計畫編號：ARDSWC-112-083

# 112 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　　林駿恩、林宥伯、李哲宇、莊承穎

農業部農村發展及水土保持署　編印

中華民國 112 年 12 月

# 112 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-112-083
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 (112) 年度為三年期 (111 年~113 年) 計畫的第二期，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，本案延續不安定土砂集水區之區位分布及潛勢分級研究，以發展集水區不安定土砂災害風險指標、土砂災害數值分析、智慧型手機應用於災害調查、無人機攝影測量精度探討等研究。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. 集水區土砂現象致災模擬模式分析 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：

本計畫(一)在研析與推廣土砂防減災技術上，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。(二)在資料盤點部分，本計畫共盤點 111 年度委辦案 216 件、基礎資料數化成果，包括數化臺灣山坡地土壤力學資料( 81 至 88 年度報告書)、彙整臺灣 68 至 110 年間共 77 處歷史堰塞湖案例，作為開放資料提供各界應用。(三)在土砂災害模擬部分，應用 ICS、SDF、HEC-RAS 等模擬鵲鵲崙大規模崩塌、高雄玉穗溪及南投仁愛鄉投縣 DF013 等災害事件。(四)在公私協

力推廣基礎資料加值應用上，協助召開 4 次工作圈會議，並辦理「Open Data Day Taiwan 2023」與「g0v hackath56n - 第伍拾陸次真的假的黑客松 x 水保局」等兩場次活動。(五)在強化技術支援與人員培訓能力上，辦理「UAV 影像後製處理班」、「遙控無人機教育訓練」、「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」等教育訓練。針對集水區不安定土砂災害風險指標研究方面，今年度建立不安定土砂潛勢分級方法，據以劃定 1,218 處不安定土砂集水區潛勢分級，並公開於農村水保署資料平台及 BigGIS 系統供各界參閱。再者，協助颱風及豪雨事件前後集水區土砂災害現地調查，共計 10 處調查成果，提供農村水保署作為災情研判使用，同時，針對農村水保署關注集水區之土砂災害，完成土砂致災數值模擬分析。

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 13 篇研究論文發表於國內研討會，其聚焦於不安定土砂潛勢分級議題探討及土砂災害數值模式應用分析、無人機攝影測量精度與坐標框架基準探討等三項研究議題發展。今年度資料盤點方面，提出相應系統檢核方式，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，其研究仍屬起始階段，未來仍需持續研究探索不安定土砂及相關防減災技術之開發及應用等方法，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:

1. The study on developing the potential level of the unstable sediment watershed using physiographic fragility.
2. The study on analysis of catchment sediment-related disasters using a numerical model.
3. Apply the UAV and smartphone photogrammetry on the sediment disaster field survey.
4. The correlation of the UAV photogrammetry and geometric accuracy.

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 216 historical projects, digitizing soil mechanics parameters from 1992 to 1999, and summarizing landslide-dammed lake data from 1978 to 2021. In public-private partnerships to promote data applications,

two activities named “ Open Data Day Taiwan 2023” and “ g0v hackath56n” were conducted. During the training course, there are five activities were conducted as follows: UAV-image post-production, UAV operation training, the Wflow model training, numerical model training of landslide occurrence and movement, and analysis training on the formation of natural dam lakes, and analysis of rainfall warming criteria for Large-scale landslide potential area.

In the study of the risk index of the catchment unstable sediment, physiographic fragility was employed to establish the potential levels and classify the study area into 1218 catchments based on their potential values. Assist in field investigation of sediment disaster areas before and after the typhoon or heavy rain events. A total of 10 investigation results were provided for disaster information, and 5 numerical simulations were completed for different catchment sediment disasters.

According to the working results of this project, a total of 13 research papers were published at various conferences. These papers focused on topics such as classifying the potential level of unstable sediment, numerical simulations for sediment disaster analysis, and improving the accuracy of UAV photogrammetry and geometry. 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** ..... III

**目次** ..... VI

**表次** ..... IX

**圖次** ..... XI

**第一章 緒論** ..... 1-1

第一節 研究背景 ..... 1-1

第二節 研究架構及流程 ..... 1-3

一、 收集、研析並推廣國內外土砂防減災技術文件 ..... 1-3

二、 盤點歷年土砂相關計畫成果與加值應用分析 ..... 1-3

三、 集水區土砂災害致災模擬模式分析 ..... 1-3

四、 基礎資料加值應用與校核 ..... 1-4

五、 強化技術支援與培訓人員能力 ..... 1-4

六、 研究報告章節內容 ..... 1-4

**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、 電子報推廣成效 ..... 2-1

二、 國內外研究發展趨勢輔助署內業務發展 ..... 2-7

三、 水土保持多語詞彙 ..... 2-9

第二節 盤點歷年土砂防災技術與研究成果 ..... 2-12

一、 盤點工作範圍 ..... 2-13

二、 盤點成果彙整分析 ..... 2-23

三、 資料管理與維護問題及後續精進方向 ..... 2-28

第三節 防災技術研究應用可行性評估 ..... 2-33

一、 手機掃描技術應用 ..... 2-33

二、 研究區域與方法 ..... 2-34

三、 結果與討論 ..... 2-37

四、 結論與建議 ..... 2-49

**第三章 集水區土砂災害致災模擬模式分析** ..... 3-1

第一節 不安定土砂集水區風險潛勢分級可行性研究 ..... 3-3

一、 前言 ..... 3-3

二、 材料與方法 ..... 3-5
三、 結果與討論 ..... 3-14
四、 結論與建議 ..... 3-26
第二節 玉穗溪不安定土砂災害土體運動型態模擬 ..... 3-28
一、 前言 ..... 3-28
二、 材料與方法 ..... 3-28
三、 成果與討論 ..... 3-35
四、 結論與建議 ..... 3-45
第三節 應用 ICS 與 SDF 模式於大規模崩塌災害探討 ..... 3-47
一、 前言 ..... 3-47
二、 研究材料與方法 ..... 3-48
三、 結果與討論 ..... 3-53
四、 結論與建議 ..... 3-56
**第四章 基礎資料加值應用與校核 ..... 4-1**
第一節 公私協力推廣資料應用 ..... 4-2
一、 黑客松 X 歷史影像平台 ..... 4-2
二、 Open Data Day Taiwan 2023 ..... 4-6
三、 臺灣歷史堰塞湖案例資料 ..... 4-10
四、 臺灣山坡地土壤力學資料 ..... 4-15
第二節 推廣 BIGGIS 平台應用 ..... 4-21
一、 協助農村水保署應變開設期間空間資訊資料及災情整理 ..... 4-23
二、 協助 BigGIS 教育訓練 ..... 4-28
三、 農村水保署地理資訊系統推廣及業務輔助 ..... 4-29
四、 地理資訊空間圖資公開 ..... 4-34
**第五章 強化技術支援與培訓人員能力 ..... 5-1**
第一節 強化遙控無人機操作及影像後製處理培訓 ..... 5-3
一、 遙控無人機影像後製處理培訓 ..... 5-3
二、 遙控無人機操作人員培訓 ..... 5-6
第二節 統合多元圖資與三維建模技術 ..... 5-10
一、 卡努颱風後南投縣南豐村聖本篤加油站災害調查 ..... 5-11
二、 卡努颱風後南投縣南豐村東眼山堰塞湖災害調查 ..... 5-22
三、 卡努颱風後支援本署各組室空拍及現勘成果 ..... 5-27
四、 成果與建議 ..... 5-33
第三節 遙控無人機自主技術強化相關問題 ..... 5-34
一、 無人機加值產品資料庫之坐標框架基準 ..... 5-34

二、 UAV 影像後處理技術及資料檢核機制 ..... 5-40
三、 遙控無人機資通安全檢驗問題 ..... 5-45
四、 小結與建議 ..... 5-48
第四節 培訓土砂災害模擬分析能力 .....5-50
一、 分布式降雨逕流 Wflow 模式教育訓練..... 5-51
二、 崩塌發生與運動及數值分析專題講座 ..... 5-54
三、 大規模崩塌降雨警戒與堰塞壩形成專題講座 ..... 5-56
**第六章 結論與建議 ..... 6-1**
第一節 結論 .....6-1
第二節 建議 .....6-4
一、 歷年研究計畫盤點成果建議 .....6-4
二、 防災技術研究應用可行性評估 .....6-6
三、 不安定土砂評估未來研究精進建議 .....6-7
四、 強化技術支援與人才培訓建議 ..... 6-11
**參考文獻 ..... 1**
**附錄一 期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形..... 1**
**附錄二 建議新增多語詞彙列表 ..... 1**

# 表次

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 (至 2023/12/8 止) ..... 2-5
表 2-3 創新研究自評表新增水土保持多語詞彙 ..... 2-10
表 2-4 歷年委辦及研究計畫數量統計..... 2-15
表 2-5 調整前委辦計畫成果盤點工作項目彙整表..... 2-19
表 2-6 調整後委辦計畫成果盤點工作項目彙整表..... 2-21
表 2-7 盤點項目編號調整表..... 2-22
表 2-8 資料盤點成果類別 ..... 2-23
表 2-9 細部盤點項目與統計數量 ..... 2-26
表 2-10 基礎資料標準格式公告年度 ..... 2-29
表 2-11 既有資料成果上傳缺件數量 ..... 2-30
表 2-12 委辦計畫現地調查資料上傳件數比對成果..... 2-30
表 2-13 手機掃描應用程式 ..... 2-36
表 2-14 現場調查工具功能比較表 ..... 2-47
表 2-15 提升手機 3D 掃描外備設備表..... 2-48
表 3-1 研究材料項目表 ..... 3-6
表 3-2 崩塌事件參數統計表..... 3-8
表 3-3 不安定土砂集水區潛勢分級表..... 3-19
表 3-4 鄰近(位於)高潛勢以上不安定土砂集水區之橋梁統整表... ..... 3-23
表 3-5 研究材料基礎資料表..... 3-29
表 3-6 土石流數值模式參數資料表 ..... 3-39
表 3-7 ICS 與 SDF 研究材料基礎資料表 ..... 3-50
表 4-1 臺灣歷史堰塞湖案例表..... 4-13
表 4-2 臺灣山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫表 ..... 4-16
表 4-3 土壤力學資料檢視總表..... 4-18

表 4-4 BIGGIS 教育訓練 －分署業務需求回饋記錄 ..... 4-28
表 4-5 BIGGIS 系統內容新增推廣主題表 ..... 4-32
表 5-1 遙控無人機教育訓練 - 技術培訓與實質應用效益 ..... 5-2
表 5-2 UAV 影像後製處理教育訓練課程表 ..... 5-5
表 5-3 遙控無人機教育訓練-專業術科各級別考試項目 ..... 5-9
表 5-4 外業調查設備 ..... 5-12
表 5-5 AUTEL EVO II PRO 規格性能諸元 ..... 5-13
表 5-6 TRIMBLE R6 MODEL 4 移動站規格性能諸元 ..... 5-14
表 5-7 E-GNSS 調查成果 ..... 5-17
表 5-8 聖本篤加油站模型基準面差異量分析表 ..... 5-19
表 5-9 虛擬控制點空間坐標資訊 ..... 5-23
表 5-10 東眼山模型基準面差異量分析表 ..... 5-25
表 5-11 卡努颱風後空拍及現地勘查資訊 ..... 5-28
表 5-12 臺灣各時期地形圖測繪基準 ..... 5-37
表 5-13 DTM 歷年辦理數量 ..... 5-39
表 5-14 E-GNSS 坐標成果歷年更新表 ..... 5-39
表 5-15 無人機攝影測量方式比對表 ..... 5-43
表 5-16 無人機作業誤差因應評估表 ..... 5-44
表 5-17 無人機資安檢測需求 ..... 5-47
表 5-18 培訓土砂災害模擬分析能力 - 技術培訓與實質效益 5-50
表 5-19 分布式降雨逕流 WFLOW 模式教育訓練議程 ..... 5-53
表 5-20 崩塌發生與運動及數值分析專題講座議程 ..... 5-55
表 5-21 大規模崩塌降雨警戒與堰塞湖形成專題講座議程 ..... 5-57

# 圖次

圖 1-1 目標與理念 ..... 1-6
圖 1-2 工作架構流程圖 ..... 1-7
圖 2-1 電子報各類別平均閱讀人次統計 ..... 2-2
圖 2-2 電子報關鍵字頻率文字雲 ..... 2-4
圖 2-3 研究發展趨勢與五大主題及重要業務桑基圖關聯性 .. 2-11
圖 2-4 資料盤點任務 ..... 2-13
圖 2-5 資料盤點流程圖 ..... 2-14
圖 2-6 110 年委辦計畫性質數量統計 ..... 2-15
圖 2-7 委辦計畫各類成果上傳平台路徑 ..... 2-18
圖 2-8 資料管理平台-現地調查資料查詢 ..... 2-24
圖 2-9 手機掃描測量示意圖 ..... 2-35
圖 2-10 南豐村土石流災害手機掃描測量調查點位圖 ..... 2-37
圖 2-11 手機環景拍攝各調查點成果圖 ..... 2-39
圖 2-12 UAV 無人機拍攝各調查點建模成果圖 ..... 2-40
圖 2-13 三維立體模型建置與快速尺寸測量成果圖 ..... 2-42
圖 2-14 三維立體模型視覺化成果圖 ..... 2-44
圖 2-15 三維立體模型尺寸與體積計算示意圖 ..... 2-44
圖 2-16 構造物模型尺寸測量示意圖 ..... 2-45
圖 3-1 不安定土砂潛勢區及防災重點示意圖 ..... 3-2
圖 3-2 玉穗溪上游林班地崩塌殘坡變化圖 ..... 3-4
圖 3-3 不安定土砂集水區風險潛勢分級研究流程圖 ..... 3-5
圖 3-4 地文脆弱度分級矩陣圖 ..... 3-8
圖 3-5 地文脆弱度分布圖 ..... 3-9
圖 3-6 地文脆弱度網格轉換為坐標點資料示意圖 ..... 3-9
圖 3-7 地文脆弱度網格套疊地理資訊示意圖 ..... 3-13
圖 3-8 各集水區水平流路距離與高程差示意圖 ..... 3-13

圖 3-9 不安定土砂潛勢值 (P) 計算範例 ..... 3-14
圖 3-10 不安定土砂集水區圈繪成果 ..... 3-16
圖 3-11 不安定土砂集水區之脆弱度與地形因子相關性分布圖 ..... 3-16
圖 3-12 地文脆弱度之集水區地形因子統計圖 ..... 3-17
圖 3-13 不安定土砂集水區分群門檻值及累積分群結果圖 ..... 3-20
圖 3-14 1,218 處不安定土砂集水區分群結果圖 ..... 3-20
圖 3-15 1,218 處不安定土砂集水區潛勢區位分布圖 ..... 3-21
圖 3-16 不安定土砂集水區面積與出流點高程關聯分布圖 ..... 3-22
圖 3-17 南投縣信義鄉不安定土砂潛勢 P 值驗證結果 ..... 3-24
圖 3-18 不安定土砂高潛勢以上集水區之橋梁空間分布圖 ..... 3-24
圖 3-19 玉穗溪土石流災害模擬研究流程圖 ..... 3-29
圖 3-20 玉穗溪集水區不安定土砂量體 ..... 3-30
圖 3-21 玉穗溪集水區坡面崩塌變遷過程 ..... 3-31
圖 3-22 流變關係示意圖 ..... 3-34
圖 3-23 明霸克露橋災害過程示意圖 ..... 3-35
圖 3-24 玉穗溪出口土石流沖積扇 (照片日期：20210808) ..... 3-36
圖 3-25 盧碧颱風期間降雨分析圖 ..... 3-37
圖 3-26 降雨及流量歷線示意圖 ..... 3-37
圖 3-27 玉穗溪土石流災害模擬範圍示意圖 ..... 3-39
圖 3-28 BINGHAM 土石流模式模擬成果圖 ..... 3-40
圖 3-29 O'BRIEN 土石流模式模擬成果圖 ..... 3-41
圖 3-30 不同堆積濃度條件下堆積量體及範圍圖 ..... 3-43
圖 3-31 不同堆積濃度條件下堆積量體及範圍圖 ..... 3-44
圖 3-32 不同堆積濃度條件下堆積量體及範圍圖 ..... 3-44
圖 3-33 研究區域新北市-汐止區-D003 位置圖 ..... 3-49
圖 3-34 研究材料-地形資料 ..... 3-50
圖 3-35 橢圓-理想曲面法-幾何特性與曲面套疊示意圖 ..... 3-52

圖 3-36 橢圓-理想曲面法與地形變量異差異比較 ..... 3-54
圖 3-37 SDF 模式參數設定 ..... 3-55
圖 3-38 SDF 模式模擬成果 ..... 3-56
圖 4-1 黑客松活動現場照片 ..... 4-3
圖 4-2 黑客松合作提案簡報-1..... 4-4
圖 4-3 黑客松合作提案簡報-2..... 4-5
圖 4-4 OPEN DATA DAY 活動現場照片 ..... 4-7
圖 4-5 OPEN DATA DAY 活動簡報-1 ..... 4-8
圖 4-6 OPEN DATA DAY 活動簡報-2 ..... 4-9
圖 4-7 2009 年莫拉克颱風形成堰塞湖案例..... 4-10
圖 4-8 堰塞湖案例存在時間統計圖 ..... 4-11
圖 4-9 大規模崩塌響範圍堆積型態分類示意圖 ..... 4-12
圖 4-10 歷史堰塞湖分布點位圖 ..... 4-14
圖 4-11 現地調查資料 – 土壤力學 ..... 4-20
圖 4-12 BIGGIS 平台主題應用分類示意圖 ..... 4-22
圖 4-13 BIGGIS 平台輔助業務應用示意圖 ..... 4-22
圖 4-14 災後摘要報告彙整示意圖 ..... 4-24
圖 4-15 明霸克露橋受損情況 (拍攝日期： 20230809) ..... 4-25
圖 4-16 玉穗溪構造物多時期影像彙整示意圖 ..... 4-25
圖 4-17 防砂壩之壩齒被沖毀情況 (拍攝日期： 20231020)... 4-25
圖 4-18 南投廬山地區崩塌影像判釋比對圖 ..... 4-27
圖 4-19 新生崩塌區位分布示意圖 ..... 4-27
圖 4-20 BIGGIS 教育訓練 – 各分署上課情形..... 4-28
圖 4-21 BIGGIS 教學示範基本操作影片 ..... 4-30
圖 4-22 BIGGIS 新增 UAV360 度環景照片檢視功能 ..... 4-31
圖 4-23 協助透明晶質獎 BIGGIS 功能展示 ..... 4-33
圖 4-24 協助媒體採訪 BIGGIS 功能展示 ..... 4-33
圖 4-25 BIGGIS 圖台之不安定土砂集水區潛勢圖 ..... 4-34

圖 4-26 BIGGIS 圖台之地文脆弱度圖 ..... 4-35
圖 5-1 DRONE2MAP 教育訓練講義-下載與安裝程序 ..... 5-3
圖 5-2 DRONE2MAP 教育訓練講義-正射影像製作 1 ..... 5-4
圖 5-3 DRONE2MAP 教育訓練講義-正射影像製作 2 ..... 5-4
圖 5-4 AC107-005C 遙控無人機術科測驗規範 ..... 5-6
圖 5-5 遙控無人機教育訓練-課程基本資料 ..... 5-7
圖 5-6 遙控無人機教育訓練-室內課程 ..... 5-7
圖 5-7 遙控無人機教育訓練-室外課程 ..... 5-8
圖 5-8 遙控無人機教育訓練-專業操作證考證流程 ..... 5-8
圖 5-9 遙控無人機學、術科測驗場地 ..... 5-9
圖 5-10 遙控無人機業務執行流程圖 ..... 5-10
圖 5-11 DF013 拍攝任務空域及多重航線 ..... 5-15
圖 5-12 分區分段航拍任務及布設控制點 ..... 5-16
圖 5-13 控制點測量 (左：中游版橋；中：特徵點；右：南山橋). ..... 5-17
圖 5-14 GPS 系統誤差導致模型傾角異常 ..... 5-18
圖 5-15 導入控制點校正模型角度與高程 ..... 5-18
圖 5-16 聖本篤加油站驗證點與 RTK 控制點 ..... 5-19
圖 5-17 斜拍攝影補充植被遮蔽影像特徵資料 ..... 5-20
圖 5-18 構造物轉折受災處影像與模型特徵 ..... 5-20
圖 5-19 防砂壩構造物土砂淤滿影像與模型特徵 ..... 5-21
圖 5-20 支流蝕溝影像與模型特徵 ..... 5-21
圖 5-21 傾斜補充調查建模與模型特徵 ..... 5-21
圖 5-22 東眼山崩塌事件拍攝任務場域 ..... 5-22
圖 5-23 東眼山無人機拍攝任務 (左：航線軌跡；右：控制點) .... ..... 5-23
圖 5-24 東眼山災後崩塌影像與模型特徵 ..... 5-24
圖 5-25 東眼山災後崩塌模型傾角差異示意圖 ..... 5-26

圖 5-26 東眼山驗證點與虛擬控制點 ..... 5-26
圖 5-27 地形差異示意圖 (左：校正前；右：校正後) ..... 5-26
圖 5-28 卡努颱風後 UAV3D 建模成果 ..... 5-27
圖 5-29 編號 1 投縣 DF013 災後地形模型圖..... 5-29
圖 5-30 編號 2 都達村松崗段 444 號災後地形模型圖 ..... 5-29
圖 5-31 編號 3 投縣 DF012 災後地形模型圖-1..... 5-29
圖 5-32 編號 4 投縣 DF012 災後地形模型圖-2..... 5-30
圖 5-33 編號 5 都達村平靜段 5 號災後地形模型圖..... 5-30
圖 5-34 編號 6 精英村坡面災後地形模型圖-1..... 5-31
圖 5-35 編號 7 精英村坡面災後地形模型圖-2..... 5-31
圖 5-36 編號 8 精英村坡面災後地形模型圖-3..... 5-31
圖 5-37 編號 9 東眼山崩塌地災後地形模型圖 ..... 5-32
圖 5-38 編號 10 精英村廬山立體停車場災後地形模型圖 ..... 5-32
圖 5-39 各時期國家坐標系統變遷圖 ..... 5-36
圖 5-40 TWD97[2020]與 TWD97[2010]平面及高程分量較差向量示意圖 ..... 5-36
圖 5-41 各年度 DTM 辦理範圍圖 ..... 5-38
圖 5-42 無人機測量控制點校正示意圖..... 5-42
圖 5-43 無人機資安檢測作業流程及預估工作天數..... 5-46
圖 5-44 分布式降雨逕流 WFLOW 模式教育訓練..... 5-52
圖 5-45 崩塌發生與運動及數值分析專題講座 ..... 5-55
圖 5-46 大規模崩塌降雨警戒與堰塞壩形成專題講座 ..... 5-57
圖 6-1、113 年不安定土砂執行架構..... 6-10

# 第一章 緒論

## 第一節　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殘土砂；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引致之複合型土砂災害**」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。並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，並蒐集集水區土砂災害案例，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。

## 第二節　研究架構及流程

本 (112) 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、　收集、研析並推廣國內外土砂防減災技術文件

1. 國外土砂防災相關技術導入本土化可行性評估

2. 調適對策或技術可行性評估

3. 案例可行性測試或評估

### 二、　盤點歷年土砂相關計畫成果與加值應用分析

1. 研議歷年已完成之防災技術加值應用

2. 研擬歷年已完成之研究成果推廣應用

### 三、　集水區土砂災害致災模擬模式分析

1. 建立土砂災害相關模擬分析

2. 建立土砂防災情境分析

3. 現地土砂災害案例檢證

## 四、 基礎資料加值應用與校核

1. 提升資料品質、流通性與示範

2. 資料視覺化應用與教學推廣

3. 促進資料應用交流、座談、與案例訪談

## 五、 強化技術支援與培訓人員能力

1. 強化無人機協作現調能力

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、基礎試驗研究、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。其二盤點歷年成果報告、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。其三針對國內外新興科技應用，試以手機掃描應用於土砂災區調查並評估可行性與未來發展性。

第三章為集水區土砂災害致災模擬模式分析，其一為針對不安定

土砂集水區之潛勢分級、分布區位、重點關注區等進行研究，利用地文脆弱度及危害程度進行評估，以掌握不安定土砂區位及高風險集水區。其二為瞭解不安定土砂災害土體運動型態及對集水區出口之衝擊範圍，利用數值模式進行研究，以模擬砂運移及影響範圍。其三為預先評估大規模崩塌之相關崩塌參數及崩塌後之影響範圍，藉由複合數值模式(ICS、SDF)用以評估及快速掌握崩塌土砂量體及推估可能影響範圍。

第四章為基礎資料加值應用與校核，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。其二本章節主要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、資料管理平台及 BigGIS 系統。其三則是協助農村水保署推廣相關平台應用及培訓人員，包含協助應變開設整理災害情資、BigGIS 教育訓練與推廣等。

第五章為強化技術支援與培訓人員能力，其一為強化無人機操作訓練及影像後處理，其二為無人機於土砂災害現場調查及後續圖資及三維模型建置，其三為推行無人機自主人才培育及資安檢驗所遭遇相關問題，其四是針對土砂災害相關數值模式及調查方式，邀請專家學者辦理專題講座或教育訓練。

第六章為結論與建議，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、不安定土砂評估未來研究精進、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**

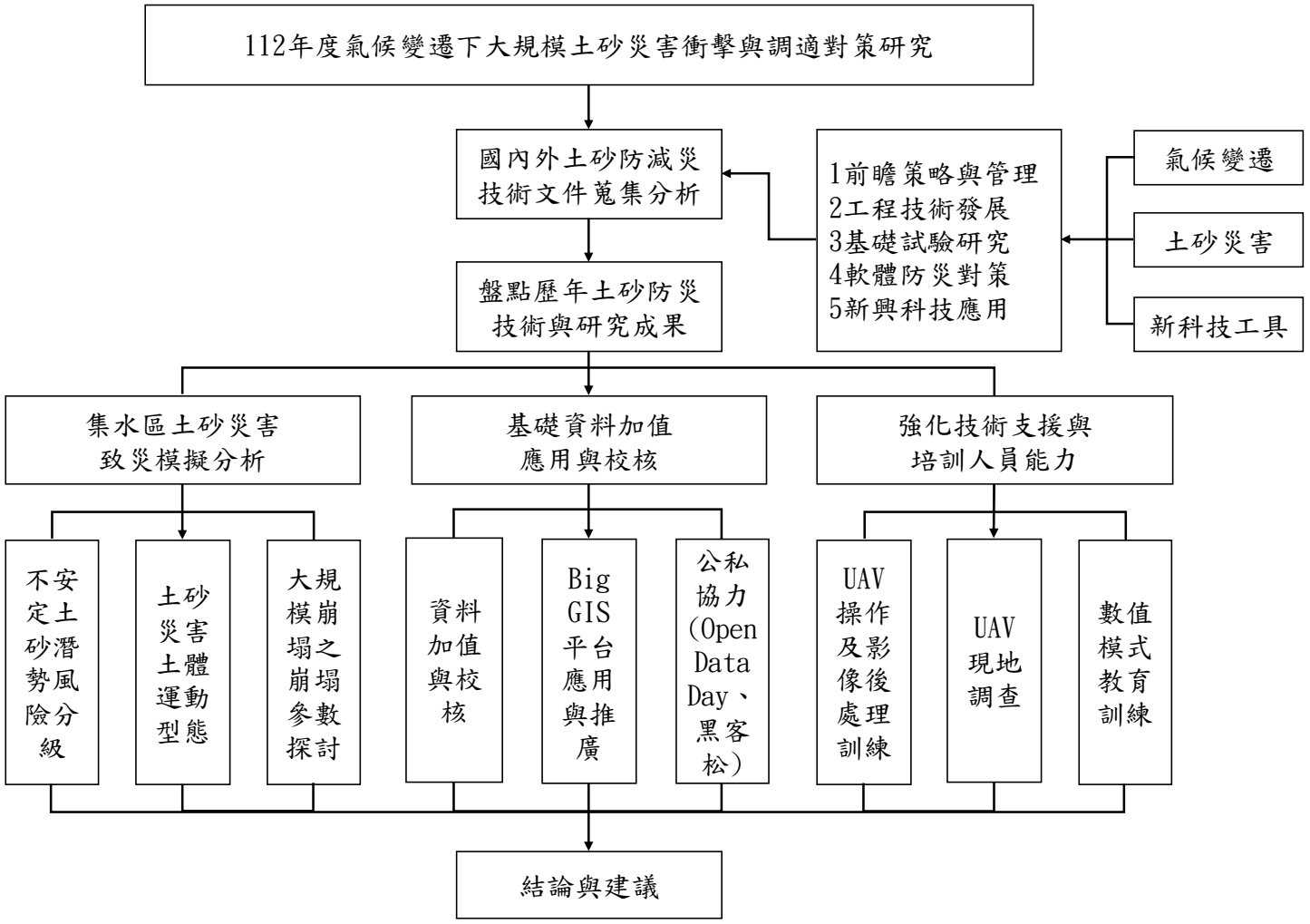

112年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究
國內外土砂防減災技術文件蒐集分析
盤點歷年土砂防災技術與研究成果
1前瞻策略與管理
2工程技術發展
3基礎試驗研究
4軟體防災對策
5新興科技應用
氣候變遷
土砂災害
新科技工具
集水區土砂災害致災模擬分析
基礎資料加值應用與校核
強化技術支援與培訓人員能力
不安定土砂潛勢風險分級
土砂災害體動態型
大規模崩塌之崩塌參數探討
資料加值與校核
Big GIS平台應用與推廣
公私協力(Open Data Day、黑客松)
UAV操作及影像後處理訓練
UAV現地調查
數值模式教育訓練
結論與建議

**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，蒐集國外相關文獻並綜整撰寫相關電子報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。今 (112) 年度共計發表三十篇電子報，內容依類別分成「基礎試驗研究」、「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」等五大領域，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.swcb.gov.tw/EPaper/Home/PaperList)。

### 一、 電子報推廣成效

本(112)年度電子報推廣成效截至 112/12/8 統計量，其總瀏覽人次為 29,039 人次，平均閱讀人次為 968 人次 (表 2-1、圖 2-1)。在 5 大主題下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，以衛星影像技術發展相關類別為 5 篇最多，次之為監(觀)測技術相關類別 4 篇，其次為數位孿生、複合材料、環境 DNA、開放資料與防救災類別各 1 篇。
2. 在「軟體防災對策」主題中，分別為崩塌災害事件資料庫與自然洪水管理兩個類別各 1 篇電子報。
3. 在「基礎試驗研究」主題中，則是以語詞分析與資料庫視覺化之電子報 1 篇。

4. 在「前瞻策略與管理」主題中，分別為災害風險潛勢地圖、碳封存、水資源、衛星影像資料整合、氣候資料視覺化等類別電子報各 1 篇。

5. 在「工程技術發展」主題中，以施工技術發展相關類別 4 篇，其次為手機測量 2 篇、環境友善工法與水保旅遊各 1 篇。

**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 | 5 | 4,086 | 817 |
| 工程技術發展 | 8 | 9,561 | 1,195 |
| 軟體防災對策 | 2 | 1,361 | 681 |
| 基礎試驗研究 | 1 | 869 | 869 |
| 新興科技應用 | 14 | 13,162 | 940 |
| 總計 | 30 | 29,039 | 968 |

資料統計至 112/12/8 止

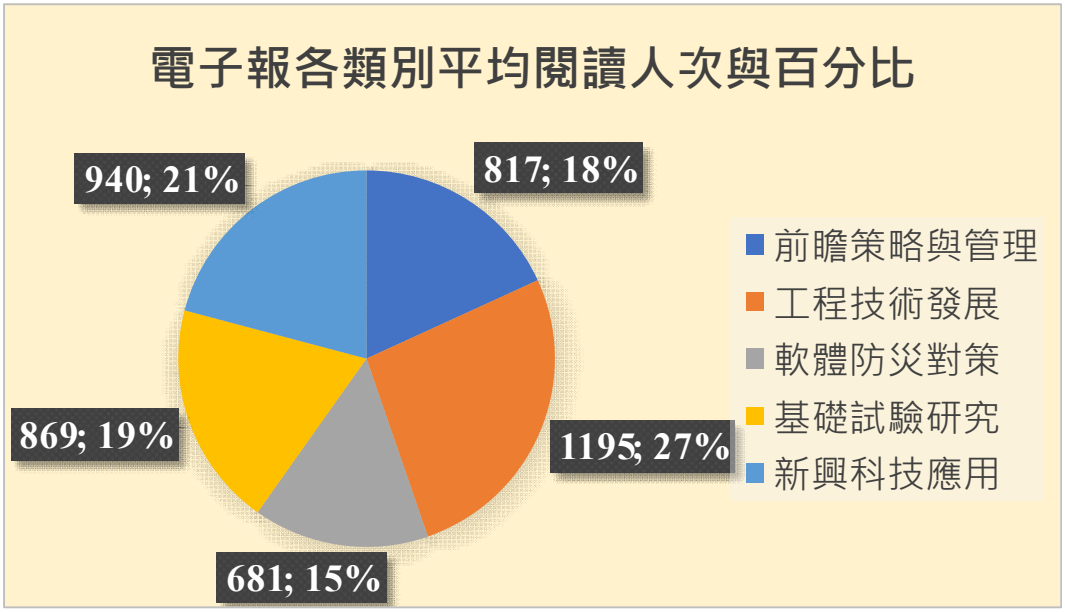



**圖 2-1 電子報各類別平均閱讀人次統計**

目前電子報發布之主題類別和題材內容，主要為衛星影像技術應用最多、次之為監(觀)測技術和施工技術發展，其餘分項為防災應用、數位孿生、複合材料、崩塌資料庫、自然洪水管理、災害風險潛勢圖、碳封存、水資源、環境友善工法、氣候資料視覺化、水保旅遊、手機測量、環境 DNA 等。由各期電子報閱讀人次統計資料 (表 2-2)，以「一起動手建立虛擬世界吧!-手機 3D 掃描技術的操作技巧」閱讀人數為最多，顯示智慧型手機協助測量應用相當多元，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。

由電子報內容之標籤關鍵字頻率分析(圖 2-2)，在新興科技應用相關主題下可以看出，受到世界各國面臨少子化及高齡化情況下，對於工程施工必定受到影響，因此目前對於工程施工發展，多以 ICT、無人化施工、工程機具設備提升等為主，藉由新興工程機具輔助人力不足問題，增加工作效率與減少作業時間成本，其在關鍵字頻率分析出現次數最多。

其二，同樣在新題科技應用主題，近年航遙測影像技術發展快速下，其提供多樣化觀測資料，具有範圍廣及高解析度 (解析度可達 50 至 30 公分間)之影像資訊，並可藉由衛星立體像對產製 DSM 或 DEM 資料，予以產、官、學各界在防災、應變、災後復建等，作為廣範圍情資研判之第一線資料來源，係以在關鍵字頻率分析出現以 Earth Observation、GEE、Remote sensing、BigGIS 等為主。

其三，同樣在新題科技應用主題之數位工具或軟體應用操作部分，其藉由數位工具彙整各項開放資料，提供災害整備、應變與災後復原所需之資料與視覺化成果參考。另外本次電子報軟體實作應用分享，

則是使用質點影像軟體判釋崩塌地變位資料，以 PIV 能應用到不同領域，其技術的跨領域應用將充滿各種可能。上述在關鍵字頻率分析出現以 PIV、視覺化、資料等為主。

對此，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，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。




**圖 2-2　電子報關鍵字頻率文字雲**

## 表 2-2 電子報閱讀人次統計 (至 2023/12/8 止)

| 類別 | 電子報名稱 | 閱讀人次 |
|---|---|---|
| 新興科技應用 | 三維建模技術大躍進,多樣感測資料融合創造更多應用可能 | 1264 |
| 前瞻策略與管理 | 衛星資料百百種,垂直整合發揮大價值- Data Cube | 1070 |
| 工程技術發展 | 為山區建設而生的強大工程機械－ 蜘蛛挖掘機 walking excavator | 1001 |
| 新興科技應用 | 2023 年 2 月 6 日土耳其強震：科技與資料如何協助地震防救災 | 1212 |
| 新興科技應用 | 衛星立體像對:解決山區不安定土砂探勘難題的新利器 | 854 |
| 工程技術發展 | 一起動手建立虛擬世界吧!-手機 3D 掃描技術的操作技巧 | 2376 |
| 基礎試驗研究 | 挖掘數據背後的蛛絲馬跡: 從資料庫到視覺化 | 869 |
| 新興科技應用 | 無需學會 JavaScript，ChatGPT 讓你也能輕鬆下載 GEE 衛星影像！ | 1093 |
| 工程技術發展 | 山區開發與環境永續難以兼顧?日本高山市的驚人解決方案! | 1111 |
| 軟體防災對策 | 15 年磨一劍!義大利建立國家級降雨促崩時空資料庫 | 834 |
| 新興科技應用 | 透過衛星影像測量河川流量？FluViSat 專案的創新技術及應用探討 | 700 |
| 前瞻策略與管理 | 解密美國災害風險潛勢地圖:FEMA 如何評估全國災害風險指數、社會脆弱度與復原力！ | 770 |
| 工程技術發展 | 手機 APP 改寫工程測量：3D 模型、測量、數量清點、植物辨識一機搞定！ | 1340 |
| 新興科技應用 | 手機 PIV 質點影像量測：從原理探索到影像實作 | 1038 |
| 新興科技應用 | 探索土石流流動的奧秘：整合 3D 光達及 AI 影像判釋的新型態觀測法 | 791 |
| 工程技術發展 | 解決缺工及提升工程效率與品質的關鍵!? ICT 施工在國內外水土保持工程實踐分享 | 797 |
| 前瞻策略與管理 | Wood Vault:碳封存的新方案與森林永續管理的關鍵策略 | 992 |
| 新興科技應用 | 數位孿生：文化遺產與地理資訊的整合及應用 | 834 |
| 軟體防災對策 | NFM 措施對於降低洪水風險到底給不給力! | 527 |
| 工程技術發展 | 世界最夯的 ICT 施工技術大解密!各項施工步驟最新科技發展(一) | 810 |

| 類別 | 電子報名稱 | 閱讀人次 |
|---|---|---|
| 新興科技應用 | 三維建模技術大躍進，多樣感測資料融合創造更多應用可能 | 1264 |
| 新興科技應用 | 探索即將發射的 NISAR 衛星及 InSAR 技術於邊坡監測的應用 | 1277 |
| 新興科技應用 | 微型測站 DIY-樹莓派與 ESP32 的無限可能 | 1030 |
| 新興科技應用 | 質點分析跨域應用-實作正射影像變位趨勢分析 | 1055 |
| 工程技術發展 | 世界最夯的 ICT 施工技術大解密!各項施工步驟最新科技發展(二) | 719 |
| 新興科技應用 | EO 衛星是如何環繞地球-淺談衛星軌道 | 1227 |
| 新興科技應用 | 改善碳排放量並助益環境友善- 尿布 Power | 561 |
| 前瞻策略與管理 | 透視全球水文-從空間遙測到時間趨勢 | 604 |
| 前瞻策略與管理 | 年年突破的高溫記錄？探索氣候資料視覺化的新視角 | 650 |
| 工程技術發展 | 風靡世界的水保旅遊正夯中!國內外魅力水保旅行激推介紹(日本篇) | 1407 |
| 新興科技應用 | 生物檢測大應用-環境 DNA，不可見卻又可見的生物足跡 | 226 |
| 總和 | | 29,039 |

## 二、 國內外研究發展趨勢輔助署內業務發展

本計畫探討國內外研究發展趨勢，用以輔助署內業務發展，利用桑基圖 (Sankey Diagram) 進行資料視覺化分析，可直覺呈現一組物件對應到另一組物件的比例流向，呈現多組物件所對應階層，並用流向線條與節點大小呈現相對比例。本計畫初步建立系統性核心領域研究 (資料治理、不安定土砂、創新研究)，藉由彙整 30 篇電子報、五大領域主題與署內核心研究領域之相對比例關係，利用桑基圖分析統計結果，並以視覺化呈現核心領域對應五大主題與國內外防災技術關聯性，本計畫先以對應未來重要業務(資料治理、不安定土砂)與研究(創新研究)之間發展關係，建立各核心領域技術路徑圖，以輔助業務發展，後續視業務發展方向，再予以調整擴充。

本計畫彙整 30 篇電子報內容 (截至 11 月底成果)，檢索盤點彙整各期關鍵字群組，並使用中研院 CKIP 斷詞系統及人工調整專有名詞權重後，統計頻率 5 次以上之關鍵詞，並以該關鍵詞對應五大領域與所對應期數 (以單一關鍵詞出現期數統計，並作為比例權重計算)，進行第一階段比例視覺化，左側節點顯示高頻率關鍵詞，中間節點顯示關鍵詞對應五大領域比例。第二階段比例視覺化，以各該領域關鍵字對應三大主軸進行分類對應，右側節點顯示五大領域對應三大主軸來源比例，藉此評估現有土砂防減災技術文獻與之較為關聯之主軸，用以評估目前研究與應用已有理論且技術成熟，可優先發展，或為新興議題其研究缺口尚待持續研究發展。

電子報各期關鍵字、5 大主題、署內核心研究領域之桑基圖統計分析 (圖 2-3)，對照資料治理、不安定土砂及創新研究等三大主題，其桑基圖分析如下：

1. 資料治理仰賴數據格式標準化與資訊正確性，作為循證治理防災體系發展之基礎依據，其以前瞻策略與管理、工程技術發展及新興科技應用方面研究為主，已普遍結合至近期研究與應用領域。未來業務發展上，為融合技術、資訊及數據三者以精進資料治理策略方針，仍需持續蒐整分析國內外技術與研究，並逐步將新技術落實應用，以強化數據格式標準化及資訊正確性，達到隨時隨地取用。

2. 不安定土砂及其引致之複合型土砂災害，為目前重要發展業務，藉由軟體防災對策、前瞻策略與管理、工程技術發展及新興科技應用方面則有相關研究可供參考，但其為新興研究發展議題，因此，相當缺乏基礎試驗研究資料，建議未來應著重在不安定土砂災害風險之基礎試驗研究，以探討不安定土砂發生機制、土砂運移型態、衝擊影響範圍及防災對策。目前署內之創新型研究計畫中，將集水區不安定土砂相關研究歸類於「軟體防災與新興科技應用」領域，考量到不安定土砂之基礎理論與技術試驗實屬初步研究發展階段，建議可增加至「水土保持管理與基礎研究」領域中，以充實基礎理論與技術研發。

3. 創新研究則著重在前瞻策略管理、工程技術發展與新興科技應用延伸，顯示其著眼於未來數位工具及科技發展的可能性，以解決目前所遭遇痛點，係以在創新研究之落實應用上，應著重於輔助署內推行業務或目前遭遇待克服議題之技術或工具研究發展。建議目前可針對國土計畫法、原住民保留地開發管理辦法、山坡地保育利用條例等，研擬山坡地空間規劃與治理以及韌性坡地之管理策略。

## 三、 水土保持多語詞彙

目前彙整 30 期電子報之關鍵字分析成果，由人工篩選各期共計 289 個語詞，並去除重複詞彙後為 172 個語詞 (詳附錄二)，建議可遵循資料工作圈之審議方式，逐年審查新興技術名詞，審查之新增名詞並補充各個關鍵字之名詞定義描述，再邀請各領域學者與專家參與審核，待審核後可上架至技術研究發展平台之「五語詞彙」。

再者，農村水保署自 105 年持續辦理創新型研究計畫，平均約 50 件計畫成果產出，其中 5 大主題各自領域內每年皆有新技術名詞，建議署內可先行蒐集各計畫成果關鍵字進行篩選與評估，以納入水土保持多語詞彙。或是於各期創研成果報告繳交時，可於「期末自評表之學術創新面」內增加水土保持多語詞彙一項(表 2-3)，由各計畫主持人填寫該創新研究計畫之關鍵字名詞或是新技術名詞，推薦納入水土保持多語詞彙。

在此建議，每年持續彙整國內外技術文件所發布電子報之關鍵字與新技術名詞，以及創新研究計畫成果所推薦關鍵字名詞或是技術名詞，彙整後與既有五語詞彙關鍵字交叉分析，再經人工檢視關鍵字詞彙和英文無誤後，提請納入水土保持多語詞彙工作圈審查。

對於水土保持多語詞彙工作圈方式，建議固定每半年或於創研計畫成果驗收後，參照資料工作圈方式召開，並可將工作圈審查完成詞彙請各領域專家檢視，其後將審視成果新增為水土保持名詞，除可統一訂定名詞之定義外，並可逐年檢視審查國內外技術文件及創研計畫之新興技術名詞，再加以擴充至水土保持多語詞彙予各界使用。

# 表 2-3 創新研究自評表新增水土保持多語詞彙

## 113 年度創新研究計畫-期末自評表

計畫名稱：

計畫執行單位：

計畫主持人：

計畫是否如期完成(預估 12/31)：□是；□否，說明：

計畫達成度：□極高、□高、□普通

| 技術應用面 | | | 說明 |
|---|---|---|---|
| Q1. | 專利產出 | □是，__項<br>□已申請<br>□申請中<br>□評估中<br>□本計畫目標無此項 | 專利名稱： |
| Q2. | 新技術(或改良技術)產出 | □是，__項 □本計畫目標無此項 | 新技術(或改良技術)名稱： |
| Q3. | 促進跨域技術整合 | □是，__項 □本計畫目標無此項 | |
| Q4. | 促進產業發展 | □是，__項 □本計畫目標無此項 | |
| Q5. | 產出技術手冊(或供本署技術手冊修訂參考) | □是，__冊 □本計畫目標無此項 | |
| **學術創新面** | | | **說明** |
| Q6. | 促進基礎科學發展 | □是，__項 □本計畫目標無此項 | |
| Q7. | 國內研討會發表 | □是，__篇 □本計畫目標無此項 | 研討會名稱： |
| Q8. | 國際研討會發表 | □是，__篇 □本計畫目標無此項 | 研討會名稱： |
| Q9. | 國內期刊發表 | □是，__篇 □本計畫目標無此項 | 期刊名稱: |
| Q10. | 國外期刊發表 | □是，__篇 □本計畫目標無此項 | 期刊名稱: |
| Q11. | 產出碩士論文 | □是，__篇 □本計畫目標無此項 | |
| Q12. | 產出博士論文 | □是，__篇 □本計畫目標無此項 | |
| Q13. | 產出具體教案(或納入教學內容) | □是，__項 □本計畫目標無此項 | |
| Q14. | 水土保持多語詞彙 | □是，__項 | |
| **制度面及其他** | | | **說明** |
| Q15. | 促進行政服務改善 | □是，__項 □本計畫目標無此項 | |
| Q16. | 促進行政計畫推動 | □是，__項 □本計畫目標無此項 | |
| Q17. | 可供法規修訂參考 | □是，__項 □本計畫目標無此項 | |
| Q18. | 促進前瞻策略擬訂 | □是，__項 □本計畫目標無此項 | |
| Q19. | 促進社會經濟發展 | □是，__項 □本計畫目標無此項 | |
| Q20. | 研發人才培育 | □是，__人 | |
| Q21. | 其他： | | |
| 備註 | 同意配合於本署每週二上午定期舉辦之專題討論進行技術交流與成果分享(https://tech.ardswc.gov.tw/Seminar/SeminarDiscussion )？ □是 □否 | | |

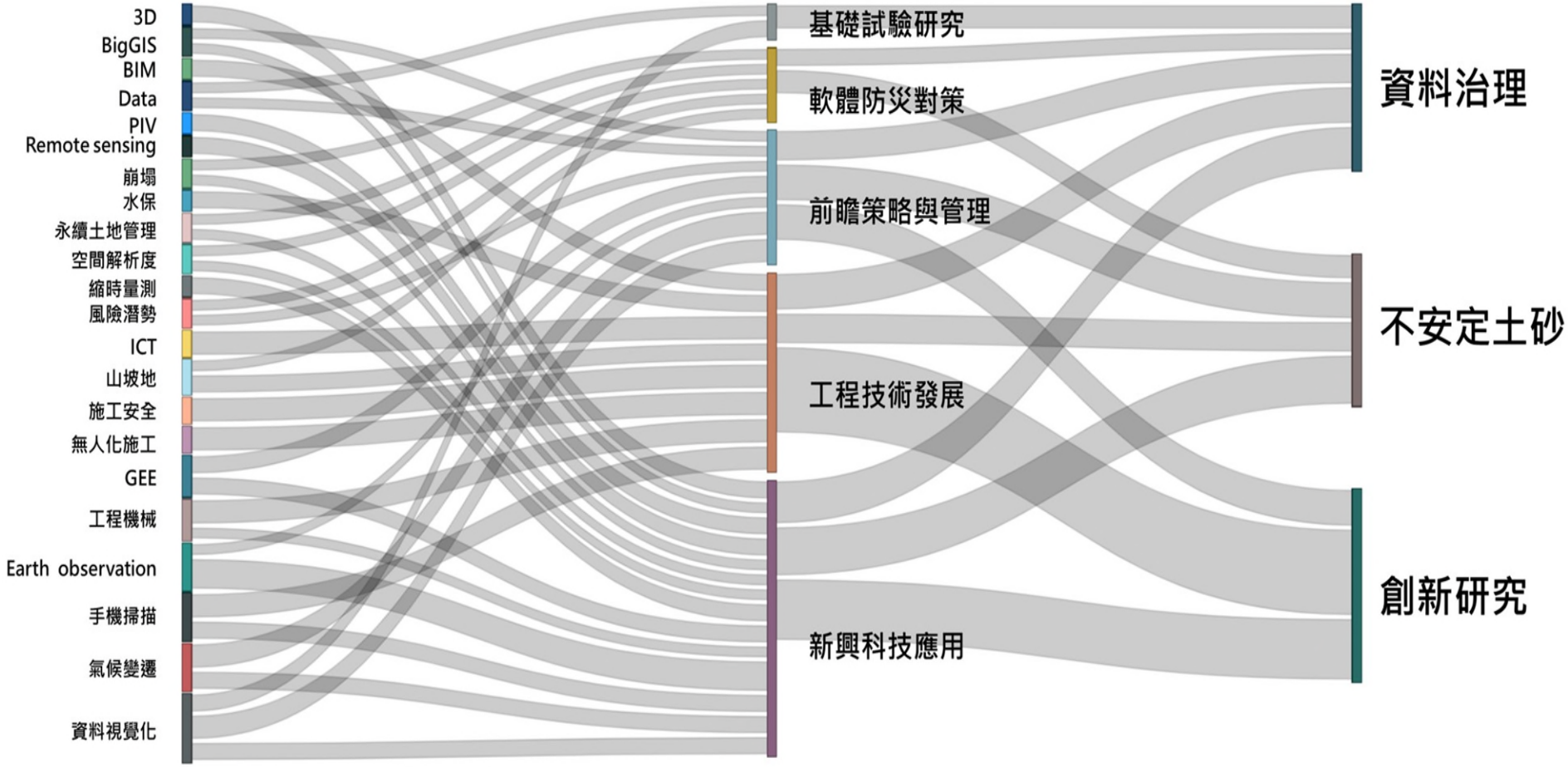



**圖 2-3　研究發展趨勢與五大主題及重要業務桑基圖關聯性**

## 第二節　盤點歷年土砂防災技術與研究成果

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 2-4)。




**圖 2-4　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 2-5 所示。

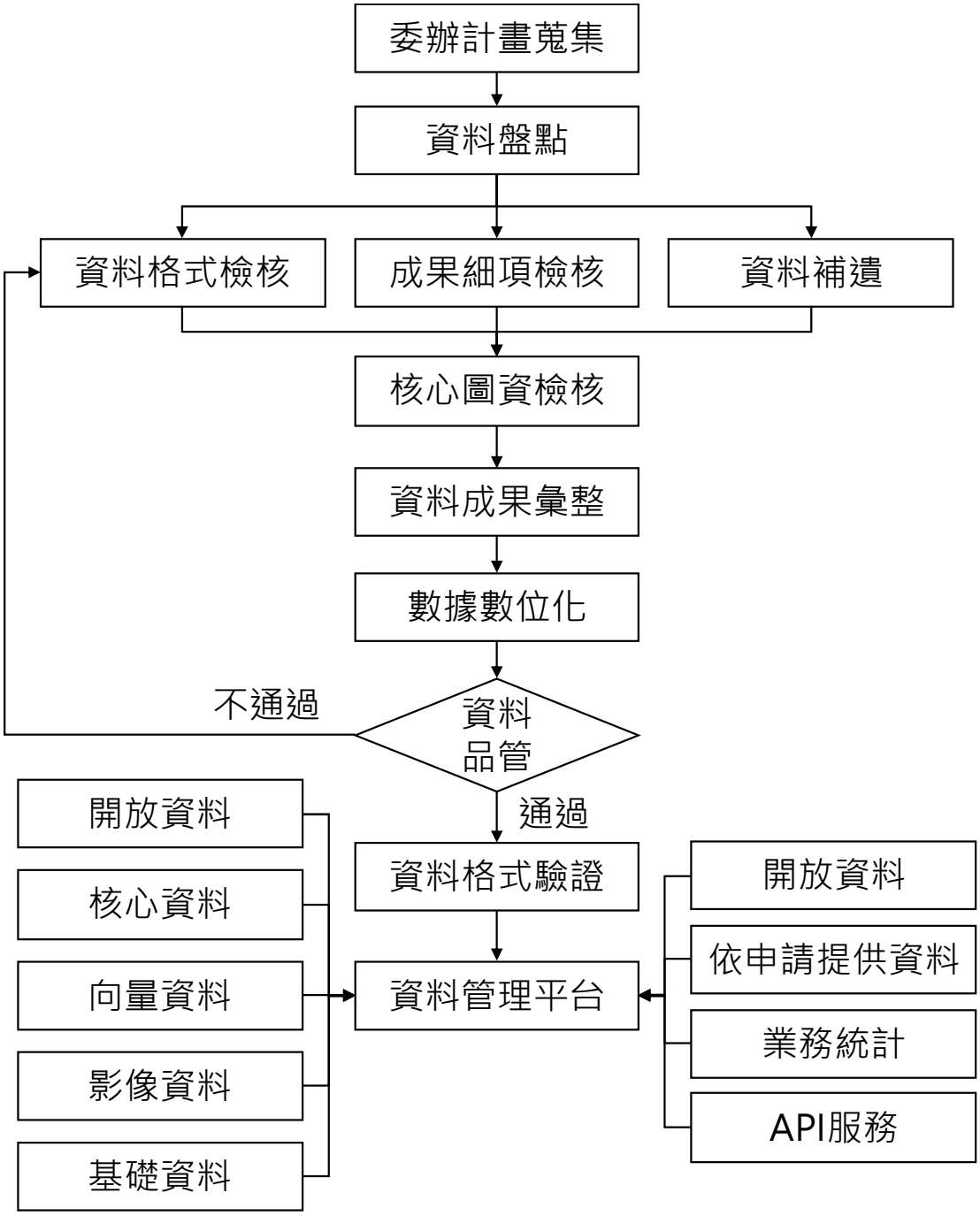



**圖 2-5　資料盤點流程圖**

本項資料盤點為延續性工作項目，持續蒐整前一年度 (111 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 2-4 所示。盤點歷年自 97 年至 111 年期間為止之

委辦與研究案共計 3,297 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 142 件。以計畫性質進行區分如圖 2-6 所示，共計可分為前瞻基礎建設計畫第 3 期特別預算、山坡地農路改善、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 6 大類別。其中以整體性治山防災計畫盤點數量 78 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 41 件。

**表 2-4 歷年委辦及研究計畫數量統計**

| 年度 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 年度加總 | 158 | 311 | 215 | 189 | 219 | 201 | 227 | 209 |
| 年度 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | |
| 年度加總 | 214 | 242 | 224 | 235 | 221 | 222 | 216 | |

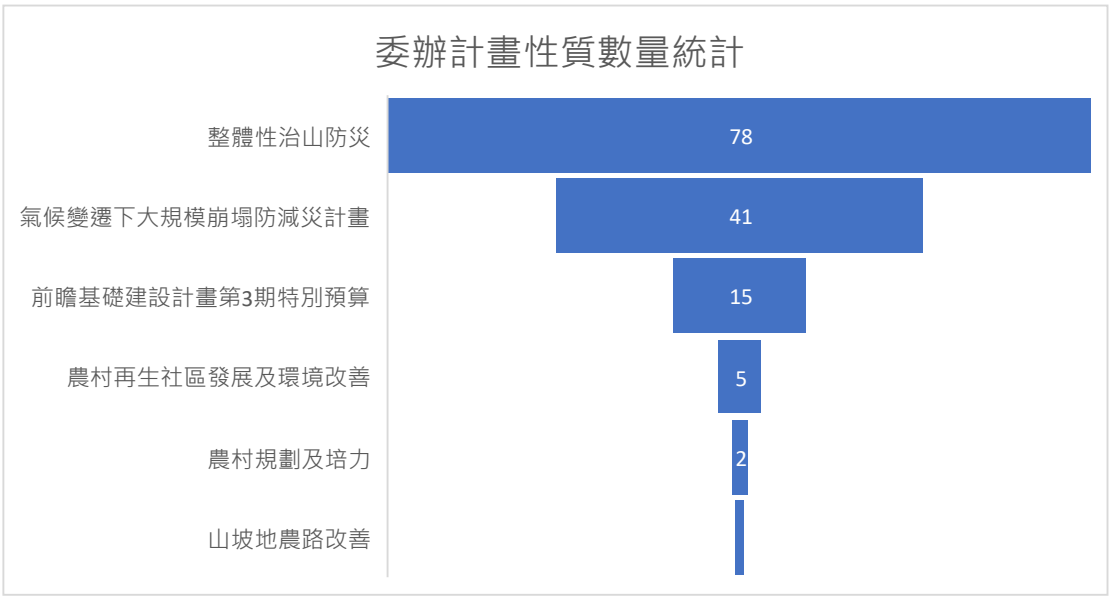



**圖 2-6　110 年委辦計畫性質數量統計**

(二) 委辦計畫成果盤點工作項目說明

今年度對於盤點工作項目進行調整，由過往 97 年至 110 年盤點項目(表 2-5)與歷年資料成果應用情形進行探討，現行計畫各階段成果資料上傳時，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 (圖 2-7)，本計畫於今年度與農村水保署提出盤點項目調整事項，其調整後之委辦計畫成果盤點工作項目，今 (112) 年度之盤點項目分為 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 2-6 所示。關於盤點工作項目更動說明如下：

1. 舊編號 1 與編號 2 分別「報告書格式」型態，經評估仍有盤點需要，經討論將盤點項目名稱更改為「電子書圖書中心資料各期報告收錄完整性」、「成果報告書格式 PDF 內容」。
2. 舊編號 3 (UAV 拍攝項目)，目前均由署內「UAV 成果上傳平台」收錄，故不再盤點追蹤。
3. 舊編號 4 (航遙測影像相關圖資)，目前均由署內「多元遙測影像平台」收錄，不須由廠商產製，故不再盤點追蹤。
4. 舊編號 5 (光達產製 DEM)，目前委辦計畫均統一向減災監測組申請使用，不須由廠商產製，故不再盤點追蹤。
5. 舊版編號 13(監測站相關資料 (處))，其淺層崩塌、水文、地文與土砂等相關監測站資料已由土石流觀測站系統、水砂觀測站系統及大規模崩塌監測系統收錄，經討論僅針對土石流與大規模崩塌其監測處數資料盤點，併入新編號 18(其他資料-監測)。

6. 舊編號 17(平台建置 (維護))，目前均由減災監測組資訊管理科統一管理，建立追蹤機制，故不再盤點追蹤。

7. 舊編號 18(崩塌判釋)，目前已由減災監測組委辦團隊建立每年統一建立台灣年度事件型崩塌目錄，建立追蹤機制，故不再盤點追蹤。

8. 舊編號 19(災害案例或工程案例相關)、舊編號 21(災害照片紀錄)、舊編號 22(構造物調查)、舊編號 24(生態檢核相關)等，目前已由保育治理組自行收集資料，建立追蹤機制，故不再盤點追蹤。

9. 相關舊編號屬現地資料或其他資料型態，經討論仍有盤點需要繼續收集，其新編號更動如表 2-7 所示。此外，對於舊編號 9、12 及 23，其為利用數值模式演算產品資料，相關資料需逐年重新演算更新或是需配搭特定設備才可使用，故不再盤點追蹤。

10. 部分現地自建觀測資料項目，為區分與他機關觀測資料呈現，故新增盤點項目，如新編號 5(地工試驗資料)、新編號 8(橫斷面)、新編號 9(K 值)、新編號 10(R 值)、新編號 14(土壤含水計)、新編號 15(水位計)、新編號 16(流速計)、新編號 17(濁度計)與新編號 22(地表地質)等。

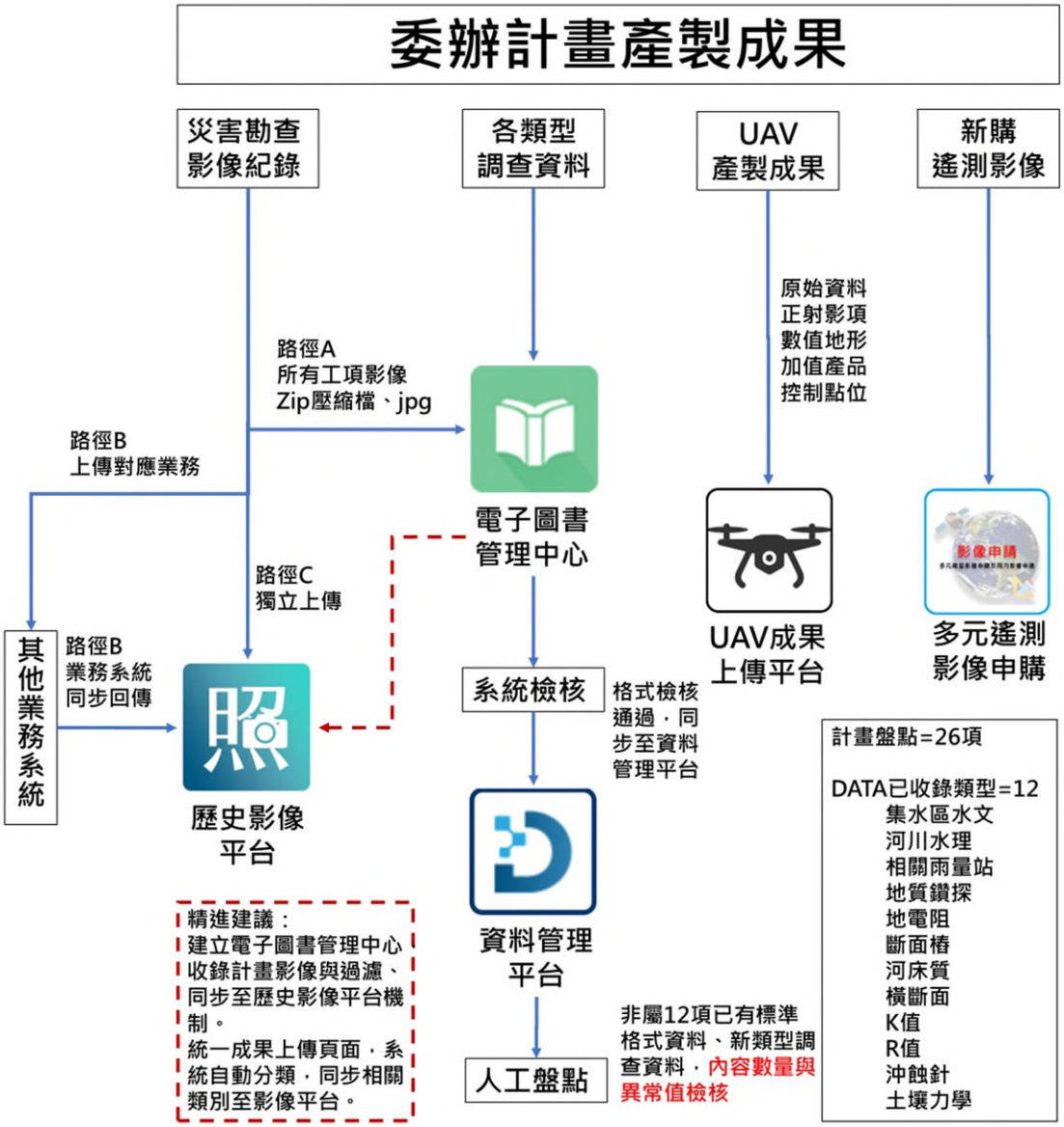



**圖 2-7　委辦計畫各類成果上傳平台路徑**

## 表 2-5 調整前委辦計畫成果盤點工作項目彙整表

| 編號 | 盤點項目 (單位) | 內容說明 |
|---|---|---|
| 1 | 報告書格式之正確性 | 是否符合水土保持局格式、完整單一檔案、能下載查看等等 |
| 2 | 檢核電子書之正確性 | 是否能在線上使用，是否與報告書內容一致 |
| 3 | UAV 拍攝項目 (處) | 斜拍、正射、DSM、影片、環景、3D 建模 |
| 4 | 航遙測影像相關圖資 | 光學衛星、航空正射、雷達衛星、資源衛星 |
| 5 | 光達產製 DEM | 是否有產製 DEM 或者是紅色地圖相關研究 |
| 6 | 河床質調查數量 (處) | 報告書中針對河床質調查量測報告，是否有完整實驗成果資料 |
| 7 | 土壤力學參數 | 產出相關土壤力學參數，如 C、 φ、 Kh 等 |
| 8 | 雨量資料 (年平均) | 針對研究區域蒐集平均雨量相關資料 |
| 9 | 重現期雨量資料 (不同頻率年) | 針對研究區域蒐集或計算其重現期雨量 |
| 10 | 重現期洪峰流量資料 (不同頻率年) | 針對研究區域蒐集或計算其重現期洪峰流量 |
| 11 | 土砂產量推估計算 (土砂收支) | 運用土砂量計算公式或是數值模式推估集水區土砂產量 |
| 12 | 運用數值模式計算 (數值模式名稱) | 降雨逕流水文模式、水理模式、邊坡穩定模式、降雨入滲模式、土石流模擬模式、警戒模式 |
| 13 | 監測站相關資料 (處) | 計畫研究區設置土石流、淺層崩塌、大規模崩塌、水文、地文、土砂等相關監測站 |
| 14 | 土壤沖蝕相關資料 | 如紀錄沖蝕針相關量測資料 |
| 15 | 崩塌量測儀器 | 如雨量筒、地質鑽探、地下水監測站、孔內傾斜儀、伸縮計、GPS 變位計、地表位移樁等等 |

| 編號 | 盤點項目 (單位) | 內容說明 |
|---|---|---|
| 16 | 地球物理探測相關資料 | 如地電阻、孔內電測(自然電位、電阻率、射線等)、孔內攝影 |
| 17 | 平台建置 (維護) | 委辦計畫之平台建置與維護並記錄其名稱 |
| 18 | 崩塌判釋 | 如地表地質調查、衛星影像判釋 |
| 19 | 災害案例或工程案例相關 | 災害案例、治理工法、工程案例的詳細調查研究報告 |
| 20 | 迴歸公式 (屬性) | 迴歸公式並記錄其應用屬性(崩塌面積、體積估算、流量估算、流速估算、災損估算) |
| 21 | 災害照片紀錄 | 蒐集災害相關照片 |
| 22 | 構造物調查 | 紀錄構造物調查並統計件數 |
| 23 | 實境模擬相關 | 是否將水土保持局業務結合最新科技如 VR、AR、MR |
| 24 | 生態檢核相關 | 如生態敏感區位、重要物種棲地、環境改善建議 |
| 25 | 教育訓練 | 統計報告書中教育訓練項目與其類型 |
| 26 | 相關出版品 | 如專書、摺頁、海報、影片、微電影 |
| 27 | 值得進入倉儲系統的圖資 | 研究是否有產出新的空間資訊圖資，如 GIS 圖資、KML 圖資 |
| 28 | 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 |

## 表 2-6 調整後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 |

## 表 2-7 盤點項目編號調整表

| 調整前舊盤點編號 | 調整後新盤點編號 |
|---|---|
| 舊編號 6 (河床質調查數量) | 新編號 8 (現地資料-河床質調查) |
| 舊編號 7 (土壤力學參數) | 新編號 12 (現地資料-土壤力學參數) |
| 舊編號 8 (雨量資料) | 新編號 4 (現地資料-雨量站資料)<br>新編號 13 (觀測資料-雨量計) |
| 舊編號 10 (重現期洪峰流量資料) | 新編號 3 (現地資料-水理資料) |
| 舊編號 11 (土砂產量推估計算) | 新編號 21 (其他資料-土砂產量估算) |
| 舊編號 14 (土壤沖蝕相關資料) | 新編號 11 (現地資料-沖蝕針) |
| 舊編號 15 (崩塌量測儀器) | 新編號 19 (其他資料-崩塌儀器) |
| 舊編號 16 (地球物理探測資料) | 新編號 6 (現地資料-地電阻) |
| 調整前舊盤點編號 | 調整後不再盤點編號 |
| 舊編號 9 (重現期雨量資料) | 經討論評估較少有相關資料與使用，故不再盤點追蹤 |
| 舊編號 12 (運用數值模式計算) | 經討論評估較少有相關資料與使用，故不再盤點追蹤 |
| 舊編號 23 (實境模擬相關) | 經討論評估較少有相關資料與使用，故不再盤點追蹤 |
| 調整前舊盤點編號 | 調整後新增盤點編號 |
| 無 | 新編號 5 (地工試驗資料) |
| 無 | 新編號 8 (橫斷面) |
| 無 | 新編號 9 (K 值) |
| 無 | 新編號 10 (R 值) |
| 無 | 新編號 14 (土壤含水計) |
| 無 | 新編號 15 (水位計) |
| 無 | 新編號 16 (流速計) |
| 無 | 新編號 17 (濁度計) |
| 無 | 新編號 22 (地表地質) |

## 二、 盤點成果彙整分析

97 年至 111 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 2,294 件委辦及研究計畫成果，平均每年逾 200 件研究計畫案，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 111 年現地調查資料共計 8,021 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 2-8)。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 2-8。

**表 2-8 資料盤點成果類別**

| 類別 | 項目 |
|---|---|
| 空間資訊<br>(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<br>(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、<br>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 2-8　資料管理平台-現地調查資料查詢**

根據歷年盤點統計結果 (表 2-9)，於 97 年至 110 年盤點報告書中有 1,485 冊符合規定格式，電子圖書則為 1,340 冊符合，今年盤點報告書格式之「電子書圖書中心資料各期報告收錄完整性」項目僅 106 冊符合，不符合計 36 冊，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；於「成果報告書格式 PDF 內容」項目僅 52 冊符合，不符合 90 冊，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。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。

關於更動新舊盤點項目之原由，請參照委辦計畫成果盤點工作項目說明一節與表 2-5 至表 2-7 之更動項目，盤點歷年統計結果如表 2-9 所示。今年不再盤點項目部分，如 UAV 影像、遙測影像、遙測影像判釋、生態檢核、平台建置、構造物巡查、虛擬實境、災害照片、監測資料、崩塌監測儀器等相關資料，其部分由農村水保署減災監測組產製、部分由保育治理組蒐集管理、或有專屬成果上傳平台，故不再列入盤點作業，因此於今年統計結果無相關資料呈現(表 2-9)。

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 2-9 細部盤點項目與統計數量**

| 編號 | 盤點項目 (單位) | 97-110 數量 | 111 年數量 | 備註 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 電子書圖書中心資料<br>各期報告收錄完整性 | 1,485 符合 | 106 符合 | |
| 2 | 成果報告書格式 PDF 內容 | 1,340 符合 | 52 符合 | |
| 3 | 水理資料 | 212 | 19 | |
| 4 | 雨量站資料 | - | 161 | |
| 5-1 | 地工試驗資料-鑽孔資料 | - | 67 | |
| 5-2 | 地工試驗資料-貫入資料 | - | 39 | |
| 6 | 地電阻 | 208 | 15 | |
| 7 | 河床質調查 | 396 | 10 | |
| 8 | 橫斷面 | 161 | 79 | |
| 9 | K 值 | - | 0 | |
| 10 | R 值 | - | 0 | |
| 11 | 沖蝕針 | 27 | 13 | |
| 12 | 土壤力學參數 | 89 | 26 | |
| 13 | 雨量計 | - | 66 | |
| 14 | 土壤含水計 | - | 0 | |
| 15 | 水位計 | - | 131 | |
| 16 | 流速計 | - | 57 | |
| 17 | 濁度計 | - | 70 | |
| 18-1 | 監測-土石流 | - | 3 | |
| 18-2 | 監測-大規模崩塌 | - | 23 | |
| 19-1 | 崩塌儀器-地下水位計 | - | 236 | |
| 19-2 | 崩塌儀器-傾斜儀(地表+地中) | - | 277 | |
| 19-3 | 崩塌儀器-伸縮計(地表+地中) | - | 82 | |
| 19-4 | 崩塌儀器-GPS 變位 | - | 329 | |

| 編號 | 盤點項目 (單位) | 97-110 數量 | 111 年數量 | 備註 |
|---|---|---|---|---|
| 19-5 | 崩塌儀器-地表位移樁 | - | 21 | |
| 20 | 迴歸公式 | 47 | 6 | |
| 21 | 土砂產量估算(土砂收支) | 278 | 8 | |
| 22 | 地表地質調查 | - | 18 | |
| 23 | 教育訓練 | 1362 | 50 | |
| 24 | 出版品 | 1111 | 18 | |
| 25 | 產出值得進資料平台的圖資 | 165 | 1 | 農路圖資 |
| 26 | 特殊分析技術 | 244 | 1 | USFS 底床載採樣器 |

## 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 111 年 2,294 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：

(一) 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 2-10)，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，藉由資料清洗與正規化處理後，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 2-10　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)<br>(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 108 至 110 年度計畫成果為例，盤點既有資料成果上傳缺件統計數量 (表 2-11)，得到成果資料尚有缺漏之計畫件數，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，如表 2-12 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 2-11　既有資料成果上傳缺件數量

| 上傳狀態 | 年度案件數 | 設斷面樁 | 斷面測量 | 河床質調查 | 土壤力學參數 | 年平均雨量 | 重現期雨量 | 重現期流量 | 沖蝕針運用 | 雨量筒 | 地電阻 | 案件數小計 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 有上傳 | 110 | 2 | 4 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 17 |
| | 109 | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 4 | 4 | 17 |
| | 108 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 3 | 8 | 14 |
| | 小計 | 3 | 6 | 7 | 4 | 1 | 1 | 1 | 3 | 8 | 14 | |
| 未上傳 | 110 | 0 | 0 | 2 | 8 | 3 | 9 | 7 | 1 | 17 | 9 | 56 |
| | 109 | 1 | 6 | 5 | 8 | 29 | 11 | 5 | 0 | 22 | 11 | 98 |
| | 108 | 0 | 4 | 3 | 5 | 13 | 10 | 6 | 1 | 16 | 11 | 69 |
| | 小計 | 1 | 10 | 10 | 21 | 45 | 30 | 18 | 2 | 55 | 31 | |

## 表 2-12　委辦計畫現地調查資料上傳件數比對成果

| 統計階段 | 資料類型 | 水理資料 | 雨量站 | 地電阻 | 河床質 | 斷面測量 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 第二次工作圈未上傳 | 110 年度 | 6 | 9 | 6 | 2 | 0 |
| | 109 年度 | 5 | 15 | 6 | 4 | 3 |
| 第三次工作圈未上傳 | 110 年度 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| | 109 年度 | 3 | 3 | 0 | 4 | 3 |
| 第四次工作圈未上傳 | 110 年度 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| | 109 年度 | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 |

註 1：第一季盤點使用舊盤點項目，統計 108~110 年度，並考量標準修訂公布年分、資料屬性後，更新盤點表格，並調整追蹤補登資料為 109~110 年度，補登資料為 5 項現地調查資料。

註 2：截至 11 月 22 日第四次工作圈統計，確認剩餘 5 案計畫，僅剩下 1 案 1 筆橫斷面資料待登補。分署已於會後提供資料，預計 12 月 30 日前完成 109~110 年度所有調查資料補登。

(二) 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，固定於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. 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. 資料清洗與正規化

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清洗與正規化，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(若為新興設備或新技術檔案格式與成果，則先由資料管理工作圈討論，並訂定相關資料標準格式後，再行數位化作業)，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. 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，如歷史影像平台所收錄之事件照片，目前是以 zip 檔案上傳於電子圖書管理系統內，並無法自動串接同步至歷史影像平台(圖 2-7)，建議可評估整合為單一成果上傳入口，針對不同資料檔案類型與格式，可規劃各自對應資料類型上傳頁面 (災害影像紀錄、調查資料、UAV 產製成果、遙測影像)，則可將不同屬性成果資料串接對應系統，並同步成果資料。此外，於現行上傳頁面提醒特定類型檔案，需於其特定資料上傳平台作業 (如 UAV 成果上傳平台、歷史影像平台)，以防止計畫成果未上傳情形。

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是否更動，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清洗、檢核與數位化作業，以確保數值資料正確性。

## 第三節　防災技術研究應用可行性評估

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 (112) 年度 30 篇電子報內容，試以新興科技應用之「手機掃描技術」進行工程構造物量測、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、　手機掃描技術應用

過往執行工程構造物或災害調查時，由於測量儀器笨重且昂貴，特別是於山區作業時不易攜帶、不易維護、不易操作，其人力作業和時間成本效益不高。目前土木、水利、水保等領域之工程規劃設計及調查上，針對新、舊有工程構造物的新建、整建或改建等，均需有詳細構造物尺寸圖說，提供設計人員與施工人員使用，據以執行後續新建、延壽或維修等方案。對於災害調查方面，於颱風豪雨時期所形成之土砂災害，對業務機關而言，需在短時間內取得相關土砂災害資料，以掌握災損並研判災害層面，作為防救災決策參考。因此，常使用航遙測影像資訊，用以判釋調查廣範圍災害損失，考量 UAV 無人機具備機動性佳與作業時效短特性下，近年常使用於土石流集水區是坡面崩塌災害等中小區域調查，其作業效率較過往人力調查大幅提升。

其中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。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。

因此，在調查工具或方式上，不論是航遙測影像、UAV 無人機或傳統人力現場調查，如能在第一時間，快速取得並評估現場狀況，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。本次方法使用智慧型手機進行水土保持工作調查，其內建之拍照攝影功能、360 環景功能、LIDAR 掃描測繪功能、照片攝影測量功能、分析和視覺化工具，針對航遙測影像與 UAV 無人機無法拍攝之災害位置進行調查測量、建置三維模型及現場快速分析作業，以作為未來水土保持現場調查之快速評估工具。

## 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，以今年卡努颱風後之南豐村土石流災害事件調查為例。

(一) 研究區域

本計畫以南投縣仁愛鄉南豐村之投縣 DF013 土石流災害事件為例，其因卡努颱風強降雨影響，形成土石流並溢流淤埋兩岸，使臺 14 線 71K 之聖本篤加油站與便利商店遭掩埋，空拍資料顯示上游無明顯崩塌發生，但河床淤積嚴重。在災害發生後，於現地利用智慧型手機進行土石流災害現場調查，針對 UAV 建立三維立體模型所無法呈現之構造特徵細節與災害位置進行調查，如受災之加油站與便利商店、重點溪流構造物與溪流瓶頸段位置。過去相關位置僅能依靠傳統照片

影像進行補充了解狀況，本次嘗試使用手機建置上述位置之三維資料進行災害資料補充。

(二) LIDAR 掃描測繪與照片攝影測量

利用手機所具備 LIDAR 感測器進行掃描測繪，其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，再配合攝影鏡得取之得 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三維立體模型。攝影測量是由智慧型手機對標的物進行拍攝，利用多張照片之重疊率與影像特徵點匹配，並由程式進行影像特徵點後處理，進而疊合拼貼成三維立體模型 (圖 2-9)。

上述兩種方法均可使用各項免費版本之手機應用程式，並取各項應用程式強項功能進行使用(表 2-13)。手機掃描應用在現地調查主要可先利用 360 環景模式呈現目標各段位的環境周邊連結影像，並針對影像內重點位置利用 LIDAR 掃描測繪法或照片攝影測量法進行三維立體模型建置與快速尺寸量測，後續三維立體模型建置完成後進一步使用內建之三維測量、體積測量與視覺化模式等功能進行案例的分析，希望藉由上述多種功能，提供使用者快速應用的參考依據。

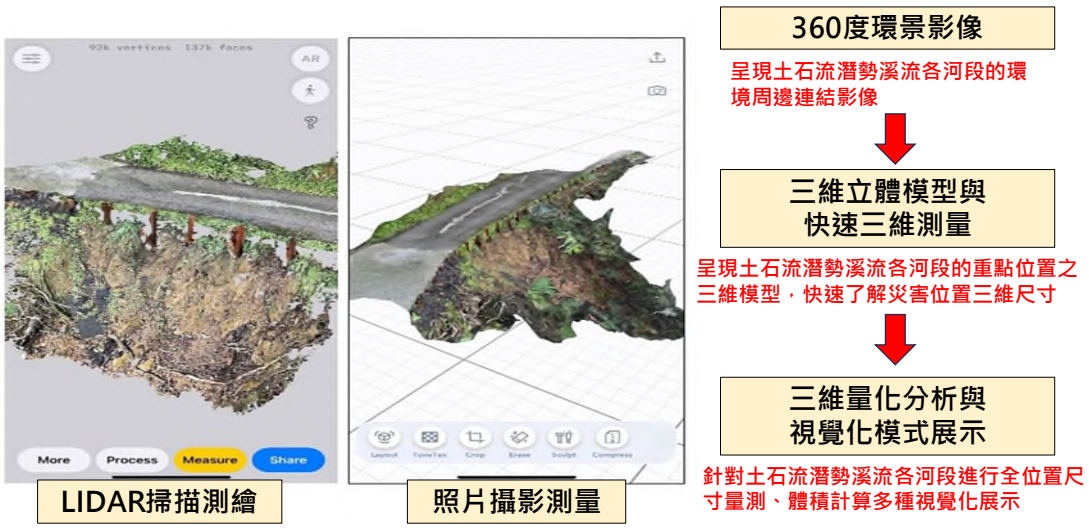



**圖 2-9　手機掃描測量示意圖**

## 表 2-13　手機掃描應用程式

| 項目<br>(皆為免費軟體) |  |  |  |  |  |
|---|---|---|---|---|---|
| 應用程式名稱 | Scaniverse | 3d Scanner App | ConstLiDAR Lite | polycam | Luma AI |
| 作業系統 | IOS | | | IOS/android | IOS |
| 適用機型(截至2023/9) | iPhone 12 、13、14 Pro等級以上、<br>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<br>(LIDAR)iPhone12 pro 等級以上 | (攝影)iPhone X 等級以上<br>(AR功能)iPhone11等級以上 |
| 匯出格式 | USDZ、OBJ、DAE等格式 | | 現場即時展示 | USDZ、OBJ、DAE等格式 | |
| 功能特點 | 1.三維立體模型建置<br>2.無網路狀態可製作模型<br>3.長度、周長測量<br>4.AR視覺化模式<br>5.線上模型展示功能 | 1.三維立體模型建置<br>2.無網路狀態可製作模型<br>3.長度、周長、體積測量<br>4.AR、VR、行走視覺化模式<br>5.線上模型展示功能 | 1..Lite版可即時進行水平、垂直、斜距等距離測量<br>2.付費版可進行坡度(%或1/N)、面積、體積等進階計算功能<br>3.付費版可進行放樣功能 | 1.LIDAR、攝影三維資料建置<br>2.快速自動對齊測繪功能<br>3.360環景模式功能<br>4.無網路狀態可製作模型<br>5.長度、周長測量<br>6.AR、行走視覺化模式<br>7.線上模型展示與測量功能 | 1.攝影三維立體模型建置<br>2. NeRF技術功能<br>3.呈現植物、岩石細節功能<br>4.無網路狀態可製作模型<br>5.線上模型展示功能 |
| 研究使用功能 | 1.三維立體模型建置<br>2.長度與周長測量 | 1. 三維立體模型建置<br>2. 體積測量<br>3. AR、VR、行走視覺化 | 水平、垂直、斜距等距離測量 | 1. 快速自動對齊測繪功能<br>2. 360環景模式功能<br>3. 線上模型展示與測量功能 | 1. 攝影三維立體模型建置<br>2. NeRF技術功能<br>3. 呈現植物、岩石細節功能 |

## 三、　結果與討論

本次應用手機掃描測量之範圍與標的物位置如圖 2-10 所示，藉由人員地面調查拍攝影像、無人機與手機拍攝影像建模比對、三維立體模型建置與快速尺寸測量、三維量化分析與視覺化模式展示等方式，以評估後續手機掃描測量於現地調查之可行性。

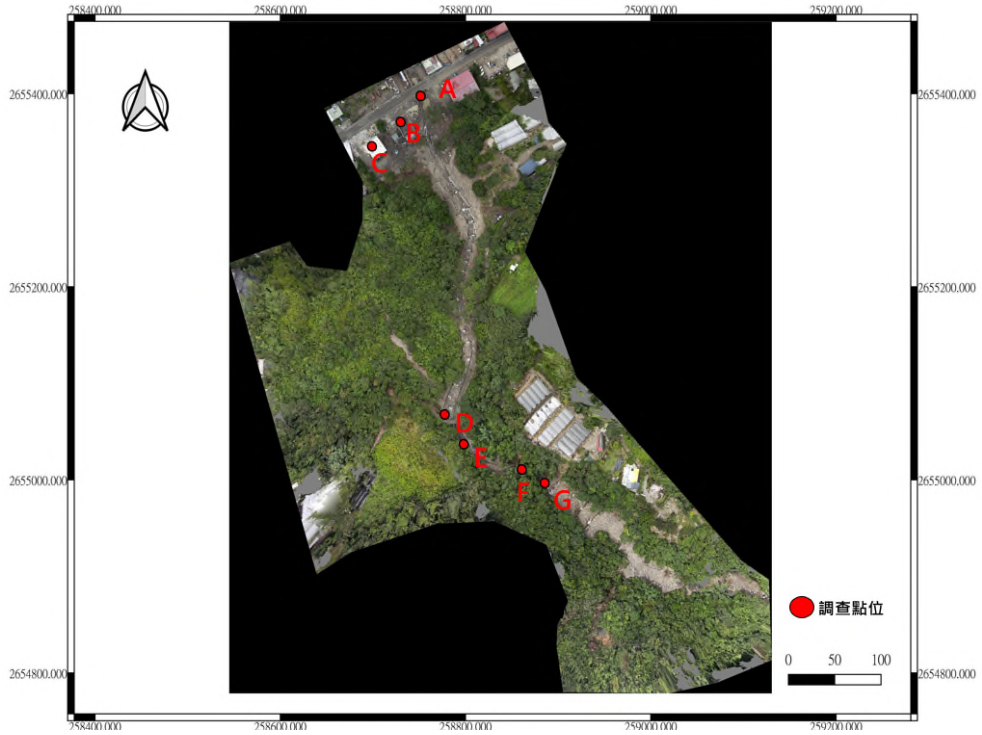



**圖 2-10　南豐村土石流災害手機掃描測量調查點位圖**

(一) 智慧型手機 360 度環景模式建置土石流災害周邊連結環境

由傳統人力調查時，其照片無法呈現災害點位 360 度環境資訊，僅靠單張照片不足以連結周邊環境與災害成因；利用智慧型手機 360 度環景功能，依照軟體指示，僅需於指定條帶移動，即可拍攝完成，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更多周邊環境資訊。相關成果(圖 2-11)說明如下：

1.點位 A 成果：過去僅能依靠照片了解橋梁上游情形，藉由 360 環景照片可清楚了解上下游連接狀況；

2. 點位 B 與點位 C 過去僅能得知災害位置單邊狀況，藉由 360 環景可得知災害位置與周圍場域連結狀況。

3. 點位E過去僅能依照片了解單支固床工在土石流過後的情形，依靠 360 環景可得知上下游系列固床工彼此間情況。

4. 點位 F 與 G 過去僅能依照片了解防砂壩狀況，依靠 360 環景可得知防砂壩與溪流瓶頸段的相對位置及周邊環境。

(二) 遙控無人機建置土石流災害標的物模型

利用 UAV 拍攝影像建模之三維模型資料與地面調查拍攝影像成果如圖 2-12 所示，其相關成果說明如下：

1.點位 A 成果：位於南山橋往上游河道方向拍攝，其三維模型受到植被遮蔽影響，對比於照片影像，部分地形特徵無法完整表現。

2.點位 B 成果：為聖本篤加油站，其三維模型受到建物本身幾何形狀影響，對比於照片影像，無法完整呈現建物模型。

3.點位 C 成果：為臺 14 線 71K 處之便利商站，其三維模型受到建物本身幾何形狀影響，對比於照片影像，無法完整呈現建物模型。

4.點位 D 成果：為南山橋上游約 350 公尺版橋，其三維模型未受到植被遮蔽影響，對比於照片影像，能呈現版橋受損特徵。

5.點位 E 成果：為南山橋上游約 370 公尺系列固床工，其三維模型受到植被及現場地形遮蔽影響，對比於照片影像，無法完整呈現。

6.點位 F 成果：為南山橋上游約 450 公尺溪流瓶頸段，其三維模型受到植被遮蔽影響，對比於照片影像，無法完整呈現模型。

7.點位 E 成果：為南山橋上游約 450 公尺防砂壩，其三維模型受到植被及現場地形遮蔽影響，對比於照片影像，無法完整呈現。

| 點位 | A | B | C |
|---|---|---|---|
| 說明 | 臺14 線71K南山橋上游方向 | 臺14 線71K 聖本篤加油站 | 臺14 線71K便利商店 |
| 照片影像 |  |  |  |
| 360環景 |  |  |  |

| 點位 | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|
| 說明 | 臺14 線南山橋上游<br>350m版橋 | 臺14 線71K南山橋上游<br>370m系列固床工 | 臺14 線71K南山橋上游<br>450m溪流瓶頸段 | 臺14 線71K南山橋上游<br>450m防砂壩 |
| 照片影像 |  |  |  |  |
| 360環景 |  |  |  |  |

**圖 2-11　手機環景拍攝各調查點成果圖**

| 點位 | A | B | C |
|---|---|---|---|
| 說明 | 臺14 線71K南山橋上游方向 | 臺14 線71K 聖本篤加油站 | 臺14 線71K便利商店 |
| UAV 三維立體模型 |  |  |  |
| 照片影像 |  |  |  |

| 點位 | D | E | F | G |
|---|---|---|---|---|
| 說明 | 臺14 線南山橋上游 350m版橋 | 臺14 線71K南山橋上游 370m系列固床工 | 臺14 線71K南山橋上游 450m溪流瓶頸段 | 臺14 線71K南山橋上游 450m防砂壩 |
| UAV 三維立體模型 |  |  |  |  |
| 照片影像 |  |  |  |  |

**圖 2-12 UAV 無人機拍攝各調查點建模成果圖**

(三) 土石流災害三維立體模型建置與快速尺寸測量

由 360 度環景模式之照片資訊，確認災害場址與周邊狀況後，針對土石流災害的重點區域，利用 LIDAR 掃描測繪法與照片攝影測量法進行建置災害特徵點之三維立體模型，藉由不同距離拍攝災害標的物影像其均可快速建置三維立體模型。此外，當災害現場與周遭環境確認完成，如欲進行測量環境的幾何尺寸參考時，可使用手機所具備 LIDAR 感測器進行快速尺寸量測，僅需在 LIDAR 感測範圍內，即可執行三維測量，相關成果(圖 2-13)說明如下：

1. 以災害重點區域點位 B 為例，由單點方向照片資訊，僅能提供單一方位角災害資訊，但經由三維立體模型則可將周遭環境與災害區域進行組合，提供較全面現場狀況；

2. 點位 E 依 360 度環景影像得知上下游系列固床工狀況後，再由建置後三維立體模型，可更清楚固床工損壞掏空情形；

3. 點位 A 與 G 位置相對他處因距離較遠較難使用 LIDAR 掃描測繪法進行建置(距離限制 5 公尺)，因此以照片攝影測量法完整建置溪流與防砂壩整體三維狀況，比起照片可更清楚知道溪流土砂淤積與防砂壩沖淤相關情況。

4. 點位 E 的位置陡峭，傳統量測方式必須背負沉重儀器進行量測 (資料精準度高但作業時間久)，或是使用特徵物進行比例尺換算(資料精準度低但作業時間短)，以手機之 LIDAR 感測器量測 (資料精準度高且作業時間短)，可快速量取該點土石流流動高度、河寬、及土石流沖擊損壞後之構造物缺口實際寬度。

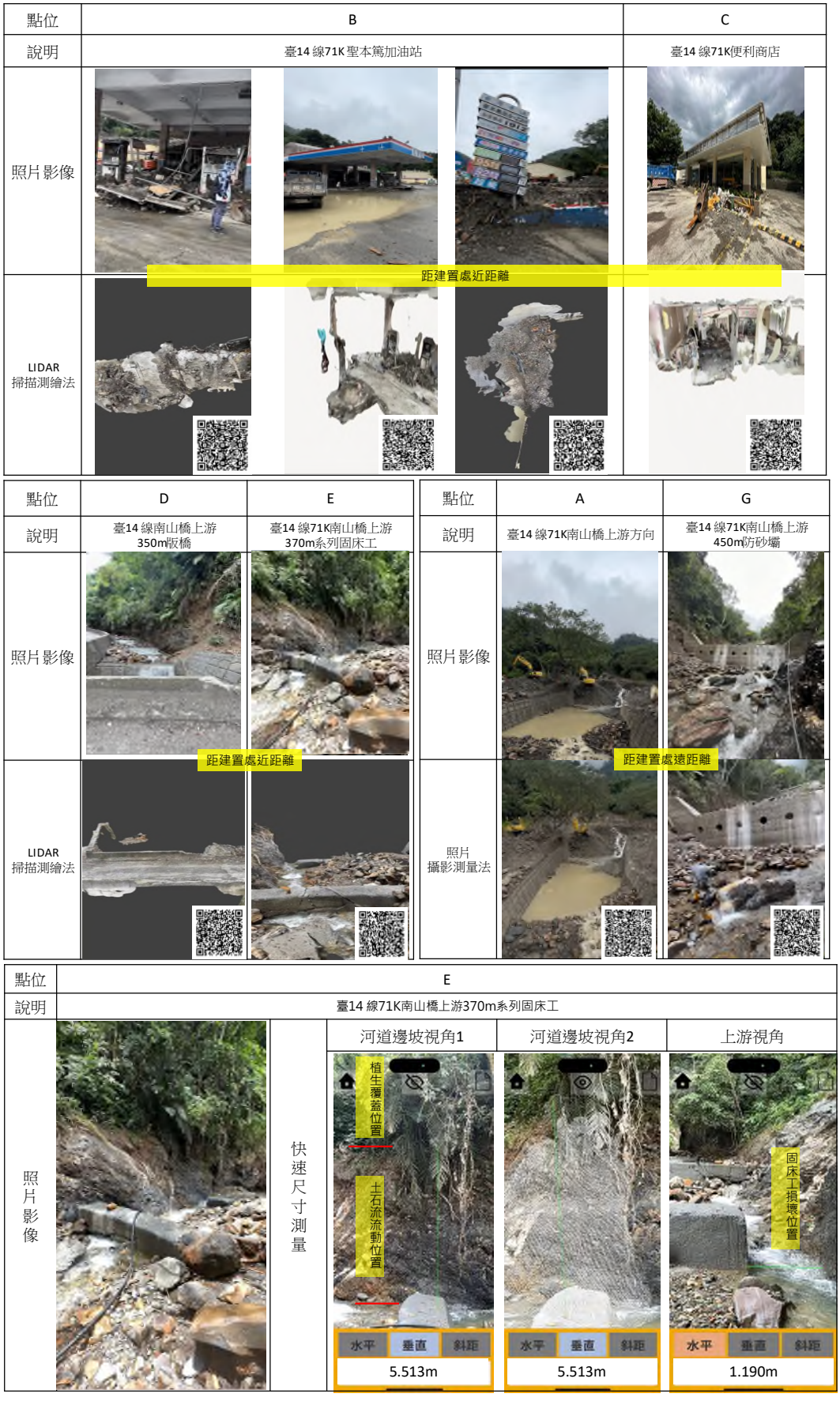



**圖 2-13 三維立體模型建置與快速尺寸測量成果圖**

(四) 三維量化分析與視覺化模式展示

過往災害現場照片所提供資訊如無比例尺，則無法提供量化數據，僅由現場標的物測量並由內業計算得知，但如關鍵位置未測量記錄或比例失準，則災害現場尺寸難以重現。透過手機建置三維立體模型，其具備更多元使用性，可重複對模型進行量化分析，且模型精度與真實值誤差僅約 0.3 至 1%間 (李哲宇等，2022 年中華水土保持學會研討會)，後續亦可匯出三維模型點雲資料，進行加值應用與分析。

以點位 B 加油站受到土石流沖擊掩埋後為例，為快速了解其土砂淤埋高度，經由手機建置的三維立體模型進行量化分析，藉由柱子結構物上土石流淤埋痕跡進行點選丈量，可以快速分析其最大淤埋高度為 3.2m，與新聞記錄淤埋情形資料相符；另外加油站周邊設施的土方淤埋深度、土石流淤積痕跡，均可後續測量，提供相關情資與分析依據。再者，掩埋加油站辦公室之土堆，傳統測量其淤埋高度與土方量體，需由長寬高幾何尺寸丈量與體積公式計算才可得知相關資訊。現以手機本身內建功能，可快速了解土方三維尺寸，並且得到土方體積，提供相關單位救災與清理時參據，大幅提升工作效率，如圖 2-14 與圖 2-15 所示。

點位 D 的版橋受到土石流撞擊後產生明顯的破損，利用手機建置的三維立體模型，可快速掌握結構物的受損狀況，現場殘留之土石顆粒，亦可即時量測土石粒徑尺寸大小，提供後續工程構造物新建或修復的參考依據 (圖 2-16 上)。

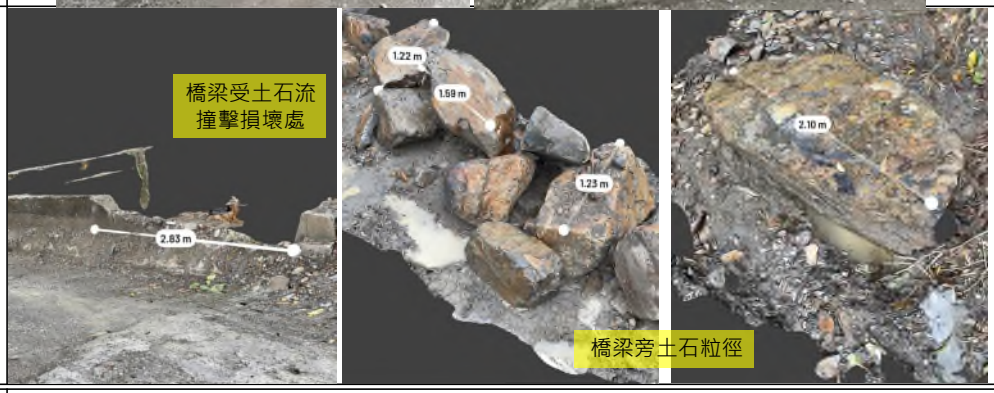
點位 E 系列固床工，因土石流撞擊形成破裂與掏空，利用手機建置的三維立體模型，可即時量化整體溪床橫斷面尺寸，並掌握裂損長度與掏空高度，提供災後修復與分析的參據 (圖 2-16 下)。




**圖 2-14 三維立體模型視覺化成果圖**




**圖 2-15 三維立體模型尺寸與體積計算示意圖**

| 點位 | D |
|---|---|
| 說明 | 臺14 線南山橋上游350m版橋 |
| 照片影像 |  |
| 三維模型量化 |  |

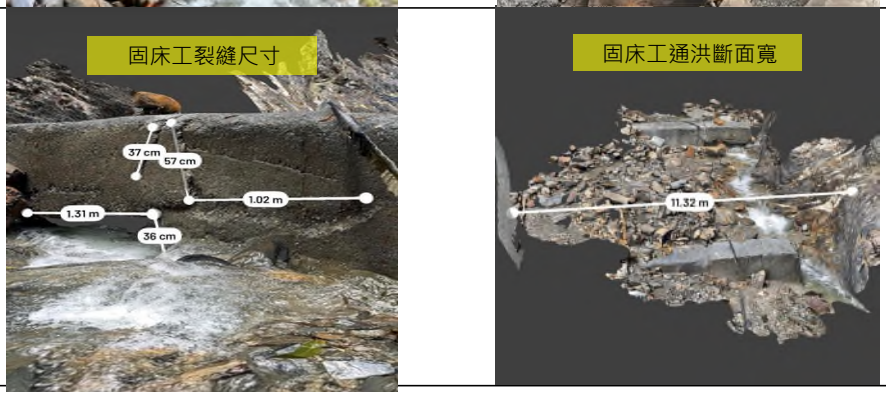
| 點位 | E |
|---|---|
| 說明 | 臺14 線71K南山橋上游<br>370m系列固床工 |
| 照片影像 |  |
| 三維模型量化 |  |

**圖 2-16　構造物模型尺寸測量示意圖**

(五) 各類型現場調查工具比較

本計畫比較目前現地調查常用測量工具,傳統調查工具可分為光學雷達掃描儀、手持式掃描儀、UAV 無人載具等三者，並將智慧型手機與前述調查設備、配合套件或工具、成本、特性等功能優缺點進行比較，如表 2-14 所示。

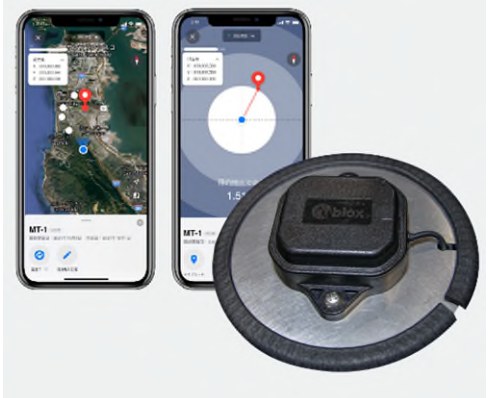
在成本比較上，以光學雷達式及手持式兩者最高，次之為 UAV 無人載具，再次之為智慧型手機。在儀器特性上，以光學雷達掃描儀而言，其可提供較大掃描範圍且資料精度最佳，但由於成本昂貴難以入手進行研究；手持式掃描儀則是輕量化調查儀器，但由於屬新興技術設備，其成本昂貴難以入手；UAV 無人載具則是價格中等，但由於需要熟捻的操作技術並須具專業證照資格,若無操作能力難以上手進行研究；智慧型手機，是現調工具中最輕量化者、成本亦最低者，無需具備測量知識及影像後處理技術，人人皆可輕鬆上手使用。

綜合上述評估，以智慧型手機進行現場調查在成本、技術門檻、及資料後處理上皆最為容易入門，對研究者而言，是輔助現地調查一大利器。再者，由於手機的便利性及功能日益強大，目前在工程應用上使用手機進行 3D 掃描除使用手機內建之 LiDAR 功能外，亦已有廠商開發結合外部測量設備（如 RTK-GNSS 接收器或導航樁）與應用程式(如表 2-15)，大幅提升手機 3D 掃描測量的精度及效能，相信在未來的應用會越來越廣泛，提升整體工程的品質與操作的便利性。

**表 2-14　現場調查工具功能比較表**

| 種類 | 光學雷達掃描儀 | 手持式掃描儀 | UAV 無人載具 | 智慧型手機 |
|---|---|---|---|---|
| 輔助儀器 | 光學雷達掃描儀、三腳架、數據處理軟體、電腦 | 手持式掃描儀、背負式背包、數據處理軟體、電腦 | 無人機、遙控器、數據處理軟體、電腦 | 具有光學雷達與攝影功能的手機(如 iPhone Pro 系列) |
| 成本 | 成本約 100 萬以上 | 成本約 100 萬以上 | 成本約 6-10 萬以上 | 最低成本約 3-4 萬 |
| 特性 | 1.成本昂貴<br>2.需具備測量基本知識<br>3.需具儀器與資料後處理教育訓練，研究者不易上手<br>4.精度±1mm | 1.成本昂貴<br>2.無法遠距掃描<br>3.需具儀器與資料後處理教育訓練，研究者不易上手<br>4.精度±30mm | 1.成本中等<br>2.地面細節無法清晰拍攝<br>3.需具無人機操作證及影像後處理教育訓練，研究者不易上手<br>4.精度垂直±10mm；水平±30mm | 1.成本低<br>2.近距離與遠距離物體均可建立三維立體模型<br>3.手機 3D 掃描可輕易上手<br>4.精度±30mm |
| 圖片 |  |  |  |  |

**表 2-15　提升手機 3D 掃描外備設備表**

| 種類 | LiDAR 掃描 | 手機攝影掃描與 LiDAR 掃描 |
|---|---|---|
| APP | OPTiM Geo Scan | Pix4Dcatch |
| 外部測量設備 | OPTiM Geo Point | viDoc |
| 方法 | 使用 OPTiM Geo Scan 進行掃描，並定點放置與拍攝導航樁，提供控制點給掃描目標 | 使用 Pix4Dcatch 拍攝與重疊照片，並使用 LiDAR 填補攝影測量可能遺漏的空白，並配合 RTK-GNSS 接收器「viDoc」將高精度位置訊息附加到照片上 |
| 特點 | 1.精度誤差 30mm 以內<br>2.改變以往兩人以上測量，一人即可輕鬆完成<br>3.測量只需輕按一下即可完成 GNSS 測量，花費的時間較傳統測量工時減少 60%以上<br>4.通過將高度兼容 CSV 格式的輸出測量數據到工程常用的 CAD 軟體中，可以創建平面圖和橫截面圖 | 1.精度誤差 5mm 以內<br>2.連接超過 600 個頻道（包括 GPS、GLONASS、Galileo 等主要衛星系統），5 秒內實現 RTK 收斂<br>3.可共享於 Pix4D 系列多種分析軟體 (PIX4Dmapper 、PIX4Dcloud、PIX4Dsurvey) |
| |  |  |

## 四、 結論與建議

利用智慧型手機之多種方法與功能嘗試進行現場調查，呈現360度環景、三維模型與視覺化等成果，可以得到以下結論:

1. 針對調查目標，利用360度環景可清楚了解目標周遭環境狀況、環境互相連接關係，相較過去利用僅能使用多張照片判釋，或需專用的360環景相機拍攝，大幅提升辨識能力與效率，提供現場情資研判。
2. 利用360度環景確認災害現場周邊狀況後，針對調查目標，可使用LIDAR掃描測繪法與照片攝影測量法進行現場的災害三維立體模型建置，可從遠距離到近距離之標的物均可快速三維化，建置重點區域的數值三維模型，相較過去須依靠如無人機或地面掃描儀大面積拍攝或掃描後進行內業得到三維立體模型，攜帶方便性與作業時效性上大幅提升效率。
3. 利用智慧型手機將三維立體模型建置完成後，其模型具有多種量化分析使用性，如標的物幾何尺寸、面積、體積等，針對不同情境下的需求進行多元的測量，相較過去須依靠傳統測量工具作業方式，需攜帶繁重的儀器、無法進行災區特徵物體之重複測量與現場立即解算，手機掃描應用所展現成果便利性與工作時效性均大幅提升。

本次利用智慧型手機之多種方法與功能嘗試進行現場調查，提出以下建議：

1. 未來可嘗試利用智慧型手機產製之點雲與其他點雲生成工具，如無人機光達、地面掃描儀之點雲結合產製整體模型，其在大

範圍拍攝工具呈現整體環境狀況，小範圍拍攝工具呈現目標物細節狀況，提升整體調查目標成果完整性。

2. 目前智慧型手機雖可進行三維模型尺寸量化之建置距離為 5 公尺，但目前亦發展出最大達 50 公尺的輔助工具，未來可持續嘗試利用，提升拍攝目標物的範圍與能力。

3. 目前智慧型手機利用免費應用程式所拍攝之標的物，僅能展示模型建置成果與量化分析，尚無附加真實的三維座標，未來可嘗試利用電腦之點雲軟體進行附加真實座標資訊，或嘗試利用市面可附加真實三維座標的輔助定位器，進行拍攝得到帶有真實三維座標的點雲，提升未來模型應用於地理位置 (Georeferenced) 加值的可行性。

# 第三章 集水區土砂災害致災模擬模式分析

依據農村水保署所定義**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」，其為集水區土砂災害之料源，並考量現行防災重點僅聚焦於保全住戶，致使集水區出口如有重要公共設施，其如遭遇地震/降雨事件致集水區坡面不安定土砂大量流出，則將危及重要維生通道及公共設施 (圖 3-1)，如 110 年盧碧颱風降雨影響，誘發上游斯拉巴庫山殘坡之不安定土砂下移，導致高雄市桃源區明霸克露橋遭土石流沖毀事件。

面對不定安土砂災害之新興型態研究課題，其面臨多項挑戰，包含掌握不安定土砂區、確定量體及安定性、模擬土砂運移方式、災害警戒何時發布、民眾如何知道資訊、強化災害應變效能等課題。本研究持續精進前(111)年度提出不安定土砂風險區快速評估方法，前一年度之評估項目包含：地文脆弱度、崩塌位置與維生通道(橋梁/道路)之潛勢動能、離橋梁之流路距離等因子，據以評估橋梁受不安定土砂影響之風險程度。

但在快速評估方法中部份因子或分析尺度可再加以精進，分別為其一橋梁因子利用跨距尺度進行篩選分析不安定土砂集水區，並未能充分考量集水區尺度差異及出流土砂對於集水區出口下游維生通道之沖擊影響；其二地文脆弱度指標僅用 2005 年至 2016 年崩塌圖資進行分析，於地貌變遷統計 (新生崩塌面積、崩塌次數) 之時間尺度可再擴大分析；其三為上游坡面不安定土砂流出之影響範圍，需考量到水、砂於時空間分布關係，其土砂致災現象數值模擬分析需至少以二維數值模式進行分析，以細緻化解析各網格尺度之水理量與土砂量，俾利評估集水區沿岸及下游聚落或是重要公共設施受影響範圍。

緣於上述，針對快速評估方法中各項可再精進項目，本研究在不安定土砂出流點劃設方面，係以考量河川主支流關係、河川級序及集水區面積尺度等因子，用以重新劃設不安定土砂出流點；在地文脆弱度方面則是以 2006 ~ 2022 年之事件型崩塌目錄，以擴大統計分析地貌變遷時間軸距；在土砂致災現象數值模擬分析，則是以二維數值模式進行不安定土砂之運動型態模擬 (詳本章第二節)，強化土砂運移方式及影響範圍評估。



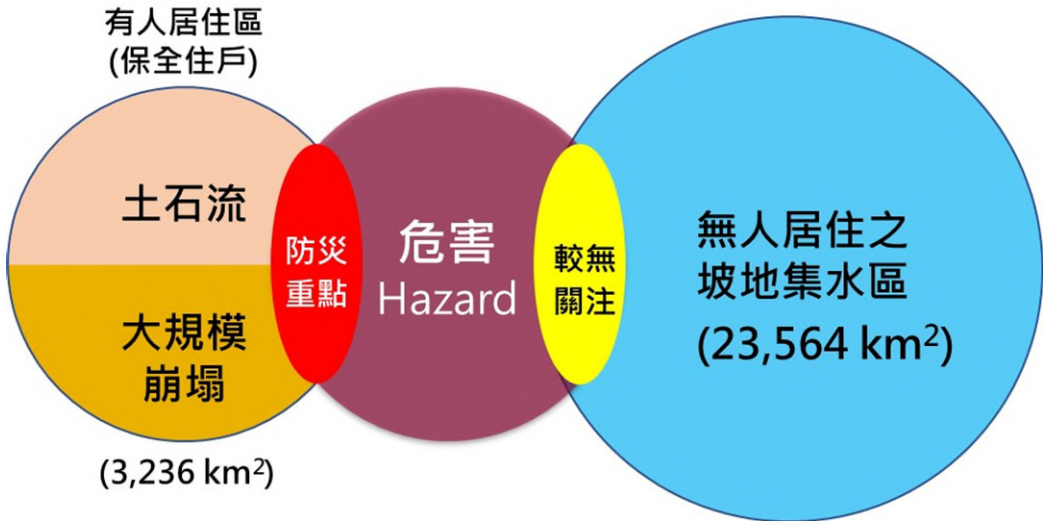




**圖 3-1　不安定土砂潛勢區及防災重點示意圖**

# 第一節　不安定土砂集水區風險潛勢分級可行性研究

## 一、 前言

臺灣因為地形條件、地理環境及氣候影響，使得複合型土砂災害頻仍，根據世界銀行的研究指出，臺灣於受 3 個以上的複合型自然災害之風險暴露百分比於人口及土地面積皆為 73%，而災害致死率 95%，皆名列於世界排名第一，顯示臺灣位於地震、洪澇及土砂災害等複合災害之好發熱點區域 (Dilley et al., 2005)。

因此，許多研究開始著手於繪製土砂災害風險潛勢圖，如美國聯邦緊急事務管理局 (Federal Emergency Management Agency, FEMA) 制定了國家風險指數，該指數利用全國自然災害數據集、暴露風險、頻率和歷史損失率，得出 18 種災害類型的預期年度損失估計值，並將該指標結合社會脆弱性和社區復原力，生成風險指數，提供美國各州對於風險的統一衡量標準 (Zuzak et al., 2022)。在臺灣方面，戴義欽、詹錢登 (2016) 的研究報告則透過歷史影像收集、數值高程模型 (DEM)，並結合流域水文環境變異分析成果，針對研究區域之致災特性、時間及空間分布，探討土砂災害潛勢及災害耐受力。

然針對臺灣於土砂災害的防範與治理，及強化災害防救功能的政策與相關應變規劃正持續推動，根據災害防救法 (2000)，臺灣已對天然災害防救的規範進行詳細的任務分工；其中，於災害預防的相關條文中，也明列要求須針對災害潛勢、危險度與風險評估之調查分析，並須適時公布調查結果。故農村水保署為土石流及大規模崩塌主管機關，每年評估土石流潛勢溪流、大規模崩塌潛勢區、影響範圍、警戒基準等資料並更新發布，以精進土砂災害之預警作為 (陳振宇，2013；詹錢登及王志賢，2017；尹孝元等，2019)。

縱使農村水保署逐年精進完善土石流及大規模崩塌之警戒發布機制，然 2021 年 8 月盧碧颱風事件，導致高雄市桃源區玉穗溪上游殘坡崩塌並形成土石流沖毀出流口的明霸克露橋，使不安定土砂災害首次被關注。經調查該殘坡之不安定土砂於 2009 年莫拉克颱風後即形成，並殘留於坡面上 10 餘年，可見其隱藏之危險性甚大。一般來說，不安定土砂係指集水區內坡面或河道上，屬暫態或不穩定平衡狀態下之殘坡或河道堆積之土砂，易在長延時降雨或地震等條件誘發下，開始崩塌或滑動使中下游進而發生嚴重土砂災害 (圖 3-2)。

綜上所述，本研究為能先掌握不安定土砂區位，據以規劃不安定土砂可能引發災害之潛勢，以集水區為單位，利用事件型崩塌目錄作為地文統計資料，建立全臺範圍的地文脆弱度指標，再以集水區之網格點地理資訊與空間圖資，分項進行圖資套疊與分析，建立各集水區可能受到不安定土砂災害的潛勢分級方法，並篩選出較高風險的集水區及鄰近或位於集水區內之橋梁，俾以提供相關防災單位作為優先關注區及防災應變參據。

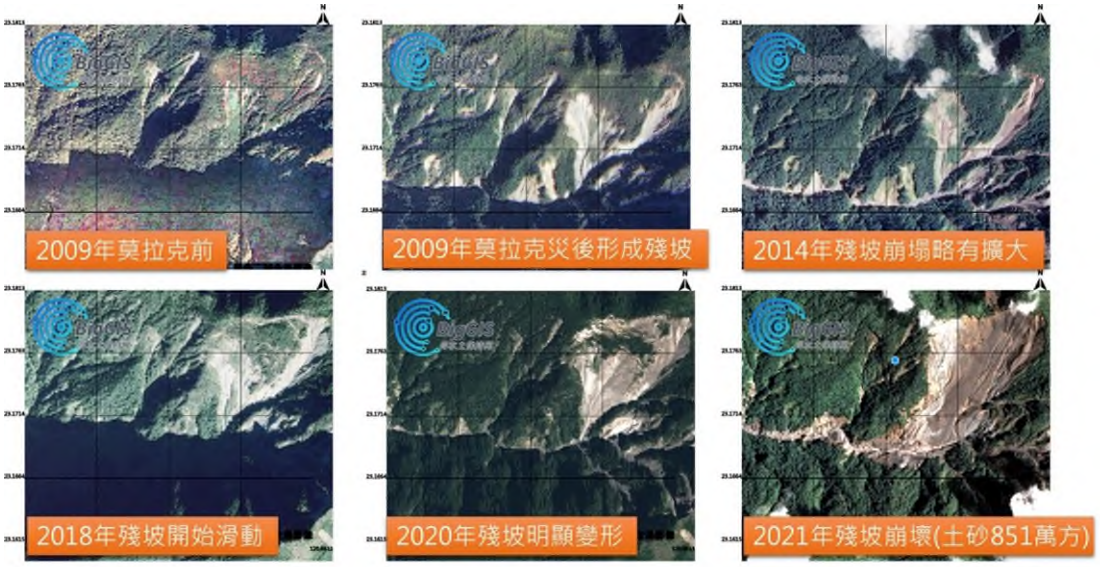



**圖 3-2　玉穗溪上游林班地崩塌殘坡變化圖**

## 二、 材料與方法

### (一) 研究分析範圍及資料蒐集

本研究為將資料能涵蓋台灣本島範圍的空間解析度，採用 QPESUMS 網格式雷達降雨估計資料 (Quantitative precipitation estimation, QPE) 的網格位置及範圍，做為後續計算之網格單元，共計 21,000 個網格。該 QPE 網格為中央氣象局 2005 年 7 月為加強對於災害性天氣的監測與極短期預報能力，所建立之空間解析度 1.3 km x 1.3 km 的網格式雷達資料 (中央氣象局，2015；唐玉霜等人、2016)。

研究材料之蒐集與整理包含：水土保持局 110 年度山坡地範圍圖(水保法、含林班地)、利用 2006-2022 年事件型崩塌目錄 (建立地文脆弱度指標)、交通部全臺省道及台鐵橋梁資料、水利署中央及縣市管河川圖、內政部 2015 年版 20 m 數值高程模型 (DEM) 以及 DEM 流路圖 (集流面積 400 公頃以上)等資料，作為地理資訊與空間分布套疊分析使用，本研究研究流程如圖 3-3、研究材料如表 3-1 所示。

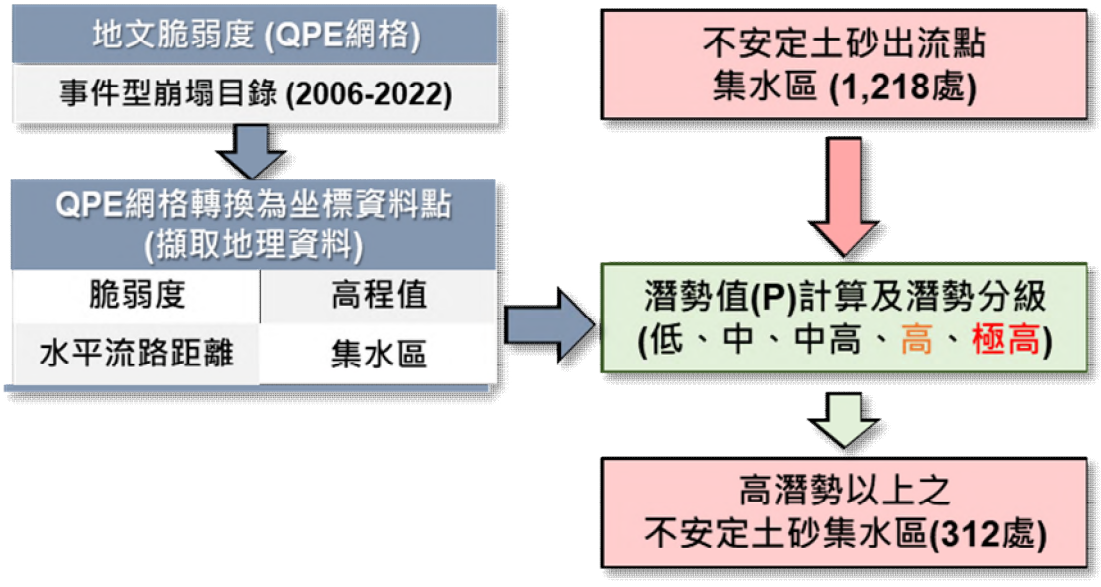



**圖 3-3　不安定土砂集水區風險潛勢分級研究流程圖**

**表 3-1 研究材料項目表**

| 項目 | 使用材料 |
|---|---|
| 分析範圍 | 110 年度山坡地範圍圖 (水保法、含林班地) |
| 數值地形 | 內政部 2015 版 20m DEM |
| 橋梁資料 | 全臺省道及台鐵橋梁 (公路總局及台鐵局) |
| DEM 流路圖<br>(排除集水區小於 400 公頃水系) | 利用數值地形 (DEM) 生成 (ArcGIS/Hydrology/Flow Accumulation) |
| 地文脆弱度<br>(QPE 網格 1.3 km × 1.3 km) | 歷年事件型崩塌目錄 (2006-2022 年) |
| 不安定土砂流出點 | 以 DEM 流路圖與中央或縣市管河川主流處，標定不安定土砂出流點及其集水區 (1,218 處) |

(二) 地文脆弱度指標

由於地質、地形、地表植生及人為開發利用 (如開闢道路等) 均會直接、間接或交互影響該地區在降雨期間是否產生崩塌或沖蝕等現象，此部份較不易直接由前揭各項因子單獨進行評估。Corominas et al. (2014) 提出了在不同空間尺度下對崩塌危害、脆弱性和風險定量分析以及驗證結果的建議方法。利用歷史山崩目錄來評估可能發生崩塌之概率以及發生類型，提供評估崩塌規模、強度、風險程度、潛在損害程度的評估和脆弱性的量化方法。

本研究參考陳振宇等人 (2018) 地文脆弱度 (Physiographic fragility, Fp) 計算方法，將其研究中時間跨度較短的林業署崩塌圖層 (2004~2017 年)，調整為由水保署產製之跨度較長，目前仍持續更新的事件型崩塌圖層 (2006~2022 年)，作為歷年是否發生新生崩塌之評

估基準。為利於後續災例分析或相關應用，事件型崩塌目錄圖層建立時，係以多期衛星影像逐步確認造成新生崩塌之颱風或豪雨事件，以能更精確掌握各年度中的每個新生崩塌之成因。

接著，利用 QPE 網格尺度為基準，分割各年度的事件型崩塌圖層，據以加總計算該 QPE 網格內各年度崩塌面積。以此建立各年度間 (2006～2022) 各別 QPE 網格範圍內之新生崩塌面積。此外，由於水保署年度事件型崩塌圖層之最小判釋面積為 0.1 ha，係以當各該年度 QPE 網格所得之新生崩塌地面積如小於 0.1 ha 者，均視為無新生崩塌 (低脆弱度)。

本研究採用各 QPE 網格內每年是否產生新生崩塌 (即反映崩塌發生頻率) 以及累計新生崩塌面積二項指標，以此建立地文脆弱度。首先排除 2006 至 2022 各年間無新生崩塌之網格 (低脆弱度)，藉由平均值（$\mu$）及正負一倍標準差（$\sigma$）進行發生崩塌網格分類 (表 3-2)，並將該網格範圍內之地文脆弱度，劃分為四個等級 (中、中高、高、極高脆弱度) (圖 3-4)。同時，依脆弱度等級將將全臺 21,000 個 QPE 網格進行分級數化，地文脆弱度分布圖如圖 3-5 所示。本研究為固定分析網格尺度基準，以統一計算地文脆弱度指標所代表之位置及點位，考量空間分布後，統一以 QPE 網格的中心點坐標，作為該地文脆弱度所代表之分布位置 (圖 3-6)。

**表 3-2 崩塌事件參數統計表**

| ln (累積新生崩塌面積) | | 崩塌次數 | |
|---|---|---|---|
| 平均值 $\mu$ | 10.30 | 平均值 $\mu$ | 2.18 |
| 標準差 $\sigma$ | 1.56 | 標準差 $\sigma$ | 1.29 |
| $\mu+\sigma$ | 11.86 | $\mu+\sigma$ | 3.47 |
| $\mu-\sigma$ | 8.74 | $\mu-\sigma$ | 0.89 (調整為 1*) |
| *調整合理分級的參數值 (不計未曾發生崩塌之網格) | | | |

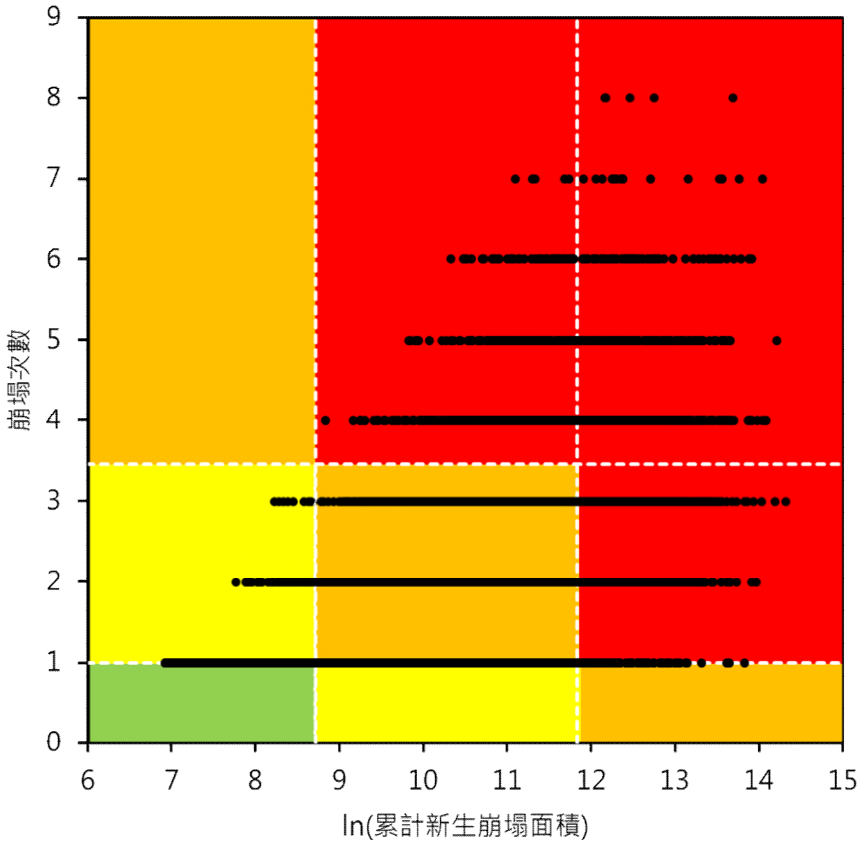



**圖 3-4　地文脆弱度分級矩陣圖**

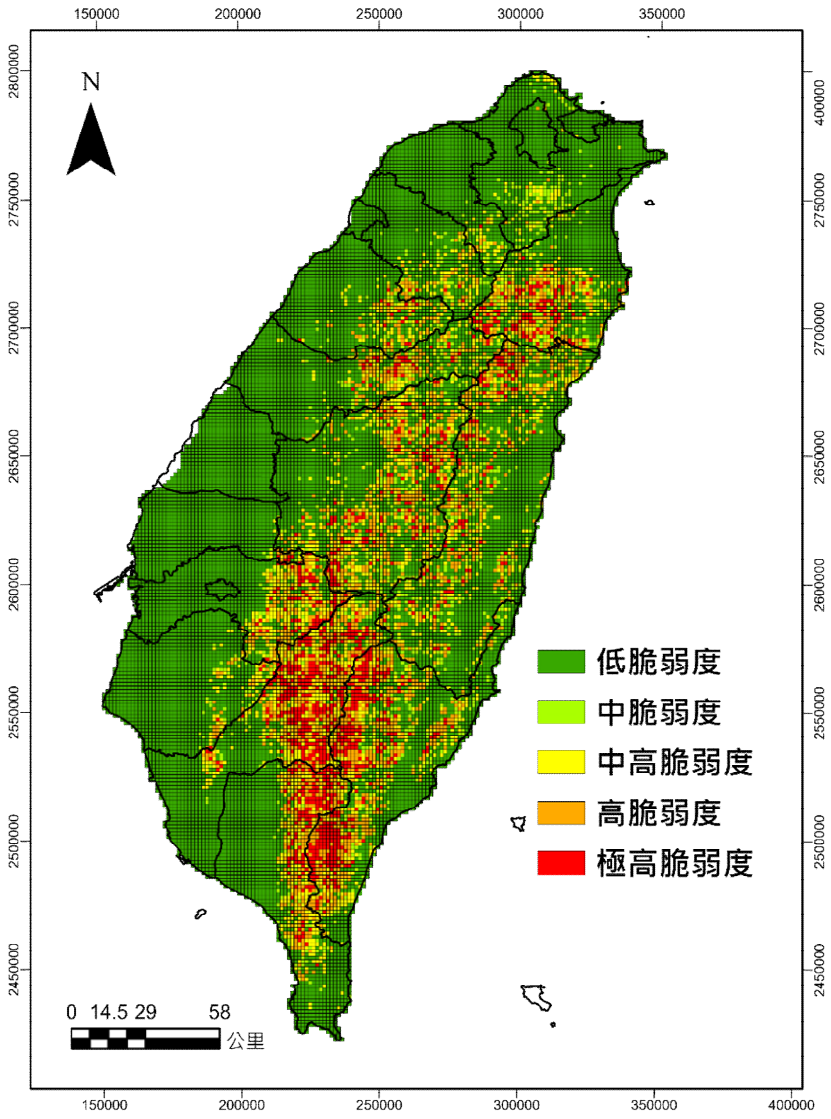



**圖 3-5　地文脆弱度分布圖**

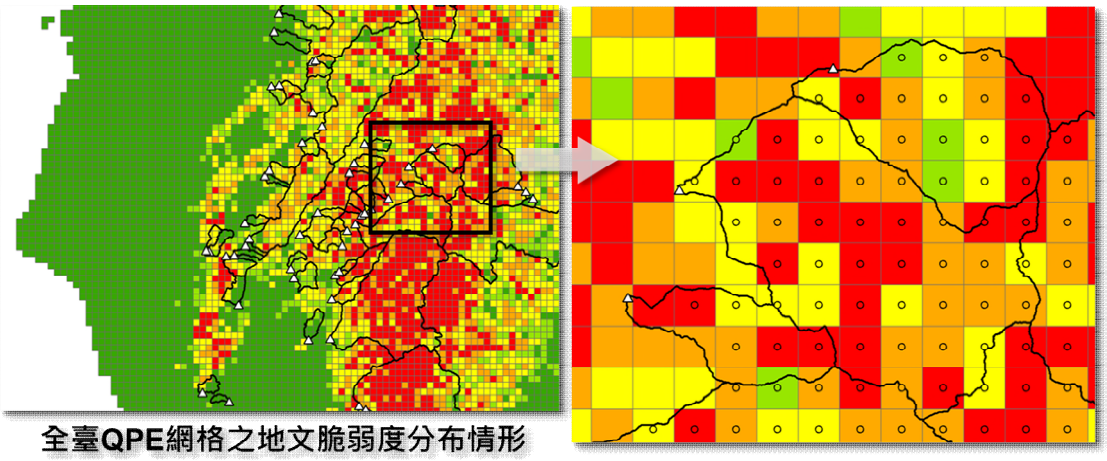



**圖 3-6　地文脆弱度網格轉換為坐標點資料示意圖**

(三) 不安定土砂出流點及集水區劃設

本研究為排除集水區過小之野溪及蝕溝，採用內政部 2015 版 20 公尺 DEM，利用 ArcGIS/Hydrology/Flow Accumulation 繪製本研究使用之累積集水面積大於 400 公頃的 DEM 流路圖。其次再利用 110 年度山坡地範圍圖 (水保法、含林班地)、ArcGIS Pro 街道圖 (Esri) 及水利署之中央及縣市管河川資料，來劃設不安定土砂出流點及其對應之集水區。本研究之不安定土砂出流點劃設原則為：(1) 挑選連接中央及縣市管河川之支流、(2) 優先選擇道路旁支流 (若無道路則選擇一級河序)、(3) 以山坡地範圍調整劃設位置 (以山坡地邊界為主)。

(四) 不安定土砂潛勢值 (P) 計算

由前項不安定土砂出流點及集水區劃設後，分別計算各個集水區不安定土砂潛勢值 (P)，首先以地理資訊系統建構各別不安定土砂集水區，利用 ArcGIS 套疊前述 QPE 網格中心坐標化的位置後 (圖 3-7)，並擷取對應該位置集水區之 4 項地理資料：(1) 該 QPE 網格點之地文脆弱度 (Fp)、(2) 該 QPE 網格點與出流點間之水平流路距離 (L)(圖 3-8 藍虛線)、(3) 該 QPE 網格點與出流點間之高程差 (ΔH) (圖 3-8 左箭頭)、(4) 該 QPE 網格點所在之不安定土砂集水區 (i)。

擷取各 QPE 網格點地理資料後，為計算各 QPE 網格點之土砂產生對其集水區出流點可能產生的危害，故考量網格點與出流點間高程差 (ΔH)及水平流路距離 (L) 作為土砂運移之動能。利用ΔH 及 L 兩因子計算集水區內各別 QPE 網格點對於其集水區出流點之危害程度 ($H_d$) (式 (1))，並將各 QPE 網格點數值化後分為數值 1~5 的地文脆弱度 ($F_p$)，作為該網格的土砂生產潛能。

接著，將兩者數值相乘為該網格點對其出流點的不安定土砂潛勢值，分別加總各不安定土砂集水區內的所有網格不安定土砂潛勢值，為該集水區之不安定土砂潛勢值 (P)(式 3-2，圖 3-9)。以此涵蓋集水區尺度差異，其集水面積越大將具有較大的不安定土砂潛勢，故其 P 值即越大。

$$\text{危害程度 } \boldsymbol{H_d} = {}^{\Delta \boldsymbol{H}}/_{\boldsymbol{L}} \qquad \text{式 (3-1)}$$

$$\text{不安定土砂潛勢值 } \boldsymbol{P_i} = \left(\sum_1^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{F_p} \times \boldsymbol{H_d}\right)_{\boldsymbol{i}} \qquad \text{式 (3-2)}$$

上式中，ΔH 為 QPE 網格點至出流點之高程差 (m)、L 為 QPE 網格點至出流點之水平流路距離 (m)、n 為不安定土砂集水區內的 QPE 網格點數、i 為不安定土砂集水區編號。

計算各不安定土砂集水區潛勢值(P)後，先由累積百分比統計方式進行潛勢等級分群，建立四個門檻值，將所有不安定土砂集水區分為五個潛勢分級。首先，將集水區之 P 以每 0.5 間距分群，並將 P 前 1%的集水區分群訂定為極高潛勢集水區，再依最接近但不超過累積百分比 25%、50%及 75%之 P 值來訂定另外三個門檻值，將各分群不安定土砂集水區依序分為低潛勢、中潛勢、中高潛勢及高潛勢四級，最後篩選其中高、極高潛勢集水區作為後續優先關注區域。

(五) 衛星影像驗證不安定土砂潛勢值 (P)

在驗證不安定土砂潛勢 P 值分級是否具有效的分級能力，首先利用農村水保署建置之巨量空間資訊系統 (BigGIS)，以線上單期數化模組計算 Sentinel-2 多光譜資訊，分析該影像中的裸露地面積，並透過 Liu et al. (2018, 2019b) 所提出之決策樹分類法，依序使用正規

化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)、陰影指標 (Shadow Index, SI) 及綠度指標 (Greenness ,Gn)，將衛星影像分類判釋出森林區、陰影區、低植生區和裸露地等 4 種類型。其次驗證區域以南投縣信義鄉神木村附近六處集水區進行檢算不安定土砂潛勢值，透過其對集水區面積的計算，統計此六處不安定土砂集水區之崩塌率 (式 (3-3))，以個別比對計算之不安定土砂潛勢值 (P)。

$$\text{崩塌率}(\%) = \frac{\text{單期數化裸露面積 (ha)}}{\text{不安定土砂集水區面積 (ha)}} \quad \text{式 (3-3)}$$

(六) 鄰近 (位於) 高潛勢以上不安定土砂集水區之橋梁

對於可能受不安定土砂影響之橋梁，篩選高潛勢及極高潛勢可能發生不安定土砂災害集水區為例，透過 110 年度山坡地範圍圖與全臺省道及台鐵橋梁圖層套疊出位於山坡地範圍內 1,178 處的道路與橋梁，再以位於集水區範圍內和距離該集水區下游流路 1 km 以內之條件篩選出橋梁資訊，並輔以 Google 街景圖人工檢視，排除套疊圖層時被誤判位於主河道，實則位於支流且較不具風險之橋梁，並定義為鄰近 (位於) 高潛勢以上不安定土砂集水區之橋梁。

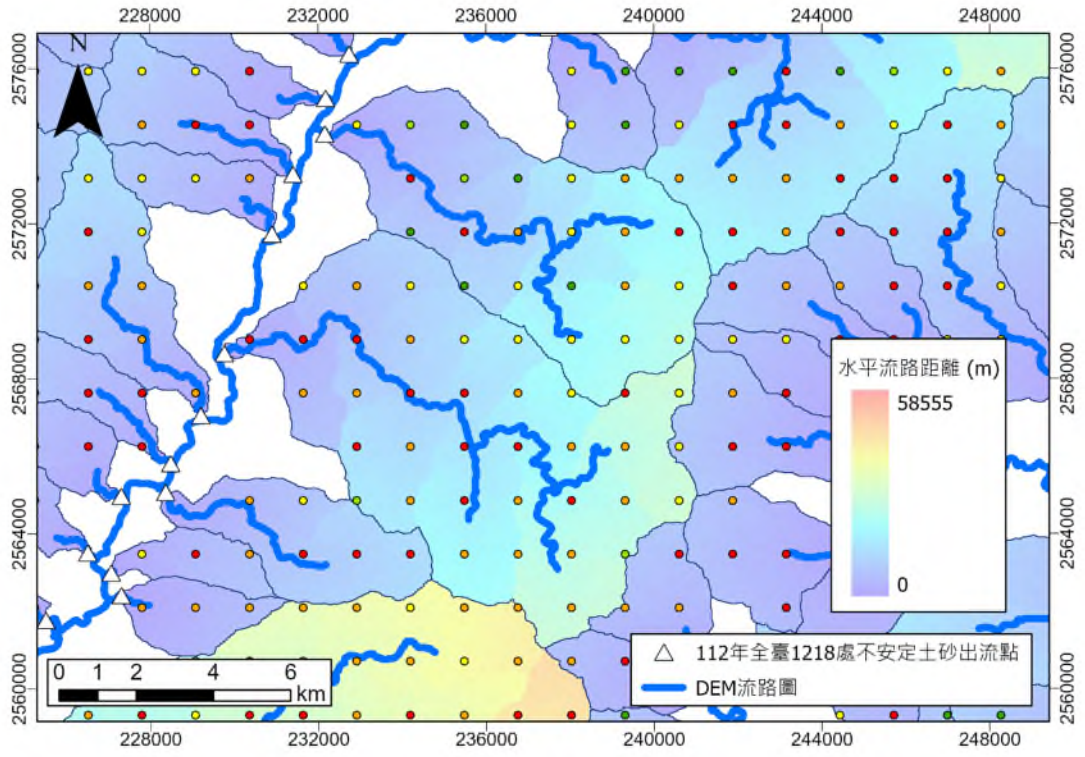



圖 3-7　地文脆弱度網格套疊地理資訊示意圖

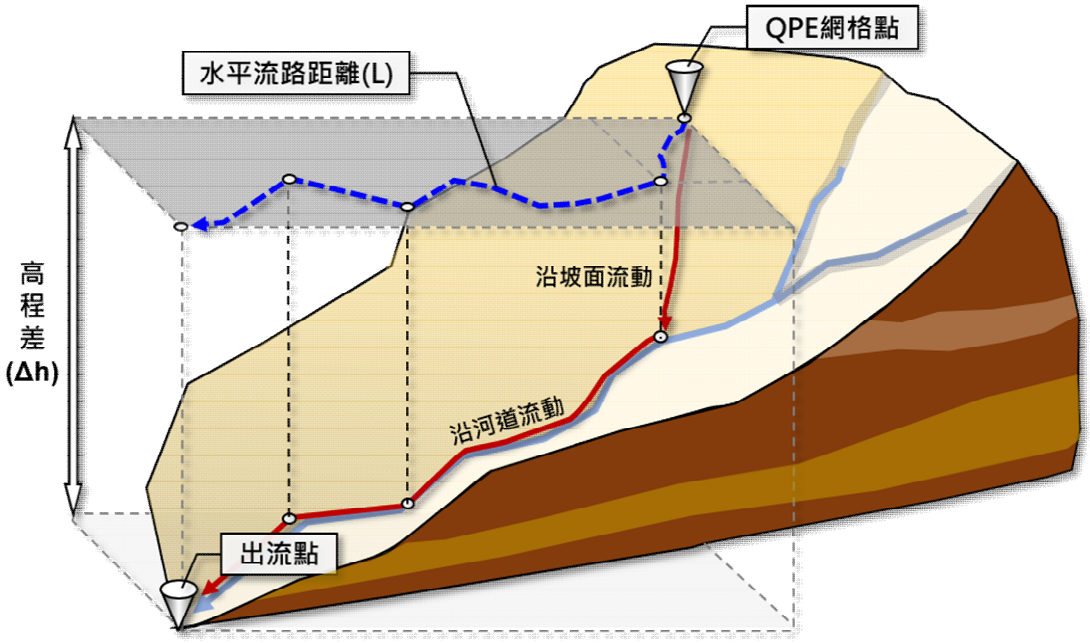



圖 3-8　各集水區水平流路距離與高程差示意圖

| 各網格點編號 | 出流點名稱 | 脆弱度($F_D$) | 水平流路距離 (m) | 各網格點高程 (m) | 出流點位置高程 (m) | 各網格點與出流點間高程差 (m) | 各網格點不安定土砂潛勢值 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1548 | 玉穗溪 | 5 | 8,540 | 2,310 | 599 | 1,711 | 1.002 |
| 1549 | 玉穗溪 | 5 | 7,289 | 1,865 | 599 | 1,266 | 0.868 |
| 1550 | 玉穗溪 | 4 | 5,530 | 1,496 | 599 | 897 | 0.649 |
| 1567 | 玉穗溪 | 3 | 4,686 | 1,725 | 599 | 1,126 | 0.721 |
| 1568 | 玉穗溪 | 5 | 3,151 | 975 | 599 | 376 | 0.597 |
| 1610 | 唯金溪 | 5 | 13,040 | 3,344 | 984 | 2,360 | 0.905 |
| 1611 | 唯金溪 | 3 | 11,073 | 2,697 | 984 | 1,713 | 0.464 |
| 1612 | 唯金溪 | 2 | 9,609 | 2,346 | 984 | 1,362 | 0.283 |
| 1627 | 唯金溪 | 5 | 11,486 | 2,868 | 984 | 1,884 | 0.820 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1654 | 唯金溪 | 2 | 3,190 | 2,195 | 984 | 1,211 | 0.759 |
| 1528 | 拉克斯溪 | 5 | 19,006 | 2,613 | 658 | 1,955 | 0.514 |
| 1544 | 拉克斯溪 | 3 | 18,060 | 3,103 | 658 | 2,445 | 0.406 |
| 1545 | 拉克斯溪 | 4 | 17,291 | 2,404 | 658 | 1,746 | 0.404 |
| 1546 | 拉克斯溪 | 4 | 13,675 | 2,479 | 658 | 1,821 | 0.533 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 1634 | 拉克斯溪 | 2 | 4,506 | 1,197 | 658 | 539 | 0.239 |

P=SUM(同一集水區)
=3.837

共17個
網格點

共35個
網格點

**圖 3-9　不安定土砂潛勢值 (P) 計算範例**

## 三、　結果與討論

### (一) 不安定土砂集水區劃設結果

本研究共劃設 1,218 處不安定土砂出流點及其集水區，屬中央管河川流域有 979 處，而縣市管河川流域有 239 處 (圖 3-10)。據不安定土砂集水區劃設結果，集水區範圍內共計框選 8,737 個 QPE 網格點，其中低脆弱度網格為 4,128 個，占整體 47%，顯示不安定土砂集水區內接近一半的 QPE 網格於 2006 至 2022 年間皆無新生崩塌發生。若以水平流路距離 (L) 與高程差 (ΔH) 相關性分布圖顯示 (圖 3-11)，兩者大致呈正相關分布。因不安定土砂集水區之出流點選點原則，大多數據集中於 L=0~15,000 m 間，ΔH 則在此區間內分布差異較大，且於 L=0~10,000 m 間有明顯的邊界，推測ΔH 與 L 間可能有地形上的限制，可能係台灣地貌的侵蝕特徵有關 (Tucker, G. E., 2009)。接著，本研究將 QPE 網格個別之危害程度 (Hd) 轉換為該網格點與出流點間高程夾角，並將數據以 2、6、15 及 30 度為分級，可看出 L 超過 20,000 m 後，雖數據量較少，仍可看出主要分布於 2~6 度間，且ΔH 則隨 L 增加而逐漸上升。

透過各坡度之地文脆弱度統計長條圖結果顯示 (圖 3-12a)，大部

分網格皆分布於 30 度以下，並以 6~15 度區間分布最多，而 30 度以上網格僅 26 個，可能較不具代表性，後續將不另外討論。若分別統計各坡度區間之地文脆弱度占比 (圖 3-12b)，也顯示坡度 2 度以下時，低脆弱度網格約占 77.7%，其比例與其他四級脆弱度有顯著差異；中、中高、高及極高脆弱度網格於坡度 30 度以下時，坡度上升，比例些幅上升。另由脆弱度分布統計圖顯示 (圖 3-12 c)，除低脆弱度網格外，其他四級脆弱度網格於坡度分布趨勢接近，且 6~15 度區間的網格皆占整體 50%以上。

綜合以上結果顯示，地文脆弱度指標 ($F_p$) 於ΔH 及 L 的關係中，無顯著的分布趨勢，顯示網格內的 $H_d$ 與集水區地形的兩因子應為兩組獨立因子，無明顯關聯，也證明了本研究利用 $H_d$ 及 $F_p$ 兩因子計算不安定土砂集水區之 P 的合理性。

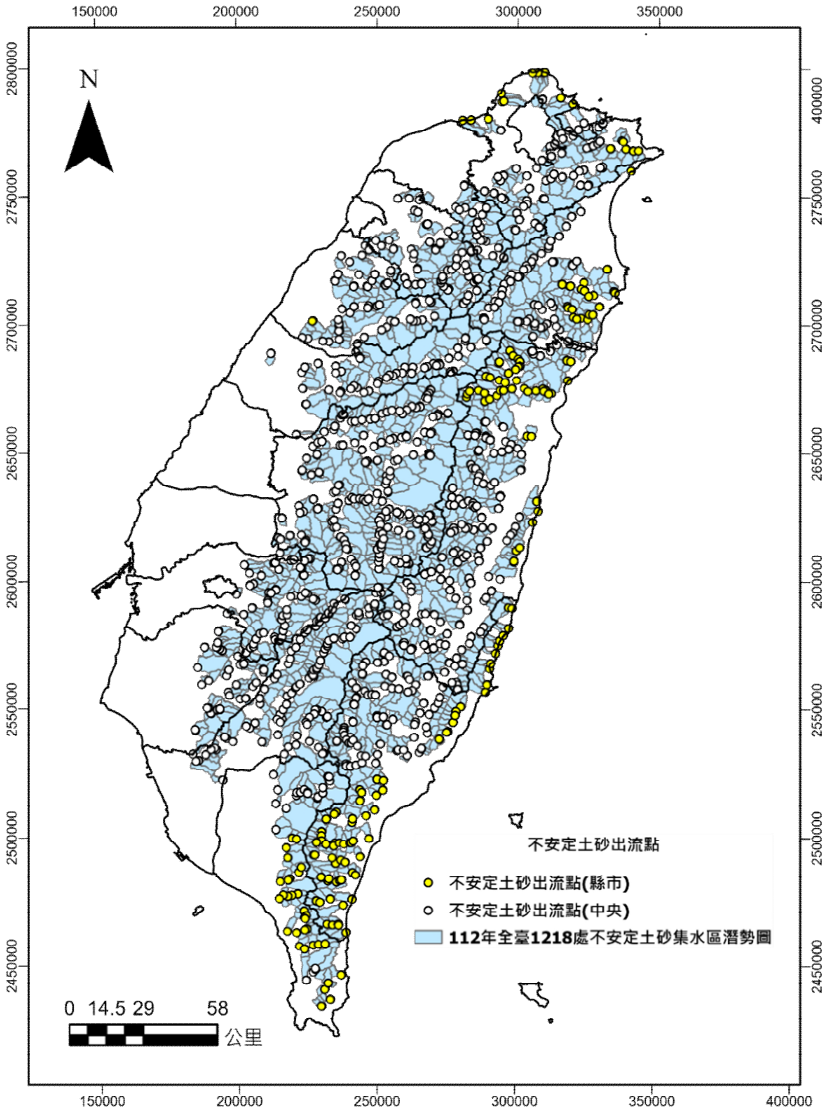



**圖 3-10 不安定土砂集水區圈繪成果**

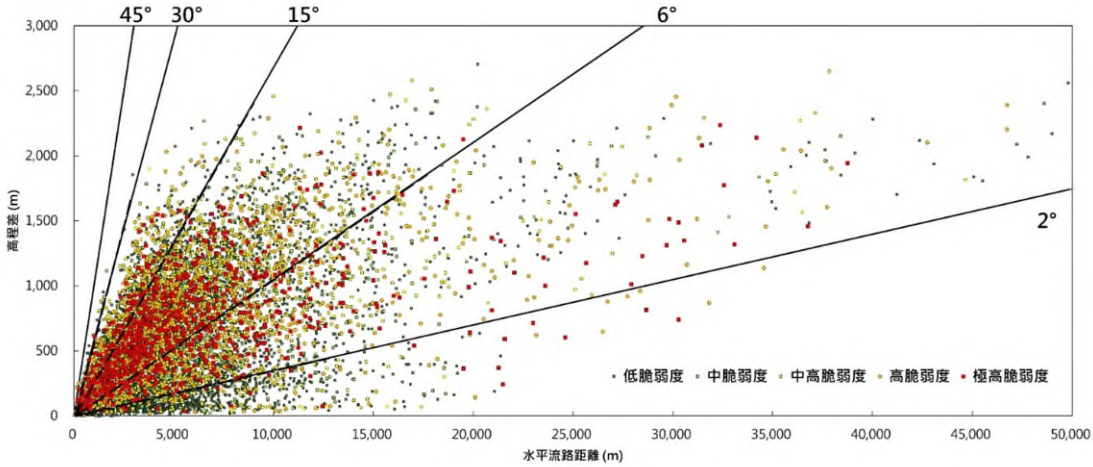



**圖 3-11 不安定土砂集水區之脆弱度與地形因子相關性分布圖**

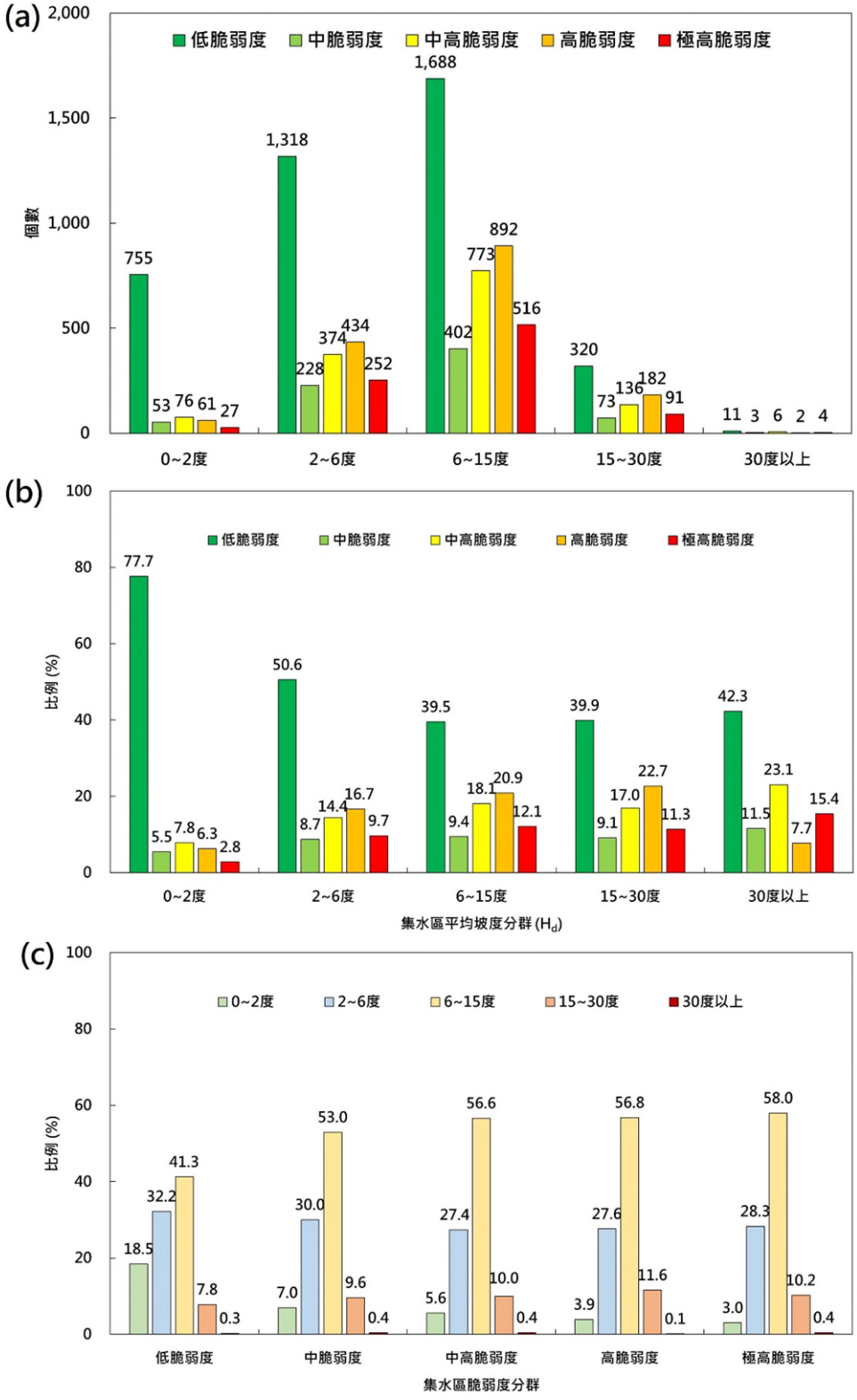



**圖 3-12　地文脆弱度之集水區地形因子統計圖**

**(a.各坡度之地文脆弱度統計長條圖、b.各坡度之地文脆弱度占比圖、c.各地文脆弱度之坡度占比圖)**

(二) 不安定土砂潛勢值 (P) 計算結果

統計 1,218 處不安定土砂集水區的 P 計算結果顯示，累積百分比分布約成平方根函數，約 50%集水區潛勢 P 值集中於 1.5 以下、約 75%集水區潛勢 P 值位於 3.5 以下間、約 99%集水區潛勢 P 值位於 10 以下，僅約 1%集水區潛勢 P 值大於 10 (圖 3-13)。本研究篩選 P 值前 1%為極高潛勢集水區，其門檻值為 P＞10，有 17 處；接者，分別以不高於累積百分比 25%、50%、75%及 99%分群，分群門檻值分別為 P≦0.5、P≦1.5、P≦3.5 及 P≦10，並依此將不安定土砂集水區切分為五個潛勢分級。

此分群方式結果顯示，低潛勢集水區 (P≦0.5) 有 244 處，占總集水區數量 20%，此區域內多數因地文脆弱度低，或其不安定土砂在生產潛能及危害程度皆對於其出流點影響較低；而中高潛勢者有 386 處，約 31.7%，屬五個分級中數量較多的分群；而高潛勢以上者 (P>3.5) 共 312 處 (25.6%)。本研究認為此分群門檻值可有效分級不安定土砂集水區之潛勢，以作為快篩優先關注之集水區的篩選條件 (表 3) (圖 3-14)。

以地理位置空間分布結果顯示，17 處極高潛勢值之集水區皆位於中央管河川流域，且大部分高潛勢以上集水區分布於台灣中南部山區。五大流域中，淡水河流域內無高潛勢以上的不安定土砂集水區，推測可能因其流域內地文脆弱度指標普遍較低所致；反之，荖濃溪與濁水溪流域因其流域內地文脆弱度較高，故流域內涵蓋較多高潛勢以上之集水區，也曾經經歷較多土砂災害事件，如玉穗溪明霸克露橋及神木村土石流災害事件 (圖 3-15)。

以不安定土砂集水區地理資訊來檢視分群之結果顯示 (圖 3-16)，極高潛勢的集水區主要係受其集流面積尺度影響較大，其最大的出流點高程僅 1,183 m，此與出流點高程直接關聯性較小。再者，有些出流點高程更大的集水區，因其集水區面積較小，計算之 P 值低於極高潛勢門檻值 (P>10)。此結果顯示，P 值與出流點是否位於高山區關聯較小，反而直接與出流點上游之集水面積大小、崩塌次數、崩塌面積為直接相關。

以山坡地範圍圖資分析之高、中高及中潛勢集水區出流點高程大多集中於 100 m 至 2,000 m，集水面積介於 400 ha 到 6,000 ha 間。此區間的資料分布顯示出：出流點高程越高或集水區面積越大，該集水區的 P 值就越高趨勢。但因本研究計算方法之 P 值主要是各集水區本身地文脆弱度之加總成果，而地文脆弱度是受到發生崩塌次數多寡與累積新生崩塌面積大小兩者影響，是以部分集水區地質狀況較好，其計算趨勢 P 值與出流點高程越高或集水區面積越大關係並不明顯，故本研究推測此區間之 P 值仍以崩塌發生頻率及面積大小為主要影響因子。係以在 244 處低潛勢集水區中，其出流點高程大於 1,000 m 者有 8 處，但多數集水區集水面積小，故分析上其 P 值不高。

**表 3-3 不安定土砂集水區潛勢分級表**

| 潛勢分級 | P 值 | 分級 | 各分級數量 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 中央管河川 | 縣市管河川 | 總計 | (%) |
| 低 | 0≦P≦0.5 | 1 | 197 | 47 | 244 | 20.0 (%) |
| 中 | 0.5 < P≦1.5 | 2 | 216 | 60 | 276 | 22.7 (%) |
| 中高 | 1.5 < P≦3.5 | 3 | 309 | 77 | 386 | 31.7 (%) |
| 高 | 3.5 < P≦10 | 4 | 240 | 55 | 295 | 24.2 (%) |
| 極高 | 10 < P | 5 | 17 | 0 | 17 | 1.4 (%) |
| 合計 | | | 979 | 239 | 1,218 | 100 (%) |

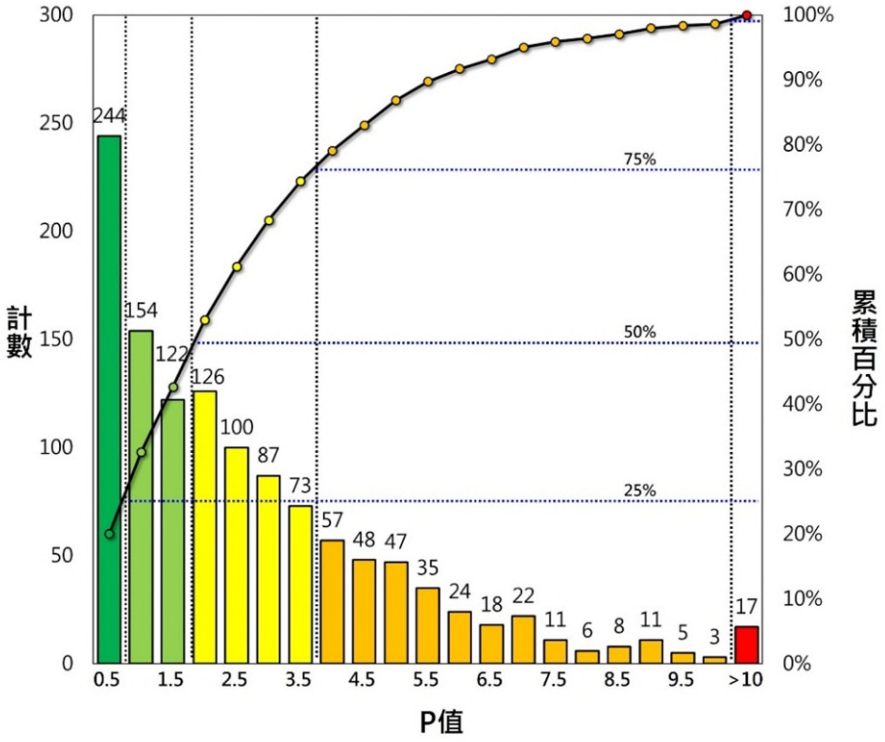



**圖 3-13 不安定土砂集水區分群門檻值及累積分群結果圖**

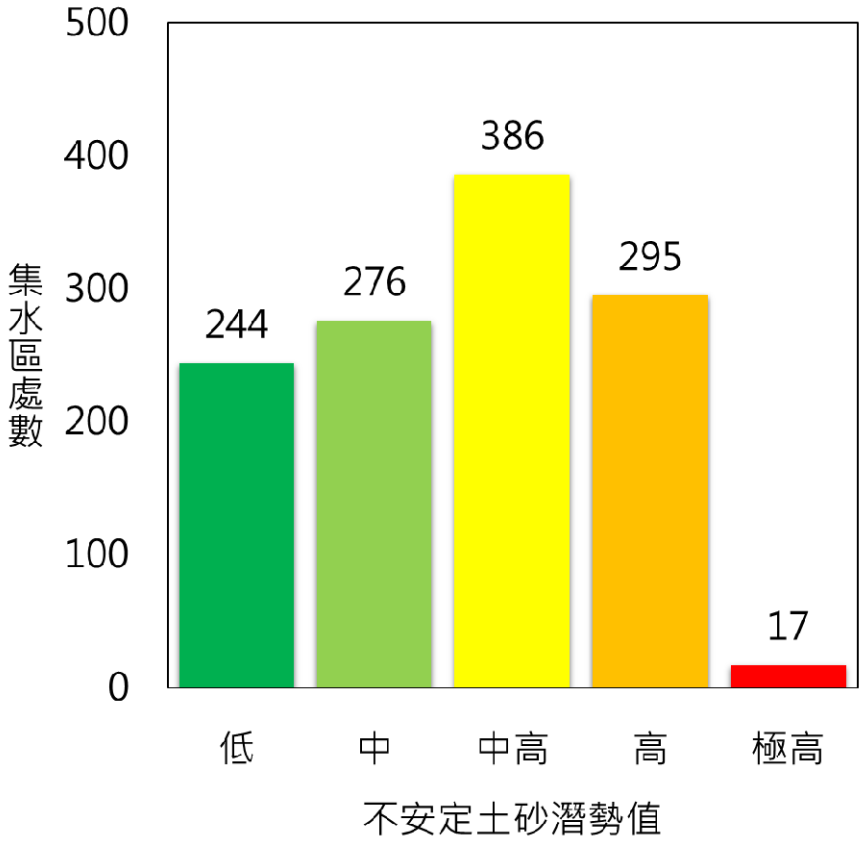



**圖 3-14 1,218 處不安定土砂集水區分群結果圖**

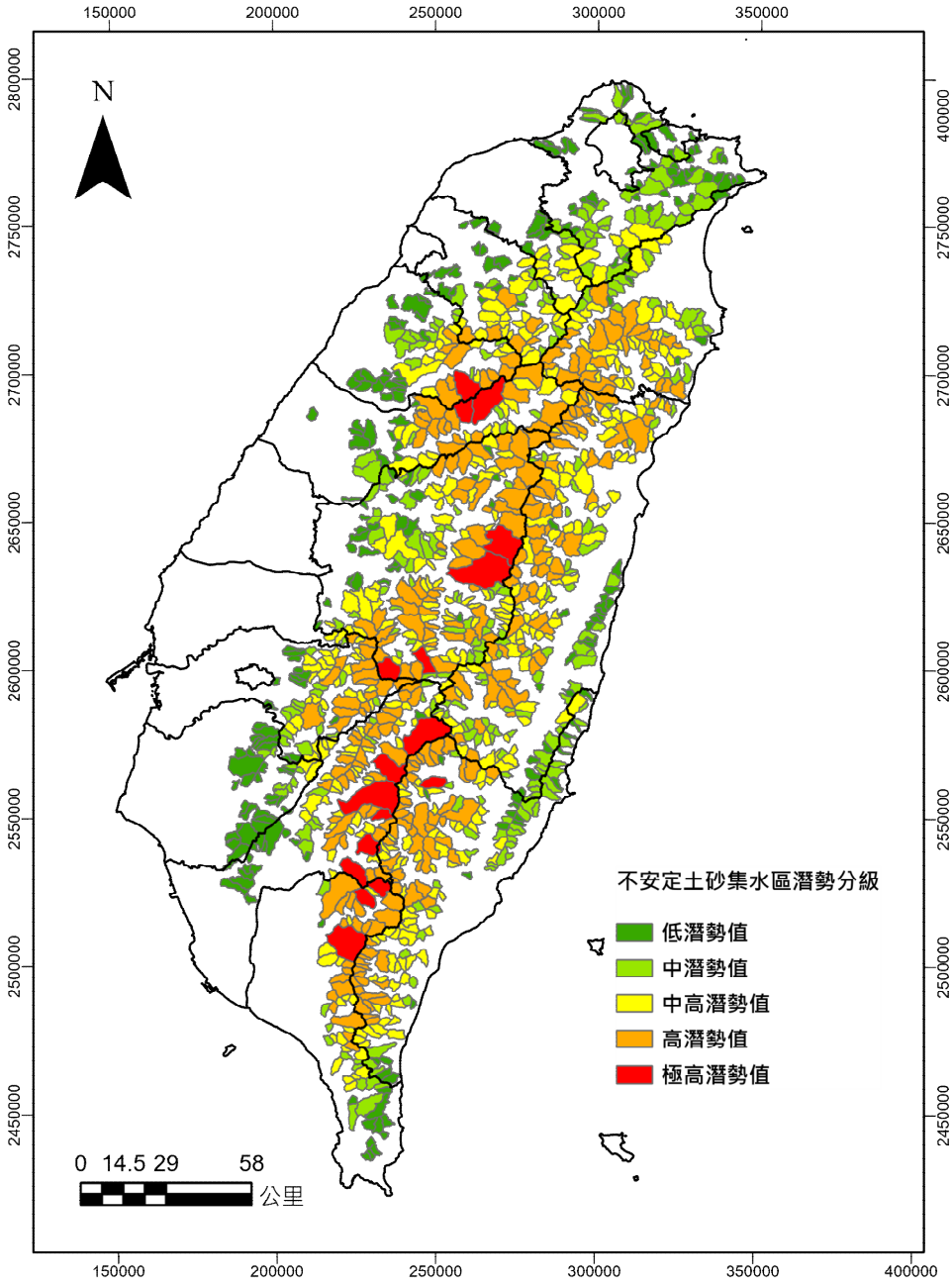



**圖 3-15　1,218 處不安定土砂集水區潛勢區位分布圖**

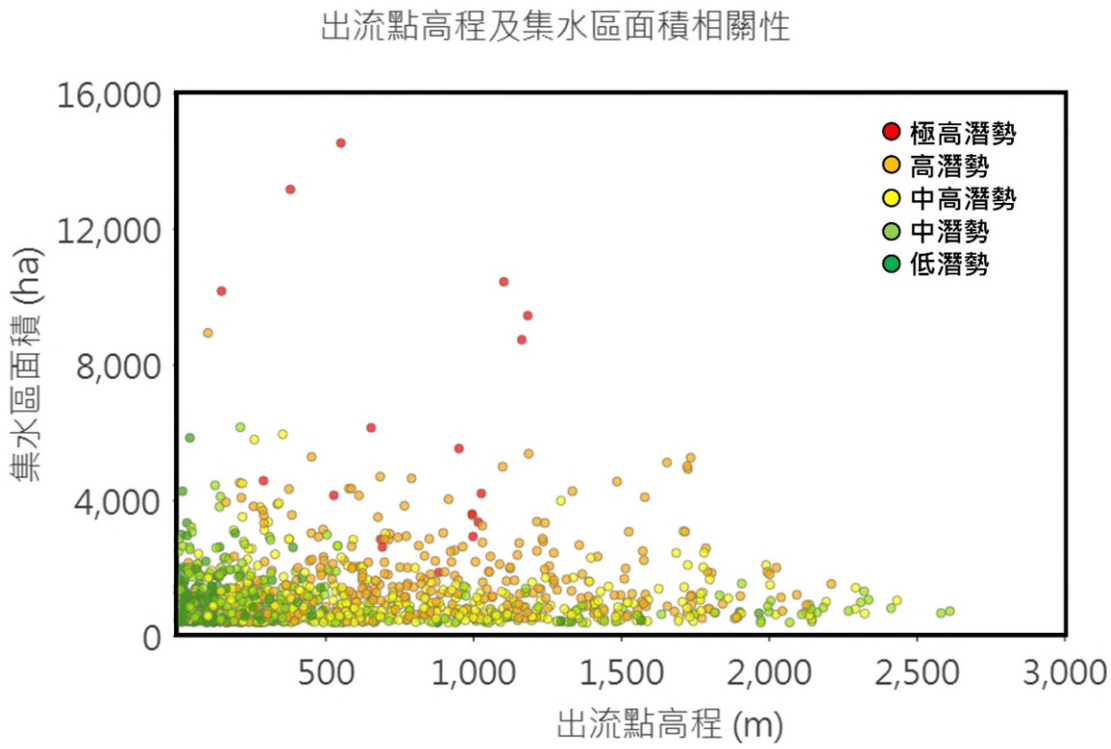



**圖 3-16 不安定土砂集水區面積與出流點高程關聯分布圖**

(三) 衛星影像驗證不安定土砂潛勢值 (P) 分析結果

本研究以南投縣信義鄉神木村附近六處集水區為不安定土砂潛勢值之驗證區域，透過 BigGIS 影像數 Sentinel-2 衛星影像(2022/09/27)來判釋裸露地，並依集水面積計算各不安定土砂集水區之崩塌率。結果顯示，此區域內所包含兩處極高潛勢集水區崩塌率皆大於 1%，除原本及被劃於投縣 DF227 土石流潛勢溪流集水區的鹿林子集水區 (P=13.06) 外，也快篩出因無保全住戶而未被劃設為土石流潛勢溪流集水區之陳有蘭溪上游子集水區 (P=10.53) (水土保持局，2021)。其餘四處分別為一處中高潛勢集水區及三處高潛勢集水區，其集水面積皆小於 2,500 ha，數化崩塌率皆約 0.35%，與極高潛勢集水區具明顯差異，顯示此分群方法實具參考價值，可作為快篩全臺不安定土砂集水區之依據 (圖 3-17)。

(四) 鄰近(位於)高潛勢以上不安定土砂集水區之橋梁篩選結果

篩選橋梁位於不安定土砂高潛勢以上集水區或距集水區下游 1 公里內之橋梁共計 38 處，其橋梁分布如圖 3-18 及表 3-4 所示。其中，如臺 21 線之明霸克露橋及上游沿線橋梁如復興橋與唯金溪橋皆位於高潛勢以上集水區。篩選 38 處橋梁之空間分布，分別位於陳有蘭溪 (臺 21 線)、荖濃溪 (臺 20 線)、蘭陽溪 (臺 7 甲線) 及立霧溪 (臺 8 線) 等流域，皆為臺灣山區重要交通要道。因此，透過本研究快篩條件的訂定，可預為準備橋梁鄰近(位於)高潛勢集水區之防減災策略與應變規劃參考。

**表 3-4 鄰近(位於)高潛勢以上不安定土砂集水區之橋梁統整表**

| 序號 | 縣市 | 橋梁名稱 | 路線 | 序號 | 縣市 | 橋梁名稱 | 路線 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 宜蘭縣 | 四季一橋 | 臺 7 甲線 | 20 | 南投縣 | 信義橋 | 臺 21 線 |
| 2 | 宜蘭縣 | 則前橋 | 臺 7 甲線 | 21 | 屏東縣 | 第二號橋 | 臺 24 線 |
| 3 | 宜蘭縣 | 繼光橋 | 臺 7 甲線 | 22 | 高雄市 | 小林橋 | 臺 29 線<br>臨 11 便道 |
| 4 | 宜蘭縣 | 大濁水橋 | 臺 9 丁線 | 23 | 高雄市 | 寶來一橋 | 臺 20 線 |
| 5 | 宜蘭縣 | 英士橋 | 臺 7 線 | 24 | 高雄市 | 安哈娜橋 | 臺 29 線<br>臨 11 便道 |
| 6 | 宜蘭縣 | 可法橋 | 臺 7 甲線 | 25 | 高雄市 | 哈麗奧爾橋 | 臺 29 線<br>臨 11 便道 |
| 7 | 花蓮縣 | 白沙一橋 | 臺 8 線 | 26 | 高雄市 | 新發大橋 | 臺 27 線 |
| 8 | 花蓮縣 | 白沙二橋 | 臺 8 線 | 27 | 高雄市 | 那都魯札橋 | 臺 29 線<br>臨 11 便道 |
| 9 | 花蓮縣 | 慈母橋 | 臺 8 線 | 28 | 高雄市 | 桃源一橋 | 臺 20 線 |
| 10 | 花蓮縣 | 慈恩橋 | 臺 8 線 | 29 | 高雄市 | 民族橋 | 臺 29 線 |
| 11 | 花蓮縣 | 慈雲橋 | 臺 8 線 | 30 | 高雄市 | 明霸克露橋 | 臺 20 線 |
| 12 | 花蓮縣 | 東小清水溪橋 | 北迴線 | 31 | 高雄市 | 復興橋 | 臺 20 線 |
| 13 | 南投縣 | 愛玉橋 | 臺 21 線 | 32 | 高雄市 | 唯金溪橋 | 臺 20 線 |
| 14 | 南投縣 | 陳有蘭溪橋 | 臺 21 線 | 33 | 高雄市 | 塔拉拉魯芙橋 | 臺 20 線 |
| 15 | 南投縣 | 望鄉橋 | 臺 21 線 | 34 | 高雄市 | 邦腹溪橋 | 臺 27 線 |
| 16 | 南投縣 | 筆石橋 | 臺 21 線 | 35 | 高雄市 | 三合橋 | 臺 27 線 |
| 17 | 南投縣 | 木蘭橋 | 臺 8 線 | 36 | 嘉義縣 | 沙崙橋 | 臺 3 線 |
| 18 | 南投縣 | 大觀橋 | 臺 14 線 | 37 | 臺中市 | 東卯橋 | 臺 8 線 |
| 19 | 南投縣 | 仁愛橋 | 臺 14 線 | 38 | 臺東縣 | 霧鹿橋 | 臺 20 線 |

※序號僅依所在縣市排列，非代表不安定土砂風險程度

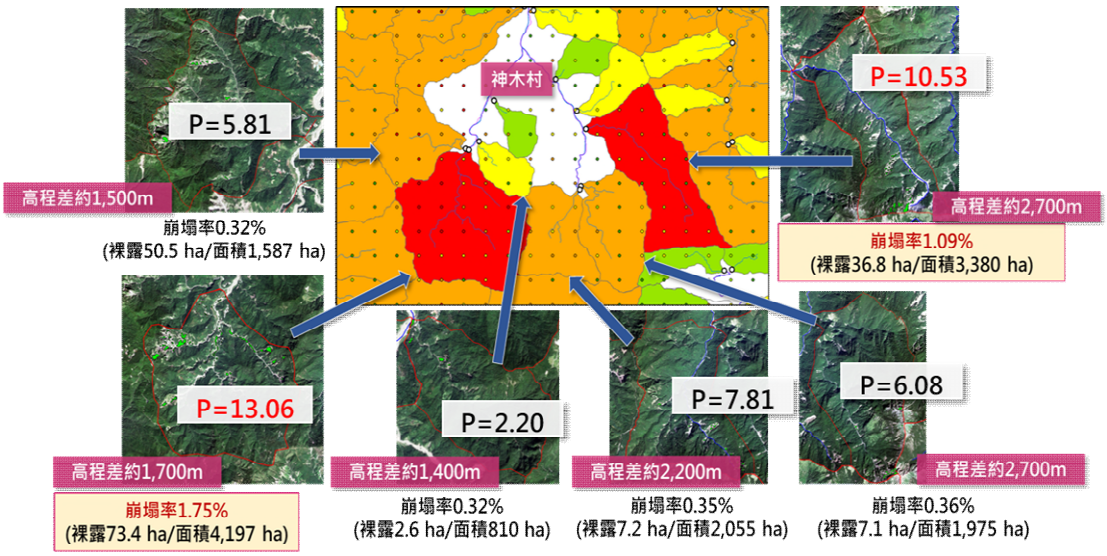



**圖 3-17 南投縣信義鄉不安定土砂潛勢 P 值驗證結果**

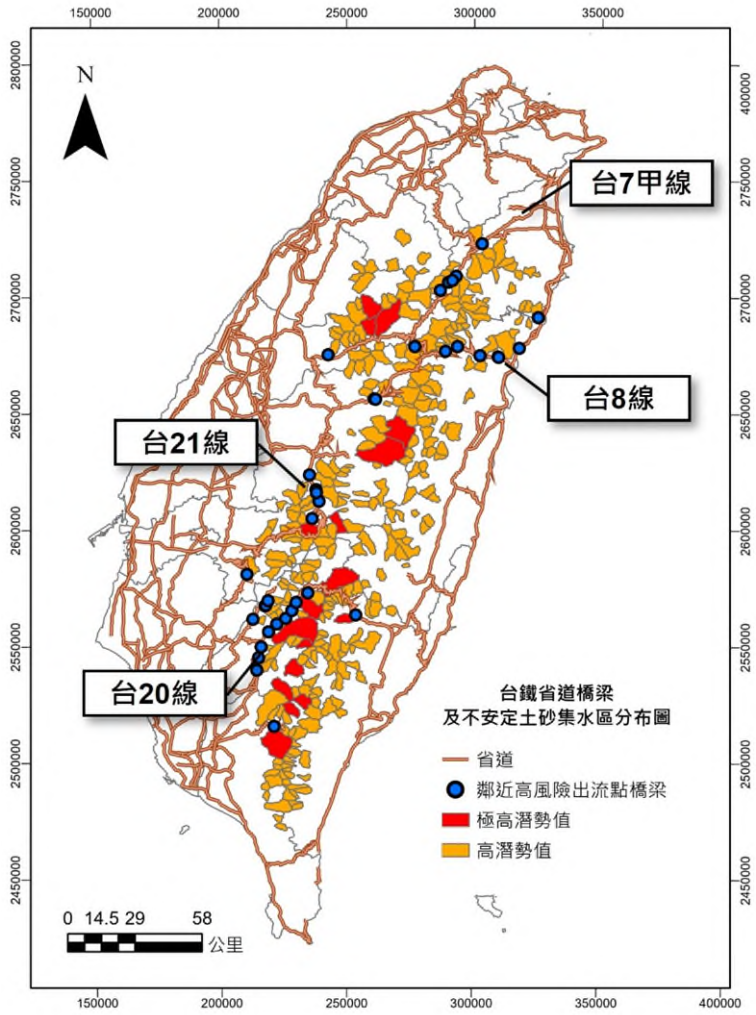



**圖 3-18 不安定土砂高潛勢以上集水區之橋梁空間分布圖**

(五) 討論

綜整本研究成果，針對事件型崩塌目錄時間長度、地文脆弱度指標、高潛勢集水區與崩塌率關聯性、不安定土砂集水區與橋梁關聯性，分述如下：

1. 依農村水保署所公布 2006 至 2022 年間的事件型崩塌目錄，其中 2007 年韋帕颱風及 2009 年莫拉克颱風之年度崩塌面積分別為 11,350 ha 及 37,199 ha，為統計年度期間內新生崩塌面積較大者，而其餘年度則新生崩塌地面積相對較小。因地文脆弱度是以全臺範圍數據之平均值及標準差來分級，因此若統計年度不足或未涵蓋崩塌面積範圍值時，致使該指標所計算之統計量有所偏差 (可能在不同年度有大幅度變異情形)，其產生地文脆弱度指標可能有低估的情形。但隨農村水保署每年定期更新事件型崩塌目錄，地文脆弱度指標每年持續更新統計時間長度，使此指標更符合實際地文變異情形，以有效反映該 QPE 網格位置內的地文脆弱度。

2. 本研究所評估之 1,218 處不安定土砂集水區中，高潛勢以上集水區共計 321 處 (佔 25.6%)，為後續優先關注區。再者經由南投縣信義鄉驗證區所篩選出兩處高潛勢以上集水區，其崩塌率皆大 1%，明顯大於其他潛勢分級集水區之崩塌率，因此，由本方法可有效篩選出極高潛勢之不安定土砂潛勢集水區。

3. 本研究使用之地文脆弱度指標僅能代表該區不安定土砂之生產潛勢 (崩塌次數與新生崩塌面積)，而非不安定土砂的量體。因此，不安定土砂集水區之穩定性及生產量體評估，並未在本研究範圍內，若要完整掌握 1,218 處不安定土砂集水區的量體，尚需配合 LiDAR 量測、地質地貌調查或 InSAR 等相關技術監測微地形變異，以有效掌握集水區坡面或河道上持續變動之不安定土砂。

4. 本研究篩選位於或鄰近高潛勢以上不安定砂集水區橋梁共計 38 處，但缺乏相關橋梁結構或通洪斷面資料，如能配合發生不安定土砂災害情境與數值模式模擬，則可分析可能土砂災害影響範圍，將可提供相關單位參考。

## 四、 結論與建議

國內已針對有保全對象的土石流潛勢溪流及大規模崩塌潛勢區建立完整的警戒發布機制，且於防災應變時實行多年，但對於不安定土砂相關研究尚處於起步階段，故目前難以準確掌握不安定土砂分布與數量。本研究由事件型崩塌目錄、地文脆弱度指標、不安定集水區劃設、不安定土砂潛能、危害程度等綜整提出以下結論與建議：

1 本研究綜整全臺 2006 年至 2022 年事件型崩塌目錄的新生崩塌面積及頻率，建立全臺範圍的地文脆弱度指標。

2 利用河川級序、集水面積、河川空間分布、山坡地範圍圖資等劃設 1,218 處不安定土砂集水區，並考量土砂生產潛能及危害程度加以計算不安定土砂潛勢值，據以進行集水區潛勢分級。

3 高潛勢以上集水區計 312 處為優先關注集水區，並針對橋梁加以篩選位於或鄰近高潛勢以上不安定土砂集水區計 38 處橋梁，俾供相關單位防減災策略參據。

4 本研究提出之方法可作為集水區範圍內不安定土砂之定期健檢，有關不安定土砂量體及安定性問題，尚須導入光達或衛星立體像對等技術加以研究評估。

5 本研究分析之地文脆弱度尚未考慮誘發不安定土砂移動之外部條件(降雨或地震)，以及土砂移動型態之數值模擬，仍有待進一步研究。本研究先以 2021 年 8 月盧碧颱風強降雨下引發

土石流災害事件，進行不安定土砂災害土體運動型態模擬 (詳本章第二節)，探討不安定土砂於設定情境條件下，其可能土砂災害影響範圍。

本計畫將持續不安定土砂風險潛勢與指標研究，以精進掌握不安定土砂潛勢分級與分布區位，提供不安定土砂重點關注區，作為相關單位防災應變決策參據，確保山區重要公共設施及維生通道安全。

## 第二節　玉穗溪不安定土砂災害土體運動型態模擬

為探討不安定土砂受降雨誘發大規模崩塌災害，所衍生巨量土砂形成土石流運動順流而下，其土砂衝擊集水區出口重要基礎設施安全，且土砂災害影響範圍更是造成山區交通要道中斷。本研究 2021 年 8 月盧碧颱風強降雨情境引發土石流災害事件為例，利用二維土石流模式模擬不安定土砂災害之土體運動型態，藉由數值模式情境設定，研析在不同土砂濃度、流變模式、降伏應力情境下，不安定土砂災害之衝擊影響範圍，作為不安定土砂災害土體運動型態之初步研究。

### 一、　前言

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。2021 年 8 月，高雄市桃源區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 8 月 7 日下午 1 點 17 分明霸克露橋遭沖毀，震驚全國。為避免類似事件一再重演，如何判識不安定土砂、估算其量體規模，以及評估運移所時造成之衝擊與影響，係防災應變之重要工作。

### 二、　材料與方法

本研究為模擬玉穗溪集水區不安定土砂災害事件，蒐集相關環境資料包含：災前數值高程模型、災後數值地表模型、小關山(C1V220)雨量站雨量記錄、災害事件記錄、航遙測影像等資料進行災害事件數值模擬，研究流程如圖 3-19，研究材料基礎資料彙整如表 3-5 所示。

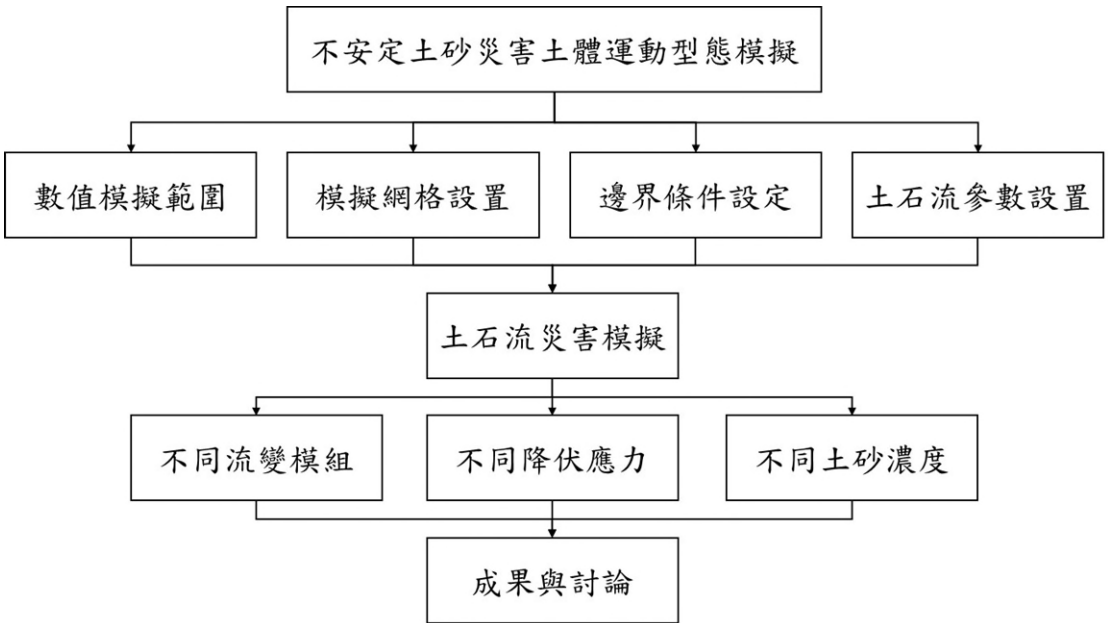



**圖 3-19　玉穗溪土石流災害模擬研究流程圖**

**表 3-5 研究材料基礎資料表**

| 項目 | 基礎資料 |
|---|---|
| 災前數值地形 | 內政部 1 公尺 LiDAR (2017) |
| 災後數值地形 | 災後 UAV 產製 DSM (2021) |
| 雨量資料 | 小關山(C1V220)雨量站 |
| 盧碧颱風災害事件記錄 | 土石流及大規模崩塌防災資訊網-重大災害事件 |
| 航遙測影像 | BigGIS 衛星影像 |

(一) 研究區域

2021 年盧碧颱風所帶來長延時降雨，造成玉穗溪上游斯拉巴庫山發生大規模邊坡崩塌並形成土石流災害，沖毀集水區出口明霸克露橋。玉穗溪集水區面積約 1,232 公頃，依據農村水保署重大土砂災例資料，上游大規模崩塌面積約 49 公頃、崩塌深度約 23 公尺、土砂生產量約 851 萬立方公尺、堆積面積約 27.8 公頃、堆積高度約 26 公尺、

堆積量約 529 萬立方公尺。玉穗溪集水區出口形成土石流沖積扇，其土體堆積量約 202 萬立方公尺、最大堆積高約 23 公尺，並沖毀明霸克露橋約 100 公尺及掩埋道路約 800 公尺 (圖 3-20)。

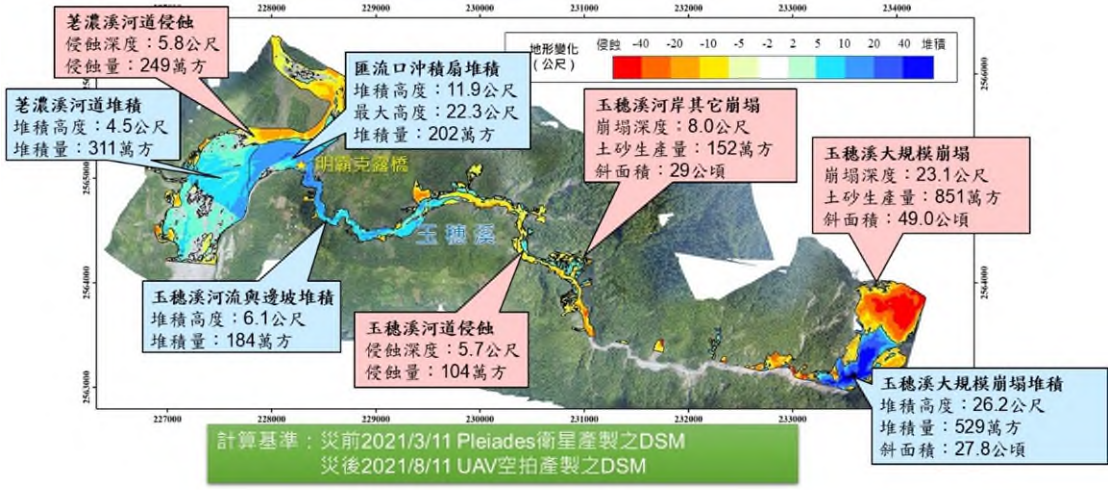
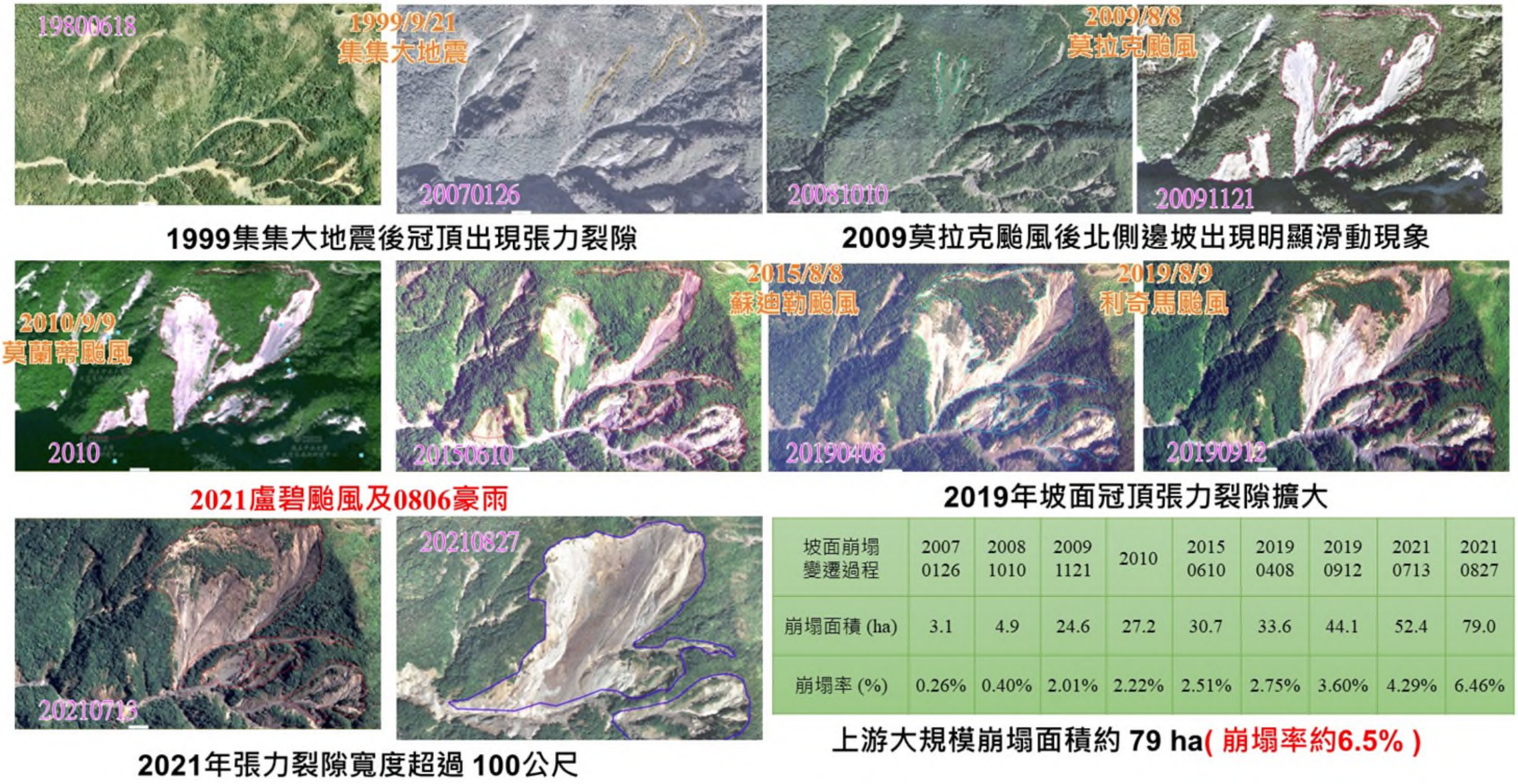



**圖 3-20 玉穗溪集水區不安定土砂量體**

(二) 不安定土砂來源

本研究蒐集 BigGIS 歷年衛星影像及正射影像，影像時間自 1980 至 2021 年為止，共計 10 幅影像進行斯拉巴庫山邊坡崩塌變遷過程分析 (圖 3-21)。由歷年衛星及正射影像崩塌面積判釋成果，自 1980 年至 2009 年莫拉克風災前，其坡面僅部份蝕溝出現；但於莫拉克颱風後，坡面出現大範圍崩塌且冠部出現明顯張力裂隙；自 2015 年蘇迪勒颱風後，冠部張力裂隙與下部裸露區形成明顯殘坡區塊，其不安定土砂殘留於坡面上；自 2019 年利奇馬颱風至 2021 年 7 月影像資料，其上緣殘坡區域往坡面下部滑移，其冠部張力裂隙寬度已超過 100 公尺；於 2021 年 8 月盧碧颱風及 0806 豪雨之長延時降雨影響下，該殘坡不安定土砂崩落於河道下，土砂生產量約 851 萬立方公尺。




| 坡面崩塌變遷過程 | 2007 0126 | 2008 1010 | 2009 1121 | 2010 | 2015 0610 | 2019 0408 | 2019 0912 | 2021 0713 | 2021 0827 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 崩塌面積 (ha) | 3.1 | 4.9 | 24.6 | 27.2 | 30.7 | 33.6 | 44.1 | 52.4 | 79.0 |
| 崩塌率 (%) | 0.26% | 0.40% | 2.01% | 2.22% | 2.51% | 2.75% | 3.60% | 4.29% | 6.46% |

**圖 3-21　玉穗溪集水區坡面崩塌變遷過程**

(三) 數值模式控制方程式

本研究應用 HEC-RAS 2D 水理模式，可由其 RAS Mapper 模組建立模擬所需資料，亦可結合免付費地理資訊系統 QGIS 建立輸入介面及模擬成果呈現。HEC-RAS 2D 變量流水理 (Unsteady Flow Hydraulic) 控制方程式是藉由簡化納維-斯托克斯方程式 (Navier - Stokers equations) 而來，並假設流體為不可壓縮 (Incompressible Flow)、靜水壓力 (Hydrostatic Pressure) 及均勻密度 (Uniform Density) (Brunner and CEIWR-HEC, 2016a, 2016b)。HEC-RAS 2D 之基本控制方程式，包含連續方程式、動量方程式、底床變動方程式等說明如下：

1. 連續方程式

$$\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial (hu)}{\partial x}+\frac{\partial (hv)}{\partial y}+q=0 \qquad \text{式 (3-4)}$$

2. 泥砂連續方程式

$$\frac{\partial}{\partial t}(\frac{hC_{tk}}{\beta_{tk}})+\nabla\cdot(hUC_{tk})=\nabla\cdot(\varepsilon_{tk}h\nabla C_{tk})+E_{tk}^{HF}\text{-}D_{tk}^{HF}+S_{tk} \qquad \text{式(3-5)}$$

3. 動量方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-g\frac{\partial H}{\partial x}+\nu_t\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right)-c_f u+fv \qquad \text{式(3-6)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-g\frac{\partial H}{\partial y}+\nu_t\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right)-c_f v+fu \qquad \text{式(3-7)}$$

4. 底床變動方程式

$$\rho_{sk}(1\text{-}\phi_b)(\frac{\partial z}{\partial t})=D_{tk}\text{-}E_{tk}+\nabla\cdot(\kappa_{bk}|q_{bk}|\nabla z_b) \qquad \text{式(3-8)}$$

上式中，$h$為流動深度、u 為 X 方向之流速、v 為 Y 方向之流速、

$C_{tk}$為土砂體積濃度、z 為底床高程、t 為時間、$H=h+z$為水位、g 為重力加速度、$\nu_t$為渦流黏滯係數、$c_f$為底床摩擦係數、$f$ 為科氏力參數、$\rho$為流體密度、$\beta_{tk}$為輸砂校正因子、$\varepsilon_{tk}$為輸砂擴散(混合)係數、$E_{tk}^{HF}$為輸砂侵蝕率、$D_{tk}^{HF}$為輸砂堆積率、$S_{tk}$為源項(source/sink term)、$\rho_{sk}$為泥砂密度、$\phi_b$為孔隙率、$|q_{bk}|$為輸砂率、$\kappa_{bk}$為底床坡度係數。

對於連續方程式和動量方程式之離散化(Discretization)，藉由有限差分(Finite-Difference)對時間項離散化，空間項則是使用有限差分及有限體積(Finite-Volume)之複合方式(Hyper Approximation)進行離散化。在數值方法上，HEC-RAS 以線性化差分方式(Linearized scheme)，其空間項為二階精度，在時間項精度方面，則是依據所選擇的隱式權重因子 $\theta$ (Implicit Weighted Factor)而有所不同，當$\theta=1$使用後項差分(Backward Difference)，其時間項為一階精度，當$\theta=0.5$使用 Crank-Nicolson 數值方法，其時間項為二階精度，其數值方式如下：

$$\frac{\Delta t}{(\Delta x)^2}<\frac{1}{(2\text{-}4\theta)},\quad \theta=1,\quad Backward\quad difference \qquad 式(3\text{-}9)$$

$$\frac{\Delta t}{(\Delta x)^2}<\frac{1}{(2\text{-}4\theta)},\quad \theta=1/2,\quad Crank\text{-}Nicolson \qquad 式(3\text{-}10)$$

式中，$\Delta t$為計算時間間距，$\Delta x$為計算網格間距，$\theta$ 為隱式權重因子，有關數值差分方式及隱式權重因子詳細資料請參照 Brunner and CEIWR-HEC, 2016b)。

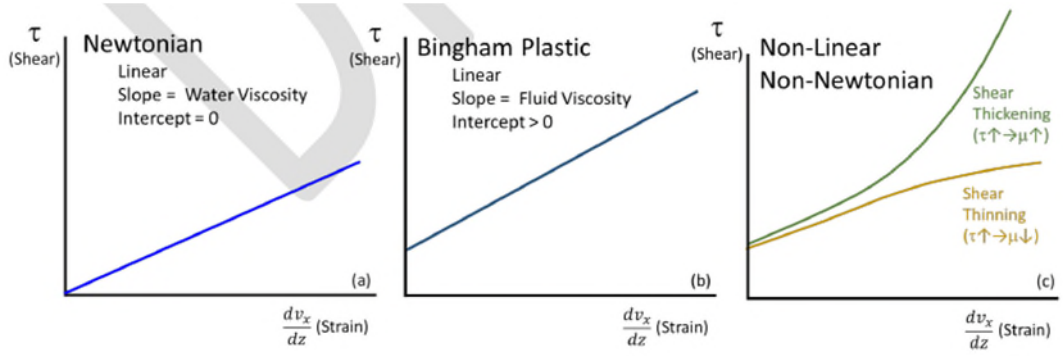
HEC-RAS 2D 在水理模組中引入非牛頓流體效應，並依流變方程

式不同，分為牛頓流體、非牛頓流體、非線性非牛頓流體等類型，其控制方程式如下：

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial QV}{\partial x}+gA\left(\frac{\partial z}{\partial x}+S_f+S_{MD}\right) \quad \text{式(3-11)}$$

$$S_{MD}=\frac{\tau_{internal\ fluid}}{\gamma R} \quad \text{式(3-12)}$$

上式中，$S_{MD}$為土石流坡度 (mud and debris slope)。非牛頓流體效應是引入$S_{MD}$作為土石流所引起摩擦損失，並可以由不同流變關係(即應力應變關係)透過內部應力項方式帶入動量方程式，即為不同流變模組之非牛頓流體效應動量方程式 (圖 3-22)。




資料來源：US Army Corps of Engineering (2020)

**圖 3-22 流變關係示意圖**

## 三、 成果與討論

(一) 明霸克露橋災害過程

由農村水保署、交通部公路局及前人研究 (Shie et al., 2022; Yang et al., 2022; Hill et al., 2022) 等資料，探討盧碧颱風明霸克露橋災害過程 (圖 3-23)：

1. 2022 年之資料顯示 (Hill et al., 2022)，其橋面下淨空約 8 至 9 公尺；
2. 8 月 7 日上午 10 時資料顯示，其發生高含砂水流(Hyper-concentrated flow)，橋面下淨空約剩 3 至 5 公尺；
3. 8 月 7 日下午 13 點資料顯示，其流況已轉為洪水-泥流 (Mud Flood)至土石流 (Mud Debris flow)狀態並接觸梁底；
4. 8 月 7 日下午 13 點 17 分資料顯示，明霸克露橋受土石流沖擊下已斷裂；
5. 8 月 7 日下午 15 點 30 分資料顯示，土石流停止流動，並形成巨大沖積扇 (圖 3-24)。




**圖 3-23 明霸克露橋災害過程示意圖**

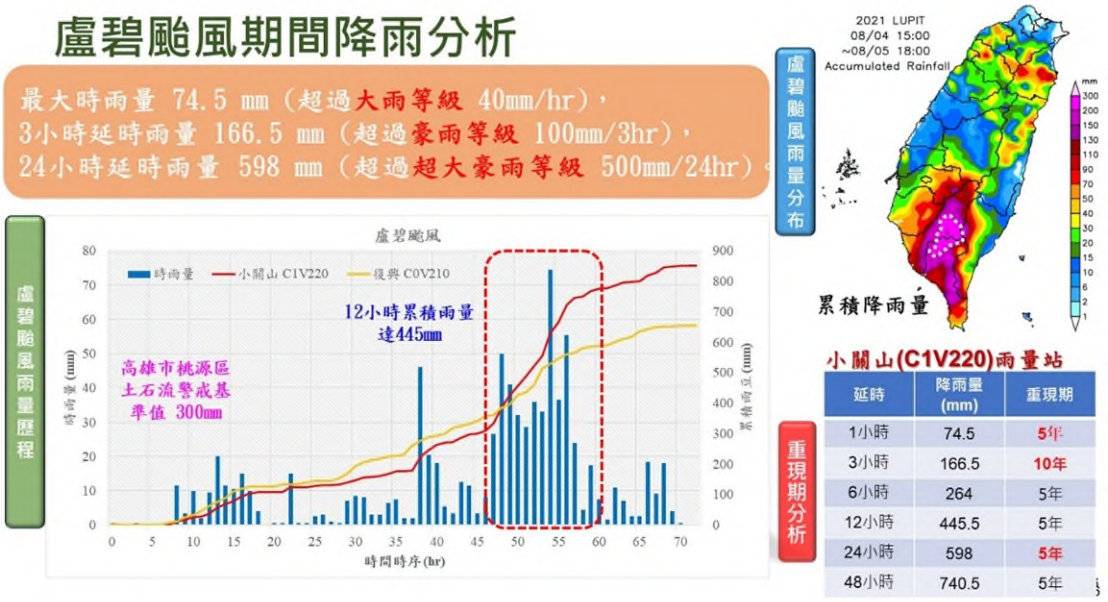



**圖 3-24 玉穗溪出口土石流沖積扇 (照片日期：20210808)**

(二) 盧碧颱風期間降雨過程

本研究收集盧碧颱風期間小關山雨量站記錄資料並加以統計分析，其最大時雨量 74.5 毫米，已超過中央氣象署大雨等級 (40mm/hr)，最大 3 小時延時降雨量 166.5 毫米，已超過豪雨等級 (100mm/hr) 並接近大豪雨等級 (200mm/hr)，而且 24 小時延時降雨為 598 毫米，已超過超大豪雨等級 (500mm/24hr)。由其降雨累積雨量資料可以得知，其在 3 小時短延時強降雨已接近大豪雨等級，而 24 小時連續性降雨則是超過超大豪雨等級，係以其劇烈降雨提供充足水量並驅動土石流往下游移動 (圖 3-25)。

此外，為探討不安定土砂災害土體運動型態，將截取小關山雨量站 8 月 6 日上午 11 時至 8 月 7 日下午 23 時期間資料進行降雨逕流計算，以提供後續二維土石流災害事件模擬邊界條件 (圖 3-26)。




| 延時 | 降雨量 (mm) | 重現期 |
|---|---|---|
| 1小時 | 74.5 | 5年 |
| 3小時 | 166.5 | 10年 |
| 6小時 | 264 | 5年 |
| 12小時 | 445.5 | 5年 |
| 24小時 | 598 | 5年 |
| 48小時 | 740.5 | 5年 |

圖 3-25　盧碧颱風期間降雨分析圖

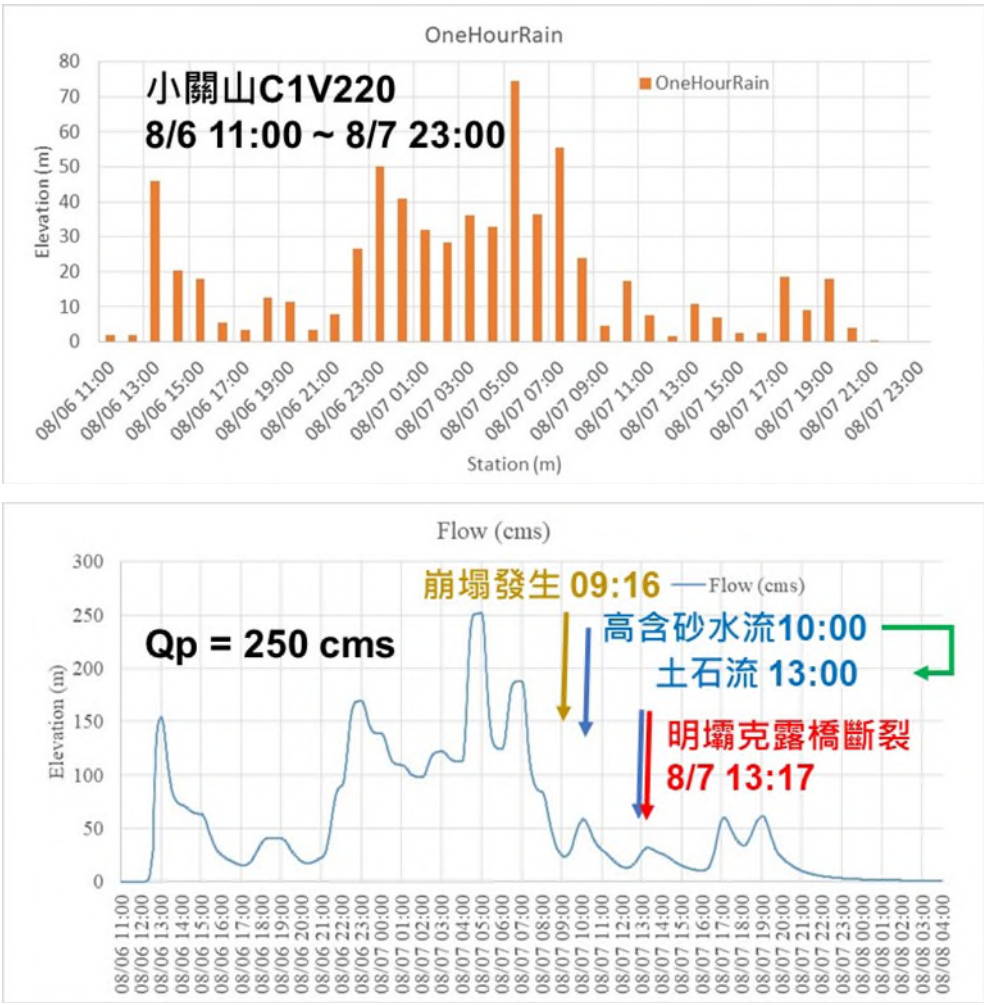



圖 3-26　降雨及流量歷線示意圖

(三) 土石流災害模擬條件設定

本研究以內政部國土測繪中心 LiDAR DEM 數值地形為基礎地形資料，以玉穗溪集水區至出口下游 1 公尺為災害事件模擬範圍，並利用小關山雨量進行降雨逕流演算，作為土石流模擬算演之邊界條件，配合災後 UAV-產製 DSM 作為土石流沖積扇地形檢證使用，對於 HEC-RAS 2D 土石流模式相關參數設定，由於並無相關現場土壤力學資料，本研究以 Shie et al., (2022)、Yang et al. (2022)、Gibson et al. (2022)及 US Army Corps of Engineering (2020)「HEC-RAS Mud and Debris Flow Manual」等研究資料設定土石流流變參數 (表 3-6)，本研究數值模式相關設定說明如下：

1. 模擬時間及範圍：模擬時間從 110 年 8 月 6 日 11:00 至 8 月 7 日 23:00 共計 36 小時；模擬範圍為玉穗溪集水區至下游出口 1 公里間河段，面積約 1317 公頃，模擬網格採 X 及 Y 方向皆為 20 公尺間隔方式設定，共計 35,935 網格 (圖 3-27)。

2. 地形資料：本計畫以內政部國土測繪中心 2017 年 LiDAR DEM 數值地形為災前基礎地形資料，建置模擬範圍地形計算格網 (Computation Points)，並以 2021 年 8 月 11 日災後 UAV 產製 DSM，作為土石流災後地形驗證資料。

3. 曼寧粗糙係數：參考 Shie et al., (2022)研究成果及 HEC-RAS Mud and Debris Flow Manual 手冊資料，曼寧 n 值約介於 0.04 至 0.06 間，本研究取平均值設定為 0.05。

4. 邊界條件：採用小關山雨量站資料所轉換之流量歷線及 LiDAR DEM，分別設定上游流量歷線及下游邊界條件。

## 表 3-6 土石流數值模式參數資料表

| Classification | Model | Condition |
|---|---|---|
| Hyper-concentrated | Bingham | Cv > 30% |
| Mud and Debris Flow | Turbulent-Quadratic Herschel-Bulkley | Cv > 60% |
| Snow Avalanche | Voellmy | |
| Clastic | Mohr-Coulomb | |

| Type | Liquid Limit *Cv* | B | Range (Pa-s) |
|---|---|---|---|
| Typical Soil | 65-80% | 18.4 | 160-2,500 |
| Kaolinite | 40-50% | 18.4 | 1.6-10 |
| Sensitive Clays | 35-60% | 11.5 | 0.1-1 |
| Bentonite | 5-20% | 230.3 | 100-1E+17 |

| Type | Liquid Limit *Cv* | a | b | Range (Pa) |
|---|---|---|---|---|
| Typical Soil | 65-80% | 0.005 | 17.2 | 375-5,000 |
| Kaolinite | 40-50% | 0.05 | 20.7 | 200-1,600 |
| Sensitive Clays | 35-60% | 0.3 | 23.0 | 950-300k |
| Bentonite | 5-20% | 0.002 | 230.3 | 200-2E+17 |

資料來源：US Army Corps of Engineering (2020)

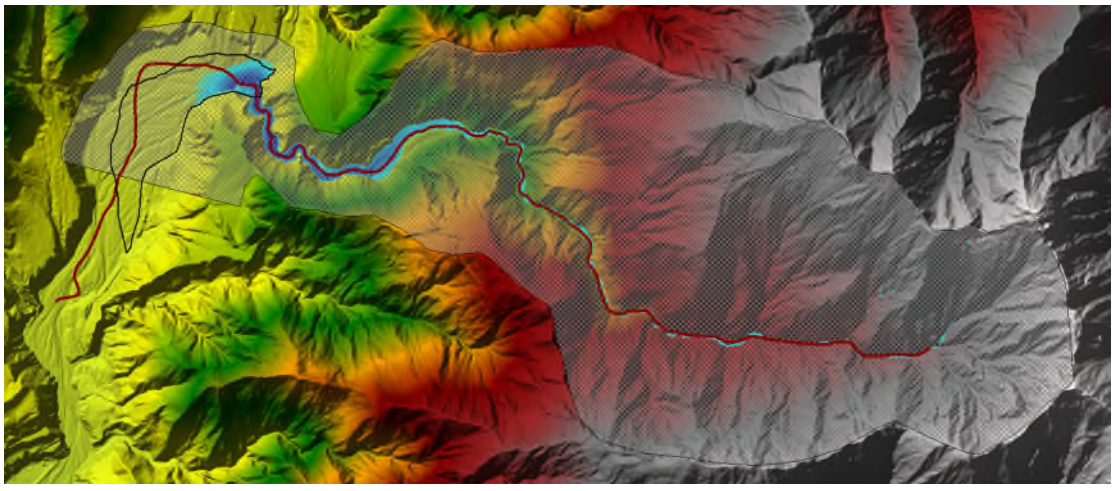


圖 3-27　玉穗溪土石流災害模擬範圍示意圖

(四) Bingham 土石流模式模擬結果

本研究假設崩塌發生後，其崩落土體受降雨轉變為土石流運體型型，並往下游河道流動，但由於未知其土砂濃度和剪應力和黏滯力資料，假設體積濃度 (Cv%)為 30%、45%、60%、70%，採用 Bingham 模式進行模擬，其剪應力和黏滯力參考 HEC-RAS Mud and Debris Flow Manual 手冊資料，設定為 2500 (pa)和 1000(Pa · s)，其成果如圖 3-28 所示。由明霸克露橋之災害過程時間及橋台高度資料，使用 Bingham 模式模擬，於 8 月 7 日上午 10 時，各濃度水位皆未達梁底高程，而於 8 月 7 日下午 13 日，土石流應已接觸梁底，但模擬結果未符合實際現象。

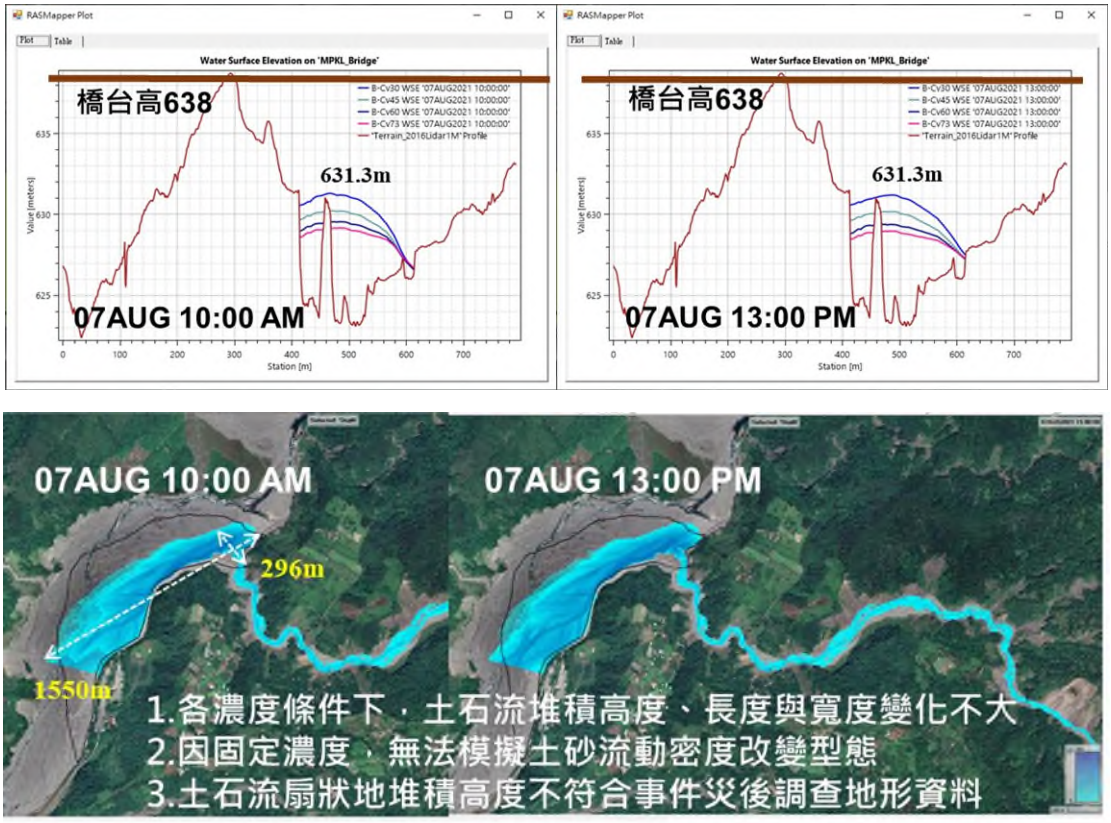



**圖 3-28 Bingham 土石流模式模擬成果圖**

(五) O'Brien 土石流模式模擬結果

本研究假設崩塌發生後，其崩落土體受降雨轉變為土石流運體型型，並往下游河道流動，但由於未知其土砂濃度和剪應力和黏滯力資料，假設體積濃度 (Cv%)為 30%、45%、60%、70%，採用 O'Brien 模式進行模擬，其剪應力和黏滯力參考 HEC-RAS Mud and Debris Flow Manual 手冊資料，設定為 2500 (pa)和 1000(Pa・s)，其成果如圖 3-29 所示。由明霸克露橋之災害過程時間及橋台高度資料，使用 O'Brien 模式模擬，於 8 月 7 日上午 10 時，各濃度水位皆未達梁底高程，而於 8 月 7 日下午 13 日，土石流應已接觸梁底，但模擬結果未符合實際現象。

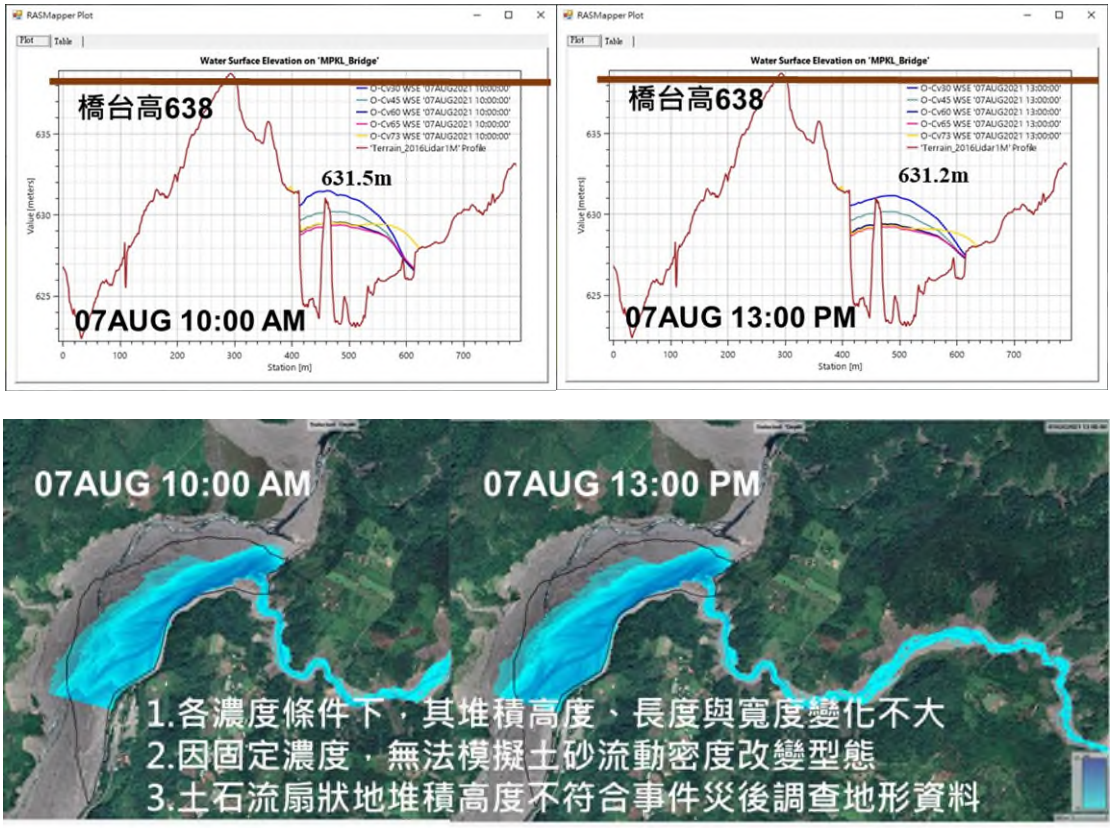


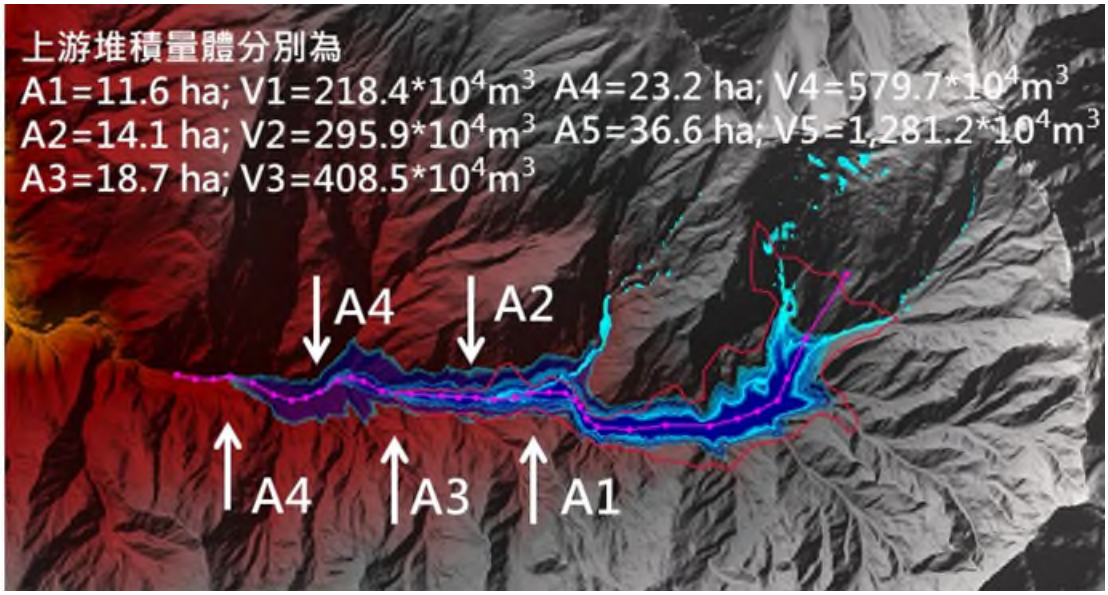

**圖 3-29 O'Brien 土石流模式模擬成果圖**

(六) Hybrid 土石流模式模擬結果

由明霸克露橋之災害過程資料，玉穗溪集水區出流口之流體運動型態，由高含砂水流轉洪水-泥流再至土石流之階段變化，其間土砂濃度皆不相同，且上游邊坡崩落土體之量體未納入演算條件，因此在模擬玉穗溪土石流案例，將土石流分為兩個階段模擬，第一階段為模擬崩塌土體堆積情形，分別土砂濃度 55、60、65、73、80%，其對應之堆積量體為 218、296、409、580、1281 萬立方公尺 (圖 3-30)。第二階段則則是以第一階段模擬成果作為前置條件，並配合 O'Brien 模式模擬土石流流出行為。

由圖 3-31、圖 3-32 模擬成果可知，於土石流於到達明霸克露橋所對應之災害過程時間，其流體高度於 8 月 7 日上午 10 未接觸到梁底、於 8 月 7 日下午 13 日 15 分時已接觸到梁底、於是日下午 15 時已超過橋台面高程，符合災害時間資料。

其次，由集水區出口土石流沖積扇面積和堆積高度比對，其堆積長度超過 1800 公尺，最大堆積高度約 23 公尺，亦符合重大災害事件調查報告。



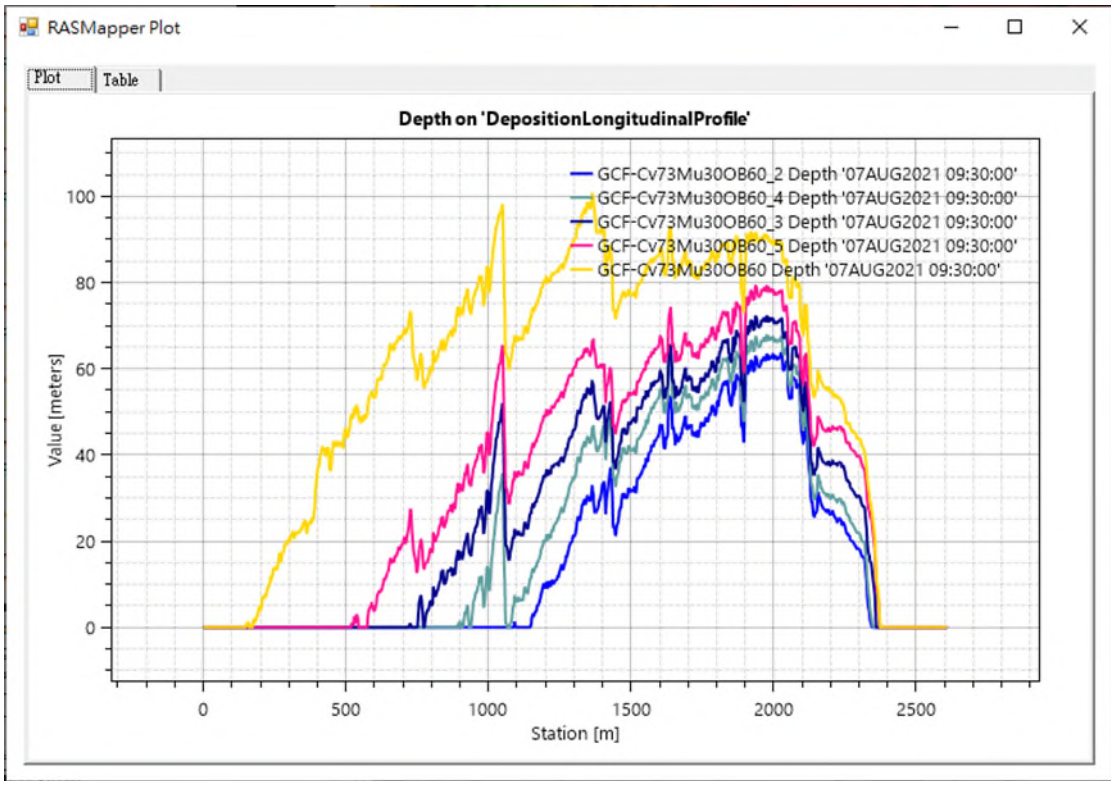




**圖 3-30　不同堆積濃度條件下堆積量體及範圍圖**

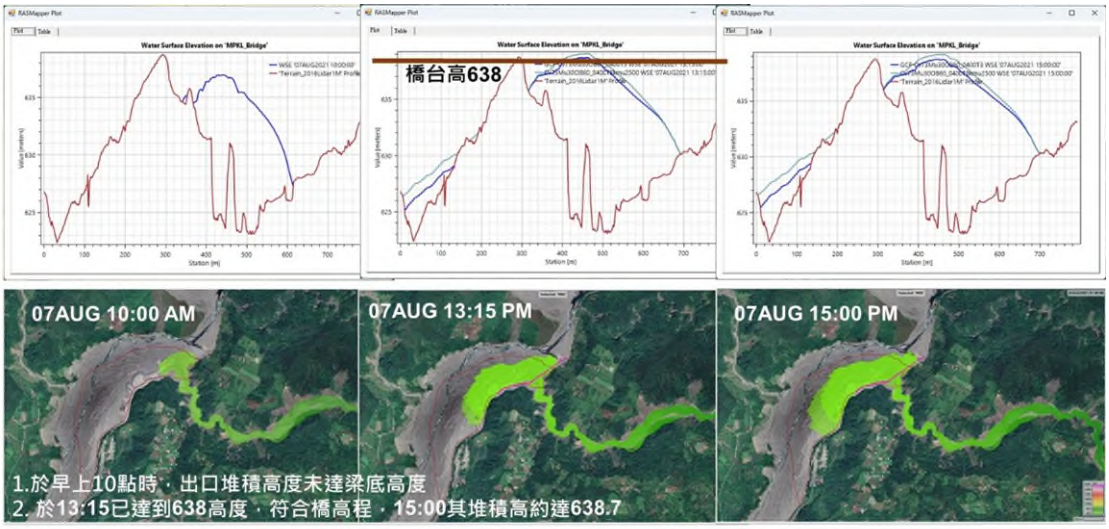



圖 3-31 不同堆積濃度條件下堆積量體及範圍圖

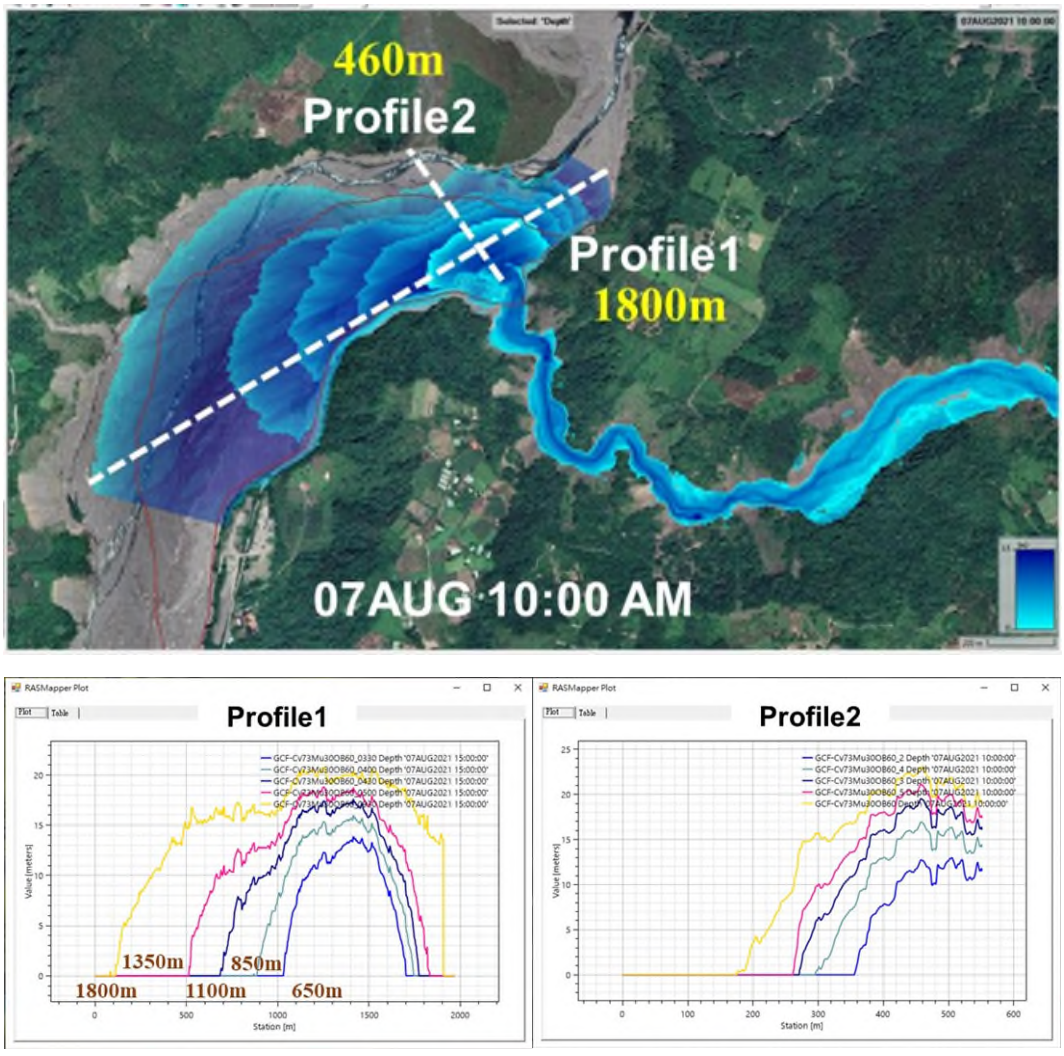



圖 3-32 不同堆積濃度條件下堆積量體及範圍圖

## 四、 結論與建議

本研究利用 HEC-RAS 二維水理之土石流模組進行不安定土砂流出初步研究，以小關山(C1V220)雨量站資料演算降雨逕流，作為土砂災害模擬之上游邊界條件。此外，藉由 2021 年 8 月 11 日之災後 UAV 空拍及 DSM 資料，比對土石流扇狀地範圍，以驗證數值模式成果。依據本研究成果綜整結論與建議如下：

1. 110 年盧碧颱風及 0806 豪雨之降雨事件，分析事件期間小關山雨量站降雨量，其降雨最大重現期為 10 年，但卻形成大規模崩塌及土砂災害發生，並造成明霸克露橋受土石流沖毀掩埋。可能為上游集水區內在地質破碎導致低降雨量即誘發土砂災害事件。

2. 災後 UAV 空拍照片顯示玉穗溪土石流堆積扇擴大，顯示集水區上游大量不安定土砂易隨降雨流出並影響集水區出口臺 21 線及明霸克露橋。

3. 本研究透過不同土石流流變模式、不同體積濃度及降伏應力模擬分析，可協助評估土砂流出分析與重現致災過程，透過不同體積濃度及來源量體模擬分析，並有效模擬土砂流出影響範圍，作為相關單位防災應變決策參據。

4. 土石流流動受細微土砂影響，將改變水流與土砂流動密度及流變型態，但受限於數值模式之土砂濃度不可隨時間變化設定，無法有效模擬洪水、換高含砂水流、泥石流、土石流等不同土砂運移型態轉換。建議未來可持續研究不同流況及土砂運動型態轉變之土砂災害數值模式。

5. 目前本研究使用 HEC-RAS 2D 土石流模組，其優點為開放軟體供大眾使用，成果可於自主 RAS Mapper 上展示，亦可將成果彙

出於 GIS 軟體上展示，但目前土石流模式上為定床方式，對於河床粒徑組成與地形沖刷淤積仍有限制。其次受限於固定土砂濃度限設，建議本計畫後續研究可應用日本京都大學之 Hyper Kanako 土石流模式，其為二維動床模式，透過侵蝕與淤積速率、代表粒徑、沖刷深度及土砂濃度歷線時間變化等條件設定，可獲取較佳之災後地形，建議未來以相同土砂災害事件分析此兩模式之優劣。

6. 在極端氣候影響下，受到強降雨影響下，將縮短土壤達飽和時間和坡面集流時間，可能影響集水區殘坡之不安定土砂穩定性。建議未來可發展航遙測影像評估土壤含水量，除協助調整數值模式之入滲參數、飽和度、土砂濃度等外，可精進評估邊坡不安定土砂之土壤含水量及穩定性推估。

7. 由於降雨強度之高度不確定性，提高現有工程設施之設計標準並非上策。建議對於不安定土砂潛勢集水區，未來仍需持續研擬訂定潛勢分區管理值與相應降雨門檻值作為警戒預警使用，並配合風險分級與分區管理方式，對於高潛勢以上之重點關注區優先預為準備，期能減低不安定土砂災害衝擊影響。

本研究應用 HEC-RAS 2D 土石流模組模擬玉穗溪上游不安定土砂運動過程，配合降雨逕流轉換雨量事件為數值模式所需之邊界條件，以及土砂災害記錄資料與災後無人機空拍產製 DSM 資料，其可協助評估土砂災害事件之土體運動型態並重現致災過程，透過不同體積濃度、來源量體、流變參數等數值條件與情境設定，可有效模擬土砂流出影響範圍，提供相關單位防災應變決策參據。

## 第三節　應用 ICS 與 SDF 模式於大規模崩塌災害探討

由大規模崩塌與不安定土砂所衍生之複合型災害，所產生巨量土砂可能進一步轉換成土石流，其巨量土砂運移可能阻塞河道形成堰塞湖，且回水範圍將影響上游聚落，一旦潰決更將造成下游沿岸聚落受洪水波衝擊等二次災害。針對大規模崩塌災害之土砂生產量及後續土砂災害影響範圍，本研究分別藉由 ICS 及 SDF 模式評估崩塌土砂量體及土砂災害影響範圍，可作為各大規模崩塌潛勢區可能發生之土體破壞情境快速評估工具，並提供疏散避難規劃等防救災應變參據。

### 一、 前言

2022 年東北季風及尼莎颱風之共伴效應與連日豪雨影響下，其邊坡土壤含水量增加並造成新北市汐止區鵠鵠崙大規模崩塌潛勢區 (新北市-汐止區-D003) 產生崩塌事件，該崩塌土體堆積於下方土石流潛勢溪流 (新北 DF197) 河道上，造成上游有蓄水現象且減少溪流通洪斷面。因大規模崩塌事件之崩塌深度與量體於災前不易判釋，對於如何事前評估可能的崩塌深度、量體、及其衍生之土砂運移影響範圍，本研究分別利用災害前之 HOST 地圖、橢圓-理想曲面法 (ICS)、災後 UAV 拍攝影像產製 DSM 等推估可能最大與平均之崩塌深度、崩塌量體及面積。再者為瞭解崩塌後土體運動型態，本研究應用農村水保署 BigGIS 平台內建簡易土石流模式 (SDF model) 進行崩塌土砂運移模擬，並將地形變異分析 (DoD) 推估之平均崩塌深度，作為土砂運移模擬的材料參數，並以災害後遙測影像及災後 DSM 作為驗證比對，探討複合模式作為快速評估大規模崩塌之土體與運移影響範圍。

## 二、 研究材料與方法

大規模崩塌事件災後之土體運移影響範圍及現場土體參數取得不易，常以經驗公式、航遙測影像或無人載具等方式評估，其中在大規模崩塌災害之土砂量體估算，經常使用「崩塌體積與面積」關係之經驗公式進行估算 (Guzzetti et al., 2009;水土保持局, 2015,林務局, 2012)，或以遙測影像判釋崩塌面積及現地調查崩塌平均深度資料，估算該事件崩塌體積，但上述兩種方法對台灣全島各區域的崩塌體積與面積估算成果差異極大。近年來則利用遙測影像或無人載具航拍所產製 DSM，與災前 DEM 進行地形變異分析 (DoD)，則可得到較經驗公式估算準確之實際地形變異量成果。

但是由於天候、道路可及性、UAV 操作相關法令規定等因素，未必能於災後第一時間立即獲取災區現場資料。再者，災前對於土砂運移可能之影響範圍評估，一般多藉由數值模式解算，其中除地形資料可由 DEM 建置外，其模式所需之流變參數與土體材料參數等，皆需由現場調查之土體材料建立參數(林德貴等人,2008; Nakatani et al.,2016; O’ Brien et al.,1993; Takebayashi,2009; Flo-2D, 2006)，但災後現場受氣候、交通可行性等，亦常導致土體參數資料蒐集不易。

因此，不論是經驗公式估算、地形變異分析(DoD)或數值模式模擬，如能在災前或災後第一時間，快速取得或估算合理的結果，對於防災整備與應變上將有莫大助益。本研究初步應用橢圓-理想曲面法(ICS)與簡易土石流模式(SDF model)此兩方法，其前者可藉由特徵點估算相關崩塌土體參數，後者只需崩塌深度與面積即可演算土砂影響範圍，藉此兩數值模式簡便參數設定方式，可初步掌握相關崩塌參數，作為災前災害潛勢評估及災後二次災害情境模擬的方法。

(一) 研究區域

本研究案例為 2022 年 10 月 17 日 12 時發生於新北市汐止區鵠鵠崙地區之崩塌災害 (圖 3-33，TWD97：319982, 2772380)，該處崩塌位於大規模崩塌潛勢區(新北市-汐止區-D003)之坡趾(圖 3-33 左)，崩塌下方水系為土石流潛勢溪流-保長坑溪 (新北 DF197)，因東北季風及尼莎颱風之共伴效應，挾帶連日豪雨使邊坡土壤因含水量增加而產生崩塌，崩塌地之崩崖造成受災房屋之農路地基流失，並且崩塌土砂堆積於土石流潛勢溪流，使溪流通洪斷面縮小，造成上游蓄水現象，惟當下並無立即形成土石流之跡象 (水土保持局，2022)。

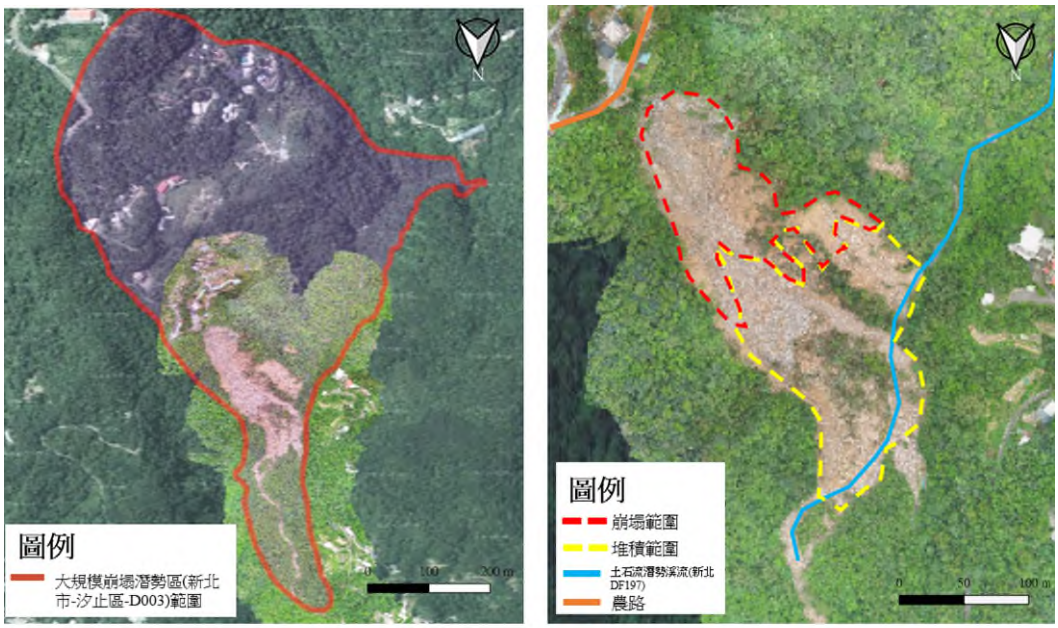



**圖 3-33 研究區域新北市-汐止區-D003 位置圖**

(圖左紅線：潛勢區範圍圖；圖右紅線：崩塌範圍；圖右黃線：堆積範圍)

(二) 研究材料

本研究使用農村水保署 BigGIS 平台 2010 年 HOST 地圖(圖 3-34 左)與災後航遙測影像的實際崩塌範圍(圖 3-33 右)，作為橢圓-理想曲

面模式進行崩塌量體估算的位置參考依據；另外為計算災害前後之地形變異量，使用 2010 年 1m DEM (圖 3-34 中)與水土保持局臺北分局於 2022 年 10 月 20 日以 UAV 空拍產製之數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM) (圖 3-34 右)，做為該崩塌事件地形變動比對之基礎資料，相關研究基礎資料如表 3-7 所示。

**表 3-7 ICS 與 SDF 研究材料基礎資料表**

| 項目 | 基礎資料 |
|---|---|
| 災前數值地形 | 開放資料 20 公尺 DEM (2015) |
| 災後數值地形 | 災後 UAV 產製 DSM (2022) |
| 運動黏滯係數 | 112 年鵝鑾鼻地區及其現生崩塌地潛在大規模崩塌調查監測計畫 |
| 鵝鑾鼻災害事件記錄 | 土石流及大規模崩塌防災資訊網-重大災害事件 |
| 航遙測影像 | BigGIS 衛星影像 |

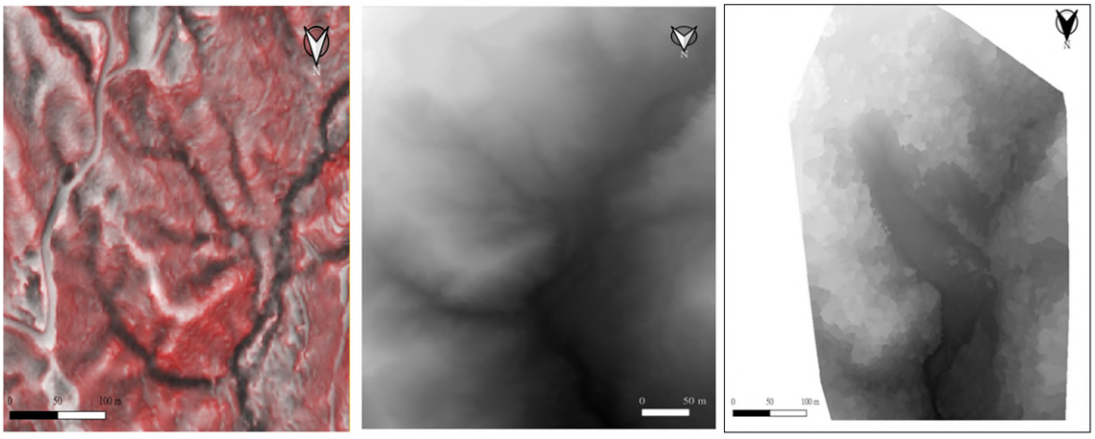


**圖 3-34 研究材料-地形資料**

(左圖：HOST 地圖；中圖：2010 DEM；右圖：2022 DSM)

(三) 橢圓-理想曲面法

本研究使用橢圓-理想曲面法(Ellipse-Referenced ICS method)進行土砂量體估算分析，得到崩塌參數。此模式係 Tai et al. (2020) 及 Ko

et al. (2021)提出，只需應用數值地形模型 (DEM) 對崩塌目標區域建構破壞曲面與對應特徵參考點，即可透過面積體積經驗式與破壞曲面推估其對應之崩塌量體、最大與平均崩塌深度及可能崩塌範圍，其破壞曲面估算方式簡述如下:

在崩塌表面上建立一理想曲面，其幾何特性主要由軸向曲率與側向曲率來估算軸向及側向崩塌最大深度($d_1$ 或 $d_2$)(圖 3-35 左上)，並透過曲率中各幾何參數決定理想曲面破壞面對應之崩塌體積(圖 3-35 右上)，其中理想曲面套疊在崩塌表面的過程中，須進行理想曲面的平移、旋轉或是偏轉(圖 3-35 下)，以搜尋出估算之破壞範圍與規劃崩塌潛勢區域面積差異最小的理想破壞曲面，得到理想破壞曲面衍生的崩塌範圍；另外此方法須近似 Guzzetti et al. (2009)提出的崩塌面積與崩塌量體之經驗式 ($V_L=0.0774*A^{1.450}$) 結果。橢圓-理想曲面法可以使用的情境有二種，分別為發生前與發生後，分述如下：

1. 崩塌發生前，先以地表地形特徵點找出未來可能滑動之塊體，並由橢圓-理想曲面法推估其可能崩塌量體、最大及平均崩塌深度與崩塌範圍。

2. 崩塌發生後，由實際崩塌範圍之邊界選擇特徵點，以橢圓-理想曲面法法估算崩塌量體、最大及平均崩塌深度與崩塌範圍。

因此本研究以此兩種情境，在崩塌事件發生前利用災前 HOST 地圖，在崩塌事件發生後利用災後航遙測影像的實際崩塌範圍邊界，分別選定特徵點，進一步使用橢圓-理想曲面法(ICS)推估可能崩塌量體、最大與平均之崩塌深度及面積。

(四) 簡易土石流模式

本研究使用簡易土石流模式 (Simplified Debris-Flow model，Chen et al., 2018) 進行土砂運移模擬分析，該模式參考 Hunt (1994) 提出以完全發展層流 (Full developed laminar flow) 為流體模型進行土石流運動之模擬，假設坡面土石含水量為飽和狀態、水分與泥砂為均勻混和、形成土石流流體後沿溪溝移動，其將複雜的土石流運動過程加以簡化，以增加演算效率。目前該簡易土石流模式已建置在農村水保署 BigGIS 圖台上，其模式演算時僅需設置：崩塌深度、土砂料源區、運動黏滯係數、體積濃度與演算時距等設定即可。

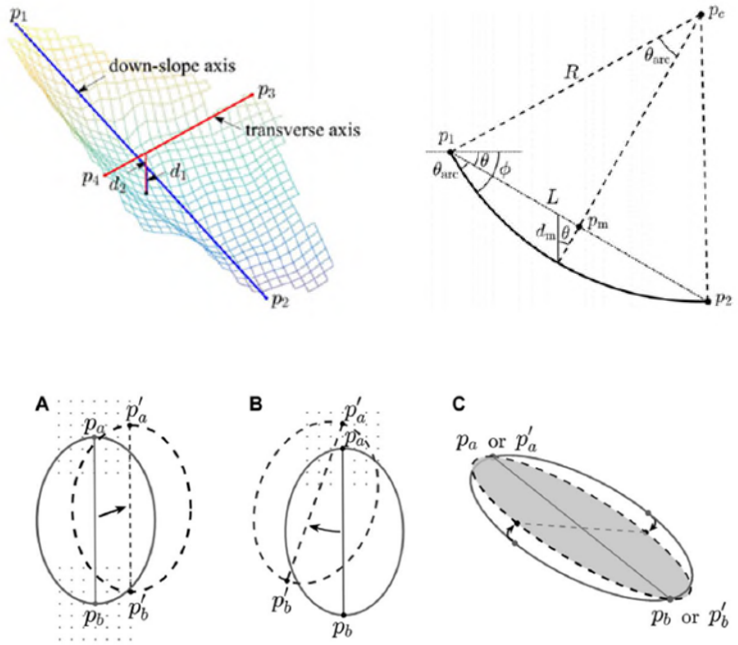



**圖 3-35 橢圓-理想曲面法-幾何特性與曲面套疊示意圖**

## 三、結果與討論

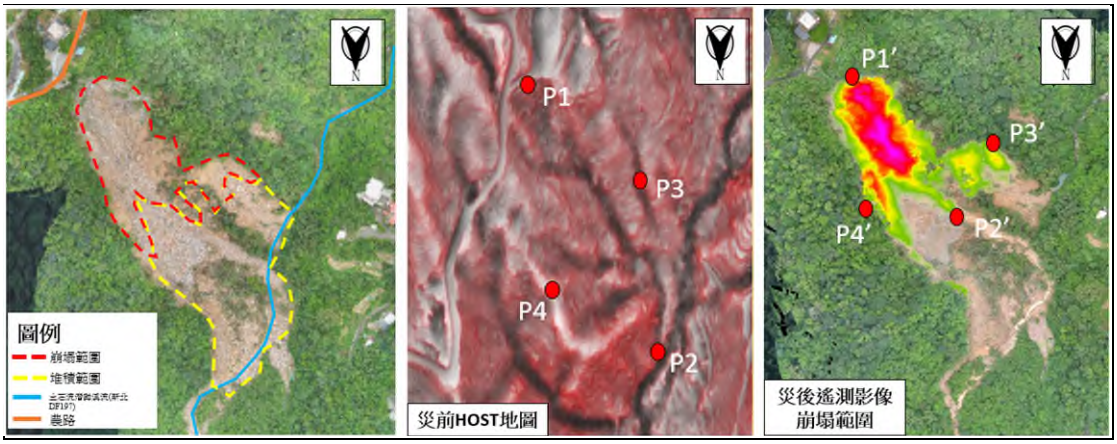
(一) 橢圓-理想曲面法演算之崩塌參數成果

本研究以橢圓-理想曲面法演算崩塌發生前與崩塌發生後兩種情境，其成果如下：

情境一為崩塌發生前，利用災前 HOST 地圖選擇地表地形特徵點，由 P1 至 P4 特徵點以決定軸向與側向曲率，P1 選擇坡面最上方位置，P2 選擇整體坡面最下方位置，P3 選擇坡面最右側蝕溝，P4 選擇最左側山脊線位置(圖 3-36 中上)；

情境二為崩塌發生後，利用災後航遙測影像的實際崩塌範圍邊界，選擇 P1'、P2'、P3'、P4'等四個特徵點(圖 3-36 右上)，再由 ICS 分析得到各別情境的崩塌參數，並將結果與地形變異量 (DoD) 比較。

分析結果顯示，相較於以災害前後數值地型計算出之地形變異量(DoD)，以 ICS 法所估算崩塌量體差異百分比，情境一與情境二分別為 23.1%與 4.2%，兩種情境在最大深度與平均深度差異百分比，以情境二演算成果差異較大，推測結果原因，從實際的 DoD 結果可得知本研究崩塌集中在整體崩塌地上方且屬於平面型破壞型態的崩塌，而 ICS 分析法較適用於圓弧型破壞型態，以至於估算深度明顯較 DoD 深。再者，情境二之參考橢圓相較情境一面積小，且集中於崩塌地發生區而非堆積範圍，其 ICS 參考橢圓軸向與側向曲率較大，係以估算深度明顯較近橢圓形狀的情境一成果為深。兩種情境在面積差異百分比皆較 DoD 分析成果小，推測結果原因為 ICS 法主要適用於圓弧型破壞曲面型態，其受崩塌深度影響較大，致使該破壞曲面下崩塌面積集中且崩塌深度位置較深，因此估算面積成果較 DoD 結果小。




| 崩塌參數 | 崩塌量體 ($m^3$) | | | 面積 ($m^2$) | | | 最大深度 (m) | | | 平均深度 (m) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ICS | DoD | 差異 (%) | ICS | DoD | 差異 (%) | ICS | DoD | 差異 (%) | ICS | DoD | 差異 (%) |
| 情境一 | 127764 | 103,800 | **+23.0** | 6300 | 13,898 | **-54.6** | 42.1 | 21.5 | **+96.1** | 20.2 | 8 | **+153.5** |
| 情境二 | 108240 | | **+4.2** | 4400 | | **-68.3** | 50.8 | | **+136.2** | 24.6 | | **+207.5** |

**圖 3-36 橢圓-理想曲面法與地形變量異差異比較**

(二) 簡易土石流模式演算之土砂運移成果

本研究在崩塌發生後其土體運動型態，應用簡易土石流模式(SDF) 與地形變異量分析成果(DoD)，其地形設定採用內政部地政司開放資料之 2015 年 20 公尺 DEM；土砂料源區設定為本案例實際崩塌範圍；運動黏滯係數參考水土保持局 112 年「鵲鵲崙地區及其現生崩塌地潛在大規模崩塌調查監測計畫」報告，其地質鑽探結果得知該崩塌地主要為土壤、岩屑與岩塊所組成，因此參照 SDF 模式之建議值設定運動黏滯係數為 2.0($m^2/s$)；體積濃度部分，參照 SDF 模式之建議值分別設為 0.96 及 0.5，以探討崩塌後土砂直接堆積，以及受長延時降雨導致崩塌土砂形成土石流等二種不同運動型態；演算時距採用 SDF 模式建議值，以穩定流動模擬並設定時距為 0.5 秒 (圖 3-37)。

簡易土石流模式 (SDF) 土砂運移模擬分析成果，如圖 3-38 所示，

其中在崩塌後土體形成堆積範圍模擬成果，其堆積範圍與災害後遙測影像土砂直接堆積範圍大致相符，亦即 SDF 可重現當時土砂堆積狀況;在崩塌後土體形成土石流模擬成果，以體積濃度 0.5 進行模擬 (圖 3-38 右下)，其土砂運移明顯超過鵠鵠崙崩塌之災害後遙測影像堆積範圍，所形成之土石流運移至接近下游聚落位置。從崩塌後土體形成堆積範圍與崩塌後土體形成土石流，兩者模擬成果有助於分析崩塌土體在不同情境條件下的土砂運移狀況，並針對不同土體運動型態推估相應土砂運移影響範圍。




| 現地料源型態 | 運動黏滯係數 ($m^2/s$) |
|---|---|
| 礫石型態料源 | 2.00–5.35 |
| 砂質壤土含礫石料源 | 1.00–2.00 |
| 砂質壤土含泥質型態料源 | 0.50–1.00 |
| 泥質型態料源 | 0.23–0.50 |

| 運動型態 | 體積濃度 |
|---|---|
| 土石流 | 0.45–0.55 |
| 高濃度泥流狀洪水 | 0.2–0.4 |

圖 3-37 SDF 模式參數設定

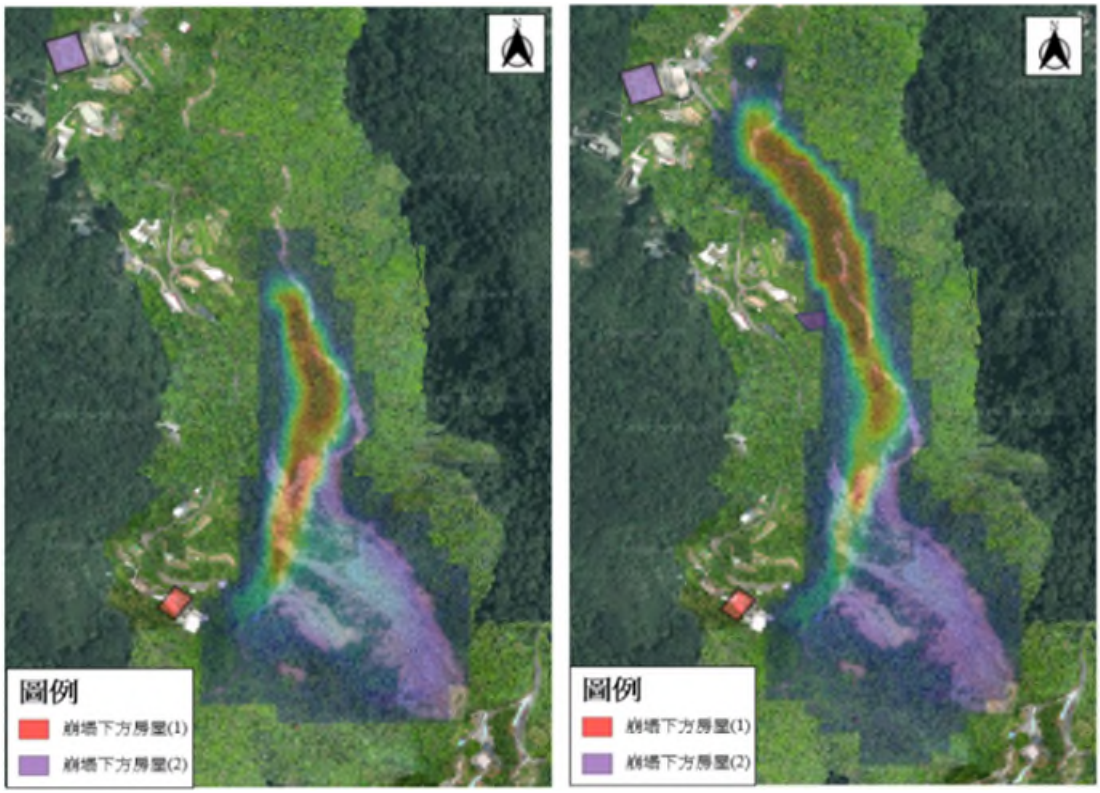



圖 3-38 SDF 模式模擬成果

(圖左：崩塌後土體形成堆積；圖右：崩塌後土體形成土石流)

## 四、 結論與建議

由 ICS 與 SDF 之複合模式應用，當邊坡發生大規模崩塌災害後，可快速掌握崩塌土砂量體與其相關崩塌參數，並進一步評估崩塌土砂堆積與其後續可能土體運動影響範圍，相關結論與建議如下：

1. 從本研究結果可得知，在崩塌發生前之情境設定下，於崩塌發生前情境可依據 HOST 地圖輔助判釋現場地形特徵點，初步劃設可能崩塌區域，則可由 ICS 模式估算大規模崩塌潛勢區可能發生之崩塌量體與深度等崩塌參數。

2. 在崩塌發生後之情境設定下，搭配災後衛星影像或無人機拍攝影像資料，由崩塌實際範圍邊界可輔助劃設特徵點，並配合 ICS 模

式可快速評估大規模崩塌潛勢區之崩塌深度、面積與體積等崩塌參數，具有一定之參考價值。

3. 當前 ICS 模式所評估崩塌地形狀，係以橢圓形之軸向與側向曲率為主進行崩塌深度演算，其較適用於圓弧型破壞型態之崩塌類型災害。

4. 於崩塌災害發生後，評估土體運動災害影響範圍則可由 BigGIS 內建的 SDF 簡易土石流模式估算，其採雲端運算方式，模式僅需圈繪崩塌料源範圍，並設定崩塌深度、運動黏滯係數、體積濃度等數值模式所需參數，即可快速演算並提供視覺化演算成果，可有效評估崩塌後的土體運動型態及影響範圍，其有助於提供相關單位防救災規劃參考。

5. 目前 ICS 模式在平面形破壞型態之崩塌災害，所推估之崩塌深度和面積誤差較大，依據 Wang et al. (2022) 提出基因演算-參考橢圓-理想崩塌曲面法 (GA-ER-ICS) 研究成果，其藉由基因演算修正橢圓曲面之軸向與側向曲率導致推算崩塌面積較小之問題，其可使面積與體積之推算更加精準，建議未來可作為本案例持續研究發展與應用。

# 第四章 基礎資料加值應用與校核

本 (112) 年度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、基礎資料蒐集與校核、推廣 BigGIS 平台應用及協助人員培訓等各項工作成果。

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，另外以 BigGIS 平台之空間資訊協作及整合應用為主題，參與 Open Data Day Taiwan 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。

其次為基礎資料蒐集與校核方面，則是藉由彙整歷史文獻、計畫成果與研究案等資料，綜整 68 年至 110 年間全臺灣歷史堰塞湖案例資料，輔以歷史衛星影像判釋堰塞湖資料，並經由人工檢核各天然壩與堰塞湖座標，作為臺灣歷史堰塞湖案例之開放資料。另外，則是蒐整過往歷史土壤力學試驗報告，逐一掃描成 PDF 電子檔案，並由人工檢視其山坡地土壤力學基礎資料，將各項試驗數據數值化，彙整為臺灣山坡地土壤力學資料，供各界參閱使用。

在推廣 BigGIS 平台應用及協助人員培訓方面，則是協助農村水保署於應變開設期間整理災情空間資訊、協助 BigGIS 教育訓練、推廣署內地理資訊系統、地理資訊之空間圖資公開與加值應用等，協助署內各單位人員更瞭解平台功能與地理圖資資源。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

## 一、　黑客松 X 歷史影像平台

農村水保署連續三年參與黑客松活動，主要為推廣各界人士參與歷史影像之蒐集、提供與定位活動，藉由參與公私協力以推廣資料應用，此次活動主要目的為邀請公眾共同來為歷史影像定位、串連同一地點在不同時間軸上所發生的事件，並進一步分析同地區的水土災害原因與規模，盡可能避免同樣的災害再度發生。本次 7 月 1 日黑客松活動，由 g0v 零時政府揪團、農委會水土保持局 (組改前機關名稱)、農業科技研究院共同主辦「台灣零時政府第伍拾陸次真的假的黑客松 x 水保局」活動 (https://g0v-jothon.kktix.cc/events/g0v-hackath56n)，其辦理地點在台中集思台中新烏日會議中心，由共同分享與協作方式，以尋找實務上可能的解方，以減少天然災害傷害 (圖 4-1)。

在黑客松活動簡報內容，以定位募集、歷史照片加值為主題，其內容概略分為歷史影像平台簡介 (包含影像典藏、時空地圖、版面優化、隨手上傳、資料整合 API 共享等)，並分別就國外應用與國內案例，說明災害遺跡、紀念碑、古地名等與災害潛勢關聯，希望透過長期募集(提供歷史老照片與災害新照片) 與公私協力合作，如慈濟、柯金源導演等史料提供；LASS 總統盃專案；WikiData、OSM 串接應用等方式，擴大歷史影像典藏量並推廣應用 (圖 4-2、圖 4-3)。

因此，就歷史影像平台之核心價值在於保存臺灣歷年土砂災害照片，透過數位典藏方式留存歷史土砂災害記憶，使後人得以記取歷史教訓，進而提升整體防災意識。為讓土砂災害歷史紀錄照片應用更多元，將防災意識散播出去，農村水保署將無版權爭議照片採用創用 cc 授權分享，俾利民眾共享及應用政府資料、促進及活化政府資料應用。


















**圖 4-1　黑客松活動現場照片**




**圖 4-2　黑客松合作提案簡報-1**




**圖 4-3　黑客松合作提案簡報-2**

## 二、 Open Data Day Taiwan 2023

Open Data Day (開放資料日) 全球各地舉辦與開放資料有關活動，展現各地開放資料成果及應用，並推廣開放資料的各種概念。今年以「環境資料」作為主軸，用開放資料概念串連國內外不同單位，從文史、災防、GIS 及資料處理等多元面向，分享資料如何應用在生活中，更重要的是如何將觀察的環境資料，回饋到目前開放資料中 (https://meta.wikimedia.org/wiki/Wikimedia_Taiwan/Wikidata_Taiwan/OpenDataDay_Taiwan_2023)。

今年度農村水保署與維基共享資源 (Wikimedia Commons) 辦理「Open Data Day Taiwan 2023」活動，於 3 月 3 日至 4 日於臺北大學與北大海山學研究中心、臺灣維基數據社群、德國維基社群等開放資料應用單位共同舉辦 「Open Data Day Taiwan 2023」活動，交流資料應用經驗與未來展望。藉由國際資料庫專案，文史保存、社區發展、災防應用等議題促進協作，同時結合開放街圖與 Wikidata 工作坊，實做異質資料與 GIS 加值等方式，與不同單位及民眾交流，汲取外部經驗與創意，作為本局未來資料應用之規劃與策略參考 (圖 4-4)。

農村水保署在「Open Data Day Taiwan 2023」活動，主要以開放資料議題發掘及應用，由環境資料及案例、技術、經驗等應用交流、工作坊實作，促進開放資料之應用。當天以「從歷史照片與異質資料保存-回顧開放資料與資料開放」為主題進行專題發表，其內容可概略分為資料的發展路徑、開放資料、API、GIS、資料集、歷史影像平台、時空地圖、CC 授權、環境變遷、異質資料集、研究成果、領域知識共享等主題分享，以促進政府資料開放應用並推動各機關資源共享 (圖 4-5、圖 4-6)。




資料來源：https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Open_Data_Day_Taiwan_2023_Day_1.

**圖 4-4　Open Data Day 活動現場照片**

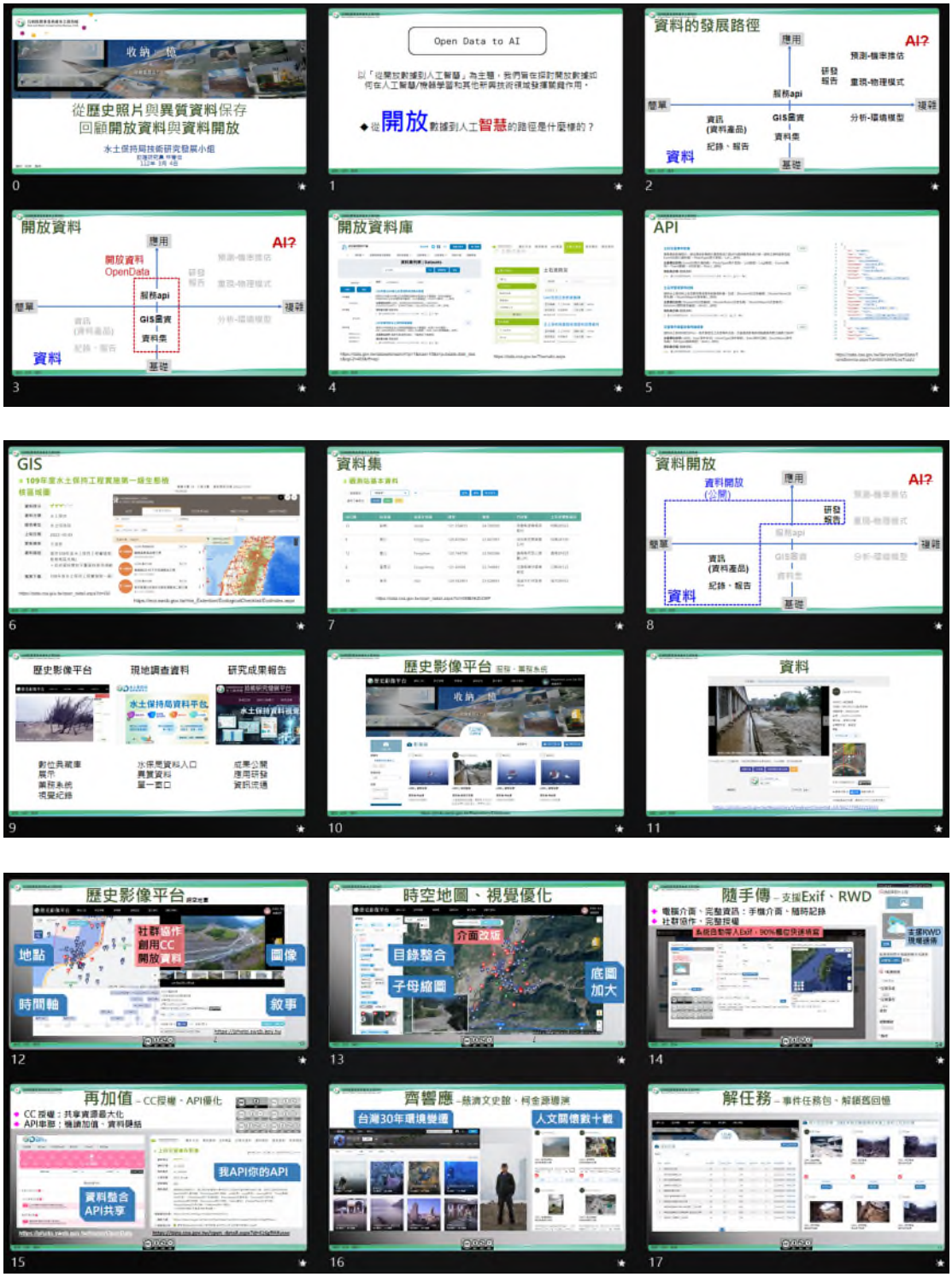



**圖 4-5 Open Data Day 活動簡報-1**




**圖　4-6　Open Data Day 活動簡報-2**

## 三、 臺灣歷史堰塞湖案例資料

台灣山區地勢陡峭、地質破碎，加上地震或颱風豪雨事件容易造成山區土石崩塌，崩塌之土體一旦於河道堵塞，極有可能形成堰塞湖(圖 4-7)。依據 Costa and Schuster (1987) 研究顯示，堰塞湖存在時間短則幾小時，長則數千年 (圖 4-8)，若發生潰決將嚴重影響下游居民生命財產安全，實為防災應變之重要課題。




楠梓仙溪上游堰塞湖




太麻里溪上游包盛社堰塞湖




高雄甲仙鄉小林村



好茶村隘寮南溪上游堰塞湖



屏陳縣來社溪堰塞湖




屏東縣春日鄉士文溪堰塞湖

資料來源：https://photo.ardswc.gov.tw/Repository/Database

**圖 4-7 2009 年莫拉克颱風形成堰塞湖案例**

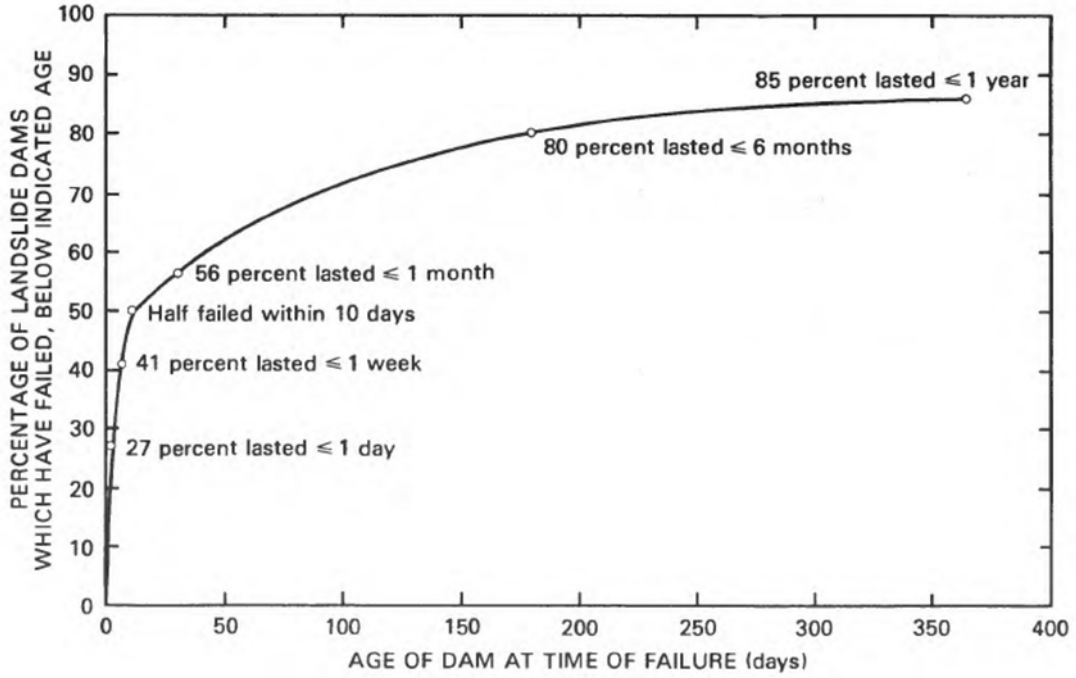



Figure 6.--Graph showing length of time before failure of landslide dams, based on 73 cases from the literature and the authors' experience.

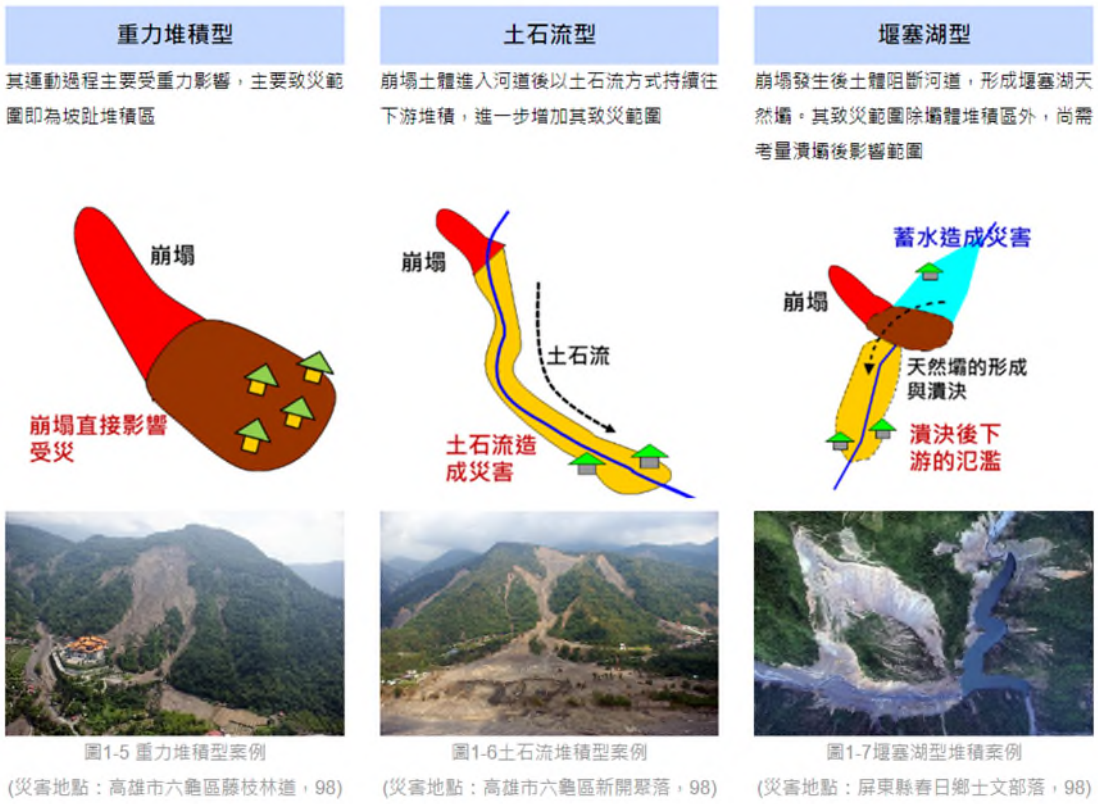
資料來源：Costa & Schuster (1987).

**圖 4-8　堰塞湖案例存在時間統計圖**

再者，近年極端氣候影響下，短延時強降雨或長延時高強度降雨情境，往往造成山區複合型土砂災害發生，並導致下游區域洪水溢淹災害。當山區邊坡發生崩塌時，在無雨情境下時，其土體材料受重力影響開始運動，而當地形出現坡度轉折點、谷口開擴處、平坦地等，其底部摩擦力大於土體驅動力時，則土體停止運動，可能形成材料堆積於坡腹至坡址處、甚阻斷河道形成天然壩。其二當崩塌伴隨降雨發生，其土體運動除重力作用外，再伴隨流體作用力下，其影響範圍則進一步擴大，可能形成土石流或是堰塞湖潰決情形出現。

依據農業部農村發展及水土保持署「土石流潛勢溪流及大規模崩塌潛勢區劃設作業要點」與土石流及大規模崩塌防災資訊網「大規模

崩塌影響範圍劃設」資料，影響範圍劃設作業方法，大規模崩塌發生後，依影響範圍其土體運動堆積型態可以劃分為三種型態 (圖 4-9)。




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

**圖 4-9　大規模崩塌響範圍堆積型態分類示意圖**

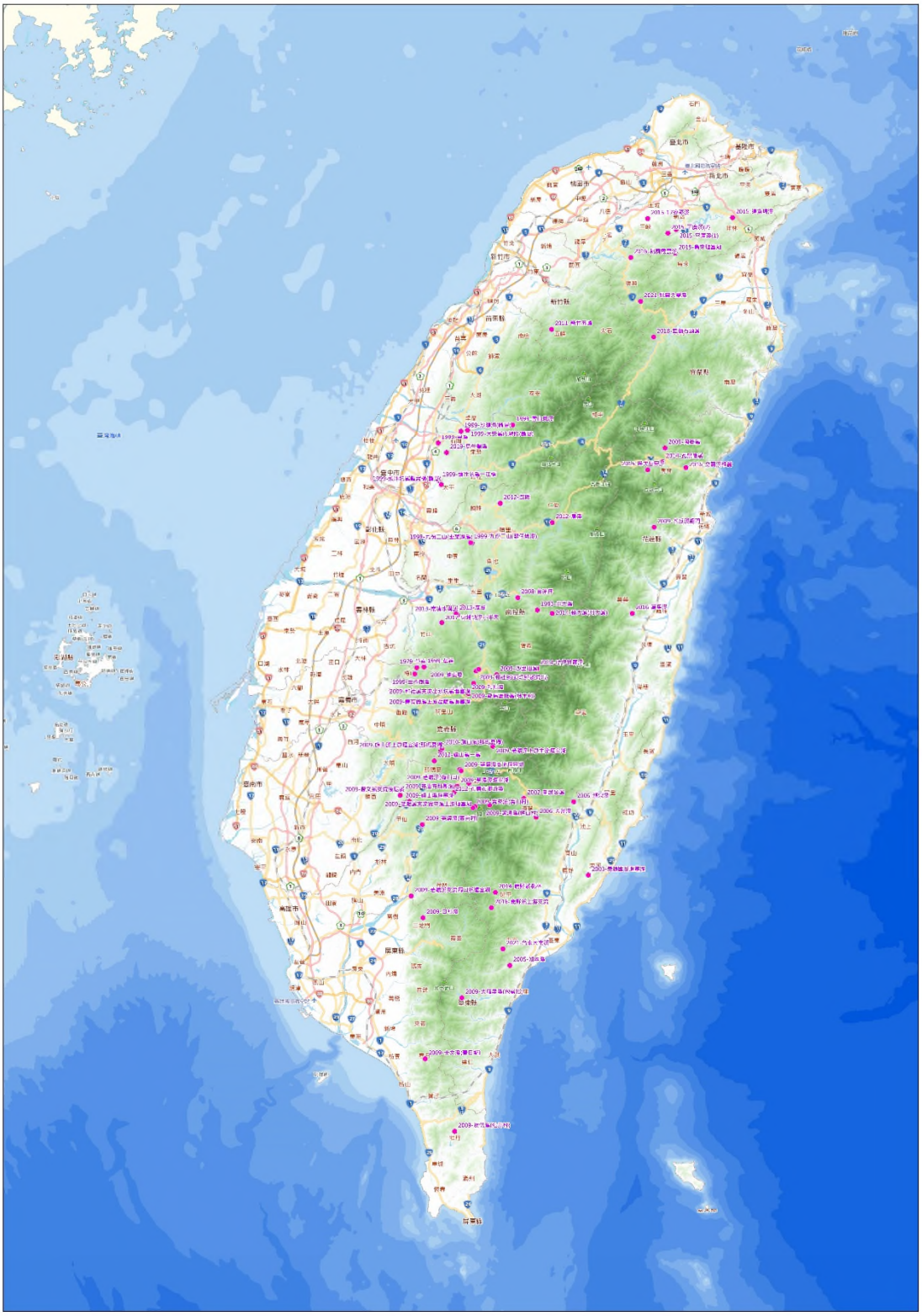
綜上，大規模崩塌及其衍生之土砂災害與影響範圍，除仰賴現場調查及潛勢評估外，藉由過往災害案例研習與探討，用以精進堰塞湖類災害型態之防災技術與應變決策參據，並且為完成重要研究基礎資料數位化與加值應用，本研究參考新聞報導及文獻紀錄，蒐集全臺灣 1979-2021 年共 77 處天然壩堰塞湖案例 (表 4-1)，並應用多時期遙測影像與 DEM 資料回溯查驗歷史堰塞湖是否形成，並加以判釋出崩塌地及堰塞湖壩體座標與相關記錄資料共計 19 項，據以彙整臺灣歷史堰塞湖案例資料，以作為產官學研各界研究應用 (圖 4-10)，其資

料成果展示於農村水保署「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 4-1 臺灣歷史堰塞湖案例表**




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



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

**圖 4-10 歷史堰塞湖分布點位圖**

## 四、 臺灣山坡地土壤力學資料

基於山坡地保育與利用需求，應有完整土壤資料作為指引，山地農牧局於民國 68 年承農委會指導下成立「山坡地土壤調查計畫」，辦理山坡地土壤調查工作，供農業資源規劃及山坡地開發及保育利用(山地農牧局，1984)。上揭調查報告書內容大致為調查地區概況、土壤生成與分類、土系關係表及調查方法、土系說明、土壤管理與利用等，提供地形與土壤性質關係，對坡地保育利用有莫大助益。然而受到工商業發展及都市化需求土壤擴張，為減少與防範坡地災害發生，省農林廳水土保持局推動後坡地調查，針對坡地工程用土壤各項基本力學特性進行野外調查，並配合相關坡地環境調查成果，建立完整坡地資料，俾供坡地開發利用及防災工作之參據 (水土保持局，1995)。

依據計畫總召集人蔡光榮教授口述資料，該計畫由多校分年分區執行法定坡地土壤工程力學特性試驗與分析，其對現地薄管取不擾動土壤、取樣封臘與現地擾動土壤 5 kg 以上，再運回土壤力學實驗室進行土壤基本物理性質與力學特性試驗，土壤物理性質包括土壤比重，含水量，機械分析，孔隙率，空隙比，阿太堡試驗，土壤質地，工程土壤分類，必要時得包括土壤 pH 值＆土壤粘土礦物 X-ray 繞射分析（由成大資源工程系協助）至於土壤力學特性包括現地與實驗室土壤重模直接剪力試驗，單軸抗壓，定水頭與變水頭飽和土壤滲透性，土壤夯實，土壤壓密等相關力學性質試驗，最後完成土壤取樣點標註 TM 二度分帶座標，二種工程土壤分類（AASHTO 與 US Unified Soil Classification 美國統一土壤）併列與各縣市坡地工程土壤分類分布圖，以及簡單的 GIS 工程土壤資料庫查詢系統，提供水保工程規劃設計參考依據 (蔡光榮教授口述資料，2023 年 10 月 23 日)。

但由於歷史紙本報告保存不易，本計畫遂逐一將報告掃描成 PDF 檔案，並由人工重新整理成共通格式再加以數化，綜整民國 81 年至 88 年間台灣省農林廳陸續委託國內專家學者建立調查、取樣、試驗，以建立台灣山坡地土壤力學性質基本資料。本項山坡地土壤力學基礎資料之數化與校核工作上，針對上述民國 81 年至 88 年間成果報告進行數化作業，共計盤點 36 本報告書 (表 4-2) ，共計 55 項土壤力學性質資料 (表 4-3)，並完成 697 筆土壤力學試驗資料數化，成果上傳資料庫並公開於農村水保署資料管理平台 (https://data.ardswc.gov.tw/Data/BasicInformation，圖 4-11)，供各界參閱下載應用。

**表 4-2 臺灣山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫表**

| 計畫編號 | 報告書名稱 |
|---|---|
| AR091 | 八十一年度台灣西部地區治山防洪計畫台灣西部地區山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫－高雄地區(一) |
| AR022 | 八十一年度台灣西部地線山坡地土壤力學性質基本資料調查及應用研究計畫 |
| AA027 | 八十七年度台灣東部及蘭陽地區治山防洪計畫山坡地土壤力學性質在水土保持工程上之一般應用研究(七) |
| AA030 | 八十七年度西部地區治山防洪計畫台灣西部地區山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫-桃園地區調查及全省研究報告總整理第二部份全省研究報告總整理 |
| AA029 | 八十七年度西部地區治山防洪計畫台灣東部地區及蘭陽地區土壤力學性質基本資料調查計劃--台東地區(四)期末報告 |
| AR021 | 八十二年度台灣西部地區治山防洪研究計畫(初稿)山坡地土壤力學性質在水土保持工程上之應用(Ⅱ)－土壓力與擋土牆 |
| DN005 | 八十三年度西部地區治山防洪計畫台灣省各縣是山坡地土壤力學性質圖表之編繪研究(二)高雄縣與台南縣 |
| DN006 | 八十三年度西部地區治山防洪計畫台灣省各縣是山坡地土壤力學性質圖表之編繪研究(三)台南縣 |
| CS005 | 八十五年度台灣東部及蘭陽地區治山防洪計畫台灣東部及蘭陽地區土壤力學性質基本資料調查計畫-台東地區(二)期末報告 |
| CS003 | 八十五年度西部地區治山防洪計畫台灣省西部地區山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫-台北基隆地區期末報告 |
| CS002 | 八十五年度西部地區治山防洪計畫台灣省西部地區山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫-屏東縣(四) |
| CS004 | 八十五年度西部地區治山防洪計畫台灣省西部地區山坡地土壤力學 |

| | |
|---|---|
| | 性質基本資料調查計畫-澎湖地區(二)期末報告 |
| CS001 | 八十五年度西部地區治山防洪計畫台灣省西部地區山坡地土壤力學性質基本資料調查-彰化地區期末報告 |
| DP006 | 八十四年度台灣東部及蘭陽地區治山防洪計畫山坡地土壤力學性質在水土保持工程上之一般應用研究(四) |
| DO010 | 八十四年度台灣東部及蘭陽地區治山防洪計畫台灣東部地區及蘭陽地區土壤力學性質基本資料調查計畫-台東地區(一)期末報告 |
| DN004 | 八十四年度西部地區治山防洪計畫台灣省山坡地土壤力學性質基本資料調查-澎湖地區(一) |
| DN007 | 八十四年度西部地區治山防洪計畫台灣省各縣是山坡地土壤力學性質基本資料調查-選點、取樣及試驗方法研究(四) |
| CP016 | 山坡地土壤力學性質在水土保持工程上之一般應用研究(五)期末報告 |
| BP008 | 山坡地土壤力學性質在水土保持工程上之一般應用研究(六) |
| DZ023 | 山坡地土壤力學性質在水土保持工程上之一般應用研究(六)期末報告 |
| AR102 | 台灣山坡地土壤力學性質之研究北部地區研究報告書 |
| AR116 | 台灣山坡地土壤力學性質調查研究整合計劃.PDF |
| CJ008 | 台灣西部地區山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫-台北基隆地區(一) |
| DC004 | 台灣西部地區山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫-台北基隆地區期末報告 |
| AA035 | 台灣西部地區山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫-南投地區-(期末報告) |
| AA034 | 台灣西部地區山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫-桃園地區調查及全省研究報告總整理第一部份桃園地區 |
| BT012 | 台灣西部地區山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫-高雄地區(一) |
| DC005 | 台灣西部地區山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫-嘉義地區期末報告 |
| AA031 | 台灣西部地區山坡地土壤力學性質基本資料調查計畫-嘉義地區調查及全省圖表編繪期末報告 |
| AJ047 | 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-子計畫：選點取樣及試驗方法研究 |
| AR046 | 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-宜蘭地區(二) |
| CJ007 | 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-宜蘭地區圖表編繪及新竹地區調查期末報告 |
| CP017 | 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 |
| AL026 | 台灣省山坡地土壤力學性質基本調查及應用計畫執行情形報告 |
| BR012 | 台灣省各縣市山坡地土壤力學性質圖表之編繪研究(二) |
| DO013 | 期中_八十七年度台灣東部及蘭陽地區治山防洪計畫山坡地土壤力學性質在水土保持工程上之一般應用研究(七) |

## 表 4-3 土壤力學資料檢視總表

| 項次 | 項目 | 採樣點 |
|---|---|---|
| 1 | 採樣點編號 | 宜 27 |
| 2 | 採樣年度 | 1993 |
| 3 | Site | 南澳鄉大濁水溪 |
| 4 | 標高(M) | 100 |
| 5 | EPSG3826(3825)_X | 322428.6 |
| 6 | EPSG3826(3825)_Y | 2691794 |
| 7 | 現場單位重 (γ)g/cm3 | 1.48 |
| 8 | 乾燥單位重 (γd)g/cm3 | 1.328 |
| 9 | 飽和單位重 (γsat)g/cm3 | 1.829 |
| 10 | 孔隙率(n) % | 50.11 |
| 11 | 孔隙比(e ) | 1.004 |
| 12 | 比重(Gs) | 2.662 |
| 13 | 含水量(ω) % | 11.9 |
| 14 | 液性限度(LL)% | 41 |
| 15 | 塑性限度(PL)% | 25 |
| 16 | 塑性指數(PI)% | 16 |
| 17 | 分組指數(GI) | 0 |
| 18 | 礫石(%) | 6.98 |
| 19 | 砂(%) | 85.36 |
| 20 | 粉土(%) | 7.66 |
| 21 | 粘土(%) | |
| 22 | 透水係數(k)20oC cm/sec | 8.33E-05 |
| 23 | 最大乾密度(MDD) g/cm3 | 1.662 |
| 24 | 最佳含水量(OMC)% | 18.6 |
| 25 | 承載力(qu)kg/cm2 | 0.176 |
| 26 | 凝聚力(c ) kg/cm2 | 0.437 |
| 27 | 內摩擦角(φ) deg | 8.72 |
| 28 | 試體破壞應變(%) | |
| 29 | 正割模數(kg/cm2) | |
| 30 | 壓縮指數(Cc) | 0.00978 |
| 31 | 再壓縮指數(Cr) | 0.0745 |
| 32 | 壓密係數(Cv) | 44.74 |
| 33 | 預壓密壓力 kg/cm2 | |

| | | |
|---|---|---|
| 34 | 無圍壓縮強度(kg/cm2) | |
| 35 | 三軸壓縮 UU-破壞時剪應力(kg/cm2) | |
| 36 | 三軸壓縮 UU-土壤摩擦角(deg) | |
| 37 | 三軸壓縮 UU-土壤有效凝聚力(kg/cm2) | |
| 38 | 三軸壓縮 UU-土壤有效摩擦角(deg) | |
| 39 | 三軸壓縮 CU-破壞時剪應力(kg/cm2) | |
| 40 | 三軸壓縮 CU-土壤摩擦角(deg) | |
| 41 | 三軸壓縮 CU-土壤有效凝聚力(kg/cm2) | |
| 42 | 三軸壓縮 CU-土壤有效摩擦角(deg) | |
| 43 | 三軸壓縮 CD-土壤凝聚力(kg/cm2) | |
| 44 | 三軸壓縮 CD-土壤摩擦角(deg) | |
| 45 | 三軸壓縮 CD-土壤有效凝聚力(kg/cm2) | |
| 46 | 三軸壓縮 CD-土壤有效摩擦角(deg) | |
| 47 | USDA | 礫石質砂 |
| 48 | USCS | SP-SC |
| 49 | ASSHTO | A-2-7 |
| 50 | 壓實性 | 優良至尚佳 |
| 51 | 夯實用機械種類 | T.RJ 或 R.P |
| 52 | 壓縮及膨脹性 | 幾乎無或些微至中度 |
| 53 | 為路提材料穩定性 | 緊密時相當穩定 |
| 54 | 作為路基材料之優劣 | 優良至尚佳 |
| 55 | 作為底層材料之優劣 | 尚佳至不良 |

資料來源：https://data.ardswc.gov.tw/Data/BasicInformation




資料來源：https://data.ardswc.gov.tw/Data/BasicInformation

**圖 4-11 現地調查資料 – 土壤力學**

## 第二節　推廣 BigGIS 平台應用

近年隨著時、空間地理資訊產品之種類多元化，如何整合現地調查轉化為幾何地理空間資料 (Georeferenced spatial data) 並符合國際標準之空間資料格式，且地理資訊系統圖台是否具有使用者友善介面，對於查索資料及輔助業務應用上相當重要。BigGIS 巨量空間資訊系統 (Big Geospatial Information System, BigGIS，https://gis.ardswc.gov.tw/map/)，使用開源碼之先進技術，兼具效能、擴充性與一致性之檔案標準化處理技術，使用者可設定任意時間、空間、或其他屬性，快速搜尋查找巨量圖資，並展示於兼具 2D / 3D、區域型 3D、單 / 雙視窗與 Google 街景連動介面之網際網路資訊平臺。BigGIS 平台收納多元種類資料，依資料特性可分為六大主題應用(資料來源：https://gis.ardswc.gov.tw/) (圖 4-12)，分述如下：

1. 多元影像：開放資料衛星影像、商用衛星影像、航空照片與 UAV 正射影像。
2. 搜尋功能：快速定位或依日期、時間、地區及類別過濾，進行圖資搜尋。
3. 高解析展示：2D 圖資/3D 模型套疊瀏覽，支援多種格式及自訂規覺化應用下載。
4. 加值底圖：支援格式底圖切換，如 HOST、CS、航照、地質圖、地形圖。
5. 分析工具：衛星影像數化、變異分析、頻譜分析或高程陰影、等高線、地震、鑽探等資訊工具。
6. 主題故事化：讓使用者自訂特定主題 (事件) 進行分享。

係以為推動本計畫為強化技術支援與人員培訓能力，輔助農村水保署同仁具備統合多元圖資應用能力，藉由農村水保署所建構之巨量空間系統 –BigGIS 平台為媒介，協助辦理署內教育訓練，以滿足同仁對地理資訊服務需求，並提升各項多元圖應用以輔助業務推動 (圖 4-13)。以下說明本計畫今 (112) 年度於卡努颱風應變期間、BigGIS 平台教育訓練、協助署內地理資訊系統平台推廣及協助業務使用之相關成果。




資料來源：https://gis.ardswc.gov.tw/

**圖 4-12 BigGIS 平台主題應用分類示意圖**




**圖 4-13 BigGIS 平台輔助業務應用示意圖**

## 一、　協助農村水保署應變開設期間空間資訊資料及災情整理

在應變期間首重情資蒐集與研判，以作為應變決策參據，而其資料來源及資訊彙整更是重要基礎工作，為掌握災情的即時性，故獲取第一手即時衛星影像時程及災區判釋資料，對於應變輪值期間災情彙整作業，俾供研判受災層面與應變策略極為重要。

因此，在應變期間取得衛星影像所提供廣範圍空間資訊相當重要，其為應變期間掌握災情的即時性與情資研判重要參據，但受限於衛星拍攝災區雲覆率程度，故對於獲取第一手開放衛星即時影像資訊，其預計排程及後取像作業時程極其關鍵。緣此，本計畫研究員與 BigGIS 系統委辦團隊合作，分別以每日最新衛星影像資料，製作每日一版的災後摘要簡報 (本計畫)，以及災害點位區域判釋進度簡報 (BigGIS 系統協力團隊) 提供署內同仁及長官參考。以下分別就衛星影像獲取排程及災區資訊彙整 (構造物、崩塌判釋) 為例進行說明。

### (一) 衛星影像獲取排程

本計畫研究員協助應變期間，利用 BigGIS 系統及協力團隊共同合作，提供農村水保署在災害時獲取空間資訊之相關資料 (如衛星影像排程及取像、雲覆率、影像可用度等) 與災情整理 (如崩塌判釋、構造物判釋、災情監控) 及彙整摘要簡報。

今年卡努颱風應變期間，以南投縣仁愛鄉及高雄市桃源區玉穗溪流域兩處關注區域之衛星影像獲取排程為例，此兩處區域之集水區崩塌區或土砂料源區位於人力交通難以抵達處，且山區道路常受邊坡崩塌影響而中斷，故衛星影像排程及取像與否，為掌握受災區域之崩塌面積、災害規模之第一手資訊來源，實為署內應變期間所需重要情資，

係以本計畫研究員彙整開放衛星取像排程時間及取像狀況，據以製作災點區域緊急判釋之摘要簡報供應變小組參考 (圖 4-14)。

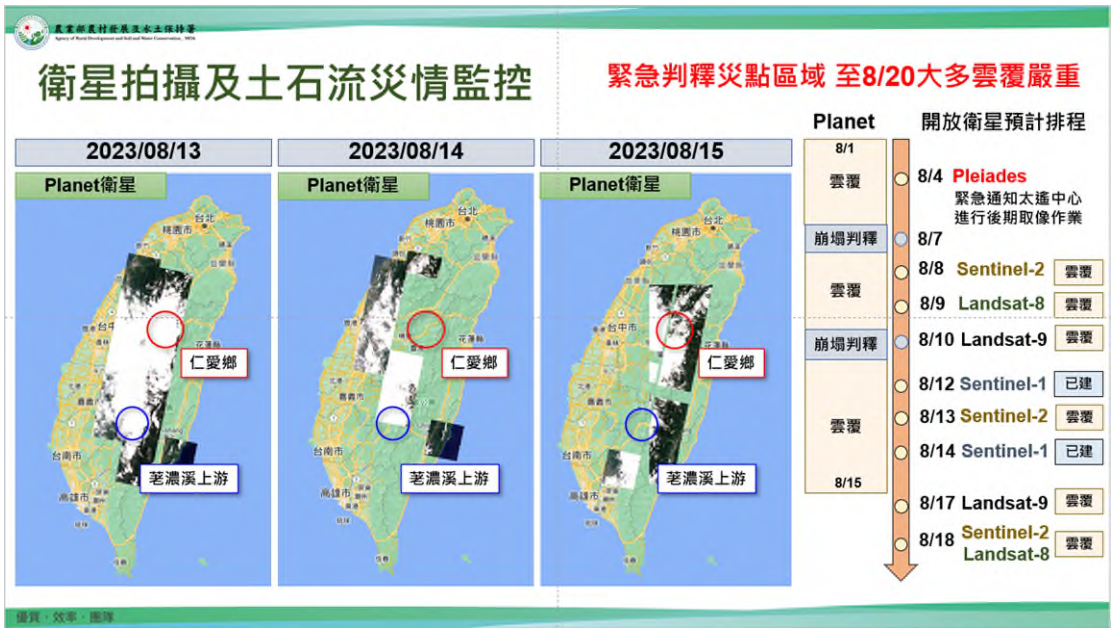



**圖 4-14 災後摘要報告彙整示意圖**

(二) 構造物災損資訊彙整

以災區資訊彙整為例，本計畫針對 BigGIS 平台上既有衛星影像資料進行篩選與前後期比對，重點關注區域玉穗溪集水區於今年 8 月卡努颱風事件後，其集水區內不安定土砂流出，造成明霸克露橋受撞擊部分毀損 (圖 4-15)，使得高雄桃源區台 20 線聯外道路再次中斷。本計畫透過篩選玉穗溪流域多時期影像及災害前後比對判釋，提供農村水保署於關注區域初步參考資訊。玉穗溪集水區防砂構造物影像判釋成果如圖 4-16 所示，其清楚顯示玉穗溪集水區內 4 座防砂壩於盧碧及卡努颱風事件前後的構造物狀況，在今年 8 月卡努颱風後，受上游不安定土砂下移影響，其間 4 座防砂壩皆被河道上土砂埋沒，而在第 2 及 3 號防砂壩間的河道上出現的混凝土塊，推測為 4 號防砂壩之

壩齒被沖毀下移而形成，本計畫於今年 10 月 20 日現勘時仍存在於該位置 (圖 4-17)。



**圖 4-15　明霸克露橋受損情況 (拍攝日期： 20230809)**




**圖 4-16　玉穗溪構造物多時期影像彙整示意圖**



**圖 4-17　防砂壩之壩齒被沖毀情況 (拍攝日期： 20231020)**

(三) 災區崩塌判釋資訊彙整

以卡努颱風南投縣仁愛鄉災區崩塌判釋及資訊彙整為例，本計畫於第一時間取得 112 年 8 月 7 日 Planet 衛星影像，其未受雲覆遮蔽影響，並利用 112 年 2 月 24 日 SPOT 衛星影像進行災害前後多時期衛星影像比對，彙整廬山地區河道堆積、新生崩塌等情況如圖 4-18 所示。由廬山地區判釋成果可以得知，南投縣仁愛鄉廬山部落多處坡面及河道凹岸位置出現新生崩塌，且塔羅灣溪河道受上游大量土砂下移影響其堆積嚴重而大幅拓寬，造成廬山地區再次受災。

此外，本計畫透過地理資訊系統彙整仁愛鄉新生崩塌區位、編訂分類、面積、新生崩塌地占比、山坡地查定等相關資訊，輔助農村水保署災後現地調查、崩塌地復育治理、土地利用調查等業務推動參考(圖 4-19)。因此，在應變期間首重情資研判，其中資料蒐集與資訊彙整更是第一線工作，以掌握災情的即時性，故獲取第一手即時衛星影像時程及災區判釋資料，作為災情彙整及應變決策極為重要，故培訓人員熟捻地理資訊系統技術，俾利現地與空間資料彙整並輔助業務執行相當重要。

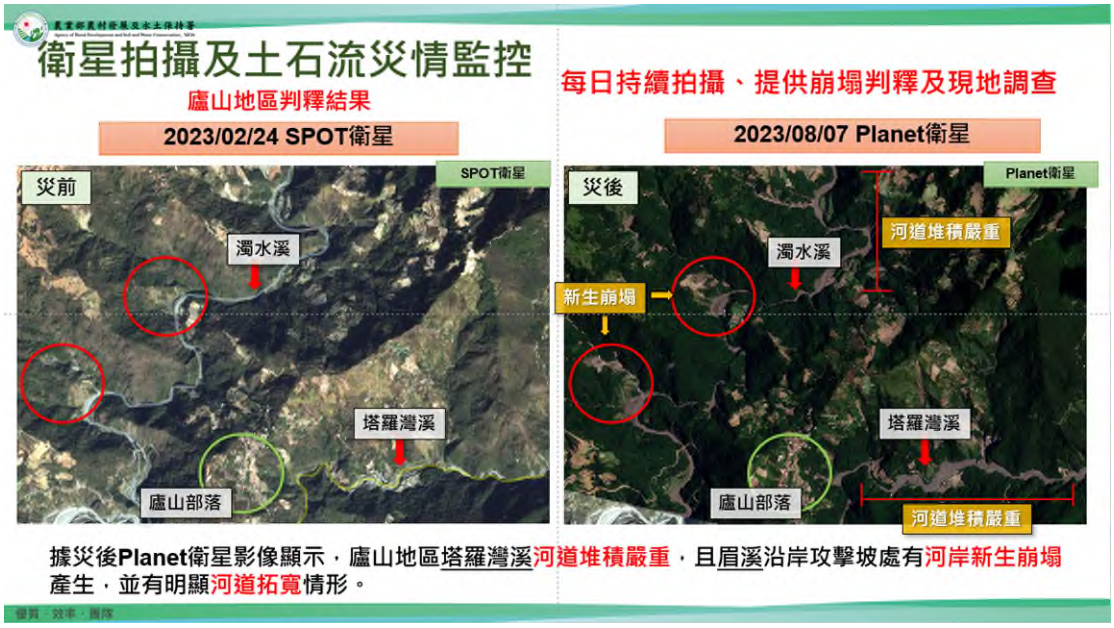
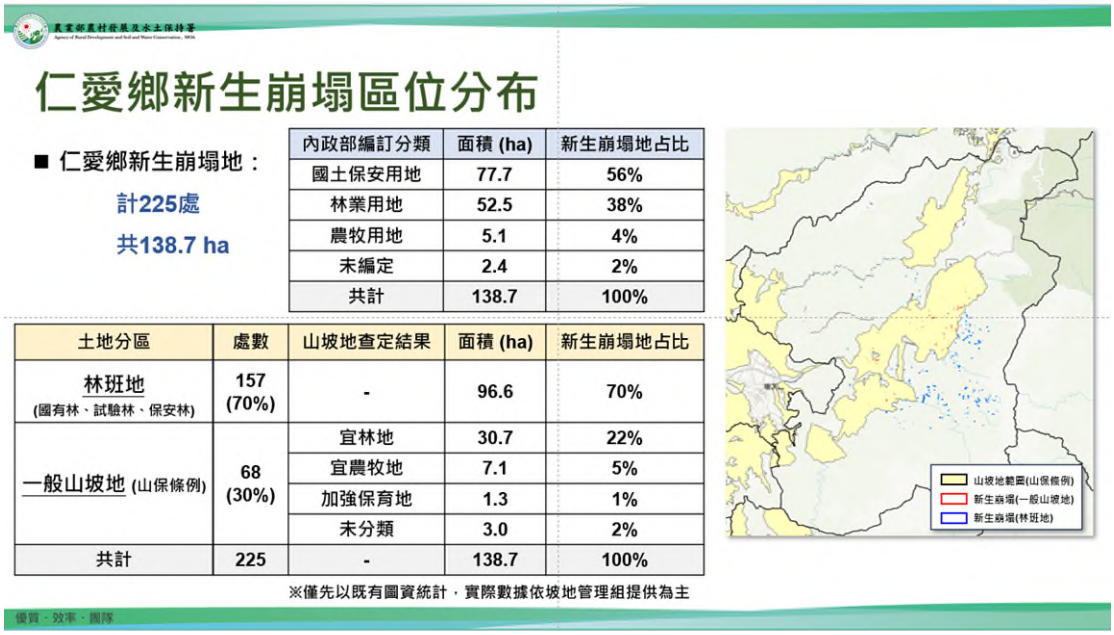



圖 4-18　南投廬山地區崩塌影像判釋比對圖




| 內政部編訂分類 | 面積 (ha) | 新生崩塌地占比 |
|---|---|---|
| 國土保安用地 | 77.7 | 56% |
| 林業用地 | 52.5 | 38% |
| 農牧用地 | 5.1 | 4% |
| 未編定 | 2.4 | 2% |
| 共計 | 138.7 | 100% |

| 土地分區 | 處數 | 山坡地查定結果 | 面積 (ha) | 新生崩塌地占比 |
|---|---|---|---|---|
| 林班地 (國有林、試驗林、保安林) | 157 (70%) | - | 96.6 | 70% |
| 一般山坡地 (山保條例) | 68 (30%) | 宜林地 | 30.7 | 22% |
| | | 宜農牧地 | 7.1 | 5% |
| | | 加強保育地 | 1.3 | 1% |
| | | 未分類 | 3.0 | 2% |
| 共計 | 225 | - | 138.7 | 100% |

圖 4-19　新生崩塌區位分布示意圖

## 二、 協助BigGIS教育訓練

為培訓農村水保署各業務人員熟捻地理資訊系統操作與應用，本計畫於今年 6 月 12 日至 6 月 14 日期間辦理 BigGIS 教育訓練課程，分別至農村水保署臺北、臺中及南投分署擔任課程講師，教育訓練課程分為「系統基礎介紹」、「圖台進階應用」、「綜合討論」等三部分。在課程中說明 BigGIS 系統介面操作、多元圖資、現場勘查、業務核心圖資等功能及圖資查找，並於課間與學員互動問答，同時蒐集記錄同仁業務需求，據以彙整供承辦同仁及委辦團隊，持續精進圖台系統功能及教育訓練課程規劃之檢討 (圖 4-20、表 4-4)。

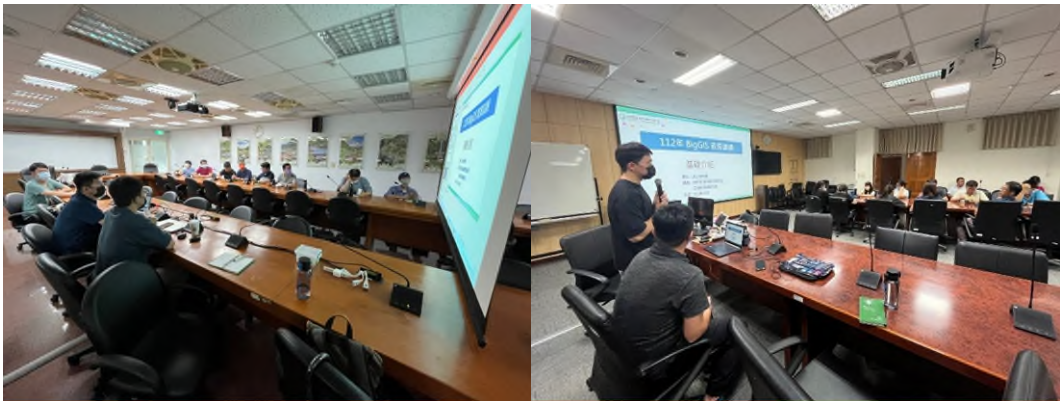


**圖 4-20 BigGIS 教育訓練 – 各分署上課情形**

**表 4-4 BigGIS 教育訓練 – 分署業務需求回饋記錄**

| 系統建議項 | 圖資建議項 | BigGIS Lite 建議項 |
|---|---|---|
| 我的最愛功能新增專案分類 | 新增工程地質資料庫、鑽探點位、工程點位 | 參考署內勘查紀錄表擴充所需交集圖資 |
| 擴充繪圖功能及圖形標案上傳功能 | 機關交流圖資定期確認 | 調整以定位點 buffer 後作圖資交集 |
| 依圖層屬性調整色階功能 | 新增外島地區相關影像圖資 | 新增匯入匯出 GPS 軌跡記錄功能 |
| 指北針及點位匯出功能 | 紅黃警戒、堰塞湖相關資訊介接 | 新增現勘相片上傳功能(擷取拍攝位置) |
| 新增圖資交集功能 | 新增農路圖檔案資訊 | 新增坐標定位交集功能 |
| 提供系統硬體規格說明 | 新增歷史災點 | 新增離線版圖資功能 |

## 三、　農村水保署地理資訊系統推廣及業務輔助

農業部農村發展及水土保持署建置巨量空間資訊系統，總計已處理完成歷年航空照片、衛星影像、無人飛機空拍成果、數值高程模型、相關基礎圖資、以及業務所需各項核心圖資、總量高達 200TB 之各項空間資訊，滿足使用巨量空間圖資之需求並輔助應用於水土保持、坡地災害、地貌變異分析等業務，有助於相關計畫產出成果之展示。

BigGIS 巨量空間資訊系統每年彙整農村水圖署各業務組所產製各項圖資資訊展示與加值應用任務。但由於各業務組任務獨立，致使新增圖資在流通上，常有不知道、找不到、不會用等困境，為使各組間業務新增圖資得以有效整合、加值與共享，以避免重複產製及減少資料浪費，透過署內員口資訊入口網送信功能，分享 BigGIS 新增收錄各業務組產製提供之圖資資訊、圖台系統更新優化、加值分析功能、教學示範操作影片等，以減少署內同仁資訊交流落差 (圖 4-21)。.

為推廣應用 BigGIS 地理資訊系統圖台及協助業務使用，截至今 (112) 年度 11 月間已派送 BigGIS 系統各項新增內容信件予署內同仁，協助同仁獲取各業務組產製之圖資及加值分析功能，更搜集各業務組同仁詢問回覆及操作意見等相關回饋資訊，以持續優化系統功能 (圖 4-22、表 4-5)。此外，本計畫在 BigGIS 於業務應用協助上，以今 (112) 年度協助政風室參加「透明晶質獎」為例，協助評選時操作系統、展示開放資料及跨機關合作成果，分別以「署內向量及衛星圖資整合及開放」、「介接外機關資源及共享線上分析功能」、「簡易線上土石流模式」及「歷史影像平台」等四大主軸進行展示，並成功獲獎 (圖 4-23)。另本計畫也協助於颱風事件後，媒體及民眾對於資訊的需求，並協助農村水保署於媒體採訪所需之系統操作 (圖 4-24)。

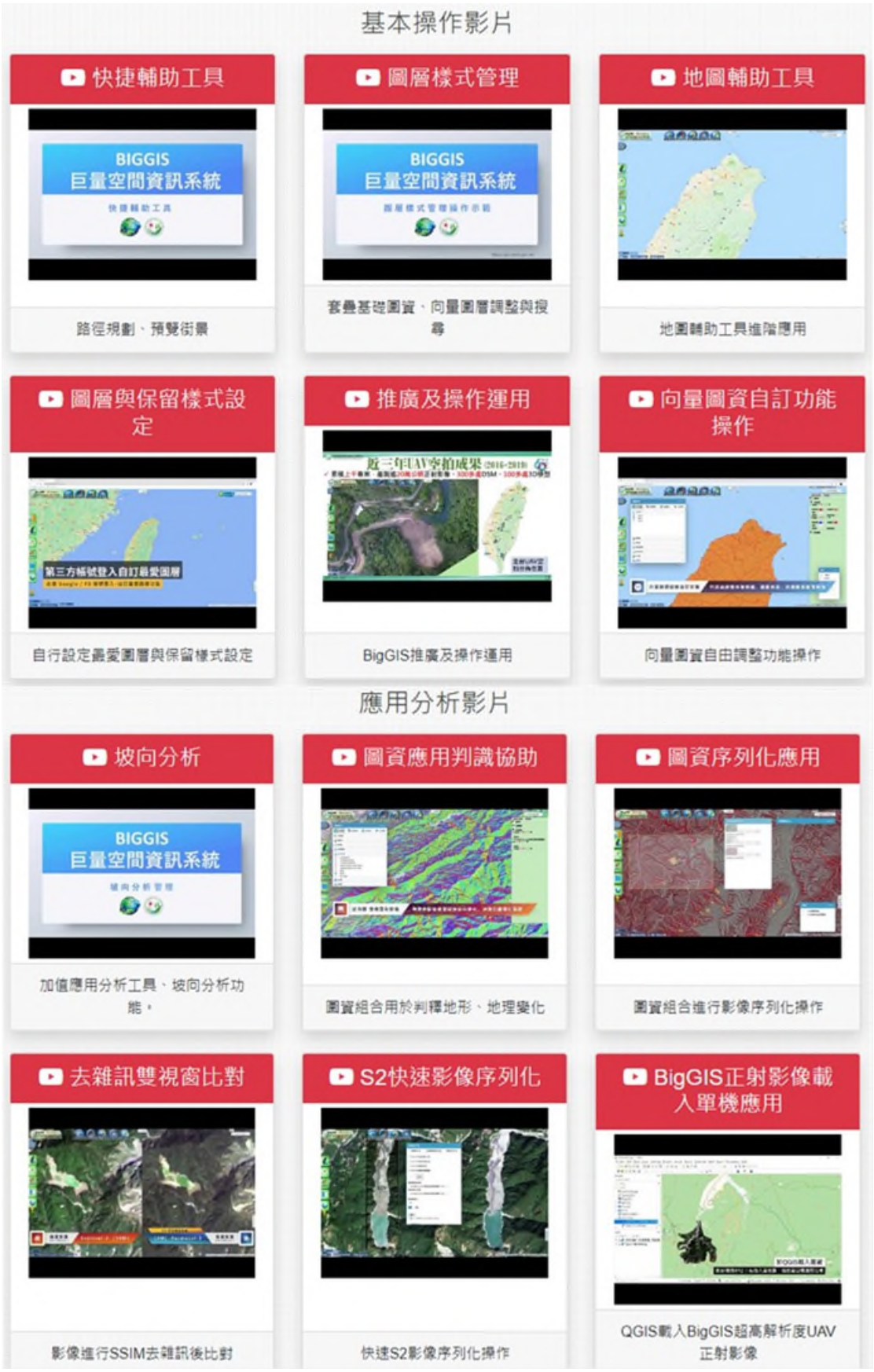



**圖 4-21 BigGIS 教學示範基本操作影片**

✅新增UAV 360度環景照片檢視功能

👉使用者可從基礎圖層中的UAV空拍，根據縣市分類的**360度環景照片**，也可使用圖資搜尋，利用類別選擇，找到所需的環景照片

👉點選環景照片，在BigGIS底圖會出現相關圖示，點擊圖示便能看到UAV 360度環景照片，可自行放大縮小，移動不同角度視角，或自動環景功能。

👉可藉由右上方的網址快速將照片分享給其他使用者瀏覽

👉部分環景照片有附加備註，照片中會顯示對應的河道、公路和橋梁名稱，使用者瀏覽時即使在不同視角仍能清楚掌握相對位置，可點擊左下方的控制列，直接移到各個備註位置或是關閉照片中的備註顯示

👉點擊下方下載鍵，會顯示完整的環景照片，滑鼠右鍵選擇另存圖片即可下載照片

圖文說明：https://gis.ardswc.gov.tw/news/function/168
Youtube操作影片：https://youtu.be/J16hz8Xax8E?si=TRfkuawR58T6bbSe




**圖 4-22 BigGIS 新增 UAV360 度環景照片檢視功能**

## 表 4-5 BigGIS 系統內容新增推廣主題表

| 編號 | 系統新增內容 | 推廣主題 |
|---|---|---|
| 1 | BigGIS 功能新增 | 新增加值應用工具-透空度分析 |
| 2 | BigGIS 功能新增 | 新增 UAV360 度環景照片檢視功能 |
| 3 | BigGIS 功能新增 | 新增加值應用功具 - 「地表形貌分析」功能 |
| 4 | BigGIS 圖資新增 | 1. 地調所坡面年平均侵蝕深度分布圖<br>2. 地調所河道年平均侵蝕堆積深度分布圖 |
| 5 | BigGIS 功能優化 | BigGIS Lite 主題業務常用列表 |
| 6 | BigGIS 功能優化 | Global Watersheds 整合於水保業務分析工具 |
| 7 | BigGIS 圖資新增 | 新增臺東縣政府產製「綠島」10 公分高解析度航空照片 |
| 8 | BigGIS 功能優化 | 批次定位功能優化 |
| 9 | BigGIS 圖資新增 | 新增全臺範圍「土壤圖」圖資 |
| 10 | BigGIS 圖資新增 | 新增林務局「國土生態綠網」共 8 項圖資 |
| 11 | BigGIS Lite 功能優化 | 圖資交集功能更新-新增「灌區範圍初判」 |
| 12 | BigGIS 圖資更新 | 更新 112 年度 48 處大規模崩塌潛勢兩項圖資 |
| 13 | BigGIS 圖資新增 | 新增地調所提供全臺山崩與地滑地質敏感區 |
| 14 | BigGIS 圖資新增 | 111 年度農村社區範圍及 111 年度農村再生範圍圖 |
| 15 | BigGIS 圖資更新 | 更新地文脆弱度 QPE 網格圖資 |
| 16 | BigGIS 圖資更新 | 更新 112 年度 43 處大規模崩塌潛勢圖資 |
| 17 | BigGIS 圖資更新 | 台中分局山坡地重點集水區禦災能力相關圖資 |
| 18 | BigGIS 圖資更新 | 治理組更新防災路網相關圖資 (2022) |
| 19 | BigGIS 圖資更新 | 111 年度山坡地範圍(山保條例、含六都)圖資更新 |




**圖 4-23 協助透明晶質獎 BigGIS 功能展示**



**圖 4-24 協助媒體採訪 BigGIS 功能展示**

## 四、 地理資訊空間圖資公開

本計畫於今年度完成 1218 處不安定土砂集水區潛勢圖及地文脆弱度 (QPE 網格) 等兩項研究成果，其地理定位及資訊化之空間圖資已上傳至 BigGIS 系統圖台內供各界加值應用。

藉由 BigGIS 之圖資套疊功能分析不安定土砂集水區潛勢圖，輔以集水區多時期影像及崩塌率資訊，可快速評估不安定土砂集水區之潛勢分級與維生管線之間關係 (如農路、省公路、聚落位置)，提供相關單位防減災及應變決策參考 (圖 4-25)。

地文脆弱度係參考中央氣象署劇烈天氣監測系統 (QPESUMS) 網格尺度進行統計計算，其成果圖資套疊農村水保署 2005-2022 年之各年度最大有效累積雨量 (EARmax) 分布圖，可初步分析地文脆弱度網格及年度雨量間的關係，提供作為署內減災監測後續開發降雨致災模式之基礎資料使用 (圖 4-26)。

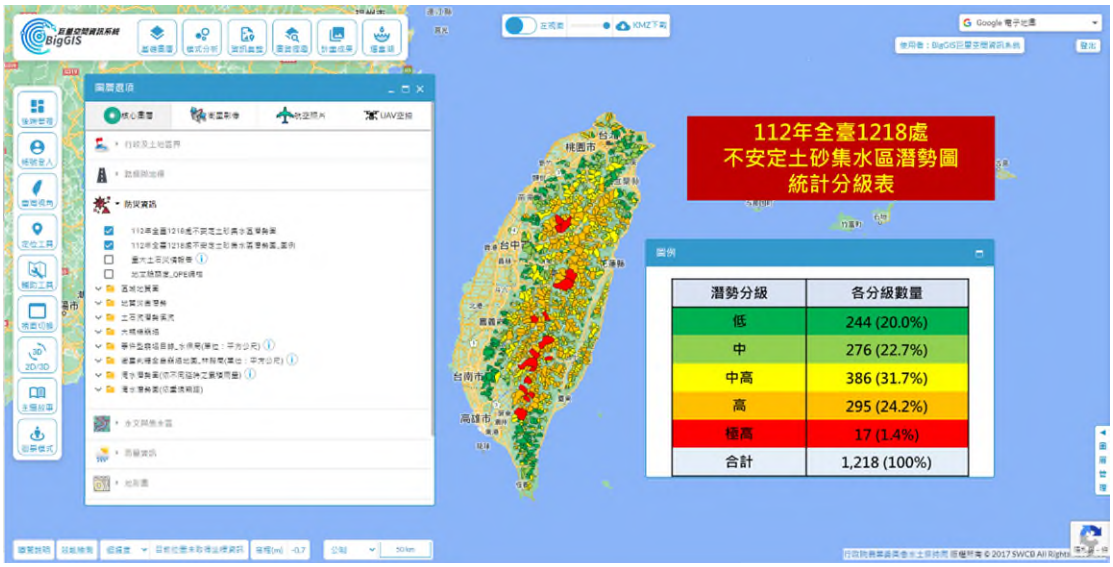



圖 4-25 BigGIS 圖台之不安定土砂集水區潛勢圖

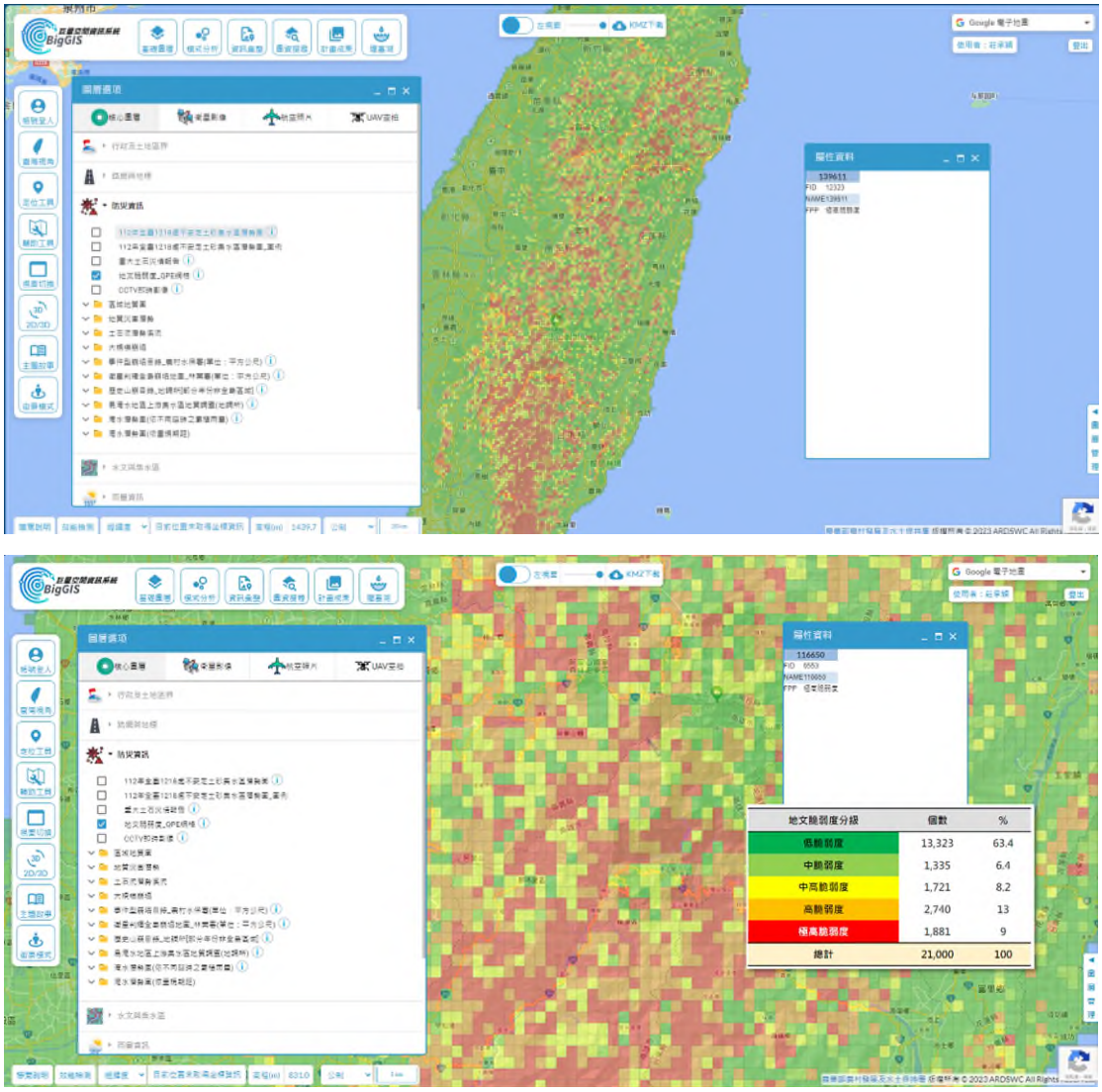



**圖 4-26 BigGIS 圖台之地文脆弱度圖**

# 第五章 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。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；再者，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 112 年度遙控無人機教育訓練如表 5-1 所示。

**表 5-1　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<br>2. 熟捻操作證考驗程序<br>3. 無人機相關規定知能 |
| 強化 3D 建模技術能力 | 1. Drone2Map 影像後製技術、<br>2. ContextCapturer 三維網面模型建置 | 1. 提升影像拍攝後製處理能力<br>2. 強化數據轉換正射影像、數值表面模型、三維模型建置<br>3. 影像後製成果展示於地理資訊系統操作能力 |
| 統合多元圖資應用能力 | 1. UAV 成果平台、<br>2. GIS 應用與操作 | 1. 影像後製成果圖資於地理資訊系統操作能力<br>2. 各項圖資共享與應用 |

# 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 112 年度第 1 梯次「遙控無人機教育訓練」UAV 影像後製處理班 (水保技字第 1121858563 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，以及地理資訊系統操作展示常用之軟體如 ArcGIS 與 QGIS。故無人機影像後製課程規劃，包含：案例介紹、ContextCapture 操作、Drone2Map 操作、GIS 圖資應用操作等為主要研習內容 (圖 5-1 至圖 5-3、表 5-2)。

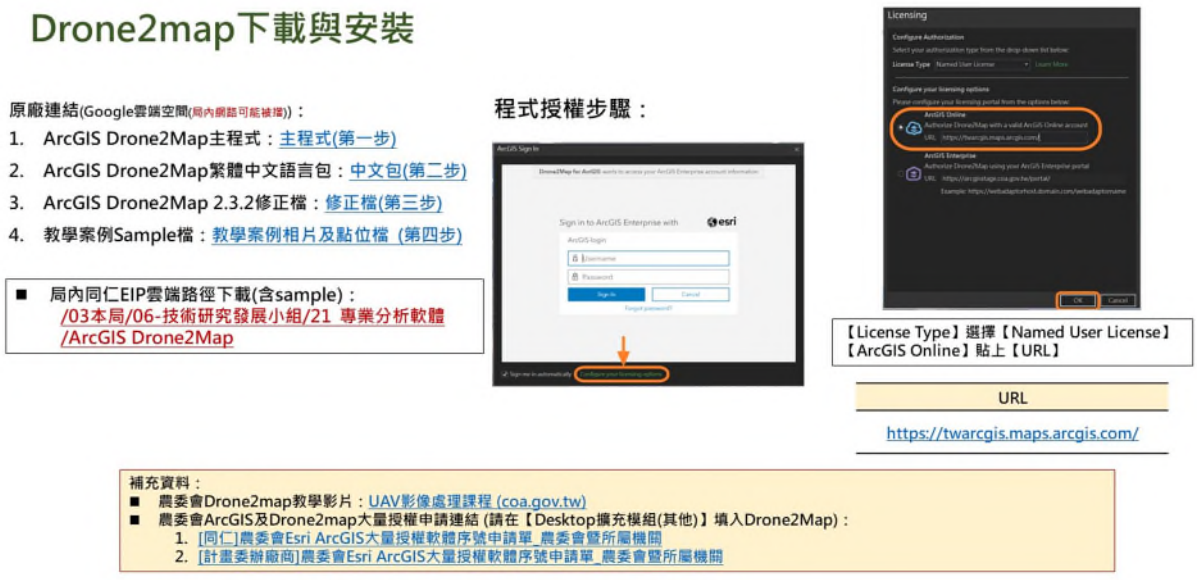



**圖 5-1　Drone2map 教育訓練講義-下載與安裝程序**

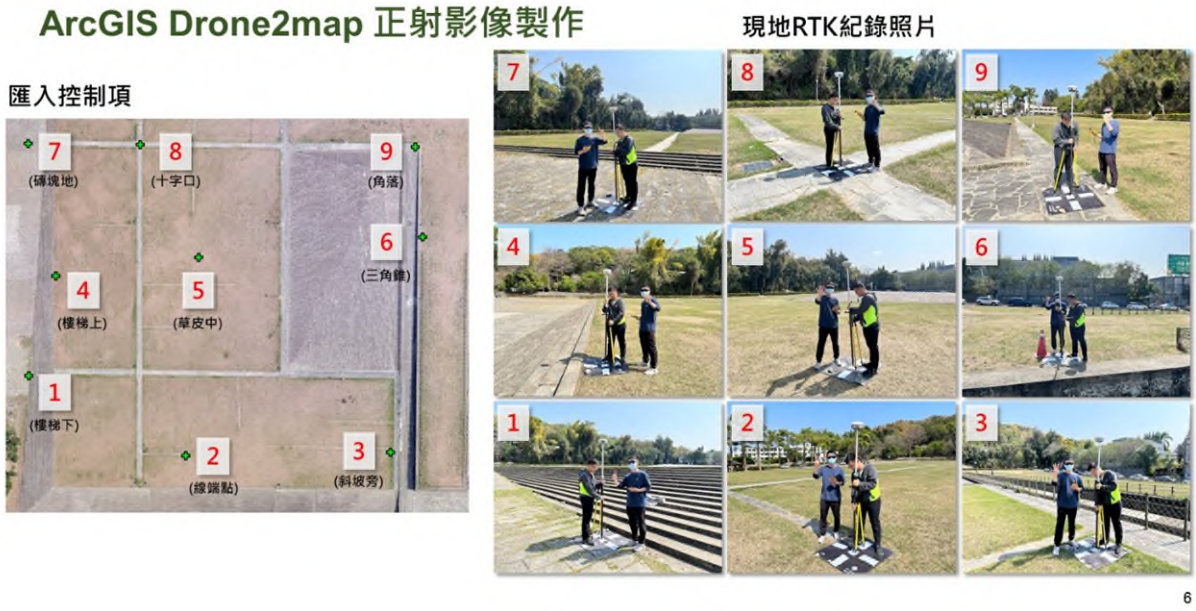



圖 5-2　Drone2map 教育訓練講義-正射影像製作 1

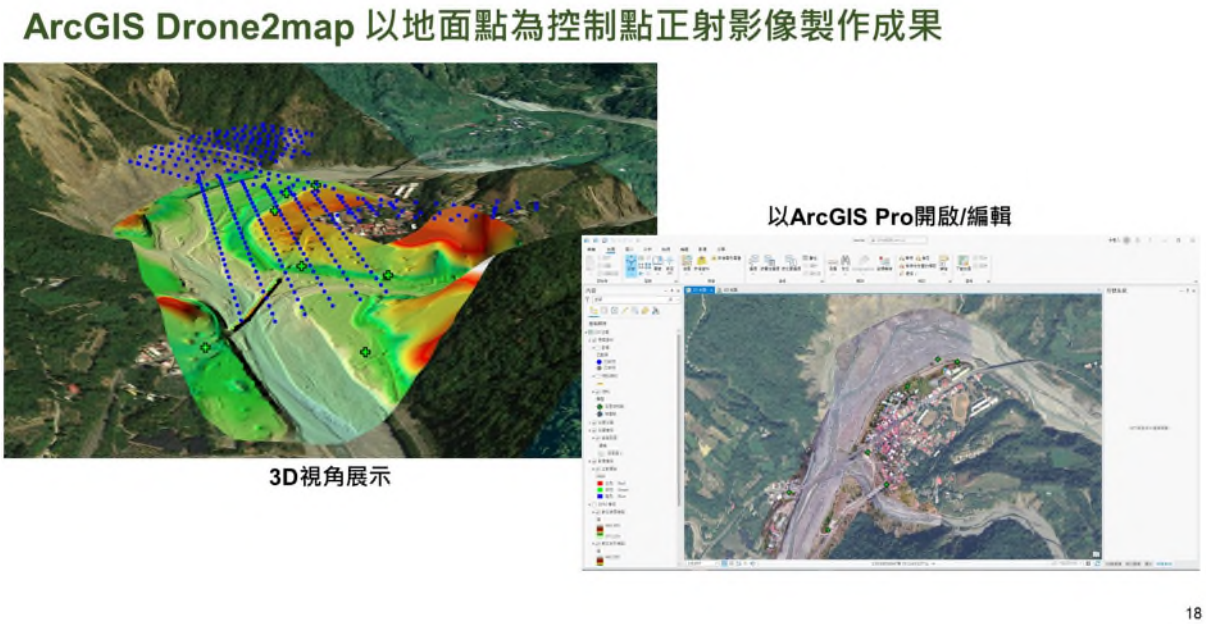



圖 5-3　Drone2map 教育訓練講義-正射影像製作 2

## 表 5-2 UAV 影像後製處理教育訓練課程表

| 112 年 3月31日(星期五) | | |
|---|---|---|
| 時間 | 講師 | 課程 |
| 9:30-<br>10:00 | 報 到<br>(線上簽到) | |
| 10:00-<br>10:50 | 林宥伯<br>莊承穎 | UAV影像後製、處理介紹 |
| 10:50-<br>11:00 | 休　息 | |
| 11:00-<br>11:50 | 莊承穎<br>林宥伯 | Drone2Map 介紹、申請、操作<br>ContextCapturer 介紹、示範 |
| 11:50-<br>12:30 | 操作討論、QA | |
| 12:30-<br>13:30 | 午　餐 | |
| 13:30-<br>14:20 | 林宥伯 | UAV成果平台、GIS應用介紹、案例操作 |
| 14:20-<br>14:30 | 休　息 | |
| 14:30-<br>15:20 | 林宥伯<br>莊承穎 | 影像處理操作、GIS應用 |
| 15:20- | 賦　歸 | |

## 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 (圖 5-4)，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「112 年度第 2 梯次「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 5-5)。

交 通 部 民 用 航 空 局

民 航 通 告

| 主旨：遙控無人機術科測驗規範(Remote Pilots License Practical Test) | | |
|---|---|---|
| 發行日期：2023.3.31 | 編號：AC 107-005C | 發行單位：飛航標準組 |

一、 目的：

本民航通告旨為提供遙控無人機專業操作證術科測驗及專業操作證屆期換證術科測驗之業務指引。

二、 修正說明：

為符合遙控無人機操作證術科測驗實際業務需求，結合遙控無人機人員操作證制度推行以來累積之實務經驗與回饋意見，並配合遙控無人機操作證術科測驗場地管理機制之制定與施行，爰修訂本民航通告，並自 112 年 5 月 1 日起適用。

**圖 5-4 AC107-005C 遙控無人機術科測驗規範**

| 課程基本資料 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 課程名稱： | 112年度第2梯次「遙控無人機教育訓練」-專業操作訓練班 | | | | |
| 主辦機關/單位： | 本局/技術研究發展小組 | 聯絡電話： | 049-2347534 | 承辦人： | 高百毅 |
| 協辦機關/單位： | 局本部/技術研究發展小組 | | | | |
| 執行單位： | 財團法人農業科技研究院 | | | | |
| 課程目的： | 為協助本局(含分局)種子人員熟悉操作證考驗程序、內容及相關規定，順利通過操作證預先評鑑。 | | | | |
| 內容簡介： | 本局(含分局)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。 | | | | |
| 登錄終身學習護照： | 是 | | | | |
| 課程類別： | 交通技術(91) | | | | |
| 簡章： | 112年度第2梯次遙控無人機專業操作教育訓練簡章(發文)v2.pdf | | | | |
| 公文： | 1120705_112年UAV第2梯教育訓練函.pdf | | | | |

**圖 5-5　遙控無人機教育訓練-課程基本資料**

112 年度第 2 梯次「遙控無人機教育訓練」-專業操作訓練班，上課時間為 9 月 18 日至 9 月 20 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 5-6 至圖 5-9、表 5-3)。



**圖 5-6　遙控無人機教育訓練-室內課程**



圖 5-7　遙控無人機教育訓練-室外課程

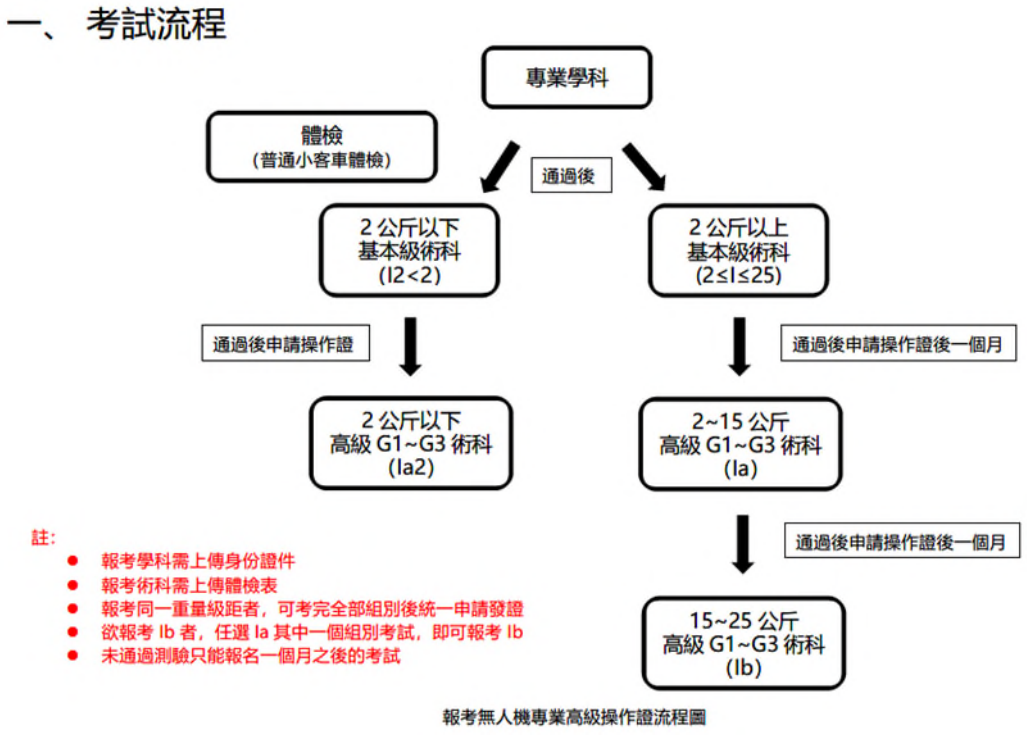
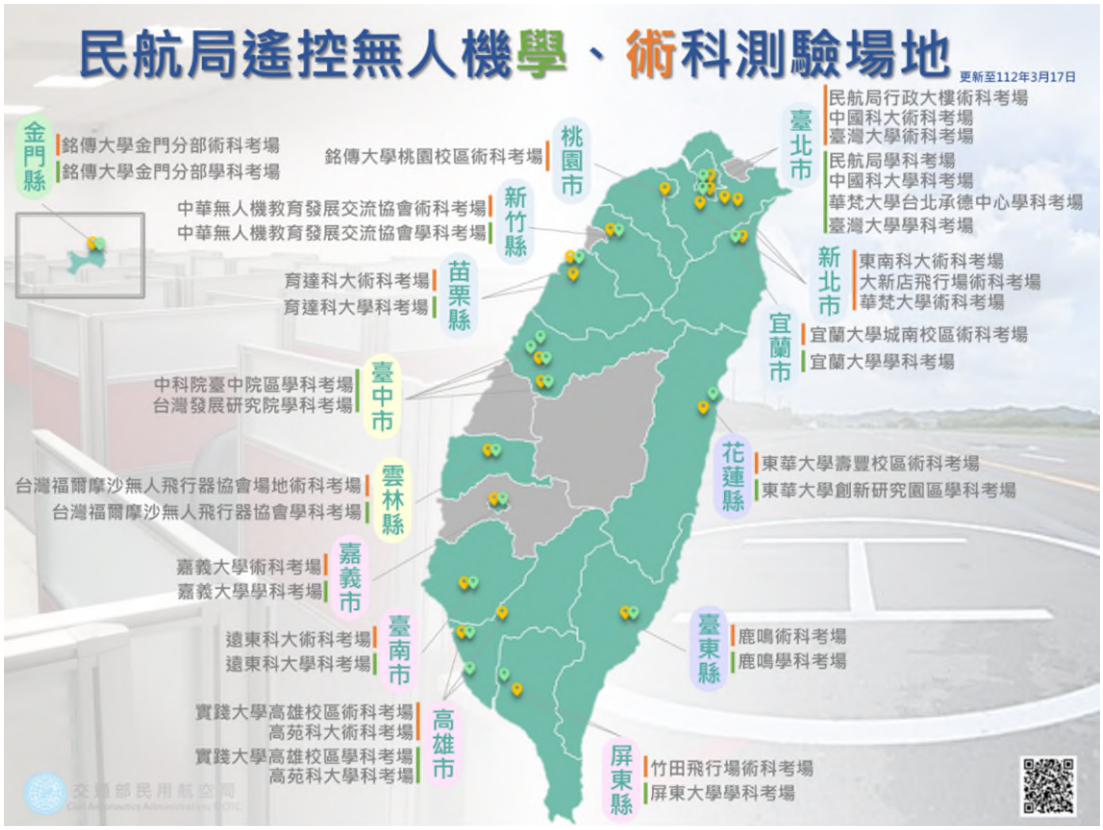



圖 5-8　遙控無人機教育訓練-專業操作證考證流程

## 表 5-3 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 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ | ✓ |




資料來源：https://www.caa.gov.tw/Article.aspx?a=2193&lang=1

## 圖 5-9　遙控無人機學、術科測驗場地

## 第二節　統合多元圖資與三維建模技術

遵循民航局遙控無人機相關操作法規，輔助業務執行已相當完備，其流程架構，如圖 5-10 所示。在輔助業務及協作上應用無人機攝影測量技術 (Photogrammetry) 於構造構巡查調查、災害記錄、防災應變及數值模擬等面向已成熟，其利用 SfM 攝影測量技術 (Structure from Motion, SfM) 搭配影像後製處理軟體，將航空照片轉置為數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM)、3D 模型、正射影像等多元圖資。

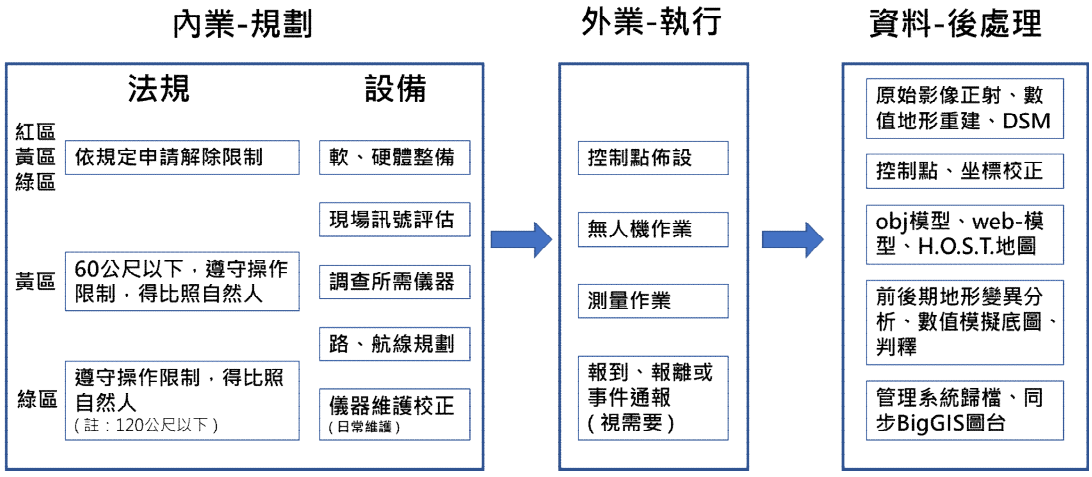



**圖 5-10　遙控無人機業務執行流程圖**

目前在無人機攝影測量上所遇到困境主有要兩項，其一為攝影測量之水平與高程精度控制，以及受地形起伏與無人機拍攝死角導致空間資料缺乏問題；其二為歷年圖資資料庫持續累積成果，但因控制點坐標、無人機坐標系統、e-GNSS 動態坐標及坐標框架基準等不同，導致多種坐標轉換誤差。為提高無人機產製元多圖資應用，藉由地面控制點、虛擬控制點、測量控制點等方式提升 2D 成果準確度，再者利用多航線任務規劃、地面拍攝資料、多鏡頭角度拍攝等提高 3D 模型建置完整性。本計畫以兩個災害事件案例說明，控制點坐標與無人機系統校正誤差，及不同時期多種坐標框架之轉換建議(詳第三節)。

## 一、　卡努颱風後南投縣南豐村聖本篤加油站災害調查

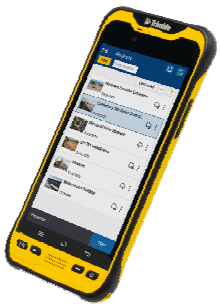
本計畫為持續精進無人飛行載具的應用，及掌握無人飛行載具原始 GPS 結果與控制點校正差異，規劃無人飛行載具拍攝任務與控制點測量。以南豐村加油位外業調查航拍任務為例，主要在於評估不同作業航高、分區作業圖資拼接、地面控制點布設、正射與斜拍拼接、3D 模型成果等應用災後快速無人機建模作業。

本計畫於 112 年 8 月 14 日前往南投縣投 DF013 土石流潛勢溪流災害調查，規劃無人機拍攝任務與控制點測量，測試斜拍圖資提升無人機正射影像視角盲點之應用研究，並調查卡努颱風災後河道殘留土砂狀況、UAV 產製現地數值地表模型及三維模型建置。以下就外調儀器、UAV 拍攝任務、構造物模型建置成果說明如下：

(一) 外業調查儀器

調查儀器包括：Autel EVO II PRO、Trimble R6、腳架、航測標等外業調查設備 (表 5-4)，遙控無人機 Autel EVO II PRO 與 Trimble R6 儀器規格及性能諸元如表 5-5、表 5-6 所示。

**表 5-4 外業調查設備**

| 設備名稱 | 功能 | 外觀 |
|---|---|---|
| Autel EVO II PRO | 執行<br>自動/半自動光學遙測與現勘巡檢、測繪 |  |
| Trimble R6 Model 4 | 於現勘測繪時進行坐標與高程校準<br>e-GNSS |  |
| 碳纖維支架&雙叉腳架 | 輔助 EGNSS 相關儀器進行現場定位固定用 |  |
| TDC600 | 輔助現場進行現勘紀錄，結合 GPS 系統輔助地面測繪與建模 |  |
| 航測標<br>(地面控制點) | 現地觀測 |  |

## 表 5-5 Autel EVO II PRO 規格性能諸元

| 飛行器 | | |
|---|---|---|
| 重量（含電池及槳） | 1191 g | |
| 軸距 | 397 mm | |
| 最大上升速度 | 運動模式：8 m/s | |
| 最大下降速度 | 運動模式：4 m/s | |
| 最大水平飛行速度 | 運動模式：20 km/h | |
| 最大起飛海拔高度 | 7000 m | |
| 最大可承受風速 | 8 級風(蒲福風級，中風速 17.2-20.7 m/s) | |
| 最大飛行時間 | 約 35 分鐘 | |
| 工作環境溫度 | -10℃至 40℃ | |
| 衛星定位模組 | GPS/GLONASS 雙模 | |
| GPS 懸停精度 | 垂直 | ±0.1 m（正常運行視覺定位） |
| | | ±0.5 m（正常運作 GPS 定位） |
| | 水平 | ±0.3 m（正常運行視覺定位） |
| | | ±1.5 m（正常運作 GPS 定位） |
| 相機 | | |
| 影像感測器 | 1 英寸 CMOS, 有效像素 2000 萬 | |
| 鏡頭 | FOV 82° 等效焦距：28.6 mm | |
| | f/2.8 - f/11 帶自動對焦（對焦距離 1 m - 無窮遠） | |
| ISO 範圍 | 影片：100-6400 (自動)； 照片：100-12800(自動) | |
| 快門速度 | 拍照模式：1/8000~8s； 其他：1/8000~1/幀率 | |
| 雲台 | | |
| 穩定系統 | 3-軸含平移(Pan)、俯仰(Tilt)、橫滾(Roll) | |
| 可控轉動範圍 | 俯仰角（tilt）：-90°至+30°；平移(Pan)：-90°至+90° | |
| 最大控制轉速 | 俯仰（tilt）：300°/秒 | |
| 角度控制範圍 | ±0.005° | |
| 感知系統 | | |
| 感測系統類型 | 全向感測系統(12 個光學感知、2 個超音波感知) | |
| 向前 | 精確測量範圍：0.5-18 m | |
| | 有效感應 速度：<12 米/秒 | |
| | 視角：水準：60°，垂直： 80° | |
| 向後 | 精確測量範圍：0.5-16 m | |
| | 有效感應 速度：<12 米/秒 | |
| | 視角：水準：60°，垂直： 80° | |
| 向上 | 精確測量範圍：0.5-10 m | |
| | 有效感應 速度：<5 米/秒 | |
| | 視角：水準：65°，垂直： 104° | |
| 向下 | 精確測量範圍：0.5-10 m | |
| | 有效感應 速度：<5 米/秒 | |
| | 視角：水準：100°，垂直： 80° | |
| 左和右 | 精確測量範圍：0.5-10 m | |

| | |
|---|---|
| | 有效感應 速度：<5 米/秒 |
| | 視角：水準：65°，垂直： 104° |
| 操作環境 | 紋理/圖案地面和足夠的照明<br>（> 15 lux，日光燈打開的正常室內環境） |
| | 向上：漫反射表面，反射率高於 20%（牆壁、樹、人等） |
| | 向下：紋理/圖案地面和充足的照明<br>（ > 15 lux，正常室內環境，帶日光燈） |
| | 反射率大於 20% 的漫反射面（牆壁、樹木、人等） |

## 表 5-6 Trimble R6 Model 4 移動站規格性能諸元

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

(二) 外業 UAV 航拍任務

本次拍攝任務位於綠區 (圖 5-11)，為配合法規以確保飛航安全，規劃結合地面現勘、起飛點、不同航高重疊、特徵點連結用軌道，並考量中游可能產生料源之蝕溝處等傾斜攝影，以強化重建 3D 模型完整性。本次任務由於氣候影響，颱風導致持續性降雨，因此規劃分區分段任務，配合降雨空檔進行航拍任務，本次任務使用 EVO II PRO 搭配四顆電池執行分段拍攝，總計無人飛行載具作業時間約 2 小時。

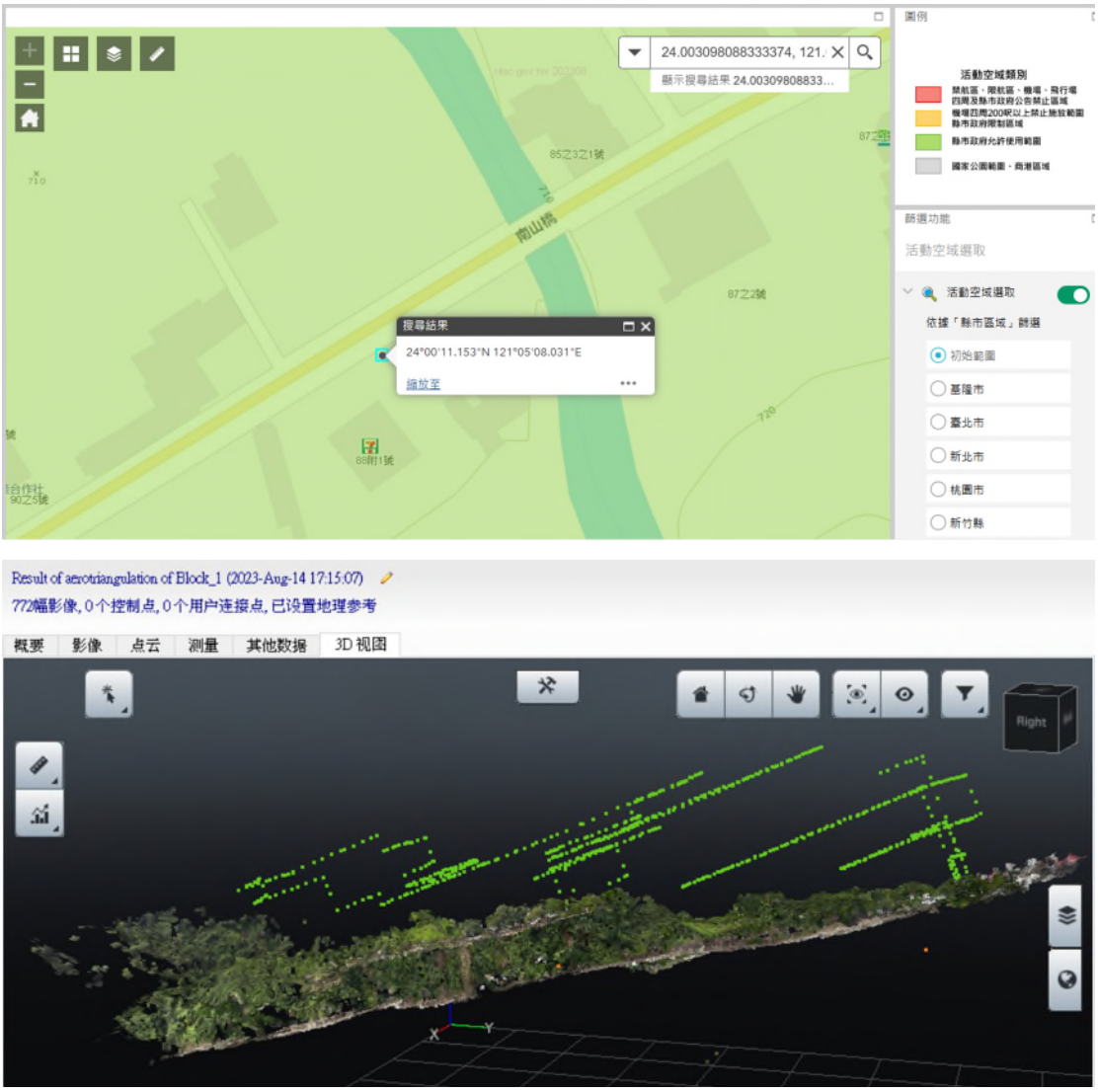



**圖 5-11　DF013 拍攝任務空域及多重航線**

為避免山區谷地之訊號異常現象，本次任務使用 e-GNSS 測量坐標系統，布設現地控制點並測量如圖 5-12、圖 5-13 所示，並包含驗證用點位 (表 5-7)。現場作業程序如下：

1. 於作業區域 1 進行控制點布標或特徵點選定；
2. 規劃無人飛行載具航拍任務；
3. 確認成果與補充拍攝區；
4. 拍攝完成後，進行 VBS-RTK 測量。

本次拍攝區域由下游往上游拍攝，依序為聖本篤加油站受災處(控制點 2 及 3 區域)、中游版橋處及構造物段、中游果園高處(控制點 1 區域)、河道中段、支流盲點區等拍攝並進行控制點測量，並現場檢視航拍影像與地面調查成果。

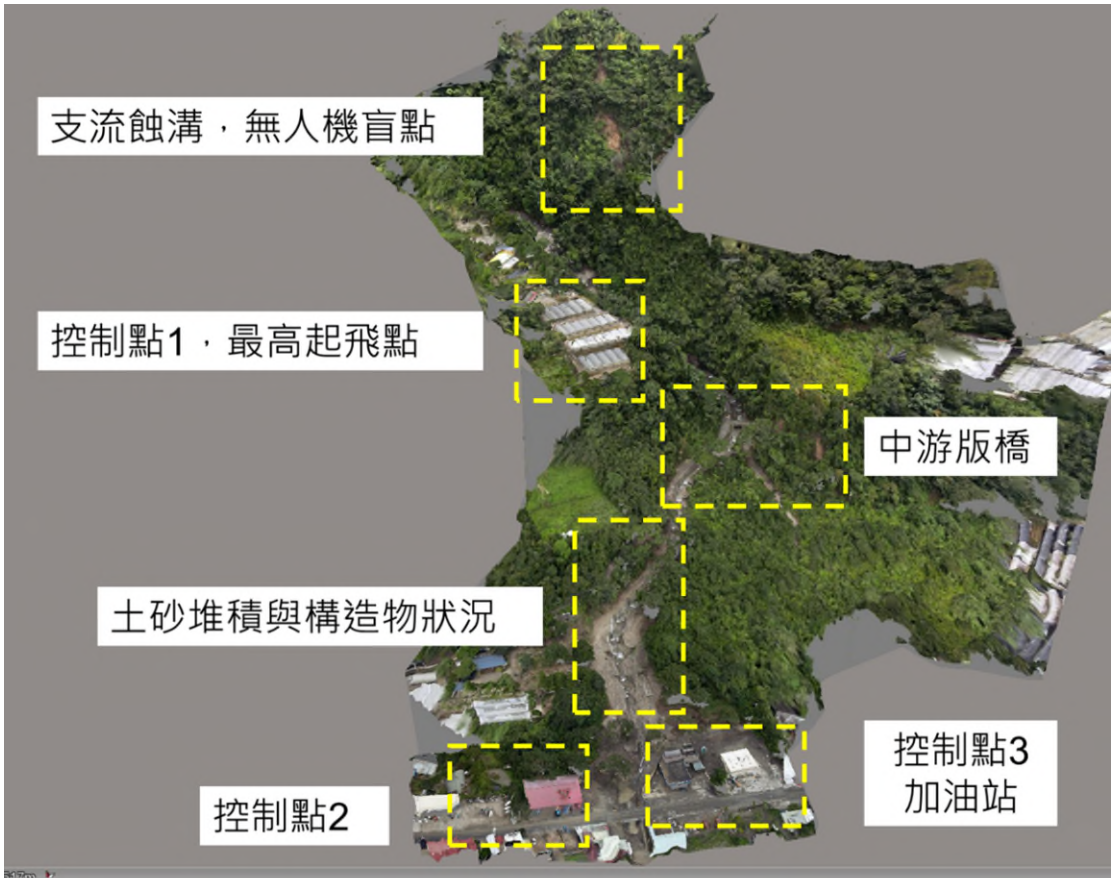



**圖 5-12 分區分段航拍任務及布設控制點**




**圖 5-13 控制點測量 (左：中游版橋；中：特徵點；右：南山橋)**

**表 5-7 e-GNSS 調查成果**

| 點位名稱 | TWD97 Y | TWD97 X | RTK (m) | 模型高程 (m) | 高程誤差 (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 控制點-1 | 2655088.096 | 258856.724 | 817.792 | | |
| 控制點-2 | 2655425.77 | 258831.209 | 710.986 | | |
| 控制點-3 | 2655383.745 | 258712.972 | 708.208 | | |
| 驗證-1 | 2655094.569 | 258864.958 | 818.223 | 818.260 | 0.037 |
| 驗證-2 | 2655405.469 | 258740.697 | 709.659 | 709.595 | -0.064 |
| 驗證-3 | 2655365.924 | 258714.993 | 708.509 | 708.393 | -0.116 |
| RTK：e-GNSS 測量高程 | | | | | |

(三) UAV 正射影像、模型與控制點校正

無人機飛行載具拍攝成果及測量成果，應用 Context Capture 進行模型重建，以便於後續災區情資及土砂堆積狀況判釋應用。本次任務受天候降雨及雲覆影響，原始照片集進行空中三角平差後，發現模型本身存在傾斜角度誤差(圖 5-14)，將難以使用既有 GPS 坐標與 WGS84 海拔高度進行解算，因此採用實測控制點 (如圖 5-15 黃色點

位)進行校正，其於校正後可發現無人機軌道已平行坐標網格 (如圖 5-15 綠色航線軌跡)。在導入 RTK 控制點進行 GPS 系統誤差校正後，其建置模型高程精度提高，由 RTK 驗證點與 2019 年內政部 DEM 資料比對分析，驗證校正後模型高程資料，其高程誤差皆明顯減少，無誤差擴大現象 (圖 5-16、表 5-8)。

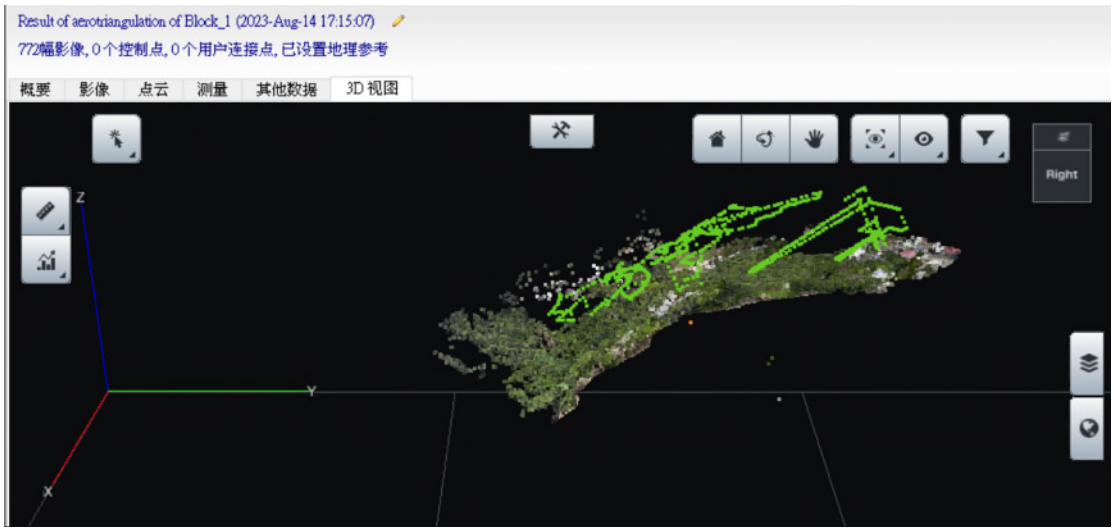



**圖 5-14 GPS 系統誤差導致模型傾角異常**

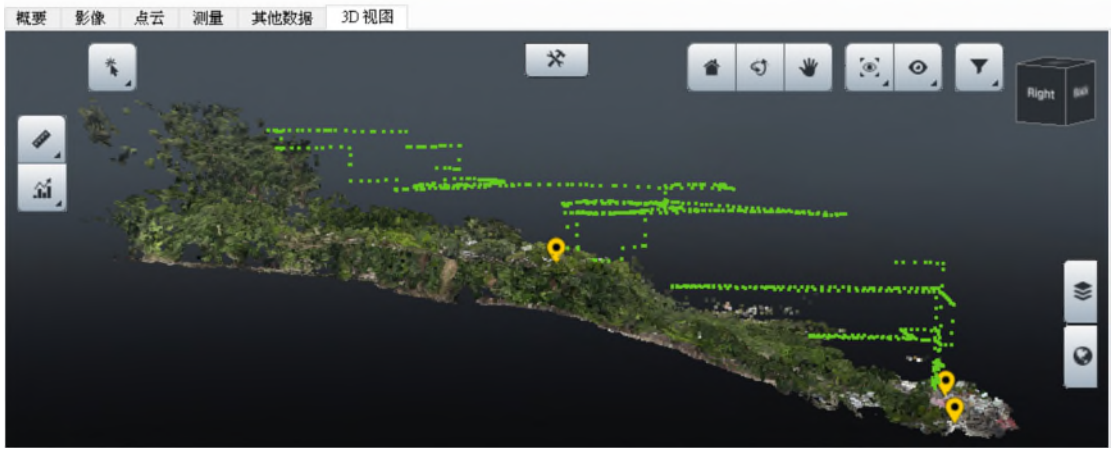



**圖 5-15 導入控制點校正模型角度與高程**

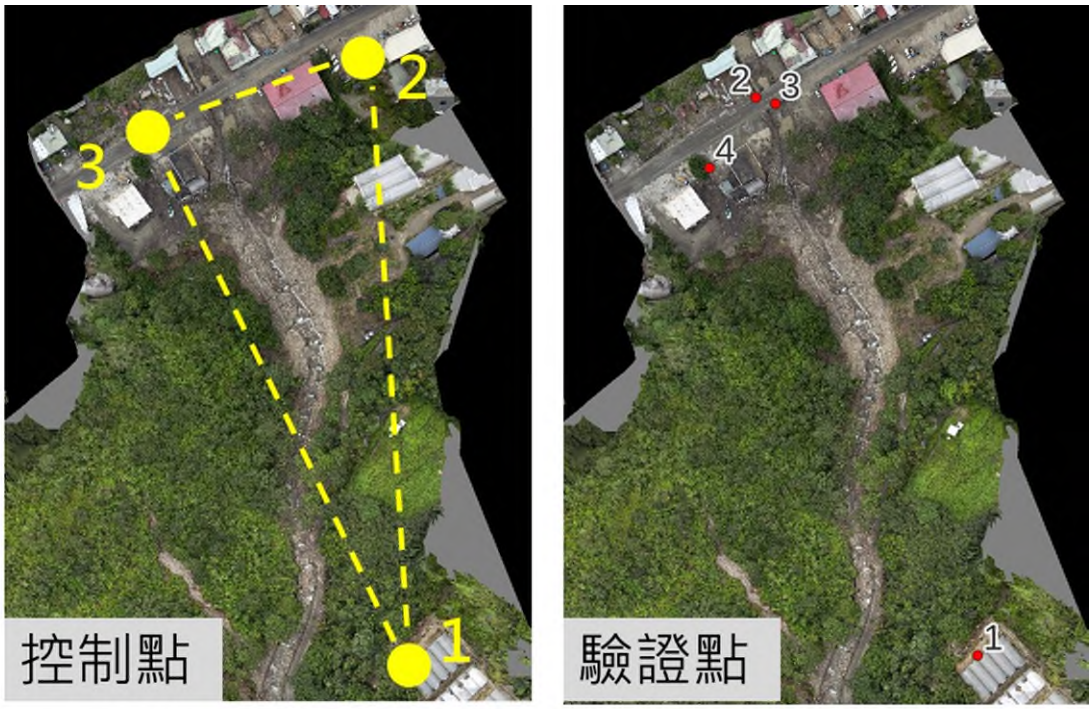



**圖 5-16　聖本篤加油站驗證點與 RTK 控制點**

**表 5-8 聖本篤加油站模型基準面差異量分析表**

| 點位名稱 | TWD97 Y | TWD97 X | DEM (m) | 模型高程 (m) | 高程誤差 (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| 控制點-1 | 2655088.096 | 258856.724 | 817.660 | 817.792 | 0.132 |
| 控制點-2 | 2655425.77 | 258831.209 | 711.010 | 710.986 | -0.024 |
| 控制點-3 | 2655383.745 | 258712.972 | 708.340 | 708.208 | -0.132 |
| 驗證-1 | 2655094.569 | 258864.958 | 818.223 | 818.260 | 0.280 |
| 驗證-2 | 2655405.469 | 258740.697 | 709.659 | 709.595 | -0.115 |
| 驗證-3 | 2655365.924 | 258714.993 | 708.509 | 708.393 | -0.057 |
| DEM：2019 內政部 DEM | | | | | |

(四) 斜拍攝影輔助正射影像視角盲區建模

由災後之拍攝影像及重大土砂災例最速報資料顯示，於土石流潛勢溪流集水區上游坡面未見明顯崩塌地出現，造成不易判斷土砂料源區位。本研究評估由於災後勘查之航拍作業，拍攝角度受植被遮蔽而無法有效取得崩塌地區位，因此，本計畫藉由不同航高及不同傾斜角

度進行航拍作業，主要針對中上游河道、支流蝕溝、彎曲河道等，易受到植被遮蔽重點區進行傾斜攝影 (圖 5-17)。

從模型重建成果顯示出，下游河道轉折處之構造物受上游土砂沖擊輕微受損 (圖 5-18)，中游防砂壩處已呈現淤滿情況，並伴隨部分漂流木(圖 5-19)，於中上游支流處存在一蝕溝且部分土砂堆積於下緣(圖 5-20)，因調查河道其位處谷地且受植被遮蔽影響，藉由補充調查與傾斜拍攝建模，獲取正射航拍盲區現場資料，以利補正模型缺漏部位 (圖 5-21)。

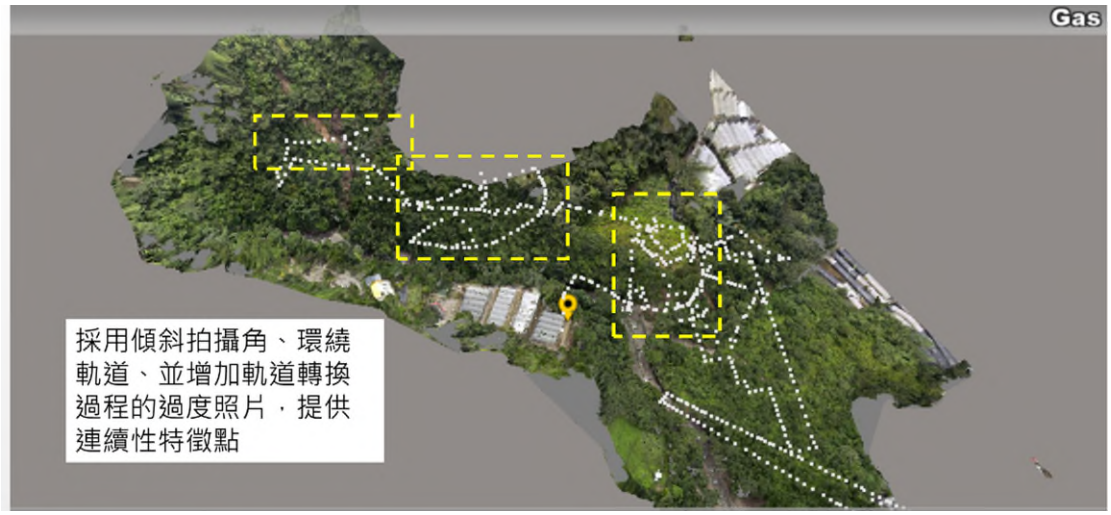



**圖 5-17 斜拍攝影補充植被遮蔽影像特徵資料**

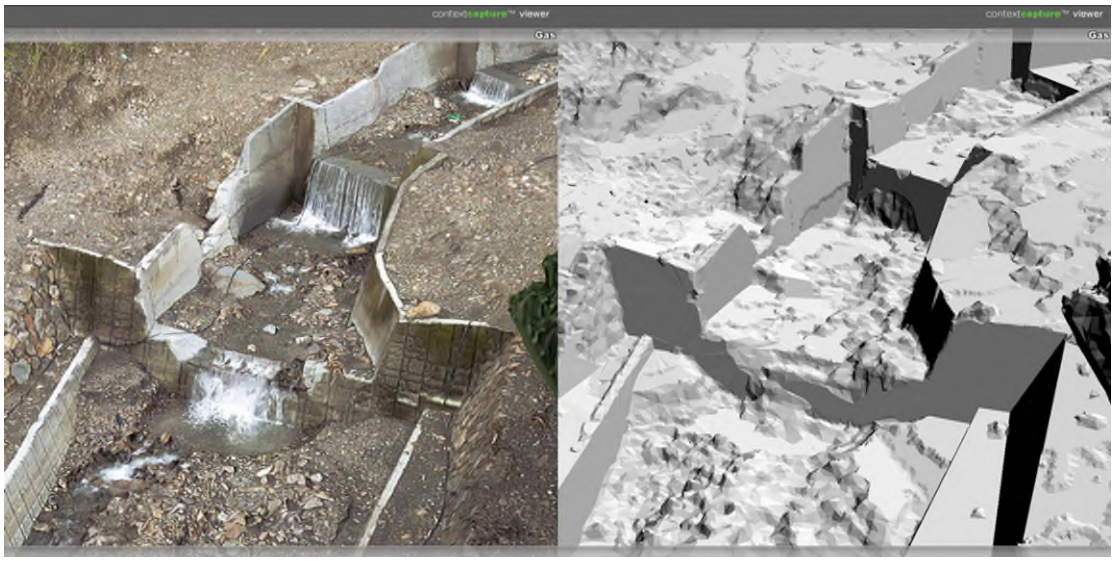


**圖 5-18 構造物轉折受災處影像與模型特徵**

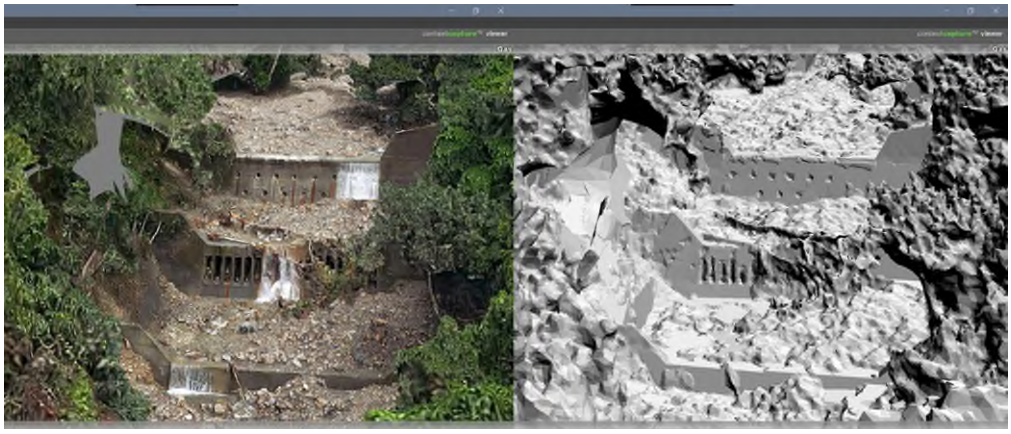


圖 5-19　防砂壩構造物土砂淤滿影像與模型特徵

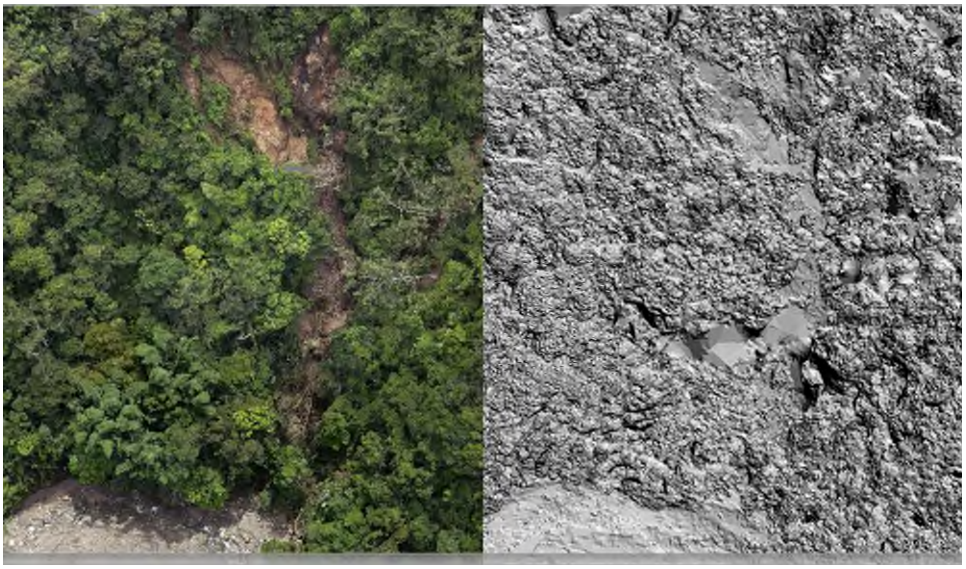


圖 5-20　支流蝕溝影像與模型特徵




圖 5-21　傾斜補充調查建模與模型特徵

## 二、 卡努颱風後南投縣南豐村東眼山堰塞湖災害調查

南投縣東眼山於卡努颱風後發生邊坡崩塌，其崩塌土體阻塞河道並形成小型堰塞湖，本計畫於 112 年 9 月 23 日前往現地勘查，利用遙控無人機進行航拍並建置三維模型 (圖 5-22)。崩塌地災害現場地形屬山谷地形，其通訊不良。因此，由現場地形特徵點規劃拍攝任務，並配合內政部 2017 年 DEM 數值高程模型與災害前後衛星影像資料，設置虛擬控制點 (即崩塌前後現地未變動特徵點) 進行數值地表模型與 3D 模型建置作業。本次東眼山邊坡崩塌使用 EVO II PRO 搭配四顆電池分段拍攝，無人機飛行載具作業時間約 1.5 至 2 小時，其調查成果說明如下：




圖 5-22 東眼山崩塌事件拍攝任務場域

(一) 虛擬控制點取樣

受現場山谷訊號不佳影響，無法進行 RTK 控制點量測，因此採用無人機之機載 GPS 系統 (如下圖 5-23 左)，配合災害前期圖資，評估現場不動點，利用現地特徵及坐標資訊，以對位內政部數值地形 DEM 之高程，作為虛擬控制用以約制 UAV 產製數值模型傾角與偏移 (如下表 5-9)，控制點分布區為起飛點、崩塌地上游工程構造物、邊坡高階臺地等地形三角網 (如下圖 5-23 右)。

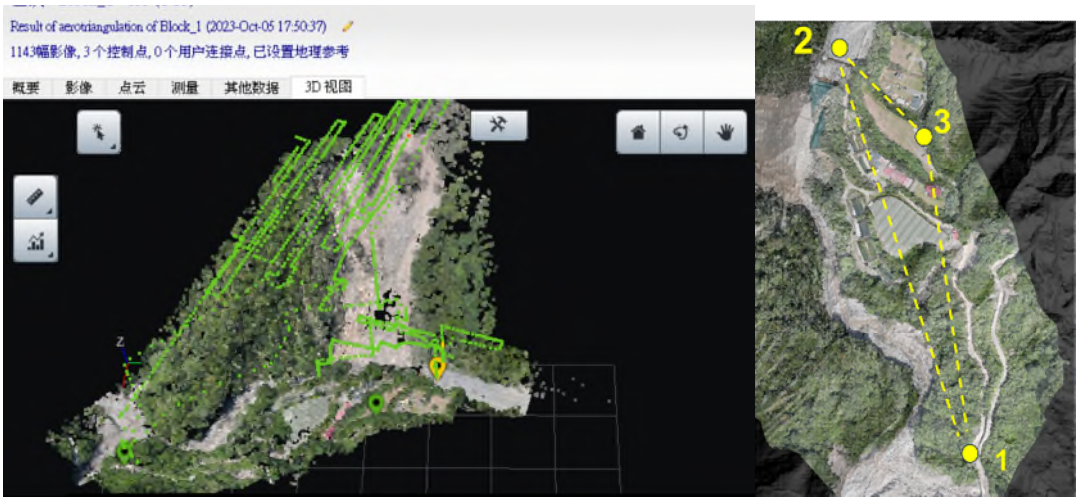



**圖 5-23　東眼山無人機拍攝任務 (左：航線軌跡；右：控制點)**

**表 5-9 虛擬控制點空間坐標資訊**

| 虛擬控制點 | TWD97 Y | TWD97 X | DEM 正高(m) | 正高來源 |
|---|---|---|---|---|
| GCP-1 | 261375.04 | 2658373.266 | 1008.19 | 2019 內政部 DEM |
| GCP-2 | 261249.73 | 2658749.779 | 1014.74 | |
| GCP-3 | 261316.205 | 2658677.146 | 1029.73 | |

(二) 東眼山崩塌構造物模型建置

東眼山崩塌形成堰塞湖災害構造物模型建置，藉由無人機飛行載具拍攝影像及人員地面調查資料，應用 Context Capture 進行 3D 模型、數值地表模型、正射影像等建置，作為後續崩塌量體估算，產製 3D 模型如圖 5-24 所示。本計畫利用數值模型之空間坐標資料與內政部 DEM 比對分析，比對現場道路、構造物、起飛點、最遠點等不動點資料，做為傾斜誤差評估基準，分析前後兩數值模型之高程變異量，發現其具有連續性之傾角誤差 (如下圖 5-25 左)。

從正射投影成果來說，僅依機載 GPS 記錄坐標資訊，雖可建置地貌特徵與地形精度，但災害前後期比對之高程變異量可發現，相同道路之地表未擾動區域，其高程連續誤差 (以水平基線長度 400m 計算)，兩端不動點約產生 9m 高程的誤差量，而這些誤差值將造成坡面崩塌量體估算、數值模擬演算、影響範圍評估等產生錯誤估算。

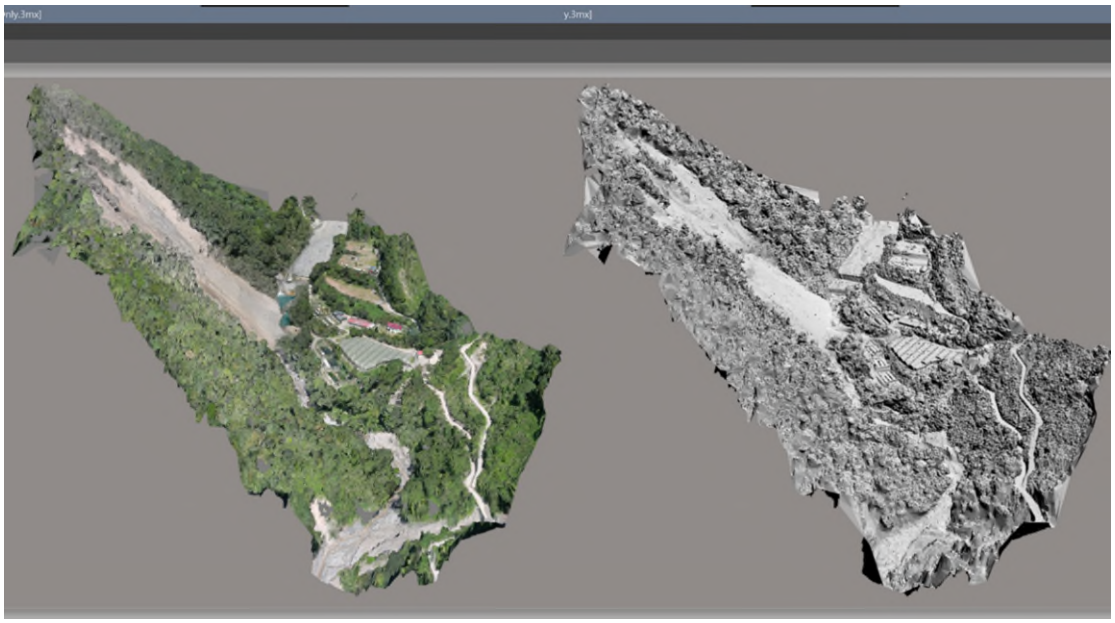


**圖 5-24　東眼山災後崩塌影像與模型特徵**

在檢核無人機產製數值模型資料之誤差上，於初期模型建置僅採用無人機(機載 GPS 系統)之坐標資料建置模型，因 GPS 數據受地形影響訊號不良，致使數值地形傾斜角度差異大(圖 5-25)。為降低 GPS 數值地形之傾斜誤差所造成干擾，以災前內政府 DEM 與災後影像擷取現場不動點，作為影像後處理校正之虛擬控制點 (圖 5-26)，並選取 6 處未擾動構造物及地表特徵點，重新分析前後期地形變異量(表 5-10)，相同不動點區域之地形特徵變量異分布較為一致 (如下圖 5-27 右)，包括道路、建築物、構造物與崩塌地上下游側等地形特徵，皆比校正前更符合現地調查與正射影像特徵分布 (圖 5-27)。

**表 5-10　東眼山模型基準面差異量分析表**

| 虛擬控制點 | TWD97_X | TWD97_Y | DEM 正高 (m) |
|---|---|---|---|
| 東眼山-1 | 261228.391 | 2658739.662 | 1005.83 |
| 東眼山-2 | 261367.973 | 2658574.431 | 1012.78 |
| 東眼山-3 | 261397.180 | 2658542.554 | 1034.08 |
| 東眼山-4 | 261371.749 | 2658479.148 | 1009.26 |
| 東眼山-5 | 261336.812 | 2658312.257 | 1001.10 |
| 東眼山-6 | 261270.658 | 2658629.099 | 1009.28 |
| 虛擬控制點 | 未校正<br>高程誤差(m) | 已校正<br>高程誤差(m) | 差異量降低倍數* |
| 東眼山-1 | -3.087 | -1.355 | 1.28 |
| 東眼山-2 | 4.562 | -0.288 | 14.83 |
| 東眼山-3 | 6.728 | 0.471 | 13.27 |
| 東眼山-4 | 6.742 | -0.137 | 48.14 |
| 東眼山-5 | 10.227 | 1.441 | 6.10 |
| 東眼山-6 | 3.128 | 1.255 | 1.49 |
| 基準面差異量計算：基準面為 2019DEM，高程誤差為基準面差異量，差異量降低倍數採絕對值計算。<br>差異量降低倍數*：\|未校正高程誤差\|-\|已校正高程誤差\| / \|已校正高程誤差\| | | | |

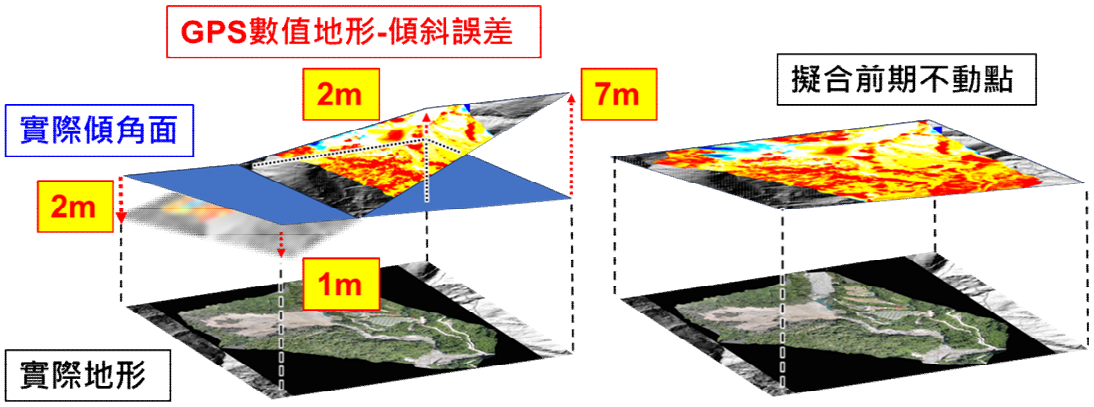



圖 5-25　東眼山災後崩塌模型傾角差異示意圖

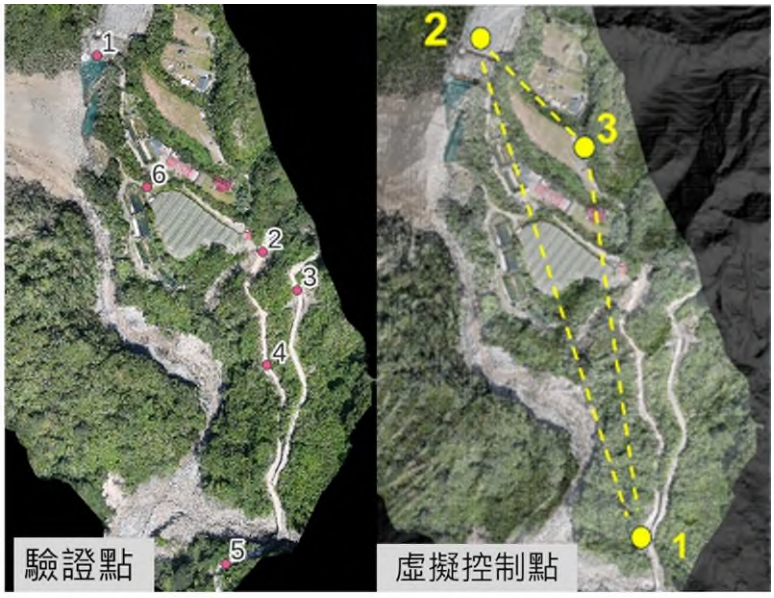



圖 5-26　東眼山驗證點與虛擬控制點

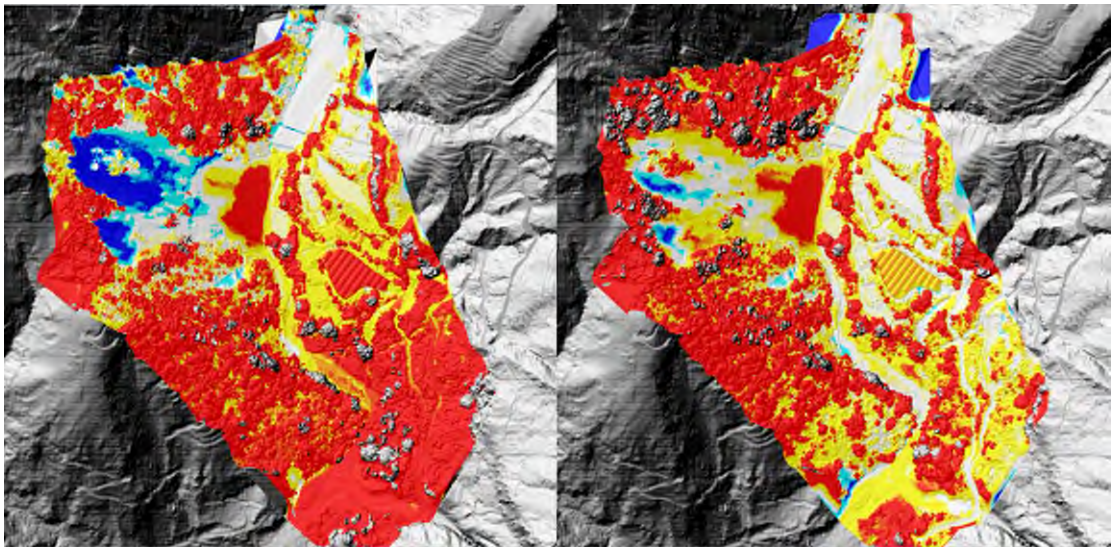


圖 5-27　地形差異示意圖 (左：校正前；右：校正後)

## 三、　卡努颱風後支援本署各組室空拍及現勘成果

本計畫於今年度於卡努颱風後支援本署各組室空拍，主要為土石流潛勢溪流及崩塌地災後調查，其現地勘查地點共計 10 處，相關成果如圖 5-28 及表 5-11 所示。10 處輔助災後調查均包括無人機空中斜拍、正射、環景照片及影像記錄等資料，後續室內作業均已將影像加值為正射影像、地表數值模型及三維模型 (如圖 5-29 至圖 5-38 所示)，其中原始影像、正射影像、DSM 收錄於署內 UAV 成果上傳平台，並同步至 BigGIS 平台上，三維模型上傳於技術研究發展平台-UAV 3D 建模 (https://tech.ardswc.gov.tw/Results/ResultsUAV3D)，其相關勘查資訊如表 5-11 所示。




**圖 5-28　卡努颱風後 UAV3D 建模成果**

## 表 5-11　卡努颱風後空拍及現地勘查資訊

| 編號 | 時間 | 地點 (E,N) | 空勘面積 (公頃) |
|---|---|---|---|
| 1 | 2023/08/14 | 投縣 DF013(24.0032,121.0858) | 10 |
| | 輔助減災監測組，協助仁愛鄉聖本篤加油站災後調查<br>https://tech.ardswc.gov.tw/3D/2023/rt_0814/App/#%2F | | |
| 2 | 2023/08/17 | 都達村松崗段 444 號<br>(24.0612,121.1863) | 20 |
| | 輔助坡地管理組，協助仁愛鄉卡努颱風新生崩塌地調查<br>https://tech.ardswc.gov.tw/3D/2023/rt_0817/App/#%2F | | |
| 3 | 2023/08/17 | 投縣 DF012(24.0135,121.0891) | 10 |
| | 輔助減災監測組，協助災後土石流潛勢溪流補充調查<br>https://tech.ardswc.gov.tw/3D/2023/rt_0817-3/App/#%2F | | |
| 4 | 2023/08/17 | 投縣 DF012<br>(24.020200,121.0872) | 12 |
| | 輔助減災監測組，協助災後土石流潛勢溪流補充調查<br>https://tech.ardswc.gov.tw/3D/2023/rt_0817-2/App/#%2F | | |
| 5 | 2023/08/23 | 都達村平靜段 5 號<br>(24.0702,121.2191) | 32 |
| | 輔助坡地管理組，協助仁愛鄉卡努颱風新生崩塌地調查<br>https://tech.ardswc.gov.tw/3D/2023/rt_0823/App/#%2F | | |
| 6 | 2023/09/20 | 精英村(24.0572,121.2046) | 36 |
| | 輔助坡地管理組，協助仁愛鄉卡努颱風新生崩塌地調查<br>https://tech.ardswc.gov.tw/3D/2023/rt_0920-3/App/#%2F | | |
| 7 | 2023/09/20 | 精英村(24.0389,121.1971) | 16 |
| | 輔助坡地管理組，協助仁愛鄉卡努颱風新生崩塌地調查<br>https://tech.ardswc.gov.tw/3D/2023/rt_0920-2/App/#%2F | | |
| 8 | 2023/09/20 | 精英村(24.037757,121.19959) | 17 |
| | 輔助坡地管理組，協助仁愛鄉卡努颱風新生崩塌地調查<br>https://tech.ardswc.gov.tw/3D/2023/rt_0920/App/#%2F | | |
| 9 | 2023/09/23 | 大同村東眼山崩塌<br>(24.033, 121.11) | 13 |
| | 輔助減災監測組，南投縣東眼山堰塞湖補充調查<br>https://tech.ardswc.gov.tw/3D/2023/rt_0923/App/#%2F | | |
| 10 | 2023/09/27 | 精英村廬山立體停車場<br>(24.0227, 121.1838) | 20 |
| | 輔助減災監測組，協助仁愛鄉卡努颱風災後調查<br>https://tech.ardswc.gov.tw/3D/2023/rt_0927/App/#%2F | | |
| Position (WGS 84. The height is using an ellipsoid as reference) | | | |



圖 5-29　編號 1 投縣 DF013 災後地形模型圖



圖 5-30　編號 2 都達村松崗段 444 號災後地形模型圖



圖 5-31　編號 3 投縣 DF012 災後地形模型圖-1



**圖 5-32 編號 4 投縣 DF012 災後地形模型圖-2**



**圖 5-33 編號 5 都達村平靜段 5 號災後地形模型圖**



**圖 5-34　編號 6 精英村坡面災後地形模型圖-1**



**圖 5-35　編號 7 精英村坡面災後地形模型圖-2**



**圖 5-36　編號 8 精英村坡面災後地形模型圖-3**



**圖 5-37 編號 9 東眼山崩塌地災後地形模型圖**



**圖 5-38 編號 10 精英村盧山立體停車場災後地形模型圖**

## 四、 成果與建議

本計畫於南豐村聖本篤加油站航拍任務規劃，採用分區分塊無人機拍攝影像組合而成，相對於單點起飛進行全區空拍作業，由多航線拍攝並搭配不同分區現地勘查需求，如保全對象區、構造物、河道區、植被遮蔽區等，並補充斜拍與制高點或通視良好區之控制點布設，以提升地面勘查作業效率 (圖 5-29)。

本計畫於南投縣東眼山航拍任務，因其坡面崩塌場域環境屬山谷地形，受當天雲覆率與通訊測量訊號差影響，本計畫使用無人機之機載 GPS 訊號進行影像後處理解算後，其數值模型解析度達 25 公分，但於邊緣或區外未設置控制點，是以造成邊界區域傾斜誤差變大，檢核不動點區域與 2017 年 DEM 資料比較其產生高程誤差約 9 公尺。藉由 2017 年 DEM 地形特徵來擷取不動點高程作為虛擬控制點，以修正像片匹配過程之定位及姿態誤差，可有效修正傾角誤差(圖 5-37)。

由以上兩處無人機航拍任務成果，其建議如下：

1. 對於天候狀況與山區環境干擾致 GPS 空間坐標資訊誤差，研析前人研究與本案例成果，建議至少需布設控制點三至五處進行校正 (黃美甄和張國楨，2014；蕭宇伸和陳祥茵，2020；陳豪年，2021)。
2. 對於正射影像因植被遮蔽影響處，建議由無人機斜拍補充遮蔽區域之地形地貌特徵。
3. 對未布設控制點之影像資料，其拍攝場域邊緣或區域外，受邊緣影像重疊率不足及 UAV 定位與姿態誤差等因素影響，建議由災害前期之內政部 DEM 擷取地形特徵點作為虛擬控制點，以修正邊界或區域外之傾斜角度與地表高程誤差變大問題。

## 第三節　遙控無人機自主技術強化相關問題

### 一、　無人機加值產品資料庫之坐標框架基準

目前農村水保署既有圖資，包含多種類、多時期、多空間解析度之空拍影像與其他衛星影像等。各種影像圖資的幾何精度，直接影響空間圖資套疊分析成果，係以必需確保資料庫儲放影像具備一定程度的幾何精度。農村水保署之「UAV 成果上傳平台」，在影像品質把關方式採相對幾何精度檢核，依據 BigGIS 自主開發「空間圖資精度評估系統 (Geospatial Information Assessment System, GIAS)」 資料，其主要利用農航所提供之全島航拍影像為底圖，坐標系統平面採用內政部 1997 台灣大地基準(TWD97)，UAV 空拍成果使用 GIAS 系統進行相對幾何精度檢核。

此系統內部的模組「空間圖資精度評估模組」(Geospatial Information Assessment Module, GIAM)，可使用精度為 1.25m 之臺灣通用版電子地圖作為主要基準底圖，以農林航空測量所空間解析度 25cm 航拍影像為基礎產製之通用版電子地圖正射影像為輔助圖資，透過比對基準影像與被檢核之 UAV 空拍正射影像進行匹配點之選取，再計算均方根偏差，作為幾何偏差檢核之量化依據。

目前應用航遙測影像與無人機加值產品，整合現地監(觀)測資料，據以執行軟、硬體防災規劃，係為情資研判與輔助決策的重要資料來源。檢視署內多年業務累積的 UAV 加值圖資成果，使得 UAV 加值產品 (如正射影像、DSM 及 3D 模型) 面臨以下三項問題：

1. 各時期坐標框架基準
2. 各時期空間圖資坐標框架基準轉換機制
3. 各時期空間圖資套疊分析衍生之地表位移量差異

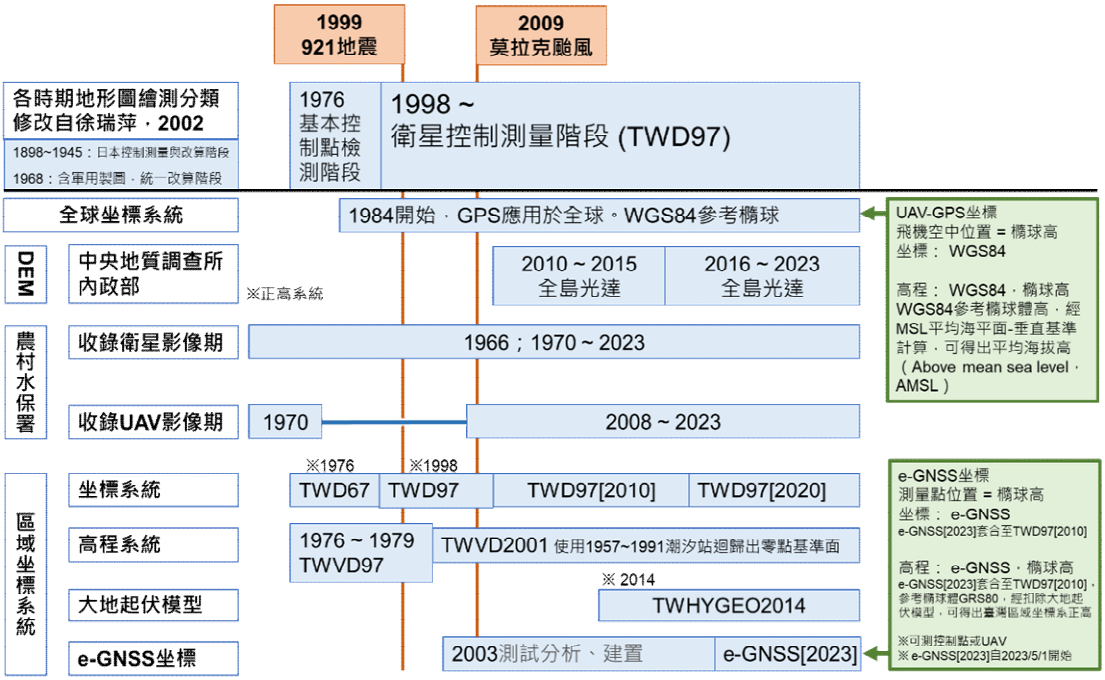
(一) 不同期間坐標框架基準

臺灣地殼變動激烈，國土面積百分之七十以上為山坡地、丘陵、台地等，使得防災勘查與災害地形測量上，常面臨不同的地形與氣候限制，再者，各階段時間之地圖繪測基準發展過程中 (表 5-12)，為因應環境其技術改變並逐步更新。依據徐瑞萍(2002)、史天元(2016)、內政部地政司國土測繪中心、內政部地政司衛星測量中心等資料，歷經多個時期與測繪標準演進情況下(圖 5-39)，各時期坐標框架基準有所不同。因此，在累積長時間巨量 UAV 空間圖資情況下，對於不同期間所產製之 UAV 加值產品，其依據之坐標框架不同，則面臨業務人員後續在套疊比對分析上，將出現系統性之幾何誤差。

(二) 各時期空間圖資坐標框架基準轉換機制

對於業務人員在 UAV 空間圖資套疊分析作業上，因受到臺灣地殼變動影響 (圖 5-40)，其系統性誤差不斷累積，目前署內雖有使用 GIAM 模組進行平面幾何精度評估，但在考量各時期坐標框架基準不同情況下，建議未來需建立不同時期空間圖資坐標框架基準轉換機制或是更新精度檢核方式，用以消除地殼變動之系統誤差。

因此，在發展長期圖資資料庫考量下，其面臨巨量圖資之坐標框架基準變動情況，為達到資料有效整合、加值與共享，建議對於既有圖資詮釋資料與成果保存流程，可採用資料生產履歷作法，初步記錄項目包含：產製(拍攝)時間、無人機型號及格式、測量儀器 (控制點測量硬體)、測量方式 (如導線測量、VBS-RTK)、坐標框架等資訊 (如 TWD97[2010]、e-GNSS[2023]-RTCM 3.2 版，平面與高程系統等)，作為未來相關空間類型圖資或地理幾何高程正規化之基礎參數使用。




資料來源：徐瑞萍, 2002；內政部地政司國土測繪中心、內政部地政司衛星測量中心、史天元, 2016。

**圖 5-39 各時期國家坐標系統變遷圖**

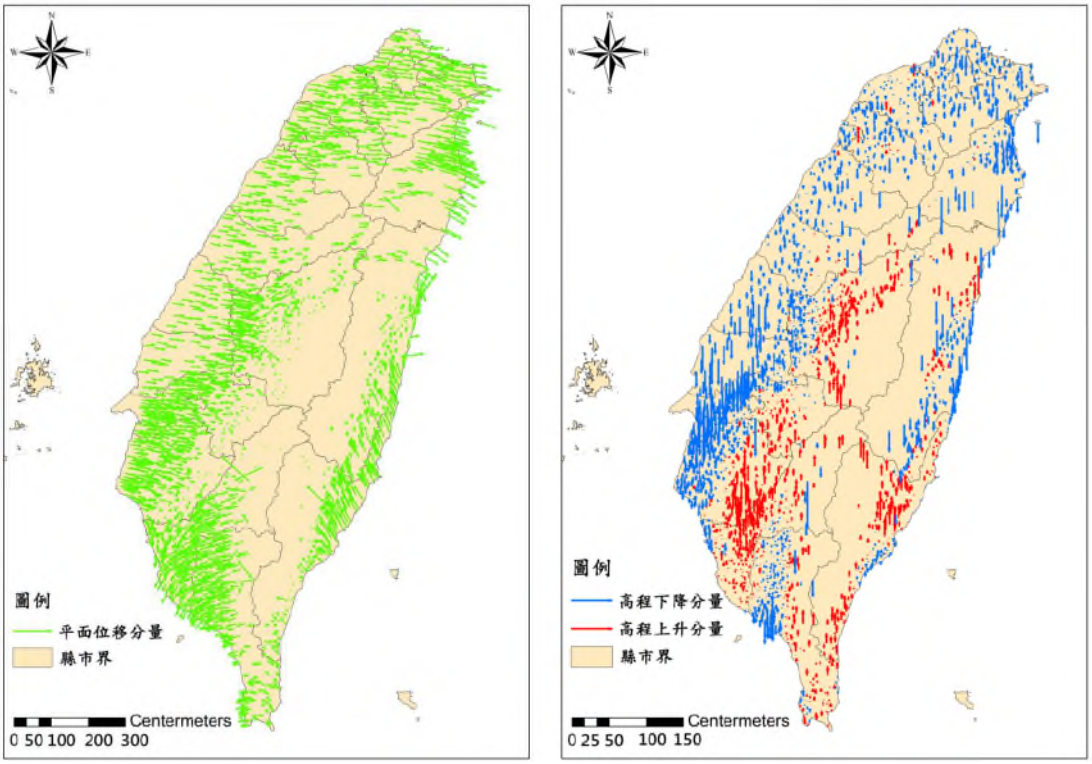



**圖 5-40 TWD97[2020]與 TWD97[2010]平面及高程分量較差向量示意圖**

## 表 5-12　臺灣各時期地形圖測繪基準

| 項目 | 日治時期控制測量階段 | | 日治成果改算階段 | |
|---|---|---|---|---|
| 代表地圖 | 二萬分一台灣堡圖 | 日治五萬分一實測地形圖 | 1944 美製多色地形圖 | 1951 美製多色圖(L792) |
| 參考橢球體 | 1841 Bessel | 1841 Bessel | 1909 Hayford | 1909 Hayford |
| 長半徑 (m) | 6,377,397 | 6,377,397 | 6,378,388 | 6,378,388 |
| 短半徑 (m) | 6,356,079 | 6,356,079 | 6,356,912 | 6,356,912 |
| 扁率 | 1:29915 | 1:299.15 | 1:297.0 | 1:297.0 |
| 投影方式 | 多面體投影 | 多面體投影 | 多圓錐投影 | 橫麥卡托投影 |
| 座標系 | 球面座標 | 球面座標 | 1000 碼方格網 IIIN 帶 D 區 | UTM1000 公尺(50、51 帶) |
| 圖幅範圍 | 經差 6 分，緯差 4 分 | 經差 15 分，緯差 10 分 | 經差 15 分，緯差 10 分 | 經差 15 分，緯差 10 分 |
| 平面基準 | 台中公園 | 虎子山三角點 | 虎子山三角點 | 虎子山三角點 |
| 高程系統 | 基隆平均海水面 | 基隆平均海水面 | 基隆平均海水面 | 基隆平均海水面 |
| 起始方位角 | | 埔里基線南端點 63°46'27".18 | | 對加納山:156°25'30".157 |

| 項目 | 統一改算階段 | 基本控制點檢測階段 (TWD67) | | 衛星控制測量階段 (TWD97) |
|---|---|---|---|---|
| 代表地圖 | 1967 老五萬地圖(L7001) | 1980 新五萬編纂圖 | 1990 經建版一版五萬地形圖 | 1999 年後地圖 |
| 參考橢球體 | 1924 International | GRS67 | GRS67 | GRS80 |
| 長半徑 (m) | 6,378,388 | 6,378,160.000 | 6,378,160.000 | 6,378,137.000 |
| 短半徑 (m) | 6,356,912 | 6,356,774.7192 | 6,356,774.7192 | 6,356,752,3141 |
| 扁率 | 1:297.0 | 1:298.25 | 1:298.25 | 1:298.257222101 |
| 投影方式 | 橫麥卡托投影 | 橫麥卡托投影 | 橫麥卡托投影 | 橫麥卡托投影 |
| 座標系 | UTM 六度分帶(50、51 帶) | UTM 六度分帶(50、51 帶) | 二度分帶 TM 方格網 | 二度分帶 TM 方格網 |
| 中央子午線尺度比 | 0.9996 | 0.9996 | 0.99999 | 0.99999 |
| 圖幅範圍 | 經差 15 分，緯差 15 分 | 經差 15 分，緯差 15 分 | 經差 15 分，緯差 15 分 | |
| 平面基準 | 臺灣:虎子山三角點(51 帶)<br>澎湖:紅木提三角點(50 帶) | 虎子山三角點 | 虎子山三角點 | 地心座標系統 ITRF94 |
| 高程系統 | 臺灣:基隆平均海水面<br>澎湖:馬公港平均海水面 | 基隆平均海水面 | 基隆平均海水面 | WGS84 幾何高 |
| 起始方位角 | 埔里基線南端點 243° 47'21".611 | 對拒頭山 323°57'23".135 | 對拒頭山 323°57'23".135 | 國際時間局:1984.0 時刻方位 |

1980年臺灣三角點測量成果公佈後的座標系統

(1) UTM六度分帶：中央經線本島123°E(51帶)，澎湖117°E(50帶)，橫座標西移500公里，中央經線尺度比：0.9996

(2) TM三度分帶：中央經線本島121°E，澎湖118°E，橫座標西移350公里，中央經線尺度比：1.0000

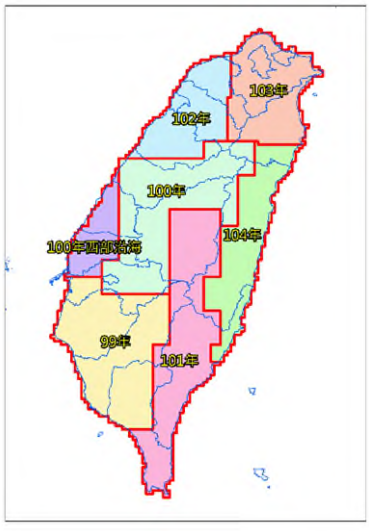
(3) TM二度分帶：中央經線本島121°E，澎湖117°E，橫座標西移250公里，中央經線尺度比：0.9999

資料來源：徐瑞萍, 2002；沈淑敏及張瑞津, 2003。

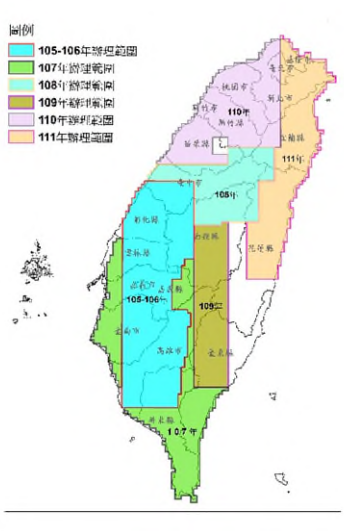
(三) 各時期圖資套疊分析之地表位移量差異

依據內政部、國土測繪中心及中央地質調查所辦理歷年數值地形模型成果 (圖 5-41、表 5-13)，以目前 DTM 辦理範圍、年度、數量等，在作業時間限制下，依據內政部地政司衛星測量中心資料 (107 年度 LiDAR 技術更新數值地形模型成果測製工作案)，由作業邊界融合、控制點誤差與地殼變動量等校正，是作為圖資空間解析正規化之重要校正步驟。

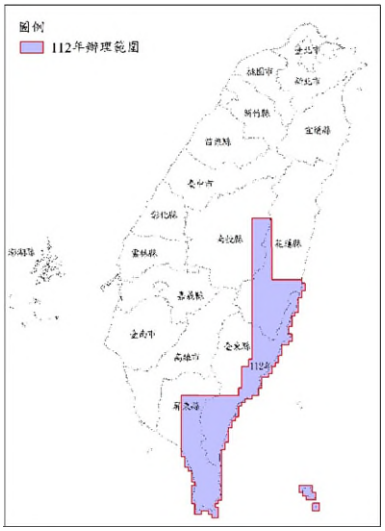
由於各時期之國家坐標系統 (TWD67、TWD97、TWD97[2010]、TWD97[2020]) 及 e-GNSS 動態坐標系統 (表 5-14)之坐標框架不同。對於各時期圖資成果套疊分析，因各自時期坐標系統基準不同，後續在使用分析上，所產生之幾何誤差 (水平與垂直誤差) 問題，建議必需在同一時期之坐標系統基準下，重新將所欲比對之圖資轉置為相同坐標系統下，以校正區域性之地表位移量 (水位及垂直) 偏誤。




99-104 年度




105-111 年度




112 年度

**圖 5-41 各年度 DTM 辦理範圍圖**

## 表 5-13　DTM 歷年辦理數量

| 年度 | DTM (1/5000 圖幅數) | 執行單位 |
|---|---|---|
| 99 | 1,042 | 中央地質調查所 |
| 100 | 1,379 | 中央地質調查所 |
| 101 | 1,061 | 中央地質調查所 |
| 102 | 526 | 中央地質調查所 |
| 103 | 684 | 中央地質調查所 |
| 104 | 682 | 中央地質調查所 |
| 105-106 | 1,331 | 內政部 |
| 107 | 781 | 內政部 |
| 108 | 536 | 國土測繪中心 |
| 109 | 530 | 國土測繪中心 |
| 110 | 798 | 國土測繪中心 |
| 111 | 850(含龜山島 3 幅) | 國土測繪中心 |

資料來源：內政部基本地形圖資料庫入口網，
https://bmap-nlsc.moi.gov.tw/contentPage.aspx?id=20200422183614130&tp=c。

## 表 5-14　e-GNSS 坐標成果歷年更新表

| 時間 | 臺灣地區 | 澎湖、金門及馬祖地區 |
|---|---|---|
| 97.5.1*[1] ~ 98.7.1 | e-GPS【2007】 | TWD97【1997】 |
| 98.7.1 ~ 103.1.1 | e-GPS【2009】 | |
| 103.1.1 ~ 104.4.30 | e-GNSS【2013】 | |
| 104.5.1 ~ 106.4.30 | e-GNSS【2015】*[2] | |
| 106.5.1 ~ 108.7.14 | e-GNSS【2017】*[3] | |
| 108.7.15 ~ 110.4.30 | e-GNSS【2019】 | |
| 110.5.1 ~ 112.4.30 | e-GNSS【2021】 | |
| 112.5.1 ~ | e-GNSS【2023】 | |

*1. 本系統於 97 年 5 月 1 日開始試營運，98 年 1 月 1 日正式營運。
*2. 最小約制點位由竹南基準站（JUNA）104 年起更改為測繪中心（LSB0）。
*3. 配合 107 年 2 月 6 日花蓮地震，於 107 年 2 月 23 日更新花蓮地區基準站坐標為 e-GNSS【2017A】。

資料來源：內政部國土測繪中心，
https://egnss.nlsc.gov.tw/content.aspx?i=20150625102013300

## 二、 UAV影像後處理技術及資料檢核機制

由於無人機機動性佳，對於小區域空勘調查相當便利，但在空拍影像後處理技術及影像加值產品 (如正射影像、數值地表模型、3D 模型等) 之檢核，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，因此，如何提升農村水保署人員多元圖資處理能力及影像加值產品檢核能力，為目前本署及各分署所面臨困境。

目前農村水保署除每年辦理遙控無人機教育訓練外，並由技術研究發展小組 (組改前臨時編組) 自主培訓專業人才，以協助各組室外業空勘調查及影像加值產品產製。但受到人員及業務異動影響，各分署技術能量不一，因此，每年培訓本署及各分署之專業操作證種子教官及影像後處理人才，實為培養自主技術能力所重要辦理業務之一，作為強化空勘協作及支援災後時效性案件之處理量能。

此外，農村水保署透過 UAV 平台收錄各委辦案件產製 UAV 影像加值產品，如正射影像幾何精度，已訂定統一檢定標準 (已有 GIAS)，但 DSM 產品則缺乏垂直幾何精度檢核方式，目前本署已由技術研究發展小組進行影像加值產品之幾何精度、影像定位、坐標系統轉換誤差等發展檢核方法，以持續精進目前下列課題改善方法：

1. 不同時期 DSM 坐標框架系統轉換所衍生之轉換誤差。

2. DSM 缺乏垂直幾何精度檢核方式及統一檢定標準。

3. 無人機現地量測及影像後處理作業方法未率定。

前兩者依目前 UAV 平台之幾何精度檢核、多元圖資、坐標系統等，其檢定標準與圖資坐標系統轉換等工作，在水平幾何精度檢核由 GIAS 系統進行相對幾何精度檢核，但對於不同坐標框架系統之轉換誤差，以及垂直幾何精度檢核方式，則仍有待研究改善。

此外，受限於遙控無人機本身所搭載機能不同，目前各委辦業務單位所使用之無人機現地量測方式皆不同，其影像後處理作業方式亦不同，對於 UAV 多元圖資所呈現之幾何精度不相同。因此，本計畫綜整無人機、地面控制點及影像後處理作業，其作業優缺點及誤差來源等，提出因應方式。

(一) 無人機地面控測點測設方式

依據 Schonberger and Frahm (2016) 研究指出，應用 SfM 攝影測量之三維物件解算處理程序，需特別注意像機率定、高密度影像特徵萃取、密匹配、光束法平差、產生點雲資料、影像糾正後重新取樣及三維重建等易出現物件解算誤差部分。因此，依本計畫研究於南投縣 DF013 土石流災害建模及東眼山邊坡崩塌災害建模成果，對於單純使用 UAV 測攝成果、補正虛擬控制點、補正 RTK 測量控制點等三種方式 (圖 5-42)，其產製之未校正 DSM、校正 DSM 與 LiDAR 地型三者比對分析成果 (詳 3-3-1 及 3-3-2 節，東眼山崩塌災害建置模型與投縣 DF013 土石流災害建置模型比對分析)，透過加入虛擬控制點或是 RTK 控制點，均可以提高幾何精度與成果準確性。

(二) 無人機 RTK、PPK 與控制點修正關係

Thomas 等人(2020) 研究指出，攝影測量之 SfM (Structure from motion)及 IDPC (imagery-derived point clouds) 為優良獲取空間資訊工具。在評估垂直幾何精度，藉由後處理動態 (Post-point Kinematic, PPK) 定位解算處理，其垂直均方誤差僅 2 公分，且與傳統地面全測站 (Total station) 及地面雷掃描儀 (terrestrial laser scanner) 相比可節省 40%至 75%製圖時間及成本。再者，蕭宇伸(2020)以宜蘭縣冬山鄉三清宮停車場及新北市中和區光環路二段為樣區，其研究成果指出，無

人機搭載即時動態定位技術(RTK)與後處理動態(PPK)解算技術，其與平地試區之垂直垂度誤差約 1 至 3 公分；陳豪年(2021)於竹科銅鑼園區西北側貓公坑 (包含平地及山坡地) 試區之量測成果，使用 RTK 與 PPK 解算高程精度分別為 4.3 至 7.2 公分及 3.1 至 4 公分間，若配合布設至少三個地面控制點，其高程度精達 5.9 公分，水平精度達 3.6 公分。綜整相關文獻資料(表 5-15)，概列無人機搭載 RTK 與 PPK 並配合布設 GCP 控制點之優點如下：

1. 使用無人機攝影測量可以避免將人員進入危險區域；

2. 可取得人力無法測量之地形特徵點，如高塔、樹頂、懸崖等地表特徵；

3. 於山區易受到通訊不良或環境因子干擾問題，易導致 RTK 無固定解情形，而無法有效量測地面空間資訊，若以 PPK 定位解算技術並配合布設地面控制點，可提升 RTK 無收斂解及精度下降問題。




**圖 5-42 無人機測量控制點校正示意圖**

## 表 5-15　無人機攝影測量方式比對表

| | 純UAV測量 | UAV測量 + 虛擬控制點 | UAV測量 + 測量控制點 | RTK模組UAV + 地面RTK基站 | PPK模組UAV + 地面基站 |
|---|---|---|---|---|---|
| 水平精度來源 | **UAV精度 (內建GPS)** | 控制點精度 | 控制點 ( **測量** )精度 | **RTK精度** | PPK (**後解算**精度) |
| 高程精度來源 | **攝影測量SfM** | **同上** | **同上** | **攝影測量SfM** | **攝影測量SfM** |
| 操作優勢 | 速度快、成本低，正射影像誤差小，可快速產製DSM。 | 控制點使用前期圖資、特徵點等既有高程。可省去現地測量時間。 | 現地測量可顯著降低坐標誤差、地殼變動誤差。 | RTK可強化UAV空中坐標精度，全程即時解算，精度優於內建GPS坐標。 | RTK(後解算)資料，可部分強化UAV空中坐標精度。只需要現場基站測量坐標，適合超視距。 |
| 成果限制 | DSM為遙測成果，無法穿透植被，離起飛點越遠，高程誤差可能累加，導致模型頃角誤差。 | 現地須有不動點或特徵點，才能由歷史圖資選取虛擬控制坐標。 | 現場須設置控制點，每次任務須包含測量時間。 | 基站跟UAV需在通聯範圍，兩者皆須可接受衛星資訊。<br>DSM高程依舊受限於SfM精度。 | 基站必須為已知坐標(或現地測得)。衛星靜態觀測資料，需搭配軟體服務解算。<br>DSM高程依舊受限於SfM精度。 |
| 成本 | UAV本體、電池<br>解算軟體 | UAV本體、電池<br>解算軟體、控制點抽取+標定 | UAV本體、電池<br>解算軟體、控制點標定 | UAV本體、電池<br>解算軟體、RTK基站、eGNSS服務費 | UAV本體、電池<br>解算軟體( 包含建模解算 + 坐標解算 )、RTK基站 |

資料來源： https://dronesboy.com/ppk-or-rtk-which-is-best-in-drone-mapping/

綜上所述，無人機進行正射影像、數值地形與 3D 模型等多元圖資產製上，目前存在兩個待克服的系統性誤差，其一為空中誤差，主要為無人機本體機載坐標系統精度與無人機對地面高程的計算方式(橢球高與正高)；其二為地面誤差，主要為控制點取得方式與現場條件。無人機 GPS 於適當環境下可直接解算正射影像、DSM、3D 模型等產品，但受限於場域受天候、環境 (通訊質量、電波干擾、地形屏蔽) 影響，考量特殊災後地形與氣候，建議仍需取得實測或圖資特徵點進行校正。此外，軟硬體設備及解算之誤差，受限於設備成本及軟體解算能力，僅提供參考資訊，尚不列入考量 (如表 5-16)。

對於使用 RTK 無人機作為移動站配合 RTK 主站(基準站)進行動態即時解算之方式，以及 PPK 無人機作為移動站配合 RTK 主站(基準站)進行動態後處理解算之方式，面臨不同產品所需檢核方法及標準，列為本計畫明年度持續精進研究項目。

## 表 5-16　無人機作業誤差因應評估表

| 誤差 | 形式 | 因應方案 | 優點 | 缺點 |
|---|---|---|---|---|
| 空中誤差 | 無人機坐標 | 本體GPS接收器 | 便宜，一般山區水平坐標可收斂至0.5~1m內 | 容易受環境、訊號導致偏移<br>單頻、雙頻等硬體精度差異大，受價格與形式影響 |
| | | RTK-搭配地面站 | 收斂精度高，坐標即時解算 | 成本較一般GPS貴，解算狀態影響精度高低，全程需與基站維持通聯 |
| | | PPK-搭配地面站 | 後處理解算適合訊號不良區域 | 後處理解算、驗證時間較長<br>仰賴衛星靜態觀測紀錄 |
| 軟硬體誤差 | 地表高程計算 | 光學SfM重建 | 可同時產製正射與DSM | 無法穿透植被、<br>鏡頭球面像差不容易消除 |
| | | LiDAR光達測距 | 可穿透植被<br>精度較SfM重建高 | 感測器成本較光學高<br>飛行高度影響迴波強度<br>作業時間、航線誤差受環境影響大<br>特殊地形將增加人工濾波成本<br>彩色點雲數值地形，須後處理RBG值 |
| 地面誤差 | 控制點取樣 | VBS-RTK取樣 | 適合單人作業，動態解條件下，單一測回速度極快(5秒)<br>eGNSS坐標具轉換彈性 | 受電離層、衛星及網路訊號等影響<br>動態觀測受環境影響，無法收斂 |
| | | 傳統測量取樣 | 精度較高，可參考鄰近之水準網 | 人工作業與時間成本較RTK高<br>受天候及人力可及影響 |
| | | 圖資特徵取樣 | 可快速對區域坐標直接擬合 | 必須有前期圖資、特徵點<br>內業取樣、解算等額外作業成本<br>長期觀測與多期圖資比對成本高 |

## 三、　遙控無人機資通安全檢驗問題

財團法人電信技術中心 (Telecom Technology Center, TTC) 於 111 年 12 月 30 日發布「無人機資安保障規範 (TTC-SEC-DRONE-001 v2.0 2023)」，分別就製造商資安成熟度查驗及產品資安測式兩部分進行查驗及檢測，而後行政院公共工程委員會於 112 年 1 月 4 日修正「投標須知範本」第 16 點，增訂機關採購取得使用無人機專屬條款。

但 TTC 與民間資安廠商共同籌組「無人機資安聯合驗測實驗室」於 3 月 1 日啟用，導致資安檢測機制未完備，且「無人機資安保障規範」相關查驗及檢測無法與民間無人機業者達成共識。後續聯合實驗室於 112 年 6 月 15 日發布「無人機資安保障規範 (草案，TTC-SEC-DRONE-001 v2.0 2023)」，並由「無人機技術工作小組 (數位發展部、交通部民用航空局、公共工程委員會共同成立)」透過「無人機資安保障規範說明與交流會議」與無人機業者達成共識，並於 112 年 6 月 28 日發布「無人機資安保障規範 (TTC-SEC-DRONE-001 v2.0 2023)」，隨後工程會於 112 日 6 月 30 日修正「投標須知範本」第 16 點無人機專屬條款，新增「無人機資安檢測需求表」(表 5-17)，訂定適用情形及排除情況。

綜整無人機資安檢測問題，在於規範發布在先，但執行檢測單位尚未成立，係以造成民間業者與公務機關無法送檢，業務執行受第 99 條之 14 操作規範限制，係此遙控無人機資安檢測之空窗期問題，其後續影響公務機關執行相關業務或委辦計畫時之期程。建議未來辦理執行遙控無人機類委辦計畫相關業務時，對於資安檢測時程之掌握 (圖 5-43)，除遵照數位發展部、交通部民用航空局、公共工程委員會相關規範外，對於招標公告、契約訂定、期初查核點、查核驗收等不

同階段，建議以下三點辦理事項：

1. 於招標公告及契約訂定時，明確訂定資安檢測需求等級，以避免廠商得標後無法送資安檢測，致委辦計畫後續無法履約執行。
2. 於期初查核點時，廠商需交付「無人機資安聯合驗測實驗室」之「檢測報告/證書(標章)」，以作為無人機資安檢測通過證明，據以執行後續無人機空勘、測繪、巡檢等工作項目。
3. 於履約期間如遇無人機機型替換，則廠商應重新辦理資安檢測及提供新機型「檢測報告/證書(標章)」，並辦理契約變更事項，以符合資安檢測需求，據以執行委辦業務工作。




資料來源：https://www.ttc.org.tw/

**圖 5-43 無人機資安檢測作業流程及預估工作天數**

## 表 5-17　無人機資安檢測需求

| 適用資安檢測等級 | 適用情形 | 排除適用情形 |
|---|---|---|
| 一、無人機產品資安測試**中階**等級(註2) | 有下列情形之一者：<br>1. 飛經禁航區、限航區、民航局公告之航空站或飛行場四周或地方政府代中央機關公告之紅區<br>2. 無人機重量 25 公斤以上 | 經上級機關核轉目的事業主管機關(交通部)及資通安全主管機關(數位發展部) 同意免予適用者。 |
| 二、無人機產品資安測試**初階**等級(註2) | 飛經地方[直轄市、縣(市)]政府劃設紅區 | 有下列情形之一者，免予適用:<br>1. 無自主導航且無攝影功能。<br>2. 經地方政府同意免予適用者。<br>3. 紅區所在機關辦理之教育訓練或競賽等低機敏性活動並報經地方政府備查。 |
| 三、無人機產品資安測試**初階**等級及群飛系統資安檢測(註2及3) | 群飛架數 200 架以上且預計群聚人數達 1,000 人以上(註4) | |

註1：本表無人機資安檢測需求係針對一般機關採購取得或使用無人機之基本需求，機關得依個案特性提高檢測安全等級。又因機關使用情境(例如涉軍、警、海巡等機關或關鍵基礎設施、重要人士在場、犯罪偵監等)，請機關衡酌個案特性，以適當資安標準妥適訂定。

註2：本表所稱產品資安檢測等級及檢測項目，係指「無人機資安聯合驗測實驗室」訂定之「無人機資安保障規範」第二部分產品資安測試安全等級及檢測項目(或其他同等級之標準或規範)，並以招標公告或邀標時適用之版本為準，履約期間如有變更資安需求者，得以契約變更方式處理。

註3：本表所稱「群飛系統資安檢測」，係引用台灣資通產業標準協會發布之「物聯網場域資安防護評估指引」安全等級L1級(或其他同等級之標準或規範)，針對應用層、網路層及感測設備層所包含設備之一般性安全功能的資安要求及測試評估，並以招標公告或邀標時適用之版本為準，履約期間如有變更資安需求者，另以契約變更方式處理。

註 4：群聚人數門檻係參考內政部「大型群聚活動安全管理要點」對於「大型群聚活動」之定義。

註5：機關應視個案實際情形於採購預算編列資安檢測費用。客製化之財物採購，第1次型式檢測費用由機關預算支應；勞務採購，機關依使用架數、使用頻率等因素評估所需檢測費用。

## 四、 小結與建議

參考國內外無人機相關技術人才養成，從硬體養護、技術培訓、現場支援、成果加值等組織架構，以及國內防救災業務推動、無人機法規與資安檢測演進等現況，建議如下：

(一) 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，培養本署及分署無人機操作人才。

(二) 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，熟捻署內於 UAV 成果上傳平台上傳程序;多元圖資(後處理產製正射影像及 DSM 模型)可於 BigGIS 圖台檢視正射影像成果並與空間圖資套疊分析；於歷史影像平台檢視 UAV 航拍影像，熟捻各項圖資共享與應用分析。

(三) 無人機外業調查如遇天候狀況不佳或山區環境干擾資通訊號時，建議至少布設三至五處 RTK 控制點以校正影像邊界傾斜誤差。如無法於現場布設控制點，則建議採用內政部最新之 DEM 資料，輔以衛星影像、正射影像等擷取虛擬控制點，以修正邊界傾斜及地表高程誤差。

(四) 署內目前已收錄多年無人機加值產品，但由於各時期坐標框架基準不同，為降低各時期圖資套疊分析衍生之地表位移量偏差，建議規劃由系統自動檢核並轉換各時期圖資為同一坐標框架基準，以消弭坐標基準系統性偏差。

(五) 由前人研究成果指出，無人機具 RTK 功能機形，若受通訊不良或干擾，則導致 RTK 無固定解情形，無法有效量測地面空間資訊，若以 PPK 技術配合地面控制點，可提升 RTK 無收斂解及精度下降問題。

(六) 無人機資安檢測方面，建議於招標公告、契約簽定、期初查核點及履約期間等各時期，明確訂定委辦計畫所需之資安檢測等級及繳交資安檢測通過證明，以順利完成無人機委辦業務工作。

## 第四節　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，為精進水、砂數值模式模擬分析能力，據以研擬土砂防減災調適對策並強化自主分析能力等工作，本項工作主要以大規模崩塌及不安定土砂相關調查方法、土體運動型態、降雨逕流空間分布關係、水砂數值模式、影響範圍劃設等辦理技術及案例專題教育訓練，今 112 年度培訓土砂災害模擬相關教育訓練，如表 5-18 所示。

**表 5-18　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 |
|---|---|---|
| 分布式降雨逕流 Wflow 模式教育訓練 | 1. WFLOW 模式建置<br>2. Delft FEWS 與 WFLOW 模式銜接<br>3. Delft_FEWS 操作與資料成果檢視 | 2. 提供降雨逕流之時空間時序列資料<br>3. 提供軟、硬體工程改善與防災對策參據 |
| 崩塌發生與運動及數值分析專題講座 | 1. 大規模崩塌發生與運動理論<br>2. MPM 數值模式實作<br>3. ICS 數值模式實作 | 1. 協助災害預警發布參考<br>2. 緊急應變及避難疏散規劃<br>3. 大規模崩塌防減災業務推動參考 |
| 大規模崩塌降雨警戒與堰塞壩形成專題講座 | 1. 大規模崩塌發生機制、警戒方法<br>2. 大規模崩塌及衍生災害之評估方法<br>3. 堰塞壩形成機制<br>4. 壩體幾何參數調查<br>5. 壩體穩定性分析 | 1. 提供大規模崩塌緊急應變操作參考<br>2. 提升堰塞湖防災應變能力與疏散避難參考 |

## 一、　分布式降雨逕流Wflow 模式教育訓練

為了解流域集水區水文量 (降雨強度、累積降雨量)及流量之時、空間分布情況，據以提供大規模崩塌、不安定土砂分析及土石流等災害研究分析與調查所需資訊，以利評估土砂災害影響，作為後續軟、硬體工程改善與防災對策參據。

本次教育訓練參與人次為 59 人，以開源降雨逕流 Wflow 模式並應用 Delft_FEWS 平台，作為整合不同型態水文氣象資料與模式串接，以展示流域集水區降雨逕流之時空間分布關聯性。同時在前處理、程式設置、環境建置就緒架構下，應用 HydroMT-Wflow 進行自動化 Wflow 模式專案產製，逐步整合資料、模式與平台串接，提供流域集水區完整之流量與降雨量資訊，作為不安定土砂分析基礎資料 (圖 5-44、表 5-19)。

本教育訓練相關學員意見回饋整理如下：

1. 該降雨逕流模式所使用之 DEM 資料有何限制，其如何劃分集水區邊界。
2. 建置模式後，該如何驗證相關參數之適用性。
3. 在颱風豪雨期間，串接 QPESUM 資料，其需多久可計算一次全台降雨逕流分布，另其輸出成果之時間間距為多少。
4. 目前 Wflow 模式可否計算河道土砂之變動。
5. 模式建置可否導入現地斷面測量資料作為水位或流量之率定驗證使用。




**圖 5-44 分布式降雨逕流 Wflow 模式教育訓練**

## 表 5-19　分布式降雨逕流 Wflow 模式教育訓練議程

# 分布式降雨逕流 Wflow 模式教育訓練議程

| 課程規劃 | | | |
|---|---|---|---|
| 時間 | 教學課程內容與項目 | 時間 | 單位 |
| 09:00~09:30 | 報到 | 1 | 小時 |
| 9:30~10:30 | **分析作業環境建立與基礎資料**<br>執行環境 Python_Mamba, HydroMT-Wflow, Deflt-FEWS ,Wflow 安裝、空間基礎資料前處理 | | |
| 10:30~10:40 | 休息 | | |
| 10:40~11:10 | **模式資料前處理與轉換說明**<br>-使用水文與地文資料介紹<br>-水文氣象與地文資料前處理<br>-HydroMT 支援檔案格式介紹 | 0.5 | 小時 |
| 11:10~12:10 | **WFLOW 模式建置流程與說明**<br>-流域模式資料建置 | 1 | 小時 |
| 12:10~13:30 | 午餐 & 休息 | | |
| 13:30~14:30 | **WFLOW 模式建置流程與說明**<br>-模式專案測試 | 1 | 小時 |
| 14:30~14:40 | 休息 | | |
| 14:40~16:10 | **Delft_FEWS 與 WFLOW 模式銜接與說明**<br>-銜接流程說明<br>-流域與模式專案平台串接<br>-銜接流程測試 | 1.5 | 小時 |
| 16:10~16:20 | 休息 | | |
| 16:20~17:30 | **Delft_FEWS 操作與資料成果檢視與綜合討論**<br>**-Delft_FEWS 操作介紹**<br>- WFLOW 流量與降雨量資訊成果展示<br>-資料成果交換說明<br>-綜合討論 | 1 | 小時 |
| 賦 歸 | | | |

## 二、 崩塌發生與運動及數值分析專題講座

近年受到氣候變遷影響，導致長延時降雨與短延時強降雨型態，造成不同類型之土砂災害事件，其土砂災害發生具高度不確定性且影響面積廣、規模大、災害類型多。爰此，為因應大規模崩塌防減災業務推動，降低災害風險並提升山區聚落安全，以提高面對災害預警應變之能力及建構智慧防災體系，辦理「崩塌發生與運動及數值分析專題講座」專題講座，作為農村水保署業務精進及推動參考。

本專題講座參與人次為 40 人，分享大規模崩塌發生與運動理論，包含模擬情境設定、邊坡穩定演算到後續的防災規劃，透過 MPM 及 ICS 數值模式，學習崩塌破壞現象與土體運動並進行邊坡崩塌數值模擬分析。藉由模擬成果，可得到潛勢影響範圍、坡面崩塌深度、崩塌量體等資訊，協助災害預警發布、緊急應變及避難疏散計畫規劃等(圖 5-45、表 5-20)。

本講座相關學員意見回饋整理如下：

1. 有關 MPM 模式可否模擬降雨與地下水情境下，水體入滲造成崩塌對情況。
2. 請問 MPM 模式與 Scoops3D 對於邊坡發生漸進式破壞情形上，何者較適用。
3. 請問 MPM 模式為何要預先模擬土體荷重應力分布。
4. 請問 ICS 模式若為無崩塌事件發生，該如何選取坡面崩塌地範圍之特徵點。
5. 請問 ICS 模式在崩塌破壞曲面計算完成後，是否可以輸出資料到 GIS 軟體上展示。




**圖 5-45　崩塌發生與運動及數值分析專題講座**

**表 5-20　崩塌發生與運動及數值分析專題講座議程**

| 時間 | 講題 | 講師 |
|---|---|---|
| 09:30 ~ 10:00 | 報到 | |
| 10:00 ~ 11:00 | 崩塌發生與運動現象的理論與模式 | 李威霖 |
| 11:00 ~ 11:10 | 休息 | |
| 11:10 ~ 12:10 | MPM 數值模擬專案實作(1/2) | 李威霖 |
| 12:10 ~ 13:30 | 午餐 & 休息 | |
| 13:30 ~ 14:30 | MPM 數值模擬專案實作(2/2) | 李威霖 |
| 14:30 ~ 14:40 | 休息 | |
| 14:40 ~ 15:40 | 理想曲面理論與模式界面說明 | 戴義欽<br>王福杰(助教) |
| 15:40 ~ 15:50 | 休息 | |
| 15:50 ~ 17:00 | 理想曲面法數值模式專案實作 | 戴義欽<br>王福杰(助教) |
| 賦歸 | | |

## 三、 大規模崩塌降雨警戒與堰塞壩形成專題講座

近年極端降雨頻傳，集水區不安定土砂在降雨或地震等條件誘發下，引致各類崩塌及衍生災害，如高雄市玉穗溪上游林班地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。對於不安定土砂所形成之大規模崩塌其及所衍生之堰塞壩等課題，辦理「大規模崩塌降雨警戒與堰塞壩形成」專題講座，以大規模崩塌發生機制、警戒技術、堰塞壩形成機制、判釋方法、衍生災害等主題進行相關國內外案例探討，並針對影響範圍劃設、堰塞壩形成位置和規模等，提出相關調查方法及數值模擬成果，以作為大規模崩塌與緊急應變操作及提升堰塞湖防災應變能力與避難疏散之參考 (圖 5-46、表 5-21)。

本講座相關學員意見回饋整理如下：

1. 有關日本大崩降雨水文特徵與地下水之關係，是否適用於國內大規模崩塌監測使用。
2. 對於快速破壞與慢速破壞之崩塌災害，其在調查方法與地形特徵判釋上，如何區別兩者之破壞型式。
3. 目前在大崩影響細部劃設上，透過數值模擬之 DEM、DDA、CFD 方式獲得，各方法在適用之土體運動及破壞型態為何。
4. 有關堰塞湖現地參數測量，如果遇到人力不可及，該何如透過雷射測距儀量測。
5. 有關崩塌土體阻塞河道，其受水流流動影響，如何判斷水流與土體交互作用是否形成堰塞湖。

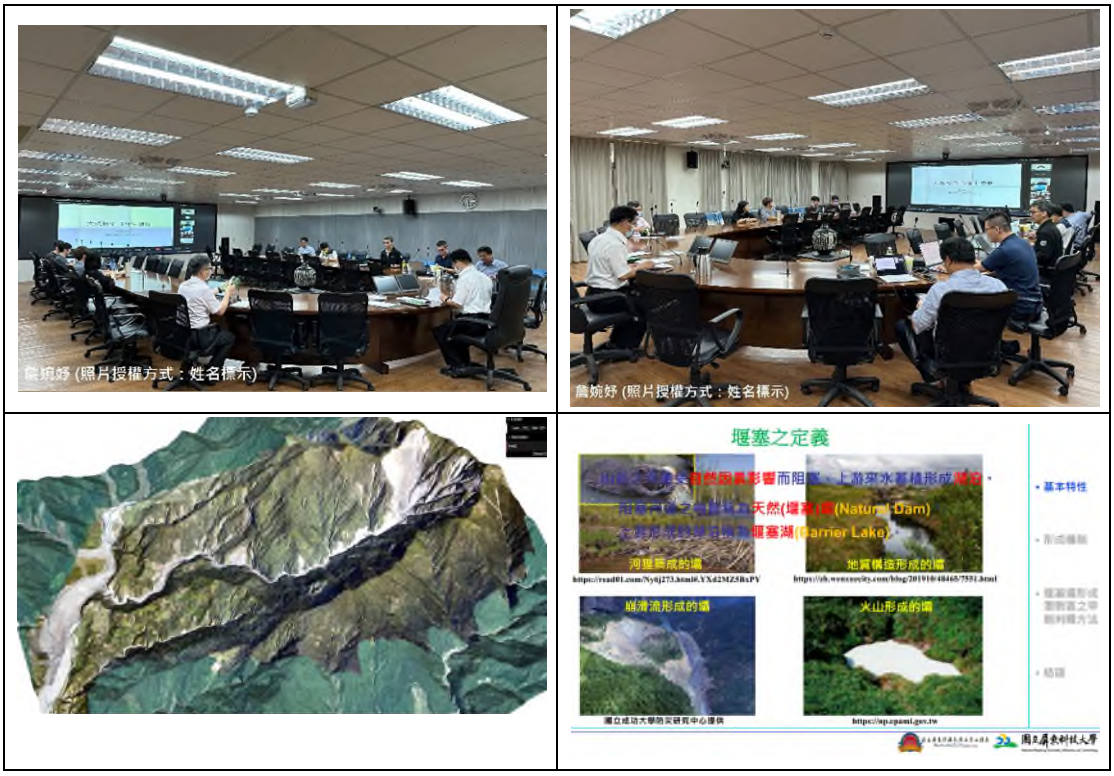



**圖 5-46　大規模崩塌降雨警戒與堰塞壩形成專題講座**

**表 5-21　大規模崩塌降雨警戒與堰塞湖形成專題講座議程**

| 時間 | 講題 | 講師 |
|---|---|---|
| 09:00 ~ 09:30 | 報到 | |
| 09:30 ~ 10:30 | 大規模崩塌發生機制 | 蔡元融 |
| 10:30 ~ 10:40 | 休息 | |
| 10:40 ~ 11:40 | 大規模崩塌警戒方法 | 蔡元融 |
| 11:40 ~ 12:30 | 大規模崩塌及衍生災害之評估方法 | 蔡元融 |
| 12:30 ~ 13:30 | 午餐 & 休息 | |
| 13:30 ~ 14:30 | 堰塞壩形成機制 | 陳昆廷 |
| 14:30 ~ 15:30 | 堰塞壩形成潛勢區之早期判釋方法 | 陳昆廷 |
| 15:30 ~ 15:40 | 休息 | |
| 15:40~16:40 | 堰塞壩幾何參數調查與量測<br>堰塞壩穩定性分析實作 | 陳昆廷 |
| 16:40~17:00 | 綜合討論 | 蔡元融<br>陳昆廷 |

# 第六章 結論與建議

## 第一節　結論

依今年度相關研究項目與現地調查成果及交流會議活動等，對於不安定土砂集水區潛勢分級評估研究、集水區土砂災害事件數值分析、智慧型手機於土砂災害調查應用、無人機攝影測量精度探討等研究，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. 有關於集水區不安定土砂潛勢分級之可行性研究，利用空間圖資(橋梁與道路圖層)、集水區集流面積計算、事件型崩塌目錄，據以建立地文脆弱度指標，透過全島數值地形模型擷取中央和縣市管河川與道路交會處之不安定土砂出流點共計 1,218 處，配合 QPE 網格尺度及土砂生產潛勢及危害程度，用以劃定全臺集水區不安定土砂潛勢值，並評估 312 高潛勢以上集水區為優先關注集水區，最後，再由重要公共設施維生通道，篩選出 38 處橋梁其於高潛勢不安定土砂集水區，作為提供預為準備相關整備、應變及復原等防災策略參據。

2. 關於不安定土砂土體運動型態模擬，以玉穗溪為研究區域並應用 HEC-RAS 2D 土石流模式，設定不同流變模式、體積濃度、降伏應力等情境下，模擬成果可重現土石流災害流出過程，有效模擬集水區出口土砂衝擊影響範圍。

3. 關於無人機攝影測量精度精進方面，因不同時期之坐標框架基準不同，及無人機與控制點布設之現地作業方式各異，於今年度以無人機本身機載 GPS 系統記錄、虛擬控制點、RTK 控制點等不同調查成果綜合分析，建議在無人機現地調查時，如現場環境屬

人力可及且無危險性下，則建議至少於調查邊界及調查中心點位置區域，各布設 1 處控制點作為影像後處理幾何精度解算之依據，並可作為後續平台系統自動化檢核方式之基礎資料。

4. 本計畫持續精進無人機調查方式及成果產製，並配合智慧手機 Lidar 掃描及攝影測量調查方式，以縮短傳統人力調查作業時間，以快速提供災區周遭環境資訊並建置受災區三維地形資料，以有效整合掌握災害現場情資，提供防救災應變參據。

5. 本計畫利用智慧型手機於現地土石流災害調查，其成果可作為新興科技應用輔助土砂災害調查，其可於現場提供即時標的之物幾何尺量測、三維模型及視覺化成果，可輕便化傳統測量調查設備沉重及不易攜帶問題，大幅提升人力調查效率及作業時間成本。

6. 在推廣電子報方面，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。

7. 在資料盤點成果方面，於紙本報告及電子 PDF 檔案之數據數位化作業上，於資料清洗及正規化處理後，其轉換成數位格式之異常樣態與後處理上，已訂定數值資料之資料標準格式範本者，則由系統進行檢核，未訂定標準格式範者，則建議由人工進行格式確認及資料標準轉換。因此，對於未訂定數值資料標準格式範本者，建議定期於資料工作圈時提出討論與研議格式標準，藉由歷年盤點數值資料之資料格式成果，據以提出數值資料之相關基礎資料標準範本訂定，並輔以各平台系統之同步機制、格式檢核機

制，將可大幅度提升委辦廠商於資料上傳便利性與業務單位檢核資料正確性。

8. 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。再者，針對大規模崩塌及不安定土砂風險及複合型土砂災害等議題，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 WFLOW 降雨逕流模式、崩塌發生與運動之數值分析、大規模崩塌降雨警戒與堰塞湖形成等教育訓練及專題講座，用以研擬土砂防減災對策並強化自主技術能力，作為業務精進及推動參考。

9. 資料加值應用方面，本年度藉由 BigGIS 平台之資料分享與應用，歷史影像平台之災害歷史照片等基礎資料及案例交流為主題，以促進開放資料應用，辦理「Open Data Day Taiwan 2023」及「g0v hackath56n 第伍拾陸次真的假的黑客松 X 水保局」等公私協力活動推廣資料加值應用。其次，在基礎資料蒐集上，則是藉蒐集臺灣歷史堰湖案例，並將文獻及研究案例進行數據數位化作業並轉換為空間圖資，供精進堰塞湖災害型態之防災技術與應變決策參據。在臺灣山坡地土壤力學參數方面，協助將紙本報告掃描 PDF 檔案，經人工作業彙整共通性格式並數位化，供山坡地開發、保育利用及防災工作參據。

## 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) 資料清洗與正規化

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清洗與正規化，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(若為新興設備或新技術檔案格式與成果，則先由資料管理工作圈討論，並訂定相關資料標準格式後，再行數位化作業)，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。

(三) 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，如歷史影像平台所收錄之事件照片，目前是以 zip 檔案上傳於電子圖書管理系統內，並無法自動串接回歷史影像平台，建議可評估整合為單一成果上傳入口，將不同屬性成果資料串接對應系統，並同步成果資料。

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清洗、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「手機掃描技術」進行工程構造物量測、土砂災害區域實際應用等案例，以評估其未來發展可行性，提出相關建議如下：

1. 未來可嘗試利用智慧型手機產製之點雲與其他點雲生成工具，如無人機光達、地面掃描儀之點雲結合產製整體模型，其在大範圍拍攝工具呈現整體環境狀況，小範圍拍攝工具呈現目標物細節狀況，提升整體調查目標成果完整性。
2. 目前智慧型手機雖可進行三維模型尺寸量化之建置距離為 5 公尺，但目前亦發展出最大達 50 公尺的輔助工具，未來可持續嘗試利用，提升拍攝目標物的範圍與能力。
3. 目前智慧型手機利用免費應用程式所拍攝之標的物，僅能展示模型建置成果與量化分析，尚無附加真實的三維座標，未來可嘗試利用電腦之點雲軟體進行附加真實座標資訊，或嘗試利用市面可附加真實三維座標的輔助定位器，進行拍攝得到帶有真實三維座標的點雲，提升未來模型應用於地理位置(Georeferenced) 加值的可行性。

## 三、　不安定土砂評估未來研究精進建議

不安定土砂相關研究尚處於起步階段，故難以準確掌握不安定土砂分布與數量，本研究之不安定土砂潛勢分級方法、不安定土砂土體運動型態、複合數值模式分析大規模崩塌土體相關參數等三項研究議題，提出相關建議未來研究方向：

(一) 不安定土砂評估未來研究精進

1. 本不安定土砂潛勢分級方法是屬於大範圍快速篩選之評估法，對於集水區劃分方式、河川級序、或是土石流或大規模崩塌潛勢區是否去除等條件，仍有待未來研究探討。

2. 考量到在大範圍尺度下之集水區內，可能存在數處殘坡坐落在不同位置，然以 QPE 網格尺度計算事件型崩塌目錄條件下，集水區內殘坡可能處於發展階段，尚未有崩塌面積露出，並不能清楚代表不同殘坡之潛勢值，因此，未來可選擇高潛勢值上以案例，朝小尺度網格分析並進行實地調查加以驗證。

3. 對於殘坡之穩定性評估尚未有明確方法，或許可藉由歷年衛星影像判別坡面崩塌滑移變動量，再者，若有該殘坡之多時期航照或 UAV 影像，則輔以 PIV 質點影像法可提升位移量及變位方向性判釋成果。

4. 本潛勢分級方法可作為集水區範圍內不安定土砂之定期健檢，但對於不安定土砂量體及安定性問題，建立未來須導入光達或衛星立體像對等技術加以研究評估。

5. 本研究分析之地文脆弱度尚未考慮誘發不安定土砂移動之外部條件(降雨或地震)，以及土砂移動型態之數值模擬，仍有待進一步研究。

(二) 不安定土砂土體運動型態研究精進

1. 土石流流動受細微土砂影響，將改變水流與土砂流動密度及流變型態，但受限於數值模式之土砂濃度不可隨時間變化設定，無法有效模擬洪水、換高含砂水流、泥石流、土石流等不同土砂運移型態轉換。建議未來可持續研究不同流況及土砂運動型態轉變之土砂災害數值模式。

2. 在極端氣候影響下，受到強降雨影響下，將縮短土壤達飽和時間和坡面集流時間，可能影響集水區殘坡之不安定土砂穩定性。建議未來可發展航遙測影像評估土壤含水量，除協助設定數值模式之入滲參數、飽和度、土砂濃度等外，可精進邊坡不安定土砂之土壤含水量及穩定性推估。

3. 由於降雨強度之高度不確定性，提高現有工程設施之設計標準並非上策。建議對於不安定土砂潛勢集水區，未來仍需持續研擬訂定潛勢分區管理值與相應降雨門檻值作為警戒預警使用，並配合風險分級與分區管理方式，對於高潛勢以上之重點關注區優先預為準備，期能減低不安定土砂災害衝擊影響。

(三) 大規模崩塌土砂生產量及災害影響範圍研究精進

1. 目前 ICS 模式所評估崩塌地破壞形狀，係以橢圓形之軸向與側向曲率為主進行崩塌深度估算，其較適用於圓弧型破壞型態之崩塌類別災害，建議後續研究應用上以圓弧型破壞案例為主。

2. ICS 模式在平面形破壞型態之崩塌災害，所推估之崩塌深度和面積誤差較大，依據 Wang et al. (2022) 提出 GA-ER-ICS 研究成果，以基因演算修正崩塌面積與體積，使估算成果更加精準，建議未來可作為本案例持續研究發展與應用。

(三) 不安定土砂調適策略相關研究議題

本計畫今年度聚焦於不安定土砂集水區潛勢分級、土砂災害數值模擬、新技術應用於現地災害等研究探討，對於不安定土砂調適策略原規劃於第三期計畫，目前先就署內明年度所規劃執行架構(圖 6-1)，提出相關議題如下，作為第三期計畫研究使用。

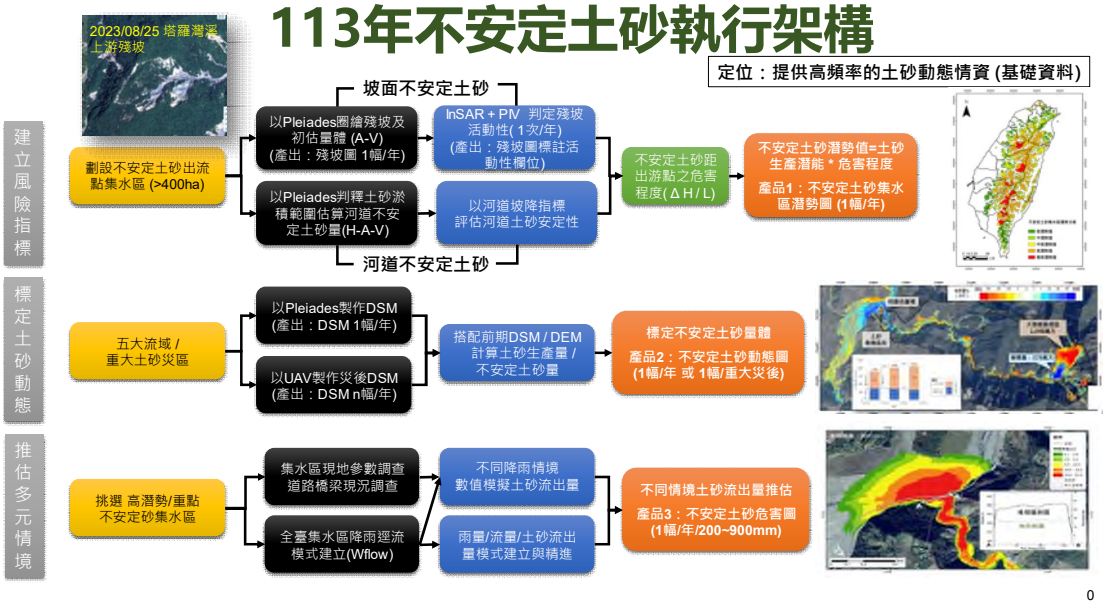
1. 產品 1 為利用殘坡圖產品劃分為坡面、河道兩種不安定土砂，其於坡面屬於不安定土砂生產源頭，應再藉由多期航遙測資料配合 PIV 方式，評估坡面位移量，並訂定相關位移量警戒值。

2. 其屬河道不安定土砂者，為坡面直接崩落堆積或經水流運移者，若盤查集水區內及出口影響範圍內有保全對象，建議可採大規模崩塌預警方式，訂定相關降雨警戒值因應。

3. 產品 2 標定不安定土砂量體部分，初步於各關注集水區內盤點是否有足夠之囚砂空間，可規劃設置防砂設置，降低對集水區出口衝擊。

4. 此外，若集水區出口無保全對象，因不安定土砂之巨量土體下移，造成集水區出口堆積大量土砂影響主河道深槽，或可考慮束水攻砂方式，加速出口排砂能力，避免影響主深槽擺盪致左右岸淘刷情況。

5. 產品 3 為不同情境土砂流出量推估，因各集水區受降雨驅動土砂運移情況皆不同，建議可搭配防砂工程設計進行數值模擬，推估各情境下關注集水區所需調控土砂量體，據以設計相關軟、硬體對策。




資料來源：農村發展及水土保持署減災監測組

**圖 6-1、113 年不安定土砂執行架構**

## 四、 強化技術支援與人才培訓建議

參考國內外無人機相關技術人才養成，從硬體養護、技術培訓、現場支援、成果加值等組織架構，以及國內防救災業務推動、無人機法規與資安檢測演進等現況，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. 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，熟捻署內於 UAV 成果上傳平台上傳程序；多元圖資 (產製正射影像及 DSM 模型) 可於 BigGIS 圖台檢視正射影像成果並與空間圖資套疊分析；於歷史影像平台檢視 UAV 航拍影像，熟捻各項圖資共享與應用分析。

3. 無人機外業調查如遇天候狀況不佳或山區環境干擾資通訊號時，建議至少布設三至五處 RTK 控制點以校正影像邊界傾斜誤差。如無法於現場布設控制點，則建議採用內政部最新之 DEM 資料，輔以衛星影像、正射影像擷取虛擬控制點，以修正邊界傾斜及地表高程誤差。

4. 署內目前已收錄多年無人機加值產品，但由於各時期坐標框架基準不同，為降低各時期圖資套疊分析衍生之地表位移量偏差，建議規劃由系統自動檢核並轉換各時期圖資為同一坐標框架基準，以消弭坐標基準系統性偏差。

5. 由前人研究成果指出，無人機具 RTK 功能機形，若受通訊不良或干擾，則導致 RTK 無固定解情形，無法有效量測地面空間資

訊，若以 PPK 技術配合地面控制點，可提升 RTK 無收斂解及精度下降問題。

6. 無人機資安檢測方面，建議於招標公告、契約簽定、期初查核點及履約期間等各時期，明確訂定委辦計畫所需之資安檢測等級及繳交資安檢測通過證明，以順利完成無人機委辦業務工作。

# 參考文獻


1. Alcántara-Ayala I, Cui P, Pasuto A (2022) Disaster risk reduction in mountain areas: a research overview. Journal of Mountain Science 19(6). https://doi.org/10.1007/s11629-022-7487-2
2. Chen, TY.K., Hung, CY., Mullenbach, J. et al. Influence of fine particle content in debris flows on alluvial fan morphology. Sci Rep 12, 21730 (2022). https://doi.org/10.1038/s41598-022-24397-x
3. Corominas, J., van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J. P., Fotopoulou, S., ... & Smith, J. T. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of engineering geology and the environment, 73, 209-263.
4. COSTA, J. E., & SCHUSTER, R. L. (1988). The formation and failure of natural dams. GSA Bulletin, 100(7), 1054–1068. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1988)100<1054:TFAFON>2.3.CO;2
5. Cui, P., Zeng, C., and Lei, Y. (2015) Experimental analysis on the impact force of viscous debris flow. Earth Surf. Process. Landforms, 40: 1644–1655. doi: 10.1002/esp.3744.
6. Dilley, M., Chen, R. S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A. L., & Arnold, M. (2005). “Natural disaster hotspots: a global risk analysis.” The World Bank.
7. Gibson, S., Moura, L. Z., Ackerman, C., Ortman, N., Amorim, R., Floyd, I., Eom, M., Creech, C., & Sánchez, A. (2022). Prototype Scale

Evaluation of Non-Newtonian Algorithms in HEC-RAS: Mud and Debris Flow Case Studies of Santa Barbara and Brumadinho. Geosciences, 12(3), Article 3. https://doi.org/10.3390/geosciences12030134

8. Kimberly Hill, Tzu-Yin Chen, Chi-Yao Hung et al. Roles of Granularity and Timescales in Debris Flow Hazards on Alluvial Fans, 22 February 2022, PREPRINT (Version 1) available at Research Square [https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1300354/v1]
9. Liu, C.-C., Luo, W., Chung, H.-W., Yin, H.-Y., & Yan, K.-W. (2018). Influences of the Shadow Inventory on a Landslide Susceptibility Model. ISPRS International Journal of Geo-Information, 7, 374.
10. Liu, C.-C., Y.-H. Chen, M.-H. M. Wu, C. Wei & M.-H. Ko (2019b) Assessment of forest restoration with multitemporal remote sensing imagery. Scientific Reports, 9, 7279.
11. Schraml, K., Thomschitz, B., McArdell, B. W., Graf, C., and Kaitna, R.: Modeling debris-flow runout patterns on two alpine fans with different dynamic simulation models, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 1483–1492, https://doi.org/10.5194/nhess-15-1483-2015, 2015.
12. Shiu, W.J.; Lee, C.F.; Chiu, C.C.; Weng, M.C.; Yang, C.M.; Chao, W.A.; Liu, Y.L.; Lin, C.H.; Huang, W.K. Analyzing landslide-induced debris flow and flow-bridge interaction by using a hybrid model of depth-averaged model and discrete element method. Landslide 2023, 20, 331–349.
13. Thomas, O., Stallings, C., & Wilkinson, B. (2020). Unmanned aerial

vehicles can accurately, reliably, and economically compete with terrestrial mapping methods. Journal of Unmanned Vehicle Systems, 8(1), 57–74. https://doi.org/10.1139/juvs-2018-0030

14. Tucker, G. E. (2009). Natural experiments in landscape evolution. Earth Surface Processes and Landforms, 34(10), 1450–1460. doi:10.1002/esp.1833.
15. Wei Liu, Siming He, Zheng Chen, Shuaixing Yan & Yu Deng (2021) Effect of viscosity changes on the motion of debris flow by considering entrainment, Journal of Hydraulic Research, 59:1, 120-135, DOI: 10.1080/00221686.2020.1744746
16. Yang, CM., Chao, WA., Weng, MC. et al. Outburst debris flow of Yusui Stream caused by a large-scale Silabaku landslide, Southern Taiwan. Landslides 19, 1807–1811 (2022). https://doi.org/10.1007/s10346-022-01888-6
17. Zuzak, C., Mowrer, M., Goodenough, E., Burns, J., Ranalli, N., & Rozelle, J. (2022). The national risk index: establishing a nationwide baseline for natural hazard risk in the US. Natural Hazards, 114(2), 2331-2355.
18. 中央氣象局 (2015)，氣象遙測觀測-氣象衛星與氣象雷達。
19. 尹孝元、王晉倫、簡以達、詹錢登、王志賢 (2019)，臺灣坡地災害管理策略之演進與發展，天氣分析與預報研討會，中央氣象局編印。
20. 水土保持局 (2022)，111 年度 1729 條土石流潛勢溪流圖。
21. 李哲宇、莊承穎、陳振宇、高百毅，2022，iPhone 生成數位孿生

於水土保持工程之應用性探討，2022 中華水土保持學術研討會。

22. 岩 間輝，2023，iPhone LIDAR 測定體積用於災害建議，https://www.facebook.com/100056762213229/posts/pfbid02fhdEmkKANVvKNXPYrMwjefcRtQ3ftHoMDDch5eFn38NY7vZgdem5V93YucpMRp4ul/?mibextid=cr9u03

23. 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

24. 唐玉霜、黃葳芃、張保亮、陳嘉榮 (2016)，劇烈天氣監測系統(QPESUMS)之防災應用，中央氣象局氣象衛星中心。

25. 陳振宇 (2013)，以雨量為基礎之土砂災害警戒系統成效評估—以台灣及日本為例，水土保持學報，44(1)，50-64。

26. 陳振宇、陳均維、陳國威、林詠喬(2019)，「坡地降雨致災熱區警戒模式」，中華水土保持學報，50(1)，pp.1-10。

27. 陳振宇、劉維則、許家祥 (2017)，使用 QPESUMS 雨量資料建立崩塌災害預警模式，中華水土保持學報，48(1)，44-55。

28. 陳豪年（2021），無人機使用 RTK/PPK 技術應用於坡地測繪精度提升之研究，碩士論文，國立暨南國際大學，https://hdl.handle.net/11296/d96rap。

29. 黃呂揚斌（2020），無人機配合 RTK、PPK 方法在測繪之應用，

碩士論文，國立中興大學，https://hdl.handle.net/11296/46j2n7。

30. 黃碧慧 (2017)，QPE 於颱風事件的估計差異與空間之關聯性分析，期末報告，行政院農業委員會水土保持局編印。
31. 詹錢登、王志賢 (2017)，降雨誘發土砂災害警戒機制之研究，成果報告，水土保持局編印。
32. 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，2023，重大災害事件 - 卡努颱風，https://246.swcb.gov.tw/Achievement/DisastersList?DisasterName=%E5%8D%A1%E5%8A%AA%E9%A2%B1%E9%A2%A8&DisasterYear=112&DisasterDate=2023-08-04
33. 維基共享資源，Open Data Day Taiwan 2023，https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Open_Data_Day_Taiwan_2023_Day_1.
34. 維基共享資源，Open Data Day Taiwan 2023，https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Open_Data_Day_Taiwan_2023_Day_2.
35. 維基百科，Open Data Day Taiwan 2023, https://meta.wikimedia.org/wiki/Wikimedia_Taiwan/Wikidata_Taiwan/OpenDataDay_Taiwan_2023#%E6%B4%BB%E5%8B%95%E8%B3%87%E8%A8%8A.
36. 戴義欽、詹錢登 (2016)，集水區大規模土砂災害風險辨識與耐受力盤查，成果報告 (編號：SWCB-105-085），行政院農委會水土保持局。
37. 鍾曉緯、劉正千、陳培殷 (2021)，110 年多元衛星影像整合建置

與加值服務應用計畫，(編號：SWCB-110-114），行政院農委會水土保持局。

# 附錄一 期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

## 「112 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：112 年 11 月 30 日(星期四)下午 2 時

貳、地點：本署府西辦公室第三會議室

參、主持人：陳組長振宇　　紀錄：詹婉妤

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。

決　定：

一、洽悉。

二、本次會議由陳組長振宇主持，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(3 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：「112 年度氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策研究」期末報告書，提請討論。

決　議：報告內容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人員意見修改報告書，後續將成果報告公開於本署網站。

玖、臨時動議：無

拾、散會。(下午 4 時 10 分)

# 112 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 30 日 (星期四) 下午 14 時 00 分

| 王國隆委員審查意見 | 回覆情形 |
|---|---|
| 1. 摘要第四行漏字 | 感謝委員建議，已修正。 |
| 2. 摘要第二點和第四點部分重複。第六點何謂「實體圖資」？ | 感謝委員建議，第二和四點已修正。摘要第六點已修正為「空間資訊圖資 (shp 檔案格式)」，請詳摘要報告。 |
| 3. 摘要建議第一點，篩選出 38 處橋樑應提供公路局參考。摘要建議第三點，控制點應至少三點成立體幾何。 | 感謝委員建議，建議第一點部分所篩選出 38 處橋樑已發布於本署 BigGIS 平台上;建議第三點部分，已修正為「至少布設 3 至 5 處控制點」，請詳摘要報告。。 |
| 4. 圖 2-1,為人次與百分比，可補上百分比。 | 感謝委員建議，已修正圖 2-1 並於圖標補上百分比。 |
| 5. P2-20，「產出值得進資料平台的圖資」可修正為「數化圖資」。 | 感謝委員建議，因資料平台已有既定數化資料(如:雨量、地電阻等現地資料)，並已確定標準格式，可製成數化圖資，但本項盤點項目是為蒐集未來新技術或未訂定標準格式之資料(如本案手機點雲資料與其他載具之點雲資料)，因此建議本案仍維持原有名稱。 |
| 6. 有關基礎資料格式，可與署內其他單位如水保設施工程圖合作，建立資料標準 | 感謝委員建議，署內各領域業務之基礎資料數化與格式推動，因應業務需求進行調整。將持續由資料工作圈進行議案討論，並配合業務組及各計畫需求，提供資料標準技術建議。 |
| 7. P2-31，點位 B 成果錯字 | 感謝委員建議，已修正。 |
| 8. 表 2-15 中，有關 ViDOC 是否為連接 600 個衛星請再確認，一般為 600 channels。 | 感謝委員建議，已修正為「頻道」。 |

| | |
|---|---|
| 9. 兩階段模擬崩塌及土石流轉換，第二階段仍可以使用 Bingham 模式。 | 感謝委員意見，在第二階段可以做用 Bingham 模式，因其模擬成果較 O'Brien 模式差，故本計畫僅呈現 O'Brien 模式成果。 |
| 10. 不安定土砂中，地文脆弱度判斷以新生崩塌及累計新生崩塌為指標，可能忽視未崩塌地點之潛勢，如圖 3-15 中所示，主要極高潛勢值大部分為中央山脈稜線上。 | 感謝委員建議：<br>本案地文脆弱度分析係統計各網格內之長時距資料，以反映歷年崩塌事件規模與次數，因此，若未有崩塌紀錄，則視為低潛勢。對於未崩塌地點之潛勢分析方面，明年度將由不安定土砂殘坡分析成果，逐步調整公式考量因子與計算方式。<br>關於圖 3-15 中高潛勢集中於中央山脈稜線上，因本分析出流點篩選原則會選擇出流點在有道路或橋梁處，因而導致出流點較長，集流面積大，而使潛勢值提高。 |
| 吳嘉俊委員審查意見 | 回覆情形 |
| 1. 承辦成果豐碩，值得肯定，但仍建議各委辦工作的結論與建議，內容的撰寫應回歸到委辦工作，例如 P3-45 數值模擬之比較，應給予模式輸入，操作及輸出的優缺點。 | 感謝委員建議，土砂災害數值模式分析之結論與建議，仍是以研究分析成果為主，對於數值模式輸入、操作及輸出部份，本計畫於過往已舉辦過 HEC-RAS 教育訓練方式提供。 |
| 2. 電子報為新科技宣導平台，同時可扮演教育宣導或政策成果宣傳的重要工作，因此建議未來電子報的主題挑選可考慮在科普化。 | 感謝委員建議，目前各期電子報在撰寫前，會於資料治理科之科務會議中先行討論，後再撰寫電子報，並由科長審閱後發布，相關主題挑撰方面，將再於科務會議討論。 |
| 3. P2-14 表 2-6 的成果盤點彙整表中，雨量站資料及雨量計差異為何?是否有必要分為兩個類別，請再評估。同時，表 2-11 成果上 | 感謝委員建議，成果盤點格式經與主辦機關討論，觀測資料的雨量站資料是蒐集其他機關(如氣象署、水利署等資料)而訂定；現地資料的雨量計資料是蒐集農村 |

| | |
|---|---|
| 傳缺件偏多的資料，建議可提供未來使用。 | 水保署的監測儀器資料而訂定，因此才須進行兩者分類。<br>關於表 2-11 之相關缺件已請各計畫廠商補上傳。 |
| 4. P3-8 圖 3-4 地文脆弱度分級，未來宜考慮崩塌地所在位置的地質屬性。 | 感謝委員建議，有關崩塌地所在位置的地質屬性，後續研究將納入探討以精進地文脆弱度分級之影響因子關聯性。 |
| 5. P3-11 不安定土砂潛勢公式(3-2)，Fp 與 Hd 相乘的做法，建議可再評估，尤其高 Fp 但低 Hd 或低 Fp 但高 Hd，而兩者相乘意義為何? | 感謝委員建議，目前不安定土砂潛勢係以 Fp 代表分析網格之土砂生產潛能高低，Hd 代表該分析網格點之土砂運移動能高低。<br>其高 Fp 但低 Hd 者，代表土砂生產潛能高但運移動能低；低 Fp 但高 Hd，代表土砂生產潛能低但運移動能高；因此，以兩者相乘作為評估不安定土砂流出能力之潛勢值。 |
| 6. P3-16 圖 3-11 水平距離高達 50 公里，宜再評估。 | 謝謝委員意見，經本研究重新檢視，水平流路距離最大的集水區為濁水溪流域內的卡社溪集水區，其地文脆弱度網格點之最大水平流路距離為 49.0 km，集水面積 145.3 $km^2$，故應為合理數值。<br>此外，集水面積第二大的為寶來溪集水區，其地文脆弱度網格點最大水平流路距離為 34.2 km，集水面積 131.7 $km^2$。<br>第三年計畫將持續探討集水區劃分、水平流路距離、出流點位置等以精進不安定土砂潛勢估算。 |
| 7. P3-22 圖 3-16 以出流點高程對集水面積的作法，建議未來可嘗試坑溝坡度與坑溝上游集水面積繪圖，形成 Slope-Area Threshold (坡度-面積臨界條件)。 | 感謝委員建議，第三年計畫將測試坡度-面積臨界條件，以探討崩塌發生平均坡度與集水區面積之臨界關係，加以分析集水區地文條件與土砂流出間關係。 |

| | |
|---|---|
| 8. 殘坡不安定土砂評估的建議，值得嘗試，至於操作方式，可考慮土壤含水量，或 soil water index (SWI)試做。 | 感謝委員建議，以玉穗溪為例，其殘坡平均崩塌深度約 23 公尺，因土壤含水量之量測深度僅表層土壤，對於土壤含水量轉化為驅動殘坡不安定土砂潛勢值之評估方式，將持續研究探討。 |
| 9. 以不同濃度歷線做土石流或不安定土砂運動型態的模擬，建議轉往改變細粒濃度的方式嘗試。 | 感謝委員建議，本案使用 HEC-RAS 土石流模組，其為固定濃度模式，因此無法模擬濃度歷線變化下之土砂運動型態，對於細粒部分佔比及濃度變化方面，目前該程式之 O'Brien 土石流模式為單一粒徑尚無法測試，未來將持續研究其他數值模式之可行性。 |
| 蕭宇伸委員審查意見 | 回覆情形 |
| 1. 摘要應該再簡短。 | 感謝委員建議，已修正精簡摘要並補充英文摘及摘要報告。 |
| 2. 表 2-3 新增水保多語詞彙，但計畫執行單位有可能不清楚要如何填寫。 | 感謝委員建議，此部分將由電子報及創研計畫進行關鍵字蒐整。 |
| 3. 手機掃描技術雖然新穎，但此技術較適合小範圍小尺寸之建模，是否與本計畫”大規模土砂災害”關聯性不高?建議加強說明。 | 感謝委員建議，手機掃描部分為本計畫於「收集、研析並推廣國內外土砂防減災技術文件」項下，技術可行性評估之應用研究，此部分請參閱第二章第四節說明。 |
| 4. 手機掃描的細節，例如可否移動掃描最遠距離、不同手機模型合併等，應加強說明其優缺點。 | 感謝委員建議，目前手機掃描可定點與移動掃描使用，其距離約 5 公尺，若搭配 OPTiM Geo Scan Advance 其掃描距離可達 50 公尺，相關優缺點請參閱表 2-14。 |
| 5. 圖 2-12 UAV 空拍成果(側拍)其實不會這麼差，在航高、重疊率等搭配得宜，UAV 側拍建模成果可以很完整。 | 感謝委員建議，圖 2-12 所呈現固定航高拍攝成果，其地面建物受拍攝視角及河道構造物受植被遮蔽影響所致。另本研究亦有利用側拍及不同航高重新拍攝，其成果如圖 5-18 至圖 5-21 所示。 |

| | |
|---|---|
| 6. 第二章大部分文獻為 26 篇電子報與委辦案，但國外相關技術與文獻蒐集較少。 | 感謝委員建議,有關電子報部分,成果報告已統整 30 篇電子報於附冊成果報告書，再請參閱。 |
| 7. 不安定土砂災害潛勢分析方面，應將崩塌目錄分訓練區和檢核區，以訓練區來建潛勢區位，再以檢核區的崩塌地來驗證。 | 謝謝委員建議，明年度署內將會發布 93、94 及 112 年之事件型崩塌目錄，本研究將參考委員意見以此三年資料作為檢核區，來測試目前地文脆弱度指標之相關性。其後再加入資料集統計並建立新的地文脆弱度指標，以更新地文脆弱度指標之時間跨距。 |
| 8. 各章節技術的連結，例如：手機建模、UAV 培訓、土砂災害潛勢模擬等，應再加強說明。 | 感謝委員建議，本計畫主要以各工作項目方向撰寫，因此，各章節技術連結上較為薄弱，已於第一章第二節加強此部分說明。 |
| 9. 第五章虛擬控制點應對高程變化(例如：土方、崩塌量體)計算有助益，但對於平面變化(崩塌地面積變化、土地利用變遷等)是否足夠？。 | 感謝委員建議，利用內政部 LIDAR DEM 選取特徵不動點，可幫高程變化有所助益，但對於平面變化上，仍有對位偏移情形發生,其需仰賴現場 RTK 控制點量測資料修正。但於山區 RTK 無固定解情形下，則仍建議先以虛擬控制點方式修正，作為後續估算使用。 |
| 陳振宇委員審查意見 | 回覆情形 |
| 1. 水土保持名詞如由創研計畫主持人於自評表提出，可行性待評估，或可考慮直接由報告書的關鍵字進行蒐集整理。 | 感謝委員建議，第三期研究將先由創研報告書關鍵字蒐集進行分析，並評估其可行性。 |
| 2. 手機建模成果如何保留？未來是否置於 BigGIS 展示及搜尋，或可再評估。 | 感謝委員建議，手機建模成果目前可保留在大型線上點雲平台(如: Sketchfab)，未來機關如需保留在署內資料庫，將共同討論並完成相關保留工作。 |

| | |
|---|---|
| 3. 歷年成果盤點結果，應主動透過每季資料管理工作圈進行追蹤及缺漏補正。 | 感謝委員建議，今年配合署內工作圈，已將今年盤點 111 年度之前成果進行統計(至 110 年度)，並已納入工作圈追蹤補登，後續將可銜接每年盤點狀況。<br>後續將規劃依季分期彙整成果盤點。並提供於資料工作圈檢視。 |
| 4.卡努颱風後支援本署各組室空拍及現勘成果，宜列表說明。 | 感謝委員建議，已補充卡努颱風災害協助調查於第五章第第二節第三項，相關成果也已上傳至 UAV 成果上傳平台、技術研究發展平台。 |
| 黃效禹委員審查意見 | 回覆情形 |
| 1. P1-1 圖 1-2 工作架構流程圖似乎以章節順序排列，建議可依工作之展開如集水區土砂災害致災模擬分析，基礎資料加值應用與分析，強化技術支援與培訓人員能力可平行陳列較符合工作流程。 | 感謝委員建議，已修正第一章，圖 1-2，再請參閱。 |
| 2.第一章已點出不安定土砂議題，建議即可於適當位置寫出其定義與基本概念(報告書 P3-28 有較詳細描述)。 | 感謝委員建議,已補正於第一章,第一節，再請參閱。 |
| 3. 手機掃描技術使用有其便利性，惟需搭配應用程式已整理在表 2-13，建議再補充此應用程式之購買費用或免費軟體? | 感謝委員建議，本計畫手機掃描所使用之程式均為免費軟體，俾便作為未來推廣使用。相關資料已補充於報告書表 2-13 中。 |
| 4. 表 2-14 現地調查工具功能比較表，除成本外建議補充其解析度供比較。 | 感謝委員建議，精度部分已有補充，請參閱表 2-14。 |
| 5. 有關第三章不安定土砂災害分析之結論與建議，可再補充土石流模擬模式之優劣比較分析之探討。 | 感謝委員建議，土石流模擬模式優劣分析，已補充於該章節之結論與建議。 |

| | |
|---|---|
| 6. 第五章第四節培訓土砂災害模擬分析能力有辦理 3 場教育訓練有助提升技術，建議可補充各場參與人數及補充學員意見交流或回饋建議。 | 感謝委員建議，各場教育訓練人次如下：<br>分布式降雨逕流 Wflow 模式教育訓練-出席：59 人<br>大規模崩塌降雨警戒與堰塞壩形成專題講座 -出席：31 人<br>崩塌發生與運動及數值分析專題講座-出席：40 人<br>學員意見交流已補充於該節中。 |
| 7. 本計畫調適對策研究部分較無涉略，建議可針對近期不安定土砂防減災工作研擬之議題補充闡述。 | 感謝委員建議，有關調適對策研究部分，原規劃為第三年計畫項目。目前針對署內資料，提出相關議題於第六章「不安定土砂調適策略相關研究議題」內。 |
| 陳國威委員審查意見 | 回覆情形 |
| 1. 有關摘要部分:<br>a.摘要四(第 3 頁)第二段，與摘要二部分重複。<br>b.摘要五，其三，建議精簡或不列入。<br>c.摘要七、無人航拍機規劃? 或修正為無人機航拍規劃?<br>d.摘要八，發表 13 篇，哪些是論文，哪些是海報，請敘明。 | 感謝委員建議，<br>摘要重複、錯字、需精簡部分等問題皆已修正。<br>發表 13 論文皆已註明為論文口頭發表或海報發表方式。 |
| 2. 有關簡報部分: p.12，各期報告盤點，請註明年度區間。 | 感謝委員建議，p12 頁盤點報告皆為 111 年度，已修正。 |
| 3. 有關集水區不安定土砂及大規模崩塌殘坡調查，目前在 biggis 已有地礦中心、林業署在莫拉克後之大規模崩塌地圖層。與近年較大規模崩塌事件比對，高雄市桃園區玉穗溪上游大面積崩塌，即位在林業署判釋大崩圖資範圍內。南投縣仁愛鄉塔羅灣溪上游 1 處持續位移不穩定殘坡，亦是在林業署判釋大崩圖資 | 謝謝委員建議，<br>對於地礦中心、林業署及本署之大規模崩塌圖資，本研究將持續精進不安定土砂潛勢分級法，以提供潛勢分級、分布區位、重點關注區等分析成果。<br>明年度計畫將持續精進集水區不安定土砂潛勢分級方法，另外將配合其他委辦計畫之衛星多光譜分析、多時期 DEM 地形變遷判 |

| | |
|---|---|
| 範圍內。111 年尼莎颱風台七甲線邊坡崩塌，未在現有圖資。除既有圖資可立即應用外，後續全面盤查仍有需要。盤查方法，除目前規劃人工盤查外，請評估不同快速判釋方法可行或配合本署既有計畫推動，並納入下一年度計畫探討。 | 釋、InSAR 地表位移等方法加以評估，納入不安定土砂潛勢之統計因子，持續完善不安定土砂之全面調查。 |
| 4. 集水區大面積崩塌，大多位於上游國有林班地，非人力觀測可及，但在極端降雨、複合型土砂發生時，對下游影響，遠遠超過單一災害影響。位在集水區上游不安定土砂及崩塌，治理上較不易推動,但在災害發生前的調查、監測為未來發展重點。在本計畫上，可協助規劃整體調查、監測策略，並協助研擬下一階段中程計畫相關架構、內容。 | 感謝委員建議，本計將持續研究不安定土砂潛勢分級方法，亦將投入整體調查規劃、監測策略等項目研究，以協助提供署內中程計畫資料。 |
| 5. 在掌握、量化全台流域/集水區崩塌情形，分為全台流域尺度、集水區尺度,作為長期環境變遷、重點集水區細部衝擊模擬需要。本署已建立歷年事件型崩塌目錄、年度全台崩塌，如何運用既有崩塌裸露調查資料，並建立不同評估指標，可輔助本署未來業務應用。例如，在土石流觀測上，有效累積降雨量分別以 ETR1、ETR2、ETR3,作為不同情境評估應用。目前集水區僅用累積崩塌率呈現環境差異，但在不安定土砂風險來說，無法完全呈現邊坡崩塌後，坡面及河道殘留隨時間遞移影響,建議納入累積崩塌率、新生崩塌率分級等相關研究。 | 謝謝委員建議，<br>未來將針對全台流域尺度持續精進不安定土砂潛勢分析。對於集水區坡面單元尺度之殘坡潛勢分析研究，將納入累積崩塌率、新生崩塌率分級，冀可建構由坡面沿河道至出流口所需遞移時間與集水區河道坡度或高程差之間關係，以提供長期環境變遷及細部衝擊模擬使用。<br>再者，考量到坡面不定安土砂崩落於河道上，其受到降雨驅動影響中下游沿岸情況，本研究將探討河道堆積之不安定土砂與不同降雨重現期距事件間之流出關係，以完整掌握出流點之危害影響程度。 |

# 附錄二 建議新增多語詞彙列表

| 編號 | 詞彙 | 編號 | 詞彙 |
|---|---|---|---|
| 1 | BIM(建築資訊模型) | 19 | UAV(無人航空載具) |
| 2 | 環境友善工法 | 20 | ROV(水下探測載具) |
| 3 | 韌性道路 | 21 | USV(無人水面載具) |
| 4 | 複層植被 | 22 | 點雲技術 |
| 5 | 自然再生林 | 23 | 地面掃描儀(TLS) |
| 6 | SDGs | 24 | 元宇宙 |
| 7 | 攝影測量 | 25 | CIM 土木資訊模型 (Civil Information Modeling) |
| 8 | 3D 模型 / 三維模型 | 26 | XR (延展實境) |
| 9 | ICT 「 Information and Communication Technology(資訊與通信技術)」 | 27 | AR（擴增實境） |
| 10 | i-Construction | 28 | VR（虛擬實境） |
| 11 | 無人化施工 | 29 | MR（混合實境） |
| 12 | 3D 城市 | 30 | 遠端施工 |
| 13 | 數位孿生 | 31 | 防救災人型載具 |
| 14 | 正射影像 | 32 | 360 相機技術 |
| 15 | 現地通信 | 33 | 360 環景影像 |
| 16 | ICT 施工技術 | 34 | 數位資料庫 |
| 17 | 衛星定位儀 | 35 | 複合型土砂災害 |
| 18 | LIDAR 測量 | 36 | 社會復原力 |

| 編號 | 詞彙 | 編號 | 詞彙 |
|---|---|---|---|
| 37 | 地球觀測 (Earth observation, EO) | 46 | 國家風險指數 (Risk index) |
| 38 | 地球資源衛星 (Earth Resources Satellite, ERS) | 47 | 預期年度損失估計值 (Expected Annual Loss's, EAL) |
| 39 | 歐洲資料立方(Euro Data Cube, EDC) | 48 | 社會脆弱性 (Social Vulnerability Index, SoVI) |
| 40 | Google earth engine (GEE) | 49 | 社區復原力 (Baseline Resilience Indicators for Communities, BRIC) |
| 41 | 歐洲太空總署 (European Space Agency, ESA) | 50 | 韌性 (Resilience) |
| 42 | 資料立方 (Data Cube) | 51 | 歐盟災害風險管理知識中心 (Disaster Risk Management Knowledge Centre, DRMKC) |
| 43 | 即用型資料 (Analysis Ready Data, ARD) | 52 | 風險管理指數 (INFORM) |
| 44 | 國際地球觀測衛星委員會 (Committee on Earth Observation Satellites, CEOS) | 53 | 碳封存 |
| 45 | 台灣資料立方 (Taiwan Data Cube) | 54 | 碳匯 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 55 | 資料和資訊存取服務平台 (Data and Information Access Services, DIAS) | 69 | 碳排 |
| 56 | 重新採樣 (resampling) | 70 | 淨零 |
| 57 | 標準化燃燒指標 (NBR) | 71 | 碳循環系統 |
| 58 | 土壤濕度 | 72 | 森林綠碳 |
| 59 | 開放資料 | 73 | 海洋藍碳 |
| 60 | 知識圖譜 | 74 | 碳循環 |
| 61 | 文獻計量分析 | 75 | 視覺化 |
| 62 | 關聯性術語 | 76 | 森林碳存量 |
| 63 | 公私協力 | 77 | 人工造林 |
| 64 | 主題式情報地圖 | 78 | 農業再生 (Regenerative Agriculture) |
| 65 | 空間定位準確性 (Geographical accuracy) | 79 | 開放取用 (open assess) |
| 66 | 時間解析度 (Temporal resolution) | 80 | 友善介面 (user-friendly) |
| 67 | 公民科學 (citizen science) | 81 | 低成本決策支援工具 (low-cost decision support tools) |
| 68 | 事件型崩塌目錄 | 82 | 基於自然的解決方案 (nature-based solutions) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 83 | NFM (Natural Flood Management) | 98 | 可持續土地管理 (sustainable land management) |
| 84 | 透過性阻水壩 (Leaky Dam) | 99 | 上游管理 (upstream management) |
| 85 | 沼地復育(Moorland Restoration) | 100 | 洪水儲蓄 (Flood Storage) |
| 86 | 農業土地管理 (Agricultural Land Management) | 101 | 地震矩規模(Mw) |
| 87 | 數位基礎建設 | 102 | 即時解算模型 |
| 88 | 光纖觀測技術 | 103 | 不安定土砂 |
| 89 | 衛星的參立體像對 (Triplet Stereo Image) | 104 | 運動推斷結構技術 (Structure from motion, SfM) |
| 90 | 近天頂視角 (nadir) | 105 | 前視 (forward) |
| 91 | 後視 (after) | 106 | 大型自然語言處理模型 |
| 92 | 多光譜波段 | 107 | 近紅外光 (Near infrared) |
| 93 | 短波紅外光 (Shortwave infrared) | 108 | SkySat 衛星組 |
| 94 | 非接觸式量測 | 109 | PIV 質點影像量測法 (Particle Image Velocimetry) |
| 95 | Color-PIV(彩色 PIV) | 110 | Large Scale-PIV(廣域 PIV) |
| 96 | 3D-PTV(三維 PIV) | 111 | Stereoscopic-PIV(立體 PIV) |
| 97 | 表面流速 (Surface velocity) | 112 | 前緣速度(Front velocity) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 113 | 兩相流(Two-phase flow) | 126 | 前端隆起 (Boulder-rich front) |
| 114 | 尾水端 (Trailing slurry) | 127 | 破壞性湧浪 (Destructive surging) |
| 115 | 微波雷達 | 128 | 卷積神經網絡 (Convolutional neural network, CNN) |
| 116 | 流速跳躍 (Velocity jump) | 129 | 文化遺產 |
| 117 | 限制地圖(Constraint map) | 130 | 幾何空間 (Geometric-spatial) |
| 118 | 圖像材料(iconographic material) | 131 | 3D 地理定位模型 (Georeferenced 3D model) |
| 119 | 物聯網 IOT | 132 | 雲端運算 |
| 120 | 人工智慧 | 133 | GPU 計算 |
| 121 | 智慧坡地防災 | 134 | 合成孔徑雷達 (Synthetic Aperture Radar, SAR) |
| 122 | 主動式遙感技術 | 135 | NASA-ISRO SAR Mission (NISAR) |
| 123 | 低軌道地球觀測衛星(Low Earth orbit, LEO) | 136 | 植被生物量 |
| 124 | 地表變形 | 137 | 植被指數 (dual-pol radar vegetation index, DpRVI) |
| 125 | SBAS-InSAR | 138 | PS-InSAR |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 139 | 合成孔徑雷達差分干涉 (Differential Synthetic Aperture Radar Interferometry, DInSAR) | 154 | 分布式散射體 (Distributed Scatterer, DS) |
| 140 | TCP-InSAR | 155 | 3D 列印技術 |
| 141 | 極端氣候 | 156 | 開源硬體 |
| 142 | 開源軟體 | 157 | Raspberry Pi Pico(樹莓派) |
| 143 | ESP32(微控制器) | 158 | Loggers 記錄器 |
| 144 | 河溪復育 | 159 | 森林環境觀測 |
| 145 | 空氣微粒感測器 | 160 | 開放存取 |
| 146 | Arduino | 161 | 衛星光譜 |
| 147 | 非接觸式測量 | 162 | 彩色粒子量測 |
| 148 | 空間立體流場量測 | 163 | 通訊衛星 |
| 149 | 導航定位衛星 | 164 | 地球靜止軌道 (Geostationary Earth Orbit, GEO) |
| 150 | 中地球軌道 (Medium Earth Orbit, MEO) | 165 | 低地球軌道 (Low Earth Orbit, LEO) |
| 151 | 高空平臺 (High Altitude Platforms, HAP) | 166 | 低空平臺 (Low Altitude Platforms, LAP) |
| 152 | 地球同步軌道 (Geosynchronous orbit, GSO) | 167 | 不可分解廢棄物 (non-degradable waste) |
| 153 | 生態成本 | 168 | 低成本住宅 (low-cost housing) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 169 | 自養護混凝土 (Self-curing concrete) | | |
| 170 | 自然解方 | | |
| 171 | 綠化面積 | | |
| 172 | 尿布聚合物混凝土 (disposable diaper concrete) | | |
| 173 | 環境友善 | | |