

出國報告（出國類別：開會）

## 第六屆山崩論壇會議報告

服務機關：交通部高速公路局

姓名職稱：副總工程司 吳文益

工務組 主任工程司 陳添宇

派赴國家：義大利

出國期間：112年11月12日至11月20日

報告日期：113年1月26日

## 摘要

山崩論壇 (World Landslide Forum, WLF) 由國際山崩聯盟 (International Consortium on Landslides, ICL) 組織發起，主要針對山崩之各項議題，包含調查，試驗、監測、風險評估等進行廣泛討論，以永續發展為主要目標。第一屆 WLF 於 2008 日本舉辦，後續每三年舉辦一次。臺灣多高山、地形多變化大及國道邊坡管理的經驗，為能讓全世界了解台灣相關議題，本局協助國立中央大學共同成功爭取 2026 年第七屆山崩論壇(WLF 7)主辦單位在臺灣桃園。

第六屆山崩論壇在義大利舉行，為能事先籌備後續接辦相關事宜，本局受邀與中央大學及國內專家學者共同組團參加，除可推廣臺灣特色，提升專業與國際的效益。

為期四天的論壇期間，共有六大主題，包括

1. 京都山體滑坡對永續發展的承諾
2. 遙感、監測及預警
3. 測試、建模和緩解技術
4. 繪圖、危害、風險評估與管理
5. 氣候變遷、極端天氣條件、地震和山崩
6. 土石流科學與應用進展

來自 60 多個國家的 1100 多名與會者參加，共聚一堂，有科學會議、技術展覽、研討會和其他會外活動等，經由各領域專家、學者及政府部門共同努力，分享資訊和實踐，支持新技術研究和開發，並建立相關制度，以防治邊坡滑動和對策。

## 目錄

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 摘要 .....               | I   |
| 目錄 .....               | II  |
| 圖目錄 .....              | III |
| 表目錄 .....              | IV  |
| 一、目的 .....             | 1   |
| 二、過程 .....             | 2   |
| 2.1 行程.....            | 2   |
| 2.2 研習經過.....          | 3   |
| 2.2.1 山崩論壇.....        | 3   |
| 2.2.2 會議地點.....        | 5   |
| 2.2.3 論壇第 1 天開幕式.....  | 7   |
| 2.2.4 論壇第 2 天.....     | 10  |
| 2.2.5 論壇第 3 天.....     | 13  |
| 2.2.6 論壇第 4 天及閉幕式..... | 16  |
| 2.3 參訪行程.....          | 20  |
| 2.3.1 高速公路及休息站.....    | 20  |
| 2.3.2 武爾西尼火山區地質.....   | 24  |
| 2.3.3 羅馬.....          | 27  |
| 三、心得 .....             | 31  |
| 四、建議 .....             | 33  |

## 圖目錄

|  |    |
|--|----|
| 圖 1 會場位於交通樞紐 .....                           | 6  |
| 圖 2 臺灣代表團合影 .....                            | 6  |
| 圖 3 論壇報到處 .....                              | 7  |
| 圖 4 開幕式 .....                                | 8  |
| 圖 5 新會員加入儀式 .....                            | 9  |
| 圖 6 專題演講 .....                               | 9  |
| 圖 7 分組會議 .....                               | 12 |
| 圖 8 土石流辨識的四種情況 .....                         | 12 |
| 圖 9 會場入口 .....                               | 15 |
| 圖 10 海地地震山體滑動前後影像。 .....                     | 15 |
| 圖 11 分組會議發表 .....                            | 17 |
| 圖 12 透過對集水區進行初步篩選的滑坡 .....                   | 18 |
| 圖 13 閉幕式 Prof. Zeljko Arbanas 主席致詞.....      | 18 |
| 圖 14 閉幕式 下屆主席中大董家鈞教授 .....                   | 19 |
| 圖 15 閉幕式 下屆秘書長中大鐘志忠教授 .....                  | 19 |
| 圖 16 高速公路資訊可變標誌 .....                        | 21 |
| 圖 17 高速公路隧道內照明及標線 .....                      | 21 |
| 圖 18 高速公路安全方向導引標誌 .....                      | 22 |
| 圖 19 休息站大貨車停車場 .....                         | 22 |
| 圖 20 休息站停止線及標誌 .....                         | 23 |
| 圖 21 休息站太陽能充電車位 .....                        | 23 |
| 圖 22 休息站賣場及熱食區 .....                         | 24 |
| 圖 23 白露裡治奧奇維塔(Civita di Bagnoregio)地質圖.....  | 25 |
| 圖 24 白露裡治奧奇維塔(Civita di Bagnoregio)現況地質..... | 25 |
| 圖 25 白露裡治奧奇維塔(Civita di Bagnoregio).....     | 26 |
| 圖 26 白露裡治奧奇維塔橋 .....                         | 26 |
| 圖 27 競技場外觀 .....                             | 28 |
| 圖 28 結構不對襯立面 .....                           | 28 |
| 圖 29 立柱石灰岩及固定鐵件 .....                        | 29 |
| 圖 30 內部各層構造 .....                            | 29 |
| 圖 31 補強工程 .....                              | 30 |

## 表目錄

|               |   |
|---------------|---|
| 表 1、行程表 ..... | 2 |
|---------------|---|

## 一、目的

高速公路全線長 1066 公里，國道沿線共有 2570 處邊坡，為有效掌控國道邊坡穩定狀況，提供用路人優質安全的行車環境，除建置國道邊坡全生命週期維護管理系統，並依養護手冊規定定期進行邊坡巡查、地錨檢測、監測及安全評估等工作，再由安全評估加以分級，篩選出需加強巡查監測、改善與補強邊坡，以提升用路人的安全，並有效增進維護效率。

本會議為國際山崩聯盟(International Consortium on Landslides, ICL)，自 2008 年在日本東京舉辦第一屆論壇以來，每三年舉辦一次學術研討會。山崩滑坡論壇是參與減少土石流災害風險的科學家、工程師、從業人員和政策制定者的共同平台。

論壇的目的是提供一個平台，以實現邊坡研究人員相互之交流和合作，以確定全球範圍內減少邊坡災害風險為主要目標。論壇將討論與滑坡分析相關的主要方面；土石流監測與預警、土石流建模、土石流災害與風險評估、緩解技術、土石流觸發機制與氣候變遷。

國內中央大學為爭取 2026 第 7th 為 WLF 主辦權，包含副校長吳瑞賢教授、工院院長田永銘教授、地科院副院長董家鈞教授、大地工程學會理事長台大土木系王泰典教授等，因該論壇成立的宗旨與國道邊坡管理密切相關，本局亦積極協助國立中央大學，成功爭取到第七屆 2026 年山崩論壇在臺灣桃園舉辦。

本次有臺灣大學、中興大學、成功大學、臺北科技大學、屏東科技大學、逢甲大學及本局，以及相關專業廠商，產、官、學共約 30 餘人共同組團參加。

設施維護管理除在既有基礎下落實並精進，更須需與時俱進吸收新知，藉由參與第六屆山崩論壇，瞭解世界各國邊坡管理相關研究和作為，同時為預先協助臺灣為第七屆論壇主辦國家，各項行政庶務及他國的經驗，以增進臺灣國際專業形象及特色。

## 二、過程

### 2.1 行程

本次出國計畫，於 112 年 11 月 12 日出國，11 月 20 日返國，全程 9 天，其行程內容詳如行程表：

表 1、行程表

| 日期    | 星期 | 主要行程概述      | 夜宿   |
|-------|----|-------------|------|
| 11/12 | 日  | 臺北—羅馬       | 機上   |
| 11/13 | 一  | 羅馬-佛羅倫斯     | 佛羅倫斯 |
| 11/14 | 二  | 論壇第 1 天開幕式  | 佛羅倫斯 |
| 11/15 | 三  | 論壇第 2 天     | 佛羅倫斯 |
| 11/16 | 四  | 論壇第 3 天     | 佛羅倫斯 |
| 11/17 | 五  | 論壇第 4 天及閉幕式 | 佛羅倫斯 |
| 11/18 | 六  | 參訪武爾西泥火山區   | 羅馬   |
| 11/19 | 日  | 參訪羅馬市區      | 羅馬   |
| 11/20 | 一  | 羅馬—臺北       | 機上   |

## 2.2 研習經過

### 2.2.1 山崩論壇

第六屆世界山崩論壇由國際山崩聯盟和佛羅倫薩大學共同舉辦，在國際山崩計畫 (IPL) 的支持下，得到了五個聯合國機構 (UNESCO、WMO、FAO、UNDRR、UNU) 和四個國際科學組織 (ISC、WFEO、IUGS 和 IUGG) 的支持。

在為期四天的研討會期間，來自 60 多個國家的 1100 多名與會者參加了研討會、技術展覽、其他會外活動，而台灣本次共約 30 名參與，排列前第五名。主要也擔任 WLF7 會議觀察員身分，了解本次會議主要辦理相關事務，並以下屆主辦單位進行發表。

本次研討會有六個主題：

1. 京都山體滑坡對永續發展的承諾
2. 遙感監測預警
3. 測試、建模和緩解技術
4. 繪圖、危害、風險評估與管理
5. 氣候變遷、極端天氣條件、地震和山崩
6. 土石流科學與應用進展

各討論的主題簡要說明如下

1. 京都山體滑坡永續發展承諾

《京都 2020 年全球促進了解與減少山崩災害風險的承諾》(2020 年京都山體滑坡承諾：KLC2020)：對 2015-2025 年 ISDR-ICL 仙台夥伴關係的承諾、2015-2030 年仙台減災框架、2030 年聯合國 2020 年 11 月 5 日，透過《2020 年京都宣言》，啟動了《聯合國永續發展目標議程》、《新城市議程》和《巴黎氣候協定》。

此主題致力於 2020 年京都山體滑坡永續發展承諾，包括以下八個會議：(1) 國際山體滑坡計畫，(2) KLC2020 的全球和國際活動，(3) 多重災害風險：海底山體滑坡、海嘯和影響基礎設施，(4) 山體滑坡與社會：開放和公民科學促進能力發展和教育，(5) 山體滑坡風險管理中的倫理、社會和文化方面影響，(6) 當

地公民和專家對山體滑坡風險的認知是永續山體滑坡風險的主要驅動因素，(7) 受山體滑坡威脅的文化遺產：從現場調查到永續緩解措施，以及(8) 地球觀測以保護受山體滑坡威脅的自然和文化遺產。

## 2.遙感、監測與預警

滑坡監測、遙感、預警和警報是有效減少災害風險策略的實施手段，這些工具和方法用於描述和預測滑坡潛在發生情況，或調查滑坡失敗和蔓延情況。在過去的幾年裡，由於創新的現場監測儀器、地球觀測（EO）、先進的陸地遙感技術以及地方和區域規模預警系統的發展，這些領域取得了重大進展。這次包括 12 場次的會議，有案例研究、滑坡監測的最新研究和應用、利用 EO 數據進行滑坡調查、風險評估和管理、位移分析等方面的貢獻。滑坡預測監測數據、創新預警系統開發、SAR 干涉測量、地球物理成像、多平台和多感測器監測數據。

## 3.測試、建模和緩解技術

山體滑坡每年都會在全球造成重大生命和財產損失。雖然需要採取軟硬措施的綜合努力來減輕土石流災害，但現場和實驗室調查、測試和建模在設計和實施緩解措施方面發揮重要作用。在過去的幾十年裡，由於計算和感測技術的進步，見證了滑坡調查和實驗室分析以及現場測試方法的顯著進步。此外，隨著高速運算基礎設施的顯著增強、強大的電腦程式的可用性、更好的物理建模材料以及感測器和互聯網技術的改進，滑坡相關研究/調查的數值和物理建模技術都得到了提高，顯示出重大的演變。因此，與幾十年前相比，目前擁有更先進的滑坡緩解技術。該主題涵蓋許多會議，其中包括與滑坡測試、建模和緩解技術的最新進展相關的更廣泛範圍的呈現。

## 4.繪圖、危害、風險評估與管理

著重於繪製滑坡和相關地質災害的最先進方法、敏感性和風險的定量評估以及抗災管理的最佳實踐。9 場會議探討土石流清單測繪、時空評估、建模和預測以及災害風險管理的挑戰；以及資料缺少環境中跨領域研究面臨的挑戰。同時會議還討論緩衝帶、山區和城市環境中氣候驅動的山體滑坡的影響、人民、社區和基礎設施的脆弱性，以及過去、當前和未來的障礙和調適策略。

## 5.氣候變遷、極端天氣、地震和山體滑坡

從多重災害、整體的角度收集了由氣象因素或地震引發的山體滑坡的各種問

題，識別確切的山體滑坡觸發因素等具有挑戰性的問題。氣候變數及其變化對山體滑坡具有直接（例如降雨狀況的變化）和間接（例如土地覆蓋/利用的變化）影響，並且在全球暖化的情況下這一點變得更加明顯。氣溫上升導致冰川退縮和永久凍土融化，從而導致高山、冰川、冰緣和極地環境中的山體滑坡危險增加。氣候變遷也會影響森林火災，導致山崩和水土流失風險增加。然而，量化氣候變遷對邊坡穩定性和土石流風險的影響是困難且不確定的。地震又是另一種類型山體滑坡的另一個主要誘因。在大地震發生的地方，土石流的發生頻率和震度可能會增加。因此，地震引發的土石流分析和地震邊坡穩定性評估是需要採取多模態的方法進行。

#### 6. 土石流科學與應用進展

氣候變遷、人口增長、城市化和森林砍伐是世界上最增加的山崩數量不斷增加的主要原因，從而導致經濟損失和傷亡不斷增加。為了應對滑坡的後果以及緩解、預防和預警的目的，滑坡研究已經取得了重大進展。現代科技的加速發展使得滑坡科學中使用的技術和設備越來越多。新技術、測試、觀測和測量技術以及相關設備開啟了土石流研究及其應用的新篇章和進步，從而開啟了土石流研究的新領域。本主題 包含與現代技術和設備發展相關的滑坡科學和應用的特殊進展相關的會議，以及滑坡研究較冷門的領域中獲得一些具體的成果，探討滑坡的原因以及減輕山體滑坡後果的防範措施。

### 2.2.2 會議地點

地點在佛羅倫斯市中心的瓦爾方達花園內舉辦，位處交通要道，有火車站、高鐵站及捷運等，圖 1。對於參加會議的人非常方便，裡面有兩棟主要建築物分別是開幕式的新文藝復興建築是最具創新性的會議中心之一的國會宮，圖 2。以及可容納 2000 人以上論壇會議的阿法裡宮，圖 2，是本次會議報到及研討會地點，為期 4 天的會議沒有印刷任何紙張，全部以電子格式分發給與會者，報到處也是無紙化，讓人印象深刻，圖 3。



圖 1 會場位於交通樞紐



圖 2 臺灣代表團合影



圖 3 論壇報到處

### 2.2.3 論壇第 1 天開幕式

開場致詞由 ICL 主席兼第六屆 WLF 主席 Nicola Casagli，圖 4，及聯合國教科文組織地質水文災害主席 Paolo Canuti 兩位重量級展開歡迎，接著是聯合國各相關組織的致詞，包含聯合國副秘書長、聯合國秘書長減少災害風險特別代表、聯合國副總幹事聯合國糧食及農業組織、及聯合國教育、科學及文化組織自然科學助理總幹事等，眾多聯合國組織代表熱請參與，足以顯示聯合國對於本次會議的重視和支持。



圖 4 開幕式

接著介紹新的工作夥伴加入會員，如英國地質調查局、英國、日本國家地球科學與抗災研究所 (NIED)、中國清華大學、佩拉德尼亞大學地質系、日本高知大學等，如圖 5，以及「KLC2020 回顧與展望」，中午休息後，下午有幾個專題演講，包含成都理工大學的地震與氣候變遷引發的連鎖災害機制及預測，美國地質勘探局 (USGS) 美國減少滑坡損失的新國家戰略，米蘭比可卡大學的山體滑坡對結構物和基礎設施的影響等，圖 6。



圖 5 新會員加入儀式

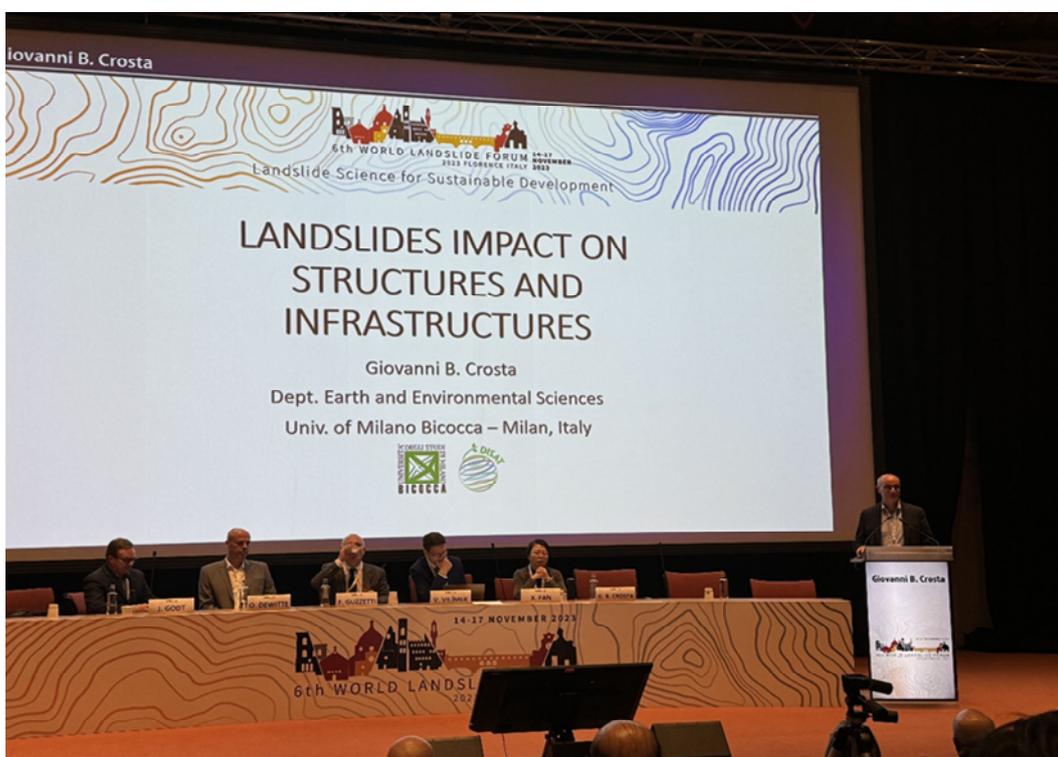


圖 6 專題演講

## 2.2.4 論壇第 2 天

第二天即開始分組共有 7 個場地同時進行，圖 7，我們主要參與以遙測、監測及預警為主，上午有 21 篇、下午有 15 篇發表，簡述重點如下

- (1) 中國利用衛星遙測技術進行大規模土石流探測，提出了大面積滑坡偵測的技術架構：(i) 利用多時相衛星光學影像來偵測具有可區分地形特徵的土石流；(ii) 採用通用大氣校正線上服務 (GACOS)輔助 InSAR 疊加，利用來自上升和下降軌跡的衛星 SAR 影像，產生雷達影像表面位移率圖，然後利用這些影像自動偵測使用熱點分析進行地面運動；(iii)透過檢視土石流與地形和水文因素的關係來調查其分佈特徵，土石流辨識的四種情況：(a)可以透過多時相衛星光學影像解譯方法和 GACOS 輔助 InSAR 疊加方法來偵測土石流；(b)土石流只能透過衛星光學影像判讀來辨識；(c)滑坡只能透過 InSAR 偵測到，(d)滑坡兩種方法都無法偵測到。各分圖中表示為(i)谷歌光學影像；(ii)上升軌跡的 LOS 年度地表變形率圖，以及(iii)下降軌跡的 LOS 年度地表變形率圖。紅實線表示可偵測到山體滑坡，紅虛線表示無法偵測到山崩。如圖 8。中國四川省的 3 條高速公路—雅康（雅安-康定）、雅西（雅安-西昌）及蘆石（蘆定-石棉）高速公路—及其周邊地區（總面積約 2 萬平方公里）被選為研究區域。共檢測到土石流 413 處，其中多時相衛星光學影像偵測到 320 處，GACOS 輔助 InSAR 疊加偵測到 109 處。值得注意的是，兩種方法僅偵測到 16 個山體滑坡；這些滑坡不僅表現出明顯的地形特徵，而且還表現出地面運動。對地形、水文因素統計分析表明，已發現的滑坡：81%分佈在海拔 1000~2500m 之間，60%以上分佈在海拔 100~400m 範圍內，90%以上為中陡坡。坡度（20°~45°），80%位於年降雨量 950~1050 毫米的地區。共發現 9 處山崩，對高速公路造成安全隱憂。
- (2) 吉爾吉斯共和國山崩風險評估，亞洲開發銀行 (ADB) 批准了土石流風險管理部門專案。這是亞銀首個綜合預防性山崩風險降低投資，旨在保護吉爾吉斯共和國的農村社區。針對各監測點進行文獻圖整理、無人機攝影測量等實地調查、地球物理、地質地形調查、實體資產調查。簡化的模型提供了擴展區域的暫定範圍和暴露元素的識別。為每個站點建立預警儀器地圖，在積極措施方面，進行現場調查（地質測繪、鑽孔、現場和實驗室測試）後，以利測點強化資訊的完整性。
- (3) 挪威不穩定岩坡的監測與風險管理，挪威地質調查局 (NGU) 已識別出近 700 個不穩定斜坡，其中約 100 個已進行危害和風險分類。一些不穩定的斜坡可能會塌陷到水體中並形成海嘯。這些危險區域可能很廣泛並影響村莊和城鎮，而其他不穩定因素可能會在山谷和有限的危險區域中。
- (4) 捷克用於山體滑坡運動監測的樹木生長微觀擾動分析及其作為低成本環保感測器，將微觀樹木生長擾動分析的最新進展與長期滑坡運動監測相結合，為產生年輪的樹木製定一種方法，將其用作低成本、環境友好、密集的滑坡運動感測器。儘管樹狀地形學方法永遠無法取代精確、高讀取頻率和即時儀器

監測，但它代表了這些方法是有價值的。

- (5) 加拿大滑坡變形監測方法的比較，在三年內（2020-2023 年）進行即時動態定位技術 (RTK) 全球定位系統 (GPS)、無人機 (UAV) 和合成孔徑雷達干涉技術 (InSAR) 調查。RTK-GPS 測量值是在滑坡穩定區和活躍區建立的 14 個地面控制點 (GCP) 上手動收集的。每個控制點的位移時間序列是透過大約四個月的間隔重複創建的。在定期無人機勘測期間收集重疊 80% 的光學影像，然後使用 Motion 軟體的商業 Structure 進行處理，以建立高程點雲、數位表面模型 (DSM) 和正射航空照片的多時相資料集。透過應用於無人機飛行產生的山體陰影 DSM 的數位影像相關技術，得出滑坡活躍部分和穩定部分的廣域水平變形向量。使用簡單的 DSM 差分技術來估計垂直變形。InSAR 測量資料以標稱 12 天重訪頻率和 3 m 像素解析度收集。使用半自動 InSAR 處理系統產生未包裹干涉圖的多時態網路。透過小基線子集處理，從多視干涉圖的子集網路中恢復了密集的現場線變形時間序列。在每個 GCP 位置以逐點方式比較所有三種測量技術的時間序列位移測量結果。透過將 RTK-GPS 和無人機變形測量結果投影到 InSAR 視距向量中，確保了準確的比較基礎。將高解析度無人機變形測量值重新取樣為低解析度衛星 InSAR 測量值，可將穩定區和活動區中超過 20,000 個單獨的點進行廣域比較。無人機和 InSAR 測量之間通常表現出良好的一致性。
- (6) 日本以空載光達 LiDAR 資料來擷取 2018 年北海道膽振東部地震造成的山崩區域。建構 3D 數位模型(DEM)形式透過比較事件前後的數位表面模型(DSM)和數位地形模型(DTM)，準確提取滑坡的面積和體積，並透過與其他遙感資料和現場調查資料的比較來驗證結果。
- (7) 義大利滑坡監測網，減少災害風險需要進行山崩災害評估以進行適當的風險管理。為了進行此類評估，由清單、地圖和相關資訊（例如圖片、現場資料）組成的滑坡資料庫是關鍵的基礎設施。在這個框架下，監測系統的數據對於更好地了解滑坡過程和現有監測本身至關重要。然而，受限經費的限制，滑坡清單中經常缺乏監測數據。在義大利邊坡數量超過 620,000 個，但根據義大利環境保護與研究所(ISPRA) 於 2021 年設計的國家山體滑坡監測系統登記冊，大約有 1,222 個邊坡被監測到，比例僅 0.2%。資料採集可以手動（665）、自動（45）或兩種方式（145）進行。使用最多的儀器是測斜儀和水壓計，其次是地形儀器、氣象站、裂縫計、應變儀、地面雷達等。目前義大利監控系統仍然很少，此外，連續自動資料收集仍然沒有普及，應該進行改進以減少監控成本和操作員錯誤。最後，傳統的監測工具（例如測斜儀、壓力計）繼續廣泛使用。



圖 7 分組會議

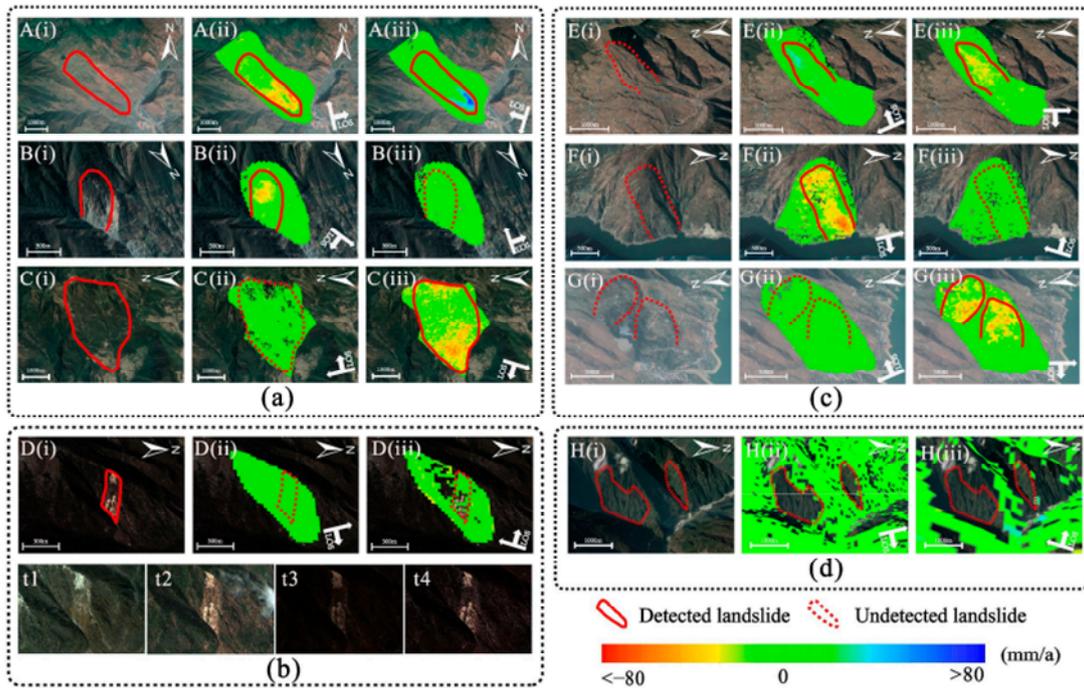


圖 8 土石流辨識的四種情況

## 2.2.5 論壇第 3 天

第 3 天時差還在調適中，一大早就來到會場趁人較少時段在入口處拍照留念，圖 9，今天上午場有 21 篇，下午場有 14 篇論文發表，摘要如下

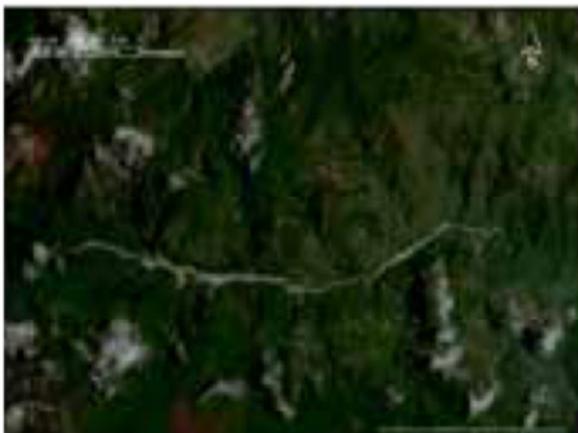
- (1) 台灣深層土石流大規模衛星干涉觀測與活動評估，利用 LiDAR、InSAR、GNSS 等技術，有效選擇敏感度或活動性較高的 DSL 區域作為熱區。我們採用 JAXA ALOS-2/PALSAR 影像和 InSAR 技術來處理研究區的長期形變。接下來，利用光學衛星影像和高精度數位高程模型（DEM）直觀地呈現於電腦的形態測量分析並建立研究區域的微觀地形影像，以識別和確定土石流觸發因素。最後，根據土石流活動指數（LAI）分級標準，選擇活動性高、監控詳細的邊坡，對降雨量和潛在滑動區域進行迴歸分析，以探討土石流的整體運動模式和破壞機制。
- (2) 荷蘭代爾夫特理工大學（TU Delft），探討地震滑坡遙測與野外勘察，地震引起的山崩既有短期影響，也有長期影響，前者會立即破壞建築物、基礎設施和地震緊急應變，後者會影響景觀。本研究評估了遙感技術的適用性，首先以 2021 年海地地震為案例研究，評估地震引起的山體滑坡的直接影響，其次評估 2015 年尼泊爾地震後的長期景觀變化。後者很重要，因為它可以告知在後續觸發事件中可能再次失敗的可能位置。對 2015 年尼泊爾地震後的陸地衛星光學圖像進行的分析表明，利用 5 年期間（2015-2020 年）的 Landsat 光學影像來繪製土石流發生情況。結果透過 2019 年和 2022 年進行的實地勘察得到驗證。圖 10，1a 顯示了光學 Sentinel-2 地震前影像，圖 1b 顯示了地震後影像，突顯了 2021 年海地地震引發的地震引發的山體滑坡。
- (3) 麥德林（哥倫比亞）不穩定斜坡的識別，麥德林（哥倫比亞）是哥倫比亞第二大城市，位於較深且相對狹窄的山內山谷中，地勢陡峭，降雨量大，容易發生山體滑坡。近幾十年來，該市經歷了幾次重大山體滑坡，造成了嚴重的破壞和人員傷亡，這凸顯遭受中度地震災害的城市中，有效的山體滑坡監測和管理的重要性。該市許多社區的特徵是非正式住區，不符合建築規範，並且位於陡峭的斜坡上，極易發生山體滑坡。另一方面，合成孔徑雷達干涉測量（InSAR）可以在不受天氣條件影響的情況下，頻繁、準確地測量大面積的地表變形。基於 InSAR 的位移圖可以檢測已知和未知的斜坡運動並進行時空表徵。在城市的不同區域都偵測到了幾厘米的輕微位移。測量的位移率一般小於 1 公分/年。製作的 InSAR 位移圖可以幫助麥德林當局識別面臨風險的地區，並採取積極措施保護居住在那裡的社區。這可以包括建造擋土牆、用植被加固斜坡或將居民搬遷到更安全的地區等措施。此外，這些資訊可用於開發預警系統，規劃和設計滑坡多發地區的基礎設施，並為發生滑坡時的緊急應變工作提供資訊。
- (4) 白鶴灘大壩是中國第二大水力發電廠，使用 InSAR 對白鶴灘水庫初次蓄水後的活動土石流進行檢測與監測。2021 年 4 月，水庫開始蓄水，短短 170 天內

水位上升 150 多萬。因此，研究白鶴灘水庫蓄水對兩側邊坡的影響，產生蓄水前後滑坡分佈圖，定量研究水位變化和降雨對土石流的綜合影響至關重要。研究共偵測到 76 處活躍滑坡，其中 21 處滑坡蓄水後出現明顯變形。蓄水前滑坡穩定，但蓄水後變形率增加。邊坡位移與水庫水位之間的皮爾遜相關性顯示，水庫水位的波動存在 72 天的滯後。滑坡變形和降水的小波分析顯示存在 60-90 天的時間滯後。此外，白鶴灘水庫首次蓄水顯著加速了與降水耦合的土石流位移。

- (5) 衛星干涉 InSAR 研究帕米爾高原和青藏高原典型土石流變形對氣候變遷的反應，帕米爾高原和青藏高原都經歷了持續升高的氣溫和異常天氣事件，這也導致斜坡不穩定，可能對山區造成風險。考慮到兩個地區的氣候條件不同，滑坡類型和變形過程的假設也不同。研究重點在滑坡變形過程並揭示不同氣候條件下的變形。帕米爾高原明顯的不穩定現象是岩石冰川湧動，迅速形成冰川湖並引發不可預測的湖泊潰決。另一個現象是青藏高原泥流速率的加快，破壞了草原，打破了多年凍土的平衡。利用基於衛星的干涉監測來檢索地面運動，並根據變形特徵識別山體滑坡和岩石冰川。結合 InSAR 和長時間序列偏移追蹤方法，重建典型案例的變形演化場景，掌握初步滑動到快速流動的大範圍岩石冰川或大規模滑坡變形過程。
- (6) 羅馬第一大學，使用照片監測，透過影像分析技術，可以使用差異比較來識別在不同時間獲取的一對（或多組）影像之間發生的變化的位置和程度（所謂的變化檢測）或使用光學數值測量「模式追蹤」技術，即與相機視線正交的平面中的位移或 2D 變形場（所謂的數位影像相關）。透過自動選擇隨時間推移獲取的數位影像以及隨後的變化檢測分析來檢測小型落石的潛力。紅外線熱影像技術所獲得的熱影像的首次應用也是在實驗室的模擬測試中進行的，用於重建邊坡降雨引發的山體滑坡。
- (7) 日本國土交通省，利用地面監控攝影機影像根據強度變化快速偵測滑坡和坡面運動，開發一種靈活實用的滑坡和地表運動檢測方法。先進的學習方法很普遍，將它們應用到大量的閉路電視(CCTV)中，實用性至關重要。透過利用過去主要滑坡相關現象的視訊資料庫，可以在不降低品質的情況下，可望適用於大量監控影像。



圖 9 會場入口



**a**



**b**

圖 10 海地地震山體滑動前後影像。

## 2.2.6 論壇第 4 天及閉幕式

最後一天仍然有許多人熱情參與和討論，圖 11，今天有 21 篇論文，簡述如下

- (1) 國立台灣大學全灰階法滑坡檢測，使用視訊記錄影像分析是監測土石流和其他斜坡土地災害的重要方法之一。這些監測數據可以幫助識別潛在風險，評估土石流災害的嚴重程度，並為災害管理的決策過程提供資訊。在當今消耗大量運算資源的機器學習世界中，不消耗太多運算能力的簡單影像分析方法可能是偵測山體滑坡的非常重要的工具。採用總灰階法計算並比較影像總灰階強度的變化進行檢測是有效的方法之一。初步測試已成功地使用傳統的影像分析技術（例如全灰階法）可以是一種低成本且有效的滑坡檢測方法。即使在低光照條件和低幀速率下，使用總灰階方法也可以成功偵測正在進行的山體滑坡。
- (2) 法國落石防護系統和事件的創新預警系統，驗證落石或泥石流保護系統是否受到影響，或是否可能發生山體滑坡或落石等事件。這種新型系統由直接安裝在落石/泥石流防護結構或滑坡或不穩定岩石表面的設備（HelloMac）和能夠收集多達 100 個設備數據的採集單元（Hubir）組成半徑 5 公里內並通過衛星或 GPRS 傳輸警報訊息。其優點是一旦有檢測變形並立即發出警報信號，即使在沒有電話網路覆蓋的偏遠地區也是如此。
- (3) 斯里蘭卡以關鍵降雨指數並制定降雨引發山崩的機率研究，降雨引發的山體滑坡是一種重大自然災害，可造成人員死亡並對基礎設施和自然造成廣泛破壞。準確、有效率的土石流預警對於減輕土石流災害的破壞性影響至關重要。然而，由於邊坡狀況和成因的不確定性，依賴經驗和確定性方法的傳統滑坡預警模型有其限制。雖然降雨是誘發土石流的最關鍵因素，但使用不同的降雨指數來定義閾值，並且確定最佳指數或指數組合至關重要。該研究室以人工智慧 (AI) 和機器學習 (ML) 的進步提供了對多個參數進行廣泛統計分析的機會，以評估它們對滑坡觸發的影響。透過主成分分析法對土石流發生時的不同降雨指標，如不同時間段的累積降雨量、土壤水分指數、工作降雨量等進行評估，以確定土石流發生的重要指標。圖 12，透過對集水區進行初步篩選而選定的滑坡。
- (4) 大韓民國全國性山崩預警系統，山崩是韓國森林山區最危險的災害之一。韓國的滑坡大多是夏季強降雨引發的淺層滑坡，降雨量約佔全年降水量的 60%。由於氣候變化，山崩災害變得更加嚴重。為了有效減少滑坡造成的損失，開發了全國性的滑坡預警系統 (KLES)。考慮到年平均降雨量和地質性質，他們定義了九個項目；重新微調設定的參數並在每個項目上進行最佳化。滑坡預警系統根據儲存的含水量（土壤水分指數；SWI），分別給予兩級警報：當 SWI 為 80%和 100%時，分別發出警告和警報。早期提供 1 小時的土石流預警訊息。該研究使用新的模式的降雨預報數據將其 1 小時預報範圍擴大到 12 小

時。

- (5) 菲律賓實施以人為本的山崩預警系統，使用地下滑坡感測器監測地下運動，使用滑坡預警委員會 (LEWC) 定期測量的地表標記監測地表運動，使用雨量計監測降雨量、地震以及地面運動表現的觀測。資料儲存在資料庫中，根據對所有數據的分析產生警報。向利害關係人傳播針對特定地點的及時預警訊息，提高風險意識，幫助他們準備和應對滑坡風險。
- (6) 瑞士國家滑坡預警系統，開發新的國家滑坡預警系統 (LEWS)，將於 2025 年啟動。為了評估正在考慮的方法的潛力並在區域範圍內驗證預警系統，已經進行了一項試點研究在納普夫地區，這是一個丘陵半森林地區（186 平方公里），近年來記錄了許多風暴引發的山體滑坡。試驗研究中 LEWS 的基石之一是對分佈在該地區的六個地點進行現場土壤濕度監測，代表海拔、傾斜和土壤條件的變化。研究展示瞭如何使用這些土壤濕度測量值以及數值土壤水力學滑坡模型來為即將推出的國家滑坡預警系統 LEWS 增加價值。

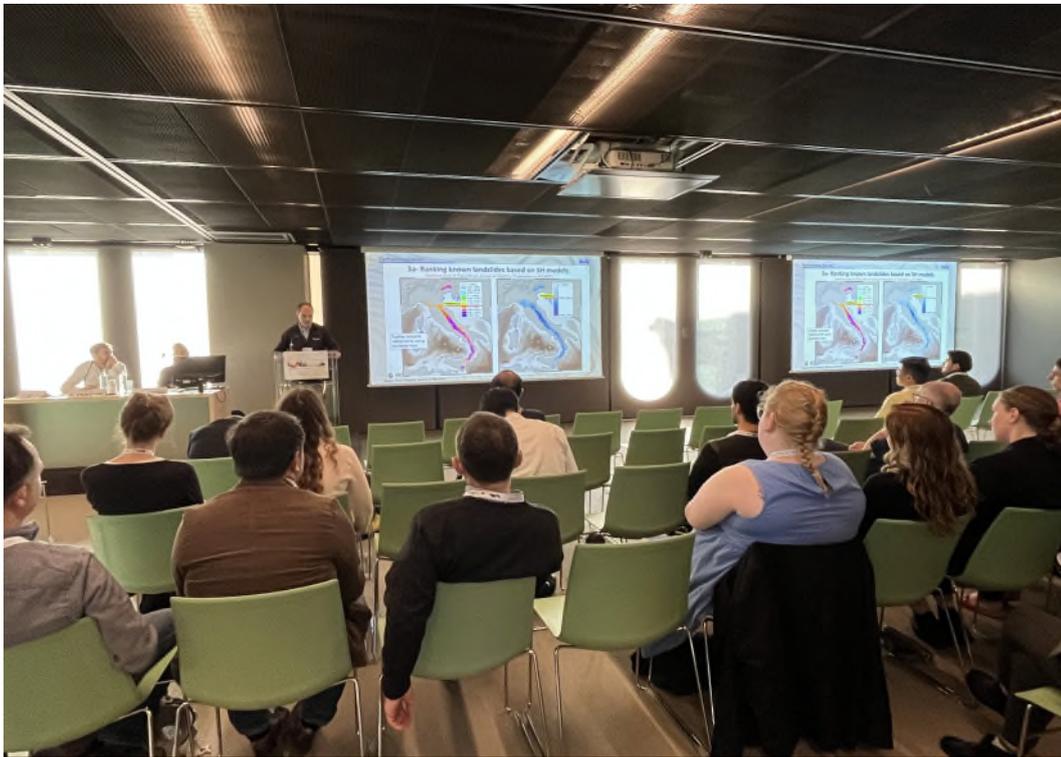


圖 11 分組會議發表

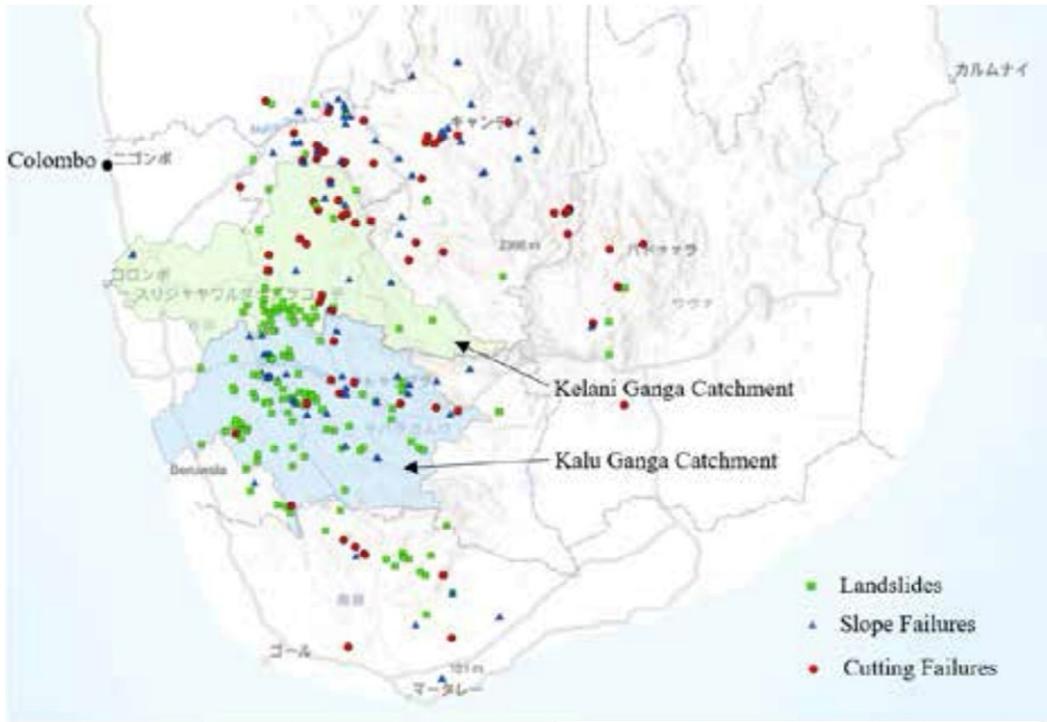


圖 12 透過對集水區進行初步篩選的滑坡

閉幕式由會議主席表達感謝之意，圖 13，台灣主辦下屆的主席中央大學董家均教授，說明整個參與國家及組織架構，圖 14，並由下屆秘書長鐘志忠教授，說明辦理進度及相關行程規劃，圖 15，為整個論壇劃上完美句點。



圖 13 閉幕式 Prof. Zeljko Arbanas 主席致詞



圖 14 閉幕式 下屆主席中大董家鈞教授



圖 15 閉幕式 下屆秘書長中大鐘志忠教授

## 2.3 參訪行程

本次參訪以規劃義大利中部拉蒂姆、翁布里亞和托斯卡納地區之間的武爾西尼火山區邊界的獨特景觀的 Civita di Bagnoregio 外，另為了解當地高速公路相關設施、休息站及路面品質，特別增加高速公路行程，不走舒適的鐵路而走較蜿蜒崎嶇的巴士，之後再往南至羅馬參訪羅馬競技場(COLOSSEUM 圓形劇場)的結構及基礎特性等行程，最後再從羅馬飛回台灣。

佛羅倫斯是一個古城，因此，私有運具無法進入，我們前往中部地區因為路途遙需搭乘中型巴士前往，因此，我們仍需搭乘公眾運輸工具至機場集合，從居住的飯店先搭公車再轉輕軌，是最快速有便利的交通工具，佛羅倫斯市已經可全面無紙化，結合手機 app，從購票及搭乘全部在手機完成，減少購票及尋找購票地點的時間，買票方便又有效率，只要在 90 分鐘以內，搭乘公車或輕軌都是 1.7 歐元，讓來的這個城市的旅人安心又可靠。另一方限制交通可以保護古城的路面外，也能避免古城內交通壅塞及汙染，減少交通事故及噪音，古城才能永續發展，生生不息。

### 2.3.1 高速公路及休息站

我們通往羅馬的 A1 高速公路及地區道路，在高速公路兩側有住家有設置隔音牆，而隔音牆會依照當地的自然環境及噪音設置不同造型及外觀的隔音牆，在車道標線以標線為主並無標鈕的設置，交流道區除在預告點有預告牌面外，地面上亦有地面指引標線，以引導用路人駛離高速公路，在資訊可變標誌為圖形化呈現，顯示螢幕尺寸比臺灣略大，圖 16。隧道區標線皆為虛線，與國內隧道區內為禁止變換車道的雙白線不同圖 17，在轉彎處所設置的安全方向導引標誌「輔 2」，標誌是黑底白色線條圖 18，其在夜間反光效果不錯，國內是黃底黑色線條。高速公路特爾尼省法布羅市休息站(Fabro Ovest)，大型車輛停車場僅以簡單的標線繪設，車輛就能有秩序且整齊的停在正確的位置，圖 19。地面停止線及牌面很簡單又清楚，圖 20。休息站雖然小但也已經有太陽能充電樁，提供電動車充電，圖 21。休息站內空間雖不大但無論是特色農場品或熱食區也是應有盡有，廁所乾淨又免費，圖 22。



圖 16 高速公路資訊可變標誌



圖 17 高速公路隧道內照明及標線



圖 18 高速公路安全方向導引標誌



圖 19 休息站大貨車停車場



圖 20 休息站停止線及標誌



圖 21 休息站太陽能充電車位



圖 22 休息站賣場及熱食區

### 2.3.2 武爾西尼火山區地質

義大利中部拉蒂姆、翁布里亞和托斯卡納地區之間的武爾西尼火山區邊界由內部和外部因素作用所產生的獨特景觀。

武爾西尼火山區一條窄帶組成，對應於火山岩屑（火山高原）和下新世軟黏土之間。有台地、孤山、懸崖、尖塔和塔樓等地形特徵代表了原始火山高原的遺跡，並且持續的大規模在運動，自古以來就是人類聚居地。

本區地質環境由兩種岩性碎岩和礦床組成，在沉積序列的底部存在海洋黏土，被火山複合體覆蓋（層狀火山碎屑沉積物、火成岩和較小程度的熔岩）。滑坡沉積物疊加在兩個複合體上。

白露裡治奧奇維塔 (*Civita di Bagnoregio*)，它位於堅硬的凝灰岩懸崖上，堆疊在更具塑性的粘土地層上，圖 23 及圖 24。幾個世紀以來，由於山體滑坡現象的影響，導致斜坡逐漸後退，如今，該鎮的生存受到山體滑坡的威脅，以至於被廣泛稱為「垂死小鎮」。近幾十年來，奇維塔受到新發生的嚴重邊坡滑坡的影響，圖 25，該鎮管理者和更廣泛的科學界將注意力集中在保護該鎮生存的問題上，無論是在人民安全、保護環境和生態方面。在建築遺產部分，過去幾十年也在努力針對邊坡動，對正在發生的自然現象進行仔細和嚴格理解的基礎上，確定適當的技術選擇實施對現有文化景觀影響最小的補強工程。由於特殊的地質和文化，該地區已列入聯合國教科文組織世界遺產暫定名錄。

從 19 世紀開始，當時凝灰岩下方的黏土開始侵蝕，並形成了一個難以到達的位置，之後就以木橋連接二地，不過隨者侵蝕越來越嚴重，木橋已經無法使用，而於 1965 年新

建完成奇維塔全景橋 (Ponte Panoramico di Civita)，這座現代化的懸臂式行人專用橋，是今天到達城堡的唯一方法，也讓徒步進入遺世獨居的城堡又增添許多令人驚豔的旅行。圖 26

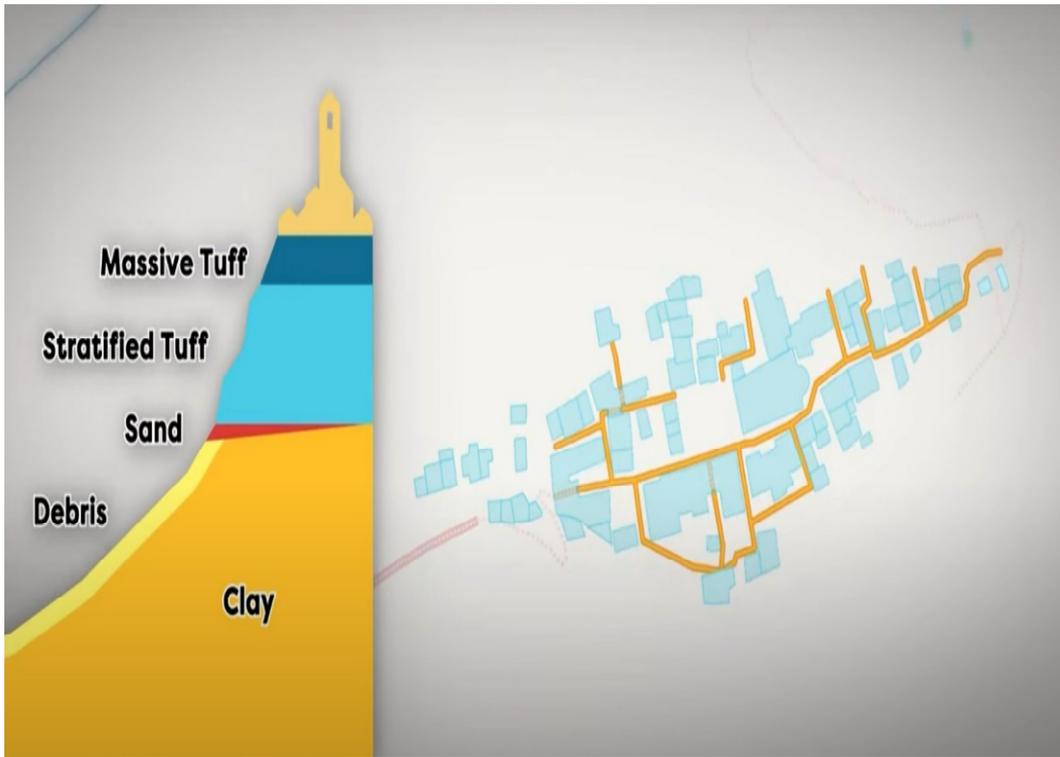


圖 23 白露裡治奧奇維塔(Civita di Bagnoregio)地質圖



圖 24 白露裡治奧奇維塔(Civita di Bagnoregio)現況地質



圖 25 白露裡治奧奇維塔(Civita di Bagnoregio)



圖 26 白露裡治奧奇維塔橋

### 2.3.3 羅馬

羅馬競技場，也稱為弗拉維安圓形劇場，是羅馬的一座大型圓形劇場。它建於弗拉維皇帝統治時期，作為送給羅馬人民的禮物。

羅馬競技場的建設始於西元 70 至 72 年，維斯帕相皇帝統治時期。它在近十年後開放，並在接下來的幾年裡進行了多次修改。這座巨大的建築長約 189 x 156 公尺（620 x 513 英尺），高四層，包括八十個圓形劇場入口其中七十六個供顧客使用，兩個供活動參與者使用，兩個專供皇帝使用。事實證明，入口數量之多是必要的，羅馬競技場在最大容量時可容納超過 50,000 名觀眾，可以在短短 15 分鐘內進出弗拉維安圓形劇場，而不會造成任何踩踏事件，圖 27。

當羅馬競技場首次開放時，提多皇帝舉行了一百天的角鬥比賽來慶祝。按照傳統，皇帝們都會出席比賽。據了解，康茂德皇帝曾在競技場上表演過數百次。除了比賽之外，羅馬競技場還會舉辦戲劇、重演，甚至公開處決。

最終，羅馬人對奧運的興趣減弱了。西羅馬帝國滅亡後，鬥獸場開始惡化。公元五世紀期間的一系列地震損壞了這座建築，也遭到了忽視。到了 20 世紀，原有建築近三分之二已被毀壞。儘管如此，修復工程於 20 世紀 90 年代開始修復羅馬競技場。

競技場座落在全新世沖積沉積物形成的地面上，與下面的上新世分層相比，該沉積物不那麼緻密，阻力也更小。紀念碑下方不均勻分佈的土壤剛度降低，是造成一些一階差異沉降、相對運動以及隨後局部應力增加的原因。因此，在第一次地震期間，導致主要損壞集中在紀念碑的南側。幾個世紀以來發生的地震是導致倖存結構目前的不對稱主要原因之一，圖 28。

羅馬競技場的外牆是用泥灰岩、石灰岩、水泥和其他石頭用鐵件固定在一起建造的，圖 29，建成後，它以橢圓形完全覆蓋了競技場和座位。外牆現在僅部分完好，因為在 1349 年的地震中倒塌一半。由於自然災害、多年來的污染和人為破壞，外牆進一步受損。其高約 48 米，厚約 3.5 米。

羅馬競技場的內部分為 3 層，第一層是為古羅馬的富裕階層所建造的。使用的柱子是多立克風格的。貴族和受人尊敬的階級被安排在第二層。第三層對外開放。這裡的柱子是科林斯式的，但沒有其他兩層那麼精緻。雖然鬥獸場內的所有座位都能清楚地看到競技場地板，但第三層以上的能見度最低，圖 30。

羅馬競技場在 19 世紀因受地震損壞進行補強工程，建造了兩個磚砌橋台，以加固立面的兩側，完工在牆面上豎立時間及建造人等資訊，可以說古羅馬時間就已經有的竣工銘誌，圖 31。

競技場新建從現在工程技術也相當的具有挑戰性，證明了古羅馬人在建築工程的輝煌和對細節，到令人難以置信的地步。



圖 27 競技場外觀



圖 28 結構不對視立面



圖 29 立柱石灰岩及固定鐵件



圖 30 內部各層構造



圖 31 補強工程

### 三、心得

- 3.1 為期4天的論壇，發表的文章高達數佰篇，分為7個場地同時進行，會議從早上一直到傍晚，紮紮實實，非常緊湊，一整天下來可以說是非常充實。每個分會場每天都有不同的主持人，除為該領域的翹楚外，在時間的掌控也很精準，讓每一位講者都在預定的時間完成，是值得我們舉辦國際研討會值得學習之處。
- 3.2 我們這次主要學習得目標在邊坡之監測及檢測，災害預防的相關主體為主，藉由本次的學習，國內相關公部門在此方面的做法如水保局、公路局、高公局，以及國內學術界在邊坡滑落的研究，與目前世界各國發展相同，包括在insar的應用、高精度數值模型、光達測繪、監測儀器、理論分析等等，都持續相繼投入相關研究，另一方面值得我們持續發展的部分，應該是硬體設備研發及使用方面，如智慧化落石防護系統、光達機器、地面雷達、地形儀器等，都展示國外最新的技術和設備，畢竟國內的市場規模較小，都是採用國外的設備，而一般而言其成本相較高，需要有一定的經濟效益才會引進。
- 3.3 在義大利山體邊坡數量超過620,000個，但根據義大利環境保護與研究所(ISPRA)於2021年設計的國家山體滑坡監測系統登記冊，大約有1,222 個邊坡被監測到，比例僅0.2%。而國道邊坡2570處，其中597處邊坡都有自動化監測儀器，足以顯示本局在邊坡監測的管理重視及積極性。
- 3.4 早期台灣受到亞洲開發銀行的協助，如中山高速公路新建的貸款，這次在山崩論壇仍然看到亞銀在對第三世界國家的協助角色，其中吉爾吉斯共和國山崩風險評估，亞洲開發銀行（ADB）批准了土石流風險管理部門專案。這是亞銀首個綜合預防性山崩風險降低投資，旨在保護吉爾吉斯共和國的農村社區。該國已發生 4,554起山體滑坡，其中 1,186 起山體滑坡正在發生，威脅著540多個定居點和 300 處基礎設施資產。約有5,000棟人口多達30,000人的房屋面臨潛在山體滑坡的威脅，這些房屋主要分佈在該國人口最稠密、農村和最貧困的奧什和賈拉拉巴德南部地區。山崩和地震造成的經濟損失外，對弱勢族群（即低收

人、婦女、兒童和老年人)的人類影響更大，讓我們印象深刻。

3.5歐洲太空總署 (ESA) 自2014年發射Sentinel-1 衛星後，具有時間間隔和所覆蓋的空間尺度方面具的特性，因此，廣泛應用在對區域、國家甚至大陸地區的地面位移進行連續監測。自2022年5月起推出新的歐洲地面運動服務 (EGMS) 代表了衛星干涉測量的使用和應用的一個新的轉捩折點。EGMS免費提供有關整個歐洲自然和人為地面運動現象的一致、定期 (每年更新) 和可靠的信息，精度為毫米。也為地質災害界和區域管理者提供了免費且豐富的知識來源。歐洲衛星技術持續的進步，對於全世界在遙測技術相互競合有深遠的影響。

3.6在地質條件不佳長期受到災害的奇維塔歷史區域，持續與自然和平共存，相關延緩或補救措施，儘量與所處的環境兼容並蓄，沒有人定勝天的想法，只有順勢而為的態度，細心呵護所身處的家園，讓我們不禁想起孔夫子所言樂天知命的生活態度，真的讓人尊敬。

3.7論壇會議地點很重要，這次會議就在車站附近，包括高鐵、火車、地面電車及公車站都在附近，交通便捷，四面八通，對於來自全世界四面八方參加的人很友善，每天從飯店到會場有時坐公車或走路，雖然公車沒有在大台北地區班次密集或有相關公車站牌的即時資訊，但透過下載APP就能掌握公車動態資訊，並透過手機購買公車電子票證，完全無需辦卡或以現金支付，且在90分鐘內而無限制搭車任何一種公共運輸工具，使用上對於短期的商務客或旅行者，是非常方便的和友善。

3.8在交通管理措施部分，由於佛羅倫斯及羅馬都是古城，嚴格禁止大型車輛進入，特別是在交通限制區 (ZTL)，以解決環境和安全問題。該市的目標是減少交通擁塞造成的空氣污染和擁擠。包括SUV在內的大型車輛因其燃油效率差和環境影響而受到批評，因此需要進行此類限制。此外，該禁令有助於保護古城的歷史和建築遺產，因為狹窄的街道和歷史遺跡不太適合大型車輛通行，限制車輛的進入有助於維護城市的文化完整性。

3.9在義大利高速公路道路鋪面品質、沿線的景觀及相關設施維護狀況不錯，在交通標誌方面，牌面簡單、標線清晰，其維護管理的方式值得我們借鏡。

#### 四、建議

本次參與研討會內容非常充實相當豐富，也獲益良多，茲就觀察所得建議如下：

- 4.1遙測技術應用於邊坡檢測及地表變形監測越來越廣泛，需涉及相當不同的科學領域，如地球科學、地球物理、系統工程與訊號、工程地質、地理資訊、土木工程等，國內需要整合更多的資源和技術，同時大多數人並未接受過使用INSAR數據的培訓，如何解決人才問題，都是需要我們一起思考和努力。
- 4.2義大利動則一棟建築物就超過百年或是歷史建築物或世界文化遺址，在古蹟的維護更是投入龐大的經費和物力，而且維護得相當不錯，國內古蹟的維護和補強方式，建議從較宏觀的角度看修復工法，跳脫在微觀的視野上。
- 4.3本次參與論壇的機會，了解全世界邊坡管理及預防災害的作法，不僅可以增廣見聞亦能相互交流台灣在邊坡上的成就與努力，三年一次的山崩論壇值得本局適時編列經費參加，尤其國道在邊坡及地錨檢測以有多年的實務經驗，從檢測、安全評估、地錨退場及補強設計，到補強工程施工，各階段完整全生命週期邊坡管理的制度，足以提供國外參考或借鏡的。

#### 參考文獻

1. 第 6 屆山崩論壇網站 <https://wlf6.org/>