九份二山大規模崩塌區
(南投縣-國姓鄉-T002)
歷史演變與監測成果

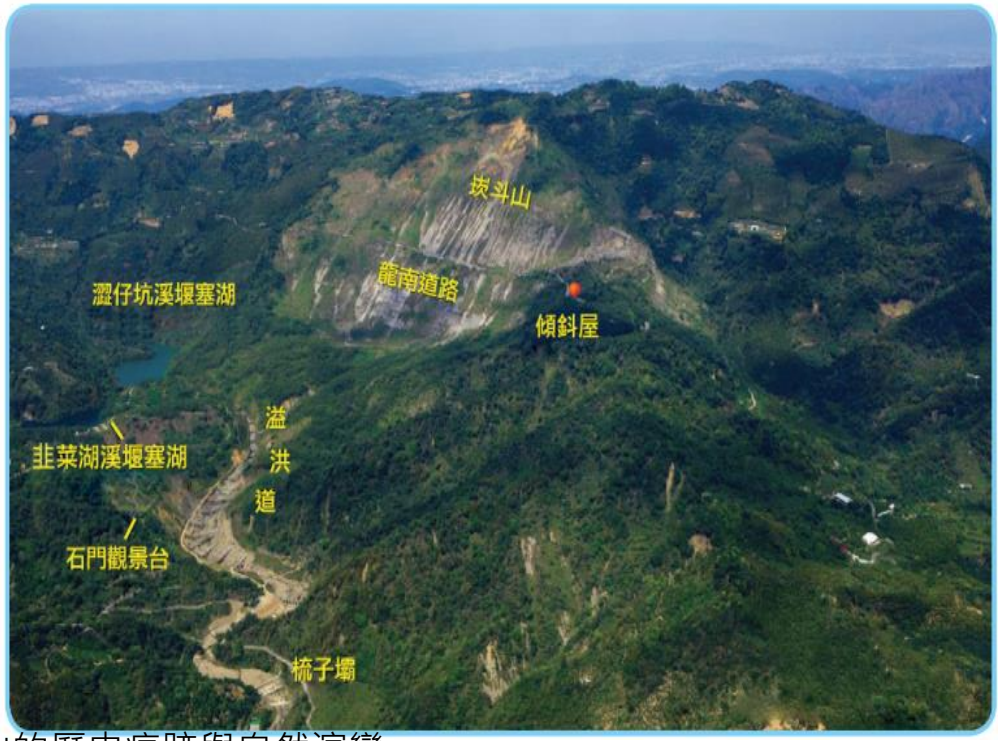
- 指導單位：農業部農村發展及水土保持署
- 主辦單位：農業部農村發展及水土保持署南投分署
- 執行單位：震翔監測工程有限公司
- 報 告 人：陳俊仰 博士
- 報告日期：114年05月27日

大規模崩塌概述

南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)地區概述

- 921集集大地震發生於1999年9月21日凌晨1時47分12秒，震源深度10公里，芮氏規模達7.3。九份二山為崁斗山的東南面順向坡，因靠近震央，崁斗山發生大規模順向坡崩塌，崩塌面積廣達195公頃，造成約3,500萬立方公尺之土石崩塌，崩塌土石堵塞北山坑溪(木屐欄溪)支流韭菜湖溪及澀子坑溪，分別形成韭菜湖溪與澀子坑溪兩處堰塞湖。





圖片資料來源：九份二山的歷史痕跡與自然演變

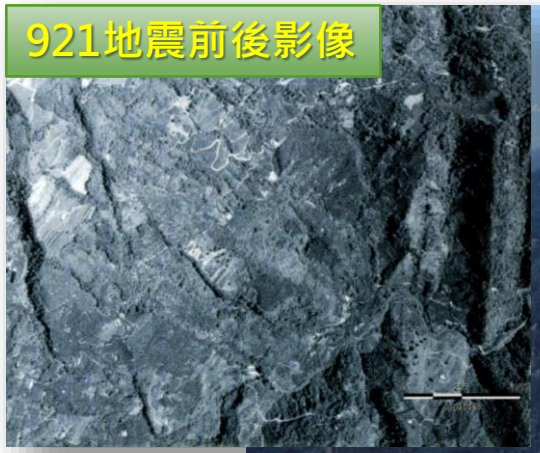
南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)地區概況

計劃區區域概況	
潛勢區面積	195公頃
崩塌量體	3,500萬立方公尺
崩塌高程	1,025~425公尺
集水區	韭菜湖溪子集水區 1,019公頃
地質	樟湖坑頁岩(Ch)
岩性	以厚層暗灰色頁岩 為主要岩性
保全對象	2戶居民、龍南道路、國家地震紀念地



南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)地區概述

921地震前後影像





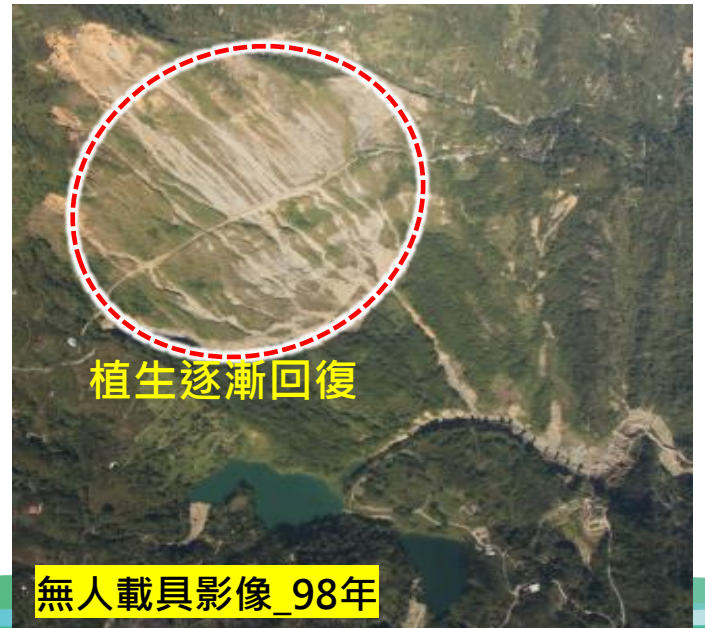
崩塌區前後期環境比對





- 88年因921大地震發生大規模崩塌。
- 91年建置土石流觀測站。
- 93年完成河道防砂設施，崩塌區先驅植生逐漸回復。
- 97年颱風豪雨造成柱狀壩毀損。
- 近年來，整體而言，崩塌區近年來相對穩定，無重大災情。







溢洪道前後期環境比對


航空照片_92年
防砂設施未建置


無人載具影像_93年
防砂設施已建置


無人載具影像_95年
防砂設施已建置


無人載具影像_98/01
因辛樂克颱風災損


無人載具影像_99/04/26
石門觀景台下方
邊坡整治工程
梳子壩施工中

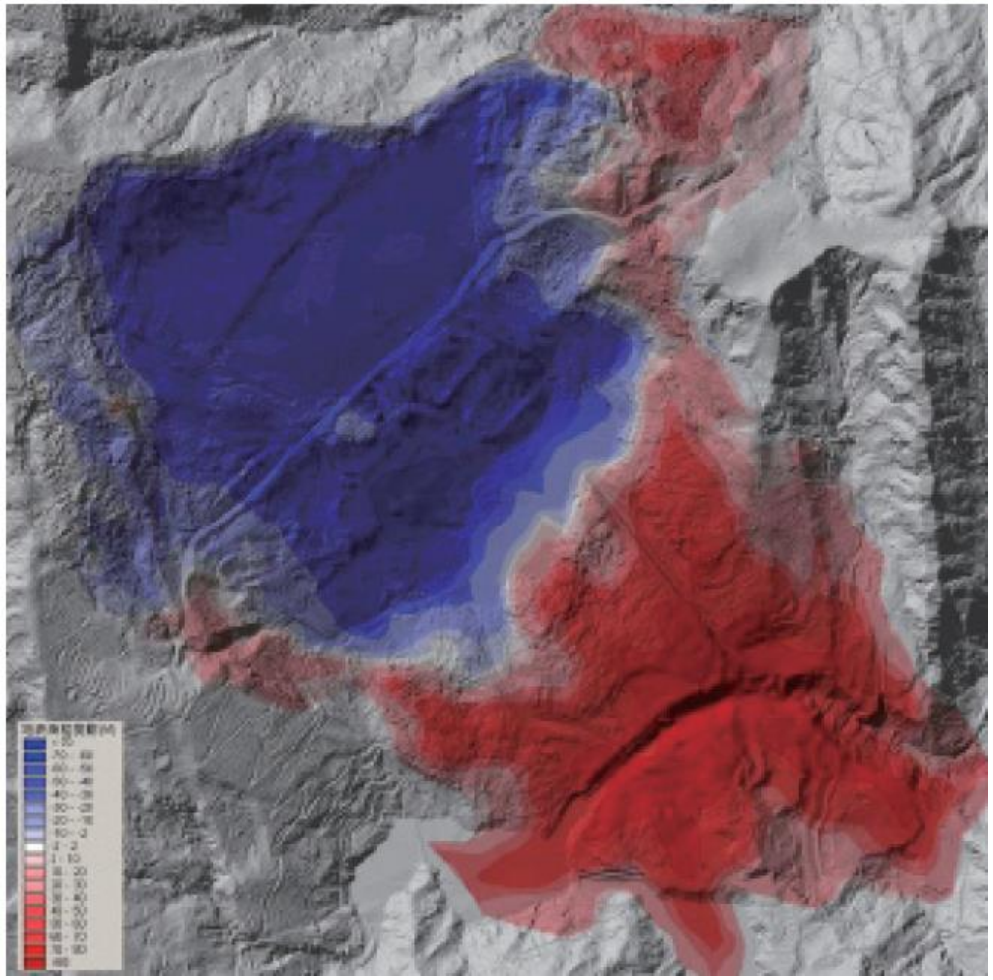
石門觀景台

卡梅基颱風後柱狀壩傾倒

辛樂克颱風後從石門觀景台眺望


無人載具影像_113/06
梳子壩近況

南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)地區概述



圖片資料來源：南投九份二山崩塌地觀測計畫成果彙編

根據崩塌前後之地形分析計算，崩塌平均深度約為34公尺。

類別	面積(公頃)	體積(萬立方公尺)	最大深度(公尺)
崩塌	102.5	3,492	-60.09
堆積	92.5	3,659	+96.58
合計	195	-	-

南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)地區概述

歷史災害與重大紀事



圖片資料來源：九份二山的歷史痕跡與自然演變

●歷史災害敘述

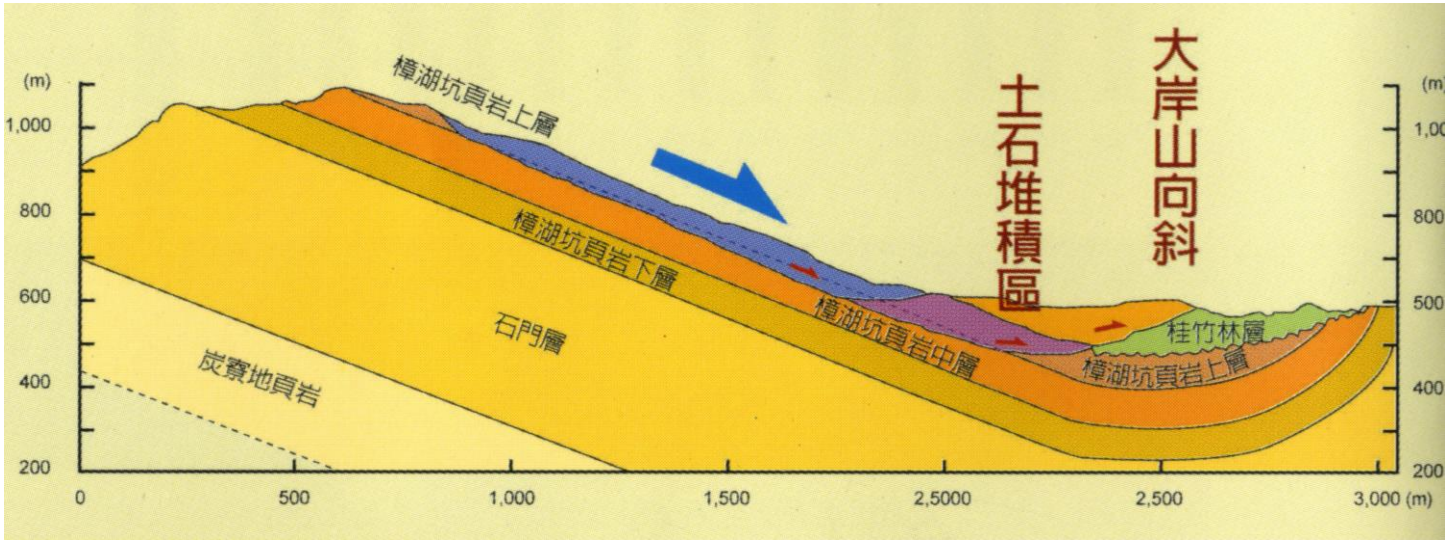
時間	災害事件	災害類型	災情概述
1999/09/21	921地震	崩塌地	921地震造成約3500萬m^3之土石崩塌與地表隆起，崩塌面積更廣達195公頃。
1999/10	-		完成開挖緊急溢洪道。
2000/05	-	-	發包防砂壩工程。
2001/07/30	**桃芝颱風**	土石流	桃芝颱風夾帶大量豪雨，致澀仔坑溢洪道受大量逕流使河床嚴重縱向下切，最深處大於50m，造成大量土石下移。
2004/07/03	**敏督利颱風**	土石流	敏督利颱風災害，造成部份柱狀壩溢水口淤滿砂石、部分基礎掏空、壩翼流失，大水沖向右岸鬆軟山坡引起崩塌，然柱狀壩發揮穩定河道功效，溢洪道向源侵蝕情形已大為緩和。
2004/07/03	**敏督利颱風**	土石崩塌	崁斗山土砂下移，龍南道路中斷
2007/06/04	0604豪雨	土石崩塌	龍南道路上方崩塌物掩埋下方之道路，並沖毀道路旁之截水溝，使坡面之逕流水沿道路漫流，進而沖刷道路路基。
2007/10/08	柯羅莎颱風	景觀破壞 土石崩塌	九份二山國家地震紀念地-石門觀景台土石鬆散以致造型欄杆損壞，溢洪道左岸邊坡崩塌
2008/07/17	卡玫基颱風	土石流	卡玫基颱風致溢洪道受大量溪水使數座柱狀壩沖毀，修復工作進行時，於下游增設大型防砂壩，加強攔阻土石功能。
2008/09/17	**辛樂克颱風**	土石流	部分柱狀透過性潛壩基礎淘空，部份防砂壩損毀。九份二山國家地震紀念地-石門觀景台溢洪道邊坡崩塌。

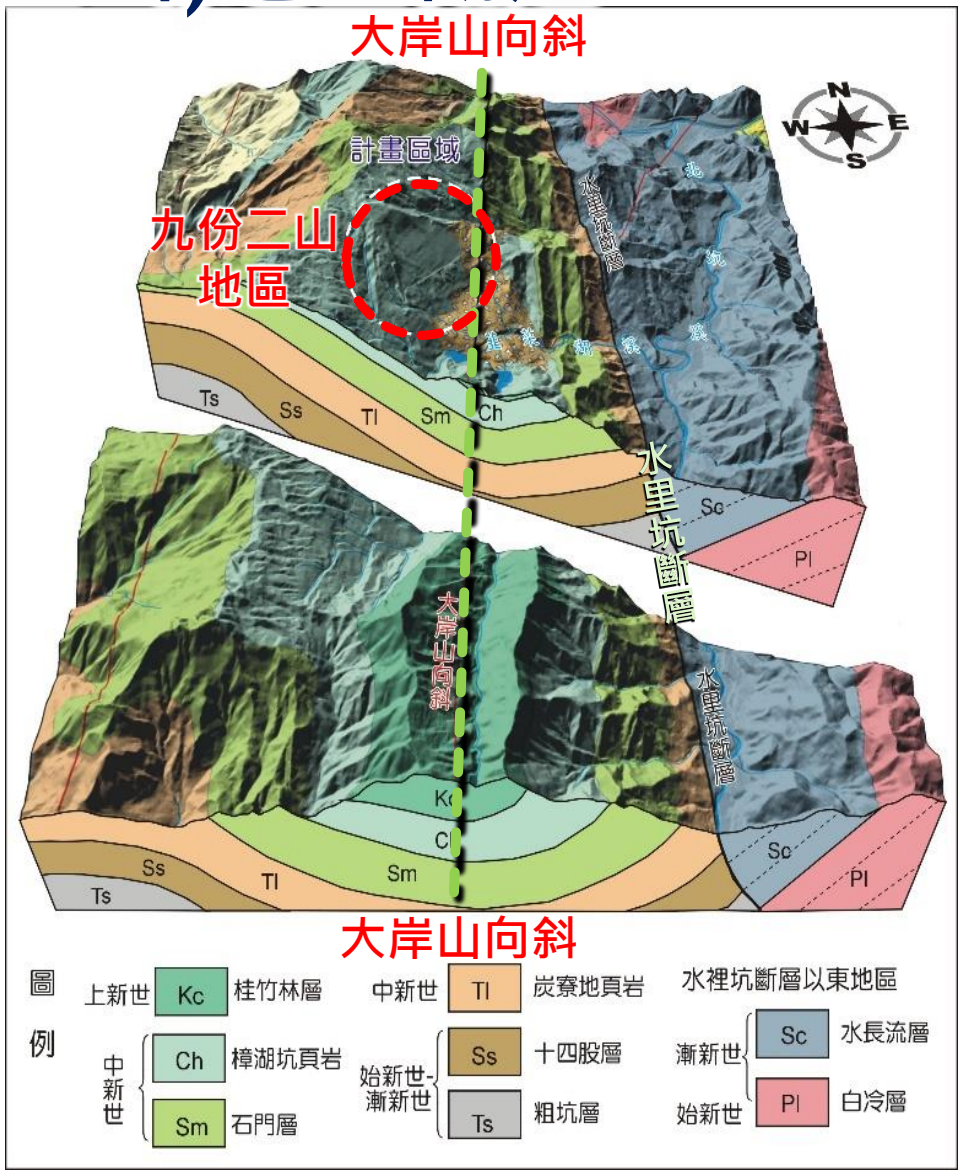
南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)地區概述

環境地質概述

根據地礦中心(2000)出版之埔里圖地質圖幅所示，九份二山崩塌地位於大岸山向斜之西翼，東距水里坑斷層約2 km。

大岸山向斜軸線呈南北向延伸，軸部由桂竹林層所構成並有出露情形，其下與樟湖坑頁岩以不整合相接觸，再下依序為石門層、炭寮地頁岩等中新世地層。為一不對稱向斜，東翼較陡，西翼較平緩，同時向斜軸微向南傾沒。西翼岩層傾斜約20~30°。





崩塌成因

1. 地震誘發的斷層錯動與地層擠壓

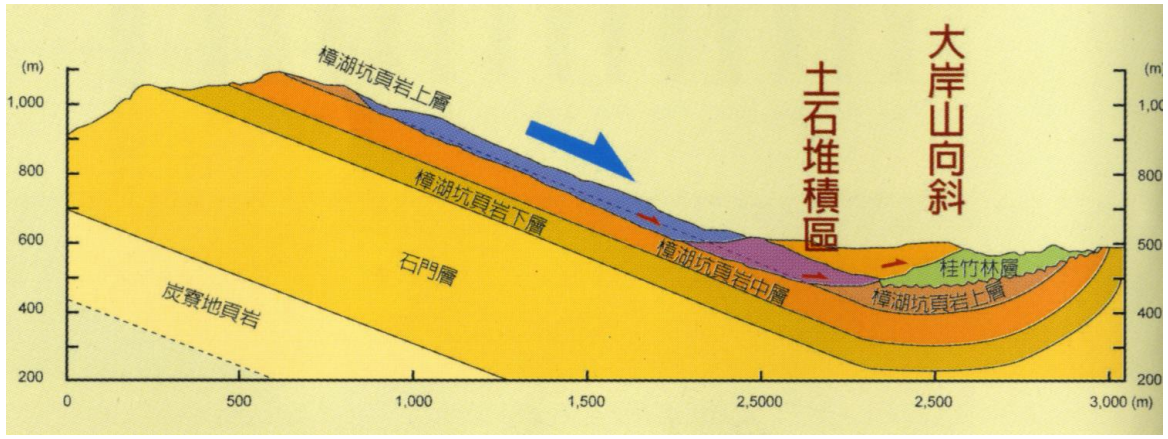
車籠埔斷層在921地震中劇烈活動，導致地表出現大規模破裂。地震造成岩體水平方向的錯動，進而產生岩體的上衝下擠，形成背衝斷層，最終引發大規模崩塌 。崩塌的啟動則為車籠埔斷層再次活動，造成斷層上盤岩層因擠壓滑動，地震的作用造成邊坡不穩定而崩落。

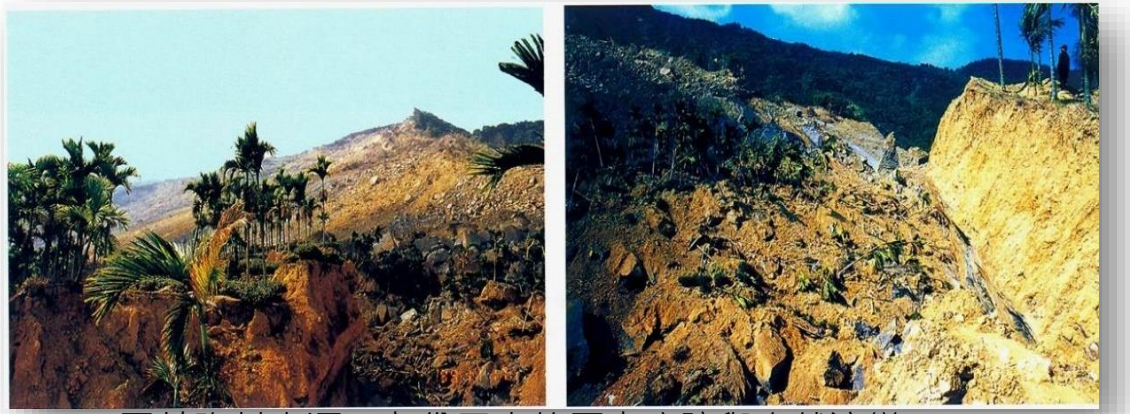
2. 地形與地質結構的脆弱性

崩塌區之原地形為約20度傾斜之砂頁岩互層順向坡，上坡面之滲流水受到頁岩阻隔，在砂頁岩層面流動，促使岩層膠結力減弱，形成滑動面，這種地質結構在地震作用下容易沿層理面滑動，導致整個坡面失穩崩塌 。

3. 水文條件的影響

崩塌區坡趾有韭菜湖溪流過，常年溪床下切，使得順向坡基腳之不安定端逐漸加深加長，受到921集集大地震，引發不穩定之坡面向下崩解滑動。崩塌地區存在多處蝕溝與節理，地表水容易沿這些通道滲入岩層內部，降低岩體強度，增加滑動的可能性。地震前的降雨也可能使岩層含水量增加，進一步削弱坡體穩定性 。



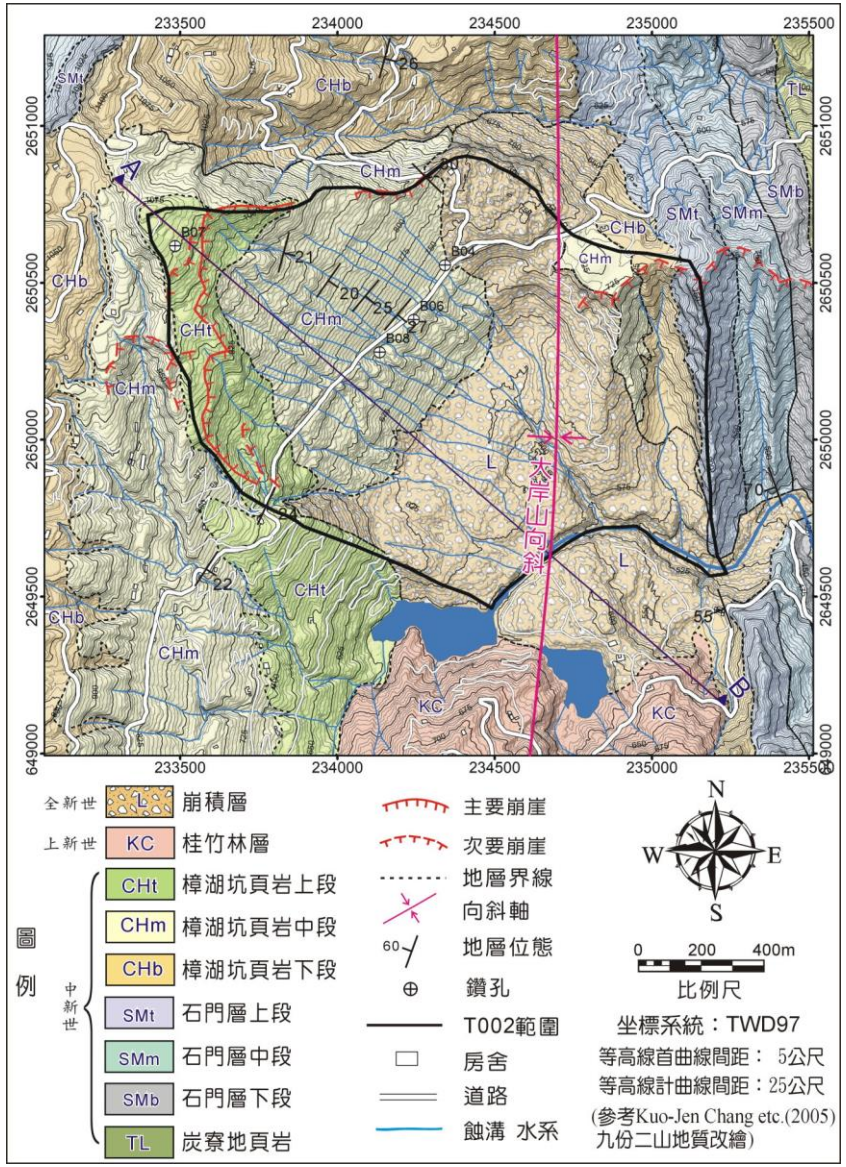


圖片資料來源：九份二山的歷史痕跡與自然演變

滑動機制研判-地層分層

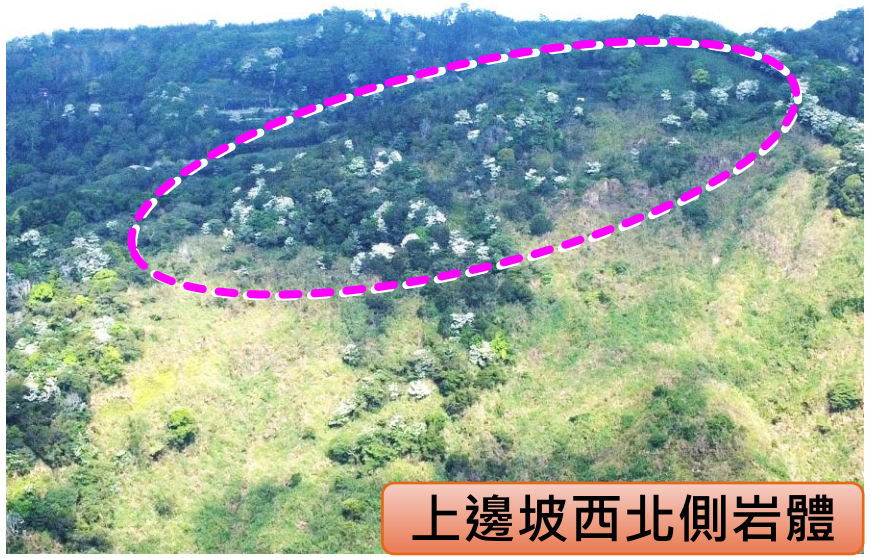
- 滑動岩體主要為原覆蓋於邊坡表層的樟湖坑頁岩上段(CHt)，岩性主要頁岩夾砂頁岩互層，其下方為厚層泥質砂岩為主的樟湖坑頁岩中段(CHm)，岩體強度高，因此構成堅固而平整之滑動面，且地下水不易入滲，多累積於其上的頁岩層中，造成邊坡之不穩定。
- 921地震發生前，邊坡趾部的樟湖坑頁岩上段(CHt)可能已遭溪流沖刷造成自由端出露，其侵蝕作用可能達樟湖坑頁岩中段(CHm)的泥質砂岩為止。





致災特性分析

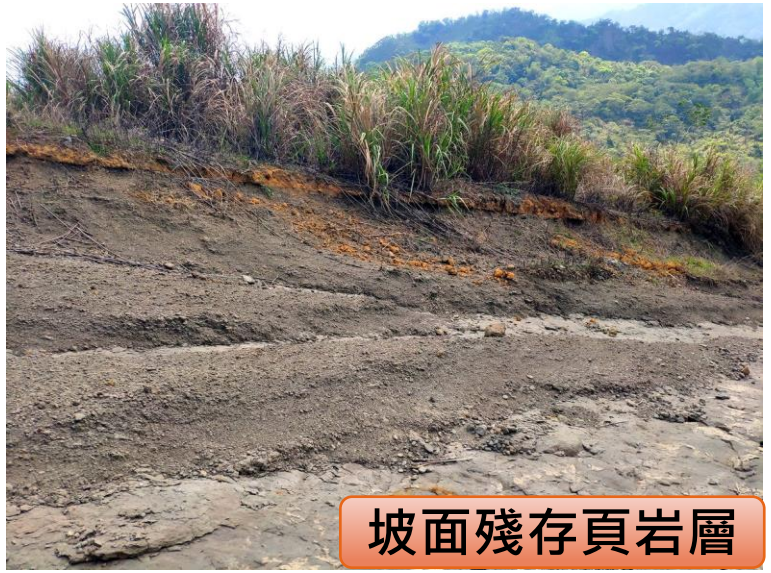
- 現況坡面為樟湖坑頁岩中段(CHm)泥質砂岩，自由端未出露，已非危險順向坡。
- 坡頂局部地區尚殘存未滑落的樟湖坑頁岩上段岩層，仍具下滑潛勢，唯其量體相對有限，且根據觀察結果，傾向漸進式沖刷或崩落，而非整體滑動。


上邊坡西北側岩體


坡面現況


坡面殘存頁岩層


坡面現況


坡面殘存頁岩層

崩塌潛勢區現況及監測作業

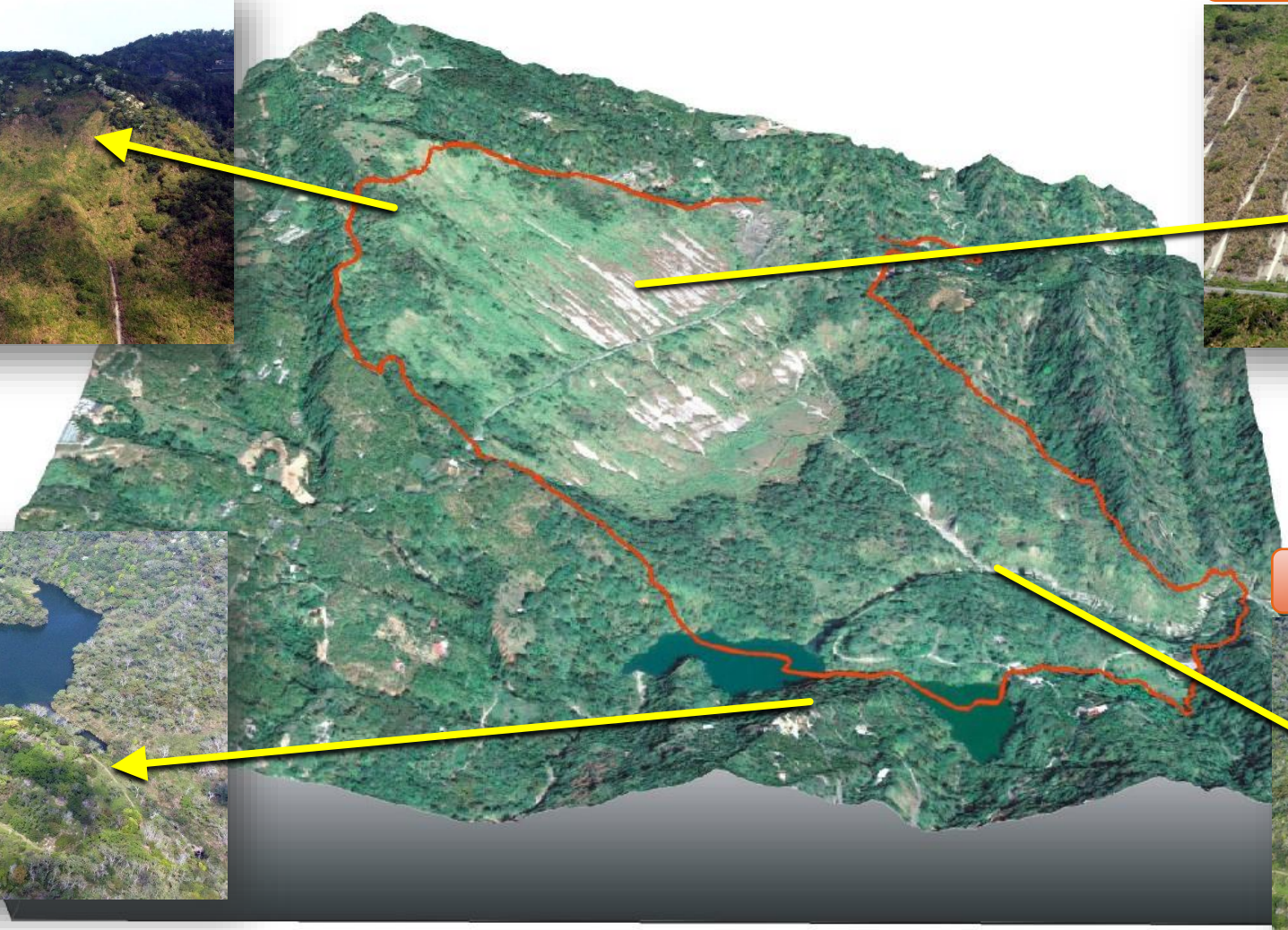
南投縣-國姓鄉-九份二山地區(T002)-崩塌地現況及調查

崩塌區-頭部殘存岩體



崩塌區-邊坡坡面





堰塞湖



堆積區

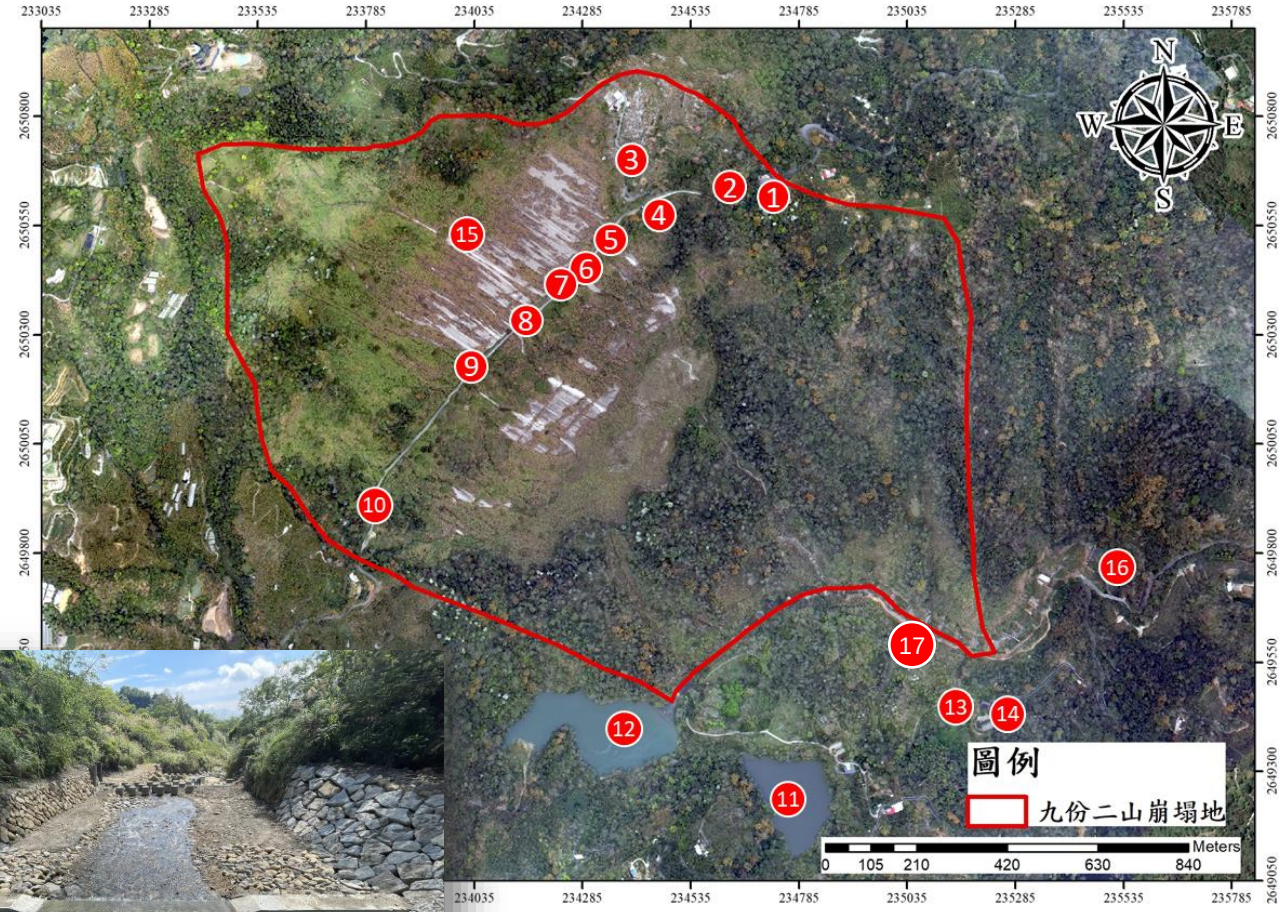


南投縣-國姓鄉-九份二山地區(T002)-崩塌地現況及調查

- 從UAV正射影像觀察崩塌區，植生復育良好，惟坡面有數條平行**蝕溝**發育；蝕溝頂部有較深**坑溝**形成，推測為**殘留土層**之陷落崖有地下水脈出露。
- 崩塌區-頭部殘存岩體，為殘存未滑落的**樟湖坑頁岩上段**岩層，仍具下滑潛勢。







- 堰塞湖與溢洪道從正射影像上看無明顯變化，工程補強作業座施作中。



























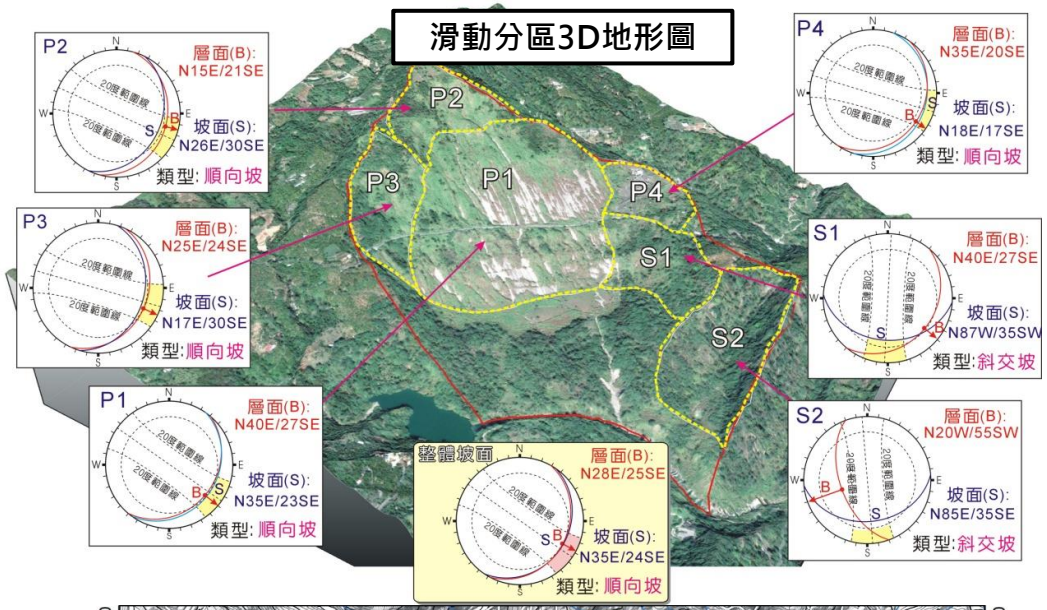


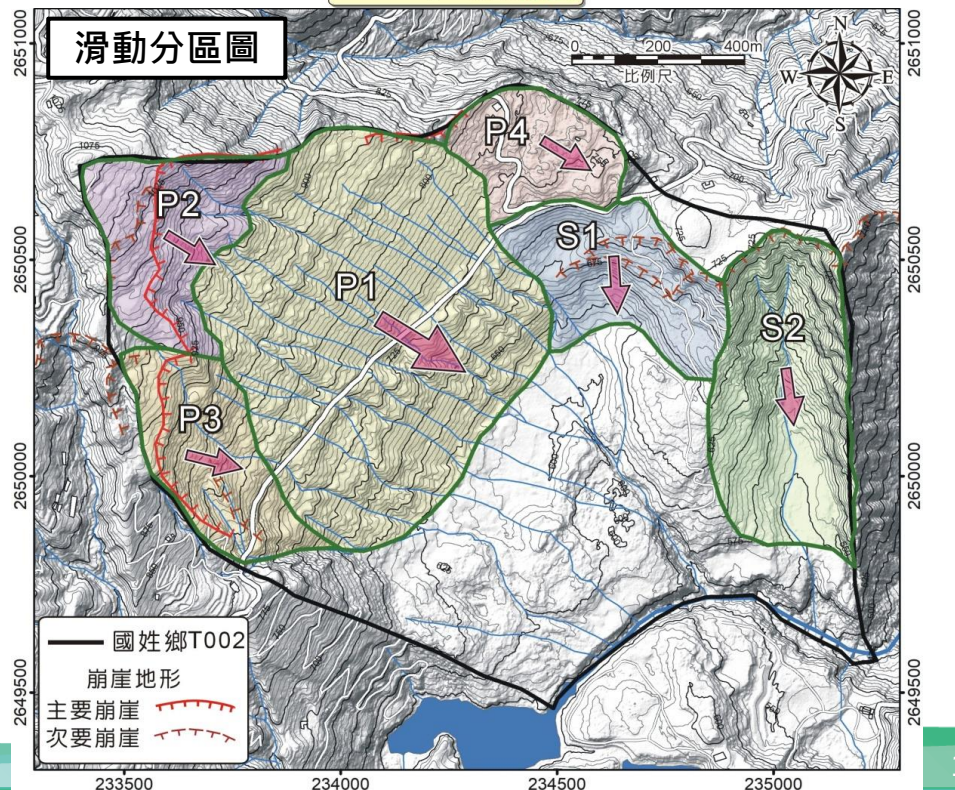




滑動塊體分析

- 為釐清九份二山地區的地質構造與滑動潛勢，進行地表地質露頭調查，記錄岩層走向、節理構造及破碎程度，作為判釋潛在滑動面的依據。
- 依地形起伏及變形趨勢繪製可能滑動塊體分布圖，分析區域內滑動方向與邊界範圍。
- 後續於變形明顯區域布設監測儀器，建立長期監控機制，以掌握地表變位與滑動穩定性變化，作為災害預警與治理規劃之依據。





滑動區塊	P1	P2	P3	P4	S1	S2
面積	53.4公頃	12.7公頃	12.0公頃	8.7公頃	13.2公頃	20.7公頃
邊坡類型	順向坡	順向坡	順向坡	順向坡	斜交坡	斜交坡
可能滑動岩層	岩屑層 風化岩層	岩屑層 風化岩層	岩屑層 風化岩層	岩屑層 風化岩層	岩屑層 風化岩層	岩屑層 風化岩層
可能破壞模式	平面型破壞	平面型破壞	平面型破壞	平面型破壞	潛移 圓弧型破壞	潛移 圓弧型破壞
崩塌機制	早期發生大型平面滑動，露出厚層砂岩層面，其上尚殘存未滑落之頁岩岩層及岩屑層，可能沿著滑動面往下崩移。	厚層砂岩上殘存之樟湖坑頁岩上段頁岩及砂頁岩互層，由於下方邊坡已滑落，本身仍具下滑潛勢。	厚層砂岩上殘存之頁岩及砂頁岩互層，由於下方或側邊邊坡已滑落，本身仍具下滑潛勢。	厚層砂岩坡面上堆積大量已滑動之樟湖坑頁岩上段頁岩及砂頁岩互層，仍具下滑潛勢。	主要滑動邊坡東北側邊坡，局部地形較陡峭且坡面可能由岩屑層覆蓋。大雨後可能發生邊坡潛移或圓弧型破壞	滑動區東側蝕溝凹谷，局部地形較陡峭，大雨後覆蓋於坡面之岩屑層及風化岩可能發生邊坡潛移或圓弧型破壞

南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)地區分區與監測儀器

計劃區區域概況	
潛勢區面積	195公頃
崩塌量體	3,500萬立方公尺
崩塌高程	1,025~425公尺
集水區	韭菜湖溪子集水區 1,019公頃
地質	樟湖坑頁岩(Ch)
岩性	以厚層暗灰色頁岩 為主要岩性
保全對象	2戶居民、龍南道路、國家 地震紀念地

- 有鑑坡地災害發生規模與頻率受近年極端氣候影響，為掌握九份二山各區現況，農村水保署南投分署持續進行現地監測作業。
- 目前持續監測崩塌區、土石堆積區以及堰塞湖區等分區。

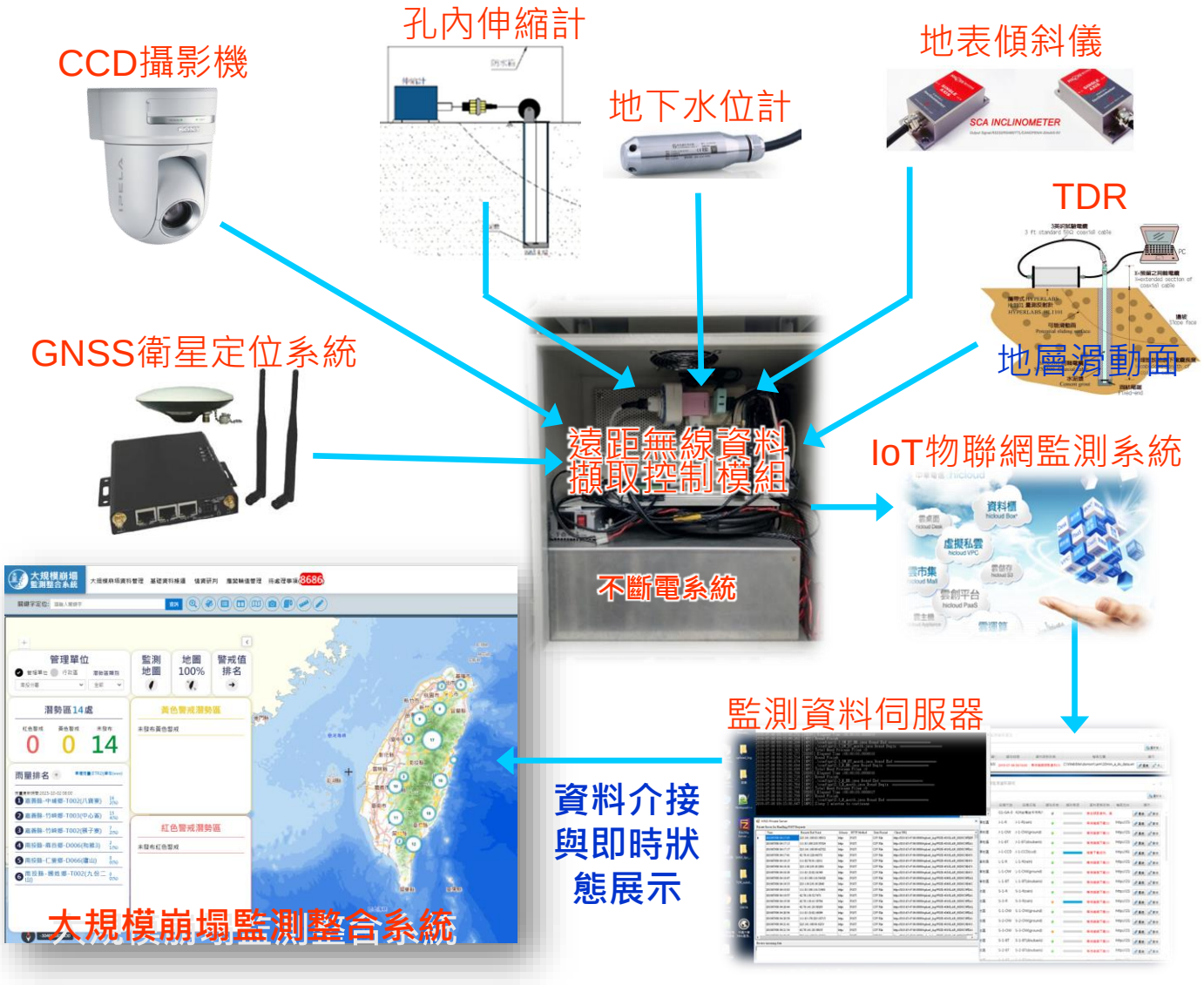


自動化監測儀器

監測站	區域	監測儀器
B01	堰塞湖區	水位計
B02	堰塞湖區	水位計
B03	堆積區	水位計
B04	崩塌區	GNSS衛星定位 地表傾斜儀
B05	堆積區	GNSS衛星定位 地表伸縮計 地表傾斜儀
B06	崩塌區	GNSS衛星定位 地表傾斜儀 孔內伸縮計 TDR地層監測
B07	崩塌區	GNSS衛星定位 地表傾斜儀 孔內伸縮計

國姓鄉T002(九份二山)地區崩塌地活動性觀測

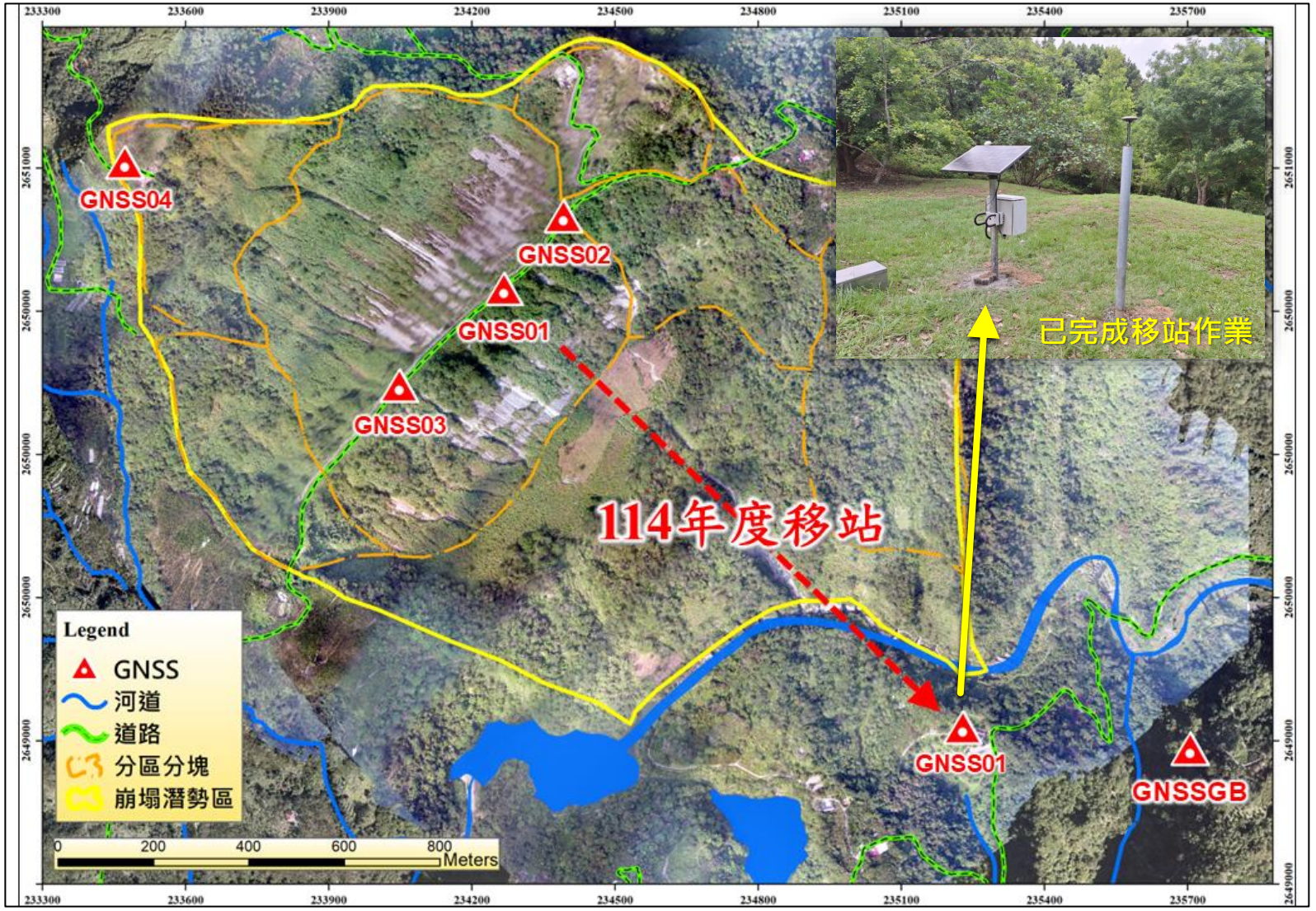
- 監測項目包含地表地中活動性、地下水位等項目。
  - 監測儀器應變管理值訂定經過颱風事件分析，經由滾動式管理，進行檢討與調整。
  - 在汛期前完成系統維護作業與環境整理，以確保監測系統正常運作。
- 監測類型可區分為人工、自動化兩類型，自動化觀測可提升資料即時性。
  - 人工定期觀測掌握邊坡活動性；
  - 自動化監測系統提供防災工作參考。



地表活動性監測-GNSS衛星定位

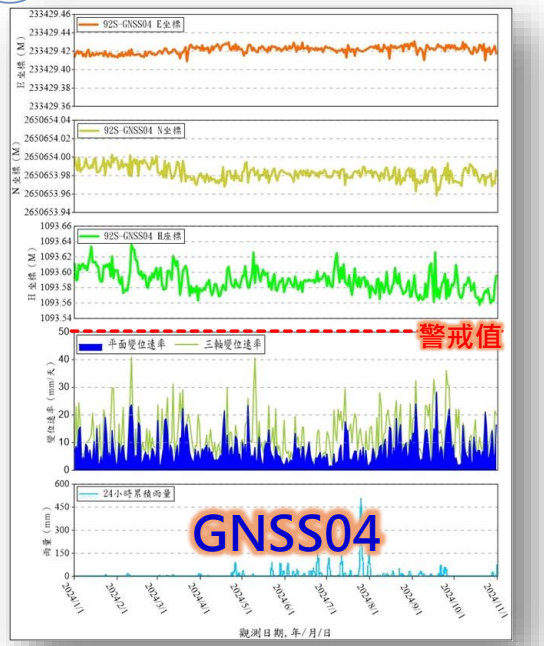
- 國姓鄉T002(九份二山)地區既有GNSS衛星定位4處，及1處自建基站。
  - 使用MG700系列進行觀測作業，可將全球衛星系統的RAW data記錄起來，再透過相對定位的演算可以即時監控邊坡位移資訊。
  - 以4G傳輸方式回傳觀測資料。

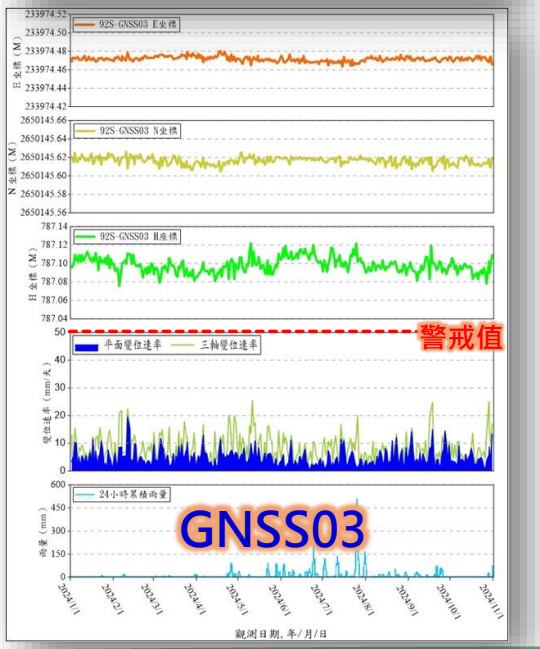


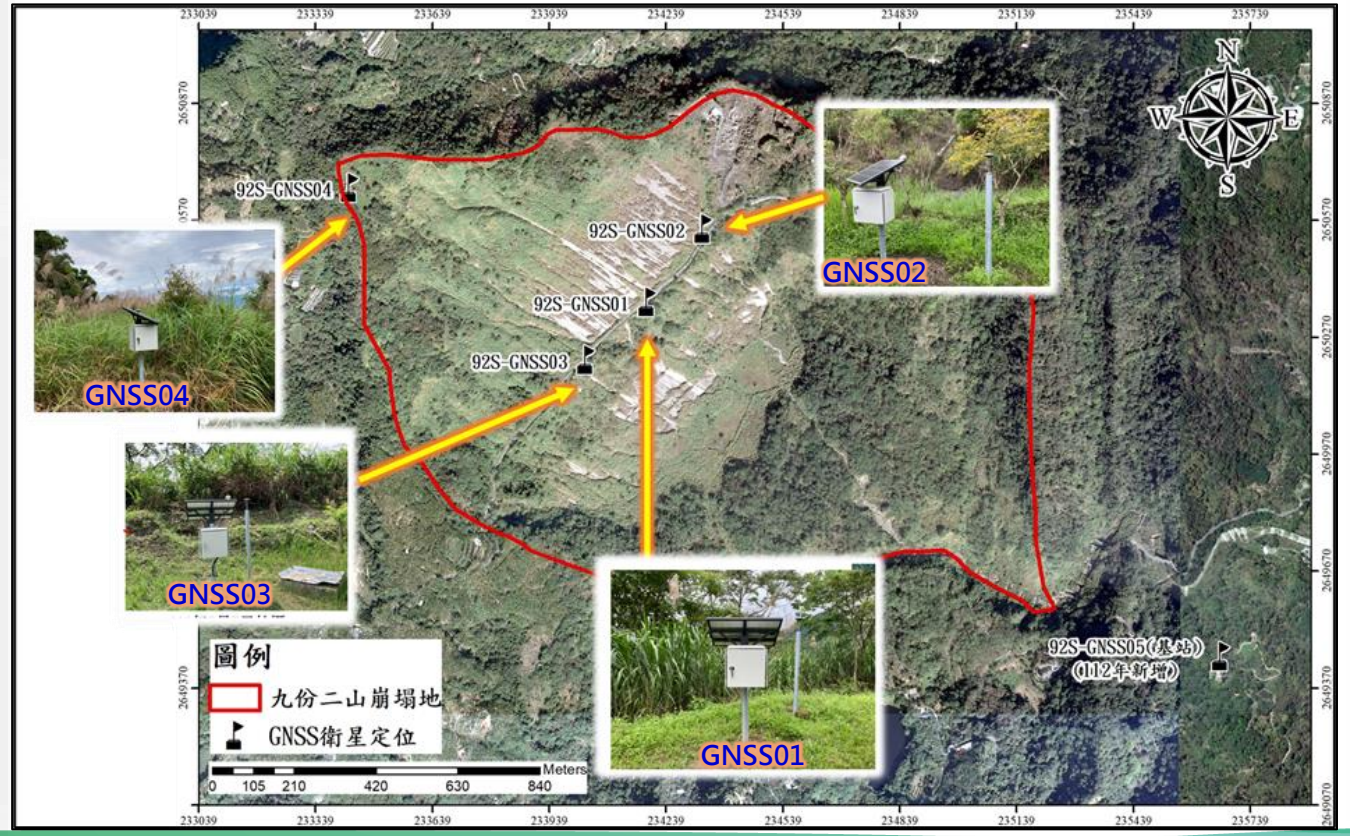


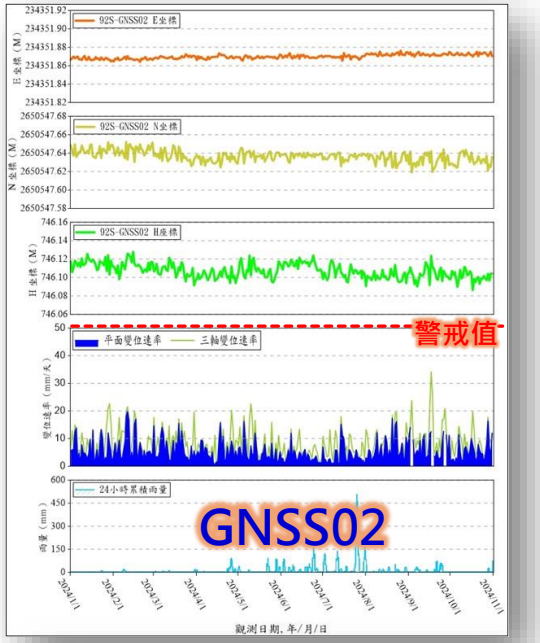
地表活動性監測-GNSS衛星定位

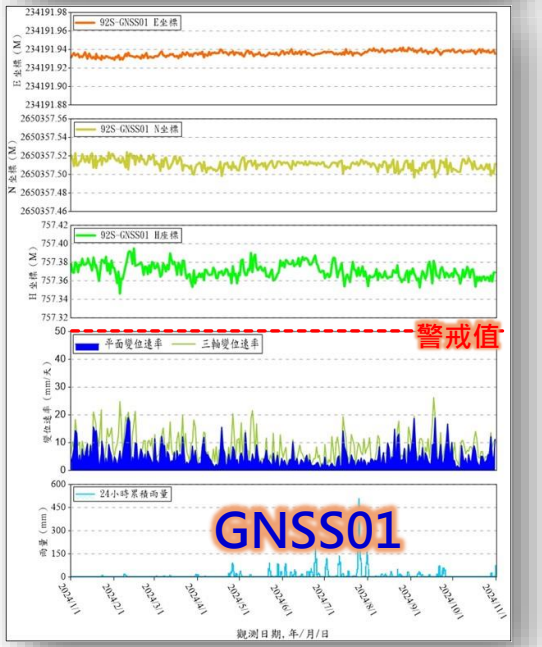
- GNSS衛星定位注意值為40 mm/day，警戒值為50mm/day。
- 113年度監測期間平面變位速率30mm以下，GNSS監測研判整體坡面平面約有0.6~2.7公分之變位量。





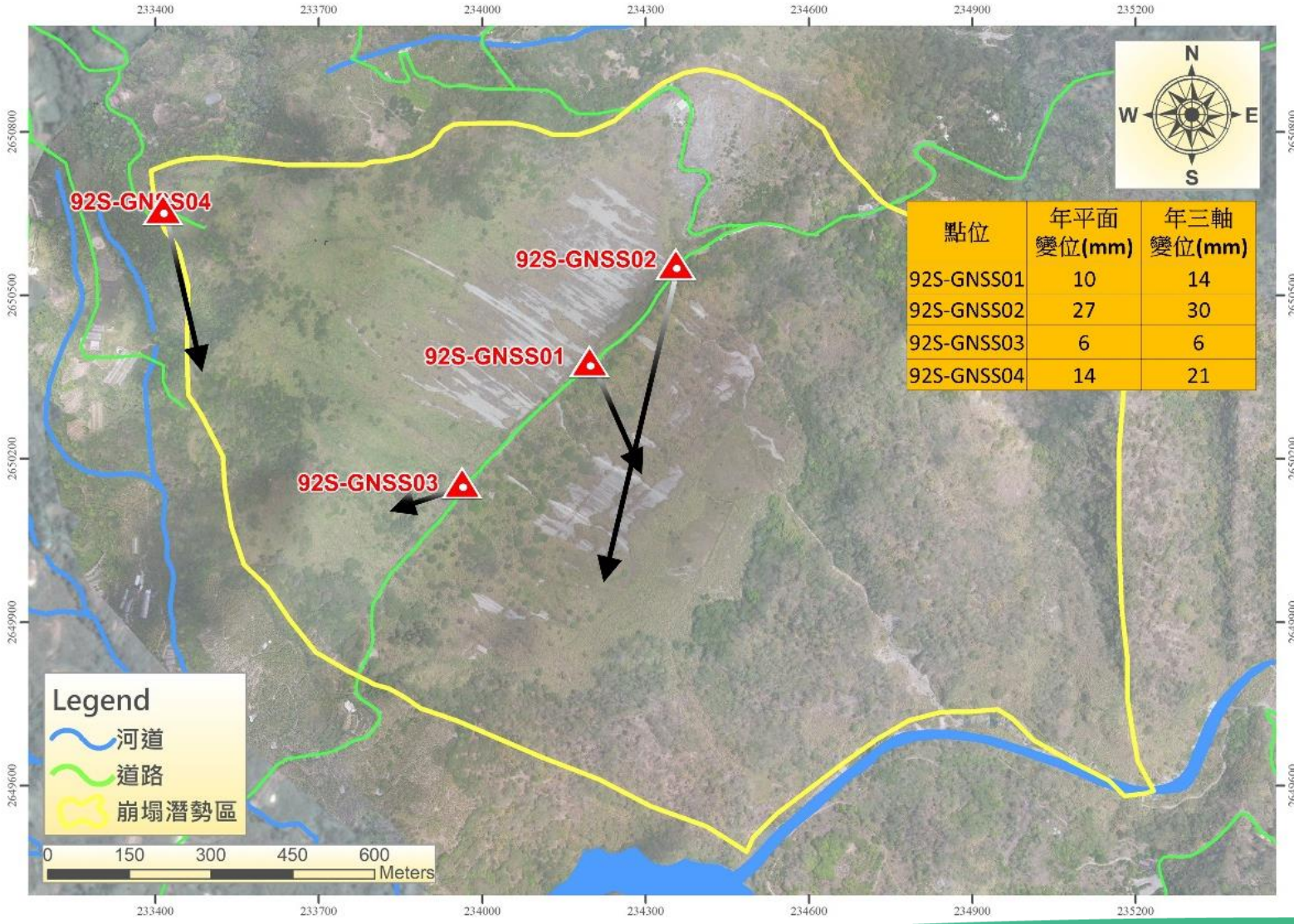






國姓鄉T002(九份二山)地區GNSS監測成果

□整體而言，113年度變位約0.6~2.7 cm。



點位	年平面變位(mm)	年三軸變位(mm)
92S-GNSS01	10	14
92S-GNSS02	27	30
92S-GNSS03	6	6
92S-GNSS04	14	21

地表活動性監測-地表雙軸傾斜儀

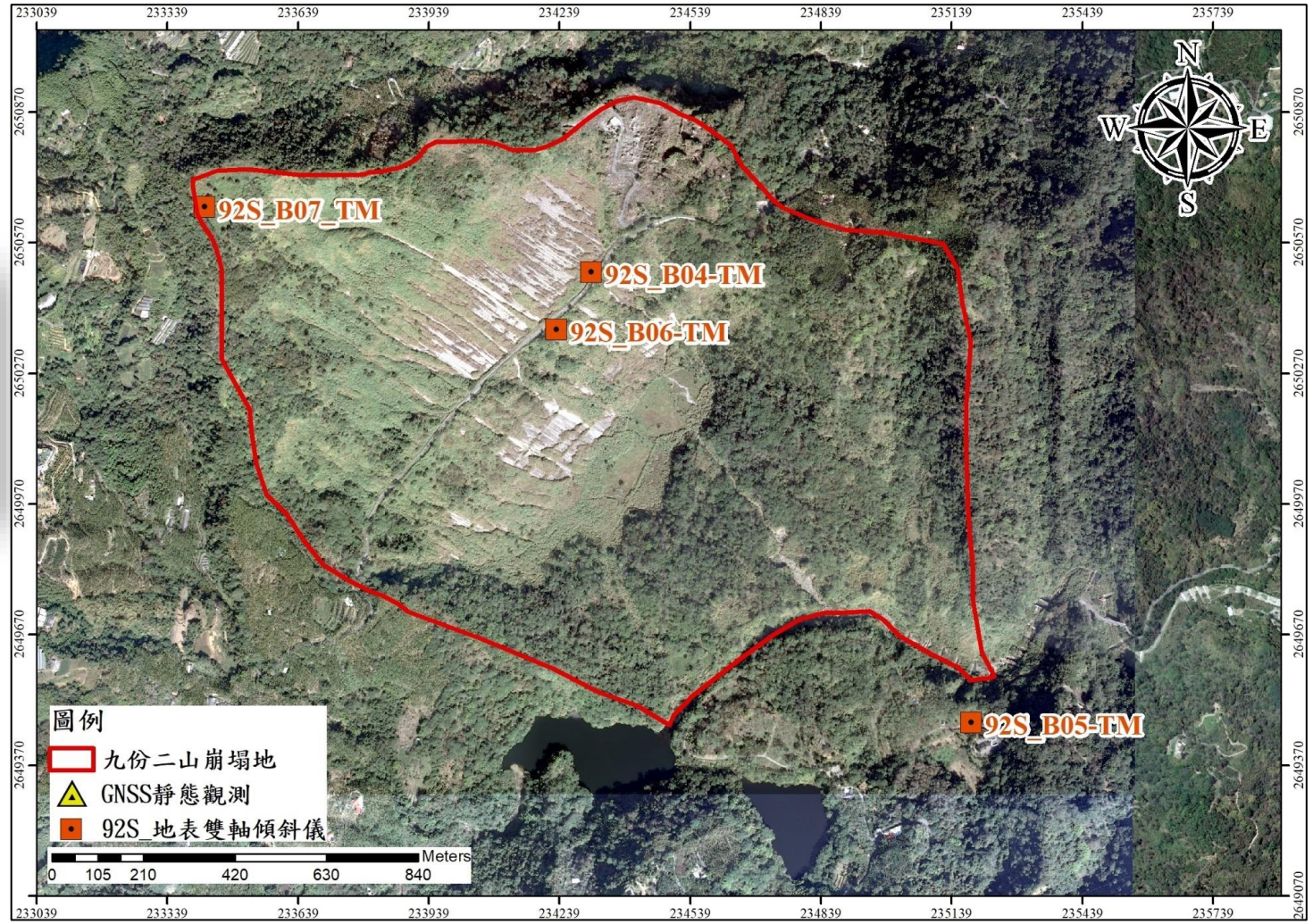
- 藉由自動化監測作業，可了解地表是否有產生傾斜情形。
- 同時搭配GNSS衛星定位系統進行監測。





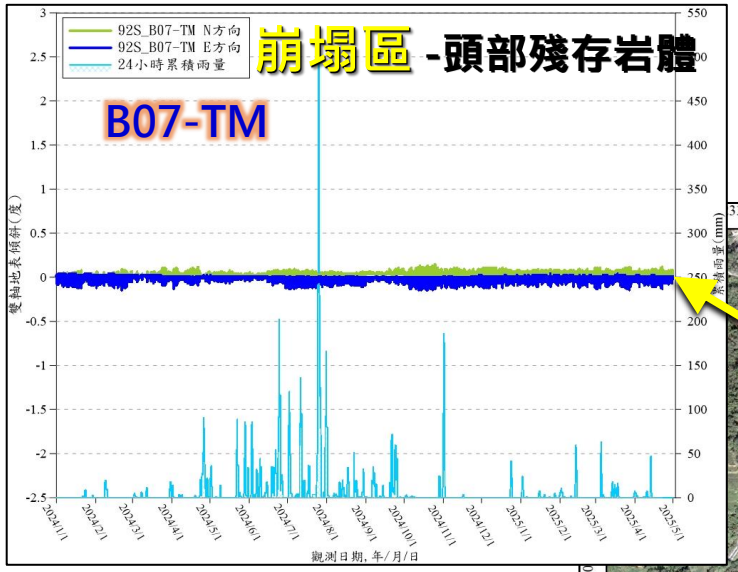
採用SCA-128T雙軸傾斜儀，精度可達0.1度。

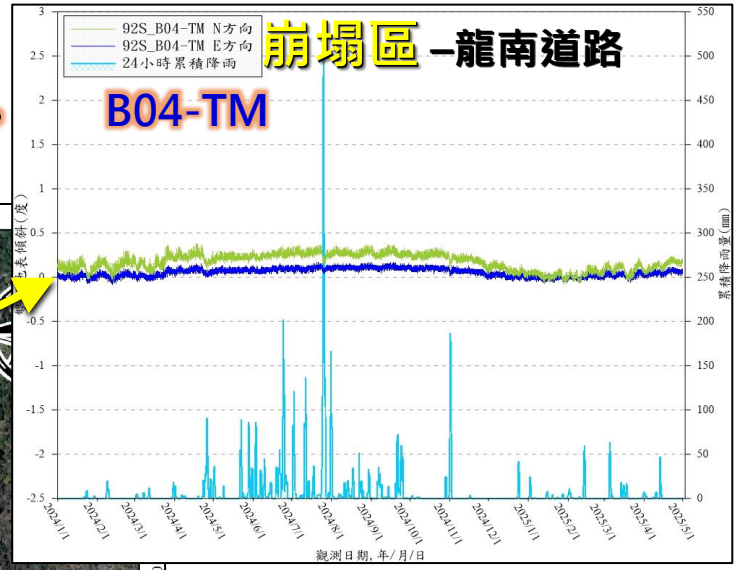
站名	監測起訖時間	備註
B04-TM	2019/1~今	B04監測站
B05-TM	2020/9~今	B05監測站
B06-TM	2020/9~今	B06監測站
B07-TM	2023/5~今	B07監測站

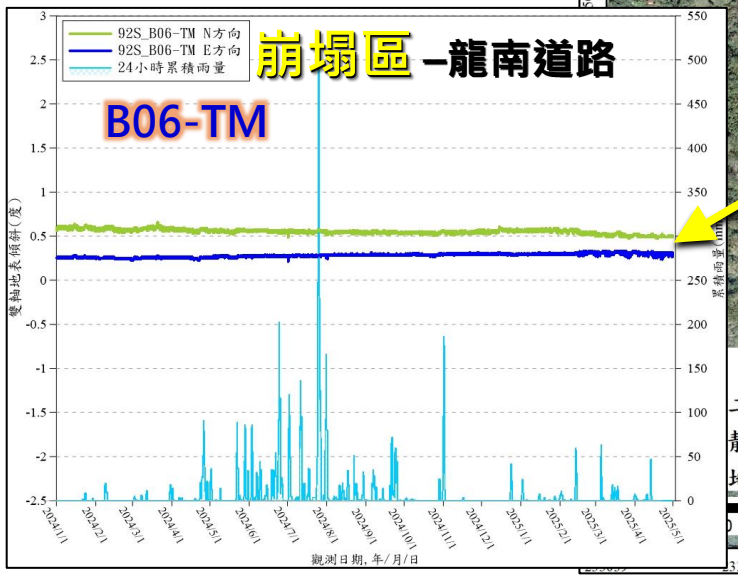


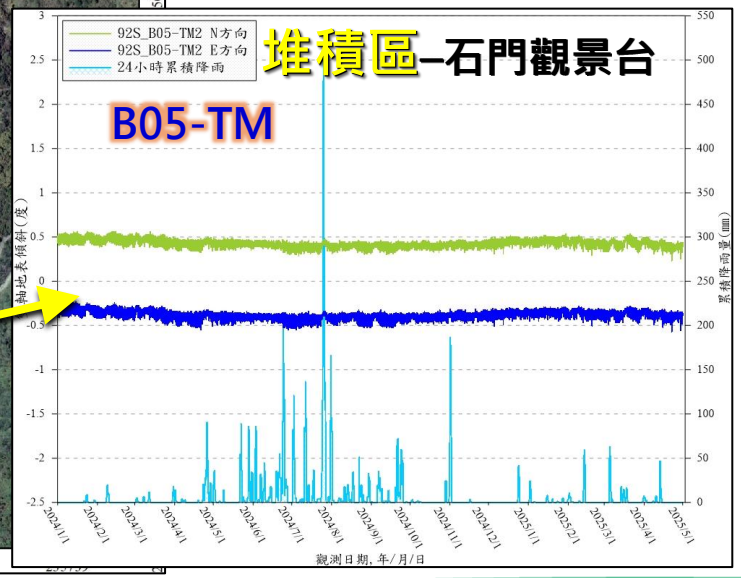
地表活動性監測-地表雙軸傾斜儀

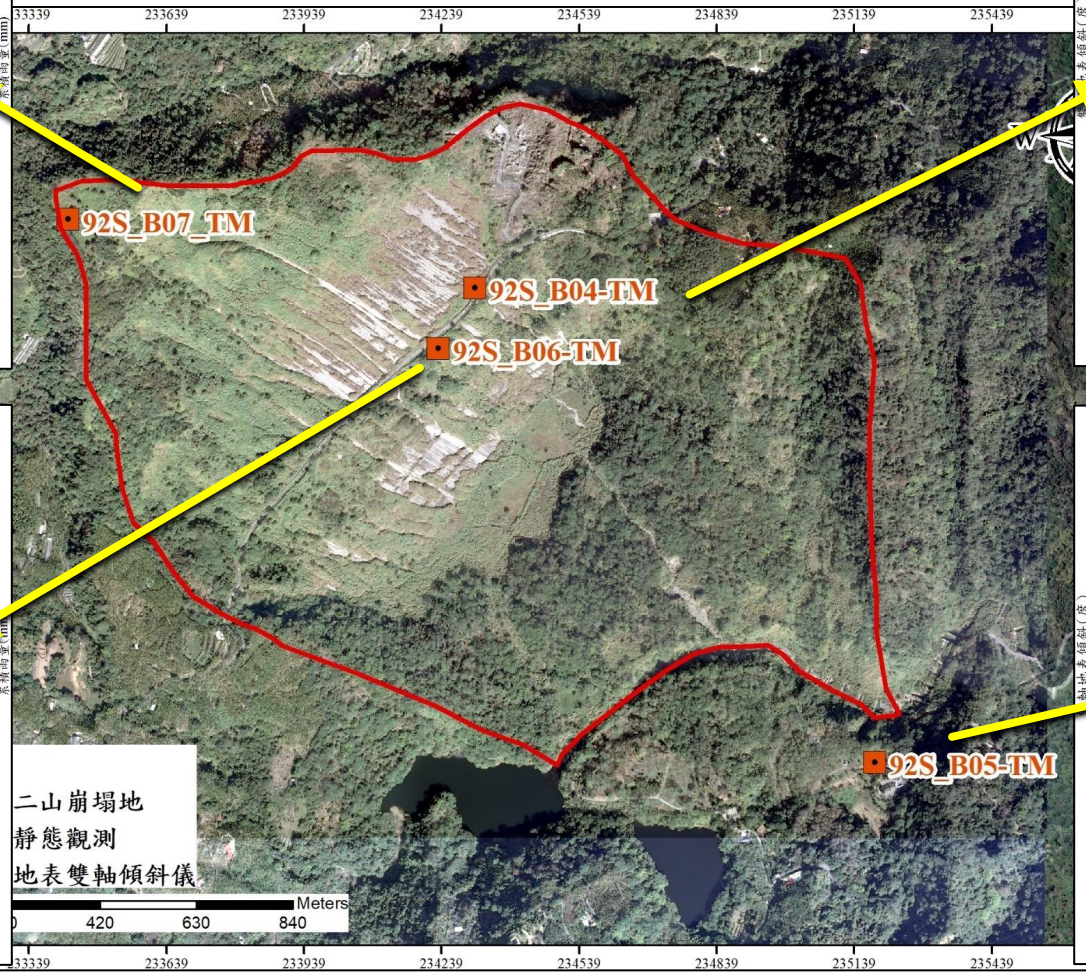
- B04、B05、B06及B07地表雙軸傾斜儀113~114年05月未監測到明顯變化。







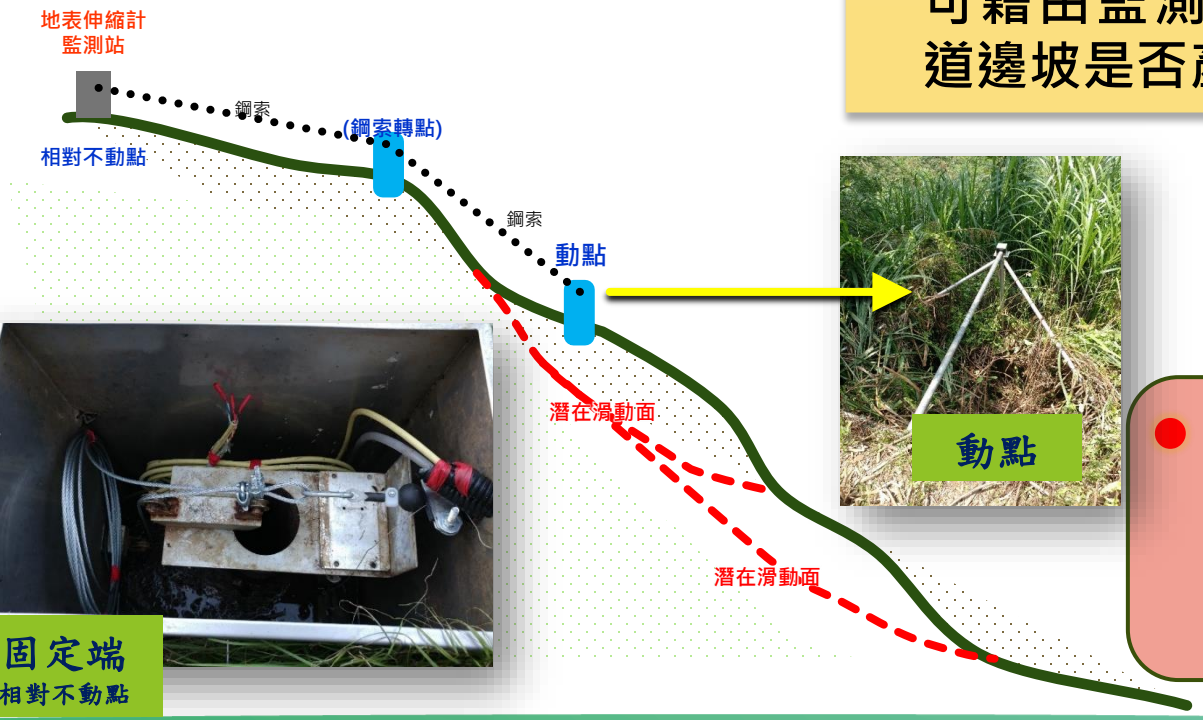




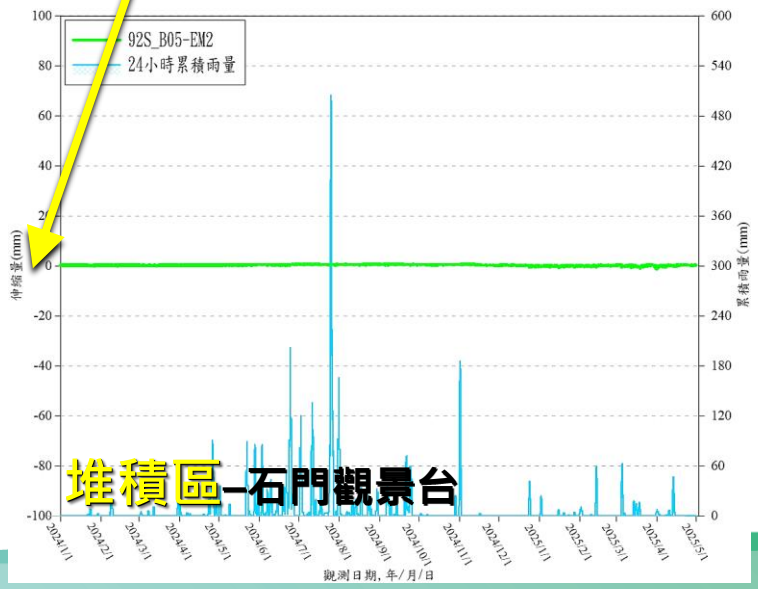
地表活動性監測-地表伸縮計

- 九份二山地區全自動「地表伸縮計」設置於石門觀景台，此處為崩塌土石堆積區，設置目的可即時了解地表是否產生變位。

◆同時石門觀景台亦屬溢洪道右岸，南投分署執行「113-LL-04-3-001-99南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)大規模崩塌特定水土保持區溢洪道補強工程」，可藉由監測儀器了解溢洪道邊坡是否產生變位。





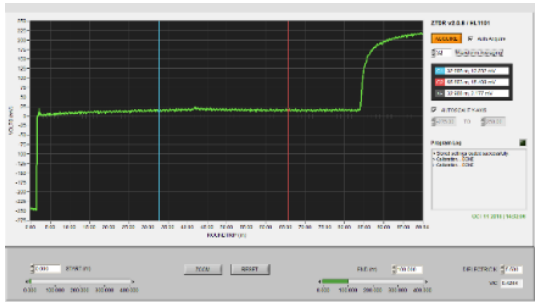


- 位於堆積區之石門觀景台B05-EM地表伸縮計，未監測到明顯變化。

地中活動性監測-TDR地層變位監測

- 利用邊坡滑動造成監測纜線剪動的時候，TDR電磁波會在監測纜線變形處發生訊號反射(Reflection Spike)，系統藉由訊號反射的位置來判斷地滑深度，即時監測邊坡滑動。

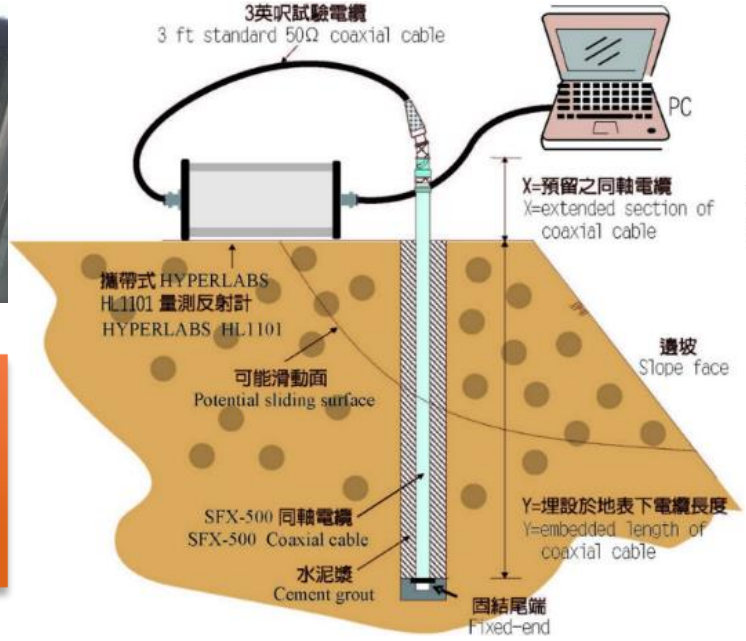
監測點	孔位深(公尺)
N5	50



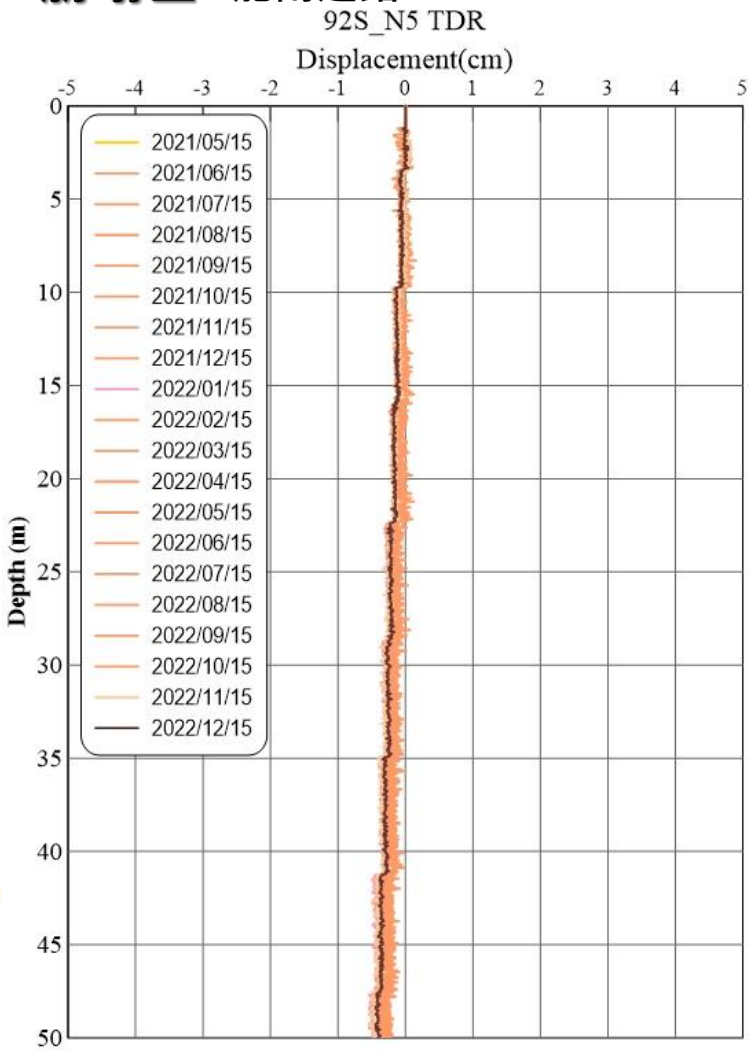




◆可即時了解地層是否產生滑動面。

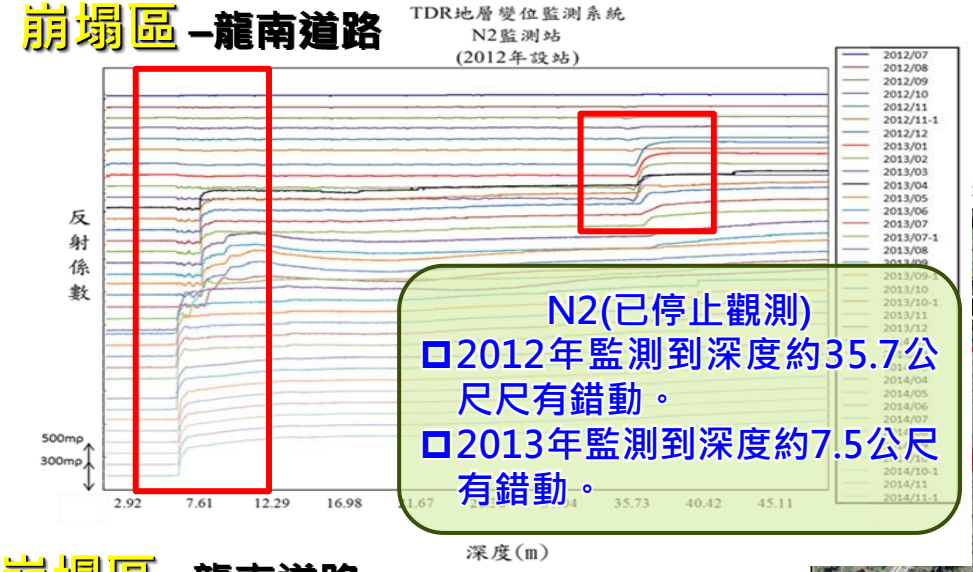


崩塌區–龍南道路



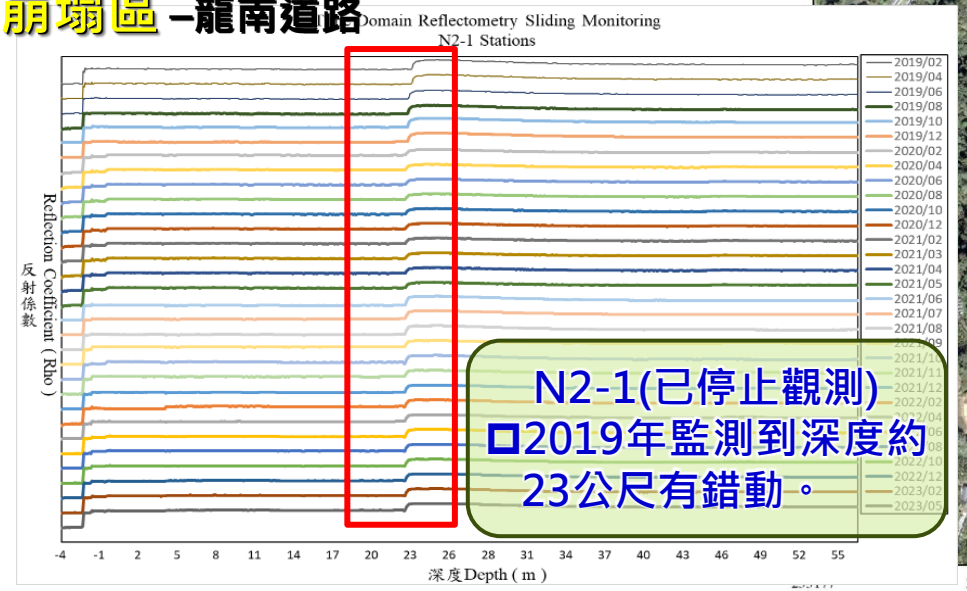
地中活動性監測-TDR地層變位監測

崩塌區 –龍南道路

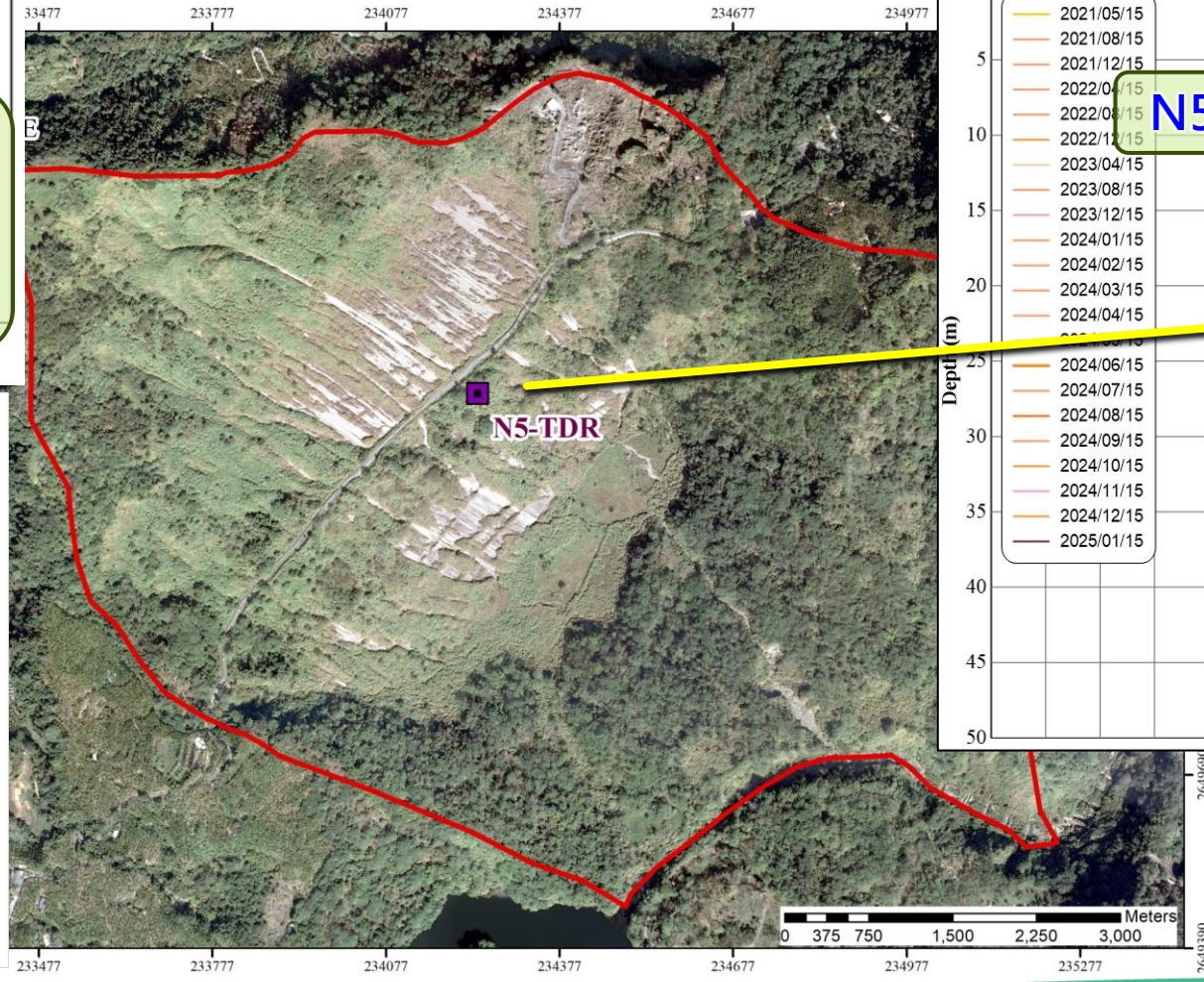


N2(已停止觀測)
□2012年監測到深度約35.7公尺尺有錯動。
□2013年監測到深度約7.5公尺有錯動。

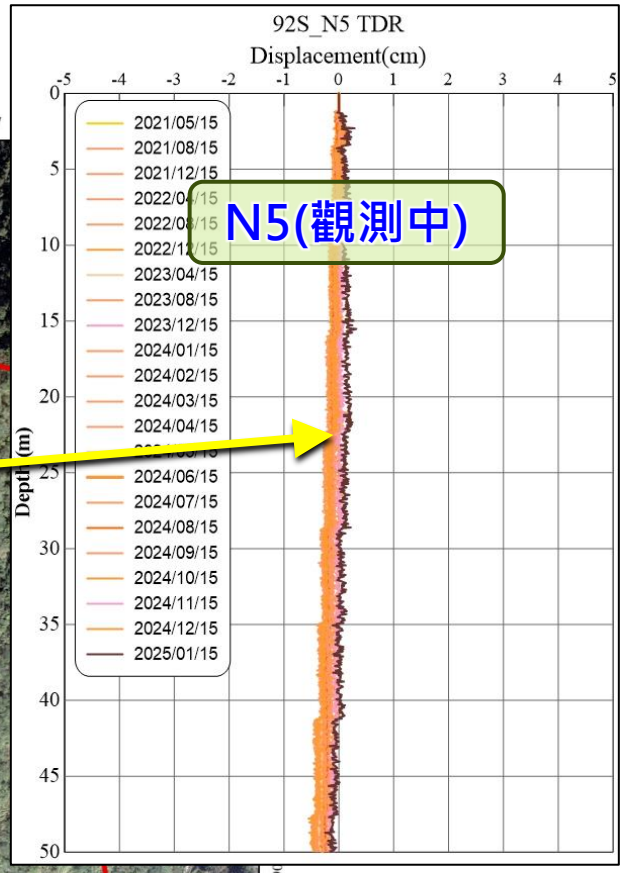
崩塌區 –龍南道路



N2-1(已停止觀測)
□2019年監測到深度約23公尺有錯動。



崩塌區 –龍南道路



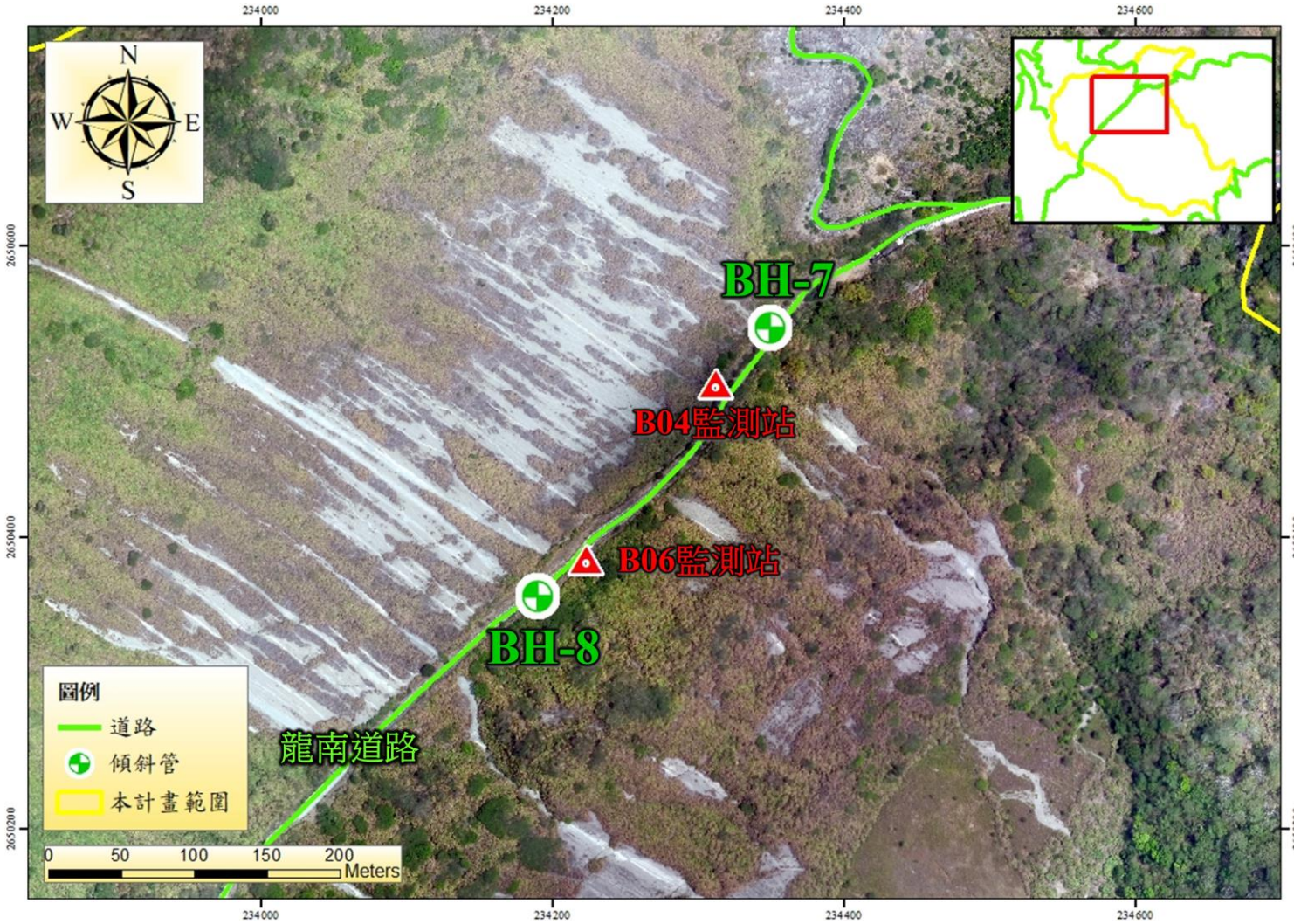
N5(觀測中)

地中活動性監測-地中測傾管

- 進行2處人工「地中測傾管」觀測作業，以了解地層滑動情形。

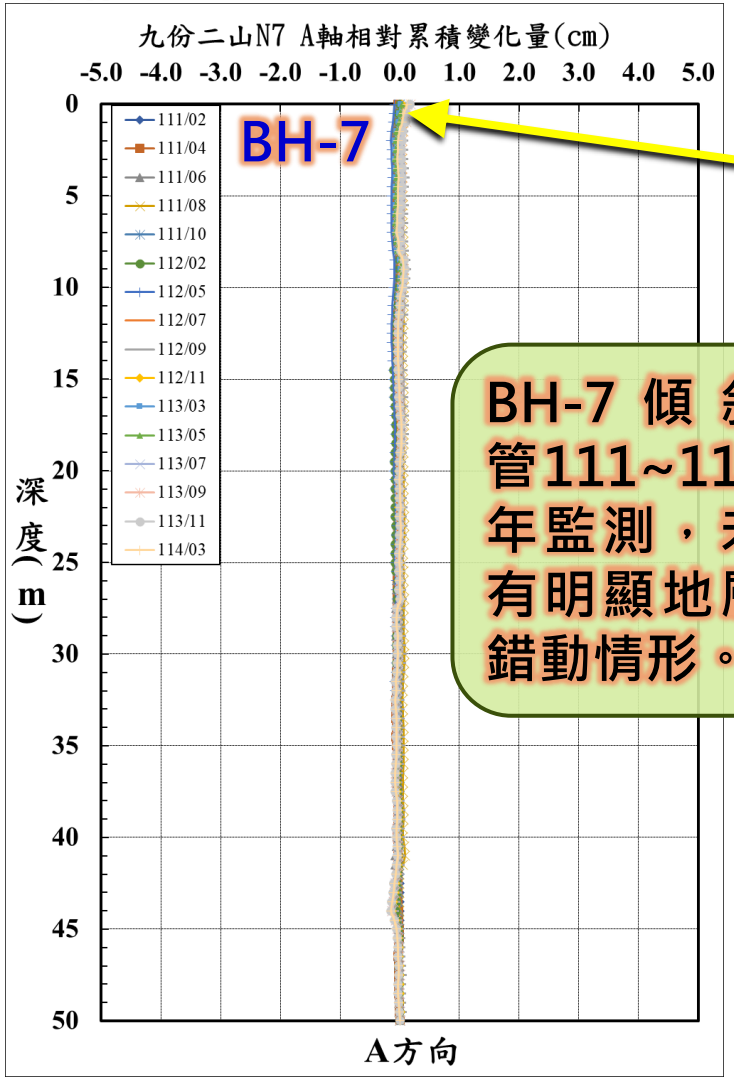
  - **使用RST公司傾斜觀測儀器，觀測九份二山BH-7及BH-8兩孔傾斜管，傾斜觀測管的觀測將採用人工定期擷取的方式來進行。**



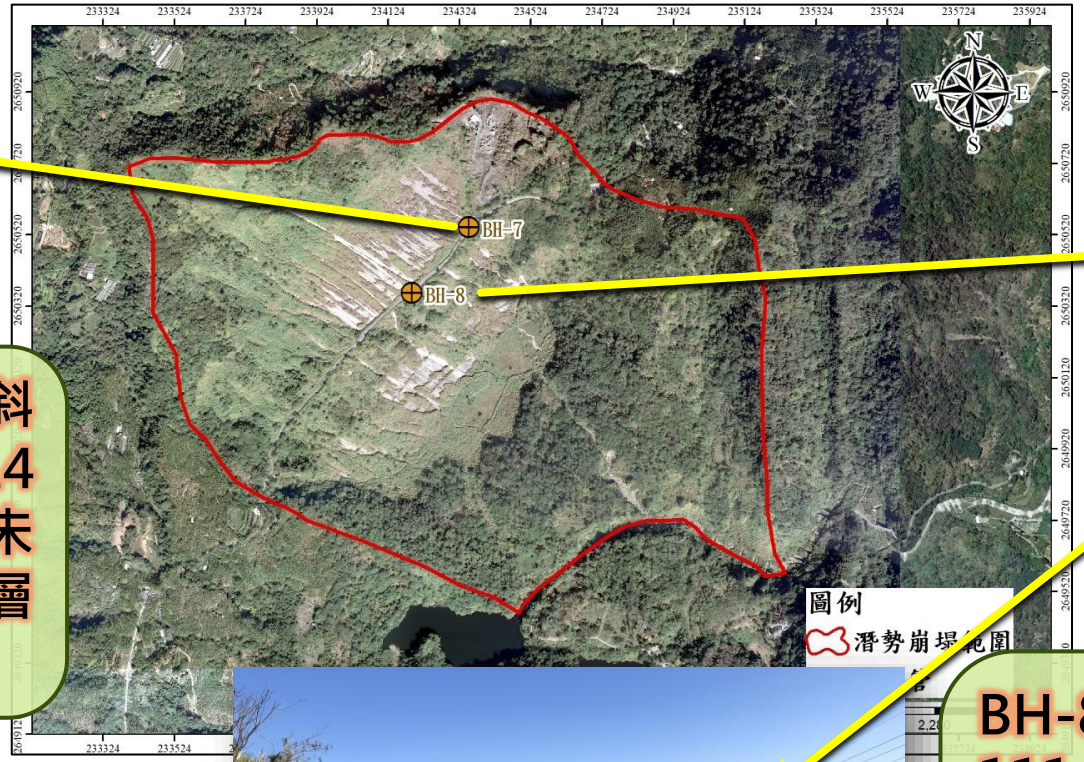


地中活動性監測-地中測傾管

崩塌區 –龍南道路

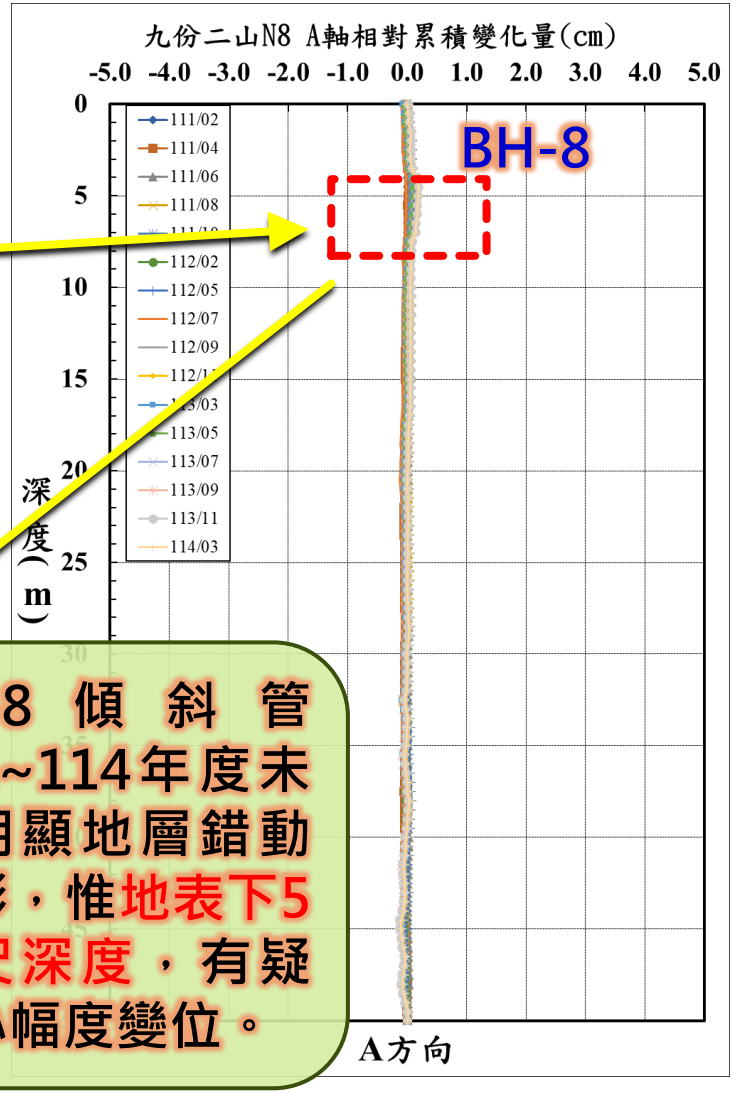


BH-7 傾斜管111~114年監測，未有明顯地層錯動情形。





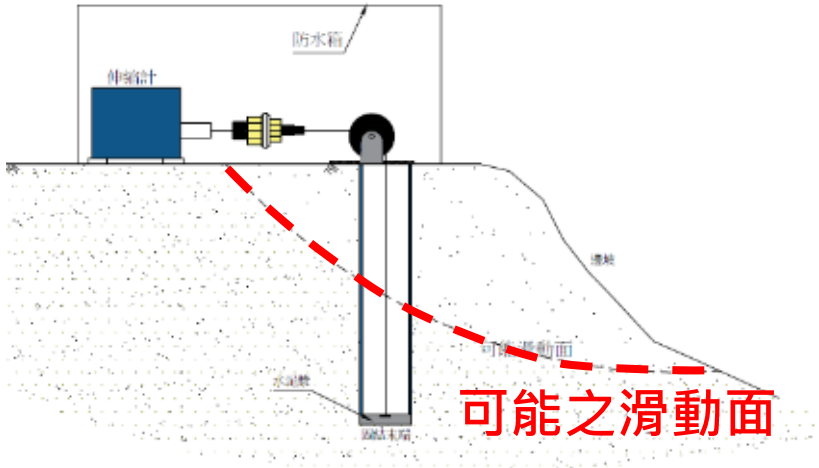
崩塌區 –龍南道路



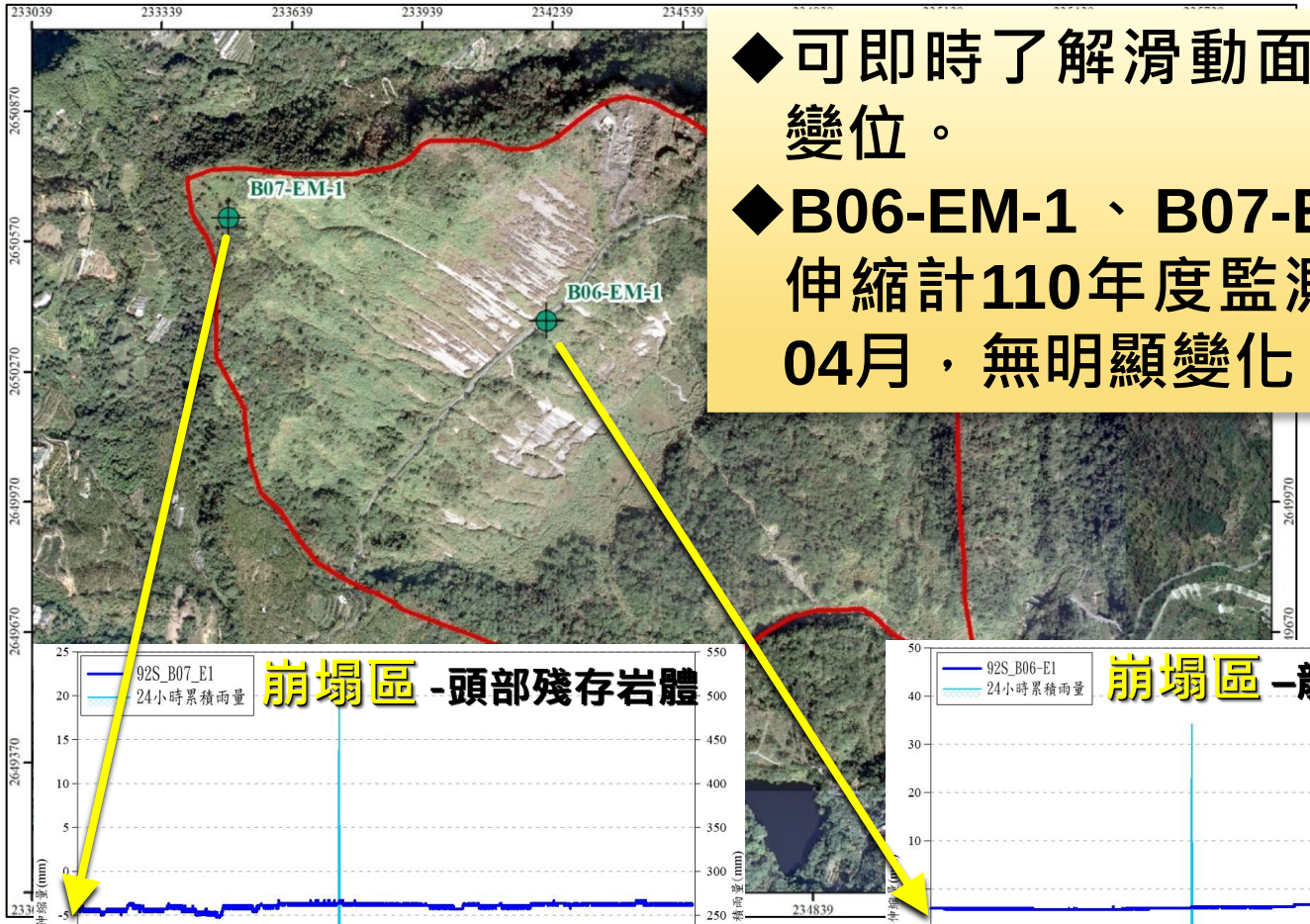
BH-8 傾斜管111~114年度未有明顯地層錯動情形，惟地表下5公尺深度，有疑似小幅度變位。

地中活動性監測-孔內伸縮計

- 利用鑽孔把鋼索一端固定在孔底，另一端在孔口處是自由端並連接變位計，便能自動量測孔口與孔底之間的相對位移。



◆規劃此儀器前，可藉由歷史地中測傾管觀測成果或鑽探岩心報告，了解滑動面可能深度。



◆可即時了解滑動面是否產生變位。

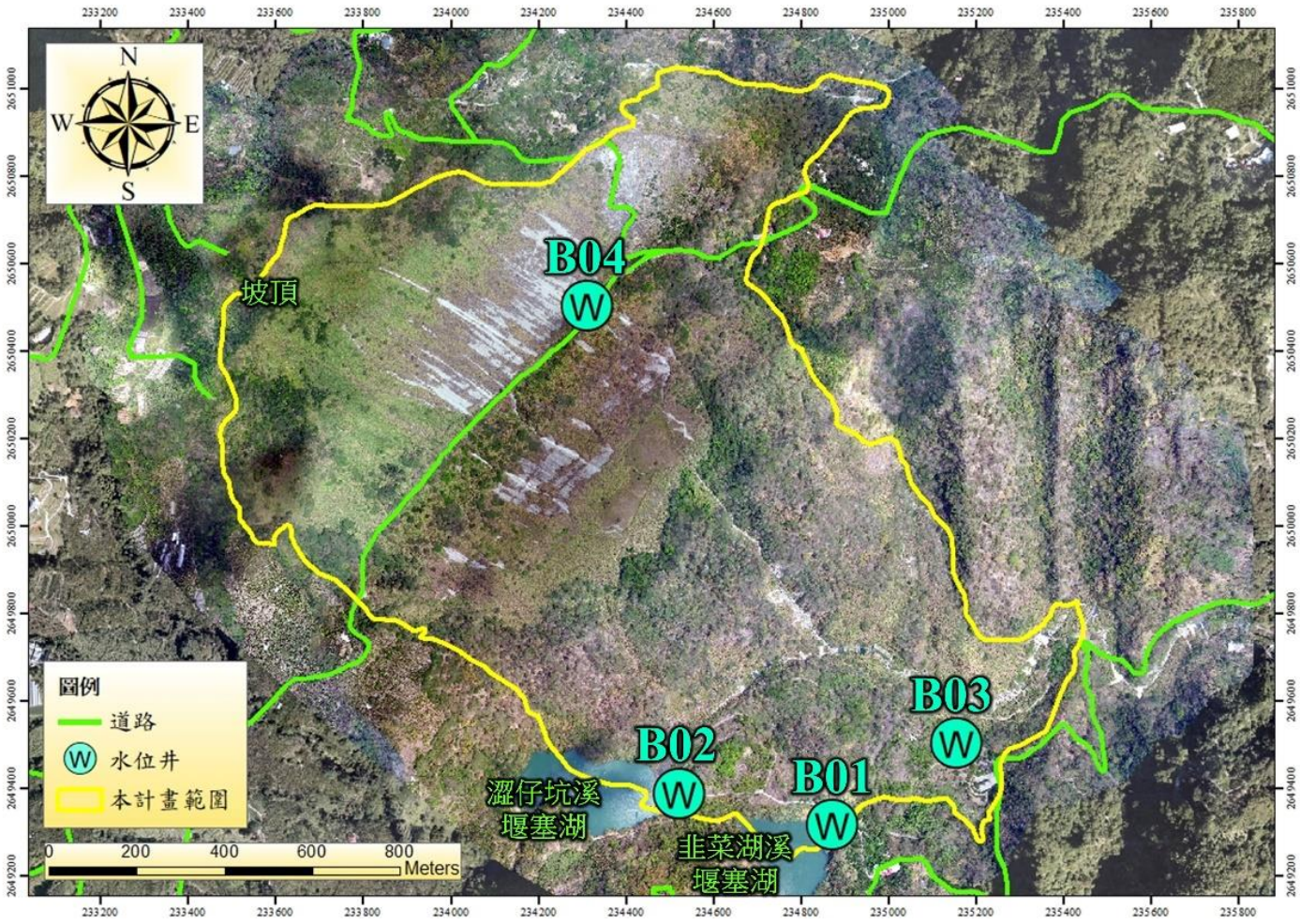
◆B06-EM-1、B07-EM-1孔內伸縮計110年度監測至114年04月，無明顯變化。

活動性監測-地下水位監測

- 九份二山地區自動地下水位計3處，半自動化水位計1處，以了解地下水位升降情形。
- 堰塞湖水位觀測涉及堰塞湖之穩定性與影響下游溢洪道與可能致災之因素，石門觀景台曾發生邊坡沖刷與崩落之災害，因此持續進行監測作業。

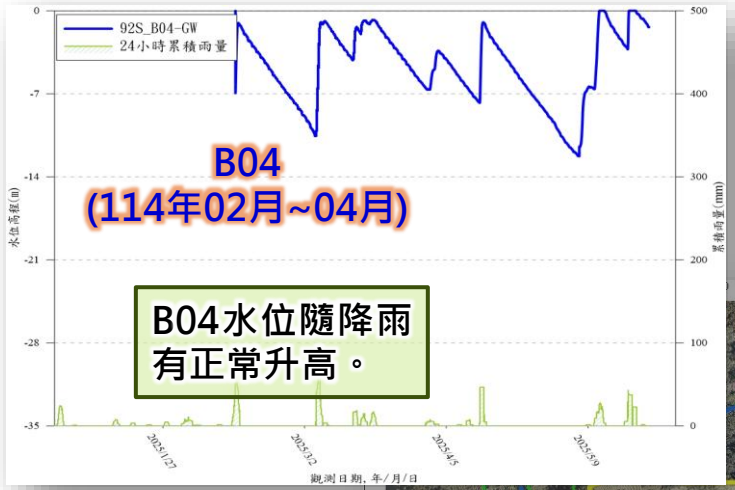


站名	儀器內容	備註
92S_B01	韭菜湖溪堰塞湖水位計1處	2014年設置
92S_B02	澀子坑溪堰塞湖水位計1處	2014年設置
92S_B03	石門觀景台水位計1處	2014年設置
92S_B04	龍南道路水位計1處	2025年設置

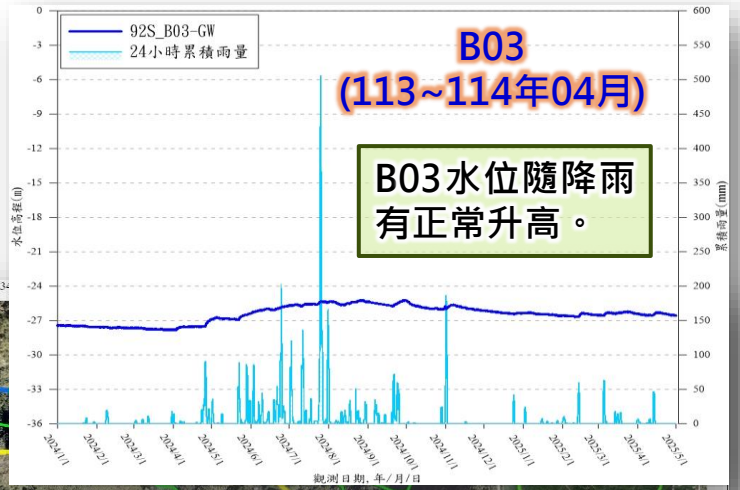


活動性監測-地下水位監測

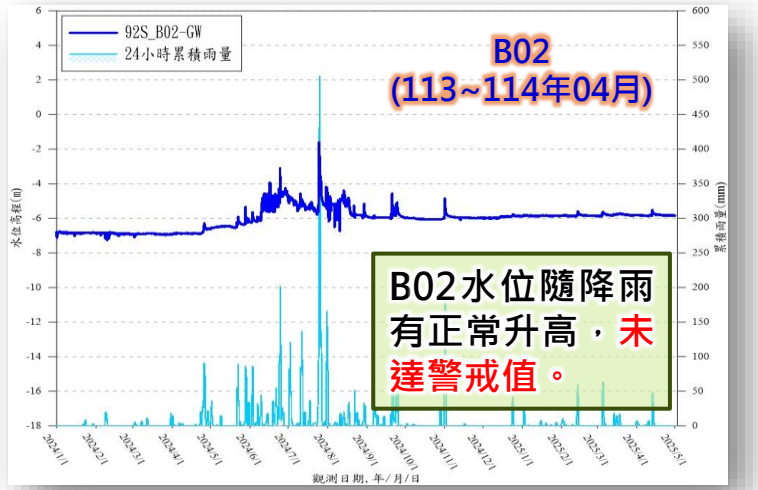
崩塌區 –龍南道路

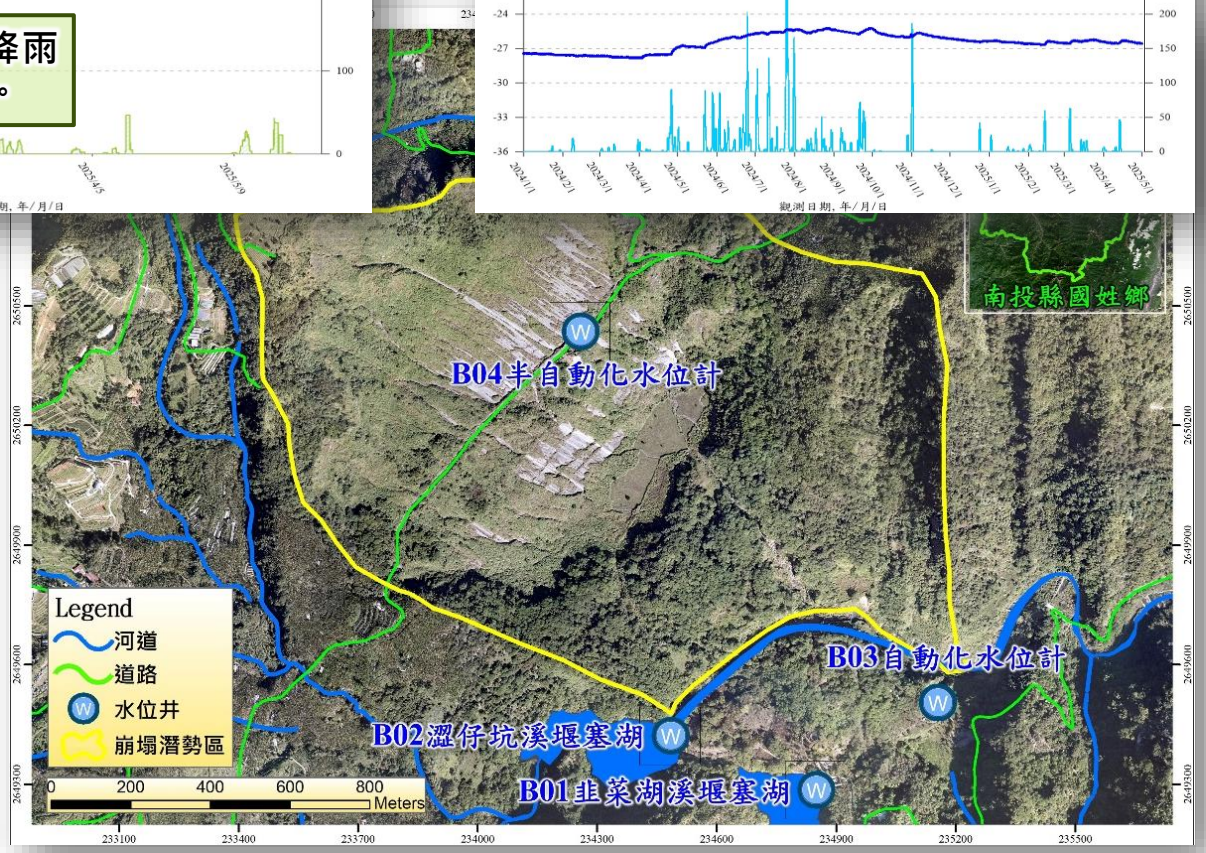


堆積區 –石門觀景台

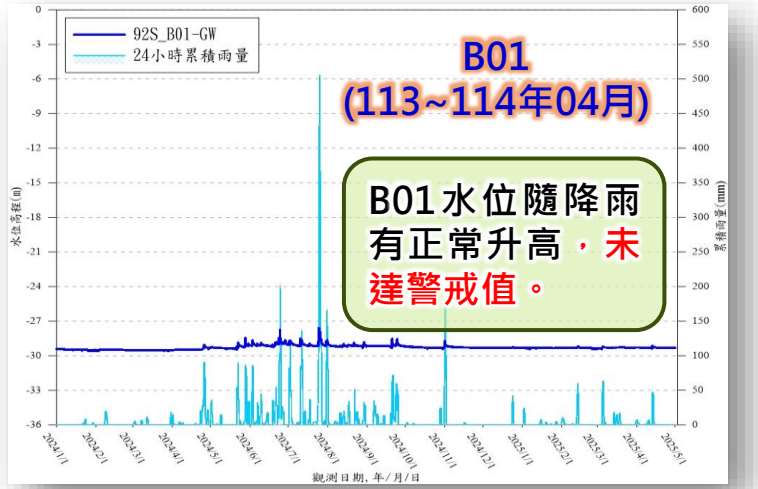


堰塞湖區





堰塞湖區



整治工程







緊急處理-開挖溢洪道

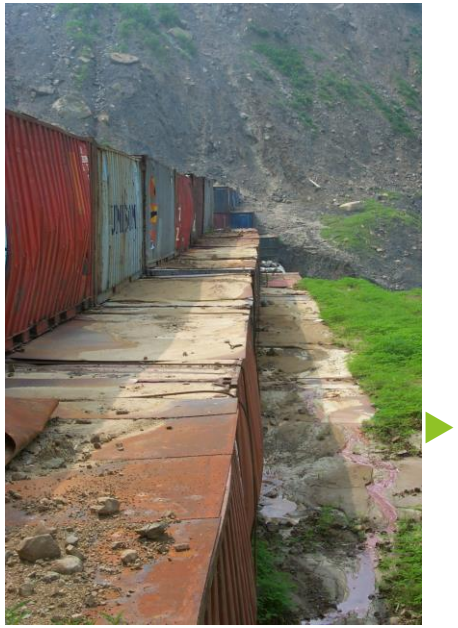
溢洪道長1,450公尺。

33

緊急處理-坡趾壓重工法-臨時貨櫃壩



坡趾壓重工程之貨櫃壩空照圖(89.9) ①坡面滲出水,②貨櫃體變形,③溢流口底面沖刷, ④貨櫃埧基礎部份流失



貨櫃壩在降低溢洪道排水過程中發生了溢流口部份流失破壞









防砂壩設施工程-梳子壩工程

防砂壩設施工程-柱狀透過性潛壩工程

- 因2001年桃芝颱風溢洪道發生向源侵蝕現象，因應土石堆積區脆弱地質特性，本工程透水性是從底部開始整座壩體兼具透水性。



柱狀壩工程施作中(從上游面看)



柱狀壩工程施作中(從下游面看)




利用UAV空拍作業達
到廣域巡檢。

國姓鄉T002(九份二山)地區溢洪道

#8柱狀壩



土石流失、基礎淘空

右岸砌石護岸



基礎淘空、被填土流失
混凝土結構物呈現懸空狀態



國姓鄉T002(九份二山)地區溢洪道



南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)地區工程分布圖

◆治理策略：溢洪道工程基礎補強及區域安全排水

自921地震後，本區進行崩塌地整治工程，建構排水工程及溢洪道設施，順向坡崩塌地受到降雨影響，坡面排水掏刷導致蝕溝廣泛分布，龍南道路坑溝呈現自然渠道狀態；溢洪道高程由長1,450公尺之系列潛壩、防砂壩工程控制，部分工程基礎呈現淘空、懸空狀態，建議辦理溢洪道工程基礎補強及龍南道路排水改善，因此滾動式擬定「溢洪道工程基礎補強及區域安全排水」為本區域治理策略。

工程名稱	工程內容	經費(千元)	執行年度
南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)大規模崩塌特定水土保持區溢洪道補強工程	固床工7座,護岸171.2公尺,壩基保護工7座、維護通道設置4處、隔梁72.3m、混凝土塊施作294個、既有混凝土塊吊運堆排71個	49,000	113
南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)大規模崩塌特定水土保持區溢洪道補強二期工程	固床工2座,護岸89.5公尺,壩基保護工2座、維護通道設置3處、5噸混凝土塊施作吊放126個	20,000	114
南投縣-國姓鄉-T002(九份二山)大規模崩塌特定水土保持區龍南道路排水改善工程	1.排水溝長270m(高1.5m寬1.5m)2.靜水池1處、截水牆8座。	5,000	114



結論與後續課題

九份二山利用各種類型儀器進行監測作業，各儀器之適用性良好，於113年度0403花蓮近海地震及凱米颱風等豪雨期間，地表變位尚小，顯示地層呈現穩定狀態。

堰塞湖水位觀測涉及堰塞湖之穩定性與影響下游溢洪道與可能致災之因素，石門觀景台曾發生邊坡沖刷與崩落之災害，因此持續進行監測作業。

針對全球63個堰塞湖的統計分析(1986)，22%的堰塞湖在形成一天內潰決；10天內潰決的佔一半的比例；83%會在半年內潰決；1年內潰決的佔91%，而九份二山堰塞湖已超過25年，證明了九份二山治理之功效。

維護管理：溢洪道位於堰塞湖下方，其上有重要防砂壩及柱狀壩等工程，待2期補強工程完工後，仍應持續進行維護管理工作。

- 感謝聆聽
- 敬請指教

