

114年集水區殘坡多時序光學遙測監測計畫

Multi-Temporal Optical Remote Sensing Monitoring Program for Watershed Residual Slopes

計畫背景與目標

臺灣地處歐亞板塊與菲律賓海板塊交界，地殼活動頻繁，陡峻地形加上颱風與梅雨季節帶來之強烈降雨，使坡地崩塌與滑動風險長年居高不下，對國土安全構成嚴峻挑戰。農業部農村發展及水土保持署調查指出，全臺計有 552 處面積達兩公頃以上之殘坡，廣泛分布於各主要流域及鄰近人口聚集區域。所謂殘坡，係指集水區內坡面上處於暫態平衡或不穩定狀態之大量崩積土砂，其活動多具隱蔽性與緩慢變形特性，傳統人力巡查或地面儀器觀測不僅耗時費力，亦難以在高山深谷等交通不便地區進行全面且持續的監測，導致資料不足以支持區域性風險評估。

有鑑於此，本計畫導入 SPOT 衛星影像與高解析度航空攝影，整合多時序光學遙測資料，結合粒子影像測速法 (Particle Image Velocimetry, PIV) 建立標準化影像位移分析流程，以次像素精度量測地表緩慢變形趨勢。計畫聚焦曾文溪、大甲溪、濁水溪、淡水河及高屏溪五大集水區內共 172 處殘坡，運用 107 至 113 年共七期 SPOT 影像進行歷年位移分析，輔以逐月降雨累積量與震度 5 弱以上地震事件進行多時序研判，完成殘坡活動性「極高、高、中、低」四級分類。本計畫旨在建立可長期運行之大範圍殘坡監測體系，提供具科學依據之風險分級資訊，作為後續防減災資源配置、土地管理規劃與災害預警機制建立之重要參考依據。

光學遙測PIV分析流程



01 影像篩選準則

- 優先選用 5 - 8 月晴空影像，研究範圍內雲量須低於 10%，殘坡上方不得遮蔽
- 前後期衛星入射角須相近，降低高差移位誤差

02 影像前處理

座標與幾何

- 統一檢核座標系統，轉換為 TWD 1997 TM Taiwan
- 幾何對位 RMSE 需低於 1 個像元
- 依殘坡範圍裁切研究區域，排除背景干擾

波段轉換

- 4 波段 RGBA 轉換為 HSV 色彩模型，抽取 V (明度) 通道
- 統一輸出為單波段 8-bit 灰階 TIFF

03 位移分析

- 採 Time resolved (A+B, B+C, C+D) 連續時序配對模式
- 雙層遮罩法框選殘坡分析範圍，排除周邊背景雜訊
- 各階段依前一層位移初判結果動態修正搜尋視窗位置與形狀

雜訊處理

- 圈選速度散點範圍，過濾異常位移向量
- 保留 99% 信賴區間內之有效位移數據>VDP (有效偵測率) 建議維持 70~90%

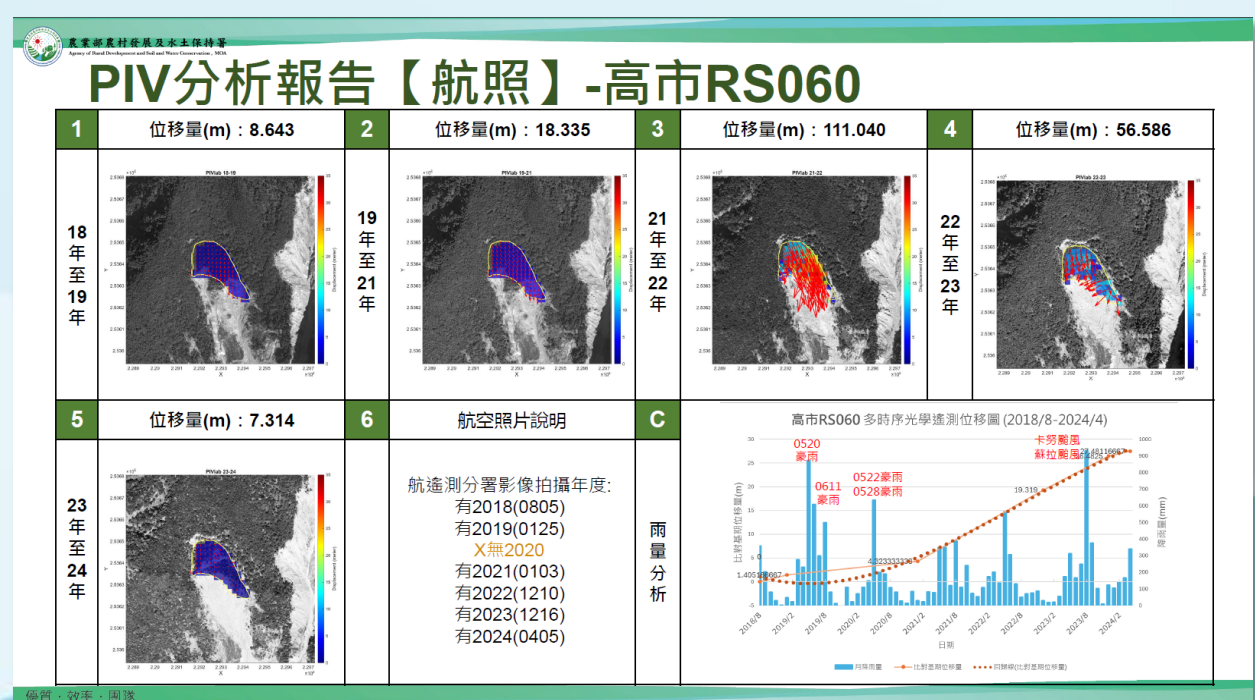
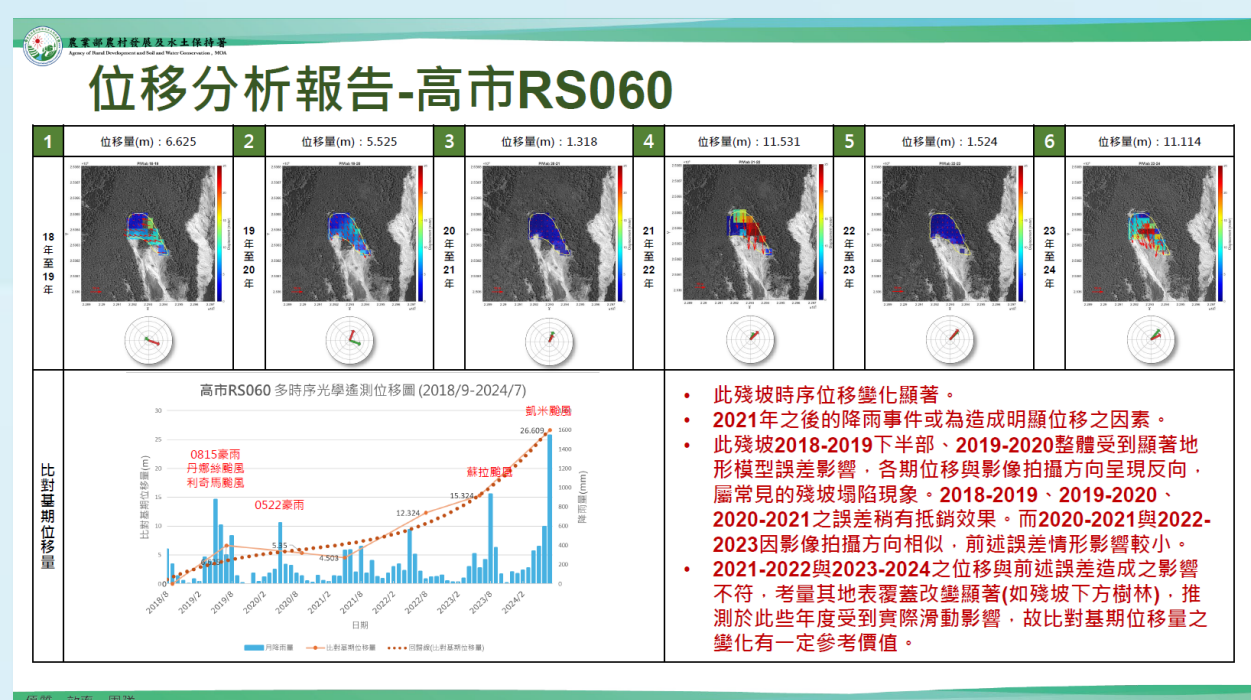
04 成果產出

圖資輸出格式

- 位移向量圖 (Shapefile)：各期 U/V 分量及整體位移量 (Magnitude)
- 位移量色塊圖 (GeoTIFF)：暖冷色系分層設色，範圍 0~25 m
- 災害事件疊合圖 (PDF)：整合多時序位移趨勢與外力事件

衛星及航測影像監測結果

使用SPOT6/7 民國107至113年影像，逐年分七期進行對比分析，輔以降雨及地震(震度≥5弱)事件標注，並完成172處殘坡位格分析報告。此外，基於SPOT 衛星影像分析結果之統計以及測站資料與航測影像之可及性，分別挑選了3處小位移及3處大位移之殘坡案例進行分析及比較。



衛星及航測影像應用於多時序位移監測之評估

衛星影像在時間連續性、覆蓋範圍與幾何穩定性上具明顯優勢，適合大範圍長期多時序監測；航照影像解析度較高，細部紋理判識精度較佳，但取得頻率受限、幾何修正複雜，高差移位效應尤難統一校正。就殘坡自然地表覆蓋條件而言，衛星影像解析度已足以支持位移分析需求。

評估項目	SPOT 衛星	航照影像
空間解析度	約 1.5 公尺，足供殘坡位移分析	可達 25 公分內， 細部紋理辨識較佳
時間解析度	重訪頻率高， 適合多時序監測	依年度航測計畫，頻率較低
覆蓋範圍	範圍廣， 適合區域尺度評估	單張較小， 需多張拼接
幾何穩定性	視場角小、誤差呈線性 > 較易修正	視場角大、拼接特性 > 高差移位複雜
正射影像誤差	受軌道姿態，及地形模型誤差影響	較無地形誤差，受控制點品質與拼接影響
天候與陰影	易受雲覆蓋影響	高山陡坡陰影干擾較顯著

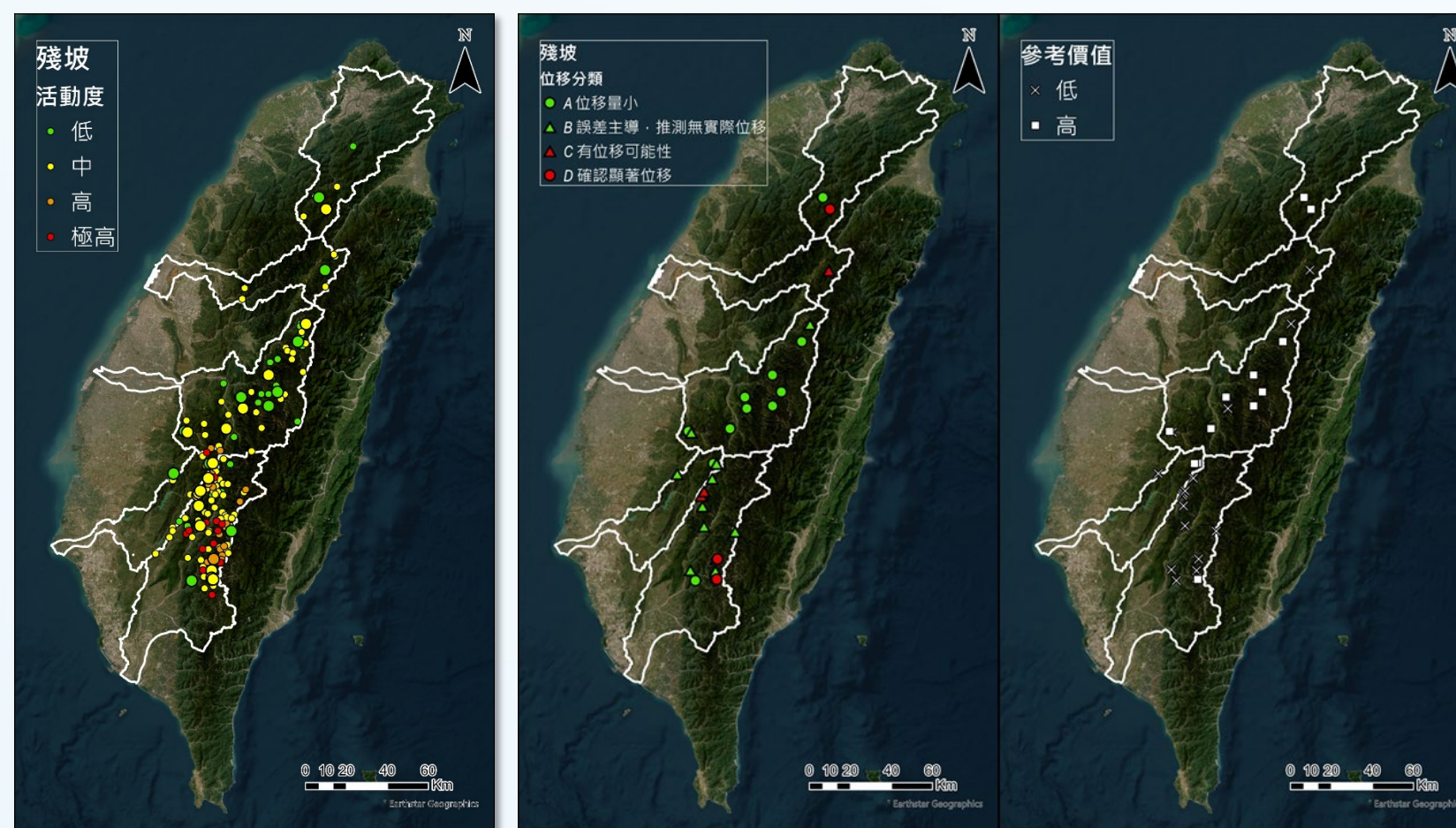
殘坡活動性分級

整合「位移潛勢」與「位移趨勢」兩項指標，對 172 處殘坡進行活動性分級。位移趨勢以 2018~2024 年時序位移量進行一次與二次曲線擬合，依斜率、曲率與 R² 判定趨勢方向：R²>0.5 且斜率與曲率均為正者為高潛勢 (加速位移)；R²≤0.5 者趨勢不顯著為中潛勢；R²>0.5 且斜率為負者為低潛勢 (趨緩遞減)。分析結果顯示中潛勢佔比最多 (56.4%)，高潛勢次之 (41.9%)，低潛勢僅 3 處 (1.8%)，顯示近半數殘坡趨勢尚不明確，後續監測頻度仍有提升空間。

高潛勢	中潛勢	低潛勢
72 (41.9%)	97 (56.4%)	3 (1.77%)

位移趨勢評級與數量(占比)

流域	低	中	高	極高	總數
淡水河流域	2	4	0	0	6
大甲溪流域	1	5	0	0	6
濁水溪流域	22	30	2	0	54
曾文溪流域	2	5	1	1	9
高屏溪流域	9	59	16	13	97
總數	36	103	19	14	172



(左)全臺殘坡活動度分級之流域分布圖
(右)活動性分析成果之可信度

各流域之殘坡活動度分布數量

殘坡分析結果驗證

以5處具GNSS現地監測資料場域進行驗證，系統性比對 SPOT 影像位移分析成果之位移速率、MAE、Bias、RMSE 及趨勢相關係數 (r)。由於影像分析反映整體坡面水平位移，而 GNSS 為點位三維距離量測，兩者絕對數值性質不同無法直接比較，驗證重點因此著重於時序趨勢之相關性與變化方向一致性。

各場域比對結果如下。竹縣 RS003 (秀巒崩塌) 相關性最高 (r = 0.96)，影像與 GNSS 平均位移速率分別為 8.21 與 9.86 mm/day，兩者均呈現相似的加速位移趨勢。嘉縣 LL004 (中心崙崩塌) 整體相關係數達 r = 0.91，兩者皆正確反映由 111 至 113 年間之位移趨緩現象。桃市 RS001 (光華崩塌) 影像位移速率 (18.94 mm/day) 約為 GNSS 測值 (3.89 mm/day) 之 4.9 倍，差異主因為影像涵蓋範圍內不安定土砂之額外位移，但趨勢相關係數仍達 r = 0.81。嘉縣 LL003 (樣仔寮崩塌) 整體 r = 0.70，兩者均呈現位移增加之趨勢。新北 LL002 (鵝鵝崙崩塌) 目前僅一年期比對資料，結果尚待後續累積驗證。

整體而言，SPOT 影像位移分析成果能有效反映坡面位移趨勢，惟各場域目前僅有三至四筆時序資料，建議後續提升觀測頻率以強化統計可靠性。

SPOT 衛星	觀測期間	觀測天數 (day)	PIV位移量 (mm)	GNSS位移量 (mm)	PIV位移速率 (mm/day)	測站位移速率 (mm/day)	平均絕對誤差 (MAE, mm/day)	偏差 (GNSS-PIV, mm/day)	RMSE (mm/day)	位移量相關性r
光華	2022/7/23~2023/6/7	319	7068.78	910.00	22.16	2.85	19.31	-19.31	15.64	0.81
	2023/6/7~2024/6/26	385	6281.89	1831.10	16.32	4.76	11.56	-11.56		
	2022/7/23~2024/6/26	704	13350.67	2741.10	18.96	3.89	15.07	-15.07		
秀巒	2022/7/23~2023/6/26	338	2290.00	3013.2	10.80	8.91	1.89	-1.89	3.00	0.99
	2023/6/26~2024/8/3	404	3651.00	4125.1	5.67	10.21	4.54	-4.54		
	2022/7/23~2024/8/3	724	5941.00	7138.3	8.21	9.86	1.65	-1.65		
鵝鵝崙	2023/6/7~2024/7/17	406	4208.3	1526.7	10.37	3.76	6.60	-6.60	n.a.	n.a.
	2022/6/22~2023/11/5	501	5167.3	10232.5	10.31	20.42	10.11	10.11		
	2023/11/5~2024/9/17	317	3965.3	4019.4	12.51	12.68	0.17	0.17		
中心崙	2022/6/22~2024/9/17	818	9132.6	14251.9	11.16	17.42	6.26	6.26	6.87	0.91
	2022/10/12~2023/11/5	389	1617.1	29.5	4.16	0.08	4.08	-4.08		
	2023/11/5~2024/9/17	317	2166.6	2572.6	6.83	8.12	1.28	1.28		
樣仔寮	2022/10/12~2024/9/17	706	3842.7	2602.1	5.44	3.69	1.76	-1.76	2.67	0.70

委託機關：農業部農村發展及水土保持署減災監測組

受託單位/設計監造單位：國立中央大學

執行期間/開工起迄：114年7月-115年4月



農業部農村發展及水土保持署
Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, MOA



優質 · 效率 · 團隊