農業部農村發展及水土保持署

與您一起打拼

農業部農村發展及水土保持署
54044南投市中興新村光華路6號
https://www.ardswc.gov.tw

113年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究 成果報告書 113年度 農業部農村發展及水土保持署

ARDSWC-113-146

113年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究

成果報告書

農業部農村發展及水土保持署　編印

中華民國113年12月

計畫編號：ARDSWC-113-146

113 年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究

The Study of Impact and Adaptation Strategies for Large-Scale Sediment Disasters under Climate Change

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 人 員	李哲宇、陳俊廷、李易諭、葉雯婷、黃偉宸

農業部農村發展及水土保持署　編印

中華民國 113 年 12 月

113 年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究

計畫編號：ARDSWC-113-146

執行單位：財團法人農業科技研究院
計畫主持人：黃德秀

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本署施政參考）

摘要

本計畫為農業部農村發展及水土保持署(以下簡稱農村水保署)三年期 (111 年~113 年) 計畫的第三期，為探討氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策的相關研究進展，以及「不安定土砂災害風險及其引致之複合型土砂災害」等新議題，亟需導入新科技與新技術以建立基礎調查及災害模擬能力，作為不安定土砂災害風險評估參據。今(113)年度計畫著重於發展集水區不安定土砂災害風險指標研究、土砂防災情境與模擬分析、現地土砂災害案例檢證、智慧型手機應用於土砂災害調查規劃與公私協力等研究。本計畫之工作項目包含：1. 收集、研析並推廣國內外土砂防減災技術文件 2. 盤點農村水保署歷年土砂相關計畫成果與加值應用分析 3.集水區土砂災害致災模擬模式分析 4.基礎資料加值應用與校核 5.強化技術支援與人員培訓能力等重要工作項目。本年度各項成果如下：

一、收集、研析並推廣國內外土砂防減災技術文件工項：本年度共計撰寫 30 篇新興科技電子報，並發布於農村發展及水土保持署(以下簡稱農村水保署)技術研究發展平台上供各界參閱，並進一步利用手機建模技術進行新技術可行性評估以及參酌電子報資料擬定創新研究計畫公告題目建議。

二、盤點農村水保署歷年土砂相關計畫成果與加值應用分析：盤點 112 年度委辦案 232 件，其中彙整出 128 本可作為後續成果加值應用之委辦計畫，並協助農村水保署完成計畫成果數值資料追蹤與現地資料補正作業。另依歷年農村水保署完成之委辦案中，進行成果加值應用，包括 105-112 年 H.O.S.T 地圖製作標準訂定與製作、重大土砂災例彙整、堰塞湖遙測影像彙整與 0403 地震後之二次災害高風險區評估，以上完成之資料除輔助署內業務執用外，亦提供於各界使用者參考應用。

三、集水區土砂災害致災模擬模式分析：完成「集水區不安定土砂災害風險指標研究」、「0403 花蓮地震後土砂移動降雨門檻值探討」、「0403 地震後土石流活動性研究」及「現地土砂災害案例檢證」等相關土砂災害模擬分析。各項研究成果發表於 2024 11th International Workshop on Multimodal Sediment Disasters、2024 森林集水區經營與生態監測研討會、2024 中華水土保持研討會等國內外研討會。

四、基礎資料加值應用與校核：本計畫團隊協助辦理「第陸拾參次公民科技園遊會黑客松」活動，並以「歷史照片加值應用」為主題，邀請公眾共同為歷史影像定位，串聯同一地點不同時間所發生的事件，進而分析災害原因與規模，盡可能避免同樣的災害再次發生。其二以 0403 花蓮地震後多場土砂災害事件之現場調查資料，藉由新型態 3D 建模工具方法整合私部門提供相關調查成果，完成公私協作與防災資訊推廣工作。其三利用內政部提供之 PSInSAR 成果，套疊分析各單位提供之資大規模崩塌潛勢區地理空間圖，完成地表變形分析成果，並提供於鐵、公路及相關單位使用，以促進跨機關資料應用交流。其四利用農村水保署「資料平台」所蒐整現地調查資料，以土壤力學現

地調查資料為例，其提供土砂密度、內摩擦角、粒徑等資訊，可作為土砂災害數值參數率定使用，目前該平台彙整 231 項公開圖資供各界使用參考。其五綜整農村水保署歷年土砂災例、災害管理、山坡地管理、技術研究等相關成果資料，並利用 Tableau 進行視覺化圖表製作，並將成果公開展示於農村水保署技術研究及發展平台「資料視覺化展示」專區，提供可調控式圖表及數據趨勢資料。

五、在強化技術支援與人員培訓能力上，辦理「UAV 正射影像及 3D 模型產製教育訓練」、「113 年度遙控無人機教育訓練-專業操作訓練班」、「簡易土石流 SDF model 模式教育訓練」、「殘坡土砂判釋與數化方法教育訓練」等教育訓練，前兩項著重於強化同仁無人機操作能力及室內影像後處理分析能力；另針對數值模式操作及災害影響範圍資訊取得，以協助防災應變規劃參考；殘坡土砂釋與數化則是培養同仁判釋殘坡地形特徵及其活動性，以掌握集水區不安定土砂狀況，供不安定土砂災害之應變與決策參據。

綜上，本計畫今年度在大規模土砂災害衝擊與調適策略研究上，共投稿 15 篇研究論文發表於國內研討會，其聚焦於集水區不安定土砂災害風險指標、土砂防災情境模擬分析、及 UAV 與手機建模應用技術等議題。今年度資料盤點方面，針對資料格式與上傳問題提出相應系統檢核方式，以優化資料上傳便利性與檢核資料正確性。在推廣資料應用及人員培訓方面，分別辦理公私協力活動、複合型土砂災害之專題講座。因目前不安定土砂災害為新興議題，其研究仍屬初步階段，未來仍需持續研究不安定土砂災害議題及探索相關防減災技術之開發與應用等方法，以掌握不安定土砂區位、活動性、災害型態，冀能提供署內面臨不安定土砂課題，據以規劃相關防減災策略與機制。

關鍵詞：不安定土砂、開放資料、防災教育、公私協力、土石流數值模式、無人載具攝影測量、手機攝影建模

Abstract

This project aims to provide adaptation strategies for the impact of Large-scale sediment disasters under climate change. It is specifically dedicated to exploring the new subject of the risk associated with unstable sediment disasters and the consequences of complex sediment-related disasters. This project continues research as follows:

This project aims to provide adaptation strategies for the impact of Large-scale sediment disasters under climate change. It is specifically dedicated to exploring the new subject of the risk associated with unstable sediment disasters and the consequences of complex sediment-related disasters. This project continues research as follows:

1. The study on developing risk index of the unstable sediment watershed .
2. The relationship between sediment movement and rainfall data.
3. The study on analysis of catchment sediment-related disasters using a numerical model.
4. Apply the UAV and smartphone photogrammetry on the sediment disaster field survey.

The tasks for this project include the collation of technical papers on sediment disaster prevention and mitigation, gathering inventory data from historical project results, applying the numerical model to simulate catchment sediment disasters, data value-added application and calibration

from historical project results, and providing technical support and personnel training. The results of this project are as follows:

Collating technical papers and compiling 30 e-papers, inventorying the data from 232 historical projects, digitizing investigation data, and summarizing landslide-dammed lake data from 1978 to 2023. In public-private partnerships to promote data applications,activities named “ g0v hackath63n” were conducted. During the training course, there are four activities were conducted as follows: UAV-image post-production, UAV operation training, the SDF model training, and analysis training on the residual slope of unstable sediment watershed.

In the study of the landslide interpretation data from the 0403 Hualien earthquake to calculate the new landslide rates and total landslide areas for 30 potential debris flow watersheds. By integrating these findings with significant sediment disaster data from the ARDSWC, the research establishes a grading standard for new landslide rates. The results demonstrate that this standard effectively reflects the disaster occurrence potential within the watersheds. Furthermore, an increase in landslide rates correlates with a rise in recorded disaster cases, highlighting the relationship between sediment instability and disaster frequency.

According to the working results of this project, a total of 15 research papers were published at various conferences. These papers focused on topics such as classifying the risk index of unstable sediment, numerical simulations for sediment disaster analysis, and exploring the digital application of smartphone photogrammetry. In the data inventory,

suggestions were provided for system checks to improve data upload and format examination. In promoting data application and personnel training, various activities and courses were conducted. Continuous research is needed to develop techniques for preventing and mitigating the effects of unstable sediment disasters. This is essential for understanding risk levels, locations, stability, types of disasters, and impact areas. It provides authorities with the necessary information to plan effective disaster strategies and implement measures for reducing their impact.

Keywords：Unstable sediment、Open Data、Disaster education、Public-Private Partnerships、Numerical model of debris flow、Photogrammetry of UAV and Smartphone

目次

摘要 I

ABSTRACT IV

目次 VII

表次 X

圖次 XII

第一章 緒論 1-1

第一節 三年計畫成果彙整 1-1

第二節 研究背景 1-10

第三節 計畫研究架構及流程 1-13

一、 國內外土砂防減災技術與氣候變遷文獻蒐集分析 1-13

二、 盤點歷年土砂防災技術與研究成果 1-13

三、 集水區土砂災害致災模擬模式分析 1-13

四、 基礎資料加值應用與校核 1-13

五、 強化技術支援與培訓人員能力 1-14

六、 研究報告章節內容 1-14

第二章 國內外土砂防減災技術與氣候變遷文獻蒐集分析 2-1

第一節 推廣國內外土砂防災研究與技術發展 2-1

一、 電子報成果統計及防災研究與技術發展面向分析 2-1

二、 創新研究計畫公告題目研擬建議 2-8

第二節 新技術及科技應用可行性評估 2-10

一、 手機建模技術-LiDAR 掃描測繪法與攝影測量法(高斯潑濺法)應用於土砂災害調查探討 2-10

二、 研究區域與方法 2-11

三、 結果與討論 2-16

四、 結論與建議 2-41

第三章 盤點歷年土砂防災技術與研究成果 3-1

第一節 農村水保署委辦及研究計畫成果盤點 3-1

一、 盤點工作範圍 3-2

二、 盤點成果彙整分析 3-7

三、 資料管理與維護問題及後續精進方向 3-13

第二節 歷年防災技術研究成果加值與推廣應用 3-18

一、 105-112 年 H.O.S.T 地圖製作標準 3-18
二、 全台重大土砂災例彙整 3-22
三、 堰塞湖遙測影像彙整 3-25
四、 0403 地震後之二次災害高風險區評估 3-33

第四章 集水區土砂災害致災模擬模式分析 4-1

第一節 集水區不安定土砂災害風險指標研究：震後集水區土砂災害潛勢與其災害風險關聯性 4-1
一、 20240403 花蓮地震後集水區土砂災害潛勢與災害風險之關聯性 4-1
二、 材料與方法 4-3
三、 結果與討論 4-6
四、 結論與建議 4-20
第二節 土砂防災情境與模擬分析 4-21
一、 0403 花蓮地震後土砂移動降雨門檻值探討 4-21
二、 0403 地震後土石流活動性研究 4-37
第三節 現地土砂災害案例檢證 4-54

第五章 基礎資料加值應用與校核 5-1

第一節 公私協力推廣資料應用 5-2
一、 第 63 次公民科技園遊會黑克松活動 5-3
二、 運用新型態 3D 建模工具打造防災公私協力 5-8
第二節 促進跨機關資料應用交流 5-13
第三節 提升資料品質、流通性與示範 5-22
一、 111-113 年事件型崩塌目錄與 108-112 年全臺崩塌地圖層之之數量與面積統計 5-22
二、 資料平台現地調查資料應用 5-25
三、 114 年 556 處(747 塊)不安定土砂殘坡空間區位分析 5-27
四、 113 年山陀兒颱風土砂災害重現期分析 5-28
第四節 資料視覺化成果 5-29
一、 土砂災例資料視覺化 5-29
二、 災害管理資料視覺化 5-31
三、 山坡地管理資料視覺化 5-32
四、 技研相關成果資料視覺化 5-34

第六章 強化技術支援與培訓人員能力 6-37

第一節 強化遙控無人機操作及影像後製處理培訓 6-39
一、 遙控無人機影像後製處理培訓 6-39

二、 遙控無人機操作人員培訓 6-42
第二節 培訓土砂災害模擬分析能力 6-45
一、 簡易土石流 SDF model 模式教育訓練 6-46
二、 殘坡土砂判釋與數化方法教育訓練 6-49
第七章 結論與建議 7-1
第一節 結論 7-1
第二節 建議 7-4
一、 歷年研究計畫盤點成果建議 7-4
二、 防災技術研究應用可行性評估 7-6
三、 集水區土砂災害致災模擬模式分析精進建議 7-7
四、 公私協力推廣資料應用精進建議 7-9
五、 強化技術支援與人才培訓建議 7-10
參考文獻 1
附錄一 期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形..... 1

表次

表 1-1 資料管理平台-現地調查資料總瀏覽量 1-3
表 1-2 資料管理平台-現地調查資料總下載量 1-4
表 1-3 計畫期間公私協力活動 1-8
表 1-4 計畫期間教育訓練 1-10
表 2-1 電子報各類別期數與閱讀人次統計 2-2
表 2-2 電子報閱讀人次統計 2-7
表 2-3 創新研究計畫公告題目研擬建議 2-8
表 3-1 歷年委辦及研究計畫數量統計 3-4
表 3-2 委辦計畫成果盤點工作項目彙整表 3-6
表 3-3 資料盤點成果類別 3-8
表 3-4 細部盤點項目與統計數量 3-11
表 3-5 基礎資料標準格式公告年度 3-14
表 3-6 委辦計畫現地調查資料上傳件數比對成果 3-15
表 3-7 歷年重大土砂災例數量彙整表 3-22
表 3-8 臺灣歷史堰塞湖案例表 3-28
表 4-1 研究使用圖資與其來源 4-4
表 4-2 利用 NATURAL BREAKS (JENKS)分類方式將土石流潛勢溪流集水區進行風險潛勢分級 4-10
表 4-3 崩塌率風險指標 4-15
表 4-4 統計 30 處土石流潛勢溪流集水區的崩塌相關資料 4-15
表 4-5 0403 震後農村水保署重大土砂災例土石流事件紀錄 4-23
表 4-6 震後災例參考雨量站及參考之歷史災例與其雨量站 4-27
表 4-7 地震震度對照之最大地動加速度(PGA)範圍表 4-28

表 4-8　113 年 0403 花蓮地震新增之土石流潛勢溪流明細表 4-29
表 4-9　前人研究的地震前後發生土石流之降雨門檻值變化表。4-31
表 4-10　災害事件歷程表.....4-39
表 4-11　花縣 DF024 土石流模擬案例表.....4-45
表 4-12　113 年 8 月 16 日至 9 月 12 日最大時雨量排名.....4-58
表 5-1　智慧型手機執行土砂災害事件公私協力案例..... 5-9
表 5-2　智慧型手機執行災害事件 3D 模型成果與製作時間(1) 5-10
表 5-3　智慧型手機執行災害事件 3D 模型成果與製作時間(2) 5-11
表 5-4　智慧型手機執行災害事件公私協力 3D 模型量化成果.....5-12
表 5-5　農村水保署 65 處大規模崩塌潛勢區地表活動性分析 5-15
表 5-6　阿里山鐵路 19 處大崩潛勢區 PSINSAR 分析統計表.....5-19
表 6-1　遙控無人機教育訓練 - 技術培訓與實質應用效益.....6-38
表 6-2　UAV 正射影像及 3D 模型產製教育訓練課程表.....6-41
表 6-3　遙控無人機教育訓練-專業術科各級別考試項目.....6-44
表 6-4　培訓土砂災害模擬分析能力 - 技術培訓與實質效益.....6-45
表 6-5　簡易土石流 SDF MODEL 模式教育訓練議程.....6-48
表 6-6　殘坡土砂判釋與數化方法教育訓練講座議程.....6-51

圖次

圖 1-1 目標與理念 1-17

圖 1-2 工作架構流程圖 1-18

圖 2-1 電子報各類別平均閱讀人次平均百分比統計 2-2

圖 2-2 地震技術主題電子報 2-3

圖 2-3 遙測影像技術主題電子報 2-4

圖 2-4 氣候變遷主題電子報 2-5

圖 2-5 手機建模主題電子報 2-6

圖 2-6 土石流潛勢溪流-嘉縣-DF051 2-12

圖 2-7 土石流潛勢溪流-嘉縣-DF051 2-13

圖 2-8 智慧型手機與驗證工具 2-13

圖 2-9 LIDAR 掃描測繪法(上)與照片攝影測量高斯潑濺法(下).. 2-14

圖 2-10 智慧型手機之免費應用程式 2-15

圖 2-11 桌機端各項開源軟體 2-16

圖 2-12 土石流潛勢溪流-嘉縣-DF051 調查位置 2-17

圖 2-13 智慧型手機 360 度環景模式 2-18

圖 2-14 智慧型手機 360 度環景模式 2-19

圖 2-15 智慧型手 360 環景模式與 UAV 正射影像比較成果 2-19

圖 2-16 保全對象 3D 建模成果(1) 2-21

圖 2-17 保全對象 3D 建模成果(2) 2-21

圖 2-18 土石流潛勢溪流保全對象 3D 建模量化分析成果(1) 2-22

圖 2-19 土石流潛勢溪流保全對象 3D 建模量化分析成果(2) 2-22

圖 2-20 土石流潛勢溪流下游出流口 3D 建模成果(1) 2-23

圖 2-21 土石流潛勢溪流下游出流口 3D 建模成果(2) 2-24

圖 2-22 下游出流口 3D 建模量化分析成果(1) 2-24

圖 2-23 下游出流口 3D 建模量化分析成果(2) 2-25

圖 2-24 土石流潛勢溪流中游 3D 建模成果(1) 2-26

圖 2-25 土石流潛勢溪流中游 3D 建模成果(2)..... 2-26
圖 2-26 土石流潛勢溪流中游 3D 建模量化分析成果(1)..... 2-27
圖 2-27 土石流潛勢溪流中游 3D 建模量化分析成果(2)..... 2-27
圖 2-28 土石流潛勢溪流中游 3D 建模量化分析成果(3)..... 2-28
圖 2-29 土石流潛勢溪流上游崩塌地 3D 建模成果(1)..... 2-29
圖 2-30 土石流潛勢溪流上游崩塌地 3D 建模成果(2)..... 2-29
圖 2-31 土石流潛勢溪流上游崩塌地 3D 建模量化分析成果(1) .. 2-30
圖 2-32 土石流潛勢溪流上游崩塌地 3D 建模量化分析成果(2) .. 2-30
圖 2-33 匯出模型之手機應用程式與桌機端開源軟體..... 2-31
圖 2-34 手機應用程式可匯出之點雲與模型格式 2-32
圖 2-35 手機 3D 模型於點雲軟體 CLOUD COMPARE 應用方式 ... 2-33
圖 2-36 點雲軟體 CLOUD COMPARE 2-34
圖 2-37 手機 3D 模型於繪圖軟體 FREECAD 之繪圖成果 2-35
圖 2-38 手機 3D 模型於地理資訊軟體 QGIS 之套疊成果 2-36
圖 2-39 LIDAR 掃描測繪法之 3D 模型-保全對象 2-37
圖 2-40 LIDAR 掃描測繪法之 3D 模型-大粒徑塊石..... 2-37
圖 2-41 手機 3D 模型地理位置展示方式(1)..... 2-38
圖 2-42 手機 3D 模型地理位置展示方式(2)..... 2-39
圖 2-43 手機 3D 模型地理位置展示方式(3)..... 2-40
圖 2-44 手機 3D 模型地理位置展示方式(4)..... 2-41
圖 3-1 資料盤點任務..... 3-2
圖 3-2 資料盤點流程圖 3-3
圖 3-3 委辦計畫各類成果上傳平台路徑..... 3-5
圖 3-4 資料管理平台-現地調查資料查詢 3-9
圖 3-5 BIGGIS 2020 年的 20 米解析度 H.O.S.T 地圖 3-19
圖 3-6 BIGGIS 2020 年的 6 米解析度 H.O.S.T 地圖 3-19
圖 3-7 第一輪全台高精度地形資料取得時程 (2010-2015 年). 3-19
圖 3-8 第二輪全台地形資料取得時程 (2016-2023 年)..... 3-20

圖 3-9 罩窗半徑對視覺效果的影響 3-21
圖 3-10 對比度對視覺效果的影響 3-21
圖 3-11 重大土砂災例面積補遺 3-24
圖 3-12 堰塞湖資料案例 3-25
圖 3-13 堰塞湖案例存在時間統計圖 3-26
圖 3-14 大規模崩塌響範圍堆積型態分類示意圖 3-27
圖 3-15 2024 花蓮木瓜溪堰塞湖上游案例 3-29
圖 3-16 2024 花蓮萬里溪堰塞湖上游案例 3-30
圖 3-17 南投東埔蚋溪小半天堰塞湖 3-31
圖 3-18 歷史堰塞湖分布點位圖 3-32
圖 3-19 二次災害高風險區評估標準與相關因應作為 3-34
圖 3-20 山陀兒颱風土石流潛勢溪流二次災害高風險區初判成果 3-35
圖 4-1 BIGGIS 上公開之 0403 花蓮地震後崩塌判釋成果 4-3
圖 4-2 集水區崩塌率分級與致災說明 (尹孝元等, 2013) 4-5
圖 4-3 研究流程圖 4-6
圖 4-4 0403 震後新生崩塌與 30 處土石流潛勢溪流集水區交集 . 4-7
圖 4-5 2024 年 4-8 月媒體報導災例 4-8
圖 4-6 2024 年 4-8 月平均月雨量，資料來自氣象署與水利署 ... 4-8
圖 4-7 新生崩塌率做為風險指標與 4-8 月土石流災例的空間分布關係 4-10
圖 4-8 新生崩塌面積做為風險指標與 4-8 月土石流災例的空間分布關係 4-11
圖 4-9 使用 NATURAL BREAK (JENKS)分級的風險指標與災例之間的關連性 4-12
圖 4-10 使用表 3 崩塌率劃分的風險等級與其對應到的土石流災例統計圖 4-16
圖 4-11 高屏溪流域歷年崩塌率 4-18
圖 4-12 高屏溪全流域歷年崩塌地面積變化(張郡庭等，2021)。 4-19

圖 4-13 震後土石流事件災情示意圖 4-22
圖 4-14 0403 震後災例與歷史災例點位圖 4-26
圖 4-15 0403 震後災例、秀林鄉歷史災例與參考雨量站位置示意圖 4-27
圖 4-16 無因次 PGA 與臨界降雨門檻的關係圖 4-30
圖 4-17 中國汶川大地震與台灣集集大地震震後臨界降雨門檻值與無因次 PGA 的關係 4-30
圖 4-18 本次研究建構之關係式及前人整合中國汶川地震與台灣集集地震後 1 年、7 年災例之臨界降雨門檻值與無因次 PGA 關係 . 4-32
圖 4-19 2024 年 0403 震後災例、1999 年台灣集集大地震及 2008 年中國汶川大地震建構之臨界降雨門檻值與無因次 PGA 間的關係. 4-32
圖 4-20 於震度圖上套疊震前降雨門檻致災範圍(G=0.5)..... 4-33
圖 4-21 2024/2/18 與 2024/4/29 拍攝的衛星影像 4-34
圖 4-22 以雨場切割法計算三棧雨量站降雨量 4-35
圖 4-23 衛星影像拍攝三棧南溪中游河道(上)與下游沖積扇(下). 4-35
圖 4-24 花縣 DF024 集水區崩塌判釋圖 4-38
圖 4-25 6 月 20 至 6 月 22 日 PLANET 衛星影像 4-39
圖 4-26 事故地點及雨量站位置圖 4-40
圖 4-27 清水斷崖雨量站雨量組體圖 4-40
圖 4-28 清水斷崖雨量站雨量組體圖 4-41
圖 4-29 應用 BENTELY ITWIN CAPTURE MODELER 進行建模成果 4-43
圖 4-30 本研究採用之地文參數設定 4-44
圖 4-31 原設計雨量模擬成果 4-46
圖 4-32 災後鐵路橋處空拍 4-47
圖 4-33 Q50-1 模擬成果..... 4-48
圖 4-34 Q50-2 模擬成果..... 4-49
圖 4-35 Q50-3 模擬成果..... 4-50
圖 4-36 Q50-4 模擬成果..... 4-51
圖 4-37 Q50-5 模擬成果..... 4-52

圖 4-38 土石流潛勢溪流-嘉縣-DF051 土石流災害事件基本資料 4-55
圖 4-39 土石流潛勢溪流-嘉縣-DF051 土石流災害事件-現場狀況4-55
圖 4-40 BCC300M 縮時攝影相機套組 4-56
圖 4-41 縮時攝影機現場架設情形 4-56
圖 4-42 縮時攝影機現場架設成果 4-57
圖 4-43 113 年 9 月 12 日至 10 月 11 日之雨量組體圖 4-57
圖 4-44 縮時攝影機實際拍攝成果區間 4-58
圖 4-45 上下游防砂壩之位置圖 4-59
圖 4-46 113 年 9 月 13 日之雨量組體圖 4-60
圖 4-47 縮時攝影機 9 月 13 日實際拍攝成果 4-61
圖 4-48 113 年 9 月 20 日之雨量組體圖 4-62
圖 4-49 縮時攝影機 9 月 20 日實際拍攝成果 4-63
圖 4-50 113 年 9 月 19 日之雨量組體圖 4-64
圖 4-51 縮時攝影機 9 月 19 日實際拍攝成果 4-65
圖 4-52 113 年 9 月 18 日之雨量組體圖 4-66
圖 4-53 縮時攝影機 9 月 18 日實際拍攝成果 4-67
圖 5-1 黑客松活動宣傳頁面 5-5
圖 5-2 講者與簡報內容(1) 5-5
圖 5-3 講者與簡報內容(2) 5-6
圖 5-4 現場活動照片(1) 5-6
圖 5-5 現場活動照片(2) 5-7
圖 5-6 2018-2022 年間垂直方向的年平均位移速度 5-14
圖 5-7 阿里山鐵路沿線上的大規模崩塌潛勢區 PSINSAR 分析成果. 5-18
圖 5-8 農村水保署開發中 INSAR 形變多時序位移分析示意圖 . 5-20
圖 5-9 嘉義縣-阿里山鄉-D187 的 PS 點分布情形 5-20
圖 5-10 PS 點 42 的多時序位移成果 5-21
圖 5-11 崩塌地圖資整理示範 5-24

圖 5-12 土壤力學現地調查資料..... 5-25
圖 5-13 土石流模擬軟體 (KANAKO2D)需要的參數..... 5-26
圖 5-14 不安定土砂殘坡空間區位統計 5-27
圖 5-15 不安定土砂殘坡空間區位統計 5-27
圖 5-16 臺東縣金峰鄉於山陀兒颱風期間雨量站重現期分析 5-28
圖 5-17 新北市金山區於山陀兒颱風期間雨量站重現期分析 5-28
圖 5-18 臺灣歷年災例影像分布(2006-2021)視覺化展示示意圖.. 5-29
圖 5-19 1996-2023 臺灣水土保持類天然災害損失情形 5-30
圖 5-20 土砂災例知多少？2005-2023 年台灣重大土砂災例變遷趨勢視覺化展示示意圖 5-31
圖 5-21 簡易防災地圖(線上版)視覺化展示示意圖 5-32
圖 5-22 縣市政府轄管橋梁(農路橋梁)視覺化展示示意圖..... 5-33
圖 5-23 2002-2023 歷年山坡地違規使用查報與取締案件..... 5-34
圖 5-24 水土保持樹種固碳能力資料庫視覺化展示示意圖 5-34
圖 5-25 國外水土保持技術文獻翻譯視覺化展示示意圖 5-35
圖 5-26 創新研究計畫成果(105-112 年)視覺化展示示意圖 5-36
圖 6-1 課程講義-UAV 正射影像拍攝技巧教學 6-39
圖 6-2 課程講義-UAV 3D 模型拍攝技巧教學..... 6-40
圖 6-3 UAV 正射影像及 3D 模型產製教育訓練 6-40
圖 6-4 113 年度-遙控無人機教育訓練-專業操作訓練班簡章.... 6-42
圖 6-5 遙控無人機教育訓練-室內課程 6-43
圖 6-6 遙控無人機教育訓練-室外課程 6-43
圖 6-7 遙控無人機教育訓練-專業操作證考證流程 6-44
圖 6-8 簡易土石流 SDF MODEL 模式教育訓練..... 6-47

第一章 緒論

第一節　三年計畫成果彙整

本計畫為三年期之連續型計畫案，今(113)年度執行期程為 111 年 01 月 01 日至 113 年 12 月 31 日，於本年度計畫完成工項包含：收集、研析並推廣國內外土砂防減災技術文件、盤點農村水保署歷年土砂相關計畫成果與加值應用分析、集水區土砂災害致災模擬模式分析、基礎資料加值與模式應用、強化技術支援與人員培訓能力等五大項目，其實施方法包含：1. 收集並研析國內外最新土砂防災技術與研究文獻；2. 評估及探討歷年已完成之委辦計畫成果之進一步發展可行性；3. 案例測試土砂災害模擬模式，評估其成效與適用性；4. 參酌既有研究成果，研提土砂防災研究發展議題及推動策略建議；5. 邀請產官學研界之相關專家、學者進行訓練課程、座談會、教育訓練(講座) 等交流訪談。以下彙整三年期計畫完成成果:

1. 三年期計畫蒐集「新興科技應用」、「工程技術發展」、「軟體防災對策」、「前瞻策略與管理」、「基礎試驗研究」等五大面向之期刊文章與技術文件，綜整為 94 篇電子報(第 35 期至 128 期)，均已發布於農村發展及水土保持署技術研究發展平台-電子報專區，總觀看人次為 173,896 次。(截至 113/11/28) (https://tech.ardswc.gov.tw/EPaper/Home/PaperList?Query.ViewType=1)
2. 本計畫在執行期間盤點 110 至 112 年度相關委辦計畫共計 670 件，完成土砂防災技術調查成果與資料上傳，並彙整 97 年度至 112 年度水保署委辦與研究計畫成果，共計 2,422 冊。針對相關

水、砂、土壤及岩性等調查資料進行資料格式欄位、變數命名原則、上傳項目與檢核機制等提出格式制定與建議，並評估各項技術發展可行性及後續發展延續性。綜整 110 至 112 年度委辦計畫之數值資料成果，經追蹤補正後發布於農村發展及水土保持署-資料管理平台 (https://data.ardswc.gov.tw/) 。目前各年度委辦計畫盤點各類資料，主要以現地調查資料為主，包含：水文、水理、觀測站、河床質、土壤力學試驗等資料，經由盤點作業檢核後上傳至資料管理平台，為農村發展及水保署重要資料。統計三年計畫執行期間，現地調查資料之總瀏覽量為 2,430 人次，總下載量為 179,539 筆(截至 113/11/23)。計畫執行期間針對各項資料之資料品質與檢核機制是否完善，提出相關問題與解決方案回饋於農村水保署 12 次資料管理工作圈及 8 次資訊推動小組內討論，探討各項資料格式、品質、檢核機制及擴大開放資料項目，以符合國內外資料標準、法規管理與資安需求。

表 1-1 資料管理平台-現地調查資料總瀏覽量

圖資名稱	2022 年	2023 年	2024 年	總瀏覽量
水文	118	137	9	264
水理	21	32	9	62
雨量站	26	54	7	87
地質鑽探	122	182	85	389
地電阻	118	137	9	264
斷面樁	18	33	28	79
河床質	177	159	53	389
橫斷面	35	80	37	152
K 值	339	138	25	502
R 值	25	28	23	76
沖蝕針	64	14	17	95
土壤力學	40	20	11	71
總計	1,103	1,014	313	2,430

表 1-2 資料管理平台-現地調查資料總下載量

圖資名稱	2022 年	2023 年	2024 年	總下載量
水文	4,321	8,137	2,168	14,626
水理	479	4,468	1,609	6,556
雨量站	413	2,021	748	3,182
地質鑽探	217	1,039	650	1,906
地電阻	4,321	8,137	2,168	14,626
斷面樁	40	4,549	3,360	7,949
河床質	42,145	25,573	6,504	74,222
橫斷面	3,614	5,565	1,948	11,127
K 值	12,552	11,816	3,208	27,576
R 值	1,075	4,772	3,685	9,532
沖蝕針	1,618	2,915	2,585	7,118
土壤力學	156	651	312	1,119
總計	70,951	79,643	28,945	179,539

3. 土砂災害數值模擬分析上，完成 40 篇論文發表，聚焦於不安定土砂風險指標、各式土砂災害數值模擬分析(iRIC、IRIS、HEC-RAS、橢圓-理想曲面法 ICS、簡易土石流模式 SDF)、UAV 與手機建模應用分析、GIS 應用分析等相關技術研究，探討各項技術之數值模式情境設定、應用限制及成果分析。成果發布於農村發展及水土保持署技術研究發展平台-論文發表專頁(https://tech.ardswc.gov.tw/Results/ResultsPaper)，總下載量為 1,368 人次 (截至 113/11/23) 。其中可量化之學術成就如下:

A.111 年度完成 12 篇國內外研討會投稿發表：

(1) 令和 4 年度砂防学会研究発表会 1 篇-「Debris flow disaster in Yusui River, Taiwan, in August 2021」。

(2) 15th Congress INTERPRAEVENT 2022 2 篇-「Simulation of the Debris Flow Due to the Potential Large- scale Landslide Area (T002) in Fuxing, Taoyuan Using iRIC Morpho2DH」、「Applying HEC-RAS 2D to simulate the landslide dam breach in Feng-Ping stream watershed, Hualien Country, Taiwan」。

(3) 2022 年森林集水區經營及環境監測研討會 2 篇-「應用 iRIC Morpho2DH 模式模擬 2022 年基隆槓子寮路土砂災害案例」、「以 IRIS 模式模擬長延時降雨入滲崩塌-以基隆槓子寮崩塌為例」。

(4) 2022 年水土保持學術研討會 6 篇-「iPhone 生成數位孿生於水土保持工程之應用性探討」、「應用二期數值高程模型快速評估不安定土砂分布熱區」、「以數值地形模型評估崩塌坡面土砂量體變化之研究」、「不安定土砂潛勢快速評估法可行性之探討」、「臺灣歷史堰塞湖案例分析與探討」、「應用 IRIC 模式模擬汐止鵠鵠崙崩塌土砂運動行為」。

(5) 2022 臺灣地球科學聯合學術研討會 1 篇，「應用多時期正射影像於大規模崩塌潛勢區變形量判釋-以桃園復興 T002 為例」。

B.112 年度完成 13 篇國內外研討會投稿發表：

(1) 中華民國地球物理學會與中華民國地質學會 112 年年會暨

學術研討會 2 篇-「探討基於事件型崩塌目錄建立河道出流點不安定土砂潛勢快速評估法之可行性」、「應用橢圓-理想曲面法與簡易土石流模式於大規模崩塌之快速評估-以大規模崩塌潛勢區(新北市-汐止區-D003)為例」。

(2) 2022 年森林集水區經營及環境監測研討會 1 篇-「應用橢圓-理想曲面法與簡易土石流模式於鵠鵠崙大規模崩塌土體運動型態之探討」。

(3) 第 26 屆水利工程研討會 2 篇-「應用 HEC-RAS 於不安定土砂災害土體運動型態之模擬」、「應用 iRIC Morpho2DH 於玉穗溪上游土體運動型態之模擬」。

(4) 2023 中華民國學學會會暨第 47 屆全國學會議 - S028 坡地災害防災減災應用論壇 4 篇-「應用 HEC-RAS 於投縣 DF013 土石流災害模擬」、「應用 UAV 航拍及 3D 建模於投縣 DF013 土石流災害現勘」、「智慧型手機於土石流災害現場快速三維資料建置之探討-以土石流潛勢溪流(投縣 DF013)為例」、「不安定土砂集水區內地文脆弱度之地文因子分析」。

(5) 2023 年水土保持學術研討會 4 篇-「應用數值模式於東眼山崩塌土體影響範圍模擬」、「應用 UAV 載具於東眼山坡面崩塌調查」、「應用 BigGIS 於南投塔羅灣溪不安定土砂區塊判釋」、「智慧型手機於土砂災害建立三維資料之現地調查應用探討」。

C.113 年度完成 15 篇國內外研討會投稿發表：

(1) 令和 6 年度砂防学会研究発表会「和歌山大会」1 篇-

「Apply Smartphone apps to real time 3D Modeling of Sediment-Related Disasters」。

(2) 台灣地理資訊學會 30 週年慶暨 2024 年學術研討會 1 篇-「利用 Google Earth Engine 探討災害時的合成孔徑雷達(SAR)散射變化案例」。

(3) 第 42 屆測量及空間資訊研討會 3 篇-「多元智慧型手機測繪方法於土砂災害現場建置三維資料之應用探討」、「探討南投縣仁愛鄉聖本篤加油站一帶之 UAV 建模品質」、「控制點密度對正射影像品質探討-以廬山溫泉街及仁愛鄉南豐村為例」。

(4) 2024 年森林集水區經營與生態監測研討會 2 篇-「0403 花蓮地震後土砂移動降雨門檻值探討」、「0403 地震後土石流活動之研究-以台鐵新自強號因土砂覆蓋鐵軌出軌事件為例」。

(5) 11th International Workshop on Multimodal Sediment Disasters 1 篇-「The Case Study of the Taiwan Railway Express Train Derailment Caused by Debris Flow Following the 0403 Earthquake」。

(6) 群立科技-翻轉現地 3D 測繪新思維研討會 1 篇-「多元智慧型手機測繪方法於土砂災害現場建置三維資料之應用探討」。

(7) 中華水土保持學術研討會 6 篇-「花蓮縣秀林村的山崩潛感評估」、「初探警戒正切角 α 值應用於臺灣大崩預警系統之適用性」、「智慧型手機於土砂災害事件初發生即時建立三維

量化資料之應用探討」、「智慧型手機於土砂災害之水土保持工作數位化應用探討」、「以縮時攝影輔助現地土砂災例檢證初探」、「河道凸岸地形對土石流運移影響以花縣 DF024 為例」。

4. 在資料視覺化應用及推廣上，為促進開放資料議題發掘及應用，共辦理四場次公私協力活動，參與人次為 368 人。111 年度辦理「台灣零時政府第伍拾壹次大肚山海豚黑客松 x 水保局」一場次活動。112 年度辦理「Open Data Day Taiwan 2023」及「台灣零時政府第伍拾陸次真的假的黑客松 x 水保局」兩場次活動。113 年度辦理「第陸拾參次公民科技園遊會黑客松」一場次活動。以環境資料及案例、技術、經驗等交流活動、觀點分享、公私協作等方式，促進開放資料之共享、推廣和應用，並提升資料可用性、流動性與加值效益。

表 1-3 計畫期間公私協力活動

年度	活動名稱	參與人次
111	台灣零時政府第伍拾壹次大肚山海豚黑客松 x 水保局	93
112	Open Data Day Taiwan 2023	92
	台灣零時政府第伍拾陸次真的假的黑客松 x 水保局	103
113	第陸拾參次公民科技園遊會黑客松	80
總計		368

5. 在提升無人機 UAV 外業調查及影像處理專業能力上，輔助農村水保署同仁熟悉無人機航拍影像加值，產製數值地表模型、正射影像、3D 模型與 GIS 軟體等應用(如 Drone2MAP、Bentley ContextCapture、ArcGIS)，並學習無人機專業操作考照程序與操作方法，以培育各單位無人機操作人才並協助業務推動。期間共辦理六場教育訓練。111 至 113 年度辦理「UAV 影像後製處理班」與「遙控無人機教育訓練-專業操作訓練班」每年各二場，計畫期間共六場活動，參與人次共計為 153 人。
6. 為輔助氣候變遷下大規模崩塌及不安定土砂防減災計畫推動，讓農村水保署從業人員瞭解集水區降雨量與地表逕流之時間與空間分布關聯性、不安定土砂殘坡特徵辨識、崩塌破壞現象與土體運動、土石流流動運動型態相關調查方法及數值模擬軟體操作等，以提高災害預警及應變能力，作為大規模崩塌、土石流及不定安土砂等災害事件之緊急應變與避難疏散參考。112 年度辦理辦理「分布式降雨逕流 Wflow 模式教育訓練」、「崩塌發生與運動及數值分析專題講座」、「大規模崩塌降雨警戒值與堰塞湖形成分析專題講座」等三場次活動。113 年度辦理辦理「簡易土石流 SDF model 模式教育訓練」與「殘坡土砂判釋與數化方法教育訓練」等兩場次活動。三年計畫期間共辦理五場教育訓練，參與人次共計為 193 人。

表 1-4 計畫期間教育訓練

年度	教育訓練名稱	參與人次
111 年	111 年度第 1 梯次「遙控無人機 UAV 影像後製教育訓練」	19
	111 年度第 2 梯次「遙控無人機專業操作教育訓練」	37
112 年	112 年度第 1 梯次「遙控無人機教育訓練」-UAV 影像後製處理班	30
	112 年度第 2 梯次「遙控無人機教育訓練」-專業操作訓練班	21
	分布式降雨逕流 Wflow 模式教育訓練	59
	崩塌發生與運動及數值分析專題講座	40
	大規模崩塌降雨警戒與堰塞壩形成專題講座	31
113 年	簡易土石流 SDF model 模式教育訓練講座	35
	UAV 正射影像及 3D 模型產製教育訓練	25
	殘坡土砂判釋與數化方法	28
	113 年度遙控無人機教育訓練-專業操作訓練班	21
總計		346

第二節　研究背景

臺灣山區地形陡峭與地質脆弱等不利於土體安定之特性，加上全球極端氣候變遷所帶來的強降雨，及位處環太平洋熱帶氣旋活動帶與地震帶影響，導致國內近年來大規模土砂災害發生之規模及頻率增高，致使山坡地常面臨土砂災害的威脅。再者，民國 98 年莫拉克風災造成中南部山區多起重大土砂災害，以小林村獻肚山大規模崩塌並形成堰塞湖而後潰決事件，更引起國內外對大規模土砂災害及其衍生之複合型災害的重視，惟其發生機制、影響與衝擊範圍之評估、防災對策與調適策略等議題，仍需持續精進研究。

由於大規模土砂災害之發生機制、規模與發生頻率受到降雨強度及地震外在誘因之高度不確定性影響，其危害度、脆弱度及風險等級評估仍需仰賴現地細部調查資料，因此傳統工程治理對策強度及防減災體制，對於因應大規模土砂災害之應變及防減災風險能力恐仍有所不足。目前農村水保署透過歷年監(觀)測資料及委辦案研究成果，對於大規模崩塌潛勢區調查及評估流程及方法，包含危險等級評估、影響範圍劃設作業流程、重力堆積型劃設方法、土石流型劃設方法、堰塞湖型劃設方法等已有初步方法。

但受到降雨強度不確定性及集水區內在地質條件因素影響，如高雄桃源區玉穗溪上游斯拉巴庫山發生大規模崩塌並導致下游明霸克露橋因土石流衝擊斷裂，其邊坡崩塌逐年擴大並於坡面上形成不安定土砂料源之過程，則為近年研究重點課題。依據署內所定義不安定土砂係指：「集水區內坡面或河道上，屬暫態平衡或不穩定平衡狀態下之殘坡或河道堆積之大量土砂；在如降雨、地震等一定條件誘發下，其土砂運移行為將造成中下游土砂災害」。因此，針對不安定土砂區位判釋、料源量體估算、致災型態、災害規模及應變措施等課題展開相關研析，其衍生「氣候變遷下大規模崩塌及不安定土砂防減災」類別議題仍屬起始階段，仍需投入更多研究探索相關防減災技術。

此外，過往農村水保署(水土保持局時期)歷年完成之土石流防災及集水區規劃等調查報告、相關研究計畫及監測設施，已累積大量現場調查或現地監測成果，惟多數成果僅於紙本報告書或 PDF 檔案格式保存，相關成果需透過資料盤點及檔案數位化轉置保存，以利於資料整合、共享與加值應用。因此，亟需規劃各項資料格式、建立資料管理(產製、整合、儲存與分享)之流程與機制，係以收納數值資料、

地理圖資和訂定資料共通性標準為資料盤點重要任務，以協助打造循證治理的防災體系，融合技術、資訊及數據，落實既有成果，並能隨時隨取用，以達數位政府施政便民、公開透明之目的，符合政府資料開放之政策，創造資料之價值，促進公民參與及資料加值應用。

在面對「不安定土砂災害風險及其衍生之複合型土砂災害」等新議題，國內亟需導入新科技與新技術以建立完整基礎調查及預測能力，俾完成流域不安定土砂災害風險評估等重要工作。農村水保署投入技術研究發展，致力於落實政府資料治理、推動跨域技術整合、強化技術支援能力、建立研究發展能量，並為未來各種公私協力的運作型態進行多樣嘗試。爰此，本計畫針對極端氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策，擬藉由蒐集、更新、研析國內外土砂災害相關技術研究文獻，持續盤點歷年相關土砂防減災計畫執行成果與評估其可行性、延續性，並蒐集重大土砂災害案例，精進水、砂數值模式模擬測試與分析，俾據以研擬土砂防減災調適對策與研究發展議題等工作，據以達成大規模土砂模擬及評估技術建立、研析大規模土砂災害調適對策、培育技術發展所需之專業人才、統合資料蒐集與基礎資料加值應用、發展公私跨域協作與資料應用推廣等計畫目標。

本計畫綜整國內外相關研究、技術、法規、政策等文獻，研析世界各國因應氣候變遷所擬定與發展之對策與新興技術，循此脈絡研擬適用於國內之因應對策，期建構足以因應極端氣候變遷影響下大規模土砂災害防減災策略與機制。

第三節　計畫研究架構及流程

本 (113) 年度計畫為輔助農村水保署技術研究發展，致力於落實政府資料治理、推動跨域技術整合、強化技術支援能力、建立研究發展能量，並為未來各種公私協力的運作形態進行多樣嘗試，其目標與理念如圖 1-1 所示。本計畫工作項目如以下第一至第五大項，整體工作架構流程如圖 1-2 所示，說明如下：

一、　國內外土砂防減災技術與氣候變遷文獻蒐集分析

1. 推廣國內外土砂防災研究與技術發展
2. 新技術及科技應用可行性評估

二、　盤點歷年土砂防災技術與研究成果

1. 農村水保署委辦及研究計畫成果盤點
2. 研擬歷年防災技術研究成果加值與推廣應用

三、　集水區土砂災害致災模擬模式分析

1. 集水區不安定土砂災害風險指標研究
2. 土砂防災情境與模擬分析
3. 現地土砂災害案例檢證

四、　基礎資料加值應用與校核

1. 公私協力推廣資料應用
2. 促進跨機關資料應用交流
3. 提升資料品質、流通性與示範
4. 資料視覺化成果

五、 強化技術支援與培訓人員能力

1. 強化無人機協作現地調查能力
2. 統合多元圖資與 3D 建模技術
3. 培訓土砂災害模擬分析能力

六、 研究報告章節內容

本報告各章節內容簡略說明如下：

第一章為緒論，說明研究背景、目標及研究架構。

第二章為國內外土砂防減災技術與氣候變遷文獻蒐集分析，其一針對前瞻策略與管理、工程技術發展、軟體防災對策及新興科技應用等領域進行文獻蒐整並撰寫電子報，並統計本年度電子報成果與技術發展面向分析，進一步提供農村水保署創新研究計畫公告題目建議；最後針對國內外新興科技應用，試以手機建模應用於土砂災區調查並評估可行性與未來發展性。

第三章為盤點歷年土砂防災技術與研究成果，盤點歷年成果報告、研究計畫之現場調查與監測成果，並將相關檔案數位化、資料校核與成果上傳，以利於資料整合、共享與加值應用。本年度檢視 H.O.S.T 地圖防災技術研究成果，率定製作標準並加值完成 105-112 歷年 H.O.S.T 地圖成果、彙整 0403 花蓮地震至山陀兒颱風後全台重大土砂災例、堰塞湖遙測影像彙整，與 0403 地震後之二次災害高風險區評估。

第四章為集水區土砂災害致災模擬模式分析，主要以今年度(113 年)年初發生 0403 花蓮地震新生崩塌地判釋及重大土石災例資料，藉由土石流潛勢溪流集水區、新生崩塌率與總崩塌面積等進行災害潛勢

分級訂定，再配合農村水保署的災例資料，證實新生崩塌率分級標準確實能反映一集水區的災害發生潛勢，其結果顯示隨著崩塌率上升，發生災害的案例也隨之增加。再者，針對第一節災害風險值較高之位置進行震後土石流發生與臨界雨量門檻評估分析，以三棧南溪土石流潛勢溪流 (花縣 DF174) 進行環境概況、災時降雨與多期空拍影分析比對，利用 0403 花蓮地震時的最大地動加速度 (peak ground acceleration, PGA) 與雨量站觀測資料進行整合分析，建構關係式評估花蓮地區震後誘發土石流的臨界降雨量，作為防災應變的參考。其次以 113 年 6 月 21 日花蓮大清水溪 (花縣 DF024) 土石流災害事件為例，因震後上游集水區土砂料源增加及易受降雨驅動特性，其土石流流出造成台鐵新自強號出軌，利用 QPESUMS 雷達雨量資料配合 WFLOW 降雨逕流模式計算出災害事件之集水區雨量與逕流量資料，搭配 Planet 衛星影像及數值模擬，推測出災害事件發生原因，顯示出震後土砂敏感之特性，以供未來防災應變參考。

第五章為基礎資料加值應用與校核，第一節其一透過辦理或參與公私協力活動，以分享農村水保署之開放資料、相關歷史影像、與 BigGIS 平台應用，作為推廣政府資料開放、多元應用與共享。其二本計畫為推廣公私防災協力作業，嘗試使用智慧型手機進行匯入外界提供的災害影像，快速建置災害現場 3D 模型，並進一步將各項土砂災害量化分析。第二節為促進跨機關資料交流與共享作業，利用內政部提供的 PS-InSAR 資料針對今(113)年度的 65 處大規模崩塌潛勢區進行分析，挑選出近年活動性較高的大規模崩塌潛勢區，並以今年度復駛的阿里山鐵路為研究標的，進行鐵路沿線的潛在風險分析，提供鐵、公路單位於該路段未來維護管理參據。第三節則是利用農村水保署資

料管理平台製作整理相關圖資與資料，提供未來大家使用資料時的方法參考。第四節以第二章資料盤點成果為基礎，透過數據數位化或空間資訊化等方式加值，並發布於農村水保署技術研究發展平台。

第六章為強化技術支援與培訓人員能力，主要為強化農村水保署同仁之無人機操作能力訓練、無人機影像後處理能力訓練、土砂災害相關數值模式、殘坡土砂判釋及數化等專業能力教育研習，邀請專家學者辦理專題講座及教育訓練，強化同仁本質學能，以作為本署業務精進及推動參考。

第七章為結論與建議，依據本年度執行之各工作項目提出相關結論，並針對歷年研究計畫盤點成果、防災技術研究應用可行性評估、集水區土砂災害致災模擬模式分析、公私協力及推廣資料應用、強化技術支援與人才培訓等相關問題提出建議，以研擬適用於國內之土砂災害衝擊因應對策參酌。

資料來源：https://tech.ardswc.gov.tw/

圖 1-1　目標與理念

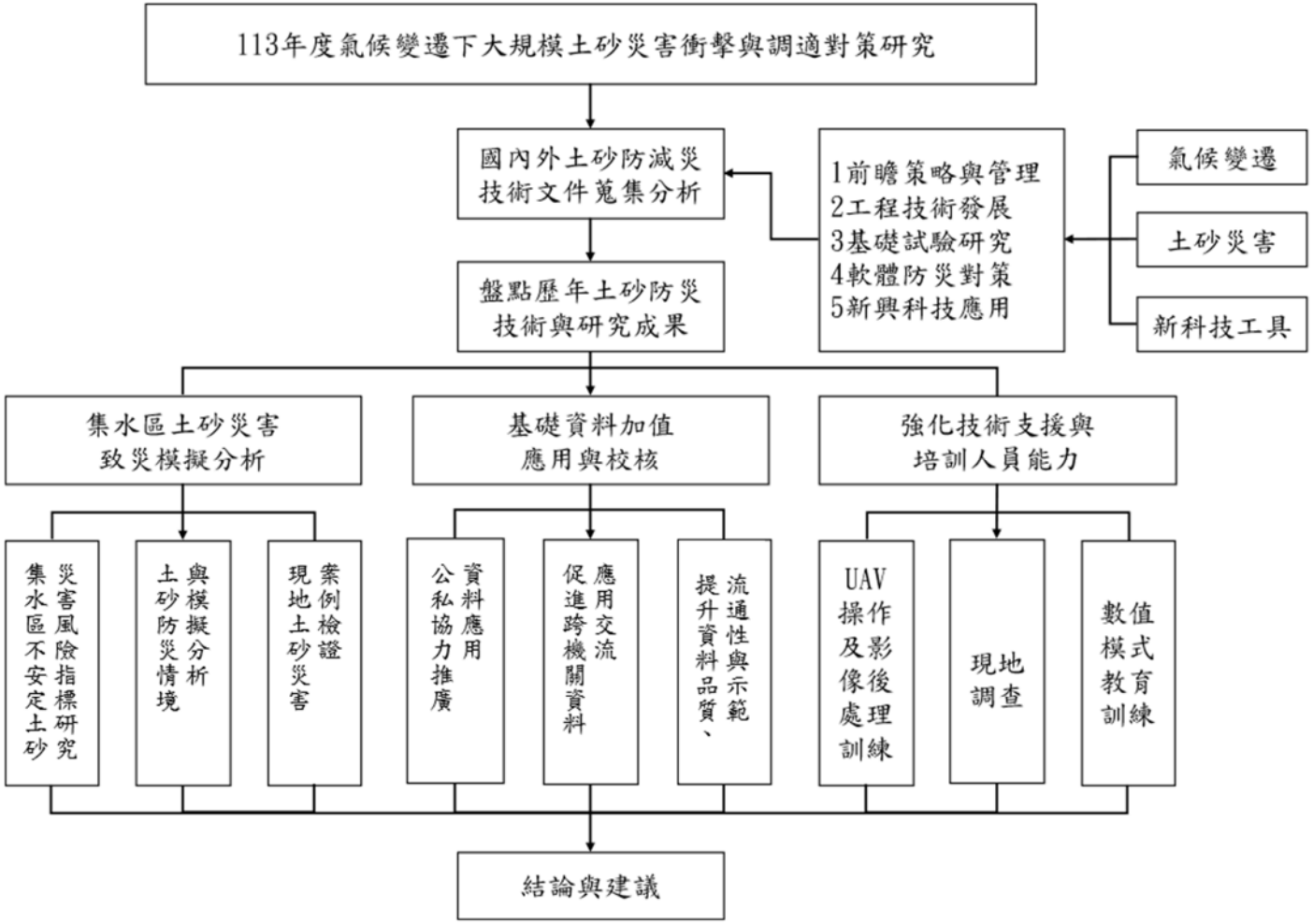

113年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究
國內外土砂防減災技術文件蒐集分析
盤點歷年土砂防災技術與研究成果
1前瞻策略與管理
2工程技術發展
3基礎試驗研究
4軟體防災對策
5新興科技應用
氣候變遷
土砂災害
新科技工具
集水區土砂災害致災模擬分析
基礎資料加值應用與校核
強化技術支援與培訓人員能力
集水區不安定土砂災害風險指標研究
土砂防災情境與模擬分析
現地土砂災害案例檢證
公私協力推廣資料應用
促進跨機關資料應用交流
提升資料品質、流通性與示範
UAV操作及影像處理後訓練
現地調查
數模教育訓練
結論與建議

圖 1-2　工作架構流程圖

第二章 國內外土砂防減災技術與氣候變遷文獻蒐集分析

第一節 推廣國內外土砂防災研究與技術發展

本計畫為持續精進土砂防災技術能量，蒐集國內外相關文獻並綜整撰寫各類技術發展電子報，其後公開分享於農村水保署技術研究發展平台網頁，俾供國內外各領域人士瀏覽閱讀，亦作為農村水保署推廣土砂防災研究與技術發展 (防災科普教育) 的一環。電子報內容主要依「新興科技應用」、「軟體防災對策」、「工程技術發展」、「前瞻策略與管理」、「基礎試驗研究」等五大領域蒐集相關文獻後撰寫，今 (113) 年度共計發表三十篇電子報，完整電子報內容詳見附冊及農村水保署技術研究發展平台「電子報專區」(https://tech.ardswc.gov.tw/EPaper/Home/PaperList)。

一、 電子報成果統計及防災研究與技術發展面向分析

本(113)年度電子報推廣成效截至 113 年 11 月 28 日統計量，其總瀏覽人次為 31,654 人次，平均閱讀人次為 1,055 人次 (表 2-1、圖 2-1)，其各篇電子報撰寫類別概分如下：

1. 在「新興科技應用」主題中，以遙測影像技術發展相關類別為 5 篇最多，其次為數位孿生、UAV、AIOT 類別各 1 篇。
2. 在「軟體防災對策」主題中，分別為大規模地震防災與民間組織災後復建工作類別各 1 篇電子報。
3. 在「前瞻策略與管理」主題中，以地震主題相關類別為 7 篇最多，次之為地質與地形分析相關類別 3 篇，其次為氣候變遷與環境保育各 1 篇。

4. 在「工程技術發展」主題中，以施工技術發展相關類別 4 篇，其次為手機建模 1 篇、衛星通訊技術 2 篇與水保行銷 1 篇。

目前電子報發布之主題類別和題材內容，主要以地震主題為最多、次之為遙測影像和施工技術發展，其餘分項為數位孿生、UAV、AIOT、大規模地震防災、民間組織災後復建工作、地質與地形分析、氣候變遷、環境保育、手機建模、衛星技術與水保行銷等。

表 2-1 電子報各類別期數與閱讀人次統計

類別	期數	閱讀人次	每期平均閱讀人次
前瞻策略與管理	12	12,567	1,047
工程技術發展	8	13,129	1,641
軟體防災對策	2	1,048	524
新興科技應用	8	4,910	614
總計	30	31,654	1,055

資料統計至 113/11/28 止

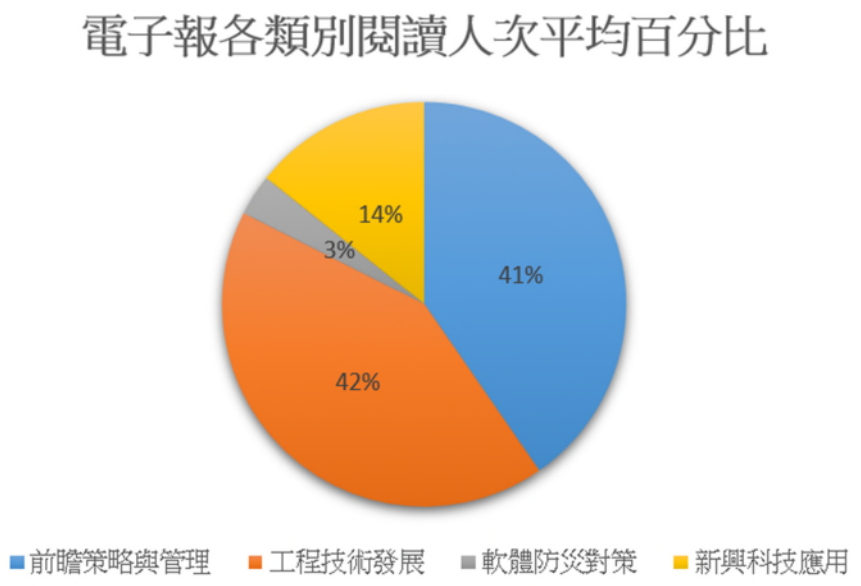


圖 2-1 電子報各類別平均閱讀人次平均百分比統計

因為今年度(113 年)年初發生之 0403 花蓮地震發生的災害眾多，本次電子報以地震相關技術探討與分享相對較多(詳電子報第 100、107、116、114、117、124 期)，其主要內容為蒐集今年初位於日本北陸地區的能登半島發生地震規模 7.5 強震，綜整日本政府及民間單位等在大規模地震下進行土砂災害的各項防災應對，進行系列報導，提供台灣相關防救災工作做為借鏡；以及另外以地震專業的角度，針對地震發生後的坡地災害進行預警、探討與分析，撰寫相關領域的介紹。相較歷年較多為降雨事件而引發土砂災害的台灣，用不同的災害誘發類型角度來探討土砂災害。

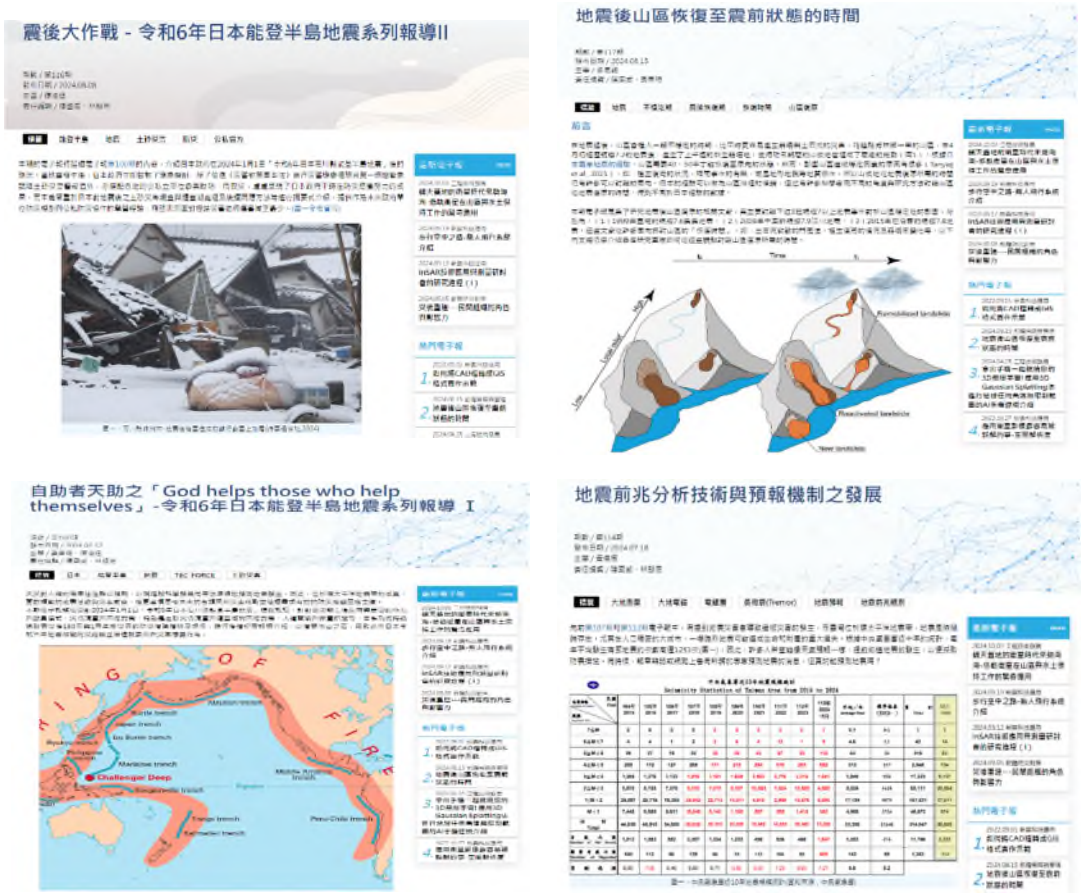


圖 2-2　地震技術主題電子報

在氣候變遷下大規模土砂災害頻繁發生，遙測影像為極佳獲取資訊的重要工具，今年度電子報在遙測影像於土砂災害與環境相關議題亦綜整不同議題分享(詳電子報第 113、118、120 期)。其中相關技術例如合成孔徑雷達（SAR）在坡地監測的適用類型分享；多光譜與頻譜輻射影像於地球環境的探索與災害監測之介紹分享；應用機器學習於遙測影像之操作與坡地植生分類等，進行詳細類別介紹。從遙測影像技術的電子報可以看出，各項遙測工具均具有各自的土砂災害與環境變遷觀測優勢，建議未來可納入本署相關執行業務輔助應用。

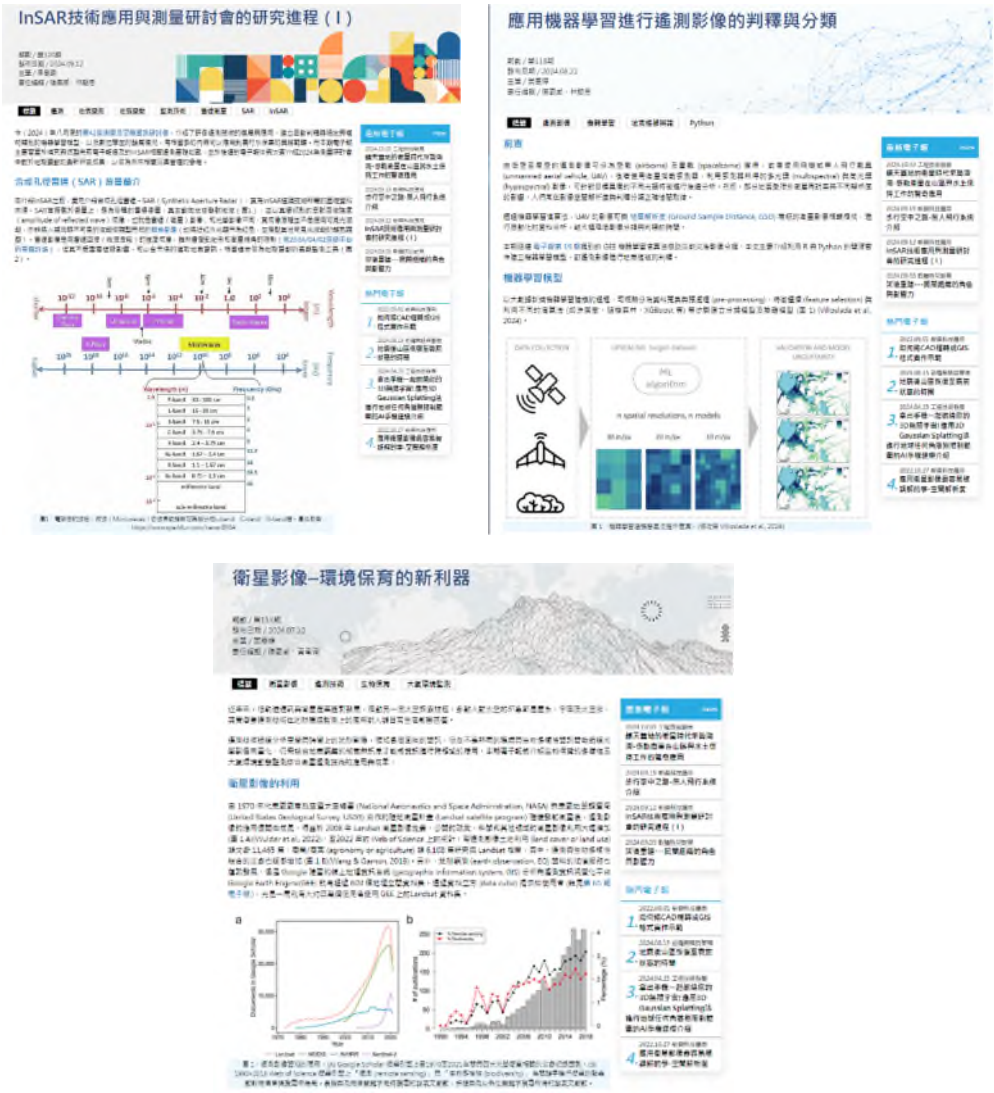


圖 2-3　遙測影像技術主題電子報

考量氣候變遷下極端降雨發生頻率增加與其誘發複合性土砂災害風險將增加，臺灣處於地震帶國家亦加劇可能受到土砂災害衝擊影響。本年度電子報第 112 期針對位於地震帶國家面對氣候變遷下引發土砂災害的案例與分析，進行深入介紹，從文中得知過去地震災害所誘發的後續土砂災害，過往在多年後會逐漸恢復到地震前的穩定狀態，但近年在實際案例中卻有增加的趨勢，電子報中詳細介紹在極端氣候下其因降雨而發生變化的案例資料。由此可知未來受氣候變遷的衝擊影響下，極端事件發生的頻率上升，在受災場域環境尚未完全恢復時又發生另一起事件，就會導致更嚴重的災害發生。需要思考如何減緩震後因降雨導致的二次災害，並掌握與地震相關的土砂災害潛勢區，以有效地調整震後的警戒機制，來追蹤震後恢復期的潛在災害並規劃防減災策略。

圖 2-4　氣候變遷主題電子報

由各期電子報閱讀人次統計資料 (表 2-2)，以電子報第 105 期「拿出手機一起燃燒你的 3D 無限宇宙!應用 3D Gaussian Splatting 法

進行地球任何角落無限制範圍的 AI 手機建模介紹」閱讀人數為最多，去年亦是較受矚目的主題電子報，其中智慧型手機協助測繪應用相當多元，其便利性與經濟成本效益對比於傳統測量設備，大幅度提升使用性且操作門檻低，讓每個人都可以輕鬆使用。今年度隨著科技發展，目前手機建模更加入新一代的生成式 AI 攝影測量法-「高斯潑濺法 (3D Gaussian Splatting)」，相較於過去手機以 LiDAR 掃描測繪法，受手機硬體掃描距離 10m 限制，可大幅度提升 3D 模型取像規模，並進一步量化與匯出模型成果進行應用。

圖 2-5　手機建模主題電子報

綜合上述，在善用各項科技工具獲取不同類型災害事件資訊，輔助研擬軟硬體對策並降低災害衝擊，必為現代數位化時代下每個人提升自主防災知能不可或缺的能力之一，本電子報推廣國內外防災研究與技術發展，實具新興科技推廣與防災科普教育成效。

表 2-2 電子報閱讀人次統計

類別	期數	電子報名稱	閱讀人次
工程技術發展	99	超大型 3D 列印的烽火已燃起!世界工程建設投入 3D 列印實例應用分享	2,951
前瞻策略與管理	100	自助者天助之「God helps those who help themselves」—令和 6 年日本能登半島地震系列報導 I	1,563
前瞻策略與管理	101	防災溝通新利器：地形特徵圖	1,753
工程技術發展	102	提煉再提煉的鋼之煉金術!日本鋼構防砂壩 60 年研發精華史介紹	1,101
前瞻策略與管理	103	臺灣的地質脆弱？談地質條件與坡地災害的關聯	1,489
新興科技應用	104	智能工程新崛起-智慧物聯網 AIoT 結合工程應用	1,318
工程技術發展	105	拿出手機一起燃燒你的 3D 無限宇宙!應用 3D Gaussian Splatting 法進行地球任何角落無限制範圍的 AI 手機建模介紹	4,071
工程技術發展	106	以自然為師—近自然工法結合仿生學	1,210
前瞻策略與管理	107	從地震的角度看坡地災害	1,287
前瞻策略與管理	108	水資源穩定與溪流生態間的平衡—介紹 WHOOSHH 魚群洄游通道系統	564
軟體防災對策	109	臺灣大規模地震風險與挑戰	521
工程技術發展	110	土木，就是你我生活品味的潮流—日本土木與水保的超魅力品牌行銷分享	797
工程技術發展	111	細菌也能修補混凝土?探索自癒性混凝土	1,833
前瞻策略與管理	112	從 0403 花蓮地震探討氣候變遷對地震帶國家的衝擊	859
新興科技應用	113	衛星影像—環境保育的新利器	673
前瞻策略與管理	114	地震前兆分析技術與預報機制之發展	1,370
新興科技應用	115	虛擬與真實終將統一的未來世界來臨，延展實境技術(XR)和空間計算機在土木與水保的最新發展應用	445
前瞻策略與管理	116	震後大作戰—令和 6 年日本能登半島地震系列報導 II	967
前瞻策略與管理	117	地震後山區恢復至震前狀態的時間	1,998
新興科技應用	118	應用機器學習進行遙測影像的判釋與分類	1,033
軟體防災對策	119	災後重建—民間組織的角色與影響力	527
新興科技應用	120	InSAR 技術應用與測量研討會的研究進程（I）	576
新興科技應用	121	步行空中之路-無人飛行載具介紹	865
工程技術發展	122	鋪天蓋地的衛星時代來勢洶洶-低軌衛星在山區與水土保持工作的驚奇應用	684
前瞻策略與管理	123	崩塌地不同地形特徵的植生復育趨勢	405
前瞻策略與管理	124	靜默的威脅？慢地震與未來大震的聯繫	312
工程技術發展	125	電腦在想什麼？影像辨識思維到超解析度成像法	482
新興科技應用	126	InSAR 技術應用與測量研討會的研究進程（II）	283
前瞻策略與管理	127	坡向與山崩的關係—論熱帶氣旋的影響力	150
新興科技應用	128	以縮時攝影輔助現地土砂災例檢證初探	34

二、 創新研究計畫公告題目研擬建議

本年度電子報涵蓋眾多面向技術，從遙測影像的各項觀測技術、坡地災害的監測與模擬分析、UAV 與手機應用於坡地災害的防災技術等，各類新興技術內容廣泛，對於研發降低坡地災害的未來科技發展與應用有所參考。本計畫綜整各面向技術後，挑選未來具有發展潛力與可嘗試執行的技術，提供作為農村水保署創新研究計畫公告題目的參考建議，以下列出建議的題目與技術內容，供主管機關未來公告擬定題目時參考。

表 2-3 創新研究計畫公告題目研擬建議

題目	技術內容
河道中不安定土砂量體遞移評估	河道上屬於暫態平衡或不穩定平衡之不安定土砂量體不容小覷，未來若有豪雨事件發生時，河道上之不安定土砂將有機會遞移造成下游災害，若能先針對高潛勢區或具有保全對象之不安定土砂集水區進行河道模擬，將可提供未來不安定土砂擬定，亦當作防災應變參考。
降雨誘發淺層崩塌之水體滲流與土體變形分析	頻繁的極端降雨事件造成愈來愈多淺層崩塌事件，降雨量與土砂料源皆是警戒的參考標準，現多以模擬技術進行災害預測，若能分析強降雨後水體滲流力與土壤孔隙水壓的變化，建立並歸納不同降雨與地質條件下的流體類型，驗證各淺層崩塌預警模式，或能提供後續防災的參考。
由無人機產製之RGB正射影	從多光譜鏡頭或光學衛星影像上得出的植生指標NDVI 被廣泛運用在崩塌地的復原調查，然而受限

像判斷崩塌地復原狀況	於經費預算，大部分學校與政府機關所購置的低價無人機並未搭載多光譜鏡頭，僅能產出以 RGB 三波段組成的正射影像。若能從 RGB 波段中建立適合臺灣山區的植生指標，則能大幅提升崩塌地的監測量能，並對於崩塌地的復原機制有更深的認識。
AI 機器學習應用於崩塌風險的預測模型	利用機器學習與深度學習技術，研究將遙測影像數據（如衛星影像、LiDAR 數據）與現場監測數據相結合，開發能夠根據地形特徵、氣候變化、歷史資料等多變數輸入，進行崩塌風險評估的 AI 模型，建立自動化風險預測系統。增加崩塌風險預測的準確性，提供即時的防災預警，提前規劃疏散與應對措施。
新興手持行動裝置攝影測量法於土砂災害防災工作之三維調查應用	近幾年手持行動裝置(如 iPhone、iPad)搭載 LiDAR 後，可對物體進行測深工作，在工程構造物、自然災害之調查應用逐日受到矚目。惟手持行動裝置的 LiDAR 目前最遠約 10 公尺距離的測深功能，在大範圍調查區域受到限制。目前因科技發展除了 LiDAR 外，可使用近年新興發展的攝影測量技術(如神經輻射場法（NeRF）、3D 高斯潑濺法（3D-GS))於手持行動裝置進行大範圍區域調查，希望透過新興發展的攝影測量法於手持式裝置嘗試進階應用，協助未來現場土砂災害工作調查時，能夠提供更多防災資料參考。

第二節　新技術及科技應用可行性評估

坡地土砂災害問題複雜且多元，如何針對不同類型災害提出有效調適策略是一大挑戰，本計畫初步評估今 (113) 年度 30 篇電子報內容，試以新興科技應用之「手機建模技術-高斯潑濺法」相關技術進行土砂災害區域實際應用等案例，以評估其未來發展可行性。

一、　手機建模技術-LiDAR掃描測繪法與攝影測量法(高斯潑濺法)應用於土砂災害調查探討

氣候變遷下於汛期期間經常發生土砂災害，防救災工作的情資單位須於短時間內蒐整與研判土砂災害的災情，並提供大眾防救災資訊，提供民眾盡早疏散撤離及避免受到二次災害；另外治理單位針對已發生或未來可能發生之土砂災害，須進行集水區整體的防災規劃，避免土砂災害短時間內再次發生，影響民眾生命財產安全。

過去汛期期間，使用遙測影像、飛行載具(UAV)、各式測量儀器與製圖軟體於防災工作，航遙測影像透過高空進行大尺度範圍拍攝，但受限於天候雲覆率及衛星再訪率因素，有時無法即時取得可用之衛星影像資訊。UAV 無人機於現場調查拍攝時，則是面臨降雨影響以及機器本體電子結構不具防水性能，再者地形環境之遮蔽效應及電磁波影響，造成訊號傳輸品質無法控制，亦無法即時取得可用之影像資訊。上述兩者分別於高空及低空進行不同尺度範圍拍攝作業，有助於取得大區域及局部區域範圍之標的物特徵，但於天候不佳及地形遮蔽情況下，特別是小範圍區域無法取得標的物詳細特徵、無法短時間內掌握現場狀況。

因有上述問題，此時則需依靠傳統人力現場調查，惟背負儀器繁重、設備多樣並考量目標位置之交通可及性，致使現場調查效率及作

業時效性緩慢，不利於掌握災後環境狀況，並且測量儀器與後續內業分析套繪軟體(如點雲軟體、繪圖軟體與地理資訊軟體)其售價昂貴、更新不易，工作效率與品質成果會受影響。

因此，在調查工具或方式上，不論是航遙測影像、UAV 無人機、傳統人力現場調查，如能在第一時間，擁有工具能快速取得並評估現場狀況，且進一步利用開源軟體於桌機端操作分析，對於工程構造物的建立與土砂災害的防災整備與應變上將有莫大助益。

為解決相關問題，提升工作效率，本計畫以土石流災害事件為例，利用智慧型手機與桌機端各項免費應用程式，進行土砂災害的現場調查與內業防災規劃，並與 UAV 及遙測影像進行輔助與驗證，以獲取災害事件現場相關重要資料，作為未來土砂災害現場評估與內業防減災規劃工具的新選擇。

二、 研究區域與方法

本計畫採用蘋果公司推出的 iPhone 智慧型手機，其搭載 LiDAR 感測器與攝影鏡頭，分別進行 LiDAR 掃描測繪及照片攝影測量，其中照片攝影測量法採用高斯潑濺法，以今年度(113 年) 0607 豪雨引致的嘉縣 DF051 土石流災害事件調查為例。

(一) 研究區域

本計畫以嘉義縣中埔鄉中崙村土石流潛勢溪流-嘉縣-DF051 於今年 6 月 7 日發生之土石流災害事件為例，該土石流潛勢溪流於 112 年上游發生崩塌，由於植生尚未恢復，以及連日降雨，再次爆發土石流，土砂沿支流河道向下游流動並阻塞過路箱涵，因而在與主流匯流處溢流及堆積於嘉 141 線及台 3 線，其中一棟民房前庭遭土砂淤埋，以及道路道路淤埋長度約 130 公尺 (圖 2-6)。

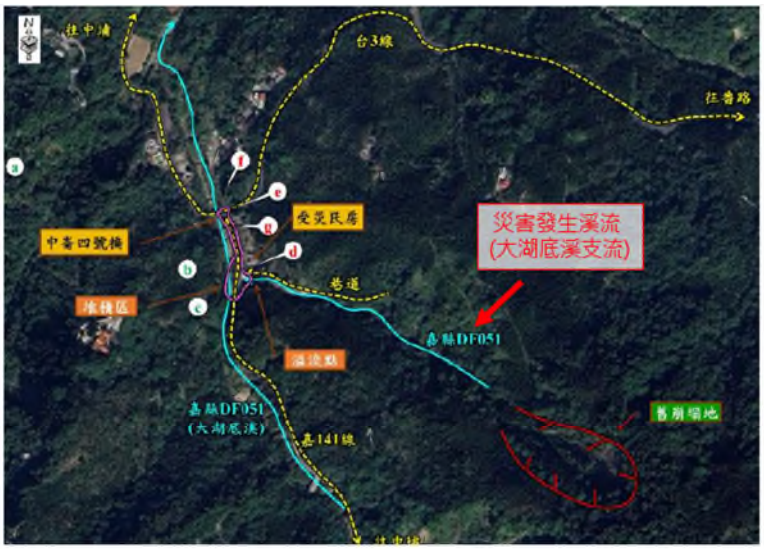


圖 2-6　土石流潛勢溪流-嘉縣-DF051

113 年 6 月 7 日土石流災害狀況

(資料來源: 農業部農村發展及水土保持署土石流及大規模崩塌防災資訊網重大土砂災例、中華華報)

本計畫從遙測影像進行先期觀測，從災害前後期遙測影像比較可得知崩塌地有明顯的擴大情形，其中 0607 豪雨後，6 月 15 日的遙測影像 Planet 雖成功取像，但無法得知中下游災害狀況；6 月 23 日的 Sentinel-2 雖成功取像但整體災害狀況模糊。且災害後因正值汛期經常性降雨，雲覆率高，清晰且無雲之遙測影像稀少，取像不容易 (圖 2-7)。

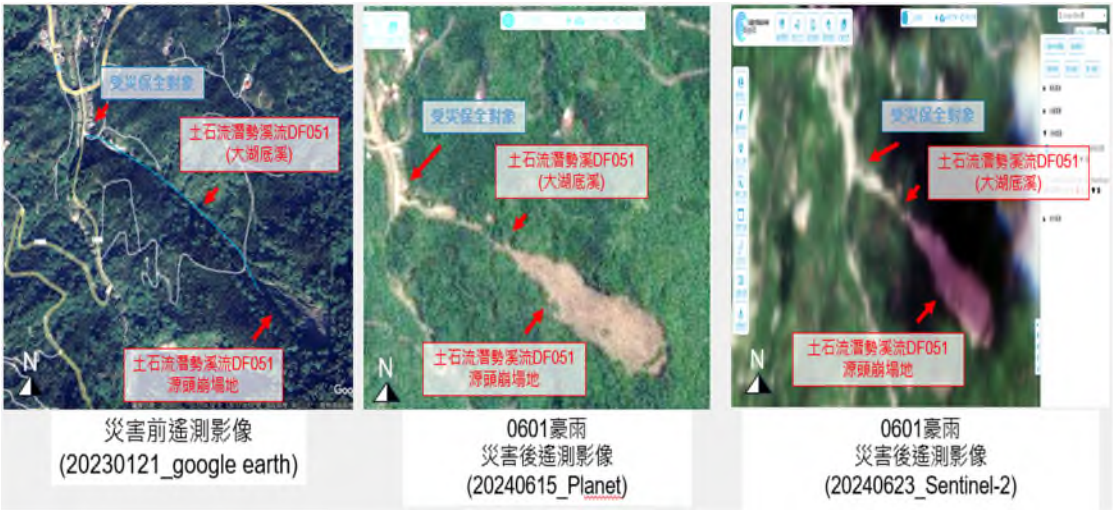


圖 2-7 土石流潛勢溪流-嘉縣-DF051

(113 年 6 月 7 日土石流災害前後期遙測影像)

(二) 研究方法

在災害發生後，本計畫於 113 年 8 月 16 日在現地利用智慧型手機進行土石流潛勢溪流整體集水區的現場災害調查(360 環景與 3D 建模)，針對上游源頭崩塌地、中下游土砂淤積與防砂構造物狀況，與下游保全對象受災情形，並利用 UAV 與遙測影像進行檢核點位置之三維資料驗證(圖 2-8)。

研究工具	現場調查工具	模型後製工具	調查功能
智慧型 手機	免費版 手機應用程式	免費版 手機應用程式 後臺	• 360環景 • 照片攝影測量法 -高斯潑濺法 -3D建模 • LiDAR掃描測繪法 -3D建模
無人飛行 載具UAV	Autel Robotics EVO II	桌機端 建模軟體	• 正射影像 • 3D建模
遙測影像	20240615_Planet	BigGIS展示	• 衛星影像拍攝

圖 2-8 智慧型手機與驗證工具

本研究以智慧型手機配合 LiDAR 掃描測繪法與照片攝影測量法兩種方式進行測繪。其中，LiDAR 掃描測繪法利用手機具備之 LiDAR 感測器進行掃描測繪，由光束掃描物體並轉換為真實物體之點雲資料並建置網格模型，再配合攝影鏡頭取之得 RBG 色彩資料，以影像色彩拼貼功能對網格模型表面上色，形成具有彩色樣貌之 3D 模型。目前掃描距離以 iPhone14 Pro 為例，可達 5 公尺；照片攝影測量法部分，本研究採用高斯潑濺法(3D Gaussian Splatting)進行作業，該方法為先利用傳統的 SfM（Structure from motion）技術，但只疊合照片特徵點生成模型點雲而省略複雜點雲坐標點計算。再利用其依靠有光的地方進行建模的原理，加入了「3D Gaussian (三維高斯函數)」與「Splatting (潑濺)」兩個方法，其具備還原程度非常高、取樣極廣闊與 3D 模型建模時間快速的優點 (圖 2-9)。

圖 2-9　LiDAR 掃描測繪法(上)與照片攝影測量高斯潑濺法(下)

(資料來源:中央社、Youtube-AI 甘安捏)

智慧型手機進行測繪時，需使用手機應用程式進行作業，本計畫整理本研究使用之免費應用程式資料，其中包括測繪方法、適用軟硬體與測繪功能等資料 (圖 2-10)。

項目	LIDAR掃描測繪法 /照片攝影測量法	照片攝影測量法
應用程式		
	Scaniverse	polycam
作業系統	IOS/android	IOS/android
測繪方法	LiDAR掃描測繪法、 照片攝影測量法-高斯潑濺法	照片攝影測量法-高斯潑濺法
適用智慧型手機機型 (截至2024/10)	iPhone 12 、13、14 、15、 16 Pro等級以上、 iPad 11 吋 (第 2 代)等級以上、 iPad Pro 12.9 吋 (第 4 代) 等級以上	(攝影) iPhone 11等級或 android 8.0以上 (LiDAR) iPhone12 pro 等級以上
匯出格式	(LiDAR) -PLY、LAS、OBJ、DAE等 (照片攝影測量法-高斯潑濺法) -PLY	PLY、LAS、OBJ、DAE 等格式
功能特點	1.三維立體模型建置 2.無網路狀態可製作模型 3.長度、周長測量 4.AR視覺化模式 5.線上模型展示功能	1.LIDAR、攝影三維資料建置 2.快速自動對齊測繪功能 3.360環景模式功能 4.部分功能無網路狀態可製作模型 5.長度、周長、面積測量 6.AR、行走視覺化模式 7.線上模型展示與測量功能
研究使用功能	1.三維立體模型建置 2.三維測量	1.360環景模式功能 2.三維測量 3.外部影像匯入3D建模

圖 2-10 智慧型手機之免費應用程式

當現地調查完成後，本計畫嘗試以各項桌機端開源軟體進行規劃應用，包含點雲軟體、繪圖軟體與地理資訊軟體進行內業工作，提供未來手機在土砂災害現場完成調查後可進一步後續加值應用分析的方法(圖 2-11) 。

研究工具	現場調查工具	規劃功能
智慧型手機	免費版手機應用程式	• 匯出點雲資料
點雲軟體	cloud compare	• 點雲測量 • 點雲後製
繪圖軟體	FreeCAD	• 斷面設計
地理資訊軟體	QGIS	• 地理座標定位

圖 2-11 桌機端各項開源軟體

三、 結果與討論

(一) 土砂災害之現場調查

本項研究於今(113)年 8 月 16 日針對嘉義縣中埔鄉中崙村土石流潛勢溪流-嘉縣-DF051 之保全對象、上游崩塌地及下、中游集水區進行調查，利用手機測繪、UAV 航拍及人工地面調查等，分別完成 360 環景影像與 3D 建模之土砂災害現場調查成果 (圖 2-12) 。

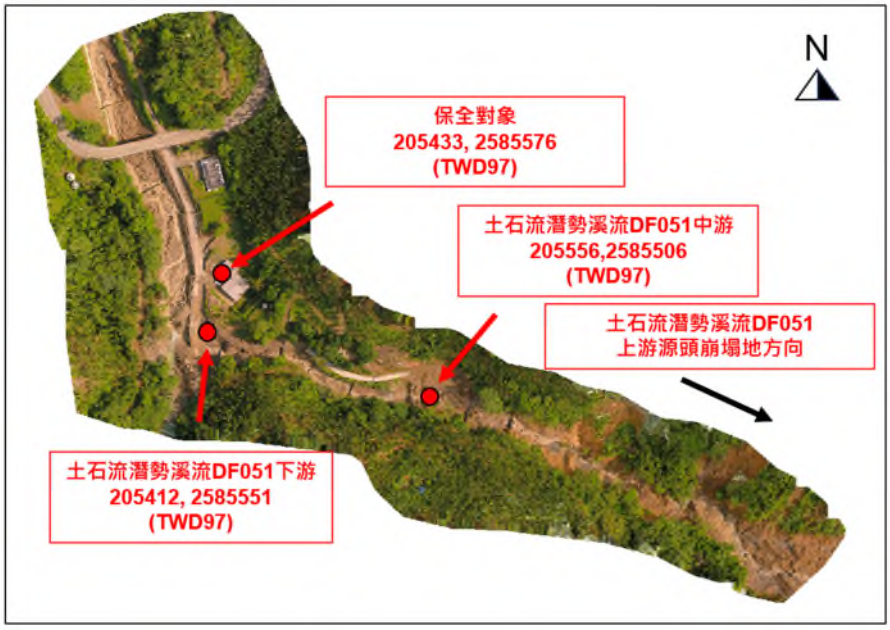


圖 2-12 土石流潛勢溪流-嘉縣-DF051 調查位置

(113/08/16-UAV 正射影像成果)

(A)智慧型手機 360 度環景影像

由傳統人力調查時，僅靠單張照片無法完整呈現災害點位環境資訊，再者，當情資人員由各單張照片所供資訊判讀時，難以連結周邊環境與災害成因，因此利用智慧型手機 360 度環景功能，輔以單張照片對災害特徵的註解，將可提供情資人員所需災情資訊。在操作智慧型手機 360 度環景功能上，現地調查人員依照軟體指示，僅需於指定條帶移動，即可拍攝完成，後續手機處理環景照片可在 3 分鐘內呈現成果，並上傳至線上展示平台提供閱覽，讓大眾了解災害地點與其所影響周邊環境資訊 (圖 2-13)。

圖 2-13 智慧型手機 360 度環景模式

結果顯示，藉由 360 環景影像可連結受災的保全對象與土石流潛勢溪流下游的土砂災害狀況，可掌握環境周邊防砂構造物的完整度與具體土砂淤埋位置情形。另在中游可看到便道和系列防砂壩受土砂淤埋的狀況，另可發現經前期清淤後，目前有眾多大粒徑塊石堆積於河道坡面 (圖 2-14)。

本研究以 UAV 正射影像輔助大範圍災害區域拍攝，並由 360 環景影像進一步與 UAV 正射影像進行比較，由 UAV 拍攝任務進行廣泛的災區資料蒐集，呈現各災害特徵點間的相對位置。兩者之間主要差異點在於手機 360 環景模式產製之成果著重於呈現局部廣域重點狀況，提供連結地物間的相對關係，兩者搭配相互輔助高空俯視與地面視覺成果，可讓人更清晰掌握現場狀況 (圖 2-15)。

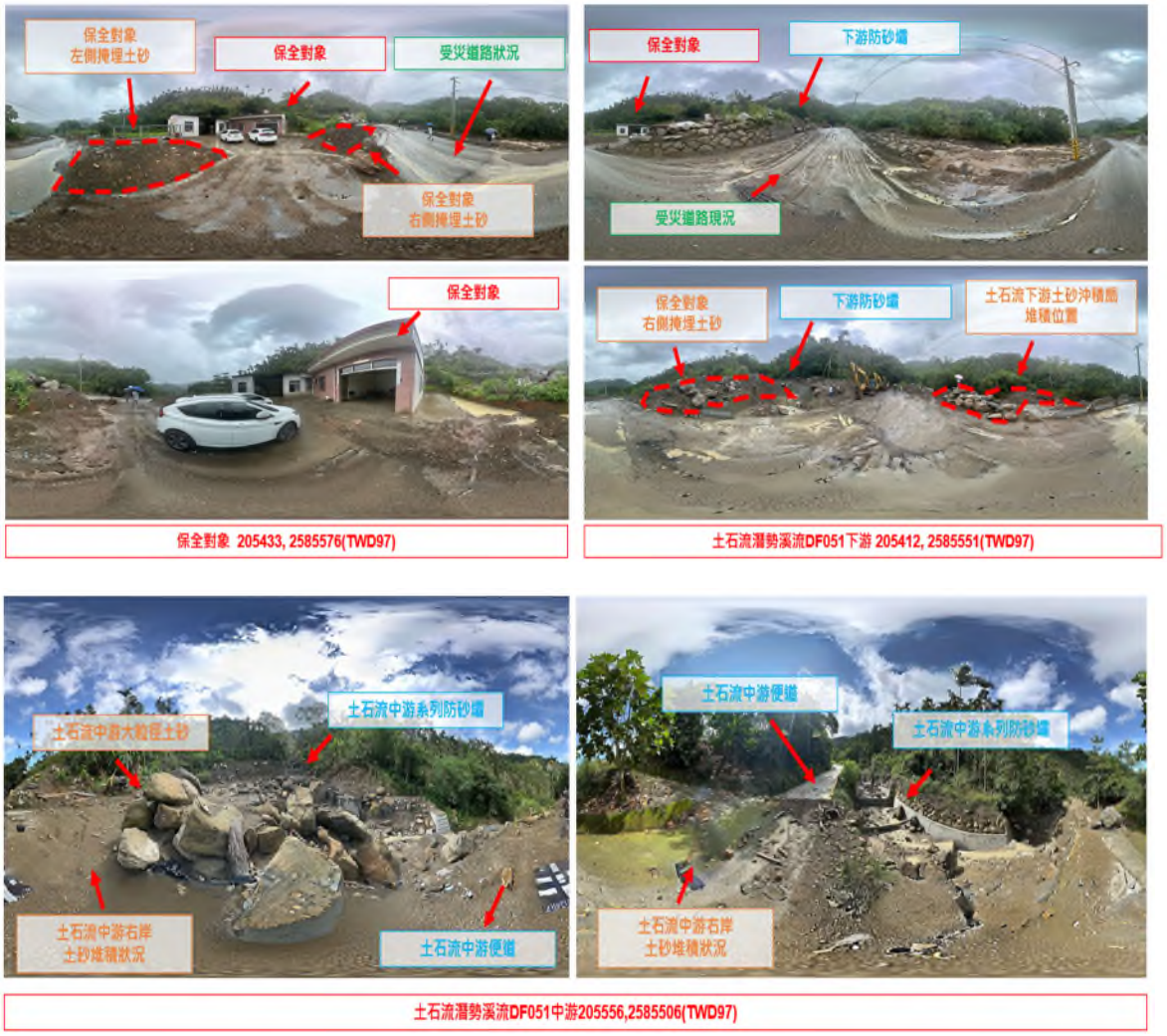
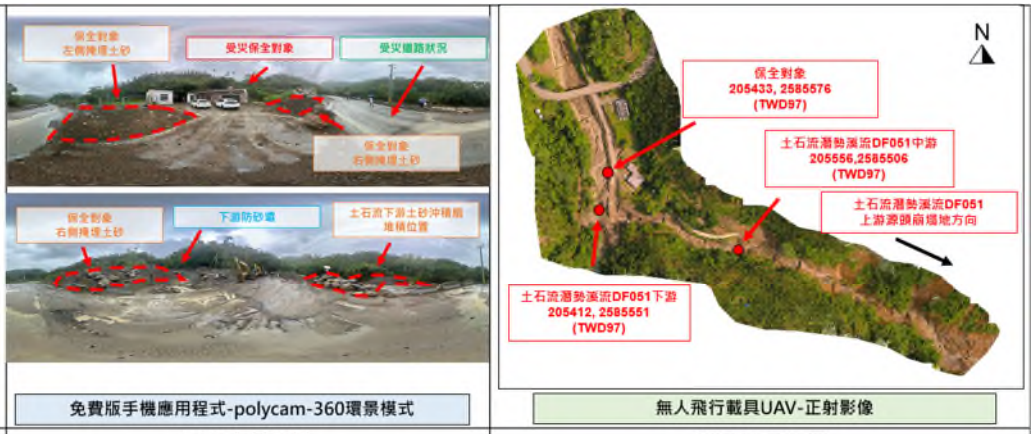


圖 2-14 智慧型手機 360 度環景模式



範圍	局部廣域重點	廣泛地理位置
細節	地物地貌呈現細節高	相對位置呈現細節高
輔助功能	可補充大範圍正射影像之現場廣域真實細節，快速展示多現場多時序地貌變遷	可輔助360環景影像得知地物地貌間相對位置

圖 2-15 智慧型手 360 環景模式與 UAV 正射影像比較成果

(B) 3D 模型建置與即時量化分析

本計畫使用智慧型手機進行土砂災害環境場域的 3D 模型建立，並利用應用程式內建分析模式進行現場即時量化分析，期能達到快速建立土砂災害現場資料三維資料，後即可得知與量化土砂災害影響狀況。其中量化分析功能以智慧型手機針對物體直接取像者(如本計畫案例之土石流潛勢溪流下游、中游地區)可直接於手機欲量化位置點選兩端點即可得到成果；若以外部影像匯入手機模型者(如本計畫案例之上游崩塌地)，則以 3D 模型鄰近特徵物(本計畫以中游先期佈設之 1m*1m 航空標布)進行整體 3D 模型三維尺寸比例尺換算(圖 2-31)。

另外本計畫以 UAV 與 2024 年 8 月 16 日災後拍攝之 Sentinel-2 遙測影像進行 3D 模型資料輔助與驗證，本次調查成果說明如下。

土石流潛勢溪流下游保全對象部分，從結果顯示保全對象的結構物完整，前庭有土砂淤埋的狀況，室內亦有土砂淤埋，對比 UAV 正射影像其結果相符。進一步量化現場成果，手機與 UAV 兩者在檢核點位置的驗證尺寸相差約 0.2 至 0.39%，結構物外部土砂淤積高度為 84 至 92cm，內部受土砂淤積高度約 26 至 27cm，可得知災害發生時土砂到達下游場域時的淤積高度，並藉由保全對象的受災環境加以比對驗證土砂淤積程度 (圖 2-16 至圖 2-19) 。

圖 2-16 保全對象 3D 建模成果(1)

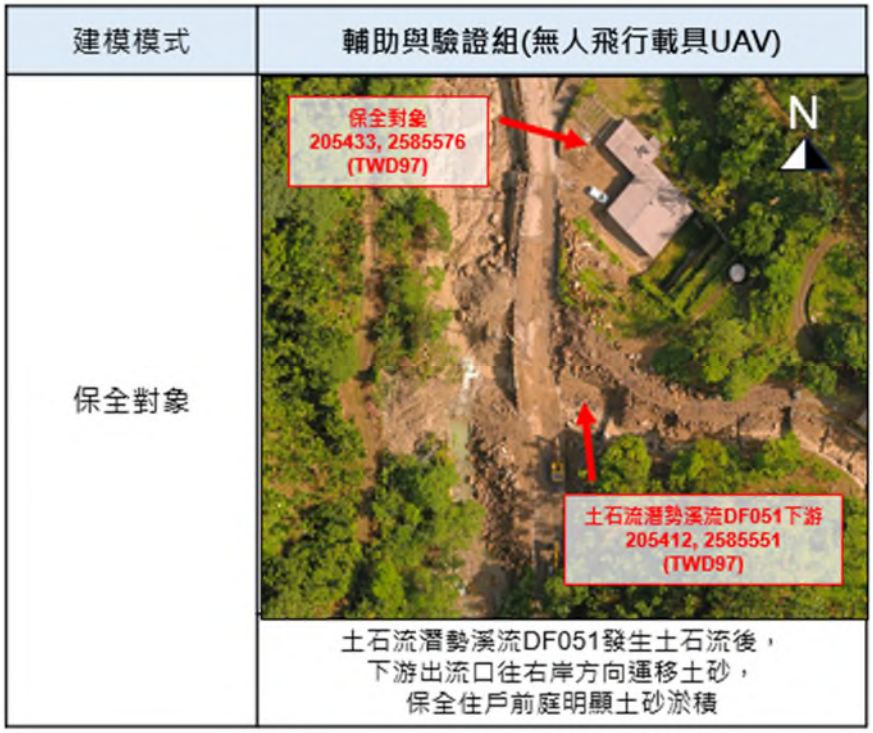


圖 2-17 保全對象 3D 建模成果(2)

<table>
<tr><th>建模模式G.4</th><th colspan="2">智慧型手機組</th></tr>
<tr><td rowspan="2">三維尺寸</td><td>驗證尺寸(m)</td><td>現場尺寸(m)</td></tr>
<tr><td>1.白色房屋屋頂長:9.27m
2.紅色房屋屋頂長:9.31m</td><td>1. 白色房屋外觀地板至牆壁土砂淤積高:84-92cm
2. 紅色房屋內部地板至牆壁土砂淤積高:26-27cm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">驗證模型&
保全對象外觀</td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">手機相較UAV驗證尺寸相差約0.2~0.39%
建物外部受土砂淤積高約84-92cm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">保全對象內部</td><td colspan="2"> </td></tr>
<tr><td colspan="2">建物內部受土砂淤積高約26-27cm</td></tr>
</table>

圖 2-18 土石流潛勢溪流保全對象 3D 建模量化分析成果(1)

<table>
<tr><th>建模模式</th><th>輔助與驗證組(無人飛行載具UAV)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">三維尺寸</td><td>驗證尺寸(m)</td></tr>
<tr><td>1.白色房屋屋頂長:9.292m
2.紅色房屋屋頂長:9.273m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">驗證模型</td><td> </td></tr>
<tr><td>手機相較UAV驗證尺寸相差約0.2~0.39%</td></tr>
</table>

圖 2-19 土石流潛勢溪流保全對象 3D 建模量化分析成果(2)

土石流潛勢溪流下游出流口部分，則可看到出流口存有固床工與護岸等防砂構造物，其中固床工溪流右岸受土石流堆積淤埋，另外上游土砂已運移至出流口並堆積於交會處之主流右岸，對比於主流呈現清澈溪水，支流因土砂下移影響使溪水相對呈現混濁狀態。對比 UAV 正射影像其結果相符，進一步量化現場成果，手機相較 UAV 在檢核點位置的驗證尺寸相差約 0.9~2.5%，現場固床工受右岸土砂淤埋高度為 7.6m，面積 40m^2，支流土砂堆積於主流之上游土砂為長 11m、寬 9.5m，建議未來進行清疏作業時可參考相關成果 (圖 2-20 至圖 2-23) 。

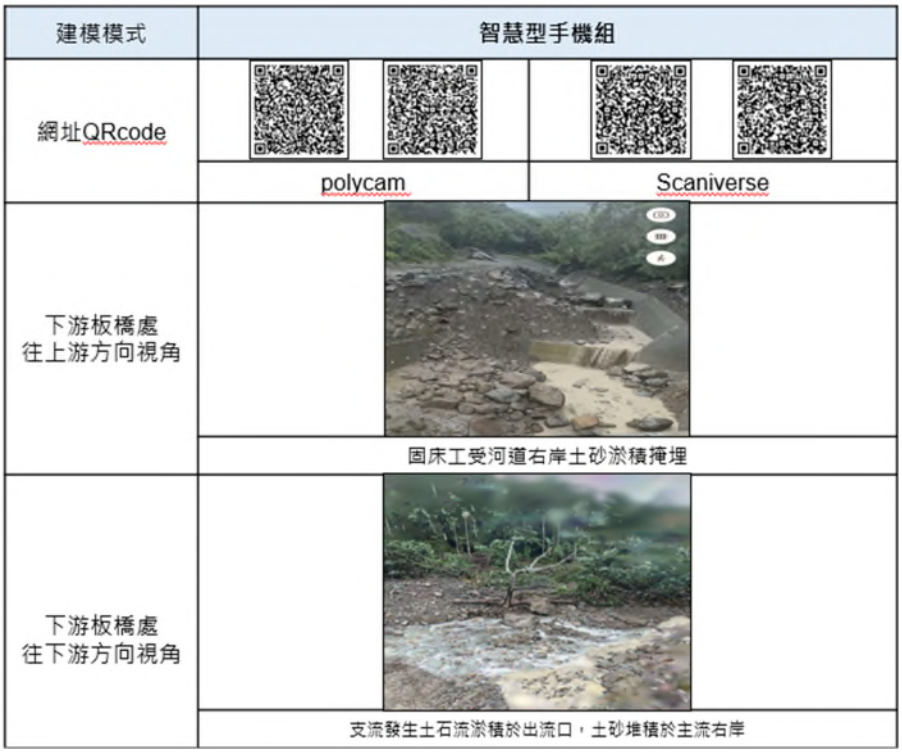


圖 2-20　土石流潛勢溪流下游出流口 3D 建模成果(1)

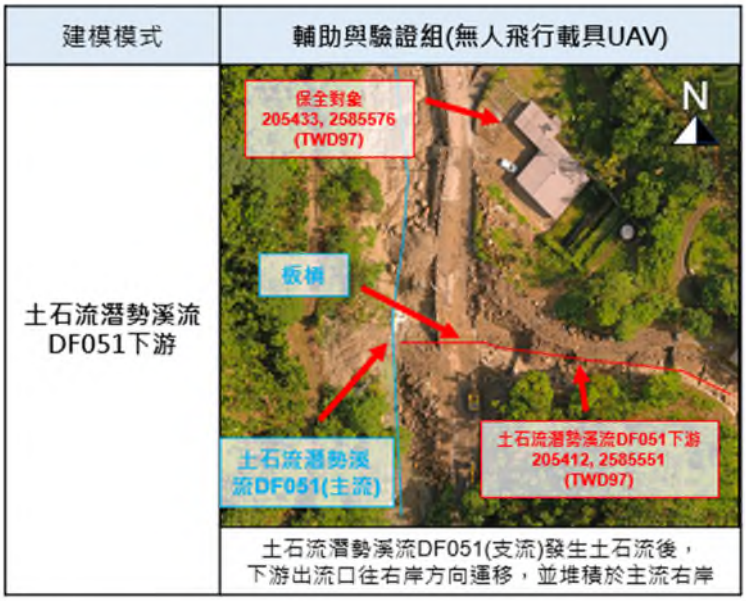


圖 2-21　土石流潛勢溪流下游出流口 3D 建模成果(2)

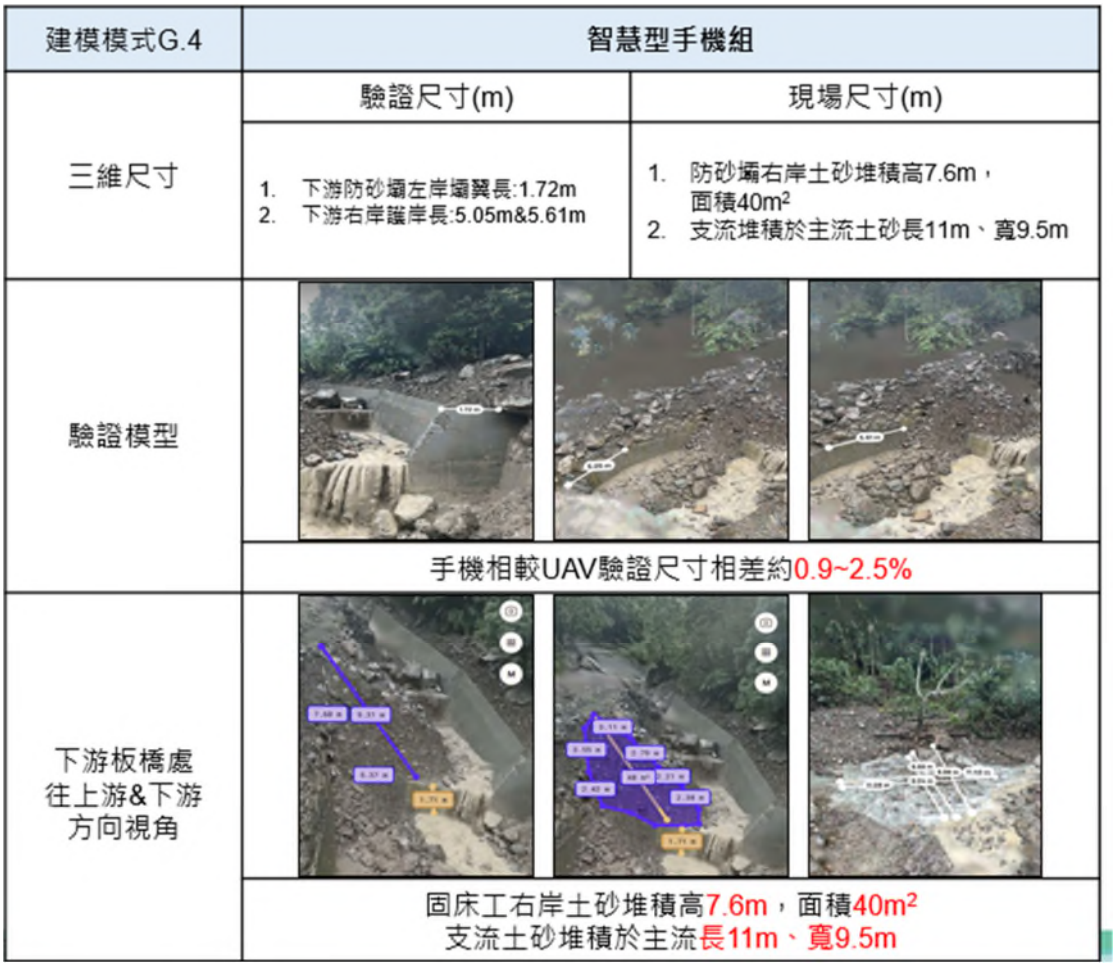


圖 2-22　下游出流口 3D 建模量化分析成果(1)

圖 2-23 下游出流口 3D 建模量化分析成果(2)

土石流潛勢溪流中游部分，本計畫由上游至下游分成 1 至 3 號防砂壩進行調查紀錄，其中 1 號與 3 號防砂壩目前其表面無撞擊毀損、結構完整，至於 2 號防砂壩則是受土砂掩埋，目前僅露出壩翼。另外整體河道目前堆積大量大粒徑塊石，其中 3 號防砂壩溢流口受大粒徑塊石阻塞防砂壩溢流口。進一步量化現場成果，手機相較 UAV 檢核點位置的驗證尺寸相差約 0.3~4.6%，現場 1 號與 2 號防砂壩結構露出部分高差為 3.08m，兩者之間儲砂空間面積為 72m^2，兩者進一步估算可得知災後 2 號壩至少已攔阻 216m^3 土砂量體，發揮防砂構造物的攔截土砂作用，其溢流口雖有較大粒徑塊石阻塞 (現場量測約 73 公分)，但目前並未造成防砂壩功能受到影響。中游現場經整理後堆疊土石流堆積之粒徑約 0.8 公尺至 1.5 公尺系列塊石，可得知該土石流運移時的粒徑分布尺寸 (圖 2-24 至圖 2-28) 。

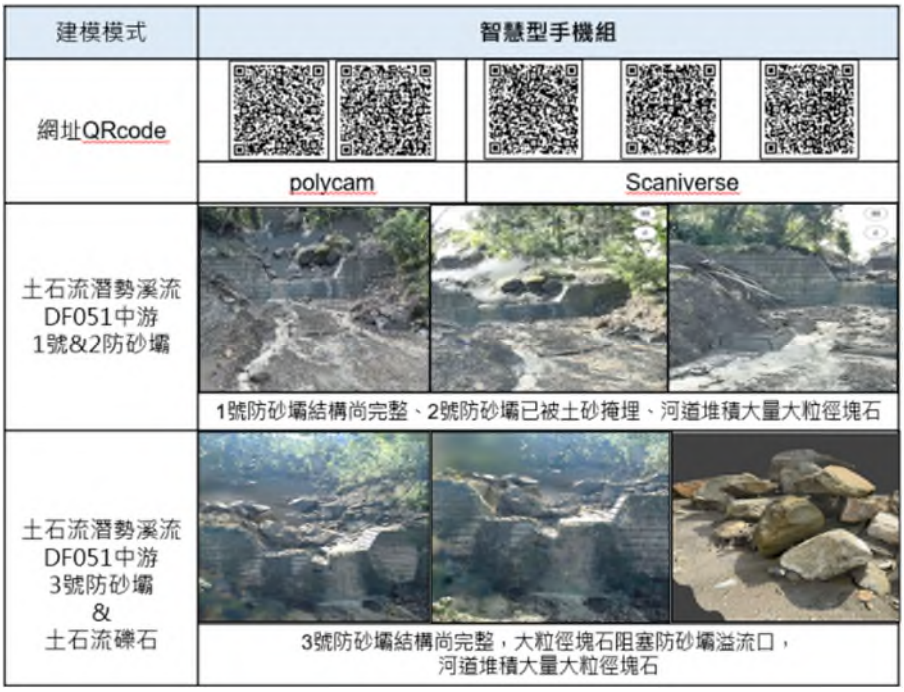


圖 2-24 土石流潛勢溪流中游 3D 建模成果(1)

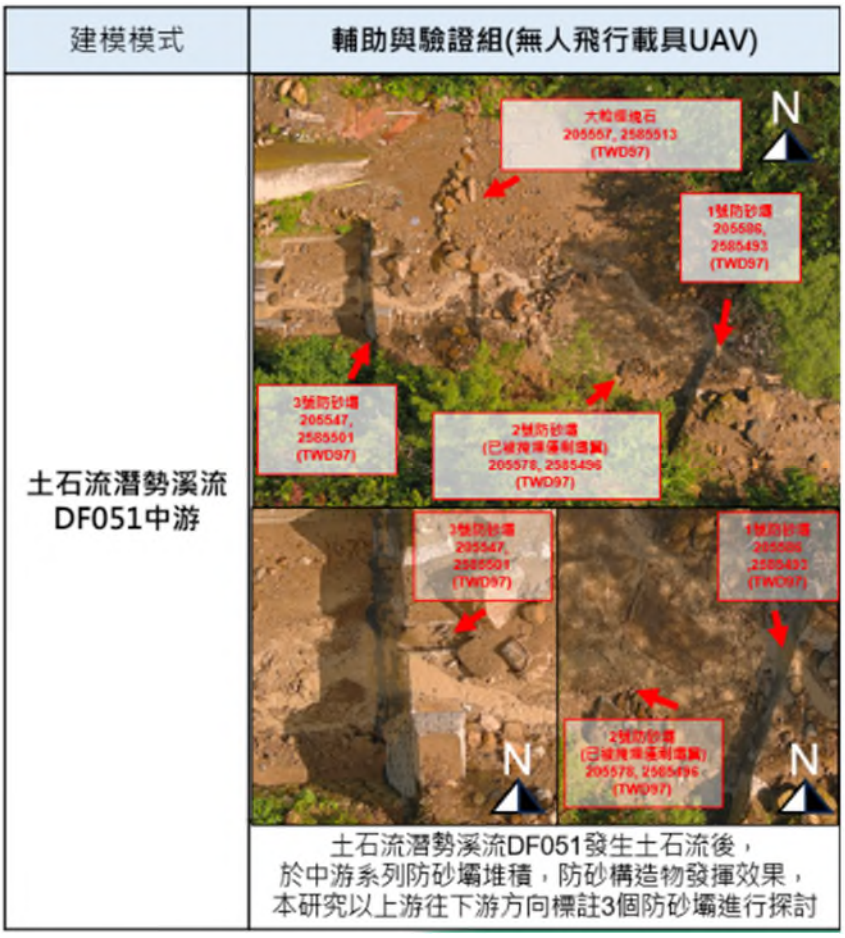


圖 2-25 土石流潛勢溪流中游 3D 建模成果(2)

建模模式	智慧型手機組
三維尺寸	驗證尺寸(m) 1.1號防砂壩壩頂長:6.49m 2.1號防砂壩壩長:10.54m 3.2號防砂壩右岸壩翼長:95cm 4.3號防砂壩壩頂長:6.12m 5.3號防砂壩壩頂寬:2.10m
驗證模型 1號防砂壩 & 2號防砂壩	 1號&2號防砂壩成果 手機相較UAV驗證尺寸相差約2.4-4.6%(1號壩)、1.7%(2號壩)
驗證模型 3號防砂壩	 3號防砂壩成果 手機相較UAV驗證尺寸相差約0.3-1.2%

圖 2-26 土石流潛勢溪流中游 3D 建模量化分析成果(1)

建模模式	輔助與驗證組(無人飛行載具UAV)
三維尺寸	驗證尺寸(m) 1.1號防砂壩壩頂長:6.334m 2.1號防砂壩壩長:11.051m 3.2號防砂壩右岸壩翼長:96.7cm 4.3號防砂壩壩頂長:6.140m 5.3號防砂壩壩頂寬:2.074m
驗證模型 1號防砂壩	
驗證模型 2號防砂壩	
驗證模型 3號防砂壩	

圖 2-27 土石流潛勢溪流中游 3D 建模量化分析成果(2)

<table>
<tr><th>建模模式</th><th>智慧型手機組</th></tr>
<tr><td rowspan="2">三維尺寸</td><td>現場尺寸(m)</td></tr>
<tr><td>1.1號防砂壩壩高(至壩翼):3.45m
2.2號防砂壩壩高(僅剩壩翼):37cm
3.1號與2號防砂壩間儲砂面積:72m²
4.1號與2號防砂壩壩高差現況:3.08m</td></tr>
<tr><td>1號防砂壩
&
2號防砂壩</td><td>
1號&2號防砂壩結構露出部分高差3.08m，兩者之間儲砂面積72m²
災後預計2號壩已攔阻216m³土砂量體</td></tr>
<tr><td>3號防砂壩
&
大粒徑塊石</td><td>
3號防砂壩溢流口堆積粒徑73cm塊石，上游堆積約粒徑2m塊石
現場經整理後堆疊土石流堆積之粒徑約0.8-1.5m系列塊石</td></tr>
</table>

圖 2-28 土石流潛勢溪流中游 3D 建模量化分析成果(3)

土石流潛勢溪流上游崩塌地部分，本計畫研究以 UAV 拍攝之空中照片結合手機進行 3D 建模，利用手機建模軟體-polycam 之照片攝影測量法進行大範圍面積建模，其成果可發現上游崩塌發生後，目前尚有土砂堆積於崩塌地坡腳，且土砂順著蝕溝往下游方向淤積於河道。其二於崩塌地之坡腹至坡腳位置，目前坡面上有三條以上蝕溝產生，使得降雨逕流集中於各蝕溝並持續將土砂向下游輸送並匯集於主河道，現調成果顯示坡面土砂仍處於不穩定狀態，仍有崩塌土砂持續向下游運移的風險。本研究以 polycam 軟體量化現場 3D 模型成果，因上游崩塌地是利用 UAV 影像匯入 polycam APP 後以攝影測量法產製三維資料，其需使用鄰近特徵物進行相對比例尺校正得到三維資料，因此本計畫研究以距上游約 215m 下游處之航空布標(1m*1m)進行整體崩塌地尺寸換算。手機量測之崩塌地面積為 66,320 m²、長度 535.8

m、寬度 122m，而 UAV 影像量測之崩塌地面積為 60,101 m^2、長度 521 m、寬度 120 m，兩者影像驗證尺寸差異值分別為崩塌長度約 11%、崩塌寬度約 1.6%、崩塌面積約 9%，其成果相當接近。由手機與 UAV 的量化成果比對來看，目前在崩塌面積、長度和寬度誤差不大，因此後續對於現地量測土砂量體時，建議當場域較小時，可直接以手機量測於現場立即可完成三維數值量化分析 (圖 2-29 至圖 2-32) 。

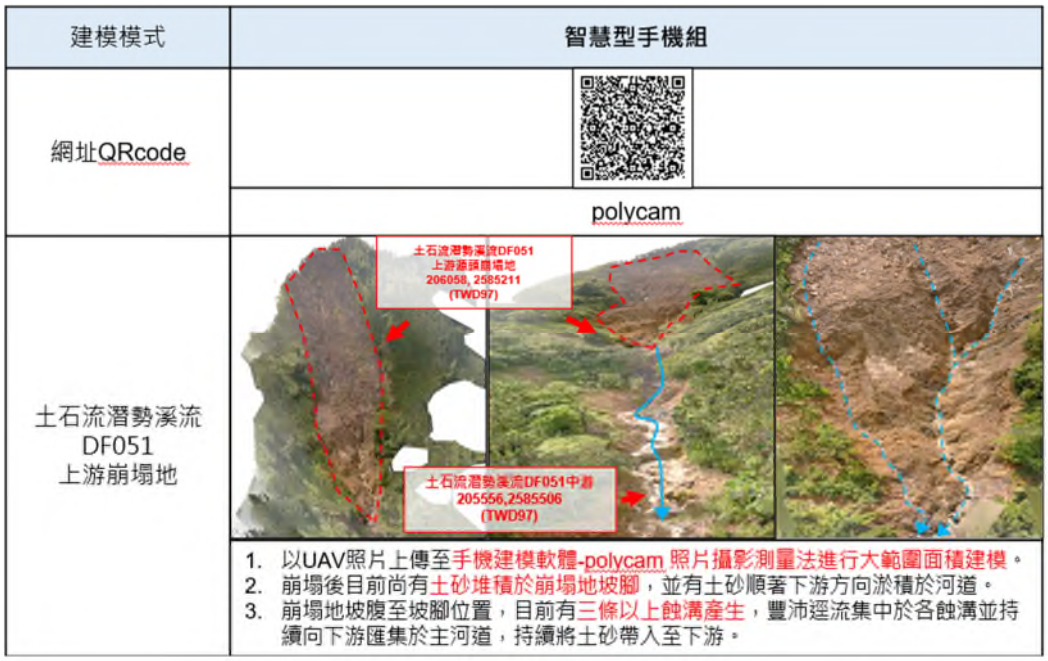


圖 2-29 土石流潛勢溪流上游崩塌地 3D 建模成果(1)

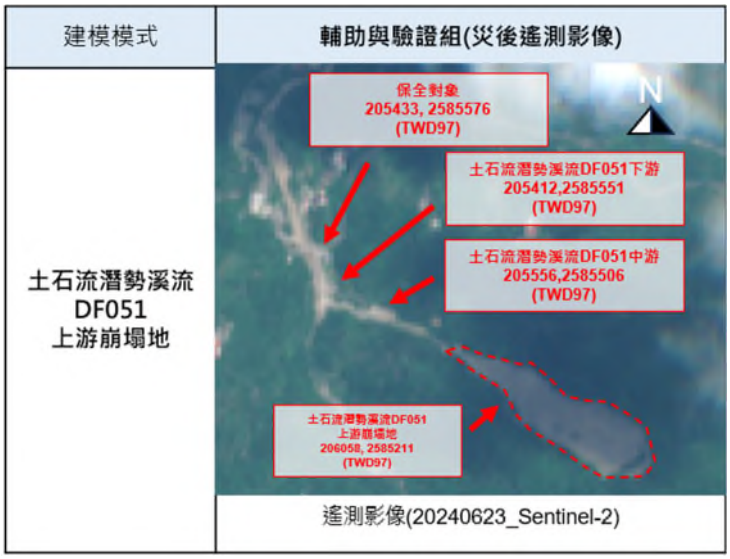


圖 2-30 土石流潛勢溪流上游崩塌地 3D 建模成果(2)

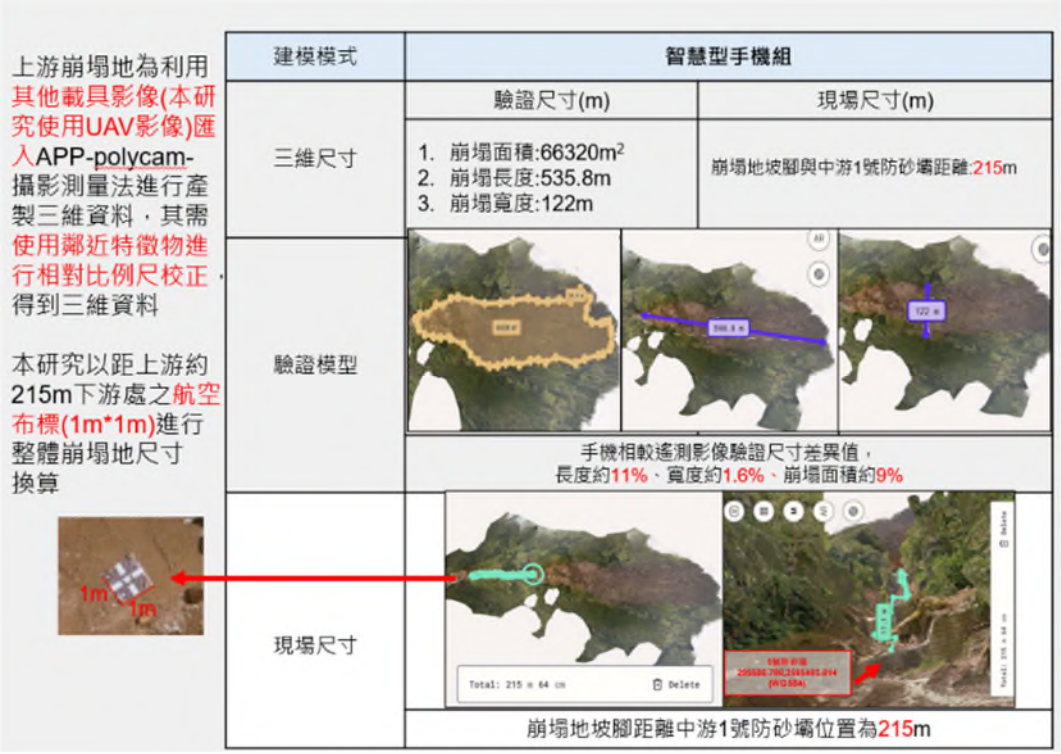


圖 2-31　土石流潛勢溪流上游崩塌地 3D 建模量化分析成果(1)

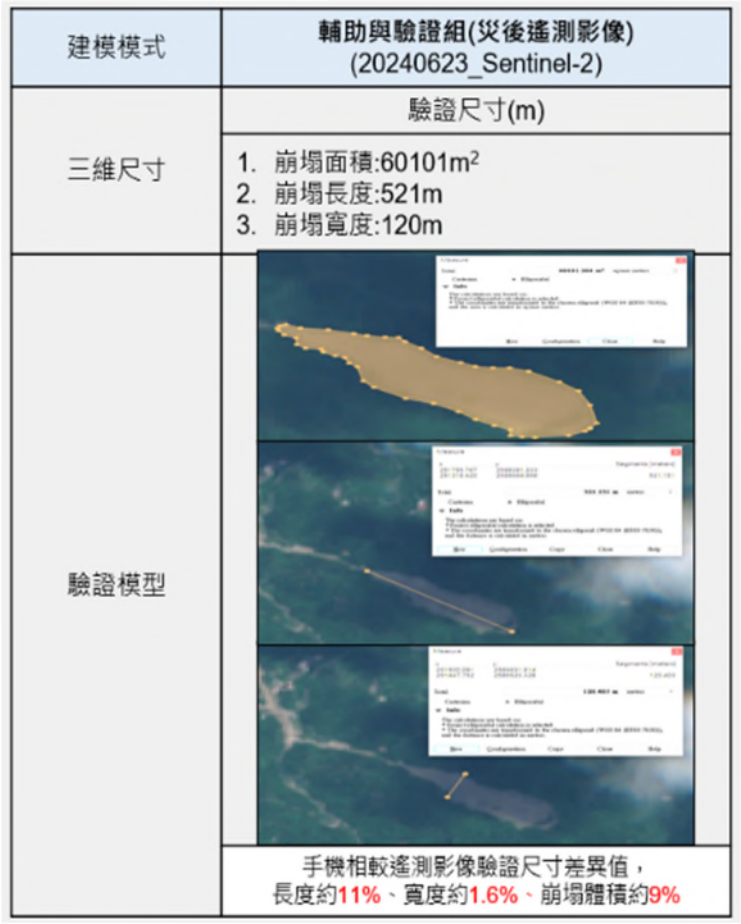


圖 2-32　土石流潛勢溪流上游崩塌地 3D 建模量化分析成果(2)

(二) 土砂災害之防災規劃應用

本項研究以嘉義縣中埔鄉中崙村土石流潛勢溪流-嘉縣-DF051 進行災後集水區調查成果為例，將智慧型手機建立之 3D 模型導出點雲與模型資料，並以桌機端開源軟體的應用與加值分析，其中開源軟體類型分別為點雲軟體 cloud compare、繪圖軟體 FreeCAD 與地理資訊軟體 QGIS，分別完成點雲分析、繪圖規劃與地理位置定位工作(圖 2-33)。

圖 2-33 匯出模型之手機應用程式與桌機端開源軟體

在手機照片攝影測量法成果分析部分，分別使用高斯潑濺法與 LiDAR 掃描測繪法檢視可匯出之點雲與模型格式提供參考，兩者均具有相同的點雲與模型檔案格式供分析使用，其中本研究採用點雲格式為 PLY 與 LAS 格式進行應用分析。(圖 2-34)

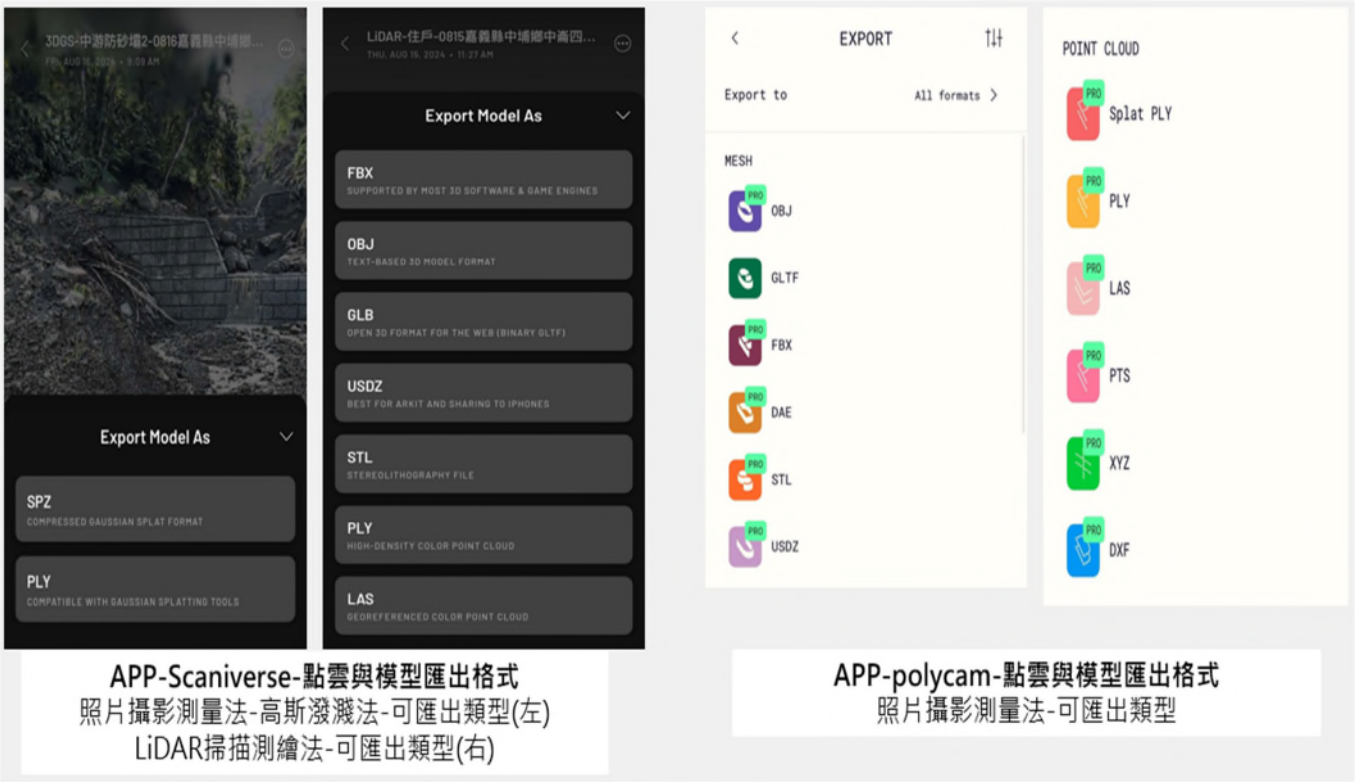


圖 2-34 手機應用程式可匯出之點雲與模型格式

在手機資料結合點雲軟體 cloud compare 應用部分，將手機點雲資料匯入點雲軟體後，其相容於點雲軟體並可展示整體三維成果環境，再進一步執行三維資料的量化分析，不論是保全對象的淤埋狀況、防砂構造物完整性與土砂堆積狀況等均可進行量測。(圖 2-35)

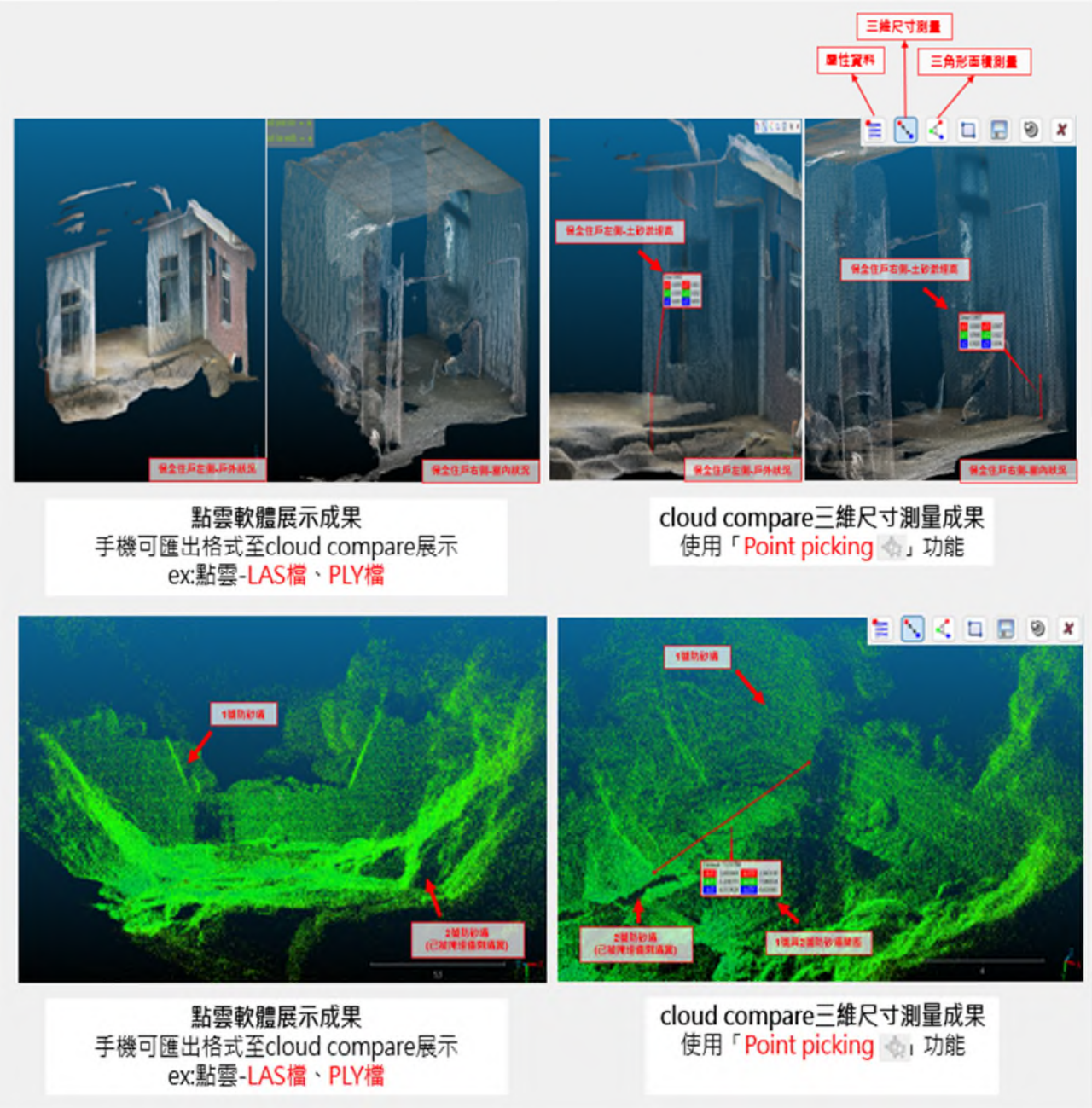


圖 2-35 手機 3D 模型於點雲軟體 cloud compare 應用方式

另外針對手機點雲資料匯入點雲軟體 cloud compare 後，可進行縱橫斷面成果提取，針對土石流的起伏地形選擇所需的位置進行縱斷面、橫斷面與多個橫向縱斷面的自動提取展示，呈現真實的溪流地形狀況，並可進一步匯出相容格式如 DXF 至適用的繪圖軟體進行應用。(圖 2-36)

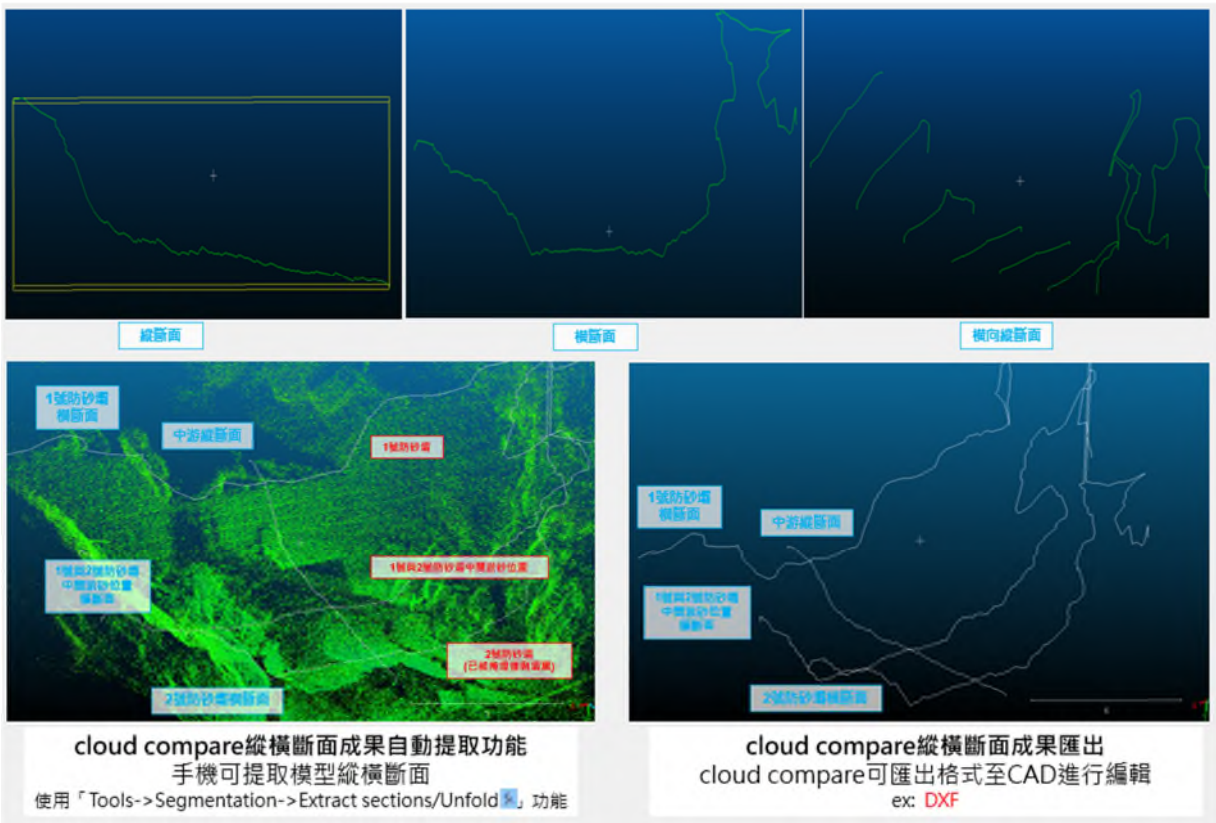


圖 2-36 點雲軟體 cloud compare

自動取出手機 3D 模型之縱橫斷面成果

繪圖軟體 FreeCAD 的應用部分，手機 3D 模型之縱橫斷面成果可匯入至繪圖軟體進行使用與編輯，得到整體溪流各斷面的真實地形狀況，例如河道長度、河道高差、河道縱向淤砂坡度、河道寬度、通洪斷面高、河道縱向坡度與河道坡面坡度等資料，進而提供防災規劃的參考依據。(圖 2-37)

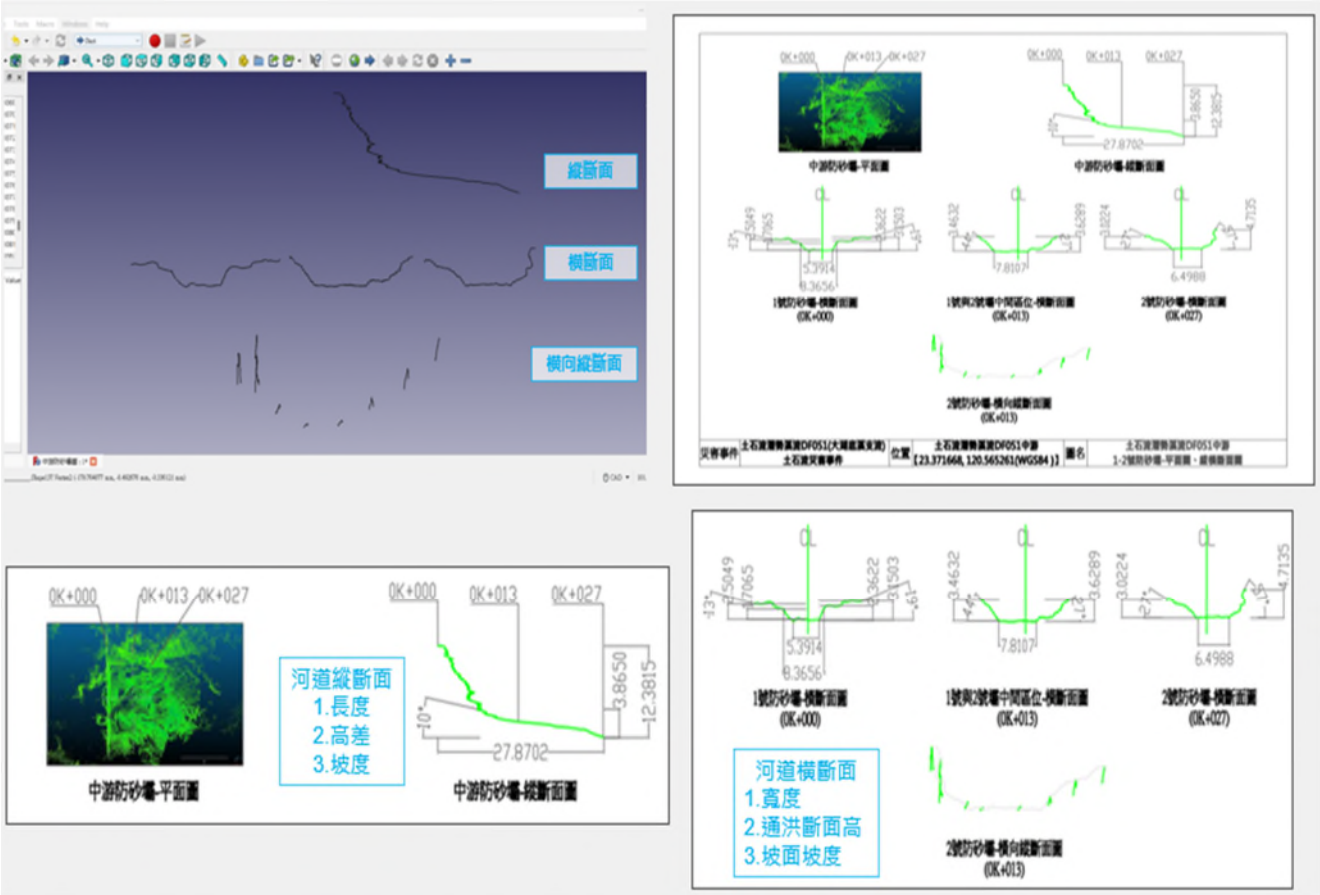


圖 2-37 手機 3D 模型於繪圖軟體 FreeCAD 之繪圖成果

地理資訊軟體 QGIS 的應用部分，本研究以 LiDAR 掃描測繪法與照片攝影測量法兩種方式產製之模型進行 QGIS 的套疊應用，以 LAS 檔案格式套疊成果顯示，因 LiDAR 掃描測繪法的成果其點雲附加 GPS 參數，因此可正常顯示地理位置。本研究以災害的保全對象與中游大粒徑塊石進行探討；在照片攝影測量法(高斯潑濺法)的成果部分，利用 PLY 檔案格式套疊顯示，因其係利用生成式 AI 方式產製

模型而無附加 GPS 參數，因此坐標成果明顯錯誤，無法顯示實際地理位置，無法進一步使用於地理資訊應用。(圖 2-38)

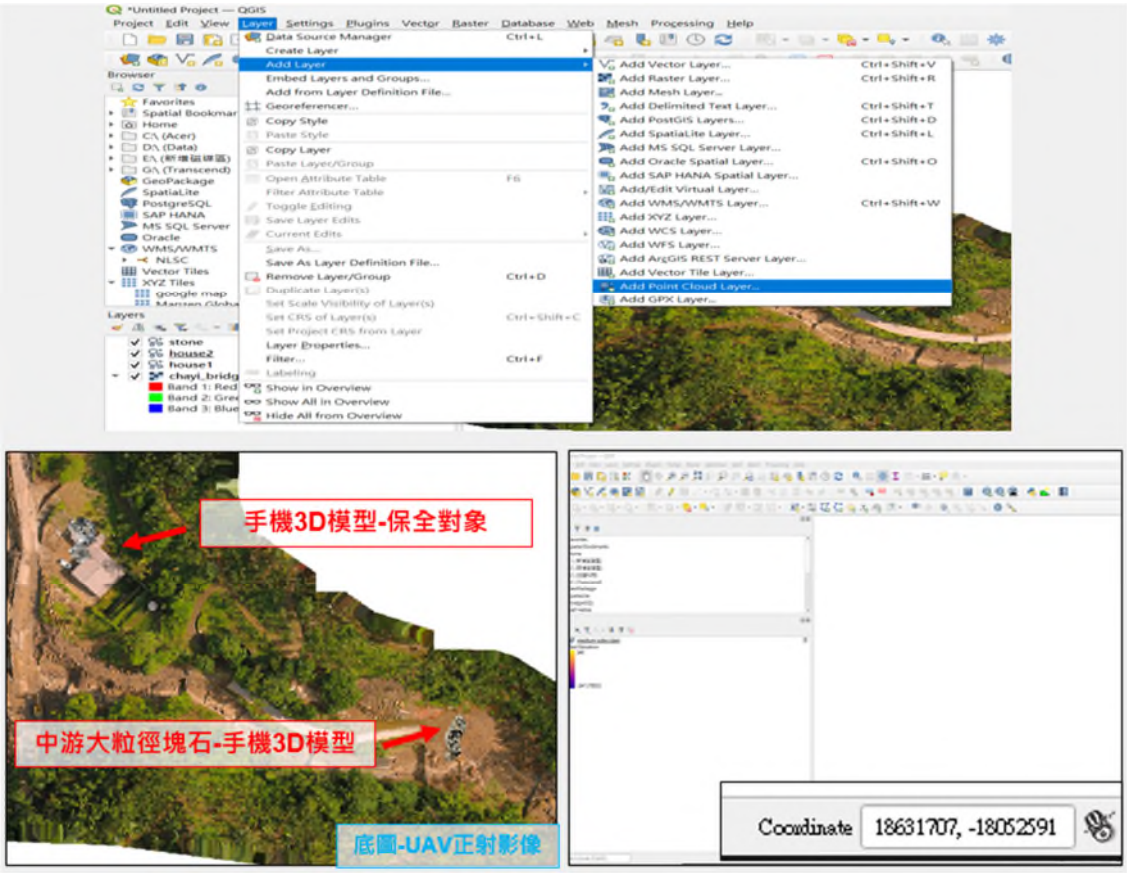


圖 2-38 手機 3D 模型於地理資訊軟體 QGIS 之套疊成果

(LiDAR 掃描測繪法(左)、照片攝影測量法(右))

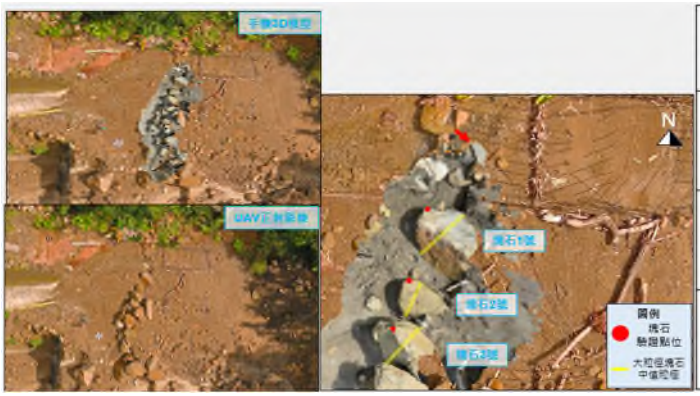
由前述成果可知，LiDAR 掃描測繪法成果具有較佳的地理位置精度，以嘉縣 DF051 的保全對象 3D 模型成果為例，因該模型僅能使用附加 GPS 的手機點雲，與具有 RTK 控制點校正後的 UAV 正射影像比較，其坐落位置明顯有偏移的狀況。以圖片標定點位為例，X 坐標方向差異最小為 0.215m，Y 坐標方向差異最小為 5.005m，斜距差異 5 至 7m，兩者位置成果差異極大。(圖 2-39)

位置	工具	X (m) (TWD97)	Y (m) (TWD97)	點位斜距 (m)	差異值 (m)
紅色房屋左側屋角	手機	205423.011	2585579.668	7.663	X: 0.215 Y: 7.602 斜距: 7.663
	UAV	205423.226	2585572.066		
白色房屋左側屋角	手機	205428.729	2585583.789	5.067	X: 0.784 Y: 5.005 斜距: 5.067
	UAV	205429.513	2585578.784		

圖 2-39 LiDAR 掃描測繪法之 3D 模型-保全對象

於地理資訊軟體 QGIS 之套疊成果

另外以中游大粒徑塊石為例，亦僅能使用附加 GPS 的手機點雲，與具有 RTK 控制點校正後的 UAV 正射影像比較，成果有稍微偏移的狀況，且位於空曠處。以圖片標定點位為例，X 坐標方向差異最小為 0.145m，Y 坐標方向差異最小為 0.338m，粒徑差異 0.008m，成果亦是有所差異。(圖 2-40)



位置	工具	X (m) (TWD97)	Y (m) (TWD97)	中值粒徑 (m)	差異值 (m)
塊石1號	手機	205558.241	2585518.700	1.490	X: 0.145 Y: 0.517 斜距: 0.010
	UAV	205558.096	2585518.183	1.500	
塊石2號	手機	205557.859	2585517.393	0.903	X: 0.319 Y: 0.421 斜距: 0.053
	UAV	205557.540	2585516.972	0.956	
塊石3號	手機	205557.487	2585516.280	1.135	X: 0.492 Y: 0.338 斜距: 0.008
	UAV	205556.995	2585515.842	1.127	

圖 2-40 LiDAR 掃描測繪法之 3D 模型-大粒徑塊石

於地理資訊軟體 QGIS 之套疊成果

上述兩處標的物套疊成果顯示，目前手機 LiDAR 掃描測繪法所附加 GPS 參數，其 3D 模型仍存在有實際地理位置之偏差，但由於兩處都位於嘉縣 DF051 集水區內，推測可能受到網路通訊、信號異常或是障礙物導致其 GPS 定位訊號受到干擾，係以兩處套疊成果在 Y 坐標方向差異較大。因此本研究蒐集目前手機建模常用之地理位置呈現的方式，提供參考建議。

一、 APP 內建單點坐標 2D 地圖模式

以 APP-Scaniverse 為例，以單點坐標顯示於 2D 地圖，另開視窗展示 3D 模型。

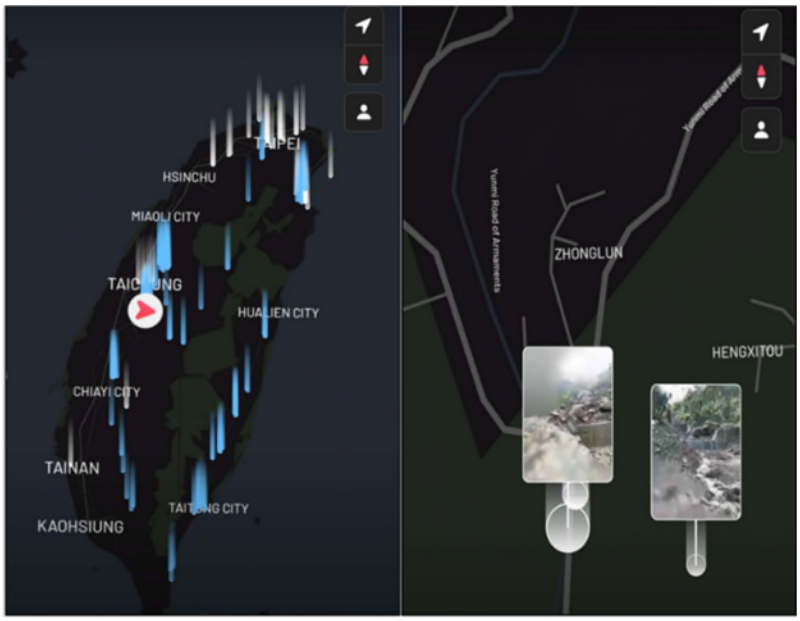


圖 2-41 手機 3D 模型地理位置展示方式(1)

APP 內建單點坐標 2D 地圖模式

二、 單位機關建立單點坐標 2D 地圖模式專頁

以農村水保署技研平臺-3D 建模成果為例，以單點坐標顯示於 2D 地圖，另開視窗展示 3D 模型。

圖 2-42 手機 3D 模型地理位置展示方式(2)

單位機關建立單點座標 2D 地圖模式專頁

三、 免費 3D 地理資訊圖台

以 CESIUM-ion 為例，將擁有地理坐標之 3D 模型定位於地理資訊 3D 圖台進行展示。

圖 2-43 手機 3D 模型地理位置展示方式(3)

(免費 3D 地理資訊圖台手機定位輔助器提升模型定位精度)

本研究在手機建模時搭配使用手機定位輔助器，其可將 GPS 定位等級提升至 GNSS 定位等級後，以南投塔羅灣溪廬山吊橋處邊坡調查研究成果為例，在搭配手機定位輔助器進行定位與建模，並與衛星定位儀量測成果比較差異值，手機之即時動態定位(RTK)以固定解方式量測，其三維座標之差異值為最低 6cm，手機之即時動態定位(RTK)以浮動解方式量測，其三維座標之差異值最低 15.7cm，可在土砂災害調查時進行使用 (圖 2-44) ，本項研究成果已由李哲宇等人 (2024) 發表於第 42 屆測量及空間資訊研討會，篇名為「多元智慧型手機測繪方法於土砂災害現場建置三維資料之應用探討」，詳技術研究發展平台。

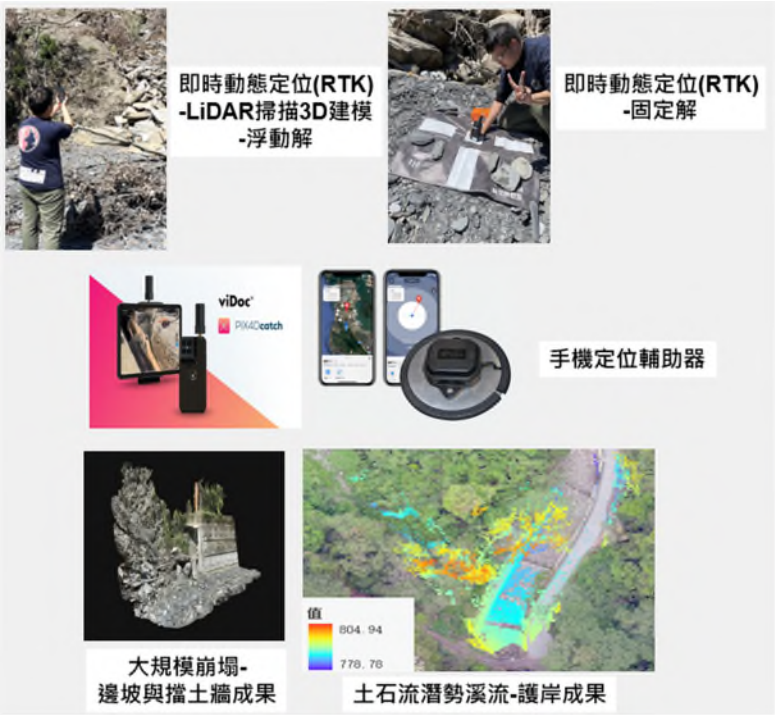


圖 2-44 手機 3D 模型地理位置展示方式(4)

手機定位輔助器提升模型定位精度

四、 結論與建議

本計畫針對研究成果提出以下結論與建議:

1. 針對調查目標,利用 360 環景可了解局部廣域的地物與地貌狀況,除可搭配正射影像互相比對得到相對位置外，其相較過去需使用專用 360 環景相機拍攝或從平面圖辨識，可大幅提升效率，提供情資研判。
2. 針對調查場域使用智慧型手機與相關應用程式進行土砂災害現場特定標的物調查，依嘉縣 DF051 土石流災害成果顯示，手機除具便利性外，更可於現場即拍即完成建模與量化分析。針對嘉縣 DF051 整體集水區完整調查包含：上游崩塌地、中游、下游及保全對象處，均可完整展示現場環境 3D 場景，並進一步量化土砂災害現場狀況，如土砂淤積高度、防砂構造物淤砂量、上游崩塌

三維資料 (結合 UAV 影像成果)。因其攜帶方便，能夠現場快速產製成果，對於未來在偏遠山區進行土砂災害調查作業，可做為提升作業效率的新選擇。

3. 手機建立之 3D 模型三維資料，利用 UAV 航拍資料進行檢核點位置之尺寸驗證，結果顯示，與 UAV 檢核點位置比對其最低差異比率為 0.2%、最高為 4.6%。另外，對於上游崩塌地與 UAV 影像進行比較，其長度約 11%、寬度約 1.6%與崩塌體積約 9%的差異比率。目前手機調查方式相較過去需攜帶多種工具才能完成現地調查任務，以手機所達成的調查成果而言，其具體展現出提高防災應用所需的各項便利、快速、即時性等功能。
4. 智慧型手機可匯出多種 3D 點雲與模型格式，至桌機端開源軟體進行加值應用時，針對點雲應用、繪圖規劃應用、地理資訊應用等面向均可進行多元使用。在點雲應用方面可以計算 3D 模型的三維尺寸與進行縱橫斷面資料匯出；繪圖規劃應用方面可以匯入 3D 模型資料進行展示與編輯 2D 圖面，得到各斷面真實地形之尺寸、高度與坡度；地理資訊應用方面，LiDAR 產製之模型可顯示實際地理位置，但攝影測量法無法顯示實際地理位置。其中 LiDAR 模型與 UAV 進行檢核點驗證比較，成果顯示位置有明顯偏移，其絕對位置差異值最小為 14.5cm，最大約為 5m，另外相對位置進行驗證最小為 0.8cm。本研究成果顯示，智慧型手機產製 3D 模型未來具有眾多的應用空間。
5. 3D 模型地理位置資訊展示部分，可進一步應用單點座標 2D 地圖模式、免費 3D 地理資訊圖台進行適合的展示方式，或建議可利用高精度之手機定位輔助器進行測繪，以提高 3D 模型於地圖的

定位精度。

6. 智慧型手機產製 3D 模型時，拍攝位置仍需以人員可到達且挑選可取像完整的位置，如需產製上游較難到達之位置(如崩塌地)，則需依靠其他儀器(如 UAV)進行取像後匯入手機產製，建議未來針對現場無法到達之位置時，以輔助角度結合其他儀器產製之影像進行快速建模而得到成果。
7. 智慧型手機未加裝手機定位輔助器測繪時，依研究結果顯示，較適用於相對位置之三維資料應用，絕對位置之三維資料尚需探討絕對位置校正方式或精度提升方法。
8. 智慧型手機建模方式影響部分，僅 LiDAR 測繪的方式可顯示實際地理位置，但使用照片攝影測量法則無法顯示實際地理位置，建議未來針對攝影測量法可深入探討地理位置定位方式。
9. 利用其他儀器影像匯入智慧型手機進行 3D 模型建置時，需注意其為利用相對比例尺進行量化的特性，取像周遭需盡量包含具有相對比例尺以提供量化的特徵物(如房屋、車子、道路)；另因建模時需利用雲端上傳進行製作，於現場時需選擇適當的網路環境進行作業。
10. 在 3D 模型建置作業時，建議未來可嘗試比較不同機型(如 iPhone 與 iPad、iPhone 12 pro 與 iPhone 15 pro 等)建模方法與成果比較。

第三章 盤點歷年土砂防災技術與研究成果

第一節 農村水保署委辦及研究計畫成果盤點

農村發展及水土保持署歷年土砂防災技術與研究成果相當豐碩，依據農村水保署「資料管理平台」之資料供應種類劃分為：核心資料、現地調查資料、國土利用現況調查、災害事件觀測資料、長時觀測資料、大規模崩塌開放資料等類別，各類別資料格式可分為：向量型態、影像型態、數值型態等資料格式，並依平台收納方式分為開放資料、依申請提供資料、業務統計、API 服務等四大類。

因過往歷史報告多為紙本檔案，近年研究成果報告書則為 WORD 型式及 PDF 型式之電子檔案，但各項現地調查資料於報告書之呈現多為表格型式或圖面型式，未符合數位化數據文件格式 (如 CSV、RDF、XML、JSON 等)，且數位化之數據文件尚需經資料結構化處理，其數據文件除人類可讀外，並為開放格式且機器可讀資料 (Machine readable data)。

再者，依據國發會「行政院及所屬各級機關政府資料開放作業原則 (院授發資字第 1081500073 號 函)」之規定，行政院及所屬各級機關 (以下簡稱各機關) 為極大化開放政府資料，以政府資訊公開法為基礎，推動政府資料以開放格式、機器可讀且具一定品質方式提供外界使用，結合民間資源及創意，達成施政便民及公開透明之目的。

因此，本項盤點工作為將資料彙整與數據數位化，作為後續開放資料使用，達到基礎資料有效整合、加值、共享目標，俾利民眾共享與應用並促進及活化政府資料應用。其中在資料數據數位化與檢核上，則探討各計畫產出資料標準並研擬數值資料格式，據以訂定「數值資

料格式範本」，供水土保持基礎資料上傳整合。

一、 盤點工作範圍

(一) 農村水保署委辦及研究計畫成果

本計畫檢視農村水保署歷年委辦與研究案件成果，對於水土保持各項基礎資料進行盤點，本項資料盤點工作主要為現地資料 (包含河川水理、雨量站、地質鑽探、地電阻、斷面樁、河床質、橫斷面、K 值、R 值、沖蝕針、土壤力學參數等) 盤點和彙整，並將其數據數位化以收納數值資料，作為訂定資料共通性標準和數值資料標準化格式與規範依據 (圖 3-1)。

圖 3-1 資料盤點任務

因此，資料盤點作業由蒐整歷年委辦計畫成果著手，依資料格式、細項檢核、資料補遺、核心圖資檢核、數據數位化等程序執行，再將資料分門別類為開放資料、核心資料、基礎資料、向量資料、影像資料等，據以上傳至農村水保署電子圖書管理中心，並就該年度盤點資料提出相關基礎資料標準化規範與格式，其工作項目規劃與盤點流程，如圖 3-2 所示。

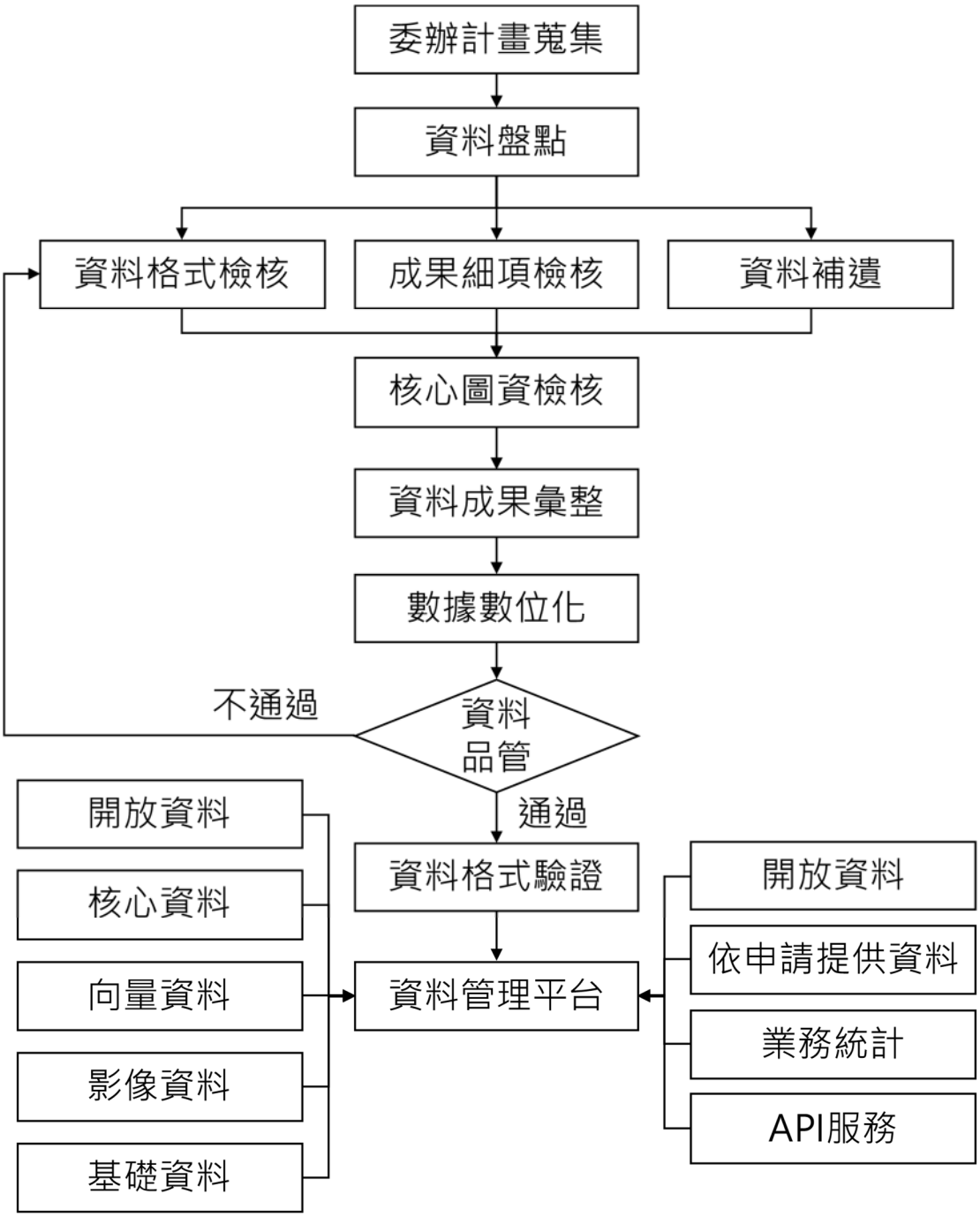

委辦計畫蒐集
資料盤點
資料格式檢核
成果細項檢核
資料補遺
核心圖資檢核
資料成果彙整
數據數位化
不通過
資料
品管
通過
開放資料
核心資料
向量資料
影像資料
基礎資料
資料格式驗證
資料管理平台
開放資料
依申請提供資料
業務統計
API服務

圖 3-2 資料盤點流程圖

本項資料盤點為延續性工作項目，持續蒐整前一年度 (112 年)農村水保署電子圖書管理中心資料庫之委辦和研究計畫成果，各年度統計計畫數量如表 3-1 歷年委辦及研究計畫數量統計所示。盤點歷年自 97 年至 112 年期間為止之委辦與研究案共計 3,525 件，平均每年約 200 件委辦計畫，其中部分委辦計畫成果未包含水土保持基礎資料、核心圖資、向量或影像資料，初步篩選包含基礎資料與可後續加值應用之計畫案共計 128 件。以計畫性質可分為前瞻基礎建設計畫第 4 期特別預算、山坡地農路改善、平地農路改善、整體性治山防災、氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫、農村再生社區發展及環境改善、農村規劃及培力等 7 大類別。其中以整體性治山防災計畫盤點數量 83 件最多，次之為氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫盤點數量共 40 件。

表 3-1 歷年委辦及研究計畫數量統計

年度	97	98	99	100	101	102	103	104
總數量	158	311	215	189	219	201	227	209
年度	105	106	107	108	109	110	111	112
總數量	214	242	224	235	221	222	216	232

(二) 委辦計畫成果盤點工作項目說明

因農村水保署資料整合因素，過去 97 年至 111 年部分盤點資料項目，於計畫各階段成果資料上傳時可直接上傳至對應平台，如部分盤點資料項目已直接由「電子圖書管理中心」上傳並同步於「資料管理平台」、災害照片類收錄於「歷史影像平台」、UAV 影像與加值產品則收錄於「UAV 成果上傳平台」、遙測影像類則收錄於「多元遙測影像平台」，因此過往部分盤點項目已不再需要進行資料盤點。本計

畫於上年度（112 年）整合資料項目為 26 項，主要依報告格式、現地資料、觀測資料與其他資料等分類，如表 3-2 委辦計畫成果盤點工作項目彙整表所示。今（113）年度延續去年調整後之盤點項目，繼續進行盤點工作。

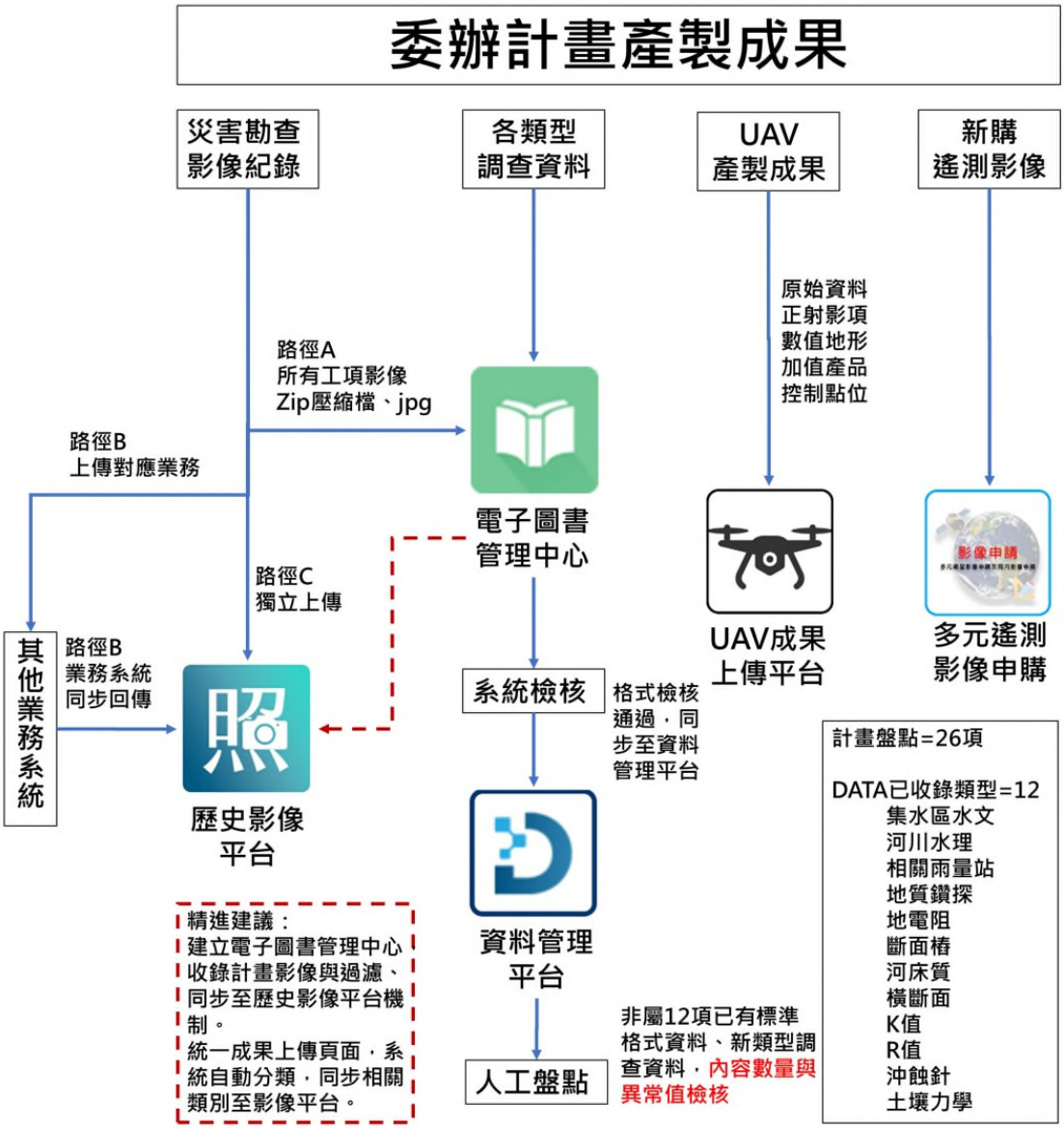


圖 3-3 委辦計畫各類成果上傳平台路徑

表 3-2　委辦計畫成果盤點工作項目彙整表

編號	盤點項目 (單位)	類別	內容說明
1	電子書圖書中心資料各期報告收錄完整性	報告格式類別	電子書圖書中心資料各期報告收錄是否完整
2	成果報告書格式 PDF 內容		成果報告書格式 PDF 內容是否有誤
3	水理資料	現地資料類別	是否有收錄水理資料(如重現其洪峰流量等)
4	雨量站資料		是否有他機關建立之雨量站
5	地工試驗資料		是否有地工試驗與貫入試驗
6	地電阻		是否有地電阻資料
7	河床質調查		是否有完整河床質資料
8	橫斷面		是否有完整橫斷面資料
9	K 值		是否有土壤沖蝕 K 值資料
10	R 值		是否有土壤沖蝕 R 值資料
11	沖蝕針		是否有沖蝕針量測資料
12	土壤力學參數		是否有土壤力學參數資料
13	雨量計	觀測資料類別	自建之雨量站資料
14	土壤含水計		自建之土壤含水計資料
15	水位計		自建之水位計資料
16	流速計		自建之流速計資料
17	濁度計		自建之濁度計資料
18	監測	其他資料類別	是否有進行土石流、大規模崩塌之監測工作
19	崩塌儀器		地下水位計、傾斜儀、伸縮計、GPS 變位、地表位移樁
20	迴歸公式		是否有迴歸公式
21	土砂產量估算(土砂收支)		是否有土砂產量估算
22	地表地質調查		是否有進行地表地質調查
23	教育訓練		是否有執行教育訓練
24	出版品		是否有專書、摺頁、海報、影片、微電影
25	值得進資料平台的圖資		是否有產出新的空間資訊圖資，如 GIS 圖資、KML 圖資
26	特殊分析技術		其他有特別可以紀錄的內容或是技術如聲納探測、雨滴頻譜儀、海事衛星通訊、地聲探測

二、 盤點成果彙整分析

97 年至 112 年委辦及研究計畫成果，扣除農村建設組、秘書室、國會小組等計畫共計 2,422 件委辦及研究計畫成果，為掌握歷年計畫案產出成果，農村水保署減災監測組資料治理科陸續將過往盤點資料進行資料數據數位化作業，包含集水區水文、河川水理、雨量、地質鑽探、現地試驗、地電阻、斷面樁、河床質、橫斷面、K 值、R 值、沖蝕針、土壤力學等資料，累計已彙整 97 年至 112 年現地調查資料，共計 8,414 筆並公開於農村水保署「資料管理平台」供各界閱覽及下載使用。

現地調查資料在呈現上，考量各計畫研究區域、調查時間及空間分布關係，以年度、縣市、關鍵字、空間範圍等查詢方式，以利使用者進行檢索查詢 (如圖 3-4)。目前本計畫在資料盤點成果，可以概略分成：空間資訊類、現場調查 (監測) 資料類、數值模式類、集水區相關類、加值應用類、教育訓練與出版品 (專書、海報、影片) 等六大類，如表 3-3。有關空間資訊類，目前已由 UAV 成果上傳平台檢核各委辦計畫產製成果，並串接於 BigGIS 平台，故於 112 年度起，已不再進行盤點此類別成果。有關數值模式類，因各委辦計畫所使用之商業或開源數值模式各異，其產製之成果多為圖片檔，後續並無法加值再利用，故於 112 年度起，已不再進行盤點此類別成果。

表 3-3　資料盤點成果類別

類別	項目
空間資訊 (不再盤點)	航遙測影像、UAV 影像、Red Relief Map、CS Map、HOST Map
現場調查(監測)資料	雨量、流量、地下水、鑽探、地電阻
數值模式 (不再盤點)	降雨逕流水文模式、水理模式、邊坡穩定模式、降雨入滲模式、土石流模式
集水區相關	河床質、斷面測量、水文資料、 生態調查(不盤點，保育治理組管理蒐集)
加值應用	DSM、三維模型、環景影像
教育訓練與出版品	專書、海報、影片

圖 3-4 資料管理平台-現地調查資料查詢

將針對各項目盤點進行統計，於各年度盤點前一年度之各單位項

目，此成果因 112 年度進行盤點項目更動，將直接由「電子圖書管理中心」上傳並同步於各平臺之資料進行移除，歷年盤點統計結果如(表 3-4)。

歷年盤點統計結果如 (表 3-4) 中可顯示，於 97 年至 111 年統計之「電子書圖書中心資料各期報告收錄完整性」項目中，共計 1591 筆資料符合規定格式，而今年盤整(112 年)之 128 冊資料中，共計 100 冊符合，28 冊不符合，經由人工追朔後，共計 105 冊符合，23 冊不符合，其不符合之錯誤樣態包括：缺少階段成果報告書、缺少階段成果簡報、缺少摘要報告書等；於 97 年至 111 年統計之「成果報告書格式 PDF 內容」項目中，共計 1392 冊符合相關格式，而今年盤整(112 年)之 128 冊資料中，共計 69 冊符合，59 冊不符合，經由人工追朔後，共計 84 冊符合，44 冊不符合，其不符合之錯誤樣態包括：無封面、無附錄資料、無摘要資料、缺少部分附錄等。

此外，對於舊有報告書之數據資料數位化與檢核過程，經由人工及系統比對後發現，仍有因紙本破損致不易辨識、數據資料無單位、空間坐標需轉換等問題，其皆需由人工逐筆進行校核作業，以校正數值繕誤、數值異常、系統展示空間錯位等情況。相關盤點成果與問題於彙整後，提供於各承辦人員並持續提醒承辦單位追蹤並補上符合規定之格式檔案，並建議各承辦人員於驗收時，一併檢查委辦廠商繳交之電子檔案，以確保報告書檔案與格式完整性。

表 3-4 細部盤點項目與統計數量

編號	盤點項目 (單位)	97-111 年數量	112 年數量	備註
1	電子書圖書中心資料各期報告收錄完整性	1,591 符合	105 符合	
2	成果報告書格式 PDF 內容	1,392 符合	84 符合	
3	水理資料	231	12	
4	雨量站資料	161	26	
5-1	地工試驗資料-鑽孔資料	67	216	
5-2	地工試驗資料-貫入資料	39	58	
6	地電阻	223	55	
7	河床質調查	406	27	
8	橫斷面	240	126	
9	K 值	-	843	
10	R 值	-	446	
11	沖蝕針	40	0	
12	土壤力學參數	115	188	
13	雨量計	66	49	
14	土壤含水計	-	16	
15	水位計	131	76	
16	流速計	57	13	
17	濁度計	70	47	
18-1	監測-土石流	3	12	
18-2	監測-大規模崩塌	23	36	
19-1	崩塌儀器-地下水位計	236	292	
19-2	崩塌儀器-傾斜儀(地表+地中)	277	469	
19-3	崩塌儀器-伸縮計(地表+地中)	82	97	
19-4	崩塌儀器-GPS 變位	329	478	
19-5	崩塌儀器-地表位移樁	21	52	
20	迴歸公式	53	11	

編號	盤點項目 (單位)	97-111 年 數量	112 年 數量	備註
21	土砂產量估算 (土砂收支)	286	17	
22	地表地質調查	18	30	
23	教育訓練	1412	56	
24	出版品	1,129	14	
25	產出值得進 資料平台的圖資	166	14	
26	特殊分析技術	245	12	

三、 資料管理與維護問題及後續精進方向

資料盤點為延續性工作，由歷年盤點成果與問題探討，已提出相關之資料格式(欄位命名、類型、代碼)、數化資料、地理圖資等建立對應之標準格式範本，並提出平台系統方面相關改善，如上傳流程優化、外部系統同步機制、格式檢核機制等建議，協助提升資料上傳便利性與資料正確性。盤點 97 年至 112 年 2,422 件委辦及研究案件成果，其在資料管理與維護相關問題上，可以分為資料成果數值異常、上傳檔案完整性不足等兩大類問題，並對於後續資料管理精進方向提出建議，分述如下：

(三) 資料管理與維護問題

1.資料成果數值異常

對於舊有報告書之數據資料數位化與檢核過程，經由人工及系統比對後發現，仍有因紙本破損致不易辨識、數據資料無單位、空間坐標需轉換等問題，其皆需由人工進行逐筆校核作業，以校正繕打錯誤、數值異常、系統展示空間錯位、成果檔案與報告書數值對應異常等。

再者，經歷年滾動式修正之數值資料標準，其於不同年度公告基礎資料標準格式範本 (表 3-5)，因此，於不同年度間，可能存在數值資料尚未訂定標準格式，其上傳數值資料內容與標準格式有差異情況，係以經系統檢核後仍需由人工進行調整更新作業。

其次，在紙本資料轉換成數位格式過程中，藉由資料格式檢核與正規化處理後，仍有錯誤樣態產生，如紙本數據無法辨認、紙本數據印刷錯誤、資料標準與現行不同等。同時，在電子 PDF 數位成果，亦有數值資料錯置、內容異常、少部分數值資料檔案與報告書內文檔案不一致情形，皆為資料成果數值異常之樣態。

表 3-5　基礎資料標準格式公告年度

年度	基礎資料標準格式範本
109	水文、水理、地電阻、雨量站、表土試驗、鑽探、河床質
110	斷面樁、橫斷面
111	沖蝕針、降雨沖蝕指數(R 值)、土壤沖蝕指數(K 值)、觀測資料(雨量、土壤含水量、水位、流速、濁度) (斷面樁、橫斷面資料格式更新、斷面樁樁號統一編碼)
112	土壤力學參數(整併表土試驗)

2.上傳檔案完整性不足

目前農村水保署在各期報告附錄、簡報、出版品與教育訓練之產出，如海報、摺頁、微電影以及專書等，惟目前各委辦計畫依合約上傳計畫書檔案後，仍會遺漏部分報告附錄、簡報與出版品之相關檔上傳。其次，部分計畫成果涉及優於契約之工項，如額外協助數值模擬、成果加值回饋、增加現地測量或試驗等情況，雖已將成果置於報告書中進行回饋，但因屬於加值回饋，往往不包含原始資料提供。同時盤點過程與系統流程上，目前尚無法區隔優於契約工項之項目，導致盤點統計上可能高估未上傳資料數量。

以 111 年至 112 年現地調查資料上傳件數比對成果為例(表 3-6)，結至 113 年 5 月 31 日第二次資料工作圈前夕，可由承辦同仁與廠商協助更新之現地資料部分，應上傳總數為 79 件，而實際上傳數為 46 件，整體已上傳率僅 58%，顯現整體上傳檔案完整性不足，而經由工作圈及人工協助之後，已於 113 年 6 月 28 日第一次資訊推動小組前夕，將上傳缺漏者全數補正，可見資料檢核及協助上傳之重要性。藉由比對各項資料標準更新、公告年度、計畫執行年度等，將舊計畫成果中，可由承辦同仁與廠商協助更新部分，之資料缺件統計表。藉由

檢核資料類別與標準更新年度後，盤整之資料缺件統計表有助於資料管理工作圈中進行討論其類別、格式與內容，並建議由工作圈過濾加值且非屬成果項目 (可能為計畫優規成果)，釐清適用資料類別與格式後，可大幅降低標準格式成果缺件數量，提升資料完整性。

表 3-6　委辦計畫現地調查資料上傳件數比對成果

委辦計畫件數											
上傳狀態	現地調查資料類型	水理資料		雨量站數		地電阻測線數		河床質調查數		斷面測量數	
	資料檢核前後	5/31	6/28	5/31	6/28	5/31	6/28	5/31	6/28	5/31	6/28
已上傳	111 年度	1	9	2	2	7	11	3	4	5	5
	112 年度	6	9	7	8	4	5	5	7	6	9
	小計	7	18	9	10	11	16	8	11	11	14
未上傳(或不完全)	111 年度	10	1	0	0	4	0	1	0	0	0
	112 年度	4	0	1	0	5	0	3	0	5	0
	小計	14	1	1	0	9	0	4	0	5	0
應上傳	總數	21	19	10	10	20	16	12	11	16	14
	未上傳率	67%	0%	10%	0%	45%	0%	33%	0%	31%	0%

(四) 後續資料管理精進方向建議

今年針對資料成果數值異常及檔案上傳完整性不足問題，由盤點成果屬性比對分析，其資料後續分為系統流程檢核類別及人工盤點項目類別，並配合基礎資料標準公告年度進行統計，定期於農村水保署資料管理工作圈檢視與討論、資料標準滾動式檢討、上傳檔案完整性檢視、各業務系統間資料串接規劃、相關流程精進與建議，有助於輔助數值資料與地理圖資管理，以達有效資料管理與共享。對於歷年相關委辦計畫成果、現況資料盤點分析成果、後續資料管理與維護上，提出以下建議方法：

1.持續專責單位資料整合與管理

對於未訂定資料標準格式之數值資料，其歷史紙本報告、個案資料數化工作、非現行盤點項目 (新興設備或新技術檔案格式與成果) 等資料，建議遵循現行電子圖書管理系統之電子檔案收錄方式，並於每年盤點工作成果彙整後，提出個案資料樣態、收錄機制、資料檢核與系統優化等議案，後於「資料管理工作圈」討論，是否將收錄新型態數值資料或地理圖資類別，並訂定相關擴充資料標準格式。

2.資料檢核與正規化

對於不同年度所訂定之基礎資料標準格式，歷史已上傳但未套用標準格式之數值資料，建議可由系統自動化進行資料檢核與正規化，以維護一致性檔案標準化處理原則，對於歷史紙本報告掃描檔案則建議由人工處理，先建置其數據並依基礎資料標準格式轉化為數值資料，其數位化後資料可作為未來各類別基礎資料之加值應用與視覺化主題使用。

3.加強成果上傳提醒與自動檢核機制

因本年度上傳檔案完整性仍然不足，針對此問題目前仍暫以人工方式請承辦同仁及廠商協助，其依據合約內容核對報告附錄與簡報等內容之上傳完整性，並針對缺件之情況逐項進行追蹤。為進一步提升上傳率，建議可利用自動化提醒或人工智能輔助檢核等機制，在檔案上傳後即時檢核是否符合合約要求，並對缺件項目進行通知，以減少人工作業負擔，確保資料的完整性。

第二節　歷年防災技術研究成果加值與推廣應用

本計畫今 (113) 年度針對農村水保署歷年研究之防災技術成果進行彙整與加值應用，本節主要以 H.O.S.T 地圖、全台重大土砂災例、堰塞湖遙測影像與二次災害高風險區評估等四個部分，依據不同 DEM 年度、衛星遙測影像作為基礎資料進行加值與重製，其各主題成果均已提供於農村水保署使用，並彙整於 BigGIS 平台與技術研究發展平台供大眾使用。

一、 105-112年H.O.S.T地圖製作標準

農村水保署自 2016 年起與國立中興大學水土保持系蕭宇伸教授的團隊合作，開發 H.O.S.T 地圖製作程式(介紹請詳: (https://tech.ardswc.gov.tw/Results/ResultsRedMap)，持續利用內政部所提供的 DEM，製作全台的 H.O.S.T 地圖。目前在 BigGIS 平台上提供給一般民眾使用的最新圖資為 2020 年的 20 米解析度 H.O.S.T 地圖 (如圖 3-5)，以及 2010 至 2015 年的 6 米解析度 H.O.S.T 地圖 (圖 3-6)。

在產製 6 米解析度的 H.O.S.T 地圖時，其原始資料是由 1 米解析度的 DEM 降解析度而成，而此高精度 (1 米)的地形資料均有相對應的取得時間與範圍。內政部規劃於 2010 至 2015 年取得第一輪的全島高精度地形資料 (圖 3-7)，而第二梯次涵蓋全台灣的地形資料取得區間則為 2016 至 2023 年 (圖 3-8)，今年度本計畫完成 2016 至 2022 年 (民國 105-111 年)的全台 H.O.S.T 地圖，已請伺服務管理廠商依序將完成之 H.O.S.T 地圖資料上架 BigGIS 平台展示。另外 2023 年圖資目前尚在聯繫取得中，待取得完成後，後續將製作 2023 年的 HOST 地圖圖磚並上架至 BigGIS 平台。

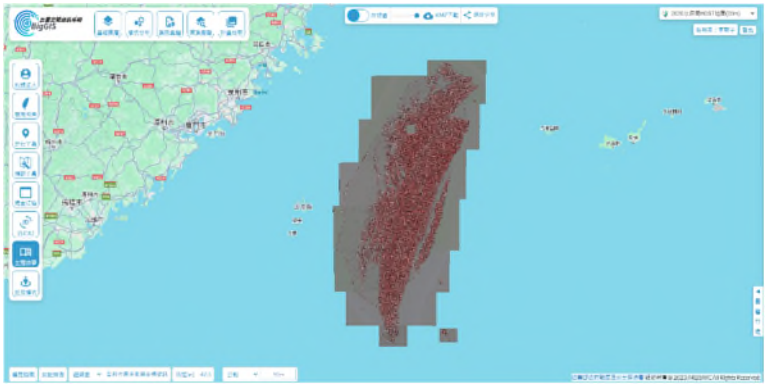


圖 3-5　BigGIS 2020 年的 20 米解析度 H.O.S.T 地圖

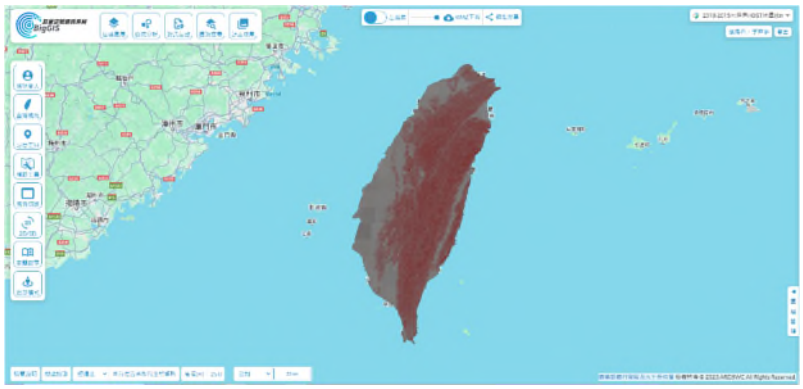


圖 3-6　BigGIS 2020 年的 6 米解析度 H.O.S.T 地圖

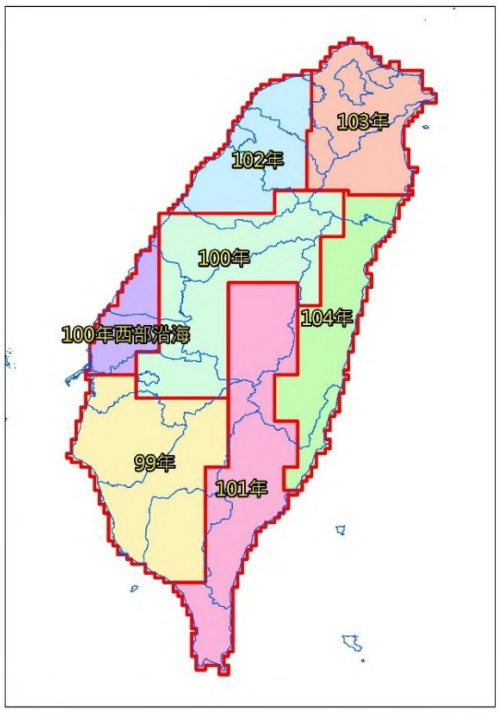


圖 3-7　第一輪全台高精度地形資料取得時程 (2010-2015 年)

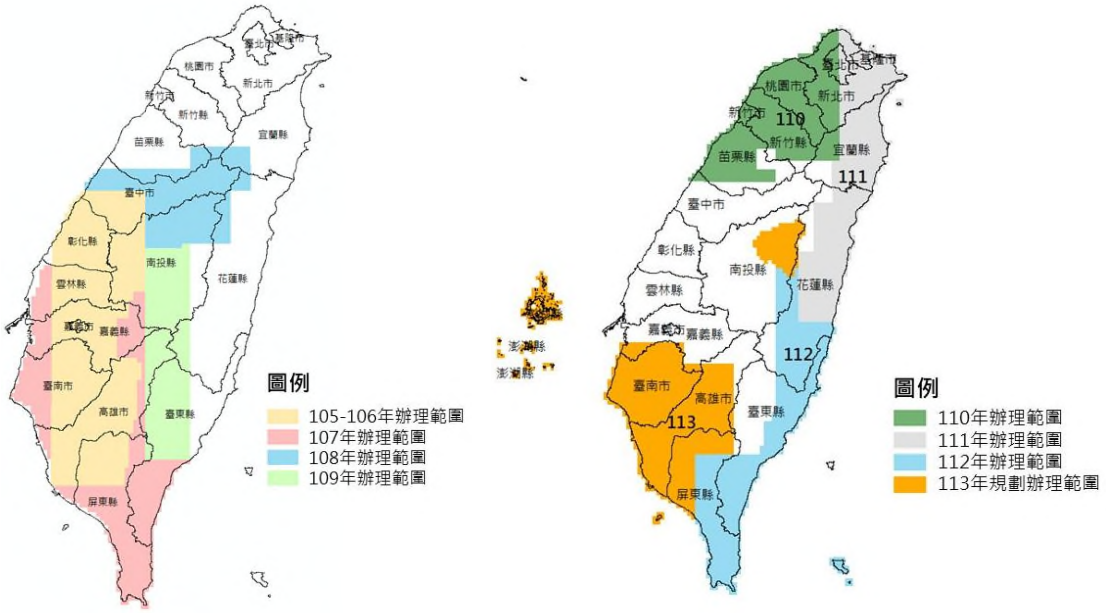


圖 3-8　第二輪全台地形資料取得時程 (2016-2023 年)

H.O.S.T 地圖在製作時，僅需要 DEM 的原始檔案，並可藉由調整「單窗半徑」與「對比度」兩項參數，產出不同視覺效果的 H.O.S.T 地圖。在單窗半徑設定方面，其預設值為 20m，當半徑越大，越能凸顯山稜線與山谷等大範圍的地形，但於細部地形特徵則因平滑化而不易呈現，反之，若其半徑越小，則能保留細部的地形特徵，適用於微地形判釋 (圖 3-9)；在對比度設定方面，其預設值同樣為 20，調整對比度除會影響地圖顏色上的深淺差異外，在相同比例尺條件下，當對比度越大則地勢形貌越明顯，但對比度越小則地勢形貌易產生模糊樣態 (圖 3-10)。在嘗試不同的單窗半徑與對比度後，當設定單窗半徑 10 米與對比度 20 後，H.O.S.T 成果在凸顯地形起伏時仍能保留地形細節，以滿足一般使用者與具相關地形學背景的使用者。本計畫統一採用前述參數設定標準，將 2016 至 2023 年的 1 米 DEM 製作成 H.O.S.T 地圖，供後續相關單位申請使用，將資料加值與推廣的效益最大化。

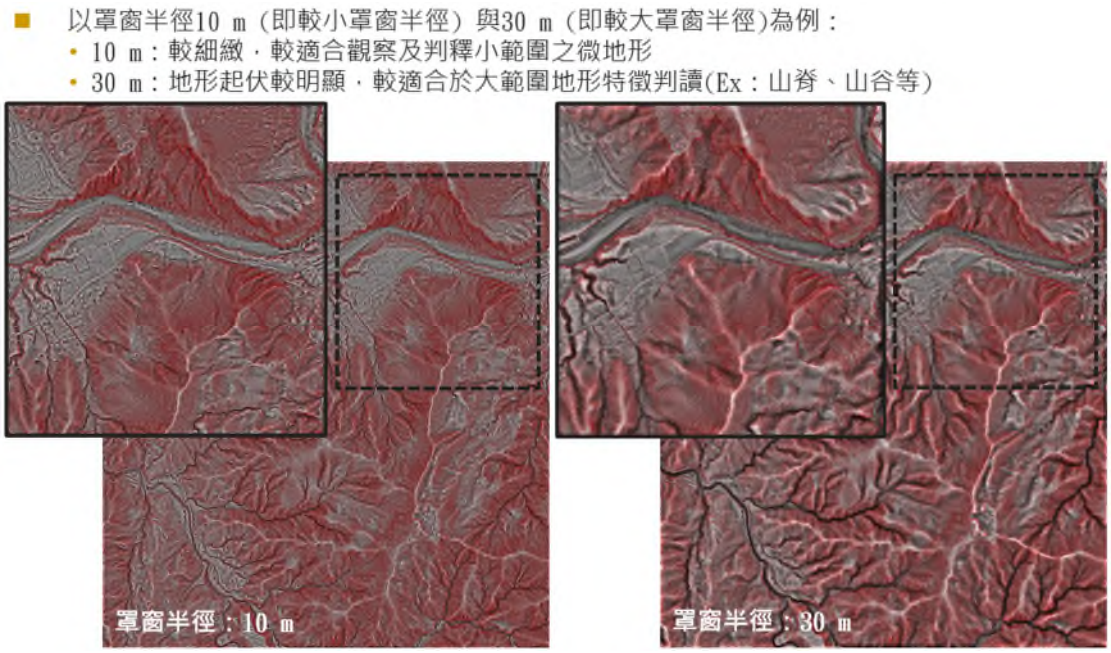


圖 3-9　罩窗半徑對視覺效果的影響

取自 H.O.S.T 地圖製作簡易操作指引

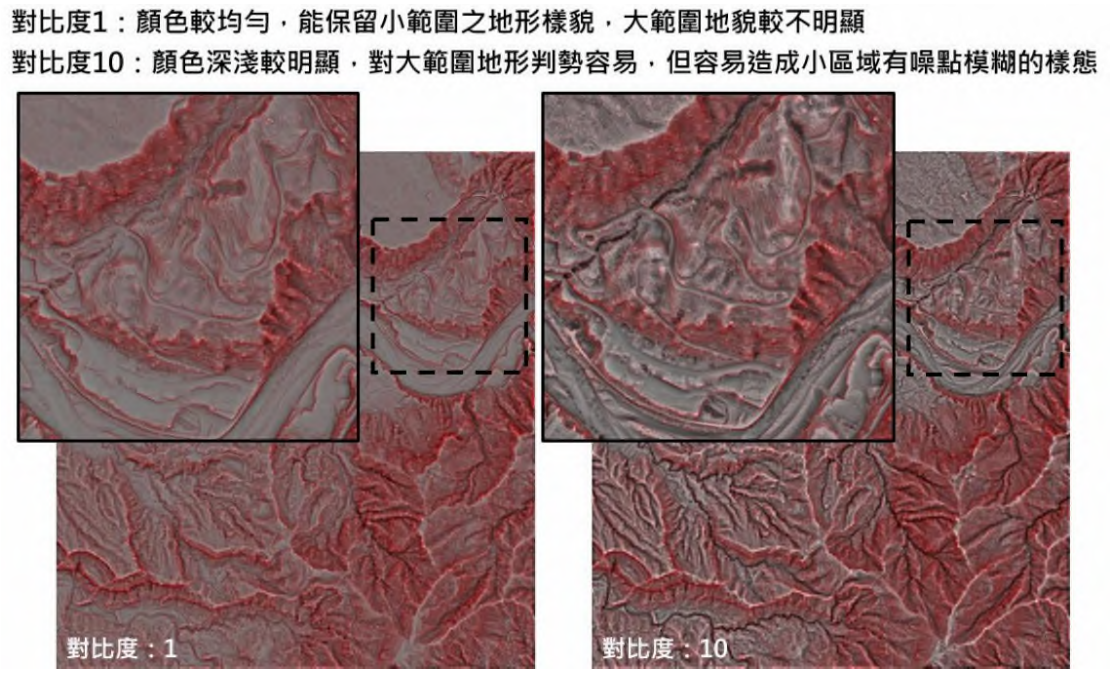


圖 3-10　對比度對視覺效果的影響

取自 H.O.S.T 地圖製作簡易操作指引

二、 全台重大土砂災例彙整

重大土砂災例係依據災害防救法第 23 條第 1 項第 4 款「災情蒐集、通報與指揮所需通訊設施之建置、維護及強化」，落實災情蒐集工作並將各項計畫成果作為災害發生時即時應變、災後復建與長期治理規劃的參考依據，不僅提升了災後應變的效率，也為長期的防災工作提供了寶貴的數據支持。自民國 95 年以來，透過由專家學者組成的專業團隊進行臺灣災例的蒐集與撰寫工作，截至 112 年為止，已蒐集之重大土砂災害案例達 574 筆，各年度歷年重大土砂災例數量彙整表(如**表 3-7**)。其蒐集的內容包括發生年度、災害事件（颱風、豪雨或地震等）、案件編號、主要災害類型（崩塌、土石流、洪水、地滑或兩者以上複合型災害）、災害地點、坐標、縣市鄉鎮村里、土石流潛勢溪流/大規模崩塌潛勢區、發生時有效累積雨量、發生時降雨強度、崩塌區土砂量、堆積區土砂量、警戒基準值、參考雨量站、死亡、失蹤、受傷、房屋受損及道路損毀等。

表 3-7 歷年重大土砂災例數量彙整表

年度	95	96	97	98	99	100	101	102	103
總數量	9	56	64	127	49	22	34	26	5
年度	104	105	106	107	108	109	110	111	112
總數量	35	19	25	5	22	3	33	18	22

重大土砂災例的現地勘查報告依據「重大土砂災例現勘作業程序」撰寫，主要分為「災例最速報」、「災例正式報告」和「○○颱風（或豪雨）重大土砂災害事件紀實」三種形式，內容皆依循相關標準格式撰寫。「災例最速報」內容至少包括災區地理位置圖、現

況相片、受災情形、降雨組體圖等；「災例正式報告」內容至少包括災區基本資料、災區地理位置、災區環境資料、即時現勘調查、現況相片；「○○颱風(豪雨)重大土砂災害事件紀實」內容至少須包含相關新聞媒體報導、災害類型、災害時間、GPS 坐標、災情描述與統計、現況相片、保全對象、發生原因、地質、地形及水文等環境資料、既有工程檢視、颱風(豪雨)型態、降雨量、崩塌面積等。

由於災例報告（最速報及正式報）中往往缺乏崩塌面積的數據，為了提高資料的完整性與準確性，今年針對重大土砂災例崩塌面積補遺工作，填補過去報告空缺資訊。本工作將參考災例最速報及正式報告中提到的資訊比對推崩塌面積，若報告中無相關數據，則參考各年度由林保署衛星判釋全島崩塌地圖層及農村水保署災後衛星影像判釋崩塌地圖層為基礎所建置之「事件型崩塌目錄」進行資料補遺。

自民國 95 年至 112 年間，重大土砂災例一共蒐集了 574 筆資料，其中 311 筆崩塌面積資料已進行補遺，其他尚有 263 筆資料尚未能補齊 (如圖 3-11)，推測原因可能與當時技術條件有關，如空拍機或遙測技術尚未成熟，導致難以精確量測崩塌面積。此外，災害突發頻繁且人力不足，也限制了即時勘查和數據紀錄的可能性，而未來將持續思考是否有其他可能補齊的方式，持續進行面積補遺，以提高災害資料之完整度並提供後續相關研究使用。

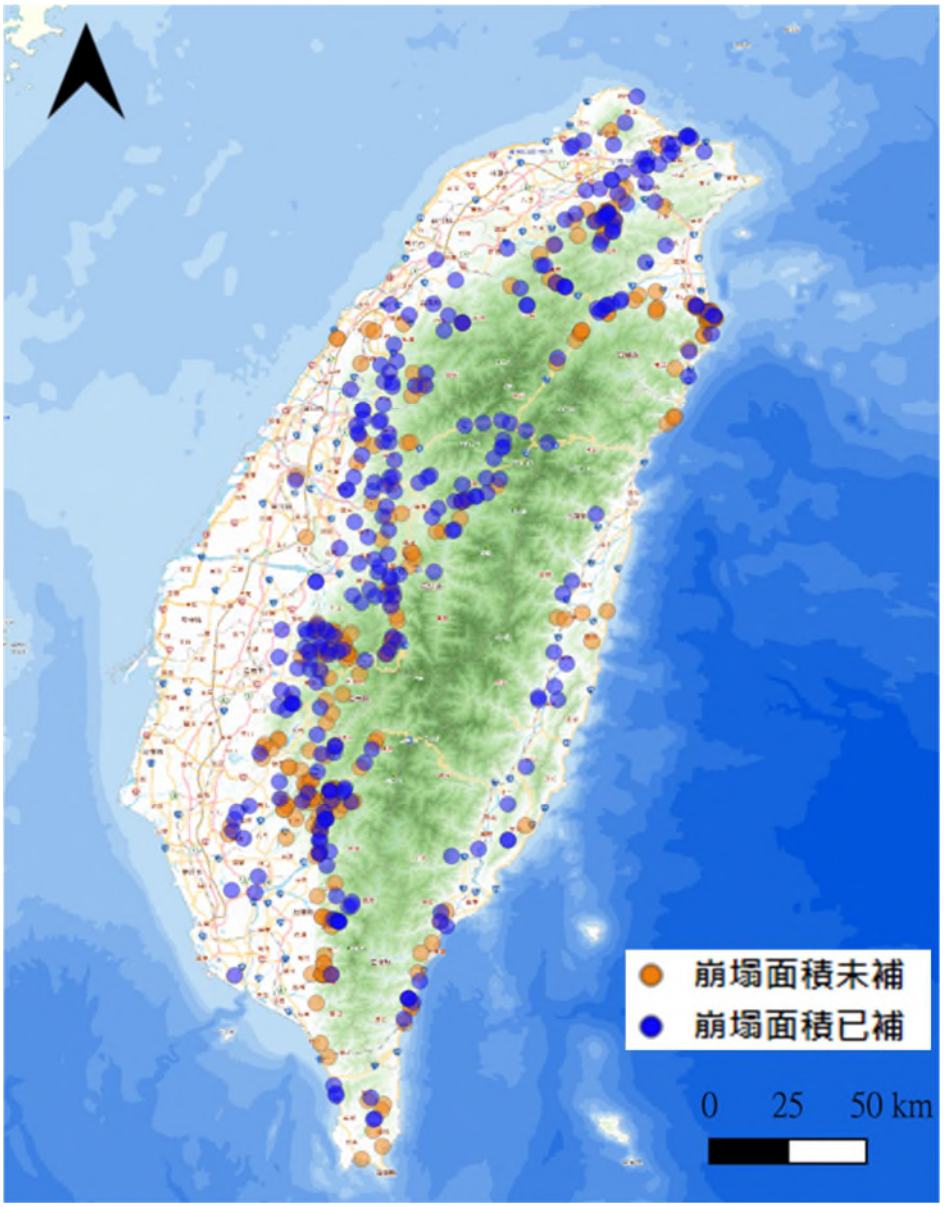


圖 3-11 重大土砂災例面積補遺

三、 堰塞湖遙測影像彙整

台灣山區因地勢陡峭且地質脆弱，常因地震或颱風引發豪雨，導致大規模的土石崩塌。當這些崩塌的土體阻塞河道時，極易形成堰塞湖 (圖 3-12)。根據 Costa 和 Schuster (1988) 的研究，堰塞湖的存續時間可短至數小時，亦可長達數千年 (圖 3-13)。然而，當堰塞湖潰決，將對下游地區的居民及其生命財產安全構成嚴重威脅，因此，堰塞湖的形成及潰決已成為防災應變的重要課題。

花蓮豐坪溪上游堰塞湖

台東新武呂溪堰塞湖

花蓮萬里溪堰塞湖

花蓮木瓜溪上游堰塞湖

南投東埔蚋溪小半天堰塞湖

桃園大曼溪堰塞湖

圖 3-12 堰塞湖資料案例

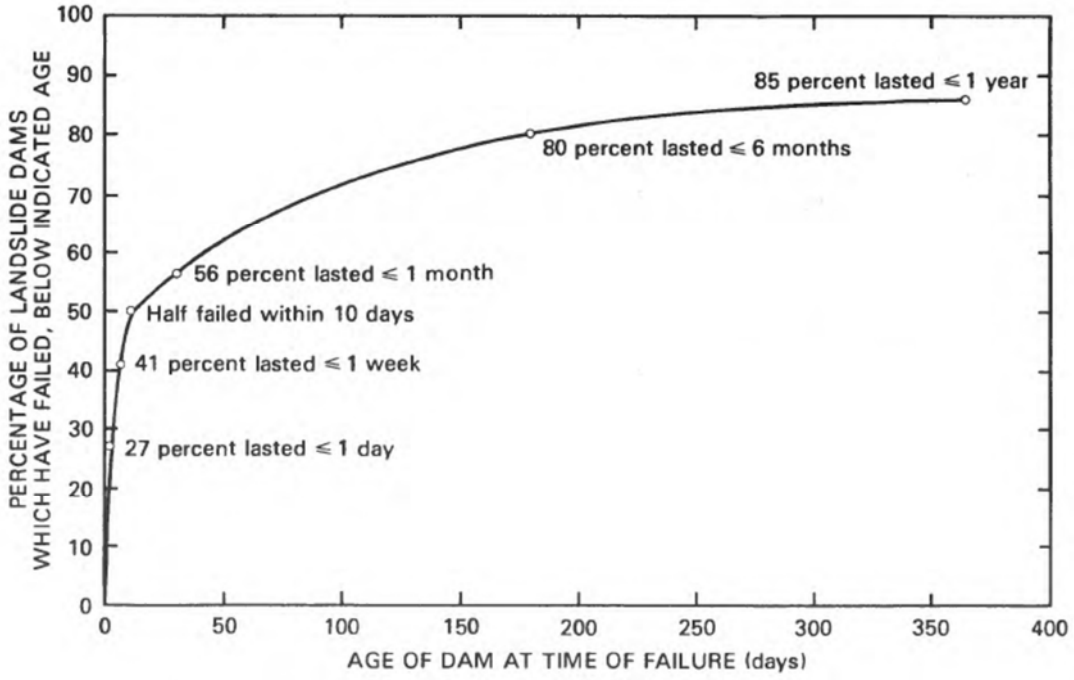


Figure 6.--Graph showing length of time before failure of landslide dams, based on 73 cases from the literature and the authors' experience.

圖 3-13 堰塞湖案例存在時間統計圖

（資料來源：Costa & Schuster (1988).）

此外，近年來受極端氣候影響，短時間內的強降雨或長時間的高強度降雨，常導致山區發生複合型土砂災害，進而引發下游區域的洪水氾濫問題。當山區邊坡發生崩塌時，其土體於上邊坡面往坡趾開始移動，隨地形出現坡度轉折、谷口擴展或平坦地區等位置時，導致底部摩擦力超過土體的驅動力，土體便會停止運動，可能於坡腹至坡腳處形成材料堆積，其大量崩落土體有時甚至堵塞河道，形成天然壩。

若崩塌伴隨降雨發生，土體的運動除了重力影響外，還會受到流體作用力的加持，導致影響範圍進一步擴大，可能引發土石流，甚至導致堰塞湖潰決。根據農業部農村發展及水土保持署的「土石流潛勢溪流及大規模崩塌潛勢區劃設作業要點」以及土石流及大規模崩塌防

災資訊網的「大規模崩塌影響範圍劃設」資料，針對大規模崩塌事件的影響範圍劃設作業中，依據土體運動的堆積形態，可將崩塌後的土體堆積劃分為三種類型（圖 3-14）。

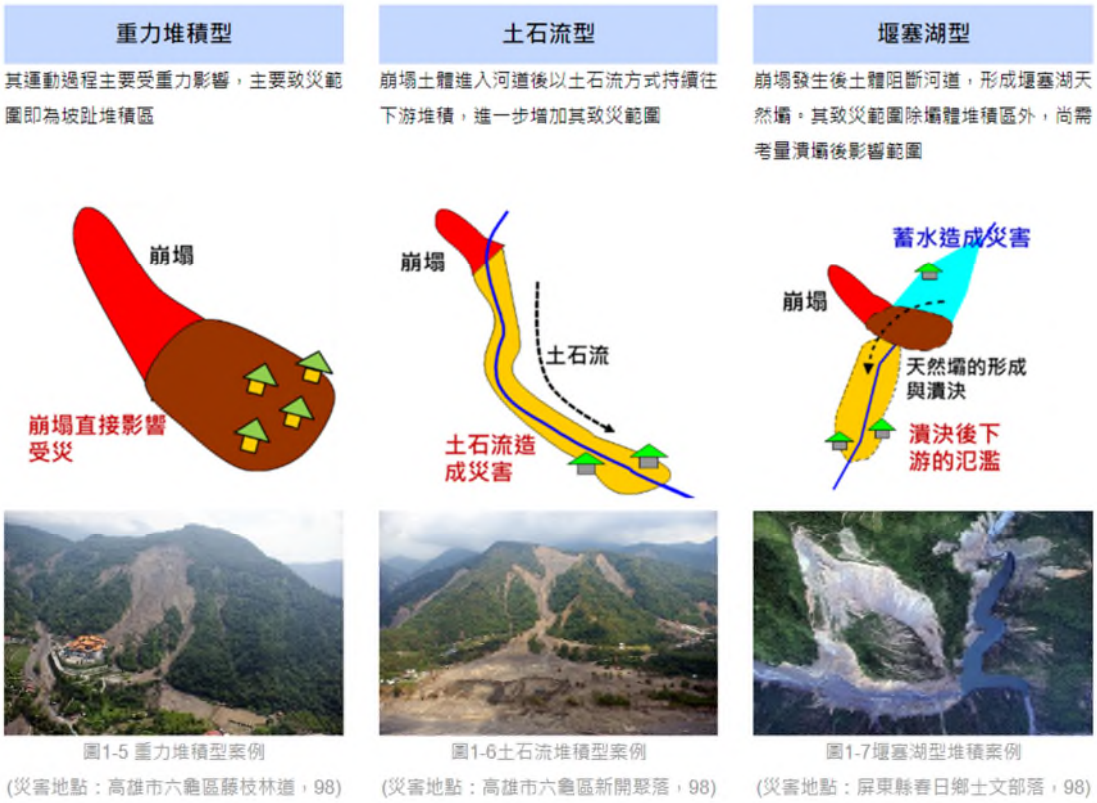


圖 3-14 大規模崩塌響範圍堆積型態分類示意圖

（**資料來源**：https://246.ardswc.gov.tw/Landslide/Landslide_Introduction）

綜上所述，大規模崩塌及其衍生的土砂災害與影響範圍，除了依賴現場調查與潛勢評估外，亦需透過歷史災害案例的研習與探討，不斷提升堰塞湖類災害的防災技術及應變決策基礎。本計畫為落實重要研究基礎資料的保存與流通，本研究參考新聞報導及蒐整相關文獻紀錄，統計 1979 至 2024 年間全台共 82 處天然壩堰塞湖案例(表 3-8)，逐一將各案例數位化以供後續研究加值應用。今年度收集 2017 至 2024 年間共 9 件堰塞湖案例，找出了較為清晰的堰塞湖形成前後期影像(圖 3-15 至圖 3-17)。藉由多時期的遙測影像與

DEM 資料，回溯檢視歷史堰塞湖的形成狀況，並判釋出崩塌地及堰塞湖壩體的座標及相關記錄資料，據此整理出台灣歷史堰塞湖案例資料。這些成果為產官學研各界提供豐富的研究基礎(圖 3-18)，並展示於農村水土保持署的「技術研究發展平台/研究成果/臺灣歷史堰塞湖案例資料」(https://tech.ardswc.gov.tw/Results/BarrierLakeInfo)。

表 3-8 臺灣歷史堰塞湖案例表

1	2024年 花蓮木瓜溪
2	2024年 花蓮萬里溪
3	2022年 臺東新武呂溪
4	2021年 花蓮豐坪溪上游
5	2021年 桃園大曼溪
6	2021年 臺東大南溪
7	2019年 烏牛欄溪
8	2018年 宜蘭石頭溪
9	2017年 東埔蚋溪小半天
10	2016年 萬里溪
11	2016年 泰源南溪
12	2016年 鹿野溪上游支流(松風溪)
13	2016年 桃園霞雲溪
14	2016年 立霧溪錐麓
15	2015年 塔次基里溪
16	2015年 烏來堰塞湖
17	2015年 逮魚堀溪
18	2015年 平廣溪(2)
19	2015年 平廣溪(1)

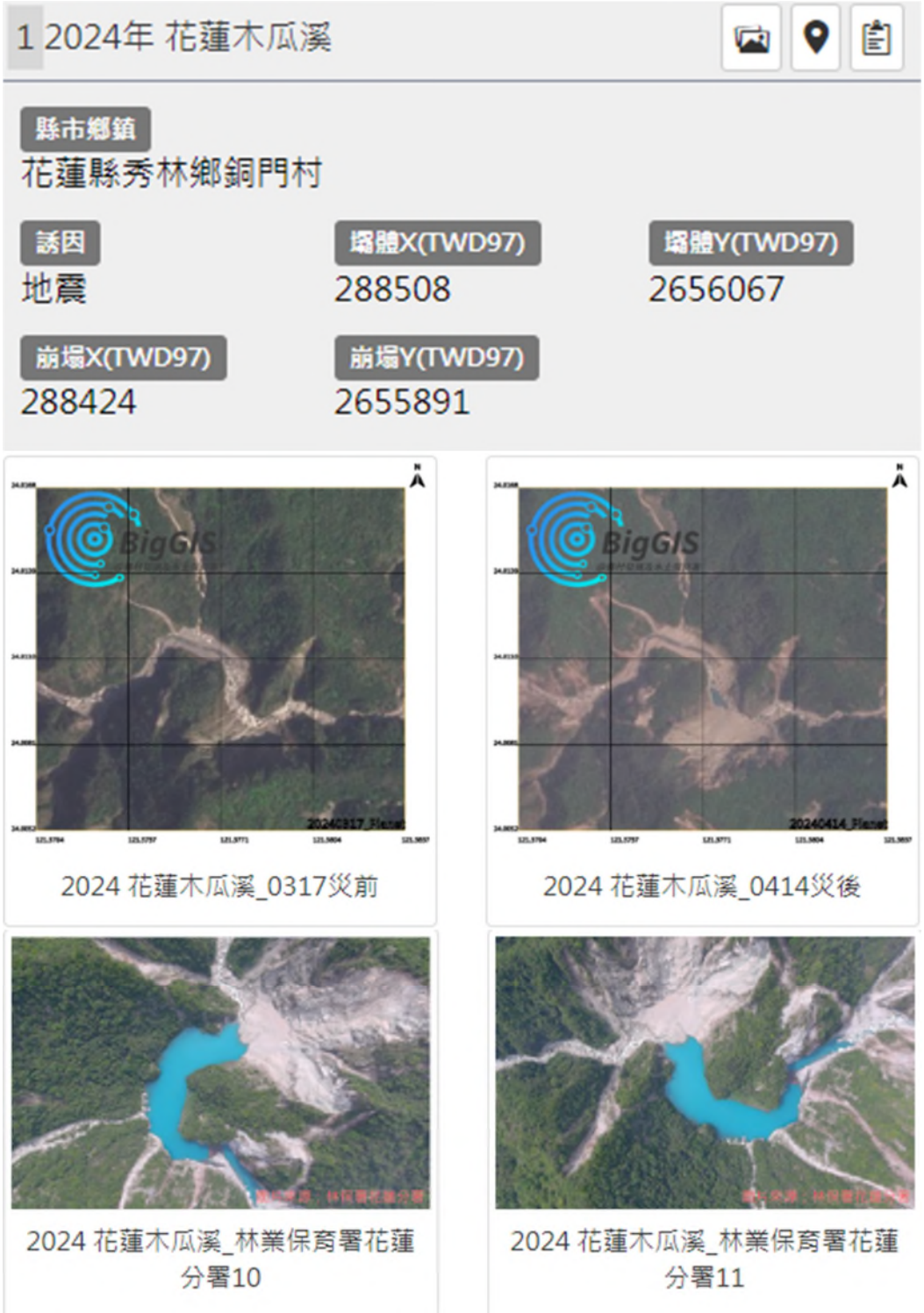


圖 3-15 2024 花蓮木瓜溪堰塞湖上游案例

圖 3-16　2024 花蓮萬里溪堰塞湖上游案例

圖 3-17 南投東埔蚋溪小半天堰塞湖

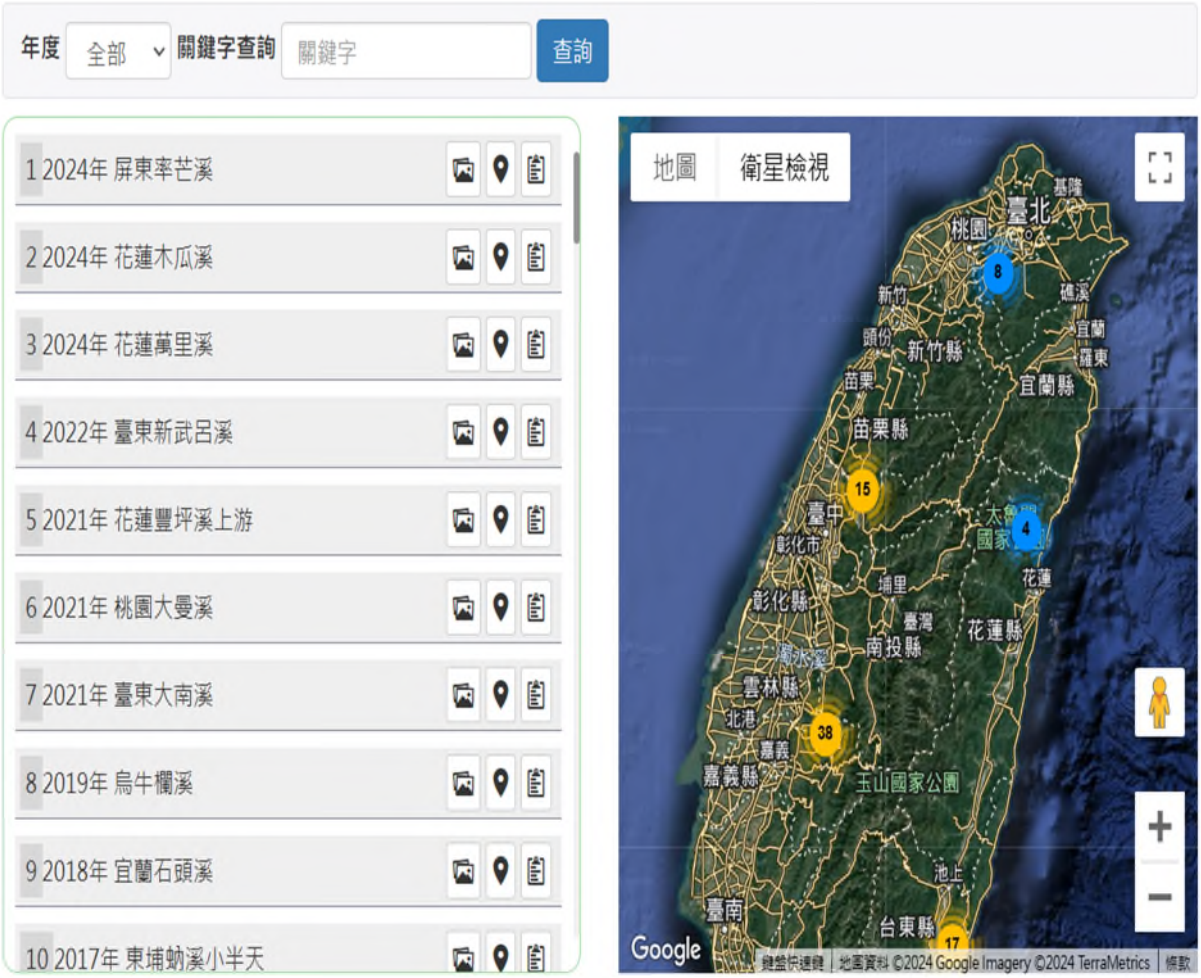


圖 3-18 歷史堰塞湖分布點位圖

(資料來源：https://tech.ardswc.gov.tw/Results/BarrierLakeInfo)

四、 0403地震後之二次災害高風險區評估

在本年度的 4 月 3 日時，發生了規模 7.2 的花蓮地震，造成 1942 處的新生崩塌。而在地震後的土石流降雨門檻值下降、與新生崩塌地供應土砂料源的條件下，這些崩塌地在後續的降雨事件中(4 月底與 6 月初的豪雨、7 月凱米颱風等)造成其下游處頻頻傳出土石流災情，顯示事件後形成的新生崩塌地對於其下游保全住戶的潛在威脅。因此，農村水保署為因應二次災害的發生，擬定了高風險區的評估標準（圖 3-19），並於 10 月的山陀兒颱風後正式確定此評估標準與相關作為。

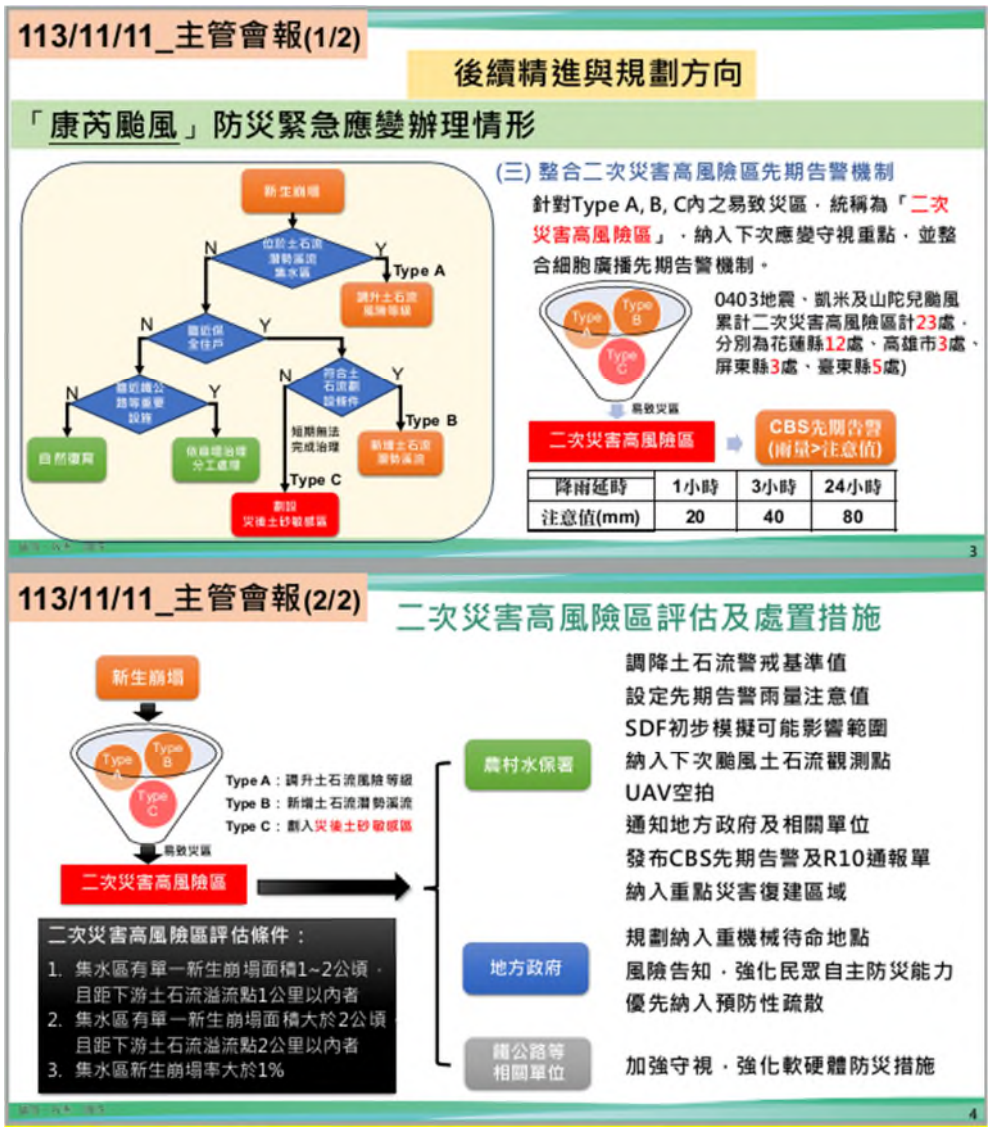


圖 3-19 二次災害高風險區評估標準與相關因應作為

目前的二次災害高風險區可以分為兩者，其一針對土石流潛勢溪流集水區進行評估(圖 3-20 中的 Type A)，另一則針對圖中的 Type B&C 進行評估。針對 Type A 是否為二次災害高風險區，其評估標準有以下三個條件，滿足任何一個且其影響範圍內有保全住戶者，則該土石流潛勢溪流會被納入二次災害高風險區：

1. 集水區內有單一新生崩塌面積介於 1 至 2 公頃，且具下游土石流溢流點 1 公里以內者。
2. 集水區內有單一新生崩塌面積大於 2 公頃，且具下游土石流溢流點 2 公里以內者。
3. 集水區新生崩塌率大於 1%。

若針對 Type B&C－意即暫時還不是土石流潛勢溪流，但經過團隊的現勘後認為有高致災潛勢的區位－進行二次災害高風險區的評估，則考慮以下兩個條件，滿足其中一個且其影響範圍內有保全住戶者，則會把該新生崩塌地判斷為二次災害高風險區：

1. 單一新生崩塌面積介於 1 至 2 公頃，且具下游保全戶 1 公里以內。
2. 單一新生崩塌面積大於 2 公頃，且具下游保全戶 2 公里以內者。

在 10 月的山陀兒颱風後，農村水保署立即進行二次災害高風險區的評估，並將此評估結果發文給地方政府，做為未來防災決策的依據。圖 3-20 以山陀兒颱風後落於土石流潛勢溪流集水區的新崩塌地為例，判斷出 5 處二次災害高風險區。

山陀兒颱風_土石流潛勢溪流集水區新生崩塌統計與分析

序號	土石流編號	集水區面積(公頃)	新生崩塌筆數	新生崩塌面積(公頃)	新生崩塌率(%)	符合條件1	符合條件2	符合條件3	二次災害高風險區	備註(地名)
1	東縣 DF059	250.3	10	10.68	4.27%	×	○	○	○	卑南鄉溫泉村木瓜溪鎮樂橋
2	東縣 DF076	342.75	18	12.13	3.54%	×	×	○	○	金峰鄉新興村文里溪
3	東縣 DF111	117.03	5	3.06	2.61%	○	×	○	○	太麻里鄉大王村沙嵩溪
4	東縣 DF110	224.61	10	5.28	2.35%	×	○	○	×	無保全住戶
5	東縣 DF062	383.94	8	7.43	1.94%	×	×	○	×	無保全住戶
6	東縣 DF032	35.83	1	0.49	1.37%	×	×	○	×	無保全住戶
7	東縣 DF086	72.55	2	0.9	1.24%	×	×	○	×	無保全住戶
8	東縣 DF124	88.25	3	1.01	1.14%	×	×	○	○	太麻里鄉華源村南北坑
9	東縣 DF049	1204.08	12	11.91	0.99%	×	○	×	○	卑南鄉泰安村大巴六九
10	東縣 DF056	68.72	2	0.53	0.77%	×	×	×	×	
11	東縣 DF079	391.02	7	2.07	0.53%	×	×	×	×	
12	東縣 DF125	278.94	5	1.48	0.53%	×	×	×	×	
13	東縣 DF122	141.76	2	0.48	0.34%	×	×	×	×	
14	東縣 DF058	131.68	2	0.34	0.26%	×	×	×	×	
15	東縣 DF082	283.5	1	0.69	0.24%	×	×	×	×	
16	東縣 DF061	290.37	3	0.65	0.22%	×	×	×	×	
17	東縣 DF029	1422.3	3	1.81	0.13%	×	×	×	×	
18	屏縣 DF049	457.66	3	2.45	0.54%	×	×	×	×	
19	新北 DF214	49.4	1	0.11	0.22%	×	×	×	×	

二次災害高風險區判釋條件：
條件 1：集水區內，有單一新生崩塌面積1~2公頃，且距下游土石流溢流點1公里以內者
條件2：集水區內，有單一新生崩塌面積大於2公頃，且距下游土石流溢流點2公里以內者
條件3：集水區新生崩塌率大於1%

圖 3-20 山陀兒颱風土石流潛勢溪流二次災害高風險區初判成果

第四章 集水區土砂災害致災模擬模式分析

本年度(113 年)發生 0403 花蓮地震，並導致花蓮地區產生多處崩塌，並在今年度後續引發眾多且具規模的土砂災害事件，因此本計畫希望透過花蓮地區整體的集水區狀況進行災害潛勢值訂定，快速掌握潛在易致災的區位，提供相關單位在訂定相關防災策略時的參考。亦可提供台灣其他類型的災害，執行災害潛勢值訂定的參考方法。後續並進一步以災害潛勢值的成果為標的，針對災害潛勢值較高位置進行災害情境與模擬分析，成果可回饋於研究區域未來防災整備的參考。並進一步以縮時攝影機進行現地土砂災害資料的蒐集，成為各項圖資、模擬分析與防減災規劃之輔助資料。

第一節　集水區不安定土砂災害風險指標研究：震後集水區土砂災害潛勢與其災害風險關聯性

本節主要以今年 0403 花蓮地震後土石流潛勢溪流集水區為主要研究地區，並利用歷年崩塌事件資料為基礎資料，因震後崩塌所產生之不安定土砂將對於集水區保全對象造成巨大威脅，係以如何評估各溪流集水區受崩塌所產生之不安定土砂影響與其所衍生災害風險之關聯性。

一、　20240403 花蓮地震後集水區土砂災害潛勢與其災害風險之關聯性

掌握河流集水區範圍內的不安定土砂分布，防範潛在的土砂運移對下游保全對象的衝擊，是臺灣的重要課題。在 2024 年 4 月 3 日發生了規模 7.2 的花蓮地震，且 4 月以後持續有規模 5 至 6 的餘震衝擊，導致震度較大的地區發生多起崩塌。截至今年 4 月底，依據農村

水保署判釋資料顯示，地震產生 1,942 處的新生崩塌地，其面積達 1,500 公頃 (圖 4-1)。這些新生崩塌地上殘餘的不安定土砂，將嚴重威脅其運移路徑上的保全對象，因此評估不安定土砂集水區的風險值相當重要，將有助於制定後續的防災策略。

前人研究指出崩塌率 (崩塌面積除以特定集水範圍的面積)可以有效反應特定區域崩塌程度的嚴重性 (尹孝元等，2013；吳俊鋐等，2019；林敏郎等，2022)。以高屏溪流域在莫拉克颱風所造成的崩塌情形為例 (陳嬉璇等，2013；吳俊鋐，2014；張郡庭等，2021)，其中位於高屏溪流域的玉穗溪，其上游於莫拉克颱風後形成的明顯殘坡，並於 2021 年 8 月的盧碧颱風中產生大規模土砂崩落並形成土石流，導致下游的明霸克露橋遭沖毀且淤埋高度達 23 公尺 (Chen et al., 2022)。考量前人研究與玉穗溪上游殘坡大規模崩塌事件，集水區之崩塌面積變化將反映於土砂料源量體的多寡，因此在本研究中也將其納入評估集水區土砂災害潛勢指標的探討。

本研究使用 0403 花蓮地震及其餘震所產生的新生崩塌地圖資，計算這些崩塌地所在的土石流潛勢溪流集水區，並統計對應的新生崩塌率與新生崩塌面積。同時蒐集 2024 年 4 至 8 月的雨量資料與土砂災例事件，並套疊 112 年全臺崩塌地圖層分析，進一步評估崩塌率與崩塌面積對於集水區土砂災害潛勢風險值的影響。在確立集水區土砂災害潛勢風險指標後，就能快速掌握潛在易致災的區位，提供相關單位在訂定相關防災策略時的參考。

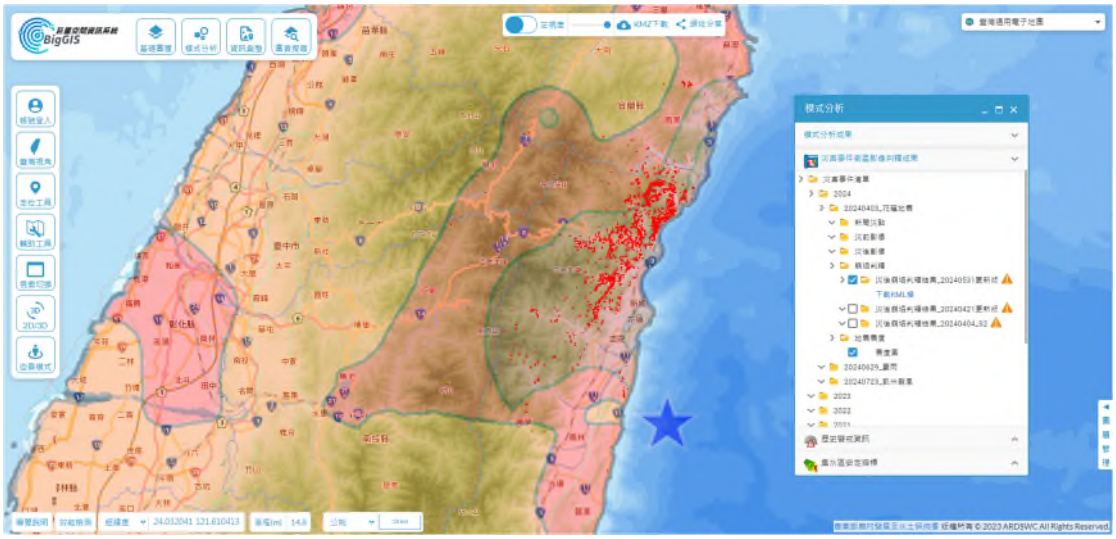


圖 4-1　BigGIS 上公開之 0403 花蓮地震後崩塌判釋成果

(底圖為通用電子地圖與震度圖，紅色處為震後新生崩塌的位置)

二、　材料與方法

(一) 研究分析範圍及資料蒐集

本研究使用的圖資如下：農村水保署與其委辦團隊判釋的 1,942 處崩塌圖資 (圖 4-1)、112 年度的全臺崩塌地圖層、113 年度的 1,736 條土石流潛勢溪流、農村水保署內部防災應變使用之 FEMA 系統提供的 113 年 4 月至 8 月的土砂災例 (共計 205 例)，以及氣象署與水利署提供之鄰近土砂災例之雨量站資料。本研究將針對上述資料進行圖資套疊分析、指標分級與風險潛勢計算，據以建構合適的風險指標 。

表 4-1　研究使用圖資與其來源

使用圖資	資料來源
0403 震後新生崩塌圖層	BigGIS 網站
112 年度全臺崩塌地圖層 113 年度土石流潛勢溪流	農業開放資料平臺
2024 年 4 至 8 月災例資料	FEMA 土石流及大規模崩塌防災應變系統
2024 年 4 至 8 月雨量資料	氣象署－CODiS 氣候觀測資料查詢服務 水利署－水文資訊網整合服務系統

(二) 崩塌面積與崩塌率指標的分級方式

本研究的崩塌面積，係指集水區範圍內崩塌地面積的總和，其崩塌率的計算，則是由上述的崩塌面積除以該土石流潛勢溪流集水區的面積，如式 4-1 所示：

$$\textbf{崩塌率}\ (\%) = \frac{\textbf{位於土石流潛勢溪流集水區內的崩塌地面積}\ (\textbf{ha})}{\textbf{土石流潛勢溪流集水區面積}\ (\textbf{ha})} \qquad \textbf{式 4-1}$$

在指標分級方面，本研究先採用 QGIS 內建的 Natural breaks (Jenks)的分級方式，最小化各級距組內的數據差異，分別將崩塌率及崩塌面積分成 5 組，按照其數值區間對應低、中低、中、中高、高風險共 5 種風險等級。然而，前人的研究對於崩塌率與其對應的災害潛勢有不同的分級方式，Wu et al. (2011)認為集水區崩塌率若大於或等於 1%，可視為崩塌嚴重；吳俊鋐等 (2019)提出 3%可以做為評估土砂災害是否嚴重的門檻；尹孝元等 (2013)則將崩塌率分成 3 個等級：崩塌率小於 2%則可視為致災性低、介於 2 至 8%者為中致災性、大於 8%者為高致災性 (圖 4-2)；吳俊鋐 (2014)則是利用每 2%為間距，將

集水區崩塌率分為 5 個等級，以進行崩塌潛勢評估。實際觀察 2009 年莫拉克颱風對高屏溪流域崩塌率的影響，根據張郡庭等 (2021)的計算，在事件前高屏溪流域的崩塌率小於 3%，但在颱風過後高達 5.18%，而 Wu et al. (2011)則算出高屏溪流域崩塌率大於 6.5%的結果；吳俊鋐 (2014)另針對高屏溪流域內的旗山溪集水區進行分析，發現崩塌率在莫拉克颱風前後從 1.1%提高至 4.1%。

因此本研究後續在討論災例與災害風險之間的關係時，除了採用 QGIS 內建的分級模組，也會參考前人提出的崩塌分級標準，並加入相關圖資進行計算與驗證，以得到更適用的崩塌率及崩塌面積風險指標，能合理地反映災例的空間分布 (圖 4-3)。最後結合歷年的崩塌資料，討論本項指標應用於長時間追蹤集水區土砂災害潛勢的可行性。

致災序數	<———低———中———高———>		
保全對象	Ⅲ(無聚落及道路) 國土保育*	Ⅱ (維生道路受災) 設施修復/安全防護	Ⅰ(聚落受災) 遷住**/緩衝區劃設(退避)
集水區崩塌率	3 (< 2%) 景觀復育*	2 (2% ≦，≦8%) 減量/安定	1 (> 8%) 坡面復育
河床變動量	C (<2 m) 生態保育*	B (2m ≦，≦5m) 調節/控制	A (>5 m) 河道清疏

圖 4-2　集水區崩塌率分級與致災說明 (尹孝元等, 2013)

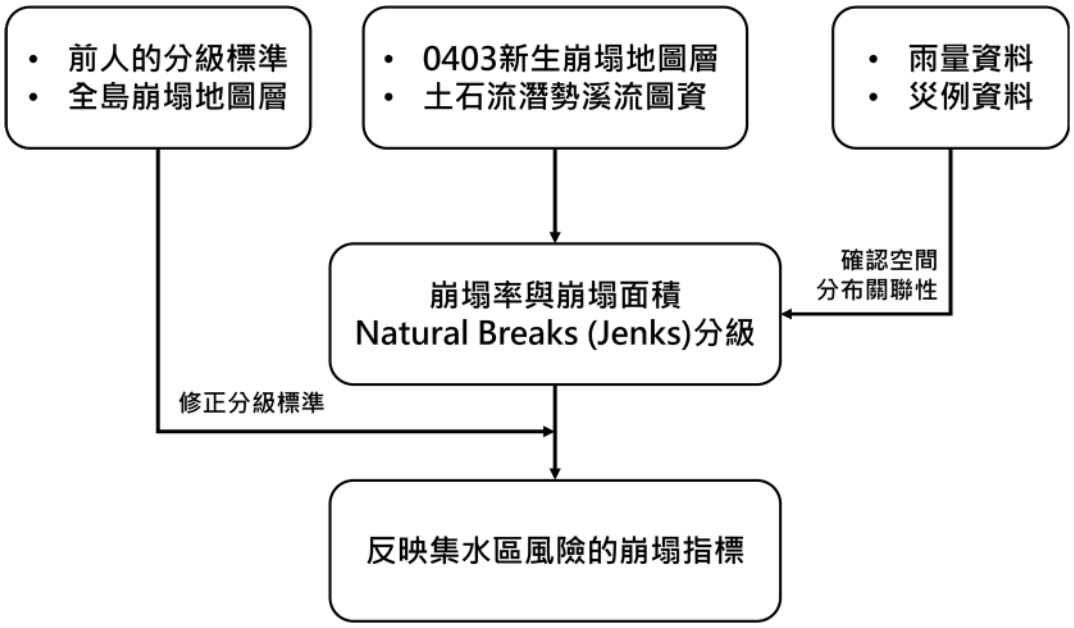


圖 4-3　研究流程圖

三、 結果與討論

(一) 新生崩塌對於土砂災害發生風險的影響

經由 QGIS 的套疊分析後，發現 0403 地震之 1,942 處新生崩塌地與 30 條土石流潛勢溪流集水區有交集 (圖 4-4)。為分析災害案例的空間分布與新生崩塌間關聯性，將圖 4-4 套疊今(113)年 4 至 8 月的災害案例後，可以推測這些災例的空間分布與新生崩塌具有關聯性，係以鄰近新生崩塌地的位置發生相當多的災害 (圖 4-5)。此外考量到降雨量與災害案例之空間分布情況，尚無法排除是否因 4 至 8 月降雨雨場分布不均所導致。換句話說，災害案例的集中分布情形可能和不均勻的降雨有關，如若在災例集中的位置剛好有較多的降雨量。若上述情形屬實，則此時新生崩塌地就不一定是主導地震後土砂災害風險潛勢的首要因素。因此為探討降雨與災害案例兩者空間分布之關聯性，本研究亦蒐集農村水保署、氣象署與水利署等機關之雨量資料，用以確認災例的空間分布與雨場之間的關係 (圖 4-6)。

圖 4-6 紅色方框處為今年度土砂災害集中的位置，也正是 4 月地震後新生崩塌地集中的範圍，和圖 4-6 黃色方框處相比，其鄰近的降雨量並不特別豐沛，但至今已傳出相當多的災情，由此可知紅色方框處發生土砂災害區位並非因降雨集中關係導致。再者，以圖 4-6 位於光復鄉一帶的中央山脈側之土石流潛勢溪流集水區 (花縣 DF118)為例，藉以說明新生崩塌地對集水區土砂災害潛勢的影響，其集水區空間分布範圍內有兩處雨量站 (太安 C1T950、馬太安 01T660)，且平均月降雨量均超過 300 毫米，但其集水區下游處至今並無相關的災情傳出。綜合以上的資料，可以證實 0403 地震產生的新生崩塌，確實改變了土砂災害發生的潛勢。

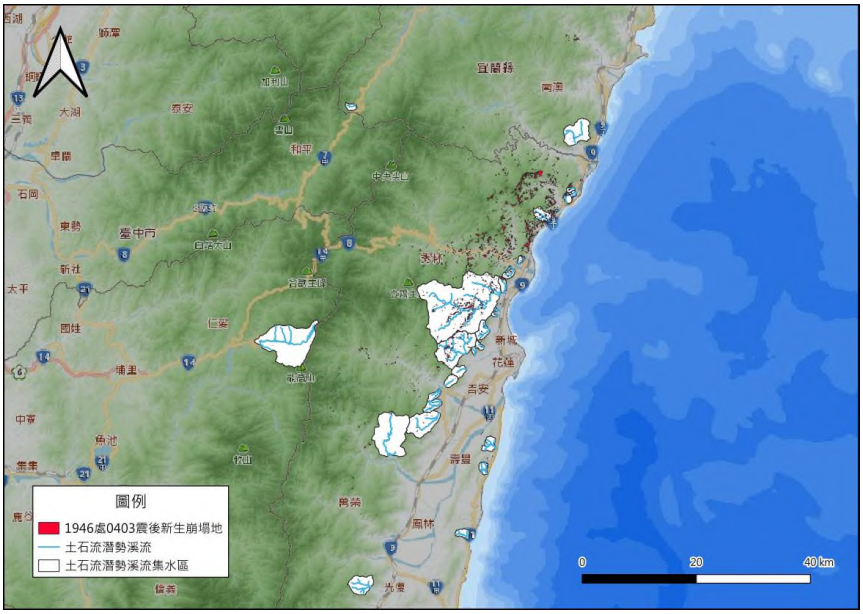


圖 4-4　0403 震後新生崩塌與 30 處土石流潛勢溪流集水區交集

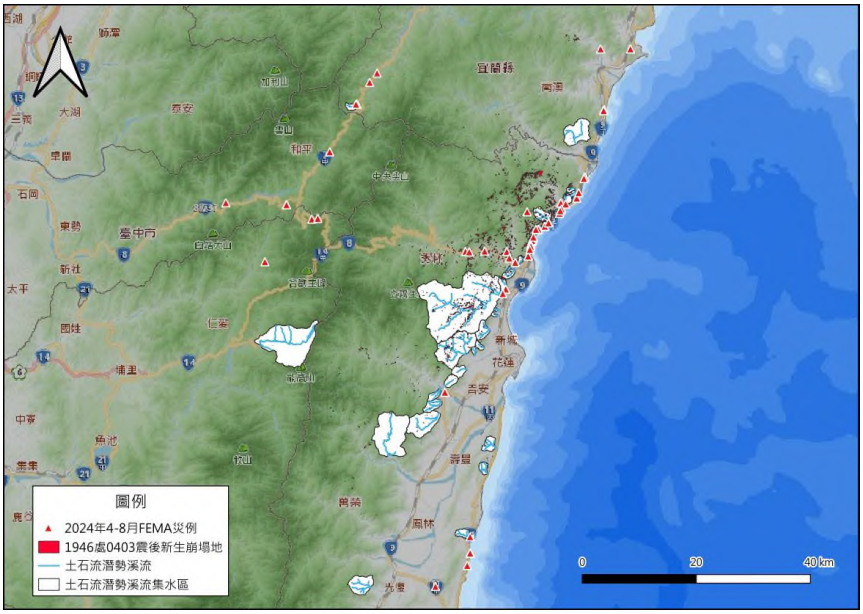


圖 4-5　2024 年 4-8 月媒體報導災例

資料取自 FEMA－土石流及大規模崩塌防災應變系統，坐標來自技師公會 (災害情蒐小組)

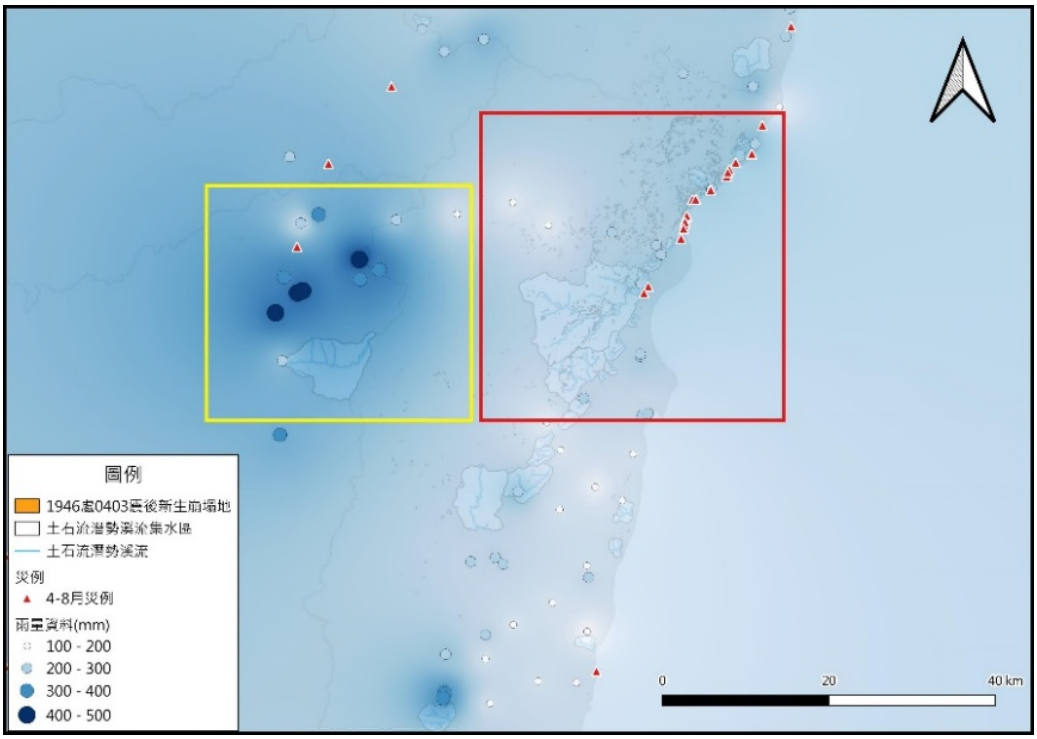


圖 4-6　2024 年 4-8 月平均月雨量，資料來自氣象署與水利署

(二) 集水區的風險評估指標－崩塌率分級指標

按照第二節提到的式 1，藉以計算與地震後新生崩塌地的新生崩塌率與新生崩塌面積，發現地震後增加的崩塌率最高可達 12.77%，而此次地震造成部分集水區內新增的崩塌面積超過 60 公頃，最大可達 200 公頃 (表 4-2)。為了解崩塌率及崩塌面積和土砂災害之間的關聯，本研究進一步利用 QGIS 內建的 Natural breaks (Jenks) 的分類方式，將崩塌率與總崩塌面積分成 5 級，初步評估圖 4-4 各個集水區的風險值，其風險描述分別為：低、中低、中、中高、高 (表 4-2)。

依據所得到土石流潛勢溪流集水區的崩塌率和崩塌面積分級風險值後，套疊今年度 4 至 8 月份的土石流災例空間位置，發現隨著崩塌率風險潛勢增加，土砂災害隨之增加，這項指標確實可以反映土砂災害的發生潛勢 (圖 4-7)。然而以新生崩塌面積做為風險評估指標的部份，目前仍未有明顯趨勢，後續需進一步研究 (圖 4-8)。另外，在 Natural breaks (Jenks) 的分類下，研究區內 30 處土石流潛勢溪流的崩塌率與崩塌面積均有離群值，其風險值中高與高的集水區數量明顯偏低 (圖 4-9)，因此下節將參照前人文獻的分級標準，重新分級各個集水區與對應風險值，修正初步的分級成果。

表 4-2　利用 Natural breaks (Jenks)分類方式將土石流潛勢溪流集水區進行風險潛勢分級

風險潛勢	新生崩塌率 (%)	新生崩塌面積 (公頃)
低	0 – 0.57	0 - 1.5
中低	0.57 – 1.85	1.5 – 5.6
中	1.85 – 3.45	5.6 – 18.1
中高	3.45 – 6.29	18.1 – 67.1
高	6.29 – 12.77	67.1 – 201.3

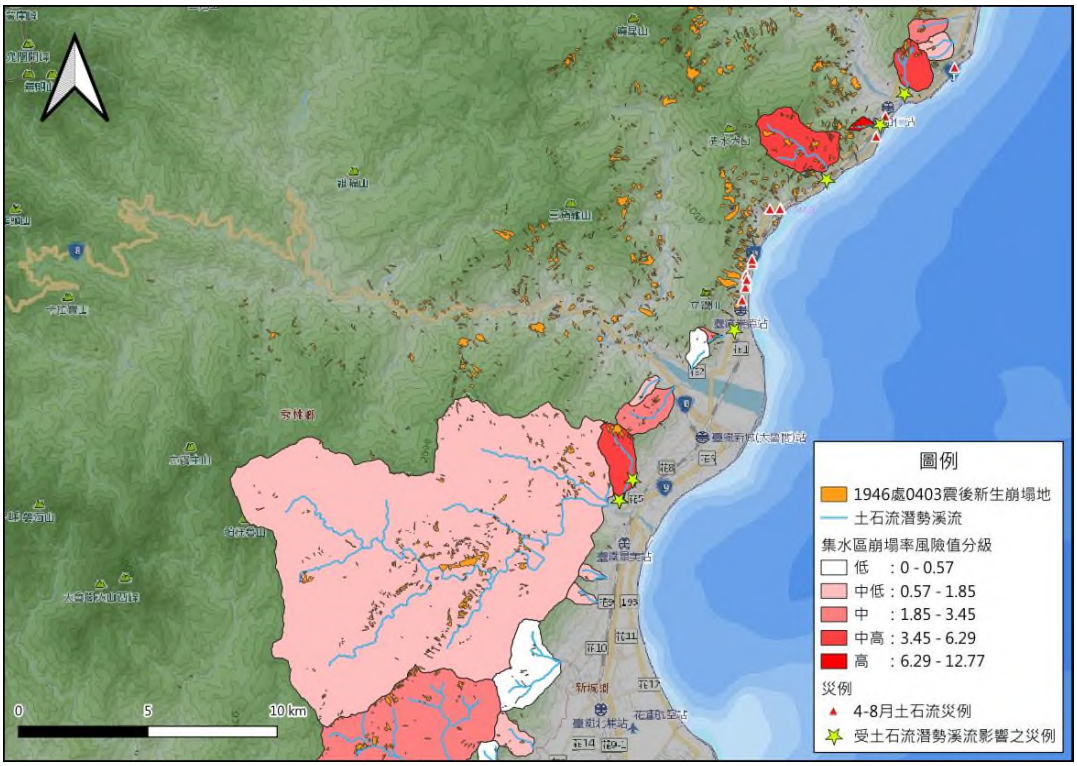


圖 4-7　新生崩塌率做為風險指標與 4-8 月土石流災例的空間分布關係

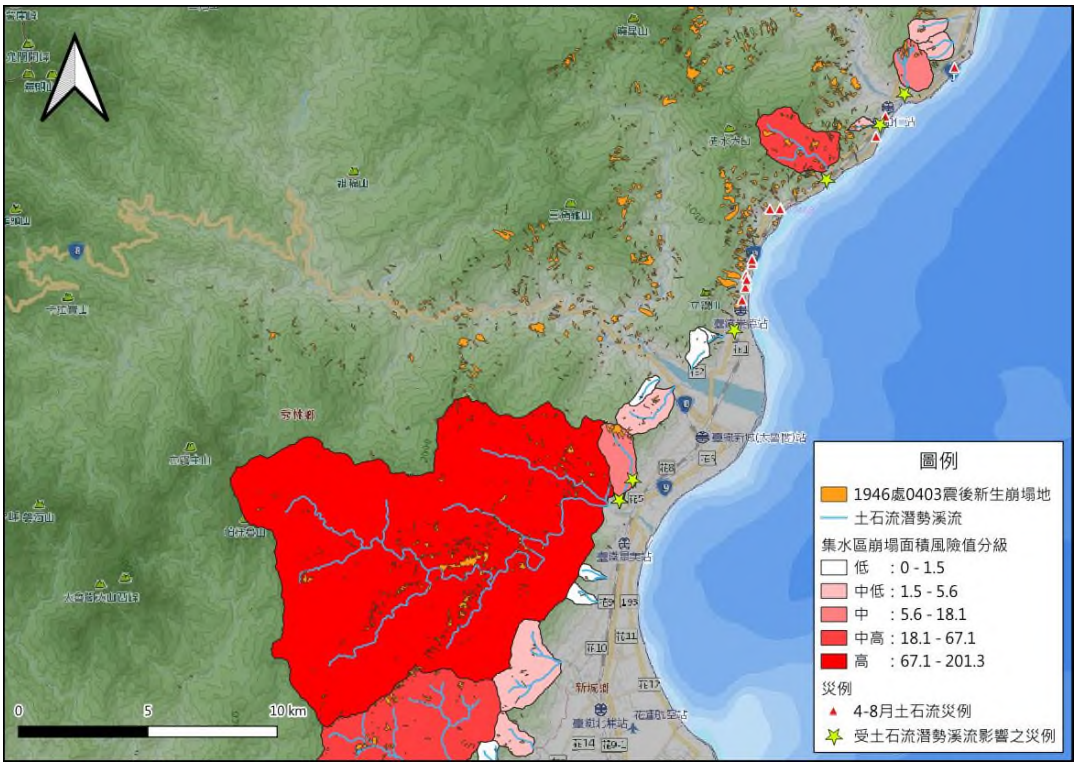


圖 4-8　新生崩塌面積做為風險指標與 4-8 月土石流災例的空間分布關係

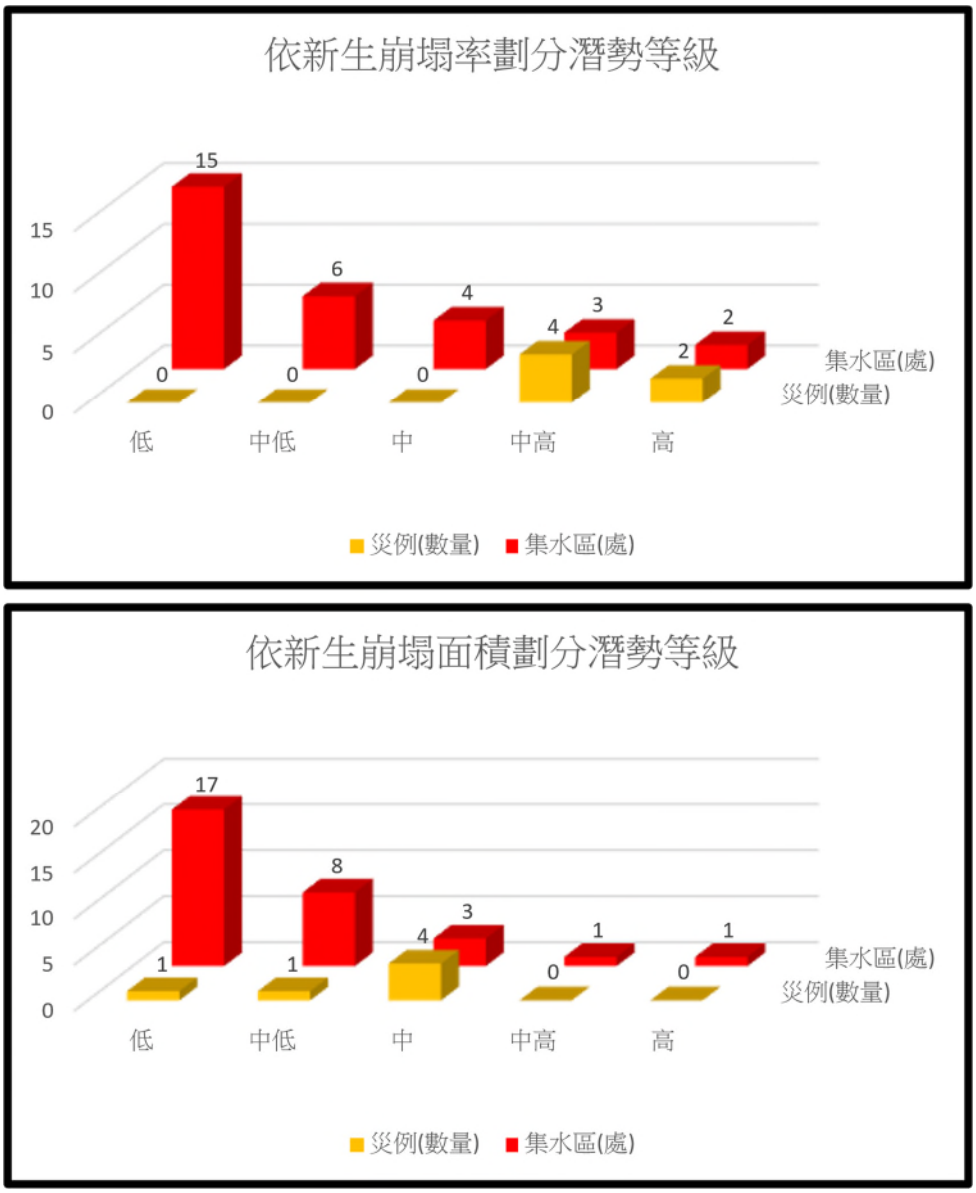


圖 4-9　使用 Natural Break (Jenks)分級的風險指標與災例之間的關連性

(有傳出災例的土石流潛勢溪流為花縣 DF024、025、172、173、174，共 5 處，其中花縣 DF174 (三棧南溪)至少有 2 起)

(三) 崩塌率與崩塌面積的級距調整

上節提到依照 Natural Break (Jenks) 分類的集水區，在崩塌率方面可有效篩選出高風險的區位，但其僅包含新生崩塌。為了與前人文獻提出的總體崩塌率做對比 (尹孝元等，2013；吳俊鋐，2014；吳俊鋐等，2019)，本研究首先依前人文獻的討論，調整表 4 2 的崩塌分級，再納入既有崩塌地進行分析，以確認修正後崩塌率指標的適用性。

前人研究以集水區崩塌率 1% (Wu et al., 2011)、3% (吳俊鋐等 2019) 做為崩塌嚴重程度的判定標準，和表 4-2 的標準略有出入；另外，使用低、中低、中風險的描述方式可能會讓人低估災害發生的潛勢，如表 4-2 的中風險潛勢對應的新生崩塌率為 1.85 至 3.45%，但此崩塌率在前人的標準中應代表集水區的崩塌情形嚴重。另外莫拉克颱風前後，高屏溪流域的崩塌率有顯著的變化，旗山溪集水區的崩塌率增加了 3% (吳俊鋐，2014)，荖濃溪集水區則增加了至少 5%，在 2008 年時為 0.9%，但在 2009 之後上升至 6.7% (張郡庭等，2021)。

綜合以上的討論，為能有效描述集水區的危險程度，本研究提出另一個崩塌率分級的準則，依據文獻資料綜整後，將表 4-2 的風險值描述與崩塌率級距調整為表 4-3，以更貼近實地狀況。調整後崩塌率級距分別為：低潛勢 (0%-0.5%)、中潛勢 (0.5%-2%)、中高潛勢 (2%-3%)、高潛勢 (3%-6%)、極高潛勢 (>6%)。由於新生崩塌對於整體的崩塌率是額外的影響，因為集水區可能有既存的崩塌地，故本研究另外加入 112 年全臺崩塌地圖層，計算圖 4-4 集水區的總體崩塌率 (表 4-4)，討論修正後的評估指標的代表性 (圖 4-10)。從圖 4-10 中可以觀察到，在加入全臺崩塌地圖層以及調整風險值級距後，隨著風險潛勢增加其土砂災害發生案例亦增加，因此依本研究

所建議劃分的崩塌率分級標準相當適合做為評估集水區土砂災害潛勢的風險指標。

表 4-3　崩塌率風險指標

風險值	總體崩塌率 (%)
低	0 – 0.5
中	0.5 – 2.0
中高	2.0 – 3.0
高	3.0 – 6.0
極高	> 6.0

表 4-4　統計 30 處土石流潛勢溪流集水區的崩塌相關資料

潛勢溪流名稱	集水區面積(ha)	崩塌面積 (震後新生+既有崩塌)	崩塌率(%)
投縣DF031	5178.97	97.07	1.87
宜縣DF083	187.94	1.06	0.57
宜縣DF139	1571.97	2.64	0.17
花縣DF003	251.27	5.59	2.22
花縣DF004	54.92	0.92	1.68
花縣DF005	3806.99	11.76	0.31
花縣DF006	486.52	0.86	0.18
花縣DF008	268.40	0.27	0.10
花縣DF011	372.33	1.30	0.35
花縣DF012	2865.44	71.17	2.48
花縣DF015	534.06	3.33	0.62
花縣DF018	43.05	0.45	1.05
花縣DF019	11520.14	336.47	2.92
花縣DF023	95.81	0.31	0.32
花縣DF024	529.95	75.16	14.18
花縣DF025	212.70	13.57	6.38
花縣DF026	104.25	1.93	1.85
花縣DF093	316.11	0.24	0.07
花縣DF118	1125.91	3.90	0.35
花縣DF133	1789.73	3.45	0.19
花縣DF147	276.92	1.22	0.44
花縣DF148	464.53	1.79	0.39
花縣DF153	390.27	1.36	0.35
花縣DF160	158.82	2.82	1.78
花縣DF162	90.24	0.16	0.18
花縣DF166	105.90	2.94	2.78
花縣DF172	30.46	3.89	12.77
花縣DF173	19.13	0.66	3.45
花縣DF174	292.72	18.15	6.20
花縣DF175	58.75	0.59	1.00

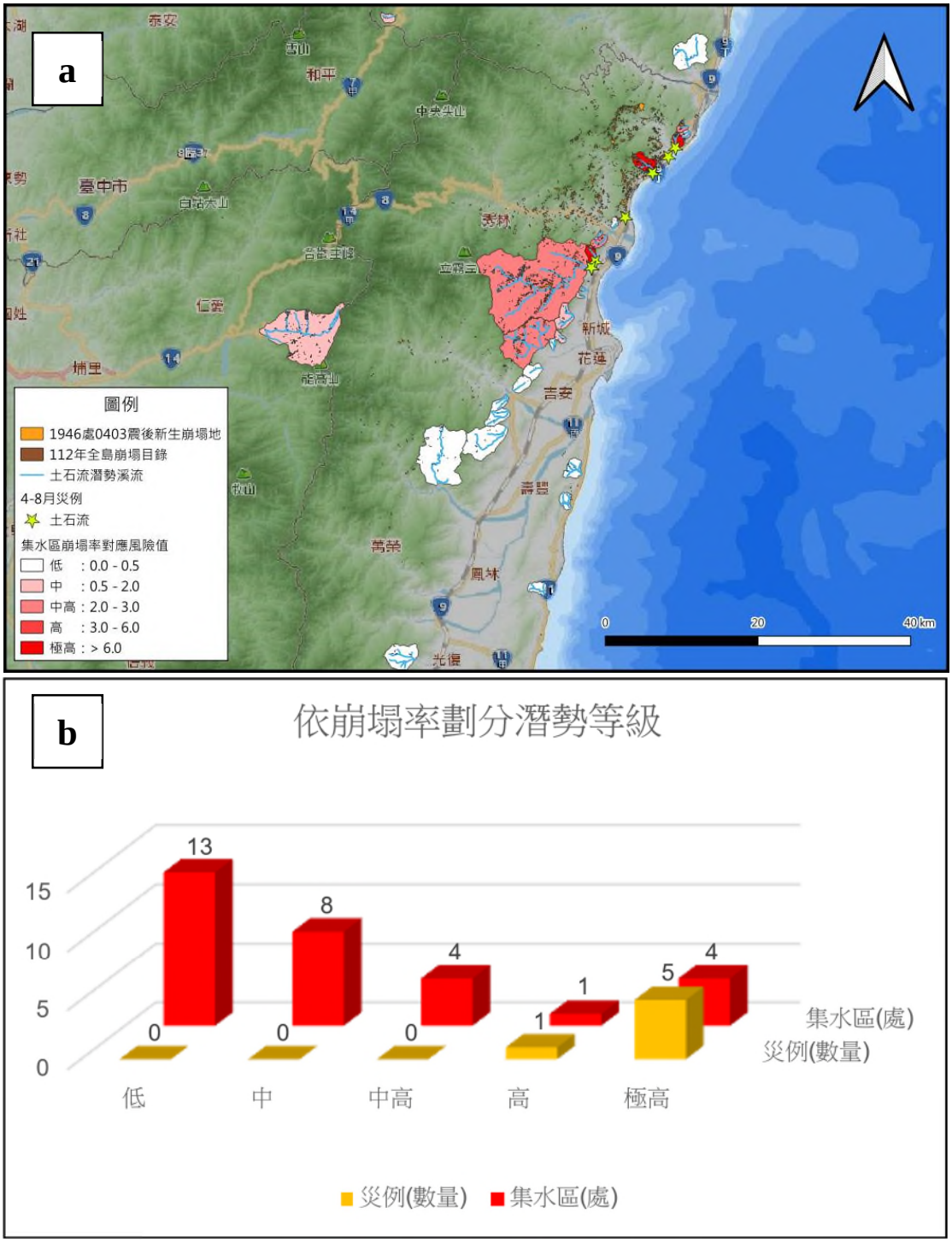


圖 4-10　　使用表 3 崩塌率劃分的風險等級與其對應到的土石流災例統計圖

(圖 a 為 30 處集水區崩塌率與其對應的風險等級；圖 b 顯示風險等級越高的集水區（紅柱），確實傳出較多的災例（黃柱），集水區風險等級中高以下者，並無災例傳出。)

至於利用崩塌面積做為災害潛勢的評估指標，就本研究已知的文獻而言較無相關的探討，可能是因為各溪流集水區的面積差異甚大，其適用之分級標準尚無定論，故難以以累積崩塌面積做為比較基準；再者，一般而言若集水區之集水範圍越大通常其集水區亦可能累積較多崩塌面積(圖 4-8)，且各集水區之崩塌地所產生土砂料源受降雨事件影響程度不一，係以大量土砂可能還沒有被搬運至下游，故尚未傳出災例。然而，考量到降雨發生及事件影響程度不一，總崩塌面積或許在災後短時間內，較不適合做為災害熱點的評估指標，但長期而言，崩塌面積越大代表其產生土砂料源應需要更多的時間或較大降雨事件來驅動，才能完全被搬運至下游，因此持續觀察其長時間的影響是將來的重要課題。

(四) 土砂遞移衰減率討論

從前兩節的討論可以得知，在集水區產生新生崩塌情況下，確實會影響其集水區的災害潛勢。但在經歷一段時間之後，新生崩塌地上的土砂料源有可能就完全隨降雨逕流帶往下游輸送、植生也會逐漸恢復，降低其致災潛勢，因此建構一隨時間變化的災害風險潛勢值是相當重要的。根據前人針對地震後崩塌地復原情形的探討，這些震後形成的崩塌地改變一地區發生土砂災害潛勢的影響，最少要 5 年以後才會消除 (Chen, 2011)，長則 10 至 20 年 (Li et al., 2016；Yang et al., 2018；Chen et al., 2021；Kincey et al., 2021)。甚至在過了千年以後，某些地區仍保留有相當比例的崩塌堆積物，並未完全被侵蝕 (Chen et al., 2022)。以高屏溪為例，其在莫拉克颱風後全流域的崩塌率幾乎維持在 3%左右，至今尚未恢復成事件前的狀態

(圖 4-11)，近年也持續有土石流災害傳出，如明霸克露橋一帶。

由此可知，崩塌率確實能反映集水區的土砂災害潛勢，但促發崩塌的事件持續影響某一區域的時長暫無一致的結論。土砂遞移衰減所需要的時間差異，可能與某地區的地質、氣候及水文條件有關，而臺灣時常會受到颱風與地震侵襲 (圖 4-12)，所以難以只利用單一的折減公式探討土砂遞移衰減。若欲探討集水區長時間的土砂災害潛勢變化，本研究建議利用每年更新的全島崩塌地圖層資料計算目標集水區內的崩塌率，進而得到最新的風險指標。

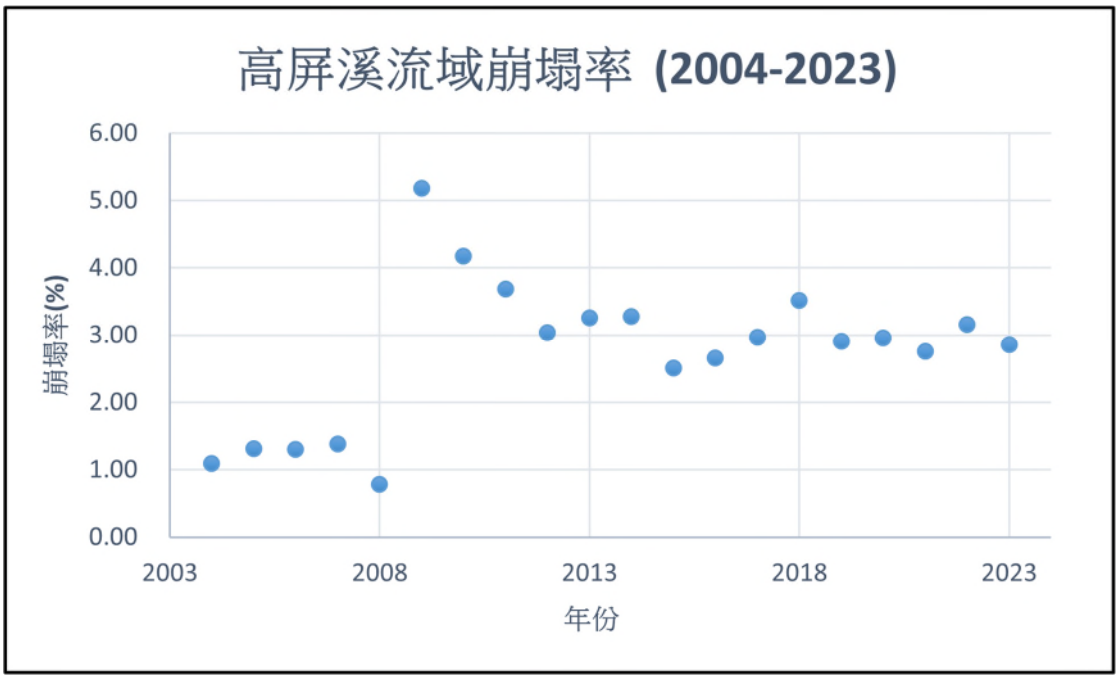


圖 4-11 高屏溪流域歷年崩塌率

(2004-2015 年資料來自張郡庭等 (2021)的崩塌率，2016 年資料使用林業署 (前林務局)提供之衛星判釋崩塌地，2017-2023 則來自農村水保署全臺崩塌地圖層。)

崩塌發生年份	當年度重大 颱洪事件	崩塌總面積 (ha)	新生崩塌面積 (ha)	植生恢復面積 (ha)	崩塌率 (%)	新生率 (%)
2004	敏督利颱風	3,618	2,794	529	1.09	77.24
2005	海棠颱風	4,353	1,837	1,339	1.31	42.21
2006	0609豪雨	4,323	1,401	1,530	1.30	32.41
2007	聖帕颱風、柯羅莎颱風	4,583	2,034	1,437	1.38	44.38
2008	卡玫基颱風	2,607	726	2,703	0.79	27.86
2009	莫拉克颱風	17,190	15,047	463	5.18	87.53
2010	凡那比颱風	13,863	4,154	7,481	4.18	29.96
2011	南瑪都颱風	12,243	3,147	4,154	3.69	25.71
2012	0610豪雨、天秤颱風	10,081	2,022	3,123	3.04	20.06
2013	蘇力颱風、康芮颱風	10,804	2,914	2,215	3.25	26.97
2014	麥德姆颱風	10,884	2,295	2,196	3.28	21.09
2015	蘇迪勒颱風	8,338	1,196	3,741	2.51	14.34

圖 4-12 高屏溪全流域歷年崩塌地面積變化(張郡庭等，2021)。

(在莫拉克颱風後，臺灣每年仍持續受到其他颱風事件的侵襲。)

四、 結論與建議

本研究利用 0403 花蓮地震後崩塌地判釋資料，分別計算 30 條土石流潛勢溪流集水區的崩塌率與總崩塌面積，再配合農村水保署的災例資料，證實崩塌率確實能反映一集水區的災害發生潛勢。隨著崩塌率上升，發生災害的案例也隨之增加。至於總崩塌面積做為評估指標的適用性則待更多的資料驗證，但集水區內新生的不安定土砂仍需長時間追蹤與探討。另一方面，評估集水區隨時間變化的土砂災害潛勢風險值有助於後續的防災決策，建議透過每年度的全島崩塌目錄計算特定集水區的崩塌率，以快速了解集水區隨時間變化的風險狀態。本計畫將持續精進評估特定區位土砂風險潛勢值的研究，以篩選出重點關注區，做為相關防救災單位決策時的參考依據。

第二節　土砂防災情境與模擬分析

本章第一節使用 0403 花蓮地震及其餘震所產生的新生崩塌地圖資，計算其所在的土石流潛勢溪流集水區的新生崩塌率與新生崩塌面積。同時蒐集 2024 年 4 至 8 月的雨量與災例資料，以及 112 年全臺崩塌地圖層，進一步評估得到崩塌率對於土石流潛勢溪流集水區的災害風險值成果。本節將進一步以第一節篩選風險值較高之災害位置，進一步進行土砂災害情境與模擬分析。

一、 0403花蓮地震後土砂移動降雨門檻值探討

(一) 前言

2024 年的 4 月 3 日花蓮地震造成上千處坡面崩塌，產生的鬆散土砂多堆積在坡面上，如遇降雨極易誘發土石流等災害，因此震後降雨誘發的土砂災害為極需關注的議題。國內外現行土石流警戒模式多以雨量為指標，惟面對地震後土石流警戒雨量值的調降幅度仍僅依過往災區情勢與應對經驗進行折減，尚無明確量化的標準。因此本研究整合並分析 0403 地震時的最大地動加速度(peak ground acceleration, PGA)與累積降雨量資料，並藉由震後所發生的土砂災害事件，建構土石流災害發生與降雨門檻之關係式，用以評估花蓮地區震後誘發土石流的臨界降雨量，後續將長期蒐整災害案例資料以完善震後土石流發生的條件門檻，作為防災應變的參考。

(二) 材料與方法

1. 研究材料

本研究為分別颱風與地震外力所誘發土砂災害之降雨門檻值變化，利用 0403 花蓮地震此單一事件誘發的土砂災害資料，探討其後續影響。因此以 0403 震後至 7 月 29 日凱米颱風前 4 個月所發生的重大土砂災例作為基礎研究資料，並據以劃分為地震影響災害的重要時間分水嶺，主要以農村水保署歷年紀錄之重大土砂災例中為土石流災害事件者(如圖 4-13 與表 4-5)，蒐集包含雨量資料、現地調查資訊、衛星影像、地動加速度及地動速度等資料，用以探討土石流發生、降雨門檻值、及其與最大地動加速度三者間的關係。

4/22 秀林台 9 線 160.7K

4/22 秀林和平村台 9 丁線 65.5K

6/21 秀林台鐵和仁隧道南口列車出軌

6/24 秀林三棧南溪土石流

6/29 秀林和平村土石流

7/1 和仁-崇德車站間土石流

7/2 秀林和平村台 9 線 164.2K

圖 4-13 震後土石流事件災情示意圖

表 4-5　0403 震後農村水保署重大土砂災例土石流事件紀錄

No.	土石流事件	日期	地點	X(WGS84)	Y(WGS84)	參考雨量站
1	台 9 線 160.7K	2024/4/22	花蓮縣秀林鄉台 9 線 160.7K	121.670297	24.208757	清水斷崖 (C0Z310)
2	台 9 丁線 65.5K	2024/4/22	花蓮縣秀林鄉和平村台 9 丁線 65.5K	121.67022	24.2083	和中 (C0T9D0)
3	南投縣信義鄉東埔村	2024/5/28	南投縣信義鄉東埔村	120.91459	23.56968	望鄉山 (C1I450)
4	嘉義中埔中崙四號橋	2024/6/7	台 3 線 300.9K 中崙四號橋、嘉 141 線 10.3K	120.56377	23.3719	沄水國小 (81M690)
5	台鐵出軌事件 1	2024/6/20	DF024	121.690032	24.218528	清水斷崖 (C0Z310)
6	台鐵出軌事件 2	2024/6/21	DF024	121.690032	24.218528	清水斷崖 (C0Z310)
7	三棧南溪土石流 1	2024/6/24	DF174	121.61345	24.11931	三棧 (C1Z110)
8	三棧南溪土石流 2	2024/6/28	DF174	121.61345	24.11931	三棧 (C1Z110)
9	花蓮秀林和平村土石流	2024/6/29	DF025、和仁部落地區土地公廟旁攔砂壩	121.718102	24.247002	和平 (41T600)
10	和仁-崇德車站間土石流 1	2024/7/1	北迴鐵路和仁-崇德間 (K48+100~600)	121.708955	24.235794	和仁車站 (81T1B0)
11	和仁-崇德車站間土石流 2	2024/7/1	北迴鐵路和仁-崇德間 (K56+500~980)	121.657997	24.182705	崇德國小 (81T1A0)
12	台 9 線 164.2K	2024/7/2	花蓮縣秀林鄉台 9 線 160.7K	121.6562	24.17683	崇德國小 (81T1A0)

2. 研究方法

以 921 集集大地震為例，於地震過後因地震崩塌產生大量鬆散土體堆積於坡面上，於相同坡度條件下，因土砂料源充足，其土砂災害發生之降雨門檻值隨之顯著下降 (Lin et al., 2003; Liu et al., 2008; Shieh et al., 2009; Yu et al., 2014)。由 Lin 等人(2003)研究指出，於地震過後土石流發生降雨門檻可下降至原來三分之一，而 Ou(2010)等人研究則指出地震後土石流發生前之降雨量約減至 15%至 22%間；而誘發土石流降雨量所對應之降雨重現期與土石流發生機率之關係，多數土石流發生在降雨重現期大於 1 年至 5 年事件下，但受到 921 集集地震影響下，其降雨重現期小於 1 年即發生土石流。此外，受到地震震度不同的影響其造成土石流流出事件密度亦不同，Liu 等人(2008)研究指出，當震度為 6 時造成土石流流出事件密度約為地震前的 99.7%，當震度為 7 時則約為地震前的 549.7%；Yu(2014)等人研究指出，地震除影響土石流災害發生之降雨門檻值外，地震之地動加速度大小亦對於土石流發生及災後降雨門檻值恢復有影響。

由上述前人研究可知，大地震過後極易因降雨引發土石流流出事件，本研究以此次 0403 地震後花蓮秀林鄉為研究地區，考量到影響土石流發生之因素相當多，初步研究限定於探討土石流發生之降雨量、地動加速度、地表速度等三者關係，其他未考慮條件因子如下：土石流所在地集水區大小、土石流再發生頻率、降雨重現期量、地質、坡度變化、植被等因子。再者，為區分是否為受地震影響所發生的土石流災害，依據農村水保署「土石流警戒基準值調升作業方式」中，明確訂定地震震度為 5 強地區，於震後經歷至少 1

場以上有效累積雨量超過警戒基準值之颱風豪雨事件(5 年內)，並無土砂災害紀錄且坡地環境改善，調升回原警戒值，因此在所蒐集的重大災例資料中，南投信信義鄉東埔村與嘉義縣中埔鄉中崙村兩者之震度為 5 弱以下，就上述作業方式排除於本研究震後災例之外。

參考 Yu 等人計算臨界降雨門檻值的方式(2014)，設定災後與災前累積降雨量的比例為臨界降雨量門檻值：$R = R_i / R_0$，R 為臨界降雨門檻值，其中 R 為降雨量門檻值，R_i 為災後一個雨場內最大累積降雨量，R_0 為災前一個雨場內最大累積降雨量(R_i 與 R_0 單位皆為毫米)。其次，蒐集中央氣象署地震報告中，結合垂直向(V)、南北向(NS)及東西向(EW)三個分量的各測站最大合成地動加速度資訊，利用 GIS 軟體中空間分析之克利金法(kriging)繪製全台的 PGA 分布圖，以 10 個震後土石流災例建構降雨門檻值與無因次(dimensionless)PGA 公式，並圈繪震後降雨門檻致災範圍。

此外，由於土石流災害發生之降雨門檻值受地震影響而產生變動，除需考量 0403 震後各土石流災點於震前有災情紀錄者，以該災害事件為震前臨界降雨量參考案例；對於無歷史災害紀錄者，考量到土石流警戒發布是以鄉里為區域訂定降雨量警戒值，則以發生於秀林鄉內鄰近的歷史災例為震前臨界降雨量參考災例，如圖 4-14 所示。本研究震後災例中的「花蓮秀林和平村土石流」可參考歷史災例「101 年蘇拉颱風-花蓮秀林-001」之雨量資料，震後災例「和仁-崇德車站間土石流 1」與「台 9 線 160.7K」災點處並無歷史災例紀錄，因此參考地理位置上最鄰近的歷史災例「101 年蘇拉颱風-花蓮秀林-001」之雨量資料，以此計算出降雨門檻值。

綜整 0403 震後 10 處土石流災例，依據空間區位與所對應的歷

史災例選定參考雨量站，震前歷史災例集中在秀林鄉和平村與銅門村，其中位於秀林鄉和平村與崇德村的震後災例距秀林鄉和平村的歷史災例「101 年蘇拉颱風-花蓮秀林-001」最近，因此參考「101 年蘇拉颱風-花蓮秀林-001」的雨量站資料作災前最大累積降雨量，而位於秀林鄉秀林村的震後災例(三棧溪土石流 1&2)距歷史災例「101 年蘇拉颱風-花蓮秀林-001」與「110 年圓規颱風-花蓮秀林-001」皆約 20.7 公里(圖 4-15)，考量到雨量站在降雨時空上的代表性，因此 8 個災例的歷史對應之參考雨量站為較北邊的和平雨量站(41T600)，2 個災例的歷史對應之參考雨量站為較南邊的銅門雨量站(C1Z130)(表 4-6)。

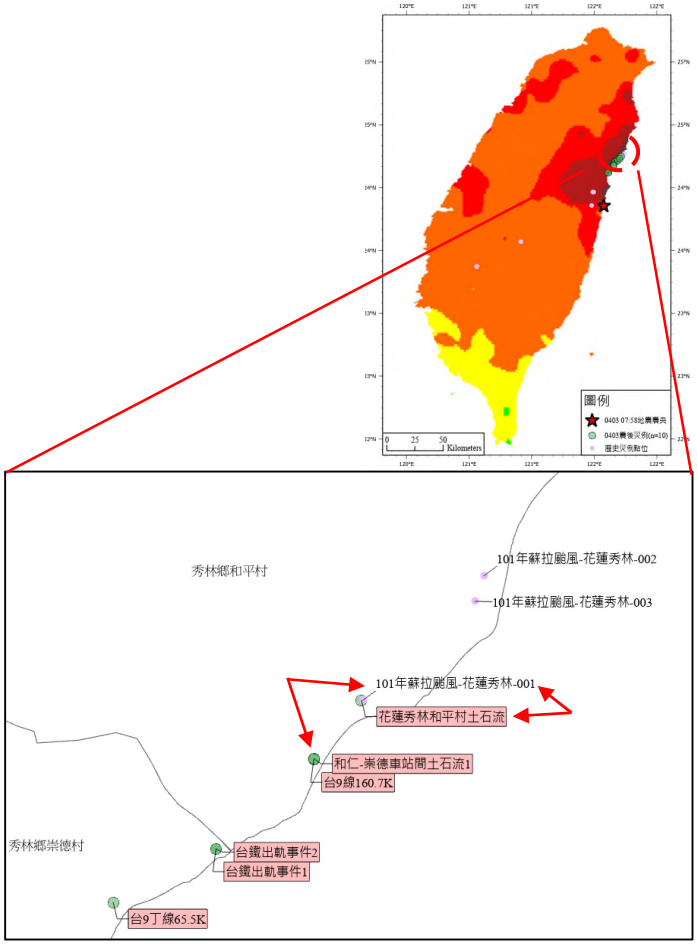


圖 4-14 0403 震後災例與歷史災例點位圖

(*綠點為 0403 震後災例，粉紅點為歷史災例)

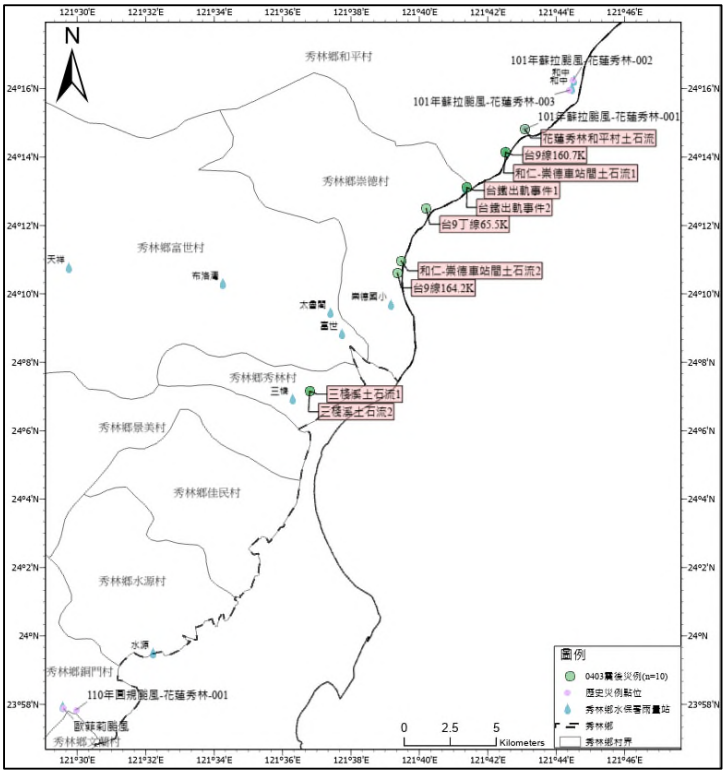


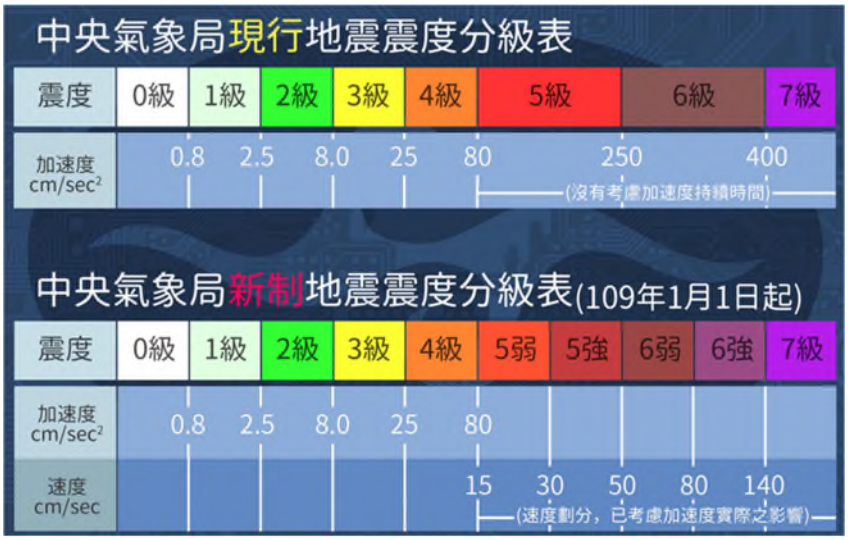
圖 4-15 0403 震後災例、秀林鄉歷史災例與參考雨量站位置示意圖

表 4-6　震後災例參考雨量站及參考之歷史災例與其雨量站

No.	土石流事件	日期	地點	參考雨量站	參考之歷史災例	歷史災例參考雨量站
1	台 9 線 160.7K	2024/4/22	花蓮縣秀林鄉台 9 線 160.7K	清水斷崖 (C0Z310)	101 年蘇拉颱風-花蓮秀林-001	和平 (41T600)
2	台 9 丁線 65.5K	2024/4/22	花蓮縣秀林鄉和平村台 9 丁線 65.5K	和中 (C0T9D0)	101 年蘇拉颱風-花蓮秀林-001	和平 (41T600)
3	台鐵出軌事件 1	2024/6/20	DF024	清水斷崖 (C0Z310)	101 年蘇拉颱風-花蓮秀林-001	和平 (41T600)
4	台鐵出軌事件 2	2024/6/21	DF024	清水斷崖 (C0Z310)	101 年蘇拉颱風-花蓮秀林-001	和平 (41T600)
5	三棧南溪土石流 1	2024/6/24	DF174	三棧 (C1Z110)	110 年圓規颱風-花蓮秀林-001	銅門 (C1Z130)
6	三棧南溪土石流 2	2024/6/28	DF174	三棧 (C1Z110)	101 年圓規颱風-花蓮秀林-001	銅門 (C1Z130)
7	花蓮秀林和平村土石流	2024/6/29	DF025、和仁部落地區土地公廟旁攔砂壩	和平 (41T600)	101 年蘇拉颱風-花蓮秀林-001	和平 (41T600)
8	和仁-崇德車站間土石流 1	2024/7/1	北迴鐵路和仁-崇德間 (K48+100~600)	和仁車站 (81T1B0)	101 年蘇拉颱風-花蓮秀林-001	和平 (41T600)
9	和仁-崇德車站間土石流 2	2024/7/1	北迴鐵路和仁-崇德間 (K56+500~980)	崇德國小 (81T1A0)	101 年蘇拉颱風-花蓮秀林-001	和平 (41T600)
10	台 9 線 164.2K	2024/7/2	花蓮縣秀林鄉台 9 線 160.7K	崇德國小 (81T1A0)	101 年蘇拉颱風-花蓮秀林-001	和平 (41T600)

綜整前人研究得知，地震除了影響土石流發生之降雨門檻值，地震震度與所對應之最大地動加速度(PGA)亦是影響土石流發生的重要因素，因此本研究採用無因次最大地動加速度來探討地震對土石流發生之影響，其中地震震度與對應之 PGA 用來表示地震活動(表 4-7)，本文採用之無因次最大地動加速度 G，其計算方式為 G = PGA/ g，PGA 為各土石流災例位點所在之最大地動加速度(cm/s^2)，g 為重力加速度 981cm/s^2。

表 4-7　地震震度對照之最大地動加速度(PGA)範圍表



農村水保署針對震後土砂災害敏感區，綜合研判 0403 花蓮強震後坡地短時間內如受降雨或颱風豪雨影響，其致災風險將大為增加，針對震後震度達 5 強以上、邊坡落石、及新生崩塌等傳出災情的地區，進行新增土石流潛勢溪流評估作業，於 0403 花蓮地震後所發的土石流災害事件中，其中三棧南溪於 5 月及 6 月發生多次土砂流動事件，因此水保署於 2024 年 6 月 4 日公告其為 113 年新增的土石流潛勢溪流：花縣 DF174，其對應之土石流警戒雨量基準值為 300 毫米(表 4-8)。

表 4-8　113 年 0403 花蓮地震新增之土石流潛勢溪流明細表

113 年 6 月更新

項次	113 年新增土石流潛勢溪流編號	縣市	鄉鎮市區	村里	初估保全戶數	風險等級	土石流警戒基準值(mm)	臨時編號	參考雨量站	
									代表站 1	代表站 2
1	花縣 DF172	花蓮縣	秀林鄉	和平村	1~4 戶	高	200*	花縣 U113-2	和中	和中[5]
2	花縣 DF173	花蓮縣	秀林鄉	崇德村	5 戶以上	高	300*	花縣 U113-4	富世	太魯閣
3	花縣 DF174	花蓮縣	秀林鄉	景美村	1~4 戶	高	300*	花縣 U113-6	三棧	富世
4	花縣 DF175	花蓮縣	秀林鄉	景美村	1~4 戶	高	300*	花縣 U113-7	三棧	富世

1. 本表係指土石流發生機率 70%時之土石流警戒值，容許誤差為正負 50mm(另加註"*"者為受地震因素影響，調降為發生機率 50%，並持續加強後續觀察者)。
2. 土石流警戒區發布，除參考代表站雨量外，仍需依據當地實際降雨趨勢，進行警戒研判。
3. 本警戒基準值僅做為土石流預警防災疏散之參考，如需考慮崩塌、地滑或道路封閉等因素進行疏散避難，應視現地情形採取必要之疏散措施。
4. 各參考雨量站即時雨量資訊，可參考中央氣象署網站(https://www.cwa.gov.tw)或農村水保署土石流及大規模崩塌防災資訊網(https://246.ardswc.gov.tw)即時雨量頁面。
5. 參考雨量站加註下列代號者表非氣象署雨量站(s:農村水保署、w:水利署、tp:臺北市政府、sr:石門水庫管理中心、fr:翡翠水庫管理局)

本研究另針對三棧南溪的新生崩塌地、災害事件降雨、空拍影像等相關環境概況資料進行分析，以探討臨界降雨門檻值與無因次 PGA 之關係。

(三) 結果

利用地震後之雨量站資料與由震後 10 個災例對應之 PGA 資料構建出土石流發生之臨界降雨門檻值與無因次最大地動加速度公式：

$$R = 0.0375G^{-1.28} \qquad (式\ 4\text{-}2)$$

與依據前人經驗公式：$R = 0.106G^{-1.48}$ 所作的 R 與 G 關係圖(圖 4-16)，圖中可看出土石流潛勢溪流集水區受 PGA 影響越大，震後的降雨門檻值亦越降低，但仍處於動態調整的狀態，以本研究所建置公式與前人研究成果(圖 4-17)進行比對，發現 Lee(2006)及 Shieh 等人(2009)調查 1999 年集集地震之土石流災害，其無因次 PGA(G)介於 0.33 至 0.61

間 (PGA: 323.7-598.4gal)；Yu 等人(2014)調查 2008 年中國汶川地震之 15 處土石流災害，其無因次 PGA(G)介於 0.26 至 0.87 間，而本研究 0403 花蓮地震時震度 5 強以上地區，無因次 PGA(G)介於 0.29 至 1.12 間(PGA: 286.5-1102.01gal)。

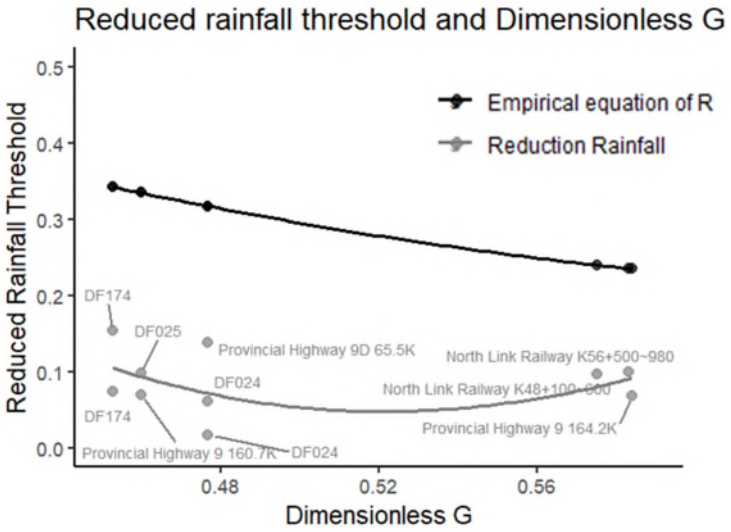


圖 4-16 無因次 PGA 與臨界降雨門檻的關係圖

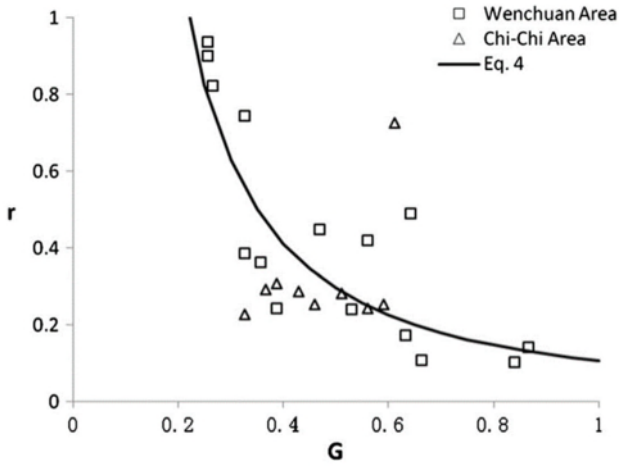


圖 4-17 中國汶川大地震與台灣集集大地震震後臨界降雨門檻值與無因次 PGA 的關係(Yu et al., 2014)

若依照前人綜整集集大地震與中國汶川地震後 7 個雨季之災例(表 4-9)所建構的經驗公式，在相同的無因次 PGA(G)下，其對應之

降雨門檻值較高，推測於本研究不同之原因，其一為隨震後時間愈長，堆積於坡面之土砂料源隨降雨逕流往下游輸送，其土石流臨界門檻隨之提高，如圖 4-18 所見，由地震後 1 年與 7 年的關係式可看出震後臨界降雨門檻值有往上提升的趨勢，其二為該坡面植生隨時間恢復，坡面土壤相對於災害初期穩定之故。此外，由 Lin 等人(2003)、Ou 等人(2010)、Yu 等人(2014)研究顯示，大地震後啟動土石流之臨界降雨門檻下降，但不同地區仍因降雨頻率與規模、地形地貌條件、崩塌規模等因素使啟動土石流之臨界降雨門檻值不同，由圖 4-19 所示，發生於台灣東部的 0403 地震、台灣西部的集集大地震及中國的汶川地震可能因地質與水文上的差異，震後 1 年的臨界降雨門檻值與 PGA 的關係具明顯差異。

表 4-9　前人研究的地震前後發生土石流之降雨門檻值變化表

(Yu et al., 2014)

The rainfall thresholds of debris flows before (R_o) and after (R_i) the earthquake, the ratio r (R_i/R_0) the PGA, the dimensionless PGA (G) and the number of elapsed rainy seasons (t) for different debris flow gullies in the Wenchuan Earthquake area. The threshold values must be considered as observed minimum values which triggered debris flows.

No	R_0 (mm)	R_i (mm)	r	PGA (gal)	G	t
1	373	53	0.14	850	0.87	1
2	496	52	0.10	824	0.84	3
3	373	65	0.17	620	0.63	3
4	398	43	0.11	650	0.66	2
5	150	74	0.49	630	0.64	4
6	374	157	0.42	550	0.56	3
7	305	80	0.24	520	0.53	1
8	374	168	0.45	460	0.47	2
9	362	132	0.36	350	0.36	1
10	101	25	0.24	380	0.39	1
11	24	9	0.39	320	0.33	3
12	24	18	0.75	320	0.33	4
13	19	16	0.82	260	0.27	3
14	19	18	0.94	250	0.26	4
15	390	351	0.90	250	0.26	1

The rainfall thresholds of debris flows before (R_o) and after (R_i) the earthquake, the ratio r (R_i/R_0), the PGA, the dimensionless PGA (G) and the number of elapsed rainy seasons (t) for different debris flow gullies in the Chi-Chi Earthquake area. The threshold values must be considered as observed minimum values which triggered debris flows.

No	R_0 (mm)	R_i (mm)	r	PGA (gal)	G	t
1[a]	275	195	0.71	580	0.59	1
2[a]	496	93	0.19	500	0.51	1
3[a]	196	142	0.73	600	0.61	2
4[a]	369	84	0.23	320	0.33	1
5[a]	578	136	0.24	420	0.43	1
6[a]	816	198	0.24	550	0.56	1
7[b]	1006	256	0.25	450	0.46	1
8[b]	1246	368	0.29	360	0.37	1

[a] Lee (2006)
[b] Shieh et al. (2009)

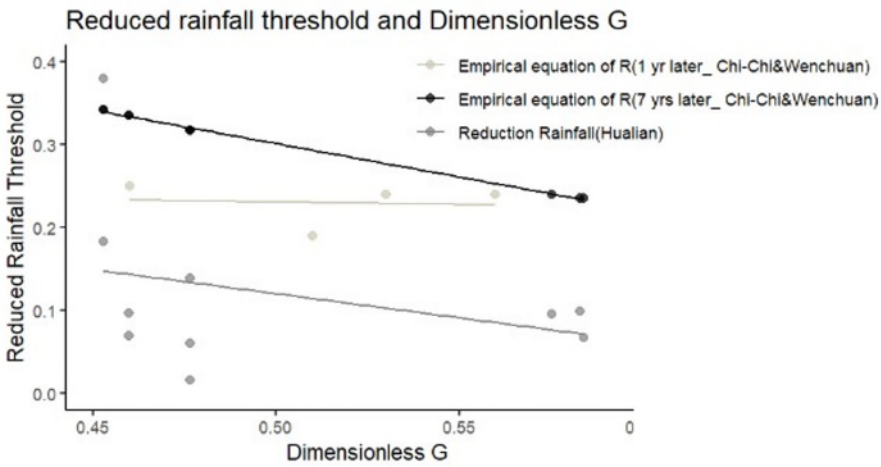


圖 4-18 本次研究建構之關係式及前人整合中國汶川大地震與台灣集集大地震震後 1 年、7 年災例之臨界降雨門檻值與無因次 PGA 間的關係

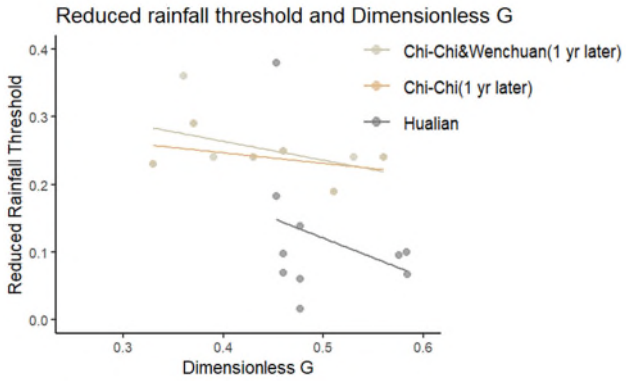


圖 4-19 由 2024 年 0403 震後災例、1999 年台灣集集大地震及 2008 年中國汶川大地震建構之臨界降雨門檻值與無因次 PGA 間的關係

蒐集中央氣象署地震報告資料並利用克利金法繪製全台的 PGA 圖，再以恢復至震前降雨門檻值所對應之臨界門檻值(R=1)與無因次最大地動加速度(G=0.5)(497gal)進行致災範圍推估，如圖 4-20 所示。

雖與中央氣象署公布之震度圖(圖 4-20)有些許落差，而氣象署的震度計算方式為依據徐(徐明同，1979)：$I(\leqq 4) = 2.00 log(\mathrm{PGA}) + 0.70$ 與吳等人(Wu et al., 2004)：$I(>5) = 2.14 log(\mathrm{PGV}) + 1.89$ 所提出的關係式進行劃分，仍可看出震度 5 強以上的震後災例皆位圈繪範圍內，因此未來建議持續修正相關資料以進行更精確的分析。

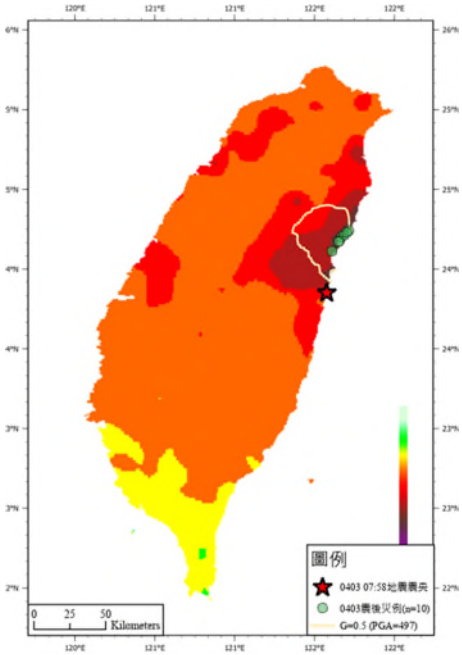


圖 4-20 於震度圖上套疊震前降雨門檻致災範圍(G=0.5)

另外，由農村水保署之重大土砂災害資料顯示，位於花蓮縣秀林鄉的三棧南溪於震後已多次發生多次土石流事件，本研究依其震前與震後的環境概況加以分析，經震後衛星影像進行崩塌地判釋，估計三棧南溪土石流潛勢溪流集水區上游的新生崩塌面積為 18.15

公頃(圖 4-21)，在 0403 花蓮地震之前，此處無土砂災害發生紀錄，但震後產生新生崩塌地後，已記錄到多場土石流事件。

圖 4-21 2024/2/18 與 2024/4/29 拍攝的衛星影像

由三棧溪鄰近的三棧雨量站 5 月至 6 月的降雨資料分析(圖 4-22)發現，於 5 月 7 日總雨量僅 7 毫米，但卻發生土石流出事件，該事件之土砂前緣已流動至中游鋼便橋處；於 6 月 19 日、20 日、21 日、24 日及 28 日皆發生土石流事件，土石流流動至下游潛壩處。再者，由衛星影像檢視三棧南溪中游與下游，發現其中游河道確實於土石流災後明顯擴大，其下游地區也因土石流向下沖積而形成明顯土砂扇狀地(圖 4-23)。

6 月之土石流事件中最大降雨強度(66.5mm/hr)發生於 6 月 24 日，最小降雨強度為(9mm/hr)發生於 6 月 19 日，當日累積降雨量為分別為 110mm 及 22.5mm，誘發雨事件之降雨量均低於此區的土石流警戒基準值 300mm，由此可知受地震影響為啟動土石流臨界降雨量降低的一大主因。

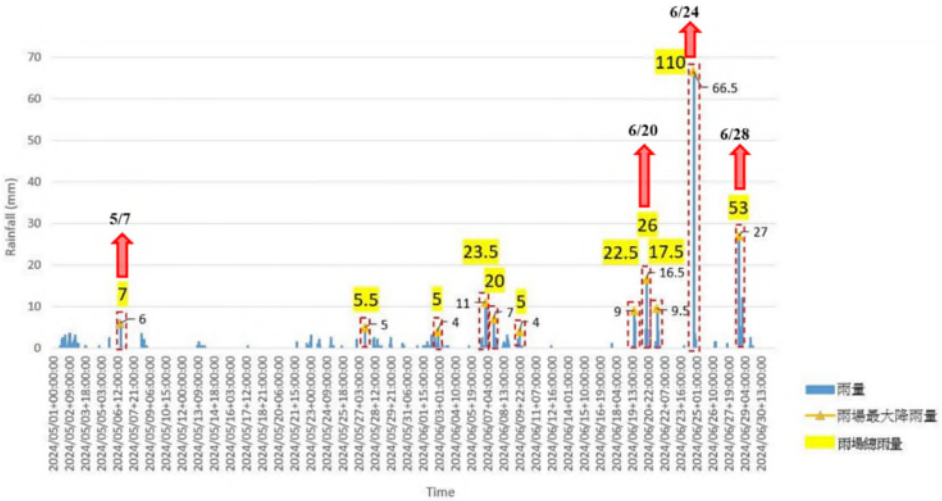


圖 4-22 以雨場切割法計算三棧雨量站降雨量

(*雨場以時雨量≥4mm 起算，並且連續 6 小時<4mm 時結束。)
(*紅色箭頭為有紀錄的土砂運動發生時間。)

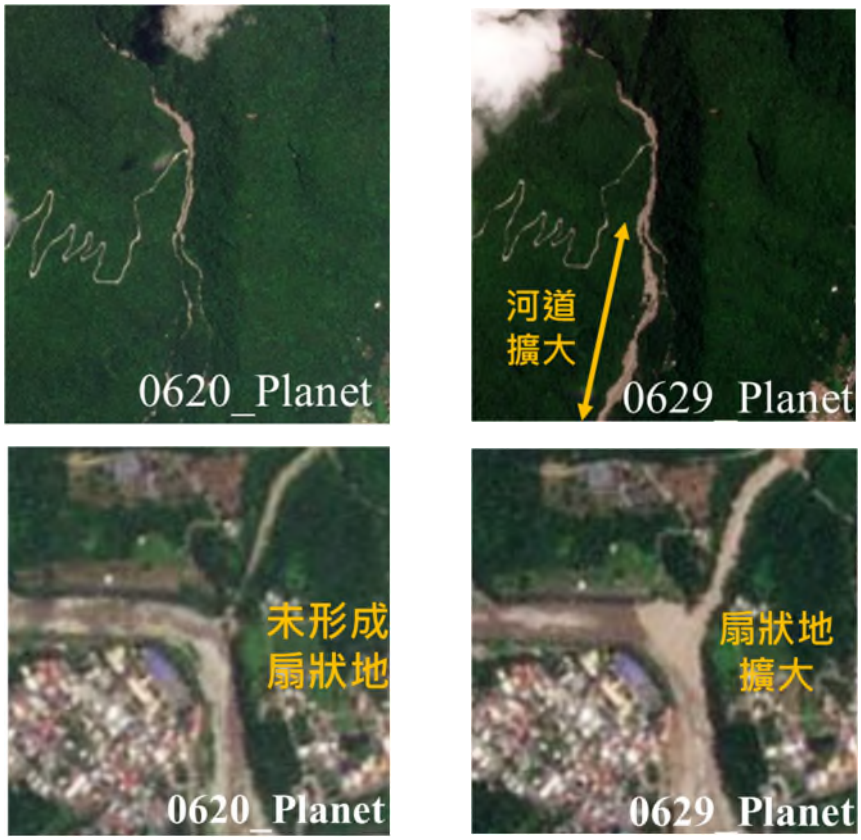


圖 4-23 衛星影像拍攝的三棧南溪中游河道(上)與下游沖積扇(下)

(四) 結論與建議

本研究列出以下結論與建議:

1. 建置震後降雨門檻與無因次 PGA 間關係式：R = 0.0375G-1.28，可用於圈繪恢復至震前降雨門檻致災範圍(G=0.5)作為土石流災害警戒發布初步參考。
2. 研究區域集水區受 PGA 影響越大，震後土石流形成降雨門檻值亦隨之下降，但受 0724 凱米颱風影響，大量土砂料源被運移至下游，震後致災降雨門檻值將較快速回升。
3. 前人研究(Yang et al., 2021)指出，最大地動速度(PGV)較 PGA 更能反應震後嚴重災區範圍，建議未來加入並探討 PGV 與降雨門檻值的關係。
4. 建議將來持續追蹤震後 1-5 年災例資料，並補充現地 UAV 調查，以利掌握上游崩塌土砂料源之土砂運移情況，有助於評估震後土石流發生的降雨門檻恢復趨勢。

二、 0403地震後土石流活動性研究

(一) 前言

本研究以 113 年 6 月 21 日發生於花蓮大清水溪(花縣 DF024)，土石流流出造成台鐵新自強號出軌事件為例，探討震後土石流災害活動性。利用 QPESUMS 雷達雨量資料配合 WFLOW 降雨逕流模式，計算災害事件之集水區雨量分布與溢流點流量資料後，再以 HyperKanako-2D 進行土石流數值模擬，並搭配 6 月 20 日至 22 日連續三天的 Planet 衛星影像、災後勘查及降雨量資料，推測出災害事件發生原因並顯示震後土砂敏感之特性。此外，本研究亦透過災害場域環境地形進行土石流數值模擬，探討 50 年重現期下不同土石流濃度對於河道堆積之影響，以供未來防災應變參考。

(二) 材料與方法

本研究蒐集 0403 地震災後集水區新生崩塌判釋圖資、清水斷崖雨量站 (C0Z31)、Planet 衛星影像、及災後 UAV 空拍等作為基礎資料，綜合分析此次土石流流出事件，探討災害原因並提出後續改善措施，避免類似事件再次發生。

1. 災害事件分析

本研究區域為花蓮縣秀林鄉崇德村之土石流潛勢溪流（花縣 DF024），其集水區面積為 529.95 公頃，災害發生坐標為 TWD97 系統(320087,2679398)。依據農村發展與水土保持署於 0403 地震災後集水區崩塌判釋圖 (圖 4-24)得知，本集水區共發生 24 處新生崩塌，新生崩塌面積共為 31.73 公頃，新生崩塌率約為 6%，總崩塌面積達到 75.16 公頃，屬於風險值極高之嚴重崩塌集水區 (表 4-3)。

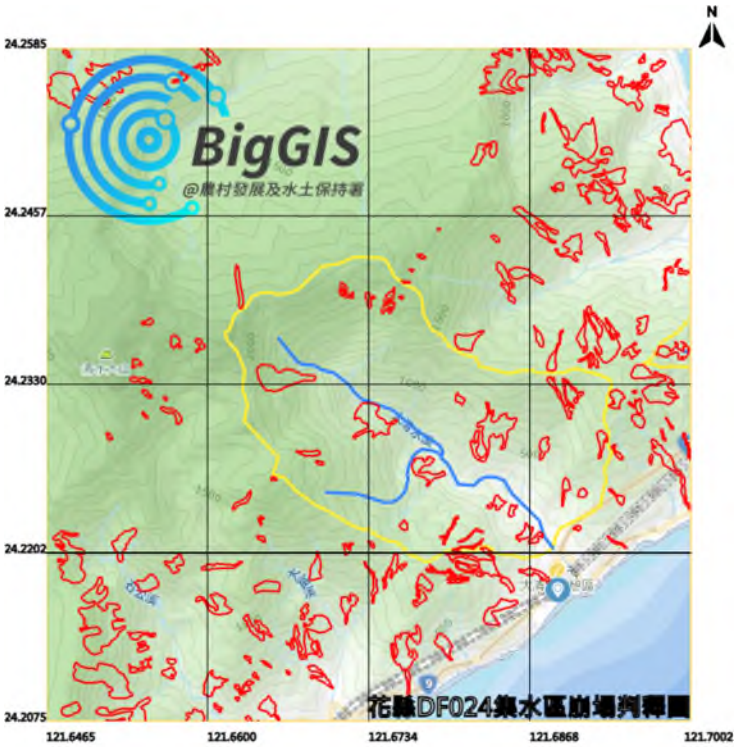


圖 4-24 花縣 DF024 集水區崩塌判釋圖
(取自農村水保署 BigGIS)

依據台鐵公司災後所發布的災害事件第五報及第六報與 Planet 衛星影像（瑞竣科技提供，圖 4-25）資料，整理出災害發生及後續處理之歷程，如表 4-10 所示。由 Planet 影像資料顯示，於 6 月 20 日早上 10 時 37 分時，土石流下游出海口處尚無沖積扇形成，但於 6 月 21 日早上 10 時 02 分時，出海口已形成沖積扇，再至 6 月 22 日 9 時 50 分時，其出海口沖積扇較前一天擴大許多。利用衛星影像比對出海口沖積扇面積變化，考量第二天土石流發生時降雨量遠小於第一天，推測第二天土石流發生時，可能將第一天土石流堆積於河道土砂材料往下游輸送，因此沖積扇較第一天擴大。

再者，對照於災害發生時間點與清水斷崖雨量站之降雨歷程，於 6 月 20 日及 6 月 21 日各有一波有效降雨，6 月 20 日雨量為 43.5 毫

米，6 月 21 日雨量為 12 毫米，惟 6 月 21 日事故當日降雨僅 12 毫米，而 6 月 19 日至 6 月 21 日，三日累積雨量僅 58.5 毫米，如圖 4-27。檢視清水斷崖雨量站降雨歷程顯示，於第一次及第二次土石流流出事件均遠低花蓮縣秀林鄉區域土石流警戒基準值 300 毫米，此亦顯示出大地震過後坡面土砂極易受降雨影響而產生流動。

表 4-10　災害事件歷程表

日期	時間	事件描述
6/20	傍晚	第 1 波土石流，出海口形成沖積扇
6/21	16:30	第 2 波土石流，土石覆蓋鐵軌
	16:50	事件發生
	17:00	臺鐵本部成立一級應變小組
6/22	08:00	完成復軌脫離
	13:47	恢復通車，但降低限速慢行通過

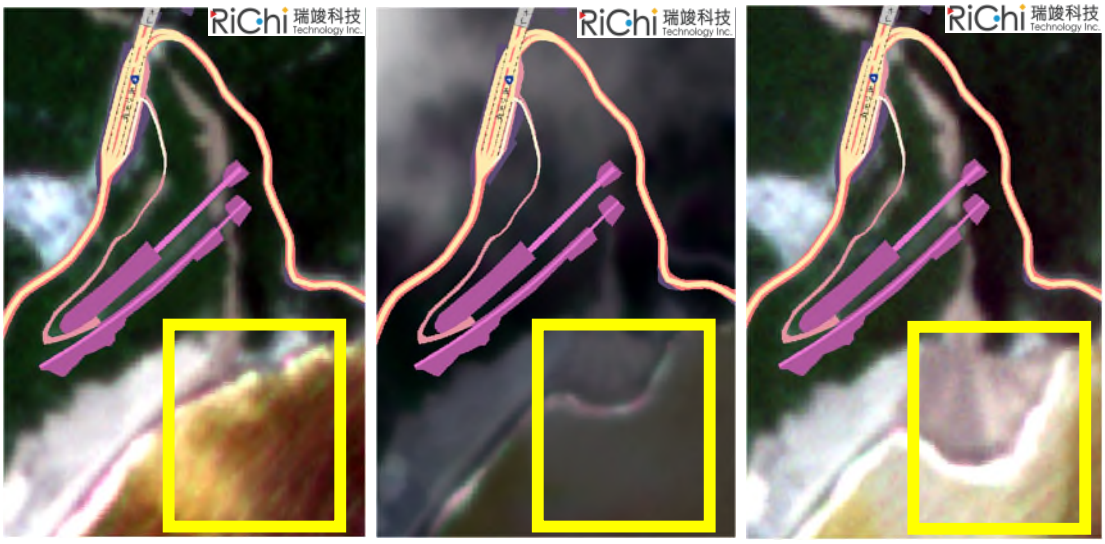


圖 4-25　6 月 20 至 6 月 22 日 Planet 衛星影像

(資料來源：瑞竣科技)

圖 4-26 事故地點及雨量站位置圖

(資料來源：農村水保署 BigGIS)

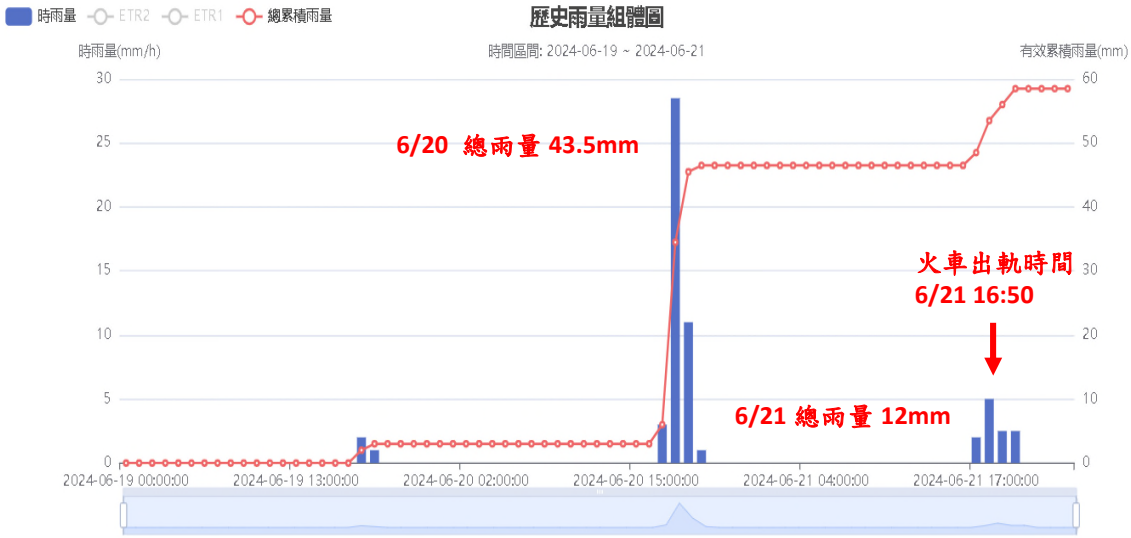


圖 4-27 清水斷崖雨量站雨量組體圖

(資料來源：農村水保署 FEMA)

2. 降雨分析

但由於清水斷崖雨量站位於下游臨海處 (圖 4-26)，是否足以代表上游集水區降雨分布情形，因此為釐清上游集水區降雨分布情況，本研究另藉由 QPESUMS 雷達降雨資料配合 WFLOW 模式推估上游集水區降雨及逕流空間分布資訊。依據 QPESUMS 雷達資料回推上游集水區降雨量空間分布，其結果顯示 6 月 20 日最大時雨量為 22.72 毫米，總雨量為 39.8 毫米。再者，由清水斷崖雨量站及 QPESUMS 雷達雨量所估算降雨資訊，兩者皆顯示出此次土石流流出事件並非短延時強降雨造成，應是大地震後土石流發生之臨界降雨門檻值劇烈下降所致。另外在 WFLOW 模式計算土石流潛勢溪流集水區之逕流量為 10.89 立方公尺/秒，並利用 LiDAR DEM 資料檢算鐵路橋處之清水流深約為 0.33 公尺，詳如圖 4-28。

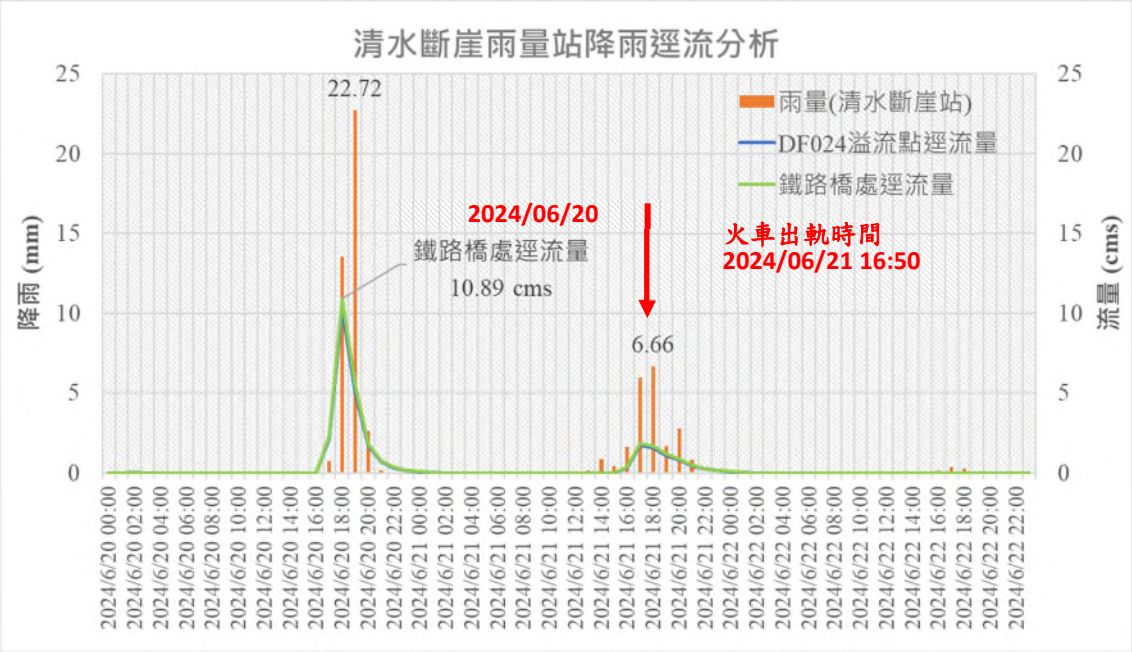


圖 4-28 清水斷崖雨量站雨量組體圖

(資料來源：農村水保署 FEMA)

3. 現地勘查

利用災害發生後，透過於現地拍攝之無人機影片，搭配「Bentely iTwin Capture Modeler」及可於手機應用之免費建模軟體「polcam」進行 3D 建模，得到現地參考模型後，以應用程式針對災害地點 3D 建模構造物之比例進行量測分析，以得到現場結構物及河道之基本參考數據，如圖 4-29 所示。本研究應用 Bentely iTwin Capture Modeler 進行建模成果量測，以道路寬度為比例尺，對於災後現地標的物進行尺寸量測，可應用於後續數值模型建置及作為災因判斷依據，其量化分析構造物及河道地形特徵等資訊如下：

(1) 橋台引道(護岸)基座高度約 4.5 公尺。

(2) 鐵路橋下通洪斷面高約 5.5 公尺。

(3) 橋板長度約 26 公尺。

(4) 橋台引道(護岸)土石流磨痕約 3 公尺。

(5) 受河道地形影響，土石流沿左岸流動，流動寬約 9.2 公尺。

(6) 受河道地形影響，土砂堆積區堆積於右岸，寬度約 18 公尺。

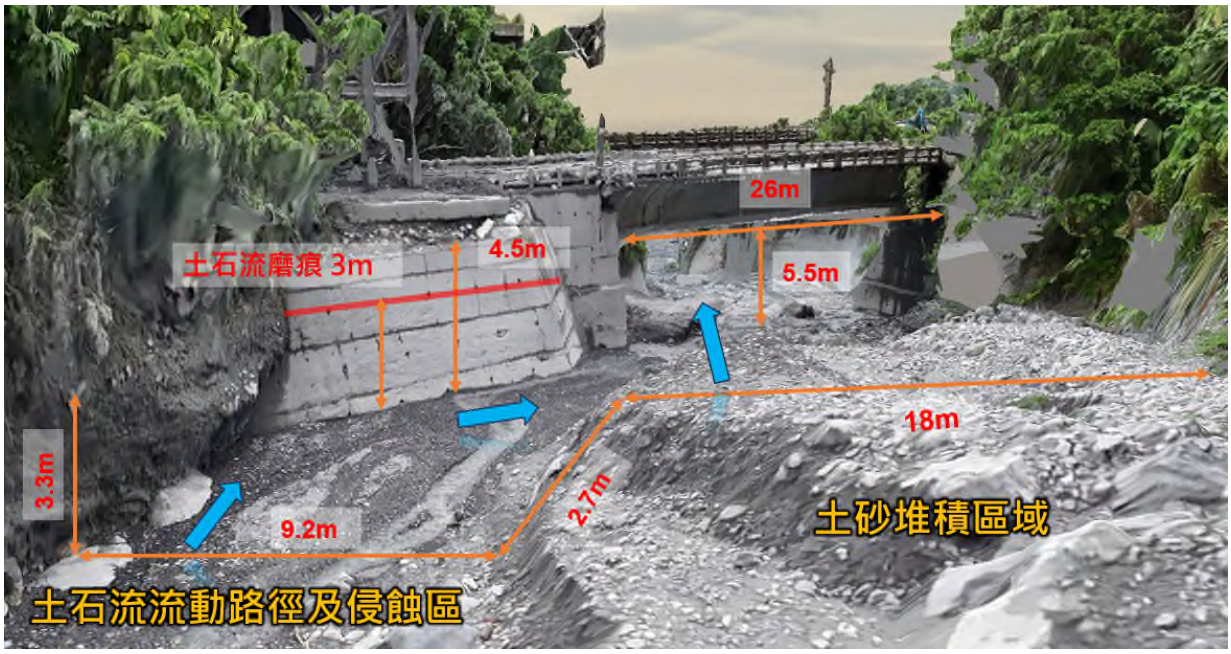


圖 4-29 應用 Bentely iTwin Capture Modeler 進行建模之成果

(資料來源：安誼工程顧問詹家賓技師、農村水保署)

4. 數值模擬

本研究使用由日本京都大學 Kana Nakatani 教授團隊所開發之土石流模擬套裝模式 Hyper KANAKO 數值模式，此模型可以直接導入數值高程模型（DEM）來進行土石流的模擬，並與 QGIS 地理資訊系統相結合。此外，Hyper KANAKO 模型還具備設定和模擬一維及二維區域的能力，適用於土石流預測模擬、防砂壩興建規劃及現有防砂壩之管理等（詹錢登，2023）。本研究水文設定依清水斷崖雨量站於土石流事件期間降雨，其累積降雨量 39.8 毫米、最大時雨量 23 毫米，雨場時間共 5 小時並利用 WFLOW 進行降雨逕流計算，事件期間最大洪峰流量為 10.24 cms；在模擬範圍部分，依農村水保署土石流潛勢溪流劃設範圍，主要模擬花縣 DF024 衝擊影響範圍內土石流流動情形，依據 2015 年解析度 1 公尺 DEM 建置模式所需 Mesh 檔案，其模擬網格約 20,706 個；另地文相關資訊設定如下所示，而為求

在災害發生後，短時間內求得模擬成果，其地文參數設定係參考 GO YANAGISAKI 於 2016 之研究，並結合農村水保署資料管理平台內之數據進行地文參數設定(如圖 4-30)，說明如下：

(1) 災前基礎地形檔案：2015 年 DEM (解析度 1 公尺)

(2) 災後基礎地形檔案：20240622UAV 產製 DSM (解析度 1 公尺)

(3) 數值模式網格檔案：Mesh (解析度 2 公尺)

(4) 邊流條件：流量歷線 (圖 4-28)

(5) 模擬時間：18,000 秒

(6) 土石流濃度：10% ~ 30%

Calculation parameters	
Item	Value
Version	2.06
Time interval of calculation(sec)	0.01
Mass density of sediment(kg/m^3) MKS	2650
Mass density of fluide phase[water and mud,silt](kg/m^3) MKS	1000
Gravity acceleration(m/s^2)	9.8
Minimum flow depth(m)	0.01
Concentration of movable bed	0.65
Manning's roughness coefficient	0.03
Coefficient of erosion velocity	0.0007
Coefficient of deposition velocity	0.05
Coefficient of deposition velocity considering inertial force	0.9
Simulation continuance time(sec)	18000
Diameter of material(m)	0.2
pai	3.1415926536
Internal friction angle(deg)	37
Time interval of output hydrograph data(sec)	32
Time interval of output result data(sec)	600
Parameter using in 2D area; inflow direction[muki](deg)	0
inflow center X axis in 2D area[jc]	0
inflow center Y axis in 2D area[jr]	184
Interval of 2D-x calculation points(m)	2
Interval of 2D-y calculation points(m)	2
Minimum depth at the front of debris flow in 2D(m)	0.01
Number of calculation points in 2D-x direction	102
Number of calculation points in 2D-y direction	203
Thickness of the 2D plane unstable sediment(m)	0.00
Side Bank Erosion Velocity	1.00
Side Bank Gradient(deg)	37.00

圖 4-30 本研究採用之地文參數設定

(參考自 GO YANAGISAKI，2016；農村水保署資料管理平台)

(三) 結果與討論

本研究依據 QPESUMS 雷達雨量資料配合 WFLOW 降雨逕流模式算出土石流集水區事件雨量分布情形，此外為推算花縣 DF024 之 50 年設計事件流量，利用和中雨量站頻率分析資料 (重期期 50 年降雨強度 111mm/hr)，再搭配合理化公式推算花縣 DF024 之 50 年設計事件流量（尖峰流量為 135cms），於不同體積濃度條件下，藉由 HyperKanako-2D 進行土石流模擬，依據 2024 年 6 月 22 日空拍資料所建置 3D 模型量測鐵路橋台處之高度約 5 至 6 公尺間，故本研究將 6 公尺以上之流動深度模擬為紅色範圍，其詳細之模擬案例表如表 4-11 所示。

表 4-11　花縣 DF024 土石流模擬案例表

Number	Case	Simulation Time	Qpeak (cms)	Concentration
1	0621case-1	18000	10	0.3
2	Q50-1	7200	135 (Q50)	0.3
3	Q50-2	3600	135 (Q50)	0.3
4	Q50-3	3600	135 (Q50)	0.2
5	Q50-4	3600	135 (Q50)	0.15
6	Q50-5	3600	135 (Q50)	0.1

1. 原事件雨量模擬成果

依據前述數值模式參數設定，在原事件降雨逕流洪峰 10cms 情況下，其土石流衝擊模擬成果顯示，因台 9 線到鐵路橋之間河道地形具有彎道特徵，係以土石流流動路徑以左岸側為主，並於撞擊橋台後流路向右岸偏移。由模擬計算成果顯示，於鐵路橋左岸橋台處，其最大流動深度約 4 公尺，於鐵路橋下方處，最大流動深度約 2~4 公尺間。此外，依據土石流流動深度模擬成果 (圖 4-31)顯示，於左岸側鐵路橋橋台處其流動深度介於 2 到 4 公尺間，其越靠近橋台處堆積越高，

顯示土石流在流動過程有可能因撞擊使土石、泥流等飛濺至軌道。而土石流流經鐵路橋下方時，其流量深度未超過橋台下方淨高，因此土石流通過鐵路橋處無造成土石洪水溢淹現象，其與現場調查資料相符。

藉由此模擬結果，土石流流動深度與高度均未超過鐵路橋之通洪面積 (如圖 4-31)，再者，由災後空拍顯示鐵路橋後方樹木及下方護岸上均有土石流噴濺痕跡(如圖 4-32)，故土石流主要流動路徑皆靠近左岸側，故推測本次事件係因 6 月 20 日傍晚之土石流造成橋臺處河道大量淤積，而於 6 月 21 日 16:30 分所發生第二波土石流因前一日河道地形抬升及土石流彎道超高特性，致使土石流湧浪溢流橋臺處致災。

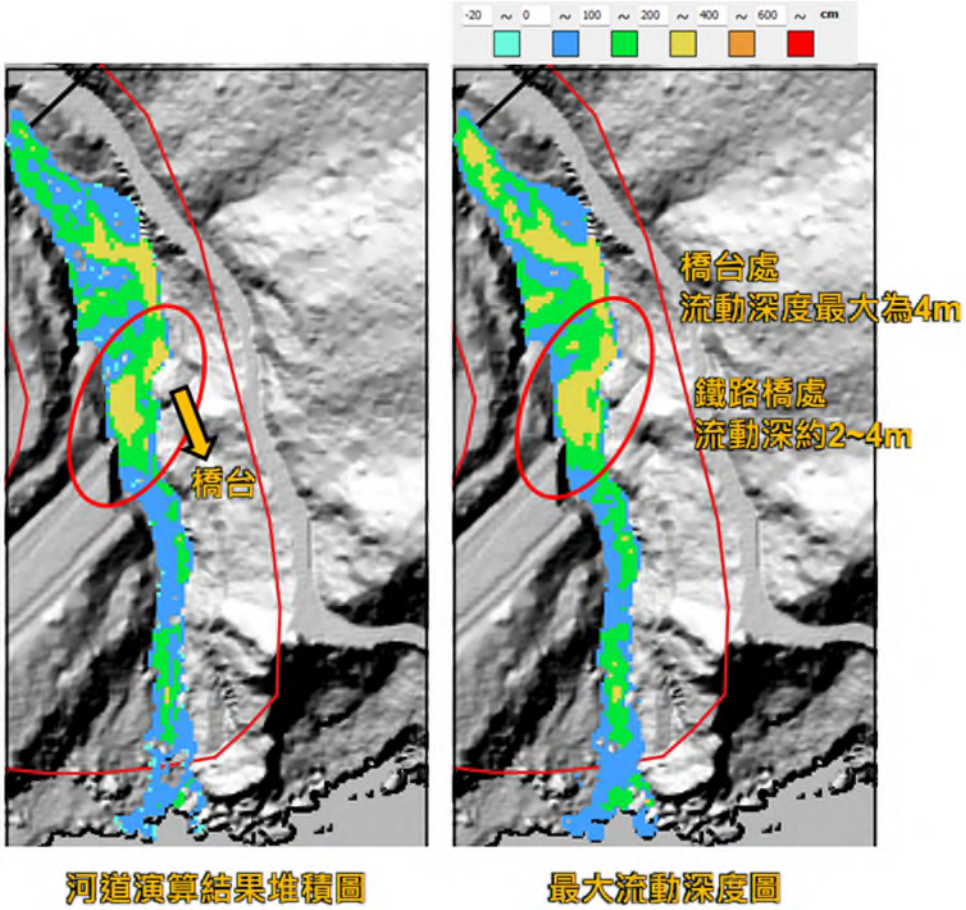


圖 4-31 原設計雨量模擬成果

圖 4-32　災後鐵路橋處空拍

(資料來源：安誼工程顧問詹家賓技師)

2. Q50-1 模擬成果

由於目前 0403 地震後，造成花縣 DF024 集水區產生多處新生崩塌，為評估在 50 年設計事件下土石流潛勢溪流的流動行為和影響範圍。本項模擬的設計情境是當洪峰流量時間為 2 小時、體積濃度 30%下，探討對下游河道沖淤變化、對於鐵路橋台處衝擊影響和鐵路橋通洪能力是否足夠。圖 4-33 模擬結果顯示，土石流流動仍是受到地形影響，其主要流動路徑偏向左岸側，且由於 50 年設計洪峰量為 135cms，致使河道堆積大量增加，造成鐵路橋左岸處最大流動深度大於 6 公尺，於鐵路橋下方處，其最大流動深度大於 6 公尺。由於大量土砂堆積於河道及鐵路橋處，造成土石流溢淹至橋台的情形，且土石流流動深度超過鐵路橋淨高空間，即鐵路橋通洪面積不足。

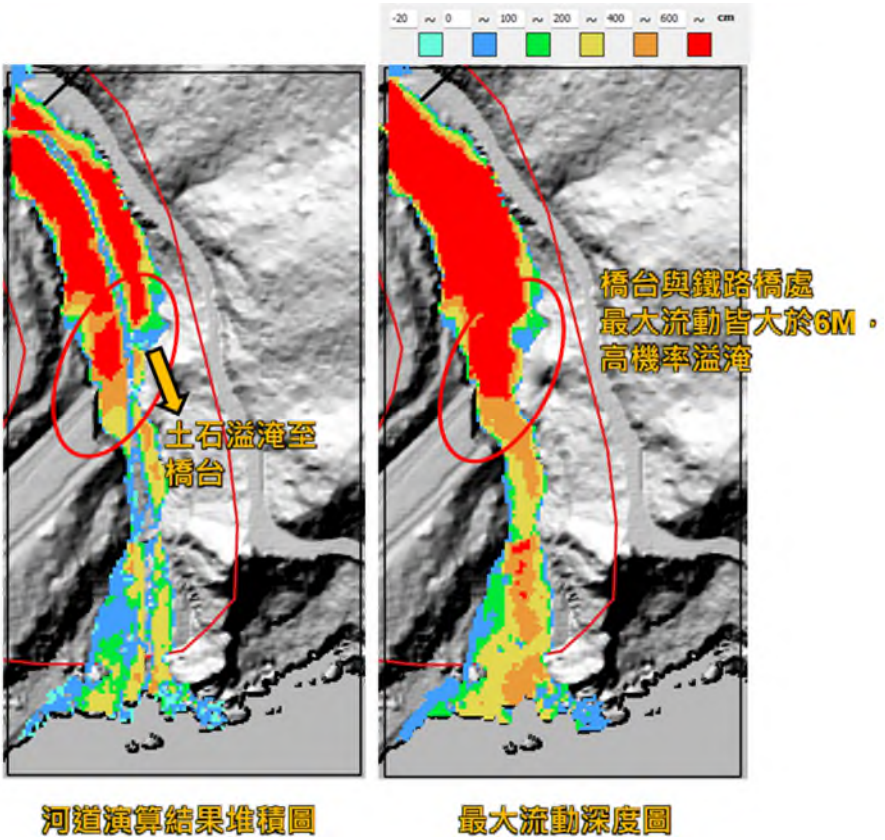


圖 4-33 Q50-1 模擬成果

3. Q50-2 模擬成果

本項模擬設計情境是當洪峰流量時間為 1 小時、體積濃度 30%下，探討對下游河道沖淤變化、對於鐵路橋台處衝擊影響和鐵路橋通洪能力是否足夠。圖 4-34 模擬結果顯示，土石流流動仍是受到地形影響，其主要流動路徑偏向左岸側，相較於 Q50-1 模擬成果，因洪峰時間降為 1 小時，其驅動土砂能力減少，但河道仍呈現大量土砂堆積現象，堆積主要以左岸為主。檢視模擬成果造成鐵路橋左岸處最大流動深度大於 6 公尺，於鐵路橋下方處，其最大流動深度大於 6 公尺。與 Q50-1 模擬成果相似，由於大量土砂堆積於河道及鐵路橋處，造成鐵路橋通洪面積仍是不足，有土石流溢淹至橋台的情形。

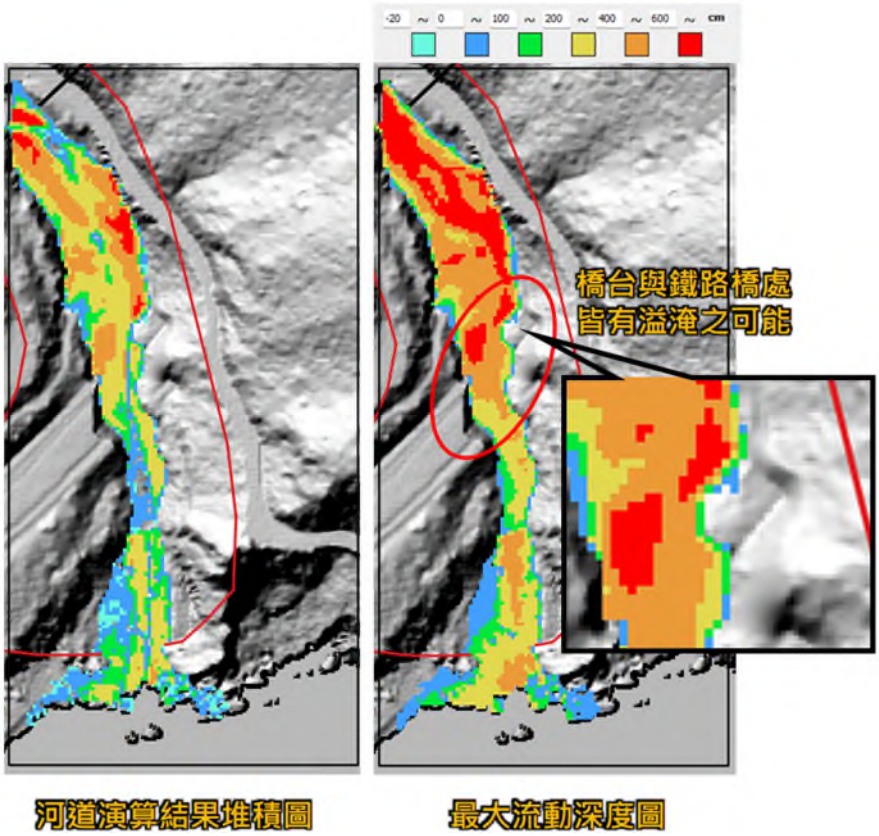


圖 4-34 Q50-2 模擬成果

4. Q50-3 模擬成果

本項模擬設計情境是當洪峰流量時間為 1 小時、體積濃度 20%下，探討對下游河道沖淤變化、對於鐵路橋台處衝擊影響和鐵路橋通洪能力是否足夠。圖 4-35 模擬結果顯示，土石流流動仍是受到地形影響，其主要流動路徑偏向左岸側，相較於 Q50-2 模擬成果，因體積濃度降為 20%，土石流所挾土砂量體減少，但河道主要堆積高度為 4 到 6 公尺間，其局部堆積有超過 6 公尺且仍是以左岸為主。檢視模擬成果造成鐵路橋左岸處及鐵路橋下方處，兩者最大流動深度均為 4 到 6 公尺內，於此區間內堆積大於 6 公尺以上範圍縮小相當多。與 Q50-

2 模擬成果相比，上游洪水所輸送土砂量體雖有減少，但仍於河道及鐵路橋處形成大量土砂堆積，對此兩處存有溢淹風險。

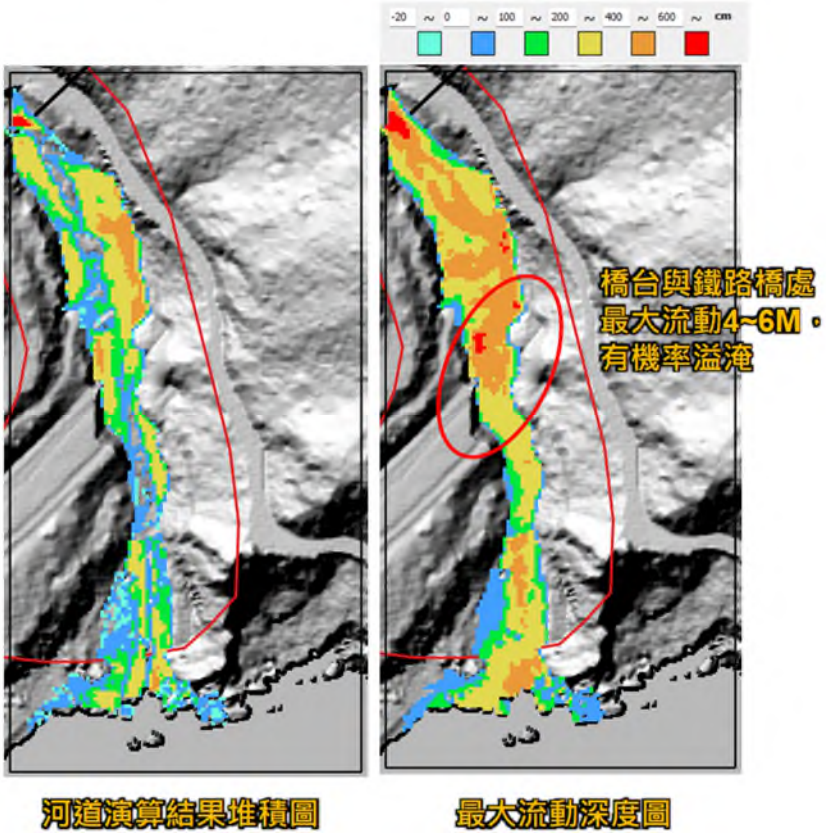


圖 4-35 Q50-3 模擬成果

5. Q50-4 模擬成果

本項模擬設計情境是當洪峰流量時間為 1 小時、體積濃度 15% 下，探討對下游河道沖淤變化、對於鐵路橋台處衝擊影響和鐵路橋通洪能力是否足夠。圖 4-36 模擬結果顯示，土石流流動仍是受到地形影響，其主要流動路徑偏向左岸側，相較於 Q50-2 模擬成果，因體積濃度降為 15%，土石流所挾土砂量體減少，但河道主要堆積高度為 4 到 6 公尺，堆積仍是以左岸為主，但無超過 6 公尺情形。檢視模擬成

果造成鐵路橋左岸處及鐵路橋下方處，兩者最大流動深度均為 4 到 6 公尺內。與 Q50-2 模擬成果相比，河道所堆積土砂量體及面積減少許多，其對河道及鐵路橋處形成土砂堆積亦減少許多，但因鐵路橋淨高約 5 至 6 公尺間，仍有溢淹風險。

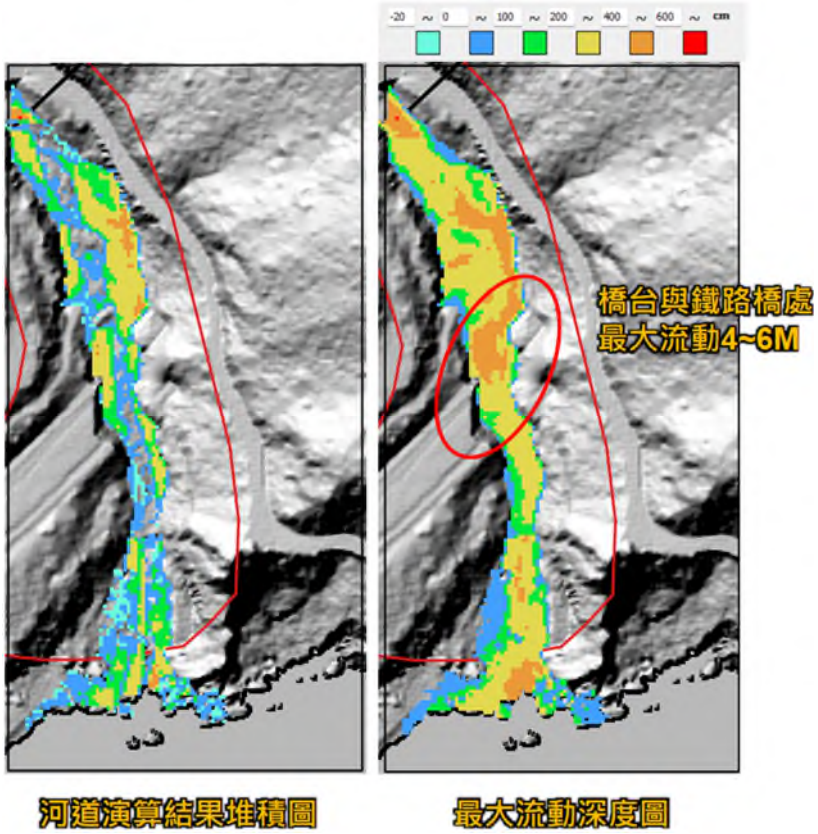


圖 4-36 Q50-4 模擬成果

6. Q50-5 模擬成果

本項模擬設計情境是當洪峰流量時間為 1 小時、體積濃度 10% 下，探討對下游河道沖淤變化、對於鐵路橋台處衝擊影響和鐵路橋通洪能力是否足夠。圖 4-37 模擬結果顯示，土石流流動仍是受到地形影響，其主要流動路徑偏向左岸側，相較於 Q50-2 模擬成果，因體積濃度降為 10%，土石流所挾土砂量體大量減少，於河道堆積高度以 2

到 4 公尺為主，堆積仍是以左岸為主，但局部區域堆積 4 到 6 公尺內。檢視模擬成果造成鐵路橋左岸處及鐵路橋下方處，兩者最大流動深度均為 2 到 4 公尺內。與 Q50-2 模擬成果相比，河道所堆積土砂量體及面積減少許多，其對河道及鐵路橋處形成土砂堆積亦減少許多，且流動深度未超過鐵路橋淨高，因此不具有溢淹風險。

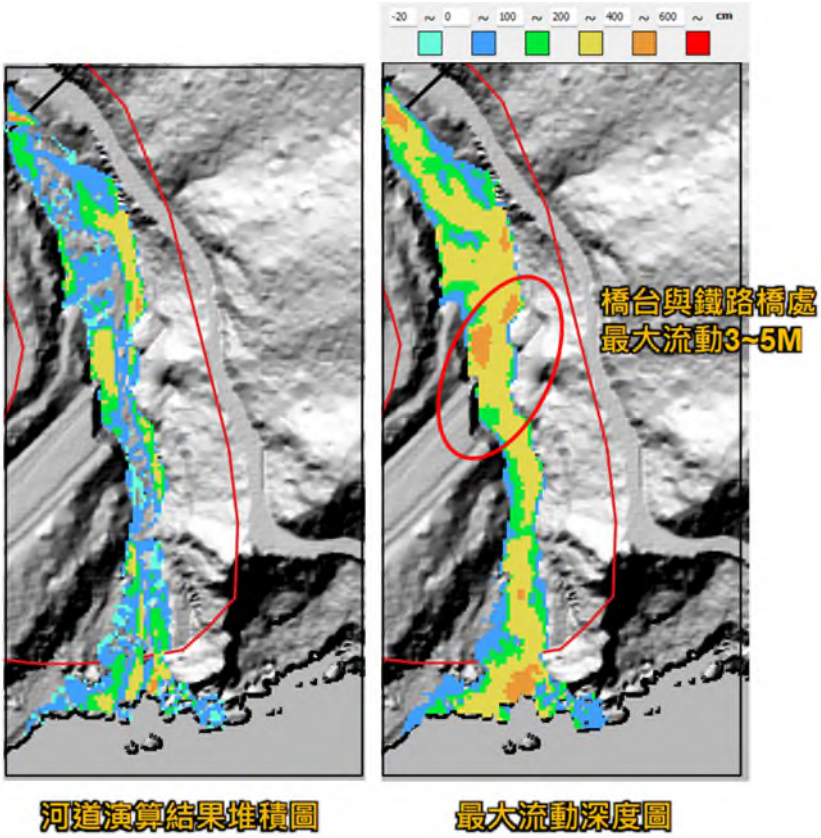


圖 4-37 Q50-5 模擬成果

(四) **結論與建議**

1. 依據清水斷崖雨量站及 QPESUMS 雷達雨量資料，事故當日(6/21)降雨僅 12mm，遠低於此區土石流警戒基準值(300mm)，顯示震後土砂易受降雨驅動之敏感特性。

2. 花縣 DF024 土石流潛勢溪流集水區，共計有 24 處新生崩塌，總面積為 31.73 公頃(新生崩塌率 6%)，依此次出海口土石流沖積扇面積比對 (約 20 公頃)，上游集水區仍殘多大量不安定土砂。
3. 依據原事件雨量之土石流模擬成果，鐵路橋左岸側之橋台處，最大流動深度約 4 公尺(採 104 年 DEM 地形分析)，流動至鐵路橋下方處，土石流最大流動深度約 2~4 公尺，此次土石流流動高度與深度未超過鐵路橋之通洪面積。
4. 依據模擬結果顯示，土石流由上游至下游主要流動路徑緊依左岸側，並在土石流撞擊橋台後，其流路轉向右岸偏移，並且鐵路橋淨高及通洪斷面足夠，未造成土石阻塞災害。
5. 本研究建議可持續追蹤研究課題為通洪斷面阻塞、河道凹岸沖刷、凸岸堆積及深槽流路往左岸且下切刷深等三者。

第三節　現地土砂災害案例檢證

今(113)年度本計畫進行 0403 花蓮地震對於土砂災害之相關研究，從第一節以花蓮縣 30 條土石流潛勢溪流集水區的崩塌率與總崩塌面積進行風險評估指標訂定，並配合農村水保署 FEMA 系統的災例資料，證實崩塌率確實能反映本次花蓮地區集水區的災害發生潛勢，未來可進一步於台灣各地區進行方法嘗試；第二節其一研究為進一步以 0403 花蓮地震衍生之花蓮地區 10 起土砂災害為例，計算震後降雨門檻與無因次 PGA 間關係式，並進一步以其中案例之三棧南溪，蒐集降雨資料與不同時期之衛星影像，分析三棧南溪土石流災害於時空上的變化；其二研究以 113 年 6 月 21 日花蓮大清水溪(花縣 DF024)土石流流出造成台鐵新自強號出軌事件為例，藉由本事件，配合現地環境地形進行土石流數值模擬，探討不同土石流濃度事件情境下對於河道堆積之影響。

目前本計畫欲進一步進行現地土砂災害資料的蒐集，進行各項圖資、模擬分析與遙測影像之輔助資料，了解土砂災害在多時空上的運動型態變化，因此嘗試以縮時攝影機進行作業，以達本計畫之目標。

今年度(113 年)先以 0403 花蓮地震發生後，於全台灣持續發生多起土砂災害，其中嘉義縣中埔鄉的土石流潛勢溪流-嘉縣- DF051 於 6 月 7 日發生土石流災害，淤埋下游道路與保全對象房屋(圖 4-38)。本計畫經台灣多處位置勘查後，以土石流潛勢溪流-嘉縣- DF051 為目標(圖 4-39)，嘗試架設縮時攝影機進行拍攝工作，期望取得長時間觀測資料，來掌握土石流災害更多的現場狀況，以提供防減災輔助參考，並藉由本次架設成果得到未來選擇其他位置架設時之參考經驗。

圖 4-38　土石流潛勢溪流-嘉縣-DF051 土石流災害事件基本資料

圖 4-39　土石流潛勢溪流-嘉縣-DF051 土石流災害事件-現場狀況 (113/8/16 現場拍攝)

本計畫選用縮時攝影機為「BCC300M 縮時攝影相機套組」(圖 4-40)，可應對強降雨氣候，並長時間進行拍攝。另設置保護箱於縮時攝影機外部，加強相機的安全與穩定性。

圖 4-40 BCC300M 縮時攝影相機套組

本計畫於 113 年 8 月 16 日進行現場勘查選擇適合拍攝位置，並於 9 月 12 日正式架設縮時攝影機，其架設情形與成果圖片所示(圖 4-41 至圖 4-42)

圖 4-41 縮時攝影機現場架設情形

圖 4-42 縮時攝影機現場架設成果

113 年 9 月 12 日正式於現場架設縮時攝影機進行拍攝(坐標位置:205521.758,2585526.131(TWD97))，並於 113 年 10 月 11 日進行縮時攝影機回收並進行成果檢視。架設完成到儀器回收之日數為 30 日，架設期間本計畫以鄰近雨量站汶水國小為參考雨量站，因此降雨事件可從圖 4-43 與表 4-12 可看到架設期間雨量主體圖與作業期間最大時雨量排名。

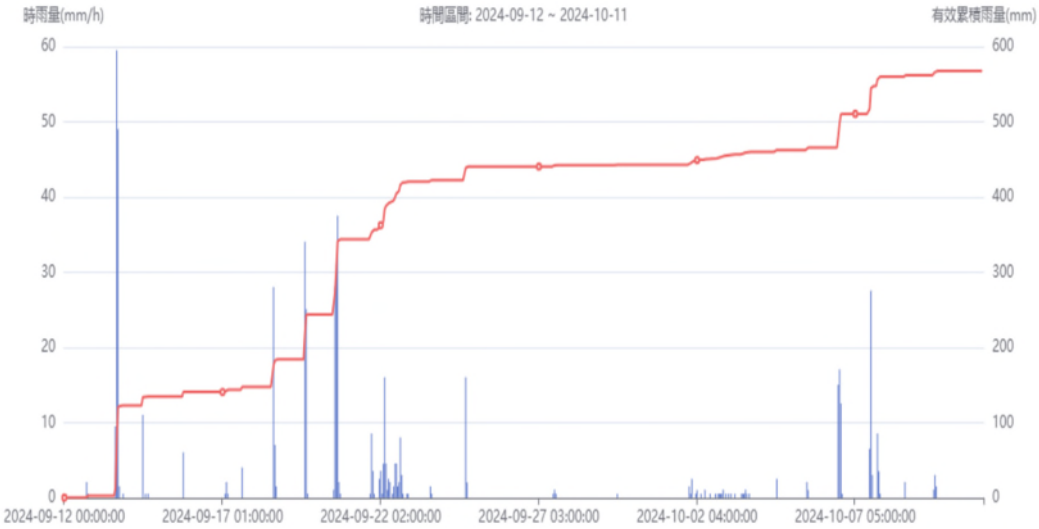


圖 4-43 113 年 9 月 12 日至 10 月 11 日之雨量組體圖

表 4-12　113 年 8 月 16 日至 9 月 12 日最大時雨量排名

排名	日期	時間	時雨量
1	9/13	16:00	59.5mm/hr
2	9/20	17:00	37.5 mm/hr
3	9/19	16:00	34mm/hr
4	9/18	16:00	28mm/hr
5	10/7	17:00	27.5 mm/hr

本計畫縮時攝影機其拍攝間距設定為 1 分鐘 1 張，使用記憶卡容量為 16GB，電量滿格。本次回收成果檢視，依上述架設條件，實際拍攝成果從 9 月 12 日 13:00 起拍攝，至 9 月 21 日 22:27 即停止拍攝(圖 4-44)，共 9 日，記憶卡實際使用容量為 14.4GB，電量耗盡。以上述時間統計得知，平均每日可拍攝 1.6GB，未來架設縮時攝影機可以此為設站需求推估。

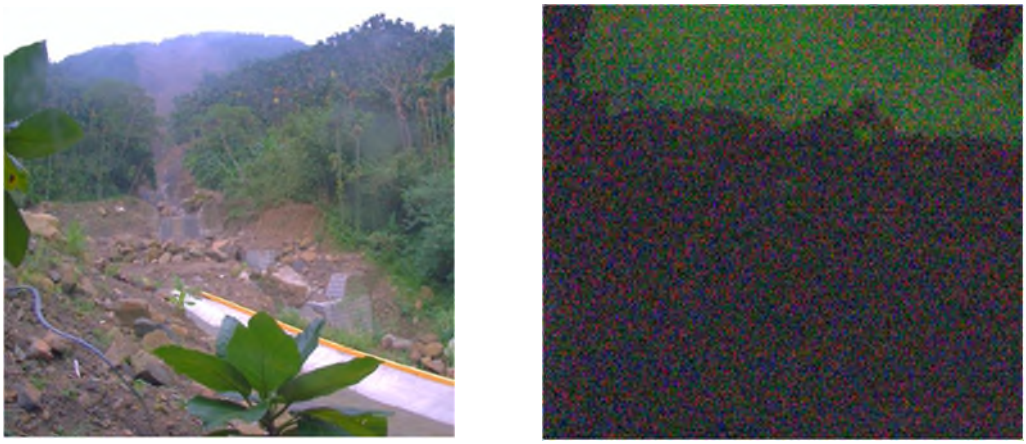


圖 4-44 縮時攝影機實際拍攝成果區間

(9 月 12 日 13:00 至 9 月 21 日 22:27)

拍攝期間內成功取像之最大時雨量為 9/13、9/20、9/19、9/18，因此，以此四日之最大時雨量時間進行縮時攝影成果探討。本計畫取像成果將以個別日期之最大時雨量之前一小時至天黑前停止拍攝，所得到的成果進行探討，並分成上下游防砂壩之位置溪流變化狀況進行分析(圖 4-45)。

圖 4-45 上下游防砂壩之位置圖

以 9 月 13 日降雨事件為例，於 16:00 時最大時雨量 59.5mm/hr (圖 4-46)，由圖 4-47 拍攝成果，可從影像看到 14:00 時上下游防砂壩壩體表面僅有溪水匯集於中間位置，上下游防砂壩溢洪口溪水寬度均約 90 公分；15:00 時溪水流量開始增多，上游防砂壩溢洪口溪水寬度約 360 公分，下游防砂壩之溪水仍於溢洪口集中，溪水寬度約 90 公分；15:30 時溪水流量增多流速變大且水質明顯混濁，上游防砂壩溢洪口溪水寬度約 360 公分，下游防砂壩之溪水已溢滿整體溢洪口，溪水寬度約 450 公分；後續至天黑前 18:00 時溪水流量未有減少狀況。從結果看到當最大時雨量 59.5mm/hr 時土砂有明顯遞移運動狀態。

圖 4-46 113 年 9 月 13 日之雨量組體圖

圖 4-47 縮時攝影機 9 月 13 日實際拍攝成果

(影像時間排序由左至右由上至下)

以 9 月 20 日降雨事件為例，於 17:00 時最大時雨量 37.5 mm/hr (圖 4-48)，由圖 4-49 拍攝成果，可從影像看到 14:00 時上下游防砂壩壩體表面僅有溪水匯集於中間位置，上游防砂壩溢洪口溪水寬度約 180 公分，下游防砂壩溪水寬度約 90 公分，；15:00 時溪水流量開始增多且水質明顯混濁，上游防砂壩溢洪口溪水寬度將防砂壩溢洪口佔滿約 620 公分，下游防砂壩溢洪口溪水寬度將防砂壩溢洪口佔滿約 450 公分；後續至天黑前 18:00 溪水流量未有減少狀況。從結果看到當最大時雨量 37.5 mm/hr 土砂有明顯遞移運動狀態。

圖 4-48 113 年 9 月 20 日之雨量組體圖

圖 4-49 縮時攝影機 9 月 20 日實際拍攝成果

(影像時間排序由左至右由上至下)

以 9 月 19 日降雨事件為例，於 16:00 時最大時雨量 34mm/hr (圖 4-50)，由圖 4-51 拍攝成果，可從影像看到 14:00 至 16:00 時間，上下游防砂壩壩體表面僅有溪水匯集於中間位置，上下游防砂壩溢洪口溪水寬度均約 90 公分；16:30 時溪水流量開始增多但僅分布於上下游壩體表面，水質混濁度略增加，並持續至天黑前 18:00 時均為同樣狀況。從結果可以看到最大時雨量 34mm/hr 溪水僅流量增加但無觀測到明顯土砂遞移運動現象。

圖 4-50 113 年 9 月 19 日之雨量組體圖

圖 4-51 縮時攝影機 9 月 19 日實際拍攝成果

(影像時間排序由左至右由上至下)

以 9 月 18 日降雨事件為例，於 16:00 時最大時雨量 28mm/hr (圖 4-52)，由圖 4-53 拍攝成果，可從影像看到 14:00 至 15:00 時間，上下游防砂壩壩體表面僅有溪水匯集於中間位置，上下游防砂壩溢洪口溪水寬度均約 90 公分；16:00 時溪水流量開始增多但僅分布於壩體表面並無水質混濁度增加，並持續至天黑前 18:00 時均為同樣狀況。從結果可以看到最大時雨量 28mm/hr 溪水僅流量增加但無觀測到土砂遞移運動現象。

圖 4-52 113 年 9 月 18 日之雨量組體圖

圖 4-53 縮時攝影機 9 月 18 日實際拍攝成果

(影像時間排序由左至右由上至下)

從縮時攝影機上述成果可得知，僅 9/13 與 9/20 降雨事件之最大時雨量，其防砂壩上水流有明顯的細微土砂遞移狀況(非塊石部分)，然於 9/19 與 9/18 降雨事件僅有流量增加，無明顯土砂遞移狀況。因此以目前所觀測降雨事件，當累積雨量越大，其防砂壩上水流寬度亦相應增大，是以溪水攜帶細微土砂能力增加，會發生明顯的細微土砂遞移現象，其溪水呈明顯黃褐色。

後續針對此土石流潛勢區集水區可留意其降雨量與流量之變化門檻，建議未來對於集水區出流量與集流時間估算研究改善部份，配合防砂壩架設水尺進行縮時攝影機觀測，再利用流量公式 Q=A*V 與水土保持技術規範第十七條合理化公式進行比對，推估觀測目標流量。此外針對實際地形詳細調查進行三維資料建立，再利用水土保持技術規範第十九條集流時間公式估算結果，與縮時攝影機所觀測之時間成果進行比對，以探討經驗公與觀測紀錄之集流時間差異性。

第五章 基礎資料加值應用與校核

本年度(113 年)基礎資料加值應用與校核部分，分為公私協力推廣資料加值應用、跨機關資料應用交流、提升資料品質、流通性與示範與資料視覺化應用等各項工作成果。

在公私協力推廣資料加值應用部分，本計畫分別以歷史影像平台之歷史災害影像蒐集與定位為主題協同辦理黑客松活動，分享農村水保署之開放資料與平台應用，以推廣政府資料開放、多元應用與共享，發揮資料之價值。另外以智慧型手機進行匯入外界提供的災害影像，快速建置災害現場 3D 模型，並進一步將各項土砂災害量化分析，提供防救災參考與促成公私協力合作。跨機關資料應用交流部分為本計畫嘗試以利用內政部提供的 PSInSAR 資料針對民國 113 年的 65 處大規模崩塌潛勢區進行分析，挑選出近年活動性較高潛勢區，並嘗試以今年度復駛的阿里山鐵路為標的，進行鐵路沿線的潛在風險分析，提供大規模崩塌潛勢區監測與阿里山鐵路未來路段維護管理的參考。資料視覺化成果部分為利用第二章資料盤點成果為基礎，透過數據數位化或空間資訊化等方式加值，並發布於農村水保署技術研究發展平台、資料管理平台及 BigGIS 系統。針對今年度各項基礎資料加值應用與校核等工作成果，分述如後。

第一節　公私協力推廣資料應用

本年度(113 年)基礎資料加值應用與校核部分，分為公私協力推廣資料加值應用、跨機關資料應用交流、提升資料品質、流通性與示範與資料視覺化應用等各項工作成果。

在公私協力推廣資料加值應用部分，本計畫分別以歷史影像平台之歷史災害影像蒐集與定位為主題協同辦理黑客松活動，分享農村水保署之開放資料與平台應用，以推廣政府資料開放、多元應用與共享，發揮資料之價值。另外以智慧型手機進行匯入外界提供的災害影像，快速建置災害現場 3D 模型，並進一步將各項土砂災害量化分析，提供防救災參考與促成公私協力合作。跨機關資料應用交流部分為本計畫嘗試以利用內政部提供的 PSInSAR 資料針對民國 113 年的 65 處大規模崩塌潛勢區進行分析，挑選出近年活動性較高潛勢區，並嘗試以今年度復駛的阿里山鐵路為標的，進行鐵路沿線的潛在風險分析，提供大規模崩塌潛勢區監測與阿里山鐵路未來路段維護管理的參考。資料視覺化應用部分為利用第二章資料盤點成果為基礎，透過數據數位化或空間資訊化等方式加值，並發布於農村水保署技術研究發展平台、資料管理平台及 BigGIS 系統。針對今年度各項基礎資料加值應用與校核等工作成果，分述如後。

一、 第63次公民科技園遊會黑克松活動

農村水保署已連續四年參與黑客松活動，主要是推廣各界人士參與歷史影像的蒐集、提供與定位工作，通過公私協力推廣資料應用。本次於 9 月 29 日所舉辦的黑客松活動，由 g0v 零時政府揪松團、g0v 零時小學校、FNF Global Innovation Hub 弗里德里希諾曼自由基金會 全球創新中心、農業部農村水保署及農業科技研究院共同主辦「第陸拾參次公民科技園遊會黑客松」(https://g0v-jothon.kktix.cc/events/g0v-hackath63n) (圖 5-1)，地點在臺北矽谷國際會議中心。此次活動旨在邀請公眾共同為歷史影像定位，串聯同一地點不同時間所發生的事件，進而分析災害原因與規模，盡可能避免同樣的災害再次發生。

在本次活動現場以「歷史照片加值應用」提案專題報告，關於此專案之關鍵字為「照片資料庫、公私協力、GIS 及照片地理坐標」，主要內容介紹歷史影像平台的功能，內容涵蓋影像典藏、時空地圖應用、平台優化、隨手上傳、API、資料整合與共享等，並展示國內外應用案例，包括災害遺跡、紀念碑與古地名等與災害潛勢的關聯性分析(圖 5-2 及圖 5-3)。希望透過公私協力合作方式，如與慈濟文史館、柯金源導演等合作，長期募集歷史老照片與災害新照片等以擴大影像典藏量。此外，過往亦參與 LASS 總統盃專案並將資料與 Wiki Data 和 OSM 等進行串接應用，以推廣資料應用。核心價值在於保存臺灣歷年土砂災害的照片，通過數位典藏以及老照片說故事，將這些歷史照片與記憶傳承下來，提醒後人學習歷史教訓，提升防災意識。為了讓歷史影像平台多年來所累積歷史災害、重要地景等影像資料庫之資源共享最大化，農村水保署針對無版權爭議的照片採用創用 CC 授

權方式，開放民眾共享與應用資料，促進資料的活化與再利用(圖 5-4 及圖 5-5)。

活動期間與現場與會者討論，得到關於歷史影像平台回饋，茲列以下重點，提供歷史影像平台未來精進時可進行參考:

1. 網站識別度問題：使用者反映歷史影像平台識別度不足，難以辨識其為政府網站，建議可以加入農業部農村水保署字樣以方便民眾辨識。
2. 網站上傳位置標示功能：針對照片上傳位置標示不夠清楚，且與已上傳照片放置同一頁面可能造成混淆，建議將上傳圖示放大，並且可在首頁放置專區，可將此專區分為上傳與搜尋照片兩個部分，透過點擊即可前往。
3. 網站內容視覺化部分：針對網站首頁所顯示的「已上傳照片數量」與「照片定位數量」對使用者幫助不大，建議可以「近期災害事件照片數量」和「歷史重要災害照片數量」的視覺化進行輪替。
4. 網站查詢功能：協助定位時，於定位好一張照片進行查詢條件容易跳掉，且無法按 ENTER 進行搜尋，建議修正。
5. 民眾參與部分：參與者建議與當地鄰里單位(如:宮廟或活動中心)合作，藉由其提供照片，以擴展地方參與及增加地方連結性。
6. 推廣部分：利用社交媒體（如:Instagram）進行宣傳，能吸引更多人加入，不管是提供照片或協助定位，可讓更多人有興趣參與。

圖 5-1　黑客松活動宣傳頁面

圖 5-2　講者與簡報內容(1)

圖 5-3　講者與簡報內容(2)

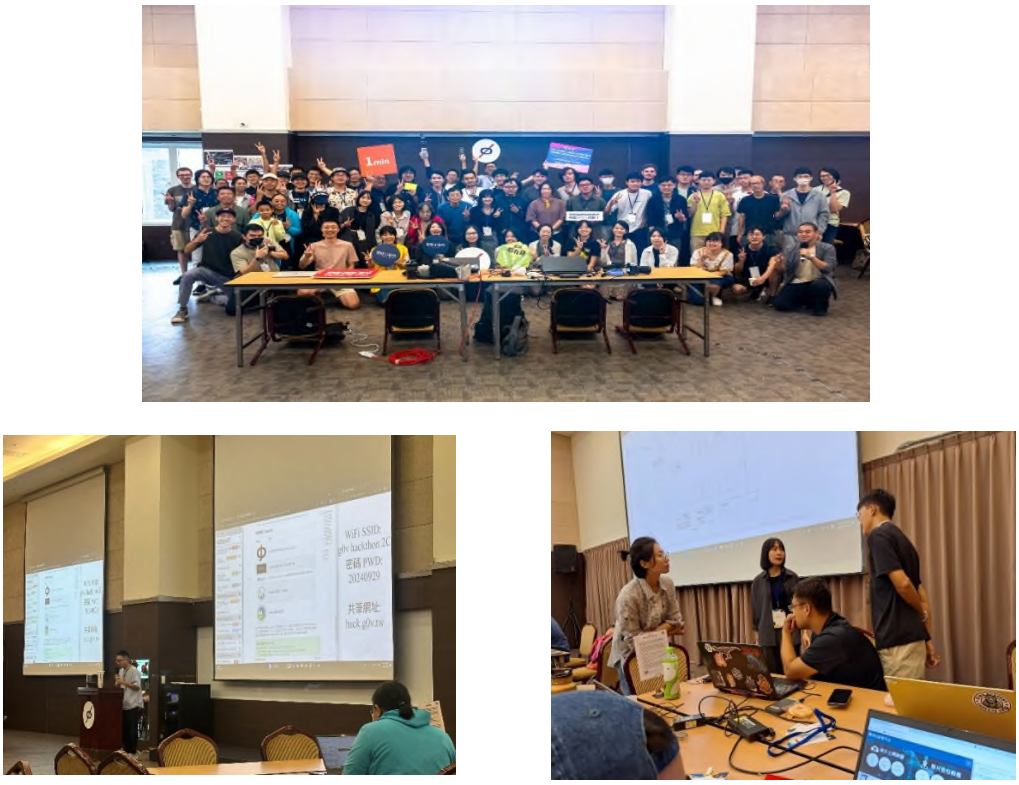


圖 5-4　現場活動照片(1)

圖 5-5　現場活動照片(2)

二、 運用新型態3D建模工具打造防災公私協力

每逢颱風豪雨時期，山坡地發生土砂災害頻率高，需在短時間掌握災情狀況，提供防救災決策參考。當土砂災害發生初期時，經常使用遙測影像來協助檢視災害情況，但可能因雲遮影響無法即時取像，且災害發生當下受限交通狀況及調查裝備致無足夠防救災人力即時至現場調查，需仰賴當地居民或外單位機關提供現場影像資源，才可在短時間內即時掌握災害狀況。惟影像資源取得後，往往僅能透過照片了解災害環境，其無法提供災害現場即時 3D 數位化與量化分析。

2024 年初發生 0403 花蓮地震後，台灣各地集水區發生多起土砂災害，較往年發生頻率有增加的趨勢，如何在大範圍、多場址災害發生時，於短時間掌握各處災害現場狀況並建置各期災害發生之多時序資料，將是未來一大課題。本計畫以 2024 年度發生之四起重大土砂災害事件為例，嘗試使用智慧型手機結合外界提供的災害影像，快速建置災害現場 3D 模型，並進一步將此四處土砂災害進行量化分析。以本研究所提供之新型態 3D 建模工具，在未來防災應變當下將可在短時間內判讀外部單位提供之影像資料，掌握土砂災害事件重要資訊，並藉由公私協力合作促成災害發生後短時間內即可得到 3D 數位化與量化成果。相關 3D 模型成果可參考「農業部農村發展及水土保持署－技術研究發展平台研究成果 UAV3D 建模專區(https://tech.ardswc.gov.tw/Results/ResultsUAV3D)」。另外，表 5-1 列出各次災害事件資料與引用影像來源。

表 5-1 智慧型手機執行土砂災害事件公私協力案例

時間	災害位置	災害事件	手機建模方法	引用影像來源
2024/04/03	花蓮縣各地區	花蓮地震	高斯潑濺法 (3D Gaussian Splatting)	1. 崇德火車站上方崩塌-YouTube「太魯閣口富世崇德」空拍記錄 2. 崇德隧道上方崩塌-ETtoday 即新聞 3. 下清水橋受土石流撞擊斷裂-Facebook 今日花蓮 4. 銅門村榕樹部落沿線溪岸坡面崩塌-花蓮縣土石流防災專員
2024/06/03	基隆市長潭里	省道台 2 線 70K+004（基隆市潮境公園）邊坡崩塌事件	高斯潑濺法 (3D Gaussian Splatting)	消防署
2024/6/20	花蓮縣秀林鄉	花縣 DF174-三棧南溪土石流事件	攝影測量法-空間三角測量法	1. 6/26 成果-秀林鄉公所 2. 6/29 成果-禾騰工程顧問有限公司
2024/6/21	花蓮縣秀林鄉	花縣 DF024-台鐵和仁隧道土石流湧浪致列車出軌事件	攝影測量法-空間三角測量法	安誼工程顧問有限公司

當土砂災害事件發生時，為達成在短時間內掌握現場狀況需求。本研究列出各災害事件利用智慧型手機進行匯入外界提供的災害影像，其製作 3D 模型成果與所需時間。經表 5-2 及表 5-3 結果顯示，利用手機進行 3D 模型建立，在上傳/下載網路速度平均 28MB 下，依據不同場域大小及資料量，其製作時間最少僅需 5 分鐘、最多僅需 27 分鐘即可得到成果，對於未來防災應變的需求上有所助益。

表 5-2　智慧型手機執行災害事件 3D 模型成果與製作時間(1)

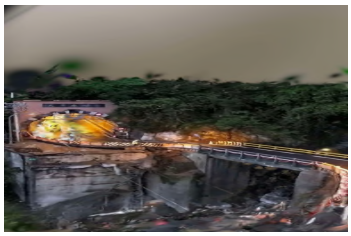
災害事件	模型成果		製作時間
花蓮地震			總製作時間:均約 20min
	崇德火車站上方崩塌	下清水橋受土石流撞擊斷裂	
	崇德隧道上方崩塌	銅門村榕樹部落沿線溪岸坡面崩塌	

表 5-3　智慧型手機執行災害事件 3D 模型成果與製作時間(2)

<table>
<tr><th>災害事件</th><th colspan="2">模型成果</th><th>製作時間</th></tr>
<tr><td rowspan="2">基隆市長潭里-省道台 2 線 70K+004（基隆市潮境公園）邊坡崩塌事件</td><td> </td><td> </td><td rowspan="2">總製作時間:9min
上傳時間:1min
建模時間:8min</td></tr>
<tr><td colspan="2">同一影像來源可由不同人進行製作</td></tr>
<tr><td rowspan="4">花縣 DF174-三棧南溪土石流事件</td><td> </td><td> </td><td>秀林鄉公所提供</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">同一地點可不同影像來源進行多時序展示
(左:秀林鄉公所-6/26 拍攝
右:禾騰工程顧問有限公司-6/29 拍攝)</td><td>總製作時間:27min
上傳時間:7min
建模時間:20min</td></tr>
<tr><td>禾騰工程顧問有限公司提供</td></tr>
<tr><td>總製作時間:5min
上傳時間:1min
建模時間:4min</td></tr>
<tr><td rowspan="2">花縣 DF024-台鐵和仁隧道土石流湧浪致列車出軌事件</td><td> </td><td> </td><td rowspan="2">總製作時間:14min
上傳時間:3min
建模時間:11min</td></tr>
<tr><td colspan="2">同一地點可不同方向視角進行展示</td></tr>
</table>

目前智慧型手機除可在短時間製作完成 3D 模型外，更可進一步量化分析成果，其製作完成後之 3D 模型，可利用相對比例尺換算及量化整體模型的三維尺寸，並可與 UAV 所建立 3D 建模成果進行比對，其兩者 3D 模型誤差成果相當，在未來防災應變時可提供 UAV 受地形遮避無法建模之處，並可搭配 UAV 進行應用與互相比對 (表 5-4)。

表 5-4　智慧型手機執行災害事件公私協力 3D 模型量化成果

災害事件	手機建模方法
花蓮地震 (以銅門村榕樹部落沿線溪岸 坡面崩塌為例)	
省道台 2 線 70K+004 （基隆市潮境公園） 邊坡崩塌事件	 位置 | 手機建模建模成果(m) |	| UAV影像建模成果(m) |	| 土石流防災資訊圖-重大災害事件成果 (m) 三維尺寸 | 尺寸 | 誤差值 | 尺寸 | 誤差值 | 尺寸 崩塌高度 | 48.4 | 1.6 | 46.4 | 3.6 | 50 建物高度 | 33.3 | 7.7 | 35.5 | 5.5 | 41 崩塌坡頂寬度 | 25.9 | -5.9 | 25.3 | -5.3 | 20 崩塌長度 | 59 | 5 | 60 | -6 | 54
花縣 DF174-三棧南溪土石流事件	
花縣 DF024-台鐵和仁隧道土石流湧浪致列車出軌事件	 位置 | 手機建模建模成果(m) |	| UAV影像建模成果(m) 三維尺寸 | 尺寸 | 誤差值 | 尺寸 橋台引道(護岸)基座高 | 4.27 | 0.23 | 4.5 橋台引道(護岸)土石流覆蓋高 | 2.96 | 0.04 | 3 鐵路橋下緣洪水位高 | 5.15 | 0.35 | 5.5 橋板長 | 25.2 | 0.8 | 26

第二節　促進跨機關資料應用交流

InSAR 技術具有廣域監測的能力，可以提供大空間範圍內的地表變化資訊，初步篩選出變位較為顯著的區位，以利後續投入防災監測的工作。以國家災害防救科技中心 (NCDR，2023) 研究成果為例，其利用 2019-2021 年間的 PSInSAR 成果，分析農村水保署在民國 112 年公布 48 處大規模崩塌潛勢區的地表活動性，並依照潛勢區內是否存在永久散射點及視衛星方向(LOS, Line of Sight)的變形速度，將大規模崩塌潛勢區分成下列四種類別：一、不存在永久散射體；二、不具地表變形 (<2 mm/yr)；三、緩慢地表變形 (2-10 mm/yr)；四、明顯地表變形 (>10 mm/yr)。由 PSInSAR 分析特定區域所得之長期地表變形量觀測成果後，藉由變形量與年平位移速度進行警戒分級，有助於評估特定區域之風險潛勢。

農村水保署與內政部地政司進行跨機關資料應用交流合作，於今年 3 月時取得內政部地政司製作之全台 2018 – 2022 年 PSInSAR 成果，依據內政部提供資料，其分為視衛星方向 (LOS) 及垂直方向 (Vertical) 兩者的各時期變形量與 5 年間整體的平均位移速度 (圖 5-6)。其中，變形量成果為各期影像相對於 2018 年第一張影像的位移量 (單位為 mm)，而年平均位移速度則是透過最小二乘法針對 5 年觀測之變形量進行線性迴歸後的迴歸線斜率。

本計畫參考 NCDR 災防中心的做法，利用內政部的 PSInSAR 資料針對民國 113 年的 65 處大規模崩塌潛勢區進行分析，參照 NCDR 災防中心的分級方式，當中有 23 處屬於不存在永久散射體、5 處屬於不具地表變形、18 處為緩慢地表變形、19 處為明顯地表變形 (表 5-5)。透過以上分析，可快速挑選出近年活動性較高的潛勢區，後續

則能針對這些區位進行更完整的監測。

不過需注意 PSInSAR 的使用限制，山區的 PS 點通常較為稀疏，故在 65 處的大規模崩塌潛勢區中有近 1/3 是不存在永久散射體的，但並不代表這些區位沒有位移，而是無法透過 PSInSAR 進行監測。因此，現地的監測資料仍是重要的一環，可以與 PSInSAR 搭配使用，提高監測涵蓋的時、空間範圍。

另一方面，內政部提供的 PSInSAR 成果適用於挑選需特別監測的鐵公路路段，因為人為構造物有較高的機會被視為是 PS 點。所以若崩塌潛勢區和鐵公路相交，就容易利用 PSInSAR 進行監測。

本計畫將以阿里山鐵路為示範，分析其沿線上鄰近的大規模崩塌潛勢區，評估其坡地活動性，進一步掌握鄰近高活動性大崩的鐵路區位；並呈現其多時序位移資料，用以掌握監測標的活動趨勢。

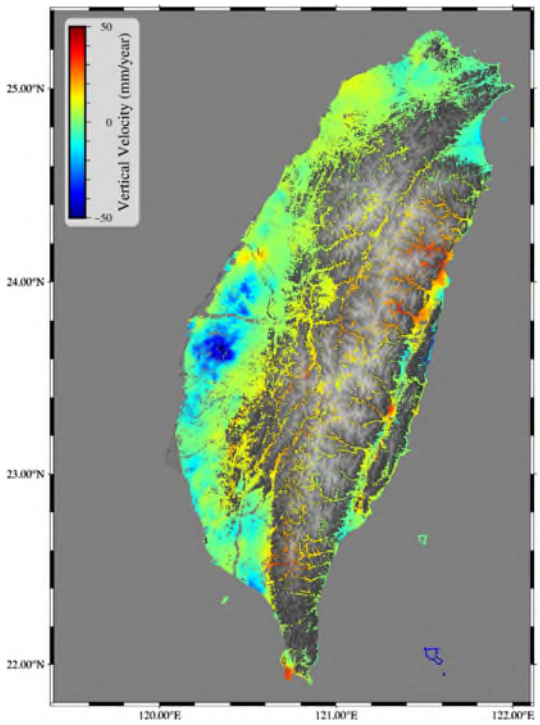


圖 5-6　2018-2022 年間垂直方向的年平均位移速度

(內政部提供)

表 5-5　農村水保署 65 處大規模崩塌潛勢區地表活動性分析

地點	最大LOS速度	分類	地點	最大LOS速度	分類
中市LL001	7.62	緩慢地表變形	花縣LL005	10.02	明顯地表變形
中市LL002	9.32	緩慢地表變形	花縣LL006	2.29	緩慢地表變形
中市LL003	10.93	明顯地表變形	花縣LL007	無PS點	不存在永久散射體
中市LL004	11.37	明顯地表變形	屏縣LL001	15.15	明顯地表變形
中市LL005	11.48	明顯地表變形	屏縣LL002	10.88	明顯地表變形
中市LL006	11.31	明顯地表變形	屏縣LL003	無PS點	不存在永久散射體
中市LL007	11.79	明顯地表變形	屏縣LL004	無PS點	不存在永久散射體
竹縣LL001	3.47	緩慢地表變形	苗縣LL001	無PS點	不存在永久散射體
竹縣LL002	3.21	緩慢地表變形	苗縣LL002	6.67	緩慢地表變形
竹縣LL003	4.17	緩慢地表變形	桃市LL001	1.17	不具地表變形
竹縣LL004	無PS點	不存在永久散射體	桃市LL002	0.02	不具地表變形
竹縣LL005	4.11	緩慢地表變形	桃市LL003	7.18	緩慢地表變形
投縣LL001	23.90	明顯地表變形	桃市LL004	無PS點	不存在永久散射體
投縣LL002	8.44	緩慢地表變形	高市LL001	無PS點	不存在永久散射體
投縣LL003	無PS點	不存在永久散射體	高市LL002	無PS點	不存在永久散射體
投縣LL004	無PS點	不存在永久散射體	高市LL003	22.50	明顯地表變形
宜縣LL001	0.62	不具地表變形	高市LL004	16.54	明顯地表變形
宜縣LL002	無PS點	不存在永久散射體	高市LL005	無PS點	不存在永久散射體
宜縣LL003	2.07	緩慢地表變形	高市LL006	無PS點	不存在永久散射體
東縣LL001	無PS點	不存在永久散射體	高市LL007	19.16	明顯地表變形
東縣LL002	無PS點	不存在永久散射體	高市LL008	24.01	明顯地表變形
東縣LL003	16.04	明顯地表變形	新北LL001	2.58	緩慢地表變形
東縣LL004	無PS點	不存在永久散射體	新北LL002	0.52	不具地表變形
東縣LL005	無PS點	不存在永久散射體	嘉縣LL001	7.81	緩慢地表變形
東縣LL006	無PS點	不存在永久散射體	嘉縣LL002	6.73	緩慢地表變形
東縣LL007	無PS點	不存在永久散射體	嘉縣LL003	7.40	緩慢地表變形
東縣LL008	16.09	明顯地表變形	嘉縣LL004	無PS點	不存在永久散射體
東縣LL009	無PS點	不存在永久散射體	嘉縣LL005	9.56	緩慢地表變形
東縣LL010	24.38	明顯地表變形	嘉縣LL006	無PS點	不存在永久散射體
花縣LL001	8.08	緩慢地表變形	嘉縣LL007	10.94	明顯地表變形
花縣LL002	無PS點	不存在永久散射體	嘉縣LL008	8.59	緩慢地表變形
花縣LL003	0.30	不具地表變形	嘉縣LL009	12.22	明顯地表變形
花縣LL004	15.60	明顯地表變形			

備註： PSInSAR 為內政部 2018 至 2022 產製成果，LOS 速度單位為 mm/yr

隨著近期阿里山鐵路的重新開放，由於此鐵路沿線具有多處大規模崩塌潛勢區，如何觀測並評估其潛在風險為主管機關的重要課題。目前大規模崩塌潛勢區除農村水保署公布的 65 處 (民國 113 年版本)以外，若包括地礦中心 (組改前之地調所)與林業保育署 (組改前之林務局)的調查結果，全台的大規模崩潛勢區共計 9,948 處。因此本計畫整理各單位提供之地理空間圖資與阿里山鐵路直接相交的大規模崩塌潛勢區，利用內政部 PSInSAR 資料進行其地表變形分析。

本計畫利用 GIS 軟體疊合各單位公布之大規模崩塌潛勢區與阿里山鐵路交集者，結果顯示在阿里山鐵路的沿線上共有 19 處大規模崩塌潛勢區，其潛勢區內共具有 250 個 PS 點 (圖 5-7)。本計畫按照 NDCR 災防中心 (2023) 的分級標準，分類 19 處大規模崩塌潛勢區，其中 9 處為不存在永久散射體，9 處為緩慢地表變形，1 處為明顯地表變形 (表 5-6)。依據 PSInSAR 的分析結果，其中以嘉義縣-阿里山鄉-D187 有最高的活動性，其 PS 點的最大活動速度為 12.22 mm/yr，平均的活動速度為 9.01 mm/yr。另外 3 處值得注意的為嘉義縣-阿里山鄉-D184、嘉義縣-梅山鄉-D018 及嘉義縣-竹崎鄉-D011，其 PS 點中最高的活動速度超過 8 mm/yr。

藉由 2018 年至 2022 年資料產製之 PSInSAR 資料為基礎，套用於阿里山鐵路沿線分析其多年地表位移觀測值與平均速度，該結果雖可用於評估資料產製其間之整體地表活動潛勢，但無法反映大規模崩塌潛勢區地表變形的即時狀態。為了達到即時監測的效果，農村水保署與 InSAR 相關委辦團隊正著手開發多時序位移系統 (圖 5-8)，建構大規模崩塌潛勢區之時間序列位移變化量，以強化防災應變能力。就內政部地政司提供的資料，其中也包含 2018-2022 年間每幅衛星影像

相對於 2018 年第一幅影像的位移量，正好可以展現多時序的地表位移。本計畫針對嘉義縣-阿里山鄉-D187 進行分析，先使用年平均位移速度的圖幅篩選 D187 範圍內的 PS 點 (圖 5-9)，再利用這些 PS 點擷取出每時期的變形量，完成多時序的位移分析 (圖 5-10)，了解此大規模崩塌潛勢區隨時間的變位情形。了解此大規模崩塌潛勢區隨時間的變位情形。此外，可以進一步利用線性回歸的方式，針對多時序位移圖計算其位移速度，了解觀測目標的位移速度行為是否有明顯改變。如在短時間內有加速變形的狀況，則需針對該觀測目標加強觀測及警戒，降低潛在的災害風險。

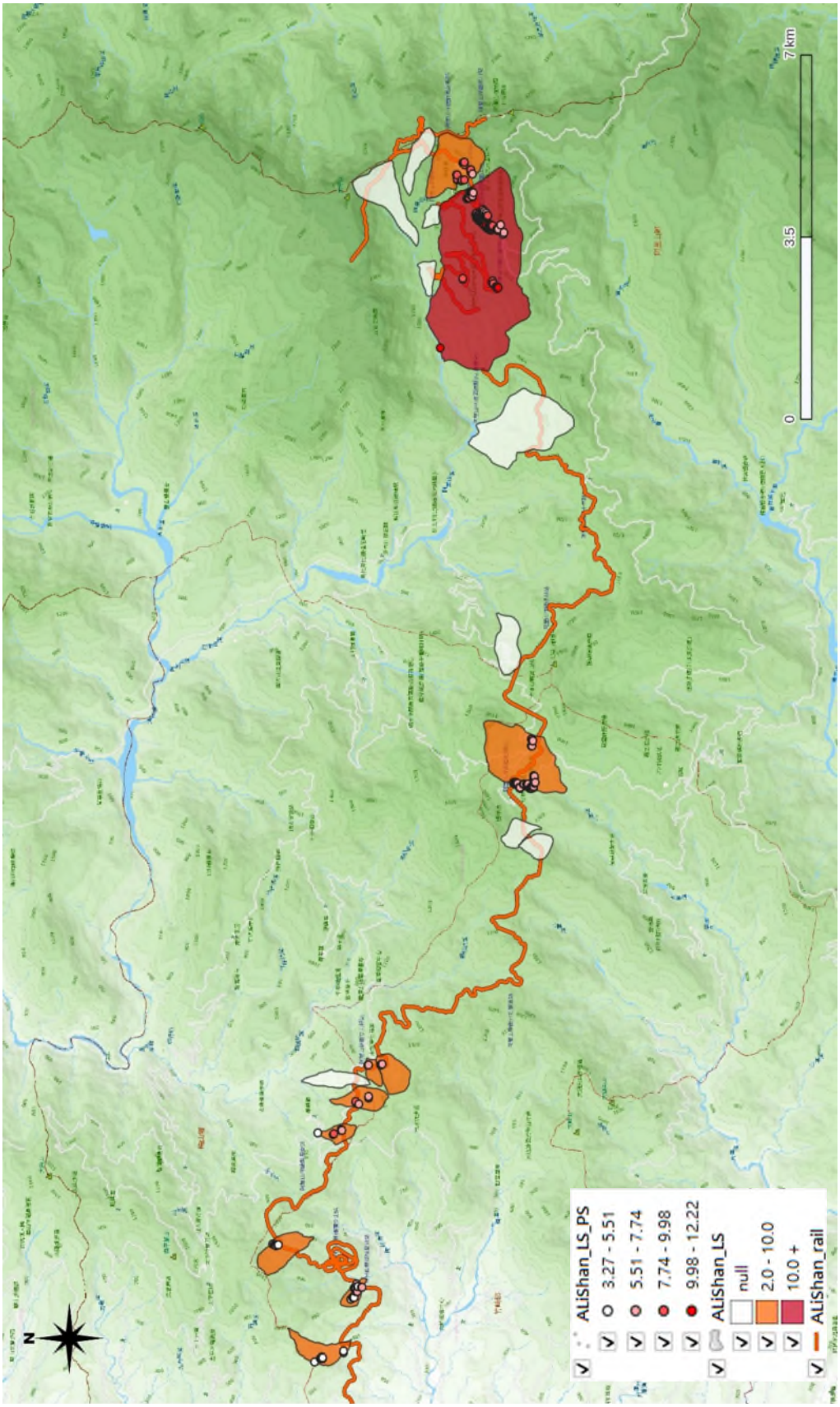


圖 5-7　阿里山鐵路沿線上的大規模崩塌潛勢區 PSInSAR 分析成果

表 5-6　阿里山鐵路 19 處大崩潛勢區 PSInSAR 分析統計表

(依照最大速度的數值排序，速度的單位為 mm/yr)

大崩潛勢區名稱	PS 點數量	最大速度	最小速度	平均速度
嘉義縣-阿里山鄉-D187	133	**12.22**	5.45	9.01
嘉義縣-阿里山鄉-D184	14	9.47	6.23	8.37
嘉義縣-梅山鄉-D018	5	8.66	5.89	6.87
嘉義縣-竹崎鄉-D011	52	8.49	6.51	7.48
嘉義縣-梅山鄉-D047	6	7.89	5.37	6.98
嘉義縣-竹崎鄉-D046	2	7.75	7.25	7.5
嘉義縣-竹崎鄉-T001	19	6.14	4.03	5.44
嘉義縣-竹崎鄉-D043	6	5.93	5.31	5.59
嘉義縣-竹崎鄉-D004	4	5.88	5.54	5.76
嘉義縣-竹崎鄉-D007	9	4.31	3.27	3.92
嘉義縣-梅山鄉-D014	0	no data	no data	no data
嘉義縣-竹崎鄉-D010	0	no data	no data	no data
嘉義縣-竹崎鄉-D013	0	no data	no data	no data
嘉義縣-阿里山鄉-D189	0	no data	no data	no data
嘉義縣-阿里山鄉-D188	0	no data	no data	no data
嘉義縣-阿里山鄉-D178	0	no data	no data	no data
嘉義縣-阿里山鄉-D183	0	no data	no data	no data
嘉義縣-阿里山鄉-D181	0	no data	no data	no data
嘉義縣-阿里山鄉-D179	0	no data	no data	no data

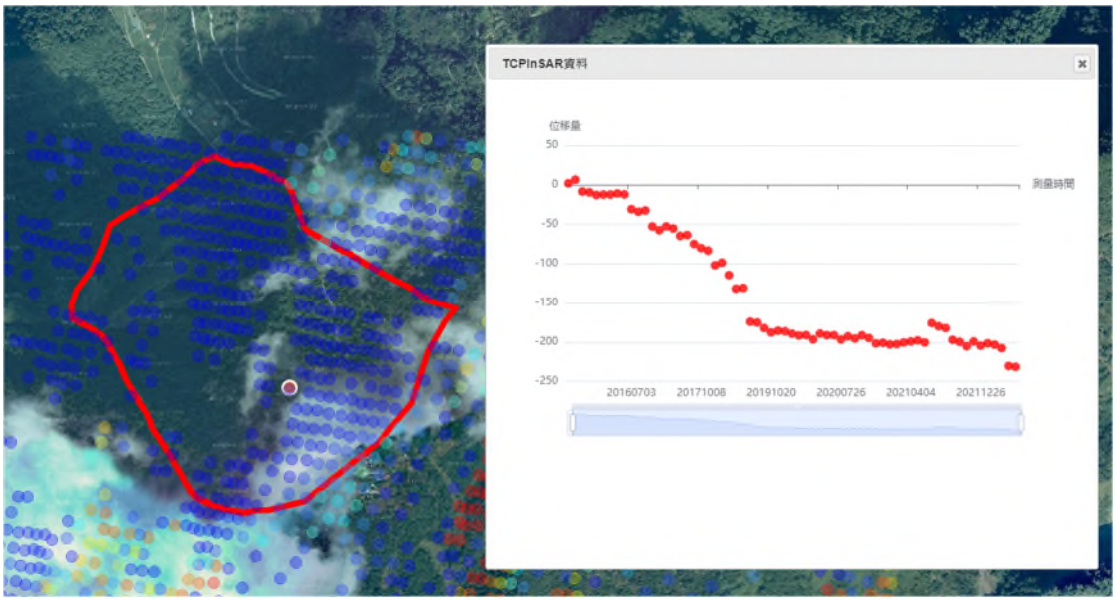


圖 5-8　農村水保署開發中的 InSAR 形變多時序位移分析示意圖

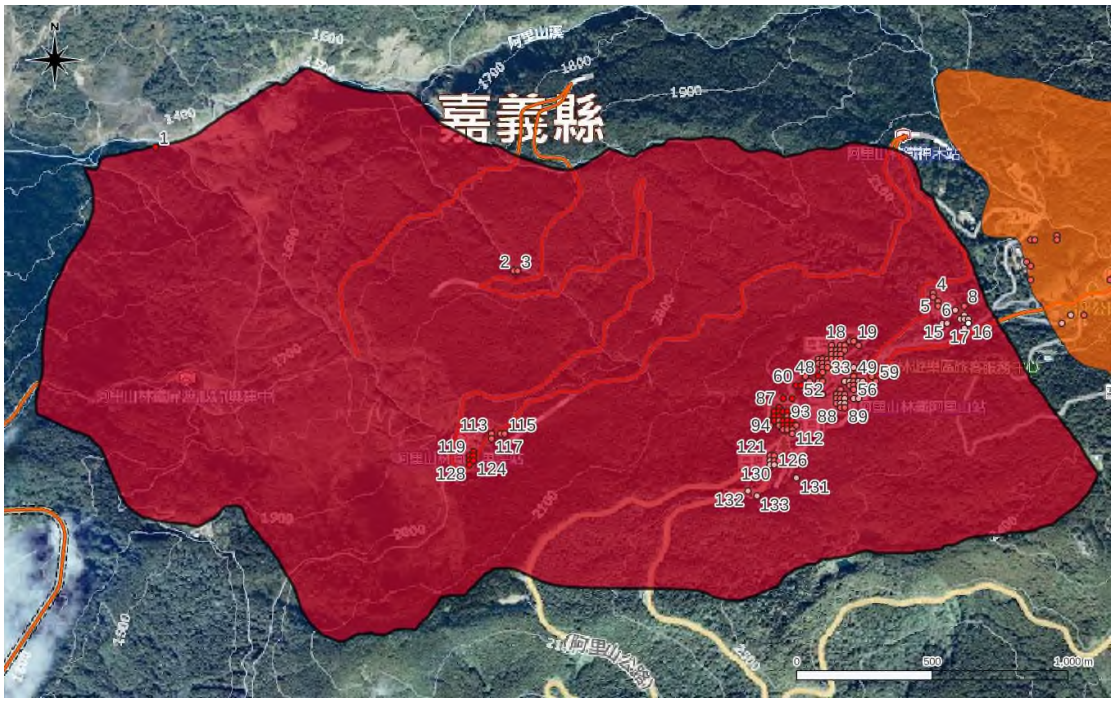


圖 5-9　嘉義縣-阿里山鄉-D187 的 PS 點分布情形

(共 133 個，編號從左上至右下依序從 1 至 133)

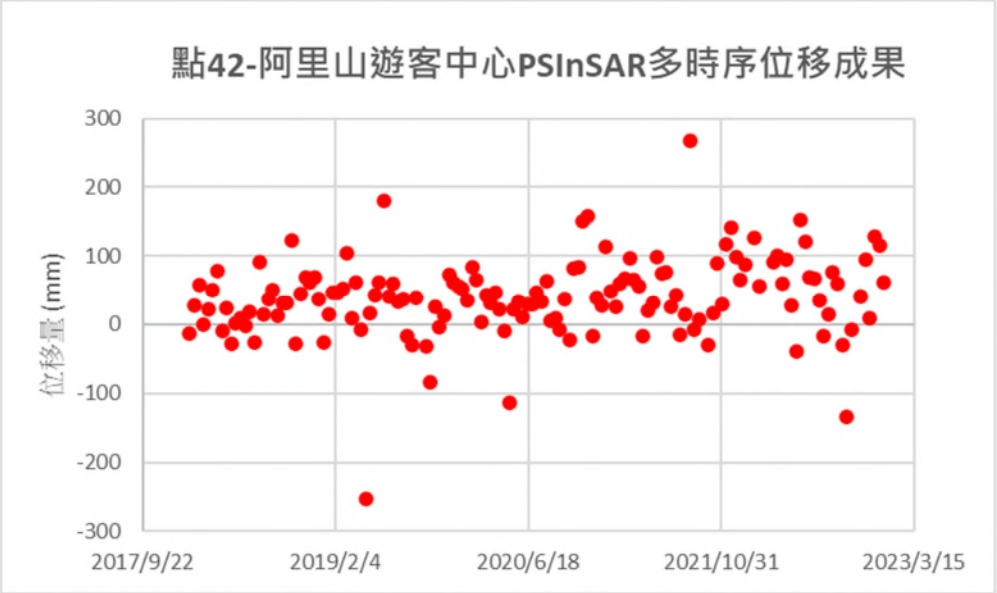


圖 5-10 PS 點 42 的多時序位移成果

(點 42 的位置為阿里山森林遊樂區旅客服務中心，鄰近圖 5 中的點 33 與點 48)

第三節　提升資料品質、流通性與示範

農村水保署為確保資料品質、流通性，以提高行政效率及強化民眾申請服務，考量水土保持基礎資料彙整機制並以單一窗口作業方式，以有效整合、加值、共享相關水土保持基礎資料，據以建置資料管理平台。目前資料管理平台具有 231 開放資料，包含諸多重要防災圖資，以崩塌相關圖層之事件型崩塌目錄 (資料自民國 93 年至 112 年) 為例，收錄颱風豪雨或地震事件後所新生的崩塌地與舊有崩塌地擴大的部分；另全臺崩塌地圖層則包含林業署在民國 93 至 107 年間的衛星判釋全島崩塌地圖、農村水保署自 106 年起製作的全臺崩塌地圖層，涵蓋了全臺灣的崩塌地分布狀況。

上述的這些資料，可以做為集水區管理與風險評估等作業時的參考依據，為進一步提升資料使用流通性，本計畫嘗試利用農村水保署資料管理平台製作整理以下相關圖資與資料，提供未來大家使用資料時的方法參考。

一、　111-113年事件型崩塌目錄與108-112年全臺崩塌地圖層之之數量與面積統計

圖 5-11 整理了 111、112 及 113 年(目前為 0403 地震後、0629 豪雨後、凱米颱風後)的事件型崩塌目錄，按照崩塌地面積大小針對數量與其整體崩塌面積進行統計，此作法有助於相關當局掌握崩塌地的分布狀況。以 0403 地震與今年 7 月凱米颱風所造成的崩塌情形為例，前者導致了 20 處 10 公頃以上的崩塌地，後者則造成了 4 處面積大於 10 公頃的崩塌，其均佔該事件相當比例的崩塌面積，有相當高的機率衍生二次災害的發生。至於全臺崩塌地圖層則顯示臺灣目前約有 3 萬至 3 萬 6 千處的崩塌地，累積的崩塌面積超過 3 萬公頃。在數量方

面，0.1-1.0 公頃的崩塌地佔了 8 成的比例，面積佔了整體的四分之一左右。以上的資料整理，是不同單位都能取用並產製的，可以根據使用需求進行各項崩塌地致災性與風險評估研究。

崩塌面積-級距 / 崩塌目錄	0.1-1.0公頃				1.0-5.0公頃				5.0-10.0公頃				10.0公頃以上				總計	
	數量(處)	數量(%)	面積(公頃)	面積(%)	數量(處)	數量(%)	面積(公頃)	面積(%)	數量(處)	數量(%)	面積(公頃)	面積(%)	數量(處)	數量(%)	面積(公頃)	面積(%)	數量(處)	面積(公頃)
事件型崩塌目錄																		
113年04月_0403地震事件	1608	82.80	418.54	27.52	286	14.73	601.47	39.54	28	1.44	187.46	12.32	20	1.03	313.56	20.61	1942	1521.03
113年06月_0629豪雨事件	116	87.22	32.39	39.75	13	9.77	26.79	32.88	4	3.01	22.30	27.37	0	0.00	0.00	0.00	133	81.48
113年07月_凱米颱風事件	1922	90.15	548.02	51.47	195	9.15	352.96	33.15	11	0.52	70.30	6.60	4	0.19	93.45	8.78	2132	1064.74
113年09月_山陀兒颱風事件	410	84.19	145.26	47.40	76	15.61	154.34	50.36	1	0.21	6.87	2.24	0	0.00	0.00	0.00	487	306.48
113年07月_1023豪雨事件	6	85.71	1.81	40.86	1	14.29	2.62	59.09	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	7	4.43
113年10月_康芮颱風事件	1074	93.55	291.18	65.34	70	6.10	128.40	28.81	4	0.35	26.05	5.84	0	0.00	0.00	0.00	1148	445.63
113年11月_天兔颱風事件	4	100.00	2.21	100.00	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	4	2.21
113年合計																		
112年07月_杜蘇芮颱風事件	190	94.53	33.29	58.54	10	4.98	14.83	26.08	1	0.50	8.75	15.39	0	0.00	0.00	0.00	201	56.87
112年08月_卡努颱風事件	1229	95.35	222.86	66.88	59	4.58	101.67	30.51	1	0.08	8.71	2.61	0	0.00	0.00	0.00	1289	333.24
112年09月_海葵颱風事件	554	95.35	135.70	72.77	26	4.48	43.64	23.40	1	0.17	7.15	3.83	0	0.00	0.00	0.00	581	186.49
112年10月_小大颱風事件	21	91.30	6.79	68.93	2	8.70	3.06	31.07	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	23	9.85
112年合計																		
111年03月_0323地震事件	2	66.67	0.61	27.11	1	33.33	1.64	72.89	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	3	2.25
111年09月_軒嵐諾暨梅花颱風事件	11	84.62	3.42	47.43	2	15.38	3.79	52.57	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	13	7.21
111年09月_0918地震事件	92	95.83	18.97	66.54	4	4.17	9.54	33.46	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	96	28.51
111年10月_1007豪雨、尼莎颱風暨1022豪雨	47	81.03	13.49	31.46	10	17.24	18.20	42.44	0	0.00	0.00	0.00	1	1.72	11.19	26.10	58	42.88
111年10月_1030豪雨	3	100.00	1.12	100.00	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	3	1.12
111年合計																		
全量崩塌目錄																		
112年度全量崩塌地圖層	26003	83.14	8055.19	24.40	4227	13.52	8689.79	26.32	574	1.84	3998.74	12.11	471	1.51	12275.90	37.18	31275	33019.62
111年度全量崩塌地圖層	28324	83.38	8692.74	24.54	4530	13.34	9233.36	26.07	620	1.83	4258.94	12.02	496	1.46	13238.75	37.37	33970	35423.79
110年度全量崩塌地圖層	29094	84.20	8773.46	25.88	4393	12.71	8954.46	26.41	602	1.74	4205.14	12.40	463	1.34	11971.87	35.31	34552	33904.94
109年度全量崩塌地圖層	28468	83.44	8714.40	24.51	4530	13.28	9300.80	26.16	623	1.83	4315.02	12.14	495	1.45	13222.71	37.19	34116	35552.93
108年度全量崩塌地圖層	30457	83.60	9513.46	26.17	4859	13.34	9971.03	27.43	625	1.72	4321.04	11.89	492	1.35	12544.97	34.51	36433	36350.50

圖 5-11 崩塌地圖資整理示範

二、　資料平台現地調查資料應用

資料平台蒐集並整合了過去大量的計畫資料，不僅對公開圖資進行彙整，亦彙整 231 項開放了公開圖資外的簡易彙整，目前該資料管理平台亦提供的 8368 筆現地調查資料，供使用者查詢相關歷史資料及研究應用時參考，做為相關研究分析時的數據來源 (圖 5-12)。本年度計畫中，利用了資料平台內之現地調查進行研究，如圖 5-13，以 KANAKO 2D 數值模式為例，建置土石流災害模擬時，其所需要的現地調查參數例如：土石密度 (Mass density of sediment)、內摩擦角 (Internal friction angle)，土壤粒徑 (Diameter of material)等，當數值模擬缺乏相關數據時，可以透過查詢土壤力學和河床質兩種類別得知研究範圍鄰近地區的現地參數。

土壤力學資料-花47

計畫資料
計畫名稱：台灣東部及蘭陽地區山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫-花蓮地區圖表編繪及新竹地區調查期末報告

計畫編號	計畫年度
CP017	1996

參數設定資料

採樣點編號	採樣年度	Site	標高(M)	EPSG3826_X	EPSG3826_Y
花47	1996	秀林鄉	120	321982.4	2681571
現場單位重 (γ)g/cm3	乾燥單位重 (γd)g/cm3	飽和單位重 (γsat)g/cm3	孔隙率(n) %	孔隙比(e)	比重(Gs)
1.744	1.599	2.018	41.9	0.72	2.751
含水量(ω) %	液性限度(LL)%	塑性限度(PL)%	塑性指數(PI)%	礫石(%)	砂(%)
9.09	23	16	7	56.21	30.03
粉土(%)	透水係數(k)20oC cm/sec	最大乾密度(MDD) g/cm3	最佳含水量(OMC)%	承載力(qu)kg/cm2	凝聚力(c) kg/cm2
13.76	0.00213	1.988	9.89	0.181	0.198
內摩擦角(φ) deg	壓縮指數(Cc)	再壓縮指數(Cr)	USDA	USCS	ASSHTO
46.56	0.152	0.025	砂質壤土	GC-GM	A-2-4

圖 5-12　土壤力學現地調查資料

取樣地點鄰近花蓮縣秀林鄉仁和車站，其提供之比重與內摩擦角是土石流災害模擬時常使用的參數

Calculation parameters	
Item	Value
Version	2.06
Time interval of calculation(sec)	0.01
Mass density of sediment(kg/m^3) MKS	2650
Mass density of fluide phase[water and mud,silt](kg/m^3) MKS	1000
Gravity acceleration(m/s^2)	9.8
Minimum flow depth(m)	0.01
Concentration of movable bed	0.65
Manning's roughness coefficient	0.03
Coefficient of erosion velocity	0.0007
Coefficient of deposition velocity	0.05
Coefficient of deposition velocity considering inertial force	0.9
Simulation continuance time(sec)	18000
Diameter of material(m)	0.2
pai	3.1415926536
Internal friction angle(deg)	37
Time interval of output hydrograph data(sec)	32
Time interval of output result data(sec)	600
Parameter using in 2D area; inflow direction[muki](deg)	0
inflow center X axis in 2D area[jc]	0
inflow center Y axis in 2D area[jr]	184
Interval of 2D-x calculation points(m)	2
Interval of 2D-y calculation points(m)	2
Minimum depth at the front of debris flow in 2D(m)	0.01
Number of calculation points in 2D-x direction	102
Number of calculation points in 2D-y direction	203
Thickness of the 2D plane unstable sediment(m)	0.00
Side Bank Erosion Velocity	1.00
Side Bank Gradient(deg)	37.00

圖 5-13 土石流模擬軟體 (Kanako2D)需要的參數

三、　114年556處(747塊)不安定土砂殘坡空間區位分析

依農村水保署委辦計畫「113 年土砂災害空間資訊蒐集判釋與變遷分析」產製之 114 年 556 處(747 塊)不安定土砂殘坡資料，本計畫依照流域、圖資與面積進行數量統計，可得知依流域類別統計，前三名為高屏溪、曾文溪、大甲溪；依圖資類別統計，位於山坡地(含六都)數量為 747 塊，不安定土砂集水區為 572 塊，土石流潛勢溪流為 84 塊，大規模崩塌潛勢區為 11 塊，其均位於山坡地位置以及個別土砂災害類型的區域，提供外界防災參考；依面積類別統計，2-5 公頃的類別占比最多為 260 塊，50 公頃以上占比最少為 3 塊，顯示大部分不安定土砂殘坡均為零散破碎的崩塌塊體，可進一步關注。相關資料成果可在農村水保署 BigGIS-計畫成果分頁-「113 年土砂災害空間資訊蒐集判釋與變遷分析計畫」公開查詢。

殘坡空間區位分析

五大流域

❑ 依流域區分 (747塊)

殘坡坐落流域	數量(塊)
高屏溪(Gaoping)	229
曾文溪(Zengwun)	32
大甲溪(Dajia)	29
濁水溪(Jhuoshuei)	109
淡水河(Tamsui)	12
八掌溪(Bajhang)	5
卑南溪(Beinan)	101
大安溪(Da-an)	11
和平溪(Heping)	36
花蓮溪(Hualien)	15
蘭陽溪(Lanyang)	40
林邊溪(Linbian)	32

殘坡坐落流域	數量(塊)
秀姑巒溪(Siouguluan)	8
太魯閣海岸(Taroko-Coast)	25
台東海岸(Taitung-Coast)	42
烏溪(Wu)	8
海岸山脈(Coastal-Mountains-Coast)	1
頭前溪(Toucian)	3
豐濱溪(Fengbin-Coast)	4
屏東溪(Pingtung-Coast)	5

❑ 依圖資區分

殘坡坐落區位	數量(塊)
山坡地(含六都)	747
林班地	673
1218個不安定土砂集水區	572
1736條土石流	84
315處大規模崩塌潛勢區	11
水庫集水區	474
鄰近鐵公路1公里	60

❑ 依公頃/數量區分

公頃	數量(塊)
0-2	226
2-5	260
5-10	146
10-30	104
30-50	8
50以上	3

圖 5-14　不安定土砂殘坡空間區位統計

圖 5-15　不安定土砂殘坡空間區位統計

四、 113年山陀兒颱風土砂災害重現期分析

113 年 10 月山陀兒颱風於臺東縣金峰鄉與新北市金山區降下豪雨造成災害，本計畫以雨量站觀測資料進行重現期分析。

其中臺東縣金峰鄉以太麻里 1、金針山、利嘉雨量站進行分析，結果顯示各雨量站降雨 48 小時以上約 25-200 年重現期，成為災害主因。另外新北市金山區以金山雨量站進行分析，結果顯示降雨期間最大 6 小時降雨量為 279mm，介於重現期 25-50 年，達豪雨等級而引起短延時強降雨，成為本次災害主因。

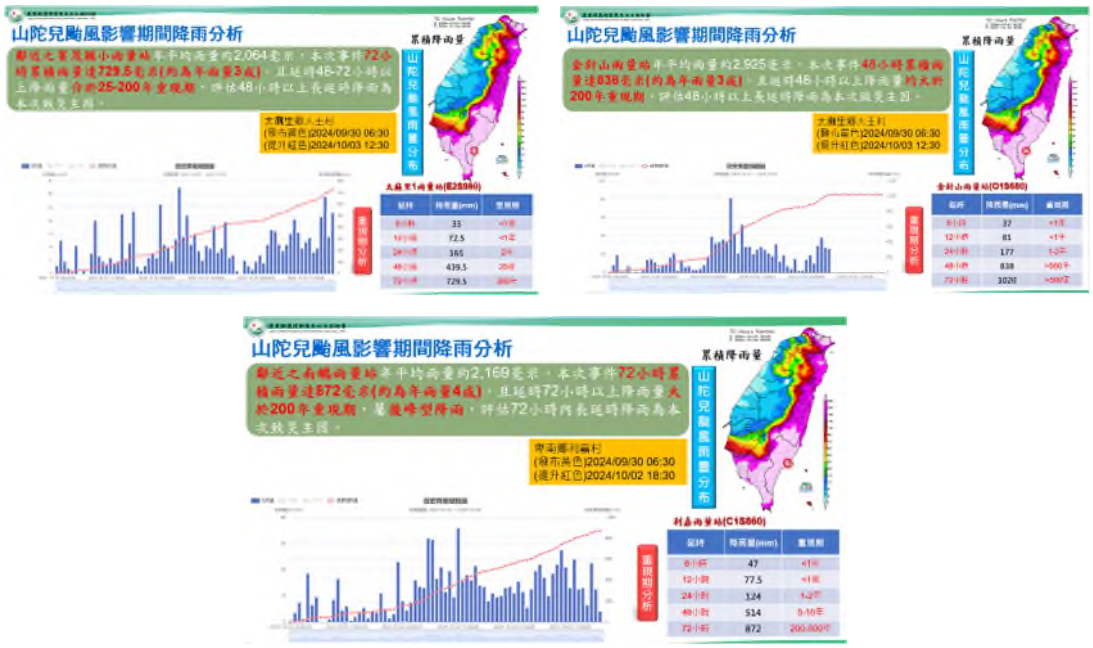


圖 5-16 臺東縣金峰鄉於山陀兒颱風期間雨量站重現期分析

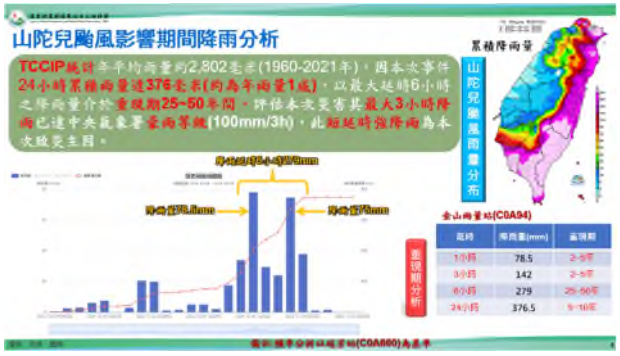


圖 5-17 新北市金山區於山陀兒颱風期間雨量站重現期分析

第四節　資料視覺化成果

農村水保署技術研究及發展平台上將資料分為四種面向呈現，分別為土砂災例、災害管理、山坡地管理及技研相關成果，針對各項開放資料進行資料加值並視覺化，以 Tableau 進行視覺化圖表製作，各項視覺化成果均具有可調控式圖表，使檢視者能更全面且有感地理解數據資料代表的趨勢或模式，其成果皆已展示於農村水保署技術研究及發展平台中研究成果項目下的「視覺化成果展示」區(https://tech.ardswc.gov.tw/Results/ResultsVisualization)。以下針對四種面向之資料視覺化成果進行說明：

一、　土砂災例資料視覺化

(一) 臺灣歷年災例影像分布(2006-2021)

本項土砂災例資料視覺化，主要使用歷史影像平台(https://photo.ardswc.gov.tw/?redirect=yes) 彙整各界珍貴的影像，呈現不同影像類型 (歷史照片、土石流、地滑、洪水、崩塌) 的影像相關說明、點位，並彙整各年度重大土砂災例數量柱狀圖，使用者可以自下拉式選單選擇欲關注的影像類型、重大土砂災害事件 (如莫拉克颱風)，或將鼠標移至欲察看的位置查看相關影像，更加了解 2006 年至 2021 年間一災害事件造成影響的位置(圖 5-18)。

圖 5-18　臺灣歷年災例影像分布(2006-2021)視覺化展示示意圖

(二) 臺灣水土保持類天然災害損失情形(1996-2023)

水土保持類天然災害分為颱風災害、水災、地震災害與其他災害，各個災害項目的損失類型又分為農業及產業道路損失(loss of agricultural road and industrial road)與治山防洪損失(loss of watershed conservation and flood management)，本視覺化採用農村水保署公布統計年報統計表中的歷年臺灣地區天然災害損失情形與內政部消防署所彙整的各直轄市、縣(市)政府報送之天然災害公務統計報表進行視覺化呈現，可看出各縣市遭受不同天然災害影響的比例、災害事件中的傷亡人數及投入救災與災後重建的花費(圖 5-19)。

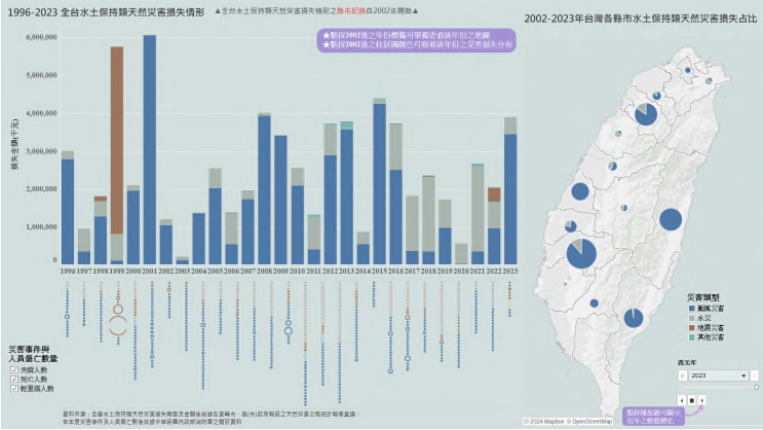


圖 5-19 1996-2023 臺灣水土保持類天然災害損失情形視覺化展示示意圖

(三) 臺灣重大土砂災例變遷趨勢(2005-2023)

對於山坡地最常見的土砂災害如崩塌、地滑、土石流及洪水等，本計畫彙整土石流及大規模崩塌防災資訊網(https://246.ardswc.gov.tw/)防災成果之歷年重大災害事件資訊，將各年度重大災害造成的土砂災害以圓餅圖、柱狀圖及折線圖等方式呈現其相對比例，同時利用中央氣象署提供的網格式雷達降雨估計資料

(Quantitative precipitation estimation, QPE)，以有效累積雨量計算公式：EARt = It+EARt-1(0.7)1/24 (式中: It 為目前的時雨量，EARt-1 為 1 小時前的有效累積雨量) 作為降雨期間之土壤含水量指標，將每個 QPE 網格估算年度最大有效累積雨量，並繪製 2005 至 2023 年各年度最大有效累積雨量分布圖來呈現極端降雨分布與重大土砂災害之關聯性(圖 5-20)。

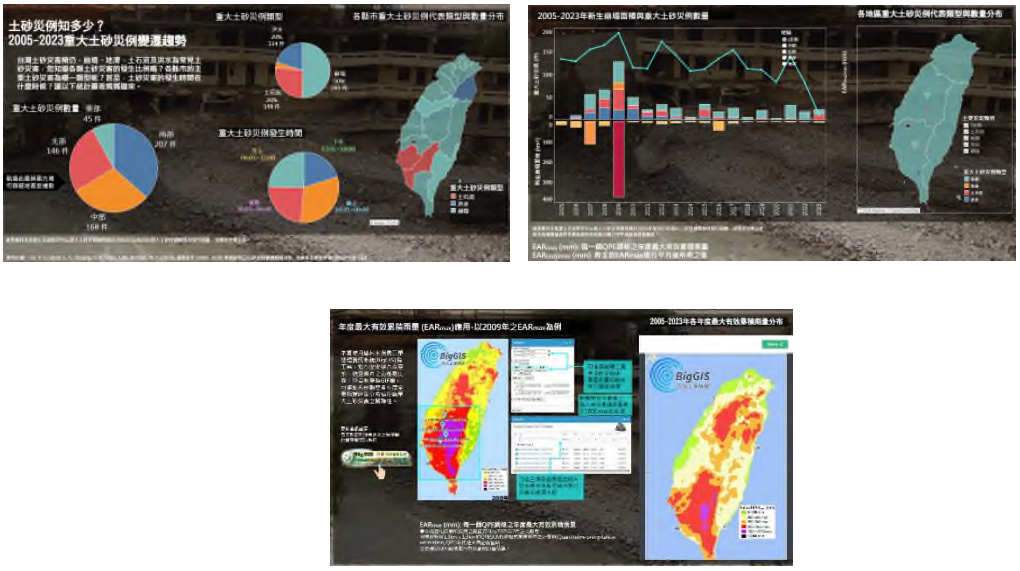


圖 5-20　土砂災例知多少？2005-2023 年台灣重大土砂災例變遷趨勢視覺化展示示意圖

二、　災害管理資料視覺化

(一) 簡易防災地圖(線上版)

透過政府資料開放平臺(https://data.gov.tw/)上資料集項目下的消防署提供之避難收容所點位檔 (https://data.gov.tw/dataset/73242)與救援與應變單位點位檔(https://data.gov.tw/dataset/5969)、警政署提供之各縣(市)警察(分)局暨所屬分駐(派出)所地址資料(https://data.gov.tw/dataset/5958)，彙整成全國各地的防災地圖，於圖面

空間標示警消機關位置及各收容場所位置外，亦標示適用災害類型及避難原則，供民眾於此地圖查找居住地附近的避難場所及相關聯絡資訊 (圖 5-21)。

圖 5-21 簡易防災地圖(線上版)視覺化展示示意圖

三、 山坡地管理資料視覺化

(一) 縣市政府轄管橋梁(農路橋梁)

依「農業部農路養護管理要點 (民國 112 年 9 月 25 日正，發文字號：農農保字第 1121862118 號)」定義，明確指出農路為農產及生產資材運輸，路寬在三至六公尺(山坡地得降低至二點五公尺以上)，未依公路法管理，且由農業部輔建或改善(如路面與邊坡、橋梁與涵管、行車安全設備的養護)之農用道路。目前統計農路橋梁總長為 26,587 公尺、農路橋梁總數為 1,389 座，天然災害發生後之農路修復亦為重要事項之一，因此將全台農路橋梁分布位置、坐落流域與其子集水區名稱、使用狀態等屬性資料加以彙整，以橋梁長度視覺化呈現其空間位置(圖 5-22)，作為相關機關管理或改善的參考。

圖 5-22 縣市政府轄管橋梁(農路橋梁)視覺化展示示意圖

(二) 歷年山坡地違規使用查報與取締案件(2002-2023)

在山坡地管理類別資料視覺化上，統計 2002 至 2023 年山坡地違規使用查報與取締案件視覺化，其利用水保署公開資料中山坡地資源利用統計項目 (https://gov.tw/Fyg)下之山坡地違規使用查報與取締案件統計表，將歷年山坡地違規使用查報與取締案件視覺化(圖 5-23 下圖)，並透過視覺化圖表宣導農村水保署對山坡地管理之相關措施(圖 5-23 上圖)，作為山坡地出現非農業利用以致水土流失或毀損水土保持之處理與維護設施行為時的管理依據。

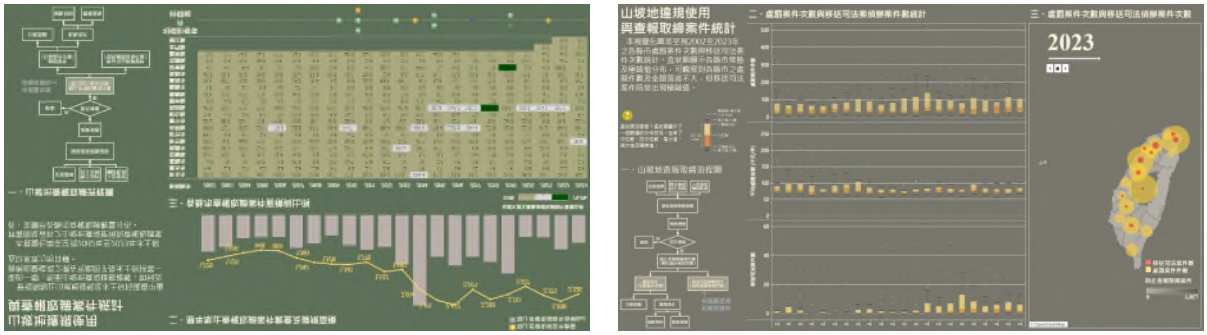


圖 5-23 2002-2023 歷年山坡地違規使用查報與取締案件視覺化展示示意圖

四、 技研相關成果資料視覺化

(一) 水土保持樹種固碳能力資料庫

此視覺化為農村水保署 108 年創新研究計畫「水土保持樹種固碳能力與儲碳潛力計算資料庫之建置」成果產製 (趙國容，2019)，將台灣低 (介於 0 至 500 公尺間)、中 (介於 500 至 2300 公尺間)、高海拔 (大於 2300 公尺) 的原生、外來與入侵種等多種樹種之生物量與儲碳量以散布圖及下拉式選單進行呈現 (圖 5-24)，資料庫並同步於技研平台的技術情報項目下可供查詢。

圖 5-24 水土保持樹種固碳能力資料庫視覺化展示示意圖

(二) 國外水土保持技術文獻翻譯(2017-2023)

為推動水保相關資訊應用與開放資源，技術研究與發展平台的技術情報項目公開了許多讓大眾能自行取用的資源，其中包括翻譯後的國外技術文件(學術研究、法規命令、災害報告等)，自法規面、現地調查面、工程管理面甚至是遙測層面皆有涉及，本視覺化彙整其相關資訊，以桑基圖(Sankey diagram)形式呈現(圖 5-25)，使用者能選取並下載不同國家、不同類別及不同文件類型的翻譯文件。

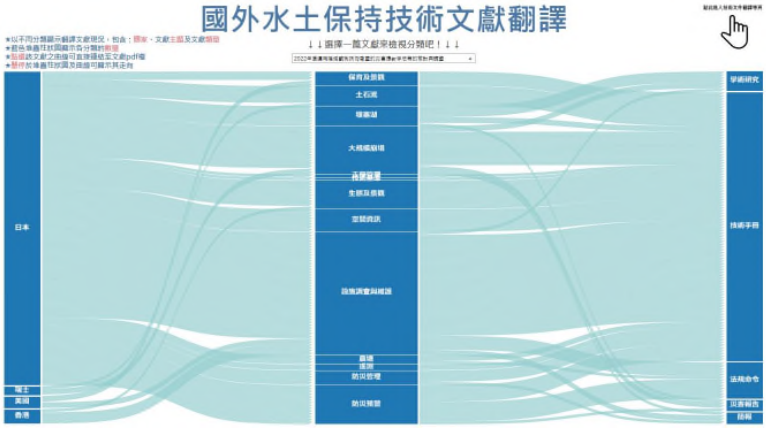


圖 5-25　國外水土保持技術文獻翻譯(2017-2023)視覺化展示示意圖

(三)　105-112 年創新研究計畫成果

農村水保署自 105 年度起辦理之創新研究計畫成果，各年度成果已公開於技研平台-技術情報-創新研究計畫(https://tech.ardswc.gov.tw/Results/ResultsInnovation)，並開放各界查詢使用。創新研究計畫主旨為加強水保及農村再生類的研究創新，並精進相關基礎研究之深度，以公開徵求的方式邀請各界研提計畫書。本視覺化呈現不同創研計畫類型 (工程技術發展、前瞻策略與管理、基礎試驗研究、軟體防災對策、新興科技應用、農村再生)、提案機關類型 (學校、法人團體或政府組織) 及學術產出類型 (期刊、研討會、

專利等) 的數量(圖 5-26)，不僅供大眾檢視，也供署內評估計畫後續之發展潛力。

圖 5-26 創新研究計畫成果(105-112 年)視覺化展示示意圖

第六章 強化技術支援與培訓人員能力

大規模土砂害之災害特性為面積廣、規模大、災害類型多，因此，目的事業主管機關需於發生後第一時間至現場調查與協作支援，獲取現場災害情況作為情資研判，透過無人機所具備自主性飛行規劃及高機動性能力，提供構造物巡檢、災害範圍空勘、地形變異測繪等應用技術支援，協助各單位規劃擬定相關災害應變決策參據。

然而公務機關因限於人力及專業能力，其專業業務多已由委辦廠商協助處理，係以較缺乏自主技術與協作支援能力，因此，培訓自主技術能力在實務上所面臨問題如下:

1. 公務機關在建立遙控無人機自主操作能力上，由於業務或人員異動，則造成已取得證照之專業操作證人員，調離現在機關並造成飛手量能不足；其次在姿態飛行訓練上如無具操作證人員在旁教導，極易發生無人機墜地、撞擊樹木、建築物或是超過目視距離飛行等事件。
2. 機關用地多為辦公廳舍，並不具備無人機訓練場地，亦為培訓自主技術能力待克服點之一。

綜此，農村水保署在培訓人員為無人機專業操作證種子教官上，面臨三大困難，一為飛手人員量能不足，二為無可用專業操作證考試用機，三為無合適訓練場地。鑑於上述，考量防災應用、軟硬體整合、支援、培訓等重要性及發展潛力，並為輔助農村水保署強化技術自主與培訓人員支援能力，以實現強化無人機協作現調能力、強化 3D 建模技術能力、統合多元圖資應用能力等計畫目標，辦理 113 年度遙控無人機相關教育訓練如表 6-1 所示。

表 6-1　遙控無人機教育訓練 - 技術培訓與實質應用效益

本計畫目標	技術培訓	實質應用效益
強化無人機協作現調能力	無人機操作教育訓練	1. 強化無人機操作 2. 熟捻操作證考驗程序 3. 無人機相關規定知能
強化無人機正射與 3D 建模技術能力	1. Drone2Map 影像後製技術 2. ContextCapturer 三維網面模型建置	1. 提升影像拍攝後製處理能力 2. 強化數據轉換正射影像、數值表面模型、三維模型建置 3. 學習影像後製及成果展示與 GIS 操作能力

第一節　強化遙控無人機操作及影像後製處理培訓

一、　遙控無人機影像後製處理培訓

為協助農村水保署 (含分署) 擴大 UAV 無人機於測繪紀錄、影像後製應用，提升影像加值、正射影像、地表數值模型 DSM 與 3D 模型產製之基礎概念與影像處理能力，以利各單位整合業務應用，辦理 113 年度「UAV 正射影像及 3D 模型產製教育訓練」(農保監字第 1132668180 號)。

農村水保署 (含分署) 具有 ContextCapture 軟體授權及農業部大量授權 Drone2Map 軟體。故無人機影像後製課程規劃及主要研習內容，包含：UAV 產製正射影像及 3D 模型拍攝技巧說明、戶外 UAV 實機拍攝教學、UAV 正射影像及 3D 模型產製教學 (ContextCapture 與 Drone2Map 操作方法)、戶外實機成果展示及檢討、及 UAV 成果應用案例介紹等 (圖 6-1 至圖 6-3、表 6-2)。

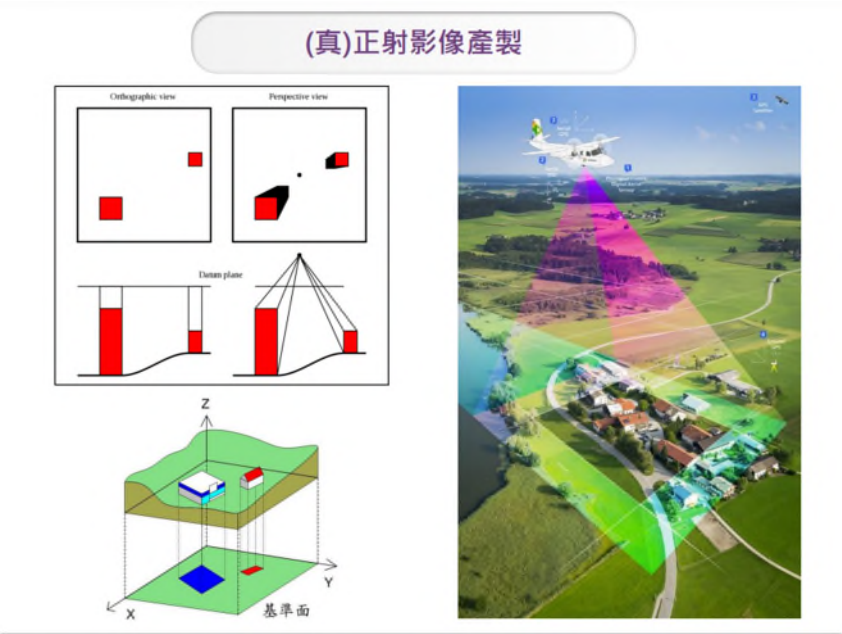


圖 6-1　課程講義-UAV 正射影像拍攝技巧教學

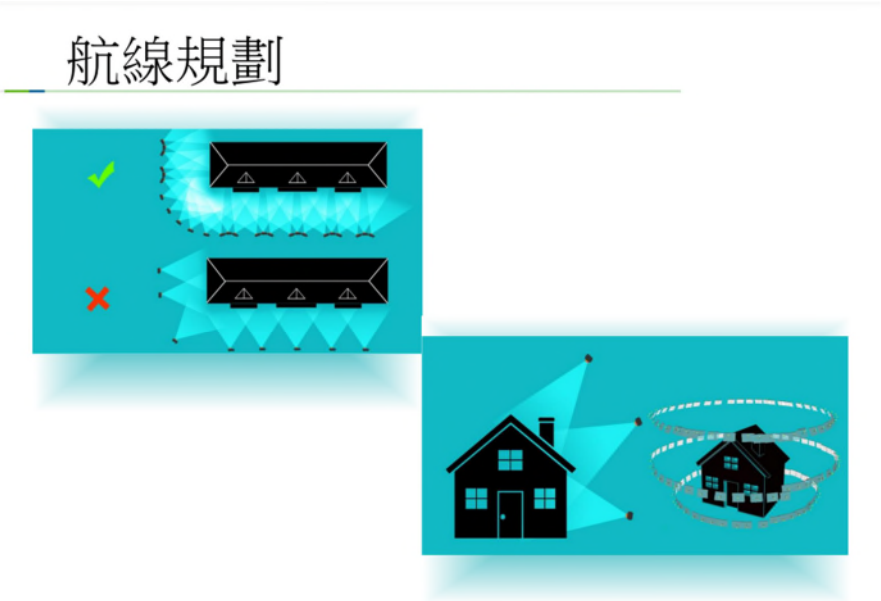


圖 6-2　課程講義-UAV 3D 模型拍攝技巧教學

圖 6-3　UAV 正射影像及 3D 模型產製教育訓練

室內課程與室外課程

表 6-2 UAV 正射影像及 3D 模型產製教育訓練課程表

時間	講題	講師
08:30～09:00	報到	
09:00～09:50	UAV 產製正射影像及 3D 模型拍攝技巧說明(1)	洪若彬 副研究員
09:50～10:00	休息	
10:00～10:50	UAV 產製正射影像及 3D 模型拍攝技巧說明(2)	洪若彬 副研究員
10:50～11:00	休息	
11:00～11:50	戶外 UAV 實機拍攝教學	洪若彬 副研究員
11:50～13:00	午餐 & 休息	
13:00～13:50	UAV 正射影像及 3D 模型產製教學	洪若彬 副研究員
13:50～14:00	休息	

二、 遙控無人機操作人員培訓

為因應交通部更新無人機操作證屆期換證規定，及提升近年來氣候變遷下土砂災害防治與現勘應用等技術支援能力，以協助農村水保署(含分署)人員熟悉操作證考驗程序、屆期換證與分級標準、術科考試內容及相關規定，順利通過操作證預先評鑑、既有操作人員屆期換證更新等，辦理「113 年度-遙控無人機教育訓練-專業操作訓練班」，課程規劃以「高級專業操作證術科測驗項目(未達 2 公斤)」為主要研習內容，超過 2 公斤之多旋翼以示範解說為主，以建立遙控無人機自主飛行能力，並適時取得操作證 (圖 6-4)。

113 年度「遙控無人機教育訓練-專業操作訓練班」簡章

、 **目的：**

因應近年來氣候變遷下，土砂災害防治與現勘應用等應變能力，以協助本署(含分署
業務人員熟悉操作證考驗程序、屆期換證與分級標準、術科考試內容及相關規定，順
通過操作證預先評鑑、既有操作人員屆期換證更新等，爰辦理本次訓練。

本署(含分署)目前使用之遙控無人機，以未達 2 公斤之多旋翼機型為主，故課程規
以「高級專業操作證術科測驗項目(未達 2 公斤)」為主要研習內容，超過 2 公斤之多旋
以示範解說為主。

、 **日期：**113 年 9 月 4 日(星期三)至 9 月 6 日(星期五)

、 **地點：**

1. 報到地點：請於 9 月 4 日(08:50-09:10)至本署府西第二會議室辦理報到。
2. 戶外教育訓練場地：中興新村親情公園 (坐標：23.956222N, 120.686771E)。

、 **執行單位：**本署減災監測組

、 **參加對象：**本署及各分署同仁

圖 6-4 113 年度-遙控無人機教育訓練-專業操作訓練班簡章

113 年度-遙控無人機教育訓練-專業操作訓練班，上課時間為 9 月 4 日至 9 月 6 日共計三天。課程內容上以遙控無人機專業術科考試

項目進行相關測驗項目授課，包含無人機屆期換證、分級規定介紹、考試流程、民航局遙控無人機管理資訊系統帳號與報名考試申請、專業術科各級別考試項目、專班考試注意事項、緊急應變處置問答等(圖 6-5 至圖 6-7、表 6-3)。

圖 6-5　遙控無人機教育訓練-室內課程

圖 6-6　遙控無人機教育訓練-室外課程

一、 考試流程

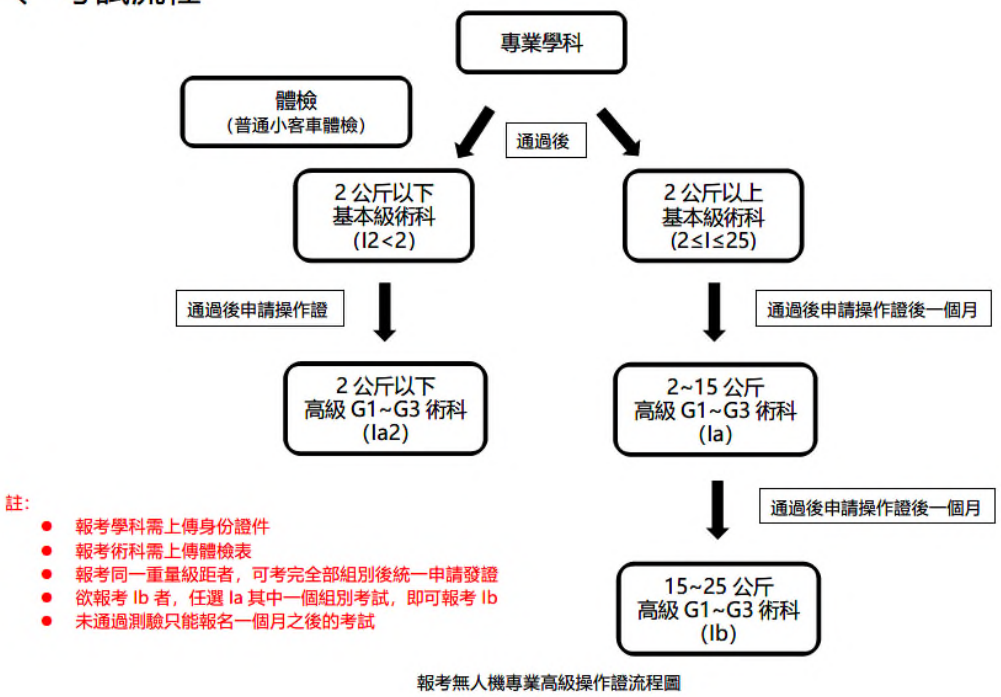


圖 6-7　遙控無人機教育訓練-專業操作證考證流程

表 6-3 遙控無人機教育訓練-專業術科各級別考試項目

考試項目	2公斤以下（I2<2、Ia2）				2公斤以上(2≤I≤25、Ia、Ib)			
	基本級	高級G1	高級G2	高級G3	基本級	高級G1	高級G2	高級G3
系統知識應答	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
360檢查	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
設定飛行任務	✓(一般)	✓	✓	✓		✓	✓	✓
定點起降四面懸停	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
八字水平圓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
側面停懸前進後退					✓			
高度保持五邊飛行					✓			
緊急處置程序（返航）					✓			
矩形航線飛行	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
儀表飛行		✓				✓		
興趣點飛行				✓				✓
拋投或噴灑			✓				✓	
飛行任務執行		✓	✓			✓	✓	
結束飛行任務	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
緊急處置應答	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓

第二節　培訓土砂災害模擬分析能力

在面對「不安定土砂災害風險及其引致之複合型土砂災害」等新議題，為強化同仁本質學能，以輔助氣候變遷下大規模崩塌及不安定土砂防減災計畫推動，研擬土砂防減災調適對策並強化自主分析能力，研判不安定土砂特徵並協助評估土砂災害等分析，本項培訓主要以土石流與不安定土砂相關調查方法、土體運動型態、水砂數值模式等辦理技術及案例專題教育訓練，今 113 年度培訓土砂災害模擬相關教育訓練，如表 6-4 所示。

表 6-4 培訓土砂災害模擬分析能力 - 技術培訓與實質效益

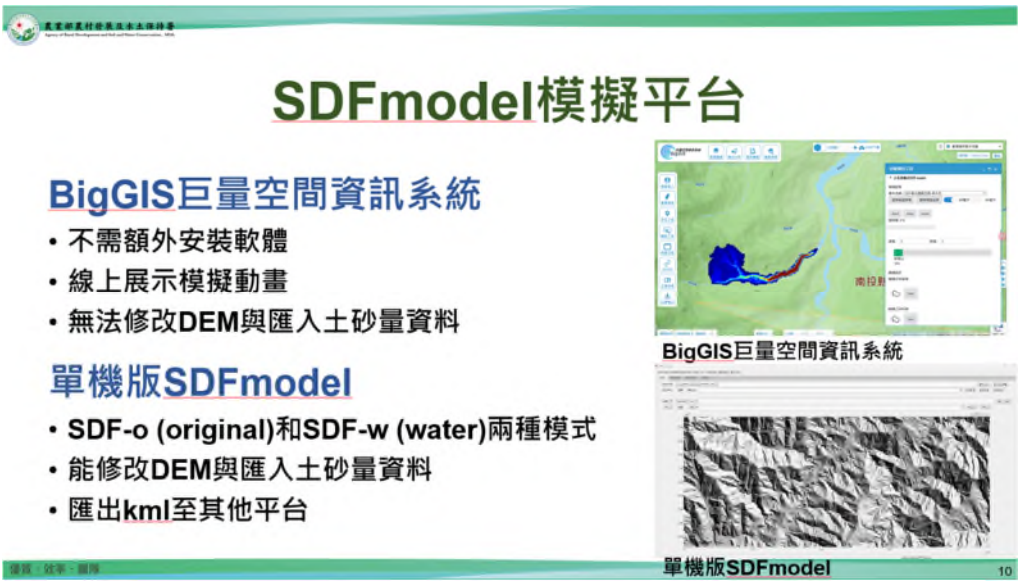
教育訓練課程	技術培訓	實質應用效益
簡易土石流 SDF model 模式教育訓練	1. 土石流基礎理論與相關基礎知識 2. BigGIS 網路版 SDF 操作方法 3. SDF 單機版操作方法	1. 協助了解土石流基礎特徵與運動知識 2. 提供土石流災害防災應變能力與疏散避難參考
殘坡土砂判釋與數化方法教育訓練	1. 殘坡土砂地形特徵判釋方法 2. 殘坡土砂的數化和活動性判釋方法	1. 協助不安定土砂-殘坡類型的地形特徵認識 2. 提升不安定土砂自主辨識與防災應變能力

一、 簡易土石流SDF model模式教育訓練

集水區不安定土砂在降雨或地震等條件誘發下，所引致之大規模崩塌災害，如高雄市玉穗溪上游林班地於 2009 年莫拉克颱風後形成之殘坡，受盧碧颱風與熱帶性低壓之長延時降雨影響發生崩塌並形成土石流，導致下游明霸克露橋遭沖毀，震驚全國。

為能在災害短時間掌握土石流災害狀況，因此舉辦簡易土石流 SDF model 模式教育訓練，其中本次教育訓練總參與人數為 45 人。

其中課程分享土石流相關理論，學習 SDF-model 整合水文入滲模式，包含降雨-逕流模式、地表逕流模式、體積濃度公式模組、土石流演算模式等，其特點為簡化土石流運動機制，可快速模擬與評估土石流動態運移過程和影響範圍，能於數十分鐘內模擬土石流動態變化歷程，並以視覺化方式呈現土石流流動深度和影響範圍等資訊，作為協助土石流災害防災應變及避難疏散計畫等應變規劃和決策參考(圖 6-8、表 6-5)。



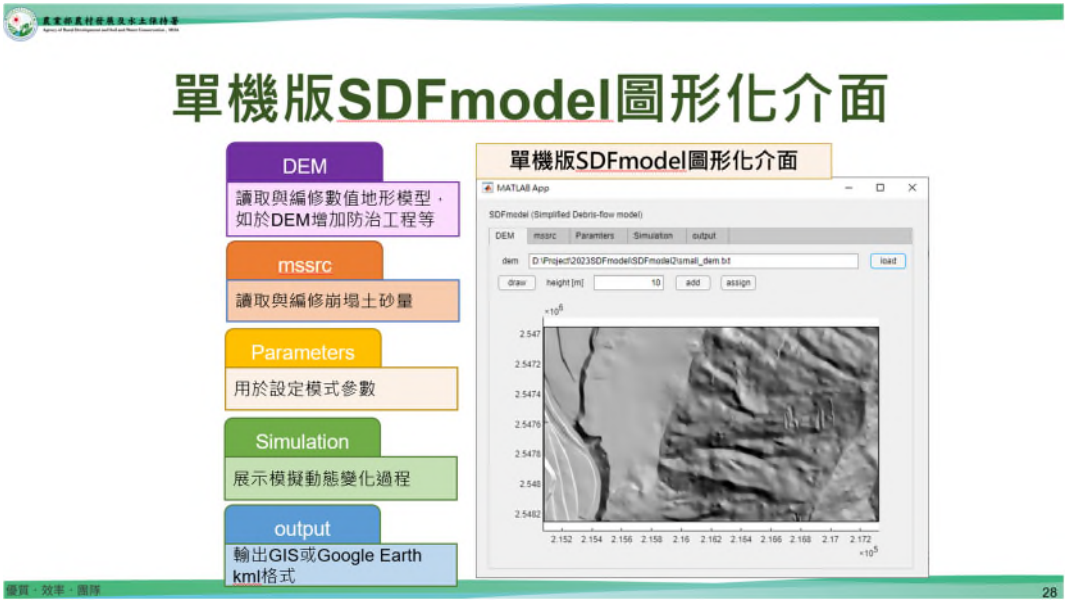


圖 6-8　簡易土石流 SDF model 模式教育訓練

表 6-5 簡易土石流 SDF model 模式教育訓練議程

簡易土石流 SDF model 模式教育訓練議程

時間	講題	講師
09:00 ~ 09:30	報到	
09:30 ~ 10:20	土石流基礎理論與相關基礎知識	陳毅青 副教授
10:20 ~ 10:30	休息	
10:30 ~ 11:20	1. BigGIS 網路版 SDF 操作方法 2. SDF 單機版操作方法	陳毅青 副教授
11:20 ~ 11:30	休息	
11:30 ~ 12:20	1. SDF 單機版操作方法 2. 綜合討論	陳毅青 副教授
12:20 ~ 12:30	午餐 & 休息	

二、　殘坡土砂判釋與數化方法教育訓練

近年受到氣候變遷影響，導致降雨時間及強度之變化，而短延時強降雨型態，造成不安定土砂災害事件，其中不安定土砂係指集水區內坡面或河道上，屬暫態平衡或不穩定平衡狀態下之殘坡或河道堆積之大量土砂，將造成中下游重大土砂災害，由於其發生具有高度不確定性，且不安定土砂廣布於坡地集水區，且其調查分析非常耗時費力，為加速完成不安定土砂之災害管理，須先找出優先進行不安定土砂調查區域，因此，如何判讀殘坡地形特徵及其活動性，作為後續研擬不安定土砂評估潛勢的方法，極為重要。

為輔助大規模崩塌防減災業務推動，掌握集水區殘坡之不安定土砂狀況，降低災害風險並提升山區保全對象安全，以提高面對災害預警應變之能力及建構智慧防災體系，因此規劃殘坡土砂判釋與數化方法，做為本署業務精進及推動之參考。

本專題講座參與人次為 30 人，分享集水區殘坡土砂地形特徵與數化方法，藉由實際判釋操作，介紹殘坡之地質與地形特徵、判讀方式，並進一步說明殘坡數化與活動性判釋方法，協助同仁瞭解殘坡理論與其判斷方式，掌握集水區殘坡之不安定土砂狀況，以提供不安定土砂災害之應變與決策參考依據(圖 6-9、表 6-6)。

圖 6-9 殘坡土砂判釋與數化方法教育訓練

表 6-6 殘坡土砂判釋與數化方法教育訓練講座議程

殘坡土砂判釋與數化方法

時間	講題	講師
09:00 ~ 09:30	報到	
09:30 ~ 10:20	Google Earth 影像 進行地質和地形判讀	陳毅青 副教授
10:20 ~ 10:30	休息	
10:30 ~ 11:20	殘坡土砂地形特徵的判釋方法	陳毅青 副教授
11:20 ~ 11:30	休息	
11:30 ~ 12:20	殘坡土砂的數化和活動性判釋方法	陳毅青 副教授
12:20 ~ 12:30	午餐 & 休息	

第七章 結論與建議

第一節　結論

依今年度各項工作、研究項目、現地調查及交流會議活動等成果，主要對於集水區不安定土砂災害風險指標研究、土砂災害情境與模擬分析、現地土砂災害案例檢證、智慧型手機於土砂災害調查應用等研究，以及推廣防災科普教育 (國內外土砂防災技術)、資料盤點及基礎資料加值、強化技能支援及培訓人員能力等工作成果，提出以下結論：

1. 關於集水區不安定土砂災害風險指標研究部分，研究利用 0403 花蓮地震後崩塌地判釋資料，分別計算 30 條土石流潛勢溪流集水區的新生崩塌率與總崩塌面積，再配合農村水保署的重大土砂災例資料，證實本研究訂定新生崩塌率分級標準確實能反映集水區的災害發生潛勢，且隨著崩塌率上升，發生災害的案例也隨之增加。

2. 關於土砂災害情境與模擬分析部分，其一係以 0403 花蓮地震所衍生 10 起土砂災害為例，探討震後降雨門檻與無因次 PGA 間關係式，並進一步以三棧南溪為例研析震後降雨門檻變化，蒐集降雨資料與不同時期衛星影像，分析三棧南溪土石流災害於時空間的變化；其二以 113 年 6 月 21 日花蓮大清水溪(花縣 DF024)土石流流出造成台鐵新自強號出軌事件為例，並利用 QPESUMS 雷達雨量資料配合 WFLOW 降雨逕流模式計算出集水區降雨分布，搭配 Planet 衛星影像及數值模擬，研析土石流災害事件發生原因，顯示出震後土砂敏感特性，以供未來防災應變參考。

2. 關於現地土砂災害案例檢證部分，以嘉義縣中埔鄉的土石流潛勢溪流-嘉縣 DF051 為目標，利用縮時攝影機拍攝土石流隨降雨歷程變化，期以長時間觀測掌握土石流災害現場狀況，以提供觀測

資訊輔助土石流防災儀器架設參考。本次架設具體成果證實縮時攝影機能在降雨期間捕捉到土砂遞移運動型態變化並進一步估算時序變化。

3. 本計畫利用智慧型手機於現地土石流災害之整體集水區調查，利用遙測影像與 UAV 進行精度驗證，其成果進一步量化與將模型成果從手機匯出至開源軟體(桌機端)進行加值應用，作為新興科技應用輔助土砂災害調查與內業工作，其於現場提供快速模型建立與量化成果，可解決航遙測無法即時取像及輕便化傳統測量調查設備沉重及不易攜帶問題，大幅提升人員調查效率並節省作業時間成本；另外內業從點雲處理、繪圖規劃與地理資訊應用成果，其顯示手機建模可擁有後續眾多的應用空間。

4. 在推廣推廣防災科普教育 (國內外土砂防災技術)方面，在善用科技工具獲取不同類型災害事件資訊，輔助研擬軟、硬體對策並降低災害衝擊，必為現代數位化時代下每個人提升自主防災知能不可或缺的能力之一，藉由電子報推廣國內外防災研究與技術發展，實具新興科技推廣與防災科普教育成效。另外藉由電子報的多項資料蒐集，進一步建議創新研究計畫公告題目的訂定，提供主管機關未來公告擬定題目時進行參考。

5. 在盤點歷年土砂防災技術與研究成果方面，針對歷年防災技術研究成果進行加值與推廣應用，本計畫針對過去計畫研發之 H.O.S.T 地圖進行 105-112 年的重新製作與訂定新標準，其二將歷年完成之重大土砂災例結果與事件型崩塌目錄進行比較、結合與彙整，其三完成 113 年度最新版全台堰塞湖遙測影像資料彙整，上述成果均上傳於相關平台供使用者進一步參考應用。

6. 關於強化技術支援及培訓人員方面，今年度辦理無人機影像後處理及專業操作教育訓練，以強化自主技術並輔助多元圖資產製及應用。另外針對土石流及不安定土砂風險之土砂災害等議題，為精進業務人員之數值模擬能力及熟捻調查方法，分別辦理簡易土石流 SDF model 模式、殘坡土砂判釋與數化方法等教育訓練及專題講座，強化同仁自主技術能力，分析坡地土砂災害並制訂土砂防減災對策，作為業務精進及推動參考。

7. 在資料加值與公私協力推廣資料應用部分，其一，藉由歷史影像平台之災害歷史照片及案例交流為主題，辦理「第陸拾參次公民科技園遊會黑客松」公私協力活動推廣資料加值應用。其二，藉由外單位提供災害影像結合手機建模執行公私協力防災，快速建置災害現場 3D 模型與量化分析，以在短時間內判讀災害情資，提供防救災參考。在促進跨機關資料應用交流部分，利用內政部的 PSInSAR 資料針對大規模崩塌潛勢區與鐵公路重疊交集者進行分析，快速挑選出近年活動性較高的潛勢區，建議針對高活動性區位進行完整監測。在提升資料品質、流通性與示範部分，以農村水保署資料平台資料為例，完成各項圖資與現地調查資料數位化，供使用者查詢相關歷史資料及研究應用時參考。資料視覺化成果部分，完成四大面向視覺化成果，並展示於技術研究及發展平臺「視覺化成果展示」專區，提供使用者參考。

第二節　建議

一、　歷年研究計畫盤點成果建議

今年針對資料成果數值異常及檔案上傳完整性不足問題，由盤點成果屬性比對分析，其資料後續分為系統流程檢核類別及人工盤點項目類別，並配合基礎資料標準公告年度進行統計，與農村水保署資料管理工作圈的定期檢視、資料標準滾動式檢討、上傳檔案完整性檢視、各業務系統間資料串接規劃、相關流程精進與建議，有助於輔助數值資料與地理圖資管理，以達有效資料管理及共享。

(一) 專責單位資料整合與管理

對於未訂定資料標準格式之數值資料，其歷史紙本報告、個案資料數化工作、非現行盤點項目 (新興設備或新技術檔案格式與成果) 等資料，建議遵循現行電子圖書管理系統之電子檔案收錄方式，並於每年盤點工作成果彙整後，提出個案資料樣態、收錄機制、資料檢核與系統優化等議案，後於「資料管理工作圈」討論，是否將收錄新型態數值資料或地理圖資類別，並訂定相關擴充資料標準格式。

(二) 強化系統間資料串接管理

系統間資料串接管理分為兩部分說明，其一為現有委辦計畫成果資料上傳是由電子圖書管理系統進行收錄，惟部分資料型態尚未能與業務系統做串接，當電子圖書管理中心的照片需上傳至歷史影像平台進行事件照片收錄時，若是以 ZIP 檔案形式上傳至電子圖書管理系統，則無法自動與歷史影像平台進行串接。為提升流程效率，建議可考慮將上傳入口整合為單一成果上傳通道，並將不同屬性之成果資料與對應系統進行串接及同步處理。

其二為目前委辦計畫之各項數值資料及地理圖資成果，其中契約規定項目、加值回饋項目、契約變更項目等，三者間繳交之資料項目成果差異，尚未能導入系統進行編輯或比對。現行委辦系統填報之預計產出項目、計畫執行期間契約變動項目及成果驗收項目，各階段未能互相勾稽，建議未來可規劃預計產出與驗收產出差異辨識機制，並導入系統自動檢核項目更動，以優化資料成果上傳機制，減少已產出成果卻未上傳，更需由人工盤點後補上傳現象。

目前在系統尚未規劃辨識機制完成前，初步建議於期初審查時，以契約所訂定項目為基準，若計畫執行期間無變更契約，則於期末審查時，一併繳交數值資料及地理圖資自評表，以協助查核各計畫成果產出項目，日後於計畫成果驗收時，則可降低已有成果卻未上傳情況。或許藉由此方式可降低人工資料盤點作業時間，而將人力著重於資料檢核與數位化作業，以確保數值資料正確性。

二、 防災技術研究應用可行性評估

本計畫以手機建模進行土砂災害區域實際應用與內業工作等案例，以評估其未來發展可行性，提出相關建議如下：

1. 智慧型手機產製 3D 模型時，拍攝位置仍需人員可到達且具可完整取像的位置，如需產製上游較難到達之位置(如崩塌地)，需依靠其他儀器(如 UAV)取像後匯入手機產製，建議未來針對現場人員無法到達之位置時，以輔助角度配合其他儀器產製之影像進行快速建模。
2. 以智慧型手機進行測繪未加裝手機定位輔助器時，依研究結果顯示，較適用於相對位置之三維資料應用，絕對位置之三維資料尚需進一步進行探討絕對位置校正方式或精度提升方法。
3. 因建模方式影響，目前智慧型手機產製之模型，僅有 LiDAR 測繪的方式可顯示實際地理位置，然照片攝影測量法則無法顯示實際地理位置，建議未來可針對攝影測量法進一步探討地理位置定位方式。
4. 利用其他載具影像匯入智慧型手機進行 3D 模型建置時，需注意其需利用相對比例尺進行量化的特性，因此取像環境需具有可量化特徵物(如房屋、車子、道路)以設定相對比例尺；另因建模作業時需上傳雲端，需選擇具有適當網路環境條件進行製作。
5. 3D 模型建置時,建議未來可嘗試比較不同機型(如 iPhone 與 iPad、iPhone 12 pro 與 iPhone 15 pro 等)建模方法與成果比較。

三、 集水區土砂災害致災模擬模式分析精進建議

本研究之不安定土砂災害風險指標研究、土砂災害情境與模擬分析研究、現地土砂災害案例檢證等三項研究議題，提出相關建議未來研究方向：

(一) 不安定土砂災害風險指標研究

透過每年度的全島崩塌目錄計算特定集水區的崩塌率，用以評估集水區隨時間變化的風險值，將有助於後續的防災決策。本計畫建議持續精進評估特定區位土砂風險潛勢值的研究，以篩選出重點關注區，做為相關防救災單位決策時的參考依據。

(二) 土砂災害情境與模擬分析研究精進

1. 0403 花蓮地震後土砂移動降雨門檻值探討之研究部分，其一為研究區域集水區受 PGA 影響越大，其震後土石流形成降雨門檻值亦隨之下降。前人研究成果(Yang et al., 2021)指出，PGV 與震後最嚴重災區範圍相符，可能是致災程度上較好的指標，建議未來加入探討 PGV 與土石流形成降雨門檻值的關係；其二為建議未來持續追蹤震後 1-5 年災例資料，並補充現地 UAV 調查，以利掌握上游崩塌土砂料源之土砂運移情況，有助於評估震後土石流發生降雨門檻恢復趨勢。

2. 0403 地震後土石流活動性研究-以台鐵新自強號出軌事件為例部分，依據模擬結果顯示，土石流於台 9 線至鐵路橋間主要流動路徑緊依左岸側，並在土石流撞擊橋台後，其土石流流沿橋台往右岸流動。建議後續可持續追蹤通洪斷面阻塞、河道兩極化 (即凹岸沖刷、凸岸堆積兩者)及深槽流路往左岸且下切刷深等三者特性。

(三) 現地土砂災害案例檢證

1. 本次利用縮時攝影機進行拍攝土石流之土砂遞移運動型態與時序變化，利用各降雨期間最大時雨量之前後時間進行觀測，發現其土砂遞移運動型態隨最大時雨量之降雨區間變動。對於集流時間估算方面，因本次架設位置較遠，僅能由溢洪口寬度變化來檢算，並無法得知溢洪口水位高度實際變化，因此建議未來可設置水尺並調整縮時攝影機位置，以估算土砂流動之水理量變化。

2. 建議未來對於集水區出流量與集流時間估算研究改善部份，配合防砂壩架設水尺進行縮時攝影機觀測，再利用流量公式 Q=A*V 與水土保持技術規範第十七條合理化公式進行比對，推估觀測目標流量。此外針對實際地形詳細調查進行三維資料建立，再利用水土保持技術規範第十九條集流時間公式估算結果，與縮時攝影機所觀測之時間成果進行比對，以探討經驗公與觀測紀錄之集流時間差異性。

四、 公私協力推廣資料應用精進建議

本計畫舉辦與 g0v 零時政府揪松團、g0v 零時小學校、FNF Global Innovation Hub 弗里德里希諾曼自由基金會 全球創新中心、共同主辦「第陸拾參次公民科技園遊會黑客松」，活動期間與現場與會者討論，得到關於農村水保署歷史影像平台改進的回饋，茲列以下重點，提供歷史影像平台未來精進時可進行參考:

1. 網站識別度問題：使用者反映歷史影像平台識別度不足，難以辨識其為政府網站，建議可以加入農業部農村水保署字樣以方便民眾辨識。
2. 網站上傳位置標示功能：針對照片上傳位置標示不夠清楚，且與已上傳照片放置同一頁面可能造成混淆，建議將上傳圖示放大，並且可在首頁放置專區，可將此專區分為上傳與搜尋照片兩個部分，透過點擊即可前往。
3. 網站內容視覺化部分：針對網站首頁所顯示的「已上傳照片數量」與「照片定位數量」對使用者幫助不大，建議可以「近期災害事件照片數量」和「歷史重要災害照片數量」的視覺化進行輪替。
4. 網站查詢功能：協助定位時，於定位好一張照片進行查詢條件容易跳掉，且無法按 ENTER 進行搜尋，建議修正。
5. 民眾參與部分：參與者建議與當地鄰里單位(如:宮廟或活動中心)合作，藉由其提供照片，以擴展地方參與及增加地方連結性。
6. 推廣部分：利用社交媒體（如:Instagram）進行宣傳，能吸引更多人加入，不管是提供照片或協助定位，可讓更多人有興趣參與。

五、 強化技術支援與人才培訓建議

本計畫今年度辦理 4 場關於無人機技術培訓與土砂災害模擬分析技術，建議如下：

1. 持續配合農村水保署推動無人機操作能力，培訓本署及各分署種子教官，以強化自主技術能力，並建議持續辦理無人機操作證考訓專班，輔導各業務人員取得專業操作證，培養本、分署無人機操作人才。
2. 建議持續強化署內業務人員無人機影像後處理能力，學習無人機影像加值產品製作及成果展示能力，熟捻各項圖資共享與應用分析，以輔助署內業務人員執行業務時可善加利用技術提升成果品質與工作效率。
3. 建議未來可舉辦影像分析相關技術課程，如 SAR 與 PIV 技術，可讓署內業務人員熟捻對於各種影像的量化成果分析與辨識，提升業務人員對於資料判釋的空間尺度與更廣泛的資料分析與應用之能力。
4. 建議未來可舉辦更多土砂災害相關技術課程，如邊坡穩定分析與土石流分析等相關軟體應用，可讓署內人員未來面對氣候變遷下不安定土砂各類型土砂災害於災害當下能擁有即時分析與還原現場狀況之能力。

參考文獻

1. Chen, C. M., Shyu, J. B. H., Tsui, H. K., Hsieh, Y. C. (2022). Preservation and transportation of large landslide deposits under decadal and millennial timescales in the Taiwan orogenic belt. *Geomorphology*, **415**, 108402.
2. Chen, C. Y., Shih, P. Y., Kao, B. Y., and Chan, W. Y. (2022). Debris flow disaster in Yusui River, Taiwan, in August 2021. 令和 4 年度砂防學會研究發表會摘要集.
3. Chen, J. C. (2011). Variability of impact of earthquake on debris-flow triggering conditions: case study of Chen-Yu-Lan watershed, Taiwan. *Environmental Earth Sciences*, **64(7)**, 1787-1794.
4. Chen, M., Tang, C., Wang, X., Xiong, J., Shi, Q., Zhang, X., Li, M., Luo, Y., Tie, Y., and Feng, Q. (2021). Temporal and spatial differentiation in the surface recovery of post-seismic landslides in Wenchuan earthquake-affected areas. *Ecological Informatics*, **64**, 101356.
5. Kincey, M. E., Rosser, N. J., Robinson, T. R., Densmore, A. L., Shrestha, R., Pujara, D. S., Oven, K. J., Williams, J. G., and Swirad, Z. M. (2021). Evolution of coseismic and post-seismic landsliding after the 2015 Mw 7.8 Gorkha earthquake, Nepal. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, **126(3)**, e2020JF005803.
6. Li, L. J., Yao, X., Zhang, Y. S., Iqbal, J., Chen, J., and Zhou, N. J. (2016). Surface recovery of landslides triggered by 2008 Ms8.0

Wenchuan earthquake (China): a case study in a typical mountainous watershed. *Landslides*, **13**, 787–794.

7. Wu, C. H., Chen, S. C., and Chou, H. T. (2011). Geomorphologic characteristics of catastrophic landslides during typhoon Morakot in the Kaoping Watershed, Taiwan. *Engineering Geology*, **123(1-2)**, 13-21.
8. Yang, W. T., Qi, W. W., and Zhou, J. X. (2018). Decreased post-seismic landslides linked to vegetation recovery after the 2008 Wenchuan earthquake. *Ecological Indicators*, **89**, 438-444.
9. Shieh, C. L., Y. S. Chen., Y. J. Tsai & J. H. Wu. 2009. Variability in rainfall threshold for debris flow after the Chi-Chi earthquake in central Taiwan, China. International Journal of Sediment Research. 24: 177-188.
10. Wu, Y. M., N. C. Hsiao, & T. L. Teng. 2004. Relationships between strong ground motion peak values and seismic losses during the 1999 Chi-Chi, Taiwan earthquake. Natural Hazards. 32: 357-373.
11. Yu, B., Y. Wu., & S. Chu. 2014. Preliminary study of the effect of earthquakes on the rainfall threshold of debris flows. Engineering Geology. 182: 130-135.
12. Yang, B. M., H. Mittal., & Y-M. Wu. 2021. Real-Time Production of PGA, PGV, Intensity, and Sa Shakemaps Using Dense MEMS-Based Sensors in Taiwan. Sensors. 21(3): 943.
13. 徐明同。1979。地震學。臺北：黎明。
14. 內政部國土測繪中心，數值地形模型，

https://www.nlsc.gov.tw/cp.aspx?n=1853

15. 國家災害防救科技中心 (2023)，112 年坡地科技防災落實應用，期末審查會議簡報。
16. 水土保持局 (2022)，H.O.S.T 地圖製作簡易操作指引，行政院農業委員會水土保持局編印。
17. 尹孝元、王晉倫、鐘啟榮、詹坤哲、賴文基 (2013)，莫拉克風災後集水區水土保持策略分析與展望，地工技術，137，19-30。
18. 吳俊鋐 (2014)，以崩塌率為依據建構邏輯式迴歸崩塌潛勢評估模式，水土保持學報，45(4)，257-265。
19. 吳俊鋐、高伯宗、李正鈞、連惠邦、黃于禎 (2019)，河川集水區劃定與整體治理規劃法規先期研究，水保技術，13(1)，10-23。
20. 林敏郎、李欣輯、朱芳儀 (2022)，臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台，坡地領域成果報告簡報。
21. 張郡庭、陳金諾、李錦育、葉一隆 (2021)，坡地崩塌對集水區沖蝕量及產砂量影響之研究，水土保持學報，52(4)，205-217。
22. 陳嬉璇、譚志豪、陳勉銘、蘇泰維 (2013)，降雨誘發山區淺層滑坡之臨界雨量研析，水土保持學報，44(1)，87-96。
23. 李哲宇、陳振宇、陳國威，2024，智慧型手機於土石流災害現場快速三維資料建置之探討-以土石流潛勢溪流(投縣 DF013)為例，中華民國力學學會第四十七屆全國力學會議 (CTAM 2023)。
24. 岩 間輝，2023，徹底解説！iPhone 3D スキャンの撮り方全て教えます https://note.com/iwamah1/n/n1419056b7445?fbclid=IwAR2QrntP3MbQ6812QdRwBUi64OvSHc-

KXTz2ugmUlN3XQekKgyRiKIyaz0Y_aem_AY020o0nKYuDHlaLWan9D1HXxUNGcznf3fWChm-DhgftMkkp1vVijtHqdbwdNY-5_V0&mibextid=Zxz2cZ

25. LiDAR 付き iPad によるモバイルスキャンを活用した災害査定の効率化事例 (2024)，令和 6 年度中部地方整備局管内事業研究発表会。

26. 農業部農村發展及水土保持署土石流及大規模崩塌防災資訊網，2024 https://246.ardswc.gov.tw/

27. 農業部農村發展及水土保持署水土保持技術研究發展平台，2024 https://tech.ardswc.gov.tw/

28. 農業部農村發展及水土保持署 BigGIS_巨量空間資訊系統，2024 https://gis.ardswc.gov.tw/

附錄一 期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

「113 年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究報告」期末審查會議紀錄

壹、時間：113 年 11 月 13 日(星期四)下午 1 時 30 分

貳、地點：本署府西辦公室第四會議室

參、主持人：陳組長振宇　　紀錄：林駿恩

肆、出(列)席者：(詳簽到簿)

伍、受委託單位簡報：略。

陸、審查意見：如後附件。

柒、報告事項：

案　由：確認出席委員人數符合「農業部農村發展及水土保持署委託服務作業程序」第 33 點規定，報請公鑒。

說　明：本次審查會議，應有委員總額二分之一以上出席，其決議應經出席委員過半數之同意行之。出席委員中之專家學者委員人睥應至少二人且不得少於出席人數之三分之一。

決　定：

一、洽悉。

二、本次會議由黃副組長效禹主持，出席審查會之審查委員(5 人)達其委員總數(7 人)二分之一以上，且出席委員中專家學者(4 人) 超過出席委員人數三分之一，達開會標準。

捌、討論事項：

案　由：「113 年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究」案期末報告書，提請討論。

決　議：財法人農業科技研究院所提期末報告書，經審

查會委員討論可行，請財團法人農業科技研究院依與會委員意見修改報告書，並於 12 月 6 日前修正期末報告書送本署審查後，將成果報告公開於本署技術研究發展平台網站。

玖、臨時動議：無

拾、散會。(下午 3 時 30 分)

113 年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究報告」案期末審查意見

開會時間：112 年 11 月 13 日 (星期四) 下午 13 時 30 分

孫明德委員委員審查意見	回覆情形
1. 本計畫為三年度之最後年度，摘要及結論內容請將前期及本計畫重要研究成果予以概述，而非僅論及執行工作項目及數量。	感謝委員意見，遵照辦理。
2. 運用手機建模技術-LiDAR 掃描測繪法配合 UAV 之調查方式予以肯定，請再評估設備經費、操作方式、時間，辦理相關教育訓練，推廣使用。	感謝委員意見，將與主辦單位討論後續執行。
3. 請強化第三章[3D 模型建置與即時量化分析]內容，充分說明如何量化與分析。	感謝委員意見，已進行內容補充說明，請參考本計畫 P2-20。
4. P2-25 手機與 UAV 比較尺寸相差 0.3%~4.6%；P2-29[崩塌長度差異 11%、寬度 1.6、面積 9%(P2-41 述及崩塌地體積差異 9%)，…誤差不大，可直接以手機量測]，請說明手機運用之規格、限制條件。	感謝委員意見，相關手機運用基本資料請參考本計畫圖 2-10。
5. 表 3-4 請加註每年度盤點數量及符合百分比；往後新上傳電子圖書系統之檔案需經檢核完備，並列印檢核合格文件後，方能完成驗收程序付款。	感謝委員意見，本年度盤點資料目前依現地資料為主，已補上本年度盤點數量及符合百分比，詳表 3-4，過去資料因資料未完整蒐集尚無法完成，後續會於往後

	新年度持續產製。另列印合格文件以納入驗收程序部分，將回饋至明年資料工作圈中進行討論。
6. 受委託單位於評選時所應允之[加值、回饋]事項，於決標簽約後，即應列入合約項目，請直接併入應辦工作項目。依行政院公共工程委員會 112 年 7 月 10 日工程企字第 1120013017 號函[得標廠商於服務建議書所列之回饋，屬契約履約內容，機關如考量後續履約管理及驗收等用途，得將該部分金額記載於詳細價目表中]，故[回饋]既屬合約內容，即應為驗收項目列入成果報告，建議主辦單位函請辦理採購單位注意，以免驗收不實涉及刑責。	感謝委員意見，將於明年資料工作圈中進行提案討論。
7. 已屆期末階段，報告書內容請再檢視修正[將、期望、再確認…後]等文字。	感謝委員意見，遵照辦理。
8. 報告內文出現[錯誤!找不到參照來源]之闕漏，請全面檢視補正。	感謝委員意見，遵照辦理。
9. P4-57 請說明縮時攝影機之啟動光照強度、是否採光感應開關以節省貯存容量及電量；若需於夜間攝影，是否設置紅外線照明裝置。	感謝委員意見，本計畫使用縮時攝影機機型無光照功能，因此為白天觀測機型，未來夜間部分會調整為關閉拍攝狀態，並未來將

	會與主辦單位討論紅外線機型採購可行性。
10. 紅色地圖於近十年常出現崩塌地調查委辦案，近年HOST 地圖運用趨勢與之雷同，仍請比較此二工具之優劣，以供往後年度相關調查案件之參考。	感謝委員意見，相關內容在農村水保署的技術發展研究平台上有專頁說明。本計畫的目的是產製與確認最新版（民國 105-112 年）H.O.S.T 地圖的製作流程，故無特別比較其與其他地圖的優劣。
王國隆委員審查意見	回覆情形
1. 本案集合多項支援性質業務，所建立流程與技術可供各單位落實使用，後續應繼續進行。	感謝委員意見，遵照辦理。
2. 創新研究計畫提案中提及未能使用多光譜鏡頭，可考慮使用 MAPIR 相機，該相機售價相對較低且可利用更換鏡頭達到多光譜效果，亦可配合不同無人機之夾具使用。	感謝委員意見，將會提供相關意見給主辦單位。
3. 盤點項目中，編號 5-1 鑽孔資料如能納入力學試驗更佳。編號 19-4 為 GNSS 或 GPS 宜確認。	感謝委員意見，相關力學試驗之參數於編號 12 土壤力學參數資料中進行盤點，而編號 19-4 之 GPS 變位包含 GNSS 及 GPS 兩者。

4. 內政部所提供之 PSInSAR 是否有使用限制？是否包含上升及下降軌？山區之解算點明顯過低，是否可供使用？因其結果在 65 處大規模崩塌區內超過一半以上不存在永久散射體或緩慢地表變形，是否與現有 65 處監測相符？	感謝委員意見，本計畫之目的在於示範跨機關的資料可以如何應用及交流，後續會向內政部確認其提供的 PSInSAR 資料之原始影像，並提供給主辦單位參考，避免產生誤解。
5. 0403 地震除大清水溪外，是否進行過小清水溪及石公溪模擬？另，對於地震之影響，可考慮長期追蹤，因桃芝颱風為 921 震後兩年，另，引用文獻時，計算之 PGA 為內插東西向或南北向，亦或是轉至坡向？是否考慮垂直向？且模式宜考慮震央距離、斷層距離等產生震動因素。	感謝委員意見，目前僅針對現地資料較為齊全之大清水溪進行數值模擬，小清水溪及石公溪之部分目前暫無進行模擬研究；PGA 的計算上採三分量(垂直、南北向、東西向)合成的最大合成地動加速度進行計算。本研究日後會考慮與距震央距離相關的因子 PGV，試探討 R 與 PGV 間的關係。
6. 摘要第二頁，標點符號多餘「、」。	感謝委員意見，已經進行修正。
吳嘉俊委員審查意見	回覆情形
1. 本計畫為三年期的最後一年，因此，成果報告的摘要宜針對三年總成果的概述，並強調委辦成果對「大規模土砂災害衝擊」及「調適對策」的實質貢獻。	感謝委員意見，遵照辦理。

2. 報告內容明顯有誤如下： (1) P2-11 至 P2-41 右上的頁首有誤。 (2) 圖 3-18 無法辨視堰塞湖點位的分布。 (3) P4-21 倒數第四行有誤。 (4) P4-35 公式有誤。 (5) 表 4-12 所列的降雨事件日期與之後的討論內容不符，例如圖 4-50(P4-63)、圖 4-52(P4-65)。	感謝委員意見，遵照辦理。
3. 本計畫新提出集水區風險潛勢評估採「崩塌率」、「崩塌面積」，前後文陳述不一，請再檢討。同時，建議參考國外對土石流潛勢風險的評估方法及目前公告的風險評估，進行整體論述。	感謝委員意見，遵照辦理。另本計畫提出的指標是用於評估集水區的土砂災害潛勢，也適用於非土石流潛勢溪流的集水區，在報告書內會再強調上述差異，避免混淆。請參考本計畫第四章第一節「集水區不安定土砂災害風險指標研究：震後集水區土砂災害潛勢與其災害風險關聯性」。
4. 圖 4-10 宜增加論述，由圖的內容無法得知想要呈現的重點。	感謝委員建議，遵照辦理。
5. Hyper KANAKO 數值模擬參數設定(圖 4-30)，建議可改變流體與土砂密度，入流於 X 與 Y 軸的角度，以及沉降速度係數等。	感謝委員意見，本次數值模擬參數設定係參考 GO YANAGISAKI 於 2016 及署內相關資料進行參數律定，未來如有相關試驗，將參考委員建議，改變流體與不同

	土砂密度、入流角度及沉降係數等進行試驗。
6. P4-67 所述建議將流量變化門檻納入降雨量門檻，其可行性請再評估並增加論述。	感謝委員意見，已進行內容補充說明，請參考本計畫 P4-68。
7. 圖 5-10 利用 PSInSAR 之 PS 多時序位移成果可提供何種資訊，及可如何應用於事前調適對策的擬訂?建議增加論述。	感謝委員建議，遵照辦理。
8. 「資料平台現地調查資料的應用」一節(P5-25)，建議針對「災害管理」及「山坡地管理」等面向撰寫，並加強論述。	感謝委員意見，本報告之第四章已針對集水區土砂災害進行模擬，其利用資料平台現地調查資料作為數值模式之初步依據，其相關之模擬成果可提供災害管理及山坡地管理作為擬訂防減災對策參據，如未來有其他災害管理及山坡地管理等相關應用，則會再進行研究。
9. 第七章「結論」一節錯誤編碼的「2」未見具體結論，僅說了「探討最大時雨量與集水時間及土石流發生時間關係」，應加強結論的陳述。	感謝委員意見，已針對此處結論進行文字修正。
10. P7-8 的第二項建議「探討經驗公式與觀測紀錄之集流時間差異」宜考慮未來的可行性。	感謝委員意見，將會與主辦單位討論未來可行性。

11. 第七章「建議」的內容，建議回歸到「大規模土砂災害衝擊」與「調適對策」上。	感謝委員意見，遵照辦理。
蕭宇伸委員審查意見	回覆情形
1. 手機 LiDAR 目前的限制，例如掃描範圍、掃描距離、iphone、ipad 的不同，或 iphone 12 pro 和 iphone 15 pro 的差別。	感謝委員意見，掃描範圍以補充於內容中，請參考本計畫 P2-14，另關於各項機型不同之差別，已於結論與建議中補充，請參考本計畫 P2-43。
2. 具體的手機 LiDAR 掃描成果細節，例如洩水孔、擋土牆裂縫等，還有相關精度評估應再補充說明，其中精度評估包括相對和絕對。	感謝委員意見，本計畫研究以土砂災害調查為主，因此未列入工程巡檢為調查項目，未來將持續精進相關方向。另外相對與絕對座標已於計畫中進行呈現。
3. UAV 和手機 LiDAR 的空地結合是否有相關成果?	感謝委員意見，相關成果未列入本次調查研究，未來將持續精進相關方向。
4. 投影片(PPT 檔)第 30 頁，InSAR 圖有誤，這個圖不是大崩區位的變位圖。	感謝委員建議，針對簡報已進行修正。
5. 報告書第二章，很多頁的頁框位置都寫成第三章，請更正。	感謝委員意見，遵照辦理。
6. 表 2-2 中，第一篇電子報(3D 列印相關)閱讀人數也非常多，是否在表 2-3 中建議此題目?	感謝委員意見，創研題目已與主辦單位討論後完成建議提出，3D 列印相關議題未來將提供相關資訊給主辦單位進行參考。

7. 教育訓練課程未來應加入手機 LiDAR 的應用。	感謝委員意見，將與主辦單位討論後辦理。
黃效禹委員審查意見	回覆情形
1. 本計畫全程為 111-113 年，建議第一章可摘要說明前 2 年(111-112)之重要成果。	感謝委員意見，遵照辦理。
2. P2-2 表 2-1 最後一欄”每期平均閱讀人次”之數據有誤，請檢視修正。	感謝委員意見，已進行修正。
3. 有關手機 3D 建模部分，建議將適用條件及此技術之使用限制加以綜整並羅列供使用者參考。	感謝委員意見，相關手機運用基本資料請參考本計畫圖 2-10。
4. 本計畫很辛苦的盤點及補遺，為使後續資料完整收錄，建議可整理常見缺失供承辦人把關及率定資料格式俾利彙整，亦可考慮建議納入本署委辦計畫採購說明規範。	感謝委員意見，本計畫進行盤點工作同時亦與承辦人進行各種缺失及補遺之討論，惟尚未將常見缺失整理成表，將規劃於明年度之資料工作圈擬定提案，進行常見缺失格式討論。
5. 有關震後降雨門檻研究，建議可朝震後短期降低門檻之關係式，及探討長期門檻值回復之關係。	感謝委員意見，未來研究會持續蒐集土石流災例資料，以比較震後短期與長期之降雨門檻值與最大地表加速度間的關係式。
顏川舜委員審查意見	回覆情形
1. P2-2 表 2-1 電子報閱讀人次統計表顯示，「軟體防災對策」及「新興科技應用」每期平均閱讀人次偏少，建議分析原因，以作為日後提升人	感謝委員意見，因近期網路演算法問題因此閱讀人次受影響，會持續精進文章品質以提升閱讀人

次或更換其他主題之參考。另建議未來電子報可新增與閱讀者之互動性，如提供留言或看法意見等之討論區。	次，電子報末頁亦已有討論區功能提供大家留言。
2. P2-8 表 2-3 創研計畫公告題目，建議可否再新增研擬保育治理及坡地管理方面之題目。	感謝委員意見，相關建議將會提供給主辦單位參考。
3. P2-10 第二節新技術應用可行性評估，其「手機建模技術」之作業流程及驗證準確率部分，建議採用流程圖說明及表格比對等方式來呈現說明，以利閱讀及整體感。	感謝委員意見，已將相關說明於文章各內容進行呈現。
4. P3-4 表 3-1 欄位(年度加總)名稱，是否為案件數量?請檢核其名稱是否正確。另 P4-21 有一處(錯誤!找不到參照來源)文字，請檢核刪除。	感謝委員意見，表 3-1 欄位之「年度加總」已修正為「總數量」，以利識別。另已將本計畫中找不到參照來源進行檢核校閱。
5. 本計畫工作項目較為龐大複雜，整本期末報告書各章節內容似乎沒有連貫整體性，有點呈現零散之情形，建議可再加強重整。	感謝委員意見，遵照辦理。
南投分署審查意見	回覆情形
1. 主要搜集各委辦大量歷史資料，並研究手機建模技術，以及整理圖資，崩塌潛勢活躍等，三年期案件相當辛苦且值得肯定。未來使用手機進行現場判釋崩塌資料，建議可採教育訓練推廣，以及檢整活躍地點提供給分署作預	感謝委員意見，將與主辦單位進行討論後辦理。

警作為，預先於汛期前加強檢視等。	
2. 本案有一些研究地點，未來如有機會需作試區，可以優先採南投分署場域，分署會來配合研究及工程的搭配。	感謝委員意見，將與主辦單位進行討論後辦理。
減災監測組審查意見	回覆情形
1. 有關整體部分，請強化三年計劃整體成果呈現。	感謝委員意見，遵照辦理。
2. 有關第二章 國內外土砂防減災技術與氣候變遷文獻蒐集分析： (1) 針對原計畫「1.b.氣候變遷調適對策或韌性、減災策略評估」，建議納入本署在 0403 地震後之二次災害高風險區評估工作，及相應防減災作為及調適對策(客製化細胞廣播)。 (2) 有關原計畫「1.a.國際土砂防災相關技術、制度、模式導入與本土化可行性評估」，除以電子報呈獻成果外，本署今年度與內政部技術交流內容、發展中 InSAR 多時序展示、本署 InSAR 格式律定、坡地致災降雨風險展示平台、不安定定土砂殘坡多元觀測(光學衛星、雷達衛星)等，建議納入研析及摘錄重點內容呈現。	感謝委員意見，已補充相關資料於計畫中。
3. 第三章 盤點歷年土砂防災技術與研究成果： (1) 簡報第 13 頁	感謝委員意見，針對此章節為每年度盤點皆須注意之事項，每年皆會針對此些業務進行盤點，經

A. 未定新技術資料標準格式，例如… B. 紙本報告檔案，建議人工將數據數位化，例如… C. 未套用標準化格式資料，由系統自動化資料檢查及正規化，請列出項目。	本年度再度檢視，A 部分尚無需要新增之資料格式，但未來如有新興設備及技術檔案，則會繼續補充。B 及 C 部分係針對訂定標準化格式前之年度報告書，此部分目前已回朔盤點至 103 年，未來會持續進行數化工作。
4. 第四章　集水區土砂災害致災模擬模式分析： (1) 崩塌率劃分潛勢等級，資料出處? (2) 崩塌率分級分析，建議納入 839 子集水區及野溪集水區進行分析，再依據分析結果，進行新生崩塌率分級。 (3) 集水區風險，建議修正為集水區土砂災害潛勢分級(或集水區崩塌潛勢分級)。	感謝委員意見，針對各點回覆如下： (1) 計算崩塌率所使用的圖資與分級方式的參考文獻均有寫入內文。 (2) 後續將持續分析資料並修正崩塌率的分級標準。 (3) 遵照辦理。 以上成果請參考本計畫第四章第一節「集水區不安定土砂災害風險指標研究：震後集水區土砂災害潛勢與其災害風險關聯性」。
5. 期末報告書部分成果圖太小，如手機建模相關成果圖，其圖說文字太小不易讀取，請重新繪製修正成果圖。	感謝委員意見，遵照辦理。

6. 第二章有關盤點成果之相關資料缺漏或錯誤樣態再請回饋至「資料工作圈」討論。	感謝委員意見，將規劃於明年度之資料工作圈擬定提案，進行常見缺失格式討論。
7. 第二章各類資料成果上傳路徑，其檢核機制部分，目前待人工檢核者，是否可由系統自動化檢核，再請補充說明，並請回饋至「資料工作圈」討論。	感謝委員意見，目前之檢核機制中，待人工檢核者，將與資料治理承辦討論後進行研擬，並回饋至明年度之資料工作圈討論。
8. 紅色地圖重製部分，請在技術研究發展平台 HOST 地圖頁面補充或請以電子報形式發布更新資訊，供大眾使用。	感謝委員意見，後續將相關資料納入電子報議題方向。
9. 有關現地監測縮時攝影機資料，再請把圖片中防砂壩主體處放大，以利比對流量增加與雨量站降雨資訊間關係。	感謝委員意見，遵照辦理。
10. 本年度成果報告之電子報部分請以計畫起始日期 1 月 1 日開始統計電子報篇數，另在國內外論文發表部分，請補充 10 月第 11 屆 MSD 研討會、群立科技研討會及 11 月 2024 水土保持學術研討會投稿資訊。	感謝委員意見，遵照辦理。