

114年度花蓮縣銅門、溪頭及高山地區 潛在大規模崩塌調查、監測及維運計畫

成果報告書



農業部農村發展及水土保持署花蓮分署
與您一起打拼



農業部農村發展及水土保持署花蓮分署
花蓮市府後路26號
<https://hualien.ardswc.gov.tw/>

農業部農村發展及水土保持署花蓮分署編印

中華民國114年12月

ARDSWC-114-156
114年度花蓮縣銅門、溪頭及高山地區潛在大規模崩塌調查、監測及維運計畫

成果報告書

農業部農村發展及水土保持署花蓮分署

114 年度花蓮縣銅門、溪頭及高山地區潛在 大規模崩塌調查、監測及維運計畫 成果報告書

執 行 單 位：青山工程顧問股份有限公司

執 行 期 間：民國 114 年 2 月 7 日至民國 114 年 12 月 10 日

計畫主持人：陳昭維 技師

農業部農村發展及水土保持署花蓮分署 編印

中華民國 114 年 12 月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本分署施政參考）

摘要

計畫區包含銅門、溪頭及高山等三處位於花蓮縣之潛在大規模崩塌區，其中，銅門調查區曾有土石流災害歷史，且由地形特徵判釋顯示區域具大規模崩塌之潛勢，因此農業部農村發展及水土保持署花蓮分署於 2022 年啟動相關監測調查工作，建立並分析基礎地質模式、潛在崩塌規模、機制及潛勢。溪頭及高山調查區前期均由農村發展及水土保持署執行調查監測工作，並於 2023 年度移交花蓮分署進行持續性監測，兩處調查區前期雖已有辦理初步地表調查及觀測，然尚未釐清邊坡之地質模式、崩塌機制等，故本計畫將持續辦理地表調查及監測工作以釐清邊坡現況。

一、銅門調查區

銅門調查區本計畫已建置計畫區之地質模式及區域邊坡觀測系統，並已初步掌握崩塌區可能致災原因、規模與機制。本調查區主要包含一處 L1 潛在大規模崩塌塊體，而 L1 塊體可再細分為 S1、S2 及 S3 三處規模較小之滑動塊體。配合現場地質鑽探資料顯示，調查區淺層範圍之岩屑材料，其夾雜大小岩屑、岩塊且結構鬆散，且邊坡的平均坡度達 37.5° ，其角度已接近邊坡安息角，研判於邊坡坡度較陡之區位容易以淺層岩屑崩滑形式發生破壞，此外若發生破壞後之材料堆積於蝕溝內，由歷史災害推測，當發生強降雨事件，提供大量水量條件時，將可能夾帶溝內之材料往下邊坡運動，即發生土石流災害。

根據本期間調查區之邊坡活動性監測成果顯示，2024 年於 0403 地震事件下，邊坡略有地中變位情形發生，兩孔傾斜觀測管之孔口累積變化量約 1.7~3.0 cm，並於地震後變位趨勢回穩，後續經歷數起特殊降雨事件，迄今邊坡仍無持續地中變位情形，研判該次變位事件可能為地震產生之應力於岩體局部範圍發生之變形。此外由 GNSS 地表活動性觀測顯示，區域邊坡於 0403 強震事件後各測站均有程度不等的長期變位趨勢，且各測站之位移

方向，大致與蝕溝分布位置有關，研判區域邊坡之破壞模式仍較可能以「淺層」之材料破壞為主。

考量銅門調查區截至目前尚未紀錄明確邊坡活動事件，應持續配合現場勘查及既有監測儀器追蹤邊坡「淺層」之破壞，以及配合地中儀器釐清邊坡是否存有「深層」之變位，並滾動檢討邊坡滑動機制、規模及監測管理值。

二、溪頭調查區

溪頭調查區本年度主要工作工作，包含透過既有儀器持續監測邊坡活動性以及操作警戒發布作業。本調查區透過 LiDAR 數值地形資料可劃分為一處 L1 潛在大規模崩塌塊體，而 L1 塊體可再細分為 S1、S2、S3 及 S4 四處規模較小之滑動塊體，各潛在塊體頭部均有明顯崩崖，顯示邊坡曾發生整體滑動情形。此外根據地表及地中調查成果顯示，淺層邊坡應具約 30m 厚之岩屑層存在，其材料多呈現破碎及夾泥情形，倘若區域內蝕溝持續向源侵蝕，將可能產生雙溝同源，並導致區域內各次潛在滑動體產生不穩定情形發生，此外配合監測成果顯示，S3 及 S4 潛在滑動塊體略具活動性，於特殊降雨期間，邊坡有小幅地表及地中位移增量情形發生，由 GNSS 地表位移觀測顯示，於 2023 年杜蘇芮、海葵及 2024 年康芮颱風期間，X23-G3(S3 潛在滑動塊體)及 X23-G4(S4 潛在滑動塊體)之二維合變位量約有 10~16 mm 及 11~37 mm 不等的位移增量情形，此外於 2024 年設置之傾斜觀測管成果顯示，於康芮颱風前、後執行量測作業，X24-BH1 孔(S3 潛在滑動塊體)累積變化量達 1.16 cm；X24-BH2 孔(S4 潛在滑動塊體)累積位移量約 4.48 cm，略具活動情形，滑動深度分別 20m 及 10 m。

本調查區截至目前雖已有紀錄明確邊坡活動事件，惟自地中觀測儀器設置迄僅有經歷 5 起特殊降雨事件，地下水特性及活動之降雨門檻等資訊，仍有待滾動確認，後續應持續配合坡面監測儀器，滾動檢討邊坡滑動機制、規模及監測管理值，以提供掌握邊坡之活動性及研判分析參考。

三、高山調查區

高山調查區近期暫無明顯不穩定情形，本計畫主要工作即配合坡面自動化儀器，操作警戒發布作業。由調查成果顯示，本調查區主要包含一處 L1 潛在大規模崩塌塊體，而 L1 塊體可再細分為 S1、S2 及 S3 三處規模較小之滑動塊體，各潛在塊體頭部存有明顯崩崖，顯示邊坡曾發生整體滑動情形。此外根據現場勘查及地表地質調查成果顯示，於崩塌地趾部具有階地存在，其對河流侵蝕坡腳有暫時保護的效果，故本區域發生大規模土石滑落的可能性較低，惟計畫區淺層存有厚度約 18~25m 以上之岩屑層，若區內蝕溝持續向源侵蝕，可能產生雙溝同源，將可能導致區域內各次潛在滑動體產生不穩定情形發生。

由目前監測成果顯示，區域邊坡於常時及特殊降雨期間尚無明顯變化趨勢，而在地震事件影響下有較為顯著的地表變位情形，然經檢核此變位應屬整體花東地區整體變形，應與邊坡滑動無關，但仍不排除在強震事件後之特殊降雨事件下有觸發邊坡活動之可能性，考量本區監測儀器於地震後僅有數起特殊降雨事件，針對邊坡之活動機制研判尚不明確，故建議既有監測儀器持續進行監測作業，配合後續經歷較多有特殊降雨事件後，滾動檢討邊坡滑動機制及滑動規模研判分析。

關鍵詞：銅門地區、溪頭地區、高山地區、潛在大規模崩塌、活動性觀測

Abstract

The project area includes three potential large-scale landslide zones located in Tongmen, Xitou, and Gaoshan of Hualien County. Among them, the Tongmen investigation area has a history of debris-flow disasters, and geomorphological interpretation indicates a high potential for large-scale landslides. Therefore, the Hualien Branch of the Soil and Water Conservation Agency (SWCA), Ministry of Agriculture, initiated related monitoring and investigation work in 2022 to establish and analyze the fundamental geological model, potential landslide scale, mechanisms, and associated risks.

The Xitou and Gaoshan investigation areas were previously monitored and investigated by the SWCA and were handed over to the Hualien Branch in 2023 for continued monitoring. Although preliminary surface surveys and observations have been conducted in both areas, the geological models and landslide mechanisms of the slopes have yet to be fully clarified. Accordingly, this project will continue surface surveys and monitoring work to better understand the current slope conditions.

1. Tongmen Investigation Area

In the Tongmen investigation area, the geological model and regional slope monitoring system have been established. Preliminary assessments have identified the potential causes, scale, and mechanism of the landslide-prone zone. The area mainly contains one L1 potential large-scale landslide block, which can be further divided into three smaller sliding blocks—S1, S2, and S3.

Based on geological drilling data, the shallow zone of the investigation area consists of colluvial materials containing mixed-sized rock fragments and boulders with loose structure. The average slope angle is 37.5° , which is close to the angle of repose. It is therefore assessed that areas with steeper slopes are prone to shallow colluvial sliding failure. Furthermore, if post-failure materials accumulate within the gullies, historical disaster records indicate that, under extreme rainfall events providing substantial water flow, debris within the gully may be mobilized downslope, potentially triggering debris-flow hazards.

According to the slope activity monitoring results, slight subsurface displacement occurred during the April 3, 2024 earthquake, with cumulative deformation of 1.7–3.0 cm recorded at the entrances of two inclinometer boreholes. The displacement stabilized after the earthquake. Subsequent extreme rainfall events have not induced continued subsurface deformation, suggesting that the previous deformation was likely caused by localized stress redistribution within the rock mass due to the earthquake.

GNSS surface displacement monitoring shows that all stations exhibited varying long-term displacement trends following the April 3 earthquake, with displacement directions generally correlated with the orientation of local gullies. This suggests that the slope failure mechanism remains more consistent with shallow material sliding.

Since no clear slope activity events have been recorded to date, continued field inspections and monitoring are necessary to track shallow-slope failures. Subsurface monitoring instruments are also needed to clarify whether deep-seated deformation exists. The landslide mechanism, scale, and monitoring thresholds should be continuously reviewed and updated.

2. Xitou Investigation Area

The main tasks for the Xitou investigation area this year include monitoring slope activity using existing instruments and managing the warning and alert operations. Based on LiDAR-derived digital terrain data, one L1 potential large-scale landslide block has been delineated, further divided into four smaller sliding blocks—S1, S2, S3, and S4. Significant scarp features are present at the heads of each block, indicating previous large-scale slope movement.

Surface and subsurface investigation results suggest the presence of a ~30 m thick colluvial layer composed of fragmented material with clay inclusion. Continuous headward erosion within the gullies may lead to the formation of dual headwater gullies, increasing instability across multiple sliding blocks.

Monitoring data indicate minor activity in the S3 and S4 sliding blocks. During extreme rainfall events, small increments in surface and subsurface displacement have been observed. GNSS data during Typhoons Doksuri (2023), Haikui (2023), and Koinu (2024) show two-dimensional cumulative displacement increments of approximately 10–16 mm at station X23-G3 (S3 block) and 11–37 mm at station X23-G4 (S4 block).

Inclinometer results installed in 2024 show cumulative displacement of 1.16 cm at borehole X24-BH1 (S3 block) and 4.48 cm at borehole X24-BH2 (S4 block), with sliding depths of approximately 20 m and 10 m, respectively, indicating slight activity.

Although slope activity events have been recorded in this area, only five extreme rainfall events have occurred since installation of subsurface monitoring instruments. Groundwater characteristics and rainfall-trigger thresholds require further verification. Continued monitoring and rolling assessment of the landslide mechanism, scale, and management thresholds are needed to better evaluate slope activity and support hazard analysis.

3. Gaoshan Investigation Area

No significant instability has recently been observed in the Gaoshan

investigation area. The primary work includes operating automated monitoring instruments and managing warning and alert procedures. Investigations indicate that the area contains one L1 potential large-scale landslide block, which can be divided into three smaller blocks—S1, S2, and S3. Distinct scarp features at the heads of these blocks indicate past large-scale slope movement.

Field surveys and geological mapping reveal a terrace at the toe of the landslide area, providing temporary protection against fluvial erosion. Therefore, the likelihood of large-scale material collapse is relatively low. However, the presence of an 18–25 m thick colluvial layer in the shallow zone indicates that continued headward gully erosion may lead to the formation of dual headwater gullies, potentially causing instability among the sliding blocks.

Monitoring results show no obvious displacement trends during normal conditions or extreme rainfall events. However, significant surface displacement has been observed following earthquake events. After evaluation, such displacement is attributed to regional crustal deformation across the Hualien–Taitung region and is unrelated to local slope movement. Nonetheless, the possibility of rainfall-induced slope activity following strong earthquakes cannot be excluded.

Since only a few extreme rainfall events have occurred after the installation of monitoring instruments, the slope-failure mechanism remains uncertain. Continued monitoring is recommended, and landslide mechanism and scale assessments should be updated after additional extreme rainfall events are recorded.

Keywords: Tongmen area, Xitou area, Kaoshan area, Potential large-scale collapse, Observation of slope activity

表 0-1、計畫區各潛在大規模崩塌區重要資訊列表

編號	潛在大規模崩塌區	面積 (ha)	坡向 坡度	保全對象	滑動塊體	面積 (ha)	地質	不連續面 代表位態	不連續面 坡面關係	主要 滑動機制	可能滑動面 深度* (m)	地下 水位 (m)	邊坡 活動性
1	花蓮縣- 秀林鄉 -D027 (銅門) 花縣 LL008	86.7	N45°E 37°	1 聯外道路 2 東部電廠 2.銅門村	S1	4.5	岩屑層、 黑色片岩 及綠色片岩	片理： N30°W/20° 節理： N15°E/85° N53°W/7° N10°W/88°	逆向坡	表層岩屑崩滑 岩屑層滑動	未監測	未監測	無明顯 活動
					S2	10.1					-74	-82.4	無明顯 活動
					S3	13.5					-57	-34.3	無明顯 活動
2	花蓮縣- 光復鄉 -D011 (溪頭) 花縣 LL006	131.5	N45°E 24°	1.大豐村	S1	115	岩屑層 及黑色片岩	片理： N45°W/15° 節理： N50°W/89° N70°E/89° N15°W/45°	順向坡	表層岩屑崩滑 岩屑層滑動	未監測	未監測	無明顯 活動
					S2	19.4					未監測	未監測	無明顯 活動
					S3	42.7					-30*	-32.3	特殊降雨 期間 略具活動
					S4	30.8					-10	-21.1	特殊降雨 期間 略具活動
3	花蓮縣- 豐濱鄉 -D001 (高山) 花縣 LL005	464.5	S80°E 26°	1.台 11 線 2.高山聚落 3.部分龜庵聚落 4.加路蘭山陣地	S1	112	岩屑層、 火山集塊岩 及灰色砂岩	層理： N8°E/80°	順向坡 (八里灣層)	表層岩屑崩滑 落石 岩屑層滑動	-18*	-14.5	無明顯 活動
					S2	110					-25*	-22.5	無明顯 活動
					S3	121					未監測	未監測	無明顯 活動

*由於地中儀器尚未監測滑動面，故由鑽探岩心研判之可能滑動面深度

表 0-2、計畫區各潛在大規模崩塌區重要資訊列表

監測項目		監測儀器	單位	管理基準值				本年度應變小組開設事件	守視辦理情形	管理值調整建議			
				注意值		警戒值							
				1 日	7 日	1 日	7 日						
花蓮縣- 秀林鄉 -D027 (銅門) 花縣 LL008	邊坡活動性 (地表)	雙軸傾斜計	秒	500	2500	700	3500	1.114.06.13：豪雨事件 2.114.07.5：丹娜絲颱風 3.114.07.18：薇帕颱風 4.114.07.21：豪雨事件 5.114.07.28：豪雨事件 6.114.08.12：楊柳颱風 7.114.09.21：樺加沙颱風 8.114.10.20：豪雨事件 9.114.11.10：鳳凰颱風	無儀器達現地監測管理值，區域內 亦無災害情事發生	前期訂定，暫無需調整			
		雙頻 GNSS	mm	35	245	50	350			前期訂定，暫無需調整			
	地下水位	T24-W1 水位計	m	-70.5	-	-67.5	-			前期訂定，暫無需調整			
		T24-W2 水位計	m	-27.6	-	-24.6	-			前期訂定，暫無需調整			
		花蓮縣- 光復鄉 -D011 (溪頭) 花縣 LL006	邊坡活動性 (地表)	地表伸縮計	mm	35	245			50	350	無儀器達現地監測管理值，區域內 亦無災害情事發生	前期訂定，暫無需調整
				雙頻 GNSS	mm	35	245			50	350		前期訂定，暫無需調整
雙軸傾斜計	秒			500	2500	700	3500	前期訂定，暫無需調整					
地下水位	X24-W1 水位計		m	-17.2	-	-14.0	-	前期訂定，暫無需調整					
	X24-W2 水位計		m	-14.2	-	-11.0	-	前期訂定，暫無需調整					
	花蓮縣- 豐濱鄉 -D001 (高山) 花縣 LL005		邊坡活動性 (地表)	地表伸縮計	mm	35	245	50	350	無儀器達現地監測管理值，區域內 亦無災害情事發生	前期訂定，暫無需調整		
雙頻 GNSS		mm		35	245	50	350	前期訂定，暫無需調整					
雙軸傾斜計		秒		500	2500	700	3500	前期訂定，暫無需調整					
地下水位		K24-W1 水位計	m	-8.0	-	-5.0	-	前期訂定，暫無需調整					
		K24-W2 水位計	m	-15.0	-	-12.0	-	前期訂定，暫無需調整					

目錄

目次	I
圖次	IV
表次	XVI
1 第一章 前言	1-1
第一節 計畫區概況	1-2
第二節 工作目標	1-3
2 第二章 工作項目及內容	2-1
第一節 工作項目及內容	2-1
第二節 工作進度	2-5
3 第三章 秀林鄉銅門調查區	3-1
第一節 基本資料蒐集	3-5
第二節 地質調查	3-28
第三節 相關單位觀測成果蒐集及彙整	3-71
第四節 崩塌安全監測系統觀測儀器安裝與觀測	3-75
第五節 災害原因及規模分析	3-118
第六節 整體安全評估	3-131
第七節 整體治理規劃研擬	3-139
4 第四章 溪頭調查區	4-1
第一節 基本資料蒐集	4-5
第二節 地質調查	4-21
第三節 相關單位觀測成果蒐集及彙整	4-71
第四節 崩塌安全監測系統觀測儀器安裝與觀測	4-75
第五節 災害原因及規模分析	4-117
第六節 整體安全評估	4-132

第七節 整體防減災策略研擬	4-134
5 第五章 高山調查區	5-1
第一節 基本資料蒐集	5-5
第二節 地質調查	5-21
第三節 相關單位觀測成果蒐集及彙整	5-48
第四節 崩塌安全監測系統觀測儀器安裝與觀測	5-53
第五節 災害原因及規模分析	5-103
第六節 整體安全評估	5-112
第七節 整體防減災策略研擬	5-114
6 第六章 資料接收、整合及觀測成果綜合比對分析與警戒管理值	6-1
第一節 監測基準管理值	6-1
第二節 應變小組開設期間守視	6-18
第三節 避難疏散路線	6-22
7 第七章 後本年度計畫執行項目	7-1
第一節 地方成果說明會	7-1
第二節 本年度精進及未來創新執行建議	7-3
8 第八章 後續觀測需求評估與建議	8-1
第一節 後續觀測需求評估	8-1
第二節 後續觀測工作建議	8-2
9 第九章 結論與後續建議	9-1
第一節 銅門調查區	9-1
第二節 溪頭調查區	9-3
第三節 高山調查區	9-6
參考文獻	參-1
附錄 1 114 年審查意見及辦理情形	附錄-1
附錄 2 傾斜管基本資料及監測成果	附錄-2

附錄 3 雙頻 GNSS 校驗報告.....	附錄-3
附錄 4 114 年既有監測儀器檢測成果.....	附錄-4
附錄 5 銅門地區地方成果說明會簡報.....	附錄-5

圖目錄

圖 1-1、本計畫範圍分布圖(底圖：SPOT 衛星影像).....	1-4
圖 1-2、本計畫範圍地質圖(底圖：五萬分之一地質圖).....	1-5
圖 3-1、潛在大規模崩塌初步調查總圖(1/3).....	3-2
圖 3-2、潛在大規模崩塌初步調查總圖(2/3).....	3-3
圖 3-3、潛在大規模崩塌初步調查總圖(3/3).....	3-4
圖 3-4、銅門調查區高程分析	3-5
圖 3-5、銅門調查區坡度及坡向分析	3-6
圖 3-6、銅門調查區立體地形圖	3-7
圖 3-7、銅門調查區區域地質圖	3-9
圖 3-8、銅門調查區與潛在大規模崩塌區位置圖	3-10
圖 3-9、農村水保署 114 年潛在大規模崩塌影響範圍	3-11
圖 3-10、銅門調查區土地利用分布圖	3-12
圖 3-11、歐菲莉颱風期間花縣 DF-010 災害情形	3-13
圖 3-12、銅門雨量站(編號：C0T9E0)歷年雨量組體圖	3-16
圖 3-13、土石流災害前後地形表徵分析(CHEN, 2000).....	3-19
圖 3-14、土石流災害前後地形表徵分析(續).....	3-20
圖 3-15、銅門調查區歷年衛星影像	3-21
圖 3-16、銅門調查區歷年衛星影像(續).....	3-22
圖 3-17、銅門調查區歷年衛星影像(續).....	3-23
圖 3-18、銅門調查區歷年衛星影像(續).....	3-24
圖 3-19、銅門調查區歷年衛星影像(續).....	3-25
圖 3-20、銅門調查區歷年衛星影像(續).....	3-26
圖 3-21、銅門調查區現場勘查位置	3-30
圖 3-22、銅門調查區岩性地質分佈圖	3-31

圖 3-23、銅門調查區地質圖	3-33
圖 3-24、銅門調查區地表現況調查成果	3-35
圖 3-25、銅門地區經現場勘查無明顯異常表徵	3-36
圖 3-26、銅門調查區之正射影像	3-38
圖 3-27、銅門調查區之數值地形模型	3-39
圖 3-28、銅門調查區之日照陰影圖(日照角度:315°).....	3-40
圖 3-29、銅門調查區之日照陰影圖(日照角度:45°).....	3-41
圖 3-30、土石流發生區、流動區及堆積區坡度示意圖	3-44
圖 3-31、利用 LIDAR 資料判釋可能崩塌範圍成果	3-46
圖 3-32、花縣 DF-010 坡度分析成果	3-47
圖 3-33、蝕溝 I 坡度分析成果	3-48
圖 3-34、蝕溝 II 坡度分析成果	3-49
圖 3-35、代表性之岩屑層岩芯	3-51
圖 3-36、代表性之大理岩岩芯	3-51
圖 3-37、代表性之片岩偶夾大理岩岩芯	3-51
圖 3-38、代表性之變質砂岩偶夾片岩層岩芯	3-51
圖 3-39、代表性之片岩偶夾變質砂岩層岩芯	3-51
圖 3-40、清水銅門線 13 號電塔地層柱狀圖.....	3-52
圖 3-41、本計畫銅門調查區調查配置圖	3-53
圖 3-42、銅門地區岩芯特徵	3-55
圖 3-43、銅門調查區 A-A'地質剖面	3-56
圖 3-44、岩芯脆性變形程度分類	3-58
圖 3-45、銅門地區 T22-BH1 岩芯脆性變形程度分級成果	3-59
圖 3-46、銅門地區 T22-BH3 岩芯脆性變形程度分級成果	3-60
圖 3-47、銅門調查區每日上下工水位紀錄(T22-BH1 孔)	3-63
圖 3-48、銅門調查區每日上下工水位紀錄(T22-BH3 孔)	3-64

圖 3-49、銅門調查區地電阻側線位置圖	3-66
圖 3-50、地電阻探測原理示意圖	3-67
圖 3-51、不同地層材料之地電阻率分布	3-68
圖 3-52、銅門調查區 T22-L1 測線地電阻探成果	3-69
圖 3-53、銅門調查區 T23-L2 測線地電阻探成果	3-70
圖 3-54、銅門地區 TCP-INSAR 分析之地表變形觀測成果.....	3-72
圖 3-55、銅門地區 TCP-INSAR 與地表線形比對成果.....	3-73
圖 3-56、台電#13 鐵塔傾斜管觀測成果.....	3-74
圖 3-57、銅門調查區設置監測儀器平面配置圖	3-78
圖 3-58、銅門調查區本監測期間之降雨量監測成果圖	3-79
圖 3-59、銅門調查區地下水位量測成果	3-80
圖 3-60、銅門調查區傾斜管觀測成果	3-81
圖 3-61、銅門調查區傾斜管孔口累積變化	3-82
圖 3-62、銅門調查區 T22-TI1 雙軸傾斜計監測成果圖	3-86
圖 3-63、銅門調查區 T22-TI2 雙軸傾斜計監測成果圖	3-87
圖 3-64、GNSS 原始觀測資料之解算流程	3-89
圖 3-65、GNSS 原始觀測資料之解算週期及時間基線	3-89
圖 3-66、銅門調查區雙頻 GNSS 基本資料	3-90
圖 3-67、本計畫 GNSS 觀測成果(二維合變位量及位移方向)	3-92
圖 3-68、銅門調查區 T23-G1 GNSS 變位歷時曲線圖.....	3-93
圖 3-69、銅門調查區 T23-G1 GNSS 日變化速率.....	3-94
圖 3-70、銅門調查區 T23-G1 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	3-95
圖 3-71、銅門調查區 T23-G1 GNSS 月變化速率.....	3-96
圖 3-72、銅門調查區 T23-G2 GNSS 變位歷時曲線圖.....	3-97
圖 3-73、銅門調查區 T23-G2 GNSS 日變化速率.....	3-98
圖 3-74、銅門調查區 T23-G2 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	3-99

圖 3-75、銅門調查區 T23-G2 GNSS 月變化速率.....	3-100
圖 3-76、銅門調查區 T23-G3 GNSS 變位歷時曲線圖.....	3-101
圖 3-77、銅門調查區 T23-G3 GNSS 日變化速率.....	3-102
圖 3-78、銅門調查區 T23-G3 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	3-103
圖 3-79、銅門調查區 T23-G3 GNSS 月變化速率.....	3-104
圖 3-80、銅門調查區 T23-G4 GNSS 變位歷時曲線圖.....	3-105
圖 3-81、銅門調查區 T23-G4 GNSS 日變化速率.....	3-106
圖 3-82、銅門調查區 T23-G4 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	3-107
圖 3-83、銅門調查區 T23-G4 GNSS 月變化速率.....	3-108
圖 3-84、銅門調查區 T24-G5 GNSS 變位歷時曲線圖.....	3-109
圖 3-85、銅門調查區 T24-G5 GNSS 日變化速率.....	3-110
圖 3-86、銅門調查區 T24-G5 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	3-111
圖 3-87、銅門調查區 T24-G5 GNSS 月變化速率.....	3-112
圖 3-88、銅門調查區 CCD 攝影機觀測成果	3-113
圖 3-89、農路上邊坡小範圍岩屑材料滑落	3-119
圖 3-90、銅門地區可能滑動機制剖面位置圖	3-119
圖 3-91、銅門地區可能滑動機制 AA'剖面圖	3-120
圖 3-92、銅門地區可能滑動機制 BB'剖面圖.....	3-121
圖 3-93、現況邊坡穩定分析成果圖	3-125
圖 3-94、現況邊坡穩定分析成果圖(續).....	3-126
圖 3-95、坡頂可能影響範圍	3-127
圖 3-96 崩塌面積-體積關係式	3-128
圖 3-97 崩塌可能滑動距離示意圖	3-128
圖 3-98 崩塌可能堆積寬度示意圖	3-129
圖 3-99 崩塌地寬度與堆積寬度之關係	3-129
圖 3-100、初步風險評估流程	3-131

圖 3-101、大規模崩塌潛勢區活動度指標	3-132
圖 3-102、活動性指標分級門檻分布圖	3-134
圖 3-103、計算大規模崩塌潛勢區活動度風險矩陣之示意圖	3-134
圖 3-104、銅門調查區既有工程現況	3-141
圖 3-105、銅門調查區現況既有明顯缺失情形	3-142
圖 3-106、銅門調查區地表排水工法初步建議平面圖	3-143
圖 4-1、溪頭調查區調查歷程	4-1
圖 4-2、溪頭調查區潛在大規模崩塌初步調查總圖(1/3)	4-2
圖 4-3、溪頭調查區潛在大規模崩塌初步調查總圖(2/3)	4-3
圖 4-4、溪頭調查區潛在大規模崩塌初步調查總圖(3/3)	4-4
圖 4-5、溪頭調查區立體地形圖	4-5
圖 4-6、溪頭調查區基本圖.....	4-6
圖 4-7、五萬分之一區域地質圖	4-7
圖 4-8、溪頭調查區與潛在大規模崩塌區位置圖	4-8
圖 4-9、農村水保署 114 年潛在大規模崩塌影響範圍	4-9
圖 4-10、土地利用分布圖.....	4-10
圖 4-11、國有土地分布圖.....	4-11
圖 4-12、白鹿颱風期間花蓮縣 DF-122 土石堆積於河道.....	4-12
圖 4-13、富源雨量站(編號：C0Z080)歷年雨量組體圖	4-14
圖 4-14、溪頭調查區歷年衛星影像	4-17
圖 4-15、溪頭調查區歷年衛星影像(續).....	4-18
圖 4-16、溪頭調查區歷年衛星影像(續).....	4-19
圖 4-17、溪頭調查區現勘位置照片	4-23
圖 4-18、溪頭調查區地表現況調查成果	4-25
圖 4-19、溪頭地區特殊事件後現場勘查情形	4-26
圖 4-20、溪頭調查區之日照陰影圖(日照角度：315°).....	4-28

圖 4-21、溪頭調查區之日照陰影圖(日照角度：225°)	4-29
圖 4-22、利用 LIDAR 資料判釋可能崩塌範圍成果	4-32
圖 4-23、土石流發生區、流動區及堆積區坡度示意圖	4-34
圖 4-24、蝕溝坡度分析剖面位置	4-35
圖 4-25、花縣 DF-121 坡度分析成果	4-35
圖 4-26、花縣 DF-122 坡度分析成果	4-36
圖 4-27、溪頭地區鑽孔配置圖	4-38
圖 4-28、溪頭地區岩芯特徵	4-39
圖 4-29、銅門調查區 A-A'地質剖面	4-41
圖 4-30、溪頭地區 X24-BH1 岩芯脆性變形程度分級成果	4-44
圖 4-31、溪頭地區 X24-BH2 岩芯脆性變形程度分級成果	4-45
圖 4-32、溪頭地區 X24-W1 岩芯脆性變形程度分級成果	4-46
圖 4-33、溪頭地區 X24-W2 岩芯脆性變形程度分級成果	4-47
圖 4-34、溪頭調查區每日上下工水位紀錄(X24-BH1)	4-51
圖 4-35、溪頭調查區每日上下工水位紀錄(X24-BH2)	4-52
圖 4-36、溪頭調查區每日上下工水位紀錄(X24-W1)	4-53
圖 4-37、溪頭調查區每日上下工水位紀錄(X24-W2)	4-54
圖 4-38、溪頭調查區地電阻測線位置圖	4-57
圖 4-39、溪頭調查區 X24-L1-1 測線地電阻探成果	4-58
圖 4-40、溪頭調查區 X24-L1-2 測線地電阻探成果	4-59
圖 4-41、溪頭調查區 X24-L1-3 測線地電阻探成果	4-60
圖 4-42、溪頭調查區 X24-L1-4 測線地電阻探成果	4-61
圖 4-43、溪頭調查區 X24-L1-5 測線地電阻探成果	4-62
圖 4-44、溪頭調查區 X24-L1 測線地電阻探成果	4-64
圖 4-45、溪頭調查區 X24-L1-1 測線降雨事件前後比對成果	4-66
圖 4-46、溪頭調查區 X24-L1-2 測線降雨事件前後比對成果	4-67

圖 4-47、溪頭調查區 X24-L1-3 測線降雨事件前後比對成果	4-68
圖 4-48、溪頭調查區 X24-L1-4 測線降雨事件前後比對成果	4-69
圖 4-49、溪頭調查區 X24-L1-5 測線降雨事件前後比對成果	4-70
圖 4-50、溪頭地區 TCP-INSAR 分析之地表變形觀測成果.....	4-72
圖 4-51、溪頭地區 TCP-INSAR 與地表線形比對成果.....	4-73
圖 4-52、溪頭地區既有 GNSS 觀測成果	4-74
圖 4-53、溪頭地區監測儀器平面配置圖	4-78
圖 4-54、本監測期間之降雨量監測成果圖	4-80
圖 4-55、本監測期間之地下水位監測成果圖	4-81
圖 4-56、溪頭調查區 X23-E1 地表伸縮計變位量之歷時曲線圖.....	4-82
圖 4-57、溪頭調查區 X23-E1 地表伸縮計監測成果圖.....	4-83
圖 4-58、溪頭調查區 X24-TI1 雙軸傾斜計監測成果圖	4-85
圖 4-59、溪頭調查區雙頻 GNSS 基本資料	4-87
圖 4-60、本計畫 GNSS 觀測成果(二維合變位量及位移方向)	4-88
圖 4-61、溪頭調查區 X23-G1 GNSS 變位歷時曲線圖	4-89
圖 4-62、溪頭調查區 X23-G1 GNSS 日變化速率	4-90
圖 4-63、溪頭調查區 X23-G1 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	4-91
圖 4-64、溪頭調查區 X23-G1 GNSS 月變化速率	4-92
圖 4-65、溪頭調查區 X23-G2 GNSS 變位歷時曲線圖	4-93
圖 4-66、溪頭調查區 X23-G2 GNSS 日變化速率	4-94
圖 4-67、溪頭調查區 X23-G2 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	4-95
圖 4-68、溪頭調查區 X23-G2 GNSS 月變化速率	4-96
圖 4-69、溪頭調查區 X23-G3 GNSS 變位歷時曲線圖	4-97
圖 4-70、溪頭調查區 X23-G3 GNSS 日變化速率	4-98
圖 4-71、溪頭調查區 X23-G3 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	4-99
圖 4-72、溪頭調查區 X23-G3 GNSS 月變化速率	4-100

圖 4-73、溪頭調查區 X23-G4 GNSS 變位歷時曲線圖	4-101
圖 4-74、溪頭調查區 X23-G4 GNSS 日變化速率	4-102
圖 4-75、溪頭調查區 X23-G4 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	4-103
圖 4-76、溪頭調查區 X23-G4 GNSS 月變化速率	4-104
圖 4-77、溪頭調查區 X24-G5 GNSS 變位歷時曲線圖	4-105
圖 4-78、溪頭調查區 X24-G5 GNSS 日變化速率	4-106
圖 4-79、溪頭調查區 X24-G5 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	4-107
圖 4-80、溪頭調查區 X24-G5 GNSS 月變化速率	4-108
圖 4-81、溪頭調查區傾斜管監測成果圖	4-109
圖 4-82、溪頭調查區傾斜觀測管孔口累積變位圖	4-110
圖 4-83、溪頭調查區 CCD 攝影機觀測成果	4-112
圖 4-84、溪頭調查區邊坡破壞機制示意圖	4-118
圖 4-85、溪頭調查區岩芯、上下工水位及地中變位成果圖	4-119
圖 4-86、溪頭調查區岩芯、上下工水位及地中變位成果圖	4-120
圖 4-87、溪頭調查區初步邊坡破壞機制研判	4-121
圖 4-88、溪頭調查區地表變位與降雨量比對分析	4-122
圖 4-89、溪頭地區可能滑動機制剖面位置圖	4-123
圖 4-90、溪頭地區可能滑動機制剖面圖	4-124
圖 4-91、現況邊坡穩定分析成果圖	4-129
圖 4-92、現況邊坡穩定分析成果圖(續).....	4-130
圖 4-93、溪頭調查區現況既有明顯缺失情形	4-135
圖 4-94、溪頭調查區地表排水工法初步建議平面圖	4-136
圖 5-1、高山調查區調查歷程	5-1
圖 5-2、高山調查區潛在大規模崩塌初步調查總圖(1/3)	5-2
圖 5-3、高山調查區潛在大規模崩塌初步調查總圖(2/3)	5-3

圖 5-4、高山調查區潛在大規模崩塌初步調查總圖(3/3)	5-4
圖 5-5、高山地區立體地形圖	5-5
圖 5-6、高山調查區基本圖.....	5-6
圖 5-7、五萬分之一區域地質圖	5-7
圖 5-8、高山調查區與潛在大規模崩塌區位置圖	5-8
圖 5-9、農村水保署 114 年潛在大規模崩塌影響範圍	5-9
圖 5-10、土地利用分布圖.....	5-10
圖 5-11、國有土地分布圖.....	5-11
圖 5-12、民國 111 年 3 月 23 日第 019 號地震造成落石災害	5-12
圖 5-13、加路蘭山雨量站(編號：C0T9H0)歷年雨量組體圖.....	5-13
圖 5-14、高山調查區歷年衛星影像	5-17
圖 5-15、高山調查區歷年衛星影像(續).....	5-18
圖 5-16、高山調查區歷年衛星影像(續).....	5-19
圖 5-17、高山調查區現勘位置照片	5-23
圖 5-18、2024 年 4 月 3 日高山地區上邊坡道路發生局部小型崩塌.....	5-25
圖 5-19、高山地區特殊事件後顯場勘查情形	5-25
圖 5-20、高山調查區地表現況調查成果	5-26
圖 5-21、高山調查區之日照陰影圖(日照角度:315°).....	5-28
圖 5-22、高山調查區之日照陰影圖(日照角度:225°).....	5-29
圖 5-23、高山調查區利用 LIDAR 資料判釋可能崩塌範圍成果	5-31
圖 5-24、高山調查區蝕溝坡度分析剖面位置	5-34
圖 5-25、花縣 DF-095 坡度分析成果	5-35
圖 5-26、花縣 DF-096 坡度分析成果	5-35
圖 5-27、花縣 DF-097 坡度分析成果	5-36
圖 5-28、花縣 DF-098 坡度分析成果	5-36
圖 5-29、高山地區鑽孔配置圖	5-38

圖 5-30、高山地區岩芯特徵	5-39
圖 5-31、高山地區 A-A'地質剖面	5-40
圖 5-32、高山地區 K24-BH1 岩芯脆性變形程度分級成果.....	5-42
圖 5-33、高山地區 K24-BH2 岩芯脆性變形程度分級成果.....	5-43
圖 5-34、高山地區每日上下工水位紀錄(K24-BH1).....	5-46
圖 5-35、高山地區每日上下工水位紀錄(K24-BH2).....	5-47
圖 5-36、高山地區 TCP-INSAR 分析之地表變形觀測成果.....	5-49
圖 5-37、高山地區 TCP-INSAR 與地表線形比對成果.....	5-50
圖 5-38、高山地區既有 GNSS 觀測成果	5-51
圖 5-39、高山地區既有 GNSS 觀測成果	5-52
圖 5-40、高山地區監測儀器平面配置圖	5-56
圖 5-41、高山調查區本監測期間之降雨量監測成果圖	5-58
圖 5-42、本監測期間之地下水位監測成果圖	5-59
圖 5-43、K23-E1 地表伸縮計現場環境.....	5-60
圖 5-44、高山調查區 K23-E1 地表伸縮計監測成果圖.....	5-60
圖 5-45、高山調查區 K23-E1 地表伸縮計監測成果圖(續).....	5-61
圖 5-46、高山調查區 K24-TI1 雙軸傾斜計監測成果圖	5-63
圖 5-47、高山調查區雙頻 GNSS 基本資料	5-65
圖 5-48、本計畫 GNSS 觀測成果(二維合變位量及位移方向)	5-66
圖 5-49、高山調查區 K23-G1 GNSS 變位歷時曲線圖	5-67
圖 5-50、高山調查區 K23-G1 GNSS 日變化速率	5-68
圖 5-51、高山調查區 K23-G1 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	5-69
圖 5-52、高山調查區 K23-G1 GNSS 月變化速率	5-70
圖 5-53、高山調查區 K23-G2 GNSS 變位歷時曲線圖	5-71
圖 5-54、高山調查區 K23-G2 GNSS 日變化速率	5-72
圖 5-55、高山調查區 K23-G2 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	5-73

圖 5-56、高山調查區 K23-G2 GNSS 月變化速率	5-74
圖 5-57、高山調查區 K23-G3 GNSS 變位歷時曲線圖	5-75
圖 5-58、高山調查區 K23-G3 GNSS 日變化速率	5-76
圖 5-59、高山調查區 K23-G3 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	5-77
圖 5-60、高山調查區 K23-G3 GNSS 月變化速率	5-78
圖 5-61、高山調查區 K23-G4 GNSS 變位歷時曲線圖	5-79
圖 5-62、高山調查區 K23-G4 GNSS 日變化速率	5-80
圖 5-63、高山調查區 K23-G4 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	5-81
圖 5-64、高山調查區 K23-G4 GNSS 月變化速率	5-82
圖 5-65、高山調查區 K25-G5 GNSS 變位歷時曲線圖	5-83
圖 5-66、高山調查區 K24-G5 GNSS 日變化速率	5-84
圖 5-67、高山調查區 K24-G5 GNSS 快速累積量(7 日變化速率).....	5-85
圖 5-68、高山調查區 K24-G5 GNSS 月變化速率	5-86
圖 5-69、高山調查區傾斜管監測成果圖	5-87
圖 5-70、高山調查區傾斜觀測管孔口累積變位圖	5-88
圖 5-71、高山調查區 CCD 攝影機觀測成果	5-90
圖 5-72、內政部 113 年 4 月 3 日 GNSS 連續站平面位移圖	5-92
圖 5-73、精密星曆解算之 GNSS 基站變位情形	5-93
圖 5-74、K23-G1 測站校正後變位歷時曲線圖	5-94
圖 5-75、K23-G2 測站校正後變位歷時曲線圖	5-95
圖 5-76、K23-G3 測站校正後變位歷時曲線圖	5-96
圖 5-77、K23-G4 測站校正後變位歷時曲線圖	5-97
圖 5-78、高山地區 GNSS 觀測站水平位移方向校正成果	5-98
圖 5-79、高山地區邊坡破壞機制示意圖	5-104
圖 5-80、高山地區可能滑動機制剖面位置圖	5-105
圖 5-81、高山地區可能滑動機制剖面圖	5-106

圖 5-82、現況邊坡穩定分析成果圖	5-110
圖 5-83、高山調查區現況既有明顯缺失情形	5-114
圖 5-84、高山調查區地表排水工法初步建議平面圖	5-116
圖 6-1、本計畫雨量警戒值訂定流程(初步彙整).....	6-6
圖 6-2、利用有效累積雨量之發生臨界雨量線	6-7
圖 6-3、考慮疏散避難時間之大規模崩塌警戒雨量線	6-7
圖 6-4、本計畫地下水管理基準值訂定流程(初步彙整).....	6-9
圖 6-5、本計畫邊坡活動性管理基準值訂定流程(初步彙整).....	6-11
圖 6-6、應變期間線上守視工作以 LINE 群組回報承辦課室人員	6-19
圖 6-7、應變期間每日提供即時監測資料及綜合研判分析資訊	6-20
圖 6-8、應變期間大規模崩塌監測整合系統回報情形(警戒發布地區)	6-21
圖 6-9、銅門調查區疏散避難路線圖	6-22
圖 6-10、溪頭調查區疏散避難路線圖	6-23
圖 6-11、高山調查區疏散避難路線圖	6-24
圖 7-1、銅門地區地方成果說明會簽到表	7-2
圖 7-2、銅門地區地方成果說明會現況	7-2
圖 7-3、集合本署觀測資源 SAR，發揮調查最大效益	7-3
圖 7-4、溪頭潛在大規模崩塌區地下水補充調查	7-4
圖 8-1、溪頭調查區後續觀測工作建議配置圖	8-5

表目錄

表 1-1、計畫工作範圍基本資料	1-3
表 1-2、大規模崩塌區資訊彙整成果	1-3
表 2-1、本計畫工作項目與執行方法對照表(銅門).....	2-2
表 2-2、本計畫工作項目與執行方法對照表(溪頭).....	2-2
表 2-3、本計畫工作項目與執行方法對照表(高山).....	2-3
表 2-4、本計畫工作項目與執行方法對照表(共通性工作).....	2-3
表 2-5、本計畫監測工作一覽表	2-4
表 2-6、工作進度總表.....	2-6
表 3-1、花蓮縣 DF010 土石流潛勢溪流基本資料	3-7
表 3-2、花蓮縣秀林鄉大規模崩塌保全住戶門牌資料	3-11
表 3-3、銅門雨量站(編號：C1Z130)歷年雨量資料.....	3-15
表 3-4、銅門雨量站特殊降雨事件特性比較	3-16
表 3-5、花蓮地區歷史強震事件彙整表(資料來源：中央氣象署).....	3-17
表 3-6、各期航空或衛星影像判釋成果	3-21
表 3-7、銅門調查區歷年調查計畫及整治工程	3-27
表 3-8、銅門調查區不連續面位態分析統計表	3-32
表 3-9、研判潛在滑動塊體分布基本資料及本計畫工作安排	3-45
表 3-10、本計畫地質鑽孔位置、深度及鑽探時程統計表	3-54
表 3-11、岩芯描述紀錄表(T22-BH1 孔).....	3-55
表 3-12、岩芯描述紀錄表(T22-BH3 孔).....	3-55
表 3-13、銅門地區岩芯脆性變形程度分類，以 T22-BH3 為例	3-59
表 3-14、含水層及透水層定義	3-61
表 3-15、銅門調查區地電阻測線施測參數表	3-66
表 3-16、銅門地區電性分層與岩芯比對成果	3-70

表 3-17、銅門地區他案觀測項目	3-72
表 3-18、花蓮縣-秀林鄉-D027 潛勢區分析屬性資料表	3-72
表 3-19、銅門調查區監測儀器數量及現場狀況說明	3-76
表 3-20、銅門調查區手動觀測時程	3-77
表 3-21、傾斜觀測管孔口位移統計表	3-83
表 3-22、傾斜觀測管孔口位移統計表(續).....	3-84
表 3-23、銅門地區於特殊降雨事件下監測儀器成果彙整表	3-116
表 3-24、銅門地區於特殊降雨事件下監測儀器成果彙整表(續).....	3-117
表 3-25、利用經驗公式推估銅門調查區崩塌量體	3-123
表 3-26、銅門地區邊坡穩定分析參數	3-124
表 3-27 崩塌影響範圍計算成果	3-130
表 3-28、大規模崩塌潛勢區活動指標取樣級距門檻資料	3-133
表 3-29、活動性排序指標級距門檻值統整表	3-134
表 3-30、危害度(H2)評估分級表	3-135
表 3-31、脆弱度(V)評估分級表	3-136
表 3-32、風險評估分級矩陣	3-136
表 3-33、銅門地區初步風險評估表	3-138
表 3-34、銅門地區後續建議治理經費概估表(單位：元).....	3-144
表 3-35、銅門地區後續治理工程初步建議明細表	3-144
表 4-1、花蓮縣光復鄉大豐村土石流潛勢溪流基本資料	4-6
表 4-2、花蓮縣光復鄉大規模崩塌保全住戶門牌資料	4-9
表 4-3、溪頭調查區土地歸屬資料表	4-11
表 4-4、富源雨量站(編號：C0Z080)歷年雨量資料.....	4-14
表 4-5、富源雨量站特殊降雨特性比較	4-15
表 4-6、溪頭調查區各期衛星影像判釋成果	4-16
表 4-7、溪頭調查區歷年調查計畫及整治工程	4-20

表 4-8、溪頭調查區不連續面位態分析統計表	4-22
表 4-9、溪頭地區地質鑽孔位置、深度及鑽探時程統計表	4-38
表 4-10、岩芯描述紀錄表(X24-BH1 孔)	4-40
表 4-11、岩芯描述紀錄表(X24-BH2 孔)	4-40
表 4-12、岩芯描述紀錄表(X24-W1 孔)	4-40
表 4-13、岩芯描述紀錄表(X24-W2 孔)	4-40
表 4-14、溪頭地區岩芯脆性變形程度分類，以 X24-BH1 為例	4-44
表 4-15、含水層及透水層定義	4-48
表 4-16、溪頭調查區地電阻測線施測參數表	4-56
表 4-17、溪頭地區電性分層與岩芯比對成果	4-63
表 4-18、溪頭地區他案觀測項目	4-72
表 4-19、花蓮縣-光復鄉-D011 潛勢區分析屬性資料表	4-72
表 4-20、本計畫監測儀器數量及現場狀況說明	4-77
表 4-21、手動觀測時程	4-79
表 4-22、傾斜觀測管孔口位移統計表	4-111
表 4-23、溪頭地區於特殊降雨事件下監測儀器成果彙整表	4-115
表 4-24、溪頭地區於特殊降雨事件下監測儀器成果彙整表(續)	4-116
表 4-25、溪頭調查區邊坡位移加速之降雨門檻分析	4-122
表 4-26、利用經驗公式推估溪頭調查區崩塌量體	4-126
表 4-27、溪頭地區邊坡穩定分析參數	4-127
表 4-28、崩塌影響範圍計算成果	4-131
表 4-29、溪頭地區初步風險評估表	4-133
表 4-30、溪頭地區後續建議治理經費概估表(單位：元)	4-137
表 4-31、溪頭地區後續治理工程初步建議明細表	4-137
表 5-1、花蓮縣豐濱鄉磯崎村土石流潛勢溪流基本資料	5-6
表 5-2、花蓮縣豐濱鄉大規模崩塌保全住戶門牌資料	5-9

表 5-3、高山調查區土地歸屬資料表	5-11
表 5-4、加路蘭山雨量站(編號：C0T9H0)歷年雨量資料.....	5-14
表 5-5、加路蘭山雨量站特殊降雨特性比較	5-15
表 5-6、高山調查區各期衛星影像判釋成果	5-16
表 5-7、高山調查區歷年調查計畫及整治工程	5-20
表 5-8、高山調查區不連續面位態分析統計表	5-22
表 5-9、高山地區地質鑽孔位置、深度及鑽探時程統計表	5-38
表 5-10、岩芯描述紀錄表(K24-BH1 孔)	5-39
表 5-11、岩芯描述紀錄表(K 24-BH2 孔)	5-39
表 5-12、高山地區岩芯脆性變形程度分類，以 K24-BH1 為例.....	5-42
表 5-13、含水層及透水層定義	5-44
表 5-14、高山地區他案觀測項目	5-49
表 5-15、花蓮縣-豐濱鄉-D001 潛勢區分析屬性資料表.....	5-49
表 5-16、本計畫監測儀器數量及現場狀況說明	5-55
表 5-17、手動觀測時程.....	5-57
表 5-18、傾斜觀測管孔口位移統計表	5-89
表 5-19、GNSS 連續站(豐濱) 0403 主震位移量.....	5-92
表 5-20、高山地區於特殊降雨事件下監測儀器成果彙整表	5-101
表 5-21、高山地區於特殊降雨事件下監測儀器成果彙整表(續).....	5-102
表 5-22、利用經驗公式推估高山調查區崩塌量體	5-108
表 5-23、高山地區邊坡穩定分析參數	5-109
表 5-24、崩塌影響範圍計算成果	5-111
表 5-25、高山地區初步風險評估表	5-113
表 5-26、高山地區後續建議治理經費概估表(單位：元).....	5-117
表 5-27、高山地區後續治理工程初步建議明細表	5-117
表 6-1、大規模崩塌潛勢區各式監測儀器應訂定之管理基準值內容	6-4

表 6-2、大規模崩塌警戒發布區雨量管理值	6-8
表 6-3、大規模崩塌優先辦理區雨量管理值	6-8
表 6-4、銅門、溪頭及高山調查區管理基準值及處理對策表(滾動檢討)	6-17
表 6-5、前期計畫 113 年度花蓮分署應變小組開設事件	6-19
表 8-1、銅門調查區後續觀測工作建議	8-3
表 8-2、溪頭調查區後續觀測工作建議	8-4
表 8-3、高山調查區後續觀測工作建議	8-6
表 9-1、銅門調查區結論與後續工作重點	9-3
表 9-2、溪頭調查區結論與後續工作重點	9-5
表 9-3、高山調查區結論與後續工作重點	9-7

第一章 前言

本計畫包含銅門、溪頭及高山地區等 3 處位於花蓮縣之潛在大規模崩塌區。農業部農村發展及水土保持署花蓮分署(以下簡稱貴分署)於 2022 年起爰經公開評選方式，委請青山工程顧問股份有限公司(以下簡稱本公司)辦理「111 年度花蓮縣秀林鄉銅門地區及壽豐鄉鹽寮及北坑地區潛在大規模崩塌調查監測計畫」、「112 年度花蓮縣銅門、鹽寮、賀田山、溪頭及高山地區潛在大規模崩塌調查監測計畫」及「113 年度花蓮縣銅門、溪頭及高山地區潛在大規模崩塌調查監測計畫」等相關工作(以下簡稱前期計畫)，進行各項調查工作。

本計畫範圍包括花蓮縣「秀林鄉銅門村(花蓮縣-秀林鄉-D027 銅門)」、「光復鄉大豐村(花蓮縣-光復鄉-D011 溪頭)」及「豐濱鄉磯崎村(花蓮縣-豐濱鄉-D001 高山)」等 3 處調查區，均為曾發生土砂災害之重點區域，前期已陸續辦理相關調查、觀測工作。其中銅門調查區將延續 2022 年至 2024 年度監測調查結果，持續監觀測工作，以研析崩塌潛勢、規模及滑動機制。光復鄉溪頭調查區及豐濱鄉高山調查區兩區前期均由農村發展及水土保持署(以下簡稱本署)執行調查監測工作，並於 2023 年度移交貴分署進行持續性監測，前期雖已有辦理初步地表調查及觀測，然尚未釐清邊坡之地質模式、崩塌機制等，故貴分署於 2024 年即辦理相關地中調查及監測工作以釐清邊坡現況，惟當年度建置之地表、中監測儀器，由於監測期間尚短，於特殊事件下之監測資料相對不足，故本計畫將延續前期調查及監測工作，以滾動修正相關成果，掌握崩塌區實際狀況。

此外，銅門調查區將於 2025 年辦理大規模崩塌警戒發布工作；溪頭及高山調查區已於 2024 年辦理大規模崩塌警戒發布工作，為能提供更細緻及即時化的資訊，供防減災避難工作參考，本計畫將依據各調查區既有之自動化監測儀器持續觀測，並依據監測結果滾動檢討管理基準值，以強化防

災監測量能。本計畫期程約一年，於 2025 年 2 月 24 日簽訂契約後，於 2025 年 5 月核定工作執行計畫書，而後依契約規定開始進行各項作業，並依據契約時程於 2025 年 11 月 1 日前提出期末報告書，俟貴分署審定後，憑以辦理後續相關作業。

第一節 計畫區概況

本計畫銅門、溪頭及高山調查區分別位於花蓮縣秀林鄉、光復鄉及豐濱鄉境內；計畫範圍包括花蓮縣-秀林鄉-D027(銅門)，地質分布為玉里層及九曲大理岩，面積 86.7 公頃，保全對象為銅門村 149 戶及聯外道路，區內雖含土石流潛勢溪流 1 條(編號：花縣 DF-010)，惟土石流保全戶僅 5 戶，為避免同時啟動避難疏散，造成大量民眾撤離困難，故本調查區防災類型訂定為第 2 型，使大規模崩塌之保全對象與土石流保全對象可分級疏散。由前期計畫成果顯示，區域風險等級為高；花蓮縣-光復鄉-D011(溪頭)，地質分布為玉里層，面積 131.5 公頃，保全對象為大豐村 29 戶，調查區內涵蓋土石流潛勢溪流 2 條(編號：花縣 DF-121、花縣 DF-122)，屬第 1 型防災類型，由前期計畫成果顯示，區域風險等級為中；花蓮縣-豐濱鄉-D001(高山)，地質分布為八里灣層及都巒山層，面積 464.5 公頃，保全對象為台 11 線及周邊住戶 28 戶，調查區內涵蓋土石流潛勢溪流 4 條(編號：花縣 DF-095、花縣 DF-096、花縣 DF-097、花縣 DF-098)，屬第 1 型防災類型，由前期計畫成果顯示，區域風險等級為高。計畫範圍基本資料見表 1-1 所示。本計畫範圍分布圖如圖 1-1。本計畫範圍地質圖如圖 1-2。各潛在大規模崩塌區概況如後述。

表 1-1、計畫工作範圍基本資料

項次	大規模崩塌區編號	保全對象	地質分布	防災類型(註 1)	計畫面積(ha)	風險等級(註 2)	開始監測時間
1	花蓮縣-秀林鄉-D027(銅門)	聯外道路(東部電廠)銅門村(149 戶)	玉里層 九曲大理岩	第 2 型	86.7	高	2022 年迄今(分署)
2	花蓮縣-光復鄉-D011(溪頭)	大豐村(29 戶)	玉里層	第 1 型	131.5	中	2019~2022(本署) 2023 年迄今(分署)
3	花蓮縣-豐濱鄉-D001(高山)	台 11 線(38K~40K)高山、龜庵聚落(28 戶)	八里灣層 (泰源段) 都巒山層	第 1 型	464.5	高	2017~2022(本署) 2023 年迄今(分署)

^{註 1} 第 1 型：區域內涵蓋土石流潛勢溪流 ^{註 2} 前期計畫參考農業部農村發展及水土保持署風險評估作業方法執行
第 2 型：區域內無土石流潛勢溪流

第二節 工作目標

- 一、銅門潛在大規模崩塌區：前期計畫已掌握崩塌區可能致災原因、規模與機制，惟前期監測期間尚無發生達災害歷史降雨量之事件，有持續監測追蹤需要，此外本調查區 2025 年將辦理大規模崩塌警戒發布工作，有必要維持坡面自動化監測儀器密度及防災預警能力，故本年度於銅門地區主要工作目標為 1.構造物、地貌等特徵變異補充調查及 2.既有儀器持續監測。
- 二、溪頭及高山潛在大規模崩塌區：溪頭及高山調查區前期由農村發展及水土保持署執行調查監測工作，並於 2023 年度移交貴分署進行細部調查及持續性監測，前期監測期間尚無發生達災害歷史降雨量之事件，邊坡活動性及崩塌機制尚不明確，故有持續監測追蹤需要。此外，溪頭及高山地區於 2024 年列入大規模崩塌警戒發布地區(表 1-2)，亦有持續防災預警整備之需要，故本年度於溪頭及高山地區主要工作目標為 1.構造物、地貌等特徵變異補充調查及 2.既有儀器持續監測。

表 1-2、大規模崩塌區資訊彙整成果

項次	潛勢區編號	潛勢區名稱	警戒發布區編號	特定水土保持區		潛勢區狀態
				土石流	崩塌地	
1	DS188	花蓮縣-秀林鄉-D027(銅門)	花縣 LL-008	花縣 DF-010	-	1.2024 年：列為暫列大規模崩塌優先辦理區 2.2025 年：列入大規模崩塌警戒發布地區
2	DS167	花蓮縣-光復鄉-D011(溪頭)	花縣 LL-006	-	-	1.2023 年：列入辦理中大規模崩塌優先辦理區 2.2024 年：列入大規模崩塌警戒發布地區
3	DS062	花蓮縣-豐濱鄉-D001(高山)	花縣 LL-005	-	-	1.2023 年：列入辦理中大規模崩塌優先辦理區 2.2024 年：列入大規模崩塌警戒發布地區

第二章 工作項目及內容

第一節 工作項目及內容

- 一、**整體工作項目及內容**：本計畫針對不同之調查區，有不同之工作項目，辦理內容包含：(1)崩塌地補充調查。(2)崩塌地活動性觀測。(3)觀測資料綜合分析與警戒管理基準值。(4)應變小組開設期間守視。(5)崩塌機制、崩塌地穩定分析、致災風險評估。(6)崩塌區監測成果綜整展示與機動性現調事務。(7)現勘及相關報告印製等。彙整各工作項目及主要工作內容如表 2-1~表 2-4 所示。
- 二、**監測工作內容**：本計畫監測項目包含(1)降雨量、(2)地下水位、(3)邊坡地表及地中活動性等監測工作，本計畫三處調查區之監測工作項目及數量如表 2-5 所示。

表 2-1、本計畫工作項目與執行方法對照表(銅門)

一、銅門調查區															
項次	工作項目	工作內容		進度 %										執行成果	參見章節
1	崩塌地補充調查	• 針對地區內之構造物、地貌等特徵變異進行補充調查(約 10 公頃)。		%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	完成期末階段工作	P.3-27~ P.3-35，第三章 3.2.1 節及第三章 3.2.2 節
				實際											
				預定											
2	崩塌地活動性觀測	儀器安裝	全自動化雙頻 GNSS：6 組(含基站) 全自動雙軸傾斜計：2 組 全自動化地下水位：2 組 自動化即時影像監控系統：1 組	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	既有監測儀器完成儀器檢測工作	P.3-74~P.3-113，第三章第四節
				實際											
				預定											
		定期觀測	2 處地中傾斜管，每年 6 次觀測工作	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	完成 3 月、5 月、7 月、9 月、10 月、11 月手動監測工作	P.3-74~P.3-113，第三章第四節
				實際											
				預定											

表 2-2、本計畫工作項目與執行方法對照表(溪頭)

一、溪頭調查區															
項次	工作項目	工作內容		進度 %										執行成果	參見章節
1	崩塌地補充調查	• 針對地區內之構造物、地貌等特徵變異進行補充調查(約 20 公頃)。		%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	完成期末階段工作	P.4-22~ P.4-27，第四章 4.2.1 節及第四章 4.2.2 節
				實際											
				預定											
2	崩塌地活動性觀測	儀器安裝	全自動化雙頻 GNSS：6 組(含基站) 全自動雙軸傾斜計：1 組 全自動地表裂縫伸縮計：1 組 全自動化地下水位：2 組 自動化即時影像監控系統：1 組	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	既有監測儀器完成儀器檢測工作	P.4-76~P.4-115，第四章第四節
				實際											
				預定											
		定期觀測	2 處地中傾斜管，每年 6 次觀測工作	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	完成 3 月、5 月、7 月、9 月、10 月、11 月手動監測工作	P.4-76~P.4-115，第四章第四節
				實際											
				預定											

表 2-3、本計畫工作項目與執行方法對照表(高山)

一、高山調查區																
項次	工作項目	工作內容		進度 %										執行成果	參見章節	
1	崩塌地補充調查	• 針對地區內之構造物、地貌等特徵變異進行補充調查(約 35 公頃)。		%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	完成期末階段工作	P.5-21~ P.5-26，第五章 5.2.1 節及第五章 5.2.2 節
				實際												
				預定												
2	崩塌地活動性觀測	儀器安裝	全自動化雙頻 GNSS：6 組(含基站) 全自動雙軸傾斜計：1 組 全自動地表裂縫伸縮計：1 組 全自動化地下水位：2 組 自動化即時影像監控系統：1 組	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	既有監測儀器完成儀器檢測工作	P.5-53~P.5-99，第五章第四節
				實際												
				預定												
		定期觀測	2 處地中傾斜管，每年 6 次觀測工作	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	完成 3 月、5 月、7 月、9 月、10 月、11 月手動監測工作	P.5-53~P.5-99，第五章第四節
				實際												
				預定												

表 2-4、本計畫工作項目與執行方法對照表(共通性工作)

三、共通性服務項目																
項次	工作項目	工作內容	進度 %											執行成果	參見章節	
1	觀測資料綜合分析與警戒管理基準值	• 綜合比對分析相關性律定警戒值 • 監測月報、速報或事件報告 • 綜整監測資料，訂定各別監測項目警戒管理基準值	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	完成期末階段工作	P.6-1，第六章第一節	
			實際													
			預定													
2	應變小組開設與平時期間守視	• 以遠距 24 小時守視監測資訊為原則，視機關需要提供即時觀測資料及綜合研判分析資訊。 • 若遇緊急狀況，視機關需要進駐應變小組，協助相關緊急應變事宜。 • 依「大規模崩塌警戒發布與解除作業指引」辦理。	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	依據大規模崩塌整合系統，本階段共開設 9 起事件(0613 豪雨、丹娜絲颱風、薇帕颱風、0721 豪雨、0728 豪雨、楊柳颱風、樺加沙颱風、1020 豪雨、鳳凰颱風)	P.6-18，第六章第二節	
			實際													
			預定													
3	崩塌機制、崩塌地穩定分析、致災風險評估(檢討)	• 研判崩塌機制，進行崩塌地穩定分析，評估崩塌地致災風險。	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	完成期末階段工作	P.3-114，第三章第五節 P.4-117，第四章第五節 P.5-102，第五章第五節	
			實際													
			預定													
4	崩塌區監測成果綜整展示與機動性現調事務	• 崩塌區監測成果綜整展示及地方說明等作業。 • 崩塌區緊急監測支援。 • 相關機動性崩塌現調事務辦理。	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	完成期末階段工作，於 10/19 辦理地方說明會 1 場	P.7-1，第七章第一節	
			實際													
			預定													
	現勘及相關報告印製	• 各期審查撰寫、印製及相關準備 • 監測月報、事件報告撰寫、印製及相關準備 • 辦理現地會勘及相關準備	%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	完成期末階段工作，持續進行各項目工作	P.2-5，第二章第二節	
			實際													
			預定													

表 2-5、本計畫監測工作一覽表

監測工作		銅門地區	溪頭地區	高山地區	備註	
地震站	中央氣象署	銅門站	光復站	磯崎站	• 非契約項目	
降雨量		銅門站 (C1Z130)	富源站 (C0Z080)	加路蘭山站 (C0T9H0)	• 非契約項目	
地下水	電子式水壓計 (全自動)		T24-W1 T24-W2	X24-W1 X24-W2	K24-W1 K24-W2	• 既有儀器 2024 年設置。
邊坡 地表 活動性	地表伸縮計 (全自動)		-	X23-E1	K23-E1	• 既有儀器 2023 年設置。
	即時影像監控系統 (全自動)		T23-CCD1	X23-CCD1	K23-CCD1	• 既有儀器 2023 年設置。
	雙頻 GNSS (全自動)	基站	T23-G0	X23-G0	K23-G0	• 3 處調查區均於 2023 年分別設置 4 組觀測站及 1 組基站;2024 年分別增設 1 組觀測站
		觀測站	T23-G1	X23-G1	K23-G1	
			T23-G2	X23-G2	K23-G2	
			T23-G3	X23-G3	K23-G3	
T23-G4			X23-G4	K23-G4		
T24-G5		X24-G5	K24-G5			
雙軸傾斜計 (全自動)		T22-TI1 T22-TI2	X24-TI1	K24-TI1	• 既有儀器，銅門調查區於 2022 年設置完成;溪頭及高山調查區於 2024 年設置完成。	
邊坡 地中 活動性	地中傾斜儀 (傾斜觀測管) (人工手動量測)		T22-BH1 T22-BH3	X24-BH1 X24-BH2	K24-BH1 K24-BH2	• 既有儀器，銅門調查區於 2022 年設置完成;溪頭及高山調查區於 2024 年設置完成。

備註：

1. 自 2022 年起新增監測儀器編號依機關指示統一編碼格式
2. 新增儀器編碼格式為：地區代號-安裝年分-監測儀器種類-編號

第二節 工作進度

計畫之履約期限為民國 114 年 2 月 7 日至民國 114 年 12 月 10 日止，依據工作說明書之規定，本計畫之預定工作進度如表 2-6 所示，相關規定說明如下。

- 一、工作執行計劃書：於契約簽訂日(114 年 2 月 24 日)起 30 日內，提送工作執行計畫書 13 份及電子檔 1 份，機關擇期舉行期初審查會議。並於決標日次日起 15 日內，提送本案個人資料檔案安全維護計畫；決標日次日起 30 日內，提送本案現場既有監測儀器或監測孔檢測成果，經機關備查後始予進行安裝監測。
- 二、期中報告：於民國 114 年 7 月 1 日前，提送期中報告書 15 份及原始電子檔 1 份，機關擇期舉行期中審查會議。
- 三、亮點及精進作為簡報：於 114 年 8 月 1 日前，提送本案「亮點及精進作為簡報(至多 5 頁)」，供機關參考。
- 四、期末報告：於民國 114 年 11 月 1 日前，提送期末報告書 15 份及原始電子檔 1 份，機關擇期舉行期末審查會議。
- 五、成果報告：於期末報告審查日起 14 日內或機關指定期限，依照期末報告審查意見提送成果報告初稿 1 份(含相關資料)至機關，經機關核定後 10 日內，提送成果報告書 12 份(計畫正式成果報告定稿本及相關資料)予機關辦理驗收。

表 2-6、工作進度總表

項次	地區	工作項目	民國114年											
			2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	銅門地區	崩塌地補充調查												
2		崩塌地活動性觀測												
3	溪頭地區	崩塌地補充調查												
6		崩塌地活動性觀測												
7	高山地區	崩塌地補充調查												
10		崩塌地活動性觀測												
11	共通性工作	觀測資料綜合分析與警戒管理基準值												
12		崩塌機制、崩塌地穩定分析、致災風險評估(檢討)												
13		應變小組開設與平時期間守視												
14		崩塌區監測成果綜整展示與機動性現調事務												
查核點				★ ¹				★ ²				★ ³	★ ⁴	

★：查核點
：預定進度
：完成進度

1. 工作執行計畫書：契約簽訂日起30日內
2. 期中報告書：民國114年7月1日前提送
3. 期末報告書：民國114年11月1日前提送
4. 成果報告書：期末審查起14日內

第三章 秀林鄉銅門調查區

銅門調查區位於花蓮縣秀林鄉，於 2015 年經經濟部地質調查及礦業管理中心公告為編號「花蓮縣-秀林鄉-D027」潛在大規模崩塌區，其位置緊鄰銅門聚落 149 戶、台電東部發電廠一次變電所及聯外道路，保全對象明確，由前期調查顯示計畫區邊坡前緣銜接部落，區域高差較大且坡度陡峭，局部區域坡度可達約 42 度以上，考量區域邊坡具有厚層之岩屑層存在，此坡度可能不利邊坡穩定而有邊坡災害發生之潛能。另區域內區域內涵蓋三條大型蝕溝，其中一條為土石流潛勢溪流，編號花縣 DF-010(舊編號為花-76)，雖自 2003 年起迄今花蓮縣政府辦理「花蓮縣秀林鄉銅門村（花-76）土石流特定水土保持區長期水土保持計畫」，透過特定水土保持區基本資料蒐集調查與分析，顯示特定水土保持區範圍內之保全住戶應無土石流堆積潛勢，惟前期計畫僅針對花縣 DF-010 進行相關調查及治理工程，區域內另兩條大型蝕溝均直接銜接部落，且排水均匯入部落排水系統排出，經現場檢視溝谷內具岩屑材料堆積，若發生較大降雨事件不排除可能夾帶岩屑材料材料影響部落。

考量銅門部落保全對象極為明確且重要，且區域邊坡活動性仍有待釐清，故有必要辦理細部地質調查及監測作業，以釐清崩塌機制及邊坡活動性，供後續整體治理計畫、區域安全性及監測需求評估參考，以下說明對於銅門地區的瞭解。彙整銅門調查區潛在大規模崩塌調查總圖如圖 3-1~圖 3-3 所示。

第一節 基本資料蒐集

3.1.1 地形及水系

一、**地形**：銅門調查區位於花蓮市西南方約 15 km 處，木瓜溪上游西南側邊坡，調查範圍內高程海拔介於 170 至 1,200 m，地勢由西南側之山坡地逐漸向東北側木瓜溪一帶遞減(圖 3-4)。主要坡向朝東北(圖 3-5a)，坡度 28~45 度(圖 3-5b)，銅門調查區立體地形圖詳圖 3-6。

二、**溪流及坑溝**：計畫區上下邊坡有多道蝕溝發展情況，持續發展將可能影響邊坡整體之穩定性，如道路路基材料沖蝕，造成道路路面開裂或下陷情形。另蝕溝末端即為銅門部落，若發生豪大雨事件，可能直接影響居民安全。目前計畫區西側之土石流潛勢溪流(花蓮縣 DF-010)已有進行相關整治處理，警戒雨量為 300 mm，並於 2019 年 1 月 14 日公告潛勢度為「低」，惟其東側兩條蝕溝線型明顯，且無相關監測及整治紀錄，可能存有潛在不穩定風險。花蓮縣 DF010 土石流潛勢溪流基本資料如表 3-1。

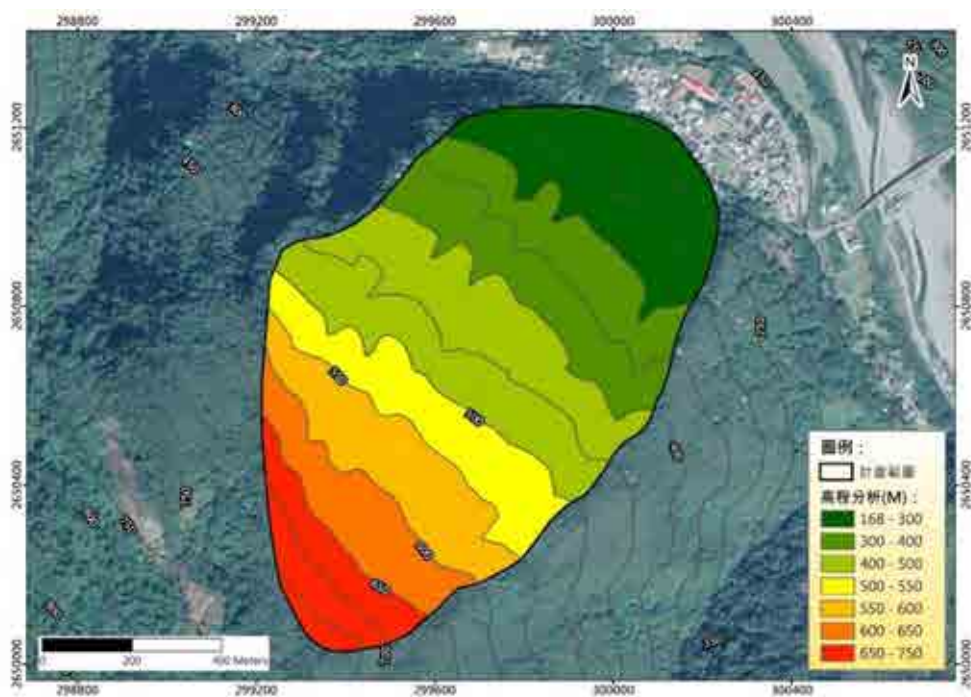


圖 3-4、銅門調查區高程分析

3.1.2 區域地質

根據本計畫地表地質及鑽探調查成果顯示(詳第二節地質調查章節)，銅門調查區出露岩層以沖積層(a)、谷園片岩(Ku)、玉里層(Yl)及九曲大理岩(Cu)等組成(詳圖 3-7 所示)，銅門調查區之區域地質說明如下：

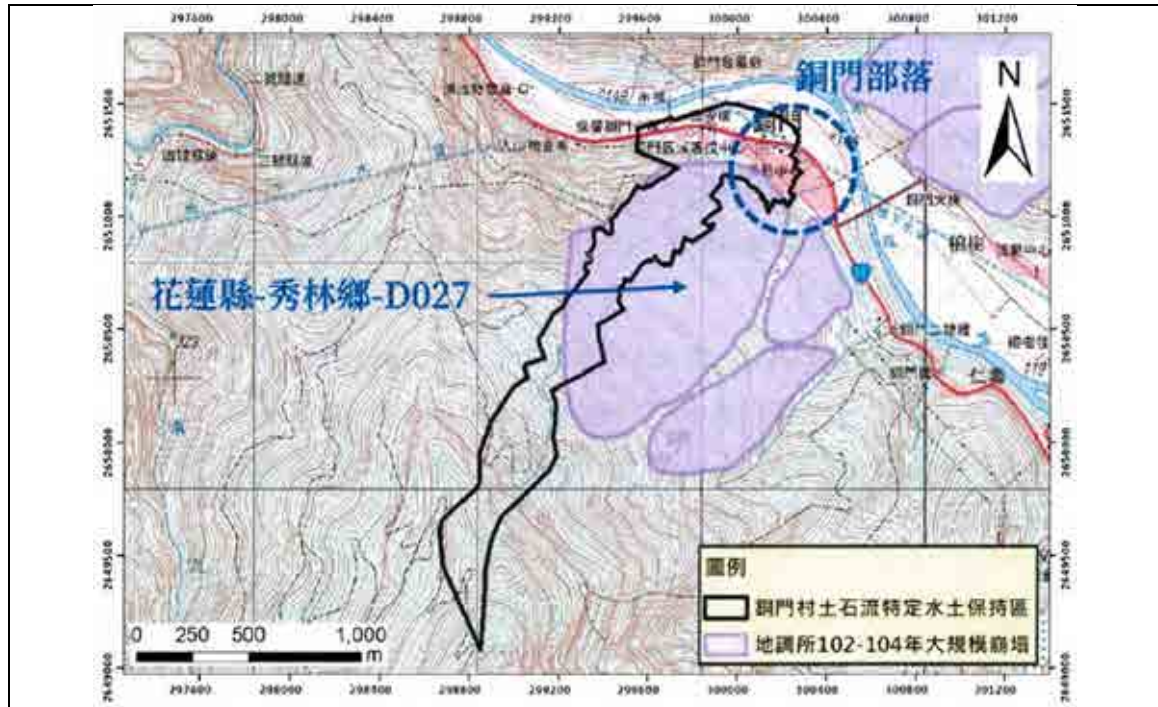
一、地層

- (一) 沖積層(a)：由砂、礫石、粉砂及泥組成，分布在河床及沖積平原。
- (二) 谷園片岩(Ku)：千枚岩、雲母片岩、石英雲母片岩為主，其中夾有些許礫岩或大理岩之透鏡體。千枚岩及雲母片岩均具有發達的連續劈理。
- (三) 玉里層(Yl)：以雲母石英岩(變質砂岩)為主，其次為雲母片岩及千枚岩，偶夾薄層之綠色片岩，具發達夾皺劈理。
- (四) 九曲大理岩(Cu)：以大理岩為主，多呈厚層塊狀、節理發達，偶有夾薄層之綠泥石片岩或雲母片岩。岩體堅固，常形成峽谷及陡崖。

二、地質構造：區域岩層經構造作用影響，岩層之位態變化極大，且岩層內小型褶皺、節理及裂隙均極發達(何恭睿等，2007)。

3.1.3 環境地質-大規模崩塌潛勢區

銅門地區屬經濟部地質調查及礦業管理中心圈繪之潛在大規模崩塌區(花蓮縣-秀林鄉-D027)，面積為 86.7 公頃，如圖 3-7(a)所示。



(a) 花蓮縣-秀林鄉-D027 位置圖



(b) 影響住戶位置圖

圖 3-8、銅門調查區與潛在大規模崩塌區位置圖

(資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心)

3.1.4 影響範圍及保全對象

依據農村水保署 114 年潛在大規模崩塌影響範圍(圖 3-9)，銅門地區主要保全對象為區內之銅門村 149 戶(圖 3-7b 及表 3-2)及銅門發電廠之聯外道路。倘若銅門地區發生大規模崩塌，除直接影響當地居民安全外，若聯外道路因崩塌而中斷，亦有可能形成孤島現象。

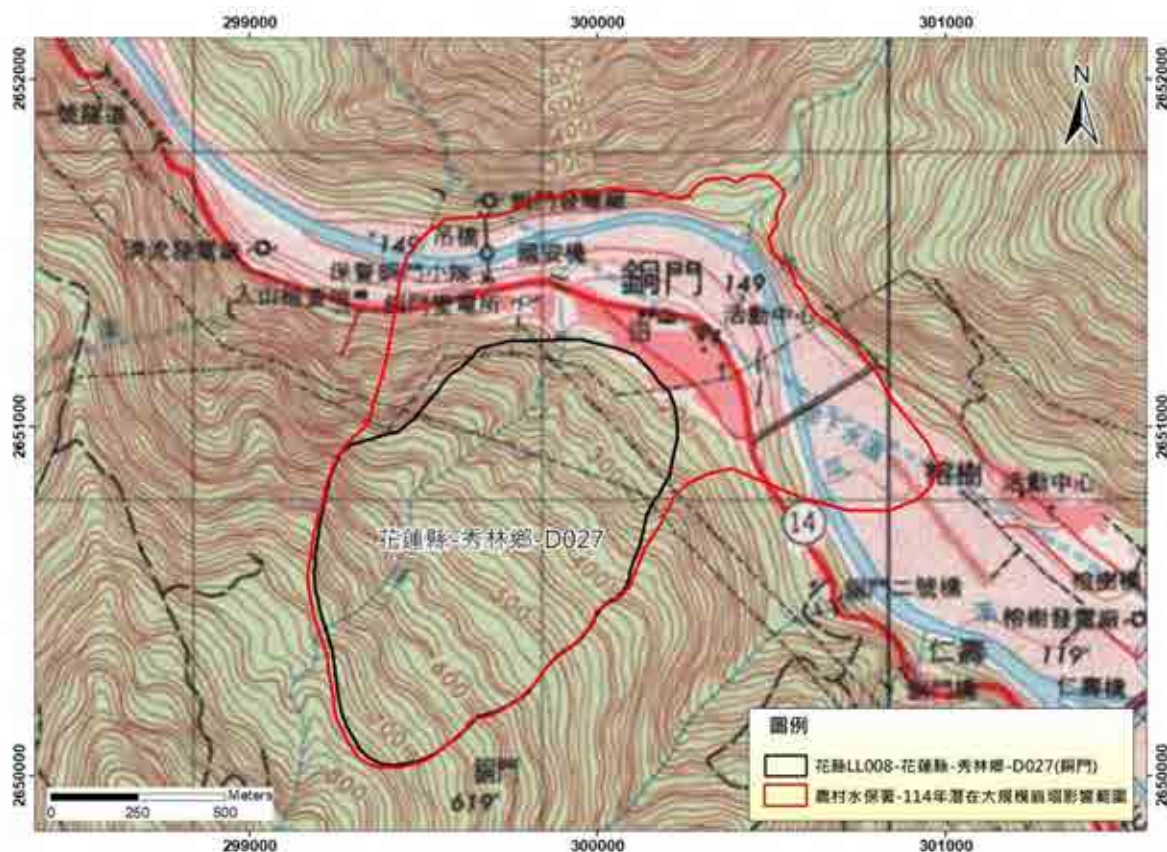


圖 3-9、農村水保署 114 年潛在大規模崩塌影響範圍

(底圖：經建版地形圖；影響範圍資料來源：政府資料開放平臺)

表 3-2、花蓮縣秀林鄉大規模崩塌保全住戶門牌資料

(資料來源：內政部門牌電子地圖查詢系統，共 149 戶)

崩塌區編號	縣	鄉	村	鄰	號(銅門)
花蓮縣-秀林鄉-D027	花蓮縣	秀林鄉	銅門村	7	77-2
				8	25、25-1、26、26-1、27、28、28-1、29、29-1、29-2、30-1、31、31-1、32、33、33-1、33-2、34、35、35-1、36、36-2、36-5、37、38、38-5、39、39-1、40、40-1、40-2、41、42-1、43、43-2、44、44-1、44-2、44-3、44-4、44-5、44-6、44-7、44-8、45、45-1、46、48-2、48-5、48-6、48-7、48-8、48-9
				9	53-1、53-4、53-6、53-7、53-8、53-9、53-10、53-11、53-12、54、55、55-1、55-2、55-3、55-4、55-5、55-6、55-7、55-8、56、56-2、63、65、65-3、65-4、66、67、68、69
				10	76-2、76-3、77、77-1、77-3、77-4、77-5、77-6、77-7、78、78-1、78-2、79、80、80-1、83、84、84-1、85、85-1、85-2、86、87、88、89、89-1、91、91-1、91-2、92
				11	93、93-2、94、95、96、96-1、96-2、96-3、96-5、97、97-1、97-2、98、99、99-1、100、100-1、101、102、102-1、103、104、105、106、106-1、106-2、106-3、107-1、107-2、107-3、107-5
				12	108、108-2、109、115、115-1

3.1.5 人口及土地利用概況

根據內政部營建署城鄉發展分署國土規劃入口網站查詢成果(圖 3-10a)，銅門調查區內之非都市土地使用分區歸類為林業用地及農業用地兩類，其中農業用地佔調查區面積之 51%。建築用地及特定事業目的用地集中於銅門調查區下邊坡即銅門部落及台電東部發電廠一次變電所，亦為本計畫主要保全對象。此外由內政部公有土地資料查詢結果顯示(圖 3-10b)，銅門調查區內無國有土地。

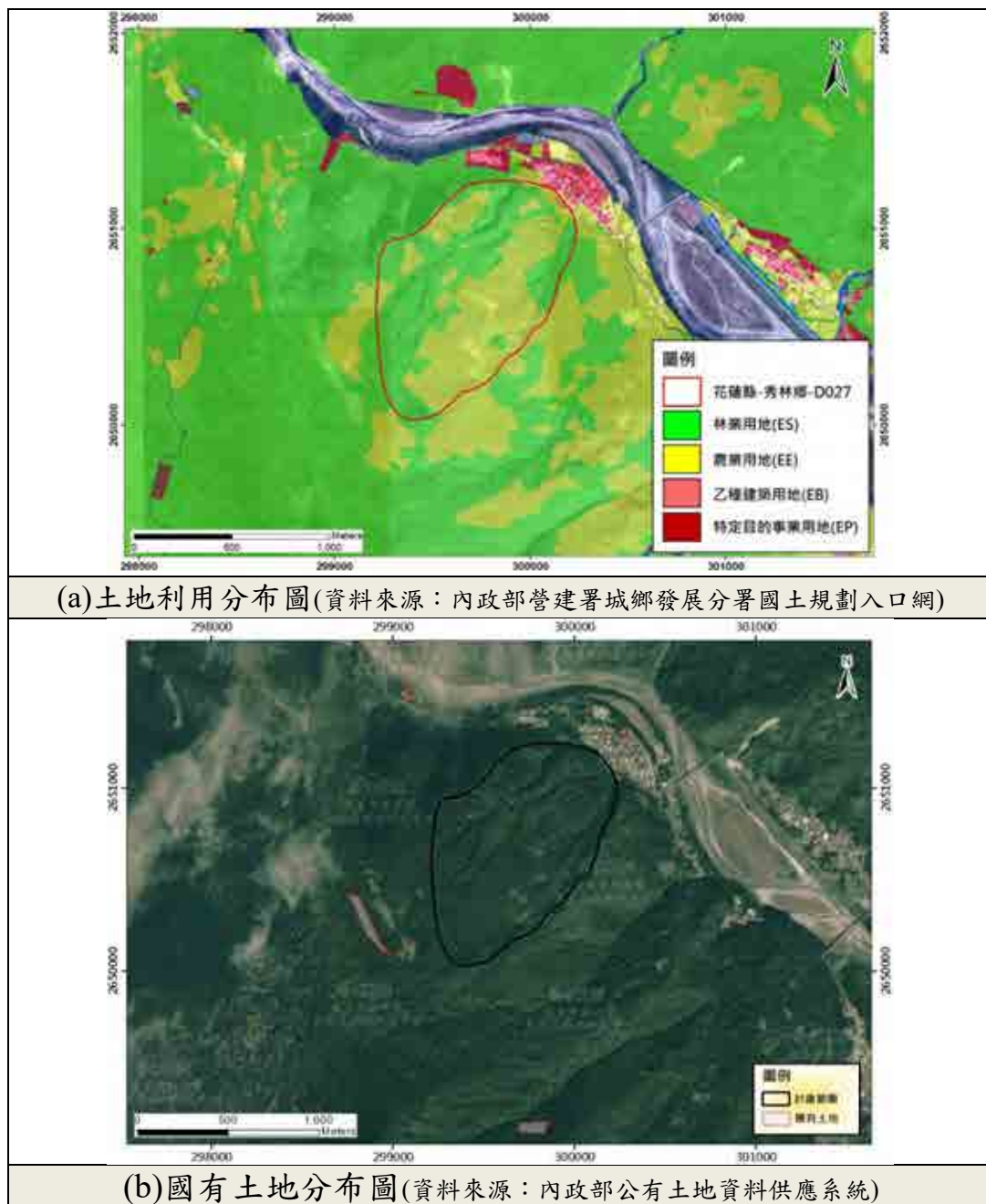


圖 3-10、銅門調查區土地利用分布圖

3.1.6 災害歷史

依據災害歷史資料及航空照片顯示，銅門調查區於 1990 年 6 月 23 日歐菲莉颱風期間，發生嚴重土石流災害，事件日累積雨量達 431 mm，最大時雨量 106 mm，並於雨量峰值後，約 2~3 小時發生災害，此事件造成銅門村 12、13 鄰之房舍遭土石掩埋(圖 3-11)。



圖 3-11、歐菲莉颱風期間花縣 DF-010 災害情形
(照片來源：農業部農村發展及水土保持署歷史影像平台)

3.1.7 降雨量與地震

一、歷年降雨量

為瞭解本計畫降雨行為，蒐集中央氣象署設置，距本計畫最近之銅門雨量站(編號 C1Z130，位於本調查區東北方約 100 m)，近 28 年之雨量資料，加以說明災害歷史與雨量關係，歷年降雨量如表 3-3 及圖 3-12 所示。調查區年平均雨量約 2,157 mm，除 5 至 10 月梅雨及颱風季節有較多降雨量，約占全年雨量 75 %；11 月至隔年 4 月約占全年雨量 25 %。

蒐集 1995~2025 年間較大降雨記錄，共計 8 起特殊降雨事件(表 3-4)，各起事件期間均無發生土砂災害造成道路中斷之情事，其中以 1997 年 8 月 28 日之安珀颱風事件及 1998 年 10 月 14 日寶絲颱風之降雨情形為顯著，最大時雨量分別達 88 mm 及 72.5 mm，事件累積雨量分別達 652 mm 及 748mm。為進一步瞭解降雨型態對本調查區之影響，故針對前述「已發生災害」之歐菲莉颱風，與「未發生災害」之特殊事件，進行降雨條件分析，成果如表 3-4 所示。由降雨條件分析成果顯示，「已發生災害」之歐菲莉颱風每 1 至 3 小時之降雨強度，普遍大於「未發生災害」之特殊事件，其中又以「每 2 小時」之降雨強度甚是大於歷年各起特殊事件，推測可能為區域之致災降雨門檻，故初步研判本調查區邊坡穩定性，較易受短延時及高強度降雨影響，造成重大土砂災害，惟此分析僅針對特殊事件降雨強度之災害發生與否進行研判，考量區域於歐菲莉颱風後已有導入治理工程，而後續特殊事件可能因工程成效的發揮，使區域邊坡不易發生災害，故實際邊坡穩定性與降雨之間關連性仍有待本計畫監測成果持續追蹤。

表 3-3、銅門雨量站(編號：C1Z130)歷年雨量資料

(資料來源：中央氣象署觀測資料查詢，2024)

年/月	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	年雨量
1995	-	-	-	2.5	168	198.5	706.5	324	218.5	118.5	186.5	27.5	-
1996	26	41.5	48	161	168.5	31	520.5	94	132	195.5	704	33	2,155
1997	55	193.5	125.5	47.5	139.5	405	175.5	761	52	118.5	3.5	60	2,136.5
1998	75	242.5	124.5	81.5	544	912.5	75	239	184	1671.5	106	54.5	4,310
1999	36.5	32	96	30	190.5	487.5	109.5	354	351	182.5	56	80.5	2,006
2000	72	363	55.5	166	78.5	224	235	671	145.5	668.5	297	95.5	3,071.5
2001	75	30.5	71	185.5	444	309.5	663.5	31.5	1179.5	34.5	39	139.5	3,203
2002	102	35.5	37.5	24	42.5	118	221.5	177	162	101.5	40.5	44	1,106
2003	19.5	32.5	63.5	165	41.5	151.5	3	327.5	683	136	161	12.5	1,796.5
2004	43.5	98.5	98.5	30.5	189.5	96	448	122	236	89.5	5	520.5	1,977.5
2005	51	133	139	49.5	151.5	184.5	390	497	775	575	53.5	53.5	3,052.5
2006	113	33.5	124	134.5	514	226	437.5	403.5	259	79.5	72	40.5	2,437
2007	82	26.5	74	81.5	84	132.5	59.5	1062.5	509.5	250.5	408	14	2,784.5
2008	73.5	100	82.5	71	66.5	128	751	54.5	618	155	173	52.5	2,325.5
2009	29	43.5	117.5	55	43.5	272	357.5	251	234	775.5	43.5	55	2,277
2010	67	117.5	31	83.5	92.5	140.5	140	109	452	623	85	49.5	1,990.5
2011	56.5	55.5	72	39	206.5	113.5	67	568.5	142	512	475.5	121	2,429
2012	24.5	27.5	12.5	32.5	58	69.5	128.5	146.5	12.5	23.5	19	18	572.5
2013	52	47	31.5	178.5	188	118.5	84.5	122	848.5	294	123	69.5	2,157
2014	17	110.5	78.5	90.5	224	39.5	546.5	208.5	146.5	21.5	58.5	60	1,601.5
2015	49	35	137	63.5	181.5	26.5	49.5	483.5	301	44	264	99.5	1,734
2016	195.5	71.5	184	91.5	186.5	136	497	290	558	864.5	169.5	41	3,285
2017	39	82.5	124.5	155	0	77.5	169.5	196.5	58	1026.5	127.5	28	2,084.5
2018	100	46	50.5	36	19	119.5	81	222.5	301	112.5	46	34	1,168
2019	52	30.5	93.5	52	233	174	132	411.5	149	77.5	74	108.5	1,587.5
2020	21	24	54	72.5	182	17	188	106	62	266	88.5	76.5	1,157.5
2021	89	27.5	23	57	84.5	189	56	169.5	181.5	756.5	77.5	27.5	1,738.5
2022	93	100.5	44.5	88	247.5	95.5	122	25.5	163.5	666.0	88.0	32.5	1,766.5
2023	59.5	21.0	24.5	39.0	92.5	265.0	866.5	129.0	779.5	238.0	7.0	48.0	2569.5
2024	21.5	57.0	37.0	36.5	70.5	152.5	350.5	85.0	365.0	782.0	67.0	44.5	2069.0
2025	13.5	29.0	26.5	23.0	38.5	103.5	282.0	100.0	398.0	22.0	-	-	-
平均雨量	63.1	78.6	79.2	81.5	167.6	188.2	285.5	295.1	341.1	382.0	137.3	71.4	2156.9

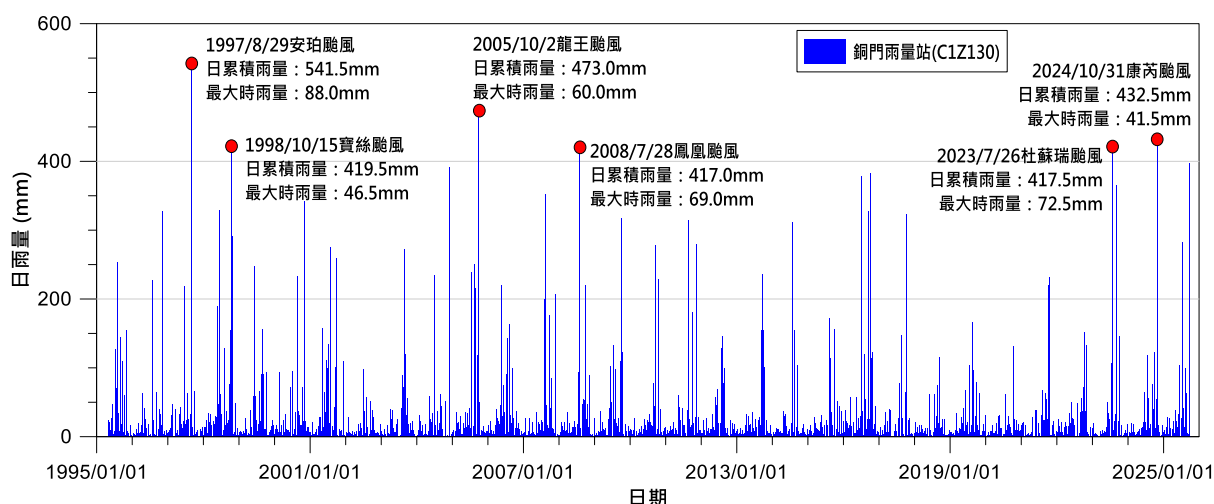


圖 3-12、銅門雨量站(編號：C0T9E0)歷年雨量組體圖

表 3-4、銅門雨量站特殊降雨事件特性比較

項次	大坑雨量站	降雨強度統計(mm)						累積雨量(mm)	發生時間
		1 小時	2 小時	3 小時	6 小時	12 小時	24 小時		
1	1990 年歐菲莉颱風 (發生災害)	106	210	230	268	310	366	503	1990/6/21~6/24
2	1997 年安珀颱風 (未發生災害)	88	137.5	217.5	254	434	470	652	1997/8/28~8/29
3	1998 年寶絲颱風 (未發生災害)	72.5	141.5	204.5	224	225	580	748	1998/10/14~10/16
4	2005 年龍王颱風 (未發生災害)	75	82.5	159.5	287.5	326	464.5	475.5	2005/10/1~10/2
5	2008 年鳳凰颱風 (未發生災害)	69	129	173	260.5	327.5	505.5	509.5	2008/7/27~7/28
6	2023 年杜蘇芮颱風 (未發生災害)	72.5	97	148.5	200	301.5	479.5	738	2023/7/25~7/28
7	2024 年凱米颱風 (未發生災害)	24.5	40	52.5	65.5	102.5	153.5	217.5	2024/7/23~7/25
8	2024 年山陀兒颱風 (未發生災害)	28.5	35	35.5	54.5	85.5	137.0	298.0	2024/9/30~10/3
9	2024 年康芮颱風 (未發生災害)	41.5	78	115	188.5	313	435	458.0	2024/10/30~11/1
10	2025 年薇帕颱風 (未發生災害)	56.5	72.5	80.0	117.5	175.0	282.0	357.5	2025/7/18~7/20
11	2025 年樺加沙颱風 (未發生災害)	53.0	86.0	127.0	188.5	310.5	446.5	667.0	2025/9/22~9/24

二、歷史強震事件

蒐集花蓮地區 2000~2025 年間較大之強地動記錄(震度 ≥ 5)，共計 6 起強震事件(表 3-5)，其中以 2019 年 4 月 18 日之強震事件於銅門測站震度達 7 級為最大，惟各起事件均無於本計畫區發生土砂災害亦或造成道路中斷之情事。

表 3-5、花蓮地區歷史強震事件彙整表(資料來源：中央氣象署)

項次	日期	震央	芮氏規模	地震深度(公里)	最大震度(花蓮地區)	測站震度	災情概述
1	2002 年 3 月 31 日	宜蘭南澳地震站東偏南方 55.0 公里	6.8	13.8	5 級	鹽寮 3 級 磯崎 4 級	花蓮地區部分山區道路落石、坍方(中橫公路、蘇花公路)。本計畫區無重大災害情形。
2	2009 年 12 月 19 日	花蓮市地震站南偏東方 21.4 公里	6.9	43.8	7 級	鹽寮 6 級 銅門:5 級 磯崎:7 級	花蓮地區多有建築物損壞，局部沿海道路有落石及坍方情形(台 11 線)。本計畫區無重大災害情形。
3	2015 年 5 月 12 日	花蓮縣政府西偏南方 15.0 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)	4.7	17.3	5 級	鹽寮 4 級 銅門:5 級 磯崎 3 級	無重大災害情形。
4	2018 年 2 月 6 日	花蓮縣政府東北方 16.5 公里 (位於臺灣東部海域)	6.2	6.3	7 級	鹽寮 7 級 銅門:6 級 磯崎 3 級	主震導致花蓮市大樓、橋梁、道路與多處建築重大破壞，沿海與縱谷地帶有嚴重土壤液化、噴砂與地裂。本計畫區無重大災害情形。
5	2019 年 4 月 18 日	花蓮縣政府西北方 9.4 公里 (位於花蓮縣秀林鄉)	6.3	20.3	7 級	銅門:7 級 磯崎 4 級	花蓮市與秀林鄉多有建築物受損，中橫公路及蘇花公路多處落石情形，部分路段封閉搶修，秀林、崇德、和仁一帶多有坍方及落石災情發生。
6	2024 年 4 月 3 日	花蓮縣政府南南西方 13.6 公里 (位於花蓮縣壽豐鄉)	7.1	19.7	6 強	鹽寮 5 強 銅門 5 強 磯崎 5 弱 光復 5 弱	造成廣泛建築與基礎設施破壞、多處道路橋梁崩塌或落石、山坡地滑動、地表裂縫與地形變形。尤其沿海與光復／豐濱沿線有通訊／交通中斷與地表形變問題。

3.1.8 歷年影像判釋及前後期影像分析

航空或衛星影像分析具有可針對大區域之地形、水系、侵蝕、堆積及崩塌地等廣域的特殊表徵進行判釋之優勢。為大範圍瞭解本計畫區現況及崩塌地之發展與演育，以利後續地表地質調查工作進行。

一、航空影像分析：1990 年土石流災害後溝谷尺寸明顯增加，崖坡清晰，且谷口沖積扇範圍增大。

依據災害歷史資料及航空照片顯示，銅門調查區於 1990 年 6 月 23 日歐菲莉颱風期間，發生嚴重土石流災害，事件發生後近一半之村落面積遭土石掩埋。

利用土石流災害前後之航空照片進行地形表徵分析，銅門地區於 1980 年影像即可明確判釋出溝谷側壁之崖坡，坡面植生發育良好，谷口已有小沖積扇存在(圖 3-13)，1985 年比對前期影像地貌表徵均無明顯變化如圖 3-14(a)，1990 年發生土石流災害後溝谷尺寸增加為 3 倍寬，2 倍長，崖坡清晰，谷口沖積扇範圍增大如圖 3-14(b)。

二、衛星影像分析：2005 至 2020 年期間蝕溝線形與現況大致相符，銅門調查區於近期無明顯大規模崩塌發生。

團隊蒐集土石流災害後 2005 至 2020 年之 SPOT 衛星影像，針對計畫區內與災害歷史較有關之道路線型、邊坡開發作為、裸露坡面變化及蝕溝發育情形進行比對，為方便比對已將各期影像比例尺調整大致相同。

綜合各期影像分析成果顯示，位於調查區上邊坡之農路線型與現況大致相同，並於影像期間內無明顯變化情形，而位於邊面之裸露區域自 2005 年有開發情形後，裸露面積逐漸增大，且坡面呈現裸露與植披覆育交替之情形，而調查區內涵蓋三條明顯之天然蝕溝，由西至東分別為土石流潛勢溪流 DF-010、蝕溝 I 及蝕溝 II，蝕溝線形與現況大

致相符，於影像研判暫無明顯擴大之情形。綜合上述，銅門調查區於近期無明顯大規模崩塌發生，詳如表 3-6 及圖 3-15~圖 3-20 所示。



1980 年航空照片

圖 3-13、土石流災害前後地形表徵分析(Chen, 2000)

(1-1、1-2 為花縣 DF-010；溝谷側壁崖坡清晰，坡面植生發育良好)

3.1.9 前期調查、監測及整治歷程

計畫範圍內主要調查及整治工程集中於土石流潛勢溪流(花縣 DF-010)區域，其餘坡面未有相關紀錄。花蓮縣政府自 1991 年起陸續針對花縣 DF-010 導入改善工程，並以河道維護改善為主要執行方向，進行水流引導、河道定期清淤及重要保全區域護岸加高等工作。另於 2003 年至 2010 年，啟動長期水土保持計畫，每 10 年執行通盤檢討工作，追蹤劃定區現況環境變遷下之工程改善成效，銅門調查區歷年調查計畫及整治工程如表 3-7 所示。

表 3-7、銅門調查區歷年調查計畫及整治工程

類別	編號	年份	計畫名稱		項目及執行成果		執行單位
整 治 工 程	1	1991	歐菲莉颱風後改善工程		- 引導水流 - 穩定河道	- 防砂壩 1 座 - 梳子壩 5 座	花蓮縣政府
	2	2004	花蓮縣秀林鄉銅門村土石流特定水土保持區河道維護改善及綠美化工程		- 河道維護改善 - 綠美化工程	- 土砂清淤 3819m³ - 扇狀地緩衝林帶設置 - 植栽面積 8,300m²	花蓮縣政府
	3	2009	花蓮縣秀林鄉佳民村及銅門村特定水土保持區加強工程		河道維護改善	- 護岸及河床底床鼎型塊修補 - 防砂壩翼牆補強 - 河道定期土砂清淤 - 導流堤 4 座	花蓮縣政府
	4	2013	花蓮縣秀林鄉銅門村土石流特定水土保持區設施加強工程		河道維護改善	防砂導流堤：高 3 m、長 100 m	花蓮縣政府
調 查 計 畫	1	2003	秀林鄉銅門村花縣 DF-010(花 76) 土石流特定水土保持區長期水土保持計畫	-	- 基本資料蒐集與調查 - 環境現況普查 - 既有工程設施普查 - 現況條件變遷分析	- 整治成效追蹤 - 後續整治建議	花蓮縣政府
	2	2012		第一次通盤檢討			
	3	2020		第二次通盤檢討			
	4	2022	花蓮縣秀林鄉銅門地區及壽豐鄉鹽寮及北坑地區潛在大規模崩塌調查監測計畫		- 無人載具拍攝 1 次 - 地質鑽探 2 孔 - 地電阻探測 1,100m - 儀器安裝及監測	- 自記式水壓計：2 支 - 雙軸傾斜計：2 組(半自動)	農村水保署 花蓮分署
	5	2023	112 年度花蓮縣銅門、鹽寮、賀田山、溪頭及高山地區潛在大規模崩塌調查監測計畫		- 構造物、地貌特徵變異補充調查 - 儀器安裝及監測	- 自記式水壓計：2 支 - 雙頻 GNSS：5 組(全自動) - 雙軸傾斜計：2 組(全自動) - CCD 攝影機：1 組	農村水保署 花蓮分署
	6	2024	113 年度花蓮縣銅門、溪頭及高山地區潛在大規模崩塌調查監測計畫		- 構造物、地貌特徵變異補充調查 - 儀器安裝及監測	- 電子式水壓計：2 支 - 雙頻 GNSS：6 組(全自動) - 雙軸傾斜計：2 組(全自動) - CCD 攝影機：1 組	農村水保署 花蓮分署

第二節 地質調查

3.2.1 地表地質調查

本公司進行現場勘查工作，主要針對調查區內之地形、地貌、植被、水系、周邊交通及可能構成邊坡災害之不穩定表徵等進行拍攝、定位和記錄，屆時配合野外調查之岩層分布特性進行研判，並記錄標繪於工作底圖，提供研判潛在之崩塌規模及推測崩塌機制之參考。彙整初步調查成果，如圖 3-21 及圖 3-22 所示，說明如下：

一、岩層：調查區內岩性以片岩為主

計畫範圍內雖未見完整岩盤出露，但觀察坡面堆積之大量轉石岩塊，其岩性普遍為片岩，部分為變質砂岩，岩塊粒徑可達 6 m 以上，較為尖銳，多具角礫狀，顯示材料破壞後即堆積於鄰近區域，未經長距離搬運，研判調查區內岩性應以片岩為主，此外為追蹤調查區外之岩性分布，沿木瓜溪畔往上游方向追蹤，於銅門 1 號隧道西側溪畔出露大理岩露頭。

本計畫大致依地形特徵(圖 3-22)及鑽探岩芯(詳細分層如後面章節所述)等相關資料研判，並由老至年輕之地層層序，依序將本計畫區之地層分為 4 層，分別為岩層 A、岩層 B、階地堆積層及沖積層，其中岩層 A 相當於既有區域地質圖(圖 3-23)上所標示之九曲大理岩(Cu)，而岩層 B 則相當於玉里層(YI)，相關說明如下：

- (一) 沖積層：未固結之礫石、砂、粉砂與黏土組成。
- (二) 階地堆積層：未經膠結的泥、砂與礫石組成，掏選度差，分布於木瓜溪兩側。
- (三) 岩層 B：岩性以黑色片岩及綠色片岩為主，偶夾變質砂岩，如圖 3-22 照片 A 至照片 K 所示。
- (四) 岩層 A：岩性以大理岩為主，如圖 3-22 照片 L 所示。

二、 構造：區域岩層不連續面發達

由於計畫區內未見完整岩盤出露，本計畫現場量測之露頭主要位於計畫區東側及西側，另計畫區內之位態蒐集前人量測成果(陳宏宇，1995)，考量其量測位置可能具岩體擾動情形，較無法代表計畫區岩體真實位態，故計畫區位態將以鄰近坡面之東側位態做為代表，各露頭量測位置與成果說明如下：

(一) 走向與坡面垂直之片理：參考本計畫量測東側區域之片理位態，大致與坡面垂直，傾向朝西南，計畫區片理為逆向坡地形。

(二) 多組節理發育：區域內具多組節理發育，岩層可能在不連續面切割與作用下與坡面構成大小不一的岩楔體。

三、 水系：坡面具數條蝕溝發育

計畫區上下邊坡有多道蝕溝發展情況，持續發展將可能影響邊坡整體之穩定性，如道路路基材料沖蝕，造成道路路面開裂或下陷情形。另蝕溝末端即為銅門部落，若發生豪大雨事件，可能直接影響居民安全。目前計畫區西側之土石流潛勢溪流(花縣 DF-010)已有進行相關整治處理，惟其東側 2 條蝕溝線型明顯(蝕溝 I 及蝕溝 II)，且無相關監測及整治紀錄，可能存有潛在不穩定風險。

3.2.2 地表現況調查

地表現況調查主要包含結構物裂縫、地表裂縫、道路陷落、隆起、坡面滲水等，進行記錄及拍照，用以瞭解計畫區之災害情形，供後續研判災害規模及機制行為，本計畫執行現場勘查工作並針對新增異常表徵執行追蹤，以下茲就調查成果說明如下，地表現況調查成果詳圖 3-24 所示。

- 一、**地表裂縫與陷落：**上邊坡農路 2023 年經歷杜蘇芮、海葵及小犬颱風事件；2024 年經歷凱米、山陀兒及康芮颱風；2025 年經歷薇帕、樺加沙颱風後無明顯開裂、陷落情形。
- 二、**地表排水設施：**花縣 DF-010 下游梳子壩透過無人載具空拍顯示雖有植生但無明顯淤砂情形，且縣府於汛期均有定期執行河道清理工作，現況無異常表徵。
- 三、**既有構造物：**趾部擋土牆及落石防護柵整體狀況良好，無明顯開裂、傾斜不穩定表徵。
- 四、**蝕溝狀況：**區域內三條大型蝕溝常時無水，當降雨事件結束後僅土石流潛勢溪流(花縣 DF-010)仍持續有水，且水流時間於事件結束後至少持續 6 日以上，推測大範圍集水區於計畫區內應主要匯流至花縣 DF-010 向下邊坡排出，若僅由匯流條件考量，區內蝕溝以花縣 DF-010 較具風險，另考量花縣 DF-010 現已設有相關工程設施及定期維護，近年均無災害情事發生，應暫無立即性危險。
- 五、**近期災害發生時間：**近期無重大災害發生。
- 六、**本年度現勘情形：**2025 年 1 月 22 日、2025 年 2 月 25 日、2025 年 3 月 26 日、2025 年 4 月 16 日、2025 年 5 月 14 日、2025 年 7 月 24 日、2025 年 9 月 9 日及 2025 年 10 月 22 日，共計 8 次，邊坡無明顯異常情形。

3.2.3 UAV 空拍測繪及地形判釋

無人飛行載具(UAV)為近年來廣泛使用的遙控飛機，在早期較多用於軍事用途，現今常用於都市探勘、環保監測、山林坡地防災、商業攝影等。本計畫將以 UAV 拍攝方式進行數值地形產製，建立範圍為涵蓋本計畫整體範圍，面積超過 86.7 公頃，工作成果說明如下。

一、數值地形建置

2022 年辦理 1 次之空拍測繪工作，配合本團隊蒐集 2013 年之 LiDAR 資料，進行調查範圍之地形比對分析，並作為崩塌區位、量體、機制研擬之依據。拍產製之正射影像如圖 3-26 所示，數值地表模型(DSM)如圖 3-27 所示，日照陰影圖(包含二個不同日照方向)如圖 3-28 及圖 3-29 所示。

二、潛在滑動塊體圈繪

由於經濟部地質調查及礦業管理中心於 2010 年開始執行有關「國土保育之地質敏感區調查分析計畫」，並於 2014 年度進行台灣北部的光達地形影像建置工作，其中包含銅門調查區，為能掌握潛在坍塌區範圍，本公司藉由精度為 1 m 之空載雷射掃描數值地形資料(簡稱 LiDAR 資料)，以及本計畫之 UAV 拍攝，配合不同光源角度之日照陰影圖，按照地形起伏情形，初步圈繪可能之潛在滑動塊體。

計畫區主要包含一處 L1 潛在大規模崩塌區，其中 L1 塊體可再細分為 S1、S2 及 S3 三處規模較小之滑動塊體，圈繪成果如圖 3-31 所示。

(一) **L1 潛在大規模崩塌區**：區域具保全對象，包括主要聯外道路、銅門聚落、坡面上之電塔與農地等，邊坡可能具有厚層岩屑材料堆積情形，其中包含 S1、S2 及 S3 塊體。

(二) **S1 塊體**：塊體位於土石流潛勢溪流花縣 DF-010 發展區域，坡面堆積鬆散土砂及大型岩塊(岩塊粒徑 1~6 m)，蝕溝發育清晰，惟前期多已針對潛勢溪流區域進行調查及整治，且近期無明顯災害發生，故本計畫將著重於 S2 及 S3 塊體之活動性調查。

(三) **S2 塊體**：塊體位於蝕溝 I 發展區域，區域內農路多有下陷修補之跡象，坡面堆積鬆散土砂及大型岩塊(岩塊粒徑 1~4 m)，蝕溝發育清晰，不排除有側向侵蝕及向源侵蝕發展趨勢，將可能對邊坡整體之穩定性造成影響。

(四) **S3 塊體**：塊體位於蝕溝 II 發展區域，坡中及塊體頭部區域堆積鬆散土砂及大型岩塊(岩塊粒徑 1~6 m)，蝕溝發育清晰，不排除有側向侵蝕及向源侵蝕發展趨勢，將可能對邊坡整體之穩定性造成影響。

針對上述邊坡潛在滑動塊體進行初步研判，可發現近期邊坡活動性不明確，但具有保全對象，故本計畫新增地質鑽孔並配置傾斜管或水位井等儀器，採手動觀測方式，加以調查，並評估邊坡活動性。

三、蝕溝坡度分析：

一般土石流的發生過程即包含發生區、流動區及堆積區，而其中發生區之坡度大約介於 15 至 30 度之間，流動區之坡度約介於 6 至 15 度之間，而堆積區則約介於 3 至 6 度之間(圖 3-30)，為了解本計畫區內之潛勢溪流之特性故進行坡度分析成果如圖 3-32~圖 3-34。

(一) 花縣 DF-010 剖面

1. 潛勢溪流上游區域：由分析結果顯示，區域坡度介於 11 至 20 度之間，研判為土石流發生區及流動區並交互出現。
2. 本計畫範圍區域：即為潛勢溪流中至下游區域，坡度介於 15 至 31 度之間，於計畫區頭部區域坡度較陡，研判為土石崩落滑動區，而計畫區內坡腹至坡趾範圍則普遍為土石流發生區及流動區。
3. 銅門部落區域：此範圍內坡度較緩約於 6 度以下，研判為土石流堆積區。

(二) 蝕溝 I 剖面

1. 本計畫範圍區域：即為潛勢溪流中至下游區域，坡度介於 18 至 30 度之間，於計畫區頭部區域坡度較陡，研判為土石崩落滑動區，而計畫區內坡腹至坡趾範圍則普遍為土石流發生區。
2. 銅門部落區域：此範圍內坡度較緩約於 6 度以下，研判為土石流堆積區。

(三) 蝕溝 II 剖面

1. 潛勢溪流上游區域：由分析結果顯示，區域坡度約為 16 度，研判為土石流發生區。

2. 本計畫範圍區域：即為潛勢溪流中至下游區域，坡度介於 18 至 35 度之間，於計畫區頭部區域坡度較陡，研判為土石崩落滑動區，而計畫區內坡腹至坡趾範圍則普遍為土石流發生區。
3. 銅門部落區域：此範圍內坡度較緩約於 6 度以下，研判為土石流堆積區。

由蝕溝坡度分析成果顯示，區內三條蝕溝接近計畫區頭部位置時，坡度均達 30 度以上，顯示此範圍可能為土石流之料源區域，向下方溝谷提供堆積材料，而計畫區坡面範圍，考量花縣 DF-010 於民國 79 年發生災害後溝谷坡度可能發生改變，而比較目前蝕溝 I 及蝕溝 II 之坡度普遍大於花縣 DF-010，若僅由坡度進行考量，蝕溝 I 及蝕溝 II 於計畫範圍內具有較多土石流發生區存在。

四、可能崩塌區域(產生土砂材料)探討：

由前述詹錢登(2000)的研究僅考量蝕溝縱向之地形條件進行土石流發生區、流動區或堆積區之區分，而根據本計畫調查成果顯示區域邊坡具厚度不等之岩屑層存在，故當溝谷通過潛在塊體範圍之側崖位置，均有向溝內提供土砂之能力，故根據地形判釋(LiDAR)之潛在崩塌範圍內(S1、S2、S3 潛在塊體)，均可能為土石流之發生區。

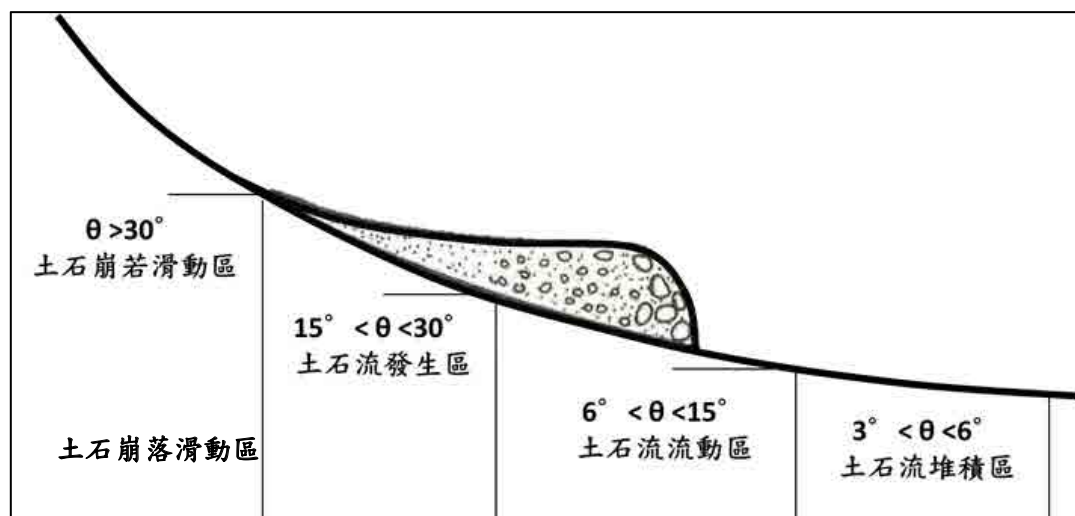


圖 3-30、土石流發生區、流動區及堆積區坡度示意圖(詹錢登，2000)

表 3-9、研判潛在滑動塊體分布基本資料及本計畫工作安排

潛在滑動塊體		邊坡不穩定表徵					近期邊坡活動性	主要影響區位	本計畫工作安排
		崩崖	暫積材料堆積	道路或構造物開裂、下陷	蝕溝發育	溪流側向侵蝕			
L1	S1	V	V	-	V	V	△	銅門聚落	1.遙測影像判釋 各期遙測影像比對地表物之有無明顯變異 2.地質調查工作 地表地質調查 地質鑽探 地電阻 3.觀測工作 傾斜管或水位觀測井 自記式水壓計 配合手動觀測系統，以提供邊坡位移、地下水位、降雨量資訊 綜合分析用以評估及建議後續年度工作安排
	S2	V	V	-	V	V	△		
	S3	V	V	-	V	V	△		

X：活動性極為活躍，邊坡已發生大面積崩塌，坡面仍有零星落石。

○：活動性明確，現生崩崖有下滑情形。

△：活動性不明確

3.2.4 地質鑽探作業

根據現場踏勘及蒐集既有相關地形及地質資料顯示，本計畫區具構造通過，在此等地質構造控制作用下，容易造成區域岩體材料破碎，可能影響整體邊坡穩定，故除地表地質調查外，亦將進行地質鑽探，輔助地質調查工作之進行，並於鑽孔安裝傾斜觀測管釐清潛在邊坡之活動性。

此外為獲得區域內較完整之地中調查資訊，本團隊另蒐集台電公司於本計畫區內曾執行塔基安全監測之地質鑽探報告，以下就台電塔基鑽探資料蒐集、本計畫現場鑽探作業及鑽探成果加以分述。

一、 台電塔基鑽探資料蒐集

本團隊蒐集台電公司清水銅門線 2 號及 13 號電塔之地質鑽探資料，共計 4 孔，其中 2 號電塔雖位於計畫區外側，但可提供本計畫地質圖繪製參考，而 13 號電塔則位於銅門發電廠南側山區(圖 3-41)，相當於 L1 滑動塊體之坡趾處，並鄰近土石流潛勢溪流 DF-010，可提供本計畫地質模式及崩塌機制研判參考。

(一) 清水銅門線 2 號電塔：由鑽取之岩芯顯示，由上而下主要可分為岩屑層、大理岩及片岩偶夾大理岩等三層。

1. 岩屑層：黃棕色土壤及岩屑組成，層厚約 3.4 m，岩塊粒徑約為 3~10 cm 不等，代表性之岩芯如圖 3-35。
2. 大理岩：主要由大理岩組成，輕度風化至新鮮，岩芯 RQD 介於 20~90 %之間，代表性之岩芯如圖 3-36。
3. 片岩偶夾大理岩：主要由石英雲母片岩偶夾薄至薄葉變質石灰岩與脈狀石英所組成，岩芯 RQD 介於 20~85 %之間，代表性之岩芯如圖 3-37。

(二) 清水銅門線 13 號電塔：由鑽取之岩芯顯示，由上而下主要可分為變質砂岩偶夾片岩層及片岩偶夾變質砂岩層等兩層，岩芯柱狀圖如圖 3-40 所示。

1. 變質砂岩偶夾片岩：變質砂岩偶夾薄至極薄葉石英雲母片岩與脈狀石英所組成，局部岩體破碎，裂隙具銹染，岩芯 RQD 介於 20~90 % 之間，代表性之岩芯如圖 3-38。
2. 片岩偶夾變質砂岩：石英雲母片岩偶夾甚薄至薄葉變質砂岩與脈狀石英所組成，局部岩體破碎，夾薄層泥，且具高角度裂隙，岩芯 RQD 介於 15~75 % 之間，代表性之岩芯如圖 3-39。



圖 3-35、代表性之岩屑層岩芯



圖 3-36、代表性之大理岩岩芯



圖 3-37、代表性之片岩偶夾大理岩岩芯



圖 3-38、代表性之變質砂岩偶夾片岩層岩芯



圖 3-39、代表性之片岩偶夾變質砂岩層岩芯

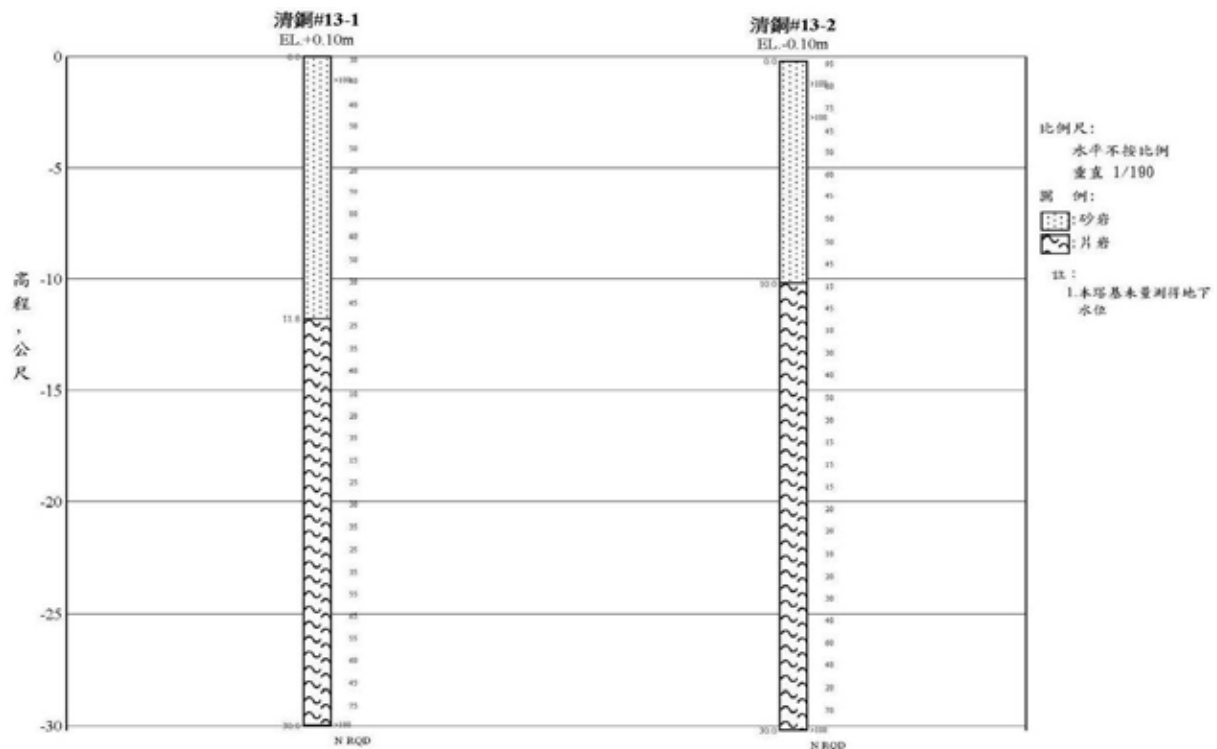


圖 3-40、清水銅門線 13 號電塔地層柱狀圖

(資料來源:台灣電力股份有限公司東部地區塔基監測與鑽探工程地質鑽探報告書)

二、鑽探作業

根據現場踏勘及蒐集既有相關地形及地質資料顯示，計畫區包含數個大小規模不等之滑動塊體，其中 S1 滑動塊體位於土石流潛勢溪流(DF-010)中上游，考量前期相關整治處理均集中於此範圍內，且近期無重大災害發生，故本計畫將著重於過去未有相關監測及整治紀錄之 S2、S3 滑動塊體進行調查，以釐清可能潛在不穩定風險。

前期計畫原規劃設置 T22-BH1~T22-BH3 等 3 孔地質鑽孔，各孔孔深 60 m，總深 180 m，進行地質鑽探調查工作。並依據 2022 年 4 月 19 日工作會議紀錄，於鑽探作業執行時，應由上邊坡往下邊坡依序施作，故本項工作以 T22-BH3 優先施作，另依據委員建議，針對各鑽孔逐一施作，且回報鑽探進度，適時檢討成果，以達調查之最大效益。惟實際執行鑽探時發現 T22-BH3 鑽探進尺達 60 m 時，岩芯完整度仍偏差，經與承辦科室討論後，取消 T22-BH2 鑽孔，將 T22-BH1 與 T22-BH3 兩鑽孔調整孔深為 90 m，鑽

探總深度仍維持 180 m。鑽孔配置平面如圖 3-41 所示，各鑽孔之孔深、座標、鑽探數量統計如表 3-10 所示。

為獲取完整岩芯，利於相關人員進行岩芯判釋，本計畫採用 Wire-Line 鑽機，全程採 HQ 規格取樣(岩芯直徑約 65 mm)，鑽得之岩芯依其深度，儘量保持原狀置於岩芯箱內，供岩芯檢視判釋之用，並於岩芯照相、岩芯量測後，選擇適當樣品進行室內試驗，以作為整治規劃使用。

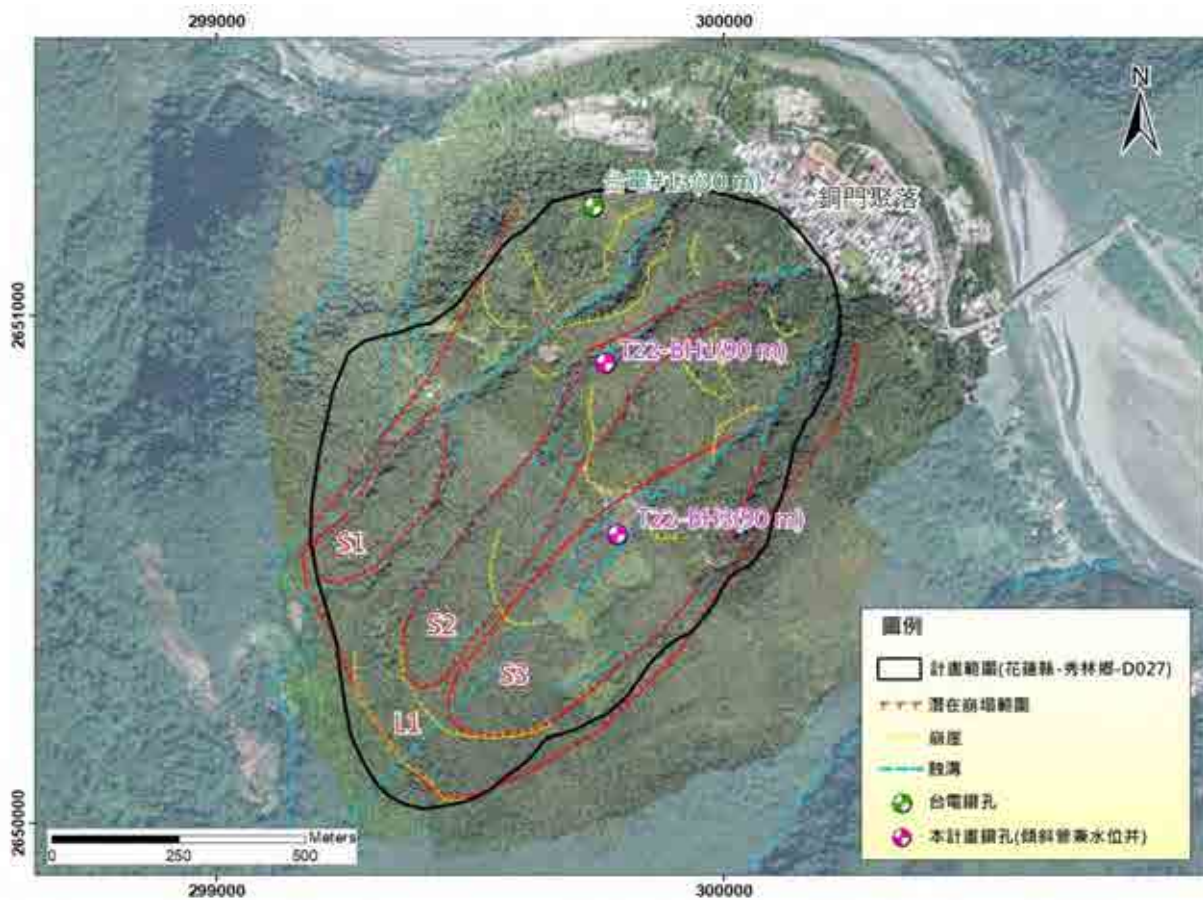


圖 3-41、本計畫銅門調查區調查配置圖

表 3-10、本計畫地質鑽孔位置、深度及鑽探時程統計表

潛在崩塌區 編號		崩塌地 類型	本計畫鑽孔						
			編號	深度 (m)	孔口 高程 EL.(m)	座標		安裝 儀器	備註
						N	E		
L1	S2	潛在 (地形判釋)	T22-BH1	90	369	2,650,910	299,765	傾斜 觀測 管兼 水位 井	建置於 S2 潛在崩塌中 段，以掌握 S2 潛在崩塌 之活動性及地下水特性
	T22-BH2		-	-	-	-	因 T22-BH1 及 T22-BH3 調整鑽孔深度故年度取 消施作。		
	T22-BH3		90	464	2,650,568	299,794	建置於 S3 潛在崩塌中 段，以掌握 S3 潛在崩塌 之活動性及地下水特性		
總深(m)				180					

*傾斜觀測管兼水位井建置方式：觀測管與孔壁間以七厘石材料填充；開孔方式以上下 3 m 不開孔，每 15 cm 雙向打設一孔，直徑 1 cm，並外包覆不織布。

三、地質鑽探成果

現場地質鑽孔所取得之岩芯均進行判釋及拍攝彩色照片，岩芯描述如圖 3-42 所示，由鑽取之岩芯顯示，區域內至少含有 90 公尺厚之岩屑層存在，本區域岩屑層非指因崩積產生之堆積材料，係依照材料的物理性質、力學性質及水文地質條件所界定之材料分層：

- (一) 岩屑層：由黃褐色岩屑及破碎風化之片岩偶夾變質砂岩組成，層厚可達 90 m，且於部分深度 含泥量較高，亦有厚度不一剪裂帶通過之情形，代表性之岩芯如圖 3-42 所示。

利用岩芯判釋之結果，配合地形高程，繪製區域地質剖面圖，如圖 3-43 所示，以了解計畫區內地層大致之分層及相對高程位置，以利於後續相關機制之研判。

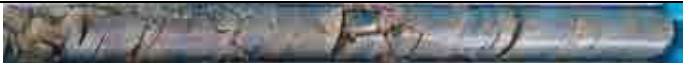
分層		岩性組成	岩芯
岩屑層	岩屑材料	黃棕色岩屑及土壤夾雜岩塊	
	風化破碎材料	黑色片岩	
		綠色片岩	
岩芯特徵			岩芯
裂面銹染情形			
岩體呈中至高度破碎			
破碎夾泥，具剪裂帶通過			

圖 3-42、銅門地區岩芯特徵

表 3-11、岩芯描述紀錄表(T22-BH1 孔)

深度	岩芯描述
0.0-90.0m	黃棕色岩屑及破碎風化之黑色片岩夾綠色片岩偶夾變質砂岩。 普遍呈中至高度破碎。部分深度(7.6m-7.7m、11.2m-11.3m、12.2m-12.3m、14.0 m -14.8 m、15.2 m -15.6 m、16.2 m -16.7 m、18.7 m -19.7 m、21.8 m -22.2 m、26.5 m -26.9 m、31.5 m -31.9 m、32.4 m -33.0 m、35.3 m -35.8 m、48.4 m -49.0 m、49.3 m -51.1 m、56.8 m -57.0 m、58.5 m -59.6 m、60.2 m -61.0 m、69.3 m -69.5 m、77.6 m -77.8 m、83.2 m -85.0 m)破碎夾泥。

表 3-12、岩芯描述紀錄表(T22-BH3 孔)

深度	岩芯描述
0.0-90.0m	黃棕色岩屑及破碎風化之黑色片岩夾綠色片岩偶夾變質砂岩。 普遍呈中至高度破碎。部分深度(16.8 m -17.2 m、23.3 m -24.6 m、25.4 m -26.0 m、28.2 m -29.0 m、29.2 m -29.8 m、30.8 m -32.4 m、34.4 m -34.9 m、35.1 m -35.8 m、36.7 m -37.0 m、39.8 m -40.7 m、41.5 m -42.5 m、43.0 m -43.6 m、43.8 m -45.8 m、46.0 m -46.7 m、48.0 m -48.6 m、49.1 m -49.7 m、50.4 m -50.9 m、51.0 m -68.0 m)破碎夾泥。

四、岩芯 RQD、半定量岩體分級

傳統的岩石品質指標 RQD(Rock Quality Designation)多用來快速評估工程品質，惟本計畫岩芯普遍破碎且夾泥層多，不易於傳統之辨識工作，而根據千木良雅宏等人(2013)表示破碎的岩體其實也可能為構造作用或邊坡滑動所造成，並提出以構造與非構造的岩芯產狀特徵來分級，分級共有六級，包含完整(Intact, I)、開裂(Cracked, C)、裂隙夾泥(Jigsaw-1, J1)、碎塊移動旋轉(Jigsaw-2, J2)、受剪崩解(Disintegrated, D)、粉末化(Pulverized, P) (圖 3-44)，因此本計畫參考千木良法之半定量岩體破碎程度分級方法進行相關判釋，以利進行後續潛在邊坡活動性之探討。

本計畫操作方式針對各鑽孔岩芯以每 10 cm 間距依照表 3-13 進行分級，各鑽孔判釋成果分述如下：

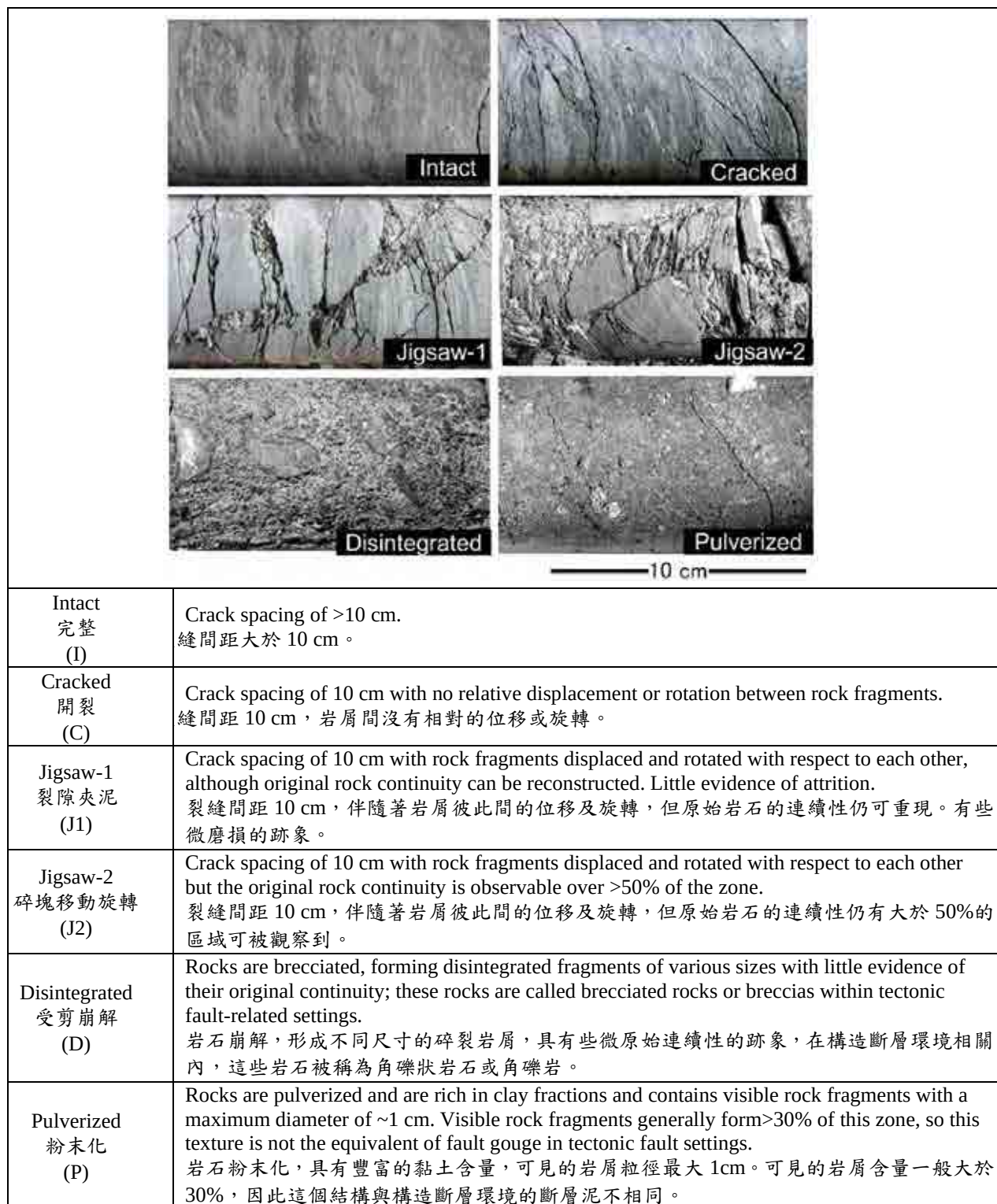
(一) T22-BH1(90m)破碎程度分級

1. **岩石品質指標評分(RQD)：**本計畫 T22-BH1 孔由 RQD 評分結果顯示岩芯普遍為 0~40 %，顯示岩體破碎程度高，局部深度有相對較完整的岩體，RQD 約為 50~100 %，評估結果如圖 3-45 所示。
2. **半定量岩體簡化分級：**根據 T22-BH1 的鑽探岩芯成果進行整體破碎程度分級，整體岩芯分級結果如圖 3-45，深度 49~51 m、53~59 m、80~86 m 處之岩芯產狀判釋為 D、P 兩級，屬 T22-BH1 最為破碎之深度，研判為潛在滑動面。

(二) T22-BH3(90m)破碎程度分級

1. **岩石品質指標評分(RQD)：**本計畫 T22-BH3 孔由 RQD 評分結果顯示岩芯普遍為 0~20 %，顯示岩體破碎程度高，惟於局部深度有相對較完整的岩體，RQD 約為 30~50 %，評估結果如圖 3-46 所示。

2. 半定量岩體簡化分級：根據 T22-BH3 的鑽探岩芯成果進行整體破碎程度分級，整體岩芯分級結果如圖 3-46，深度 59~88 m 之岩芯產狀判釋為 D、P 兩級，屬 T22-BH3 最為破碎之深度，研判為潛在滑動面。



(整理自 Chigira et al., 2013；經濟部地質調查及礦業管理中心，2018)

圖 3-44、岩芯脆性變形程度分類(Chigira et al., 2013)

3.2.5 鑽探期間上下工水位記錄

為能更加瞭解調查區內地下水之分布情形，施鑽過程均每日記錄施鑽進度，及上下工鑽孔內水位變化，除瞭解地下水分布，若水位有較大明顯升降，亦可能研判可能有透水層或半透水層之存在，可提供後續地下水特性綜合分析研判。利用現地資料推估地下水特性，研判成果提供地下水特徵初步參考。關於鑽探過程中含水層及透水層定義，彙整如表 3-14 所示。

表 3-14、含水層及透水層定義

分類	鑽孔內地下水位變化			說明
	地下水位	鑽探當日下工水位 (相較於當日上工水位)	鑽探次日上工水位 (相較於當日下工水位)	
自由含水層	有	上升	略微上升或 無明顯變化	鑽探深度範圍內，鑽孔有地下水補注，地下水之流入量大於或等於流出量，次日上工時地下水位較前日上工及下工水位略微上升或無明顯變化。
半受壓含水層	有	上升	上升	鑽探深度範圍內，鑽孔有地下水補注，地下水之流入量大於流出量，次日上工時地下水位上升且高於前日下工水位。
受壓含水層	有	上升	顯著上升	鑽探深度範圍內，鑽孔有地下水補注，地下水之流入量遠大於流出量，次日上工時地下水位顯著上升。
半透水層	有	下降或 無明顯變化	下降(幅度小) <50%	鑽探深度範圍內，鑽孔之地下水之流入量小於流出量，並於次日上工時地下水位小幅度下降(<50%)。
	有	下降或 無明顯變化	下降(幅度大) >50%或無水	深度範圍岩層，地下水之流入量<地下水之流出量，次日上工水位大幅度下降>50%。
透水層	無 (全透水)	無水	無水	深度範圍岩層，完全漏水，透水性高。
不透水層	-	-	-	介於含水層及透水層介面，分佈範圍須配合岩芯判釋

備註：

- 1.參考改繪於“地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究 共同研究報告書 表解 2-2 孔内水位変化による判定と汲み上げを併用した判定の対比”
- 2.地下水位下降幅度係以地下水位下降深度(翌日上工水位-當日下工水位)和當日總累計鑽探進尺深度之比例。

茲將銅門調查區地下水特性說明如下：

一、T22-BH1：依照鑽探過程中地層含水層及透水性定義，可分為 2 層

- (一) **透水層**：於鑽探過程中，0~83 m 深度範圍內，無量測到上下工水位，顯示此深度範圍岩層，完全漏水，透水性高。
- (二) **半透水層**：於鑽探過程中，33~40 m 深度範圍內，當日下工水位高於次日上工水位，惟次日上工水位僅小幅度下降(< 50 %)，推測鑽孔內之地下水流入量小於流出量。

二、T22-BH3：依照鑽探過程中地層含水層及透水性定義，可分為 3 層

- (一) **透水層**：於鑽探過程中，0~26 m 深度範圍內，無量測到上下工水位，顯示此深度範圍岩層，完全漏水，透水性高。
- (二) **半透水層**：於鑽探過程中，26~40 m 深度範圍內，當日下工水位高於次日上工水位，惟次日上工水位僅小幅度下降(< 50 %)，推測鑽孔內之地下水流入量小於流出量。
- (三) **自由含水層**：於鑽探過程中，40~90 m 深度範圍內，當日下工水位高於次日上工水位，惟次日上工水位高於前一日上工水位，推測鑽孔有地下水補注，地下水之流入量大於或等於流出量。

根據鑽探期間之地下水位記錄顯示，於鑽探過程中，T22-BH3 鑽孔起初無明顯地下水反應，但鑽探深度通過 40 m 深度時則會有上升情形，顯示區域地下水可能存在於此深度範圍之岩層內，且比對岩芯研判釋成果顯示，區域岩層多有破碎且含泥量較高情形，易使得地下水蓄積於岩層內不易消散。後續須持續觀察水位變化情形，供研判計畫區內之地下水位高程參考。

3.2.6 地球物理探勘

利用地電阻影像剖面可探測崩塌地地層構造、斷層位置、岩性分布等資訊，且地電阻探測對於地層中可能含水層分布情形，亦能提供可靠資訊。故本計畫採用地電阻探測之地球物理探測方法，以輔助調查計畫區地質及地下水分布情形。

民國 111 年計畫於銅門地區已掌握頭部區域之材料特性等，然該期地電阻測線因鑽孔調整，原 T23-BH2 鑽孔取消施作，故測線未有通過地質鑽孔，對於地層材料與電性比對之資訊較為不足。故民國 112 年計畫於銅門地區坡腹位置新增地電阻測線 1 條(圖 3-49)，測線長度 550 m，本測線將通過前期 T22-BH3 鑽孔，以比對岩芯材料分層與電性分層之成果，茲將地電阻探測成果說明如下。測線位置如圖 3-49 所示，地電阻施測參數表如表 3-15。

一、 探測原理

其原理係在地表上配置 4 根電極，其中 2 電極為電流極（A 與 B），將直流電通入地下，並用電流計量測電流強度；此時再利用另兩根電位極（M 與 N），量度因電流分佈所造成的電位差，所量測之電位差與通入地下的電流強度、電極間的相對位置及地層的導電性有關；若已知電極之相對位置，而所測得之電流強度為 I 、電位差為 ΔV ，則可計算出地層的電阻率 $\rho_a = K \cdot (\Delta V / I)$ ，如圖 3-50 所示。

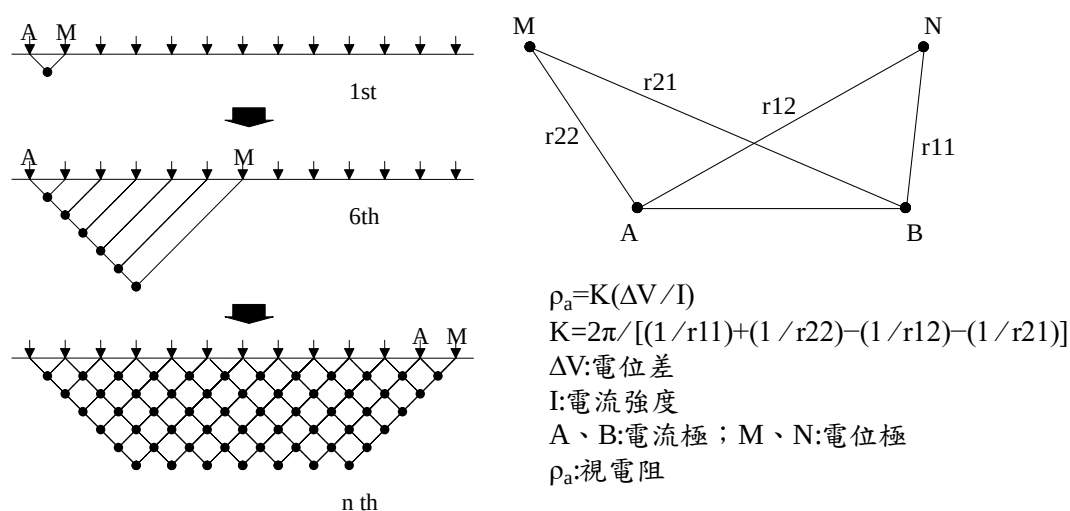


圖 3-50、地電阻探測原理示意圖

K 稱為幾何因子(Geometric Factor)，其與電極排列的相對位置有關； ρ_a 稱為視電阻率(Apparent Resistivity)，通常不代表地層之實際電阻率，而是代表在此種電極排列情形下所有地層電性之綜合效應，電流極展距愈大，其效應相對反應較深地層之電性特性，因此在探測過程中將電流極展距逐次加大，則可逐次獲得由淺至深的地層電阻率反應。而將此一系列之探測資料再經適當的反演算後，就可獲得各地層之真實電阻率。

二、 判釋說明：

由地電阻探測之地層材料電阻率往往會與材料的孔隙率、顆粒形狀、排列、粒徑大小、孔隙水的導電能力及飽和度等參數有直接關係。一般而言地電阻探測成果所呈現之電阻率剖面圖，僅能代表測線範圍內地下材料電阻率大小的相對性，而解釋上則是利用各剖面內之電性分佈，配合現地地質狀況及鑽探成果後進行比對及研判。**圖 3-51** 為不同地層材料之地電阻率分布，惟相同之材料於不同之區域及環境下量測成果差異甚大，研判時仍需配合其他調查成果綜合比對。

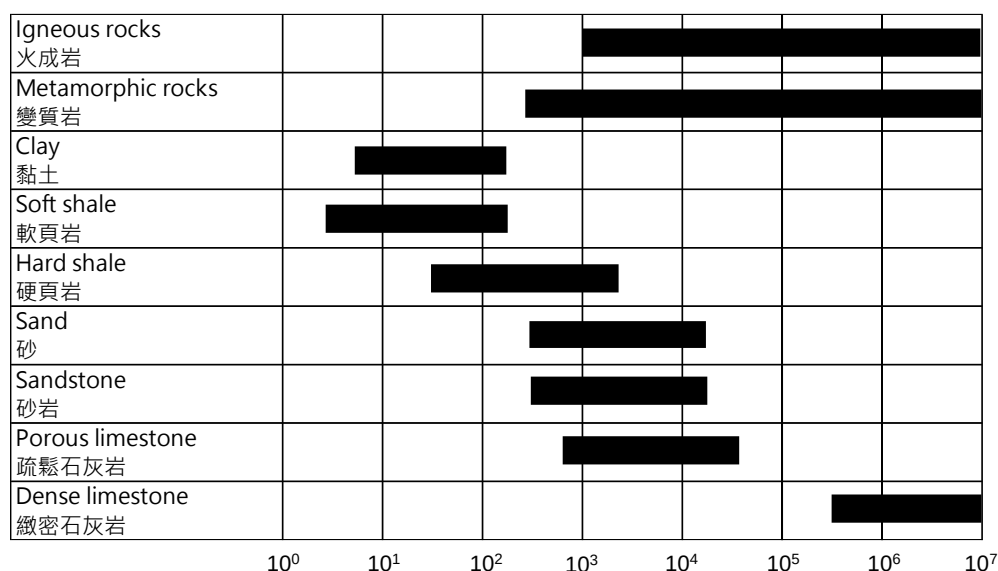


圖 3-51、不同地層材料之地電阻率分布

三、 地電阻探測成果(材料分層)

(一) T22-L1 (550 m)：本測線總長 550 公尺，為橫向坡面佈設之東南→西北向測線，由地電阻成果顯示(**圖 3-52**)地層電性上反應大至可概分為兩層之電性分層，且此剖面整體電阻率偏高，比對鑽探岩心，研判與區域岩體普遍破碎程度較高有關，以下就判釋結果進行說明：

1. **分層 1**：地表至深度 0-5 m 範圍內，地層電阻率普遍為 3,000 Ohm-m 以上，且電性分佈測向連續性不佳、差異甚大，研判此地層材料組成不一且結構鬆散，研判為岩屑材料。

2. 分層 2：深度約 5-10 m 以下範圍，地層電阻率普遍介於 70-2,000 Ohm-m 之間，電性反應側向連續性不佳，於測樁 0-300 m 之間，局部區域呈相對低電阻電性反應，可能與地層材料局部破碎處含泥量較高有關，研判此電性分層為破碎風化岩體。

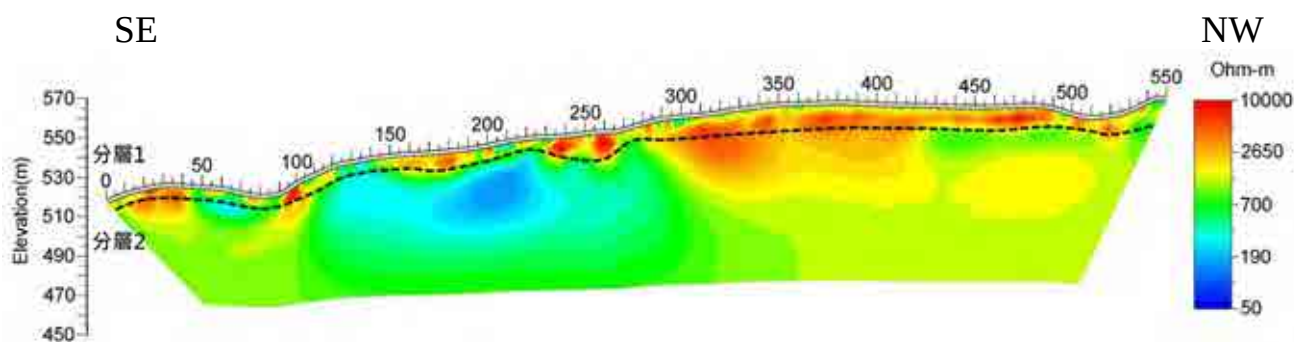


圖 3-52、銅門調查區 T22-L1 測線地電阻探成果

(二) T23-L2 (550 m)：本測線總長 550 m，為橫向坡面佈設之西北→東南向測線，由地電阻成果顯示(圖 3-53)地層電性上反應大至可概分為兩層之電性分層，且此剖面整體電阻率偏高，比對鑽探岩心，研判與區域岩體普遍破碎程度較高有關，以下就判釋結果進行說明：

1. 分層 1：地表至深度 0-5 m 範圍內，地層電阻率普遍為 1,500-3,000 Ohm-m 以上，且電性分佈測向連續性不佳、差異甚大，研判此地層材料組成不一且結構鬆散，推測為岩屑材料。
2. 分層 2：深度約 5-10 m 以下範圍，地層電阻率普遍介於 200-1,500 Ohm-m 之間，電性反應側向連續性不佳，於測樁 0-300 m 之間，局部區域呈相對低電阻電性反應，地層材料局部破碎處含泥量較高有關，比對本計畫 T22-BH3 鑽探岩心研判此電性分層為破碎風化岩體。

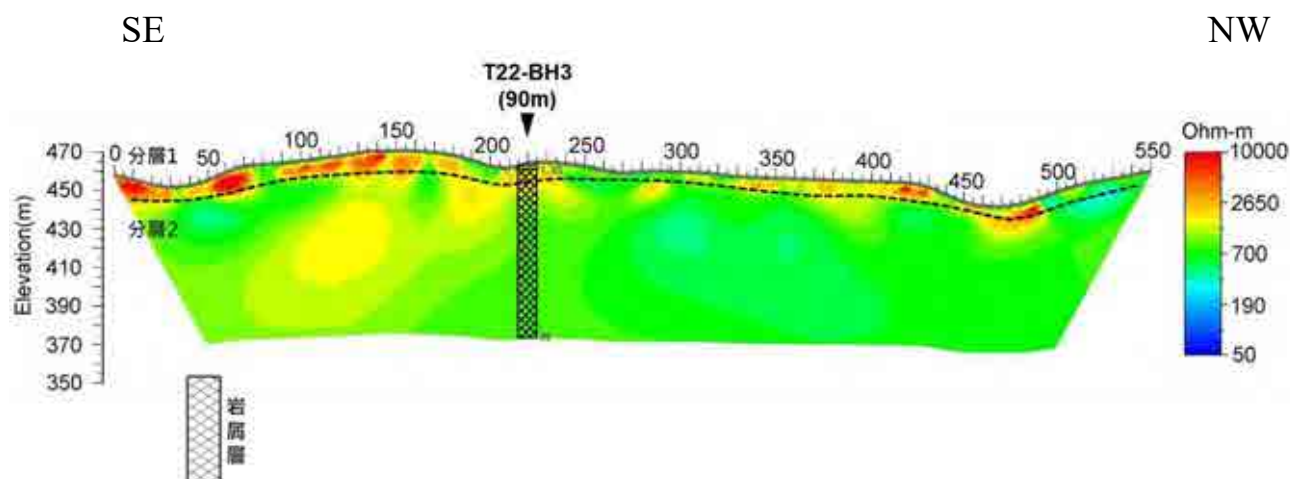


圖 3-53、銅門調查區 T23-L2 測線地電阻探成果

四、地電阻探測成果綜合研判：

兩年度測線地層電性上均可概分出兩層之電性分層(表 3-16)，經比對鑽探岩心成果，於電性分層 1 之鑽孔之電性反應相當，比對鑽探岩心研判為岩屑材料；電性分層 2 之電性分佈側向連續性相對較佳，且電阻率較高，可能顯示區域地層材料破碎程度較高，而局部區域有低電阻電性反應，可能反應地層材料於局部深度有夾泥情形所導致。然考量電阻率剖面成果會受地層材料的多項參數綜合影響而有電性上之變化，故為釐清調查區內之低電阻訊號是否反應為夾泥情形亦或是受地下水影響而產生之電性反應，配合後續地下水監測成果再作進一步研判。

表 3-16、銅門地區電性分層與岩芯比對成果

電性分層	材料分層	鑽孔編號	岩心	材料特性	電性反應
分層 1	岩屑材料	T22-BH3		岩屑及土壤夾雜岩塊	電性分佈側向連續性不佳且差異甚大
分層 2	破碎風化岩體	T22-BH3		材料破碎破碎程度高	電性分佈側向連續性相對較佳，且電阻率較高
				局部深度含泥量高	局部區域呈相對低電阻電性反應

第三節 相關單位觀測成果蒐集及彙整

經蒐集相關資料，銅門地區曾有台灣電力公司於區域內電塔周圍進行傾斜觀測管及地下水位觀測(2020 年)、農業部農村發展及水土保持署針對大範圍潛勢區進行 In-SAR 分析(2007~2024 年間資料)，彙整各單位儀器數量如表 3-17 所示，位置如圖 3-41 所示。依序說明地表 In-SAR 及地中傾斜觀測管觀測成果如後。

一、In-SAR 分析(合成孔內雷達衛星影像分析)

農業部農村發展及水土保持署於 2015~2024 年另案辦理相關計畫進行合成孔內雷達衛星影像分析，利用日本 ALOS 衛星於 2007~2011 年(涵蓋 2009 年 8 月莫拉克颱風前後)，及 ALOS-2 衛星於 2015~2024 年間之合成孔徑雷達衛星影像，配合時域相關點雷達干涉法(Temporarily Coherent Point SAR Interferometry，TCP-InSAR)技術，分析全臺潛在崩塌邊坡活動性。

由 TCP-InSAR 地表長期變形量成果顯示(表 3-18、圖 3-54)(沿坡面方向)，2015-2020 年 ALOS-2 期程其邊坡滑移總量為-1100.0 mm/yr、滑移總點數為 295 點、滑移平均量為-3.8 mm/yr，TCP-InSAR 活動度評估為「低」。2020-2021 年 ALOS-2 期程其邊坡滑移總量為-2151.2 mm/yr、滑移總點數為 372 點、滑移平均量為-5.8 mm/yr，TCP-InSAR 活動度評估為「低」。2022-2023 年 ALOS-2 期程其邊坡滑移總量為-5137.5 mm/yr、滑移總點數為 334 點、滑移平均量為-15.4 mm/yr，TCP-InSAR 活動度評估為「中」。由 TCP-InSAR 成果顯示近期邊坡活動性略有上升情形。

此外由 In-SAR 地表分析結果套繪本計畫之地表線形，顯示區域中顯著地貌變異處大致可與蝕溝線形相互匹配，於蝕溝上游處地表變形普遍呈現下降趨勢，顯示溝谷應有刷深情形，於蝕溝側崖處亦可能有小範圍之局部崩塌發生，而後材料再向下運輸，至蝕溝中、下游處堆積，如圖 3-55 所示。

二、地下水位監測

本電塔位於銅門發電廠南側山區(圖 3-49)，相當於 L1 滑動塊體之坡趾處，並鄰近土石流潛勢溪流 DF-010。由台電公司 13 號鐵塔所裝設水位觀測井觀測成果顯示，於 110 年 07 月至 111 年 03 月監測期間，水位觀測井均無量測到地下水，常時水位均位於地表 30m (本鑽孔深度)以下，且豪大雨後之地下水仍無明顯變化。

三、傾斜觀測管監測成果

本電塔位於銅門發電廠南側山區(圖 3-49)，相當於 L1 滑動塊體之坡趾處，並鄰近土石流潛勢溪流 DF-010。由台電公司 13 號鐵塔傾斜管監測成果顯示(圖 3-56)，於 110 年 07 月至 111 年 03 月監測期間傾斜管之 A 向與 B 向最大位移量均小於 1 公分，且無朝一定方向位移之趨勢。

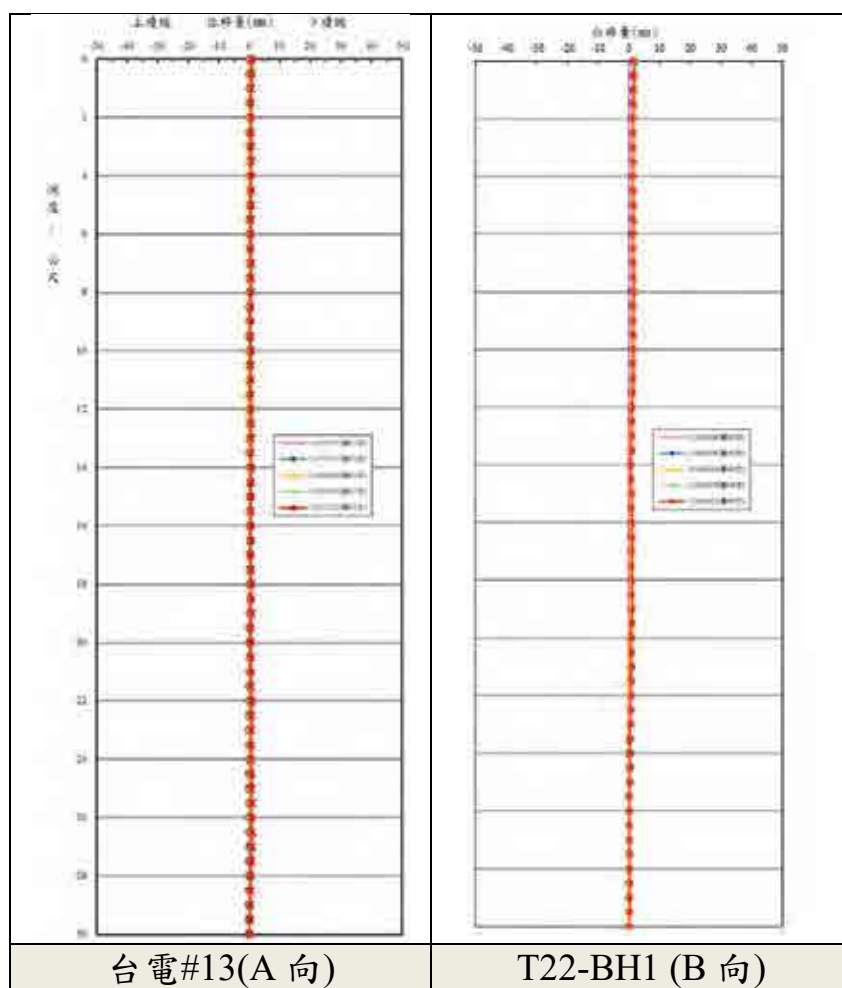


圖 3-56、台電#13 鐵塔傾斜管觀測成果

第四節 崩塌安全監測系統觀測儀器安裝與觀測

期中階段彙整各監測儀器資料至 2025 年 6 月 10 日，各監測項目、監測頻率及成果說明如下：

3.4.1 觀測儀器安裝及監測項目

本計畫監測儀器主要包括傾斜管兼水位井、電子式水壓計、雙軸傾斜計、自動化即時影像監控系統及雙頻 GNSS 衛星定位觀測站，各監測項目數量及量測目的說明如下，監測儀器平面配置圖詳圖 3-57。監測儀器數量及現場狀況詳表 3-19。

一、傾斜觀測管(既有監測儀器持續觀測)

傾斜管量測方式係藉由雙軸傾斜感測器，量測地層各深度之水平變化量，進而研判邊坡滑動型態、滑動深度及滑動速率等資料。銅門調查區既有裝設 2 孔傾斜管(T22-BH1、T22-BH3)，將依前期位置持續觀測。

二、水位觀測井(既有監測儀器持續觀測)

水位觀測井量測目的，為瞭解調查區地下水位之昇降情形。調查區既有裝設之傾斜管，皆有開孔兼水位井使用，合計可供地下水位量測之觀測孔為 2 孔(T22-BH1、T22-BH3)，將依前期位置持續觀測。

三、電子式水壓計(既有監測儀器持續觀測)

根據前期監測成果顯示，銅門調查區既有觀測孔於降雨期間地下水位具明顯昇降變化，故本計畫依既有鑽孔位置配置全自動化電子式水壓計 2 支(T22-BH1、T22-BH2 孔)，持續觀測地下水位。

四、全自動化雙頻 GNSS 衛星定位觀測(既有監測儀器持續觀測)

前期計畫於銅門部落設置基站 1 組，並針對上邊坡 S1、S2 及 S3 潛在滑動區域，建置觀測站 5 組(T23-G1、T23-G2、T23-G3、T23-G4、T24-G5)，以獲得連續地表變位資料以追蹤邊坡活動性。

五、全自動化雙軸傾斜計(既有監測儀器持續觀測)

銅門調查區於坡面農路安裝 T22-TI1 及 T22-TI2 兩組半自動雙軸傾斜計，可針對 S2 及 S3 潛在滑動區域地表構造物傾斜變化進行即時自動化監測，本計畫將依前期位置裝設全自動監測儀器持續觀測。

六、自動化即時影像監控系統(既有監測儀器持續觀測)

考量調查區緊鄰銅門聚落，故於銅門聚落設置自動化即時影像監控系統 1 組，並朝邊坡方向拍攝，以配合區內其他監測儀器即時掌握邊坡及保全對象現況。

表 3-19、銅門調查區監測儀器數量及現場狀況說明

儀器名稱		儀器編號	孔深(m)	儀器狀況【註 1】	儀器數量	量測方式【註 2】	安裝日期	目的
傾斜觀測管兼水位觀測井		T22-BH1	90	V	2 孔	手動	2022 年 7 月	・ 掌握坡腹滑動深度 ・ 掌握邊坡地下水變化
		T22-BH3	90	V				
電子式水壓計		T24-W1	-	V	2 處	全自動	2024 年 5 月	掌握 S2 潛在崩塌範圍地下水變化情形
		T24-W2	-					掌握 S3 潛在崩塌範圍地下水變化情形
雙軸傾斜計		T22-TI1	-	V	2 站	全自動	2023 年 6 月	設置於坡腹之農路，掌握 S2 及 S3 潛在崩塌範圍活動性
		T22-TI2	-	V				
自動化即時影像監控系統 (CCD 攝影機)		T23-CCD1	-	V	1 站	全自動		設置於銅門聚落朝邊坡拍攝，以即時掌握邊坡及保全對象現況
雙頻 GNSS	基站	T23-G0	-	V	6 站	全自動		基站，設置於銅門辦公處前廣場
	觀測站	T23-G1	-	V				監測地表變形，設置於 S2 潛在崩塌範圍下方崩崖處
		T23-G2	-	V				監測地表變形，設置於 S3 潛在崩塌範圍下邊坡
		T23-G3	-	V				監測地表變形，設置於 S3 潛在崩塌範圍坡腹位置
		T23-G4	-	V				監測地表變形，設置於 S2 潛在崩塌範圍上邊坡
		T24-G5	-	V				2024 年 5 月

【註1】 V 為正常觀測；X 為停止觀測。
【註2】 手動：114 年，共執行 6 次。
全自動：每 10 分鐘記讀一次資料，資料自動上傳雲端系統。

3.4.2 監測頻率

本計畫之監測資料蒐集及分析，包括手動觀測儀器及自動化觀測儀器兩種類型，分述說明如下：

一、手動觀測儀器

包含傾斜觀測管與水位觀測井量測，銅門、溪頭及高山調查區於計畫期間各區每年執行 6 次，原則防汛期前量測 1 次(1 月至 4 月)，於汛期期間每兩個月量測 1 次(5 月至 11 月)，並視地震(震度 5 強以上)或颱風豪雨事件，進行加密觀測 1 次(本計畫預計 3 月、5 月、7 月、9 月、10 月、11 月執行)。本工作階段所進行之監測執行時程統計詳表 3-20。

二、全自動化儀器

電子式水位計、雙頻 GNSS、雙軸傾斜計、地表伸縮計設定為每 10 分鐘記錄 1 次，以記錄連續變化資料。

表 3-20、銅門調查區手動觀測時程

計畫 期程	監測日期	時程	備註
前期計畫 111 年度	2022.08.18	第 1 次手動監測	2022/09/18：震度 4 級
	2022.10.03	第 2 次手動監測	-
前期計畫 112 年度	2023.03.04	第 1 次手動監測	含儀器檢測
	2023.05.11	第 2 次手動監測	-
	2023.07.12	第 3 次手動監測	2023/7/26：杜蘇芮颱風
	2023.08.09	第 4 次手動監測	2023/08/30 蘇拉颱風
	2023.09.12	第 5 次手動監測	2023/9/3 海葵颱風
	2023.11.15	第 6 次手動監測	-
前期計畫 113 年	2024.04.10	第 1 次手動監測	2024/04/03 震度：5 強
	2024.05.23	第 2 次手動監測	-
	2024.07.19	第 3 次手動監測	2024/7/24 凱米颱風
	2024.10.05	第 4 次手動監測	2024/9/30 山陀兒颱風
	2024.10.17	第 5 次手動監測	2024/10/31 康芮颱風
	2024.11.14	第 6 次手動監測	-
本計畫 113 年	2025.03.26	第 1 次手動監測	-
	2025.05.14	第 2 次手動監測	-
	2025.07.24	第 3 次手動監測	2025/7/18 薇帕颱風
	2025.09.09	第 4 次手動監測	2025/9/23 樺加沙颱風
	2025.10.22	第 5 次手動監測	-
	2025 年 11 月	第 6 次手動監測	-

3.4.3 監測成果

期末階段彙整各監測儀器資料至 2025 年 11 月，茲整理該期間各項監測成果說明如下。

一、降雨量監測

本計畫降雨量係依據銅門雨量站(編號:C1Z130)資料進行蒐集及分析，由資料顯示本監測期間發生 4 起特殊降雨事件，於 2025 年 6 月 12 日發生大雨事件，事件累積雨量 103.5 mm，最大時雨量 23.5 mm；於 2025 年 7 月 18 日遭遇薇帕颱風事件，事件累積雨量 357.5 mm，最大日累積雨量 282.0 mm，最大時雨量 56.5 mm；於 2025 年 9 月 22 日遭遇樺加沙颱風事件，事件累積雨量 667.0 mm，最大日累積雨量 398.0 mm，最大時雨量 53.0 mm；於 2025 年 11 月 10 日遭遇鳳凰颱風事件，事件累積雨量 185.0 mm，最大日累積雨量 85.0 mm，最大時雨量 13.5 mm，惟 4 起事件均未有造成計畫範圍災害情事之事件發生，而其餘期間降雨情形相對較不顯著，後續持續資料蒐集及觀察中。降雨量監測成果詳圖 3-58 所示。

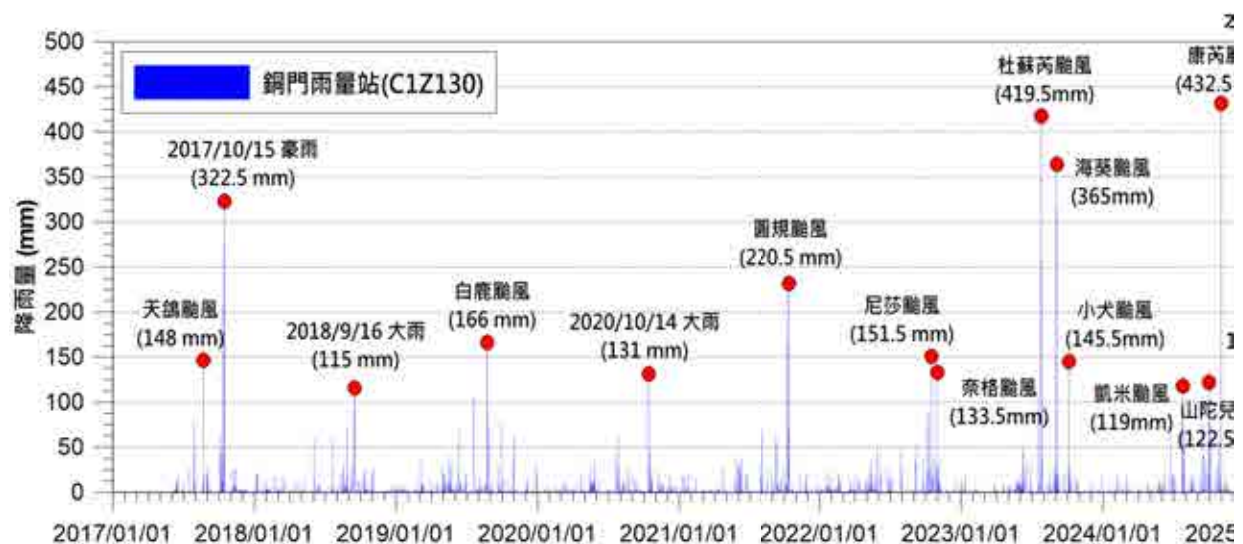


圖 3-58、銅門調查區本監測期間之降雨量監測成果圖

二、地下水位監測

本計畫區於 2022 年 7 月設置 T22-BH1 及 T22-BH3 共 2 孔傾斜管兼水位井，並於兩鑽孔內置自記式水壓計，以半自動方式記錄連續地下水位，掌握降雨期間地下水位昇降情形。本計畫考量提升區域預警防災能力，將既有鑽孔之半自動自記式水壓計改設為全自動化電子式水壓計 2 支 (T24-W1、T24-W2 孔)，持續觀測地下水位。新增監測儀器於 113 年 5 月 16 日完成安裝工作。地下水位監測成果詳圖 3-59 所示。

本監測期間地下水位於特殊降雨事件期間有顯著昇降變化情形，各孔鑽地下水位於降雨期間升降幅度約 9.59 m~11.51 m 之間。此外由歷史降雨事件觀測成果顯示，區域最大水位上升幅度分別可達 12.26 m 及 9.05 m，且於降雨事件結束後水位隨即大幅度下降，並於 7 日內回復常時水位，後續持續追蹤地下水位變化。

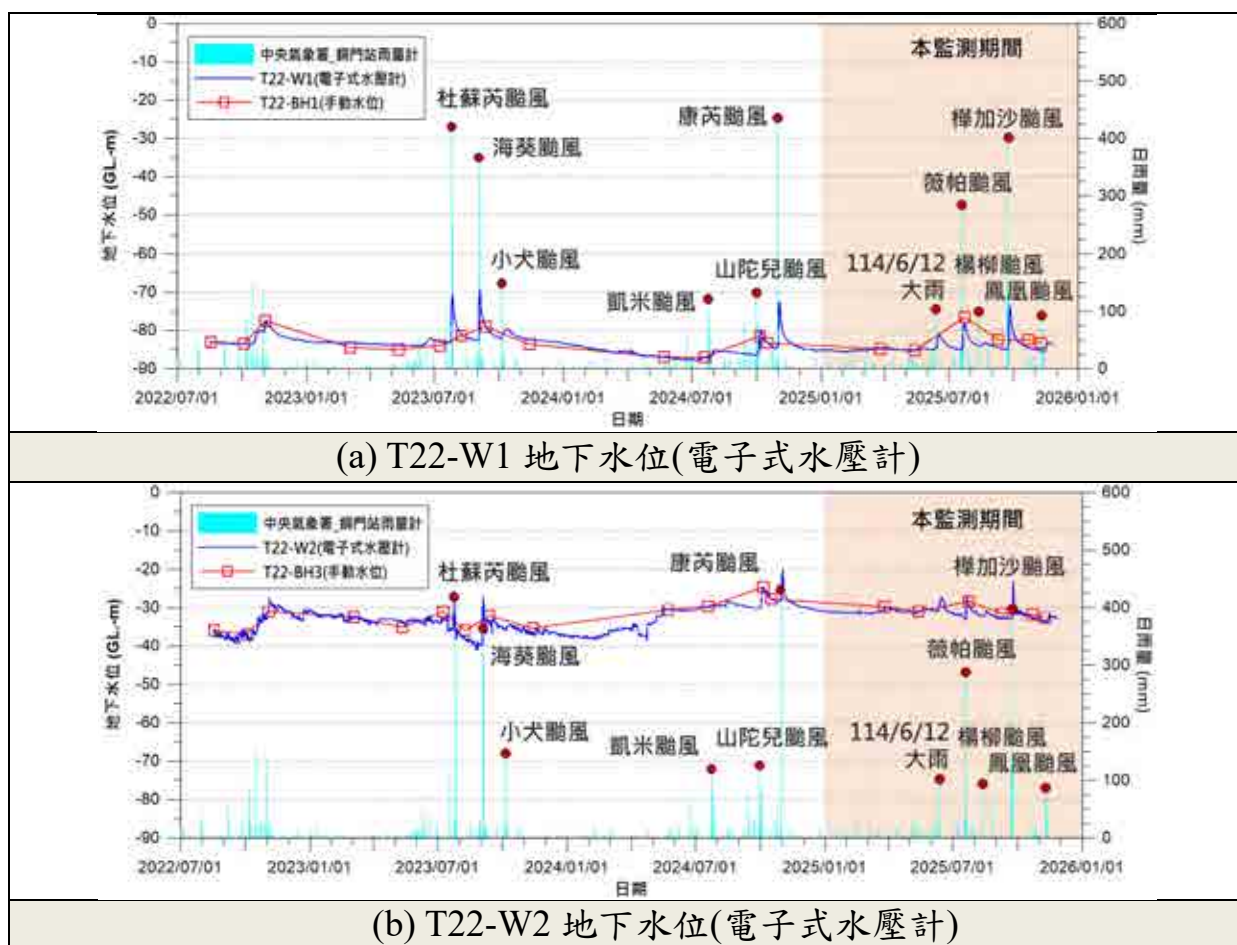


圖 3-59、銅門調查區地下水位量測成果

三、傾斜觀測管監測成果

本期計畫設置 T22-BH1 及 T22-BH3，共 2 孔傾斜管，於 2022 年 8 月 18 日完成初值建立。茲將各區傾斜觀測管曲線變化情形說明如下，監測儀器平面圖詳圖 3-57，本調查區各傾斜觀測管量測成果詳圖 3-60 及附錄 2。

民國 113 年 4 月因 0403 強震事件影響，T22-BH1 及 T22-BH3 孔均有變位情形發生，累積變化量分別為 2.69 cm 及 1.93 cm。本年度監測期間 T22-BH1 孔累積變化量達 2.77 cm；T22-BH3 孔累積位移量約 1.86 cm，監測儀器均未有持續變位趨勢，且檢視現場情形未有發現明顯不穩定表徵，鄰近其他監測儀器亦無明顯變化，研判邊坡應無不穩定情形，應持續觀察及追蹤。各傾斜觀測管孔口累積位移變位如圖 3-61(a)、日變化如圖 3-61(b)、快速累積變化(七日累積變化)如圖 3-61(c)、月累積變化如圖 3-61(d)所示

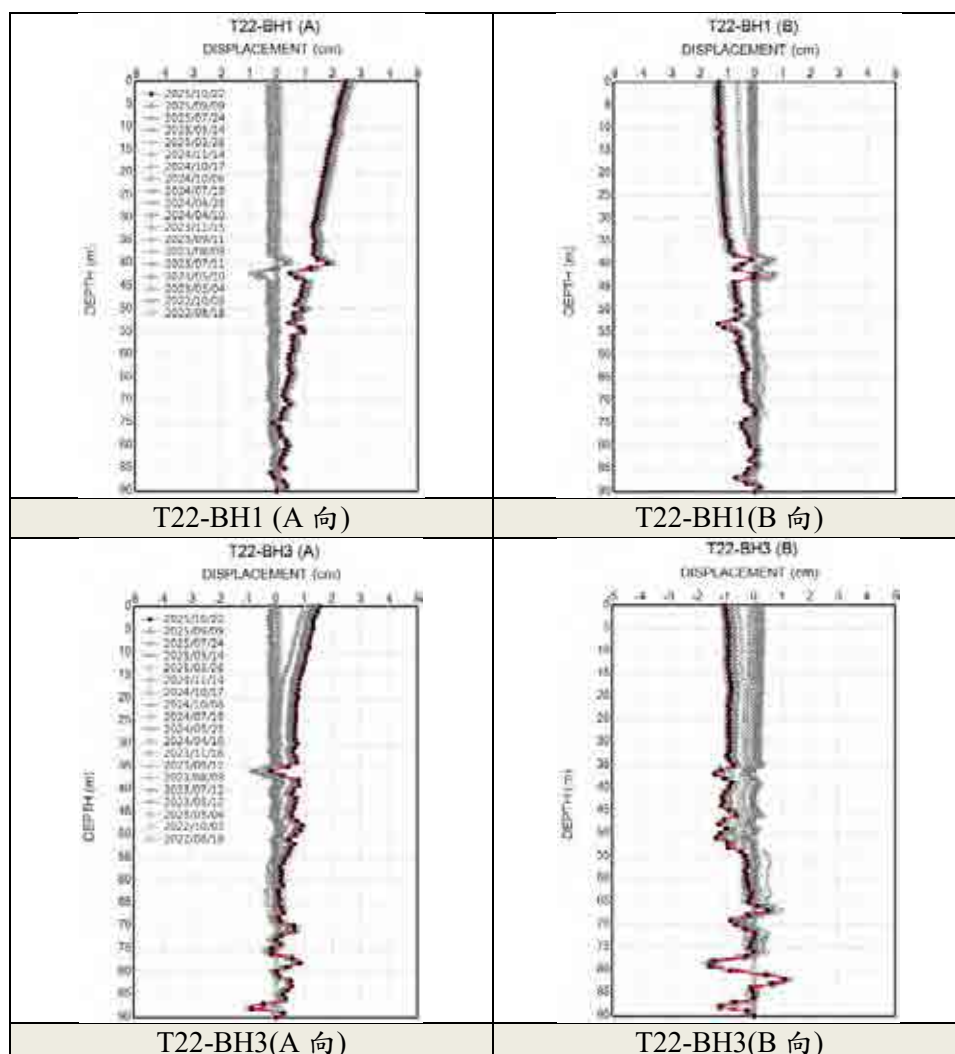


圖 3-60、銅門調查區傾斜管觀測成果

表 3-21、傾斜觀測管孔口位移統計表

傾斜管 編號	初值量測 日期	A 方向孔口位移量(主要滑動方向)			B 方向孔口位移量(垂直主要滑動方向)		
		量測成果(cm)	位移增量(cm)	位移速率(cm/日)	量測成果(cm)	位移增量(cm)	位移速率(cm/日)
T22-BH1	2022/8/18	0.00	-	-	0.00	-	-
	2022/10/3	0.14	0.14	0.00	-0.12	-0.12	0.00
	2023/3/4	-0.18	-0.32	0.00	-0.13	0.02	0.00
	2023/5/10	-0.10	0.08	0.00	-0.19	-0.07	0.00
	2023/7/11	-0.32	-0.22	0.00	-0.08	0.12	0.00
	2023/8/9	-0.30	0.02	0.00	-0.08	0.00	0.00
	2023/9/12	-0.28	0.02	0.00	0.02	0.11	0.00
	2023/11/15	0.05	0.33	0.01	-0.18	-0.20	0.00
	2024/4/10	2.39	2.34	0.02	-1.03	-0.86	-0.01
	2024/5/23	2.66	0.27	0.01	-1.15	-0.12	0.00
	2024/7/19	2.53	-0.13	0.00	-0.60	0.56	0.01
	2024/10/5	2.73	0.2	0.00	-1.34	-0.74	0.00
	2024/10/17	2.66	-0.07	0.00	-1.29	0.05	0.00
	2024/11/14	2.37	-0.28	-0.01	-1.25	0.04	0.00
	2025/3/26	2.38	0.01	0.00	-1.25	0.00	0.00
	2025/5/14	2.53	0.15	0.00	-1.45	-0.19	0.00
	2025/7/24	2.54	0.01	0.00	-1.32	0.13	0.00
	2025/9/9	2.51	-0.03	0.00	-1.30	0.02	0.00
	2025/10/22	2.46	-0.05	0.00	-1.28	0.02	0.00
	2025/11/9	2.69	0.23	0.01	-1.38	-0.09	-0.01

表 3-22、傾斜觀測管孔口位移統計表(續)

傾斜管 編號	初值量測 日期	A 方向孔口位移量(主要滑動方向)			B 方向孔口位移量(垂直主要滑動方向)		
		量測成果(cm)	位移增量(cm)	位移速率(cm/日)	量測成果(cm)	位移增量(cm)	位移速率(cm/日)
T22-BH3	2022/8/18	0.00	-	-	0.00	-	-
	2022/10/3	0.14	0.14	0.00	-0.02	-0.02	0.00
	2023/3/4	-0.07	-0.20	0.00	0.11	0.14	0.00
	2023/5/10	-0.18	-0.11	0.00	0.18	0.07	0.00
	2023/7/11	-0.21	-0.04	0.00	0.29	0.11	0.00
	2023/8/9	-0.27	-0.05	0.00	0.16	-0.12	0.00
	2023/9/12	-0.16	0.11	0.00	0.33	0.17	0.00
	2023/11/15	-0.01	0.15	0.00	0.06	-0.27	0.00
	2024/4/10	1.17	0.18	0.01	-0.79	-0.84	-0.01
	2024/5/23	1.17	0.00	0.00	-0.82	-0.03	0.00
	2024/7/19	1.54	-0.65	0.01	-0.65	0.18	0.00
	2024/10/5	1.42	-0.12	0.00	-1.06	-0.42	0.00
	2024/10/17	1.29	-0.12	0.00	-1.07	-0.01	0.00
	2024/11/14	1.50	0.21	0.01	-1.21	-0.13	0.00
	2025/3/26	1.14	-0.37	0.00	0.04	1.26	0.01
	2025/5/14	1.00	-0.14	0.00	-1.14	-1.19	-0.02
	2025/7/24	1.28	0.28	0.00	-1.12	0.02	0.00
	2025/9/9	1.49	0.20	0.00	-1.13	-0.01	0.00
	2025/10/22	1.55	0.07	0.00	-1.02	0.12	0.00
	2025/11/9	1.55	-0.01	0.00	-0.99	0.03	0.00

四、雙軸傾斜計監測成果

銅門地區於 2022 年 6 月新設置半自動雙軸式傾斜計，並於 2023 年依契約更換為全自動化監測，共計 2 組，編號 T22-TI1 及 T22-TI2，裝設於 S2 及 S3 潛在滑動塊體內，針對地表構造物傾斜變化進行即時自動化監測。

本監測期間 T22-TI1 無明顯傾斜趨勢發生，且未有達管理值情形，A、B 向累積變化分別為 $348.90s(0.10^{\circ})$ 、 $-1429.87s(-0.40^{\circ})$ 。T22-TI1 累積其監測成果如圖 3-62 (a)、日變化如圖 3-62 (b)、快速累積變化(七日累積變化)如圖 3-62 (c)、月累積變化如圖 3-62 (d)所示。

T22-TI2 於本監測期間無明顯傾斜趨勢發生，未有達管理值情形，其 A、B 向累積變化分別為 $48.29s(0.01^{\circ})$ 、 $759.32s(0.21^{\circ})$ 。T22-TI2 累積其監測成果如圖 3-63 (a)、日變化如圖 3-63 (b)、快速累積變化(七日累積變化)如圖 3-63(c)、月累積變化如圖 3-63 (d)所示。



照片 1、雙軸傾斜計(T22-TI1)



照片 2、雙軸傾斜計(T22-TI2)



照片 3、T22-TI1 更換為全自動化監測



照片 4、T22-TI2 更換為全自動化監測

五、雙頻 GNSS 衛星定位觀測

本計畫 GNSS 衛星定位觀測，採用自動化方式進行監測，以掌握地表位移情形。GNSS 係在地面觀測點放置接收器，透過接收人造衛星所發出的訊號，解算該點三度空間坐標，當邊坡產生位移，該點坐標也將隨之改變，藉以觀測邊坡活躍性。

(一) 解算策略、分析方法及精度概估

受衛星軌道誤差、時鐘誤差、大氣誤差(電離層及對流層延遲)、多路徑效應、通訊等因素影響，將可能使 GNSS 觀測結果誤差達數公尺級，不利觀測上之應用。為克服此問題，本計畫於潛勢區外設置 1 處實體基站，利用差分定位原理進行解算，一般可使得誤差降至公分級，從而獲較佳觀測成果。除設置實體基站外，根據本計畫團隊對於 GNSS 之瞭解，欲取得較佳之 GNSS 解算成果，GNSS 位置選擇尚有以下重要原則：

1. GNSS 站上空需開闊，並遠離電塔、電桿等干擾源。
2. 基站與觀測站距離越近、高差越小，解算精度越佳。
3. 基站須在滑動範圍(大規模崩塌潛勢區)以外的穩定位置，本計畫參考既有地質資料，避開地質災害潛勢區。

現場資料設定原則設定為每秒持續接收，原始資料回傳至後端伺服器後，每 24 小時解算一筆資料期以獲得精度較佳之解算成果。另外，配合農業部農村發展及水土保持署「大規模崩塌監測資料規範」規定 GNSS 回傳頻率為 10 分鐘 1 次，則再以移動窗格法(moving window)，收錄近 24 小時資料，每 10 分鐘解算一次。GNSS 原始觀測資料之解算流程如圖 3-64，解算週期及時間基線如圖 3-65 所示。

(二) 現場安裝情形

銅門調查區內已於完成 5 處 GNSS 觀測站(移動站)及 1 處基站(參考站)，並依規定上傳大規模崩塌整合系統，現場儀器照片如圖 3-66。

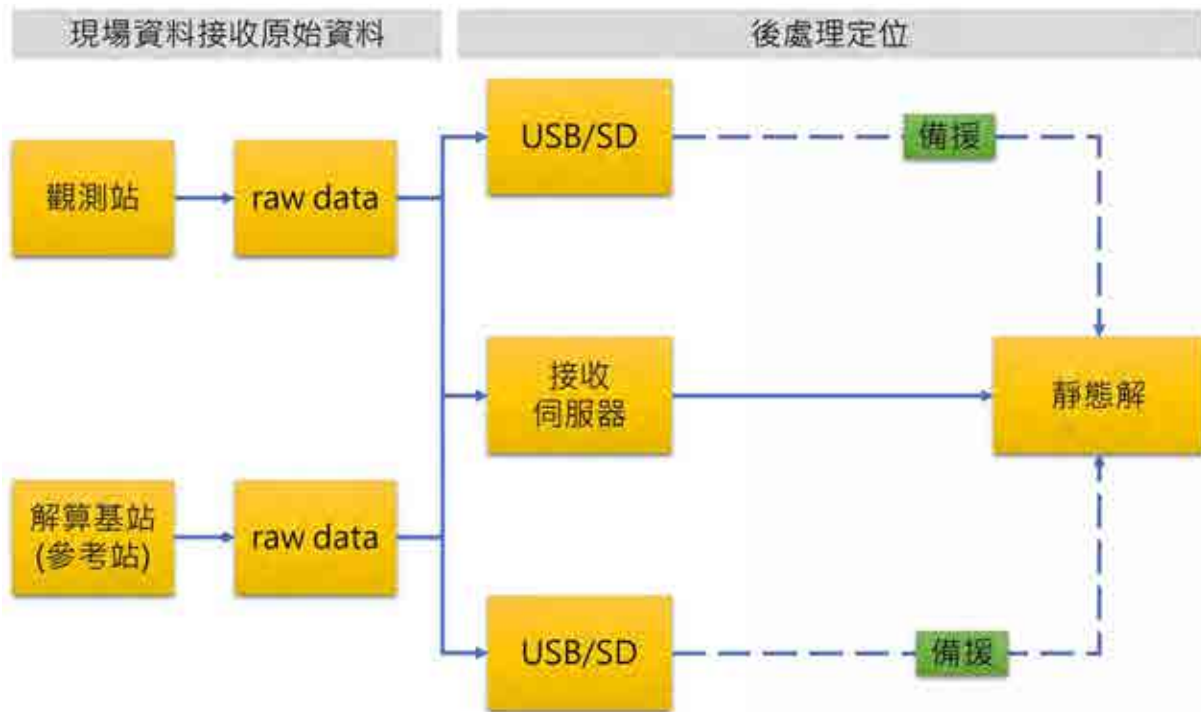


圖 3-64、GNSS 原始觀測資料之解算流程

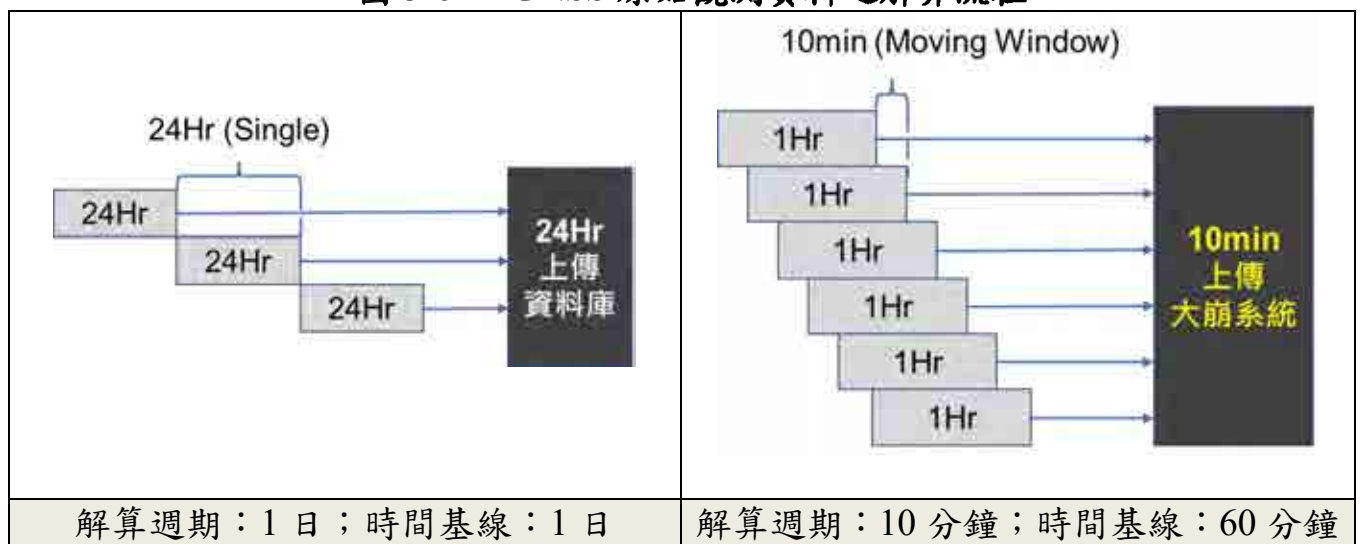


圖 3-65、GNSS 原始觀測資料之解算週期及時間基線

(三) 雙頻 GNSS 衛星定位觀測成果

銅門地區共計 5 處 GNSS，包含 T23-G1、T23-G2、T23-G3、T23-G4 及 T24-G5 等。0423 強震事件 T23-G2~T23-G4 測站略有瞬間位移情形，惟變位量尚小，未達管理值，且事件後變位情形隨即趨緩，研判邊坡應暫無不穩定情形。目前期間各測站於 0403 強震事件後略有長期位移趨勢，各測站之位移方向大致與蝕溝分布有關，初步檢視測站之現場狀況，區域未有發現明顯之異常表徵，此外比對鄰近之傾斜觀測管監測成果(T22-BH1、T22-BH3 孔)，邊坡亦無明顯變位情形，故研判邊坡應暫無明顯異常狀況，後續持續追蹤中。二維合變位量成果如圖 3-67。GNSS 成果如圖 3-67~圖 3-87，說明如下：

1. **T23-G1 GNSS**：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-4.6~27.1 mm 及-3.0~19.6 mm、-45.2~10.0 mm 內，二維合變位量約 31.0 mm，三維合變位量約 51.1 mm。
2. **T23-G2 GNSS**：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-1.6~42.1 mm 及-14.2~18.5 mm 內、-24.6~18.5 mm，二維合變位量約 44.9 mm，三維合變位量約 46.4 mm。
3. **T23-G3 GNSS**：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約 0.0~77.7 mm、-14.2~13.2 mm 及-41.5~18.4 mm 內，二維合變位量約 77.7 mm，三維合變位量約 79.5 mm。
4. **T23-G4 GNSS**：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-0.6~44.7 mm、-4.8~22.8 mm 及-24.7~22.1 mm 內，二維合變位量約 49.3 mm，三維合變位量約 53.3 mm。
5. **T24-G5 GNSS**：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-2.2~8.5 mm、-1.0~24.2 mm 及-26.7~1.4 mm 內，二維合變位量約 25.2 mm，三維合變位量約 33.5 mm。

3.4.4 銅門地區監測成果小結

本次監測資料蒐集期間為 2025 年 1 月至 2025 年 11 月。綜合本階段監測成果彙整如下。各監測儀器於特殊降雨事件下成果彙整表，詳表 3-23 所示。

- 一、**降雨量監測成果**，本監測期間共發生 4 起特殊降雨事件：參考氣象署銅門雨量站資料顯示，於 2025 年 6 月 12 日發生大雨事件、2025 年 7 月 18 日遭遇薇帕颱風、2025 年 9 月 22 日遭遇樺加沙颱風事件及 2025 年 11 月 10 日遭遇鳳凰颱風事件，四起事件均未有造成計畫範圍災害情事之事件發生，而其餘期間降雨情形相對較不顯著，後續持續資料蒐集及觀察中。
- 二、**地下水位監測成果**，特殊降雨期間地下水位有昇降變化情形：由歷史監測成果顯示，區域常時地下水位於岩屑層間，於特殊降雨事件約有 9~12 m 的上升情形，並於事件結束後水位隨即大幅度下降，於 7 日內回復常時水位。
- 三、**雙軸傾斜計監測成果**，本監測期間邊坡無明顯傾斜變化：本監測期間內，T22-TI1 及 T22-TI2 均無明顯傾斜趨勢發生。T22-TI1 其 A、B 向累積變化分別為 $351.49s(0.10^\circ)$ 、 $-1365.07s(-0.38^\circ)$ ；T22-TI2 則為 $53.47s(0.01^\circ)$ 、 $751.54s(0.21^\circ)$ ，後續持續觀測其活動性變化。
- 四、**雙頻 GNSS 衛星定位觀測成果**，本監測期間各測站略有長期位移趨勢，且位移方向與蝕溝分布有關：0423 強震事件 T23-G2~T23-G4 測站略有瞬間位移情形，惟變位量尚小，未達管理值，且事件後變位情形隨即趨緩，研判邊坡應暫無不穩定情形。目前期間各測站略有長期位移趨勢，各測站之位移方向大致與蝕溝分布有關，初步檢視測站之現場狀況，區域未有發現明顯之異常表徵，此外比對鄰近之傾斜觀測管監測成果(T22-BH1、T22-BH3 孔)，邊坡亦無明顯變位情形，故研判邊坡應暫無明顯異常狀況，後續持續追蹤中。

五、 **傾斜觀測管監測成果**，本監測期間邊坡無明顯變位趨勢：前期監測期間受 0403 強震事件影響，T22-BH1 及 T22-BH3 孔均有變位情形發生，累積變化量分別為 2.69 cm 及 1.93 cm。本年度監測期間 T22-BH1 孔累積變化量達 3.02 cm；T22-BH3 孔累積位移量約 1.83 cm，均未有持續變位趨勢，且檢視現場情形未有發現明顯不穩定表徵，鄰近其他監測儀器亦無明顯變化，研判邊坡應無不穩定情形，應持續觀察及追蹤。

六、 **CCD 攝影機**，本監測期間邊坡無明顯異常情形：本監測期間由現場攝影機影像顯示，調查區邊坡並無顯著位移情形。

表 3-23、銅門地區於特殊降雨事件下監測儀器成果彙整表

項次	監測項目		儀器編號	歐菲莉颱風	尼莎颱風	奈格颱風	杜蘇芮颱風	海葵颱風	小犬颱風	地震(5 強)	凱米颱風	山陀兒颱風	康芮颱風	
				1990/6/21	2022/10/15	2022/10/31	2023/7/25	2023/9/3	2023/10/05	2024/04/03	2024/7/23	2024/9/30	2024/10/31	
1	雨量計	降雨時數 (hr)	銅門站 C1Z130	-	25	32	64	47	31	-	57	96	27	
2		累積雨量 (mm)		503	168.0	164.5	738.0	683.5	166.5	-	217.5	298.0	440.5	
3		臨前 5 日雨量 (mm)		-	29.0	54.0	12.0	75.0	25.5	-	0.0	18.5	68.5	
4		最大時雨量 (mm)		106	21.5	17.5	72.5	53.0	21.0	-	24.5	28.5	41.5	
5	電子式 水壓計	事件期間 地下水位 昇降(m)		T24-W1	-	0.1	0.9	11.9	3.0	1.1	-	0.3	0.9	11.8
6				T24-W2	-	0.9	2.3	8.8	4.4	0.6	-	0.5	4.7	7.9
7	雙軸 傾斜計		(秒/日)	T22-TI1	-	6.1~10.2	2.7~14.2	1.2~12.2	1.0~3.6	3.9~8.6	15.5~23.3	22.4~25	1.9~4.5	2.6~5.2
8				T22-TI2	-	0.2~0.7	0.1~3.1	7.4~7.6	1.8~1.9	1.4~1.8	1.1~20.3	0.8~1.7	2.5~2.6	1.3~2.6
9	雙頻 GNSS	事件期間 地表變位 速率	三維 合向量 (mm/ 日)	T23-G1	-	-	0.2	0.0	0.1	0.1	0.3	1.9	6.6	
10				T23-G2	-	-	-	0.4	0.5	0.6	0.1	0.5	0.1	1.9
11				T23-G3	-	-	-	0.2	1.2	0.3	0.7	0.5	0.8	1.8
12				T23-G4	-	-	-	0.1	0.1	1.0	0.0	0.5	0.5	0.6
13				T24-G5	-	-	-	-	-	-	-	0.0	1.6	2.3
14	傾斜觀 測管	事件前後 地中變位 速率(cm/月)		T22-BH1	-	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.49	0.16	0.17	0.27
15				T22-BH3	-	0.01	0.01	0.05	0.05	0.14	0.28	0.12	0.04	0.25
特殊事件災害情形及監測成果研判				歷史紀錄 發生災害	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監測 略有地中變位	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化

表 3-24、銅門地區於特殊降雨事件下監測儀器成果彙整表(續)

項次	監測項目		儀器編號	歐菲莉颱風	0612 大雨	薇帕颱風	樺加沙颱風	-	-	-	-	-	-	
				1990/6/21	2025/6/12	2025/7/18	2025/9/22	-	-	-	-	-	-	-
1	雨量計	降雨時數 (hr)	銅門站 C1Z130	-	17	46	60	-	-	-	-	-	-	
2		累積雨量 (mm)		503	103.5	357.5	667.0	-	-	-	-	-	-	
3		臨前 5 日雨量 (mm)		-	54.5	26.0	6.0	-	-	-	-	-	-	
4		最大時雨量 (mm)		106	23.5	56.5	53.0	-	-	-	-	-	-	
5	電子式 水壓計	事件期間 地下水位 昇降(m)	T24-W1	-	3.8	7.1	11.5	-	-	-	-	-	-	
6			T24-W2	-	1.6	5.9	9.6	-	-	-	-	-	-	
7	雙軸 傾斜計		(秒/日)	T22-TI1	-	2.6~18.1	4.3~4.4	5.1~5.2	-	-	-	-	-	
8				T22-TI2	-	5.1~25.9	2.6~6.0	5.2~12.1	-	-	-	-	-	-
9	雙頻 GNSS	事件期間 地表變位 速率	三維 合向量 (mm/ 日)	T23-G1	-	2.5	1.3	1.3	-	-	-	-	-	
10				T23-G2	-	0.5	0.5	0.4	-	-	-	-	-	-
11				T23-G3	-	3.0	0.9	1.8	-	-	-	-	-	-
12				T23-G4	-	1.5	0.0	3.9	-	-	-	-	-	-
13				T24-G5	-	0.0	0.1	3.4	-	-	-	-	-	-
14	傾斜觀 測管	事件前後 地中變位 速率(cm/月)	T22-BH1	-					-	-	-	-	-	
15			T22-BH3	-				-	-	-	-	-	-	
特殊事件災害情形及監測成果研判				歷史紀錄 發生災害	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	-	-	-	-	-	-	

第五節 災害原因及規模分析

3.5.1 滑動機制研判

根據蒐集既有資料及調查成果，研判本計畫之災害形態應以岩屑材料滑動及破碎岩體滑動為主，說明如下：

由現場地質鑽探資料顯示調查區範圍內表層應上覆一層厚約 1~2m 不等之岩屑材料，其夾雜大小岩屑、岩塊且結構鬆散，於邊坡坡度較陡之區位容易發生淺層材料滑動(圖 3-89)；另區域邊坡之岩體材料普遍破碎程度高，且有剪裂帶之情形，易產生沿著破碎夾泥之材料弱面的整體邊坡滑動，由岩芯 RQD 及半定量岩體分析成果顯示，T22-BH1 及 T22-BH3 鑽孔於 49 m 以下深度，具有厚薄不一之剪裂泥層，不排除可能有較深之岩屑層滑動，研判最大滑動深度可達 88 m。銅門地區可能滑動機制剖面位置如圖 3-90。可能滑動機制剖面如圖 3-91 及圖 3-92。

另由現勘成果顯示，區域岩層不連續面極為發達，且易與坡面切割出順向及楔型破壞岩塊，另計畫區上邊坡具大小不等之岩塊暫積於坡面上，部分岩塊粒徑可達 6 m，較為尖銳，多具角礫狀，研判材料破壞後即暫積於鄰近區域，未經長距離搬運，配合歷史災害事件，研判區域地質條件差，在受到外在營力作用下，因岩性軟弱易發生剝蝕情形，而區域不連續面發達，易發育蝕溝，當發生強降雨事件，提供大量水量條件時，將可能夾帶坡面暫積之岩屑往下邊坡運動，即發生土石流災害。

3.5.2 不利邊坡穩定因子

根據調查顯示區域邊坡存有不利邊坡穩定條件包括：(1)地質材料條件差(2)坡面向源侵蝕，相關說明如下：

一、地質材料條件差：由地質鑽探成果顯示，區域邊坡主要由破碎、完整度低之岩層組成，且部分岩芯具剪裂帶通過之情形，在外在營力作用下，將不利邊坡之穩定。

二、坡面蝕溝發育侵蝕：根據初步調查成果，發現區域邊坡坡面有多處蝕溝侵蝕發育，研判降雨期間，蝕溝內水流流量增大，將可能加劇邊坡侵蝕作用(向源及側向侵蝕)，進而使邊坡結構鬆散材料往下運移產生崩塌。

3.5.3 崩塌量體初步分析

各潛在崩塌區域之可能崩塌量體為何，係後續對策研擬重要依據，本計畫初步針對可能潛在崩塌區進行圈繪，並採用經驗式推估 S2、S3 潛在崩塌量體。

利用經驗公式為推估崩塌量體的快速方式，崩塌量體經驗公式可分為以崩塌面積 A 對應崩塌體積 V 關係推估(陳樹群等，2010；詹勳全等，2015；Cha et al. 2018；Guzzetti et al., 2009)，或是以崩塌深度 D 再與崩塌面積 A 之乘積獲取崩塌體積 V。本計畫初步蒐集相關崩塌面積 A 對應崩塌體積 V 關係經驗式，如表 3-25 所示，利用經驗式推估所得銅門調查區 S2 崩塌量體約 75,800~1,340,000 m³、S3 崩塌量體約 101,000~2,030,000 m³，另考量各經驗公式崩塌量體推估結果差距 20 倍，對於後續工法選擇上會有所不同，建議以陳樹群等人於臺灣地區之經驗式推估成果作為參考，而欲獲得較為準確之崩塌量體推估，建議透過後續監測，獲得區域較明確之滑動深度後，再進行較為準確之量體推估。

表 3-25、利用經驗公式推估銅門調查區崩塌量體

項次	公式	經驗式基本資料					本計畫推估結果	
		研究區域	A_{min} (m^2)	A_{max} (m^2)	案例數	參考文獻	崩塌面積 $A(m^2)$	崩塌量體 $V(m^3)$
1	$V = 0.04A^{1.38}$	臺灣	1.0×10^2	1.0×10^5	61	陳樹群等(2010)	1.01×10^5 (S2 塊體)	3.22×10^5
							1.35×10^5 (S3 塊體)	4.80×10^5
2	$V = 0.596 A^{1.02}$	Korea	0.6×10^1	2.1×10^3	930	Cha et al. (2018)	1.01×10^5 (S2 塊體)	7.58×10^4
							1.35×10^5 (S3 塊體)	1.02×10^5
3	$V = 0.084 A^{1.43}$	Italy	1.0×10^1	1.0×10^9	539	Guzzetti et al. (2008)	1.01×10^5 (S2 塊體)	1.20×10^6
							1.35×10^5 (S3 塊體)	1.82×10^6
4	$V = 0.074 A^{1.45}$	Italy	2.0×10^0	1.0×10^9	677	Guzzetti et al. (2009)	1.01×10^5 (S2 塊體)	1.34×10^6
							1.35×10^5 (S3 塊體)	2.03×10^6
5*	$V = 1.826 A^{0.989}$	Puerto Rico	5.0×10^1	1.6×10^4	1,019	Larsen and Torres Sanchez (1998)	1.01×10^5 (S2 塊體)	1.62×10^5
							1.35×10^5 (S3 塊體)	2.16×10^5

3.5.4 邊坡穩定性分析

根據現有監測成果顯示，銅門地區目前暫無顯著活動情形，因此本計畫透過既有數值地形資料、地質鑽探及監測成果等資料，研判 S3 潛在崩塌區一側，其岩芯破碎程度、夾泥程度及地下水位較高，於調查區內屬於相對不穩定之區域，故本計畫針對 S3 一側，進行現況邊坡穩定分析，分析程式採加拿大公司發展之 Geo-Studio 程式，分析成果說明如後：

一、分析參數

- (一) 地形條件：根據前期計畫所執行之 UAS 空拍所產製之數值地形資料 DSM(2022/9)，作為邊坡穩定分析所使用之地形資料。
- (二) 材料分層：依據目前鑽探成果，區域地層材料主要為厚層之岩屑層，配合鑽探成果，設定各潛在崩塌區穩定分析剖面分層。參照台電公司於地質鑽探期間所採取土樣及岩樣之力學試驗成果，再引用 Hoek 等人(2002)所建議之”Hoek-Brown Failure Criterion”方式，將各項資訊換算為量化之力學參數。地層參數表詳表 3-26 所示。

表 3-26、銅門地區邊坡穩定分析參數

材料分層	選用參數		
	c(kpa)	ϕ (°)	$\gamma(\text{kN}/\text{m}^3)$
岩屑層	0	34	25.5
岩層(玉里層)	40	55	21.29

- (三) 地下水條件：依據目前所觀測到之常時地下水位及特殊事件下之地下水位上昇成果，訂定模擬分析時之常時地下水及高水位面。
- (四) 滑動面位置：依據地質剖面分析之成果，配合岩芯資料、地形資料、地表地質調查及前期災害發生區位等相關資料，初步劃定各潛在崩塌區之可能滑動面位置，以進行邊坡穩定分析。

二、現況邊坡穩定分析成果

依據既有地形資料、地表調查成果、岩芯資料、地電阻探測成果及監測資料，研擬出邊坡穩定分析之剖面，並針對 S3 潛在崩塌範圍一側，其可能之滑動位置進行穩定性評估(剖面位置如圖 3-90)。

分析成果顯示，於常時地下水位條件下，AA'剖面及 BB'剖面中，其安全係數(F.S.)達 1.437 及 1.275；於監測期間最高水位條件下，AA'剖面及 BB'剖面中，其安全係數(F.S.)達 1.437 及 1.152，相較於常時水位略有下降，但區域邊坡仍屬於穩定狀態。銅門調查區現況邊坡穩定分析成果圖如圖 3-93、圖 3-94 所示。

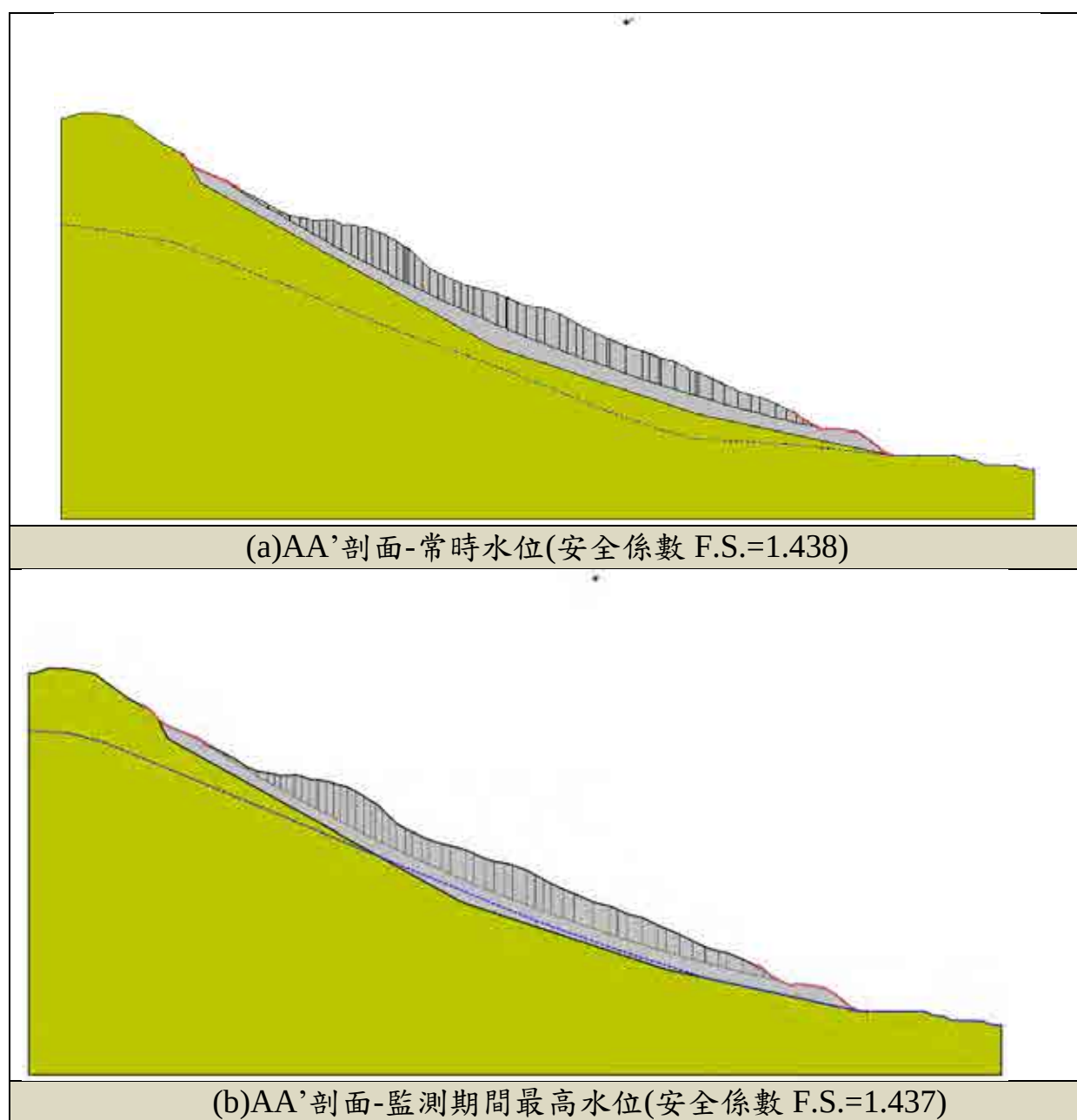


圖 3-93、現況邊坡穩定分析成果圖

3.5.5 影響範圍研判

依據既有之資料顯示，銅門調查區近年雖無明顯地表變異情形，但為能推估若崩塌發生後可能影響之範圍，本計畫採用經驗公式法作為分析依據。

根據相關經驗公式可推算出，崩塌之影響範圍，主要可分為頂部崩崖延伸及崩塌堆積，相關說明如下：

一、崩崖延伸範圍：依據黃國修(2005)，參考 Corominas(1996)的研究，推算出崩塌崖頂可能延伸之影響範圍，如圖 3-95 及公式 1 所示，以初估崩塌區域頂部可能擴及範圍。

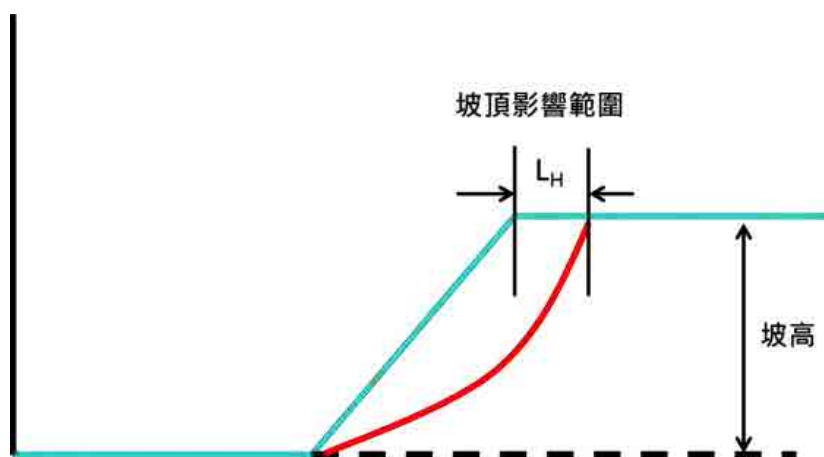


圖 3-95、坡頂可能影響範圍

黃國修(2005)

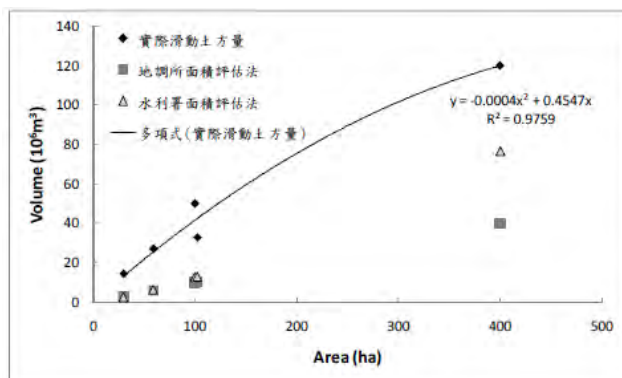
$$\frac{H}{5} \leq L_H \leq \frac{2H}{5} \quad (\text{式 1})$$

式中

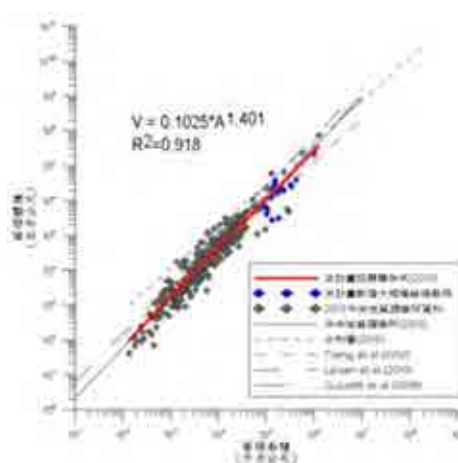
H：坡高(m)

L_H ：坡頂影響範圍(m)

二、崩塌堆積範圍：依據劉哲欣等人(2011)進行臺灣地區大規模岩體滑動之案例與岩體滑動量體之推估研究，其針對經濟部地質調查及礦業管理中心及經濟部水利署所推估之土方量迴歸關係式等相關文獻進行蒐集，並進行迴歸分析，推估出適合於大規模岩體滑動使用之簡易土方量推估公式，如圖 3-96(a)及公式 2 所示。此外，蔡元融(2015)亦進行迴歸分析，並建立潛在大規模崩塌之崩塌體積估算，如圖 3-96(b)及公式 3 所示。再依據 Scheidegger(1973)研究，可推算崩塌土體沿坡面進入緩坡或平坦地之最大滑動距離，如圖 3-97 及公式 4 所示，以初估本計畫區崩塌可能影響之範圍。



(a)劉哲欣(2011)



(b)蔡元融(2015)

圖 3-96 崩塌面積-體積關係式

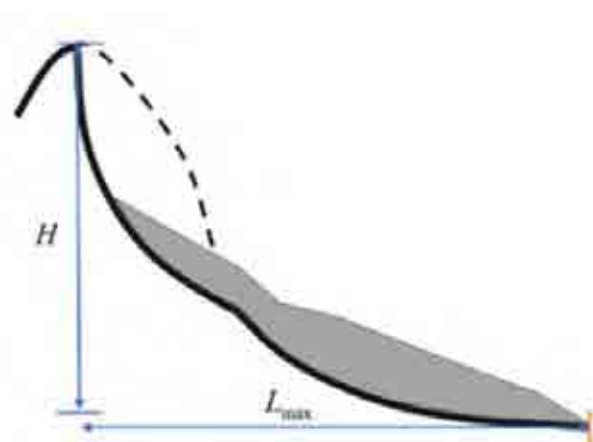


圖 3-97 崩塌可能滑動距離示意圖

Scheidegger(1973)

$$V = -0.0004A^2 + 0.4547A \quad (R^2 = 0.97) \quad (\text{式 } 2)$$

式中 A：滑動面積(ha)
V：崩塌體積(10^6m^3)

$$V = 0.1025A^{1.401} \quad (R^2 = 0.918) \quad (\text{式 } 3)$$

式中 A：滑動面積(m^2)
V：崩塌體積(m^3)

$$L_{\max} = \frac{H}{10^{0.624 - 0.157 \log V}} \quad (\text{式 } 4)$$

式中 $L_{\max}$ ：崩塌最大滑動距離(m)
H：崩塌高程差(m)
V：崩塌體積(m^3)

蔡元融(2015)亦針對崩塌可能之堆積寬度，進行相關資料之蒐集，如圖 3-98 及圖 3-99 所示，發現大部分之堆積寬度多為崩塌寬度之 1.5 至 2 倍之間，因此可能堆積寬度可用公式 5 進行初估。

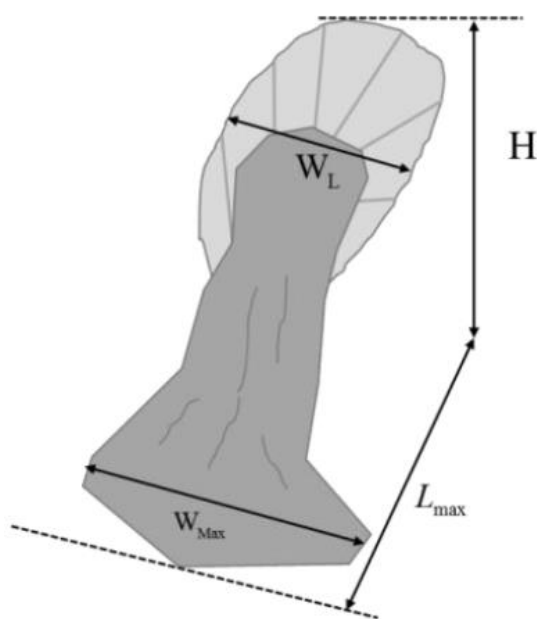


圖 3-98 崩塌可能堆積寬度示意圖

蔡元融(2015)

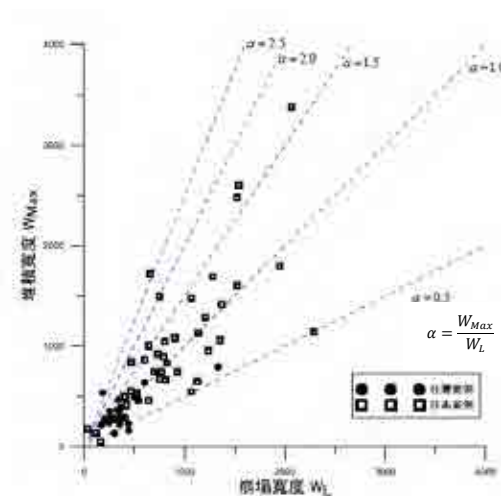


圖 3-99 崩塌地寬度與堆積寬度之關係

蔡元融(2015)

$$W_{\max} = 1.5 \sim 2W_L \quad (\text{式 } 5)$$

式中 $W_{\max}$ ：崩塌最大堆積寬度(m)
 W_L ：崩塌寬度(m)

依據上述之公式所推算出之可能影響範圍如表 3-27 所示，由此推估結果發現，若銅門崩塌區發生崩塌，崩塌影響範圍涵蓋下方銅門部落及東部發電廠，將可能造成嚴重生命財產安全損失。

表 3-27 崩塌影響範圍計算成果

一、坡頂影響範圍		
崩塌區域名稱		銅門崩塌區
1.坡高(m)		525
坡頂影響範圍 $L_H(m)$		$105 \leq L_H \leq 210$
二、坡趾影響範圍		
1.滑動面積(ha)		82.9
2.崩塌體積 $V(m^3)$	劉哲欣等人(2011)	275,273,346
	蔡元融(2015)	20,073,299
3.崩塌高程差(m)		525
崩塌最大滑動距離 $L_{max}(m)$	劉哲欣等人(2011)	2,638
	蔡元融(2015)	1,749
三、坡趾影響範圍		
1.崩塌寬度(m)		667
崩塌最大堆積寬度(m)		1,334

第六節 整體安全評估

本計畫彙整前期及本年度調查監測成果，並參考農業部農村發展及水土保持署之風險評估作業方法，進行各區之風險評估。風險評估說明如下：

一、初步風險評估作業

本計畫參考之初步風險評估作業流程如圖 3-100 所示，主要可分為危害度評估及脆弱度評估。

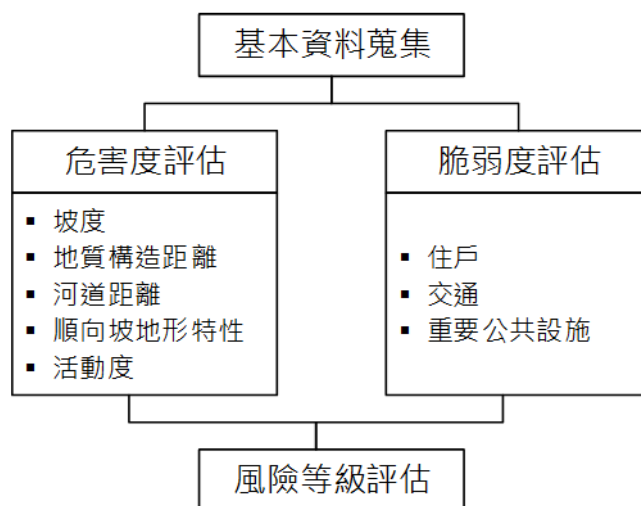


圖 3-100、初步風險評估流程

危害度評估係考量調查區之潛勢條件及近期邊坡活動性，包含坡度、地質構造距離、河道距離、順向坡地形特性及活動度，其中，活動度係依據農業部農村發展及水土保持署「運用雷達衛星影像進行大規模崩塌潛勢區之地表觀測與變形量分析」計畫之 TCP-InSAR 分析所得之活動度資料進行分級，分析方式是利用 TCP-InSAR 解算之地表變形成果考慮地形坡向來進行評估，其可有效反應真實邊坡滑移情況。

本計畫蒐集農村水保署執行他案「大規模崩塌潛勢區廣域地表觀測及活動性評估」計畫之成果，利用 LOS 坡面位移轉換地表變形資料，僅保留大規模崩塌潛勢區範圍內的負值 TCP 點資料，藉此瞭解區域向下邊坡滑移的潛勢範圍。另透過大規模崩塌潛勢區位之活動性指標(Landslide Active Index)進一步進行崩塌活動性計算，針對全臺大規模崩塌潛勢區進行活動性排序，以下為活動性指標的兩大指標(圖 3-101)：

- (一)指標 1「崩塌面積活動性指標」，物理意義為大規模崩塌潛勢區(A)總面積平均之滑移量，以單一崩塌潛勢區內所有負值 TCP 點數的總和，進而得出區域內的 TCP 活動總滑移量(mm/yr)，並與該崩塌潛勢區面積(ha)作計算，瞭解整體向下滑移情況。
- (二)指標 2「觀測點活動性指標」，物理意義為大規模崩塌潛勢區中活動區(a)的單位觀測點滑移量。以單一崩塌潛勢區內的 TCP 活動總滑移量(mm/yr)及其 TCP 活動總滑移點數(pts)進行計算，瞭解各活動負值點所坐落的位置之向下滑情況。

✓ 指標 1 - 崩塌面積活動性指標 (公式1)

$$\frac{\text{TCP 活動總下降量(mm/year)}}{\text{崩塌面積(ha)}} \rightarrow \frac{\sum_{i=1}^n v_{slip}(i)}{A}$$

✓ 指標 2 - 觀測點活動性指標 (公式2)

$$\frac{\text{TCP 活動總下降量(mm/year)}}{\text{TCP活動總下降點數(pts)}} \rightarrow \frac{\sum_{i=1}^n v_{slip}(i)}{a}$$

v_{slip} : InSAR地表變形LOS轉換沿坡面方向滑移量(mm/year)
 n : 取總活動負值的點數
 A : 大規模崩塌潛勢區面積(ha)
 a : 活動區面積 $n \times (30 \times 30)$ (每一 InSAR 點空間解析度 30 米)

圖 3-101、大規模崩塌潛勢區活動度指標
 (資料來源：113 年大規模崩塌潛勢區廣域地表觀測及活動性評估)

利用公式 1 及公式 2 計算全臺大規模崩塌潛勢區地表平均變形速率，並針對所有選取下降總量進行絕對值換算後，利用自然斷點分類法(Natural Break Classification)將排序後的活動性數值分類。並依據民國 111 年 9 月 22 日工作會議所決議以 110 年以 238 處大規模崩塌潛勢區活動指標取樣之級距門檻結果作為該年度廣域 TCP-InSAR 活動性指標分級準則，進而透過活動性指標 1 及指標 2 之級距門檻給予分數(表 3-25、表 3-26 及圖 3-102)。藉由活動性指標 1 及指標 2 分數總和對照活動度風險矩陣(圖 3-103)，有效劃分各大規模崩塌潛勢區的活動度，其中介於 5-6 分為高活動性，4 分為中活動性，而介於 2-3 分則是低活動性。

表 3-28、大規模崩塌潛勢區活動指標取樣級距門檻資料

(資料來源：113 年大規模崩塌潛勢區廣域地表觀測及活動性評估)

年度	潛勢區 數目	238處潛勢區活動指標取樣分析									
		指標1					指標2				
		級距1	級距2	級距1/ 級距2	級距比	標準差	級距1	級距2	級距1/ 級距2	級距比	標準差
					變異%	變異%				變異%	變異%
					以110年分群成果 為基準						
111	269	66.78	26.48	2.52	2.2%	1%	16.44	7.46	2.20	1.5%	1%
110	238	66.78	25.91	2.58	Ref.	Ref.	16.44	7.35	2.24	Ref.	Ref.
109	190	68.74	25.91	2.65	2.9%	8%	13.11	5.84	2.24	0.4%	8%
108	186	68.74	27.2	2.53	1.9%	8%	13.11	5.62	2.33	4.3%	8%
107	182	68.74	27.2	2.53	1.9%	7%	13.11	5.58	2.35	5.0%	10%
106	153	68.74	24.8	2.77	7.5%	12%	14.44	5.51	2.62	17.2%	12%
105	38	24.07	15.26	1.58	38.8%	63%	6.56	4.19	1.57	30.0%	60%
104	56	107.49	24.54	4.38	69.9%	12%	9.54	5.06	1.89	15.7%	26%

表 3-29、活動性排序指標級距門檻值統整表

(資料來源：113 年大規模崩塌潛勢區廣域地表觀測及活動性評估)

活動性 時間段	分數	指標1 (潛勢區面積活動性)	指標2 (活動面積活動性)
ALOS-2 (2014-2020) 238處潛勢區	3	$ \text{指標1} > 66.8$	$ \text{指標2} > 16.4$
	2	$66.8 \geq \text{指標1} > 25.9$	$16.4 \geq \text{指標2} > 7.4$
	1	$25.9 \geq \text{指標1} > 0$	$7.4 \geq \text{指標2} > 0$

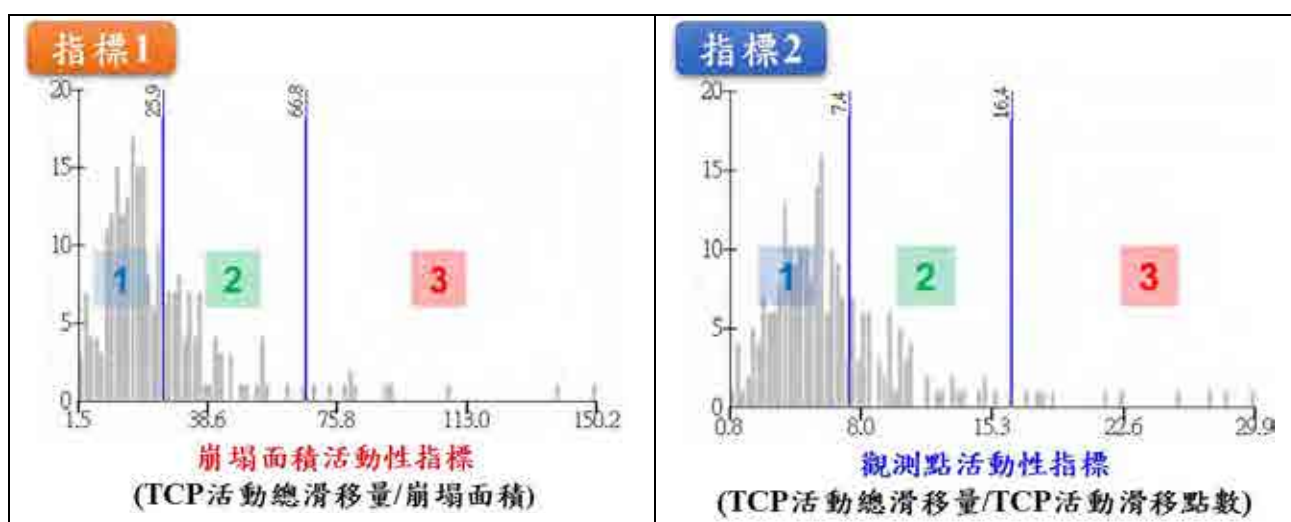


圖 3-102、活動性指標分級門檻分布圖

(資料來源：113 年大規模崩塌潛勢區廣域地表觀測及活動性評估)

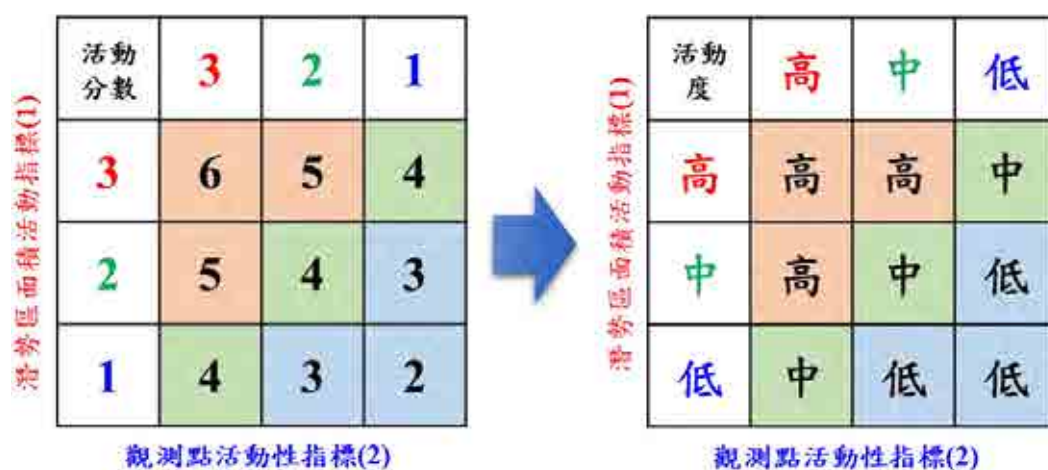


圖 3-103、計算大規模崩塌潛勢區活動度風險矩陣之示意圖

(資料來源：113 年大規模崩塌潛勢區廣域地表觀測及活動性評估)

本計畫活動度因子考量調查區內已設有地表、地中監測儀器，其監測成果可更為直接且準確反應出區域邊坡之活動性與否，故當計畫區域內已設有相關監測設備時，團隊則優先以監測儀器之成果作為評估邊坡近期位移趨勢之依據。本計畫當儀器觀測成果顯示，有紀錄邊坡變形情況時，該處崩塌區之活動度即評為「高」，若無明顯變形紀錄情形，則該處崩塌區之活動度評為「低」。脆弱度評估係考量崩塌區之各種保全對象，包含住戶、交通及重要公共設施，其評估表如表 3-27 所示。其中，本計畫係依內政部門牌電子地圖查詢系統 (<https://addressrs.moi.gov.tw/address/index.cfm>) 進行住戶數量之評估。完成調查區之危害度評估及脆弱度評估後，即可透過風險評估矩陣評估調查區之風險等級，如表 3-32 所示。

表 3-30、危害度(H2)評估分級表

因子	分級/分類	分數(H ₂)
坡度	大於 30 度	3
	23~30 度	2
	小於 23 度	1
地質構造 距離	通過或相切	3
	0~300m	2
	大於 300m	1
河道 距離	距離小於 5m	3
	距離 5m~30m	2
	距離大於 30m	1
順向坡 地形特性	順向坡且坡腳見光	3
	順向坡坡角未見光或逆向坡且岩層傾角大於 45 度	2
	其他	1
活動度	高	3
	中	2
	低	1
危害度評分總分 15 分，依據評分統計分布區分等級高、中、低， (等級“高”評分 ≥ 12 、等級“中” $12 > \text{評分} > 7$ 、等級“低” ≤ 7)		

表 3-31、脆弱度(V)評估分級表

評估因子	因子分級	分數(V)
A.住戶	住戶 50 戶以上	36
	住戶 20 到 49 戶	25
	住戶 10 到 19 戶	16
	住戶未滿 10 戶	9
B.交通	主要聯外道路、橋梁	18
	道路	10
	無	0
C.重要設施	重要公共設施(如防災措施相關之設施和場所、高壓電塔、攔河堰、水庫蓄水範圍等)	18
	無	0
評分等級分數區間，高(V>58 分)、中(58 分 $\geq$ V>30 分)、低(V $\leq$ 30 分)，V 最高為 72 分(修自陳樹群，1996)		

表 3-32、風險評估分級矩陣

風險等級 (分數) 評分表		脆弱度等級(V)		
		高	中	低
危害度 等級 (H ₂)	高	高(9)	高(7)	中(4)
	中	高(8)	中(5)	低(2)
	低	中(6)	低(3)	低(1)

二、銅門地區初步風險評估

本計畫參考前述之初步風險評估作業流程進行風險評估。其中，於危害度評估中之活動度，因計畫區內已設有各項地表地中監測儀器，根據歷年度監測成果顯示，歷經瑪娃、杜蘇芮、蘇拉、海葵、小犬、凱米、山陀兒及康芮颱風事件，邊坡並無明顯活動情形發生，故本調查區之活動度，評估為低。此外於脆弱度評估之住戶因子，銅門地區之住戶數約為 114 戶 (36 分)。於脆弱度評估之交通因子，銅門地區包含主要聯外道路及銅門大橋(18 分)。於脆弱度評估之重要公共設施，則具有避難處所(銅門國小、銅門活動中心)(18 分)。脆弱度整體評估為「高」。

銅門調查區之危害度評估為「中」，但因區域內之保全對象眾多而重要性高，因此脆弱度評估為「高」，整體風險等級評分為「高」。

表 3-33、銅門地區初步風險評估表

各類評估	因子	分級/分類	分數	銅門 (113 年農村水保署)	銅門 (本計畫)
危害度 評估	坡度	大於 30 度	3	V	V
		23~30 度	2	-	-
		小於 23 度	1	-	-
	地質 構造 距離	通過或相切	3	V	V
		0~300m	2	-	-
		大於 300m	1	-	-
	河道 距離	距離小於 5m	3	-	-
		距離 5m~30m	2	-	-
		距離大於 30m	1	V	V
	順向坡 地形特 性	順向坡且坡腳見光	3	-	-
		順向坡坡角未見光或逆向坡且岩層傾 角大於 45 度	2	-	-
		其他	1	V	V
	活動度	高	3	-	-
		中	2	V (TCP-InSAR 成果)	-
		低	1	-	V (本計畫監測成果)
-			中(10 分)	中(9 分)	
脆弱度 評估	住戶	住戶 50 戶以上	36	V	V (149 戶)
		住戶 20 到 49 戶	25	-	-
		住戶 10 到 19 戶	16	-	-
		住戶未滿 10 戶	9	-	-
	交通	主要聯外道路、橋梁	18	V	V (聯外道路、銅門大橋)
		道路	10	-	-
		無	0	-	-
	重要 設施	重要公共設施(如防災措施相關之設施 和場所、高壓電塔、攔河堰、水庫蓄水 範圍等)	18	V	V (避難處所:銅門國小、 銅門活動中心)
		無	0	-	-
-			高(72 分)	高(72 分)	
風險評估				高(8)	高(8)

第七節 整體治理規劃研擬

考量本調查區尚無明確活動情形，且近期經歷之特殊事件降雨情形仍未達歷史致災事件，故對於計畫區真正滑動規模、機制及活動性，仍有待後續監測料追蹤，故現階段以現場調查成果，針對現況已有明顯缺失，提出改善建議，以減少地表水入滲等不利因子造成之影響。

一、區域既有工程設施

計畫區內既有工程設施主要集中於坡趾區域，於土石流潛勢溪流(花縣DF-010)末端設有梳子壩及攔沙壩，經現況檢視設施狀況良好，且轄管機關均有定期河道清淤等相關維護工作；梳子壩至蝕溝Ⅰ區間坡面前緣設有擋土牆及落石防護柵，經現況檢視設施無明顯開裂外推情形，功能正常。銅門調查區既有工程現況如圖 3-104 所示。

二、治理建議

根據現勘結果顯示，蝕溝排水流末與部落排水系統互相銜接處，無設置匯流消能設施(圖 3-105a)，無法有效減緩流速；上邊坡蝕溝與坡面道路交會處未設置縱橫向交會設施(圖 3-105b)，形成漫地流及沖刷坡面，長期不利整體環境之穩定，相關說明如後。

(一)蝕溝排水流末無跌水消能設施：計畫區坡面無設置相關排水系統，主要藉由區域內蝕溝向下邊坡排放至部落排水系統，惟溝谷末處並無設置跌水消能設施，使溝內水直接沖刷坡面，造成蝕溝發育問題，故建議於流末無尾溝處設置跌水設施及陡槽溝導流，以降低坡面沖刷可能，進而影響部落道路及邊坡穩定性之問題。

(二)上邊坡蝕溝與坡面道路交會處未設置縱橫向交會設施：本計畫區上邊坡蝕溝與坡面道路交會處，因缺少匯流井等交會設施，使縱向溝內的水，無法順利朝下邊坡導排，進而形成漫地流及沖刷坡面等問題。

目前階段成果僅針對現況已有明顯缺失處規畫改善作為，包含針對上邊坡道路進行地表排水改善，及配合道路排水設置縱橫向交會處配置匯流井，後續應持續配合本計畫監測作業，確認邊坡滑動機制及滑動規模後，再進一步進行後續治理工程規劃。

三、分期治理計畫

根據本階段成果顯示，邊坡雖有監測到活動情形，考量目前變位量尚小，且監測迄今之特殊降雨事件，降雨情形仍不及歷史致災降雨，邊坡滑動機制及規模仍有待後續監測釐清，故本階段分期治理計畫採地表排水工法為佳，共分為兩期施作，各期工程治理經費概估及初步建議詳圖 3-106、表 3-31、表 3-32。

(一)第一期工程：建議先針對 S3 潛在塊體上邊坡道路執行地表排水改善，建置道路邊溝 1,050 m(L 型溝 $W \times H = 60\text{cm} \times 80\text{cm}$)，並配合既有道路與蝕溝交會處設置匯流井 3 座($1.5\text{m} \times 1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$)，排出地表水。

第二期工程：建議針對 S1 及 S2 潛在塊體上邊坡道路執行地表排水改善，建置道路邊溝 660 m (L 型溝 $W \times H = 60\text{cm} \times 80\text{cm}$)，並配合既有道路與蝕溝交會處設置匯流井 3 座($1.5\text{m} \times 1.5\text{m} \times 1.5\text{m}$)，排出地表水。

表 3-34、銅門地區後續建議治理經費概估表(單位：元)

分期	項次	工程項目	單位	數量	單價	複價	備註
第一期	一、	直接工程費					
	1	L 型溝(W*H=60cm*80cm)	m	1,050	4,000	4,200,000	
	2	匯流井(1.5m*1.5m*1.5m)	座	3	50,000	150,000	
		一、小計				4,350,000	
	二、	雜項工程(含環保安衛費)	式	1	1,065,000	1,305,000	項次一之 30%
	三、	包商利潤及管理費	式	1	355,000	435,000	項次一之 10%
	四、	營業稅	式	1	177,500	217,500	項次一之 5%
		本階段工程費				6,307,500	
第二期	一、	直接工程費					
	1	L 型溝(W*H=60cm*80cm)	m	660	4,000	2,640,000	
	2	匯流井(1.5m*1.5m*1.5m)	座	3	50,000	150,000	
		一、小計				2,790,000	
	二、	雜項工程(含環保安衛費)	式	1	957,000	837,000	項次一之 30%
	三、	包商利潤及管理費	式	1	319,000	279,000	項次一之 10%
	四、	營業稅	式	1	159,500	139,500	項次一之 5%
		本階段工程費				4,045,500	
		總計				10,353,000	

表 3-35、銅門地區後續治理工程初步建議明細表

項次	分期計畫	工程名稱	工程地點		預定經費(仟元)	工程內容	治理項目	TWD97 坐標		高程(m)	計畫執行機關	優先順序	期程
			縣市	鄉鎮				E	N				
1	第一期	銅門地區崩塌地改善處理工程-第一期	花蓮縣	秀林鄉	6,308	L 型 1,050m (W*H=60cm*80cm) 匯流井 3 座 (1.5m*1.5m*1.5m)	塌地處理	300,128	2,650,687	349	農村水保署花蓮分署	優先處理	短期
2	第二期	銅門地區崩塌地改善處理工程-第二期	花蓮縣	秀林鄉	4,046	L 型溝 660m (W*H=60cm*80cm) 匯流井 3 座 (1.5m*1.5m*1.5m)	塌地處理	299,854	2,650,806	387	農村水保署花蓮分署	計畫處理	中期
總計					10,353								

第四章 溪頭調查區

溪頭調查區位於花蓮縣光復鄉大豐村，於2015年經濟部地質調查及礦業管理中心公告為編號「花蓮縣-光復鄉-D011」潛在大規模崩塌區，其潛在崩塌面積約131.5公頃，區域內主要保全對象為花蓮縣光復鄉大豐村部分住戶(共計29戶)。農業部農村發展及水土保持署於2018年針對溪頭調查區啟動相關計畫辦理調查、監測工作，根據2022年「大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統發展計畫」中指出，本崩塌潛勢區之風險等級為「中」，近期邊坡雖暫無不穩定情形發生，惟歷年監測成果顯示該處邊坡位移模式屬常時無明顯變位趨勢，於強降雨時位移加速類型，考量潛勢區保全對象明確且重要性高，故有持續監測追蹤之需要。此外，依據農業部農村發展及水土保持署「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」專家諮詢會議，溪頭調查區於2023年列入大規模崩塌優先辦理區，並於2024年執行大規模崩塌警戒發布工作，故調查區亦有強化防災預警整備需要，本年度有必要延續前期調查及監測成果持續追蹤邊坡狀況，研析崩塌潛勢、規模及滑動機制，俾利研擬後續整體規劃策略。

彙整花蓮縣-光復鄉-D011(溪頭)之大規模崩塌區調查歷程如圖4-1，近年地表地質調查分析成果總圖如圖4-2及圖4-4所示。



圖 4-1、溪頭調查區調查歷程

第一節 基本資料蒐集

4.1.1 地形及水系

一、**地形**：溪頭調查區位於花蓮市南南西方約 50 km 處(圖 4-5)，平均坡度約 23.6 度。調查範圍高程海拔約介於 230 至 820 m 之間，地勢由西南側山坡地逐漸向東北側光復溪遞減，計畫範圍最大長度約 1,180 m，最大寬度約 1,095 m，坡向朝東北，溪頭地區基本圖如圖 4-6 所示。

二、**水系**：本調查區屬秀姑巒溪流域之光復溪集水區，另根據農業部農村發展及水土保持署土石流防災資訊網查詢結果顯示(表 4-1)，本計畫範圍內涵蓋 2 條土石流潛勢溪流，編號為「花縣 DF-121」及「花縣-DF-122」，公告之潛勢度均為「低」，溪流上游多覆蓋樹叢及植生，下游即為大豐村。



圖 4-5、溪頭調查區立體地形圖
(底圖採用 Google Earth 衛星影像)

4.1.2 區域地質

根據經濟部中央地質調查五萬分之一地質圖顯示，溪頭調查區出露岩層以沖積層(a)及玉里層(YI)組成(圖 4-7)，溪頭調查區之區域地質說明如下：

一、地層

(一) 沖積層(a)：由砂、礫石、粉砂及泥組成，分布在河床及沖積平原。

(二) 玉里層(YI)：岩層層年代屬中新世，為東部變質帶-大南澳片岩的一部分。岩層岩性組成以石英雲母片岩、雲母片岩為主，偶夾綠色片岩及蛇紋岩體。

二、地質構造：本調查區鄰近區域無大型地質構造通過。



圖 4-7、五萬分之一區域地質圖

(改繪自經濟部地質調查及礦業管理中心五萬分之一地質圖，1991；位態為本計畫量測詳後章節)

4.1.3 環境地質-大規模崩塌潛勢區

溪頭地區屬經濟部地質調查及礦業管理中心圈繪之潛在大規模崩塌區(花蓮縣-光復鄉-D011)，面積為 131.5 公頃，如圖 4-8 所示。

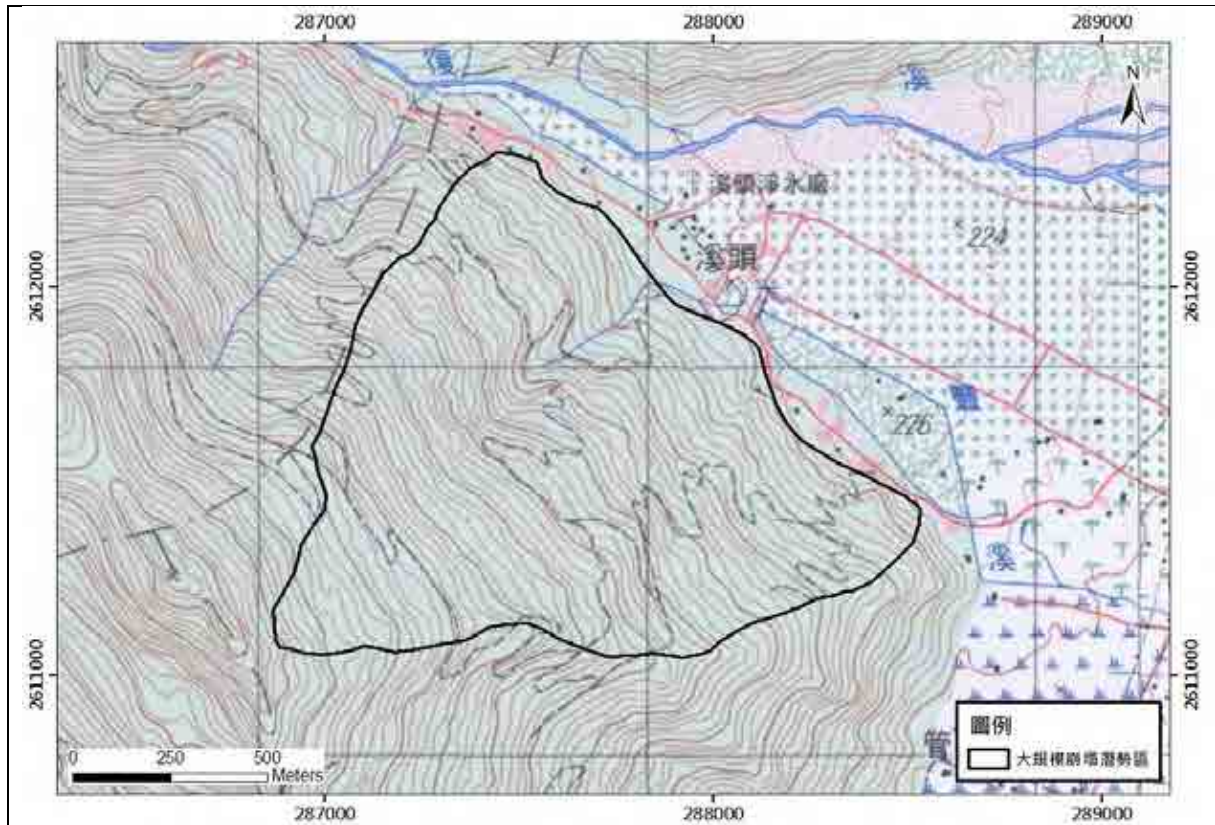


圖 4-8、溪頭調查區與潛在大規模崩塌區位置圖

(資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心)

4.1.4 影響範圍及保全對象

依據農村水保署 114 年潛在大規模崩塌影響範圍(圖 4-9)，溪頭地區主要保全對象為區內之大豐村部分住戶 29 戶(表 4-2)。倘若銅門地區發生大規模崩塌，將直接影響當地居民安全外。

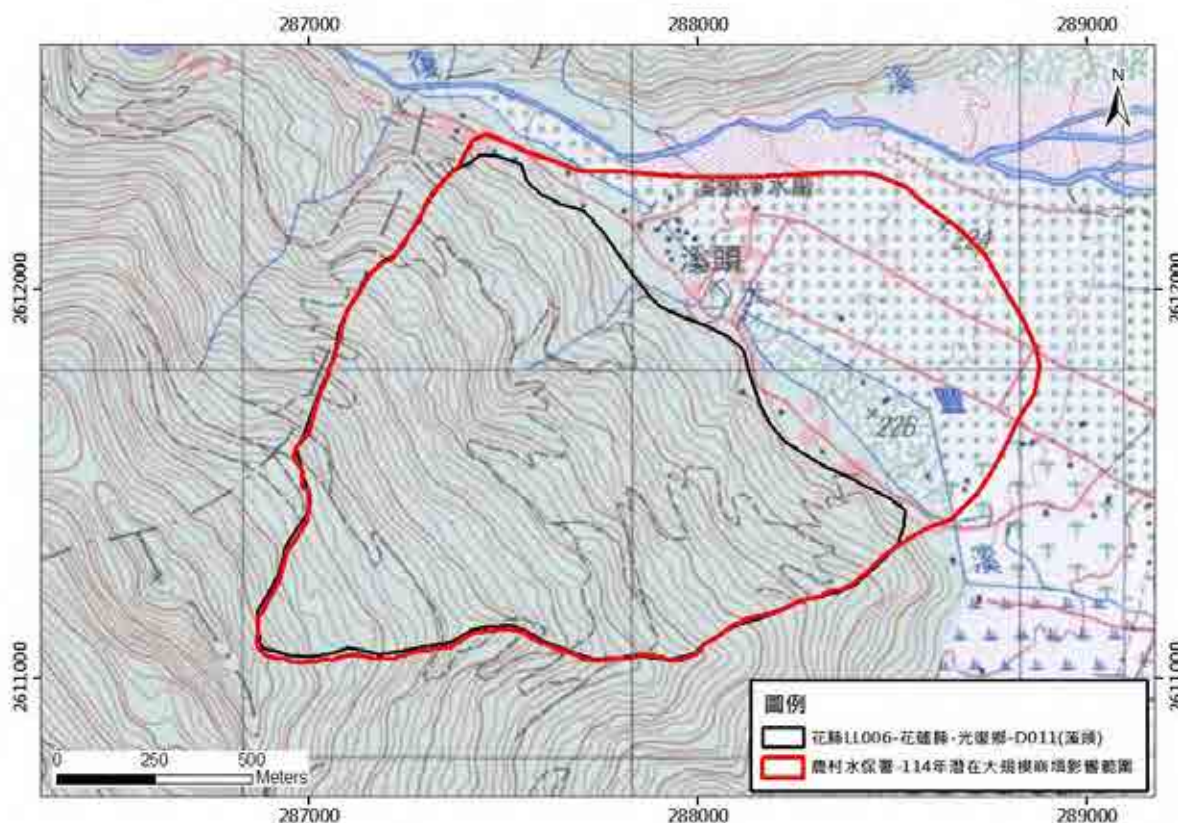


圖 4-9、農村水保署 114 年潛在大規模崩塌影響範圍

(資料來源：政府開放資料平臺)

表 4-2、花蓮縣光復鄉大規模崩塌保全住戶門牌資料

(資料來源：內政部門牌電子地圖查詢系統，共 29 戶)

崩塌區編號	縣	鄉	村	鄰	號(大豐)
花蓮縣-光復鄉-D011	花蓮縣	光復鄉	大豐村	13	116-1、116-2
				14	217、218、222、223、224、226、226-1、226-2、227、229、230、231、232、233、235
				16	171、176、185
				17	181、182、183、187、187-1、188、189、190、191

4.1.5 土地利用概況

根據內政部營建署城鄉發展分署國土規劃入口網站查詢成果(圖 4-10)，溪頭調查區內之非都市土地使用分區歸類為丙種建築用地(山坡保育區)、林業用地及農業用地三類，其中部分區域為暫未編定用地。崩塌地之下邊坡區域則包含乙種(鄉村區)及丁種(工業建築)建築用地位，亦為本計畫主要保全對象。

此外由內政部公有土地資料顯示(圖 4-11、表 4-3)，溪頭調查區內之國有土地主要由行政院農業部林業及自然保育署、花蓮縣政府及財政部國有財產署進行管理，面積約 121 公頃，佔溪頭調查區 92%。

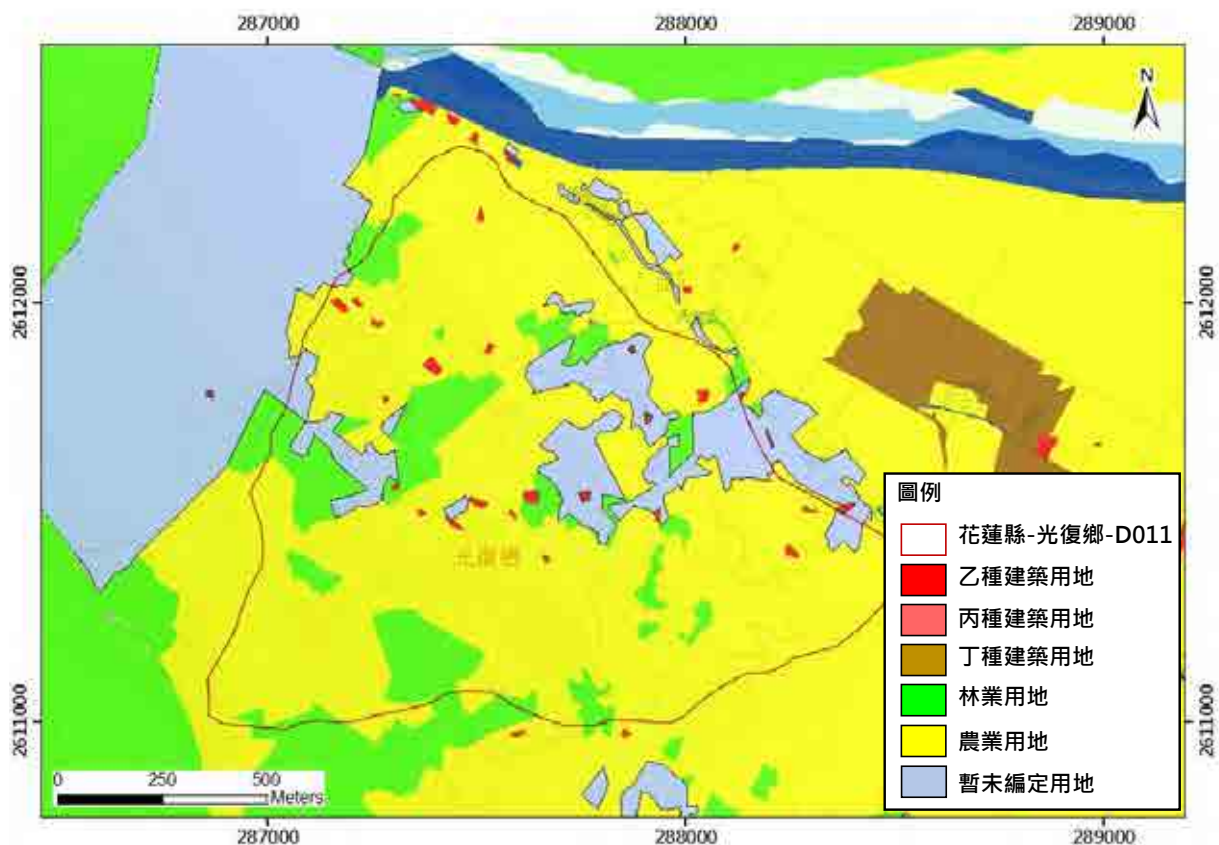


圖 4-10、土地利用分布圖

(資料來源：內政部營建署城鄉發展分署國土規劃入口網)

4.1.6 災害歷史

依據災害歷史資料顯示，溪頭調查區於 2019 年 8 月白鹿颱風期間，花蓮縣 DF-122 土石流潛溪流有災害情形發生(圖 4-12)，本次事件造成土砂堆積於趾部排水溝內，經緊急搶通河道後，未有造成保全對象生命財產損失情形。



圖 4-12、白鹿颱風期間花蓮縣 DF-122 土石堆積於河道

(照片來源：農業部農村發展及水土保持署歷史影像平台)

4.1.7 歷年降雨量

為瞭解本計畫降雨行為，蒐集中央氣象署設置，距本計畫最近之富源雨量站(編號 C0Z080，位於本調查區南方約 1.5 km)，近 11 年之雨量資料，加以說明災害歷史與雨量關係，歷年降雨量如圖 4-13 及表 4-4 所示。調查區年平均雨量約 2,222 mm，除 5 至 11 月梅雨及颱風季節有較多降雨量，約占全年雨量 80 %；12 月至隔年 4 月約占全年雨量 20 %。

蒐集 2012~2023 年間較大降雨記錄，共計 9 起特殊降雨事件(表 4-5)，其中除 2019 年白鹿颱風曾有發生土石流紀錄外，其餘各起事件期間均未有土砂災害之情事。此外為進一步瞭解降雨型態對本調查區之影響，故針對「已發生災害」之白鹿颱風，與「未發生災害」之特殊事件，進行降雨條件分析，由降雨條件分析成果顯示，2016 年「未發生災害」之尼伯特颱風，其降雨強度普遍大於 2019 年「已發生災害」之白鹿颱風，初步推測可能因 2016 年尼伯特颱風事件發生較早，蝕溝內可能尚未累積較多土砂等不穩定材料，另配合歷年影像分析成果顯示，於 2018 年起人為開墾區域開始往發生花縣 DF-122 一側開發，且數量急遽增多，不排除對於局部區域邊坡有較多擾動情形，故於 2019 白鹿颱風事件發生時，溝谷內可能累積足夠之堆積材料，因而在降雨強度較低之條件下發生土石流災害。此分析僅針對特殊事件降雨強度之災害發生與否進行研判，故實際邊坡穩定性與降雨之間關連性仍有待本計畫監測成果持續追蹤。

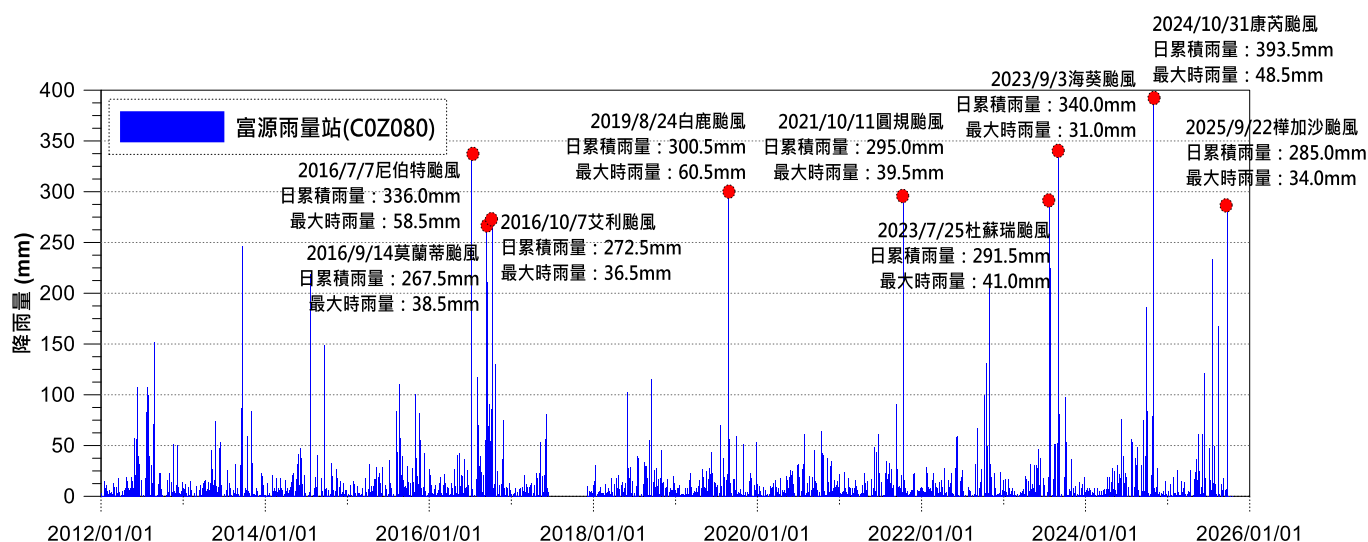


圖 4-13、富源雨量站(編號：C0Z080)歷年雨量組體圖

表 4-4、富源雨量站(編號：C0Z080)歷年雨量資料

(資料來源：中央氣象署觀測資料查詢，2023)

年/月	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	年雨量
2012	60.5	68.0	73.0	70.5	276.5	445.5	437.0	536.0	121.0	69.0	109.0	151.0	2,417
2013	68.5	46.0	64.0	128.5	331.5	165.5	65.5	81.5	629.0	121.0	233.5	109.0	2,043.5
2014	27.5	111.5	65.5	113.0	257.5	173.5	339.5	98.0	200.0	80.0	77.5	80.0	1,623.5
2015	37.0	42.0	73.0	93.0	177.0	50.5	66.0	460.0	175.0	141.0	415.0	117.0	1,846.5
2016	148.0	64.5	106.0	91.5	234.5	147.5	372.0	370.0	992.5	884.5	193.5	65.5	3,670
2017	27.0	47.5	91.5	87.5	173.0	189.0	-	-	-	-	-	57.0	-
2018	104.5	48.5	54.0	84.0	67.0	275.5	117.0	263.0	367.0	164.5	149.5	83.0	1,777.5
2019	64.5	50.0	115.0	67.5	225.0	160.0	112.5	532.5	164.0	72.5	87.5	178.0	1,829
2020	51.5	26.0	94.0	63.5	188.0	122.0	225.0	67.5	219.5	247.0	238.5	131.5	1,674
2021	81.0	83.0	71.0	99.5	64.5	361.5	92.0	177.0	216.5	942.5	120.5	50.5	2,359.5
2022	141.5	92.0	88.5	138.0	156.5	205.5	59.5	53.5	185.5	821.5	159.0	50.0	2,151
2023	97.0	38.0	48.5	109.0	191.0	231.0	616.5	282.0	719.0	270.0	32	94	2,728
2024	51.0	44.5	35.0	105.5	200.5	264.0	255.5	207.0	460.0	765.5	97	59.5	2,545
2025	55.5	69.0	70.0	56.5	311.5	264.5	664.0	211.0	610.5	13.5	-	-	-
平均雨量	73.8	58.6	75.3	96.2	195.6	214.7	229.8	260.7	370.8	381.6	159.4	94.3	2,222

註：2017 年 7 月至 11 月進行儀器汰換工作

表 4-5、富源雨量站特殊降雨特性比較

項次	富源雨量站	降雨強度統計(mm)						累積雨量(mm)	發生時間
		1 小時	2 小時	3 小時	6 小時	12 小時	24 小時		
1	2019 年白鹿颱風 (發生災害)	60.5	80.5	104.5	160.5	216.5	300.5	341	2019/8/23~8/25
2	2016 年尼伯特颱風 (未發生災害)	58.5	97	116.5	161.5	242	339.5	342.5	2016/7/7~7/8
3	2016 年莫蘭蒂颱風 (未發生災害)	38.5	48	62	109	166.5	290	495.5	2016/9/13~9/15
4	2016 年艾利颱風 (未發生災害)	36.5	67.5	86.5	135	209.5	291.5	414.5	2016/10/6~10/8
5	2021 年圓規颱風 (未發生災害)	39.5	61.5	86	152	224	381	860	2021/10/11~10/14
6	2023 年杜蘇芮颱風 (未發生災害)	41.0	57.0	76.0	106.0	177.0	344.0	565.5	2023/7/25~7/28
7	2023 年海葵颱風 (未發生災害)	31.0	58	70.5	126.0	232.5	422	527	2023/9/3~9/4
8	2024 年山陀兒颱風 (未發生災害)	30.0	56.5	58.5	100.5	143.0	186.0	359.5	2024/9/30~10/3
9	2024 年康芮颱風 (未發生災害)	48.5	76.5	98.5	189.5	326.5	397.5	424.5	2024/10/30~11/1
10	2025 年薇帕颱風 (未發生災害)	43.5	74.5	91.5	100.0	149.0	239.0	452.5	2025/7/18~7/20
11	2025 年樺加沙颱風 (未發生災害)	34.0	55.5	67.0	98.0	177.0	288.5	548.5	2025/9/22~9/24

4.1.8 歷年影像判釋及前後期影像分析

航空或衛星影像分析具有可針對大區域之地形、水系、侵蝕、堆積及崩塌地等廣域的特殊表徵進行判釋之優勢。為大範圍瞭解本計畫區現況及崩塌地之發展與演育，以利後續地表地質調查工作進行。

本團隊蒐集計畫範圍 2017 年至 2022 年近期共 6 年之 SPOT 衛星影像(圖 4-14~圖 4-16 及表 4-6)，主要針對調查區內坡面裸露區域，進行不同時間之對比，並釐清裸露坡面係屬人為或自然因素的影響，藉以掌握區域內近期是否有自然崩塌事件發生。為確保比對基準一致且判讀之方便性，本計畫已統一航空影像比例尺及格式，綜合各期影像分析成果顯示，針對裸露圈繪之區域，呈現裸露與植被覆物交替情形，另配合現地勘查該處位置，確認其裸露坡面是屬人為開墾所造成，故由近年之衛星影像研判區域內近期應無明顯大規模崩塌發生。另由歷年影像成果追蹤 2017 年人為開墾區域多集中於塊體頭部及北側區域，自 2018 年起人為開墾區域開始往塊體腹部及東南側開發，且數量急遽增多，不排除可能對於局部區域邊坡有較多擾動情形。

表 4-6、溪頭調查區各期衛星影像判釋成果

年份	裸露坡面	坡面開發
2017 年	裸露坡面集中於塊體頭部及北側區域	圈繪之裸露坡面經現場確認，均屬人為開發造成
2018 年	前期裸露區域部分植生復育，且於坡腹及塊體東南側有新增裸露區域	
2019 年	前期裸露坡面呈現裸露與植被覆物交替情形，另坡腹及塊體東南側有新增裸露區域	
2020 年	前期裸露坡面呈現裸露與植被覆物交替情形，坡腹及塊體東南側新增裸露區域數量增多	
2021 年	前期裸露坡面呈現裸露與植被覆物交替情形，塊體內裸露區域與前期比對無明顯增加	
2022 年	前期裸露坡面呈現裸露與植被覆物交替情形，塊體內裸露區域與前期比對無明顯增加	

4.1.9 前期調查、監測及整治歷程

溪頭調查區自 2018 年至 2024 年間，開始使用崩塌區位移觀測方式，瞭解大規模崩塌潛勢與災害機制及其致災原因，針對坡面的位移採用單頻 GNSS 設備進行觀測與分析，並將設備安裝於重點滑動坡面，進行長期的連續觀測，同時於冠部崩崖或其他活動性高之地點設置地表伸縮計及、傾度盤及雨量計，分析坡面土體與時間的移動性關係，做為後續高精度觀測或治理計畫推動的參考。於後續年度計畫，開始進行災害機制之調查、潛勢區危險度評估、坡面運動模式分類以及風險等級評估，溪頭調查區歷年調查計畫如表 4-7。

表 4-7、溪頭調查區歷年調查計畫及整治工程

類別	年份	計畫名稱	項目	調查整治目標	執行單位
調查計畫	2018	107 年大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統建置與分析	• 地表觀測系統建置 ➢ 單頻 GNSS 連續站：6 組 ➢ 自動化雨量計：1 組 ➢ 地表伸縮計：1 組 ➢ 傾度盤：1 組	• 災害機制與致災原因分析 • 運動模式分類 • 潛勢區危險度評估 • 警戒值研擬 • 監測成果追蹤	農業部農村發展及水土保持署(本署)
	2019	108 年大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統建置與分析	• 地表觀測系統維護 ➢ 單頻 GNSS 連續站：6 組 ➢ 自動化雨量計：1 組 ➢ 地表伸縮計：1 組 ➢ 傾度盤：1 組	• 運動模式分類 • 警戒值研擬 • 監測成果追蹤	農業部農村發展及水土保持署(本署)
	2020	109 年大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統建置與分析	• 地表觀測系統維護 ➢ 單頻 GNSS 連續站：6 組 ➢ 自動化雨量計：1 組 ➢ 地表伸縮計：1 組 ➢ 傾度盤：1 組	• 運動模式分類 • 警戒值研擬 • 監測成果追蹤 • 觀測資料展示與共享應用	農業部農村發展及水土保持署(本署)
	2021	110 年大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統發展計畫	• 地表觀測系統維護 ➢ 單頻 GNSS 連續站：6 組 ➢ 自動化雨量計：1 組 ➢ 地表伸縮計：1 組 ➢ 傾度盤：1 組	• 風險等級評估 • 運動模式分類 • 監測成果追蹤	農業部農村發展及水土保持署(本署)
	2023	112 年度花蓮縣銅門、鹽寮、賀田山、溪頭及高山地區潛在大規模崩塌調查監測計畫	• 構造物、地貌特徵變異補充調查 • 儀器安裝及監測 ➢ 雨量計：1 組(全自動) ➢ 雙頻 GNSS：5 組(全自動) ➢ 地表伸縮計：1 組(全自動) ➢ CCD 攝影機：1 組	• 災害機制分析 • 監測儀器擴充 • 警戒值研擬 • 監測成果追蹤	農業部農村發展及水土保持署花蓮分署
	2024	113 年度花蓮縣銅門、溪頭及高山地區潛在大規模崩塌調查監測計畫	• 構造物、地貌特徵變異補充調查 • 地質鑽探 150 m • 地電阻探測 2,000 m • 儀器安裝及監測 ➢ 傾斜觀測管：2 孔(手動) ➢ 水位計：2 組(全自動) ➢ 雙頻 GNSS：6 組(全自動) ➢ 地表伸縮計：1 組(全自動) ➢ CCD 攝影機：1 組(全自動)	• 災害機制分析 • 監測儀器擴充 • 警戒值研擬 • 監測成果追蹤	農業部農村發展及水土保持署花蓮分署

第二節 地質調查

4.2.1 地表地質調查

本公司進行現場初步勘查工作，主要針對調查區內之地形、地貌、植被、水系、周邊交通及可能構成邊坡災害之不穩定表徵等進行拍攝、定位和記錄，屆時配合野外調查之岩層分布特性進行研判，並記錄標繪於工作底圖，提供研判潛在之崩塌規模及推測崩塌機制之參考。彙整初步調查成果，如圖 4-17 所示，說明如下：

一、 岩層：調查區內岩性以片岩為主

計畫範圍內露頭岩性以片岩為主，另觀察坡面堆積之大量轉石岩塊，部分岩塊粒徑可達 4 m 以上，較為尖銳，多具角礫狀，研判材料破壞後即堆積於鄰近區域，未經長距離搬運，並上覆於岩層。

二、 構造：片理走向大致與坡面垂直，本計畫區之片理應為順向坡地形

於計畫區於坡面量測 8 處片岩露頭(表 4-8)，其中 S1~S4 於坡面露頭量測，S5~S8 於溪谷測崖處量測，露頭之完整度較高，且位態量測較為一致，故後續地質剖面將參考此些位態作為分析使用。各露頭量測位置與成果說明如下：

(一)走向與坡面垂直之片理：區域內量測之片理走向，大致與坡面垂直，傾向朝東北，於本計畫區之片理應為順向坡地形。

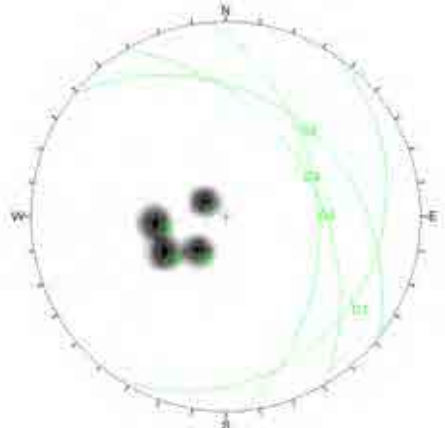
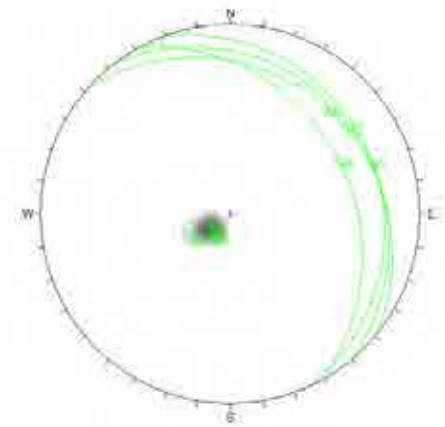
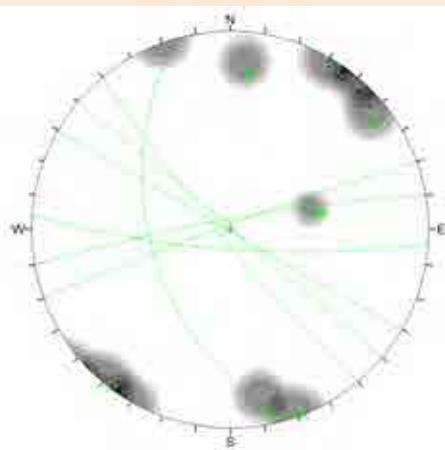
(二)多組節理發育：區域內至少具 3 組節理發育，岩層可能在不連續面切割與作用下與坡面構成大小不一的岩楔體。

三、 水系：坡面具數條蝕溝發育

計畫區上下邊坡有多道蝕溝發展情況，持續發展將可能影響邊坡整體之穩定性，如道路路基材料沖蝕，造成道路路面開裂或下陷情形。另蝕溝末端即為大豐村，若發生豪大雨事件，可能直接影響居民安全。目前計畫區內之土石流潛勢溪流(花蓮縣 DF-121、花蓮縣 DF-122)均已有進行相關整治處理，惟區域內其它蝕溝線型明顯，且尚無相關整治紀錄，可能存有潛

在不穩定風險。

表 4-8、溪頭調查區不連續面位態分析統計表

		編號	位態	走向	傾向	不連續面位態分析
計畫區內不連續面	片理 S (坡面露頭)	S1	N35°E/15°S	東北-西南	東南	
		S2	N50°W/25°N	西北-東南	東北	
		S3	N30°W/40°E	西北-東南	東北	
		S4	N5°W/40°E	西北-東南	東北	
	片理 S (溪谷測崖露頭)	S5	N45°W/15°E	西北-東南	東北	
		S6	N27°W/25°E	西北-東南	東北	
		S7	N25°W/13°E	西北-東南	東北	
		S8	N40°W/14°E	西北-東南	東北	
	節理 J	J1	N50°W/89°N	西北-東南	東北	
		J2	N40°W/85°S	西北-東南	西南	
		J3	N60°W/89°S	西北-東南	西南	
		J4	N70°E/89°N	東北-西南	西北	
		J5	N85°W/80°S	西北-東南	西南	
		J6	N15°W/45°W	西北-東南	西南	
		J7	N80°E/80°N	東北-西南	西北	

4.2.2 地表現況調查

地表現況調查主要包含結構物裂縫、地表裂縫、道路陷落、隆起、坡面滲水等，進行記錄及拍照，用以瞭解計畫區之災害情形，供後續研判災害規模及機制行為，以下茲就調查成果說明如下，地表現況調查成果詳圖 4-18、圖 4-19 所示。

- 一、 **地表裂縫與陷落**：上邊坡道路多有以下陷及開裂情形；花縣 DF-122 一側結構物有開裂情形。經現勘追蹤裂縫追蹤處無明顯增大情形。
- 二、 **地表排水設施**：花縣 DF-121 及花縣 DF-122 均有進行相關工程導入，溝谷末端均設有排水設施，溝內雖有植生但無明顯淤沙情形，整體狀況良好。坡面蝕溝與坡面道路交會處普遍未設置縱橫向交會設施可能使縱向蝕溝內的水，無法順利朝下邊坡導排，進而形成漫地流及沖刷坡面等問題。
- 三、 **近期災害發生時間**：2019 年 8 月 24 日白鹿颱風期間，花縣 DF-122 發生小規模土石流災害，經鄉公所緊急處理，無保全對象傷亡損失。
- 四、 **本階段現勘情形**：2025 年 2 月 25 日、2025 年 3 月 3 日、2025 年 5 月 8 日、2025 年 5 月 14 日、2025 年 7 月 24 日、2025 年 9 月 3 日及 2025 年 10 月 1 日，共計 8 次，邊坡無明顯異常情形。

4.2.3 數值地形資料蒐集與地形判釋

由於經濟部地質調查及礦業管理中心於 2010 年開始執行有關「國土保育之地質敏感區調查分析計畫」，並於 2014 年度進行台灣北部的光達地形影像建置工作，其中包含溪頭調查區，為能掌握潛在坍塌區範圍，本公司藉由精度為 1 m 之空載雷射掃描數值地形資料(簡稱 LiDAR 資料)，配合不同光源角度之日照陰影圖，按照地形起伏情形，進行調查範圍之地形比對分析，並作為崩塌區位、量體、機制研擬之依據，工作成果說明如下。

一、數值地形建置

配合本團隊蒐集 2013 年之 LiDAR 資料，進行調查範圍之地形比對分析，並作為崩塌區位、量體、機制研擬之依據。日照陰影圖(包含二個不同日照方向)如圖 4-20 及圖 4-21 所示。

二、潛在滑動塊體圈繪

計畫區主要包含一處 L1 潛在大規模崩塌區，其中 L1 塊體可再細分為 S1、S2、S3 及 S4 四處規模較小之滑動塊體，圈繪成果如圖 4-22 所示。

- (一) **L1 潛在大規模崩塌區**：區域具保全對象，包括主要聯外道路、大豐村、坡面上之農地等，邊坡淺層可能存有破碎、完整度較低之岩體材料，不排除可能發生破碎岩體滑動，其中包含 S1、S2、S3 及 S4 塊體。
- (二) **S1 塊體**：塊體位於 L1 塊體之下一階崩崖，崖面清晰且包含 S2、S3 及 S4 塊體，坡面堆積鬆散土砂及大型岩塊，具多條蝕溝發育，將可能對邊坡整體之穩定性造成影響，不排除有向源侵蝕發展趨勢。
- (三) **S2 塊體**：坡面多為鬆散崩積土砂堆積，且有蝕溝發展。上邊坡道路多有下陷情形，且於頭部區域有小範圍崩塌情形。出露之岩體材料較為破碎。塊體趾部連接大豐村，具保全住戶 9 戶。
- (四) **S3 塊體**：塊體位於花縣 DF-121 及花縣 DF-122 發展區域，區域內道路多有下陷情形，坡面堆積鬆散土砂及大型岩塊(岩塊粒徑 1~4 m)，蝕溝發育清晰，不排除有側向侵蝕及向源侵蝕發展趨勢，將可能對邊坡整體之穩定性造成影響。塊體趾部連接大豐村，具保全住戶 5 戶。

(五) S4 塊體：鄰近崩崖面之部分上邊坡道路可見裂縫，坡面具兩條蝕溝發展情形，並從 S4 潛在崩塌塊體坡腹處延伸至坡趾。頭部及坡腹處可見片岩露頭出露，依據其位態走向研判，淺部岩體應有擾動情形，地層材料可能較為破碎。塊體趾部連接大豐村，具保全住戶 19 戶。

針對上述邊坡潛在滑動塊體進行初步研判，可發現近期邊坡活動性不明確，但具有保全對象，故本計畫新增地表監測儀器，採全自動觀測方式，加以調查，並評估邊坡活動性。

三、蝕溝坡度分析：

一般土石流的發生過程即包含發生區、流動區及堆積區，而其中發生區之坡度大約介於 15 至 30 度之間，流動區之坡度約介於 6 至 15 度之間，而堆積區則約介於 3 至 6 度之間(圖 4-23)，為了解本計畫區內之潛勢溪流之特性故進行坡度分析成果如圖 4-24~圖 4-26 所示。

(一) 花縣 DF-121 剖面

- 1.潛勢溪流上游區域：由分析結果顯示，區域坡度介於 25 至 31 度之間，研判為土石崩落滑動區及土石流發生區。
- 2.潛勢溪流中至下游區域：坡度介於 14 至 26 度之間，相對於上游區域坡度較緩，研判為土石流發生區及流動區交互出現。
- 3.大豐村區域：此範圍內坡度較緩約於 6 度以下，研判為土石流堆積區。

(二) 花縣 DF-122 剖面

- 1.潛勢溪流區域：由分析結果顯示，本潛勢溪流坡度較為一致，約介於 19 至 24 度之間，接近上游區域坡度較陡，可達 29 度，研判溪流坡度均屬土石流發生區。
- 2.大豐村區域：此範圍內坡度較緩約於 6 度以下，研判為土石流堆積區。

由蝕溝坡度分析成果顯示，花縣 DF-121 接近上游位置時，坡度較陡，顯示此範圍可能為土石流之料源區域，向下方溝谷提供堆積材料，若發生災害，中、下游為主要流動區，並朝趾部大豐村堆積；花縣 DF-122 於計畫區坡面範圍坡度較一致，均屬土石流發生區之坡度範圍，顯示該潛勢溪流可能無特定的料源區域，全段溪流均具朝下方溝谷提供堆積材料能力。

考量花縣 DF-122 於民國 108 年白鹿颱風期間發生災害後溝谷坡度可能發生改變，若僅由坡度進行考量，花縣 DF-122 相較於花縣 DF-121 具有較多土石流發生區存在，可能具有較高之災害潛勢。

四、可能崩塌區域(產生土砂材料)探討：

由前述詹錢登(2000)的研究僅考量蝕溝縱向之地形條件進行土石流發生區、流動區或堆積區之區分，而根據本計畫初步地表調查成果顯示區域邊坡可能具厚度不等之破碎岩體存在，故當溝谷通過潛在塊體範圍之側崖位置，均有向溝內提供土砂之能力，故根據地形判釋(LiDAR)之潛在崩塌範圍內(S3、S4 潛在塊體)，均可能為土石流之發生區。

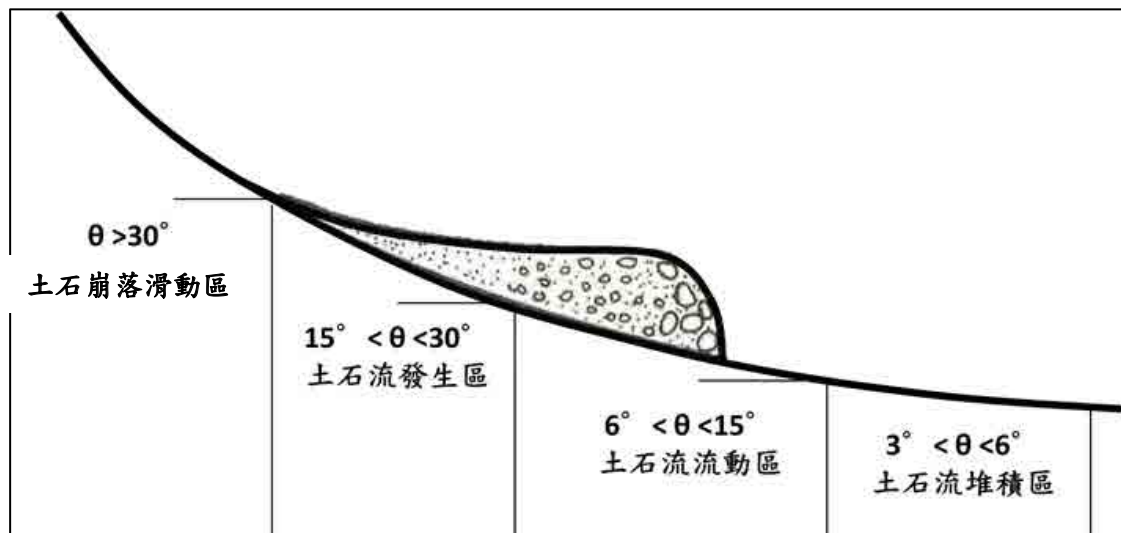


圖 4-23、土石流發生區、流動區及堆積區坡度示意圖(詹錢登，2000)

4.2.4 地質鑽探作業

根據現場踏勘及蒐集既有相關地形及地質資料顯示，本計畫區具構造通過，在此等地質構造控制作用下，容易造成區域岩體材料破碎，可能影響整體邊坡穩定，故除地表地質調查外，亦將進行地質鑽探，輔助地質調查工作之進行，並於鑽孔安裝傾斜觀測管釐清潛在邊坡之活動性。

一、 鑽探作業

前期計畫於溪頭調查區尚無執行相關地中調查作業，對於區域邊坡穩定性及地質模式仍有待釐清，根據現場踏勘及蒐集既有相關地形及地質資料顯示，計畫區包含數個大小規模不等之滑動塊體，其中 S3 及 S4 潛在滑動塊體，由 2023 年地表監測成果顯示，邊坡於特殊降雨事件下略有活動情形，近期雖無災害情事發生，仍有必要進一步釐清地質模式及崩塌機制，掌握邊坡現況，故本計畫將著重於 S3 及 S4 滑動塊體進行調查，以釐清可能潛在不穩定風險。

本計畫共計 4 孔地質鑽孔，總深 150 m，其中 2 孔安裝為傾斜觀測管(X24-BH1、X24-BH2)，2 孔配置為水位觀測井(X24-W1、X24-W2)。並於鑽探作業執行時，針對各鑽孔逐一施作，視鑽探進度檢討成果，滾動調整鑽探深度，以達調查之最大效益。鑽孔配置平面如圖 4-27 所示，各鑽孔之孔深、座標、鑽探數量統計如表 4-9 所示。

為獲取完整岩芯，利於相關人員進行岩芯判釋，本計畫採用 Wire-Line 鑽機，全程採 HQ 規格取樣(岩芯直徑約 65 mm)，鑽得之岩芯依其深度，儘量保持原狀置於岩芯箱內，供岩芯檢視判釋之用，並於岩芯照相、岩芯量測後，選擇適當樣品進行室內試驗，以作為整治規劃使用。

二、地質鑽探成果

現場地質鑽孔所取得之岩芯均進行判釋及拍攝彩色照片，岩芯描述如圖 4-28 所示，由鑽取之岩芯顯示，區域內含有 15~30 公尺厚之岩屑層存在，岩屑層以下為岩層，分述如下：

(一) 岩屑層：由黃褐色岩屑、土壤及破碎風化岩體所組成，層厚約 15~30 m。破碎風化岩體主要為黑色片岩，呈高度破碎，多有夾泥情形，具剪裂帶通過，代表性之岩芯如圖 4-28 所示。

(二) 岩層：由黑色片岩組成，整體呈中至高度破碎，裂面有銹染情形，偶夾 0.5~20 cm 薄層泥。RQD 評分結果顯示岩芯普遍為 10~40%，顯示岩體破碎程度高。代表性之岩芯如圖 4-28 所示。

利用岩芯判釋之結果，配合地形高程，繪製區域地質剖面圖，如圖 4-29 所示，以了解計畫區內地層大致之分層及相對高程位置，以利於後續相關機制之研判。

分層	岩性組成	岩芯
岩屑層	黃棕色岩屑及土壤夾雜岩塊	
	風化破碎黑色片岩	
岩層	黑色片岩	
岩芯特徵		岩芯
破碎夾泥，具剪裂帶通過		
裂面銹染情形		
岩體破碎程度高		

圖 4-28、溪頭地區岩芯特徵

表 4-10、岩芯描述紀錄表(X24-BH1 孔)

深度	岩芯描述
0.0-29.8m	黃褐色岩屑、土壤及破碎風化岩體所組成，破碎風化岩體主要為黑色片岩，呈高度破碎，多有夾泥情形。
29.8-35.0m	黑色片岩組成，含石英脈，整體呈中至高度破碎，裂面有銹染情形，偶夾薄層泥。 部分深度(33.69m-33.71m)破碎夾泥。

表 4-11、岩芯描述紀錄表(X24-BH2 孔)

深度	岩芯描述
0.0-14.0m	黃褐色岩屑、土壤及破碎風化岩體所組成，破碎風化岩體主要為黑色片岩，呈高度破碎，多有夾泥情形。
14.0-40.0m	黑色片岩組成，含石英脈，整體呈中至高度破碎，裂面有銹染情形，偶夾薄層泥。 部分深度(14.33m -14.39m、14.90m -15.08m、15.42m -15.54m、26.60m-26.85m、28.25m -28.34m、29.35m -29.38m、37.20m -37.65m、37.90m -38.00m、39.40m -39.47m)破碎夾泥。

表 4-12、岩芯描述紀錄表(X24-W1 孔)

深度	岩芯描述
0.0-30.3m	黃褐色岩屑、土壤及破碎風化岩體所組成，破碎風化岩體主要為黑色片岩，呈高度破碎，多有夾泥情形。
30.3-35.0m	黑色片岩組成，含石英脈，整體呈中至高度破碎，裂面有銹染情形。

表 4-13、岩芯描述紀錄表(X24-W2 孔)

深度	岩芯描述
0.0-15.3m	黃褐色岩屑、土壤及破碎風化岩體所組成，破碎風化岩體主要為黑色片岩，呈高度破碎，多有夾泥情形。
15.3-40.0m	黑色片岩組成，含石英脈，整體呈中至高度破碎，裂面有銹染情形，偶夾薄層泥。 部分深度(21.45m-21.70m、26.53m-26.57m、29.40m-29.60m、36.77-36.93 m、38.79m -38.83 m、39.64m -39.72 m)破碎夾泥。

三、岩芯 RQD、半定量岩體分級

傳統的岩石品質指標 RQD(Rock Quality Designation)多用來快速評估工程品質，惟本計畫岩芯普遍破碎且夾泥層多，不易於傳統之辨識工作，而根據千木良雅宏等人(2013)表示破碎的岩體其實也可能為構造作用或邊坡滑動所造成，並提出以構造與非構造的岩芯產狀特徵來分級，分級共有六級，包含完整(Intact, I)、開裂(Cracked, C)、裂隙夾泥(Jigsaw-1, J1)、碎塊移動旋轉(Jigsaw-2, J2)、受剪崩解(Disintegrated, D)、粉末化(Pulverized, P) (詳第三章地質鑽探作業小節)，因此本計畫參考千木良法之半定量岩體破碎程度分級方法進行相關判釋，以利進行後續潛在邊坡活動性之探討。

本計畫操作方式針對各鑽孔岩芯以每 10 cm 間距依照表 4-14 進行分級，各鑽孔判釋成果分述如下：

(一) X24-BH1(35m)破碎程度分級

1. 岩石品質指標評分(RQD)：本計畫 X24-BH1 孔由 RQD 評分結果顯示岩芯普遍為 0 ~30 %，顯示岩體破碎程度高，惟於局部深度有相對較完整的岩體，RQD 約為 40 %~50 %，評估結果如圖 4-30 所示。
2. 半定量岩體簡化分級：根據 X24-BH1 的鑽探岩芯成果進行整體破碎程度分級，整體岩芯分級結果如圖 4-30，深度 4~8 m、15~22 m、29~30 m 處之岩芯產狀判釋為 D、P 兩級，屬 X24-BH1 最為破碎之深度，研判為潛在滑動面。

(二) X24-BH2(40m)破碎程度分級

1. 岩石品質指標評分(RQD)：本計畫 X24-BH2 孔由 RQD 評分結果顯示岩芯普遍為 0~20 %，顯示岩體破碎程度高，惟於局部深度有相對較完整的岩體，RQD 約為 20 %~30 %評估結果如圖 4-31 所示。
2. 半定量岩體簡化分級：根據 X24-BH2 的鑽探岩芯成果進行整體破碎程度分級，整體岩芯分級結果如圖 4-31，深度 7~11 m、38 m 之岩芯

產狀判釋為 D、P 兩級，屬 X24-BH2 最為破碎之深度，研判為潛在滑動面。

(三) X24-W1(35m)破碎程度分級

1. 岩石品質指標評分(RQD)：本計畫 X24-W1 孔由 RQD 評分結果顯示岩芯普遍為 0 ~30 %，顯示岩體破碎程度高，惟於局部深度有相對較完整的岩體，RQD 約為 40 %~50 %，評估結果如圖 4-32 所示。
2. 半定量岩體簡化分級：根據 X24-W1 的鑽探岩芯成果進行整體破碎程度分級，整體岩芯分級結果如圖 4-32，深度 5~11 m、15~20 m、29~30 m 處之岩芯產狀判釋為 D、P 兩級，屬 X24-W1 最為破碎之深度，研判為潛在滑動面。

(四) X24-W2(40m)破碎程度分級

1. 岩石品質指標評分(RQD)：本計畫 X24-W2 孔由 RQD 評分結果顯示岩芯普遍為 0 ~20 %，顯示岩體破碎程度高，惟於局部深度有相對較完整的岩體，RQD 約 50 %，評估結果如圖 4-33 所示。
2. 半定量岩體簡化分級：根據 X24-W2 的鑽探岩芯成果進行整體破碎程度分級，整體岩芯分級結果如圖 4-33，深度 5~11 m、26~27 m、37 m 處之岩芯產狀判釋為 D、P 兩級，屬 X24-W2 最為破碎之深度，研判為潛在滑動面。

4.2.5 鑽探期間上下工水位記錄

為能更加瞭解調查區內地下水之分布情形，施鑽過程均每日記錄施鑽進度，及上下工鑽孔內水位變化，除瞭解地下水分布，若水位有較大明顯升降，亦可能研判可能有透水層或半透水層之存在，可提供後續地下水特性綜合分析研判。利用現地資料推估地下水特性，研判成果提供地下水特徵初步參考。關於鑽探過程中含水層及透水層定義，彙整如表 4-15 所示。

表 4-15、含水層及透水層定義

分類	鑽孔內地下水位變化			說明
	地下水位	鑽探當日下工水位 (相較於當日上工水位)	鑽探次日上工水位 (相較於當日下工水位)	
自由含水層	有	上升	略微上升或無明顯變化	鑽探深度範圍內，鑽孔有地下水補注，地下水之流入量大於或等於流出量，次日上工時地下水位較前日上工及下工水位略微上升或無明顯變化。
半受壓含水層	有	上升	上升	鑽探深度範圍內，鑽孔有地下水補注，地下水之流入量大於流出量，次日上工時地下水位上升且高於前日下工水位。
受壓含水層	有	上升	顯著上升	鑽探深度範圍內，鑽孔有地下水補注，地下水之流入量遠大於流出量，次日上工時地下水位顯著上升。
半透水層	有	下降或無明顯變化	下降(幅度小) <50%	鑽探深度範圍內，鑽孔之地下水之流入量小於流出量，並於次日上工時地下水位小幅度下降(<50%)。
	有	下降或無明顯變化	下降(幅度大) >50%或無水	深度範圍岩層，地下水之流入量<地下水之流出量，次日上工水位大幅度下降>50%。
透水層	無 (全透水)	無水	無水	深度範圍岩層，完全漏水，透水性高。
不透水層	-	-	-	介於含水層及透水層介面，分佈範圍須配合岩芯判釋

備註：

- 1.參考改繪於“地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究 共同研究報告書 表解 2-2 孔内水位変化による判定と汲み上げを併用した判定の対比”
- 2.地下水位下降幅度係以地下水位下降深度(翌日上工水位-當日下工水位)和當日總累計鑽探進尺深度之比例。

茲將溪頭調查區地下水特性說明如下：

一、X24-BH1：依照鑽探過程中地層含水層及透水性定義，可分為 3 層

- (一)透水層：於鑽探過程中，0~13 m 深度範圍內，無量測到上下工水位，顯示此深度範圍岩層，完全漏水，透水性高。
- (二)半透水層：於鑽探過程中，13~33 m 深度範圍內，當日下工水位高於次日上工水位，惟次日上工水位次日上工水位大幅度下降(>50%)，推測鑽孔內之地下水流入量小於流出量。
- (三)含水層：於鑽探過程中，33~35 m 深度範圍內，次日上工時地下水位顯著上升，推測鑽孔有地下水補注，地下水之流入量遠大於流出量。

二、X24-BH2：依照鑽探過程中地層含水層及透水性定義，可分為 4 層

- (一)透水層：於鑽探過程中，0~4 m、25~35 m 深度範圍內，無量測到上下工水位，顯示此深度範圍岩層，完全漏水，透水性高。
- (二)半透水層：於鑽探過程中，11~25 m 深度範圍內，當日下工水位高於次日上工水位，惟次日上工水位僅小幅度下降(< 50 %)，推測鑽孔內之地下水流入量小於流出量。
- (三)含水層：於鑽探過程中，35~40 m 深度範圍內，次日上工時地下水位顯著上升，推測鑽孔有地下水補注，地下水之流入量遠大於流出量。

三、X24-W1：依照鑽探過程中地層含水層及透水性定義，可分為 2 層

- (一)半透水層：於鑽探過程中，0~27 m 深度範圍內，當日下工水位高於次日上工水位，惟次日上工水位次日上工水位大幅度下降(>50%)，推測鑽孔內之地下水流入量小於流出量。
- (二)含水層：於鑽探過程中，27~35 m 深度範圍內，次日上工時地下水位無明顯變化，推測鑽孔有地下水補注，地下水之流入量大於或等於流出量。

四、X24-W2：依照鑽探過程中地層含水層及透水性定義，可分為 3 層

(一)透水層：於鑽探過程中，0~6 m 深度範圍內，無量測到上下工水位，顯示此深度範圍岩層，完全漏水，透水性高。

(二)半透水層：於鑽探過程中，6~35 m 深度範圍內，當日下工水位高於次日上工水位，惟次日上工水位次日上工水位大幅度下降(>50%)，推測鑽孔內之地下水流入量小於流出量。

(三)含水層：於鑽探過程中，35~40 m 深度範圍內，次日上工時地下水位上升且高於前日下工水位，推測鑽孔有地下水補注，地下水之流入量大於流出量。

根據鑽探期間之地下水位記錄顯示，於鑽探過程中，各鑽孔均有地下水反應，其中 X24-BH1、X24-BH2 及 X24-W2 鑽孔，於進尺至某深度後，次日上工時水位均有大幅度上升情形，研判區域地下水可能有受壓情形。後續須持續觀察水位變化情形，供研判計畫區內之地下水位高程參考。

4.2.6 地球物理探勘

前期計畫透過地電阻探測，針對崩塌地地層構造、岩性分布等資訊執行面狀調查。此外地電阻探測對於地層中可能含水層分布情形，亦能提供可靠資訊，可輔助調查計畫區地質及地下水分布情形。溪頭調查區地電阻探測原理及判釋說明詳如 3.2.6 節，本調查區地電阻測線設計及探測成果分述如下。

一、地電阻測線設計：

本計畫採用 5 條 350 m 之測線，以部分測線重疊的方式橫跨 S3 及 S4 塊體，每條測線有效解析深度大約 70 m，合併測線之總長度為 1,070 m。此外為輔助地層材料特性及地下水特性之研判，測線將於降雨事件前後各調查一次，以釐清區域電性分布隨降雨事件前後兩時期之變化，兩次探測測線總長度共計 2,140 m。以下就各預計施設參數進行說明，各項測線參數如表 4-16。

(一) 電極排列方法：一般而言進行探測時所選用之陣列排法，需視探測目標及需求而異，本計畫施測之陣列排法採用溫奈排列法（Wenner Array），此陣列電位極位於電流極之間，電流線密度高，使訊號強度強，訊噪比較高。溫奈排列法其四根電極呈對稱排列並等間距移動，針對剖面垂直方向變化有良好解析度。

(二) 電極間距：地電阻剖面之解析度可藉由電極間距來進行控制，一般而言剖面的解析度為選用電極間距的一半，並隨著剖面深度逐漸減少，而本公司為獲得較高解析度之電性剖面，將採用 5m 間距之地電阻探測。

- (三) 測線位置：前期計畫於溪頭調查區尚無執行相關地中調查及監測工作，對於區域邊坡穩定性尚待釐清，由 2023 年地表監測儀器成果顯示，區域內 S3 及 S4 潛在滑動塊體於特殊降雨事件下略有活動情形，故配置地電阻測線橫跨 S3 及 S4 潛在塊體。
- (四) 施測時機：本計畫測線考量除了空間上的配置外，欲了解地下水位於時間上隨降雨事件前後兩時期之變化，於 113 年 7 月執行完降雨事件前之探測，並於 113 年 10 月山陀兒颱風後執行降雨事件後探測工作。

表 4-16、溪頭調查區地電阻測線施測參數表

測線 編號	探測 日期 (民國)	前 7 日累 積降雨 (mm)	測線座標 TWD97				施測 陣列	電極 間距 (m)	測線 長度
			起點		迄點				
X24-L1-1	113/7/8	15	288193	2611149	288029	2611429	Wenner	5	350 m
X24-L1-2	113/7/9		288119	2611299	287954	2611563			350 m
X24-L1-3	113/7/10		288026	2611434	287876	2611724			350 m
X24-L1-4	113/7/10		287952	2611573	287774	2611872			350 m
X24-L1-5	113/7/11		287870	2611739	287708	2612013			350 m
X24-L1-1	113/10/7	352 (山陀兒 颱風後)	288193	2611149	288029	2611429			350 m
X24-L1-2	113/10/8		288119	2611299	287954	2611563			350 m
X24-L1-3	113/10/9		288026	2611434	287876	2611724			350 m
X24-L1-4	113/10/9		287952	2611573	287774	2611872			350 m
X24-L1-5	113/10/10		287870	2611739	287708	2612013			350 m

二、地電阻探測成果(材料分層)

(一)X24-L1-1 (350 m)：本測線總長 350 m，為橫向坡面佈設之東南→西北向測線，由地電阻成果顯示(圖 4-39)地層電性上反應大至可概分為兩層之電性分層，以下就判釋結果進行說明：

1.分層 1：地表至深度 15-20 m 範圍內，地層電阻率普遍為 2,000 Ohm-m 以上，且電性分佈測向連續性不佳、差異甚大，研判此地層材料組成不一且結構鬆散，研判為岩屑材料。

2.分層 2：深度約 15-20 m 以下範圍，地層電阻率普遍介於 150-2,000 Ohm-m 之間，電性反應側向連續性不佳，於測樁 230-270 m 之間，局部區域呈相對低電阻電性反應，可能與地層材料局部破碎處含泥量較高有關，比對本計畫 X24-BH2 鑽探岩心研判此電性分層為岩層。

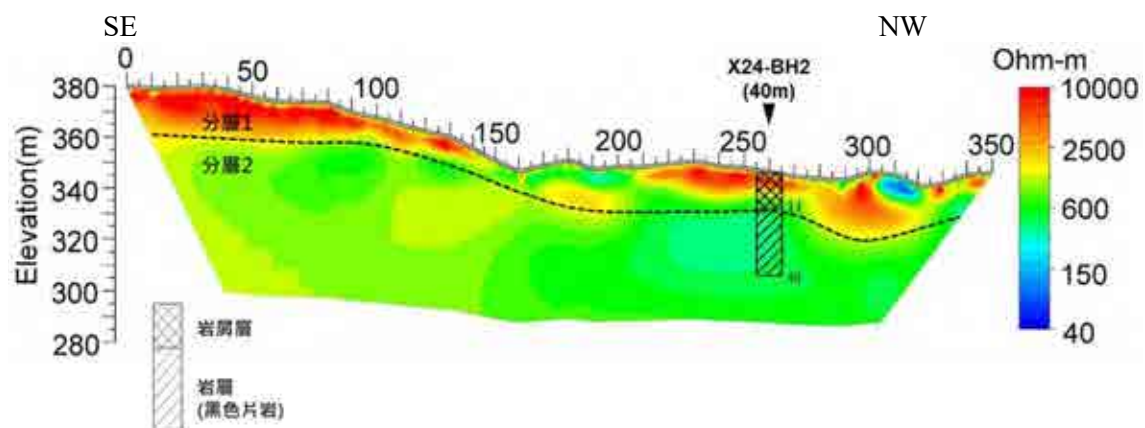


圖 4-39、溪頭調查區 X24-L1-1 測線地電阻探成果

(二)X24-L1-2 (350 m)：本測線總長 350 m，為 X24-L1-1 測線朝西北方向平移 180m，測樁里程為 180-530 m，由地電阻成果顯示(圖 4-40)地層電性上反應大至可概分為兩層之電性分層，以下就判釋結果進行說明：

- 1.分層 1：地表至深度 15-20 m 範圍內，地層電阻率普遍為 2,000 Ohm-m 以上，且電性分佈測向連續性不佳、差異甚大，研判此地層材料組成不一且結構鬆散，研判為岩屑材料。
- 2.分層 2：深度約 15-20 m 以下範圍，地層電阻率普遍介於 80-600 Ohm-m 之間，電性反應側向連續性相對較佳，於測樁 280-480 m 之間，局部區域呈相對低電阻電性反應，可能與地層材料局部破碎處含泥量較高有關，比對本計畫 X24-BH2 鑽探岩心研判此電性分層為岩層。

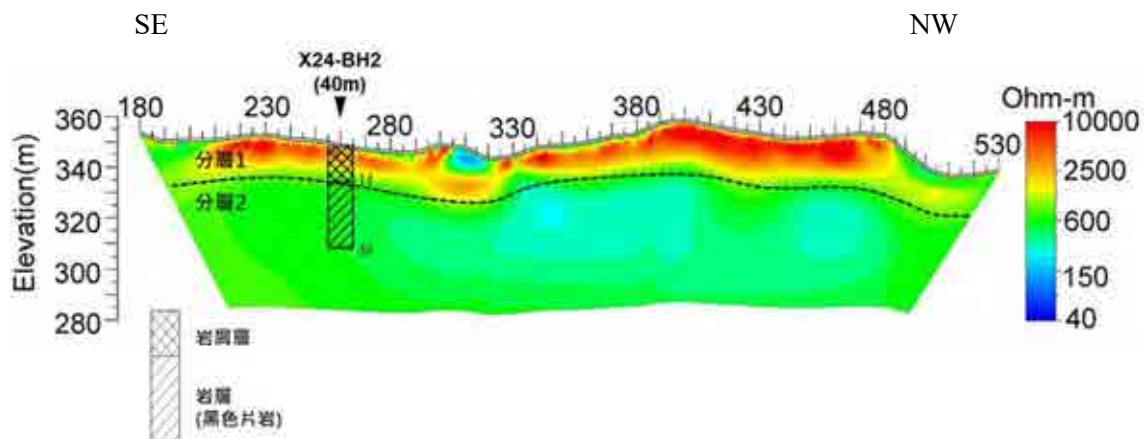


圖 4-40、溪頭調查區 X24-L1-2 測線地電阻探成果

(三)X24-L1-3 (350 m)：本測線總長 350 m，為 X24-L1-2 測線朝西北方向平移 180m，測樁里程為 360-710 m，由地電阻成果顯示(圖 4-41)地層電性上反應大至可概分為兩層之電性分層，以下就判釋結果進行說明：

- 1.分層 1：地表至深度 15-20 m 範圍內，地層電阻率普遍為 2,000 Ohm-m 以上，且電性分佈測向連續性不佳、差異甚大，研判此地層材料組成不一且結構鬆散，研判為岩屑材料。
- 2.分層 2：深度約 15-20 m 以下範圍，地層電阻率普遍介於 80-600 Ohm-m 之間，電性反應側向連續性相對較佳，於測樁 570-650 m 之間，局部區域呈相對低電阻電性反應，可能與地層材料局部破碎處含泥量較高有關，研判此電性分層為岩層。

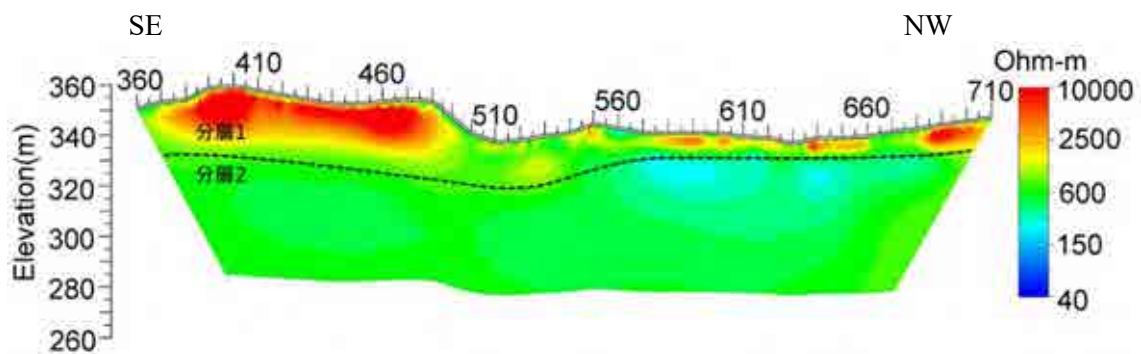


圖 4-41、溪頭調查區 X24-L1-3 測線地電阻探成果

(四)X24-L1-4 (350 m)：本測線總長 350 m，為 X24-L1-3 測線朝西北方向平移 180m，測樁里程為 540-890 m，由地電阻成果顯示(圖 4-42)地層電性上反應大至可概分為兩層之電性分層，以下就判釋結果進行說明：

- 1.分層 1：地表至深度 10-30 m 範圍內，地層電阻率普遍為 2,000 Ohm-m 以上，且電性分佈測向連續性不佳、差異甚大，研判此地層材料組成不一且結構鬆散，研判為岩屑材料。
- 2.分層 2：深度約 10-30 m 以下範圍，地層電阻率普遍介於 80-600 Ohm-m 之間，電性反應側向連續性相對較佳，於測樁 550-710 m 之間，局部區域呈相對低電阻電性反應，可能與地層材料局部破碎處含泥量較高有關，比對本計畫 X24-BH1 鑽探岩心研判此電性分層為岩層。

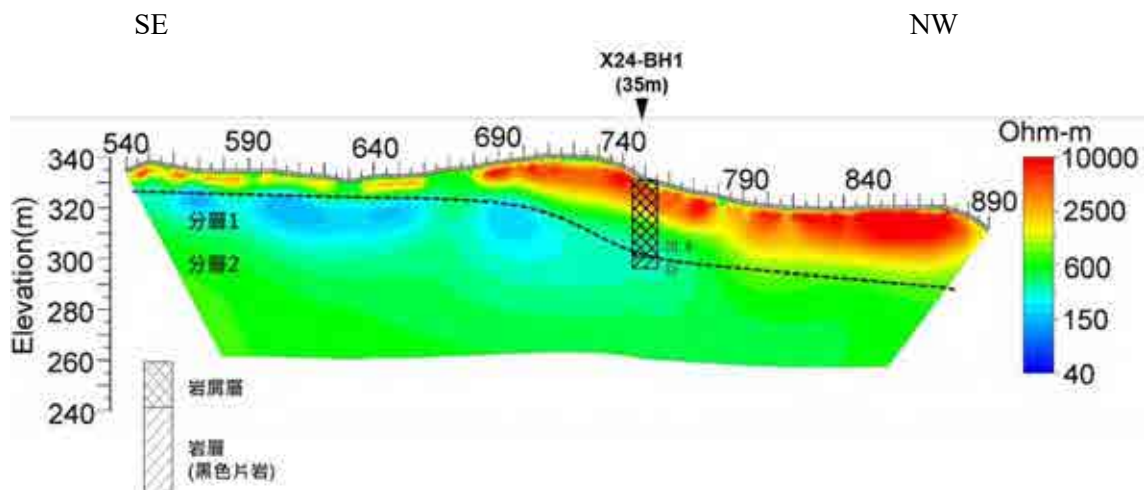


圖 4-42、溪頭調查區 X24-L1-4 測線地電阻探成果

(五)X24-L1-5 (350 m)：本測線總長 350 m，為 X24-L1-4 測線朝西北方向平移 180m，測樁里程為 180-530 m，由地電阻成果顯示(圖 4-43)地層電性上反應大至可概分為兩層之電性分層，以下就判釋結果進行說明：

- 1.分層 1：地表至深度 20-30 m 範圍內，地層電阻率普遍為 2,000 Ohm-m 以上，且電性分佈測向連續性不佳、差異甚大，研判此地層材料組成不一且結構鬆散，研判為岩屑材料。
- 2.分層 2：深度約 20-30 m 以下範圍，地層電阻率普遍介於 80-600 Ohm-m 之間，電性反應側向連續性相對較佳，於測樁 280-480 m 之間，局部區域呈相對低電阻電性反應，可能與地層材料局部破碎處含泥量較高有關，比對本計畫 X24-BH2 鑽探岩心研判此電性分層為岩層。

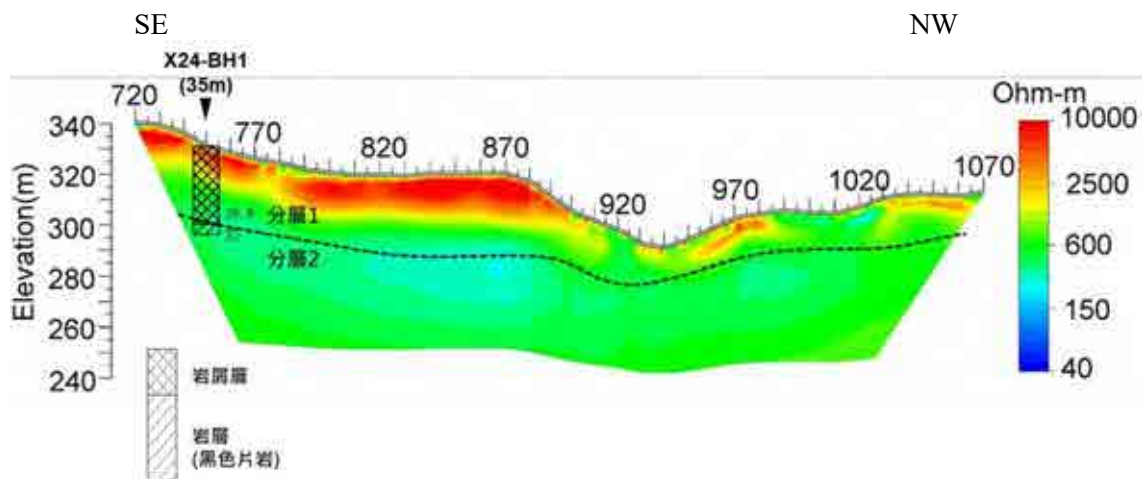
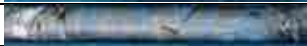


圖 4-43、溪頭調查區 X24-L1-5 測線地電阻探成果

(六) X24-L1 合併測線(1,070 m)：經合併測線後地層電性上仍可概分出兩層之電性分層(圖 4-44)，比對鑽探岩心成果，於電性分層 1 之鑽孔材料特性相似，且電性反應相當，研判為岩屑層；電性分層 2 之鑽孔材料特性相似，惟兩鑽孔區域之電阻率略有差異，其中以 X24-BH1 鑽孔區域電阻率相對較低，研判此低電阻電性反應可能受材料夾泥影響所導致。然考量電阻率剖面成果會受地層材料的多項參數綜合影響而有電性上之變化，故為釐清調查區內之低電阻訊號是否反應為夾泥情形、剪裂帶亦或是受地下水影響而產生之電性反應，詳降雨前後比對分析小節作進一步研判，溪頭地區電性分層與岩芯比對成果詳表 4-17。另由剖面成果顯示區域岩屑層厚度約 20~30 m，其中以 S3 潛在塊體，岩屑層厚度相對較厚(10~30 m)，推測 S3 潛在塊體於特殊事件發生時具有較多材料可向下邊坡輸出，後續應特別關注。

表 4-17、溪頭地區電性分層與岩芯比對成果

電性分層	材料分層	鑽孔編號	岩心	材料特性	電性反應
分層 1	岩屑層	X24-BH1		材料破碎且多有夾泥情形	電性分佈側向連續性不佳且差異甚大
		X24-BH2			
分層 2	岩層	X24-BH1		材料完整度較高偶夾薄層泥	電性分佈側向連續性相對較佳
		X24-BH2			

三、地電阻探測成果(降雨前後比對分析)

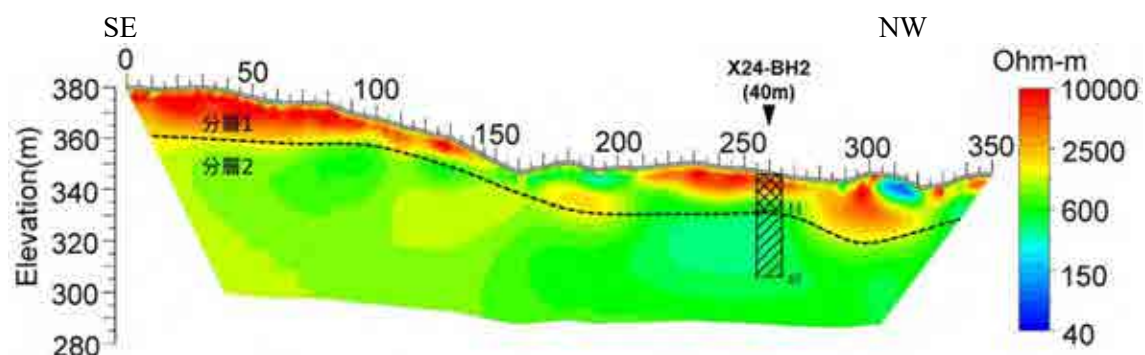
為更精確掌握降雨前後電性剖面產生變化之區域，團隊另使用地電阻時序變異方法(Time Lapse)進行分析，此方法適用於觀測兩期至多期時間間隔內，同一測線之地電阻探測成果變化，操作方式需選取觀測期間內一筆具代表性之探測成果作為背景資料，並以此背景資料作為參考模型，以提供相同測線後續時間間隔下施測之成果進行模型比較及修正演算。地電阻時序觀測成果將以電阻率變化百分比表示：

$$\% \Delta \rho = \left(\frac{\rho_i - \rho_0}{\rho_0} \right) \times 100$$

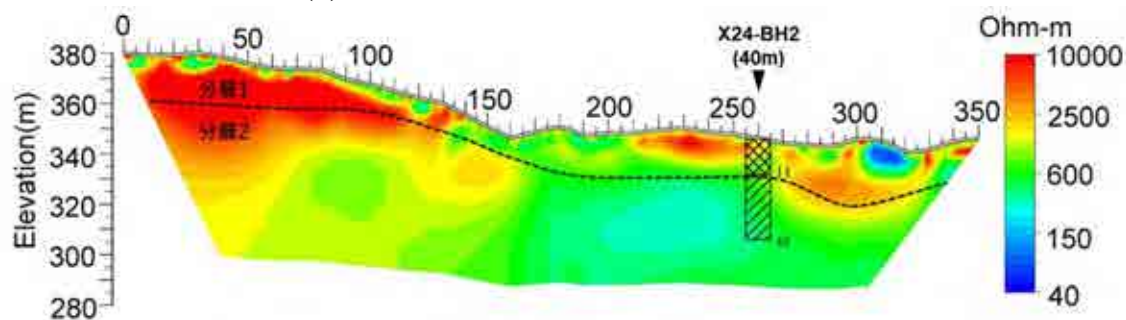
其中 ρ_i 為模型於時間 i 之電阻率， ρ_0 為參考模型中之電阻率。而電阻率百分比之正、負值則代表相對參考模型，電阻率於時間 i 下為增加或是減少。

由山陀兒颱風事件前後之分析成果顯示，降雨事件後剖面電阻率普遍有下降變化之情形，其中電性分層 1(岩屑層)之電阻率下降反應為層狀，研判區域受降雨影響地表水入滲後，於淺層區域可能形成地下水流動通道，且地下水無沿特別流逕流動；而電性分層 2(岩層)中，僅有局部區域呈現電阻率下降反應，研判岩層內局部破碎程度較相對高處，可能形成地下水流動之通道，區域岩層內地下水可能沿數條流逕向下邊坡流動。本計畫各分段測線之分析成果，說明如下。

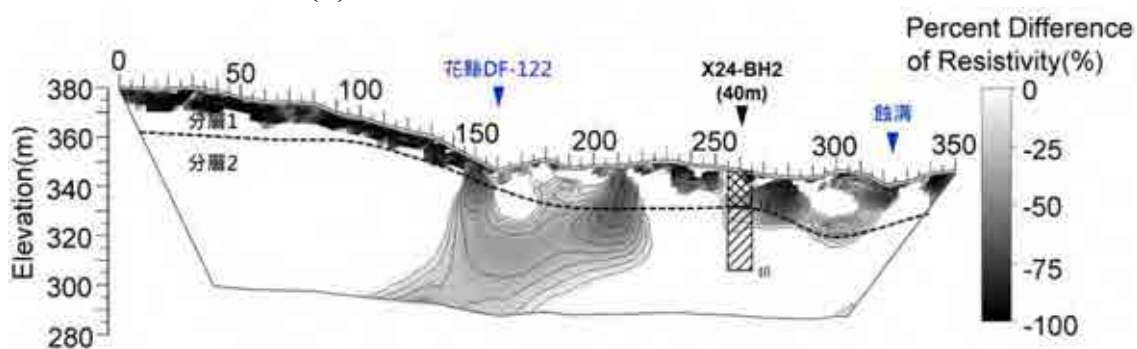
(一)X24-L1-1 (350 m)：由山陀兒颱風事件前後之探測成果顯示(圖 4-45)，電性分層 1，電阻率普遍呈下降變化，研判可能因岩屑層之地層材料破碎且結構鬆散，當降雨時可能因地表水入滲，而於淺層形成地下水流動之通道；電性分層 2 於測樁 140-230 m 之間，局部區域呈現電阻率下降變化，研判於岩層內局部破碎程度較相對高處，可能形成地下水流動之通道。



(a)山陀兒颱風前地電阻探測成果



(b) 山陀兒颱風後地電阻探測成果



(c)地電阻時序變異分析成果

圖 4-45、溪頭調查區 X24-L1-1 測線降雨事件前後比對成果

(二)X24-L1-2 (350 m)：由山陀兒颱風事件前後之探測成果顯示(圖 4-46)，電性分層 1，電阻率普遍呈下降變化，研判可能因岩屑層之地層材料破碎且結構鬆散，當降雨時可能因地表水入滲，而於淺層形成地下水流動之通道；電性分層 2 於測樁 265-290 m、330-360 m 及 410-460 m 之間，局部區域呈現電阻率下降變化，研判於岩層內局部破碎程度較相對高處，可能形成地下水流動之通道。

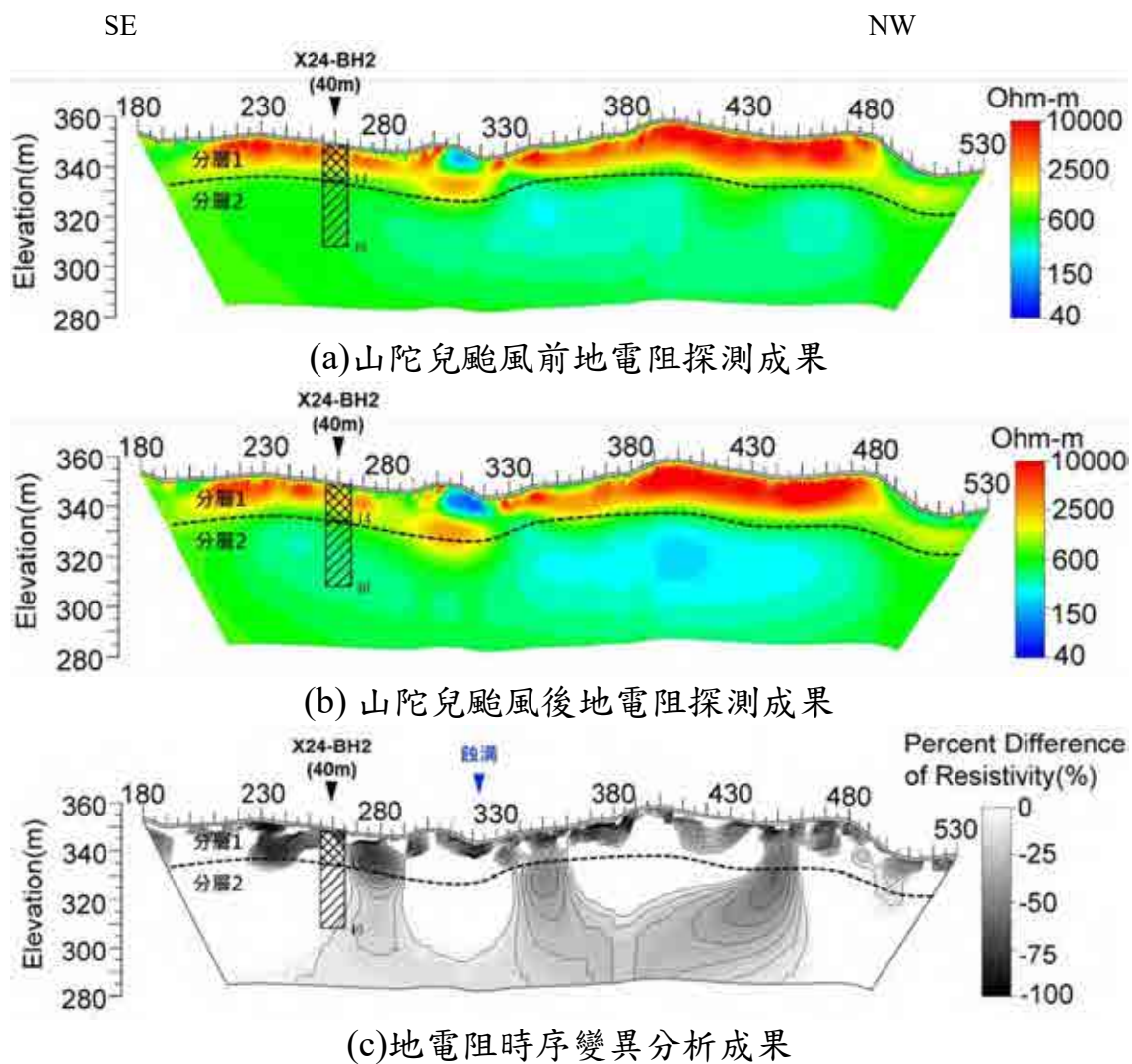
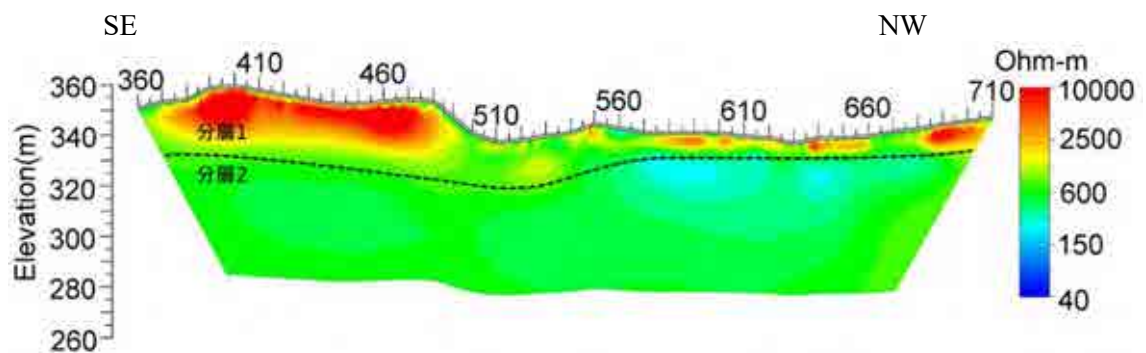


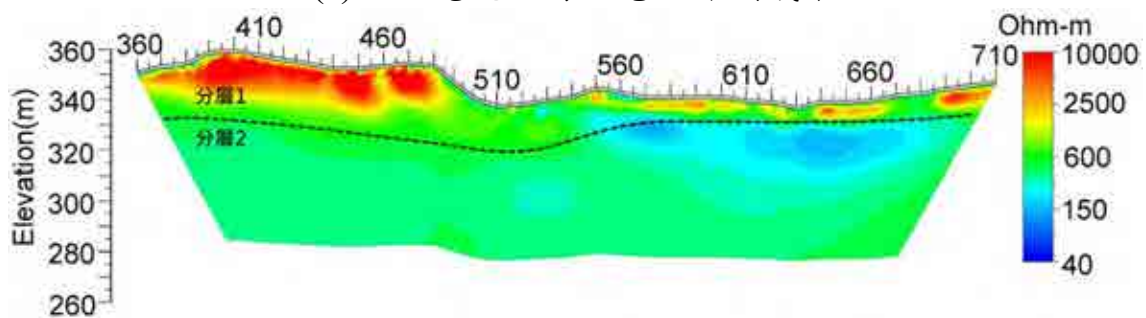
圖 4-46、溪頭調查區 X24-L1-2 測線降雨事件前後比對成果

(三)X24-L1-3 (350 m)：由山陀兒颱風事件前後之探測成果顯示(圖 4-

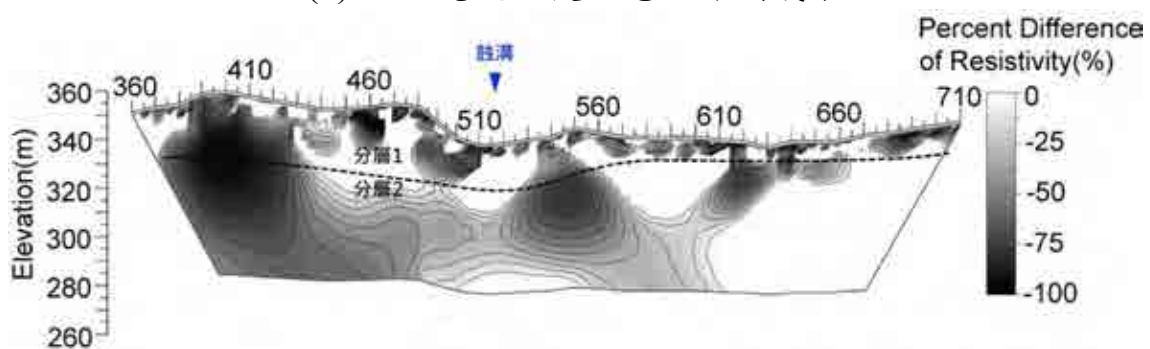
47)，電性分層 1，電阻率普遍呈下降變化，研判可能因岩屑層之地層材料破碎且結構鬆散，當降雨時可能因地表水入滲，而於淺層形成地下水流動之通道；電性分層 2 於測樁 360-430 m、520-580 m 及 600-630 m 之間，局部區域呈現電阻率下降變化，研判於岩層內局部破碎程度較相對高處，可能形成地下水流動之通道。



(a)山陀兒颱風前地電阻探測成果



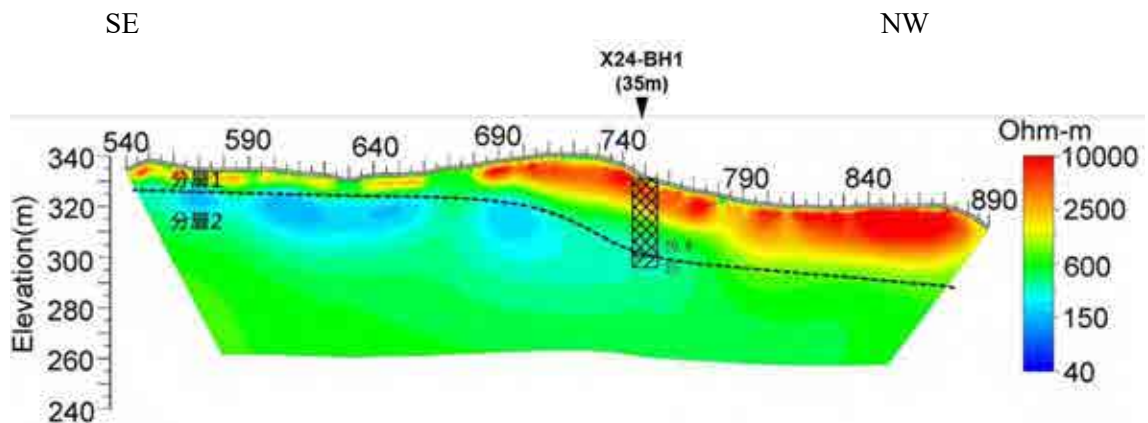
(b) 山陀兒颱風後地電阻探測成果



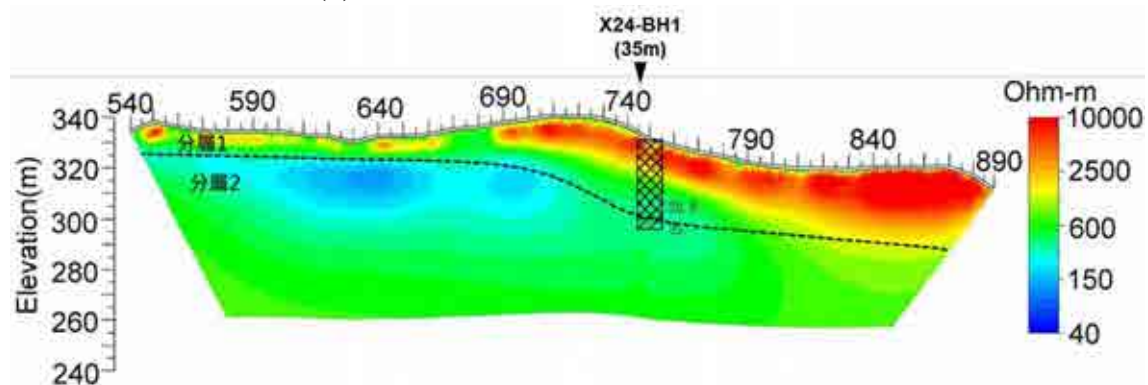
(c)地電阻時序變異分析成果

圖 4-47、溪頭調查區 X24-L1-3 測線降雨事件前後比對成果

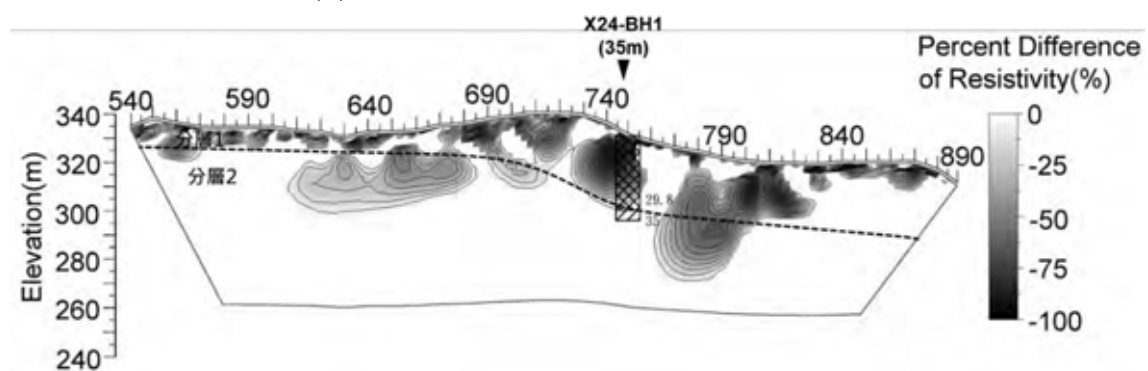
(四)X24-L1-4 (350 m)：由山陀兒颱風事件前後之探測成果顯示(圖 4-48)，電性分層 1，電阻率普遍呈下降變化，研判可能因岩屑層之地層材料破碎且結構鬆散，當降雨時可能因地表水入滲，而於淺層形成地下水流動之通道；電性分層 2 於測樁 600-680 m 及 760-800 m 之間，局部區域呈現電阻率下降變化，研判於岩層內局部破碎程度較相對高處，可能形成地下水流動之通道。



(a)山陀兒颱風前地電阻探測成果



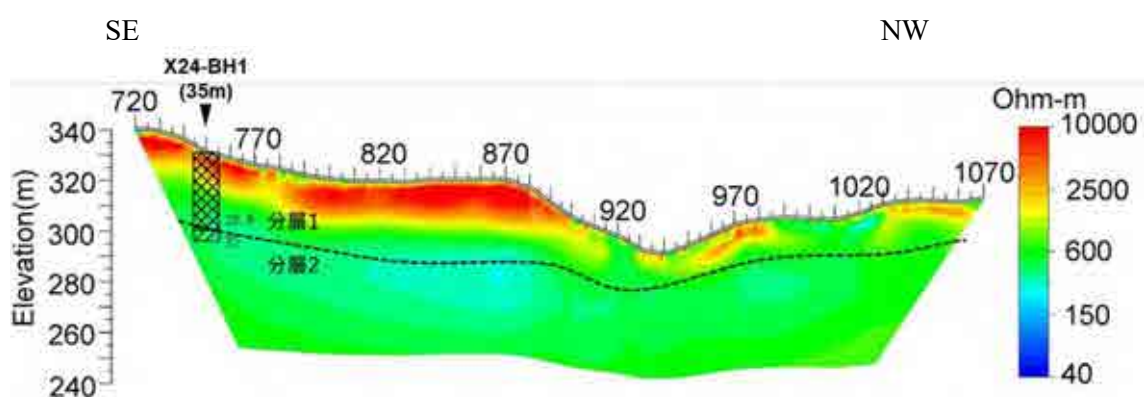
(b) 山陀兒颱風後地電阻探測成果



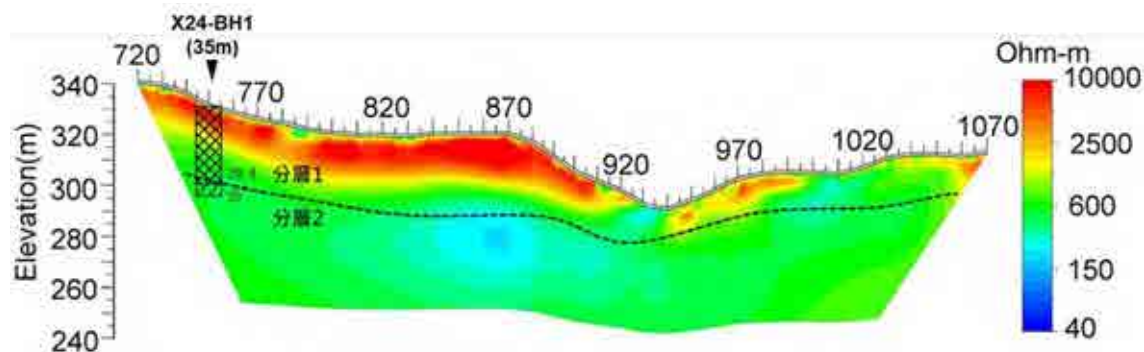
(c)地電阻時序變異分析成果

圖 4-48、溪頭調查區 X24-L1-4 測線降雨事件前後比對成果

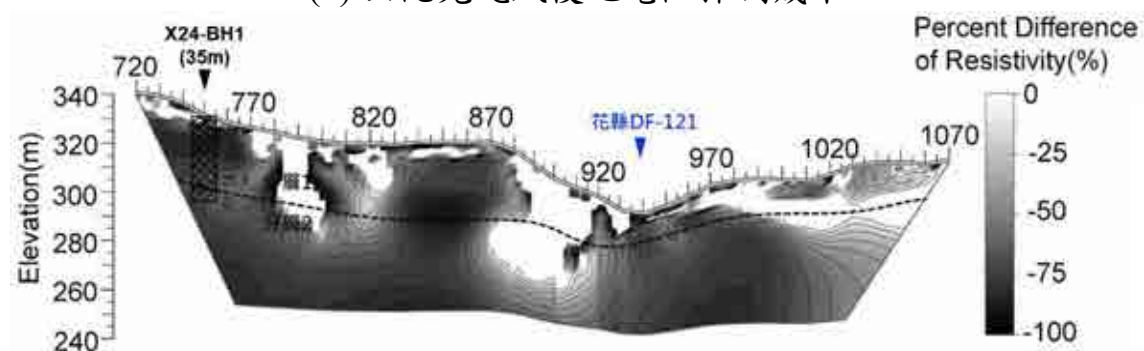
(五)X24-L1-5 (350 m)：由山陀螺颱風事件前後之探測成果顯示(圖 4-49)，電性分層 1，電阻率普遍呈下降變化，研判可能因岩屑層之地層材料破碎且結構鬆散，當降雨時可能因地表水入滲，而於淺層形成地下水流動之通道；電性分層 2 於測樁 830-870 m 及 930-1010 m 之間，局部區域呈現電阻率下降變化，研判於岩層內局部破碎程度較相對高處，可能形成地下水流動之通道。



(a)山陀兒颱風前地電阻探測成果



(b) 山陀兒颱風後地電阻探測成果



(c)地電阻時序變異分析成果

圖 4-49、溪頭調查區 X24-L1-5 測線降雨事件前後比對成果

第三節 相關單位觀測成果蒐集及彙整

經蒐集相關資料，溪頭地區曾有農業部農村發展及水土保持署針對大範圍潛勢區進行 In-SAR 分析(2007~2020 年間資料) 及 GNSS 地表變形觀測(2019~2022 年)，彙整各單位儀器數量如表 4-18 所示。依序說明地表 In-SAR 及 GNSS 成果如後。

一、In-SAR 分析(合成孔內雷達衛星影像分析)

農業部農村發展及水土保持署於 2015~2024 年另案辦理相關計畫進行合成孔內雷達衛星影像分析，利用日本 ALOS 衛星於 2007~2011 年(涵蓋 2009 年 8 月莫拉克颱風前後)，及 ALOS-2 衛星於 2015~2024 年間之合成孔徑雷達衛星影像，配合時域相關點雷達干涉法(Temporarily Coherent Point SAR Interferometry, TCP-InSAR)技術，分析全臺潛在崩塌邊坡活動性。

由 TCP-InSAR 地表長期變形量成果顯示(表 4-19、圖 4-50)(沿坡面方向)，2015-2020 年 ALOS-2 期程其邊坡滑移總量為-2409 mm/yr、滑移總點數為 558 點、滑移平均量為-4.3 mm/yr，TCP-InSAR 活動度評估為「低」。2020-2021 年 ALOS-2 期程其邊坡滑移總量為-2696.1 mm/yr、滑移總點數為 566 點、滑移平均量為-4.8 mm/yr，TCP-InSAR 活動度評估為「低」。2022-2023 年 ALOS-2 期程其邊坡滑移總量為-4440.3 mm/yr、滑移總點數為 523 點、滑移平均量為-8.5 mm/yr，TCP-InSAR 活動度評估為「中」。由 TCP-InSAR 成果顯示近期邊坡活動性略有上升情形。

此外由 TCP-In-SAR 地表分析結果套繪本計畫之地表線形，顯示區域中顯著地貌變異處大致可與潛在滑動塊體相互匹配，並以 S3 及 S4 潛在塊體較具活動性，呈現頭部下降，趾部抬升情形，推測可能為圓弧形滑動，亦或是淺層材料向下邊坡輸出堆積，如圖 4-51 所示。

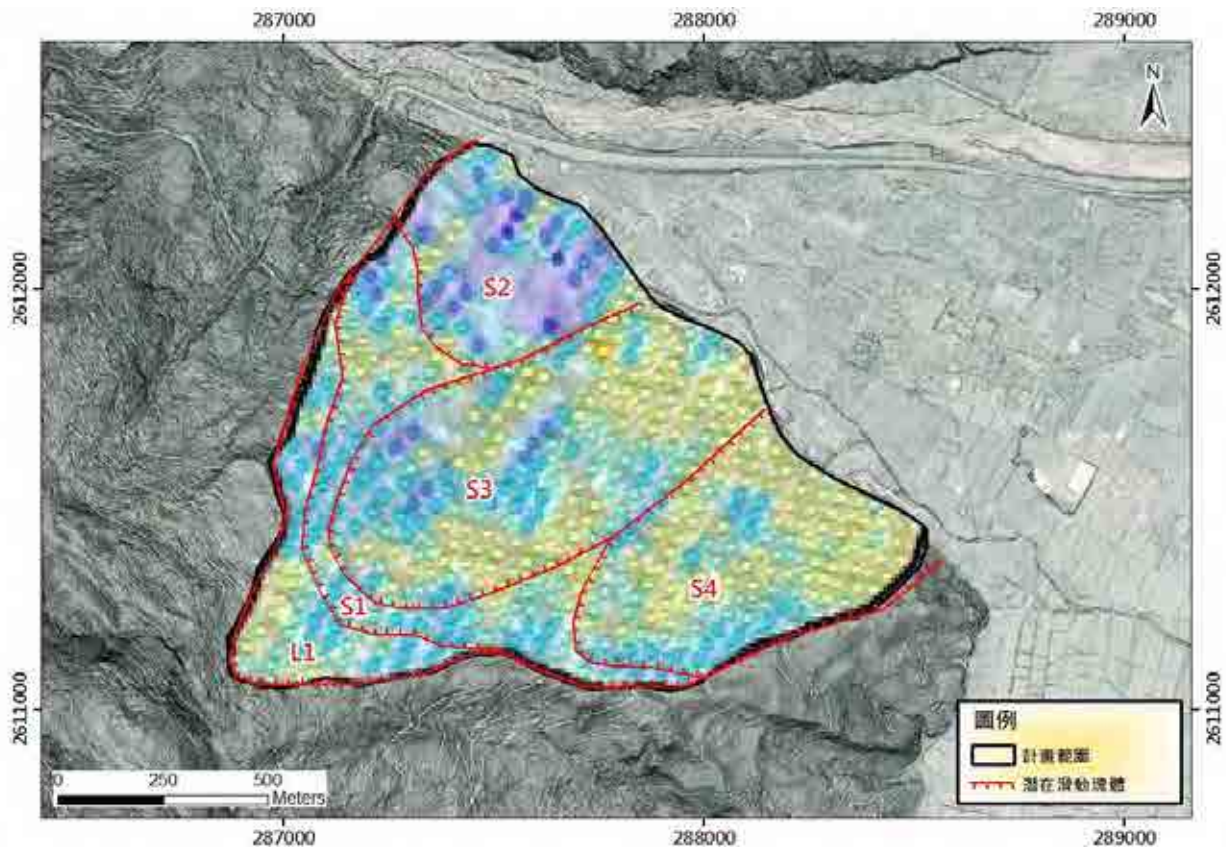


圖 4-51、溪頭地區 TCP-InSAR 與地表線形比對成果

(底圖為銅門地區 2022~2023 期間 TCP-InSAR 分析成果；區域顯著地貌變異之位置大致可與潛在滑動塊體相互匹配，並於 S3 及 S4 次塊體頭部呈現下降趨勢，而趾部區域堆積)

二、GNSS 觀測

農業部農村發展及水土保持署自 2019 年開始辦理「大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統發展計畫」，其中溪頭地區共設有 6 組單頻 GNSS(含基站)。根據歷時 GNSS 監測成果顯示，G2、G3 測站自 2022 年初起開始有持續性位移情形發生；G5、G6 測站則屬於常時無明顯變位趨勢，於強降雨時位移加速類型。初步研判區域具階段性崩落的位移特性，由於趾部滑動塊體活動，可能促使上方區塊失去支撐而有持續性的位移現象。GNSS 觀測結果如圖 4-52 所示。

第四節 崩塌安全監測系統觀測儀器安裝與觀測

本計畫期末階段監測期間至 2025 年 11 月，各監測項目、監測頻率及成果說明如下：

4.4.1 觀測儀器安裝及監測項目

溪頭調查區為配合後續預警防災工作，本計畫新增監測儀器項目包括傾斜管、水位觀測井、電子式水壓計、地表伸縮計、雙軸傾斜計、自動化即時影像監控系統及雙頻 GNSS 觀測站，各監測項目數量及量測目的說明如下，監測儀器平面配置圖詳圖 4-53。監測儀器數量及現場狀況如表 4-20。

一、傾斜管(既有監測儀器持續觀測)

傾斜管量測方式係藉由雙軸傾斜感測器，量測地層各深度之水平變化量，進而研判邊坡滑動型態、滑動深度及滑動速率等資料。溪頭調查區於活動性較高之 S3 及 S4 潛在滑動塊體坡腹處設置 2 孔傾斜管(X24-BH1、X24-BH2)。

二、水位觀測井(既有監測儀器持續觀測)

水位觀測井量測目的，為瞭解調查區地下水位昇降情形。溪頭調查區於活動性較高之 S3 及 S4 潛在滑動塊體坡腹處傾斜管旁設置 2 孔水位觀測井。

三、電子式水壓計(既有監測儀器持續觀測)

根據前期監測成果顯示，溪頭調查區既有觀測孔於降雨期間地下水位具明顯昇降變化，故本計畫依既有鑽孔位置配置全自動化電子式水壓計 2 支(X24-W1、X24-W2)，持續觀測地下水位。

四、雙頻 GNSS 衛星定位觀測 (既有監測儀器持續觀測)

前期計畫於 S1~S4 潛在滑動塊體分別設置 5 處觀測站(X23-G1、X23-G2、X23-G3、X23-G4、X24-G5)，並於大豐村設置 1 處基站，以即時獲得邊坡地表變形監測，提供警戒應變參考。

五、地表伸縮計(既有監測儀器持續觀測)

配合前期調查成果，將針對溪頭調查區中具潛在滑動之 S4 潛在塊體頭部，建置全自動化地表伸縮計 1 處，以獲得連續地表變位資料以追蹤邊坡活動性。

六、雙軸傾斜計(既有監測儀器持續觀測)

根據前期監測成果顯示，溪頭調查區 S4 潛在滑動塊體略有活動情形，故於雙頻 GNSS 觀測站 X23-G4 (特殊環境事件下略有變位之測站)鄰近蝕溝側崖既有工程結構物安裝 1 組全自動雙軸傾斜計(X24-TI1)，可針對地表構造物傾斜變化進行即時自動化監測。

七、自動化即時影像監控系統(既有監測儀器持續觀測)

溪頭調查區為配合後續預警防災工作，考量災害歷史及保全對象位置，於土石流潛勢溪流(花縣 DF-122)鄰近位置設置 1 組自動化即時影像監控系統，屆時將配合區內其他監測儀器即時掌握邊坡現況。

表 4-20、本計畫監測儀器數量及現場狀況說明

儀器名稱		儀器編號	孔深(m)	儀器狀況【註 1】	儀器數量	量測方式【註 2】	安裝日期	目的
傾斜觀測管		X24-BH1	35	V	2 孔	手動	2024 年 7 月	• 掌握坡腹滑動深度 • 掌握邊坡地下水變化
		X24-BH2	40	V				
水位觀測井		X24-W1	35	V	2 孔			
		X24-W2	40	V				
電子式水壓計		X24-W1	-	V	2 處	全自動	2024 年 7 月	• 掌握 S3 潛在崩塌範圍地下水變化情形
		X24-W2	-	V				• 掌握 S4 潛在崩塌範圍地下水變化情形
雙軸傾斜計		X24-TI1	-	V	1 站	全自動	2024 年 5 月	• 監測地表變形，擬安裝於 S4 潛在滑動塊體蝕溝側崖既有工程結構物
地表伸縮計		X23-E1	-	V	1 站	全自動	2023 年 6 月	• 監測地表變形，設置於 S4 潛在崩塌範圍內
自動化即時影像監控系統		X23-CCD1	-	V	1 站	全自動		• 配合區內其他監測儀器即時掌握邊坡現況
雙頻 GNSS	基站	X23-G0	-	V	6 站	全自動		• 基站，設置於大豐村內
	觀測站	X23-G1	-	V			• 監測地表變形，設置於 S1 潛在崩塌範圍下方崩崖處	
		X23-G2	-	V			• 監測地表變形，設置於 S2 潛在崩塌範圍內	
		X23-G3	-	V			• 監測地表變形，設置於 S3 潛在崩塌範圍內	
		X23-G4	-	V			• 監測地表變形，設置於 S4 潛在崩塌範圍內	
		X24-G5		V		2024 年 5 月	• 監測地表變形，擬設置於 S4 潛在崩塌範圍頭部	

【註 1】V 為正常觀測；X 為停止觀測。

【註 2】手動：114 年，共執行 6 次。

全自動：每 10 分鐘記讀一次資料，資料自動上傳雲端系統。

4.4.2 監測頻率

本計畫之監測資料蒐集及分析，包括手動觀測儀器及自動化觀測儀器兩種類型，分述說明如下：

一、手動觀測儀器

包含傾斜觀測管與水位觀測井量測，溪頭調查區於計畫期間各區每年執行 6 次，原則防汛期前量測 1 次(1 月至 4 月)，於汛期期間每兩個月量測 1 次(5 月至 11 月)，並視地震(震度 5 強以上)或颱風豪雨事件，進行加密觀測 1 次(本計畫預計 3 月、5 月、7 月、9 月、10 月、11 月執行)。本工作階段所進行之監測執行時程統計詳表 4-21。

二、自動化監測儀器

電子式水位計、雙頻 GNSS、雙軸傾斜計、地表伸縮計設定為每 10 分鐘記錄 1 次，以記錄連續變化資料。

表 4-21、手動觀測時程

計畫 期程	監測日期	時程	備註
前期計畫 113 年度	2024.08.06	第 1 次手動監測	2024/7/23 凱米颱風
	2024.10.5	第 2 次手動監測	2024/9/30：山陀兒颱風
	2024.11.14	第 3 次手動監測	2024/10/31：康芮颱風
本計畫 114 年度	2025.03.03	第 1 次手動監測	-
	2025.05.08	第 2 次手動監測	-
	2025/07/24	第 3 次手動監測	2025/7/18 薇帕颱風
	2025/09/03	第 4 次手動監測	2025/9/23 樺加沙颱風
	2025/10/01	第 5 次手動監測	-
	2025 年 11 月	第 6 次手動監測	-

4.4.3 監測成果

期末階段彙整各監測儀器資料至 2025 年 11 月，茲整理該期間各項監測成果說明如下：

一、 降雨量監測成果

本次降雨量監測資料係蒐集期間為 2025 年 1 月至 10 月。參考鄰近之中央氣象署富源雨量站(編號：C0Z080)，由資料顯示本監測期間發生 4 起特殊降雨事件，於 2025 年 6 月 12 日發生大雨事件，事件累積雨量 121.0 mm，最大時雨量 21.5 mm；於 2025 年 7 月 18 日遭遇薇帕颱風事件，事件累積雨量 452.5 mm，最大日累積雨量 234.0 mm，最大時雨量 43.5 mm；於 2025 年 9 月 22 日遭遇樺加沙颱風事件，事件累積雨量 548.5 mm，最大日累積雨量 285.0 mm，最大時雨量 34.0 mm；於 2025 年 11 月 10 日遭遇鳳凰颱風事件，事件累積雨量 226.5 mm，最大日累積雨量 114.0 mm，最大時雨量 16.0 mm，惟 4 起事件均未有造成計畫範圍災害情事之事件發生，而其餘期間降雨情形相對較不顯著，後續持續資料蒐集及觀察中。降雨量監測成果詳圖 4-54 所示。

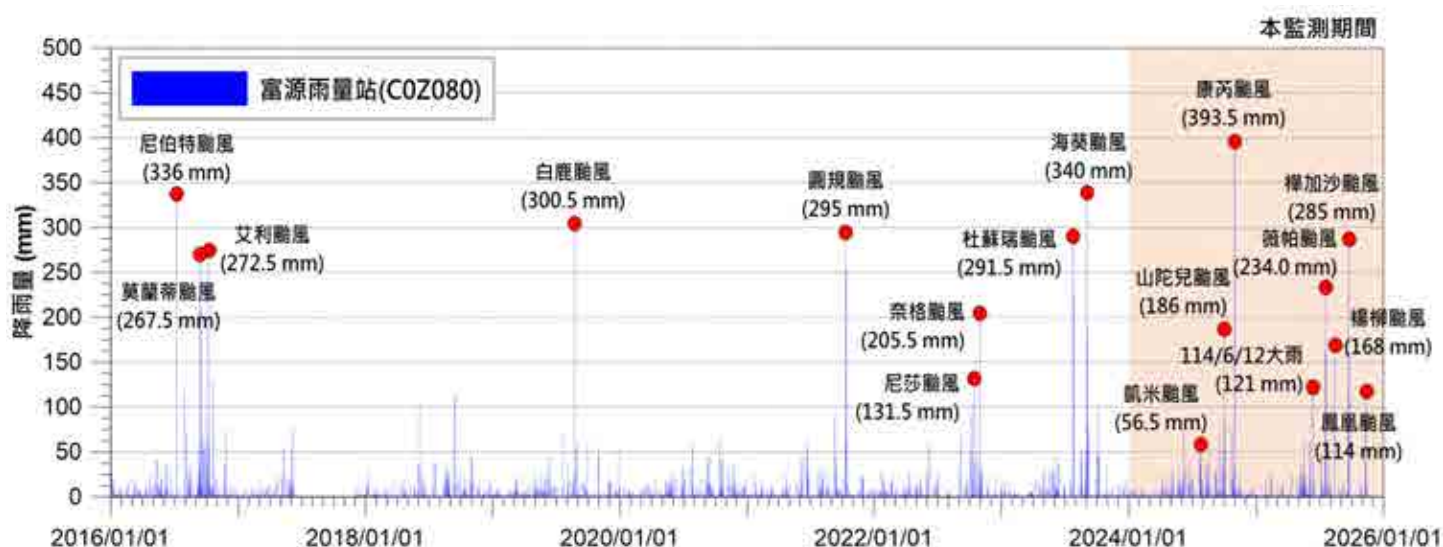


圖 4-54、本監測期間之降雨量監測成果圖

二、地下水位監測成果

本計畫區於 2024 年 8 月設置 X24-W1 及 X24-W2 共 2 孔水位觀測井，並於兩鑽孔內置電子式水壓計，以全自動方式記錄連續地下水位，掌握降雨期間地下水位昇降情形。新增監測儀器於 113 年 8 月 13 日完成安裝工作。地下水位監測成果詳圖 4-55 所示。

本監測期間地下水位於降雨期間略有昇降變化情形，水位升降幅度約介於 1.37 m~3.33 m 之間。此外由歷史監測成果顯示，區域地下水位於降雨期間有明顯上昇變化情形，約可上昇約 4 m~10 m，並於事件結束後水位隨即大幅度下降，於 5 日內回復常時地下水位，後續持續追蹤地下水位變化。

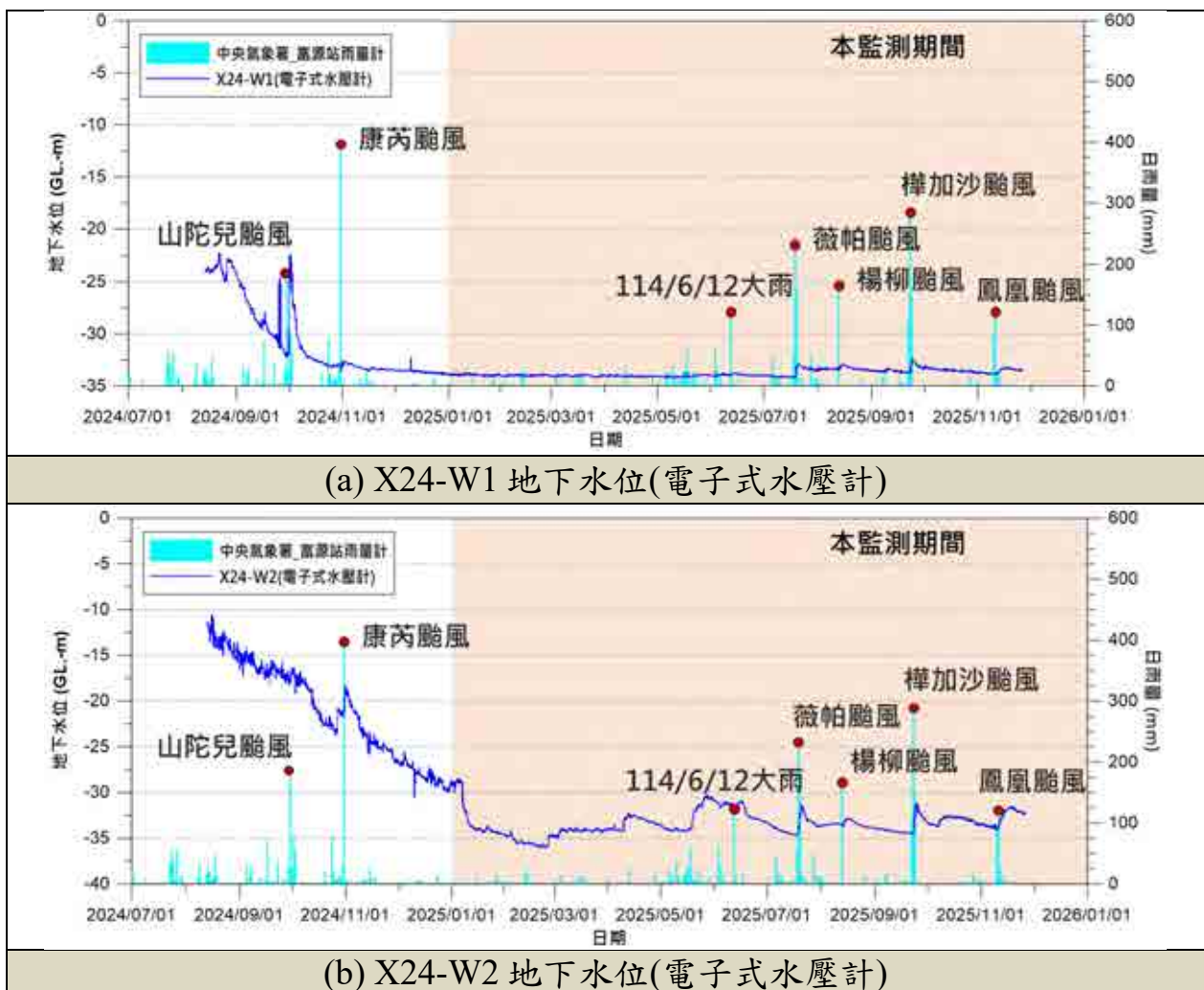


圖 4-55、本監測期間之地下水位監測成果圖

三、 地表伸縮計監測成果

溪頭調查區之地表伸縮計 X23-E1 於 2023 年 6 月 8 日建置完成，配置於 S4 潛在滑動塊體頭部位置，本監測期間檢視監測成果，邊坡無明顯變位趨勢發生，累積位移量 1.01 mm，後續持續進行監測，觀測成果如圖 4-56 及圖 4-57 所示。

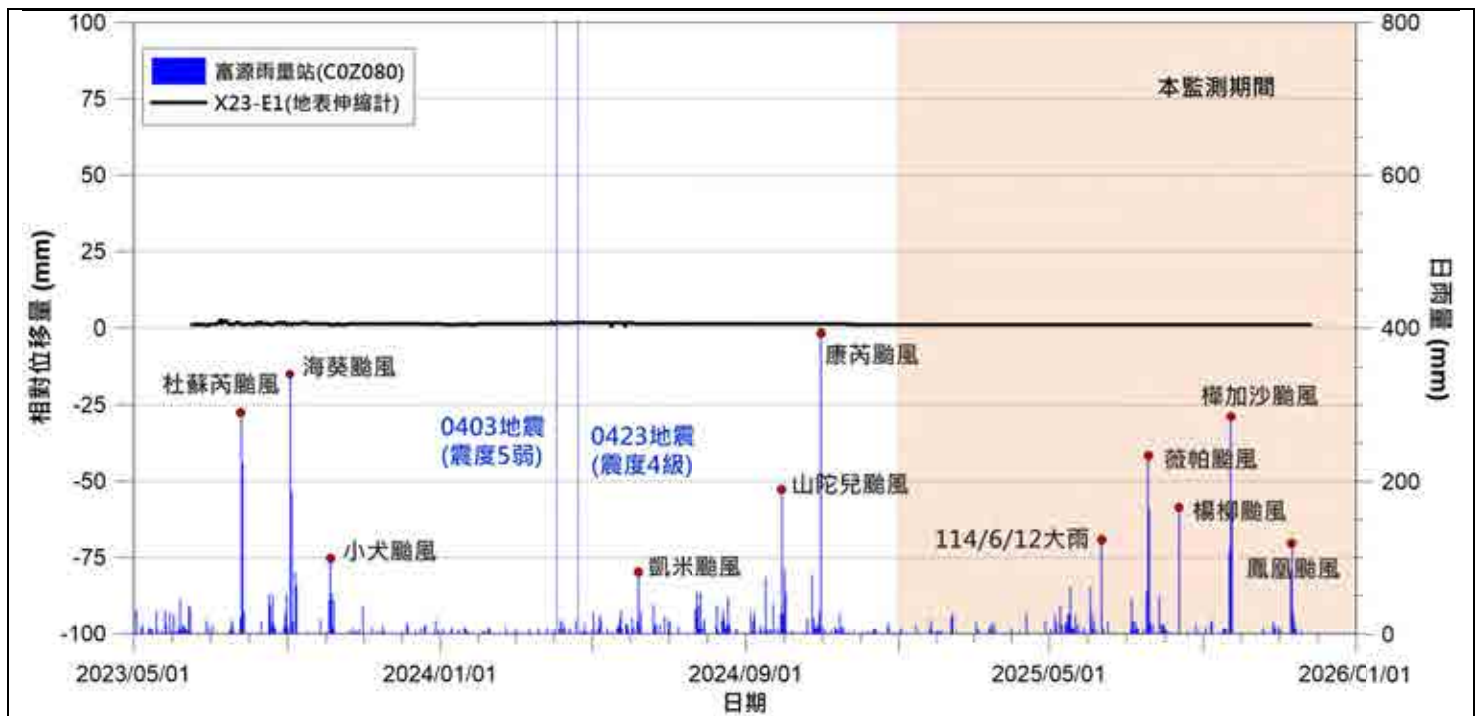


圖 4-56、溪頭調查區 X23-E1 地表伸縮計變位量之歷時曲線圖

四、雙軸傾斜計監測成果

本計畫新設置全自動化雙軸傾斜計 1 組，編號 X24-TI1，裝設於 S4 潛在滑動塊體內，針對地表構造物傾斜變化進行即時自動化監測。

本監測期間，X24-TI1 無明顯傾斜趨勢發生，且未有達管理值情形。A、B 向累積變化分別為 $93.98 \text{ s}(0.03^\circ)$ 、 $194.67 \text{ s}(0.05^\circ)$ 。X24-TI1 累積其監測成果如圖 4-58(a)、日變化如圖 4-58(b)、快速累積變化(七日累積變化)如圖 4-58(c)、月變化如圖 4-58(d)所示。



照片 1、雙軸傾斜計(X24-TI1)



照片 2、雙軸傾斜計(X24-TI1)

五、雙頻 GNSS 監測成果

本計畫 GNSS 衛星定位觀測，採用自動化方式進行監測，以掌握地表位移情形。溪頭地區共計 5 處 GNSS，包含 X23-G1、X23-G2、X23-G3、X23-G4 及 X24-G5 等。前期監測期間於康芮颱風事件，X23-G3 及 X24-G4 測站均略有變位情形，惟未達管理值。本監測期間，各測站均無持續變位趨勢，研判邊坡應暫無明顯異常狀況，後續持續追蹤。溪頭調查區雙頻 GNSS 基本資料如圖 4-59。彙整 GNSS 歷時曲線如圖 4-60~圖 4-80 所示，說明如下：

- (一)X23-G1 GNSS：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-0.7~36.8 mm、-1.6~16.6 mm 及-11.3~48.0 mm 內，二維合變位量約 39.3 mm，三維合變位量約 52.9 mm。
- (二)X23-G2 GNSS：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-1.6~16.2 mm、-2.2~10.4 mm 及-25.8~16.7 mm 內，二維合變位量約 17.5 mm，三維合變位量約 27.3 mm。
- (三)X23-G3 GNSS：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-1.1~74.8 mm、-2.0~39.8 mm 及-40.9~7.0 mm 內，二維合變位量約 84.4 mm，三維合變位量約 92.9 mm。
- (四)X23-G4 GNSS：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-0.1~97.0 mm、-1.1~103.9 mm 及-62.7~3.9 mm 內，二維合變位量約 141.5 mm，三維合變位量約 153.4 mm。
- (五)X24-G5 GNSS：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-3.8~5.9 mm、-3.3~8.7 mm 及-33.1~3.1 mm 內，二維合變位量約 9.7 mm，三維合變位量約 33.2 mm。

六、 傾斜管監測成果

本計畫設置 X24-BH1 及 X24-BH2，共 2 孔傾斜管，於 2024 年 8 月 6 日完成初值建立，本次監測期間傾斜觀測管監測成果說明如下：

前期計畫監測期間，兩鑽孔於特殊降雨事件均略具活動情形，滑動深度分別 20m 及約 10 m。本次監測期間 X24-BH1 孔累積變化量約 2.34 cm；X24-BH2 孔累積位移量約 6.55 cm，檢視現場情形亦無發現明顯不穩定表徵，研判邊坡暫無不穩定情形，持續觀察及追蹤中。各傾斜觀測管監測成果如圖 4-81、圖 4-82。

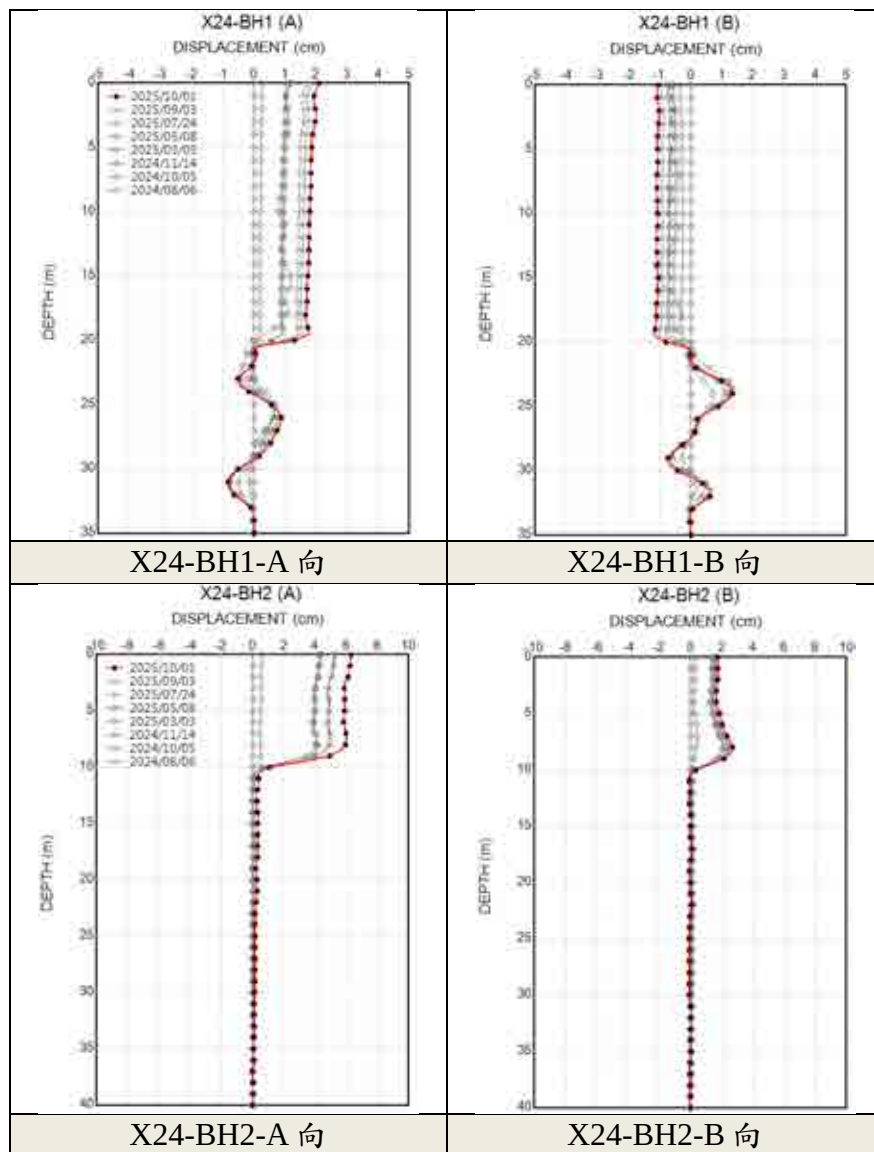


圖 4-81、溪頭調查區傾斜管監測成果圖

表 4-22、傾斜觀測管孔口位移統計表

傾斜管 編號	初值量測 日期 (年/月/日)	A 方向孔口位移量(主要滑動方向)			B 方向孔口位移量(垂直主要滑動方向)		
		量測成果 (cm)	位移增量 (cm)	位移速率 (cm/日)	量測成果 (cm)	位移增量 (cm)	位移速率 (cm/日)
X24-BH1	2024/8/6	0.00	-	-	0.00	-	-
	2024/10/5	0.25	0.25	0.00	0.33	0.33	0.00
	2024/11/14	1.02	0.77	0.03	-0.56	-0.22	0.01
	2024/3/3	1.17	0.15	0.00	-0.71	-0.15	0.00
	2024/5/8	1.20	0.03	0.00	-0.58	0.13	0.00
	2025/7/24	1.71	0.51	0.01	-0.68	-0.09	0.00
	2025/9/3	1.88	0.17	0.00	-0.90	-0.23	-0.01
	2025/10/1	2.10	0.22	0.01	-1.05	-0.15	0.00
	2025/11/16	2.17	0.07	0.00	-0.98	0.07	0.00
X24-BH2	2022/8/18	0.00	-	-	0.00	-	-
	2022/10/3	0.54	0.54	0.00	0.27	0.27	0.00
	2024/11/14	4.28	3.73	0.13	1.34	1.07	0.04
	2024/3/3	4.38	0.10	0.00	1.49	0.15	0.00
	2024/5/8	4.36	-0.02	0.00	1.37	-0.13	0.00
	2025/7/24	5.20	0.85	0.01	1.63	0.26	0.00
	2025/9/3	5.29	0.08	0.00	1.54	-0.09	0.00
	2025/10/1	6.31	1.03	0.03	1.74	0.20	0.01
	2025/11/16	6.14	-0.17	0.00	1.82	0.08	0.00

4.4.4 溪頭地區監測成果小結

本次監測資料蒐集期間至 2025 年 11 月。綜合本階段監測成果彙整如下。各監測儀器於特殊降雨事件下成果彙整表，詳表 4-23 所示。

- 一、**降雨量監測成果**，本監測期間發生 4 起特殊降雨事件：參考鄰近之中央氣象署富源雨量站(編號：C0Z080)，於 2025 年 6 月 12 日發生大雨事件、2025 年 7 月 18 日遭遇薇帕颱風事件、2025 年 9 月 22 日遭遇樺加沙颱風事件；於 2025 年 11 月 10 日遭遇鳳凰颱風事件，四起事件均未有造成計畫範圍災害情事之事件發生，而其餘期間降雨情形相對較不顯著，後續持續資料蒐集及觀察中。
- 二、**地下水位監測成果**，降雨期間地下水位略有升降變化情形：本監測期間地下水位於降雨期間略有升降變化情形，水位升降幅度約介於 1.37 m~3.33 m 之間。此外由歷史監測成果顯示，區域地下水位於降雨期間有明顯上昇變化情形，約可上昇約 4 m~10 m，並於事件結束後水位隨即大幅度下降，於 5 日內回復常時地下水位，後續持續追蹤地下水位變化。
- 三、**地表伸縮計監測成果**，邊坡無明顯位移趨勢：本監測期間無明顯變位趨勢發生，累積位移量 1.01 mm，後續將持續追蹤變化趨勢。
- 四、**雙軸傾斜計監測成果**，邊坡無明顯傾斜變化：本監測期間 X24-TI1 無明顯傾斜趨勢發生。X24-TI1 其 A、B 向累積變化分別為 93.98 s(0.03°)、194.67 s(0.05°)，後續持續觀測其活動性變化。
- 五、**雙頻 GNSS 衛星定位觀測成果**，X23-G3 及 X24-G4 測站於特殊降雨事件有變位情形，未達管理值：監測期間於特殊降雨事件，X23-G3 及 X24-G4 測站均略有變位情形，惟未達管理值，於事件後檢視現場情形亦無發現明顯不穩定表徵，研判邊坡暫無不穩定情形，持續觀察及追蹤中。其餘測站均無持續變位趨勢，後續持續追蹤。

- 六、 傾斜觀測管監測成果，本監測期間邊坡無明顯變位趨勢：計畫監測期間，兩鑽孔於特殊降雨事件均略具活動情形，滑動深度分別 20m 及約 10 m。本次監測期間，監測儀器無明顯變位情形發生，且現場情形亦無明顯不穩定表徵，研判邊坡暫無不穩定情形，持續觀察及追蹤中。
- 七、 CCD 攝影機，本監測期間邊坡無明顯異常情形：本次監測期間由現場攝影機影像顯示，溪頭調查區邊坡無顯著異常情形。

表 4-23、溪頭地區於特殊降雨事件下監測儀器成果彙整表

項次	監測項目		儀器編號	白鹿颱風	杜蘇芮颱風	海葵颱風	小犬颱風	地震(5 弱)	凱米颱風	山陀兒颱風	康芮颱風	
				2019/8/23	2023/7/25	2023/9/3	2023/10/04	2024/04/03	2024/7/23	2024/9/30	2024/10/31	
1	雨量計	降雨時數 (hr)		富源站 C0T9H0	42	64	45	51	-	62	94	41
		累積雨量 (mm)			341.0	565.5	527	196.5	-	126.0	359.5	423.5
		臨前 5 日雨量 (mm)			29.0	2.0	99.0	3.5	-	0.0	40.0	59.5
		最大時雨量 (mm)			60.5	41.0	31	19.0	-	15.0	30.0	48.5
2	電子式水壓計	事件期間 地下水位 上昇(m)		X24-W1	-	-	-	-	-	9.8	0.9	
				X24-W2	-	-	-	-	-	2.8	3.2	
3	地表伸縮計	事件期間 地表變位 速率	(mm/日)	X23-E1	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
4	雙軸傾斜計		(秒/日)	X24-TI1	-	-	-	-	13.8~16.4	0.6~9.0	13.0~22.0	
5	雙頻 GNSS		三維 合向量 (mm/日)	X23-G1	-	0.3	0.7	0.3	0.9	0.5	0.6	0.8
				X23-G2	-	0.1	0.1	0.2	0.5	0.1	2.2	0.5
				X23-G3	-	1.3	3.1	0.7	0.2	0.3	0.2	1.3
				X23-G4	-	1.6	4.8	0.2	0.1	0.1	0.5	0.7
				X24-G5	-	-	-	-	-	0.4	0.0	2.6
6	傾斜觀測管	事件期間 地中變位 速率(cm/月)		X24-BH1	-	-	-	-	-	0.2	0.7	
				X24-BH2	-	-	-	-	-	0.3	3.9	
特殊事件災害情形及監測成果研判					歷史紀錄 發生災害	無災害發生，監 測略有地表變位	無災害發生，監 測略有地表變位	無災害發生 監測無明顯變化	無災害發生 監測無明顯變化	無災害發生 監測無明顯變化	無災害發生，監 測略有地中變位	無災害發生，監 測略有地中變位

表 4-24、溪頭地區於特殊降雨事件下監測儀器成果彙整表(續)

項次	監測項目		儀器編號	白鹿颱風	0612 大雨	薇帕颱風	樺加沙颱風	-	-	-	-	
				2019/8/23	2025/6/12	2025/7/18	2025/9/22	-	-	-	-	
1	雨量計	降雨時數 (hr)		富源站 C0T9H0	42	16	46	60	-	-	-	-
		累積雨量 (mm)			341.0	121.0	452.5	548.5	-	-	-	-
		臨前 5 日雨量 (mm)			29.0	5.0	8.0	21.5	-	-	-	-
		最大時雨量 (mm)			60.5	21.5	43.5	34.0	-	-	-	-
2	電子式水壓計	事件期間 地下水位 上昇(m)		X24-W1	-	0.3	1.3	1.4	-	-	-	-
				X24-W2	-	0.9	3.2	3.3	-	-	-	-
3	地表伸縮計	事件期間 地表變位 速率	(mm/日)	X23-E1	-	0.0	0.0	0.0	-	-	-	-
4	雙軸傾斜計		(秒/日)	X24-TI1	-	3.4~8.6	5.1~6.0	15.5~16.4	-	-	-	-
5	雙頻 GNSS		三維 合向量 (mm/日)	X23-G1	-	0.1	0.2	0.3	-	-	-	-
				X23-G2	-	0.1	0.4	1.0	-	-	-	-
				X23-G3	-	0.3	0.0	0.1	-	-	-	-
				X23-G4	-	0.4	0.2	0.6	-	-	-	-
				X24-G5	-	0.6	0.8	2.7	-	-	-	-
6	傾斜觀測管	事件期間 地中變位 速率(cm/月)		X24-BH1	-	0.00	0.01	0.01	-	-	-	-
				X24-BH2	-	0.01	0.00	0.03	-	-	-	-
特殊事件災害情形及監測成果研判					歷史紀錄 發生災害	無災害發生 監測無明顯變化	無災害發生 監測無明顯變化	無災害發生，監 測略有地中變位	-	-	-	-

第五節 災害原因及規模分析

4.5.1 滑動機制研判

根據蒐集前期資料及本計畫調查成果，應具有 2 種不同之崩塌機制，分別說明如下：

- 一、**沖蝕型破壞**：根據現場勘查及地表地質調查成果顯示，調查區淺層應覆蓋厚度不等之岩屑材料，其材料組成主要由鬆散之土壤夾雜岩塊所組成，故於較大集中降雨時，匯流之大量地表水，容易夾帶著坡面土石，產生流動、堆積，形成沖蝕型破壞(圖 4-84a、圖 4-84b)。
- 二、**岩屑層滑動**：根據現勘成果顯示，調查區潛在塊體頭部有明顯崩崖，顯示邊坡曾發生整體滑動情形，而根據現場勘查及地質調查成果顯示，計畫區域研判計畫區可能有約 30m 厚之岩屑層存在，材料多有破碎及夾泥等情形，若區域內蝕溝持續向源侵蝕，可能產生雙溝同源，將可能導致區域內各次潛在滑動體產生不穩定情形發生，此外配合監測成果顯示，S3 及 S4 潛在滑動塊體目前較具活動性，於特殊降雨期間，邊坡有小幅地表及地中位移增量情形發生，惟目前期間之變位量仍不大，且經現場勘查，現況邊坡無異常表徵，仍需配合後續監測累積較多變位事件後，研判整體邊坡活動情形。針對該區域可能之破壞機制，比對滑動面與岩心及上下工水位之關係，兩鑽孔之滑動深度，均可對應至岩芯破碎夾泥區段，可比對至透水層及半透水層邊界(圖 4-85 及圖 4-86)，再配合地電阻探測及 Lidar 微地形判釋成果初步研判(圖 4-87)，區域邊坡於降雨事件後，地下水使岩屑層內之飽和度上升，而後邊坡於局部地形坡度較陡之區位，可能發生淺層邊坡破壞(目前監測之滑動深度約 10~20m)。此外配合坡面之地表變位監測與降雨量比對分析成果顯示「短延時、高強度降雨」之降雨型態較易驅使邊坡發生變形，透過海葵、康芮及薇帕及樺加

沙颱風事件進行分析(圖 4-88、表 4-25)，當事件開始後累積雨量達 350~400 mm 時，邊坡即開始有變位情形發生，而當降雨完全停止後，約 22~24 小時邊坡位移趨勢回穩，後續仍有待持續蒐集監測資料滾動分析成果。

另考量調查區具不利地質條件，於淺層區域材料破碎，配合歷史災害事件，研判於溝谷測崖位置或坡度較陡之區位，可能向溝內提供土砂材料堆積，當發生強降雨事件(圖 4-84c)，提供大量水量條件時，將可能夾帶暫積之土砂材料往下邊坡運動，即發生土石流災害。溪頭地區可能滑動機制剖面位置圖如圖 4-89、圖 4-90 所示。



圖 4-84、溪頭調查區邊坡破壞機制示意圖

(邊坡坡面材料穩定性差，地形相對高陡處，受外在營力作用如沖蝕等，易發生小範圍的淺層滑動)

4.5.2 不利邊坡穩定因子

根據調查顯示區域邊坡存有不利邊坡穩定條件包括：(1) 地質材料條件差(2) 複雜地下水特性(3) 坡面向源侵蝕，相關說明如下：

- 一、地質材料條件差：由階段調查成果顯示，區域邊坡淺層主要由破碎、完整度低之岩屑層組成，在外在營力作用下，將不利邊坡之穩定。
- 二、複雜地下水特性：區域地下水可能沿岩屑層及岩層內流動，並於坡中滲出，故坡面可見顯著蝕溝線形，在地下水作用下，可能增加邊坡下滑力，不利邊坡穩定。
- 三、坡面蝕溝發育侵蝕：根據階段調查成果，發現區域邊坡坡面有多處蝕溝侵蝕發育，研判降雨期間，蝕溝內水流流量增大，將可能加劇邊坡侵蝕作用(向源及側向侵蝕)，進而產生雙溝同源，將可能導致區域內各次潛在滑動體產生不穩定情形發生。

4.5.3 崩塌量體初步分析

各潛在崩塌區域之可能崩塌量體為何，係後續對策研擬重要依據，本計畫初步針對可能潛在崩塌區進行圈繪，並採用經驗式推估活動潛勢較高之 S3、S4 潛在崩塌量體。

利用經驗公式為推估崩塌量體的快速方式，崩塌量體經驗公式可分為以崩塌面積 A 對應崩塌體積 V 關係推估(陳樹群等，2010；詹勳全等，2015；Cha et al. 2018；Guzzetti et al., 2009)，或是以崩塌深度 D 再與崩塌面積 A 之乘積獲取崩塌體積 V。本計畫初步蒐集相關崩塌面積 A 對應崩塌體積 V 關係經驗式，如表 4-26 所示，利用經驗式推估所得溪頭調查區 S3 崩塌量體約 330,000~10,800,000 m³、S4 崩塌量體約 236,000~6,740,000 m³，另考量各經驗公式崩塌量體推估結果差距較大，對於後續工法選擇上會有所不同，建議後續補充相關地中調查，獲得區域較明確之滑動深度後，再進行較為準確之量體推估。

表 4-26、利用經驗公式推估溪頭調查區崩塌量體

項次	公式	經驗式基本資料					本計畫推估結果	
		研究區域	A _{min} (m ²)	A _{max} (m ²)	案例數	參考文獻	崩塌面積 A(m ²)	崩塌量體 V(m ³)
1	$V = 0.04A^{1.38}$	臺灣	1.0×10^2	1.0×10^5	61	陳樹群等(2010)	4.27×10^5 (S3 塊體)	2.36×10^6
							3.08×10^5 (S4 塊體)	1.50×10^6
2	$V = 0.596 A^{1.02}$	Korea	0.6×10^1	2.1×10^3	930	Cha et al. (2018)	4.27×10^5 (S3 塊體)	3.30×10^5
							3.08×10^5 (S4 塊體)	2.36×10^5
3	$V = 0.084 A^{1.43}$	Italy	1.0×10^1	1.0×10^9	539	Guzzetti et al. (2008)	4.27×10^5 (S3 塊體)	9.48×10^6
							3.08×10^5 (S4 塊體)	5.94×10^6
4	$V = 0.074 A^{1.45}$	Italy	2.0×10^0	1.0×10^9	677	Guzzetti et al. (2009)	4.27×10^5 (S3 塊體)	1.08×10^7
							3.08×10^5 (S4 塊體)	6.74×10^6

4.5.4 邊坡穩定性分析

根據現有監測成果顯示，溪頭地區於局部潛在塊體略有活動情形，因此本計畫透過既有數值地形資料、地質鑽探及監測成果等資料，進行現況邊坡穩定分析，分析程式採加拿大公司發展之 Geo-Studio 程式，分析成果說明如後：

一、分析參數

(一) 地形條件：根據前期計畫所蒐集之內政部 LiDAR 數值地形資料 DEM(民國 102 年)，作為邊坡穩定分析所使用之地形資料。

(二) 材料分層：依據目前鑽探成果，區域地層材料主要為岩屑層及岩層，配合鑽探成果，設定各潛在崩塌區穩定分析剖面分層。參照本計畫地質鑽探期間所採取土樣及岩樣之力學試驗成果，再引用 Hoek 等人(2002)所建議之”Hoek-Brown Failure Criterion”方式，將各項資訊換算為量化之力學參數。地層參數表詳表 4-27 所示。

表 4-27、溪頭地區邊坡穩定分析參數

材料分層	選用參數		
	c(kpa)	ϕ (°)	γ (kN/m ³)
岩屑層	5	24.5	25
岩層(玉里層)	40	55	21.29

(三) 地下水條件：依據目前所觀測到之常時地下水位及特殊事件下(山陀兒颱風期間)地下水位上昇成果，訂定模擬分析時之常時地下水及高水位面。

(四) 滑動面位置：依據地質剖面分析之成果，配合岩芯資料、地形資料、地表地質調查及前期災害發生區位等相關資料，初步劃定各潛在崩塌區之可能滑動面位置，以進行邊坡穩定分析。

二、現況邊坡穩定分析成果

依據既有地形資料、地表調查成果、岩芯資料成果及監測資料，研擬出邊坡穩定分析之剖面(剖面位置如圖 4-89)。

由分析成果顯示，區域於常時地下水位及特殊事件之高水位條件下，AA'剖面之安全係數(F.S.)均為 1.13，研判可能目前監測期間常時及高水位線差異尚小，使高水位未影響至滑動面，兩情境下均顯示區域邊坡穩定性尚屬良好(圖 4-91a 及圖 4-91b)。

此外考量本調查區於局部潛在塊體略有活動情形，另以指定滑動面方式分析淺層材料之穩定性，由分析成果顯示，於目前監測期間高水位之條件下小範圍淺層材料安全係數(F.S.)介於 0.85~1.287 之間，顯示區域內部分地形較為陡峭之區位較容易發生淺層之材料破壞(圖 4-92)。

4.5.5 影響範圍研判

依據既有之資料顯示，溪頭調查區近年雖無明顯地表變異情形，但為能推估若崩塌發生後可能影響之範圍，本計畫採用經驗公式法作為分析依據。相關經驗公式及推算方法參考 3.5.5 節，相關說明如下：

依據上述之公式所推算出之可能影響範圍如表 4-28 所示，由此推估結果發現，若溪頭崩塌區發生崩塌，崩塌影響範圍涵蓋下方大豐村，將可能造成嚴重生命財產安全損失。

表 4-28、崩塌影響範圍計算成果

一、坡頂影響範圍		
崩塌區域名稱		溪頭崩塌區
1.坡高(m)		550
坡頂影響範圍 $L_H(m)$		$110 \leq L_H \leq 220$
二、坡趾影響範圍		
1.滑動面積(ha)		131.5
2.崩塌體積 $V(m^3)$	劉哲欣等人(2011)	692,287,931
	蔡元融(2015)	38,312,355
3.崩塌高程差(m)		525
崩塌最大滑動距離 $L_{max}(m)$	劉哲欣等人(2011)	3,194
	蔡元融(2015)	2,027
三、坡趾影響範圍		
1.崩塌寬度(m)		1,342
崩塌最大堆積寬度(m)		2,684

第六節 整體安全評估

本計畫彙整前期及本年度調查監測成果，並參考農業部農村發展及水土保持署之風險評估作業方法，進行溪頭地區各區之風險評估。風險評估說明如下：

一、初步風險評估作業

本計畫參考之初步風險評估作業流程及相關說明詳第三章。

二、溪頭地區初步風險評估

本計畫參考前述之初步風險評估作業流程進行風險評估，溪頭地區風險等級為「中」，評估結果如表 4-29 所示。

其中，於危害度評估中之活動度，因本計畫已設有地表監測儀器，其監測成果可更為直接且準確反應出區域邊坡之活動性與否，故當計畫區域內已設有相關監測設備時，團隊則優先以監測儀器之成果作為評估邊坡近期位移趨勢之依據。本計畫當儀器觀測成果顯示，X23-G3 及 X23-G4 於海葵颱風期有紀錄邊坡變形情況，故崩塌區之活動度評分為「高」。

另，於脆弱度評估之住戶因子，溪頭地區之住戶數約為 29 戶 (25 分)。於脆弱度評估之交通因子，溪頭地區包含主要聯外道路 (18 分)。故脆弱度評估為「中」。

表 4-29、溪頭地區初步風險評估表

各類評估	因子	分級/分類	分數	溪頭 (113 年農村水保署)	溪頭 (本計畫)
危害度 評估	坡度	大於 30 度	3		
		23~30 度	2	V	V
		小於 23 度	1		
	地質 構造 距離	通過或相切	3		
		0~300m	2		
		大於 300m	1	V	V
	河道 距離	距離小於 5m	3	V	V
		距離 5m~30m	2		
		距離大於 30m	1		
	順向坡 地形特 性	順向坡且坡腳見光	3		
		順向坡坡角未見光或逆向坡且岩層傾角大 於 45 度	2		
		其他	1	V	V
	活動度	高	3		V (本計畫監測成果)
		中	2	V (TCP-InSAR 成果)	
		低	1		
			中(9 分)	中(10 分)	
脆弱度 評估	住戶	住戶 50 戶以上	36		
		住戶 20 到 49 戶	25	V	V (大豐村 29 戶)
		住戶 10 到 19 戶	16		
		住戶未滿 10 戶	9		
	交通	主要聯外道路、橋梁	18	V	V (主要聯外道路)
		道路	10		
		無	0		
	重要 設施	重要公共設施(如防災措施相關之設施和場 所、高壓電塔、攔河堰、水庫蓄水範圍等)	18		
		無	0	V	V
				中(43 分)	中(43 分)
風險評估				中(5)	中(5)

第七節 整體防減災策略研擬

由監測成果顯示區域 S3 及 S4 潛在滑動塊體略有變位情形，惟自 113 年度地中儀器安裝後，僅經歷山陀兒及康芮颱風事件，對於計畫區真正滑動規模、機制及活動性，仍有待後續監測料追蹤，故現階段以現場調查成果，針對現況已有明顯缺失，提出改善建議，以減少地表水沖刷等不利因子造成之影響。

一、治理建議

根據現勘結果顯示(圖 4-93)，上邊坡局部區域道路(非編號農路)邊溝有堵塞情形；上邊坡蝕溝與坡面道路交會處未設置縱橫向交會設施，形成漫地流及沖刷坡面，長期不利整體環境之穩定，相關說明如後。

(一)局部區域道路邊溝有堵塞情形：計畫區花縣 DF-122 上方道路局部

區域有設置相關排水系統，惟部分邊溝有堵塞情形，可能影響排水流徑，使溝內水於坡面漫流，造成蝕溝發育問題，故建議針對區域排水系統進行清淤工作，以降低坡面沖刷可能，進而影響部落道路及邊坡穩定性之問題。

(二)上邊坡蝕溝與坡面道路交會處未設置縱橫向交會設施：本計畫區

上邊坡蝕溝與坡面道路交會處，因缺少匯流井等交會設施，使縱向溝內的水，無法順利朝下邊坡導排，進而形成漫地流及沖刷坡面等問題，並可能造成道路開裂下陷情形發生。

目前階段成果僅針對現況已有明顯缺失處規畫改善作為，包含針對上邊坡道路進行地表排水改善，及配合道路排水設置縱橫向交會處配置匯流井，後續應持續配合本計畫監測作業，確認邊坡滑動機制及滑動規模後，再進一步進行後續治理工程規劃。

二、分期治理計畫

根據本階段成果顯示，邊坡雖有監測到活動情形，考量目前變位量尚小，且監測迄今僅經歷兩起特殊降雨事件，邊坡滑動機制及規模仍有待後續監測釐清，故本階段分期治理計畫採地表排水工法為佳，共分為兩期施作，各期工程治理經費概估及初步建議詳圖 4-93、表 4-28、表 4-29。

- (一)第一期工程：由本階段監測成果顯示 S4 潛在活動塊體較具活動性，且下邊坡保全住戶較多，故建議先針對 S4 潛在塊體上邊坡主要道路執行地表排水改善，建置道路邊溝 510 m(L 型溝 W*H=60cm*80cm)，並配合既有道路與蝕溝交會處設置匯流井 4 座(1.5m*1.5m*1.5m)，排出地表水。
- (二)第二期工程：由監測成果顯示 S3 潛在活動塊體之活動性次於 S4 潛在活動塊體，故建議針對 S3 潛在塊體上邊坡主要道路執行地表排水改善，建置道路邊溝 760 m (L 型溝 W*H=60cm*80cm)，並配合既有道路與蝕溝交會處設置匯流井 3 座(1.5m*1.5m*1.5m)，排出地表水。

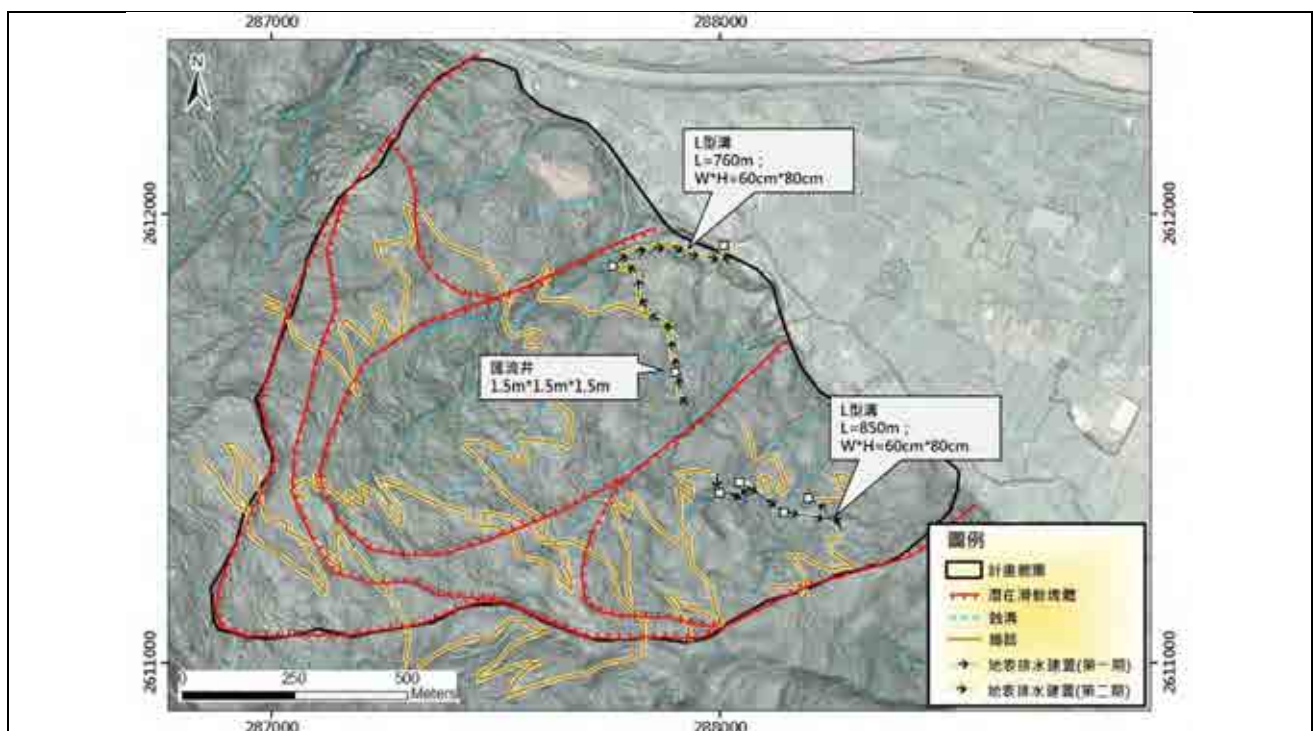


圖 4-94、溪頭調查區地表排水工法初步建議平面圖

表 4-30、溪頭地區後續建議治理經費概估表(單位：元)

分期	項次	工程項目	單位	數量	單價	複價	備註
第一期	一、	直接工程費					
	1	L 型溝(W*H=60cm*80cm)	m	510	4,000	2,040,000	
	2	匯流井(1.5m*1.5m*1.5m)	座	4	50,000	200,000	
		一、小計				2,240,000	
	二、	雜項工程(含環保安衛費)	式	1	672,000	672,000	項次一之 30%
	三、	包商利潤及管理費	式	1	224,000	224,000	項次一之 10%
	四、	營業稅	式	1	112,000	112,000	項次一之 5%
		本階段工程費				5,147,500	
第二期	一、	直接工程費					
	1	L 型溝(W*H=60cm*80cm)	m	760	4,000	3,040,000	
	2	匯流井(1.5m*1.5m*1.5m)	座	3	50,000	150,000	
		一、小計				3,190,000	
	二、	雜項工程(含環保安衛費)	式	1	957,000	957,000	項次一之 30%
	三、	包商利潤及管理費	式	1	319,000	319,000	項次一之 10%
	四、	營業稅	式	1	159,500	159,500	項次一之 5%
		本階段工程費				4,625,500	
		總計				7,873,500	

表 4-31、溪頭地區後續治理工程初步建議明細表

項次	分期計畫	工程名稱	工程地點		預定經費 (仟元)	工程內容	治理項目	TWD97 坐標		高程 (m)	計畫執行機關	優先順序	期程
			縣市	鄉鎮				E	N				
1	第一期	溪頭地區崩塌地改善處理工程-第一期	花蓮縣	光復鄉	3,248	L 型 850m (W*H=60cm*80cm) 匯流井 4 座 (1.5m*1.5m*1.5m)	塌地處理	288,062	2,611,362	353	農村水保署花蓮分署	優先處理	短期
2	第二期	溪頭地區崩塌地改善處理工程-第二期	花蓮縣	光復鄉	4,626	L 型溝 760m (W*H=60cm*80cm) 匯流井 3 座 (1.5m*1.5m*1.5m)	塌地處理	287,908	2,611,601	348	農村水保署花蓮分署	計畫處理	中期
總計					7,874								

第五章 高山調查區

高山調查區位於花蓮縣豐濱鄉磯崎村及新社村交界，為2015年經濟部地質調查及礦業管理中心公告為編號「花蓮縣-豐濱鄉-D001」潛在大規模崩塌區，其潛在崩塌面積約464.5公頃，區域內主要保全對象為花蓮縣豐濱鄉高山與龜庵聚落(共28戶)及台11線28K至40K路段。農村水保署於2015年針對高山調查區啟動相關計畫辦理調查、監測工作，根據2021年「大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統發展計畫」中指出，本崩塌潛勢區之風險等級為「高」，近期邊坡雖暫無災害情事發生，惟歷年監測成果顯示該處邊坡位移模式屬具長期具變化趨勢，並於強降雨時位移加速類型，考量潛勢區保全對象明確且重要性高，故有持續監測追蹤之需要。此外，依據農村水保署「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」專家諮詢會議，高山調查區於2023年列入大規模崩塌優先辦理區，並於2024年執行大規模崩塌警戒發布工作，故調查區亦有強化防災預警整備需要，本年度有必要延續前期調查及監測成果持續追蹤邊坡狀況，研析崩塌潛勢、規模及滑動機制，俾利研擬後續整體規劃策略。

彙整花蓮縣-豐濱鄉-D001(高山)之大規模崩塌區調查歷程如圖5-1，近年地表地質調查分析成果總圖，如圖5-2~圖5-4所示。



圖 5-1、高山調查區調查歷程

第一節 基本資料蒐集

5.1.1 地形及水系

一、**地形**：高山調查區位於花蓮市南方約 35 km 處(圖 5-5)，平均坡度約 26 度。調查範圍高程海拔約介於 50 至 746 m 之間，地勢由西側山坡地逐漸向東側太平洋遞減，計畫範圍最大長度約 2,354 m，最大寬度約 2,857 m，坡向朝東，高山調查區基本圖如圖 5-6 所示。

二、**水系**：本調查區屬水璉溪流域，另根據農業部農村發展及水土保持署土石流防災資訊網查詢結果顯示(表 5-1)，本計畫範圍內涵蓋 4 條土石流潛勢溪流，編號為「花蓮縣 DF-095」、「花蓮縣 DF-096」、「花蓮縣 DF-097」及「花蓮縣 DF-098」，公告之潛勢度以花蓮縣 DF-096 為「高」，其餘均為「低」，溪流上游多覆蓋樹叢及植生，下游即為太平洋。

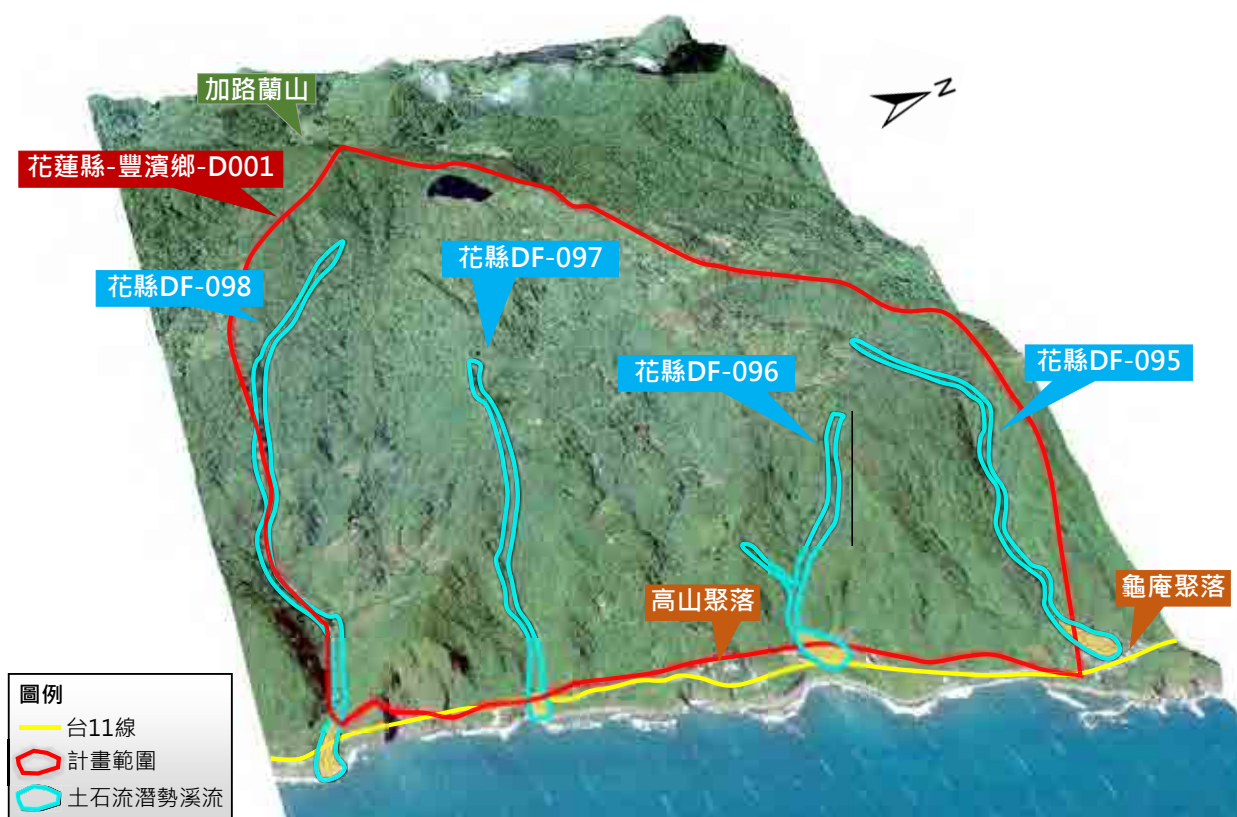


圖 5-5、高山地區立體地形圖
(底圖採用 Google Earth 衛星影像)

5.1.2 區域地質

根據經濟部地質調查及礦業管理中心五萬分之一地質圖，高山調查區出露岩層以都巒山層(Tl)、八里灣層(Fs)及沖積層(a)等組成，主要為都巒山層(圖 5-7)，高山調查區之區域地質說明如下：

一、地層

(一)沖積層(a)：主要由礫石、砂與黏土組成。調查區東側有少許屬沖積層。

(二)八里灣層(Fs)：主要由礫岩、砂岩與砂頁岩互層所組成。調查區東側地層局部為八里灣層。

(三)都巒山層(Tl)：都巒山層為以安山岩質集塊岩為主要之岩層，其次包括安山岩質熔岩流，岩脈，礫石，凝灰岩與岩屑層。區域出露之岩相有集塊岩，礫岩，凝灰岩與岩屑層。高山調查區地層主要以都巒山層為主。

二、地質構造：調查區內具新社斷層通過，為一低角度逆衝斷層，並以不規則圓形圍繞於都巒山層四周，此都巒山層為一崩滑岩塊(陳文山、王源，1997)。



圖 5-7、五萬分之一區域地質圖

(資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心)

5.1.3 環境地質-大規模崩塌潛勢區

高山地區屬經濟部地質調查及礦業管理中心圈繪之潛在大規模崩塌區(花蓮縣-豐濱鄉-D001)，面積為 464.5 公頃，如圖 5-8 所示。

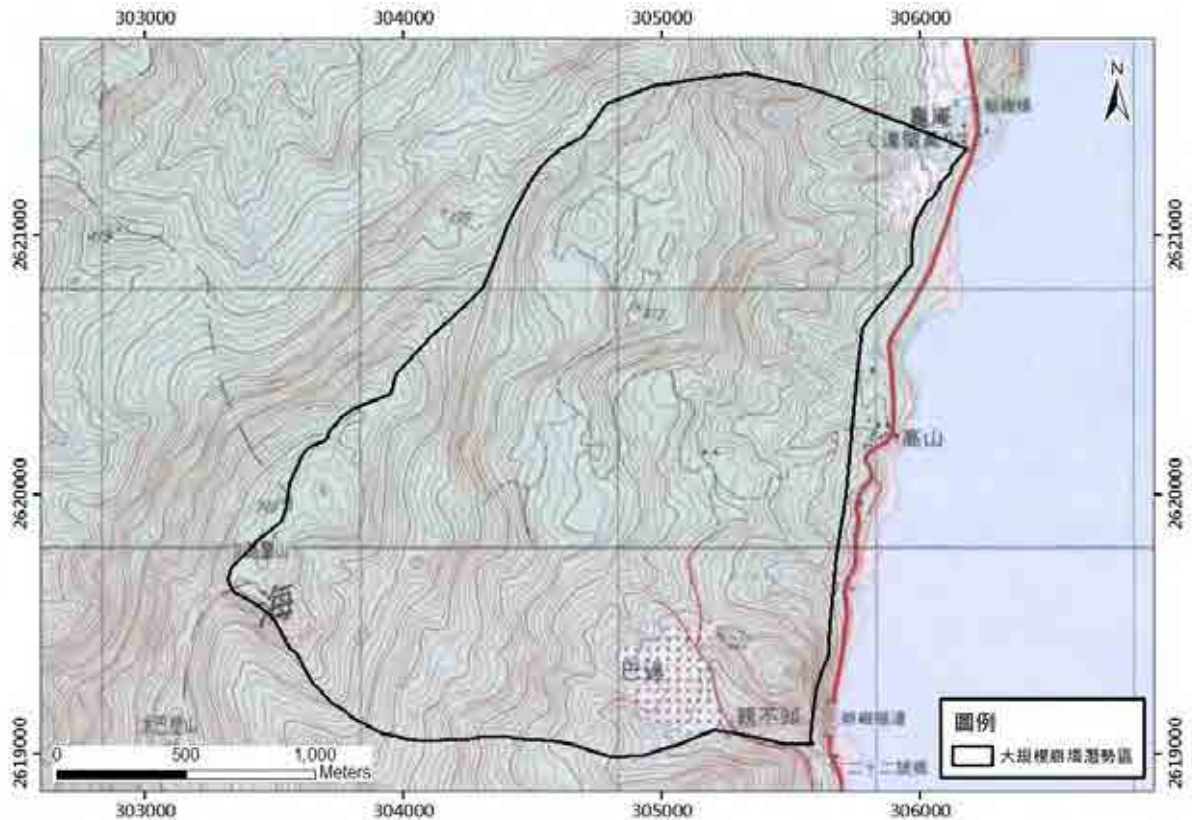


圖 5-8、高山調查區與潛在大規模崩塌區位置圖

(資料來源：經濟部地質調查及礦業管理中心)

5.1.4 影響範圍及保全對象

依據農村水保署 114 年潛在大規模崩塌影響範圍(圖 5-9)，高山地區主要保全對象為區內之高山聚落及部分龜庵聚落，共計 28 戶(表 5-2)、台 9 線 38~40k 路段、加路蘭雷達站及其聯外道路。倘若高山地區發生大規模崩塌，除直接影響當地居民及台 9 線之安全外，若區內聯外道路因崩塌而中斷，上邊坡之加路蘭雷達站亦有可能形成孤島現象。

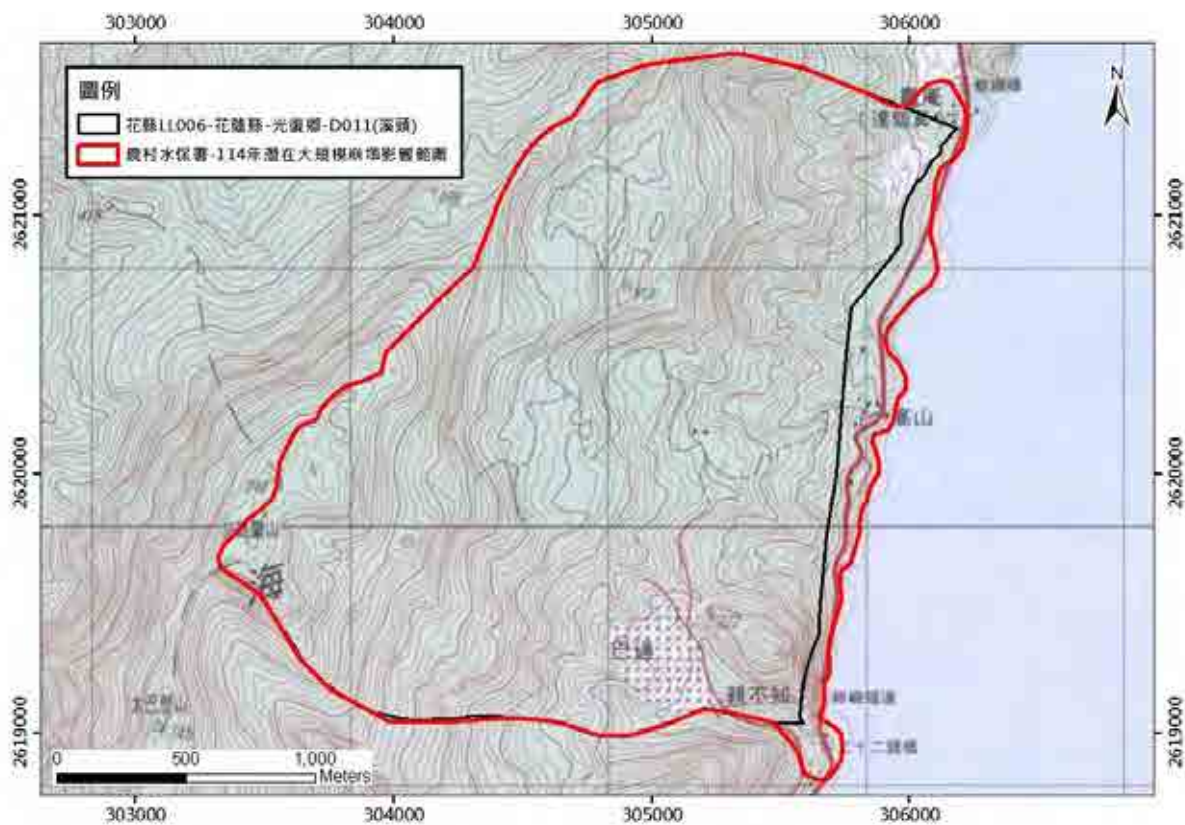


圖 5-9、農村水保署 114 年潛在大規模崩塌影響範圍

(資料來源：政府開放資料平臺)

表 5-2、花蓮縣豐濱鄉大規模崩塌保全住戶門牌資料

(資料來源：內政部門牌電子地圖查詢系統，共 28 戶)

崩塌區編號	縣	鄉	村	鄰	號	
花蓮縣-豐濱鄉-D001	花蓮縣	豐濱鄉	磯崎村	2	龜庵	8、8-1
				1	高山	2、3、3-1、5、6、7、9、9-1、9-2、10、11、15、16、18、18-1、18-2、19、19-1、21、22、26、36、36-1、37、38、38-1

5.1.5 土地利用概況

根據內政部營建署城鄉發展分署國土規劃入口網站查詢成果(圖 5-10)，高山調查區內之非都市土地使用分區主要為林業用地及農業用地兩類，局部區域為特定目的事業用地。此外由內政部公有土地資料顯示(圖 5-11、表 5-3)，高山調查區內之國有土地主要由行政院農業部林業及自然保育署、交通部公路總局及財政部國有財產署進行管理，面積約 395 公頃，佔高山調查區 85%。

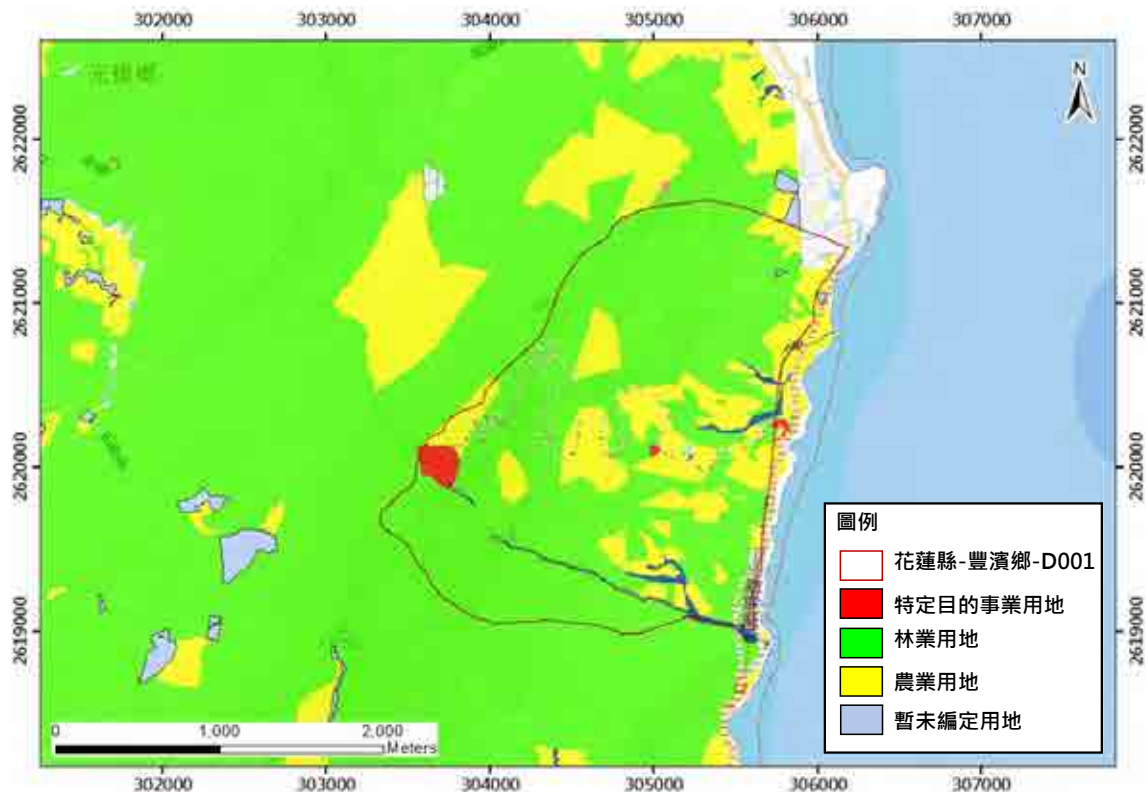


圖 5-10、土地利用分布圖

(資料來源：內政部營建署城鄉發展分署國土規劃入口網)

5.1.6 災害歷史

經查農業部農村發展及水土保持署土石流防災資訊網顯示，區域內土石流潛勢溪流花蓮縣 DF-095 於 1989 年莎拉颱風及 2001 年桃芝颱風期間有發生土石流事件。此外於 2022 年 3 月 23 日花蓮外海發生芮氏規模 6.7 地震，花蓮地區最大震為 5 強，於調查區內多處路段有落石災害發生，造成多處聯外道路中斷情形(圖 5-12)。



圖 5-12、民國 111 年 3 月 23 日第 019 號地震造成落石災害
(照片來源：自由時報 <https://news.ltn.com.tw/news/life/breakingnews/3868995>)

5.1.7 歷年降雨量

為瞭解本計畫降雨行為，蒐集中央氣象署設置，距本計畫最近之加路蘭山雨量站(編號 C0T9H0，位於本調查區內)，近 19 年之雨量資料，加以說明災害歷史與雨量關係，歷年降雨量如圖 5-13 及表 5-4 所示。調查區年平均雨量約 2,566 mm，除 5 至 10 月梅雨及颱風季節有較多降雨量，約占全年雨量 75 %；11 月至隔年 4 月約占全年雨量 25 %。

蒐集 2004~2024 年間較大降雨記錄，共計 11 起特殊降雨事件，各起事件期間均無發生土砂災害造成道路中斷之情事，其中以 2024 年 7 月 23 日之凱米颱風事件，事件開始後 12 小時內降雨強度為最大，最大時雨量達 76.5 mm。

為進一步瞭解降雨型態對本調查區之影響，故針對歷史紀錄「已發生災害」之桃芝颱風，與「未發生災害」之特殊事件，進行降雨條件分析(表 5-5)。由降雨條件分析成果顯示，「已發生災害」之桃芝颱風降雨強度普遍大於「未發生災害」之特殊降雨事件，其中於 2024 年 7 月 23 日之凱米颱風事件，雖 1 小時降雨強度接近於歷史災害事件，惟第 2~12 小時之降雨強度均遠低於災害事件，研判本次特殊降雨事件應尚未達到致災之雨量門檻，而區域邊坡應容易受短延時之強降雨影響而有致災情形。

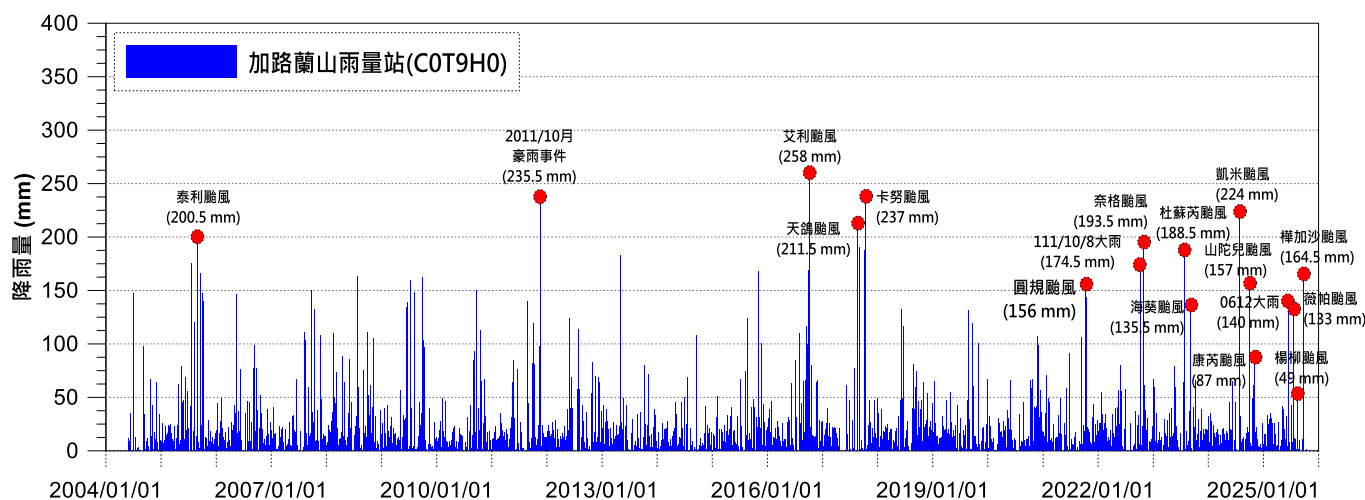


圖 5-13、加路蘭山雨量站(編號：C0T9H0)歷年雨量組體圖

表 5-4、加路蘭山雨量站(編號：C0T9H0)歷年雨量資料

(資料來源：中央氣象署觀測資料查詢，2024)

年/月	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二	年雨量
2004	-	-	-	-	-	158.5	351.0	4.0	386.5	157.5	112.0	223.5	1169.5
2005	135.5	194.5	172.0	212.5	399.5	274.5	310.0	279.5	454.5	443.0	98.5	138.5	2974
2006	258.0	263.0	137.0	140.0	419.0	182.0	181.0	188.0	548.5	182.0	101.0	168.5	2599.5
2007	235.5	58.0	129.5	124.0	120.5	296.0	19.5	481.5	568.0	400.0	356.0	126.0	2788.5
2008	207.0	475.0	286.5	239.5	229.5	231.5	368.0	102.0	374.5	379.0	245.0	98.0	3137.5
2009	124.0	172.0	159.5	136.0	137.5	401.0	271.5	252.0	478.5	596.0	88.0	117.5	2816
2010	197.0	186.0	56.0	140.0	87.0	126.0	84.0	112.0	449.5	573.5	257.5	92.0	2268.5
2011	181.0	136.5	182.5	104.0	339.0	144.0	78.5	292.0	167.5	529.0	548.0	204.0	2702
2012	177.5	232.0	120.5	107.5	425.5	291.0	371.5	271.5	135.0	248.5	201.5	448.0	2582
2013	257.5	207.0	117.0	188.5	567.0	163.5	76.5	113.0	84.0	235.0	263.5	212.0	2272.5
2014	75.0	203.0	141.5	156.5	226.0	191.0	109.5	81.0	131.0	56.0	176.5	135.0	1547
2015	156.0	169.5	224.0	262.0	331.0	114.5	105.5	496.5	218.0	231.5	632.5	188.0	2941
2016	292.0	133.5	123.0	87.0	199.5	103.0	138.0	327.5	946.0	786.0	351.0	125.0	3486.5
2017	197.5	198.5	193.5	52.0	-	167.5	195.0	332.0	234.5	1084.0	248.5	244.5	2903
2018	233.5	172.5	145.0	107.0	81.5	448.0	87.5	281.0	287.0	298.0	333.0	251.0	2474
2019	354.0	117.5	224.5	229.0	223.5	124.5	105.0	482.5	302.0	177.0	163.5	258.0	2503
2020	176.0	30.5	170.0	203.0	209.0	113.0	75.5	85.5	80.0	358.5	641.0	415.5	2142
2021	366.5	215.5	138.0	277.5	67.5	264.5	41.5	64.0	265.5	657.5	180.5	162.0	2538.5
2022	429.5	272.5	103.5	204.5	390.5	221.5	30.0	19.0	158.5	662.5	254.5	112.0	2746.5
2023	328	123	93	188	283.5	99	413.5	121	410	279.5	137.0	226.0	2701.5
2024	170.5	166.0	108.0	95.5	171.5	182.5	478.5	58.5	314.5	574.5	178.5	94.5	2593
2025	152.0	269.0	163.0	69.5	262.5	219.5	395.0	82.0	322.5	80.5	-	-	-
平均雨量	227.6	186.3	151.2	162.7	258.3	204.6	185.3	211.6	333	424.2	265.1	192.4	2566

表 5-5、加路蘭山雨量站特殊降雨特性比較

項次	加路蘭山雨量站	降雨強度統計(mm)						累積雨量(mm)	降雨時數(hr)	發生時間
		1小時	2小時	3小時	6小時	12小時	24小時			
1	2001 年桃芝颱風* (發生災害)	78.5	150.5	228.5	398	466.5	494.5	494.5	22	2001/7/29~7/30
2	2005 年泰利颱風 (未發生災害)	40	68	73.5	93.5	134	218.5	241.5	39	2005/8/31~9/1
3	2011 年 11 月豪雨 (未發生災害)	30	45	58	83.5	143	249.5	334	43	2011/11/16~11/18
4	2016 年艾利颱風 (未發生災害)	37	59	78.5	102.5	147.5	275	326	51	2016/10/6~10/8
5	2017 年天鴿颱風 (未發生災害)	34.5	50	54.5	97.5	154	248.5	272.5	31	2017/8/21~8/23
6	2017 年卡努颱風 (未發生災害)	28	51.5	71.5	102.5	163	251.5	555.5	75	2017/10/13~10/16
7	2022 年奈格颱風 (未發生災害)	21.5	31.5	37.5	69.5	111	206	249.5	38	2022/10/30~11/1
8	2023 年杜蘇芮颱風 (未發生災害)	24	30.5	42	73	105	188.5	337.5	67	2023/7/25~7/28
9	2023 年海葵颱風 (未發生災害)	20	33.5	40	65.5	115.5	179	258.5	48	2023/9/3~9/4
10	2024 年凱米颱風 (未發生災害)	76.5	118	134.5	149.5	168.5	224	269	46	2024/7/24~7/25
11	2024 年山陀兒颱風 (未發生災害)	41	53	53.5	73.5	125.5	169	397	96	2024/9/30~10/3
12	2024 年康芮颱風 (未發生災害)	24	34.5	41	51	60	88	108	33	2024/10/30~11/1
13	2025 年薇帕颱風 (未發生災害)	19.5	30.5	44.0	55.0	81.5	139.0	254.5	48	2025/7/18~7/20
14	2025 年樺加沙颱風 (未發生災害)	26.0	46.0	53.0	72.5	115.5	169.5	280.5	53	2025/9/22~9/24

*加路蘭山雨量站未建站，雨量資料參考鄰近中興站(C1T920)

5.1.8 歷年影像判釋及前後期影像分析

航空或衛星影像分析具有可針對大區域之地形、水系、侵蝕、堆積及崩塌地等廣域的特殊表徵進行判釋之優勢。為大範圍瞭解本計畫區現況及崩塌地之發展與演育，以利後續地表地質調查工作進行。

本團隊蒐集計畫範圍 2017 年至 2022 年近期共 6 年之 SPOT 衛星影像(圖 5-14~圖 5-16、表 5-6)，主要針對調查區內坡面裸露區域，進行不同時間之對比，並釐清裸露坡面係屬人為或自然因素的影響，藉以掌握區域內近期是否有自然崩塌事件發生。為確保比對基準一致且判讀之方便性，本計畫已統一航空影像比例尺及格式，綜合各期影像分析成果顯示，針對裸露圈繪之區域，呈現裸露與植被覆物交替情形，另配合現地勘查該處位置，研判區域大部分裸露坡面是屬人為開墾所造成，惟其中部分裸露區位於無道路行經位置且位於高陡地形或蝕溝測崖處，研判局部裸露區屬小範圍自然崩塌產生，另追蹤至 2022 年影像成果近期應無明顯大規模崩塌發生。

表 5-6、高山調查區各期衛星影像判釋成果

年份	裸露坡面	自然崩塌	坡面開發
2017 年	裸露坡面集中於 S1 塊體頭部、S2 塊體及 S3 塊體趾部區域	S3 塊體蝕溝測崖處發生小範圍自然崩塌	圈繪之裸露坡面經現場確認，除研判之自然崩塌區域外，均屬人為開發產生
2018 年	S2 塊體新增裸露區域	S2 塊體蝕溝測崖處新增小範圍自然崩塌	
2019 年	S1 塊體趾部及 S2 塊體頭部新增裸露區域	S2 塊體頭部新增小範圍自然崩塌；前期自然崩塌處植生復育	
2020 年	無明顯新增裸露坡面	無新增自然崩塌，前期自然崩塌處植生復育	
2021 年	無明顯新增裸露坡面	無新增自然崩塌	
2022 年	S1 塊體新增裸露區域	無新增自然崩塌	

5.1.9 前期調查、監測及整治歷程

高山調查區自 2018 年至 2021 年間，開始使用崩塌區位移觀測方式，瞭解大規模崩塌潛勢與災害機制及其致災原因，針對坡面的位移採用單頻 GNSS 設備進行觀測與分析，並將設備安裝於重點滑動坡面，進行長期的連續觀測，同時於冠部崩崖或其他活動性高之地點設置地表伸縮計及、傾度盤及雨量計，分析坡面土體與時間的移動性關係，作為後續高精度觀測或治理計畫推動的參考。於後續年度計畫，開始進行災害機制之調查、潛勢區危險度評估、坡面運動模式分類以及風險等級評估，高山調查區歷年調查計畫如表 5-7。

表 5-7、高山調查區歷年調查計畫及整治工程

類別	年份	計畫名稱	項目	調查整治目標	執行單位
調查計畫	2018	107 年大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統建置與分析	• 地表觀測系統建置 ➢ 單頻 GNSS 連續站：6 組 ➢ 自動化雨量計：1 組 ➢ 地表伸縮計：1 組 ➢ 傾度盤：1 組	• 災害機制與致災原因分析 • 運動模式分類 • 潛勢區危險度評估 • 警戒值研擬 • 監測成果追蹤	農業部農村發展及水土保持署(本局)
	2019	108 年大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統建置與分析	• 地表觀測系統維護 ➢ 單頻 GNSS 連續站：6 組 ➢ 自動化雨量計：1 組 ➢ 地表伸縮計：1 組 ➢ 傾度盤：1 組	• 運動模式分類 • 警戒值研擬 • 監測成果追蹤	農業部農村發展及水土保持署(本局)
	2020	109 年大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統建置與分析	• 地表觀測系統維護 ➢ 單頻 GNSS 連續站：6 組 ➢ 自動化雨量計：1 組 ➢ 地表伸縮計：1 組 ➢ 傾度盤：1 組	• 運動模式分類 • 警戒值研擬 • 監測成果追蹤 • 觀測資料展示與共享應用	農業部農村發展及水土保持署(本局)
	2021	110 年大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統發展計畫	• 地表觀測系統維護 ➢ 單頻 GNSS 連續站：6 組 ➢ 自動化雨量計：1 組 ➢ 地表伸縮計：1 組 ➢ 傾度盤：1 組	• 風險等級評估 • 運動模式分類 • 監測成果追蹤	農業部農村發展及水土保持署(本局)
	2023	112 年度花蓮縣銅門、鹽寮、賀田山、溪頭及高山地區潛在大規模崩塌調查監測計畫	• 構造物、地貌特徵變異補充調查 • 儀器安裝及監測 ➢ 雨量計：1 組(全自動) ➢ 雙頻 GNSS：5 組(全自動) ➢ 地表伸縮計：1 組(全自動) ➢ CCD 攝影機：1 組	• 災害機制分析 • 監測儀器擴充 • 警戒值研擬 • 監測成果追蹤	農業部農村發展及水土保持署花蓮分署
	2024	113 年度花蓮縣銅門、溪頭及高山地區潛在大規模崩塌調查監測計畫	• 構造物、地貌特徵變異補充調查 • 地質鑽探 50 m • 儀器安裝及監測 ➢ 傾斜觀測管：2 孔(手動) ➢ 水位計：2 組(全自動) ➢ 雙頻 GNSS：6 組(全自動) ➢ 地表伸縮計：1 組(全自動) ➢ 雙軸傾斜計：1 組(全自動) ➢ CCD 攝影機：1 組(全自動)	• 災害機制分析 • 監測儀器擴充 • 警戒值研擬 • 監測成果追蹤	農業部農村發展及水土保持署花蓮分署

第二節 地質調查

5.2.1 地表地質調查

本公司進行現場初步勘查工作，主要針對調查區內之地形、地貌、植被、水系、周邊交通及可能構成邊坡災害之不穩定表徵等進行拍攝、定位和記錄，屆時配合野外調查之岩層分布特性進行研判，並記錄標繪於工作底圖，提供研判潛在之崩塌規模及推測崩塌機制之參考。彙整調查成果，如圖 5-17 及表 5-8 所示，說明如下：

一、 岩層：調查區內岩性以安山岩質集塊岩為主

計畫範圍內露頭以安山岩質集塊岩為主，另觀察坡面堆積之大量轉石岩塊，岩性為安山岩質集塊岩，其岩塊粒徑大小、形狀不一致，且較為尖銳，多具角礫狀，研判應為崖面崩塌導致，未經長距離搬運，並上覆於岩層。

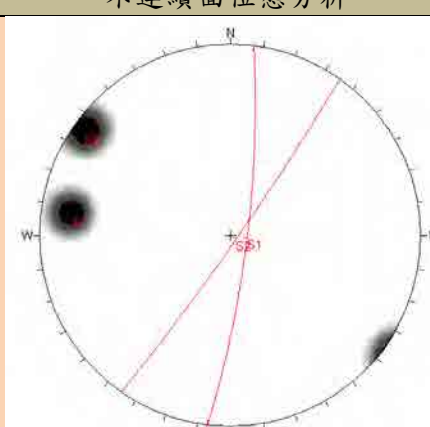
二、 構造：區域至少包含兩組不連續面發育，岩體可能切割構成大小不一的分離岩塊。

參考經濟部地質調查及礦業管理中心五萬分之一區域地質圖，於計畫區內趾部具兩組地層位態，其層面位態分別為 $N8^{\circ}E/80^{\circ}E$ 及 $N36^{\circ}E/86^{\circ}E$ ，走向大致與坡面垂直，傾向朝東至東南，惟本計畫區岩層應屬火山集塊岩，較難以順向坡形式發生災害，根據階段成果研判本調查區至少包含兩組不連續面發育，岩體可能在不連續面切割與作用下構成大小不一的分離岩塊。

三、 水系：坡面具數條蝕溝發育

計畫區上下邊坡有多道蝕溝發展情況，持續發展將可能影響邊坡整體之穩定性，如道路路基材料沖蝕，造成道路路面開裂或下陷情形。另蝕溝末端均為台 11 線，若發生豪大雨事件，可能直接影響重要保全道路之安全。目前計畫區內之土石流潛勢溪流(花蓮縣 DF-095、花蓮縣 DF-096、花蓮縣 DF-097、花蓮縣 DF-098)均已有進行相關整治處理，惟區域內其它蝕溝線型明顯，且尚無相關整治紀錄，可能存有潛在不穩定風險。

表 5-8、高山調查區不連續面位態分析統計表

		編號	位態	走向	傾向	不連續面位態分析
計畫區內不連續面	層面 S	S1	N8°E/80°E	東北-西南	東	
		S2	N36°E/86°E	東北-西南	東南	

5.2.2 地表現況調查

地表現況調查主要包含結構物裂縫、地表裂縫、道路陷落、隆起、坡面滲水等，進行記錄及拍照，用以瞭解計畫區之災害情形，供後續研判災害規模及機制行為，以下茲就調查成果說明如下，地表現況調查成果詳圖 5-20 所示。

- 一、**地表裂縫與陷落**：上邊坡道路於崩崖發育位置可見延伸性裂縫發育，部分路段已有明顯開裂及下陷情形，本年度現勘追蹤裂縫無明顯增大情形。
- 二、**既有構造物裂縫**：上邊坡道路上、下邊坡擋土牆與護欄處可見開裂情形，本年度現勘追蹤裂縫無明顯增大情形；局部路段上邊坡岩壁已有進行噴漿處理，現況大致良好。
- 三、**近期災害發生時間**：
 - (一)2022 年 3 月 23 日，花蓮縣政府南方 65.6 公里處發生規模 6.7 地震，花蓮地區最大震度為 5 強，導致高山地區上邊坡道路有多處落石情形(圖 5-18)。
 - (二)2023 年 2 月及 10 月現勘，多處道路上下邊坡發生局部小型崩塌，現況已完成清理恢復道路通行，推測為近期發生之局部小型災害。
 - (三)2024 年 4 月 3 日，豐濱地區發生震度 5 弱地震，高山聚落上方邊坡發生局部小型崩塌，現況已完成清理恢復道路通行。
- 四、**本階段現勘情形**：2025 年 1 月 21 日、2025 年 2 月 25 日、2025 年 3 月 3 日、2025 年 4 月 17 日、2025 年 5 月 14 日、2025 年 7 月 22 日、2025 年 9 月 2 日及 2025 年 10 月 5 日，共計 8 次，邊坡無明顯異常情形。

5.2.3 數值地形資料蒐集與地形判釋

由於經濟部地質調查及礦業管理中心於 2010 年開始執行有關「國土保育之地質敏感區調查分析計畫」，並於 2014 年度進行台灣北部的光達地形影像建置工作，其中包含高山調查區，為能掌握潛在坍塌區範圍，本公司藉由精度為 1 m 之空載雷射掃描數值地形資料(簡稱 LiDAR 資料)，配合不同光源角度之日照陰影圖，按照地形起伏情形，進行調查範圍之地形比對分析，並作為崩塌區位、量體、機制研擬之依據，工作成果說明如下。

一、數值地形建置

配合本團隊蒐集 2013 年之 LiDAR 資料，進行調查範圍之地形比對分析，並作為崩塌區位、量體、機制研擬之依據。日照陰影圖(包含二個不同日照方向)如圖 5-21 及圖 5-22 所示。

二、潛在滑動塊體圈繪

計畫區主要包含一處 L1 潛在大規模崩塌區，其中 L1 塊體可再細分為 S1、S2 及 S3 三處規模較小之滑動塊體，圈繪成果如圖 5-23 所示。

(一) **L1 潛在大規模崩塌區**：區域具保全對象，包括重要道路台 11 線、高山、龜庵部落、坡面上之農地及加路蘭山陣地等，邊坡淺層可能存有風化程度較高、完整度較低之岩體材料，不排除可能發生破碎岩體滑動，其中包含 S1、S2 及 S3 塊體。

(二) **S1 塊體**：塊體位於 L1 塊體北側之下一階次崩崖，崖面清晰，較平緩之坡面堆積鬆散土砂及大型岩塊，具多條蝕溝發育，包含土石流潛勢溪流花縣 DF-095 及花縣 DF-096，將可能對邊坡整體之穩定性造成影響，不排除有向源侵蝕發展趨勢。塊體趾部連接台 11 線、龜庵及高山聚落，具保全住戶 8 戶。

(三) **S2 塊體**：塊體位於 L1 塊體之下一階次崩崖，崖面清晰，且具蝕溝發展，包含土石流潛勢溪流花縣 DF-097，並從 L1 潛在崩塌塊體頭部延伸至 S2 塊體坡趾。鄰近崩崖面之部分上邊坡道路可見裂縫，並於道路下方發育小型圓弧形崩塌。出露之岩體材料較為破碎，於崩崖下方多有鬆散土砂及大型岩塊堆積。塊體趾部連接台 11 線及高山聚落，具保全住戶 20 戶。

(四) **S3 塊體**：塊體位於花縣 DF-098 發展區域，該範圍具較多大型次崩崖發育。塊體趾部連接台 11 線，此範圍無保全住戶。

針對上述邊坡潛在滑動塊體進行初步研判，可發現近期邊坡活動性不明確，但具有保全對象，故本計畫新增地表監測儀器，採全自動觀測方式，加以調查，並評估邊坡活動性。

三、蝕溝坡度分析：

一般土石流的發生過程即包含發生區、流動區及堆積區，而其中發生區之坡度大約介於 15 至 30 度之間，流動區之坡度約介於 6 至 15 度之間，而堆積區則約介於 3 至 6 度之間(詹錢登，2000)，為了解本計畫區內之潛勢溪流之特性故進行坡度分析成果如下。高山調查區蝕溝坡度分析剖面位置如圖 5-24，坡度分析成果如圖 5-25~圖 5-28。

(一) 花縣 DF-095 剖面

1. 潛勢溪流上游區域：由分析結果顯示，區域坡度約 6 度以下，該範圍通過計畫區 L1 塊體北側頭部平緩區域。
2. 潛勢溪流中游區域：坡度介於 22 至 31 度之間，坡度變化較大，推測該範圍通過計畫區 S1 塊體崖部區域，故於局部區域具較陡之坡度，研判為土石崩落滑動區及土石流發生區。
3. 潛勢溪流下游區域：此範圍內坡度較緩約 8 度以下，研判為土石流流動區，進入趾部階地後，坡度降於 6 度以下，研判為土石流堆積區。

(二) 花縣 DF-096 剖面

1. 潛勢溪流上游區域：由分析結果顯示，區域坡度約 6 度以下，該範圍通過計畫區 L1 塊體北側頭部平緩區域。
2. 潛勢溪流中游區域：坡度介於 18 至 57 度之間，坡度變化較大，推測該範圍通過計畫區 S1 塊體崖部區域，故於局部區域具較陡之坡度，研判為土石崩落滑動區及土石流發生區。
3. 潛勢溪流下游區域：此範圍內坡度較緩約 9 度以下，研判為土石流流動區，進入趾部階地後，坡度降於 6 度以下，研判為土石流堆積區。

(三) 花縣 DF-097 剖面

1. 潛勢溪流上游區域：由分析結果顯示，區域坡度介於 13 至 31 度之間，坡度變化較大，推測該範圍通過計畫區 L1 及 S2 塊體崖部區域，故於局部區域具較陡之坡度，研判為土石崩落滑動區、土石流發生區與流動區交互出現。
2. 潛勢溪流中游區域：坡度介於 6 至 23 度之間，該範圍位通過 S2 塊體頭部及坡腹區域，研判為土石流發生區與流動區交互出現。
3. 潛勢溪流下游區域：此範圍內坡度較緩約 4 至 14 度，研判為土石流流動區，研判為土石流流動區至堆積區。

(四) 花縣 DF-098 剖面

1. 潛勢溪流上游區域：由分析結果顯示，區域坡度介於 8 至 29 度之間，該範圍通過計畫區 L1 及 S3 塊體崖部區域，故坡度較陡，研判為土石流發生區及流動區交互出現。
2. 潛勢溪流中游區域：坡度介於 15 至 22 度之間，該範圍位通過 S3 塊體頭部及坡腹區域，研判為土石流滑動區。
3. 潛勢溪流下游區域：此範圍內坡度較緩約 8 至 11 度，研判為土石流流動區，進入趾部階地後，坡度降於 6 度以下，研判為土石流堆積區。

由蝕溝坡度分析成果顯示，區內四條蝕溝接近計畫區各潛在塊體崖部位置時，均可接近 30 度之坡度，顯示此範圍可能為土石流之料源區域，向下方溝谷提供堆積材料，若僅由坡度進行考量，目前計畫範圍南側之花縣 DF-097 及花縣 DF-098 相較於北側之花縣 DF-095 及花縣 DF-096，具有較多土石流發生區存在，可能具有較高之災害潛勢。

四、可能崩塌區域(產生土砂材料)探討：

由前述詹錢登(2000)的研究僅考量蝕溝縱向之地形條件進行土石流發生區、流動區或堆積區之區分，而根據本計畫初步地表調查成果顯示區域邊坡可能具厚度不等之風化岩體存在，故當溝谷通過潛在塊體範圍之側崖位置，均有向溝內提供土砂之能力，故根據地形判釋(LiDAR)之潛在崩塌範圍內(S1、S2、S3 潛在塊體)，均可能為土石流之發生區。

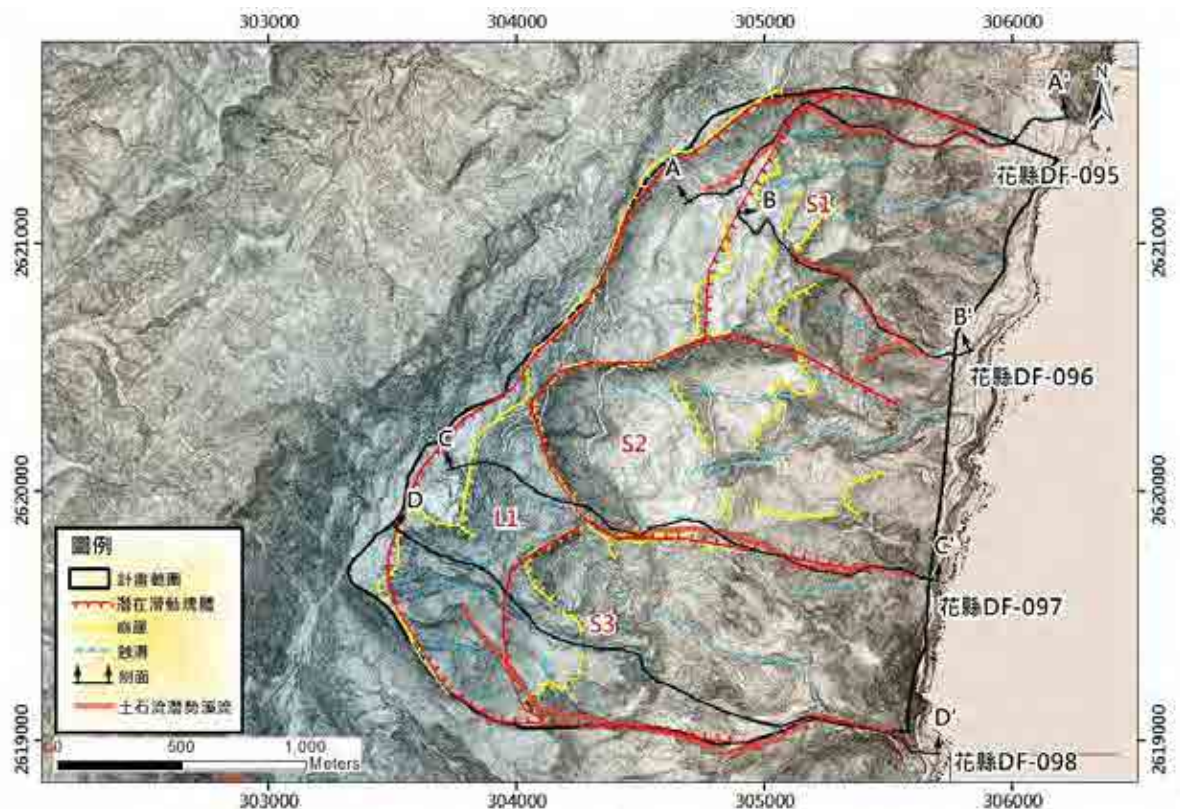


圖 5-24、高山調查區蝕溝坡度分析剖面位置

5.2.4 地質鑽探作業

根據現場踏勘及蒐集既有相關地形及地質資料顯示，本計畫區具構造通過，在此等地質構造控制作用下，容易造成區域岩體材料破碎，可能影響整體邊坡穩定，故除地表地質調查外，亦將進行地質鑽探，輔助地質調查工作之進行，並於鑽孔安裝傾斜觀測管釐清潛在邊坡之活動性。

一、鑽探作業

前期計畫於高山調查區尚無執行相關地中調查及監測工作，對於區域邊坡穩定性尚待釐清，由前期他案監測成果顯示，區域邊坡屬長期潛變，並於強降雨事件後位移速率改變之類型，近期雖無災害情事發生，仍有必要進一步釐清地質模式及崩塌機制，掌握邊坡現況，故本計畫將著重於具保全對象之 S2 滑動塊體進行調查，以釐清可能潛在不穩定風險。

本計畫共計 2 孔地質鑽孔，總深 50 m，均安裝為傾斜觀測管兼水位井 (K24-BH1、K24-BH2)。並於鑽探作業執行時，針對各鑽孔逐一施作，視鑽探進度檢討成果，滾動調整鑽探深度，以達調查之最大效益。鑽孔配置平面如圖 5-29 所示，各鑽孔之孔深、座標、鑽探數量統計如表 5-9 所示。

為獲取完整岩芯，利於相關人員進行岩芯判釋，本計畫採用 Wire-Line 鑽機，全程採 HQ 規格取樣(岩芯直徑約 65 mm)，鑽得之岩芯依其深度，儘量保持原狀置於岩芯箱內，供岩芯檢視判釋之用，並於岩芯照相、岩芯量測後，選擇適當樣品進行室內試驗，以作為整治規劃使用。

二、地質鑽探成果

現場地質鑽孔所取得之岩芯均進行判釋及拍攝彩色照片，岩芯描述如圖 5-30 所示，由鑽取之岩芯顯示，區域岩層可概分為岩屑層及岩層，分述如下：

(一) 岩屑層：由黃棕色岩屑、土壤及火山集塊岩岩塊所組成，層厚約 18~25 m，岩塊粒徑約為 0.1~2.0 m 不等，代表性之岩芯如圖 5-30 所示。

(二) 岩層：由深灰色砂岩組成，呈低度破碎，RQD 評分結果顯示岩芯普遍為 70~90 %。代表性之岩芯如圖 5-30 所示。

利用岩芯判釋之結果，配合地形高程，繪製區域地質剖面圖，如圖 5-31 所示，以了解計畫區內地層大致之分層及相對高程位置，以利於後續相關機制之研判。

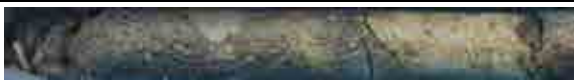
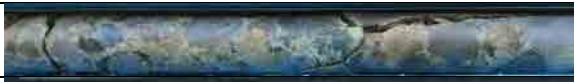
分層	岩性組成	岩芯	
岩屑層	黃棕色岩屑及土壤夾雜岩塊		
	火山集塊岩岩塊		
岩層	灰色砂岩		
岩芯特徵		岩芯	
岩體風化破碎程度高			

圖 5-30、高山地區岩芯特徵

表 5-10、岩芯描述紀錄表(K24-BH1 孔)

深度	岩芯描述
0.0-18.0m	棕色岩屑，基質支持為主，由黃棕色岩屑、土壤及火山集塊岩岩塊組成，岩塊粒徑約 0.1-2 m 不等。
18.0-25.0m	深灰色砂岩組成，呈低度破碎

表 5-11、岩芯描述紀錄表(K 24-BH2 孔)

深度	岩芯描述
0.0-25.0m	黃棕色岩屑，基質支持為主，由黃棕色岩屑、土壤及火山集塊岩岩塊組成，岩塊粒徑約 0.1-2 m 不等。

三、岩芯 RQD、半定量岩體分級

傳統的岩石品質指標 RQD(Rock Quality Designation)多用來快速評估工程品質，惟本計畫岩芯普遍破碎且夾泥層多，不易於傳統之辨識工作，而根據千木良雅宏等人(2013)表示破碎的岩體其實也可能為構造作用或邊坡滑動所造成，並提出以構造與非構造的岩芯產狀特徵來分級，分級共有六級，包含完整(Intact, I)、開裂(Cracked, C)、裂隙夾泥(Jigsaw-1, J1)、碎塊移動旋轉(Jigsaw-2, J2)、受剪崩解(Disintegrated, D)、粉末化(Pulverized, P) (詳第三章地質鑽探作業小節)，因此本計畫參考千木良法之半定量岩體破碎程度分級方法進行相關判釋，以利進行後續潛在邊坡活動性之探討。

本計畫操作方式針對各鑽孔岩芯以每 10 cm 間距依照表 5-12 進行分級，各鑽孔判釋成果分述如下：

(一) K24-BH1(25m)破碎程度分級

1. 岩石品質指標評分(RQD)：本計畫 K24-BH1 孔由 RQD 評分結果顯示岩芯普遍為 0~10%，顯示岩體破碎程度高，惟於局部深度有相對較完整的岩體，RQD 約為 30%，評估結果如圖 5-32 所示。
2. 半定量岩體簡化分級：根據 K24-BH1 的鑽探岩芯成果進行整體破碎程度分級，整體岩芯分級結果如圖 5-32，深度 11~13 m、17~19 m 處之岩芯產狀判釋為 D、P 兩級，屬 K24-BH1 最為破碎之深度，研判為潛在滑動面。

(二) K24-BH2(25m)破碎程度分級

1. 岩石品質指標評分(RQD)：本計畫 K24-BH2 孔由 RQD 評分結果顯示岩芯普遍為 0~10%，顯示岩體破碎程度高，惟於特定深度有相對較完整的岩體，RQD 約為 30%，評估結果如圖 5-33 所示。
2. 半定量岩體簡化分級：根據 K24-BH2 的鑽探岩芯成果進行整體破碎程度分級，整體岩芯分級結果如圖 5-33，深度 10~11 m、19~21m 處

5.2.5 鑽探期間上下工水位記錄

為能更加瞭解調查區內地下水之分布情形，施鑽過程均每日記錄施鑽進度，及上下工鑽孔內水位變化，除瞭解地下水分布，若水位有較大明顯升降，亦可能研判可能有透水層或半透水層之存在，可提供後續地下水特性綜合分析研判。利用現地資料推估地下水特性，研判成果提供地下水特徵初步參考。關於鑽探過程中含水層及透水層定義，彙整如表 5-13 所示。

表 5-13、含水層及透水層定義

分類	鑽孔內地下水位變化			說明
	地下水位	鑽探當日下工水位 (相較於當日上工水位)	鑽探次日上工水位 (相較於當日下工水位)	
自由含水層	有	上升	略微上升或無明顯變化	鑽探深度範圍內，鑽孔有地下水補注，地下水之流入量大於或等於流出量，次日上工時地下水位較前日上工及下工水位略微上升或無明顯變化。
半受壓含水層	有	上升	上升	鑽探深度範圍內，鑽孔有地下水補注，地下水之流入量大於流出量，次日上工時地下水位上升且高於前日下工水位。
受壓含水層	有	上升	顯著上升	鑽探深度範圍內，鑽孔有地下水補注，地下水之流入量遠大於流出量，次日上工時地下水位顯著上升。
半透水層	有	下降或無明顯變化	下降(幅度小) <50%	鑽探深度範圍內，鑽孔之地下水之流入量小於流出量，並於次日上工時地下水位小幅度下降(<50%)。
	有	下降或無明顯變化	下降(幅度大) >50%或無水	深度範圍岩層，地下水之流入量<地下水之流出量，次日上工水位大幅度下降>50%。
透水層	無 (全透水)	無水	無水	深度範圍岩層，完全漏水，透水性高。
不透水層	-	-	-	介於含水層及透水層介面，分佈範圍須配合岩芯判釋

備註：

- 1.參考改繪於“地すべりに影響を及ぼす地下水の調査・観測に関する共同研究 共同研究報告書 表解 2-2 孔内水位変化による判定と汲み上げを併用した判定の対比”
- 2.地下水位下降幅度係以地下水位下降深度(翌日上工水位-當日下工水位)和當日總累計鑽探進尺深度之比例。

茲將高山調查區地下水特性說明如下：

一、K24-BH1：依照鑽探過程中地層含水層及透水性定義，可分為 2 層

(一)透水層：於鑽探過程中，0~15 m 深度範圍內，無量測到上下工水位，顯示此深度範圍岩層，完全漏水，透水性高。

(二)含水層：於鑽探過程中，15~25 m 深度範圍內，當日下工水位高於次日上工水位，惟次日上工時地下水位與前日上工及下工水位無明顯變化，推測鑽孔內之地下水之流入量大於或等於流出量。

二、K 24-BH2：依照鑽探過程中地層含水層及透水性定義，均為半透水層

(一)半透水層：於鑽探過程中，0~25 m 深度範圍內，當日下工水位高於次日上工水位，惟次日上工水位次日上工水位大幅度下降(>50%)，推測鑽孔內之地下水流入量小於流出量。

根據鑽探期間之地下水位記錄顯示，於鑽探過程中，X24-W2 鑽孔起初無明顯地下水反應，但鑽探深度通過約 15 m 深度時則會有上升情形，顯示區域地下水可能存在於此深度範圍之岩層內，且比對岩芯研判釋成果顯示，區域岩層多有破碎且含泥量較高情形，易使得地下水蓄積於岩層內不易消散。後續須持續觀察水位變化情形，供研判計畫區內之地下水位高程參考。

第三節 相關單位觀測成果蒐集及彙整

經蒐集相關資料，高山地區曾有農業部農村發展及水土保持署針對大範圍潛勢區進行 In-SAR 分析(2007~2020 年間資料) 及 GNSS 地表變形觀測(2019~2022 年)，彙整各單位儀器數量如表 5-14 所示。依序說明地表 In-SAR 及 GNSS 與地中傾斜觀測管觀測成果如後。

一、In-SAR 分析(合成孔內雷達衛星影像分析)

農業部農村發展及水土保持署於 2015~2024 年另案辦理相關計畫進行合成孔內雷達衛星影像分析，利用日本 ALOS 衛星於 2007~2011 年(涵蓋 2009 年 8 月莫拉克颱風前後)，及 ALOS-2 衛星於 2015~2024 年間之合成孔徑雷達衛星影像，配合時域相關點雷達干涉法(Temporarily Coherent Point SAR Interferometry, TCP-InSAR)技術，分析全臺潛在崩塌邊坡活動性。

由 TCP-InSAR 地表長期變形量成果顯示(表 5-15)(沿坡面方向)，2015-2020 年 ALOS-2 期程其邊坡滑移總量為-7592.6 mm/yr、滑移總點數為 1659 點、滑移平均量為-4.6 mm/yr，TCP-InSAR 活動度評估為「低」。2020-2021 年 ALOS-2 期程其邊坡滑移總量為-10914.0 mm/yr、滑移總點數為 1705 點、滑移平均量為-6.4 mm/yr，TCP-InSAR 活動度評估為「低」。2022-2023 年 ALOS-2 期程其邊坡滑移總量為-20610.7 mm/yr、滑移總點數為 1715 點、滑移平均量為-12 mm/yr，TCP-InSAR 活動度評估為「中」。由 TCP-InSAR 成果顯示近期邊坡活動性略有上升情形。

此外由 TCP-In-SAR 地表分析結果套繪本計畫之地表線形，顯示區域中顯著地貌變異處大致可與崩崖位置相互匹配，於崖頂多呈現下降情形，並於崩崖下方堆積材料，如圖 5-36 及圖 5-37 所示。

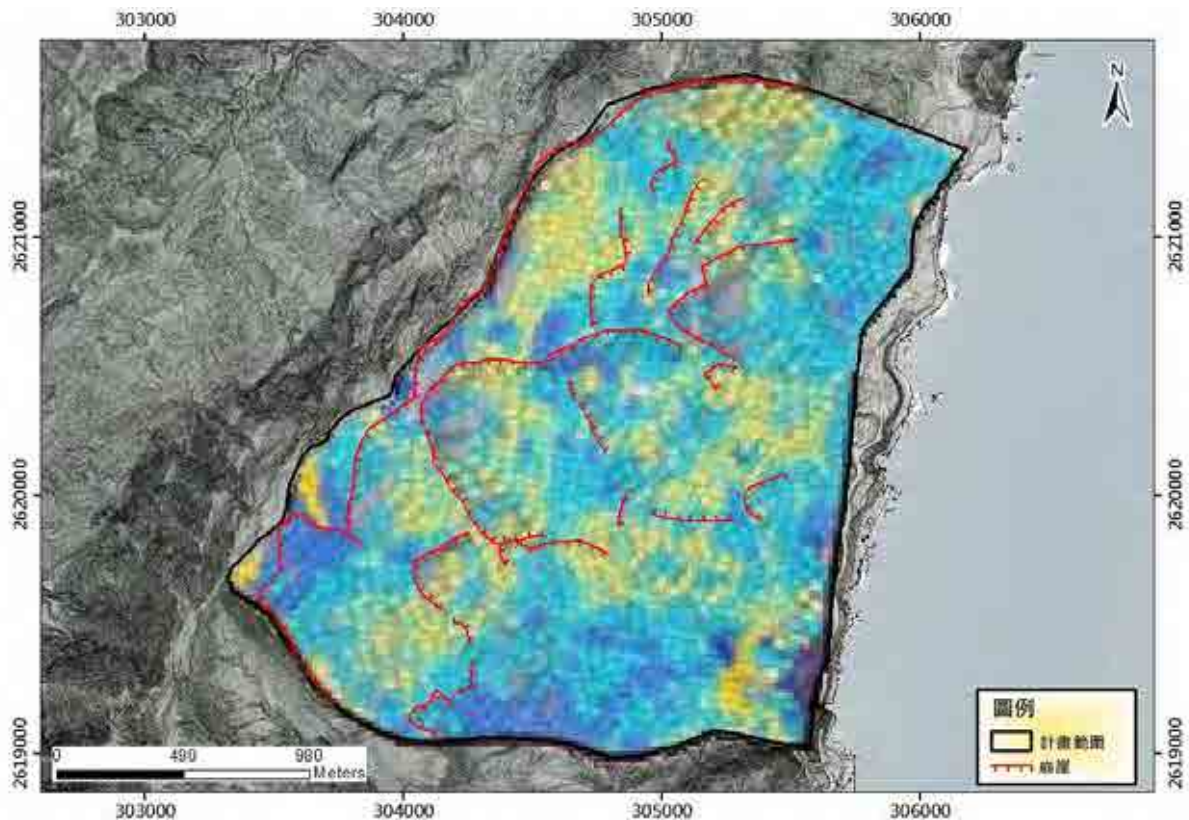


圖 5-37、高山地區 TCP-InSAR 與地表線形比對成果

(底圖為銅門地區 2022~2023 期間 TCP-InSAR 分析成果；區域顯著地貌變異之位置大致可與崩崖線形相互匹配，材料多堆積於崩崖之下方區位)

二、GNSS 觀測

農業部農村發展及水土保持署 2015 年開始辦理「大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統發展計畫」，其中高山地區之豐濱測站於 2017 年起開始觀測，共設有 6 組單頻 GNSS(含基站)。根據歷時 GNSS 監測成果顯示，觀測初期各觀測站均小量沿坡面方向持續性位移，高程方向多有上升趨勢。2018-2019 年期間各觀測站之位移趨勢逐漸穩定，直至 2024 年 4 月 3 日及 4 月 23 日分別發生震度達 5 弱及 4 級之地震事件，各觀測站沿震波傳遞方向均有位移情形發生。GNSS 觀測結果如圖 5-38 所示。

此外由近期發生位移事件之 2024 年間 GNSS 觀測成果顯示，高山地區於 0403 及 0423 地震期間雖有瞬間位移情形，惟後續期間經歷凱米及山陀兒颱風事件，測站均未有持續位移趨勢發生，顯示邊坡應暫無不穩定情形，後續應關注震度大於 4 級以上地震發生時之地表位移變化。2024 年間 GNSS 觀測結果如圖 5-38、圖 5-39 所示。

第四節 崩塌安全監測系統觀測儀器安裝與觀測

本計畫期末階段監測期間至 2025 年 11 月，各監測項目、監測頻率及成果說明如下：

5.4.1 觀測儀器安裝及監測項目

高山調查區為配合後續預警防災工作，本計畫新增監測儀器項目包括傾斜管、水位觀測井、電子式水壓計、地表伸縮計、雙軸傾斜計、自動化即時影像監控系統及雙頻 GNSS 觀測站，各監測項目數量及量測目的說明如下，監測儀器平面配置圖詳圖 5-40。監測儀器數量及現場狀況如表 5-16。

一、傾斜管(既有監測儀器持續觀測)：

傾斜管量測方式係藉由雙軸傾斜感測器，量測地層各深度之水平變化量，進而研判邊坡滑動型態、滑動深度及滑動速率等資料。高山調查區針對具保全對象(高山聚落)之 S2 潛在滑動塊體頭部及坡腹處設置 2 孔傾斜管(K24-BH1、K24-BH2)。

二、水位觀測井(既有監測儀器持續觀測)：

水位觀測井量測目的，為瞭解調查區地下水位之昇降情形。調查區既有裝設之傾斜管，皆有開孔兼水位井使用，合計可供地下水位量測之觀測孔為 2 孔(K24-BH1、K24-BH2)。

三、電子式水壓計(既有監測儀器持續觀測)：

根據前期監測成果顯示，高山調查區既有觀測孔於降雨期間地下水位具明顯昇降變化，故本計畫依既有鑽孔位置配置全自動化電子式水壓計 2 支(K24-W1、K24-W2)，持續觀測地下水位。

四、雙頻 GNSS 衛星定位觀測(既有監測儀器持續觀測)：

前期計畫已於具保全對象之 S1 及 S2 潛在滑動塊體分別設置 5 處觀測站 (K23-G1、K23-G2、K23-G3、K23-G4、K24-G5)，以並於台 11 線設置 1 處基站，以即時獲得邊坡地表變形監測，提供警戒應變參考。

五、地表伸縮計(既有監測儀器持續觀測)：

配合前期調查成果，針對高山調查區中具潛在滑動特性區域，建置全自動化地表伸縮計 1 處(K23-E1)，以獲得連續地表變位資料以追蹤邊坡活動性。

六、雙軸傾斜計(既有監測儀器持續觀測)：

高山調查區計畫面積甚廣，其中以 S2 潛在滑動塊體較可能直接影響主要保全對象高山聚落之安全，故本計畫於 S2 潛在滑動塊體頭部處，經現況調查道路開裂下陷區域安裝 1 組全自動雙軸傾斜計，可針對地表構造物傾斜變化進行即時自動化監測。

七、自動化即時影像監控系統(既有監測儀器持續觀測)：

為配合後續預警防災工作，考量災害歷史及保全對象位置，於高山聚落鄰近位置裝設 1 組自動化即時影像監控系統，屆時將配合區內其他監測儀器即時掌握邊坡現況。

表 5-16、本計畫監測儀器數量及現場狀況說明

儀器名稱		儀器編號	孔深(m)	儀器狀況【註 1】	儀器數量	量測方式【註 2】	安裝日期	目的
傾斜觀測管 兼水位觀測井		K24-BH1	25	V	2 孔	手動	2024 年 7 月	• 掌握坡腹滑動深度
		K24-BH2	25	V				• 掌握邊坡地下水變化
電子式 水壓計		K24-W1	-	V	2 處	全自動		• 掌握 S3 潛在崩塌範圍地下水變化情形
		K24-W2	-	V				• 掌握 S4 潛在崩塌範圍地下水變化情形
雙軸傾斜計		K24-TI1	-	V	1 站	全自動	2024 年 6 月	• 監測地表變形，擬安裝於 S2 潛在滑動塊體頭部道路開裂下陷區域
地表伸縮計		K23-E1	-	V	1 站	全自動	2023 年 6 月	• 監測地表變形，設置於 L1 潛在崩塌範圍內
自動化即時影像監控系統		K23-CCD1	-	V	1 站	全自動		• 配合區內其他監測儀器即時掌握邊坡現況
雙頻 GNSS	基站	K23-G0	-	V	6 站	全自動		• 基站，設置於高山聚落下方台 11 線
	觀測站	K23-G1	-	V			• 監測地表變形，預計設置於 S1 潛在崩塌範圍內	
		K23-G2	-	V			• 監測地表變形，預計設置於 S1 潛在崩塌範圍內	
		K23-G3	-	V			• 監測地表變形，預計設置於 S2 潛在崩塌範圍內	
		K23-G4	-	V			• 監測地表變形，預計設置於 S2 潛在崩塌範圍內	
		K24-G5	-	V		2024 年 5 月	• 監測地表變形，擬設置於 S2 潛在崩塌範圍頭部	

【註 2】V 為正常觀測；X 為停止觀測。

【註 3】手動：114 年，共執行 6 次。

全自動：每 10 分鐘記讀一次資料，資料自動上傳雲端系統。

5.4.2 監測頻率

本計畫之監測資料蒐集及分析，包括手動觀測儀器及自動化觀測儀器兩種類型，分述說明如下：

一、手動觀測儀器

包含傾斜觀測管與水位觀測井量測，高山調查區於計畫期間各區每年執行 6 次，原則防汛期前量測 1 次(1 月至 4 月)，於汛期期間每兩個月量測 1 次(5 月至 11 月)，並視地震(震度 5 強以上)或颱風豪雨事件，進行加密觀測 1 次(本計畫預計 3 月、5 月、7 月、9 月、10 月、11 月執行)。本工作階段所進行之監測執行時程統計詳表 5-17。

二、全自動化儀器

電子式水位計、地表伸縮計、雙軸傾斜計及雙頻 GNSS 衛星定位設定為每 10 分鐘記錄 1 次，以記錄連續變化資料。

表 5-17、手動觀測時程

計畫 期程	監測日期	時程	備註
前期計畫 113 年度	2024.08.06	第 1 次手動監測	2024/7/23 凱米颱風
	2024.10.5	第 2 次手動監測	2024/9/30：山陀兒颱風
	2024.11.14	第 3 次手動監測	2024/10/31：康芮颱風
本計畫 114 年度	2025.03.03	第 1 次手動監測	-
	2025.05.08	第 2 次手動監測	-
	2025.07.22	第 3 次監測報告	2025/7/18 薇帕颱風
	2025.09.02	第 4 次監測報告	2025/9/23 樺加沙颱風
	2025.10.05	第 5 次手動監測	-
	2025.11.16	第 6 次監測報告	2025/11/10 鳳凰颱風

5.4.3 監測成果

期末階段彙整各監測儀器資料至 2025 年 11 月，茲整理該期間各項監測成果說明如下：

一、 降雨量監測

本次降雨量監測資料係蒐集期間為 2024 年 1 月至 11 月。參考鄰近之中央氣象署加路蘭山雨量站(編號：C0T9H0)，由資料顯示本監測期間發生 4 起特殊降雨事件，於 2025 年 6 月 12 日發生大雨事件，事件累積雨量 140.0 mm，最大時雨量 27.5 mm；於 2025 年 7 月 18 日遭遇薇帕颱風事件，事件累積雨量 254.5 mm，最大日累積雨量 133.0 mm，最大時雨量 56.5 mm；於 2025 年 9 月 22 日遭遇樺加沙颱風事件，事件累積雨量 280.5 mm，最大日累積雨量 164.5 mm，最大時雨量 26.0 mm；於 2025 年 11 月 10 日遭遇鳳凰颱風事件，事件累積雨量 284.0 mm，最大日累積雨量 129.0 mm，最大時雨量 19.0 mm，惟 4 起事件均未有造成計畫範圍災害情事之事件發生，而其餘期間降雨情形相對較不顯著，後續持續資料蒐集及觀察中。本監測期間降雨量成果詳圖 5-41 所示。

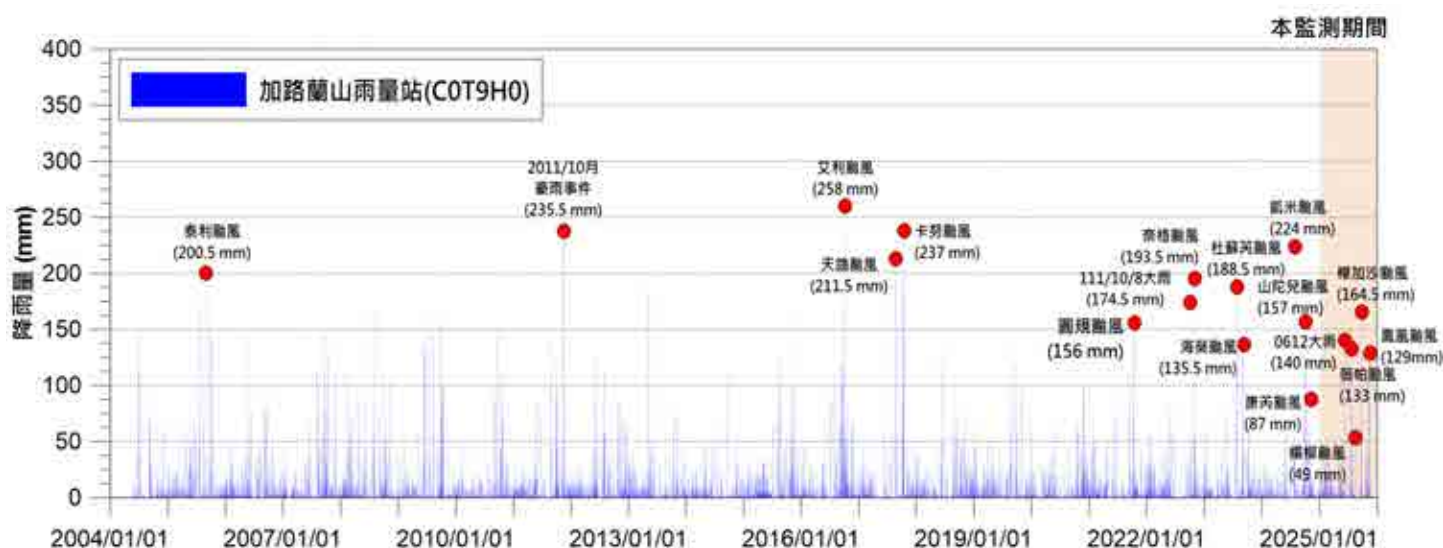


圖 5-41、高山調查區本監測期間之降雨量監測成果圖

二、地下水位監測成果

本計畫區於 2024 年 8 月設置 K24-W1 及 K24-W2 共 2 孔水位觀測井，並於兩鑽孔內置電子式水壓計，以全自動方式記錄連續地下水位，掌握降雨期間地下水位昇降情形。新增監測儀器於 113 年 8 月 14 日完成安裝工作。地下水位監測成果詳圖 5-42 所示。

本監測期間地下水位較無顯著昇降變化情形，各孔鑽地下水位於降雨期間升降幅度約介於 0.95 m~1.21 m 之間。此外由歷史監測成果顯示，區域地下水位於降雨期間有明顯上昇變化情形，約可上昇約 5 m~6 m，並於事件結束後水位緩慢下降，於 4 日內回復常時地下水位，後續持續追蹤地下水位變化。

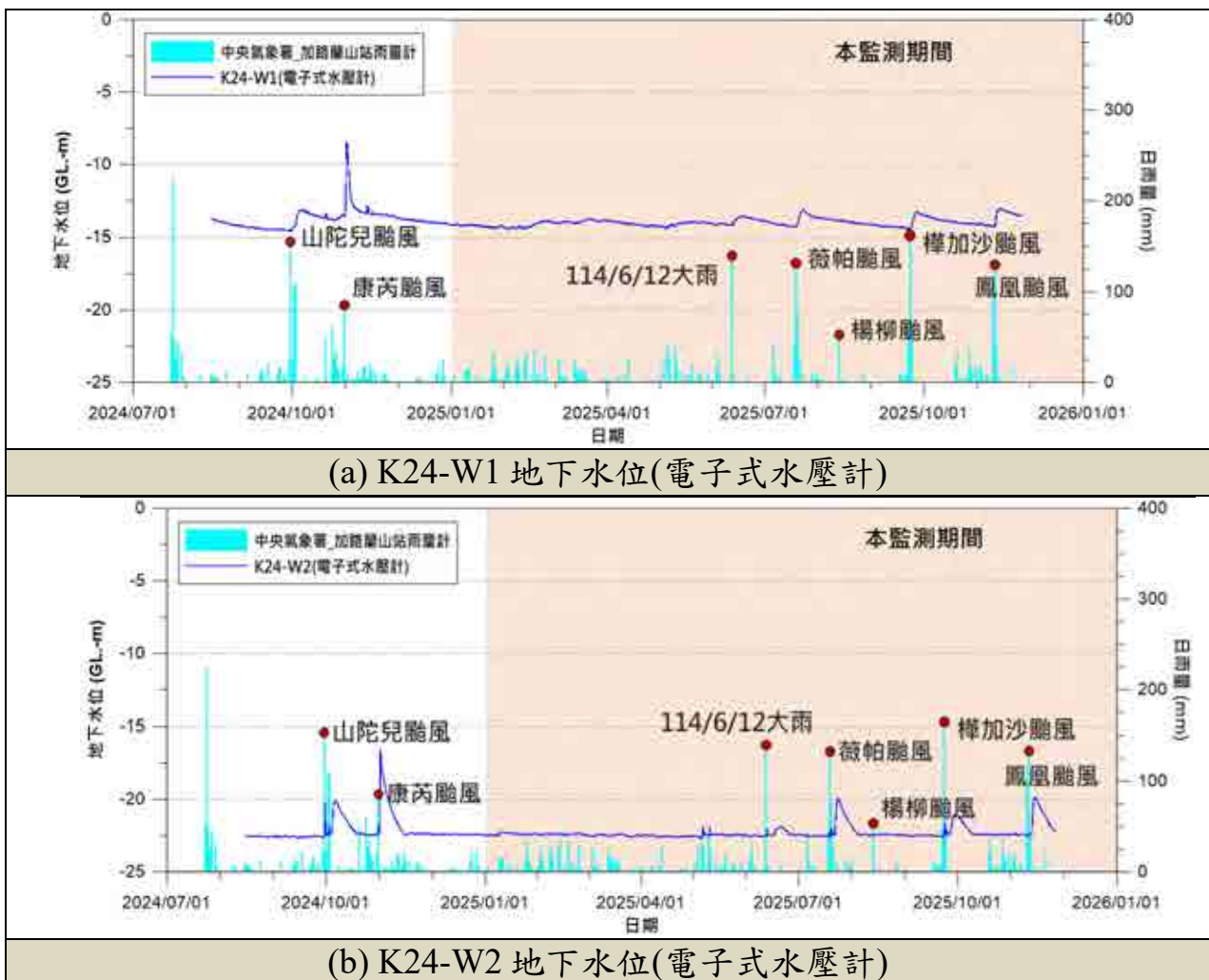


圖 5-42、本監測期間之地下水位監測成果圖

三、地表伸縮計監測

高山調查區之地表伸縮計 K23-E1 於 2023 年 6 月 7 日建置完成，配置於 L1 潛在滑動塊體頭部位置，本監測期間邊坡無明顯變位趨勢發生，累積位移量 2.95 mm，後續將持續進行監測，觀測成果如圖 5-44~圖 5-45 所示。



圖 5-43、K23-E1 地表伸縮計現場環境

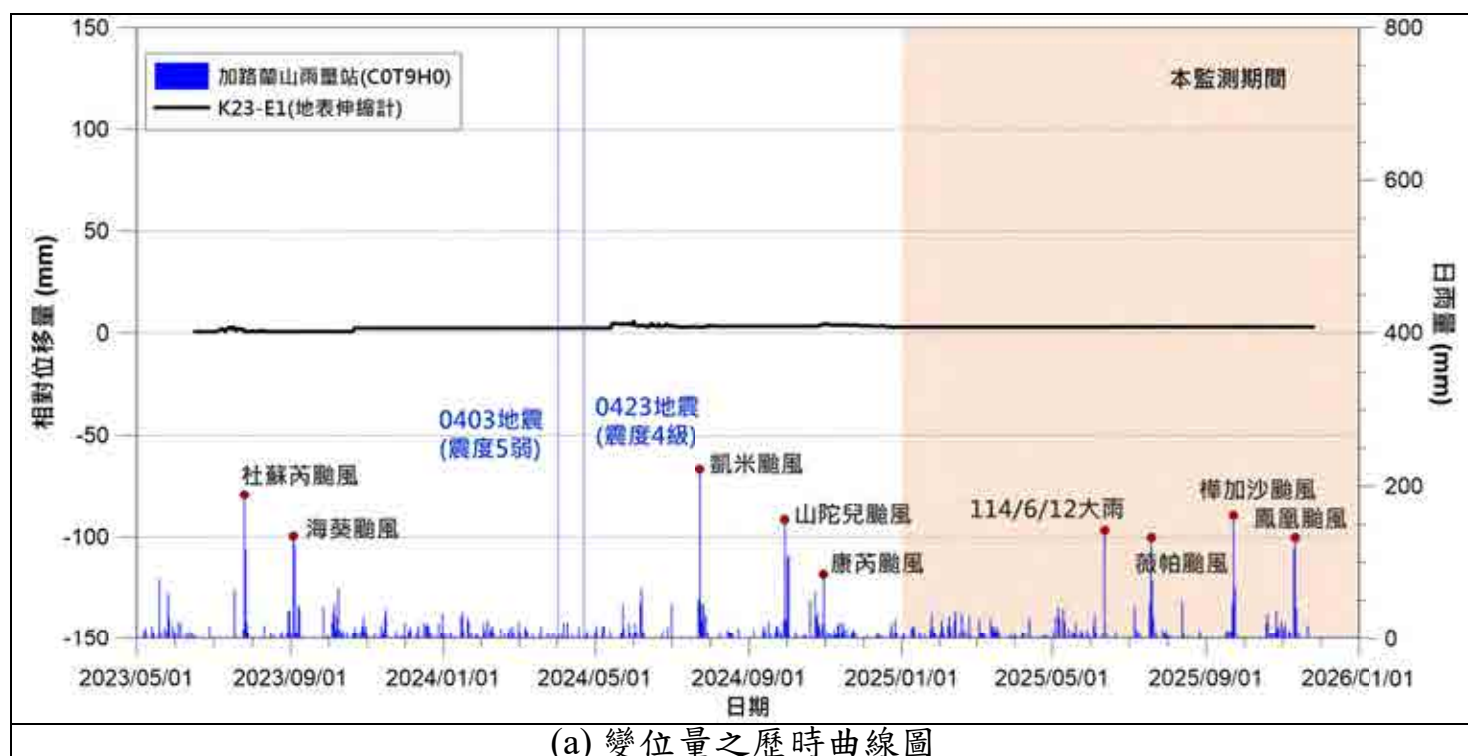


圖 5-44、高山調查區 K23-E1 地表伸縮計監測成果圖

四、 雙軸傾斜計監測成果

本計畫新設置全自動化雙軸傾斜計 1 組，編號 K24-TI1，裝設於 S2 潛在滑動塊體頭部位置，針對地表構造物傾斜變化進行即時自動化監測。

本監測期間，K24-TI1 無明顯傾斜趨勢發生，且未有達管理值情形。A、B 向累積變化分別為 $124.14 \text{ s}(0.03^\circ)$ 、 $117.84 \text{ s}(0.03^\circ)$ 。K24-TI1 累積其監測成果如圖 5-46(a)、日變化如圖 5-46(b)、快速累積變化(七日累積變化)如圖 5-46(c)所示、月變化如圖 5-46(d)。



照片 1、雙軸傾斜計(K24-TI1)



照片 2、雙軸傾斜計(K 24-TI1)

五、雙頻 GNSS 衛星定位觀測

本計畫 GNSS 衛星定位觀測，採用自動化方式進行監測，以掌握地表位移情形。高山地區共計 5 處 GNSS，包含 K23-G1、K23-G2、K23-G3、K23-G4 及 K24-G5 等。前期計畫監測期間經歷 0403 強震及其餘震影響，K23-G2、K23-G3 及 K23-G4 測站均有朝西方向產生地表位移情形(圖 5-48)(詳 5.4.4 節)，惟地震後變位情形趨緩，且後續經歷凱米、山陀兒及康芮颱風事件，各測站均無明顯持續變位情形，研判邊坡暫無明顯異常狀況，後續持續追蹤變化趨勢。高山調查區雙頻 GNSS 基本資料如圖 5-47。彙整 GNSS 歷時曲線如圖 5-48~圖 5-68 所示，說明如下：

- (一)K23-G1 GNSS：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-24.4~5.2 mm、-56.5~2.4mm 及 -75.0~30.6 mm 內，二維合變位量約 60.4mm，三維合變位量約 96.3mm。
- (二)K23-G2 GNSS：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-106.8~5.7 mm、-13.2~4.9 mm 及 -41.5~27.9 mm 內，二維合變位量約 107.3 mm，三維合變位量約 115.1 mm。
- (三)K23-G3 GNSS：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-65.7~9.0 mm、-3.9~17.1 mm 及 -65.2~26.0 mm 內，二維合變位量約 65.7 mm，三維合變位量約 90.8 mm。
- (四)K23-G4 GNSS：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-100.4~8.1 mm、-1.2~50.6 mm 及 -41.1~17.7 mm 內，二維合變位量約 112.2 mm，三維合變位量約 119.0 mm。
- (五)K24-G5 GNSS：觀測期間內，E(東西向)、N(南北向)及 H(高程)方向變化量約-41.1~0.0 mm、-1.1~26.0 mm 及 -91.6~0.0 mm 內，二維合變位量約 47.0 mm，三維合變位量約 99.0 mm。

六、 傾斜管監測成果

本期計畫設置 K24-BH1 及 K24-BH2，共 2 孔傾斜管，於 2024 年 8 月 6 日完成初值建立。本次監測期間傾斜觀測管監測成果說明如下：

本次監測期間 K24-BH 孔累積變化量達 0.15 cm；K24-BH2 孔累積位移量約 0.12 cm，無明顯變位趨勢發生，檢視現場情形未有發現明顯不穩定表徵，且鄰近其他監測儀器亦無明顯變化，研判邊坡暫無不穩定情形，應持續觀察及追蹤。各傾斜觀測管監測成果如圖 5-69、圖 5-70。

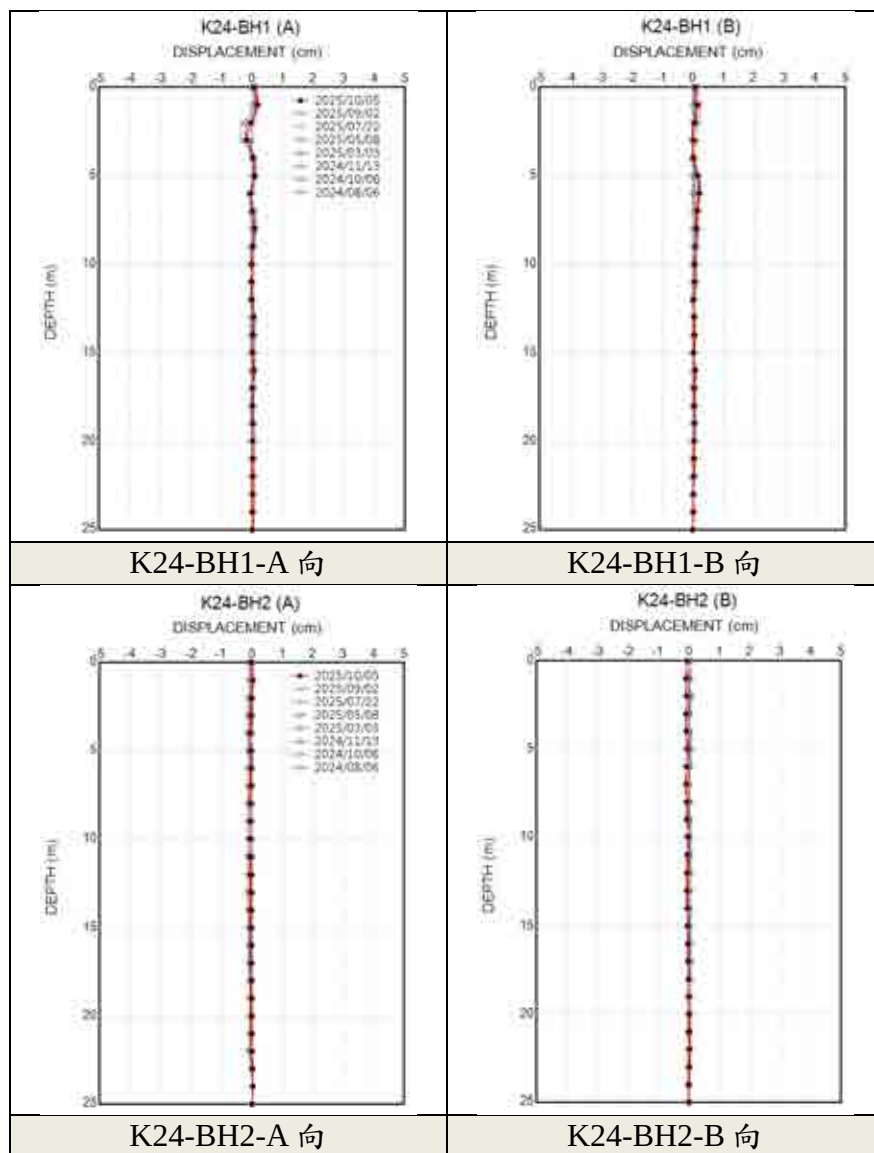


圖 5-69、高山調查區傾斜管監測成果圖

表 5-18、傾斜觀測管孔口位移統計表

傾斜管 編號	初值量測 日期 (年/月/日)	A 方向孔口位移量(主要滑動方向)			B 方向孔口位移量(垂直主要滑動方向)		
		量測成果 (cm)	位移增量 (cm)	位移速率 (cm/日)	量測成果 (cm)	位移增量 (cm)	位移速率 (cm/日)
K24-BH1	2024/8/6	0.00	-	-	0.00	-	-
	2024/10/5	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
	2024/11/13	-0.01	-0.05	0.00	0.04	0.04	0.00
	2025/3/3	0.02	0.03	0.00	0.02	-0.02	0.00
	2025/5/8	0.07	0.05	0.00	0.08	0.06	0.00
	2025/7/22	0.14	0.07	0.00	0.17	0.10	0.00
	2025/9/2	0.04	-0.10	0.00	0.06	-0.11	0.00
	2025/10/5	0.08	0.03	0.00	0.09	0.03	0.00
	2025/11/16	0.07	0.00	0.00	-0.06	-0.03	0.00
K24-BH2	2022/8/18	0.00	-	-	0.00	-	-
	2022/10/3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2024/11/13	0.04	0.04	0.00	0.06	0.06	0.00
	2025/3/3	-0.07	-0.11	0.00	0.07	0.01	0.00
	2025/5/8	-0.14	-0.06	0.00	-0.09	-0.16	0.00
	2025/7/22	-0.07	0.07	0.00	-0.09	0.00	0.00
	2025/9/2	-0.07	0.00	0.00	-0.01	0.08	0.00
	2025/10/5	-0.03	0.04	0.00	-0.08	-0.07	0.00
	2025/11/16	-0.06	-0.03	0.00	-0.11	-0.03	0.00

5.4.4 高山地區雙頻 GNSS 地震變位討論

2024 年監測期間受 0403 強震及系列餘震影響，由雙頻 GNSS 二維合變位量成果顯示，高山地區各測站於地震事件下均有朝西方向(上邊坡方向)產生地表位移情形，為釐清測站位移之原因，團隊蒐集內政部地政司於 2024 年 7 月 26 日公告「花蓮等地區震後基本控制點衛星測量成果」資料(表 5-19、圖 5-72)，由資料成果顯示豐濱地區之水平位移於 0403 主震發生後有朝西南方向變位之情形，故研判本計畫觀測站向上邊坡方向之位移應屬 0403 地震影響所致。

故本團隊為濾除邊坡本次因地震事件所造成之變位，以掌握實際邊坡位移狀況，將基站(K23-G0)採用精密星曆解算方式，計算出基站於地震事件下的絕對坐標位移，並藉此校正各觀測站之量測成果，說明如下：

一、 基站(K23-G0) 於地震事件之位移(圖 5-73)：

(一)0403 地震：E(東西向) 方向無明顯變化；N(南北向)方向變化量約-85mm；H(高程)方向變化量約 39.4 mm。

(二)0423 地震：E(東西向) 方向變化量約 109.5 mm；N(南北向)方向變化量約-177.2mm；H(高程)方向變化量約 145.6 mm。

二、 觀測站校正成果(圖 5-74~圖 5-78)：

(一)K23-G1：觀測期間內(2024 年 1 月至 10 月)二維合變位量約 265.3 mm，三維合變位量約 265.7 mm，朝西南方向位移。

(二)K23-G2：觀測期間內(2024 年 1 月至 10 月)二維合變位量約 229.7 mm，三維合變位量約 231.6 mm，朝西南方向位移。

(三)K23-G3：觀測期間內(2024 年 1 月至 10 月)二維合變位量約 241.4 mm，三維合變位量約 242.2 mm，朝西南方向位移。

(四)K23-G4：觀測期間內(2024 年 1 月至 10 月)二維合變位量約 182.7 mm，三維合變位量約 198.9 mm，朝西南方向位移。

5.4.5 高山地區監測成果小結

本次監測資料蒐集期間至 2025 年 10 月 17 日。綜合本階段監測成果彙整如下。各監測儀器於特殊降雨事件下成果彙整表，詳表 5-20 所示。

- 一、**降雨量監測成果**，本監測期間發生 3 起特殊降雨事件：參考鄰近之中央氣象署加路蘭山雨量站(編號：C0T9H0)，於 2025 年 6 月 12 日發生大雨事件、2025 年 7 月 18 日遭遇薇帕颱風事件、2025 年 9 月 22 日遭遇樺加沙颱風事件，三起事件均未有造成計畫範圍災害情事之事件發生，而其餘期間降雨情形相對較不顯著，後續持續資料蒐集及觀察中。
- 二、**地下水位監測成果**，地下水位均無顯著昇降變化情形：本監測期間地下水位較無顯著昇降變化情形，各孔鑽地下水位於降雨期間升降幅度約介於 0.95 m~1.21 m 之間。此外由歷史監測成果顯示，區域地下水位於降雨期間有明顯上昇變化情形，約可上昇約 5 m ~6 m，並於事件結束後水位緩慢下降，於 4 日內回復常時地下水位，後續持續追蹤地下水位變化。
- 三、**地表伸縮計監測成果**，邊坡無明顯位移趨勢：本監測期間監測儀器無明顯變位趨勢發生，累積位移量 2.99 mm，後續將持續追蹤變化趨勢。
- 四、**雙軸傾斜計監測成果**，邊坡無明顯傾斜變化：本監測期間 K24-TI1 無明顯傾斜趨勢發生。X24-TI1 其 A、B 向累積變化分別為 95.62 s(0.03°)、68.59 s(0.02°)，後續持續觀測其活動性變化。

- 五、 **雙頻 GNSS 衛星定位觀測成果**，本監測期間邊坡無明顯位移趨勢：前期計畫監測期間經歷 0423 地震事件，K23-G2、K23-G3 及 K23-G4 測站之三維合變位量約有 35~52mm 之位移增量，而後經歷凱米、山陀兒颱風事件，各測站均無明顯變位。本監測期間，各測站均無持續變位趨勢，研判邊坡應暫無明顯異常狀況，後續持續追蹤。
- 六、 **傾斜觀測管監測成果**，邊坡無明顯活動情形：本次監測期間 K24-BH 孔累積變化量達 0.12 cm；K24-BH2 孔累積位移量約 0.09 cm，無明顯變位趨勢發生，檢視現場情形未有發現明顯不穩定表徵，且鄰近其他監測儀器亦無明顯變化，研判邊坡暫無不穩定情形，將持續觀察及追蹤。
- 七、 **CCD 攝影機**，本監測期間邊坡無明顯異常情形：本次監測期間由現場攝影機影像顯示，調查區邊坡無顯著異常情形。

表 5-20、高山地區於特殊降雨事件下監測儀器成果彙整表

項次	監測項目		儀器編號	桃芝颱風	杜蘇芮颱風	海葵颱風	小犬颱風	地震(5 弱)	凱米颱風	山陀兒颱風	康芮颱風	
				2001/7/29	2023/7/25	2023/9/3	2023/10/05	2024/04/03	2024/7/23	2024/9/30	2024/10/31	
1	雨量計	降雨時數 (hr)	加路蘭山站 C0T9H0	22	67	48	42	-	46	96	27	
		累積雨量 (mm)		494.5	337.5	258.5	80.0	-	269.0	397.0	326.0	
		臨前 5 日雨量 (mm)		17.0	0.0	86.5	27.5	-	0.0	42.0	59.0	
		最大時雨量 (mm)		78.5	24.0	20.0	19.0	-	76.5	41.0	40.5	
2	電子式水壓計	事件期間 地下水位 上昇(m)	K24-W1	-	-	-	-	-	-	1.1	5.2	
		K24-W2	-	-	-	-	-	-	2.4	6.0		
3	地表伸縮計	事件期間 地表變位 速率	(mm/日)	K23-E1	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
4	雙軸傾斜計		(秒/日)	K24-TI1	-	-	-	-	1.7~9.5	1.3~5.8	1.3~6.5	
5	雙頻 GNSS		三維 合向量 (mm/日)	K23-G1	-	1.1	0.8	0.1	2.2	1.4	1.5	1.0
				K23-G2	-	0.7	0.2	0.1	1.0	0.5	0.2	0.0
				K23-G3	-	0.3	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	1.5
				K23-G4	-	0.2	0.5	0.9	0.0	0.1	0.1	0.3
				K24-G5	-	-	-	-	-	0.9	0.1	0.8
6	傾斜觀測管	事件期間 地中變位 速率(cm/月)	K24-BH1	-	-	-	-	-	-	0.02	0.00	
		K24-BH2	-	-	-	-	-	-	0.00	0.07		
特殊事件災害情形及監測成果研判				歷史紀錄 發生災害	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	局部區域發生落石 及小範圍淺層崩塌 監測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	

表 5-21、高山地區於特殊降雨事件下監測儀器成果彙整表(續)

項次	監測項目		儀器編號	桃芝颱風	0612 大雨	薇帕颱風	樺加沙颱風	-	-	-	-	
				2001/7/29	2025/6/12	2025/7/18	2025/9/22	-	-	-	-	
1	雨量計	降雨時數 (hr)	加路蘭山站 C0T9H0	22	18	48	53	-	-	-	-	
		累積雨量 (mm)		494.5	140.0	254.5	280.5	-	-	-	-	
		臨前 5 日雨量 (mm)		17.0	5.5	0.0	39.0	-	-	-	-	
		最大時雨量 (mm)		78.5	27.5	56.5	26.0	-	-	-	-	
2	電子式水壓計	事件期間 地下水位 上昇(m)	K24-W1	-	0.5	1.0	1.0	-	-	-	-	
		K24-W2	-	0.0	1.0	0.2	-	-	-	-		
3	地表伸縮計	事件期間 地表變位 速率	(mm/日)	K23-E1	-	0.0	0.0	0.0	-	-	-	
4	雙軸傾斜計		(秒/日)	K24-TI1	-	4.3~9.5	18.1~19.9	1.7~2.6	-	-	-	
5	雙頻 GNSS		三維 合向量 (mm/日)	K23-G1	-	1.9	0.9	5.1	-	-	-	-
				K23-G2	-	0.6	0.2	2.7	-	-	-	-
				K23-G3	-	1.1	0.7	2.0	-	-	-	-
				K23-G4	-	0.2	0.1	2.3	-	-	-	-
				K24-G5	-	1.9	0.5	7.8	-	-	-	-
6	傾斜觀測管	事件期間 地中變位 速率(cm/月)	K24-BH1	-	0.22	0.08	0.12	-	-	-	-	
		K24-BH2	-	0.11	0.07	0.09	-	-	-	-		
特殊事件災害情形及監測成果研判				歷史紀錄 發生災害	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	無災害發生，監 測無明顯變化	-	-	-	-	

第五節 災害原因及規模分析

5.5.1 滑動機制研判

根據蒐集前期資料及本計畫調查成果，應具有 3 種不同之崩塌機制，分別說明如下：

- 一、**沖蝕型破壞**：根據現場勘查及地表地質調查成果顯示，調查區淺層應覆蓋厚度不等之岩屑材料，其材料組成主要由鬆散之土壤夾雜岩塊所組成，故於較大集中降雨時，匯流之大量地表水，容易刷蝕坡面形成局部區域岩屑材料滑動。(圖 5-79a)
- 二、**落石**：根據現場勘查及地表地質調查成果顯示，計畫區淺層存有不等厚度之風化岩層，若風化岩體或分離岩體位在較陡的邊坡區位，可能會發生落石災害(圖 5-79d)。
- 三、**岩屑層滑動**：根據現勘成果顯示，調查區潛在塊體頭部有明顯崩崖，顯示邊坡曾發生整體滑動情形，而根據現場勘查及地表地質調查成果顯示，由於崩塌地趾部存在階地，對河流侵蝕坡腳有暫時保護的效果，研判區域發生大規模土石滑落的可能性較低，惟計畫區淺層存有厚度約 18~25m 以上之岩屑層(圖 5-79b、圖 5-79c)，若區域內蝕溝持續向源侵蝕，可能產生雙溝同源，將可能導致區域內各次潛在滑動體產生不穩定情形發生。

調查區具備不利地質條件，配合歷史災害事件，研判於溝谷測崖或坡度較陡之區位，可能向下方提供土砂材料堆積，當發生強降雨事件，提供大量水量條件時，將可能夾帶暫積之土砂材料往下邊坡運動，即發生土石流災害。高山地區可能滑動機制剖面位置如圖 5-80、圖 5-81 所示。

5.5.2 不利邊坡穩定因子

根據調查顯示區域邊坡存有不利邊坡穩定條件包括：(1)地質材料條件差(2)複雜地下水特性(3)坡面向源侵蝕，相關說明如下：

一、地質材料條件差：區域地層主要以安山岩質集岩塊為主，岩體於淺層範圍可能風化程度特性(強度、透水性等)差異較大，並存有風化程度較高之岩體，於其界面處容易產生滑動之可能，不利邊坡之穩定。

二、複雜地下水特性：依都巒山層之材料性質並非良好含蓄地下水的地層，區域地下水應大部分於表層覆蓋之岩屑層或部分風化程度較高之岩體內流動，影響範圍應較淺層且局部，雖不易造成大範圍邊坡失穩，但仍可能造成淺層範圍之材料失穩。

三、坡面蝕溝發育侵蝕：根據階段調查成果，發現區域邊坡坡面有多處蝕溝侵蝕發育，研判降雨期間，蝕溝內水流流量增大，將可能加劇邊坡侵蝕作用(向源及側向侵蝕)，將可能導致區域內各次潛在滑動體產生不穩定情形發生。

5.5.3 崩塌量體初步分析

各潛在崩塌區域之可能崩塌量體為何，係後續對策研擬重要依據，本計畫初步針對可能潛在崩塌區進行圈繪，並採用經驗式推估保全對象集中區域之 S1、S2 潛在崩塌量體。

利用經驗公式為推估崩塌量體的快速方式，崩塌量體經驗公式可分為以崩塌面積 A 對應崩塌體積 V 關係推估(陳樹群等，2010；詹勳全等，2015；Cha et al. 2018；Guzzetti et al., 2009)，或是以崩塌深度 D 再與崩塌面積 A 之乘積獲取崩塌體積 V。本計畫初步蒐集相關崩塌面積 A 對應崩塌體積 V 關係經驗式，如表 5-22 示，利用經驗式推估所得溪頭調查區 S1 崩塌量體約 882,000~43,700,000 m³、S2 崩塌量體約 866,000~42,600,000 m³，另考量

各經驗公式崩塌量體推估結果差距較大，對於後續工法選擇上會有所不同，建議後續補充相關地中調查，獲得區域較明確之滑動深度後，再進行較為準確之量體推估。

表 5-22、利用經驗公式推估高山調查區崩塌量體

項次	公式	經驗式基本資料					本計畫推估結果	
		研究區域	$A_{\min}$ (m^2)	$A_{\max}$ (m^2)	案例數	參考文獻	崩塌面積 $A(m^2)$	崩塌量體 $V(m^3)$
1	$V = 0.04A^{1.38}$	臺灣	1.0×10^2	1.0×10^5	61	陳樹群等(2010)	1.12×10^6 (S1 塊體)	8.91×10^6
							1.10×10^6 (S2 塊體)	8.69×10^6
2	$V = 0.596 A^{1.02}$	Korea	0.6×10^1	2.1×10^3	930	Cha et al. (2018)	1.12×10^6 (S1 塊體)	8.82×10^5
							1.10×10^6 (S2 塊體)	8.66×10^5
3	$V = 0.084 A^{1.43}$	Italy	1.0×10^1	1.0×10^9	539	Guzzetti et al. (2008)	1.12×10^6 (S1 塊體)	3.76×10^7
							1.10×10^6 (S2 塊體)	3.66×10^7
4	$V = 0.074 A^{1.45}$	Italy	2.0×10^0	1.0×10^9	677	Guzzetti et al. (2009)	1.12×10^6 (S1 塊體)	4.37×10^7
							1.10×10^6 (S2 塊體)	4.26×10^7

5.5.4 邊坡穩定性分析

根據現有監測成果顯示，高山地區目前暫無顯著活動情形，因此本計畫透過既有數值地形資料、地質鑽探及監測成果等資料，進行現況邊坡穩定分析，分析程式採加拿大公司發展之 Geo-Studio 程式，分析成果說明如後：

一、分析參數

(一) 地形條件：根據前期計畫所蒐集之內政部 LiDAR 數值地形資料 DEM(民國 102 年)，作為邊坡穩定分析所使用之地形資料。

(二) 材料分層：依據目前鑽探成果，區域地層材料主要為岩屑層及岩層，配合鑽探成果，設定各潛在崩塌區穩定分析剖面分層。參照本計畫地質鑽探期間所採取土樣及岩樣之力學試驗成果，再引用 Hoek 等人(2002)所建議之”Hoek-Brown Failure Criterion”方式，將各項資訊換算為量化之力學參數。地層參數表詳表 5-23 所示。

表 5-23、高山地區邊坡穩定分析參數

材料分層	選用參數		
	c(kpa)	ϕ (°)	γ (kN /m ³)
岩屑層	0	34	25
岩層(都巒山層)	0	36	22.56
岩層(八里灣層)	0	35	26

(三) 地下水條件：依據目前所觀測到之常時地下水位及特殊事件下(山陀兒颱風期間)地下水位上昇成果，訂定模擬分析時之常時地下水及高水位面。

(四) 滑動面位置：依據地質剖面分析之成果，配合岩芯資料、地形資料、地表地質調查及前期災害發生區位等相關資料，初步劃定各潛在崩塌區之可能滑動面位置，以進行邊坡穩定分析。

二、現況邊坡穩定分析成果

依據既有地形資料、地表調查成果、岩芯資料成果及監測資料，研擬出邊坡穩定分析之剖面(剖面位置如圖 5-80)。由分析成果顯示，於常時地下水位條件下，AA'剖面之安全係數(F.S.)達 1.446，顯示區域邊坡穩定性尚屬良好；於特殊事件之高水位條件下，AA'剖面之安全係數(F.S.)達 1.299，相較於常時水位略有下降，但區域邊坡仍屬於穩定狀態。高山調查區現況邊坡穩定分析成果圖如圖 5-82 所示。

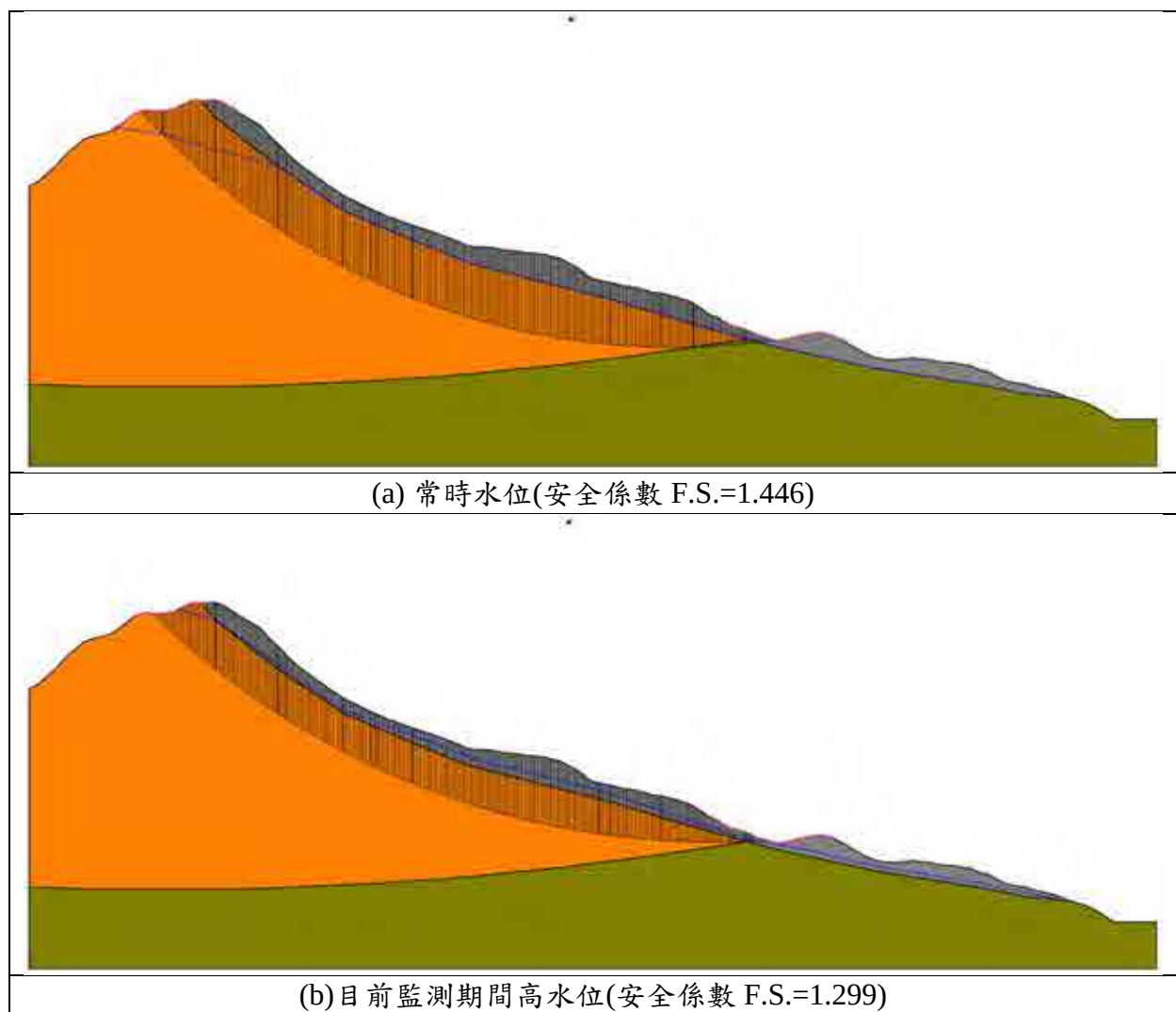


圖 5-82、現況邊坡穩定分析成果圖

5.5.5 影響範圍研判

依據既有之資料顯示，高山調查區近年雖無明顯地表變異情形，但為能推估若崩塌發生後可能影響之範圍，本計畫採用經驗公式法作為分析依據。相關經驗公式及推算方法參考 3.5.5 節，相關說明如下：

依據上述之公式所推算出之可能影響範圍如表 5-24 所示，由此推估結果發現，若 S1 及 S2 潛在塊體發生崩塌，崩塌影響範圍涵蓋下方台 11 線及高山聚落，將可能造成嚴重生命財產安全損失。

表 5-24、崩塌影響範圍計算成果

一、坡頂影響範圍			
崩塌區域名稱		S1 潛在塊體	S2 潛在塊體
1.坡高(m)		353	595
坡頂影響範圍 $L_H(m)$		$70.6 \leq L_H \leq 141.2$	$119 \leq L_H \leq 238$
二、坡趾影響範圍			
1.滑動面積(ha)		112	110
2.崩塌體積 $V(m^3)$	劉哲欣等人(2011)	502,269,264	484,500,170
	蔡元融(2015)	30,596,963	29,834,243
3.崩塌高程差(m)		353	595
崩塌最大滑動距離 $L_{max}(m)$	劉哲欣等人(2011)	1949	3267
	蔡元融(2015)	1256	2109
三、坡趾影響範圍			
1.崩塌寬度(m)		1,036	760
崩塌最大堆積寬度(m)		2,072	1,520

第六節 整體安全評估

本計畫彙整前期及本年度調查監測成果，並參考農業部農村發展及水土保持署之風險評估作業方法，進行高山地區之風險評估。風險評估說明如下：

一、初步風險評估作業

本計畫參考之初步風險評估作業流程及相關說明詳第三章。

二、高山地區初步風險評估

本計畫參考前述之初步風險評估作業流程進行風險評估，高山地區風險等級為「高」，評估結果如表 5-25 所示。其中，於危害度評估中之活動度，因計畫區內已設有各項地表地中監測儀器，根據歷年度監測成果顯示，歷經杜蘇芮、蘇拉、海葵、小犬、凱米、山陀兒及康芮颱風事件，邊坡並無明顯活動情形發生，故本調查區之活動度，評估為「低」。此外於脆弱度評估之住戶因子，高山及龜庵聚落之住戶數約為 29 戶 (25 分)。於脆弱度評估之交通因子，高山地區包含主要重要道路台 11 線 (18 分)。故脆弱度評估為「中」。

表 5-25、高山地區初步風險評估表

各類評估	因子	分級/分類	分數	高山 (113 年農村水保署)	高山 (本計畫)
危害度 評估	坡度	大於 30 度	3	V	V
		23~30 度	2	-	-
		小於 23 度	1	-	-
	地質 構造 距離	通過或相切	3	V	V
		0~300m	2	-	-
		大於 300m	1	-	-
	河道 距離	距離小於 5m	3	V	V
		距離 5m~30m	2	-	-
		距離大於 30m	1	-	-
	順向坡 地形特性	順向坡且坡腳見光	3	-	-
		順向坡坡角未見光或逆向坡且岩層傾角大於 45 度	2	-	-
		其他	1	V	V
	活動度	高	3	-	-
		中	2	V	-
		低	1	-	V (本計畫監測成果)
-			高(12 分)	高(11 分)	
脆弱度 評估	住戶	住戶 50 戶以上	36	-	-
		住戶 20 到 49 戶	25	V	V (高山及龜庵聚落)
		住戶 10 到 19 戶	16	-	-
		住戶未滿 10 戶	9	-	-
	交通	主要聯外道路、橋梁	18	V	V (重要道路：台 11 線)
		道路	10	-	-
		無	0	-	-
	重要 設施	重要公共設施(如防災措施相關之設施和場所、高壓電塔、攔河堰、水庫蓄水範圍等)	18	-	-
		無	0	V	V
	-			中(43 分)	中(43 分)
風險評估				高(7)	高(7)

第七節 整體防減災策略研擬

考量本調查區尚無明確活動情形，且本年度地中儀器安裝後，經歷之特殊事件仍不多，故對於計畫區真正滑動規模、機制及活動性，仍有待後續監測料追蹤，故現階段以現場調查成果，針對現況已有明顯缺失，提出改善建議，以減少地表水入滲等不利因子造成之影響。

一、治理建議

根據現勘結果顯示，上邊坡通往軍方基地道路於崩崖發育位置可見張力裂縫發育，局部區域有明顯開裂及下陷情形，目前裂縫開裂約 30 mm，當發生降雨事件時，地表水可能由裂縫處滲入，長期不利邊坡之穩定，建議先進行裂縫填補工作。現況既有明顯缺失位置如圖 5-20(E)，現況照片如圖 5-83。此外部分道路未設置相關排水系統，可能使地表水於坡面漫流，造成蝕溝發育問題，故建議針對區域排水系統進行設置，以降低坡面冲刷可能，進而影響部落道路及邊坡穩定性之問題。

目前階段成果僅針對現況已有明顯缺失處規畫改善作為，包含針對上邊坡道路進行地表排水改善，及配合道路排水設置縱橫向交會處配置匯流井，後續應持續配合本計畫監測作業，確認邊坡滑動機制及滑動規模後，再進一步進行後續治理工程規劃。

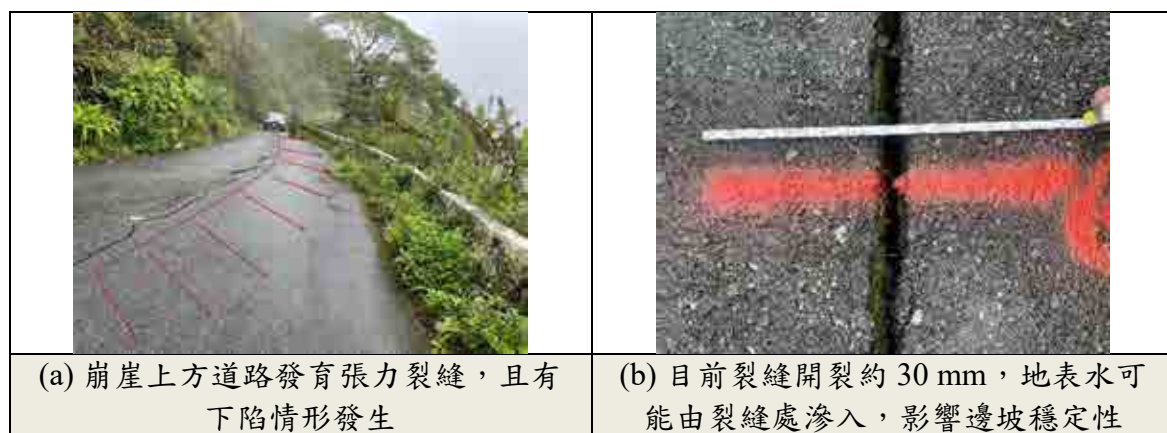


圖 5-83、高山調查區現況既有明顯缺失情形

二、分期治理計畫

根據本階段成果顯示，邊坡未有監測到明確活動情形，且考量本計畫地中監測迄今僅經歷兩起特殊降雨事件，邊坡滑動機制及規模仍有待後續監測釐清，故本階段分期治理計畫採地表排水工法為佳，針對區域主要保全對象及聯外道路之 S2 潛在活動塊體進行規畫，共分為三期施作，各期工程治理經費概估及初步建議詳圖 5-84、表 5-25、表 5-26。

- (一)第一期工程：，S2 潛在塊體下邊坡為保全住戶，故建議先針對 **S2 潛在塊體趾部區域**主要道路執行地表排水改善，建置道路邊溝 1,020 m(L 型溝 W*H=60cm*80cm)，並配合既有道路與蝕溝交會處設置匯流井 3 座(1.5m*1.5m*1.5m)，排出地表水。
- (二)第二期工程：針對 **S2 潛在塊體坡腹區域**主要道路執行地表排水改善，建置道路邊溝 1,200 m(L 型溝 W*H=60cm*80cm)，並配合既有道路與蝕溝交會處設置匯流井 3 座(1.5m*1.5m*1.5m)，排出地表水。
- (三)第三期工程：針對 **S2 潛在塊體頭部區域**主要道路執行地表排水改善，建置道路邊溝 1,200 m(L 型溝 W*H=60cm*80cm)，並配合既有道路與蝕溝交會處設置匯流井 1 座(1.5m*1.5m*1.5m)，排出地表水。

表 5-26、高山地區後續建議治理經費概估表(單位：元)

分期	項次	工程項目	單位	數量	單價	複價	備註
第一期	一、	直接工程費					
	1	L 型溝(W*H=60cm*80cm)	m	1,020	4,000	4,080,000	
	2	匯流井(1.5m*1.5m*1.5m)	座	3	50,000	150,000	
		一、小計				4,230,000	
	二、	雜項工程(含環保安衛費)	式	1	1,269,000	1,269,000	項次一之 30%
	三、	包商利潤及管理費	式	1	423,000	423,000	項次一之 10%
	四、	營業稅	式	1	211,500	211,500	項次一之 5%
		本階段工程費				6,133,500	
第二期	一、	直接工程費					
	1	L 型溝(W*H=60cm*80cm)	m	1,200	4,000	4,800,000	
	2	匯流井(1.5m*1.5m*1.5m)	座	4	50,000	200,000	
		一、小計				5,000,000	
	二、	雜項工程(含環保安衛費)	式	1	1,485,000	1,500,000	項次一之 30%
	三、	包商利潤及管理費	式	1	495,000	500,000	項次一之 10%
	四、	營業稅	式	1	247,000	250,000	項次一之 5%
		本階段工程費				7,250,000	
第三期	一、	直接工程費					
	1	L 型溝(W*H=60cm*80cm)	m	1,200	4,000	4,800,000	
	2	匯流井(1.5m*1.5m*1.5m)	座	1	50,000	50,000	
		一、小計				4,850,000	
	二、	雜項工程(含環保安衛費)	式	1	1,455,000	1,455,000	項次一之 30%
	三、	包商利潤及管理費	式	1	485,000	485,000	項次一之 10%
	四、	營業稅	式	1	242,000	242,000	項次一之 5%
		本階段工程費				7,032,500	
總計						20,416,000	

表 5-27、高山地區後續治理工程初步建議明細表

項次	分期計畫	工程名稱	工程地點		預定經費(仟元)	工程內容	治理項目	TWD97 坐標		高程(m)	計畫執行機關	優先順序	期程
			縣市	鄉鎮				E	N				
1	第一期	高山地區崩塌地改善處理工程-第一期	花蓮縣	豐濱鄉	6,134	L 型 1,020m (W*H=60cm*80cm) 匯流井 3 座 (1.5m*1.5m*1.5m)	塌地處理	305,093	2,620,168	192	農村水保署花蓮分署	優先處理	短期
2	第二期	高山地區崩塌地改善處理工程-第二期	花蓮縣	豐濱鄉	7,250	L 型溝 1200m (W*H=60cm*80cm) 匯流井 4 座 (1.5m*1.5m*1.5m)	塌地處理	304,732	2,620,062	332	農村水保署花蓮分署	計畫處理	中期
3	第三期	高山地區崩塌地改善處理工程-第三期	花蓮縣	豐濱鄉	7,033	L 型溝 1200m (W*H=60cm*80cm) 匯流井 1 座 (1.5m*1.5m*1.5m)	塌地處理	304,352	2,620,475	453	農村水保署花蓮分署	計畫處理	長期
總計					20,416								

第六章 資料接收、整合及觀測成果綜合比對分析與警戒管理值

第一節 監測基準管理值

依契約說明，本工作項目主要包含 1.綜整監測資料，並於每月提送監測報告。2.綜整監測資料，訂定管理基準值，並進行滾動式檢討。

另一方面，依據農業部農村發展及水土保持署 2021 年 1 月 28 日辦理之「110 年度大規模崩塌監測整備暨監測整合系統應用說明會」，農業部農村發展及水土保持署於本(2021 年)年度開始辦理大規模崩塌潛勢區之警戒發布工作，並已建立大規模崩塌警戒發布及監測儀器管理基準值分級方法。

本計畫調查區將參考農業部農村發展及水土保持署所公告之「大規模崩塌警戒發布機制及管理基準值分級原則」，銅門調查區由於區內土石流潛勢溪流保全對象較少，公告為第 2 類型；溪頭及高山調查區因鄰近具土石流潛勢溪流，公告為第 1 類型。管理基準值訂定結果說明如下：

一、農業部農村發展及水土保持署大規模崩塌警戒發布機制

為避免與現行土石流潛勢溪流應變方式差異過大，造成民眾誤解，增加災害管理成本，目前農業部農村發展及水土保持署大規模崩塌警戒之發布機制考量現行土石流防災應變管理方法，依據大規模崩塌潛勢區與土石流潛勢溪流空間位置關聯性以及保全對象重疊性，將大規模崩塌潛勢區分成第 1 類型及第 2 類型等兩類(農業部農村發展及水土保持署土石流防災資訊網，<https://246.swcb.gov.tw>，查詢日期：2021 年 4 月 10 日)說明如後。

(一) 第 1 類型：大規模崩塌保全對象與土石流潛勢溪流保全對象有重疊者。本類型採用土石流警戒雨量，同土石流一併發布紅、黃警戒，其中：

1. 黃色警戒發布：

(1)當預測雨量達到土石流警戒雨量(有效累積雨量達到警戒值 70 %，且中央氣象署定量降水預報將持續降雨，致預測降雨量>警戒值 100 %。)

2. 紅色警戒發布：

(1)實際雨量達到土石流警戒雨量。(有效累積雨量>警戒值 100 %)

(2)參酌現地監測之綜合研判，輔助警戒發布。

(二) 第 2 類型：大規模崩塌保全對象與土石流潛勢溪流保全對象無重疊者。本類型採用大規模崩塌警戒雨量(另案分析)，以雨量為主、現地監測資料為輔，發布紅、黃警戒，其中：

1. 黃色警戒發布：

(1)當預測雨量達到大規模崩塌警戒雨量。

2. 紅色警戒發布：

(1)實際雨量達到大規模崩塌警戒雨量。

(2)參酌現地監測之綜合研判，輔助警戒發布。

二、管理基準值分級及內容

依據農業部農村發展及水土保持署 2021 年 1 月 28 日辦理之「110 年度大規模崩塌監測整備暨監測整合系統應用說明會」，目前大規模崩塌潛勢區地下水(水位觀測井、封層水壓觀測井)及邊坡活動性(GPS、地表傾斜計、地表伸縮計、孔內伸縮計、時域反射儀 TDR)等監測儀器之管理基準值分為注意值及警戒值等兩級：

- (一)注意值：變位略顯著，緩慢運動中。當監測值 $\geq$ 注意值(達警戒值 70%)，該儀器顯示黃色示警。
- (二)警戒值：變位顯著，活潑運動中。當監測值 $\geq$ 警戒基準值(達警戒值 100%)，該儀器顯示紅色示警。

此外，依據前述會議相關資料，彙整各式監測儀器應訂定之管理基準值內容，如表 6-1 所示，說明如下：

(一)地下水：

- 1. 水位觀測井：需訂定水位高(-m)之注意值、警戒值。
- 2. 封層水壓觀測井：需訂定水位高(-m)之注意值、警戒值。

(二)邊坡活動性：

- 1. GPS：需訂定變動速率(mm/3 小時)之注意值、警戒值。
- 2. 地表傾斜計：需訂定累積傾斜量(sec)之注意值、警戒值。其中，累積傾斜量之注意值、警戒值包含 1 日、7 日之累積傾斜量。
- 3. 地表伸縮計：需訂定累積變位量(mm)之注意值、警戒值。其中，累積變位量之注意值、警戒值包含 1 日、7 日之累積變位量。
- 4. 孔內伸縮計：需訂定累積變位量(mm)之注意值、警戒值。其中，累積變位量之注意值、警戒值包含 1 日、7 日之累積變位量。
- 5. 時域反射儀 TDR：需訂定累積變位量(mm)之注意值、警戒值。其中，累積變位量之注意值、警戒值包含 1 日、7 日之累積變位量(本計畫無設置 TDR)。

表 6-1、大規模崩塌潛勢區各式監測儀器應訂定之管理基準值內容

監測儀器	管理基準值內容 (單位)	監測項目：水位、GPS		監測項目：其它儀器			
		注意值	警戒值	注意值		警戒值	
				1 日	7 日	1 日	7 日
水位觀測井	水位高 (-m)	需訂定	需訂定	-	-	-	-
封層 水壓觀測井	水位高 (-m)	需訂定	需訂定	-	-	-	-
GPS 地表變位 (提供 E,N,H 變位量)	變動速率 (mm/3 小時)	需訂定	需訂定	-	-	-	-
地表傾斜計 (雙軸：方位一、二)	累積變位量 (sec)	-	-	需訂定	需訂定	需訂定	需訂定
地表伸縮計	累積變位量 (mm)	-	-	需訂定	需訂定	需訂定	需訂定
孔內伸縮計	累積變位量 (mm)	-	-	需訂定	需訂定	需訂定	需訂定
時域反射儀 TDR	累積變位量 (mm)	-	-	需訂定	需訂定	需訂定	需訂定

(彙整自農業部農村發展及水土保持署，2021)

三、管理基準值訂定方法

一般利用現地監測結果訂定管理基準值，但初期若監測時間不足訂定管理基準值時，可先參考國內外文獻或進行數值分析，而隨著累積更多調查或監測資料，對於地質條件、可能滑動型態及活動性有更多瞭解後，可再滾動式檢討，適度調整。依據前節所述之大規模崩塌警戒發布機制及管理基準值分級原則，說明本計畫降雨量、地下水及邊坡活動性等管理基準值訂定方式如後。

(一) 降雨量管理基準值訂定：依據大規模崩塌潛勢區內是否有土石流潛勢溪流，據以訂定雨量警戒值，流程如圖 6-1 所示，說明如下：

1. 第 1 類型大規模崩塌潛勢區：區域內有土石流潛勢溪流，參考土石流潛勢溪流警戒雨量，可經由查詢農業部農村發展及水土保持署土石流防災資訊網(<https://246.swcb.gov.tw>)得知。
2. 第 2 類型大規模崩塌潛勢區：區域內無土石流潛勢溪流，參考大規模崩塌警戒雨量，此部分已由農業部農村發展及水土保持署 2020 年執行「潛在大規模崩塌區影響範圍劃設檢討與雨量警戒推動規劃」計畫時進行分析及訂定：

(1) 大規模崩塌臨界雨量：為訂定大規模崩塌潛勢區之雨量管理基準值，農業部農村發展及水土保持署 2020 年執行「潛在大規模崩塌區影響範圍劃設檢討與雨量警戒推動規劃」時，利用地震訊號分析、災害調查資料及多時期航遙測影像，從 2001-2016 年期間找出 28 筆具體知道發生時間的新生大規模崩塌案例(圖 6-2 藍點)，分析其發生時刻對應之累積雨量，透過無因次雨量(R/D)與無因次坡度(ϕ/θ)建立大規模崩塌發生臨界雨量線(圖 6-2 藍線)，做為評估潛勢區發生條件之依據，並利用另 79 筆大規模崩塌案例(圖 6-2 紅點)進行驗證，確定臨界雨量線之合理性。

(2) 大規模崩塌警戒雨量管理值：臨界雨量定義係指崩塌發生瞬間所需要之累積雨量大小，若直接用來設定為警戒雨量，在風險管理上恐需面臨極大之風險，因此一般會考慮風險之觀念，針對不同風險值設定不同管理目標或是安全係數，來做為警戒值設定之參考(蔡元融，2020)。故農業部農村發展及水土保持署雨量警戒管理值訂定係同時配合疏散避難準備之考慮，以發生臨界雨量為基礎進一步分析大規模崩塌發生前

6 小時警戒雨量(圖 6-3 橘線)做為警戒值設定之參考(農業部農村發展及水土保持署土石流防災資訊網，<https://246.swcb.gov.tw>，查詢日期：2021 年 4 月 10 日)。

經查詢農業部農村發展及水土保持署「土石流防災資訊網」及「大規模崩塌監測資料庫及整合查詢系統網站」(<https://llm.swcb.gov.tw/Landslide/views/login.aspx>) (查詢日期：2021 年 4 月 8 日)，農業部農村發展及水土保持署已依據相關調查、監測結果，挑選 34 處大規模崩塌潛勢區列為 2021~2024 年大規模崩塌警戒發布優先辦理區，並訂定雨量警戒管理值，如表 6-2 所示。本計畫兩處調查區非屬 34 處大規模崩塌潛勢區，目前初步參考 34 處大規模崩塌潛勢區之訂定方法，對調查區制定雨量警戒管理值。

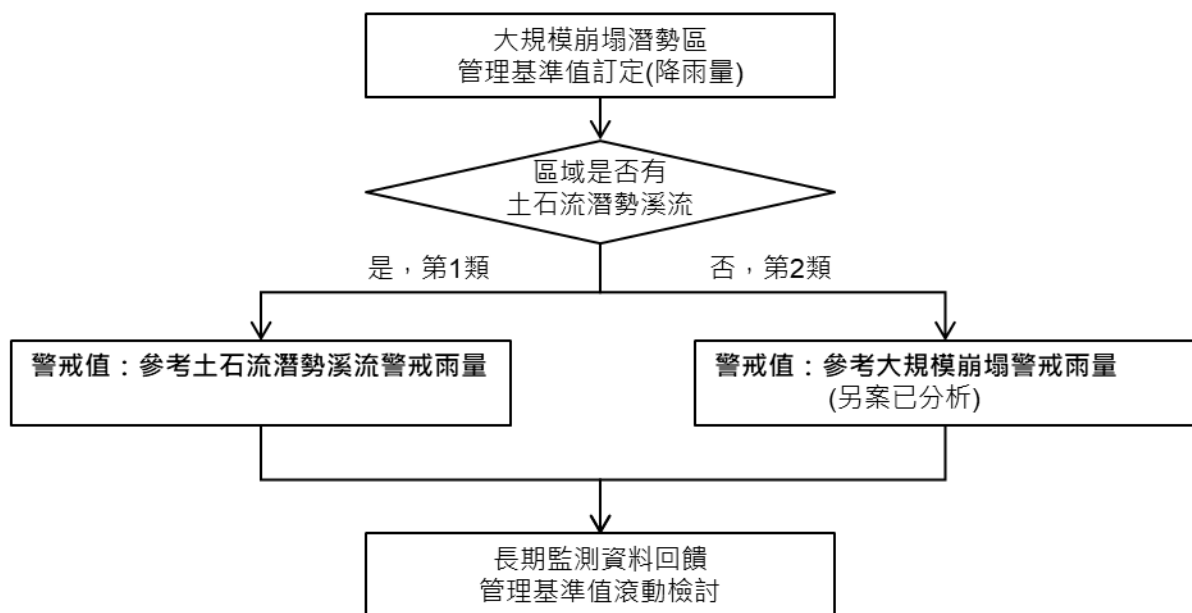


圖 6-1、本計畫雨量警戒值訂定流程(初步彙整)

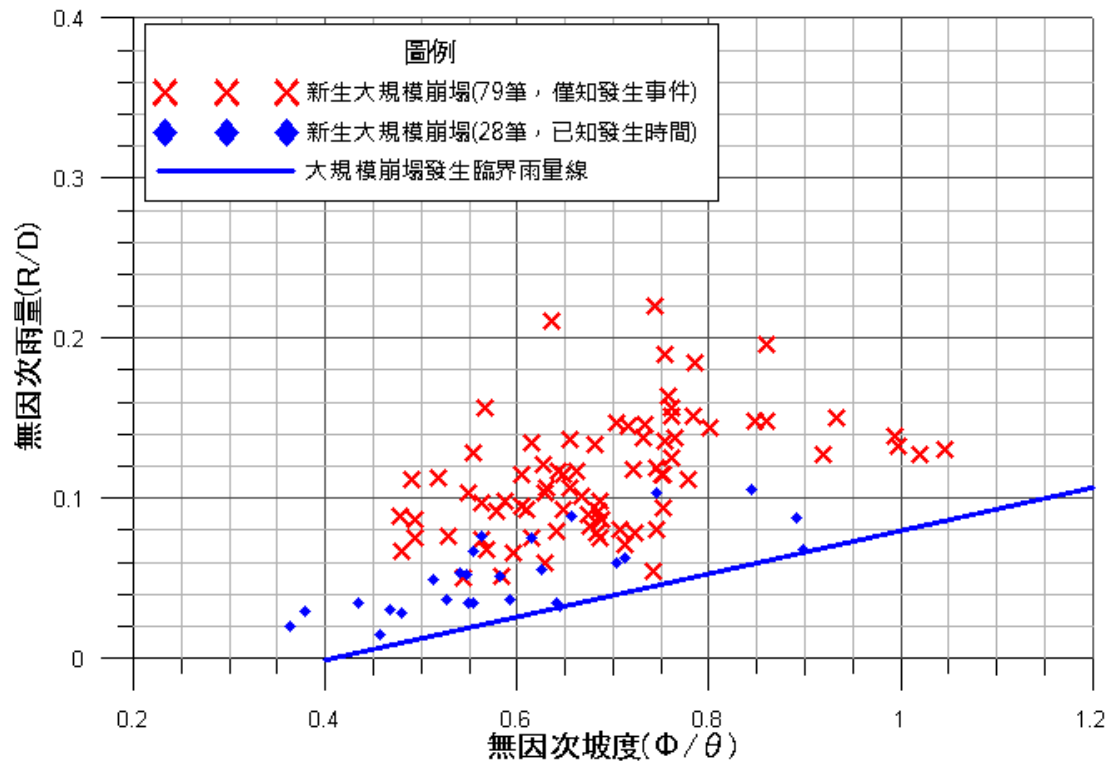


圖 6-2、利用有效累積雨量之發生臨界雨量線

(農業部農村發展及水土保持署土石流防災資訊網, <https://246.swcb.gov.tw>, 查詢日期: 2021 年 4 月 10

日)

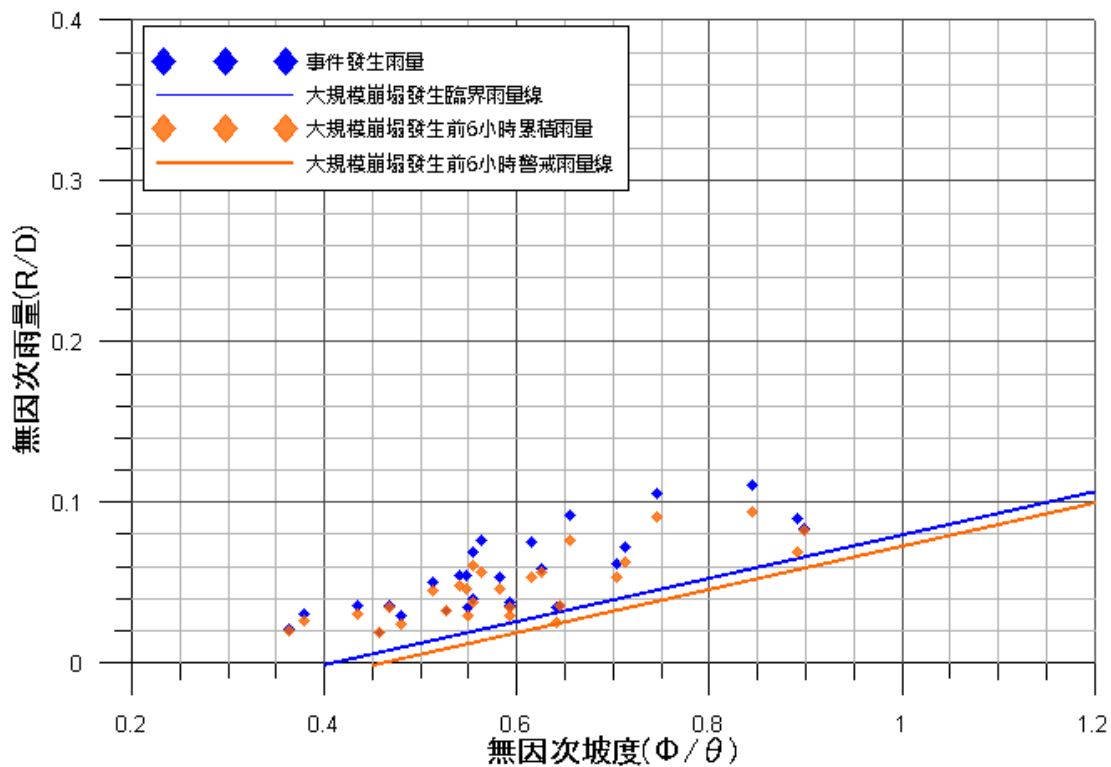


圖 6-3、考慮疏散避難時間之大規模崩塌警戒雨量線

(農業部農村發展及水土保持署土石流防災資訊網, <https://246.swcb.gov.tw>, 查詢日期: 2021 年 4 月 10 日)

表 6-2、大規模崩塌警戒發布區雨量管理值

(彙整自農業部農村發展及水土保持署大規模崩塌監測資料庫及整合查詢系統網站)

項次	大規模崩塌潛勢區編號	警戒雨量(mm)	項次		警戒雨量(mm)
1	新北 LL001-新北市-石碇區-T001(大崙山)	800	30	嘉縣 LL006-嘉義縣-中埔鄉-T002(八寶寮)	750
2	新北 LL002-新北市-汐止區-D003(鵠鵠崙)	300	31	嘉縣 LL007-嘉義縣-阿里山鄉-D001(樂野)	900
3	桃市 LL001-桃園市-復興區-D021(義興)	850	32	嘉縣 LL008-嘉義縣-阿里山鄉-D098(瀨頭)	800
4	桃市 LL002-桃園市-復興區-D031(雪霧閣)	600	33	高市 LL001-高雄市-杉林區-D021(新庄)	900
5	桃市 LL003-桃園市-復興區-D052(上巴陵)	700	34	高市 LL002-高雄市-六龜區-D009(竹林)	750
6	桃市 LL004-桃園市-復興區-T002(光華)	300	35	高市 LL003-高雄市-六龜區-T001(藤枝林道 3.5K)	350
7	竹縣 LL001-新竹縣-五峰鄉-D024(茅園)	400	36	高市 LL004-高雄市-茂林區-D048(萬山)	450
8	竹縣 LL002-新竹縣-尖石鄉-D097(鎮西堡)	650	37	高市 LL005-高雄市-桃源區-D382(寶山)	800
9	竹縣 LL003-新竹縣-尖石鄉-D077(泰崗)	650	38	屏縣 LL001-屏東縣-霧臺鄉-D038(佳暮)	800
10	竹縣 LL004-新竹縣-尖石鄉-T001(秀巒)	300	39	屏縣 LL002-屏東縣-霧臺鄉-T002(阿禮)	600
11	竹縣 LL005-新竹縣-尖石鄉-D052(梅花)	350	40	屏縣 LL003-屏東縣-霧臺鄉-T001(大武)	750
12	苗縣 LL001-苗栗縣-泰安鄉-D013(大興)	500	41	屏縣 LL004-屏東縣-來義鄉-T001(來義)	450
13	苗縣 LL002-苗栗縣-泰安鄉-D026(中興部落)	400	42	東縣 LL001-臺東縣-延平鄉-T001(紅葉 1)	450
14	中市 LL001-臺中市-和平區-D016(達觀)	350	43	東縣 LL002-臺東縣-延平鄉-T002(紅葉 2)	450
15	中市 LL002-臺中市-和平區-T003(新佳陽)	600	44	東縣 LL003-臺東縣-金峰鄉-D002(新興)	500
16	中市 LL003-臺中市-和平區-D050(梨山圓環)	600	45	東縣 LL004-臺東縣-達仁鄉-D003(拉里吧 1)	500
17	中市 LL004-臺中市-和平區-D052(梨山 3)	600	46	東縣 LL005-臺東縣-達仁鄉-D004(拉里吧 2)	500
18	中市 LL005-臺中市-和平區-D044(梨山 4)	600	47	東縣 LL006-臺東縣-大武鄉-D021(大鳥 1)	450
19	中市 LL006-臺中市-和平區-D045(梨山松柏聚落西側)	600	48	東縣 LL007-臺東縣-大武鄉-D022(大鳥 2)	450
20	中市 LL007-臺中市-和平區-D036(松茂 1)	600	49	東縣 LL008-臺東縣-太麻里鄉-D029(多良)	700
21	投縣 LL001-南投縣-仁愛鄉-D066(廬山)	750	50	東縣 LL009-臺東縣-太麻里鄉-T001(華源坑內)	450
22	投縣 LL002-南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)	350	51	東縣 LL010-臺東縣-太麻里鄉-D003(秀山)	750
23	投縣 LL003-南投縣-鹿谷鄉-D051(和雅 2)	350	52	花縣 LL001-花蓮縣-卓溪鄉-D010(卓溪)	550
24	投縣 LL004-南投縣-鹿谷鄉-D006(和雅 3)	350	53	花縣 LL002-花蓮縣-卓溪鄉-D007(太平)	750
25	嘉縣 LL001-嘉義縣-梅山鄉-T001(幼葉林)	600	54	花縣 LL003-花蓮縣-富里鄉-T004(電台山)	500
26	嘉縣 LL002-嘉義縣-梅山鄉-D017(油車寮)	700	55	花縣 LL004-花蓮縣-玉里鎮-D018(安通)	600
27	嘉縣 LL003-嘉義縣-竹崎鄉-T002(樣子寮)	400	56	花縣 LL005-花蓮縣-豐濱鄉-D001(高山)	450
28	嘉縣 LL004-嘉義縣-竹崎鄉-T003(中心崙)	400	57	花縣 LL006-花蓮縣-光復鄉-D011(溪頭)	450
29	嘉縣 LL005-嘉義縣-番路鄉-D004(隙頂)	1,050	58	宜縣 LL001-宜蘭縣-大同鄉-T002(蘭台)	800

表 6-3、大規模崩塌優先辦理區雨量管理值

(彙整自農業部農村發展及水土保持署大規模崩塌監測資料庫及整合查詢系統網站)

項次	大規模崩塌潛勢區編號	警戒雨量(mm)
1	新竹縣-五峰鄉-D009(河頭)	800
2	苗栗縣-泰安鄉-D017(大南)	400
3	苗栗縣-泰安鄉-D011(洗水坑)	850
4	臺中市-和平區-D046(梨山松柏聚落東側)	950
5	臺中市-和平區-D038(松茂 2)	650
6	南投縣-鹿谷鄉-D050(和雅 1)	350
7	南投縣-鹿谷鄉-D030(深坑)	350
8	高雄市-茂林區-D064(茂林)	600
9	臺東縣-卑南鄉-D015(蘇巴陽)	500
10	花蓮縣-玉里鎮-D016(楓林山 1)	600
11	花蓮縣-萬榮鄉-D004(西林)	550
12	花蓮縣-秀林鄉-D027(銅門)	400

(二) 地下水位管理基準值訂定：依據監測期間內是否有足夠事件及監測數據，來評估邊坡活動性高低及訂定地下水管理基準值，並配合基地及環境特性適當調整，流程如圖 6-4 所示，說明如後。

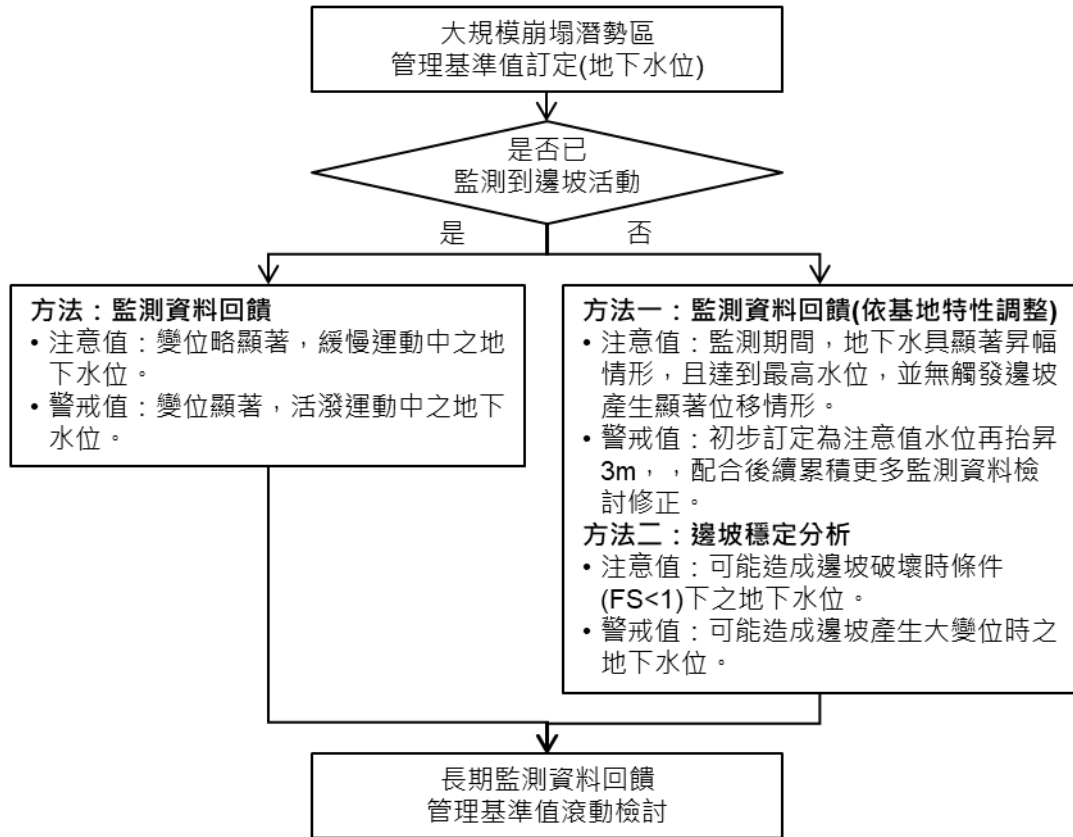


圖 6-4、本計畫地下水管理基準值訂定流程(初步彙整)

1. 已監測到邊坡產生活動性：利用監測資料回饋訂定管理基準值：
 - (1) 注意值：變位略顯著，緩慢運動中之地下水位。
 - (2) 地下水警戒值：變位顯著，活潑運動中之地下水位。
2. 尚無足夠監測資料確認邊坡活動性：利用現有監測資料回饋或進行邊坡穩定分析，或綜合兩者結果選取合適之管理值：

方法一：監測資料回饋

- (1) 注意值：監測期間，地下水具顯著昇幅情形，且達到最高水位，但並無觸發邊坡產生顯著位移情形。
- (2) 警戒值：初步訂定為注意值水位再抬昇 3m，配合後續累積更多監測資料檢討修正。

方法二：邊坡穩定性分析

- (1) 注意值：可能造成邊坡破壞時(安全係數 $FS < 1$)之地下水位條件。
- (2) 警戒值：可能造成邊坡產生大變位時之地下水位。
- (三) 邊坡活動性管理基準值訂定：依據監測期間內是否有足夠事件及監測數據，來評估邊坡活動性及訂定邊坡活動性管理基準值，並配合基地及環境特性適當調整，流程如圖 6-5 所示，說明如下：

1. 已監測到邊坡產生活動性：利用監測資料回饋訂定管理基準值：

地表傾斜計、地表伸縮計、孔內伸縮計

- (1) 注意值：
 - A. 「1 日注意值」：變位略顯著，緩慢運動中之 1 日累積變位量。
 - B. 「7 日注意值」：初步訂定為注意值之 5 倍。
- (2) 警戒值：
 - A. 「1 日警戒值」：變位顯著，活潑運動中之 1 日累積變位量。
 - B. 「7 日警戒值」：初步訂定為注意值之 5 倍。
- 2. 尚無夠監測資料確認邊坡活動性：初期先參考相關文獻資料或利用現有監測資料回饋，或綜合兩者結果選取合適管理值：

方法一：參考相關文獻

地表傾斜計、地表伸縮計、孔內伸縮計

- (1) 注意值：
 - A. 「1 日注意值」：變位略顯著，緩慢運動中之 1 日累積變位量。
 - B. 「7 日注意值」：初步訂定為注意值之 5 倍，配合後續累積更多監測資料檢討修正。

(2) 警戒值：

A. 「1日警戒值」：變位顯著，活潑運動中之1日累積變位量。

B. 「7日警戒值」：初步訂定為注意值之5倍。

方法二：監測資料回饋地表傾斜計、地表伸縮計、孔內伸縮計

(1) 注意值：

A. 「1日注意值」：監測期間無明顯變位趨勢，選取單日變化量最大之量值，後續檢討修正。

B. 「7日注意值」：初步訂定為注意值之5倍。

(2) 警戒值：

A. 「1日警戒值」：參考相關文獻訂之，配合基地及環境特性適當調整。

B. 「7日警戒值」：初步訂定為注意值之5倍。

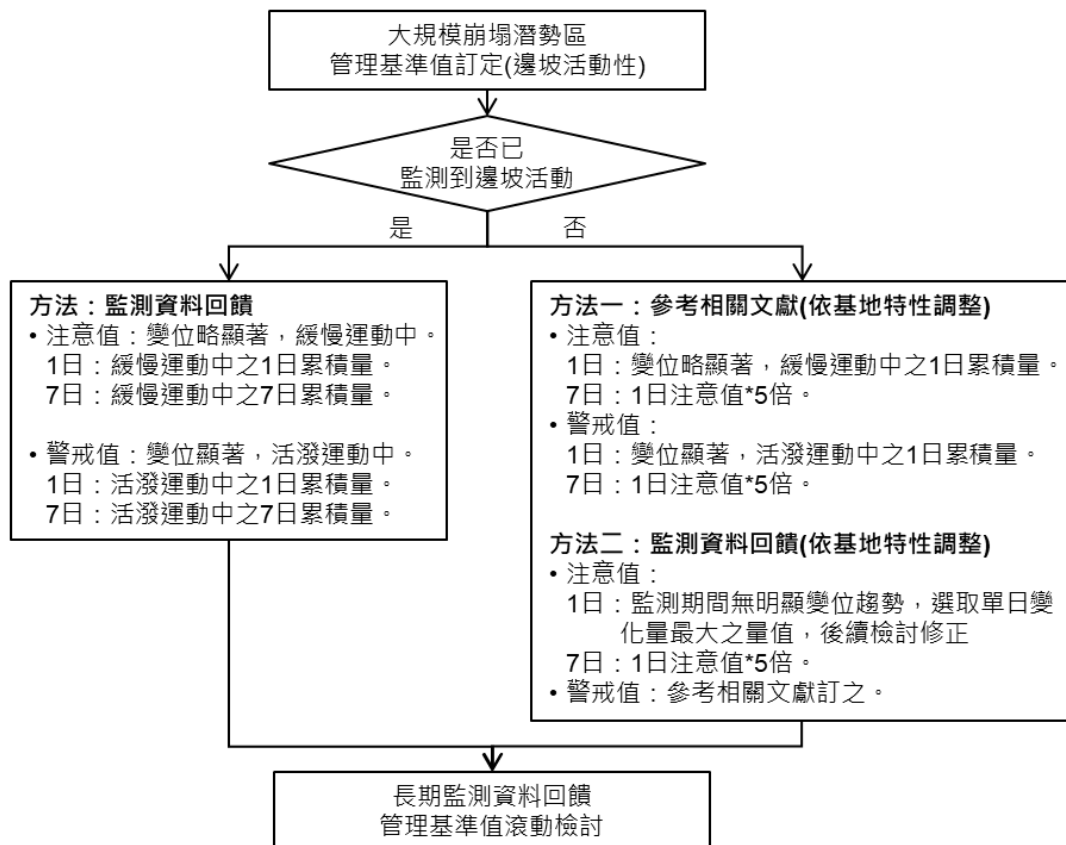


圖 6-5、本計畫邊坡活動性管理基準值訂定流程(初步彙整)

四、銅門調查區管理基準值訂定結果

銅門調查區分類屬第 2 類型大規模崩塌潛勢區，於民國 114 年度列入大規模崩塌警戒發佈區。

銅門調查區管理基準值：包含雙軸傾斜計及雙頻 GNSS 等自動化監測儀器，依序說明管理基準值訂定結果如下：

(一) 降雨量(中央氣象署-銅門站)：

1. 注意值：降雨量管理值原則參考農業部農村發展及水土保持署訂定之大規模崩塌警戒雨量，注意值為警戒值之 70%，訂定為 280 mm。
2. 警戒值：參考農業部農村發展及水土保持署訂定土石流潛勢溪流(花縣 DF-010) 警戒值為 400 mm。

(二) T24-W1 電子式水壓計：

1. 注意值：常時水位約地表下 82.8 m，前期監測於杜蘇瑞颱風事件，最高水位約地表下 70.5 m，但邊坡暫未觀測到顯著位移情形，故修正訂定 70.5 m 為地下水注意值，若地下水再繼續抬昇可能誘發邊坡活動。
2. 警戒值：初步訂定為注意值水位再抬昇 3m，配合後續累積更多監測資料檢討修正。

(三) T24-W2 電子式水壓計：

1. 注意值：常時水位約地表下 36.6 m，前期監測於杜蘇瑞颱風事件，最高水位約地表下 27.6 m，但邊坡暫未觀測到顯著位移情形，故修正訂定 27.6 m 為地下水注意值，若地下水再繼續抬昇可能誘發邊坡活動。
2. 警戒值：初步訂定為注意值水位再抬昇 3m，配合後續累積更多監測資料檢討修正。

(四) T22-TI1、T22-TI2 雙軸傾斜計：

1. 注意值：

- (1) 「1 日注意值」：參考前期文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 500 秒為 1 日注意值，待累積更多監測成果滾動檢討。
- (2) 「7 日注意值」：初步設定 7 日注意值為 2500 秒(單日累積量 5 倍)。

2. 警戒值：

- (1) 「1 日警戒值」：參考前期文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 700 秒為 1 日警戒值，待累積更多監測成果滾動檢討。
- (2) 「7 日警戒值」：初步設定 7 日警戒值為累積傾斜量 3500 秒(單日累積量 5 倍)。

(五) T23-G1~T23-G5 雙頻 GNSS：

1. 注意值：

- (1) 「1 日注意值」：參考前人文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 35mm 為 1 日注意值，待累積更多監測成果滾動檢討。
- (2) 「7 日注意值」：初步設定 7 日注意值為 245 mm。

2. 警戒值：

- (1) 「1 日警戒值」：參考既有文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 50mm 為 1 日警戒值，待累積更多監測成果滾動檢討。
- (2) 「7 日警戒值」：初步設定 7 日警戒值為累積傾斜量 350 mm。

五、溪頭調查區管理基準值訂定結果

溪頭調查區內具土石流潛勢溪流，故分類屬第 1 類型大規模崩塌潛勢區，於民國 113 年度列入大規模崩塌警戒發佈區。

溪頭調查區管理基準值：包含雨量計、地表伸縮計及雙頻 GNSS 等自動化監測儀器，依序說明管理基準值訂定結果如下：

(一) 降雨量(中央氣象署-富源站)：

1. 注意值：溪頭地區內具土石流潛勢溪流，故分類屬第 1 類型大規模崩塌潛勢區，降雨量管理值原則參考農業部農村發展及水土保持署訂定之大規模崩塌警戒雨量，注意值為警戒值之 70%，訂定為 315 mm。
2. 警戒值：參考農業部農村發展及水土保持署訂定溪頭調查區內土石流潛勢溪流(花縣 DF-121、花縣 DF-121) 警戒值為 450 mm。

(二) X24-W1、X24-W2 電子式水壓計：

1. 注意值：X24-W1、X24-W2 常時水位約地表下 31.7 m 及 19.0m，本監測期間於山陀兒颱風事件，X24-W1 最高水位約地表下 22.2 m，而 X24-W2 無明顯變化，但邊坡暫未觀測到顯著位移情形，故修正訂定本期間之最高水位再抬昇 5m 為地下水注意值，並滾動檢討。
2. 警戒值：初步訂定為注意值水位再抬昇 3m，配合後續累積更多監測資料檢討修正。

(三) X24-TI1 雙軸傾斜計：

1. 注意值：
 - (1) 「1 日注意值」：參考前期文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 500 秒為 1 日注意值，待累積更多監測成果滾動檢討。
 - (2) 「7 日注意值」：初步設定 7 日注意值為 2500 秒(單日累積量 5 倍)。

(四) X23-E1 地表伸縮計：

1. 注意值：
 - (1) 「1 日注意值」：參考既有文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 35mm 為 1 日注意值，待累積更多監測成果滾動檢討。
 - (2) 「7 日注意值」：初步設定 7 日注意值為 245 mm。
2. 警戒值：

(1) 「1 日警戒值」：參考既有文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 50 mm 為 1 日警戒值，待累積更多監測成果滾動檢討。

(2) 「7 日警戒值」：初步設定 7 日警戒值為 350 mm。

(五) X23-G1~X23-G5 雙頻 GNSS：

1. 注意值：

(1) 「1 日注意值」：參考前人文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 35mm 為 1 日注意值，待累積更多監測成果滾動檢討。

(2) 「7 日注意值」：初步設定 7 日注意值為 245 mm。

2. 警戒值：

(1) 「1 日警戒值」：參考前人文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 50mm 為 1 日警戒值，待累積更多監測成果滾動檢討。

(2) 「7 日警戒值」：初步設定 7 日警戒值為累積傾斜量 350 mm。

六、高山調查區管理基準值訂定結果

高山調查區內具土石流潛勢溪流，故分類屬第 1 類型大規模崩塌潛勢區，於民國 112 年度列入大規模崩塌優先辦理區。

高山調查區管理基準值：包含雨量計、地表伸縮計及雙頻 GNSS 等自動化監測儀器，依序說明管理基準值訂定結果如下：

(一) 降雨量(中央氣象署-加路蘭山站)：

1. 注意值：高山地區內具土石流潛勢溪流，故分類屬第 1 類型大規模崩塌潛勢區，降雨量管理值原則參考農業部農村發展及水土保持署訂定之大規模崩塌警戒雨量，注意值為警戒值之 70%，訂定為 315 mm。

2. 警戒值：參考農業部農村發展及水土保持署訂定高山調查區內土石流潛勢溪流(花縣 DF-095、花縣 DF-096、花縣 DF-097、花縣 DF-098) 警戒值為 450 mm。

(二)K24-W1、K24-W2 電子式水壓計：

1. 注意值：K24-W1、K24-W2 常時水位約地表下 14.1 m 及 22.2 m，本監測期間於山陀兒颱風事件，最高水位分別約地表下 13.0 m 及 20.0m，但邊坡暫未觀測到顯著位移情形，故修正訂定本期間之最高水位再抬昇 5m 為地下水注意值，並滾動檢討。
2. 警戒值：初步訂定為注意值水位再抬昇 3m，配合後續累積更多監測資料檢討修正。

(三)K24-TI1 雙軸傾斜計：

- 1.注意值：
 - (1) 「1 日注意值」：參考前期文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 500 秒為 1 日注意值，待累積更多監測成果滾動檢討。
 - (2) 「7 日注意值」：初步設定 7 日注意值為 2500 秒(單日累積量 5 倍)。

(四) K23-E1 地表伸縮計：

1. 注意值：
 - (1) 「1 日注意值」：本監測儀器於 112 年 6 月安裝完成，觀測期間尚短，參考既有文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 35mm 為 1 日注意值，待累積更多監測成果滾動檢討。
 - (2) 「7 日注意值」：初步設定 7 日注意值為 245 mm。
2. 警戒值：
 - (1) 「1 日警戒值」：參考既有文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 50 mm 為 1 日警戒值，待累積更多監測成果滾動檢討。
 - (2) 「7 日警戒值」：初步設定 7 日警戒值為 350 mm。

(五) K23-G1~K23-G5 雙頻 GNSS：

1. 注意值：

(1) 「1 日注意值」：參考前人文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 35mm 為 1 日注意值，待累積更多監測成果滾動檢討。

(2) 「7 日注意值」：初步設定 7 日注意值為 245 mm。

2. 警戒值：

(1) 「1 日警戒值」：參考前人文獻資料，初步訂定單日累積傾斜量 50mm 為 1 日警戒值，待累積更多監測成果滾動檢討。

(2) 「7 日警戒值」：初步設定 7 日警戒值為累積傾斜量 350 mm。

表 6-4、銅門、溪頭及高山調查區管理基準值及處理對策表(滾動檢討)

備註：依「大規模崩塌警戒發布機制及管理基準值分級原則」訂定

監測項目		監測儀器	單位	管理基準值				備註
				注意值		警戒值		
				1 日	7 日	1 日	7 日	
銅門	邊坡活動性 (地表)	雙軸 傾斜計	秒	500	2500	700	3500	112 年度新增
		雙頻 GNSS	mm	35	245	50	350	滾動修正
	地下水位	T24-W1 水位計	m	-69.0	-	-66.0	-	113 年度新增
		T24-W2 水位計	m	-20.0	-	-17.0	-	滾動修正
溪頭	邊坡活動性 (地表)	地表 伸縮計	mm	35	245	50	350	112 年度新增
		雙頻 GNSS	mm	35	245	50	350	滾動修正
		雙軸 傾斜計	秒	500	2500	700	3500	113 年度新增
	地下水位	X24-W1 水位計	m	-22.0	-	-19.0	-	113 年度新增
		X24-W2 水位計	m	-25.0	-	-22.0	-	滾動修正
高山	邊坡活動性 (地表)	地表 伸縮計	mm	35	245	50	350	112 年度新增
		雙頻 GNSS	mm	35	245	50	350	滾動修正
		雙軸 傾斜計	秒	500	2500	700	3500	113 年度新增
	地下水位	K24-W1 水位計	m	-9.0	-	-6.0	-	113 年度新增
		K24-W2 水位計	m	-16.0	-	-13.0	-	滾動修正

第二節 應變小組開設期間守視

本公司之防災中心成立，於陸上颱風警報發佈後隨即啟動，由專業工程師值班，並針對轄區內之各計畫區，進行監測資料彙整，並提供監測通報單，通報單將於陸上颱風警報發布期間，每日定時進行回報，若一旦有超過管理值情形，於接獲警告訊息後，第一時間以「行動電話」方式通知業主單位，以進行相關緊急應變措施。本計畫守視任務啟動時機、通報內容、頻率及解除時機之說明如下：

一、守視任務啟動時機：本計畫守視任務預計配合分署應變小組開設一併啟動。參考「農業部農村發展及水土保持署土石流災害緊急應變小組作業規定」(2020 年 8 月 3 日公告)五、成立時機說明，可知分署應變小組開設時機與颱風警報發布情形及降雨量等劇烈天氣有關，依情境不同可分為三級。

二、守視任務解除時機：參考「農業部農村發展及水土保持署土石流及大規模崩塌災害緊急應變小組作業規定」(2020 年 8 月 3 日公告)九、降低開設等級及撤除時機：中央氣象署解除海上陸上颱風警報或豪雨特報後，得由執行長或輪值主管請示指揮官後降低開設等級或撤除本小組。故本計畫守視任務解除時機原則為颱風警報解除後或計畫區無變位或變位速率趨緩等，主要係配合分署應變小組解除時一併解除。此外，農業部農村發展及水土保持署並已訂定紅色及黃色警戒解除等大規模崩塌警戒解除機制：

- (一) 紅色警戒解除：有效累積雨量<警戒值 100%，過去 6 小時平均時雨量小於 4 mm，且預測無持續降雨，紅色警戒調降為黃色警戒。
- (二) 黃色警戒解除：有效累積雨量<警戒值 70%，過去 6 小時平均時雨量小於 4 mm，且預測無持續降雨，解除黃色警戒。

三、守視執行之通報內容：本計畫守視期間原則以遠距 24 小時守視監測資訊為原則，並於開設期間每日提供即時監測資料及綜合研判分析資訊，內容包含彙整本計畫相關自動化即時監測結果，並進行專業綜合研判分析計畫區邊坡活動性，期以強化支援警戒應變作業。

依據大規模崩塌整合系統，本階段共開設 8 起事件包含 0613 豪雨、丹娜絲颱風、薇帕颱風、0721 豪雨、0728 豪雨、楊柳颱風、樺加沙颱風及 1020 豪雨，114 年度花蓮分署應變小組開設事件如表 6-5。團隊前期線上守視情形如圖 6-6~圖 6-7 所示。

表 6-5、前期計畫 113 年度花蓮分署應變小組開設事件

應變中心 開設機關	日期	特殊事件	守視情形	災害情形
花蓮 分署	114/6/13	豪雨	各區均無儀器達現地監測管理值	三處調查區均無災害情事發生
	114/7/5	丹娜絲颱風	各區均無儀器達現地監測管理值	三處調查區均無災害情事發生
	114/7/18	薇帕颱風	溪頭調查區發布黃色警戒 各區均無儀器達現地監測管理值	三處調查區均無災害情事發生
	114/7/21	豪雨	各區均無儀器達現地監測管理值	三處調查區均無災害情事發生
	114/7/28	豪雨	各區均無儀器達現地監測管理值	三處調查區均無災害情事發生
	114/8/12	楊柳颱風	各區均無儀器達現地監測管理值	三處調查區均無災害情事發生
	114/9/21	樺加沙颱風	溪頭調查區發布黃色警戒 各區均無儀器達現地監測管理值	三處調查區均無災害情事發生
	114/10/20	豪雨	各區均無儀器達現地監測管理值	三處調查區均無災害情事發生



圖 6-6、應變期間線上守視工作以 LINE 群組回報承辦課室人員

第三節 避難疏散路線

6.3.1 銅門調查區

當銅門調查區邊坡邊坡位移有明顯加速趨勢，若有危害到當地居民生命財產安全或是有形成孤島之虞，則應通報主管機關協助當地居民疏散避難之安全處所。依照秀林鄉公所銅門村人口數共計 1538 人，本計畫參照花蓮縣秀林鄉公所公布現有疏散避難路線，銅門調查區之公告避難處所為銅門村活動中心及榕樹村活動中心，惟銅門村活動中心位於 D027 下方，建議以榕樹村活動中心為優先疏散避難處所(路線 1)，車程約為 3 分鐘，可容納 100 人，另考量榕樹村疏散避難處所可能收容人數可能不足，團隊建議部分村民可往銅蘭村進行疏散避難(路線 2)，初步估算若配合銅蘭國民小學校舍約可收容 600 人，目前既有之疏散避難處所容納人數仍不足以提供全數村民進行避難疏散，建議部分居民可沿台 9 丙線往壽豐鄉移動，並配合壽豐鄉鄉公所之避難疏散處所執行避難疏散作業，銅門調查區疏散避難路線如圖 6-9 所示。



圖 6-9、銅門調查區疏散避難路線圖

6.3.2 溪頭調查區

當溪頭調查區邊坡監測數值達行動值或邊坡位移有明顯加速趨勢，若有危害到當地居民生命財產安全或是有形成孤島之虞，則應通報主管機關協助當地居民疏散避難之安全處所。本計畫依據花蓮縣光復鄉公所公布現有疏散避難處所，溪頭調查區鄰近之避難處所為計畫區東北方之大興活動中心(可容納100人)及大興國小(可容納300人)，車程約為9分鐘。本調查區保全對象戶數為29戶，依照內政部每戶平均人口數為2.56人估算，區域內保全對象人數約75人。溪頭調查區疏散避難路線如圖 6-10 所示。



圖 6-10、溪頭調查區疏散避難路線圖

6.3.3 高山調查區

當高山調查區邊坡監測數值達行動值或邊坡位移有明顯加速趨勢，若有危害到當地居民生命財產安全或是有形成孤島之虞，則應通報主管機關協助當地居民疏散避難之安全處所。本計畫依據花蓮縣豐濱鄉公所公布現有疏散避難處所，高山調查區鄰近之避難處所為計畫區北方之磯崎活動中心，車程約為 4 分鐘，可容納 100 人；南方之新社國小，車程約為 5 分鐘，可容納 200 人。本調查區保全對象戶數為 28 戶，依照內政部每戶平均人口數為 2.56 人估算，區域內保全對象人數約 72 人。高山調查區疏散避難路線如圖 6-11 所示。



圖 6-11、高山調查區疏散避難路線圖

第七章 後本年度計畫執行項目

第一節 地方成果說明會

本計畫於 2025 年 10 月 19 日於花蓮縣秀林鄉公所銅門村辦公處前廣場完成銅門地區地方成果說明會，藉由本次說明會，讓大規模崩塌區調查及治理規劃之階段成果，深入地方獲得討論，並使計畫區相關單位及與會人員，透過綜合討論及意見交流，達到雙向溝通的目的，以利後續實施計畫之推動。銅門地區地方成果說明會議程如表 7-1。說明會與會簽到人員如圖 7-1。說明會辦理情形如圖 7-2。說明會簡報如附錄 5。

表 7-1、銅門地區地方成果說明會議程表

時間	議程	備註
~14:00	與會人員報到	簽到
14:00-14:10	主席致詞	農村水保署 相關業務主管
14:10-14:20	來賓致詞	與會來賓
14:20-14:50	地方說明會簡報	承辦廠商
14:50-15:30	綜合討論及意見交流	與會人員
15:30	地方說明會結束	

第二節 本年度精進及未來創新執行建議

農業部農村發展及水土保持署於 2015~2024 年另案已有辦理相關計畫進行合成孔內雷達衛星影像分析，利用合成孔徑雷達衛星影像，配合時域相關點雷達干涉法技術，分析全臺潛在崩塌邊坡活動性。本計畫初步檢視三處調查區範圍周邊邊坡狀況，區域普遍植生相對茂密，研判可能使得 SAR 反射訊號較差，使得影像品質較差。角反射器(Corner Reflectors, CRs)是一種人工設制的反射裝置，伴隨穩定的振幅及相位反應，可提供較佳的 SAR 影像，從而產生良好的干涉影像來估計變形量。後續建議可配合計畫區邊坡變形之活動熱區，針對 InSAR 分析訊號較差之區域，由分署增設角反射器，強化本署計畫之資料成果，再回饋本計畫使用，有利調查資源與經費導入之效益最大化。



由溪頭調查區之監測成果顯示，區域地下水位於降雨期間有昇降變化情形，惟目前監測之高水位均位於傾斜管監測之滑動深度之下，配合鑽探岩心及上下工水位研判區域地下水應具有分層特性，而本計畫之鑽孔因貫穿阻水層，以致於水位觀測井未能有效觀測真實之水位昇降變化，故後續建議增設封層水位井補充地下水調查，並配合地中活動性觀測成果，釐清驅使位移加速的地下水位條件。

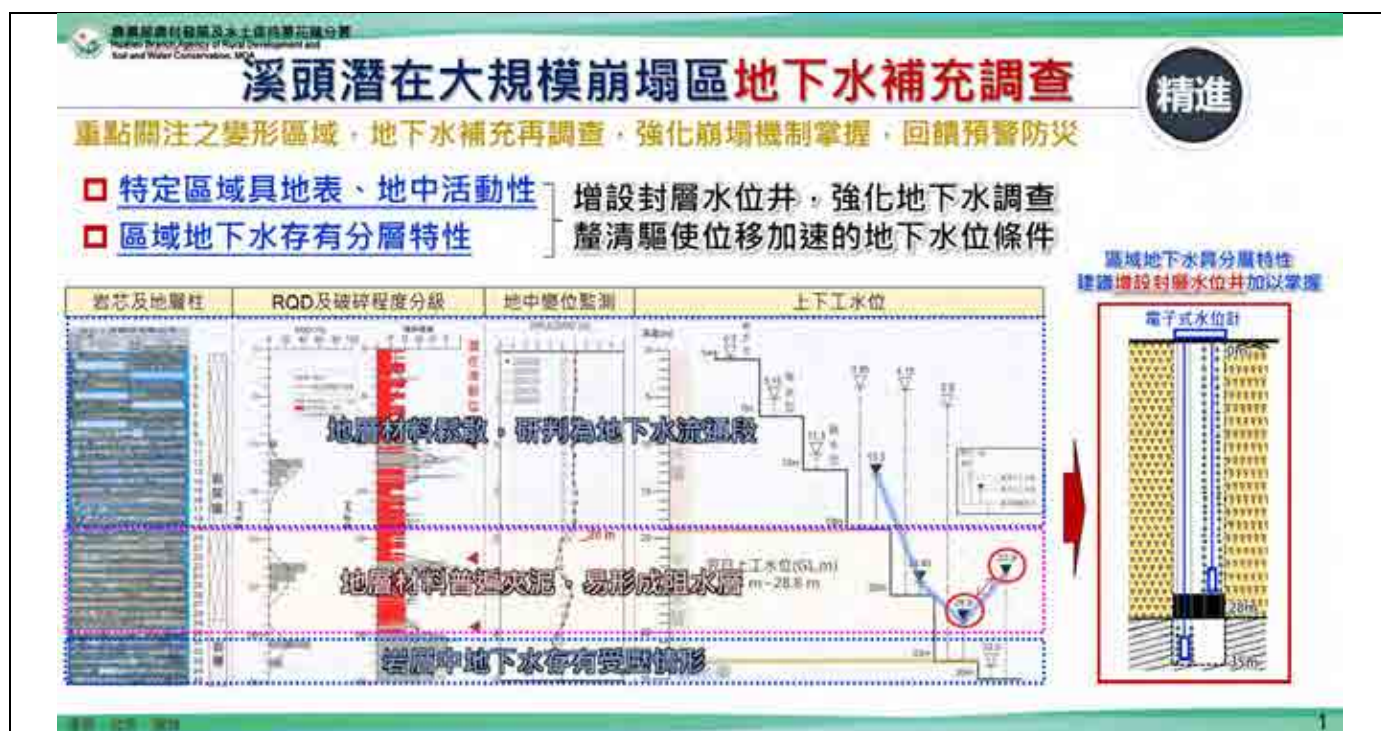


圖 7-4、溪頭潛在大規模崩塌區地下水補充調查

第八章 後續觀測需求評估與建議

第一節 後續觀測需求評估

一、銅門調查區

由目前調查成果顯示 2024 年經歷 0403 強震事件，邊坡雖有監測到地中變位情形，惟持續監測迄今未有觀察邊坡有持續地中變位趨勢，研判該次變位事件可能為地震產生之應力於岩體局部範圍發生之變形。此外於 GNSS 地表活動性觀測顯示，區域邊坡於 0403 強震事件後之下半年起各測站均有程度不等的長期變位趨勢，各測站之位移方向，大致與蝕溝位置有關，研判區域邊坡之破壞模式較可能以「淺層」材料之破壞為主，此些地表監測儀器雖目前之變形量均不大，皆未達管理值，且經現場檢視，現場無明顯異常表徵，考量強震事件後僅經歷數起颱風事件，相對於歷史特殊事件之降雨情形，降雨情形仍相對較弱，故建議區域內之地表變位監測儀器持續進行監測，以持續追蹤後續邊坡地表活動性，而地中變位之監測儀器仍建議持續觀測，但可調降監測頻率，以輔助確認邊坡是否僅有「淺層」材料之破壞，並配合後續有較大降雨事件發生時滾動檢討邊坡滑動機制、規模及監測管理值，以提供用居民之邊坡災害預警功能。

二、溪頭調查區

本調查區於 2024 年完成地中及地中監測儀器之擴充工作，由目前監測成果顯示，S3 及 S4 潛在滑動塊體較具活動性，且於特殊降雨期間，潛在滑動塊體均有小幅度地表及地中位移增量情形發生，惟目前期間之變位量仍不大，且經現場勘查，現況邊坡無異常表徵，有必要配合後續監測累積較多變位事件後，進一步釐清整體邊坡活動情形。考量目前地中監測期間僅經歷山陀兒、康芮薇帕及樺加沙共 4 起颱風事件，此 4 起特殊事件相對於歷史特殊事件，降雨情形仍相對較弱，故建議區域內之既有監測儀器持續進行監測，並配合後續有較大降雨事件發生時滾動檢討邊坡滑動機制、規模及監測管理值，以提供用居民之邊坡災害預警功能。此外由本階段地下水位調查及觀測成果顯示，區域淺層材料應之地下水應具分層特性，後續建議於既有水位井位置增設封層水位井，以

強化 S3 及 S4 潛在滑動塊體之地下水調查，有助釐清驅使位移加速的地下水位條件。

三、高山調查區

由目前監測成果顯示，本調查區於強震及震度較大之餘震事件下有較明顯之瞬間地表變位情形，雖配合內政部「震後基本控制點衛星測量成果」研判此變位應屬「整體花東地區整體變形，應與邊坡滑動無關」，且經現勘檢視邊坡均無明顯異常狀況，但仍不排除在強震事件後之特殊降雨事件有觸發邊坡活動之可能性，建議區域內之地表變位監測儀器持續進行監測，以持續追蹤後續邊坡地表活動性，而地中變位之監測儀器建議持續觀測，但可調降監測頻率，並透過持續性之監測工作，掌握區域內邊坡地中活動性，分析調查區之活動機制。以提高預警防災目的。

第二節 後續觀測工作建議

一、銅門調查區

本調查區已設有地表、地中監測儀器，建議後續監測工作延續現有監測儀器持續追蹤邊坡穩定性。

- (一) 傾斜觀測管量測：本調查區既有傾斜觀測管共包含：T22-BH1 及 T22-BH3 共計 2 孔傾斜管，建議可調降監測頻率為每季(每 3 個月)一次，持續觀測。
- (二) 地下水位量測：本調查區傾斜觀測管均開孔兼作水位井，並配置全自動化電子式水壓計 T24-W1 及 T24-W2，合計 2 孔可持續觀測地下水位，建議維持自動化量測，持續觀測。
- (三) 雙軸傾斜計量測：針對上邊坡道路安裝 T22-TI1 及 T22-TI2 兩組全自動雙軸傾斜計，建議維持自動化量測，持續觀測。
- (四) 雙頻 GNSS 量測：本調查區內將設置 5 處觀測站(T23-G1~T24-G5)及 1 處基站(T23-G0)，合計設置 6 處 GNSS 測站將持續觀測，建議維持自動化量測，持續觀測。

(五) CCD 攝影機：本調查區於銅門聚落設置 1 組 CCD 攝影機，針對下邊坡主要保全對象進行監視，若特殊事件發生時有土石發生流動堆積問題，可立刻派員處理，建議維持自動化量測，持續觀測。

表 8-1、銅門調查區後續觀測工作建議

儀器名稱		儀器編號	儀器數量	量測方式	警戒發布使用	後續觀測目標	目前監測頻率	後續觀測工作建議
傾斜觀測管兼水位觀測井		T22-BH1	2 孔	手動	-	■ 持續追蹤地中變位，滾動崩塌機制使用。	共計執行 6 次 防汛期間 1 次 汛期每 2 個月 1 次	建議調整為防汛期間 1 次，汛期期間 4 次，共計 5 次
		T22-BH3			-			
電子式水壓計		T24-W1	2 處	全自動	V	■ 配合警戒發布及滾動崩塌機制使用。	每 10 分鐘記錄 1 次 記錄連續變化資料	建議延續目前監測頻率率使用持續監測
		T24-W2			V			
雙軸傾斜計		T22-TI1	2 站		V	■ 配合警戒發布及滾動崩塌機制使用。		
		T22-TI2			V			
自動化即時影像監控系統 (CCD 攝影機)		T23-CCD1	1 站		V	■ 配合常時檢視及應變期間確認現況使用。		
雙頻 GNSS	基站	T23-G0	6 站		-	■ 配合警戒發布及滾動崩塌機制使用。 ■ 自 2024 年下半年起，略有長期變位趨勢，持續追蹤。		
	觀測站	T23-G1			V			
		T23-G2			V			
		T23-G3			V			
		T23-G4			V			
		T24-G5			V			

二、溪頭調查區

(一) 傾斜觀測管量測：本調查區於活動性較高之 S3 及 S4 潛在滑動塊體坡腹處設置傾斜管 X24-BH1 及 X24-BH2，共計 2 孔傾斜管將持續觀測，建議維持目前監測頻率，持續觀測。

(二) 地下水位量測：本調查區配置水位觀測井並安裝全自動化電子式水壓計 X24-W1 及 X24-W2，合計 2 孔可持續觀測地下水位，建議維持自動化量測，持續觀測。

(三) 雙軸傾斜計量測：針對上邊坡道路蝕溝側崖安裝 X24-TI1 全自動雙軸傾斜計，共計 1 組，建議維持自動化量測，持續觀測。

(四) 地表伸縮計量測：地表伸縮計係用來量測邊坡的地表二點間之相對位移，地表伸張計之一端固定於不動之地表上，另一端設置在滑動塊體內，當兩端產生相對位移時，量測兩點可求得相對變位量，本計畫於溪頭調查區 S4 潛在塊體頭部裝設 1 組地表伸縮計 (X23-E1)，建議維持自動化量測，持續觀測。

(五) **雙頻 GNSS 量測**：本調查區內將設置 5 處觀測站(X23-G1~X24-G5)及 1 處基站(X23-G0)，合計設置 6 處 GNSS 測站將持續觀測，建議維持自動化量測，持續觀測。

(六) **CCD 攝影機**：溪頭調查區為配合後續預警防災工作，考量災害歷史及保全對象位置，將於土石流潛勢溪流(花蓮縣 DF122)鄰近位置裝設 1 組自動化即時影像監控系統，若特殊事件發生時有土石發生流動堆積問題，可立刻派員處理，建議維持自動化量測，持續觀測。

(七) **封層水位井(建議後續新增儀器)**：由本階段地下水位調查及觀測成果顯示，區域淺層材料應之地下水應具分層特性，後續建議於既有水位井位置增設封層水位井，以強化 S3 及 S4 潛在滑動塊體之地下水調查，有助釐清驅使位移加速的地下水位條件。

表 8-2、溪頭調查區後續觀測工作建議

儀器名稱	儀器編號	儀器數量	量測方式	警戒發布使用	後續觀測目標	目前監測頻率	後續觀測工作建議	
傾斜觀測管	X24-BH1	2 孔	手動	-	■ 特殊降雨事件後邊坡有變位情形，持續追蹤。 ■ 持續追蹤地中變位，滾動崩塌機制使用。	共計執行 6 次 防汛期間 1 次 汛期每 2 個月 1 次	1.建議延續目前監測頻率率使用持續監測 2.後續若地中儀器因變位量過大斷管，建議以地表活動性持續追蹤即可	
	X24-BH2			-				
電子式水壓計	X24-W1	2 處	全自動	V	■ 配合警戒發布及滾動崩塌機制使用。	每 10 分鐘記錄 1 次 記錄連續變化資料	建議延續目前監測頻率率使用持續監測	
	X24-W2			V				
雙軸傾斜計	X24-TI1	1 站		V	■ 配合警戒發布及滾動崩塌機制使用。			
地表伸縮計	X23-E1	1 站		V	■ 配合警戒發布及滾動崩塌機制使用。			
自動化即時影像監控系統 (CCD 攝影機)		X23-CCD1		1 站	V			■ 配合常時檢視及應變期間確認現況使用。
雙頻 GNSS	基站	X23-G0		6 站	-			■ 配合警戒發布及滾動崩塌機制使用。 ■ X23-G3 及 X23-G4 於特殊降雨事件後邊坡有地表變位情形，持續追蹤。
	觀測站	X23-G1			V			
		X23-G2			V			
		X23-G3			V			
		X23-G4			V			
		X24-G5			V			
封層水位井	建議後續新增儀器	2 處	全自動	V	■ 掌握地下水分層特性 ■ 配合警戒發布及滾動崩塌機制使用。	-	-	

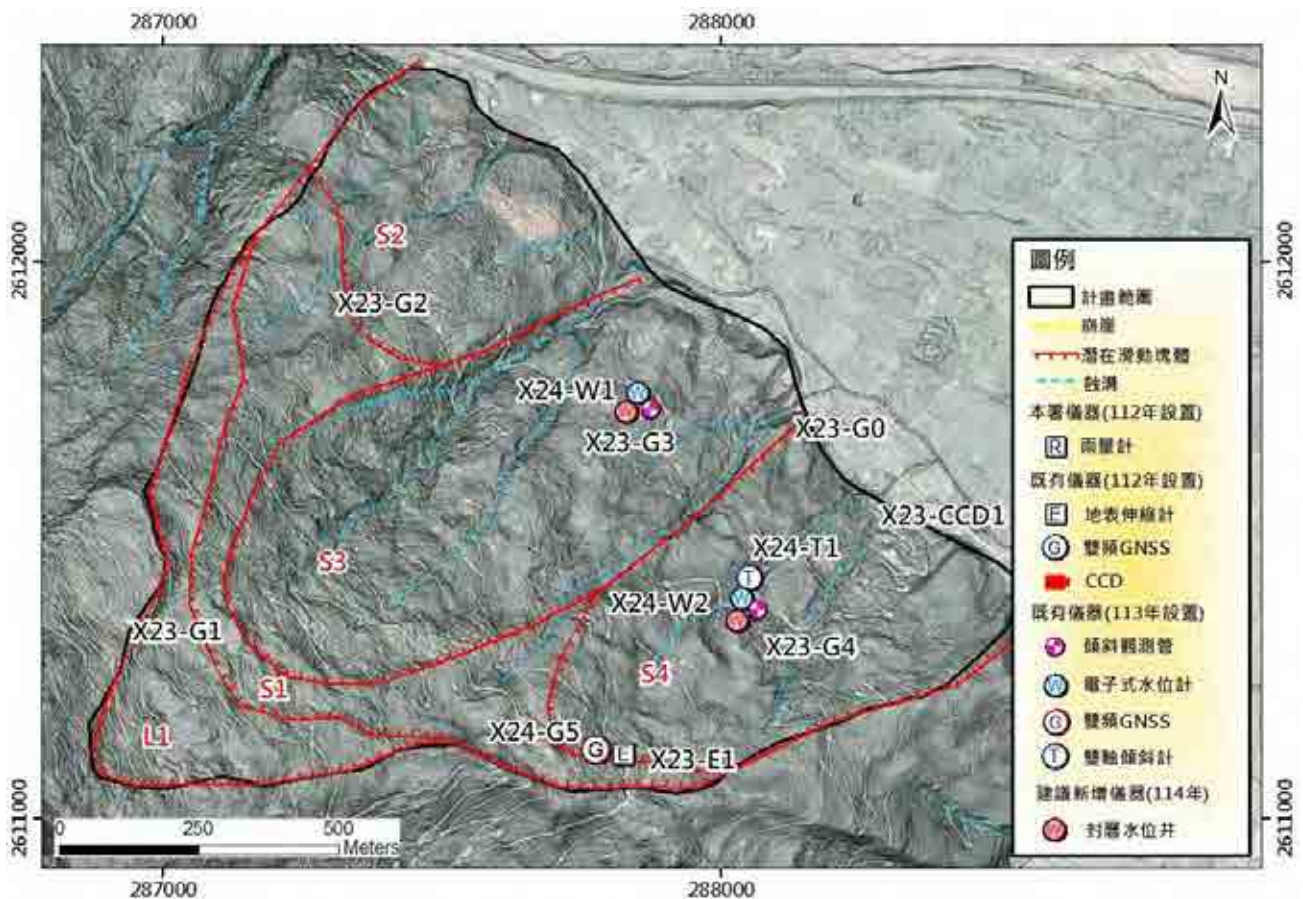


圖 8-1、溪頭調查區後續觀測工作建議配置圖

三、高山調查區

- (一) 傾斜觀測管量測：本調查區針對具保全對象(高山聚落)之 S2 潛在滑動塊體頭部及坡腹處新增傾斜管 K24-BH1 及 K24-BH2，共計 2 孔傾斜管將持續觀測，建議可調降監測頻率為每季(每 3 個月)一次，持續觀測。
- (二) 地下水位量測：本調查區配置水位觀測井並安裝全自動化電子式水壓計 K24-W1 及 K24-W2，合計 2 孔可持續觀測地下水位，建議維持自動化量測，持續觀測。
- (三) 雙軸傾斜計量測：針對 S2 潛在滑動塊體頭部安裝 K24-TI1 全自動雙軸傾斜計，共計 1 組，建議維持自動化量測，持續觀測。
- (四) 地表伸縮計量測：地表伸縮計係用來量測邊坡的地表二點間之相對位移，地表伸張計之一端固定於不動之地表上，另一端設置在滑動塊體內，當兩端產生相對位移時，量測兩點可求得相對變位量，本計畫已於高山調

查區 S1 潛在塊體頭部裝設 1 組地表伸縮計 (K23-E1)，建議維持自動化量測，持續觀測。

(五) **雙頻 GNSS 量測**：本調查區內將設置 5 處觀測站(K23-G1~K24-G5)及 1 處基站(K23-G0)，合計設置 6 處 GNSS 測站將持續觀測，建議維持自動化量測，持續觀測。

(六) **CCD 攝影機**：為配合後續預警防災工作，考量災害歷史及保全對象位置，將於高山聚落鄰近位置裝設 1 組自動化即時影像監控系統，若特殊事件發生時有土石發生流動堆積問題，可立刻派員處理，建議維持自動化量測，持續觀測。

表 8-3、高山調查區後續觀測工作建議

儀器名稱	儀器編號	儀器數量	量測方式	警戒發布使用	後續觀測目標	目前監測頻率	後續觀測工作建議	
傾斜觀測管兼水位觀測井	K24-BH1	2 孔	手動	-	■ 持續追蹤地中變位，滾動崩塌機制使用。	共計執行 6 次 防汛期間 1 次 汛期每 2 個月 1 次	建議調整為防汛期間 1 次，汛期期間 4 次，共計 5 次	
	K24-BH2			-				
電子式水壓計	K24-W1	2 處	全自動	V	■ 配合警戒發布及滾動崩塌機制使用。	每 10 分鐘記錄 1 次 記錄連續變化資料	建議延續目前監測頻率率使用持續監測	
	K24-W2			V				
雙軸傾斜計	K24-TI1	1 站		V	■ 配合警戒發布及滾動崩塌機制使用。			
地表伸縮計	K23-E1	1 站		V	■ 配合警戒發布及滾動崩塌機制使用。			
自動化即時影像監控系統 (CCD 攝影機)		K23-CCD1		1 站	V			■ 配合常時檢視及應變期間確認現況使用。
雙頻 GNSS	基站 觀測站	K23-G0		-	■ 配合警戒發布及滾動崩塌機制使用。			
		K23-G1		V				
		K23-G2		V				
		K23-G3		V				
		K23-G4		V				
		K24-G5		V				

第九章 結論與後續建議

根據本計畫之工作成果，分別針對銅門、溪頭及高山調查區，提出相關結論及建議：

第一節 銅門調查區

9.1.1 結論

本階段之工作項目主要包含：(1) 崩塌地補充調查(2) 崩塌地活動性觀測(3) 調查成果綜合研判分析與初步處理建議等工作項目之初步成果。以下根據階段工作成果，提出相關結論：

- 一、**滑動機制及規模**：由現場地質鑽探資料顯示，調查區淺層範圍之岩屑材料，其夾雜大小岩屑、岩塊且結構鬆散，而邊坡的平均坡度達 37.5° ，角度已接近邊坡安息角，研判於邊坡坡度較陡之區位容易以淺層岩屑崩滑形式發生破壞，而倘若發生破壞後之材料堆積於蝕溝內，配合歷史災害推測，當發生強降雨事件，提供大量水量條件時，將可能夾帶溝內之材料往下邊坡運動，即發生土石流災害。此外由於區域邊坡之岩體材料普遍破碎程度高，且有剪裂帶之情形，易產生沿著材料弱面之整體邊坡滑動，由岩芯 RQD 及半定量岩體分析成果顯示，T22-BH1 及 T22-BH3 鑽孔於 49 m 以下深度，具有厚薄不一之剪裂泥層，不排除可能有較深之岩屑層滑動，研判最大滑動深度可達 88 m。
- 二、**崩塌規模**：根據 LiDAR 資料及現場勘查成果，崩塌範圍約 86.7 ha，由岩心判釋成果顯示，最大滑動深度位推測於地表下 88 m 處，屬於破碎岩體材料夾泥位置。
- 三、**地下水特性**：依據監測成果及鑽探上下水水位紀錄顯示，區域常時地下水位約位於地表下 36~82 m 之間，且於降雨期間可上昇約 9~12 m，並於事件結束後水位隨即大幅度下降，7 日內回復常時水位。研判調查區之地

下水可能主要沿岩屑層內流動，並於坡中滲出，故坡面可見顯著蝕溝線型，在地下水作用下，可能增加邊坡下滑力，不利邊坡穩定。

- 四、 近期邊坡活動性：**2024 年 0403 地震(5 強)後，邊坡略有地中變位情形，兩孔傾斜觀測管之孔口累積變化量約 1.7~3.0 cm，並於地震後變位趨勢回穩，後續經歷 3 起特殊降雨事件，迄今邊坡無持續變位情形，研判該次變位事件可能為地震產生之應力於岩體局部範圍發生之變形。此外於 GNSS 地表活動性觀測顯示，區域邊坡於 0403 強震事件後之下半年起各測站均有程度不等的長期變位趨勢，各測站之位移方向，大致與蝕溝位置有關，研判區域邊坡之破壞模式仍較可能以「淺層」之材料破壞為主。

9.1.2 後續建議

- 一、 持續配合現場勘查及既有監測儀器追蹤邊坡「淺層」之破壞：根據目前調查監測成果顯示，區域邊坡較可能以淺層之岩屑滑動方式發生破壞，有必要持續配合現勘定拍檢視及坡面活動性監測儀器持續追蹤。
- 二、 持續配合地中儀器釐清邊坡是否存有「深層」之變位：考量區域邊坡之岩體材料普遍破碎程度高，且有剪裂帶之情形，仍有可能產生沿著材料弱面之整體邊坡滑動，有必要配合後續特殊事件持續追蹤。
- 三、 持續滾動檢討邊坡滑動機制、規模及監測管理值：本調查區截至目前尚未紀錄明確邊坡活動事件，應持續配合坡面監測儀器，追蹤邊坡變形、降雨量、地下水條件關聯，並滾動檢討邊坡滑動機制、規模及監測管理值，以提供掌握邊坡之活動性及研判分析參考。

表 9-1、銅門調查區結論與後續工作重點

項次	項目	銅門
1	本計畫年度工作	1. 既有儀器持續監測，掌握邊坡活動。 2. 配合自動化儀器，操作警戒發布作業。
2	近期邊坡活動性	1. 地中變位：0403 地震(5 強)略有地中變位情形，地震後趨勢回穩，無持續變位。 2. 地表變位：GNSS 於 0403 強震事件後之下半年起各測站均有程度不等的長期變位趨勢，各測站之位移方向，大致與蝕溝位置有關
3	階段成果及後續工作重點	1. 邊坡的平均坡度 37.5° ，角度已接近邊坡安息角，區域邊坡較可能以淺層岩屑崩滑形式發生破壞，應持續追蹤。 2. 本階段邊坡無明顯變位情形，持續配合地中儀器追蹤是否存有深層變位之可能。 3. 截至本階段尚未紀錄明確邊坡活動，建議配合坡面監測儀器，持續追蹤邊坡變形、降雨量、地下水條件關聯。

第二節 溪頭調查區

9.2.1 結論

一、**滑動機制**：根據蒐集前期資料及本計畫調查成果，應具有 2 種不同之崩塌機制，分別說明如下：

(一)**沖蝕型破壞**：根據現場勘查及地表地質調查成果顯示，調查區淺層應覆蓋厚度不等之岩屑材料，其材料組成主要由鬆散之土壤夾雜岩塊所組成，故於較大集中降雨時，匯流之大量地表水，容易夾帶著坡面土石，產生流動、堆積，形成沖蝕型破壞。

(二)**岩屑層滑動**：根據現勘成果顯示，調查區潛在塊體頭部有明顯崩崖，顯示邊坡曾發生整體滑動情形，而根據現場勘查及地質調查成果顯示，計畫區域可能有約 30m 厚之岩屑層存在，材料多有破碎及夾泥等情形，若區域內蝕溝持續向源侵蝕，可能產生雙溝同源，將可能導致區域內各次潛在滑動體產生不穩定情形發生，此外配合監測成果顯示，S3 及 S4 潛在滑動塊體略具活動性，於特殊降雨期間，邊坡有小幅度地表及地中位移增量情形發生，惟目前期間之變位量仍不大，且經現場勘查，現況邊坡無異常表徵，仍需配合後續監測累積較多變位事件後，研判整體邊坡活動情形。

此外調查區具不利地質條件，於淺層區域材料破碎，配合歷史災害事件，研判於溝谷側崖位置或坡度較陡之區位，可能向溝內提供土砂材料堆積，當發生強降雨事件，提供大量水量條件時，將可能夾帶暫積之土砂材料往下邊坡運動，即發生土石流災害。

- 二、 **崩塌規模**：根據 LiDAR 資料及現場勘查成果，崩塌範圍約 131.5 ha，其中 S3 及 S4 潛在滑動塊體較具活動性，次潛在塊體崩塌範圍分別約 42.7 ha 及 30.8 ha，另根據傾斜觀測管監測成果顯示，滑動深度位分別約於地表下 20 m 及 10 m 處，屬於破碎岩體材料夾泥位置。
- 三、 **地下水特性**：區域地下水可能沿岩屑層內流動，並於坡中滲出，故坡面可見顯著蝕溝線型，在地下水作用下，可能增加邊坡下滑力，不利邊坡穩定。另由監測成果顯示，區域地下水應具有分層特性，後續建議增設封層水位井加以掌握分層地下水之變化。
- 四、 **近期邊坡活動性**：S3 及 S4 潛在滑動塊體常時無活動趨勢，於特殊降雨期間有地表及地中位移情形。由 GNSS 地表位移觀測顯示，於 2023 年杜蘇芮、海葵及 2024 年康芮颱風期間，X23-G3(S3 潛在滑動塊體)及 X23-G4(S4 潛在滑動塊體)之二維合變位量約有 10~16 mm 及 11~37 mm 不等的位移增量情形，此外於 2024 年設置之傾斜觀測管成果顯示，於康芮颱風前、後執行量測作業，X24-BH1 孔(S3 潛在滑動塊體)累積變化量達 1.16 cm；X24-BH2 孔(S4 潛在滑動塊體)累積位移量約 4.48 cm，略具活動情形，滑動深度分別 20m 及 10 m。

9.2.2 後續建議

- 一、 持續配合現場勘查及既有監測儀器追蹤邊坡「淺層」之破壞：根據目前調查監測成果顯示，區域邊坡較可能以淺層之岩屑層滑動方式發生破壞，滑動深度約 10~20 m，有必要持續配合現勘定拍檢視及坡面活動性監測儀器持續追蹤。
- 二、 持續滾動檢討邊坡滑動機制、規模及監測管理值：本調查區截至目前雖已有紀錄明確邊坡活動事件，惟自地中觀測儀器設置迄僅有經歷山陀兒、康芮、薇帕、樺加沙及鳳凰颱風 5 起特殊降雨事件，地下水特性及活動之降雨門檻等資訊，仍有待滾動確認，後續應持續配合坡面監測儀器，滾動檢討邊坡滑動機制、規模及監測管理值，以提供掌握邊坡之活動性及研判分析參考。

表 9-2、溪頭調查區結論與後續工作重點

項次	項目	溪頭
1	本計畫年度工作	- 既有儀器持續監測，掌握邊坡活動。 - 配合自動化儀器，操作警戒發布作業。
2	近期邊坡活動性	- 地中變位：2024 年康芮颱風期間，S3 及 S4 潛在活動塊體，略有變位情形，事件後趨勢回穩，無持續變位。 - 地表變位：2023 年度蘇芮、海葵及 2024 年康芮颱風期間，S3 及 S4 潛在活動塊體，略有變位情形，事件後趨勢回穩，無持續變位。
3	階段成果及後續工作重點	- 滑動深度：10~20 m，屬岩屑層滑動，持續追蹤。 - 敏感度分析成果：邊坡較可能以【淺層】岩屑層滑動方式發生破壞，配合地下水監測成果滾動分析。 - 破壞機制(初步)：降雨後使岩屑層內飽和度上升(地電阻)，於局部地形坡度較大之區位，發生破壞(敏感度分析)，持續滾動分析。 - 區域雖已紀錄邊坡活動，惟現況無異常表徵，後續再持續追蹤，並滾動檢討崩塌機制研判

第三節 高山調查區

9.3.1 結論

一、**滑動機制及規模**：根據蒐集前期資料及本計畫調查成果，應具有 3 種不同之崩塌機制，分別說明如下：

(一)**沖蝕型破壞**：根據現場勘查及地表地質調查成果顯示，調查區淺層應覆蓋厚度不等之岩屑材料，其材料組成主要由鬆散之土壤夾雜岩塊所組成，故於較大集中降雨時，匯流之大量地表水，容易刷蝕坡面形成局部區域岩屑材料滑動。

(二)**落石**：根據現場勘查及地表地質調查成果顯示，計畫區淺層存有不等厚度之風化岩層，若風化岩體或分離岩體位在較陡的邊坡區位，可能會發生落石災害。

(三)**岩屑層滑動**：根據現勘成果顯示，調查區潛在塊體頭部有明顯崩崖，顯示邊坡曾發生整體滑動情形，而根據現場勘查及地表地質調查成果顯示，由於崩塌地趾部存在階地，對河流侵蝕坡腳有暫時保護的效果，研判區域發生大規模土石滑落的可能性較低，惟計畫區淺層存有厚度約 18~25m 以上之岩屑層，若區域內蝕溝持續向源侵蝕，可能產生雙溝同源，將可能導致區域內各次潛在滑動體產生不穩定情形發生。

此外調查區具備不利地質條件，配合歷史災害事件，研判於溝谷測崖或坡度較陡之區位，可能向下方提供土砂材料堆積，當發生強降雨事件，提供大量水量條件時，將可能夾帶暫積之土砂材料往下邊坡運動，即發生土石流災害。

二、**崩塌規模**：根據 LiDAR 資料及現場勘查成果，崩塌範圍約 464.5 ha，由岩心判釋成果顯示，最大滑動深度位推測於地表下 18~25 m 以下，屬於破碎岩體材料夾泥位置。

三、**地下水特性**：本調查區常時水位約介於地表下 14~23 m 間，顯示區域地下水可能沿岩屑層內流動，並於坡中滲出，故坡面可見顯著蝕溝線型，在

地下水作用下，可能增加邊坡下滑力，不利邊坡穩定。另由監測成果顯示，區域地下水位於降雨期間有明顯上昇變化情形，約可上昇約 5 m ~6 m，並於事件結束後水位緩慢下降，於 4 日內回復常時地下水位。

四、**近期邊坡活動性**：由目前監測成果顯示，本調查區於強震及震度較大之餘震事件下有較明顯之瞬間地表變位情形，雖配合內政部「震後基本控制點衛星測量成果」研判此變位應屬「整體花東地區整體變形，應與邊坡滑動無關」，且經現勘檢視邊坡均無明顯異常狀況，但仍不排除在強震事件後之特殊降雨事件下有觸發邊坡活動之可能性。

9.3.2 後續建議

截至本階段由監測儀器顯示，區域邊坡於常時及特殊降雨期間尚無明顯變化趨勢，而在地震事件影響下有較為顯著的地表變位情形，然經檢核此變位應屬整體花東地區整體變形，應與邊坡滑動無關，但仍不排除在強震事件後之特殊降雨事件下有觸發邊坡活動之可能性，考量本區監測儀器於地震後僅經歷 3 起(凱米、山陀兒及康芮颱風)特殊降雨事件，針對邊坡之活動機制研判尚不明確，故建議既有監測儀器持續進行監測作業，配合後續經歷較多有特殊降雨事件後，滾動檢討邊坡滑動機制及滑動規模研判分析。

表 9-3、高山調查區結論與後續工作重點

項次	項目	高山
1	本計畫年度工作	1. 既有儀器持續監測，掌握邊坡活動。 2. 配合自動化儀器，操作警戒發布作業。
2	近期邊坡活動性	1. 0403 地震(5 強)、0423 地震(4 級)：邊坡略有地表變位趨勢，目前趨勢回穩 2. 凱米颱風、山陀兒颱風、康芮颱風、薇帕颱風、樺加沙颱風：無明顯趨勢
3	階段成果及後續工作重點	1. 2024 年 0423 地震事件，地表觀測儀器有變位情形發生，經研判應屬地震造成之 GNSS 基站變位所致，非屬邊坡滑動情形。 2. 區域 GNSS 測站經濾除地震影響之基站變位後，位移方向具一致性，目前觀測期間，邊坡常時及特殊降雨期間無明顯變化趨勢，而在地震事件影響下有較為顯著的地表變位情形，考量本區監測儀器於地震後僅經歷 3 起特殊降雨事件，針對邊坡之活動機制研判尚不明確，應持續追蹤。

參考文獻

1. 農業部農村發展及水土保持署(2017)，「水土保持手冊」。
2. 農業部農村發展及水土保持署(2019)，「運用多期雷達衛星影像進行大規模崩塌潛勢區之地表變形量解算：期末報告書」。
3. 農業部農村發展及水土保持署(2020)，「大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統建置與分析：成果報告書」。
4. 農業部農村發展及水土保持署(2021)，「大規模崩塌潛勢區地表位移觀測系統發展計畫：成果報告書」。
5. 農業部農村發展及水土保持署(2021)，「110 年度大規模崩塌監測整備暨監測整合系統應用說明會：簡報資料」。
6. 農業部農村發展及水土保持署花蓮分署(2022)，「111 年花蓮縣秀林鄉銅門地區及壽豐鄉鹽寮及北坑地區潛在大規模崩塌調查監測計畫」成果報告書。
7. 農業部農村發展及水土保持署花蓮分署(2023)，「112 年花蓮縣銅門、鹽寮、賀田山、溪頭及高山地區潛在大規模崩塌調查監測計畫」成果報告書。
8. 農業部農村發展及水土保持署花蓮分署(2024)，「113 年度花蓮縣銅門、溪頭及高山地區潛在大規模崩塌調查監測計畫」成果報告書。
9. 農業部林業及自然保育署、財團法人成大研究發展基金會(2015)，「國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估與簡易觀測分析：成果報告書」。
10. 經濟部地質調查及礦業管理中心(2003)，「花蓮溪及其鄰近流域地質圖」，經濟部地質調查及礦業管理中心出版。
11. 經濟部地質調查及礦業管理中心(2008)，「都會區及周緣坡地環境地質資料庫圖集：東部地區」，經濟部地質調查及礦業管理中心出版。
12. 經濟部地質調查及礦業管理中心、財團法人成大研究發展基金會(2015)，「國土保育之地質敏感地區調查分析計畫－非莫拉克颱風受災區域之地質敏感特性分析(3/3)：期末報告書」。
13. 交通部臺灣區國道高速公路局(2013)，「高速公路養護手冊」，交通部臺灣區國道高速公路局出版。
14. 農業部林業及自然保育署、國立交通大學(2017)，「國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測：成果報告」。
15. 花蓮縣政府(2020)，花蓮縣秀林鄉銅門村(花-76)土石流特定水土保持區長期水土保持計畫第二次通盤檢討，成果報告。

16. 內政部營建署，「加強山坡地住宅安全維護執行要點，2010 年 6 月 2 日」，
17. 臺北市政府工務局大地工程處(2012)，「臺北市山坡地人工邊坡調查建檔工作人工邊坡調查作業手冊」
18. 臺北市政府工務局大地工程處(2014)，「臺北市山崩與地滑地質敏感區（順向坡）安全管理」，大地技師，N0.17，p36-49。
19. 臺北市政府工務局大地工程處(2013)，「山坡地人工邊坡分級管理-以台北市為例」，臺北市政府工務局大地工程處出版。
20. 日本地滑對策技術協會(1978)，「地滑對策技術設計實施要領」，Vol.2。
21. 連惠邦(2017)，「土砂災害與防治」，五南圖書出版股份有限公司，共 776 頁。
22. 詹勳全、張嘉琪、陳樹群、魏郁軒、王昭堡、李桃生(2015)，「台灣山區淺層崩塌地特性調查與分析」，中華水土保持學報，46(1)，19-28。
23. 廖瑞堂(2003)，「坡地災害防治對策及案例」，科技圖書股份有限公司，共 226 頁。
24. 廖瑞堂(2007)，「坡地災害防治對策及案例」，科技圖書股份有限公司。
25. 陳文山，王源(1997)，「五萬分之一臺灣地質圖及說明書，豐濱圖幅」，經濟部地質調查及礦業管理中心出版。
26. 陳宏宇(1995)，「花蓮銅門村土石流初始機制之地質特性」，國立台灣大學地理學系地理學報，19，33-49。
27. 陳樹群、吳俊鎡、王雁平(2010)，「地震或降雨誘發崩塌之崩塌特性探討」，中華水土保持學報，41(2)，147-158。
28. 何恭睿(2007)，中央山脈萬榮地區地質構造研究，國立成功大學論文。
29. 林忠諺(2019)，台灣東部銅門至壽豐地區太魯閣帶及玉里帶的剝露歷史與變質溫度研究，國立中正大學論文。
30. 蔡元融(2015)，「潛在大規模崩塌區影響範圍劃設方法擬訂」，2015 台日土砂災害之機制、預測及評估研討會
31. 劉哲欣、吳亭燁、陳聯光、林聖琪、林又青、陳樹群、周憲德，「臺灣地區重大岩體滑動案例之土方量分析」，中華水土保持學報，42(2)，150-159，2011。
32. 黃國修(2005)。大型岩崩之潛勢與災害影響範圍之研究。中央大學應用地質研究所學位論文。2005。1-79。
33. 衣德成，陳治宇，林慶偉(2012)，「五萬分之一臺灣地質圖及說明書，光復圖幅」，經濟部地質調查及礦業管理中心出版。

34. Chen, Hongey. (1999). The geomorphological comparison of two debris flows and their triggering mechanisms, *Bull Eng Geol Env*, 58, 297–308.
35. Adrian E. Scheidegger, 1973, On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides, *Rock mechanics volume 5*, pages 231–236.
36. Cha, D.; Hwang, J.; Choi, B. (2018). “Landslides detection and volume estimation in Jinbu area of Korea.” *Forest Science and Technology*, 14, 61 - 65.
37. Corominas, J., 1996, The angle of reach as a mobility index for small and large landslides, *Canadian Geotechnical Journal*, 33, pp. 260-271.
38. Guzzetti, Fausto; Ardizzone, Francesca; Cardinali, Mauro; Galli, Mirco; Paola, Reichenbach; Rossi, Mauro. (2008), “Distribution of landslides in the Upper Tiber River basin, central Italy.” *Geomorphology*, 96, 105-122.
39. Guzzetti, Fausto; Ardizzone, Francesca; Cardinali, Mauro; Rossi, Mauro; Valigi, Daniela. (2009), “Landslide Volumes and Landslide Mobilization Rates in Umbria, Central Italy.” *Earth and Planetary Science Letters*, 279, 222-229.
40. Hoek E.; Carranza-Torres C.; Corkum B. (2002). “Hoek-Brown criterion - 2002 edition.” In: Hammah R, Bawden W, Curran J, Telesnicki M, editors. *Mining and tunneling innovation and opportunity, proceedings of the 5th North American rock mechanics symposium and 17th tunnelling association of Canada conference*. Toronto, Canada. Toronto: University of Toronto, pp. 267-273.
41. Larsen, Matthew C.; Torres-Sanchez, Angel J. (1998), “The frequency and distribution of recent landslides in three montane tropical regions of Puerto Rico.” *Geomorphology*, 24, 309–331.