行政院農業委員會水土保持局

與您一起打拼

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

110年度大規模土砂災害防減災對策與衝擊研究　成果報告書

110年　行政院農業委員會水土保持局

SWCB-110-087

110年大規模土砂災害防減災對策與衝擊研究
成果報告書



行政院農業委員會水土保持局　編印
中華民國110年12月

計畫編號：SWCB-110-087

110 年度大規模土砂災害防減災對策與衝擊研究

The Study of Mitigation Strategies and Impact for Large-Scale Sediment Disasters Report in 2021

執行單位　：　財團法人農業科技研究院

研究主持人　：　黃德秀 研究員

研究人員　：　陳昭岑、莊承穎

行政院農業委員會水土保持局　編印

中華民國 110 年 12 月

110 年度大規模土砂災害防減災對策與衝擊研究

摘要

本計畫為三年期 (2019-2021 年) 之連續型計畫案最後一期，今年完成工作項目包含：歷年土砂防災技術研究成果盤點與分析、土砂災害變遷趨勢分析、土砂災害數值模擬分析及國內外土砂防災研究發展議題等相關成果，並發表研究論文共計 6 篇，分別為期刊論文 2 篇(一篇審查中)、國內研討會論文 3 篇及技術手冊 1 篇。各項工作成果摘要如下：

歷年已完成之土砂防災技術研究成果，蒐整於水土保持局電子圖書管理中心系統資料庫。本計畫彙整 2008 年至 2020 年之委辦及研究計畫，將各組室、中心與分局之計畫進行分類篩選，共計 2,837 件，平均每年約有 200 件委辦計畫，並以此為依據執行成效分析，評估各項技術或研究案持續發展之可延續性。

土砂災害變遷趨勢分析方面，今年 (2021 年) 完成「大規模崩塌潛勢區現地勘查」、「陡坡崩塌地無人飛行載具噴植工法之精進研究」、「氣候變遷對土砂災害的影響與衝擊」三個研究案例，透過各種調查或分析方式，評估土砂災害致災情形，並探討其變遷趨勢與判釋分析成果。針對桃園復興鄉光華大規模崩塌潛勢區，藉由現地調查及影像加值技術的輔佐，更有效地掌握災害區域的各項資訊；無人飛行載具噴植工法之精進研究，研發 UAV 噴植技術，探討陡坡植生的復育，供未來在不易抵達區域之植生工法應用上，更為快速且安全之作法。最後透過今年 (2021 年) 的土砂災害事件，探討氣候變遷對於土砂災害的各式影響與衝擊，檢討目前各項治山工程的適用性，並納入極端

氣候變遷可能造成重大土砂災害的調適思維。

土砂災害數值模式分析方面，完成「無人飛行載具建模研究」、「HEC-RAS 模擬堰塞湖潰決研究」、「土石流流動模擬研究」三項研究成果，透過模擬數值模式評估土砂災害並探討模式適用性與分析結果。應用無人飛行載具在目標區域所收集的影像，藉此產製數值地表模型、正射影像及三維建模等影像後製品，更加值產製 H.O.S.T 地圖等新型態高精度數值地形圖，讓使用者更方便並快速地獲得該地所需之地形、地質及環境等資訊，利於後續災害推估外，亦能以此應用於各項模擬。今年 (2021 年) 透過 HEC-RAS 及 Hyper Kanako 模擬堰塞湖潰壩及土石流的流動，判斷各地區之安全程度及其災害影響範圍，模擬結果皆符合其他研究單位之推估，建議持續強化此項研究使水土保持局對於災害預警更為精進。

面對氣候變遷衝擊與所衍生之複合型土砂災害，及更頻繁的災情發生，各國政府部門相關單位應積極投入基礎調查、科學研究等以擬定具體因應策略，藉由氣候變遷情境之影響與分析等資料，建立各階段減緩與調適策略，並適時檢討因應對策以完善管理機制。本項工作擬透過綜整國內外文獻針對各項議題研擬因應對策，檢討及制定氣候變遷調適策略，並著手相關文獻蒐集，重點摘錄氣候變遷情境預測、土砂災害特徵、調適策略制定方向及措施等，相關結果可作為國內未來推動氣候變遷調適相關計畫時參考，對於國內未來在研擬與推動減緩及調適對策上，極具參考價值。

本三年期計畫，對於大規模土砂災害防減災的對策與衝擊研究，提出以下結論，日趨頻繁的複合型土砂災害複雜且難以預測，亟需導入國內外新科技與新技術建立完整基礎調查及預測能力。並將資料跨

域加值整合應用，建構災害及風險數值模擬機制，快速提供局內災害情勢，以研擬應變決策。並落實人才培育，持續進行氣候變遷下大規模土砂災害衝擊與調適對策之相關研究。

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

The Study of Mitigation Strategies and Impact for Large-Scale Sediment Disasters Report in 2021

Abstract

This project is a continuous research from 2019 to 2021. The main achievement of the project in 2021 includes four items: (1) inventory the sediment-related research results and annual projects of the Soil and Water Conservation Bureau (SWCB), (2) analyze the trend of sediment-related disasters, (3) analyze the numerical model of sediment-related disasters, and (4) integrate the domestic and foreign development issues for sediment-related disaster prevention and mitigation strategy. We conducted the above items with the Research and Technology Development Team of SWCB, and has published 6 research papers including 2 journal paper (1 under review), 1 manual and 3 conference papers. The results are briefly described as follows:

First, we inventoried the SWCB annual project reports of sediment-related disaster strategies and technology through collecting and analyzing 2,837 reports (2008-2020). Based on the inventory result, we conducted an effectiveness analysis and evaluated the potential development and the continuity of the sustainable development of various technologies or research projects.

Analysis of the changes trend of sediment-related disasters, the “Survey of Potential Large-scale Landslide Areas”, “The advanced research of the spray planting method on the steep slope and landslide area

using UAV", and "Impact of Climate Change on the Sediment-related Disasters" are accomplished in 2021. To evaluate the disaster situation of ediment-related disasters through various investigation methods and discuss the trends of their interpretation. With the assistance of on-site surveys and image value-added technology, we can more effectively grasp the information of the disaster area, and use the advancement of UAV technology to restore steep slope, which can provide a faster and safe method in the future. Finally, through discussion the various impacts of climate change on sediment-related disasters from two disasters in this year. Reviewed the applicability of current sediment control engineering, and incorporate adjustment thinking about the possible impacts of extreme climate changes.

In the aspect of the test and analyze the numerical model of sediment-related disasters, in 2021, we had completed three research cases, "Research on Modeling of Unmanned Aerial Vehicles", "Da-Nan Landslide Dam Evaluation and Subsequent Dam Failure Flood Simulation Using HEC-RAS 2D model in Taitung, Taiwan", and "The Research of Debris Flow Simulation". Evaluate sediment disasters through simulated numerical models and discuss the applicability of the model and the analysis results.

The use of images collected by unmanned aerial vehicles in the target area can be used to produce post-image products such as digital surface models, orthoimage, and three-dimensional modeling. It is more valuable to produce new high-precision digital terrain maps such as H.O.S.T maps.

Users can easily and quickly obtain the terrain, geology, and environment information required by the site, which is helpful for follow-up disaster estimation, and can also be used in various simulations. This year, using HEC-RAS and Hyper Kanako to simulate the flow of dam breaks and debris flows in landslide dam lakes to determine the safety level of each area and the scope of disaster impact. The simulation results are in line with the estimates of other research institutions. It is recommended to continue to strengthen this research to make the SWCB more sophisticated in disaster early warning.

Finally, facing the impacts of combined and more frequent disasters derived climate change, relevant government departments of various countries actively invest in basic investigations and scientific research to formulate specific response strategies, which establish mitigation and adjustment strategies at various stages, and review the strategies to improve the management mechanism based on the impact of climate change analysis. This study intends to research and develop strategies for various issues through domestic and foreign literature integration, than review and advise climate change adaptation strategies, start relevant literature collection, and extract the forecast of climate change scenarios, the characteristics of sediment-related disasters, the mitigation and adaptation strategies, etc. The resultsof this study can be used as references for domestic plans to promote climate change adaptation in the future, and these are of great reference value for the domestic future in the development and promotion of mitigation and adaptation strategies.

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

目次

摘要 ..... **I**

ABSTRACT ..... **IV**

目次 ..... **VIII**

表次 ..... **XI**

圖次 ..... **XII**

第一章 緒論 **1-1**

第一節 研究背景 1-3
第二節 研究目標 1-4
第三節 研究報告架構 1-5

第二章 歷年土砂防災技術與研究成果盤點 **2-1**

第一節 盤點工作範圍 2-2
一、 水土保持及分局委辦及研究計畫成果 2-2
二、 委辦計畫成果盤點工作項目說明 2-5
第二節 盤點成果分析 2-8
一、 盤點結果 2-8
二、 委辦計畫現況及後續趨勢判釋 2-16
三、 歷年研究成果延伸與應用 2-19

第三章 土砂災害變遷分析 **3-1**

第一節 大規模崩塌潛勢區現地勘察 3-1
一、 緣起 3-1
二、 材料與方法 3-2
三、 調查結果 3-10
四、 結論 3-19
第二節 陡坡崩塌地無人飛行載具噴植工法之精進研究 3-21
一、 前言 3-21
二、 材料及方法 3-22
三、 成果與討論 3-30
四、 結論與建議 3-31
第三節 氣候變遷對土砂災害的影響與衝擊 3-33
一、 盧碧颱風玉穗溪災例分析 3-33
二、 水里崩塌地判釋及分析 3-41

第四章 土砂災害數值模擬分析 4-1

第一節 無人飛行載具建模研究 4-1

一、 前言 4-1

二、 材料與方法 4-2

三、 三維模型建製成果 4-12

四、 結論 4-19

五、 評估與建議 4-19

第二節 HEC-RAS 模擬堰塞湖潰決研究 4-21

一、 前言 4-21

二、 材料及方法 4-22

三、 結果與討論 4-26

四、 評估與建議 4-31

第三節 土石流流動模擬研究 4-32

一、 前言 4-32

二、 材料與方法 4-36

三、 模擬結果 4-39

四、 結論與建議 4-41

第五章 國內外土砂防災研究發展議題 5-1

第一節 國內外氣候變遷相關研究報告蒐集與彙整 5-4

一、 氣候變遷情勢推估 5-5

二、 氣候變遷所面臨課題 5-12

三、 地質學者眼中的氣候趨勢 5-14

四、 極端氣候如何主導 21 世紀的天然災害 5-20

第二節 地質模式之發展策略 5-27

一、 地質模型建構之難處與重要性 5-27

二、 野外調查必備神器—實用 App 大解析 5-33

三、 數位時代下的新型態地形圖 5-41

第三節 新興防災技術發展趨勢 5-52

一、 UAV 應用無限大未來 5-52

二、 最具潛力的溫室氣體淨零排放方案－DAC 5-59

三、 地震發生先發文? AI 防災新科技 5-66

第四節 結論與建議 5-73

一、 結論 5-73

二、 建議 5-76

第六章 結論與建議 6-1

第一節 結論 6-1

一、 歷年土砂防災技術與研究成果盤點 6-1
二、 土砂災害變遷分析成果 6-2
三、 土砂災害數值模擬分析成果 6-3
四、 國內外土砂防災技術研究發展議題 6-3
五、 研究成果發表 6-7
第二節 建議 6-9
一、 水土保持技術研究發展規劃 6-9
二、 歷年委辦案件成果可延續性建議 6-13
參考文獻.....1
附錄一 H.O.S.T 地圖及 CS 地圖判釋與應用 BIGGIS 繪製判釋圖資 (節錄) 1
附錄二 教育訓練相關資料 6
附錄三 研究成果發表 28
附錄四 審查會議紀錄暨回覆辦理情形 40

表次

表 2- 1 歷年委辦及研究計畫數量統計 2-4
表 2- 2 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (1) 2-5
表 2- 3 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (2) 2-6
表 2- 4 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (3) 2-7
表 2- 5 盤點資料成果類別 2-9
表 2- 6 細部盤點項目與統計數量 2-15
表 3- 1 野外調查儀器 3-5
表 3- 2 投縣 DF126 土石流潛勢溪流基本資料表 3-22
表 3- 3 氣動式 UAV 施工作業單價分析 3-32
表 3- 4 玉穗溪流域崩塌地判釋 3-35
表 3- 5 歷年崩塌地變化情形 3-43
表 3- 6 歷年崩塌面積 3-44
表 4- 1 投縣 DF199 土石流潛勢溪流基本資料表 4-3
表 4- 2 玉穗溪事件概況表 4-35
表 4- 3 HYPER KANAKO 模擬玉穗溪成果 4-41
表 6- 1 研究成果-2021 論文發表 6-8

圖次

圖 1- 1 計畫研究架構圖 1-8

圖 2- 1 盤點工作架構及流程 2-3

圖 2- 2 2020 年委辦計畫性質數量統計 2-4

圖 2- 3 資料管理平台-綜合資料查詢 2-9

圖 2- 4 H.O.S.T 地圖應用案例 2-12

圖 2- 5 空間資訊資料成果應用 2-13

圖 2- 6 BIGGIS 應用案例-大南溪堰塞湖蓄水變化 2-13

圖 2- 7 教育訓練課程 2-14

圖 2- 8 H.O.S.T 地圖製作原理。 2-19

圖 2- 9 相同地點於不同型態地形圖呈現之效果 2-20

圖 2- 10 CS 地圖 2-21

圖 2- 11 潛在大規模崩塌地形特徵示意圖 2-23

圖 2- 12 大規模崩塌微地形特徵 2-23

圖 2- 13 土石流示意圖 2-24

圖 2- 14 溪流型土石流 2-25

圖 2- 15 坡面型土石流 2-26

圖 3- 1 光華崩塌地之地理位置圖 3-3

圖 3- 2 光華的地質敏感區圖 3-3

圖 3- 3 光華崩塌地之地質圖 3-4

圖 3- 4 光華崩塌地現地查核點位圖 3-10

圖 3- 5 崩塌地冠部已被開墾為等高線梯田 3-11

圖 3- 6 主崩崖邊界擋土牆與道路裂縫 3-12

圖 3- 7 子崩崖崖面落差明顯 3-12

圖 3- 8 坡趾處地形特徵 3-13

圖 3- 9 T002 之現生崩塌地 3-14

圖 3- 10 噴凝土護坡已有明顯裂隙產生 3-14

圖 3- 11 光華農路路基流失與形成現生裸露崩塌地 3-15
圖 3- 12 右側坡腹明顯現生崩塌裸露地 3-15
圖 3- 13 坡趾處有大面積現生裸露地與格梁護坡毀損 3-16
圖 3- 14 坡趾束口地形特徵 3-16
圖 3- 15 坡面侵蝕溝地形特徵，已發育雙溝同源特徵 3-17
圖 3- 16 邊坡護坡工程已壞損 3-18
圖 3- 17 邊坡擋土牆路基流失 3-18
圖 3- 18 邊坡工程有多處毀損 3-19
圖 3- 19 UAV 執行灑播植生任務 3-22
圖 3- 20 投縣 DF126 之地理位置圖 3-23
圖 3- 21 投縣 DF126 之地質圖 3-24
圖 3- 22 冰球粒劑 3-25
圖 3- 23 粒劑施作前之保存 3-26
圖 3- 24 垂直投放式撒播 3-27
圖 3- 25 水平式噴植 3-27
圖 3- 26 氣動式噴植系統 3-28
圖 3- 27 投縣 DF126 左側邊坡 3-29
圖 3- 28 投縣 DF126 右側邊坡 3-29
圖 3- 29 粒劑裝填 3-30
圖 3- 30 冰球粒劑之附著情形 3-31
圖 3- 31 噴植後生長情形 3-31
圖 3- 32 明霸克露橋區域位置 3-33
圖 3- 33 復興雨量站雨量組體圖 3-34
圖 3- 34 小關山雨量站雨量組體圖 3-34
圖 3- 35 歷年集水區崩塌地判釋成果 3-36
圖 3- 36 災前玉穗溪防砂壩狀況 3-37
圖 3- 37 災前及災後防砂壩狀況比對 3-37
圖 3- 38 玉穗溪土砂量變化 3-38

圖 3- 39 玉穗溪土石流沖積扇 3-38
圖 3- 40 台 16 線邊坡崩塌區域位置 3-41
圖 3- 41 集集雨量站雨量組體圖 3-42
圖 3- 42 集集崩塌地於 H.O.S.T 地圖微地形特徵 3-45
圖 3- 43 集集崩塌地於 CS 地圖微地形特徵 3-46
圖 3- 44 集集崩塌區域地質圖 3-47
圖 4- 1 研究區域地形與地質圖 4-4
圖 4- 2 三維建模所需之野外應用儀器 4-5
圖 4- 3 差分定位示意圖 4-5
圖 4- 4 左：TDC600 操作介面，右：靜態測量解算之觀測 O 檔 4-5
圖 4- 5 無線訊號強度圖 4-7
圖 4- 6 民航局遙控無人機管理資訊系統 4-8
圖 4- 7 申請空域範圍劃設 4-8
圖 4- 8 無人載具飛航申請程序流程圖 4-9
圖 4- 9 正射影像產製流程 4-11
圖 4- 10 神木村現場作業照片 4-12
圖 4- 11 神木村現場飛行任務規劃航線設定 4-13
圖 4- 12 神木村三維建置使用照片數 4-13
圖 4- 13 UAV 空拍之影像 4-14
圖 4- 14 神木村建模取像位置 4-15
圖 4- 15 神木村建模控制點位 4-16
圖 4- 16 神木村建模控制點位照片 4-16
圖 4- 17 檢視匹配點 4-17
圖 4- 18 空間座標系統 4-17
圖 4- 19 三維軟體預設建置流程 4-18
圖 4- 20 神木村初步三維模型 4-18
圖 4- 21 神木村三維建模成果 4-19
圖 4- 22 研究流程圖 4-22

圖 4- 23 南投縣仁和村土石流災害範圍示意圖 4-23
圖 4- 24 蓄水面積估算示意圖 4-25
圖 4- 25 BIGGIS 內建內政部 20M DEM 資料及挖填方分析工具 4-25
圖 4- 26 BIGGIS 挖填方分析工具估算堰塞湖迴水面積及蓄水量 4-27
圖 4- 27 潰壩洪峰流量沿程示意圖 4-28
圖 4- 28 潰壩洪峰水位沿程示意圖 4-29
圖 4- 29 壩高 60 M 潰壩延時 0.5 小時之洪峰流速模擬結果 4-29
圖 4- 30 達魯瑪克部落洪水波水位演算橫斷面圖 4-30
圖 4- 31 新園橋 (台 9 線) 洪水波水位演算橫斷面 4-31
圖 4- 32 溢流點之地形特徵參考 4-34
圖 4- 33 玉穗溪土石流事件災害示意圖 4-35
圖 4- 34 玉穗溪集水區區域地形圖 4-37
圖 4- 35 玉穗溪集水區區域地質圖 4-38
圖 4- 36 UAV 空拍產製正射影像所判釋溢流點位置 4-40
圖 4- 37 H.O.S.T 所判釋所有可能為溢流點之位置 4-42
圖 5- 1 溫室效應影響下各類型災害之威脅 5-1
圖 5- 2 IPCC AR6 中五種情境溫室氣體排放模擬圖 5-5
圖 5- 3 二氧化碳累積排放量與全球表面溫度之間的近線性關係 5-6
圖 5- 4 IPCC-AR6 預測世紀末溫度變化趨勢 5-6
圖 5- 5 不同上升溫度模擬趨勢 5-7
圖 5- 6 不同上升溫度極端氣候頻率及強度模擬視覺化 5-9
圖 5- 7 台灣未來氣候趨勢推估 (高溫) 5-10
圖 5- 8 台灣未來氣候趨勢推估 (降雨量) 5-10
圖 5- 9 台灣未來氣候趨勢推估 (暴雨強度) 5-11
圖 5- 10 台灣未來氣候趨勢推估 (不降雨日數) 5-11
圖 5- 11 2.5 億年前 (左)、1.5 億年前 (中) 和 7000 萬年前的古世界地圖 5-14
圖 5- 12 (A) 模擬全球平均地表氣溫 (GMST)；(B) 全球陸地面積比例 5-15
圖 5- 13 模擬地表季節性氣溫 (SAT) 5-16

圖 5- 14 模擬中生代年平均地表氣溫和乾旱地區分布 5-17
圖 5- 15 模擬全球緯度平均地表氣溫演變 5-18
圖 5- 16 模擬中生代大陸表面氣溫袋裝對比 5-19
圖 5- 17 全球自然災害類型分類 5-20
圖 5- 18 2000-2019 年全球災害總數 5-21
圖 5- 19 2000-2019 年全球致災類型百分比 5-21
圖 5- 20 1980-1999 年災害事件與 2000-2019 年災害事件比較表 5-22
圖 5- 21 2000 年至 2019 年間最致命的災害事件 5-23
圖 5- 22 比較 1980-1999 年與 2000-2019 年之災害影響 5-23
圖 5- 23 依據收入程度劃分災害平均死亡人數及總死亡人數統計 5-24
圖 5- 24 仙台減災綱領 5-25
圖 5- 25 韌性恢復過程 5-26
圖 5- 26 基礎三維地質模型 5-27
圖 5- 27 大地工程分析金三角 5-28
圖 5- 28 地質調查後提供之地質剖面 5-29
圖 5- 29 不同地質剖面圖解釋法 5-29
圖 5- 30 不同地下地質環境複雜程度 5-30
圖 5- 31 地下地質不確定性 5-31
圖 5- 32 都鑾山調查 5-33
圖 5- 33 WINDY 介面 5-34
圖 5- 34 MAP MARKER 介面 5-35
圖 5- 35 GPS STATUS&TOOLBOX 介面 5-36
圖 5- 36 FIELDMOVE CLINO 介面 5-37
圖 5- 37 利用虛擬世界訓練野外調查技能 5-38
圖 5- 38 坡地虛擬實境空間展示及沉浸式訓練平台 5-38
圖 5- 39 常用的地形圖型式 5-41
圖 5- 40 相同地點不同圖資呈現之效果 5-42
圖 5- 41 CS 地圖製作原理 5-42

圖 5- 42 地形曲率與水流方向示意圖 5-43
圖 5- 43 CS 地圖色調層級 5-43
圖 5- 44 相同地點不同圖資呈現之地貌特徵 5-44
圖 5- 45 全台 CS 地圖成果展示 5-45
圖 5- 46 CS 地圖製作原理 5-45
圖 5- 47 坡度圖中的礫岩 5-46
圖 5- 48 湧水類型一 5-47
圖 5- 49 湧水類型二 5-48
圖 5- 50 湧水類型三 5-48
圖 5- 51 CSMAPMAKER 於 QGIS 製作介面 5-49
圖 5- 52 CSMAPMAKER 於 ARCGIS 製作介面 5-50
圖 5- 53 G 空間情報中心展示 5-51
圖 5- 54 UAV 執行冰球粒劑植生試驗 5-52
圖 5- 55 防砂設施檢測 5-53
圖 5- 56 應用深度學習於地物分類 5-54
圖 5- 57 UAV 執行撒播植生任務 5-55
圖 5- 58 點雲資料 5-56
圖 5- 59 應用空拍影像於河川粒徑分析 5-57
圖 5- 60 坡地變異性分析 5-58
圖 5- 61 美國淨零排放的 8 個行動方案 5-59
圖 5- 62 'NEGATIVE EMISSIONS' COULD SLOW CLIMATE CHANGE. 5-60
圖 5- 63 世界最大的碳捕捉和轉化工廠「ORCA」 5-61
圖 5- 64 NEW DIRECT AIR CAPTURE AND STORAGE PLANT..... 5-62
圖 5- 65 台泥戶外藻類固碳系統 5-64
圖 5- 66 台泥碳捕捉流程示意圖 5-65
圖 5- 67 CROWD4U 整合各項資訊 5-67
圖 5- 68 CROWD4U 訊息整合示意圖 5-67
圖 5- 69 獲取災害資訊方式 5-68

圖 5- 70 SNS 資訊分析系統概念圖 5-69

圖 5- 71 淹水範圍推定圖 5-70

圖 5- 72 日本氣象協會與 TRANSTRON 及 SPECTEE 合作蒐集路面資訊.... 5-71

圖 5- 73 澀谷最有名的十字路口 5-72

第一章 緒論

本計畫目的為強化重大土砂災害防減災技術自主量能與掌握土砂災害趨勢與缺口，以提升我國土砂整體防災應變能力，方能因應氣候變遷下的土砂災害。聯合國政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 所提出第六次評估報告 (Sixth Assessment Report, AR6) 表明，極端氣候的模擬為不可逆之影響，近年來颱風豪雨等天災日趨嚴重且頻繁，此全球尺度的氣候變化，使得世界各地更容易產生複合型災害事件，意謂著土砂災害未來將不再是單一災害型態，而同時使山區面臨崩塌、土石流、堰塞湖等風險，下游地區面臨洪水氾濫、水庫淤積、水資源供給不均等不同類型災害的威脅，這些因極端氣候而更頻繁發生的土砂災害影響面積廣、規模大、災害類型多，因此需要更加關注及投入。世界各國 2021 年 11 月初在英國舉行「聯合國氣候變化綱要公約第 26 次締約方會議」(COP26)，就是氣候變遷情勢對於各項極端氣候的影響日趨嚴峻，而檢討各國政府目前對於氣候變遷的因應作為。

我國為因應氣候變遷衝擊與莫拉克風災等的重大土砂災害事件，以國內外均重視的「大規模崩塌」、「土石流」及「複合型土砂災害」等三項主題進行研究調查，行政院繼核定氣候變遷下大規模崩塌防減災第一期計畫 (2017 至 2020 年) 後，於 2020 年延續核定氣候變遷下大規模崩塌防減災第二期計畫 (2021 至 2026 年)，目前各項行動計畫已接續推動，希冀能逐漸提升坡地災害應變能力。惟大規模土砂災害之高度不確定性及災害風險，需投入長期研究與觀測，逐漸完善現有防減災體制對於因應大規模災害應變及減低風險之能力，方能降低災

害之風險並提升聚落安全防護能力，以完整建構大規模土砂災害防減災體系，因此，實有需要預先籌備第二期 (2022-2024) 計畫先期工作，先盤點盤點歷年土砂防災計畫執行成果與延續性分析，實際掌握當前研究缺口與基礎資料，再就未來趨勢精進集水區土砂災害模擬模式，以利大規模土砂災害防減災工作之推動。

第一節 研究背景

本計畫為強化重大土砂災害防減災技術與提升防災應變能力，將藉由蒐集、更新與研析國內外土砂防災研究發展議題、盤點歷年土砂防災計畫執行成果與延續性分析、土砂災害變遷分析、土砂災害模擬模式測試與分析等方式，以達成規劃大規模土砂災害相關研究議題設定、發展大規模災害情境模擬架構、建立大規模土砂災害風險與衝擊評估機制、研擬大規模土砂災害防災對策等目標。

未來天然災害之頻率及規模，在氣候變遷衝擊下有加劇的趨勢，因此水土保持局在集水區土砂治理、土砂監測與防災管理、坡地永續利用等工作將面臨重大挑戰，以因應氣候變遷之影響。為減少大規模土砂災害之高強度規模與災害風險之不確定性，目前水土保持局已投注大量的人力及預算，然面對不可預期之複合型災害，組織內部仍需隨時審視、檢核、重整業務執行步驟，以保持各部門間之協調性與競爭力。期望藉由蒐集、參考國內外相關技術、法規、政策等文獻進行分析，並參酌鄰近國家因應氣候變遷所擬定之對策與發展的新型技術，循此脈絡做為研擬提升國家土砂災害防災能力之策略。

再者，利用分年分期之各項調適策略步驟，達成「建構科技、創新、智慧的坡地防災」、「維護安全、生態、多樣的水土環境」、「營造保育、利用、永續的國土資源」之目標，並朝最終達成「建構智慧防災的坡地環境」之願景邁進。

第二節 研究目標

本期計畫之工作項目有四，分別為：盤點歷年土砂防災計畫執行成果與延續性分析、研析土砂災害變遷之案例分析、模擬集水區土砂災害模式之案例分析、研析國內外土砂防災研究發展議題等四項研究目標，分別說明如下：

1. 盤點歷年土砂防災計畫執行成果與延續性分析

本計畫盤點水土保持局歷年土砂防災計畫，對於研究計畫成果進行分析，對於開放資料、核心資料、基礎資料、向量資料、影像資料等，建立相關基礎資料標準化規範與格式，作為建立資料管理與加值應用之前置作業。

2. 研析土砂災害變遷之案例分析

今年 (2021 年) 以大規模崩塌潛勢區域進行研究，透過現地調查，檢核室內圖資判釋成果，並以水土保持局建置之巨量空間資訊系統 (Big Geospatial Information System, BigGIS) 及各項地形圖資分析今年 (2021 年) 所發生土砂災例，並分別進行研究，判釋其地質條件、土石流影響範圍及土砂堆積狀況等工作。

3. 模擬集水區土砂災害模式之案例分析

土砂災害數值模擬，今年 (2021 年) 在應用無人飛行載具 (Unmanned Aerial Vehicle, UAV) 輔佐現地調查方面，以 UAV 空拍影像，針對南投縣信義鄉神木村之土石流潛勢溪流建置三維模型與拍攝正射影像，做為該地區之災害研判基礎資料。另外，應用 Hyper Kanako 及 HEC-RAS 模擬模式，分別針對高雄市玉穗溪集水區進行土石流災害模擬，與台東縣大南溪

堰塞湖及潰壩研究，分析與探討其災害之影響範圍、下游土砂堆積狀況與淤積高度等成果。

4. 研析國內外土砂防災研究發展議題

今年 (2021 年) 藉由蒐集國內外土砂防災研究及技術相關資料，研擬土砂防災研究發展議題，透過彙整國內外氣候變遷相關研究報告、地質模式之發展策略及新興防災技術的發展趨勢，研析調適策略制定、防減災對策等整合及應用方式，重點摘錄氣候變遷情境預測、調適策略設定目標及制定措施等，可作為國內未來推動氣候變遷調適相關計畫時參考。

第三節 研究報告架構

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

第一章，緒論，說明研究背景、目標及研究架構。

第二章，盤點歷年土砂防災計畫執行成果與延續性分析，針對盤點各項委辦計畫所產製內容，蒐集並彙整其發展趨勢，以供展示近年來水土保持局委辦計畫之現況成果以及後續趨勢之參據。此外，為加值歷年研究成果之應用與延伸，本計畫活用 CS 地圖及 H.O.S.T 地圖的判釋研究，藉由兩者具有極佳立體感及可呈現微地形特徵之優點，以進行微地形地貌判釋與應用於土石流潛勢溪流之溢流點選定，後續可用於土石流數值模擬，進一步探討溢流點位置對於土石流影響範圍之差異。經過歷年研究計畫盤點，有關前瞻國際趨勢部分相對著墨較少，且國內的土砂災害數值模型與趨勢分析仍有精進空間，因此，本計畫針對水土保持局研究缺口部分進行強化，以彰顯本計畫之重要性

與必要性。

第三章，研析土砂災害變遷之案例分析，透過現地調查大規模崩塌潛勢區，除了瞭解其地質環境現況及其各項潛勢發育情形，並以現勘所紀錄之數據分析其危害之影響範圍及程度，且印證在室內應用高精度數值地形圖所判釋之微地形特徵，與在現地勘查時，所發現之地形特徵相吻合，檢核其判釋成效良好。再者，探討水土保持局運用 UAV 搭載不同灑播或噴植設備，並改良植生團粒及不同投擲撒播方式，希冀提升作業效率與植生復育率，同時，應用 UAV 在較偏遠地區或人力不易抵達區域輔佐現地工作，以維護現地勘查人員安全。最後，透過 BigGIS 利用其內建之多元航遙測圖資分析今年 (2021 年) 受盧碧颱風影響所導致的玉穗溪土石流災害事件及台鐵集集線水里崩塌地兩處災例，透過分析、判釋災害程度與地貌變遷，探討氣候變遷下對於土砂災害的影響與衝擊。

第四章，模擬集水區土砂災害模式之案例分析，其一為應用 UAV 進行拍攝任務輔佐現地調查，針對神木村進行空拍作業以獲取正射影像，並建置三維模型，提供目標區域範圍之檢視作業，可作為災害判釋之前期研究背景資料，後續再針對正射影像及三維模型成果判釋，分析其成果；其二為快速取得當地災害資料，並確保現地勘查人員與下游居民安全，本計畫透過水土保持局建置之 BigGIS，利用其內建之多元航遙測圖資以及數值地形線上分析工具，提出快速估算堰塞湖之迴水面積及蓄水量的方法，同時以美國陸軍工兵團開發之 HEC-RAS，模擬不同情境下堰塞湖潰決時對下游保全對象造成的衝擊與影響，並以 2021 年 2 月發生於台東縣卑南鄉東興村大南溪堰塞湖為例，進行方法與模式之驗證；最後，本計畫以 Hyper Kanako 模擬玉穗溪

災例，透過數值高程模型 (Digital Elevation Model, DEM)、事件雨量資料、土石流溢流點位置等資料蒐集，以建置數值模擬所需之參數及情境設計，瞭解土石流發生之流動及堆積範圍，期望研究成果可供評估土石流潛勢溪流影響區精進之參考。

第五章，研析國內外土砂防災研究發展議題，本章節透過蒐集國內外氣候變遷相關研究的相關資料，彙整並提供調適建議，此次主要以氣候變遷情勢推估探討氣候變遷所面臨課題、地質模型的發展策略探討各式地質類型及新興防災技術的發展趨勢，以因應氣候變遷導致的各項日趨頻繁的土砂災害，供相關單位針對氣候變遷研擬因應治理對策參考。

第六章，結論與建議，依據今年 (2021 年) 執行之工作項目分別為：盤點歷年土砂防災計畫執行成果與延續性分析、土砂災害趨勢分析、土砂災害數值模擬以及國內外土砂防災研究發展議題等四大項，提出各項工作結論與建議。

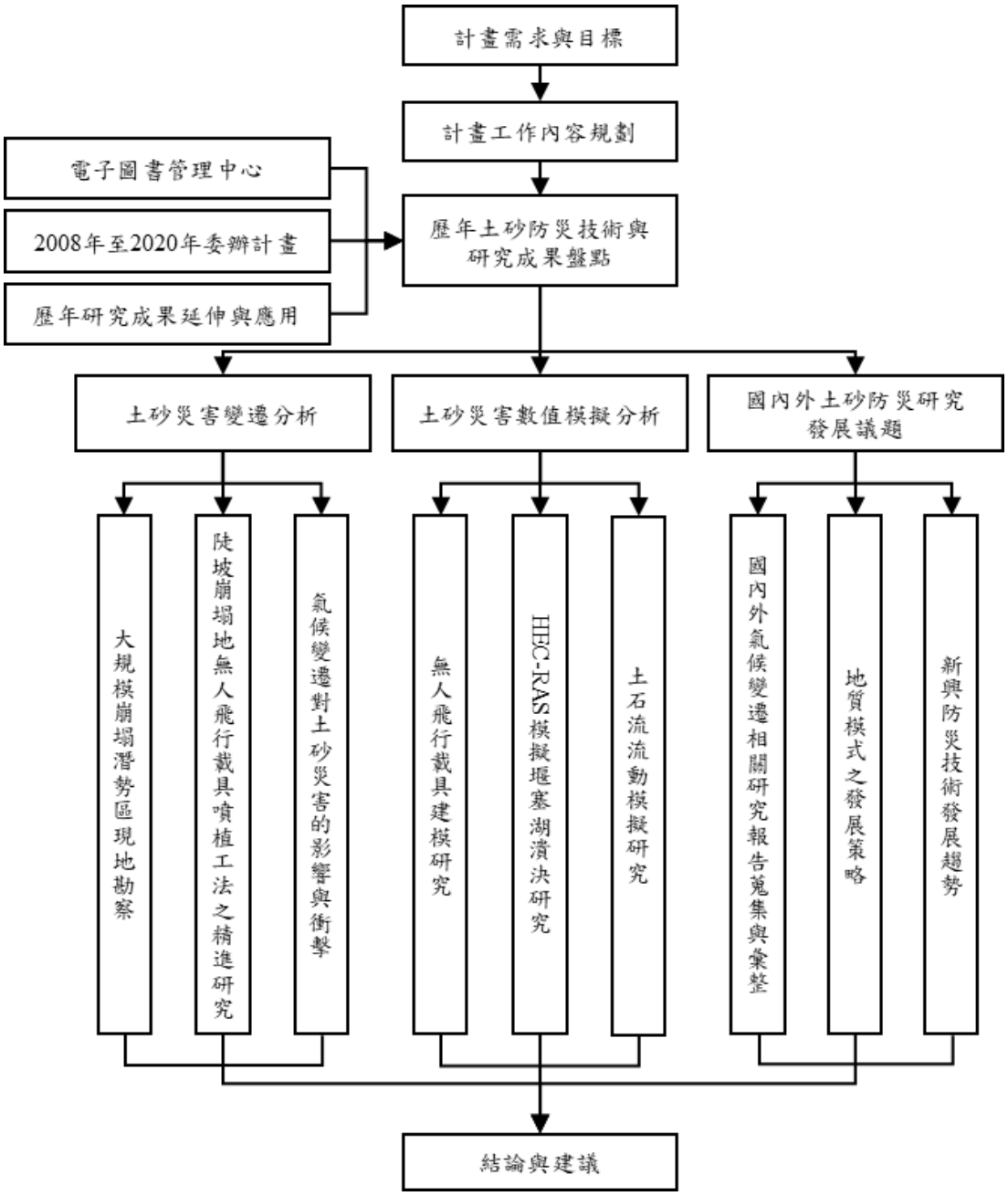

計畫需求與目標
計畫工作內容規劃
電子圖書管理中心
2008年至2020年委辦計畫
歷年研究成果延伸與應用
歷年土砂防災技術與研究成果盤點
土砂災害變遷分析
土砂災害數值模擬分析
國內外土砂防災研究發展議題
大規模崩塌潛勢區現地勘察
陡坡崩塌地無人飛行載具噴植工法之精進研究
氣候變遷對土砂災害的影響與衝擊
無人飛行載具建模研究
HEC-RAS模擬堰塞湖潰決研究
土石流流動模擬研究
國內外氣候變遷相關研究報告蒐集與彙整
地質模式之發展策略
新興防災技術發展趨勢
結論與建議

圖 1- 1 計畫研究架構圖

第二章 歷年土砂防災技術與研究成果盤點

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

藉由盤點目項逐一檢視各項委辦及研究計畫所產出之成果，除報告書格式及上傳內容有無缺漏外，其餘各盤點細項主要是將產出資料進行盤點、清查、整合，並探討各項資料之格式及開放資料所需之共通性欄位是否符合水土保持局共通性資料欄位編碼規範，以避免不同時期之產出成果資料格式不一致、不相容。後端資料之整合歸檔、儲存與共享，則是以目前水土保持局規劃之基礎資料管理平台，提供資料有效進行整合並共享資源給全局同仁使用，對於委辦廠商使用之需求，提供給委辦廠商使用則依申請審核機制辦理，並為達成開放環境、跨領域合作應用與推廣，利用 API 服務將資料與外單位進行流通與交換。

今年 (2021 年) 盤點工作內容為 2008 年至 2020 年水土保持局各業務組 (中心) 及分局所執行之委辦及研究案共計 2,837，其中初步篩選可能包含基礎資料與後續加值應用之案件 (不含行政、秘書、農村相關計畫)，總計 2,009 件委辦計畫成果報告，並依據各業務單位常使用之參考資料進行詳細的成果盤點。各計畫成果盤點分類統計，期能達成資料彙整與資源共享目標，將值得加值應用與可持續發展技術之重要原始資料項目，提出後續應用方向。

第一節 盤點工作範圍

一、水土保持及分局委辦及研究計畫成果

本計畫檢視水土保持局歷年委辦與研究案件成果，對於開放資料、核心資料、基礎資料、向量資料、影像資料等，建立相關基礎資料標準化規範與格式，並以資料彙整與資源共享為目標，將值得加值應用與可持續發展技術之重要原始資料項目，提出後續應用方向，由上述工作項目規劃盤點架構及流程如圖 2- 1 所示。

本項盤點工作是延續過往計畫，今年 (2021 年) 持續蒐整水土保持局電子圖書管理中心系統資料庫之去年 (2020 年) 之委辦及研究計畫。其中，依各組室、中心與分局進行分類篩選，統計計畫數量如表 2- 1 所示。此延續計畫自 2008 年延續盤點至本計畫之委辦與研究案共計 2,837 件，平均每年約 200 件委辦計畫。

今年 (2021 年) 盤點去年 (2020 年) 相關委辦計畫總計為 222 件，以計畫性質進行區分，如圖 2- 2 所示，共計可分為一般行政、水土保持試驗研究、前瞻基礎建設計畫、重劃區外緊急農路設施改善計畫、氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫、農村再生建設與發展計畫、農村再生規劃及人力培育計畫、整體性治山防災等 8 大類別。然扣除一般行政 4 件及流標案 1 件後，今年 (2021 年) 研究相關之度委辦計畫案為 217 件。其中以整體性治山防災計畫盤點數量 66 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 65 件。

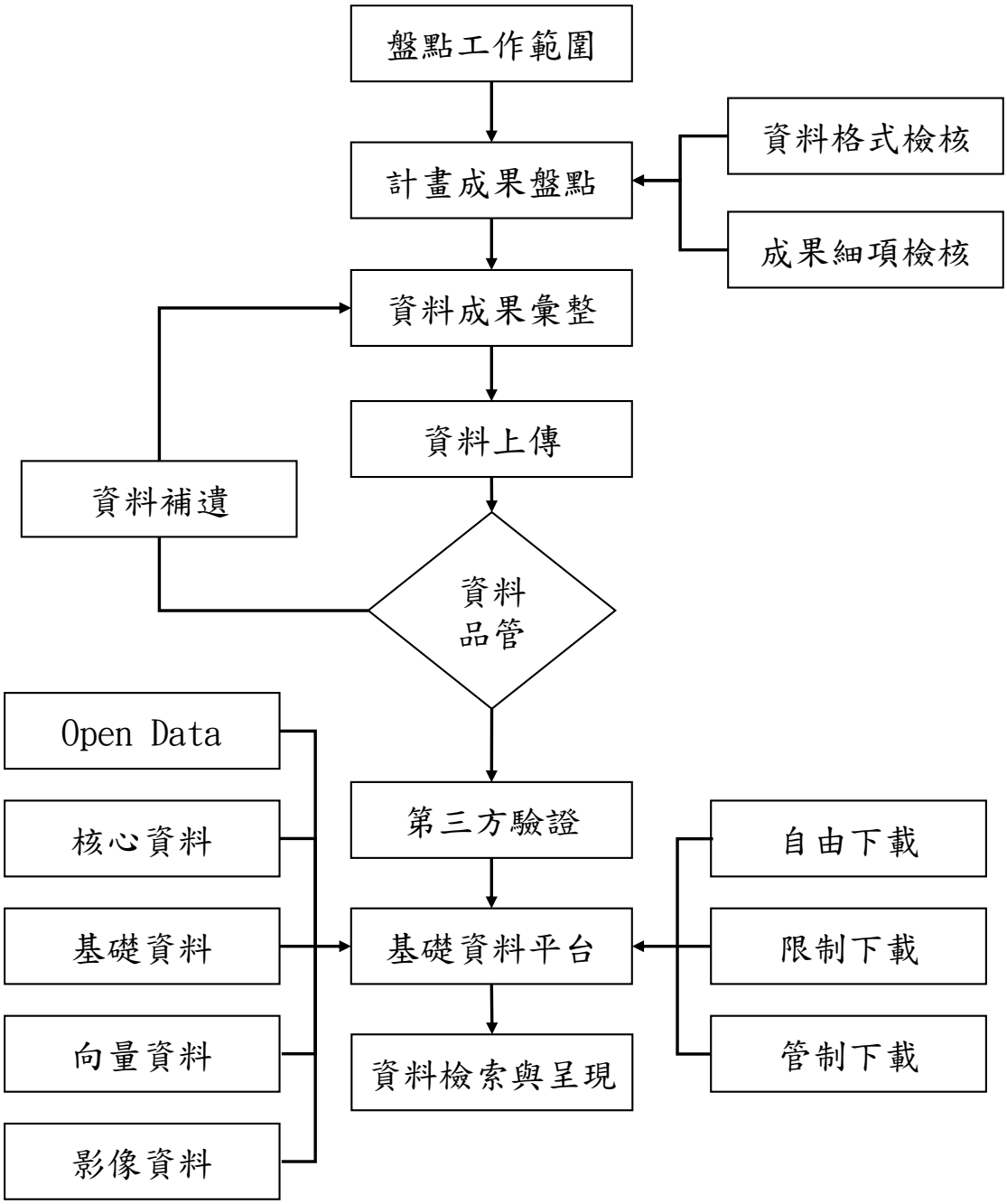


圖 2- 1 盤點工作架構及流程

表 2- 1 歷年委辦及研究計畫數量統計

年度 / 各組室(分局)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	個別加總
綜合企劃組	8	26	24	15	26	25	23	23	18	13	11	10	13	235
保育治理組	24	16	15	16	13	13	21	23	36	34	30	23	28	292
農村建設組	17	21	22	27	26	21	23	21	23	21	18	19	20	279
監測管理組	15	12	12	11	11	9	11	7	9	13	12	16	12	150
土石流防災中心	14	43	35	29	27	20	29	24	19	18	18	18	20	314
技術研究發展小組	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	12	12	11	38
台北分局	11	28	19	10	15	14	17	18	21	28	22	22	27	252
台中分局	14	34	21	18	20	20	20	22	20	31	27	29	20	296
南投分局	16	44	21	22	26	21	24	23	21	29	20	28	22	317
台南分局	23	40	11	13	23	23	21	18	16	20	23	24	19	274
花蓮分局	9	24	14	15	17	18	19	14	13	16	15	14	13	201
台東分局	7	23	20	12	14	16	17	14	12	14	14	14	12	189
年度加總	158	311	214	188	218	200	225	207	208	237	222	229	217	總計 2,837

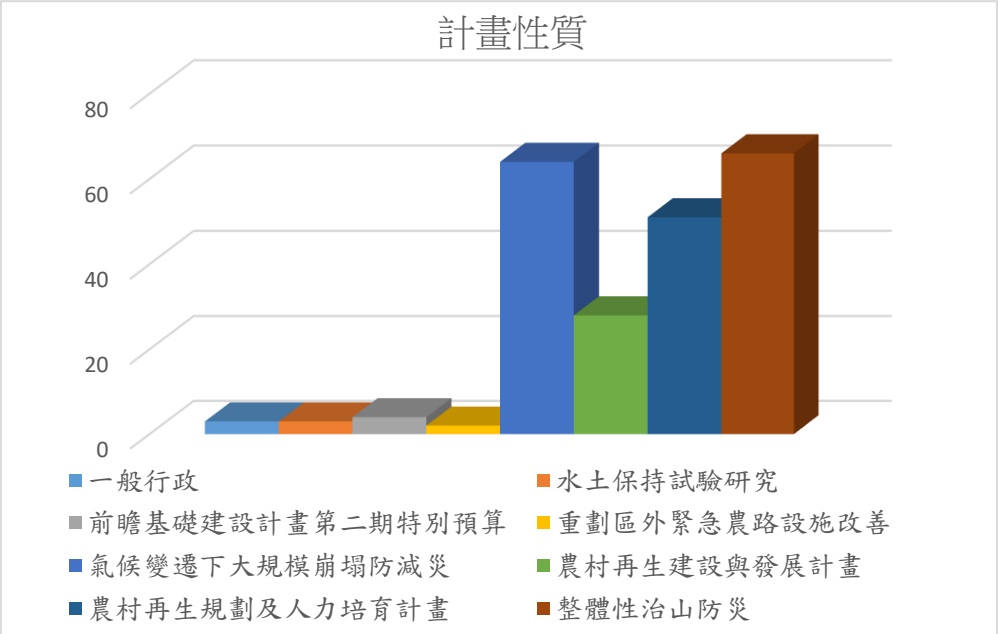


圖 2- 2 2020 年委辦計畫性質數量統計

二、委辦計畫成果盤點工作項目說明

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

表 2- 2 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (1)

編號	盤點項目 (單位)	內容說明
1	報告書格式之正確性	是否符合水土保持局格式、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、三維建模
4	航遙測影像相關圖資	光學衛星、航空正射、雷達衛星、資源衛星
5	光達產製 DEM	是否有產製 DEM 或者是紅色地圖相關研究
6	斷面樁設置數量 (支)	報告書中提及斷面樁設置並有詳細描述資料
7	斷面量測 (km^2)	報告書中針對河道斷面量測的範圍統計
8	河床質調查數量 (處)	報告書中針對河床質調查量測報告，是否有完整實驗成果資料
9	土壤力學參數	產出相關土壤力學參數， 如 C、 φ、 Kh 等

表 2-3 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (2)

10	雨量資料 (時雨量、年平均)	針對研究區域蒐集平均雨量相關資料
11	重現期雨量資料 (不同頻率年)	針對研究區域蒐集或計算其重現期雨量
12	重現期洪峰流量資料 (不同頻率年)	針對研究區域蒐集或計算其重現期洪峰流量
13	土砂產量推估計算 (土砂收支)	運用土砂量計算公式或是數值模式推估集水區土砂產量
14	運用數值模式計算 (數值模式名稱)	如降雨逕流水文模式、水理模式、邊坡穩定模式、降雨入滲模式、土石流模擬模式、警戒模式
15	監測站相關資料 (處)	計畫研究區設置土石流、淺層崩塌、大規模崩塌、水文、地文、土砂等相關監測站
16	土壤沖蝕相關資料	如紀錄沖蝕針相關量測資料
17	崩塌量測儀器	如雨量筒、地質鑽探、地下水監測站、孔內傾斜儀、伸縮計、GPS 變位計、地表位移樁等等
18	地球物理探測相關資料	如地電阻、孔內電測(自然電位、電阻率、射線等)、孔內攝影
19	平台建置 (維護)	委辦計畫之平台建置與維護並記錄其名稱
20	崩塌判釋	如地表地質調查、衛星影像判釋
21	災害案例或工程案例相關	災害案例、治理工法、工程案例的詳細調查研究報告
22	回歸公式 (屬性)	回歸公式並記錄其應用屬性 (崩塌面積、體積估算、流量估算、流速估算、災損估算)
23	災害照片紀錄	蒐集災害相關照片
24	構造物調查	紀錄構造物調查並統計件數
25	實境模擬相關	是否將水土保持局業務結合最新科技如 VR、AR、MR
26	生態檢核相關	如生態敏感區位、重要物種棲地、環境改善建議

表 2- 4 委辦計畫成果盤點工作項目說明彙整表 (3)

27	教育訓練	統計報告書中教育訓練項目與其類型
28	相關出版品	如專書、摺頁、海報、影片、微電影
29	值得進入倉儲系統的圖資	研究是否有產出新的空間資訊圖資，如 GIS 圖資、KML 圖資
30	特殊分析技術	其他有特別可以紀錄的內容或是技術如水下聲納探測、光學式自動化雨滴頻譜儀、海事衛星通訊整合、地聲探測

第二節 盤點成果分析

一、盤點結果

今年 (2021 年) 盤點 2008 年至 2020 年委辦及研究計畫成果，扣除行政、秘書、農村計畫共計 2,009 件委辦及研究計畫成果，以目前盤點成果顯示每年逾 200 件研究計畫產出成果相當豐碩，為掌握歷年盤點成果，技術研究發展小組先行將今年 (2021 年) 盤點成果進行資料數位化 (水文資料、河川水理、雨量、地質鑽探、現地試驗、地電阻) 並匯整於水土保持局基礎資料管理平台，在資料之呈現上考量各計畫研究區調查時間及空間關係，以年度、縣市、關鍵字、空間範圍等選取方式以利使用者進行檢索查詢 (圖 2- 3)。

盤點資料成果，可以概略分成：空間資訊類 (航遙測資料、UAV 資料、紅色地圖)、現場 (監測) 資料類 (雨量、流量、地下水、鑽探、地電阻)、數值模式類 (降雨逕流水文模式、水理模式、邊坡穩定模式、降雨入滲模式、土石流模擬模式)、集水區相關類 (河床質、斷面測量、水文資料、生態調查)、加值應用類 (三維模型、環景影像、擴增實境 (Augmented Reality, AR)、虛擬實境 (virtual reality, VR)、混合實境 (Mixed Reality, MR))、教育訓練與出版品 (專書、海報、影片) 等六大類 (表 2- 5)。



圖 2-3 資料管理平台-綜合資料查詢

表 2-5 盤點資料成果類別

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

根據歷年盤點統計結果，2,009 冊報告書中有 1,401 冊符合規定格式，電子圖書則為 1,338 冊符合，其餘不符合規定之主要的樣態包含：未上傳單一完整檔案、報告書內容格式有誤、電子書不完整等，皆列為不符合項目，後續將持續提醒承辦單位追蹤並補上符合規定之格式檔案，盤點歷年統計結果如表 2- 6 所示。

1. 空間資訊類：

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

2. 現場 (監測) 資料類：

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

3. 集水區相關類：

此類集水區資料是基礎研究不可獲缺之重要資料，以集水區之河

床質、斷面測量、坡面測量、水文資料、地文資料、生態資料等進行蒐集，依委辦計畫成果可分成定點儀器量測、現場採樣作業及室內物性分析等方式獲得此類資料，其後續可將成果提供於降雨逕流分析、水理分析、土砂收支分析、邊坡穩定分析等數值模擬之用。

4. 數值模式類：

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

5. 加值應用類：

在資料加值應用類方面，是以 UAV 影像資料之加值應用成果如三維模型、環景影像、AR、VR、MR 等數位三維科技之體感應用，讓使用者透過穿載裝置儀器，藉由土砂事件建置之展示空間，體驗災害區之現況，可作為工程設計及規劃探討之用，亦可透過如沉浸式訓練平台之輔助，作為工程人員教育訓練之用。

6. 教育訓練與出版品：

各項委辦計畫在教育訓練主要分成兩個類別，一個是對民眾宣導活動，如土石流防災教育宣導、酷學校行動知識、水土保持教育宣導，並透過水土保持相關出版品，使民眾易於瞭解水土保持、土石流防災教育相關知識，了解山坡地災害潛勢，學習面臨大規模災害的應變措施；另一個則是供水土保持局工作同仁提升專業技能知識之用，如工

程技術、治理工程、生態檢核、職業安全衛教、資訊安全管理、固床工設計研習、水土保持工程管考系統教育訓練、大規模崩塌災害調查及治理策略教育訓練等，除了業務職能外，藉由各類型教育訓練提供同仁在技術面、工程面、資訊面、法制面等不同層面之技能知識學習並強化自主技術能力 (圖 2- 7)。

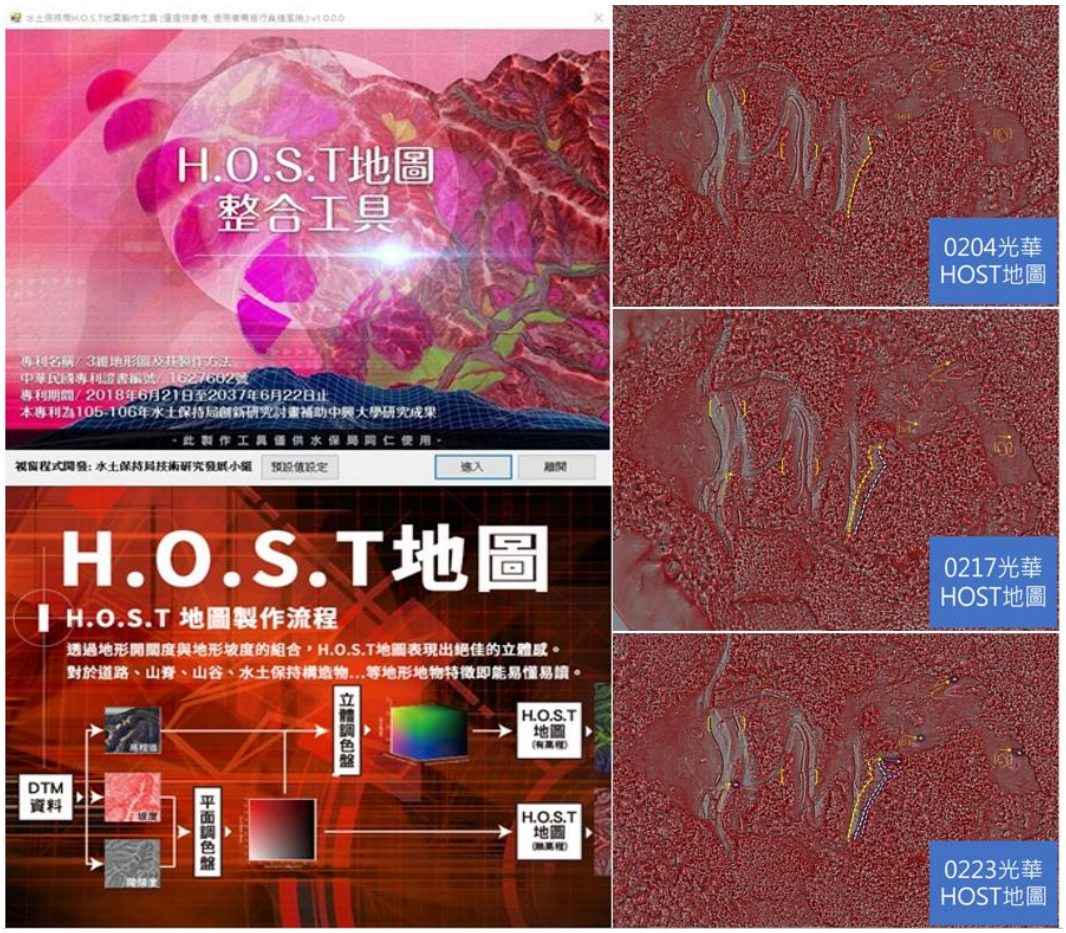


圖 2- 4 H.O.S.T 地圖應用案例

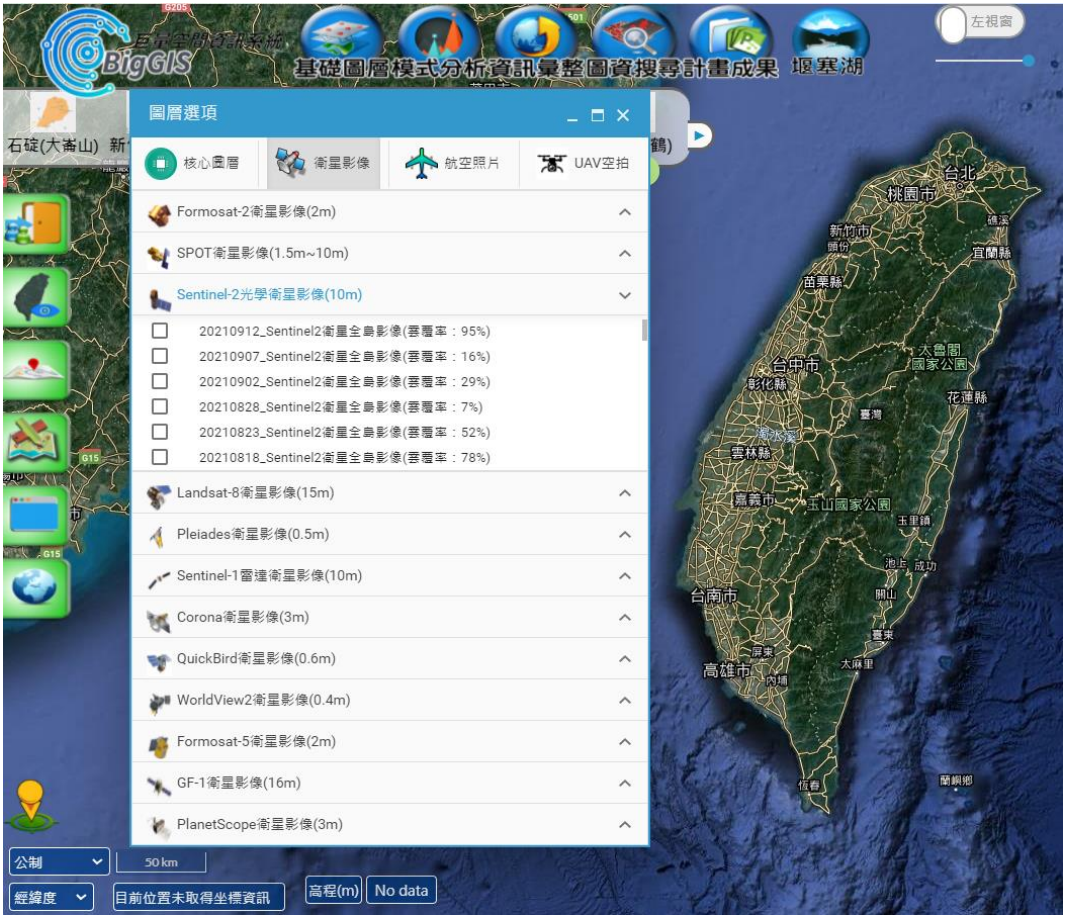


圖 2- 5 空間資訊資料成果應用 (BigGIS)

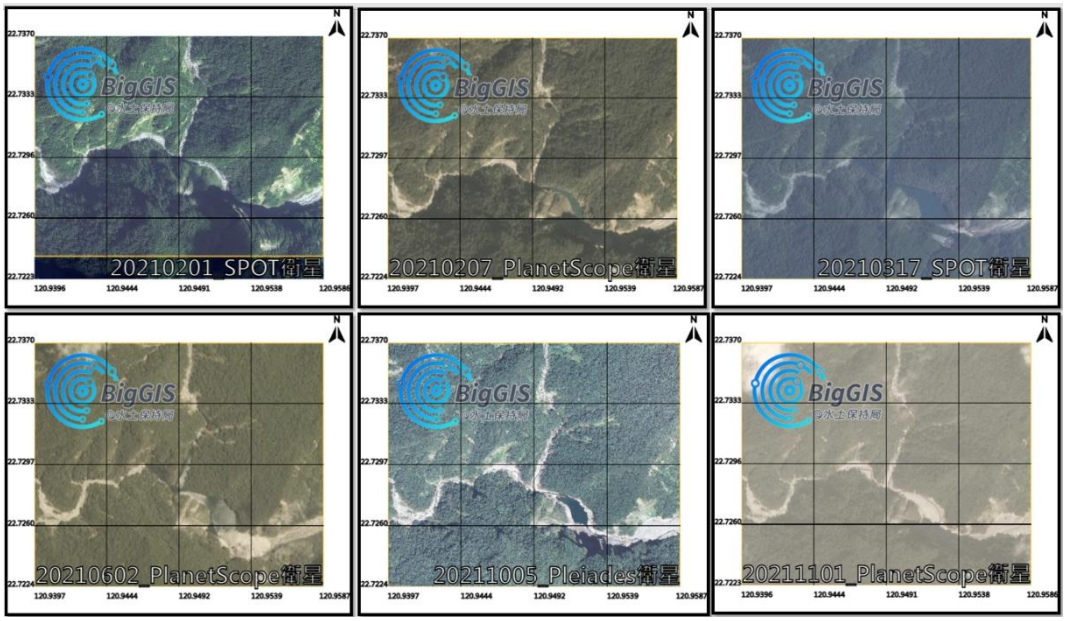


圖 2- 6 BigGIS 應用案例-大南溪堰塞湖蓄水變化

課程列表

	課程名稱	梯次名稱	主辦機關/單位
1 內	110 年度治山防災集思網推廣活動	第一梯次	廠商/陶林數值測量工程有限公司
2 內	人工智能還是人類失能，智慧生活不可不知的二三事(個資與資安教育訓練宣導)		局本部/技術研究發展小組
3 外	110年度農村再生歷程整合發展平台管理維運計畫教育訓練	-110年度農村再生歷程整合發展平台管理維運計畫 教育訓練-臺北場	行政院農業委員會水土保持局
4 外	「110年社區農村再生計畫」教育訓練	北區場	局本部/農村建設組/農村再生科(農二)
5 外	必 水土保持資料加值應用交流會		行政院農業委員會水土保持局
6 外	必 水土保持局花蓮分局遙控無人機操作證考照教育訓練課程	水土保持局花蓮分局遙控無人機操作證考照教育訓練課程	行政院農業委員會水土保持局
7 外	110年度農村再生歷程整合發展平台管理維運計畫教育訓練	110年度農村再生歷程整合發展平台管理維運計畫 教育訓練-南投場	行政院農業委員會水土保持局

圖 2- 7 教育訓練課程

表 2-6 細部盤點項目與統計數量

編號	盤點項目 (單位)	統計數量
1	報告書格式是否正確	1,403 符合
2	電子書是否完整與報告書相同	1,340 符合
3	UAV 拍攝 (處)	2,176
4	是否申請遙測相關圖資	2,699
5	是否運用光達產製 DEM	104
6	斷面樁設置數量 (支)	54
7	斷面量測 (km^2)	342
8	河床質調查數量 (處)	167
9	是否有土壤力學參數參考	80
10	是否有年平均雨量資料	304
11	是否有重現期雨量資料	224
12	是否有重現期洪峰流量資料	205
13	是否有土砂產量推估計算	271
14	是否有運用數值模式	407
15	監測站相關資料 (處)	538
16	是否有沖蝕針運用相關資料	12
17	是否有崩塌儀器量測資料	1,416
18	是否有地球物理探測相關資料	193
19	是否有相關平台建置、維護	246
20	是否有運用崩塌判釋技術	430
21	災害案例或工程案例相關	156
22	是否有產出回歸公式	43
23	是否有災害照片紀錄	151
24	是否有構造物調查	826
25	虛擬實境、擴增實境相關	29
26	是否有生態檢核相關	249
27	是否有教育訓練	996
28	是否有產出相關出版品	959
29	值得進入倉儲系統的圖資	150
30	是否有包含特殊技術分析	232

二、委辦計畫現況及後續趨勢判釋

今年 (2021 年) 盤點資料由 2008 年至 2020 年共 2,009 件委辦及研究案件成果，以集水區資料類與現場資料類而言，數值模式輸入參數之使用，以推估山區災害之影響，或工程整治成效評估之用，而在空間資訊類，其可作大面積檢視山坡地歷年之變化過程，作為時間與空間之記錄資料；在加值應用類，則以計畫產出成果加以彙整至資料管理平台，以提供水土保持局人員或民眾查詢、應用及後續計畫研提之用；現場與監測資料類，則是對於災害潛勢區具有預警之用，並依蒐集數據即時調整潛勢區治理之軟硬體策略方法;最後水保出版品及教育訓練，則是將水土保持教育生活化，將出版品管理、分享、永續運用，推動機關人員專業技能學習，使民眾有感於氣候變遷與災害頻率及規模擴大等影響，並提升民眾水土保持知識。

然在歷年盤點資料亦顯示出目前水土保持局在資料管理與維護上所遭遇之問題如下：

1. 目前盤點計畫成果產出相當豐碩,惟各計畫產出之專有名詞、產出資料格式 (欄位命名、類型、代碼)、數化資料 (水文資料、河川水理、雨量、地質鑽探、現地試驗、地電阻)、地理圖資等皆不相同，增加資料之整合、管理、查詢、儲存之難度。

2. 各委辦計畫於計畫執行期間，委辦廠商於計畫研究區架設監(觀) 測系統，以利蒐集汛期前後或是監測地表、地中、地下變位等各種監 (觀) 資料，然由於各委辦廠商分年分期使用之監測設備不同，亦造成後續資料匯整、補遺上之困難，且於計畫結案後，監測系統亦隨之失去維護，使得資料無法持續蒐集。

3. 目前水土保持局在出版品與教育訓練產出如海報、摺頁、微電

影以及多元教育訓練類型皆有豐富且完整的架構以及宣導品，惟目前各委辦計畫依約上傳計畫書檔案後，仍會遺漏將該計畫出版品產出物進行資料原始檔上傳或繳交。

今年 (2021 年) 累積歷年盤點成果，將既有資料將以先蒐集建檔為主，待未來人力充裕或融入新技術後再進行整理。而未來相關委辦計畫根據上述管理與維護，提出以下建議方法：

1. 由負責資訊業務及資料整合之水土保持局技術研究發展小組作為水土保持局基礎資料及地理圖資管理之窗口單位，每年每季定期召開「資料管理工作圈」會議檢討委辦計畫數值資料、地理圖資及開放資料之管理規章。

2. 目前水土保持局及各分局委辦案廠商在計畫期間建置監 (觀) 測站進行資料蒐集，在驗收時目前廠商僅繳交成果報告及簡報資料，建議將監 (觀) 測資料隨期初、期中、期末及驗收階段進行成果繳交，以及相關原始資料或可再次使用的資料集上傳，以免寶貴資料隨計畫期程結束失散，而未能收錄至資料管理平台。

3. 建議於委辦廠商上傳檔案之系統，於各階段成果繳交之頁面跳出出版品與教育訓練產出物上傳提醒視窗，進而提醒廠商將宣導品、海報以及摺頁一併上傳至電子電子圖書管理中心。此外，另請計畫之承辦人員於上傳後至電子圖書管理中心進行產出檔案檢核，以確保其出版品或教育訓練檔案上傳之完整性。

4. 鑑於委辦計畫廠商眾多且各計畫產出成果型態眾多。因此，建議於計畫執行期間如期中驗收前後，針對廠商進行資料成果上傳教育訓練，使廠商瞭解各項產出成果所需繳交標準及格式，並符合開放資料格式，或可編輯之資料格式 (Word 或 PowerPoint)，以避免未來盤

點時，出現如報告格式錯誤、缺漏，甚至產出資料成果無法數位化等問題。並以訂定資料蒐集之統一格式為目標，

經盤點本局歷年之委辦及研究成果相當豐碩，惟大部分之成果尚未數位化或分散儲存於各業務單位所設置之系統，形成系統眾多維護不易、資料分散、資安風險等相關疑慮。如若藉以每年度配合計畫盤點結果主動與承辦人員進行溝通及協商明年度計畫繳交之重點項目提醒，達到與水土保持局各組室 (中心) 及各分局充分雙向溝通，則有利於各年度計畫產出之水保資料蒐集與維護，加值且應用於平台展示、系統維護、開放資料之進行相關研究計畫使用。以訂定統一的資料收集格式作為近期規劃，而既有資料將以先蒐集建檔為主，待未來人力充裕或融入新技術後再進行整理。

三、歷年研究成果延伸與應用

盤點由 2008 年至 2020 年之委辦及研究案件成果，共 2,009 件。以空間資訊類而言，目前國內外已發展多種可應用於判讀地形地貌與輔佐現地勘查用之圖資，包含正射影像、等高線圖、分層設色圖、日照陰影圖等。可用於大面積檢視山坡地歷年之變化過程，然而上述之圖資表現方法仍有其限制，並可能造成使用者遺漏重要的地形資訊，進而增加防災決策時之風險。

今年 (2021 年) 本計畫加值應用由 UAV 所空拍製作之高精度數值模型 (DEM、DTM 及 DSM) 等圖資，產製 H.O.S.T 地圖及 CS 地圖，應用於地形地貌特徵判釋，且編撰「H.O.S.T 地圖及 CS 地圖判釋與應用 BigGIS 繪製判釋圖資」一本技術手冊，如圖 2- 8 所示。

H.O.S.T 地圖為 2016 年及 2017 年創新研究計畫補助成果，由國立中興大學水土保持學系蕭宇伸副教授開發出新形態之三維視覺化地形圖，並以地形高程 (Height)、地形開闊度 (Openness) 及地形坡度 (Slope) 與地形 (Terrain) 之英文字首取名為 H.O.S.T 地圖 (圖 2-8)，並於 2018 年 6 月取得國內專利 (I627602 號)。

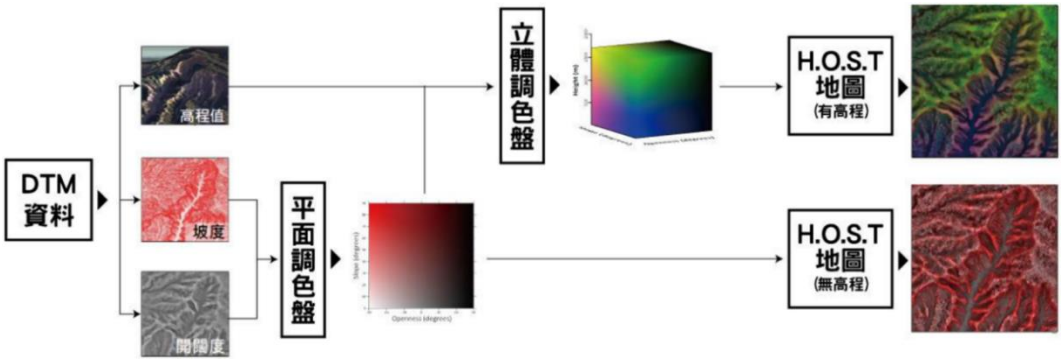


圖 2- 8 H.O.S.T 地圖製作原理。

由於 H.O.S.T 地圖，可顯示出更細微的地形特徵資料，使調查人員在室內即可對該地區之環境與地質、地形特徵等資訊，以及集水區內土石流潛勢溪流溢流點、大規模崩塌潛勢區災害潛勢、災害型態及影響範圍，有初步的了解。縱使是未經訓練的一般民眾，亦可直覺的判讀道路、山脊和山谷等地形特徵 (圖 2-9)，且使地圖判釋者更容易將二維圖資自動轉換成具有立體感的三維地形，將其應用於地形與地質災害的判釋。

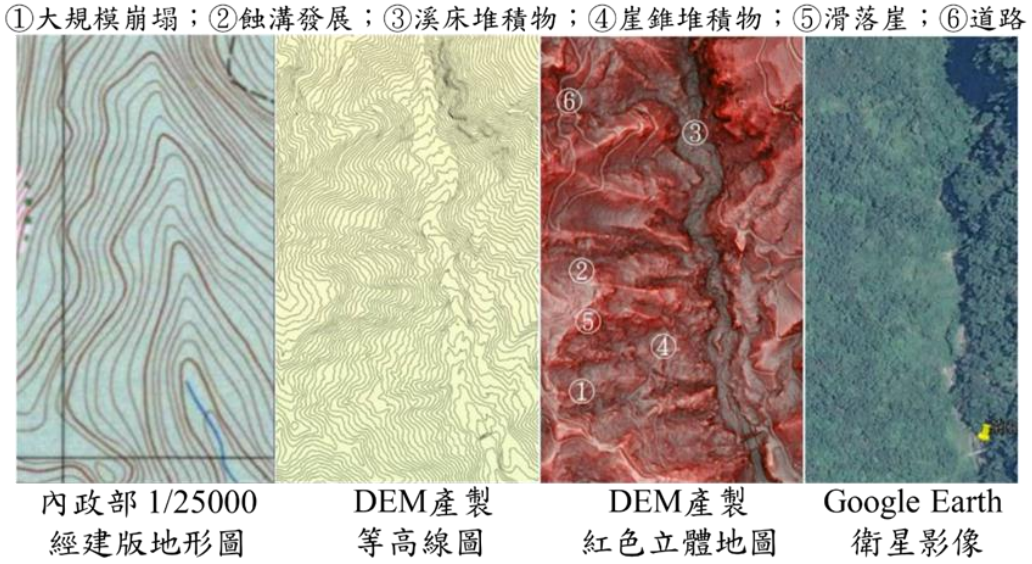


圖 2-9 相同地點於不同型態地形圖呈現之效果

CS 地圖為日本長野縣立林業研究中心 (長野県林業総合センターが) 設計出結合地形高程 (Height)、地形曲率 (Curvature) 及地形坡度 (Slope) 之地形圖，並以地形曲率及地形坡度之英文字首取名為 CS 地圖 (CS 立体図)(圖 2-10)。目的為讓使用者更容易判讀地圖上的地形特徵，並且強調未經訓練的人亦可直覺的判讀出地形特徵與立體感。

由於 CS 地圖所應用之曲率概念 (圖 2-10 A)，同時考量平面曲率與剖面曲率，讓地圖使用者在判讀時能更精準的了解整個坡面的水

流流動情形，其於局部地貌之凹凸曲率判讀較 H.O.S.T 地圖優越，且使用兩種色系來呈現不同的地貌。顏色配置為青色 (RGB 配色: 32, 91, 109) 漸層至橘紅色 (RGB 配色: 183, 94, 62)，如圖 2- 10 B 所示。當局部地貌呈現青色，表該地屬凹面型地貌，顏色越濃則凹陷程度越劇烈；反之，當局部地貌呈現橘紅色，表該地屬凸面型地貌，顏色越濃則凸出程度越劇烈。故 CS 地圖於水路相關應用及局部微凹凸地形的判釋優於 H.O.S.T 地圖。

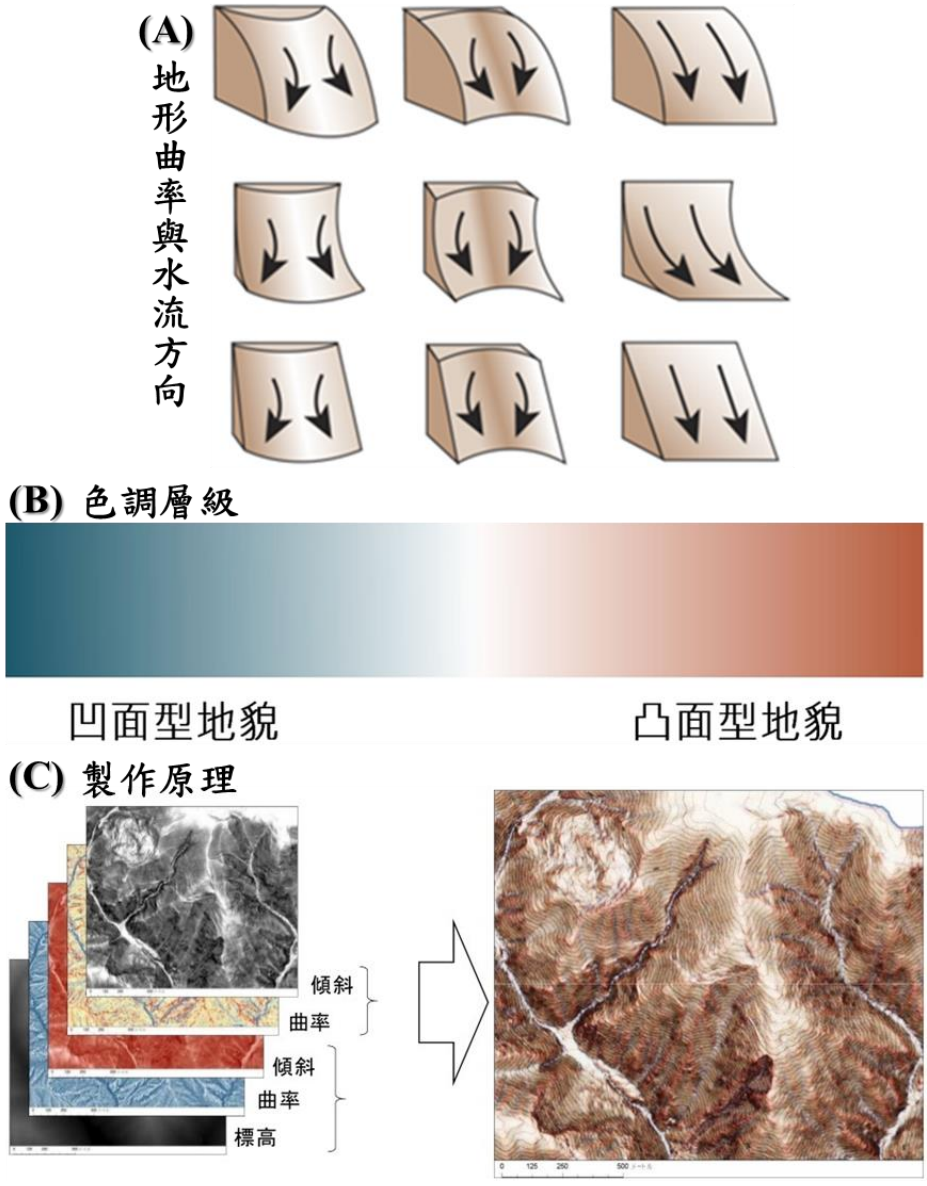


圖 2- 10 CS 地圖 (A) 地形曲率；(B) 色調層級；(C) 製作原理

過去在進行現地調查時，因調查地質災害潛勢區位面積甚大、地形陡峭、人力與交通不可及等因素，而難以進行完整的細部調查。近年來，國內相關單位透過航遙測技術，利用航空載具所拍攝之影像與產製成數值地形，進行發生潛勢位置之判讀與細部地形判釋，已具初步成效。因此，在進行現地調查前，在室內進行細部特徵影像判釋，以事先瞭解災害潛勢地區其地形特徵與地質環境，再透過野外查核，驗證特徵判釋正確性，以免發生誤判的情形，也可減少現地查核時因找不到特徵所耗費之時間。

本計畫於今年 (2021 年) 編撰之「H.O.S.T 地圖及 CS 地圖判釋與應用 BigGIS 繪製判釋圖資」，其內容介紹 H.O.S.T 地圖、紅色地圖及 CS 地圖之製作方式，並針對大規模崩塌潛勢區及土石流潛勢溪流影響範圍進行地形特徵判釋，且以圖文方式說明如何判釋地形特徵及如何於野外進行檢核，重點內容摘入如下：

潛在大規模崩塌發生滑動破壞前，會經過很長的孕育發展，且在滑動過程中，地表上會產生一些細微的地形特徵，成為研判潛在大規模崩塌的重要判釋依據。主要的崩塌地形可分為冠部、陷落區 (滑動體)、隆起區和河谷型態，細微的地形特徵有冠部裂縫、冠部崩崖、主崩崖、子崩崖、側邊崩崖、侵蝕崖、侵蝕溝、反向坡、多重山脊、陷溝、河道侵蝕、坡趾隆起等等 (Varnes, 1978；Agliardi et al., 2001；千木良雅弘, 2011)，如圖 2- 11。

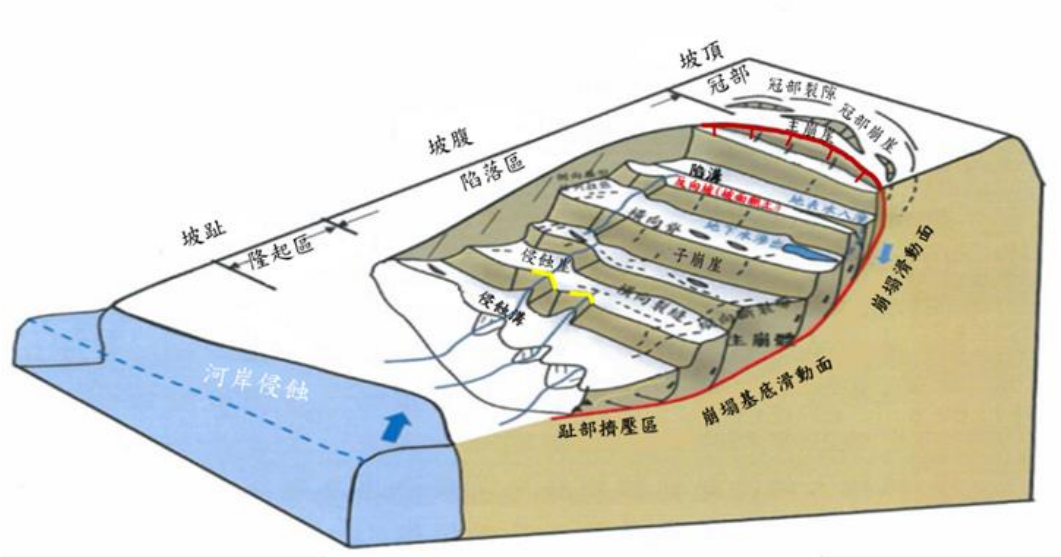


圖 2- 11 潛在大規模崩塌地形特徵示意圖 (修改自 Varnes, 1978)

潛在大規模崩塌判釋成果，如圖所示，以桃園復興區光華地區之大規模崩塌潛勢區 T002 (簡稱 T002) 為例，其地貌有主崩崖、3 階子崩崖、側邊崩崖、侵蝕崖、侵蝕溝及裂隙等特徵。

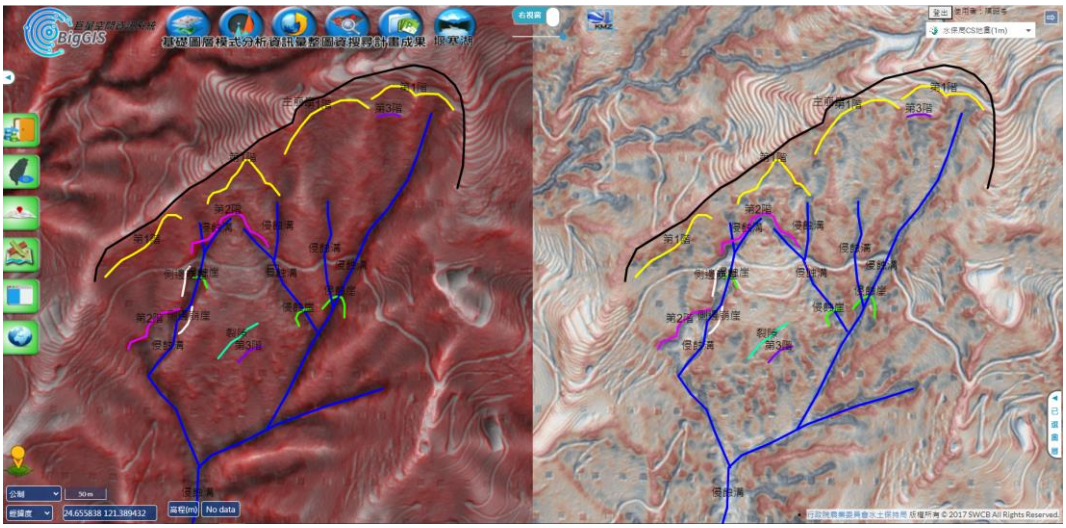


圖 2- 12 大規模崩塌微地形特徵

近年來水土保持局依「土石流潛勢溪流劃設作業要點」(2019a) 及「土石流潛勢溪流劃設作業手冊」(2019b) 等規定，利用相關圖資判釋土石流潛勢溪流，劃設影響範圍，掌握災害潛勢，並進行溪流調查分析，提升土石流潛勢預測能力及有效進行災害防治工作，作為各項

土石流防災整備與緊急疏散之參考，讓範圍內的民眾提前做好防範措施，將土石流所造成的損失降至最低。

土石流潛勢溪流依照運動階段，可分為發生區、流動區與堆積區，如圖 2-13。發生區，主要判釋特徵為侵蝕溝源頭、崩塌範圍、土石流潛勢溪流集水區範圍；流動區，主要判釋特徵為河床上可見從河道沿岸崩坍下來的土砂材料堆積；堆積區，主要判釋特徵為溢流點位置及堆積扇地貌。

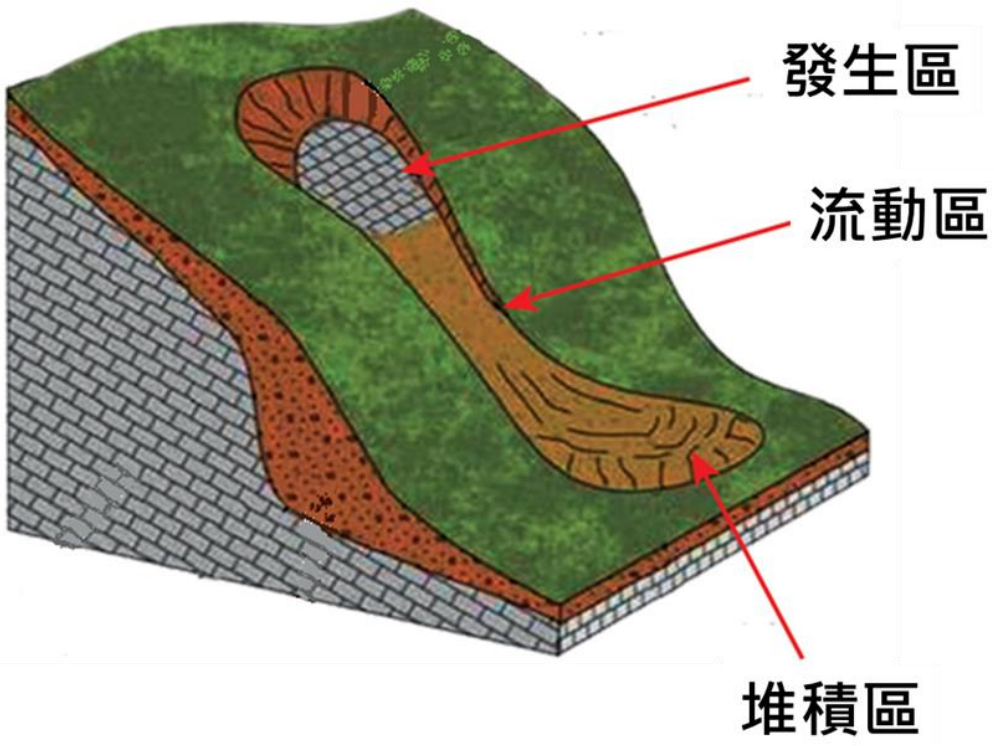


圖 2-13 土石流示意圖

其土石流潛勢溪流判釋成果，依照發育和土砂運移特性，又可將潛勢溪流區分為溪流型土石流及坡面型土石流兩種。溪流型土石流因具有明顯溪谷地形，可明顯看出發生段、流動段及淤積段，其土石流流路較長，集水區面積較大，堆積物前端之礫石呈規則性的排列。判釋成果以南投信義鄉神木村土石流潛勢溪流—出水溪 (簡稱投縣 DF199) 為例，如圖 2-14 所示。

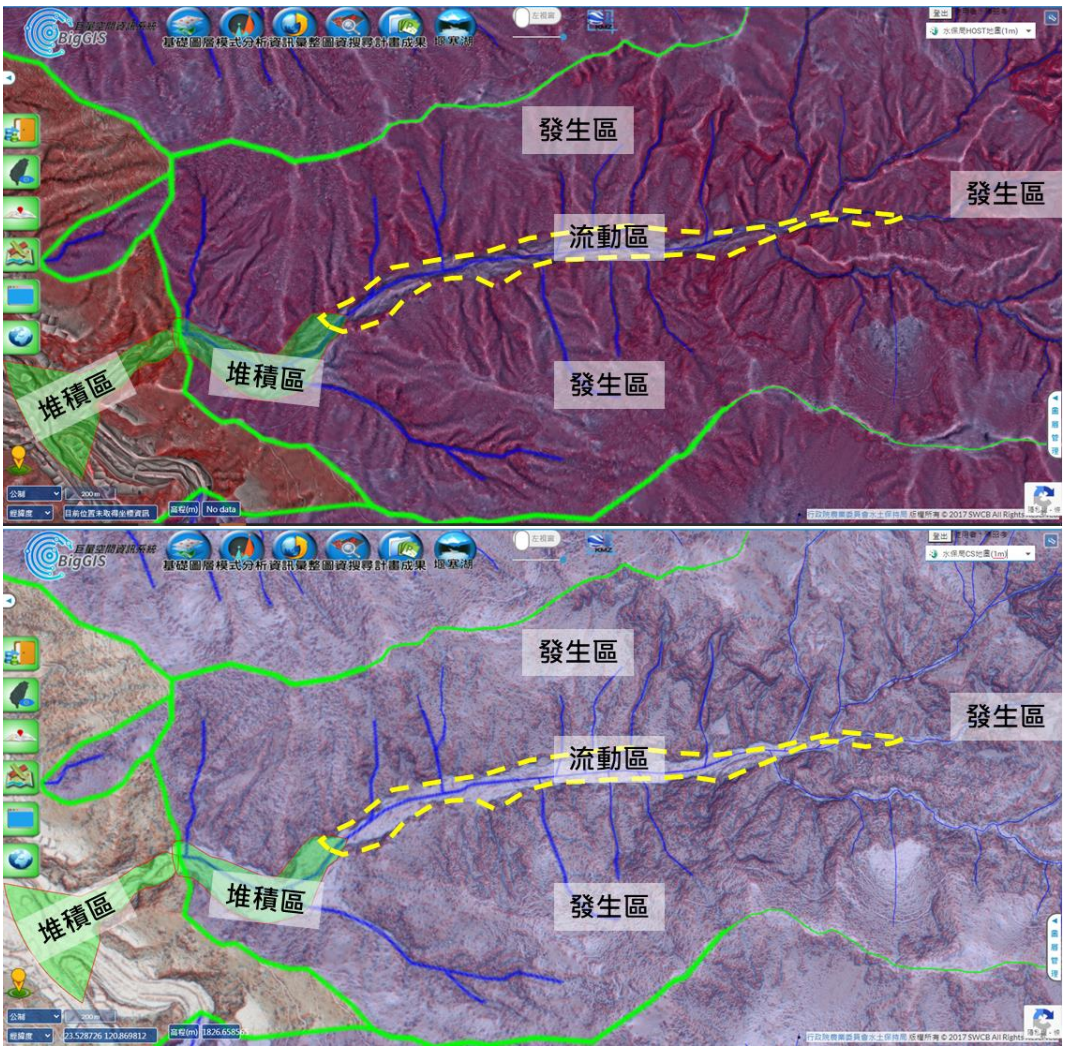


圖 2- 14 溪流型土石流。上圖為 H.O.S.T 地圖判釋成果；下圖為 CS 地圖判釋成果

坡面型土石流因土砂材料僅來自坡面，流量不大，發生及運動過程皆沿著坡面或蝕溝進行，但因坡度陡，水流流速快，土石多為一次性搬運，且稜角均較明顯，而土石多堆積在坡腳或蝕溝出口，堆積範圍與坡面坡度相當，其判釋成果以南投信義鄉仁和村土石流潛勢溪流(簡稱投縣 DF184) 為例，如圖 2- 15 所示。



圖 2- 15 坡面型土石流。左圖為 H.O.S.T 地圖判釋成果；右圖為 CS 地圖判釋成果

第三章 土砂災害變遷分析

本章分別就崩塌特徵判釋、崩塌地植生噴植治理與重大土砂災害影響與衝擊等三項議題，進行土砂災害治理技術的研析與探討。首先，崩塌微地形特徵判釋係選定桃園市復興區光華大規模崩塌潛勢區，完成室內崩塌微地形特徵判釋後，根據判釋成果之大規模崩塌特徵位置，至現地進行野外查核作業，再就判釋結果與室內判釋成果比對驗證。其次，崩塌地植生噴植治理則於南投縣名間鄉仁和村投縣 DF126 土石流潛勢溪流之集水區，進行 UAV 植生復育作業，以高壓空氣噴槍方式灑播由水土保持局與國立中興大學合作開發植生粒劑。最末，重大土砂災害影響部分，則以 2021 年高雄市桃源區玉穗溪明霸克露橋遭沖毀事件，及水里台鐵集集支線崩塌事件為例，以衛星影像、H.O.S.T 地圖及 CS 地圖判釋結合 BigGIS 線上分析工具，探討重大土砂災害其崩塌率、影響範圍及歷年地表地貌變遷情形。

第一節 大規模崩塌潛勢區現地勘察

一、緣起

桃園市復興區光華地區長期 (2002 年~迄今) 有邊坡滑動情形，一旦發生崩塌將直接影響區域內之保全對象，包含 (1) 導致光華農路中斷，影響人員進出；(2) 崩塌材料阻斷光華道路，影響人員 (嘎拉賀部落及後光華地區) 進出；(3) 影響石門水庫自來水水質。

根據監測成果顯示，於 2020 年 9 月至 2021 年 1 月，地表伸縮計及孔內伸縮計變位量持續增加，而今年 (2021 年) 初邊坡變位速率有加速之趨勢。綜上所述，光華地區邊坡持續變位，且近期變位速率有增加趨勢，後續可能在進一步加速而發生破壞，研判致災風險甚高，

針對受邊坡滑動直接影響之光華農路及崩塌土砂可能堆積之光華道路，設置警告標示，提醒用路人目前邊坡有崩塌風險，並通報村里及當地用路人避免使用道路。

本計畫在完成室內崩塌特徵判釋後，根據判釋成果之大規模崩塌特徵位置，至現地進行野外查核作業，並針對判釋結果進行室內判釋成果驗證。因透過室內圖資進行判釋時，僅能判釋地形與坡面型態，無法判釋出崩塌滑動體之活動性，因此於野外檢核時，一併進行調查滑動體內部人工建物毀壞情形，藉此瞭解大規模崩塌滑動體之活動性。

二、材料與方法

(一)研究區域

大規模崩塌潛勢區，編號桃園市-復興區-T002 (簡稱光華崩塌地)，位於桃園市復興區華陵里，圖幅編號 96222036，水系屬淡水河流域中上游支流-光華溪，屬石門水庫集水區，潛在崩塌面積 12.3 ha，平均坡度 40.7 度。潛在崩塌區位形狀近似長方形，潛在崩塌區最高海拔約 1,350 m，最低海拔約 990 m，最大長度約 530 m，最大寬度約 380 m，坡向朝東方。交通方面可由台 7 線通過巴陵大橋後，右轉至爺亨產業道路，銜接光華產業道路及農路可抵達。本次崩塌範圍其面積約 1.1 ha，崩塌範圍最高海拔約 1,207 m，最低海拔約 996 m，崩塌邊坡坡型為直嘴型，如圖 3- 1 及圖 3- 2 所示。

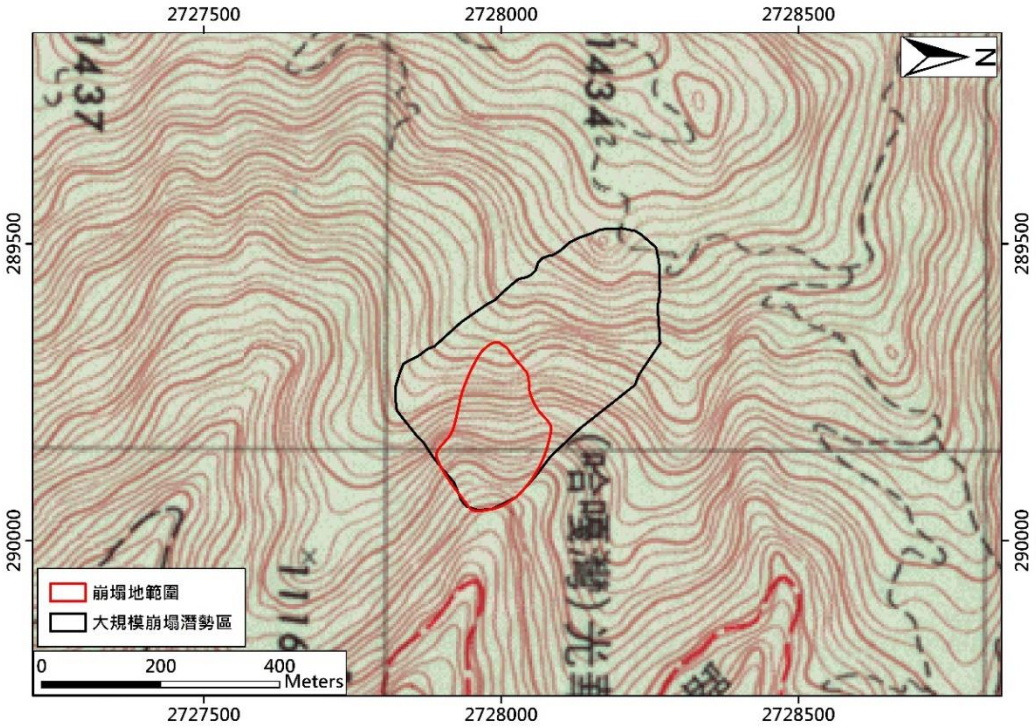


圖 3- 1 光華崩塌地之地理位置圖

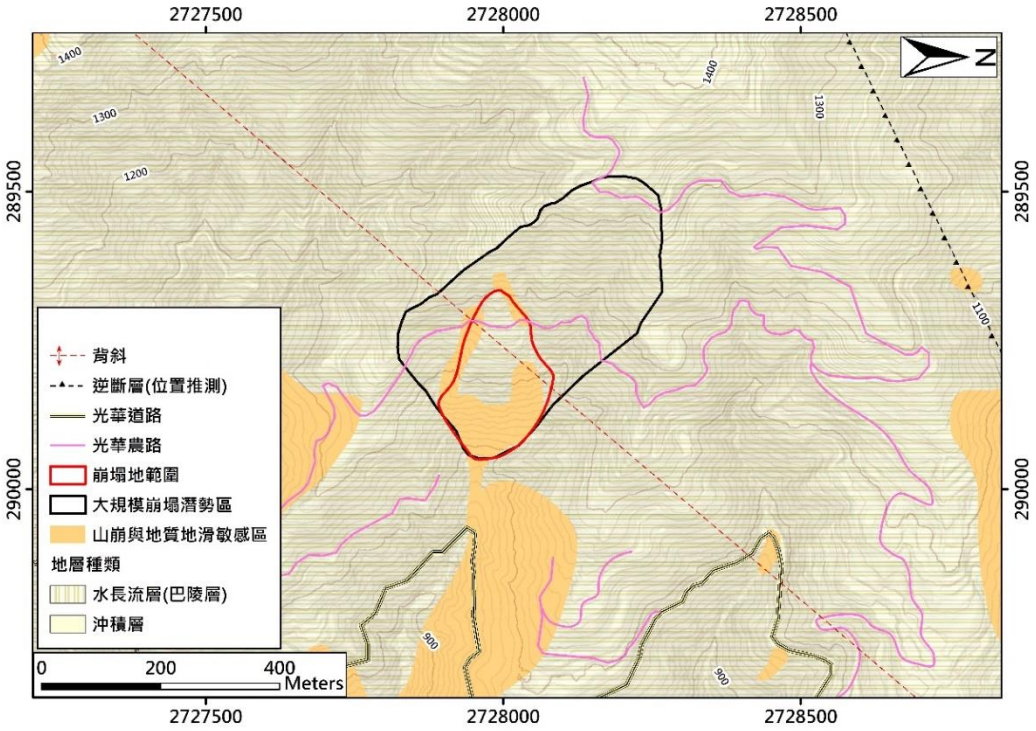


圖 3- 2 光華的地質敏感區圖

本處災點邊坡所在地層為水長流層之巴陵層 (PI)，其岩性以暗灰色至灰色之硬頁岩及板岩組成為主，偶夾細粒砂岩，地質年代屬漸新世晚期。整體而言，岩層層面向西傾，與地形坡向相反，為逆向坡。地質構造方面，崩塌地位置有一背斜軸通過，附近有檜山斷層，如圖 3- 3。經調查，光華崩塌地之坡趾、侵蝕溝與崩崖等，曾因發生過土石崩塌，且有發生山崩或地滑災害之虞，已於 2015 年 12 月經公告為桃園市山崩與地質地滑敏感區 (L0011)。

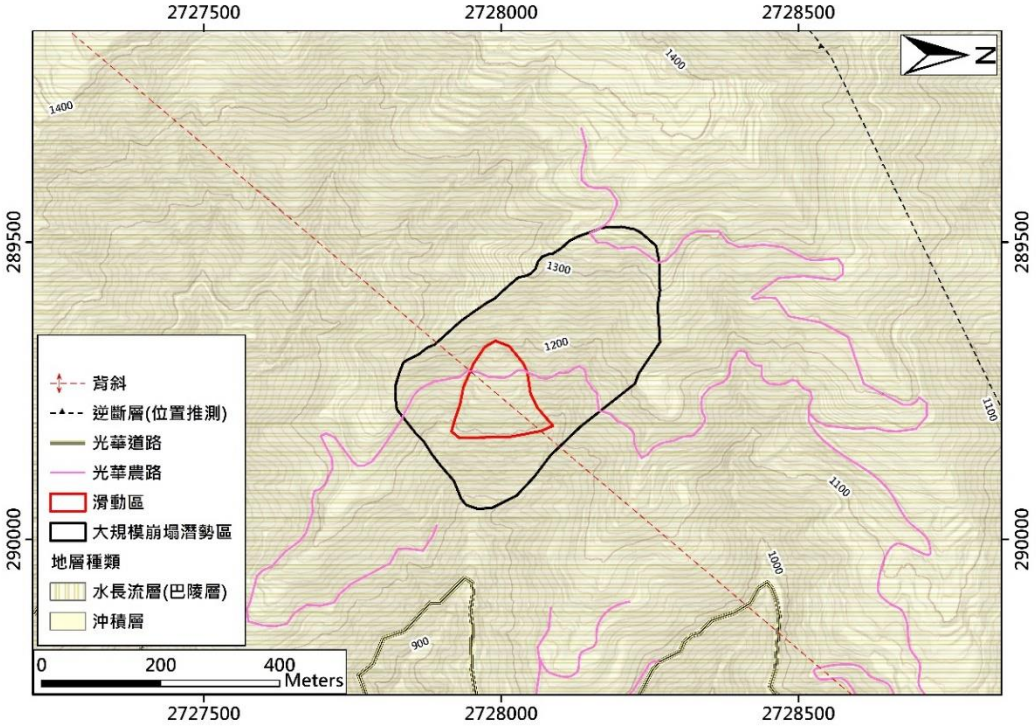


圖 3- 3 光華崩塌地之地質圖 (五萬分之一流域地質圖)

(二)崩塌特徵檢核方法

雖然藉由航遙測技術，所提供的高精度、高解析度數值地形，可清楚展現細微的地形起伏特徵，協助進行地形判釋，對於關注地區的環境可事先了解其地形、地質等環境狀態。然現地調查之目的為取得現場資料及蒐集相關環境資料 (岩性、地層位態等地質數據)，透過室內進行地形及圖資的判釋，可縮短後續現地調查之時間並獲取調查對

象所在區位詳細資訊，且可進一步檢核與比對地形判釋成果。

對於潛在大規模崩塌潛勢區是否有活動徵兆，透過現地調查是最為直接與必要的檢核方式。若擋土牆、道路或結構物等人工建物中，出現方向一致、具連貫性的裂縫，則可能反映崩塌的前兆與範圍，配合影像或地形判釋的圖資，可清楚界定崩塌的範圍。若在現地調查時，發現裂縫重複出現或有持續擴大的現象，則顯示該邊坡近期應具較高活動性。

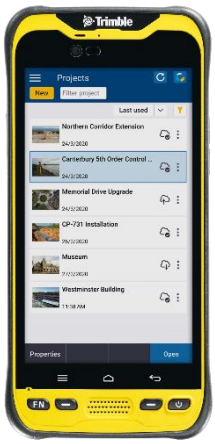
(三)野外調查儀器

調查儀器包括：P4P Pro2、Marvic Pro、測量覘標、噴漆罐、手持式 GPS、e-GNSS、腳架、掌上型 GPS 衛星定位儀、傾斜儀、數位相機、望遠鏡、調查地點禁航區地圖、外業拍攝地點任務規劃、手持測距望遠鏡、地形、地質、環境地質圖、地質錘、皮捲尺等外業調查設備。各測量儀器規格之性能諸元如表 3- 1 所示。

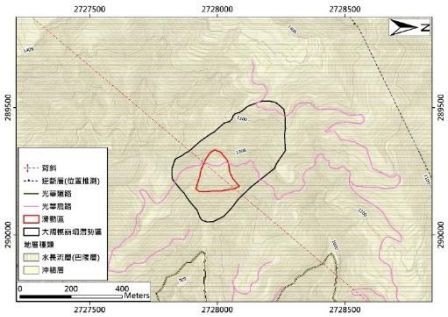
表 3- 1 野外調查儀器

儀器名稱	功能	照片
P4P Pro2	執行自動/半自動光學遙測與現勘巡檢、測繪	
Marvic Pro	執行自動/半自動光學遙測與現勘巡檢、測繪	

儀器名稱	功能	照片
測量覘標	執行 UAV 控制點佈設	
噴漆罐	執行 UAV 控制點佈設	
手持式 GPS	於現勘測繪時進行座標與高程校準	
EGNSS	於現勘測繪時進行座標與高程校準	

儀器名稱	功能	照片
腳架	輔助 EGNSS 相關儀器進行現場定位固定用	
掌上型 GPS 衛星定位儀	於現勘測繪時進行座標與高程校準	
傾斜儀	於現勘測量裸露岩層之位態	
數位相機	輔助現場進行現勘紀錄，結合 GPS 系統輔助地面測繪與建模	

儀器名稱	功能	照片
望遠鏡	現地觀測 UAV 飛行情況、遠距離物品觀測	
調查地點禁航區地圖	現勘內業規劃與任務擬定、簡報用	
外業拍攝地點任務規劃	現勘內業規劃與任務擬定、簡報用	
雷射測距望遠鏡	現勘輔助測量兩個目標之間實際距離、水平距離、高度、角度和垂直距離。	

儀器名稱	功能	照片
皮捲尺	現場勘查，輔助標的物測繪用	
地形、地質、環境地質圖	現場勘查時，用於檢核室內判釋成果與測繪現地裸露地位置。	
地質錘	現場勘查，進行岩石蒐集、採樣用	

三、調查結果

現地調查目的為 (一) 崩塌地形特徵檢核；(二) 崩塌活動性檢核。

(一) 崩塌地形特徵檢核方面，依據查核方式區分為實地查核與 UAV 影像拍攝查核，其查核點如圖 3- 4 所示。

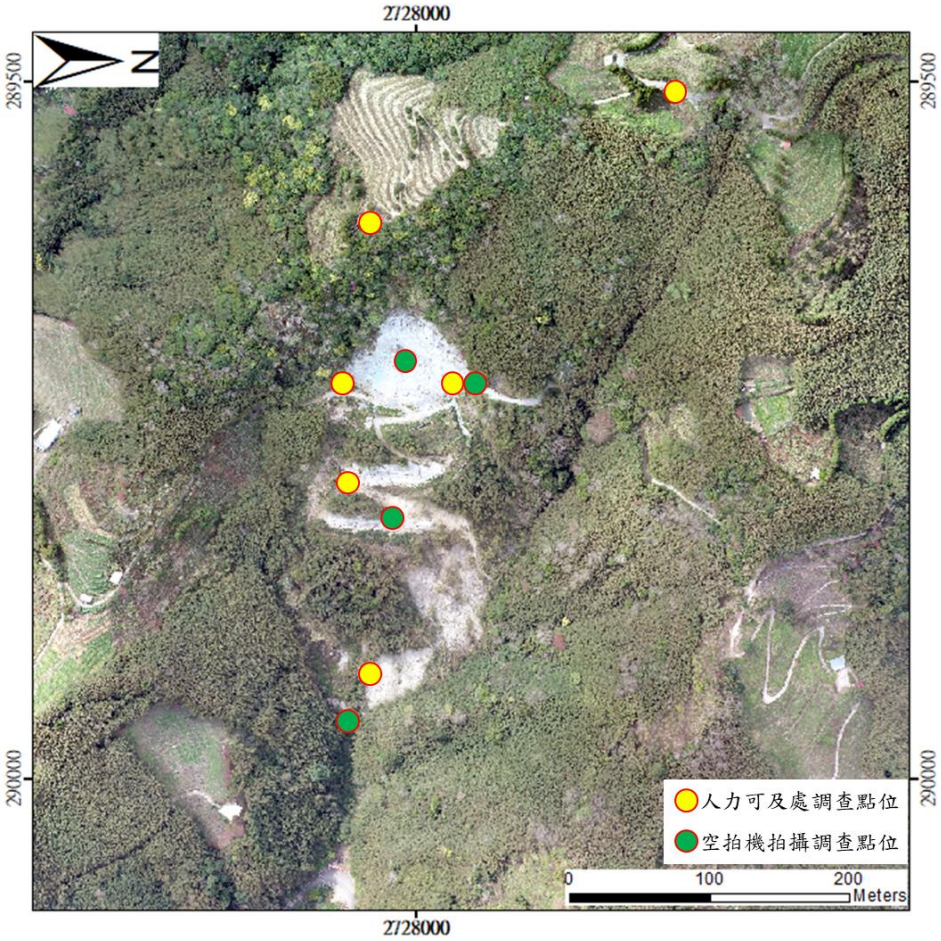


圖 3- 4 光華崩塌地現地查核點位圖

在人力可達處主要位於光華農路與光華道路周邊，可觀察到崩塌冠部、坡腹與坡趾地形特徵。崩塌地冠部受人為開發影響，已被開墾為等高線梯田 (圖 3- 5)，因此現場冠部非為自然地形，並未見崩塌冠部特徵。主崩崖亦受人為開發影響，多數地區已被開墾用於種植蔬菜或果園，未見崩塌裸露地，然主崩崖邊界上，邊坡擋土牆與道路上有裂縫產生，開口約 1~3 cm (圖 3- 6)。崩塌主體內部現生崩塌區域，可

見第二階子崩崖崖面落差及護坡工程毀損，其崖面落差至少 2 m 以上(圖 3- 7)，並已造成光華農路毀損，目前已無法通行。於光華道路上往坡面方向觀察坡趾，可見坡趾左側邊坡有格梁護坡，然格梁護坡已有隆起及破壞等現象 (紅框)，而右側邊坡則因護網破損而導致現生崩塌地裸露 (橘框)，如圖 3- 8 所示。



圖 3- 5 崩塌地冠部已被開墾為等高線梯田 (拍攝日期 2021/02/23，拍攝方位角 315 度)

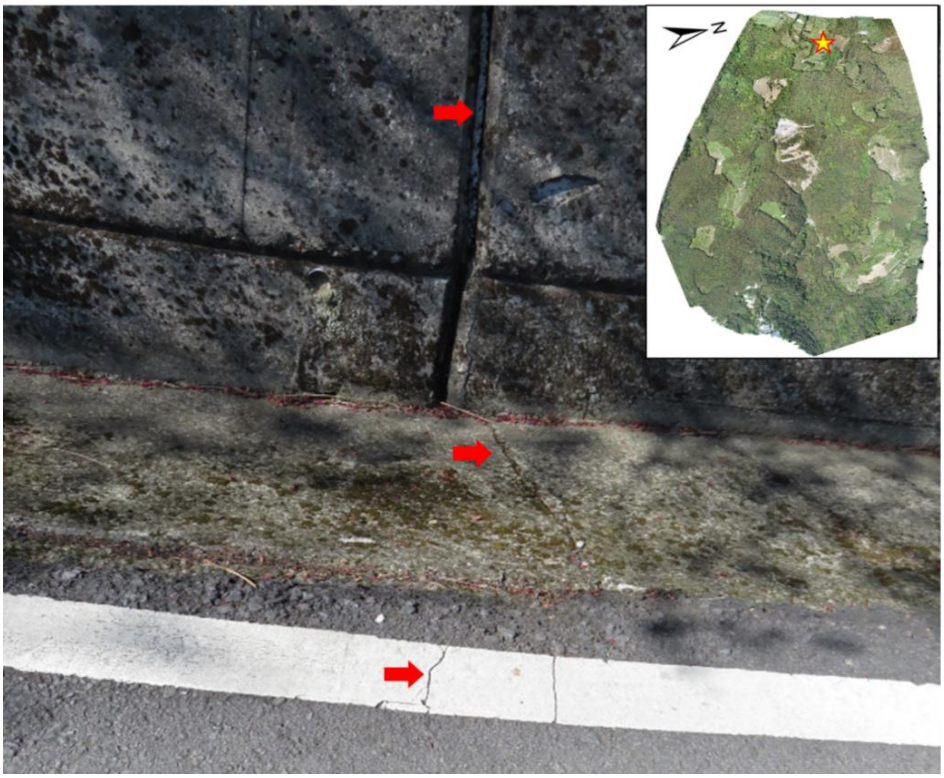


圖 3- 6 主崩崖邊界擋土牆與道路裂縫 (拍攝日期 2021/02/23，拍攝方位角 315 度)



圖 3- 7 子崩崖崖面落差明顯 (拍攝日期 2021/02/23，拍攝方位角 180 度)



圖 3- 8 坡趾處地形特徵。左側邊坡 (紅框) 格樑護坡隆起及破壞；右側邊坡 (橘框) 有現生裸露崩塌地 (拍攝日期 2021/02/23，拍攝方位角 270 度)

對於人力不可及之位置或地形特徵，使用 UAV 進行拍攝。大規模崩塌潛勢區內有現生崩塌地，如圖 3- 9。現生崩塌主體為一施作噴凝土護坡之坡面，然已有明顯之裂隙，位於護坡上，裂隙寬度至少 2 m，如圖 3- 10 所示。位於光華農路邊放置 GPS 等儀器及擋土牆位置，可見明顯路基流失，形成現生崩塌裸露地，如圖 3- 11 所示。

坡面右側坡腹處已有明顯現生崩塌裸露地，且有裸露面積擴大的情形產生，如圖 3- 12 所示。現生崩塌坡趾處，可見南側坡趾處之格梁護坡已遭受推擠變形，顯示有趾部隆起的現象，而北側坡趾處有現生崩塌裸露地。此崩塌滑動體坡趾位處一束口地形，若發生崩塌或滑移，土體會先疊置於此束口處或遭束口地形束縮，使滑動體不至於立即影響光華道路 (圖 3- 13 及圖 3- 14)。

另外針對坡面侵蝕溝地形特徵查核方面，光華地區潛在大規模崩塌地在現生崩塌南北兩側，各有一明顯之侵蝕溝地形，且已發育雙溝同源的地形特徵，如圖 3- 15 所示。



圖 3- 9 T002 之現生崩塌地 (拍攝日期 2021/3/17)



圖 3- 10 噴凝土護坡已有明顯裂隙產生 (拍攝日期 2021/3/20)



圖 3- 11 光華農路路基流失與形成現生裸露崩塌地 (拍攝日期 2021/6/17)



圖 3- 12 右側坡腹明顯現生崩塌裸露地 (拍攝日期 2021/3/30)



圖 3- 13 坡趾處有大面積現生裸露地與格梁護坡毀損 (拍攝日期: 2021/03/30)

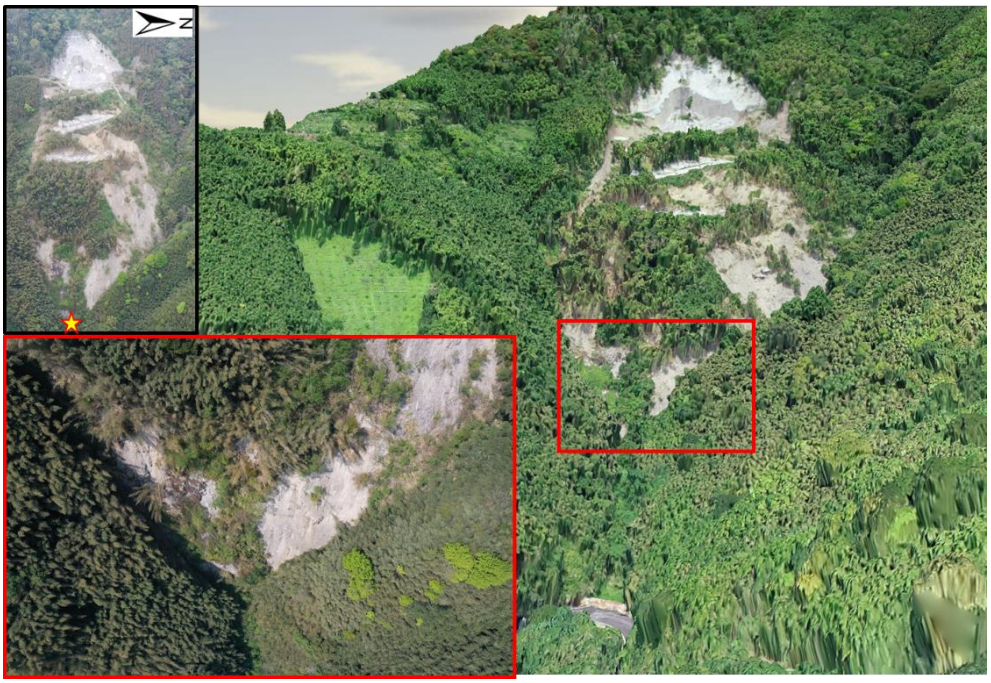


圖 3- 14 坡趾束口地形特徵 (拍攝日期:2021/03/20)



圖 3- 15 坡面侵蝕溝地形特徵，已發育雙溝同源特徵 (拍攝日期: 2021/03/22)

(二) 崩塌活動性查核方面，因崩塌活動造成的自然崩塌特徵容易受地表侵蝕作用影響而消失或改變，但人工建物一旦遭受破壞則相對容易觀察及保存崩塌活動的證明，因此可用於協助了解崩塌活動性，崩塌活動性檢核皆位於崩塌活躍程度最為活躍之區域內。位於崩塌滑動體內光華農路周邊，可見邊坡護坡工程已有破壞且持續擴大的情形產生，如圖 3- 16，且光華農路部分路基已流失 (圖 3- 17)，顯示此區大規模崩塌活動性非常活躍。根據人工建物破裂的方向與傾倒方向，可了解滑動體之滑動方向，並根據此現象推測滑動體之活動情形。綜合上述種種崩塌特徵跡象顯示，**崩塌活動體活動方向可能朝向東方。**



圖 3- 16 邊坡護坡工程已壞損 (拍攝日期:2021/03/08，拍攝方位角:180 度)



圖 3- 17 邊坡擋土牆路基流失 (拍攝日期:2021/08/17，拍攝方位角:135 度)

現生崩塌坡腹處，亦可見橫向排水及護坡工程破損嚴重，有多條東西向的裂隙產生，整體坡面有向左側傾斜的現象，也有現生裸露地在右側坡腹處生成，如圖 3- 18。



圖 3- 18 邊坡工程有多處毀損 (拍攝日期 2021/03/08，拍攝方位角: 0 度)

四、結論

本計畫藉由野外調查，了解光華崩塌地之坡面滑動體活動情形，崩塌地形查核成果方面，冠部及主崩崖地區因人工開墾等因素，未找到裂縫或崩崖地形特徵，僅有山脊之線型地形特徵，崩塌滑動體並未影響至冠部區域，但坡腹處之崩塌活動情形，目前因人力不可抵達，致使無法獲取調查資料，而未有調查測量資料，因此對於崩塌滑動體其上部地區之影響性存有不確定性，但仍需加以注意，是否會因坡腹之崩塌滑動體其土體流失，而造成冠部已開墾地區之連動性，則為後續光華崩塌處所需該持續觀察情形。

在人工建物破壞查核方面，光華農路、道路上有多處裂隙生成；光華農路邊之噴凝土護坡已遭受破壞，且有持續開裂的情形產生；由於活躍之崩塌滑動體影響，致使光華農路路基多已流失，造成道路中斷，無法通行。

綜合以上查核成果，光華崩塌地透過野外崩塌特徵檢核與室內高精度空載光達數值地形判釋之崩塌地形特徵與野外崩塌特徵查核成果吻合，且由人工建物的破壞情形認為此崩塌的活動特性屬非常活躍，至今仍有活動跡象，並持續擴大的現象，而由人工建物破壞所產生之裂隙開裂方向，可知崩塌活動體活動方向可能朝向東方。

雖然目前光華崩塌地之風險已降低，然仍有持續滑移之現象，因此建議水土保持局仍須持續進行常態監測，以瞭解並掌握崩塌地滑移情形，或可增加 UAV 拍攝，以瞭解整體崩塌地地貌變遷與後續所產製圖資之加值應用，而針對光華農路裂縫或有影響之區域，應實施裂縫工程填補或制定相關治理短、中及長程方案。

第二節 陡坡崩塌地無人飛行載具噴植工法之精進研究

一、前言

近年受惠於各種感測器微型化發展，搭配 UAV 的普及，相關成果已被廣泛應用於各領域，並具有突破性的發展。由於無人機具有低成本、體積小、高機動性、風險低、且可克服地形、人力限制等優勢，可運用於地形測繪、區域巡查、植生撒播與防災勘查等任務，已成為現場勘查工作不可或缺的工具。

由於台灣的地質相對年輕，集水區上游邊坡常因強降雨、地震等天然災害造成崩塌，且由於較偏遠地區人力不易抵達，致無法以工程手段加速復育。過往對於交通不易抵達之崩塌地常採航空噴植，但航空器使用費高昂且施工需精準專業技術，以致無法廣泛推廣，現今 UAV 應用於航空植生已蓬勃發展，故自 2018 年起，水土保持局與國立中興大學合作開發植生粒劑，透過 UAV 進行灑播。

考量 UAV 酬載能力有限，於 2020 年之創新研究計畫，改以高壓氣瓶為噴植動力來源，減少水及加壓馬達的重量，透過高壓空氣為輔助推力將槍管中的固態種子單顆擊發，使材料能水平射出落於目標區。惟去年 (2020 年) 之創研計畫未於現地施作，因此於今年 (2021 年) 4 月 30 日上午 9 時 30 分，在南投縣名間鄉仁和村投縣 DF126 集水區進行現地施作 (圖 3- 19)。



圖 3- 19 UAV 執行灑播植生任務

二、材料及方法

(一)研究區域

1. 土石流潛勢溪流基本資料:

本次噴植作業區域為南投縣名間鄉仁和村之土石流潛勢溪流集水區，編號為投縣 DF126，其土石流潛勢溪流基本資料如表 3- 2 所述。

表 3- 2 投縣 DF126 土石流潛勢溪流基本資料表

溪流編號	溪流長度(km)	溪流平均坡度(度)[註]	集水區面積(ha)	溪流名稱	溪流所屬子集水區	保全戶數	鄰近道路
投縣 DF126	0.17	32.3	6.78	番子寮溪支流	東勢閣坑	5 戶以上	山腳巷

註：溪流平均坡度係由套疊內政部 1 m 數值地形模型求得。

2. 水文概況:

投縣 DF126 土石流潛勢溪流 (圖 3- 20)，位處東勢閣坑子集水區內，鄰接萬社子集水區，水系屬於烏溪流域中上游番子寮溪支流。溪流長度為 0.17 km，集水區總面積約 6.78 ha，災害類型屬於溪流型土石流，災害潛勢為高風險等級。

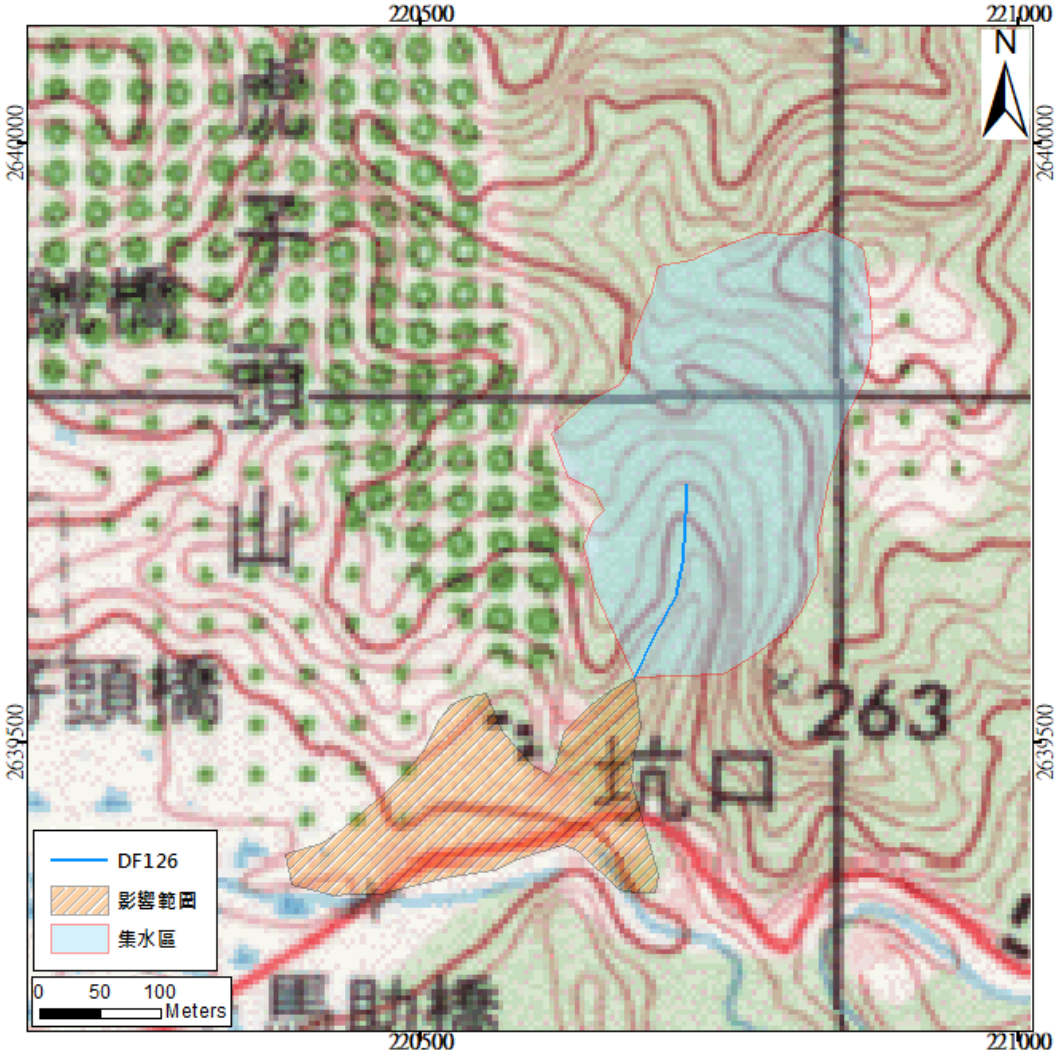


圖 3- 20 投縣 DF126 之地理位置圖

3. 地質概況:

噴植作業區域為上新世至更新世之卓蘭層與現代沖積層 (圖 3- 21)。卓蘭層之岩性為青灰色至淡灰色泥質細粒至粗粒混濁砂岩、粉砂岩、砂質頁岩及砂頁岩互層為主。在地質構造方面，鄰近近南北走向

之車籠埔斷層，致使該地區地層多為破碎的岩層，易受風化與侵蝕作用影響而發生崩塌，為土石流潛勢溪流帶來大量的土砂料源。

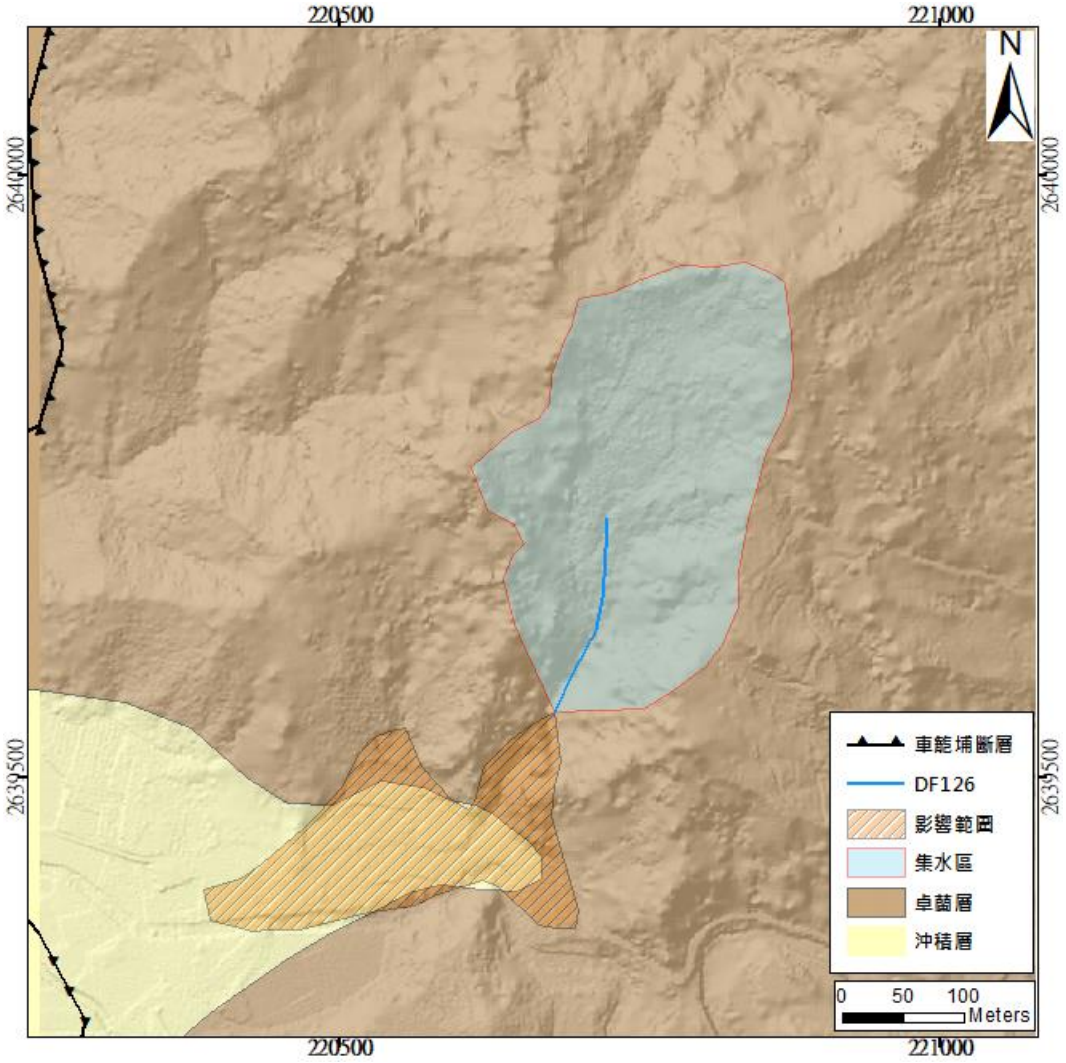


圖 3- 21 投縣 DF126 之地質圖 (五萬分之一地質圖)

4. 災害記錄敘述:

2018 年 8 月 15 日投縣 DF126 發生土石流災害事件，上游坡面崩塌面積約 1.44 ha，長度約 240 m，寬度約 60 m，平均深度約 5 m，崩塌土方量約 72,000 m^3；下游堆積區長度約 150 m，寬度約 120 m，平均堆積深度約 4 m。本次事件造成一座橋樑沖毀，投 39 線中斷 100 m，且有一棟三合院遭掩埋毀損，所幸無人員傷亡。

(二)噴植作業過程

1. 冰球粒劑製成:

本次噴植所使用粒劑大小約 1.7 cm (圖 3- 22)，參照 UAV 播種植生工法手冊之比例約 200 顆種子 (黑麥草)，種子除與水混和製成冰球粒劑外，亦須加入 C-710 黏著劑，並至於零下-10℃之冷凍庫約 3 ~ 5 天，噴植當天之運送途中須保存於冰桶 (圖 3- 23)，延緩融化時間。



圖 3- 22 冰球粒劑



圖 3- 23 粒劑施作前之保存

2. 噴植方式:

由於垂直投放式撒播 (圖 3- 24),其係以重力作為動力,所需 UAV 機體較小，惟 UAV 飛行高度高，撒播之精確度較低，與過去人工或航空噴植相比，仍屬於撒播工法而非噴植工法。遂此於 2019 年，透過水土保持局創新研究計畫補助，提出水平式噴植系統 (圖 3- 25)，以高壓氣瓶為噴植動力來源 (圖 3- 26)，減少水及加壓馬達的重量，透過高壓空氣為輔助推力將槍管中的固態種子單顆擊發,搭配微地形之適宜噴植點位萃取,可提高植生復育率,並減少無效植生資材使用,以降低植生資材成本，但噴植作業距崩塌地較近，須於視距範圍，且 UAV 酬載量大。



圖 3- 24 垂直投放式撒播



圖 3- 25 水平式噴植



圖 3- 26 氣動式噴植系統

3. 噴植流程:

本次噴植作業以投縣 DF126 土石流潛勢溪流接近影響範圍處隻左右兩側裸露邊坡為施作範圍，左側邊坡上部為土黃色薄砂頁互層、下部為破碎灰色頁岩，上部為風化之土棕色土壤層，如圖 3- 27 所示；右側邊坡為土黃色土壤層 ，如圖 3- 28 所示。



圖 3- 27 投縣 DF126 左側邊坡



圖 3- 28 投縣 DF126 右側邊坡

噴植前，確認 UAV 儀器準備就緒後，將粒劑倒入彈斗 (圖 3- 29)，起飛至定點後，透過氣槍擊發，射擊至目標區，每趟約可噴植 200 顆粒劑，而每罐氣瓶約可擊發 400 次，因此每施作兩趟則需更換一次氣瓶。施作完成後，利用相機記錄施作範圍粒劑附著情形，並於 7~14 天後於施作範圍觀察發芽情形。



圖 3- 29 粒劑裝填

三、成果與討論

本次噴植作業共施作四趟 (約 800 顆粒劑，即 320 g 種子)，噴植於投縣 DF126 河道兩岸之裸露邊坡 (各 400 顆粒劑)，以目視結果左岸邊坡土壤濕度較高，可以噴射動力直接貫入土壤；右岸邊坡土壤濕度較低，以粒劑撞擊後破碎附著。其施作邊坡投影面積約 160 m^2，施作前一日 (2021/4/29) 有降雨發生 (日累積雨量約 22 mm)。

噴植完工後，以目視觀察冰球粒劑之附著情形發現，受到氣動式噴頭之強大氣壓，可使冰球粒劑擊入土壤中或附著於岩壁上 (圖 3-30)，初步判定 UAV 氣動式噴植工法可有效施作於陡峭邊坡 (六級坡以上)，並於後續觀察其植生生長情形，發現生長成效不佳 (圖 3- 31)，推測因缺乏雨水澆灌，後續研究應考慮噴植時天候相關因子。



圖 3- 30 冰球粒劑之附著情形 (左：為完整冰球粒劑；右：為冰球溶化後附著情形)



圖 3- 31 噴植後生長情形 (左:右岸；右:左岸)

四、結論與建議

本次試驗單價分析依本次試驗面積 (160 m^2) 進行估算 (表 3- 3)，本次施工在未考量技術工資下，其材料及機具成本約 20,684 元，即每 0.1 ha 約 129,275 元，然 UAV 噴植非以全面噴植為目的，而是以改良坡面立地環境為出發點，若是一粒劑附著之區位可植生復育後，透過樹島效應可向外擴張，達到全面復育之目的，因此單位面積之單價分析僅供參考。

表 3-3 氣動式 UAV 施工作業單價分析

工作項目：UAV 施工作業費(氣動式)		單位：160 ㎡		
工料名稱	單位	數量	單價(元)	複價(元)
種子	公斤	0.32	300	96.00
黏著劑	公斤	0.60	980	588.00
UAV 機具折損	式	0.100	200,000.00	20,000.00
合計				20,684.00

註：UAV 機具折損數量為 0.1 表示容許非 10 次失事 1 次之條件下。

利用 UAV 搭載氣動式噴植工法較垂直投放式撒播工法適用於陡峭邊坡，並有較高之精確度，且可降低水平濕式噴植之酬載量，並可增加與邊坡之噴植距離達 10 ~ 20 m。冰球粒劑方面，冰凍後之植生粒劑較能承受氣動式噴頭之強大空氣動力，並附著於垂直邊坡。然因考量 UAV 之墜機風險，目前尚無法於 UAV 視距外施作噴植作業。冰球粒劑方面，因受限於體積大小，尚無法施作木本植物之種子，且受限於溫度，僅適用黑麥草等耐寒種子。於施作前，皆須保存於零下 10 度之環境，以避免粒劑融化，導致於施作時在氣槍內發生膛炸現象。

後續建議亦可進行多場域施作，以獲取更多噴植後生長情形，以及觀察單一粒劑植生帶動之樹島效應成果，或可在不同季節進行施作，以觀察各不同季節其噴植後植生生長情形，據以作為後續噴植施做改善方法之用。

第三節 氣候變遷對土砂災害的影響與衝擊

一、盧碧颱風玉穗溪災例分析

(一)災害概述:

受盧碧颱風外圍環流牽引西南氣流影響，全台降下豪大雨，造成多起重大土砂災害。7 日下午約 14 時，高雄市荖濃溪支流—玉穗溪，因強降雨造成溪水暴漲，灰黑色的溪水挾帶大量土石泥砂，而桃源區通往拉芙蘭的明霸克露橋 (南橫公路 (台 20 線) 約 94K 處)(圖 3- 32)，原先溪水面高度就已緊貼橋墩，不到頃刻間，整截陸橋橋身因不敵強烈的水流衝擊，遭溪水分離、沖毀。研判其災害類型為崩塌 (山崩) 及土石流之複合型土砂災害。

災害發生時間，附近雨量站記錄到之有效累積雨量分別為：復興雨量站 (C0V210): 553 mm (如圖 3- 33)；小關山雨量站 (C1V220): 817 mm (如圖 3- 34)。

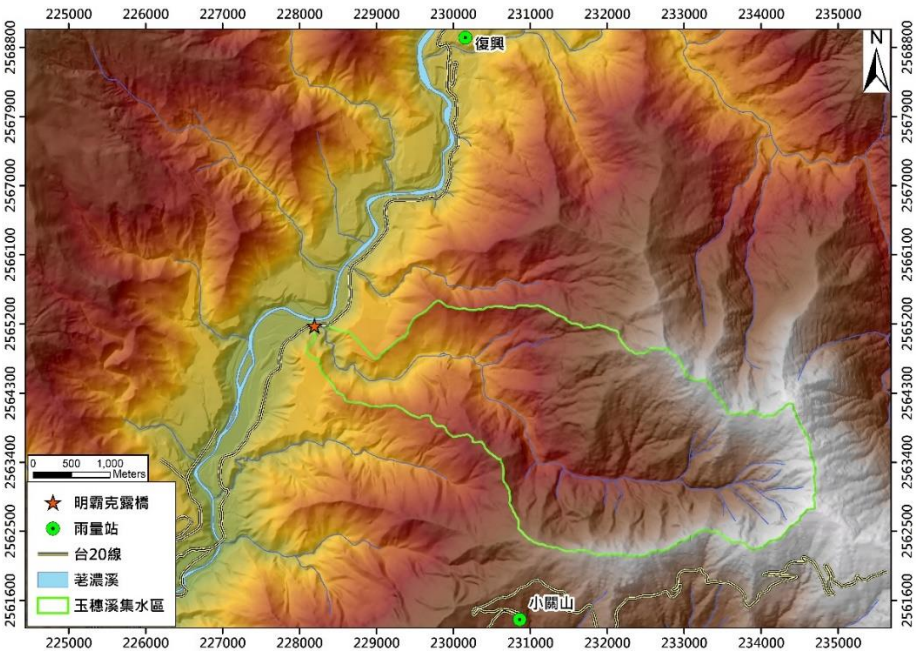


圖 3- 32 明霸克露橋區域位置

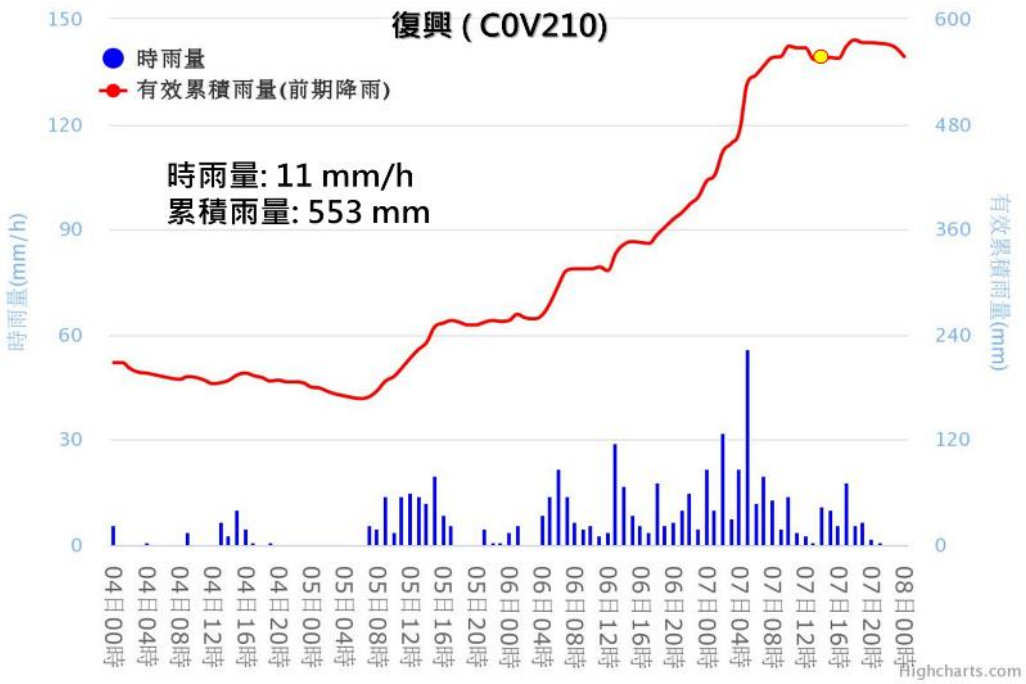


圖 3- 33 復興雨量站雨量組體圖

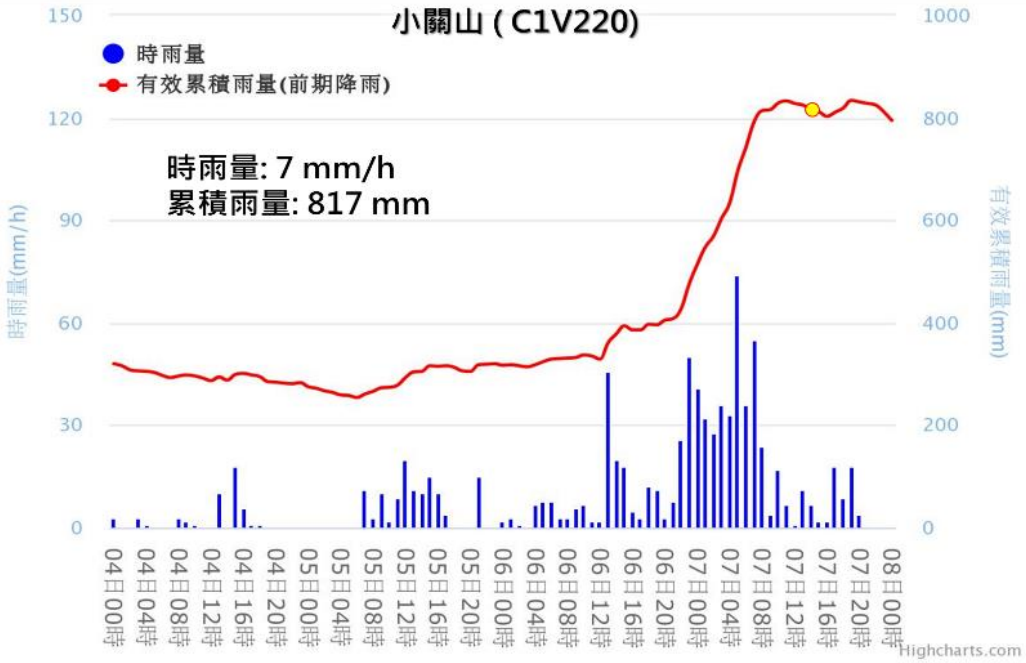


圖 3- 34 小關山雨量站雨量組體圖

(二)歷年崩塌變異性分析:

運用 BigGIS，分析 2017 年至 2021 年災害發生前、後之 Sentinel-2 衛星影像，得知近年玉穗溪地貌變遷，並計算 2017 年至 2021 年災害發生前的崩塌面積及崩塌率，量化呈現崩塌地變遷情形，如表 3-4 所述。

表 3-4 玉穗溪流域崩塌地判釋

拍攝日期	崩塌面積 (ha)	崩塌率 (集水區範圍內)
2017/4/16	100.1	8.13%
2018/3/17	118.4	9.62%
2019/4/11	120.4	9.78%
2020/4/20	113.2	9.19%
2021/7/14	115.3	9.37%
2021/8/28	178.3	14.48%
註：以 BigGIS 判釋集水區內裸露地面積 (含河道)		

2017 年 4 月至 2019 年 4 月，崩塌率逐年增加，顯示該地區之現生裸露地植生復育困難，災害發生後，崩塌面積擴大約 25 ha，相應崩塌率亦增加，由衛星影像上亦可發現上游大面積現生裸露地生成，如圖 3-35 所示，且河道地形因受土石搬運、掏刷影響，河道寬度比上游寬闊，顯示盧碧颱風所帶來之強降雨，造成上游處崩塌地裸露面

積擴大，致使崩落之土砂淤積於河道內或沿河道沖刷至下游。

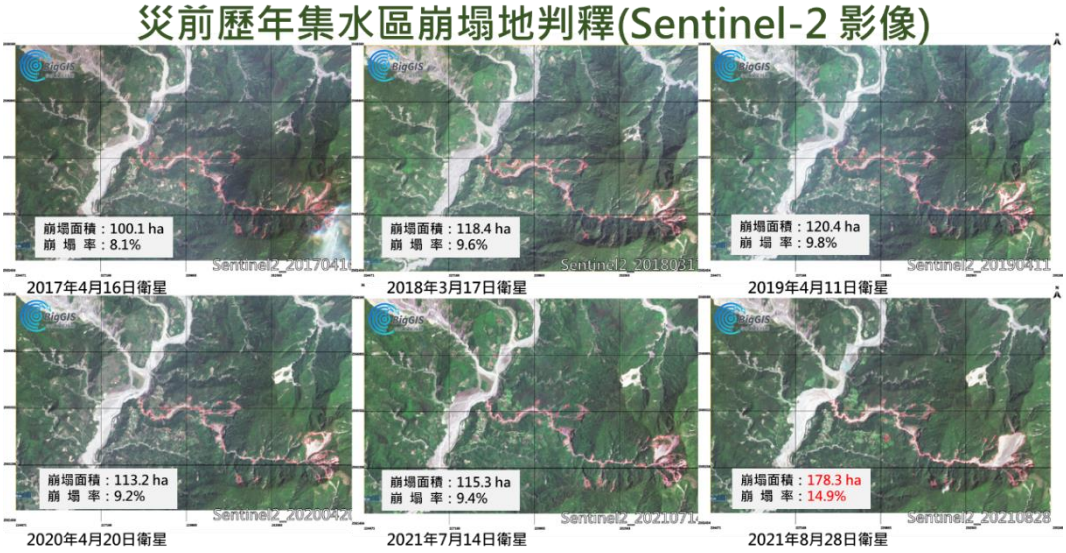


圖 3- 35 歷年集水區崩塌地判釋成果

(三)工程構造物檢核:

玉穗溪之梳子壩工程設施分別於 2018 年 3 月及 5 月竣工，共有 5 座梳子壩坐落於玉穗溪下游河道上，另由 2021 年 3 月 11 日 Pleiades 衛星影像分析發現，仍可清楚看見工程構造物良好 (圖 3- 36)，僅最上游 (E) 處防砂壩之土砂淤積似已淤滿，下游 A、B、C 及 D 處防砂壩尚有淤砂空間，然目前玉穗溪河道內已有大量淤砂累積，未來若有強降雨，可能導致河道內土砂隨水流挾帶至下游區域，進而影響下游工程構造物或致使台 20 線道路再次中斷。

由災後 UAV 空拍之影像發現，5 座防砂壩並無毀損崩解，但皆已遭大量土砂掩埋，僅壩翼部份出露，如圖 3- 37 所示，並由災前及災後 DSM 計算河道內淤砂情形，推估由最上游防砂壩至玉穗溪與荖濃溪匯流口，其土砂淤高約 5~20 m 不等，致使有效高度 5~8 m 之防砂壩體，遭受土砂掩埋。



圖 3- 36 災前玉穗溪防砂壩狀況



圖 3- 37 災前及災後防砂壩狀況比對

(四)災例土砂量推估:

利用災前 (2021/3/11) 由 Pleiades 衛星產製之 DSM 及災後 (2021/8/11) UAV 空拍產製之 DSM 進行比對，分析其土砂變異性，如圖 3- 38 所示，並透過正射影像判釋發現，玉穗溪上游有一大規模崩塌，推估崩塌深度最深可逾 25 m，其土砂生產量約 851 萬 m^3；中上游河道沿岸亦有現生崩塌，推估崩塌深度最深可達 10 m、土砂生產

量約 152 萬 m^3；而中上游河道侵蝕深度約 5 m、侵蝕量約 100 萬 m^3。中上游所生產之大量土砂量體，造成下游河道與沿岸堆積，堆積高度約 8 m、堆積量約 186 萬 m^3，也造成玉穗溪與荖濃溪匯流口，形成土石流沖積扇地形，如圖 3- 39 所示，高度約 12 m，最大高度約達 23 m，堆積土方量約 202 萬 m^3。

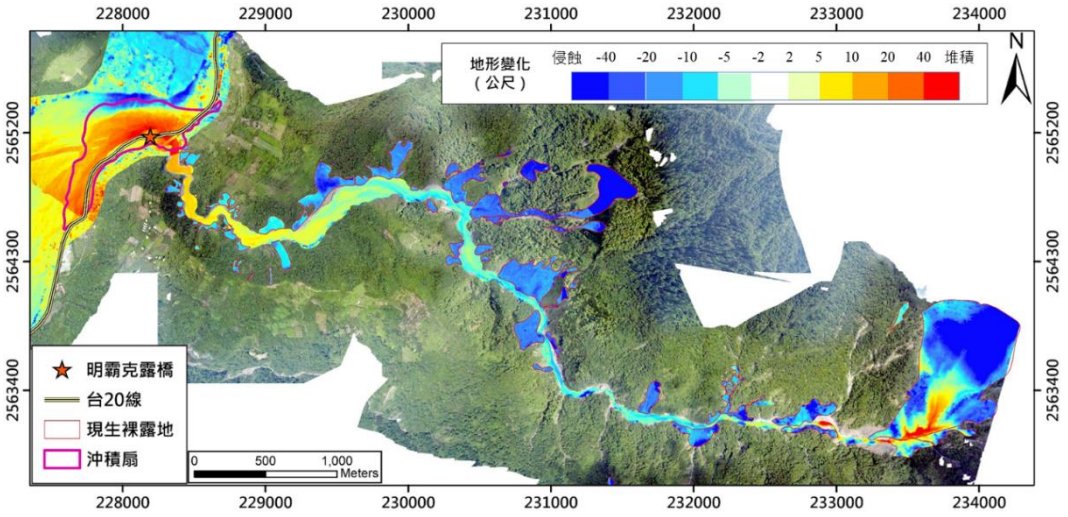


圖 3- 38 玉穗溪土砂量變化



圖 3- 39 玉穗溪土石流沖積扇

(五)評估與建議:

受極端氣候影響，近年來致災性強降雨其降雨強度與頻率漸增。本次玉穗溪明霸克露橋遭沖毀事件，由歷年崩塌地變遷過程可知，其上游崩塌地在災害發生前，崩塌面積及崩塌率已逐步降低，顯示上游坡面已有植生復育之情形，然強降雨後，中上游有大量現生裸露地生成，原先狹窄之河道地形，因受土砂運動之侵蝕與淤積影響，致使河道寬度比上游寬闊，且大量崩落之土砂淤積於河道內。

比對兩期 DSM 變異性發現，上游有大規模崩塌生成，推估崩塌地總面積約 128.2 ha，土砂生產量約 1,100 萬 m^3，然由分析資料可知仍有多數土砂淤積於河道內，尚未隨水流搬運至下游地區，推估目前尚約有 715 萬 m^3 之土砂堆積於集水區坡面及河岸沿岸，如遇降雨一次性大量流出，將危及公共設施。

水土保持局建置之 BigGIS，提供巨量衛星影像、航空照片與 UAV 空拍影像等圖資，並整合多個單位提供之歷年珍貴圖資，以進行初步災害分析以及影響範圍劃設 (陳振宇等，2020)。本次災害發生後，即應用 BigGIS 多張災前及災後衛星影像與多項分析工具 (Sentinel-2 單期影像數化分析及繪圖與分享工具等)，進一步分析災害及其影響範圍劃設，使相關人員可快速獲得災後第一手資料，以釐清災害發生主因、土砂料源及其地貌變異性。

藉由 Sentinel-2 單期光學影像數化分析，僅能快速得知框選區域內或集水區內裸露地面積，然無法剔除位於河道上之裸露地，且若框選範圍有受雲體遮蔽之區域亦無法進行有效分析。目前以 Sentinel-2 光學衛星影像分析，提供初步裸露地圈繪範圍與估計量體，由室內作業快速獲取 Sentinel-2 衛星影像之裸露地資訊，但執行分析成果是否

為崩塌裸露地或是否正確框選崩塌裸露地，後續可透過多時期光學影像與雷達影像等判釋分析，並利用人工檢核與評估，才能有準確無誤之裸露地面積。

二、水里崩塌地判釋及分析

(一)災害概述:

因連日降雨,台 16 線集集通往水里 11.5K 處集集路段鐵道邊坡,發生山壁大坍塌意外 (圖 3- 40)。此處邊坡共發生兩次崩塌，分別為於 2021 年 8 月 14 日約 3 時發生第一次崩塌，一度造成公路、鐵路交通全部中斷，經搶修後，公路已恢復通車；但在 8 月 16 日約 13 時又發生第二次崩塌，致使鐵路再次中斷。據調查研判本次災害類型屬崩塌 (山崩)，此邊坡其坍塌區域之最高點海拔約 356 m，最低點海拔約 249 m，高度約 107 m、寬從 110 m 至 130 m 不等。水系屬於濁水溪流域中游，位於西岸。本次崩塌範圍其面積約 1.95 ha，崩塌邊坡坡型為平直型，平均坡度約 35 度，坡向朝向東-東南-南方。而本次災害之當地累積雨量為集集雨量站 (C0I380): 26 mm (圖 3- 41)

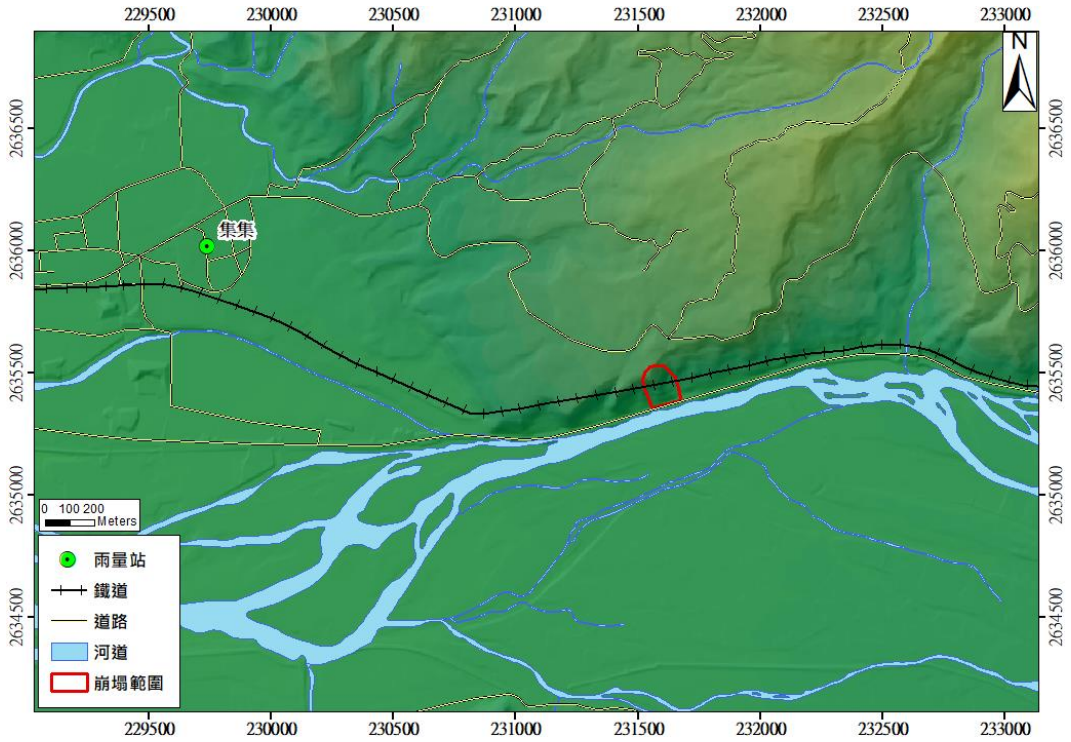


圖 3- 40 台 16 線邊坡崩塌區域位置

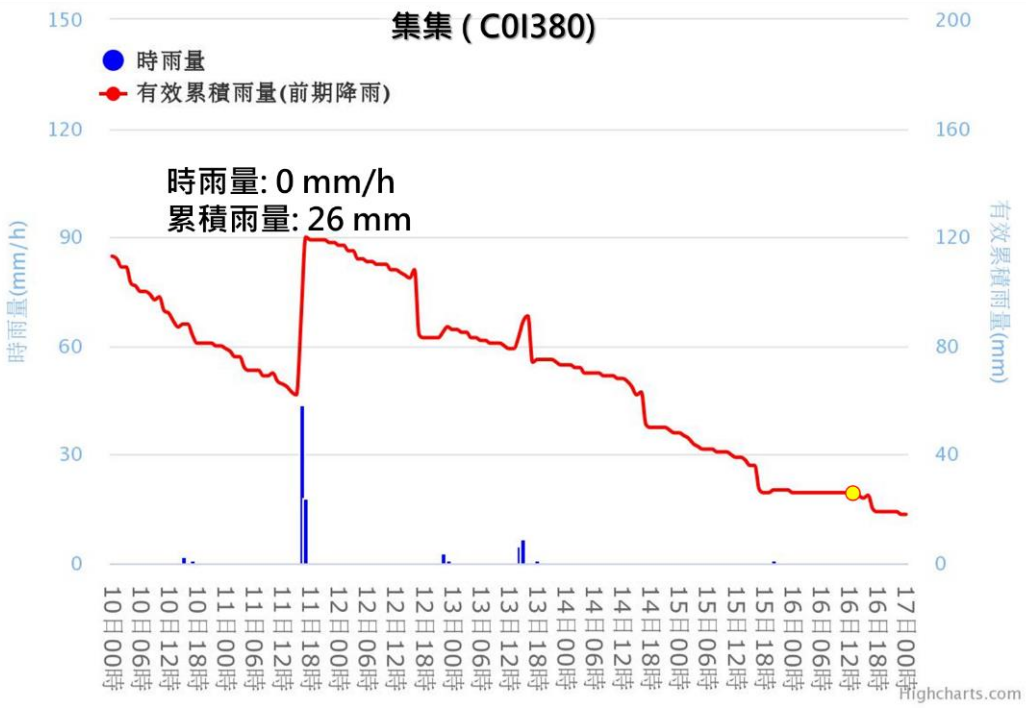


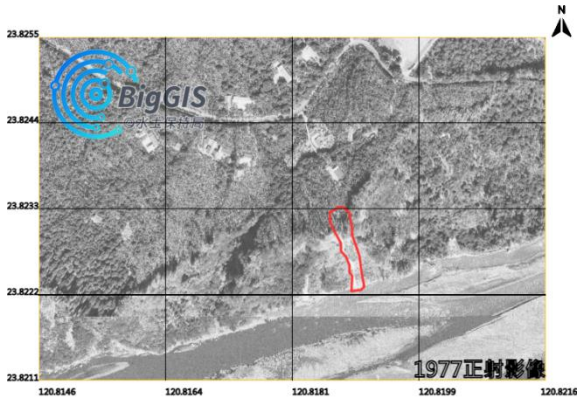
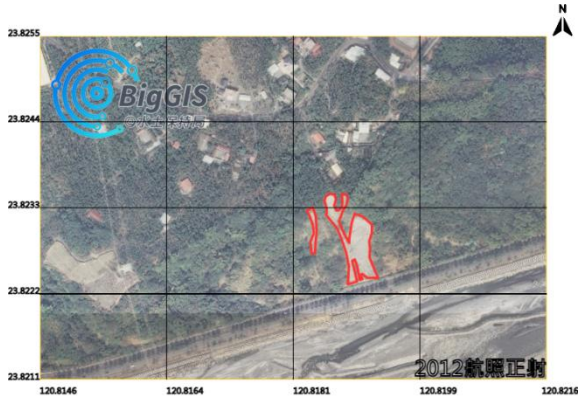
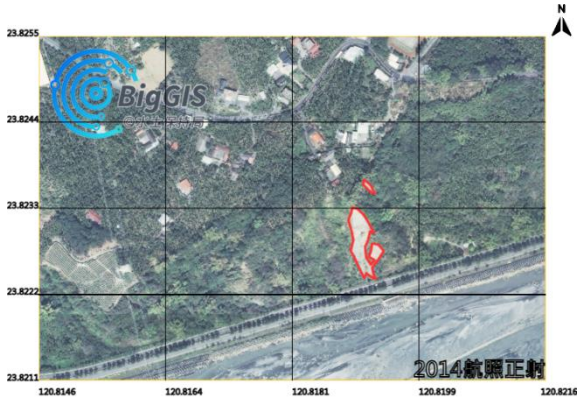
圖 3- 41 集集雨量站雨量組體圖

(二)歷年崩塌變異性分析:

運用 BigGIS 綜整 1977 年、2009 年至 2021 年航照與衛星影像，分析崩塌地歷年之變遷過程情形，如表 3- 5。

此崩塌災害事件，其崩塌地現址由 1977 年 11 月所拍攝之航空照片中，即發現有現生裸露崩塌地，崩塌面積約 0.24 ha，顯示此處邊坡相對不穩定，容易產生崩塌。由 98 年莫拉克災後至 105 年間之航空照片及衛星影像，亦可發現有面積大小不等之現生崩塌，崩塌面積如表 3- 6。觀察 2021 年 3 月 11 日之 Planet Scope 衛星影像，亦未發現有現生裸露崩塌地，顯示此處邊坡植生復育良好。然 8 月盧碧颱風所帶來的強降雨，致使此處邊坡於 2021 年 8 月 14 日即發生第一次崩塌，後續於 2021 年 8 月 16 日發生第二次崩塌，造成台鐵集集線及台 16 線受影響，而阻斷交通。

表 3- 5 歷年崩塌地變化情形

	
1977 年 11 月 13 日航拍正射影像	2009 年 12 月 8 日航拍正射影像
	
2011 年 11 月 30 日航拍正射影像	2012 年 11 月 15 日航拍正射影像
	
2014 年 02 月 23 日航拍正射影像	2016 年 08 月 20 日 (Pleiades 衛星)

	
2021 年 03 月 11 日 (Planet Scope 衛星)	2021 年 08 月 14 日 (Planet Scope 衛星)

表 3- 6 歷年崩塌面積

年分 (民國)	崩塌面積(ha)
1977 年	0.24
2009 年	0.16
2011 年	0.00
2012 年	0.40
2014 年	0.24
2016 年	0.02
2021 年	1.95

(三)地表地貌分析:

使用內政部 2011 年 8 月航空拍攝光達所產製 1 m 解析度之 DEM，分別製作成 H.O.S.T 地圖及 CS 地圖，進行地表地貌判釋分析。

由於 H.O.S.T 地圖能有絕佳的地形呈現效果，主要係藉由不同的地形開闊度計算方法，融合地形坡度，運用合適的彩度色階來表現出地形的平緩或傾斜程度，在視覺上提供更佳的立體效果，讓人以肉眼

觀看便能輕易的判別出豐富且詳細的地表資訊。

CS 地圖於局部地貌之凹凸曲率判讀較 H.O.S.T 地圖優越，因邊坡上之凹槽通常為水體匯流或侵蝕之處，故 CS 地圖於水路相關應用及局部微凹凸地形的判釋優於 H.O.S.T 地圖。

本計畫應用 H.O.S.T 地圖及 CS 地圖於判釋崩塌地微地形特徵及水系之變化。由 H.O.S.T 地圖 (圖 3-42) 可明顯看見崩塌區域周圍有崩崖的微地形特徵，且多已出露岩盤裸露之地形特徵，然此處崩塌位置為岩盤上仍有土砂堆積之區域，致使此崩塌地在降雨後，因地表水入滲至邊坡，傾斜之崩積層伴隨地表逕流往下產生崩塌。

另由 CS 地圖 (圖 3-43) 則可看出此崩塌地冠部區域有侵蝕溝發育，形成地表沖蝕，當地表水快速下滲至岩盤，坡體受重力與降雨影響，進而造成坡體變形，當滑動面延伸至自由面，待層間抗剪強度無法支撐坡體自重，即引發崩塌。

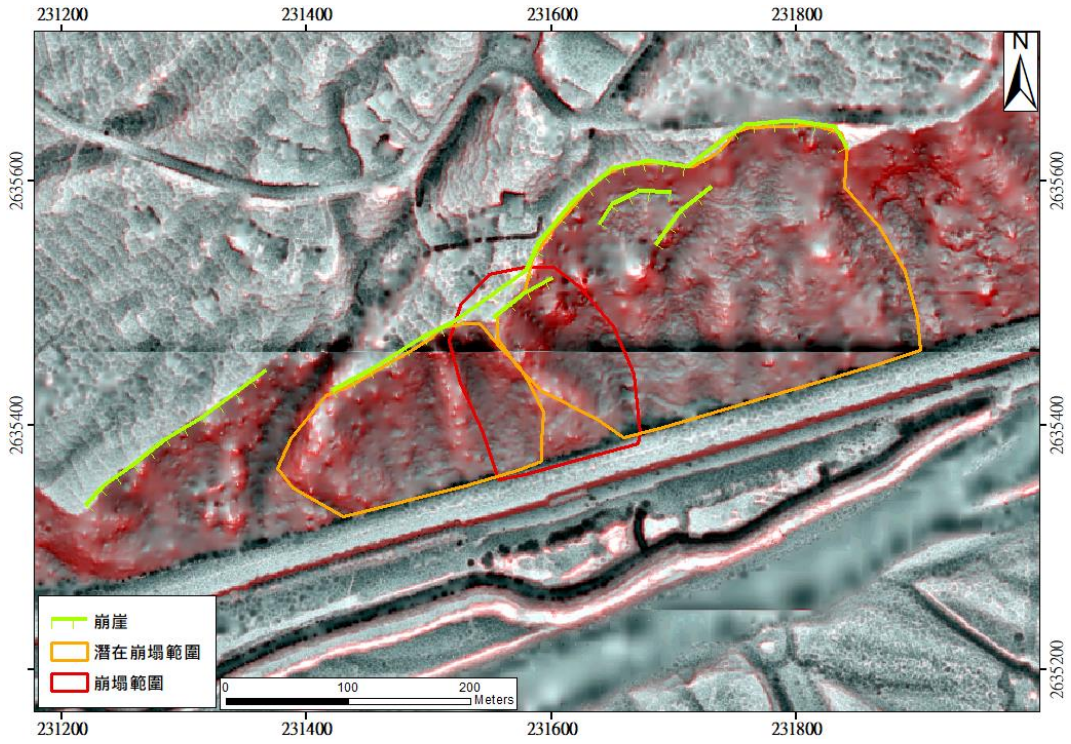


圖 3-42 集集崩塌地於 H.O.S.T 地圖微地形特徵

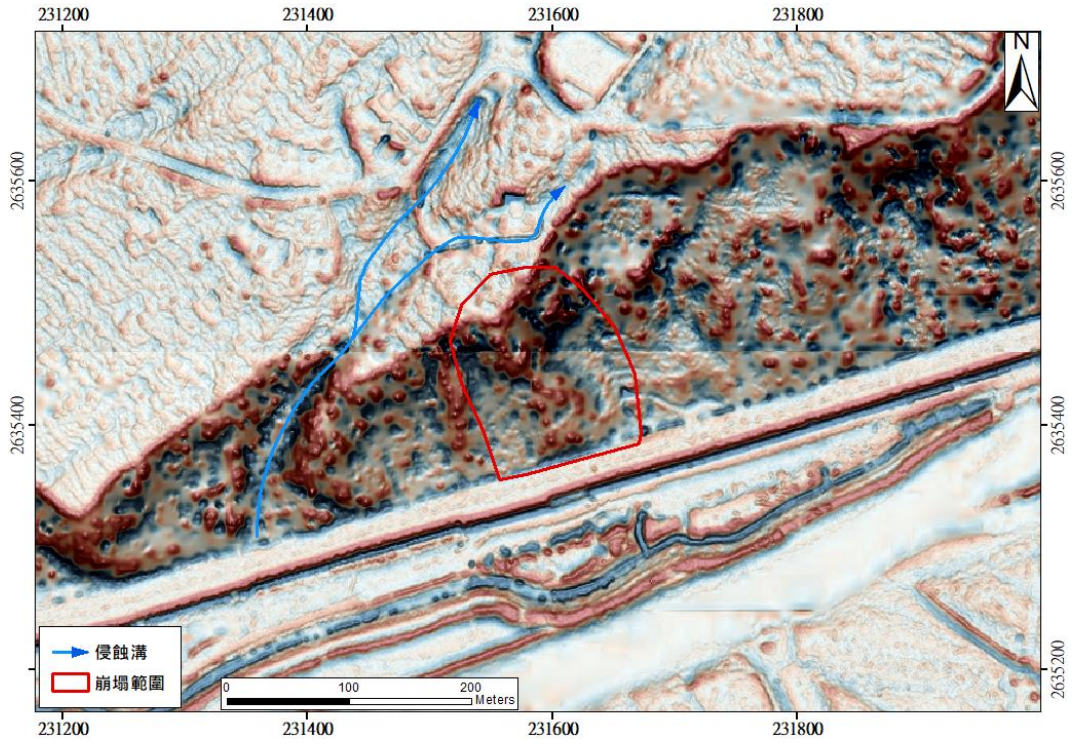


圖 3- 43 集集崩塌地於 CS 地圖微地形特徵

(四)災害成因推估:

依據地形狀況，本區屬濁水溪沿岸河階地邊緣，其邊緣已有崩崖之微地形特徵發育。依據地質狀況 (圖 3- 44)，本區位於頭嵙山層火炎山段，岩性由厚層礫岩間夾砂岩或泥岩凸鏡體為主，由崩塌後所產生之崩崖面觀察發現，岩盤上覆約 10 m 之紅棕色土壤夾礫岩及砂岩塊所形成。地層位態為南北走向，朝東傾。地質構造分布方面，附近有雙冬活動斷層經過。經調查，本崩塌位於地調所 2014 年公告之山崩與地滑地質敏感區。

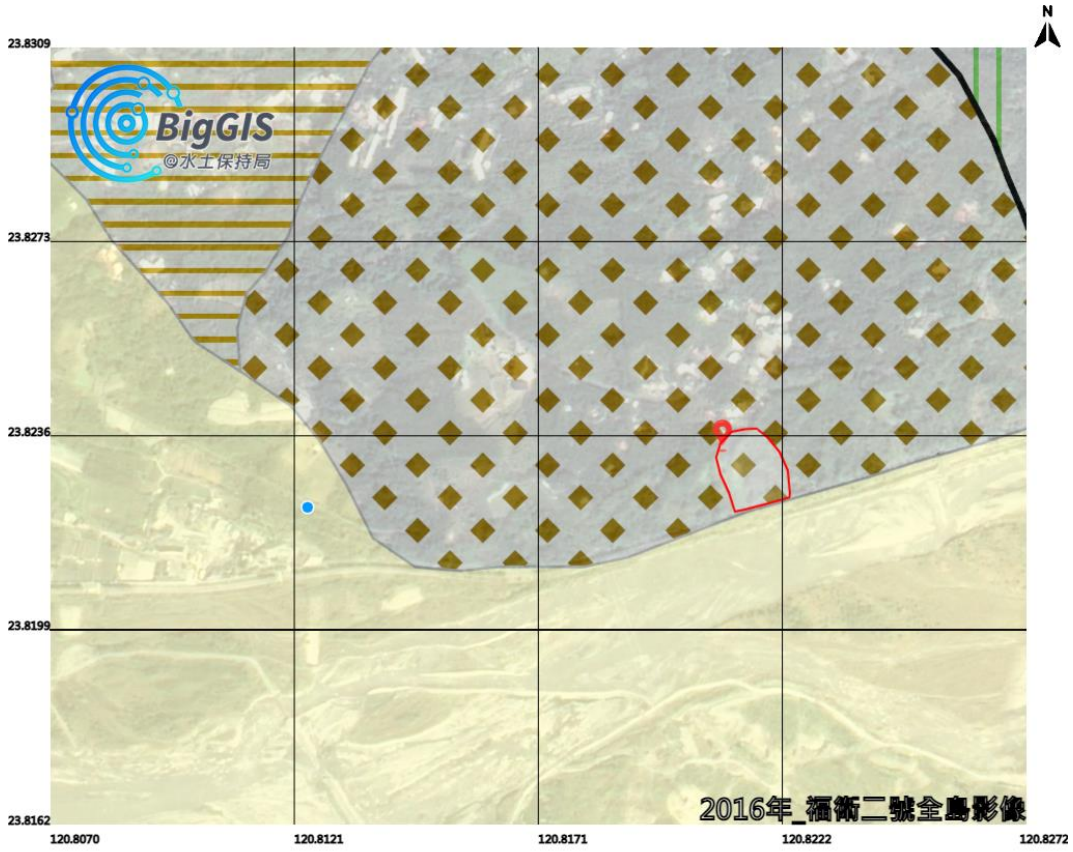


圖 3- 44 集集崩塌區域地質圖

研判近日因豪大雨影響，致使地表水快速入滲至岩盤，且由於斷層附近之岩盤較為破碎，岩體不連續面發達、密度高且裂隙大，河階地質較不穩定，長期降雨，當邊坡富含地下水時，加速風化作用，造成岩體弱化，引致坡體產生平面型滑動。

(五)評估與建議:

本次台鐵集集線崩塌事件，由歷年地表地貌變異性可知，本區屬濁水溪沿岸河階地邊緣，已有崩崖及侵蝕溝等微地形特徵發育。河階地形邊緣，仍可見部份岩層上仍有土砂堆積，因崩塌滑動體接近坡頂處生成崩崖地形特徵，顯示此邊坡滑動體，當降雨後，因地下水快速入滲至岩盤內部，尚存在滑動之可能性，進而引發崩塌。

由歷年衛星影像及 UAV 空拍所產製之正射影像或航拍正射影像可觀察到，其崩塌地最早可追溯於 1977 年，即有現生崩塌地發育，

後續亦可發現面積大小不等之現生崩塌，顯示此處邊坡相對不穩定，容易產生崩塌。

此邊坡由於崩塌地之冠部與主崩崖區域仍有數戶保全對象居住如圖 3-45，而滑動體坡趾仍有台 16 線及台鐵集集支線通過，目前坡面上仍有崩積土砂堆積於坡面上，未來若持續崩塌仍有影響道路及鐵路交通安全之疑慮，且若冠部與主崩崖區域持續有張裂裂隙發育與崩崖特徵形成，將直接影響保全住戶之住宅安全，因此建議此處崩塌之活動性應須持續進行監測。



圖 3-45 集集崩塌地全貌 (南投分局提供)

第四章 土砂災害數值模擬分析

土砂災害的發生對於區域環境造成的危害極為嚴重，因此依據「土石流潛勢溪流劃設作業要點」(水土保持局，2019a) 及「土石流潛勢溪流劃設作業手冊」(水土保持局，2019b)，藉由各式圖資於判釋土石流潛勢溪流及劃設其影響範圍極為重要，若完成判釋後，仍須至潛勢溪流進行現場調查，確認判釋之正確性。然而土石流潛勢溪流之現地調查作業，常由於受限於山區交通狀況、天候等影響，隨著 UAV 技術的發展，利用 UAV 進行現場之建模也逐漸被接受及使用。再者，土砂災害若發生崩塌土體堵塞河道形成天然壩，其土砂混合的災害更可能造成下游沿岸居民的生命財產安全為害，勢必得對於其潰決時之大量洪水進行災害模擬。本計畫希以數值模擬快速地完成堰塞湖調查評估與防災作業之事前規劃。最後，透過 2021 年高雄市桃源區玉穗溪明霸克露橋遭沖毀事件為例，藉由土石流二維動床模擬，探討溢流點位置對於土石流影響範圍之差異。希望透過此些數值的建模與災害模擬，能提供水土保持局相關技術參考，以達預先規劃防減災工作與對策，以作為防災整備與疏散避難規劃之參據。

第一節 無人飛行載具建模研究

一、前言

由於土石流發生後所形成之沖積扇，是災害發生後驗證崩塌地、料源、降雨事件與數值模擬之重要材料來源，故有長期調查之重要性。而土石流潛勢溪流之現地調查作業，由於受限於山區現地交通狀況、航遙測成本、山區天候及鳥獸等影響，在小範圍、特定時間空間的調

查上，傳統載人遙測、大範圍定翼 UAV 等器械較無法勝任，需借助中小型多軸 UAV，因其具有高機動性、可攜性、可低空作業與可控成本等優勢，適用於輔佐現地調查，進行影像獲取、產製圖資與建模等加值應用，並可供後續多期影像或數值模型比對與分析之用。隨著航遙測技術提升與地理資訊系統的輔助，現今，國內外已有許多 UAV 應用於輔助現場調查時之功用。

本計畫以神木村作為研究案例，利用 UAV 空拍之影像產製正射影像、DSM 與進行三維模型建模，並應用於土石流潛勢溪流影響範圍區域進行環域檢視，其成果將可作為後續對於災害評估和風險研判之重要參據。

二、材料與方法

(一)研究區域概述

1. 土石流潛勢溪流基本資料

本計畫區域位於南投縣信義鄉神木村境內，編號為投縣 DF199。於 2010 年，由水土保持局劃設為土石流潛勢溪流 (編號：南投 076)，後於 2019 年，整合全臺土石流潛勢溪流編碼及相關資訊，如表 4-1。

表 4-1 投縣 DF199 土石流潛勢溪流基本資料表

溪流編號	投縣 DF199
溪流長度 (km)	5.856
溪流平均坡度 (度)[註]	11.8
集水區面積 (ha)	866
溪流名稱	出水溪
溪流所屬子集水區	南平坑
重要地標	神木國小
鄰近道路	神木巷

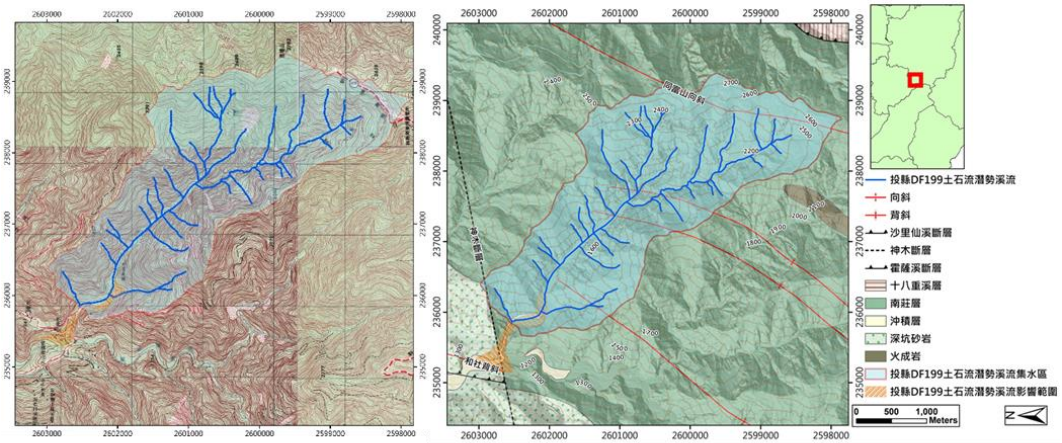
註：溪流平均坡度係由前期調查資料及本次調查套疊內政部 5 m 等高線求得。

2. 水文概況

投縣 DF199 土石流潛勢溪流，位處鹿林子集水區內，鄰接神木子集水區，屬濁水溪水系支流陳有蘭溪上游。溪流長度為 5.856 km，集水區總面積約 866 ha，災害類型屬於溪流型土石流，災害潛勢為高風險等級。

3. 地質概況

潛勢溪流集水區地層為中新世晚期之南莊層、深坑砂岩及現代沖積層 (圖 4-1)。南莊層之岩性為砂岩、頁岩與砂頁岩薄互層為主。深坑砂岩以塊狀砂岩夾薄層砂岩為主。而在地質構造方面，鄰近沙里仙溪斷層、神木斷層及霍薩溪斷層，本區亦有東北－西南走向之向斜及背斜等地質構造，致使該集水區岩層多破碎狀，易受地表風化與侵蝕作用影響，進而產生崩塌，為土石流潛勢溪流帶來大量的土砂料源。



(A)研究區域地形圖　　(B)研究區域地質圖

圖 4- 1 研究區域地形與地質圖

4. UAV 拍攝任務

因台灣高山環境多，有些現地勘查位置位處較偏遠地區，獲位處人力無法抵達之處，多不適合重型裝備進入，且現地測量與控制點佈設亦難以使用傳統導線測量及使用引測點，為克服相關限制，發展使用多旋翼 UAV 以光學影像作為原始資料來源 (圖 4- 2)，搭配內建之 GPS 接收器取得初步座標以及地心地固座標系統參數，結合地面控制點位佈標與應用 e-GNSS 即時動態定位系統及虛擬基準站法即時動態定位技術 (Virtual Base Station Real-Time Kinematic, VBS-RTK)(圖 4- 3)，使用 TRIMBLE R6-4 天線接收盤與 TRIMBLE TDC-600 手持式接收/控制儀 (圖 4- 4)，並以臺灣山區無線網路覆蓋基礎進行差分定位 ，若遭遇訊號干擾時則採用靜態測量，將觀測資料離線儲存，並於事後回送國土測繪中心進行虛擬基站解算，以獲得控制點座標近似解，後續建模處理則採用 Content Capture 建模軟體，以空拍光學正射影像進行空中三角平差、特徵點擬合、控制點校正、模型網格建立與材質貼圖等步驟輸出正射影像、三維模型等成果。



圖 4- 2 三維建模所需之野外應用儀器 (左為多旋翼 UAV；右為 TRIMBLE R6-4 天線接收盤)



圖 4- 3 差分定位示意圖 (摘自久冠測量儀器有限公司)



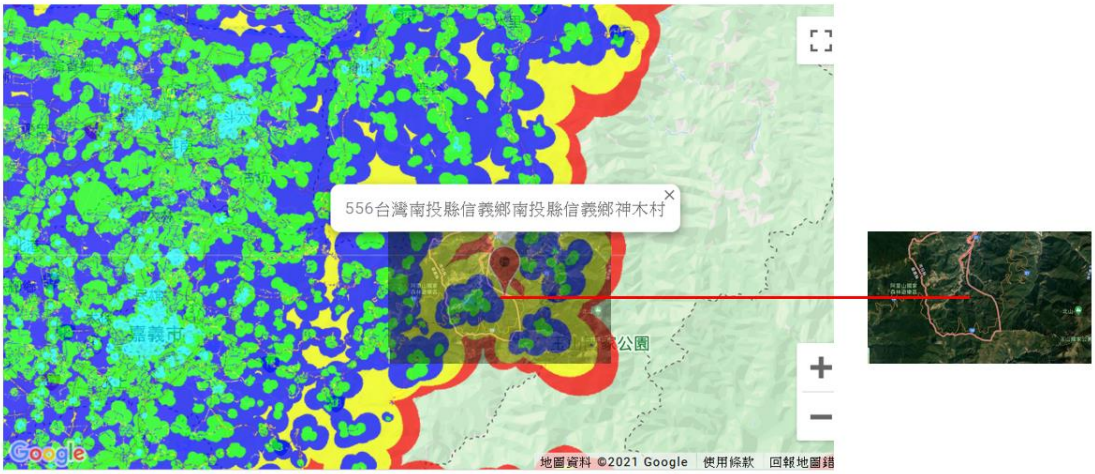

```
     2.10           OBSERVATION DATA    Mixed(MIXED)        RINEX VERSION / TYPE
convtToRINEX 3.09.0 convertToRINEX OPR  27-Aug-19 08:43 UTC PGM / RUN BY / DATE
------------------------------------------------------------ COMMENT
001                                                          MARKER NAME
001                                                          MARKER NUMBER
GNSS Observer       Trimble                                  OBSERVER / AGENCY
5523404744          TRIMBLE R6-4        5.15                 REC # / TYPE / VERS
                    TRMR6-4             NONE                 ANT # / TYPE
 -2991925.2872  4984971.0685  2616011.6955                   APPROX POSITION XYZ
       1.5000        0.0000        0.0000                    ANTENNA: DELTA H/E/N
     1     1     0                                          WAVELENGTH FACT L1/2
     5    C1    C2    L1    L2    P2                        # / TYPES OF OBSERV
  2019     7    17     5    37    20.0000000     GPS         TIME OF FIRST OBS
  2019     7    17     5    45    30.0000000     GPS         TIME OF LAST OBS
     0                                                       RCV CLOCK OFFS APPL
    18                                                       LEAP SECONDS
    11                                                       # OF SATELLITES
   G02    98     0    76    64    64                        PRN / # OF OBS
   G06    99     0    99   198    99                        PRN / # OF OBS
   G17    99     0    99   198    99                        PRN / # OF OBS
   G19    99     0    99    99    99                        PRN / # OF OBS
   G28    99     0    99    99    99                        PRN / # OF OBS
   R06    99     0    99     0     0                        PRN / # OF OBS
   R07    99    99    99   198    99                        PRN / # OF OBS
   R11    99    99    99   198    99                        PRN / # OF OBS
   R12    99    99    99   198    99                        PRN / # OF OBS
   R21    99    99    99   198    99                        PRN / # OF OBS
   R22    92    90    91   180    90                        PRN / # OF OBS
CARRIER PHASE MEASUREMENTS: PHASE SHIFTS REMOVED             COMMENT
                                                             END OF HEADER
                     2  1
           *** Start of Kinematic Data ***                   COMMENT
 19  7 17  5 37 20.0000000  0 11G02G06G17G19G28R06R07R11R12R21R22
  24284772.555 3                127617356.830 3  99442066.87745  24284769.11345
  21490954.875 7                112935712.218 7  88001878.20848  21490955.16048
  21101922.461 7                110891348.774 7  86408838.54548  21101920.14148
  21191528.391 6                111362233.122 6  86775749.77148  21191524.96948
```

圖 4- 4 左：TDC600 操作介面，右：靜態測量解算之觀測 O 檔

本次 UAV 拍攝任務為獲取投縣 DF199 影響範圍與溢流點之微地形特徵，透過 UAV 空拍所獲取之影像及其產製之正射影像瞭解其潛勢溪流的影響範圍，而其多角度拍攝之影像及後續所產製的三維建模，因視角為在空中俯視或空中平視，能更好觀察溢流點之地形特徵。同時，將空拍所獲取之影像產製成 DSM，將有利於後續製作成 H.O.S.T 地圖，以利加值應用其空拍產製之影像，若有前後兩期以上之數值地形模型，可用於比對兩期地表變異性與地貌變遷，提升其空拍圖資加值應用之效，並可作為歷史災害的驗證及未來災害的預測受災範圍判定之研究。

在室內，針對其土石流潛勢溪流之 UAV 空拍任務規劃上，首先可利用 BigGIS 平台所提供之影像及地圖輔助工具，先行於室內初步規劃飛行任務之航線及範圍，之後再藉由 UAV 專用之航線規劃軟體進行細部設計，調整影像拍攝焦距、重疊率、飛行高度與速度、起降點設定及自動返航點設定等詳細參數設定。

在現地調查日前及執行飛行任務前，需隨時注意天氣狀況與設備電力狀況 (包含行動頻寬涵蓋範圍)(圖 4- 5)，而到達目標地後，亦需對周遭環境進行初步檢視與觀察，以擇定合適之起降點進行飛航任務，飛行前亦須配置一觀察手，隨時注意環境與天候狀況，其可在第一時間通知飛行手或協助飛行手排除飛航任務可能遇到之問題。



https://coverage.cht.com.tw/coverage/tw.html

圖 4- 5 無線訊號強度圖 (摘自 https://coverage.cht.com.tw/coverage/tw.html)

自 2020 年起，在飛行前皆需先進入交通部民航局遙控無人機管理資訊系統 (https://drone.caa.gov.tw/)(圖 4- 6) 進行飛行活動申請、空域查詢、基本資料填寫 (作業名稱、申請單位、承辦人、現場負責人、協調人及作業概述等事項、證明文件上傳與空域範圍劃設等作業程序)，待申請審查完成後，則可於申請核准區域進行飛行活動 (圖 4- 7)，並於飛行結束後至民航局無人機管理系統進行飛行結束後之登載報離事項。而本次空拍作業現勘地點受限於空拍範圍，然為取得較高解像度之光學影像，僅規劃於現地 120 m 綠區內進行空拍取像，以遵守民航局之相關規定。



圖 4- 6 民航局遙控無人機管理資訊系統

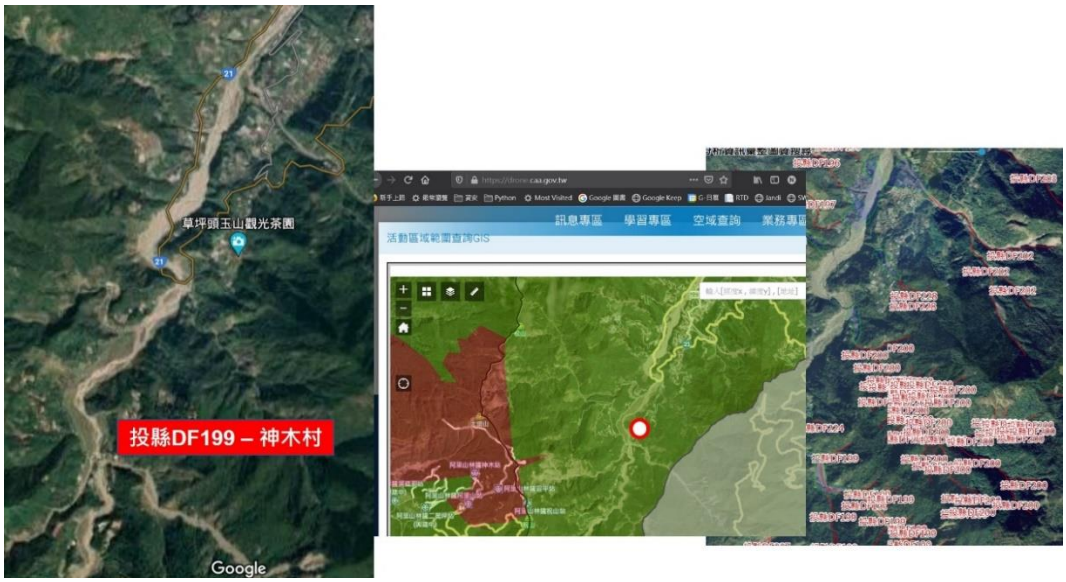


圖 4- 7 申請空域範圍劃設

UAV 進行航拍任務，其任務流程規劃如圖 4- 8 所示，參考水土保持局「遙控無人機河床表層粒徑分析作業手冊 (草案)」(水土保持局，2020) 與無人載具高解析影像及光達點雲於山區河川表層粒徑分析之精進研究，在飛航任務規劃上，主要考量以下四點以確保操作人員安全及飛行任務執行順利完成。

(1) 作業範圍與飛行空域：確認作業範圍後，瞭解作業區域之周遭環境、地形地貌狀用以評估空域之相關作業。

(2) 飛行航線規劃：使用 UAV 性能、酬載、飛行時間、抗風強度、飛行高度、掛載儀器重量等需一併考量，以決定行飛任務之規劃。

(3) 作業目標區天氣狀態變化與交通：天氣狀態的初步觀察跟出勤時間預估，也需初步掌握，以利於任務的時程安排。

(4) UAV 任務執行:執行 UAV 飛行任務包含任務前準備、現場佈署、任務執行，撤收階段等四項作業，以落實完成飛行任務。

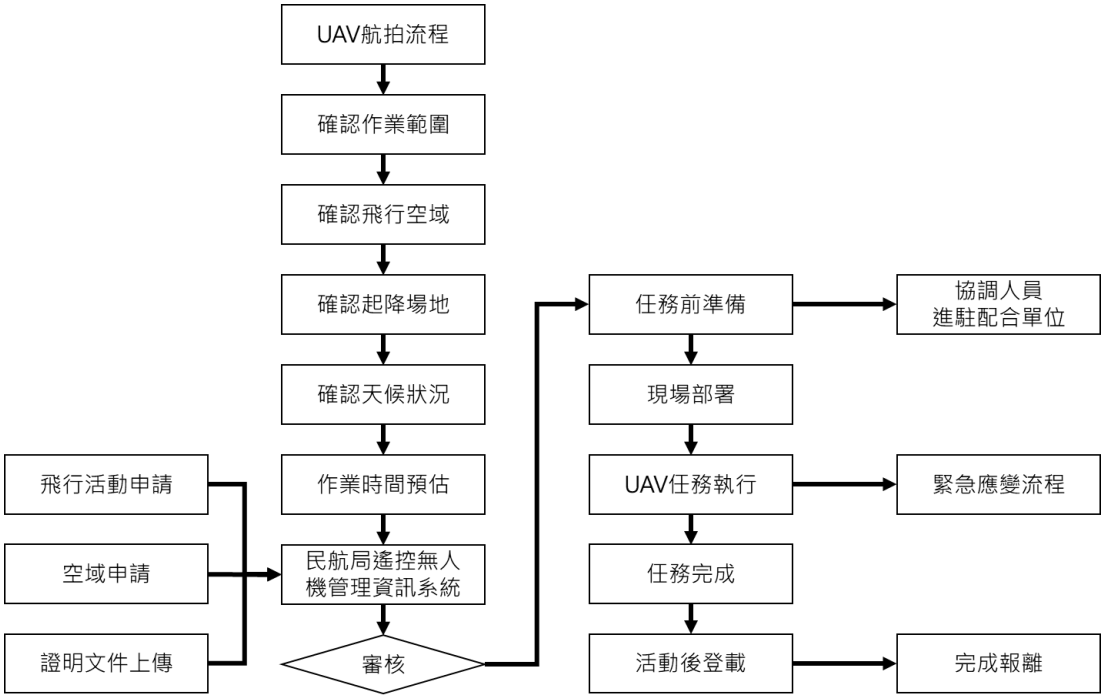


圖 4- 8 無人載具飛航申請程序流程圖

(二)影像及構造物模型建置

航空攝影測量係利用飛行載具裝載高精度攝影器具,在規劃航帶以特定飛行高度,對目標區域進行拍攝航空照片,藉由處理航空像片來取得現地資料。現今由於 UAV 設備趨於穩定,利用空拍影像之像片重疊度來提升像片之解析度。而正射影像為航空拍攝影像經過幾何校正與拼接的真實地表資訊,因其含有地理座標資訊,能套用於各類型地理資訊系統平台,以進行套圖、量測與分析之用 (水土保持局,2020)。

UAV 在拍攝影像的同時也能紀錄每張像片拍攝瞬間之位置與飛行姿態,可以省去傳統航空像片在建置模型時,所耗費時間於事先設置相機參數、外方位參數、匹配相片控制點等工作,藉以計算出每張像片之位置與姿態。像片與記錄之位置及姿態資訊經整理,確保每張像片與其對應參數之一致性且符合軟體所需格式,再行設置軟體所需之輸出坐標、地面控制點等資訊,即可計算匹配並建置出 DSM 與正射影像。

由於正射影像是以像片為基礎拼接再修正,其像片解析度會影響正射影像的細緻度,因此,在執行飛行任務時需選用合適之相機,並設定好飛行高度,以獲取任務目標之解析度,其正射影像產製流程如圖 4- 9 所示。

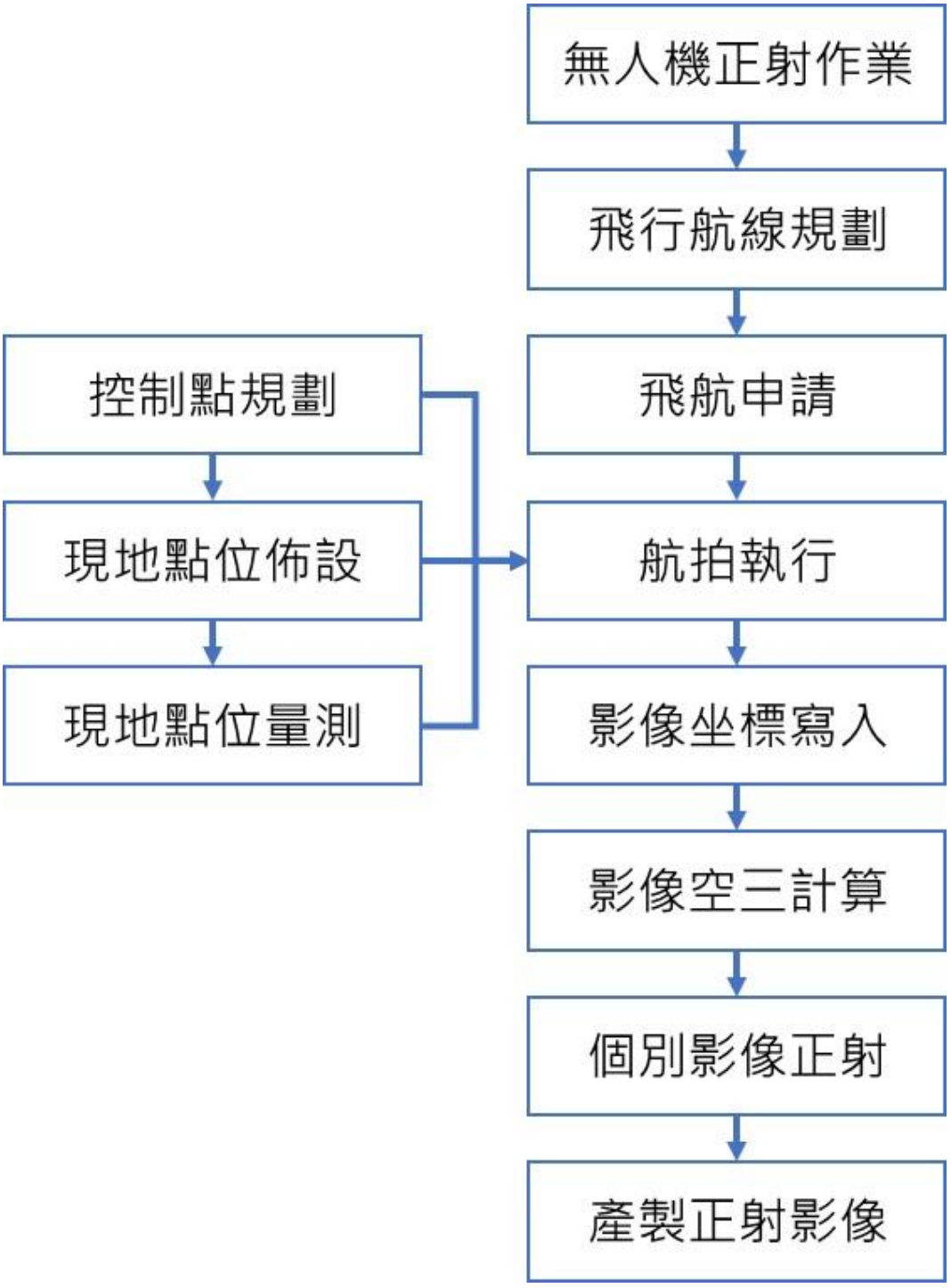


圖 4-9 正射影像產製流程

三、三維模型建製成果

本計畫於 2021 年 5 月 5 日前往南投縣信義鄉神木村，蒐集與拍攝航拍所需相關資料 (圖 4- 10)，而三維模型建置部分，其 UAV 飛航高度、速度、高程精度及現場任務規劃航線如圖 4- 11 所示，本次任務係利用 Marvic Pro 及 Phantom 4 Pro V2 進行照片拍攝，後續於室內作業時，則以 Bently Context Capture 進行正射影像及三維模型產製。

利用 UAV 掛載之攝像鏡頭由上空正射地面影像，可獲取建立正射影像與三維模型所需之照片，本次用於建立投縣 DF199 下游複合型沖積扇之三維建模拍攝照片，總共 68 張 (圖 4- 12 及圖 4- 13)，以此影像進一步產製正射影像及建立三維模型。



圖 4- 10 神木村現場作業照片 (2021 年 5 月 5 日)

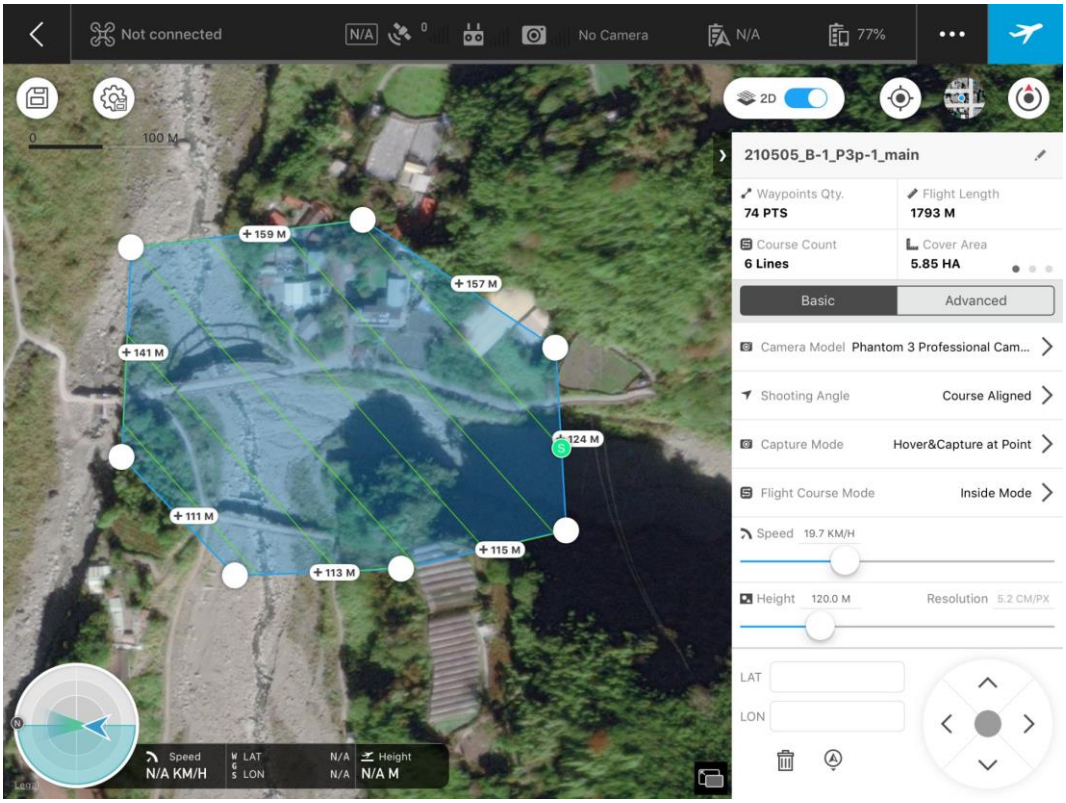


圖 4- 11 神木村現場飛行任務規劃航線設定

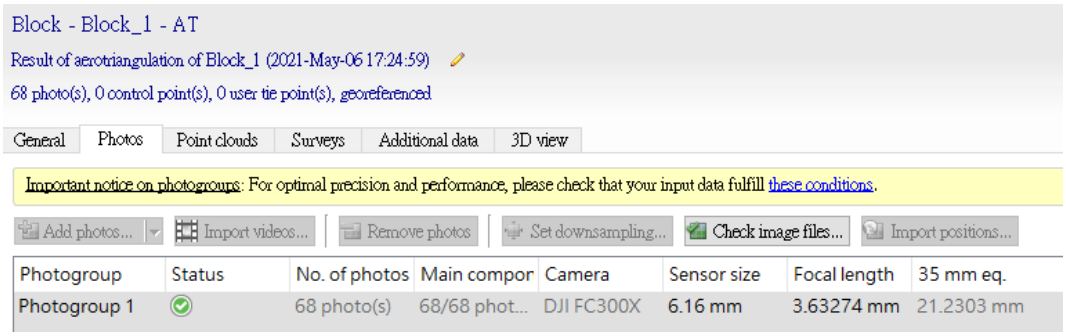


圖 4- 12 神木村三維建置使用照片數

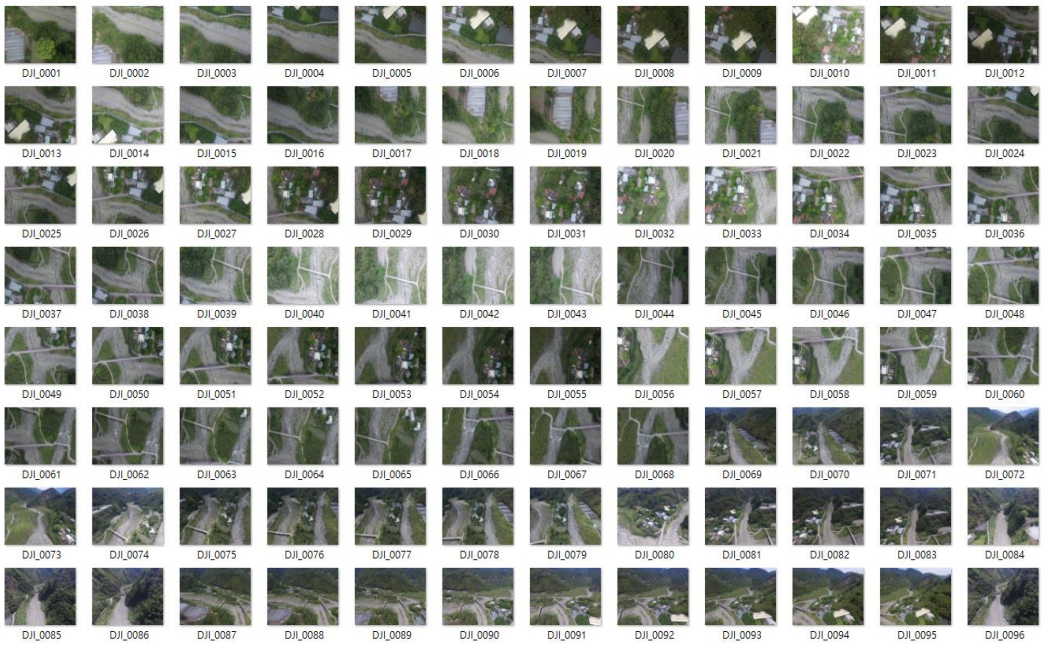


圖 4- 13 UAV 空拍之影像

本次影像後續加值應用為利用 ContextCapture 軟體，以高解析度航空影像、計算機視覺與幾何計算演算法等基礎之下，可由高解析度影像進行三維資訊重建。將從不同角度所拍攝的連續照片及相機參數匯入 Bentley 之 ContextCapture 軟體中，並可自動獲得高分辨率的彩色三角網格資訊，而三角網資訊並可以輸出各種三維格式 (迅聯光電，2020)。

本次土石流潛勢溪流之影響範圍之一沖積扇區域，即利用大疆創新公司 (Da-Jiang Innovations, DJI) 之 UAV 規劃神木村拍攝作業，其規劃飛航作業範圍約 5.85 ha，設定飛行航線約 6 條，藉由起迄點位置、重疊率、飛航間距、飛行速度、GPS 時間、飛行位置、相機焦距、姿態、拍攝俯仰角等參數資料，利用 Bentley 之 Context Capture 製作三維模型，在建模過程中之各空中取像位置如圖 4- 14 所示，其控制點位置及照片如圖 4- 15 及圖 4- 16 所示。將資料匯入 Bentley 之 Context Capture 軟體後，其照片即具有空間 (X, Y, Z) 之座標資訊，

而軟體會自動導入相機參數，設定空三平差所需名稱及定位模式後，經由計算即可檢視匹配點資料，再進行三維建模作業。

過程中，設定欲呈現三維數位模型之空間座標系統、興趣範圍(Region ofInterest) 及分幅 (Tiling) 等資訊、輸入控制點資訊、檢視匹配點、三角網格數、網格材質拼貼、背面剔除等設定，初步將由軟體之預設值進行模型建置 (圖 4- 19)。在第一次建置三維模型時，由於相機可能於拍攝時反光、散射及無參考點等情況發生，其在初步模型建置時即呈現異常之現象 (圖 4- 20)，因此對於水面之高程異常，利用現場量測地型資料進行地面高程修正，其修正之成果如圖 4- 21 所示。

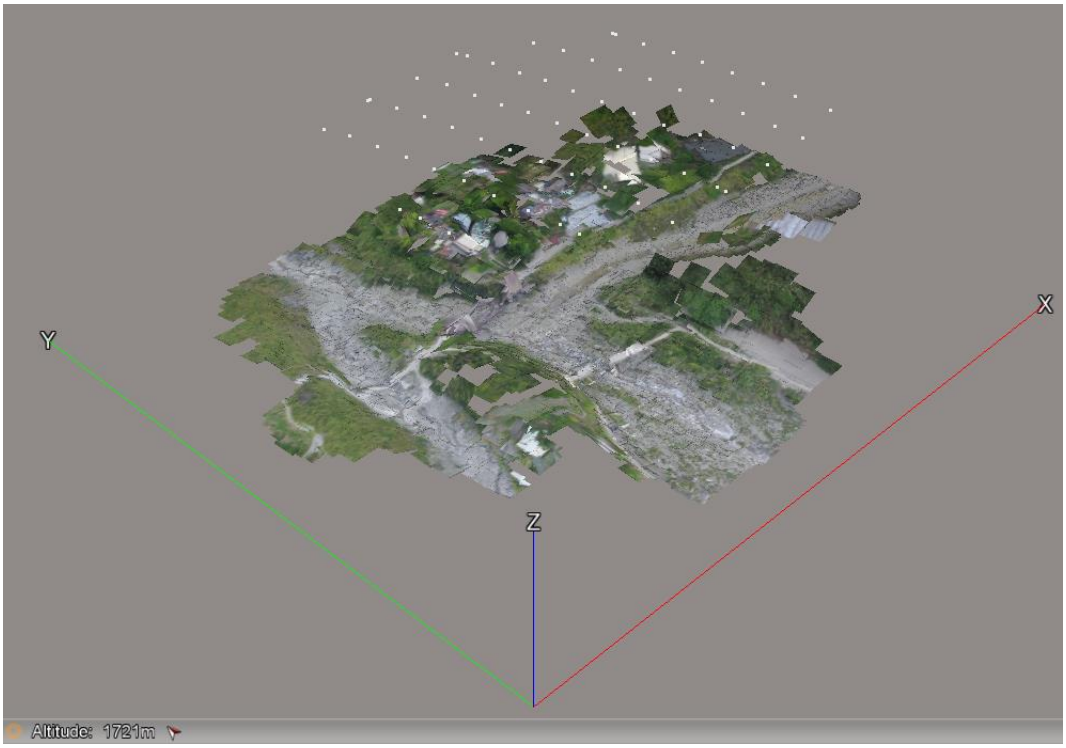


圖 4- 14 神木村建模取像位置

Report

Control points

Number of points: 5

- RMS of reproj. error: 1.65 px
- RMS of 3D error: 0.080 m
- RMS of 3D horizontal error: 0.080 m
- RMS of 3D vertical error: 0.005 m

User tie points

Number of points: 0

Control points

	Name	Type	Position(s) Placed	Category	X (Long)	Y (Lat)	Z (Height)	Coordinate system	Horizontal accuracy [m]	Vertical accuracy [m]	RMS of reproj. error [px]	3D error [m]
1	Point_1	Control Point	16	Full	235252.132	2602705.351	1178.93	TWD97 / TM2 zone 121 (EPSG:…	0.01	0.01	1.82268	0.0905265
2	Point_2	Control Point	30	Full	235353.652	2602722.333	1180.065	TWD97 / TM2 zone 121 (EPSG:…	0.01	0.01	0.695736	0.0242652
3	Point_3	Control Point	14	Full	235470.446	2602699.82	1192.403	TWD97 / TM2 zone 121 (EPSG:…	0.01	0.01	0.456987	0.00795445
4	Point_4	Control Point	23	Full	235379.5157	2602608.866	1181.069667	TWD97 / TM2 zone 121 (EPSG:…	0.01	0.01	1.40922	0.0670978
5	Point_5	Control Point	19	Full	235296.4947	2602616.978	1179.977333	TWD97 / TM2 zone 121 (EPSG:…	0.01	0.01	2.74801	0.136542

圖 4- 15 神木村建模控制點位

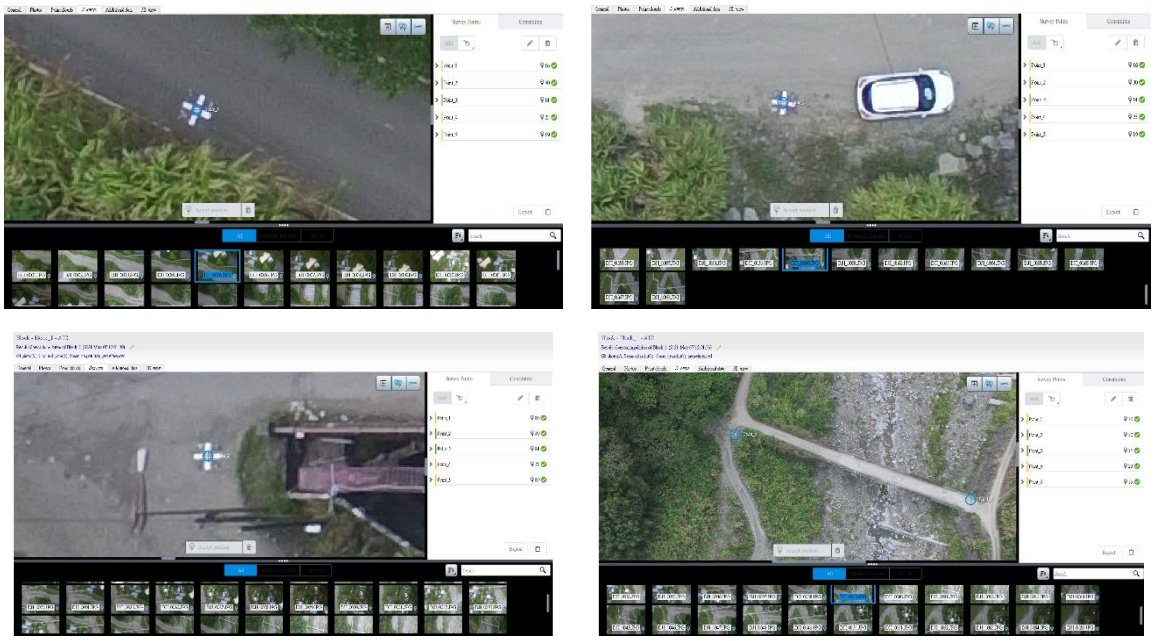


圖 4- 16 神木村建模控制點位照片

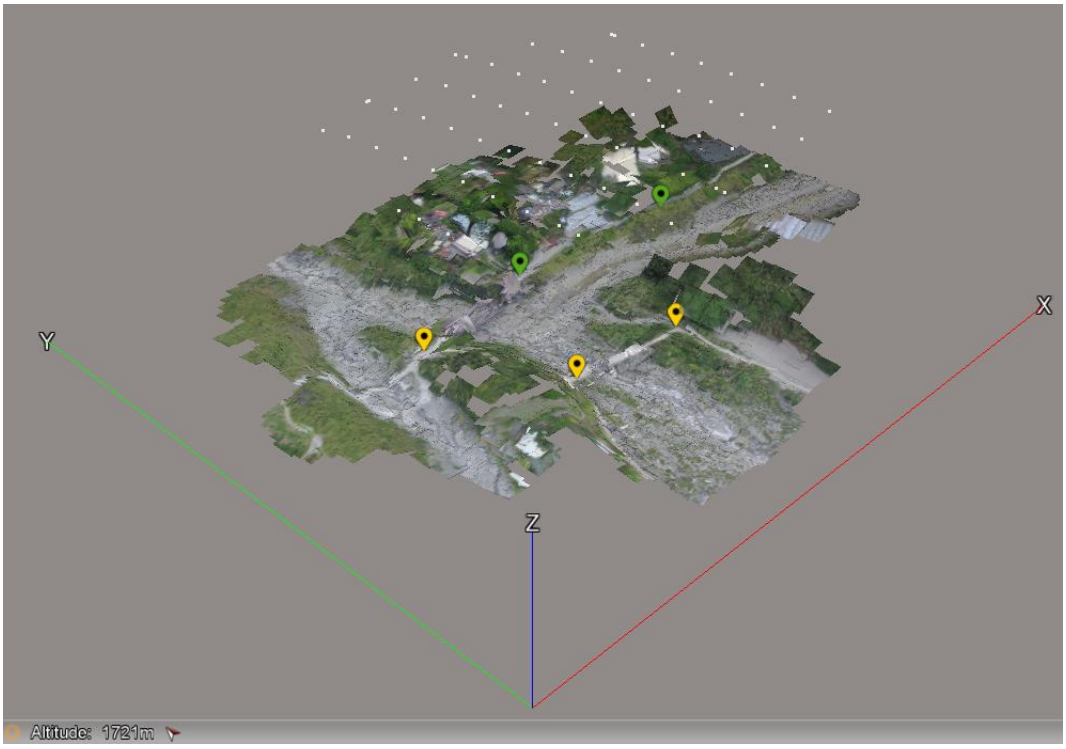


圖 4- 17 檢視匹配點

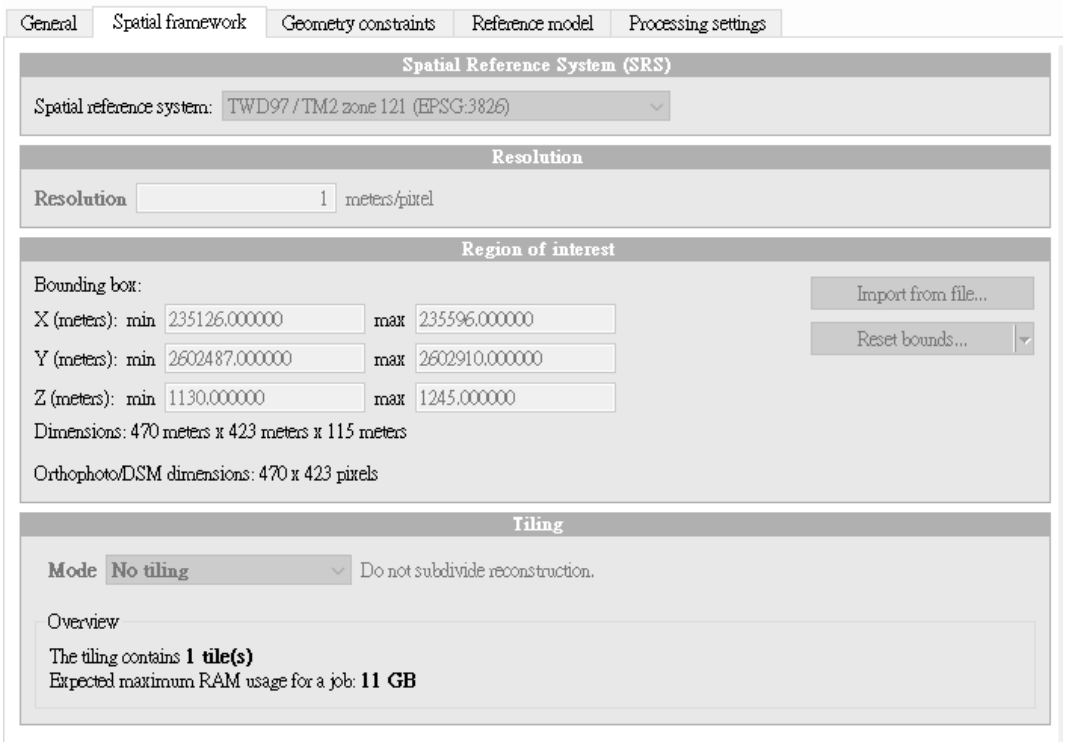


圖 4- 18 空間座標系統



圖 4- 19 三維軟體預設建置流程

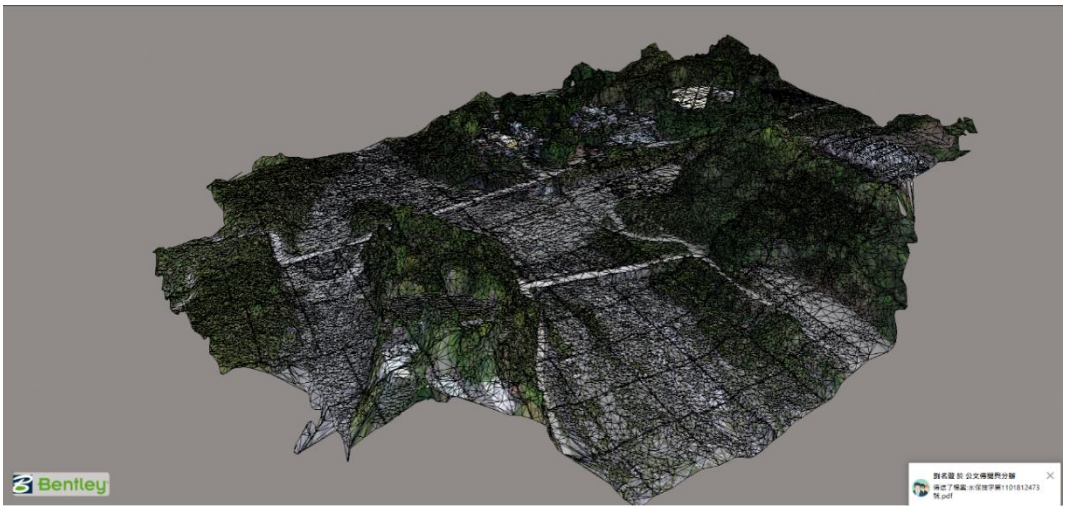


圖 4- 20 神木村初步三維模型



圖 4- 21 神木村三維建模成果

四、結論

神木村土石流潛勢溪流之影響範圍及構造物模型建置，係利用 Marvic Pro 及 Phantom 3 規劃現場任務航線以進行航空拍攝，配合後續室內作業以 Bently Context Capture 進行正射影像及三維模型產製。此沖積扇共計使用 68 張照片進行三維模型建製。

五、評估與建議

本次神木村三維模型建置作業，目前由於民生公共設施部分有專責管理機關，除了 UAV 飛航活動需事前於民航局遙控無人機管理資訊系統專區申請活動等相關事項外，對於民生公共設施部分之調查作業，建議事項行文相關管理單位說明調查作業之目的，以不防礙民生公共設施運作為主。由此次調查成果可知，三維建模於現調後可快速提供當地地型資訊，但於即時分析作業較為不便，因此仍需室內作業處理後，可以得到精度較高之數值地型。

本次外業調查提出建議事項如下：

使用 UAV 進行現場調查，可大幅減少人力，但於事前作業需依民航局相關規定辦理，對於「活動區域範圍」以紅、黃、綠三色標示禁飛、限飛及合法活動的區域，在調查區域需特別留意紅黃區之禁飛及限飛事項。

利用 Bentley Context Capture 建置三維數值模型時，若有微地形特徵或工程構造物檢核需求，建議後續拍攝需特別針對特殊區域進行環域、環景拍攝，使模型建置時，不會產生破圖或角度缺漏等影響模型建置。

期望未來透過不斷精進基礎研究與資料建置，將能在第一時間取得災害潛勢區域之基本重要資料，透過不同判釋方法並配合數值模式，藉由設定不同情境假設，提供災害潛勢影響範圍，以提升緊急應變與疏散避難效率，目前隨著氣候變遷影響災害規模與複合性災害衝擊，建議應及早對具保全對象之高潛勢區域，透過不同情境假設及數值模擬結果規劃相關防災、治理、應變對策。

第二節 HEC-RAS 模擬堰塞湖潰決研究

一、前言

台灣除了每年 5-11 月防汛期間帶來的豐沛雨量可能致災外，也面臨地震導致山區土石崩塌等災害。其中，崩塌土體如堵塞河道形成天然壩，當壩體無法承受後方蓄水量時，其潰決時之大量洪水夾帶土砂沖向下游，不僅造成自然環境與生態的劇變，更可能嚴重危及下游沿岸居民的生命財產安全。根據 Schuster & Costa (1986) 的研究顯示不論是地震或豪雨崩塌形成的堰塞湖，50%會於形成後 10 日內潰決，亟需快速完成調查評估與防災作業。但多數堰塞湖形成於集水區上游人煙稀少區域，現地交通不便，調查與資料取得均相當不易。

為快速取得堰塞湖之現地資料，並確保現勘人員與下游居民安全，本計畫透過水土保持局 BigGIS，利用其內建之多元航遙測圖資 (例如每日拍攝的 Planet 光學衛星及每 5 日拍攝的 Sentinel 2 光學衛星) 以及數值地形線上分析工具，提出快速估算堰塞湖之迴水面積及蓄水量的方法，同時以美國陸軍工兵團開發之 HEC-RAS 二維潰壩洪水演算 (Dam-Break Flood Routing) 模組，模擬不同情境下堰塞湖潰決時對下游保全對象造成的衝擊與影響，並以 2021 年 2 月發生於台東卑南鄉東興村大南溪堰塞湖為例，進行方法與模式之驗證。研究流程如圖 4- 22。

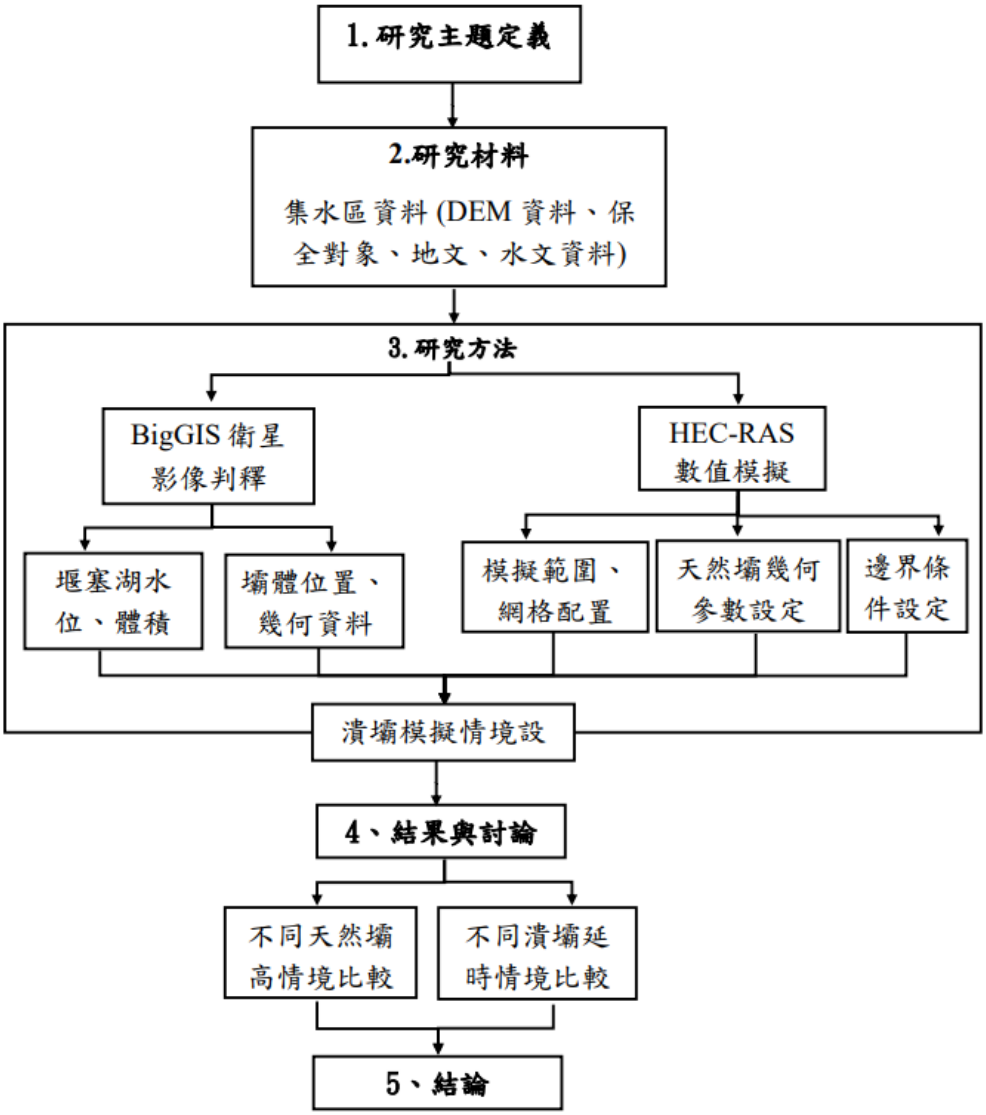


圖 4- 22 研究流程圖

二、材料及方法

(一)大南村堰塞湖事件

2021 年 2 月 5 日民眾通報臺東卑南鄉東興村大南溪水量突然明顯降低 (圖 4- 23)，林務局臺東林管處初判上游區域有崩塌造成溪流阻塞 (坐標：E 120.952702, N 22.725553) ，並於 2021 年 2 月 8 日以直升機空勘時發現大南溪上游 12 km 處右側邊坡土石崩塌阻塞河道，形成寬約 25 m、高 20 m、長 50 m 之天然壩及蓄水量約 2.5 萬 m^3 之

堰塞湖。期間該處天然壩曾短暫潰決，後又於 2021 年 2 月 21 日之衛星影像發現該處復發崩塌導致天然壩堰塞湖規模持續變大。由 2021 年 4 月 7 日衛星影像判釋結果，堰塞湖迴水面積約 8.5 ha，蓄水量約 170 萬 m^3，且壩體已有溢流現象。2021 年 8 月上旬盧碧颱風引進西南氣流造成臺東山區連日降雨，大南溪 2021 年 8 月 7 日上午下游水位驟升，臺東林管處透過即時河川監測影像、集水區降雨分析及水位計紀錄資訊研判應為上游堰塞湖壩體潰決所致，大南溪水位雖然升高，但並未造成溢流或致災。臺東林管處近期透過衛星影像觀測顯示蓄水體已明顯縮小，2021 年 8 月 14 日蓄水面積僅剩約 1.5 ha，最大蓄水深度約 18 m，蓄水量僅剩原蓄水量的 11%(臺東林管處，2021a, 2021b, 2021c)。



圖 4- 23 南投縣仁和村土石流災害範圍示意圖

(二)堰塞湖量體快速評估方式

一般估算堰塞湖水深、蓄水面積及蓄水量時，多仰賴空勘或現地調查，並配合地形圖粗略估算。例如利用現地調查迴水末端與鄰近地形特徵點之相對位置，藉以比對前期地形，可概估為現況水位；再以

現況水位與天然壩體之前期河道高程之差為估算之堰塞湖水深。或是利用蓄水寬乘以迴水長進行蓄水面積之簡易估算 (圖 4- 24)，或利用蓄水體積約等於蓄水面積乘以 1/2~1/3 水深的簡易體積估算方式評估堰塞湖之水體量 (如式 4-1) (林務局，2017)。

$$Volume \cong A * \frac{h_w}{2} \sim A * \frac{h_w}{3} \quad (4\text{-}1)$$

V: *堰塞湖水體量*

A: *堰塞湖蓄水面積*

水土保持局 BigGIS 平台提供多時期航遙測影像圖資以及線上數化加值分析工具，可在人員現勘前即於室內進行初步災害分析以及影響範圍劃設 (陳振宇等，2020)。本計畫使用 BigGIS 提供之挖填方分析功能，以內建之全台 2015 年 20 m DEM 為基礎，於地圖上圈繪分析範圍並指定一高程基準後，即可自動完成該範圍內之挖 (填) 方面積與體積之計算 (圖 4- 25)。其中，本計畫假設該處崩塌發生前，研究區之河道斷面與高程與 2015 年之 DEM 資料一致，此時如將形成堰塞湖後之水位高程指定為挖填方計算之高程基準時，其填方面積與填方體積之計算結果，即等同於該堰塞湖之迴水面積與蓄水量。

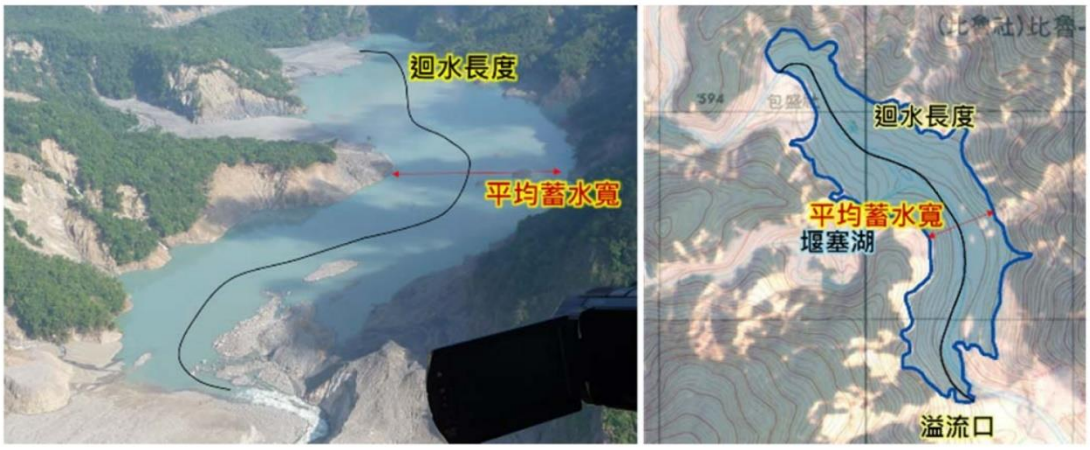


圖 4- 24 蓄水面積估算示意圖 (林務局，2017)

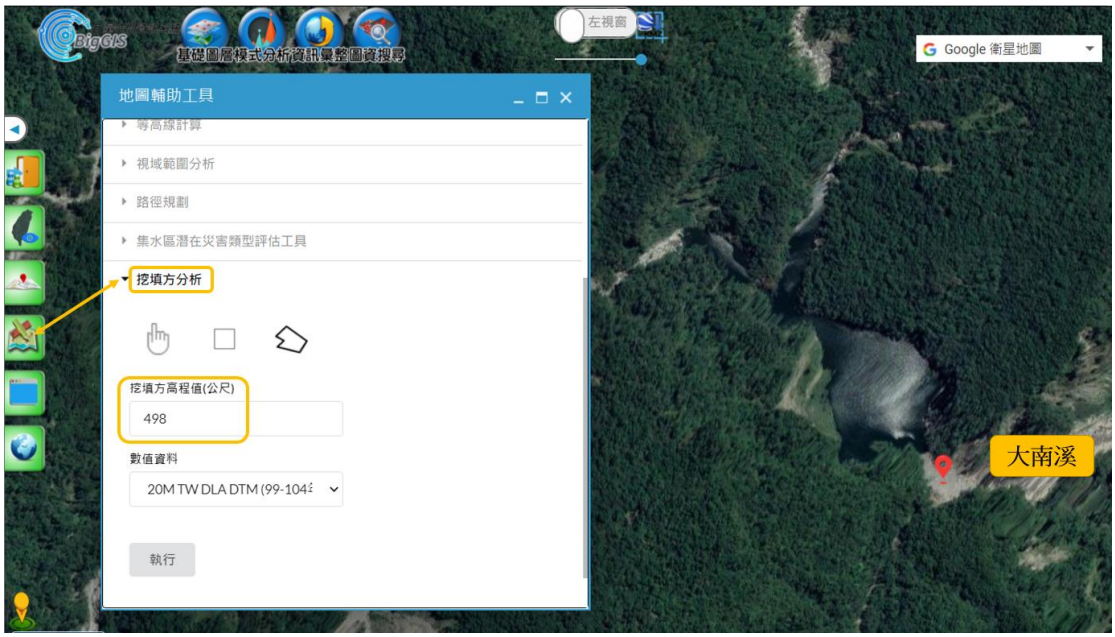


圖 4- 25 BigGIS 內建內政部 20m DEM 資料及挖填方分析工具

(三)潰壩情境模擬方式

由於天然堰塞湖存在時間的不確定性及組成強度的不穩定性，無法準確預估潰壩延時與洪水波衝擊範圍，本計畫藉由 HEC-RAS 二維水理模式分析不同情境潰決與後續水理特性資料，得以快速評估下游保全對象受影響程度與範圍 (吳振佑等，2019)。本計畫堰塞湖二維潰壩模擬專案，以 1 m DEM 為基礎建置模擬地型資料，其網格大小 (Grid Size) 設定 20 m × 20 m 進行計算範圍建置 (2D Flow Area)，計

算總網格數為 73,460 個，模擬總面積約為 29.3 km^2。於天然壩上游邊界設置 2 處入流起點距離壩址約 1.2 km，出流終點為大南溪出口，並以流量歷線 (Flow Hydrograph) 作為上游邊界條件，出流終點為大南溪出口，其邊界條件設定為開放邊界 (Open Boundary)，曼寧 n 值依 HEC-RAS 潰壩模式使用手冊自然型河川 (乾淨但有些許石頭及淺灘的一般值) 之 Manning's n 建議值 0.04 設定，模擬河道總長度自天然壩上游入流邊界至下游出流邊界約為 13.2 km。

由於案例周圍無設置雨量站及流量站等設施，故以下游鄰近之射馬干雨量站搭配合理化公式，假設徑流係數為 0.75 (山嶺區建議值為 0.70~0.80)，採 5 年重現期距 74 mm/hr 和集水區面積 1,891 ha 計算，以上游入流量 293 cms 作為模擬輸入值。在天然壩體高度參數設定部分，由於 2021/2/7 及 2021/4/3 之衛星影像之堰塞湖均已有溢流情形，配合 BigGIS 之堰塞湖量體評估方式，可將當時之水位高程視為天然壩之壩頂高程，進而估算其壩體高度分別為 22 m 與 51 m。為考慮各種極端狀況下之防災風險情境，本計畫分別設定二種天然壩高程為 30 m 和 60 m，潰口形狀為矩形，潰壩延時則分別設定為 0.5 小時及 1 小時。在堰塞湖潰決型式則假設為一般最常見的溢流破壞 (Overtopping failure)，而天然壩潰壩過程之時間與潰壞比例，採用手冊建議之正弦波 (Sine wave) 方式設定。

三、結果與討論

(一)堰塞湖迴水面積及量體估算結果

透過設定不同高程基準之 BigGIS 挖填方分析結果平面圖，對照各期衛星影像之堰塞湖迴水範圍，即可以數化圈繪分析快速評估出不同時期之堰塞湖量體。例如參照 2021/2/7 Planet 衛星影像，當挖填方

高程值設為 468 m 時，BigGIS 分析所得之填方範圍幾與衛星影像迴水區完全相同，故可推估當日堰塞湖水位高程為 468 m，迴水面積約 3 ha，蓄水量約 36 萬 m^3 (如圖 4-26 左圖) 。同理，參照 2021/4/3 Planet 衛星影像，即可推估當日堰塞湖水位高程為 497 m，迴水面積 8.4 ha，蓄水量 178 萬 m^3 (如圖 4-26 右圖)，此結果與林務局臺東林管理調查之結果十分接近 (臺東林管處，2021b)。



2021/2/7 Planet衛星影像　　2021/4/3 Planet衛星影像

圖 4-26 BigGIS 挖填方分析工具估算堰塞湖迴水面積及蓄水量(紅色填方；藍色挖方)

(二)HECRAS 模擬堰塞湖潰決結果

1. 堰塞湖潰決沿程洪峰流量估算

堰塞湖潰決沿程洪峰流量估算本案例以 HEC-RAS 二維潰壩模式演算，分別以壩體高度 60 m 與 30 m、潰壩延時 0.5 小時及 1 小時進行初步潰決洪峰流量、洪水波水位等資料估算，其中洪峰流量模擬結果如圖 4-27。以壩體高度 60 m 之案例為例，如其潰壩延時分別為 0.5 小時及 1 小時，其距天然壩 1.3km 處之潰壩洪峰流量分別為 3,843.41 cms 及 1,902.67 cms，於下游 5 km 處其洪峰流量分別為 3,678.22 cms

及 1,879.08 cms，於下游 12 km (大南溪出水口處) 洪峰流量分別 3,549.97 cms 及 1,862.31 cms。由此可知潰壩延時 0.5 小時之洪峰流量約為潰壩延時 1 小時之 2.02 ~ 1.91 倍，其洪峰衝擊影響為最大。

(1) 堰塞湖潰決沿程水位及流速估算

為評估堰塞湖潰決後，下游沿岸設施是否會因水位抬升或洪水流速過大而造成毀損，壩體高度 60 m 與 30 m、潰壩延時 0.5 小時及 1 小時之洪峰水位及最大流速之模擬結果如圖 4-27 及圖 4-28。其中以壩高 60 m 潰壩延時 0.5 小時之模擬結果為例 (圖 4-29)，由天然壩潰壩處往下游傳遞之洪水波沿程變化，在下游約 3 km 處洪峰水位約為 6 m (流速約 9.9 m/s)，在 6 km 處水位上升最大約為 11.9 m (流速約 11.2 m/s)，而再往下游因河寬變寬，洪峰水位已逐漸下降，惟流速仍偏高。以下游 11 km 東興取水口處為例，其洪峰水位上升僅約 1 m，惟其流速仍高達 16 m/s，故需注意加強其水工結構物之防護。

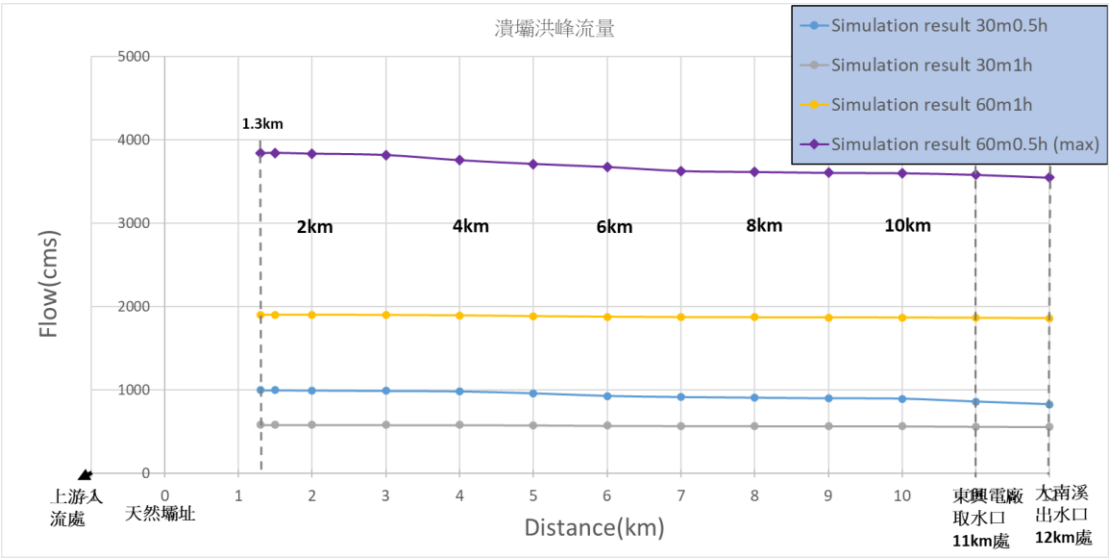


圖 4-27 潰壩洪峰流量沿程示意圖

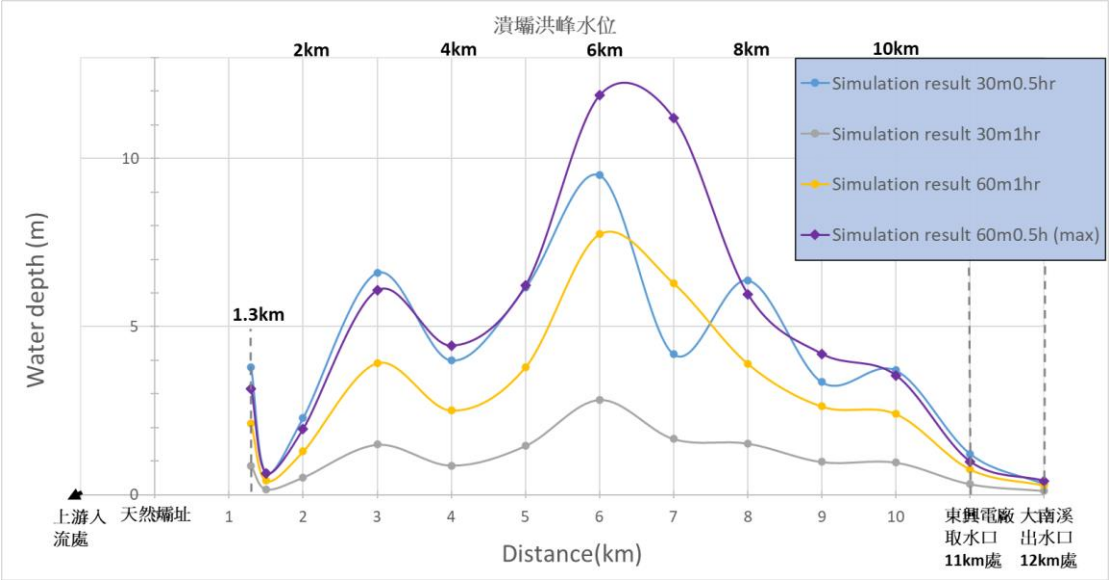


圖 4- 28 潰壩洪峰水位沿程示意圖

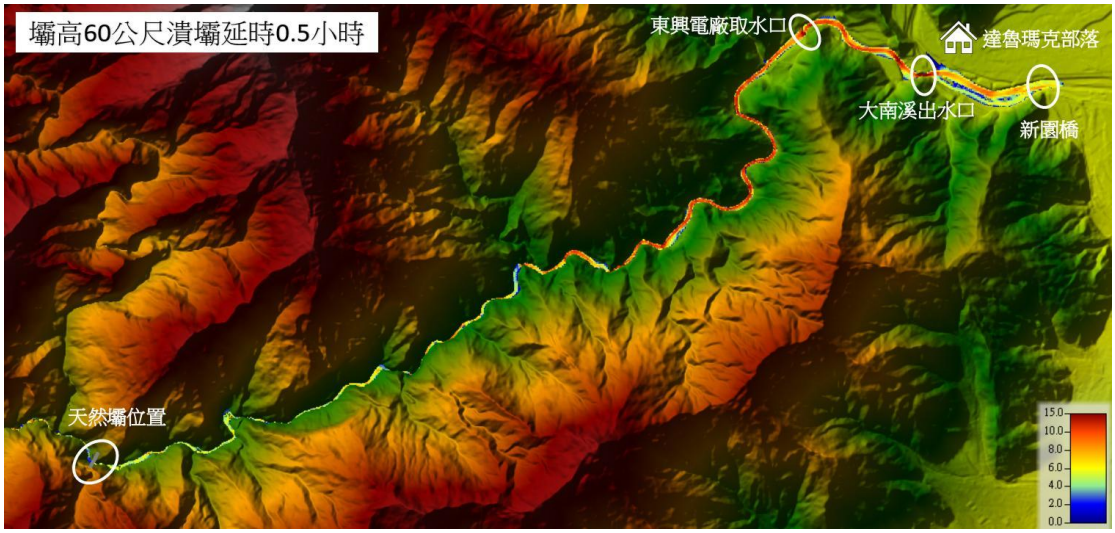


圖 4- 29 壩高 60 m 潰壩延時 0.5 小時之洪峰流速模擬結果

(2) 保全對象衝擊影響評估

本計畫以天然壩下游 12 km 處之達魯瑪克部落及 13.25 km 處之新園橋 (台 9 乙線) 為保全對象探討洪水波衝擊影響，運用 HEC-RAS 水理模式計算各情境條件之潰壩洪峰水位。由不同天然壩高情境成果顯示，以壩體高度為 60 m 之模擬結果，潰壩延時 0.5 小時及 1 小時

之洪峰水位分別約為 125 m 及 124 m，其水位距離達魯瑪克部落周邊之最低的河岸高程仍有 5 m，堤岸距離達魯瑪克部落約有 200 m (圖 4- 30)。在 13.25 km 處新園橋以壩體高度為 60 m 情境模擬結果，其潰壩洪峰水位則分別為 108.61 m (潰壩延時 0.5 小時) 及 107 m (潰壩延時 1 小時)，距離橋面則有 8.34 m 之落差，對於新園橋並無造成溢淹狀況 (圖 4- 31)。

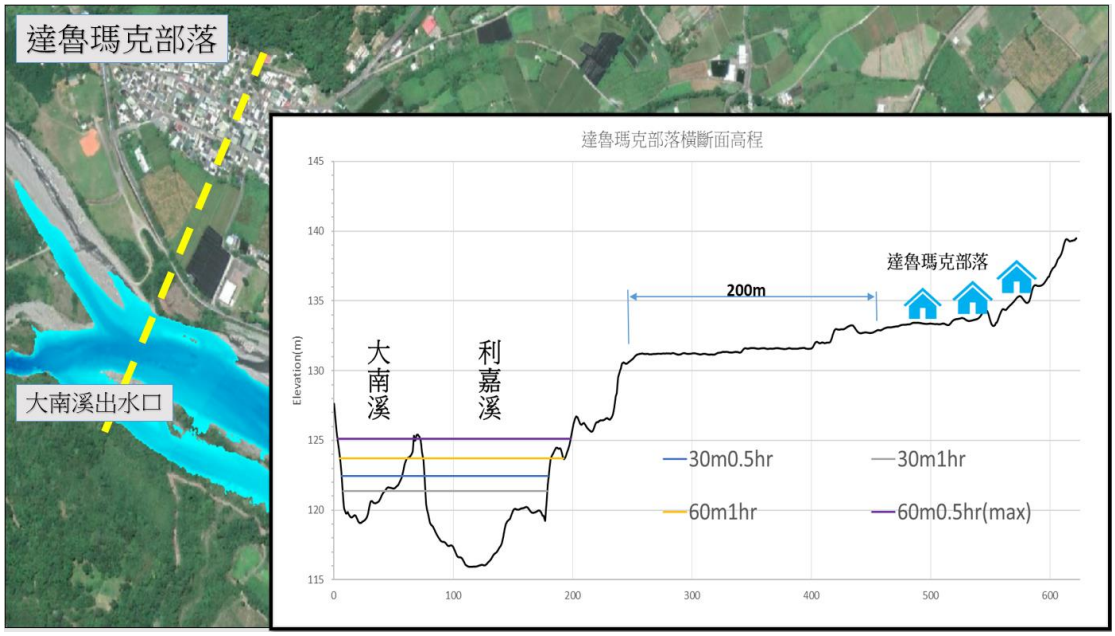


圖 4- 30 達魯瑪克部落洪水波水位演算橫斷面圖

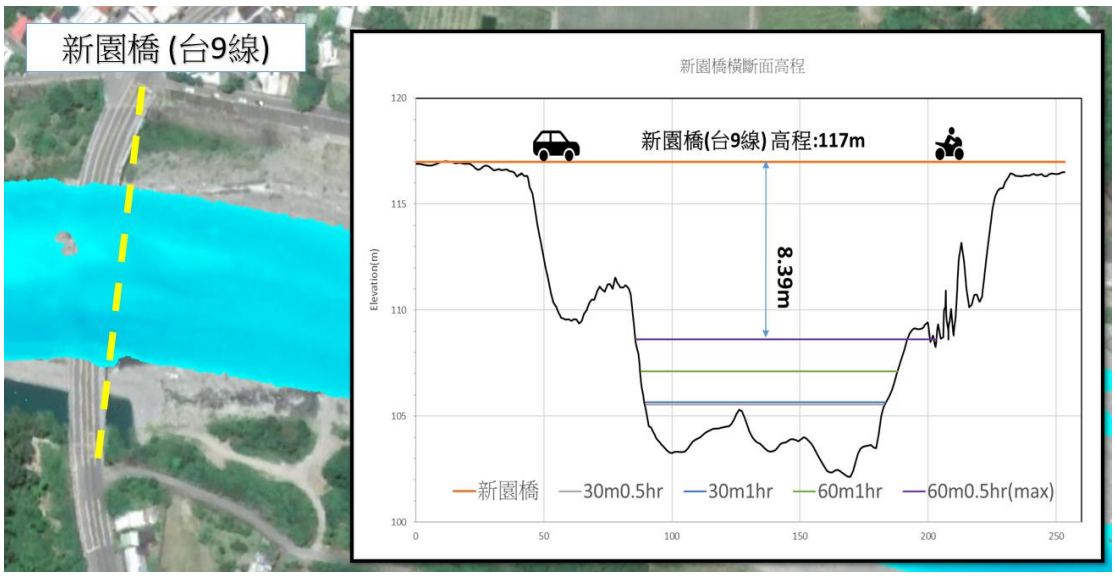


圖 4- 31 新園橋 (台 9 線) 洪水波水位演算橫斷面

四、評估與建議

由於堰塞湖多發生於深山且通常於形成後數日即潰決，因此如何快速完成調查及評估其可能造成之災害衝擊係為防災應變期間的首要工作。本計畫應用水土保持局 BigGIS 平台所提供多元航遙測影像及挖填方線上分析工具，搭配 HEC-RAS 二維水理模組，已建立一套完整的堰塞湖快速評估及風險情境模擬機制，經實際案例操作結果，與林務局現行評估作業結論相當一致，並可提供本局防災中心現行評估作業，並提供相關情境模擬資訊，以作為應變作業之參據，且本計畫所提出之方式更快速、便捷並降低調查人員於現場作業時的風險。此外，未來 BigGIS 平台如能將 HEC-RAS 二維水理模組之模擬結果，以視覺化方式呈現於 BigGIS 之底圖上，除將更有利於各級政府防災決策外，亦能成為第一線防災人員對民眾進行防災疏散避難宣導時的利器。

第三節 土石流流動模擬研究

一、前言

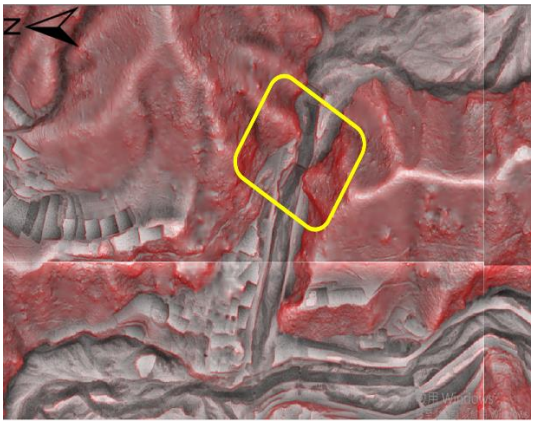
土石流 (Debris flow) 是河川中、上游集水區常見的自然地質現象 (詹錢登，2000)，常發生於山區的溪溝或陡峭邊壁斜面上，擁有多種樣貌之流動特徵，其發生需具備足夠的水供應、足夠的溪床堆積物、足夠的坡度等三個基本條件，為一種飽含大量泥、砂、石塊和巨礫等物質與水之混合物的流動體。一般而言，土石流發生地，常具有明顯或可辨識的坑溝流路，其以重力作用為主，水流作用為輔的一種高含砂濃度混合之兩相流 (two-phase flow)，下游堆積處常形成扇狀堆積區，其流動前緣有巨大石礫聚集 (水土保持手冊，2017)。

土石流潛勢溪流 (potential debris flow torrent) 為溪流具備土石流發生的自然因子和條件，且影響範圍內具保全對象，經綜合評估研判可能發生土石流災害之溪流或蝕溝。因土石流具高強度輸砂能力及沖淤作用，能在短時間內攜帶大量大小混雜之土砂顆粒，且會危害溪流沿岸和下游地區人民生活及財產安全。

近年來，國內水土保持局及相關單位在進行土石流潛勢溪流之判讀與細部微地形特徵判釋，已具卓越成效。依據「土石流潛勢溪流劃設作業手冊 (水土保持局，2019)」，針對擬新增之土石流潛勢溪流是否屬可能發生土石流災害之溪流，須先經初步判定作業，符合條件後，再進行現場調查作業，以事先瞭解土石流潛勢溪流地形特徵與溪流周圍的地形環境。而土石流影響範圍劃設，需先選定土石流溢流點位置，估算其潛勢溪流土砂流出量與集水區面積，並以池谷浩公式計算淤積長度，後根據土石流最大擴展角 (105 度) 劃設扇型區域，再以坡度 2 度為土石流停止點及最大堆積深度 (10 ~ 12 m) 等條件，依現場地

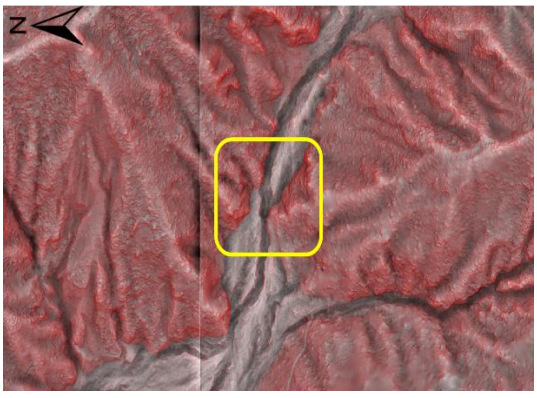
形編修土石流潛勢溪流影響範圍。

土石流溢流點為容易溢出河道之位置，其位置選定會決定上游集水面積即影響下游之影響範圍劃設，因此溢流點之判定為非常重要之判釋基礎工作。由現地勘查或室內作業判定流流點位置，其地形條件為坡度陡變處、地形開闊處、谷口、障礙物及河道轉彎處等 (圖 4- 32)。但目前土石流溢流點位置多取決於調查人員之經驗及主觀判定，其結果常因人而異。因此需應用具有極佳立體感及可呈現微地形特徵優點之 H.O.S.T 地圖進行溢流點選定，較能符合該土石流事件土砂堆積之現象。



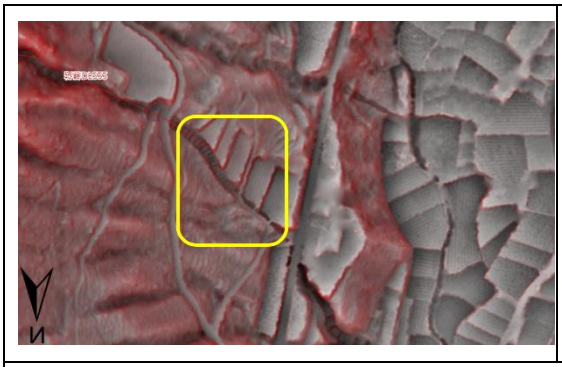


A、谷口

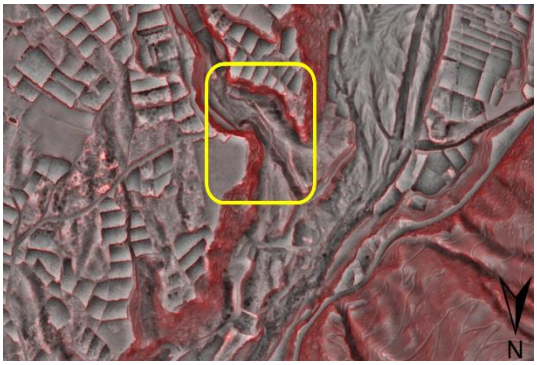




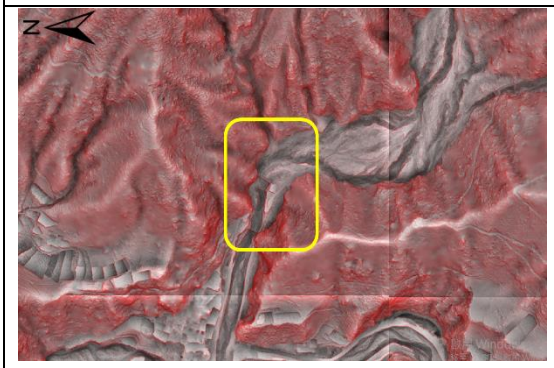
B、地形開闊處起點




C、坡度陡變處




D、障礙物處




E、河道轉彎處

圖 4- 32 溢流點之地形特徵參考

本計畫以 2021 年高雄市桃源區玉穗溪明霸克露橋遭沖毀事件為例，以 H.O.S.T 地圖選定溢流點，再藉由土石流二維動床模擬，探討溢流點位置對於土石流影響範圍之差異。結果顯示，不同溢流點位置，對於下游土砂堆積形狀及淤積高度影響甚大。

2021 年 8 月 7 日於高雄市桃源區台 20 線明霸克露橋發生土石流災害事件，上游坡面崩塌面積約 128.2 ha，崩塌率約 10.4%，平均崩塌深度以 1.5 ~ 2 m 估算，崩塌量體約 202 萬 m^3，堆積範圍長約 800 m，寬約 250 m，堆積面積約 200,000 m^2，平均堆積深度約 10 m。本次事件造成明霸克露橋樑沖毀，道路掩埋長度約 800 m，所幸無人員傷亡 (圖 4- 33 及表 4- 2)。



圖 4- 33 玉穗溪土石流事件災害示意圖

表 4- 2 玉穗溪事件概況表

縣市	高雄市	保全戶數	0
鄉鎮	桃源區	鄰近道路	台 20 線
村里	勤和里	地標	玉穗溫泉
崩塌規模	明顯大面積崩塌	崩塌量體	202 萬 m^3
坡度因子	≦30 度	堆積土石	≧10 m
土地利用	崩塌區為原始林無開發	地質條件	畢祿山層、潮州層
雨量站	復興、小關山	災害時雨量資料	時雨量：7 mm/hr 累積雨量：817 mm

二、材料與方法

由於土石流對於下游保全對象造成之危害取決於土石流規模與淤積段之淤積範圍。此次玉穗溪明霸克露橋遭沖毀事件，下游雖未有保全對象，但因強降雨挾帶大量土砂衝擊匯流口之明霸克露橋，且後續仍有土砂不斷遭受溪水挾帶而出，顯示災害預測之不確定性，且土石流受地表地形影響將改變其流動及淤積行為，因此本計畫應用數值模擬分析，探討溢流點位置及土石流堆積區對於土石流流動及堆積區範圍之影響，期望研究成果可供評估土石流潛勢溪流影響區精進之參考。

(一)研究區域

玉穗溪明霸克露橋，橋身全長 695 m，設計可抵擋單一累計雨量 800 mm，位於台 20 線 (南橫公路) 約 94K 處，交通可由台 20 線經寶來、勤和抵達，水系屬荖濃溪中上游支流-玉穗溪流域，位於荖濃溪流左岸，因受布唐布納斯溪沖積扇淤積影響，玉穗溪匯流口為荖濃溪攻擊坡位置。玉穗溪集水區最高點海拔約 2,795 m，最低點海拔約 587 m，集水區面積約 1,237 ha，如圖 4-34 所示，集水區險峻值 (MR) 為約 0.6，屬於高含砂水流與土石流混合類型。

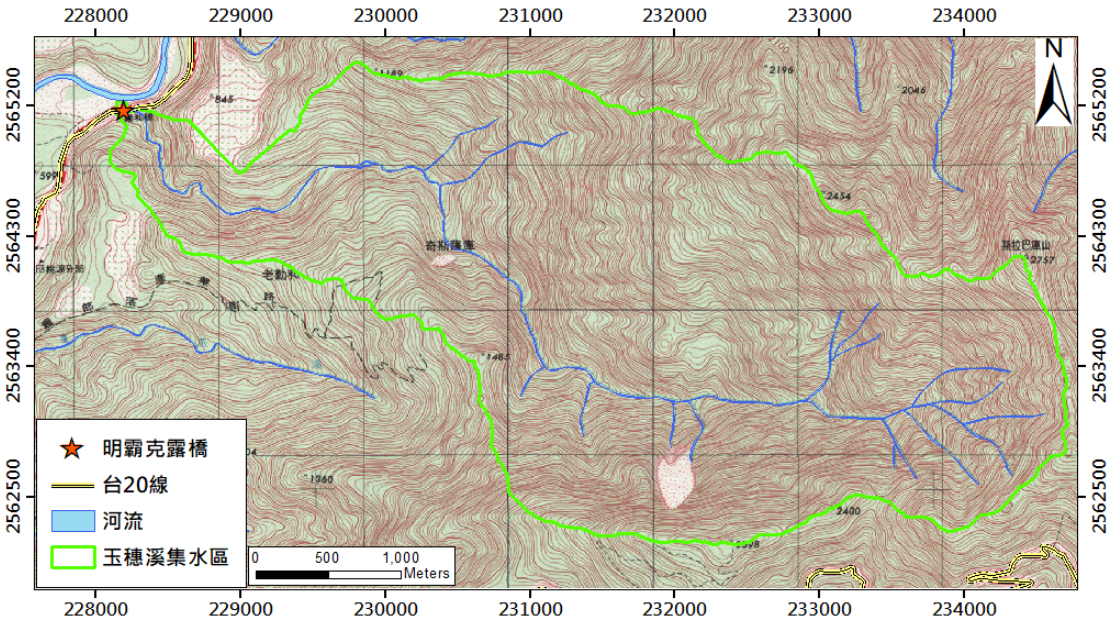


圖 4- 34 玉穗溪集水區區域地形圖

地質方面，玉穗溪集水區所在地層為中新世中期潮州層，上游崩塌地為始新世畢祿山層，潮州層岩性以硬頁岩或板岩間夾透鏡狀砂岩體為主，畢祿山層岩性以變質砂岩及變質火成岩透鏡體為主。地質構造分布方面，本區地質構造大致呈北北東-南南西走向延伸，潮州層與畢祿山層間有唯金溪斷層通過，玉穗溪上游則有檜谷斷層經過，如圖 4- 35。經調查本處土石流災害之上游崩塌地位於地調所 2014 年公告之山崩與地滑地質敏感區內，但因下游無保全住戶，故未列入水土保持局公開之土石流潛勢溪流。

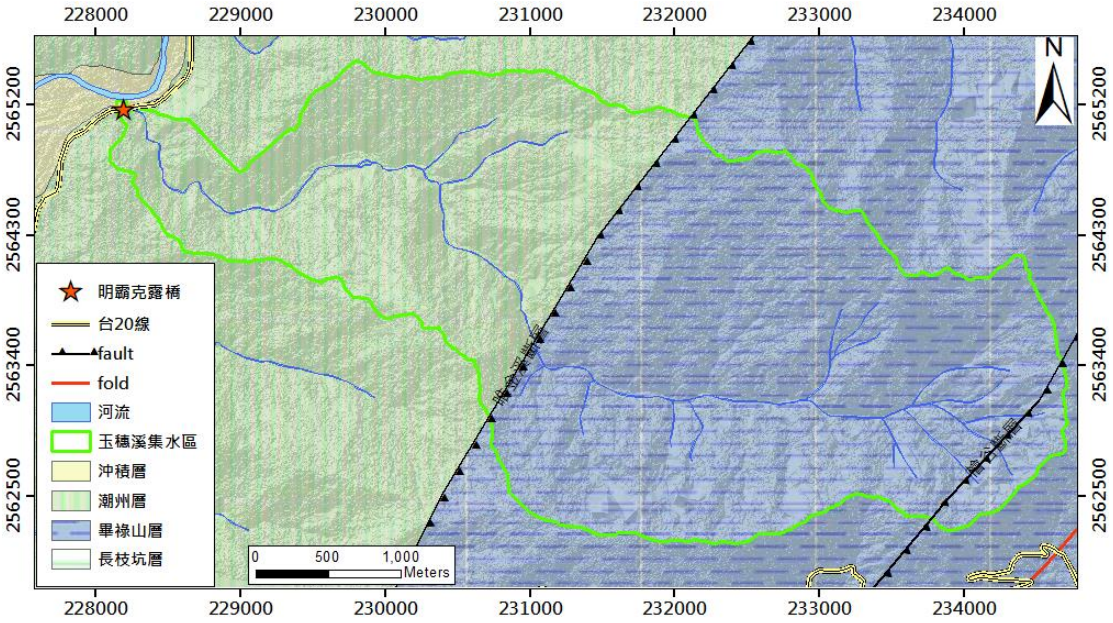


圖 4- 35 玉穗溪集水區區域地質圖

(二)模擬方法設定

本計畫應用 Hyper Kanako 土石流數值模擬模式進行此次玉穗溪事件之模擬，Hyper Kanako 模式為依據京都大學 Takahashi 教授等人之理論發展而成 (Takahashi and Kuang, 1986; Takahashi and Nakagawa, 1991; Takahashi et al., 2001)，藉由求解水深、流速與地形變動來解析土石流運動及堆積過程，其理論方程式包含連續、動量、河床變動、侵蝕與堆積速度及底床剪應力等，而後整合為一維及二維之土砂數值模式，並開發成視窗化使用者介面 (Nakatani et al., 2008) ，以簡化地形建置及數值參數輸入方式。

透過 Hyper Kanako 模擬，以瞭解與比對與真實土石流發生之流動及堆積範圍，本計畫透過基礎資料及現場 UAV 空拍資料，蒐集建置數值模擬所需之參數及情境設計，基礎資料包括災害前於 2011 年空載光達所拍攝產製之 1 m 解析度 DEM 建置災前地形，災害事件雨量資料、土石流溢流點位置選點、土石流淤積區範圍及相關資料等。

水文資料方面，由於無架設流量站相關資料，因此以合理化公式估算流量歷線作為模式輸入水文資料，而雨量資料方面，蒐集復興與小關山兩處雨量站，由組雨量圖 (圖 3- 33 及圖 3- 34) 顯示，復興雨量站最大降雨強度約 11 mm/h，其累積雨量達 553 mm；小關山雨量站最大降雨強度約 7 mm/h，其累積雨量達 817 mm。其土石流上游入流量之計算，則是使用合理化公式配合降雨資料進行水文分析，推估尖峰流量。

三、模擬結果

藉由 Hyper Kanako 對於土石流溢流點進行模擬，配合現場 UAV 空拍調查資料及災害事件重現等資料，探討土石流發生之流動區堆積變動情況。由於土石流受地形影響，可能造成其流動及淤積區位發生變動之情況，因此土石流溢流點擇定，常會考量其地形地貌特徵，或設置至少 1 點以上之溢流點作為判定依據。

根據 2021 年 8 月 11 日 UAV 空拍所產製之正射影像判釋，發現位於河道中下游段，因位處河道地形開闊處，且河道趨於平直，不似中上游仍有多數彎蜒地形，因此開始有土砂淤積的情形，顯示河道上地表作用由侵蝕或搬運轉為堆積作用，並擇定此交叉點為玉穗溪之溢流點 (圖 4- 36)。

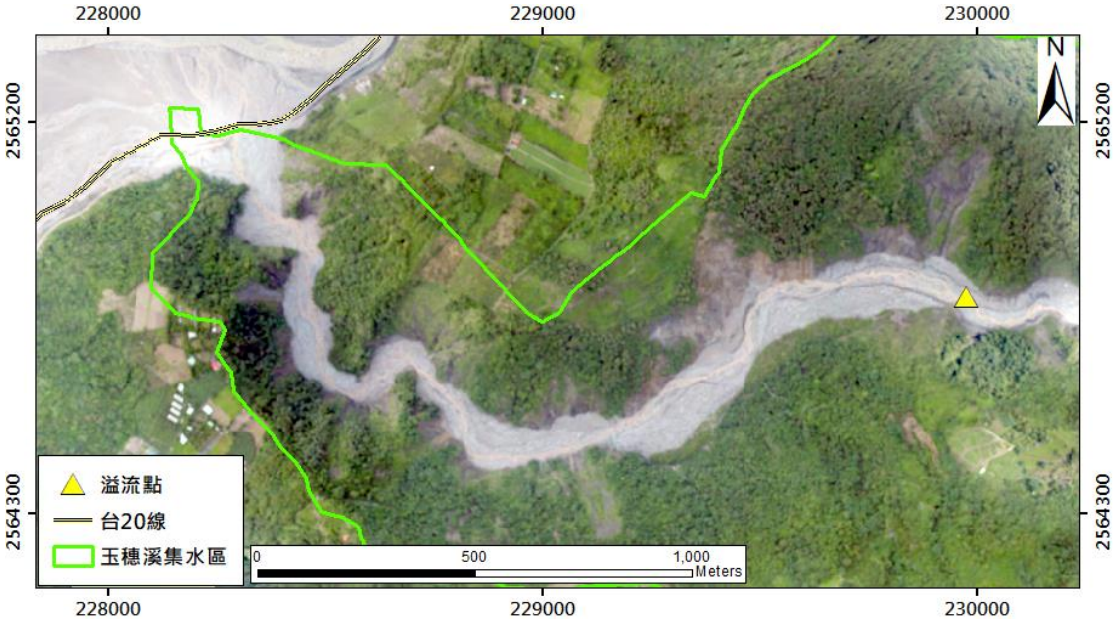
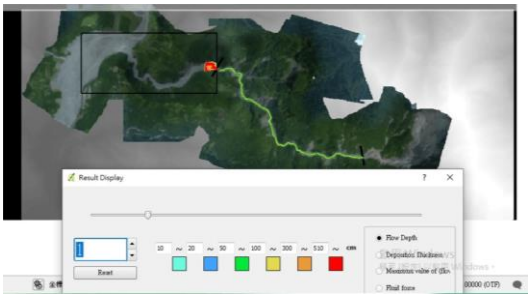
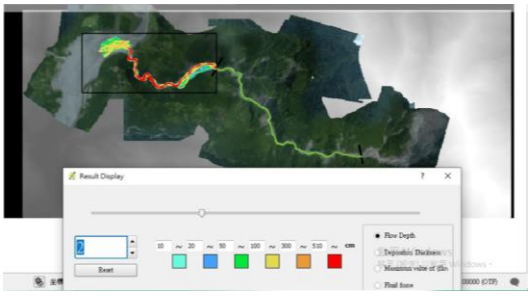
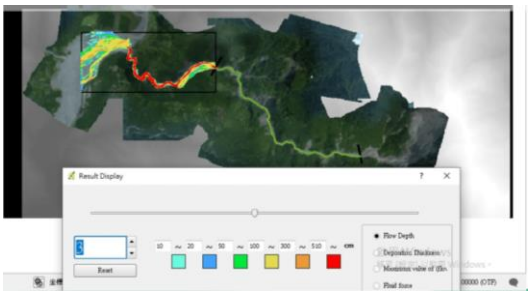
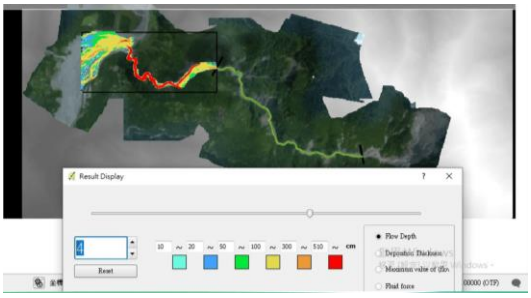
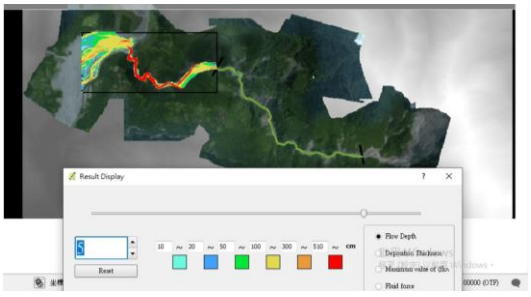
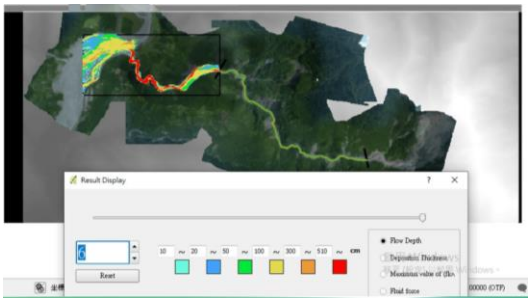


圖 4- 36 UAV 空拍產製正射影像所判釋溢流點位置

分析其模擬結果，如表 4-3 所示，在第 300 秒時，土砂即開始淤積，堆積高度大於 5 m 以上；第 600 秒時，土砂已運移至匯流口，開始堆積於荖濃溪河道上;第 900 秒時,土砂大部分堆積淤積至匯流口，已有部分土砂遭荖濃溪溪水向下游沖刷；第 1,200 秒，仍有大量土砂持續往匯流口堆積，且多已受荖濃溪溪水影響，被沖刷出來之土砂開始往下游淤積，而此時溢流點附近之土砂淤積已趨於平緩；第 1,500 秒，土砂仍大量朝匯流口淤積，且此時匯流口形成之沖積扇地形已為最大範圍之淤積地形，而上游土砂堆積情形已趨緩；第 1,800 秒，土砂雖仍持續朝匯流口淤積，但已可見其淤積情形不如第 1,200 秒及 1,500 秒 ，顯示土石流其在流動過程中受地形影響，造成土石流流動之動能不足，且因溢流點以下之河道淤積逐漸增加，造成淤積於河道之土砂大於匯流口，而由土砂沖刷情形可發現，玉穗溪中下游河道因受土砂掏刷影響，中下游、溢流點之地形開闊處其河道寬度比上游寬闊，且都有大量土砂堆積。

表 4- 3 Hyper Kanako 模擬玉穗溪成果

	
第 300 秒	第 600 秒
	
第 900 秒	第 1,200 秒
	
第 1,500 秒	第 1,800 秒

四、結論與建議

土石流災害由於受到雨量、地形地貌、地質之影響，使得不易預測其發生與堆積之情形，本次使用 Hyper Kanako 土石流二維動床模擬程式，並考量上游土石流溢流點位置依據此事件模擬結果，提出以下幾點結論：

利用 Hyper Kanako 進行土石流事件模擬，能夠模擬土石流之流動情形。結果顯示，對於溢流點位置之擇定，將造成土石流流動區域

之變化，直接受到溪流地形影響，造成土砂大量淤積於河道較為平直與地形開闊處。

由於從 H.O.S.T 地圖發現，玉穗溪之溢流點，可能不止一處，如圖 4- 37 所示，其餘可能溢流點位置為一、原先明霸克露橋橋樑設置位置；二、玉穗溪與茗濃溪河道匯流口之谷口地形位置，因此未來或可透過不同溢流點位置，模擬不同溢流點於土石流潛勢溪流影響範圍之成效，其使用之數值高程資料，更應進一步搭配現場勘查，並考量溪流地形是否有隘口、彎曲等特徵地形，以精進溢流點位置之設置，避免錯估土石流之流動及淤積範圍 (圖 4- 37)。

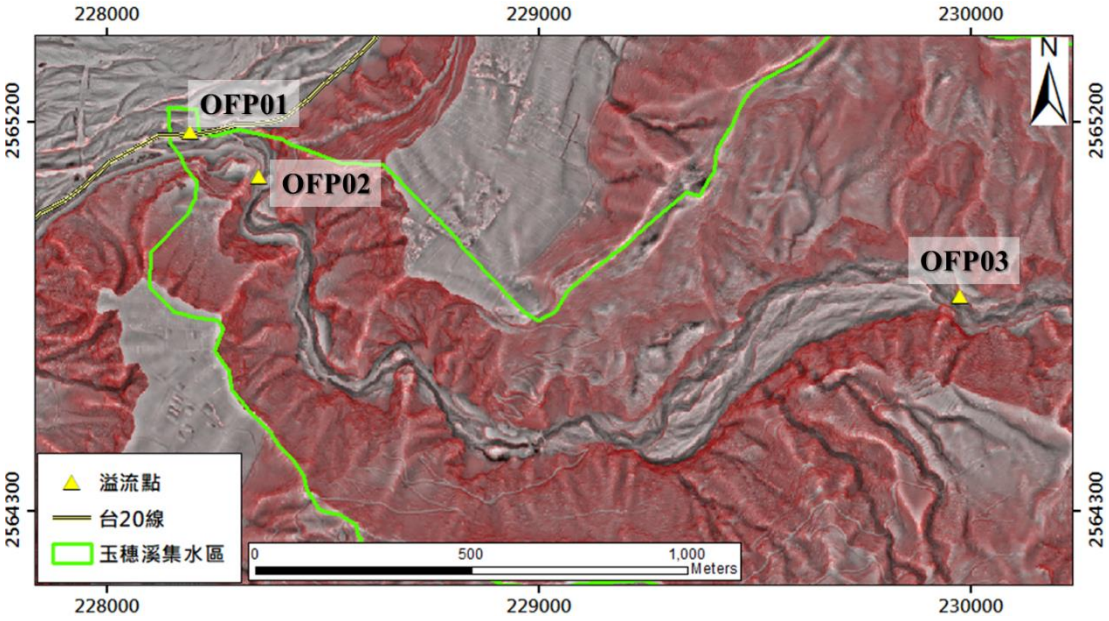


圖 4- 37 H.O.S.T 所判釋所有可能為溢流點之位置

本計畫藉由 Hyper Kanako 進行玉穗溪明霸克露橋遭溪水沖毀之災害事件模擬，其模擬結果符合現場 UAV 空拍調查成果，但由於缺乏影響區域內土砂材料，並無法進行各項模擬參數之率定與驗證，因此尚無法依據率定之參數模擬出與本災害事件相仿之影響範圍與計算出流出土砂量，其次本計畫並未考慮多次發生土石流事件，因此對

於後續再度發生之土石流災害事件尚無法評估其規模與土砂量，建議後續研究可持續蒐集土砂材料參數數據，及加入多次性土石流事件於模擬條件，以精進土石流流動影響區之模擬。

第五章 國內外土砂防災研究發展議題

今年 (2021 年) 可謂是全球的氣候變遷年，聯合國政府間氣候變化專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 最新的 Sixth Assessment Report (AR6) 報告書於 2021 年 8 月發布，統整了溫室氣體 (Greenhouse Gas, GHG) 排放對全球氣候變遷之影響。溫室效應導致極端事件發生頻率與災害強度增加，其中降雨延時與強降雨之降雨型態變化，使複合型土砂災害事件頻繁，同時包含淺層崩塌、土石流、深層崩塌、堰塞湖、洪水等多種災害型態，在時間、空間及其因果關連的交互作用下，不同於過往單一災害事件型態，其影響範圍及規模不斷放大；再加上海平面上升、颱風強度增加、豪雨與乾旱發生頻率增加、融雪增加等情況，造成暴潮及海岸侵蝕、大範圍洪水災害、土砂災害劇烈化與缺水危險性增大等現象，使得國土保育及人民生命安全遭受巨大威脅，造成國內河川及土砂防災治理上必須面對更加嚴峻之考驗 (圖 5- 1)。

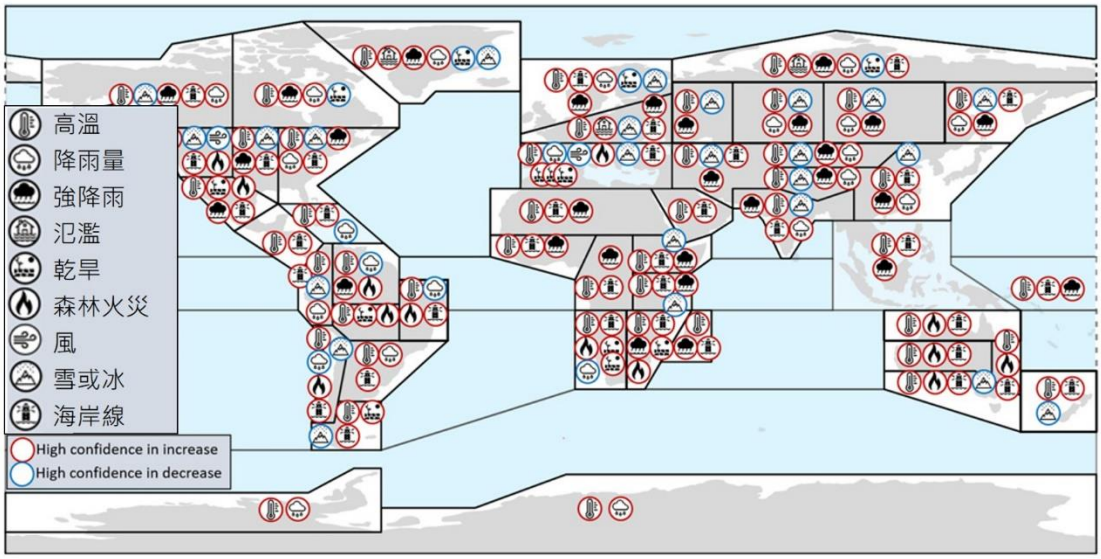


圖 5- 1 溫室效應影響下各類型災害之威脅 (IPCC AR6)

由於氣候變遷為長期環境交互循環影響，因此，瞭解目前氣候變動趨勢及國外防減災調適對策制定方向，有利於建立國內減緩及調適策略作為。本計畫蒐集國內外氣候變遷相關研究與報告，研析其因應作為、災害風險評估、調適策略制定、防減災對策等整合及應用方式，同時重點摘錄氣候變遷情境預測、調適策略制定方向及措施、地質資訊建構及新興防災技術應用等，俾作為國內推動防災對策之參據，期能降低氣候變遷所導致之災害風險，強化整體防救災調適能力，精進河川及土砂防災對策，並建立坡地智慧防災。

為因應近年來各種氣候變遷的變化，各式新型態的地圖展示模式陸續發展，儘管目前 Google Earth 等三維地形展示工具已非常便利，但實務上，平面地形圖仍是工程規劃設計時不可或缺的基礎工具。然而，如等高線法、分層設色法、立體陰影法等的傳統平面地形圖，無法呈現微地形特徵外，對於一般民眾而言，亦不易直接透過圖資判讀地表變化，或於腦海中自動轉換成三維地形。而工程規劃設計時，為了解地下地質構造，尚需仰賴地質剖面圖資作為參據。隨著地理資訊系統與三維資料處理技術的進步，地質學家們已可將複雜的地下地質構造及大量地質調查的資料，以視覺化及立體化的方式建模，呈現出三維地下構造。

並於章節最後探討新興防災技術的發展趨勢，著重於 UAV 的應用、碳捕捉技術及 AI 於防災技術的應用，其中介紹 UAV 的各項防災應用，幫助政府或防災人員能調查到人類所較難到達的部分。再者以世界最大 DAC 工廠於 2021 年 9 月 8 日開始運行對碳捕捉技術作為介紹，期透過附近地熱發電廠提供的乾淨能源動力，開發一座每年可吸收 4,000 噸 CO_2 的 DAC 工廠，捕獲能力相當於 790 輛汽車一年

的排放量。最後，簡介人工智慧應用於防災科技的路線，以 AI 分析社群網路 (Social Network Services, SNS) 訊息為例，利用 SNS 訊息傳播比傳統媒體還快的優勢，快速統計災害位置、規模及傷亡人數等，供防救災人員能快速掌握災害狀況，做出決策以利救災規劃。

儘管以目前的技術對於精準掌握災害的發生仍有一定的限制，而相較於過去缺乏資料蒐集與遙測影像的時代，各國相關單位已經開始建置環境基礎資料庫及回朔歷史災害紀錄，多元的遙測衛星也如火如荼地出現，並以開放資料型式提供給民眾使用。有了大量的歷史資料及更詳細的環境調查，將有助於模式建置和參數率定，未來若結合人工智慧與大數據，增加訓練樣本數量，災害的監測與預判準確度相信能有一定的突破。本章節將提供目前國內外對於未來能更快速的因應氣候變遷帶來的劇烈天氣變化調適研究的新興科技及防災課題。

第一節 國內外氣候變遷相關研究報告蒐集與彙整

國內外已有許多研究針對氣候變情勢進行相關研究，本節蒐集目前氣候變遷相關文獻資料，整理各領域災害所面臨之課題，而後在氣候變遷情勢推估中，藉由歷史觀測資料、分析趨勢、模擬情境資料、氣候變遷對降雨量變化率、未來氣候變遷趨勢、近年土砂災害課題等研究，以了解氣候變遷的變化，如全球氣候變遷所引發升溫情境、極端高溫、降雨型態變化、水資源匱乏、海平面上升、極端氣候事件等衝擊，探討氣候變遷情勢。

因應氣候變遷下土砂移動現象及制定相應防災整備計畫，需精進目前對於土砂災害的評估技術，因此如何推估氣候變遷導致豪雨增加情況下，土砂生產量、土砂運動影響範圍、何種土砂災害將更頻繁等議題更顯重要。目前國外經驗多藉由歷史災害事件，綜整降雨特性變化造成何種土砂移動現象及頻率改變，並考量地質、地形、氣候水文條件等各方面影響，設定不同土砂生產情境，以推估土砂移動現象可能影響範圍，以持續精進調查與評估土砂量法準確性。隨著氣候變遷及防災科技的發展，應將避災觀念調整為調適，增加應變災害之能力，使防災重於救災，確實執行防災工作項目及提升社區自主防災能力，完善災害防救整備工作。

一、氣候變遷情勢推估

根據 IPCC 第六次評估報告 (AR6)，以對比圖的方式呈現 2015-2100 年間多種模式預測的五種溫室氣體 (GHGs) 排放情境設定 (圖 5- 2)。顯示「非常高 (SSP5-8.5)、高 (SSP3-7.0)、中等 (SSP2-4.5)、低 (SSP1-2.6) 及非常低 (SSP1-1.9)」等個別情境下，二氧化碳 (CO_2)(左)、甲烷(CH_4)(右上)、一氧化二氮(N_2O)(右中) 和二氧化硫 (SO_2)(右下) 的排放軌跡。

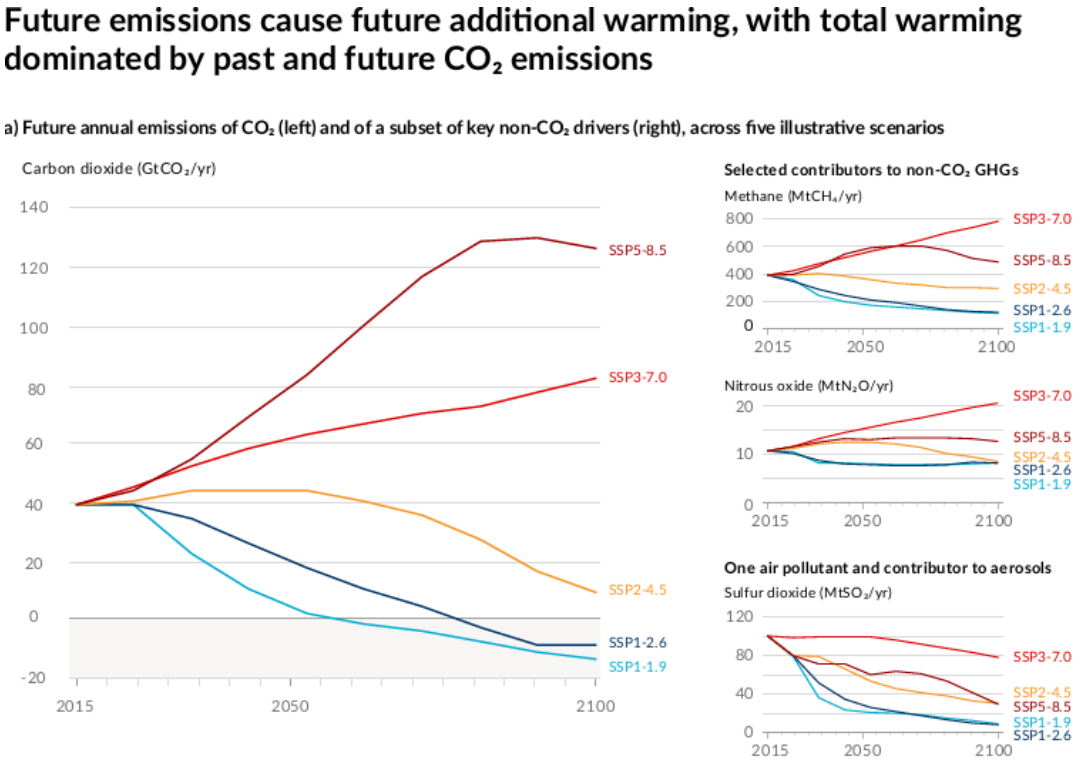


圖 5- 2 IPCC AR6 中五種情境溫室氣體排放模擬圖 (IPCC AR6)

對於 CO_2 累積排放量與全球表面溫度之間的關係進行模擬 (圖 5- 3)。AR6 採用組合型式的對比圖來展示模擬成果，其中以灰底與黑線標示 1850 年至 1900 年以來觀測到的全球地表溫度，再利用不同的色彩顯示各情境到 2050 年間的全球累積二氧化碳排放量及表面溫度的預測。清楚的看出二氧化碳累積排放量對於全球變暖的貢獻。

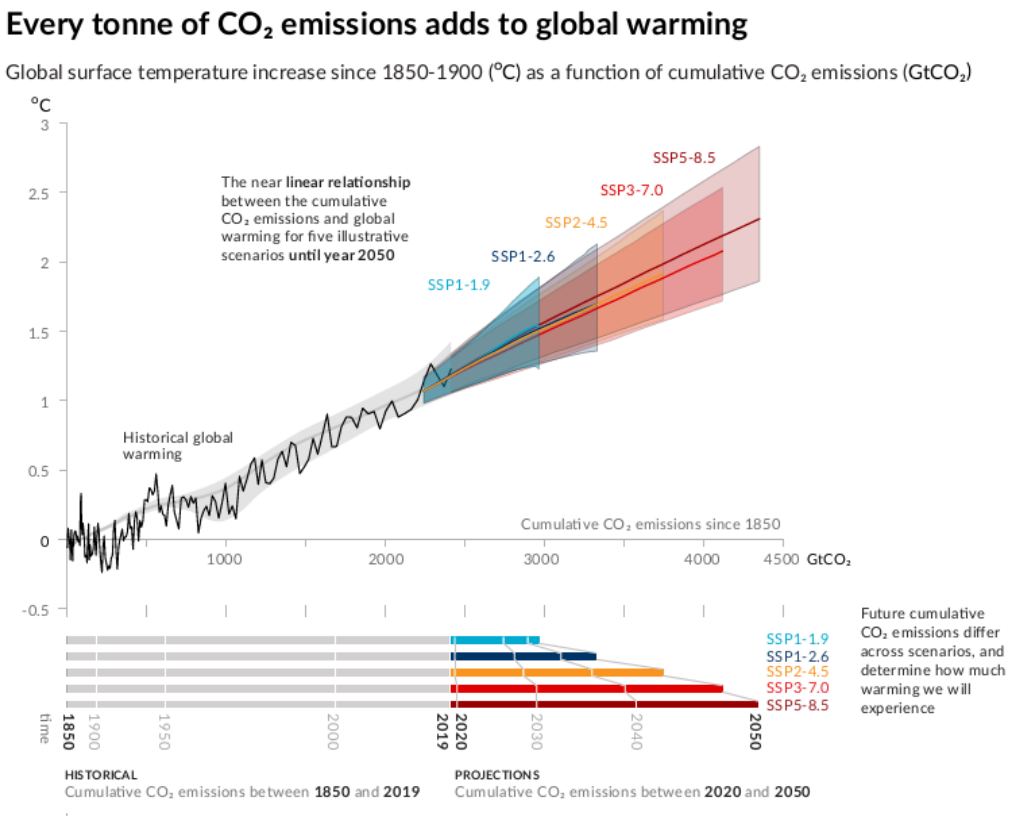


圖 5- 3 二氧化碳累積排放量與全球表面溫度之間的近線性關係 (near-linear)(IPCC AR6)

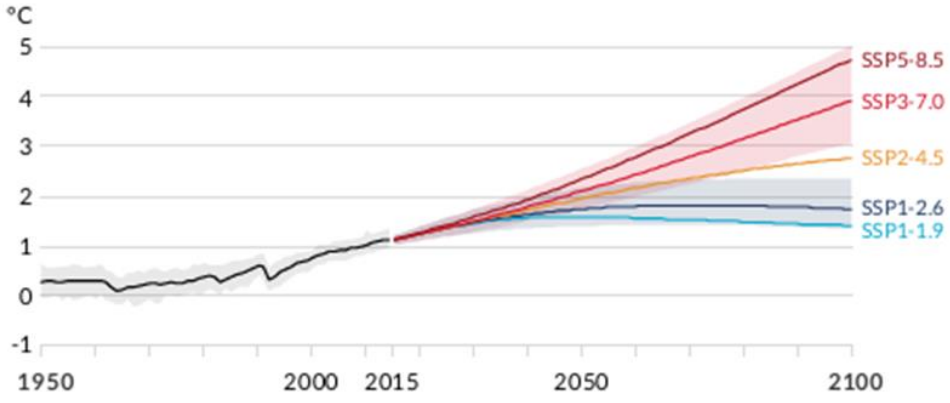


圖 5- 4 IPCC-AR6 預測世紀末溫度變化趨勢 (IPCC AR6)

目前世界平均氣溫已比 1850～1900 年上升 1.07 ℃，也變證實了是由人為影響造成，而世界平均氣溫上升 1.5 ℃ (圖 5- 4)，在各種模式都顯示已經是不可逆的情形，在未來預測情境下至 21 世紀末時世界平均氣溫將上升 0.3～4.8 ℃，將使海平面水位上升 0.26～0.82 m，

使海水位上升、颱風劇烈化、乾旱與無降雨日數增加等氣候現象發生，在此情況下短延時強降雨發生次數將增加，則預估更劇烈降雨型態將提高災害風險，導致更多水、砂災害、暴潮災害、旱災等災害規模及強度增加情形。未來的氣候變化能透過複雜的氣候模擬模式 (CMIP6) 預測分別在全球變暖 1 °C、1.5 °C、2 °C 和 4 °C 時，極端高溫、強降雨與農業乾旱事件的頻率及強度變化 (圖 5- 5)。

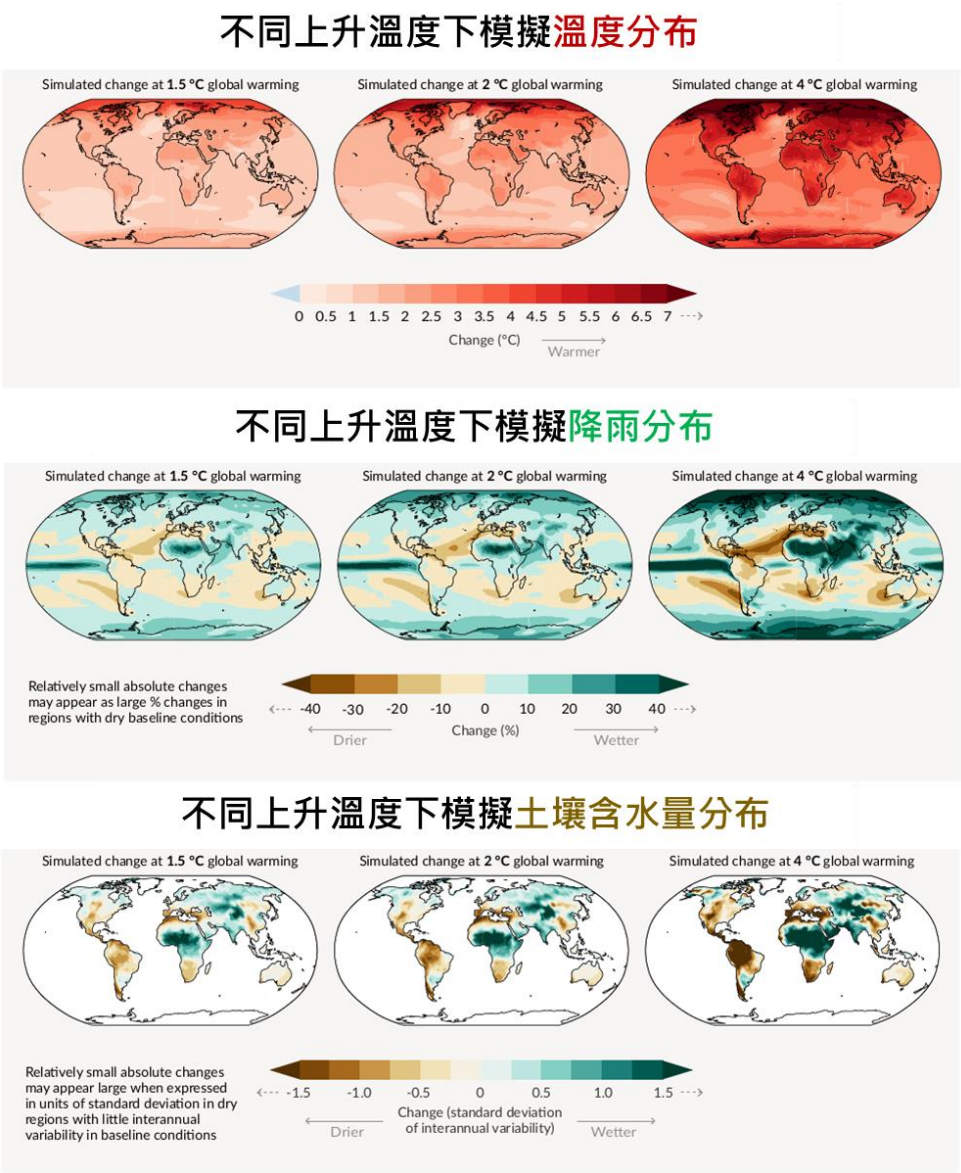


圖 5- 5 不同上升溫度模擬趨勢 (IPCC AR6)

IPCC AR6 以 1850 ~ 1900 年間發生一次的事件作為背景值 (極

端高溫:10 年或 50 年的日最高溫度超過參考期溫度之事件。強降雨:10 年的日雨量超過參考期雨量之事件。乾旱:低於參考期 10%土壤總水量之平均值之事件)，對未來不同溫度上升情境造成的極端氣候情形。目前極端高溫事件根據上升的溫度不同發生頻率由目前 10 年 1 次將提升至 10 年 3 次 (1 ℃) 到 10 年 9 次 (4 ℃)，或是 50 年 1 次的發生頻率將提升至 50 年 4.8 次 (1 ℃) 到 50 年 39.2 次 (4 ℃)；極端降雨事件根據上升的溫度不同發生頻率將提升至 10 年 1.3 次 (1 ℃) 到 10 年 2.7 次 (4 ℃)；乾旱事件根據上升的溫度不同發生頻率將提升至 10 年 1.4 次 (1 ℃) 到 10 年 4.1 次 (4 ℃)。而模擬的各項強度也都隨溫度上升而增加。證明了受氣候變遷影響條件下，將導致各類型災害發生次數及強度都將增加。

依據 RCP2.6 及 RCP8.5 情境下，未來受到氣候變遷影響，其降雨量可能增加 1.1 倍至 1.3 倍，而洪水發生機率可能上升 2 到 4 倍，意即在現在情況下 200 年一次洪水事件規模，在未來變成 100 年一次洪水事件規模，且發生次數將增加情況，而現行治水設施防護能力將不足以因應未來氣候變遷的治水安全度 (圖 5- 6)。

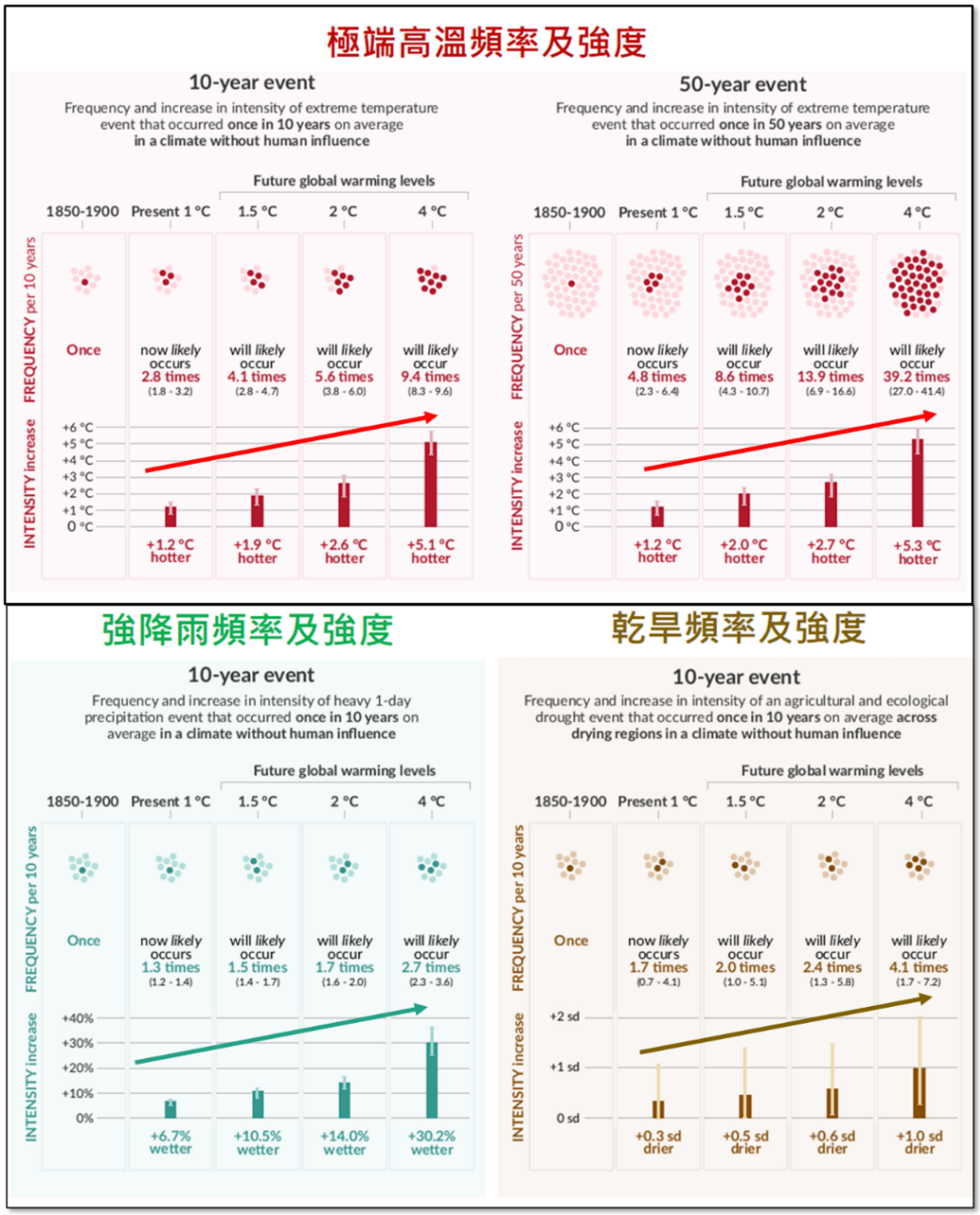


圖 5- 6 不同上升溫度極端氣候頻率及強度模擬視覺化 (IPCC AR6)

根據 TCCIP 結合 IPCC AR6 報告之氣候條件，產製各個情境於台灣之氣候條件模擬情形。本計畫節錄其中四個項目進行探討，分別為極端高溫事件、總降雨量、一日暴雨事件及最大連續不降雨天數，以展示氣候變遷對於台灣之影響。

未來極端高溫事件中，各地高溫 36 ℃以上日數增加。最劣情境

(SSP5-8.5) 下，21 世紀中、末，增加幅度約 8.5 日、48.1 日，其中，以都市地區增加較其他地區顯著；理想減緩情境 (SSP1-2.6) 下，增加幅度約 6.8 日、6.6 日 (圖 5- 7)。而推估未來臺灣年總降雨量有增加的趨勢。在最劣情境 (SSP5-8.5) 下，21 世紀中、末臺灣年總降雨量增加幅度約為 15%、31%；理想減緩情境 (SSP1-2.6) 下，增加幅度約為 12%、16% (圖 5- 8)。受全球氣候變遷影響，臺灣降雨日數呈現減少，但極端強降雨強度上升。

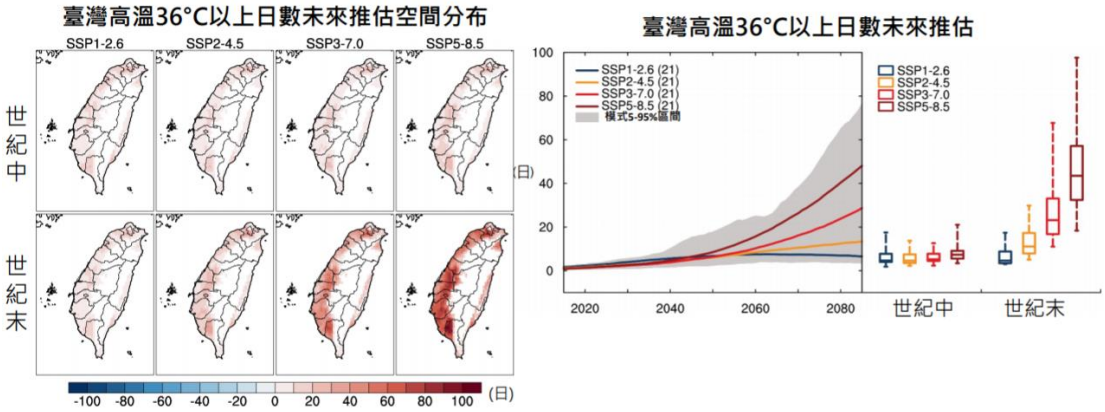


圖 5- 7 台灣未來氣候趨勢推估 (高溫) (TCCIP)

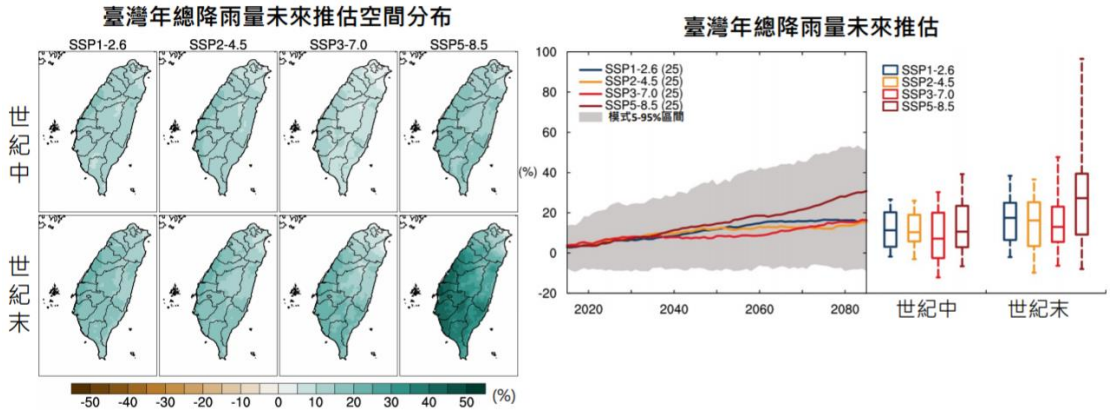


圖 5- 8 台灣未來氣候趨勢推估 (降雨量) (TCCIP)

臺灣年最大 1 日暴雨強度在最劣情境 (SSP5-8.5) 下，21 世紀中、末平均年最大 1 日暴雨強度增加幅度約為 20%、41.3%。理想減緩情境 (SSP1-2.6) 下，21 世紀中、末平均年最大 1 日暴雨強度增加幅度

約為 15.7%、15.3%(圖 5-9)。然而，年最大連續不降雨日數各地有增加的趨勢最劣情境 (SSP5-8.5) 下，21 世紀中、末平均增加幅度約為 5.5%、12.4%；理想減緩情境 (SSP1-2.6) 下，21 世紀中、末減少幅度約為 1.8%、0.4%(圖 5-10)。政府應持續進行區域防災降雨系統建置工作，應強化水資源流域整體性規劃及管理，強化水災、土石流之災害防救能力，並籌謀旱季對穩定供水之衝擊的解決之道。

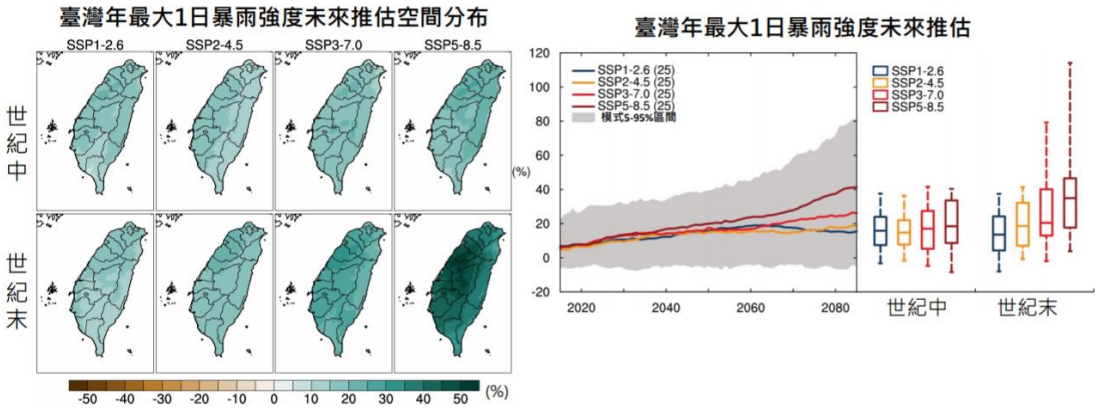


圖 5-9 台灣未來氣候趨勢推估 (暴雨強度) (TCCIP)

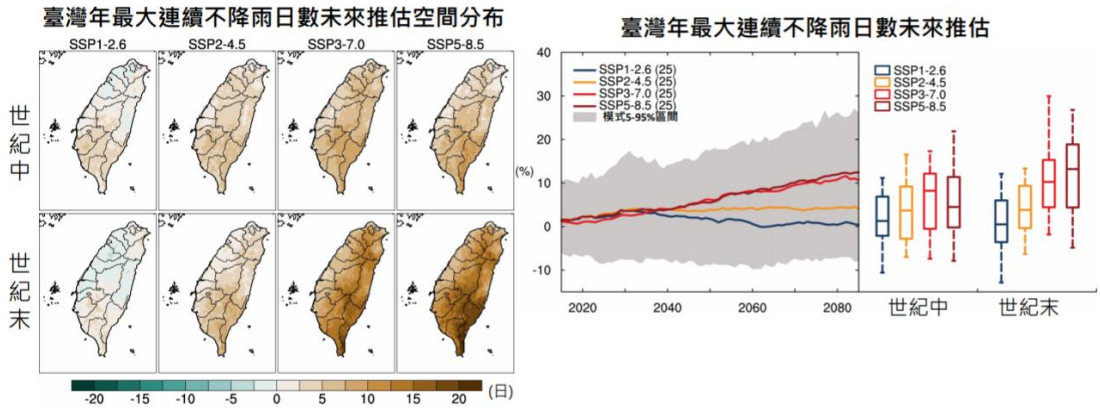


圖 5-10 台灣未來氣候趨勢推估 (不降雨日數) (TCCIP)

二、氣候變遷所面臨課題

全球地表溫度的上升速度比自 1970 年以來的其他任何期間都還快，最近十年 (2011～2020 年) 的平均溫度，超過了最近幾個世紀的紀錄 (IPCC AR6)。而臺灣全年氣溫 (平地氣溫) 在過去一百年已上升約 1.3 ℃，且近 50 年、近 10 年增溫有加速趨勢，此趨勢將隨著暖化加劇，溫度持續升高，極端高溫日數增加；而在降雨量部份，隨著暖化趨勢，導致乾濕季更明顯，極端降雨強度增加，同時颱風的強度亦明顯升高，帶來的環境衝擊亦更大。過去及未來的溫室氣體排放所造成的許多變遷，尤其是海洋、冰層以及全球海平面等，在未來數千年都是不可逆的。在二氧化碳排放持續增加的情境下，海洋及陸地的碳匯作用無法減緩大氣中二氧化碳的累積。

然而，無論哪種 IPCC AR6 的排放情境，全球地表將持續增溫至少到本世紀中。除非在幾十年內大幅減少二氧化碳及其他溫室氣體排放，否則全球暖化幅度將在 21 世紀超過 1.5 ℃，也幾乎被認定為不可逆的影響。全球暖化造成之氣候變遷包括極端高溫、海溫上升、豪雨、部分地區乾旱的頻率與強度增加、強烈颱風比例增加、以及南北極冰層融化及永凍土的減少等等，各項自然環境的極端化。全球暖化也進一步增強全球水循環，使得下雨的地方發生更強降雨，而乾旱處更為乾旱，乾濕事件更為嚴重不均。

氣候變遷造成極端強降雨、颱風事件發生機率愈趨頻繁，而臺灣地質特性脆弱，加上各式開發行為與活動，導致土砂災害的風險提高，間接引發生物多樣性的衝擊。因此，加強氣候變遷調適與災害防治，強化土砂管理、山坡地管理、敏感地區開發管理及加強取締，是需要共同努力的目標。目前許多環境外部成本如自然資源耗損、溫室氣體

排放等，仍由全民共同負擔。應加速建置完善淨零排放，量化環境外部利益與成本，並加速發展低碳減排的綠色產業。

根據「國家氣候變遷調適行動方案 (107-111 年)」說明，為健全我國因應氣候變遷能力，並建立國家氣候變遷調適推動機制，行政院經濟建設委員會 (現國家發展委員會) 於 2010 年成立「規劃推動氣候變遷調適政策綱領及行動計畫」專案小組，2012 年通過「國家氣候變遷調適政策綱領」。並依據 2014 年核定之「國家氣候變遷調適行動計畫 (102-106 年)」，分由 8 個調適領域，分別如次：能力建構 (環保署)；災害 (科技部)；維生基礎設施 (交通部)；水資源 (經濟部)；土地使用 (內政部)；海洋及海岸 (內政部)；能源供給及產業 (經濟部)；農業生產及生物多樣性 (農委會) 及健康 (衛福部)。由各機關共同推動國家氣候變遷調適行動，並於 2018 年配合國發會盤點相關計畫執行成果，作為後續滾動修正調適策略之參考。最後，將氣候變遷調適納入法規條文，奠定因應氣候變遷之法制基礎，明確擘劃我國推動氣候變遷調適政策總方針。

由於氣候變遷影響引致災害外力 (暴潮及海岸侵蝕、洪水增強、土砂災害劇烈化、旱災危險性增大等) 劇烈化情形下，未來災害外力必將超過現況防災設施之防護能力，傳統防災機制與思維無法有效因應，要讓土砂災害傷亡最小化，除了各級政府進行技術及財力支援外，尚需加入企業、民間組織及民眾本身等彼此合作，因此有必要進一步運用各種硬體工程、軟體防災措施、管理、自主防災等此四個面向來推動土砂災害調適策略，通過各相關利害關係人的共同努力以提高對策有效性，並持續檢討修正實施對策之效果，以發展精進有效率、有效果之技術與對策措施。

三、地質學者眼中的氣候趨勢

(一)氣候變遷的起源

近年來，氣候變遷與極端氣候等異常現象，在全球各地已屢見不鮮，且有趨於常態化的趨勢。為此，世界各國為因應氣候變遷可能帶來的影響，已匯集各種情境模擬，制定相關政策、行動綱領及配套措施等因應方案。但是，目前每個人朗朗上口的氣候變遷究竟是如何以及何時開始發生的呢？讓我們由地質學者的視角重新檢視這個問題。

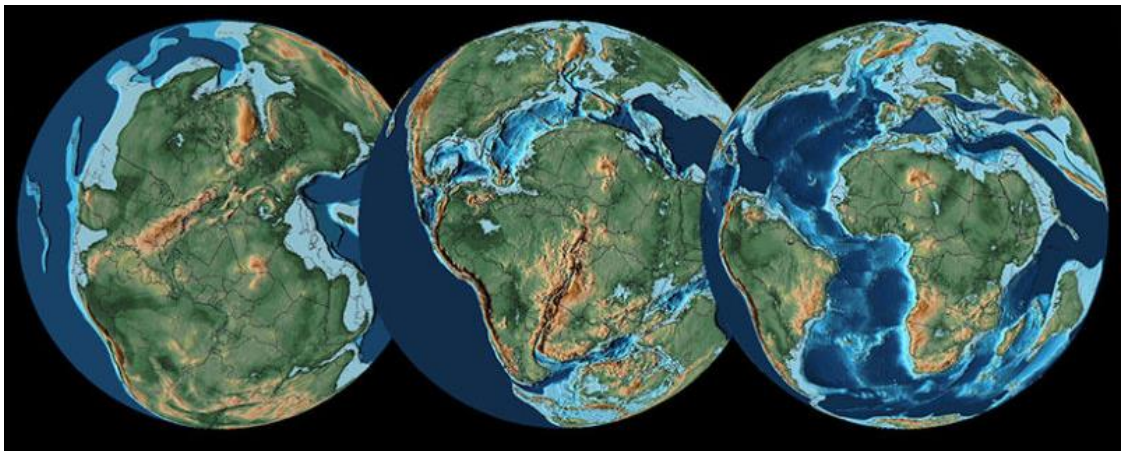


圖 5- 11 2.5 億年前 (左)、1.5 億年前 (中) 和 7000 萬年前的古世界地圖 (Jan Landwehrs, 2021)

(二)影響現今氣候變遷最重要的時期

藉由地質學界理論與相關研究顯示，自地球 46 億年前形成至今，對現今氣候影響最為關鍵的時期為 2.52 億年前至 6600 萬年前的中生代 (The Mesozoic era)；這個年代除了是曾經稱霸地球的生物—恐龍，所生存的世代，更是盤古大陸 (Pangaea) 開始分裂成現今我們所熟悉的世界板塊樣貌之時期 (圖 5- 11)。當時，海平面明顯上升 (Haq, 2014, 2017, 2018; Haq et al., 1988; Miller et al., 2005; Müller et al., 2008)、二氧化碳急速增加、受陽光照射及地殼構造影響，使得全球氣候產生溫暖潮濕的溫室條件 (Chaboureau et al., 2014;

Donnadieu et al., 2006a)，造就現今的氣候型態。

(三)全球平均溫度演變

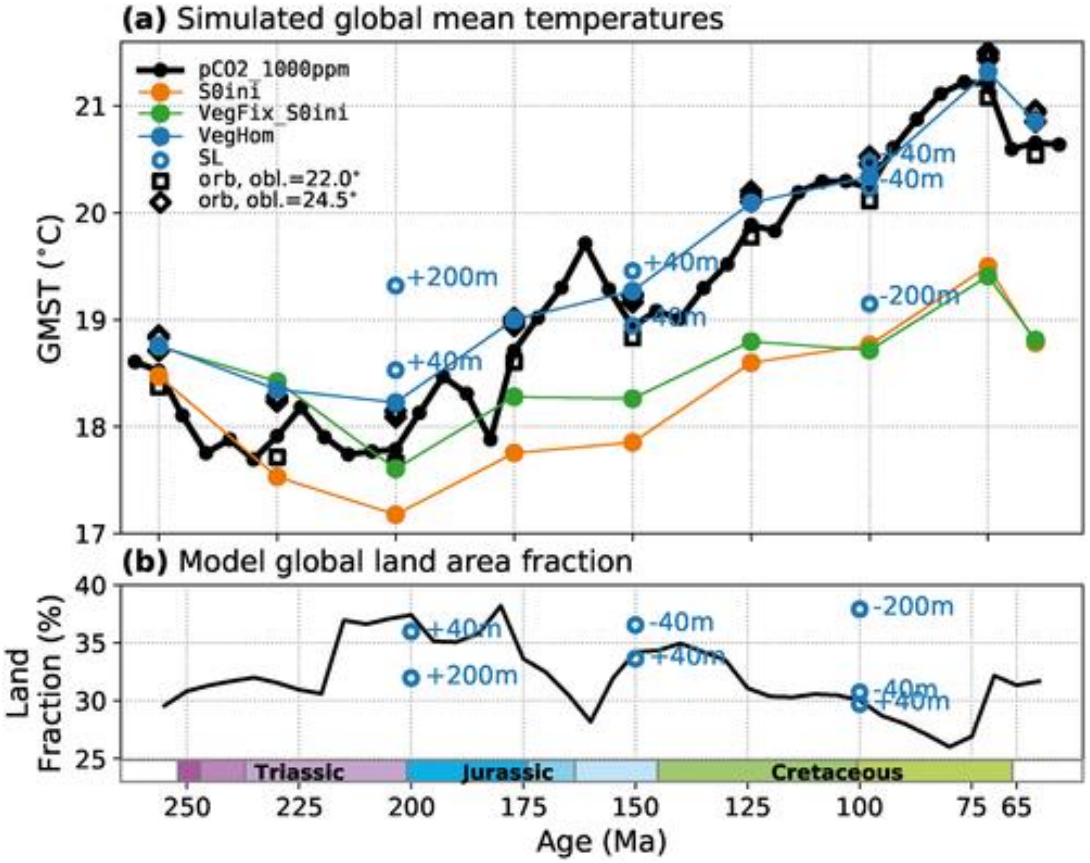


圖 5- 12 (a) 模擬全球平均地表氣溫 (GMST)；(b) 全球陸地面積比例 (註：Ma 為百萬年)

近年來部分學者也嘗試藉由數值模式模擬來研究古氣候的變化與發展，例如 Landwehrs 等人將中生代的時間劃分為每 500 萬年一個間隔，調整相關參數進行氣候模擬，進一步分析古氣候對於古地理、大氣中二氧化碳含量、海平面、陸地占比、植被覆蓋率、太陽能量和地球軌道變化等所造成的氣候變遷影響 (圖 5- 12)。

模擬的成果顯示中生代的氣候變遷與地球陸地所佔比例變化相關，且由於陸地平均反照率高於海洋區域，進而影響地球能量平衡，故可由此判定海平面升高或降低，將進一步影響全球氣溫變化與陸地區域遭遇洪水/乾旱的比率。

(四)地質年代尺度下的地球季節性氣溫變化

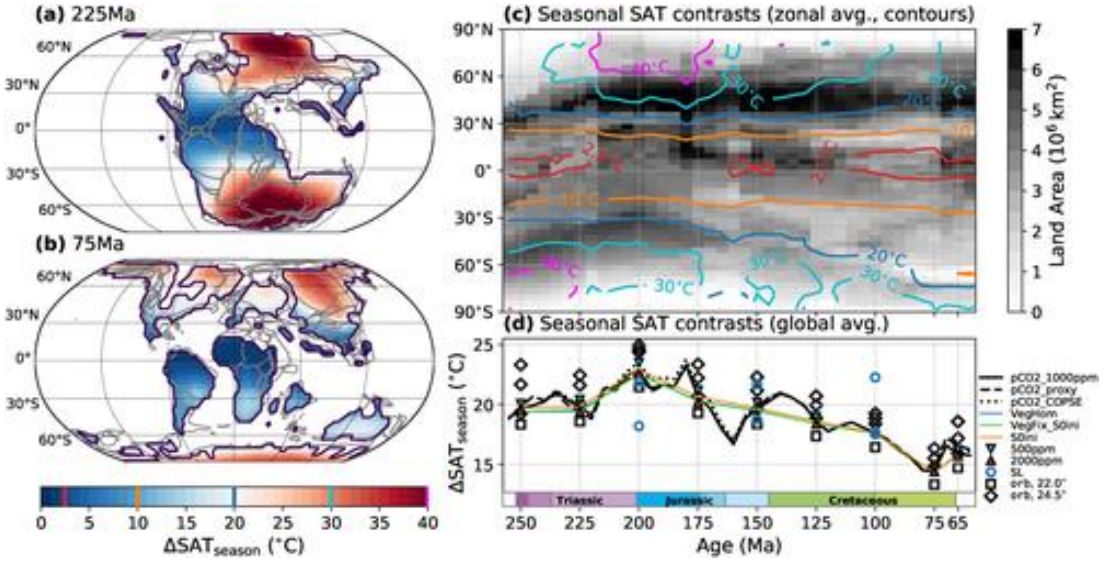


圖 5- 13 模擬地表季節性氣溫 (SAT)。(a) 225 Ma 地表氣溫變化；(b) 75Ma 地表氣溫變化；(c) 季節性區域氣溫模擬成果 (as published by Cao et al., 2018)；(d) 季節性全球氣溫模擬成果

模擬結果也進一步顯示，中高緯度的盤古大陸地區，在早中生代以明顯季節性對比與強烈的季風為主要的氣候型態，經歷強烈的季節性溫度變化，而到了晚白堊紀，由於大陸逐漸形成現今板塊大陸樣貌，季節性溫度變化趨緩。實驗證明，長期季節性趨勢確實是由海平面變化和大陸板塊破碎程度決定，但也發現不同的軌道週期影響季節性氣溫趨勢 (圖 5- 13)。

(五)地質年代尺度下的地球經度與緯度氣溫變化

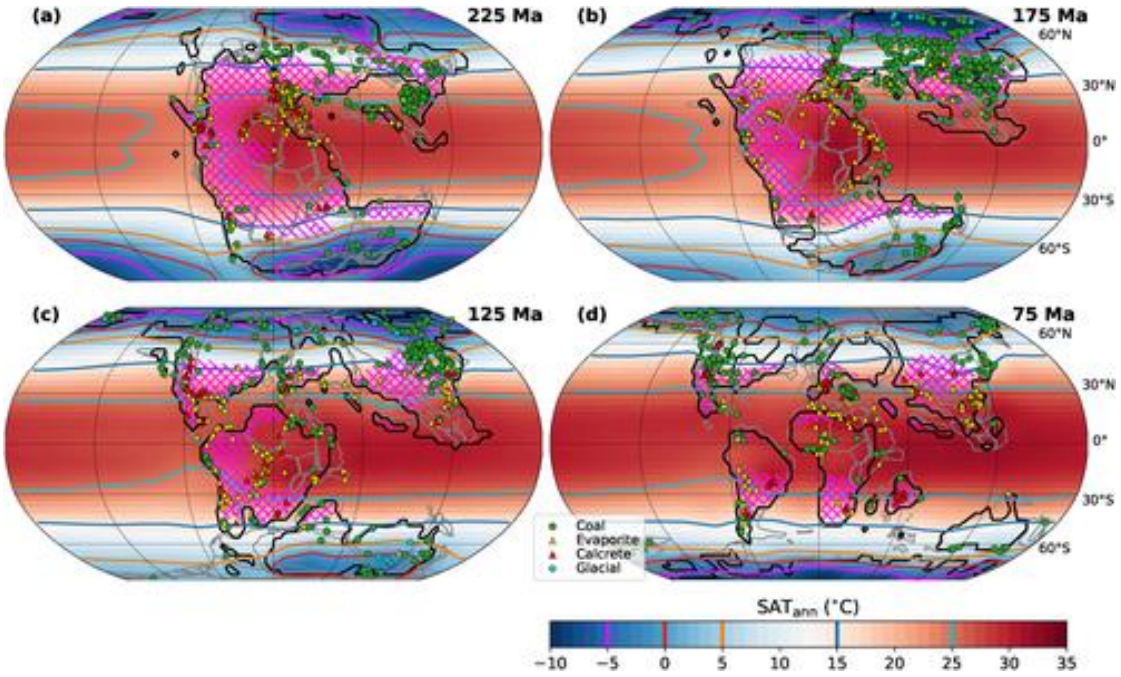


圖 5- 14 模擬中生代年平均地表氣溫和乾旱地區分布 (粉紅色網格區域)。(a) 225 Ma；(b) 175 Ma；(c) 125 Ma；(d) 75 Ma

模擬結果亦顯示，中生代時期赤道地區地表氣溫大多超過 25 ℃，而極圈緯度區域溫度大多低於 0 ℃ (圖 5- 14)，為了系統性地評估經度溫度對比的演變及其對古地理和其他條件變化，相關研究亦模擬計算赤道到極地的熱梯度。發現從二疊紀末到三疊紀晚期，盤古大陸向北移動，導致南半球高緯度變暖，而北半球熱梯度從晚侏羅紀到晚白堊紀呈現下降趨勢，與海平面上升、陸地面積普遍下降的趨勢一致 (圖 5- 15)。

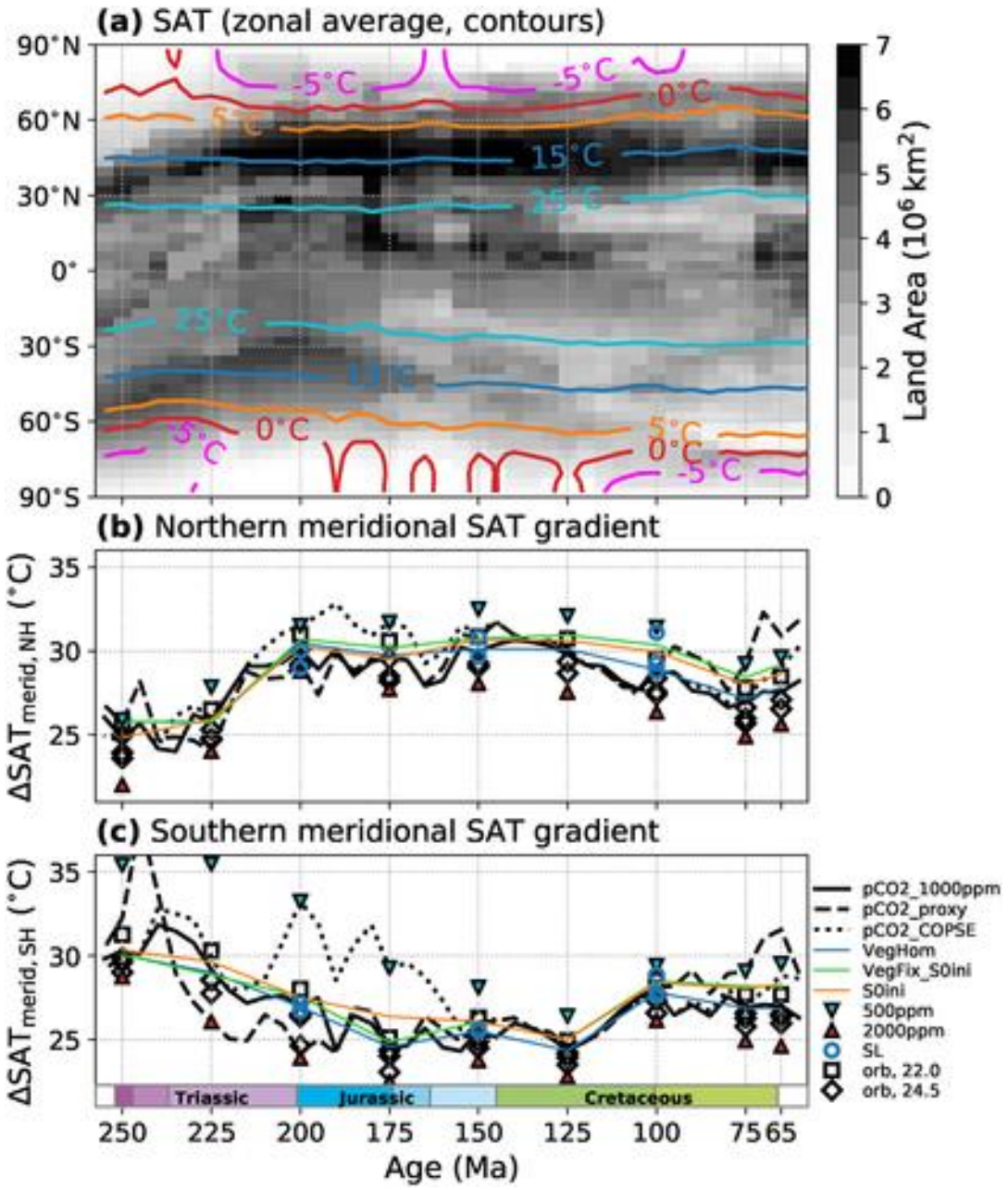


圖 5- 15 (a) 模擬全球緯度平均地表氣溫演變 (b) 低緯度北部與 (c) 高緯度南部地表氣溫對比

(六)地質年代尺度下的地球區域溫度對比

模擬表明，盤古大陸的東部熱帶和西部中高緯度地區的溫度最高可達約 8 °C，並推測盤古大陸東部的熱帶緯度地區存在高溫和潮濕的條件，而西部中低緯度地區氣溫普遍較低，乾旱地區範圍更廣。這些差異與海洋環流模式有關，北半球的反氣旋亞熱帶環流將暖水沿赤

道輸送到高緯度地區，但將較冷的水從高緯度輸送到西盤古熱帶和亞熱帶，提供較少的水分和降水以及較低的溫度。然而，在中高緯度地區發生相反的氣候變化，與東部海岸相比，氣旋副極地環流使西部海岸變暖 (圖 5- 16)。

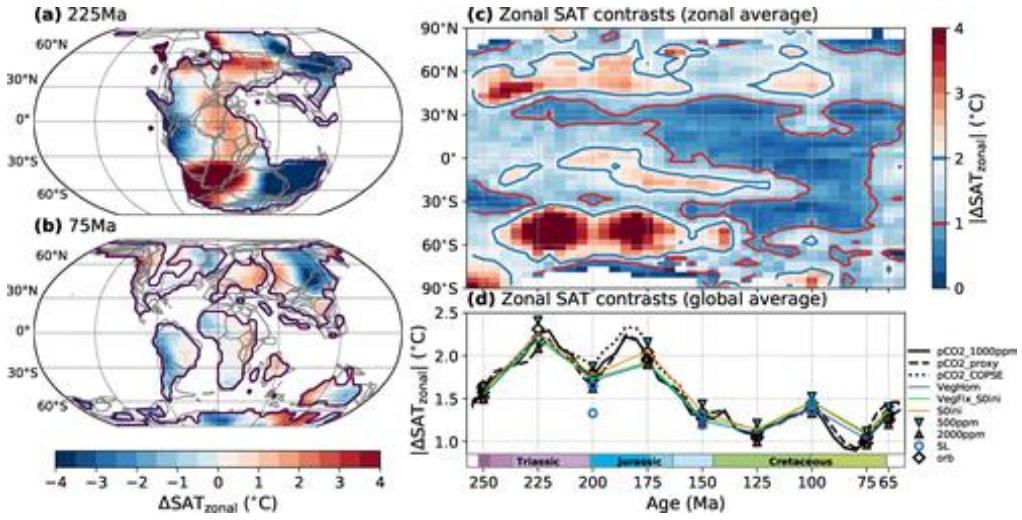


圖 5- 16 模擬中生代大陸表面氣溫袋裝對比

(七)地質學者眼中的氣候變遷

地質學者由模擬古氣候發現，因陽光增強與板塊分裂，導致氣溫有逐漸變暖的趨勢；海平面上升造成大陸地區洪水氾濫與全球平均溫度上升；而大氣中二氧化碳的含量造成全球平均溫度異常，造就中生代的全球平均氣溫普遍高於現今時期且極端氣候現象比現在更為嚴峻。

儘管透過地質時間尺度的研究，讓我們瞭解中生代時期全球平均溫度異常，擁有更為強烈的季節性氣溫變化與乾旱條件，但並不意味著人類活動所造成的全球暖化現象可以被忽視，因為，現代氣候變化的速度，遠遠高於地球歷史上任何時期的氣候變遷。

同時，許多學者認為瞭解古氣候的變化趨勢與驅動因素，不僅有助於深入瞭解地球歷史，更能幫助研究現今人類活動造成地球變暖的後果。

四、極端氣候如何主導21世紀的天然災害

依據國際災害資料庫 (EM-DAT) 的分類，自然災害類型可概分為地球物理 (Geophysical)、水文 (Hydrological)、氣象 (Meteorological)、氣候 (Climatological)、生物 (Biological) 及外來物 (Extra-terrestrial) 等六大類。地球物理災害類型主要有地震、塊體運動及火山活動；水文災害主要為洪水、山崩及海嘯；氣象災害主要為風暴、極端氣溫及霧霾；氣候災害主要為乾旱、冰河潰決及野火；生物災害主要有因動物而致之事故 (如瘟疫)、流行病及蟲害；外來物災害主要為隕石碰撞及太陽活動 (圖 5- 17)。

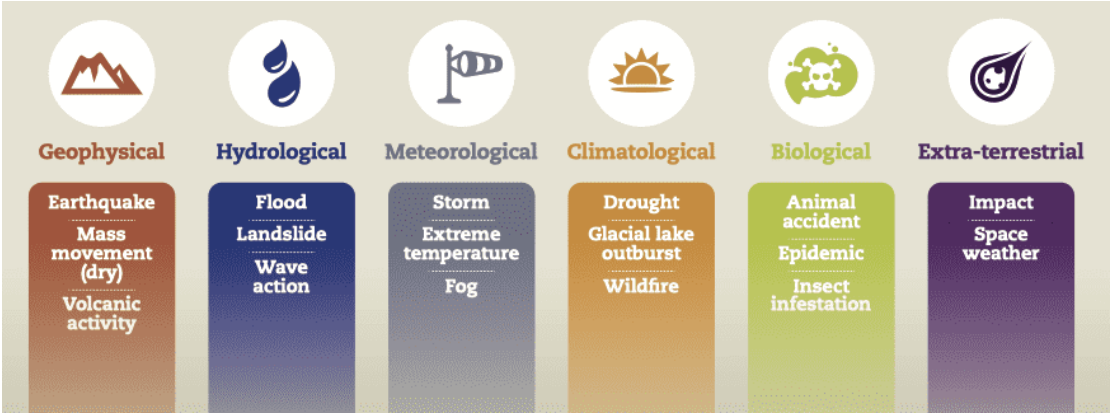


圖 5- 17 全球自然災害類型分類

(一)全球自然災害分布的情形與類型

聯合國國際減災戰略辦公室 (UNDRR) 統計，從 2000 年至 2019 年間，亞洲地區總共發生 3,068 起災害事件，美洲共有 1,756 起，而非洲則有 1,192 起 (圖 5- 18)。其中，更以河川流域、洪氾區及地震帶為主的地區發生的災害數最多；災害形態則是以洪水、風暴及地震佔據災害事件類型比例最高，分別為 44%、28%及 8% (圖 5- 19)。

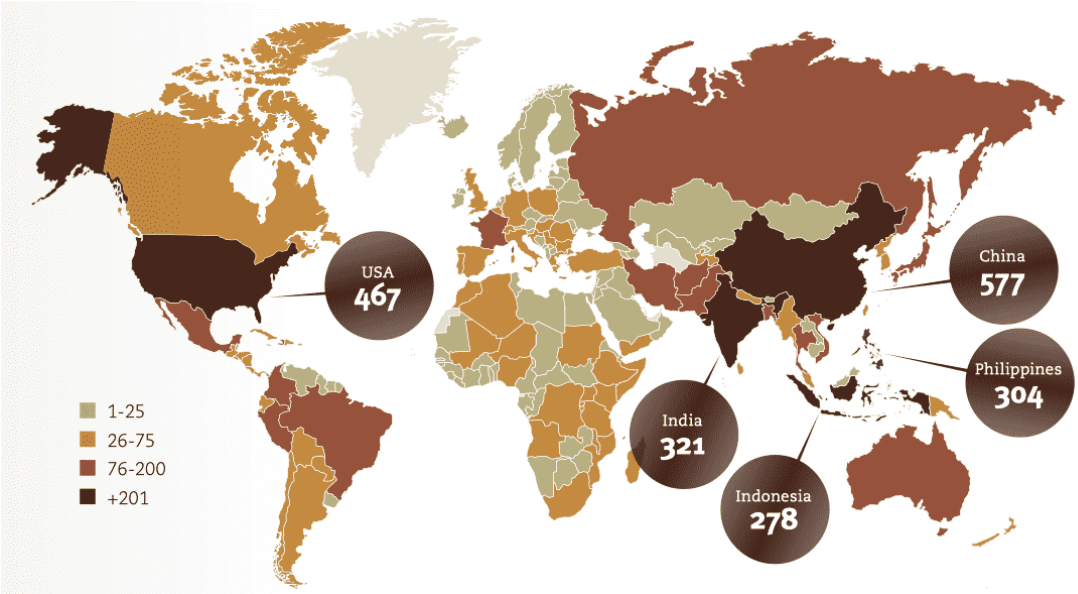


圖 5- 18 2000-2019 年全球災害總數

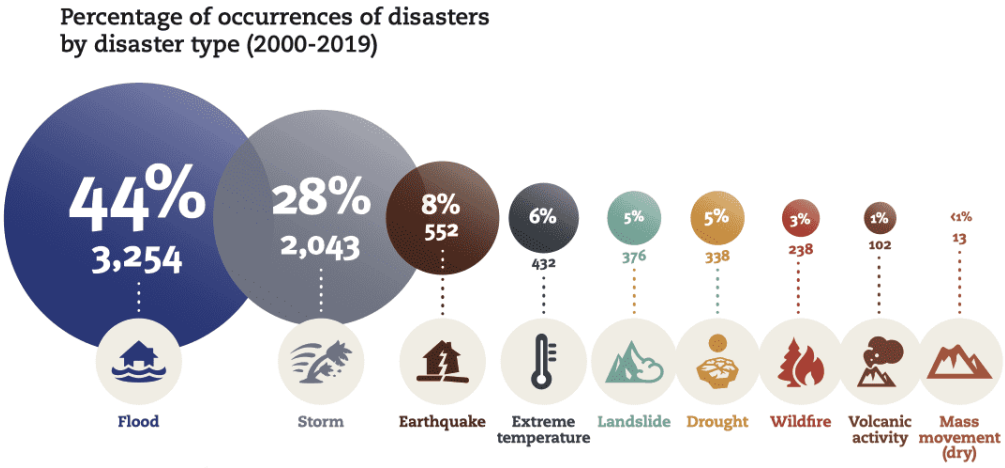


圖 5- 19 2000-2019 年全球致災類型百分比

(二)極端氣候帶來的衝擊與風險

在過去 20 年間 (2000-2019)，種種的極端氣候異常現象，及其所導致的災害事件，至今屢見不鮮的出現在世界各地，且根據統計，全球溫度每上升 3℃，影響世界各地的自然災害將會增加，並可能使目前各國和地區制定的防減災風險對策失效。聯合國國際減災戰略辦公室 (UNDRR，2020) 指出，氣候異常、洪水澇災、土砂災害等災害事件，於 2000 年至 2019 年間，相比 1980 年至 1999 年有明顯增加的趨

勢，而不斷變化的降雨模式和劇烈的降水變化，對全球 70%依靠雨水灌溉的農業地區亦將構成極大的風險 (圖 5- 20)。

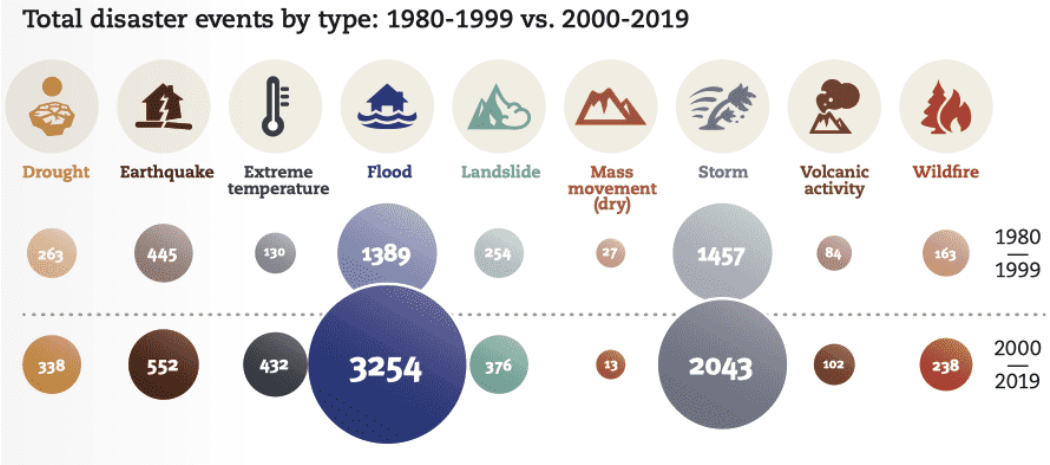


圖 5- 20 1980-1999 年災害事件與 2000-2019 年災害事件比較表

(三)21 世紀全球最致命的三大災難事件

2000 年至 2019 年間，共發生三起超大規模之災難，分別為 2004 年由蘇門答臘－安達曼地震所引發的南亞大海嘯、2008 年重創緬甸的納爾吉斯颱風 (Cyclone Nargis)，以及 2010 年海地發生芮氏規模 7.0 的大地震。整體而言，目前地震及海嘯所帶來的災害，仍為最嚴重的災害類型，而對於氣旋、颱風、颶風等風暴，由於已有許多有效因應的對策，如避難所、抗風建築等，因此現今造成的傷亡較少。然而對於非洲地區而言，乾旱所帶來的災害影響遠較其他洲要來的嚴峻 (圖 5- 21)。

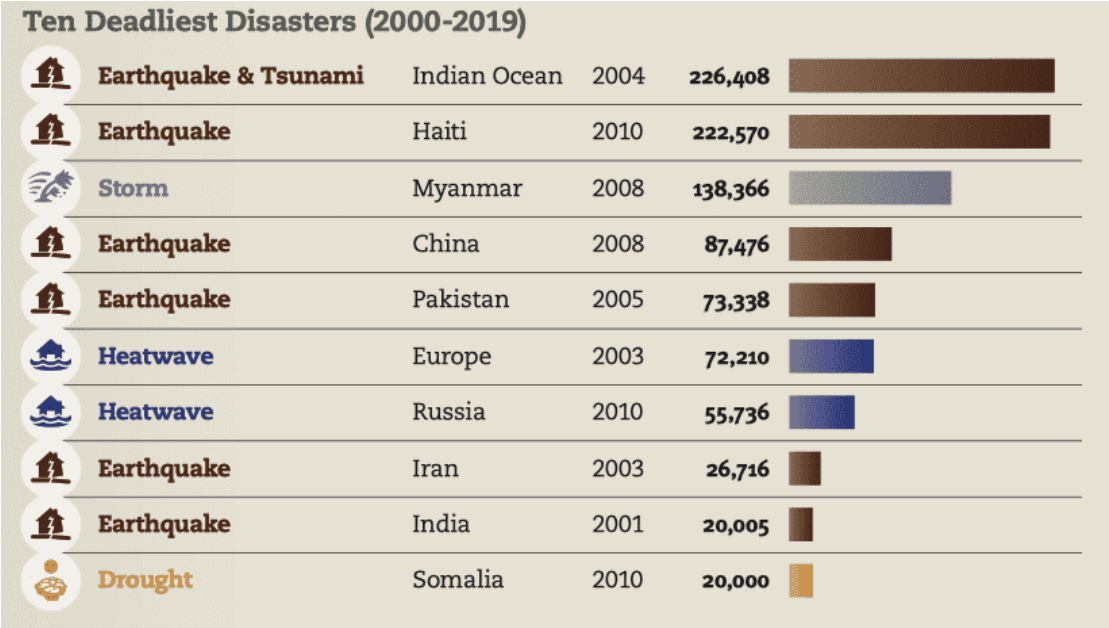


圖 5- 21 2000 年至 2019 年間最致命的災害事件

(四)自然災害損失也有「貧富差距」

2000 年至 2019 年間，全球災害共奪去了 123 萬人的生命，平均每年有 6 萬人喪生，影響超過 40 億人，更造成全球約 2.97 兆美元的經濟損失 (圖 5- 22)。

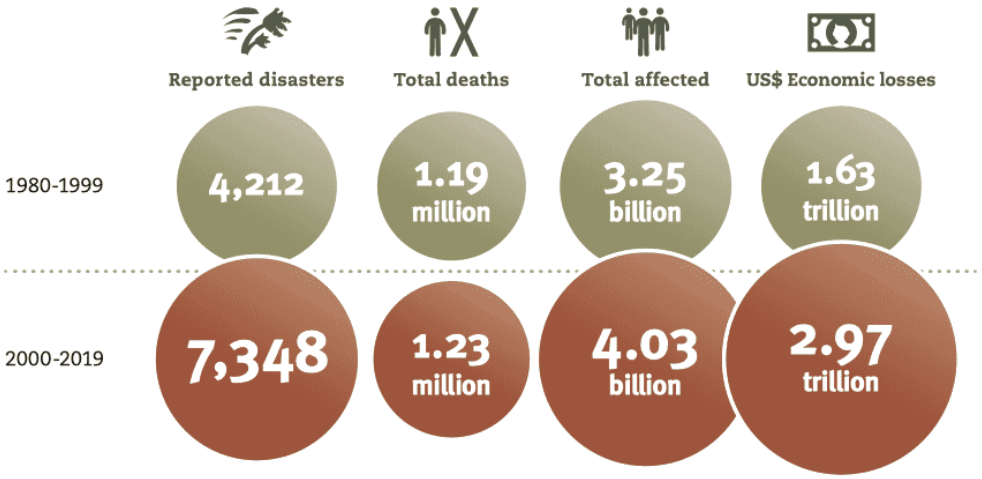


圖 5- 22 比較 1980-1999 年與 2000-2019 年之災害影響

若依災害類型區分，風暴所帶來的經濟損失占比最高 (53%)、乾旱為 28%、山崩等土砂災害 12%、極端氣溫事件 9%。儘管災害仍是導致世界經濟損失的主因，但對於高收入國家而言，災害所導致的損失佔其 GDP 的比例並不高。不過，災害造成的經濟損失數據與實際情況相比，可能仍存在不小差距。例如，全球災害數據中僅有 35%的災害事件資料有記載經濟損失，其中又以非洲及南亞地區的資料最為缺乏。以南亞為例，有記錄經濟損失的災害資料僅有 23%，此結果顯示全球災害所造成的經濟損失數據，在低收入國家可能嚴重失真 (圖 5- 23)。

此外，由受災害影響的死亡人數統計得知，雖然低收入國家占全球總人口不到 10%，但其因災難而死亡的總人數卻占全球災害亡人數的 23%！

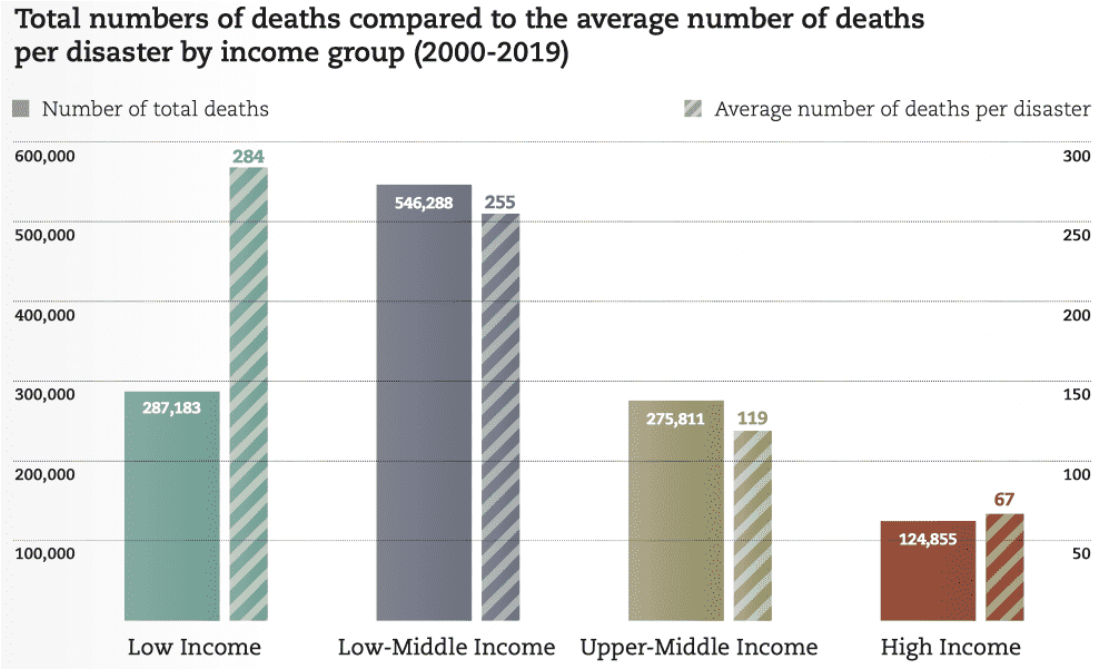


圖 5- 23 依據收入程度劃分災害平均死亡人數及總死亡人數統計

(五)全球下一階段的防減災目標

為減少災害損失，各國地方政府、中央政府部門、私人企業、學界和非政府組織等，制定一項為期 15 年的非約束性協議—仙台減災綱領 (圖 5-24)。其七大目標為 (1) 實質降低災害導致的死亡率；(2) 實質減少因災害影響的人數；(3) 降低災害造成的直接經濟損失；(4) 實質減少災害對關鍵基礎設施的破壞，以及造成基本服務的中斷；(5) 大幅增加具有國家和地方減災策略的國家數目；(6) 大幅度強化針對開發中國家的國際合作；(7) 實質改善民眾對多重危害的早期預警系統，和災害風險資訊與評估的資訊之可及性和管道。

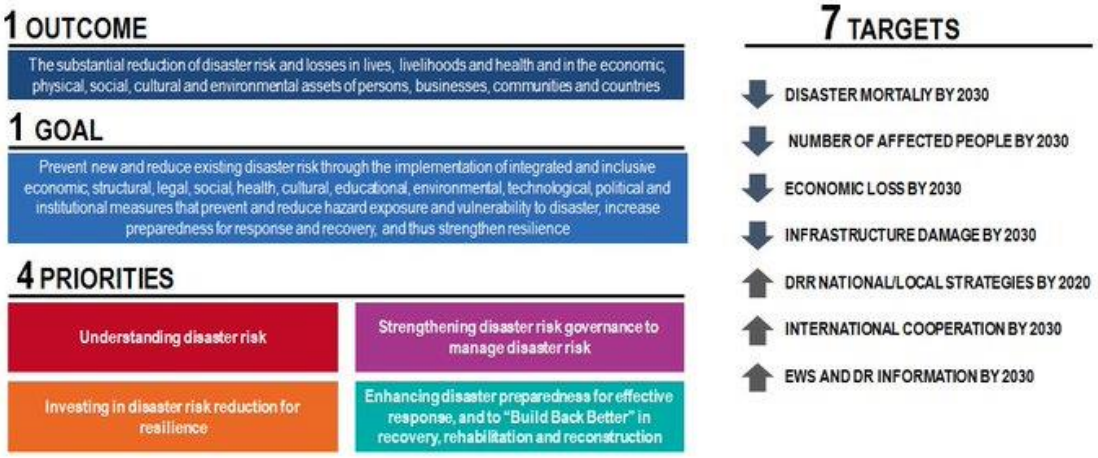


圖 5-24 仙台減災綱領。(圖片來源:UNDRR twitter)

(六)強化韌性成為面對不確定衝擊的解方

近年來韌性 (resilience) 城市的概念，已開始被廣泛討論，特別是城市在面對如自然災害等不確定衝擊下的「容受力」及「回復力」。容受力是指將衝擊所造成的影響最小化的能力，而回復力則關注在受衝擊後達到新平衡所花費的時間。因此一個具有韌性的城市係指具有可回應外界變化並尋求一個新的穩定狀態的能力，並藉由變化保持動態平衡的特性 (P. Lu, 2016)。

面對規模與頻率日益增加的極端氣候所帶來之威脅，如何與自然共存共榮，並在災害過後，迅速復原並保護生命財產安全，或許強化城市及社區的韌性將成為政府與民眾共同努力的方向 (圖 5- 25)。

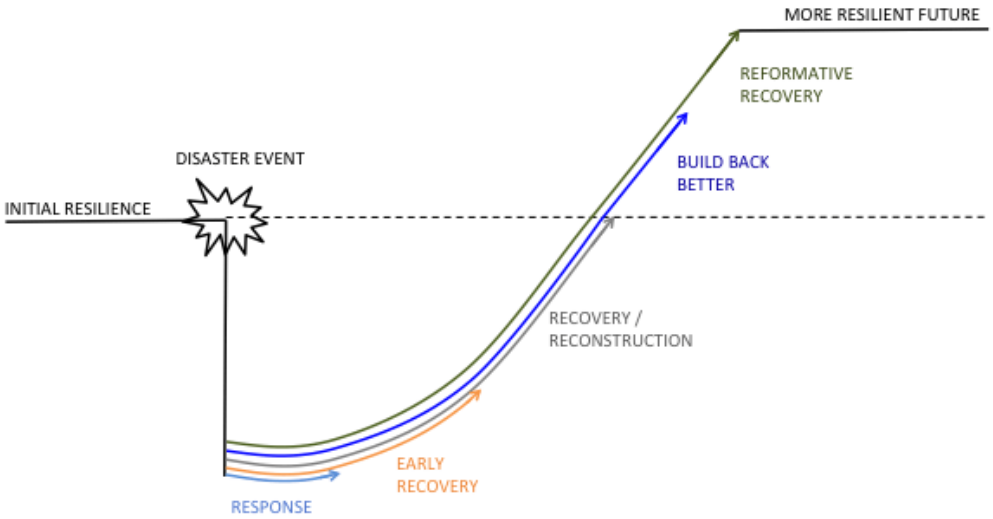


圖 5- 25 韌性恢復過程 (David Lallemant, 2013)

第二節 地質模式之發展策略

一、地質模型建構之難處與重要性

(一)什麼是地質模型?

近年來各種新型態的地圖展示模式陸續發展，然工程規劃設計時，除平面地圖之展示外，為了解地下地質構造，尚需仰賴地質剖面圖資作為參據。隨著地理資訊系統與三維資料處理技術的進步，地質學家們已可將複雜的地下地質構造及大量地質調查的資料，以視覺化及立體化的方式建模，呈現出三維地下構造，如圖 5- 26。

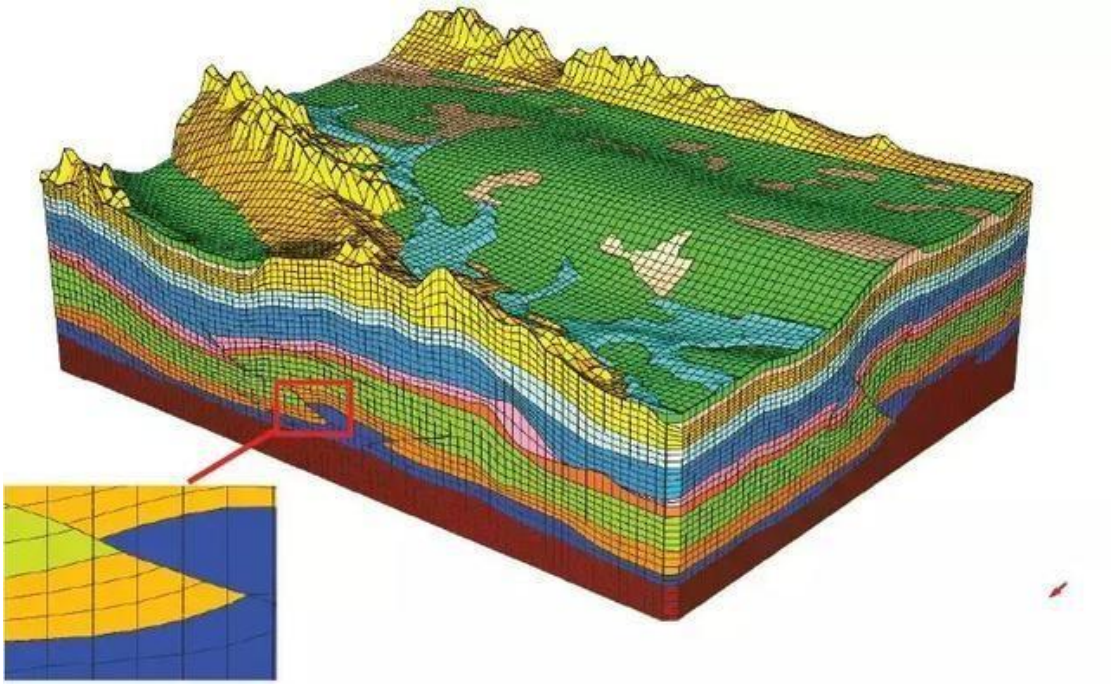


圖 5- 26 基礎三維地質模型 (圖片來源:

https://kknews.cc/other/6alkppp.html)

(二)大地工程分析金三角

地質模型是工程、地下環境及地質災害之分析、模擬與評估時之基礎 (董家鈞，2020)。Burland 於 1987 年提出大地工程分析金三角(圖 5- 27)，包含地質模型 (Geologic Model)、地面模型 (Ground Model)

與大地工程模型 (Geotechnical model)。地質模型表達現地與工程計畫相關之地質環境 (地質構造、地表變化、岩性層界與地下水等)；地面模型係以地質模型為基礎，加上相關地工參數資料；大地工程模型則是以地面模型為基礎，針對基礎試驗、荷重及性能要求等數據，繪製預測模型 (Keaton, 2013)。

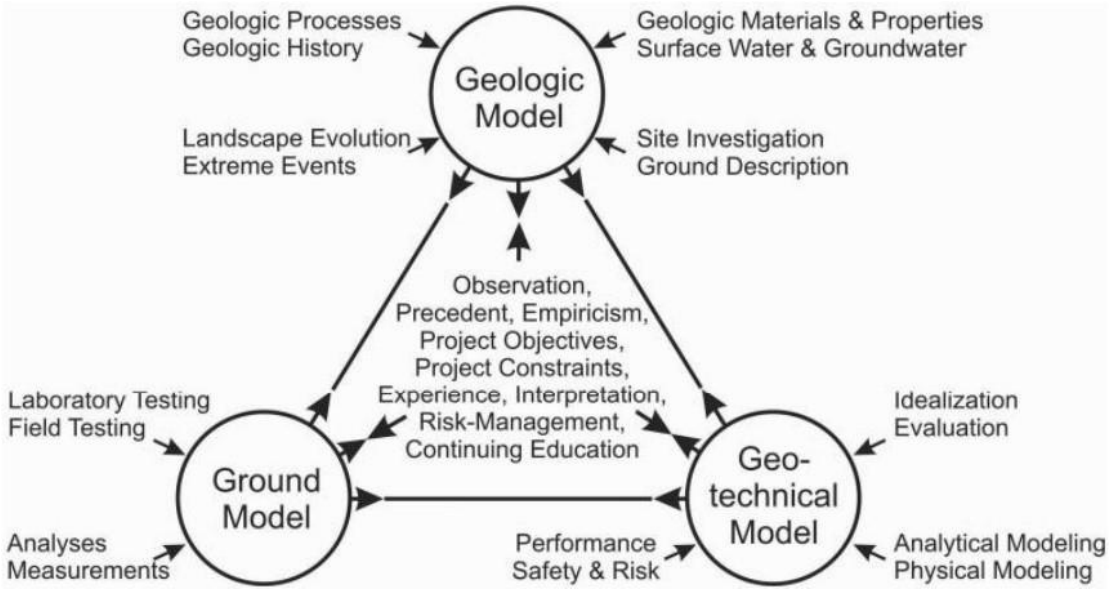


圖 5- 27 大地工程分析金三角 (Keaton, 2013)

(三)地質模型的影響力

地質環境包含形塑現今地表地貌之地質營力及過程，倘若地質模型偏離現地真實環境 (圖 5- 28)，在相關工程及地質災害應用、分析、模擬與評估時，便容易導致誤判，因此若想提升場址設計的可靠度，需多仰賴地質調查報告中真實的地質模型建立，以取得工程設計所需涉及之複雜性的合理解釋。Juang et al. (2019) 亦指出地質模型的不確定性，嚴重影響大地工程規劃設計。

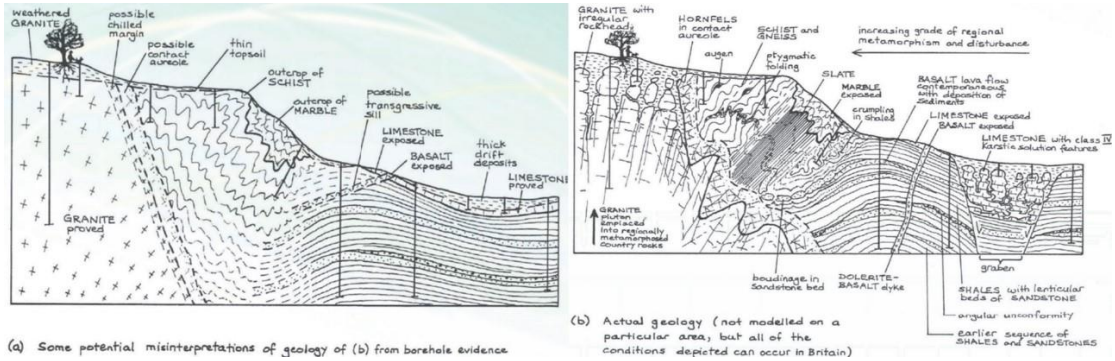
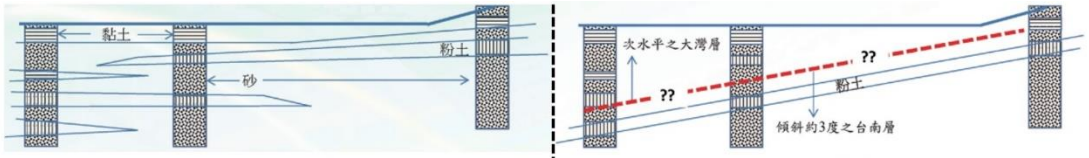


圖 5- 28 地質調查後提供之地質剖面 (a) 及真實地質環境 (b) 之差異 (Fookes, 1997)

(四)地質模型的真相

傳統地質模型之呈現方式為地質圖與剖面圖，但其屬於「解釋」圖資，帶有「推估」與「預測」的成分，且受限於量測方法、地質環境變異性與主觀判斷的知識含量，通常較難以與真實的地質環境完全相符，因此會輔以地質調查報告中鑽孔或現地試驗資料等「紀實」資訊，作為大地工程規劃設計之判斷參據 (圖 5- 29)。



地質解釋一：約3-4 公尺厚黏土層下伏厚砂層偶夾粉土或黏土，最遠兩鑽孔相距約23 公尺，鑽孔深度約20 公尺，垂直方向比例尺大於水平方向。

地質解釋二：傾斜台南層砂層夾2-3 公尺厚粉土，上覆近水平沉積之大灣層，確切位置具不確定，因此與台南層邊界以虛線加問號呈現，大灣層地層確實有粉土與黏土層之尖滅現象。

圖 5- 29 不同地質剖面圖解釋法 (摘自董家鈞，2020)

(五)地質模型建構之難處

儘管地質模型對於後續產生之工程地質圖與剖面圖影響甚鉅，但建構地質模型時卻有許多困難與限制。例如，原始資料不足導致品質不佳、地質變異性及複雜性、判釋人員專業或經驗不足時，資料解釋偏離現地地質環境之可能性就越高，亦即可能導致地質模型之不確定

性。其中，地下地質複雜程度，僅從幾何複雜性，即能區分為 (1) 連續、近水平地層；(2) 斷層或褶皺等地下地質構造存在；(3) 複雜之地質環境演育等三種類型 (圖 5- 30)，而建模時使用之軟體，其採用之內插方法與測繪地質圖及地質剖面圖之人員主觀認知與經驗差異，亦會影響地質模型之建構，進而衍生不必要之風險。

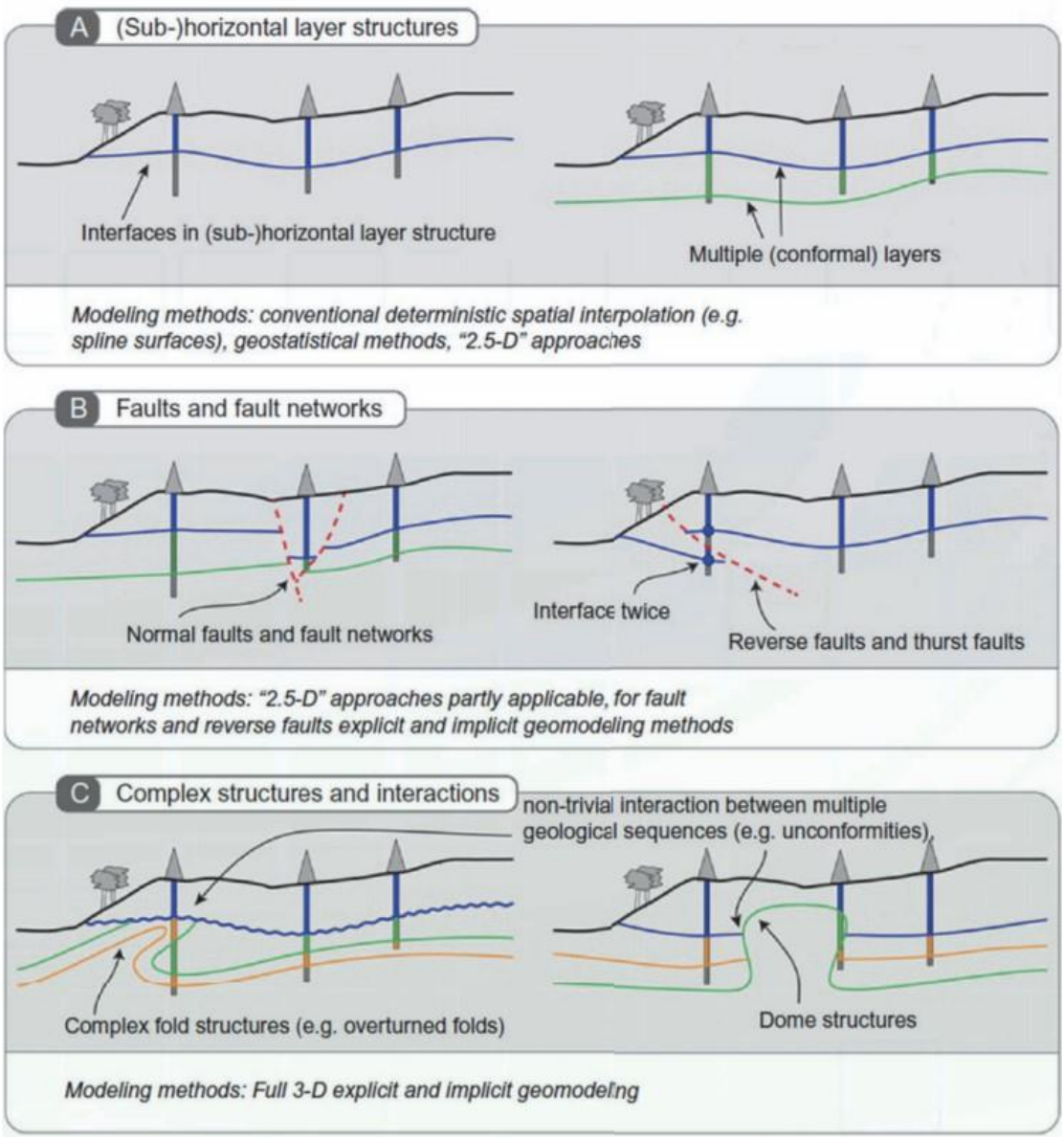


圖 5- 30 不同地下地質環境複雜程度 (A) 近水平地層；(B) 斷層或其他構造存在；(C) 複雜之地質環境演育。(Wellmannand and Caumon, 2018)

(六)地質模型不確定性的分類

由於地下地質構造或環境本就存在各種不確定性，Wellmann et al. (2010) 將地質模型之不確定性區分為三大類型 (圖 5- 31) ─ (1) 誤差、偏差與不精確：由於原始資料不足，或鑽探時受鑽探工具、鑽探位置及岩芯判釋者主觀判斷影響，導致建模時產生不確定性，如地層界線及地下構造延伸情況。(2) 先天變異性/隨機性：測繪建模時，由於地層層界並非完整水平，導致分層側向延伸或內、外插產生的不確定性，除非能找到指標地層或相關地質證據，否則這類不確定性普遍存在。(3) 判釋人員專業或經驗不足：在測繪地質圖或地質剖面圖時，若不知斷層或褶皺存在，即會產生此類型之不確定性。

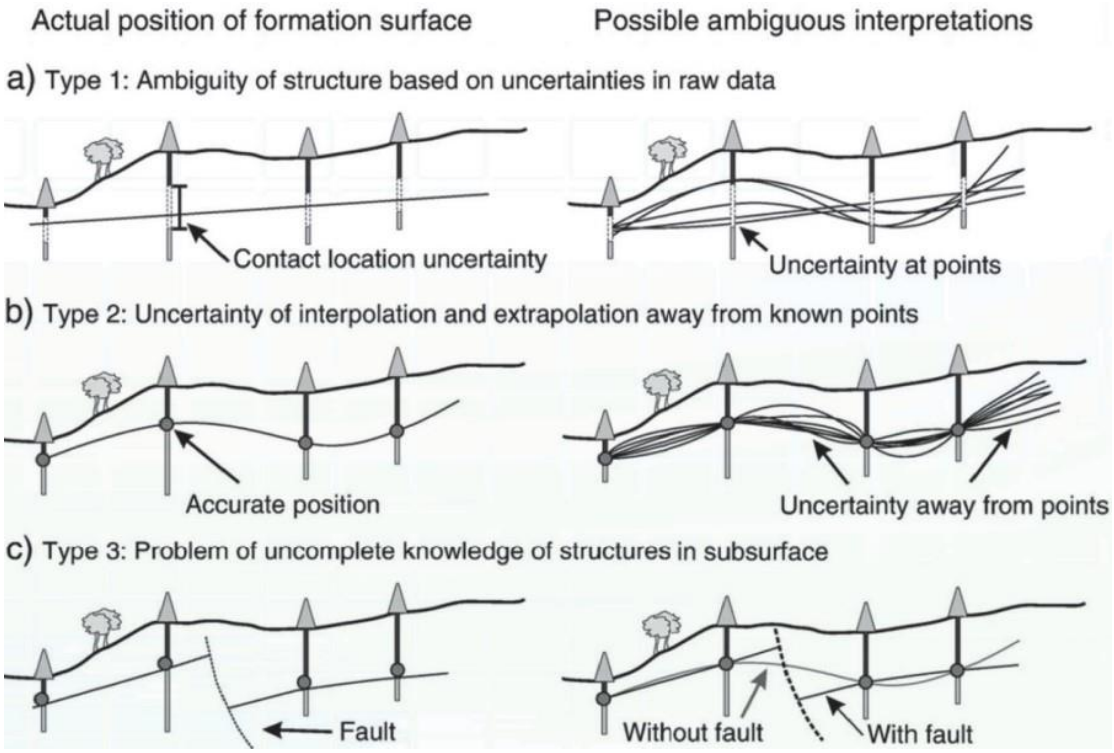


圖 5- 31 地下地質不確定性 (Wellmann, 2010)

(七)地質模型的重要性

地質模型之建立，為地面模型與大地工程模型建構之基礎，因此相關專業人員於測繪時，須掌握其不確定性之種類、程度與發生原因。

而地質模型之不確定性，可藉由新增地球物理探勘 (地電阻、鑽探及地磁測量等) 技術與新興調查技術 (UAV、LiDAR 或 SAR 等) 方式，來補足原始資料及降低地質模型之不確定性。此外，於解釋圖資時，須謹慎判讀與清楚說明採用之假設與把握程度，後續工程師則需盡可能質化或量化不確定性對工程規劃、設計及施工時所帶來之影響。若能減少地質不確定性，方能減少不必要之經費浪費、增加工程設施之效能，並降低生命財產安全損失之風險。

二、野外調查必備神器—實用App大解析

(一)野外調查是建立環境資訊的重要基礎

近年來，遙測工具在空間及時間解析度上已大幅提升，因能應用於廣域的地表監測與其高效能的表現，已受到產官學研界廣泛的活用與推廣。然而，野外觀察與記錄仍是對於一地區研究的重要基礎工作。藉由野外調查與記錄，除了可以瞭解該地區的地形、地質及環境狀態，也可以驗證遙測圖資判釋的準確度，因此，野外調查仍是一項不可或缺的工作 (圖 5- 32)。

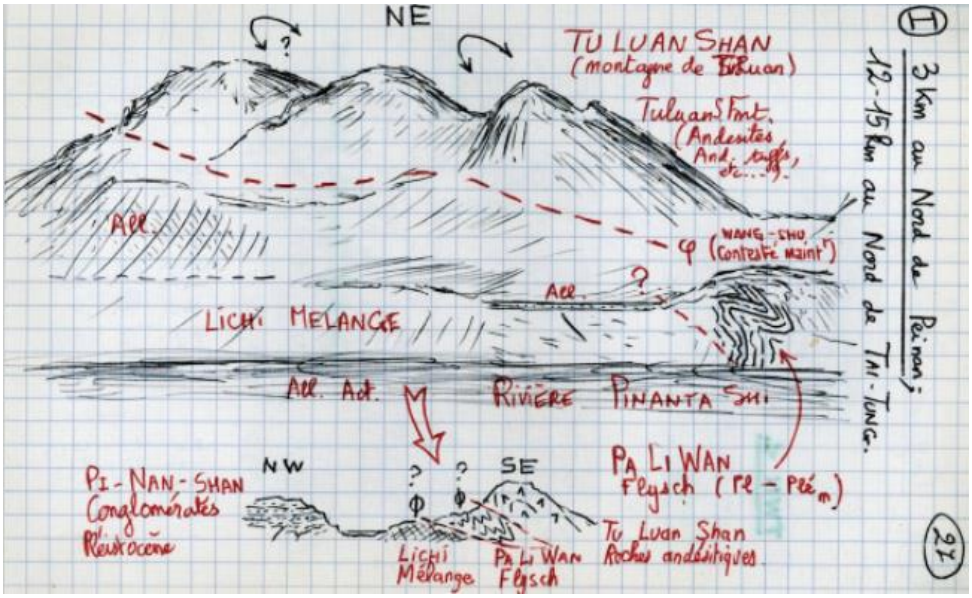


圖 5- 32 都巒山調查 (Jacques Angelier, 1981)

進行野外調查時，會應用到如調查區域的相關圖資、野外記錄本、地質鎚等調查用具，由於裝備眾多，故輕便合用實為基本要求。因此，拜現代科技之賜，許多手機上實用的 APP 已能滿足上揭的需求，大幅減化野外調查所需裝備。

(二)掌握好天氣，出門不掃興 — Windy (iOS/Android)

野外調查，最怕遇到天候狀況不佳的情形，因此瞭解調查區域的天氣為事前準備的重要工作之一！即時氣象動態預報 App- Windy，

除了具有操作簡易、介面清晰及精美動畫等優勢，還有層次分明的色彩變化用以瞭解雨勢，並可選擇顯示溫度、風速、風向或觀看雷達影像等許多圖層提供參考 (圖 5- 33)。

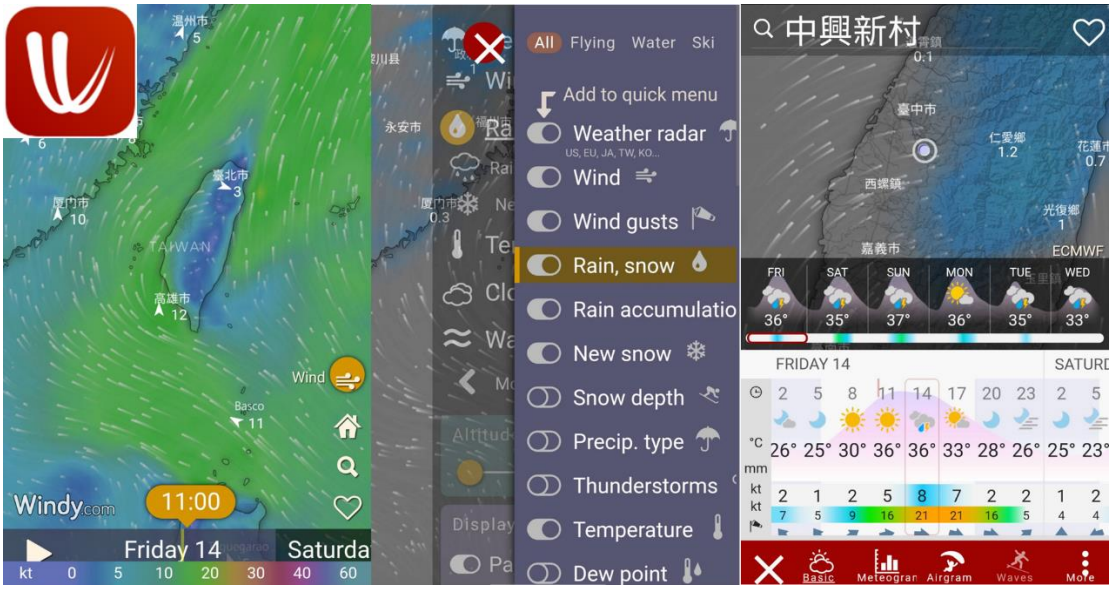


圖 5- 33 Windy 介面

(三)整合離線地圖的超輕量版 GIS—Map Marker (iOS/Android)

進行野外地質調查時，最重要的輔助工具莫過於各式圖資，例如地形圖、地質圖、航照圖及 H.O.S.T 地圖等。儘管紙本地圖仍具有一定之優勢，但若所需圖資眾多時，尚需圖夾或圖囊來收納，使用上仍有不便。近年來，具有地理座標資訊的 Geospatial PDF 檔，已被視作輕量版的 GIS，讓使用者透過一般的 PDF Viewer 就可以使用到 GIS 的圖層、地理坐標、屬性資料查詢等功能，亦即可以藉由 Geospatial PDF 替代傳統圖紙進行野外調查 (圖 5- 34)。

Map Marker 可直接讀取 Geospatial PDF，亦即在手機或平板上即可使用離線地圖，除了可自由設定路徑、描繪多邊形、標記位置外，還能量測長度及距離，並且可匯入/匯出 KML 檔進行檢視，十分方便。



圖 5- 34 Map Marker 介面

(四)GPS 在手，定位不怕丟—GPS Status&Toolbox (iOS/Android)

當發現良好的露頭或需要記錄採樣地點時，常常需仰賴 GPS 定位記錄坐標，此時利用手機內建的 GPS 接收衛星訊號，即便位處沒有電信網路的區域，依然可以使用。GPS Status&Toolbox 是一款實用的 GPS 輔助 APP！介面清晰且提供如衛星訊號強度、數量、精度、速度、海拔高程、方位、俯仰角等多樣資訊外，還提供指南針及水平工具，並且能標記或分享位置座標，讓手機定位更加精準 (圖 5- 35)。

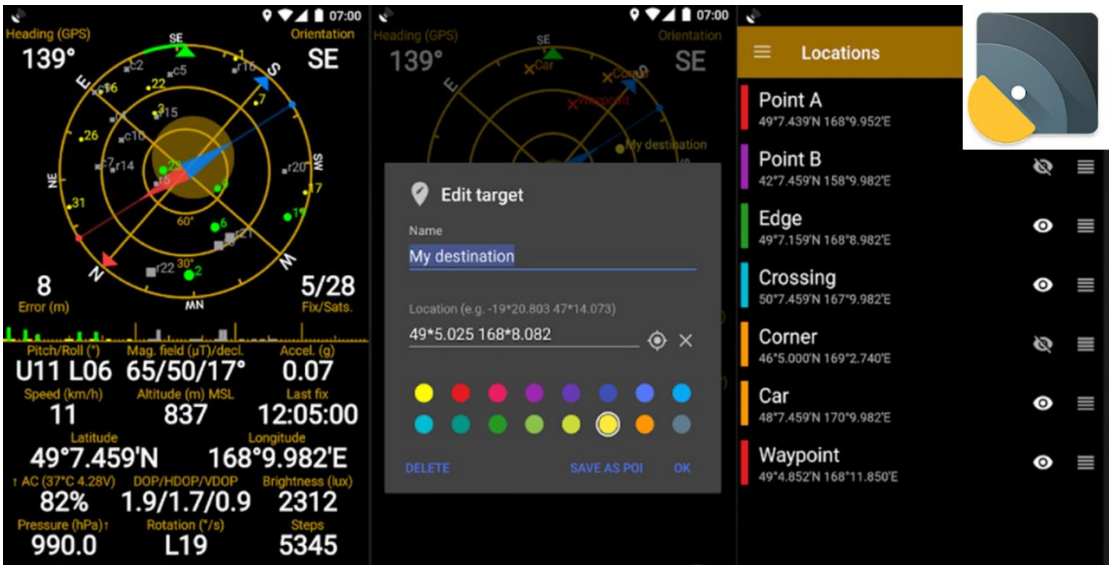


圖 5- 35 GPS Status&Toolbox 介面

(五)地質技師必備的地質羅盤儀 —FieldMove Clino (iOS/Android)

地質羅盤是進行野外地質調查時必不可少的工具！藉由內建的傾斜儀可定出方向，瞭解觀察點所在位置，且能測出任一觀察要素的空間位置 (如岩層走向及傾角、斷層面、不連續面等構造)。FieldMove Clino 這款 APP，可讓使用者的手機可以化身為地質羅盤，除用於測量和採集特徵點方位，並可隨時儲存、繪製赤平投影圖，甚至可匯出 KML 檔，在 Google Earth 上檢視，用以瞭解觀察要素的空間位置 (圖 5- 36)。

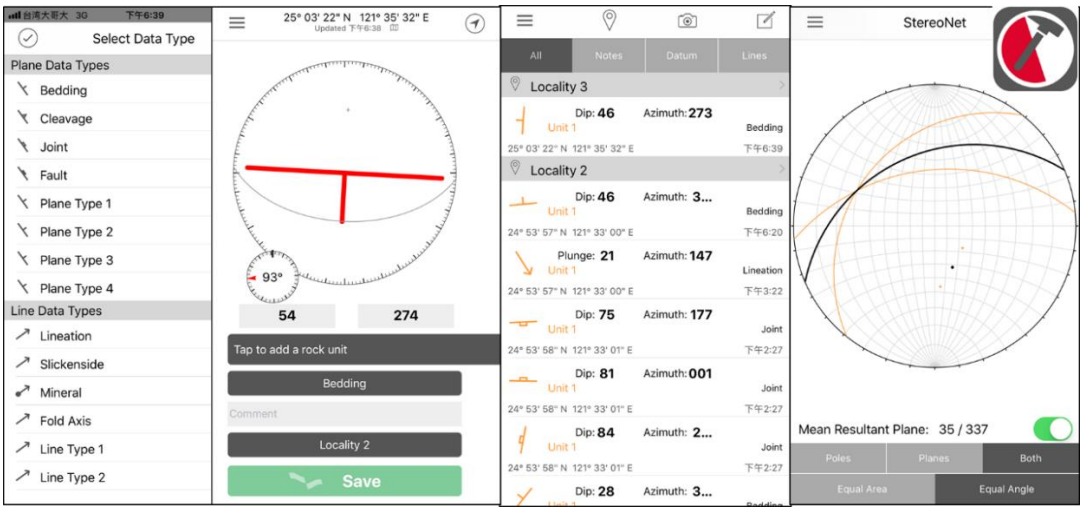


圖 5- 36 FieldMove Clino 介面

(六)下一波可能的新技術變革－AR/VR/MR

新興科技的發展除造福許多第一線調查工作者們，讓現地勘查所需的儀器及裝備數量大幅減少且輕量化與自動化。不僅如此，隨著虛擬實境 (virtual reality,VR) 等技術越來越成熟，已有野外調查教育者開始藉由 VR 技術取代現地勘查訓練，降低在危險場域進行現地調查時的風險 (Argles, 2015) (圖 5- 37 及圖 5- 38)。

為重現重大土砂災區現場，讓災害現場可視化，水土保持局亦透過 UAV 拍攝成果，以三維實景建模方式建置坡地三維空間模型，並於實景模型中匯入歷年調查規劃成果圖資資料，建置坡地虛擬實境空間展示及沉浸式訓練平台，作為新進工程師專業能力輔助訓練之用。此外，本平台並可讓多名使用者於 VR 虛擬空間中討論災害緊急處理方案或工程配置，讓使用者毋需親臨現場也能瞭解現場狀況，跨越空間限制，提升防減災工作效能。



圖 5- 37 利用虛擬世界訓練野外調查技能 (Argles, 2015)



圖 5- 38 坡地虛擬實境空間展示及沉浸式訓練平台

(https://youtu.be/2iO34rj3rig)

(七)相關連結

1. Windy App 下載

   iOS 版:

   https://apps.apple.com/tw/app/windycom/id1161387262#?platform=iphone

   Android 版:

   https://play.google.com/store/apps/details?id=com.windyty.android&hl=zh_TW&gl=US

2. Map Marker App 下載

   iOS 版: https://apps.apple.com/us/app/map-marker-places-organizer/id1287281807

   Android 版:

   https://play.google.com/store/apps/details?id=com.exlyo.mapmarker&hl=zh_TW&gl=US

3. GPS Status & Toolbox App 下載

   iOS 版: https://apps.apple.com/tw/app/gps-status-toolbox/id1198499960

   Android 版:

   https://play.google.com/store/apps/details?id=com.eclipsim.gpsstatus2&hl=zh_TW&gl=US

4. FieldMove Clino App 下載

   iOS 版: https://apps.apple.com/us/app/fieldmove-clino/id647463813

   Android 版:

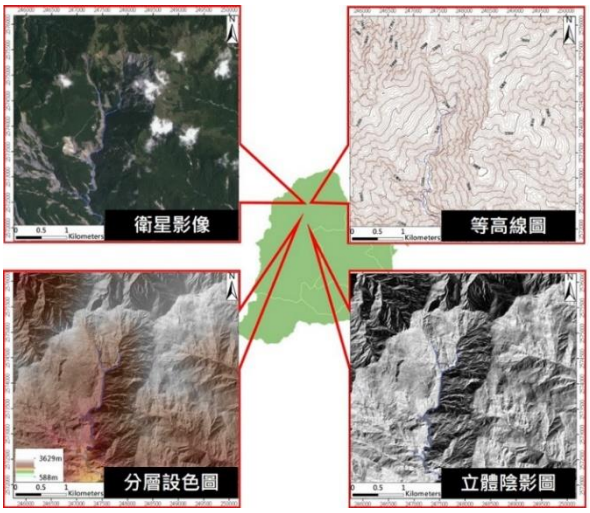
https://play.google.com/store/apps/details?id=com.mve.fieldmove.clino&hl=zh_TW&gl=US

5. 水土保持局坡地虛擬實境訓練平台

https://tech.swcb.gov.tw/Results/ResultsVR

三、數位時代下的新型態地形圖

儘管目前 Google Earth 等三維地形展示工具已非常便利，但實務上，平面地形圖仍是工程規劃設計時不可或缺的基礎工具。然而，如等高線法、分層設色法、立體陰影法等的傳統平面地形圖，除了無法呈現微地形特徵外，對於一般民眾而言，亦不易直接透過圖資判讀地表變化，或於腦海中自動轉換成三維地形 (圖 5- 39)。



地形圖種類	優點	缺點
衛星影像及正射航照影像	較視覺化，可明顯辨認物件。	1.因植生影響，無法辨識植被下地表起伏。 2.因強烈光影對比，易誤判光亮面地形。
等高線圖及分層設色圖	適合表現大範圍高程變化。	無法反映地表為地形變化。
立體陰影圖及坡度圖	可凸顯局部地形起伏與地貌變化。	1.陰影可能會遮蔽細微地形起伏。 2.入射光源方向不同亦容易誤判凹凸地形。

圖 5- 39 常用的地形圖型式

(一)DEM 資料衍生的新形態立體地形圖

近年來由於高精度 DEM 的普及，各種新型態的地形圖亦陸續發展。例如結合地形開闊度及坡度的紅色地圖、融合高度與不同光源方向產製之立體彩繪明暗圖，以及整合坡度、曲率、高程的 CS 地圖等，均具有可呈現微地形特徵並具立體感的優勢 (圖 5- 40)。

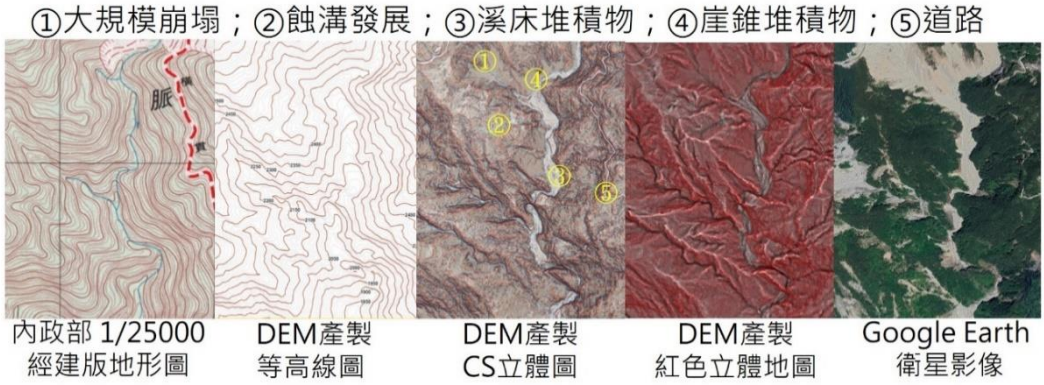


圖 5- 40 相同地點不同圖資呈現之效果

(二)CS 地圖開發歷程及製作原理

為了讓地圖使用者更容易判讀地形特徵，且力求使未經訓練的人，亦可直覺的判讀出地形特徵與其立體感，日本長野縣立林業研究中心(長野県林業総合センターが) 開發出新型態的地形圖－CS 地圖。結合地形高程 (Height)、地形曲率 (Curvature) 及地形坡度 (Slope) 之 CS 地圖，運用不同的色調及透明度來表現地形的坡度與曲率，並將不同的圖資套疊，讓人以肉眼觀看便能輕易的辨識出不同的地表特徵(圖 5- 41)。

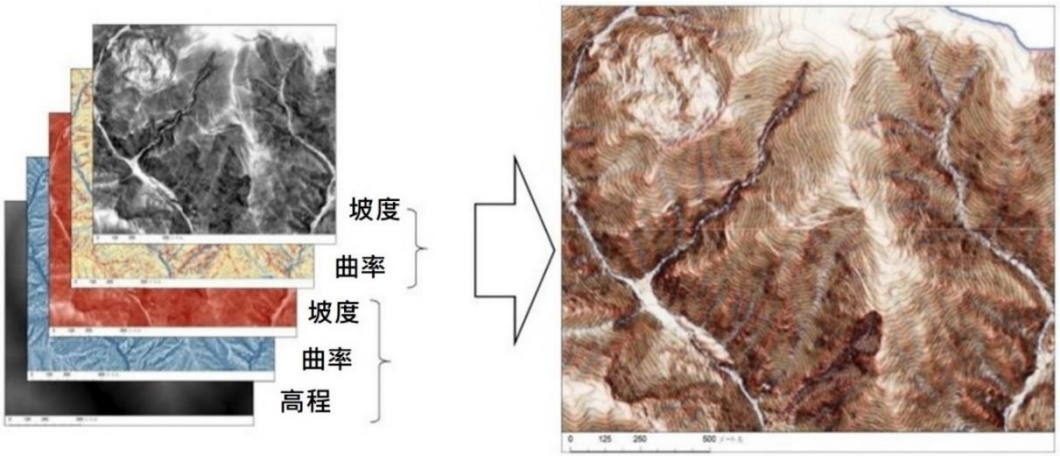


圖 5- 41 CS 地圖製作原理 (摘自 Kosuke ASAHI, 2017)

其中，曲率係表現地面起伏的複雜程度。CS 地圖應用地形曲率概念，讓使用者在判讀時能更精準的了解整個坡面的水流方向。

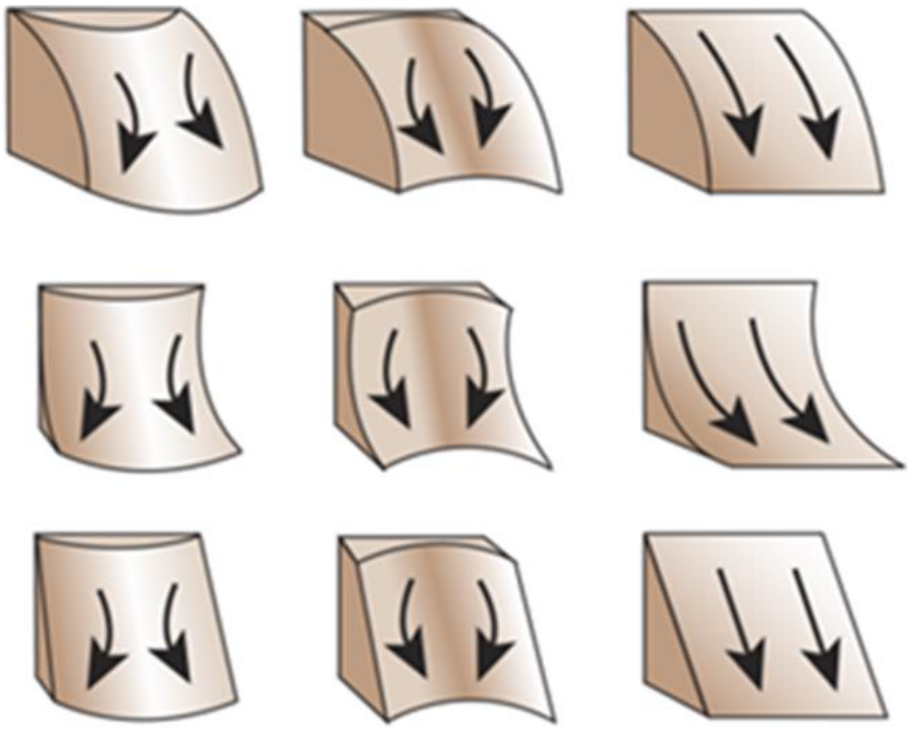


圖 5- 42 地形曲率與水流方向示意圖 (摘自 ESRI，2012)

為能使在判讀圖資時，能快速區別地形特徵 (圖 5- 42)，CS 地圖使用由青色漸層至橘色的顏色配置，來呈現不同的地貌。當局部地貌呈現青色，表該地屬凹面型地貌，如山脊線、斷崖等，顏色越濃則凹陷程度越劇烈；反之，當局部地貌呈現橘紅色，表該地屬凸面型地貌，如野溪、河谷、湧水點等，顏色越濃則凸出程度越劇烈 (圖 5- 43)。



圖 5- 43 CS 地圖色調層級 (修改自 Kosuke ASAHI, 2017)

(三)CS 地圖的優勢

在地形判釋上，由於 CS 地圖注重於於局部地貌的凹凸曲率判讀，而邊坡上之凹槽通常為水體匯流或侵蝕之處，故 CS 地圖於水路相關應用及局部微凹凸地形的判釋較其他地形圖 (如 H.O.S.T 地圖或經建

版地形圖) 優越。坡面的湧水點或凹面型地貌，在 CS 地圖上會呈現青色，若有明顯河道則呈現深青色，若無明顯湧水則呈現淡青色。由 H.O.S.T 地圖上雖亦能明顯看出坡面地形，然坡面上的凹陷處邊界與水路的分佈，不如 CS 地圖明顯 (圖 5- 44)。

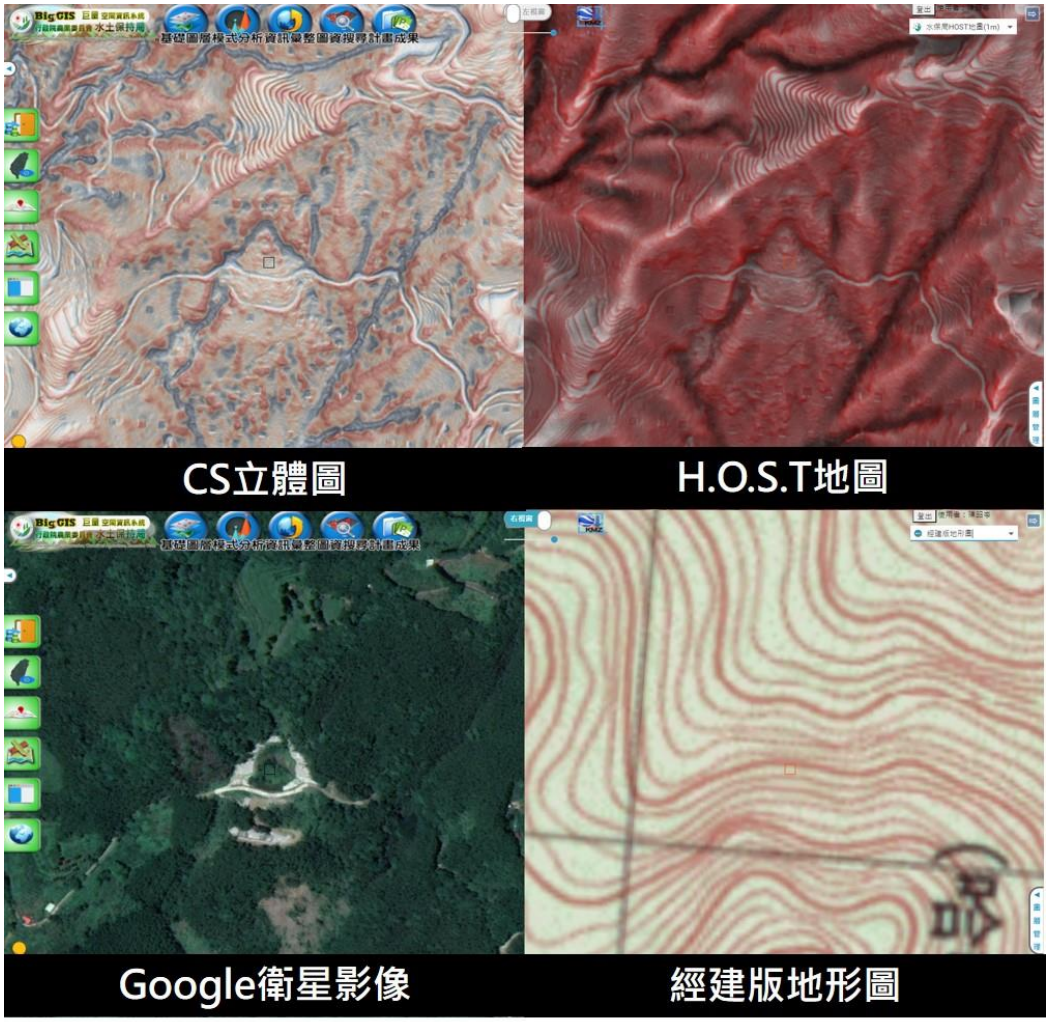


圖 5- 44 相同地點不同圖資呈現之地貌特徵

(四)各地 CS 地圖成果展示

目前日本已有公開 10 m 解析度之全國 CS 地圖，而靜岡縣已有公開 1 m 解析度之 CS 地圖，長野縣與岐阜縣已有公開 0.5 m 解析度的 CS 地圖，並將圖資展示於 G 空間情報中心網站

(https://www.geospatial.jp/gp_front/csmap)，使用者可自由下載檢視。

在國內部分，水土保持局已完成全台 20 m 及 6 m 解析度之 CS 地圖 (圖 5- 45)，並將圖資展示於 BigGIS，使用者可自由切換雙視窗或二維與三維地圖同步展進行比對，快來感受一下 CS 地圖的魅力吧！

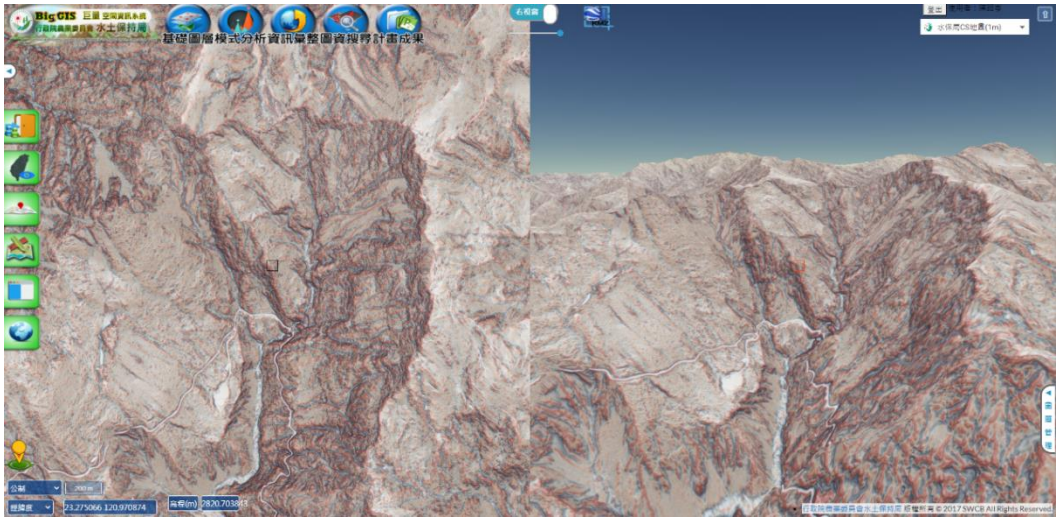


圖 5- 45 全台 CS 地圖成果展示

為了讓地圖使用者更容易判讀地形特徵，且力求使未經訓練的人，亦可以肉眼輕易辨識出不同的地貌特徵及其立體感，CS 地圖使用由青色漸層至橘色的顏色配置，來呈現不同的地貌 (圖 5- 46)。

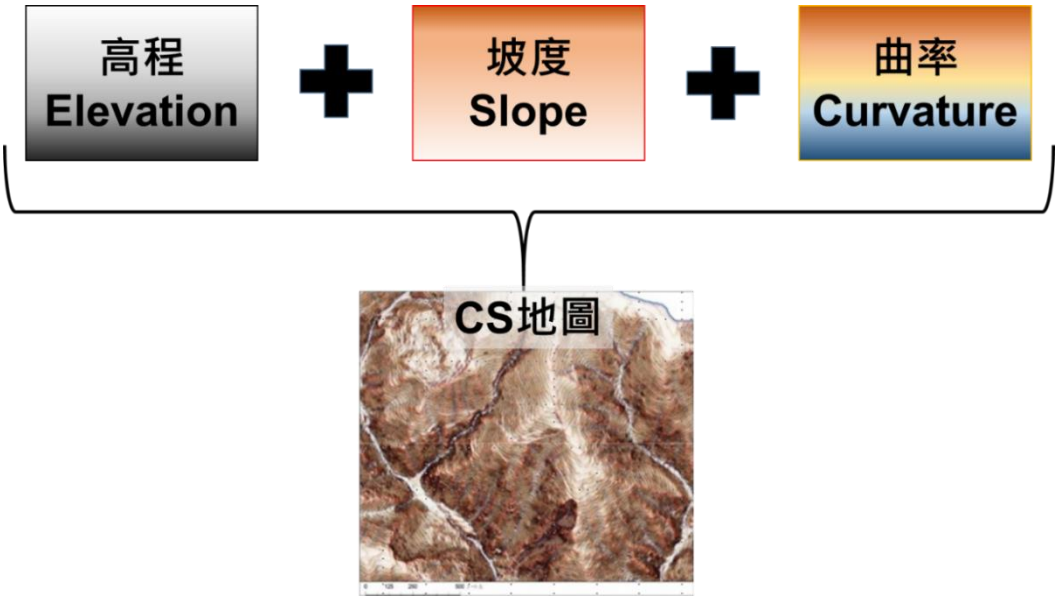


圖 5- 46 CS 地圖製作原理

(五)隱藏在地圖中的密碼

在地圖的判讀過程中，首先要掌握整體的地形地貌，了解區域特徵及其形成條件與原因。然而，形塑台灣地形的外營力 (包括水、冰和風的作用) 裡，水是最重要的因子，其呈現於地表的特徵就是水系。水系可以表現出岩土的性質與形成其特徵的地質構造，在判讀崩塌等地質災害潛勢時，侵蝕溝及河道等的水路發育判釋成為解讀時的重要關鍵之一 (圖 5- 47)。例如，礫岩與泥岩在坡度圖上表現之紋理明顯不同，其原因為不同岩性造成的水流分布及坡度陡峭程度差異。礫岩地質較泥岩堅固，故形成之地形坡度較陡峭，在坡度圖上呈現的顏色比泥岩地形深；而發育於礫岩地形中的水系通常呈現樹枝狀 (水沿著礫石層弱面行走)，主流與支流河道寬度區分明顯，且蜿蜒程度低於泥岩地形的水系。

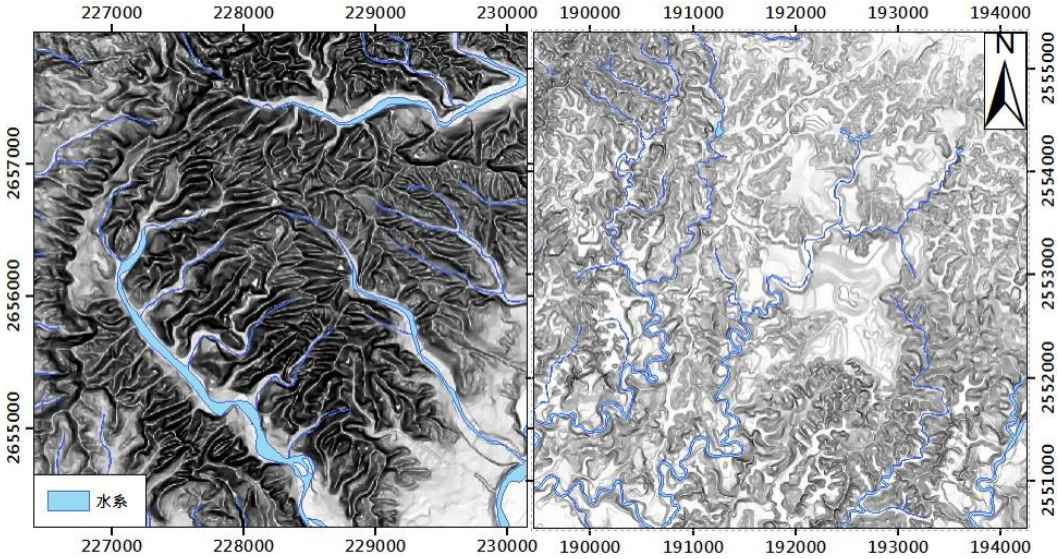


圖 5- 47 坡度圖中的礫岩 (左圖) 與泥岩 (右圖) 表現之紋理不同

(六)解讀 CS 地圖的密碼

應用 CS 地圖判讀坡面湧水點或凹面型地形時，可由圖資的色調來判別出有無明顯的湧水，或為人為改變的地貌特徵。若有明顯的湧水，會呈現一個深青色的圓點，代表坡面湧水位置，而其下方會有青色的線狀特徵，代表侵蝕溝或河道等凹窪地形；若圖資上雖沒有明顯深青色的圓點，卻仍有青色的線狀特徵，代表坡面有表面侵蝕的現象，多為地表沖蝕或逕流的水路；若有深青色圓點，但其下方為凸面型地形 (山脊或台地等)，代表此地形可能為人為改變的地貌，如人為的炭窯。因此在判讀 CS 地圖時，務必結合周圍的地形特徵，小心的判讀，才不會有誤判的窘境產生 (圖 5- 48、圖 5- 49 及圖 5- 50)。

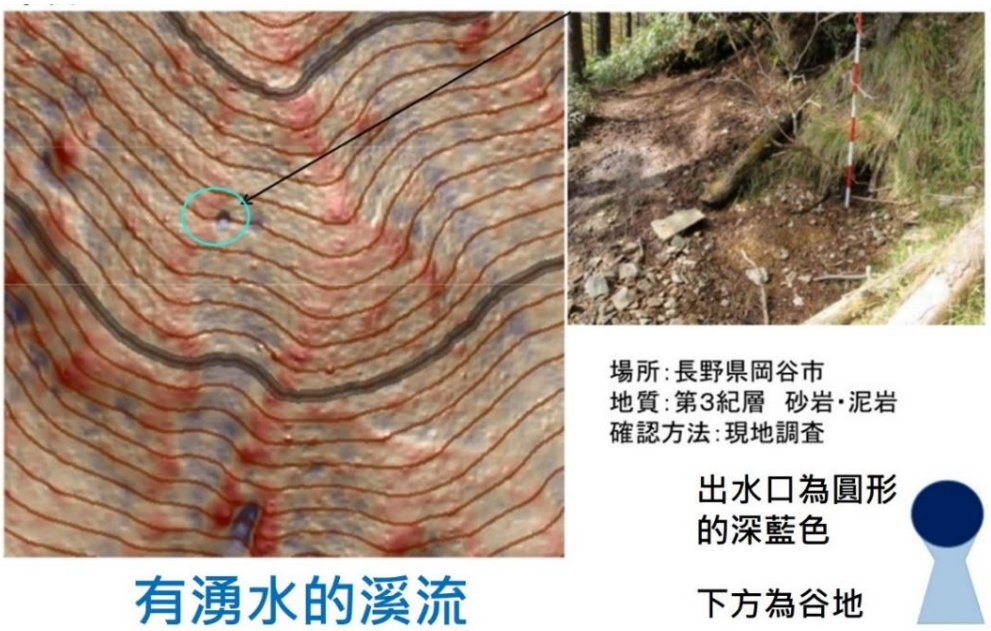


圖 5- 48 湧水類型一 (修改自 Kosuke ASAHI, 2017)

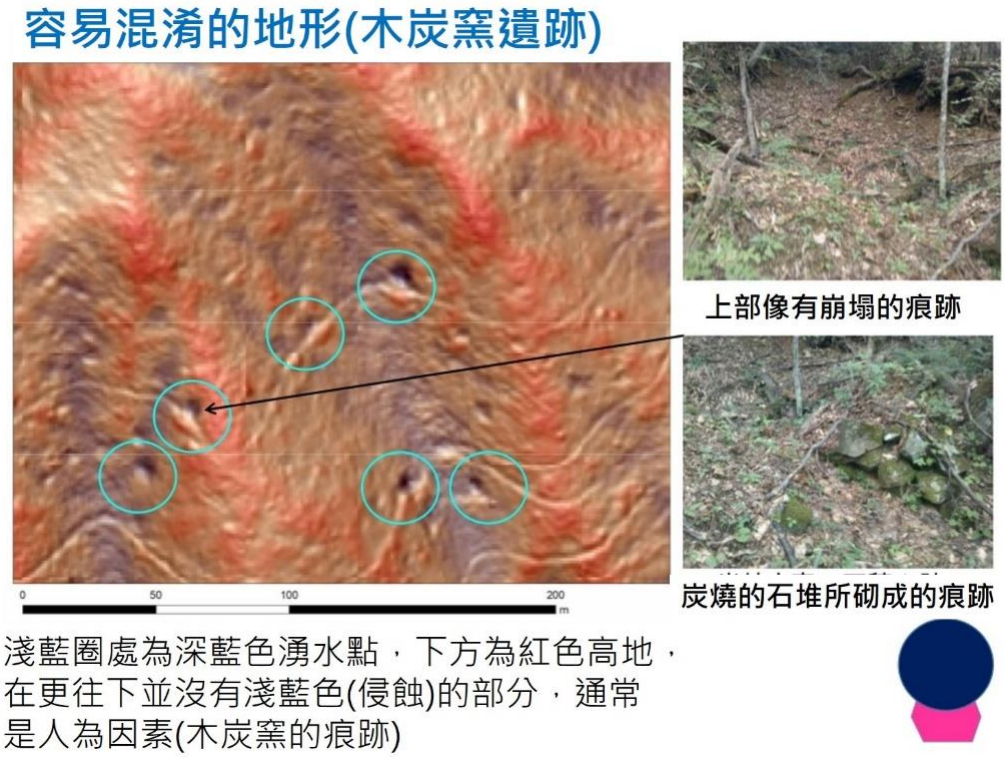


圖 5- 49 湧水類型二 (修改自 Kosuke ASAHI, 2017)

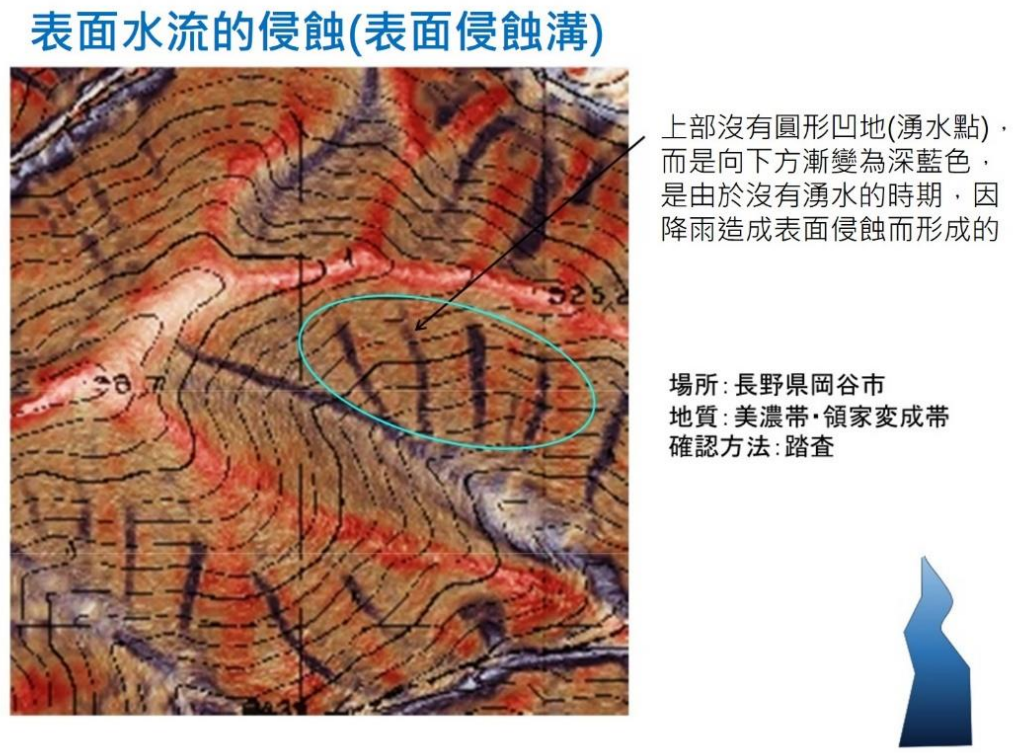


圖 5- 50 湧水類型三 (修改自 Kosuke ASAHI, 2017)

(七)自己動手製作 CS 地圖

目前，水土保持局已完成全台 20 m 及 6 m 解析度之 CS 地圖，並將圖資展示於 BigGIS，提供使用者自由切換雙視窗或二維與三維地圖同步展示進行比對，而日本長野縣立林業研究中心也開發出可應用於 QGIS 軟體與 ArcGIS 軟體中的外掛程式— CSMapMaker plugin (https://github.com/waigania13/CSMapMaker)，讓使用者可以直接在軟體中尋找與安裝外掛程式，就能利用 CSMapMaker 製作出一張自己想要的地區範圍、精美的 CS 地圖 (圖 5- 51)。

在 QGIS 中，只需匯入所要製作區域的 DEM 圖層，並設定好高斯濾波器的參數值—標準偏差與半徑，最後設定想要的曲率計算方法，就可以產製出精美的 CS 地圖囉!

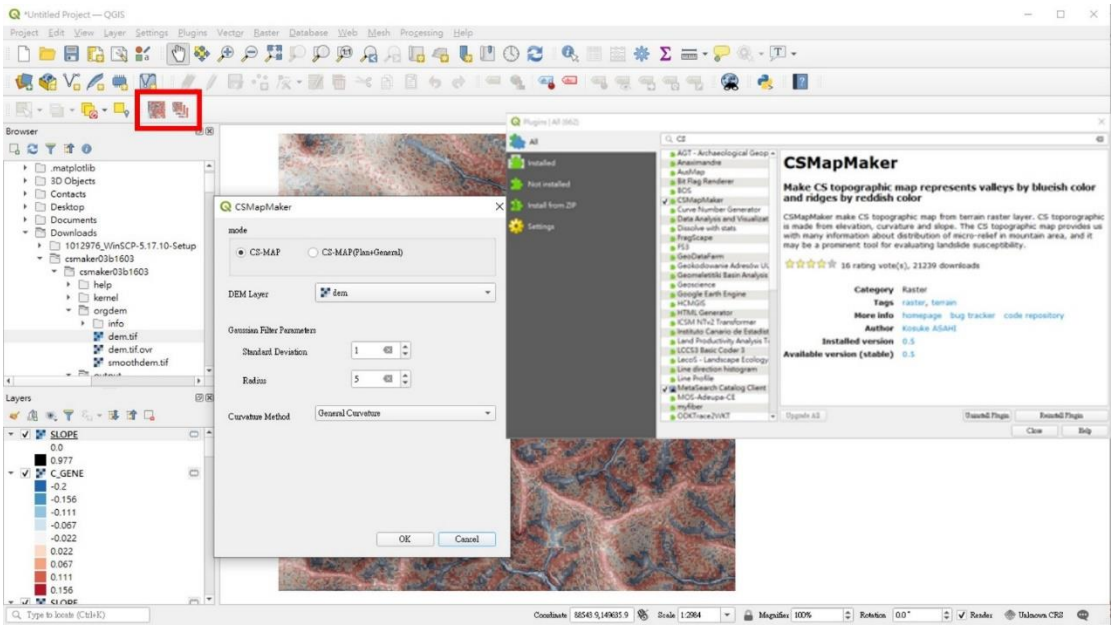


圖 5- 51 CSMapMaker 於 QGIS 製作介面

在 ArcGIS 中，只需要匯入所要製作區域的 DEM 圖層，並先設定好匯出文件夾位置，中心點權重值及圖層路徑 (此二者可用預設值)，繪製完成後，圖層功能中請依照順序(1) slope1.lyr、(2)

curvature1.lyr、(3) slope2.lyr、(4) curvature2.lyr 與 (5) dem.lyr 置入圖層，即可製成精美的 CS 地圖 (圖 5- 52)!

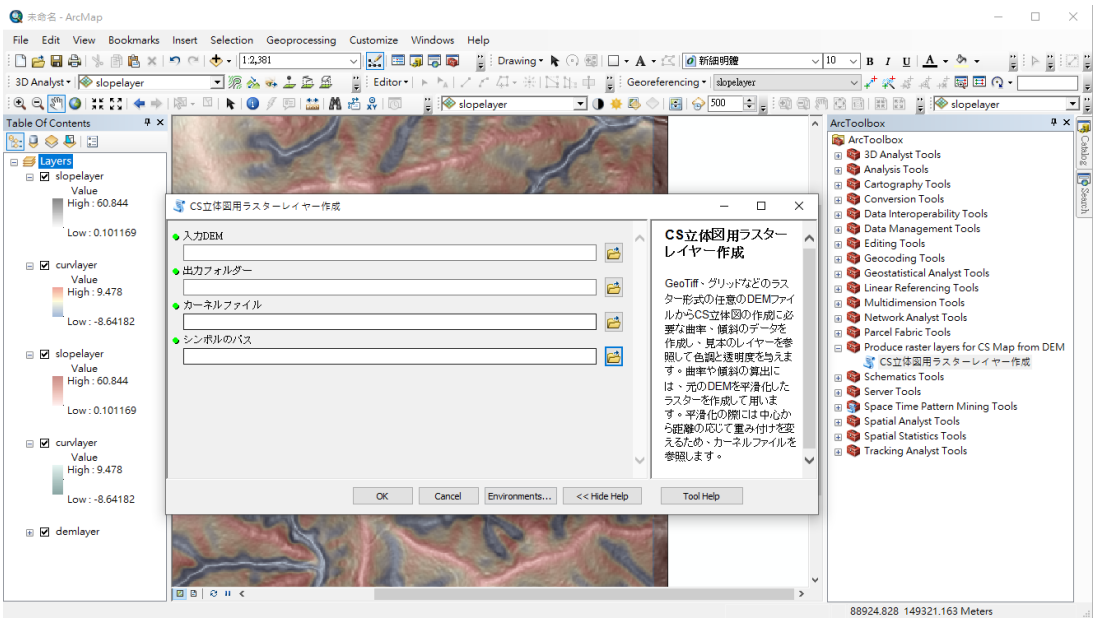


圖 5- 52 CSMapMaker 於 ArcGIS 製作介面

(八)數位時代下的共享開源精神

日本長野縣立林業研究中心，秉持著資源共享的精神，自 CS 地圖成功開發後，便無償地將圖資展示於 G 空間情報中心網站 (https://www.geospatial.jp/gp_front/csmap)，提供使用者自由下載、檢視與應用，並發展 GIS 套件讓每個人都能夠自行製作，同時分享 CS 地圖判讀案例 (圖 5- 53)。2020 年水土保持局技研小組也已針對國內判釋案例，彙編有「立體地形圖 H.O.S.T MAP 及 CS MAP 判釋參考指引」，可供使用者參考。還等什麼呢? 快來自己製作一張精美的 CS 地圖，解開 CS 地圖裡的密碼吧!



圖 5- 53 G 空間情報中心展示 (摘自 https://www.geospatial.jp)

(九)相關連結

1. BigGIS 巨量空間資訊系統: https://gis.swcb.gov.tw
2. CSMapMaker plugin 下載點: QGIS-
   https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/cs-tool
3. ArcGIS- https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/csmapmaker
4. FOSS4G 2017 Tokyo ハンズオン・CS 立体図を用いた地形判読:
   https://www.slideshare.net/osgeojapan/csfoss4g-2017-tokyo
5. G 空間情報センター(G 空間情報中心):
   https://www.geospatial.jp/gp_front/csmap

第三節 新興防災技術發展趨勢

一、UAV應用無限大未來

近年受惠於各種感測器微型化發展，搭配 UAV 的普及，相關成果已被廣泛應用於各領域，並具有突破性的發展。由於 UAV 有低成本、體積小、高機動性、風險低、且可克服地形、人力限制等優勢，可運用於地形測繪、區域巡查、植生撒播與防災勘查等任務，在水土保持及防災業務中，已成為調查工作不可或缺的工具 (圖 5- 54)。



圖 5- 54 UAV 執行冰球粒劑植生試驗

自 2020 年 3 月 31 日起民航法正式將 UAV 納入管理後，雖面臨軟硬體使用限制、現地作業及空域管制申請等瓶頸，且於水土保持領域仍有許多問題與挑戰，但於國際應用趨勢而言，後續應用與發展方向仍有很大的成長空間。本章節將介紹幾個實務案例，供後續應用參考。

(一)巡檢好幫手－工程構造物巡檢

傳統工程監測，常安排人力直接到現場進行檢測，如邊坡護坡工程，受限於地形陡峭、工作環境危險及人力不易抵達而無法進行全面的工程設施巡檢；以河床上防砂構造物而言，由於調查人員常受限於交通可及性及環境條件不佳，難以接近防砂構造物，進行全盤檢視工程構造物的健全度，以利後續維護管理工作規劃。因此，近年來開始應用 UAV 輔助工程構造物巡檢 (圖 5- 55)，除可解決調查人員安全問題，亦可確認工程構造物之健全度、周圍環境狀態等問題，更是節省人力成本與減少調查時間。



圖 5- 55 防砂設施檢測

(二)分類小能手－搭配 AI 快速完成地物辨識

若 UAV 搭載多光譜感測器，便能獲取比傳統航照或遙測衛星更高解析度之多光譜影像，進行地物辨識或環境變化的評估。例如，利用監督式或非監督式分類方式將影像中不同的地物進行快速分類，此法最常被利用於地物變遷、地物分類或農業植生監測等。以水保設施影像分類為例，由於多光譜影像中含有波譜資訊，且各種地物有不同的波譜頻段，因此可利用此方法，將影像中如水體、工程構造物及植被等地物進行分類，還可近一步與舊期影像進行比對，快速找出變異的區域 (圖 5- 56)。

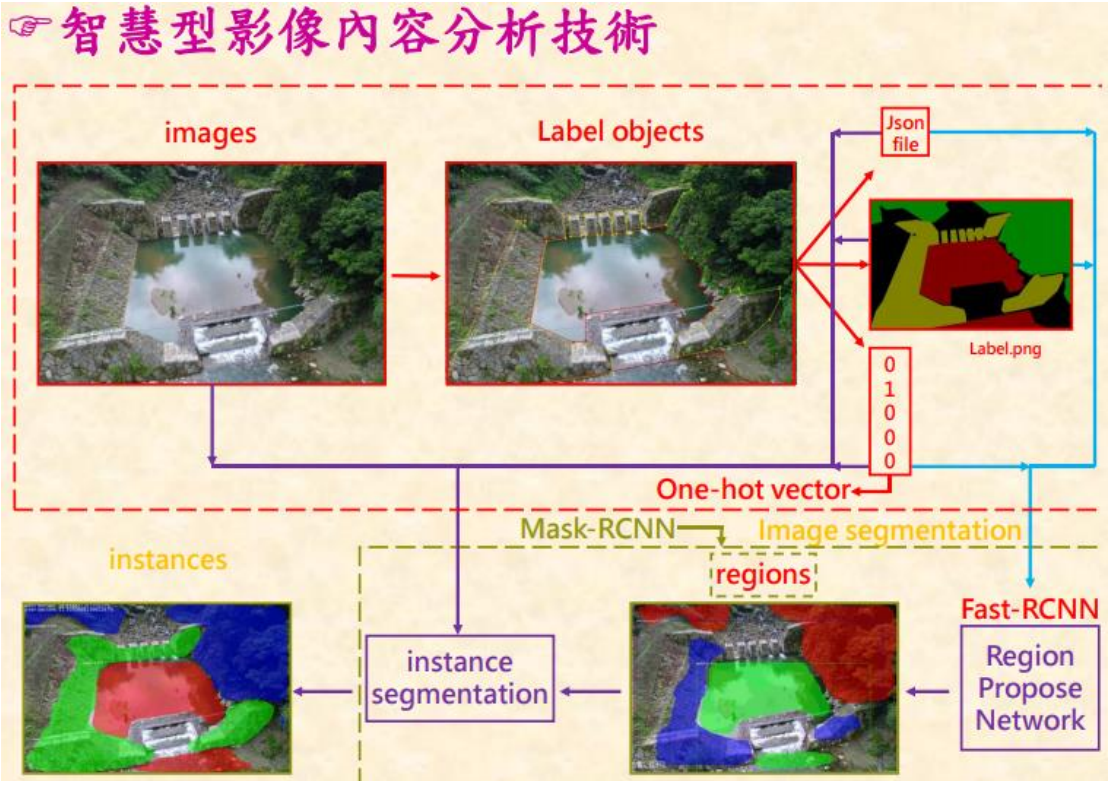


圖 5- 56 應用深度學習於地物分類 (蔡鴻旭，2020)

(三)植生救星－播種與噴植技術

台灣的地質相對年輕，集水區上游邊坡常因強降雨、地震等天然災害造成崩塌，且由於較偏遠地區人力不易抵達，致無法以工程手段

加速復育。近年來，因 UAV 技術及應用領域快速發展，水土保持局持續研究藉由 UAV 搭載不同灑播或噴植設備，同時嘗試改良植生團粒、採用冰球粒徑及不同投擲撒播方式等，期取代傳統人力作業，維護人員安全，並提升作業效率與植生復育率 (圖 5- 57)。



圖 5- 57 UAV 執行撒播植生任務

(四)遙測新利器－空拍測繪技術

隨著科技進步，測繪方式也日漸多元，從傳統地面測量到各式載具測量陸續發展。例如由太空的衛星進行定位與遙感探測、利用 UAV 於中低空進行攝影測量，甚至由測繪車於路邊蒐集資料及快速完成測量與定位。其中 UAV 成本低、機動性高及容易取得，僅搭載相機即可快速進行測量、拍攝，未來最具有發展潛力。目前 UAV 可事先依據測繪需求，預先規劃飛行航線、航高等資訊，後續即可按此規劃進行自動航拍任務，並使用航拍影像產製正射影像 (Orthoimage)、DSM、三維點雲 (3D Point Cloud) 等成果，供後續資料分析 (圖 5- 58)。

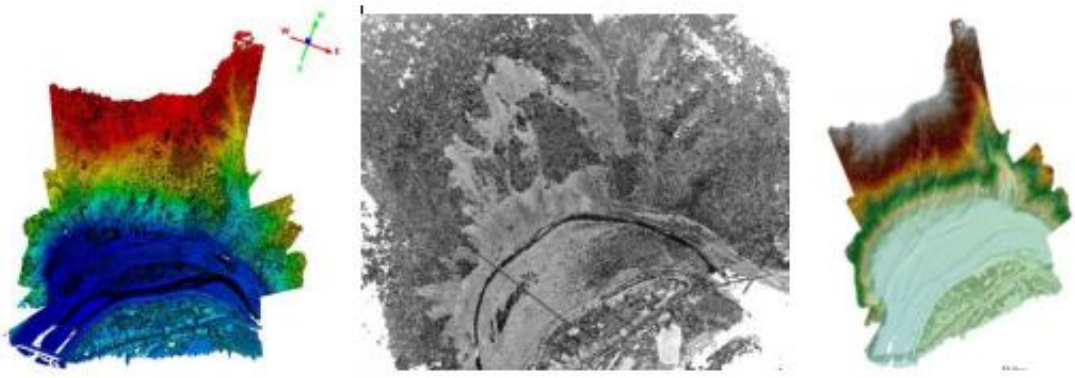


圖 5- 58 點雲資料 (左：航帶平差後；中：整合空中及地面光達；右：DSM 模型)(張國禎，2019)

(五)影像判釋應用－河床質粒徑分析

傳統的河床質粒徑調查係透過人工直接於現地挖掘試坑，並於樣坑挖掘過程進行野外粗顆粒篩分析及攜回樣品於實驗室分析，十分耗時費人力，且調查資料之數量及次數有限。然應用 UAV 進行拍攝，可快速提供河床表面影像及三維模型，透過 GIS 分析，可進行河床表面砂礫石材料粒徑分析及岩盤位態量測等，有助於延伸河床材料調查成果，並評估不同時期河床材料變化特性。應用空拍影像於河床表面粒徑組成分析，可將高解析河床正射影像匯入 Hydraulic Toolbox 之 Rock-Sediment Gradation Analysis 進行影像辨識及粒徑組成分析 (圖 5- 59)。

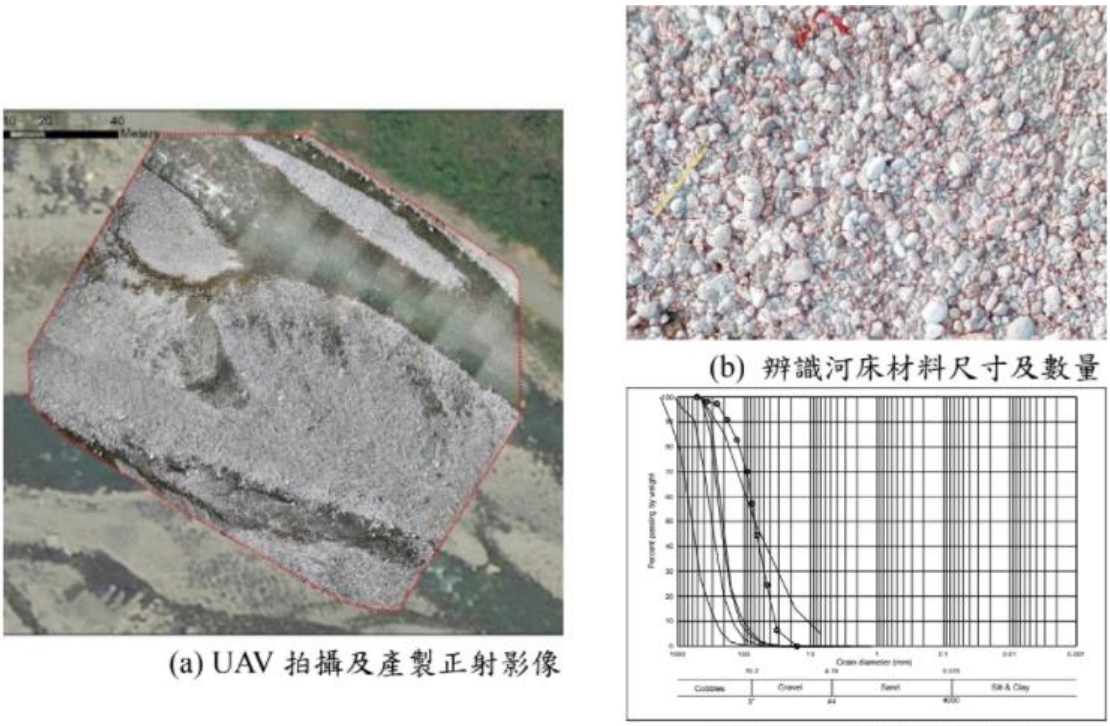


圖 5- 59 應用空拍影像於河川粒徑分析 (吳國維等，2020)

(六)無限延伸視界－災害即時空間資訊調查

災害發生往往無法預期，尤以坡地災害調查常面臨看不到、走不到的問題。透過 UAV 的機動性已能克服地形限制，除可取代人力之外，且能擴大資料蒐集能力，透過空拍即時測繪，產製豐富的地形資料，以利後續快速分析坡地災害的崩塌面積、土方量與崩塌活動性、變異性 (圖 5- 60)。

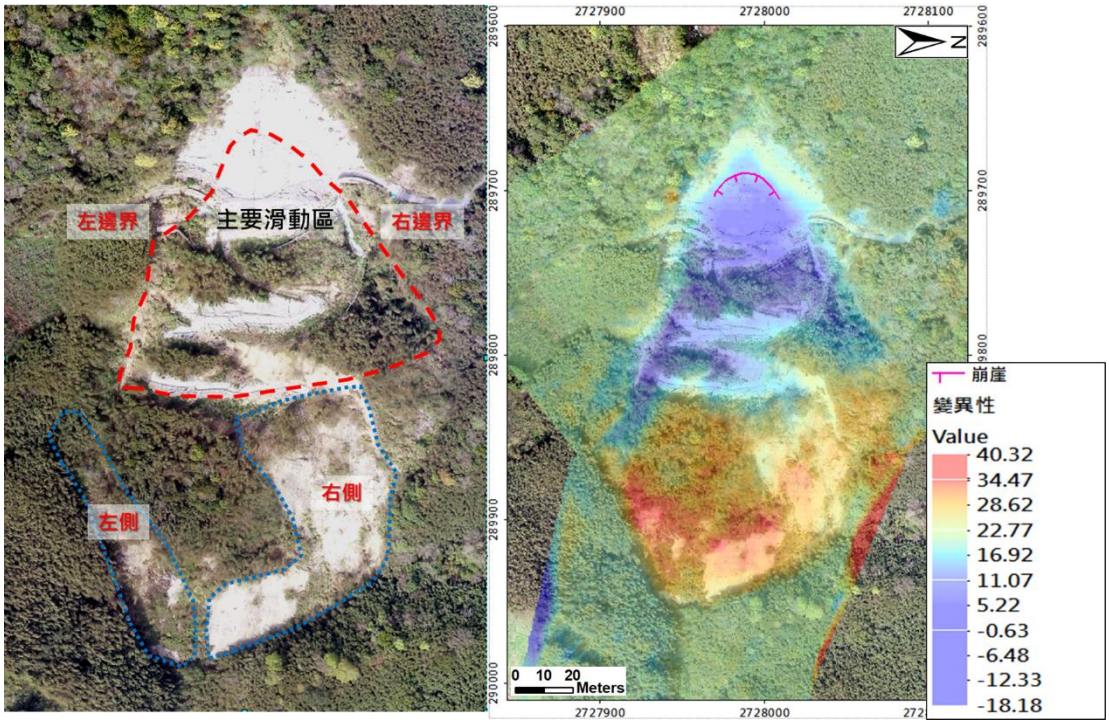


圖 5- 60 坡地變異性分析

(七)UAV 應用領域尚有無限可能

整體而言，目前國內外 UAV 應用之軟硬體解決方案日趨完備，各領域應用 UAV 進行空中作業、空中感測及空中運輸的比例日益增 加。例如日本發展 i-Construction 結合 ICT 與土木工程，搭配 UAV 即時測繪成果，可大幅解決日本勞動力不足的問題；此外，UAV 應用於災後勘查，不僅可降低人員傷亡風險，更可在災後快速獲取情報。

二、最具潛力的溫室氣體淨零排放方案－DAC

根據國際能源署 (International Energy Agency) 的數據，2020 年全球二氧化碳 (CO_2) 排放總量為 339 億噸。Blunden and Arndt (2019) 指出全球大氣 CO_2 濃度從工業革命前 280 ppm 已成長到 2018 年的 407 ppm，比人類歷史上任何時候都高。同時，過去十年觀察到的 CO_2 濃度增長率，約比自然增長率快 100 倍，導致增強的溫室效應大大提高了全球平均溫度，進而影響氣候、生態和社會系統。這種氣候變遷不可逆的絕望感，不免令人將整個情況往壞的地方想，淨零排碳等問題也再次的浮出檯面被大家所討論。因此，各國正陸續研擬各式解決方案 (圖 5- 61)，期望在確保能源需求的同時，能顯著且持續的減少進入大氣的 CO_2 淨流量 (Williams et al., 2021)，並將人為變暖限制在 1.5 ~ 2°C。。

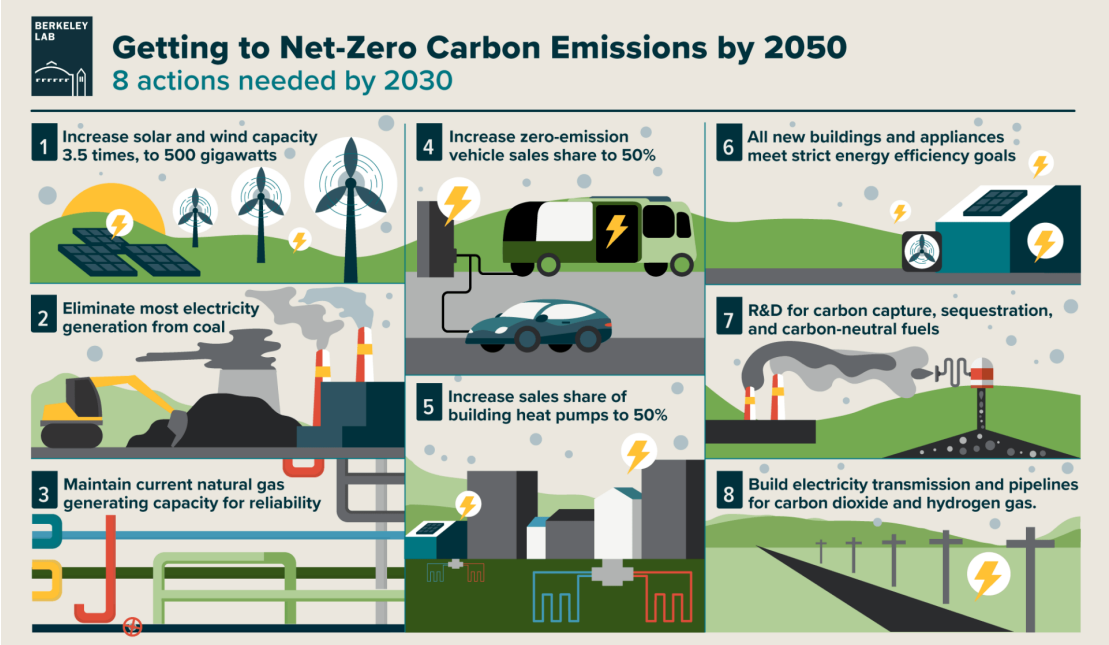


圖 5- 61 美國淨零排放的 8 個行動方案 (SDSNUN)

(一)淨零排放的選項

樹木和植被不是淨零排放 (Negative emissions technologies, NETs)

的唯一形式 (Tapia, 2021)，如圖 5- 62 所示，還能透過生物炭、基於生物能的碳捕獲和儲存 (Bioenergy with carbon capture and storage, BECCS)、藍碳 (Blue carbon) 棲息地的復育、使用生質材料、鹼化雲或海洋、直接空氣捕獲 (Direct air capture, DAC)、提高海洋生產力、增強風化及土壤碳固存等方法皆能吸收 CO_2。

其中，BECCS 能以最低的成本吸收大量 CO_2，被廣泛視為負排放技術。其透過燃燒生物質獲得電力，再將產生的 CO_2 隔離到地下。生物質於成長時已使 CO_2 離開大氣層，同時對發電廠進行碳捕捉及儲存 (carbon capture and storage, CCS)，而產生「雙重收益」以實現淨負排放。反之，DAC 為淨零方法中最有潛力的一種方法，但其為昂貴且耗能的負排放技術 (Fuss et al., 2014)。

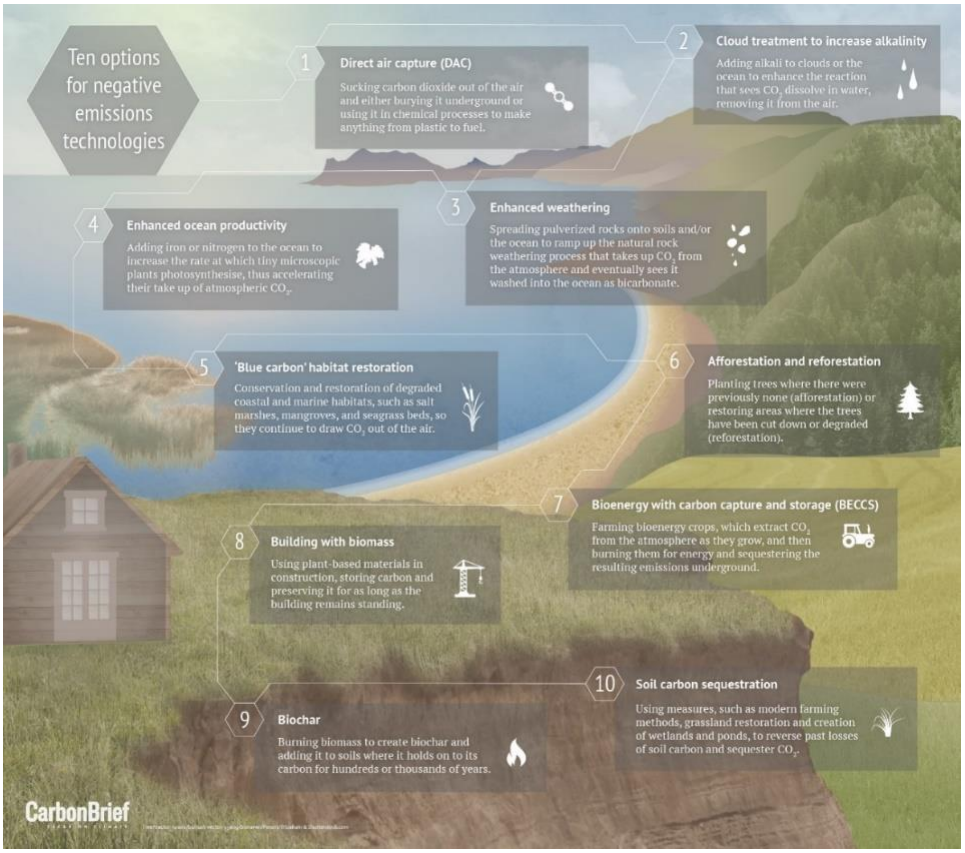


圖 5- 62 Explainer: 10 ways 'negative emissions' could slow climate change (Carbonbrief)

(二)世界最大的直接空氣捕獲 (DAC) 工廠/碳酸水製造機

世界最大 DAC 工廠於 2021 年 9 月 8 日開始運行。瑞士初創公司 Climeworks AG 與冰島碳儲存公司 Carbfix 合作，透過附近地熱發電廠提供的乾淨能源動力，開發一座每年可吸收 4,000 噸 CO_2 的 DAC 工廠 (圖 5- 63)，其捕獲能力相當於 790 輛汽車一年的排放量。



圖 5- 63 世界最大的碳捕捉和轉化工廠「Orca」(carbfix)

(三)Carbfix 碳捕捉原理 (Snæbjörnsdóttir et al., 2020)

要使 Carbfix 發揮作用，需要滿足三個要求：有利於固碳的岩層、水和 CO_2 (圖 5- 64)。Carbfix 模仿自然界固碳行為並加速這些自然過程，將 CO_2 溶解在水中，使其變成一種『碳酸水/氣泡水 (sparkling water)』，並注入地下與活性岩層 (石灰層) 作用，形成穩定的礦物，提供永久和安全的碳匯。

$$2H^{+}+H_2O+ (Ca, Mg, Fe) SiO_3 \leftrightharpoons Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+} +H_4SiO_4$$

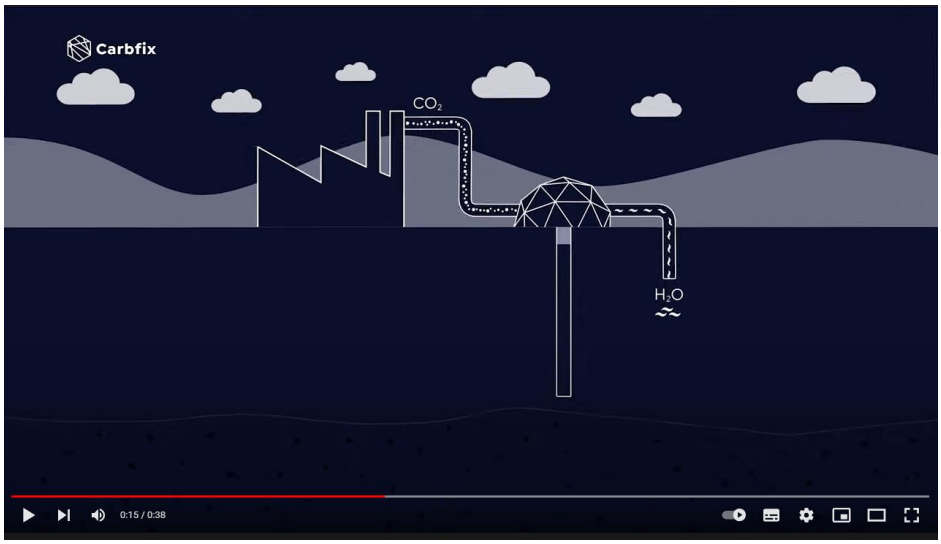
氣泡水是酸性的，溶入水的碳越多酸性越強，更容易與地下岩層發生反應，並將鈣、鎂和鐵等可用的礦物質釋放。隨著大約 2 年的自

然轉化過程，這些金屬元素與溶解的 CO_2 結合在一起形成碳酸鹽填充岩層內的空隙，最後形成碳酸鹽礦物以達到碳固化的目的。



圖 5- 64 Climeworks' new direct air capture and storage plant (Climework)

此外，注入的氣泡水在地質構造中之密度比周圍的水大，能更容易滲入高度斷裂和多孔地層中相互連接的裂縫和空隙。這相較於傳統依賴『蓋岩』來防止氣態 CO_2 洩漏的碳捕獲和儲存方法更為安定。接著 Carbfix 透過取樣附近的油井中的示蹤劑證實 CO_2 的成功礦化，進而評估 CO_2 品質及量化其礦化程度。而這些碳酸鹽能至少穩定數千年，被視為永久儲存。

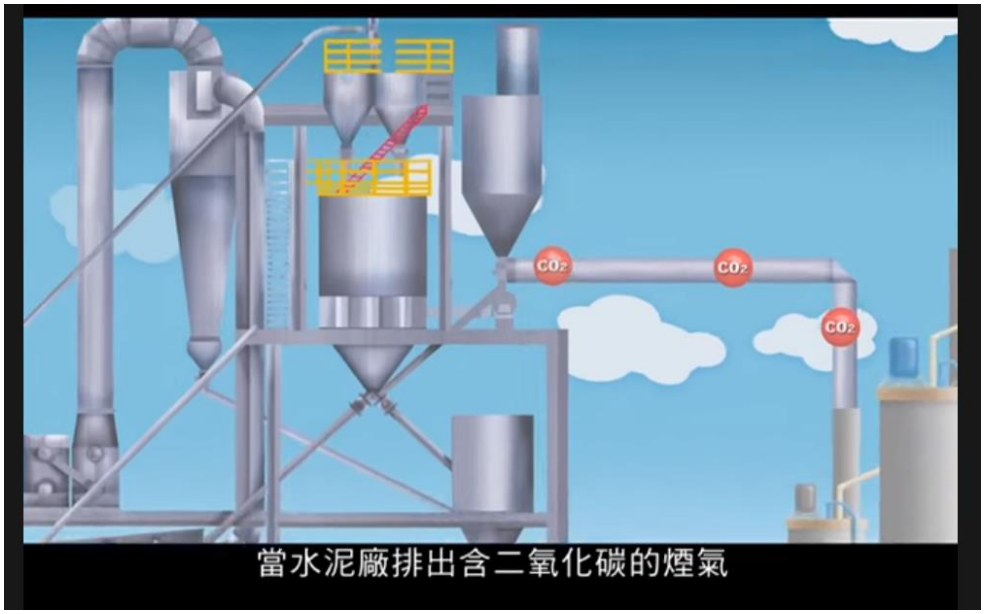


(影片) How Does Carbfix Work?

然而，DAC 仍然是一項新興且成本高昂的技術，但隨著環保意識的抬頭，在減少碳足跡的目標下，更多的機構投入資金以降低 DAC 研發成本。根據國際能源機構的數據，目前全球有 15 家 DAC 工廠，每年捕獲超過 9000 噸 CO_2。而目前美國西方石油公司 (Occidental Petroleum Corp.) 正在開發史上規模最大的 DAC 設施，將在 2022 年開始每年從德克薩斯州油田捕集 100 萬噸 CO_2！

(四)台灣版碳捕捉篇

相較於 DAC，工研院綠能與環境研究所的團隊，在經濟部能源局補助計畫的支持，研發了新型鈣迴路技術以捕獲工業廢氣中 CO_2，此技術已於台泥花蓮和平水泥廠實地建置，為規模最大的鈣迴路試驗廠。透過氧化鈣作為吸收劑，從排放源頭直接捕捉 CO_2 形成碳酸鈣，再經高溫分解為氧化鈣與高純度 CO_2，最後將氧化鈣作為生產水泥的原料回送水泥廠。此技術每小時可捕獲 1 公噸的 CO_2，達成工廠零排放，榮獲全球百大科技研發獎 (R&D 100 Awards)。



(影片) 鈣迴路捕獲 CO_2 技術與應用-工研院 (youtube by ITRI)

鈣迴路捕獲的高純度 CO_2 透過工研院研發約 2 m 高的半透明柱狀光合反應器 (圖 5- 65) 進行微藻培養。經過工研院對「戶外微藻固碳系統」及「高單價微藻培養」2 個題目進行研究，1 公斤微藻能吸收 1.83 公斤 CO_2，利用效率約為樹木的 300 倍。這些藻類不但能有效吸收水泥廠的 CO_2，又可將藻類的蝦紅素、DHA 商品化、創造其後續產值 (圖 5- 66)！



圖 5- 65 台泥戶外藻類固碳系統 (台泥)

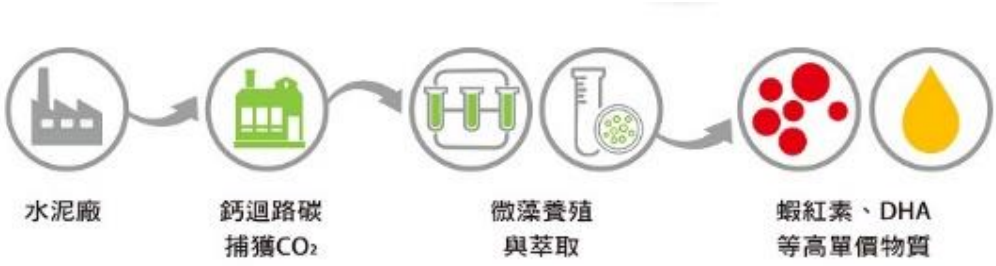


圖 5- 66 台泥碳捕捉流程示意圖 (台泥)

(五)淨零排放相關網站

1. 國際能源署(IEA)-2050 淨零碳排 (https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050)
2. Independent: World's biggest DAC factory (https://www.independent.co.uk/climate-change/news/carbon-sucking-factory-operation-iceland-b1916825.html?fbclid=IwAR3T_Cr15JS1zLOwBqlAo2to79a3ww8ENSVl3Jd7bX7rW84BjKfIg_DbWA8)
3. Carbonbrief: 10 ways 'negative emissions' (https://www.carbonbrief.org/explainer-10-ways-negative-emissions-could-slow-climate-change)

三、地震發生先發文? AI防災新科技

不知道大家還記不記得，2021 上半年全台嚴重缺水，6 月初彩雲颱風及梅雨鋒面接連為台灣帶來豐沛雨量紓緩了水情，但部份地區如 6 月 4 日午後台灣大學雨量站觀測到的時雨量竟高達 209mm/h，這場突如其來的大雨也讓民眾措手不及。這種極端氣候影響的不僅是台灣，還有中國大陸鄭州市的極端降雨、日本靜岡縣豪雨、中歐大水及加拿大熱浪等。為因應日趨嚴峻的極端氣候，許多應用大數據 (Big Data) 與人工智能 (Artificial Intelligence, AI) 的防災技術也如雨後春筍般蓬勃發展，希望能有效降低這些突發型的極端氣候衝擊。

(一)AI 已應用於各領域，透過大數據進行學習與預測

隨著人工智慧的發展，機器學習 (Machine Learning, ML) ，特別是近年來發展最快的深度學習 (Deep Learning, DL)技術已大量應用於各領域。透過機械學習的架構，我們可將大量的資料透過深度學習等模式建立預測模型，完成對目標的預測、決策或分類等。簡而言之，提供 AI 越多的資料，它就變得越聰明也能給出越準確的答案。

(二)整合群眾外包與 AI 技術的日本 CyborgCrowd 專案

由於 AI 非常仰賴數據的蒐集，若能同時聚集很多人對於各種資訊的貢獻，就能在短時間內蒐集到各式各樣且多種角度的數據，進而匯聚成某種程度上的大數據。因此，Morishima 教授提出 CyborgCrowd 作為人機合作的專案，開發集成群眾外包 (Integrating Crowdsourcing) 和人工智能的技術，並藉由中介軟體 (Middleware) 實現群眾外包處理、機器學習及其任意組合的整合，並考慮群眾外包與 AI 學習的泛用性。

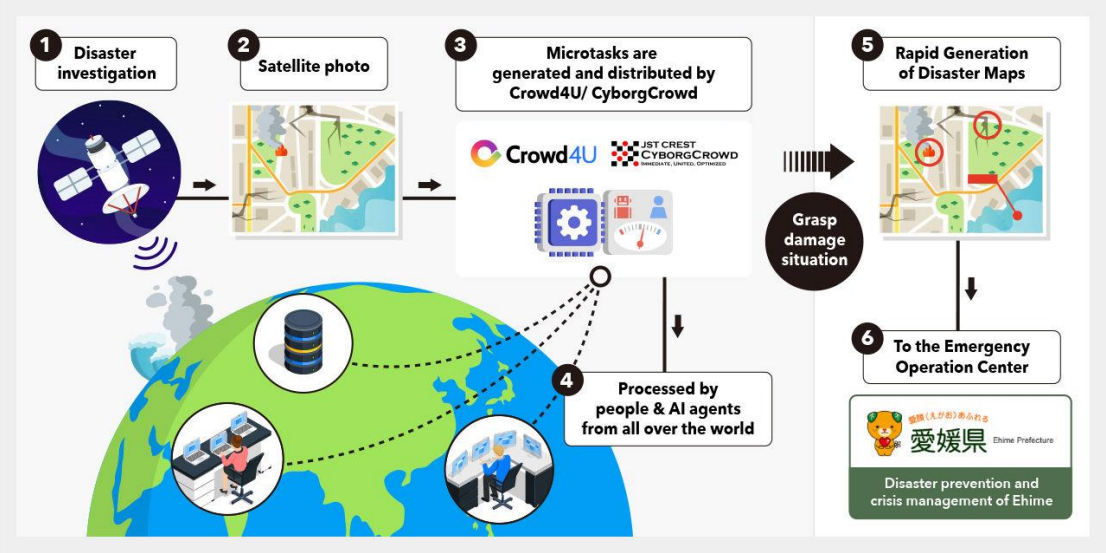


圖 5- 67 Crowd4U 整合各項資訊 (Crowd4u)

CyborgCrowd 專案目前為日本政府資助的項目，相關技術已在 Crowd4U 平台上實現，並用於解決各種問題 (圖 5- 67)。舉例來說，透過結合眾多遊客對同一景點的各種照片，經過平台上 AI 將這些照片整合成一個完整且即時的三維景點模型，就是一個簡單的應用(圖 5- 68)。目前此專案也正在著手包含自然災害領域等各種應用的可行性研究，目標在建立靈活和可擴展的集成群眾外包 AI，並達到解決在現實社會中的任何類型的問題。



圖 5- 68 Crowd4U 訊息整合示意圖 (Morishima et al., 2018)

(三)比傳統新聞媒體更快、更廣的 SNS 在日本已應用於災情掌握

另一方面，現今社會是人手一機且與網際網路緊密結合的時代，要快速取得大量數據已經不是一件難事；例如許多人在遇到災害的當下，第一反應不是逃跑，而是先上網發文，這種社群網路 (Social Network Services, SNS) 訊息的傳播甚至比政府通報或是傳統媒體還快。例如日本於 2016 年統計時發現，1,741 個 SNS 社群中，有 934 個社群 (53.6%) 在災難時將其帳戶用於發布災難訊息，並且自 2014 年開始此項調查以來一直持續增加，而這些社群涵蓋的人數達到了日本總人口的 81.5%。此外，NTT DOCOMO 行動社會研究所於 2021 年 1 月的調查顯示，由 SNS 獲取災害訊息的比例於 5 年內由 19.5%上升到 38.8% (圖 5- 69)，顯示了人們在 SNS 上接收信息的比例逐年增加，可說大部分日本人都被綁成一個網路大家庭。

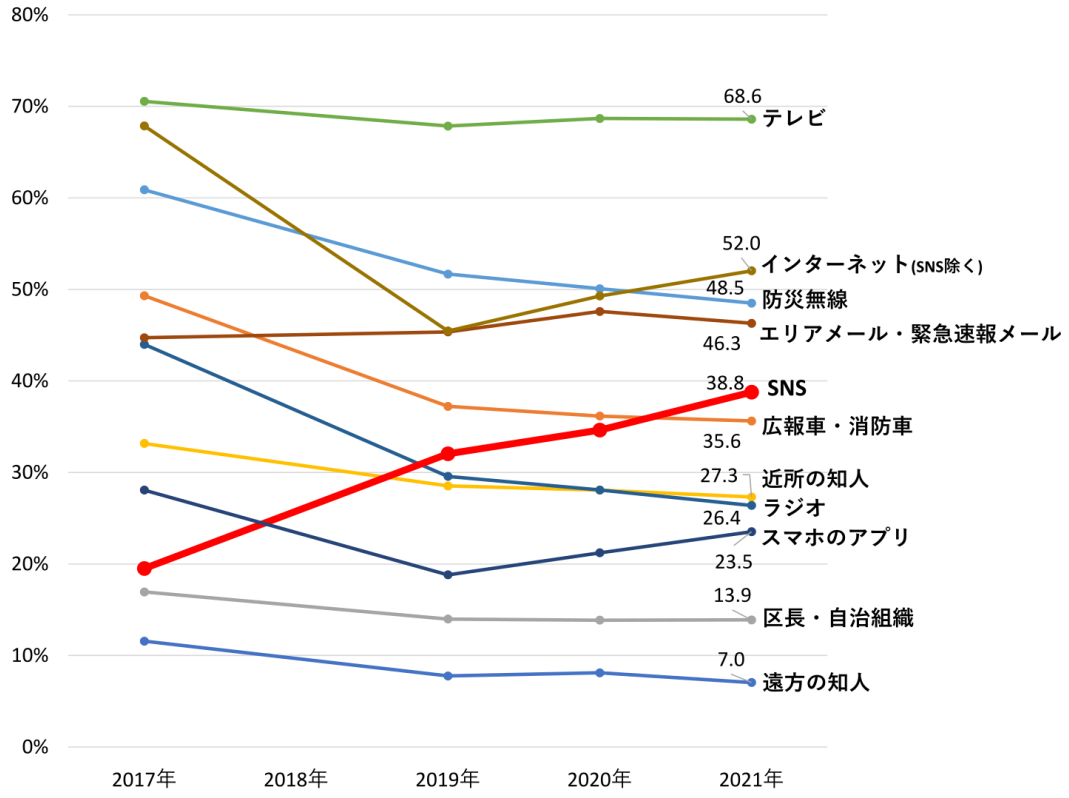


圖 5- 69 獲取災害資訊方式 (NTT DOCOMO)

因此，日本防災 AI 共同研究會議於 2018 年發布了『使用人工智慧分析災害中 SNS 信息的培訓指南』，在發生災難時，應用人工智慧對數千萬個 SNS 訊息進行分類，並迅速提供有用的災害訊息 (圖 5- 70)。



圖 5- 70 SNS 資訊分析系統概念圖 (SNS 指南)

(四)SNS × AI－即時推估出令和 2 年的暴雨淹水範圍圖

其中一次實際應用的案例即為 2020 年(令和 2 年)的暴雨事件，使得 Spectee 這家公司的系統被廣為人知，該公司為一家利用 AI 進行 SNS 分析的新創公司，透過蒐集與即時分析社群平台上與災害相關的內容，結合天氣、交通及地理圖資等數據，能快速準確地將災害與風險『視覺化』，即時掌握災害的發生和影響情形。

2020 年 7 月 4 日凌晨 4 點 50 分，日本氣象廳向熊本縣南部的 16 個市和鹿兒島縣北部的 4 個市發布了「暴雨特別警報」，而這場暴雨在九州南部造成嚴重破壞。日本國土地理院使用 Spectee 公司的技術，

透過熊本縣人吉市的 Twitter 使用者在降雨期間陸續發布的暴雨及各種災害畫面，即時統計出遭洪水淹沒的區域，並據以製作了淹水範圍推定圖 (圖 5- 71)。該技術使用 AI 分析了 Twitter、Instagram、Facebook 和 YouTube 等社群網路的發文資料，即時估計淹水受災的區域，並顯示在地圖上。而此次事件後，這套系統被日本許多政府單位、企業以及新聞媒體採用，作為防災和危機管理參考資訊。

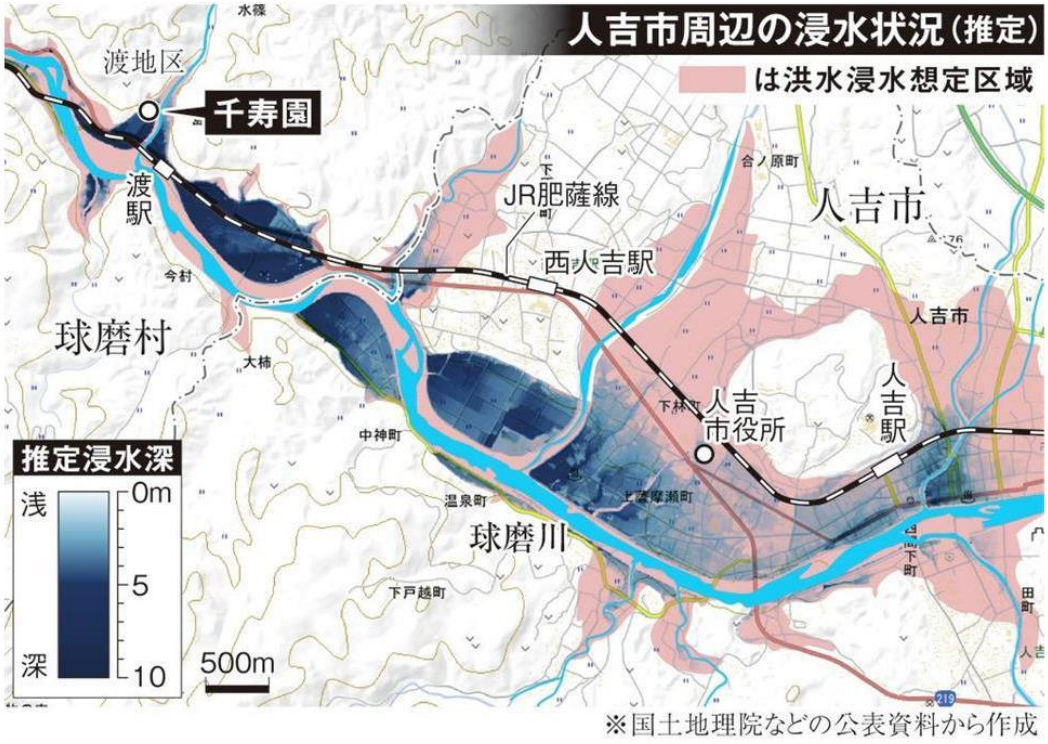


圖 5- 71 淹水範圍推定圖 (國土地理院)

(五)整合氣象、交通、路面等資訊，AI 還能提供更多有價值的服務

AI 不只限應用於防災，日本氣象協會與 Spectee 及 Transtron 這二家公司合作，利用人工智慧等先進技術分析卡車行駛時周邊資訊數據，以提供即時的危機管理相關資訊 (圖 5- 72)。這個系統與富山市的池田運輸公司合作，在 2021 年 2 月至 6 月進行了實驗，利用 AI 分析了在行駛過程中獲得的路面影像數據、數位轉速計數據和日本氣象

協會的氣象數據，以確定路面的乾燥、潮濕、結冰和積雪等狀況，並即時提供相關數據給交通單位，確保用路人的安全。



圖 5- 72 日本氣象協會與 Transtron 及 Spectee 合作蒐集路面資訊 (Spectee)

如能進一步發想更多的應用情境，AI 可以帶給我們更便利的生活。例如日本氣象協會與 Spectee 公司合作，利用路上攝影機判斷澀谷最有名的十字路口路人的外套的穿戴率，結合即時天氣等資訊，透過手機訊息發送給當地民眾，作為民眾外出時的穿著建議 (圖 5- 73)。您已感受到 AI 對我們的生活帶來那些改變了嗎？讓我們一起發想與討論 AI 未來更多可能的應用吧！



圖 5- 73 澀谷最有名的十字路口 (Google)

第四節 結論與建議

一、結論

全球地表溫度的上升速度比自 1970 年以來的其他任何期間都還快，最近十年 (2011~2020 年) 的平均溫度，超過了最近幾個世紀的高溫紀錄 (IPCC AR6)。而臺灣全年氣溫 (平地氣溫) 在過去一百年間 (1922 年至 2011 年) 已上升約 1.3 ℃，且近 50 年、近 10 年增溫有加速趨勢，此趨勢將隨著暖化加劇，溫度持續升高，極端高溫日數增加；而在降雨量部份，隨著暖化趨勢，導致乾濕季更明顯，極端降雨強度增加，同時颱風的強度亦明顯升高，帶來的環境衝擊亦更大。過去及未來的溫室氣體排放所造成的許多變遷，尤其是海洋、冰層以及全球海平面等，在未來數千年都是不可逆的。在二氧化碳排放持續增加的情境下，海洋及陸地的碳匯作用無法減緩大氣中二氧化碳的累積。

IPCC AR6 統整了溫室氣體排放對全球氣候變遷之影響。溫室效應導致極端事件發生頻率與災害強度增加，其中降雨延時與強降雨之降雨型態變化，使複合型土砂災害事件頻繁，同時包含淺層崩塌、土石流、深層崩塌、堰塞湖、洪水等多種災害型態，由於氣候變遷情勢之推估是由長期資料所推衍，在制定調適策略時，必須要從長期角度進行規劃，參考氣候變遷的預測趨勢及變動年份等資料，並加以考量對於實施標地的長期影響，但由於各國所發展氣候變遷預測數值模式皆不相同，各氣候模式情境預測值之結果與空間解析度亦差異甚大，因此對預測模式之解析度與不確定性等需特別注意。建議後續在使用模式預測資料作後續研究時，需注意其使用氣象資料時期、設定情境、參數、空間解析度、不同 Dynamical downscaling 技術等資料，盡可能減少影響結果之不確定性，以獲得較適合該研究區域之模擬預測資料。

藉由地質學界理論與相關研究顯示，自地球 46 億年前形成至今，對現今氣候影響最為關鍵的時期為 2.52 億年前至 6600 萬年前的中生代 (The Mesozoic era)；這個年代除了是曾經稱霸地球的生物—恐龍，所生存的世代，更是盤古大陸 (Pangaea) 開始分裂成現今我們所熟悉的世界板塊樣貌之時期。當時，海平面明顯上升 (Haq, 2014, 2017, 2018; Haq et al., 1988; Miller et al., 2005; Müller et al., 2008)、二氧化碳急速增加、受陽光照射及地殼構造影響，使得全球氣候產生溫暖潮濕的溫室條件 (Chaboureau et al., 2014; Donnadieu et al., 2006a)，造就現今的氣候型態。

地質模型之建立，為地面模型與大地工程模型建構之基礎，因此相關專業人員於測繪時，須掌握其不確定性之種類、程度與發生原因。而地質模型之不確定性，可藉由新增地球物理探勘 (地電阻、鑽探及地磁測量等) 技術與新興調查技術 (UAV、LiDAR 或 SAR 等) 方式，來補足原始資料及降低地質模型之不確定性。此外，於解釋圖資時，須謹慎判讀與清楚說明採用之假設與把握程度，後續工程師則需盡可能質化或量化不確定性對工程規劃、設計及施工時所帶來之影響。若能減少地質不確定性，方能減少不必要之經費浪費、增加工程設施之效能，並降低生命財產安全損失之風險。

再者，氣候變遷下極端事件強度增加，災害越來越容易超過防護設施的設計條件，為減緩民生及社會經濟衝擊，其治理計畫與對策方法該如何制定，以往作法主要以硬體工程手段為主，但由近年之災害事例來看，頻繁發生超過防護能力之降雨、土砂與洪水氾濫等複合災害，因此強化災害外力調節與控制對策、改善受災對象減災對策、受災恢復與重建對策等，是目前急需各相關單位依據基礎調查與科學研

究等資料依影響程度大小，規劃各階段調適對策，如訂定防災設施設計標準與維護計畫、研擬防災與減災整備項目、建立跨機關協同合作之制度與支援對策制定等。

由於氣候變遷影響引致災害外力 (暴潮及海岸侵蝕、洪水增強、土砂災害劇烈化、旱災危險性增大等) 劇烈化情形下，未來災害外力必將超過現況防災設施之防護能力，傳統防災機制與思維無法有效因應，要讓土砂災害傷亡最小化，除了各級政府進行技術及財力支援外，尚需加入企業、民間組織及民眾本身等彼此合作，因此有必要進一步運用各種硬體工程、軟體防災措施、管理、自主防災，同時完備 UAV 應用的發展，以因應各項氣候變遷所造成更頻繁的災害，來推動土砂災害調適策略，透過各相關利害關係人的共同努力以提高對策有效性，並持續檢討修正實施對策之效果，以發展精進有效率、有效果之技術與對策措施。

以災害協力治理觀點而言，多方位的資訊整合是未來不可或缺的一部份，利用先進技術分析卡車行駛過程中獲得的路面影像及車速等，反向提供各項氣相資訊給防災單位。日本國土地理院根據 Spectee 的技術，透過熊本縣人吉市的 Twitter 使用者，在大雨期間陸續發佈的暴雨及各種災害的畫面，使用 AI 分析 Twitter、Instagram、Facebook 和 YouTube 等社群網路的發文資料，快速統計了被洪水破壞的地區製作了淹水範圍推定圖。水土保持局管轄山坡地範圍幅原廣大，其土砂災害發生源頭、運動行為地區、受災地區涉及多個相關單位，因此若能利用新興技術建立中央-地方-民間之縱橫向連結及跨域合作，使得各項監 (觀) 測資料連結與傳遞、防災構造物設置、避難所配置、跨機關防災聯合演練等資源運用與共享最大化，以提升各項策略之實

效性，係為重要議題。未來應持續研究探討評估氣候變遷之外力、考慮氣候變遷影響下風險評估方法、考慮在氣候變遷造成的極端氣候頻率及強度都逐漸增加情況下的防減災對策，並將此議題加強產官學協力，持續進行研究並將對策措施具體化。

二、建議

隨著氣候變遷及防災科技的發展，目前各國依循聯合國全球氣候變化公約所提，將全球暖化及氣候變遷策略分為「減緩」及「調適」兩大面向，大方向以減緩策略為主，如各國間的各項備忘錄或議定書的協定為大方向。而 IPCC 指出，氣候變遷的不可逆趨勢，既使目前達到淨零排放，仍不會立刻反應在未來 20 到 40 年間的氣候，因此在極端氣候不會減緩的情況下，對於災害應變方針應將避災觀念調整為調適策略，增加應變災害之能力，使防災重於救災，確實執行防災工作項目及提升社區自主防災能力，完善災害防救整備工作。

根據世界氣象組織 WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019) 統計資料顯示，在過去 50 年中，災害事件已增加了三倍以上，然而值得慶幸的是，災害造成的死亡人數反而迅速下降。世界氣象組織秘書長 Petteri Taalas 說明此現象是由於世界各國防災預警機制日漸改善與進步，得以拯救了數萬條寶貴的生命。

然而，氣候變遷議題涉及廣泛，地方政府、中央政府部門、私人企業、學界和非政府組織等為減少災害損失，針對現行面臨挑戰及未來潛在衝擊，推動因應氣候變遷工作，除國發會依據國家氣候變遷調適政策綱領推動之『國家氣候變遷調適行動計畫 (102-106 年)』外，參酌國際相關公約與策略訂定『國家氣候變遷調適行動方案 (107-

111 年) 綱領』。其八大目標為：能力建構、災害、維生基礎設施、水資源、土地使用、海洋及海岸、能源供給及產業、農業生產及生物多樣性及健康，以完善氣候變遷調適根基，並參考其推動策略。

整合各機關力量檢視既有法規、政策、政府財政能量，並納入因應氣候變遷因子，控管可供政府支應緊急重大支出所需財源，有效利用公共資源。並參酌國內外科研發展及趨勢，探討 DAC 等減碳補償措施研究及完備因應氣候變遷相關的科學研究，作為未來相關氣候變遷調適工作依法行政之依據，並逐步整合各領域及各部門相關的科研能量，共同推動國家氣候變遷淨零排放及災害調適等工作，促進知識的加值應用，加速產官學的合作，以因應氣候變遷發展各項減排設施的建置及新興防災調適科技。

強化落實地方及教育防災思維建立，教育、宣導及人才培育有關各項調適作為，將氣候變遷調適融入基本教育課程綱要中，藉此讓全民具備關於氣候變遷調適的一般生活概念。並建構流通的政府及民間溝通及合作機制，效仿各國建立韌性城市作為，朝向韌性及調適的永續城市做為防減災策略，並推動具在地特色之防減災策略與社區營造計畫，創造社區或城市之凝聚力，並透過教育的培養，加速達成民眾間對於氣候變遷調適的共識，共同建構低碳永續之韌性家園。

發展氣候變遷新興產業提升區域調適量能，針對不同的潛在衝擊與風險，整合各機關資源及防災能量，發展符合國家未來方向之防災調適措施，並加速 AI 防災的科技應用，同時參考國際上的前瞻調適技術發展趨勢，推動因應氣候變遷之所需新興產業，建立公私合作的調適夥伴關係。並優先推動高風險地區的各項調適計畫，落實跨部門及跨單位之公私協力防減災調適工作。

以低風險及減災環境為目標，透過建設、風險評估和檢修應變能力等具體措施，強化各項產業之氣候變遷調適能力。並凝聚公民共識，推動彈性多元水資源系統，確保水資源永續平衡。整合科技提升農林漁牧產業抗逆境能力，維護瀕危物種和各項基因保存，且持續推動海岸與海洋環境保護、海洋資源監測預警機制，以降地氣候變遷對於生物棲地和生物資源的破壞，於生態永續發展並維護生物多樣性的同時確保糧食安全。強化長期監測和預警機制，提升風險監測、衝擊評估與災害預防能力，透過國土使用規劃及易受災之流域整治，提升保全住戶所在地之韌性，並促進土地永續利用。強化天然災害救助機制及防減災保險體系，維護全民及弱勢住民健康。推動韌性社區的建立，以符合國際間防減災趨勢。

第六章 結論與建議

本計畫完成工作項目包含:歷年土砂防災技術研究成果盤點與分析、土砂災害變遷趨勢分析、土砂災害數值模擬分析及國內外土砂防災研究發展議題等相關成果，並發表研究論文共計 6 篇，分別為期刊論文 2 篇 (一篇審查中)、國內研討會論文 3 篇及技術手冊 1 篇。

第一節 結論

一、歷年土砂防災技術與研究成果盤點

蒐整水土保持局電子圖書管理中心系統資料庫，查詢 2008 年至 2020 年之委辦及研究計畫，共計 2,837 件，扣除一般行政、秘書室、農村的計畫的份數共 2,009 件委辦及研究案件。盤點 2020 年相關委辦計畫總計 222 件，佔比最大宗者為**整體性治山防災計畫**最多，其次為**氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫**。

(一) 空間與數值資料之累積與校對，可用以完備土砂基礎資料與模式分析之精進

水土保持局歷年委辦計畫成果豐富且多元，其中集水區資料類與現場資料類，數值模式輸入參數之使用，可推估山區災害之影響，或工程整治成效評估之用。空間資訊類，其可作大面積檢視山坡地歷年之變化過程，作為時間與空間之記錄資料。加值應用類，以計畫產出成果加以彙整至資料管理平台，以提供水土保持局人員或民眾查詢、應用及後續計畫研提之用。現場與監測資料類，是對於災害潛勢區具有預警之用，並依蒐集數據即時調整潛勢區治理之軟硬體策略方法。

(二) 水土保持局出版品與教育訓練可擴散土砂災害分析之科研成果，並增進之風險認知

水土保持局出版品及教育訓練，已將水土保持教育生活化，後續如將出版品管理、分享、永續運用，可推動機關人員專業技能學習，使民眾有感於氣候變遷與災害頻率及規模擴大等影響，並提升民眾水土保持知識。

氣候變遷下以往治理計畫與對策方法以硬體工程手段為主，本計畫藉由盤點各委辦計畫之研究成果，研擬氣候變遷調適對策。

二、土砂災害變遷分析成果

本計畫根據室內微地形特徵判釋成果，結合現地野外查核作業，進行成果驗證。再者，透過 UAV 進行現地氣槍噴植植生試驗，探討其可行性。最後，透過今年 (2021 年) 兩場重大土砂災例事件，運用水土保持局 BigGIS 系統快速判釋土砂災害所造成的衝擊。

(一) 進行崩塌活動之變遷分析案例，並運用大數據資料加速判識

在室內利用 1 公尺高精度空載光達數值地形與航空照片判釋之崩塌地形特徵與野外崩塌特徵檢核之成果相吻合，且人工建物的破壞情形可以協助瞭解崩塌活動性。此外，面對極端氣候所致之重大土砂災例可應用 BigGIS 快速獲得災後第一手資料及判釋土砂災害所造成的衝擊。

(二) 完成 UAV 搭載氣動式噴植工法測試

利用 UAV 搭載氣動式噴植工法較垂直投放式撒播工法有較高之精確度，更適用於陡峭邊坡，可降低水平濕式噴植之酬載量，然考量 UAV 之墜機風險，目前尚無法於 UAV 視距外施作噴植作業。

三、土砂災害數值模擬分析成果

今年 (2021 年) 完成三個研究案例，其一完成土石流潛勢溪流模型建置；其二為運用 Hyper Kanako 軟體進行土石流流動情形及後續影響範圍的模擬；其三為運用 HEC-RAS 模擬堰塞湖發生潰決時的水體流動模式評估，初步判斷堰塞湖潰決時危險水位及預警發布之用。

(一) 精進三維地形建模精度與土石流模式模擬

UAV 空拍所產製之三維建模，可快速提供當地地型資訊，輔佐後續分析應用。又 Hyper Kanako 可用於土石流模式模擬，然應依據現地土砂材料參數進行模擬影響範圍與計算出流出土砂量。

(二) 建立鏈結 BigGIS 平台之 HEC-RAS 快速風險評估機制

應用水土保持局 BigGIS 平台之分析工具，搭配 HEC-RAS 二維水理模組，可建立一套完整的堰塞湖快速評估及風險情境模擬機制。其堰塞湖規模評估及其潰決後對下游的安全影響與相關單位現行評估作業結論相當一致，且更快速、便捷並降低調查人員於現場作業時的風險。

四、國內外土砂防災技術研究發展議題

本計畫已蒐集國內外相關文獻及研究報告，並整理新興防災技術發展趨勢，針對氣候變遷、地質模式與新興防災技術之發展，歸納幾點結論：

(一) 需持續累積有關氣候變遷對土砂災害影響之研究量能，以加強因應氣候變遷

由於氣候變遷情勢之推估是由長期資料所推衍，在制定調適策略時，必須要從長期之角度進行規劃，也因此世界各國於 2021 年 11 月

初在英國舉行 COP26 以檢討各國政府目前對於氣候變遷的調適策略。透過 IPCC AR6 對於氣候變遷預測的趨勢，並加以推估未來到世紀末前的影響，結果顯示氣候模式情境預測值之結果呈現不可逆的趨勢。透過其對全球暖化不同程度所導致的溫度上升幅度模擬，可看到全球暖化於全球空間尺度上的不均，以及時間尺度上的極端分布。導致未來常會有極旱或極澇的事件發生。建議後續在研究時，需注意氣候變遷對各項未來預測所帶來之影響、設定情境、參數、空間解析度、不同動力降尺度 (Dynamical downscaling) 技術等資料，盡可能考慮到極端氣候進而減少影響結果之不確定性，以獲得較適合該研究區域之預測資料，提早進行極端災害宣導及減災措施的完備。

氣候變遷下極端事件發生的頻率及強度都隨著氣候變遷而增加，日趨頻繁的災害越來越更容易超過既有的防災設施，為避免及減緩民眾及社會經濟之影響，其治理計畫與對策方法該如何制定，以往作法主要以硬體工程手段為主。由近年之災害事例來看，強化災害外力調節與控制對策、改善受災對象減災對策、受災恢復與重建對策等，是目前急需各相關單位依據基礎調查與科學研究等依影響程度大小，規劃各階段調適對策，如訂定防災設施設計標準與維護計畫、研擬防災與減災整備項目、建立跨機關協同合作之制度與支援對策制定等。\

對於提升地區防災整備方面，除和相關單位合作，培育防災人才、防災地圖之製作與修訂以支援防救災行動外，應實施防災訓練和防災教育，以強化民眾防災能力，並考慮推行區域聯防應變，藉由設定情境腳本、兵棋推演及災害事件通報等，整合運用區域聯防能量，支援受災地區所需之防救災人員、醫療場所、避難場所等資源。

(二) 應增進跨域合作鏈結各調查與研究成果，以提升治理效能

由於氣候變遷影響引致災害外力劇烈化情形下，未來災害外力必將超過現況防災設施之防護能力，傳統防災機制與思維無法有效因應，要讓土砂災害傷亡最小化，除了各級政府進行技術及財力支援外，尚需加入企業、民間組織及民眾本身等彼此合作，因此有必要進一步運用各種硬體工程、軟體防災措施、管理及自主防災等措施，同時完備 UAV 應用的發展，以因應各項氣候變遷所造成更頻繁的災害，來推動土砂災害調適策略，通過各相關利害關係人的共同努力以提高對策有效性，並持續檢討修正實施對策之效果，以發展精進有效率、有效果之技術與對策措施。

建議整合各機關力量檢視既有法規、政策、政府財政能量，並納入因應氣候變遷因子，控管可供政府支應緊急重大支出所需財源，有效利用公共資源。並參酌國內外科研發展及趨勢，完備因應氣候變遷相關科學研究及各項減碳設施之發展，作為未來相關氣候變遷淨零排放及災害調適工作依法行政之依據，並逐步整合各領域及各部門相關的科研能量，共同推動國家氣候變遷調適工作，促進知識的加值應用，加速產官學的合作，以因應氣候變遷發展新興防災及調適科技。

強化落實地方及教育防災思維建立，教育、宣導及人才培育有關各項調適作為，將氣候變遷調適融入基本教育課程綱要中，藉此讓全民具備關於氣候變遷調適的一般生活概念。由教育培養其相關背景，並建構流通的政府及民間溝通及合作機制，加速相關新興研究的發展。效仿各國建立韌性城市作為，朝向韌性及調適的永續城市做為防減災策略，並推動具在地特色之防減災策略與社區營造計畫，創造社區或城市之凝聚力，達成民眾間對於氣候變遷調適的共識，共同建構低碳永續之韌性家園。

(三) 宜前瞻氣候變遷新興產業，盤點我國土砂災害技術，拓展新興科技，以發展新商機

發展氣候變遷新興產業提升區域調適量能，針對不同的潛在衝擊與風險，整合各機關資源、科技及防災能量，發展符合國家未來方向之防災調適措施，同時參考國際上的前瞻調適技術發展趨勢以及 AI 防災或 AIoT 的先進技術，推動因應氣候變遷之所需新興科研產業，建立公私合作的調適夥伴關係。並優先推動高風險地區的各項調適計畫，落實跨部門及跨單位之公私協力防減災調適工作。

五、研究成果發表

本計畫今年 (2021 年) 執行期間研究成果論文發表共計 6 篇，期刊論文為 2 篇，國內研討會論文 3 篇; 技術手冊 1 篇。如表 6-1 所示並摘錄於附錄三。

審查中期刊論文為：「林詠喬、陳振宇、莊承穎、陳均維、詹婉妤 (2021)，臺灣近年 (2006-2020) 降雨誘發之土砂災害變遷趨勢分析，中華水土保持學報」。而已發表水保技術期刊 (15 卷第 4 期) 為「應用 H.O.S.T 地圖判釋土石流潛勢溪流影響範圍地形特徵—以南投縣神木村 DF199 潛勢溪流為例」。

國內研討會論文 3 篇，其中 2 篇發表於 2021 年 12 月 4 日 2021 水土保持學術研討會暨論文宣讀會議，分別為：「集水區地文參數判釋及驗證—以玉穗溪為例」及「利用 EAR 探討台灣近年因降雨誘發之土砂災害趨勢」；另外 1 篇發表於 2021 年 11 月 12 日林試所森林集水區及環境監測研討會，為「應用 H.O.S.T 地圖於土石流潛勢溪流影響範圍地形特徵判釋」。

技術手冊 1 篇撰文於行政院農業委員會水土保持局技術研究發展平台網頁，為「H.O.S.T 地圖及 CS 地圖判釋與應用 BigGIS 繪製判釋圖資」。

表 6-1 研究成果-2021 論文發表

年度	類型	篇名	作者	期刊/會議名稱
2021	期刊	臺灣近年 (2006-2020) 降雨誘發之土砂災害變遷趨勢分析	林詠喬、陳振宇、莊承穎、陳均維、詹婉妤	中華水土保持學報 (審查中)
2021	期刊	應用 H.O.S.T 地圖判釋土石流潛勢溪流影響範圍地形特徵—以南投縣神木村 DF199 潛勢溪流為例	陳昭岑、陳振宇、黃奉琦、高百毅、白佩鑫、林宥伯	水保技術期刊 15 卷 第 4 期 (2021.12)
2021	研討會	應用 H.O.S.T 地圖於土石流潛勢溪流影響範圍地形特徵判釋	陳昭岑、陳振宇、高百毅、白佩鑫、林宥伯	2021 森林集水區及環境監測研討會
2021	研討會	集水區地文參數判釋及驗證—以玉穗溪為例	陳昭岑、陳振宇、高百毅	2021 中華水土保持學會研討會
2021	研討會	利用 EAR 探討台灣近年因降雨誘發之土砂災害趨勢	莊承穎、林詠喬、陳振宇、陳均維、詹婉妤	2021 中華水土保持學會研討會
2021	技術手冊	H.O.S.T 地圖及 CS 地圖判釋與應用 BigGIS 繪製判釋圖資	陳昭岑、陳振宇、高百毅、白佩鑫、林宥伯、詹婉妤	行政院農委會水土保持局技術研究發展平台

第二節 建議

一、水土保持技術研究發展規劃

綜觀目前因應氣候變遷防減災對策，係綜合考量軟體、硬體、管理及自主防災等四個面向，本計畫提出以下建議：

(一) 建構即時災害評估及風險情境模擬機制，靈活應用各式新興防減災科技或各項模擬分析工具

數位時代下，時刻提供更快速、便捷之方法對於災害提供決策建議，並降低調查人員於現場作業時的風險。此外，以視覺化方式呈現各項模擬結果，除將更有利於各級政府防災決策外，亦能成為第一線防災人員對民眾進行防災疏散避難宣導時的利器。

(二) 整合跨機關資源強化即時資訊連結與傳遞

當災害發生時，由於中央主管機關需要即時得到地方政府、村里長、防災志工提供正確資訊與需求，以因應災害所需之救援能量 (包含人力、器具、物資輸送、避難收容等)，此皆仰賴第一線人員所發出資訊。強化地方及教育防災思維落實，教育、宣導及人才培育有關各項調適作為，將氣候變遷調適融入基本教育課程綱要中，藉此讓全民具備關於氣候變遷調適的一般生活概念。但如受災嚴重致使基礎設施損毀或人員傷亡而無法傳遞正確資訊，將使中央收不到訊息，無法即時做出正確因應對策。因此，建議我國未來應針對如何強化中央與地方政府之間資訊傳遞與資源運用，以提升救災指揮、災後恢復與復建等有效率之救災作為。並建構流通的政府及民間溝通及合作機制，效仿各國建立韌性城市作為，朝向韌性及調適的永續城市做為防減災策略，並推動具在地特色之防減災策略與社區營造計畫，創造社區或城市之

凝聚力，達成民眾間對於氣候變前調適的共識，共同建構低碳永續之韌性家園。

(三) 強化地區資源與民眾參與以提升自主防災能量，提升各組織資訊傳遞功能

由於水土保持局管轄山坡地範圍廣大，其土砂災害發生之受災地區相關權責涉及多個相關單位，因此建議整合跨機關資源強化即時資訊連結與傳遞，以建立中央-地方-民間之縱橫向連結及跨域合作，使得因應災害之各項監 (觀) 測資料、防災構造物設置、避難所配置、跨機關防災聯合演練等救援能量 (包含人力、器具、物資輸送、避難收容等) 連結與傳遞與共享最大化，以提升各項策略之實效性，係為重要議題。因此，建議我國未來應針對建立各民間單位與組織之整合機制，並針對如何強化中央與地方政府之間資訊傳遞與資源運用，強化地區資源與民眾參與以提升自主防災能量，著重各組織資訊傳遞功能，以有效分工、責任分區等方式動員人力，以提升災時自助、共助、救災指揮、災後恢復與復建等有效率之調適應變作為。

並可透過過去水土保持局多年執行計畫成果，編撰成防災教育推廣教材，提供各地方單位、村里長、防災志工等，以辦理防災教育活動，並藉由網路平台、書籍、雜誌等方式傳遞防災知識宣導，提升民眾對於災害潛勢地區之危險認知。

(四) 積極因應氣候變遷，將氣候變遷影響因子納入防災硬體設施設計基準

未來應持續研究探討評估氣候變遷之外力、考慮氣候變遷影響下風險評估方法、考慮在氣候變遷造成的極端氣候頻率及強度

都逐漸增加情況下的防減災對策，考量氣候變遷影響因子修正設計基準。目前在進行防災硬體設施等規劃設計時，多依據過往發生之現象與紀錄，作為防災設施設計及淹水範圍等推估災害潛勢區域之基準，並據以推估最大外力。未來建議將氣候變遷造成之影響一併納入評估，考量該設施之使用年限，或修正各種相關設計基準。掌握設施的使用年限期間，減少未來因氣候變遷導致外力變化，需針對設施進行的補強或重複施作，以降低人力面、安全面、施工面與經濟面之負擔。並將此議題加強產官學協力，持續進行研究並將對策措施具體化。

目前氣候變遷及人口集中化的情境下，山坡地危害度及暴露度有增加趨勢。建議強化災害潛勢區的災害韌性 (resilience)，以確保山坡地之保全對象、經濟活動、防災設施及基礎維生管線等，不因受災害衝擊而喪失功能，並具有高回復力以提供災後復原能力，為未來的重要課題。同時納入各項國內外對於氣候變遷的預估，以降低危害度、減少受災對象以降低暴露度、提升韌性 (減少災害衝擊、提高回復力) 為目標，提高坡地災害潛勢區之災害容受力與降低災害風險程度，再參考國內外對於氣候變遷的調適方針，擬定調適策略步驟，問題界定及目標建立，依此執行氣候變遷的調適對策，並訂定檢核評估機制以達成有效調適作為。

(五) 長期累積氣候變遷基礎研究，充實風險分析模式、災害衝擊評估模式及參數資料庫，已完備氣候風險分析能力

持續基礎研究並加強產官學研合作，藉由蒐集詳細歷史資料以分析監測氣候變動情勢，除可提供產官學研等作為基礎研究資料，對於建立風險分析模式、災害衝擊評估模式及參數資料庫，亦是重要基礎資料來源。建議後續可持續盤點歷年執行計畫成果，

彙整水文、地文等相關資料，並掌握新技術與新興科技，以利產官學研各界後續加值與未來風險分析、災害衝擊評估、災害減緩及調適策略制定使用，並適時反映於現行調適行動。

二、歷年委辦案件成果可延續性建議

彙整 2008 年至 2020 年水土保持局之委辦與研究計畫成果報告計 2,837 件，盤點其中 2,009 件，並以此為依據執行成效分析，並評估各項技術或研究案持續發展之可延續性。目前歷年盤點資料顯示出水土保持局在資料管理與維護上所遭遇之問題及建議如下：

(一) 目前盤點計畫成果產出相當豐碩，各計畫中專有名詞所代表意義未達一致性，因前瞻策略與管理、基礎試驗研究、工程技術發展、軟體防災對策、新興科技應用與農村再生等六大領域隨時代進步，其專有名詞亦隨新技術、新領域發展等推陳出新，因此，造成多數新興專有名詞未收錄於水土保持局於 2007 年編著之「水土保持名詞詞彙」書籍中。建議召集相關領域專家討論新興專有名詞之新編或調整，或參考技研小組之多國詞彙庫，提供其新增或修訂詞彙回報機制，與時俱進更新專有名詞詞彙庫。

(二) 隨新技術、新領域發展等推陳出新，各領域計畫成果產出資料格式均不相同，且多數以紙本報告之圖或表呈現並未數位化，增加資料之整合、管理、查詢及儲存之難度。建議藉由各組室業務專業角度檢視該項資料是否值得收錄為開放資料、基礎資料或核心資料等，並於「資料管理工作圈」提報討論。然鑑於委辦計畫廠商眾多且各計畫產出成果型態眾多，建議於計畫執行期間如期中驗收前後，對廠商進行資料成果上傳前辦理教育訓練，使廠商瞭解各項產出成果所需繳交標準，避免未來盤點時，出現如報告格式錯誤、缺漏，甚至產出資料成果無法數位化等問題，以利後續資料庫建立與加值應用。

(三) 儘管目前水土保持局對於 UAV 空拍成果、航遙測資料上傳已建置第三方驗證機制，並針對檔案格式及精度進行檢核，確保資料

無毀損且具有一定之精度，但向量資料、部份現地調查資料等成果上傳後，尚未建立自動化驗證機制或第三方驗證機制，目前盤點資料顯示，向量資料與現地調查資料尚未有一定檔案格式及檔案精度制定，因此尚需人工負責檢視資料是否毀損可用、內容是否完整、資料格式是否正確等問題。建議於各項委辦計畫上傳成果之資料項目，藉由盤點而統整各項水文、地文、地表、地中、地下等環境資料所需儀器，及學研專家、業界技師及資安人員等經驗，檢視目前業界所使用或建議之穩定可靠設備，定期更新設備型錄提供承辦人員與委辦廠商檢示選用監 (觀) 設備之可用範圍，並建立符合局內資安規範、共通性資料規範、數值資料、地理圖資管理及建立自動化第三方驗證機制，以節省人力與維護管理資源。

(四) 現今 AIoT 物聯網結合人工智慧技術升級與應用普及，並藉由 5G 數據傳輸速度提升，有助於達成智慧化坡地災害管理，且導入自動化監 (觀) 測設備減少人力巡查作業成本及資源，然當所有資料上傳至雲端統一管理時，應強化資安管理問題。目前新興應用科技結合大數據分析監 (觀) 測資料，透過大數據分析環境觀測資料，利用雲端即時監控危險區域狀況，以找出關鍵災害發生因子或門檻值，進而提升坡地災害的管理效率，透過預防性防災管理、強化韌性減災整備及災後精準治理措施，可為山坡地治理帶來極大助益。

(五) 藉由盤點國內歷史資料蒐集、基礎研究、科學調查及研究成果，建立適合我國之相關預測及評估模式。並積極培育人才，以掌握新技術與防災知識推廣，並整合地方及民間團隊，因應未來氣候情勢變動。再者，建議未來應持續研究探討評估氣候變遷之外力、

考慮氣候變遷影響下各項災害的風險評估方法、考慮氣候變遷外力增加情況下防減災對策，加強產官學協力，持續進行研究並將對策措施具體化。

(六) 因水土保持局委辦計畫數量眾多，且涉涵領域廣大，建議以一年一課題方式蒐集、分類並整理相關委辦計畫，並針對其課題進行加值研究應用。並解未來希能透過委辦計畫之分類，判斷其研究或技術是否直接可被應用、修正後可被應用或目前技術無法被應用於實地，以利後續歸納的相關研究方向與精進策略擬定。

參考文獻

1. 潘乃欣，以多視角及三維影像模型於水保設施現況檢視之探討，水土保持局，2020。
2. 潘國樑，沈哲偉，鄭錦桐，冀樹勇，遙測影像判釋手冊，中興工程顧問社，台北市，共 236 頁，2011。
3. 董家鈞，知之為知之，不知為不知，是知也:淺談地質模型不確定性，大地技師，第 20 期，第 72-83 頁，2020。
4. 林信輝，無人飛行載具 (UAV) 播種植生案例與技術整合彙整，水土保持局，2019。
5. 林宥伯、吳振佑、陳均維、林詠喬、陳國威、林家興、陳振宇，UAV 應用於水土保持之現況與趨勢，營建知訊，第 448 期，2020。
6. 蕭凱文，淺談無人飛行載具於測繪之應用，田中地政，2018。
7. 張國禎，整合光達技術於寶來溫泉區之多時序高解析坡地監測，水土保持局，2019。
8. 詹勳全、林政侑，陡坡崩塌地無人飛行載具(UAV)植生噴植工法作業與驗證，水土保持局 2019。
9. 陳振宇、吳振佑，BigGIS-巨量空間資訊系統加值與開放服務，國土及公共治理季刊，8(3)，94-99，2020。
10. 邵國士、李易叡，地下三維地質構造模型建置，https://dptrc.sinotech.org.tw/chinese/01_group/03_specialarea_detail.php@group=1&pid=267.html (2021/10/23)
11. 曾志民、張國禎，無人載具高解析影像及點雲於山區河川表層粒徑分析之可行性研究，水土保持局，2019。

12. 吳國維、陳春伸、陳春宏，無人飛行載具於河川管理應用，營建知訊，第 448 期，2020。
13. 吳振佑、林家興、陳國威、陳振宇，2018 年北海道胆振東部地震引起的厚真町堰塞湖之形成與潰決潛勢分析，中華水土保持學報，50(4)，154-165，2019。
14. 艾三維 BIM，城市三維地質模型必知的 7 大關鍵技術，https://kknews.cc/other/6alkppp.html (2021/10/23)，2013。
15. 鵜﨑賢一、大橋直也，SNS 情報の解析による広域的な浸水深と氾濫流速の算定手法の構築，河川技術論文集，27，551-556，2021。
16. 立體地形圖 HOST MAP 及 CS MAP 判釋參考指引，水土保持局，2020。
17. 災害対応における SNS 活用ガイドブック。
18. 「長野県型立体地形図=CS 立体図」を用いた林内路網の路網配置検討手順，長野県林務部長野県森林整備加速化林業再生協議会略網部会，長野縣，共 121 頁，2014。
19. 國有林地堰塞湖應變標準作業程序，行政院農業委員會林務局，2017。
20. 臺東大南溪上游形成堰塞湖，評估暫無立即危險，行政院農業委員會林務局臺東林管處，https://taitung.forest.gov.tw/all-news/0067113，2021a。
21. 臺東林管處說明大南溪堰塞湖現況，與部落協力維護河防安全，行政院農業委員會林務局臺東林管處，https://taitung.forest.gov.tw/all-news/0067473，2021b。

22. 大南溪堰塞湖潰壩蓄水量驟減 下游社區、河道安全無虞，行政院農業委員會林務局臺東林管處，https://taitung.forest.gov.tw/all-news/0068080?fbclid=IwAR2bU1yseRKOs3EwpXOG1zIlf5T9IWCSAChOiC_BOrwb3GnHB9Y7CxJO-7U，2021c。
23. 巨量空間資訊系統 (BigGIS)，水土保持局，https://gis.swcb.gov.tw/。
24. 花東縱谷及海岸山脈，池上地牛故事館。
25. Argles, T. & Minocha, S. & Burden, D. Virtual field teaching has evolved: benefits of a 3D gaming environment. Geology Today, Vol. 31 Issue 6, 222-226, 2015.
26. Blunden, J., & Arndt, D. S. State of the Climate in 2018. Bulletin of the American Meteorological Society, 100(9), Si-S306, 2019.
27. Brander, M., Ascui, F., Scott, V., & Tett, S. Carbon accounting for negative emissions technologies. Climate Policy, 21(5), 699-717, 2021.
28. Brunner, G.W. HEC-RAS River Analysis System User's Manual Versions 5.0. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center, 2016.
29. Brunner, G.W. HEC-RAS River Analysis System, 2D Modeling User's Manual Versions 5.0. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center, 2016.
30. Brunner, G.W. HEC-RAS River Analysis System Reference Manual. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center, 2016.

31. Burland, J.P. Nash lecture: the teaching of soil mechanics—a personal view. Groundwater Effects in Geotechnical Engineering, Vol 3. Proceedings of 9th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Balkema, Rotterdam/Boston, 1427-1441, 1987.
32. Cao, W., Williams, S., Flament, N., Zahirovic, S., Scotese, C., & Müller, R. D. Paleolatitudinal distribution of lithologic indicators of climate in a palaeogeographic framework. Geological Magazine, 156(2), 331– 354, 2018.
33. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters: https://www.cred.be/ (2021/7/23), 2015.
34. Chaboureau, A.-C., Sepulchre, P., Donnadieu, Y., & Franc, A. Tectonic-driven climate change and the diversification of angiosperms. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 111(39), 14066– 14070, 2014.
35. Donnadieu, Y., Goddéris, Y., Pierrehumbert, R., Dromart, G., Fluteau, F., & Jacob, R. A GEOCLIM simulation of climatic and biogeochemical consequences of Pangea breakup. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 7(11), 2006a.
36. EM-DAT : CRED's Emergency Events Database: https://www.emdat.be/about (2021/7/23), 2009.
37. Fookes, P.G. Geology for engineers: the geological model, prediction and performance. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 30(4), 293-424, 1997.

38. Fuss, S., Canadell, J. G., Peters, G. P., Tavoni, M., Andrew, R. M., Ciais, P., & Yamagata, Y. Betting on negative emissions. Nature climate change, 4(10), 850-853, 2014.
39. Haq, B. U., Hardenbol, J., & Vail, P. R. Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level change. In C. K. Wilgus (Ed.), Sea-level changes (Vol. 42, pp. 71– 108). SEPM Society for Sedimentary Geology, 1988.
40. Haq, B. U. Cretaceous eustasy revisited. Global and Planetary Change, 113, 44 – 58, 2014.
41. Haq, B. U. Jurassic sea-level variations: A reappraisal. Gsa Today, 28(1), 4– 10, 2017.
42. Haq, B. Triassic eustatic variations reexamined. Gsa Today, 28(12), 4– 9, 2018.
43. IASbhai. Human Cost of Disasters 2000-2019 Report. UPSC. https://www.iasbhai.com/human-cost-of-disasters-2000-2019-report-upsc/ (2021/7/23), 2020.
44. Inoguchi, M., Tamura, K., Uo, K., & Kobayashi, M. Validation of CyborgCrowd Implementation Possibility for Situation Awareness in Urgent Disaster Response-Case Study of International Disaster Response in 2019. In 2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data) (pp. 3062-3071). IEEE, 2020.
45. Juang, C.H., Zhang, J., Shend, M., and Hu, J. Probabilistic methods for unified treatment of geotechnical and geological uncertainties in a geotechnical analysis. Engineering Geology, 249, 148-161, 2019.

46. Keaton J.R. Engineering geology: fundamental input or random variable? In: Withiam JL, Phoon KK, Hussein MH (eds) Foundation Engineering in the Face of Uncertainty. ASCE, Reston, 232 – 253 (Geotechnical Special Publication 229), 2013.
47. Landwehrs, J., Feulner, G., Petri, S., Sames, B., & Wagreich, M. Investigating Mesozoic climate trends and sensitivities with a large ensemble of climate model simulations. Paleoceanography and Paleoclimatology, Vol 36, e2020PA004134, 2021.
48. Lallemant Lab @ NTU Advanced Urban Disaster Resilience Analytics Lab. Building Post-Disaster Resilience. http://david-lallemant.com/building-post-disaster-resilience/ (2021/7/23), 2021.
49. Lee, J. Simulating 195 million years of global climate in the Mesozoic, Eos, 102, https://doi.org/10.1029/2021EO161439. (2021/9/3), 2021
50. Miller, K. G., Kominz, M. A., Browning, J. V., Wright, J. D., Mountain, G. S., Katz, M. E., & Pekar, S. F. The phanerozoic record of global sea-level change. Science, 310(5752), 1293– 1298, 2005.
51. Miller, K. G., Kominz, M. A., Browning, J. V., Wright, J. D., Mountain, G. S., Katz, M. E., & Pekar, S. F. The phanerozoic record of global sea-level change. Science, 310(5752), 1293– 1298, 2005.
52. Morishima, A., Tajima, K., Kitahara, I., Inoguchi, M., Matsubara, M., & Shishido, H. JST CREST CyborgCrowd Project. In Proceedings of 1st Project Networking Workshop collocated with 6th AAAI Conference on Human Computation & Crowdsourcing (p. 2), 2018.
53. Otto, D., Thoni, T., Wittstock, F., & Beck, S. Exploring narratives on

Negative Emissions Technologies in the post-Paris era. Frontiers in Climate, 103.

54. P. Lu 韌性，城市不任性 I：規劃專業的新思維，從荷蘭經驗談起，https://eyesonplace.net/2016/04/13/1697/ (2021/7/23), 2016
55. Resilient.Urbanism. BUILDING POST-DISASTER RESILIENCE: A DIAGRAM. https://resilienturbanism.org/dlallemant/building-post-disaster-resilience-a-diagram/ (2021/7/23), 2021.
56. Snæbjörnsdóttir, S. Ó., Sigfússon, B., Marieni, C., Goldberg, D., Gislason, S. R., & Oelkers, E. H. Carbon dioxide storage through mineral carbonation. Nature Reviews Earth & Environment, 1(2), 90-102, 2020.
57. Tapia, J. F. D. Evaluating negative emssions technologies using neutrosophic data envelopment analysis. Journal of Cleaner Production, 286, 125494, 2021.
58. UN Office for Disaster Risk Reduction: https://www.undrr.org/ (2021/7/23), 2015.
59. United Nations Framework Convention on Climate Change. Report of the conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November to 13 December 2015, 2016.
60. Wellmann J.F., and Caumon G. 3D structural geological models: concepts, methods, and uncertainties. In: Schmelzbach C (ed) Advances in Geophysics. Elsevier, Amsterdam, pp 1–121, 2018.
61. Wellmann, J.F., Horowitz, F.G., Schill, E., and Regenauer-Lieb, K. Towards incorporating uncertainty of structural data in 3D geological

inversion. Tectonophysics, 490(3-4), 141-151, 2010.

62. Williams, J. H., Jones, R. A., Haley, B., Kwok, G., Hargreaves, J., Farbes, J., & Torn, M. S. Carbon-neutral pathways for the United States. AGU Advances, 2(1), e2020AV000284, 2021.
63. Zhong, Y., Kobayashi, M., Matsubara, M., & Morishima, A. Effects of crowd-in-the-loop alt text addition on the performance of visually impaired workers in online microtasks. The Transactions of Human Interface Society, 22(3), 251-262, 2020.

附錄一 H.O.S.T 地圖及 CS 地圖判釋與應用 BigGIS 繪製判釋圖資 (節錄)

H.O.S.T 地圖及 CS 地圖判釋與應用 BigGIS 繪製判釋圖資

執 行 單 位：水土保持局技術研究發展小組
專案主持人 ：陳振宇 副總工程司
研 究 人 員 ：陳昭岑、白佩鑫、林宥伯、施佩昱、高百毅、詹婉妤

行政院農業委員會水土保持局 編印
中華民國 110 年 12 月

（本手冊內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考）

I

二、 色調判釋.....55
第三節 CS 地圖製作.....56
一、 ArcGIS.....56
二、 QGIS.....66
第五章 高精度數值立體地形圖應用於地形地貌判釋.....75
第一節 崩塌地判釋.....75
一、 崩塌定義及成因.....75
二、 崩塌分類.....75
三、 地形特徵判釋.....78
四、 現地調查檢核.....87
第二節 土石流判釋.....94
一、 土石流定義及特徵.....94
二、 土石流分類.....95
三、 地形特徵判釋.....96
四、 現地調查檢核.....107
第六章 應用 BigGIS 繪製判釋圖資.....118
第一節 土石流影響範圍劃設.....118
一、 土石流潛勢溪流影響範圍劃設作業.....118
二、 應用 BigGIS 劃設土石流影響範圍.....120
第二節 大規模崩塌影響範圍劃設.....125
一、 大規模崩塌影響範圍劃設作業.....125
二、 應用 BigGIS 劃設大規模崩塌影響範圍.....135
參考文獻.....141

目錄

目錄 I
表目錄 III
圖目錄 IV
第一章 緒論 1
第一節 前言 1
第二節 目的 1
第二章 H.O.S.T 地圖 3
第一節 簡介 3
第二節 製作原理 5
一、 地形坡度 6
二、 地形開闊度 7
三、 視覺化調色盤 13
第三節 H.O.S.T 地圖製作 15
第三章 紅色立體地圖 16
第一節 簡介及製作原理 16
第二節 紅色立體地圖製作 17
一、 ArcGIS 17
二、 QGIS 34
第四章 CS 地圖 52
第一節 簡介 52
第二節 製作原理 53
一、 地形曲率 54

第一章 緒論

第一節 前言

近年來地形測繪技術的發展日漸成熟，尤其是地面光達(Ground Based LiDAR)與空載光達(Airborne LiDAR)的技術。隨著全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)的發展，目前已經可以精確地定位地表上任何目標物體的坐標位置，並透過無人航空載具搭載 GPS 產製出高精度的數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)及數值地表模型(Digital Surface Model, DSM)。現今，數值高程模型已被廣泛應用於國內水土保持、土砂災害、國土規劃、環境監測、防救災規劃與資源探勘等相關研究之中。

第二節 目的

本手冊編撰目的，主要係應用數值地圖輔助現地調查工作，於未來現地勘查、崩塌災害判釋、防救災規劃等工作事項，實有助於第一線工作人員知識技術能力精進及推動之參考，達到防減災的目標。

手冊分四章，各章節內容分述如下：

第一章 「緒論」，說明本手冊編撰目的及各章節概述。

第二章 「H.O.S.T 地圖」，介紹 H.O.S.T 地圖及其製作原理與流程，並說明 H.O.S.T 地圖的使用優勢，提供製作方法與

步驟讓使用者可以自行產製 H.O.S.T 地圖。

第三章 「紅色立體地圖」，介紹紅色立體地圖及其製作原理與流程，並說明紅色立體地圖的應用方法，提供製作方法與步驟讓使用者可以自行產製紅色立體地圖。

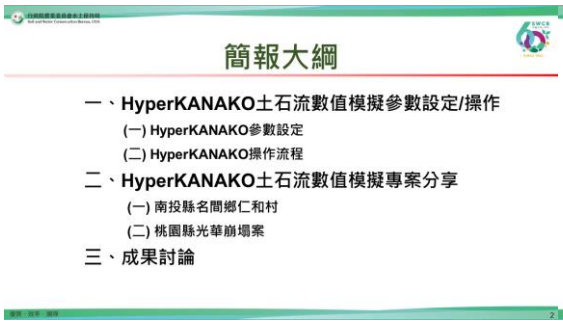
第四章 「CS 地圖」，介紹 CS 地圖及其製作原理與流程，並說明 CS 地圖的使用優勢，提供製作方法與步驟讓使用者可以自行產製 CS 地圖。

第五章 「高精度立體地形圖應用於地形地貌判釋」，包括崩塌地判釋及土石流判釋。介紹大規模崩塌與土石流之定義、成因和分類，並以案例說明如何進行地形特徵之判釋，以及如何將圖資應用於現地勘查時的檢核工作。

附錄二 教育訓練相關資料

附件一 Hyper Kanako 教育訓練資料













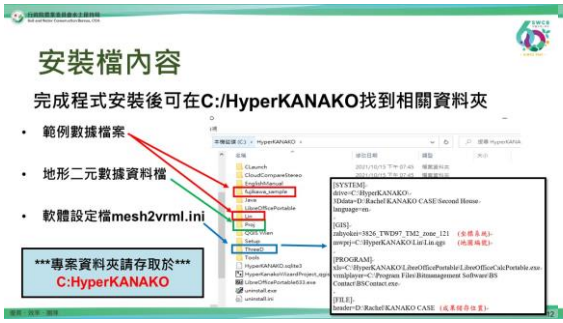



1.2 參數設定1-Make Mesh(3)
需手動調整
6位數
7位數
若非 6 & 7 位數
➢ 原始檔案有錯誤
設定完成


1.2 參數設定2-Wizard(1)
需手動調整
設定檔路徑
地形二元數據資料路徑
前述Mesh檔路徑
LibreOffice 執行路徑
VRML Player 執行路徑
專案資料夾路徑
座標系統
QGIS儲存路徑
會自動產製
(1)birdview (3D)
(2)Danmen
(3)Simulation (模擬)
Mesh檔名:XXX.msh
3D路徑錯誤，訊息框變為紅色
如果為新專案，此欄可空白
HyperKANAKO預設QGIS版本為2.8版


1.2參數設定2-Wizard(2)
若要執行HyperKANAKO，
目前僅能從Wizard開啟
如果要更新任何檔案
1)僅變更mesh2vrml.ini
2)變更檔案後點選Saving the configuration file
訊息框變更為其他顏色，意即提醒或警告終
端機案或路徑有錯
黃色訊息框為警告，即同名檔案
備份當前設定檔
備份前詳讀設定檔
儲存設定檔
開始執行HyperKANAKO

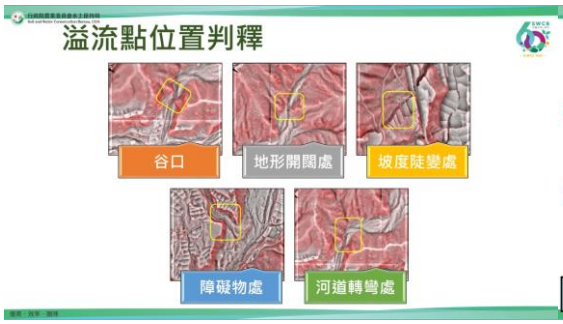

1.3 安裝外掛
1. 開啟QGIS->附加元件->管理與安裝附加元件...
2. 加入HyperKANAKO、KanakoUtility、ThreeDutility
點選管理與安裝附加元件...
選擇外掛程式
HyperKANAKO
KanakoUtility
ThreeDutility
完成後即會出現在下層工具列


安裝檔內容
完成程式安裝後可在C:/HyperKANAKO找到相關資料夾
範例數據檔案
地形二元數據資料檔
軟體設定檔mesh2vrml.ini
專案資料夾請存取於
C:HyperKANAKO

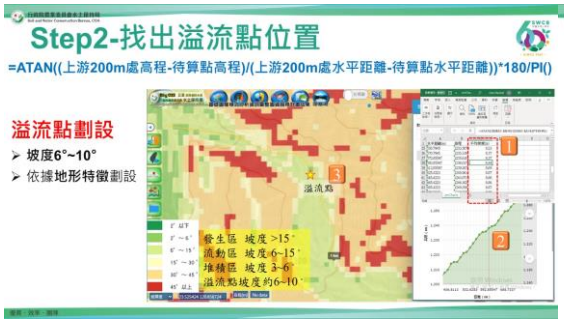

(二) HyperKANAKO操作流程
2.1-2.2 啟動、關閉程式
2.3-2.6 模擬參數設定
2.7-2.10 結果與數據輸出


2.1 啟動程式
完成安裝後，HyperKANAKO快捷圖案顯示於桌面。
請先設定相關參數，完成後再開啟HyperKANAKO。
HyperKANAKO
Tools
Make Mesh


2.2 關閉程式
Project>Exit QGIS或右上角X鍵關閉QGIS
Project>Save或Save As...儲存或另存新檔
儲存QGIS專案
關閉QGIS專案


溢流點位置判釋
谷口
地形開闊處
坡度陡變處
障礙物處
河道轉彎處


Step1-加值應用與分析工具
以H.O.S.T 地圖作為底圖
等高線計算
➢ 以等高線輔助H.O.S.T 地圖，沿下游至上游繪製縱剖面圖
縱橫斷面分析
➢ 採用20m DTM
➢ 推估間隔 20m
➢ 存成XLSX檔
BgGIS網址：
https://gis.swcb.gov.tw/


Step2-找出溢流點位置
=ATAN((上游200m處高程-待算點高程)/(上游200m處水平距離-待算點水平距離))*180/PI()
溢流點劃設
坡度6°~10°
依據地形特徵劃設
溢流點
發生區 坡度>15°
流動區 坡度6~15°
堆積區 坡度3~6°
溢流點坡度約6~10°


溢流點位置 Q&A?
A
B
C
D
E

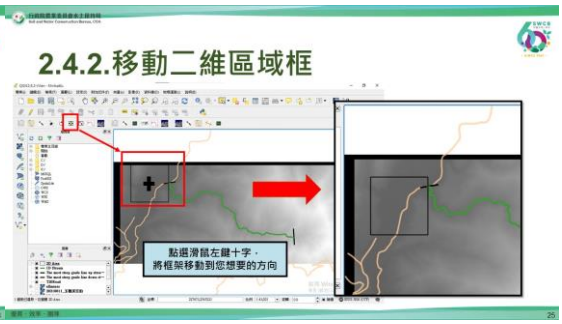

入流點位置 Q&A?
-50
-25
0
25
50
A
B
C

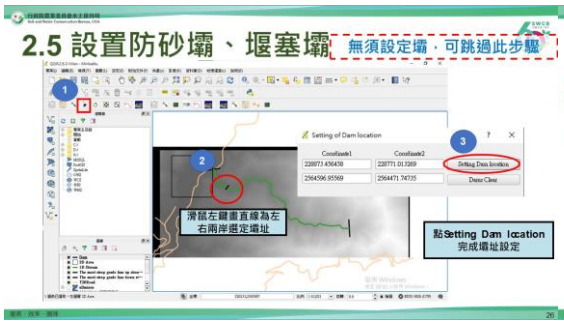

2.3 設定模擬範圍
1. 模擬範圍會自動選取從下游(溢流點)到上游(入流點)的最陡坡度線，使用滑鼠滾輪放大、縮小或移動。
2. 繪製下游（連接到二維區域）和上游，滑鼠右鍵結束繪製。
Downstream
下游
上游
Upstream
Node Size
Search for most steep grade line

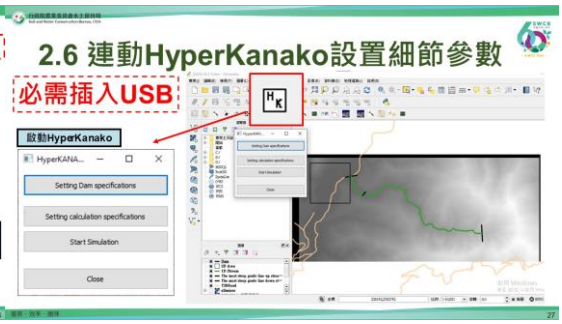

2.4 設定模擬範圍
最陡坡度線(綠線)顯示於地圖上，請以下游(溢流)為中心劃設二維區域框(土石流沖積扇範圍)
二維區域框
最陡坡度線

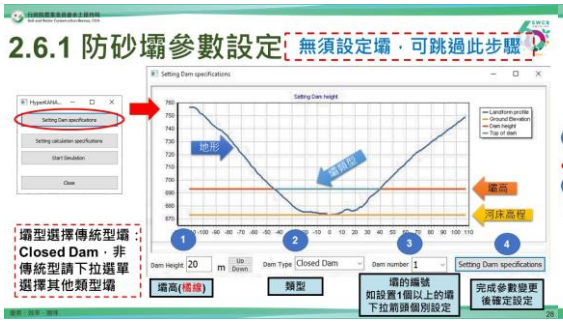

2.4.1. 設置二維區域大小和溢流方向(1)
勾選2DArea進行變更
進行變更時會轉呈黃色


2.4.1. 設置二維區域大小和溢流方向(2)
Direction of inflow
Up
Left
Right
Bottom
Number of Mesh X
Number of Mesh Y
Size of Mesh
Execute
Close
滑鼠點1下，變更溢流方向
溢流X、Y方向之網格大小（間隔）
溢流範圍

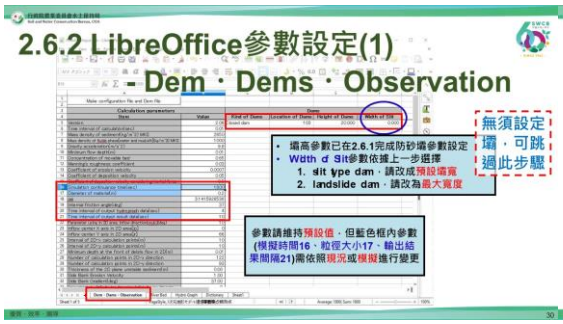

2.4.2.移動二維區域框
點選滑鼠左鍵十字，將框架移動到您想要的方向

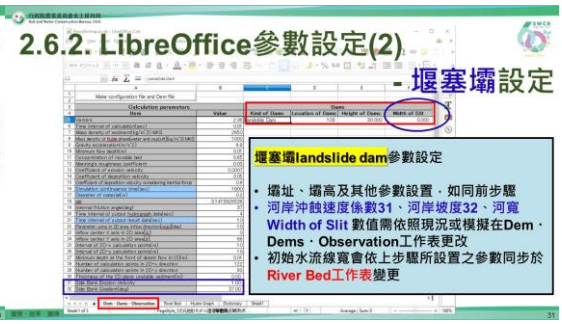

2.5 設置防砂壩、堰塞壩
無須設定壩，可跳過此步驟
Setting of Dam location
滑鼠左鍵畫直線為左右兩岸選定壩址
點Setting Dam location完成壩址設定


2.6 連動HyperKanako設置細節參數
必需插入USB
啟動HyperKanako
HyperKANA...
Setting Dam specifications
Setting calculation specifications
Start Simulation
Close

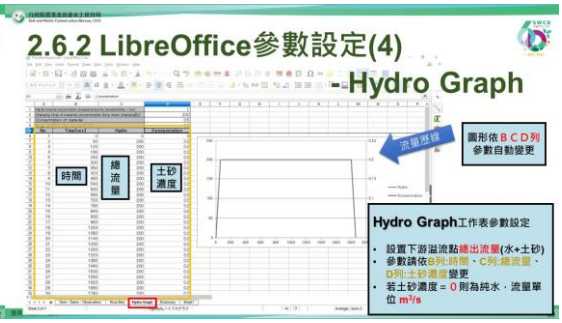

2.6.1 防砂壩參數設定
無須設定壩，可跳過此步驟
壩型選擇傳統型壩Closed Dam，非傳統型請下拉選單選擇其他類型壩
壩高(橘線)
類型
壩的編號如設置1個以上的壩下拉前請個別設定
完成參數變更後確定設定


2.6.2 模擬參數設定
每次模擬前請先完成以下流程
• 點OK後再重新點選 Setting calculation specification


2.6.2 LibreOffice參數設定(1)
- Dem · Dems · Observation
無須設定壩，可跳過此步驟
• 壩高參數已在2.6.1完成防砂壩參數設定
• Width of Slit參數依據上一步選擇
1. slit type dam，請改成預設壩寬
2. landslide dam，請改為最大寬度
參數請維持預設值，但藍色框內參數(模擬時間16、粒徑大小17、輸出結果間隔21)需依照現況或模擬進行變更


2.6.2. LibreOffice參數設定(2)
- 堰塞壩設定
堰塞壩landslide dam參數設定
• 壩址、壩高及其他參數設置，如同前步驟
• 河岸沖蝕速度係數31、河岸坡度32、河寬Width of Slit數值需依照現況或模擬在Dem · Dems · Observation工作表更改
• 初始水流線寬會依上步驟所設置之參數同步於River Bed工作表變更


2.6.2 LibreOffice參數設定(3)
- River bed
River bed 工作表參數設定
• 設置不安定土砂厚度，變更C1參數後點Thickness of the unstable sediment
• 更改各點不安定土砂厚度，變更B列參數
• 更改河寬，變更F1(配合災前的河道寬)後點Standard width of river
• 更改各點河寬，變更C列

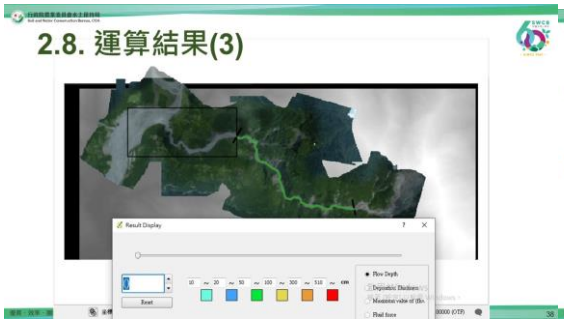

2.6.2 LibreOffice參數設定(4)
-Hydro Graph
流量歷線
圖形依B C D列參數自動變更
時間
總流量
土砂濃度
Hydro Graph工作表參數設定
• 設置下游溢流點總出流量(水+土砂)
• 參數請依B列:時間、C列:總流量、D列:土砂濃度變更
• 若土砂濃度 = 0 則為純水，流量單位 m³/s


2.6.2 完成參數設定(5)
1.完成所有參數設定回Dem · Dems · Observation工作列
2.請先儲存檔案，再點Make configuration file and Dem file完成設置
3.出現視窗顯示Making of defaultwk.dat is complete即完成設置
Information
Making of defaultwk.dat is complete.
OK


2.7 進行模擬運算
運算時間長短依照模擬範圍不同，視窗會在完成運算後自動關閉


2.8 運算結果(1)
• GIS_H：水深
• GIS_K：變動地形
• GIS_N：衝擊力
• GIS_W：水深加堆積深
• GIS_ZS：堆積深度
成果資料及圖檔依指定路徑分別屬性儲存Smulation資料夾內，圖檔拖曳至QGIS進行展示


2.8. 運算結果(2)
可移動時間軸，模擬結果隨時間變化
圖編號
模擬結果色塊圖例
路徑與名稱
屬性類別

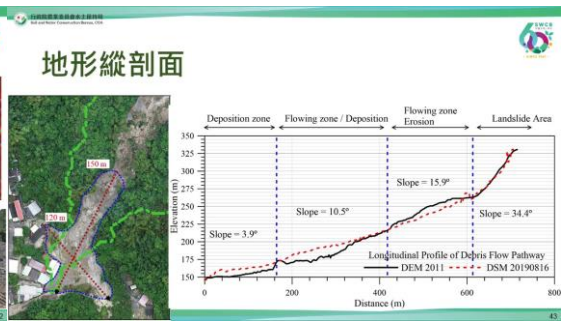

2.8. 運算結果(3)

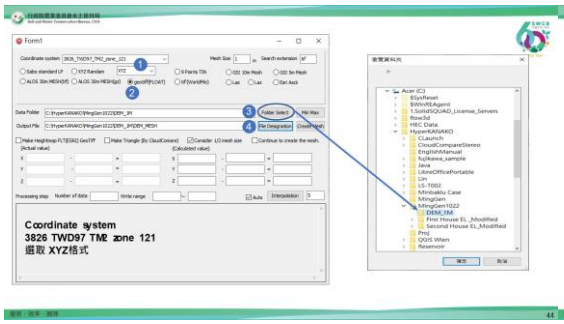

2.10 輸出模擬範圍結果數據
1.文件以csv格式命名result_Q.csv
2.參數若為0，則為上游入流點
3. q為總出流量，qh為土砂流量，單位皆為m³/s
4.設置防砂壩或堰塞壩的點位，無出流量數據

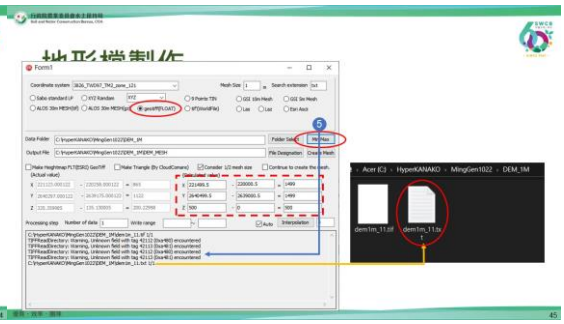

注意 ATTENTION
NO USB，NO RUNNING
運算前，別忘記插上ＵＳＢ隨身碟
如需外借ＵＳＢ隨身碟，歡迎洽詢技研小組

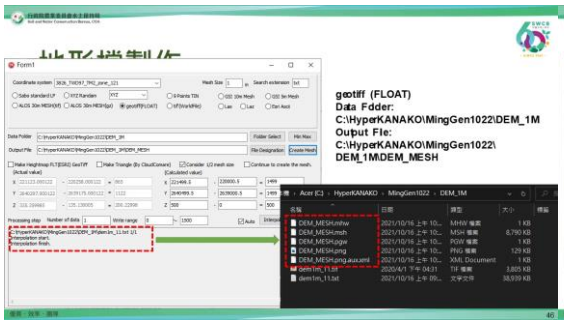

二、HyperKANAKO土石流數值模擬專案


2019/8/16 名間鄉仁和村土石流
DF126發生土石流
崩塌面積1.44公頃，長約240公尺，寬約60公尺，平均深度約5公尺，崩塌量約72,000立方米。
堆積區長約150公尺，寬約120公尺，平均堆積深度約4公尺。
南投縣名間鄉仁和村 投縣DF126上游發生崩塌並引發土石流，造成下游至少5戶民宅受損及2座橋梁毀損。

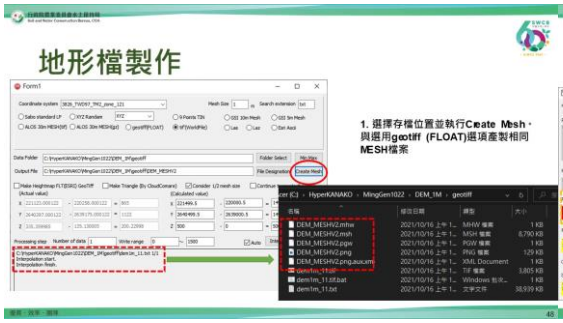

地形縱剖面
Deposition zone
Flowing zone / Deposition
Flowing zone Erosion
Landslide Area
Slope = 3.9°
Slope = 10.5°
Slope = 15.9°
Slope = 34.4°
Longitudinal Profile of Debris Flow Pathway
DEM 2011
DSM 20190816
Elevation (m)
Distance (m)


Coordinate system
3826 TWD97 TM2 zone 121
選取 XYZ格式



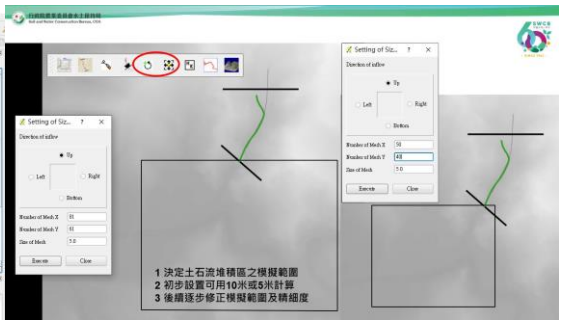

geotiff (FLOAT)
Data Fdder:
C:\HyperKANAKO\MingGen1022\DEM_1M
Ouput File:
C:\HyperKANAKO\MingGen1022\DEM_1MDEM_MESH

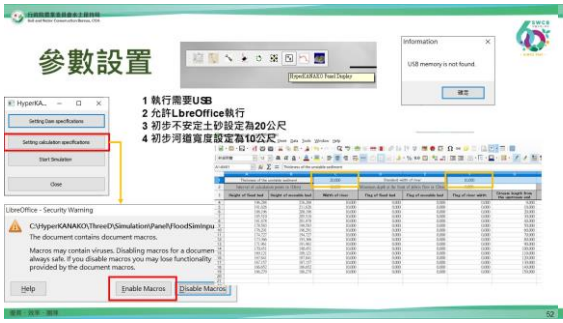

1. 以tif (World File)製作MESH檔，程式產生geotiff資料夾並將資料寫入。
2. 程序上與geotiff (FLOAT)模式相同。

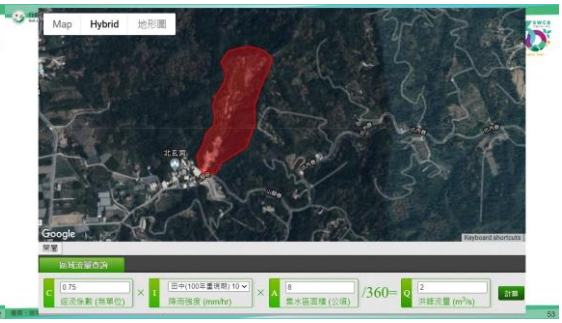

地形檔製作
1. 選擇存檔位置並執行Create Mesh，與選用geotiff (FLOAT)選項產製相同MESH檔案

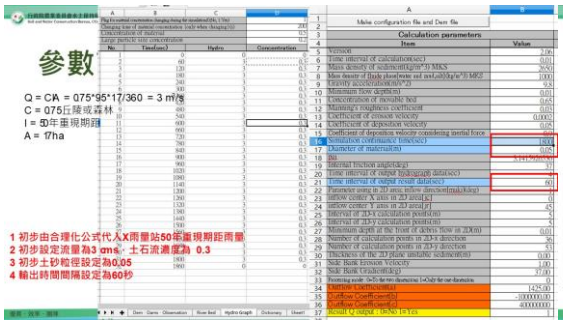

QGIS 2.8
Wien


設定土石流入流點及溢流點
1 決定土石流流動段，即為入流點位置
2 決定土石流堆積區，即為溢流點位置


1 決定土石流堆積區之模擬範圍
2 初步設置可用10米或5米計算
3 後續逐步修正模擬範圍及精細度


參數設置
1 執行需要USB
2 允許LbreOffice執行
3 初步不安定土砂設定為20公尺
4 初步河道寬度設定為10公尺
Enable Macros
Disable Macros


Map
Hybrid
地形圖
Google


參數
Q = CiA = 075*95*17/360 = 3 m^3/s
C = 075丘陵或森林
I = 取1年重現期雨量
A = 17ha
1 初步由合理化公式代入X雨量站50年重現期距雨量
2 初步設定流量為3 cms，土石流濃度為 0.3
3 初步土砂粒徑設定為0.05
4 輸出時間間隔設定為60秒

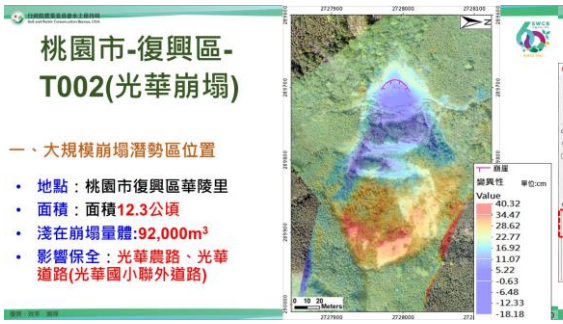

模擬結果-Project1
計算時間約3至5分鐘
1 流量為3 cms
2 土石流濃度為 0.3
3 土砂粒徑 0.05 m
4 DX = DY = 5 m

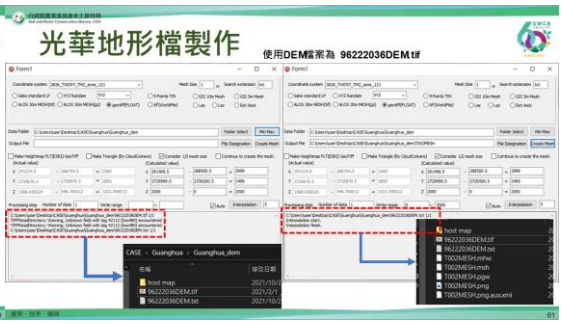

模擬結果-Project2
計算時間約3至5分鐘
1 流量為3 cms
2 土石流濃度為 0.3
3 土砂粒徑 0.001 m
4 DX = DY = 5 m
目前模擬結果，土砂大部份堆積在溢流點處往下游堆積高度不符合，顯示模擬條件需要修正以符合災害後資料，
1 修正流量
2 修正粒徑
3 修正網格

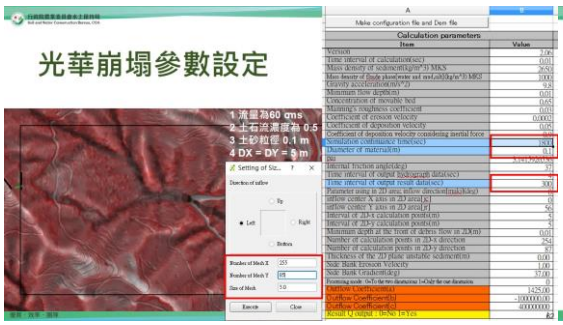

調整模擬網格Project3
1 流量為3 cms
2 土石流濃度為 0.3
3 土砂粒徑 0.001 m
4 DX = DY = 1 m


模擬結果-Project3
計算時間約20至25分鐘
1 流量為3 cms
2 土石流濃度為 0.3
3 土砂粒徑 0.001 m
4 DX = DY = 1 m
目前模擬結果，土砂自溢流點處往下游輸送，但堆積區高度仍不符合，顯示模擬條件需要修正以符合災害後資料。
目前網格1米已足夠，需考量流量及粒徑是否正確
1 修正流量
2 修正粒徑

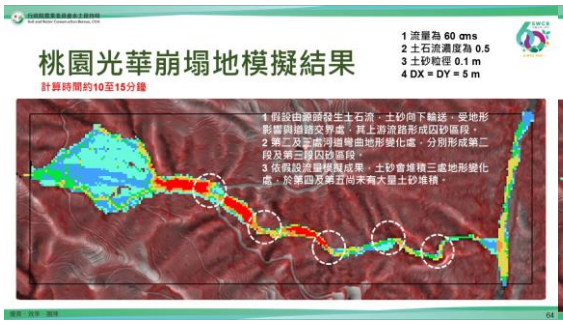

地形修正結果
原始DEM之房屋高程未進行修正，藉由調整房屋高程後，模擬堆積範圍與災後堆積範圍較符合

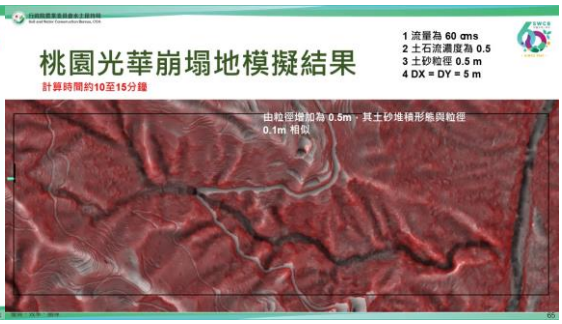

桃園市-復興區-
T002(光華崩塌)
一、大規模崩塌潛勢區位置
• 地點：桃園市復興區華陵里
• 面積：面積12.3公頃
• 淺在崩塌量體:92,000m³
• 影響保全：光華農路、光華道路(光華國小聯外道路)

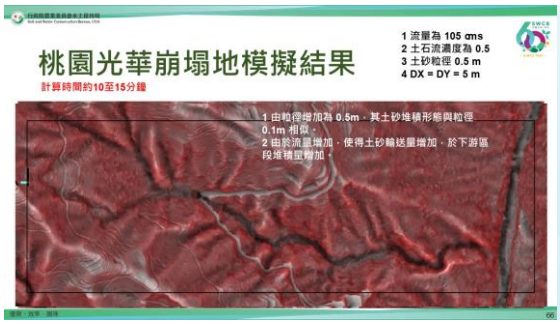

光華地形檔製作
使用DEM檔案為 96222036DEM.tif


光華崩塌參數設定
1 流量為60 cms
2 土石流濃度為 0.5
3 土砂粒徑 0.1 m
4 DX = DY = 5 m


桃園光華崩塌地-Case1
1 流量為 60 cms
2 土石流濃度為 0.5
3 土砂粒徑 0.1 m
4 DX = DY = 5 m
計算時間約10至15分鐘
1 假設於源頭發生土石流，其土砂運動過程為往邊坡兩側流動。
2 土砂輸送過程，受道路交界處及其下四處地形變化處影響。


桃園光華崩塌地模擬結果
計算時間約10至15分鐘
1 流量為 60 cms
2 土石流濃度為 0.5
3 土砂粒徑 0.1 m
4 DX = DY = 5 m
1 假設由源頭發生土石流，土砂向下輸送，受地形影響與道路交界處，其上游流路形成四砂區段。
2 第二及三處河道彎曲地形變化處，分別形成第二段及第三段四砂區段。
3 依假設流量模擬成果，土砂會堆積三處地形變化處，於第四及第五間未有大量土砂堆積。


桃園光華崩塌地模擬結果
計算時間約10至15分鐘
1 流量為 60 cms
2 土石流濃度為 0.5
3 土砂粒徑 0.5 m
4 DX = DY = 5 m
由粒徑增加為 0.5m，其土砂堆積形態與粒徑 0.1m 相似


桃園光華崩塌地模擬結果
計算時間約10至15分鐘
1 流量為 105 cms
2 土石流濃度為 0.5
3 土砂粒徑 0.5 m
4 DX = DY = 5 m
1 由粒徑增加為 0.5m，其土砂堆積形態與粒徑 0.1m 相似。
2 由於流量增加，使得土砂輸送量增加，於下游區段堆積量增加。

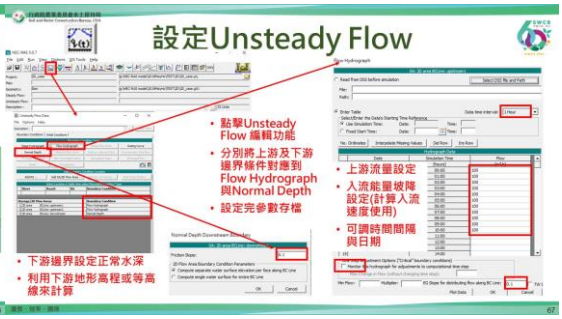

SWCB
守護大地一甲子
- SINCE 1961 -
報告完畢
敬請指教
行政院農業委員會水土保持局
與您一起打拼

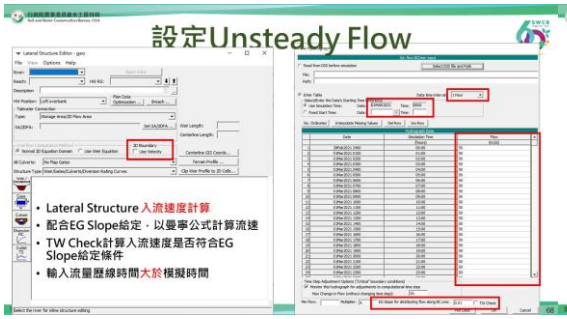
附件二 HECRAS 教育訓練資料





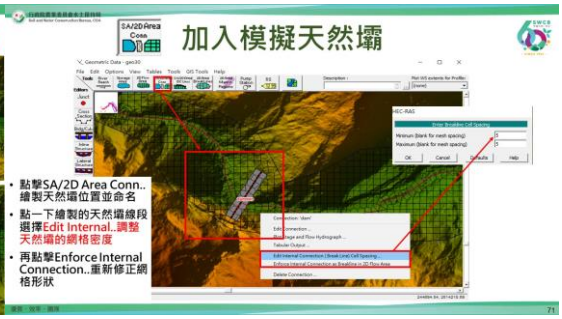


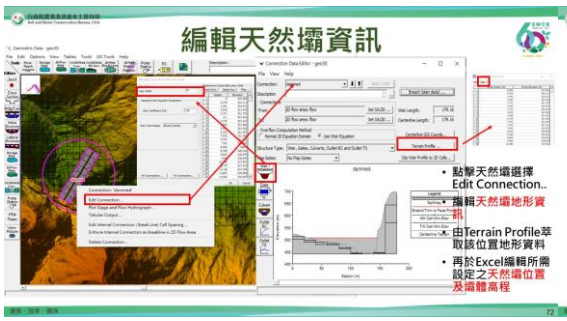


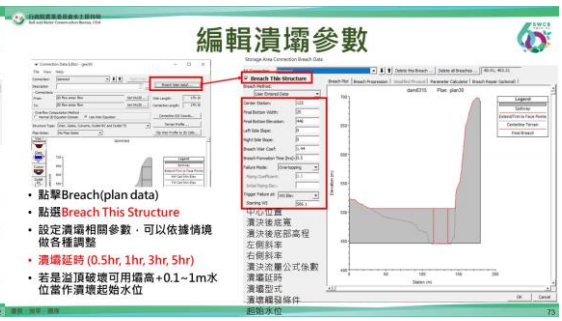




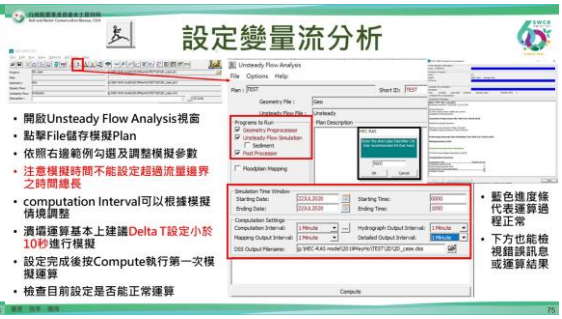


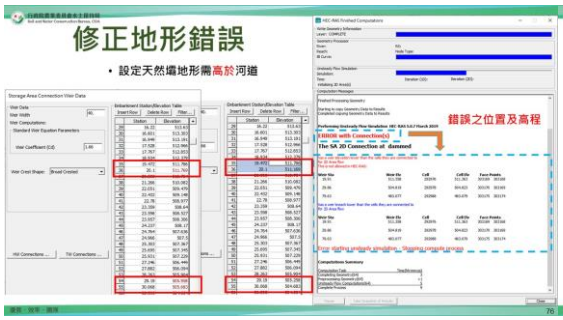






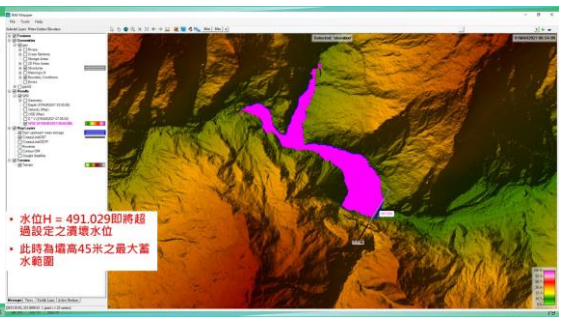

編輯潰壩參數
• 針對潰壩過程(設定時間比例與潰壩比例)，請先點選Breach Progression
• HEC-RAS提供 Linear 及 Sine Wave 兩種型式 (預設為線性)
• 若有實際潰壩過程記錄可以自行修改線性資訊
• 若沒有可以點選Sine Wave潰壩過程設定
• 完成後點擊OK


設定變量流分析
• 開啟Unsteady Flow Analysis視窗
• 點擊File儲存模擬Plan
• 依照右邊範例勾選及調整模擬參數
• 注意模擬時間不能設定超過流量邊界之時間總長
• computation Interval可以根據模擬情境調整
• 潰壩運算基本上建議Delta T設定小於10秒進行模擬
• 設定完成後按Compute執行第一次模擬運算
• 檢查目前設定是否能正常運算
• 藍色進度條代表運算過程正常
• 下方也能檢視錯誤訊息或運算結果

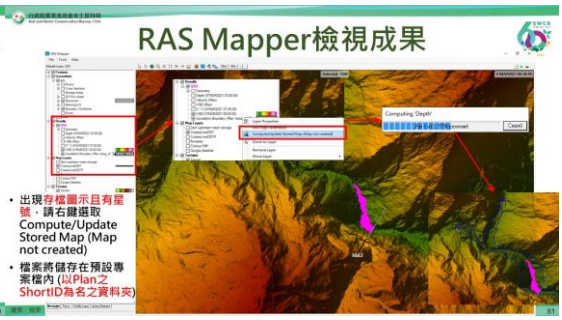

修正地形錯誤
• 設定天然壩地形需高於河道
錯誤之位置及高程

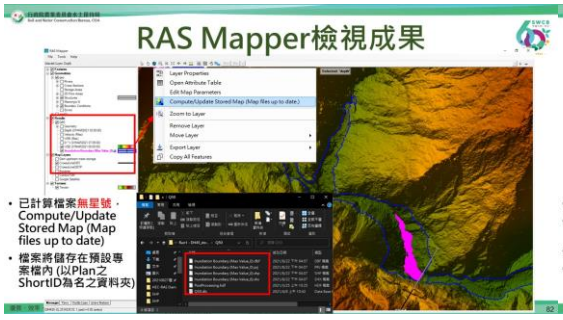

重新執行運算
• 確認有完成潰壩設定資訊(SA Connection Breach)
• 若誤差非地形或壩體參數設定問題，可調整computation Interval再進行運算
• 潰壩運算基本上建議Delta T設定小於10秒
此範例Mapping Output Interval輸出30秒，因此檔案存取容量約1.42G，看個人需求設定所需的輸出間隔。
亦會造成演算時間較久，此範例約50分鐘。

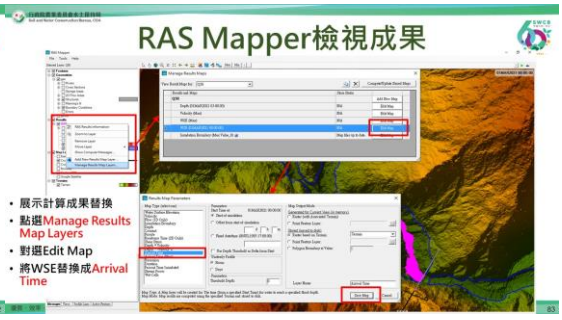

RAS Mapper檢視成果
• 點擊Result中的Plan成果可以觀看流速、水深等水理成果，進行後續評估

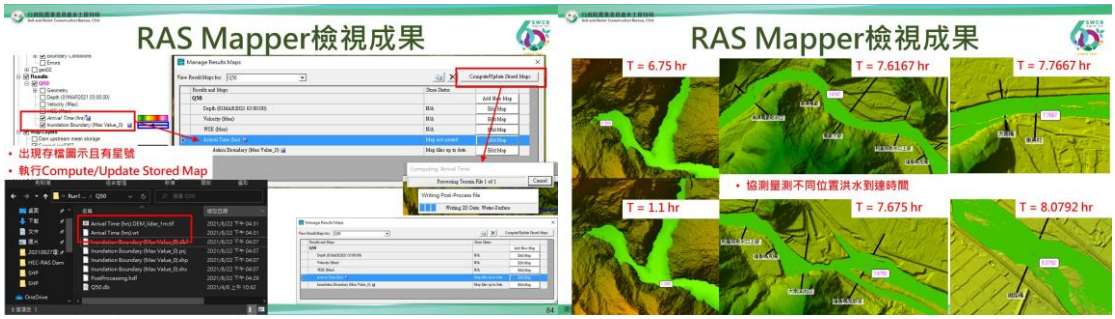

• 水位H = 491.029即將超過設定之潰壩水位
• 此時為壩高45米之最大蓄水範圍

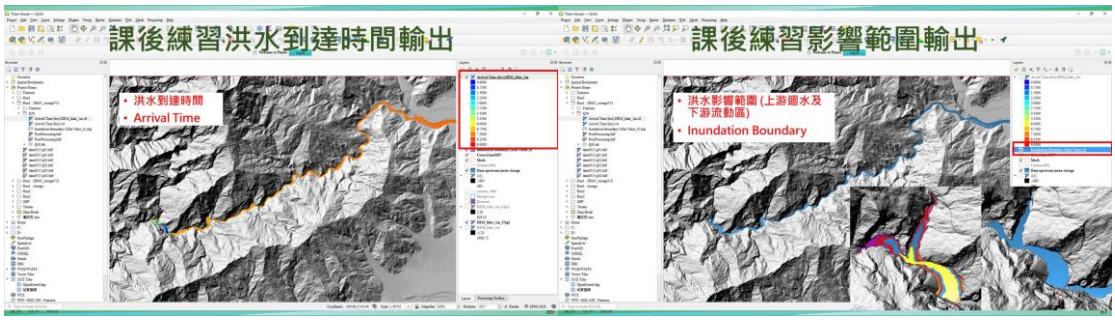

RAS Mapper檢視成果
• Add New Results Map Layer
• 選擇欲展示輸出之模擬結果
匯出結果至GIS用
分為tif檔及SHP檔
可配合不同時間點及最大最小值輸出

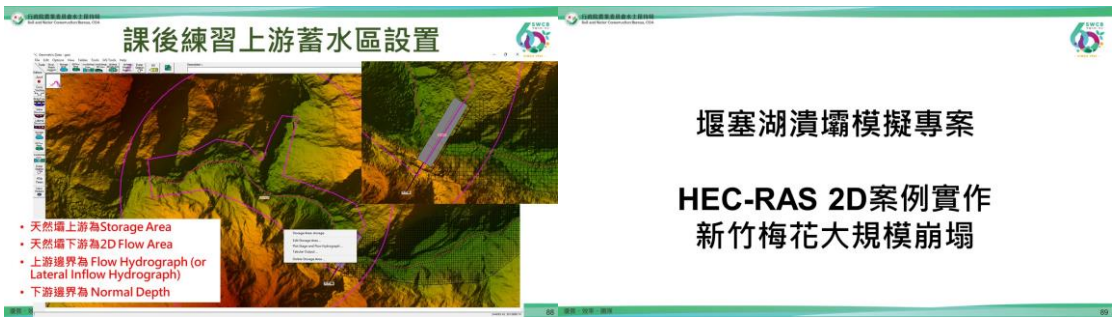

RAS Mapper檢視成果
• 出現存檔圖示且有星號，請右鍵選取Compute/Update Stored Map (Map not created)
• 檔案將儲存在預設專案檔內 (以Plan之ShortID為名之資料夾)

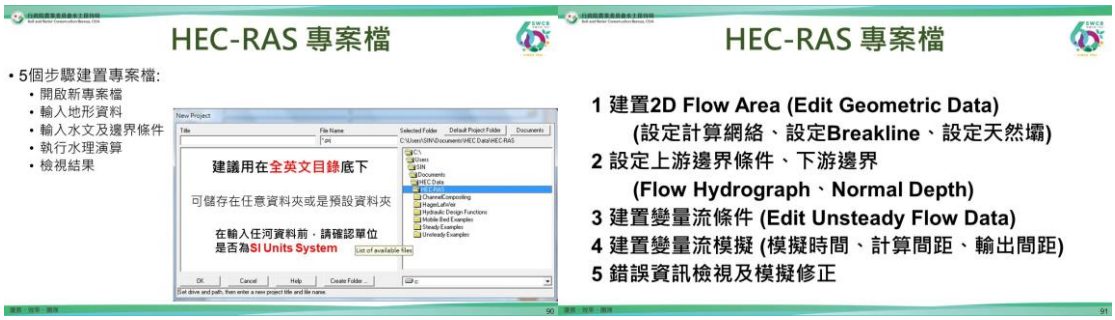

RAS Mapper檢視成果
• 已計算檔案無星號，Compute/Update Stored Map (Map files up to date)
• 檔案將儲存在預設專案檔內 (以Plan之ShortID為名之資料夾)

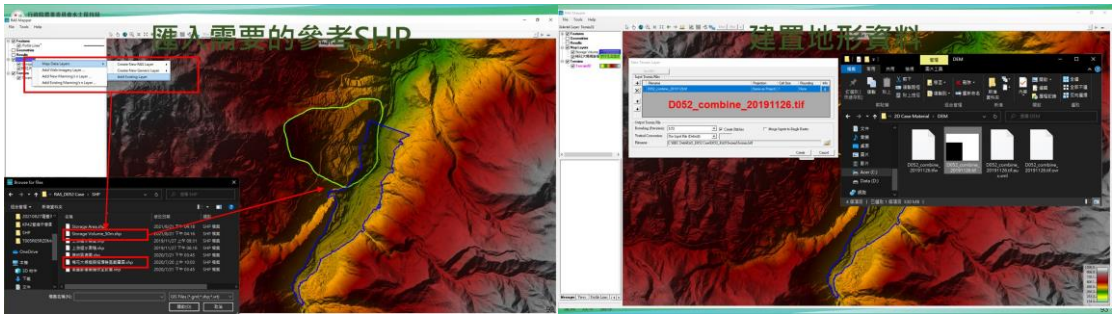

RAS Mapper檢視成果
• 展示計算成果替換
• 點選Manage Results Map Layers
• 對選Edit Map
• 將WSE替換成Arrival Time

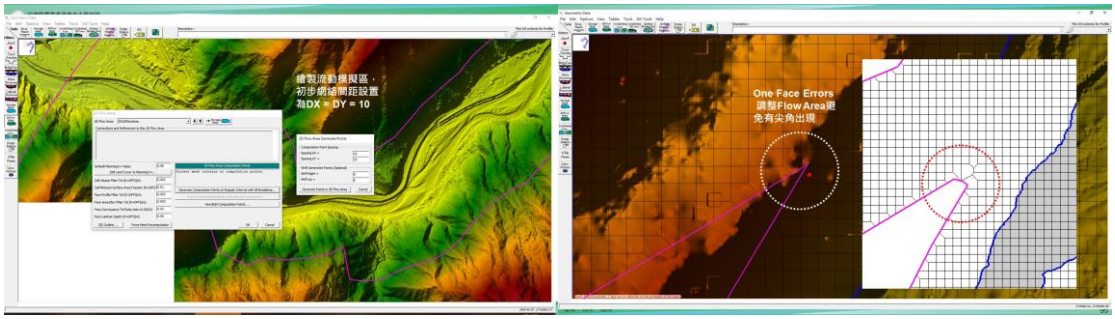

RAS Mapper檢視成果
• 出現存檔圖示且有星號
• 執行Compute/Update Stored Map
RAS Mapper檢視成果
T = 6.75 hr
T = 7.6167 hr
T = 7.7667 hr
• 協測量測不同位置洪水到達時間
T = 1.1 hr
T = 7.675 hr
T = 8.0792 hr

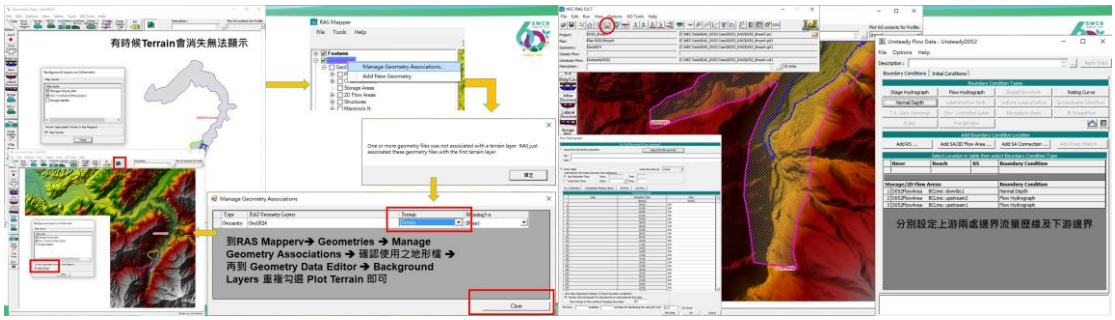

課後練習洪水到達時間輸出
• 洪水到達時間
• Arrival Time
課後練習影響範圍輸出
• 洪水影響範圍 (上游邊水及下游流動區)
• Inundation Boundary

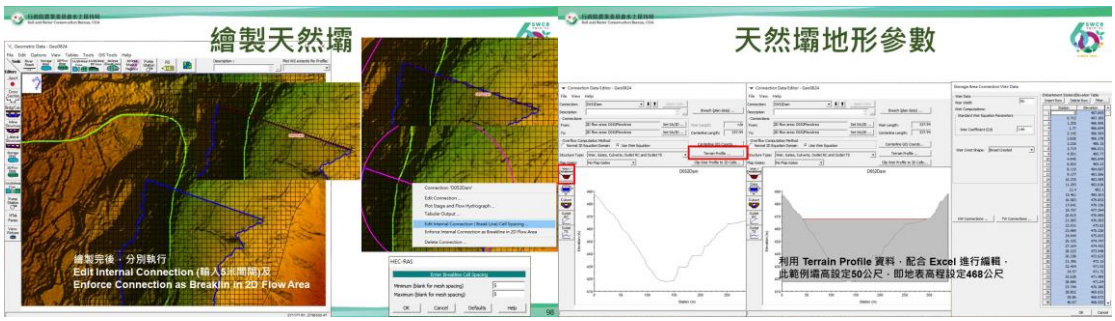

課後練習上游蓄水區設置
• 天然壩上游為Storage Area
• 天然壩下游為2D Flow Area
• 上游邊界為 Flow Hydrograph (or Lateral Inflow Hydrograph)
• 下游邊界為 Normal Depth
堰塞湖潰壩模擬專案
HEC-RAS 2D案例實作
新竹梅花大規模崩塌

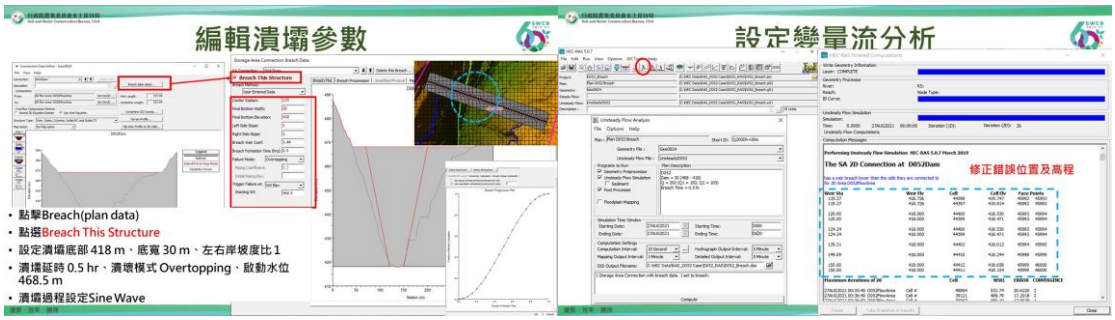

HEC-RAS 專案檔
• 5個步驟建置專案檔:
• 開啟新專案檔
• 輸入地形資料
• 輸入水文及邊界條件
• 執行水理演算
• 檢視結果
建議用在全英文目錄底下
可儲存在任意資料夾或是預設資料夾
在輸入任何資料前，請確認單位是否為SI Units System
HEC-RAS 專案檔
1 建置2D Flow Area (Edit Geometric Data)
(設定計算網絡、設定Breakline、設定天然壩)
2 設定上游邊界條件、下游邊界
(Flow Hydrograph、Normal Depth)
3 建置變量流條件 (Edit Unsteady Flow Data)
4 建置變量流模擬 (模擬時間、計算間距、輸出間距)
5 錯誤資訊檢視及模擬修正

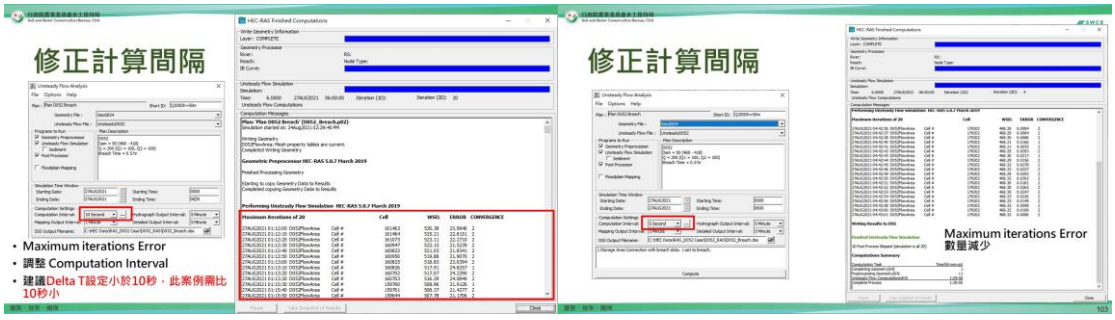

匯入需要的參考SHP
建置地形資料
D052_combine_20191126.tif


繪製流動模擬區，
初步網格間距設置
為DX = DY = 10
One Face Errors
調整Flow Area避
免有尖角出現

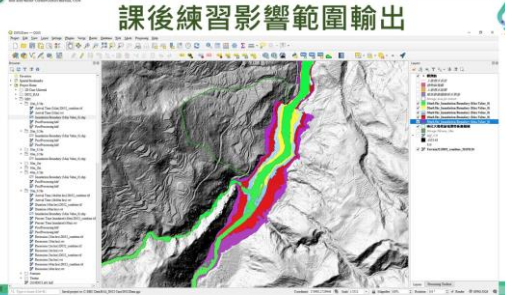

有時候Terrain會消失無法顯示
到RAS Mapperv➔ Geometries ➔ Manage
Geometry Associations ➔ 確認使用之地形檔 ➔
再到 Geometry Data Editor ➔ Background
Layers 重複勾選 Plot Terrain 即可
分別設定上游兩處邊界流量歷線及下游邊界


繪製天然壩
繪製完後，分別執行
Edit Internal Connection (輸入5此間距)及
Enforce Connection as Breaklin in 2D Flow Area
天然壩地形參數
利用 Terrain Profile 資料，配合 Excel 進行編輯，
此範例壩高設定60公尺，即地表高程設定468公尺


編輯潰壩參數
• 點擊Breach(plan data)
• 點選Breach This Structure
• 設定潰壩底部418 m、底寬 30 m、左右岸坡度比1
• 潰壩延時 0.5 hr、潰壩模式 Overtopping、啟動水位
468.5 m
• 潰壩過程設定Sine Wave
設定變量流分析
修正錯誤位置及高程


修正計算間隔
• Maximum iterations Error
• 調整 Computation Interval
• 建議Delta T設定小於10秒，此案例需比
10秒小
修正計算間隔
Maximum iterations Error
數量減少

課後練習影響範圍輸出



報告完畢 敬請指教

SWCB 守護大地一甲子 - SINCE 1961 -

行政院農業委員會水土保持局 與您一起打拼

堰塞湖潰決快速評估專題講座

堰塞湖潰壩模擬專案(HEC-RAS 2D)

水土保持局 技術研究發展小組
長榮大學土地管理與開發學系

林家興 博士　施佩昱 助理研究員

110年8月27日

課前教材資料下載

教材資料夾名稱:1100827HEC-RAS教育訓練教材

掃描Qrcode或點選連結下載教材：https://reurl.cc/a9oKmD

HECRAS連結: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/download.aspx

QGIS連結: https://qgis.org/en/site/forusers/download.html

連結於教育訓練結束**一周後失效**，請學員把握時間下載。

建議透過單一檔案
下載較不會有錯誤

簡報大綱

一、堰塞湖危險性初步評估
- (一) 堰塞湖事件通報處理流程
- (二) 堰塞湖現場調查重點
- (三) 堰塞湖安定性評估

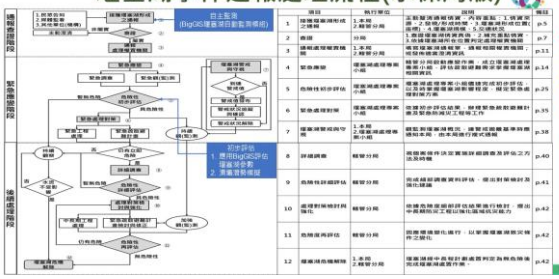
二、堰塞湖潰壩模擬專案
- (一) HEC-RAS案例分享
- (二) HEC-RAS簡介
- (三) HEC-RAS 2D案例實作

三、成果討論

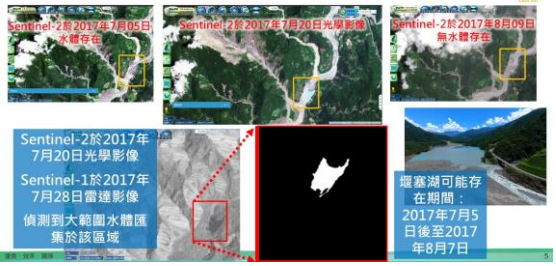
堰塞湖危險性初步評估

堰塞湖事件通報處理流程

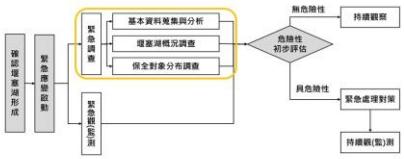
堰塞湖事件通報處理流程(水保局版)



BigGIS堰塞湖自動監測模組-荖濃溪堰塞湖事件



堰塞湖緊急處理作業程序

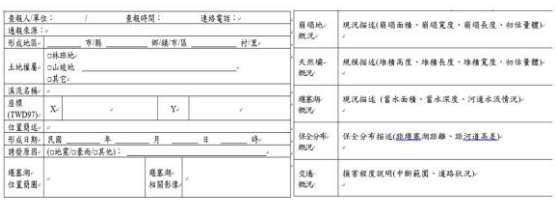


堰塞湖的形成與潰決可能造成其上、下游社區受到災害，因此形成初期必須立即啟動緊急應變作業，進行緊急調查與及緊急觀(監)測工作，以掌握堰塞湖變化，並蒐集堰塞湖危險性初步評估所需之相關基本資料。

堰塞湖危險性初步評估

堰塞湖現場調查重點

堰塞湖天然災害查證表(水保局版)



堰塞湖現勘調查表(水保局版)



堰塞湖調查重點

- 崩塌區初步調查：
  - 包括崩塌地的**地質概況**、崩塌地**面積**、**坡度**、**寬度**、**長度**及**深度**、崩塌土體體積及崩塌地擴大可能性研判等項目。
- 天然壩體堆積區初步調查：
  - 包括天然壩之**壩高**、**壩長**、**壩寬**及上下游坡度、堆積土體之**粒徑**分佈概況、**透水係數**、**溢流口寬度**、**溢流流量**等項目。
- 堰塞湖區初步調查：
  - 包括堰塞湖之水深(現況及最大)、蓄水面積(現況及最大)、蓄水量(現況及最大)、上游入流量、上游集水區面積等項目。

堰塞湖水深估算

- 利用**遙測影像**比對迴水末端高程，或利用現地調查迴水末端與鄰近地形特徵點之相對位置，藉以比對前期地形，可概估為現況水位
- 再以現況水位與天然壩體之前期河道高程之差為估算之堰塞湖水深。



蓄水面積估算

- 現場可利用**蓄水寬**與**迴水長**進行簡易估算，利用遙測影像或以現地調查之特徵點比對繪製堰塞湖蓄水範圍，可與現況水位之評估值互相校正。

簡易估算：蓄水範圍面積≒平均蓄水寬*迴水長度



蓄水量估算

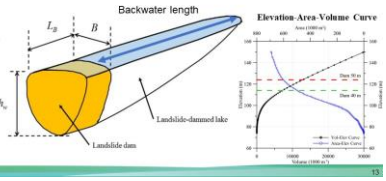
- 現場可利用蓄水寬、迴水長與水深進行簡易估算，或利用河道斷面地形(或DEM)與蓄水位，以斷面法進行蓄水體積計算，並可進一步建立堰塞湖區域之水位-體積關係(H-V 曲線)，供後續評估參考。

簡易體積估算：蓄水面積*水深/2～蓄水面積*水深/3

$$Volume = \int_0^{h_w} A\,dh$$

$$\cong A * \frac{h_w}{2} \sim A * \frac{h_w}{3}$$

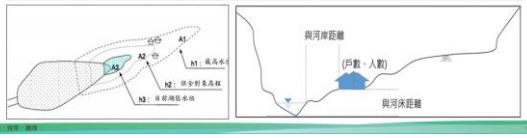
h_w: 水深
B：河寬



保全對象分布調查

- 完成堰塞湖形成位置確認後，即可利用地形圖資判釋堰塞湖**上游迴水淹沒區**及**下游洪水波氾濫區**內之保全社區分布位置及概況。

名稱	戶數及人數	重要構造物	與堰塞湖距離	與河床高差	與河岸距離	是否常有河床活動
範例：XX村	10戶，50人	民生設施、砂防設施	10 km	10 m	5 m	無



大南溪堰塞湖案例



臺東卑南鄉東興村大南溪空拍影像（拍攝時間：2021/2/9，臺東林管處）

BigGIS巨量空間資訊系統

「巨量空間資訊系統」（Big Geospatial Information System，簡稱BigGIS）核心使用完全支援開放源碼之先進技術，針對水土保持局建置與應用巨量空間圖資之特性，以兼具效能、擴充性與一致性之檔案標準化處理技術，將資料整合倉儲於符合國際標準之空間資料庫，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首頁:https://gis.swcb.gov.tw/main/

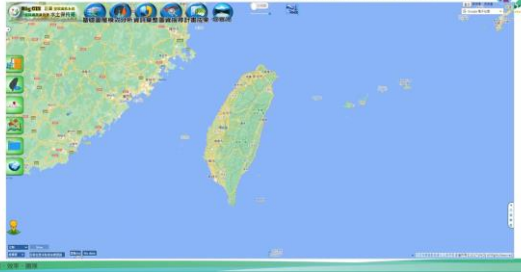
BigGIS平台:https://gis.swcb.gov.tw/

技研小組Youtube操作教學系列:

https://youtube.com/playlist?list=PLQWE...
Y2ncvdFkmc_Dv-06Rj3apY-7FGC5W



應用BigGIS初估天然壩相關數值



BigGIS測得天然壩相關數值

大南溪堰塞湖	2月7日	3月18日
集水區面積A (ha)	1891	1891
迴水長度L (km)	0.57	0.83
蓄水面積A (ha)	3.2	8.4
蓄水體積V (m3)	359,032	1,782,956
壩體高度H (m)	22	49
DBI	3.06	2.72
壩體體積V (m^3)	27,500	61,250
入流量Qin (cms)	35.1	35.1



BigGIS結成方分析工具仿算堰塞湖蓄水面積及蓄水量
(紅色成方：蓄色控方)

	2月7日		3月18日	
設定壩高H(m)	22	49	22	49
潰壩延時(hr)	0.5	1	0.5	1
估算Qp1(cms)	503	678	1002	1350
估算Qp2(cms)	399	200	1981	991

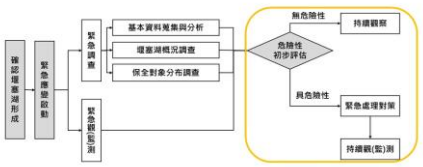
Costa潰壩流量估算式 $Qp = 181\times(V\times h/10^6)^{0.43}$

三角形單位歷線法 $Q_p = \frac{2\times V}{T_c}$

堰塞湖危險性初步評估

堰塞湖安定性評估

堰塞湖緊急處理作業程序



堰塞湖的形成與潰決可能造成其上、下游社區受到災害，因此形成初期必須立即啟動緊急應變作業，進行緊急調查與及緊急觀(監)測工作，以掌握堰塞湖變化，並蒐集堰塞湖危險性初步評估所需之相關基本資料。

應用BigGIS估計相關參數

1. 基礎資料：Sentinel及其他衛星影像、DEM或DSM資料
2. 配合衛星影像、DEM資料推估各時期蓄水面積及蓄水體積
3. 根據影像時間差 (Δt) 推算上游入流量及水位上升速度
4. 根據DBI指標評估各時期壩體穩定性
5. 根據水位上升速度設定潰壩臨界值

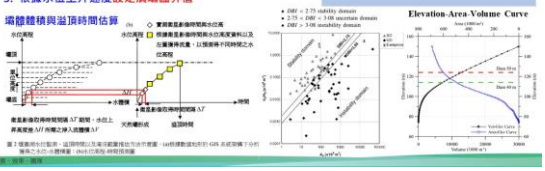
DBI指標-壩體穩定性評估 Emmi & Casagli,2003

$DBI = \log\frac{A\,H}{V}$ 大於3.08為不穩定之天然壩 小於2.75為穩定壩

25%無法確認

A:集水面積 H:壩體高度
V:壩體體積 W:壩體長度(沿河方向)
L:壩體寬度(跨河方向)

壩體體積與溢頂時間估算



壩體穩定性評估

DBI指標-壩體穩定性評估

$DBI = \log\frac{A\,H}{V}$ 大於3.08為不穩定之天然壩 小於2.75為穩定壩

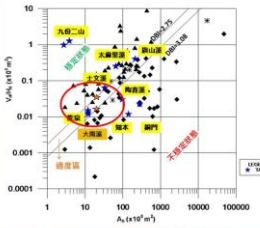
25%無法確認

A:集水面積 H:壩體高度
V:壩體體積 W:壩體長度(沿河方向)
L:壩體寬度(跨河方向)

大南溪堰塞湖	2月7日	3月18日
迴水長度(km)	0.57	0.83
蓄水面積(ha)	3.2	8.4
蓄水體積(m^3)	359,032	1,782,956
壩體高度(m)	22	49
DBI	3.06	2.72

$A_b = 18.9*10^6$; $V_r/H_r = 0.016*10^6$; $V_r/H_r = 0.036*10^6$;

大南溪集水區面積A：1891 (ha)
壩體參數：L25 * H20 * W50 (m)



保全對象安全性初步評估

- 上游入流量推估

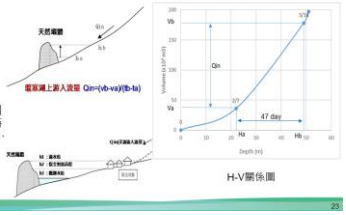
藉由不同時間(ta, tb)之堰塞湖水位高程(ha, hb)，利用H-V曲線查詢對應之蓄水量(Va, Vb)，利用下式即可估算上游入流量。

假設在無降雨、溢流或滲流情形下

$Q_{in} = (V_b - V_a)/(t_b - t_a)$

$Q_{in} = (1,782,956-359,032)/[(47-0)*24*3600] = 35.1$ cms

當已有溢流或滲流情形發生，則需配合下游流量站資料檢核



H-V關係圖

- 上游迴水淹沒時間預測

利用H-V關係圖，計算上游入流量(Qin)因蓄水位上升造成上游保全對象淹沒所需時間(t_{flood})，作為上游疏散避難等計畫參考，亦可推估天然壩溢流時間。

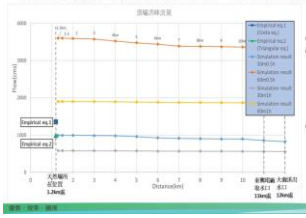
$t_{flood} = V_{flood} / Q_{in}$

$t_{flood} = (1782956 / 35) / 3600 = 14.15$ hr

保全對象安全性初步評估

- 潰壩洪峰流量推估 (經驗公式)

堰塞湖形成初期，因現場調查資料有限，可先經驗公式推估潰壩洪峰流量，並探討下游河段通洪能力。



Costa潰壩流量估算式 $Qp = 181\times(V\times h/10^6)^{0.43}$

$= 181\times(359032\times 22/10^6)^{0.43}$

$= 503$ cms

三角形單位歷線法 $Q_p = \frac{2\times V}{T_c} = \frac{2\times 359032}{0.5\times 3600}$

$= 399$ cms

$Qp = 181\times(V\times h/10^6)^{0.43}$

$= 181\times(1782956\times 49/10^6)^{0.43}$

$= 1237$ cms

$Q_p = \frac{2\times V}{T_c} = \frac{2\times 1782956}{0.5\times 3600}$

$= 1981$ cms

保全對象安全性初步評估

- 通洪能力檢討

藉由經驗式估算之潰壩洪峰流量，推估下游保全對象所在位置之水位抬升量，並配合地型資料評估潰壩水位抬升量對於保全對象之安全是否造成影響。

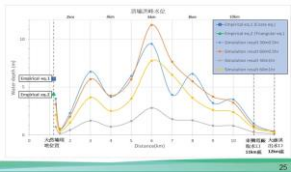
$\Delta h = \frac{Q_p}{B\times V}$

$\Delta h = \frac{Q_p}{B\times V} = \frac{503}{39\times 5} = 2.6$ (m)

$\Delta h = \frac{Q_p}{B\times V} = \frac{1237}{39\times 5} = 6.3$ (m)

編號	保全對象	潰壩洪峰流量(cms)	河道寬度(m)	流速(m/s)	水位抬升量(m)	現況水深(m)	潰壩洪峰抬升(m)	保全對象高度(m)	現況河床高(m)	檢討結果

通洪能力檢核表



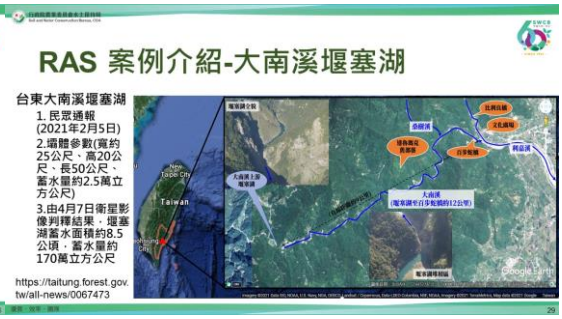
堰塞湖潰壩潛勢模擬

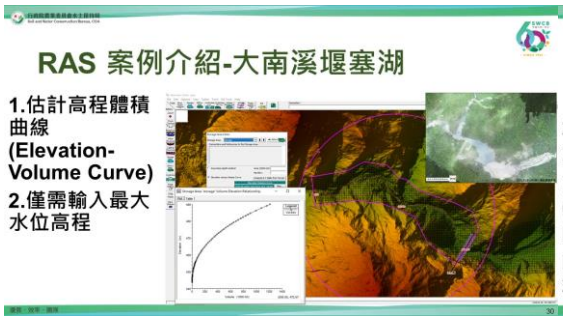


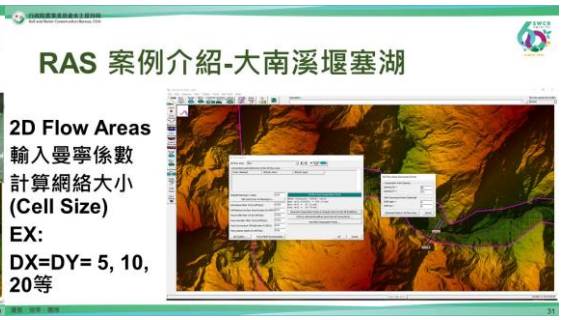
堰塞湖調查、評估與模擬合作事項

1. BigGIS堰塞湖自動監測模組，可初步提供疑似發生處
2. 應用BigGIS評估堰塞湖危險性
3. 堰塞湖潰壩模擬分析：
   1) 提供初步上游迴水及下游潛勢影響範圍
   2) 提供潛勢受影響建物區位
   3) 潰決流量危險度評估

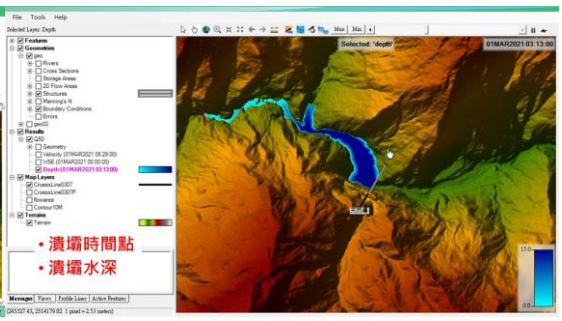

堰塞湖潰壩模擬專案
HEC-RAS案例分享

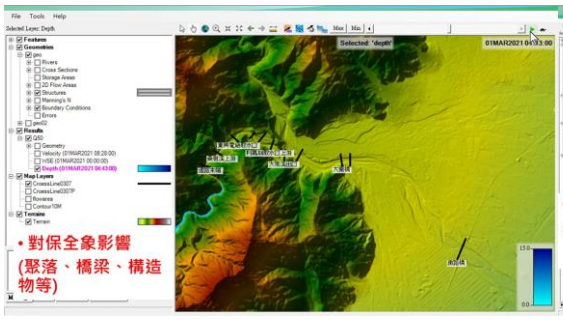

RAS 案例介紹-大南溪堰塞湖
台東大南溪堰塞湖
1. 民眾通報(2021年2月5日)
2.壩體參數(寬約25公尺、高20公尺、長50公尺、蓄水量約2.5萬立方公尺)
3.由4月7日衛星影像判釋結果，堰塞湖蓄水面積約8.5公頃，蓄水量約170萬立方公尺
https://taitung.forest.gov.tw/all-news/0067473

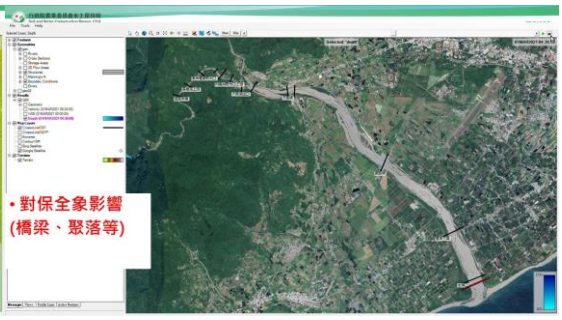

RAS 案例介紹-大南溪堰塞湖
1.估計高程體積曲線(Elevation-Volume Curve)
2.僅需輸入最大水位高程


RAS 案例介紹-大南溪堰塞湖
2D Flow Areas
輸入曼寧係數
計算網絡大小(Cell Size)
EX:
DX=DY= 5, 10, 20等

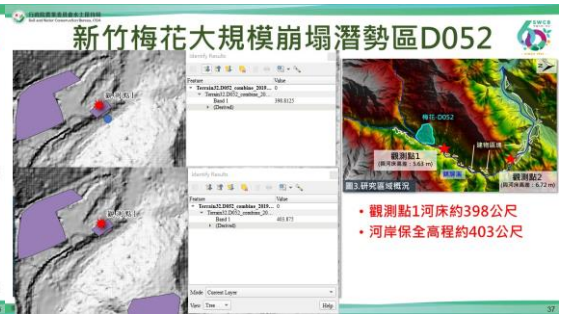

RAS 案例介紹-大南溪堰塞湖
Connection Data
1. 設定天然壩位置及幾何參數
2. 設定潰壩模組
潰壩延時、潰壞模式、潰壞深度


• 潰壩時間點
• 潰壩水深

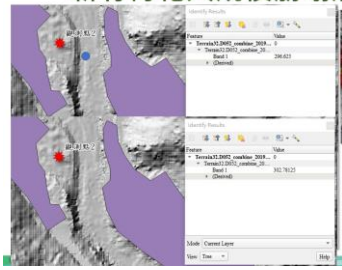

• 對保全象影響(聚落、橋梁、構造物等)


• 對保全象影響(橋梁、聚落等)


新竹梅花大規模崩塌潛勢區D052
• 判斷阻斷河道
• 形成堰塞湖型
• 最大堆積壩高29.5公尺
• 最大壩體長度1482.7公尺


新竹梅花大規模崩塌潛勢區D052
• 觀測點1河床約398公尺
• 河岸保全高程約403公尺

新竹梅花大規模崩塌潛勢區D052



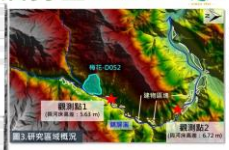
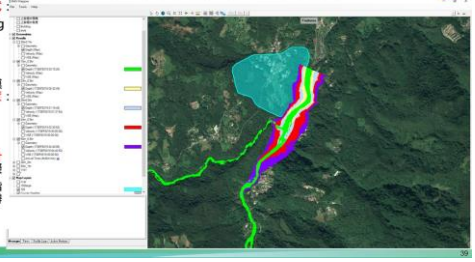


圖3.研究區域概況

- 觀測點2河床約296公尺
- 河岸保全高程約302公尺

設定多種情境模擬不同成果

- 設定潰壩模式
  - Overtopping failure
  - Pipping failure
- 設定不同規模天然壩體高度 10m~50m
- 潰壩延時：10分~60分
- 組合不同設計流量情境模擬
- 透過顏色與階層調整輔助辨識



設定多種情境模擬不同成果



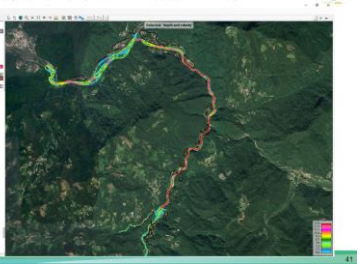
NO	潰壩參數 模擬壩高(m)	潰壩延時(hr)	下游洪水影響建物數量	觀測點1 洪水到達時間(min)	淹水深度(m)	最快流速(m/s)	觀測點2 洪水到達時間(min)	淹水深度(m)	最快流速(m/s)
1	50	0.5	93	10	5.2	9.6	23	3.2	6.6
2	40	0.5	65	17	3.1	6.4	30	1.6	3.4
3	30	0.5	34	20	1.6	3.8	32	0.2	0.9
4	30	0.1	60	12	4.5	8.7	18	2.2	4.5
5	30	1	14	33	0.4	2.1	-	-	-

- 利用不同壩高及潰壩延時比較
  - 流速、水深、到達時間
- 影響範圍圖 (Inundation Boundary)
- 建物區塊圖 (由衛星影像圈繪或國土測繪中心資料)
- 後續利用不同重現期流量檢視潰壩洪水衝擊

洪水波衝擊評估危險區域

洪水波衝擊評估：
水深及流速



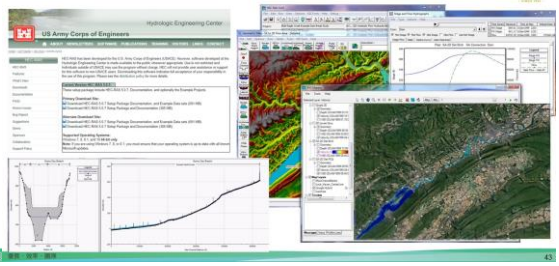


堰塞湖潰壩模擬專案

HEC-RAS簡介

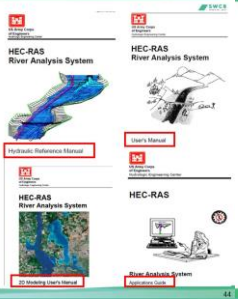
HEC-RAS 簡介

點我連結



HEC-RAS Overview

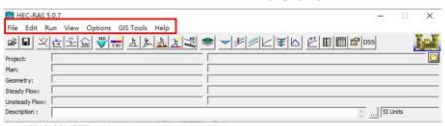
- 使用者手冊 User's Manual
  - 介面操作說明
- 水理參考手冊 Hydraulic Reference Manual
  - 基本理論
  - 基本資料、
  - 結構物、
  - 參數建議值.....等
- 應用手冊 Applications Guide
  - 包含多個1、2維範例檔



HEC-RAS 潰壩模式使用手冊



HEC-RAS 介面



- 檔案管理區 File management (File)
- 資料編輯區 Data entry and editing (Edit)
- 模擬演算區 River analyses (Run)
- 結果檢示區 Tabulation and graphical displays of input and output data (View)
- 程式單位設定區 (Options)
- 地理資料工具區 (GIS Tools)(RAS Mapper)
- 手冊輔助區(Help)

HEC-RAS 主程式視窗

- 檔案管理區 (File)



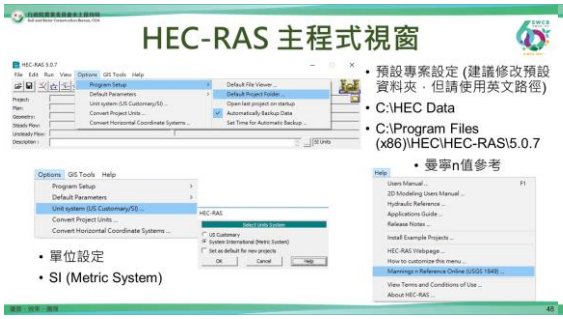
- 模擬演算區 (Run)



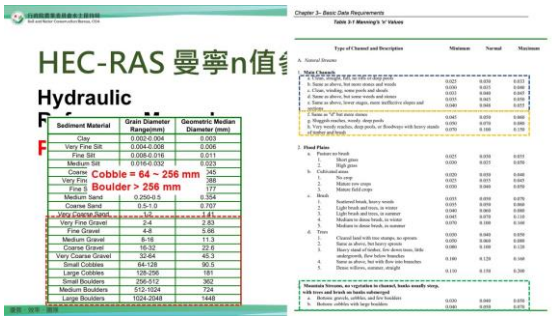
- 結果檢示區 (View)



- 地理資料工具區 (GIS Tools)
- RAS前及後處理作業介面
- 手冊輔助區(Help)
- 資料編輯區 (Edit)
- 程式單位設定區 (Options)


HEC-RAS 主程式視窗
• 預設專案設定 (建議修改預設資料夾，但請使用英文路徑)
• C:\HEC Data
• C:\Program Files (x86)\HEC\HEC-RAS\5.0.7
• 曼寧n值參考
• 單位設定
• SI (Metric System)


HEC-RAS 曼寧n值參考設定
https://wwwrcamnl.wr.usgs.gov/sws/fieldmethods/Indirects/nvalues/index.htm

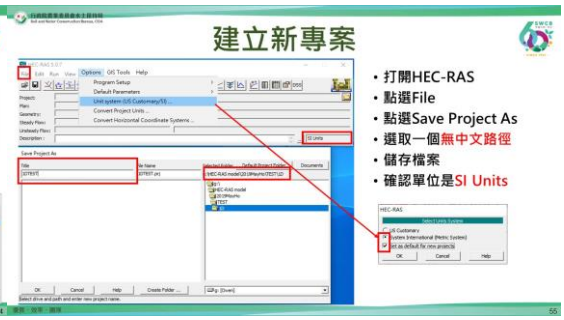

HEC-RAS 曼寧n值
Hydraulic
Cobble = 64 ~ 256 mm
Boulder > 256 mm


HEC-RAS 曼寧n值
B及C屬於人工渠道


堰塞湖潰壩模擬專案
HEC-RAS 2D案例實作
台東大南溪堰塞湖

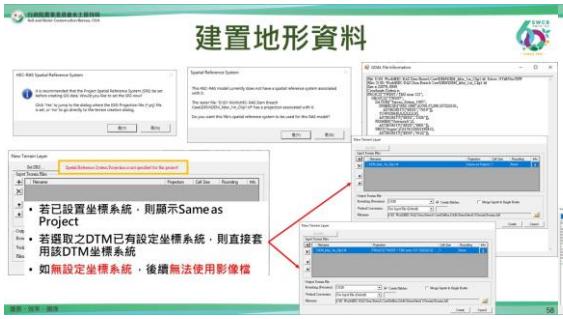

HEC-RAS 專案檔
• 5個步驟建置專案檔:
• 開啟新專案檔
• 輸入地形資料
• 輸入水文及邊界條件
• 執行水理演算
• 檢視結果
建議用在全英文目錄底下
可儲存在任意資料夾或是預設資料夾
在輸入任何資料前，請確認單位是否為SI Units System

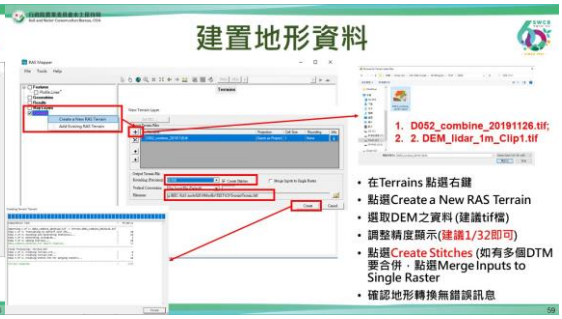

HEC-RAS 專案檔
如預設資料夾路徑失效，由Options手動建立
建議選擇之資料夾在全英文路徑下

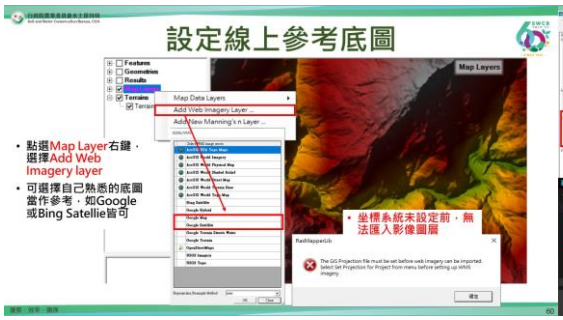

建立新專案
• 打開HEC-RAS
• 點選File
• 點選Save Project As
• 選取一個無中文路徑
• 儲存檔案
• 確認單位是SI Units

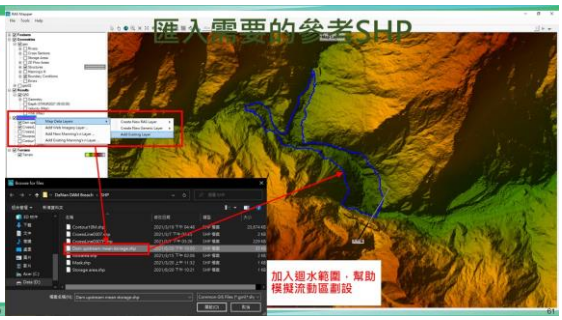

設定專案參考座標
• 開啟RAS Mapper
• 點選上方工作區列表Tools，並點選Set Projection...設定參考坐標格式
• 選取TWD 1997 TM Taiwan


建置地形資料
• 在Terrains 點選右鍵
• 點選Create a New RAS Terrain
• 如未建設專案檔則會出現錯誤
• 請先建立專案檔

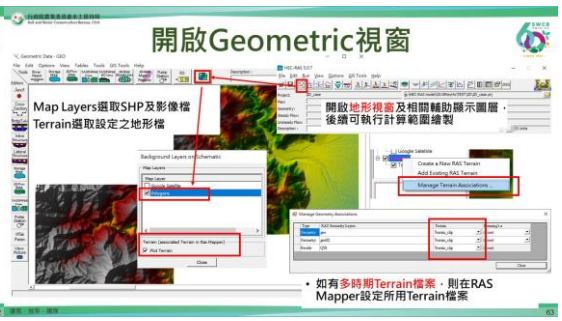

建置地形資料
• 若已設置坐標系統，則顯示Same as Project
• 若選取之DTM已有設定坐標系統，則直接套用該DTM坐標系統
• 如無設定坐標系統，後續無法使用影像檔

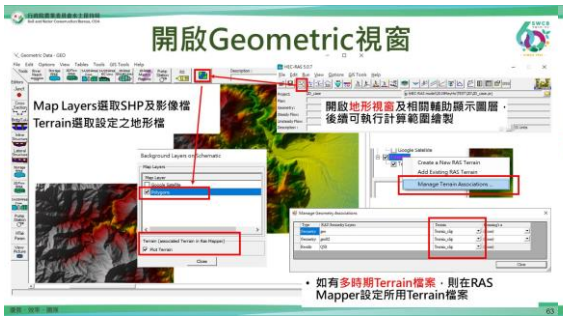

建置地形資料
1. D052_combine_20191126.tif;
2. 2. DEM_lidar_1m_Clip1.tif
• 在Terrains 點選右鍵
• 點選Create a New RAS Terrain
• 選取DEM之資料 (建議tif檔)
• 調整精度顯示(建議1/32即可)
• 點選Create Stitches (如有多個DTM要合併，點選Merge Inputs to Single Raster
• 確認地形轉換無錯誤訊息


設定線上參考底圖
• 點選Map Layer右鍵，選擇Add Web Imagery layer
• 可選擇自己熟悉的底圖當作參考，如Google或Bing Satellie皆可
• 坐標系統未設定前，無法匯入影像圖層


匯入需要的參考SHP
加入集水範圍，幫助模擬流動區劃設


調整SHP顯示的顏色、透明度
• 可自行調整圖層的顏色、線條、透明度、輔助繪製及判釋


開啟Geometric視窗
Map Layers選取SHP及影像檔
Terrain選取設定之地形檔
開啟地形視窗及相關輔助顯示圖層，後續可執行計算範圍繪製
• 如有多時期Terrain檔案，則在RAS Mapper設定所用Terrain檔案

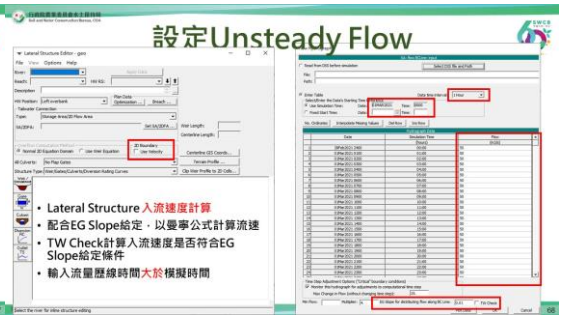

開啟Geometric視窗
Map Layers選取SHP及影像檔
Terrain選取設定之地形檔
開啟地形視窗及相關輔助顯示圖層，後續可執行計算範圍繪製
• 如有多時期Terrain檔案，則在RAS Mapper設定所用Terrain檔案


繪製2D模擬區域
• 點選2D Flow Area
• 沿著河岸將模擬區域圈繪起來
• 可透過右鍵及滾輪輔助移動與縮放畫面
• 圈繪完整連點畫面2下並命名


編輯2D模擬區域參數
• 設定曼寧n值參考現地篩分析資料
• 參考手冊各種地形建議值
1. 點擊2D模擬區域
2. 選擇Edit 2D Flow Area
3. 設定曼寧n值與產製模擬網格
4. 初步設定20m*20m
5. 依照需求調整網格粗細
6. 記得存檔

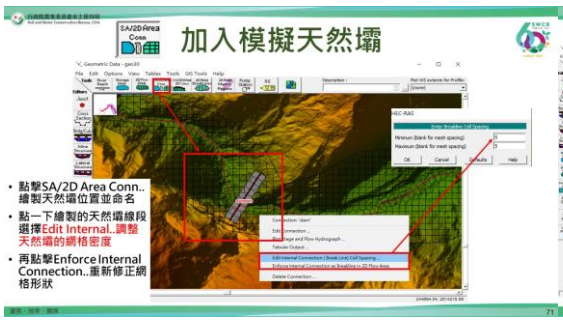

繪製邊界條件線段
1. 點選SA/2D Area BC Lines
2. 數繪方向以面向下游，由左岸至右岸
3. 於上下游邊界”外”繪製邊界線
4. 完成後點擊2下並命名

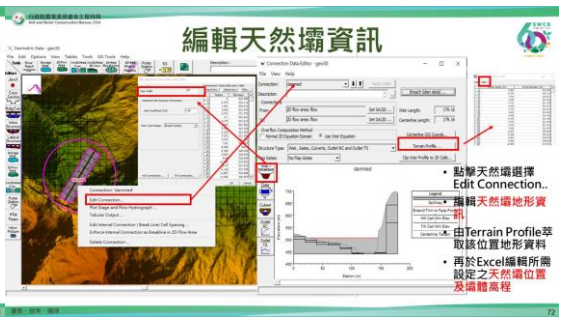

設定Unsteady Flow
• 點擊Unsteady Flow 編輯功能
• 分別將上游及下游邊界條件對應到Flow Hydrograph與Normal Depth
• 設定完參數存檔
• 上游流量設定
• 入流能量坡降設定(計算入流速度使用)
• 可調時間間隔與日期
• 下游邊界設定正常水深
• 利用下游地形高程或等高線來計算

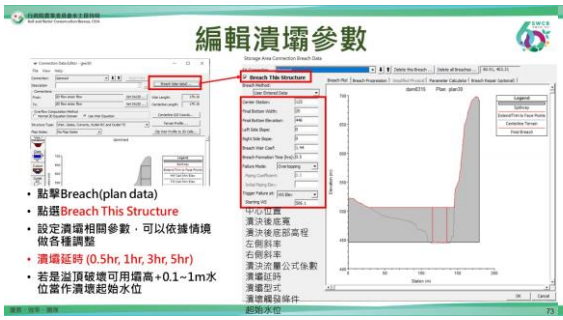

設定Unsteady Flow
• Lateral Structure 入流速度計算
• 配合EG Slope給定，以曼寧公式計算流速
• TW Check計算入流速度是否符合EG Slope給定條件
• 輸入流量歷線時間大於模擬時間


繪製2DArea BreakLines線段
1. 點選2D Area BreakLines
2. 建議於深槽處繪製
3. 其他如主支流交匯處、高低差大處、河階地形處、構造物處等
4. 由上游往下游方向數化


繪製2DArea BreakLines線段
1. 點選2D Area BreakLines
2. 建議於深槽處繪製
3. 其他如主支流交匯處、高低差大處、河階地形處、構造物處等
4. 點選Enforce Breakline in 2D Flow Area以建製較細緻化地形


加入模擬天然壩
• 點擊SA/2D Area Conn.. 繪製天然壩位置並命名
• 點一下繪製的天然壩線段選擇Edit Internal..調整天然壩的網格密度
• 再點擊Enforce Internal Connection..重新修正網格形狀


編輯天然壩資訊
• 點擊天然壩選擇Edit Connection..
• 編輯天然壩地形資訊
• 由Terrain Profile萃取該位置地形資料
• 再於Excel編輯所需設定之天然壩位置及壩體高程


編輯潰壩參數
• 點擊Breach(plan data)
• 點選Breach This Structure
• 設定潰壩相關參數，可以依據情境做各種調整
• 潰壩延時 (0.5hr, 1hr, 3hr, 5hr)
• 若是溢頂破壞可用壩高+0.1~1m水位當作潰壩起始水位

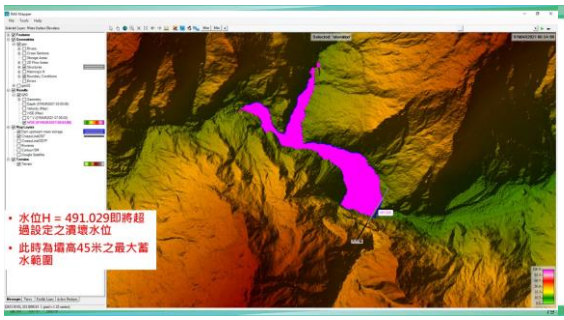

編輯潰壩參數
• 針對潰壩過程(設定時間比例與潰壩比例)，請先點選Breach Progression
• HEC-RAS提供 Linear 及 Sine Wave 兩種型式 (預設為線性)
• 若有實際潰壩過程記錄可以自行修改線性資訊
• 若沒有可以點選Sine Wave潰壩過程設定
• 完成後點擊OK


設定變量流分析
• 開啟Unsteady Flow Analysis視窗
• 點擊File儲存模擬Plan
• 依照右邊範例勾選及調整模擬參數
• 注意模擬時間不能設定超過流量邊界之時間總長
• computation Interval可以根據模擬情境調整
• 潰壩運算基本上建議Delta T設定小於10秒進行模擬
• 設定完成後按Compute執行第一次模擬運算
• 檢查目前設定是否能正常運算
• 藍色進度條代表運算過程正常
• 下方也能檢視錯誤訊息或運算結果

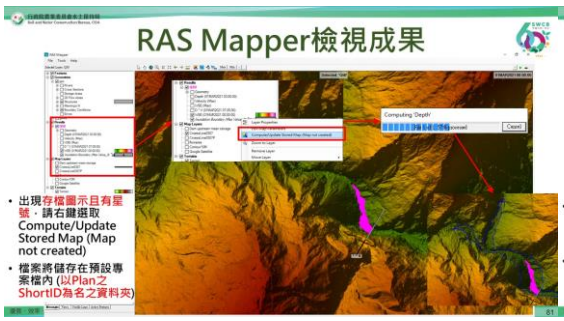

修正地形錯誤
• 設定天然壩地形需高於河道
錯誤之位置及高程

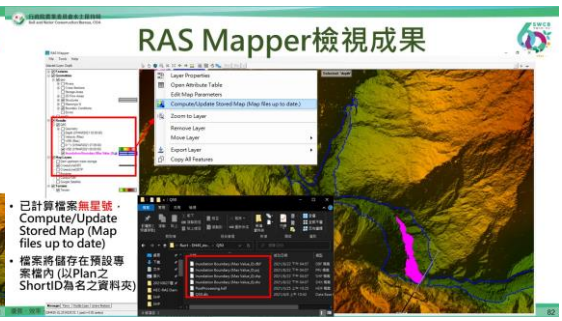

重新執行運算
此範例Mapping Output Interval輸出30秒，因此檔案存取容量約1.42G，看個人需求設定所需的輸出間隔，亦會造成演算時間較久，此範例約50分鐘。
• 確認有完成漫堤設定資訊 (SA Connection Breach)
• 若誤差非地形或堤體參數設定問題，可調整computation Interval再進行運算
• 漫堤運算基本上建議Delta T設定小於10秒

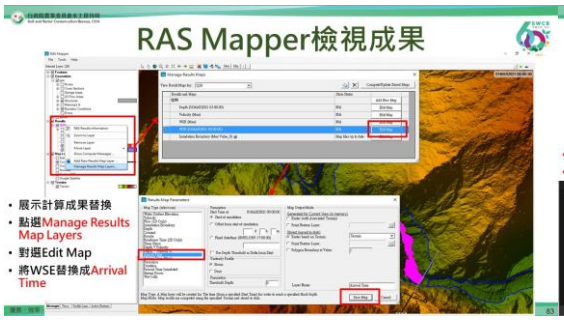

RAS Mapper檢視成果
• 點擊Result中的Plan成果可以觀看流速、水深等水理成果，進行後續評估

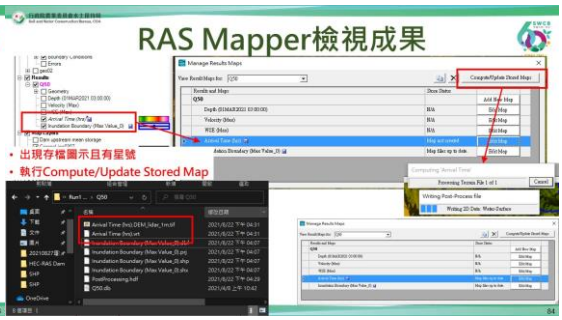

• 水位H = 491.029即將超過設定之漫堤水位
• 此時為堤高45米之最大蓄水範圍


RAS Mapper檢視成果
• Add New Results Map Layer
• 選擇欲展示輸出之模擬結果
匯出結果至GIS用分為tif檔及SHP檔
可配合不同時間點及最大最小值輸出

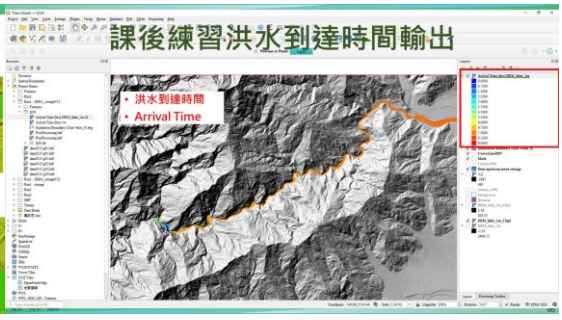

RAS Mapper檢視成果
• 出現存檔圖示且有星號，請右鍵選取Compute/Update Stored Map (Map not created)
• 檔案將儲存在預設專案檔內 (以Plan之ShortID為名之資料夾)

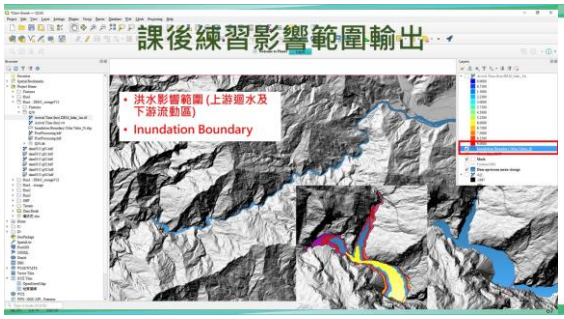

RAS Mapper檢視成果
• 已計算檔案無星號，Compute/Update Stored Map (Map files up to date)
• 檔案將儲存在預設專案檔內 (以Plan之ShortID為名之資料夾)

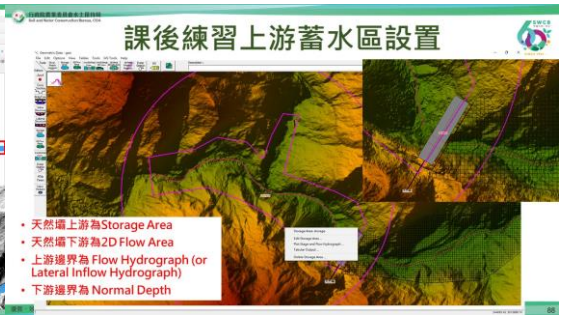

RAS Mapper檢視成果
• 展示計算成果替換
• 點選Manage Results Map Layers
• 對選Edit Map
• 將WSE替換成Arrival Time


RAS Mapper檢視成果
• 出現存檔圖示且有星號
• 執行Compute/Update Stored Map


RAS Mapper檢視成果
T = 6.75 hr
T = 7.6167 hr
T = 7.7667 hr
• 協測量測不同位置洪水到達時間
T = 1.1 hr
T = 7.675 hr
T = 8.0792 hr

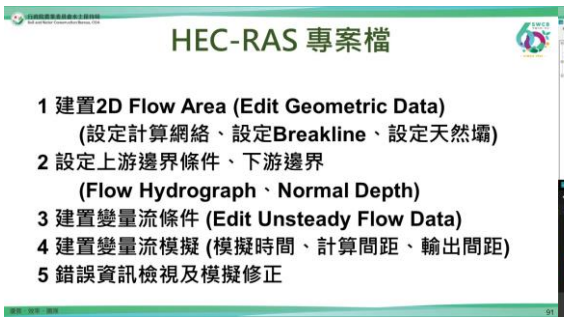

課後練習洪水到達時間輸出
• 洪水到達時間
• Arrival Time

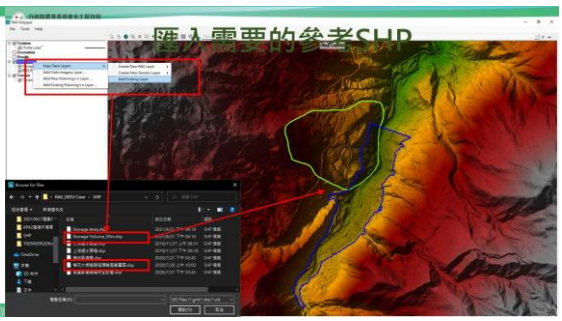

課後練習影響範圍輸出
• 洪水影響範圍 (上游淵水及下游流動區)
• Inundation Boundary

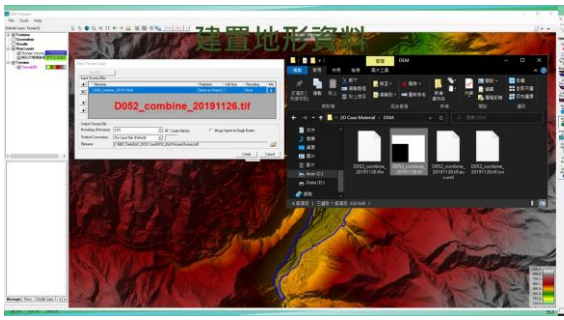

課後練習上游蓄水區設置
• 天然壩上游為Storage Area
• 天然壩下游為2D Flow Area
• 上游邊界為 Flow Hydrograph (or Lateral Inflow Hydrograph)
• 下游邊界為 Normal Depth


堰塞湖潰壩模擬專案
HEC-RAS 2D案例實作
新竹梅花大規模崩塌

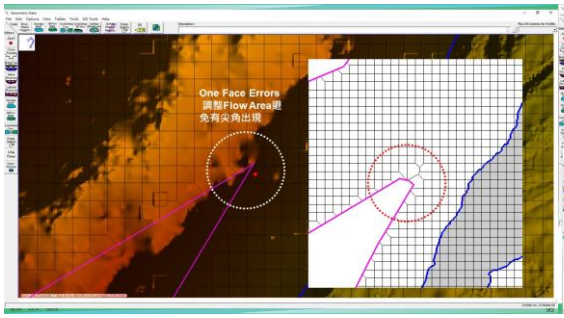

HEC-RAS 專案檔
• 5個步驟建置專案檔:
• 開啟新專案檔
• 輸入地形資料
• 輸入水文及邊界條件
• 執行水理演算
• 檢視結果
建議用在全英文目錄底下
可儲存在任意資料夾或是預設資料夾
在輸入任河資料前，請確認單位是否為SI Units System

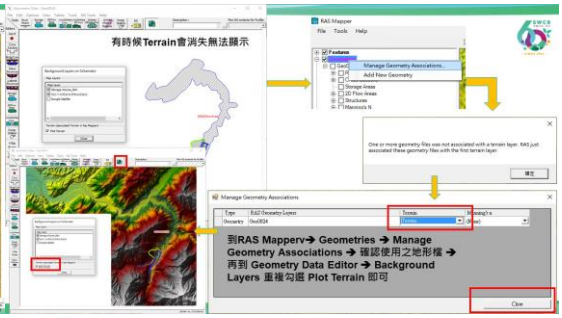

HEC-RAS 專案檔
1 建置2D Flow Area (Edit Geometric Data)
(設定計算網絡、設定Breakline、設定天然壩)
2 設定上游邊界條件、下游邊界
(Flow Hydrograph、Normal Depth)
3 建置變量流條件 (Edit Unsteady Flow Data)
4 建置變量流模擬 (模擬時間、計算間距、輸出間距)
5 錯誤資訊檢視及模擬修正

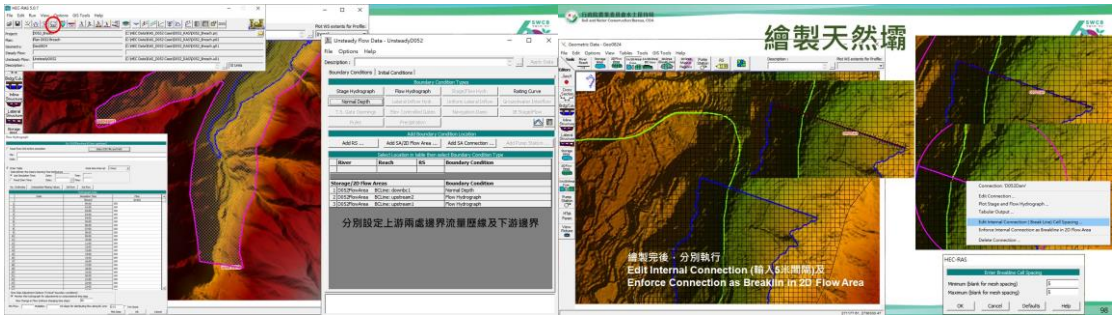

匯入需要的參考SHP


建置地形資料
D052_combine_20191126.tif


繪製流動模擬區，
初步網格間距設置
為DX = DY = 10

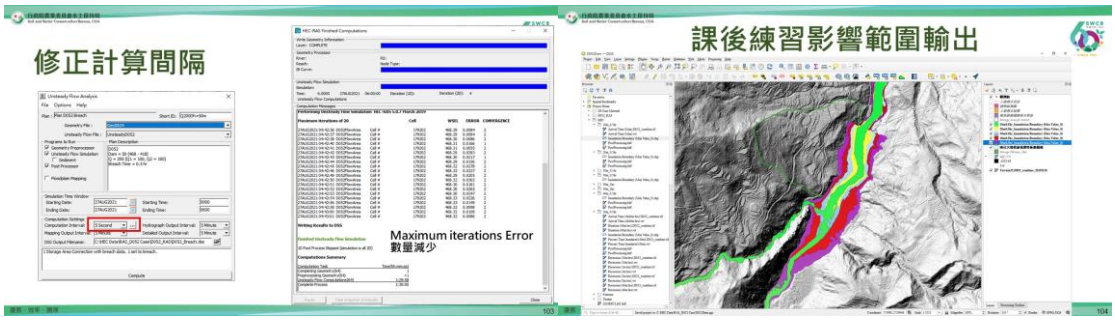

One Face Errors
調整Flow Area避
免有尖角出現


有時候Terrain會消失無法顯示
到RAS Mapperv➔ Geometries ➔ Manage Geometry Associations ➔ 確認使用之地形檔 ➔ 再到 Geometry Data Editor ➔ Background Layers 重複勾選 Plot Terrain 即可


分別設定上游兩處邊界流量歷線及下游邊界
繪製天然壩
繪製完後，分別執行
Edit Internal Connection (輸入5米間隔)及
Enforce Connection as Breakin in 2D Flow Area


天然壩地形參數
利用 Terrain Profile 資料，配合 Excel 進行編輯，
此範例壩高設定50公尺，即地表高程設定468公尺
編輯潰壩參數
• 點擊Breach(plan data)
• 點選Breach This Structure
• 設定潰壩底部 418 m、底寬 30 m、左右岸坡度比 1
• 潰壩延時 0.5 hr、潰壩模式 Overtopping、啟動水位 468.5 m
• 潰壩過程設定Sine Wave


設定變量流分析
The SA 2D Connection at D052Dam
修正錯誤位置及高程
修正計算間隔
• Maximum iterations Error
• 調整 Computation Interval
• 建議Delta T設定小於10秒，此案例需比10秒小


修正計算間隔
Maximum iterations Error
數量減少
課後練習影響範圍輸出


SWCB
守護大地一甲子
- SINCE 1961 -
報告完畢
敬請指教
行政院農業委員會水土保持局
與您一起打拼

附錄三 研究成果發表

社團法人中華水土保持學會 11 年度年會議程

社團法人中華水土保持學會 110 年度年會議程

時間： 110 年 12 月 4 日(星期六)

地點： 國立中興大學水土保持學系一館階梯教室

主辦單位： 社團法人中華水土保持學會

協辦單位： 行政院農業委員會水土保持局、臺北市政府工務局大地工程處、經濟部中央地質調查所、國立中興大學水土保持學系、國立屏東科技大學水土保持系、逢甲大學地理資訊系統研究中心、逢甲大學營建及防災研究中心、臺灣省水土保持技師公會、臺北市水土保持技師公會、中華民國水土保持技師公會全國聯合會、新北市水土保持技師公會、臺中市水土保持技師公會、高雄市水土保持技師公會、中興工程顧問社

<table>
<tr><th>時間</th><th colspan="3">議題</th><th>主講人</th><th>主持人</th></tr>
<tr><td>09：00–09：30</td><td colspan="5">報到及分發資料</td></tr>
<tr><td>09：30–09：40</td><td colspan="3">開幕</td><td colspan="2">社團法人中華水土保持學會周天穎理事長</td></tr>
<tr><td>09：40–10：00</td><td colspan="3">110 年度獎勵活動頒獎</td><td colspan="2">周天穎理事長</td></tr>
<tr><td>10：00–10：10</td><td colspan="3">會務報告與討論</td><td colspan="2">許中立常務監事</td></tr>
<tr><td>10：10–10：30</td><td colspan="5">茶敘/交流</td></tr>
<tr><td>10：30–11：20</td><td colspan="3">邀請演講：中興大學水土保持學系林德貴主任
演講題目：數值分析的歲月
Those Years in Numerical Analysis</td><td colspan="2">周天穎理事長</td></tr>
<tr><td>11：20–11：45</td><td colspan="3">事業獎得獎人：水保局花蓮分局陳淑媛分局長
演講題目：水保人 40 年衆心路歷程分享</td><td colspan="2">李鎮洋局長</td></tr>
<tr><td>11：45–12：10</td><td colspan="3">學術獎得獎人：中興大學水保系張光宗教授
演講題目：岩坡的變形、崩塌與預警</td><td colspan="2">林德貴系主任</td></tr>
<tr><td>12：10–13：00</td><td colspan="5">午餐/理監事選舉開票</td></tr>
<tr><td rowspan="3">13：00–14：50</td><td colspan="5">水土保持研討會(含 110 年度論文獎宣讀)</td></tr>
<tr><td>論文宣讀(一)
水土保持學系
一館一樓
階梯教室</td><td>論文宣讀(二)
水土保持學系
二館一樓
大二教室</td><td>論文宣讀(三)
水土保持學系
二館一樓
大三教室</td><td>論文宣讀(四)
水土保持學系
土石流防災中心</td><td>學生論文競賽
水土保持學系
二館一樓
大四教室</td></tr>
<tr><td>屏東科技大學
水土保持系
江介倫 主任</td><td>逢甲大學
水利工程學系
吳俊鋐副教授</td><td>中華民國水土
保持技師公會
全國聯合會
郭玉麟理事長</td><td>台灣省水土保持
技師公會
王冬成常務理事</td><td>宋國彰副教授
李明熹副教授
吳俊鋐助理教授
蔡易達經理</td></tr>
<tr><td>14：50–15：10</td><td colspan="5">茶敘/交流</td></tr>
<tr><td rowspan="2">15：10–17：00</td><td>論文宣讀(五)
水土保持學系
一館一樓
階梯教室</td><td>論文宣讀(六)
水土保持學系
二館一樓
大二教室</td><td>論文宣讀(七)
水土保持學系
二館一樓
大三教室</td><td>論文宣讀(八)
水土保持學系
土石流防災中心</td><td></td></tr>
<tr><td>台北市水土保
持技師公會
鄧鳳儀理事長</td><td>新北市水土保
持技師公會
葉宥松理事長</td><td>台中市水土保
持技師公會
謝俊賢理事長</td><td>高雄市水土保持
技師公會
張萬方理事長</td><td></td></tr>
<tr><td>17：00–17：05</td><td colspan="3">頒獎</td><td colspan="2">許常務監事中立</td></tr>
<tr><td>17：05–17：20</td><td colspan="3">撰彩</td><td colspan="2">王監事德鏞、黃技師志彰</td></tr>
<tr><td>17：20–17：30</td><td colspan="3">閉幕式</td><td colspan="2">許常務監事中立</td></tr>
</table>

集水區地文參數判釋及驗證—以玉穗溪為例

陳昭岑[1] [2]* 陳振宇[1] 高百毅[1]

摘　要　土砂災害與其集水區面積、地形坡度、坡向、形狀係數、地質環境等地文因子息息相關，然多數分析所得之地文參數，缺乏對於災害類型之鑑別性。2021 年 8 月，盧碧颱風外圍環流侵台所帶來之強降雨，使座落於玉穗溪及荖濃溪匯流口之明霸克露橋，遭受夾帶大量土砂的溪水沖毀。本研究以玉穗溪為例，運用集水區險峻值(Melton's ratio)探討玉穗溪之可能致災類型，並透過空拍影像檢核地文參數判釋之成果。結果顯示，玉穗溪為高含砂水流及土石流同時並存之災害類型，而集水區險峻值可用於探討集水區尺度之潛在災害類型判定。

關鍵詞：集水區險峻值、玉穗溪、地文參數

Interpretation and Verification of Morphometric Parameters in the Watershed Scale-The analysis of the watersheds in Yusui River

Chao-Tsen Chen [1][2]* Chen-Yu Chen [1] Bai-Yi Kao[1]

ABSTRACT Sediment disasters are closely concerned with geological factors such as watershed, terrain slope, aspect, form factor, and geological environment. However, most of the morphometric parameters obtained by analysis lack the discrimination of disaster types. In August 2021, the heavy rainfall caused by the intrusion of the peripheral circulation of Typhoon Lupit caused the Minbaklu Bridge at the confluence of Yusui River and Laonong River to be washed away by water from a large amount of sediment. This study takes the Yusui River as an example. Using Melton's ratio discusses the possible disaster-causing types of Yusui River and the results of the morphometric parameter evaluation through aerial photography. The result showed that Yusui River is a disaster type in which hyperconcentrated flow and debris flow coexist at the same time. Melton's ratio can be used to determine the type of potential disasters at the watershed scale.

Key Words: Melton's ratio, Yusui River, Morphometric Parameters

[1] 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組
Research and Technology Development Team, Soil & Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan
[2] 財團法人農業科技研究院農業政策研究中心
Research Assistant, Agricultural Policy Research Center, Agricultural Technology Research Institute, Taiwan
* Corresponding Author. E-mail: wji4ac6@mail.swcb.gov.tw

利用 EAR 探討台灣近年因降雨誘發之土砂災害趨勢

莊承穎[1][2]* 林詠喬[1][2] 陳振宇[1] 陳均維[1] 詹婉妤[1]

摘　要　臺灣近年來極端氣候事件發生的次數與強度日漸增加，劇烈降雨常伴隨崩塌、土石流、地滑等土砂災害及水患，造成民眾傷亡及經濟損失。本研究以 QPE 網格式雷達降雨估計資料取代地面自動雨量站，計算有效累積雨量(Effective Accumulated Rainfall, *EAR*)，並用以呈現 2006 至 2020 年全臺極端降雨分布情形，同時蒐集歷年降雨引致的重大土砂災例共 494 件，配合災例發生的時間與空間特徵來分析臺灣土砂災害變遷趨勢。整體而言，崩塌所佔災害比例最高(46%)，其次為土石流(27%)，並有 60%的災例發生於夜間。透過觀察 *EAR* 與災例之關聯性，當 *EAR* 達現行土石流警戒基準值最高範圍 650 mm 時，已有 74.0%重大土砂災例發生。本研究綜整全臺 2006 年至 2020 年降雨致災的土砂災害，其結果將可供未來防災策略研擬時參考。

關鍵詞：降雨致災、土砂災害、降雨特性、QPE。

The trend of sediment-related disasters triggered by rainfall in Taiwan recent years using EAR

Cheng-Ying Chuang[1][2]* Yung-Chiau Lin[1][2] Chen-Yu Chen[1] Jyun-Wei Chen[1] Wan-Yu Chan[1]

Abstract　In recent years, the frequency and intensity of extreme weather events and the sediment-related disasters have been increasing in Taiwan. Extreme rainfall is often accompanied by sediment-related disasters such as slope failure, debris flows, landslides and floods, causing severe casualties and economic losses. In this study, the QPE radar rainfall estimation data was used to replace the ground automatic rainfall station, and the *EAR* (Effective Accumulated Rainfall) was calculated to show the extreme rainfall distribution. Additionally, this study collected a total of 494 severe sediment-related disasters cases caused by rainfall from 2006 to 2020. The cases were compared the time and spatial characteristics of the disaster occurrence are used to analyze the change trend of sediment-related disasters in Taiwan. Also, the visual representation of the peak distribution of EAR in the whole Taiwan is presented. Overall, the slope failure is the highest proportion of the disaster type (46%), followed by debris flows (27%). Moreover, these disasters were easily occurred at night than daytime. By the correlation between the effective accumulated rainfall (*EAR*) and the disaster cases, when the *EAR* reaches the 650 mm of the debris flows warning threshold value, 74.0% of the severe sediment-related disasters have occurred so far. This study comprehensively summarizes the sediment-related disasters caused by rainfall in Taiwan from 2006 to 2020, and the results will be used as a reference for future disaster prevention strategies.

Keyword: Rainfall, landslide, debris flow, QPE

[1]行政院農業委員會水土保持局，*通訊作者 E-mail:cyc0109@mail.swcb.gov.tw
Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan
[2]財團法人農業科技研究院
Agricultural Technology Research Institute, R.O.C

「2021 森林集水區經營及環境監測研討會」議程表

日期：110 年 11 月 12 日(星期五) 地點：臺北市南海路 53 號 (林業試驗所行政大樓 4 樓會議室)

時 間	議 程	
08:30-09:00	報 到	
09:00-09:10	開 幕 致 詞 (林業試驗所 曾彥學所長)	
時 間	**講 題**	**主持人**
09:10-09:35	臺灣地區歷史網格化氣候資料重建（鄭兆尊*、林秉毅、陳永明、林李耀、許晃雄）	林務局 集水區治理組 王昭堡組長
09:35-10:00	淺談臺灣山地集水區的營養鹽吸收特性（黃偉倫、陸聲山、黃誌川*）	
10:00-10:25	氣候變遷下的集水區流量衝擊評估-資料、資訊與工具（劉子明*、鄧澤宇、林士堯、陳永明）	
10:25-10:45	**休 息 / 交 流**	
10:45-11:10	都市林小尺度地景在高溫期間的溫度緩衝效應-以中和公園及台北植物園為例（施郁庭*、劉宇軒、王相華）	林業試驗所 集水區經營組 陸象豫研究員
11:10-11:35	行道樹葉片滯塵能力之探討（王秋嫻*、劉癸君、鄧書麟、王相華）	
11:35-12:00	應用無人機測繪及多時序影像於地形建置及崩塌地分析（曾俊偉、王秋嫻、王相華、張國楨*）	
12:00-13:30	**午 餐**	
13:30-13:55	烏石坑溪長榮橋上游防砂壩之生態修復探討（許中立*、林彥伯、王昭堡、邵龍雨、吳道煦）	國立中興大學 水土保持學系 林昭遠教授
13:55-14:20	網格式直線回歸法探討崩塌地植生復育之時空變化（莊智璋*、曾俊偉）	
14:20-14:45	應用 H.O.S.T 地圖於土石流潛勢溪流影響範圍地形特徵判釋（陳昭岑*、陳振宇、高百毅、白佩鑫、林宥伯）	
14:45-15:10	**休 息 / 交 流**	
15:10-15:30	利用環境指標推估林地碳存量之研究（毛玉森、吳炤緯、曾俊偉、林昭遠*）	國立屏東科技大學 水土保持系 許中立教授
15:30-15:55	以濱溪檢視線評估土砂清疏熱點區位之研究（吳炤緯、郭振農、林宛蓉、張志安、簡志凱、林敬堯、林昭遠*）	
15:55-16:20	以地形指標優選土砂災害熱區之研究（林敬堯、吳炤緯、陸象豫、林昭遠*）	
16:20-16:45	堰塞湖快速評估暨潰壩後洪水模擬－以臺東大南溪堰塞湖為例（施佩昱*、陳振宇、林家興、詹婉妤）	
16:45-16:50	**閉 幕**	

應用 H.O.S.T 地圖於土石流潛勢溪流影響範圍地形特徵判釋

陳昭岑 [1,2*] 陳振宇 [2] 高百毅 [2] 白佩鑫 [2] 林宥伯 [2]

[1)] 財團法人農業科技研究院。300-110 新竹市香山區大湖路 51 巷 1 號。
[2)] 行政院農業委員會水土保持局技術研究發展小組。54044 南投縣南投市中興新村光華路 6 號。
通訊作者，E-mail: wji4xo6@mail.swcb.gov.tw。

摘要

民國 98 年莫拉克颱風重創台灣中南部地區，造成許多嚴重的大規模土砂災情。近年來隨著高精度、高解析度數值地形發展，國內外許多學者應用地形圖資於分析及判釋地形，已能掌握各種地形地貌特徵。然各類地形圖資對於一般未經訓練的人而言，不僅不容易直接判讀出地形地貌，並腦海中自動轉換成三維地形，且多數地形圖資受限於主觀判讀影響，致使地圖使用者判讀地形特徵產生落差。

由於天然災害多具有重複性，如能掌握土石流之地形特徵，將能準確劃定其影響範圍並確定保全對象，以作為後續防減災工作之重要資訊。本文使用具有絕佳地形呈現效果之 H.O.S.T 地圖進行判釋，成果顯示 H.O.S.T 地圖較一般地形圖更能凸顯出細微的地形特徵，使用者在室內即可輕易判讀出該地區地形等資訊，以及土石流潛勢溪流之溢流點、災害型態及影響範圍，大幅減少在野外調查時所耗費的時間。

緒言

臺灣由於高山地區地形陡峭、地質脆弱和水流湍急等不利於土體安定之條件，再加上極端氣候所帶來的強降雨、颱風及地處地震帶等不利因素，造成山區易發生崩塌、地滑及土石流等土砂災害，其中土石流因飽含大量土砂、石塊和巨礫等與水混和形成流動體，造成人員傷亡及經濟損失甚為嚴重。

近年來水保局依「土石流潛勢溪流劃設作業要點」(水土保持局，2019a) 及「土石流潛勢溪流劃設作業手冊」(水土保持局，2019b) 等規定，利用相關圖資判釋土石流潛勢溪流，劃設影響範圍，掌握災害潛勢，並進行溪流調查分析，提升土石流潛勢預測能力及有效進行災害防治工作，作為各項土石流防災整備與緊急疏散之參考。

現今已有多種圖資應用於判釋地形地貌，如等高線圖、分層設色圖及日照陰影圖等，然各式圖資仍有其不足之處，且一般未經訓練的人不容易於腦海自動轉換成三維地形，並藉由圖資直接判讀地形地貌。為此本文運用具有極佳立體感及可呈現微地形特徵之 H.O.S.T 地圖，判釋土石流潛勢溪流影響範圍之地形特徵，並進行野外查核，以驗證在室內應用高精度數值地形圖判讀之地形特徵與野外特徵檢核成果是否吻合。

方法

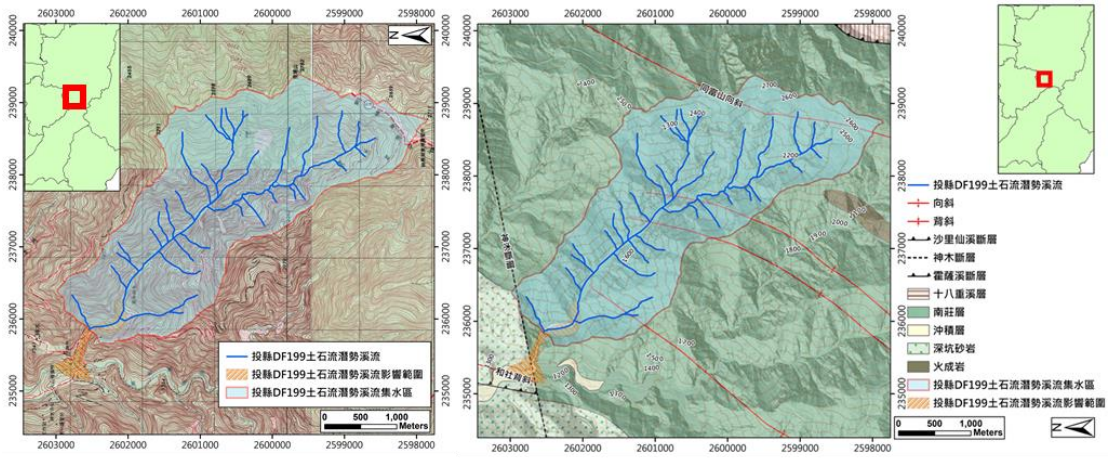
研究區域

本計畫區域為南投縣信義鄉神木村之土石流潛勢溪流，編號為投縣 DF199，位處鹿林子集水區內，鄰接神木子集水區，屬濁水溪水系支流陳有蘭溪流域上游之出水溪。溪流總長為 5.5 公里，集水區總面積為 845 公頃，災害類型為溪流型土石流，土石流災害潛勢風險等級為高。

研究區域所在地層為中新世晚期之南莊層、深坑砂岩及現代沖積層 (

圖 2)。南莊層之岩性為白色砂岩、灰色砂岩、暗灰色頁岩與砂、頁岩薄互層為主，白色砂岩為中至粗粒厚層狀，風化後常呈黃灰色、淺黃色或紅棕色。深坑砂岩由灰至淡灰色細粒泥質或粉沙質厚層塊狀砂岩，及暗灰色頁岩組成，頁岩常與薄層砂岩構成互層。岩層層面為東北西南走向朝東傾。地質構造方面，有東北－西南走向之向斜及背斜軸通過，附近有沙里仙溪斷層、神木斷層及霍薩溪斷層通過，致使該地區地層多為破碎的岩層，造成邊坡土體不安定，易受風化與侵蝕作用影響而發生崩塌，為土石流潛勢溪流帶來大量的土砂料源。

投縣 DF199 之災害紀錄最早始於民國 85 年賀伯颱風，土石流沿出水溪流出，將橋面拱起隨土石流下移，造成道路中斷，危及右岸之神木國小；民國 88 年豪雨造成土石流沖毀神木國小前便橋，使居民對外交通中斷；民國 90 年桃芝颱風，出水溪再次發生土石流溢流災害；民國 95 年豪大雨，引發土石崩落，將設置之多項觀測儀器掩埋，並危及下游地區；民國 96 年西南氣流與聖帕颱風帶來的豪雨，土石流致使出水溪上游觀測點鋼索斷裂，對下游保全對象造成嚴重威脅；民國 98 年莫拉克風災，土石流爆發，導致神木樟樹公及鄰近設施、觀測儀器皆遭土石損壞、掩埋，並造成對外連絡道－神木巷遭土石沖毀而中斷；民國 106 年連日豪雨，土石流造成多處民宅沖毀，連外道路全數中斷。



(A)研究區域地形圖　　(B)研究區域地質圖

圖 2 研究區域地形與地質位置圖

H.O.S.T 地圖

儘管目前已有如等高線圖、日照陰影圖等多種圖資可應用於判讀地形地貌與

輔佐現地勘查之用，然其表現方法仍有限制，可能造成地圖使用者遺漏相關重要地形資訊。鑑此，在水土保持局創新研究計畫支助下，國立中興大學水土保持學系蕭宇伸教授發展出結合地形高程 (Height)、地形開闊度 (Openness) 及地形坡度 (Slope) 之三維視覺化地形圖 (Terrain Map) —H.O.S.T 地圖，其製作原理如

圖 3 (郭耀駿，2016；蕭宇伸，2017)。

本文使用內政部 2011 年 8 月航拍光達所產製之 1 m 數值高程模型 (DEM) 及 2021 年 5 月使用無人機空拍影像所製成的 0.5 m 數值地表模型 (DSM)，分別製作成 H.O.S.T 地圖。H.O.S.T 地圖能有絕佳的地形呈現效果，主要係藉由不同的地形開闊度計算方法，融合地形坡度，運用合適的彩度色階來表現出地形的平緩或傾斜程度，在視覺上提供更佳的立體效果，讓人以肉眼觀看便能輕易的判別出豐富且詳細的地表資訊。

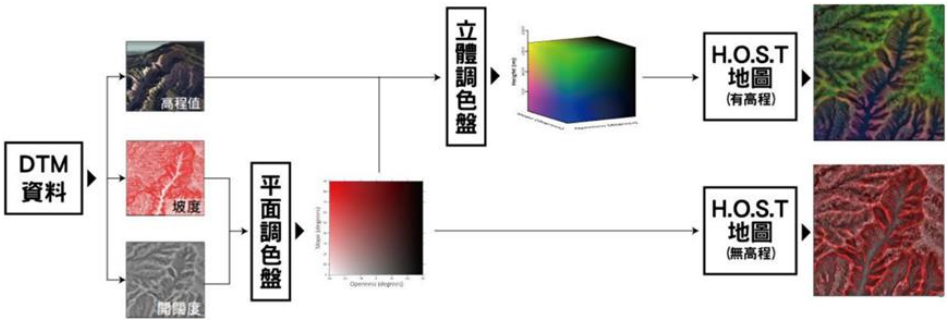


圖 3 H.O.S.T 地圖製作原理

野外查核

為比對 H.O.S.T 地圖室內判釋成果，本計畫針對判釋出之土石流潛勢溪流特徵位置進行野外查核，調查點為沿投縣 DF199 溢流點 2 至下游匯流口，調查點位置圖如

圖 4 所示。並依現地狀況填寫「土石流潛勢溪流基本資料現地調查表」(水土保持局，2019b)，將調查表要求之位置，進行 GPS 定位、拍攝現地影像、調查河道土砂沖淤情形，且依現地地形及歷史災害判定溢流點位置與潛勢溪流現況。

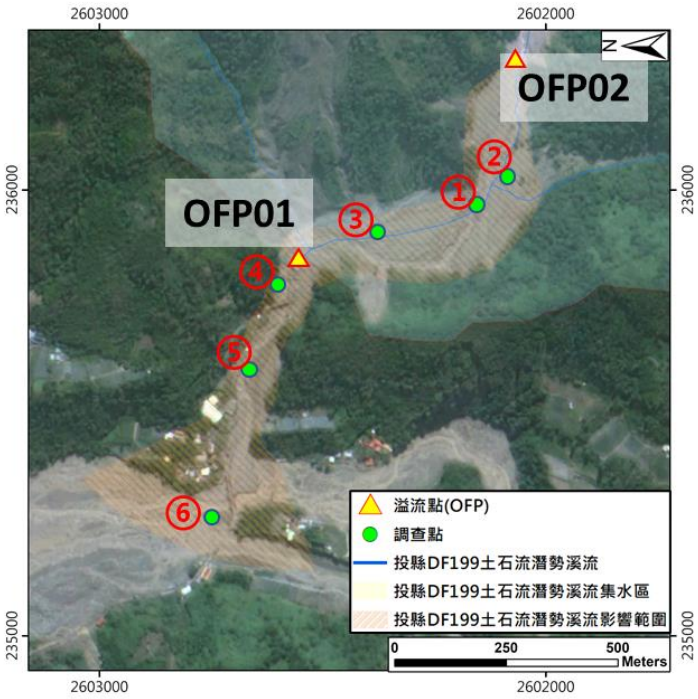


圖 4 現地查核調查點位圖

結果與討論

HOST 地圖判釋成果

本計畫以內政部 2011 年 1 m DEM 所製作之 H.O.S.T 地圖如圖 5 所示，同時為呈現溪流現況，亦以 2021 年 5 月 UAV 產製之 0.5 m DSM 製作 H.O.S.T 地圖如圖 5~圖 8。在地形特徵方面，由圖 4 河道上可見明顯土砂堆積地形，且似不只一期的土砂堆積，若同一集水區在谷口處堆積不同時期多次堆積沖淤者，稱為複成沖積扇 (周憲德，2020)。判讀投縣 DF199 堆積區發現有 2 處複成沖積扇地形產生，一為位於溢流點 1 及溢流點 2 之間的支流所構築的沖積扇 (圖 6)，該支流具有完整的發生段、流動段及淤積段，且具有明顯溪谷地形，然其因集水區面積較小，因此所產生之沖積扇較小。另一種為位於出水溪與那瑪嘎班溪匯流口之複成沖積扇 (圖 7)，因受地形影響，土砂多堆積於匯流口右岸，且該沖積扇地形同時受和社溪及那瑪嘎班溪河道沖刷影響，由河階數量及歷史災例可知沖積扇不只一期的土砂堆積。

河道特徵方面，顯示仍有大量土砂淤積於河道內 (圖 8)，且有多道側積堤與多條水路痕跡存在於河道上，顯示水流會因不同時期之水流大小不同而有不同的路徑。而在溢流點 1 下游處，可明顯看出河道兩側因水流沖刷，已形成明顯之下切河道地形，且在匯流口處形成交叉點 (圖 9)。

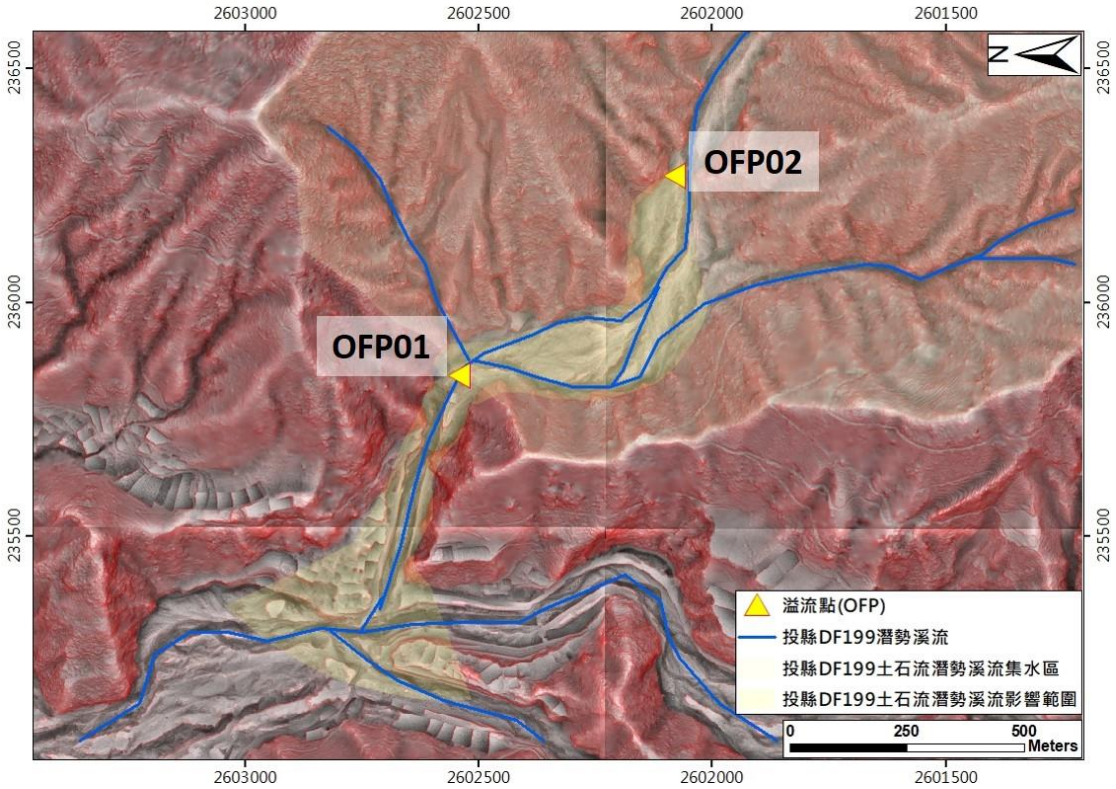


圖 5 投縣 DF199 影響範圍全景 H.O.S.T 圖

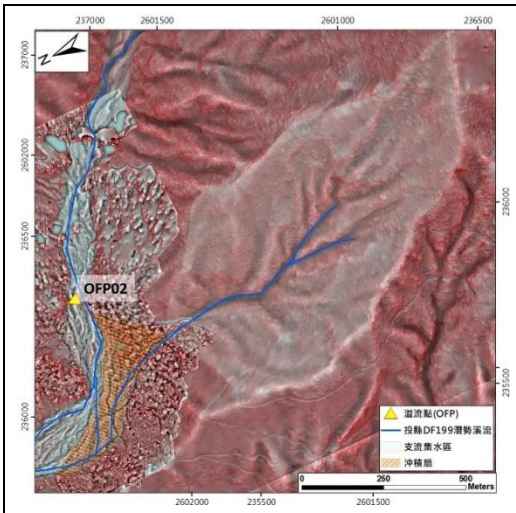


圖 6 投縣 DF199 土石流支流之沖積扇

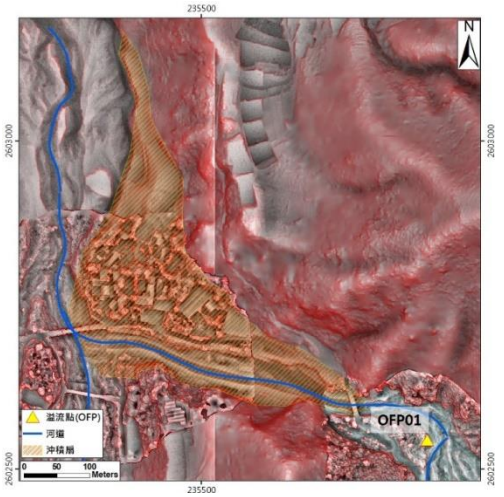


圖 7 投縣 DF199 匯流口之複成沖積扇

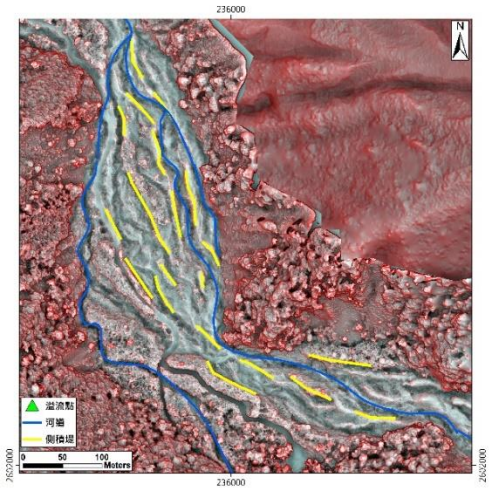


圖 8 河道土砂堆積情形與側積堤分布

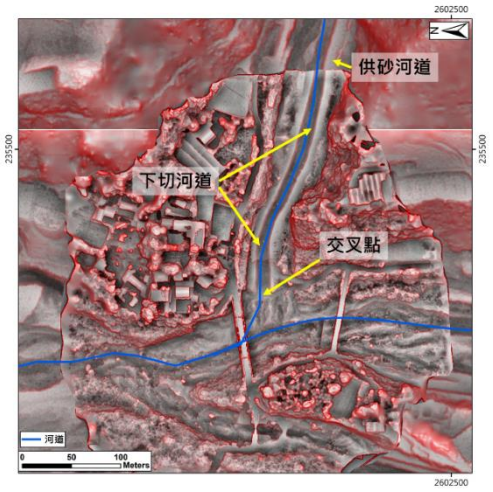


圖 9 沖積扇微地形特徵

野外查核成果

土石流潛勢溪流之野外查核目的是針對判釋結果進行驗證。查核分為三部分，一是針對溢流點位置；二是地形特徵檢核；三是保全對象的分布。

現地查核方面，調查點位圖如

圖 4 所示，調查點 1 為溢流點 1 與 2 之間支流之沖積扇，其土砂堆積高差約 1-2 公尺。從河道上可明顯看出至少 2 階之土石堤 (圖 10)，觀察土石堤之縱剖面發現無明顯粒徑分層且無大小規則分布之現象 (圖 11)，此與一般河川沖淤水流粒徑大小分層淤積特性不同，因此推測其為土石流堆積材料。調查點 3 位於溢流點 1 與 2 之間河道上，可見河道內大量土石材料堆積，且表面未見青苔，亦可見新舊土石流事件所堆積之土石堤，堆積礫石多為平均粒徑大於 30 公分之砂、頁岩塊 (圖 12)。在溢流點 1 處設有兩座潛壩，長約 30 公尺、高度約 2 公尺，位於前方的潛壩壩體已遭土石掩埋，只露出壩翼；而後方之潛壩壩體頂部可見遭磨蝕的痕跡 (圖 13)。溪流下游沿岸已有大量土砂堆積，形成下切河道地形特徵 (圖 14)，目前土砂雖未溢出河道對道路造成影響，然未來若再有土石下移可能溢出河道，對保全對象及道路造成影響。出水溪與那瑪嘎班溪匯流口可見大量大小不一的巨礫、礫石及土砂堆積，溪床堆高的現象 (圖 15)。





圖 10 調查點①支流之沖積扇土石堤



圖 11 調查點②土石堤縱剖面



圖 12 調查點③河道淤積大量土砂石塊

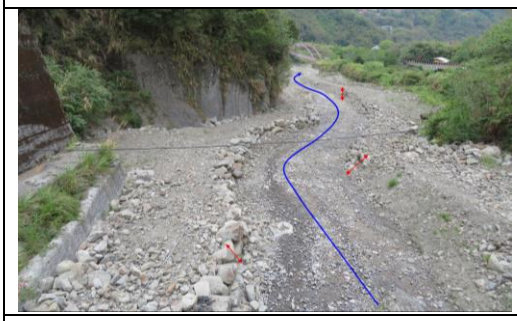


圖 13 調查點④潛壩現狀



圖 14 調查點⑤下游明顯下切河道地形

圖 15 調查點⑥河口有巨礫堆積

結論

土石流潛勢溪流及其影響範圍之判釋，係防減災規劃時之重要基礎工作，由於土石流的發生具有重複性，故藉由現地土石流的遺跡與地形，有助於推估未來該地區之災害情境，並據以擬定相關軟體防災計畫或硬體減災工程。過去許多研究或調查已透過如地形圖或航遙測影像等各式圖資判釋土石流潛勢溪流地形特徵，但這些圖資常受限於植生遮蔽或地形呈現效果，難以有效準確判釋出土石流潛勢溪流之地形特徵。

H.O.S.T 地圖，因其在視覺上提供更佳的立體效果，讓人能輕易的判別出豐富且詳細的地表資訊，在室內可有效判釋出土石流潛勢溪流地形特徵，更提升對於沖積扇微地形特徵之辨識，再結合現地勘查，便能確認影響範圍是否正確，以免發生誤判的情形，也可大幅降低外業所需耗費之時間。

引用文獻

水土保持局 (2017)，水土保持手冊。行政院農業委員會水土保持局，共 1100 頁。

水土保持局 (2019a)，土石流潛勢溪流劃設作業要點。行政院農業委員會水土保持局，共 4 頁。

水土保持局 (2019b)，土石流潛勢溪流劃設作業手冊。行政院農業委員會水土保持局，共 48 頁。

周憲德、曹鼎志與李璟芳 (2020)，堆積扇地貌特性與土砂災害類型之探討。行政院農業委員會水土保持局。

郭耀駿 (2016)，以自製紅色地圖輔助地形判識。國立中興大學水土保持學系所碩士論文，64 頁。

蕭宇伸 (2017)，以嶄新 三維 地形表現技術 (H.O.S.T.地圖) 輔助地形判釋。行政院農業委員會水土保持局，共 131 頁。

附錄四 審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見：		
一	本研究為三年計畫最後一年，摘要內容除敘述本年度計畫辦理目的、內容，獲致之成果外，請將三年整體計劃如何規劃進行，各期成果間如何結合，予以概述，並提出後續推動方式及具體建議。	感謝委員指教。茲針對問題修改摘要以符合三年期計畫之成果，並提出後續研究及對策建議。(摘要)
二	大規模崩塌防減災計畫第二期(110-115)已核定且實施中，P1-2 預先籌備第二期(110-113)計畫先期工作，已不符進度，應提前部署，考慮第三期計畫或長期戰略需求，提出綱要性計畫。	感謝委員指教。本計畫為因應水保局大規模崩塌防減災計畫第二期(2021-2026)中精進評估與監測技術而設立之計畫。而本計畫為三年期計畫(2019-2021)目前除本計畫成果外也預先籌備後續(2022-2024)計畫之先期工作。
三	盤點2009冊委辦計畫報告書，符合比例不足7成，不符部分如何追蹤補正，請提出具體方案。	感謝委員指教提問。本計畫將提醒承辦單位持續追蹤各委辦計畫團隊所上傳之檔案，使其符合水土保持局規定之格式。(P2-15)

項次	審查意見	回覆辦理情形
四	P2-5，欠缺懸浮載資料。	感謝委員指教。後續將與水保局各業務單位及專家學者們討論，建議水保局將懸浮載納入資料平台，與於後續盤點時收入懸浮載相關資料。
五	P2-17，對於盤點結果所提出的建議對策均只針對未來資料管理及維護提出解決方案，但對於既有大量資料該如何處理，亦應有所建議。	感謝委員指教。本計畫為因應持續蒐集的大量資料，目前以先訂定統一的資料收集格式作為近期規劃，而既有資料將以先蒐集建檔為主，待未來人力充裕或融入新技術後再進行整理。(P2-18)
六	P2-19，歷年研究成果延伸與應用僅及於圖資應用，建議後續宜較為廣泛地探討以往研究成果的應用層面，例如坡面沖蝕、逕流模式等。	感謝委員指教。本計畫將遵照委員意見，於後續研究對於歷年研究成果進行加深加廣的探討其應用層面。
七	P3-38，玉穗溪上游河道存在約5-10m的土砂堆積狀況，似乎未有討論，請補充說明。	感謝委員指教。本計畫利用兩期 DSM 進行比對，並推估土砂量體，其土砂堆積狀況於評估與建議小節中，已補充說

項次	審查意見	回覆辦理情形
		明。(P3-39)
八	P4-1，UAV三維建模建議補充UAV飛行條件(如高度、軌跡設定)及其平面與高程精度。	感謝委員指教。已補充說明於第四章第一節三維模型建置成果。(P4-12)
九	P4-21，潰壩分析宜補充潰決情境、潰口形狀設定方式等資料，另能否補充數值模式選定的考量。	感謝委員指教。本計畫分別設定二種天然壩高程為 30 m 和 60 m，延時分別設定為 0.5 及 1 小時。在堰塞湖潰決型式則假設為溢流破壞，潰口形狀為矩形，潰壩過程之時間與潰壞比例，採用手冊建議之正弦波方式設定。 本計畫結合 BigGIS 線上分析工具與 HEC-RAS 二維潰壩洪水演算模組，模擬不同情境下堰塞湖潰決時對下游保全對象造成的衝擊與影響，提供初步成果予水保局後續決策應

項次	審查意見	回覆辦理情形
		用。(P4-26)
十	P4-32，土石流流動模擬的最大問題，在於模式是否為固液兩相流及能否模擬分析治理前、後的土石流流動情境？以及使用模式的限制。	感謝委員指教。Hyper Kanako模式為藉由求解水深、流速與地形變動來解析土石流運動及堆積過程，並包含連續、動量、河床變動、侵蝕與堆積速度及底床剪應力等理論方程式，整合為一維及二維之土砂數值模式，並以視窗化使用者介面簡化地形建置及數值參數輸入方式呈現。(P4-38)
十一	P5-57，運用UAV判釋河床質粒徑的最大問題有二:一是可以判釋的最小粒徑;二是河床質的平均粒徑，尤其埋入溪床一半以上的河床質。	感謝委員指教。第五章為國內外土砂防災研究發展議題，著重於探討各式文章研究成果，並轉化為科普方式，以電子報的模式推廣，後續會持續調整文章探討內容與其正確性。(P5-58)
十二	建議提出後續工作的進程規劃。	感謝委員指教。本計畫旨在藉由蒐集、更新與研析國內外土砂防災研究發展議題、盤點歷年土砂防災計畫執行成果與

項次	審查意見	回覆辦理情形
		延續性分析、土砂災害變遷分析、土砂災害模擬模式測試與分析等方式，協助水保局達成規劃大規模土砂災害相關研究議題設定、發展大規模災害情境模擬架構、建立大規模土砂災害風險與衝擊評估機制、研擬大規模土砂災害防災對策等目標。(P1-3)
十三	各項工作直述出後續策進的作為。	感謝委員指教。各項工作後續策進已補充說明於第六章建議章節。(P6-9)
十四	成果報告書P2-17、P 2-18 已就水保局歷年委辦計畫成果的管理與維護，提出建議，本人表示認同。	感謝委員指教。本計畫將持續收集水保局歷年委辦計畫之成果，供後續各項資料能被整合加值應用。
十五	報告書中所建議的第四點，宜提升到研究成果的原始檔案層次，如要求提供可編輯的文件格式與可再次使用的資料格式的檔案，這些檔案應一併完整提供，以方便後續使用。	謝謝委員指教。本計畫遵照委員建議將第四點調整，要求計畫需符合開放資料格式，或可編輯之資料格式 (Word 或 PowerPoint)。(P2-17)

項次	審查意見	回覆辦理情形
十六	應同時規劃收納、管理、取用以上原始資料(可編輯的文件與可再次使用的資料集)檔案的資訊系統與服務。	感謝委員指教。遵照委員意見以於文中建議上傳原始檔案於資料管理系統。(P2-17)
十七	對於計畫成果的後設資料(metadata)項目欄位與欄位值格式，如控制語彙(如用於關鍵詞與內文標記)、時間區段、空間範圍等，應同時一併擬定規劃並將研究成果(報告與檔案）編目，以便利統合檢索，並與外部資源作語意上的連結。	感謝委員指教。本計畫所盤點計畫量甚大，實屬需要控制語彙來對於資料進行整理，未來將參考委員意見，於各委辦計畫開始時擬定各項後設資料制定規則，並應用於未來各委辦計畫，以利後續統合檢索。
十八	表2-5盤點資料成果類別之歸納具有指標性，值得作為未來各研究或委辦計畫分類歸納之依據，值得肯定。惟該表可加一表頭欄，註明類別、關鍵字等，僅供參考。	感謝委員指教。遵照委員意見新增表 2-5 之表頭欄。(P2-9)

項次	審查意見	回覆辦理情形
十九	P2-19文謂可利用正射影像、等高線圖...等圖資之精進分析方法，可用於檢視山坡地歷年變化過程，以光華地區為例之大規模崩塌潛勢地區的土砂災害變遷未利用其地形圖資判釋分析該區之活動及變遷趨勢?	感謝委員指教。此為展示歷年研究成果之新型態且具有立體感的地形圖，輔佐地圖判讀者在室內即可更直觀的判釋出更細微的地形特徵與地質災害，減少主觀誤判的情形。
二十	以無人載具噴植工作於2021年4月30日已執行完成，惟至本報告提送為止，未見其噴植成效如何?是否宜補充?	感謝委員指教。已補充說明於第三章第二節成果與討論。(P3-30)
二一	土砂災害數值模擬分析之研究，引用之模式可獲得良好成果，值得肯定。惟該等模式與其他模式之適合性，是否宜詳加比較說明。	感謝委員指教。遵照委員建議，將各項數值模擬分析模式，規劃於未來後續研究中執行，並深入探討各模式與其他模式對於土砂災害之適合性。
二二	P5-32地質模型之不確定性，以水土保持領域所見之大地工程模型之條件，最大的不確定性應是地質特性之不均勻性 (包括土壤、岩力等力學性質之差異性)。	感謝委員指教。第五章為國內外土砂防災研究發展議題，著重於探討各式文章研究成果，並轉化為科普方式，以電子報的模式推廣，後續會持續調整文章探討內容與其正確性。

項次	審查意見	回覆辦理情形
		(P5-32)
二三	本年度盤點之委辦計畫應為109年之成果，故如P6-1之文字敘述方式應予明確。	感謝委員指教。已遵照建議補充說明於內文中。(P2-2、P6-1)
二四	結論與建議提出相當多之內容，文字撰寫上建議各點宜先有一小標題，以便於讀者能快速掌握重點。	感謝委員指教。已遵照建議結論與建議部分修正為條列式方式說明。(第六章)
二五	P6-10提到新興專有名詞未收錄於2007年之詞彙集內，但未提出後續建議，宜補強，例如:為與時俱進，宜建立線上詞彙庫，或以現有之多語詞彙為基礎，增加名詞定義與解釋等內容。	感謝委員指教。已遵照委員關於新興專有名詞相關事項之建議事項加入召集相關領域專家討論新興專有名詞之新編或調整，或參考技研小組之多國詞彙庫，提供其新增或修訂詞彙回報機制，與時俱進更新專有名詞詞彙庫。(P6-13)
二六	P3-39倒數第七行”然無法替除位於…”之”替”是否為”剔”之誤植?(關鍵字!)。	感謝委員指教。已進行錯字修正。(P3-39)
二七	P4-7錯誤!找不到參照來源。”請予補遺。	感謝委員指教。已進行補遺修正。(P4-7)