出版品統一編號：ARDSWC-114-087

114 年集水區殘坡多時序光學遙測監測計畫成果報告書

2025 Multi-Temporal Optical Remote Sensing Monitoring Program for Watershed Residual Slopes

執 行 單 位：國立中央大學

執 行 期 間：114 年 6 月 27 日至 115 年 4 月 30 日

計畫主持人 ：黃智遠 副教授

共同主持人 ：姜壽浩 副教授

農業部農村發展及水土保持署　編印

中華民國 115 年 4 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本署施政參考)


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


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

114 年集水區殘坡多時序光學遙測監測計畫

摘要

臺灣位於板塊交界處，地殼活躍，加上陡峭地形與強烈降雨的影響，導致坡地崩塌與滑動風險極高，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的殘坡區位。由於殘坡活動多具有隱蔽性與緩慢變形的特性，傳統人力巡查或地面觀測難以全面掌握其變化趨勢。有鑑於此，本計畫旨在導入 SPOT 衛星影像與高解析航空攝影，整合多時序光學遙測資料，建立適用於大尺度區域性監測之標準化流程。

本計畫聚焦於曾文溪、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 年至 113 年之 SPOT 衛星影像、航攝影像，以粒子影像測速法(Particle Image Velocimetry, PIV)進行分析，並輔以地震、雨量等歷史監測資料進行多時序分析，期能建立不侷限於單時相、低解析度或覆蓋範圍有限之監測技術，滿足時間連續性與變形解析能力之精細監測需求。

關鍵字：光學遙測、集水區殘坡監測、多時序位移、粒子影像測速法、SPOT 衛星影像

2025 Multi-Temporal Optical Remote Sensing Monitoring Program for Watershed Residual Slopes

Abstract

Taiwan is situated at a tectonic plate boundary, where active crustal movement, coupled with steep terrain and intense precipitation, creates exceptionally high risks of slope failure and landsliding—posing severe challenges to national land security. Surveys conducted by the Soil and Water Conservation Bureau, Rural Development and Soil and Water Conservation Agency, Ministry of Agriculture, have identified 552 residual slope sites nationwide with individual areas exceeding two hectares. Given that residual slope activity is often characterized by concealed deformation and gradual displacement, conventional field inspection and ground-based observation are insufficient for comprehensively capturing spatiotemporal trends. In response, the 2025 Multi-Temporal Optical Remote Sensing Monitoring Program for Watershed Residual Slopes was initiated to introduce SPOT satellite imagery and high-resolution aerial photography, integrating multi-temporal optical remote sensing data to establish a standardized workflow suitable for large-scale regional monitoring.

The program focuses on 172 residual slope sites distributed across five major watersheds—the Zengwen, Dajia, Zhuoshui, Tamsui, and Gaoping river basins. SPOT satellite imagery and aerial photographs acquired from 2018 to 2024 were analyzed using Particle Image

Velocimetry (PIV), supplemented by historical seismic and rainfall monitoring records for multi-temporal displacement analysis. This approach aims to overcome the limitations of single-epoch, low-resolution, or spatially restricted monitoring techniques, thereby fulfilling the requirements of temporally continuous and deformation-resolving fine-scale monitoring.

Keywords: optical remote sensing, watershed residual slope monitoring, multi-temporal displacement, Particle Image Velocimetry (PIV), SPOT satellite imagery

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


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

目　次

摘要 I
ABSTRACT II
目　次 V
表　次 VI
圖　次 VII
第一章　緒論 1-1
第一節　計畫背景 1-1
第二節　計畫目的 1-2
第二章　作業方法 2-1
第一節　SPOT 衛星影像多時序監測殘坡活動性.....2-10
第二節　航空照片殘坡位移分析評估 2-25
第三節　殘坡活動性分析及監測成果展示建立.....2-27
第四節　光學影像多時序位移監測技術建立.....2-33
第五節　專案管理 2-36
第三章　期末成果 3-1
第一節　SPOT 衛星影像多時序監測殘坡活動性.....3-2
第二節　航空照片殘坡位移分析評估 3-29
第三節　殘坡活動性分析及監測成果展示建立.....3-38
第四節　光學影像多時序位移監測技術建立.....3-51
第四章　結論與建議 4-1
第五章　參考文獻 5-1
相關成果附件 附件-1
附錄一　期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形 附錄-1
附錄二　期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形 附錄-15
附錄三　期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形 附錄-29
附錄四　作業執行指引手冊 附錄-41

表　次

表 2.1、本計畫目標殘坡處監測清單 2-5
表 2.2、殘坡位移時序資料比對統計指標 2-24
表 2.3 、工作進度查核時間與內容 2-36
表 3.4、多時序影像蒐集紀錄表(示意)..... 3-4
表 3.5、研究期間內各年度震度 5 以上之地震數量統計表 3-10
表 3.6、五處驗證位置資訊 3-14
表 3.7、桃市 RS001(光華崩塌)GNSS 位移監測 3-20
表 3.8、竹縣 RS003(秀巒崩塌)GNSS 位移監測 3-21
表 3.9、新北 LL002(鵠鵠崙崩塌)GNSS 位移監測 3-22
表 3.10、嘉縣 LL004(中心崙崩塌)GNSS 位移監測 3-23
表 3.11、嘉縣 LL003(檨仔寮崩塌)GNSS 位移監測 3-24
表 3.12、 SPOT 量測之 PIV 與 GNSS 位移量比較..... 3-28
表 3.13、各年度航空照片與解析度差異表 3-30
表 3.14、3 處小位移及 3 處大位移之殘坡清單 3-30
表 3.15、航照量測之 PIV 與 GNSS 位移量比較 3-37
表 3.16、邊坡類別與誘發降雨統計 3-43
表 3.17、位移潛勢評級與數量 3-43
表 3.18、位移趨勢評級與數量(占比)..... 3-45
表 3.19、各流域之殘坡活動度分布數量 3-46

圖　次

圖 2.1、曾文溪流域範圍內殘坡 2-2
圖 2.2、大甲溪流域範圍內殘坡 2-2
圖 2.3、濁水溪流域範圍內殘坡 2-3
圖 2.4、淡水河流域範圍內殘坡 2-4
圖 2.5、高屏溪流域範圍內殘坡 2-4
圖 2.6、多時序位移監測標準作業流程 11
圖 2.7、桃市 RS001／桃縣_復興_光華大崩(淡水河)測站位置 .. 2-18
圖 2.8、竹縣 RS003／新竹縣尖石鄉_秀巒大崩(淡水河)測站位置 2-19
圖 2.9、114 年_79 處警戒發布區_鵠鵠崙 lslno 新北 LL002(淡水河) 2-20
圖 2.10、114 年_79 處警戒發布區_中心崙 lslno 嘉縣 LL004(朴子溪) 2-21
圖 2.11、114 年_79 處警戒發布區_檨仔寮 lslno 嘉縣 LL003(朴子溪) 2-22
圖 2.12 位移趨勢分級示意圖 2-28
圖 2.13 殘坡活動性分級關係圖 2-29
圖 2.14、箭頭向量多時序資料範例 2-31
圖 2.15、計畫甘特圖 2-37
圖 3.16、「土石流及大規模崩塌防災應變系統」歷史雨量下載介面 3-2
圖 3.17、逐時雨量資料範例 3-2

圖 3.18、增加記錄 SPOT 影像拍攝參數資訊 3-3
圖 3.19、殘坡多時序 SPOT 衛星影像範例..... 3-5
圖 3.20、桃市 RS001／桃縣_復興_光華大崩(淡水河)..... 3-8
圖 3.21、竹縣 RS003／新竹縣尖石鄉_秀巒大崩(淡水河)..... 3-8
圖 3.22、114 年_79 處警戒發布區_鵲鵲崙 lslno 新北 LL002(淡水河).
..... 3-8
圖 3.23、114 年_79 處警戒發布區_中心崙 lslno 嘉縣 LL004(朴子溪)
..... 3-9
圖 3.24、114 年_79 處警戒發布區_樕仔寮 lslno 嘉縣 LL003(朴子溪)
..... 3-9
圖 3.25、高差移位修正方法(優規) 3-12
圖 3.26、高差移位修正成果範例；(a)原始位移分析成果，(b)參考區
位移向量，(c)高差移位修正後之位移分析成果 3-13
圖 3.27 光華(桃市 RS001)GNSS-3 測站位置..... 3-15
圖 3.28 秀巒(竹縣 RS003) 各 GNSS 測站分布 3-16
圖 3.29 鵲鵲崙(新北 LL002) GNSS-15 測站位置..... 3-17
圖 3.30 中心崙(嘉縣 LL004) GNSS-20 測站位置 3-18
圖 3.31 樕仔寮(嘉縣 LL003) GNSS-23 測站位置 3-19
圖 3.32、位移趨勢分析示意圖 3-44
圖 3.33、全臺殘坡活動度分級之流域分布圖(放大之殘坡為優規成
果) 3-47
圖 3.34、活動性分析成果之可信度：左圖為高差移位分類成果評估，
右圖為高差位移成果之參考價值..... 3-48
圖 3.35、位移向量圖與位移量色塊圖於 ArcGIS 套疊範例..... 3-50

圖 3.36、竹縣 RS003 殘坡位移分析成果；(a) SPOT 影像分析成果，(b)航照影像分析成果 3-53
圖 3.37、本計畫衛星影像、航空照片 PIV 分析流程圖(上)..... 3-55
圖 3.38、本計畫衛星影像、航空照片 PIV 分析流程圖(下)..... 3-56
圖 3.39、高程造成高差移位示意圖 3-57
圖 3.40、以累計位移向量降低高差移位之影響 3-58
圖 3.41、交通部中央氣象署震度分級新、舊制比較表 3-59
圖 3.42、程式計算流程圖 3-60
圖 3.43、中央氣象署震度圖 3-60
圖 3.44、殘坡基本位置資訊 3-62
圖 3.45、本計畫產製之位移分析報告範例 3-63


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

第一章 緒論

第一節 計畫背景

臺灣位於東南方的菲律賓海板塊與西北方的歐亞板塊交界處，因活躍的地殼運動導致褶曲與斷層廣泛分布，進而形成節理、劈理與片理等次生弱面。這些構造弱面普遍具有低剪力強度與高孔隙率，使地層在外力作用下極易發生滑動與坍塌，特別是受旺盛的風化作用影響下，岩體強度將進一步劣化。配合臺灣陡峭的地形條件與破碎的岩質，加以季風與颱風夾帶強烈降雨集中於短時間內，經常導致坡面含水量迅速升高、土體(soil solum)抗剪強度降低，進而大幅增加坡地崩塌與滑動的風險，對國土安全與人民生命財產構成嚴峻挑戰。

根據農業部農村發展及水土保持署於 113 年調查結果，全臺面積達兩公頃以上之殘坡區位達 552 處，遍布主要流域及多個人口聚集處，顯示坡地災害潛勢已成為危及聚落與基礎設施安全的長期挑戰。然而，殘坡活動多具隱蔽性與緩慢變形特性，不易以人力巡查或是傳統地面觀測手段來全面掌握其變化趨勢，特別是在高山深谷等交通不便地區。即便透過既有儀器監測，也經常受到佈設點位不足、維護不易及空間代表性等因素干擾，導致資料不足以支持區域性風險評估。

在過去十年，雖已有遙測技術被應用於坡地災害研究，但多侷限於單時相、低解析度或覆蓋範圍有限之影像資料，其時間連續性與變形解析能力皆難以滿足精細監測需求。有鑑於此，本案導入 SPOT 衛星影像與高解析航空攝影為基礎，整合多時序光學遙測資料，結合影像位移量分析、特徵點追蹤與地表變形趨勢模型，建立適用於大尺度區域性監測之標準化流程。輔以粒子影像測速法(Particle Image

Velocimetry, PIV)等分析工具及技術，有效提升地表位移之量測精度，以建立可靠殘坡活動性評估模式，並提供空間風險分級資訊。

第二節 計畫目的

本計畫聚焦曾文溪、大甲溪、濁水溪、淡水河及高屏溪五大集水區內共計 172 處殘坡，並運用 107 年至 113 年之長時段、大範圍、高解析度之光學影像輔以歷史監測資料進行時序分析，並導入多時序光學影像與位移分析技術的制度化發展，協助農業部農村發展及水土保持署有效監測各流域內殘坡之活動性演變趨勢，進一步掌握集水區坡地變遷與潛在風險區位，並建立可長期運行之災害監測作業體系。

本計畫預期可提供具科學依據之坡地災害風險評估，做為日後政策擬定、土地使用規劃與防救災策略的依據。同時，透過成果之地理資訊圖資與可視化輔助展示，可協助相關單位更快速掌握資訊並辨識高風險區域，進一步強化國土災害風險管理的整合應用與實務操作效能，期以本計畫所累積之成果，作為後續政策制訂以及預警機制建立之重要參考，強化臺灣山坡地之災害防治、風險管理與跨機關溝通協作之應變量能。

第二章 作業方法

為達本計畫之目標，本計畫以農村水保署 114 年 7 月版全臺 552 處殘坡圖資料為範圍，聚焦於五大流域：曾文溪、大甲溪、濁水溪、淡水河及高屏溪中，面積達 2 公頃以上之殘坡(參圖 2.1 至圖 2.5)，排定流域優先序後，依《108-114 年殘坡變位分級表》中「活動度」分級高、中、低等級，依序排定監測殘坡處(若有多塊，則取最高等級代表整處)，計挑選共 172 處(另備選 10 處)具有地質不穩定風險者，作為本計畫監測標的，清單詳如下表 2.1。

本計畫所使用之影像是依特定標準篩選出適於 PIV 分析的 SPOT 衛星影像，於農村水保署「多元遙測影像申購模組」挑選後，進行申請與下載使用，另於「太空及遙測研究中心前瞻衛星開放服務平台」蒐集衛星影像拍攝參數以利篩選與管理；相關雨量測站、災害事件等資料皆取自「土石流及大規模崩塌防災應變系統」，以結合前述多時序資料進行分析。

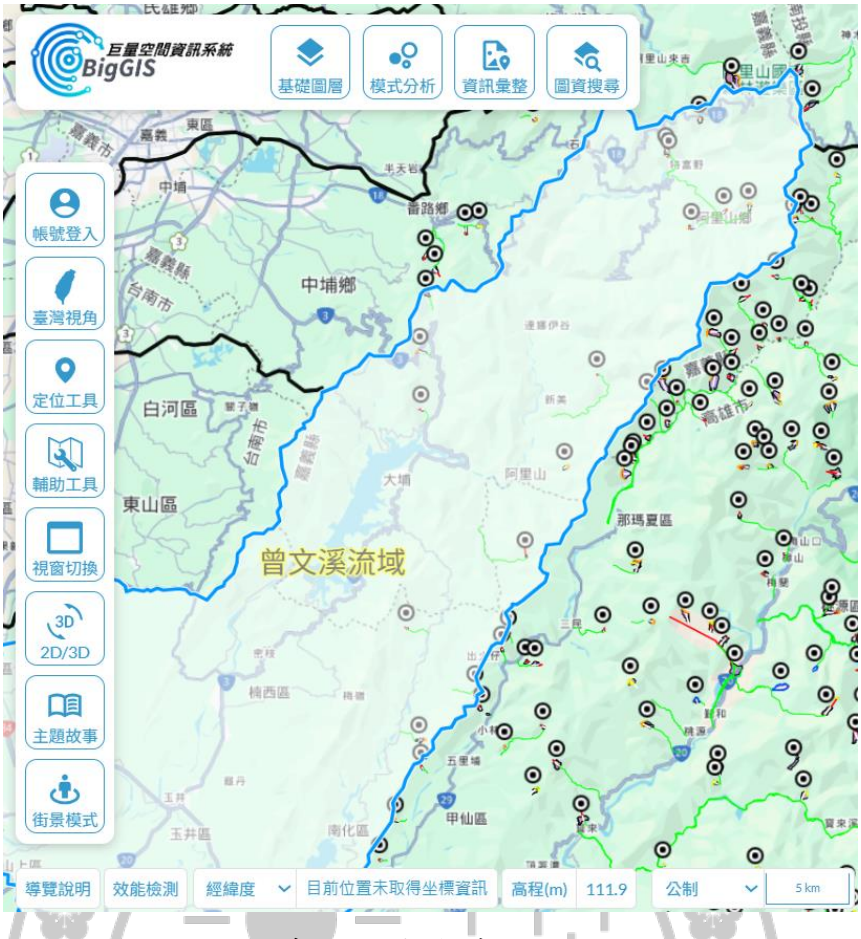


圖 2.1、曾文溪流域範圍內殘坡

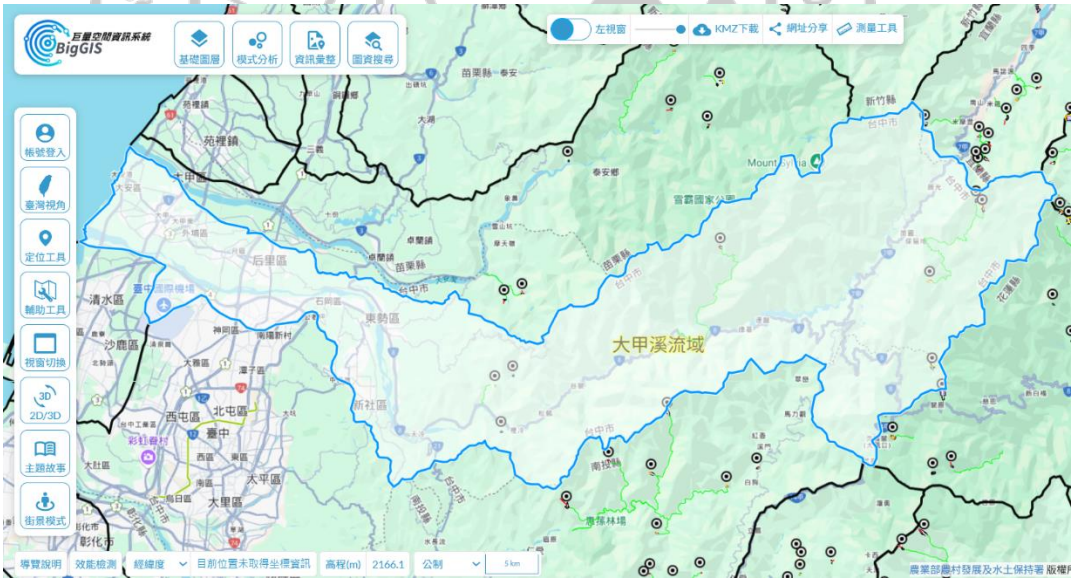


圖 2.2、大甲溪流域範圍內殘坡

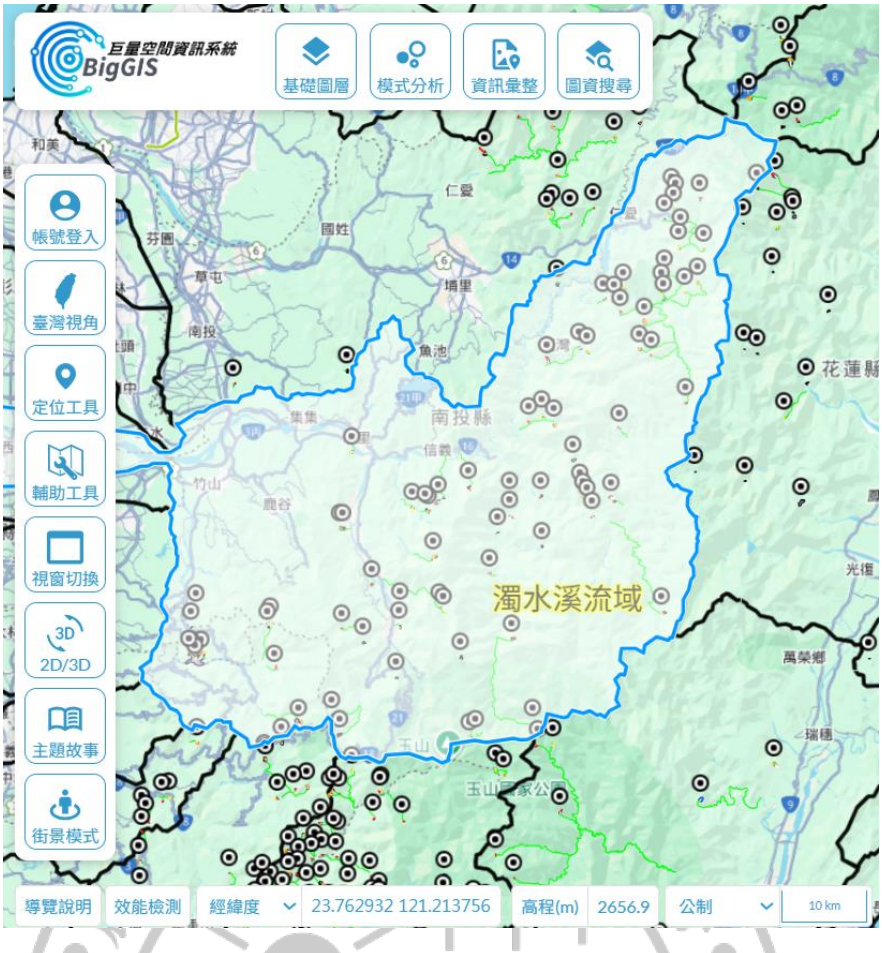


圖 2.3、濁水溪流域範圍內殘坡

Agency of Rural Development & Soil and Water Conservation, MOA

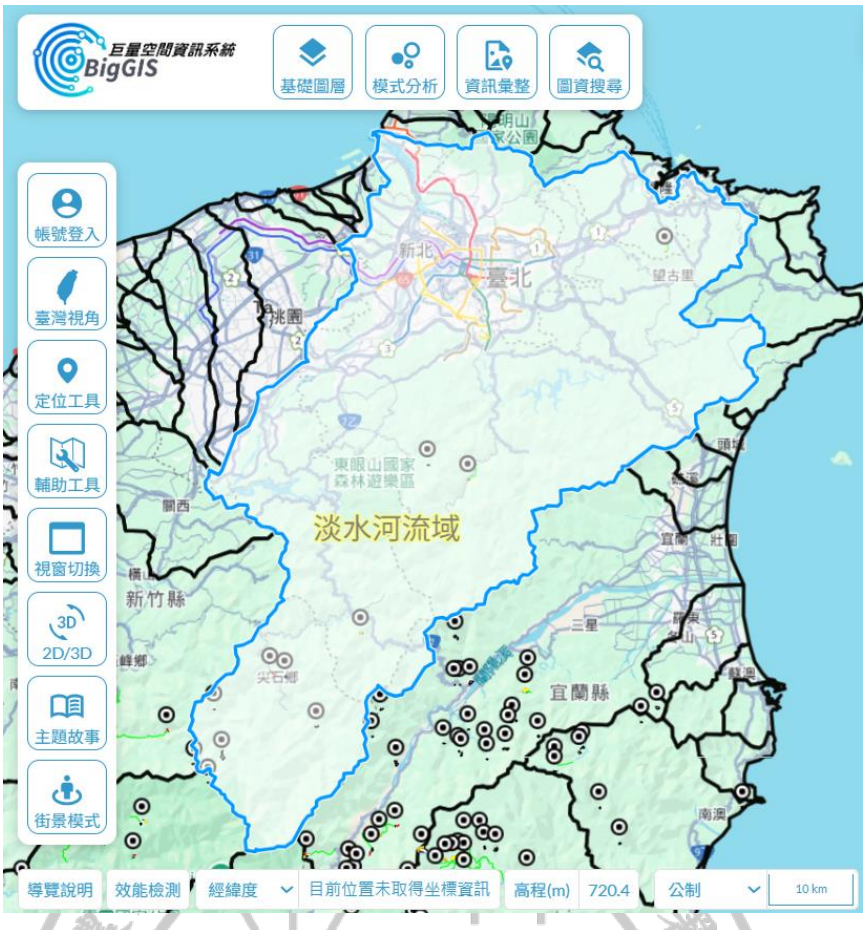


圖 2.4、淡水河流域範圍內殘坡

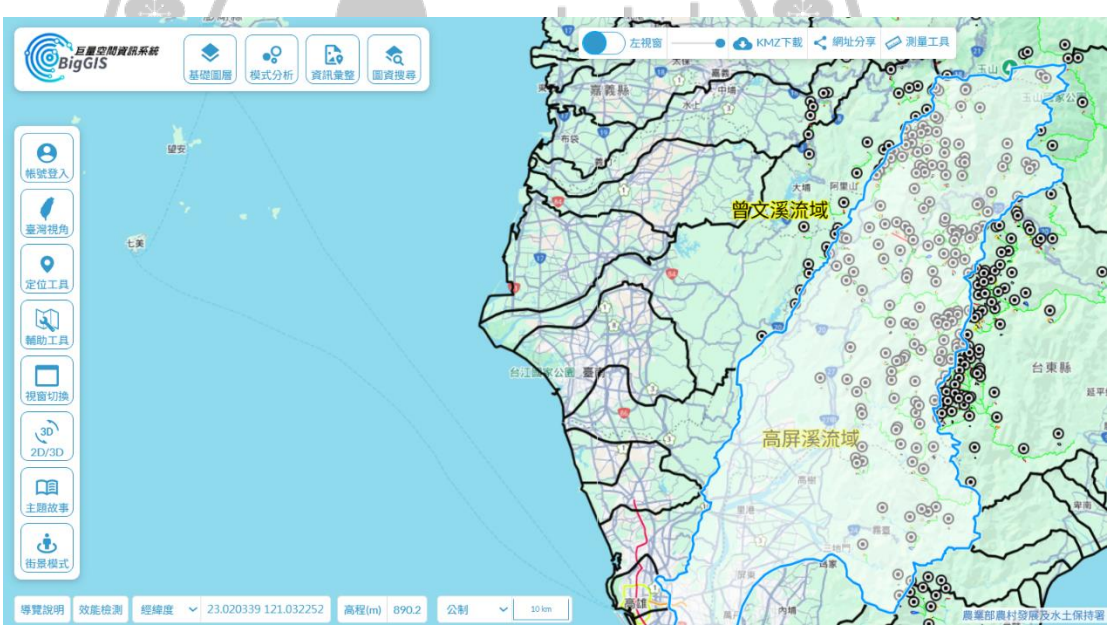


圖 2.5、高屏溪流域範圍內殘坡

表 2.1、本計畫目標殘坡處監測清單

序號	Basin	RSID	Note	附註
1	淡水河	桃市 RS001	Tamsui-3	
2	淡水河	竹縣 RS003	Tamsui-4	
3	淡水河	新北 RS001	Tamsui-5	
4	淡水河	竹縣 RS004	Tamsui-6	
5	淡水河	竹縣 RS006	Tamsui-8	
6	淡水河	竹縣 RS007	Tamsui-9	
7	大甲溪	投縣 RS018	Dajia-12	
8	大甲溪	中市 RS004	Dajia-13	
9	大甲溪	中市 RS009	Dajia-16	
10	大甲溪	中市 RS002	Dajia-26	
11	大甲溪	中市 RS003	Dajia-27	
12	大甲溪	中市 RS005	Dajia-4	
13	大甲溪	中市 RS006	Dajia-8	
14	濁水溪	投縣 RS058	Gaoping-1	
15	濁水溪	投縣 RS019	Jhuoshuei-11	
16	濁水溪	投縣 RS027	Jhuoshuei-14	
17	濁水溪	投縣 RS028	Jhuoshuei-15	
18	濁水溪	投縣 RS029	Jhuoshuei-17	
19	濁水溪	投縣 RS030	Jhuoshuei-19	
20	濁水溪	投縣 RS031	Jhuoshuei-21	
21	濁水溪	投縣 RS033	Jhuoshuei-24	
22	濁水溪	投縣 RS034	Jhuoshuei-25	
23	濁水溪	投縣 RS035	Jhuoshuei-26	
24	濁水溪	投縣 RS017	Jhuoshuei-27	
25	濁水溪	投縣 RS036	Jhuoshuei-28	
26	濁水溪	投縣 RS037	Jhuoshuei-29	
27	濁水溪	投縣 RS003	Jhuoshuei-31	
28	濁水溪	投縣 RS039	Jhuoshuei-34	
29	濁水溪	投縣 RS004	Jhuoshuei-35	
30	濁水溪	投縣 RS005	Jhuoshuei-36	
31	濁水溪	投縣 RS006	Jhuoshuei-37	
32	濁水溪	投縣 RS040	Jhuoshuei-39	
33	濁水溪	投縣 RS050	Jhuoshuei-41	

序號	Basin	RSID	Note	附註
34	濁水溪	投縣 RS071	Jhuoshuei-42	
35	濁水溪	投縣 RS072	Jhuoshuei-43	
36	濁水溪	投縣 RS051	Jhuoshuei-44	
37	濁水溪	投縣 RS052	Jhuoshuei-45	
38	濁水溪	投縣 RS073	Jhuoshuei-47	
39	濁水溪	投縣 RS053	Jhuoshuei-48	
40	濁水溪	投縣 RS043	Jhuoshuei-49	
41	濁水溪	投縣 RS022	Jhuoshuei-5	
42	濁水溪	投縣 RS044	Jhuoshuei-51	
43	濁水溪	投縣 RS075	Jhuoshuei-53	
44	濁水溪	投縣 RS080	Jhuoshuei-54	
45	濁水溪	投縣 RS045	Jhuoshuei-56	
46	濁水溪	投縣 RS046	Jhuoshuei-58	
47	濁水溪	投縣 RS055	Jhuoshuei-59	
48	濁水溪	投縣 RS023	Jhuoshuei-6	
49	濁水溪	投縣 RS076	Jhuoshuei-62	
50	濁水溪	嘉縣 RS035	Jhuoshuei-63	
51	濁水溪	投縣 RS065	Jhuoshuei-64	
52	濁水溪	投縣 RS059	Jhuoshuei-67	
53	濁水溪	雲縣 RS001	Jhuoshuei-68	
54	濁水溪	嘉縣 RS038	Jhuoshuei-70	
55	濁水溪	嘉縣 RS036	Jhuoshuei-72	
56	濁水溪	投縣 RS024	Jhuoshuei-8	
57	濁水溪	投縣 RS054	Jhuoshuei-81	
58	濁水溪	投縣 RS077	Jhuoshuei-84	
59	濁水溪	投縣 RS047	Jhuoshuei-85	
60	濁水溪	投縣 RS081	Jhuoshuei-86	
61	濁水溪	投縣 RS078	Jhuoshuei-87	
62	濁水溪	投縣 RS079	Jhuoshuei-88	
63	濁水溪	投縣 RS025	Jhuoshuei-9	
64	濁水溪	投縣 RS042	Jhuoshuei-90	
65	濁水溪	嘉縣 RS037	Jhuoshuei-91	
66	濁水溪	投縣 RS067	Jhuoshuei-93	
67	濁水溪	投縣 RS062	Jhuoshuei-94	
68	濁水溪	雲縣 RS004	Jhuoshuei-95	

序號	Basin	RSID	Note	附註
69	濁水溪	投縣 RS048	Jhuoshuei-96	
70	濁水溪	投縣 RS063	Zengwun-1	
71	濁水溪	嘉縣 RS004	Zengwun-18	
72	濁水溪	投縣 RS064	Zengwun-2	
73	曾文溪	嘉縣 RS017	Gaoping-58	
74	曾文溪	南市 RS002	Zengwun-15	
75	曾文溪	南市 RS003	Zengwun-16	
76	曾文溪	嘉縣 RS043	Zengwun-19	
77	曾文溪	嘉縣 RS044	Zengwun-20	
78	曾文溪	嘉縣 RS003	Zengwun-3	
79	曾文溪	嘉縣 RS030	Zengwun-4	
80	曾文溪	嘉縣 RS032	Zengwun-6	
81	曾文溪	嘉縣 RS033	Zengwun-7	
82	曾文溪	嘉縣 RS034	Zengwun-9	
83	高屏溪	高市 RS012	Gaoping-113	旗山溪
84	高屏溪	高市 RS011	Gaoping-109	旗山溪
85	高屏溪	高市 RS007	Gaoping-89	旗山溪
86	高屏溪	高市 RS006	Gaoping-88	旗山溪
87	高屏溪	高市 RS003	Gaoping-103	旗山溪
88	高屏溪	高市 RS084	Gaoping-190	旗山溪
89	高屏溪	高市 RS005	Gaoping-191	旗山溪
90	高屏溪	高市 RS019	Gaoping-56	旗山溪
91	高屏溪	嘉縣 RS016	Gaoping-55	旗山溪
92	高屏溪	嘉縣 RS021	Gaoping-43	旗山溪
93	高屏溪	嘉縣 RS020	Gaoping-40	旗山溪
94	高屏溪	嘉縣 RS015	Gaoping-29	旗山溪
95	高屏溪	嘉縣 RS014	Gaoping-28	旗山溪
96	高屏溪	嘉縣 RS012	Gaoping-24	旗山溪
97	高屏溪	嘉縣 RS013	Gaoping-25	旗山溪
98	高屏溪	嘉縣 RS027	Gaoping-20	旗山溪
99	高屏溪	高市 RS087	Gaoping-23	旗山溪
100	高屏溪	高市 RS018	Gaoping-38	旗山溪
101	高屏溪	嘉縣 RS011	Gaoping-21	旗山溪
102	高屏溪	嘉縣 RS025	Gaoping-17	旗山溪
103	高屏溪	嘉縣 RS024	Gaoping-16	旗山溪

序號	Basin	RSID	Note	附註
104	高屏溪	高市 RS017	Gaoping-36	旗山溪
105	高屏溪	高市 RS016	Gaoping-33	旗山溪
106	高屏溪	高市 RS020	Gaoping-60	旗山溪
107	高屏溪	嘉縣 RS008	Gaoping-8	旗山溪
108	高屏溪	嘉縣 RS006	Gaoping-6	旗山溪
109	高屏溪	嘉縣 RS007	Gaoping-7	旗山溪
110	高屏溪	嘉縣 RS005	Gaoping-155	旗山溪
111	高屏溪	高市 RS002	Gaoping-112	寶來溪
112	高屏溪	高市 RS079	Gaoping-110	寶來溪
113	高屏溪	高市 RS078	Gaoping-108	寶來溪
114	高屏溪	高市 RS080	Gaoping-111	寶來溪
115	高屏溪	高市 RS083	Gaoping-80	寶來溪
116	高屏溪	高市 RS077	Gaoping-107	寶來溪
117	高屏溪	高市 RS123	Gaoping-118	寶來溪
118	高屏溪	高市 RS125	Gaoping-120	寶來溪
119	高屏溪	高市 RS122	Gaoping-116	寶來溪
120	高屏溪	高市 RS026	Gaoping-125	寶來溪
121	高屏溪	高市 RS044	Gaoping-201	寶來溪
122	高屏溪	高市 RS028	Gaoping-128	寶來溪
123	高屏溪	高市 RS024	Gaoping-123	寶來溪
124	高屏溪	高市 RS027	Gaoping-127	寶來溪
125	高屏溪	高市 RS113	Gaoping-104	寶來溪
126	高屏溪	高市 RS076	Gaoping-105	寶來溪
127	高屏溪	高市 RS115	Gaoping-76	活度分級:高
128	高屏溪	高市 RS112	Gaoping-100	活度分級:高
129	高屏溪	高市 RS090	Gaoping-30	活度分級:高
130	高屏溪	高市 RS106	Gaoping-61	活度分級:中
131	高屏溪	高市 RS043	Gaoping-188	活度分級:中
132	高屏溪	高市 RS119	Gaoping-95	活度分級:中
133	高屏溪	高市 RS098	Gaoping-46	活度分級:中
134	高屏溪	高市 RS064	Gaoping-69	活度分級:中
135	高屏溪	高市 RS114	Gaoping-74	活度分級:中
136	高屏溪	高市 RS116	Gaoping-82	活度分級:中
137	高屏溪	高市 RS097	Gaoping-45	活度分級:中
138	高屏溪	高市 RS021	Gaoping-70	活度分級:中

序號	Basin	RSID	Note	附註
139	高屏溪	高市 RS032	Gaoping-147	活度分級:中
140	高屏溪	高市 RS050	Gaoping-170	活度分級:中
141	高屏溪	高市 RS101	Gaoping-49	活度分級:中
142	高屏溪	高市 RS093	Gaoping-39	活度分級:中
143	高屏溪	高市 RS039	Gaoping-180	活度分級:中
144	高屏溪	高市 RS105	Gaoping-59	活度分級:中
145	高屏溪	高市 RS068	Gaoping-81	活度分級:中
146	高屏溪	高市 RS070	Gaoping-84	活度分級:中
147	高屏溪	高市 RS089	Gaoping-27	活度分級:中
148	高屏溪	高市 RS082	Gaoping-96	活度分級:中
149	高屏溪	高市 RS065	Gaoping-71	活度分級:中
150	高屏溪	高市 RS061	Gaoping-203	活度分級:中
151	高屏溪	高市 RS056	Gaoping-185	活度分級:中
152	高屏溪	高市 RS109	Gaoping-64	活度分級:中
153	高屏溪	高市 RS118	Gaoping-93	活度分級:中
154	高屏溪	高市 RS060	Gaoping-206	活度分級:中
155	高屏溪	高市 RS037	Gaoping-168	活度分級:中
156	高屏溪	高市 RS072	Gaoping-86	活度分級:中
157	高屏溪	高市 RS013	Zengwun-17	活度分級:中
158	高屏溪	高市 RS049	Gaoping-138	活度分級:中
159	高屏溪	高市 RS051	Gaoping-172	活度分級:中
160	高屏溪	高市 RS040	Gaoping-181	活度分級:中
161	高屏溪	高市 RS038	Gaoping-175	活度分級:中
162	高屏溪	高市 RS058	Gaoping-187	活度分級:中
163	高屏溪	高市 RS074	Gaoping-90	活度分級:中
164	高屏溪	高市 RS001	Gaoping-132	活度分級:低(六龜區)
165	高屏溪	高市 RS046	Gaoping-134	活度分級:低(茂林區)
166	高屏溪	高市 RS048	Gaoping-137	活度分級:低(茂林區)
167	高屏溪	高市 RS057	Gaoping-186	活度分級:低(茂林區)
168	高屏溪	高市 RS054	Gaoping-176	活度分級:低(茂林區)
169	高屏溪	高市 RS053	Gaoping-174	活度分級:低(茂林區)
170	高屏溪	高市 RS052	Gaoping-173	活度分級:低(茂林區)
171	高屏溪	高市 RS042	Gaoping-183	活度分級:低(桃源區)
172	高屏溪	高市 RS075	Gaoping-102	活度分級:低(桃源區)

序號	Basin	RSID	Note	附註
173	高屏溪	高市 RS081	Gaoping-94	備選，活度分級:低(桃源區)
174	高屏溪	高市 RS120	Gaoping-99	備選，活度分級:低(桃源區)
175	高屏溪	高市 RS035	Gaoping-159	備選，活度分級:低(桃源區)
176	高屏溪	高市 RS036	Gaoping-160	備選，活度分級:低(桃源區)
177	高屏溪	高市 RS034	Gaoping-158	備選，活度分級:低(桃源區)
178	高屏溪	高市 RS033	Gaoping-156	備選，活度分級:低(桃源區)
179	高屏溪	高市 RS031	Gaoping-145	備選，活度分級:低(桃源區)
180	高屏溪	高市 RS108	Gaoping-63	備選，活度分級:低(桃源區)
181	高屏溪	高市 RS104	Gaoping-57	備選，活度分級:低(桃源區)
182	高屏溪	高市 RS100	Gaoping-48	備選，活度分級:低(桃源區)

本計畫以上表 2.1 所列殘坡清單位置作為研究標的，進行相關研究資料之蒐集與分析，分以四大工項，逐一說明各作業細項。

第一節 SPOT 衛星影像多時序監測殘坡活動性

本工作項目使用 SPOT6、7 衛星於 107 年至 113 年間所拍攝之高解析度歷史光學影像資料，每年挑選一期，計 7 期影像，共 6 年間距進行年度地表位移變化分析。透過系統化處理流程將原始影像轉換為可量化、可比較之位移量資訊，建立具時序性之殘坡活動性監測資料，進行跨年度、多時序的地表微位移量測與趨勢追蹤，最終透過相關測站監測資料進行驗證，並探討光學衛星遙測分析技術在殘坡長期監測中的可靠度以及適用性。

一、多時序位移監測

多時序位移監測為本計畫核心任務，旨在建立一套可長期運作且具延展性之監測流程體系，經檢視農村水保署既有影像資源，其作業程序涵蓋四個主要步驟，包含 1.影像取得與篩選作業、2.影像資料前處理、3.前後期影像比對分析、4.位移量分析報告。標準作業程序流程請參下圖 2.6。

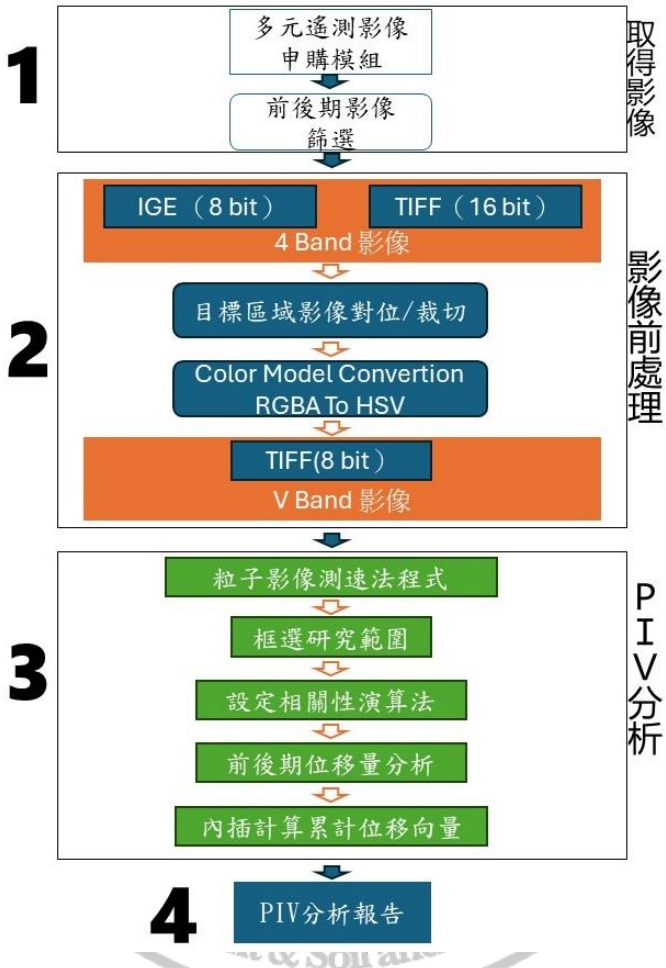


圖 2.6、多時序位移監測標準作業流程

1.影像取得與篩選作業

本階段為整體監測流程中最為關鍵之起點，其核心目標在於取得具備高品質、低干擾且具時序對應性之遙測衛星影像資料，訂定影像挑選原則如下：

(1) 季節性優先：優先挑選夏季(5 月至 8 月)期間之 SPOT 衛星影像，此時期接近夏至，太陽高度角較高，可降低山區地形與樹木陰影的干擾，有助於呈現殘坡面之細部結構與特徵。

(2) 雲層遮蔽排除：為避免雲層遮蔽影響殘坡像素點之清晰度與可判釋性，肉眼觀察影像中目標殘坡區域雲量，影像須盡可能保持整體殘坡範圍無雲層遮蔽，並特別關注分析目標區域是否完整可見。

(3) 入射角與光照條件考量：若夏季期間無法取得清晰且無雲的目標殘坡影像，則擴大時間範圍進行挑選，並優先選取拍攝仰角、方位角、與太陽高度角相近的影像對，以減少因高差移位幾何變形與陰影差異所導致的誤差，提升前後期影像之幾何一致性與比對精度。此外，若影像因太陽高度角較低而產生陰影，須進一步檢視殘坡是否位於受影響的陰影區域，若不影響判釋可予以保留，反之則剔除。

(4) 殘坡可視性與目標完整性：所選影像應保證目標殘坡在影像中具完整性，避免邊界模糊或因成像條件不佳而缺失觀測資訊之情況。

結合以上原則，為確保影像挑選作業具備標準化流程與可重現性，制訂以下作業流程，並搭配紀錄機制以提升作業效率：

(1) 初步以雲量資訊、影像清晰度(如模糊度、亮度一致性)等品質指標進行初步篩選，排除不適合進行時序比對之低品質影像，以提升後續變形偵測準確度。

(2) 針對每一處殘坡，採「逐點建檔」模式進行影像資料蒐集與記錄，以單一殘坡為基本分析單元，依下列優先順序評估與擇定適用影像對：

A. 是否具備 5 月至 8 月間之晴空、無雲、無陰影遮蔽影像。

B. 若無，是否有具備類似太陽高度角、相近拍攝時段且可避開陰影干擾之影像。

C. 前後期影像是否具備高幾何對應一致性，包括入射角差異小、成像季節與氣候條件類似者為優先。

考量 SPOT 衛星影像具一定程度的側視特性，入射角差異將可能因高差移位(relief displacement)導致地形位移量評估誤差，故優先篩選入射角度接近、拍攝季節與太陽入射角類似之前後期影像對，並記錄影像拍攝參數，以輔助評估成像投影幾何之一致性。為提升監測精度，依前述篩選方式進行建立本計畫使用之光學影像資料庫，倉儲符合時間間隔合理、解析度相似等條件之前後兩個時期之相同區域影像，除去雲層遮蔽、強烈陰影或影像模糊等品質不良資料，避免上述因素顯著影響地表特徵判釋與匹配準確性。

2. 影像資料前處理

本計畫影像分析來源為農村水保署「多元遙測影像申購模組」提供，經檢視其所有之 SPOT6、7 影像主要為 4 波段彩色影像，會因年度不同有不同之儲存格式，如本計畫使用年度若為 2018、2019 年皆以 IGE 格式儲存，2020 至 2024 年則為 Tiff 格式，亦有不同的輻射解析度(位元數量)，究其影像主要由相關計畫加值應用後匯集，影像涵蓋範圍不一，亦無一致之坐標系統資訊，因此需建立一套精確且一致的研究區域裁切、影像轉換、幾何對位處理流程，並對分析結果具有決定性影響。以光學衛星遙測影像進行位移分析時，為使影像分析具相同標準，進行各影像相同研究範圍裁切並將 4 波段 RGBA 進行色彩模型轉換(Color Model Conversion)為 HSV (Hue, Saturation, Value)色彩模型，抽取 V 通道，統一轉存為 8 bit 以利後續進行 PIV 分析。又因各期影像可能有品質不完全相同之問題，光學衛星的直接地理定位(Direct Georeferencing)誤差及拍攝角度差異仍會造成前後期正射影像間一定程度的整體偏移，有地勢高低所造成的高差移位，且本計畫測區為缺乏地面控制點的山區。因此，本步驟亦評估是否需根據時序影像中非殘坡區域靜止不動的特徵物(如道路、裸岩等)進行地理對位，降低前述因素之影響，聚焦分析因地表變動所產生的真實位移。

3. 前後期影像比對分析

將前處理完成之影像匯入至粒子影像測速法程序，並框選分析區域，排除周邊非目標區塊，以減少不必要之運算量與背景雜訊干擾，確保運算效能與結果品質，並使用「Multipass FFT window deformation」演算法，結合多層次視窗尺度與快速傅立葉轉換進行階段式位移估算，兼具效率與準確性。視窗配置依影像研究範圍設定三階層視窗大小，例如第一階段採用 128 像元，第二階段為 64 像元，第三階段縮小至 32 像元，透過由大至小遞進運算方式，確保高訊雜比(Signal-to-Noise Ratio)，並逐步提昇空間解析能力。各階段運算將依據上階層位移初判結果動態修正搜尋視窗位置，同時視窗亦會進行變形以配合位移趨勢，能顯著提高向量場密度與微位移解析度，並減少異常誤判向量發生機率，為後續進行空間統計與活動性評估奠定可信基礎。

本計畫影像經由粒子影像測速法，獲得前後期影像間之像素級位移場資料，由於衛星影像因高差位移行為不同影響分析結果，為減少此影響，透過像素級位移場所包含各個像元所對應之位移向量大小與方向，進行內插及累計，並採計 99%信賴區間去除極端異常值。

4. PIV 分析報告

經由前述粒子影像測速法所得之分析結果，像素級位移場除可作為災害初判依據外，未來亦可進一步結合雨量及地震資訊、進行空間統計分析、活動性分級、變形熱區鑑別、殘坡變形追蹤、或崩塌潛勢預測模型之輸入等發展方向。

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

本工項所需資料之蒐集方式如下：

（一）SPOT6、7 衛星影像

本計畫自農村水保署「多元遙測影像申購模組」取得 SPOT 衛星影像後，基於前述作業流程，建立影像光學資料庫，並另透過「太空及遙測研究中心前瞻衛星開放服務平台」蒐集與記錄相關影像拍攝參數資料，輔助評估殘坡的地表微形變，進一步產製跨年度、具時序性與空間一致性之位移量化資料。

（二）雨量資料

本計畫自農村水保署「土石流及大規模崩塌防災應變系統」取得各鄰近殘坡處雨量測站資料，優先順序以署屬有人站＞自動氣象站、自動雨量站＞農業站，選取本計畫 2018-2024 年研究期間內已設測站並有監測紀錄者。

二、衛星影像監測成果驗證

（一）驗證區

本計畫利用農村水保署提供之大規模崩塌潛勢區與大規模崩塌年報中，過去 111 年至 113 年已具有位移監測數據之場域，擇定「竹縣 RS003／新竹縣尖石鄉_秀巒大崩(淡水河)」、「桃市 RS001／桃縣_復興_光華大崩(淡水河)」、「114 年_79 處警戒發布區_鵠鵠崙 lslno 新北 LL002(淡水河)」、「114 年_79 處警戒發布區_中心崙 lslno 嘉縣 LL004(朴子溪)」、「114 年_79 處警戒發布區_檨仔寮 lslno 嘉縣 LL003(朴子溪)」等 5 處的案例(參圖 2.7 至圖 2.11)與衛星之監測成果進行對比分析，以驗證、評估多時序衛星影像在殘坡活動性監測之可靠度以及適用性。

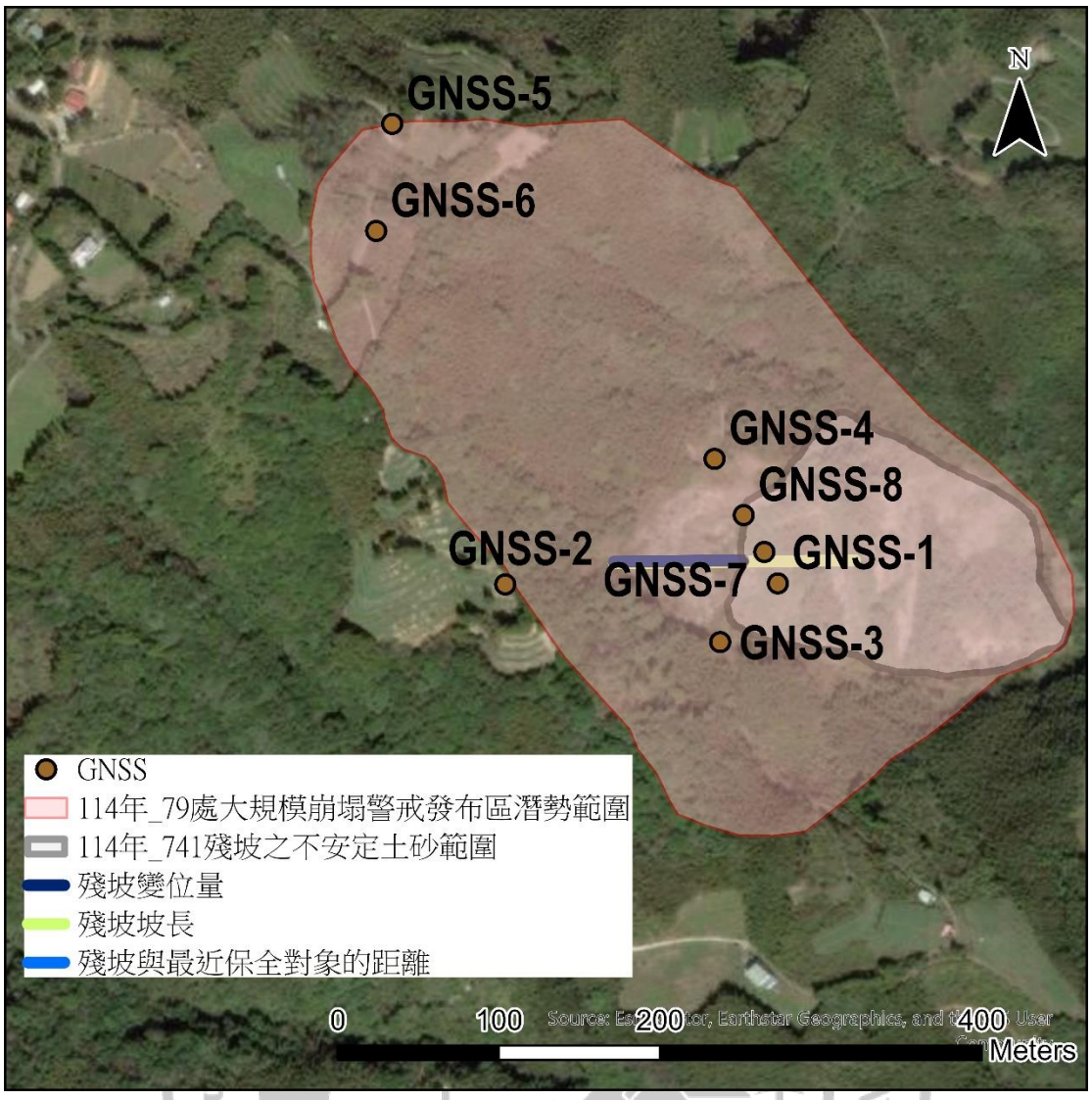


圖 2.7、桃市 RS001／桃縣_復興_光華大崩(淡水河)測站位置

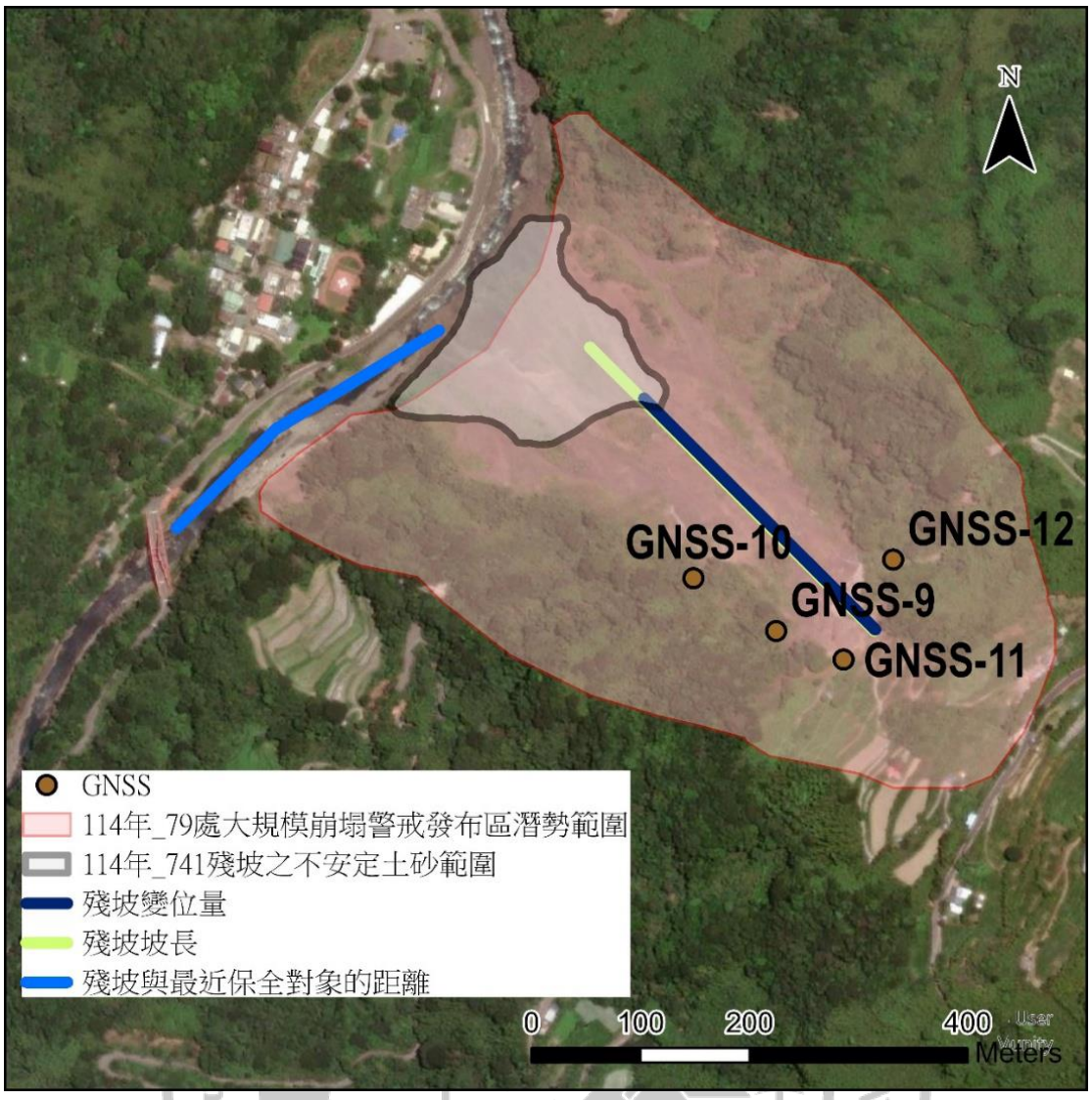


圖 2.8、竹縣 RS003／新竹縣尖石鄉_秀巒大崩(淡水河)測站位置

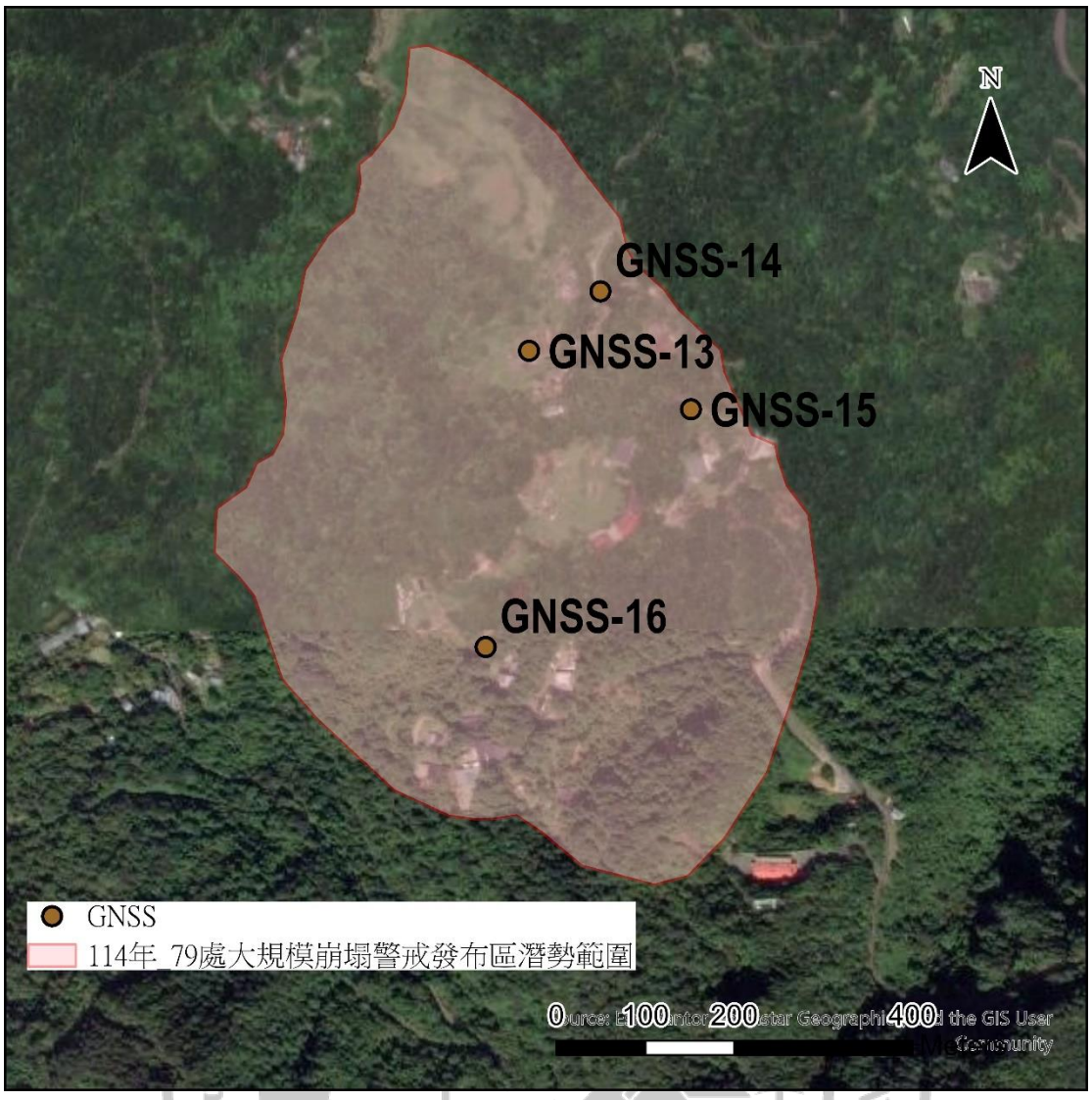


圖 2.9、114 年_79 處警戒發布區_鵠鵠崙 lslno 新北 LL002(淡水河)

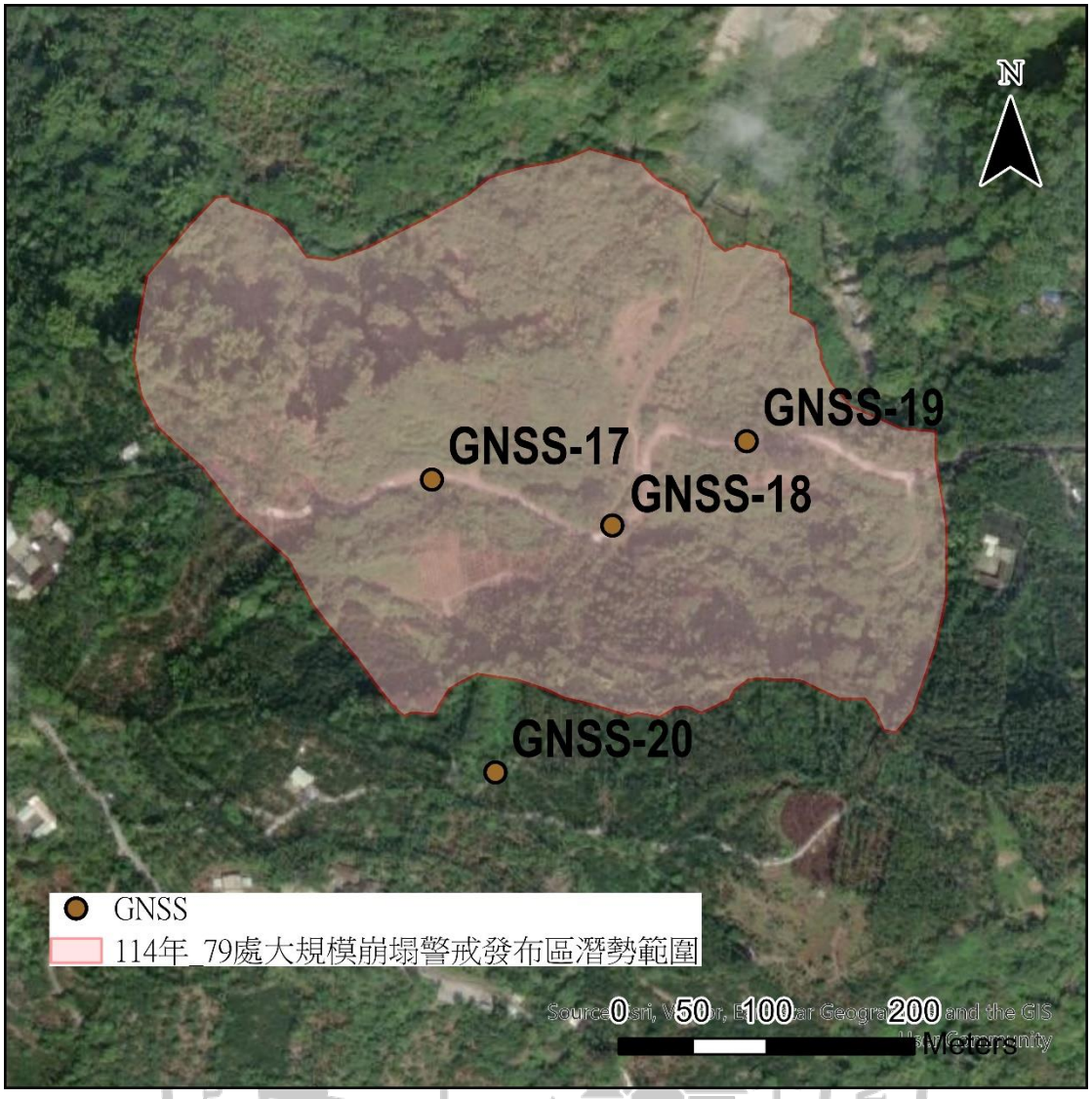


圖 2.10、114 年_79 處警戒發布區_中心崙 lslno 嘉縣 LL004(朴子溪)

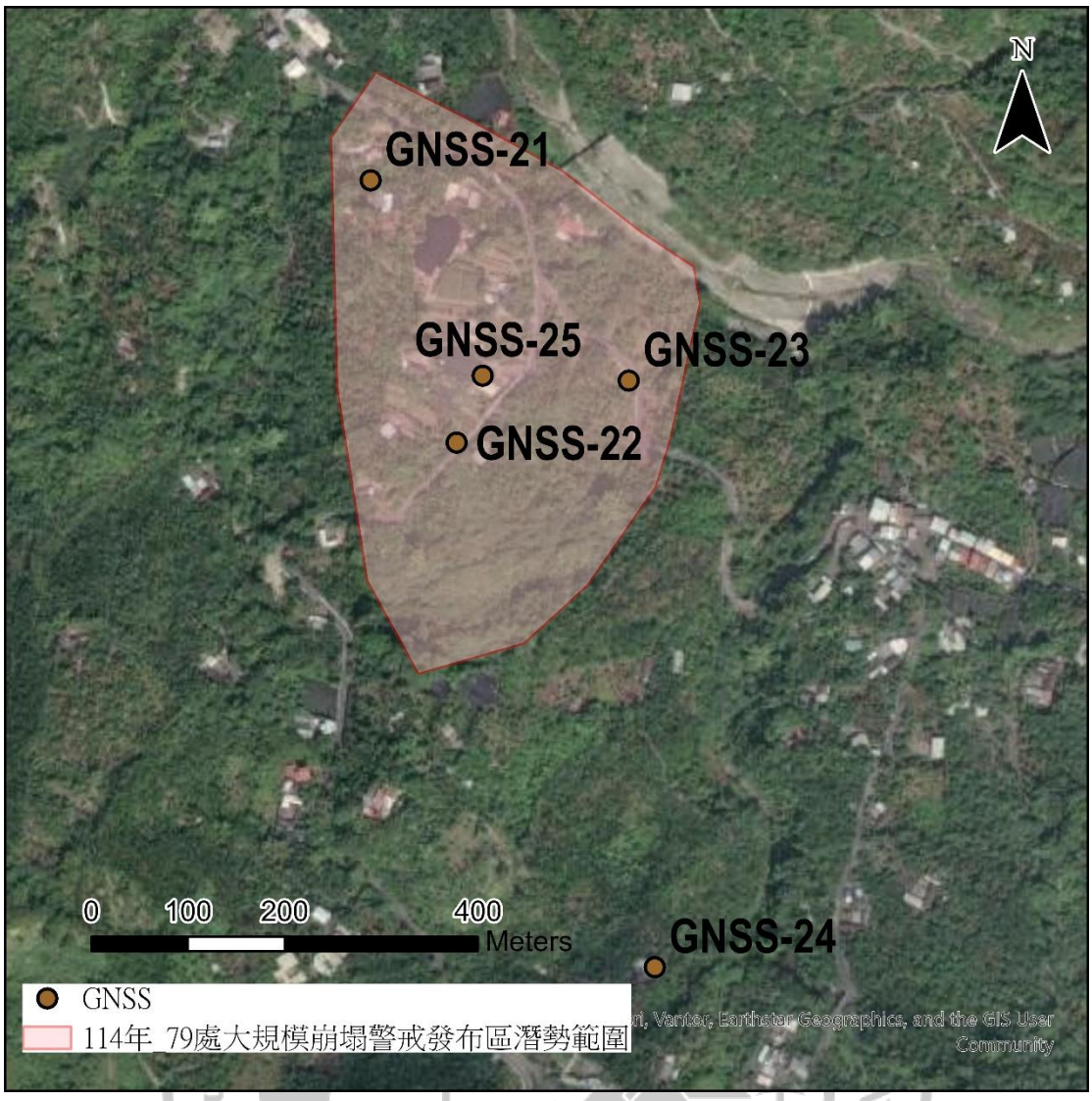


圖 2.11、114 年_79 處警戒發布區_檨仔寮 lslno 嘉縣 LL003(朴子溪)

（二）測站資料

經檢視測站記錄三維坐標的 1 日最大變位量(Max 1-day Displacement)，單位為公釐(mm)。進行光學影像位移量監測成果之量化驗證之前，必須先將各時期位移量進行資料處理，擷取代表坡面之二維平面位移量。

在擷取坡面之時間序列資料後，與實測之位移資料進行比對。在比對時序資料上，可能面臨比對不同長度或時間對齊不一致的時序資料問題，因此首先必須確立位移量起算始點在日期上必須相同或相近，據此進行移量(如 mm)以及移量變化率(如 mm/day)之比較。取得可比較之位移時間序列後，本計畫採用常用之統計指標進行比對，包含平均絕對誤差(MAE)、均方根誤差(RMSE)、平均偏誤(Bias)以及皮爾森相關係數(Correlation)。詳細內容請參閱下表 2.2。

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

表 2.2、殘坡位移時序資料比對統計指標

指標名稱	公式	描述	特性
平均絕對誤差 MAE (Mean Absolute Error)	MAE = $(1/n) \sum \lvert y_i - \hat{y}_i \rvert$	預測值與觀測值之間的平均絕對誤差	單位與原資料相同，對極端值較不敏感
均方根誤差 RMSE (Root Mean Square Error)	RMSE = $\sqrt{[(1/n) \sum (y_i - \hat{y}_i)^2]}$	預測誤差的平方平均後取平方根	強調大誤差，常用於評估整體精度
平均偏誤 Bias	Bias = $(1/n) \sum (\hat{y}_i - y_i)$	預測值與實際值的平均差	評估系統性高估或低估
皮爾森相關係數 Pearson Correlation Coefficient (r)	r = $\sum[(y_i - \bar{y})(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})] / \sqrt{[\sum(y_i - \bar{y})^2 \sum(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2]}$	衡量預測值與觀測值之間的線性相關程度	值介於[-1, 1]，越接近 ±1 表示相關性越強

第二節 航空照片殘坡位移分析評估

本計畫將基於 SPOT 衛星影像殘坡監測成果，將殘坡位移量進行直方圖統計，並預期以位移量分佈挑選共 6 處不同位移量之殘坡，並以航空照片或無人機影像進行殘坡位移分析，最終與衛星影像所得之位移成果及驗證資料進行比較。

一、評估影像解析度之差異性與限制

相較於光學衛星影像，航空照片通常具有達 25 公分以內之高解析度。理論而言，較高的空間解析度有助監測細微的地表變形與小規模滑動。然而，若基於粒子影像分析法評估位移量，前後期航空照片的幾何對位精度需求將隨解析度提高，反而提升資料處理難度，且容易造成潛在的位移量誤差。此外，高空間解析度預期對於不同地表覆蓋更為敏感，尤其樹林所造成的高差移位將更加顯著，對於前後期影像對位及位移量分析皆會造成影響。相較之下，由於裸露地無高差移位，且高解析度應有助於在相對高同質性的裸露地辨識特徵，進而達到較好的位移量分析成果。而若欲降低上述問題的干擾，多層次影像尺度之影像金字塔技術預期為一種解決方案。經由降低解析度進行比對後再於高解析度進行細化，或可先達衛星影像之位移量分析成果精度再突顯航空照片高解析度之優勢。

二、航照影像監測成果驗證

整體而言，本案將根據前述因素挑選不同位移量共 6 處之測區，使用航照影像進行位移量分析。如成果驗證方法，航照影像監測成果亦將與過去已有位移監測數據之場域進行比對及各項精度指標計算。最終，基於前述共 6 處航照影像監測成果，本案挑選其中 5 處場域，針對不同感測器影像來源(如光學衛星、航空照片)，探討其可行性與精度表現。

第三節 殘坡活動性分析及監測成果展示建立

本工作項目聚焦於整合多時序位移監測成果，進行殘坡活動性之評估與分級。為進一步提升殘坡管理策略之延續性，依據分析成果提出下一年度監測計畫建議，並提供所產製之多時序位移圖及活動性分級結果，整合至 BigGIS 巨量空間資訊系統以進行線上展示與應用。

一、殘坡活動性評估分析

本計畫利用殘坡位移監測數據將殘坡之活動性進行分級，作為後續殘坡活動性評估之依據。殘坡活動性量化分類方法綜合考量殘坡之「位移潛勢」以及「位移趨勢」。前者為殘坡因自身特性被外力(如雨量)驅動位移之難易程度；後者則考量位移發展之趨向為減慢、持平或加速等特性。

整體分析需要收集三類因子，分別為：計畫成果所得之殘坡位移監測數據、邊坡本身之特性以及降雨因子。殘坡位移監測數據為包含各處殘坡可得之各時期位移量、平均位移量、最大位移量，以及上述之位移速率等統計量。具體來說殘坡活動度之分級方法可分為下列三個步驟。

(1)建立殘坡位移潛勢，旨在分析邊坡因自身特性被外力(本計畫主要考量降雨)導致位移之難易程度。其方法為利用殘坡之坡度、坡向、以及坡面堆積殘留情形(根據 Weighted Landslide Stability Index,

WLSI 進行分析)等參數，對殘坡特性以非監督性分類方法 K-mean Cluster 進行分群，歸納各類型邊坡特性。並分析各類邊坡之整體位移速率與降雨參數之關聯，以了解不同類形坡面發生位移之潛勢(分為高、中、低)。

(2)分析坡面之位移趨勢，方法為以二次函數匹配觀測位移時序資料，計算函數曲率來判別位移量之趨勢為加速、趨緩或持平。分成高、中、低三類。本計畫認為，位移之程度固然重要，但亦必須考量位移之趨勢(圖 2.12)。

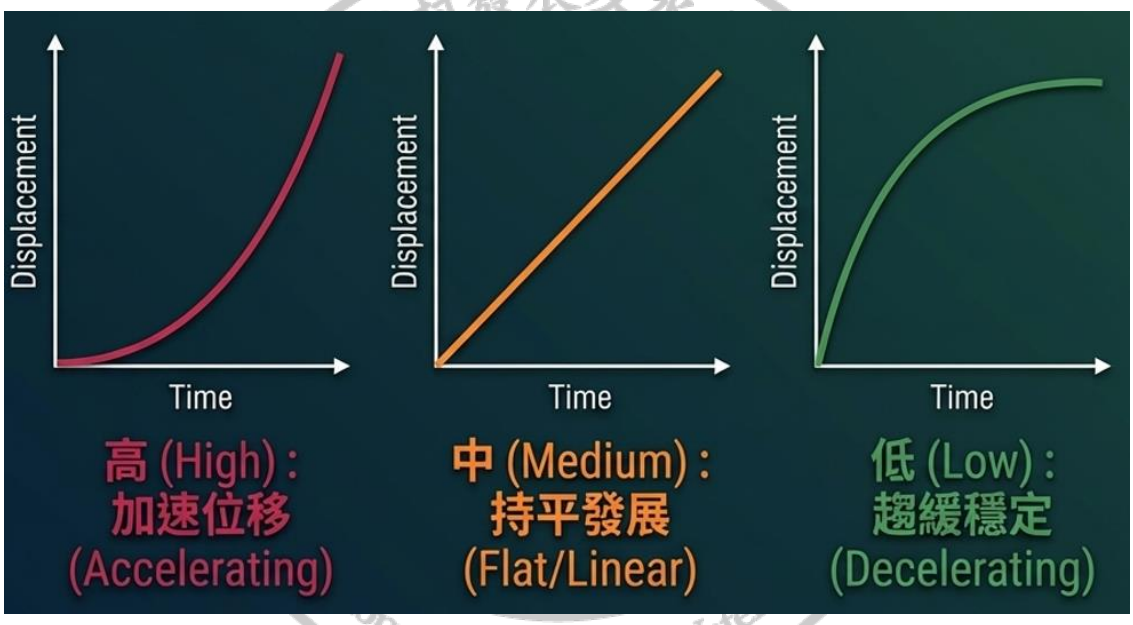


圖 2.12 位移趨勢分級示意圖

(3)利用前兩步之分級成果，「位移趨勢」以及「位移潛勢」兩項指標分形成(高、中、低)x(高、中、低)之矩陣進行綜合評估，得到四項活動性分類(低、中、高、極高)，如下圖 2.13 所示。



圖 2.13 殘坡活動性分級關係圖

鑒於殘坡活動度監測工作之重要性，除本計畫執行之五大流域(曾文溪、大甲溪、濁水溪、淡水河、高屏溪)內之 172 處殘坡，建議未來應持續利用衛星影像及航空攝影影像多時序光學影像及影像位移量分析技術，首先針對現今(114 年)調查之全台 552 處殘坡(面積 2 公頃以上)進行全面調查，完善全台殘坡監測數據。其次為針對活動度高、風險高(影響保全對象)之重點殘坡，利用高解析度影像資料，進行高頻度之監測，作為土砂災害預警之重要決策依據，以精進相關之土砂災害之防治與管理作為。

為深入探討外力事件對殘坡地形穩定性之潛在影響，本計畫針對各處殘坡產製多時序位移圖並同步整合重大災害事件，例如：震度 5 或以上之地震、梅雨、熱帶性低壓或是颱風所引發之強降雨，彙整發生時序與監測所得之位移量資料，進行交叉比對與分析。透過建立事件與位移變化之時序對應關係，辨識是否存在明顯異常位移行為，並

進一步量化其影響程度，作為後續風險評估與預警模型建構之參考依據。

二、監測成果展示開發

為強化監測成果之加值應用與視覺化輔助分析效果，本計畫產製一系列標準化的多時序位移成果圖資，提供予 BigGIS 巨量空間資訊系統進行後續展示、疊圖分析與決策制定等加值應用。這些成果以便於系統整合與空間分析的格式提供，並依監測目的與資料特性進行分類、渲染與圖磚化處理。

首先，資料格式區分為以下兩種主要類型：

- **向量式資料(Vector Format)**：採用 Shapefile 格式，內容包括各監測時期之位移向量(以 U、V 分量表示)，並對應各時間點的起始位置。此格式可用於生成位移箭頭圖式，於地圖上標示位移方向與幅度，並可以多時期資料支援時序播放(如圖 2.14 所示)，適合於精細化位移趨勢分析與特徵點追蹤比對。

- **網格式資料(Raster/Grid Format)**：針對監測成果進行空間內插與平滑處理，製作成位移量的分層設色圖(heatmap)，可反映坡面整體變形程度。此類圖資以 GeoTIFF 格式提供，以利於網頁地圖應用中快速載入與多層級動態渲染，方便於 BigGIS 系統中整合應用。此格式適用於區域變形熱區之識別與變化趨勢的視覺化分析。

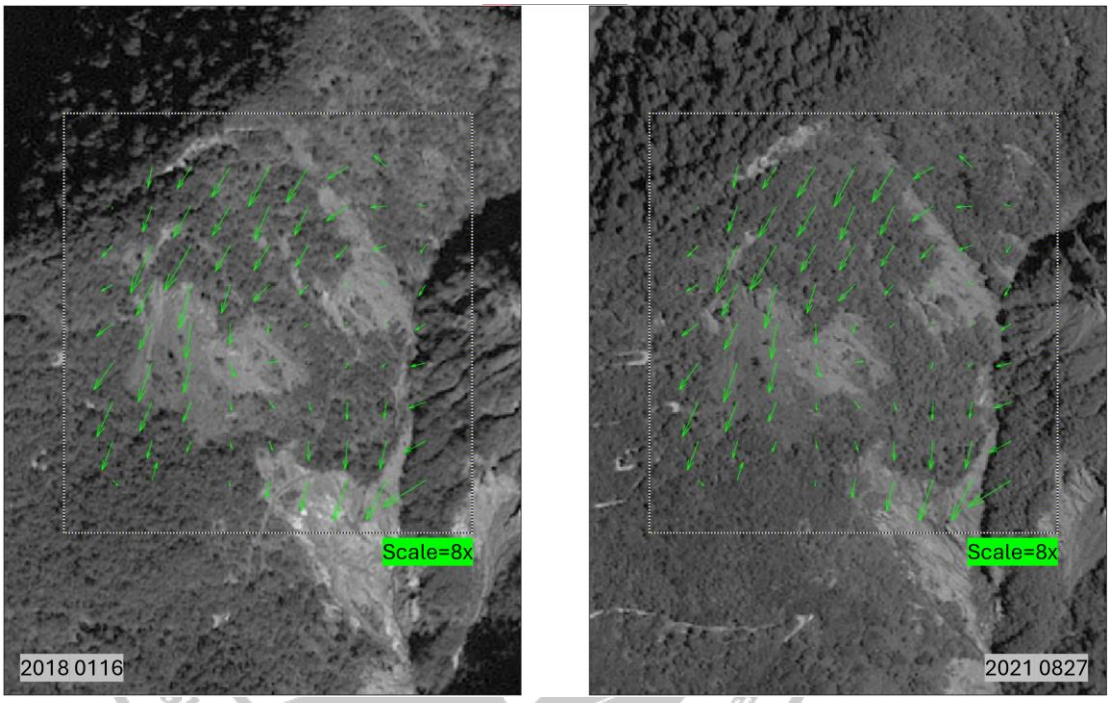


圖 2.14、箭頭向量多時序資料範例

在圖資種類與呈現主題方面，包括下列幾項：

1. **多時序位移向量圖**：依據各監測期位移向量結果，於圖層中標繪箭頭顯示運動方向與幅度，或可於 BigGIS 搭配事件時間軸進行動態播放。

2. **多時序位移量色塊圖**：根據位移分析結果，以區塊色階標示不同活動度，配合圖例呈現多時期之殘坡各位置位移幅度。
3. **災害事件疊合圖**：整合颱風、強降雨、地震等事件歷史資料，將其發生時間與多時序位移變化對應，作為時空關聯分析的依據。

所有圖資成果依據 BigGIS 平台之整合格式需求提供，並附加基本圖說與屬性欄位說明，供系統端後續加值使用與多圖層套疊應用。透過本成果交付，可確保監測資訊的系統化利用，並提升在災害應變、空間風險預警及資源調度等方面的應用效益。

第四節 光學影像多時序位移監測技術建立

本工作項目包含三項核心工作：首先比較不同光學影像來源於多時序監測應用上的差異與適用性；其次依據實務成果，建立標準化作業規範與分析流程；最後，辦理教育訓練與成果展示，以強化技術推廣與應用效益，促進後續跨部門或區域場域的延伸應用。

一、評估衛星及航照影像應用於多時序位移監測之差異及適用性

本項工作基於第一與第二工作項目之執行成果，針對 SPOT 衛星影像與航測及遙測分署所提供之高解析度航空攝影影像，進行系統性比較與技術適用性評估。以實際監測案例為分析基礎，對同時期之衛星與航照影像進行位移偵測結果比對，比對面向包含影像之空間解析度與時間解析度、覆蓋範圍、幾何穩定性、正射影像誤差來源、受雲影遮蔽與天候條件之影響程度等多項技術與實務考量。評估成果可作為未來相關單位光學影像監測任務之資料選擇與應用策略擬定之重要參考依據。

二、訂定光學遙測影像殘坡多時序位移量監測之影像規格、作業程序與方法

此工作項目根據本年度 SPOT 衛星與航照影像之實際應用成果與精度評估結果，整合分析經驗，建立標準化之作業流程，

並且制定影像基本規格要求。作業程序涵蓋影像篩選、幾何對位、影像匹配、位移計算、誤差處理與結果展示等流程；影像規格包含解析度、雲覆蓋容忍度、太陽高度角、成像季節、影像幾何校正精度等參數建議。相關程序與方法彙整為作業指引手冊，提供未來類似案例或不同場域參考套用，展現實務應用價值。

三、成果展示及訓練

本項工作辦理一場次 3 小時之技術訓練，對象為農村水保署或其相關單位技術人員，內容涵蓋：光學影像資料篩選作業、影像前處理流程、粒子影像測速方法、位移向量結果產製、活動性分級圖資應用、成果圖資輸出等流程操作。

另於訓練中展示本案中重要研究進展與各項成果，包含五大流域殘坡之多時序位移向量圖、多時序位移量色塊圖與災害事件時序疊合圖等，並提供完整作業教材、示範資料及操作手冊，協助受訓人員建立實務操作能力，推動技術移轉並強化後續應用落地能力。

第五節 專案管理

本案工作查核點如表 2.3 所示，共分為三期執行，並於各期程結束後依據作業內容進行相關成果審查。

表 2.3 、工作進度查核時間與內容

期別	時程規劃	作業內容說明
第 1 期	決標日起 1 個月內	於期初簡報提出本計畫各工作項目之執行構想、作業流程及預定進度。
第 2 期	114 年 11 月 17 日前	提交 12 份期中報告書。 期中審查簡報時須完成： 1.多時序殘坡活動性監測成果達 50%。 2.完成 2 處航空照片殘坡位移分析作業。
第 3 期	115 年 3 月 13 日前	提交 12 份期末報告書。
成果驗收	115 年 4 月 30 日前	完成所有工作成果並繳交： 1. 成果報告書紙本 5 份。 2. 成果報告、摘要報告、圖資等之電子儲存媒體 5 份，並依規範儲存至電子圖書管理中心。

根據上表所列工作進度查核時間及本案工作項目需求，規劃相應之任務安排與時程，如下圖 2.15 甘特圖所示。依計畫要求，團隊將於期末簡報前，完成所有工作成果，並繳交成果報告書、圖資等。

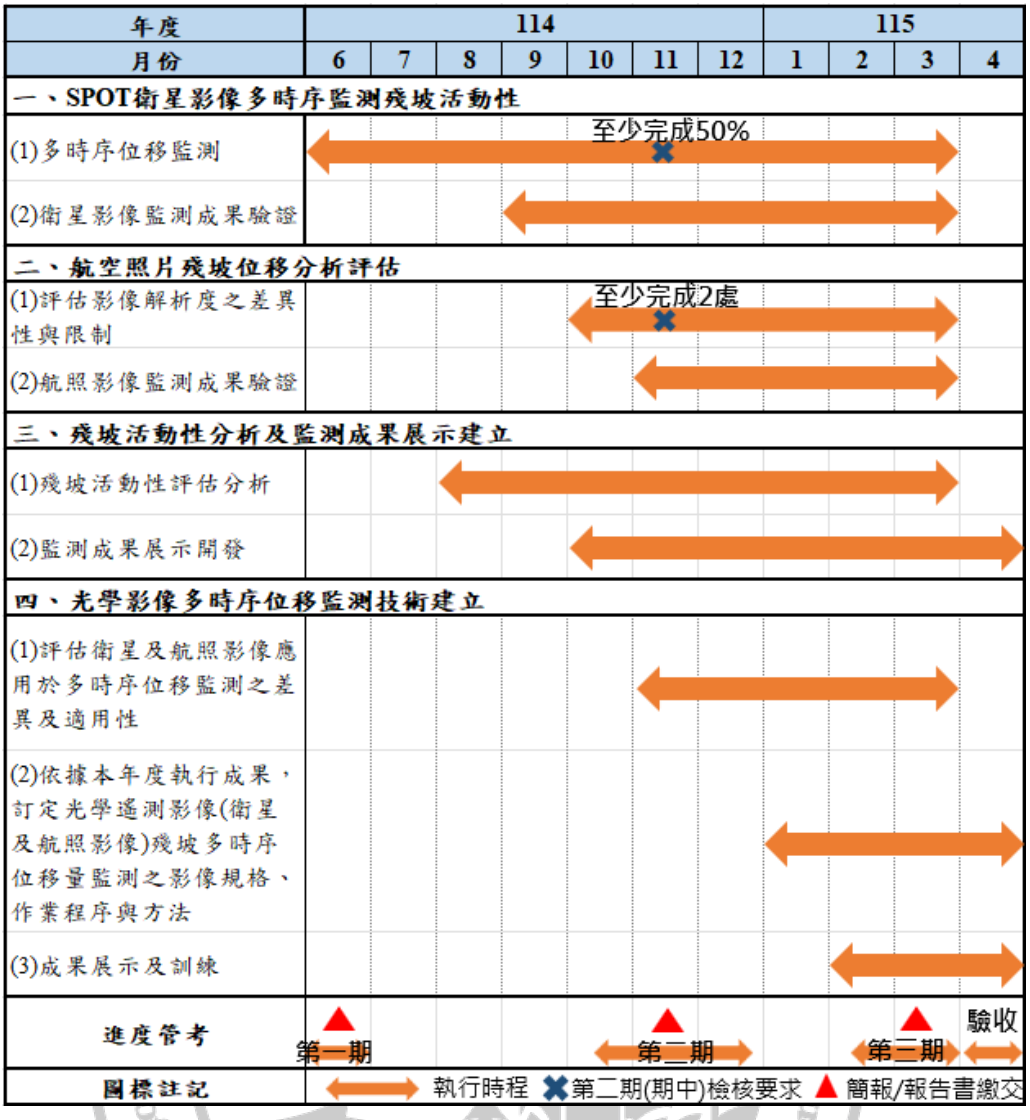

年度
114
115
月份
6
7
8
9
10
11
12
1
2
3
4
一、SPOT衛星影像多時序監測殘坡活動性
(1)多時序位移監測
至少完成50%
(2)衛星影像監測成果驗證
二、航空照片殘坡位移分析評估
(1)評估影像解析度之差異性與限制
至少完成2處
(2)航照影像監測成果驗證
三、殘坡活動性分析及監測成果展示建立
(1)殘坡活動性評估分析
(2)監測成果展示開發
四、光學影像多時序位移監測技術建立
(1)評估衛星及航照影像應用於多時序位移監測之差異及適用性
(2)依據本年度執行成果，訂定光學遙測影像(衛星及航照影像)殘坡多時序位移量監測之影像規格、作業程序與方法
(3)成果展示及訓練
進度管考
第一期
第二期
第三期
驗收
圖標註記
執行時程
第二期(期中)檢核要求
簡報/報告書繳交

圖 2.15、計畫甘特圖


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

第三章 期末成果

本計畫旨在導入多時序光學遙測與粒子影像測速技術，建立標準化之殘坡監測流程，提升臺灣集水區坡地災害風險之長期監控效能。藉由整合 SPOT 衛星影像與高解析度航空攝影資料，針對曾文溪、大甲溪、濁水溪、淡水河與高屏溪五大集水區內共 172 處兩公頃以上之殘坡，進行橫跨七年之歷年位移變遷分析，以掌握地表變形趨勢並輔助風險分級與預警指標判釋。

本團隊針對本計畫規劃四大核心工作項目，涵蓋 SPOT 衛星影像與航空照片之多時序殘坡位移監測、活動性分析與分級判釋、成果圖資整合展示，以及光學影像技術流程建構與教育推廣，全面強化殘坡災害潛勢辨識與決策應用效能。依據排定之工作內容及專案期程，並按契約先於 114 年 11 月 17 日提交期中報告，並於 115 年 03 月 13 日提交本期末報告。團隊目前已完成影像挑選策略與作業流程制定，完成 172 處影像篩選、分類整理與拍攝參數資料蒐集，建立影像配對清單與統一儲存架構，並完成多時序殘坡活動性監測及航空照片殘坡位移分析及比較。基於上述成果，團隊完成衛星與航照影像比較與評估、殘坡活動性分級以及標準化作業流程，並規劃教育訓練以協助相關人員建立實務操作能力。

綜上所述，目前已完成之成果分述如下。

第一節 SPOT 衛星影像多時序監測殘坡活動性

一、分析資料

（一）雨量測站資料

本計畫各處殘坡位移時序分析中，已累計使用 32 處雨量測站資料，相關測站資訊主要是以「CODis 氣候資料觀測查詢服務」之測站分布位置資訊為主，選擇地理位置鄰近之測站，另使用「土石流及大規模崩塌防災應變系統」之歷史雨量資料下載服務(參圖 3.16)，另對各站點於本計畫 2018-2024 年研究期間內每日整點之降雨資料(參圖 3.17)，換算為每月累積降雨資訊，以利後續位移時序分析使用。

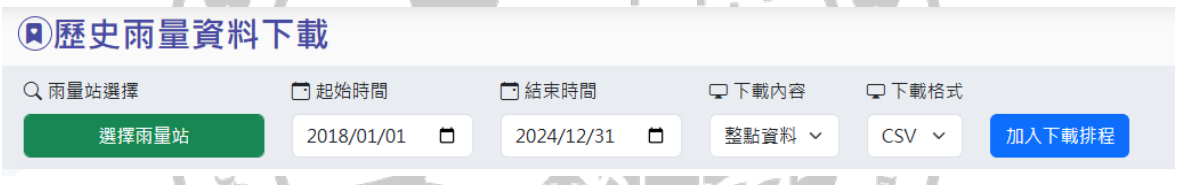


圖 3.16、「土石流及大規模崩塌防災應變系統」歷史雨量下載介面

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	[STID]	[rTime]	[Min10]	[OneHour]	[SixHour]	[Hour24]	[DayRainfa	[Effective]	[RT]	[ETR3]
2	C0V820	2018/12/21 11:00	0	0	0	0	0	0	0	0
3	C0V820	2018/12/21 12:00	0	0	0	0	0	0	0	0
4	C0V820	2018/12/21 13:00	0	0	0	0	0	0	0	0
5	C0V820	2018/12/21 14:00	0	0	0	0	0	0	0	0
6	C0V820	2018/12/21 15:00	0	0	0	0	0	0	0	0
7	C0V820	2018/12/21 16:00	0	0	0	0	0	0	0	0
8	C0V820	2018/12/21 17:00	0	0	0	0	0	0	0	0

圖 3.17、逐時雨量資料範例

（二）SPOT 衛星影像蒐集

本計畫已完成五大集水區內共 172 處面積達兩公頃以上之殘坡影像蒐集與彙整作業，在本計畫期初時已建立標準化紀錄表格系統，以利後續管理與應用(表 3.4 與圖 3.19)。另增加記錄每筆殘坡影像拍攝資訊，如 Incidence Angle、Sun Azimuth、Orientation 等欄位(參圖 3.18)，持續註記 107 至 113 年度可用 SPOT 影像之影像品質狀況。影像品質狀況以符號方式標註：「**O**」代表該年度具備清晰且無遮蔽影像；「▲」代表影像存在局部雲層或陰影遮蔽但仍可用；「X」則表示該年度該殘坡無適用之可用影像。此一符號標記機制有助於快速判讀各年度資料可用性，並作為後續影像比對與位移分析作業之基礎依據。

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
挑選優先	OBJECTID	流域	RSID	NO 殘坡編號	縣市	鄉鎮	中心經	中心緯	框號	圖號		2018 107年	地理系	Incidence Angle	View Angle(Along)	View Angle(Cross)	Sun Azimuth	Sun Elevation	Orientati
1	176	Tamsui	桃市RS001	Tamsui-3	桃園市	復興區	121.393642	24.65833775		96222036	O	20180807		44.002124	-30.202157	-28.637611	148.010786	60.084119	148.010786
2	186	Tamsui	竹縣RS003	Tamsui-4	新竹縣	尖石鄉	121.2878412	24.61735664		96222052	O	20180423		17.462075	-15.374761	0.197751	193.058358	62.822877	193.058358
3	217	Tamsui	新北市RS001	Tamsui-5	新北市	三峽區	121.4712728	24.83572628		96221069	O	20180411		20.375874	7.186771	-16.999386	78.938753	57.840353	78.938753
4	218	Tamsui	竹縣RS004	Tamsui-6	新竹縣	尖石鄉	121.3056379	24.61218442		96222052	O	20180423		17.462075	-15.374761	0.197751	193.058358	62.822877	193.058358
5	219	Tamsui	竹縣RS006	Tamsui-8	新竹縣	尖石鄉	121.3412765	24.55962642		96222074	O	20180423		17.462075	-15.374761	0.197751	193.058358	62.822877	193.058358
6	227	Tamsui	竹縣RS007	Tamsui-9	新竹縣	尖石鄉	121.2320101	24.52881699		96223089	O	20180423		17.462075	-15.374761	0.197751	193.058358	62.822877	193.058358
7	18	Dajia	投縣RS018	Dajia-12	南投縣	仁愛鄉	121.3364234	24.21851857		96212014	O	20180914		17.572527	-0.627165	-15.730089	104.237453	57.186416	104.237453
8	24	Dajia	中市RS004	Dajia-13	臺中市	和平區	121.3341625	24.291279		96211084	O	20180710		21.163336	18.954779	-0.598667	13.876875	64.863913	13.876875
9	48	Dajia	中市RS009	Dajia-16	臺中市	和平區	121.1404582	24.31970106		96214076	O	20180626		23.511827	16.577451	13.733224	334.076161	67.310728	334.076161
10	216	Dajia	中市RS002	Dajia-26	臺中市	和平區	120.936936	24.16442332		95212038	▲	20180609雷雨		27.249216	-9.901891	-22.558904	124.414087	63.885597	124.414087
11	234	Dajia	中市RS003	Dajia-27	臺中市	和平區	120.9480838	24.21178535		95212018	O	20180914		17.572527	-0.627165	-15.730089	104.237453	57.186416	104.237453
12	101	Dajia	中市RS005	Dajia-4	臺中市	和平區	121.3831382	24.35185843		96211056	▲	20180919雷雨		23.983937	19.509339	9.699529	347.267729	57.989466	347.267729
13	135	Dajia	中市RS006	Dajia-8	臺中市	和平區	121.3773369	24.35942379		96211055	O	20180919		23.983937	19.509339	9.699529	347.267729	57.989466	347.267729
14	1	Gaoping	投縣RS058	Gaoping-1	南投縣	信義鄉	120.9814094	23.49323852		95191009	▲	20180710		7.932492	6.839538	-0.414463	14.056564	64.884994	14.056564
15	153	Jhuoshuei	投縣RS019	Jhuoshuei-11	南投縣	仁愛鄉	121.2195332	24.00406741		96213099	▲	20180626		23.511827	16.577451	13.733224	334.076161	67.310728	334.076161
16	154	Jhuoshuei	投縣RS027	Jhuoshuei-14	南投縣	仁愛鄉	121.2037522	23.97634637		96204008	▲	20180626		23.511827	16.577451	13.733224	334.076161	67.310728	334.076161

圖 3.18、增加記錄 SPOT 影像拍攝參數資訊

農業部農村發展及水土保持署 Rural Development & Soil and Water Conservation

表 3.4、多時序影像蒐集紀錄表(示意)

RSID	流域	縣市	鄉鎮	中心經	中心緯	107 年	108 年	109 年	110 年	111 年	112 年	113 年
桃市 RS001	Tamsui	桃園市	復興區	121.394	24.66	O	O	O	O	O	O	O
竹縣 RS003	Tamsui	新竹縣	尖石鄉	121.288	24.62	O	O	O	O	O	O	O
新北 RS001	Tamsui	新北市	三峽區	121.471	24.84	O	O	O	O	O	O	O
竹縣 RS004	Tamsui	新竹縣	尖石鄉	121.306	24.61	O	O	O	O	O	O	O
竹縣 RS006	Tamsui	新竹縣	尖石鄉	121.341	24.56	O	O	O	O	O	O	O
竹縣 RS007	Tamsui	新竹縣	尖石鄉	121.232	24.53	O	O	O	O	O	O	O
投縣 RS018	Dajia	南投縣	仁愛鄉	121.336	24.22	O	O	O	O	O	O	O
中市 RS004	Dajia	臺中市	和平區	121.334	24.29	O	▲	O	O	O	O	O
中市 RS009	Dajia	臺中市	和平區	121.14	24.32	O	O	O	O	O	O	O
中市 RS002	Dajia	臺中市	和平區	120.937	24.16	▲	▲	▲	▲	O	O	O
中市 RS003	Dajia	臺中市	和平區	120.948	24.21	O	▲	▲	O	O	▲	O
中市 RS005	Dajia	臺中市	和平區	121.383	24.35	▲	O	▲	▲	O	O	O
中市 RS006	Dajia	臺中市	和平區	121.377	24.36	O	O	▲	▲	O	O	O
投縣 RS058	Gaoping	南投縣	信義鄉	120.981	23.49	▲	O	O	O	O	O	O
投縣 RS019	Jhuoshuei	南投縣	仁愛鄉	121.22	24	▲	O	O	O	O	O	O
投縣 RS027	Jhuoshuei	南投縣	仁愛鄉	121.204	23.98	▲	O	O	O	O	O	O
投縣 RS028	Jhuoshuei	南投縣	仁愛鄉	121.241	23.97	▲	O	O	O	O	▲	O
投縣 RS029	Jhuoshuei	南投縣	仁愛鄉	121.2	23.96	▲	O	O	O	O	▲	O
投縣 RS030	Jhuoshuei	南投縣	仁愛鄉	121.157	23.96	▲	O	O	O	O	O	O
投縣 RS031	Jhuoshuei	南投縣	仁愛鄉	121.226	23.96	▲	O	O	O	O	O	O
投縣 RS033	Jhuoshuei	南投縣	仁愛鄉	121.146	23.95	▲	O	O	O	O	O	O
投縣 RS034	Jhuoshuei	南投縣	仁愛鄉	121.153	23.94	▲	O	O	O	O	▲	▲

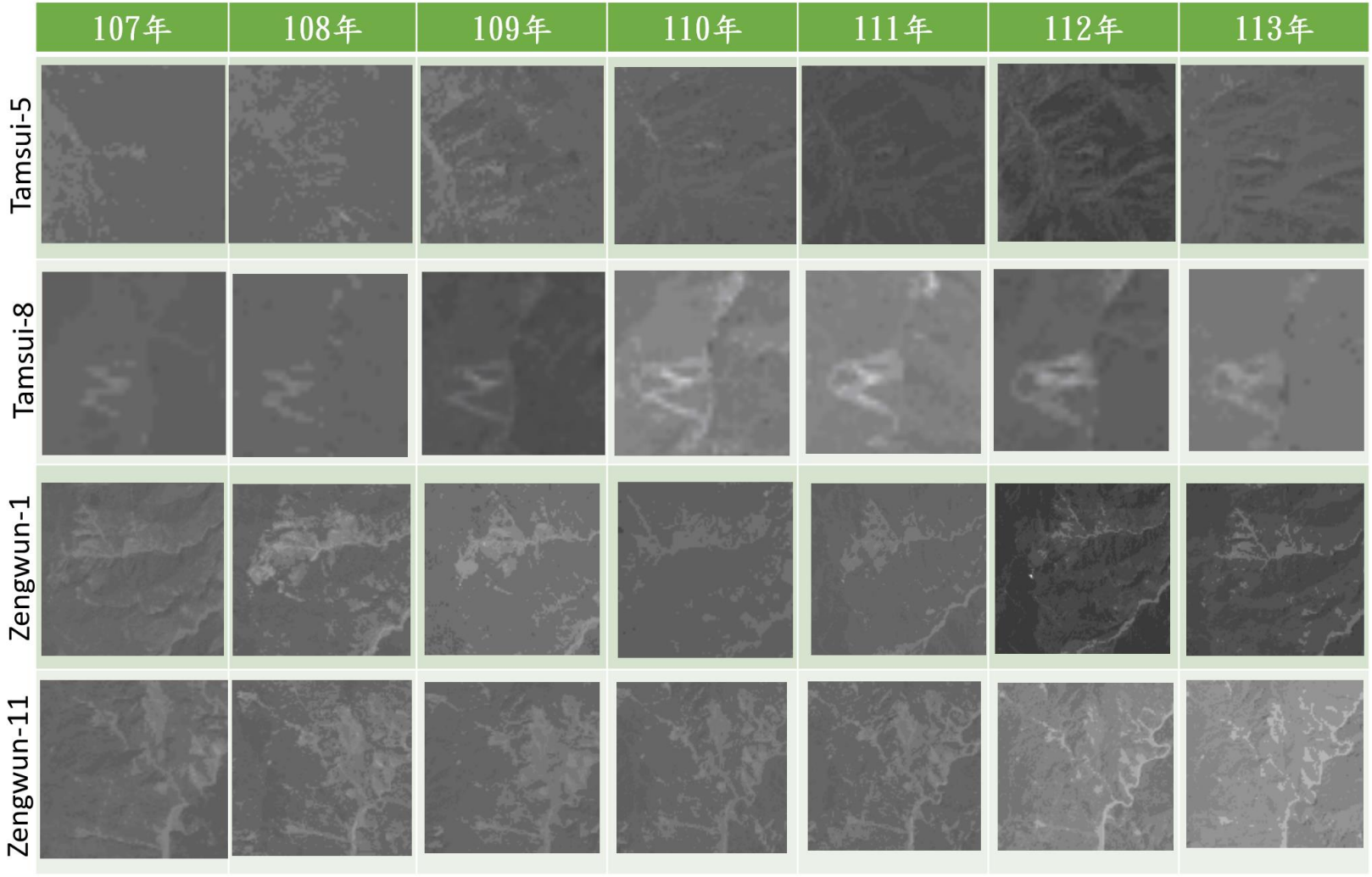


圖 3.19、殘坡多時序 SPOT 衛星影像範例

本計畫使用之影像主要自農村水保署申購模組申請後取得，衛星影像解析度皆為 1.5 公尺，經檢視後，影像儲存檔案格式計有 3 種，各依不同年度有不同儲存檔案格式，於本計畫 2018 年至 2024 年之監測期間內，佔較多數量的是 2020 年至 2024 年的 Tiff (16 bit 彩色)、次多則為 2018 年至 2019 年的 IGE (8 bit 彩色)、最少見的 BSQ (16 bit 單色)，不僅檔案的位元深度(Pixel depth)不同，各儲存的波段(Band)數量亦不相同，故需統一標準，另外進行處理，以利後續 PIV 分析作業一致性。

於本計畫中，PIV 分析作業以單一波段 8 bit 影像作為統一處理標準，影像於進行分析前，須先對彩色進行影像色彩組合(Create Color Composite)為紅(R)、綠(G)、藍(B)之三波段影像後，進行色彩模式轉換(Color Model Conversion)，由 RGB 轉換為 Hue (色相)、Saturation (飽和度)、Value (明度/亮度)並抽取並取出 V 通道作為單通道強度影像以進行匹配，各類型影像進行分別進行以下不同之處理方式：

1.Tiff (16 bit)

為全色態銳化(pan-sharpen)之四波段(R、G、B、A)影像，主要用於儲存 2020 年以後之影像，處理過程中發現有極少數亦儲存為 8 bit 大小，則另需參考 IGE 檔案方式處理。

2.IGE (8 bit)

為全色態銳化(pan-sharpen)之四波段(R、G、B、A)影像，主要用於儲存 2018-2019 年之影像，在進行色彩轉換前，須先將其轉換為 16 bit (unsigned)影像後，再進行色彩轉換、抽取 Value 等一系列後續動作。

3.BSQ (16 bit)

BSQ 檔案會伴隨 Tiff 檔案一起儲存，除坐標系統不同之外，內容大小都相同。

（三）GNSS 儀器監測資料與大規模崩塌警戒發布區現地監測統計年報

本計畫驗證區於大規模崩塌年報內記錄共五種儀器，分別為 GNSS、GPS、地表傾斜計、地表伸縮計、孔內伸縮計等，記錄每月逐日資料，相關資料彙整如下，若一整年有缺漏超過半個月的觀測資料，則標註為三角形並註明缺失期間；若僅缺少零星數天，則標註為◯並不作特別標示。

光華							
儀器	111年	112年	113年	儀器原始編號	建置日期	x座標(TWD97)	y座標 (TWD97)
GNSS 地表變位							
GNSS-1	△(1~10月無)	△(1~5月無)	○	K21-G1-1 (2009)	2021-05-21	289764.33	2727979.13
GNSS-2	△(1~6月無)	△(1~4月無)	○	K21-G2 (1006)	2021-05-21	289595.02	2727978.48
GNSS-3	△(1~6月無)	○	○	K22-G1 (1827)	2022-06-15	289728.54	2727942.68
GNSS-4	╳	△(1~4月無)	○	K22-G2 (1828)	2022-06-15	289725.08	2728056.38
GNSS-5	╳	△(1~4月無)	○	K23-G1 (1922)	2023-04-07	289524.80	2728264.23
GNSS-6	╳	△(1~4月無)	○	K23-G2 (1923)	2023-04-07	289514.87	2728197.75
GNSS-7	╳	△(1~5月無)	○	K23-G3 (2010)	2023-05-15	289755.96	2727998.58
GNSS-8	╳	△(1~5月無)	○	K23-G4 (2011)	2023-05-15	289743.19	2728021.45
單頻GPS位移							
GPS-1	○	○	╳	FST02-G2 (394)	2020-06-20	289513.00	2728203.00
GPS-2	○	△(1~3月無，10~12月無)	╳	FST02-G3 (395)	2020-06-20	289733.00	2727881.00
GPS-3	○	╳	╳	FST02-G4 (396)	2020-06-20	289715.00	2727954.00
GPS-4	○	╳	╳	FST02-G5 (397)	2020-06-20	289721.00	2728049.00
GPS-5	○	○	╳	FST02-G6 (398)	2020-06-20	289764.00	2728028.00
地表傾斜計							
T-1	○	╳	╳	FST02-T (111)	2020-06-20	289721.00	2728049.00
地表伸縮計							
S-1	○	╳	╳	FST02-E (109)	2020-06-20	289513.00	2728203.00

圖 3.20、桃市 RS001／桃縣_復興_光華大崩(淡水河)

秀巒							
儀器	111年	112年	113年	儀器原始編號	建置日期	x座標(TWD97)	y座標 (TWD97)
GNSS 地表變位							
GNSS-9	○	○	○	G1 (1392)	2021-10-27	279368.91	2723169.45
GNSS-10	○	○	○	G2 (1393)	2021-10-27	279293.17	2723217.69
GNSS-11	○(1-6月無)	○	○	GP3 (1805)	2022-07-07	279430.70	2723143.33
GNSS-12	○(1-6月無)	○	○	GP4 (1806)	2022-07-07	279476.25	2723234.83
單頻 GPS位移							
GPS-6	○	○	○	JS077-G4 (319)	2017-08-08	279560.37	2723144.12
GPS-7	○	○	○	JS077-G5 (320)	2017-08-08	279570.84	2722947.26
GPS-8	○	○	○	JS077-G6 (321)	2017-08-08	279373.49	2723112.67
地表傾斜計							
T-2	○	○	○	JS077-T4 (185)	2017-08-08	279560.37	2723144.12
T-3	○	○	○	JS077-T5 (186)	2017-08-08	279570.84	2722947.26
T-4	○	○	○	JS077-T6 (188)	2017-08-08	279373.49	2723112.67
T-5	○	○	○	T1 (1009)	2018-06-14	279586.41	2723164.37
T-6	○	○	○	T2 (1010)	2018-06-21	279434.16	2723147.66
T-7	○	○	○	T3 (1011)	2018-06-21	279393.72	2723120.99
T-8	○	○	○	T4 (1841)	2022-07-19	279578.25	2723335.25
地表伸縮計							
S-2	○	○	○	JS077-E (187)	2017-08-08	279439.06	2723131.16
S-3	○	○	○	S1 (1012)	2017-10-27	279368.87	2723109.28
S-4	○	○	○	S2 (1318)	2017-10-27	279444.31	2723137.71

圖 3.21、竹縣 RS003／新竹縣尖石鄉_秀巒大崩(淡水河)

鵠鵠崙							
儀器	111年	112年	113年	儀器原始編號	建置日期	x座標(TWD97)	y座標 (TWD97)
GNSS 地表變位							
GNSS-13	╳	△(1/1~4/12無)	○	H23-G1 (1924)	2023-04-13	320194.58	2771894.91
GNSS-14	╳	△(1/1~4/12無)	○	H23-G2 (1925)	2023-04-13	320274.96	2771961.78
GNSS-15	╳	△(1/1~5/15無)	○	H23-G3 (1926)	2023-04-13	320376.55	2771829.38
GNSS-16	╳	△(1/1~4/12無)	○	H23-G4 (1927)	2023-04-13	320145.84	2771562.34
單頻 GPS位移							
GPS-9	╳	○	○	XZ003-G2 (302)	2018-08-07	320217.89	2771435.95
GPS-10	╳	○	○	XZ003-G3 (303)	2018-07-24	320145.64	2771562.98
GPS-11	╳	○	○	XZ003-G4 (305)	2018-07-24	320307.12	2771898.06
GPS-12	╳	○	○	XZ003-G5 (304)	2018-07-26	320214.19	2772005.12
GPS-13	╳	○	○	XZ003-G6 (306)	2018-07-24	320129.10	2771934.96
GPS-14	╳	○	○	XZ003-G7 (1862)	2022-10-20	320197.95	2771926.94
GPS-15	╳	○	○	XZ003-G8 (1863)	2022-10-20	320202.73	2771879.44
地表伸縮計							
S-5	╳	○	○	XZ003-E(174)	2018-08-07	320214.19	2772005.12
S-6	╳	○	○	XZ003-E2(1864)	2022-10-20	320197.44	2771926.93

圖 3.22、114 年_79 處警戒發布區_鵠鵠崙 lslno 新北 LL002(淡水河)

中心崙							
儀器	111年	112年	113年	儀器原始編號	建置日期	x座標(TWD97)	y座標(TWD97)
GNSS 地表變位							
GNSS-17	△(1~5月無)	△(10/18~11/14無)	○	GNSS-JSL1 (1693)	2022-05-13	207722.00	2598789.00
GNSS-18	△(1~5月無)	△(7/5~7/23無)	△(5/8~6/10無)	GNSS-JSL2 (1694)	2022-05-13	207844.00	2598758.00
GNSS-19	△(1~5月無)	△(3/6~4/30無)	○	GNSS-JSL3 (1695)	2022-05-13	207935.00	2598815.00
GNSS-20	△(1~5月無)	○	○	GNSS-JSL4 (1696)	2022-05-13	207765.00	2598591.00
地表傾斜計							
T-9	╳	○	△(4/27~6/5無)	JSL-BT-1 (816)	2021-05-31	207874.01	2598832.02
T-10	╳	╳	△(1~4月無)	JSL-BT-2 (2219)	2024-04-29	207921.94	2598812.46
地表伸縮計							
S-7	○	○	○	JSL-EL-3 (42)	2019-06-06	207780.45	2598594.59
孔內伸縮計							
I-1	○	╳	╳	JSL-EL-1	2019-08-19	207869.00	2598834.00
I-2	╳	╳	○	JSL-EL-4-28 (45)	2020-05-13	207796.22	2598604.50
I-3	╳	╳	○	JSL-EL-4-70 (43)	2020-05-13	207796.22	2598604.50
I-4	╳	╳	△(1/1~5/15、7/26~8/4無	JSL-EL-2 (44)	2024-05-14	207725.12	2598778.70
I-5	╳	╳	△(1/1~5/15無)	JSL-EL-6 (2405)	2024-05-14	207955.48	2598825.10

圖 3.23、114 年_79 處警戒發布區_中心崙 lslno 嘉縣 LL004(朴子溪)

樣仔寮							
儀器	111年	112年	113年	儀器原始編號	建置日期	x座標(TWD97)	y座標(TWD97)
GNSS 地表變位							
GNSS-21	╳	△(1/26~1/31、4/11~5/1無	○	GNSS-SL01 (1672)	2022-05-11	208818.00	2601155.00
GNSS-22	╳	○	○	GNSS-SL02 (1673)	2022-05-11	208907.00	2600884.00
GNSS-23	╳	△(3/26~4/8無)	○	GNSS-SL03 (1674)	2022-05-11	209085.00	2600948.00
GNSS-24	╳	△(3/26~4/30無)	○	GNSS-SL04 (1675)	2022-05-11	209112.00	2600342.00
GNSS-25	╳	△(1~5月無)	○	GNSS-SL05 (2020)	2021-05-26	208934.00	2600953.00
地表傾斜計							
T-11	╳	○	○	SL-TI01(1677)	2022-05-11	208946.66	2600949.11
T-12	╳	○	○	SL-TI02(1676)	2022-05-11	209098.15	2600339.60

圖 3.24、114 年_79 處警戒發布區_樣仔寮 lslno 嘉縣 LL003(朴子溪)

（四）震度達 5 弱以上地震資料

地震資料來自於中央氣象署地震測報中心網站地震活動彙整葉面所提供震度 5 弱以上之地震資料，惟查我國地震震度分級制度於 2020 年 1 月 1 日起經修改，主要改動包括將原本的 5 級和 6 級細分為「5 弱」、「5 強」、「6 弱」、「6 強」共 10 個等級，並修改了 5 級(含)以上地震的震度演算程序，改以「地震動速度」而非「地震動加速度」作為計算依據，旨在讓地震震度與災害發生的關聯性更高。另查中央氣象署地震測報中心網站所有之資料並無特別進行新舊制震度換算。於本計畫期間，盤點震度 5 以上者，共計 100 筆，2018 與 2019 年舊

制計有 64 筆，新制計 36 筆，分年度數量詳下表 3.5。

表 3.5、研究期間內各年度震度 5 以上之地震數量統計表

地震年度	新制	舊制	總計
2018 年		42	42
2019 年		22	22
2020 年	1		1
2021 年	6		6
2022 年	9		9
2023 年	2		2
2024 年	18		18
總計	36	64	100

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

二、SPOT 衛星影像殘坡位移分析成果

本期完成之 172 處殘坡位移分析，分析成果請參閱相關成果附件內之【殘坡 PIV 分析報告附件】附件一。

三、優規處理 SPOT 衛星影像高差移位修正成果

如前所述，山坡地常見之樹林將於影像中呈現樹林傾倒之高差移位現象，並受到數項因素影響，包含(1)拍攝仰角、(2)拍攝方位角、(3)地表物體高度、及(4)目標於影像之位置。拍攝仰角影響高差移位距離；拍攝方位角影響高差移位方向；地表物體高度亦影響高差移位距離；而目標於影像之位置同時影響高差移位距離及方向。由於光學資源衛星具有較小的視場角(field of view, FOV)，如本案所使用之 SPOT 衛星，故目標於影像之位置差異對高差移位之影響較不顯著，且拍攝仰角及方位角造成之高差移位常被視為具有相同的線性位移變化。然而，前述因素仍顯著造成多時序影像間的不同高差移位現象，進而影響本案欲分析之殘坡滑動位移。故本案針對此問題，提出新的處理方法，挑選一些殘坡進行優規處理。

本案所提出之高差移位修正方法如圖 3.25 所示。由於拍攝角度與目標於影像之位置在資源衛星影像上常被視為具有相似的高差移位，高差移位距離的差異將主要受到地表物體高度的影響，亦即樹林高度。為了移除殘坡區位移向量中之高差移位，首先假定影像中之位

移僅受到實際滑動與高差移位之影響，再假定殘坡區域內之樹林與其周遭樹林具有相近的高度，亦即代表其高差移位距離相近，最終假定周遭區域不具有實際滑動現象，亦即代表其影像位移僅包含高差移位之影響。因此，可透過圈選周遭樹林區，下稱「參考區」，並分析其影像位移向量，再將殘坡區內部之樹林區位移向量扣除參考區位移向量，進而抵銷高差移位之影響，最終與殘坡區內部非樹林區之位移向量組合而得殘坡滑動位移結果。

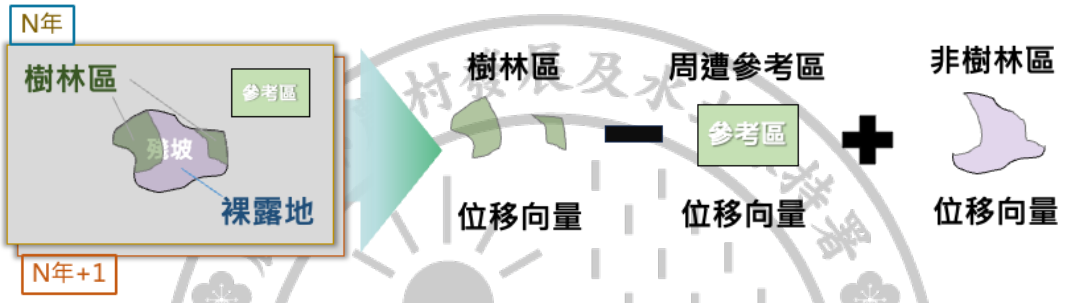


圖 3.25、高差移位修正方法(優規)

以投縣 RS004 殘坡之 2023 年至 2024 年位移分析為例，此殘坡區皆為樹林區。2023 年影像與 2024 年影像之拍攝方向分別為東方朝北約 35°及東方朝南約 18°，拍攝傾角分別為 24°與 19°。由於拍攝傾角相近，高差移位主要受到拍攝方向影響，故 2023 年至 2024 年位移分析結果具有明顯的東南向偏移，如圖 3.26(a)所示。圖 3.26 (b)為所擇定之參考區位置與其位移分析結果，亦明顯受到高差移位影響而具有東南向之位移向量。經前述高差移位修正程序，將殘坡區內之樹林區扣除參考區之平均位移向量後，位移量顯著降低，代表潛在較少的

實際殘坡滑動，如圖 3.26 (c)。本案優規所完成之 29 處高差移位修正後之殘坡位移分析成果請參閱相關成果附件內之【殘坡 PIV 分析報告附件】附件二。

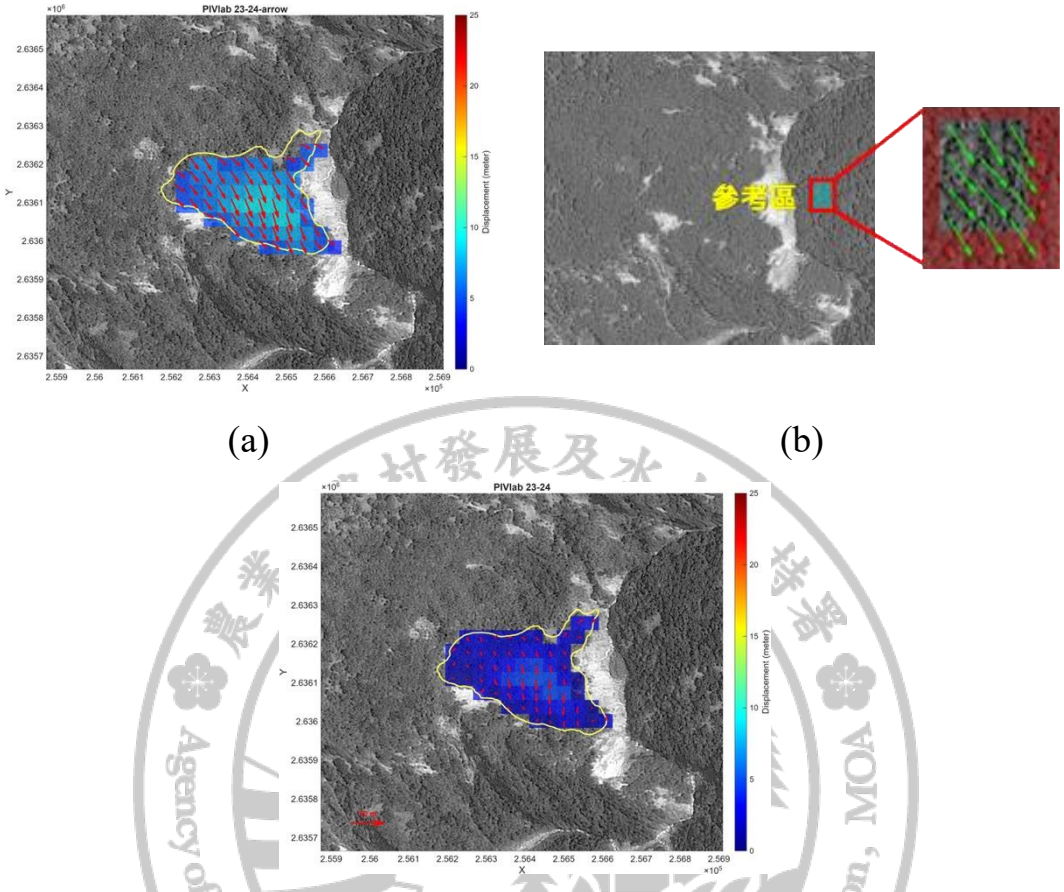


圖 3.26、高差移位修正成果範例；(a)原始位移分析成果，(b)參考區位移向量，(c)高差移位修正後之位移分析成果

四、SPOT 衛星影像驗證成果

（一）驗證用 GNSS 測站資料

本計畫之驗證使用資料為 111 年-113 年大規模崩塌潛勢區與大

規模崩塌年報中所登載之位移監測數據，包含五處驗證邊坡(表 3.6 驗證邊坡位置資訊)：(1)「桃市 RS001／桃縣_復興_光華大崩(淡水河)」、(2)「竹縣 RS003／新竹縣尖石鄉_秀巒大崩(淡水河)」、(3)「114 年_79 處警戒發布區_鵠鵠崙 lslno 新北 LL002(淡水河)」、(4)「114 年_79 處警戒發布區_中心崙 lslno 嘉縣 LL004(朴子溪)」以及(5)「114 年_79 處警戒發布區_檨仔寮 lslno 嘉縣 LL003(朴子溪)」。

表 3.6、五處驗證位置資訊

編號	水系別	行政區	大規模崩塌潛勢區編號	地名
1	淡水河	桃園市復興區	桃市 RS001	光華
2	淡水河	新竹縣尖石鄉	竹縣 RS003	秀巒
3	淡水河	新北市汐止區	新北 LL002	鵠鵠崙
4	朴子溪	嘉義縣竹崎鄉	嘉縣 LL004	中心崙
5	朴子溪	嘉義縣竹崎鄉	嘉縣 LL003	檨仔寮

本計畫擷取各驗證處之 GNSS 觀測位移資料，本研究將 SPOT 衛星取像時間與現地觀測之時間進行統一後，三年期資料可以計算三組位移：111 年-112 年、112 年-113 年以及 111 年-113 年間位移。五處驗證處坡面其之移資料統整如下表 3.7 至表 3.11。

首先，光華(桃市 RS001)崩塌僅有 GNSS-3 有完整 111 年-113 年時序資料，其位置位於大規模崩塌範圍不安定土砂邊緣(見圖 3.27)，

其他 GNSS 站點僅有 112 年-113 年單期位移。其觀測之位移變化從第一年期至第二年期之位移量有明顯增加的情形，從 910 mm 增加至 1831.1 mm。後續驗證將以此 GNSS-3 測站之位移資料作為主要驗證數據。

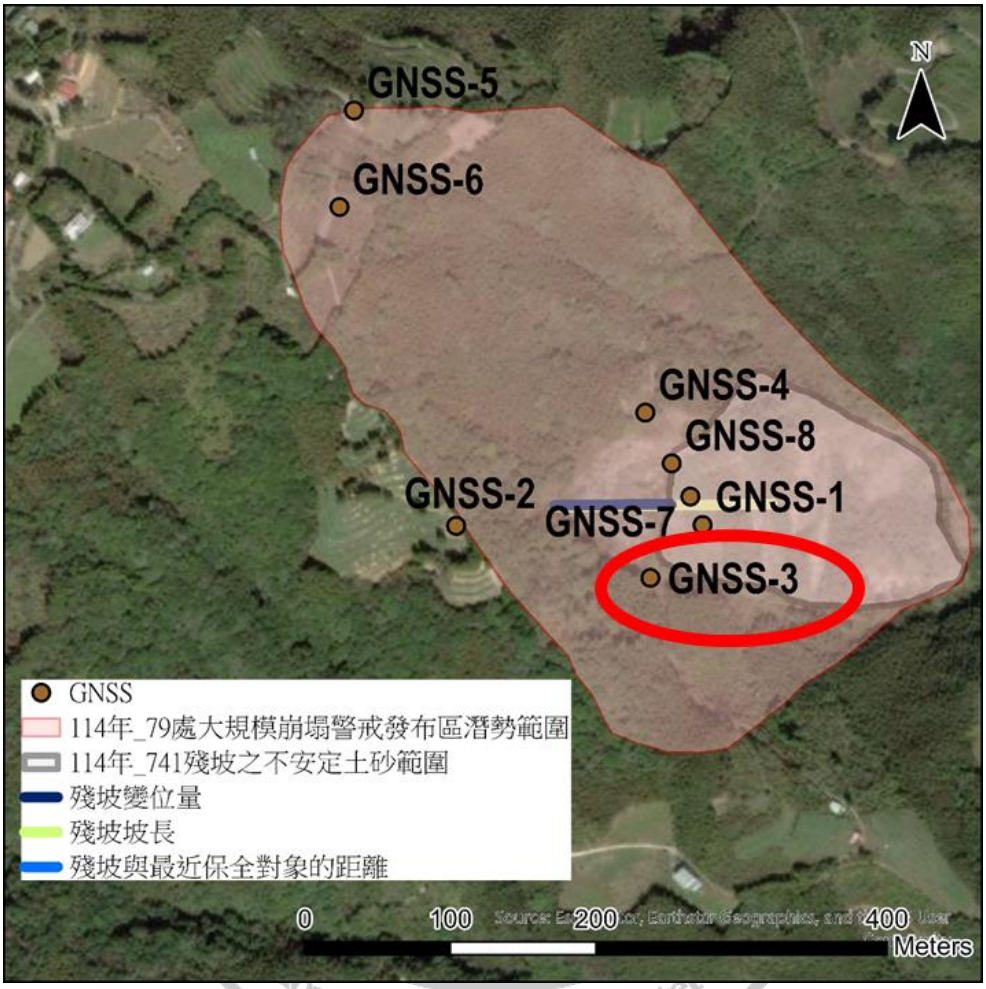


圖 3.27 光華(桃市 RS001)GNSS-3 測站位置

檢視秀巒崩塌(竹縣 RS003)之各 GNSS 站位置，發現在主要位移坡面之邊緣(圖 3.28)。位移資料包含完整 111-112、112-113 以及 111-113 年各站紀錄。與 GNSS-9 之兩期位移相近(10013.8 mm，11183.6 mm)不同，其中 GNSS-10、GNSS-11 以及 GNSS-12 有較相近的位移

趨勢：於 111 年-112 年位移量較小(545.2 mm~780.5 mm)，後續 112 年-113 年則有較大之位移加速(1439.8 mm~2041.4 mm)，顯現此殘坡裸露區邊緣有位移加速之情形。本計畫以四個 GNSS 測量資料之坡度加權平均作為後續進行 PIV 驗證之比較依據。

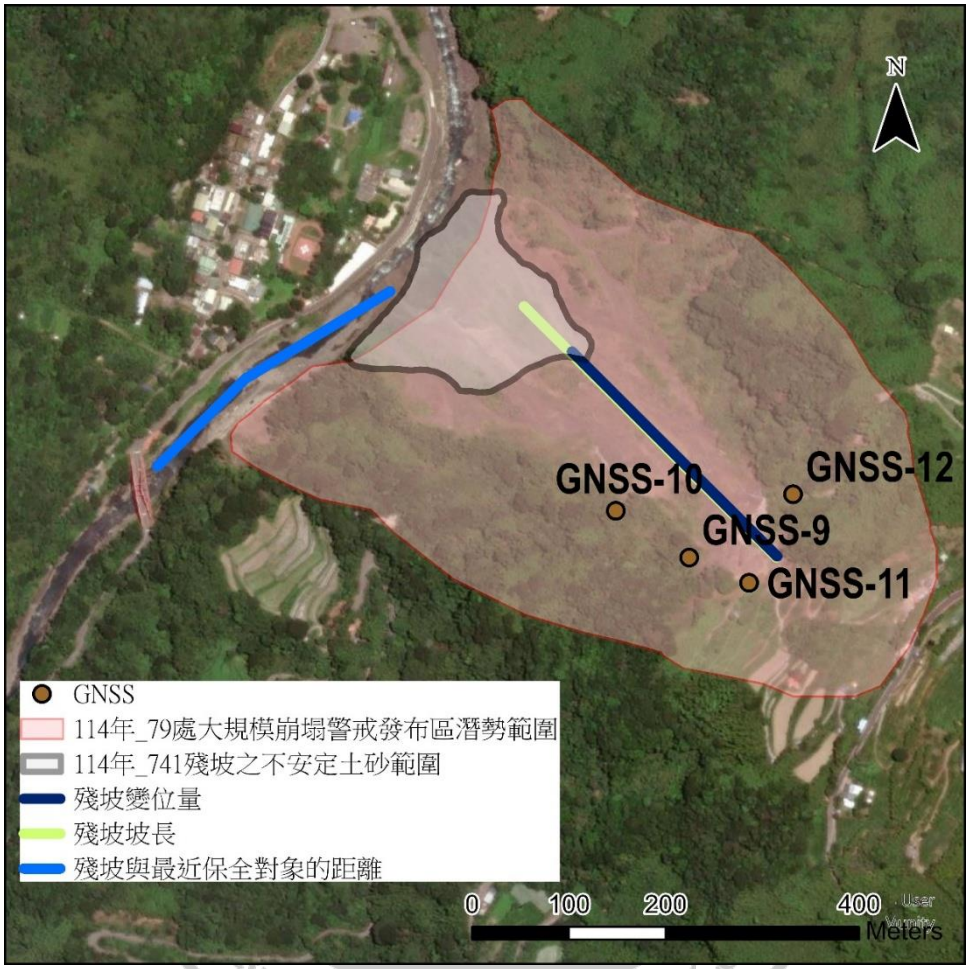


圖 3.28 秀巒(竹縣 RS003) 各 GNSS 測站分布

鵠鵠崙崩塌(新北 LL002)之各 GNSS 站分布如圖 3.29，紀錄僅有 112 年-113 年單期位移。其中 GNSS-15 站有當年最大位移 1526.7 mm。後續本研究將根據該站資料作為比對驗證之依據。

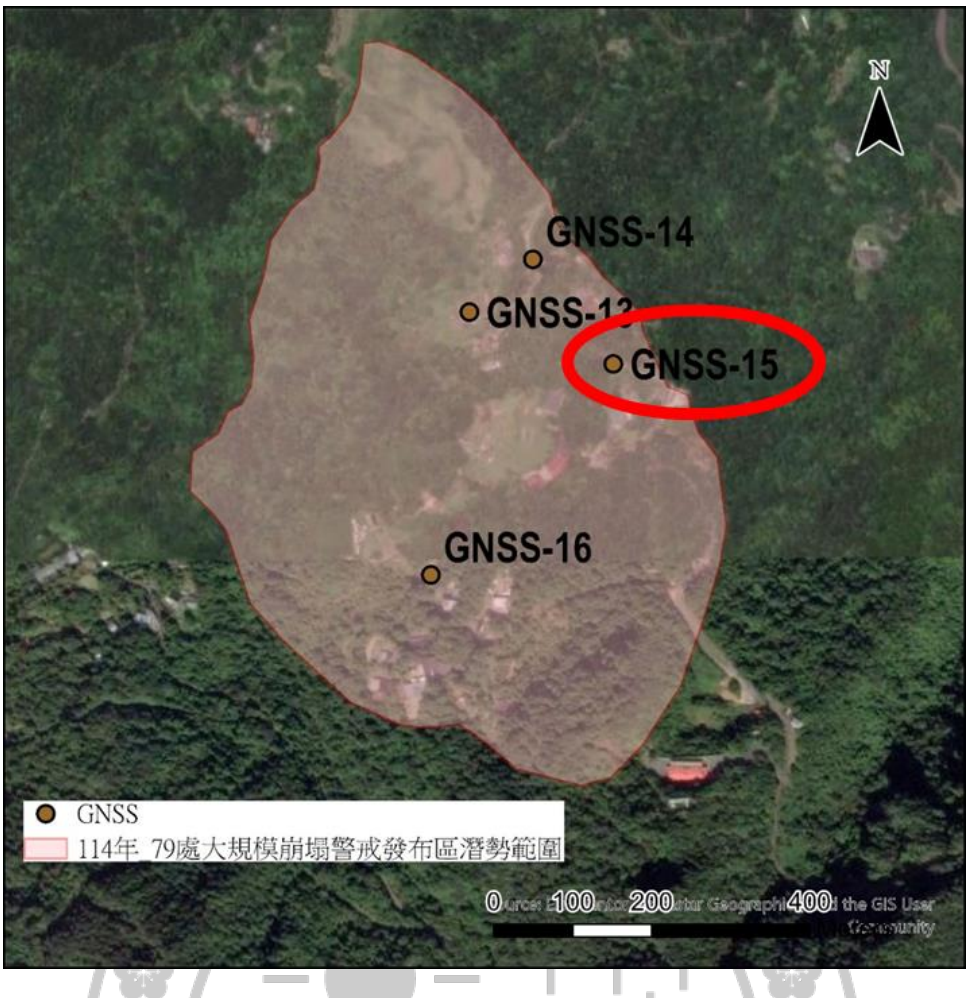


圖 3.29 鵠鵠崙(新北 LL002) GNSS-15 測站位置

中心崙(嘉縣 LL004)崩塌僅有 GNSS-20 有完整 111 年-113 年時序資料，其位置位於大規模崩塌範圍之邊緣外(見圖 3.30)，其他 GNSS 站點雖均落在崩塌範圍內，但僅有 112 年-113 年單期位移。根據 GNSS-20 站之資料，其位移變化發現有趨緩的情形，從 10232.5 mm 降至 4019.4 mm。後續驗證將以此測站位移資料作為主要驗證數據。

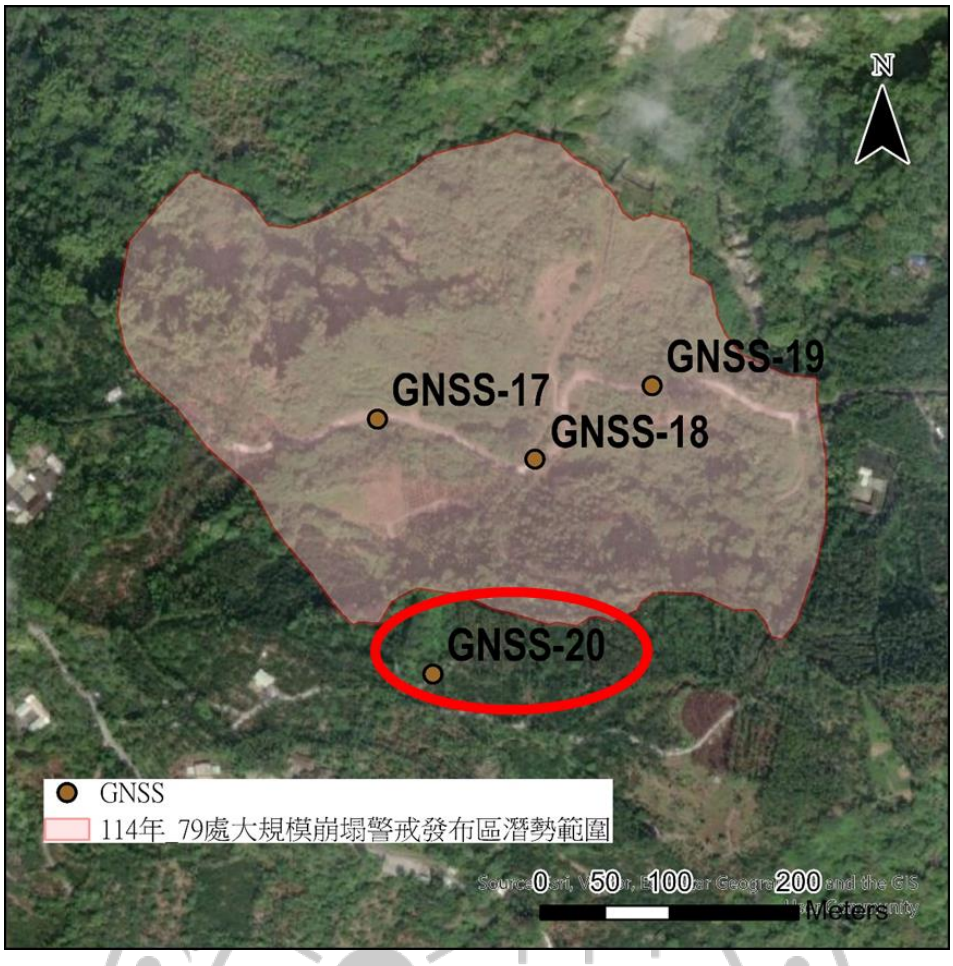


圖 3.30 中心崙(嘉縣 LL004) GNSS-20 測站位置

樣仔寮(嘉縣 LL003)崩塌僅有 GNSS-23 有完整 111 年-113 年時序資料，位置可見圖 3.31，雖然測站僅有 112 年-113 年單期位移紀錄。檢視 GNSS-23 站之資料，其位移變化於 111 年-112 年時，僅有 29.5 mm 位移量，但於 112 年-113 年期間，有較大幅度之位移，達 2572.6 mm。本計畫後續驗證將以此測站位移資料作為主要驗證數據。

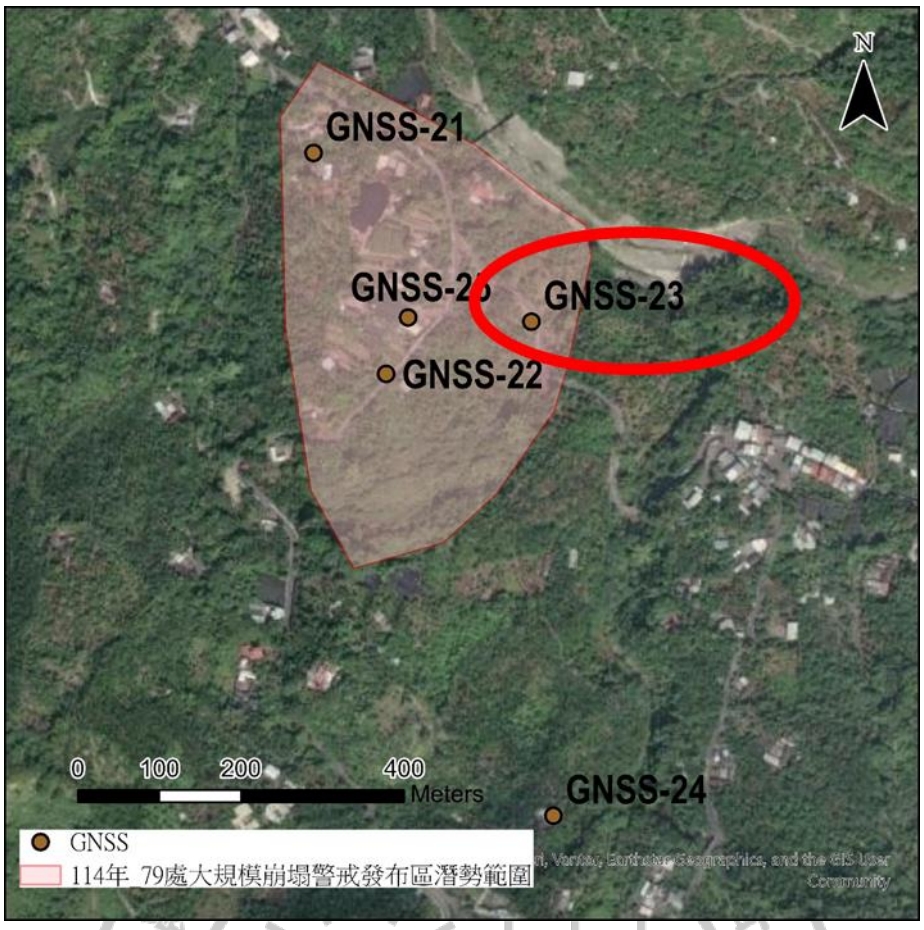


圖 3.31 樸仔寮(嘉縣 LL003) GNSS-23 測站位置

表 3.7、桃市 RS001(光華崩塌)GNSS 位移監測

	影像日期/測站	GNSS-1	GNSS-2	GNSS-3	GNSS-4	GNSS-5	GNSS-6	GNSS-7	GNSS-8
期間位移量	2022/7/23~2023/6/7	n.a	n.a	910	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
(mm)	2023/6/7~2024/6/26	2189.5	1204.8	1831.1	1511	1148.8	1179.9	778.7	961.4
總位移	2022/7/23~2024/6/26	n.a	n.a	2741.1	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a
(mm)									

表 3.8、竹縣 RS003(秀巒崩塌)GNSS 位移監測

	影像日期/測站	GNSS-9	GNSS-10	GNSS-11	GNSS-12
期間位移量 (mm)	2022/7/23~2023/6/26	10013.8	713.3	545.2	780.5
	2023/6/26~2024/8/3	11183.6	1835.6	1439.8	2041.4
總位移 (mm)	2022/7/23~2024/8/3	21197.4	2548.9	1985	2821.9

表 3.9、新北 LL002(鵂鶹崙崩塌)GNSS 位移監測

	影像日期/測站	GNSS-13	GNSS-14	GNSS-15	GNSS-16
期間位移量 (mm)	2022/4/6~2023/6/7	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
	2023/6/7~2024/7/17	600.2	692.9	1526.7	825.1
總位移 (mm)	2022/4/6~2024/7/17	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

表 3.10、嘉縣 LL004(中心崙崩塌)GNSS 位移監測

	影像日期/測站	GNSS-17	GNSS-18	GNSS-19	GNSS-20
期間位移量 (mm)	2022/6/22~2023/11/5	n.a.	n.a.	n.a.	10232.5
	2023/11/5~2024/9/17	7824.4	10292.5	11631.7	4019.4
總位移 (mm)	2022/6/22~2024/9/17	n.a.	n.a.	n.a.	14251.9

表 3.11、嘉縣 LL003(樸仔寮崩塌)GNSS 位移監測

	影像日期/測站	GNSS-21	GNSS-22	GNSS-23	GNSS-2	GNSS-25
期間位移量 (mm)	2022/7/23~2023/6/7	n.a	n.a	29.5	n.a	n.a
	2023/6/7~2024/6/26	2249.7	2295.6	2572.6	1982.8	1910.2
總位移 (mm)	2022/7/23~2024/6/26	n.a	n.a	2602.1	n.a	n.a

（二）SPOT 驗證成果驗證用 GNSS 測站資料

利用 SPOT 衛星資料進行位移分析成果與 GNSS 監測資料整理，包含位移分析成果之位移量(mm)、GNSS 位移量(mm)、位移分析成果之位移速率(mm/day)、GNSS 測站位移速率(mm/day)，進而比較平均絕對誤差(Mean Absolute Error, MAE) 、偏誤(Bias, GNSS 速率-影像位移分析成果速率)、方均根誤差(RMSE)以及相關性(r)，比較統整於表 3.12。

比較成果顯示，整體坡面之影像位移分析成果位移量(水平)為與點位之 GNSS 位移量(三維距離)無法直接進行比較，因此比對部分將重視時序資料之相關性程度。比對成果如下：

- 桃市 RS001(光華崩塌)：影像位移分析成果有明顯較大的位移量測成果，以 111-113 年間的平均位移來說，位移分析成果達 18.94 mm/day，約為 GNSS 站量測 3.89 mm/day 之 4.9 倍，其主要差異應為位移分析成果包含了崩塌中不安定土砂於觀測期間發生之位移，且絕對數值受位移分析誤差影響，而此位移量不為測站(GNSS-3)所反映。但比較兩者期位移速率資料，其相關係數可達 r=0.81，顯示變化趨勢相近。
- 竹縣 RS003(秀巒崩塌)：影像位移分析成果與 GNSS 之量測位移有較相近的成果，111 年-113 年之平均位移速率分別為

8.21mm/day 以及9.86mm/day，同樣顯現相同程度之位移加速趨勢，其位移量相關性達 0.96。

- 新北 LL002(鵲鵲崙崩塌)：比對成果發現影像位移分析成果的位移速率 10.37mm/day，明顯高於 GNSS 之 3.76mm/day，然此僅有一年期資料可做比對。
- 嘉縣 LL004(中心崙崩塌)：位移分析成果與 GNSS 資料呈現相似之位移減緩趨勢，位移分析成果呈現位移由 111 年-112 年之 5167.3 mm 減少至 112 年-113 年之 3965.3 mm，而 GNSS 則為 10232.5 mm 減至 4019.4 mm。雖兩者位移量無法直接比較，但其整體相關係數 r=0.91。
- 嘉縣 LL003(樸仔寮崩塌)：影像位移分析成果與 GNSS 資料之位移量於 111 年-112 年有較大之差異，分別為 1617.1 mm 及 29.5 mm；影像位移分析成果之整體坡面位移較大，推測受位移分析誤差影響，而在 GNSS 測站位置無顯著變動。而兩者於 112 年-113 年期之位移則具相對相近的位移量，分別為 2166.6 mm 以及 2572.6 mm，整體來說，兩者均呈現位移增加之趨勢，整體之位移相關係數 r=0.7。

需要注意的是，上述相關性計算僅依賴三筆資料，後續若能增加觀測密度，或延長觀測數據以增加樣本，更能確定 SPOT 影像之位移

分析之可靠性。總體而言，本計畫認為 SPOT 量測之成果可正確反映坡面之位移趨勢。

表 3.12、 SPOT 量測之 PIV 與 GNSS 位移量比較

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)	偏誤 (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		
鵠鵠崙	2023/6/7~2024/7/17	406	4208.3	1526.7	10.37	3.76	6.60	-6.60	n.a.	n.a.
中心崙	2022/6/22~2023/11/5	501	5167.3	10232.5	10.31	20.42	10.11	10.11	6.87	0.91
	2023/11/5~2024/9/17	317	3965.3	4019.4	12.51	12.68	0.17	0.17		
	2022/6/22~2024/9/17	818	9132.6	14251.9	11.16	17.42	6.26	6.26		
樣仔寮	2022/10/12~2023/11/5	389	1617.1	29.5	4.16	0.08	4.08	-4.08	2.67	0.70
	2023/11/5~2024/9/17	317	2166.6	2572.6	6.83	8.12	1.28	1.28		
	2022/10/12~2024/9/17	706	3842.7	2602.1	5.44	3.69	1.76	-1.76		

第二節 航空照片殘坡位移分析評估

本計畫所使用之航攝影像，皆為向農業部農村發展及水土保持署「多元遙測影像申購模組」(下稱水保署申購模組)申請取得，由航測及遙測分署產製。

一、航測影像

航測及遙測分署每年期更新 5,000~6,000 幅影像，本計畫研究期間橫跨 2018 年至 2024 年，許多地區並非每年都有影像可以進行分析，而於此期間所產製之航測影像雖有相同坐標系統資訊，惟解析度與使用拍攝的相機不相同，經確認航測及遙測分署於 2022 年起即因更新設備，更新航測數位相機由 DMC 改為 DMC III，影像解析度由原 0.25 公分提升至 0.15 公分(參表 3.13)，皆屬 16 bit 影像，故於本計畫所進行分析之正射影像，須將解析度統一為 0.25 公分，再進行裁切與色彩轉換處理，另有關航測及遙測分署正射影像糾正的各年度使用 DTM 版本與更換頻率則未可知。

表 3.13、各年度航空照片與解析度差異表

年度	解析度(cm)	相機
2018	0.25	DMC
2019	0.25	DMC
2020	0.25	DMC
2021	0.25	DMC
2022	0.15	DMCIII
2023	0.15	DMCIII
2024	0.15	DMCIII

二、航攝影像殘坡位移分析結果

針對航攝影像位移分析，本計畫團隊基於 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，並完成共 6 處殘坡之航攝影像分析(清單如下表 3.14)。

表 3.14、3 處小位移及 3 處大位移之殘坡清單

殘坡編號	位移量	年平均位移量(SPOT)
嘉縣 LL003	小	2.088
新北 LL002	小	3.176
嘉縣 LL004	小	3.492

竹縣 LL004(竹縣 RS003)	大	4.406
桃市 LL004(桃市 RS001)	大	5.622
高市 RS060	大	9.638

小位移案例

嘉縣 LL003，航遙測分署於該案例可用影像年份為 2020 年(11 月 19 日)、2023 年(2 月 12 日)及 2024 年(12 月 1 日)，2018 年至 2019 年及 2021 年至 2022 年均無可用影像，可供分析之時間區段因此受限。依據可用影像，本案例共執行兩期 PIV 分析：2020 年至 2023 年期間位移量為 0.64 公尺，2023 年至 2024 年期間位移量為 1.265 公尺，後者顯著高於前期，顯示近年位移速率有加速趨勢。對照多時序光學遙測位移圖，2021 年間受彩雲颱風暨 0605 豪雨、0621 豪雨暨光幸前鋒等連續降雨事件影響，累積位移出現明顯階段性增加；同年盧碧颱風暨 0806 水災亦對殘坡造成擾動。整體而言，本殘坡之位移趨勢與強降雨事件具有明顯對應關係，屬受降雨驅動之緩慢位移型態。

新北 LL002，航遙測分署於此案例之可用影像年份為 2020 年(8 月 26 日)、2023 年(1 月 31 日)及 2024 年(7 月 6 日)，2018 年至 2019 年及 2021 年至 2022 年均無可用影像，可供分析之時間區段因此受限。依據可用影像，本案例共執行兩期 PIV 分析：2020 年至 2023 年

期間位移量為 1.22 公尺，2023 年至 2024 年期間位移量為 2.025 公尺，後者明顯高於前期，顯示近年位移速率有所提升。對照多時序光學遙測位移圖，本殘坡整體呈穩定緩慢累積之位移趨勢，其中 2022 年間受尼莎颱風影響，累積位移出現較明顯之階段性增加。整體而言，本殘坡位移量雖屬小位移等級，但位移速率隨時間有漸增之跡象。

嘉縣 LL004，航遙測分署於此案例之可用影像年份為 2018 年(6 月 6 日)、2020 年(11 月 19 日)、2023 年(2 月 12 日)及 2024 年(12 月 1 日)，2019 年、2021 年及 2022 年均無可用影像。本案例影像涵蓋期間較長，共執行三期 PIV 分析：2018 年至 2020 年期間位移量為 4.132 公尺，2020 年至 2023 年期間位移量為 2.295 公尺，2023 年至 2024 年期間位移量則達 5.659 公尺，顯示最近一期位移速率明顯加速。對照多時序光學遙測位移圖，2019 年前後受 0823 熱帶低壓、利奇馬颱風暨 0815 豪雨及白鹿颱風等多個降雨事件影響，累積位移呈現階段性增加；2021 年間再受彩雲颱風暨 0605 豪雨、0621 豪雨暨光幸前鋒及盧碧颱風暨 0806 水災連續衝擊，位移量大幅躍升。整體而言，本殘坡位移與強降雨事件之對應關係明顯，各期降雨擾動均可見於累積位移曲線之轉折處。

大位移案例

竹縣 LL004(竹縣 RS003)，航遙測分署於本殘坡之可用影像年份

為 2018 年(5 月 16 日)、2021 年(1 月 13 日)、2023 年(12 月 14 日)及 2024 年(1 月 30 日)，2019 年、2020 年及 2022 年均無可用影像。本案例共執行三期 PIV 分析：2018 年至 2021 年期間位移量為 0.763 公尺，2021 年至 2023 年期間位移量為 1.648 公尺，2023 年至 2024 年期間位移量則達 3.514 公尺，顯示位移速率隨時間持續加速，最近一期尤為顯著。各期 PIV 色塊圖中，殘坡中心區域亦出現因位移量過大導致影像無法匹配而遭濾除之區塊，顯示殘坡核心部位之實際位移量可能超出 PIV 演算法之匹配範圍，現有統計數值存在低估實際位移規模之可能。對照多時序光學遙測位移圖，2021 年間受 0731 豪雨暨煙花颱風暨光華前場等降雨事件影響，累積位移出現明顯躍升；2022 年梅花颱風亦造成進一步擾動。整體累積位移曲線呈加速上揚趨勢，與大位移案例之特徵相符，顯示本殘坡活動性持續增強，應持續加強監測。

桃市 LL004(桃市 RS001)，航遙測分署於本殘坡之可用影像年份為 2018 年(8 月 7 日)、2021 年(1 月 13 日)、2022 年(12 月 26 日)、2023 年(12 月 14 日)及 2024 年(1 月 30 日)，2019 年及 2020 年均無可用影像，惟本案例整體影像時序相對完整。本案例共執行四期 PIV 分析：2018 年至 2021 年期間位移量為 0.798 公尺，2021 年至 2022 年期間為 0.711 公尺，2022 年至 2023 年期間為 0.429 公尺，2023 年至 2024 年期間則降至 0.102 公尺，各期位移量呈逐步遞減趨勢。值得注

意的是,各期 PIV 色塊圖中均存在因位移量大導致影像匹配品質不佳而遭濾除之區塊,顯示殘坡局部區域實際位移量超出 PIV 演算法之匹配範圍，現有統計數值可能低估實際位移規模。對照多時序光學遙測位移圖，本殘坡於 2022 年前後受 1007 豪雨、尼莎颱風、1022 豪雨及 1030 豪雨等連續降雨事件影響，累積位移出現明顯高峰。綜合 PIV 濾除區塊所反映之局部大位移現象，本殘坡確具實際顯著位移活動，應持續關注其發展。

高市 RS060 依據 SPOT 衛星影像分析結果，屬本計畫挑選之大位移代表案例，亦為六處案例中位移規模最大者。航遙測分署於本殘坡之可用影像年份為 2018 年(8 月 5 日)、2019 年(1 月 25 日)、2021 年(1 月 3 日)、2022 年(12 月 10 日)、2023 年(12 月 16 日)及 2024 年(4 月 5 日)，僅 2020 年無可用影像，整體時序覆蓋相對完整。本案例共執行五期 PIV 分析：2018 年至 2019 年期間位移量為 8.643 公尺，2019 年至 2021 年期間為 18.335 公尺，2021 年至 2022 年期間位移量暴增至 111.040 公尺，為各期中最高值，顯示該期間殘坡發生大規模位移事件；2022 年至 2023 年期間位移量為 56.586 公尺，2023 年至 2024 年期間則降至 7.314 公尺。對照多時序光學遙測位移圖，2019 年前後受 0520 豪雨、0611 豪雨及 0522、0528 豪雨等事件影響，累積位移持續增加；2023 年間卡努颱風、蘇拉颱風及後續豪雨事件接連衝

擊，致使累積位移曲線出現大幅躍升。

綜合上述六處殘坡之航照影像 PIV 位移分析結果可發現，航攝影像憑藉其高空間解析度，得以捕捉地表細微之位移變化；然而，高解析度影像對地表劇烈變化之敏感性，亦導致 PIV 演算法於匹配過程中產生較多誤差與雜訊，此為航攝影像應用於位移監測時需納入考量之限制。有關於此 6 處殘坡航攝影像位移分析圖表結果，請參閱相關成果附件內之【殘坡 PIV 分析報告附件】附件一；另有關衛星影像與航攝影像應用於多時序位移監測之適用性詳細評估，請參考本章節第四節之一「評估衛星及航照影像應用於多時序位移監測之差異及適用性」。

三、航攝影像驗證結果

本計畫除針對 SPOT 影像進行 PIV 與地面量測資料進行比對之外，為進一步了解影像品質(如解析度)對 PIV 的影響，也同時針對先前五處殘坡進行驗證：(1)光華大崩(桃市 RS001)、(2)秀巒大崩(竹縣 RS003)、(3)鵠鵠崙崩塌(新北 LL002)、(4)中心崙崩塌(嘉縣 LL004)以及(5)樸仔寮崩塌(嘉縣 LL003)。

經資料篩查後，發現僅有 112 年-113 年大規模崩塌潛勢區與大規模崩塌年報中所登載之位移監測數據可供所有殘坡進行驗證。比對成

果見表 3.15 整理。比對結果發現，光華(桃市 RS001)以及秀巒(竹縣 RS003)二處有極為接近之位移量測結果，位移速率之 MAE 分別為 0.26 mm/day 及 0.27 mm/day，次之為鵠鵠崙(新北 LL002)，位移速率 MAE 為 1.55 mm/day；而中心崙(嘉縣 LL004)以及檨仔寮(嘉縣 LL003)則有較大的差異，位移速率的平均絕對誤差達 6.27 mm/day 以及 6.03 mm/day。但若將所有影像位移分析成果與 GNSS 觀測位移資料計算相關性，可達 r=0.85。將航照成果與 SPOT 影像成果相比對，SPOT 之位移速率 RMSE 在 2.67 mm/day ~15.64 mm/day 之間，航照整體則為 3.96 mm/day，整體來說有較佳的表現。

表 3.15、航照量測之 PIV 與 GNSS 位移量比較

航照	觀測期間	觀測天數 (day)	PIV 位移 (mm)	GNSS 位移 (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)	偏誤 (GNSS-PIV, mm/day)	RMSE	位移量相關性 r
光華	2023/12/14~2024/1/30	47	102	114.1	2.17	2.43	0.26	0.26		
秀巒	2023/2/18~2024/2/18	365	4207	4306.8	11.53	11.80	0.27	0.27		
鵠鵠崙	2023/1/31~2024/7/6	552	1062	1918	1.92	3.47	1.55	1.55	3.96	0.85
中心崙	2023/2/12~2024/12/1	658	6021	10149.6	9.15	15.42	6.27	6.27		
樣仔寮	2023/2/12~2024/12/1	658	408	4374.2	0.62	6.65	6.03	6.03		

第三節 殘坡活動性分析及監測成果展示建立

一、殘坡活動性評估分析

本計畫提出之殘坡活動性分析方法包含三個步驟，分別為：

- 第一步：位移潛勢分析。結合坡度、坡向、曲率、SPI、TWI 與 WLSI (加權山崩穩定指數)，利用 K-means 非監督性分類進行分群，並納入降雨參數分析位移難易度(高、中、低潛勢)。
- 第二步：位移趨勢分析。以二次函數匹配位移時序資料，根據曲率判定位移是處於加速、趨緩或持平狀態。
- 第三步：綜合評估矩陣。將潛勢與趨勢兩大維度(3x3 矩陣)交叉評估，最終產出四級活動性分類。

（一）殘坡位移潛勢分析

本計畫利用內政部解析度 5 公尺之數值地形模型(Digital Elevation Model, DEM)為基礎計算各殘坡之坡度、坡向等地形參數。

- 坡度：將 DEM 利用 ArcGIS Pro 的 Slope 工具，計算出研究區內的坡度。
- 坡向：將 DEM 利用 ArcGIS Pro 的 Aspect 工具，計算出研究區內的坡向(Aspect)分佈。由於坡向因其特有的環形(Circular)特質，若

直接採用傳統的線性數值或虛擬變數(Dummy Variables)進行編碼，皆會破壞其在地理上的連續與漸變關係。為解決此問題，本研究使用三角函數，將坡向角度(θ)轉換為兩個互相獨立的連續變數：一個代表南北分量(Northness, cos(θ))，另一個代表東西分量(Eastness, sin(θ))。此方法不僅完整保留了原始坡向的環形地理資訊，更將其線性化，使其能有效地投入後續潛勢模型進行分析。

- 曲率、SPI、TWI：考量殘坡之空間尺度較小，本計畫直接針對殘坡單元進行分區統計(Zonal Statistics)，以保留最真實之局部地形起伏。同時，為確保數據之穩健性，系統性剔除各參數之頭尾極端值(p0 與 p100)。此策略不僅使曲率數值穩定收斂於±5 之合理區間，更大幅提升了整體數據分佈之集中度，望強化後續分群之精準度。SPI (stream power index)反映水流在特定位置之侵蝕與搬運能力，TWI (topographic wetness index) 則代表地形坡度對土壤含水量之控制程度。

$$SPI = ln\,(As \cdot sin\beta) \tag{3-1}$$

$$TWI = ln(\frac{\mathrm{A_S}}{sin\beta}) \tag{3-2}$$

其中 As 為比集水區面積(Specific Catchment Area)：指每個單位等高線長度的上游集水區面積，通過集流面積(Flow Accumulation) 乘以像元大小做近似計算；β 為坡度 (Slope)。

- 崩塌地影像指標 WLSI：本除上述地形參數外，本計畫收集多時序 SENTINEL-2 衛星影像，崩塌權重樣態指標(Weighted Landslide State Index, WLSI)。此指標經研究證明，對於崩塌坡面上之土壤岩屑與母岩有相當好的區判能力，因此將其研究成果整合至本研究的衛星影像地物判釋工作中。指標公式為：

$$\mathrm{WLSI} = \mathrm{K}_1 \cdot \frac{\text{Band 11} - \text{Band 2}}{\text{Band 11} + \text{Band 2}} + \mathrm{K}_2 \cdot \frac{\text{Band 8} - \text{Band 4}}{\text{Band 8} + \text{Band 4}} \qquad (3\text{-}3)$$

式中的前項(第一項)為岩屑-母岩之區判項，數值介於-1 和 1 之間，其中Band 11為短波紅外光(SWIR)的反射值；Band 2為藍光波段(Blue)的反射值。式中的第二項 NDVI 為植生指數，藉著突顯近紅外波段與紅色波段的差異來界定植生，數值介於-1 和 1 之間，Band 8為近紅外光波段(NIR)；Band 4為紅光波段(Red)。一般來說，NDVI 小於 0 時為裸露地表或是水體，大於 0.7 時為非常茂密的植被。此外，式中之 K1 與 K2 分別為第一項岩屑-母岩區判項之權重以及第二項植生指數之權重，兩者相加為 1。若 K_1 與 K_2 均給定相同權重(均為 0.5)時，可將 WLSI 數值進行不同崩塌地樣態之區分：(1)水體：<0，(2)母岩露頭：0～0.2，(3)土壤(岩屑)：0.2～0.5，(4)植被：>0.5，據此可凸顯殘坡上土砂堆積狀況。

- 雨量資料：本研究之雨量資料來源為可見第三章第一節說明，對應 2019-2024 各年期之位移量量測結果，本研究擷取下列 9 項雨

量參數進行分析：(1)年總雨量、(2)最大月雨量、(3)最大單日雨量、(4)最大連續三日累積雨量、(5)最大連續 7 日累計雨量、(6)發生大雨(>80 mm/24h)之次數、(7)發生豪雨(>200 mm/24h)之次數、(8)發生大豪雨(>350 mm/24h)之次數以及(9)發生超大豪雨(>500 mm/h)之次數。

針對位移潛勢分析之自動分群作業，本計畫首先以 172 處殘坡為標的，基於其坡度、坡向、曲率及 WLSI 等地形特徵，運用 K-means 演算法進行分群，並導入輪廓分析（Silhouette Analysis）自動決定最佳分群數與檢核分類之合理性。其核心評估公式如下：

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max(a(i), b(i))} \quad (3\text{-}4)$$

式中，分子為「淨分離度」(b(i) - a(i))，正值代表該點歸屬現有分群係屬合理；分母為「標準化基底」（max(a(i), b(i))），旨在將運算結果限縮至統一標準區間，確保不同尺度與密度之資料集具備客觀可比性。在算出每個點位的數值後，系統會進一步計算全體的「平均輪廓係數」。這個平均值代表了整體分類的明確程度：平均分數越高，表示各群之間分得越清楚、特徵越一致。因此，系統會自動測試不同的分群數量（例如分成 2 群、3 群或 4 群），並直接挑選平均分數最高的那一組，作為最佳的分群結果。

分析成果歸納 172 處殘坡為兩類，僅有坡度為顯著的區分參數(p-value=0.003<0.001)，其餘參數 p-value 均大於 0.05，且影響性透過分析 Silhouette-based Feature Importance，同樣得到坡度為最具影響力之參數，由於其他參數之顯著性不佳，故僅考慮使用坡度進行殘坡分群，其分類數值中心如下表 3.16 所示，顯示分析之殘坡可簡單分為坡度較陡以及較緩兩種類型。

因此本計畫認為此兩類邊坡在降雨誘發邊坡位移發生上應有不同之反應。據此，本計畫利用 2019-2024 年間之降雨資料，分別統計兩類邊坡其造成邊坡發生位移時所需之雨量下限(以排序 95%作為參考值)：整體來說，第一類坡度較陡之殘坡需要較少之降雨(年雨量、最大日雨量、最大 3 日雨量以及最大 7 日雨量)觸發位移，反之，第二類較緩之邊坡需要較多之降雨觸發。

表 3.16、邊坡類別與誘發降雨統計

類別	坡度 (deg)	殘坡數 (占比)	年雨量 (mm)	最大月雨量 (mm)	最大日雨量 (mm)	最大 3 日雨量 (mm)	最大 7 日雨量 (mm)
1	37.21	89 (51.7%)	433.5	254	49	77	113
2	27.08	83 (48.3%)	601	254	51.5	85.5	133.5

後續本計畫分別對兩類邊坡進行位移潛勢評級，此評級分成兩個部分，包含(1)累積位移量是否高於平均以及(2)經歷之降雨量(年雨量(mm)、最大月雨量、最大日雨量、最大 3 日雨量、最大 7 日雨量)與強降雨事件(大雨、豪雨、豪大雨、超豪大雨)次數等項參數是否有半數以上高於平均。評級方法與分布殘坡數量見下表 3.17，高位移潛勢殘坡總共有 33 處、中等潛勢 81 以及低潛勢 58 處。

表 3.17、位移潛勢評級與數量

位移量/歷經雨量	高於平均	低於平均
高於平均	高 (33)	中 (31)
低於平均	中 (50)	低 (58)

（二）殘坡位移趨勢分析

本計畫將 172 處殘坡(包含優規成果)，將 2018-2024 年之時序位移量以一次方及二次方程式來進行擬合，計算曲線之斜率、曲率以及擬合之 R^2，後以下列方法來區判位移趨勢：(1) R2>0.5 且斜率>0、曲率>0 為顯示位移顯著增加，潛勢為高；(2) R2<=0.5 則認為趨勢不顯著，位移趨勢為中等；(3) R2>0.5、斜率<0，顯示位移顯著遞減，區分其位移潛勢為低(如圖 3.32)。

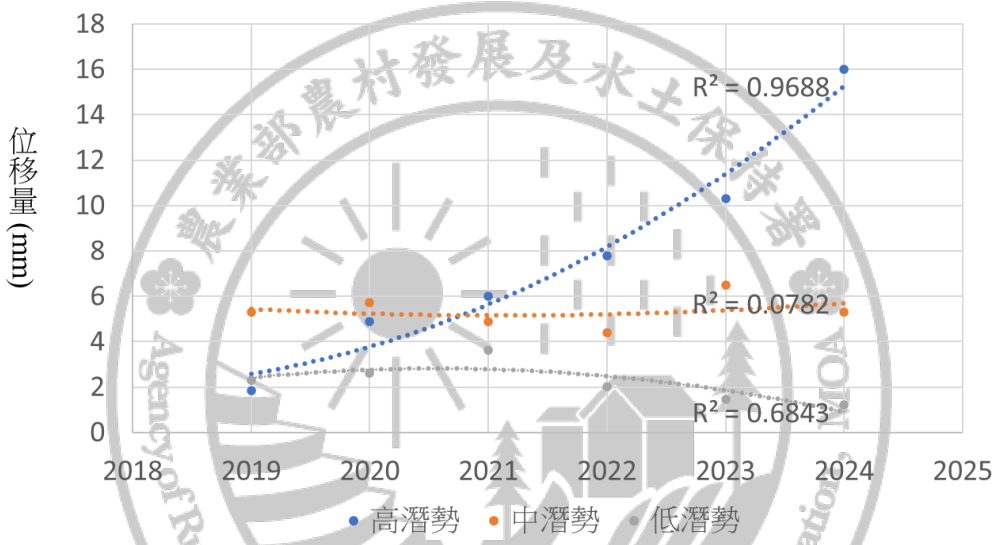


圖 3.32、位移趨勢分析示意圖

分析成果顯示，中等趨勢佔比最多，達 56.4%，其次為高潛勢 41.9%以及低潛勢僅有 3 處佔比 1.77%。綜合上述分析，將近半數之監測殘坡成果之趨勢並不顯著，於後續之管理策略上，有必要提高監測精確度與時序頻度。

表 3.18、位移趨勢評級與數量(占比)

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

（三）殘坡活動度

本計畫整合前兩部分位移潛勢以及位移趨勢後，能進一步進行 172 處之殘坡活動性分析。方法可見第二章第三節。最後統整四類活動度，分別為極高活動度有 14 處，佔比 8.1%，高活動度 19 處，佔比 11%，中等活動度 103 處，佔比 59.9%為最多，以及低活動度 36 處，佔比 20%。表 3.17 統計不同活動度殘坡於各流域之分布數量。其中高屏溪流域中為主要高活動度以及極高活動度殘坡之分布地區。

表 3.19、各流域之殘坡活動度分布數量

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

圖 3.33 為全臺殘坡活動度分級之流域分布圖，呈現殘坡之空間分布現況。區分為極高、高、中、低四級。其中又將 29 處之優規殘坡位置放大顯示。透過此視覺化圖資，可直觀掌握高活動度殘坡之群聚熱區，作為後續防減災資源配置與流域治理之空間決策參考。同時，本計畫嘗試表現活動性分析成果之可信度，本計畫針對高差移位後的優規成果，將位移量測之成果呈現了評估說明，包含：位移量小(A)、誤差主導推測無實際位移(B)、具位移可能性(C)以及確認有顯著位移(D)；並顯現優規分析所得到位移成果之參考價值(如圖 3.334)。

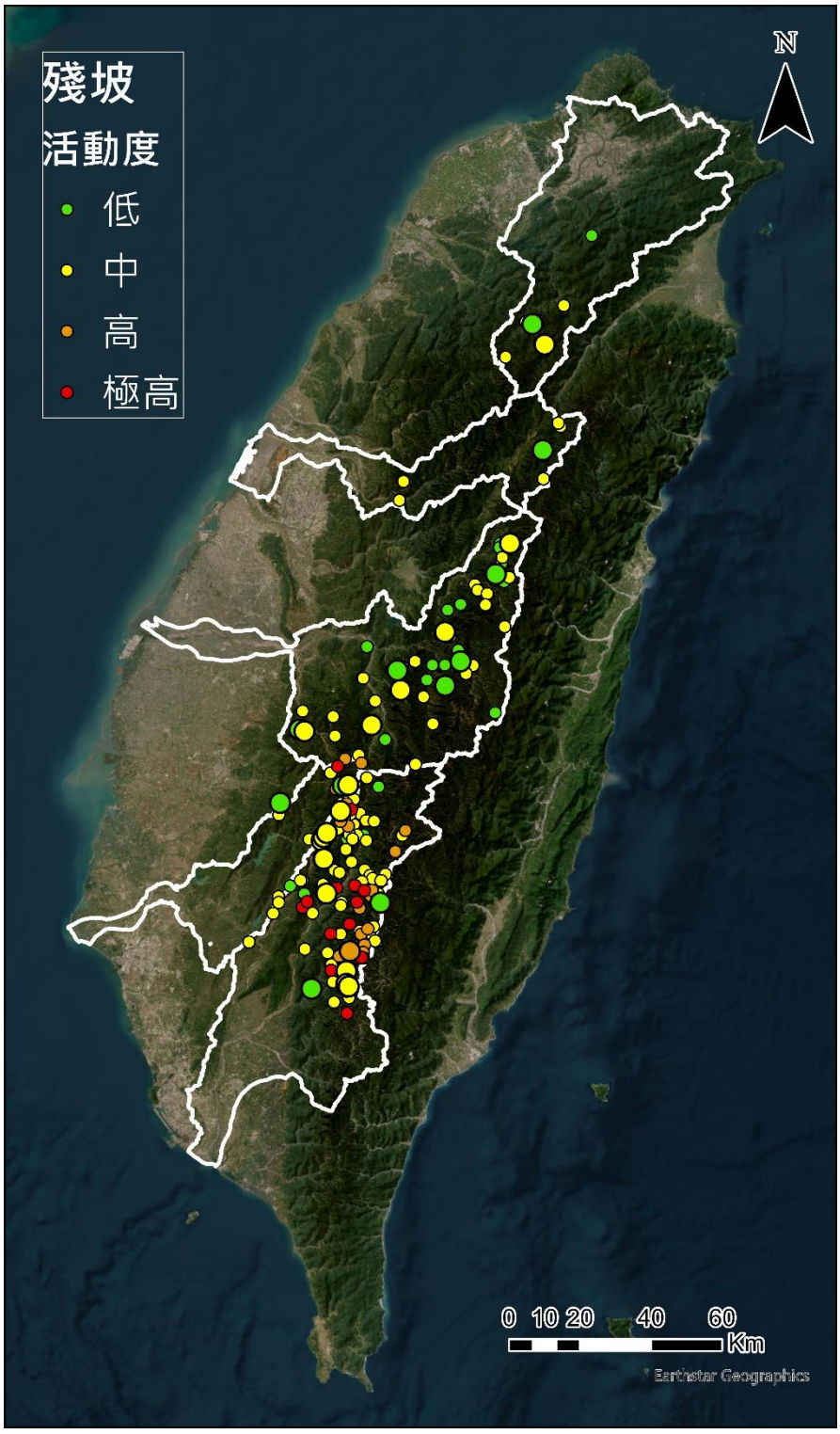


圖 3.33、全臺殘坡活動度分級之流域分布圖(放大之殘坡為優規成果)

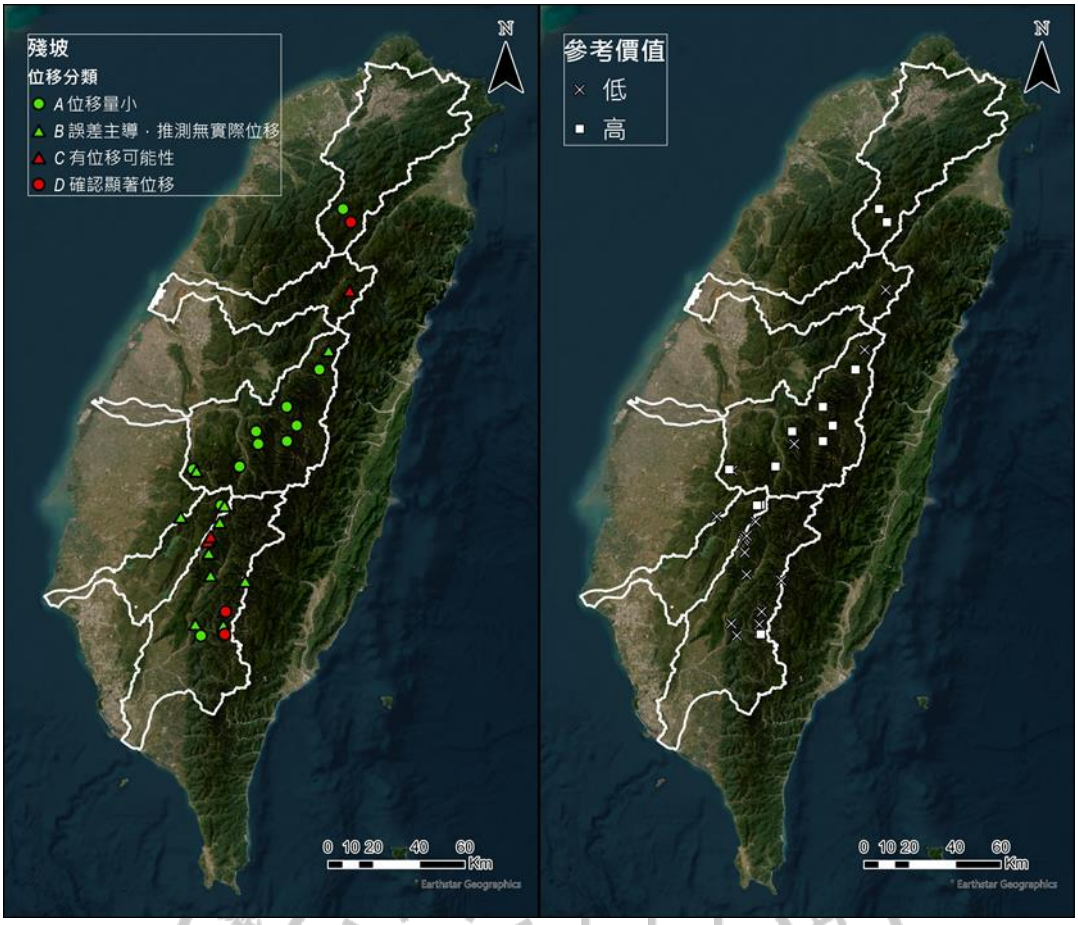


圖 3.34、活動性分析成果之可信度：左圖為高差移位分類成果評估，右圖為高差位移成果之參考價值

二、監測成果展示開發

為能於 BigGIS 巨量空間資訊系統展示本案殘坡位移分析成果，提供三種資料以供使用，分別為(1)多時序位移向量圖、(2)多時序位移量色塊圖、及(3)災害事件疊合圖。多時序位移向量圖以 Shapefile 格式分期呈現，各期之有效位移儲存於個別檔案，並以線段幾何呈現前後期位移向量。各個線段之屬性欄位包含(1)水平方向位移(U)呈現基於起始點之水平方向位移，(2)垂直方向位移(V)呈現基於起始點之垂直方向位移，及(3)整體位移量(Magnitude)為前後期位移之距離。

多時序位移量色塊圖以 GeoTIFF 格式分期呈現，色彩標注以暖色系至冷色系之彩虹色盤呈現，色盤界線設定於 0 公尺至 25 公尺之位移量，且基於位移分析時所使用之解析度。圖 3.35 為位移向量圖與位移量色塊圖於 ArcGIS 套疊之範例。亦因多時序位移向量圖與多時序位移量色塊圖皆具坐標資訊，可直接於 BigGIS 圖台疊合與切換呈現。而災害事件疊合圖以 PDF 格式提供，預計以連結方式於 BigGIS 平台呈現殘坡之多時序位移趨勢及疊合降雨及地震事件之關係圖，此疊合圖之設計與內容於第三章第四節第三項第一點「分析成果展示」進行說明，圖 3.45 為成果範例。各殘坡之前述三種資料於相關成果附件內之【殘坡 PIV 分析報告附件】附件三提供。

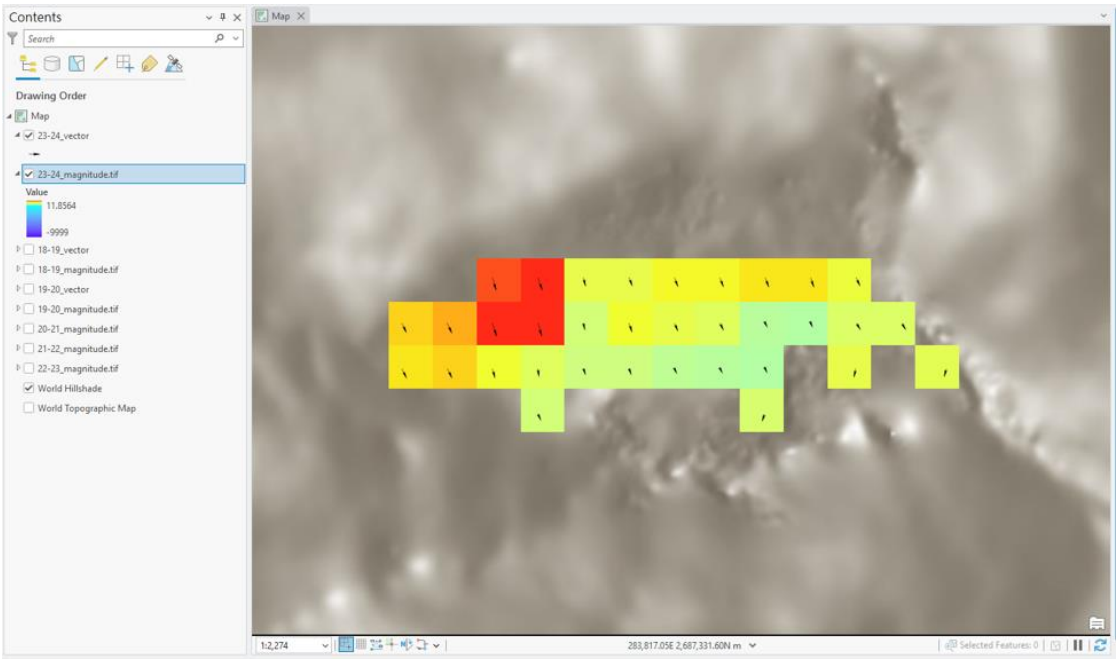


圖 3.35、位移向量圖與位移量色塊圖於 ArcGIS 套疊範例

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

第四節 光學影像多時序位移監測技術建立

一、評估衛星及航照影像應用於多時序位移監測之差異及適用性

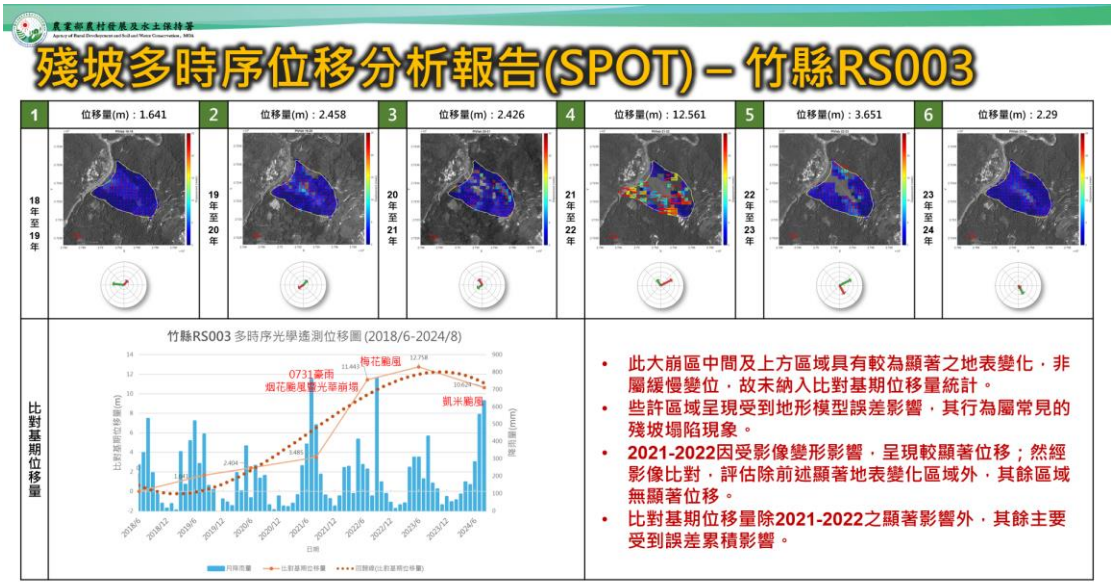
基於本案 SPOT 衛星影像與航測及遙測分署航照影像於相同殘坡之位移分析成果，如圖 3.36 竹縣 RS003 殘坡為例，系統性比對及評估兩種資料的差異與適用性。分析項目及評估結果如下：

1. 空間解析度：SPOT 衛星影像之空間解析度約為 1.5 公尺，可提供區域尺度之地表變化資訊；相較之下，航照影像通常具有更高之空間解析度(可達 25 公分內)，能更清楚辨識地表細部紋理與小尺度位移特徵，因此在細部變形判釋上具有較高精度，所得到的位移向量密度也較大。然而，對於所欲監測之殘坡滑動現象而言，由於殘坡多為樹林、草地或裸露地等自然生態地表覆蓋，衛星影像之空間解析度或許已然足夠進行位移分析與呈現。
2. 時間解析度：SPOT 衛星具備較高之重訪頻率，理論上可達每日重訪或數日內取得影像，較適合進行多時序變化監測；航照影像則多依專案或年度航測計畫取得，時間間隔較長，且非每年皆有影像。
3. 覆蓋範圍：SPOT 衛星影像覆蓋範圍較大，可快速取得大範圍區域資料，適合進行區域尺度之整體變形評估；航照影像則多以

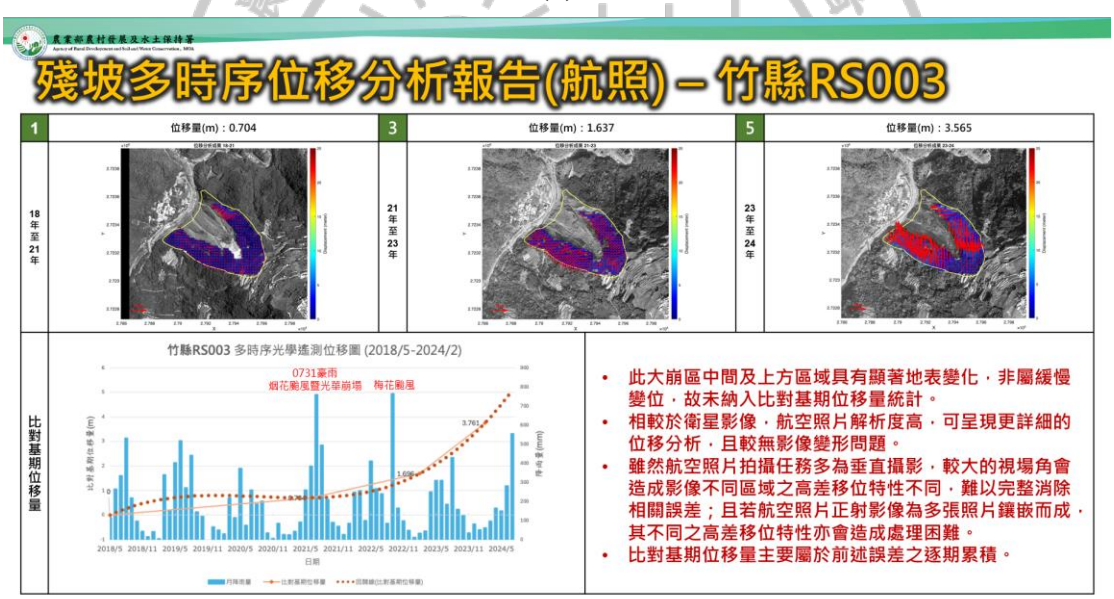
航測任務方式取得，單張影像覆蓋範圍較小，通常透過拼接方式覆蓋更廣泛的區域。

4. 幾何穩定性:衛星影像通常具備穩定之軌道與拍攝內方位參數，且因小視場角,造成潛在的幾何誤差皆於影像上呈現線性行為，具有較佳的幾何一致性；航照影像則受較大的視場角、較低的航行高度、及地形起伏影響，雖然航測任務通常為垂直攝影之影像且進行空中三角測量，上述因素仍造成影像中具有不同的高差移位變化，即便使用本案所提優規方法，仍難以統一進行修正。
5. 正射影像誤差來源：對於 SPOT 衛星影像而言，衛星軌道與姿態參數的不確定性、數值地形模型與實際地形差異等因素，導致正射影像具有整體或局部偏移與扭曲變形之誤差；而航照影像則主要受空中三角測量成果、控制點配置、及航帶拼接與影像匹配品質影響，雖較無地形模型誤差，但拼接影像亦造成正射影像中呈現不同幾何特性。
6. 天候及陰影影響：兩類光學影像皆受雲霧、降雨及地形陰影影響。衛星影像由於拍攝時間特定，雖具較少陰影，但容易受到雲覆蓋影響；航照影像雖可透過任務規劃選擇較佳天候狀況進

行拍攝，但在高山、陡坡、及樹林地區反而可能產生更為顯著的陰影，最終影響影像位移分析。



(a)



(b)

圖 3.36、竹縣 RS003 殘坡位移分析成果；(a) SPOT 影像分析成果，(b)航照影像分析成果

二、訂定光學遙測影像殘坡多時序位移量監測之影像規格、作業程序與方法

以下段落描述本計畫團隊所訂定之光學遙測影像殘坡多時序位移量監測之影像規格、作業程序與方法。若需更加完整流程化之標準作業規範及方法，請參考文末團隊所彙整之「附錄四-作業執行指引手冊」文件。

（一）影像取得與前處理

本計畫使用之影像計有 SPOT 衛星與航空照片兩種，由農村水保署「多元遙測申購模組」下載取得，該平臺統一倉儲各業務單位辦理計畫時所採購之影像，影像儲存格式、數量、拍攝資訊與時間連續性不一，挑選時較為受限，若查無合適之影像或資訊，須另至產製單位平台進行二次確認與查詢。

PIV 分析對影像品質要求較為嚴格，其演算法是靠比對前後兩張影像中粒子圖樣的變化來算位移向量，影像需要擁有高對比度，用來互相關聯運算辨識粒子，亦須配合相同視野範圍與像素數數，設置監測影像的最小尺度與最大尺度。故須以殘坡處作為空間基準，針對前述二種影像進行影像裁切與色彩模型轉換(併檔案格式轉換)，在進行前述處理時，須先行檢查影像坐標系統與影像間相對精度是否存在明顯差異，並進行坐標系統一(TWD 1997)與影像對位(採「仿射轉換」

Affine Transformation 幾何轉換模型，至少 5 個以上套合點)等作業，統一影像之位元數量、解析度等標準，處理流程與方式可參下圖 3.37。

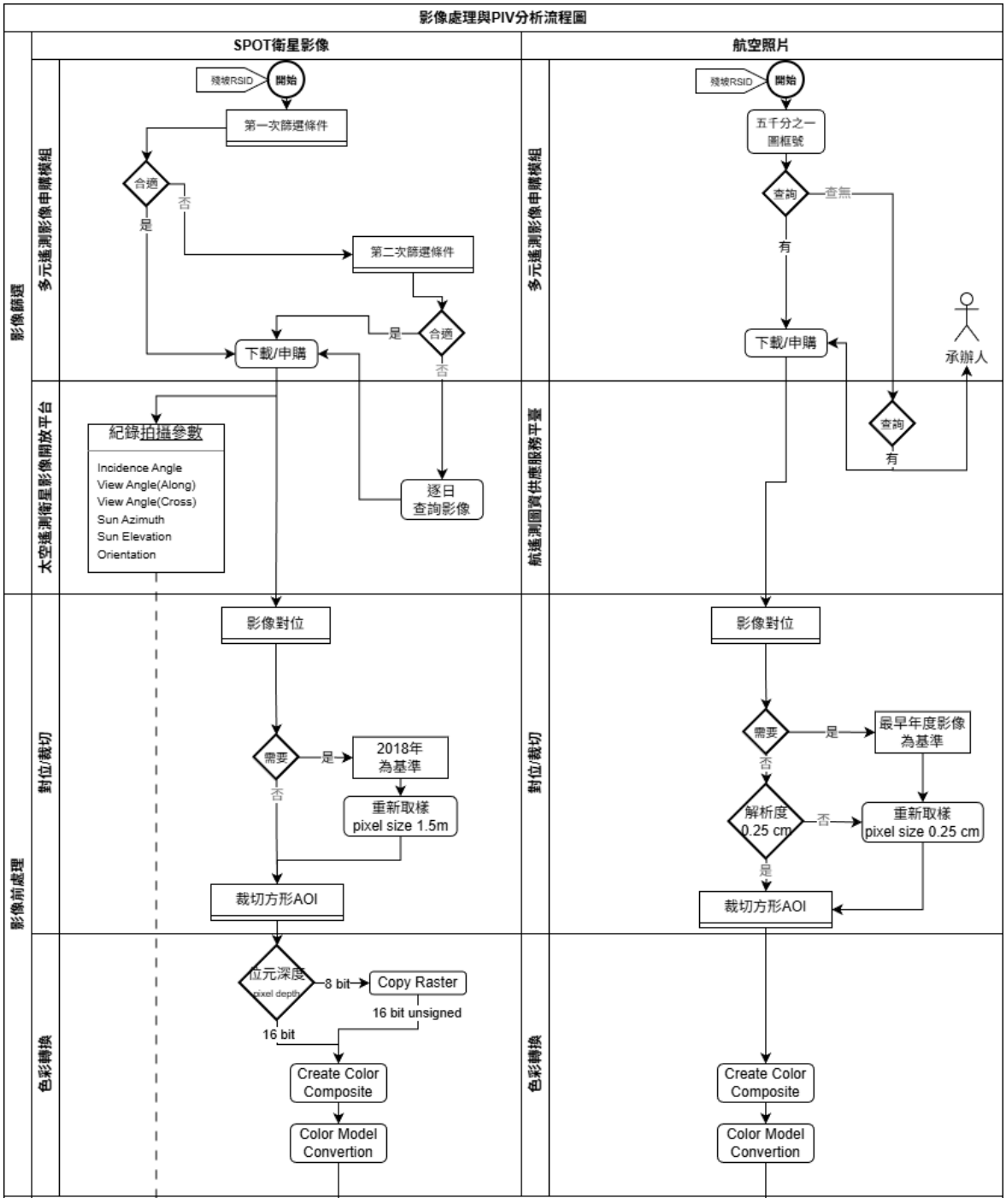


圖 3.37、本計畫衛星影像、航空照片 PIV 分析流程圖(上)

（二）PIV 分析與消除高程所造成之高差移位

本計畫團隊使用 MATLAB R2025a 並附掛 PIVlab_GUI 應用程式，進行目標殘坡處位移分析時，可批次匯入完成前處理之 2018 年至 2024 年年度影像(衛星影像或航空照片)進行逐年或跳年度之影像 PIV 分析作業，以不同年間之影像進行匹配分析，匹配數值若出現異常離群值或極端值，即須確認影像位置是否因具肉眼顯見之地表變異，或因在產製正射影像時使用之數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)所引起之影像扭曲，故造成之不合理值，並以人工濾除該監測數值，保留正常監測數值。

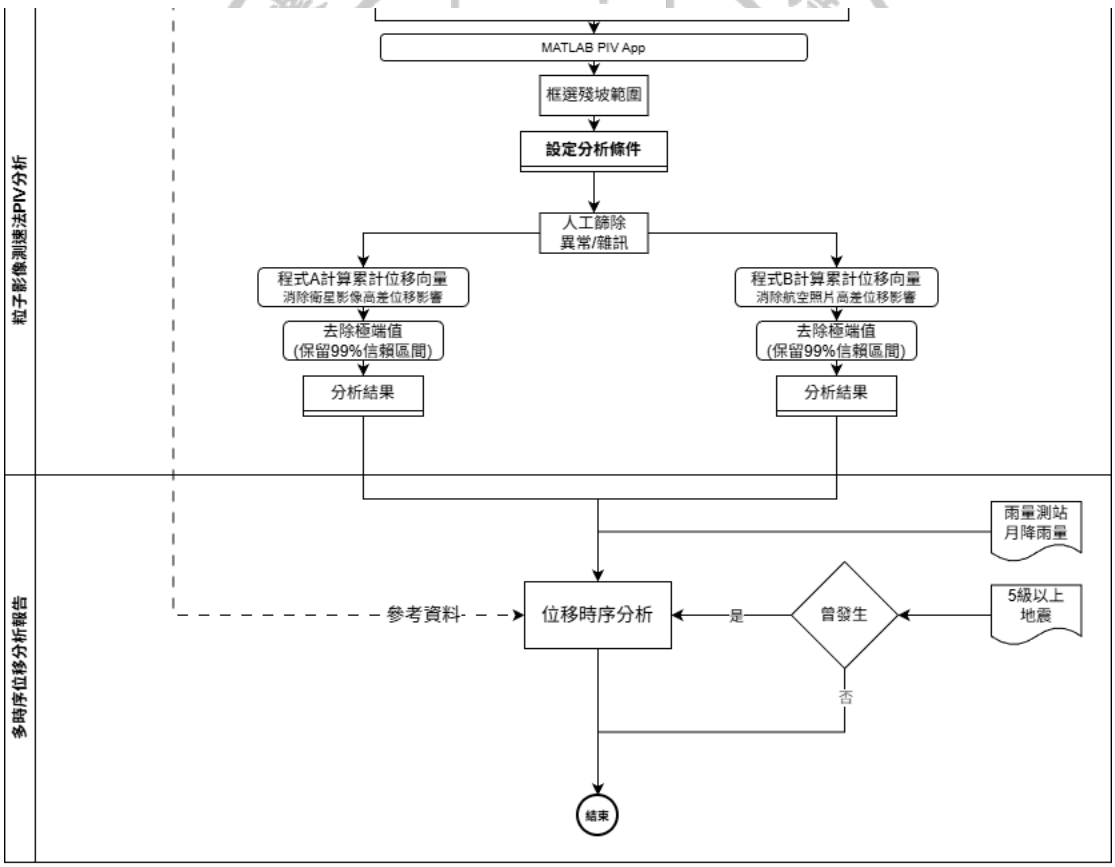


圖 3.38、本計畫衛星影像、航空照片 PIV 分析流程圖(下)

在團隊分析的成果中，衛星影像與航空照片皆有因拍攝條件差異、高程所造成之高差移位問題(參圖 3.39)，主要影響樹林區之監測數值，顯著提高整體監測年間之位移量基準，造成各年間位移量(公尺級)累計增幅劇烈，可能與實際位移量有較大差異。

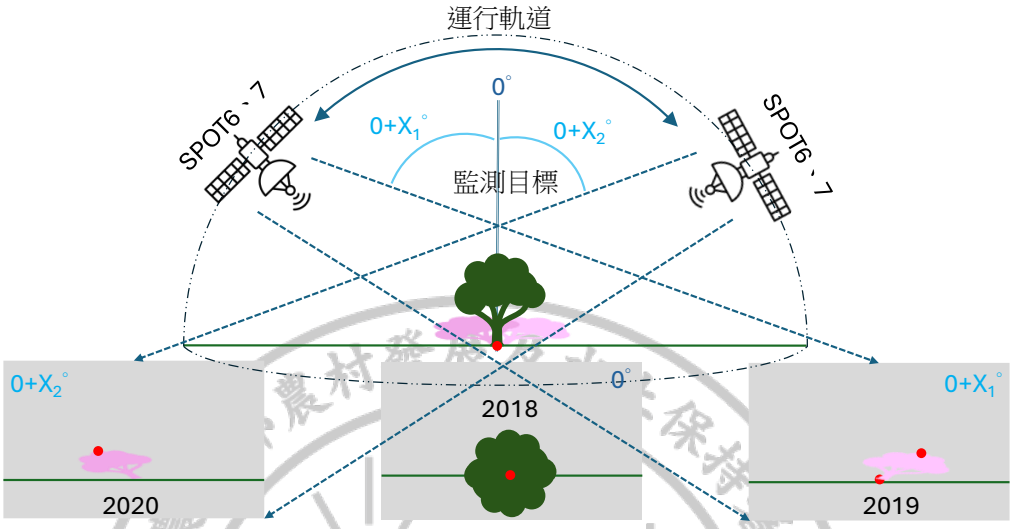


圖 3.39、高程造成高差移位示意圖

為減少高差移位影響各殘坡監測值，本計畫團隊嘗試將殘坡處之衛星影像、航空照片各年間分析資訊組再進行計算，以第一組為基準，進行各資訊組位移向量之累計分析，嘗試抵銷不同高差移位之位移向量，並以程式刪除異常極端值、保留 99%信賴區間範圍內之數值，計算出更趨近於實際位移量之位移趨勢線(參圖 3.40)，以掌握長期實際變動趨勢。

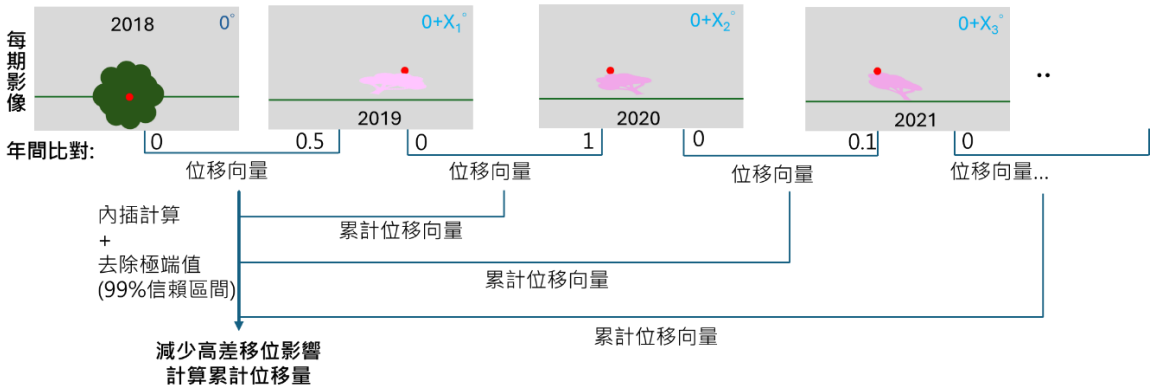


圖 3.40、以累計位移向量降低高差移位之影響

（三）殘坡基本資訊與 PIV 分析報告

本計畫納入月累計雨量與震度達 5 弱以上之地震資訊輔以分析，藉由時序圖呈現位移量增減之原因與關聯性，以探討位移滑動模式之可能。

1. 雨量測站資料

本計畫雨量資料透過「土石流及大規模崩塌防災應變系統」取得每日逐時雨量資料，採計每日 23 時之累計雨量資料，加總為各月累計雨量進行使用，雨量測站因撤站或短暫損壞問題，部分測站資料於監測期間內偶無測量數值，若無資料占比不超過總月份 5 分之一，仍正常使用該測站資料。

2. 地震資料

本計畫監測期間橫跨 2018 年至 2024 年，惟本國地震震度分級於 2020 年 1 月 1 日起已由舊制各級皆單純採計「最大地

動加速度值(Peak Ground Acceleration, PGA)」進行分級，改為震度達 4 級後，改採「最大地動速度值(Peak Ground Velocity, PGV)」再行分級 5 至 7 級之新制(圖 3.41)。

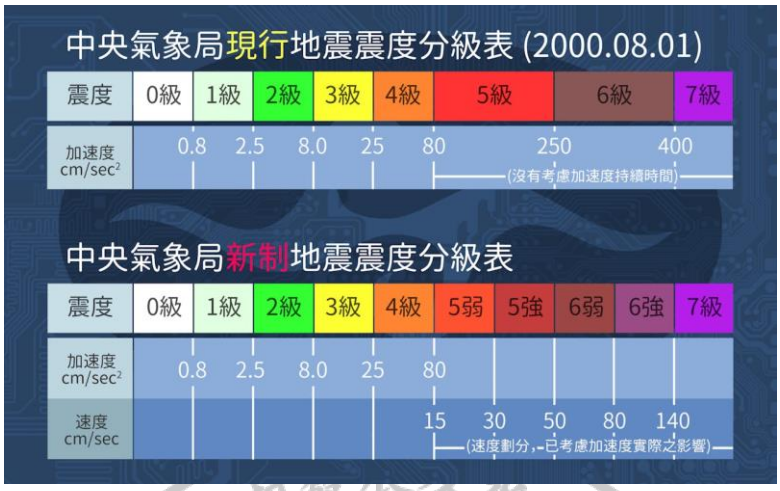


圖 3.41、交通部中央氣象署震度分級新、舊制比較表

計畫團隊考量殘坡受新制震度達 5 弱(舊制 5 級)之地震影響準確性與分析時之便利性，經詢中央氣象署地震測報中心值班台獲告，該單位產製之震度圖是將全臺分割以 5 公里乘於 5 公里之網格，以地震發生時之位置、深度、規模做第一次渲染後，各測站半徑 10 公里內皆會是同一震度，故團隊規劃以程式化自動計算各測站震度資料，並以「反距離加權插值法(Inverse Distance Weighting, IDW)」進行震度大小之計算(圖 3.42)，將結果比照中央氣象署地震測報中心之地震震度圖(圖 3.43)，具以調整本計畫之震度判斷程式，以利後續震度分析。

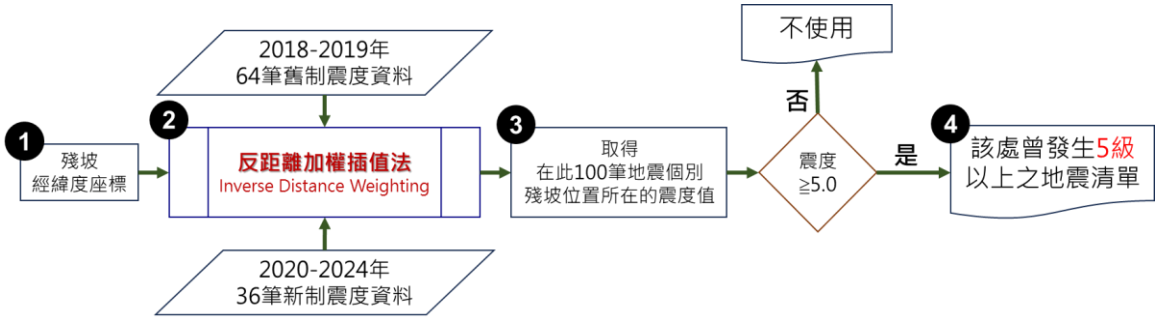


圖 3.42、程式計算流程圖

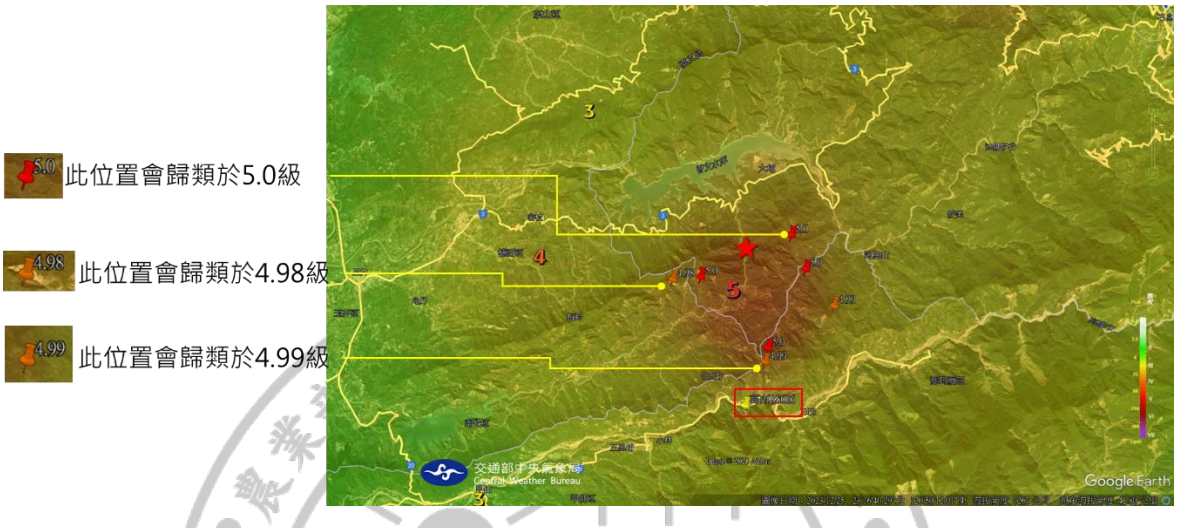


圖 3.43、中央氣象署震度圖

3. 殘坡年間與基期位移多時序分析報告

本計畫監測成果殘坡基本現狀描述加入農村水保署委於 2024 年委外以進行人工判釋殘坡處狀態描述資訊及位處縣市鄉鎮、聚落等資訊；另在分析報告中呈現分析不同年度之影像「年間位移量」監測值、減少高差移位所進行比對的資訊組之「基期位移量」與迴歸線(3 次多項式)趨勢線，加以判斷位移監測數值發展趨勢與相關地震與雨量之影響性。

三、成果展示及訓練

（一）分析成果展示

為提升資料使用者對各監測殘坡之基本認知與周遭空間判位能力，本計畫於監測成果報告中整合殘坡基本現況描述資訊，使判讀人員得以在解讀位移分析成果前，即掌握各殘坡之地理背景、環境條件與潛在影響範圍，有效輔助後續活動性研判與風險評估作業。

如下圖 3.44 所示，本計畫分析報告整合農業部農村發展及水土保持署於 2024 年委外辦理人工判釋所得之殘坡現況描述資訊，並依功能分區呈現三大內容區塊：左側彙整殘坡基本屬性資料，涵蓋殘坡編號、隸屬流域、行政區、位移速率分級(由本計畫產製)、面積及中心坐標等欄位；中間區塊為套疊殘坡多邊形範圍之衛星影像，直觀呈現殘坡空間範圍與地表特徵分布；右側則呈現土地類別分布圖，納入國有林事業區林班圖及全臺保安林分布概略圖等資料，以確認殘坡所在區域之權管單位及防災規劃等相關資訊之有效掌握，並輔以 1/25,000 地形圖，協助使用者判別地貌特徵以及地形條件。

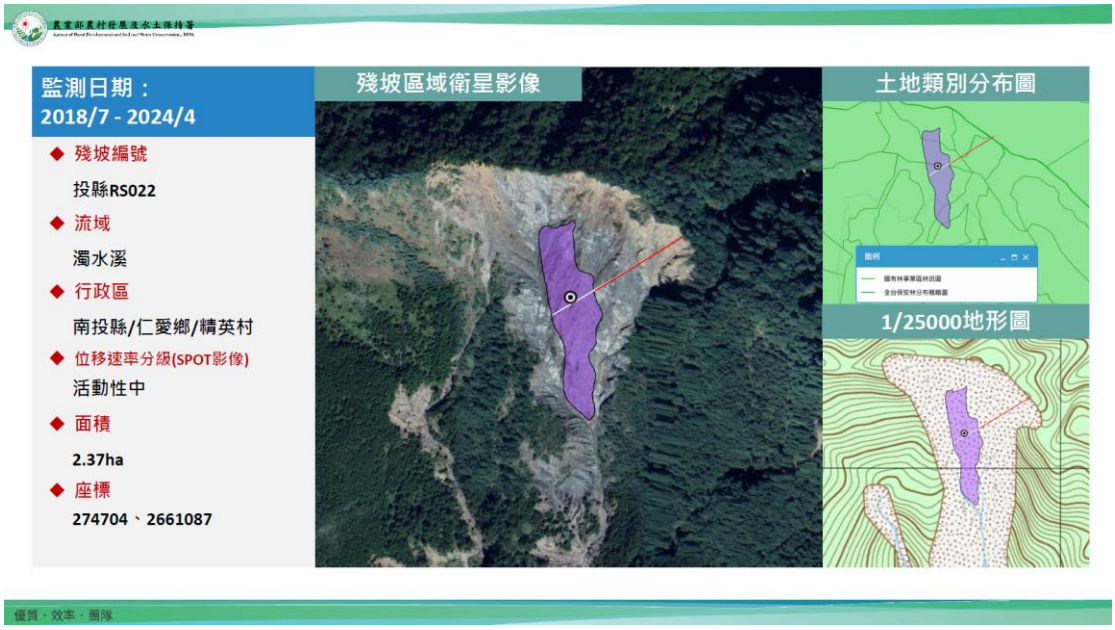


圖 3.44、殘坡基本位置資訊

圖 3.45 為本計畫產製之殘坡位移分析報告示意。該報告旨在整合多時序遙測影像與環境事件資料，提供判讀人員全面掌握殘坡長期變形趨勢之分析依據。報告並排呈現各年度衛星影像之「年間位移量」監測成果，以色階熱區圖直觀標示各期地表位移之空間分布與強度變化。報告下方時序圖則同步呈現「比對基期位移量」及其三次多項式迴歸趨勢線，並輔以逐月降雨量柱狀圖，依據中央災害應變中心警戒發布統計標註累積雨量達 600mm 以上之重大降雨事件，以及震度達 5 弱以上之地震事件，使判讀人員得以交叉比對位移變化與降雨、地震等外力事件之時序對應關係，進而研判是否存在異常位移行為及其潛在誘發因素，協助使用者釐清監測數值之可信度，作為後續活動性分級與風險評估之重要參考依據。

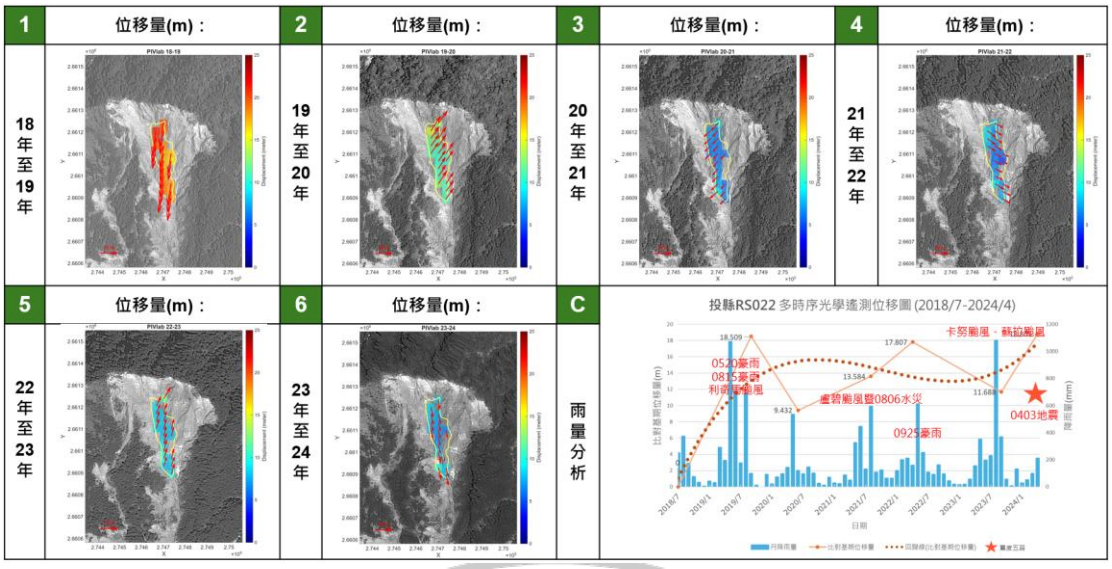


圖 3.45、本計畫產製之位移分析報告範例

（二）教育訓練

團隊已與農業部農村發展及水土保持署完成協調確認，並於 115 年 3 月 27 日上午辦理一場次教育訓練。此次訓練採實體與線上同步方式進行，參與人數共計 35 人，課程時數規劃為 3 小時，地點位於農村水保署府西辦公室。參與訓練對象為農村水保署本署及各分署之相關技術人員，以提升業務執行所需之專業知能。

課程內容規劃涵蓋四大主題，首先由計畫主持人進行計畫整體簡介，說明本計畫之研究背景、監測範圍與執行成果概述；其次針對多時序光學影像位移分析技術進行介紹，說明 SPOT 衛星影像與航空照片之影像篩選原則、前處理流程及粒子影像測速法之分析原理與應用；

第三部分由執行團隊詳細講述位移分析執行流程，包含影像篩選、幾何對位、前處理、高差移位修正、統計信賴區間等實務操作細節；第四部分則針對殘坡活動性判斷標準與分級方法進行說明，介紹本計畫採用之量化分級指標及其與農村水保署現行活動度分級資料之比對方式。

課程結束後，亦安排綜合討論與問答時間，由講師針對受訓人員之疑問進行解說，並視需求提供實際操作示範，協助受訓人員建立實務操作能力，以達技術移轉之目標，強化後續相關單位自主應用與推廣之量能。相關公文紀錄、議程、簽到簿、活動紀實以及教育訓練講義教材，請參閱相關成果附件【教育相關紀錄】。

第四章 結論與建議

本計畫已完成五大集水區內共 172 處殘坡之多時序 SPOT 衛星影像 PIV 位移分析，並透過 5 處具現地監測儀器資料之驗證場域進行成果比對，結果顯示粒子影像測速法應用於多時序光學衛星影像之殘坡位移監測具備一定參考價值，可有效反映地表緩慢變形之時序趨勢。此外，本計畫亦完成共計 6 處殘坡之航空照片位移分析與驗證，並基於前述衛星影像及航照影像之分析成果，建立殘坡活動性評估指標與分級標準，完成 172 處殘坡之活動度高、中、低分級判定，可作為後續殘坡災害潛勢管理與預警機制建立之重要依據。

在技術侷限與改善建議方面，就 SPOT 衛星影像與航照影像之應用特性比較，前者空間解析度約 1.5 公尺，雖低於航照影像之 25 公分，但考量殘坡地表多為自然覆蓋，於實務上已能滿足位移分析之基本需求，且衛星具備較高重訪頻率與較大覆蓋範圍，更適合大尺度多時序監測；航照影像則受限於年度航測計畫，監測頻率與連續性較為不足。就幾何誤差而言，衛星影像因視場角小，高差移位誤差呈線性且較易修正。本計畫提出優規之高差移位修正方案已針對 29 處殘坡進行處理，結果顯示可有效改善系統性誤差，後續可納入標準化流程；航照影像則因視場角較寬且多張拼接之特性，造成方向複雜且難以預測之高差移位誤差，修正難度較高。此外，兩類影像皆受雲霧與地形陰影影響，航照影像於高山陡坡地區之陰影干擾尤為顯著。有鑑於此，建議未來可評估引入具近垂直觀測特性之 Planet Labs 或 Sentinel-2 光學衛星影像，以有效降低高差移位與正射影像誤差，提升監測成果之可靠度。

整體而言，以多時序光學影像進行殘坡位移監測之技術路徑具有可行性，可提供大範圍殘坡緩慢變位之參考資訊，惟受高差移位殘差及數值地形模型精度等因素影響，現階段分析成果仍有持續精進之空間。本計畫團隊將持續探討並評估其他可進一步降低上述干擾之分析方法，包括高差移位系統性校正、正射影像修正，以及多元感測器影像聯合應用等技術方向，期能逐步強化光學遙測技術於坡地災害長期監測之精度與應用效益。

第五章 參考文獻

農村水保署(2024)，殘坡判定操作手冊-113 年度修訂版。

Bovenga, F., Nutricato, R., Refice, A., & Wasowski, J. (2012). Application of multi-temporal differential interferometry to slope instability detection in urban/peri-urban areas. Engineering Geology, https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2006.09.015

Chiu, C., Quah, T. S., Hsu, S., & Bowders, J. (2016). Site Investigation and Analyses of Landslide Range Using Particle Image Velocimetry. Journal of Testing and Evaluation, 45(1). https://doi.org/10.1520/JTE20160163

Stumpf, A., Malet, J.-P., Allemand, P., Ulrich, P., (2014). Surface reconstruction and landslide displacement measurements with Pléiades satellite images. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 95:1–12, doi:10.1016/j.isprsjprs.2014.05.008

Sun, J., Yuan, G., Song L., and Zhang. H. (2024) Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in Landslide Investigation and Monitoring: a Review. Drones, 8(1), 30; https://doi.org/10.3390/drones8010030

Wang, D., Zhu H., Zhou, G., Yu, W., Wang, B. (2024). Monitoring shear deformation of sliding zone via fiber Bragg grating and particle image velocimetry. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2023.03.007