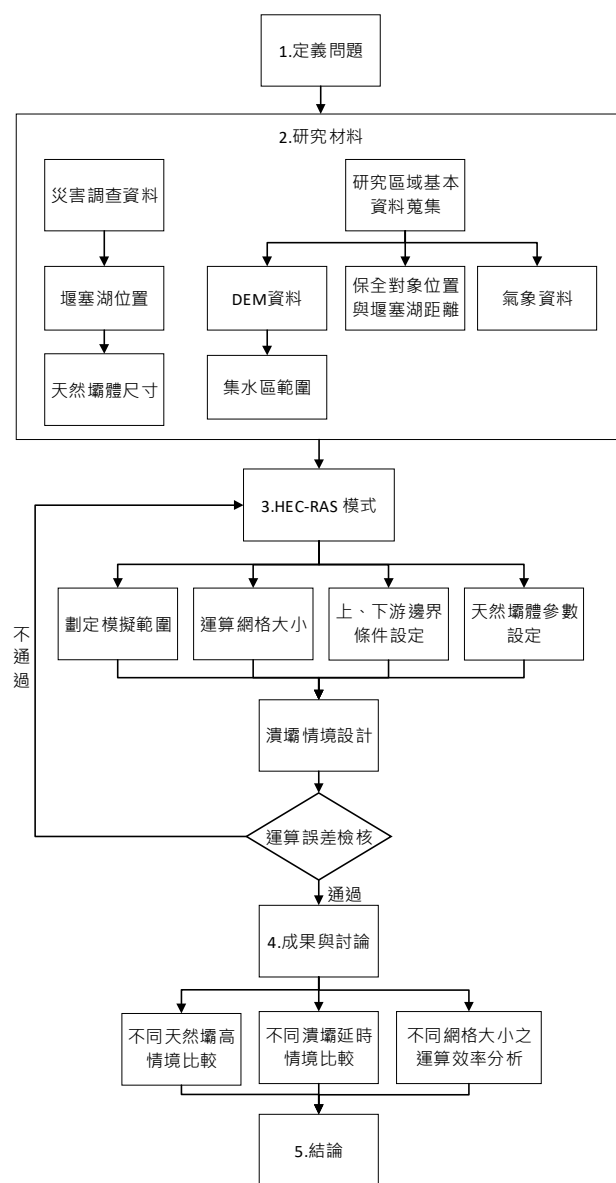


圖 2 研究流程圖

Fig.2 Flow chart of the study process

二、材料及方法

1. 北海道地震事件說明

2018 年 9 月 6 日凌晨 3 時 7 分北海道發生芮氏規模 6.7 地震，震央位於北緯 42.72 度，東經 142.0 度，震源深度約 37km，屬西北-東南向之逆向斷層。依據日本氣象廳資料圖 3 顯示，最大震度發生在厚真町地區達 7 級，其他城市如札幌、千歲、夕張、函館等分別為 5 至 6 級 (Yamagishi and Yamazaki, 2018; 中央災害防救會報，2018)，地震導致北海道地區多處發生崩塌，崩塌面積估計約為 13.4km²，創下從 1891 年紀錄以來日本崩塌面積最大的一次地震。本次地震造成 42 人死亡、762 人受傷，日本緊急災害對策派遣隊(TEC-FORCE)成員出動 3,064 人次協助本次災害的調查與各項技術支援，根據調查結果顯示，土砂災害統計為 227 件，其中厚真町地區佔了 201 件，住宅損壞統計全倒 462 棟、半倒超過 1500 棟，多處道路因地震而產生裂縫及高低落差，部分住宅區也發生土壤液化之情形。

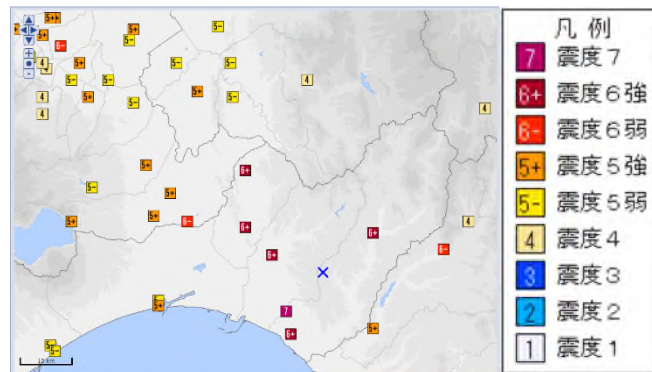


圖 3 北海道地震震度分布圖 (日本氣象廳)

Fig.3 Distribution of seismic intensity in Hokkaido earthquake (Japan Meteorological Agency)

北海道地震造成多處坡地崩塌，許多崩塌土砂堆積於河道與排水路上，導致河道阻塞形成天然壩，其中一處大規模崩塌位於厚真町厚真川上游的日高幌內川(如圖 4)：崩塌長度約 1km，崩塌面積約 50ha，崩塌土體阻塞河道長約 850m，並形成高約 50m、最大寬度約 230m 之天然壩體，估計最大上游迴水長度可達約 2km。由於該崩塌量體較大，無法在短時間內透過工程手段移除土體，第一時間防災人員先進行堰塞湖基礎資料調查與緊急監視設備設置，日本國土交通省派遣之 TEC-FORCE 成員分別在天然壩上、下游設置水位監測設備，當天然壩體上游蓄水高度上升時，或天然壩體下游滲水量增加時，能夠提早提供下游保全對象疏散避難相關資訊。水位資料每日上網發布，提供民眾及相關防災人員目前水位高度，也透過 UAV 無人飛行載具空拍現場狀況，並進行地質鑽探了解該崩塌區域地質型態，以利進行後續的挖降工程規劃。



圖 4 崩塌調查資料示意圖(日本國土地理院)

Fig.4 A schematic diagram of Landslide size (Geospatial Information Authority of Japan)

2. 研究區域基本資料

為了推估堰塞湖災害之可能災害潛勢範圍，本研究擬透過模式模擬天然壩體若發生潰決後對下游保全對象之影響。首先需透過基礎資料蒐集及現場相關調查資料，提供模擬環境參數設定及模擬情境設計，其模擬所需基礎資料包括數值高程模型(DEM)、當地氣象資料、上游與下游保全對象基本資料、天然壩體位置及其形狀相關資料。

本研究使用的 DEM 資料為美國太空總署 Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM) Version 2 的免費公開資源，該 DEM 為 2011 年產製的 30m 解析度數值高程模型，分析研究區域之集水區資料如圖 5 所示，日高幌內川集水區總面積為 13.59km²，而天然壩上游集水區面積為 8.29km²，平均坡度為 2.42%，天然壩下游至厚真川匯流處平均坡度為 0.62%，而厚真川模擬區域之河道平均坡度約為 0.19%，相較於台灣的河川，該區域的河道坡度相對平緩，若發生潰壩導致之洪水將無法短時間內順利排除。本研究蒐集厚真町氣象站紀錄自 1976 年至 2017 年的雨量資料，平均年降雨量為 997mm，每年最大一小時降雨強度如圖 6 所示最大為 46 mm/hr，最小為 9 mm/hr，其平均為 22.85 mm/hr，日平均溫度約為 8 度，冬天氣溫會低於 0 度，導致降雪及蓄水區域結冰之情形，而到春天融雪時可能有大量水體補充至蓄水範圍內，或是透過地下水至天然壩體下游滲出，可能會造成天然壩體滲流破壞。

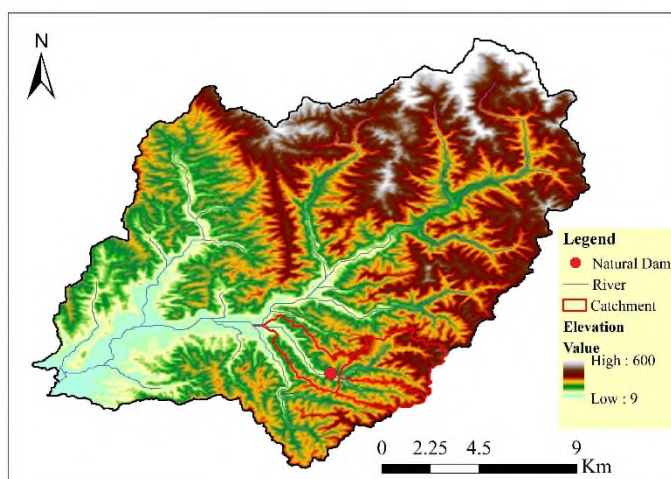


圖 5 研究區域之集水區範圍

Fig.5 The catchment area in this study

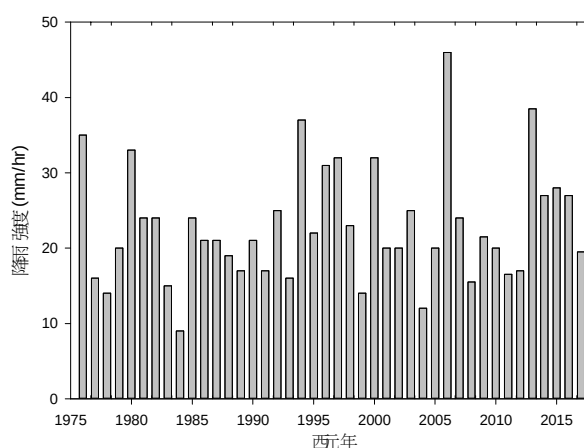


圖 6 厚真町地區歷年最大一小時降雨強度

Fig.6 Maximum record of one-hour rainfall intensity every year in Atsuma Town

為了降低堰塞湖災害對於保全對象的影響，在確認堰塞湖位置後立即調查天然壩上游迴水範圍內及下游行水區周邊保全對象之資料，本研究透過衛星影像初步確認該區域之建築物分布情形如圖 7，由於天然壩上游區域並無發現相關建築物，所以假設無保全對象位於此區，而天然壩下游依照建築物分布及潰壩可

能影響的範圍，選定三處聚落作為災害可能影響之重點區域，並透過分析結果判斷影響範圍及其流速與水深。其中聚落 1 距離堰塞湖約為 0.5km 約有 3 戶保全對象位於此處，聚落 2 距離堰塞湖約為 3.5km 且有逾 20 戶住宅於此，若堰塞湖潰壩洪水衝擊此區域，恐將會造成嚴重的災害；而聚落 3 約有 8 戶保全對象，距離堰塞湖約為 5.5km。三個聚落離河道都不到 50m，且河道斷面深度約 3m 至 5m，洪水來臨時容易溢淹至兩岸，對於兩岸保全對象將有致災的風險。



圖 7 研究區域之保全對象位置與堰塞湖之距離

Fig.7 Position of protected targets and the distance from the landslide dam

3. 模式介紹及情境設計

本研究採用美國陸軍工兵團水文工程中心所開發之 HEC-RAS 模式河川分析系統，其提供一及二維河道水理演算模式，包含定量流 (steady flow water surface profiles) 計算、變量流 (unsteady flow water surface profiles) 計算及動床輸砂 (mobile bed sediment transport) 計算等三大項計算功能。

在定量流模組下，水理模式可分析模擬河川系統為單一河段或是網狀河川；另外，對於亞臨界及超臨界流況或是兩者混合之流況均可模擬進行水理計算。在變量流模組下，水理模式則是可進行超臨界、亞臨界或是混合流況之水理計算。輸砂/動床單元係用以模擬在中、長期內（一般為數年，單場洪水事件亦適用）河道沖淤變化所造成之輸砂/動床演算。輸砂潛能係依照粒徑分配計算，因此可模擬水力篩選 (Hydraulic Sorting) 及護甲作用 (Armoring)。

HEC-RAS 5.0 以上的版本提供二維水理分析模組，並透過 Mapper 圖台功能，簡化基礎資料輸入步驟。其二維運算模式可採用擴散波方程式(Diffusion wave equation)或是淺水波方程式(Shallow water equation)，並可以依照模擬精度需求調整運算方法，再以二維水理演算透過有限體積法(Finite Volume Method, FVM)來解算結構及非結構化網格。此外，二維的分析方法較適用於寬廣的洪水平原模擬、潰堤後的下游流況、複雜流況等情境，亦較能處理匯流口水流交會、轉移之情形，但模型的整體大小與網格大小將會影響運算時間。

(1) 控制方程式

HEC-RAS 2D 變量流水理 (unsteady flow hydraulic) 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)。

本節 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：

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

其中 $H=h+z$ 為水位高， h 為水深， z 為底床高程， t 為時間， u 及 v 分別為 x 及 y 方向之流速分量， q 為源項 (source / sink flux term)。

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

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f v + fu \quad (3)$$

其中 g 為重力加速度， v_t 為渦流黏滯係數， c_f 為底床摩擦係數， f 為科氏力參數。在動量方程式等號左邊為對流加速度及局部加速度項，而在方程式等號右邊為水壓力項、渦流擴散項(eddy diffusion)、底床摩擦項及科氏力項 (Brunner and CEIWR-HEC, 2016b)。

為了離散化 (discretize) 連續及動量方程式，藉由有限差分進行時間項離散化，另外對空間項則是使用有限差分及有限體積的複合方式 (hybrid approximation) 進行離散化。

(2) 天然壩潰壩情境設置

本研究採用全區域透過二維水力網格建置模擬範圍如圖 8，以 ASTER DEM 為底圖，模擬總面積約為 25km²，設定模擬網格大小為 50m*50m 進行自動化計算平均分布，考量地形關係及模擬範圍邊界，統計使用的網格數為約為 28,775 個。在天然壩上游邊界，設置為 3 處入流起點，其入流量透過合理化公式計算，其洪峰流量約為 40cms，出流終點處則為此天然壩集水區出口，設定其邊界條件為正常水深，且該區域平均坡度 0.19%。由於無法快速取得該地區土地利用分區圖層，為加快模式計算速度及縮短成果取的時間，本研究依手冊建議值，曼寧 n 值採用 0.04，作為洪水氾濫之行水區參考依據，天然壩體距離匯流進主流厚真川約 3.5km，模擬河道總長度自天然壩下游處起算至下游邊界條件約為 12km。

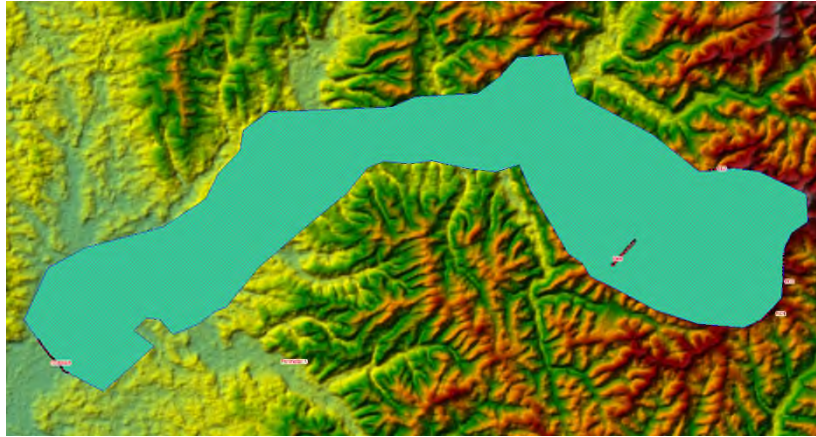


圖 8 研究區域之模式模擬範圍示意圖

Fig.8 Schematic diagram of model simulation area

以 HEC-RAS 2D 執行潰壩模擬時，需設定天然壩體位置形狀及潰壩時潰口等相關參數(如圖 9)；其中在潰壩設定介面中有幾項重要的參數，目前潰壩模式能提供 2 種潰壩模式 (Failure mode) 為溢頂破壞和管湧破壞，本研究採用最多歷史案例的溢頂破壞作為潰壩模式，而在天然壩形狀及潰口參數方面，除了現場調查壩體高度外，另包含潰口堰流係數 (Breach Weir Coefficient)、潰壩延時 (Breach Formation Time)、啟動水位(Starting WS)及最終壩體底部高程(Final Bottom Elevation)等相關設定。考量現場狀況之不確定性及防災評估需求，本研究將透過影響潰壩結果最大的參數，壩體高度及潰壩延時進行不同情境之設計，並假設當堰塞湖水體溢流過天然壩之後開始發生潰壩，潰壩最終將會刷深至原地表高程值。

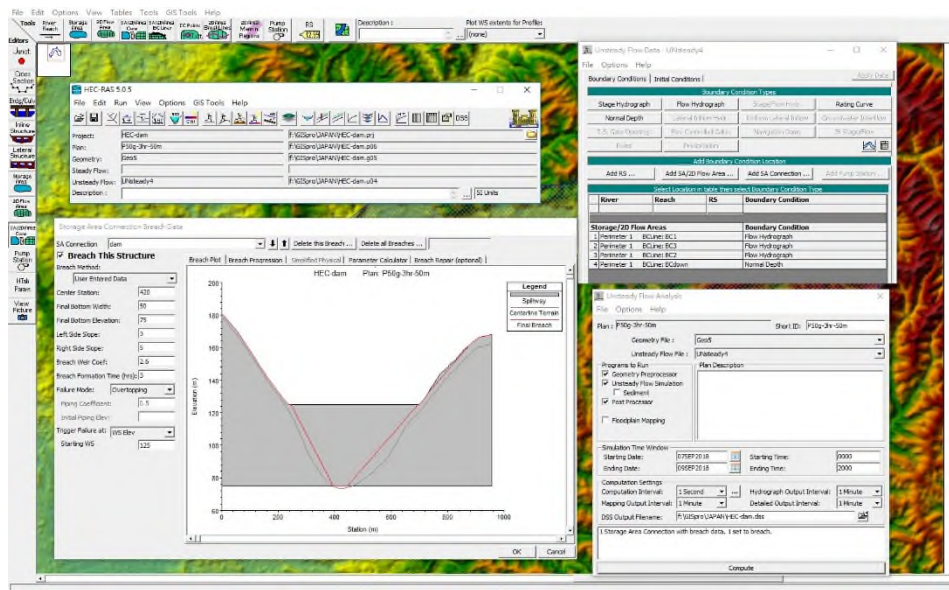


圖 9 HEC-RAS 模式 2D 潰壩參數設定介面

Fig.9 The input interface of landslide dam breaking conditions for the HEC-RAS 2D model

為了能夠快速評估堰塞湖潰壩對下游保全對象的影響，以及考量到對於天然壩體組成材料的不確定性，本研究將透過不同天然壩壩高情境及潰壩延時，探討堰塞湖上游迴水範圍以及潰壩後下游影響範圍，再比較不同網格大小運算所需要的時間，並分析其水深、流速及洪水抵達時間等結果，模擬成果將能提供防災應變之參考依據，表 1 整理本研究 10 種不同潰壩情境之參數設定。

表 1 潰壩情境參數整理

Table 1 Parameters of the landslide dam scenarios

NO.	壩高(m)	潰壩延時 (hr)	網格大小	曼寧 n 值	上游入流量 (cms)
Case1	10	1	50m*50m	0.04	40
Case2	20	1	50m*50m	0.04	40
Case3	30	1	50m*50m	0.04	40
Case4	40	1	50m*50m	0.04	40
Case5	50	1	50m*50m	0.04	40
Case6	50	0.5	50m*50m	0.04	40
Case7	50	3	50m*50m	0.04	40
Case8	50	6	50m*50m	0.04	40
Case9	50	1	25m*25m	0.04	40
Case10	50	1	100m*100m	0.04	40

三、成果與討論

1. 不同壩高情境之災害潛勢分析

由於災害第一時間天然壩組成材料未必可得知，且壩體強度難以推估，無法在短時間內推理預測其潰壩形式及潰壩速率，故藉由不同壩體高度之設置，進行各種情境之潰決模擬分析，可以得知不同壩體高度所造成之上游迴水長度、蓄水面積、蓄水體積和對下游區域影響範圍，如表 2 所示。當壩體高度為 10m 時，其所造成之蓄水體積約為 $20 \times 10^3 \text{ m}^3$ ，迴水長度約為 230m，迴水面積約為 $60 \times 10^3 \text{ m}^2$ ，潰壩影響範圍約為下游 0.5km，亦即包含聚落 1；壩體高度為 20m 時，蓄水體積約為 $97 \times 10^3 \text{ m}^3$ ，迴水長度約為 840m，迴水面積約為 $125 \times 10^3 \text{ m}^2$ ，潰壩影響範圍落在聚落 1 與聚落 2 之間，洪水影響距離約為 2.2km；壩體高度為 30m 時，蓄水體積約為 $313 \times 10^3 \text{ m}^3$ ，迴水長度約為 1km，迴水面積約為 $320 \times 10^3 \text{ m}^2$ ，潰壩影響範圍擴大至聚落 2，潰壩影響距離較大幅升高至 4.2km；壩體高度為 40m 時，蓄水體積約為 $734 \times 10^3 \text{ m}^3$ ，迴水長度約為 1.5km，迴水面積約為 $495 \times 10^3 \text{ m}^2$ ，潰壩影響範圍擴大至聚落 3，潰壩影響距離為 4.7km；壩體高度為 50m 時，蓄水體積約為 $1271 \times 10^3 \text{ m}^3$ ，迴水長度約為 1.54km，迴水面積約為 $608 \times 10^3 \text{ m}^2$ ，潰壩影響範圍完全淹沒聚落 3，潰壩影響距離為 5.5km。

表 2 不同壩高情境下之災害潛勢分析

Table 2 The results of scenarios with different landslide dam heights

No.	壩高(m)	潰壩延時(hr)	潰壩影響距離(km)	洪水抵達保全對象聚落	蓄水量(10^4 m^3)	上游迴水面積(10^3 m^2)	上游迴水長度(m)
Case1	10	1	0.5	聚落 1	20	60	230
Case2	20	1	2.2	聚落 1	97	125	840
Case3	30	1	4.2	聚落 2	313	320	1300
Case4	40	1	4.7	聚落 2	734	495	1500
Case5	50	1	5.5	聚落 3	1271	608	1540

為了確定在不同天然壩體高度情境下對於保全對象的影響，針對模擬分析結果之洪水到達時間及各聚落淹水最大深度與最快流速如表 3 所示，在天然壩體高度為 50m 之情境中，洪水在潰壩 20 分鐘後抵達聚落 1 並造成近四層樓高的洪水與 11.9 m/s 之流速，根據水土保持技術規範之混凝土最大容許流速為 6 m/s 而鋼筋混凝土則是 12 m/s，洪水將有可能對聚落 1 造成嚴重的破壞；而在潰壩發生後 31 分鐘抵達聚落 2，可能發生兩層樓高之洪水與強力洪水之衝擊，隨後洪水的衝擊力開始下降並在 57 分鐘到達聚落 3，水深與流速數值已經大幅減少，顯示堰塞湖潰壩的洪水主要影響最遠距離約在聚落 3 附近。在天然壩體高度 30m 及 40m 之情境中，潰壩洪水也會造成聚落 1 與聚落 2 嚴重之影響，且洪水抵達時間與天然壩體 50m 之情境相差不到 10 分鐘，而隨著天然壩體高度降低至 20m 以下，潰壩所導致的洪水僅影響聚落 1。

表 3 不同壩高情境之保全對象水理數值分析整理

Table 3 The protected targets hazard of scenarios with different landslide dam height

No.	洪水到達時間 (min)	聚落 1		洪水到達時間 (min)	聚落 2		洪水到達時間 (min)	聚落 3	
		水深最大值 (m)	最快流速 (m/s)		水深最大值 (m)	最快流速 (m/s)		水深最大值 (m)	最快流速 (m/s)
Case1	52	0.5	1.1	-	-	-	-	-	-
Case2	24	2.8	3.5	-	-	-	-	-	-
Case3	22	4.9	6.1	40	1.5	8.6	-	-	-
Case4	21	7.7	8.6	34	3.6	13.8	-	-	-
Case5	20	11.9	11.2	31	5.6	16.2	57	0.89	0.17

由於不同壩高可能造成上游迴水並導致聚落淹水其情境模擬，可應用 HEC-RAS 2D 分析工具模組，搭配線上免費底圖及匯入自製圖層，輔助災害潛勢範圍分析。如圖 10 為不同壩體高度情境時上游迴水範圍，透過不同顏色能夠快速分辨不同壩體高度情境之迴水可能影響的範圍；若上游有其他保全對住戶，將能夠及早透過水位監測，提供相關防災避難資訊。此外，為了解堰塞湖水位-迴水面積-蓄水體積之關係，以作為後續防災監測上之應用評估依據，本研究採用 ArcGIS 之空間分析模組估算高程-迴水面積-蓄水體積曲線，其結果如圖 11 所示，由天然壩體高度配合 DEM 模型進行估算，得知當壩體高度超過 30m 時，蓄水體積將

會呈線性的增高，而壩體高度在 20m 至 30m 蓄水面積擴大最快。

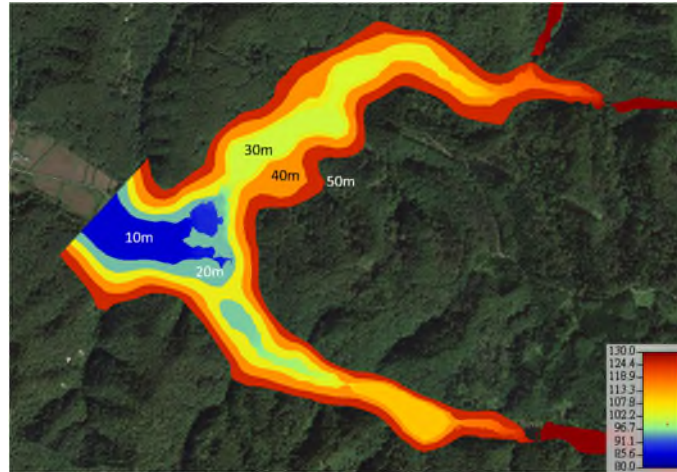


圖 10 不同壩高情境之上游迴水影響範圍

Fig.10 The return water area of scenarios with different landslide dam height

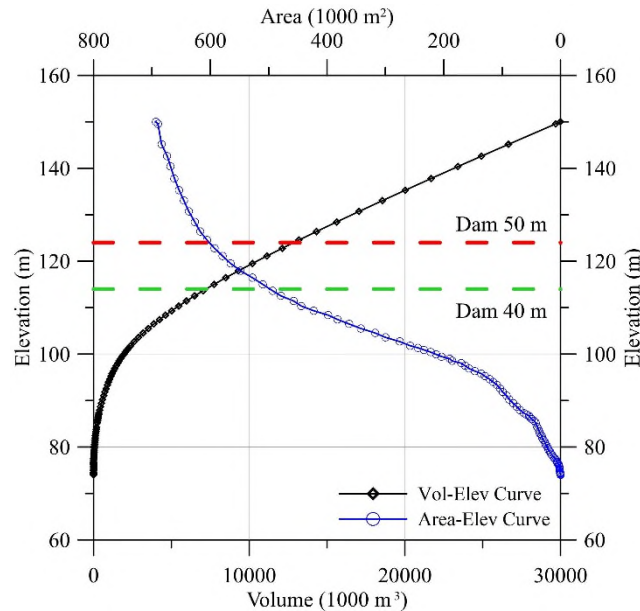


圖 11 堰塞湖水位-面積-體積曲線圖

Fig.11 The estimated elevation-area-volume curve of impounded lake

而從不同天然壩高情境成果中顯示，比較潰壩時洪水氾濫之主要區域，由圖 12 顯示當天然壩體高度為 50m 時，堰塞湖潰壩將會直接衝擊天然壩下游三個不同的聚落，並淹沒洪水行經區域造成嚴重的災害，而天然壩體高度為 30m 及 40m 高度情境時，潰壩洪水主要影響的區域至聚落 2 的位置，並且衝擊厚真川主流，若天然壩體透過工程手段挖降至 20m 以下，將能避免洪水衝擊影響至厚真川主流及聚落 2。以地圖的方式直接顯示不同潰壩情境之影響，相較於經驗公式推估，其相關資訊更能方便於民眾溝通，並擬定相關疏散避難計畫。

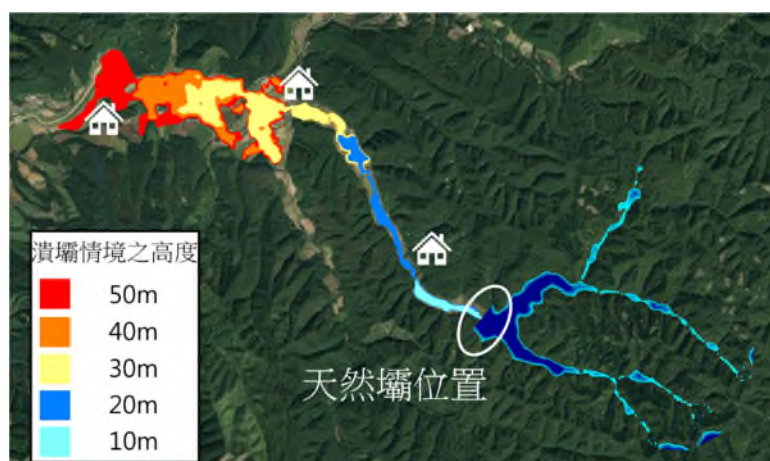


圖 12 不同壩高情境之下游影響範圍

Fig.12 The inundated area of downstream in different landslide dam height scenarios

2. 不同潰壩延時之災害潛勢分析

現場調查結果天然壩最高約為 50m，由於天然壩體的潰壩機制與其當下狀態、材料組成有許多影響因素，對於實際可能發生潰壩延時難以精準推估，考量不同潰壩延時可能對下游之衝擊不同，本研究模擬在相同天然壩壩體高度而不同潰壩延時之情境結果如表 4 所示。對下游河道沿岸所造成之衝擊，以 Case6 天然壩壩體高度 50m 及潰壩延時 30 分鐘最為嚴重，其在壩體潰決後第 11 分鐘即抵達第一個聚落，其產生之河道最快流速約為 14 m/s，第 19 分鐘後抵達第二個聚落，其最快流速約為 18.5 m/s，洪水將有可能嚴重衝擊其範圍內之構造物，第 39 分鐘後抵達第三個聚落，其最快流速降至約 0.2 m/s，但其水深仍有 0.9 公尺。由於聚落 1 離堰塞湖距離近，在四個不同潰壩延時情境中，皆會有致災性的洪水發生；聚落 2、聚落 3 隨著潰壩延時之增加，其四種潰決模擬分析之結果皆顯示，到達時間、水深、流速及淹水面積等皆減緩，但仍具有危險性，隨著洪水抵達時間延長能夠增加疏散避難的時間，降低造成居民傷亡的可能。

表 4 不同潰壩延時情境之保全對象水理數值分析整理

Table 4 The protected targets hazard of scenarios with different breach formation time

No.	洪水到達 時間 (min)	聚落 1		洪水到達 時間 (min)	聚落 2		洪水到達 時間 (min)	聚落 3		
		水深最大 值 (m)	最快流速 (m/s)		水深最大 值 (m)	最快流速 (m/s)		水深最大 值 (m)	最快流速 (m/s)	淹水面積 (km ²)
Case5	20	11.9	11.2	31	5.6	16.2	57	0.89	0.17	5.7
Case6	11	15.2	13.9	19	6.8	18.6	39	0.92	0.17	5.9
Case7	47	7.8	7.4	69	3.8	12.2	121	0.87	0.16	5.4
Case8	80	6	5.4	116	2.9	9.8	206	0.86	0.16	5.1

從圖 13 中顯示當天然壩體高度為 50m 及潰壩延時為 30min 與 6hr 情境下最大水深分布，可以當作潰壩時洪水經過的區域水深變化情形，並能顯示低窪地區可能因洪水發生嚴重淹水區域，當潰壩延時為 30min 時天然壩下游日高峴內川流域中幾乎都有水深超過 10m 的情形，洪水將有可能淹沒河道兩岸的房屋與道路，而在聚落 2 與聚落 3 區域的低窪處也會有較大的水深情形；當潰壩延時增加為 6hr 時堰塞湖潰壩淹水深度超過 10m 的區域減少，主要影響天然壩下游較低窪地區，從此情境可以看到洪水匯入厚真川主流後，洪水淹沒區域在潰壩延時快速與緩慢兩個情境中相似，因地形平緩並無明顯原始河道流路，導致該區域洪水以擴散形式滯留在該區域低窪處，天然壩體快速與緩慢潰決皆會對下游帶來一定的衝擊，位於水深較大區域應提早規劃疏散避難機制，若發生堰塞湖快霸將能降低致災區域的風險。

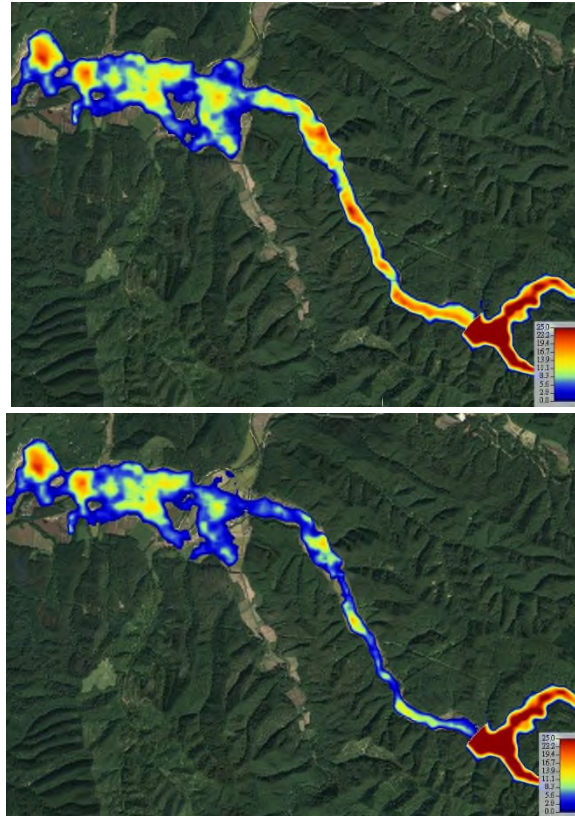


圖 13 (a) Case6 潰壩最大水深分布圖 (b) Case8 潰壩最大水深分布圖

Fig.13 (a) Distribution of maximum depth for case6 (b) Distribution of maximum depth for case8

透過流速大小可以評估堰塞湖潰壩後，洪水對於構造物的衝擊情形與洪水波主要影響範圍，當流速超過一定程度將有可能嚴重掏刷結構物甚至是直接沖毀。從圖 14 中顯示當天然壩體高度為 50m 時，潰壩延時為 30min 與 6hr 情境中最大流速分布，當堰塞湖在短時間內完全潰決後，潰壩引致的洪水對於日高幌內川將造成破壞性的衝擊，由於流速在此區皆高於 6m/s 可能會直接沖毀該區域所有的混凝土構造物，而流速在洪水匯入厚真川主流後逐漸降低。當堰塞湖潰壩延時拉長後，天然壩瞬時提供的流量下降，使得天然壩下游洪水流速明顯降低，只有零星坡度較陡區域有較高流速分布，而潰壩對於保全對象的影響主要以淹水為主，而在此情境中由於洪水來的較慢，能增加較多疏散避難之時間，若堰塞湖水位上升速度較快，除了投入抽水機降低水位外，應導入相關臨時工程避免潰口快速擴大及相關導流工程減緩水流淘刷天然壩趨勢。

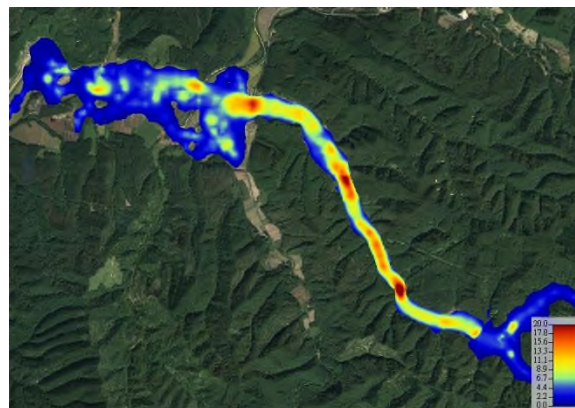




圖 14 (a) Case6 潰壩最快流速分布圖 (b) Case8 潰壩最快流速分布圖

Fig.14 (a) Distribution of maximum velocity for case6 (b) Distribution of maximum velocity for case8

降雨或堰塞湖潰壩引致的洪水災害，在洪水來臨時民眾若要自行疏散避難，必須考量到淹水深度及流速，避免在移動時無法抵抗洪水衝擊而發生意外，其步行抵抗流速與水深考量身量之比較如圖 15 所示(小川芳也等，2014)。在 HEC-RAS 模式當中，透過計算每一時刻流速及水深相乘之值，並顯示每一網格之最大值如圖 16，在 50m 壩高情境中，潰壩延時 30min 及 6hr 兩個情境中顯示，在洪水來臨時日高幌內川流域內不適合在道路移動，應在潰壩發生前提早離開該區域，而隨著洪水匯入厚真川主流區域後，潰壩延時較長之情境受到流速較低影響，黃、紅色高危險區域也較少，透過同時考量水深及流速對於避難之可行性，凸顯堰塞湖潰壩災害主要影響區域，若災害影響範圍較大，此項分析結果能夠做為災害潛勢區域避難分級劃設參考。

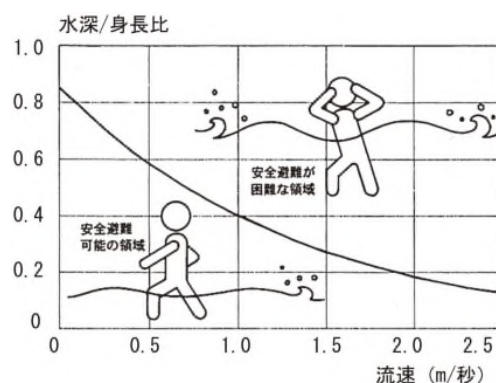
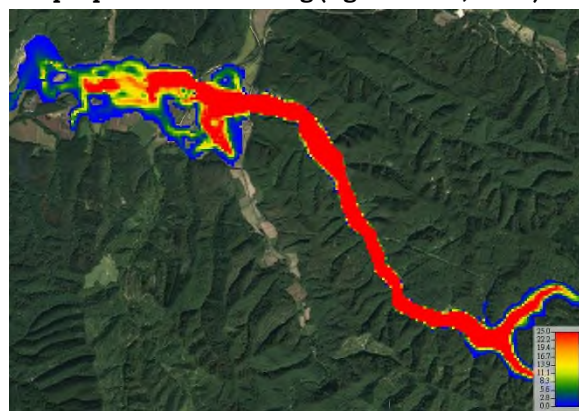


圖 15 洪水來臨時民眾可步行避難之流速及水深範圍(小川芳也等，2014)

Fig.15 A schematic diagram of the limitations with the flow velocity and depth/ height when people were evacuating (Ogawa et al., 2014)

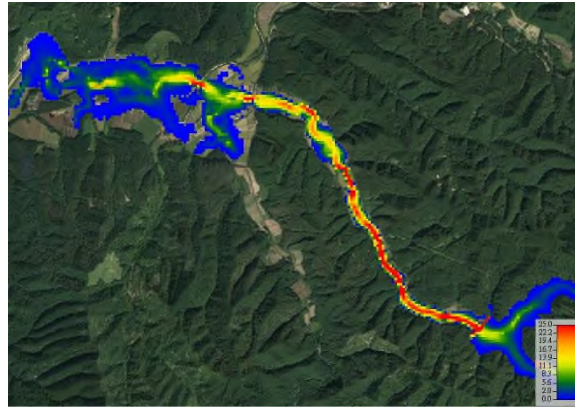


圖 16 (a) Case6 潰壩水深乘流速最大分布圖 (b) Case8 潰壩水深乘流速最大分布圖

Fig.16 (a) The maximum result of velocity times depth for case6 (b) The maximum result of velocity times depth for case8

3. 不同網格大小之運算效率分析

由於堰塞湖災害各種不確定因素及致災的危險性，在發現崩塌形成的堰塞湖後須盡早提出緊急應變對策，如何在短的時間內分析災害影響範圍是重要的課題，本研究嘗試比較此次堰塞湖潰壩模型，在不同運算網格精度情境下，運算所需要花費的時間，由於每次災害事件蒐集災害現場資料與集水區基本資料所需時間不盡相同，若只單純考量每一個模型運算所需要的時間比較如表 5 所示，若採用 50m*50m 的網格運算一個案例需要約一個半小時，隨著網格大小增加 4 倍，運算所需要的時間增加約 3.5 倍，而天然壩體形狀設計會隨著網格大小變化反應地形起伏真實程度，運算誤差也會隨著網格變小更能反應地形變化，而實際採用網格大小建議需考量每一個堰塞湖災害規模與地形模型之精度來調整。

表 5 不同運算網格大小情境之比較

Table 5 Comparison of scenarios with different computing grid size

No.	網格大小	運算時間(hr)	天然壩體設計	運算誤差
Case5	50m*50m	1.5	普通	中
Case9	25m*25m	5.5	精細	小
Case10	100m*100m	0.5	簡略	大

四、結論

崩塌形成天然壩堰塞湖由於存在時間不確定、崩塌料材組成強度較難估計、潰決時間無法預測、防災應變之時效性，因此，其潰決一旦形成，將造成下游沿岸地區嚴重傷亡及財產損失。本研究依據文獻蒐集之資料，進行堰塞湖潰決之洪水模擬分析，模擬之結果顯示：

(1)利用 HEC-RAS 2D 模式，可模擬堰塞湖潰壩後河道內隨時間變化之洪水水深、流速、洪水抵達時間與淹水面積等影響範圍圖，透過衛星影像及模擬結果快速套疊分析結果，並且進一步評估不同潰壩情境之衝擊評估以做為未來相關單位研究與避難之參考。

(2)不同壩體高度所造成之堰塞湖迴水面積與蓄水量積截然不同，隨著壩體高度增加，其迴水長度越往上游發展，且蓄水深度超過 30m 時，蓄水體積將會大幅增加，因此，上游地區如有保全住戶受到蓄水範圍之影響，應通知居民注意疏散避難訊息。

(3)經由模式中天然壩潰決模擬，其流速及水深分布圖成果顯示，不同壩體高度情境潰壩所造成下游影響範圍亦不相同，在降低受影響範圍考量下，建議將壩體潰口高度逐漸下降，以降低壩體後方蓄水體積，更可將潰決之衝擊逐漸減小，若能將壩體高度降低至 20m 以下，將能避免厚真川主流區域之保全對象受到影響。

(4)在不同潰壩延時情境中，當潰壩延時越小，其所造成之衝擊越大，因此，需在天然壩形成之時，緊急設置雨量、水位及流量等觀測儀器，以作為監測警戒之用，其不同潰壩延時情境之洪水抵達時間也能作為應變計畫之疏散避難時間之參考，當集水區發生大量降雨造成水位急劇上升達到警戒水位時，應當立即執行緊急應變計畫，進行疏散避難。

(5)透過堰塞湖潰壩模擬隨時間流速及水深相乘最大之成果，提供影響範圍內主要受災區域範圍，並且評估保全對象需要提早撤離之區域，以及能夠自行抵抗較小洪水衝擊來避難的地區，在洪水災害影響範圍較大時，能夠提供疏散避難緊急程度之參考。

(6)由於堰塞湖災害有防救災之時效性，必須盡早提供防災應變策略計畫，建議分階段以不同精度之 DEM 以及運算網格大小來模擬災害影響範圍，透過經驗公式與模式模擬組合來提升防災應變之效率。

採用 HEC-RAS 2D 二維水理模式，有效分析潰決洪峰水流之運動特性。對於緊急評估分析下游保全住戶之影響，其可快速計算並評估潰壩時所產生之潰決洪峰流量、洪水到達時間、河道溢淹情況等模擬成果。另外可避免當天然壩穩定性未明情況下，進行現場調查作業之危險，降低衍生之現勘人員傷亡的風險，在颱風豪雨期間，災害應變中心於災情研判與決策分析上有直接助益。未來透過不斷精進的基礎資料建置與管理，將能在第一時間取得災害區域大範圍之基本重要資料，能夠提升緊急應變決策之效率，而隨著災害規模提升和複合性災害之衝擊，應及早透過不同情境之假設及模式模擬來規劃實際應變之相關策略。

參考文獻

- [1] 陳樹群、許中立(2009)，莫拉克颱風形成之堰塞湖及危險度評估，地工技術，第 122 期，pp. 79-88。(Chen, S.C., and Hsu, C.L. (2009). "Landslide dams induced by typhoon morakot and its risk assessment" Sino-geotechnics, 122, pp. 79-88. (in Chinese))
- [2] 陳昆廷、臧運忠、郭玉樹、呂明鴻、謝正倫 (2010)，莫拉克颱風引致堰塞湖之案例分析，中華防災學刊，2(1)，43-50。(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))
- [3] 賴桂文 (2016)，HEC-RAS 水理模式 2D 模組介紹及應用，臺灣省水利技師公會會訊，第 19 期，1-17。(Lai, K.W. (2016). "Introduction and application of HEC-RAS water mode 2D module." Taiwan Association of Hydraulic Engineer, 19, 1-17.(in Chinese))
- [4] 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，第 28 卷，第四期，66-67 頁。(Shieh, C.L. (2009). "The landslide dam caused by Typhoon Morakot." 28, 4, 66-67.(in Chinese))
- [5] 小川芳也、賴良昌憲、澤井健二、足立考之、小笠原裕介、正岡聡 (2014)，氾濫解析とリンクした洪水時の避難判断支援情報の提供に関する研究，自然災害科学，J. JSNDS，33-1，43-52。(Ogawa, Y., Sera, M., Sawai, K., Adachi, T., Ogasawara, Y., and Masaoka, S. (2014). "Study on the information for the evacuation from flood disaster linked with inundation analysis." Bulletin of the Natural Disaster Science. J. JSNDS, 33-1, 43-52.(in Japanese))
- [6] 水野秀明、石塚忠範、小山内信智 (2011)，土砂災害防止法の改正に基づく緊急調査の手引き，土木技術資料，53-12。(Mizuno, H., Ishizuka, T., and Osanai, N. (2011). "Guide to emergency investigation based on the revision of the landslide disaster prevention act." Civil engineering journal. 53-12. (in Japanese))
- [7] 清水武志、内田太郎、山越隆雄、石塚忠範 (2012)，天然ダムによる土石流想定範囲計算システム (QUAD-L) の開発と 2011 年台風 12 号災害における適用，土木技術資料，54-10。(Shimizu, T., Uchida, T., Yamakoshi, T., and Ishizuka, T. (2012). "Development of computer application for estimating debris flow prone area induced by landslide dam overtopping, and its application to landslide dams created by Typhoon Tales in 2011." Civil engineering journal. 54-10. (in Japanese))
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Brunner G.W. (2016) HEC-RAS River Analysis System Reference Manual. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center.
- [12] Costa, J. E., and Schuster, R. L. (1986). "A perspective on landslide dams." In Schuster, R. L. (Edited), Landslide dam: Processes Risk and Mitigation, Vol. 3, pp. 1-20.
- [13] Costa, J. E., and Schuster, R. L. (1988). "The Formation and Failure of Natural Dams." Geol Soc Am Bull, 100(7), 1054-1068.
- [14] Ermini, L. and Casagli, N. (2003), "Prediction of the Behaviour of Landslide Dams Using a Geomorphological Dimensionless Index," Earth Surface Processes and Landforms, vol. 28, pp. 31-47.
- [15] Geospatial Information Authority of Japan Website: <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30-hokkaidoiburi-east-earthquake-index.html> #3, accessed Jan. 13, 2019.
- [16] Hokkaido Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism Website: <https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/release/splaat00000194ji-att/splaat000001esm3.pdf> , accessed March 13, 2019.

- [17] Shieh, C. L., Wang, C. M., Lai, W. C., Tsang, Y. C. and Lee, S. P. (2009). "The composite hazard resulted from Typhoon Morkot in Taiwan," Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering, 62, 4, 61-65.
- [18] Yamagishi, H. and Yamazaki, F. (2018): Landslide by the 2018 Hokkaido Iburi-Tobu Earthquake on September 6, Landslides, Vol. 15, No. 2, pp. 2521-2524. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1092-z>.

臺灣近年降雨誘發之土砂災害變遷趨勢初探

林詠喬^{[1][2]*} 陳振宇^[1] 陳均維^[1] 詹婉妤^[1]

摘 要 臺灣特殊的地理環境與豪雨事件造成土砂災害頻仍，長期以來土砂災害防治亦是許多專家學者致力研究之目標。本研究蒐集 2006 年至 2018 年與降雨引致相關的重大土砂災害例資料共 471 件，並以 QPE 雷達降雨估計之網格雨量資料計算所得之有效累積雨量為指標，提出呈現年度全台土壤含水量峰值分布之視覺化表示方式，配合 13 年來重大土砂災害例發生的時間與空間特徵來分析臺灣土砂災害變遷趨勢。整體而言，崩塌所佔災害比例最高(45%)，其次為土石流(27%)。在災害發生的時間方面，6 月至 10 月為重大土砂災害例發生高峰期。觀察有效累積雨量與重大土砂災害例的關聯性，結果顯示 90% 的重大土砂災害例發生時有效累積降雨量均大於 150 mm。此外，降雨規模不同，土砂災害類型之比例亦有所變化；其中土石流災害類型比例隨雨量增加而增加。本研究觀察近年重大土砂災害例資料，顯示土砂災害的相關趨勢，可提供未來防災措施與研究參考。

關鍵詞：降雨致災、土石流、重大災害調查。

The preliminary study on trend of sediment-related disasters triggered by rainfall in Taiwan in the past decades

Yung-Chiau Lin^{[1][2]*} Chen-Yu Chen^[1] Jyun-Wei Chen^[1] Wan-Yu Chan^[1]

ABSTRACT The sediment-related disasters were frequency in Taiwan because of special geography environments and torrential rainfall. Many scholars and experts conducted with the issue of sediment-related disasters for a long time. This study collected 471 cases of serious sediment-related disasters triggered by rainfall in 2006 to 2018. Based on these cases and EAR (Effective Accumulated Rainfall) data calculated by QPE rainfall data, spatial and temporal characteristics of sediment-related disasters in Taiwan were analyzed. Also, visual representations of the peak distribution of soil moisture in the whole Taiwan is presented. Overall, the slope failure is the highest proportion of disaster type (45%), followed by debris flows (27%). The results showed that the peak period of sediment-related disaster was June to October. Moreover, these disasters were easily occurred at night than daytime. The results of relationship between accumulated rainfall and serious sediment-related disasters showed that 90% of the major disasters occurred when the accumulated rainfall was greater than 150 mm. In addition, the proportion in different types of sediment-related disaster varies with the changing rainfall scale. Among all cases, the more the rainfall was, the higher proportion of debris flow in different types of disaster. This study observed the data of major sediment-related disasters in recent years. Furthermore, the results showed some trends of sediment disaster which could be provided for disaster prevention in the future.

Key Words: Sediment-related disaster triggered by rainfall, debris flow, investigation of major disaster.

[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 E-mail: yungchiau@mail.swcb.gov.tw)

Assistant Researcher, Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Nantou 540, Taiwan.

[2] 財團法人農業科技研究院農業政策中心

Assistant Engineer, Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Nantou 540, Taiwan.

一、前言

臺灣近年來極端氣候事件發生的次數與強度日漸增加，導致土砂災害頻仍。根據戴義欽、詹錢登(2016)的研究報告顯示：台灣地區 20 年間(1994~2013)降雨事件中，大於 350 mm 的降雨事件平均每年增加 5 次；總雨量 350~600 mm 的降雨事件數平均每年增加 2.6 次；600~1,000 mm 的降雨事件數平均每年增加 1.7 次；而 1,000 mm 以上的降雨事件，每年增加 0.7 次。此外，日本統計 1976 年至 2017 年，一小時內降雨量超過 100 mm 的事件數，結果顯示 1976 年至 1985 年間，每年平均為 1.9 次，但在 2007 年至 2016 年間，已增加到每年平均 3.2 次(國土交通省，2018)，顯示在日本地區，極端降雨事件亦日趨頻繁。以全球尺度來看，國際災害資訊庫(EM-DAT)近 20 年來(1998-2017)平均每年的重大災害數量是 329 件，為 1978 年至 1997 年間平均每年重大災害數量的兩倍(165 件)(Wallemacq, 2018)。

劇烈降雨常伴隨崩塌、土石流、地滑等土砂災害及水患，也造成經濟、農作上重大損失。例如，日本平成 30 年 7 月豪雨(2018)在西日本地區造成平均每觀測點 215.4 mm 的雨量(日本氣象庁，2018a)，為 1982 年以來最大紀錄(日本氣象庁，2018b)，豪雨與土砂災害造成 237 人死亡，建物全毀 6,767 棟、半毀 11,243 棟(日本氣象庁，2019)。2018 年山竹颱風(Typhoon Mangkhut)造成香港 35 年來最嚴重的風暴潮(storm surge)，超過 200 人受傷；同時也造成菲律賓多處嚴重的洪水與崩塌災情，並導致 114 人死亡，菲律賓全國總損失 339 億披索(約 188 億新台幣)(國家災害防救科技中心，2019)。2009 年侵襲台灣的莫拉克颱風降下超大豪雨造成中南部山區嚴重的洪水與崩塌災害，超過 700 人傷亡與失蹤，公路橋梁損毀 115 座(財團法人中興工程顧問社，2010)，淹水面積超過 300 平方公里，估計高達 900 億元的經濟損失(行政院科技部，2014)，是台灣自 1959 年以來最嚴重的水患。

2005 年世界銀行指出台灣有 90%的面積、95%的人口以及 96.5%的 GDP，可能遭受三種以上土砂災害的威脅與影響(Dilley et al., 2005)。因為地形條件、地理環境及氣候影響，土砂災害頻仍的台灣，對於降雨引致之土砂災害的防範與治理已推動長遠的政策與相關應變規劃(陳振宇，2013；楊明德及徐瑞宏，2013；詹錢登及王志賢，2017；尹孝元等，2019)，例如在 2000 年頒布的災害防救法，已建立天然災害防救的規範及任務分工，與災害發生前後的四大階段：平時減災階段、災前整備階段、災中應變階段以及災後復原階段；其中，特別強調在災害未發生時，掌握災害發生特性與評估各地區災害潛勢，在災害發生時，其應變措施及資訊決策，為災害防救的重點工作。

儘管歷年來中央氣象局等單位已建立全台各地面雨量站觀測及相關統計資料(中央氣象局，2019；國家災害防救科技中心，2015)，惟其統計方式均以不同降雨延時之累積雨量進行，無法反應降雨期間影響邊坡穩定之土壤含水量等變化，例如台灣水土保持局採用的有效累積雨量及日本砂防單位使用的土壤雨量指數(陳振宇，2013)。本研究擬以有效累積雨量為指標，提出呈現年度全台土壤含水量峰值分布之視覺化表示方式，並蒐集台灣近年來降雨引致之重大土砂災例、有效累積雨量與新生崩塌面積等資料，探討其時間及空間等相關性，期掌握災害發生之特性與趨勢，期有助於未來防災政策的擬定。

二、材料與方法

2.1. 研究地區

本研究資料範圍涵蓋台灣全島，不含離島地區，蒐集整理包含歷年重大土砂災例資料、雨量資料及新生崩塌面積，研究流程如圖 1；為討論空間區位導致降雨與土砂災害之變異，將台灣分成北、中、南、東四區(表 1)。

2.2. 重大土砂災例

重大土砂災例資料來源為水土保持局(<https://246.swcb.gov.tw/Achievement/MajorDisasters>)，自 2006 年 0609 豪雨開始至 2018 年 0823 熱帶低壓，去除地震及降雨為 0 之事件後，計有 44 個颱風及豪雨事件與 6 個其他事件，共計 471 個降雨引致的重大土砂災例(表 2)。資料內容包含災害類型(概分為崩塌、土石流、地滑及洪水四類)、發生時間、地點、災情概況與災害發生時有效累積雨量等，其空間分布如圖 2。由於部份災例發生時混雜有多重災害類型，為方便後續分類與討論，本研究僅選擇災害類型項目條列的第一項，作為該重大土砂災例的主要災害類型。



圖 1、研究流程圖。

Fig.1 Flow chart of the study process.

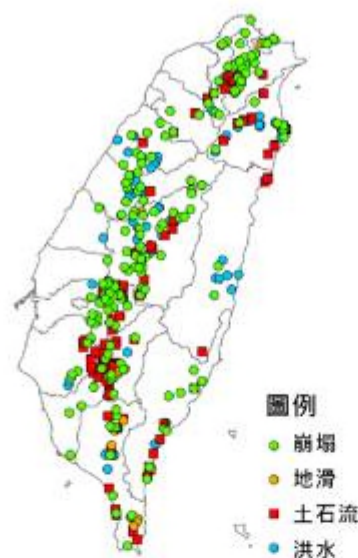


圖 2、2006-2018 年重大土石災害例分布

Fig. 2 Distribution of severe sediment-related disaster cases.

表 1、台灣北中南東地區所包含之縣市

Table 1. Different regions of Taiwan.

地區	縣市	QPE 網格數	重大土石災害例數
北部	台北市、新北市、基隆市、宜蘭縣、桃園縣、新竹縣、新竹市	4359	127
中部	苗栗縣、台中市、南投縣、彰化縣、雲林縣	6130	127
南部	嘉義縣、嘉義市、台南市、高雄市、屏東縣	5798	184
東部	花蓮縣、台東縣	4713	33
總計		21,000	471

2.3. 雨量資料

本研究採用自 2005 年 7 月正式啟用，空間解析度 1.3km x 1.3km 的 QPESUMS 網格式雷達降雨估計資料(Quantitative precipitation estimation, 以下簡稱 QPE)取代地面自動雨量站，並直接以 QPE 網格進行有效累積雨量及新生崩塌地面積計算之處理單元；其中台灣本島部分共 21,000 個，北中南東各區範圍內之 QPE 網格數如表 1。儘管許多研究指出，由於雷達波在山區因地形遮蔽或與地面校正雨量站距離較遠等因素，QPE 於部分地區之準確度會受到影響(中央氣象局，2015；唐玉霜等，2016)，例如在高山邊緣常有雨量低估的情況發生(黃碧慧，2017)；但考量 QPE 空間解析度較高，具備對於過去 72 小時內高解析度定量降水估計、閃電分析及未來 0 至 1 小時定量降雨預報等優點(張保亮，2011)，近年來已廣泛應用於輔助風、水災及土石流警戒發佈等(陳振宇等，2019；詹錢登、王志賢，2016)。

本研究使用 2006/1/1 至 2017/7/31 共計 139 個月的整點時雨量資料，且為反應降雨期間土壤含水量等變化，本研究採用逐時折減之有效累積雨量(Effective Accumulated Rainfall, EAR)計算公式(陳振宇等，2017)(式 1)作為降雨期間土壤含水量變化指標。

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

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，相較於現行以 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，逐時折減法不需考慮雨場之起點與終點，且計算快速，適合大量網格運算(陳振宇等，2017)。

表 2、2006-2018 年歷年災害事件與重大土砂災例件數

Table 2 Cases of severe sediment-related disasters in 2006 to 2018, Taiwan

西元年	災害事件	重大土砂災例 (件)	¹ 地區(件)	² EAR_{max} (mm)	西元年	災害事件	重大土砂災例 (件)	¹ 地區(件)	² EAR_{max} (mm)
2006	0609 豪雨	9	中部(7)	865.8	2012	天秤颱風	1	南部(1)	712.1
2007	0604 豪雨	17	中部(13)	662.3	2012	蘇拉颱風	11	北部(6)	1382.8
2007	0809 豪雨	18	南部(13)	1170.5	2013	0517 豪雨	1	中部(1)	356.7
2007	其他	3	中部(1)南部(1) 東部(1)	848.1 (東部)	2013	天兔颱風	1	東部(1)	713.7
2007	柯羅莎颱風	8	北部(4)	1002.4	2013	其他	2	南部(2)	935.3
2007	韋帕颱風	5	北部(3)	673.5	2013	康芮颱風	14	北部(5)南部(5)	840.9 (南部)
2007	聖帕颱風	5	南部(4)	1170.5	2013	菲特颱風	2	北部(2)	437.8
2008	卡玫基颱風	37	南部(24)	1123.0	2013	蘇力颱風	4	中部(3)	868.8
2008	辛樂克颱風	18	中部(14)	1184.6	2014	哈吉貝颱風	1	東部(1)	207.7
2008	其他	5	中部(4)	842.5	2014	麥德姆颱風	3	北部(1)南部(1) 東部(1)	589 (東部)
2008	鳳凰颱風	3	東部(2)	726.8	2014	鳳凰颱風	1	東部(1)	636.5
2008	薔蜜颱風	1	北部(1)	1117.9	2015	0902 豪雨	1	北部(1)	704.5
2009	芭瑪颱風	1	北部(1)	1001.6	2015	杜鵑颱風	3	北部(3)	704.5
2009	莫拉克颱風	125	南部(92)	1998.6	2015	蘇迪勒颱風	30	北部(30)	998.8
2010	0924 豪雨	1	北部(1)	650.7	2016	0611 豪雨	1	南部(1)	616.0
2010	1016 豪雨	4	東部(4)	668.3	2016	尼伯特颱風	1	東部(1)	570.6
2010	凡那比颱風	8	南部(8)	1086.8	2016	其他	6	北部(3)南部(3)	879.0 (南部)
2010	其他	1	北部(1)	249.4	2016	梅姬颱風	7	南部(5)	879.0
2010	梅姬颱風	34	北部(34)	1256.3	2016	莫蘭蒂颱風	2	東部(2)	902.2
2010	萊羅克颱風	1	東部(1)	656.8	2017	0601 豪雨	10	中部(8)	1008.1
2011	0719 豪雨	2	中部(1)南部(1)	580.7 (南部)	2017	0613 豪雨	3	中部(3)	1008.1
2011	1001 豪雨	13	北部(12)	1308.4	2017	尼莎暨海棠 風	3	北部(1)中部(1) 南部(1)	818.6 (南部)
2011	南瑪都颱風	7	南部(7)	1031.5	2017	1011 豪雨	9	東部(6)	N/A
2012	0504 豪雨	1	中部(1)	370.6	2018	0823 熱帶低壓	4	南部(4)	N/A
2012	0610 豪雨	21	中部(12)	922.5	2018	其他	1	中部(1)	N/A

總計

50 個颱風豪雨事件；471 件重大土砂災例

註：粗體為重大土砂災例數逾 10 件之災害。¹ 地區(件)為該災害事件中重大土砂災例最多地區，括號內為該地區之災例件數。² EAR_{max} (mm)為該災害事件重大土砂災例最多地區內所有 QPE 網格之當月最大有效累積雨量；若有災例件數相同的狀況，則顯示 EAR_{max} 較大的地區，並在括號中顯示地區名稱。N/A 為尚未取得該時間之 EAR_{max} 資料。

2.4. 歷年新生崩塌面積估算

本研究稱之新生崩塌面積，係指「舊有崩塌地擴大」加上「新生崩塌地」的部分，如圖 3 之(3)與(4)，並採用林務局 2004 年至 2016 年各年度衛星判釋全島崩塌圖層，以相鄰二年之 GIS 圖層相減方式，建立各年度每一個 QPE 網格範圍內之當年度新生崩塌面積。由於該衛星判釋圖層僅使用當年度 1 至 7 月之衛星影像進行崩塌地判識，如 2009 年 8 月莫拉克颱風造成之新生崩塌需於 2010 年之圖層方能顯現，經比對各年度重大颱風豪雨事件發生月份後，本研究調整建立 2006~2015 年之各年度新生崩塌面積如表 3。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，因此，若計算所得之新生崩塌地面積小於 0.1 公頃時，則予以忽略。同時，為探討北中南東不同地區之崩塌狀況，QPE 網格內之新生崩塌面積的中心點落在任一地區，便將該新生崩塌面積劃分為該地區。



圖 3、崩塌地變遷及分類示意(改編自陳俞旭，2008)。

Fig. 3 Schematic diagram of landslides' changing. (Chen, 2008)

表 3 2006-2015 年各年度新生崩塌面積

Table 3 Newborn area in 2006 to 2015

年度	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
新生崩塌面積(Km ²)	51.7	69.3	29.0	283.1	58.9	46.0	28.5	31.4	15.0	11.7

三、結果與討論

3.1 歷年全台年度最大土壤含水量指標分布情形

目前氣象單位針對雨量之空間分布多以某場颱風豪雨事件期間繪製不同延時(如 1 小時、24 小時等)之累積雨量圖來表示，無法反應全年度各地區土壤含水量峰值分布情形，因此不易呈現與比較各年度間整體降雨致災的風險。為比較各年度降雨致災之風險程度，本研究採用有效累積雨量(EAR)作為降雨期間土壤含水量指標，並找出每一個 QPE 網格各年度之年度最大有效累積雨量(Annual EAR_{max})，繪製出 2006 年至 2017 年全台年度最大土壤含水量指標分布圖(如圖 4)；其中，為配合目前氣象局針對豪雨之定義，分別採 200mm(豪雨)、350mm(大豪雨)、500mm(超大豪雨)、1000mm、2000mm 等作為不同級距標準。由於 2017 年本研究僅取得 1 至 7 月之 QPE 雨量資料，故 2017 年的全台年度最大有效累積雨量分布圖呈現的資料為 2017 年 1 月至 7 月中各個網格的 EAR_{max} 。

由圖 4 可看出，2009 年全台年度最大土壤含水量指標 Annual EAR_{max} 不論在峰值大小及分布範圍均為歷年之冠，其中在中南部地區有近半數面積之 Annual EAR_{max} 超過 1000 mm 以上，且山坡地範圍之 Annual EAR_{max} 均逾 500mm，因此反應在當年度之重大土砂災例高達 126 件，占全部重大土砂災例之 27%。又如東部地區於圖 4 顯示，僅 2016 年有較高且範圍較廣之 Annual EAR_{max} ，故相較於其他地區該處之重大災例亦明顯較少(如圖 2)。此外，圖 4 亦顯示 2013 年至 2016 年間各網格 Annual EAR_{max} 均未逾 1000 mm 以上，逾 500 mm 雨量的面積也較 2006 年至 2012 年少；經比對重大土砂災例，2007 至 2012 年間每年均有一個颱風豪雨災害事件之重大土砂災例達到 10 件以上，每年平均 58.6 件；而 2013 年至 2016 年間僅兩個事件逾 10 件，每年平均僅 21.2 件(表 2)，此結果亦與圖 6 結果一致。

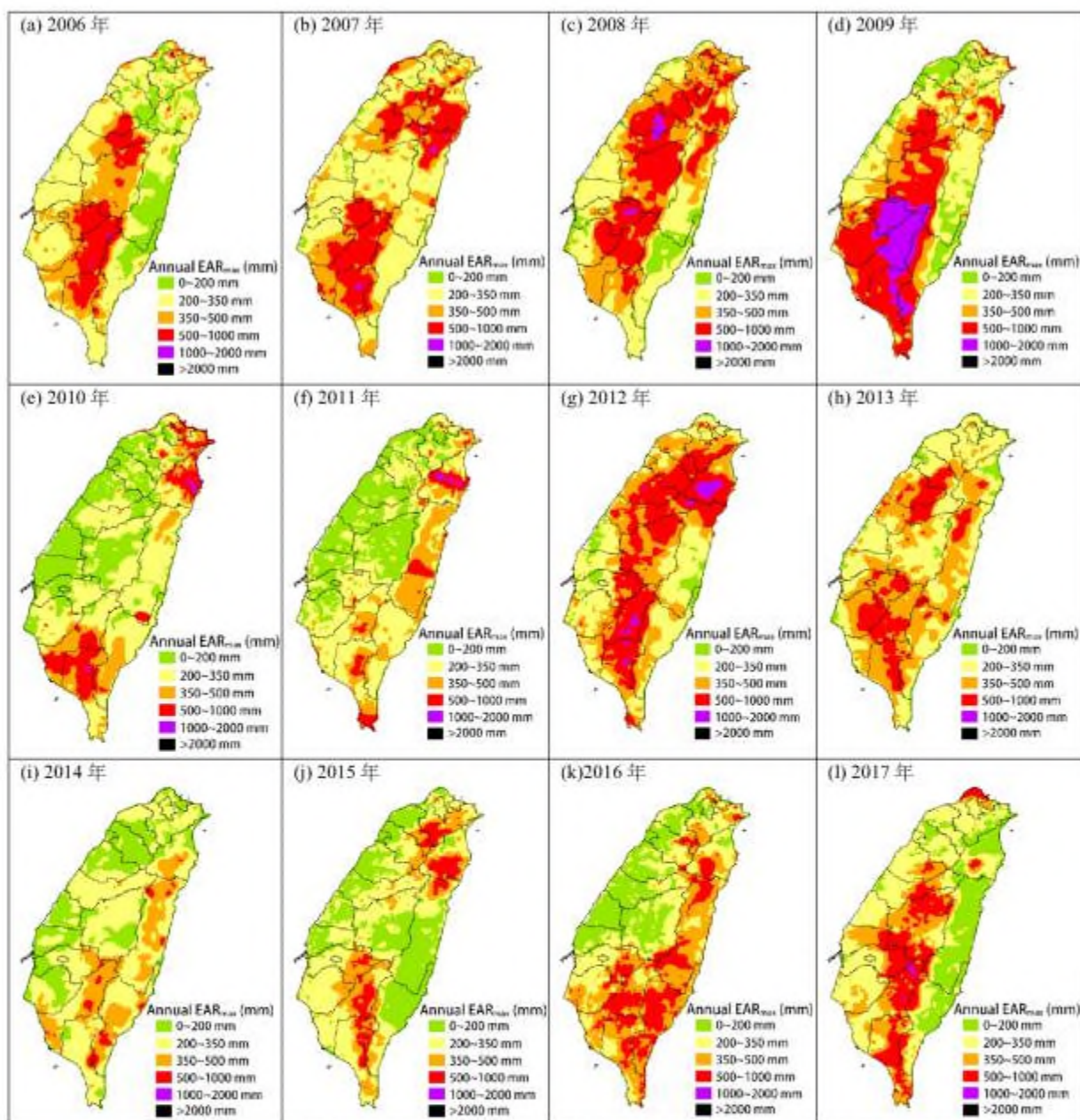


圖 4、2006-2017 年全台年度最大土壤含水量指標分布圖 (註：2017 年僅使用 1 月至 7 月雨量資料)

Fig. 4 Distribution of Annual EAR_{max} in 2006 to 2017

3.2 台灣重大土砂災例類型與雨量及時間關聯分析

彙整 2006-2018 全台重大土砂災例資料顯示，以崩塌類型佔 49.6%最多(207 件)，土石流佔 31.4%次之(131 件)，而洪水佔 27.3%(114 件)，地滑災害則最少，僅 4.6%(19 件)，如表 4。為比較各年度全台有效累積雨量、新生崩塌面積及重大災例數之關連性，本研究取該年度研究區內各月份所有網格之 EAR_{max} 值取平均後，選擇該年度內最大之平均值，定義為「年度最大平均有效累積雨量 $Annual\ EAR_{avg(max)}$ 」，並分別比較其與新生崩塌面積及重大災例數之關連性，如圖 5 及圖 6。綜整各年度雨量、新生崩塌面積及災例資料後，顯示 2009 年新生崩塌面積、重大災例件數及全台 $Annual\ EAR_{avg(max)}$ 均為最高(圖 5、圖 6)，此為 2009 年 8 月侵襲台灣的莫拉克颱風帶來大範圍且大量雨量所造成。自 2009 年以後，重大災例件數與新生崩塌面積無增加的趨勢。在 2014 年重大土砂災例件數僅有 5 件，比較當年度全台年度最大土壤含水量指標分布圖(圖 4)，顯示 2014 年的 $Annual\ EAR_{max}$ 在 500 mm 以上的分佈為 2006 至 2017 年間最低的一年。

在月份方面，全台歷年重大土砂災例多集中在 6 到 10 月間(共 464 件，占整體 98.5%)，尤以 8 月最高，為 214 件(占整體 45.4%)。如取 2006-2017 年同月份全台 QPE 網格當月 EAR_{max} 之平均值，定義為「月平均最大有效累積雨量 $Monthly\ EAR_{avg(max)}$ 」，並與歷年重大土砂災例比較繪製為圖 7。其中 $Monthly\ EAR_{avg(max)}$ 以 6-10 月較高，最高為 8 月達 858.6 mm，且重大土砂災例數

量也最多。

如進一步以各重大土砂災例發生時之有效累積雨量分析其與降雨的關聯性，並將重大土砂災例發生時之有效累積雨量繪製成累積機率分布圖，結果顯示，有 90% 的重大土砂災例發生於有效降雨量 150 mm 以上(圖 8)；在災害發生時的有效累積降雨量為 440 mm 時，重大土砂災例發生的機率為 50%，與超大豪雨之定義 500 mm 相當接近；而當有效累積降雨量為 600 mm 時，有 70% 重大土砂災例已發生，與現行土石流警戒基準值最高範圍大致相同。另一方面，在不同有效累積雨量的累積機率區間內觀察不同災害類型的分布，顯示當有效累積雨量增加時，土石流與地滑災害類型的比例有增加的趨勢，崩塌災害有減少的趨勢，而洪水則較無顯著趨勢(圖 9)。

表 4、2006-2018 年台灣重大土砂災例類型分析

Table 4 Types and percentages of severe sediment-related disasters in 2006 to 2018, Taiwan

類型	件數	比例(%)	不計洪水後比例(%)
崩塌	207	49.6	58.0
土石流	131	31.4	36.7
地滑	19	4.6	5.3
洪水	114	27.3	-

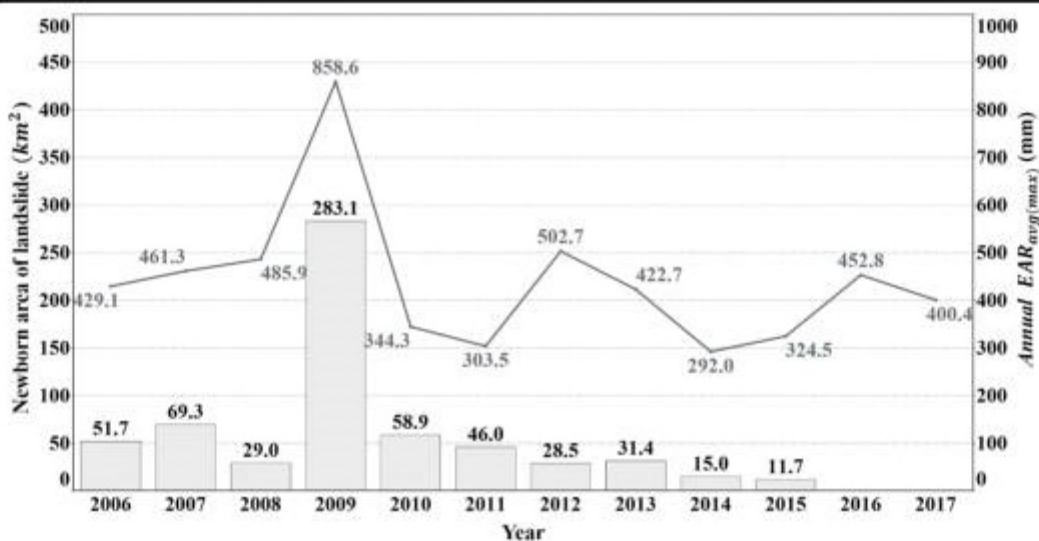


圖 5、2006-2017 年年最大平均有效累積雨量(Annual $EAR_{avg(max)}$)與新生崩塌面積

Fig. 5 Annual $EAR_{avg(max)}$ and newborn area of landslides in 2006 to 2017

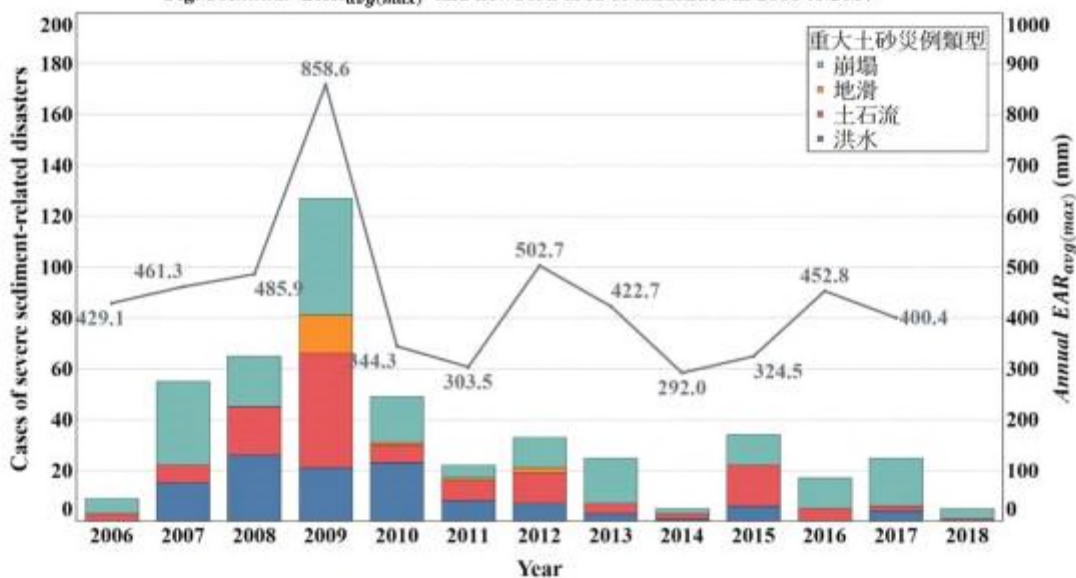


圖 6、2006-2018 年年度最大平均有效累積雨量 Annual $EAR_{avg(max)}$ 與重大土砂災例數

Fig. 6 Annual $EAR_{avg(max)}$ and cases of severe sediment-related disasters in 2006 to 2018

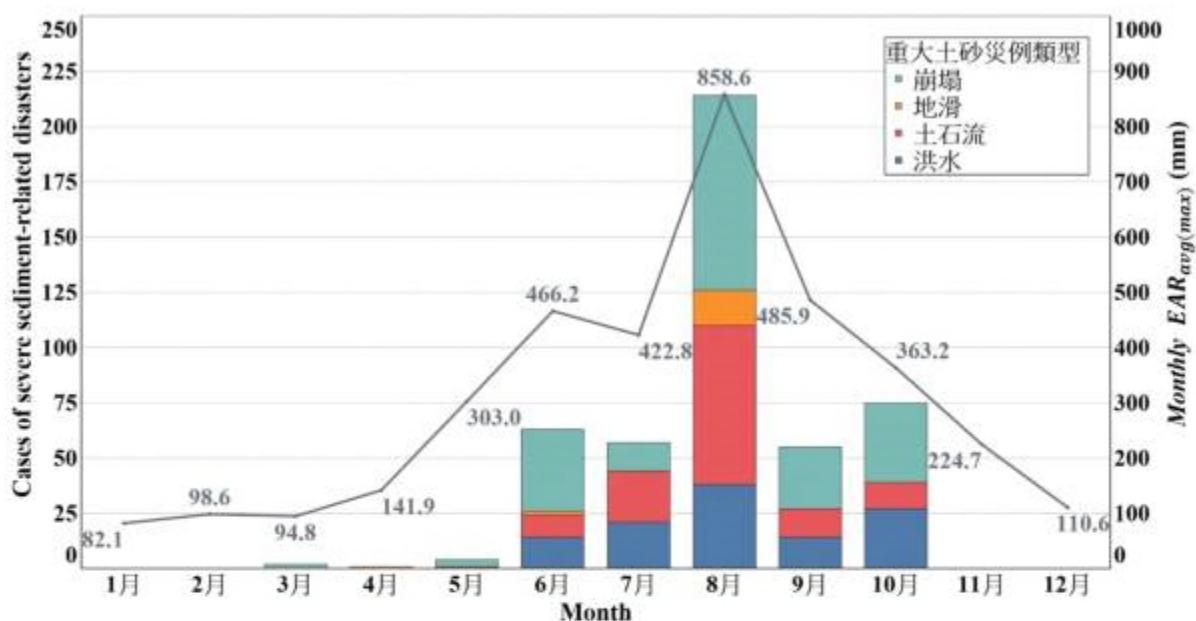


圖 7、2006-2018 年月平均最大有效累積雨量 $Monthly\ EAR_{avg(max)}$ 及重大土砂災例數
 Fig. 7 The numbers of severe sediment-related disasters and $Monthly\ EAR_{avg(max)}$ in 2006 to 2018

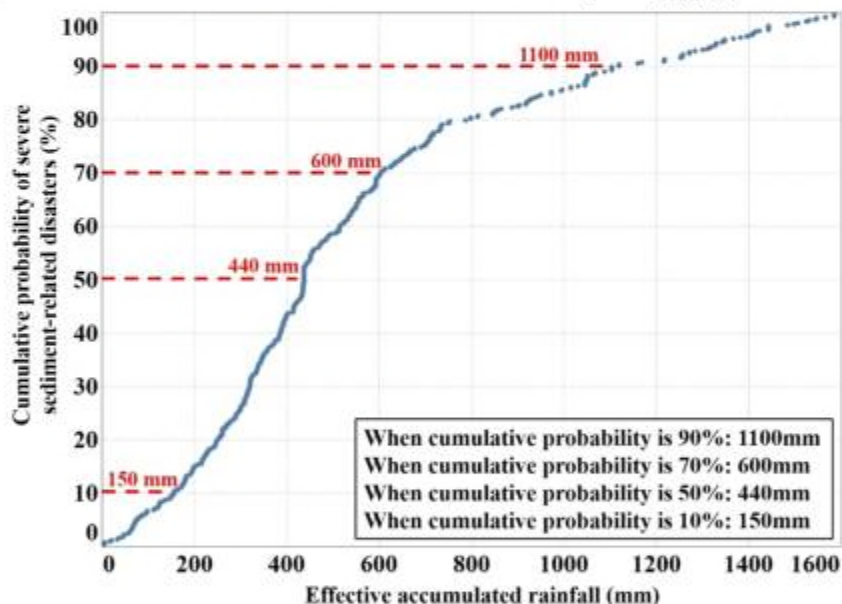


圖 8、2006-2018 年降雨誘發重大土砂災例發生機率
 Fig. 8 Cumulative probability of severe sediment-related disasters triggered by rainfall

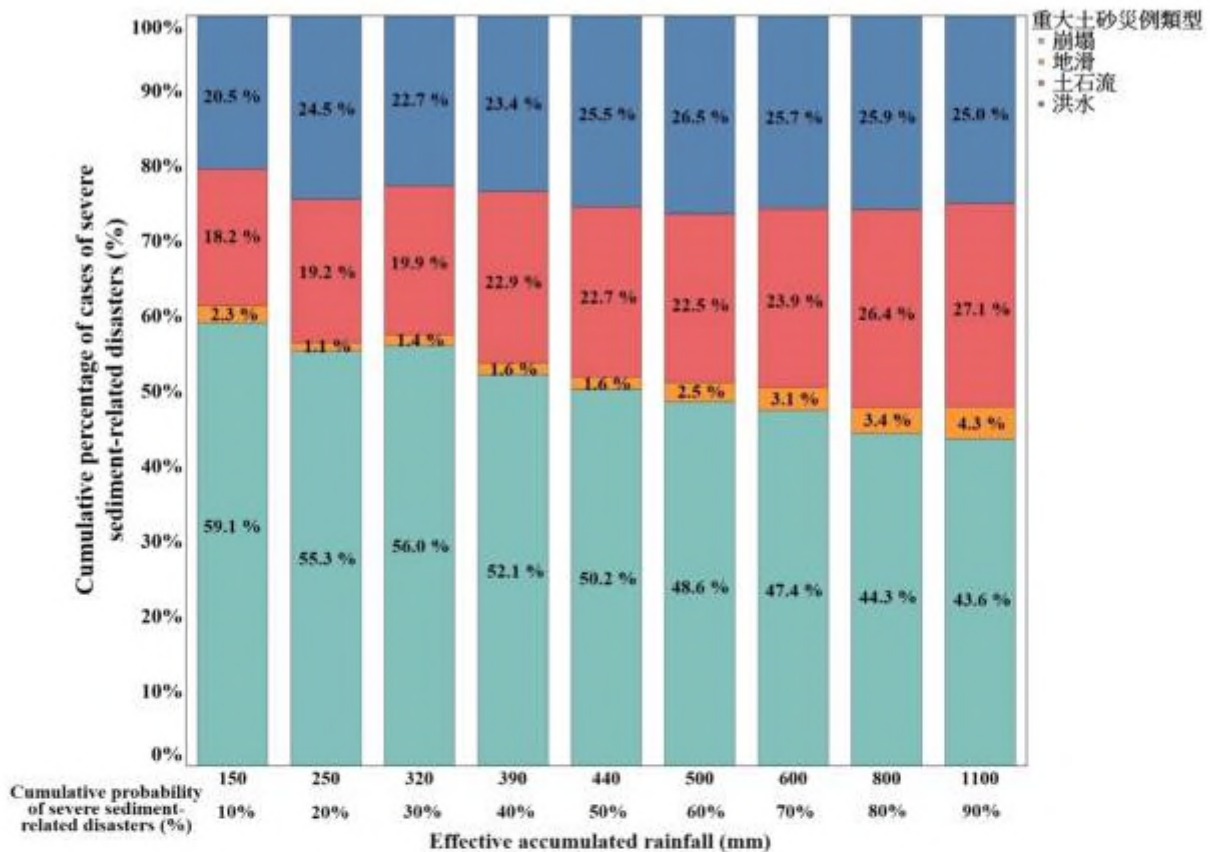


圖 9、不同降雨情境下之各類災害比例

Fig. 9 Different condition of cumulative rainfall and severe sediment-related disasters with different cumulative percentage

3.3 台灣重大土砂災例類型與空間分布特性分析

由於台灣的降雨主要受到 5 月中旬至 6 月中旬的梅雨季、7 至 9 月的颱風季及西南風系統，以及 10 月開始的東北季風系統之影響，降雨集中之月份亦有區域性之不同(國家災害防救科技中心，2015)。為進一步探討台灣重大土砂災例類型與空間分布特性，本研究依表 1 之北中南東四個分區，繪製如圖 10、圖 11 及圖 12。由圖 10 顯示，如取 $Monthly\ EAR_{avg(max)}$ 為 300mm 為界，北部及東部地區降雨集中於 8-10 月，中部及南部地區則為 6-9 月，且重大土砂災例集中之月份 $Monthly\ EAR_{avg(max)}$ 與趨勢一致。如以重大土砂災例分布數量及類型來看，各區災例數量以南部最多(184 件)，主要類型為土石流(70 件)及崩塌(60 件)；北部與中部均為 127 件，其中北部的類型主要為崩塌(62 件)及洪水(31 件)，中部則為崩塌(71 件)及土石流(20 件)；而東部災例數量最少(33 件)，主要類型為崩塌(14 件)及土石流(10 件)。在新生崩塌面積部份，北部新生崩塌面積最少，南部最多；其中南部與東部地區均在 2009 年莫拉克颱風時出現最大的新生崩塌面積(圖 11)，以及最多重大土砂災例(圖 12)，之後則無明顯趨勢。

此外，由圖 10 知北部地區主要降雨及災害月份為 8-10 月，雖然 10 月份北部之 $Maximum\ EAR_{avg(max)}$ 無明顯增加，但 10 月份土砂災害數量最多，且多為洪水與崩塌災害(圖 10)，並以宜蘭件數最多，推測可能為熱帶氣旋與東北季風共伴效應造成東北地區尤其是宜蘭地區小範圍大量降雨所致(范鈞燦等，2008)，圖 5 也顯示宜蘭地區相較於其他北部縣市較容易有累積雨量大於 500 mm 的情況出現。由圖 11 顯示，北部地區在 2005 年至 2015 年之新生崩塌面積在四個地區裡為最少，僅在 2012 年有較大的雨量與崩塌面積，對照圖 4，其原因為 2012 年侵台的蘇拉颱風造成宜蘭地區出現大於 1000 mm 的 EAR_{max} 與大範圍 500 mm 以上的 EAR_{max} ，在北部也造成較多的災害事件(表 2、圖 11)。根據中央氣象局統計，蘇拉颱風在北部的宜蘭地區帶來超大豪雨，其中太平山地區總計累積降雨量達 1815 mm，造成土石流與洪水等重大災情(蔡甫甸，2015)。

另一方面，對照圖 11 及圖 12，2010 年梅姬颱風及 2015 年蘇迪勒颱風，造成北部地區共 34 件及 30 件重大土砂災例，但圖 11 卻未顯示新生崩塌面積有增加趨勢，其原因係為梅姬颱風之降雨主要集中於宜蘭，例如該月份北部地區的 EAR_{max} 為 1256.3 mm，但 $EAR_{avg(max)}$ 僅為 295.2 mm，且 34 件重大土砂災害地點皆發生於宜蘭縣，並有 27 件位於蘇澳鎮；圖 4 亦顯示 2010 年宜蘭附近之 EAR_{max} 大部分皆大於 500 mm，更有大於 1000 mm 的情況。因此梅姬颱風主要影響範圍僅限於宜蘭地區，因此當年度北部地區之總新生崩塌面積不大。類似之情形亦見於 2015 年蘇迪勒颱風，蘇迪勒颱風雖造成新北市烏來區、新店區、三峽區與宜蘭縣大同鄉等北部地區大量重大土砂災例，也是 2015 年最嚴重的災害事件(羅雅尹，2015)，然而 2015 年北部地區的新生崩塌面積並無大量增加(圖 11)。根據 2015 年蘇迪勒颱風災害調查彙整報告指出，蘇迪勒颱風過後並未造成大量新崩塌地，且林相並未受明顯破壞(張志新等，2015)，此外，研究指出，天然林林相完整，在林相未受破壞的情況下，新生崩塌地的面積可能因衛星影像無法判釋林相下的狀況而造成低估(林松駿、梁偉立，2018)；另一方面，由於本研究的新生崩塌面積判定方法為增加的面積，若強降雨造成的原有崩塌地加深，則無法計入。這兩個原因可能導致蘇迪勒颱風未造成大量新生崩塌面積。

對於中部地區而言，由圖 10 顯示 6 月梅雨季節造成之重大土砂災例以中部比例最高，類型則以崩塌最多。於表 2 所列 2006-2018 年全台災害事與重大土砂災例件數顯示，歷年重大土砂災例數逾 10 件的颱風豪雨事件計有 12 次，其中災例件數比例最高者，北中南區各佔 4 次。檢視中部地區 4 次中，有 3 次分別為 2007 年 0604 豪雨、2012 年 0610 豪雨及 2017 年 0601 豪雨。四個分區中，南部地區的土砂災例數量最多(184 件)，且 8 月發生的重大土砂災例相較於其他地區高出 2 倍至 3 倍，主要為崩塌及土石流類型，尤其是 8 月的雨量較其他地區高出許多(圖 10)，可能因為南部夏季除了颱風之外更有西南氣流的影響，造成大量降雨，使崩塌和土石流災害大幅增加(圖 10)。另一方面，2006 年莫拉克颱風在 2009 年造成大量的降雨，重創南部地區，在南部造成 126 件重大土砂災例，並且造成近年來最多的新生崩塌面積，莫拉克颱風的嚴重程度可見一斑。

相較於其他三區，東部重大土砂災例數量僅為其他三區之 1/4~1/6 左右(33 件)，東部地區的災害多發生於 8 月至 10 月，8 月土石流類型最多，而 10 月則主要為崩塌及洪水(圖 10)。雖然東部地區在 6 月至 10 月份的 $EAR_{avg(max)}$ 與北部及中部沒有明顯落差(圖 10)，且歷年新生崩塌面積高於北區及中區(圖 11)，但其災害數量比北部及中部地區(127 件)少了三分之二。可能原因為東部地區占地雖廣，人口密度卻為全台最低；根據內政部 108 年 5 月統計，全台平均人口密度為每平方公里 651 人，而花蓮縣為每平方公里 76 人，台東縣為 62 人，而水土保持局所建立的重大土砂災例主要為保全對象受土砂災害的紀錄及報告，因此重大土砂災例的數量便會相對較少。此外，在月平均最大有效累積雨量東部與北部及中部相差不大之情況下，新生崩塌面積卻高於北部及中部地區，是否係由於東部地區地震較為頻繁所致，值得後續進一步分析。

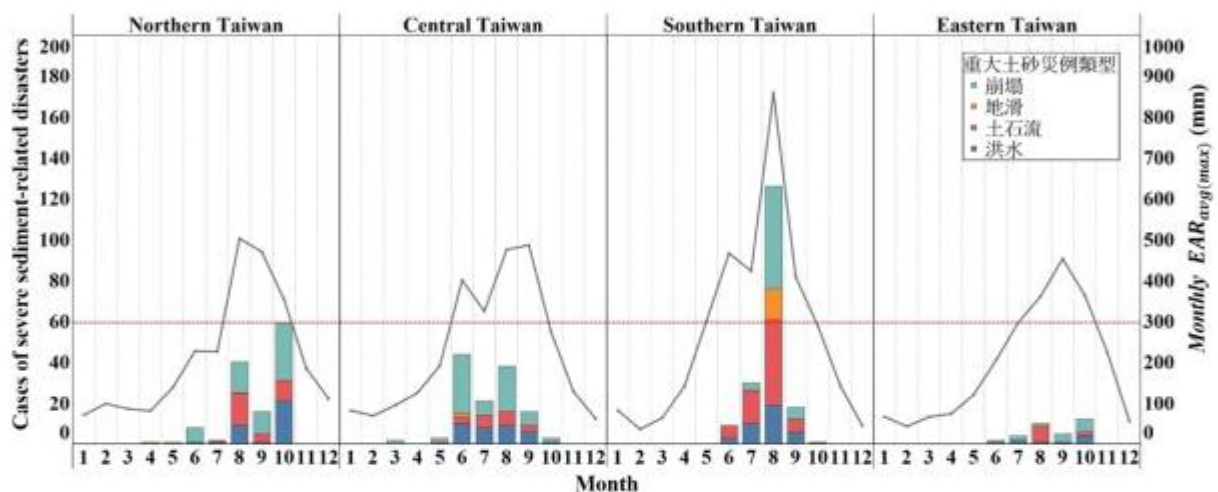


圖 10、各地區 2006-2017 年之月平均最大有效累積雨量 $Monthly\ EAR_{avg(max)}$ 及 2006-2018 年各月份災例數量
Fig. 10 Each regions' $Monthly\ EAR_{avg(max)}$ in 2006 to 2017 and cases of severe sediment-related disasters in 2006 to 2018

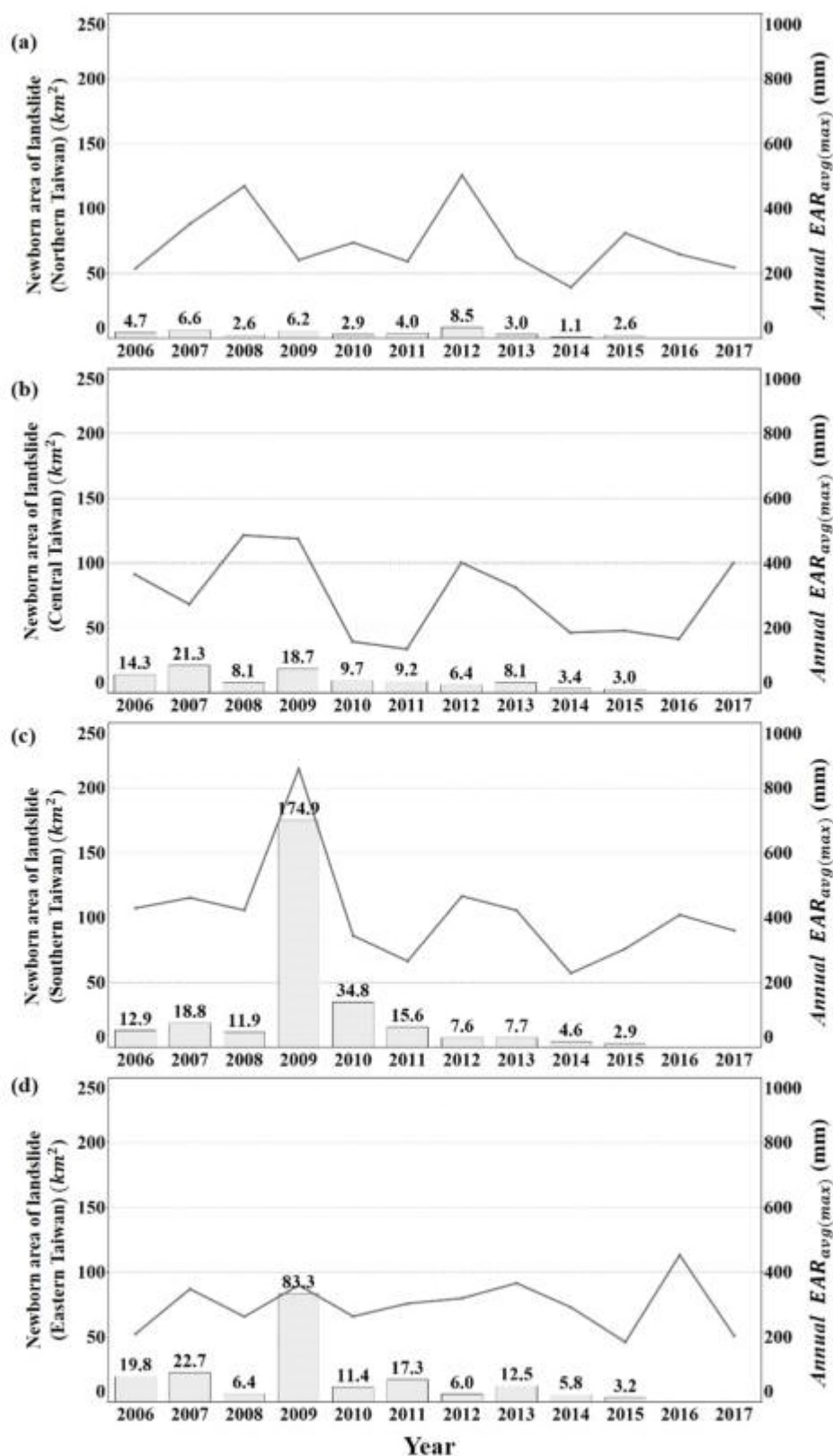


圖 11、各地區 2006-2015 年新生崩塌面積及 2006-2017 年年度最大平均有效累積雨量 $Annual\ EAR_{avg(max)}$
 (a)北部，(b)中部，(c)南部，(d)東部
 Fig. 11 Each regions' newborn area of landslide in 2006 to 2015 and $Annual\ EAR_{avg(max)}$ of year in 2006 to 2017

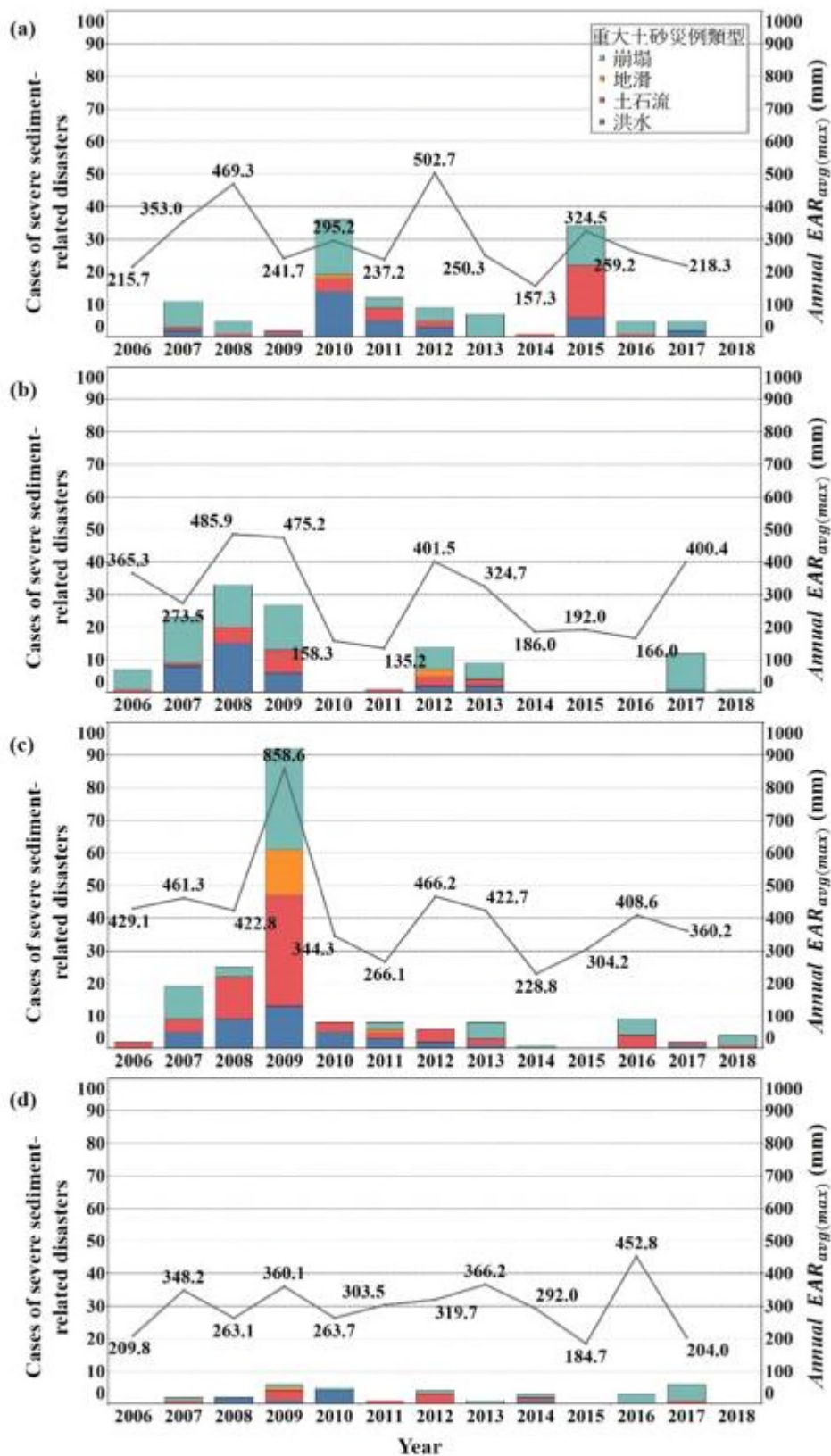


圖 12、各地區 2006-2018 年重大土砂災害及類別，與 2006-2017 年年度最大平均有效累積雨量 $Annual\ EAR_{avg(max)}$
(a)北部，(b)中部，(c)南部，(d)東部

Fig. 12 Each regions' cases of severe sediment-related disasters in 2006 to 2018 and $Annual\ EAR_{avg(max)}$ of year in 2006 to 2017

3.4 討論

1. 由於國內目前所能取得之較完整的歷年全台灣崩塌地圖層，僅有林務局 2004-2016 年衛星判釋全島崩塌圖層，惟該圖層僅使用當年度 1 至 7 月之衛星影像進行崩塌地判識，由前述統計結果可知，逾 7 成以上之土石災害實際發生於 8 至 12 月，因此在計算各年度新生崩塌面積時，將造成某些崩塌無法確認是否真為當年度降雨所致。建議未來宜建置事件型山崩目錄，或有機會改善。
2. 由於重大土石災害例之認定及後續之資料建置，往往受到人為判斷與認知之影響，為了解其影響及差異，本研究蒐集並整理 2018 年 7 月至 2019 年 6 月間各大新聞台報導與災害相關之電子新聞，剔除地震等非降雨事件造成之災害，分類為崩塌、土石流、地滑及洪水四種主要災害共計 280 則。資料內容包含日期、地點、座標、主要災害及相關新聞描述，經繪製為新聞災點分布圖（圖 13）。比較圖 2 及圖 13 可知新聞報導災害點位大致分布於北中南區，東部地區資料較少（圖 13）。在新聞資料點位中，災害事件最多的是崩塌（173 件）和洪水（104 件），而土石流和地滑則僅各 2 件和 1 件（表 5）。新聞報導災例中崩塌和洪水的比例佔大部份，可能因為多數報導著重於交通受阻、洪水及影響民宅。在全部 280 則報導中，就有 166 件報導內容為交通阻塞的描述（59%），包含路樹倒塌、邊坡落石與崩塌等內容描述；而關於洪水部分的報導原因則多為交通要道、都市精華區因為大量降雨而淹水等（表 5）。相較於水土保持局建立之重大土石災害例，新聞報導之災害案件多著眼於是否影響民生日常作為取材標準，其空間分佈也較重大土石災害例點位分散（圖 2、圖 13）。由於本項新聞災點目前僅蒐集近一年之資料，且同期間之重大土石災害例僅 4 件，尚無法進一步分析與建立其關連性，惟如能持續擴充此新聞報導災例資料庫，後續應有更多可能之應用及相關資訊可供分析。
3. 對於台灣的強降雨事件是否有增加的趨勢，不同專家學者亦有不同的看法，許多研究認為，在近 30-50 年來，台灣的強降雨事件有增加的趨勢。例如吳宜昭等（2016）分析 1993 年至 2015 年的短延時降雨事件，顯示 23 年來 3 小時延時強降雨事件的發生日數存在上升趨勢，平均每年增加 0.2 日。而涂建峰等（2011）分析 1960 年 2009 年（共 50 年）的時雨量資料，顯示台灣地區時雨量小於 2 毫米的降雨時數與降雨量均明顯減少，2000 年後時雨量大於 30 毫米以及 50 毫米的強降雨則顯著增加。此外，盧孟明等（2007）分析 1951 年至 2005 年時雨量資料，結果顯示台灣東北部 1979 年後短延時極端降雨事件有增加的現象，而中部和南部地區則無。另一方面，洪致文（2012）觀察台灣 1885 年至 2010 年之降雨分佈，顯示近 30 年至 50 年不等出現的強降雨災難事件，在 1920 年至 1960 年已有類似的雨量分佈趨勢，因此近年在雨量紀錄的離群值有可能是時間尺度差異所造成。綜合以上前人研究結果，顯示不同時間尺度與地區劃分的研究成果有相當的差異，因此若要了解近年來強降雨是否有增加的趨勢，建議可拉長時間尺度至前一次相似雨量分佈趨勢出現時，與納入不同降雨原因分析。
4. 本研究結果顯示，當有效累積雨量達 320 mm 以上時，崩塌、地滑與土石流災例類型比例開始有明顯變化，其中崩塌類型減少，而地滑與土石流類型增加（圖 8）。一般而言，地滑災害常與豪大雨導致地下水位上升有關，在總共 19 件的地滑災例中，有 15 件發生於莫拉克颱風，並且集中在南部地區，同時其比例呈現隨著有效累積雨量增加而上升之趨勢。另一方面，土石流災害的比例隨著累積雨量增加的現象，推測可能原因為在累積雨量較高的事件中時崩塌與土石流都有發生，但崩塌事件發生於上游的部分，為土石流災害提供料源，使流動距離及影響範圍更廣的土石流災害危害下游保全對象而被記錄為重大災例；另一方面，根據研究指出，隨著累積雨量增加，土石流影響範圍也會隨著擴大，並增加保全對象受到的損害（劉格非等，2013）。由於本研究每一件重大土石災害例僅選擇一種土石災害類型作為代表，因此在雨量增加時，土石流的災害範圍若擴大，則土石流很可能被記錄為主要災害類型，同時間或較早發生的崩塌災害便未被納入，建議未來可針對複合型土石災害進行加權分析，以進一步了解不同有效累積雨量對土石災害類型的影響。



圖 13、2018 年 7 月至 2019 年 6 月土石災害相關之新聞災點位分布圖

Fig. 13 Distribution of sediment-related disasters reported by online newspaper in July 2018 to June 2019

表 5、2018 年 7 月至 2019 年 6 月新聞報導案件之報導原因、件數與災害類型。

Table 5 Reasons, types and numbers of sediment-related disaster reported in news reports in July 2018 to June 2019

災情描述	總件數	災害類型	件數
交通受阻	166	崩塌	142
		洪水	22
		土石流	2
淹水	66	洪水	66
		洪水	16
民宅受損	25	崩塌	8
		地滑	1
落石與人員 傷亡	23	崩塌	23
總計			280 件

四、結論

本研究藉由有效累積雨量值之繪製與觀察歷年全年度最大土壤含水量分佈，顯示其與重大土砂災害的時間及空間分佈相吻合；北中南東各地區亦因主要降雨系統不同而有相異的災害型態。本研究結果顯示，在 2013 年後重大土砂災害與全年度最大土壤含水量分佈均較 2006-2012 年少，雖未觀察許多研究指出之極端降雨與土砂災害增加的現象，其原因可能為所採用之雨量資料時間區間較短導致。整體而言，歷年重大土砂災害中，崩塌所佔災害比例最高(45%)，其次為土石流(27%)。在災害發生的時間方面，6 月至 10 月為台灣重大土砂災害發生高峰期。觀察有效累積雨量與重大土砂災害的關聯性，結果顯示 90% 的重大災害發生時有效累積降雨量均大於 150 mm；在災害發生時的有效累積降雨量為 440 mm 時，重大土砂災害發生的機率為 50%，與超大豪雨之定義 500 mm 相當接近；而當有效累積降雨量為 600 mm 時，有 70% 重大土砂災害已發生，與現行土石流警戒基準值最高範圍大致相同。此外，降雨規模不同，土砂災害類型之比例亦有所變化；其中土石流及地滑類型之災害比例，隨雨量增加而增加。本研究淺探近年土砂災害趨勢，因於災害點位數量與資訊較少，建議可進一步蒐集其他政府相關部門或民間團體紀錄之災害事件。另外，本研究未考慮複合型災害，一筆災害事件僅選取一個主要災害，然而重大土砂災害常同時發生一個類型以上的災害，未來可進一步考慮複合災害事件的影響。本研究綜合各地區 2006 年至 2018 年重大災害，新生崩塌面積與雨量，分析台灣地區降雨致災的土砂災害趨勢，或可供未來相關防災措施與研究參考。

五、參考文獻

- [1] Dilley, M., Chen, R. S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A. L., & Arnold, M. (2005). "Natural disaster hotspots: a global risk analysis." The World Bank.
- [2] Wallemacq, P. (2018). "Economic Losses, Poverty & Disasters 1998-2017." Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, CRED.
- [3] 中央氣象局 (2015)，氣象遙測觀測-氣象衛星與氣象雷達。Central Weather Bureau (2015). "Meteorological remote sensing-meteorological satellite and meteorological radar".
- [4] 中央氣象局 (2019)，107 年氣候資料年報-地面資料。Central Weather Bureau (2019). "CLIMATOLOGICAL DATA ANNUAL REPORT 2018 PART I - SURFACE DATA".
- [5] 尹孝元、王哲倫、簡以達、詹錢登、王志賢 (2019)，臺灣坡地災害管理策略之演進與發展，天氣分析與預報研討會，中央氣象局編印。(Yin, H.Y., Wang, C.L., Jian, Y.D., Jan, C.D., and Wang, C.H. (2019). "The evolution and development of Taiwan's slopeland disaster management strategy." Conference on Weather Analysis and Forecasting, Central Weather Bureau. (in Chinese))
- [6] 日本氣象庁 (2018a)，「平成 30 年 7 月豪雨」及び 7 月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について。(Japan Meteorological Agency. (2018a). "The characteristics and factors of the record high temperature after 2018 July heavy rain and the middle of July, 2018." (in Japanese))
- [7] 日本氣象庁 (2018b)，「平成 30 年 7 月豪雨」の大雨の特徴とその要因について(速報)。(Japan Meteorological Agency. (2018b). "About the feature and the factor of 2018 July heavy rain (preliminary report)." (in Japanese))
- [8] 日本氣象庁 (2019)，平成 30 年 7 月豪雨による被害状況等について (第 32 報)。(Japan Meteorological Agency. (2019). "About the damage situation by 2018 July heavy rain, No. 32." (in Japanese))
- [9] 行政院科技部 (2014)，災害領域行動方案 102-106 年。(Ministry of Science and Technology, ROC. (2014). "Action plan for disasters in 2013-2017. ROC." (in Chinese))
- [10] 吳宜昭、龔楚嫻、王安翔、于宜強 (2016)，台灣地區短延時強降雨事件氣候特性分析，國家災害防救科技中心災害防救電子報(第 132 期)。(Wu, Y.C., Kung, C.Y., Wang, A.X., and Yu, Y.C. (2016). "Analysis of climatic characteristics of duration heavy rainfall events in Taiwan." Online newspaper of National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR), 132. (in Chinese))
- [11] 国土交通省 (2018)，平成 30 年 7 月豪雨について，事業評価小委員会 (第 11 回)。(Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan. (2018). "Report about July, 2017 heavy rain." Project Evaluation Subcommittee, 11th. (in Japanese))
- [12] 林松駿、梁偉立 (2018)，衛星影像判釋與現地探査天然林集水區新生崩落地分布之比較：以 2015 年蘇迪勒颱風誘發崩塌為例，中華水土保持學報，49(1)，1-11。(Lin, S.J. and Liang, W.L. (2018). "Landslide distributions identified by satellite images and field investigations in a natural forested catchment: the case of landslides induced by typhoon Soudelor in 2015." Journal of Chinese Soil and Water Conservation, 49(1), 1-11. (in Chinese))
- [13] 洪致文 (2012)，臺灣降雨指數(TRI)的建立與其分析應用，地理學報(67)73-96。(Hung, C.W. (2012). "The construction of TCCIP Taiwan Rainfall Index (TRI) and its applications." Journal of Geographical Science, (67)73-96. (in Chinese))
- [14] 范鈺燦、趙家民、葛晉澤 (2008)，秋颱侵襲台灣之路徑與降雨特性研究，台南科技大學通識教育學刊，(7)233-258。(Fan, Y.S., Chao, C.M., and Ger, J.Z. (2008). "A Study on the tracks and rainfall of the autumn typhoons invading Taiwan." Journal of General Education, Tainan University of Technology, (7)233-258. (in Chinese))
- [15] 唐玉霜、黃葳芃、張保亮、陳嘉榮 (2016)，劇烈天氣監測系統(QPESUMS)之防災應用，中央氣象局氣象衛星中心。(Tang, Y.S., Huang, W.P., Chang, P.L., and Chen, J.R. (2008). "Disaster prevention and application of Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensors (QPESUMS)." Central Weather Bureau. (in Chinese))
- [16] 涂建瑋、陳俐盈、高瑞鞠、黃靖南、朱熾儒、吳敏聰、林紋伊、張家華 (2011)，從時雨量看臺灣降雨強度的頻率變化，2011 年地球科學系統學術論壇論文集，113-117，中國文化大學理學院，台北，台灣。(Tu, J.Y., Chen, L.Y., Gao, D.J., Huang, C.N., Zhu, Y.R., Wu, M.W., Lin, W.Y., and Chang, J.H. (2011). "Evaluating the frequency change of Taiwan's rainfall intensity from the hourly rainfall." Proceedings of the Earth Science System Academic Forum, 113-117, College of Science,

- Chinese Culture University, Taipei, Taiwan. (in Chinese))
- [17] 財團法人中興工程顧問社 (2010) , 八八水災災害調查成果與復健工程建議, 財團法人中興工程顧問社/中興工程顧問股份有限公司編印, 台北, 台灣。(Sinotech Engineering Consultants, INC. (2010). "Investigation results and rehabilitation project suggestions of Typhoon-Morakot-caused flood." Sinotech Engineering Consultants, INC, and Sinotech Engineering Consultants, LTD, Taipei, Taiwan. (in Chinese))
 - [18] 國家災害防救科技中心(2015) , 台灣極端降雨事件-1992-2013 年重要事件彙整, 台北, 台灣。(National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) (2013). "The Rank of Extreme Rainfall Events over Taiwan, 2018." National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR), Taipei, Taiwan. (in Chinese))
 - [19] 國家災害防救科技中心 (2019) , 2018 天然災害紀實, 國家災害防救科技中心編印, 台北, 台灣。(National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR) (2019). "Natural Disaster Yearbook, 2018." National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR), Taipei, Taiwan. (in Chinese))
 - [20] 張志新、王俞婷、傅鍾漢、林又青、張駿輝、劉哲欣、呂喬瀾、吳啟瑞、蘇元風 (2015) , 「2015 年蘇迪勒颱風災害調查彙整報告」, 國家災害防救科技中心。(Chang, C.S., Wang, Y.T., Fu, H.S., Lin, Y.C., Chang, J.H., Liu, C.S., Lu, C.Y., Wu, C.R., and Su, Y.F. (2015). "The aggregate report of the disaster caused by typhoon SOUDELOR in 2015." National science and technology center for disaster reduction. (in Chinese))
 - [21] 張保亮 (2011) , 「QPESUMS 產品應用介紹」, 氣象防災應用資訊研討會。(Chang, P.L. (2011). "Introduction of QPESUMS." Central Weather Bureau (CWB). (in Chinese))
 - [22] 陳俞旭 (2008) , 地震對崩塌與土石流發生影響之研究, 國立成功大學水利及海洋工程學系博士論文。(Chen, Y.S. (2008). "An Influence of Earthquake on the Occurrence of Landslide and Debris Flow." Department of Hydraulic and Ocean Engineering, doctoral dissertation. (in Chinese))
 - [23] 陳振宇 (2013) , 以雨量為基礎之土石災害警戒系統成效評估—以台灣及日本為例, 水土保持學報, 44(1), 50-64。(Chen, C.Y. (2013). "Evaluation of rainfall-based sediment disaster warning systems: case studies in Taiwan and Japan." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 44(1), 50-64. (in Chinese))
 - [24] 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。(Chen, C.Y., Liou, W.Z., and Hsu, C.H. (2017). "A rainfall-based warning model for predicting landslides using qpsums rainfall data." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 48(1), 44-55. (in Chinese))
 - [25] 陳振宇、陳均維、陳國威、林詠喬(2019) , 「坡地降雨致災熱區警戒模式」, 中華水土保持學報, 50(1), pp.1-10。(Chen, C.Y., Chen, J.W., Chen, K.W., Lin, Y.C. (2019). "Warning Model for Predicting the Risk Zones of Rainfall-Induced Slope Land Disasters." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 50(1), 1-10. (in Chinese))
 - [26] 黃碧慧 (2017) , QPE 於颱風事件的估計差異與空間之關聯性分析, 期末報告, 行政院農業委員會水土保持局編印。(Huang, P.H. (2017). "An analysis of the correlation between the estimated difference of QPE and space in the typhoon events." final report, Soil and Water Conservation Bureau, Nantou, Taiwan. (in Chinese))
 - [27] 楊明德、徐瑞宏 (2013) , 應用雷達雨量於陳有蘭溪流域之疏散避難預警, 環境工程會刊。(Yang, M.T., and Hsu, R.H. (2013). "Application of QPESUMS to warning and evacuation in Chen-yu-lan Creek Basin." *Environmental Engineering Journal*. (in Chinese))
 - [28] 詹錢登、王志賢 (2016) , 105 年土石流警戒基準值檢討與更新, 期末報告, 行政院農業委員會水土保持局編印。(Jan, C.D., and Wang, C.H. (2016). "The modification and review of the debris-flow warning criteria." final report, Soil and Water Conservation Bureau, Nantou, Taiwan. (in Chinese))
 - [29] 詹錢登、王志賢 (2017) , 降雨誘發土石災害警戒機制之研究, 成果報告, 水土保持局編印。(Jan, C.D., and Wang, C.H. (2017). "Study on warning system of rainfall-induced sediment disaster." results report, Soil and Water Conservation Bureau, Nantou, Taiwan. (in Chinese))
 - [30] 劉格非、魏士超、鄺寶成 (2013) , 累積雨量對土石流影響範圍評估之影響, 中華水土保持學報, 44(3), 225-233。(Liu, K.F., Wei, S.C., and Li, P.C. (2013). "The influence of accumulated precipitation on debris flow hazard." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 44(3), 225-233. (in Chinese))
 - [31] 蔡甫甸 (2015) , 民國 101 年颱風調查報告, 中央氣象局, 32-59, 台北, 台灣。(Tsai, F.D. (2015). "Report Typhoons in 2012", Central Weather Bureau, 32-59, Taipei, Taiwan. (in Chinese))
 - [32] 盧孟明、陳佳正、林昀靜 (2007) , 1951-2005 年台灣極端降雨事件發生頻率之變化, 大氣科學, 35(2), 87-103。(Lu, M.M., Chen, C.J., and Lin, Y.C. (2007). "Long-term variations of the occurrence frequency of extreme rainfall events during the period of 1951-2005." *Atmospheric Sciences*, 35(2), 87-103. (in Chinese))
 - [33] 戴義欽、詹錢登 (2016) , 集水區大規模土石災害風險辨識與耐受力盤查 (成果報告書, 計劃編號: SWCB-105-085) 。南投, 行政院農委會水土保持局。(Tai, Y.C., and Jan, C.D. (2016). "Risk identification and tolerability investigation of large-scale sediment-related disasters in watershed." results report, no.: SWCB-105-085, Soil and Water Conservation Bureau, Nantou, Taiwan. (in Chinese))
 - [34] 羅雅尹 (2016) , 民國 104 年颱風調查報告—第 13 號蘇迪勒(Soudelor)颱風(1513), 氣象學報, 53(1), 61-84。(Luo, Y.Y. (2016). "Report on Typhoon 1513 (Soudelor) of 2015." *Meteorological Bulletin*, 53(1), 61-84. (in Chinese))
 - [35] 魏楚嫻、顏葆琳、李宗融、吳宜昭、于宜強 (2015) , 「台灣極端降雨事件: 1992-2013 年重要事件彙整」專書導讀, 國家災害防救科技中心氣象組, 第 120 期。(Kung, C.Y., Yen, P.L., Lee, T.J., Wu, Y.C., and Yu, Y.C. (2015). "Guild book of "Taiwan's Extreme Rainfall: A Summary of Important Events in 1992-2013". National Science & Technology Center for Disaster Reduction (NCDR). (in Chinese))