

玉區 21 林班崩塌地調查評估委託研究案

成果報告書



委託機關：行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處

執行機關：國 立 陽 明 交 通 大 學

中 華 民 國 110 年 12 月

目錄

目錄.....	I
表目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
照片目錄.....	XIV
摘要.....	XVI
第壹章 前言.....	1-1
一、緣起與目的.....	1-1
二、委託工作項目.....	1-1
(一)資料蒐集與整理.....	1-1
(二)地質調查.....	1-1
(三)航(遙)測分析.....	1-1
(四)折射震測.....	1-2
(五)地質鑽探.....	1-2
(六)崩塌地監測.....	1-2
(七)崩塌地治理對策與建議.....	1-2
三、範圍.....	1-3
四、工作執行流程.....	1-4
五、工作進度.....	1-4
第貳章 資料蒐集與整理.....	2-1
一、地形.....	2-1
二、地質.....	2-5
三、水文.....	2-6
四、土地權屬及利用情形.....	2-13
五、地震.....	2-14
第參章 航(遙)測分析.....	3-1
一、歷年航空照片蒐集與影像處理.....	3-1
二、歷史災害與現況.....	3-3
三、質點影像測速技術分析.....	3-16

第肆章 地表地質調查	4-1
第伍章 折射震測	5-1
一、折射震測剖面佈設	5-1
二、折射震測剖面分析結果	5-5
第陸章 地質鑽探	6-1
一、岩心取樣結果及分析	6-2
二、地質剖面	6-6
三、力學試驗結果	6-8
(一)崩積土三軸壓縮試驗	6-10
(二)崩積土基本物性試驗	6-11
(三)剪裂泥直接剪力試驗	6-12
(四)岩石單軸壓縮強度試驗	6-14
(五)片岩葉理直接剪力試驗	6-15
第柒章 崩塌地監測	7-1
一、崩塌地地體變位觀測系統	7-2
(一)時域反射儀 (TDR) 坡地剪動監測系統	7-2
(二)測傾管及 TDR 同軸纜線共構	7-8
(三)水位觀測井與即時水位監測系統架設	7-13
二、自動觀測與傳輸設施	7-15
三、自動與人工監測結果	7-18
(一) TDR	7-18
(二)水位計	7-28
(三)測傾管	7-30
(四) TDR 剪動量現地標定	7-32
四、GPS 即時監測系統建置	7-34
五、自動示警及展示	7-47
第捌章 崩塌地管、治理對策與建議	8-1
一、邊坡穩定分析	8-1
二、影響範圍評估	8-8

三、堰塞湖情境模擬	8-13
四、管、治理對策與後續建議	8-19
(一)監測警戒基準值訂定評估	8-19
(二)減災管理策略	8-35
(三)減災治理策略	8-39
第玖章 結論與建議	9-1
一、結論	9-1
二、建議	9-2
參考文獻	10-1
附錄 1、審查意見及回覆	1
附錄 2、土地使用分類系統色碼表	24
附錄 3、歷年正射影像	26
附錄 4、現地調查紀錄表	34
附錄 5、崩塌地位移監測現況	45
附 5.1 崩塌地監測方法	45
附 5.2 崩塌地監測現況	48
附錄 6、玉區 21 林班崩塌地調查評估緊急說明會	53
附錄 7、教育訓練	79

表目錄

表 1-1 各期報告提送期程、內容及已完成工作	1-5
表 1-2 工作進度表	1-7
表 2-1 雨量站基本資訊	2-7
表 2-2 2016-2021 年間颱風與豪雨期間內各雨量站累積雨量	2-8
表 2-3 花蓮縣紅葉(EHYH)即時觀測站地震事件表	2-15
表 3-1 人工抽樣品質檢驗	3-19
表 3-2 工寮南端屋角位移量結果表	3-35
表 5-1 地球物理探測測線規劃說明表	5-2
表 6-1 地質鑽探孔位位置、深度與監測設備	6-1
表 6-2 各孔鑽探岩心判釋結果表	6-5
表 6-3 崩積土三軸試驗結果表	6-10
表 6-4 基本物理性質結果	6-11
表 6-5 阿太堡指數結果	6-11
表 6-6 篩分析結果	6-11
表 6-7 剪裂帶土壤直接剪力試驗結果表	6-12
表 6-8 岩石單軸壓縮強度試驗結果表	6-14
表 7-1 GPS 設備規格	7-37
表 7-2 BH1、BH2 及 BH4 109 年 10 月 18 日至 20 日即時差分結果	7-41
表 7-3 影像監視系統及規格	7-48
表 8-1 邊坡穩定分析材料參數表	8-3
表 8-2 局部與整體邊坡穩定分析結果表	8-4
表 8-3 崩塌體積與運移距離	8-11
表 8-4 50 年重現期流量計算表	8-18
表 8-5 各級解除警戒值與發布警戒值標準	8-27
表 8-6 各級警戒值發佈、解除與應變方式	8-27
表 8-7 圓規颱風期間時間、累積雨量、有效累積雨量、速率、加速率變化	8-29
表 8-8 各級解除警戒值與發布警戒值標準	8-33

表 8-9 各級警戒值發佈、解除與應變方式8-34

圖目錄

圖 1-1 大規模崩塌潛勢區花蓮縣瑞穗鄉 D024 範圍與玉區 21 林班崩塌地 (崩塌地為 2019/05/30 空拍正射影像，區域為 2017/08/12 航照正射影 像).....	1-3
圖 1-2 工作執行流程圖.....	1-4
圖 2-1 D024 潛勢區地形圖(產自 2015 年光達數值高程模型).....	2-2
圖 2-2 D024 潛勢區地形及坡度陰影圖 (產自 2015 年光達數值高程模型).2- 3	
圖 2-3 D024 潛勢區坡向及坡度分類圖.....	2-3
圖 2-4 D024 潛勢區水系圖(產自 2015 年光達數值高程模型).....	2-4
圖 2-5 玉區 21 林班崩塌地光達坡度圖和判釋(產自 2015 年光達數值高程 模型).....	2-4
圖 2-6 瑞穗鄉-D024 潛勢區之初步調查地質圖	2-5
圖 2-7 本崩塌地鄰近雨量站位置(圖資:內政部國土測繪中心-圖資服務雲)	2-7
圖 2-8 立山雨量站月累積降雨紀錄(設站開始 2005 年至 2021 年).....	2-8
圖 2-9 2016 年 7 月尼伯特颱風雨量分佈情形。(A) 尼伯特颱風(2016/7/6- 7/9)累積降雨分佈圖(圖來源:國家災害防救科技中心災害防救電子 報, 2016)。(B) 各雨量站 2016 年 7 月份降雨紀錄(資料來源:中央氣象 局颱風資料庫).....	2-9
圖 2-10 2016 年 9 月莫蘭蒂颱風雨量分佈情形。(A) 莫蘭蒂颱風 (2016/9/13-9/15)台灣地區累積降雨分佈圖(圖來源:國家災害防救科技 中心災害防救電子報, 2016)。(B) 各雨量站 2016 年 9 月份降雨紀錄 (資料來源:中央氣象局颱風資料庫).....	2-9
圖 2-11 2016 年 10 月艾利颱風雨量分佈情形。(A) 艾利颱風(2016/10/05- 10/11)台灣地區累積降雨分佈圖(圖來源:國家災害防救科技中心災害 防救電子報, 2016).....	2-10
圖 2-12 2017 年 1011 豪雨事件(2017/10/11-10/15)台灣地區累積降雨分析 圖。(圖來源:國家災害防救科技中心災害防救電子報, 2017).....	2-10

圖 2-13	2019 年 8 月白鹿颱風雨量分佈情形。(A)白鹿颱風(2019/8/23-8/27)台灣地區日累積降雨分析圖(圖來源：國家災害防救科技中心災害防救電子報，2019)。(B) 各雨量站 2019 年 8 月份降雨紀錄(資料來源:中央氣象局颱風資料庫).....	2-11
圖 2-14	2021 年 10 月圓規颱風雨量分佈情形。(A)圓規颱風(2021/10/11)台灣地區日累積降雨分析圖(圖來源：中央氣象局)。(B) 立山站 2021 年 10 月份降雨紀錄(資料來源:中央氣象局颱風資料庫).....	2-11
圖 2-15	2016-2021 年間颱風路徑圖(資料來源:中央氣象局颱風資料庫)..	2-12
圖 2-16	D024 潛勢區調查範圍土地利用情形。(a) D024 潛勢區調查範圍土地利用情形、(b)玉里第 21 林班區範圍.....	2-13
圖 2-17	玉區 21 林班崩塌地與紅葉即時觀測站(底圖來源：衛星影像) ..	2-15
圖 2-18	花蓮縣紅葉(EHYH)即時觀測站震度 4 級以上地震之最大水平加速度紀錄 (2005 年至 2021 年).....	2-16
圖 2-19	花蓮縣紅葉(EHYH)即時觀測站 2013 年 10 月 31 日震度 6 級之垂直、南北、東西向地動加速度歷時記錄.....	2-17
圖 2-20	花蓮縣紅葉(EHYH)即時觀測站 2021 年 04 月 18 日震度 3 級之垂直、南北、東西向地動加速度歷時記錄.....	2-17
圖 2-21	花蓮縣紅葉(EHYH)即時觀測站 2021 年 04 月 18 日震度 4 級之垂直、南北、東西向地動加速度歷時.....	2-18
圖 3-1	航空照片判釋流程圖.....	3-2
圖 3-2	D024 潛勢區歷史航照與衛星影像.....	3-4
圖 3-3	2019 年 5 月 30 日空拍正射影像(林務局，2019).....	3-7
圖 3-4	2020 年 3 月 24 日空拍正射影像(本計畫成果).....	3-8
圖 3-5	2020 年 5 月 4 日空拍正射影像(本計畫成果).....	3-9
圖 3-6	2020 年 7 月 7 日空拍正射影像(本計畫成果).....	3-10
圖 3-7	2020 年 10 月 25 日空拍正射影像(本計畫成果).....	3-11
圖 3-8	2021 年 2 月 14 日空拍正射影像(本計畫成果).....	3-12
圖 3-9	2021 年 6 月 18 日空拍正射影像(本計畫成果).....	3-13

圖 3-10	2021 年 10 月 3 日空拍正射影像(本計畫成果).....	3-14
圖 3-11	2021 年 10 月 15 日空拍正射影像(本計畫成果).....	3-15
圖 3-12	本坡地崩塌面積與雨量、地震關係圖	3-16
圖 3-13	PIV 尋找位移量之示意圖	3-17
圖 3-14	2019 年 5 月 30 日與 2020 年 3 月 24 日兩期數值地表模型之 PIV 成果(以 2019 年 5 月 30 日正射影像為底圖).....	3-21
圖 3-15	2019 年 5 月 30 日與 2020 年 3 月 24 日兩期數值地表模型之 PIV 成果(以 2020 年 3 月 24 日正射影像為底圖).....	3-22
圖 3-16	2020 年 3 月 24 日與 2020 年 5 月 4 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2020 年 3 月 24 日正射影像為底圖).....	3-23
圖 3-17	2020 年 3 月 24 日與 2020 年 5 月 4 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2020 年 5 月 4 日正射影像為底圖).....	3-24
圖 3-18	2020 年 5 月 4 日與 2020 年 7 月 7 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2020 年 5 月 4 日正射影像為底圖).....	3-25
圖 3-19	2020 年 5 月 4 日與 2020 年 7 月 7 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2020 年 7 月 7 日正射影像為底圖).....	3-26
圖 3-20	2020 年 7 月 7 日與 2020 年 10 月 25 日兩期數值地表模型之 PIV 成果(以 2020 年 7 月 7 日正射影像為底圖).....	3-27
圖 3-21	2020 年 7 月 7 日與 2020 年 10 月 25 日兩期數值地表模型之 PIV 成果(以 2020 年 10 月 25 日正射影像為底圖).....	3-28
圖 3-22	2020 年 10 月 25 日與 2021 年 2 月 14 日兩期數值地表模型之 PIV 成果(以 2020 年 10 月 25 日正射影像為底圖).....	3-29
圖 3-23	2020 年 10 月 25 日與 2021 年 2 月 14 日兩期數值地表模型之 PIV 成果(以 2021 年 2 月 14 日正射影像為底圖)	3-30
圖 3-24	2021 年 2 月 14 日與 2021 年 6 月 18 日兩期數值地表模型之 PIV 成果(以 2021 年 2 月 14 日正射影像為底圖).....	3-31
圖 3-25	2021 年 2 月 14 日與 2021 年 6 月 18 日兩期數值地表模型之 PIV 成果(以 2021 年 6 月 18 日正射影像為底圖).....	3-32
圖 3-26	2021 年 6 月 18 日與 2021 年 10 月 15 日兩期數值地表模型之	

PIV 成果(以 2021 年 6 月 18 日正射影像為底圖)	3-33
圖 3-27 2021 年 6 月 18 日與 2021 年 10 月 15 日兩期數值地表模型之 PIV 成果(以 2021 年 10 月 15 日正射影像為底圖).....	3-34
圖 3-28 本坡地累積位移與雨量、地震關係圖	3-36
圖 4-1 地表地質調查軌跡(箭頭標示以下照片拍攝方向及編號).....	4-2
圖 4-2 本計畫調查區域之地表地質圖	4-14
圖 4-3 地表地質調查不連續面量測，(左)葉理位態，(右)節理位態	4-15
圖 4-4 調查區域(左)葉理與(右)節理位態之赤平圖(大圓、極點分布與玫瑰 圖).....	4-16
圖 4-5 AA'與 BB'初步地質剖面	4-16
圖 5-1 折射震測剖面測線規劃圖(2020.05.04 空拍正射影像).....	5-1
圖 5-2 折射波震測原理示意圖.....	5-3
圖 5-3 折射法震源與受波器示意圖(以 7 點法為例)	5-4
圖 5-4 初達波走時曲線挑選.....	5-5
圖 5-5 R1 測線之折射震測剖面	5-6
圖 5-6 R2 測線之折射震測剖面	5-7
圖 5-7 R3 測線之折射震測剖面	5-7
圖 5-8 折射震測剖面(R1)與推估之滑動面(紅色虛線).....	5-8
圖 6-1 鑽孔及地質剖面位置圖.....	6-2
圖 6-2 鑽孔地質柱狀圖.....	6-2
圖 6-3 AA'與 BB'地質剖面圖	6-7
圖 6-4 邊坡可能破壞機制與獲得力學參數之對應室內試驗	6-8
圖 6-5 崩積土三軸壓密不排水(CU test)試驗結果.....	6-10
圖 6-6 舞鶴崩塌地土壤粒徑分佈曲線	6-12
圖 6-7 剪裂泥之剪應力對水平位移圖	6-13
圖 6-8 剪裂泥之破壞包絡線.....	6-13
圖 6-9 舞鶴崩塌地岩心單壓結果	6-14
圖 6-10 片岩葉理之剪力強度.....	6-15
圖 7-1 監測設備位置分布圖.....	7-2

圖 7-2 TDR 量測系統示意圖.....	7-3
圖 7-3 TDR 量測系統與訊號傳遞接收示意圖	7-3
圖 7-4 TDR 變形監測之反射訊號與原理	7-4
圖 7-5 TDR 錯動變形量化分析方法.....	7-5
圖 7-6 TDR 剪動監測纜安裝標準流程.....	7-6
圖 7-7 測傾管與 TDR 共構裝設示意圖	7-9
圖 7-8 水位計安裝示意圖.....	7-14
圖 7-9 自動傳輸系統架構圖.....	7-16
圖 7-10 自動傳輸系統架構圖 (TDR 主站撤站後)	7-16
圖 7-11 BH1-TDR 監測波形 (纜線完全剪斷前): (a)原始波形, (b)與初始 值之差異波形, (c)剪動位置放大圖 (截至 109/05/29).....	7-19
圖 7-12 BH1-TDR 特定滑動深度之最大反射係數變化歷史曲線	7-19
圖 7-13 BH1-TDR 監測波形 (纜線完全剪斷後): (a)原始波形, (b)與初始 值之差異波形 (截至 109/10/20).....	7-20
圖 7-14 BH3-TDR 監測波形 (纜線完全剪斷前): (a)原始波形, (b)與初始 值之差異波形, (c)剪動位置放大圖 (截至 109/06/22)	7-22
圖 7-15 BH3-TDR 特定滑動深度之最大反射係數變化歷史曲線	7-22
圖 7-16 BH3-TDR 監測波形 (纜線完全剪斷後): (a)原始波形, (b)與初始 值之差異波形, (c)剪動位置放大圖 (截至 109/06/22)	7-23
圖 7-17 BH4-TDR 監測波形 (纜線完全剪斷前): (a)原始波形, (b)與初始 值之差異波形, (c)剪動位置放大圖 (截至 109/07/14)	7-26
圖 7-18 BH4A-TDR 監測波形 (纜線完全剪斷前): (a)原始波形, (b)與初始 值之差異波形, (c)剪動位置放大圖 (截至 109/08/02)	7-26
圖 7-19 (a) BH4-TDR, (b) BH4A-TDR 於 37.16m 最大反射係數變化歷史曲 線.....	7-27
圖 7-20 D024 TDR 監測孔自纜線埋設後測得最大反射係數變化歷史曲線	7-27
圖 7-21 BH2-WL 地下水位歷史曲線與時雨量圖 (截至 2021/10/23) ...	7-29
圖 7-22 BH4-Inclinometer(測傾管)之 AB 軸合向量位移圖.....	7-31

圖 7-23	BH4-Inclinometer 位移曲線變化，A-A 向與 B-B 向	7-31
圖 7-24	(a) BH4-TDR 利用共構測傾管位移剖面標定量化關係，(b) BH4-TDR 於地下 37.16m 處透過(a)量化公式推估之現地最大地中位移量 (截至 109/07/15)	7-33
圖 7-25	各孔 TDR 監測孔位移曲線	7-33
圖 7-26	GPS 監測點位分布圖	7-35
圖 7-27	即時動態定位服務(RTK)示意圖	7-36
圖 7-28	網路即時動態定位服務(RTK)示意圖	7-36
圖 7-29	主站 2 109 年 10 月 19 日透空圖	7-39
圖 7-30	BH1 監測站 109 年 10 月 19 日透空圖	7-40
圖 7-31	BH2 監測站 109 年 10 月 19 日透空圖	7-40
圖 7-32	BH4 監測站 109 年 10 月 19 日透空圖	7-41
圖 7-33	BH4 位移速率 1 日移動平均	7-43
圖 7-34	BH4 位移速率 3 日移動平均	7-43
圖 7-35	BH4 位移速率 7 日移動平均	7-44
圖 7-36	BH1 監測站平面位移速率與日累積雨量分布圖	7-44
圖 7-37	監測站平面累積位移與日累積雨量分布圖(自 2020/8/31 至 2021/10/27)	7-44
圖 7-38	BH2 監測站平面位移速率與日累積雨量分布圖	7-45
圖 7-39	監測站平面累積位移與日累積雨量分布圖(自 2020/8/31 至 2021/10/27)	7-45
圖 7-40	BH4 監測站平面位移速率與日累積雨量分布圖	7-45
圖 7-41	BH4 監測站累積位移與日累積雨量分布圖(自 2020/8/28 至 2021/10/27)	7-45
圖 7-42	各項位移監測結果(BH4)與地下水位(BH2)及雨量關係圖	7-46
圖 7-43	攝影機裝設位置圖	7-47
圖 7-44	現場設備資訊流架構圖	7-48
圖 8-1	邊坡穩定分析 AA'剖面圖與鑽孔監測滑動面位置	8-3
圖 8-2	依監測結果反算分析之安全係數	8-3

圖 8-3 常時地下水位邊坡穩定分析結果	8-5
圖 8-4 暴雨情境邊坡穩定分析結果	8-6
圖 8-5 地震情境邊坡穩定分析結果	8-7
圖 8-6 本崩塌地之崩塌來源區	8-8
圖 8-7 本崩塌地運移路徑	8-9
圖 8-8 本崩塌地左側運移路徑剖面圖與抵達角法結果	8-10
圖 8-9 本崩塌地主運移路徑剖面圖與抵達角法結果	8-10
圖 8-10 本崩塌地右側運移路徑剖面圖與抵達角法結果	8-10
圖 8-11 本崩塌地影響範圍	8-11
圖 8-12 RAMMS 分析之本崩塌地影響範圍	8-12
圖 8-13 本崩塌地影響範圍(1/25000 地形圖)	8-12
圖 8-14 天然壩地形分布圖	8-13
圖 8-15 天然壩堆積深度分布圖	8-14
圖 8-16 天然壩地形因子	8-14
圖 8-17 天然壩集水面積範圍	8-15
圖 8-18 立山雨量站歷年年降雨量分布圖	8-16
圖 8-19 壩體形成前後谿線比較圖	8-18
圖 8-20 邊坡變形破壞曲線(Saito,1960)	8-21
圖 8-21 二期潛變破壞時間之預測	8-22
圖 8-22 三期潛變崩塌時刻圖解法	8-22
圖 8-23 以精密預測法預測崩塌時刻的案例	8-23
圖 8-24 移動速度倒數之歷時變化	8-24
圖 8-25 應變之計算方法	8-25
圖 8-26 應變與應變速率之關係	8-25
圖 8-27 應變之斜面長度	8-26
圖 8-28 圓規颱風 2021 年 10 月 10 日至 2021 年 10 月 18 日平面位移速率 圖	8-29
圖 8-29 圓規颱風 2021 年 10 月 10 日至 2021 年 10 月 18 日平面加速率圖	8-30

圖 8- 30 BH1 應變與應變速之關係(自 2020/8/31 至 2021/10/24).....	8-30
圖 8- 31 BH2 應變與應變速之關係(自 2020/8/31 至 2021/10/24).....	8-31
圖 8- 32 BH4 應變與應變速之關係(自 2020/8/31 至 2021/10/24).....	8-31
圖 8- 33 本崩塌地影響範圍及警示牌示位置	8-35
圖 8- 34 預估崩塌影響範圍套疊國有林地與原住民保留地	8-36
圖 8- 35 預估崩塌影響範圍套疊地籍圖	8-36
圖 8- 36 LINE 通訊群組之監測數據發布情形(以 2021 年 10 月圓規颱風為 例).....	8-37
圖 8- 37 LINE 通訊群組圓規颱風期間每 4 小時發佈一次監測數據 (00:00、04:00、08:00, 12:00、16:00、20:00)	8-38
圖 8- 38 玉里 21 林班地監測速報	8-38
圖 8- 39 既有減災工程佈置圖.....	8-39
圖 8- 40 既有減災工程之工項及佈置圖	8-40

照片目錄

照片 3-1 立體像對判釋設備.....	3-2
照片 4-1 崩崖與左右翼空拍圖.....	4-3
照片 4-2 崩崖面空拍照，中間出露大面積岩盤.....	4-3
照片 4-3 崩崖面出露岩盤，以片岩為主.....	4-4
照片 4-4 崩崖岩盤露頭近照，岩性為砂質片岩與泥質片岩.....	4-4
照片 4-5 右翼岩盤出露露頭，呈階梯狀.....	4-5
照片 4-6 右翼地形，落差高約 15m，水平滑移距離約 28m.....	4-6
照片 4-7 左翼地形，以崩積物為主，落差與水平滑移距離皆較右翼小..	4-6
照片 4-8 左翼下端砂質片岩露頭，呈圓弧表面並具有擦痕與裂痕.....	4-7
照片 4-9 工寮外觀.....	4-8
照片 4-10 工寮附近平台上一處裂縫.....	4-8
照片 4-11 工寮內部裂縫，竹竿長為裂縫深度.....	4-9
照片 4-12 工寮內部裂縫密布與屋內家具倒塌.....	4-9
照片 4-13 左側趾部崩塌，崩積物堆積於蝕溝.....	4-10
照片 4-14 左側趾部崩塌下蝕溝內滲水點位置.....	4-10
照片 4-15 右側趾部崩塌，崩積物堆積於坡面與趾部(紅框為岩盤).....	4-11
照片 4-16 右側趾部崩塌，崩積物堆積於坡面與趾部(紅框為岩盤).....	4-11
照片 4-17 坡趾溪床上之取水口已遭大量崩積岩塊覆蓋.....	4-12
照片 4-18 溪床左岸(北側)岩盤出露緩傾角葉理之砂質片岩露頭.....	4-12
照片 6-1 陽明交通大學岩石力學試驗相關儀器.....	6-9
照片 7-1 BH1-TDR 監測纜線埋設完成照.....	7-7
照片 7-2 BH3-TDR 監測纜線埋設完成照.....	7-8
照片 7-3 TDR 纜線末端防水處理.....	7-10
照片 7-4 測傾管與 TDR 同軸纜線於連接器固定.....	7-11
照片 7-5 測傾管連接程序.....	7-11
照片 7-6 測傾管及 TDR (BH4-TDR)共構埋設完成照片.....	7-12
照片 7-7 置於測傾管內之 TDR 纜線(BH4A-TDR)埋設完成照片.....	7-12
照片 7-8 BH2-WL 即時自計式水位計測站.....	7-14

照片 7- 9 Station-BH1 自動化觀測主站與太陽能電源模組	7-17
照片 7- 10 Station-BH4 自動化觀測主站與太陽能電源模組	7-17
照片 7- 11 PMG2 雙頻接收器及天線	7-37
照片 7- 12 主站及各監測站設置現況	7-38
照片 7- 13 2021 年 10 月 29 日 10 點 25 分監控影像	7-49

摘要

本崩塌地位於林務局花蓮處玉里事業區 21 林班地，亦位於中央地質調查所之大規模崩塌潛勢區花蓮縣-瑞穗鄉-D024 內。2017 年 10 月 11 日豪雨事件導致本坡地坡趾兩處原有崩塌擴大，冠部產生裂隙，自 2017 年 10 月至 2019 年 4 月冠部裂隙持續擴大，長度約 30 公尺，寬度最寬約 40 公尺。2021 年 10 月 15 日圓規颱風，主崩崖落差最大約有 40 公尺，降雨後崩塌擴大左右趾部連通且向後產生漸進式的破壞。

根據地質調查結果，本計畫調查範圍內岩性以片岩為主，並可分為砂質片岩與泥質片岩。由露頭量測片岩葉理與節理，根據位態分析結果顯示，葉理平均位態為傾向 118° 與傾角 18° ，與崩塌地滑移方向頗為一致，使岩體易順著葉理下滑而不利於邊坡穩定。高角度節理組共有兩組，最優勢節理走向為 108° - 288° ，與左翼走向相近。第二優勢節理走向為 165° - 345° ，與右翼走向相近，互相略呈斜交，此兩組高角度節理皆有利於雨水入滲至岩層內部。

整合折射震測剖面、地質鑽探與材料力學實驗結果，本崩塌地滑動體以破碎岩體為主，滑動面深度約 35m，其滑動面受葉理起伏影響，呈現不規則型滑動。介於滑動體下方存在一剪裂帶，由灰黑色泥層與岩屑所構成，應受泥層剪切強度低所影響，使滑動體可持續下滑。進一步進行邊坡穩定分析，研判本區未來可能發生的邊坡破壞機制為：(1)破碎岩體沿著滑動面一次性大規模崩滑；(2)邊坡趾部局部破壞並向上擴展。

本崩塌地之監測情形說明如下：地中變位監測時域反射儀變形量測電纜線(TDR)與測傾管之結果顯示：BH1 於安裝後 8 天剪斷纜線，剪切面深度位於 12.82m，BH3 於安裝後 5 天剪斷纜線，剪切面深度位於 35.79m，BH4 於安裝後 14 天剪斷纜線，剪切面深度位於 37.16m。BH4 測傾管於 37.5m 剪動，觀測到的滑動面位於剪裂帶內。在各孔監測期間並無出現顯著降雨或地震事件。整體而言，本崩塌地滑動方向約為東南向(144°)，滑動面位移速率高達 12 mm/day。

地表位移監測 GPS 系統，設置雙主站、3 監測站。自 2020 年 8 月以來，日平均位移速率約在 15 mm/day。2021 年 10 月圓規颱風來襲，自 10 月 12

日開始速率由 10 mm/day 增加至 368 mm/day，直至 11 月 2 日，速率低於 40 mm/day。

此外，利用航照與無人機空拍正射影像進行崩塌地位移分析，以工寮南端屋角作為指標，比較各期之間的位移量，自 2015 年 7 月 31 日至 2021 年 10 月 15 日累積共 2268 日，累積位移量高達 34.33 m。

由於本崩塌地活動性極高，可能發生一次性大規模滑動，本計畫進一步評估其滑動後之量體、影響範圍及天然壩穩定性。根據監測與實際調查結果圈繪，劃定來源區面積為 10.5 公頃，分析結果顯示本崩塌地可能之崩塌體積介於 $1.82 \times 10^6 \text{ m}^3$ 至 $3.67 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。運移距離介於 1,078 m 至 1,118 m。堰塞湖壩體危險度評估，天然壩之壩體高程扣除地形可獲得平均堆積高度約為 45 公尺(最高堆積約 60 m)，壩體體積約為 228 萬立方公尺，壩長為 100 公尺，壩寬為 950 公尺，其上游集水區面積為 52 公頃。分析結果天然壩屬於穩定，天然壩將不會立即潰決，對於下游之影響較小。

根據圓規颱風期間，時間、累積雨量、速率、加速率變化情形，訂定之警戒管理值以符合本場址之特性。當速率大於 60 mm/day 或有效累積雨量大於 550 mm(預測)，訂為強化整備階段。當速率大於 100 mm/day 或有效累積雨量大於 650 mm(預測)，訂為黃色警戒階段。當速率大於 280 mm/day 或有效累積雨量大於 650 mm(實際)，訂為紅色警戒階段。

第壹章 前言

一、緣起與目的

本崩塌地位於林務局花蓮處玉里事業區 21 林班地，亦位於中央地質調查所之大規模崩塌潛勢區花蓮縣-瑞穗鄉-D024 內(以下簡稱 D024 潛勢區)。2017 年 10 月 11 日豪雨事件導致本坡地坡趾兩處原有崩塌擴大，冠部產生裂隙，自 2017 年 10 月至 2019 年 4 月冠部裂隙持續擴大，長度約 30 公尺，寬度最寬約 40 公尺(圖 1-1)。貴處於 2019 年 5 月 30 日進行現地勘查，因崩塌地現場施工不易，減災工程於崩崖與滑體間(滑體頭部)以土包袋進行截、排水工程及冠部裂縫填補，並於施工時，同時進行地調，鑽探，監測儀器等裝設，及進行後續策略建議。減災工程已另案辦理，並協助本案鑽探作業進行開路，本研究案進行細部地表地質調查、地質鑽探及監測等工作，並據以提出後續治理對策。透過航(遙)測分析、地表地質調查、地質鑽探、折射震測及整體穩定性等方式進行範圍調查，評估崩塌地之地質條件及可能破壞原因。並藉由監測了解崩地之穩定性，提供後續監測、管治理之策略。

二、委託工作項目

(一)資料蒐集與整理

蒐集舞鶴(玉里 21 林班)崩塌地潛勢區的基本地文、水文、地形、地質、歷年航空照片以及相關調查資料。

(二)地質調查

針對本區進行地表地質調查包括地形、水文、滑動現象、岩層露頭等相關地質特性調查。

(三)航(遙)測分析

進行航空照片或衛星影像判釋分析、多期影像對比，政府產製之數值地形模型套疊分析(必要時由貴處依相關管理辦法協助申請)。配合前述地表地質調查期程，辦理至少 3 次無人飛行載具拍攝工作，並製作鑲嵌航拍結果及數值地表模型。

(四) 折射震測

- (1) 地球物理探勘之測線佈置應符合崩塌範圍調查需要，總佈設長度應大於 690 公尺。
- (2) 成果：至少應包含地球物理性質剖面圖及推估地層或岩性剖面圖等。

(五) 地質鑽探

- (1) 布置為完成本計畫目的所需的鑽探測線與孔位，鑽孔需可供後續安裝觀測儀器使用。
- (2) 鑽孔數目以 3 孔為原則，得視鑽掘情形酌予調整孔數，惟鑽探總長需達 120 公尺(以鑽探進尺深度為主)且可供後續安裝觀測儀器使用；鑽探方式孔徑一律採用 NQ 尺寸以上。鑽探期間之開路由本處另外協助進行。
- (3) 鑽孔需深入新鮮岩盤 5 公尺以上或達研判為岩土界面處為原則。需記錄鑽探期間地下水位變化。
- (4) 依據鑽探結果視岩性及穩定分析需要規劃力學試驗。
- (5) 地質鑽探調查需依地質法第三章第 17 條(地質資料蒐集及管理制度)之規定辦理，且地質鑽探調查之岩心需至少保留至本計畫驗收結束後，依貴處要求方式保存。

(六) 崩塌地監測

參考鑽探結果，分別於各鑽探孔埋設地層滑動觀測設備(傾斜觀測管或 TDR(time domain reflectometer)變形量測電纜線等)，於計畫執行期間進行長期監測，其中需包含 3 處地層滑動觀測設施，並視位置布設 2 孔具自動傳輸的地層滑動觀測設施。每監測孔於計畫執行期間至少量測 10 次以上。現場儀器安裝與監測，參照公共工程委員會施工綱要規範執行。

(七) 崩塌地治理對策與建議

- (1) 崩塌地穩定性：利用本計畫地表地質調查、地球物理探測、地質鑽探及監測數據等成果，綜合分析與探討崩塌地穩定性及災害類

型。

(2)邊坡穩定分析：治理對策及後續建議依據研判的邊坡災害類型，進行邊坡穩定分析，及評估崩塌影響範圍，並依據本計畫成果提出治理策略等之建議。

三、範圍

計畫範圍涵蓋大規模崩塌潛勢區 D024 面積約 38 公頃，地表地質、航(遙)測分析及整體穩定性以潛勢區範圍進行，UAV 航拍、鑽探、折射震測及監測則以崩塌地範圍(約 17 公頃)進行，相關位置如圖 1-1。

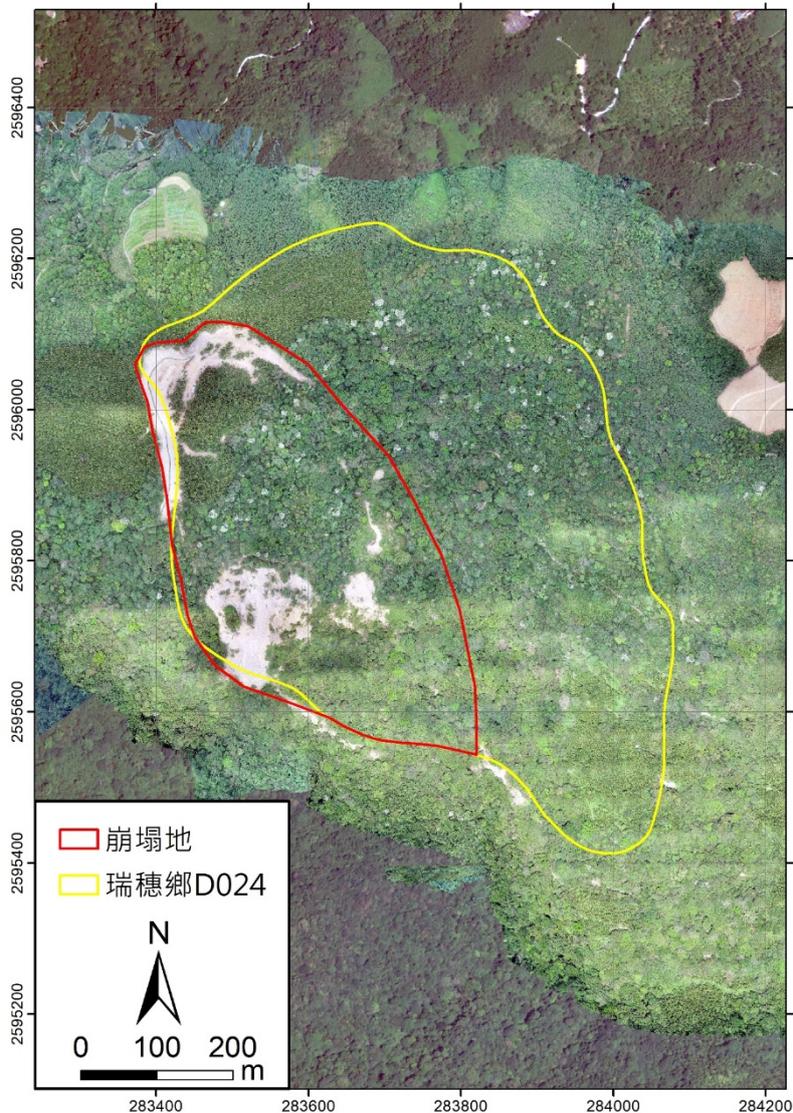


圖 1-1 大規模崩塌潛勢區花蓮縣瑞穗鄉 D024 範圍與玉區 21 林班崩塌地(崩塌地為 2019/05/30 空拍正射影像，區域為 2017/08/12 航照正射影像)

四、工作執行流程

依據本研究案內容與目標，擬定各項工作執行與初步建議，執行流程如圖 1-2 所示。整體計畫透過地表地質調查、鑽探、折射震測及航(遙)測分析建立崩塌地之地形模型，並依據鑽探結果，視岩性進行力學試驗，獲得材料參數，最後依據結果分析探討災害類型及崩塌地之穩定性，評估邊坡穩定分析、崩塌地影響範圍及最佳治理對策建議。本研究案於 2020 年 2 月 24 日評選，3 月 19 日完成議價並開始執行。

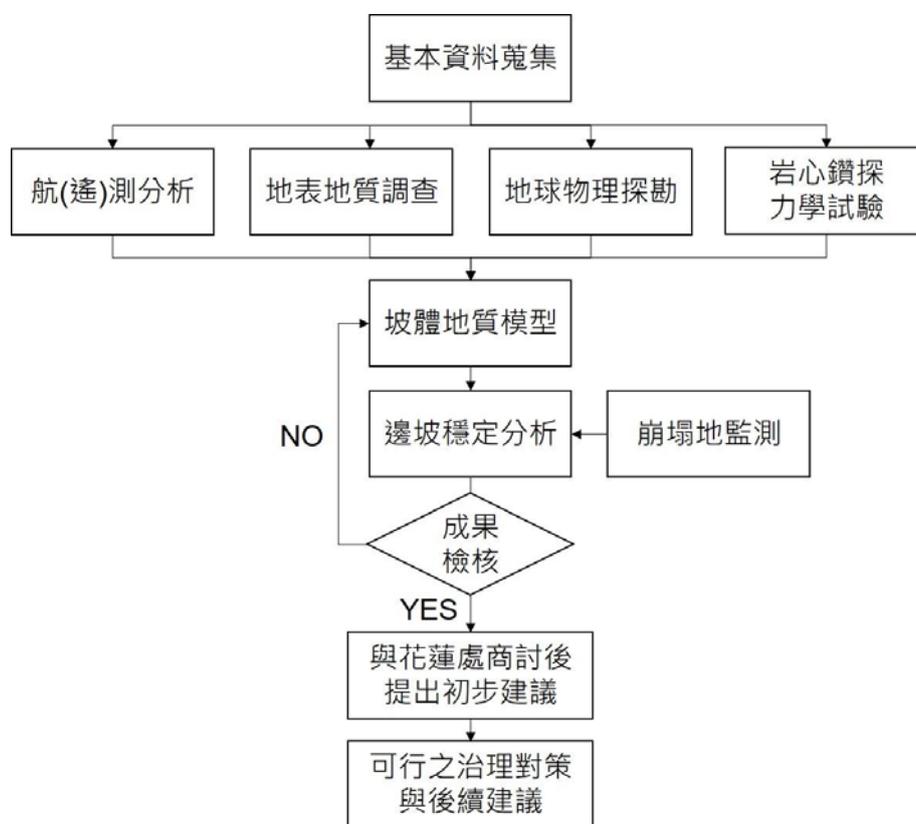


圖 1-2 工作執行流程圖

五、工作進度

依據本案招標文件，各期報告提送期程與內容如表 1-1，本團隊並綜合考量各項工作內容與工作間之配合，擬定工作預定進度及所佔百分比如表 1-2，作為本計畫進度掌控之依據。1.完成現地地表調查工作，並繪製地表地質圖與地質剖面圖。2.完成地質鑽探工作，製作地質鑽探報告。3.已達要求監測工作次數，並持續進行即時監測，以及評估分析

2020 年 10 月前監測結果。4.完成邊坡穩定分析初步成果，並據以提出治理對策及後續建議，詳細內容將說明於第貳至玖章。

貴處亦於 4 月 16 日辦理「玉里 21 林班崩塌地處理工程」與本案施工前介面協調會，工程單位提供本案地質鑽探開設臨時便道之協助。考量梅雨與汛期降雨影響，地質鑽探於 2020 年 5 月 10 日進場，監測儀器配合現場工程與鑽探期程執行安裝。

表 1-1 各期報告提送期程、內容及已完成工作

各期報告	提送期程	至少應完成項目	已完成工作
期初工作執行計畫書 10 份	決標日次日起 30 日曆天內提出	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本委託技術服務案各項預計執行工作之期程、流程等。 2. 探查計畫： <ol style="list-style-type: none"> (1) 現地地表調查預估期程。 (2) 地質鑽探鑽孔配置構想、目的及預估成果等。 (3) 折射震測測線展距與布設位置，預期成效。 3. 監測構想：監測儀器建議、裝設期程及監測頻率等。 4. 其他本計畫所列工作項目相關預定工作之工作進度與人力配置、預期成果等。 5. 擬請貴處配合事項。 	已於 4 月 16 日提送工作執行計畫書，5 月 5 日完成工作執行計畫書簡報。
第 1 次期中報告 10 份	2020 年 06 月 30 日 前提送	<ol style="list-style-type: none"> 1. 現地地質調查至少 1 次。 2. 完成 690 公尺折射震測施測。 3. 至少完成 1 次無人飛行載具拍攝工作，並製作 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已完成現地地質調查。 2. 已完成 700 公尺折射震測施測。 3. 已完成 2 次無人飛行載具拍攝工作，並製

		正射影像及及數值地表模型。	作正射影像及及數值地表模型。
第 2 次期中報告 10 份	2020 年 11 月 10 日前提送	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成現地地表調查工作。 2. 完成地質鑽探工作，製作地質鑽探報告。 3. 至少完成 3 次監測工作，並評估分析 2020 年 10 月前監測結果。 4. 完成邊坡穩定分析初步成果，並據以提出治理對策及後續建議。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 完成現地地表調查工作，並繪製地表地質圖與地質剖面圖。 2. 完成地質鑽探工作，製作地質鑽探報告。 3. 已達要求監測工作次數，並持續進行即時監測，以及評估分析 2020 年 10 月前監測結果。 4. 完成邊坡穩定分析初步成果，並據以提出治理對策及後續建議。
第 3 次期中報告 10 份	2021 年 06 月 10 日前提送	至少完成 6 次監測工作，並評估分析 2021 年 5 月前監測結果。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已達要求監測工作次數，並持續進行即時監測，以及評估分析 2021 年 5 月前監測結果。
期末報告 10 份	2021 年 11 月 10 日前提送	完成全部工作	<ol style="list-style-type: none"> 1. 已達要求監測工作次數，並持續進行即時監測，以及評估分析 2021 年 10 月前監測結果。 2. 完成全部工作
送成果報告書暨成果光碟 10 份	2021 年 12 月 10 日前提送	成果光碟內容應包括完整成果報告電子檔(如 Word、Excel、pdf 檔等)、各期簡報檔	

表 1-2 工作進度表

工作項目	2020										2021											
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
一、資料蒐集與整理			50%			100%																
二、現地地質調查			50%			100%																
三、折射震測			100%																			
四、地質鑽探(含力學實驗)			30%					100%														
五、崩塌地監測			10%					35%							70%					100%		
六、崩塌地治理對策與建議								18%							67%					100%		
各期報告書	期初工作執行計劃書		第1次期中報告					第2次期中報告							第3次期中報告						期末報告	成果報告書暨光碟

第貳章 資料蒐集與整理

本章敘述本計畫調查範圍(本崩塌地與 D024 潛勢區)內之地形、地質、水文、土地權屬及利用情形，歷史災害則於第參章航(遙)測分析中詳述。

一、地形

基本地形資料參考自中央地質調查所產製之 1m 高解析度光達數值高程模型(2015 年測量)，D024 潛勢區範圍內高程介於 380 至 715 公尺之間(圖 2-1 及圖 2-2)，高程差約 335 公尺，面積約 38 公頃，進一步繪製坡度圖及坡向圖如圖 2-3 所示。本崩塌地範圍面積約 17 公頃，其地勢北高南低，坡向大致朝東南，坡度多為六級坡，坡頂因檳榔園開墾遍布小徑，趾部則有一溪流通過，為秀姑巒溪支流，由西北往東南方流出。進一步繪製 D024 潛勢區內之水系及集水區如圖 2-4，潛勢區內包含 2 集水區(東側與西側)，本崩塌地主要位於西側集水區內，其蝕溝已明顯發育，整體呈凹坡型，由光達地形判釋於崩塌發生前已可見鄰近坡頂的檳榔園中有發育中的裂縫存在，後來的崩塌則沿此發展成崩崖面(圖 2-5)。

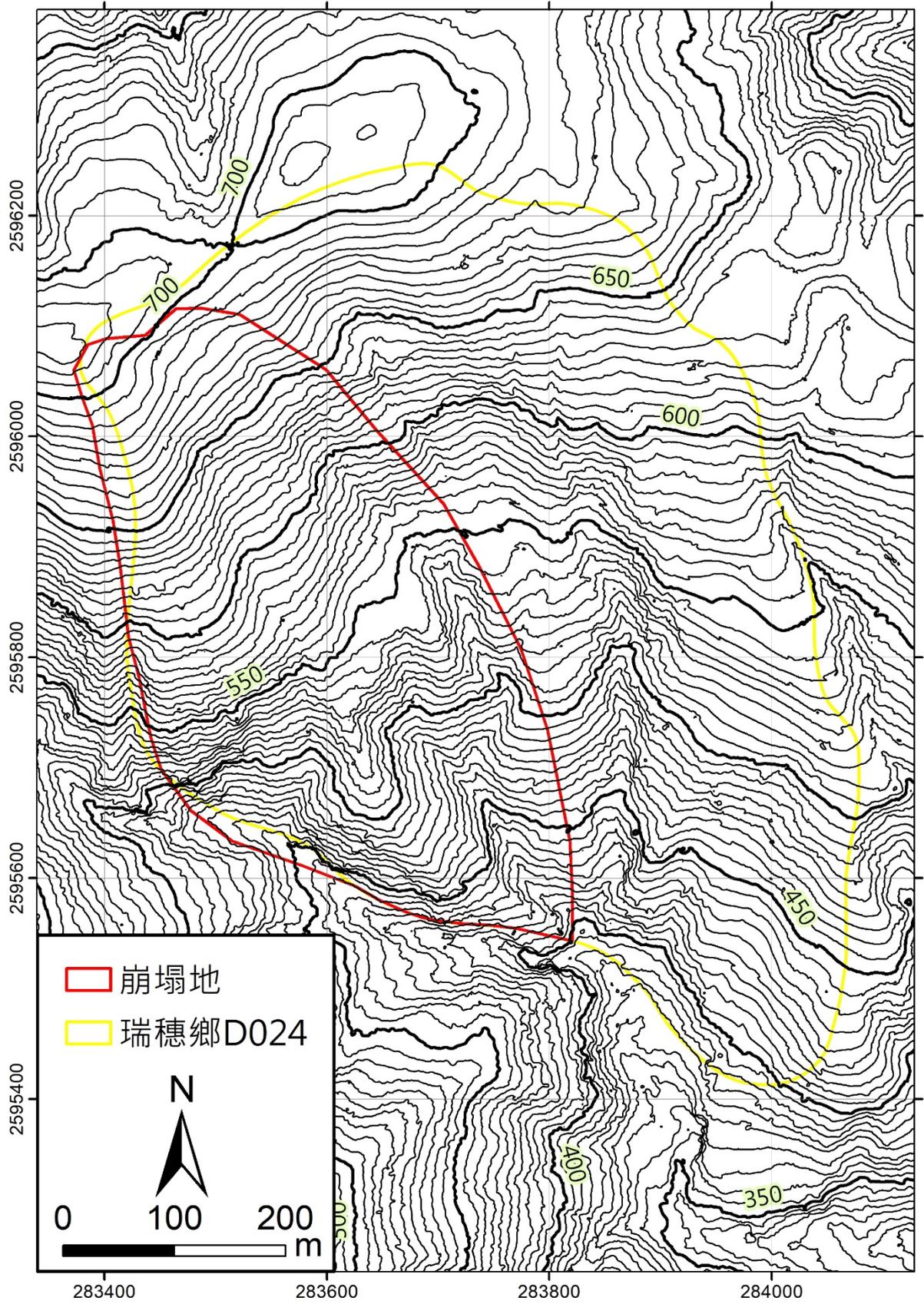


圖 2-1 D024 潛勢區地形圖(產自 2015 年光達數值高程模型)

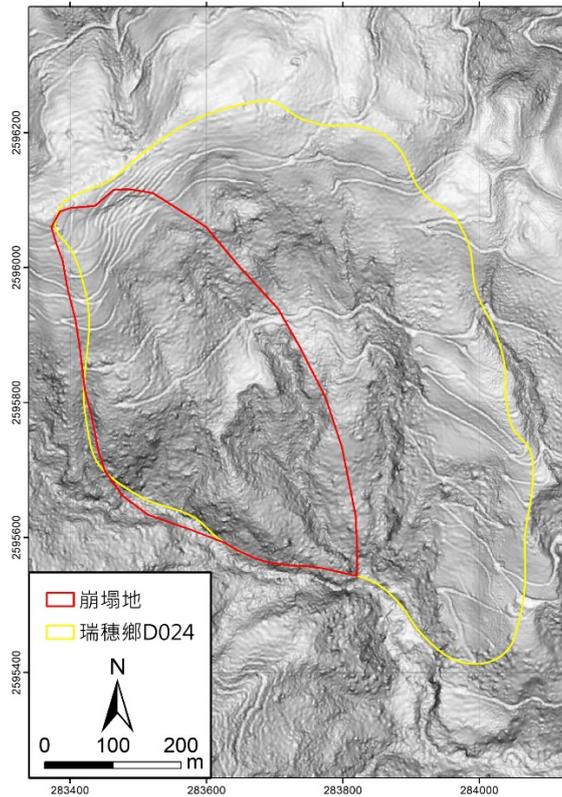
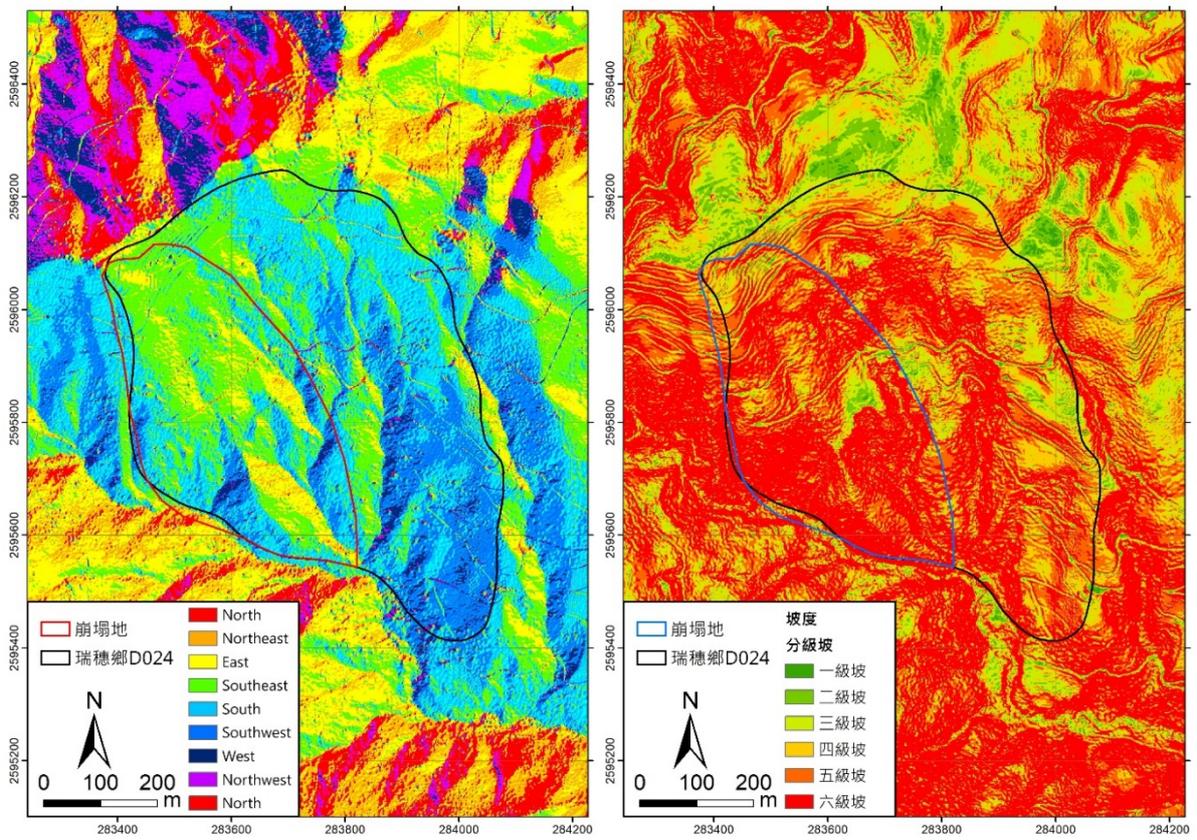


圖 2- 2 D024 潛勢區地形及坡度陰影圖 (產自 2015 年光達數值高程模型)



(a) 坡向分類圖

(b) 坡度分類圖

圖 2- 3 D024 潛勢區坡向及坡度分類圖

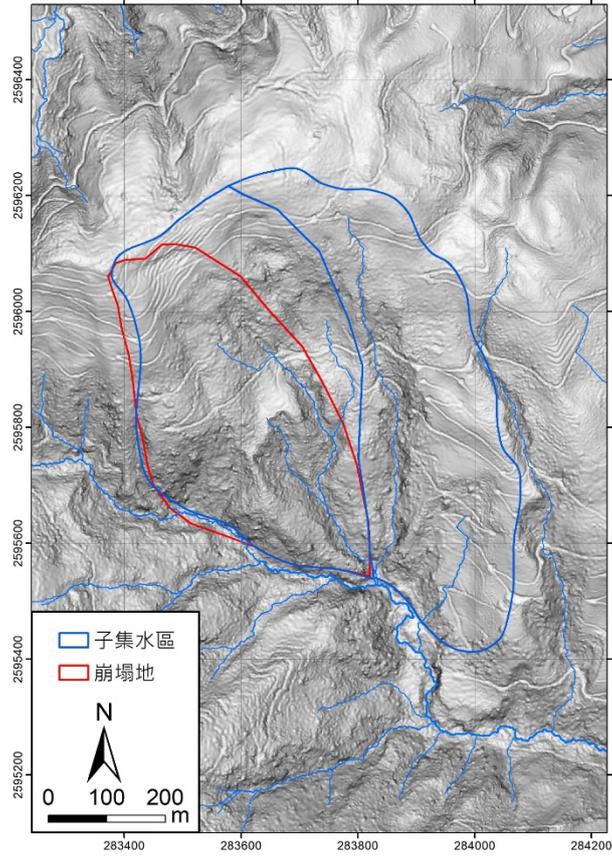


圖 2-4 D024 潛勢區水系圖(產自 2015 年光達數值高程模型)

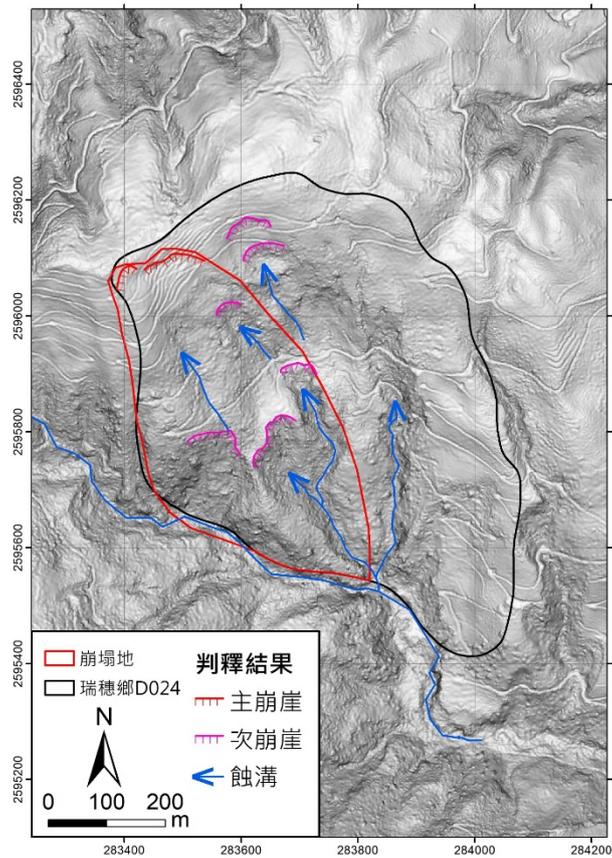


圖 2-5 玉區 21 林班崩塌地光達坡度圖和判釋(產自 2015 年光達數值高程模型)

二、地質

由經濟部中央地質調查所出版之五萬分之一地質圖-玉里圖幅(1991)以及易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置圖冊之流域地質圖(2013)作為地質背景參考。雖然五萬分之一比例尺顯示此區域為打馬燕構造地塊與玉里層紅葉段之片岩，然而，經由初步地表地質調查後，調查範圍內僅出露砂質片岩與泥質片岩，並未發現任何打馬燕地塊之露頭，故調查範圍皆以玉里層紅葉段為基盤(圖 2-6)。

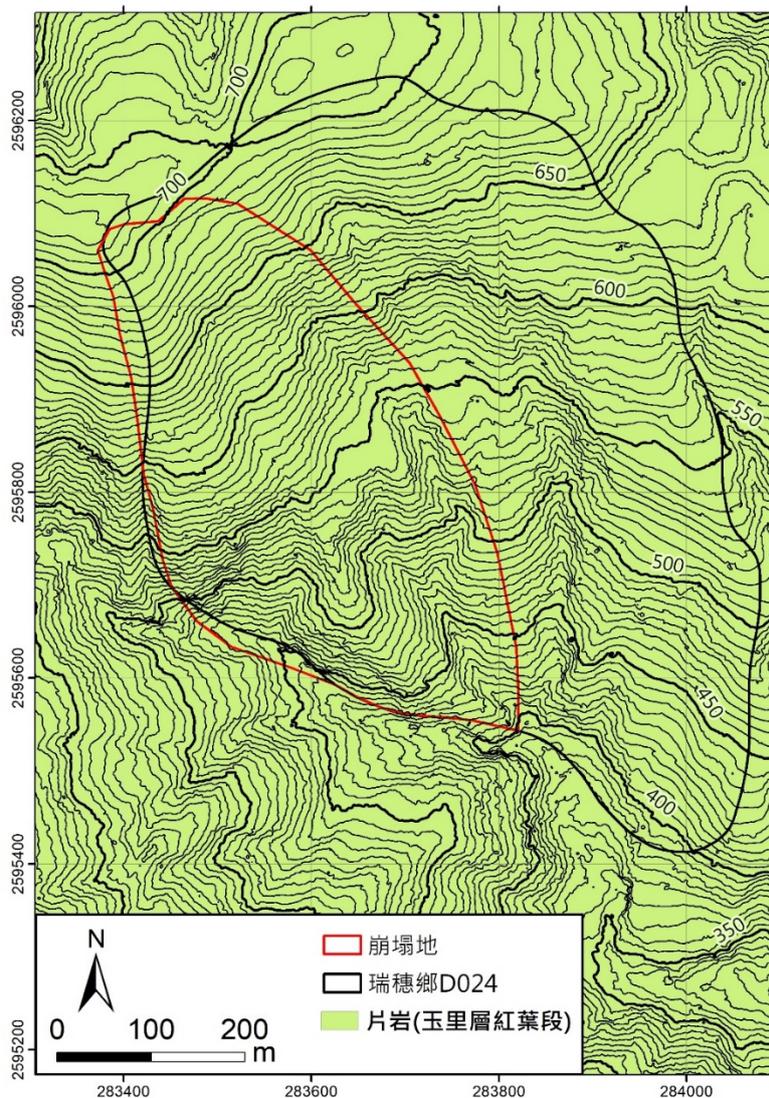


圖 2-6 瑞穗鄉-D024 潛勢區之初步調查地質圖

三、水文

本崩塌地鄰近之雨量站包含立山、紅葉及舞鶴雨量站(表 2-1)，分布位置與崩塌地關係如圖 2-7 所示。其中立山站與本崩塌地皆位於中央山脈東麓及紅葉溪右岸，較能反應本崩塌地之降雨情形，因此本計畫選擇立山站作為參考，蒐集該站設站以來 2005 年至 2021 年 4 月底的每月累積雨量，如圖 2-8 所示。

由於本坡地自 2016 年開始發生崩塌，因此以下針對 2016 年至 2021 年 10 月底為止，本區域之颱風及豪雨事件，加以說明(圖 2-8 與表 2-2)：

2016 年包含三場颱風事件於東部有顯著累積雨量，分別為 7 月尼伯特颱風、9 月莫蘭蒂颱風、10 月艾利颱風，圖 2-9 至圖 2-11 為三場颱風事件的累積降雨分布圖和當月之日降雨分布。

2017 年 10 月 11 日豪雨事件應為誘發本崩塌地發生大量位移之誘發原因，惟此時段立山、紅葉及舞鶴雨量站因儀器汰換作業，無法得知切確雨量紀錄。根據國家災害防救科技中心災害防救電子報(2017)報導，1011 豪雨事件造成瑞穗鄉於 120 小時累積降雨量為 700mm 至 800 mm (圖 2-12)，而崩塌地位於舞鶴台地西側且接近瑞穗鄉與卓溪鄉之邊界，同時段卓溪鄉東側接近崩塌地位置之累積降雨可達 800mm 至 900 mm。

2019 年僅有 8 月白鹿颱風於東部造成顯著累積雨量，圖 2-13 為白鹿颱風事件的累積降雨分布圖和當月之日降雨分布。自 2020 年至 2021 年 5 月期間內沒有發生颱風或豪雨事件，僅在 2020 年 10 月 14 日發生一場較大的降雨事件，累積雨量為 98.5 mm，與 2016 年三場颱風事件單日累積雨量皆超過 300 mm 相比影響較小。

2021 年包含兩場颱風事件，分別為 9 月燦樹颱風、10 月圓規颱風，圓規颱風造成累積降雨量為 1002 mm (圖 2-14)，誘發本崩塌地發生大量位移。尼伯特颱風、莫蘭蒂颱風、艾利颱風、白鹿颱風與圓規颱風，五場颱風路徑皆由南邊通過 (圖 2-15)，對於本崩塌地有顯著累積雨量。

上述六場颱風雨豪雨事件為誘發本崩塌地發生運移之重要參考資訊，將配合第參章航(遙)測分析進行探討。



圖 2-7 本崩塌地鄰近雨量站位置(圖資:內政部國土測繪中心-圖資服務雲)

表 2-1 雨量站基本資訊

站名 (編號)	紅葉 Hongye (C1Z030)	立山 Lishan (C1Z040)	舞鶴 Wuhe (C0Z070)
經度	121.3388	121.3273	121.3740
緯度	23.4931	23.4433	23.4681
海拔高度	218m	434m	247m
設站日期	1997/04/19 ~	1997/04/19 ~	1997/04/17 ~
地址	花蓮縣萬榮鄉紅葉村教堂附近	花蓮縣卓溪鄉立山村後山上	花蓮縣瑞穗鄉舞鶴村加納山三角點旁
備註	本站於 2017/8/6 起進行儀器汰換，於 2017/12/1 完成驗收。	本站於 2017/8/19 起進行儀器汰換，於 2017/12/1 完成驗收。	本站於 2017/6/21 起進行儀器汰換，於 2017/12/1 完成驗收。

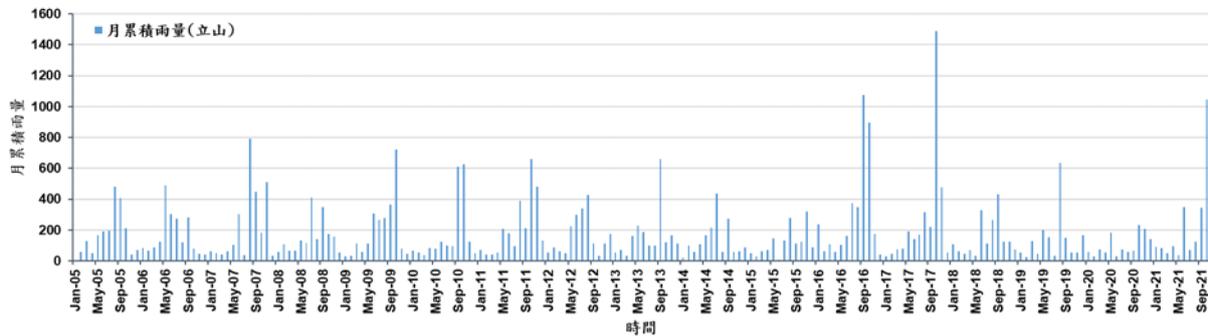


圖 2-8 立山雨量站月累積降雨紀錄(設站開始 2005 年至 2021 年)

表 2-2 2016-2021 年間颱風與豪雨期間內各雨量站累積雨量

累積降雨期間	颱風名稱	測站	警報(事件)期間總雨量 (mm)
2021/10/11-10/12	圓規	立山	1002
2021/09/10-09/12	燦樹	立山	143.5
2019/08/23-08/25	白鹿	立山	445.5
		紅葉	353.0
		舞鶴	272.0
2017/10/11-10/15	1011 豪雨事件	儀器汰換期 間無資料	700-800
2016/10/06-10/9	艾利	立山	516
		紅葉	468.5
		舞鶴	522.5
2016/09/13-09/15	莫蘭蒂	立山	726.5
		紅葉	613.0
		舞鶴	510.0
2016/07/07-07/09	尼伯特	立山	349.5
		紅葉	321.5
		舞鶴	242.0

資料來源:中央氣象局颱風資料庫

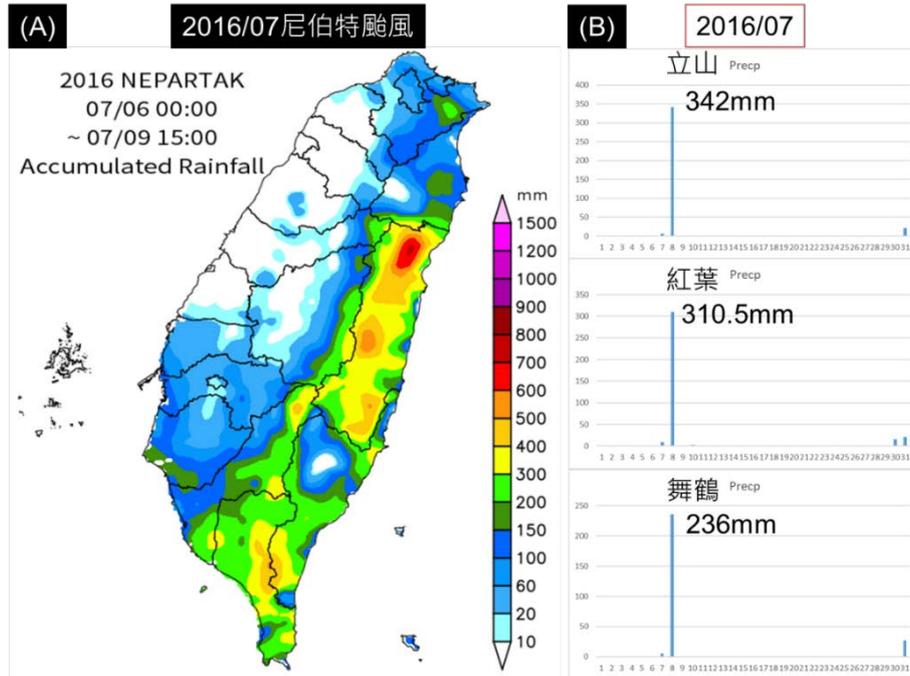


圖 2-9 2016 年 7 月尼伯特颱風雨量分佈情形。(A) 尼伯特颱風(2016/7/6-7/9)累積降雨分佈圖(圖來源：國家災害防救科技中心災害防救電子報，2016)。(B) 各雨量站 2016 年 7 月份降雨紀錄(資料來源:中央氣象局颱風資料庫)

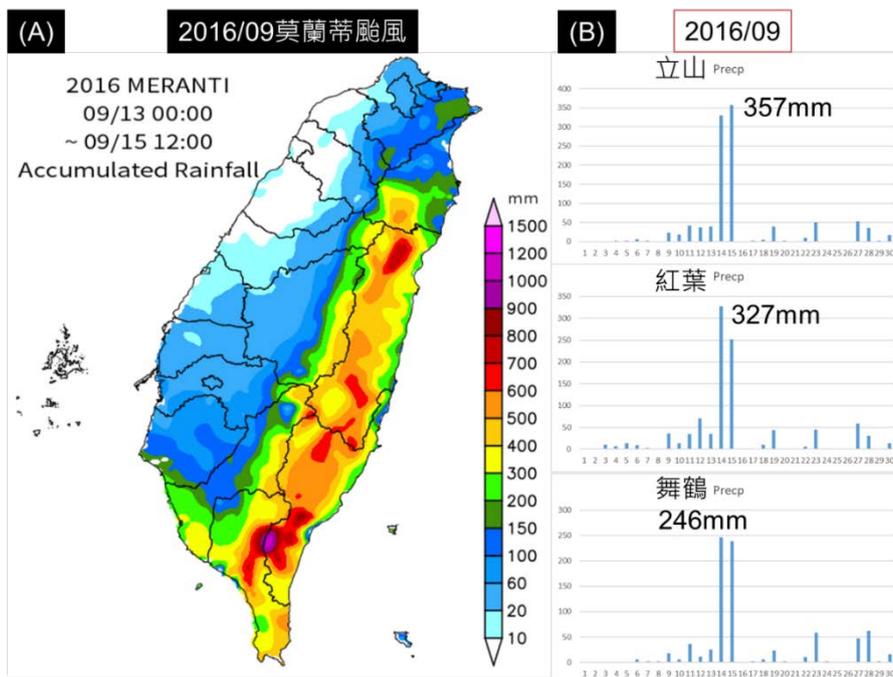


圖 2-10 2016 年 9 月莫蘭蒂颱風雨量分佈情形。(A) 莫蘭蒂颱風(2016/9/13-9/15)台灣地區累積降雨分佈圖(圖來源：國家災害防救科技中心災害防救電子報，2016)。(B) 各雨量站 2016 年 9 月份降雨紀錄(資料來源:中央氣象局颱風資料庫)

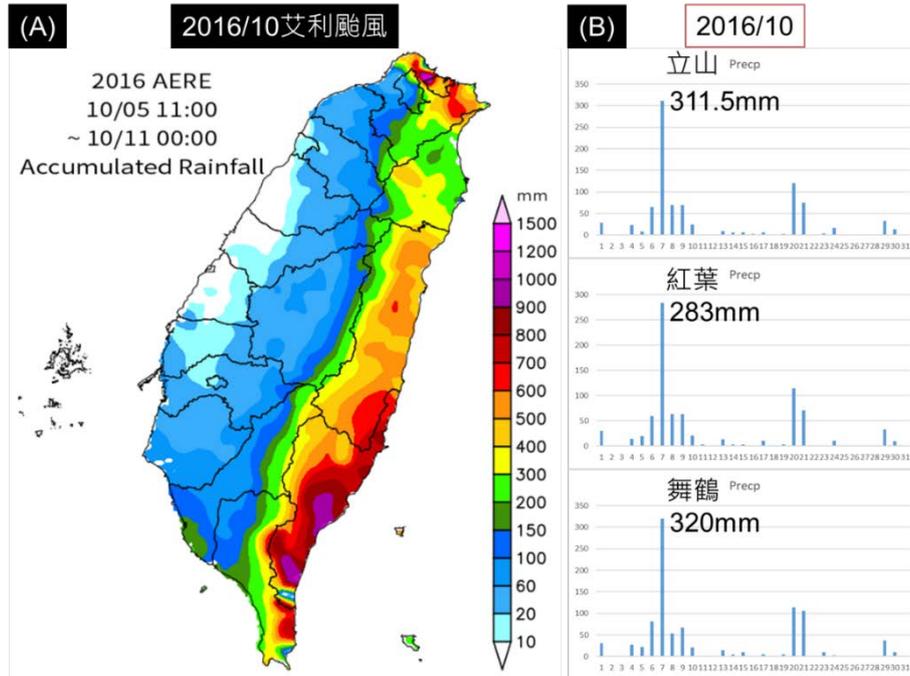


圖 2-11 2016 年 10 月艾利颱風雨量分佈情形。(A) 艾利颱風(2016/10/05-10/11)台灣地區累積降雨分佈圖(圖來源：國家災害防救科技中心災害防救電子報，2016)。

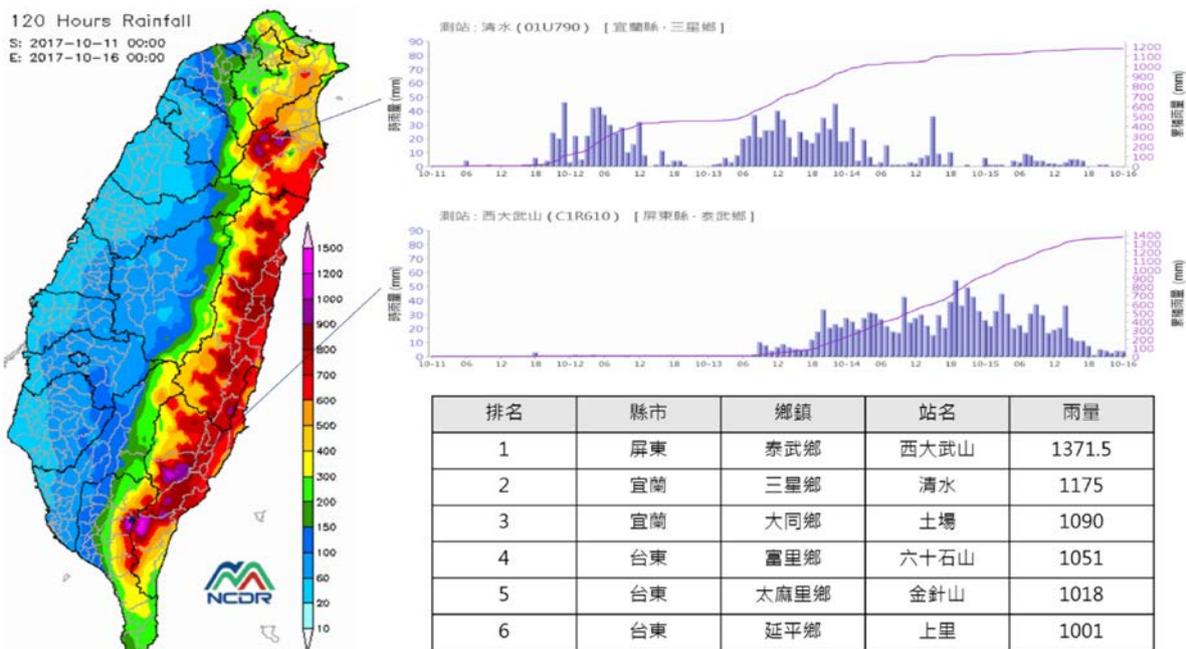


圖 2-12 2017 年 1011 豪雨事件(2017/10/11-10/15)台灣地區累積降雨分析圖。(圖來源：國家災害防救科技中心災害防救電子報，2017)

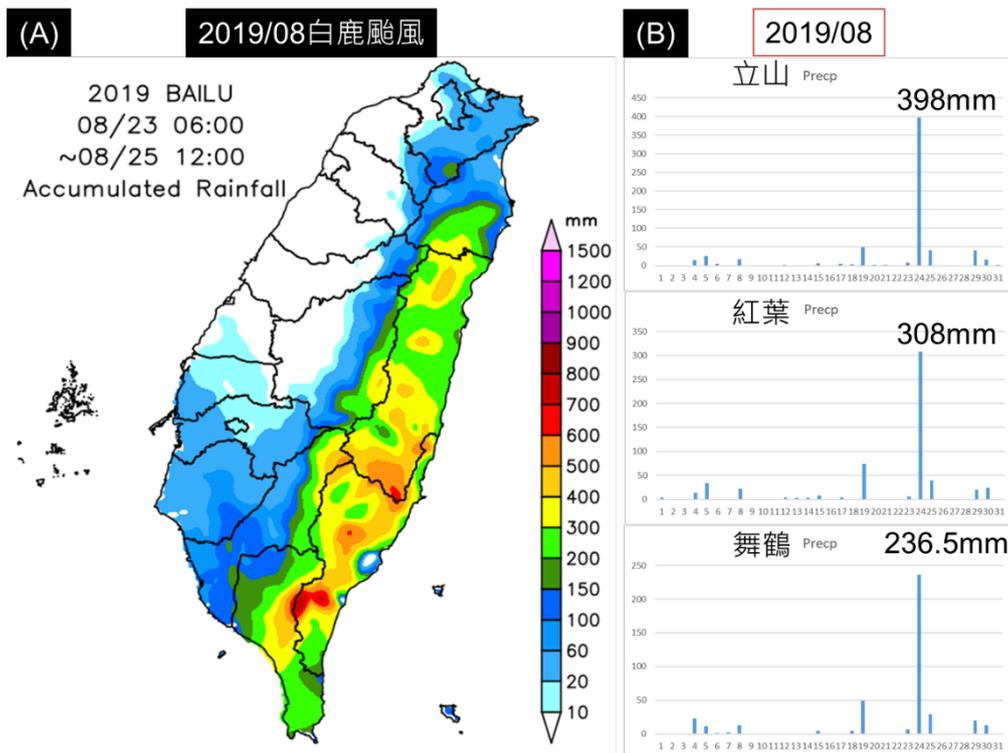


圖 2-13 2019 年 8 月白鹿颱風雨量分佈情形。(A)白鹿颱風(2019/8/23-8/27)台灣地區日累積降雨分析圖(圖來源：國家災害防救科技中心災害防救電子報，2019)。(B) 各雨量站 2019 年 8 月份降雨紀錄(資料來源:中央氣象局颱風資料庫)

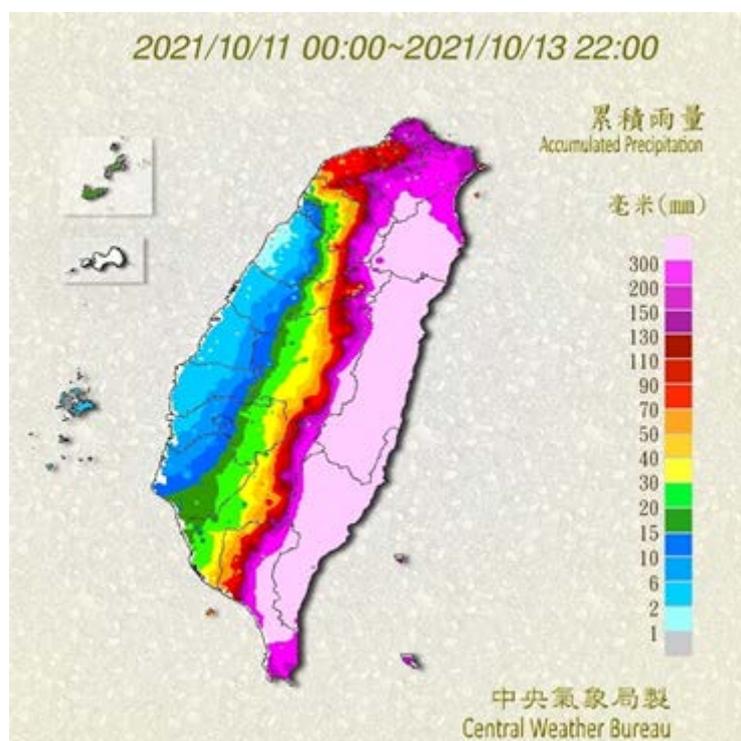


圖 2-14 2021 年 10 月圓規颱風雨量分佈情形。(A)圓規颱風(2021/10/11)台灣地區日累積降雨分析圖(圖來源：中央氣象局)。(B) 立山站 2021 年 10 月份降雨紀錄(資料來源:中央氣象局颱風資料庫)

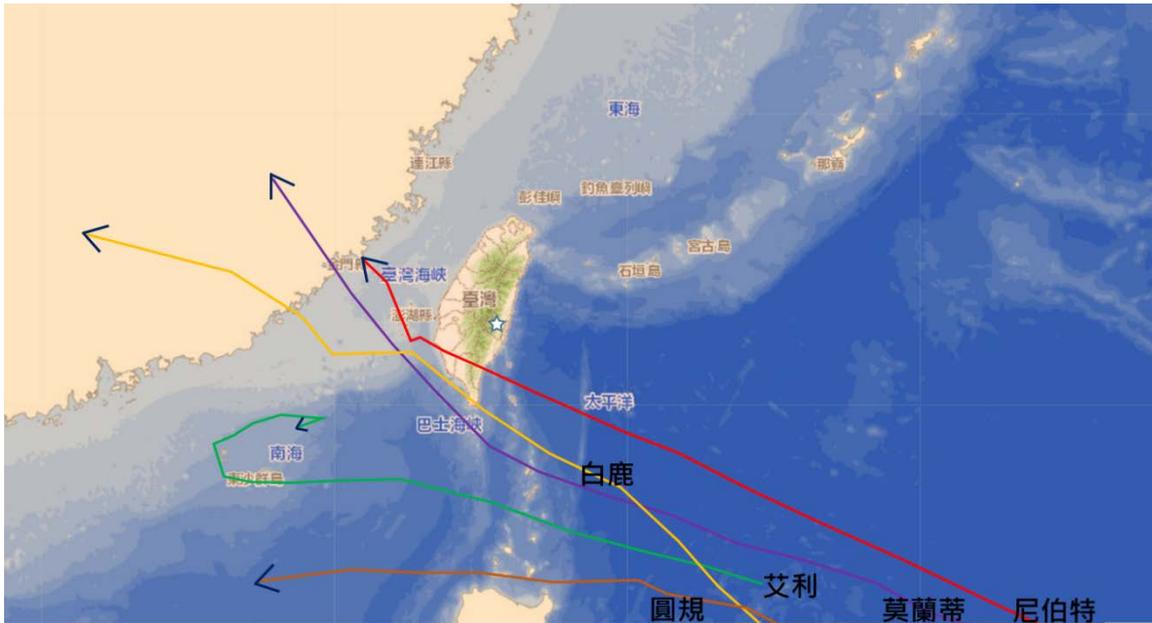


圖 2-15 2016-2021 年間颱風路徑圖(資料來源:中央氣象局颱風資料庫)

四、土地權屬及利用情形

由國土測繪中心土地利用調查顯示 D024 潛勢區多為農業使用，調查範圍中(圖 2-14a 黃框)包含闊葉林、果園(常綠果樹、落葉果樹及檳榔)、旱田(旱作、茶園、雜作地)，圖資來源為內政部國土測繪中心國土測繪圖資服務雲(<https://maps.nlsc.gov.tw/>)，詳細圖例見附錄二。此外，玉里第 21 林班區範圍涵蓋整個 D024 潛勢區與崩塌地範圍(圖 2-14b)

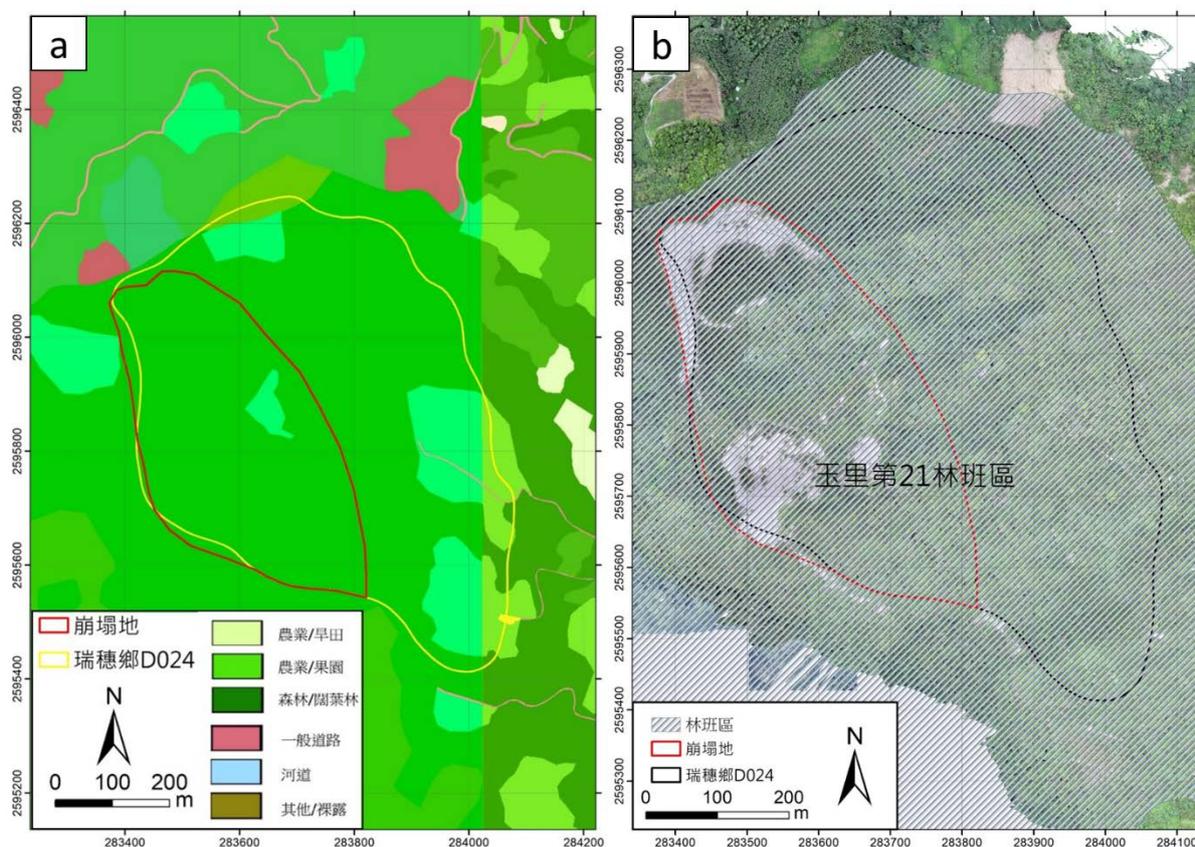


圖 2-16 D024 潛勢區調查範圍土地利用情形。(a) D024 潛勢區調查範圍土地利用情形、(b)玉里第 21 林班區範圍

五、地震

為瞭解本崩塌地鄰近地區之歷史地震，本計畫採用花蓮縣紅葉(EHYH)測站之紀錄資料做為參考測站，其與本崩塌地之直線距離約 3.6km(圖 2- 15)。花蓮縣紅葉(EHYH)測站為即時觀測站，使用的地震觀測網為「24 位元即時地震觀測網」，結合強地動的加速度型觀測網以及短週期的速度型觀測網，並且將訊號全面提升至 100Hz 取樣率，以及 24bit 解析度，同時，地震儀的時間也可以透過當地 GPS 設備校時，大幅增加資料準確性。本計畫藉由此觀測站歷史紀錄評估地震對場址的影響，自 2005 年 1 月至 2021 年 10 月震度達 4 級以上的地震事件共有 22 筆(表 2- 3 與圖 2- 16)，紀錄中最大水平地動加速度為 2013 年 10 月 31 日的地震，其垂直、南北與東西向加速度歷時如圖 2- 17 所示。

2021 年 4 月 18 日 22 時 11 分及 14 分分別發生芮氏規模 5.8 及 6.2 地震，地震深度為 15.0 及 13.9 公里，震源在花蓮縣政府西南方 19.2 及 20.2 公里處，其垂直、南北與東西向加速度歷時如圖 2- 18、圖 2- 19 所示，兩起地震於花蓮縣紅葉站測得 3 及 4 級震度。此次地震屬東北走向之逆斷層型式，研判可能為中央山脈東側與中央花東縱谷交界的地下深部，一向西傾斜的逆衝構造活動所引致，其變形尚未傳達至地表。與 2013 年 10 月 31 日的地震相比水平加速度小 0.25 倍，震度相差 2 級，將配合第柒章崩塌地監測進行探討。



圖 2-17 玉區 21 林班崩塌地與紅葉即時觀測站(底圖來源：衛星影像)

表 2-3 花蓮縣紅葉(EHYH)即時觀測站地震事件表

發生日期	震央經度	震央緯度	深度 (km)	芮氏規模	震度	水平 PGA (gal)
2021/10/24 13:11	121.787	24.5275	66.8	6.5	3	11.77
2021/4/18 22:14	121.48	23.86	13.9	6.2	4	143.7
2021/4/18 22:11	121.48	23.87	16.3	5.8	3	45.53
2020/12/10 21:19	122	24.74	75.7	6.6	3	13.10
2020/12/10 13:29	121.55	23.45	38	5.4	3	22.95
2019/4/18 13:01	121.56	24.05	20.3	6.3	4	41.59
2016/4/28 02:19	121.23	23.28	15.2	5.5	5	196.97
2015/3/23 18:13	121.67	23.73	38.4	6.2	4	43.61
2014/5/21 08:21	121.43	23.74	16.5	5.9	4	96.56
2014/4/26 00:33	121.35	23.55	17.6	4.7	5	156.68
2014/1/23 20:41	121.41	23.66	17.3	4.2	4	45.94
2013/12/25 15:38	121.42	23.68	19	4.3	4	63.44

2013/11/1 03:27	121.4	23.68	17.1	4.5	4	39.34
2013/10/31 23:47	121.43	23.63	10.1	5.1	4	32.06
2013/10/31 21:45	121.4	23.58	9.1	4.6	4	58.96
2013/10/31 20:02	121.35	23.57	15	6.4	6	361.79
2012/8/18 04:20	121.48	23.38	26	5.2	4	48.40
2011/5/21 23:27	121.34	23.46	8.6	3.2	4	44.48
2010/11/30 08:54	121.35	23.57	15.4	3.4	4	42.83
2010/11/21 20:31	121.69	23.85	46.9	6.1	4	45.61
2009/12/19 21:02	121.66	23.79	43.8	6.9	5	125.97
2009/10/4 01:36	121.58	23.65	29.2	6.1	4	41.58
2009/7/26 14:10	121.32	23.43	12.5	5.4	5	130.40
2008/12/2 11:16	121.49	23.34	31.7	5.7	4	57.05
2007/7/23 21:40	121.64	23.72	38.6	5.8	4	35.08
2005/2/19 04:18	121.67	23.34	15.3	5.6	4	49.1

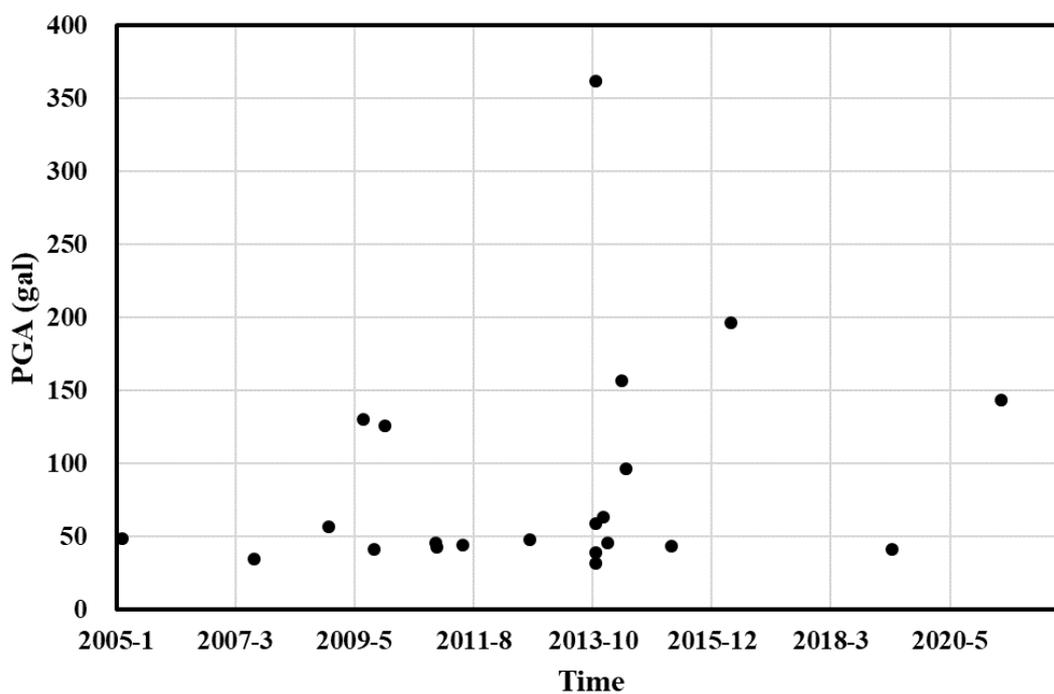


圖 2-18 花蓮縣紅葉(EHYH)即時觀測站震度 4 級以上地震之最大水平加速度紀錄 (2005 年至 2021 年)

紅葉 (EHY) 震度：6 級

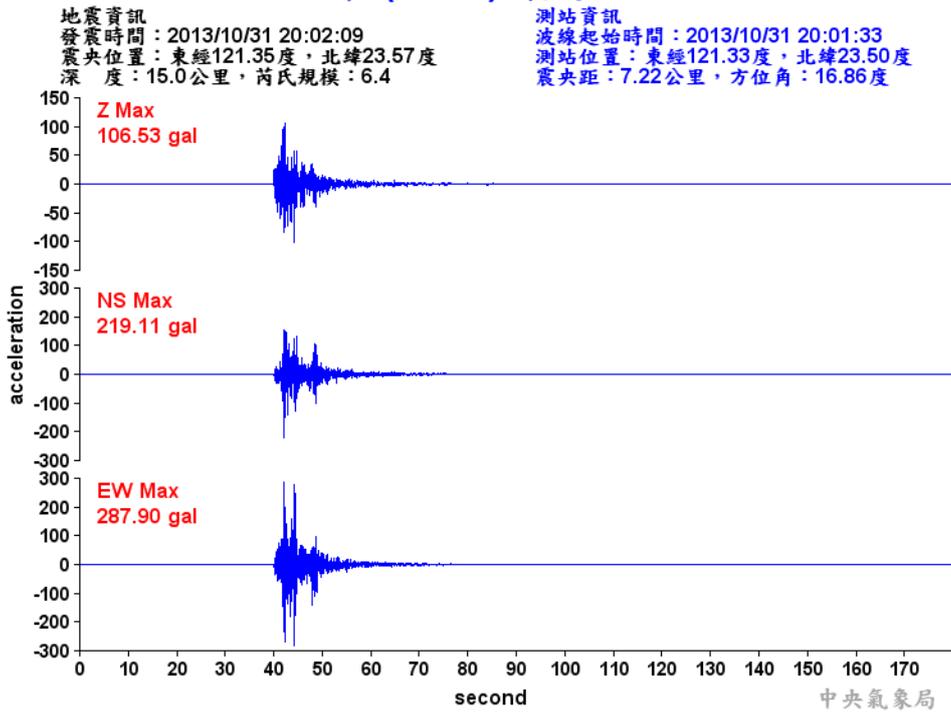


圖 2-19 花蓮縣紅葉(EHYH)即時觀測站 2013 年 10 月 31 日震度 6 級之垂直、南北、東西向地動加速度歷時記錄

紅葉 (EHY) 震度：3 級

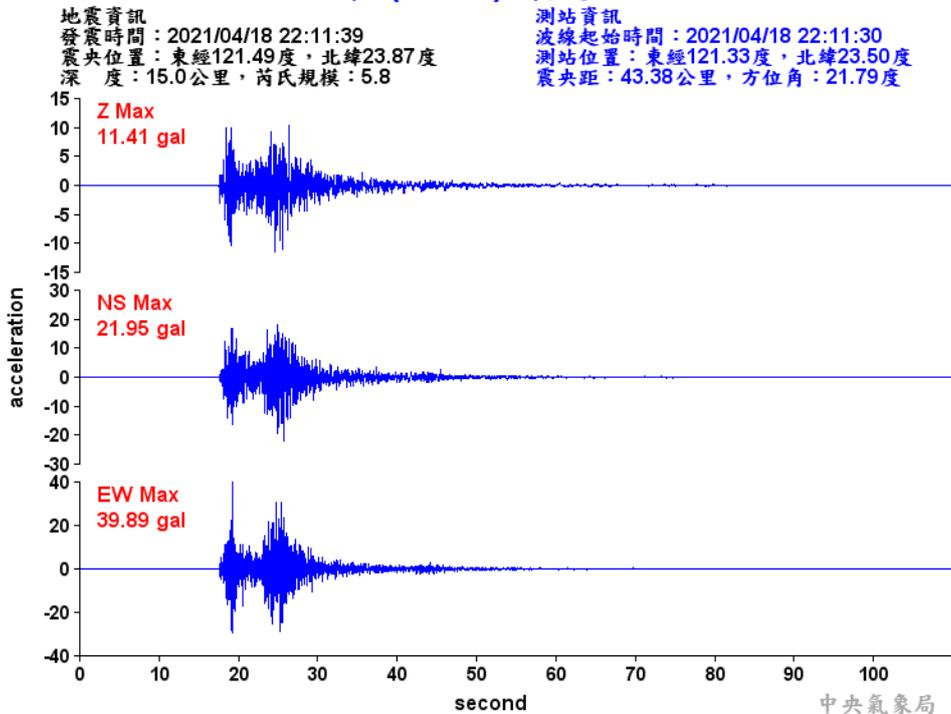


圖 2-20 花蓮縣紅葉(EHYH)即時觀測站 2021 年 04 月 18 日震度 3 級之垂直、南北、東西向地動加速度歷時記錄

紅葉 (EHY) 震度：4級

地震資訊
發震時間：2021/04/18 22:14:37
震央位置：東經121.48度，北緯23.86度
深度：13.9公里，芮氏規模：6.2

測站資訊
波線起始時間：2021/04/18 22:14:20
測站位置：東經121.33度，北緯23.50度
震央距：42.41公里，方位角：21.33度

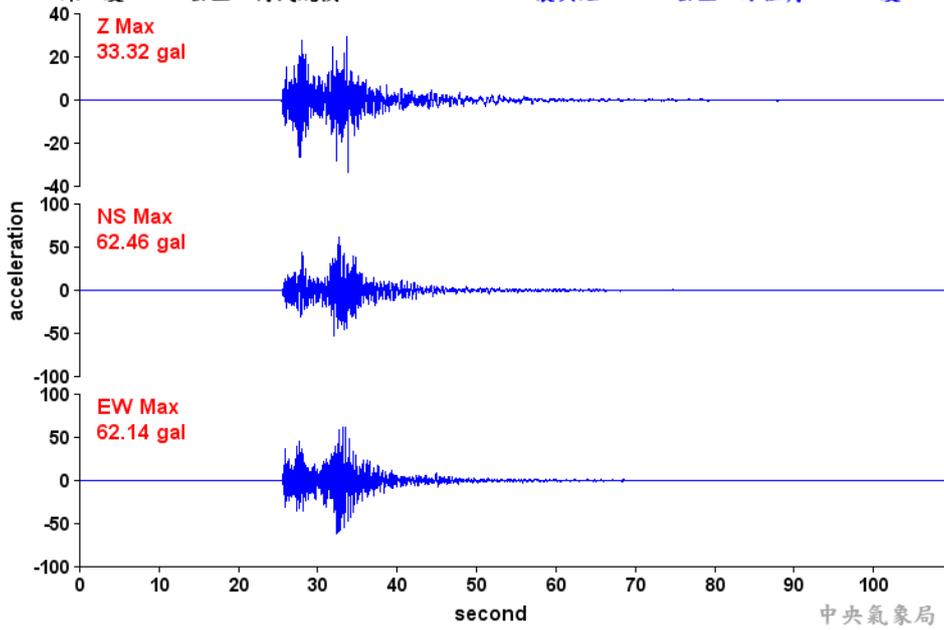


圖 2-21 花蓮縣紅葉(EHYH)即時觀測站 2021 年 04 月 18 日震度 4 級之垂直、南北、東西向地動加速度歷時

第參章 航(遙)測分析

一、歷年航空照片蒐集與影像處理

針對 D024 潛勢區蒐集多年期航空照片、衛星影像，本區域共蒐集得 12 個時期之航空照片及衛星影像，其拍攝年份及日期分別為 1980/07/02、1983/07/20、1993/06/22、2002/07/22、2003/07/01、2008/08/02、2013/07/28、2015/07/31、2015/11/28、2017/06/25、2017/08/12、2018/04/10。

航空照片判釋本研究採用美國 BAE Systems 開發之 SOCET GXP 航遙測影像分析整合性判讀軟體進行航空照片立體像對判釋、正射影像及數值地形模型產製之工作，產製流程如圖 3-1 所示。航空照片透過調色使得航空照片色調趨於一致後，開始輸入參數，一般而言，由農航所申請之航空照片可取得外方位參數(各航空照片之像主點座標)及內方位參數(相機參數)，利用歷年的地形資料如各版次的相片基本圖及 LiDAR 1 公尺高精度 DEM 或現地量測獲得控制點座標進行空中三角平差，產製 DSM、正射影像及立體像對，整個過程依控制點取得難易影響空中三角平差之精度，照片 3-1 為立體像對判釋設備。崩塌地各期航照與衛星影像如圖 3-2 所示。

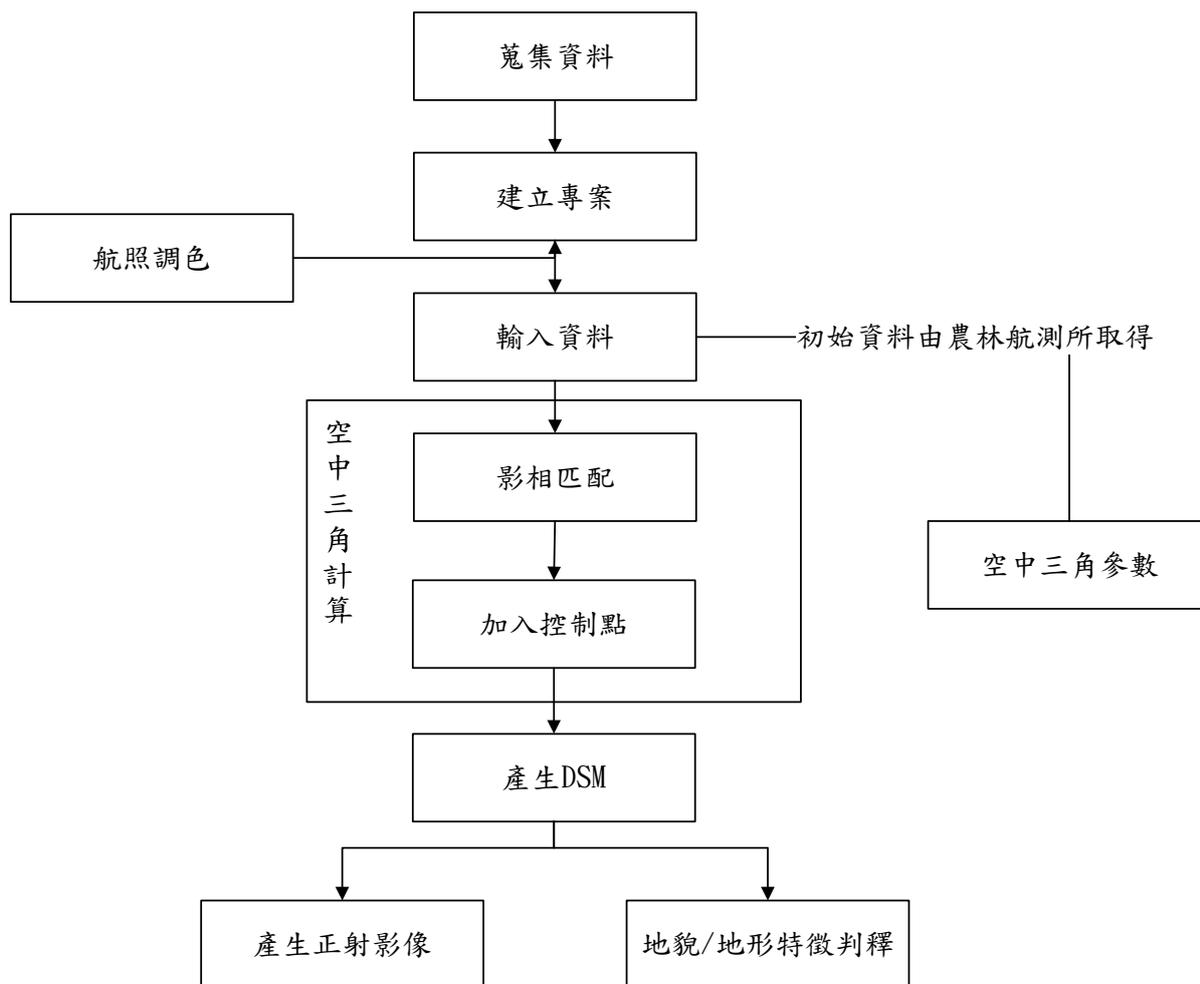
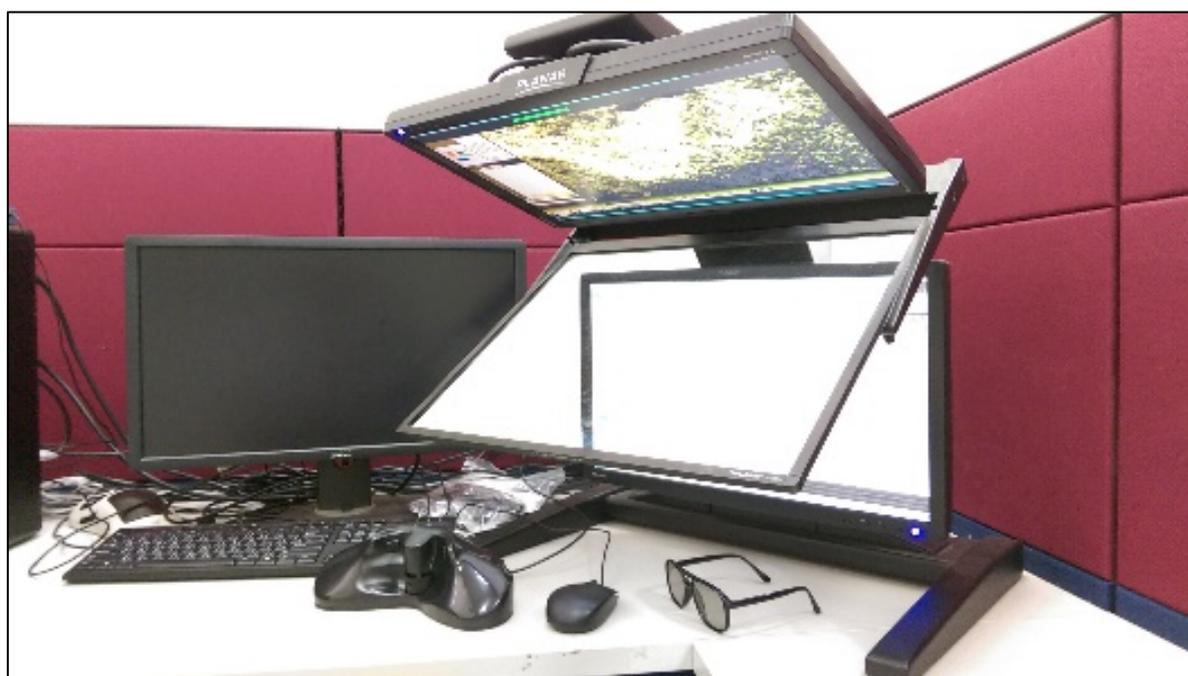


圖 3-1 航空照片判釋流程圖



照片 3-1 立體像對判釋設備

二、歷史災害與現況

由歷史影像分析(圖 3- 2)顯示，自 1980 年至 2018 年之歷年影像顯示，坡頂長期作為農耕用地使用。從 1980 年 7 月 2 日與 1983 年 7 月 20 日僅有產業道路與農作開墾，未見崩塌跡象(圖 3- 2 A 與 B)。1993 年 6 月 22 日(圖 3- 2C)，可見趾部西側出現局部破壞的裸露地以及坡腹中間新增開墾地。

從 2002 年 7 月 22 日、2003 年 7 月 1 日、2008 年 8 月 2 日、2013 年 7 月 28 日至 2015 年 7 月 31 日內 5 期航空照片與衛星影像(圖 3- 2D 至 H)，皆無發現崩塌特徵出現於 D024 潛勢區範圍內，其中 2013 年 7 月 28 日坡腹工寮搭建，該工寮可作為後續坡地變形分析之指標(圖 3- 2G)。至 2015 年 11 月 28 日於工寮下邊坡出現局部崩塌裸露(圖 3- 2I)。

2017 年 6 月 25 日及 2017 年 8 月 12 日影像顯示(圖 3- 2J 及 K)，趾部兩處崩塌裸露地益加擴大。至 2018 年 04 月 10 日坡頂崩崖面明顯出露(圖 3- 2L)，趾部兩處崩塌裸露地範圍擴大，崩塌地(紅框)沿東側邊界溪溝可見兩處局部崩塌裸露。此外，林務局(2019)國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測第 2 期-期末報告，指出此崩塌地除了有高活動性之外，有可能因暴雨或地震誘發一次性大規模崩滑。

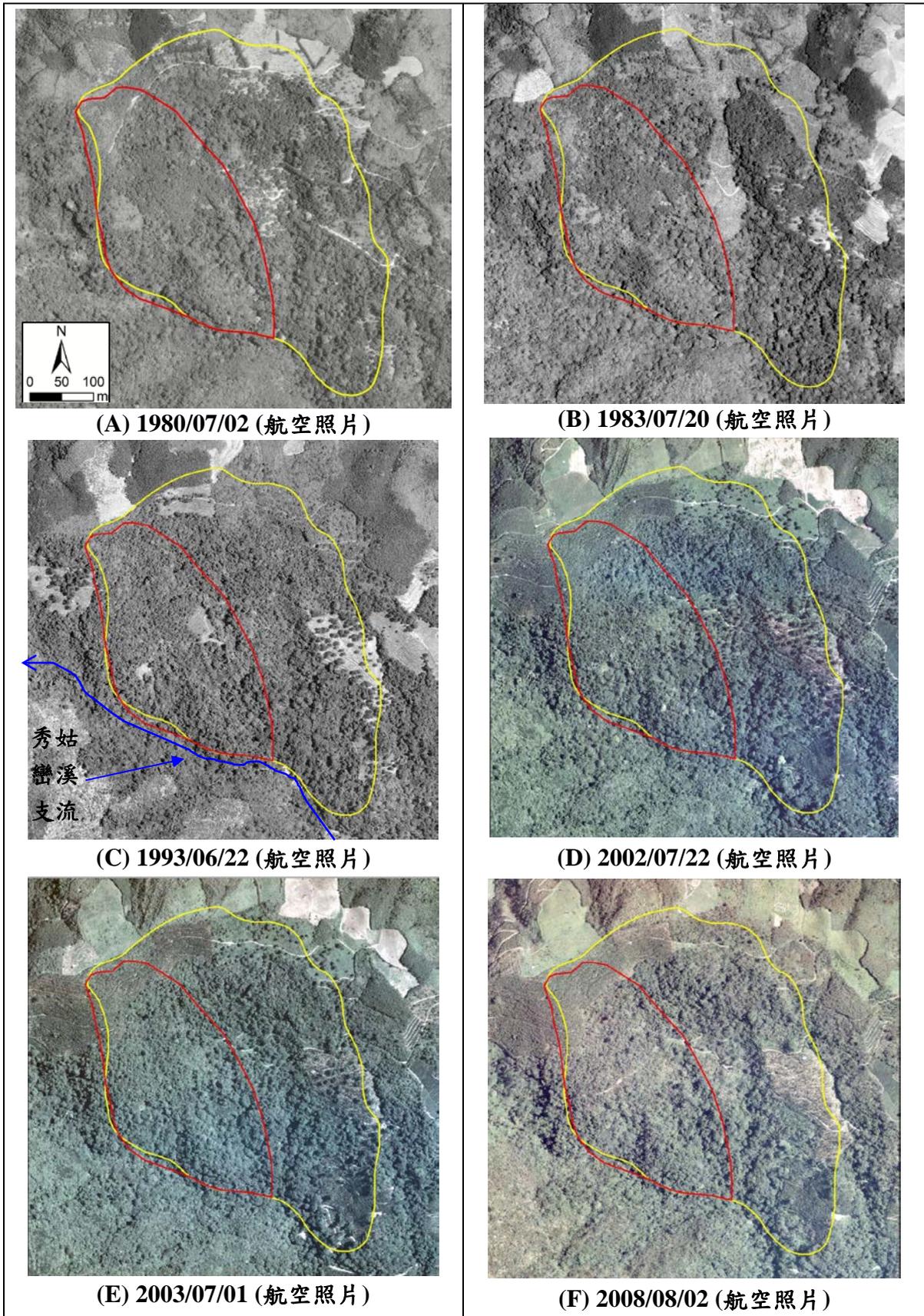


圖 3-2 D024 潛勢區歷史航照與衛星影像

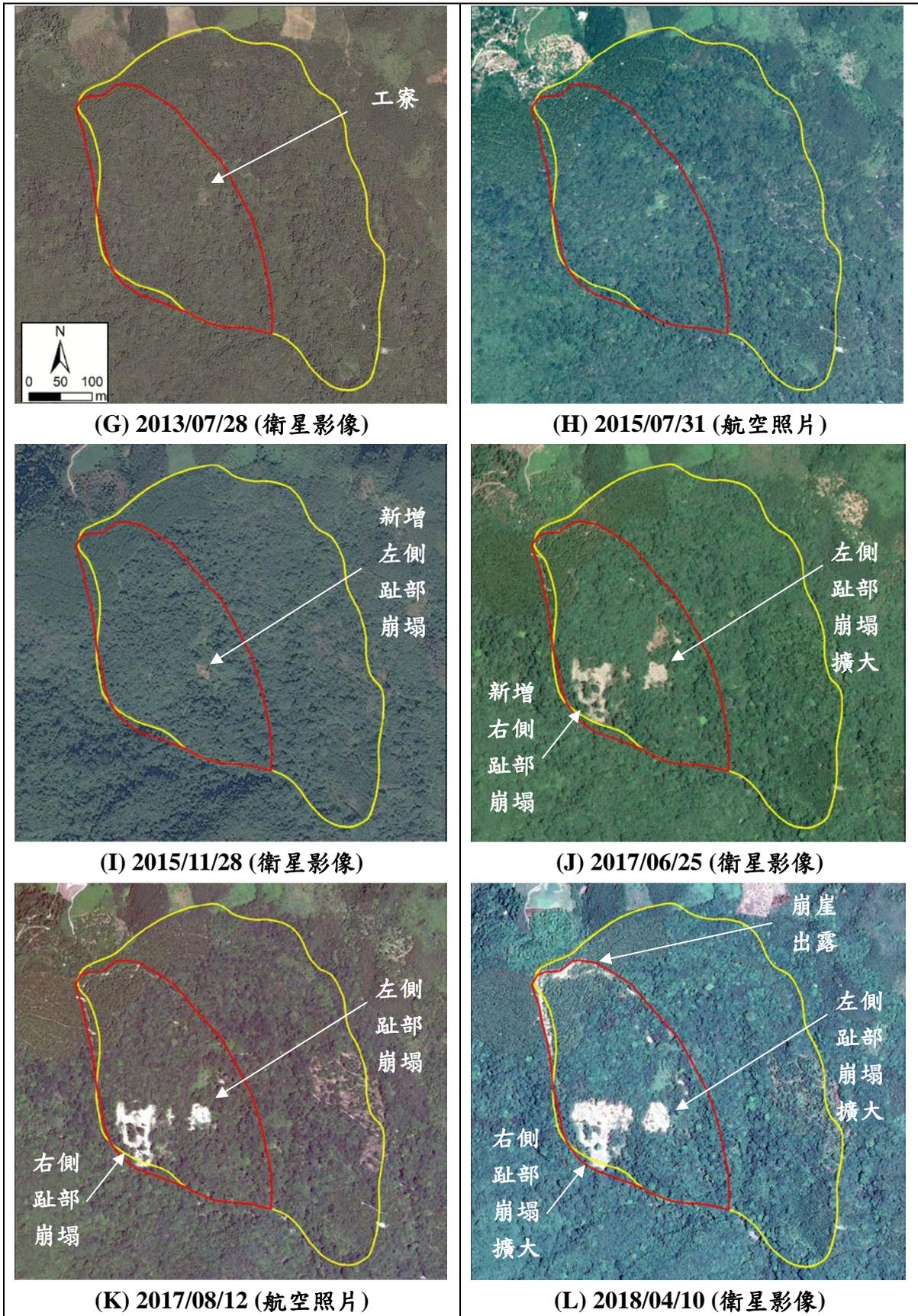


圖 3-2(續) D024 潛勢區歷史航照與衛星影像

針對本崩塌地，本計畫進行一系列無人飛行載具(Unmanned airplane vehicle, UAV)拍攝工作，並製作鑲嵌航拍結果與數值地表模型，以了解崩塌地現況。首先，蒐集林務局委託國立陽明交通大學防災中心於2019年5月30日製作之鑲嵌航拍結果與數值地表模型，並於2020年3月24日、2020年5月4日、2020年7月7日、2020年10月25日、2021年2月14日、2021年6月18日、2021年10月3日、2021年10月15日，分別完成8次無人飛行載具拍攝工作，進一步製作正射影像及數值地表模型，分析結果說明如下：

針對崩塌地近期狀況(2019年以後)，由林務局2019年5月30日之空拍正射影像，得知崩塌地範圍長約630 m、寬約350 m、高差約310 m(圖3-4)。本計畫分別於2020年3月24日至2021年10月15日前往崩塌地場址進行空拍作業，完成8期正射影像與數值地形模型(圖3-5至圖3-12)。綜合光達地形與空拍成果，主崩崖落差最大約有30公尺，另右翼落差高度與長度比左翼更高更長，崩崖面與頭部之檳榔樹倒塌方向凌亂，崩塌地內殘存檳榔園與原始林之檳榔樹與樹木皆完整；坡腹工寮座落於一小平台，由左翼至此平台存在一蝕溝，而平台下方亦存在一道蝕溝，進而發育成一趾部崩塌。此外，右翼下方趾部另有一處更大面積崩塌，其堆積物停留於趾部溪床上。

由2021年10月15日之空拍正射影像，得知主崩崖處新增零星的崩塌事件並產生局部陷落，主崩崖落差最大約有40公尺，左右趾部間存在一蝕溝，降雨後崩塌擴大左右趾部連通且向後產生漸進式的破壞，並由空拍影像俯瞰秀姑巒溪支流並未發現堰塞湖的形成。

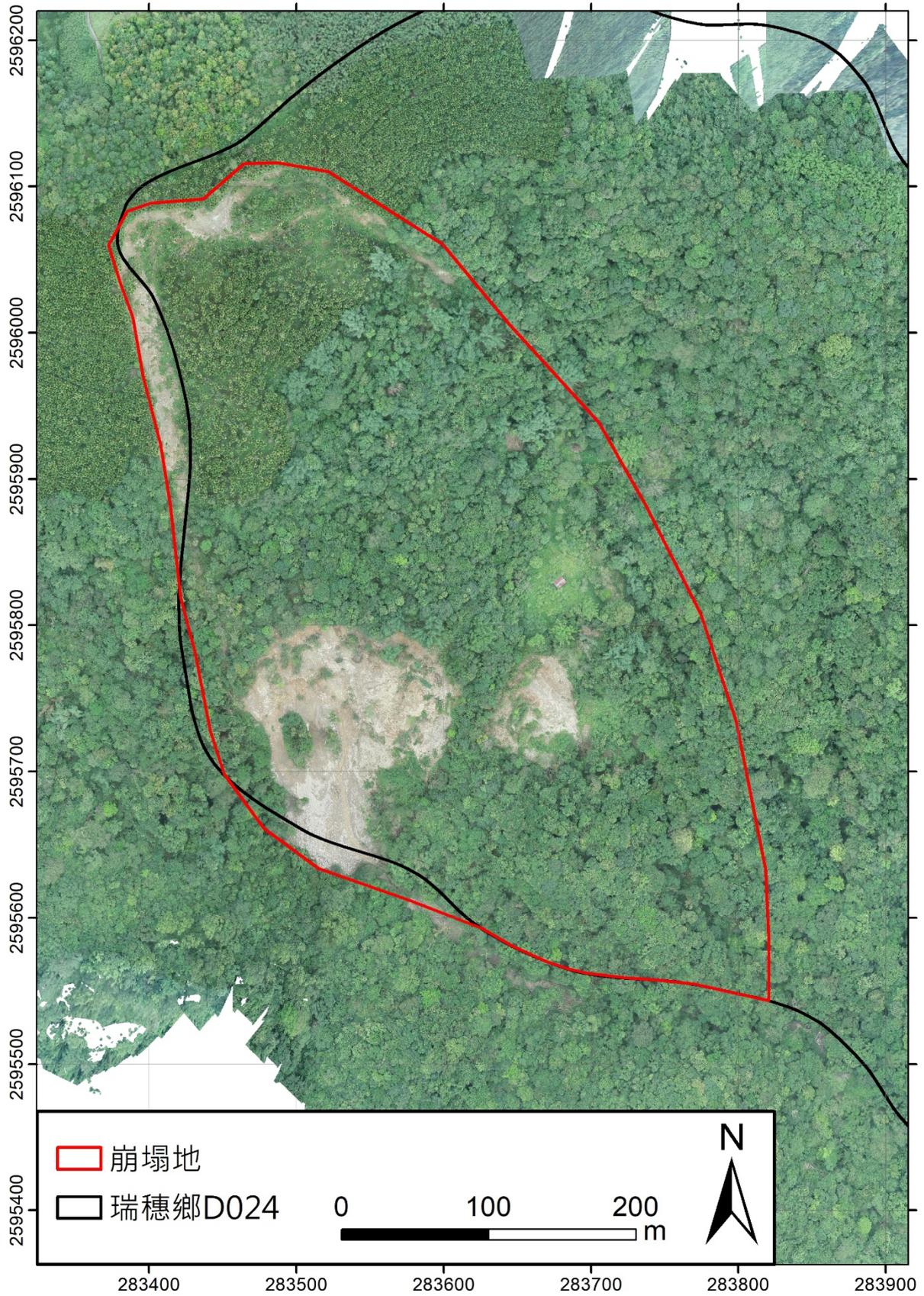


圖 3-3 2019 年 5 月 30 日空拍正射影像(林務局，2019)

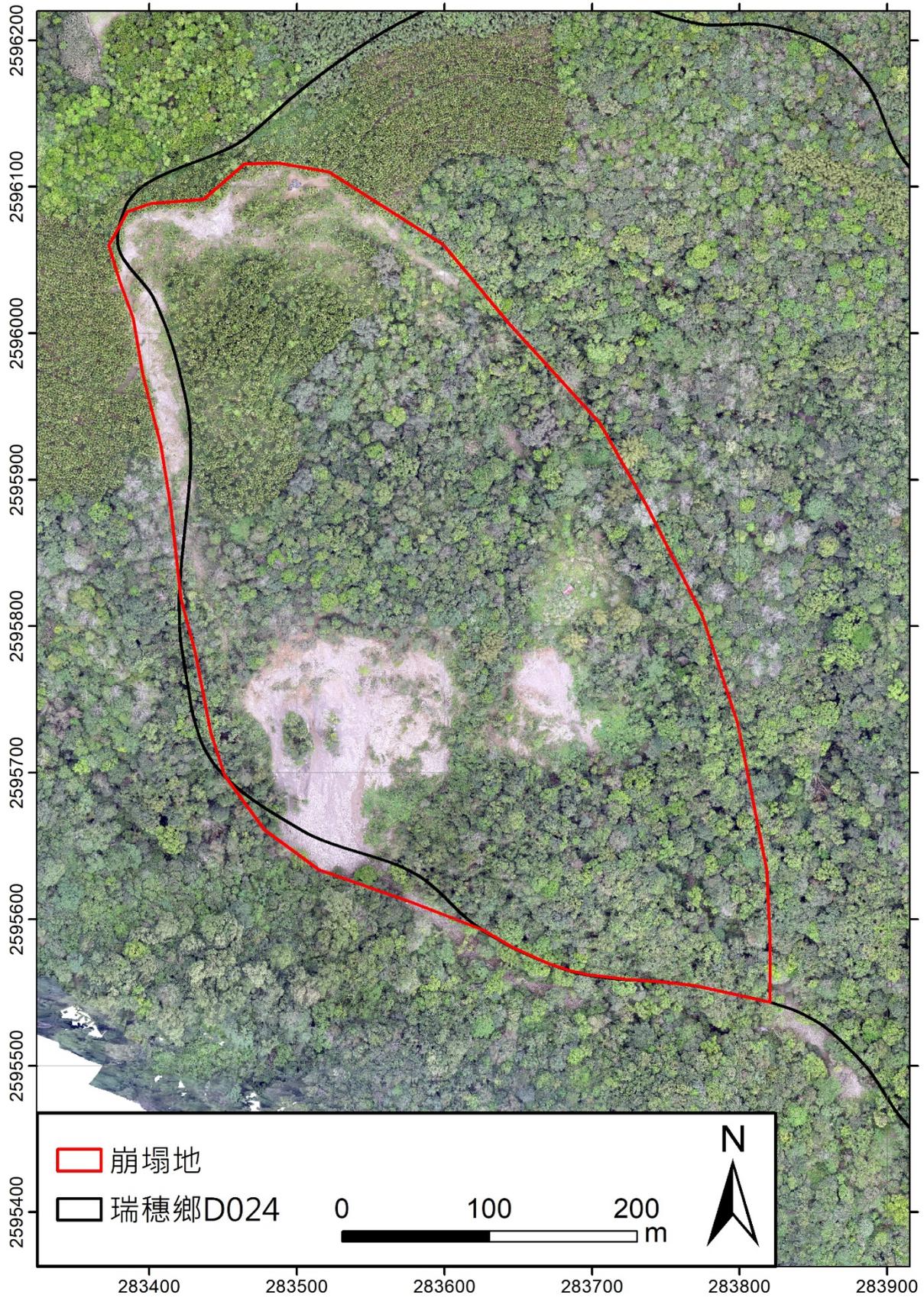


圖 3-4 2020 年 3 月 24 日空拍正射影像(本計畫成果)

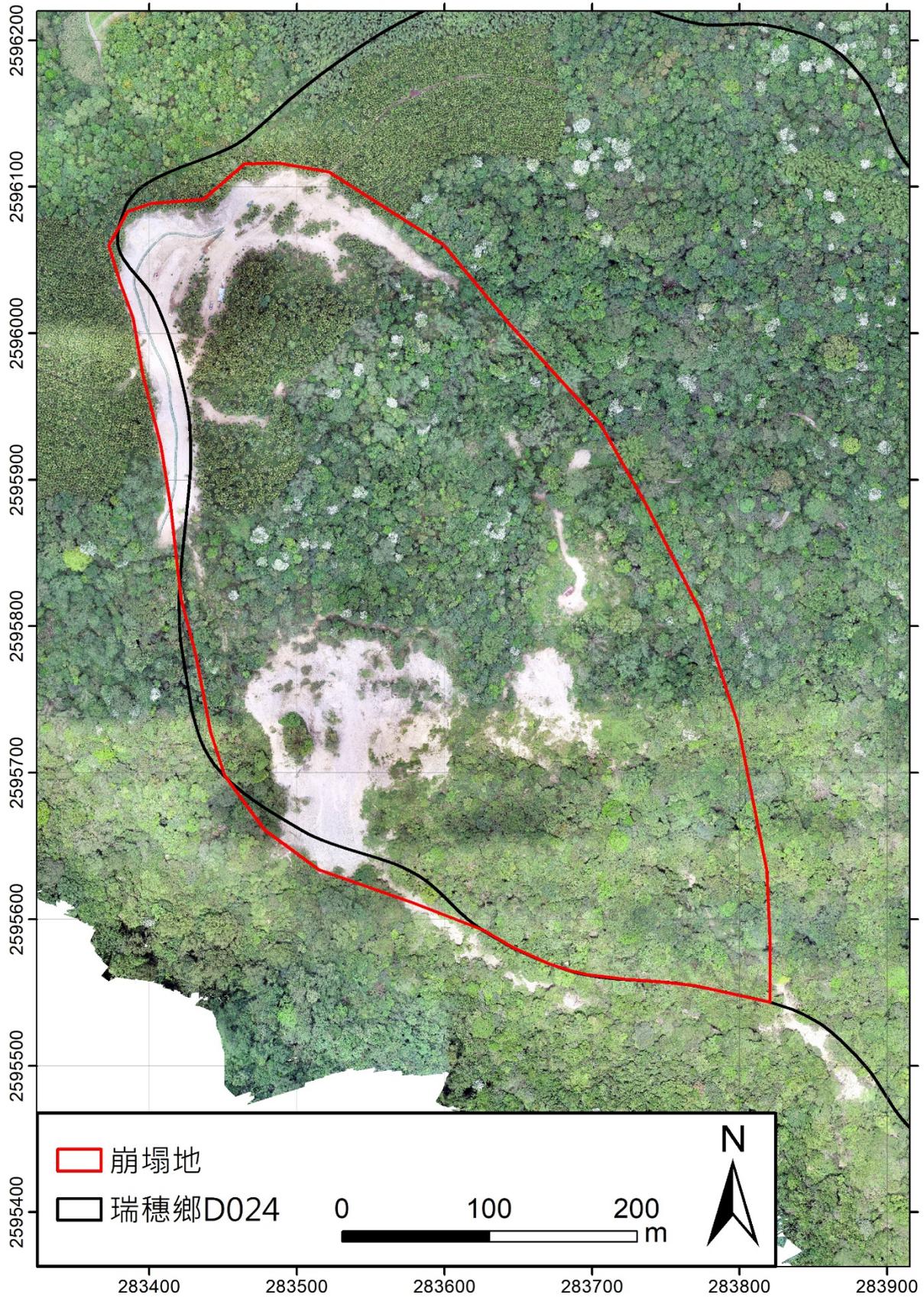


圖 3-5 2020 年 5 月 4 日空拍正射影像(本計畫成果)

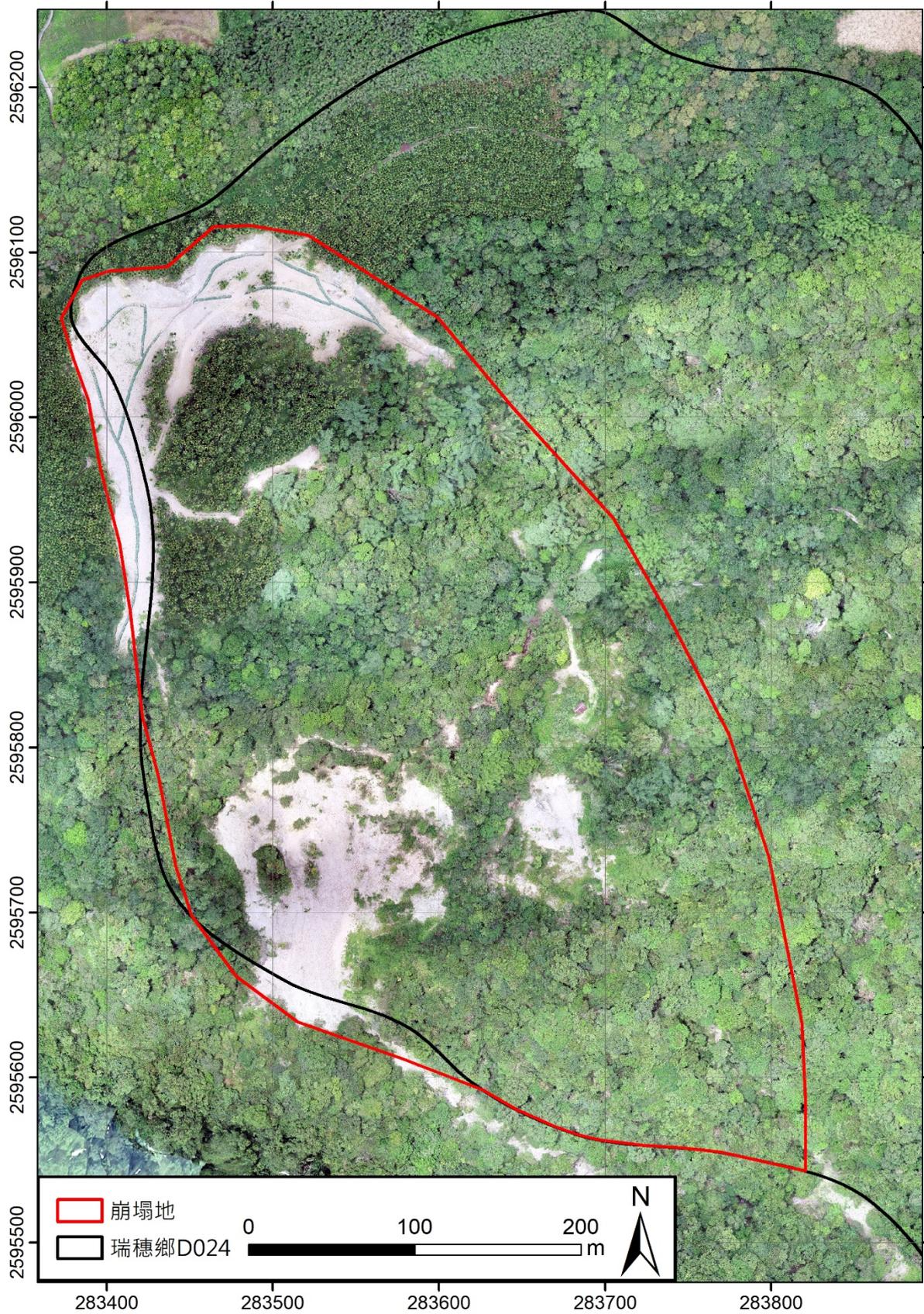


圖 3-6 2020 年 7 月 7 日空拍正射影像(本計畫成果)

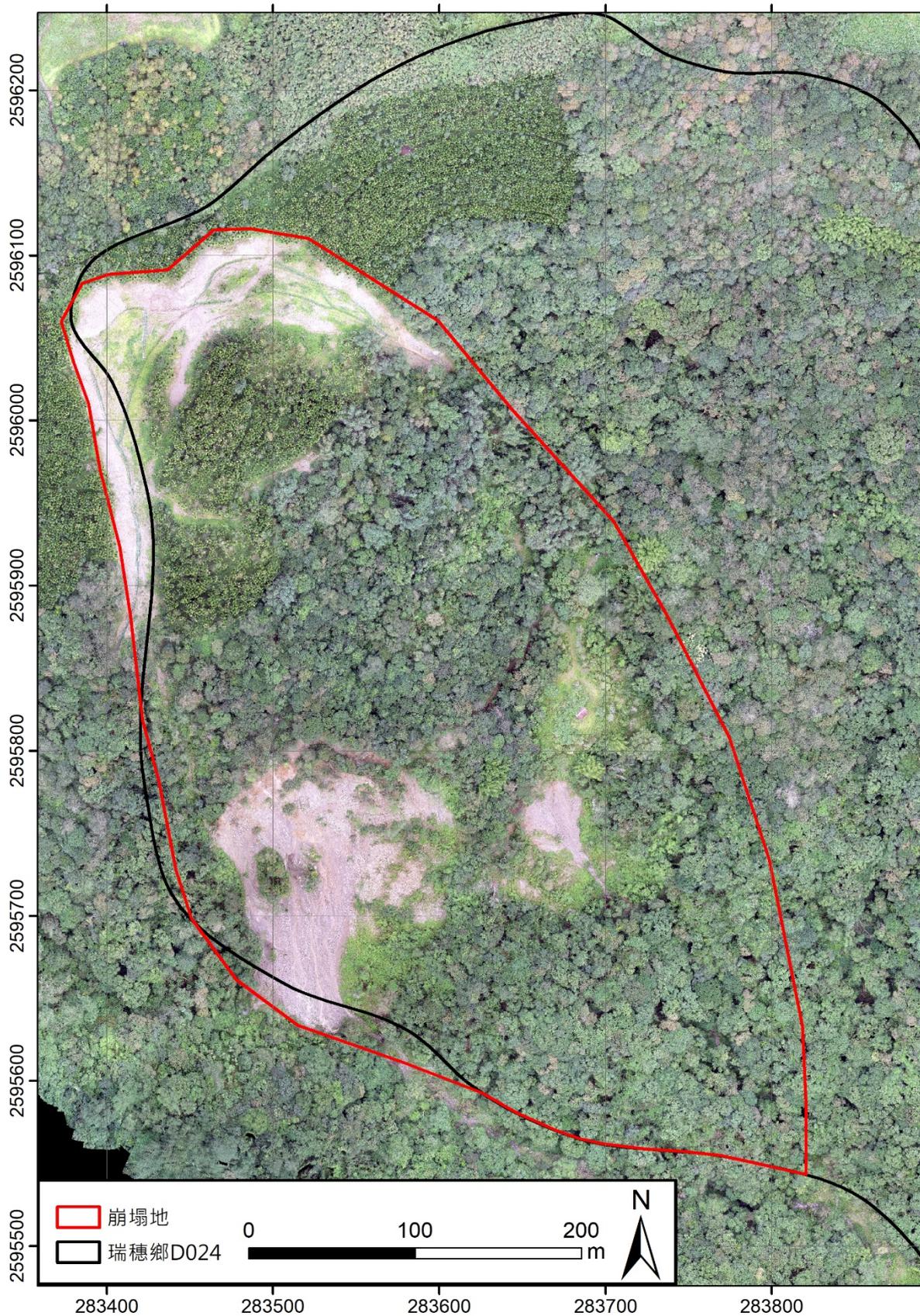


圖 3-7 2020 年 10 月 25 日空拍正射影像(本計畫成果)

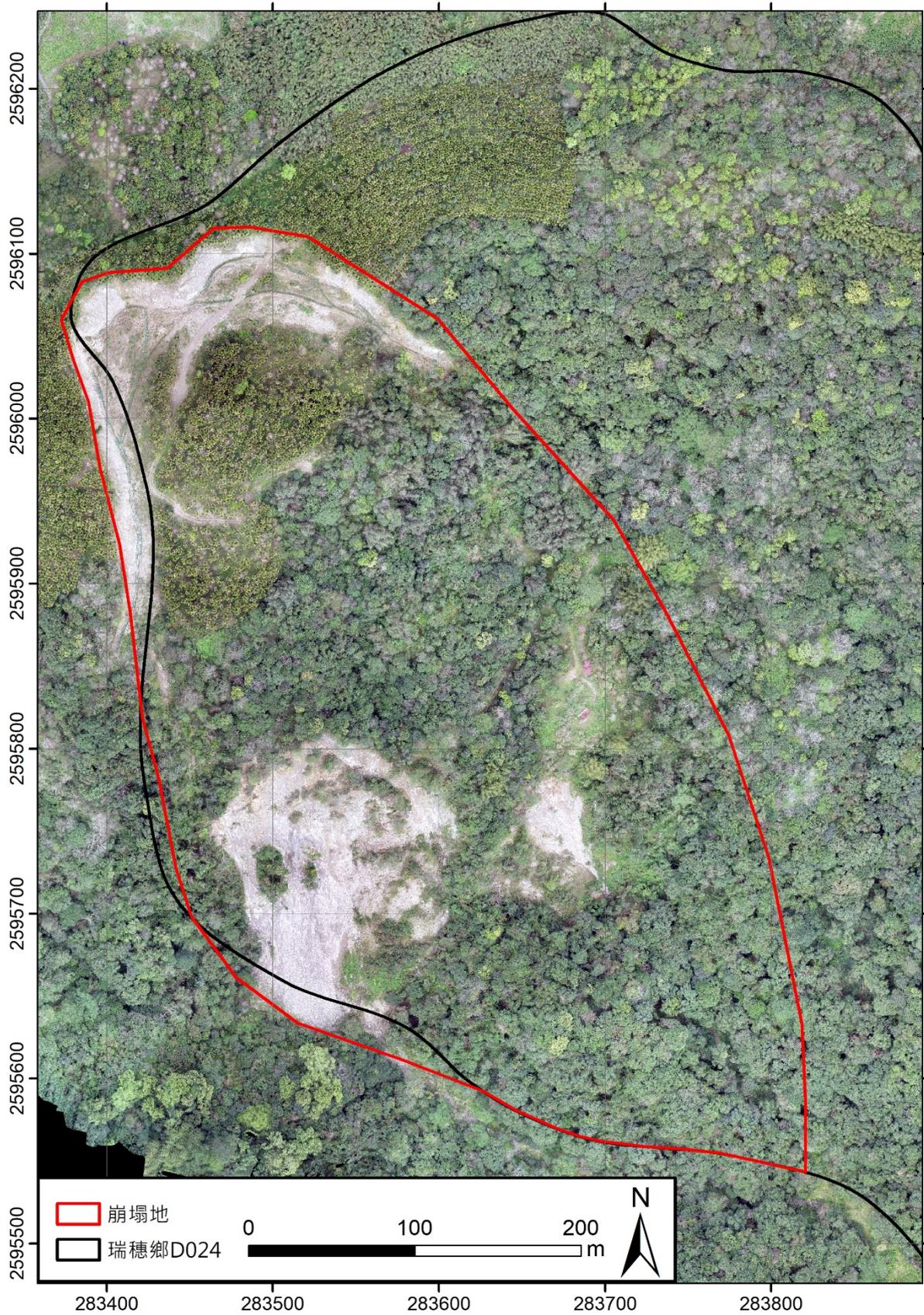


圖 3-8 2021 年 2 月 14 日空拍正射影像(本計畫成果)

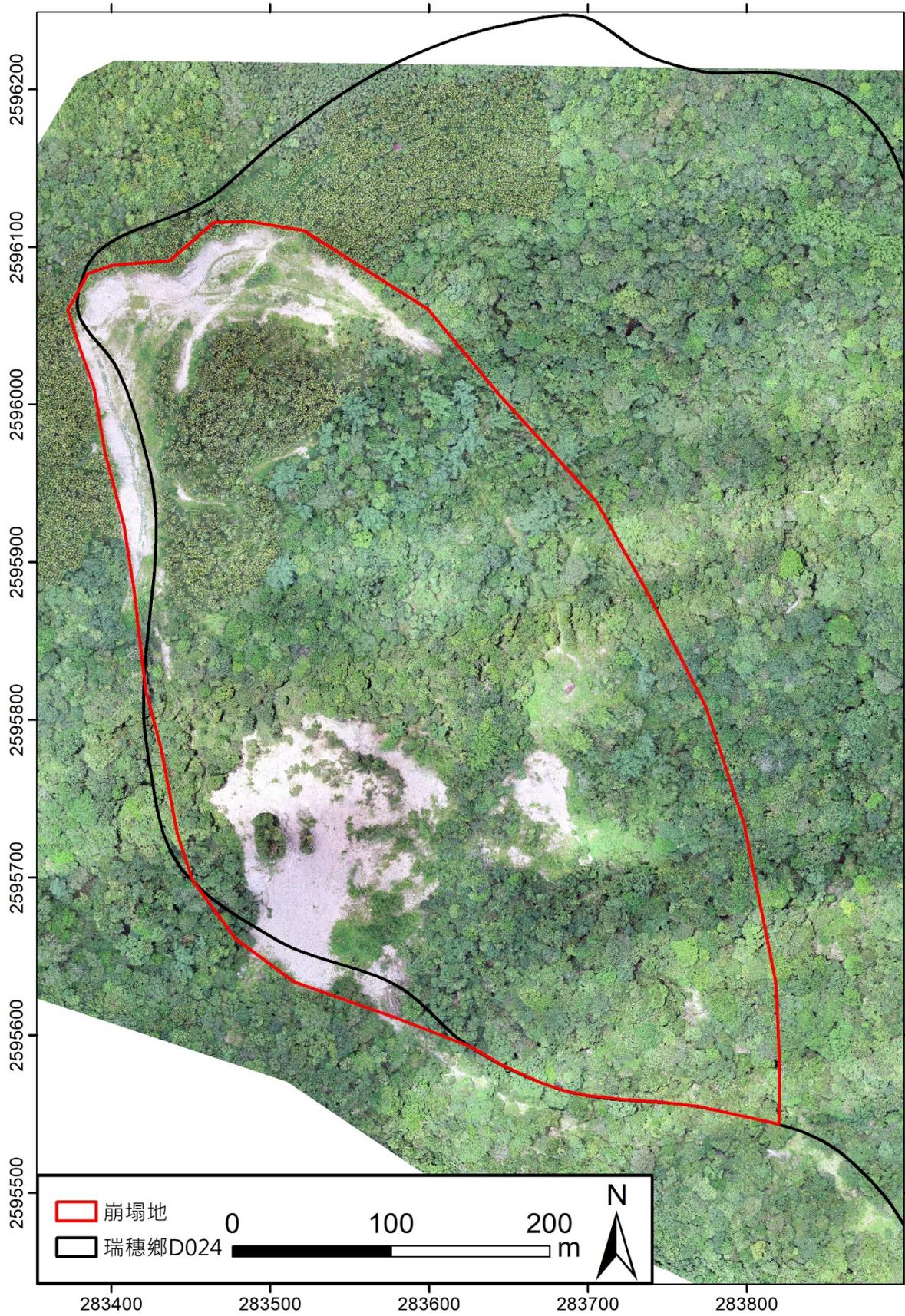


圖 3-9 2021 年 6 月 18 日空拍正射影像(本計畫成果)

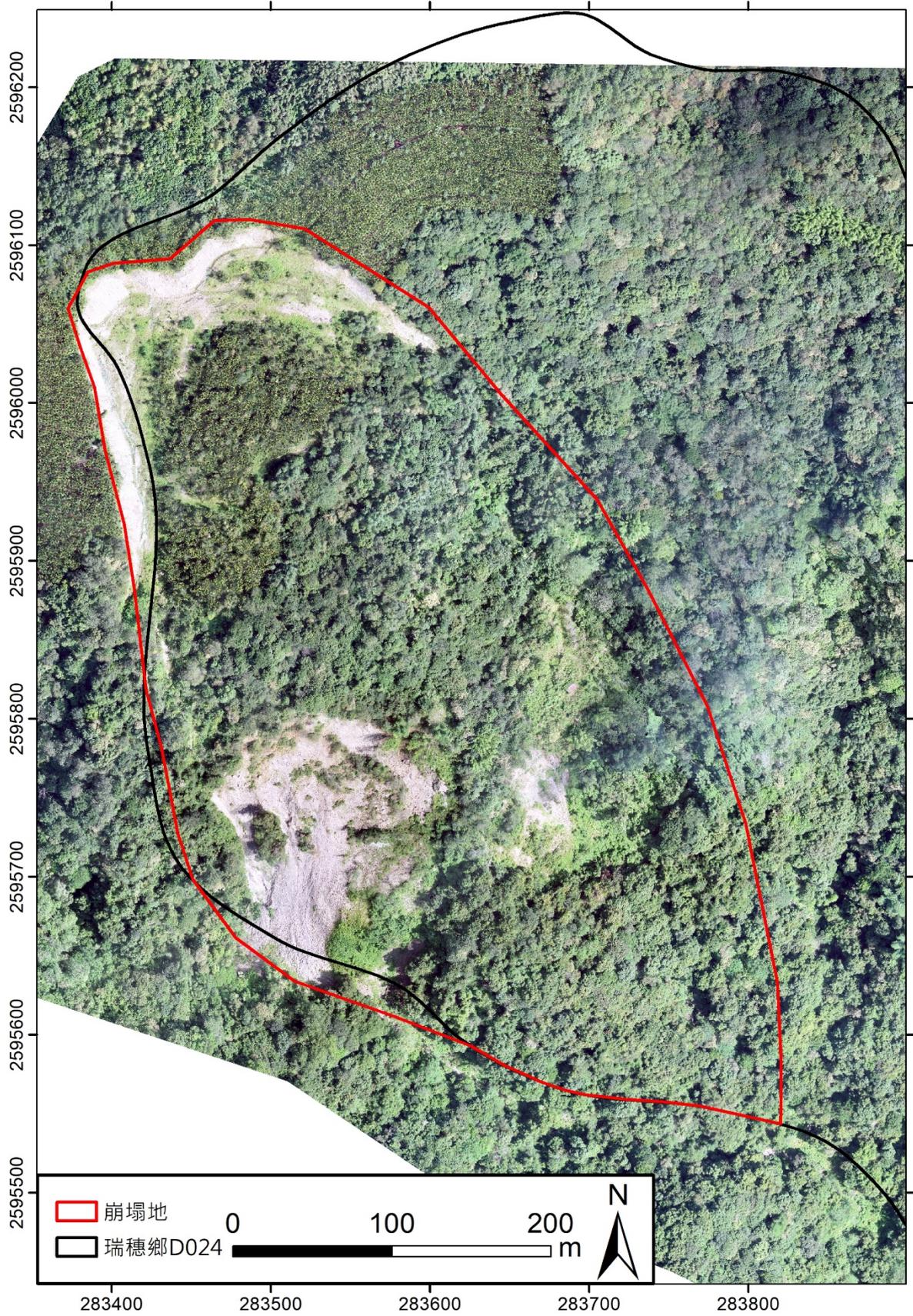


圖 3-10 2021 年 10 月 3 日空拍正射影像(本計畫成果)

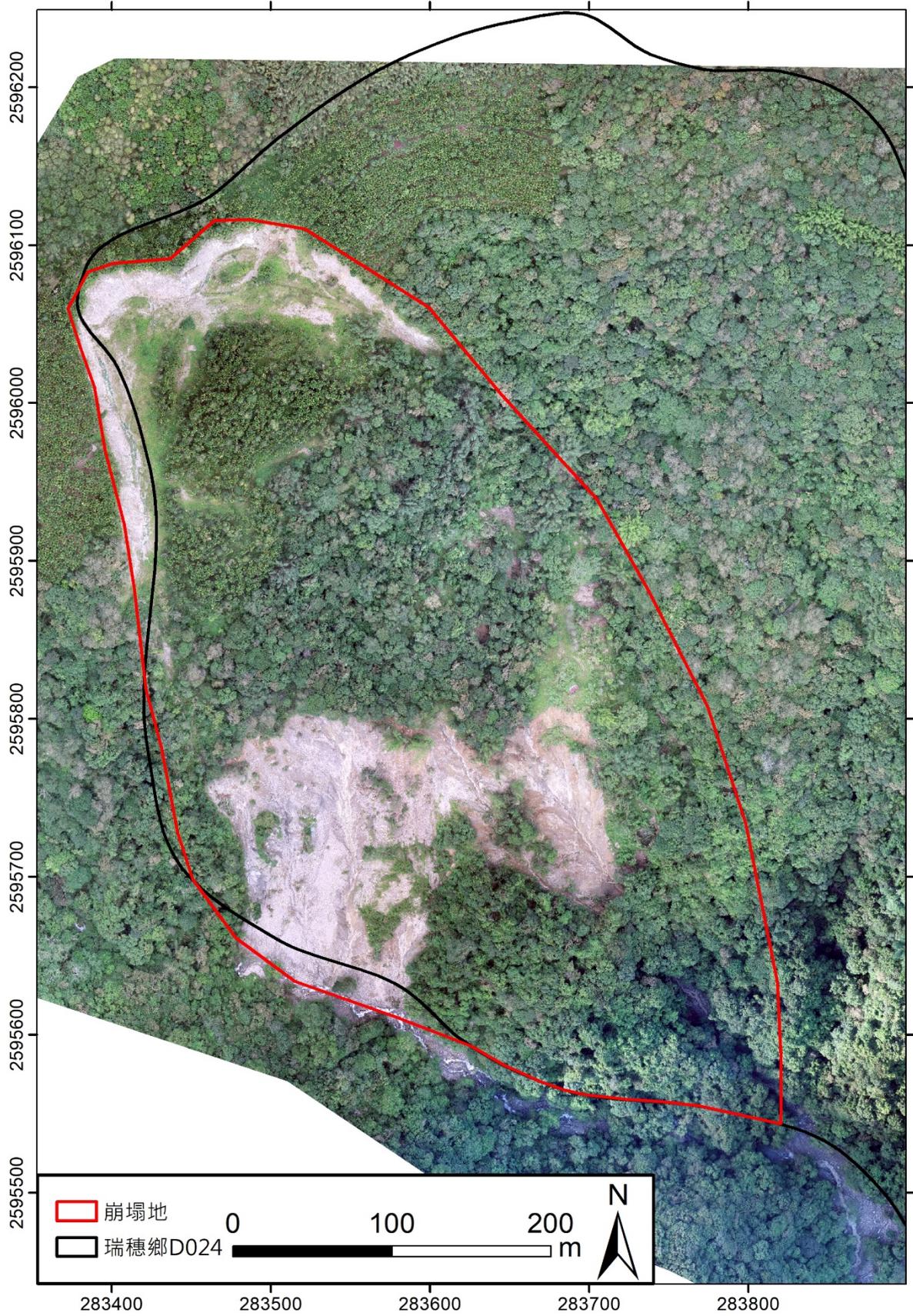


圖 3-11 2021 年 10 月 15 日空拍正射影像(本計畫成果)

整合本計畫所蒐集崩塌地之雨量、地震、遙測資料等，進一步繪製雨量、地震與本坡地崩塌面積關係如圖 3- 12 所示。由圖中可見，2015 年之前並無明顯崩塌。2015 年 11 月後，崩塌開始產生。經 2016 年三場颱風事件，裸露面積增加至 9,807 m²。至 2017 年 10 月豪雨事件後，裸露面積明顯增加至 15,250 m²。2018 至 2020 年，雖未有更大之豪雨事件，但裸露面積持續增加。2021 年 10 月圓規颱風事件，裸露面積明顯增加至 45,789 m²，相較雨量而言，地震事件對崩塌面積之影響較不明顯。

綜上所述，大規模滑動主要為 2016 年三場颱風事件、2017 年 10 月 11 日豪雨事件與 2021 年 10 月圓規颱風事件所導致，而前期颱風降雨造成趾部崩塌，可能使得坡趾支持力降低，而使邊坡穩定性下降。依據上述影像分析，此崩塌地具極高之活動性。

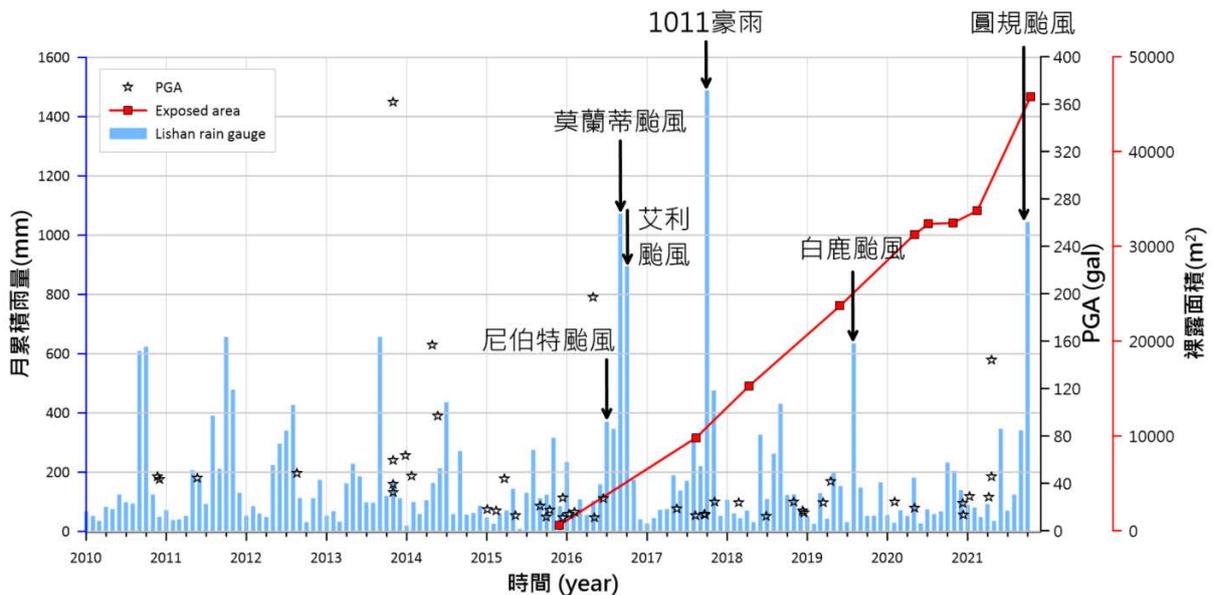


圖 3- 12 本坡地崩塌面積與雨量、地震關係圖

三、質點影像測速技術分析

本計畫透過質點影像測速技術(Particle Image Velocimetry, PIV)，針對各期無人機空拍影像進行位移分析。關於質點影像測速技術(PIV)說明如下：

選擇前後時期拍攝之兩幅航測正射影像進行影像匹配(Image Matching)，地表之位移變化會造成正射影像間的像元位移(Pixel Offset)，在正射影像上固定間距(D)進行影像匹配可獲得密集的像元位移場，此時影像匹配之移動視窗(Moving Windows)大小固定為 w，比較前期及後期影像(w x w)視窗內的灰度值可計算像元位移量(Δ_{sample} 及 Δ_{line})，像元位移量(單位：pixel)乘上影像地面空間解析度(GSD, Ground Sampling Distance)即可得到地表位移量(單位：公尺)，圖 3-13 為 PIV 尋找位移量之示意圖。

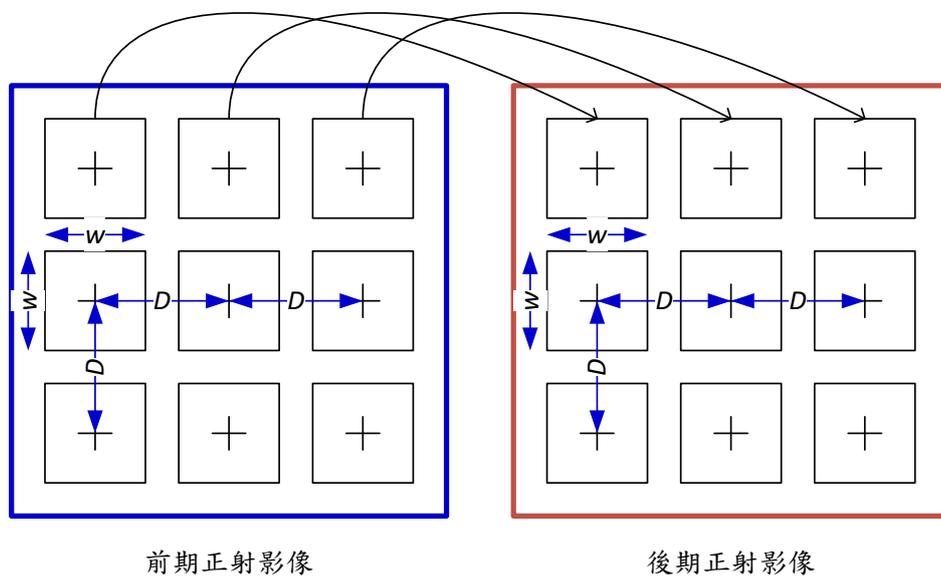


圖 3-13 PIV 尋找位移量之示意圖

PIV 分析主要包含以下四個主要程序：(1)影像正射化處理；(2)影像匹配產生位移量；(3)剔除錯誤點；(4)人工抽樣品質檢驗，詳細內容分述如下：

(1) 影像正射化處理產生正射影像

本計畫 PIV 的輸入資料為前後期正射影像，若正射影像校正不完善，會產生影像間的偏移，進而造成 PIV 之誤判，因此嚴密的影像正射化程序可降低 PIV 之誤判。影像正射化作業需採用高重疊影像進行空中三角測量，空中三角測量利用地面控制點及航帶聯結點完成影像拍攝方位參數之解算，經由多視角影像匹配產生數值地表模型(Digital Surface Model)，再使用 DSM 及方位參數校正傾斜移位及地表高差移位，最終

產生正射影像(邱式鴻，2014)。為使前後期影像良好套合，本計畫採用相同區域的地面控制點，及重疊率大於 80% 的重疊影像增加觀測量。

(2) 影像匹配產生位移量

影像匹配是 PIV 自動化計算前後期影像間位移量的關鍵技術，影像匹配是經由比對兩個影像視窗的灰度值，尋找對應的坐標位置，進而計算像元位移量($\Delta\text{sample}=\text{sample}_{\text{後期}}-\text{sample}_{\text{前期}}$ 及 $\Delta\text{line}=\text{line}_{\text{後期}}-\text{line}_{\text{前期}}$)，影像匹配可概略分為相關係數匹配(Correlation Matching)及頻率域匹配(Phase Matching)(Stone et al., 2001)，相關係數匹配直接使用兩個視窗內的灰度值，計算視窗內灰度值的相關係數，相關係數大則代表相似，經由一次平移一個像元，找到最大相關係對應的平移量，即為像元位移量，優點是計算簡單，缺點則是不夠精密；頻率域匹配則是先將灰度值影像轉換至頻率域，計算兩組頻率域資料的 cross-power spectrum，其峰值即為匹配點之位置，缺點是計算量較大，而優點是能求解精密的平移量，但必須使用相同空間解析度的前後期影像，因本計畫採用空間解析度一致的前後期正射影像，故本研究使用頻率域匹配產生位移量，以獲取精密的位移量。

(3) 剔除錯誤點

頻率域匹配仍有可能得到錯誤的像元位移量，而錯誤匹配多數發生在影像均調區或影像間同質性差異大的地方，因此本計畫使用兩個方法剔除錯誤匹配點：(1)頻率域匹配相關性峰值必須有明顯的極值，明顯的極值代表前後影像間不是均調區；(2)訊雜比(Signal-to-noise ratio)應大於門檻，利用這兩項指標可剔除錯誤匹配點，提升 PIV 的可靠度。

(4) 人工抽樣品質檢驗

PIV 的優點是自動化產生二維移位向量場，為確保成果品質的可靠性，本計畫抽樣檢視移位向量場的可靠性，檢驗方式選取前後期影像之控制點計算位移($\text{Displacement}_{\text{gcp}}$)，並選取控制點區域的 PIV 自動匹配移點向量 ($\text{Displacement}_{\text{piv}}$)，經由比較 $\text{Displacement}_{\text{gcp}}$ 及 $\text{Displacement}_{\text{piv}}$ 可概略評估 PIV 的特徵明銳處的可靠性。由於控制點是佈設在穩定區域內進行控制，其位移量之理論值應為零，表 3- 1 為

Displacement_{gcp} 及 Displacement_{piv} 的比較表，在相對穩定區域內，PIV 移位向量值均小於 10 公分，即誤差約 10 公分。對空間解析度為 5 公分的正射影像而言，控制點位移量的隨機誤差小於 2 個像元。

由於本計畫滑坡區域內前後期影像的位移量達公尺等級，相較之下，10 公分的誤差小於 PIV 位移量，即滑坡區域內的 PIV 移位向量場成果具有辨識度，而不是在隨機誤差內。

表 3-1 人工抽樣品質檢驗

前後期影像日期	Displacement _{gcp} 理論值	Displacement _{piv} 自動化成果
20190530_20200324	0	0.093m
20200324_20200504	0	0.044m

透過質點影像測速技術(PIV)，分別對第一期與第二期以及第二期與第三期進行分析，成果呈現如圖 3-14 至圖 3-17，由 PIV 成果顯示：前兩期之間差距 299 日，有明顯且均勻分布的位移量，兩期之間僅有 2019 年白鹿颱風與此區有高累積降雨紀錄，故此颱風之降雨量應可作為觸發滑動之參考。而後兩期之間的差距雖僅有 41 日，期間無明顯降雨，但仍有明顯位移產生。位移分布主要平均分布於頭部下緣、原始林至工寮平台，但整體滑移方向一致與量值相近。

本計畫進一步利用航照與無人機空拍正射影像於工寮南端屋角作為指標，比較各期影像之間的位移量(表 3-2)，自 2015 年 7 月 31 日至 2020 年 5 月 4 日累積共 1739 日，累積位移量高達 27.51 m，近 2 年位移速率介於 0.0044 至 0.027 m/day。依據基本資料蒐集成果，進一步繪製雨量、地震與本坡地累積位移量關係如圖 3-29 所示。由歷年正射影像比對可見，2015 年之前工寮並無位移。2015 年 11 月後，工寮位移開始發生。至 2017 年 10 月豪雨事件後，位移快速增加，2019 年白鹿颱風亦有較大累積位移，以及 2021 年圓規颱風，位移急遽增加，位移仍持續增加中，顯示本崩塌地極不穩定，未來可能發生一次性大規模崩滑。

自 2020 年 5 月 4 日至 2021 年 2 月 14 日，增加三期無人機空拍正射影像，成果呈現如圖 3-18 至圖 3-23，期間工寮南端屋角位移速率介於 0.0097 至 0.018 m/day，2020 年 10 月 25 日至 2021 年 2 月 14 日，累積共 112 日，累積位移量 2.01 m，此分析結果與 GPS 監測結果相符。自 2015 年 7 月 31 日至 2021 年 2 月 14 日累積共 2025 日，累積位移量高達 31.53 m，位移仍持續增加。

自 2021 年 2 月 14 日至 2021 年 10 月 15 日，增加三期無人機空拍正射影像，成果呈現如圖 3-24 至圖 3-27，期間工寮南端屋角位移速率介於 0.0072 至 0.093 m/day，2021 年 10 月 10 日圓規颱風事件導致坡趾崩塌擴大並產生明顯位移，兩期之間差距 12 日造成位移量 1.11 m。自 2015 年 7 月 31 日至 2021 年 10 月 15 日累積共 2268 日，累積位移量高達 34.33 m，位移仍持續增加。

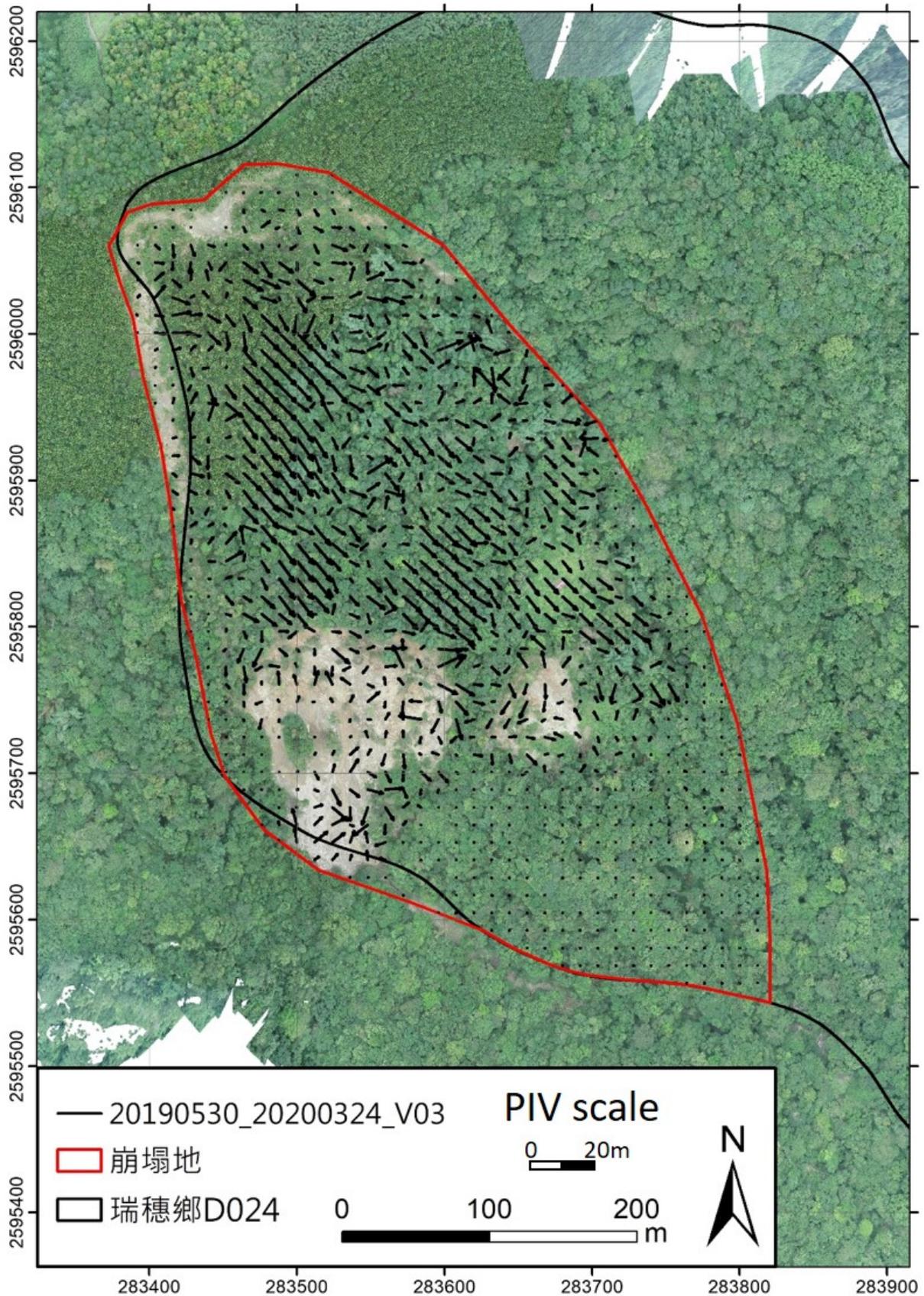


圖 3- 14 2019 年 5 月 30 日與 2020 年 3 月 24 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2019 年 5 月 30 日正射影像為底圖)

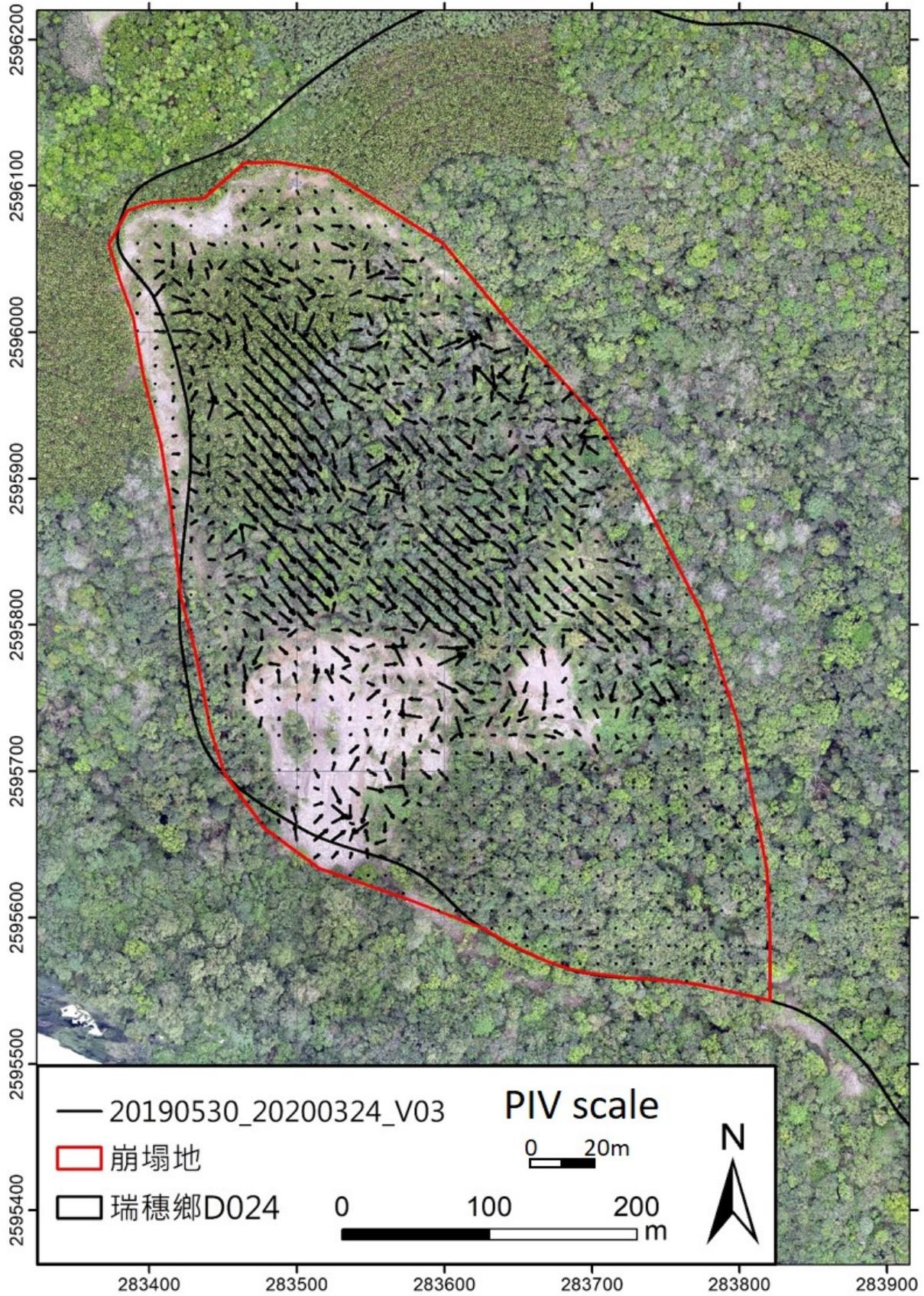


圖 3- 15 2019 年 5 月 30 日與 2020 年 3 月 24 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2020 年 3 月 24 日正射影像為底圖)

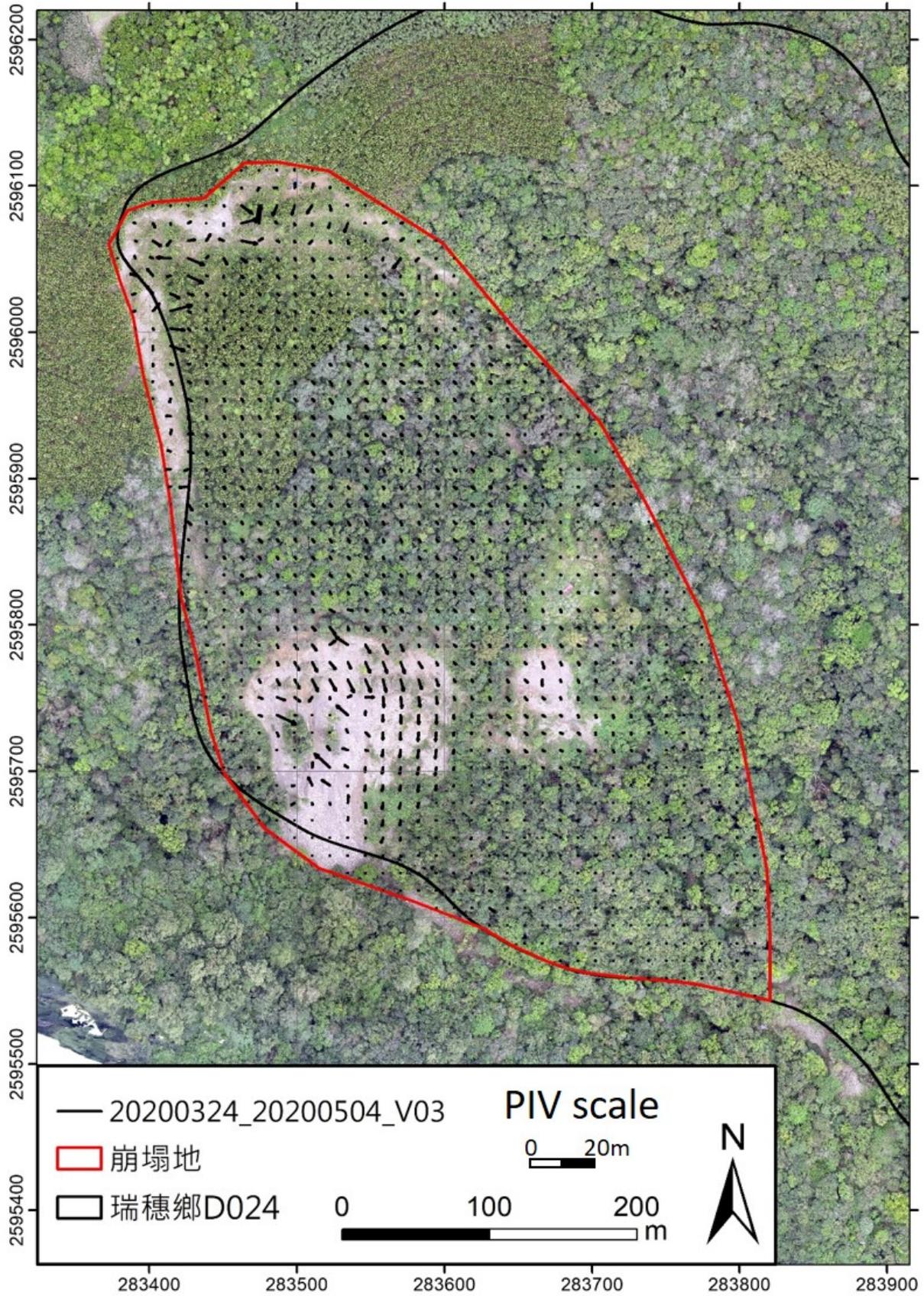


圖 3- 16 2020 年 3 月 24 日與 2020 年 5 月 4 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2020 年 3 月 24 日正射影像為底圖)

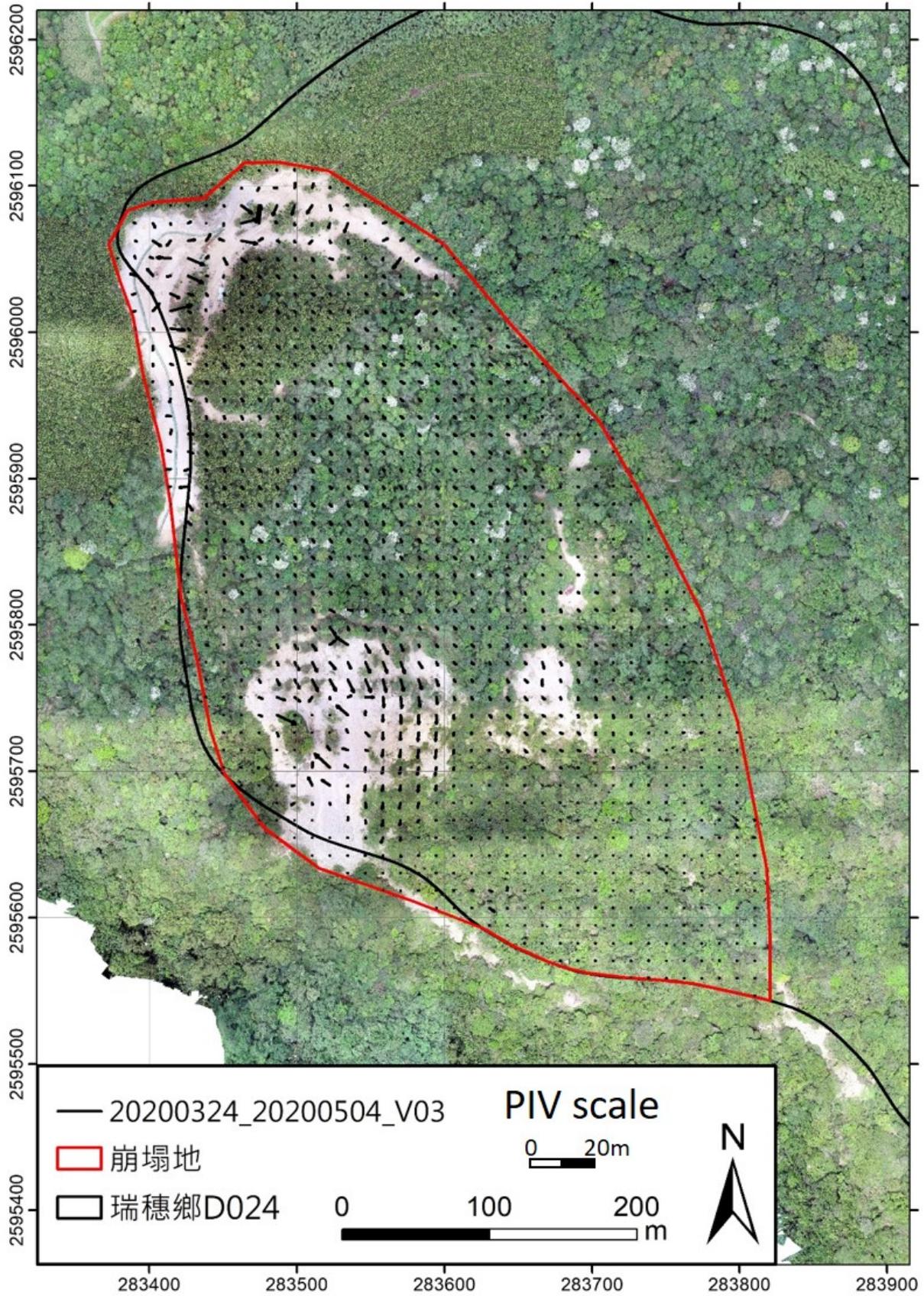


圖 3-17 2020 年 3 月 24 日與 2020 年 5 月 4 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2020 年 5 月 4 日正射影像為底圖)

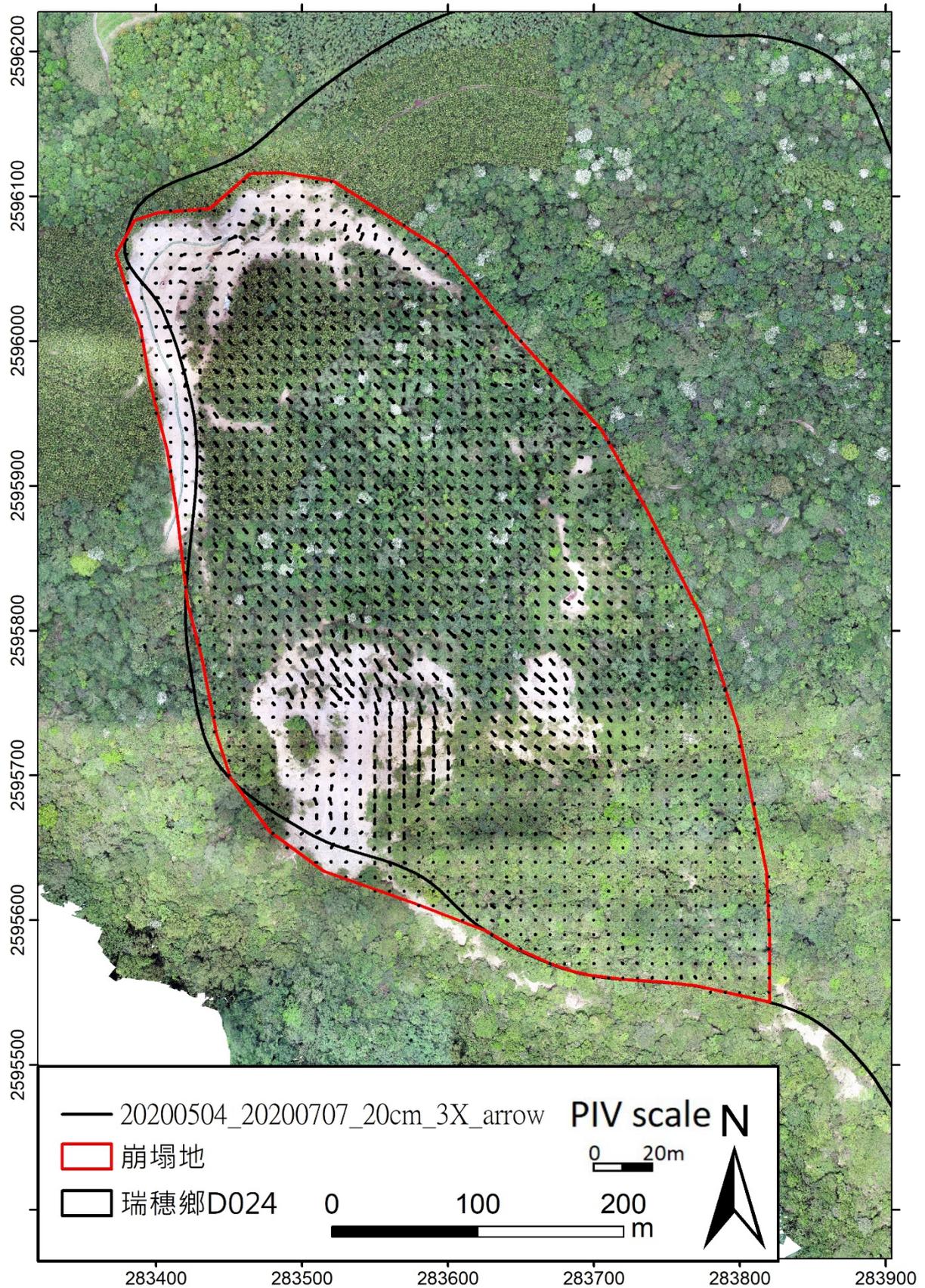


圖 3- 18 2020 年 5 月 4 日與 2020 年 7 月 7 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2020 年 5 月 4 日正射影像為底圖)

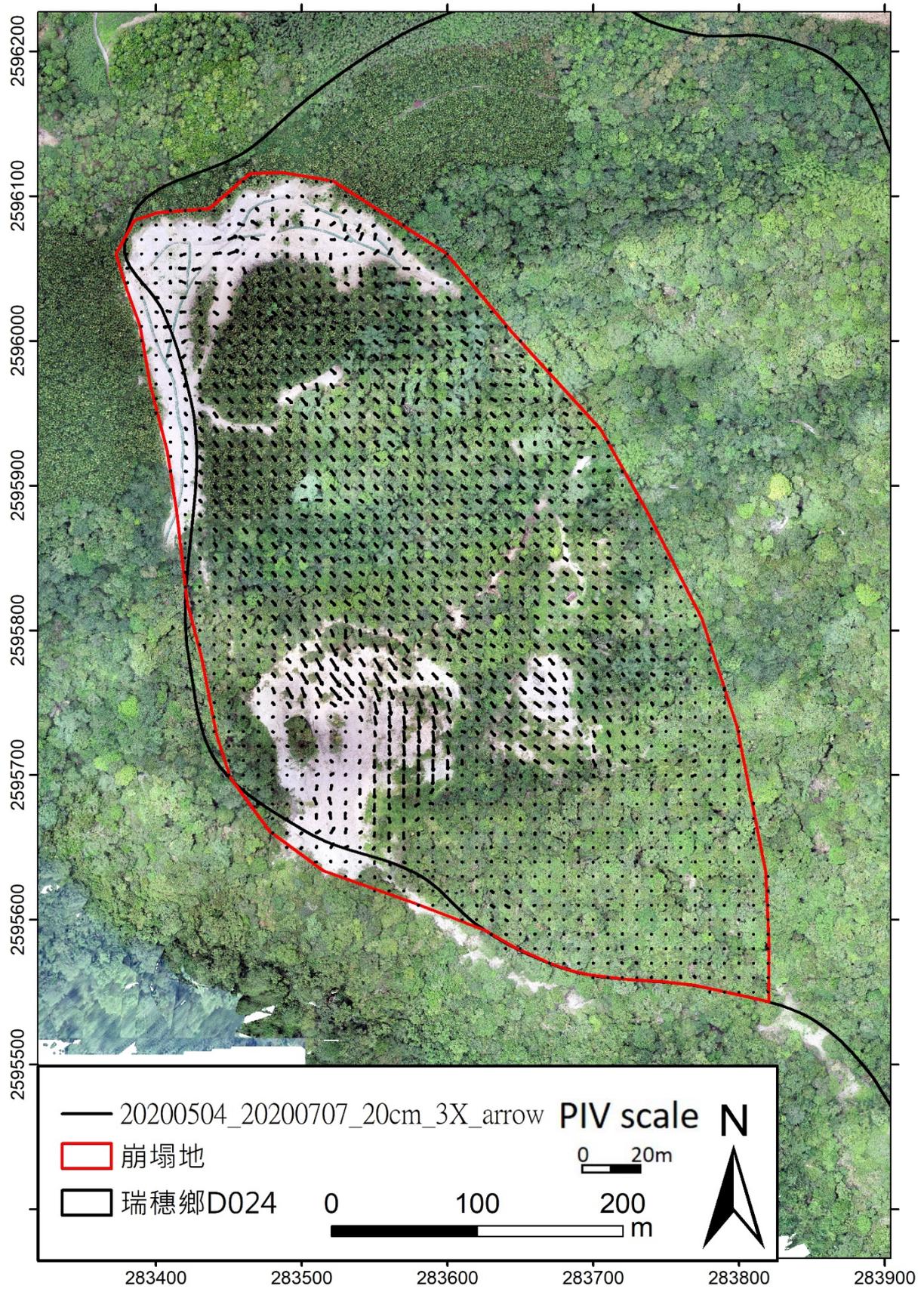


圖 3-19 2020 年 5 月 4 日與 2020 年 7 月 7 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2020 年 7 月 7 日正射影像為底圖)

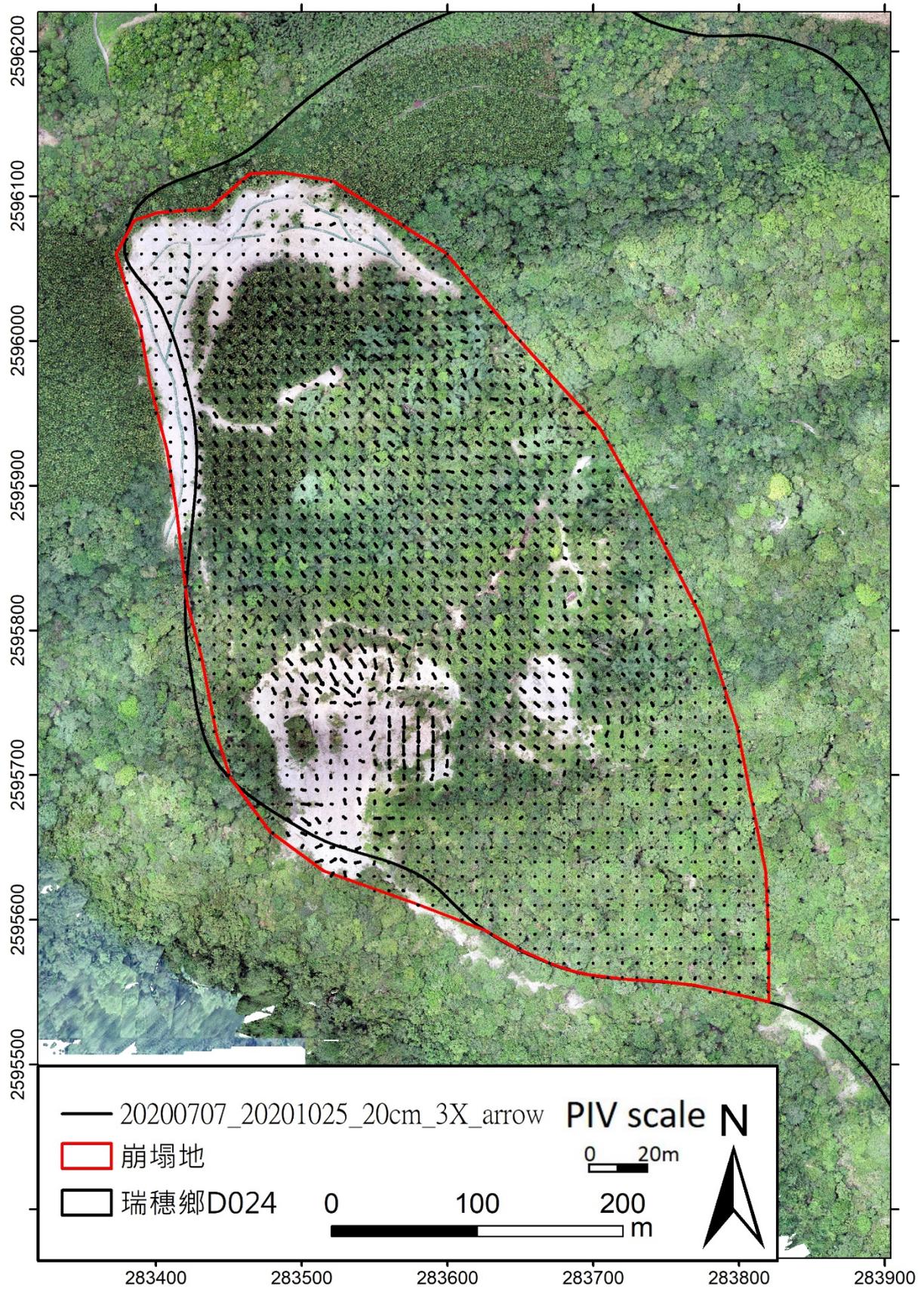


圖 3- 20 2020 年 7 月 7 日與 2020 年 10 月 25 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2020 年 7 月 7 日正射影像為底圖)

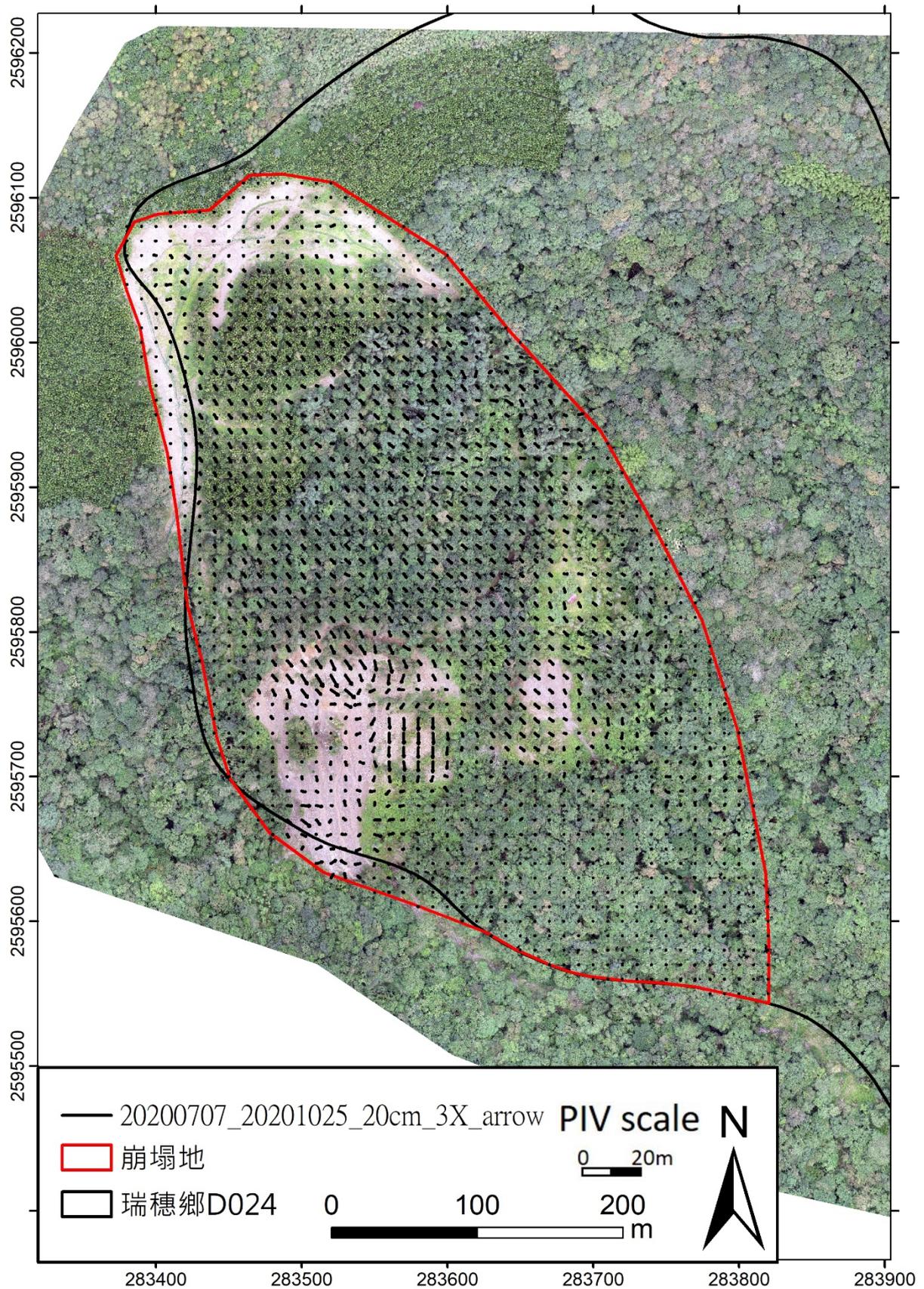


圖 3-21 2020 年 7 月 7 日與 2020 年 10 月 25 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2020 年 10 月 25 日正射影像為底圖)

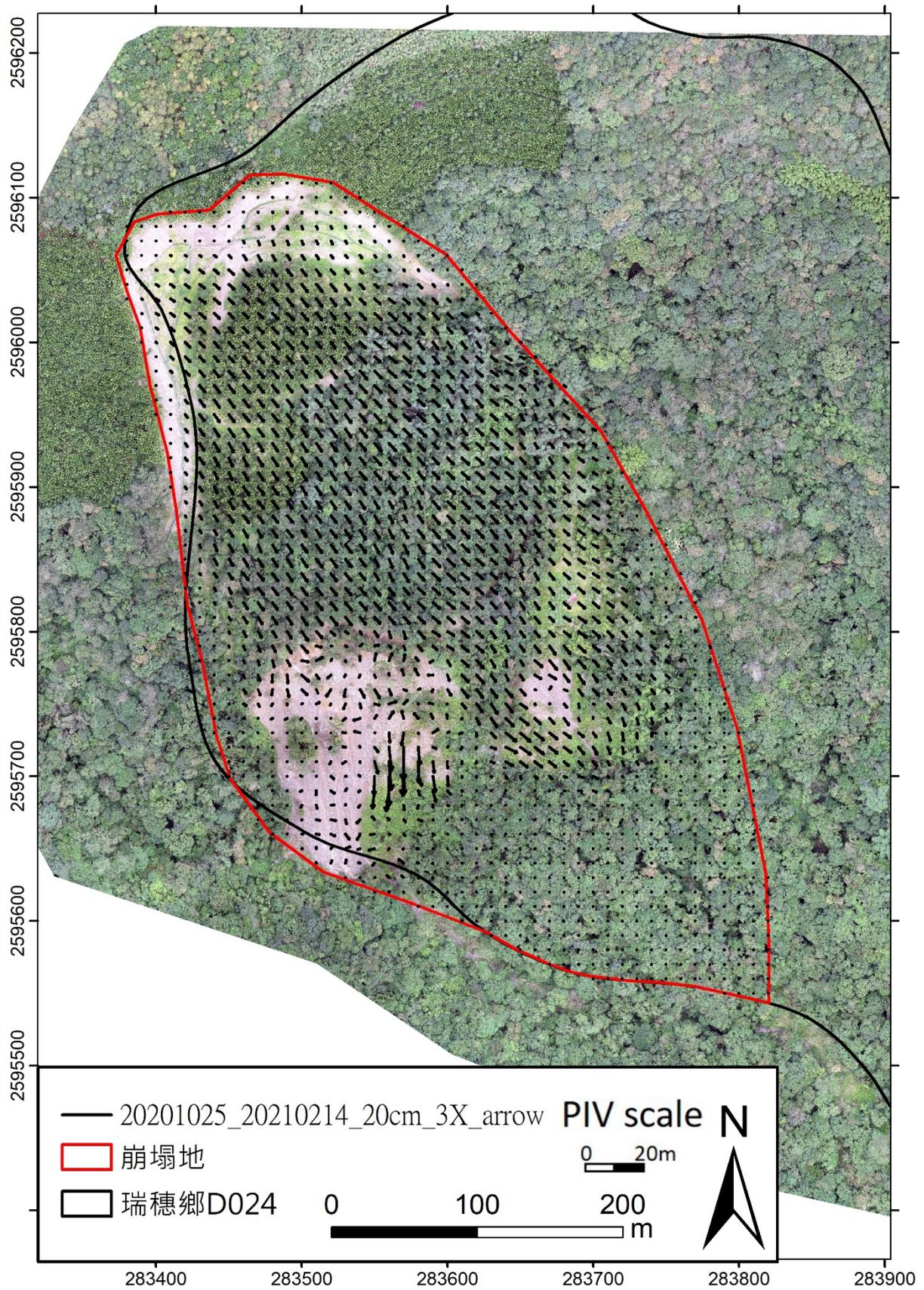


圖 3-22 2020 年 10 月 25 日與 2021 年 2 月 14 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2020 年 10 月 25 日正射影像為底圖)

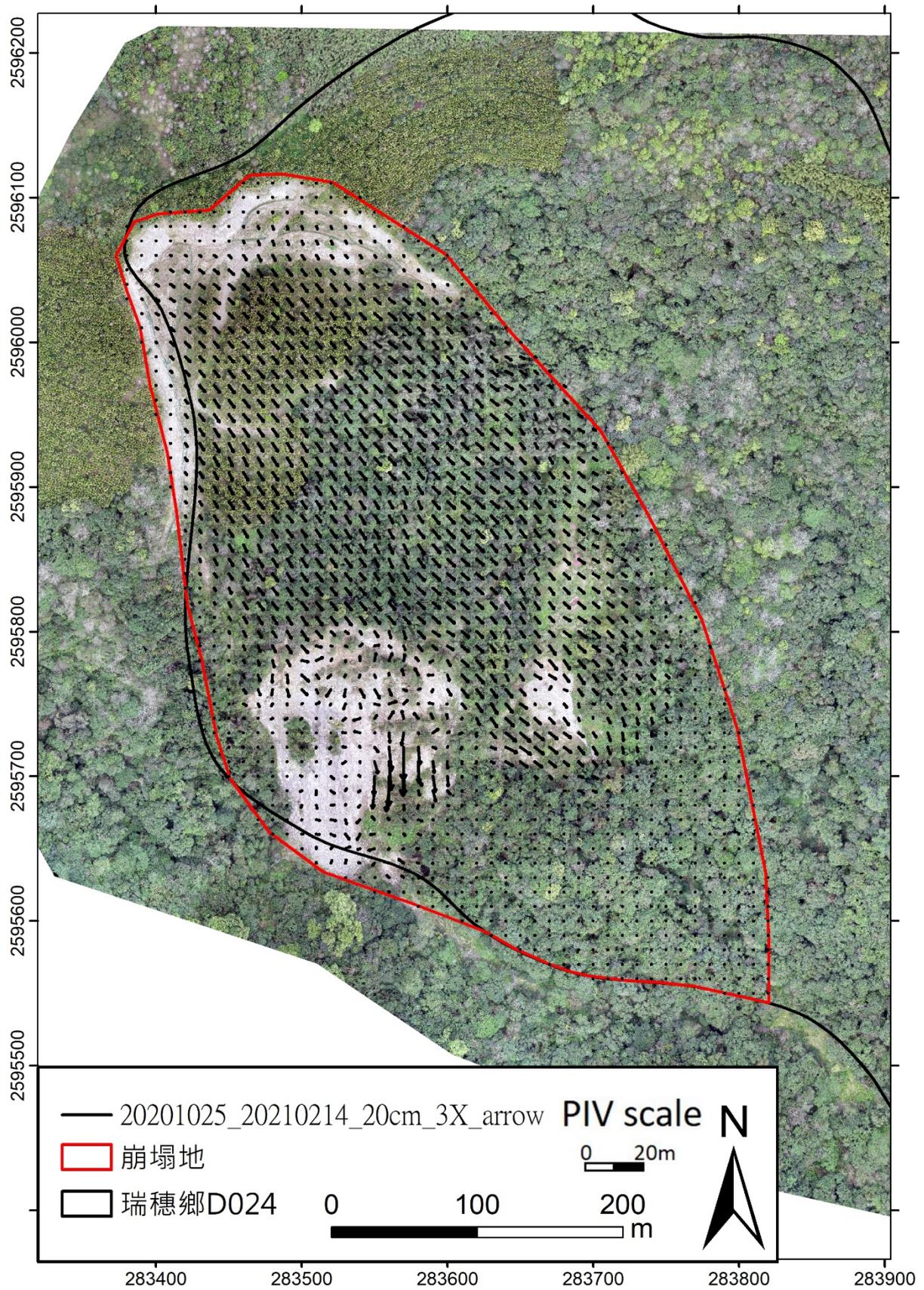


圖 3-23 2020 年 10 月 25 日與 2021 年 2 月 14 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2021 年 2 月 14 日正射影像為底圖)

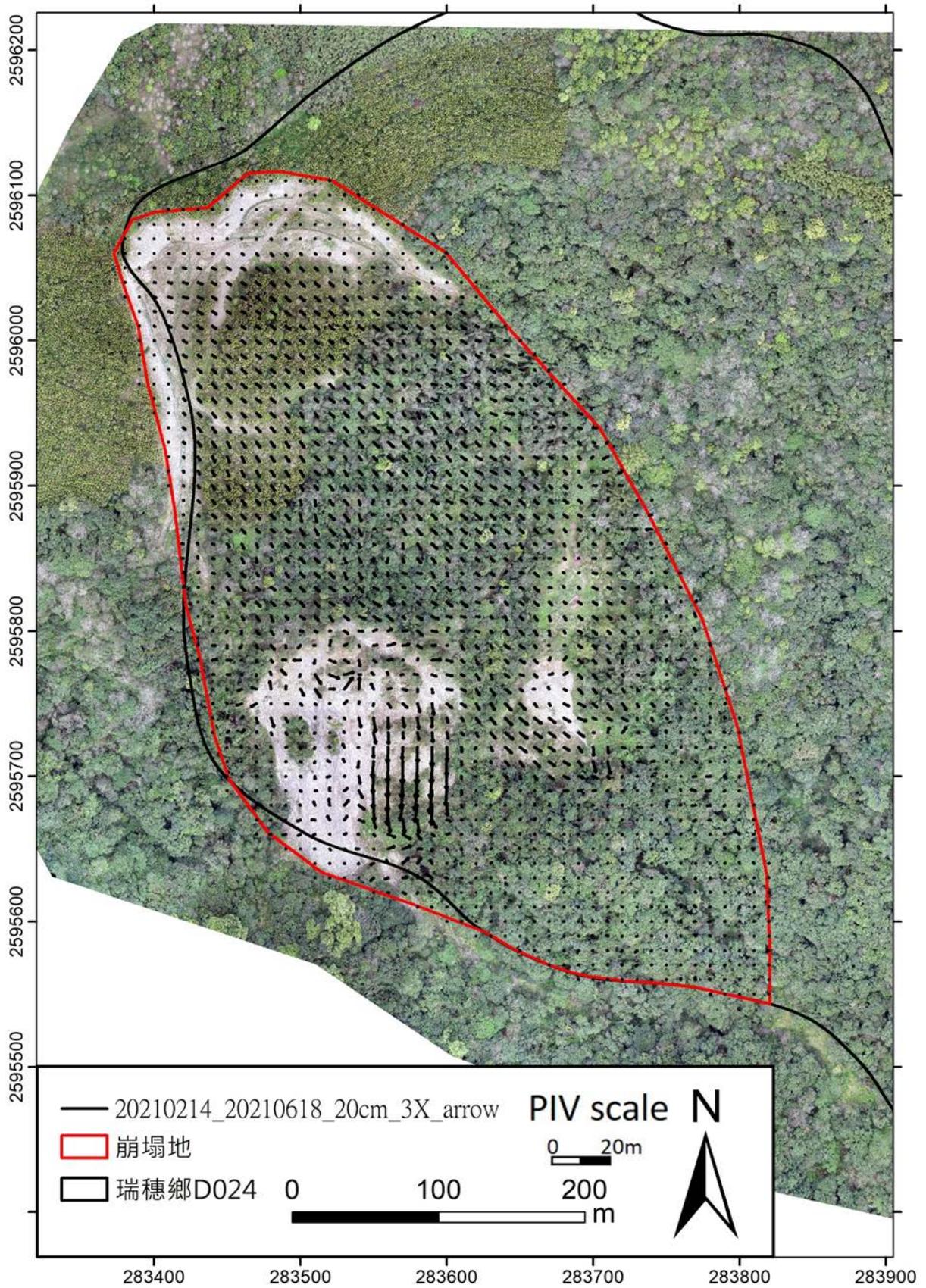


圖 3-24 2021 年 2 月 14 日與 2021 年 6 月 18 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2021 年 2 月 14 日正射影像為底圖)

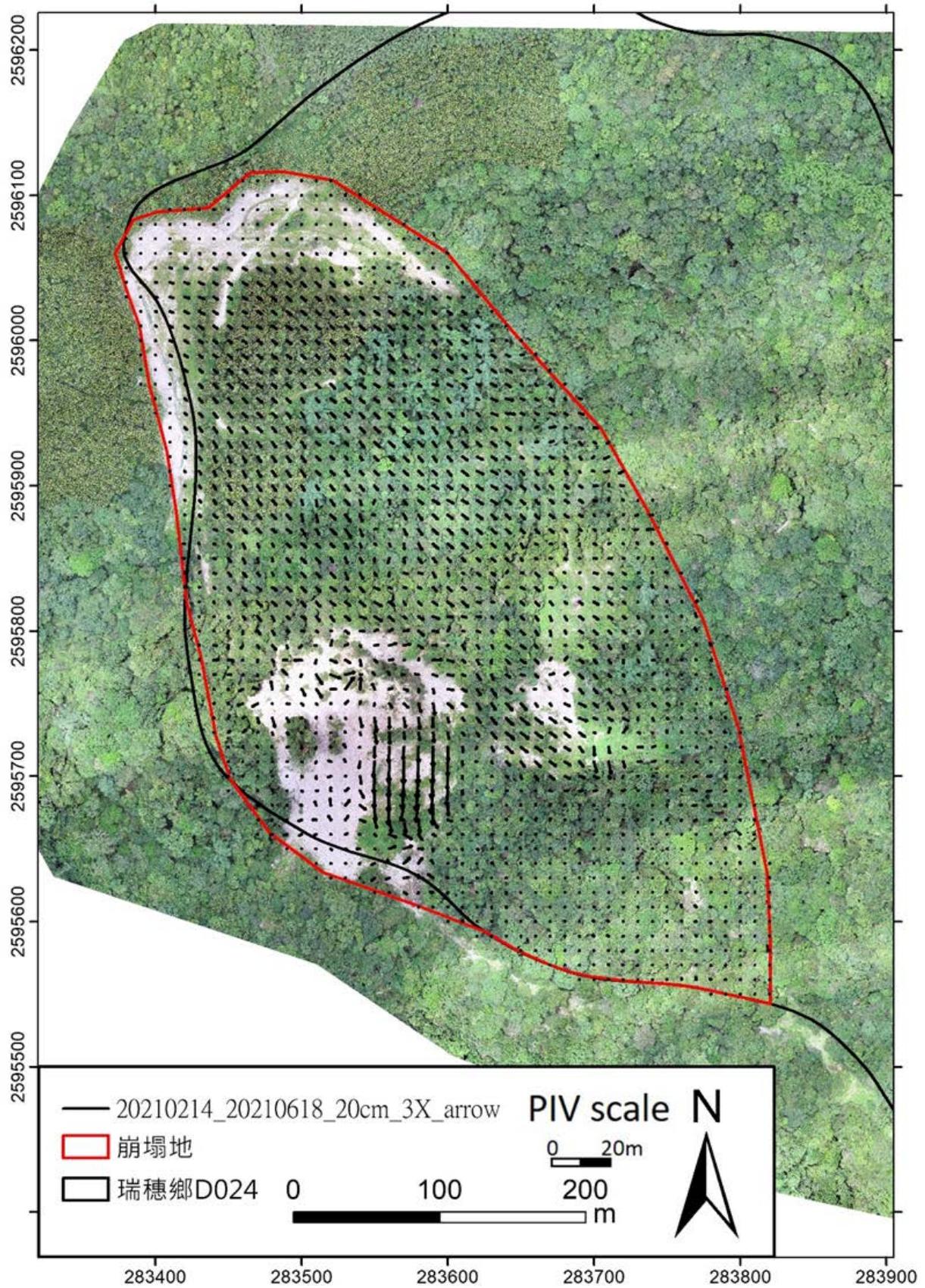


圖 3-25 2021 年 2 月 14 日與 2021 年 6 月 18 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2021 年 6 月 18 日正射影像為底圖)

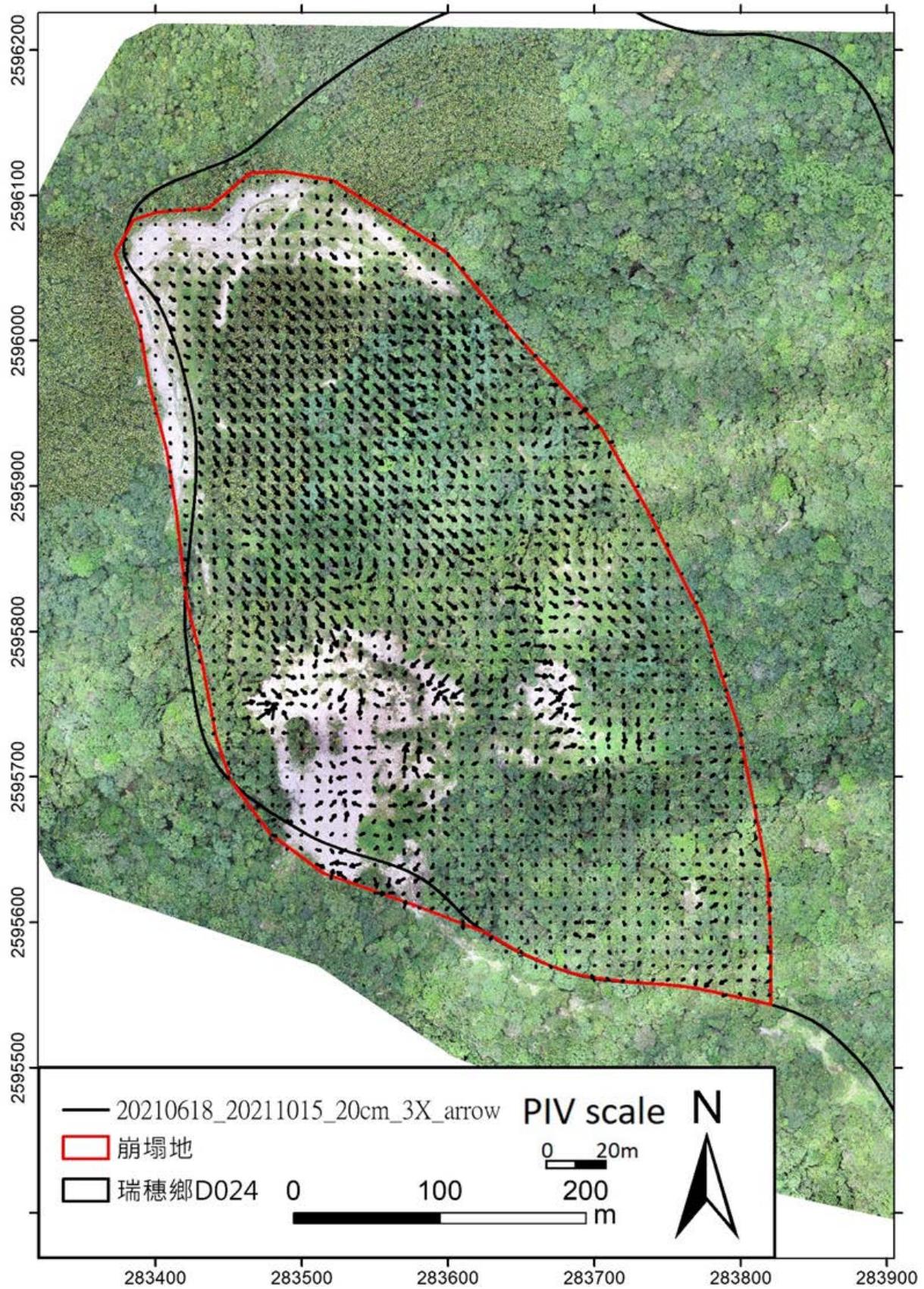


圖 3-26 2021 年 6 月 18 日與 2021 年 10 月 15 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2021 年 6 月 18 日正射影像為底圖)

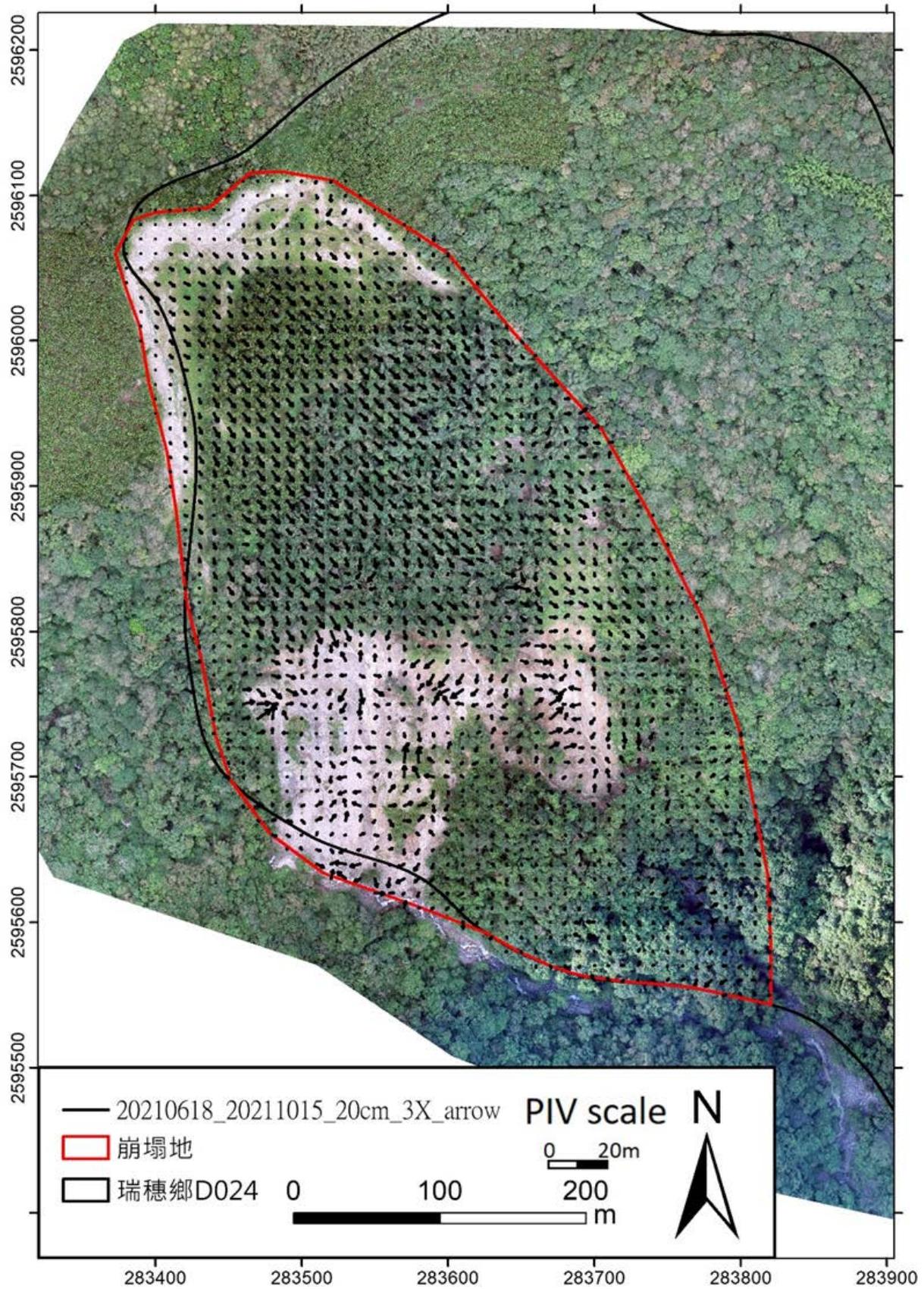


圖 3-27 2021 年 6 月 18 日與 2021 年 10 月 15 日兩期數值地表模型之 PIV 成果 (以 2021 年 10 月 15 日正射影像為底圖)

表 3-2 工寮南端屋角位移量結果表

正射影像日期	累計 天數	累積位移(m)	與前期位移 差距(m)	期間位移速率 (m/day)	備註
2015/07/31	0	0	0	-	初始值
2017/08/12	743	3.28	3.28	0.0044	2016/07 尼伯特颱風 2016/09 莫蘭蒂颱風
2019/05/30	1399	20.72	17.44	0.027	2017/10/11 豪雨事件
2020/03/24	1698	26.98	6.255	0.021	2019/08 白鹿颱風
2020/05/04	1739	27.51	0.539	0.013	
2020/07/07	1803	28.46	0.945	0.015	
2020/10/25	1913	29.52	1.062	0.0097	
2021/02/14	2025	31.53	2.008	0.018	
2021/06/18	2149	32.42	0.891	0.0072	
2021/10/03	2256	33.22	0.802	0.0075	
2021/10/15	2268	34.33	1.11	0.093	2021/10 圓規颱風

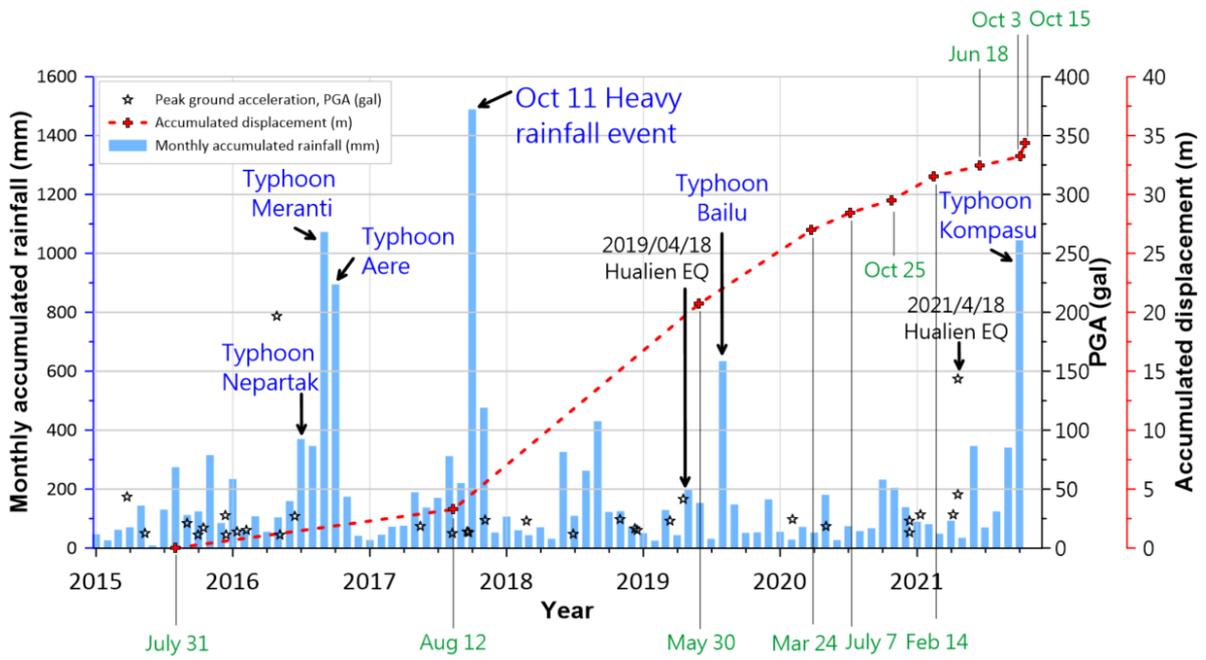


圖 3-28 本坡地累積位移與雨量、地震關係圖

第肆章 地表地質調查

本計畫之地表地質調查，係採用經濟部中央地質調查所於 98 年莫拉克風災後所建置之光達數位高程模型，產製坡度陰影圖與等高線等地形資訊後並套疊蒐集之正射影像作為調查底圖。調查目標包括地形特徵、崩塌現象、岩層露頭與崩積層等相關調查項目，作為研判崩塌機制之基礎資料。地表地質調查將以道路或產業道路沿線邊坡、蝕溝沿線可達之位置為主，拍照並記錄 GPS 座標及下列重點資訊：(1)岩體之岩性特徵及位態、(2)地質構造之型態、延伸長度及特性、(3)地質弱面之類別與特性、(4)崩積層厚度、分布情形與特徵、(5)植生狀態、(6)地下水滲流狀況。崩塌區岩盤露頭主要分佈於崩崖與其兩側，其餘部分皆被崩積土覆蓋，因此本團隊將針對裸露區進行地表地質調查，以及坡面上崩塌特徵之調查(如裂縫、局部破壞等)。

調查人員無法抵達的區域，如陡坡、崩崖或可能滑動崩落的危險區域將採用無人飛行載具拍攝較高精度照片作為輔助調查，調查成果整理分析研判後，將繪製調查區域地表地質圖。調查軌跡與照片拍攝位置方向如圖 4-1 所示，調查範圍涵蓋 D024 潛勢區，特別是崩塌地內，由上至下調查重點區域分別為冠部、崩崖、左翼、右翼、滑動體內檳榔園與原始林、坡腹工寮平台、左翼趾部崩塌、右翼趾部崩塌以及坡趾溪床露頭，依序說明如下：

崩塌地冠部、崩崖與左右翼全景如照片 4-1 所示，初步判釋崩崖面(照片 4-2)與頭部所出露之露頭(照片 4-3)，現地出露岩體多屬砂質片岩與泥質片岩(照片 4-4)為主，並未發現區域地質圖所標示之構造地塊岩性(打馬燕地塊之基性與超基性變質岩)。現地崩崖面仍有不穩定塊石殘留，崩崖面下有堆積巨礫岩塊(直徑 1m 至 3m)以及大量風化土與岩屑，崩崖面出露片岩岩盤。崩塌體內多裂縫，初步評估裂縫開口寬 0.3m 或以上、深度可達 1m 或以上、長度可延伸數公尺，坡面上土層濕潤且雨後濕滑。

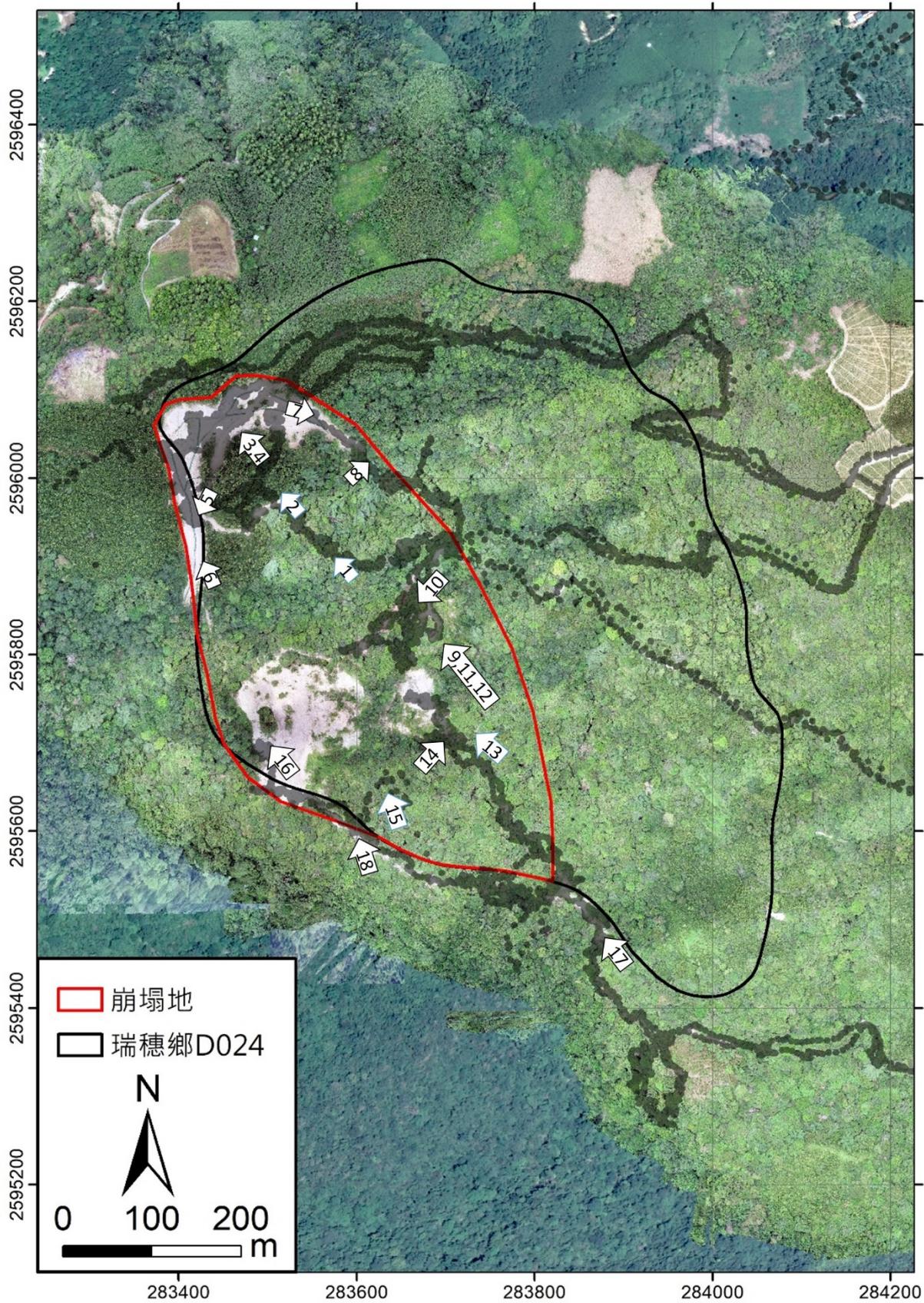


圖 4-1 地表地質調查軌跡(箭頭標示以下照片拍攝方向及編號)



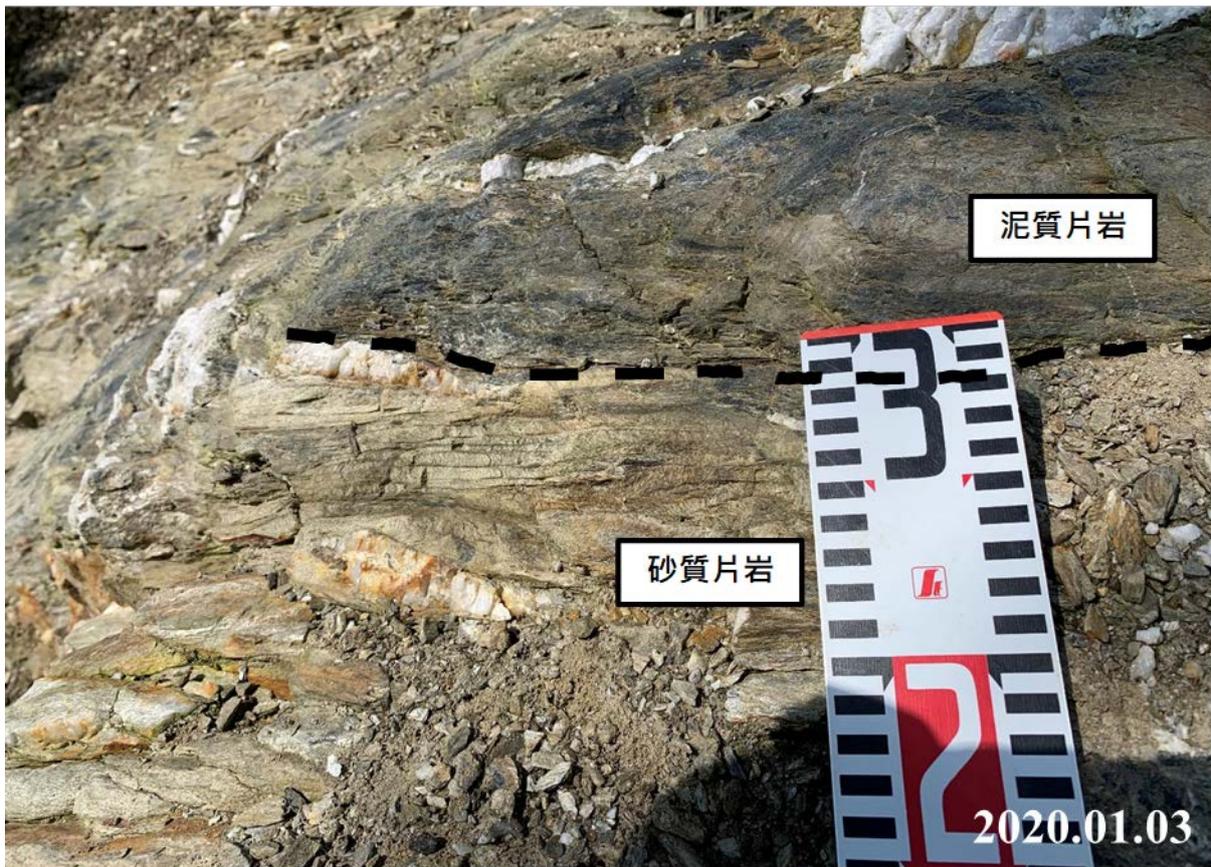
照片 4-1 崩崖與左右翼空拍圖



照片 4-2 崩崖面空拍照，中間出露大面積岩盤



照片 4-3 崩崖面出露岩盤，以片岩為主



照片 4-4 崩崖岩盤露頭近照，岩性為砂質片岩與泥質片岩

頭部滑落範圍原為檳榔園，現地調查得知崩滑體內存在多數裂縫，推測應為滑動後頭部拉張所致。沿著右翼調查數公尺覆蓋下的出露岩盤上，可見向滑動體內傾斜的葉理與高角度節理構成類似階梯狀的幾何關係(照片 4-5)，並比較滑動區內外可見明顯大的落差與滑移的距離(照片 4-6)；然而，左翼落差與滑移距離較小，且大部分左翼出露為黃棕色崩積層所覆蓋(照片 4-7)，僅於下端出露一岩盤露頭，外觀呈圓弧狀朝向滑動體傾斜，表面可見擦痕與疑似張力破裂(照片 4-8)。



照片 4-5 右翼岩盤出露露頭，呈階梯狀



照片 4-6 右翼地形，落差高約 15m，水平滑移距離約 28m



照片 4-7 左翼地形，以崩積物為主，落差與水平滑移距離皆較右翼小



照片 4-8 左翼下端砂質片岩露頭，呈圓弧表面並具有擦痕與裂痕

沿著左翼向下坡進入一蝕溝可至坡腹一平台地形，此平台為鬆軟多裂縫發育的崩積層與沖積物構成，平台上有一廢棄工寮(照片 4-9)，而工寮附近可見長數公尺之裂縫(照片 4-10)，於工寮內地板亦可見多條破裂跡(照片 4-11 和照片 4-12)。

趾部兩處崩塌裸露地坡度陡峭且表面岩屑鬆散，照片 4-13 為左側趾部崩塌空拍照，其崩崖已鄰近工寮平台，沿其下方蝕溝調查發現溝內一處滲水點(照片 4-14)，但未見岩盤出露皆被崩積物與植生覆蓋；照片 4-15 為右側趾部崩塌空拍照，面積明顯較左側大，崩落土石部分仍停留於坡面上，大部分岩屑已於坡趾堆積，於此崩塌區內右側出露凸出的岩盤(照片 4-16)，尤其岩體結構與地形高陡應為滑動面下之基盤。

另從舞鶴台地沿秀姑巒溪支流上游調查可見自來水取水口已被大量岩屑覆蓋(照片 4-17)，藉由溪床上岩屑堆積的形貌與坡度，初步判斷覆蓋取水口的岩屑來自左側趾部崩塌；於玉區 21 林班崩塌地趾部溪流兩岸皆可見緩傾角葉理之岩盤出露(照片 4-18)。



照片 4-9 工寮外觀



照片 4-10 工寮附近平台上一處裂縫



照片 4-11 工寮內部裂縫，竹竿長為裂縫深度



照片 4-12 工寮內部裂縫密布與屋內家具倒塌



照片 4-13 左側趾部崩塌，崩積物堆積於蝕溝



照片 4-14 左側趾部崩塌下蝕溝內滲水點位置



照片 4- 15 右側趾部崩塌，崩積物堆積於坡面與趾部(紅框為岩盤)



照片 4- 16 右側趾部崩塌，崩積物堆積於坡面與趾部(紅框為岩盤)



照片 4-17 坡趾溪床上之取水口已遭大量崩積岩塊覆蓋



照片 4-18 溪床左岸(北側)岩盤出露緩傾角葉理之砂質片岩露頭

整體而言，本計畫調查範圍內岩盤露頭與崩積層內岩塊岩性以片岩為主，並可分為砂質片岩與泥質片岩，並未出現變質基性岩與變質超基性岩之岩盤與岩塊，故繪製地表地質圖如圖 4-2 所示，根據 2.2 節五萬分之一區域地質圖-玉里圖幅與流域地質圖以及現地調查成果，顯示調查區域內地層應歸屬於玉里層紅葉段，而非打馬燕構造地塊。

由露頭量測片岩葉理與崩崖坡向隨空間變化，由於片岩露頭實際產狀常出現局部(波長數公尺至十數公尺)彎曲且被崩落之風化土與碎屑覆蓋，故挑選量測之葉理面時，皆以延伸性較好以及與該區葉理趨勢相符之平面進行位態量測，整體上葉理趨勢大致朝東南方(下坡方向)傾斜或部分與崩崖面斜交，皆使岩體易順著葉理下滑而不利於邊坡穩定(圖 4-3)。

由位態分析結果顯示，葉理平均位態為傾向 118° 與傾角 18° (共 85 組數據以赤平投影圖展示)，傾向與崩崖右側和右翼崩崖面相近，與崩塌地滑移方向頗為一致(圖 4-4)。此外，高角度節理組共有兩組(共 100 組數據以赤平投影圖展示)，最優勢節理走向為 108° - 288° ，與左翼走向相近。第二優勢節理走向為 165° - 345° ，與右翼走向相近，互相略呈斜交(圖 4-4)，此兩組高角度節理皆有利於雨水入滲至岩層內部。

由地表地質圖與地質剖面(圖 4-2 和圖 4-5)表示本坡地之初步地質模型，說明主崩崖已發生大量滑移，崩崖面朝向東南，前後地形顯示頭部平均高程落差約 15m，此外，右翼落差較左翼大；滑動體範圍則由航照分析與現地調查確認其材料分布與範圍，滑動體於地表出露由崩積土、片岩岩屑與巨礫所組成，滑動方向亦為東南；而滑動體內自頭部至趾部皆有多處地表裂縫，並於趾部有兩處明顯崩塌發生，由於右側趾部崩塌面積較大坡度陡峭，且由現勘可見岩盤出露與崖錐堆積，以及左側趾部崩塌有發現滲水點，並配合兩處趾部崩崖面出露為大量片岩岩塊之崩積層，研判滑動體剪出面應位於兩處趾部崩崖之下、右側趾部崩塌岩盤露頭與左側趾部崩塌滲水點之上。

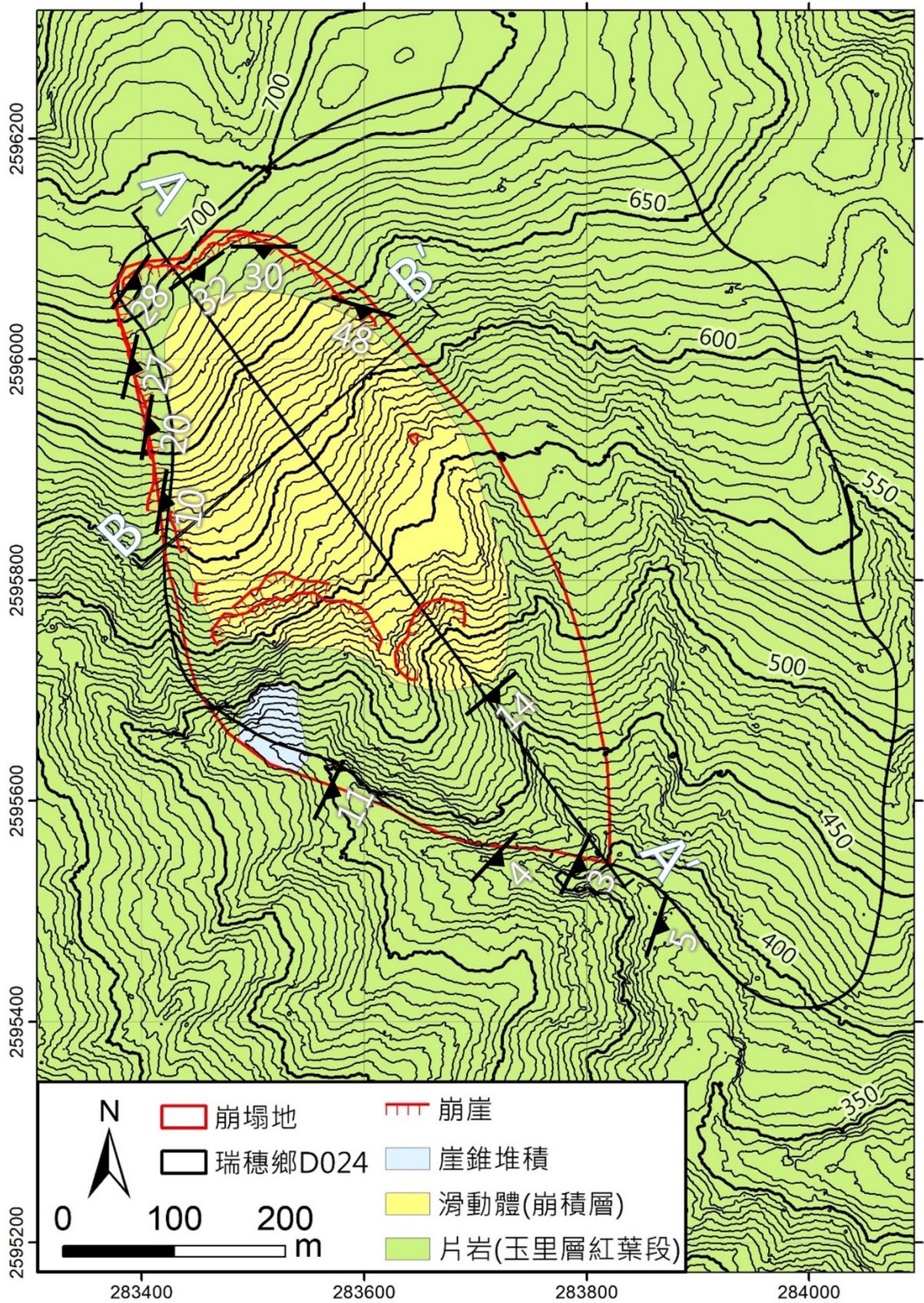


圖 4-2 本計畫調查區域之地表地質圖

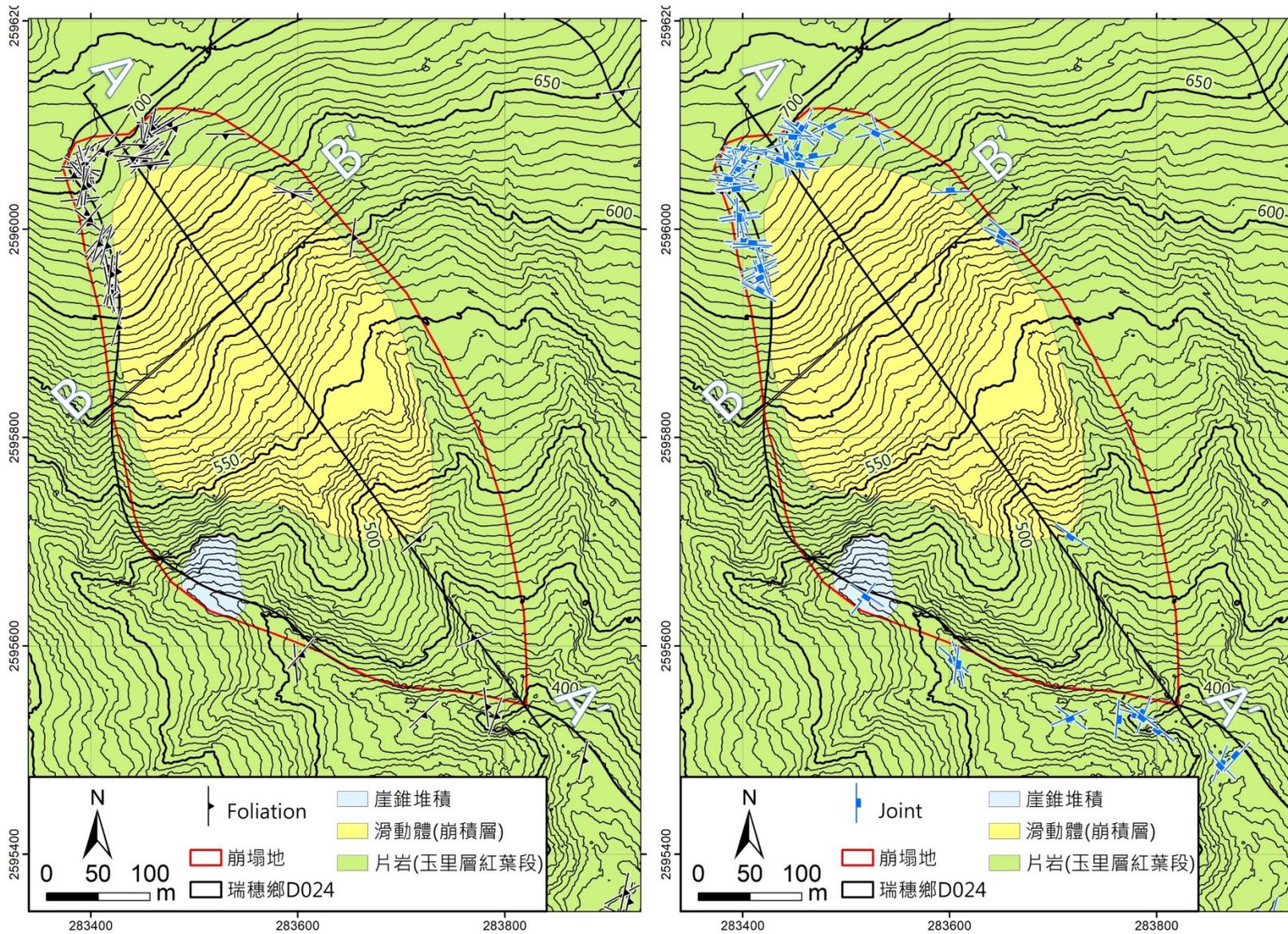


圖 4-3 地表地質調查不連續面量測，(左)葉理位態，(右)節理位態

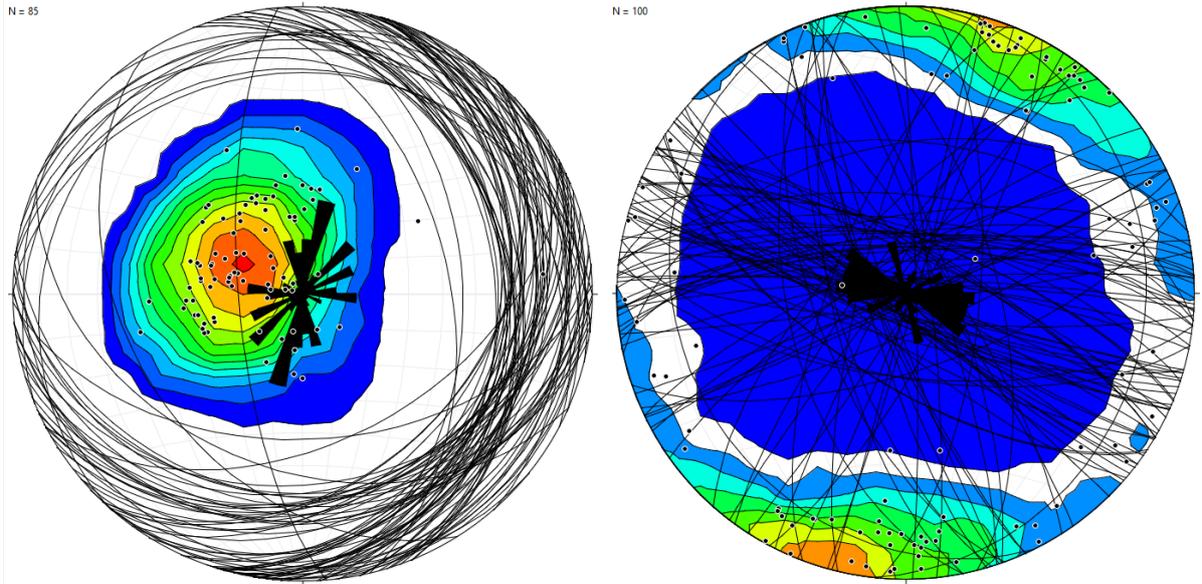


圖 4-4 調查區域(左)葉理與(右)節理位態之赤平圖(大圓、極點分布與玫瑰圖)

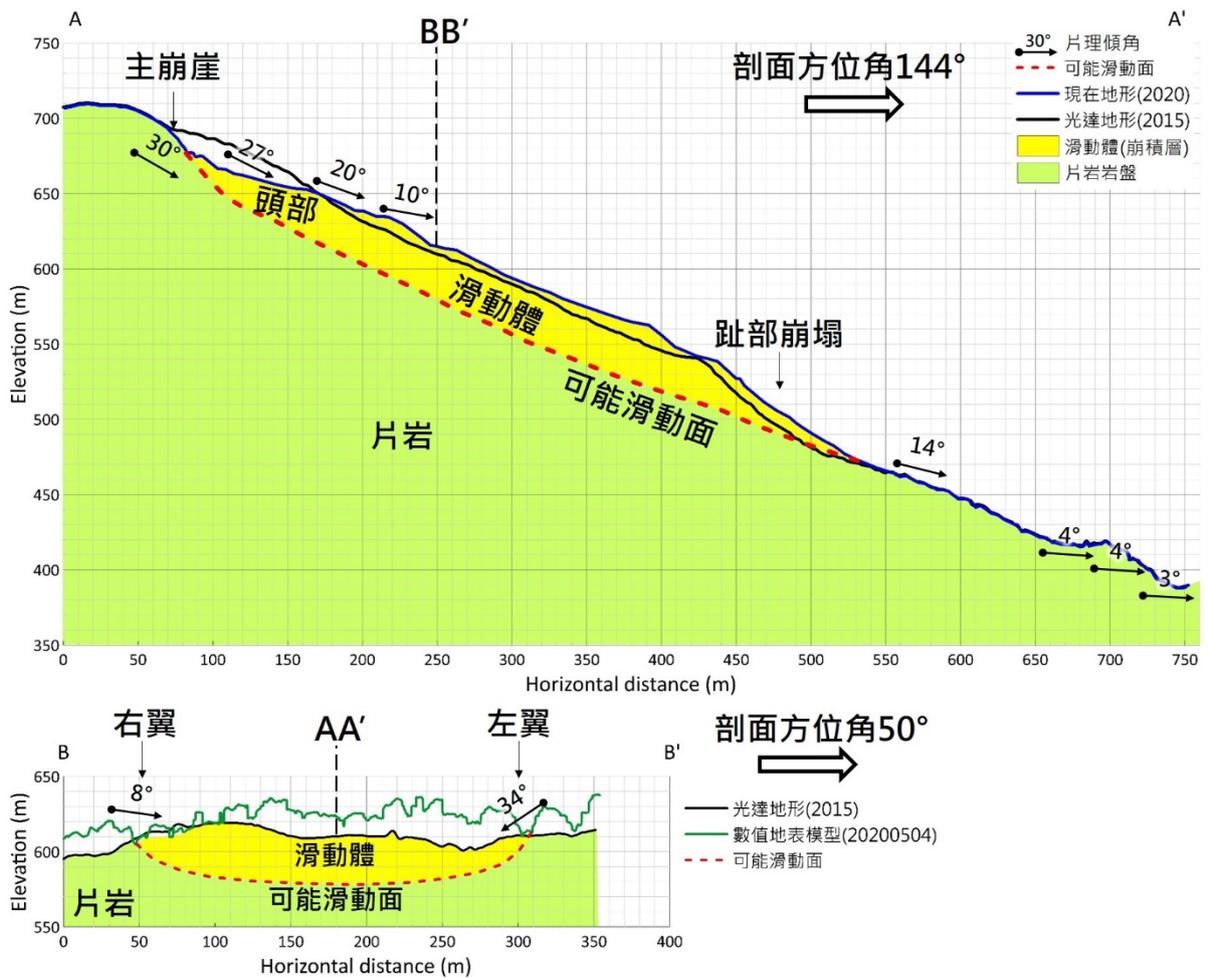


圖 4-5 AA'與 BB'初步地質剖面

第五章 折射震測

一、折射震測剖面佈設

為調查崩塌地內崩積層之地下分布情形，於區域內施測折射震測，測線佈設與地質鑽探搭配為原則，調查崩積層厚度、岩盤可能位置。為有效拓展地下地質探查成效，地球物理測線除通過鑽探孔及沿主剖面施測外，亦應儘量向鑽探剖面線垂直方向延伸，以增加探查分布範圍。依現地條件規畫進行3條折射震測，測線長度共700公尺，位置如圖5-1，各測線長度與規劃說明於表5-1。探查期程及探測地點配合地質鑽探調查，並藉此作為地質剖面圖之參考依據。

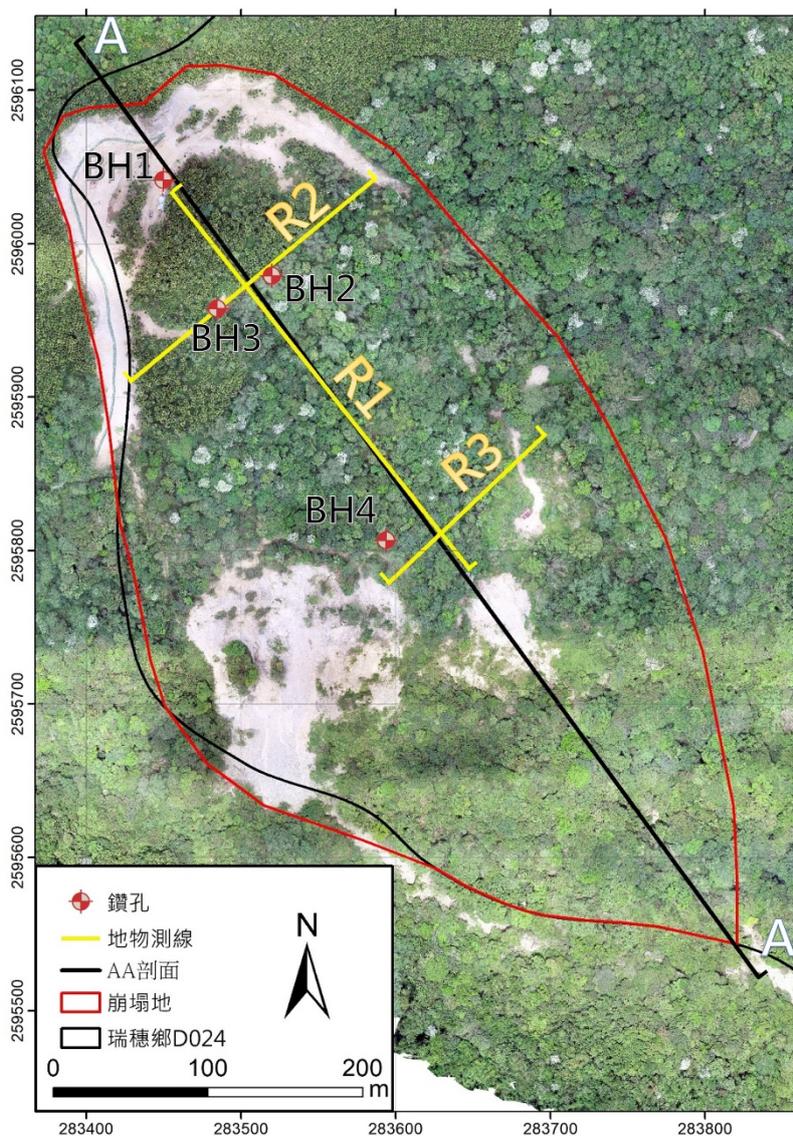


圖 5-1 折射震測剖面測線規劃圖(2020.05.04 空拍正射影像)

表 5-1 地球物理探測測線規劃說明表

名稱	長度(m)	備註
R1	340	折射震測法探測，掌握崩積層分布，接近 BH1、BH2、BH4 並通過崩塌地縱剖面。
R2	210	折射震測法探測，掌握崩積層分布，接近 BH2、BH3 並通過上邊坡橫剖面。
R3	150	折射震測法探測，掌握崩積層分布，接近 BH4 並通過坡腹橫剖面。
合計	700	實作測線依現地狀況些微調整，以預定測線目的為原則。

折測震測法係藉由爆炸或衝擊產生人造震波，波傳至地下地層，因地層間速度不同，震波於層面處，依司涅爾定律(Snell's Law)發生折射現象返回地表，經埋設於地表之受波器接收。折射波在震波記錄上表現為初達波，如圖 5-2 所示，初達波因係震動到達接收器的第一個訊號，其到達時間很容易挑取，根據其時間距離關係(通稱走時曲線)求出地層之構造。一般來說，折射震測法可經濟且有效地探測出新鮮岩層以上之地質構造形貌，且其探測出之地質構造是以震波波速大小來表示(通稱速度層)。由理論上和實驗上均顯示岩石震波波速與岩石之彈性係數，以及對岩層的地質狀態都有直接關係，因此，折射震測法應用於坡地崩積層之厚度或岩盤面之偵測為工程地質調查中極有效的方法。

折射震測之測線佈置須確定的有測線位置、測線長度、測點佈置與炸點選點等四項。首先根據地表地質以及文獻之結果擇定重要位置進行測線位置定位，而後根據需要探求之深度與解析度進行測線長度的擇定，有時測線的長度常會受到現地的空間限制而無法達到理想的長度需求，應在佈設前先行了解佈設區的空間大小，以便有良好的佈設考量。除此之外，在崩塌地區施作，每一個測樁均作高程測量，以利於資料分析之使用。最後採用七點法(如圖 5-3 所示)或九點法之方式在測線範圍均勻施加震動，並記錄震動資料。

完成資料收錄後，折射震測資料處理分為兩個步驟：首先利用人工的方式決定初達波之走時曲線；再利用初達波之走時曲線分析波速與地下構造。初達波為接收器所接收到的第一個震動訊號，須由所獲得的地

層震動訊號中挑選(如圖 5-4 所示)。對於所獲得的走時曲線，將用以進行反算分析以求獲得地層波速結構。傳統的分析分法以通用互換法 (General Reciprocal Method) 由走時曲線求得簡單之地層速度模式。除此方法外，為能夠提高速度模式之解析度與正確性，可利用走時震測斷層掃瞄法 (Traveltime Tomography) 由走時曲線反算二維之速度剖面，將地質構造分為許多元素 (cell)，由射線追蹤 (Ray tracing) 理論可計算理論之走時曲線，藉由此數值模式由量測之走時曲線反算各元素之速度值，進而得到地層之速度影像剖面，以 ASTM (2011) 提供一般土壤與岩石波速範圍，作為折射震測分析結果判斷之參考。

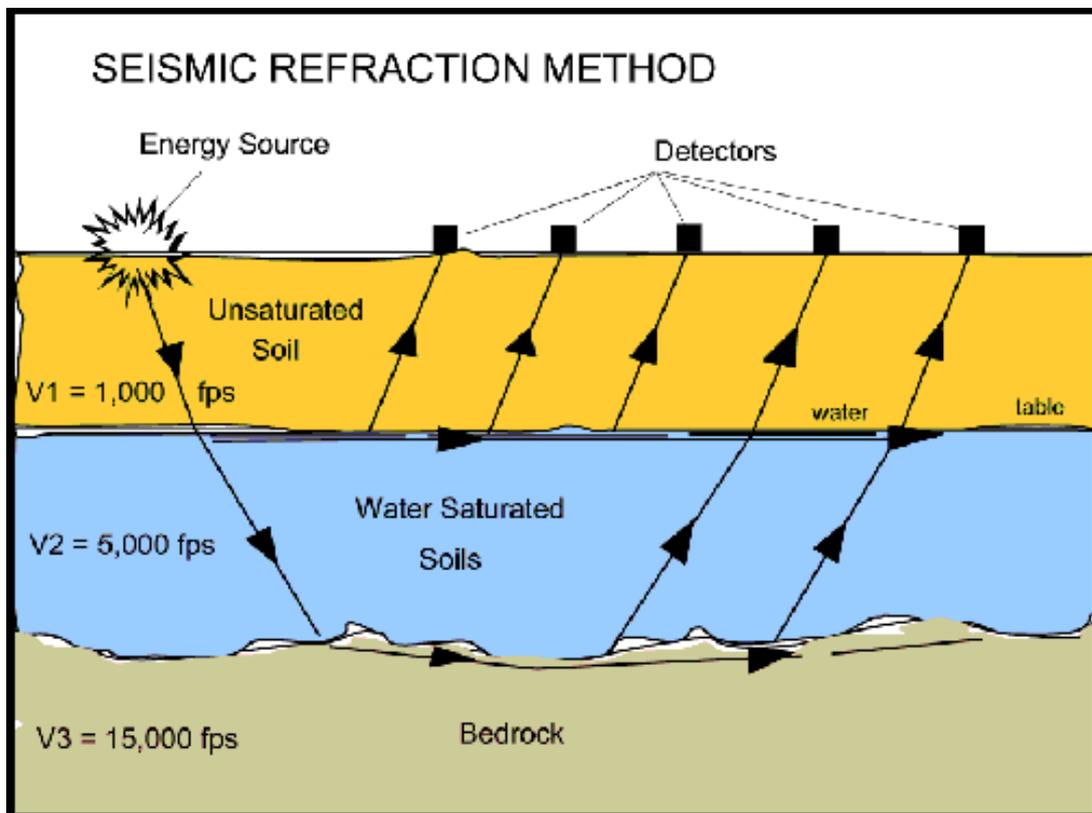


圖 5-2 折射波震測原理示意圖

Typical field set-up

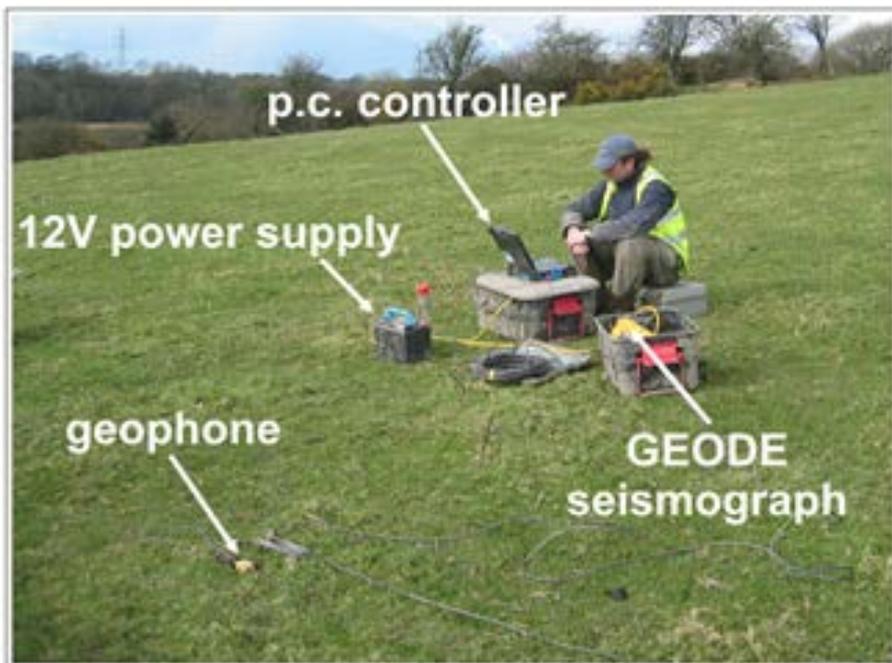
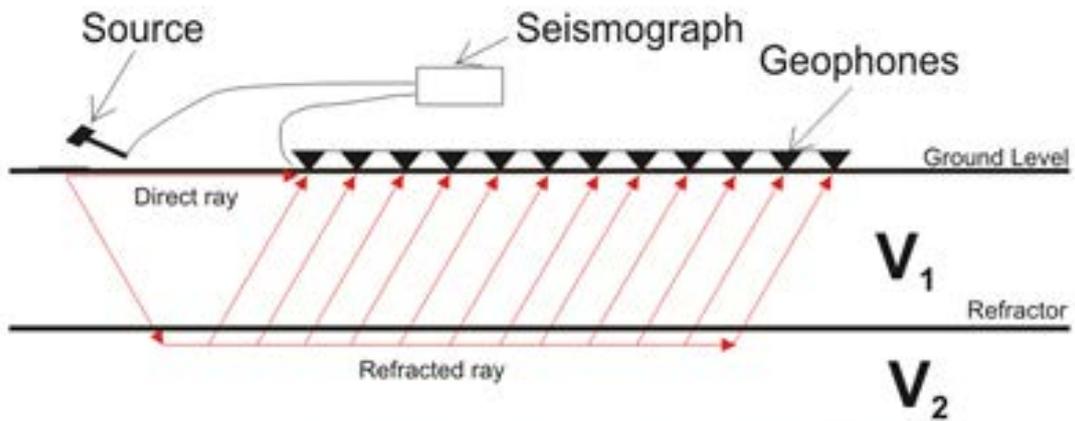


圖 5-3 折射法震源與受波器示意圖（以 7 點法為例）

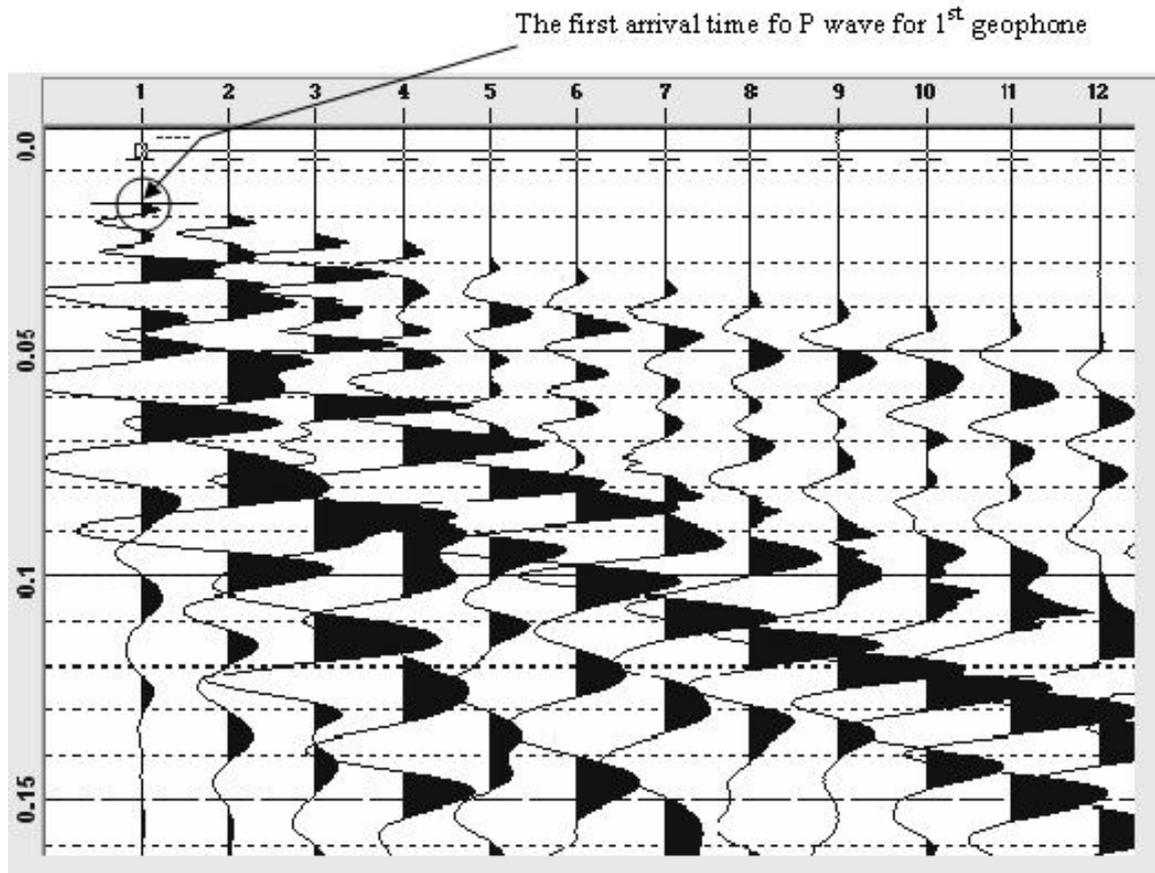


圖 5-4 初達波走時曲線挑選

二、折射震測剖面分析結果

圖 5-5、圖 5-6、圖 5-7 分別為 R1、R2、R3 折射震測剖面結果。依波速可分為低速帶($V_p < 1450 \text{ m/s}$)與中速帶($V_p > 1450 \text{ m/s}$)，其分別屬於表層鬆軟崩積土與岩塊崩積層，以及崩滑體內的風化或破碎岩盤，由於探測深度限制與此處推測之破碎岩盤厚度大，故可探測深度內最高波速僅可達 1750 m/s ，未達新鮮岩盤之波速(2000 m/s 或更高)，故三條折射震測剖面僅能顯示崩積層($V_p < 1450 \text{ m/s}$)與破碎岩盤($V_p > 1450 \text{ m/s}$)。由於此崩塌地滑移量大，造成滑動體多處裂縫且岩體鬆動，形成不利波傳條件。於坡體內施測探測深度僅可達 30 至 40 公尺，於測線兩端因波傳方式與受波器佈設探測深度則較淺。

R1 測線剖面顯示：崩積層在上邊坡處(測線位置小於 100m)約厚 22 m。當測線位置大於 100m，崩積層明顯變厚，約可達 38 m。R2 測線剖

面顯示崩積層在上邊坡處深度分佈頗一致，約厚 20 m。在坡腹處(R3 測線)，崩積層在兩翼較淺，中間較厚。值得注意的是，R2 測線通過崩塌地頭部與 R3 測線通過坡腹平台，其間存在多道裂縫，不利震波傳遞，震測結果需進一步與鑽探結果比對，方可確定。將折射震測剖面(R1)套疊各鑽孔位置與深度、地貌特徵、初步推估之滑動體運移距離以及潛在滑動面(紅色虛線)，如圖 5-8 所示。

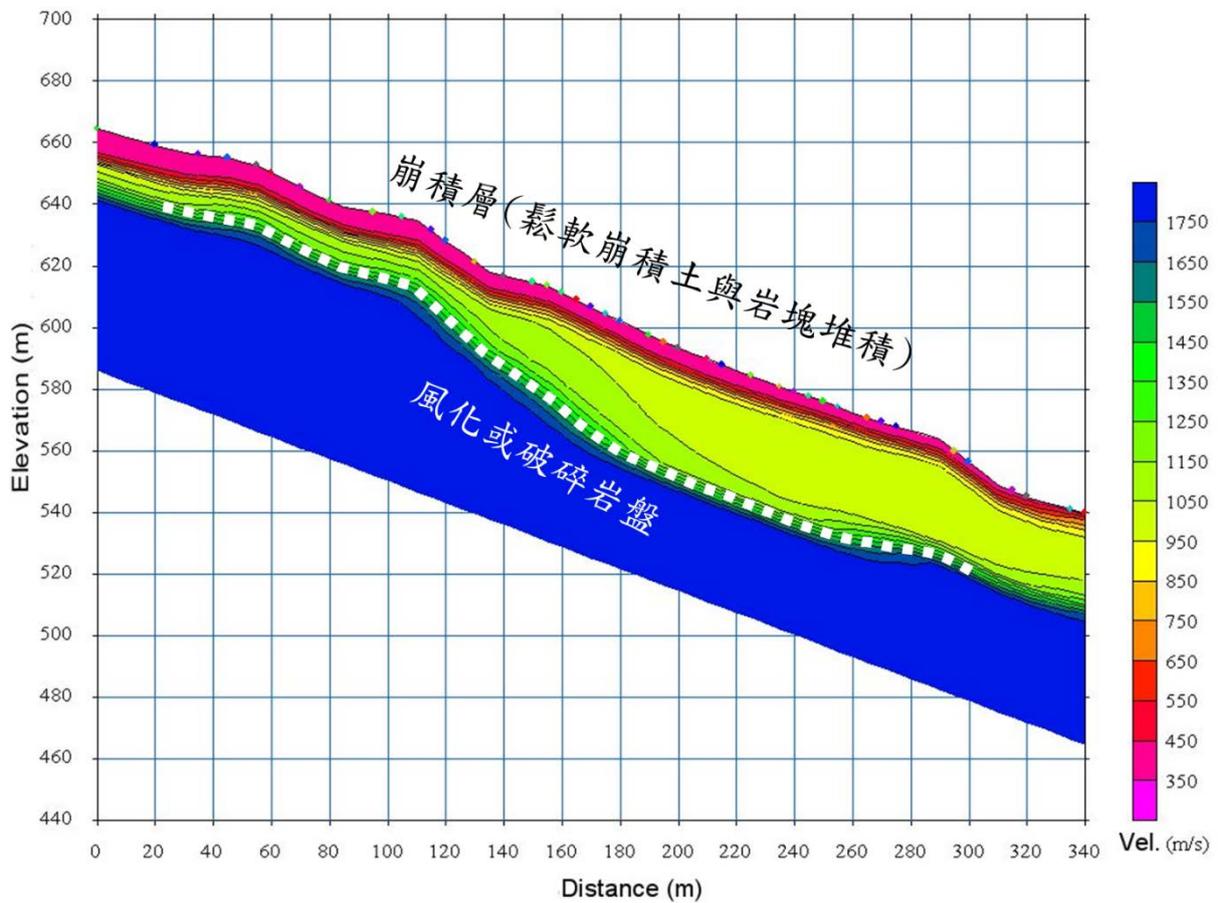


圖 5-5 R1 測線之折射震測剖面

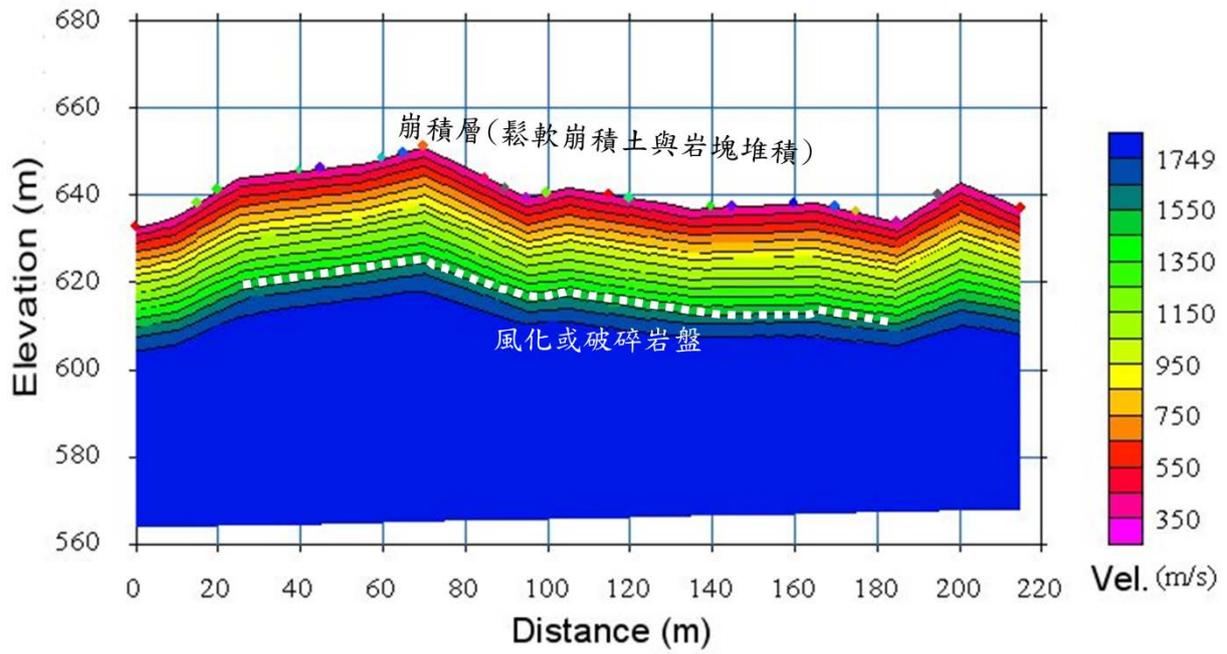


圖 5-6 R2 測線之折射震測剖面

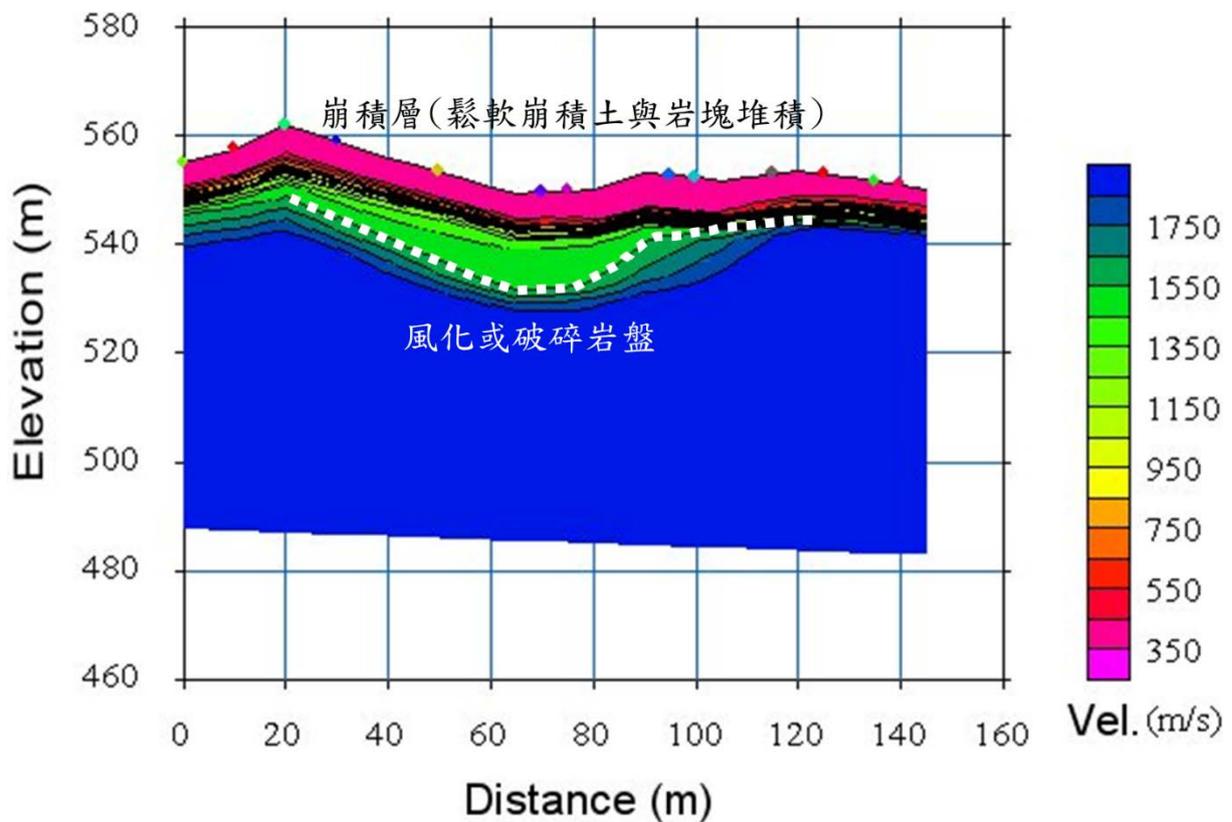


圖 5-7 R3 測線之折射震測剖面

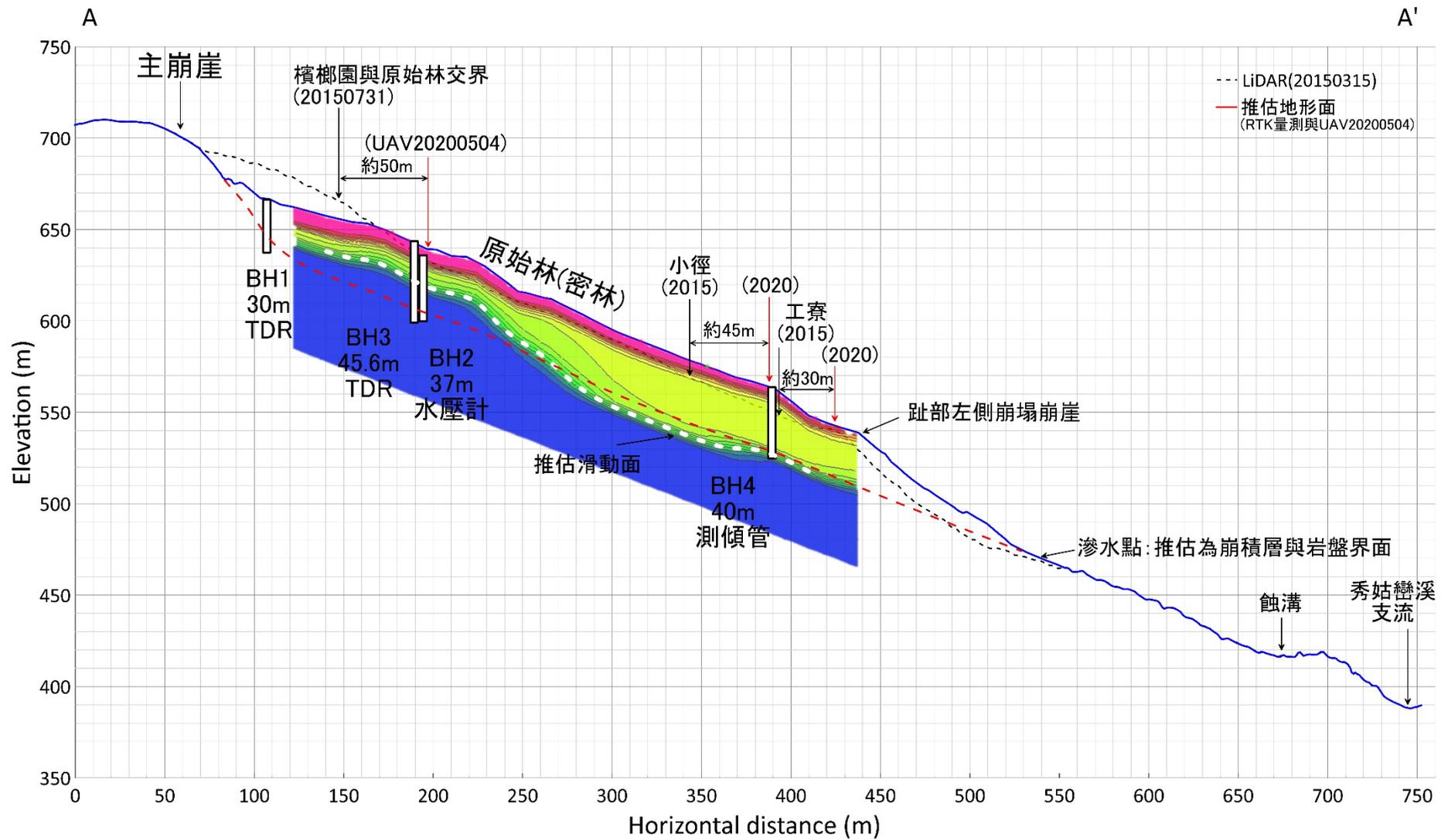


圖 5-8 折射震測剖面(R1)與推估之滑動面(紅色虛線)

第陸章 地質鑽探

依據招標說明書，本計畫鑽孔數目以 3 孔為原則，得視鑽掘情形酌予調整孔數，惟鑽探總長需達 120 公尺(以鑽探進尺深度為主)且可供後續安裝觀測儀器使用；鑽探方式孔徑一律採用 NQ 尺寸以上。鑽探期間之開路由本處另外協助進行；鑽孔需深入新鮮岩盤 5 公尺以上或達研判為岩土界面處為原則。需記錄鑽探期間地下水位變化。再依據鑽探結果，視岩性及穩定分析規劃力學試驗。地質鑽探調查需依地質法第三章第 17 條(地質資料蒐集及管理制度)之規定辦理，且地質鑽探調查之岩心至少保留至本計畫驗收結束後，岩心皆需依貴處要求方式保存。

本計畫實際共完成 4 孔，實際鑽探總深度為 156.2 公尺。鑽孔佈置係根據地表地質調查、光達地形判釋、歷年航照影像分析與地球物理探測結果所決定，再依據每次鑽取岩心、地質調查資料、折射震測剖面與現場施工狀況進行深度修正，以達能發揮佈設鑽孔所能提供最有效之地下地質資訊之目標。以圖 6-1 為鑽孔位置分布圖，表 6-1 為各鑽孔位置、深度與裝設監測設備說明。

表 6-1 地質鑽探孔位位置、深度與監測設備

孔號	橫坐標 (m)	縱坐標 (m)	高程 (m)	深度 (m)	監測設備
BH1	283450.6	2596041.3	666.0	30	TDR 變形量測電纜線
BH2	283520.2	2595979.2	635.7	37	水位計
BH3	283484.9	2595957.9	643.7	45.6	TDR 變形量測電纜線
BH4	283606.1	2595807.6	561.5	43.6	傾斜觀測管/TDR 變形量測電纜線
總深度	<u>156.2m</u>				

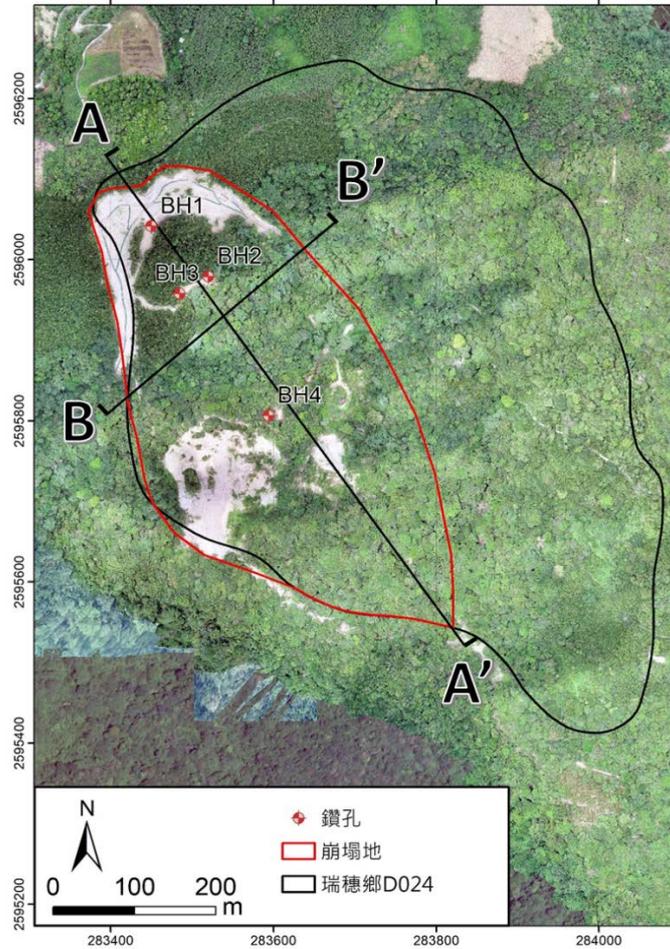


圖 6-1 鑽孔及地質剖面位置圖

一、岩心取樣結果及分析

現場鑽探所取得的岩心，由地質技師進行判釋，項目包括鑽孔水位、RQD、回收率、岩層不連續面位置與傾角、岩石或土壤性質描述，並依據上述資料製作鑽孔地質柱狀圖(圖 6-2)，岩心照片等詳細資料請見鑽探報告書。

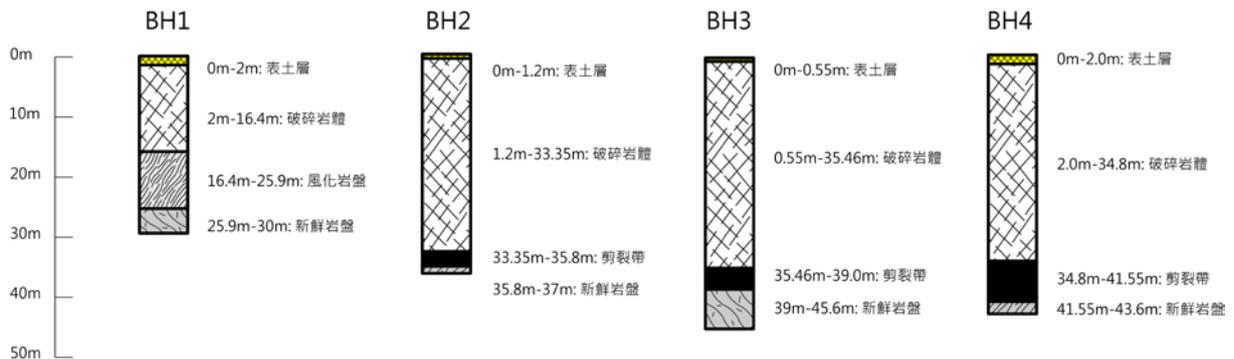


圖 6-2 鑽孔地質柱狀圖

各鑽孔岩性依序摘述如下：

BH1

0.0 m 至 2.0 m 為填土層，排水工程施工便道之填土，主要為黃棕色崩積土夾風化岩塊；

2.0 m 至 16.4 m 為破碎岩體且含有多處孔洞，棕色崩積土夾片岩岩塊 (2.0 m 至 12.3 m)，片岩與石英脈岩屑(12.3 m 至 16.4 m)；

16.4 m 至 22.55 m 為風化岩盤，以破裂泥質片岩為主夾棕色基質，20.4 m 至 20.6 m 為一細粒泥砂層；

22.55 m 至 25.9 m 為風化岩盤，以破裂砂質片岩為主夾棕色基質；

25.9 m 至 30.0 m 為新鮮岩盤，以泥質片岩為主。

BH2

0.0 m 至 1.2 m 為填土層，原檳榔園內整地填土，主要為黃棕色崩積土夾風化岩塊；

1.2 m 至 33.35 m 為破碎岩體且含有多處孔洞，由碎裂岩塊與岩屑層交互出現組成，碎裂岩塊分布於 4.75m~7.7m, 8m~11.2m, 16.5m~19.3m, 27.4m~31.75m，其他部分以岩屑層為主；

33.35 m 至 35.8 m 為剪裂帶，33.35m~35.3m 為淺灰色泥層、34.7m~35.5m 為黃色泥砂層；

35.8 m 至 37.0 m 為風化岩盤，以砂質與泥質片岩互層為主。

BH3

0.0 m 至 0.55 m 為填土層，原檳榔園內整地填土，主要為黃棕色崩積土夾風化岩塊；

0.55 m 至 35.46 m 為破碎岩體且含有多處孔洞，由碎裂岩塊與岩屑層交互出現組成，碎裂岩塊分布於 2.5m~6.0m, 11.7m~14.0m, 23.0m~27.6m, 31.3m~35.46m，其他部分為灰色與棕色岩屑層；

35.46 m 至 39.0 m 為剪裂帶，35.8m~36.0m, 38.0m~38.2m 為淺灰色泥層；

39.0 m 至 45.6 m 為新鮮岩盤，主要為砂質片岩。

BH4

0.0 m 至 2.0 m 為填土層，鑽探施工便道填土，主要為黃棕色崩積土夾

風化岩塊；

2.0 m 至 34.8 m 為破碎岩體，由碎裂岩塊、岩屑層與黃色泥砂層交互出現組成，4m~5m, 9m~9.8m, 14m~14.7m, 23.5m~24m, 30.2m~30.45m 為黃色泥砂層；

34.8 m 至 41.55 m 為剪裂帶，34.8m~36.0m, 37.15m~37.9m, 38.45m~38.7m, 39.7m~40.0m, 40.7m~41.55m 為淺灰色泥層夾岩屑。

41.55 m 至 43.6 m 為新鮮岩盤，以泥質片岩夾石英脈為主。

歸納地質鑽探結果各孔岩心描述區分五個岩心材料，由地表向下依序為填土層、破碎岩體、剪裂帶、風化岩盤及新鮮岩盤，各鑽孔對應之分層深度如表 6-2，岩心描述如下：

表土層：以地表堆積岩塊與施工整地之黃色基質夾帶中至高度風化岩屑為主，覆蓋於破碎岩體之上；

破碎岩體：灰色基質夾帶輕至中度風化碎裂岩塊與岩屑為主，應為長期潛移與近年大量滑移後，造成風化岩盤受到劇烈擠壓破裂，以及內部出現多處孔洞，尤其是 BH1、BH2 與 BH3；而此層下部為剪裂帶，並根據監測數據顯示活躍之滑動面發育於剪裂帶內，而此層即為其載運之主要分層，故亦可將此層稱為滑動岩體；剪裂帶出現於 BH2、BH3 與 BH4，因出現可分辨之剪裂面與剪裂帶故區分為一次層，但於地質剖面以及穩定分析剖面中併入風化岩盤，雖然剪裂帶可能為坡體內潛在之弱帶，但仍須以長期監測觀察是否有不利於邊坡穩定之活動跡象；

風化岩盤：主要以風化和破裂的岩石所組成，尚保有岩層結構，偶夾有泥層或破碎帶；

新鮮岩盤：風化程度低之岩盤，且結構程度高，破裂少或受鑽探擾動形成。根據上述 BH1 至 BH4 新鮮岩盤與風化岩盤之特性，可區分為三個岩段，(1) 砂質片岩，以 BH1 之風化岩盤與 BH3 之新鮮岩盤岩心作為代表、(2) 泥質片岩，以 BH1 與 BH4 新鮮岩盤岩心作為代表、(3) 砂質與泥質互層，以 BH2 風化岩盤岩心作為代表。

表 6-2 各孔鑽探岩心判釋結果表

孔號	總深度(m)	深度起訖(m)		分層描述
BH1	30	0	2.0	表土層
		2.0	16.4	破碎岩體
		16.4	25.9	風化岩盤
		25.9	30	新鮮岩盤
BH2	37	0	1.2	表土層
		1.2	35.8	破碎岩體 (剪裂帶)
		35.8	37.0	新鮮岩盤
BH3	45.6	0	0.55	表土層
		0.55	39.0	破碎岩體 (剪裂帶)
		39.0	45.6	新鮮岩盤
BH4	43.6	0	2.0	表土層
		2.0	41.55	破碎岩體 (剪裂帶)
		41.55	43.6	新鮮岩盤

二、地質剖面

本計畫整合區域地質資料、微地形判釋結果、地表地質調查結果、地球物理探測結果、地質鑽探結果，以 2015 年光達數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)與本計畫完成之數值地表模型(Digital Surface Model, DSM)為高程資料製作地表地質圖及地質剖面圖。

最接近地表為土層，整體厚度相對薄，僅在頭部與坡腹平台相對較厚約 2m；其下層為破碎岩體(滑體)，根據岩心比對、現地調查、遙測分析與監測數據等資訊研判此破碎岩體正在滑動，滑動面深度約 35m，其滑動面受葉理起伏影響，呈現不規則型滑動(Irregular slide)。介於滑動體與基盤之間，存在一剪裂帶，由灰黑色泥層與岩屑所構成，應受泥層剪切強度低所影響，使滑動體可持續下滑；岩盤為砂質與泥質片岩組成，依岩性分屬玉里層中之紅葉片岩。

將岩心判釋分層結果反映至剖面上，並配合地表地質調查、折射震測剖面 and 地形特徵判釋結果，綜合以上資訊繪製地表地質圖(圖 4-2)以及 AA'與 BB'地質剖面圖(圖 6-3)，並對此區坡體依岩心判釋單位分層，將仍在滑動的破碎岩體範圍圈繪，滑動體之深度則由地質剖面展示。

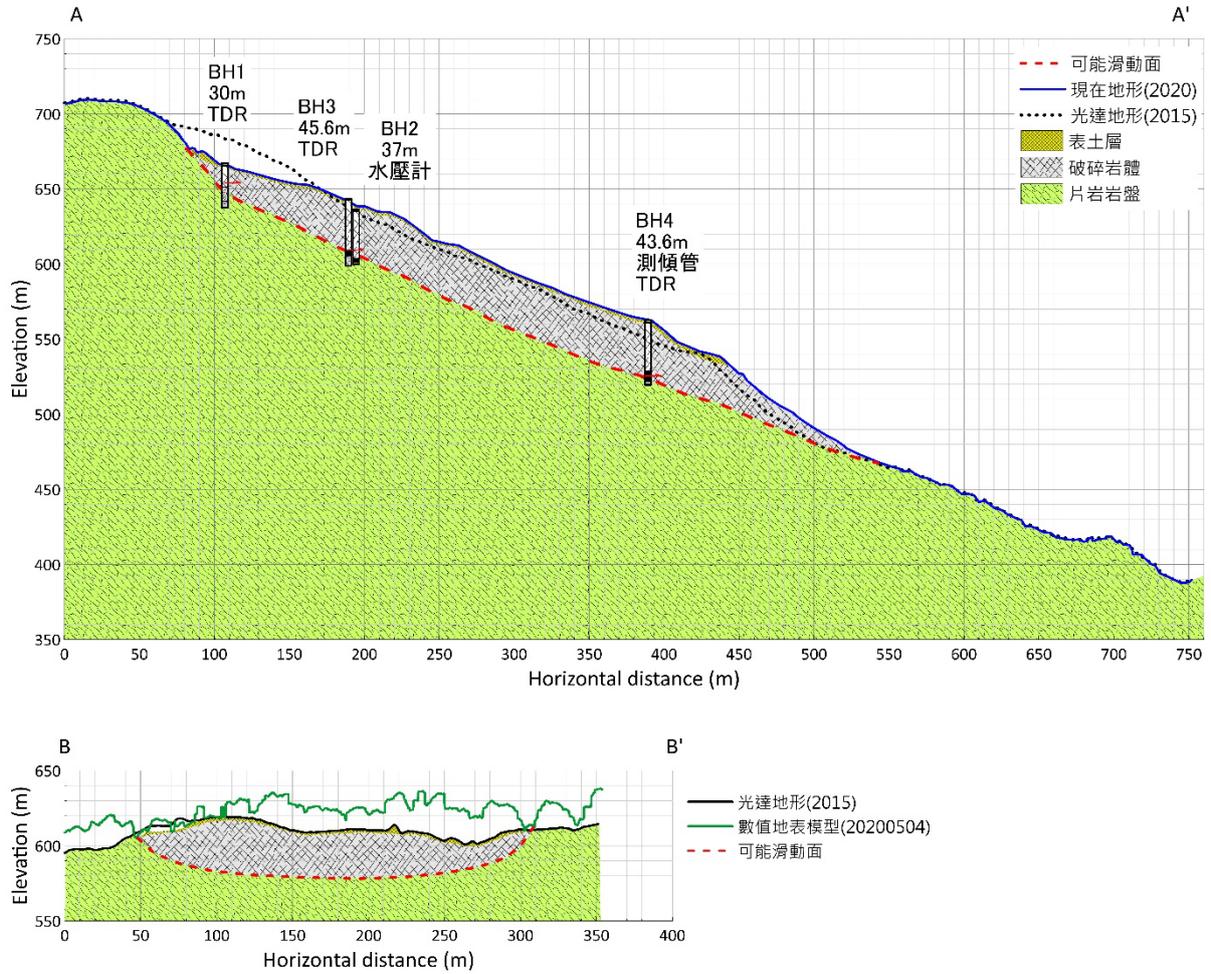


圖 6-3 AA'與 BB'地質剖面圖

三、力學試驗結果

本崩塌地可能形成破壞機制包含：(1)崩積層沿岩土界面滑動，(2)片岩體不連續面(如葉理面)之滑動、(3)風化岩體或深部岩盤沿弱帶(如剪裂帶)之深層破壞，其對應的力學試驗可參考圖 6-4，本團隊岩石力學試驗室相關儀器如照片 6-1。模式採用之參數除了參考試驗結果，亦可從文獻、相關經驗式、反算分析獲得。根據初步調查結果，本區崩塌機制應為崩積層、風化岩層內滑動，或沿岩土界面滑動。本計畫目前共計完成崩積層之土壤三軸試驗 1 組、剪裂泥之土壤直剪試驗 1 組、岩石單軸壓縮強度試驗 6 顆及岩石直剪試驗 1 組，試驗工作與成果如以下說明。

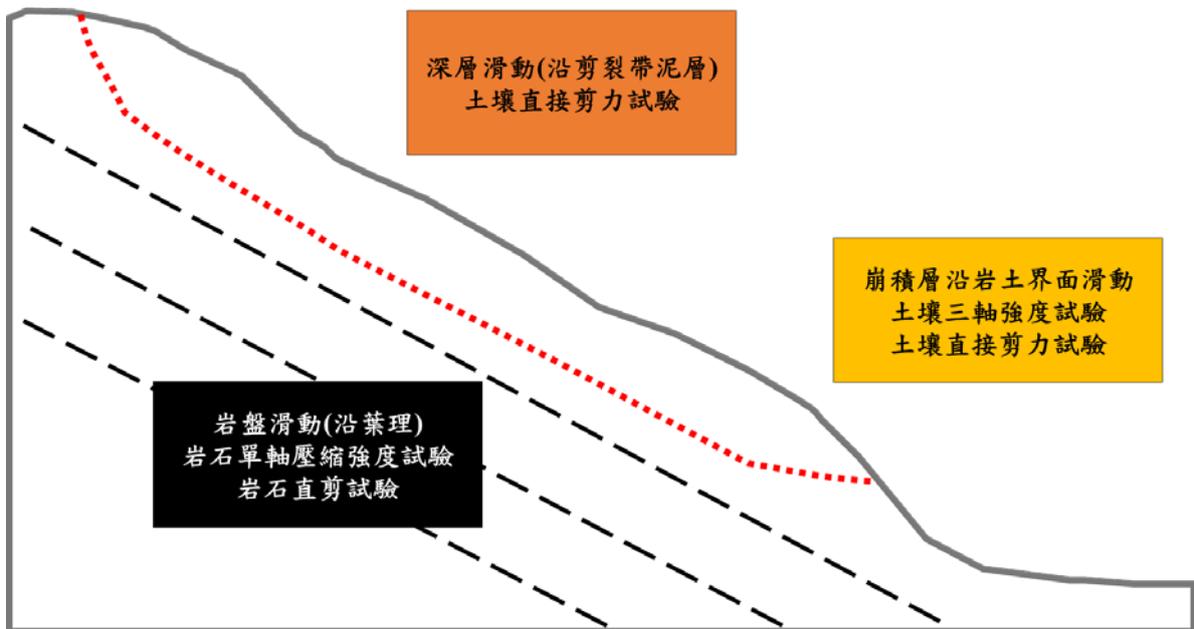


圖 6-4 邊坡可能破壞機制與獲得力學參數之對應室內試驗



岩石三軸試驗、單壓試驗儀



岩石點荷重試驗儀



ELE 1500 kN 壓力機



土壤三軸試驗儀



岩石直接剪力試驗儀

照片 6-1 陽明交通大學岩石力學試驗相關儀器

(一) 崩積土三軸壓縮試驗

為了探討崩積層內的力學行為，由岩芯製作崩積土重模試體，進行三軸壓密不排水(CU test)試驗，記錄在不同圍壓下的軸向應力及軸向應變，並繪製莫爾圓，獲得剪力強度值，供後續穩定分析使用。試驗結果如表 6-3 及圖 6-5 所示。採用莫爾-庫倫破壞準則，由三軸壓密不排水試驗(CU test)所得到的摩擦角與凝聚力為 29.4° 及 8.1 kPa。

表 6-3 崩積土三軸試驗結果表

試體編號	σ_3 (kPa)	σ_1 (kPa)	含水量 (%)	c (kPa)	ϕ ($^\circ$)
CU1	81	264.7	19	8.1	29.4
CU2	100	320.3	15.8		
CU3	120	495.9	14.3		

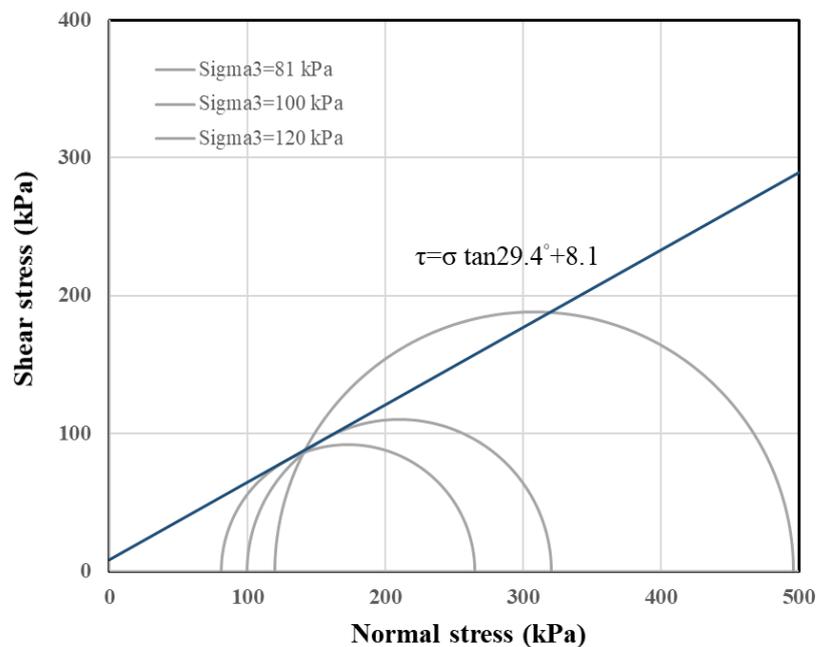


圖 6-5 崩積土三軸壓密不排水(CU test)試驗結果

(二) 崩積土基本物性試驗

表 6-4 至表 6-6 為崩積土基本物性試驗之結果，圖 6-6 為崩積土粒徑分佈曲線。

表 6-4 基本物理性質結果

試體名稱	取樣深度 (m)	濕單位重 (kg/m ³)	乾單位重 (kg/m ³)	比重	含水量(%)
BH1	0.80-1.45	1780	1440	2.70	25.99
BH2	0.30-1.10	1909	1540	2.72	22.50
BH3	0.00-0.60	1990	1430	2.50	24.20
BH4	0.30-0.60	1890	1520	2.62	24.08
BH4	9.48-9.65	1980	1600	2.66	24.38

表 6-5 阿太堡指數結果

試體名稱	取樣深度 (m)	液性限度 (%)	塑性限度 (%)	塑性指數 (%)	分類
BH1	0.80-1.45	39.4	25.8	13.6	SP-SC
BH2	0.30-1.10	46.2	34.6	11.6	SP-SC
BH3	0.00-0.60	35.7	25.7	10.1	SP-SC
BH4	0.30-0.60	41.7	27.7	14.0	SP-SC
BH4	9.48-9.65	37.7	21.3	16.4	SP-SC

表 6-6 篩分析結果

篩號	粒徑 (mm)	BH1 0.80- 1.45m	BH2 0.30- 1.10m	BH3 0.00- 0.60m	BH4 0.30-0.60m	BH4 9.48- 9.65m
#4	4.76	56.12	61.83	64.88	66.40	66.88
#10	2.00	40.77	36.39	48.81	48.05	48.49
#20	0.85	29.02	23.41	31.25	32.47	29.72
#30	0.60	24.46	19.34	25.00	26.46	23.30
#40	0.425	22.78	17.30	22.02	23.70	20.15
#100	0.15	15.11	11.45	14.58	15.42	11.96
#200	0.075	11.51	9.16	11.31	12.01	8.94

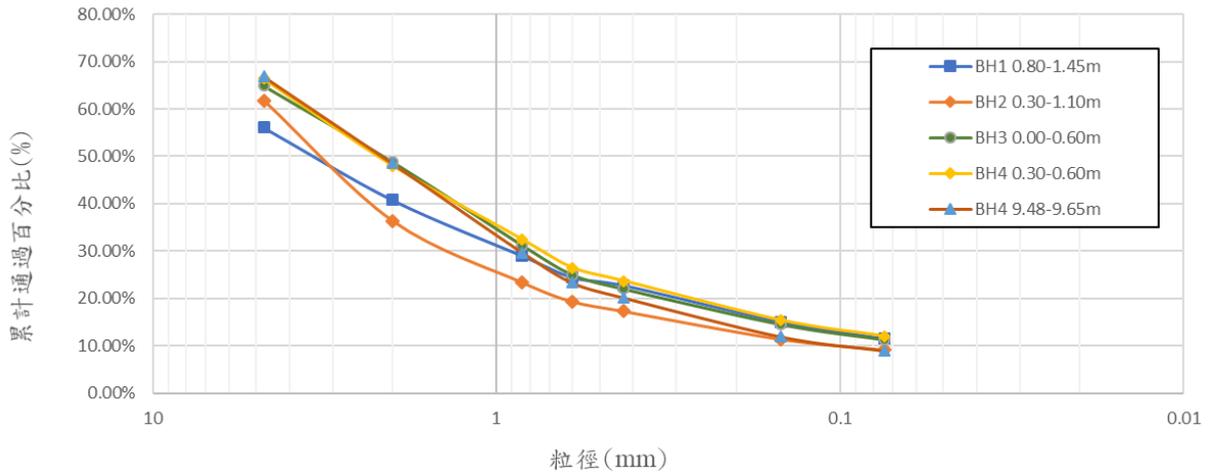


圖 6-6 舞鶴崩塌地土壤粒徑分佈曲線

(三) 剪裂泥直接剪力試驗

為了探討剪動帶的力學行為，由鑽探取心，取剪動帶土壤，重模試體，進行土壤直接剪力試驗，紀錄在不同正向應力下的剪應力及水平應變，並繪製莫爾庫倫破壞包絡線、計算凝聚力與摩擦角，供後續穩定分析使用。試驗過程符合 ASTM: D3080/D3080M-11 規範，根據規範設定剪動速率小於每分鐘 0.1% 應變量，破壞時間約為試驗開始後 200 分鐘。試驗結果如表 6-7、圖 6-7 及圖 6-8 所示。試驗中，正向力分別為 40kg、50kg、60kg、72kg，對應之正向應力與試驗結果剪應力如圖 6-9 所示。採用莫爾-庫倫破壞準則，所得到的摩擦角與凝聚力為 24.6° 及 40.75 kPa。

表 6-7 剪裂帶土壤直接剪力試驗結果表

試體編號	深度 (m)	正向力 (kg)	正向應力 (kPa)	剪應力 (kPa)	c (kPa)	ϕ ($^\circ$)
BH1	20.40-20.60	40	124.46	96.04	40.75	24.6
BH3	24.10-24.40	50	155.82	115.64		
BH3	37.30-37.45	60	186.2	124.46		
BH4	41.00-41.30	72	223.44	143.08		

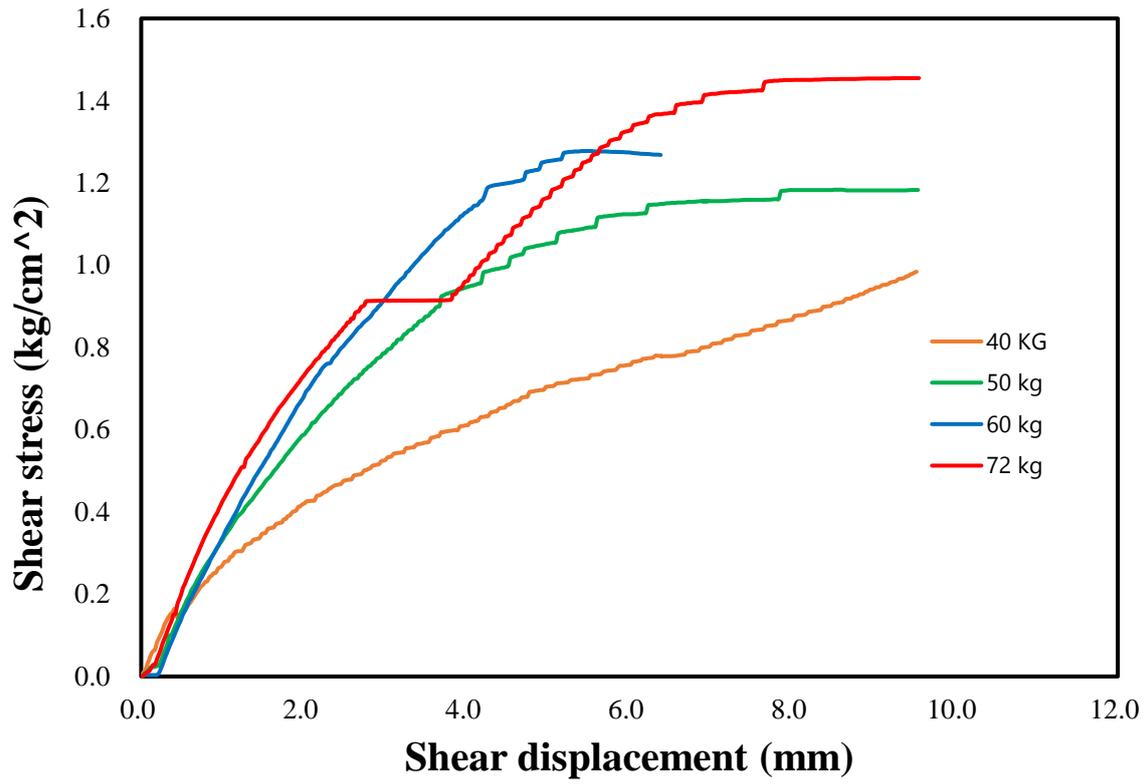


圖 6-7 剪裂泥之剪應力對水平位移圖

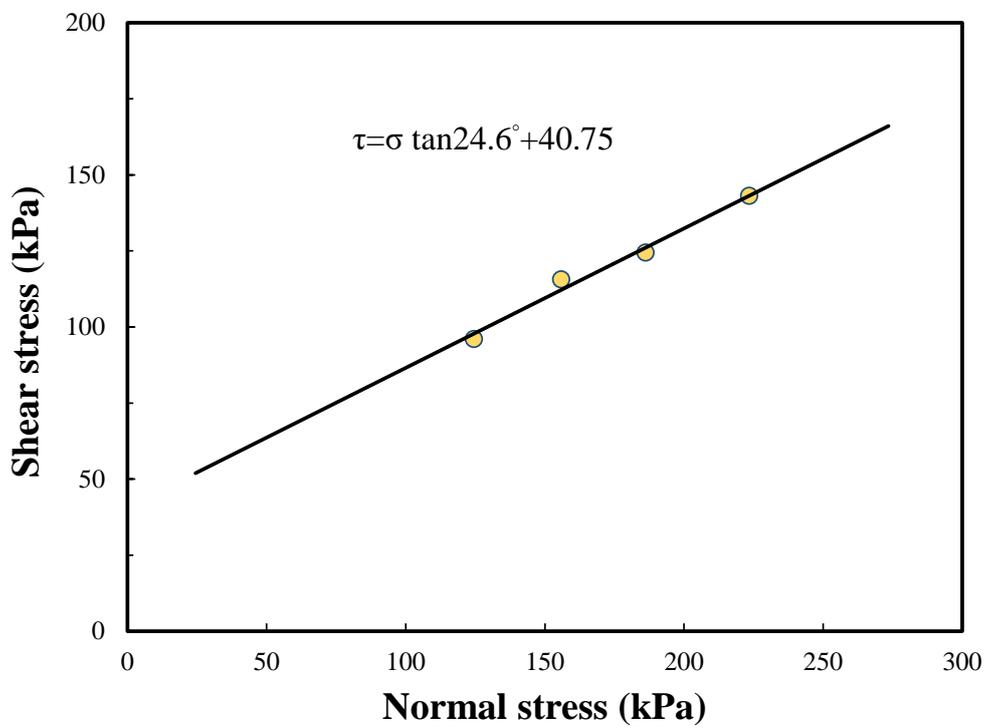


圖 6-8 剪裂泥之破壞包絡線

(四) 岩石單軸壓縮強度試驗

本項試驗目的在於測量岩石材料之單軸壓縮強度，並由位移感測器(LVDT)量度岩心試驗之端點變形量，由此變形量並可推算彈性模數。本項試驗採用電腦控制 MTS-810 材料試驗機進行試驗，試體為鑽探時所得到的岩心以及現地取樣的岩塊，利用岩心切割機將鑽探的岩心及岩塊，切割成長徑比介於 2.5~3.0 的試體，以荷重計記錄荷重，以位移感測器(LVDT)量度軸向變形，試驗至破壞停止；試驗步驟係參照 ASTM D7012-14 規定辦理。試驗結果如表 6-8 表 6-1 與圖 6-9 所示，試體岩性為砂質片岩，單壓強度介於 92-656 kg/cm²；破壞方式為沿葉理面破壞，因弱面鏽蝕、風化程度差異，強度變化較大，岩塊 1 因葉理面發達，故強度特別低。

表 6-8 岩石單軸壓縮強度試驗結果表

試體名稱	取樣深度 (m)	單壓強度 (kg/cm ²)	彈性模數 (kg/cm ²)	破壞應變 (%)	岩性	破壞形狀
岩塊1		92.79	22164.55	0.473	砂質片岩	沿葉理破壞
岩塊2		306.53	19248.16	1.155	砂質片岩	沿葉理破壞
岩塊3		656.29	61896.77	1.359	砂質片岩	沿葉理破壞
岩塊4		512.00	59030.35	1.209	砂質片岩	沿葉理破壞
BH1	5.10~5.25	446.13	83386.27	0.767	砂質片岩	沿葉理破壞
BH3	43.00~43.20	446.13	83386.27	0.767	砂質片岩	沿葉理破壞

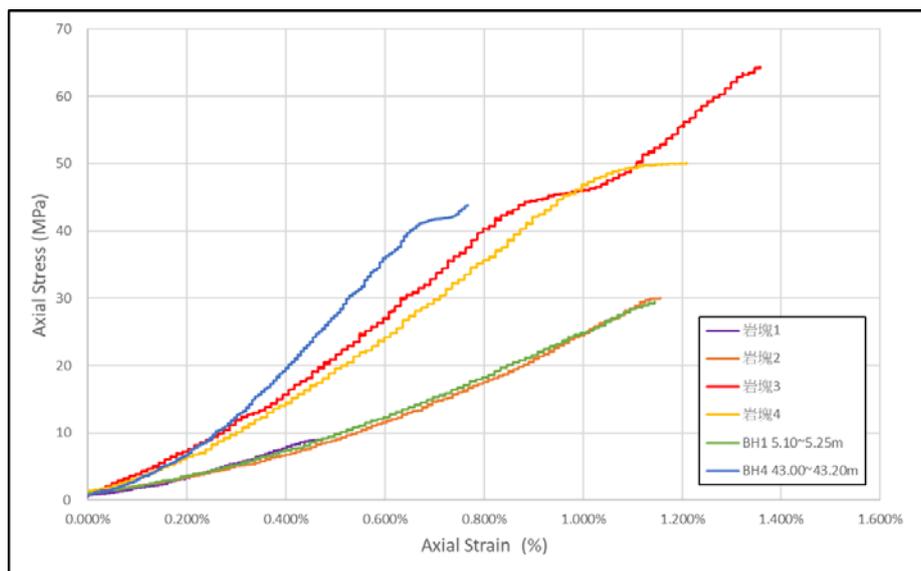


圖 6-9 舞鶴崩塌地岩心單壓結果

(五) 片岩葉理直接剪力試驗

為了瞭解片岩葉理之剪力強度，本計畫進行岩石直剪試驗。片岩試體尺寸之試體為 50 mm × 50 mm，以高強度石膏灌製成直剪盒大小，並中間預留 10mm 之縫隙使其破壞面產生，實驗設計剪動方向與片岩葉理方向平行，各個試體施以不同的正向應力，便可得到相對之剪向應力-位移之變形曲線，記錄試驗曲線之峰值為板岩葉理剪力強度，並為了探討板岩葉理之強度遇水弱化之特性，將直剪試驗試體浸泡於水中 48 小時以達飽和狀態。片岩葉理之剪力強度如圖 6-10 所示。採用莫爾庫倫破壞準則，其摩擦角為 43.6° ，凝聚力 226.97kPa。

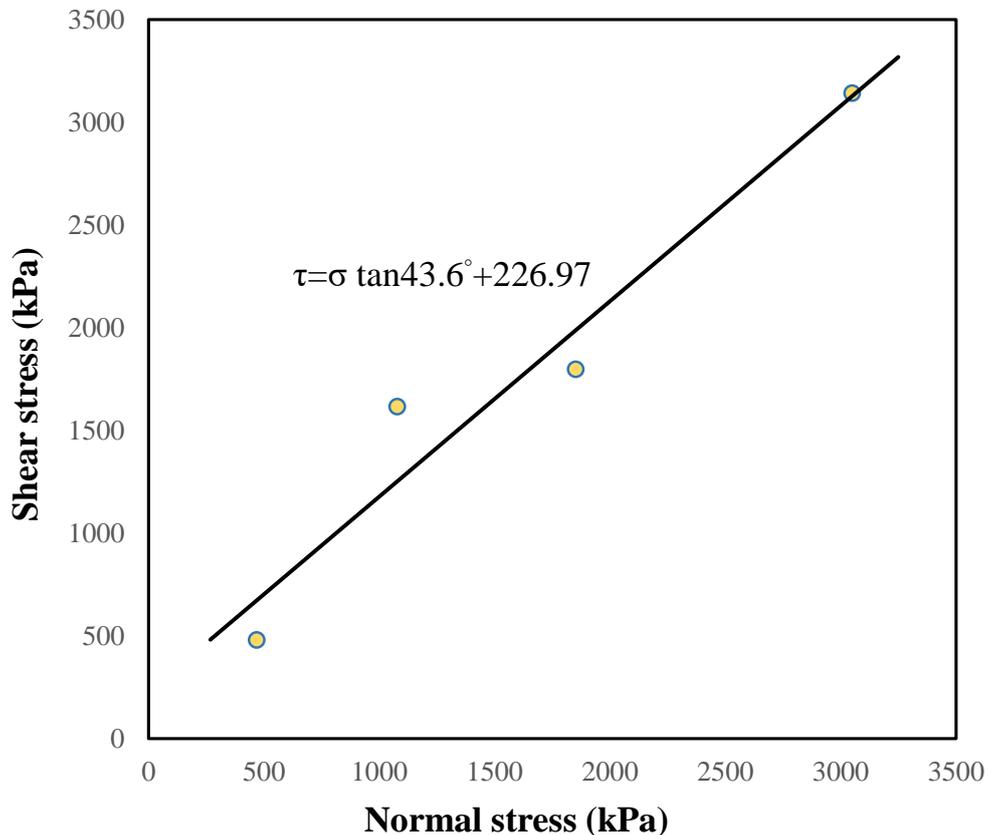


圖 6-10 片岩葉理之剪力強度

第七章 崩塌地監測

依據招標文件，本計畫執行期間需於各鑽探孔埋設地層滑動觀測設備（傾斜觀測管或 TDR 變形量測電纜線等），於計畫執行期間進行長期監測，其中需包含 3 處地層滑動觀測設施，並視位置布設 2 孔具自動傳輸的地層滑動觀測設施。每監測孔於計畫執行期間至少量測 10 次以上。現場儀器安裝與監測，參照公共工程委員會施工綱要規範執行。現場儀器安裝與監測需參考公共工程委員會施工綱要規範內容執行。

經監測數據顯示本崩塌地活動性極高，為因應此現象將監測設備由原定之 BH1 與 BH3 為 TDR(時域反射儀變形量測電纜線)、BH2 為水位計、BH4 為 TDR 與測傾管共構，另增設 3 處(BH1、BH2、BH4，另含崩塌地外穩定區之主站)架設即時 GPS 站監測地表位移(圖 7-1)，以及於舞鶴台地茶園民宅架設即時攝影，皆已佈設自動即時傳輸系統，並為掌握即時資訊利用即時網頁展示與即時通訊群組固定回報花蓮林管處，若本區域發生震度達 5 弱以上之地震或降雨事件後，評估分析即時監測數據並回報花蓮處。

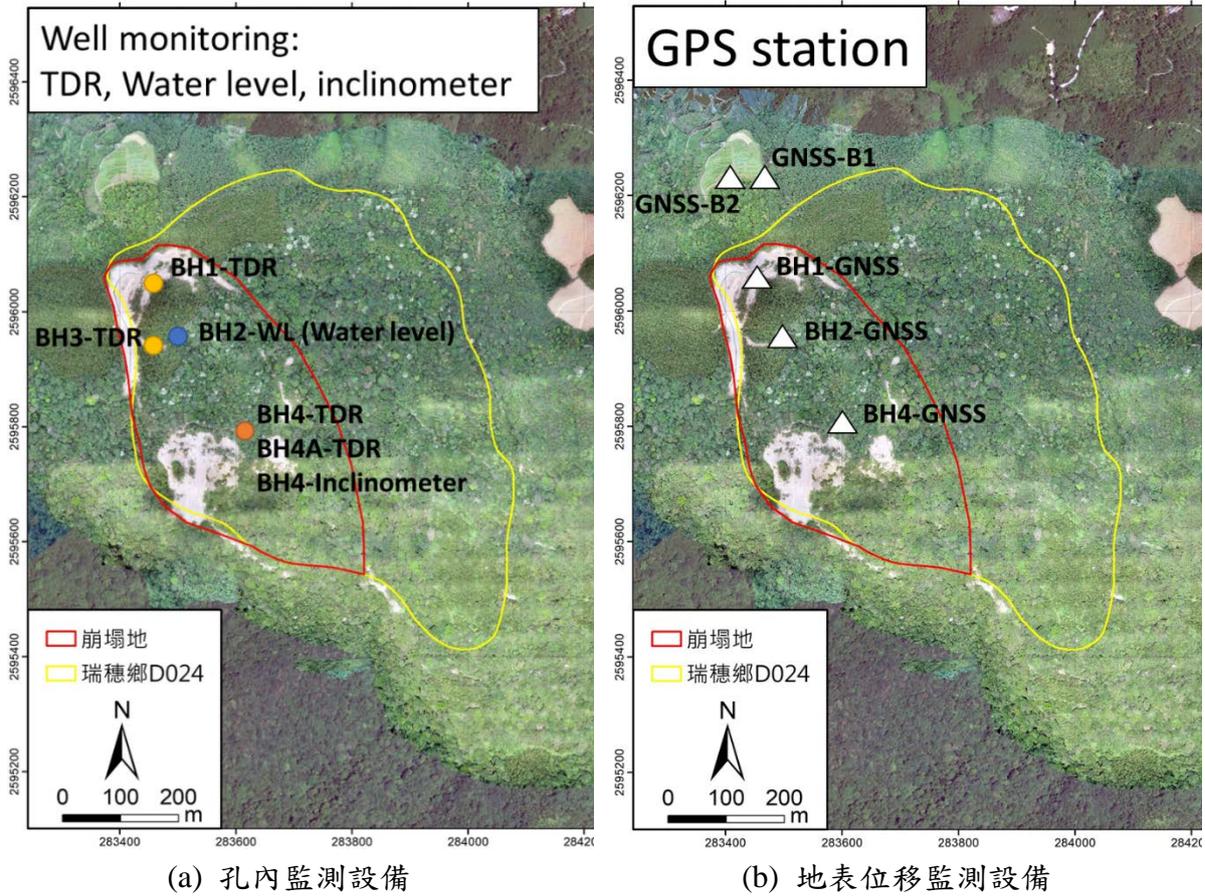


圖 7-1 監測設備位置分布圖

一、崩塌地地體變位觀測系統

(一) 時域反射儀 (TDR) 坡地剪動監測系統

時域反射儀(time domain reflectometer, TDR)系統為一上孔式概念之新式監測系統，透過多工器 (multiplexer) 以及同軸傳輸纜線，可將多點 TDR 不同監測感測器連接，形成一機多工之功能。時域反射儀(TDR) 主要由階躍脈衝產生器 (step pulse generator)、取樣器(sampler)與示波器(oscilloscope)組成，其基本原理與雷達相同，由階躍脈衝產生器發射一電磁波進入同軸纜線(coaxial cable)及感測器(sensor)所組成之電磁波傳輸系統(transmission line system)，由取樣器記錄感測器內阻抗(impedance)不連續所造成之反射並顯示於示波器。感測器可視為同軸纜線延伸，同時作為訊號傳輸與感測之用，感測器設計主要將感測內材料電學變化轉換成傳輸阻抗變化，如此可藉由反射訊號得知材料電學特性。

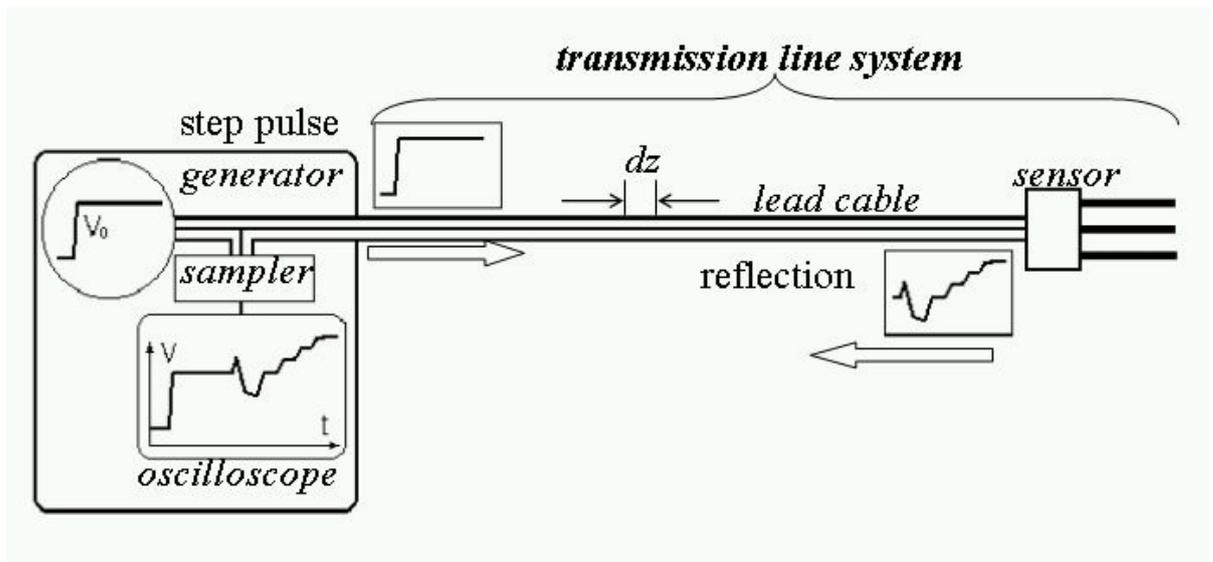


圖 7-2 TDR 量測系統示意圖

TDR 作為坡地剪動監測之原理是在於將同軸纜線埋設於有滑動之現象的岩石或土壤邊坡中（如圖 7-2、圖 7-3 所示），當地層相對錯動而改變同軸纜線幾何形狀時，TDR 儀器所發出脈衝電磁波將在同軸纜線變形處發生訊號反射尖峰 (reflection spike)，利用走時進行分析可以定位阻抗不連續的位置，如圖 7-4 所示。其優點在於監測變形之同軸纜線為一空間連續分佈之感測器，相較於傳統的測傾管技術（非空間連續分佈），具有空間解析優勢。

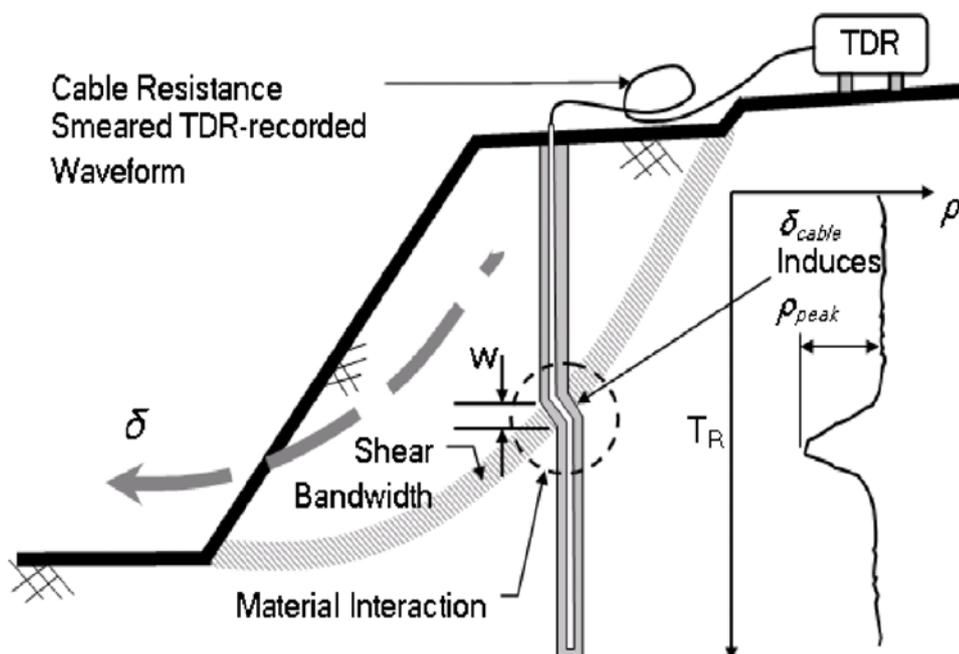


圖 7-3 TDR 量測系統與訊號傳遞接收示意圖

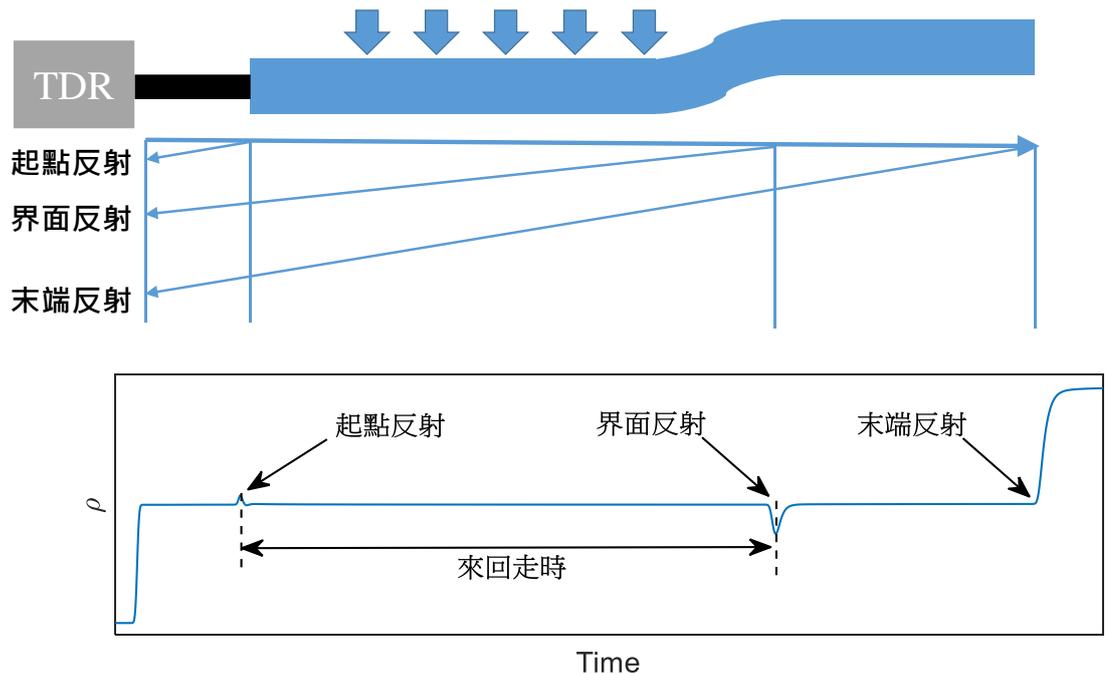


圖 7-4 TDR 變形監測之反射訊號與原理

為進行 TDR 剪動量化分析，採用 Lin et al.(2009) 之建議，其量化分析之方法是將受剪動而產生之負反射訊號之最大值與剪動量進行線性回歸，其數學式表示為

$$\delta = (\rho_{peak}/S) + \delta_0 \quad (\text{式 7.1})$$

其中 δ 為外部剪動位移量， ρ_{peak} 為反射係數峰值(與初始量測值之差值)， S 為纜線與周圍束制材料之有效靈敏度； δ_0 為使 TDR 波形產生初始反應所需之啟動位移量，經由一次線性迴歸求得，定義為迴歸門檻值 (regression threshold value) ，如圖 7-5 所示。

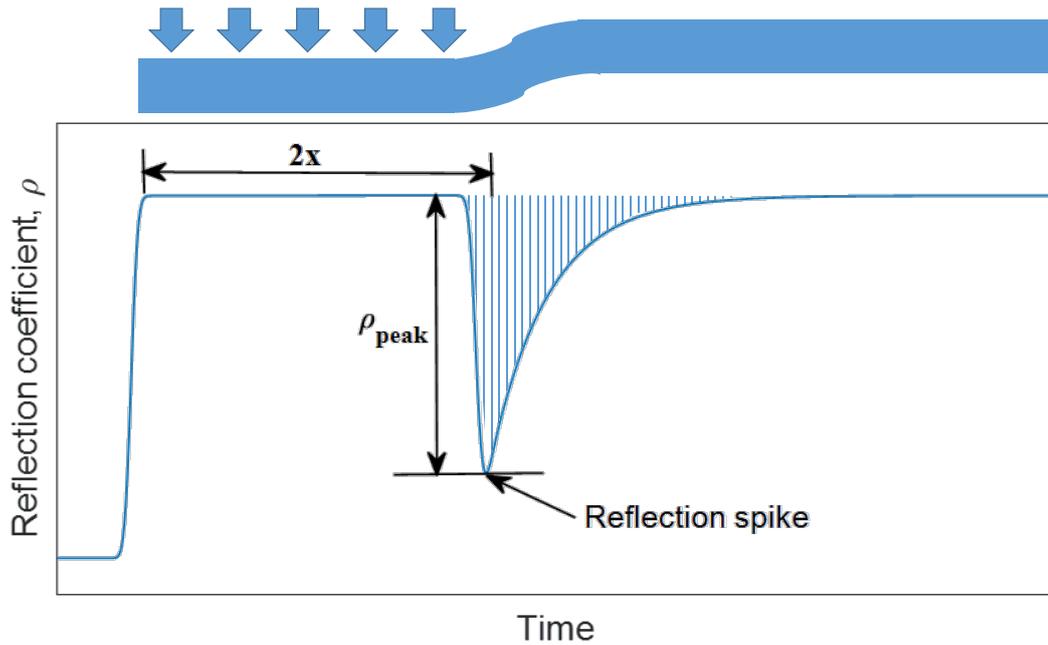


圖 7-5 TDR 錯動變形量化分析方法

根據現場使用之 RG-8 型纜線配合現場鑽探所得之地層材料與實驗室室內試驗比對，本計畫所使用之剪動量化估計式為(單位：mm)：

$$\delta = \left(\rho_{peak} / 0.001071 \right) + 5 \quad (\text{式 7.2})$$

此估計式為粗估之位移量，若要取得更為精準之現地位移量供持續位移監測與門檻預警，需搭配臨近鑽孔或與鑽孔共構之傾斜儀測得位移量標定有效系統靈敏度(S)，此法將於 7-1-2 章節予以詳細介紹。

本案 TDR 剪動監測同軸纜線安裝於 BH1-TDR、BH3-TDR 以及 BH4-TDR 孔位三處，安裝時根據現場安裝之標準作業流程進行(圖 7-6)，主要是在鑽探完成後，將纜線放入孔內並回填水灰比 1:2 之水泥漿，在放置過程中以及回填完成後皆進行訊號確認，以確保在安裝過程中監測纜線沒有發生損壞之情形。

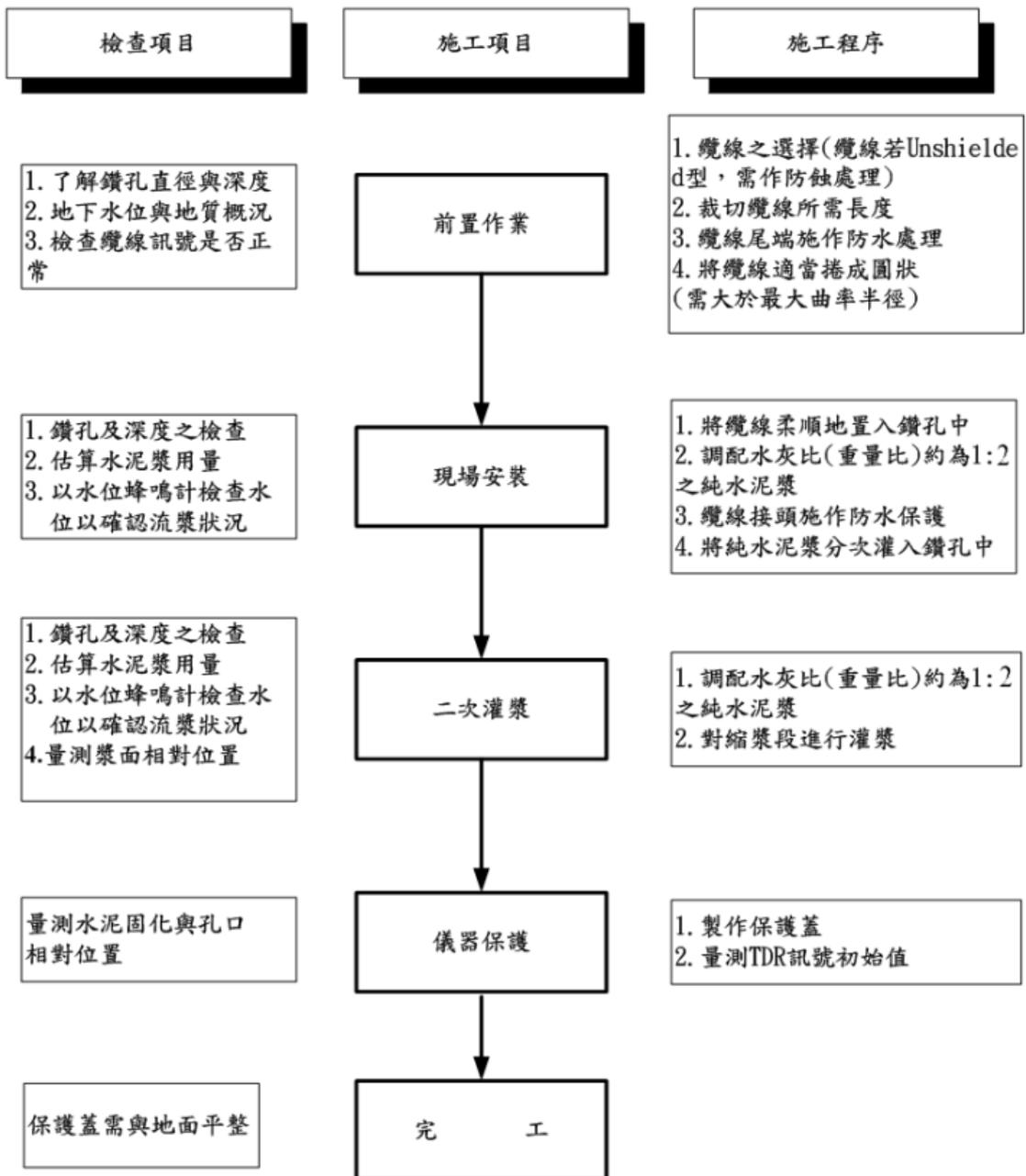


圖 7-6 TDR 剪動監測纜安裝標準流程

本計畫依據地質鑽探結果，於 BH1-TDR、BH3-TDR 埋設 TDR 變形量測同軸纜線及自動傳輸設備，調查滑動面深度並預估位移滑動量。BH1-TDR 於 2020 年 5 月 22 日完成主站架設及於孔內單獨埋設 RG-8 同軸纜線，其埋設狀況如照片 7-1 所示。TDR 纜線埋設至深度 30.1 m，再以水灰比 1:2 之水泥漿分段回填至孔口。

BH3-TDR 於 2020 年 6 月 18 日採單孔埋設 CNT-400 同軸纜

線，其埋設深度為 42.5m，亦以 1:2 水灰比之水泥漿分段回填完畢，其埋設狀況如照片 7- 2 所示。因 TDR 監測主站(Station-BH1)位於 BH1-TDR 孔邊，BH3-TDR 距離該主站約 130m 左右，BH3-TDR 之 CNT-400 同軸纜線連接至 Station-BH1 之間以低衰減、高強度之 P3-500 同軸纜線進行對接，接點處如照片 7- 2 (b)所示。



照片 7- 1 BH1-TDR 監測纜線埋設完成照



照片 7-2 BH3-TDR 監測纜線埋設完成照

(二) 測傾管及 TDR 同軸纜線共構

本計畫依據地質鑽探結果，原於 BH1-TDR、BH3-TDR 埋設 TDR 變形量測電纜線及自動傳輸設備，並規劃於 BH4-Inclinometer 埋設傾斜觀測管，調查滑動面深度以及位移滑動量。後由於本坡地位移速率極快，於 BH4 增加 2 組 TDR 與測傾管共構補充監測（如圖 7-7）所示。TDR 監測系統預估坡地地中位移量目前為透過室內物理模型試驗推估反射係數變化與變位量的關係，然現地條件與物理模型試驗不盡相同，若要精準量化地中位移可藉由測傾管測得位移標定現地的 TDR 反射係數與地中位移量關係，因此本計畫透過 BH4 持續監測於測傾管斷管後的坡地位移量，藉以延長鑽孔監測壽命。

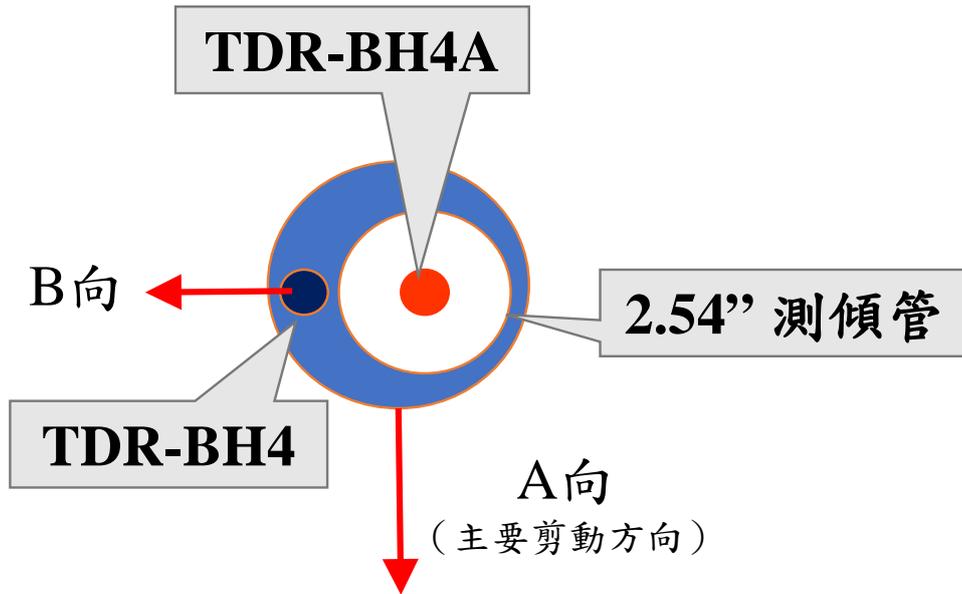


圖 7-7 測傾管與 TDR 共構裝設示意圖

BH4-Inclinometer 埋設之測傾管採三聯科技股份有限公司生產之 2.54" 傾斜管，而 TDR 同軸纜線採外徑約為 0.9cm 之 RG-8 同軸纜線。埋設於現地之 TDR 同軸纜線預先於室內備妥適當長度之纜線，在纜線底部使用纜線鉗將內導體及外導體分開，並套上具防水功能之外殼（長度 23cm、直徑 3cm），最後使用含膠型熱縮套管將其封上，以確保其防水性（照片 7-3）。



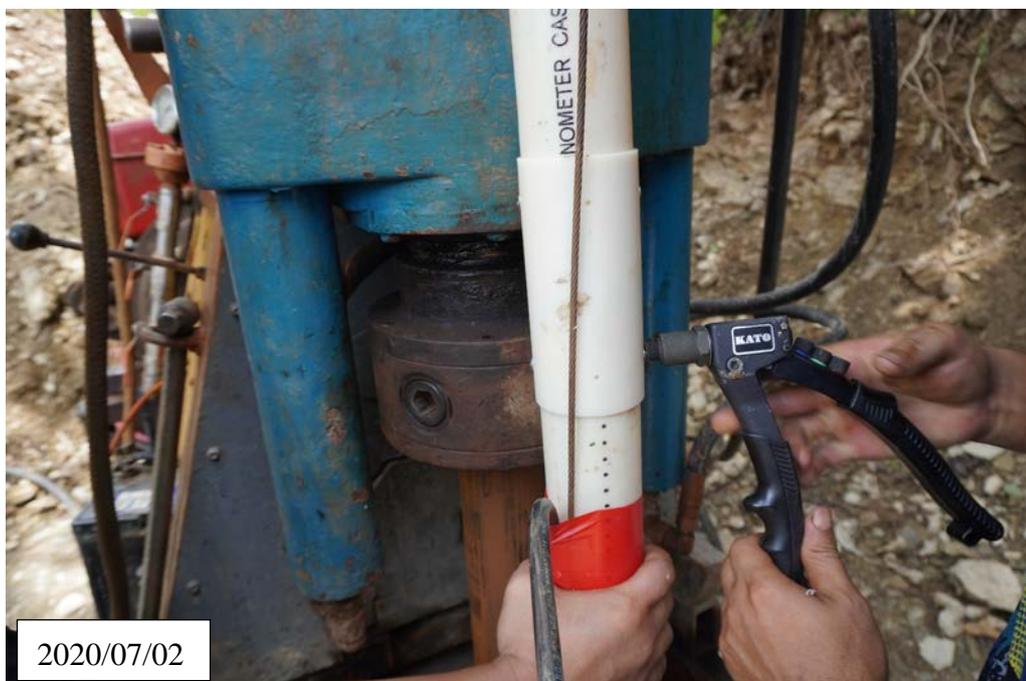
照片 7-3 TDR 纜線末端防水處理

本計畫依賴煜勳(2017)之結果將纜線放在測傾管之 B 向，使其有較佳之靈敏度，測傾管與同軸纜線保持間距越大將有助於提升 TDR 監測靈敏度，然礙於鑽孔尺寸，於現場孔內埋設時僅能以測傾管連接器保持二者間間距，如照片 7-4 所示。基於該孔變形速率過大且地層較破碎，為加快施工速率以確保能下放全深度之測傾管，本測傾管兩節之間使用拉釘固定，而無加上電氣絕緣膠帶纏繞接縫，裝設示意圖及現場固定方式如照片 7-5。孔壁間回填材料採用細砂，細砂從鑽孔底部往上回填並待沉降後補砂，避免測傾管與鑽孔孔壁之間出現空洞、影響監測品質。

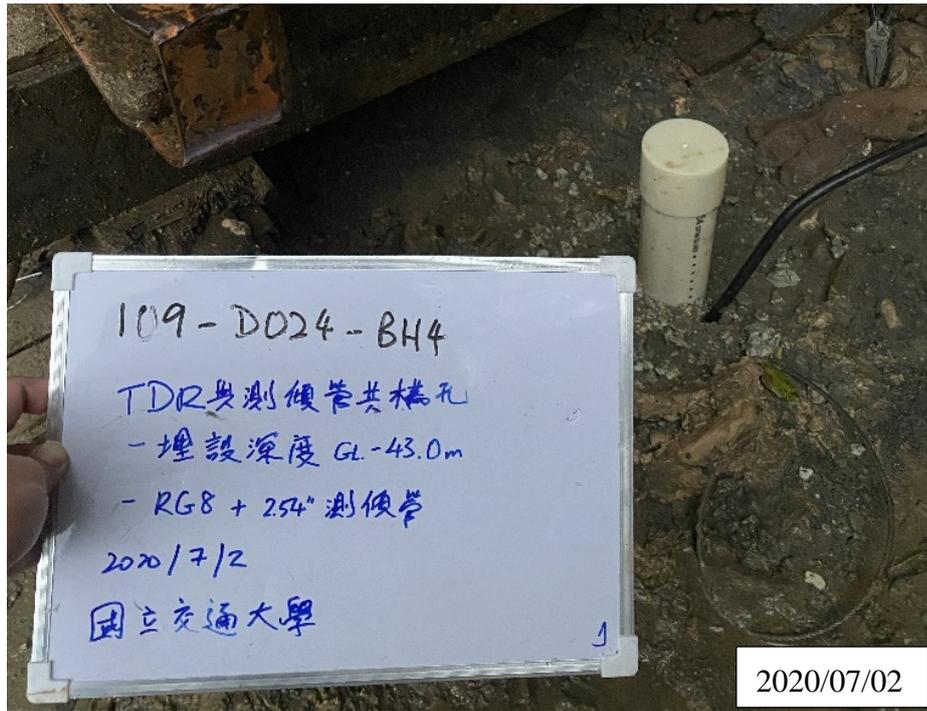
BH4-Inclinometer 於 2020 年 7 月 2 日完成測傾管與 TDR 同軸纜線 (BH4-TDR) 共構埋設至 43.0m，並收錄第一筆資料作為背景值以監測邊坡變形，埋設完成照如照片 7-6 所示。BH4-TDR 採前述方法於測傾管外共構埋設，後續為延長該孔監測壽命，在測傾管失去功能後，另於 2020 年 7 月 9 日在失效之測傾管內埋設 BH4A-TDR，同採 RG-8 同軸纜線埋入孔內再予以細砂確實回填，如照片 7-7 所示。



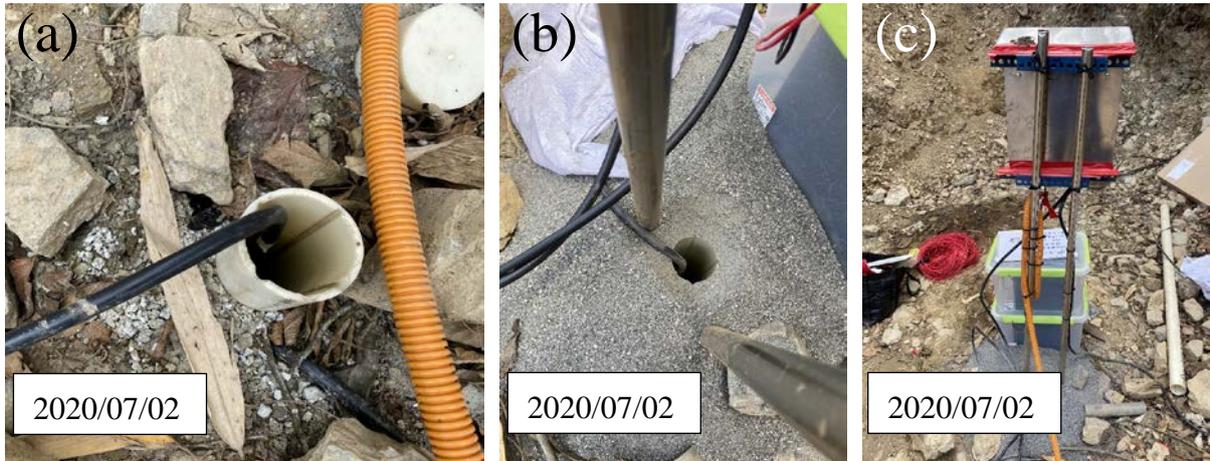
照片 7-4 測傾管與 TDR 同軸纜線於連接器固定



照片 7-5 測傾管連接程序



照片 7-6 測傾管及 TDR (BH4-TDR) 共構埋設完成照片



照片 7-7 置於測傾管內之 TDR 纜線 (BH4A-TDR) 埋設完成照片

(三) 水位觀測井與即時水位監測系統架設

本計畫為透過水位變化間接了解地體活動之狀況，配合地質調查之鑽孔，選於 BH2-WL 設置水位觀測井，其安裝示意圖如圖 7- 8 所示。鑽孔內置入適當大小之開孔 PVC 管，開孔處以篩網綁紮並回填砂或礫石，在孔口處使用混凝土封填管口，並設置保護管與頂蓋，以進行保護。

為可有效捕抓地下水位之變動狀態，本計畫於水位觀測儀器選用上，採用了 Geostar 9550 電壓式水位計進行地下水位量測，該水位感測器如照片 7- 8 (c)所示。現場測站安裝之水位計搭配本團隊自行研發之低功耗自計式水位量測系統與 LoRa (Long Range) 低耗廣域無線傳輸 (low-power wide-area network, LPWAN) 網路架構，每十分鐘記錄水位資料並即時回傳至 Station-BH1 主站，後端再由 Station-BH1 主站透過 3G/4G 無線網路回傳至陽明交通大學防災與水環境中心的伺服器。

本計畫在 2020 年 6 月 18 日於 BH2-WL 孔位完成架設即時水位監測系統，在井測調查成果研判後決定進行無分層水位觀測，規劃監測頻率為每十分鐘一筆，視實際分析需求將再進行調整。BH2-WL 之水位計埋設深度為地表下 30.0m，量程為 0 - 20m，其安裝現況如照片 7- 8 所示，因應其模組之低功耗性能而予以 5W 太陽能板自主發電。

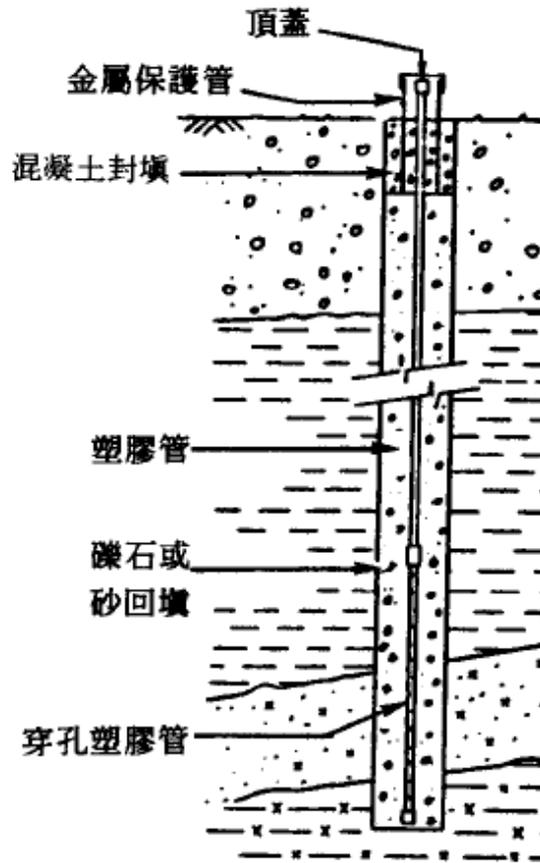


圖 7-8 水位計安裝示意圖



照片 7-8 BH2-WL 即時自計式水位計測站

二、自動觀測與傳輸設施

本計畫為使監測成效更加卓越，於現場安裝陽明交通大學團隊自主研發之低耗能監測系統，利用低耗能樹莓派在有限之野外電源供應系統進行全天 24 小時監測，整合 TDR 與水位計資料即時收錄回傳，達到即時坡地災害預警之成效。現地自記式水位記錄器透過 LoRa (Long Range) 低耗廣域無線傳輸 (low-power wide-area network, LPWAN) 模組將地下水水位數據整合入自動化觀測主站，透過 3G/4G 網路即時回傳交大防災中心伺服器，圖 7-9 為本計畫之自動傳輸系統架構圖。TDR 波形資料回傳到伺服器後端解算以獲得即時變位狀況，現地監測狀況 (TDR 與地下水水位) 每日定時透過 Line 推播至資料管理人員，亦設定於重大降雨與地震事件時立即推播現地狀況，俾利即時預警與反應。有鑑於監測資料有效性，TDR 與水位計現地收錄間距分別為一小時與十分鐘。

自動化觀測主站 (Station-BH1) 已於 2020 年 5 月 22 日在 BH1-TDR 孔邊完成架設，當日即開始收錄 BH1-TDR 背景值與即時資料，現場架設完工照如照片 7-9 所示。後續再於 2020 年 6 月 18 日完成 BH2-WL 水位計與 BH3-TDR 的同軸纜線埋設後，同日將 BH2-WL 水位計資料設定以 LoRa 遠距回傳至 Station-BH1，BH3-TDR 亦以前述低衰減 P3-500 同軸纜線連接至 Station-BH1 中的 TDR 主機。本計畫後於 2020 年 7 月 2 日在下邊坡架設另一自動化觀測主站 (Station-BH4) 以收錄與測傾管共構之 BH4-TDR (測傾管外 TDR) 和 BH4A-TDR (測傾管內 TDR) 資料，架設完工照如照片 7-10 所示。前述二自動化觀測主站皆配置 100W 太陽能板和 75Ah 蓄電池，利用太陽能發電與儲存電力使測站自主供電。

因 TDR 監測纜線皆於 2020 年 8 月 19 全數斷裂，後續監測也轉以 GPS 站地表監測接續監測坡地變位，本計畫於 2020 年 10 月 20 日撤除 Station-BH1 與 Station-BH4，BH2-WL 即時水位監測轉以自主 4G/3G 回傳，此自動傳輸系統架構圖更新為圖 7-10 自動傳輸系統架構圖 (TDR 主站撤站後)。現地水位預警系統流程仍維持既有流程，採定時推播與重大事件推播模式提供管理人員參考。

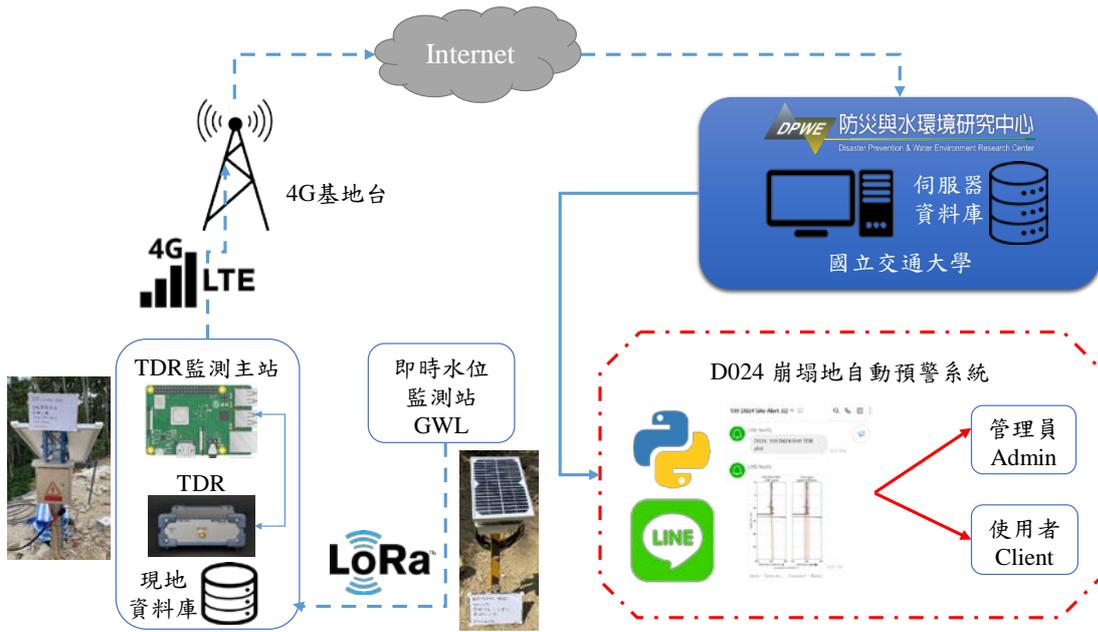


圖 7-9 自動傳輸系統架構圖

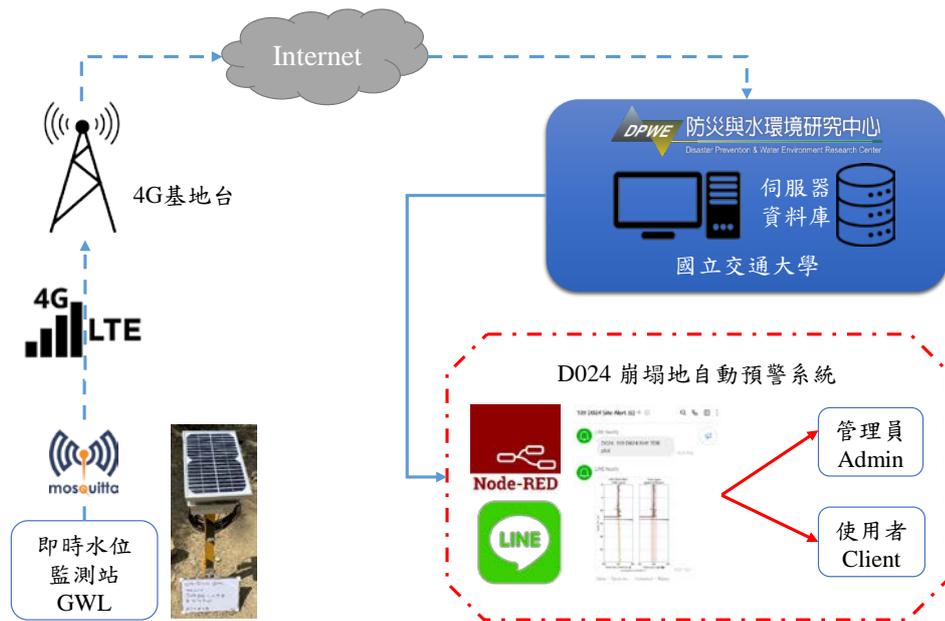
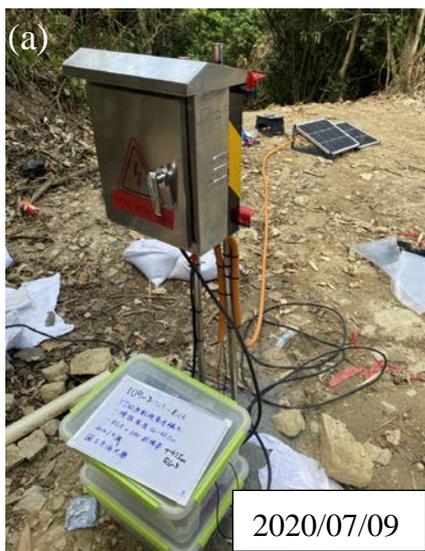


圖 7-10 自動傳輸系統架構圖 (TDR 主站撤站後)



照片 7-9 Station-BH1 自動化觀測主站與太陽能電源模組



照片 7-10 Station-BH4 自動化觀測主站與太陽能電源模組

三、自動與人工監測結果

(一) TDR

依據地質鑽探結果，本計畫分別於 BH1、BH3 埋設 TDR 變形監測同軸纜線，以調查滑動面深度以及位移滑動量。後由於本坡地位移速率極快，BH4 若單獨埋設測傾管將使得該孔監測壽命極為短暫，因而於 BH4 追加埋設與測傾管共構之 TDR 同軸纜線（測傾管外和管內）。TDR 各孔監測期間並無出現顯著降雨或地震事件。

BH1-TDR 孔埋設 30.1m 深之 RG-8 同軸纜線採水灰比 1:2 之水泥漿回填，自 2020 年 5 月 22 日完成主站架設後，每日整點收錄一筆資料進行邊坡變位監測。該孔於 2 天後(109 年 5 月 24 日)，埋設之 TDR 纜線出現剪動訊號，並於 2020 年 5 月 29 日在深度 12.82 m 處剪斷。圖 7-11 為 BH1-TDR 於 2020 年 5 月 24 日至 29 日期間，TDR 監測纜線在未完全剪斷前之波形圖與初始值之差異分析圖，圖 7-11(c) 可觀察到滑動發生於深度 12.7m 至 13.4m 之間，且有雙剪的狀態，初步判斷該滑動界面厚度約為 0.7m。圖 7-12 為該雙剪區段之反射係數差值（與初始值相比）最大值歷史曲線圖，發現原本位於地下 13.3m 處的剪動較為顯著，而後較淺層 12.82m 處剪動發展追上且成為主控剪動深度，因剪動過大而於 2020 年 5 月 29 日剪斷。根據該款同軸纜線室內試驗標定結果，纜線剪斷前推估之累積位移預估為 117 mm，有效監測時間約為 7.5 天，平均位移速率 15.6 mm/日。因監測纜線完全斷裂，自 2020 年 5 月 30 日至 2020 年 10 月 20 日期間僅能監測小於剪斷深度 (<12.7m) 之位移變化，期間未發現該孔地表至地下 12.7m 有任何剪動訊號，如圖 7-13 所示。

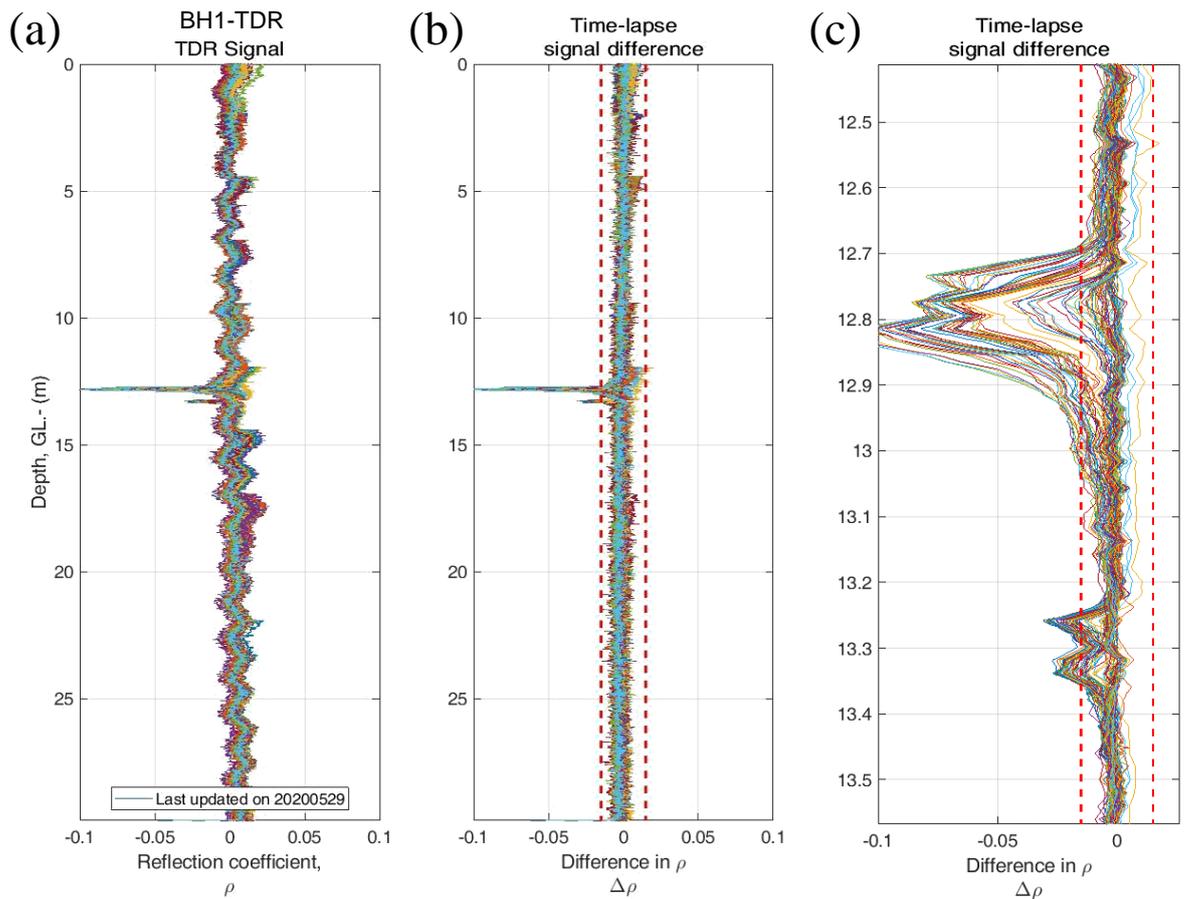


圖 7-11 BH1-TDR 監測波形 (纜線完全剪斷前)：(a)原始波形, (b)與初始值之差異波形, (c)剪動位置放大圖 (截至 109/05/29)

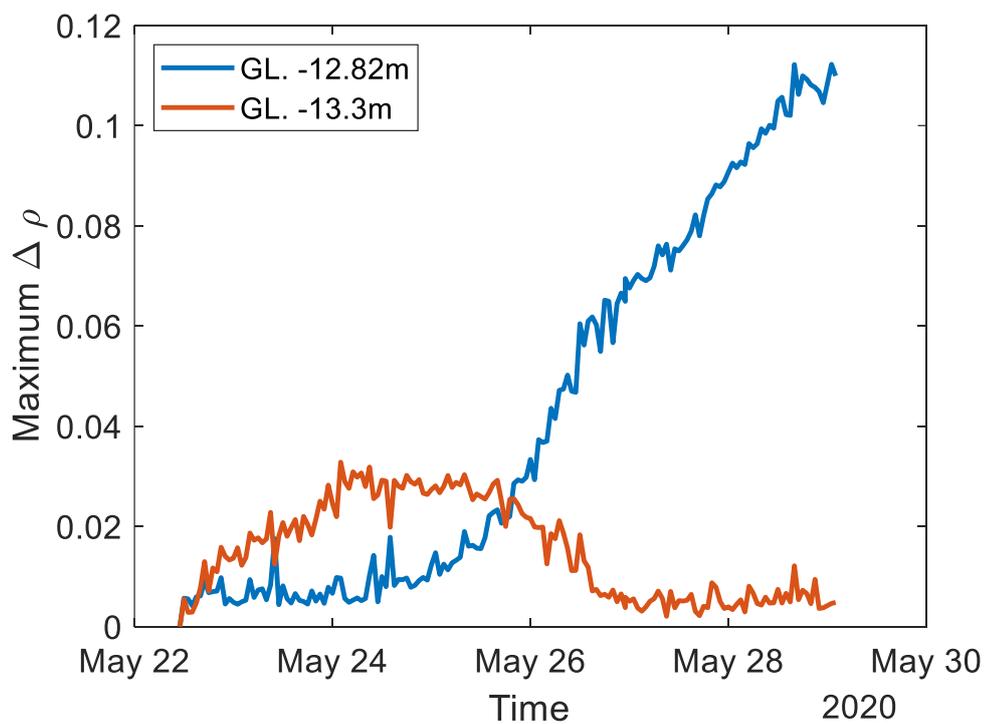
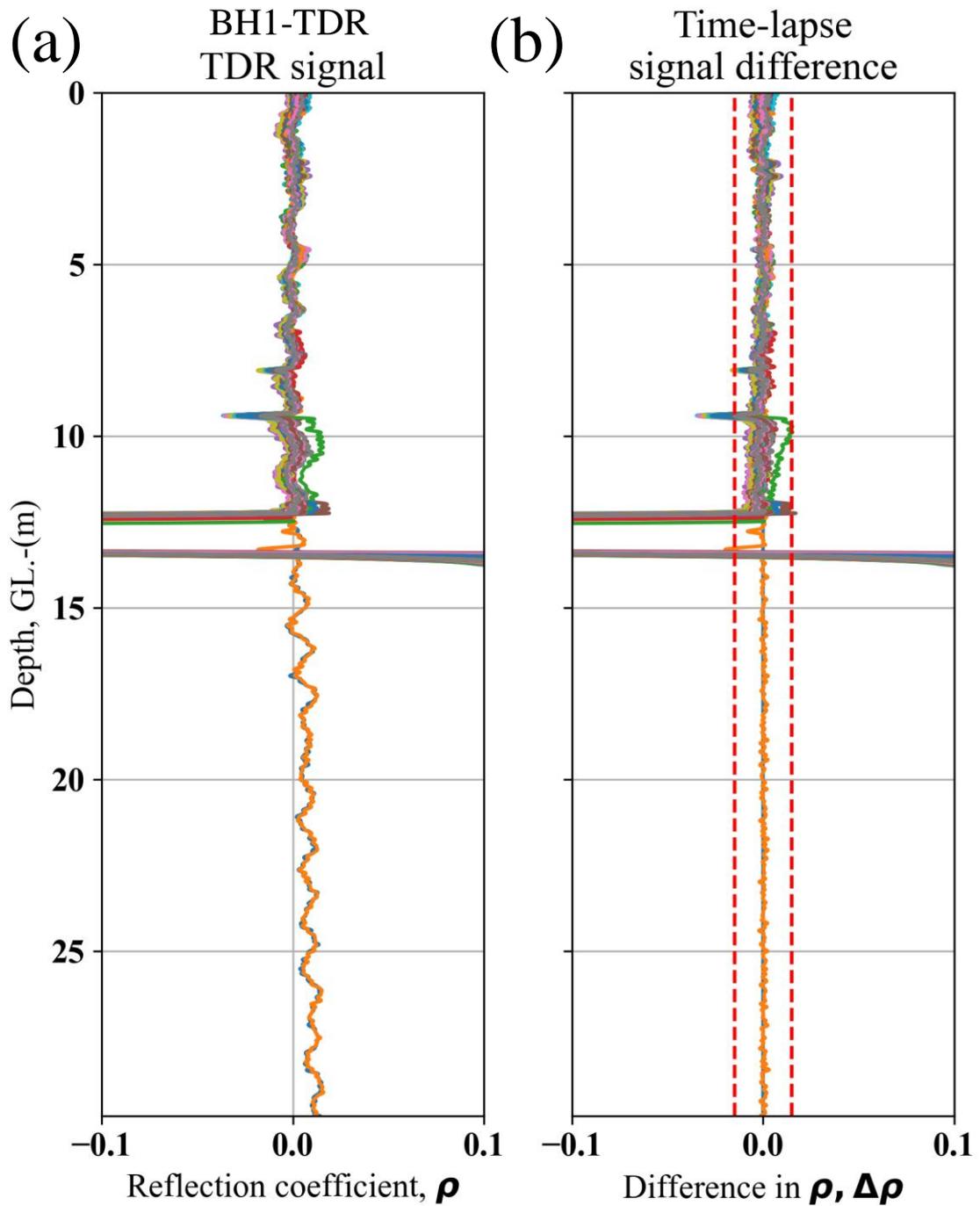


圖 7-12 BH1-TDR 特定滑動深度之最大反射係數變化歷史曲線



Last updated on 20201020.09

圖 7-13 BH1-TDR 監測波形 (纜線完全剪斷後): (a)原始波形, (b)與初始值之差異波形 (截至 109/10/20)

BH3-TDR 於 2020 年 6 月 18 日鑽探達到預定深度後立即埋設較為強固之 CNT-400 同軸纜線，亦採水灰比 1:2 水泥漿由地下 42.5m 回填至地表，並透過 P3-500 同軸纜線連接至 Station-BH1 主站，自該日起每日整點收錄一筆資料。此處於 2 天後(2020 年 6 月 19 日)出現剪動訊號，並於 2020 年 6 月 22 日在深度 35.79m 處完全剪斷。BH3-TDR 於 TDR 纜線未完全剪斷前之原始波形圖與差異分析圖如圖 7- 14 (a)和(b)所示，圖 7- 14 (c)放大剪動深度檢視，觀察到坡地剪動發生於該孔地下 35.5m 至 37.0m 處，與 BH1-TDR 一樣有雙剪的狀態。將剪動深度附近之雙剪畫出監測期間之最大反射係數歷線，圖 7- 15 顯示如 BH1-TDR 一般，較深剪動深度(地下 36.87m)原較顯著，後續主控剪動發展仍發生於較淺之地下 35.79m 處，繼而於埋設 4 日後完全剪斷。比對 BH1-TDR 可發現其最大反射係數較大，且剪斷時間較短，此孔剪動速率較 BH1-TDR 大。根據該款同軸纜線室內試驗標定結果，纜線剪斷前推估之累積位移預估為 131 mm，有效監測時間約為 5 天，平均位移速率 26.2 mm/日。該監測纜線於地下 35.79m 完全斷裂後，僅能監測該深度以上之潛在層間滑動，圖 7- 16 顯示 2020 年 6 月 22 日至 2020 年 10 月 20 日期間的監測結果，期間未發現任何潛在層間滑動，因此推斷該塊體為一致性的不規則型滑動。因 BH1-TDR 與 BH3-TDR 在過去 4 個月期間於主控剪動深度以上未發現任何層間剪動跡象，依主辦單位同意辦理 Station-BH1 退場並變更該二處監測方法為地表 GPS 與即時攝影，於 2020 年 10 月 20 日完成 Station-BH1 撤站。

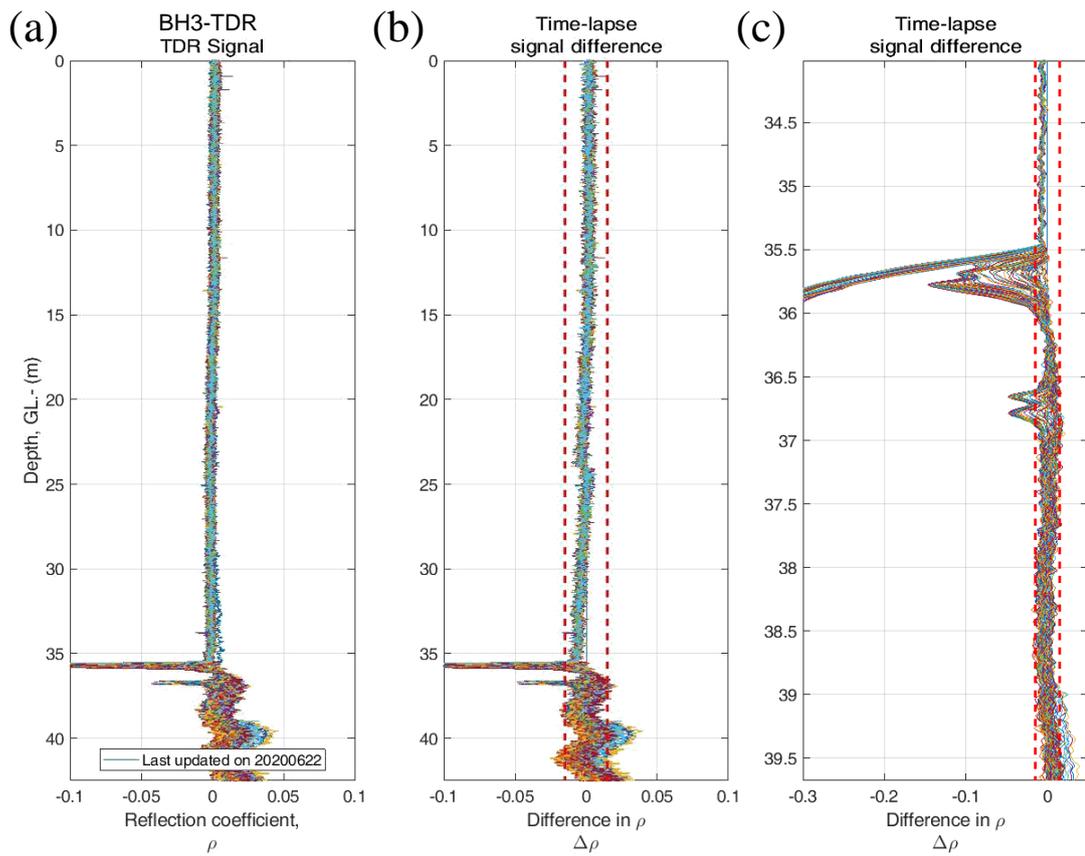


圖 7-14 BH3-TDR 監測波形 (纜線完全剪斷前): (a)原始波形, (b)與初始值之差異波形, (c)剪動位置放大圖 (截至 109/06/22)

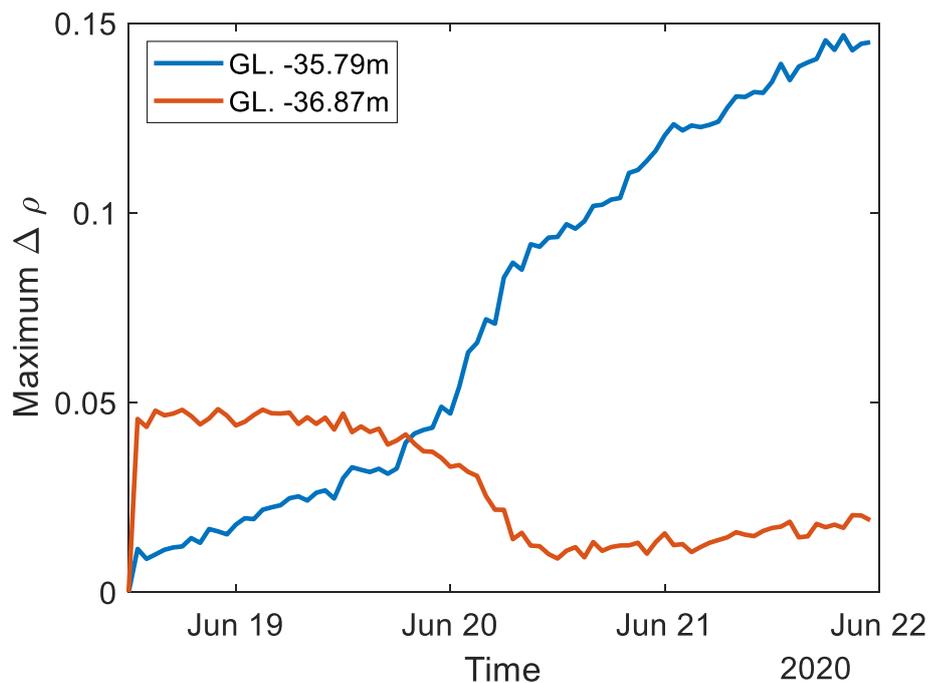
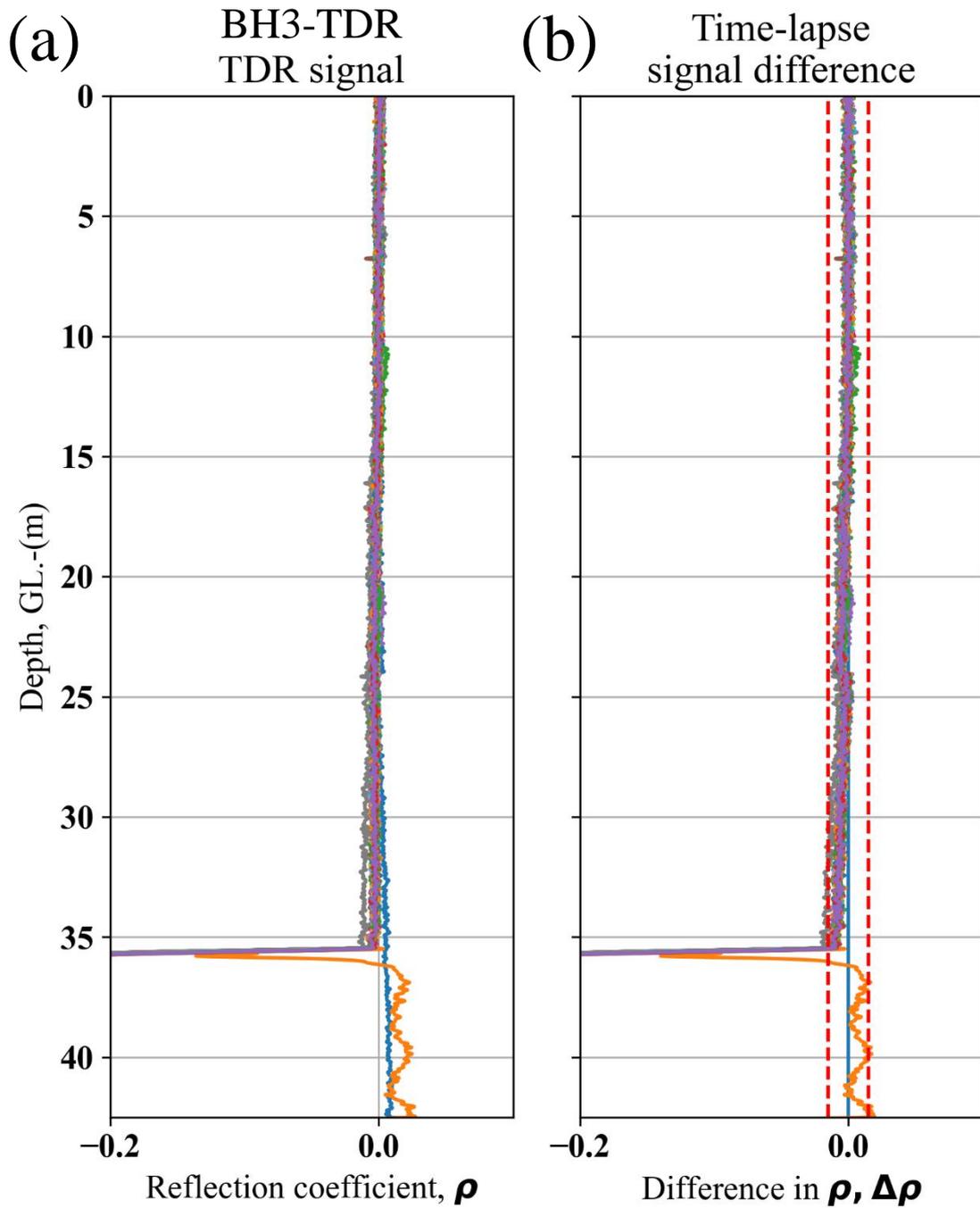


圖 7-15 BH3-TDR 特定滑動深度之最大反射係數變化歷史曲線



Last updated on 20201020.09

圖 7-16 BH3-TDR 監測波形 (纜線完全剪斷後) : (a)原始波形, (b)與初始值之差異波形, (c)剪動位置放大圖 (截至 109/06/22)

有鑑於 BH1-TDR 與 BH3-TDR 皆顯示本坡地位移速率極快，BH4 若單獨埋設測傾管將使得該孔監測壽命極為短暫，本計畫於 BH4 自主追加埋設與測傾管共構之 TDR 同軸纜線，共構於測傾管外和管內之 TDR 纜線分別稱為 BH4-TDR 與 BH4A-TDR，共構方式詳見圖 7-7 至照片 7-6。BH4 鑽孔完成後當日即裝設 2.54”測傾管(BH4-Inclinometer)和 RG-8 同軸纜線(BH4-TDR)，按照前述共構流程於 2020 年 7 月 2 日進行雙監測系統埋設，最終埋設深度為 43.0m。埋設完成當日同步收錄該處測傾管與 BH4-TDR 資料作為背景值，BH4-TDR 自該日起每日整點收錄一筆資料，即時回傳至伺服器進行資料分析，而 BH4-Inclinometer 則需人工量測作業時間，監測間距為二至四小時不等。

BH4-TDR 採 RG-8 同軸纜線安裝於測傾管外 B 向，TDR 纜線埋設至深度 43.0 m，於 3 天後 (2020 年 7 月 5 日) 發展出剪動訊號，持續監測 13 日後於 2020 年 7 月 15 日，在深度 37.16m 處剪斷。圖 7-17(a)、(b)分別為纜線未完全剪斷前之原始波形圖與差異分析圖，末端逐漸往上抬升之末端反射為地下水入滲 TDR 纜線所致，研判因剪動過大而拉扯到末端止水套件所致，然其入滲狀況在 BH4-TDR 完全剪斷前未影響到地下 37.16m 處之剪動訊號。圖 7-17(c) 為聚焦剪動訊號發生深度，觀察到該處剪動位置位於 37.0m 至 37.5m 之間，因於測傾管共構其剪動訊號寬度較寬，然其主要剪動深度可明確定為地下 37.16m 處，呈單剪狀態。該剪動深度之最大反射係數歷史曲線如圖 7-19(a)所示，前段較無剪動訊號段落因未達到共構 TDR 纜線之啟動門檻所致 (室內試驗約為 26.2mm)，比對同孔共構測傾管量測數據，可推估 BH4-TDR 現地訊號啟動門檻為 23.36 mm。BH4-TDR 於 2020 年 7 月 15 日完全剪斷後，對照測傾管資料換算之累積位移約為 132 mm，有效監測時間約為 14 天，平均位移速率 9.4 mm/日。參考中央氣象局立山氣象站(C1Z040)雨量資料，期間未有任何顯著降雨事件，如圖 7-21 所示監測期間時雨量皆低於 5mm/hr。BH4-TDR 剪動速率與 BH1-TDR 相若，可

能因兩孔皆位於滑動塊體主要滑動方向中線上，而 BH3-TDR 位於崩塌塊體邊緣使得其剪動速率相對大。本坡地在無顯著降雨事件中每日位移速率約為 9.4mm 至 15.6mm 左右。

BH4-Inclinometer 埋設後 6 日於 2020 年 7 月 8 日無法下放側傾儀而失去監測功能後，本案為延長該孔監測壽命，於 2020 年 7 月 9 日在失效測傾管內埋設 BH4A-TDR，同採 RG-8 同軸纜線埋入孔內 43.0m 再予以細砂確實回填。BH4A-TDR 於埋設 8 日後 (2020 年 7 月 17 日) 同樣於地下 37.16m 處測得剪動訊號，持續監測至 2020 年 8 月 3 日才完全剪斷。此剪動深度與測傾管外共構之 BH4-TDR 一致，圖 7-18(a)、(b) 分別為纜線未完全剪斷前之原始波形圖與差異分析圖，末端接近地下 42m 處亦有逐漸往上抬升之末端反射，為地下水入滲 TDR 纜線所致。此孔因纜線與末端止水套件要穿過測傾管變形量較大處，止水僅採取多層自融膠帶與塑膠套緊密交互疊成，所幸後續在纜線完全剪動以前皆維持在地下 42m 以下，未影響到主要剪動深度。圖 7-18(c) 局部放大主要剪動範圍，亦觀察到該處呈單一波峰波形為單剪模式，其主要剪動深度可明確定為地下 37.16m 處，與管外 TDR 纜線測得之深度完全一致。BH4A-TDR 測得最大反射係數歷史曲線如圖 7-19(b) 所示，其初期監測如 BH4-TDR 一般，因未達到 TDR 纜線剪動產生訊號之門檻，前段較無剪動訊號段落，其中因管內纜線主要依賴測傾管剪動驅使界面剪動，需測傾管管壁貼合纜線且開始剪動方可產生較顯著訊號，因此埋設後 8 日方產生顯著訊號。BH4A-TDR 於 2020 年 8 月 3 日完全剪斷後，對照測傾管外 TDR 資料換算之累積位移約為 320 mm，有效監測時間約為 26 天，平均位移速率 12.3 mm/日。圖 7-28 同樣顯示截至 2020 年 8 月 3 日監測期間未發現任何層間滑動，進一步驗證此坡地滑動塊體為一致性的不規則型滑動。因 BH4-TDR 與 BH4A-TDR 後續於主要剪動深度以上未發現任何層間剪動跡象，自主追加之 Station-BH4 於 2020 年 8 月 19 日退場，並於後續變更監測方法為地表 GPS 與即時攝影。

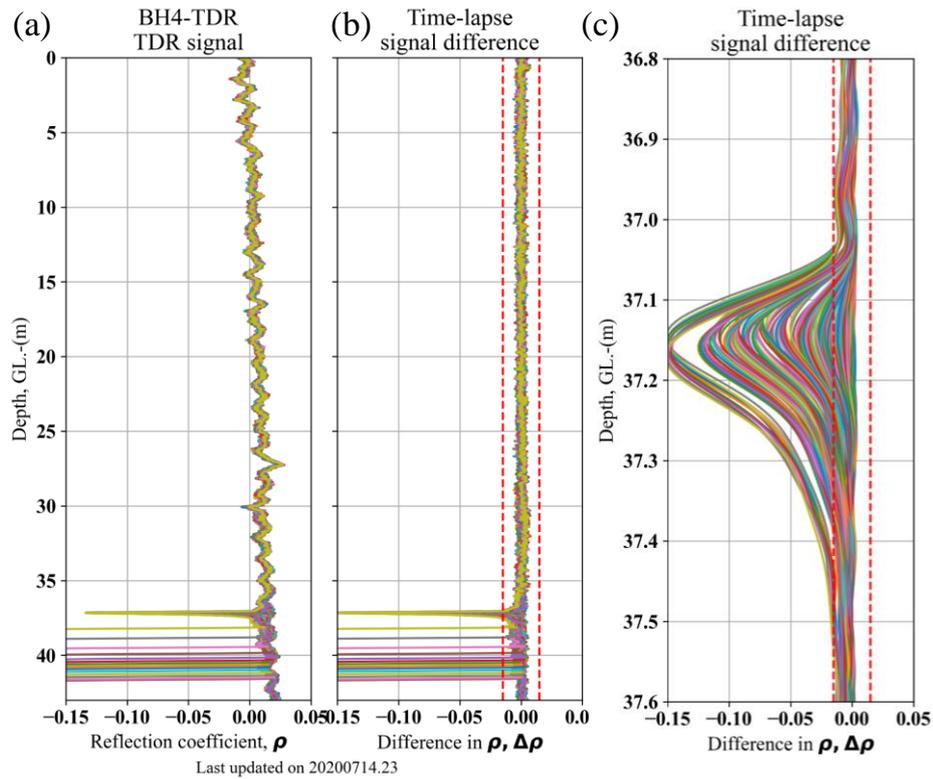


圖 7-17 BH4-TDR 監測波形 (纜線完全剪斷前) : (a)原始波形, (b)與初始值之差異波形, (c)剪動位置放大圖 (截至 109/07/14)

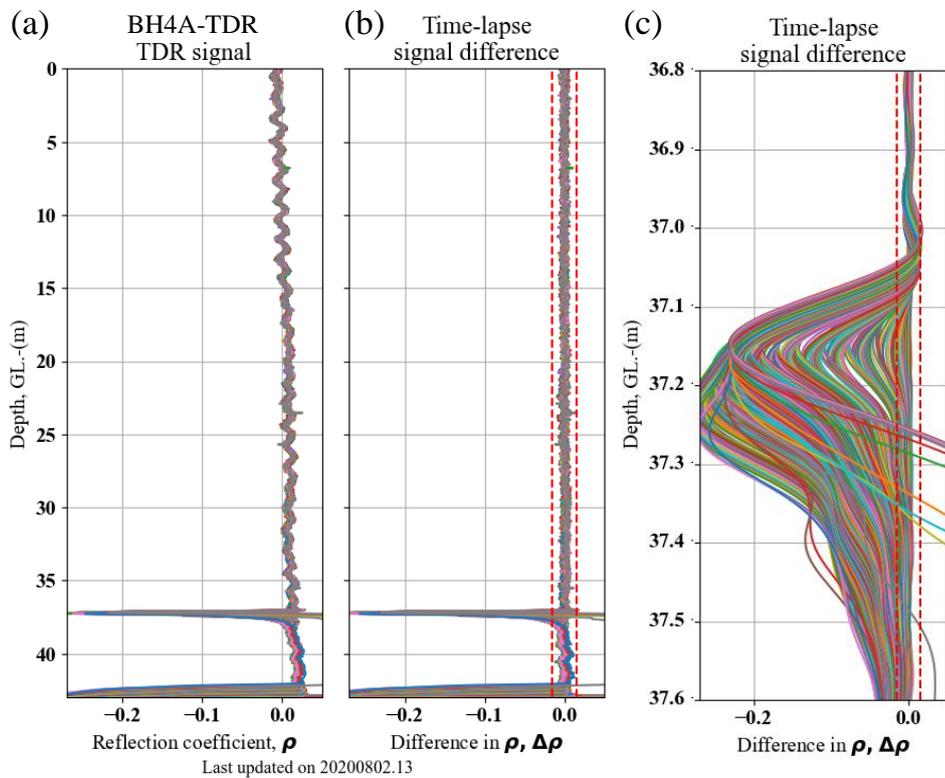


圖 7-18 BH4A-TDR 監測波形 (纜線完全剪斷前) : (a)原始波形, (b)與初始值之差異波形, (c)剪動位置放大圖 (截至 109/08/02)

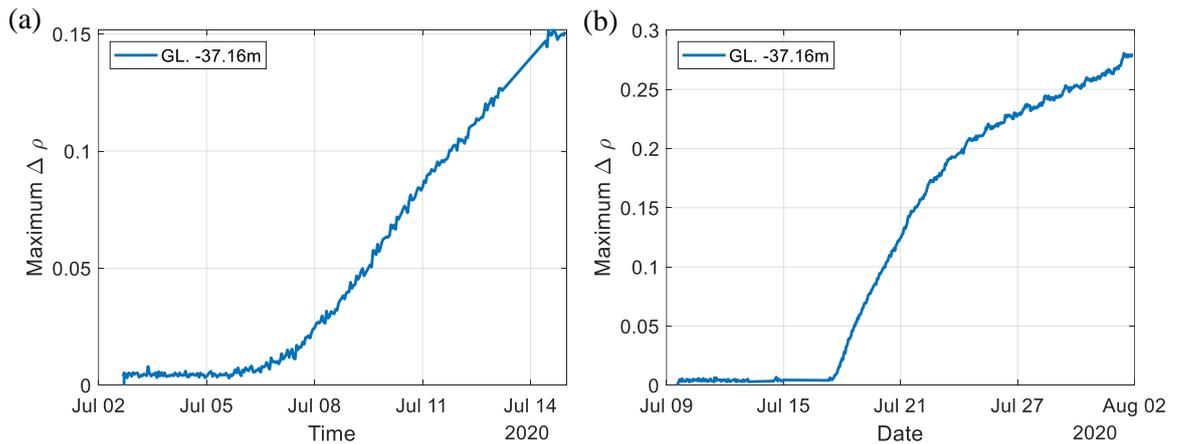


圖 7-19 (a) BH4-TDR, (b) BH4A-TDR 於 37.16m 最大反射係數變化歷史曲線

綜合上述監測結果，各孔 TDR 監測訊號變化與時間之關係如圖 7-20 所示，可發現共構型 TDR 剪動監測之位移量門檻較單孔埋設之 TDR 高，埋設後產生訊號之時間點有所延遲，此結果與室內試驗結果相符。因 BH4-TDR 和 BH4-TDRA 與測傾管共構且以細砂回填，得以在活動性非常高的坡地中延長監測壽命，相較於水泥漿回填的孔位多了一倍以上的監測壽命，雖犧牲了剪動啟動門檻的敏感度，然在已確認高活動性坡體中，此配置可延長有效監測期限，也提供後續替代監測方法較充裕的資料重疊和過渡期。

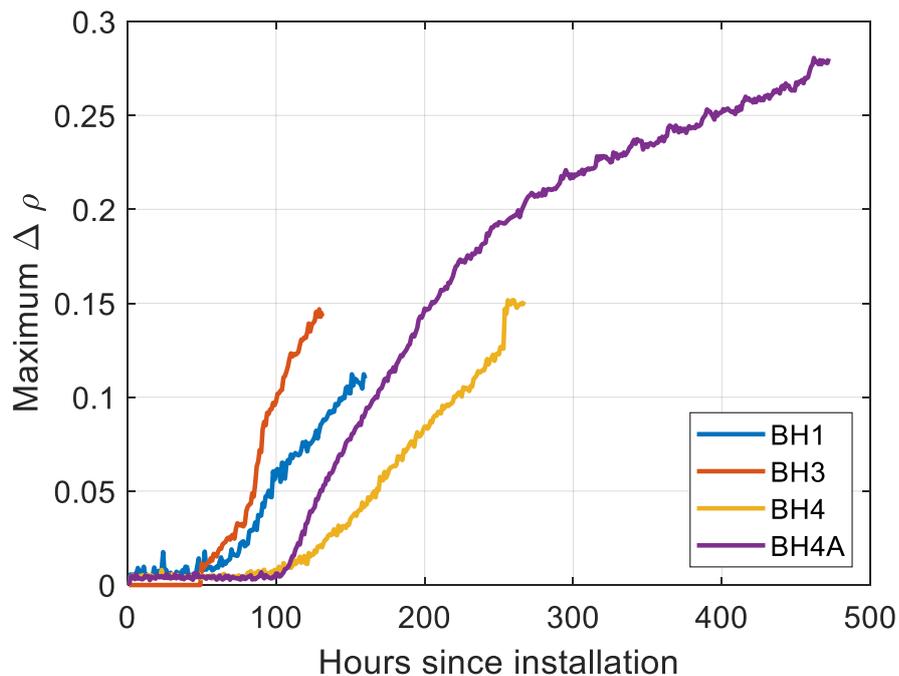


圖 7-20 D024 TDR 監測孔自纜線埋設後測得最大反射係數變化歷史曲線

(二) 水位計

本計畫經現地鑽探過程及井測調查成果研判，為確保水位計能涵蓋到常時與非常時地下水位，故將水位計埋設在 BH2-WL 地下 30.0m 處。即時自計式水位計測站採本團隊自行研發之低功耗自計式水位量測系統，每十分鐘量測並即時回傳至伺服器儲存記錄。在 Station-BH1 撤站以前，傳輸方案採 LoRa 無線回傳至 Station-BH1，於 2020 年 10 月 20 日撤站後改直接透過 4G/3G 回傳至伺服器。本場址由 2020 年 6 月 18 日持續監測迄今之地下水位歷史監測曲線如圖 7- 21，亦繪有鄰近之中央氣象局立山氣象站 (C1Z040) 的雨量資料，目前水位資料更新至 2020 年 11 月 2 日。

監測期間唯在 2020 年 10 月 14 日凌晨 2 時出現時雨量 66.5 mm/hr，其餘時間皆未有任何顯著降雨事件，時雨量都低於 20 mm/hr 以下。2020 年 6 月下旬水位由 23.5m 緩緩洩降至地下 24.5m 應為鄰近 BH3-TDR 鑽探工程施工水洩降所致，後因 2020 年 7 月下旬的降雨上升 3m 至最高約地下 21.0m 左右。同年 8 月迄今因降雨多數少於 10mm/hr，地下水位逐漸洩降至接近地下 30m 以下。本團隊原於 2020 年 8 月欲繼續將水位計再往下放，然因地中位移過大，使得該水位計纜線於孔壁在下方變位處緊密貼合而無法達成。2020 年 10 月中旬的多場零星降雨使得地下水位有所回升至地下 30m 以上，目前地下水位持續維持於地下 29.5m 處。

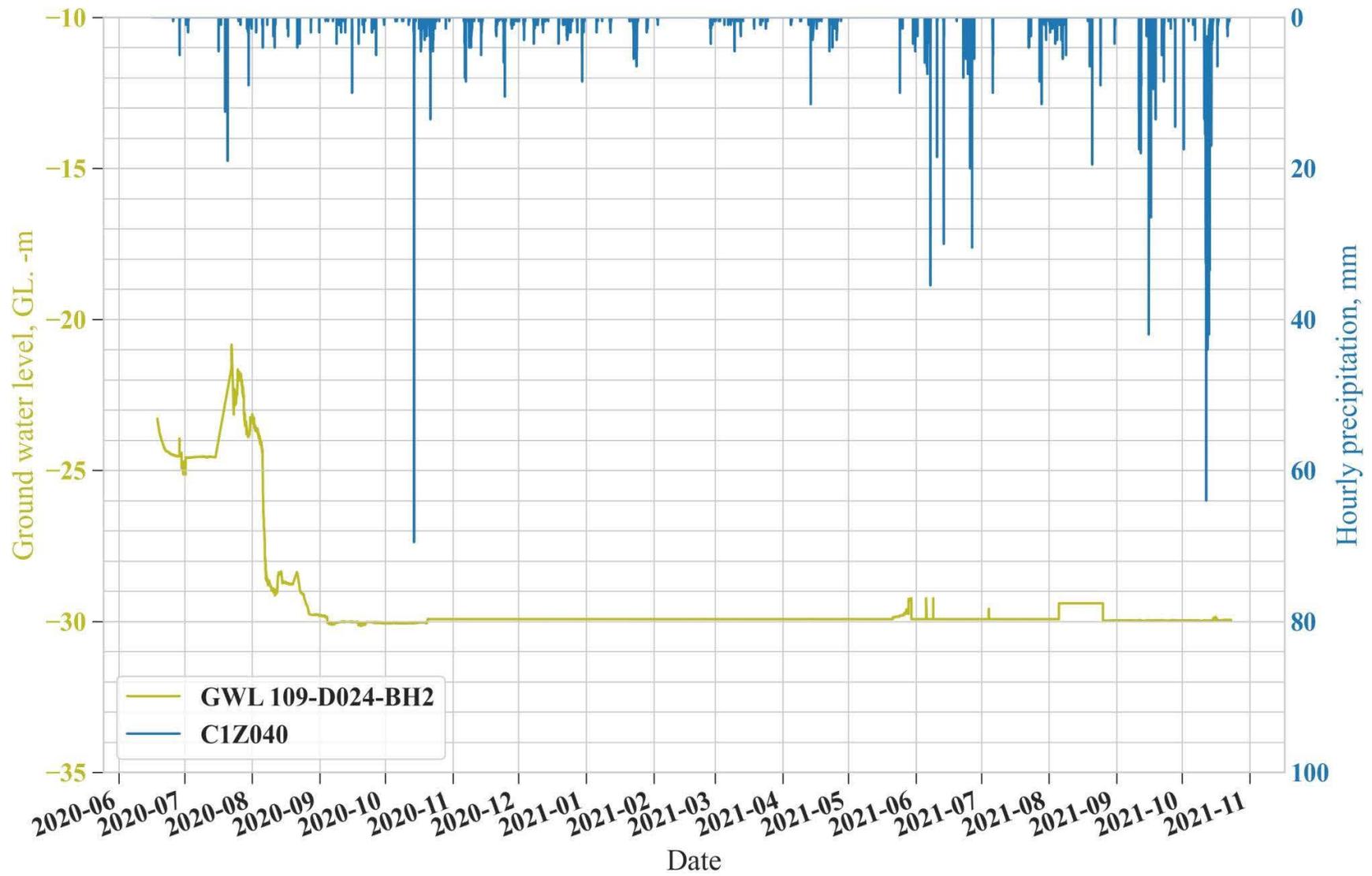


圖 7- 21 BH2-WL 地下水位歷史曲線與時雨量圖 (截至 2021/10/23)

(三) 測傾管

BH4 鑽孔於 2020 年 7 月 2 日達到預定深度後，當日即埋設測傾管與 TDR 同軸纜線共構監測設備，BH4-Inclinometer 採 2.54”測傾管，安裝深度至地下 43.0m。測傾管量測使用 Geokon GK604D 數位傾斜儀，系統精度(system accuracy)為 $\pm 3 \text{ mm} / 30 \text{ m}$ 。BH4-Inclinometer 測傾管人工監測初始值於 2020 年 7 月 2 日下午 6 時建立完成，由 TDR 監測結果了解本場址活動性高，進而由隔日起密集進行人工量測，監測間距為二至四小時不等。測傾管人工量測時配合作業安全與山坡地狀況，僅於能見度較好且施作安全的非夜晚時段進行，由 2020 年 7 月 2 日下午 6 時持續量測至 2020 年 7 月 8 日早上 8 時止，共測得 20 筆測傾管資料。

BH4-Inclinometer 資料經分析與系統誤差校正後，該孔測得累積合位移向量剖面如圖 7- 22 所示，其 A-A 向和 B-B 向之累積位移剖面分別為圖 7- 23(a)、(b)。監測初始值為 2020 年 7 月 2 日下午 6 時，監測隔日即於地下 37.0m 處測得顯著位移，最後一筆量測資料 (2020 年 7 月 8 日上午 8 時)因下放側傾儀時因測傾管變形過大而出現頻頻滑軌現象，為確保儀器安全則停止人工監測，後續於管內埋設 TDR 同軸纜線 (BH4A-TDR) 接續監測。

監測期間未發生任何降雨與地震事件，測得坡地 5 天地表合位移量 65mm，即該處地表合位移平均速率 13mm/日，屬於危險場址 (連惠邦，2017)。合位移剖面結果顯示於地下 37.0m 至 37.5m 之間的剪裂帶出現明顯滑動面，其中 A-A 和 B-B 向皆有一致增加的位移反應，2020 年 7 月 7 日下午 6 時於該處 A-A 與 B-B 向分別測得最大 37.09mm 與 16.4mm 之位移量。觀測到的滑動面位於剪裂帶內，滑動方向約為東南向(144°)，與 PIV 分析結果相符。

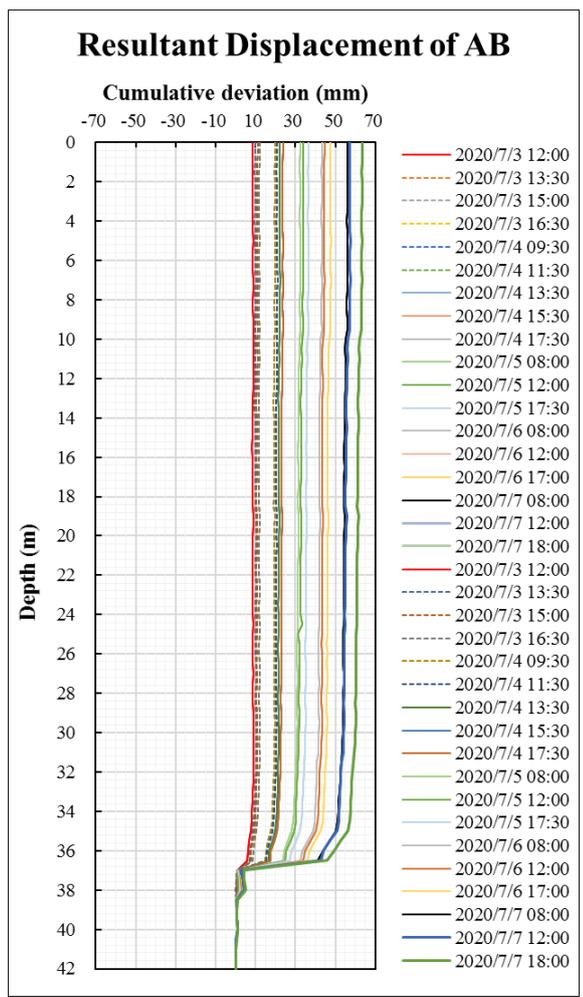


圖 7-22 BH4-Inclinometer(測傾管)之 AB 軸合向量位移圖

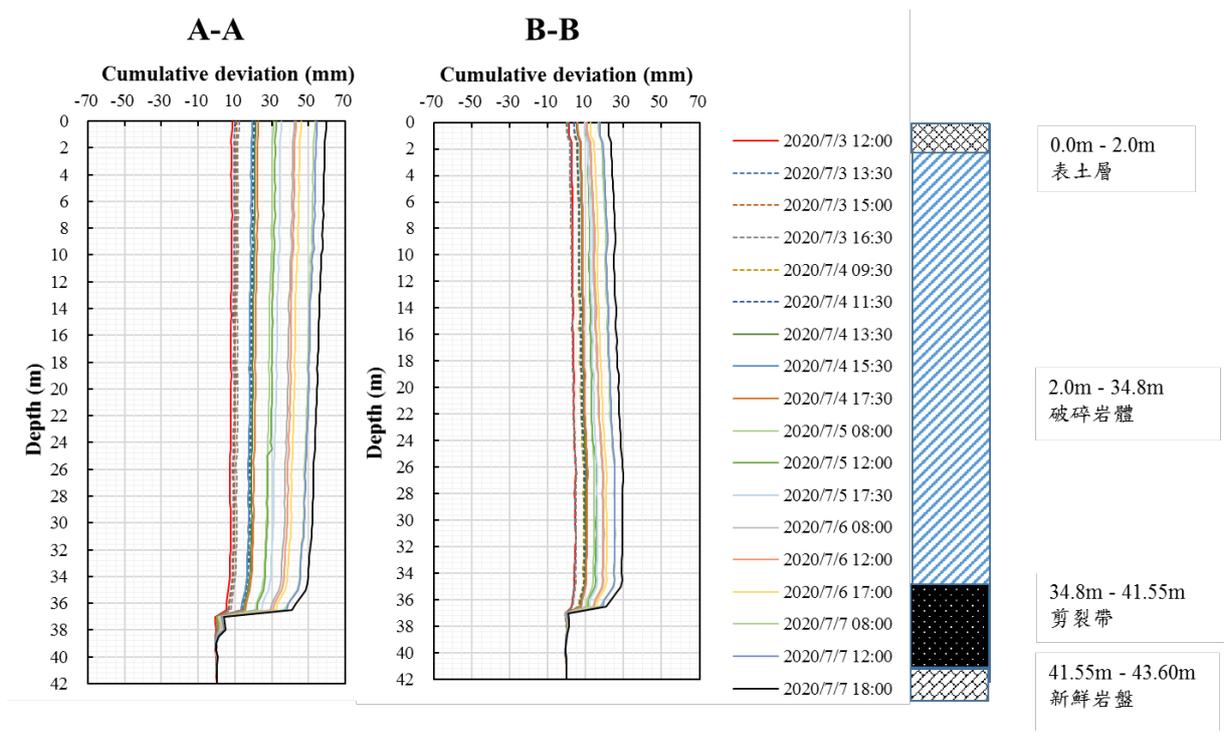


圖 7-23 BH4-Inclinometer 位移曲線變化，A-A 向與 B-B 向

(四) TDR 剪動量現地標定

如前述測傾管與 TDR 同軸纜線共構之雙監測系統埋設於 BH4 中，為精準量化 BH4-TDR 及 BH4A-TDR 於現地變位量，本計畫透過比對共構孔內 BH4-Inclinometer 與 BH4-TDR 於測傾管未斷管前的位移量及 TDR 反射係數，藉以標定該共構孔的 TDR 反射係數與地中位移量關係。後續可通過比對 BH4-TDR 與 BH4A-TDR 之間重疊的資料點數進行管內外位移量標定。共構孔透過此方法即可大幅提升剪動深度的解析度且同時賦予實際現地位移量量化根據，對於高活動性場址內的鑽孔監測壽命有所延長。

BH4-Inclinometer 有效監測期間共計 19 個位移剖面與 BH4-TDR 監測數據重疊，然 BH4-TDR 的同軸纜線於監測初期因未達到共構系統的較高的啟動門檻，在位移較大後方出現明確的剪動訊號，因此篩選後共計 6 筆位移剖面 (2020 年 7 月 6 日至 7 日) 適用此標定方法。圖 7-24(a) 顯示 BH4-Inclinometer 中 6 筆於地下 37.00m 處測得之變位量資料與 BH4-TDR 於地下 37.16m 處出現的最大反射係數資料 (標為圓圈)，進行一次線性回歸後的位移量 - 反射係數標定曲線 (實線)。該位移量-TDR 最大反射係數差值的關係式標定如下：

$$\delta_{max}(mm) = 700.3901 \Delta\rho_{max} + 23.80 \quad (\text{式 7.3})$$

其中上式截距值為 23.80，即代表本共構中 TDR 纜線位移啟動門檻值為 23.80mm，因此當本場址地中變位需大於 23.80mm，該 BH4 共構孔之 TDR 監測系統才會偵測到明確剪動訊號。BH4-TDR 於 2020 年 7 月 15 日完全剪斷後，對照以上回歸式量化之累積地中位移約為 132 mm，有效監測時間約為 14 天，平均位移速率 9.4 mm/日。上述各孔 TDR 監測訊號變化經轉換為孔內變形，其與時間之關係如圖 7-25 所示。

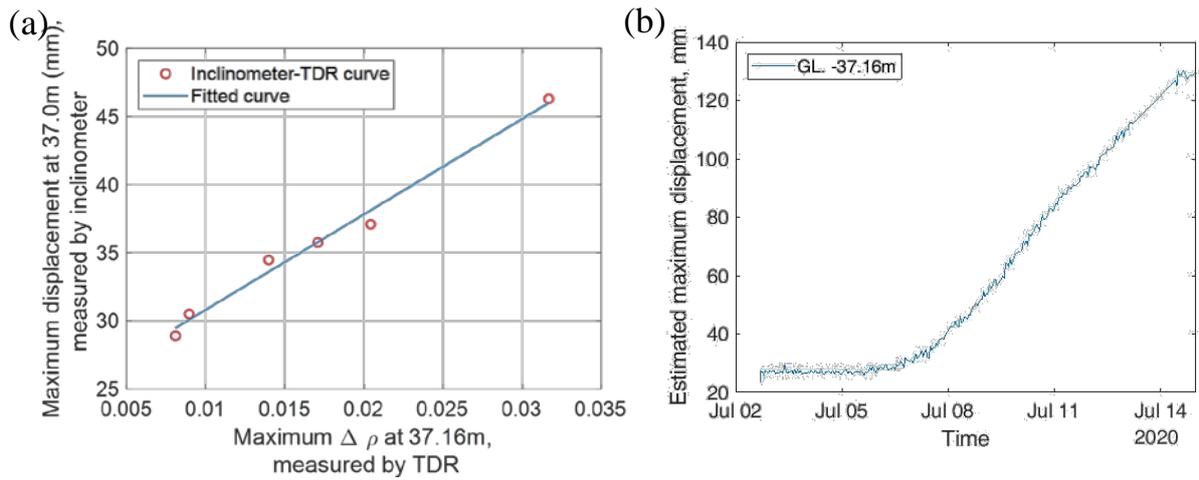


圖 7-24 (a) BH4-TDR 利用共構測傾管位移剖面標定量化關係，(b) BH4-TDR 於地下 37.16m 處透過(a)量化公式推估之現地最大地中位位移量 (截至 109/07/15)

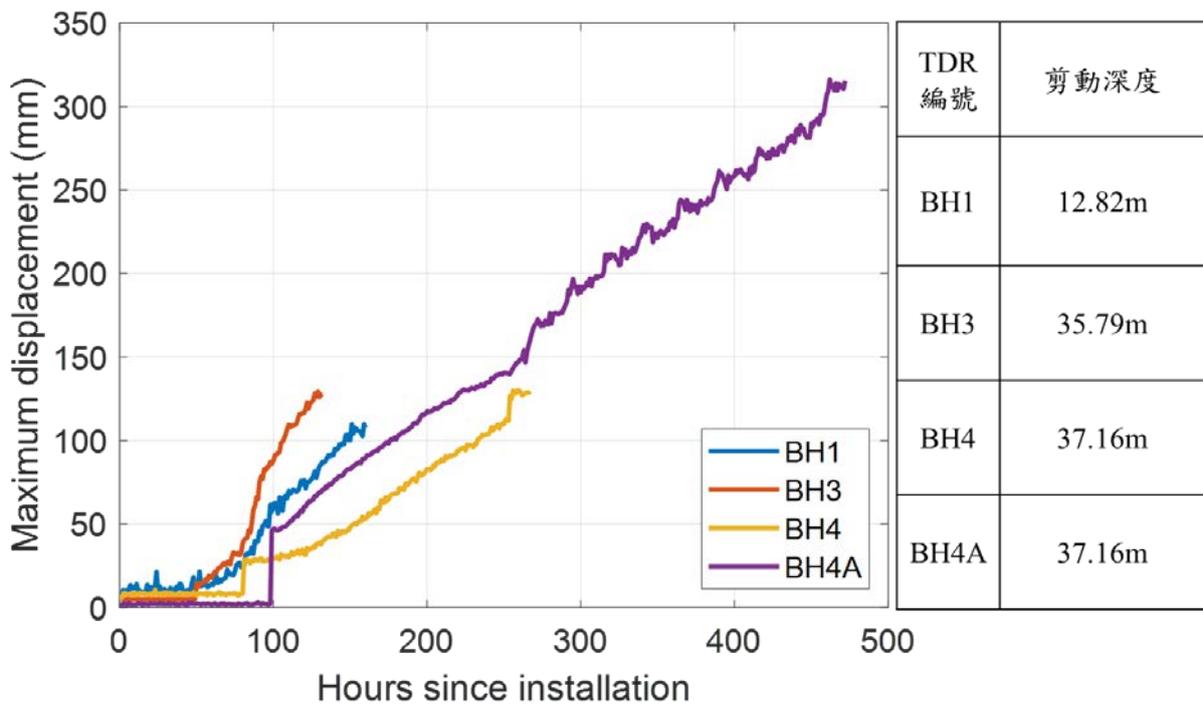


圖 7-25 各孔 TDR 監測孔位移曲線

四、GPS 即時監測系統建置

針對玉區 21 林班崩塌地後續監測，本計畫採用 GPS 地表位移監測站進行位移監測，作為未來即時預警應用。即時監測需滿足快速解算需求，由於無法在獲得精密星曆後(約延遲 14 天)進行解算，故定位採用即時動態定位技術 RTK)。RTK 為利用主站(崩塌地外之不動點)與監測站(崩塌地內)同時接收衛星資料，透過通訊設備將主站的觀測資料傳送給監測站，監測站在收到主站與儀器本身觀測資料後進行差分解算。GPS 的軌道誤差、電離層及對流層延遲誤差、多路徑效應和雜訊等使得 GPS 觀測量存在系統誤差，因此，為確保達到可接受的定位精度，主站與監測站的距離不能太長(一般小於 10 公里)。

本計畫將主站設置於崩塌區外距離 2 公里左右的位置(圖 7-26)，由主站將觀測資料傳送至架設好之 Ntrip 伺服器，並以 RTCM 格式傳送給各個監測站，各監測站進行即時差分後，將資料定位結果回傳至資料接收站，再由資料接收站進行位移及位移量判斷，整體架構如圖 7-27 所示。即時差分需建立站穩定的主站觀測資料，本計畫設置雙主站，避免當一主站受太陽能電力、行動網路傳輸等現場因素失效時，另一台能持續收集資料，以確保提供穩定的主站訊號。

除此之外，本系統亦提供網路即時動態定位服務(VRS-RTK)，在主站因故無法提供觀測數據時，可啟動 VRS-RTK 服務，將監測站位置回傳至國土測繪中心 eGNSS 服務網，由 eGNSS 服務依移動站位置坐標進行系統誤差內插計算，並結合最近的基準站實際觀測資料組成 VBS 虛擬觀測資料後，以 RTCM 格式回傳至監測站，由監測站接收儀進行”超短基線”動態定位解算(eGNSS 網頁)，整體架構如圖 7-28 所示。

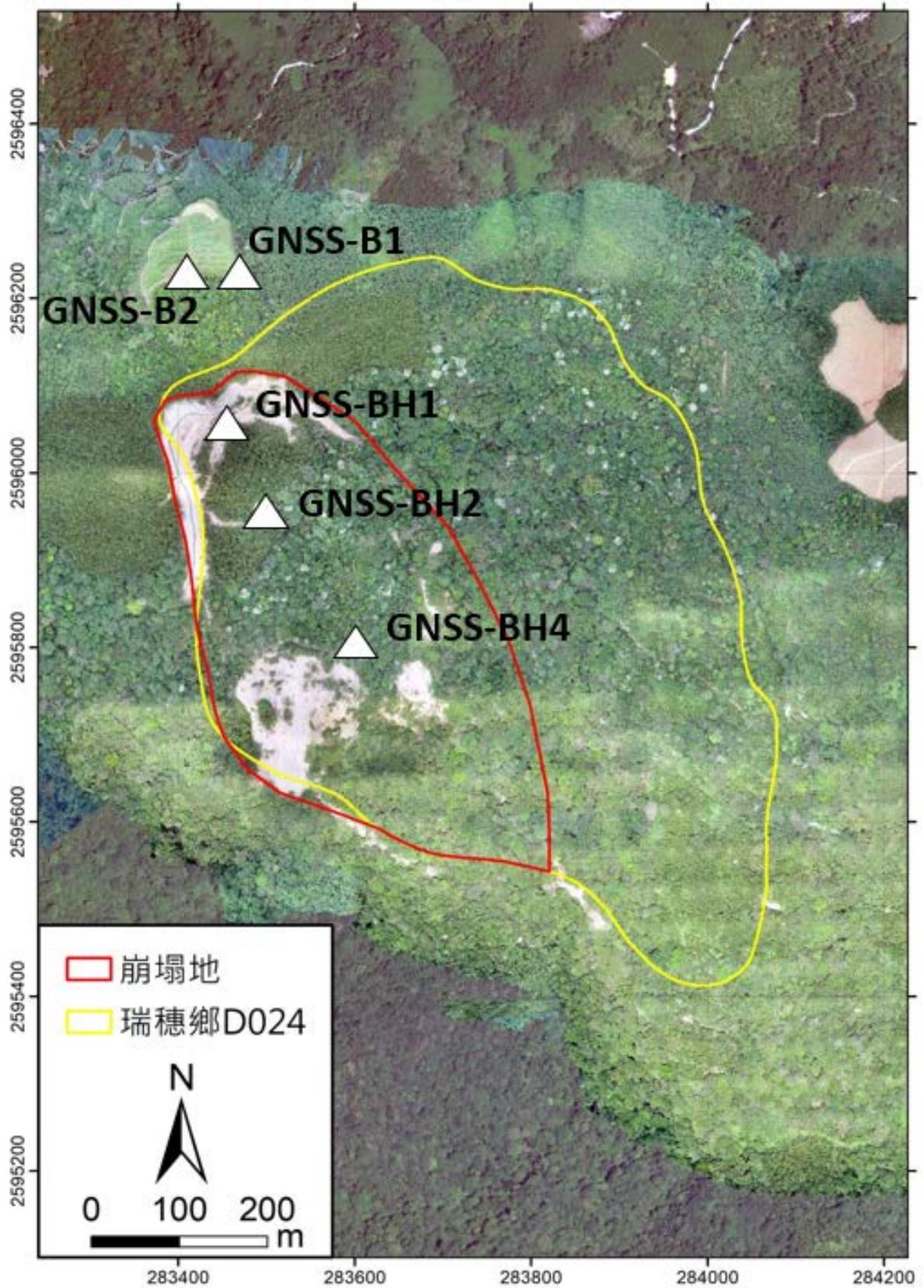


圖 7-26 GPS 監測點位分布圖

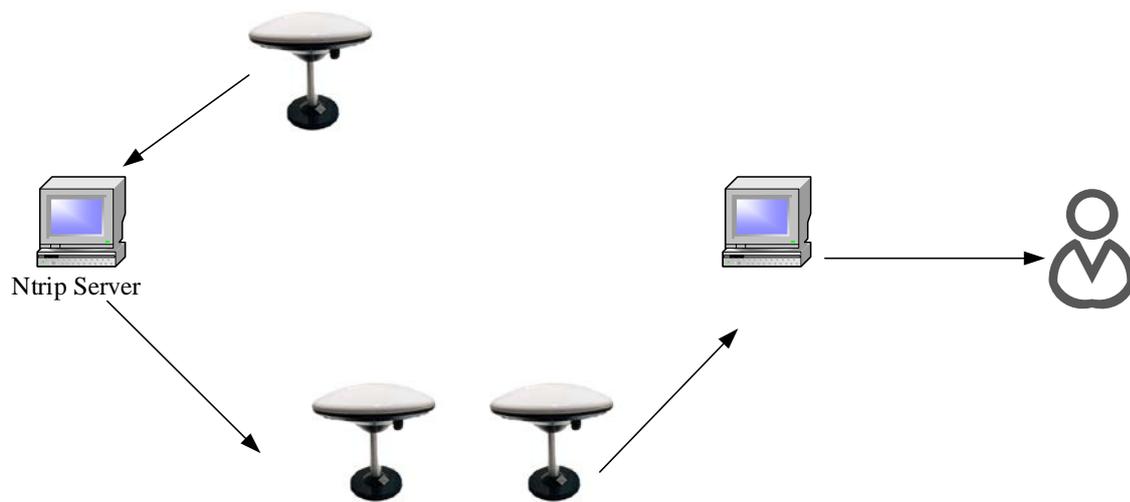


圖 7-27 即時動態定位服務(RTK)示意圖



圖 7-28 網路即時動態定位服務(RTK)示意圖

1、GPS 設備

本計畫採用新世代雙頻 GNSS(Global Navigation Satellite System)晶片，以 Ublox F9 系列 GNSS IC 為核心之 PMG2 設備，設備照片如照片 7-11，規格如表 7-1。



PMG2 接收機



PMG2 天線

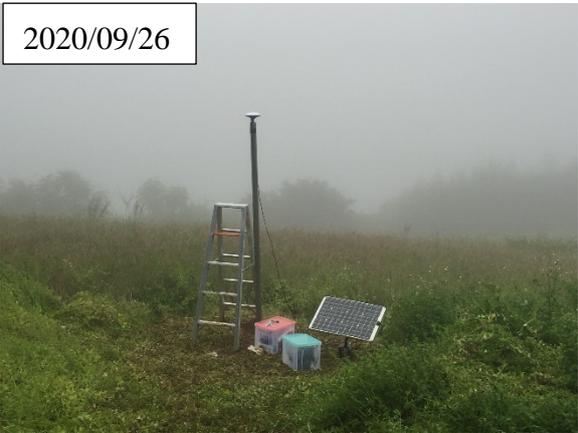
照片 7- 11 PMG2 雙頻接收器及天線

表 7- 1 GPS 設備規格

星系	GPS L1C/A,L2C Glonass L1OF,L2OF Galileo E1B/C,E5b BDS B2I,QZSS
靜態精度	水平: 5 mm + 1ppm RMS
	垂直: 11 mm + 1ppm RMS
動態精度	水平:8mm + 1ppm RMS
	垂直:15 mm + 1ppm RMS
接收頻率	$\geq 1\text{Hz}$

2、GPS 監測系統設置

本計畫於 8 月 28 日至 8 月 29 日設置 GPS 監測系統，照片 7-12 為各測站安裝後照片，主站 1 及主站 2 設置於對空度良好之場址，BH1、BH2 及 BH4 位於崩塌地。

<p>主站 1</p>	<p>主站 2</p>
<p>2020/08/12</p> 	<p>2020/09/26</p> 
<p>BH1</p>	<p>BH2</p>
<p>2020/08/25</p> 	<p>2020/08/12</p> 
<p>BH4</p>	
<p>2020/08/25</p> 	

照片 7- 12 主站及各監測站設置現況

圖 7-29 至圖 7-32 為 2020 年 10 月 19 日主站 2、BH1、BH2 及 BH4 透空度圖，圖中紅色點狀為周波脫落 (Cycle Slips) 標記，周波脫落係指當 GPS 衛星訊號受到干擾或中斷之後，衛星訊號被重新鎖定，測量到的載波小數週波值和中斷前同是連續，但重新計數的整數週波值卻是不連續的，此場址多發生於植生較茂密區域；灰色軌跡代表訊噪比過低；綠色軌跡表示觀測佳。黃色軌跡表示只有單頻觀測量，因接收儀支援較新的 L2C 波段，無法接收 legacy L2 波段觀測資料，在 RTK 定位中只有單頻觀測量會較難偵測到周波脫落。

由主站 2(圖 7-29)透空圖可見，環周約有 1/3，遮密角約 30 度，其餘遮蔽角約 15 度。監測站之透空度則要到 30 度以上才有較佳之透空度，因位於崩塌地內，環周約有 150 度遮密角約 45 度。

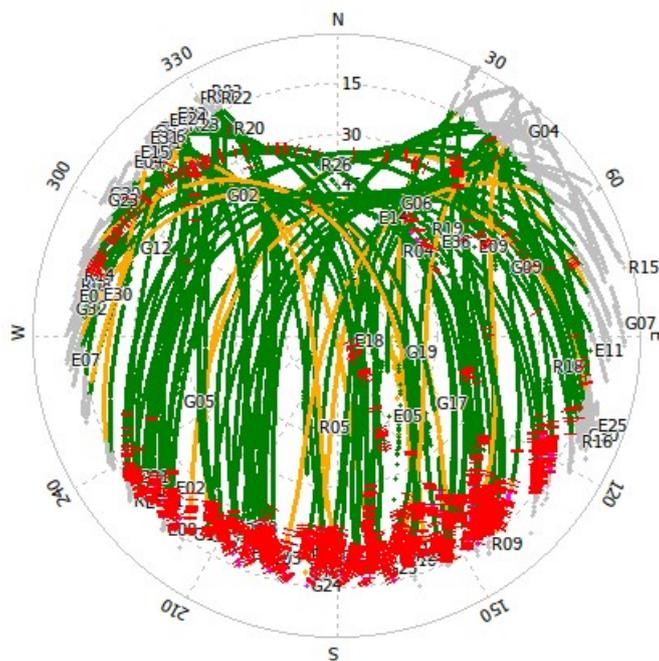


圖 7-29 主站 2 109 年 10 月 19 日透空圖

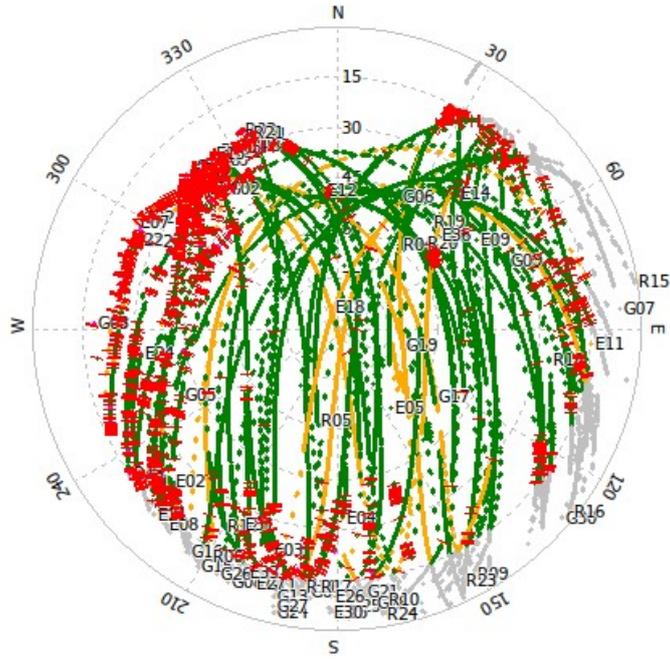


圖 7-32 BH4 監測站 109 年 10 月 19 日透空圖

3. 即時監測數據品質

由 BH1、BH2 及 BH4 自 2020 年 10 月 18 日至 20 日每秒即時差分結果，每日的標準偏差約在 1.5cm。

表 7-2 BH1、BH2 及 BH4 109 年 10 月 18 日至 20 日即時差分結果

測站	日期	E (m)	N (m)	H (m)	σE (m)	σN (m)	σH (m)
BH1	109/10/18	283450.2143	2596040.864	688.0401	0.01234	0.0106	0.0281
BH1	109/10/19	283450.2253	2596040.856	688.0320	0.0119	0.0094	0.0274
BH1	109/10/20	283450.2311	2596040.849	688.0245	0.0105	0.0097	0.0256
BH2	109/10/18	283518.6174	2595979.221	658.1616	0.01805	0.01506	0.04899
BH2	109/10/19	283518.6272	2595979.219	658.1751	0.0193	0.0152	0.0522
BH2	109/10/20	283518.6319	2595979.209	658.1563	0.0134	0.0136	0.0399
BH4	109/10/18	283604.571	2595810.43	583.9924	0.0153	0.0126	0.0408
BH4	109/10/19	283604.5797	2595810.423	583.9862	0.0173	0.0106	0.0379
BH4	109/10/20	283604.5895	2595810.415	583.9813	0.0161	0.0120	0.0344

4. 即時監測資料分析

各監測站經測試每 5 秒完成即時差分並回傳，每 10 分鐘取平均紀錄地表位移，位移變化率則以每日平均。本計畫以監測站 BH4 為例，分別使用 1 日、3 日及 7 日移動平均計算位移速率(如圖 7-33 至圖 7-35 所示)，圖中顯示 1 日易受到 GPS 精度影響有較大的誤差，7 日則會造成當速率快速變化時無法即時反應，皆會有誤判的情況，因此選用 3 日移動平均。

圖 7-36 至圖 7-41 為 2020 年 8 月 31 日至 2021 年 5 月底 BH1、BH2 及 BH4 位移速率與雨量分布圖，2020 年 9 月 17 至 10 月 16 日監測設備有電力損耗及網路訊號不穩定之現象，監測站未能穩定回傳資料，訊號不佳時，本計畫透過將訊號切換至 eGNSS 持續監控，本計畫已於 2020 年 10 月 17 日前往調整電力系統並增加網路天線。

(1) GPS-BH1 站：2020 年 10 月至 2021 年 3 月，平均日位移速率約為 10-20 mm/day，2021 年 3 月中開始速率略為減少，約為 5-15 mm/day。2021 年 10 月 12 日開始速率自 8 mm/day 增加至 231 mm/day，2021 年 10 月 15 日速率趨緩。至 2021 年 10 月底，累積位移量 5770 mm。

(2) GPS-BH2 站：2020 年 10 月至 2021 年 3 月，平均日位移速率約為 15-25 mm/day，2021 年 3 月中開始速率略為減少，約為 10-20 mm/day。2021 年 10 月 12 日開始速率自 12 mm/day 增加至 349 mm/day，2021 年 10 月 15 日速率趨緩。至 2021 年 10 月底，累積位移量 7502 mm。

(3) GPS-BH4 站：2020 年 10 月至 2021 年 3 月，平均日位移速率約為 15-25 mm/day，2021 年 3 月中開始速率略為減少，約為 10-20 mm/day。2021 年 10 月 12 日開始速率自 10 mm/day 增加至 368 mm/day，2021 年 10 月 15 日速率趨緩。至 2021 年 10 月底，累積位移量 7460 mm。

由於圓規颱風事件 2021 年 10 月 11 日連續 3 日豪雨，各站位移速率明顯增加，GPS-BH4 站位於坡趾處與各站相比位移速率較大，災後空拍影像得知坡趾崩塌擴大並向上發展。

針對 2021 年 4 月 18 日所發生 2 次地震(芮氏規模 5.8 及 6.2)，GPS 監測結果顯示當日的位移速率：BH1 為 11.9 mm/day，BH2 為 12.3 mm/day，

BH4 為 12.6 mm/day，與以往監測結果比較，並未明顯增加。進一步分析 4 月 18 日 22 時至 24 時，累積位移亦未有顯著提高。初步研判此地震對本崩塌地未造成立即影響，未來將持續注意位移速率與累積位移變化，瞭解本崩塌地之位移情況。

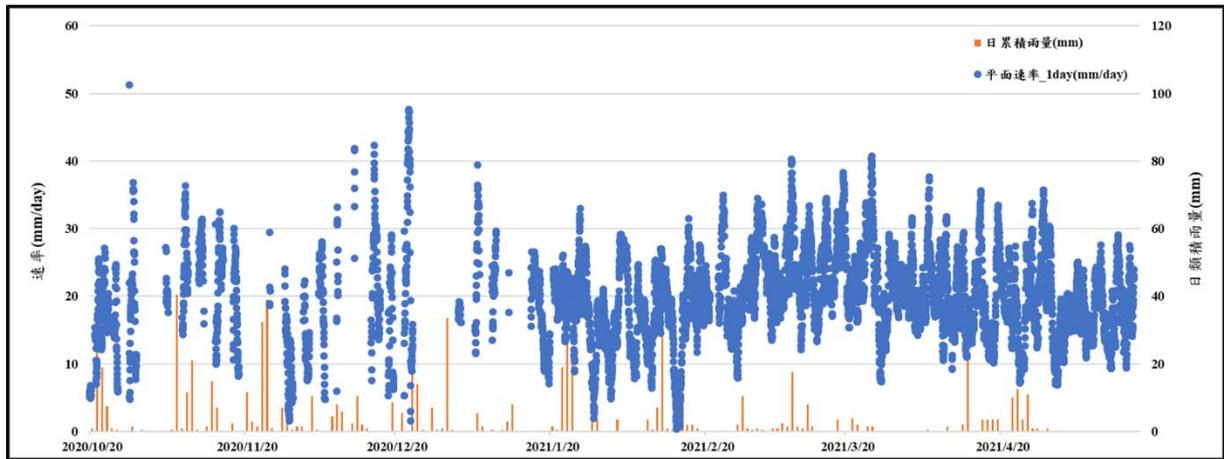


圖 7- 33 BH4 位移速率 1 日移動平均

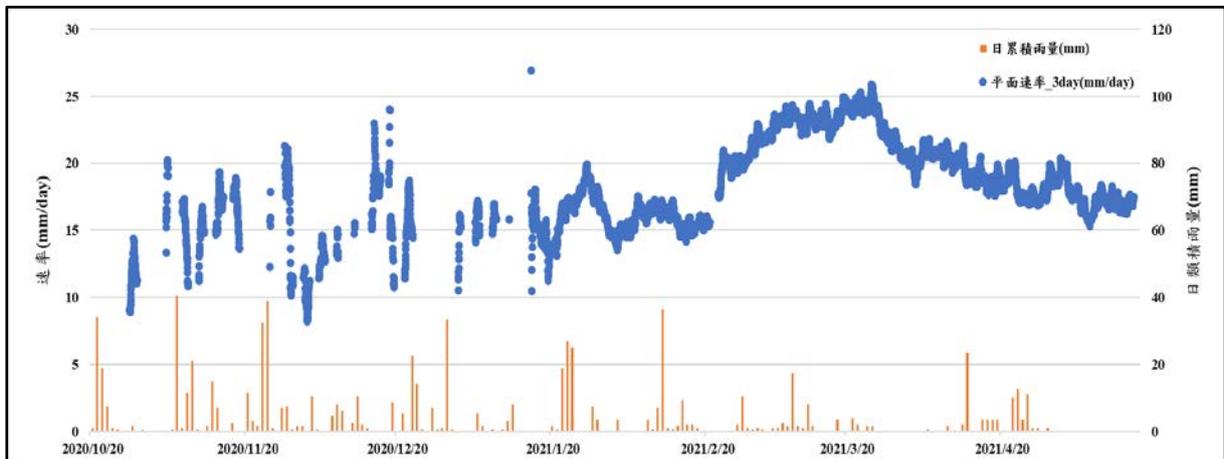


圖 7- 34 BH4 位移速率 3 日移動平均

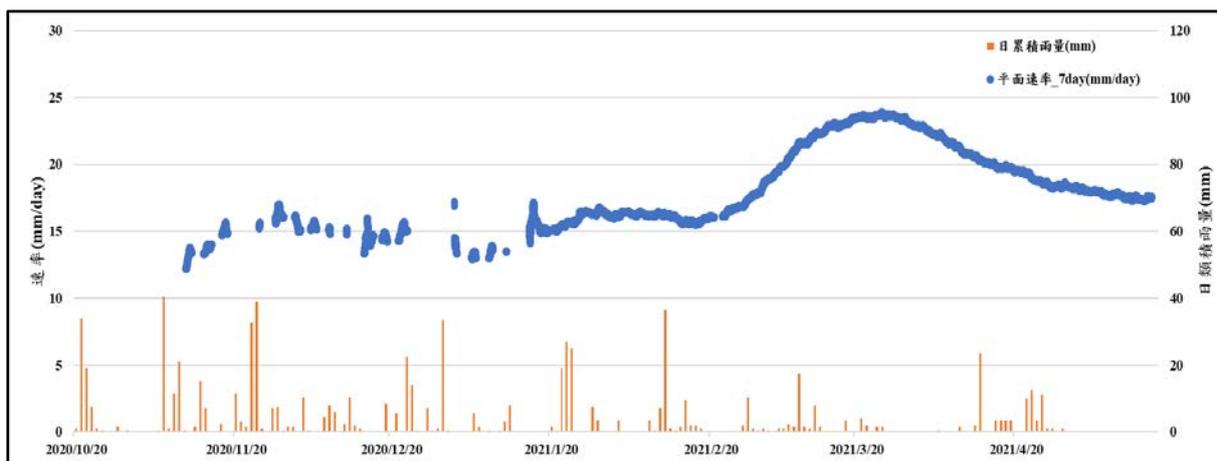


圖 7-35 BH4 位移速率 7 日移動平均



圖 7-36 BH1 監測站平面位移速率與日累積雨量分布圖

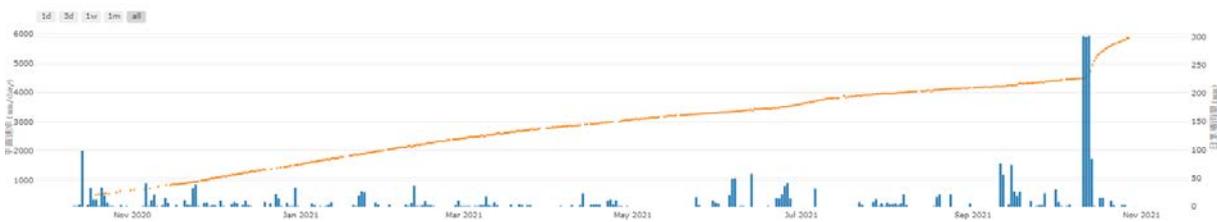


圖 7-37 監測站平面累積位移與日累積雨量分布圖(自 2020/8/31 至 2021/10/27)

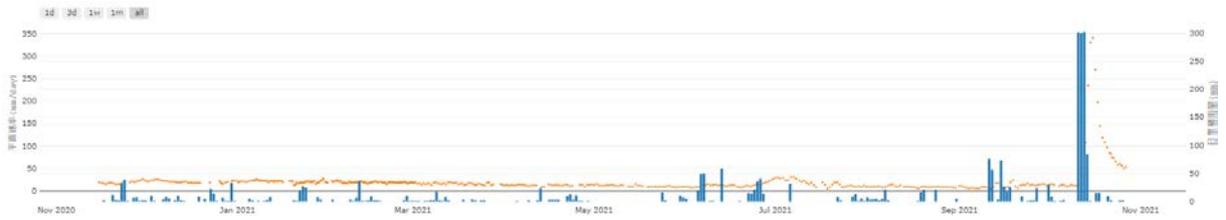


圖 7-38 BH2 監測站平面位移速率與日累積雨量分布圖

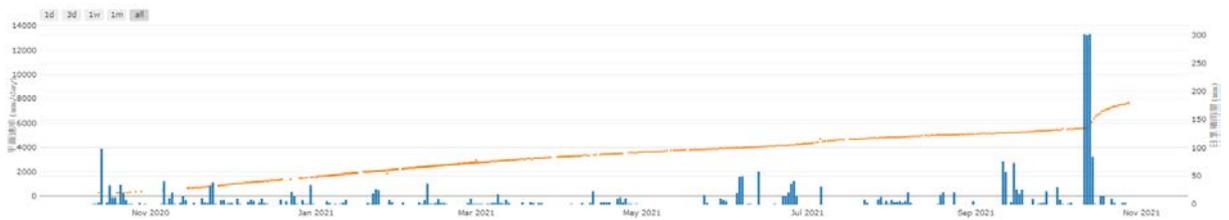


圖 7-39 監測站平面累積位移與日累積雨量分布圖(自 2020/8/31 至 2021/10/27)



圖 7-40 BH4 監測站平面位移速率與日累積雨量分布圖

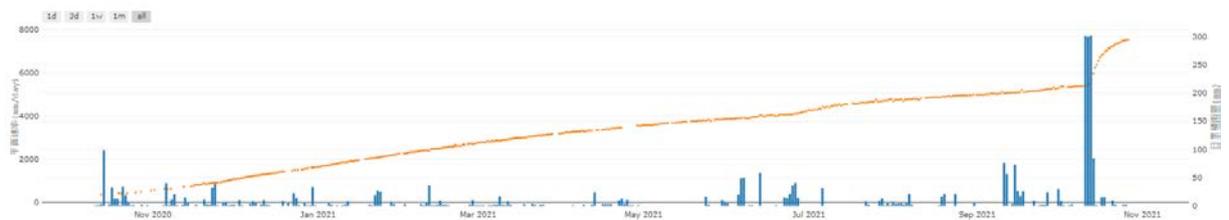


圖 7-41 BH4 監測站累積位移與日累積雨量分布圖(自 2020/8/28 至 2021/10/27)

本計畫進一步以 BH4 孔為例，整合上述孔內滑動觀測結果、GPS 地表位移監測結果、地下水位變化及雨量分佈繪如圖 7-42 所示。雖然孔內觀測與地表監測量測位置不同，其量測精度亦不同，但由圖中可發現，此崩塌地在 2020 年 7 月至 8 月初，地下水位較高(深度約 23m)，其位移速率高達 14.7 mm/day，後由於地下水位明顯降低，復加上無明顯降雨，位移速率逐漸趨緩。2020 年 9 月至 2021 年 6 月，日平均位移速率約在 5-25 mm/day，2021 年 6 月至 7 月底，日平均位移速率約在 5-35 mm/day，2021 年 10 月 12 日開始速率自 10 mm/day 增加至 368 mm/day，2021 年 10 月 15 日速率趨緩。上述統計區間將視實際狀況、數據跳動情形，配合其他監測資料如影像進行滾動性調整。

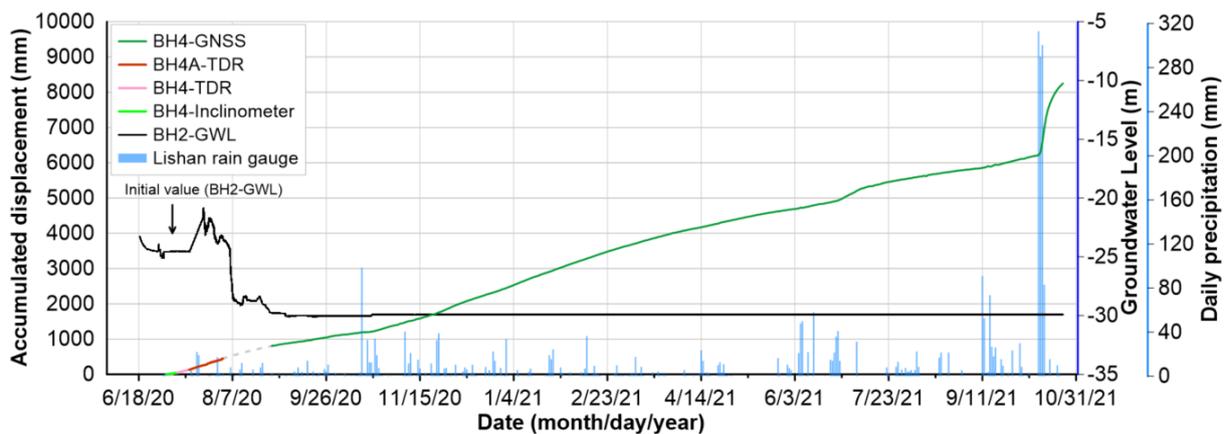


圖 7-42 各項位移監測結果(BH4)與地下水位(BH2)及雨量關係圖

五、自動示警及展示

計畫執行期間，本團隊開發維護玉區 21 林班崩塌地即時資訊網頁 (<http://140.113.199.175:8080/>)，本計畫新增設置 CCTV (Closed-Circuit TeleVision) 影像監視系統，以有效掌握崩塌地即時影像，瞭解現地災害狀況與影響範圍。影像監視系統設置於花蓮縣瑞穗鄉中正南路二段 259 號，此位置可清晰拍攝整個崩塌地全貌(圖 7-43)。監測錄影紀錄資料檔案連續紀錄為 30 天，監視影像傳輸使用固定 IP 位址並以 4G 網路傳輸(圖 7-44)。透過多頻即時資料整合模組的專業化設計，行動載具上的眾多網路設備或多人操作的筆記型電腦、平板、智慧型手機，得以同時連線上網即時觀看(表 7-3)，照片 7-13 為 5 月 27 日 12 點 31 分監控影像畫面。

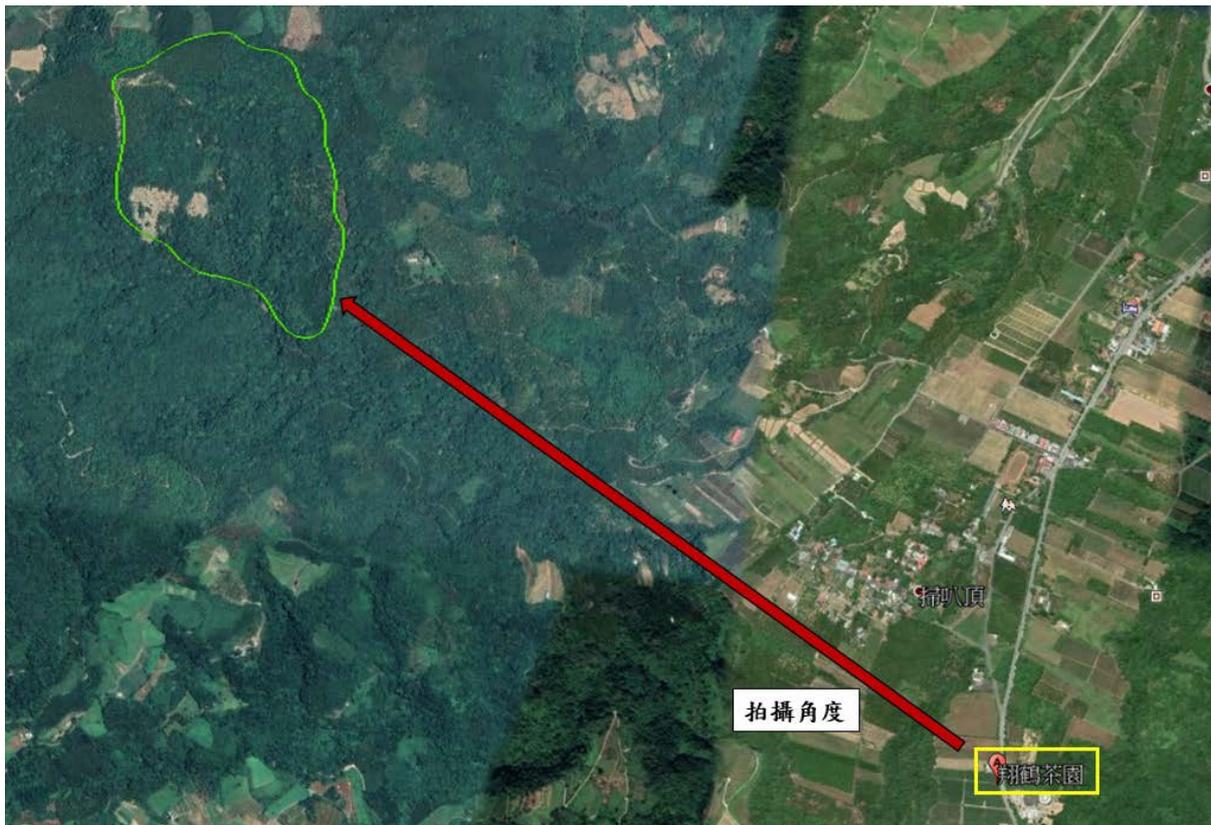


圖 7-43 攝影機裝設位置圖



圖 7-44 現場設備資訊流架構圖

表 7-3 影像監視系統及規格

影像監視系統	
解析度	1080P@30fps，並以 MP4 之影像檔案格式儲存
感測元件	1/2.8 英吋 200 萬畫素
防塵防水	IP67
工作溫度	-35°C~60°C
多頻即時資料整合模組	
傳輸	LTE 4G 或 3G 頻帶及傳輸格式
網路協議	ICMP, TCP, UDP, Telnet, FTP, HTTP, HTTPS, SNMP
無線傳輸	1xWAN, 4xLAN, 1xRS-232/485, Wi-Fi，IEEE802.11b/g/n
操作溫度	-25°C ~75°C
發射功率	< 24dBm
其他	可外接天線，且具採收分集技術，支援嵌入式作業系統



照片 7-13 2021 年 10 月 29 日 10 點 25 分監控影像

第捌章 崩塌地管、治理對策與建議

本計畫將由地質調查、航(遙)測分析、折射震測、地質鑽探及崩塌地監測等數據結果，分析探討災害類型及崩塌地之穩定性。根據調查結果，本區未來可能發生的邊坡破壞機制為：(1)破碎岩體沿著滑動面下滑，以及(2)下邊坡趾部破壞向上擴展。本計畫考慮上述情境進行邊坡穩定分析、堰塞湖情境模擬。考量本案崩塌地之潛在危害度與保全必要性，據以提出管、治理對策與建議。

一、邊坡穩定分析

本計畫依據研判之可能邊坡破壞類型，考慮邊坡特性、可能破壞機制、潛在破壞情境，選擇具代表性之剖面進行邊坡穩定分析，及評估崩塌影響範圍，作為提出治理策略與後續建議之依據。

本節邊坡穩定分析工作依據地質模式、破壞機制、監測結果顯示的滑動面位置，挑選具有代表性的剖面以進行分析，本計畫選用極限平衡力學分析軟體 Slide 6.0，模擬本區邊坡整體穩定性。Rocscience 所開發的 Slide 6.0 是一款以極限平衡法為理論基礎的穩定性分析軟體，其特色包含了多重切片法分析、仿靜態分析、圓弧形與非圓弧形滑動分析、張力裂縫施加、支撐與載重分析等，此外該軟體內建有限元素法地下水滲流分析，能在特定邊界條件下計算流場方向與地水面位置，並能將滲流分析結果耦合穩定性分析，相當適用於暴雨情境之模擬。Slide 6.0 內建有限元素法滲流分析，只要給定對應的邊界條件，便能自動平衡流場方向與地水位面位置。Slide 6.0 也提供了仿靜態分析，其方式是透過設定水平或垂直地震係數後，施加切片重量乘以對應的地震係數的力予各切片，藉此靜態地力模仿地震時地震力之作用，同時考慮水平向的地震作用力。Slide 6.0 可模擬的滑動面破壞模式包含弧形滑動、平面滑動、不整合面滑動等破壞模式。以下說明邊坡穩定分析之參數選用、情境模擬及分析結果。

(一) 邊界條件、參數選用及反算分析

綜合目前監測結果(測傾管、TDR、多期影像 PIV 分析、現地雙頻 GPS 即時監測)，掌握邊坡可能滑動範圍，沿滑動方向切 AA' 剖面進行邊坡穩定分析，如圖 8-1。以下說明分析採用之地表高程、地質分層、材料參數來源，並依監測結果進行現況反算分析，驗證參數合理性。

(1) 邊界條件

1. 地表高程：2020 年 7 月 7 日之 UAV 三維建模產製數值高程模型(由數值地表模型扣除樹高)。

2. 地層分界：由地表地質調查、地質鑽探建立地質剖面圖及地質分層。

3. 常時地下水位面：由鑽探期間的每日水位紀錄推估。上述分界如圖 8-1 所示。

(2) 材料參數

地質分層主要依據地質剖面圖，並依穩定分析需要，適度簡化地層為崩積層、剪動帶、岩體等三層。崩積層、岩體材料參數以工程判斷進行合理假設，剪動帶材料參數參考室內試驗結果(剪裂泥直剪試驗)。地質分層材料參數如表 8-1。

(3) 反算分析結果

由測傾管、TDR 監測結果顯示 BH1 深度 13 m、BH3 深度 35 m、BH4 深度 37.5 m 為滑動深度。109 年 7~10 月 PIV 分析地表平均位移速率約 10 mm/day，位移向量方位角約 130 度，與整體邊坡滑動方向一致。由以上資訊可知坡體處於已產生大量位移，滑動面上的驅動力與剪力阻抗應趨近平衡，滑動面反算分析結果之安全係數應趨近 1。本計畫由以上資訊進行現況反算分析，驗證材料參數選用之適宜性。反算分析結果顯示安全係數 $FS=1.08$ ，如圖 8-2 所示，參數選用合理，可作為後續穩定分析之依據。

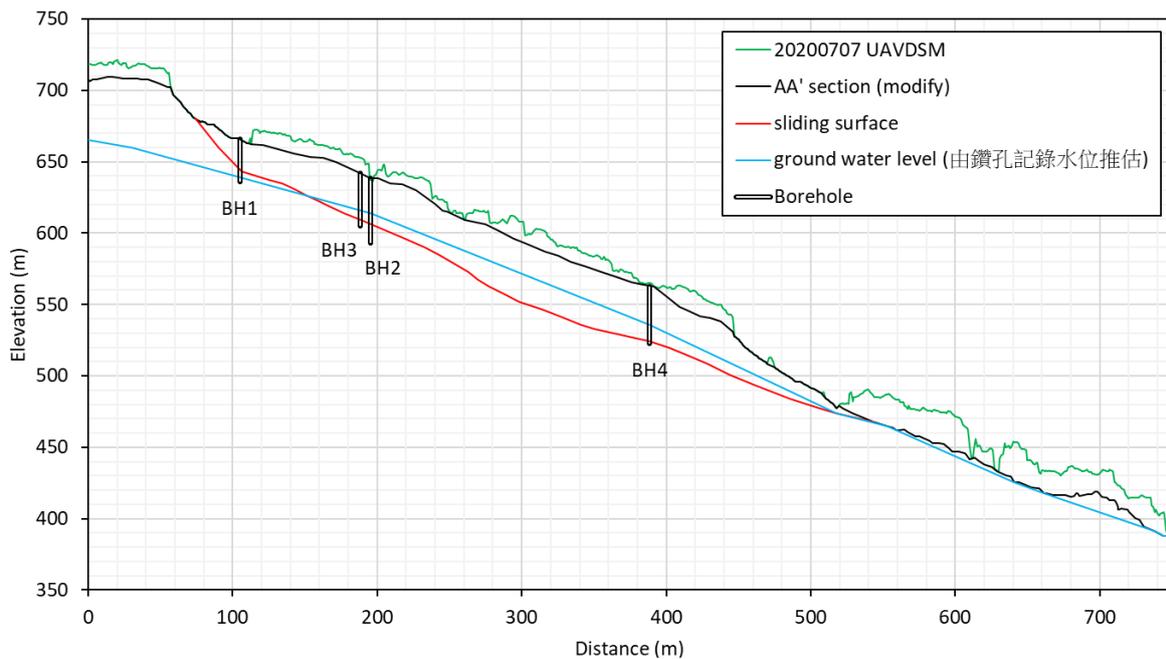


圖 8-1 邊坡穩定分析 AA'剖面圖與鑽孔監測滑動面位置

表 8-1 邊坡穩定分析材料參數表

地質分層	凝聚力 c (kPa)	摩擦角 ϕ ($^{\circ}$)	單位重(kN/m ³)	飽和單位重(kN/m ³)
崩積層	8	29	20	21
滑動面	40	24	18.4	21
岩體	226	43	25.3	25.5

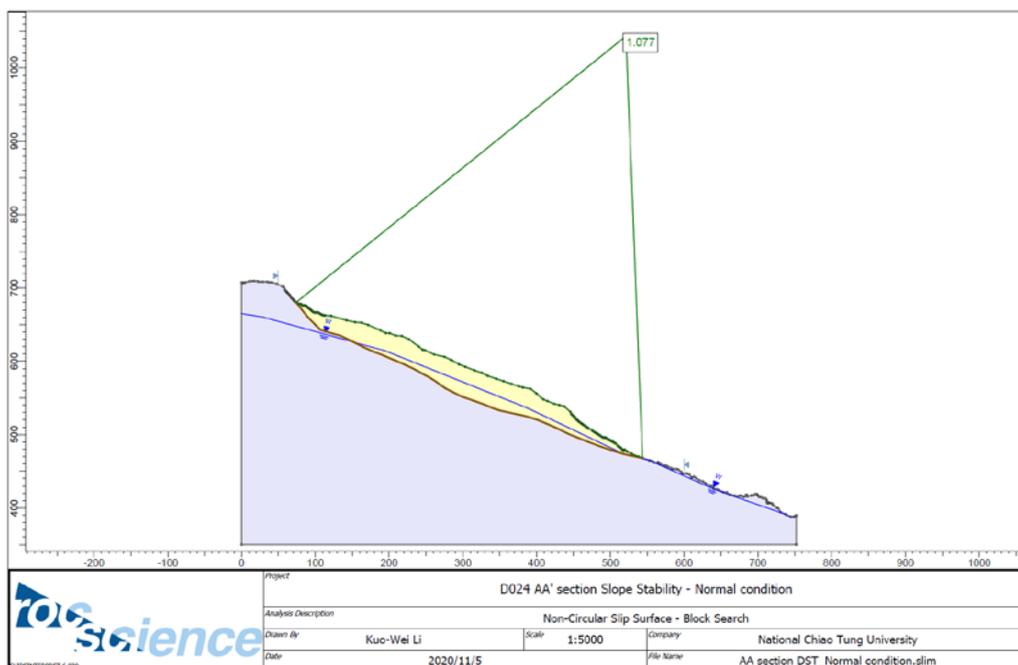


圖 8-2 依監測結果反算分析之安全係數

(二) 常時、暴雨、地震情境模穩定分析

確定材料參數適宜性後，本計畫使用 Auto refine search 滑動面搜尋方法搜尋全區安全係數小於 1 的可能滑動面，以及整個滑動體的安全係數。共模擬三種情境(1)常時地下水位：依照鑽探時的水位記錄及坡面滲水位置合理假設地下水位分佈；(2)暴雨情境：假設地下水位上升 4 m；(3)地震情境：假設震度 5 弱地震，水平向地震係數 0.04、垂直向地震係數±0.02 進行分析。分析結果如表 8- 2、圖 8- 3、圖 8- 4、圖 8- 5 所示。

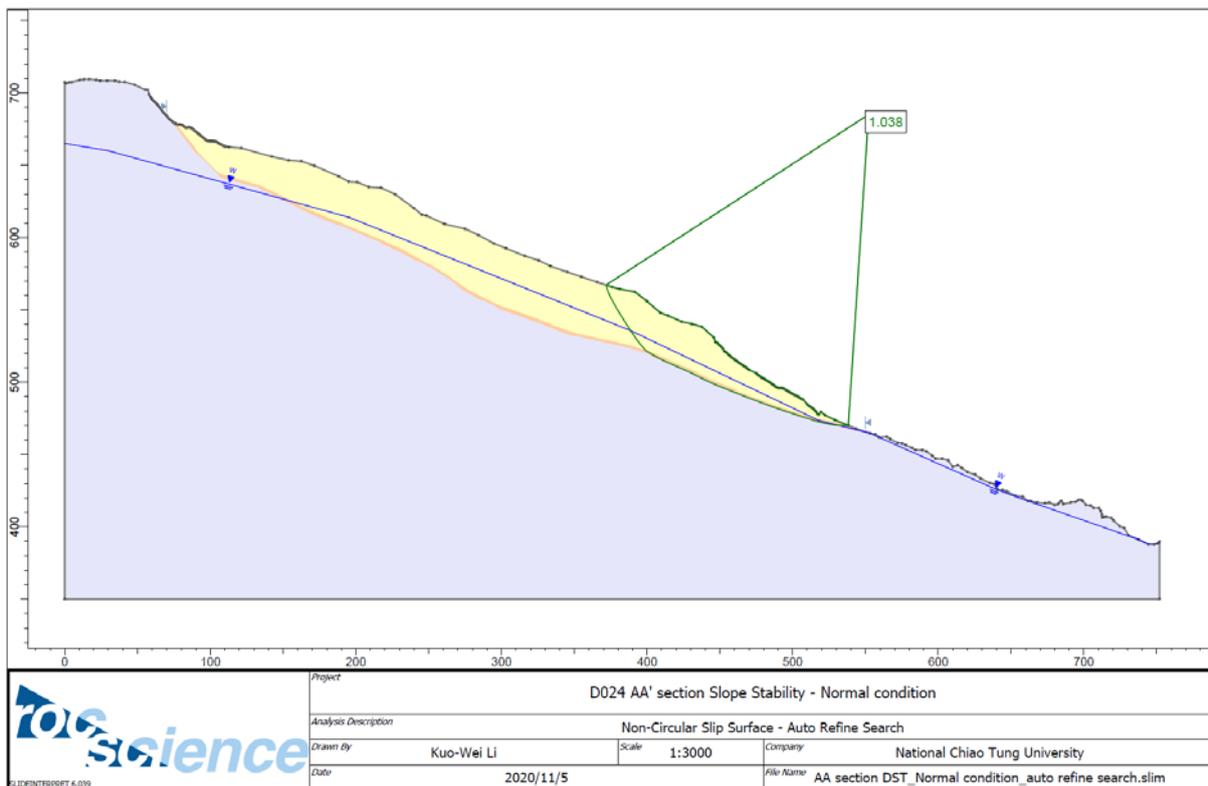
常時條件下，局部、整體安全係數趨近於 1，與目前現場觀察到的跡象一致。暴雨情境下，當地下水位上升 4 m 後，滑動體下半部的安全係數(FS=0.90)小於 1，將導致局部塊體產生破壞。惟此時整體安全係數(FS=0.99)略小於 1，亦可能引致滑動體後續發生大規模滑動。地震情境下，局部與整體安全係數皆小於 1，滑動體可能發生大規模滑動。

(三) 小結

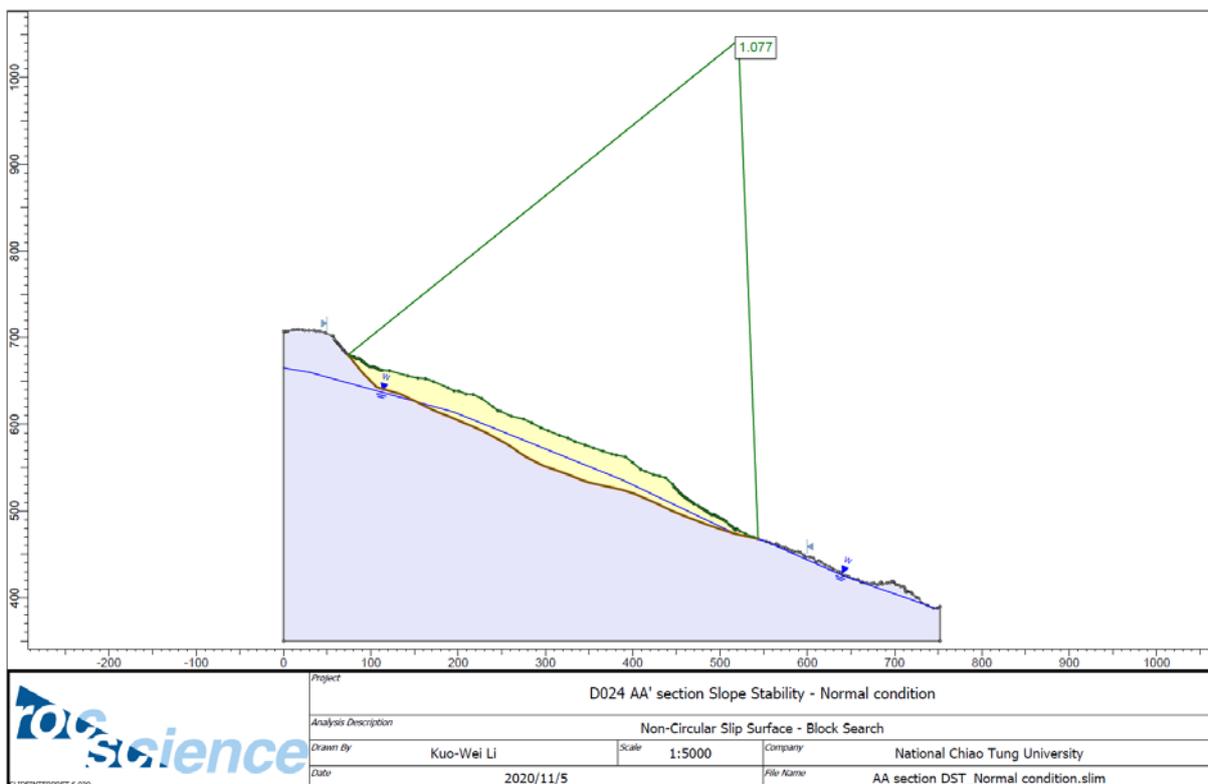
綜合以上邊坡穩定分析與監測結果之比較，本區致災風險為暴雨或地震造成的額外驅動力，造成邊坡位移加速，可能引致整個滑動體一次式的致災性滑動。其中又以滑動體下半部的安全係數較低，與目前監測觀察到的地表位移速度較快的結果一致，可作為後續減災策略研擬及整治理建議之參考。

表 8-2 局部與整體邊坡穩定分析結果表

模擬情境	局部安全係數	整體安全係數
常時條件	1.04	1.08
暴雨情境(地下水位上升 4 m)	0.90	0.99
地震情境(震度 5 弱地震)	0.93	0.97

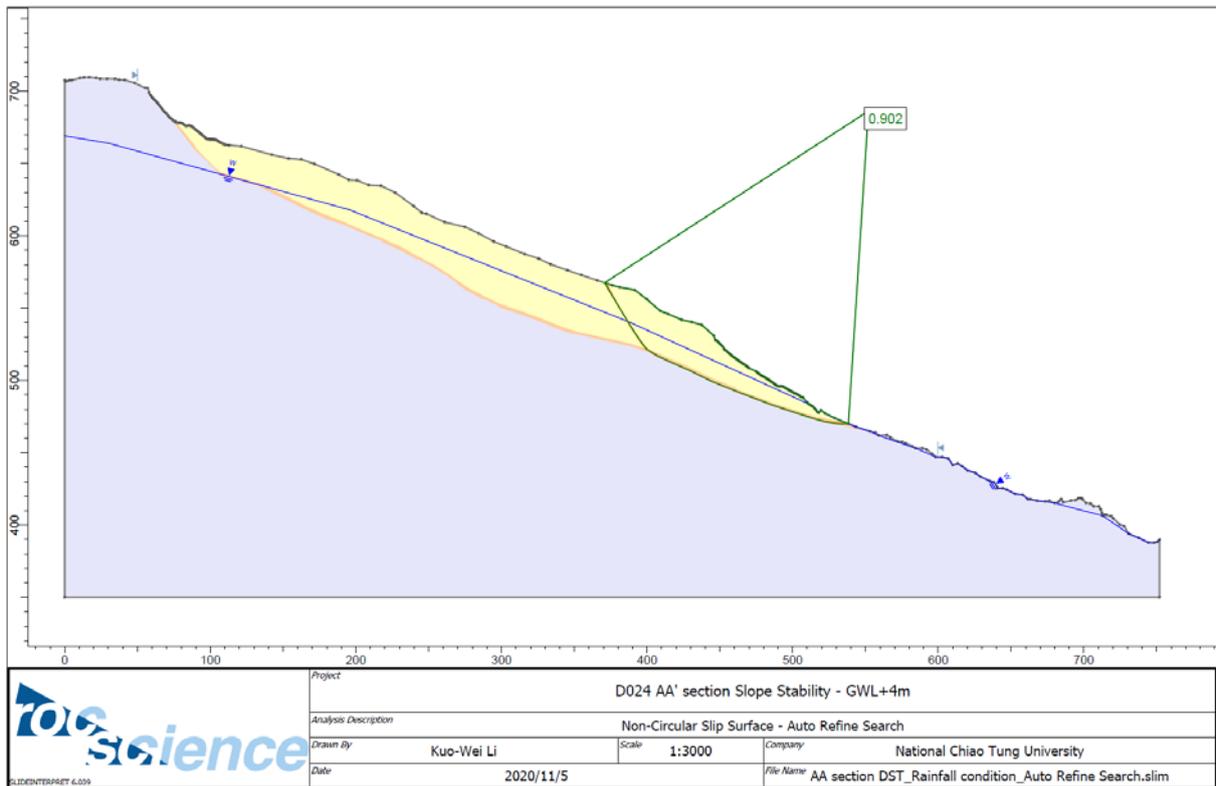


(a)全區搜尋局部可能滑動面

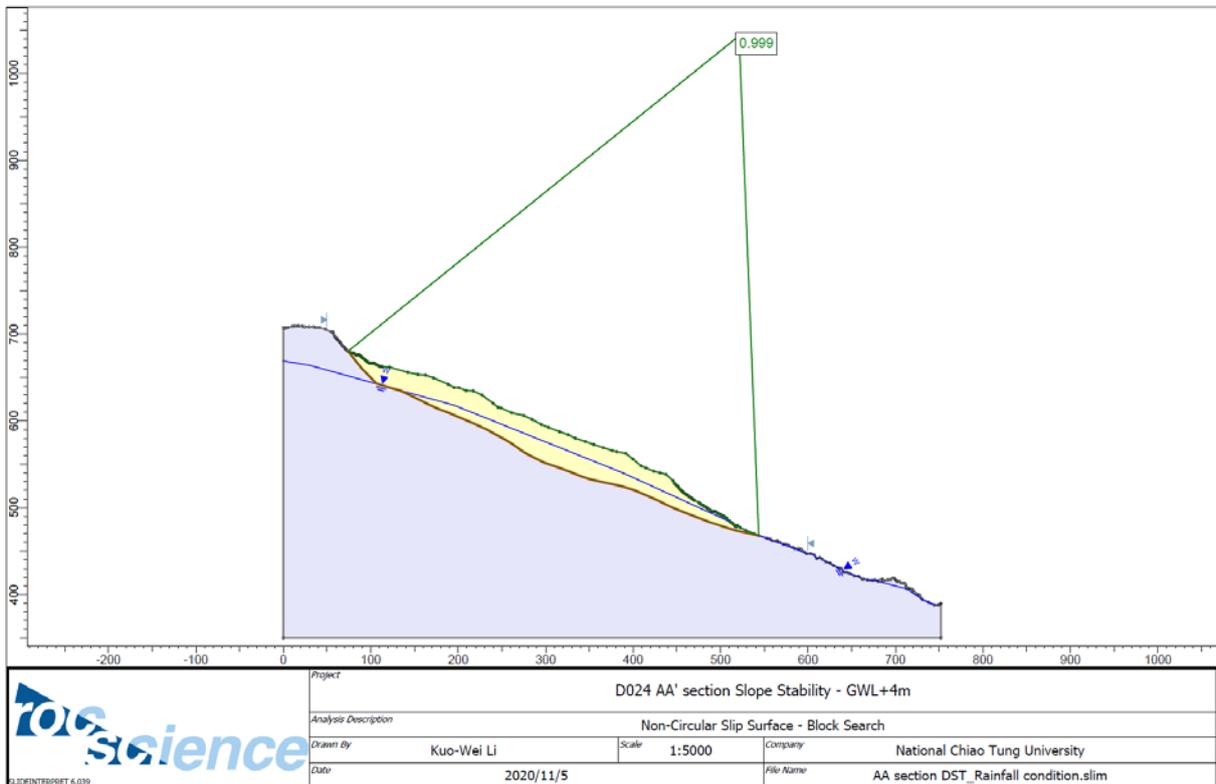


(b)滑動體整體安全係數

圖 8-3 常時地下水位邊坡穩定分析結果

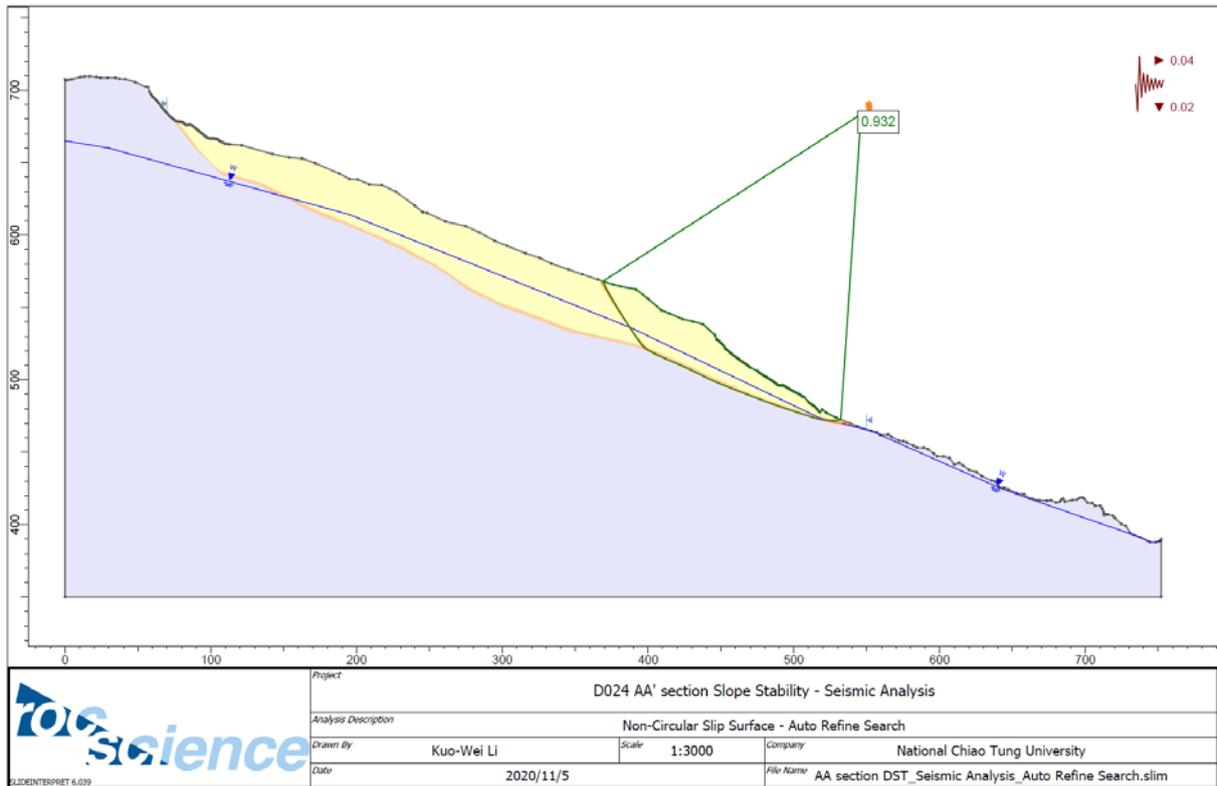


(a)全區搜尋局部可能滑動面

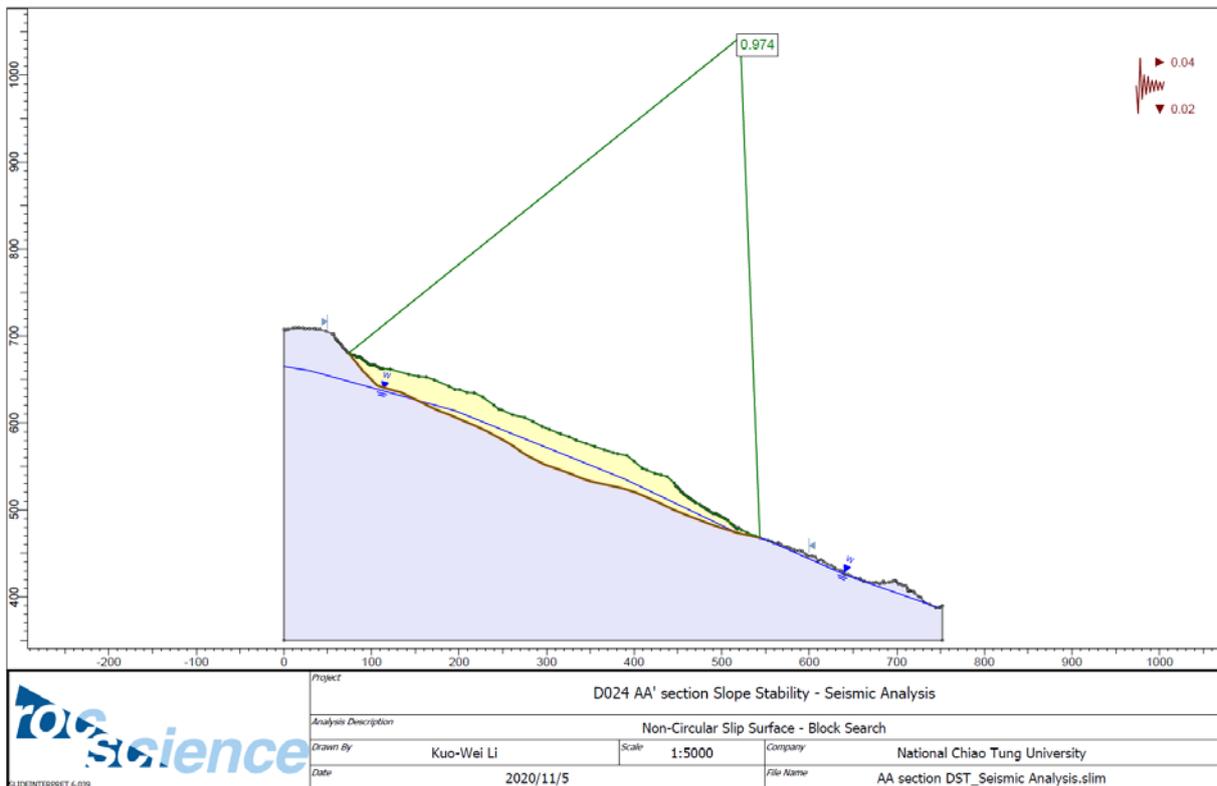


(b)滑動體整體安全係數

圖 8-4 暴雨情境邊坡穩定分析結果



(a)全區搜尋局部可能滑動面



(b)滑動體整體安全係數

圖 8-5 地震情境邊坡穩定分析結果

二、影響範圍評估

由於本崩塌地活動性極高，可能發生一次性大規模滑動，本計畫進一步評估其滑動後之量體及影響範圍。水保局(2015)曾提出一系列有關大規模崩塌的災害影響範圍劃設流程與方法，鄭又銘(2020)採用其基本理論，以 2009 年莫拉克颱風引致之實際崩塌事件進行校準，建立其分析模式，說明如下：

(1) 崩塌來源區決定

根據監測與實際調查結果圈繪，劃定來源區面積為 10.5 公頃，如圖 8-6。



圖 8-6 本崩塌地之崩塌來源區

(2) 崩塌體積及運移路徑

利用面積-體積經驗式(式 8.1)將來源區面積轉換為崩塌體積，經計算後之體積為 $1.82 \times 10^6 \text{m}^3$ 。

$$V = 0.0799 \times A_L^{1.3302} \quad (\text{式 8.1})$$

接著以垂直等高線方向繪製可能的運移路徑，並使用式 8.2、式 8.3 計算運移距離預測值

$$\text{Slides} \quad \frac{H}{L} = -0.116 \times \log V + 0.462 \quad (\text{式 } 8.2)$$

$$\text{All} \quad \frac{H}{L} = -0.093 \times \log V + 0.379 \quad (\text{式 } 8.3)$$

計算等效摩擦係數 H/L 結果為 0.35，運移路徑運移距離為 1,078 m。由於本崩塌地下邊坡兩側對岸皆有丘陵地，故額外劃設兩條運移路徑(圖 8-7)，以檢視運移是否會受到地形阻礙而轉向。圖 8-8 至圖 8-10 分別為左側、中間(主要)及右側之運移路徑與抵達角計算之結果，可判斷本崩塌地運移路徑未受阻礙，進一步繪製影響範圍以兩倍來源區寬度劃設($320 \times 2 = 640 \text{ m}$)，結果如圖 8-11。

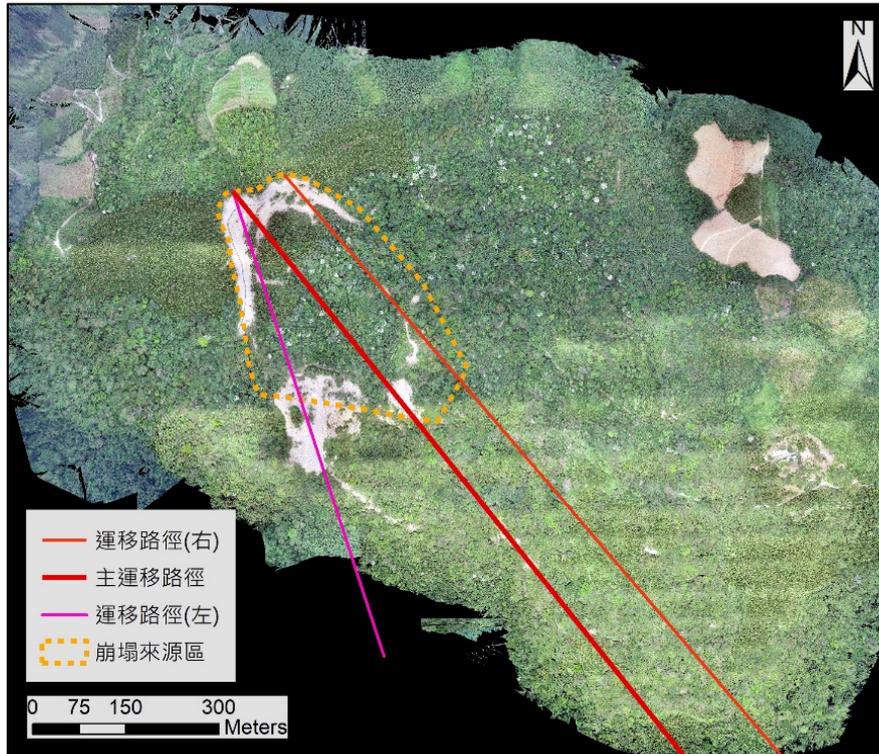


圖 8-7 本崩塌地運移路徑

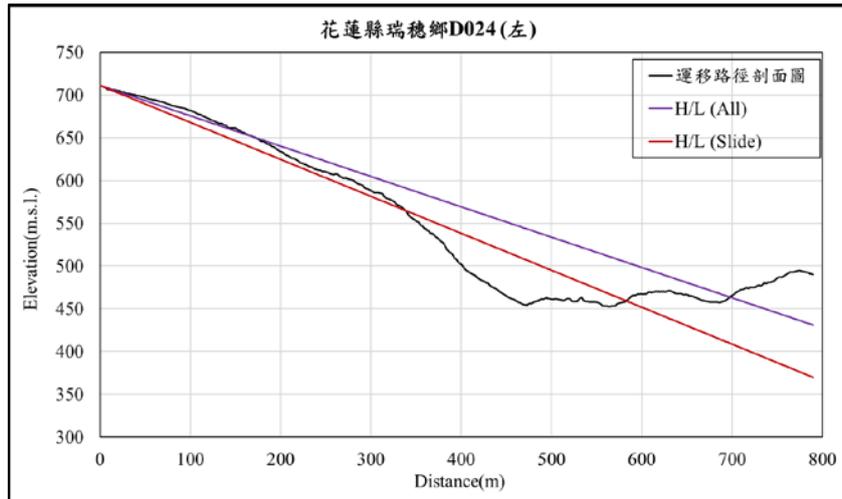


圖 8-8 本崩塌地左側運移路徑剖面圖與抵達角法結果

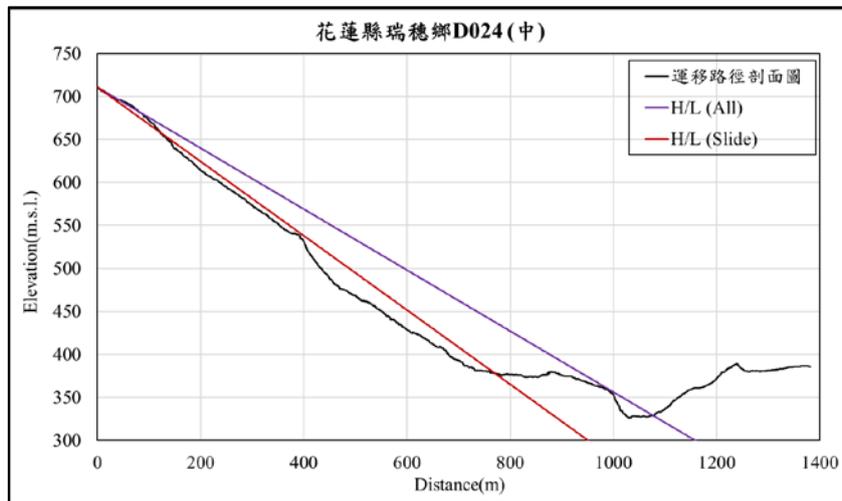


圖 8-9 本崩塌地主運移路徑剖面圖與抵達角法結果

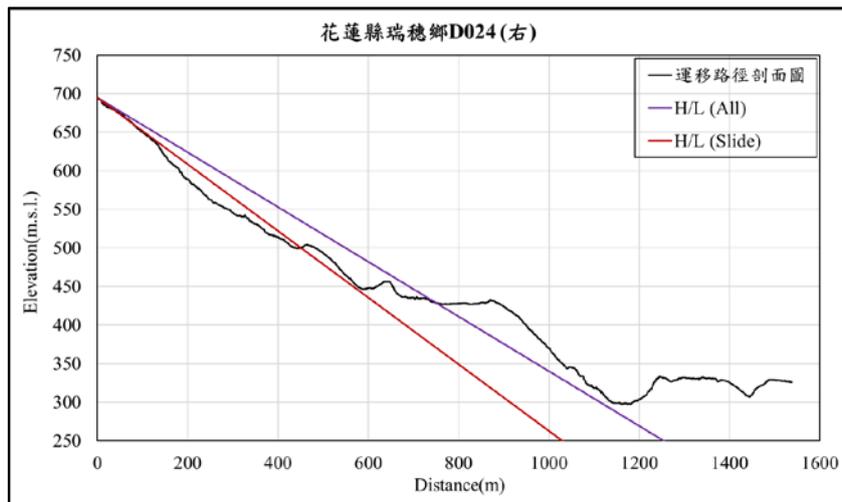


圖 8-10 本崩塌地右側運移路徑剖面圖與抵達角法結果



圖 8-11 本崩塌地影響範圍

另外，若以面積-等深度法評估崩塌體積，假設滑動等深度 30m 及 35m，可能崩塌體積分別為 $3.15 \times 10^6 \text{m}^3$ 、 $3.67 \times 10^6 \text{m}^3$ 。依據上述分析流程，其運移距離為 1,111m 及 1,118m，與前述分析運移距離與影響範圍相近，整理崩塌體積與運移距離之分析結果如表 8-3 所示。

表 8-3 崩塌體積與運移距離

項目	面積-體積 經驗式	等滑動深度 30m	等滑動深度 35m
崩塌體積($\times 10^6 \text{m}^3$)	1.82	3.15	3.67
H/L	0.35	0.333	0.326
主運移路徑距離預測值(m)	1078	1111	1118

本計畫進一步採用瑞士森林及雪崩研究所發展之 RAMMS (Rapid Mass Movement System) 三維數值模擬程式進行分析。RAMMS 採用 Voellmy-Salm 連續體模式作為理論基礎，可合理考慮地形變化，計算可能之影響範圍。本研究採用剪裂泥之摩擦角及等滑動深度 35m，結果如圖 8-12。其影響範圍與經驗法相近，面積略小於經驗法之結果，為安全考量起見，本計畫採用圖 8-11 為崩塌地之可能影響範圍，並套疊於 1/25000 地形圖(圖 8-13)。

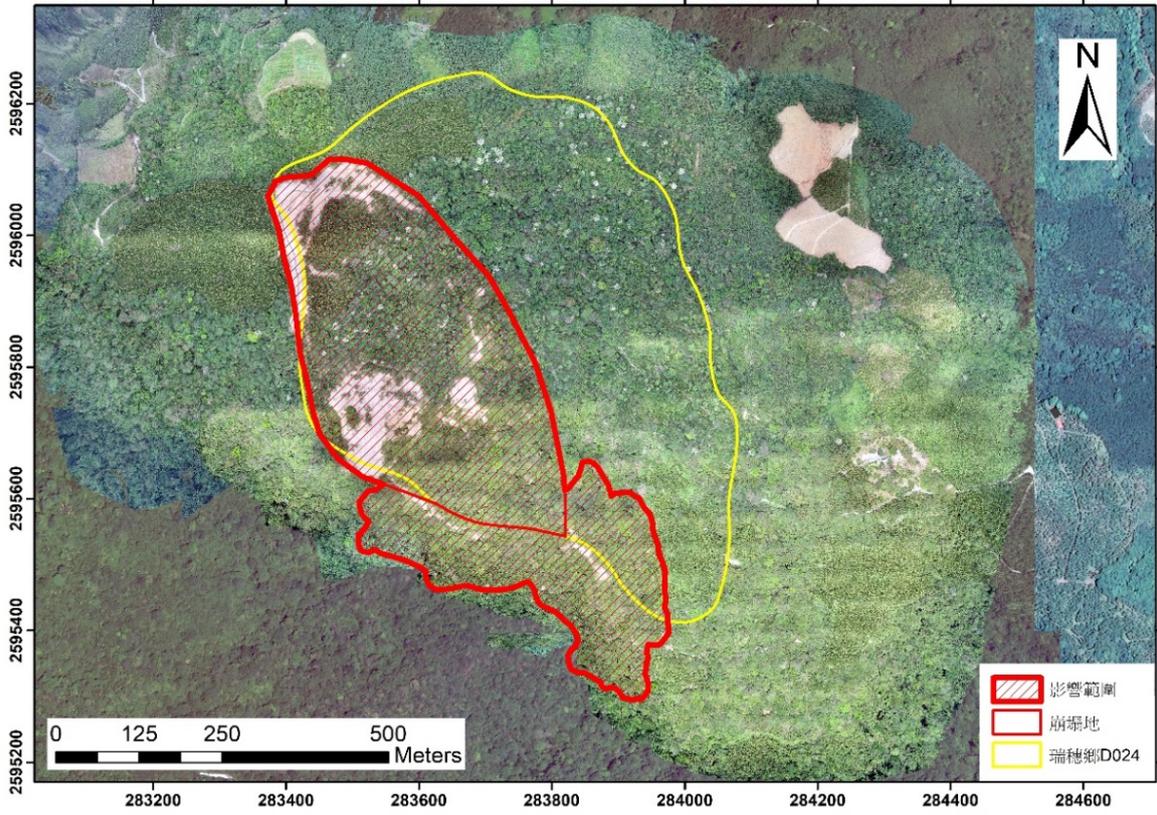


圖 8-12 RAMMS 分析之本崩塌地影響範圍

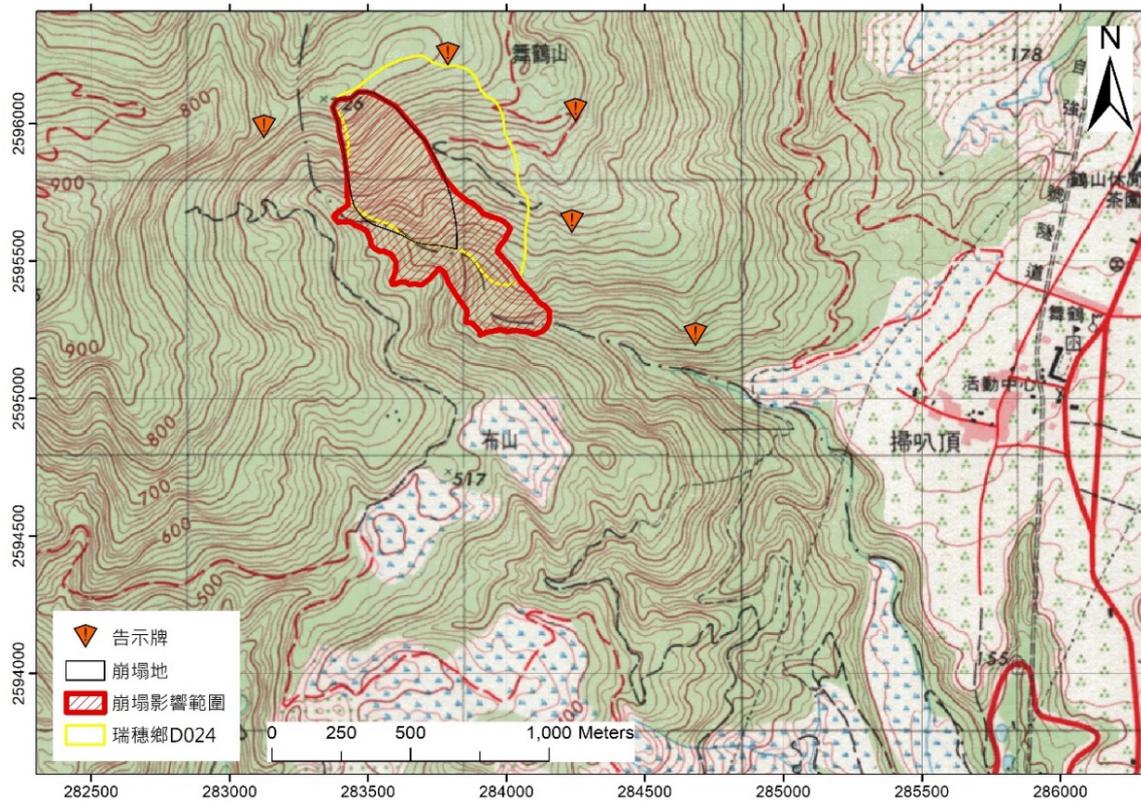


圖 8-13 本崩塌地影響範圍(1/25000 地形圖)

三、堰塞湖情境模擬

本計畫以 LiDAR 產製 1 公尺高精度數位高程模型及前述堆積範圍建立若產生天然壩之壩體形狀及高程分布圖(圖 8-14)，將其扣除地形可獲得平均堆積高度(圖 8-15)約為 45 公尺，壩體體積約為 228 萬立方公尺，壩長為 100 公尺，壩寬為 950 公尺(圖 8-16)，其上游集水區面積為 52 公頃(圖 8-17)。

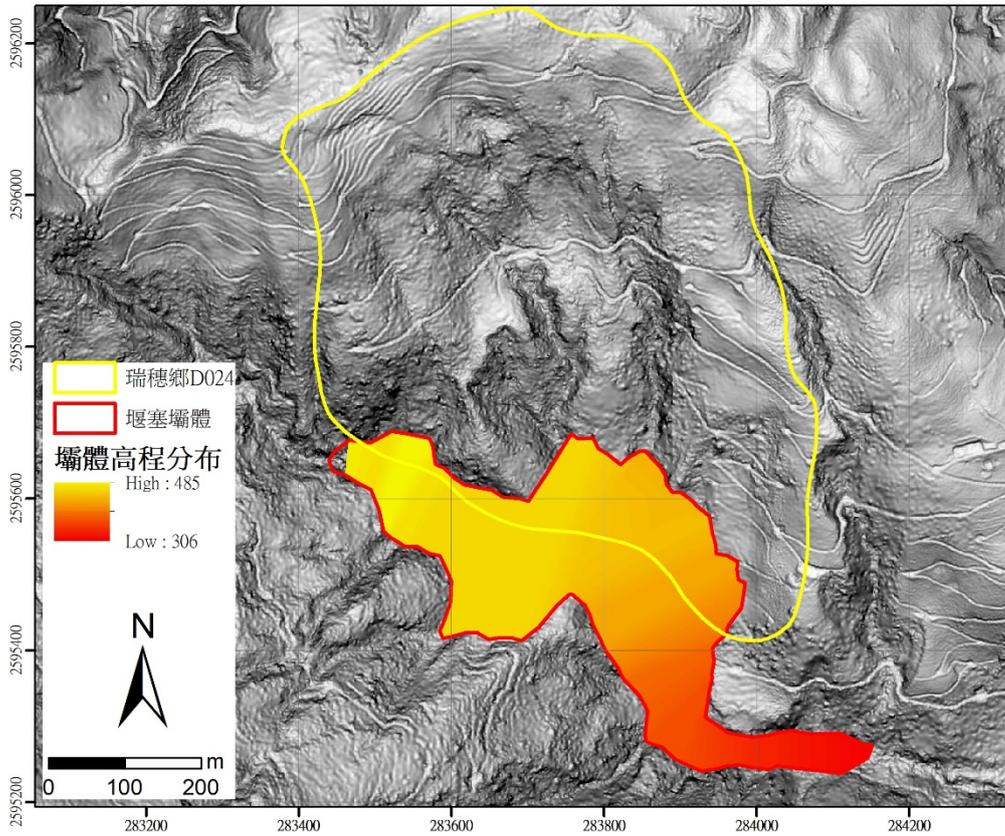


圖 8-14 天然壩地形分布圖

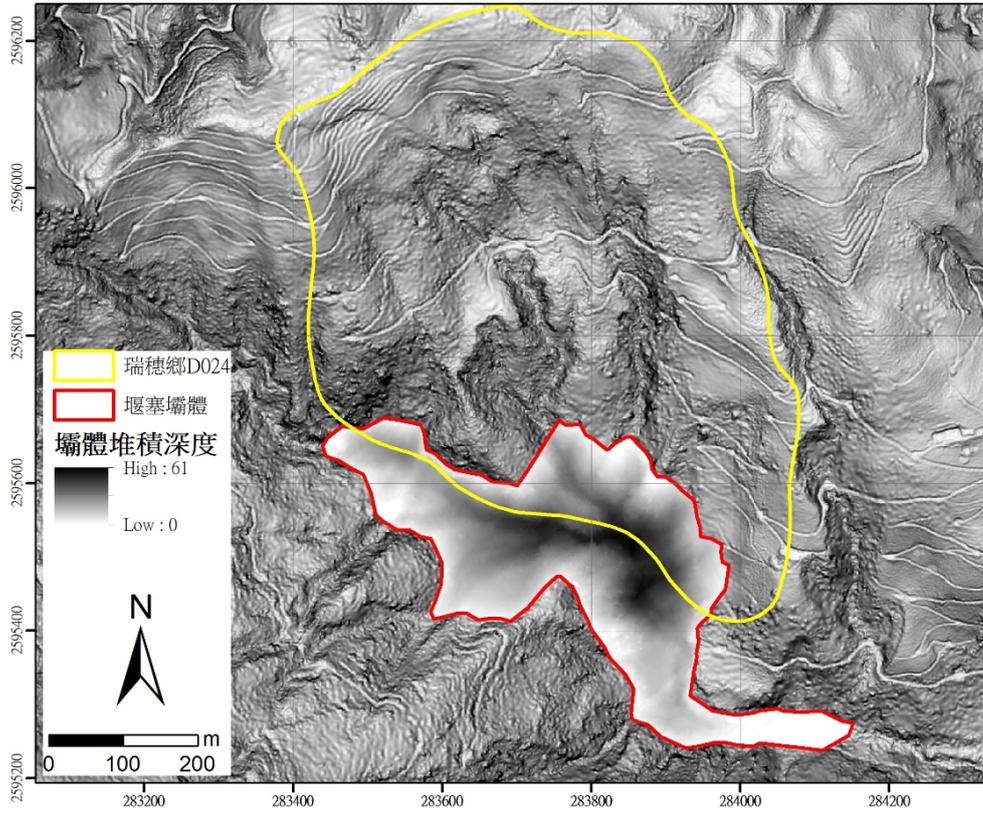


圖 8-15 天然壩堆積深度分布圖

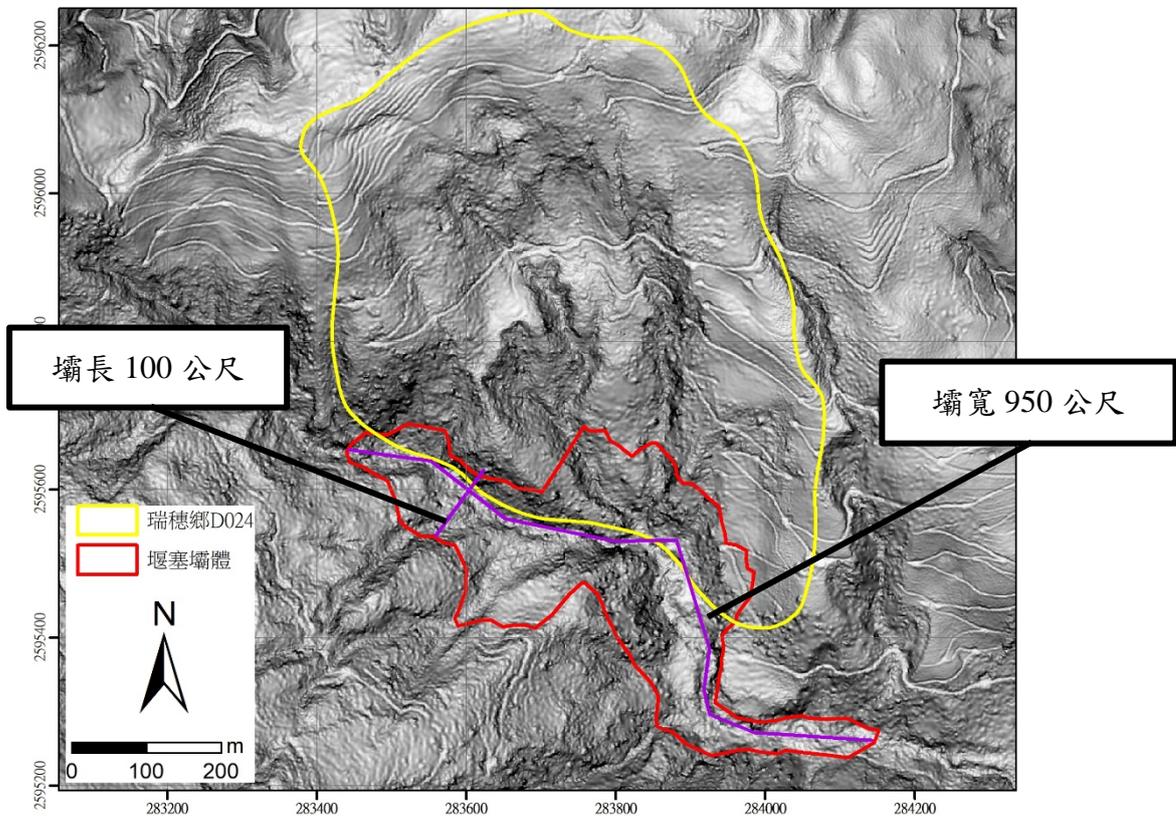


圖 8-16 天然壩地形因子

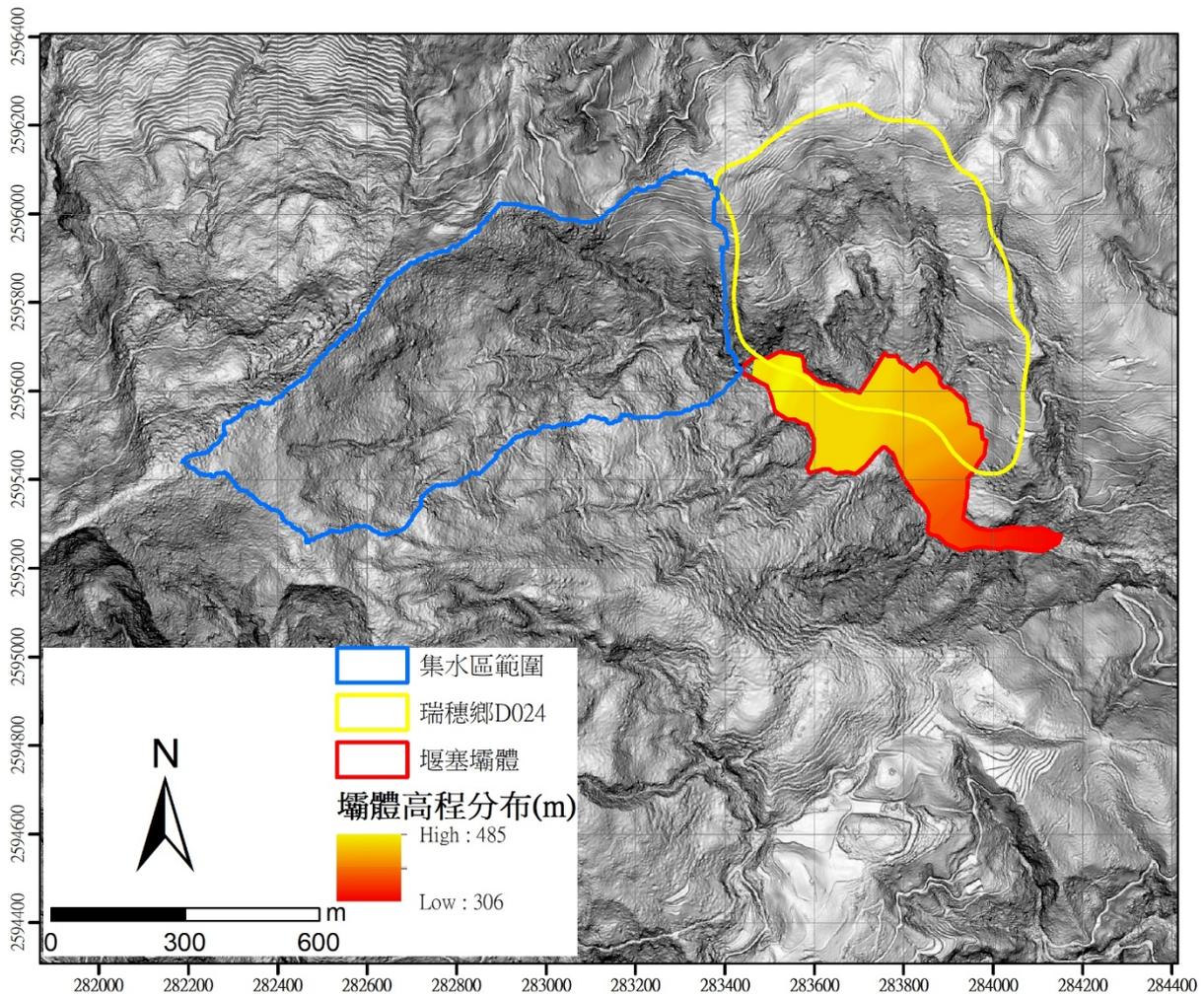


圖 8-17 天然壩集水面積範圍

堰塞湖壩體危險度評估擬採用無因次阻塞指標(DBI, 式 1)及邏輯斯迴歸模式(式 8.4)：

$$DBI = \log\left(\frac{A_b \times H_d}{V_d}\right) \quad (\text{式 8.4})$$

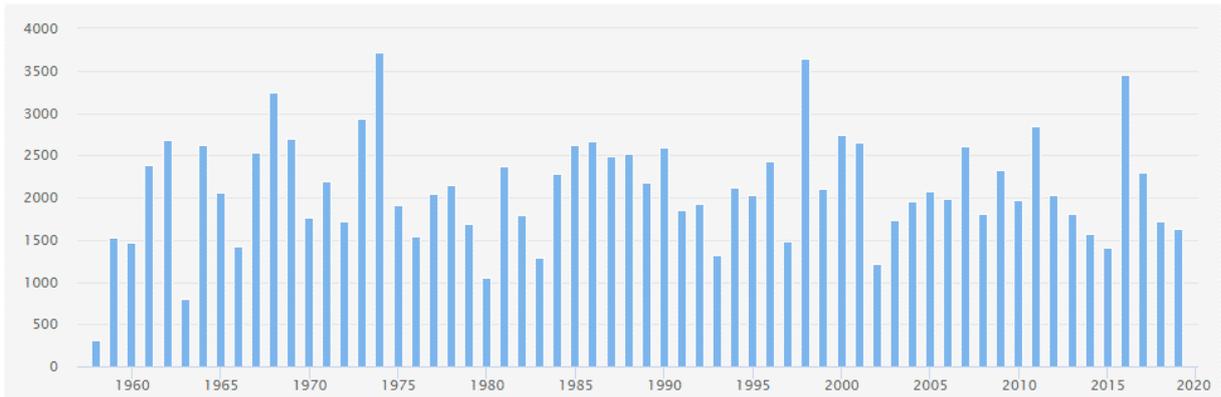
其中 V_d 為壩體體積(m^3)、 A_b 為集水區面積(m^2)、 H_d 為壩高(m)。當 $DBI < 2.75$ 時天然壩屬穩定； $DBI > 3.08$ 時天然壩屬不穩定；若 $2.75 < DBI < 3.08$ 則因天然壩穩定或不穩定之機會大致相當，無法區別天然壩穩定性。

$$L_s = -2.22 \log(A_b) - 3.76 \log(H) + 3.17 \log(W) + 2.85 \log(L) + 5.93 \quad (\text{式 8.5})$$

其中 A_b 為集水區面積(m^2)、 H 為壩高(m)、 W 為壩寬(m) (沿著河道)、 L 為

壩長(m)(跨越河道)、 L_s 為邏輯斯分數(logit)，當邏輯斯分數小於0時表示天然壩屬不穩定；大於0時表示天然壩屬穩定。

將上述堆估之壩體形狀因子、集水區面積、堆積體積及壩高代入地代入無因次阻塞指標及邏輯式回歸模式分別求得 1.01 及 2.16，皆屬於穩定。立山雨量站由 1958 至 2019 年平均年降雨量為 2,096 mm (圖 8-18)。



摘自經濟部水利署水文資訊網

圖 8-18 立山雨量站歷年年降雨量分布圖

依據水土保持技術規範第 16 條降雨強度推估值，推估 50 年重現期 1 小時降雨延時之降雨強度(mm/hr)，計算可求得 I_t^{50} 。

$$\frac{I_t^T}{I_{60}^{25}} = (G + M \log T) \frac{A}{(t+B)^C} \quad (\text{式 } 8.6)$$

其中 T 為重現期距(年)、 t 為降雨延時或集流時間(分)、 I_t^T 為重現期距 T 年之降雨延時 t 分鐘的降雨強度(mm/分鐘)、 I_{60}^{25} 為重現期距 25 年之降雨延時 60 分鐘的降雨強度(mm/小時)、 P 為年平均降雨量(mm)， A 、 B 、 C 、 G 、 M 為係數。 $I_{60}^{25} = \left(\frac{P}{25.29+0.094P}\right)^2 = 90.05 \text{ mm/hr}$ 、 $A = \left(\frac{P}{-189.96+0.31P}\right)^2 = 19.84$ 、 $B = 55$ 、 $C = \left(\frac{P}{-381.71+1.45P}\right)^2 = 0.61$ 、 $G = \left(\frac{P}{42.89+1.33P}\right)^2 = 0.55$ 、 $M = \left(\frac{P}{-65.33+1.836P}\right)^2 = 0.31$ 。

其中集流時間(t_c)計算依據水土保持技術規範第 19 條，集流時間一般為流入時間與流下時間之和，其計算公式如下：

$$t_c = t_1 + t_2 \quad (\text{式 8.7})$$

$$t_1 = l/v \quad (\text{式 8.8})$$

式中 t_c 為集流時間、 t_1 為流入時間(雨水經地表面由集水區邊界流至河道所需時間)、 t_2 為流下時間(雨水流經河道由上游至下游所需時間)、 l 為漫地流流動長度、 v 為漫地流流速(一般採用 0.3~0.6 公尺/秒)。

流下速度之估算，於人工整治後之規則河段，應根據各河斷面、坡度、粗糙係數、洪峰流量之大小，依曼寧公式計算；天然河段得採用下列芮哈(Rziha)經驗公式估算：

$$t_2 = L_r/W_f \quad (\text{式 8.9})$$

$$W_f = 72 \left(\frac{\Delta h}{L_r} \right)^{0.6} \quad (\text{式 8.10})$$

式中 t_2 為流入時間(小時)、 W_f 為流下速度(公里/小時)、 Δh 為溪流縱斷面高程差(公里)、 L_r 為溪流長度(公里)

流量依據水土保持技術規範第 17 條，以雨量強度、集水區面積、及逕流係數代入合理化公式：

$$Q = \frac{1}{360} \times C_r \times I \times A_b \quad (\text{式 8.11})$$

其中 C_r 為逕流係數(低開發區域山嶺區取 0.75)， I 為降雨強度(mm/hr)， A_b 為集水區面積(ha)。將 $C_r=0.75$ ， $I=114$ mm/hr， $A_b=52$ 公頃，獲得最大流量為 12 cms，採用參數如表 8-4。

表 8-4 50 年重現期流量計算表

參數	集水區面積 A_b (ha)	逕流係 數 C_r	長度 L_r (km)	高差 Δh (km)	集流時 間 t_c (min)	降雨強度 I (mm/hr)	流量 Q (cms)
堰塞湖	52	0.75	1.214	0.37	2.1	114	12

由壩體形成前後澗線圖(圖 8- 19)可見，天然壩最高堆積約 60 m，壩體上游面河道因河道坡降大，產生堰塞湖後蓄水量很小或無，天然壩將不會立即潰決，對於下游之影響較小。

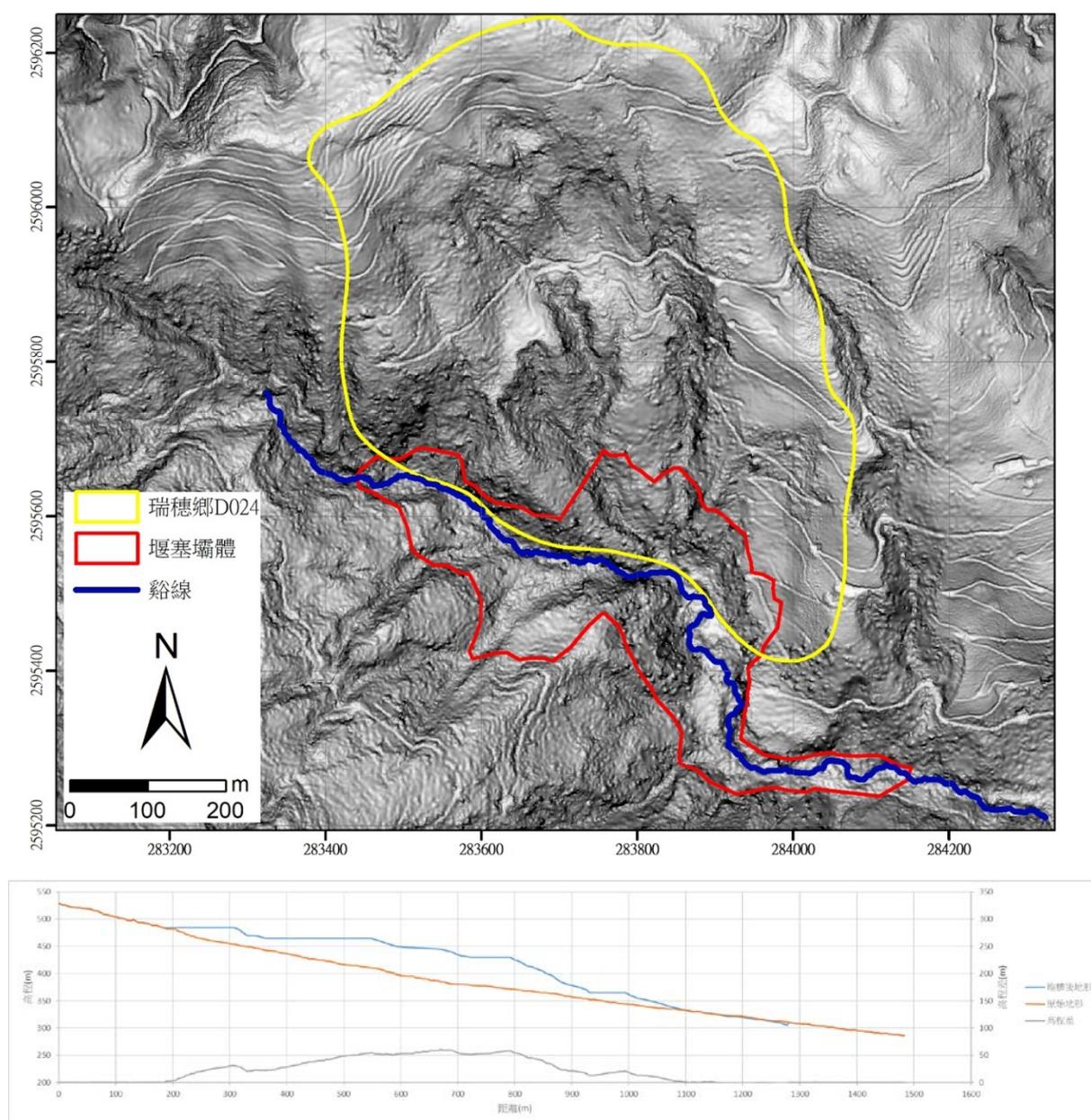


圖 8- 19 壩體形成前後澗線比較圖

四、管、治理對策與後續建議

本計畫由地質調查、航(遙)測分析、折射震測、地質鑽探及崩塌地監測等數據結果，分析探討災害類型及崩塌地之穩定性，可發現本崩塌地自 2015 年 11 月後開始發生位移。至 2017 年 10 月豪雨事件後，位移急遽增加，於 2019 年白鹿颱風亦產生明顯位移。2019 年之後雖未有更大之豪雨事件，但位移仍持續增加。自 2020 年 6 月下旬位移監測系統建置以來，在 6 月至 7 月中旬，其孔內位移速率高達 12.3 mm/day。後由於地下水位明顯降低，復加上無明顯降雨，位移速率逐漸趨緩，8 月之後晴日之地表位移速率約在 5-10 mm/day。至 10 月中旬，一場明顯降雨(累積雨量 102.5mm)導致地表位移速率增加至 20-40 mm/day，顯示本崩塌地極不穩定。進一步比對地質鑽探結果，本崩塌地滑動體以破碎岩體為主，滑動面深度約 35m，其滑動面受葉理起伏影響，呈現不規則型滑動(Irregular slide)。研判本區未來可能發生的邊坡破壞機制為：(1)破碎岩體沿著滑動面一次性大規模崩滑；(2)邊坡趾部局部破壞並向上擴展。

本計畫進一步評估其滑動後之量體、影響範圍及天然壩穩定性。結果顯示本崩塌地可能之崩塌體積介於 $1.82 \times 10^6 \text{ m}^3$ 至 $3.67 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。運移距離介於 1,078 m 至 1,118 m。天然壩最高堆積約 60 m，壩體上游面河道因河道坡降大，產生堰塞湖後蓄水量很小或無，天然壩將不會立即潰決，對於下游之影響較小。

綜合以上，本計畫提出警戒基準值訂定及減災管理、治理策略如下：

(一) 監測警戒基準值訂定評估

由於本崩塌地活動性極高，雨天地表位移速率可達 20-40 mm/day，復加上可能之崩塌量體龐大($1.82 \times 10^6 \text{ m}^3$ 至 $3.67 \times 10^6 \text{ m}^3$)，未來有可能發生一次性大規模滑動。所幸崩塌影響範圍內之保全對象，僅有一自來水取水口，並無民宅或建築物(最近民宅距離影響區約 1000m)。此外，該自來水取水口已有替代水源，因此重要性較低。

1. 監測警戒基準值

對於如此危險之大規模深層崩塌地而言，短期內最有效之減災管理方式為訂定大規模崩塌潛勢區之管理基準值，必要時進行撤離。依據林

務局(106 年)「國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測」計畫，其提出以下四種適合於大規模崩塌潛勢區管理基準值訂定之策略，說明如下：

(1) 策略一、以臨界應變為準

Chigira (2009)經日本多個案例歸納，深層滑動達致災性破壞前之臨界應變落在 1%~16%間，可保守假設臨界應變為 1%。對於潛在滑動區已埋置完善傾斜觀測管的場址，可利用傾斜管的應變作為基準值。在傾斜管測得之滑動區間內，若每間隔 50 cm 內之位移差額達 5 mm，剪應變即達 1%，可視為位移監測警戒值。然須考量裝設測傾管前地盤可能已存在前期位移，因此警戒值可再適度降低。各級管理值(如警戒值、行動值等)皆可據此制定之。

(2) 策略二、以誘因強度為準

建立歷史災害資料庫，以誘因強度(如雨量強度與累積降雨量)做為管理基準值。目前常使用“累積降雨量”做為管理基準值。

(3) 策略三、以監測值為準

經檢視地表位移、測傾管及水位(水壓)長期量測結果，可以反應邊坡的位移及地下水狀況，可輔以邊坡變化狀況以經驗法建議管理值。

(4) 策略四、理論基礎為準

經完整地質調查建立的地質模式，可透過邊坡穩定分析及數值模擬建立地下水位及滑動面位移量的監測管理值。力學分析的分析參數(含水文)及幾何條件皆經簡化，此簡化及方法於岩石邊坡(如順向坡)及人工邊坡(如土壩)建立的管理值尚屬合理。若用於大規模崩積邊坡，因地質條件複雜，水文地質及邊坡行為較難確定，恐難建立合理的管理值。

2. 地中、地表變位警戒值訂定模式

根據蒐集文獻，針對地中、地表變位警戒值訂定模式，可大致分為 2 大類：(1)依潛變變形模型評估警戒基準及(2)依應變與應變速率評估警戒基準，說明如下：

(1) 潛移破壞模型法

過去預測地滑崩塌時刻的方法，主要是以邊坡潛移破壞模型(圖 8-20)而訂定。邊坡變形過程，可大致區分為初始階段期、第二階段(等速變形)、第三階段(加速變形)，之後邊坡達到破壞。因此可利用第二階段(等速變形)、第三階段(加速變形)之變形曲線特性，建立其警戒基準。以下簡介二期潛變階段實施的概略預測法與三期潛變階段實施的鄰近預測法、精密預測法、移動速度倒數法。

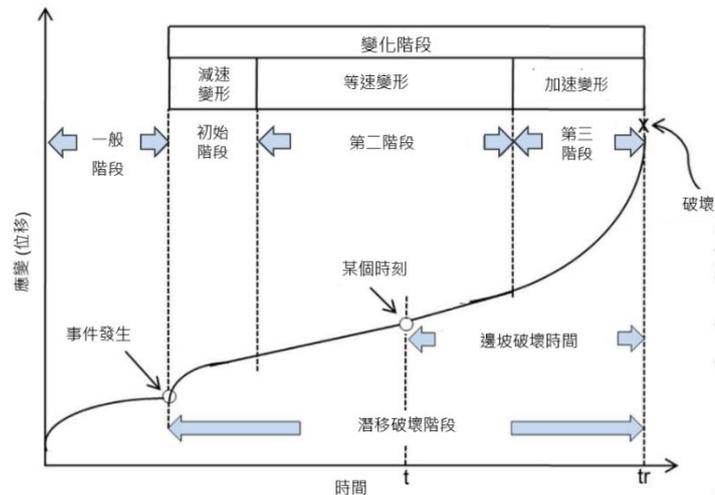


圖 8-20 邊坡變形破壞曲線(Saito,1960)

(A) 概略預測法

齊藤等(1966)依據土壤試驗結果與現場量測結果，發現發展到第二階段變形所需時間與穩態應變速率之關係(圖 8-21)，透過關係式可由應變速率 ε 求得潛變破壞時間 t_r 。

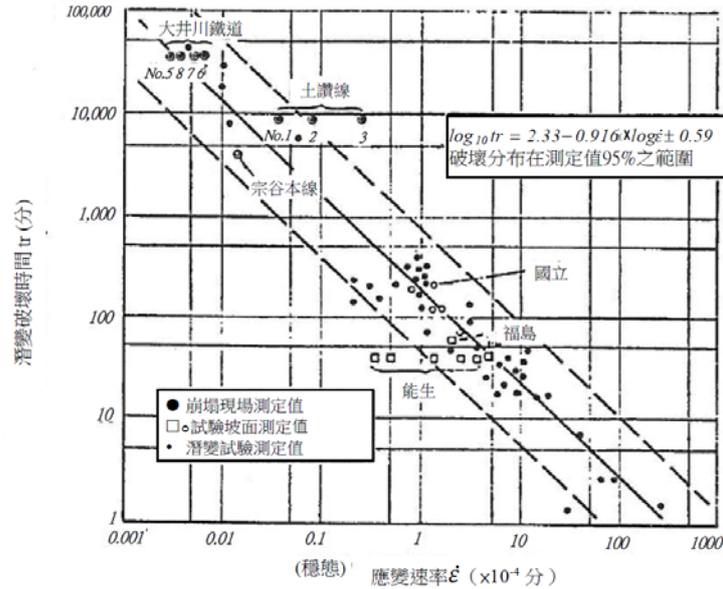


圖 8-21 二期潛變破壞時間之預測

(B) 鄰近預測法

齊藤(1968) 提出在圖 8-22 之位移量曲線上取相對位移間隔與 Δl 相同的三點 A_1 、 A_2 、 A_3 ，其時間點之時刻分別設定為 t_1 、 t_2 、 t_3 。其次， A_1 、 A_3 投影在通過 A_2 而與時間軸平行的直線上，分別取 A'_1 及 A'_3 點。直線 $A'_1 A_2$ 與直線 $A'_1 A'_3$ 之中點分別取 M 及 N 點。然後在與通過 A_2 且與 Y 軸（應變或位移量）平行的直線上，取和 MA_2 、 NA_2 等長的 $M' A_2$ 與 $N' A_2$ 。通過 M' 而與時間軸平行的直線和通過 A'_1 與 N' 的直線往右拉長，其交點即為崩塌時間（ t_r ）。

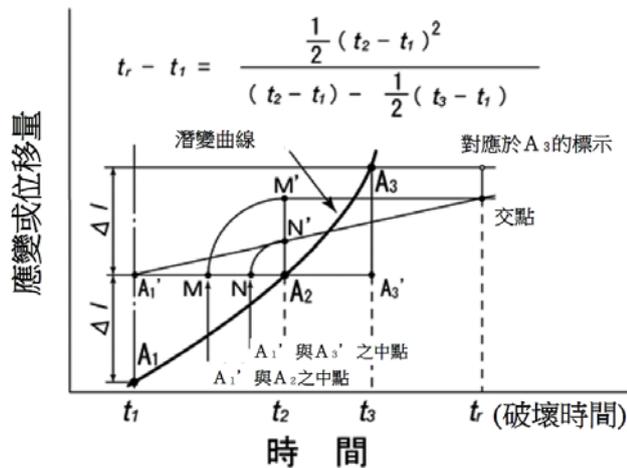


圖 8-22 三期潛變崩塌時刻圖解法

(C)精密預測法

齊藤(1987)發現應變與到崩塌為止的餘裕時間存在直線關係。因此，以應變或位移量為 X 軸，以到崩塌為止的餘裕時間為對數 Y 軸，提出關係圖，如圖 8- 23 所示。藉由繪製相對位移，可推估到崩塌為止餘裕時間。

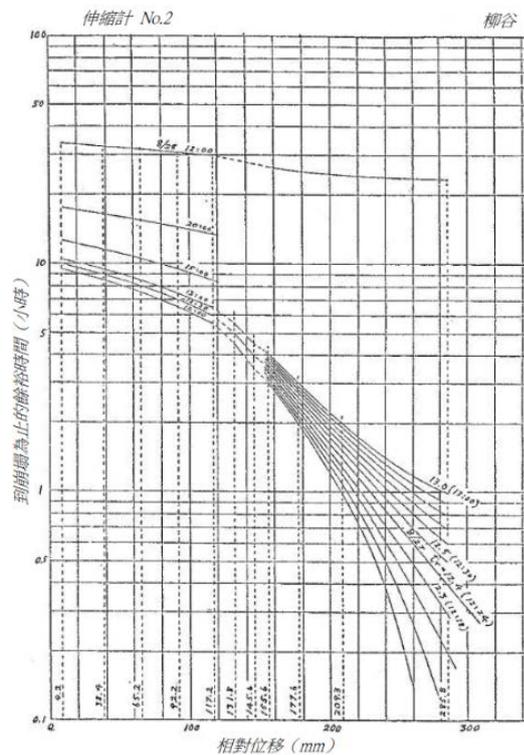


圖 8- 23 以精密預測法預測崩塌時刻的案例

(D)移動速度倒數法

福園(1985)利用移動速度倒數之歷時變化曲線，提出推定移動速度倒數曲線延長所形成之交點為崩塌發生時刻的方法，如圖 8- 24 所示。

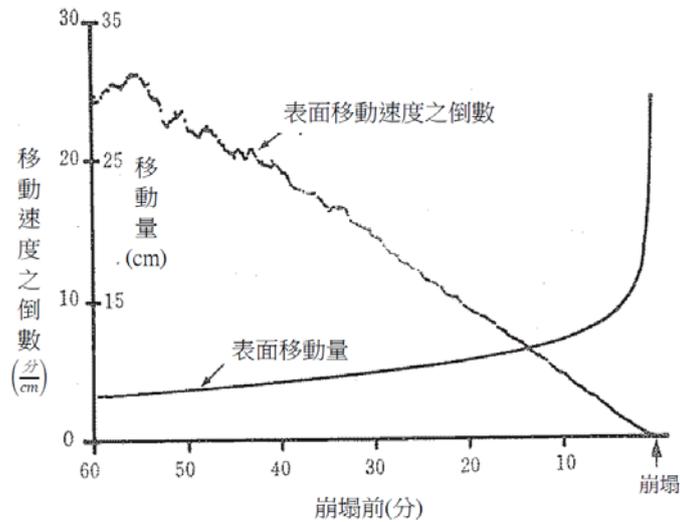


圖 8-24 移動速度倒數之歷時變化

(2) 應變與應變速率評估法

杉井等(2017)依據過去 34 個地滑案例量測值之應變與應變速率的歷時變化，以評估建立出如何判斷地滑所處潛變階期之方法。如圖 8-25 所示，地滑斜面之移動塊體長與此斜面頭部位移量之比 (D/L) 定義為「應變」，每小時應變增加量定義為「應變速率」。在同一張圖表上繪製各崩塌案例所讀取之加速點與瀕臨崩塌前之量測值，分別劃分出瀕臨崩塌前的分布範圍(區域 A)、加速點分布範圍(區域 B)及其他範圍(區域 C)(圖 8-26)。此方法同時考慮位移速率、總位移量，在圖上確認應變與應變速度之歷時變化，評估崩塌迫切性。

綜上所述，潛移破壞模型法主要用於預測崩塌時間，而應變與應變速率評估法，可搭配本崩塌地建置之 GNSS 即時監測系統，建立其警戒值。

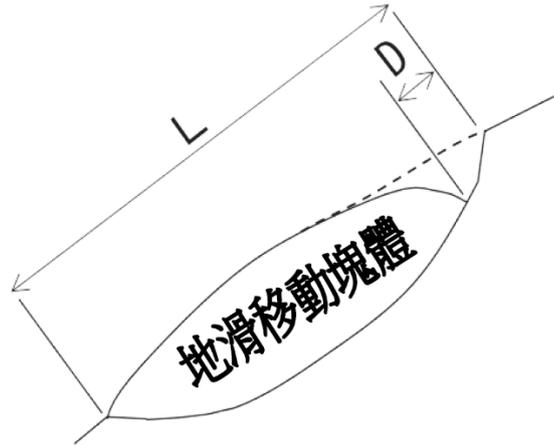


圖 8-25 應變之計算方法

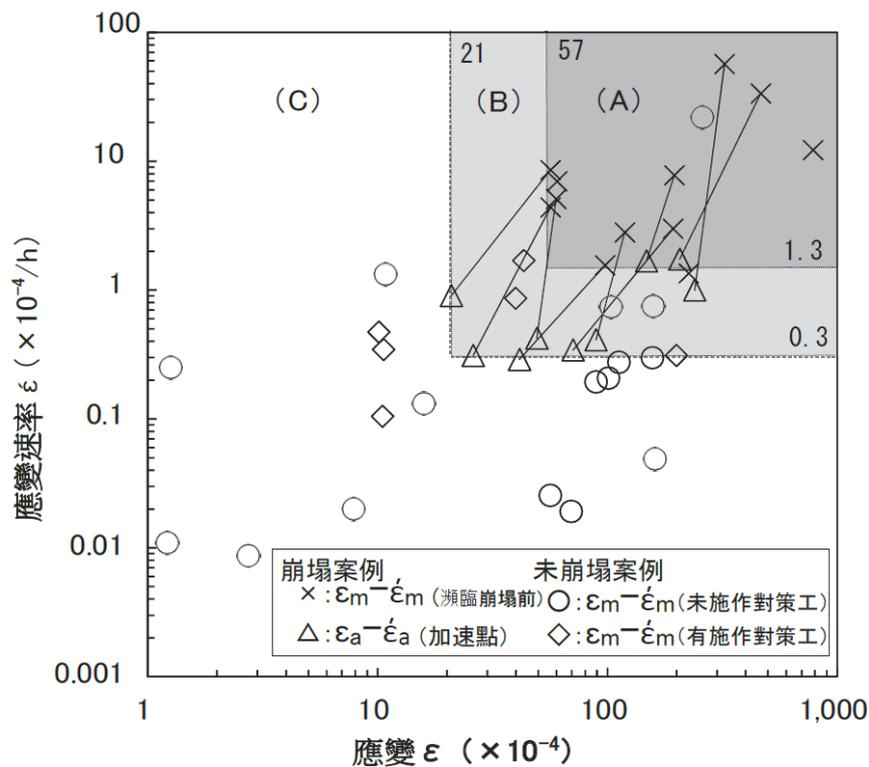


圖 8-26 應變與應變速率之關係

3. 本場址初次訂定之警戒管理值(第三次期中報告)

依據杉井法(2017)，由應變之斜面長度定義，崩塌前(2015 年)崩塌頭部與趾部之斜面長度(L)為 400m，如圖 8- 27 所示。本計畫於 2021 年 6 月第三次期中報告，由應變與應變速率之關係圖，訂定警戒位移管理值。當進入加速點分布範圍之應變速率等於 $0.3 \times 10^{-4}/h$ ，推算其位移速率等於 288 mm/day。當進入瀕臨崩塌前的分布範圍之應變速率等於 $1.3 \times 10^{-4}/h$ ，推算其位移速率等於 1248 mm/day。由臨

界應變速率，可求得坡體破壞臨界位移量，但實務上必須在崩塌發生前就應啟動防災應變措施，因此，分別訂定三階段：紅色警戒、黃色警戒、強化整備之注意值與警戒值(如表 8-5 所示)。

- (1) 紅色警戒：紅色警戒值取瀕臨崩塌位移速率(1248 mm/day)之 50%，注意值取位移速率之 40%。
- (2) 黃色警戒：黃色警戒值取加速位移速率(288 mm/day)之 50%，注意值取位移速率之 40%。
- (3) 強化整備：強化整備之注意值訂定，依據本場址截至目前監測結果，未發生大規模滑動之上限值。

依據上述注意值及警戒值，進一步擬定各級警戒值發佈、解除與應變方式如表 8-6 所示。其發佈依據為當 3 個 GPS 監測站，同時有 2 站位移速率超過警戒值則發布警戒。警戒值將視實際狀況、數據跳動情形，配合其他監測資料如影像進行滾動性調整。

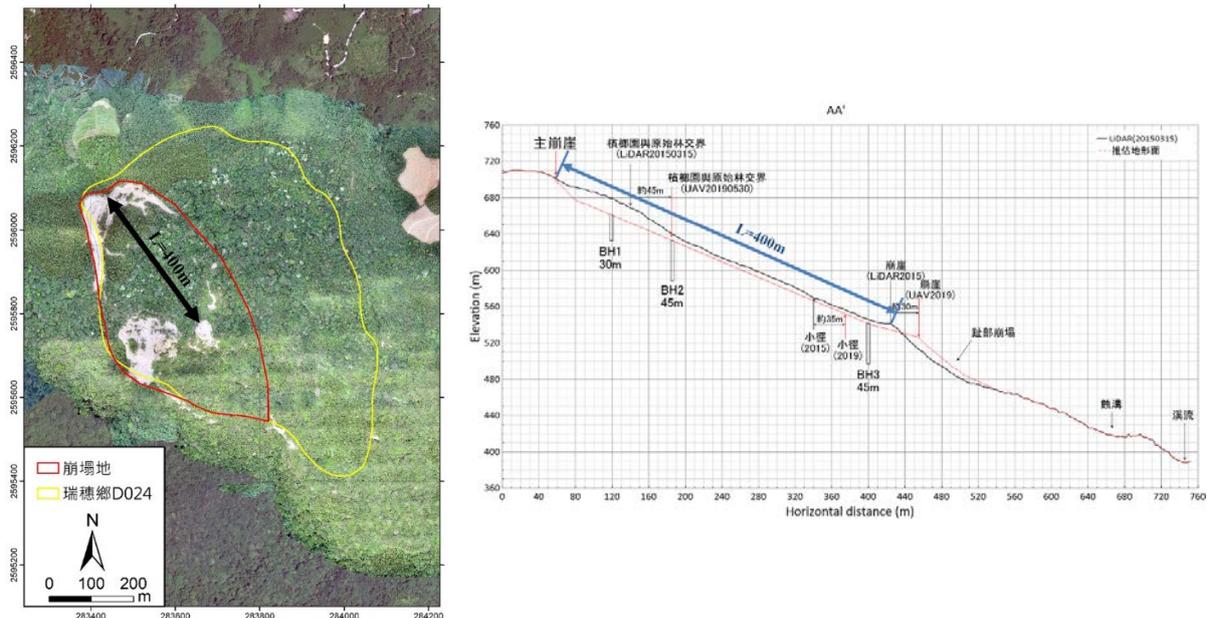


圖 8-27 應變之斜面長度

表 8-5 各級解除警戒值與發布警戒值標準

	解除警戒值 (mm/day)	發布警戒值 (mm/day)
強化整備	< 40	≥ 40
黃色警戒	≤ 115	≥ 140
紅色警戒	≤ 500	≥ 640

表 8-6 各級警戒值發佈、解除與應變方式

		警戒基準		應變方式
強化整備	發布	颱風豪雨期間	非颱風豪雨期間	1. 監測團隊啟動線上守視、分析資料。 2. 視需要，現勘評估崩塌及致災風險。 3. 呼籲警示農戶、道路使用者及附近居民，非必要時勿進入崩塌潛勢區 4. 召開權責分工研商會議
		當陸上颱風警報發布	監測值>注意值 (40 mm/day)	
黃色警戒	解除	3 日內監測值<注意值	監測值<注意值 (40 mm/day)	1. 持續各項強化整備。 2. 發布監測速報。 3. 管制進入崩塌地山下各道路入口，禁止民眾進入。
		有下列情形之一，經研判崩及致災風險高者。 (1) 監測值>警戒值(140 mm/day) (2) 大規模崩塌潛勢區已發生局部崩塌，且崩塌持續擴大	當監測值小於注意值(115 mm/day)	
紅色	發布	有下列情形之一，經研判崩及致災風險高者。		1. 持續各項黃色警戒。

警戒		(1) 監測值>警戒值(640 mm/day) (2) 大規模崩塌潛勢區已發生局部崩塌，並造成災害	2.發送區域性簡訊警示附近民眾勿進入崩塌地。
	解除	當監測值小於注意值(500 mm/day)，調降黃色警戒	

緊急連絡小組及 LINE 即時通訊群組，群組成員包含花蓮林管處、陽明交通大學、自來水公司第九管理處、花蓮縣政府、花蓮縣瑞穗鄉公所、花蓮縣瑞穗鄉公所舞鶴村辦公室等單位，由交通大學即時發布監測數據，達危險數值時警示。

4. 2021 年圓規颱風之位移速率分析

由於上述警戒管理值係參考以往文獻訂定，不一定能充份反應本場址之特性。2021 年 10 月之圓規颱風為近 6 年來本崩塌地經歷過之最大豪雨事件(累積降雨 1002 mm)，其雨量及造成之位移變化均被完整紀錄。因此，本計畫針對圓規颱風事件進行完整分析，期能由其累積雨量、位移速率、位移加速率間之關係，合理修正本崩塌地警戒管理值。

由 GPS 監測數據解算 2021 年 10 月 10 日至 2021 年 10 月 18 日平面速率及加速率，並與時雨量、累積雨量套疊繪如圖 8-28、圖 8-29 所示。圖中顯示自 10 月 11 日 1 時開始下雨。經 23 小時後，當累積雨量達 313 mm 時，加速率由零轉為正值，崩塌地位移速率開始增加；經 44 小時後，累積雨量達 593 mm，位移速率超越 40 mm/day (強化整備值)；經 50 小時後，累積雨量達 688 mm，位移速率超越 60 mm/day。後經 65 小時後，累積雨量達 875 mm，位移速率超越 140 mm/day (黃色警戒值)。經 85 小時後，累積雨量達 980 mm，位移速率超越 288 mm/day (杉井法加速起始值)。後雖下雨停止，然而位移速率仍持續增加，經 109 小時後，位移速率達到最大值 368 mm/day (累積雨量達 987mm)。之後經 112 小時後，加速率由正轉為負值，位移速率逐漸降低。經 191 小時後，位移速率降低至 140 mm/day，後經 502 小時後，位移速率降低至 40 mm/day，維持一穩

定速率。茲將上述時間、累積雨量、速率、加速率等變化，整理成表，如表 8-7 所示。

表 8-7 圓規颱風期間時間、累積雨量、有效累積雨量、速率、加速率變化

累積時間 (小時)	累積雨量 (mm)	有效累積雨量 (mm)	位移速率 (mm/day)	位移加速率 (mm/day/hr)
0	0	0	10	0
23	313	313	11	0
44	593	539	40	0.4
50	688	588	60	0.7
58	802	659	100	1.0
65	875	704	140	1.3
85	980	628	288	1.2
109	987	447	368	0.2
191	1003	144	140	-0.3
314	1003	7	60	-0.1
502	1003	2	40	-0.2

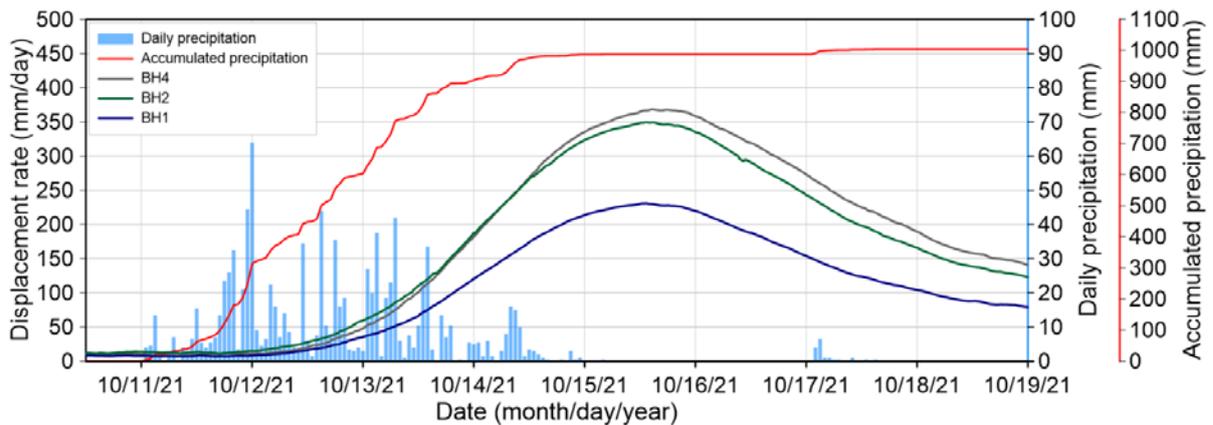


圖 8-28 圓規颱風 2021 年 10 月 10 日至 2021 年 10 月 18 日平面位移速率圖

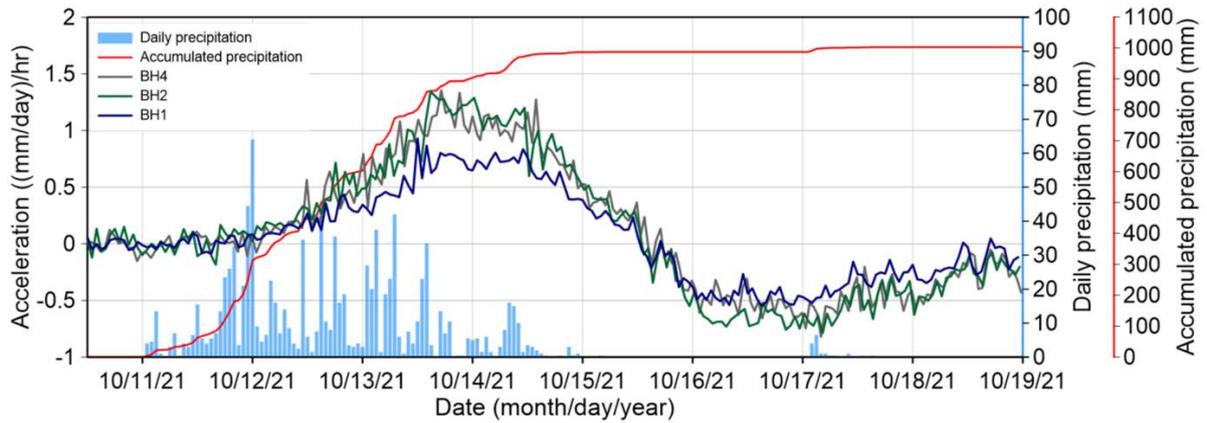


圖 8- 29 圓規颱風 2021 年 10 月 10 日至 2021 年 10 月 18 日平面加速率圖

配合 GNSS 地表位移監測結果繪製各站應變與應變速率之關係，如圖 8- 30 至圖 8- 32 所示。由圖中可發現 2021 年 10 月 13 日圓規颱風事件有兩個測站(BH2、BH4)進入加速點分布範圍(區域 B)，至 2021 年 10 月 16 日趨緩回到區域 C 中。

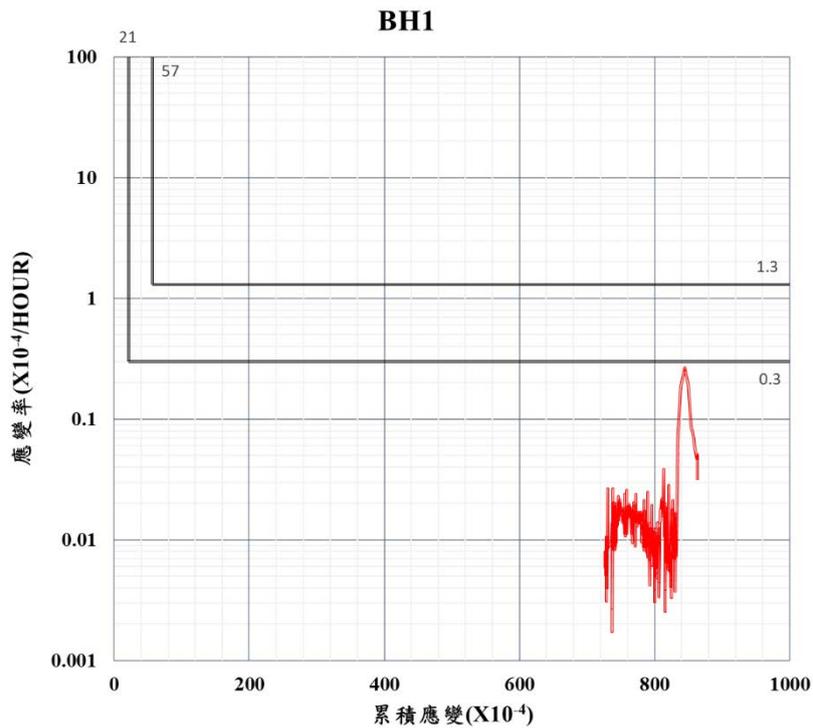


圖 8- 30 BH1 應變與應變速率之關係(自 2020/8/31 至 2021/10/24)

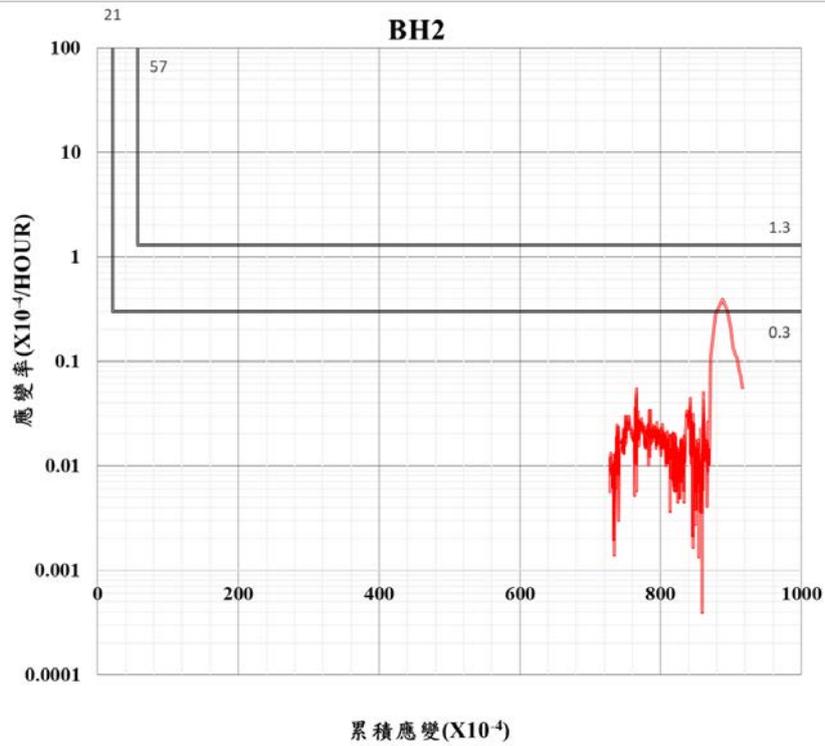


圖 8- 31 BH2 應變與應變速之關係(自 2020/8/31 至 2021/10/24)

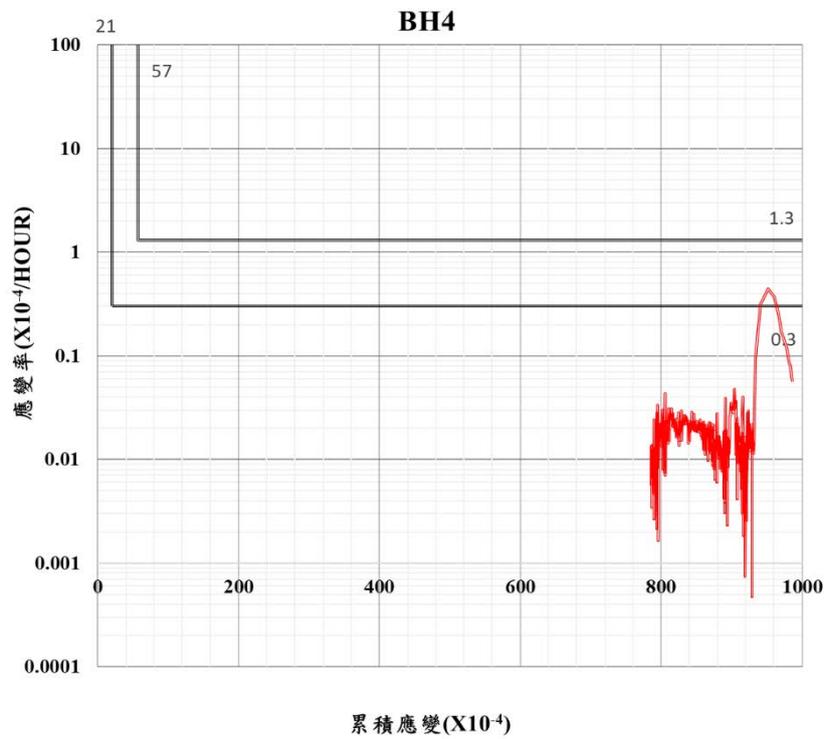


圖 8- 32 BH4 應變與應變速之關係(自 2020/8/31 至 2021/10/24)

5. 2021 年圓規颱風後建議修訂之警戒管理值

根據圓規颱風事件蒐集得完整之雨量與位移監測資料，對於本崩塌地之位移行為有更深入的了解，並得以修正原訂定之警戒管理值以符合本場址之特性。說明如下：

(1) 強化整備階段

根據表 8-7 圓規颱風期間時間、累積雨量、速率、加速率變化情形，可知本崩塌地經此次事件後，常時位移速率維持於 30 mm/day，已較以往明顯增加(10-20 mm/day)，建議調高強化整備管理值為 60 mm/day，以避免本崩塌地頻繁進入強化整備階段，使主管單位與當地居民長期處於警戒狀態，而應變疲乏。

另外，表中顯示當位移速率達為 60 mm/day 時，累積雨量為 688 mm，且速率將持續增加。建議當颱風或豪雨事件之預測累積雨量大於 650 mm，本崩塌地即進入強化整備階段。

(2) 黃色警戒階段

根據表 8-7 及圖 8-28 顯示，當本崩塌地位移速率達 100 mm/day 時，其加速率已達尖峰值，且呈等加速率現象，因此建議黃色警戒值調整為 100 mm/day。

(3) 紅色警戒階段

本崩塌地之紅色警戒值原訂為 640 mm/day，在圓規颱風事件中，最高位移速率為 368 mm/day，並未超越紅色警戒值。然而事件後現場調查顯示：本次颱風已造成本崩塌地大量位移，主崩崖及坡趾崩塌明顯擴大，應強制禁止民眾進入本場址。因此建議紅色警戒值應適當下修。進一步由杉井法(2017)分析結果(圖 8-32)，其加速起始之位移速率為 288 mm/day，距本次最高位移速率 368 mm/day，仍有 24 小時之反應時間。建議紅色警戒值調整為 280 mm/day。

綜上所述，強化整備、黃色警戒、紅色警戒之注意值與警戒值建議如下(如表 8-8 所示)。

- (1) 強化整備：強化整備之注意值位移速率 60 mm/day，或當颱風豪雨事件之預測累積雨量大於 650 mm。
- (2) 黃色警戒：黃色警戒值位移速率 100 mm/day，黃色警戒解除值位移速率 90 mm/day。
- (3) 紅色警戒：紅色警戒值位移速率 280 mm/day，紅色警戒解除值位移速率 270 mm/day。

依據上述注意值及警戒值，進一步擬定各級警戒值發佈、解除與應變方式如表 8-9 所示。其發佈依據為當 GPS 監測站同時有 2 站位移速率超過警戒值則發佈警戒。解除警戒依據為當(n-1)處 GPS 站低於警戒值時，則解除警戒(n 為正常運作 GPS 站總數目)。警戒值將視實際狀況、數據跳動情形，配合其他監測資料如影像進行滾動性調整。

表 8-8 各級解除警戒值與發布警戒值標準

	解除警戒值	發布警戒值	
	位移速率 (mm/day)	位移速率 (mm/day)	有效累積雨量(mm)
強化 整備	< 60	≥ 60	550(預測)
黃色 警戒	≤ 90	≥ 100	650(預測)
紅色 警戒	≤ 270	≥ 280	650(實際)

表 8-9 各級警戒值發佈、解除與應變方式

		警戒基準		應變方式
強化整備	發布	颶風豪雨期間 當預測有效累積雨量大於 550 mm	非颶風豪雨期間 監測值>注意值 (60 mm/day)	1. 監測團隊啟動線上守視、分析資料。 2. 視需要，現勘評估崩塌及致災風險。 3. 呼籲警示農戶、道路使用者及附近居民，非必要時勿進入崩塌潛勢區 4. 召開權責分工研商會議
	解除	6 小時平均時雨量小於 4mm	監測值<注意值 (60 mm/day)	
黃色警戒	發布	有下列情形之一，經研判崩及致災風險高者。 (1) 監測值>警戒值(100 mm/day) (2) 當預測有效累積雨量大於 650 mm (3) 大規模崩塌潛勢區已發生局部崩塌，且崩塌持續擴大		1. 發佈監測速報。 2. 管制進入崩塌地山下各道路入口，禁止民眾進入。
	解除	當監測值小於注意值(90 mm/day)，調降強化整備		持續各項強化整備。
紅色警戒	發布	有下列情形之一，經研判崩及致災風險高者。 (1) 監測值>警戒值(280 mm/day) (2) 當實際有效累積雨量大於 650 mm (3) 大規模崩塌潛勢區已發生局部崩塌，並造成災害		1. 發送區域性簡訊警示附近民眾勿進入崩塌地。
	解除	當監測值小於注意值(270 mm/day)，調降黃色警戒		持續各項黃色警戒。

緊急連絡小組及 LINE 即時通訊群組，群組成員包含花蓮林管處、陽明交通大學、自來水公司第九管理處、花蓮縣政府、花蓮縣瑞穗鄉公所、花蓮縣瑞穗鄉公所舞鶴村辦公室等單位，由陽明交通大學即時發布監測數據，達危險數值時警示。

(二) 減災管理策略

1. 設立警示牌示

依本計畫評估之影響範圍，於圖 8- 33 標示處，包含通往崩塌地產業道路處、下游影響範圍內產業道路等設立警示牌示，並通知林班地承租人。針對預估之崩塌影響範圍套疊國有林地、原住民保留地與地籍圖，如圖 8- 34、圖 8- 35。

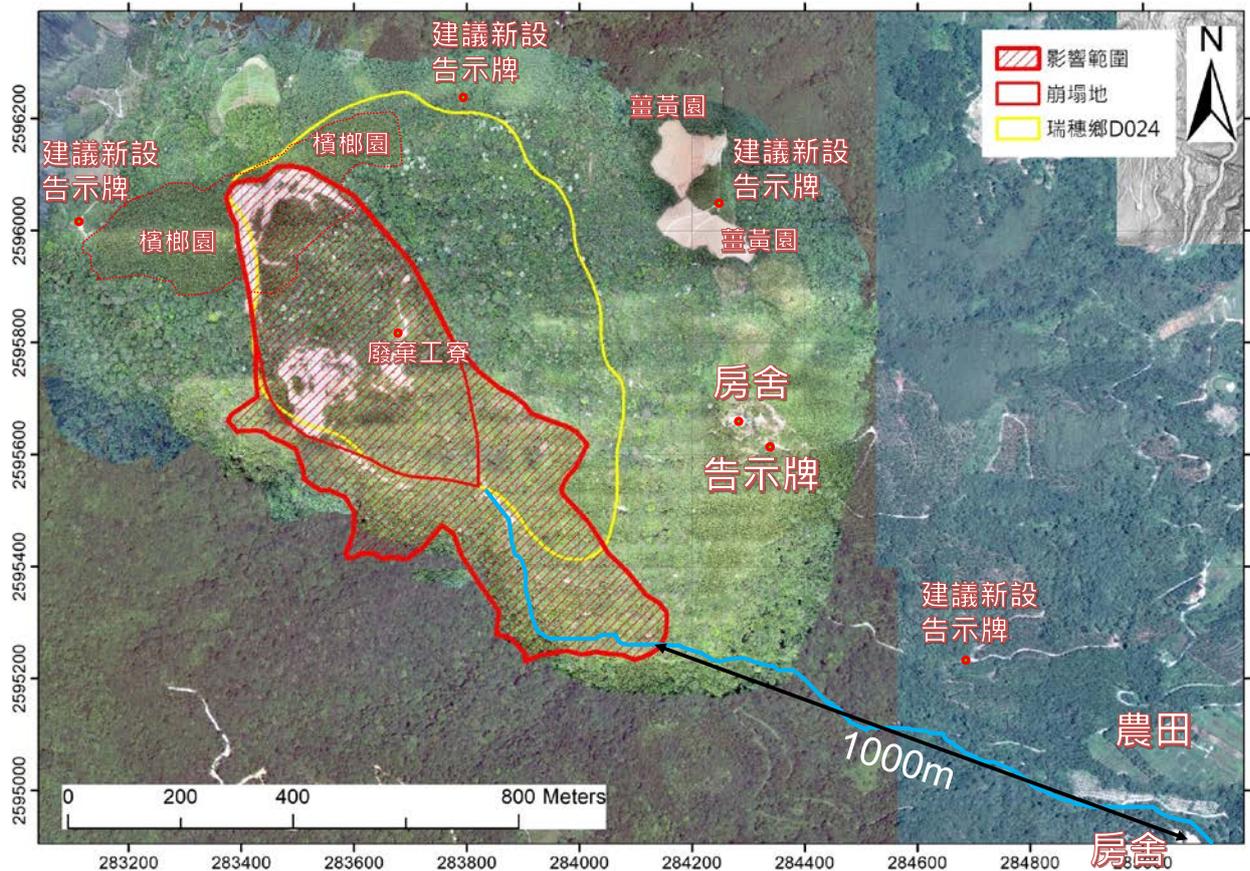


圖 8- 33 本崩塌地影響範圍及警示牌示位置

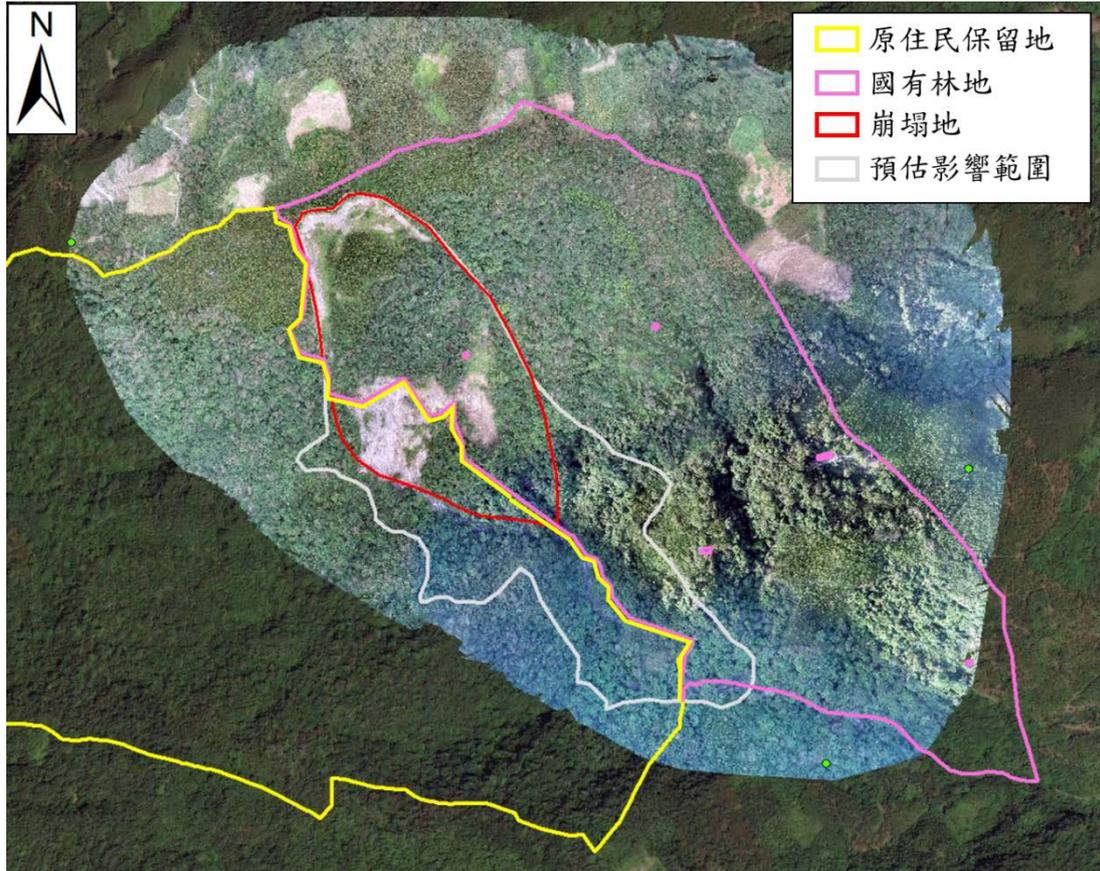


圖 8-34 預估崩塌影響範圍套疊國有林地與原住民保留地

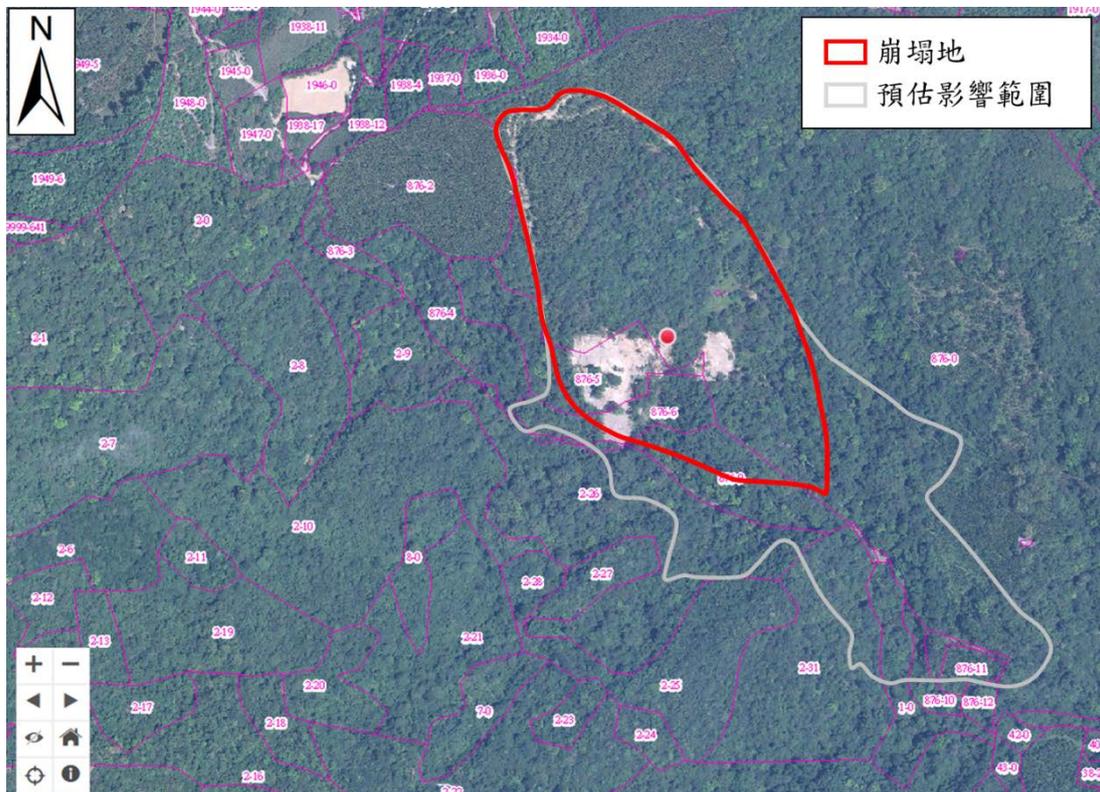


圖 8-35 預估崩塌影響範圍套疊地籍圖

2. 建立緊急聯絡網

2020年7月7日及7月27日開設兩次緊急說明會，會後建立緊急連絡小組及LINE即時通訊群組，群組成員包含花蓮林管處、陽明交通大學、自來水公司第九管理處、花蓮縣政府、花蓮縣瑞穗鄉公所、花蓮縣瑞穗鄉公所舞鶴村辦公室等單位，由陽明交通大學即時發布監測數據，達危險數值時警示。

以2021年10月13日之圓規颱風為例，由陽明交通大學每日布監測數據，其通報格式如下(圖8-36)：



圖 8-36 LINE 通訊群組之監測數據發布情形(以 2021 年 10 月圓規颱風為例)

當位移速率進入黃色警戒，每4小時發佈一次監測速報於通訊群組，如圖8-37所示，內容包括各GPS站位移速率變化及應變方式，如圖8-38所示。

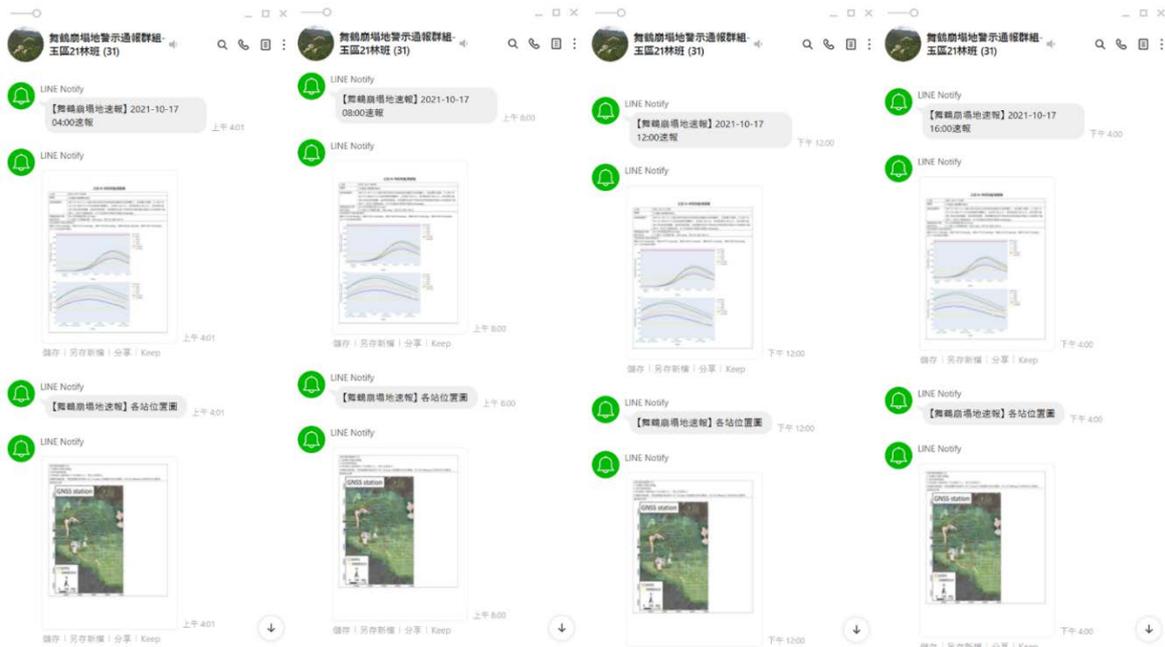


圖 8-37 LINE 通訊群組圓規颱風期間每 4 小時發佈一次監測數據(00:00、04:00、08:00、12:00、16:00、20:00)

玉里 21 林班地監測速報

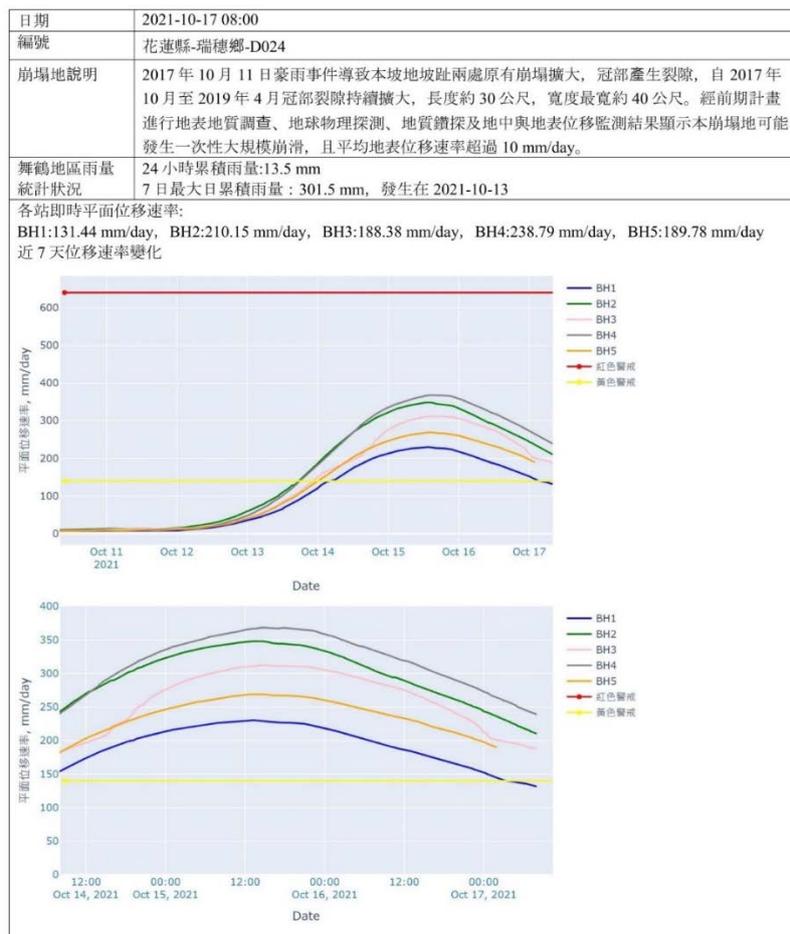


圖 8-38 玉里 21 林班地監測速報

(三) 減災治理策略

大規模深層崩塌的減災治理策略以地表、地下排水為主，當產生局部破壞或溪溝侵蝕等，則應考慮其致災性以及引致大規模崩塌可能性加以整治，如應用水土保持(地表地下排水、植生)、溪溝整治等方式。若使用構造物的工程手段(structural measures)，需經過詳細分析，否則一方面未必完全有效，還可能破壞生態。尤其本崩塌地量體大，位移速率高，且無重要保全對象，採用工程構造物(抗滑樁、擋土牆、地錨系統等)所需經費將十分龐大，不建議用於本崩塌地治理。針對本崩塌地之減災治理策略說明如下：

1、既有減災工程成效評估

因崩塌地現場施工不易，貴處於崩崖與滑體間(滑體頭部)以土包袋進行截、排水工程及冠部裂縫填補進行減災工程，並於 2020 年 6 月完工，如圖 8-39 及圖 8-40 所示。

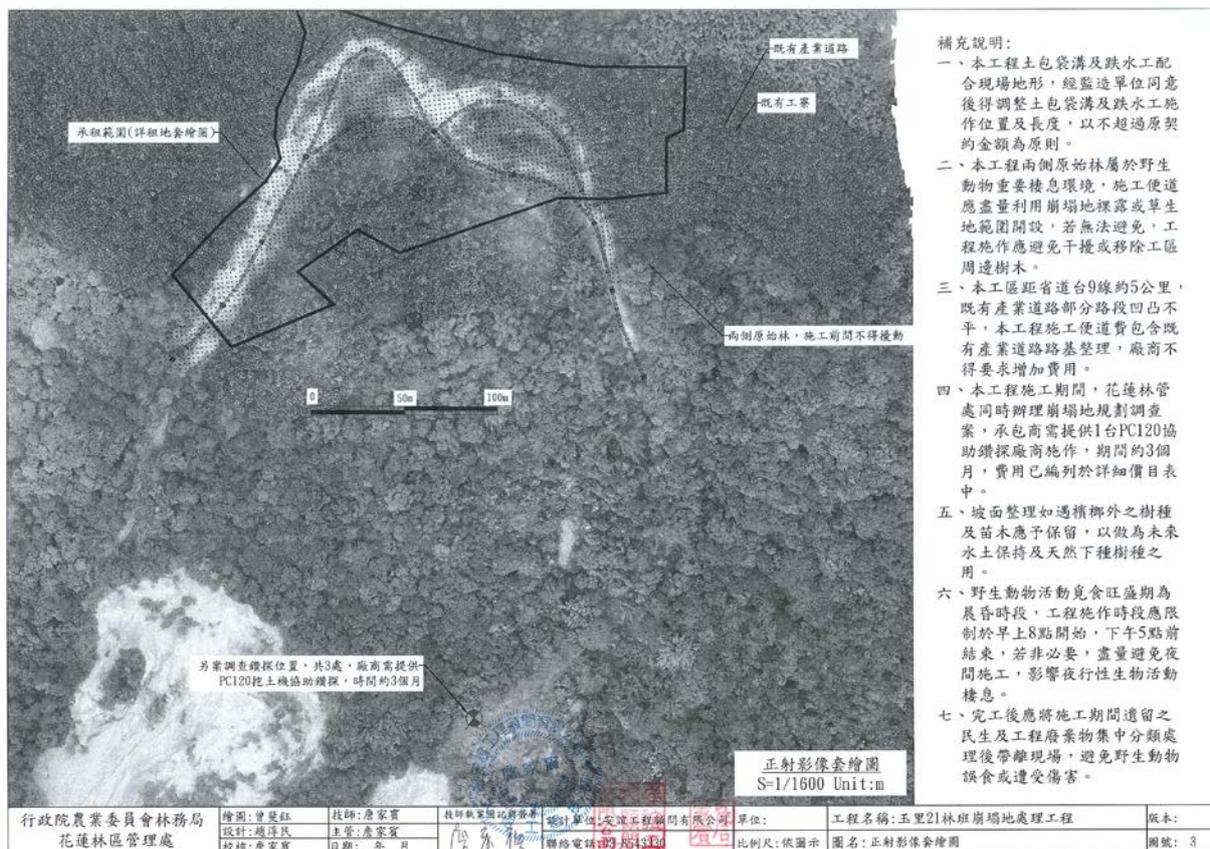


圖 8-39 既有減災工程佈置圖

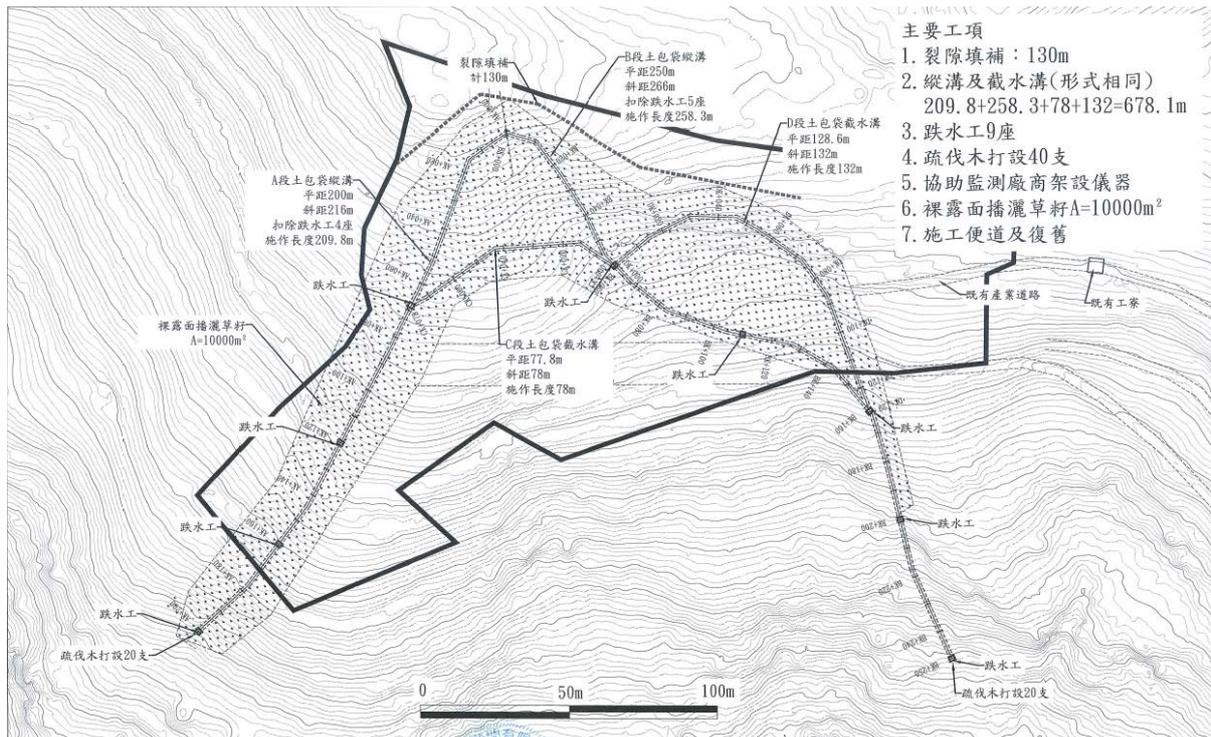


圖 8- 40 既有減災工程之工項及佈置圖

自減災工程完工迄今(2021 年 5 月底)，檢視冠部裂縫填補處，其成效良好，既有裂縫並未進一步延伸，亦未發現新生張力裂縫。對於滑體頭部之截排水工程，由現場可見排水溝上殘留有土砂，顯示地表逕流曾被排水溝攔截收集，發揮排水功能。然而由於 2021 年 10 月圓規颱風帶來大量豪雨，多數截排水工程遭土砂掩埋或斷裂，已失去其功能。

2、後續減災工程

根據水位計與地表位移觀測，當地下水位降低，位移速率趨緩。為避免雨水進入滑體，建議未來可修復地表排水系統，並於檳榔園部份建置截排水工程。另外，針對地下排水，建置排水井方面，由於目前滑體位移速率高，坡體裂隙密集，地下水位變動快，對於地下水脈之分佈情形尚未全盤瞭解，需再詳細調查與評估，方能進行地下排水相關工程。

3、坡體滑動後之處置

一旦本林班地發生滑動破壞，後續計畫將進行「災害緊急調查評估」工作項目。其災害緊急調查評估報告內容包括「速報」及「調查報告」二類。於崩塌災害發生後，應於3天內安排無人載具空拍時程；調查過後3天內提供花蓮林區管理處「崩塌地災害速報」，14天內提供花蓮林管處「崩塌地災害調查報告」。內容說明如下：

(1) 速報

於崩塌災害調查過後3天內，其內容至少需包含災損類型、災害時間、座標、災情描述、現況照片、保全對象、發生原因、地質、地形及水文等環境資料，以及颱風（豪雨）型態、降雨量、崩塌面積等初步分析。

(2) 調查報告

於崩塌地害調查過後14天內，其內容至少需包含災損類型、災害時間、座標、災情描述、現況照片、保全對象、發生原因、地質、地形及水文等環境資料，以及颱風（豪雨）型態、降雨量、崩塌面積等分析，並進行災況量化分析、擬定緊急處理對策及後續處理建議。

此外，當坡體產生滑動，其形成天然壩雖未有立即危險，但仍應適當清疏，以免長期阻礙河道。土方清運路線，將由貴處與專家學者現勘討論決定。

第玖章 結論與建議

一、結論

- 1、 針對玉區 21 林班崩塌地及所在之 D024 潛勢區，完成地形、地質、水文(降雨事件)、地震與土地利用資料蒐集與分析。針對降雨部份，本計畫蒐集立山雨量站 2005 年至 2021 年 10 月的每月累積雨量，並針對 2016 年至 2021 年本區域之颱風及豪雨事件，加以探討。對於地震事件，本區域自 2005 年 1 月至 2021 年 10 月震度達 4 級以上的地震事件共有 22 筆，紀錄中最大水平地動加速度為 2013 年 10 月 31 日的地震。
- 2、 完成 1980 年至 2021 年之航(遙)測分析，共有 8 期航空照片、10 期衛星影像、8 期無人機空拍影像。整合本計畫所蒐集崩塌地之雨量、地震、遙測資料等，進一步繪製雨量、地震與本坡地崩塌面積關係。可發現本坡地 2015 年之前並無明顯崩塌。2015 年 11 月後，崩塌開始產生。經 2016 年三場颱風事件，裸露面積增加至 9,807 m²。至 2017 年 10 月豪雨事件後，裸露面積明顯增加至 15,250 m²，2021 年 10 月圓規颱風事件，裸露面積明顯增加至 45,789 m²。
- 3、 本計畫利用航照與無人機空拍正射影像進行崩塌地位移分析，自 2015 年 7 月 31 日至 2021 年 10 月 15 日累積共 2268 日，累積位移量高達 34.33 m，近 2 年位移速率介於 0.0097 至 0.93 m/day。依據基本資料蒐集成果，進一步繪製雨量、地震與本坡地累積位移量關係。可發現 2015 年之前工寮並無位移。2015 年 11 月後，工寮位移開始發生。2017 年 10 月豪雨事件後，位移增加。2019 年白鹿颱風亦有較大累積位移，2021 年 10 月圓規颱風，位移急遽增加，位移仍持續增加，顯示本崩塌地極不穩定，未來可能發生一次性大規模崩滑。
- 4、 地表地質調查成果顯示，本計畫調查範圍內岩性皆以片岩為主，顯示調查區域內地層屬於玉里層紅葉段。由露頭量測片岩葉理與節理，根據位態分析結果顯示，葉理平均位態為傾向 118°與傾角 18°，與崩塌地滑移方向頗為一致，使岩體易順著葉理下滑而不利於邊坡穩定。高

角度節理組共有兩組，最優勢節理走向為 108° - 288° ，與左翼走向相近。第二優勢節理走向為 165° - 345° ，與右翼走向相近，互相略呈斜交，此兩組高角度節理皆有利於雨水入滲至岩層內部。

- 5、 整合折射震測剖面、地質鑽探與材料力學實驗結果，本崩塌地滑動體以破碎岩體為主，滑動面深度約 35m，其滑動面受葉理起伏影響，呈現不規則型滑動(Irregular slide)。研判本區未來可能發生的邊坡破壞機制為：(1)破碎岩體沿著滑動面一次性大規模崩滑；(2)邊坡趾部局部破壞並向上擴展。
- 6、 自 2020 年 6 月下旬位移監測系統建置以來，在 2020 年 7 月至 8 月初，地下水位較高(深度約 23m)，其位移速率達 14.7 mm/day，後由於地下水位明顯降低，復加上無明顯降雨，位移速率逐漸趨緩。2020 年 9 月至 2021 年 6 月，日平均位移速率約在 5-25 mm/day，2021 年 6 月至 7 月底，日平均位移速率約在 5-35 mm/day。2021 年 10 月圓規颱風來襲，自 10 月 12 日開始速率由 10 mm/day 增加至 368 mm/day，事件後速率趨緩，直至 11 月 2 日，速率低於 40 mm/day，方才解除強化整備階段。此次事件後，常時位移速率約為 30 mm/day。

二、建議

- 1、 本崩塌地極為活躍，未來仍需持續即時監測，以降低滑動災害對當地農戶及道路使用者之影響。
- 2、 2020 年 6 月完工之排水工程應依周期性或在汛期大豪雨前後實施檢查與維護，以確保坡面排水溝渠隨時保持暢通。
- 3、 本崩塌地極不穩定，本研究案已建置自動監測系統(GPS)本團隊建議持續維持自動監測，並增設 2 個監測站。
- 4、 本研究案 4 個鑽孔，目前僅 1 孔記錄地下水位變化若崩塌地後續評估須持續監測可考慮增加孔位監測地下水位，以釐清地下水影響。
- 5、 由於本崩塌地極為活躍，若擬進行整治，經費龐大，非正常經費編列所能負擔。建議將本案送請水土保持局納入大規模崩塌整治計畫考量。

參考文獻

1. ASTM International. (2011) Standard Guide for Using the Seismic Refraction Method for Subsurface Investigation. ASTM International.
2. Leprince, S., Barbot, S., Ayoub, F., and Avouac, J. P. (2007) Automatic and precise orthorectification, coregistration, and subpixel correlation of satellite images, application to ground deformation measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45(6), 1529-1558.
3. Lin, C. P. (2009) TDR as Geo-Nerve: A Slope Monitoring System Example. *Geotechnical News*, 27(1), 38.
4. Stone, H. S., Orchard, M. T., Chang, E. C., and Martucci, S. A. (2001) A fast direct Fourier-based algorithm for subpixel registration of images. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 39(10), 2235-2243.
5. 于宜強、林欣弘、李宗融、朱容練 (2017) 2017 年 1011 豪雨事件氣象分析，國家災害防救科技中心災害防救電子報，第 148 期。
6. 邱式鴻 (2014) 旋翼 UAV 影像製作千分之一都市區局部區域正射影像之探討，*國土測繪與空間資訊* 2.2, 147-169.
7. 林務局(2017)國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測第 1 期報末報告。
8. 林務局(2019)國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測第 2 期末報告(2/2)。
9. 經濟部中央地質調查所(1991)五萬分之一地質圖-玉里圖幅。
10. 經濟部中央地質調查所(2013)易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置圖冊。
11. 蘇元風、傅鑣漩、林又青、王俞婷、張志新、吳宜昭、李宗融、王安翔、龔楚嫻、于宜強、徐永衡、陳永明、劉致灝、葉家承、蘇文瑞、張子瑩 (2016) 2016 年尼伯特颱風災害報告，國家災害防救科技中心研究報告。
12. 蘇元風、傅鑣漩、林又青、王俞婷、施虹如、張志新、吳宜昭、李宗融、王安翔、于宜強 (2017) 2016 年莫蘭蒂與馬勒卡颱風災害報告，NCDR 105-T5，國家災害防救科技中心研究報告。
13. 劉政婷、李欣輯、黃亞雯、徐永衡、陳永明 (2019) 2019 年 0812 豪雨暨白鹿颱風農損勘災調查及未來應用，國家災害防救科技中心災害防救電子報，第 174 期。
14. 連惠邦 (2017)，「土砂災害與防治」，五南圖書出版股份有限公司。

附錄 1、審查意見及回覆

行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處 「玉區 21 林班崩塌地調查評估委託研究案」 期末報告書審查會議

一、時間：110 年 12 月 02 日（星期四）上午 10 時 00 分

二、地點：本處 3 樓會議室

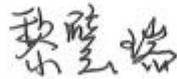
紀錄：鍾少強

三、出席人員：

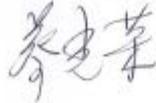
簽名處

王委員怡靖(另有妻公)

黎委員壁瑞(代理主持)

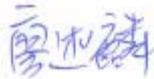


蔡委員光榮



謝委員杉舟 (請假)

廖委員述麟



原住民族委員會

行政院農業委員會水土保持局

行政院農業委員會林務局

行政院農業委員會水土保持局花蓮分局



花蓮縣政府

花蓮縣萬榮鄉公所

花蓮縣瑞穗鄉公所

花蓮縣卓溪鄉公所

台灣自來水股份有限公司第九區管理處

玉里營運所 翁承劭

本處玉里工作站

本處治山課

鍾少花

國立陽明交通大學

翁廷和

楊哲銘

傅金亮

蔡委員光榮	
委員意見	回覆內容
1.部分照片仍應以照片碼編列，不宜以圖號編列，建議修正。	謝謝委員意見，遵照辦理。
2.本案已進入期末報告，建請增列摘要。	謝謝委員意見，遵照辦理，於報告第3頁。
3.未來地下水位之監測列為重要建議，仍請交大仍宜將其列入地下水流向判定與滑動面關係，而列入下期計畫中一併執行。	謝謝委員意見，遵照辦理，將未來地下水位之監測列入報告建議。
4.邊坡穩定分析之土壤/岩石參數值(c,φ)建請以本案之土壤/岩石試驗所得之力學特性參數值作為分析依據。	謝謝委員意見，報告中內容將依意見進行修正。
5.P.6-2 圖 6-2 BH2 孔與 P.6-5 表 6-2 及 PPT 所列之表格內數據再做修正。	謝謝委員意見，報告中內容將依意見進行修正。如圖 6-2。
6.注意值/警戒值建請再慎思其與有效累積雨量之關係，作為判定其解除與警戒之依據。	謝謝委員意見，注意值/警戒值將與花蓮處後討論進行修正，如表 8-8，後續將送至局進行審查。
7.結論與建議建請交大交大再作檢討修正，能量化工程量部份，盡量予以敘明，以利後續治理經費之爭取。	謝謝委員意見，結論與建議內容將依意見進行修正。
8.建請將本案之建議事項，增列將本案送請水保局納入大規模崩塌整治計畫考量。	謝謝委員意見，納入本報告之建議事項。
黎委員璧瑞	
委員意見	回覆內容
1.CCTV 需介接水保局系統，瀏覽器請改以 https 加密模式進行串流介接。	謝謝主席意見，遵照辦理。
2.下一期計畫請交大團隊研擬避難疏散演練，並提供給各權責單位。	目前已著手蒐集資料，之後將與貴處討論後，規畫避難疏散演練方案。
3.請團隊針對預估之崩塌影響範圍套疊地籍圖，以利查明範圍內有哪些土地權屬單位或個人。	謝謝主席意見，遵照辦理，如圖 8-34、圖 8-35。
4.未來請提供本處於林管局說明警戒值之訂定標準。	謝謝主席意見，遵照辦理。

廖委員述麟	
委員意見	回覆內容
1. 根據契約須符合 FSC 標準，確認團隊都有參加保險，前往現地勘查前須提供風險說明，並辦理教育訓練，提供本處備查。	謝謝委員意見，遵照辦理，於附件 7。
2. 現地監測設備電力不足未來建議能改善。	目前正進行監測設備電力備援系統測試，待完成後，將於雨季前納入系統。

五、會議結論：

本案期末報告書審查會議審查通過，請受託單位國立陽明交通大學參照審查委員相關意見檢討修正，其審查意見回覆對照表請附錄於成果報告書內，並依契約規定於 110 年 12 月 10 前提送成果報告書(含電子檔)1 式 10 份。

六、散會（下午 12 時 00 分）

行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處
「玉區 21 林班崩塌地調查評估委託研究案」
第 3 次期中報告書審查會議(視訊會議)

一、時間：110 年 6 月 29 日 (星期二) 上午 9 時 30 分

二、地點：本處 3 樓會議室

紀錄：鍾少英

三、出席人員：_____ 簽名處

王委員怡靖 王怡靖 (主持人)

蔡委員光榮 (外聘委員)

謝委員杉舟 (外聘委員)

黎委員璧瑞 黎璧瑞 (內派委員)

廖委員述麟 廖述麟 (內派委員)

原住民族委員會

行政院農業委員會水土保持局 (請假)

行政院農業委員會水土保持局花蓮分局

花蓮縣政府

花蓮縣瑞穗鄉公所

台灣自來水股份有限公司第九區管理處

本處玉里工作站

國立交通大學



四、會議意見：

蔡委員光榮	
委員意見	回覆內容
1.本案期中報告內容相當詳實，資料蒐集分析也完整，足以肯定陽明交大團隊的努力調查分析成果，初步已具正面成效。	謝謝委員給予肯定。
2.雖然目前已可大部分確認該崩塌地滑歷史之滑動機制，惟尚有部分資料之關聯性分析，仍可再補充，尤其當地下水位常年分析均高於滑動面 (ppt.54-55)且滑動介於片岩與風化崩積層介面，趾部又有滲水且ppt.51 之地下水位維持在地表下 29-30m，惟每日滑動量卻逐漸上升，可見滑動層在含水飽和下之抗剪強度弱化引致滑動，不可忽視，連請陽明交大應慎思調整治理策略，並與花蓮林管處共商研議，必要時納入後續處理工作之依據或建議。	感謝委員建議，為了解地下水分佈與變化情形，本計畫於下邊坡新規畫兩鑽孔以進行水位監測。目前已發包，正由鑽探廠商施作中。
3.大規模崩塌區域與範圍已經由數值模擬，並參酌日本衫井學者 2017 之滑動塊體 應變與應變速率以及水保局大規模崩塌範圍劃設 (成大防災中心報告) 而劃定範圍及判定警戒值與注意值，連請翁教授團隊再與花蓮林管處研商其落實執行之可行性，必要時再做適度調整修正，以期發揮實際預警避難疏散策略。	2021 年 10 月之圓規颱風為近 6 年來本崩塌地經歷過之最大豪雨事件)，其雨量及造成之位移變化均被完整紀錄。因此，本計畫針對圓規颱風事件進行完整分析，期能由其累積雨量、位移速率、位移加速率間之關係，合理修正本崩塌地警戒管理值，此分析結果於第八章。
4.已劃設之大規模區域應納入土地權屬圖層，以期掌握不同權責管轄權，依法行使治理權責，並副知非屬林業主管機關，共同研議為宜。	謝謝委員建議，已依據土地權屬副知其主管機關，例如 10 月上旬豪雨事件利用 LINE (通訊軟體) 之群組，使即時監測資訊與建議可立即通知。
5.連請可考量將歷年颱風侵襲花東之路徑判定，做為預警值訂定參考依據。	謝謝委員建議，此蒐集結果如圖 2-15，並作為預警值訂定參考依據。
6.目前趾部局部擴大崩塌，亦將影響	由於量體過於巨大，故目前商議結果並不建議

整體崩塌區之穩定，亦應考量納入後續治理策略之研擬。	進行治理，以即時監測數據進行警戒通知。 崩崖處排水工程應依周期性或在汛期大豪雨前後實施檢查與維護，以確保坡面排水溝渠隨時保持暢通。
7.邊坡穩定分析可再考量最壞(地震+強降雨)與地下水位下降至滑動面狀況做分析。	謝謝委員建議，此分析結果於第八章。
謝委員杉舟	
委員意見	回覆內容
1.附錄1缺少第二次期中報告審查委員意見處理表。	謝謝委員提醒，已補上。
2.請補充摘要及執行進度檢核表，列表說明契約各工作項目之執行內容、百分比及撰寫章節頁碼，以利檢核計畫執行情形。	謝謝委員提醒，已補充。
3. P.2-1，地形資料請依水保技術規範第 21~26 條之規定進行地形調查與測繪，其中包括坡地、坡向及地形特徵等項目。	坡向圖與坡度圖如圖 2-3(a)與圖 2-3(b)所示。
4. P.2-5，地質資料應包括環境地質、區域地質及基地地質等相關調查資料，並說明岩層不連續面與坡面之關係	區域地質與地表地質圖(如圖 2-1、圖 2-6)，片理與節理調查結果已繪製於赤平投影圖(如圖 4-4)所示。
5. P. 2-6，水文調查資料請補充降雨強度推估、逕流量分析及集流時間等項目。	降雨強度、集流時間、雨量強度、集水區面積及逕流係數結果已在第八章第二小節呈現。
6.請補充地文資料，包括地下水之調查。	目前僅有 BH2 安裝水位計，但因位於滑動體頭部，具有許多裂縫與滑動位移大，水位計不易觀測變化。目前已規畫兩孔水位監測井並發包由鑽探廠商進行中。
7. P.2-12，土地權屬及利用情形請補充調查，請列表統計說明各利用類別之地目、面積及百分比。附錄 2 無法清楚顯示土地利用現況，例如現況地表種植檳榔或其他作物、造林、闊葉林等面積。	根據內政部國土測繪中心國土測繪圖資服務，計算出 D024 內，果園(常綠果樹、落葉果樹及檳榔)面積為 9 公頃。

8. P. 4-5, 岩盤之節理呈階梯狀, 與層狀構造如何區別?	階梯狀由緩傾角片理與高傾角節理相交所構成一階一階的形貌, 而層狀構造則是描述如橫向等向性之岩體, 如砂頁岩互層。
9. P. 6-3, 鑽孔深度依契約規定應達到新鮮岩盤至少 5M 以上, 但本計畫共鑽孔 4 處, 但深度均未達規定深度。	鑽孔深度依契約規定為”需深入新鮮岩盤 5 公尺以上或達研判為岩土界面處為原則”, 故非僅有達到新鮮岩盤 5m 以上之標準。鑽孔數目以 3 孔為原則, 本案已有 4 孔且皆通過滑動面。
10. P. 7-28, 地下水位監測孔位 BH2-WL 水位資料更新至 2020/11/2, 與圖 7-21 之曲線圖資料至 2021/5/31 兩者不符。	謝謝委員提醒, 已修正。
11. P. 3-6 依據本計畫調查資料分析結果說明地震事件對崩塌面積之影響較不明顯, 但大規模崩塌發生原因係由多種因子之綜合效應, 請具體說明如何量化評估各因子之相關性, 已利證明地震與本區崩塌無直接關係。	針對 2021 年 4 月 18 日所發生 2 次地震(芮氏規模 5.8 及 6.2), GPS 監測結果顯示當日的位移速率: BH1 為 11.9 mm/day, BH2 為 12.3 mm/day, BH4 為 12.6 mm/day, 與以往監測結果比較, 並未明顯增加。進一步分析 4 月 18 日 22 時至 24 時, 累積位移亦未有顯著提高。
12. P. 7-21, 依據孔位監測結果推斷崩塌土體為一致性不規則型滑動, 請具體說明滑動類型及深度, 並繪製滑動面曲線及方向。	由各孔鑽探岩心材料分層與監測數據顯示, 此片岩崩塌地滑動面略呈平面型, 但由於片岩為高度變質岩, 具有局部位態變化的片理分布, 故目前評估為不規則型滑動(Irregular slide), 如剖面圖 4-5 所示。
13. 依據本計畫研究成果可否預測一次性大規模崩塌之可能性, 包括預測基準、致災誘因、深度、影響範圍及土體量等。	如第八章第二節(天然壩潰決分析)所示。

黎委員璧瑞

委員意見	回覆內容
1. 請陽明交大團隊針對預估之崩塌影響範圍套疊地籍圖, 以利查明範圍內有哪些土地權屬單位或個人(利害關係人), 俾利日後通知。	謝謝委員建議, 遵照辦理(如圖 8-33)。
2. 本案委託契約履約工作期限至本年底為止, 但經研判本崩塌地仍有持續滑動之趨勢, 建議陽明交大團隊日後(明年)若需持續監測並研議如需要增加哪些監測設備或儀器來補強監測效能, 請在期末報告中建議相關儀器工	由於今年度 10 月上旬豪雨事件, 造成趾部崩塌範圍擴大且兩崩塌相連, 原 GNSS-BH4 站距離崩崖不到 2m, 故建議增設 GNSS 站二至三站, 作為備用站。

<p>作內容及預估經費，以利本處未來爭取相關經費持續辦理本監測案。</p>	
<p>3. 經過二~三年的時間後，本崩塌地冠部自發生位移後，由一道裂縫逐漸演變化一道落差達 3~6M 之崩塌坡面，請問團隊針對該冠部崩塌坡面有何因應措施可建議本處辦理相關防減災作為。</p>	<p>建議持續監測。 後續減災工程根據水位計與地表位移觀測，當地下水水位降低，位移速率趨緩。為避免雨水進入滑體，建議未來可擴增地表排水系統，於檳榔園部份建置截排水工程。另外，針對地下排水，建置排水井方面，由於目前滑體位移速率高，坡體裂隙密集，地下水水位變動快，對於地下水脈之分佈情形尚未全盤瞭解，需再詳細調查與評估。</p>
<p>廖委員述麟</p>	
<p>委員意見</p>	<p>回覆內容</p>
<p>1. 報告書內日期有的用西元，有的用民國，有的沒有加年分，建議統一表示，以方便閱讀。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>2. 第 9 章、第 3 節堰塞湖情境模擬，裡面對堰塞湖壩長、壩寬的定義，剛好跟林務局「國有林地堰塞湖應變標準作業程序」的定義相反，但公式應該是正確的。需不需要加註說明。</p>	<p>堰塞湖壩體危險度評估擬採用無因次阻塞指標及邏輯斯迴歸模式，其定義壩寬為沿著河道的長度、壩長為跨越河道的長度。</p>
<p>3. 強化整備：颱風豪雨期間的發布，是否考慮增加「發布大豪雨」或是「超大豪雨」的狀況。非颱風豪雨期間的發布及解除都是 40mm，若移動的速率剛好在 40mm 上跳動，會不會造成一下發布、一下解除的狀況。</p>	<p>謝謝委員建議，已將雨量納入強化整備管理值中。當颱風豪雨事件之預測累積雨量大於 650 mm，即進入強化整備階段。 關於強化整備階段之發布及解除，其值雖然均採 40mm。但發佈依據為當 GPS 監測站同時有 2 站位移速率超過警戒值則發佈警戒。解除警戒依據為當(n-1)處 GPS 站低於警戒值時，則解除警戒(n 為正常運作 GPS 站總數目)，應不會頻繁發佈與解除之情形。</p>
<p>4. 黃色警戒：發布的部分，若已經到了「大規模崩塌潛勢區已發生局部崩塌」的情況，應該是很嚴重了，是否還是只有黃色警戒。解除的部分，是否增加「調降為強化整備」。</p>	<p>謝謝委員建議，(1)如有局部崩塌事實發生則應上升至紅色警戒，(2)遵照辦理。</p>
<p>5. 表 9-6，3 個階段的「應變方式」，建議將「發布」及「解除」的應變內容分開填寫。並詳細列出相關單位應</p>	<p>謝謝委員建議，遵照辦理</p>

注意或配合辦理的工作。	
-------------	--

行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處
「玉區 21 林班崩塌地調查評估委託研究案」
第 2 次期中報告書審查會議

一、時間：109 年 12 月 11 日（星期五）下午 1 時 10 分

二、地點：本處 3 樓會議室

紀錄：鍾少堯

三、出席人員：

簽名處

王委員怡靖

王怡靖

(主持人)

蔡委員光榮 (請假)

(外聘委員)

謝委員杉舟

謝杉舟

(外聘委員)

廖委員述麟

(內派委員)

原住民族委員會

行政院農業委員會水土保持局

行政院農業委員會水土保持局花蓮分局

王瑞豪 陳子裕 楊宏

花蓮縣政府

花蓮縣瑞穗鄉公所

台灣自來水股份有限公司第九區管理處

葉清路 巫怡穎

本處玉里工作站

周源樹

邱永通

國立交通大學

翁孟若
楊哲銘
魏殷堯

四、會議意見：

蔡委員光榮	
委員意見	回覆內容
1. 本案交通大學防災中心團隊所提第二次期中報告內容再調查分析與成果彙整詳實，足見其對本案之用心與努力完成相關本期中報告之應提報調查分析與監測結果探討，確實具備參考應用價值。	感謝委員肯定。
2. 本案乃屬崩塌地治理之實務性工作，非為一般學術研究報告，因此建議交大防災中心團隊，應增列一專章針對調查分析與現地監測結果綜整後於本案文中能撰述其致災原因之分析探討，因為有實質致災主次要誘因與機制之詳細分析或初步分析探討，方可擬定較為務實具體可行之初步治理對策，尤其本案已經作部分治理工程之緊急處理，若能一併納入檢討並依調查監測分析成果，應可提出初步治理對策。	(1)感謝委員意見，已增列第玖章專章說明。 (2)依據地質調查、航(遙)測分析、折射震測、地質鑽探及崩塌地監測等數據結果，分析探討災害類型及崩塌地之穩定性。根據調查結果，本區未來可能發生的邊坡破壞機制為：(1)破碎岩體沿著滑動面下滑，以及(2)下邊坡趾部破壞向上擴展。本計畫考慮上述情境進行邊坡穩定分析、堰塞湖情境模擬。考量本案崩塌地之潛在危害度與保全必要性，據以提出管、治理對策與建議。
3. 第九章之目前調查分析成果應提前在第八章治理對策與建議之前，因為有了具體實質發現之調查分析與現地監測成果，方能檢討其崩塌制災主次要誘因與誘發機制，再依據一致災機制與誘因，提出初步之管(治)理對策，並能具體提供林管處作為後續短期(含緊急處理)與中長期之治理策略，甚至未來應再補強接續調查監測作為，同時亦可先擬定初期治理工程與非工程處理所需之預算。	謝謝委員建議，章節順序已進行調整。
4. 第九章應將所有調查監測與成(結)果分析作初步綜合整理判讀與評估分析後提出較具體之成果，如滑動體分布、崩滑主軸方向(東南)，潛在滑動面位置(含深度、厚度、岩性)之推估，地表地質震測結果與監測儀器所得結果	謝謝委員寶貴意見，由於監測期間氣候異常乾旱，雨量較往年偏低，滑動位移速率亦隨之降低，故難以建立降雨、水位、位移速率之關係。本年度將持續蒐集雨量資料，期能以本年度資料釐清其關係。 本計畫根據 2020 年 7 月迄今之監測數據，

<p>之判讀而據以提出其初步行動警戒值與預警值，如最大連續降雨量(含1日、2日、3日)，時雨量(降雨強度/延時)與相對應之崩滑位移量，俾期據以作為管(治)理策略之初步研擬，目前雖有以30mm/day崩滑變位量及最大24小時連續降雨量600mm為警戒值，建請宜慎思其如何依本案調查監測結果綜整分析求得，否則恐易受質疑。</p>	<p>採用杉井法(2017)，制定管理注意值及警戒值。此法係由臨界應變速率，求得坡體破壞臨界位移量，分別訂定三階段：紅色警戒值640mm/day、黃色警戒值140mm/day、強化整備值40mm/day。其發佈依據為當3個GPS監測站，同時有2站位移速率超過警戒值則發布警戒。</p> <p>另本年度4月18日於壽豐發生強烈地震(水璉震度6弱、瑞穗震度4級)，針對此地震事件詳細檢查地表監測位移，地表位移速率約在12mm/day，位移並未明顯增加。(於第七章第四節)</p>
<p>5. 部分照片(如P.7-7~7-16等)應以照片編碼，不宜以圖名編撰。</p>	<p>謝謝委員建議，已依據意見修正。</p>
<p>6. 相關分析結果(含圖層)應作相互比對分析驗證，並儘量以量化數據作為具體關鍵說明，畢竟花蓮林管處所需要據以應用於治理對策研擬，不是理論分析推導，而是實務操作之量化評估分析數據與潛在危險等級之判定而作為初步緊急處理或管理策略研擬之依據。</p>	<p>謝謝委員建議。本計畫採用杉井(2017)，分別訂定三階段：紅色警戒、黃色警戒、強化整備之注意值與警戒值。依據上述注意值及警戒值，進一步擬定各級警戒值發佈、解除與應變方式，詳如第九章第四節所示。</p>
<p>謝委員杉舟</p>	
<p style="text-align: center;">委員意見</p>	<p style="text-align: center;">回覆內容</p>
<p>1. 執行團隊已依契約規定完成第2次期中報告工作內容之資料蒐集、地質調查及設置崩塌地監測設備。</p>	<p>謝謝委員肯定。</p>
<p>2. P.2-5 地質調查資料宜區分為環境地質、區域地質及基地地質分類說明。</p>	<p>謝謝委員建議，環境地質與區域地質於資料介紹章節陳述，基地地質(崩塌地)則以地質調查資料展示說明為主要內容。</p>
<p>3. 大規模崩塌致災原因包括地下水位、地形、地質、地震、降雨量、植被及人為開發行為，如何量化評估各因子之相關性。</p>	<p>本計畫為特定場址之調查監測，故針對玉區21林班崩塌地包含上述各因子之資料蒐集與分析探討。地形與地質已經完成詳細調查。近期雨量較往年偏低，本年度將持續蒐集雨量資料。自2005年1月持續蒐集震度達4級以上的地震事件，2021年4月18日於壽豐發生強烈地震(水璉震度6弱、瑞穗震度4級)，針對此地震事件詳細檢查地表監測位移，地</p>

	<p>表位移速率約在 12 mm/day，位移並未明顯增加。地下水位目前持續維持於地下 29.5m，由於處坡體位移造成裂隙連通，因此水位無法蓄積抬升。</p> <p>關於地下水位及地震對於邊坡穩定之影響，已於第九章進行分析。雨量之影響，仍需蒐集更多監測資料，以釐清其影響。</p>
4. P. 2-13, 地震資料請將 109.12.10 有感地震之相關資料納入追蹤評估。	謝謝委員建議，已納入資料。
5. P. 3-24 及 P. 3-25 兩次空拍正射影像成果地表有明顯位移差異，請補充說明產生之原因。	分別為 2020 年 3 月 24 日和 2020 年 5 月 4 日之正射影像，主要地表裸露面積增加是因為排水工程施工與施工便道所致，此外，滑動體持續下滑也是造成視覺上些微影響。
6. P. 6-14, 依據 BH3-TDR 剪斷纜線深度位於 35.79~36.87m，推估滑動深度約 35m，是否可確認為滑動深層介面屬於平面型或圓弧形?	由各孔鑽探岩心材料分層與監測數據顯示，此片岩崩塌地滑動面略呈平面型，但由於片岩為高度變質岩，具有局部位態變化的片理分布，故目前評估為不規則型滑動(Irregular slide)
7. P. 6-9, 表 6-1 之內容無監測設備埋設日期。	TDR 地中監測設備，BH1 於 5/22 安裝 5/29 剪斷，BH2 於 6/18 安裝 6/22 剪斷，BH4 於 7/2 安裝 7/15 剪斷，BH4A 於 7/9 安裝 8/3 剪斷。
8. 如何應用監測資料正確推估或預測一次性崩塌之可能性，及影響之範圍，以利林區管理處研擬緊急處理之管理或治理對策。	本計畫採用杉井(2017)所建立之應變與應變速率評估法，搭配 GPS 即時監測系統，訂定警戒位移管理值。透過臨界應變速率，求得坡體破壞臨界位移量，分別訂定三階段：紅色警戒、黃色警戒、強化整備之注意值與警戒值，各級警戒對應不同應變措施。其發佈依據為當 3 個 GPS 監測站，同時有 2 站位移速率超過警戒值則發布警戒(詳於第九章第四節)。
9. 本報告書統計資料之年度，請統一用西元或民國。	遵照辦理。

行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處
「玉區 21 林班崩塌地調查評估委託研究案」
第 1 次期中報告書審查（再審）會議

一、時間：109 年 9 月 2 日（星期三）下午 1 時 30 分

二、地點：本處 3 樓會議室

紀錄：鍾少強

三、出席人員：

簽名處

楊委員瑞芬	楊瑞芬	(主持人)
蔡委員光榮	蔡光榮	(外聘委員)
謝委員杉舟	謝杉舟	(外聘委員)
王委員晚明(請假)		(內派委員)
廖委員述麟	廖述麟	(內派委員)
原住民族委員會		
行政院農業委員會水土保持局		
行政院農業委員會林務局		
行政院農業委員會水土保持局花蓮分局	陳子裕、陳水龍	
花蓮縣政府	張伯璋	
花蓮縣瑞穗鄉公所		
台灣自來水股份有限公司第九區管理處	巫怡穎	
本處玉里工作站	周清樹	
國立交通大學	翁廷嘉 楊哲銘 魏啟哲 蕭汝明	

四、會議意見：

蔡委員光榮	
委員意見	回覆內容
1. 目前在 2020 年已有幾場豪降雨發生，建議交大可再納入，其近幾場豪降雨是否對本崩塌(地滑)區有無實質影響，尤其位移量及滑動面深度有無深化之分析。	針對 2015 年至 2020 年之期間，並標示出近年颱風豪雨事件前後遙測分析之累積位移結果，其中由 2017 年 1011 豪雨事件後呈現大量位移最為顯著，豪雨前後影像可辨識出 17.44m 之位移量，2019 年白鹿颱風前後影像亦有 6.24m 的位移量。然而，今年計畫開始執行後，透過空拍蒐集較密集且高精度的正射影像，近期開始進行地下地表即時監測工作，發現於乾季時滑動體仍持續位移，且監測期間降雨量少，仍無法歸納降雨對位移變化之影響。此外，由蒐集強地動站歷史地震結果與監測地表即時位移量亦無法獲得兩者之關聯性。
2. 圖 3-3 與圖 3-12(P.31 與 45) 及表 3-3 之資料分析檢討，以掌握其精確滑移機制及未來治理方向。	謝謝委員，圖 3-3、圖 3-12 與表 3-3 已修改。
3. P.16 圖 16 與 P.15 之打馬燕構造地塊既然不是構成本崩塌區滑移崩落之原因，建請修正。	謝謝委員建議，根據調查結果，本崩塌區岩性皆為片岩，查詢出版之區域地質圖應屬紅葉片岩，故更新地質圖為調查結果。
4. P.23 圖 2-14 顯示土地利用均非屬林班地，建請交大再作修正。	林班地與調查範圍之關係進行套疊繪製於圖 2-14b。
5. 目前說明滑動面深度、位置及滑動軸方向(東南向為主)，建請交大團隊再作深入之分析與解釋，於第六章提出初步成果與建議，以為未來林管處可作為緊急措施研擬及規劃設計之依據。	謝謝委員建議，遵照辦理。
6. 未來預警值之建立，建請交大團隊能就不同特殊降雨事件分析或地震外力影響之考量，而確認應以何者為建立預警值之基準。	謝謝委員建議，遵照辦理。
謝委員杉舟	
委員意見	回覆內容
1. P.9，地形資料分析，僅以 2015 年光達	由於光達數值地形僅有一期(2015 年)，

<p>數值地形繪製，建議彙整 2016 至 2020 年各次歷史災害之地形變化，以利檢視災害規模之範圍及推估崩塌土體數量。</p>	<p>2019 與 2020 新增之數值地表模型，大部分範圍皆為樹木，故進行地形變化分析將受到樹木變化影響，而無法表現地面高程變化，目前以空拍與現地調查確認滑動體範圍，並以鑽探與監測結果估算滑動體之土方量。</p>
<p>2. P.23，土地權屬與土地利用情形請列表說明各類之統計資料，並修正土地利用圖。</p>	<p>調查範圍土地利用情形圖資來源為國土測繪圖資服務雲網站系統 (https://maps.nlsc.gov.tw/)，林班地與調查範圍之關係進行套疊繪製於圖 2-14b。</p>
<p>3. P.24，歷年地震統計資料建議分析對邊坡崩塌是否有關聯性？</p>	<p>2.5 節說明目前蒐集之地震事件(震度大於 3 級)，並利用圖 3-3、圖 3-12 與表 3-3 說明其關聯性，然而，目前資料並未顯示歷年地震與崩塌行為有直接關係。</p>
<p>4. 航拍依契約規定至少 3 次，但已於 3 至 5 月間完成 2 次期間很短且均在旱季，建議應再增加災害事件之航拍次數。</p>	<p>空拍次數將依據雨量和震度而新增，新增條件為於舞鶴國小強地動站測得震度 5 弱以上或大豪雨事件(24 小時累積雨量 350 mm)後則增加，此外若有新增崩塌亦增加空拍次數。</p>
<p>5. P.31，依據歷史災害與現況調查綜合結論大規模滑動主要為 2016 至 2017 颱風與豪雨所導致，是否可具體說明。</p>	<p>圖 3-3 與圖 3-12 中標示出資料蒐集之颱風與豪雨事件，並利用航測分析結果，顯示： 2015/07/31 航照於崩崖和趾部皆無特徵， 2015/11/28 衛星影像辨識左側趾部崩塌， 經過 2016/7 尼伯特颱風、2016/9 莫蘭蒂、 2016/10 艾利颱風侵襲之後， 2017/06/25 衛星影像可見崩崖裂縫軌跡出現以及趾部兩處崩塌出現， 2017/08/12-2018/04/10 之間僅有 2017 年 1011 豪雨事件， 2018/04/10 衛星影像辨識崩崖面擴大以及趾部兩處崩塌擴大。</p>
<p>6. 大規模崩塌致災因子有多種，請具體說明如何量化評估各因子之相關性。</p>	<p>由鄰近雨量站之累積降雨量和鄰近強地動站之尖峰地動加速度獲得量化數據，並配合即時地表監測數據評估雨量和地震力對崩塌穩定性之影響。</p>
<p>廖委員述麟</p>	

委員意見	回覆內容
1. 本案於7月份有召開2次緊急說明會議，會中有討論崩塌地的變化情形，也擬定了後續的應變對策，建議將相關資料放到報告書附錄作為參考。	遵照辦理。
2. 目前已安裝GPS來監測地表位移的資料，先前依鑽探資料所訂定的警戒值，是否有檢討的需要。	謝謝委員建議，將依據GPS地表監測數據修訂警戒值。
楊委員瑞芬	
委員意見	回覆內容
1. 針對重要圖表，建議增加成果評析。並彙整於第六章初步成果說明，以利本處了解現況。	遵照辦理。
2. 目前已完成設立告示牌提醒民眾可能的災害影響範圍。是否能建議短期處置方案，以較保守的評估值，避免民眾進入影響範圍區？	將依據監測數據訂定警戒值後，與貴處討論相關事宜。
3. 針對監測，目前能否提供警戒門檻值？例如滑移速率和雨量值，以供撤離對策時參考。	將依據GPS地表監測數據與鄰近雨量站之累積降雨量和鄰近強地動站之尖峰地動加速度進行警戒值之研討與訂定。
4. 是否能利用裂縫填補或其他降低活動性之工程手段？	減災工程以於冠部進行裂縫填補，之後持續於現地調查時觀察裂縫填補變化情形。
5. 依據委員意見修改後送至本處，請各委員授權本處代為審查。	遵照辦理。

行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處
 「玉區 21 林班崩塌地調查評估委託研究案」
 期初工作執行計畫書審查會議

一、時間：109 年 5 月 5 日（星期二）下午 1 時 10 分

二、地點：本處 3 樓會議室

紀錄：鍾少英

三、出席人員： _____ 簽名處 _____ 職業 _____

楊委員瑞芬

黃碧雲

(主持人)

(另有要公，由黃秘書碧雲代理主持會議)

王委員怡靖(另有要公)

(內派委員)

蔡委員光榮

蔡光榮

(外聘委員)

謝委員杉舟

謝杉舟

(外聘委員)

王委員晚明

王晚明

(內派委員)

廖委員述麟(請假)

(內派委員)

原住民族委員會

行政院農業委員會水土保持局花蓮分局 陳子裕

花蓮縣政府

蔡樹芳

花蓮縣瑞穗鄉公所

台灣自來水股份有限公司第九區管理處 區收報 葉清雲

本處玉里工作站

柳序通

國立交通大學

翁廷若 羅鈞明 魏聰 程子

四、會議意見：

蔡委員光榮	
委員意見	回覆內容
1. 報告撰寫中之圖表、照片編碼，請依其圖層/照片/表格屬性分別編列，不宜將圖層編列成表（如 P.11 之表 2-2，實為衛星影像圖，非為表）；P.20 為照片不宜以圖層屬性排列（如圖 2-11~13 及圖 23~26 實為照片），並將照片之拍攝日期一併填入。	謝謝委員建議，遵照辦理。
2. P.6，治理對策在工作執行流程圖中擬定時，建請宜與花蓮處協商後再研提後續建議，以利其未來業務之推廣與爭取治理預算之依據。	謝謝委員建議，新增至圖 1-2 工作執行流程圖。
3. 崩塌地監測對每監測孔於執行期間至少 10 次，建議考量在地震發生後或是極端降雨後宜再行監測，以利比對不同致災事件發生後之檢討分析（P.2）。	已於工作執行計畫書說明，依委員建議安排監測。
4. P.5 之研究案說明，不知所述為何，與本計畫之關聯性有何關係？均未能由其說明深知，建請再補敘。	僅為說明執行期程，為免造成混淆，已刪除。
5. P.15~16，表 2-4 盡量不要分割，若無法在同一頁則應以表：XX（續），表示其表格之接續性。	謝謝委員建議，已刪除。
6. 表 2-4 之表達意涵與表各說明航空照片無關，僅為拍攝日期之說明，建請考量作增刪。	謝謝委員建議，已刪除。
7. 相關水壓計、傾斜管、TDR 等觀測資料（訊）之即時性與定期性傳輸給花蓮林管處必要性，建請交大再與林管處研商為案，此因應外界相關單位所提出之意見而得以釋疑。	謝謝委員建議，遵照辦理，將與花蓮林管處商討即時性與定期性資料傳輸方式與頻率。
謝委員杉舟	
委員意見	回覆內容
1. P.1，計畫緣起請補充執行本計畫之必要性及保全對象。	謝謝委員建議，已補充相關內容。
2. 計畫區之基本資料蒐集請增加地震	於第二章第五節說明地震資料，另由空拍判

資料及生態調查項目包括動、植物等，以利後續執行治理工程之生態檢核參考。	釋植生變化。
3. 林管處於 106 年發生崩塌事件後曾辦理減災工程，亦請併納入檢討工程效益。	謝謝委員建議，遵照辦理。安排透過空拍評估工程效益。
4. 崩塌發生原因屬天然災害或人為土地利用造成坡面滑動，如何評估。	崩塌發生原因屬天然災害或人為土地利用造成坡面滑動，不易釐清。本計畫後續執行將以探討本崩塌地未來穩定性及影響範圍為主。
5. 報告書之統計年度西元或民國，請統一或加註。	遵照辦理。
6. P.10，圖 2-5 之圖例「一般道路」與圖形元件不符。	於附錄二補充資料。
7. P.17，地表地質調查以道路沿線邊坡或蝕溝沿線為主，請補充說明調查路線。	謝謝委員建議，由圖 4-1 展示。
8. 請補充現地調查之相關表格。	補充於附錄四。
9. P.37~P.38，請補充工作進度之各工作項目進度百分比。	已補充於表 1-2。
10. 請補充集水區分析及地形測量資料。	謝謝委員建議，已補充地形資料及集水區分析於圖 2-1 及 2-2。
11. P.31，崩塌地管理、治理對策，請提出近、中、長期之方案與相關預算。	謝謝委員建議。針對崩塌地管理、治理對策，將提出近、中、長期之方案。
12. 建議補充，在地表豎立部分觀測樁，以快速瞭解地滑之速度與方向。	將於計畫區內豎立 5 處觀測樁，以瞭解地滑之速度與方向。
王委員曉明	
委員意見	回覆內容
1. P.23，五、地質鑽探，初步規劃為 4 孔鑽孔，預估總深度為 140 公尺。請問佈設 4 孔之施作順序及位置深度之調整原則為何。	順序依據編號由上至下，孔位調整原則為建立地質剖面與監測滑動體位移與坡體內地下水位面監測為主，並參考地物結果調整鑽孔位置。
2. P.32，管理治理對策與後續建議。建議將已發包施工中之地表排水及裂縫填補緊急工程資料列入，及施工迄今之觀察是否有相關建議注意事項。	評估所蒐集之資料後提出建議。
行政院農業委員會水土保持局花蓮分局	
委員意見	回覆內容

1. 報告書內建議可註明是否為即時傳輸（自動化）。	TDR 與水壓計皆為即時傳輸監測方式設置。
2. 建議可說明花蓮縣-瑞穗鄉-D024 編號來源是否為地調所，係依據何報告？	謝謝委員建議，編號來源為中央地質調查所，依據林務局(2019)。
3. 本案監測資料是否考量以網頁方式呈現？	謝謝委員建議，將先以提供花蓮處監測數據為優先。
4. 本案是否考量與現場居民及林管處建立可聯繫群組，以利即時通報。	與花蓮處承辦人員與現場工作人員已有即時通訊聯繫群組。
5. 鑽探須事先取得土地管理機關或所有權人之同意。	謝謝委員建議，遵照辦理。
6. P.3 最後一行「錯誤!找不到參照來源」。請修正。	謝謝委員建議，已刪除。
花蓮縣政府	
委員意見	回覆內容
本案期初審查內容花蓮縣政府無意見，倘日後有需縣府協助事項，將轉達縣府相關局處。	謝謝委員。
台灣自來水股份有限公司第九區管理處	
委員意見	回覆內容
自 101 年雖有替代水源可替代，但本區域取水口無法永久停水，平常我們都有定期巡視清理取水口，若日後有災害發生或需協助調查我們都可協助辦理。	目前崩塌地仍不穩定，活動性高，並具有一次大規模滑動可能，建議目前不宜於原取水口進行取水。後續本計畫將以調查結果提供更詳細的報告內容。
楊委員瑞芬	
委員意見	回覆內容
1. 冠部裂隙深度大約多深，深度是如何測定？目前減災工程設計之混凝土填隙量是否足夠，若不足是否有其他彈性調整。另填補的混凝土重量是否會加劇影響崩塌面？	(1) 冠部裂隙填補區標示於圖 4-2，其分佈區域並不大。冠部裂隙深度可採細棒與捲尺加以量測，惟由於調查時，冠部裂隙多已填補，無法得知實際深度。 (2) 為避免雨水下滲，裂隙填補建議採用皂土加以填補。皂土具良好吸水性及延展性，較混凝土為佳。裂隙填補後，可於冠部設置適當排水路，將雨水導排至崩塌區外。 (3) 填補混凝土之單位重(約 2300 kg/m ³)與現地岩層相近，其重量增加有限，應不致加劇影響崩塌面。

<p>2. 目前即將遇汛期，為避免雨水直接由裸露裂隙進入影響崩塌地，是否有建議處理方式？</p>	<p>(1) 為避免雨水直接進入崩塌地內，除目前於崩塌地頭部進行土包袋排水工程外，亦可於冠部及坡腹設置排水路，將雨水導排至崩塌區外。</p> <p>(2) 根據位移分析，顯示本崩塌地極不穩定，具有發生一次性大規模崩滑潛勢，建議加強監測，並評估影響範圍。</p>
--	--

附錄 2、土地使用分類系統色碼表

以下內容擷取至內政部國土測繪中心：國土測繪圖資服務雲(<https://maps.nlsc.gov.tw/>)

國土利用現況調查，是將土地利用現況作系統性的分類及統計，其作業方式係運用高解析航遙測影像，配合地籍圖、臺灣通用電子地圖等各式參考圖資及部分外業調查，全面及持續性進行調查土地利用現況變化情形，合理規劃土地利用。因應資源整合，自 101 年由內政部、行政院農業委員會林務局及水土保持局，劃分權責區域共同維護，內政部負責區域由本中心辦理，持續提供社經建設、國土規劃重要基礎資料。

國土利用現況調查分類系統採層級式樹狀結構，共分為 3 級。95 至 104 年度，為依據內政部 95 年訂定「土地使用分類系統表」辦理至第 3 級分類作業，第 1 級分為 9 大類，第 2 級就第 1 級之劃分再細分 41 類、第 3 級則就第 2 級之架構再分為稻作等 103 類，均分別給予編碼並闡明第 3 級分類項目之說明。另為確保國土利用現況調查成果時效性及適用性，行政院將國土利用現況調查更新納入 104 年 9 月 24 日院臺建字第 1040050285 函核定之「落實智慧國土—國土測繪圖資更新及維運計畫(105-109 年)」，自 105 年度之後提升更新頻率以 2 年為周期，並依據內政部 104 年修正並更名之「土地利用分類系統表」，辦理至第 2 級分類作業，第 1 級分為 9 大類，第 2 級就第 1 級之劃分再細分 57 類，由本中心持續辦理國土利用現況調查成果更新維護作業。有關作業詳細說明請參考 <http://www.nlsc.gov.tw/Home/LUI>。顏色編碼定義請參考：

95-104 年「土地使用分類系統表」色碼表

土地使用分類色碼表

代碼	類別_1	R	G	B	色塊
01	農業使用土地	102	255	000	
0101	農作	102	255	000	
010101	稻作	102	255	000	
010102	旱作	051	255	102	
010103	果樹	000	255	102	
010104	廢耕地	204	255	153	
0102	水產養殖	204	255	204	
010200	水產養殖	204	255	204	
0103	畜牧	153	255	102	
010301	畜舍舍	153	255	051	
010302	牧場	000	255	051	
0104	農業附屬設施	204	255	000	
010401	溫室	204	255	102	
010402	倉庫設施	102	255	153	
010403	農業品展售場	102	255	051	
010404	其他設施	102	255	102	

代碼	類別_3	R	G	B	色塊
03	交通使用土地	255	153	153	
0301	機場	051	000	255	
030100	機場	051	000	255	
0302	鐵路	255	051	255	
030201	一般鐵路	255	051	255	
030202	高速鐵路	255	000	255	
030203	鐵路相關設施	255	102	255	
0303	道路	255	153	153	
030301	國道	255	051	051	
030302	省道、快速道路	255	102	102	
030303	一般道路	255	153	153	
030304	道路相關設施	204	204	204	
0304	港口	255	051	204	
030401	商港	255	000	204	
030402	漁港	255	000	153	
030403	專用港	255	051	153	
030404	其他港口相關設施	255	051	102	

代碼	類別_5	R	G	B	色塊
05	住宅使用土地	255	255	000	
0501	商業	255	000	000	
050101	零售批發	255	000	000	
050102	服務業	204	000	000	
0502	住宅	255	255	000	
050201	純住宅	255	255	000	
050202	農工商業使用住宅	255	204	000	
050203	農工商業使用住宅	204	000	102	
050204	農其他使用住宅	255	255	051	
0503	工業	204	102	000	
050301	製造業	204	102	000	
050302	倉儲	255	153	000	
0504	其它建築用地	153	102	000	
050401	宗教	051	000	204	
050402	殯葬設施	255	255	255	
050403	興建中	255	204	102	
050404	其他	153	102	000	

代碼	類別_7	R	G	B	色塊
07	遊樂使用土地	000	051	000	
0701	文化設施	204	204	000	
070101	法定文化資產	204	204	000	
070102	一般文化設施	153	153	000	
070103	其他文化設施	204	204	102	
0702	休閒設施	000	204	051	
070201	公園綠地廣場	000	204	051	
070202	遊樂場所	255	102	253	
070203	體育場所	204	204	255	

代碼	類別_8	R	G	B	色塊
08	礦業使用土地	102	051	102	
0801	礦業	051	000	000	
080101	礦場	051	000	000	
080102	礦業相關設施	153	102	051	
0802	土石	102	051	102	
080201	土石採取場	102	051	102	
080202	土石相關設施	153	102	153	
0803	鹽業	153	153	204	
080301	鹽田	153	153	204	
080302	鹽業相關設施	153	153	255	

代碼	類別_2	R	G	B	色塊
02	森林使用土地	000	153	000	
0201	天然林	000	153	000	
020101	天然針葉樹純林	051	204	153	
020102	天然闊葉樹純林	051	204	051	
020103	天然竹林	102	204	000	
020104	天然針封閉混交林	000	204	000	
0202	人工林	051	153	000	
020201	人工針葉樹純林	051	153	000	
020202	人工闊葉樹純林	051	204	000	
020203	人工竹類	153	204	102	
020204	人工竹封閉混交林	000	153	102	
0203	其他森林使用土地	000	153	051	
020301	伐木跡地	204	204	153	
020302	苗圃	051	255	000	
020303	防火線	204	051	153	
020304	土場	204	153	000	

代碼	類別_4	R	G	B	色塊
04	水利使用土地	051	051	255	
0401	河道	051	051	255	
040101	河川	051	051	255	
040102	減河	051	051	204	
040103	運河	000	102	255	
040104	堤防	255	255	102	
0402	溝渠	051	102	255	
040200	溝渠	051	102	255	
0403	蓄水池	102	153	204	
040301	水庫	000	000	102	
040302	湖泊	000	000	255	
040303	其他蓄水池	000	000	153	
040304	人工湖	000	051	204	
0404	水邊沙洲灘地	204	153	051	
040400	水邊沙洲灘地	204	153	051	
0405	水利構造物	051	051	102	
040501	水閘門	102	102	102	
040502	抽水站	051	051	102	
040503	水庫壩壩	102	102	051	
040504	地下水取水井	000	000	102	
040505	其他設施	000	051	255	
0406	防汛道路	153	153	102	
040600	防汛道路	153	153	102	
0407	溝面	000	000	204	
040700	海面	000	000	204	

代碼	類別_6	R	G	B	色塊
06	公共設施使用土地	204	000	204	
0601	政府機關	204	000	204	
060100	政府機關	204	000	204	
0602	學校	153	000	153	
060201	幼稚園	204	153	204	
060202	小學	153	000	153	
060203	中學	153	000	204	
060204	大專院校	204	000	255	
060205	特種學校	153	051	204	
0603	醫療保健	000	102	204	
060300	醫療保健	000	102	204	
0604	社會福利設施	255	153	255	
060400	社會福利設施	255	153	255	
0605	公用設施	000	204	204	
060501	氣象	000	255	255	
060502	電力	051	255	255	
060503	瓦斯	102	255	255	
060504	自來水	000	204	255	
060505	加油站	204	051	051	
0606	環保設施	153	255	255	
060600	環保設施	153	255	255	

代碼	類別_9	R	G	B	色塊
09	其他使用土地	051	051	051	
0901	軍事用地	204	051	255	
090100	軍事用地	204	051	255	
0902	灘地	000	204	102	
090200	灘地	000	204	102	
0903	草生地	051	204	102	
090300	草生地	051	204	102	
0904	裸露地	102	051	000	
090401	灘地	051	051	000	
090402	崩塌地	102	102	000	
090403	礁岩	204	102	051	
090404	裸露空地	204	102	102	
0905	灌木荒地	153	153	051	
090500	灌木荒地	153	153	051	
0906	災害地	000	000	000	
090600	災害地	000	000	000	
0907	營建剩餘土石方	051	051	051	
090700	營建剩餘土石方	051	051	051	
0908	空地	255	255	204	
090801	未使用地	204	204	051	
090802	人工改變中土地	204	153	102	
090803	測量標	153			

95 年色碼表 105 年「土地利用分類系統表」色碼表 105 年色碼表

類別代碼	類別名稱	R	G	B	色碼
01	農業利用土地	152	230	0	
0101	水田	209	255	115	
010101	水稻田	171	220	97	
010102	其他水田	110	221	97	
0102	旱田	233	255	150	
010201	耕作	188	230	150	
010202	休耕	56	204	61	
010203	雜草地	200	205	56	
0103	果園	126	237	39	
010301	常綠果園	99	192	59	
010302	落葉果園	170	192	60	
010303	複層	147	169	68	
0104	水產養殖	138	255	218	
010400	水產養殖	138	255	218	
0105	畜牧	159	177	105	
010501	畜舍舍	112	134	79	
010502	牧場	147	203	62	
0106	農業相關設施	168	168	0	
010601	溫室	107	144	75	
010602	其他農業相關設施	77	101	57	

類別代碼	類別名稱	R	G	B	色碼
03	交通利用土地	255	85	0	
0301	機場	174	120	255	
030100	機場	174	120	255	
0302	一般鐵路及相關設施	255	110	255	
030201	一般鐵路	233	119	210	
030202	一般鐵路相關設施	176	87	158	
0303	高速鐵路及相關設施	109	0	189	
030301	高速鐵路	129	81	212	
030302	高速鐵路相關設施	99	62	162	
0304	捷運及相關設施	163	38	255	
030401	捷運路線	148	78	239	
030402	捷運相關設施	115	59	189	
0305	捷運	230	0	0	
030500	捷運	230	0	0	
0306	輕軌	255	120	120	
030600	輕軌	255	120	120	
0307	快速公路	255	20	165	
030700	快速公路	255	20	165	
0308	一般道路	231	148	163	
030800	一般道路	231	148	163	
0309	鐵路相關設施	211	142	191	
030901	停車場	143	120	174	
030902	其他鐵路相關設施	95	76	119	
0310	港口	103	141	174	
031001	港埠	79	108	203	
031002	倉庫	116	134	192	
031003	專用棧	90	109	169	
031004	其他港口設施	63	72	101	

類別代碼	類別名稱	R	G	B	色碼
05	建築利用土地	255	161	161	
0501	商業	194	0	6	
050101	零售批發	216	5	61	
050102	服務業	228	62	106	
0502	居住宅	255	244	41	
050200	住宅宅	255	244	41	
0503	混合使用住宅	235	224	82	
050301	勞工專用住宅	202	178	26	
050302	商業專用住宅	228	180	25	
050303	其他專用住宅	236	193	83	
0504	製造業	255	184	61	
050400	製造業	255	184	61	
0505	倉庫	165	129	68	
050500	倉庫	165	129	68	
0506	宗教	197	0	255	
050600	宗教	197	0	255	
0507	殯葬設施	130	130	130	
050700	殯葬設施	130	130	130	
0508	其他建築用地	205	205	102	
050801	廣場中	209	136	9	
050802	其他	186	104	73	

類別代碼	類別名稱	R	G	B	色碼
07	游樂利用土地	255	251	20	
0701	文化設施	255	255	190	
070101	法定文化資產	205	205	93	
070102	一般文化設施	233	233	132	
070103	其他文化設施	230	230	147	
0702	公園游樂設施	147	255	47	
070200	公園游樂設施	147	255	47	
0703	休閒設施	191	255	191	
070301	遊樂場所	246	171	171	
070302	體育場所	172	172	247	

類別代碼	類別名稱	R	G	B	色碼
08	礦業利用土地	206	140	255	
0801	礦業及相關設施	206	153	29	
080100	礦業及相關設施	206	153	29	
0802	土石及相關設施	149	111	35	
080200	土石及相關設施	149	111	35	
0803	礦業及相關設施	140	140	140	
080300	礦業及相關設施	140	140	140	

類別代碼	類別名稱	R	G	B	色碼
02	森林利用土地	90	194	0	
0201	針葉林	58	122	42	
020100	針葉林	58	122	42	
0202	闊葉林	56	168	0	
020200	闊葉林	56	168	0	
0203	竹林	79	190	15	
020300	竹林	79	190	15	
0204	混交林	24	141	12	
020401	針闊葉混交林	44	124	10	
020402	竹闊葉混交林	74	162	37	
020403	竹針闊葉混交林	36	97	10	
020404	竹針闊葉混交林	35	81	16	
0205	灌木林	122	186	101	
020500	灌木林	122	186	101	
0206	其他森林利用土地	58	81	23	
020601	松木林	193	169	71	
020602	柏木	44	199	70	
020603	防火線	196	161	77	
020604	土壩	225	173	52	

類別代碼	類別名稱	R	G	B	色碼
04	水利利用土地	151	219	242	
0401	河濱	190	232	255	
040101	河川	164	215	245	
040102	運河	16	215	245	
040103	運河	110	199	250	
0402	堤防	156	156	156	
040200	堤防	156	156	156	
0403	溝渠	166	205	213	
040300	溝渠	166	205	213	
0404	水庫	70	212	206	
040400	水庫	70	212	206	
0405	湖泊	121	238	233	
040500	湖泊	121	238	233	
0406	蓄水池	158	215	194	
040600	蓄水池	158	215	194	
0407	水庫沙洲灘地	214	136	0	
040700	水庫沙洲灘地	214	136	0	
0408	水利設施物	53	95	96	
040801	水閘門	87	103	124	
040802	抽水站	112	143	161	
040803	水庫壩	90	133	158	
040804	地下水水井	36	120	168	
040805	其他水利設施	92	126	145	
0409	防汛設施	204	204	204	
040900	防汛設施	204	204	204	
0410	海濱	158	202	255	
041000	海濱	158	202	255	

類別代碼	類別名稱	R	G	B	色碼
06	公共利用土地	255	197	89	
0601	政府機關	255	159	41	
060100	政府機關	255	159	41	
0602	學校	232	190	255	
060201	幼兒園	235	186	255	
060202	小學	227	158	255	
060203	中學	218	129	255	
060204	大學附校	209	101	235	
060205	幼稚園	201	73	255	
0603	醫療保健	161	139	246	
060300	醫療保健	161	139	246	
0604	社會福利設施	249	224	165	
060400	社會福利設施	249	224	165	
0605	公用設施	255	218	150	
060501	圖書館	148	172	176	
060502	電力	147	161	232	
060503	瓦斯	239	114	135	
060504	自來水	164	175	232	
060505	加油站	123	153	148	
0606	環境設施	216	141	103	
060600	環境設施	216	141	103	

類別代碼	類別名稱	R	G	B	色碼
09	其他利用土地	223	225	225	
0901	空地	0	168	132	
090100	空地	0	168	132	
0902	草地	176	211	38	
090200	草地	176	211	38	
0903	裸地	179	168	46	
090301	裸地	201	173	137	
090302	廢地	154	137	105	
090303	鹽鹼	192	108	34	
0904	基礎設施土石收貯處理相關設施	51	51	51	
090400	基礎設施土石收貯處理相關設施	51	51	51	
0905	空置地	255	236	201	
090501	未使用地	192	174	84	
090502	人工改變中土地	188	146	62	

附錄 3、歷年正射影像

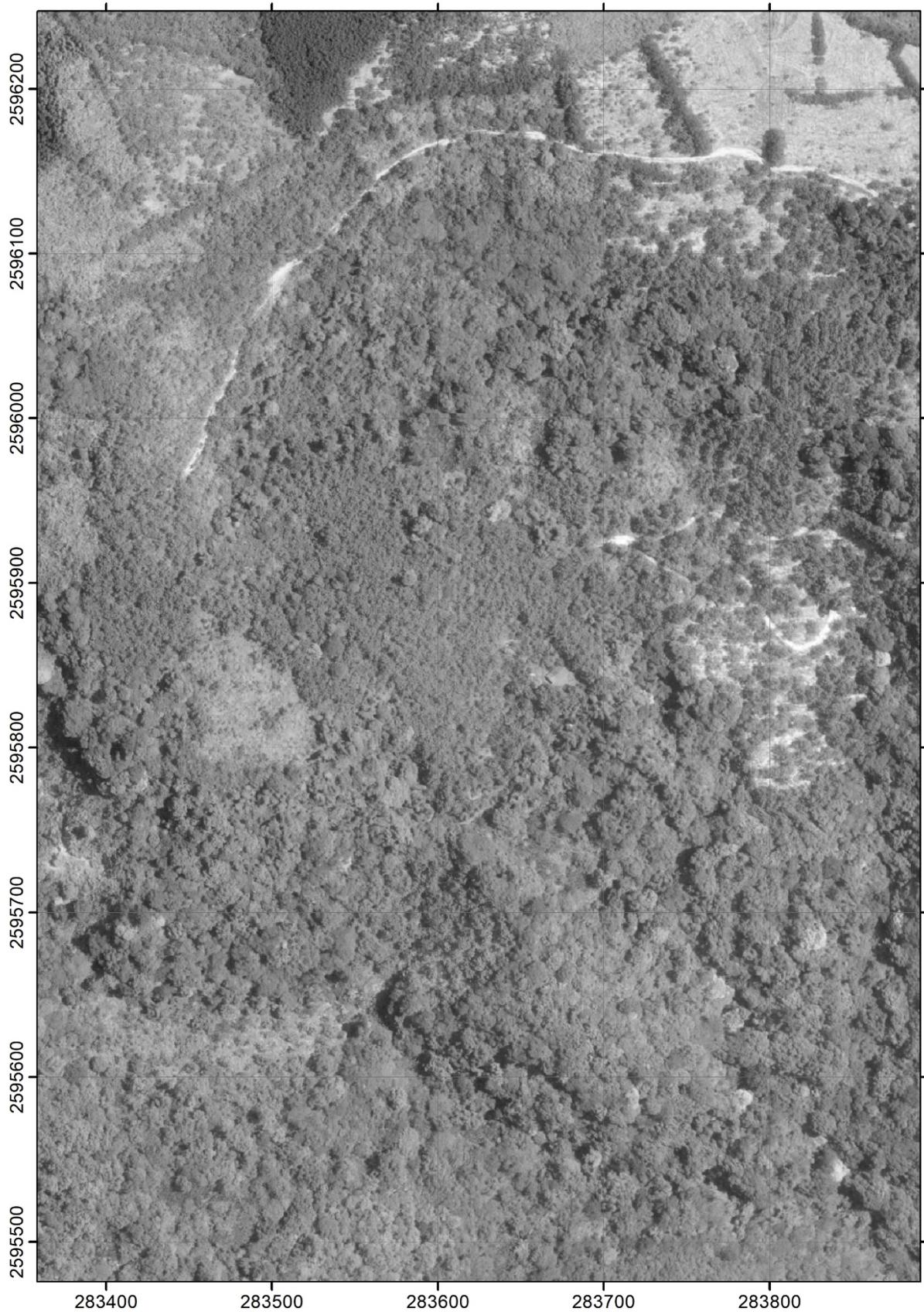


圖 附 3-1 1980 年 7 月 2 日正射影像

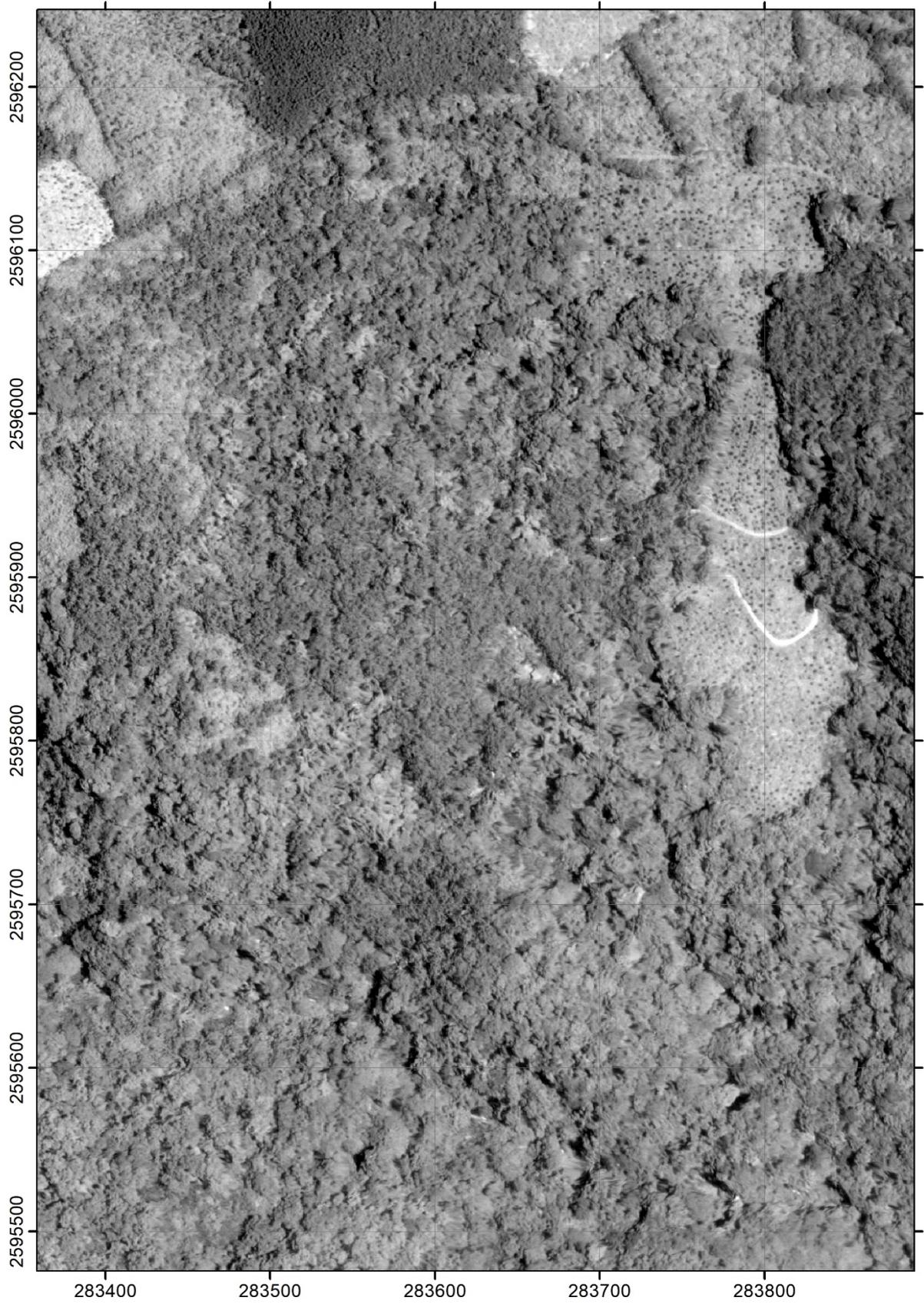


圖 附 3-2 1983 年 7 月 2 日正射影像

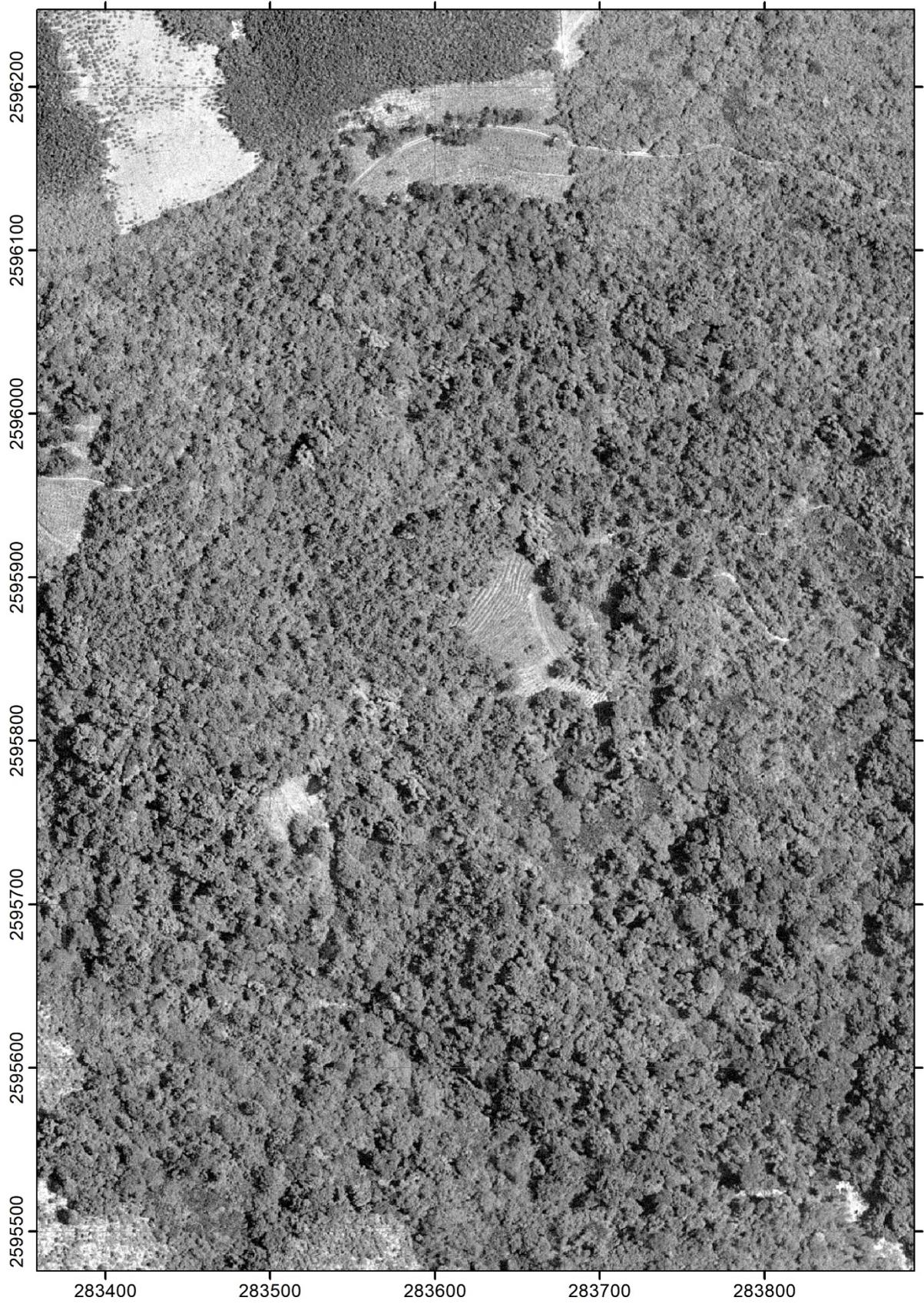


圖 附 3-3 1993 年 6 月 22 日正射影像

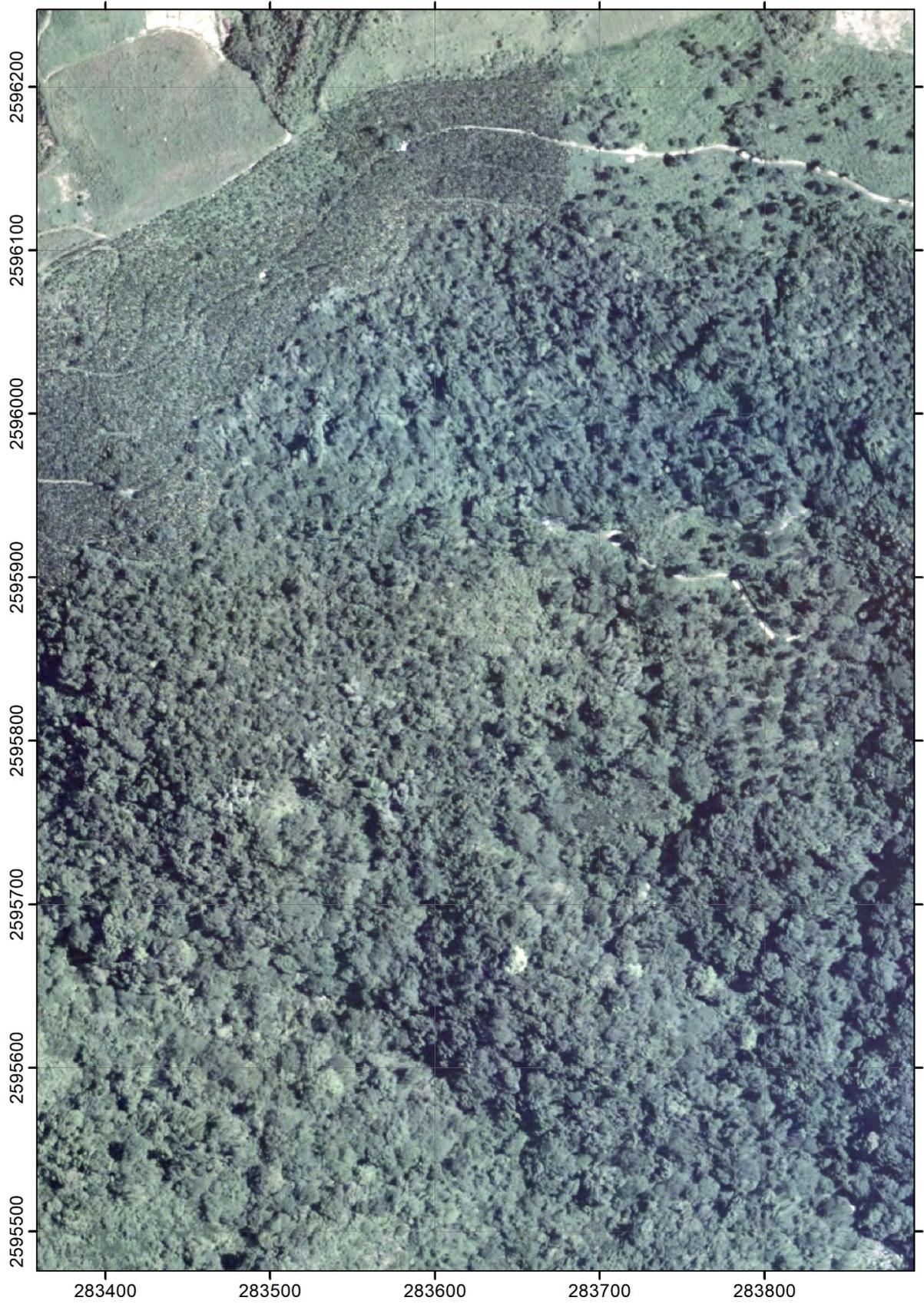


圖 附 3-4 2002 年 7 月 22 日正射影像

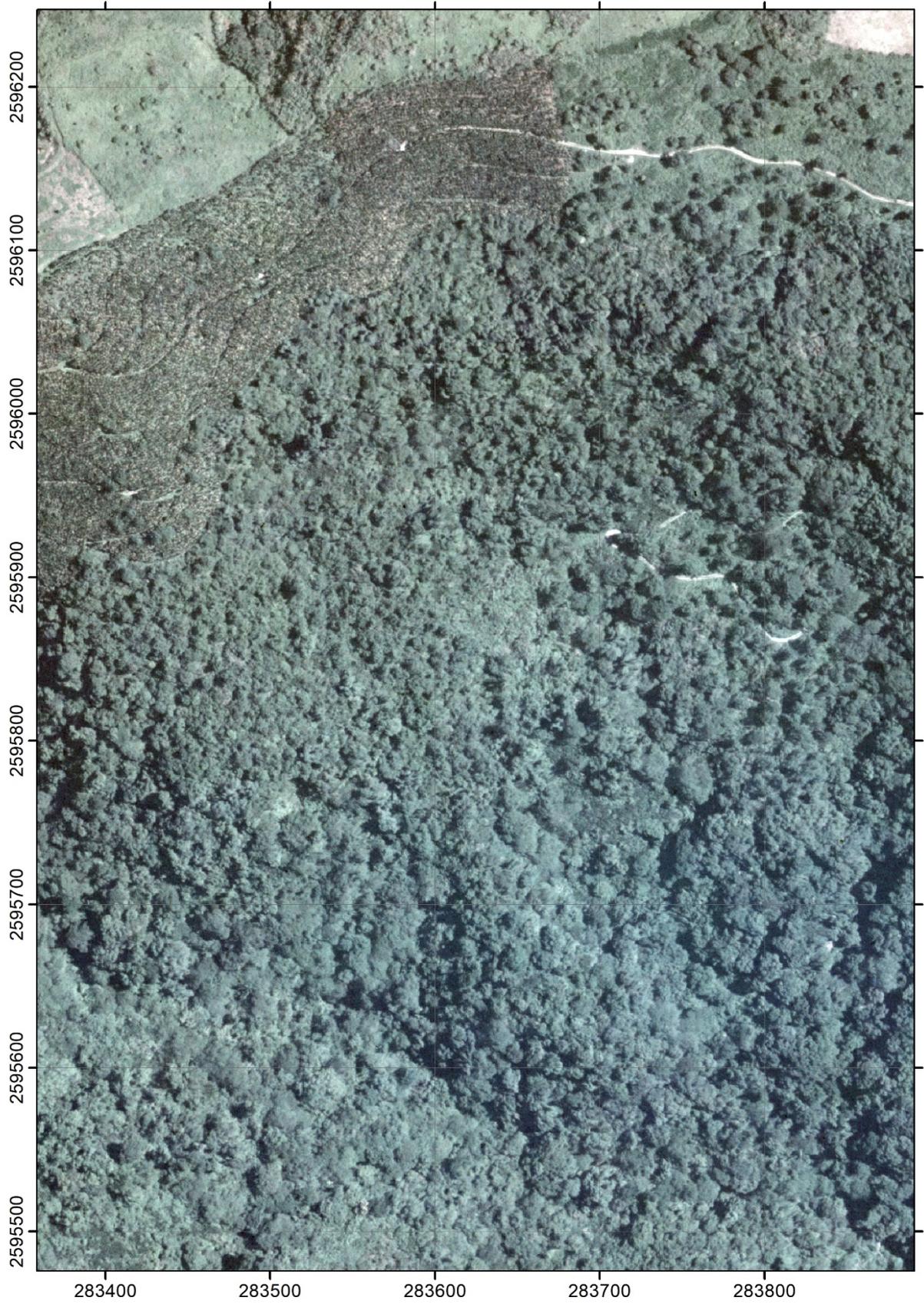


圖 附 3-5 2003 年 7 月 1 日正射影像

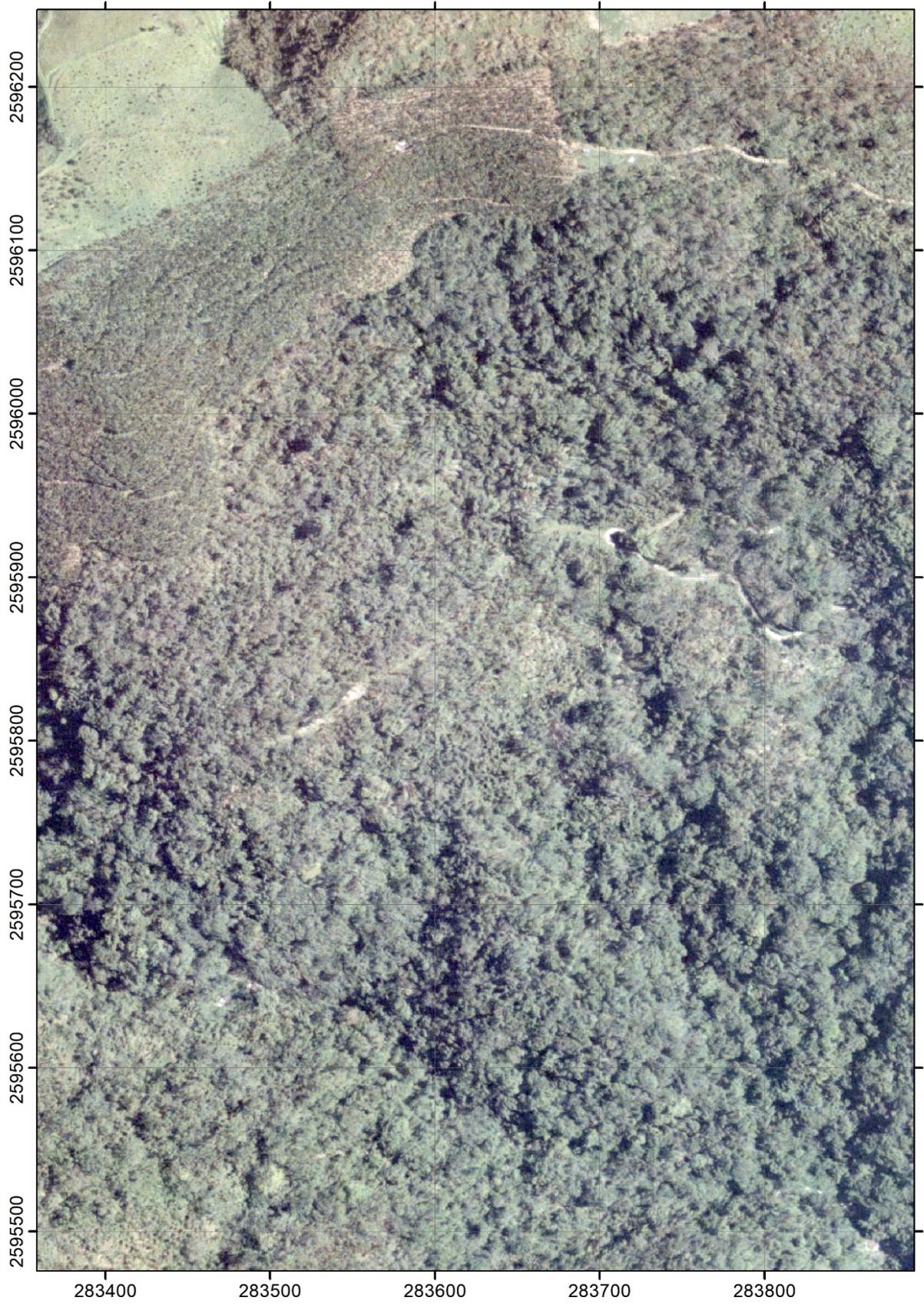


圖 附 3-6 2008 年 8 月 2 日正射影像

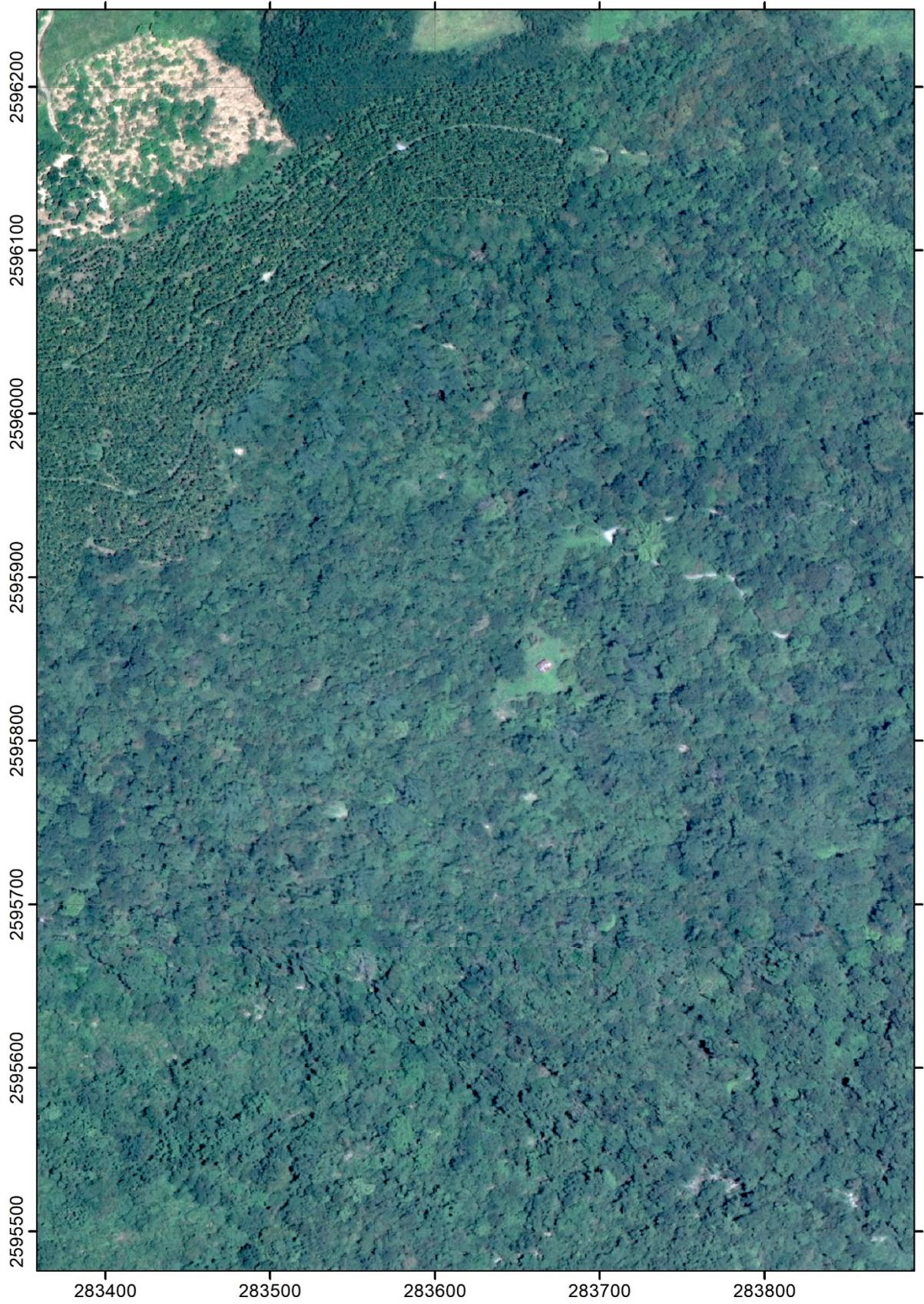


圖 附 3-7 2015 年 7 月 31 日正射影像



圖 附 3-8 2017 年 8 月 12 日正射影像

附錄 4、現地調查紀錄表

Year	Month	Day	Structure	Strike (Trend)	Dip (Plunge)	Longitude	Latitude	±m	Elevation	±m
2019	8	23	Foliation	82	34	121.3319566	23.4678786	8.5	658.5	9.4
2019	8	23	Foliation	96	27	121.3275542	23.4675962	10.3	709.5	14.8
2019	8	23	Foliation	60	21	121.3275569	23.4675697	7.3	708.7	12
2019	8	23	Foliation	19	27	121.3274652	23.4673782	8	706.3	15.1
2019	8	23	Foliation	10	25	121.327465	23.4674098	5.7	704.7	12.2
2019	8	23	Foliation	62	47	121.3274075	23.4673059	5.3	705.1	12.6
2019	8	23	Foliation	84	21	121.3268265	23.4669459	6.3	711.1	10.7
2019	8	23	Foliation	148	39	121.3269198	23.4668424	7.2	706.1	11.4
2019	8	23	Foliation	36	35	121.3269996	23.4665429	6.5	692.8	11.4
2019	8	23	Foliation	338	29	121.3271544	23.4662829	7.7	676.1	13.7
2019	8	23	Foliation	342	26	121.3270876	23.4663063	6.8	678.2	11.3
2019	8	23	Foliation	32	22	121.3276377	23.4673449	8.5	699.2	14
2019	8	23	Foliation	90	31	121.3282089	23.4675128	6.9	687.8	13.5
2020	1	3	Foliation	42	37	121.3274679	23.4675354	4.8	693.3	3.3
2020	1	3	Foliation	14	21	121.3275083	23.4675492	4.9	694.6	3.1
2020	1	3	Foliation	9	21	121.3274852	23.4674861	4.7	690.9	3.4
2020	1	3	Foliation	357	31	121.3274435	23.4674712	4.7	694	3.5
2020	1	3	Foliation	357	33	121.327431	23.4674052	4.8	688.5	3.2
2020	1	3	Foliation	16	30	121.327433	23.4674065	6.1	691.2	2.8
2020	1	3	Foliation	16	30	121.3274308	23.4674084	6.4	691.6	2.7
2020	1	3	Foliation	91	24	121.3274147	23.467418	4.9	695.6	3.1

Year	Month	Day	Structure	Strike (Trend)	Dip (Plunge)	Longitude	Latitude	±m	Elevation	±m
2020	1	3	Foliation	52	29	121.3274314	23.4673664	4.7	689.1	3.5
2020	1	3	Foliation	63	29	121.3274585	23.4673698	4.7	686.7	3.4
2020	1	3	Foliation	66	26	121.3274563	23.4673527	4.6	685.3	3.5
2020	1	3	Foliation	44	37	121.3274398	23.467282	4.7	684.4	3.4
2020	1	3	Foliation	80	22	121.3274834	23.4672579	4.7	686.8	3.4
2020	1	3	Foliation	84	22	121.3274904	23.4672438	4.7	686.1	3.4
2020	1	3	Foliation	76	32	121.3273544	23.4673135	4.7	688.5	3.5
2020	1	3	Foliation	95	30	121.3273339	23.4673156	4.6	691.1	3.5
2020	1	3	Foliation	73	29	121.3270779	23.4673566	4.9	707.4	3.2
2020	1	3	Foliation	44	31	121.327028	23.4673733	4.7	710.4	3.4
2020	1	3	Foliation	65	31	121.3269346	23.4674027	6.6	714	2.5
2020	1	3	Foliation	50	27	121.3268463	23.4673149	5.2	713.7	3.1
2020	1	3	Foliation	25	27	121.3268459	23.4672389	5.5	710.5	3
2020	1	3	Foliation	338	30	121.3269134	23.4672197	5.4	708	3.1
2020	1	3	Foliation	340	30	121.3268947	23.4672261	5.9	706.9	3.3
2020	1	3	Foliation	345	26	121.3268793	23.4672302	6.2	701.8	3
2020	1	3	Foliation	276	23	121.3268744	23.4672006	5	708.5	3.2
2020	1	3	Foliation	298	22	121.326876	23.4672142	4.7	703.1	3.5
2020	1	3	Foliation	343	29	121.3268664	23.4671559	5.4	705.6	3.2
2020	1	3	Foliation	319	16	121.3268747	23.4671261	5.1	707.8	3.2
2020	1	3	Foliation	270	24	121.3268073	23.4671232	4.8	706.4	3.3
2020	1	3	Foliation	129	7	121.3269312	23.4667625	6.3	697.5	3.5

Year	Month	Day	Structure	Strike (Trend)	Dip (Plunge)	Longitude	Latitude	±m	Elevation	±m
2020	1	3	Foliation	41	7	121.3269139	23.46677	5	694.8	3.2
2020	1	3	Foliation	41	26	121.3270052	23.4665917	4.7	687.6	3.4
2020	1	3	Foliation	35	20	121.327051	23.4665179	5.4	682	3.2
2020	1	3	Foliation	349	31	121.3271063	23.4663349	5.9	676	2.7
2020	1	3	Foliation	24	24	121.3271416	23.4663283	5.7	675.8	2.6
2020	1	3	Foliation	18	19	121.3271091	23.4661837	5.9	666.3	2.9
2020	1	3	Foliation	17	20	121.327112	23.4661855	6.7	666.1	2.5
2020	1	3	Foliation	349	31	121.3271462	23.4661066	5.5	664.4	2.6
2020	1	3	Foliation	357	44	121.3271407	23.4661161	6.2	664.4	2.5
2020	1	3	Foliation	353	34	121.3271479	23.4661193	6.4	664.9	2.4
2020	1	3	Foliation	347	48	121.3271269	23.4661247	6.1	665.4	2.5
2020	3	12	Foliation	222	14	121.3319236	23.4605793	9	361.9	2.5
2020	3	12	Foliation	284	11	121.3319751	23.4606487	9.6	366.9	2.4
2020	3	12	Foliation	278	16	121.3319992	23.4606821	11	367.5	2.2
2020	3	12	Foliation	294	14	121.3319741	23.4607224	4.9	367.5	3.1
2020	3	12	Foliation	13	21	121.3320076	23.4608317	9.6	373.1	2.4
2020	3	12	Foliation	62	31	121.3319413	23.460909	7.1	373.3	2.4
2020	3	12	Foliation	12	17	121.3319719	23.4609124	6.8	373.6	2.8
2020	3	12	Foliation	13	5	121.3315827	23.4620578	16.1	399	2.5
2020	3	12	Foliation	20	3	121.3307511	23.4624426	13.7	424.5	3
2020	3	12	Foliation	354	10	121.3306718	23.4625179	16.2	425	2.4
2020	3	12	Foliation	47	4	121.3300679	23.4624681	14.1	431.4	2.7

Year	Month	Day	Structure	Strike (Trend)	Dip (Plunge)	Longitude	Latitude	±m	Elevation	±m
2020	3	12	Foliation	175	72	121.3288777	23.4629348	5.1	461.5	2.7
2020	3	12	Foliation	42	11	121.3289075	23.4629957	5.1	459.4	2.8
2020	3	12	Foliation	248	11	121.330581	23.4631218	12	449.8	2.5
2020	3	12	Foliation	50	14	121.3300169	23.4639933	7	488	2.9
2020	5	13	Foliation	58	30	121.3276725	23.4676005	4.8	689.2	3.3
2020	5	13	Foliation	69	29	121.327723	23.4675653	4.7	688.3	3.5
2020	5	13	Foliation	4	26	121.3268592	23.4670456	4.6	699.5	3.6
2020	5	13	Foliation	7	29	121.3268998	23.4670481	4.7	696.9	3.5
2020	5	13	Foliation	17	27	121.3268597	23.4670331	4.6	697.8	3.5
2020	5	13	Foliation	16	33	121.3270017	23.4665456	4.7	675.2	3.5
2020	5	13	Foliation	17	31	121.3270822	23.4665288	4.7	680.5	3.4
2020	5	13	Foliation	9	29	121.3271157	23.4661806	4.7	658.8	3.4
2020	5	13	Foliation	348	30	121.3271076	23.4661765	4.7	659.4	3.5
2020	5	13	Foliation	99	30	121.3288525	23.4670163	4.7	644.1	3.5
2020	5	13	Foliation	88	48	121.3288398	23.4670087	4.7	643	3.5
2020	5	13	Foliation	113	39	121.328856	23.4669974	4.7	640.3	3.5
2020	5	14	Foliation	16	10	121.3271828	23.4658215	4.7	647.1	3.4
2020	5	14	Foliation	6	20	121.3271259	23.4662784	4.8	672.2	3.3
2020	5	14	Foliation	3	32	121.3271809	23.466302	4.8	673.4	3.2
2020	5	14	Foliation	8	9	121.3294175	23.46659	5	612.3	3.3
2019	8	23	Joint	292	74	121.3275267	23.4675592	7.8	708.7	12.2
2019	8	23	Joint	28	77	121.3275316	23.4675654	7.4	708.9	14.3

Year	Month	Day	Structure	Strike (Trend)	Dip (Plunge)	Longitude	Latitude	±m	Elevation	±m
2019	8	23	Joint	281	85	121.3274284	23.4673128	11.4	706	17.8
2019	8	23	Joint	194	77	121.3274573	23.4673918	10.1	706.2	15.9
2019	8	23	Joint	276	46	121.3274419	23.4673054	6.2	705.2	14
2019	8	23	Joint	325	83	121.3269091	23.4668628	7.5	705.8	11.9
2019	8	23	Joint	261	68	121.3269098	23.4668274	8.5	706.1	13.9
2019	8	23	Joint	271	73	121.3270204	23.4665457	6.8	693.1	11.7
2019	8	23	Joint	266	74	121.3269863	23.4665952	6.1	693.4	10.2
2019	8	23	Joint	274	73	121.3269725	23.466583	5.7	693.5	10
2019	8	23	Joint	64	87	121.3271077	23.4662775	6.2	676.8	13
2019	8	23	Joint	169	56	121.3271503	23.4662976	5.1	676.1	10.3
2019	8	23	Joint	160	64	121.3271111	23.4662499	5.8	676	11.2
2019	8	23	Joint	154	22	121.3271081	23.4662557	5.8	675.8	11.3
2019	8	23	Joint	245	79	121.3271148	23.4662621	6.5	675.8	13.5
2019	8	23	Joint	259	85	121.3276178	23.4673183	7.9	699.2	14.2
2019	8	23	Joint	161	81	121.3282088	23.4675166	7	688.1	13.6
2019	8	23	Joint	258	47	121.3281972	23.4675302	7.2	688.4	13.5
2019	8	23	Joint	114	84	121.3282028	23.4675153	6.5	688.5	13.1
2020	1	3	Joint	300	76	121.3274936	23.4675786	4.7	693.3	3.4
2020	1	3	Joint	207	85	121.3274991	23.4675533	5.4	698.3	3
2020	1	3	Joint	114	87	121.327471	23.4674994	4.7	692.2	3.5
2020	1	3	Joint	107	87	121.3274973	23.4674933	4.7	693.2	3.5
2020	1	3	Joint	108	84	121.3274484	23.4675108	4.8	689.7	3.3

Year	Month	Day	Structure	Strike (Trend)	Dip (Plunge)	Longitude	Latitude	±m	Elevation	±m
2020	1	3	Joint	129	85	121.3274743	23.4675068	4.8	692.1	3.3
2020	1	3	Joint	94	82	121.3274212	23.4674811	4.7	695.2	3.4
2020	1	3	Joint	296	79	121.3274773	23.4673216	4.7	695.5	3.4
2020	1	3	Joint	327	78	121.3274832	23.4672628	4.8	686.8	3.3
2020	1	3	Joint	276	62	121.327484	23.4672506	4.9	687.5	3.3
2020	1	3	Joint	277	69	121.3274962	23.4672414	4.9	693.6	3.2
2020	1	3	Joint	342	81	121.3273632	23.4673133	4.7	686.6	3.5
2020	1	3	Joint	354	83	121.3273594	23.4673079	4.7	687.2	3.5
2020	1	3	Joint	110	81	121.3272536	23.4672772	4.8	705.7	3.3
2020	1	3	Joint	294	89	121.3272998	23.4672749	4.8	703	3.2
2020	1	3	Joint	71	68	121.3271466	23.4673502	4.7	707.5	3.4
2020	1	3	Joint	106	77	121.3271359	23.4673535	6.6	708.7	2.8
2020	1	3	Joint	267	78	121.3269942	23.4673843	4.7	707.1	3.4
2020	1	3	Joint	281	74	121.3269737	23.4673807	4.8	706.5	3.2
2020	1	3	Joint	273	87	121.3268836	23.4672993	5	712.9	3.1
2020	1	3	Joint	106	88	121.3269378	23.4672729	4.7	713.1	3.4
2020	1	3	Joint	121	84	121.3268793	23.4672609	5.5	709.7	2.9
2020	1	3	Joint	121	85	121.326896	23.4672511	5.9	710.4	2.7
2020	1	3	Joint	216	79	121.3268828	23.4672599	11.1	709	2.5
2020	1	3	Joint	155	81	121.3269124	23.4672191	6.3	706.2	2.9
2020	1	3	Joint	155	82	121.3269051	23.4672102	5.7	707.7	3
2020	1	3	Joint	164	79	121.3269084	23.4671984	5	710.5	3.2

Year	Month	Day	Structure	Strike (Trend)	Dip (Plunge)	Longitude	Latitude	±m	Elevation	±m
2020	1	3	Joint	242	88	121.3269246	23.4672088	4.8	709.8	3.3
2020	1	3	Joint	101	66	121.3268829	23.4672106	4.7	703.1	3.4
2020	1	3	Joint	16	87	121.3268504	23.4671464	4.6	703.9	3.5
2020	1	3	Joint	33	87	121.3268263	23.4671316	4.6	706.5	3.5
2020	1	3	Joint	97	66	121.3268429	23.467125	4.7	705.9	3.4
2020	1	3	Joint	109	82	121.3268916	23.4671042	5.6	707.4	3.1
2020	1	3	Joint	114	83	121.3269089	23.4670896	5.6	710.8	3.2
2020	1	3	Joint	235	80	121.3268378	23.4671252	4.8	706.6	3.3
2020	1	3	Joint	277	73	121.3268182	23.4671178	4.8	705.2	3.3
2020	1	3	Joint	262	73	121.3269147	23.4667959	5	696.2	3.1
2020	1	3	Joint	341	77	121.3269534	23.4668145	5.6	697.1	2.9
2020	1	3	Joint	263	76	121.3269358	23.4667909	4.9	695.6	3.1
2020	1	3	Joint	346	64	121.326935	23.4667837	6.6	697.6	2.3
2020	1	3	Joint	359	87	121.3269176	23.4667829	6.7	694.9	2.5
2020	1	3	Joint	288	72	121.3270719	23.4665191	5.3	683.6	3.2
2020	1	3	Joint	241	82	121.3270918	23.4663482	4.6	673.2	3.5
2020	1	3	Joint	69	89	121.3270992	23.466348	4.9	673.2	3.2
2020	1	3	Joint	161	85	121.3271155	23.466346	5.1	673.1	3.3
2020	1	3	Joint	299	89	121.327108	23.46617	5.4	667.7	2.9
2020	3	12	Joint	105	87	121.3319607	23.4607065	9.8	368.9	2.4
2020	3	12	Joint	15	89	121.3319599	23.4607106	16.6	370	2.4
2020	3	12	Joint	22	88	121.3314633	23.4620351	12.8	401.1	2.5

Year	Month	Day	Structure	Strike (Trend)	Dip (Plunge)	Longitude	Latitude	±m	Elevation	±m
2020	3	12	Joint	135	89	121.3314485	23.4620207	14.4	399.8	2.4
2020	3	12	Joint	222	70	121.331599	23.4621202	5	398	3
2020	3	12	Joint	127	88	121.3308535	23.462327	12.7	420.5	3.3
2020	3	12	Joint	106	84	121.3306528	23.4624575	16.5	420.4	2.8
2020	3	12	Joint	201	69	121.3307146	23.4624806	19.4	431.7	2.7
2020	3	12	Joint	128	85	121.3307076	23.4624421	17.2	425.8	2.4
2020	3	12	Joint	5	69	121.3304965	23.4624245	9.9	426.1	2.9
2020	3	12	Joint	127	84	121.3300231	23.4624328	12.6	426.1	2.7
2020	3	12	Joint	66	79	121.3300315	23.4624316	14.5	428.1	3.1
2020	3	12	Joint	131	84	121.328919	23.4629402	13.2	461.7	2.7
2020	3	12	Joint	163	70	121.3289542	23.4629484	13.8	460.9	2.6
2020	3	12	Joint	168	69	121.3289656	23.4628903	14	460.3	2.5
2020	3	12	Joint	7	18	121.3289777	23.4629027	5.8	461.2	2.4
2020	3	12	Joint	218	86	121.3280662	23.4634976	4.7	476.2	3.5
2020	3	12	Joint	124	65	121.3280899	23.463491	4.7	476	3.4
2020	3	12	Joint	123	65	121.3281046	23.4634945	4.7	476.6	3.4
2020	3	12	Joint	125	84	121.3300393	23.4640122	5.6	488.5	2.8
2020	5	13	Joint	300	77	121.3277465	23.4675522	4.7	689.6	3.5
2020	5	13	Joint	292	74	121.3277516	23.4675625	4.7	689.7	3.4
2020	5	13	Joint	65	88	121.3277845	23.4675688	4.8	690.7	3.3
2020	5	13	Joint	267	81	121.326872	23.4670608	4.6	699.7	3.6
2020	5	13	Joint	267	86	121.3269173	23.4670484	4.6	707	3.6

Year	Month	Day	Structure	Strike (Trend)	Dip (Plunge)	Longitude	Latitude	±m	Elevation	±m
2020	5	13	Joint	272	86	121.3268975	23.4670456	4.6	703.4	3.5
2020	5	13	Joint	278	86	121.3268985	23.4670599	4.7	696.6	3.5
2020	5	13	Joint	82	87	121.3268828	23.4670335	4.6	699.2	3.5
2020	5	13	Joint	265	76	121.3270389	23.4665568	4.6	676.1	3.5
2020	5	13	Joint	273	77	121.3270474	23.4665673	4.6	677.2	3.5
2020	5	13	Joint	299	78	121.3271112	23.466155	4.7	659.4	3.4
2020	5	14	Joint	268	77	121.3289152	23.4670196	4.6	641.6	3.5
2020	5	14	Joint	120	76	121.3293764	23.4665755	4.7	605.6	3.5
2020	5	14	Joint	113	81	121.3293906	23.4666199	4.6	601.3	3.6
2020	5	14	Joint	130	77	121.3294036	23.4666502	4.7	598	3.4
2020	5	14	Striae	143	37	121.328845	23.4669865	4.6	637.7	3.6
2020	5	14	Striae	142	34	121.3288425	23.4669907	4.6	638.8	3.5
2020	5	14	Striae	153	31	121.3288356	23.4669897	4.8	641.8	3.2
2020	5	14	Striae	151	24	121.3288462	23.4670175	4.8	641	3.2
2020	5	14	Striae	142	60	121.3289227	23.4670422	4.6	640.9	3.5
2020	5	14	Striae	160	35	121.3289461	23.4670574	4.9	642.9	3.1
2020	5	14	Surface rupture	131	0	121.3296167	23.4655329	4.6	558	3.5
2020	5	14	Surface rupture	180	0	121.3295984	23.4654968	4.6	553.7	3.6
2020	5	14	Surface rupture	146	0	121.3295609	23.4654474	4.6	551.9	3.6

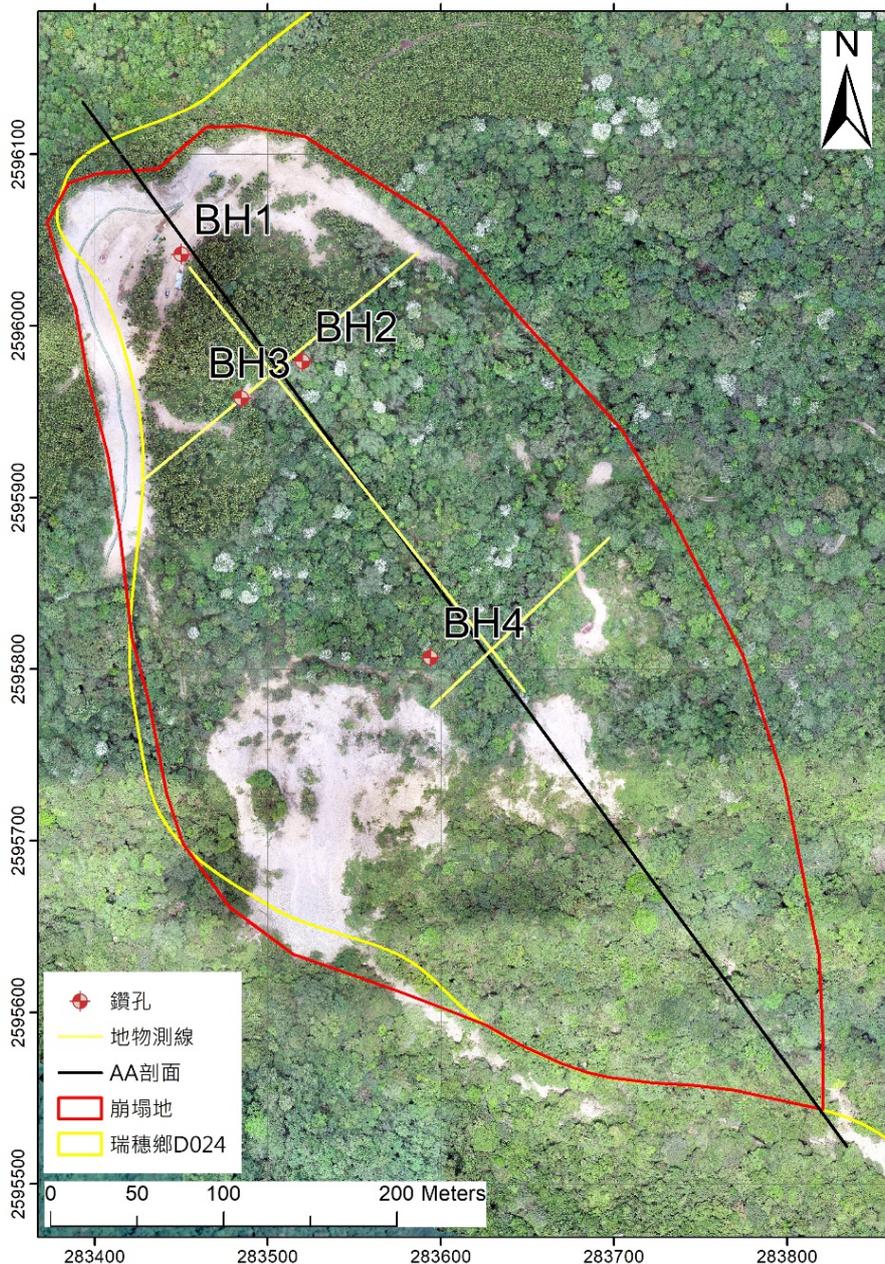
Year	Month	Day	Structure	Strike (Trend)	Dip (Plunge)	Longitude	Latitude	±m	Elevation	±m
2020	5	14	Surface rupture	231	0	121.3294335	23.465121	4.6	547.7	3.5
2020	5	14	Surface rupture	172	0	121.3295328	23.4651221	4.6	544.1	3.5
2020	5	14	Surface rupture	61	0	121.3295086	23.4651216	4.7	542.9	3.5
2020	5	14	Surface rupture	89	0	121.329495	23.4649996	4.6	541.3	3.5
2020	5	14	Surface rupture	73	0	121.3295042	23.4649805	4.6	540.8	3.5
2020	5	14	Surface rupture	220	0	121.329463	23.4648447	4.6	537.8	3.5
2020	5	14	Surface rupture	248	0	121.3294427	23.4647749	4.7	535.8	3.5
2020	5	14	Surface rupture	167	0	121.3287994	23.4649329	4.7	566.2	3.4
2020	5	14	Surface rupture	170	0	121.3288521	23.4649522	4.6	564.9	3.6
2020	5	14	Surface rupture	169	0	121.3288957	23.4649758	4.6	561.8	3.6
2020	5	14	Surface rupture	170	0	121.3289389	23.4649931	4.6	564.3	3.5

Year	Month	Day	Structure	Strike (Trend)	Dip (Plunge)	Longitude	Latitude	±m	Elevation	±m
2020	5	14	Surface rupture	156	0	121.3289927	23.4650266	4.6	562.7	3.5
2020	5	14	Surface rupture	172	0	121.3295342	23.4654301	4.6	557	3.6
2020	5	14	Surface rupture	136	0	121.3295942	23.4652698	4.7	552.9	3.4
2020	5	14	Surface rupture	129	0	121.3296064	23.4651313	4.6	549.3	3.5
2020	5	14	Surface rupture	152	0	121.3296371	23.4652966	4.6	553.5	3.5
2020	5	14	Surface rupture	166	0	121.3296748	23.4653041	4.7	554.4	3.5
2020	5	14	Surface rupture	129	0	121.3297346	23.465074	4.6	546.4	3.5
2020	5	14	Surface rupture	353	0	121.3297957	23.4650523	7.1	547.4	2.9

附錄 5、崩塌地位移監測現況

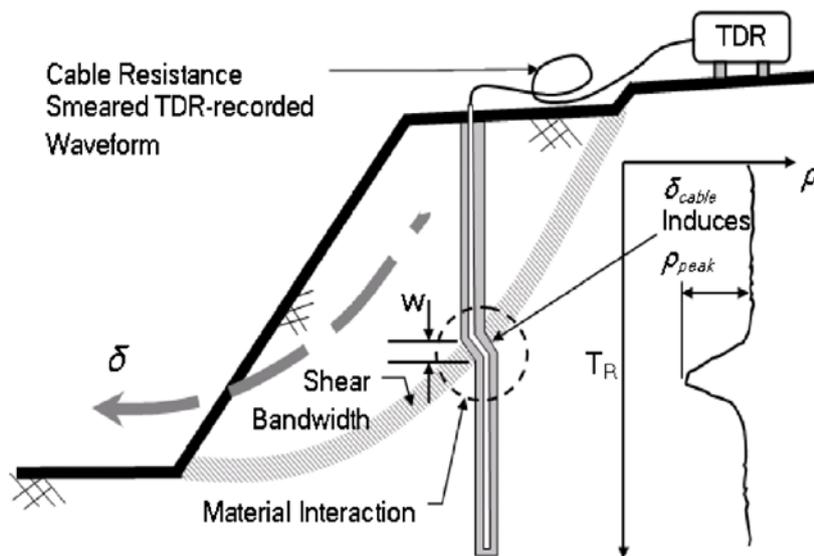
附 5.1 崩塌地監測方法

本工作依據地質鑽探結果，擬於 BH1、BH3 及 BH4 埋設 TDR 變形量測同軸纜線及自動傳輸設備，並於 BH4 埋設傾斜觀測管，調查滑動面深度以及位移滑動量(如圖附 5-1 所示)。本節說明時域反射儀(time domain reflectometer, TDR)、傾斜觀測管埋設、現地量測頻率、自動觀測與傳輸設備、監測資料處理與分析工作執行現況。



圖附 5-1 鑽孔與監測佈置圖

TDR 作為坡地滑動面剪動位移量監測之原理是將同軸纜線埋設於有滑動之現象的岩石或土壤邊坡中(如圖附 5-2 所示)，當地層相對錯動而改變同軸纜線幾何形狀時，TDR 儀器所發出脈衝電磁波將在同軸纜線變形處發生訊號反射尖峰(reflection spike)，利用走時進行分析可以定位阻抗不連續的位置。其優點在於監測變形之同軸纜線為一空間連續分佈之感測器，相較於傳統的傾斜觀測管技術，具有空間解析度與可自動化擷取之優勢。

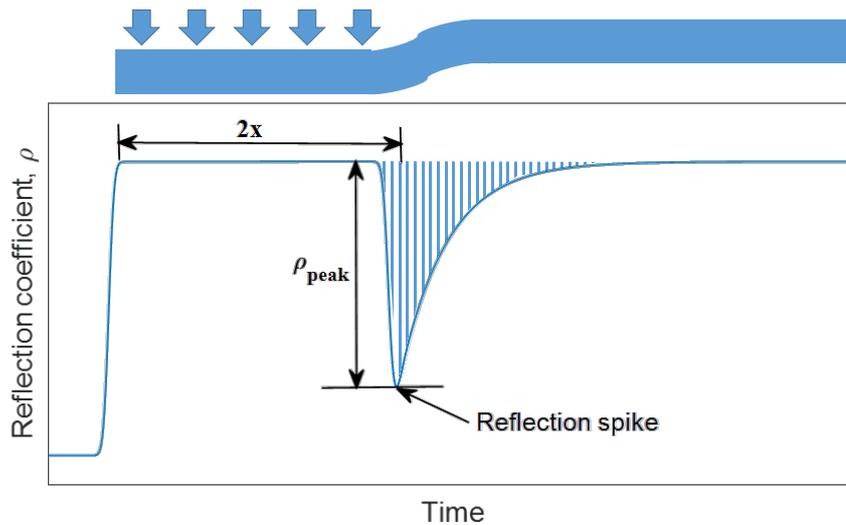


圖附 5-2 TDR 量測系統與訊號傳遞接收示意圖

為進行 TDR 剪動量化分析，採用 Lin (2009)之建議，其量化分析之方法(如圖附 5-3)是將模型實驗受剪動而產生之負反射訊號之最大值與剪動量進行線性回歸，其數學式表示為：

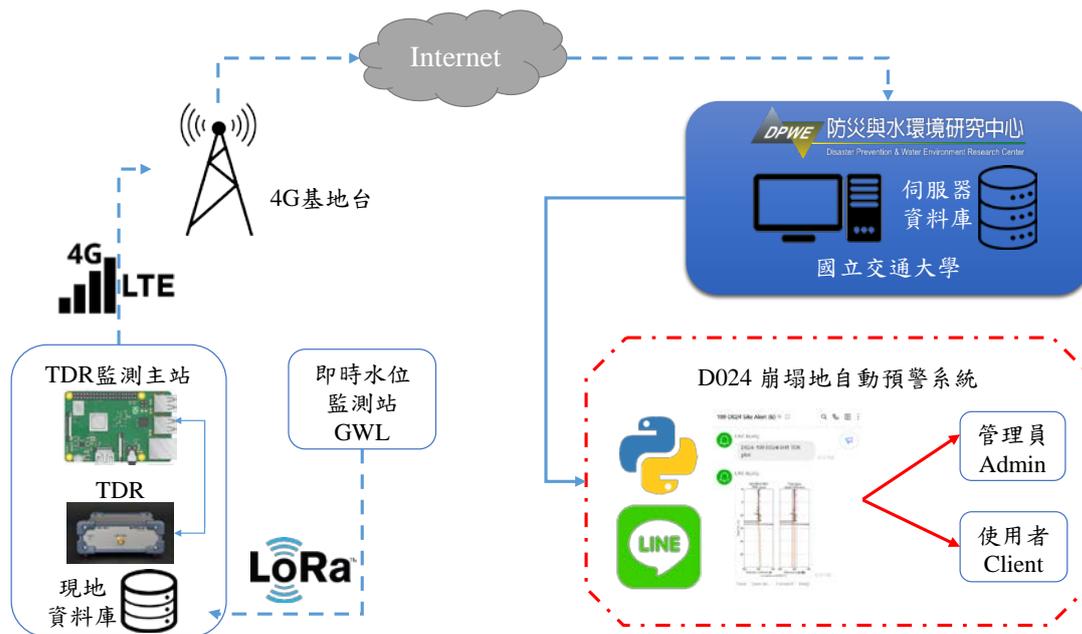
$$\delta = (\rho_{peak}/S) + \delta_0$$

其中 δ 為外部剪動位移量， ρ_{peak} 為反射係數峰值(與初始量測值之差值)， S 為纜線與周圍束制材料之有效靈敏度， δ_0 為使 TDR 波形產生初始反應所需之啟動位移量，經由一次線性迴歸求得，定義為迴歸門檻值(regression threshold value)。



圖附 5-3 TDR 錯動變形量化分析方法

本計畫分別於 BH1、BH3 及 BH4 裝設 TDR 坡地滑動面剪動位移量監測及自動傳輸設備，將 TDR 波形透過 3G/4G 網路定時回傳交大防災中心伺服器並進行解算，監測頻率暫定間隔 2 小時。TDR 資料自動化傳輸架構如圖附 5-4 所示，後端再由伺服器自動分析資料後透過 Line 即時通訊軟體發布崩塌地現況予本團隊成員。本工作擬藉由前述各項監測資料結果，分析降雨或地震事件與地中變位變化之關係，推估潛在滑動面位置與活動性，提供後續邊坡穩定分析使用。



圖附 5-4 現地 TDR 與地下水位資料傳輸架構圖

附 5.2 崩塌地監測現況

本計畫依據地質鑽探結果，於 BH1、BH3 埋設 TDR 變形量測電纜線及自動傳輸設備，並於 BH4 埋設傾斜觀測管，調查滑動面深度以及位移滑動量(圖附 5-1)。由於本坡地位移速率極快，因此於 BH4 補充增加 2 組 TDR 監測。針對各孔監測現況(至 2020 年 8 月 3 日為止)，說明如下：

(1) BH1 TDR 位移監測

2020/5/22 完成主站架設及纜線埋設，TDR 纜線埋設至深度 30.1 m。於 2 天後(2020/5/24)，TDR 纜線出現剪動訊號，並於 2020/5/29 在深度 12.82 m 處剪斷(圖附 5-5)。纜線剪斷前推估之累積位移預估為 117 mm，有效監測時間約為 7.5 天，平均位移速率 15.6 mm/日。目前僅能監測淺於剪斷深度之位移變化。

(2) BH3 TDR 位移監測

2020/6/18 完成主站架設及纜線埋設，TDR 纜線埋設至深度 42.5 m。於 2 天後(2020/6/19)，TDR 纜線出現剪動訊號，並於 2020/6/22 在深度 35.79m 處剪斷(圖附 5-6)。纜線剪斷前推估之累積位移預估為 131 mm，有效監測時間約為 5 天，平均位移速率 26.2 mm/日。目前僅能監測淺於剪斷深度之位移變化。

(3) BH4 測傾管與 TDR 共構埋設與監測 (圖附 5-7)

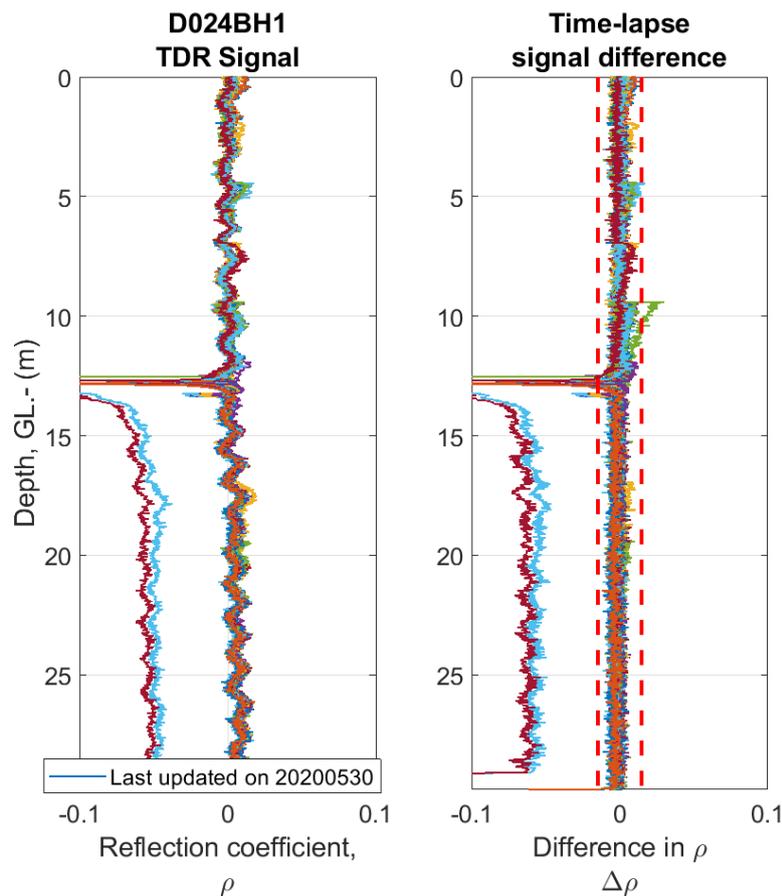
(A)測傾管：2020/7/2 傍晚完成測傾管安裝，於隔天 2020/7/3，即於深度 37.0 m 量得剪動面位移，並於 2020/7/8 早上測傾管剪斷，5 天地表位移量 65mm，平均位移速率 13 mm/日(圖附 5-8)。

(B)共構 TDR(BH4)：2020/7/2 完成主站架設及纜線埋設，此處 TDR 纜線安裝於測傾管外側之 B 向，TDR 纜線埋設至深度 43.0 m。於 3 天後(2020/7/5)，TDR 纜線出現剪動訊號，並於 2020/7/15 在深度 37.15m 處

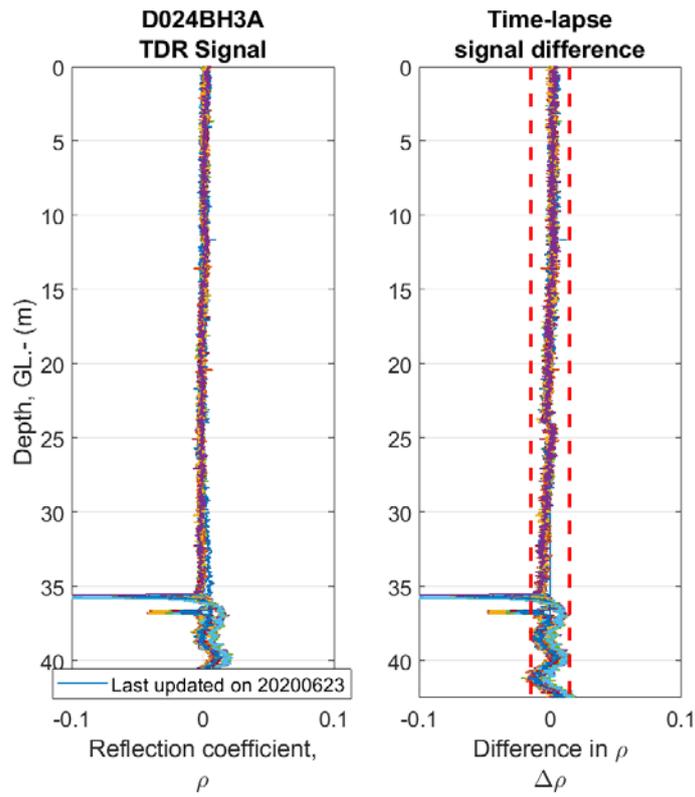
剪斷(圖附 5-9)。對照測傾管資料換算之累積位移約為 132 mm，有效監測時間約為 14 天，平均位移速率 9.4 mm/日。

(C)補充 TDR(BH4A)：在測傾管失去功能後，2020/7/9 於失效之測傾管內埋設 TDR 纜線繼續監測。於深度 37.15m 處量測得剪動訊號，並於 2020/8/3 剪斷(圖附 5-10)。對照測傾管外之 TDR 資料換算之累積位移約為 320 mm，有效監測時間約為 26 天，平均位移速率 12.3 mm/日。目前僅能監測淺於剪斷深度之位移變化。

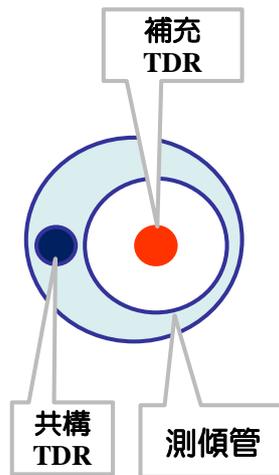
綜合上述監測結果，各孔 TDR 已成功量測滑動面深度及平時之位移速率。惟目前 TDR 監測累積位移量已達儀器極限值，後續將無法有效監測滑動面位移。為持續監測本坡地位移，建議新增地表位移監測系統，俾銜接監測數據及提供地方機關預警機制。



圖附 5-5 BH1 孔 TDR 於 12.82m 處剪斷前之訊號圖

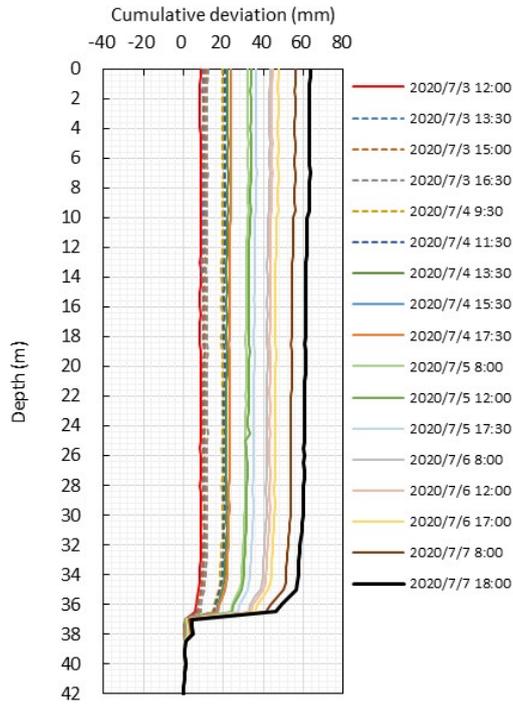


圖附 5-6 BH3 孔 TDR 於 35.79m 處剪斷前之訊號圖

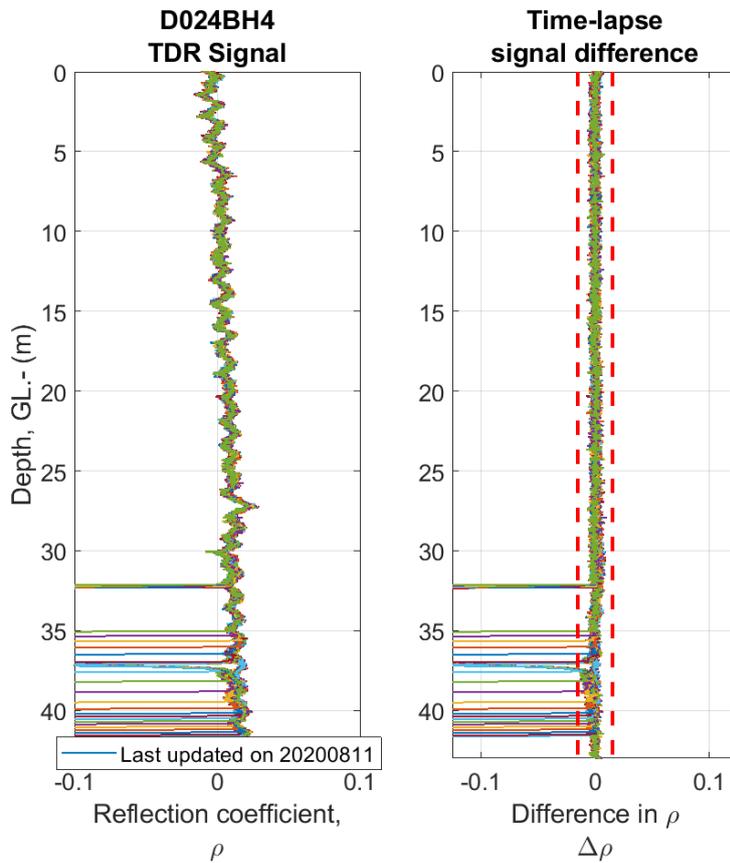


圖附 5-7 BH4 孔測傾管與 TDR 共構配置圖

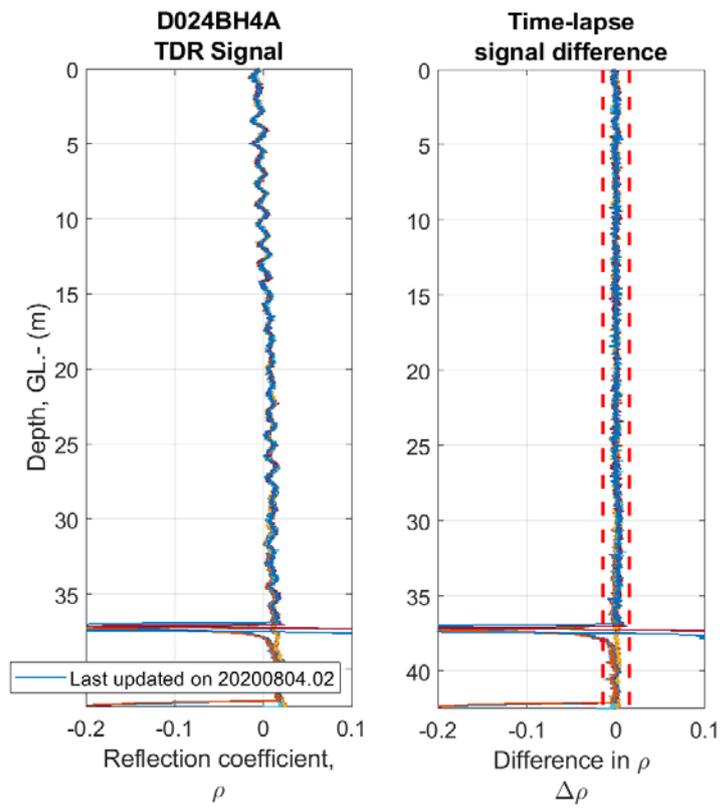
AB Square



圖附 5-8 測傾管量測結果



圖附 5-9 BH4 孔共構 TDR 於 37.15m 處剪斷前之訊號圖



圖附 5-10 BH4 孔補充 TDR 於 37.15m 處剪斷前之訊號圖

**附錄 6、玉區 21 林班崩塌地調查評估緊急說明會
第一次(109 年 7 月 7 日)**

第二次(109 年 7 月 27 日)



玉區 21 林班崩塌地調查評估 緊急說明會

翁孟嘉 教授
楊哲銘 博士



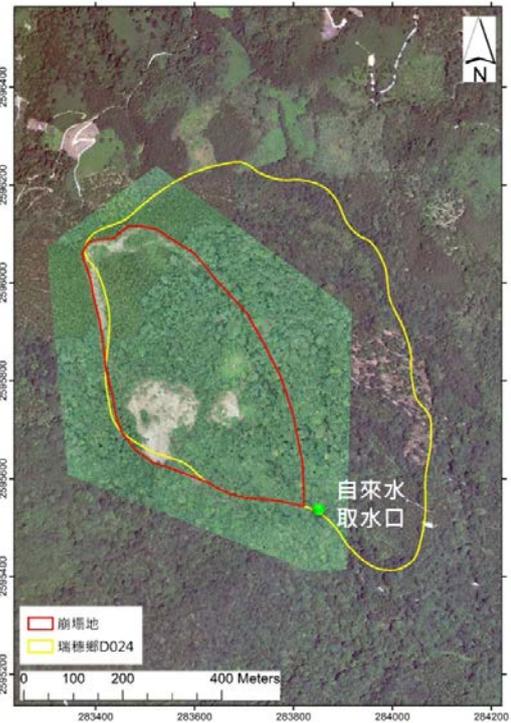
國立交通大學防災與水環境研究中心
中華民國109年7月7日



崩塌地位置

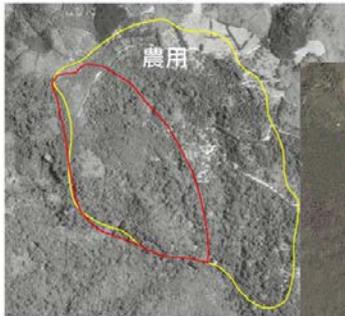


玉區21林班崩塌地(17公頃)
瑞穗鄉-D024(38公頃)



3

1980/07/02 (航空照片)



2013/07/28 (Google Earth)



2015/07/31 (航照)



2015/11/28 (GE)



2017/06/25 (GE)

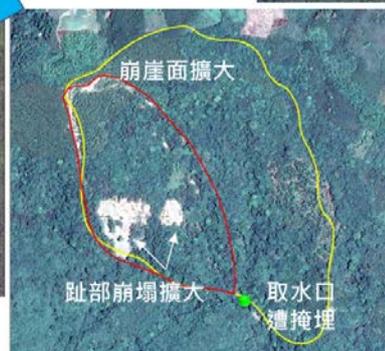


2017/08/12 (航照)



1011 豪雨

2018/04/10 (GE)



*1983, 1993, 2002, 2003, 2008正射影像陸續製作中

歷史災害

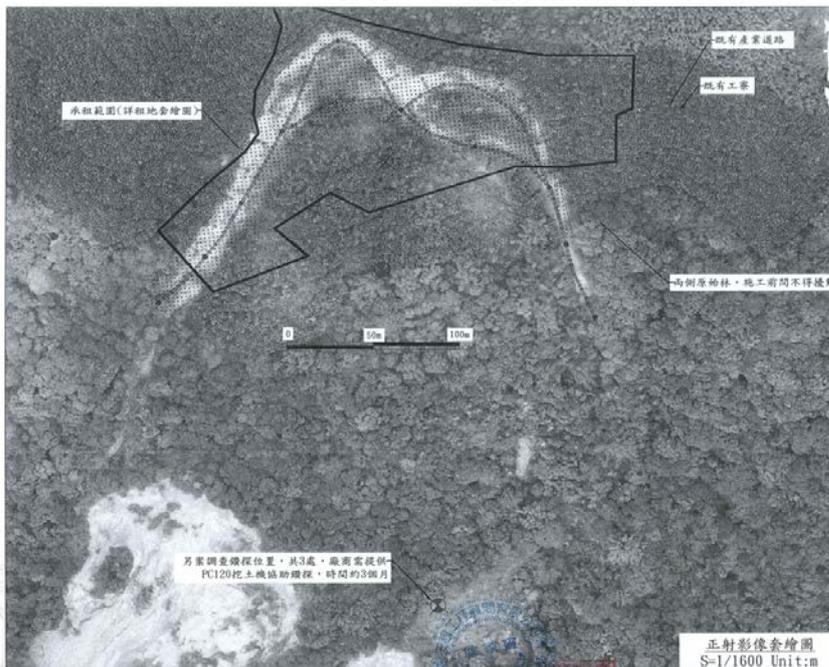
下邊坡位移變化



2015至2017: 水平位移 3.28m
2015至2019: 水平位移 20.72m
2015至2020: 水平位移 26.95m



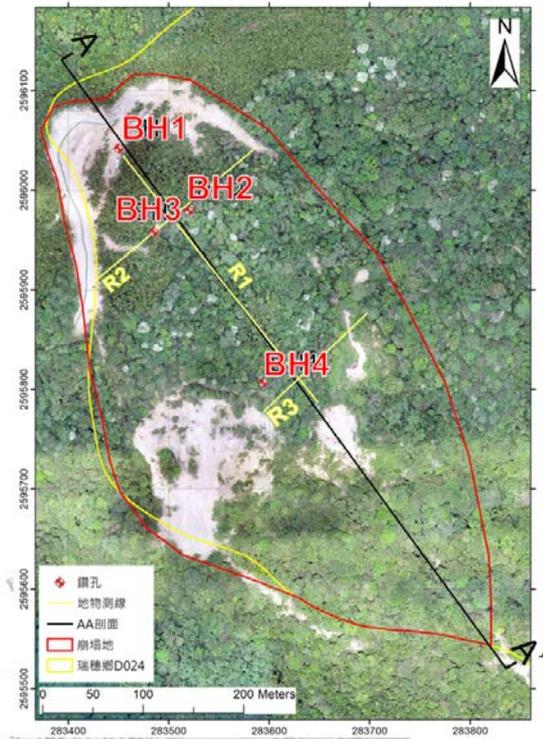
玉里21林班崩塌地處理工程



補充說明:
一、本工程土包袋溝及跌水工程配合現場地形, 經監造單位同意後得調整土包袋溝及跌水施工位置及長度, 以不超過原契約金額為原則。
二、本工程兩側原始林屬於野生動物重要棲息環境, 施工便道應盡量利用崩塌地裸露或草地範圍開設, 若無法避免, 工程施作應避免干擾或移除工區周邊樹木。
三、本工程距省道台9線約5公里, 既有產業道路部分路段凹凸不平, 本工程施工便道費包含既有產業道路路基整理, 廠商不得要求增加費用。
四、本工程施工期間, 花蓮林管處同時辦理崩塌地規劃調查案, 承包商需提供1台PC120協助鑽探廠商施作, 期間約3個月, 費用已編列於詳細價目表中。
五、坡面整理如遇檜木之樹種及苗木應予保留, 以做為未來水土保持及天然下種樹種之用。
六、野生動物活動覓食旺盛期為晨昏時段, 工程施作時段應限制於早上8點開始, 下午5點前結束, 若非必要, 盡量避免夜間施工, 影響夜行性生物活動棲息。
七、完工後應將施工期間遺留之民生及工程廢棄物集中分類處理後帶離現場, 避免野生動物誤食或遭受傷害。

行政院農業委員會林務局 花蓮林區管理處	繪圖: 曾雙紅 設計: 趙澤民 校核: 廖家寶	技師: 廖家寶 主筆: 廖家寶 日期: 年 月	設計師: 廖家寶 監工: 廖家寶 日期: 年 月	設計單位: 大宇工程顧問有限公司 聯絡電話: 0938133133	單位: 比例尺: 依圖示	工程名稱: 玉里21林班崩塌地處理工程 圖名: 正射影像套繪圖	版本: 圖號: 3
------------------------	-------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	--------------------------------------	-----------------	------------------------------------	--------------

地下探調工作



鑽探孔位與監測設備

孔號	深度(m)	監測設備
BH1	30	TDR變形量測電纜線
BH2	37	水壓計
BH3	45.6	TDR變形量測電纜線
BH4	43.6	傾斜觀測管
總深度		156.2 m

地物測線

名稱	長度(m)	備註
R1	340	折射震測法探測，掌握崩積層分布並與BH1、BH2、BH4比較。
R2	210	折射震測法探測，掌握崩積層分布並與BH2、BH3比較。
R3	150	折射震測法探測，掌握崩積層分布並與BH4比較。
合計	700	實作測線依現地狀況些微調整，以測線目的為原則。



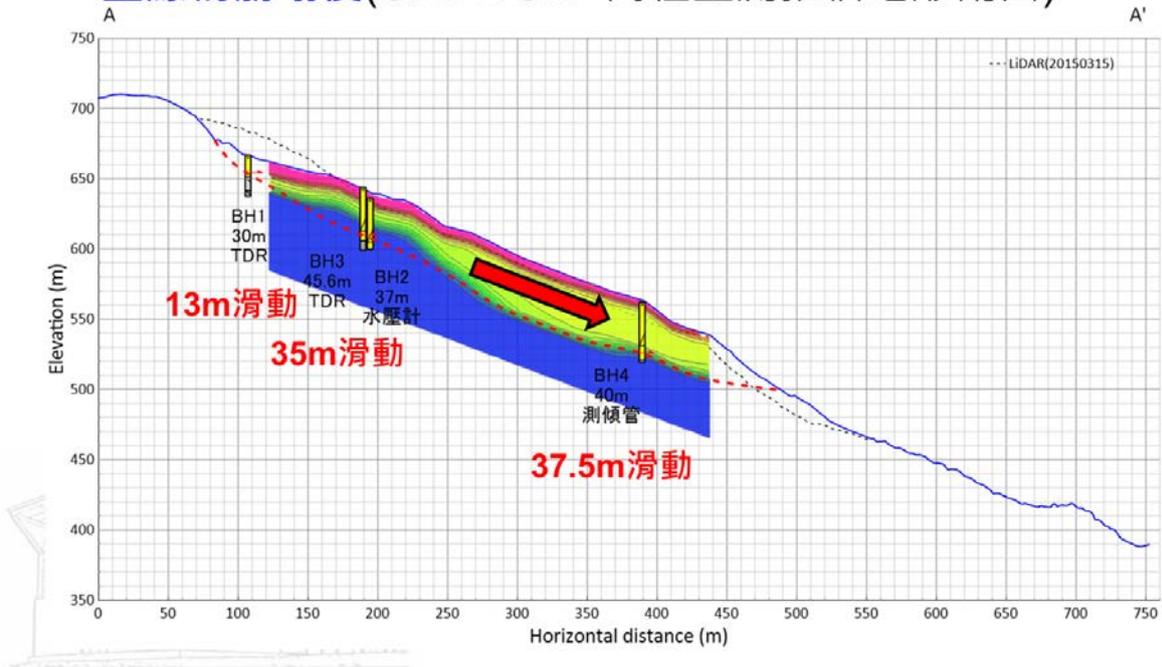
8



AA'剖面

黑線為崩塌前(2015LiDAR地形剖面)

藍線為崩塌後(UAV DSM+高程量測推估地形剖面)

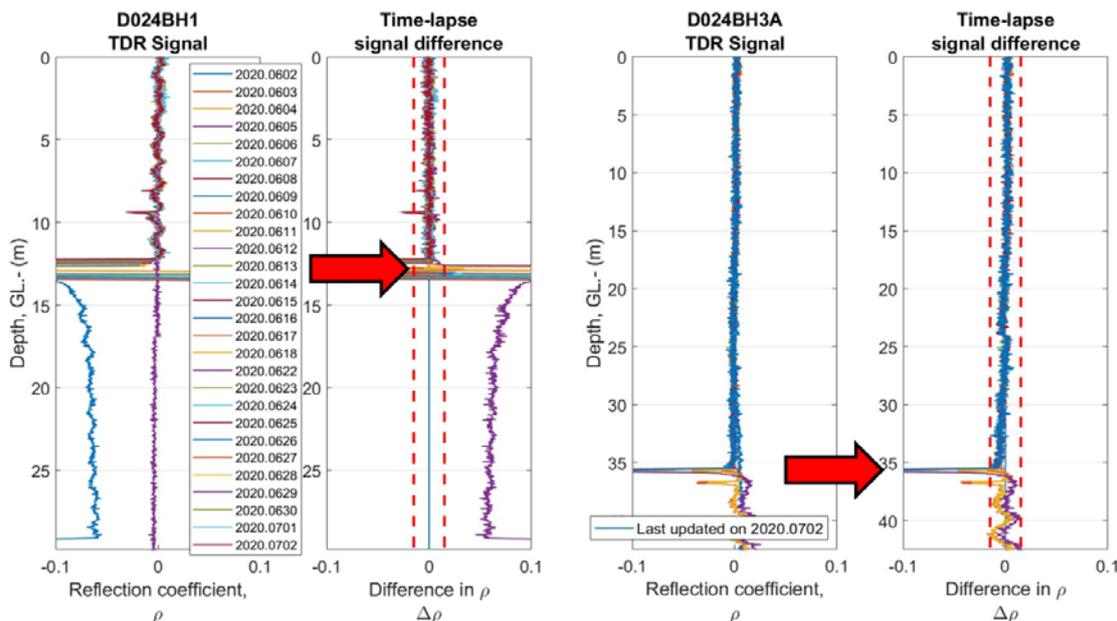


9

TDR 纜線被地滑剪斷!!

BH1: 13m(約10天)

BH3: 35m (約5天)



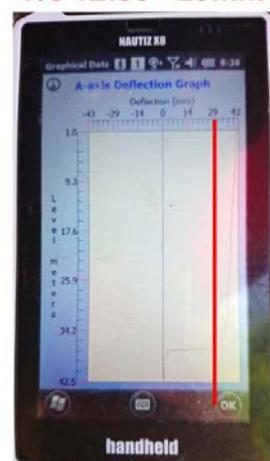
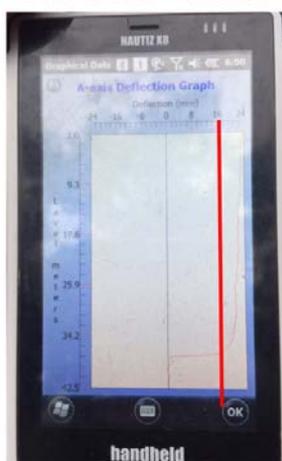
10

BH4: 7/2 18:00 傾斜觀測管埋設，數據顯示深度37.5m出現明確變位!

DAY1
7/3 17:30 ~8mm

DAY2
7/4 18:00 ~16mm

DAY4
7/6 12:00 ~29mm



航空測量(3月至5月)與衛星測量(6月至今)
日平均1.4cm的“持續”位移(沒下雨也在動!)

11

林柏維，孫淑霞，黃立遠(2016)山坡地防災預警與監測系統，臺北市大地工程處

表 3-4 地層變位管理對策表

變動種別	日變位置 (mm)	月變位置 (mm)	一定方向的累積傾向	活動性判斷	管理值
緊急變動	20 以上	500 以上	非常的顯著	急速崩壞	-
確定變動	1 以上	10 以上	顯著	活潑運動中	行動值
準確定變動	0.1 以上	2.0 以上	略顯著	緩慢運動中	警戒值
潛在變動	0.02 以上	0.5 以上	稍稍有	有待繼續觀測	-



12

表5-6 地滑監測管理基準值

監測項目	管理應變基準 (註6)				備註
	潛在	注意	警戒	危險	
地表伸縮計	~	0.5~10mm / 日	>10mm / 日	>50mm / 日	註1
	>10 mm / 月	5~50mm / 5日	10~100mm / 日	>100mm / 日	註2
	~	0.5~25 mm / 日	5~100mm / 日	50~500mm / 日	註3
	<10mm / 月	10~30mm / 月	30~300mm / 月	>300mm / 月	註4
	>0.02mm / 日 >0.5mm / 月	>0.1mm / 日 >2.0mm / 月	>1.0mm / 日 >10mm / 月	>20mm / 日 >500mm / 月	註5
地表傾斜儀	~	5~10sec / 日	~	10~50sec / 日	註1
	10~50sec / 10日	~	~	~	註2
	~	5~10sec / 日	~	10~50sec / 日	註3
管內傾斜儀	~	0.5~1mm / 日	2~3mm / 日	~	註1
	>1 mm / 10日	5~50mm / 5日	~	~	註2
	~	0.5~1mm / 日	2~5mm / 日	>10 mm / 日	註3
降雨量 (累積雨量)	~	~	10~20mm/hr (50 mm)	>20mm/hr (100mm)	註1
	~	~	10~20mm/hr (10~50 mm)	20mm/hr (100mm)	註3

(一)註1=日本高速公路調查會，1988；註2=日本道路公團土質地質調查要領，1992；註3=中華水土保持學會，1999；註4=Flentje and Chowdhury, 2002；註5=日本地滑協會，1978。
(二)註6：潛在=稍有，持續監測；注意=略顯著，緩慢運動中；警戒=顯著，活潑運動中；危險=非常顯著，急速崩壞。



連惠邦，土砂災害與防治

13

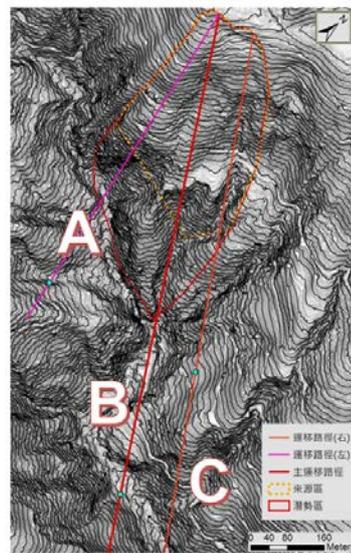
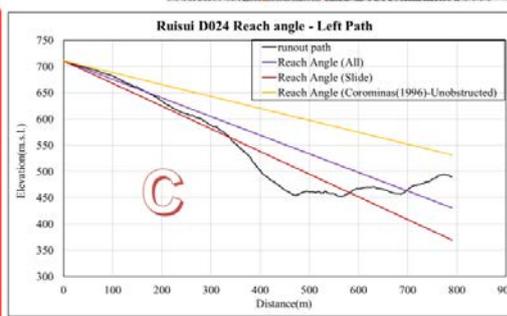
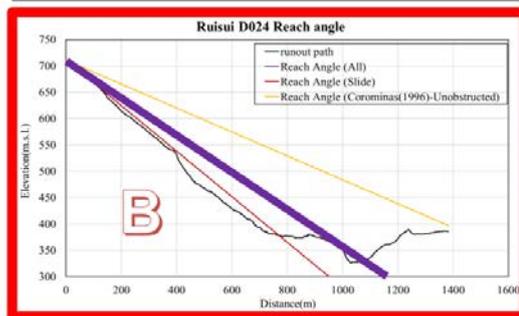
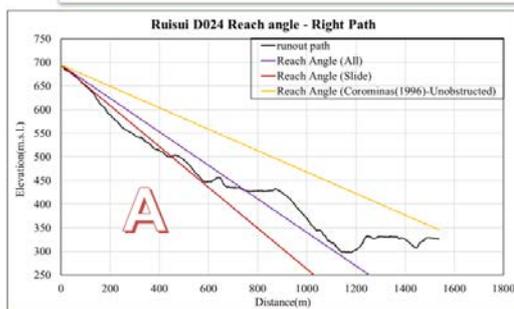
影響範圍與風險評估

1. 估算滑動體面積 10.5公頃
2. 以經驗式 ($V = 0.0799 \times A^{1.3302}$) 估算崩塌體積 182.4萬 m^3
3. 若以平均厚度 30~35m 估算崩塌體積 315 ~368 萬 m^3



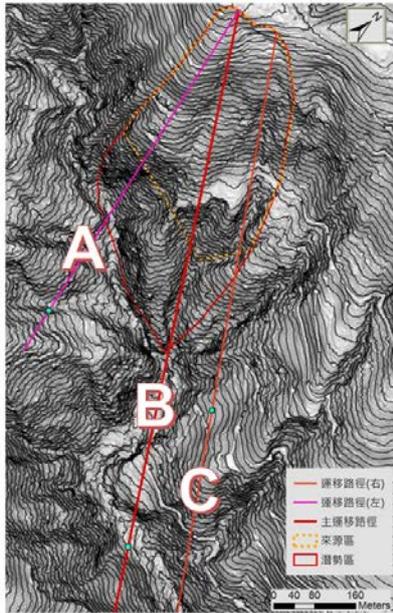
14

三條路徑運移與三種假設移動性(H/L)
B路徑運移距離=1078m (H/L=0.35)

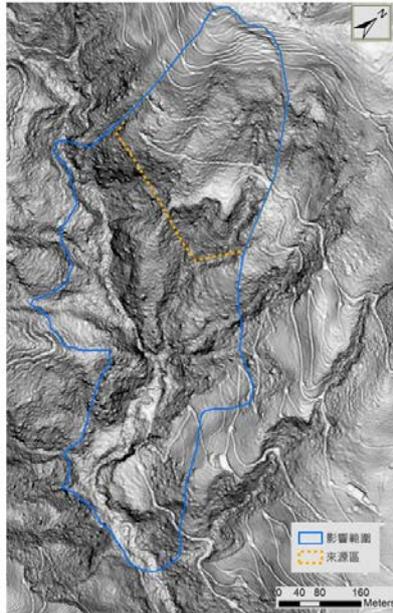


15

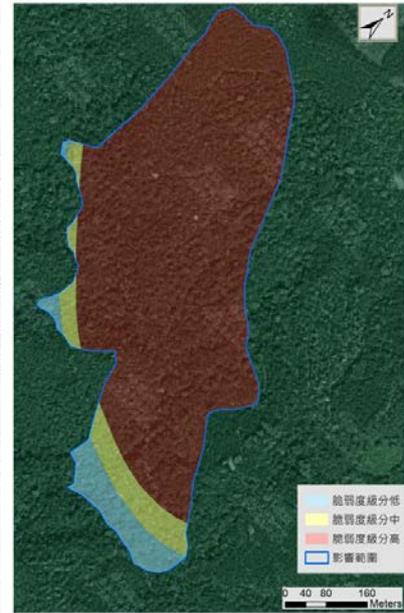
路徑計算之運移距離



影響範圍

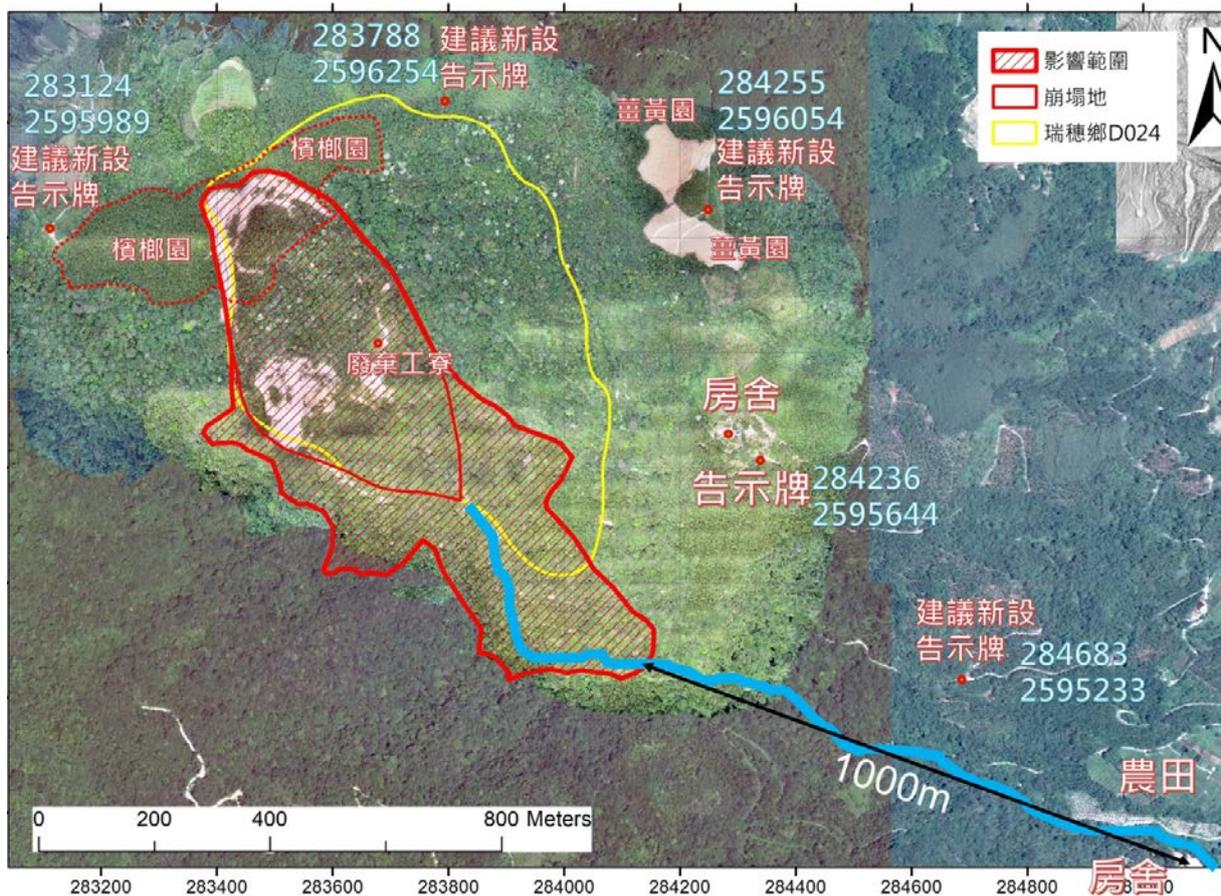


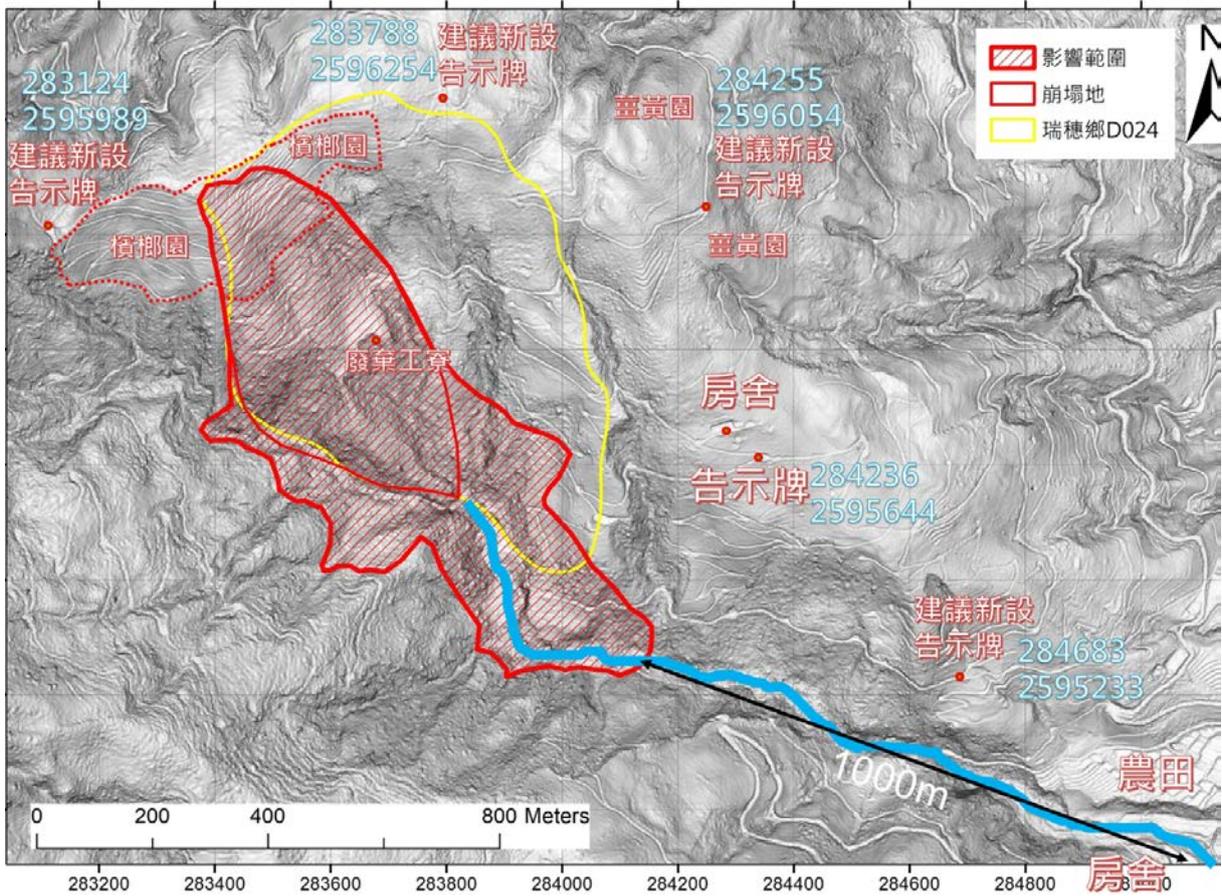
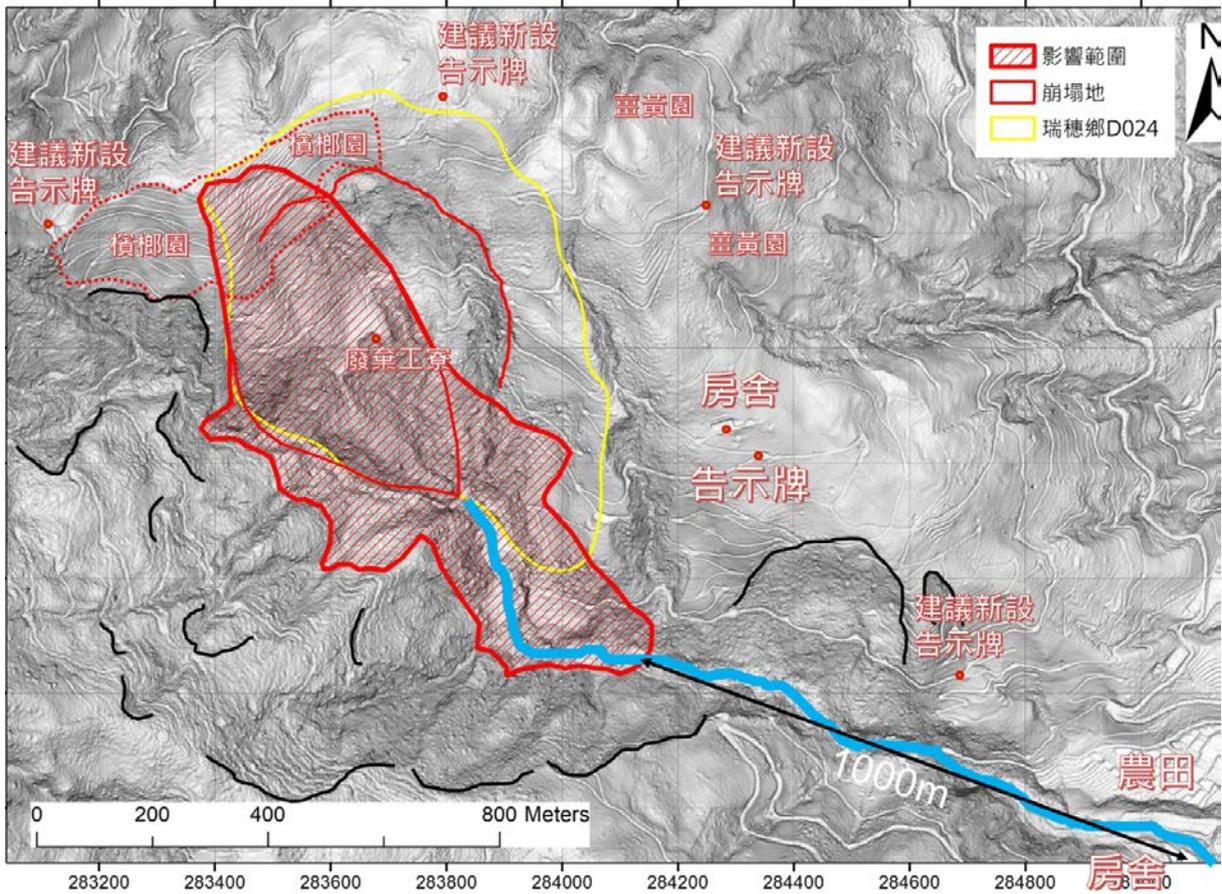
脆弱度分級



滑動後影響：阻塞下游河道、中斷下游影響範圍內道路

16







建議相關單位應變措施

- 一、建立緊急聯絡網：(花蓮林管處、交通大學、自來水公司第九管理處、花蓮縣政府、花蓮縣瑞穗鄉公所、花蓮縣瑞穗鄉公所舞鶴村辦公室)
- 於1090707會後建立緊急連絡小組及LINE即時通訊群組，由交通大學即時發布監測數據，達危險數值時警示。
- 二、設立警示牌示：(請本處玉里工作站設立牌示及通知林班地承租人)
- 依交通大學建議簡報標示處，通往崩塌地產業道路處、下游影響範圍內產業道路及通知林班地承租人。
- 三、警示人員非必要時避免進入：(花蓮縣政府、花蓮縣瑞穗鄉公所、花蓮縣瑞穗鄉公所舞鶴村辦公室)
- 1.降雨：大雨特報(注意、勸告避免進入)、豪雨以上(警戒、勿進入或預防性撤離)
- 2.地震(舞鶴國小站)：震度4(注意、勸告避免進入)、震度5弱以上(警戒、勿進入或預防性撤離)
- 3.警示對象：崩塌影響範圍內檳榔園、薑黃田種植者及道路使用人。

氣象局雨量分級定義如下所示：

大雨 24 小時累積雨量達 80mm 以上，或時雨量達 40mm 以上之降雨現象。

豪雨 24 小時累積雨量達 200mm 以上，或 3 小時累積雨量達 100mm 以上之降雨現象。

大豪雨 24 小時累積雨量達 350mm 以上，或 3 小時累積雨量達 200mm 以上之降雨現象。



玉區 21 林班崩塌地調查評估 第二次緊急說明會

翁孟嘉 教授

楊哲銘 博士

中華民國109年7月27日



國立交通大學

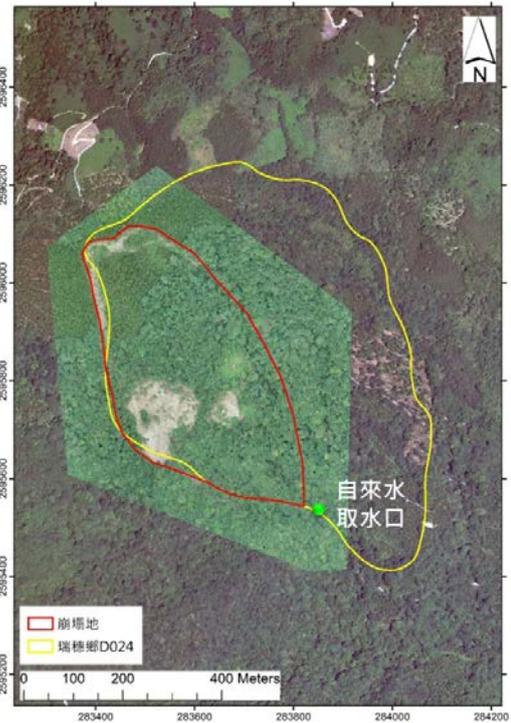
防災與水環境研究中心

Disaster Prevention & Water Environment Research Center

崩塌地位置

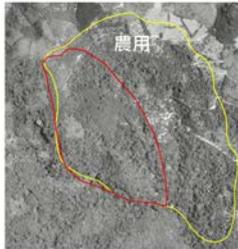


玉區21林班崩塌地(17公頃) 瑞穗鄉-D024(38公頃)



3

1980/07/02 (航空照片)



2013/07/28 (Google Earth)



2015/07/31 (航照)



2015/11/28 (GE)



2017/06/25 (GE)



2017/08/12 (航照)



2018/04/10 (GE)



2020/03/24 UAV



歷史災害

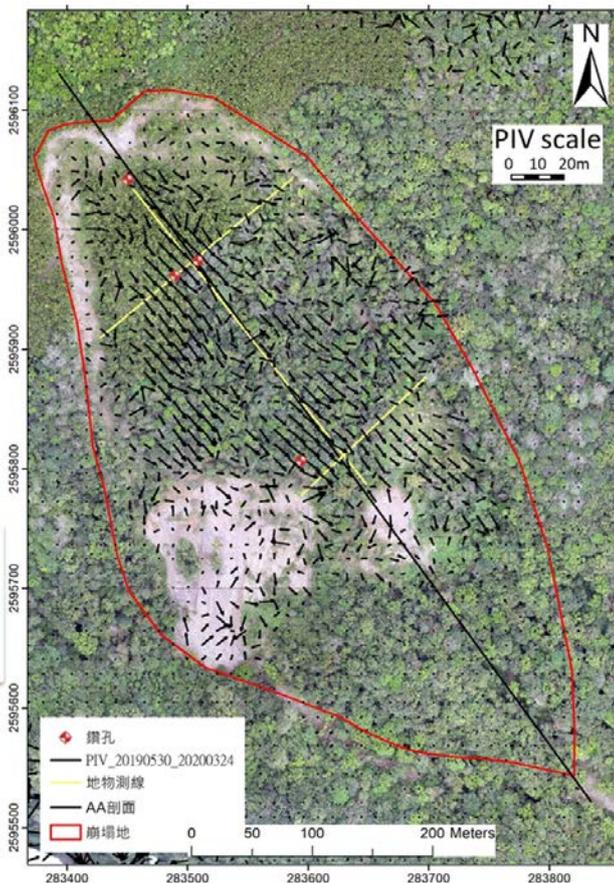


航(遙)測分析

邊坡位移變化

正射影像日期	累積位移(m)	位移速率(m/月)
2015/7/31	0	-
2017/8/12	3.28	0.13
2019/5/30	20.72	0.80
2020/3/24	26.96	0.63
2020/5/4	27.535	0.42

今年(2020)梅雨季前，平均位移速率0.42 m/月(1.4 cm/日)



5

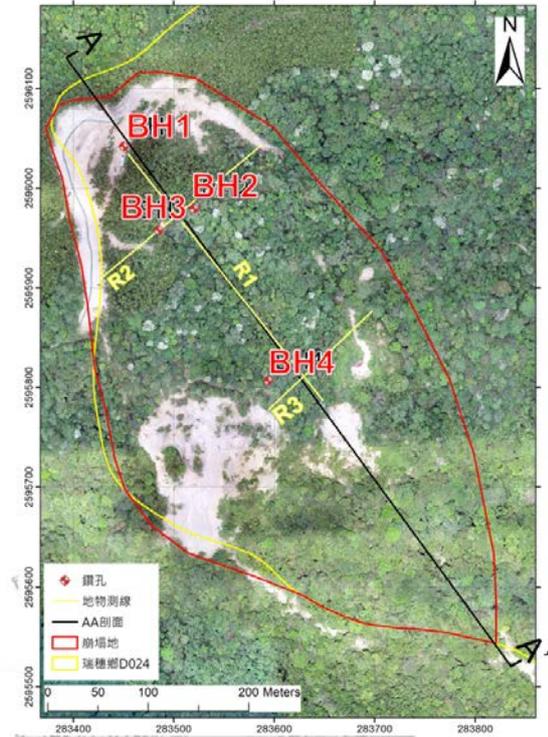
工寮南端屋角位移量



正射影像日期	累計天數	累積位移(m)	與前期天數差距	與前期位移差距(m)	期間位移速率(mm/天)	備註
2015/07/31	0	0	0	0	-	初始值
2017/08/12	743	3.28	743	3.28	4.4	2016/07 尼伯特颱風 2016/09 莫蘭蒂颱風
2019/05/30	1399	20.72	656	17.44	26.6	2017 1011 豪雨事件
2020/03/24	1698	26.96	299	6.447	21.6	2019/08 白鹿颱風
2020/05/04	1739	27.54	41	0.537	13.1	
2020/07/07	1803	28.48	64	0.946	14.8	梅雨

6

地下探調工作



鑽探孔位與監測設備

孔號	深度(m)	監測設備
BH1	30	TDR變形量測電纜線
BH2	37	水壓計
BH3	45.6	TDR變形量測電纜線
BH4	43.6	傾斜觀測管
總深度		156.2 m

地物測線

名稱	長度(m)	備註
R1	340	折射震測法探測，掌握崩積層分布並與BH1、BH2、BH4比較。
R2	210	折射震測法探測，掌握崩積層分布並與BH2、BH3比較。
R3	150	折射震測法探測，掌握崩積層分布並與BH4比較。
合計	700	實作測線依現地狀況些微調整，以測線目的為原則。

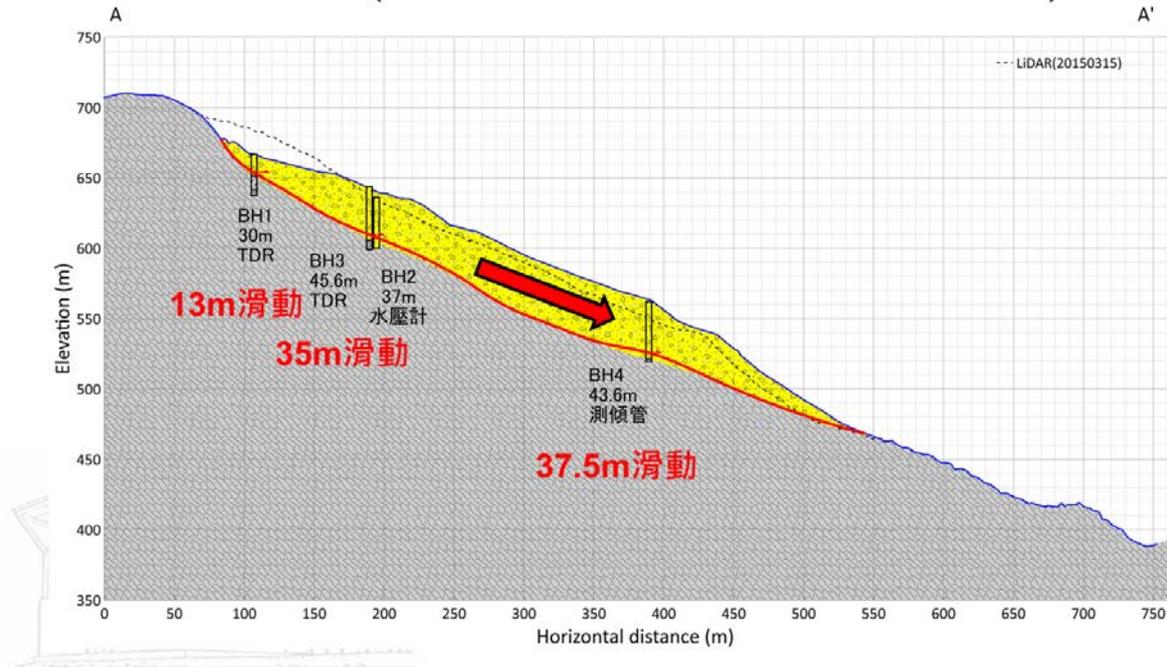


7

AA'剖面

黑線為崩塌前(2015LiDAR地形剖面)

藍線為崩塌後(UAV DSM+高程量測推估地形剖面)

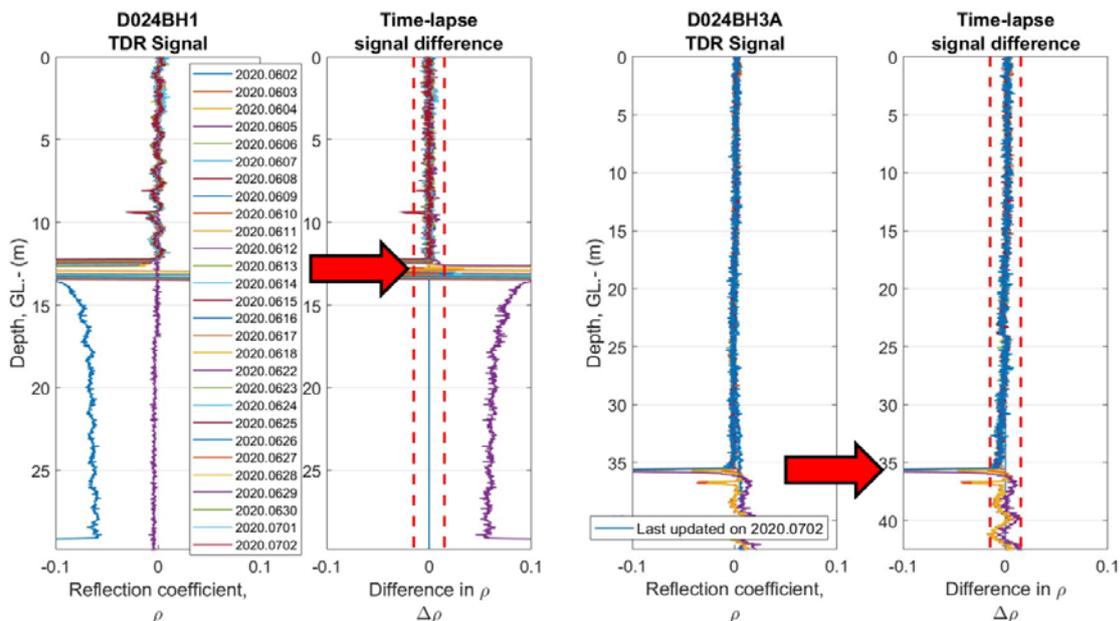


8

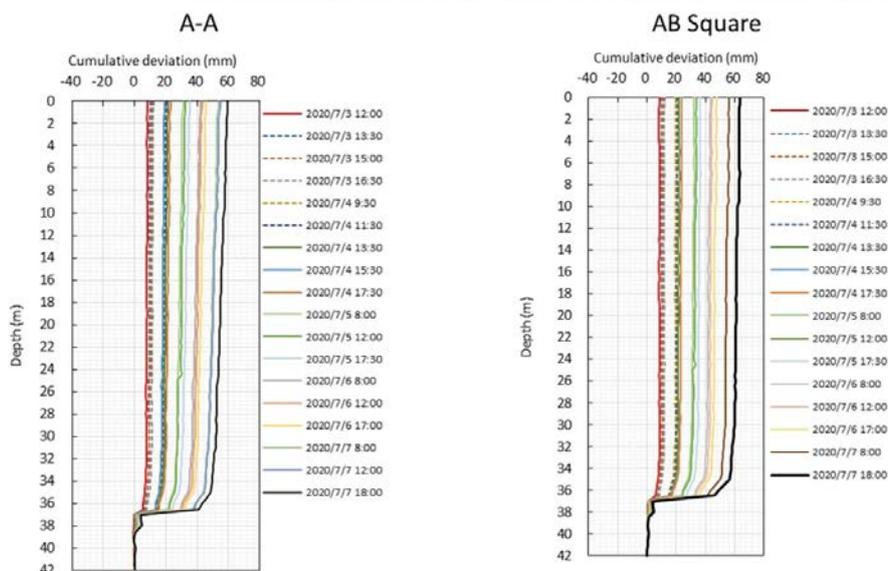
TDR 纜線被地滑剪斷!!

BH1: 13m(約10天)

BH3: 35m (約5天)



BH4: 7/2 18:00 傾斜觀測管埋設，數據顯示深度37.5m 出現明確變位!



7/2 安裝，7/7 測傾管剪斷，5 天地表位移量 65mm，平均速率 13mm/日，後續以 TDR 持續監測

林柏維，孫淑霞，黃立遠(2016)山坡地防災預警與監測系統，臺北市大地工程處

表 3-4 地層變位管理對策表

變動種別	日變位置 (mm)	月變位置 (mm)	一定方向的累積傾向	活動性判斷	管理值
緊急變動	20 以上	500 以上	非常的顯著	急速崩壞	-
確定變動	1 以上	10 以上	顯著	活潑運動中	行動值
準確定變動	0.1 以上	2.0 以上	略顯著	緩慢運動中	警戒值
潛在變動	0.02 以上	0.5 以上	稍稍有	有待繼續觀測	-



11

表5-6 地滑監測管理基準值

監測項目	管理應變基準 (註6)				備註
	潛在	注意	警戒	危險	
地表伸縮計	~	0.5~10mm / 日	>10mm / 日	>50mm / 日	註1
	>10 mm / 月	5~50mm / 5日	10~100mm / 日	>100mm / 日	註2
	~	0.5~25 mm / 日	5~100mm / 日	50~500mm / 日	註3
	<10mm / 月	10~30mm / 月	30~300mm / 月	>300mm / 月	註4
	>0.02mm / 日 >0.5mm / 月	>0.1mm / 日 >2.0mm / 月	>1.0mm / 日 >10mm / 月	>20mm / 日 >500mm / 月	註5
地表傾斜儀	~	5~10sec / 日	~	10~50sec / 日	註1
	10~50sec / 10日	~	~	~	註2
	~	5~10sec / 日	~	10~50sec / 日	註3
管內傾斜儀	~	0.5~1mm / 日	2~3mm / 日	~	註1
	>1 mm / 10日	5~50mm / 5日	~	~	註2
	~	0.5~1mm / 日	2~5mm / 日	>10 mm / 日	註3
降雨量 (累積雨量)	~	~	10~20mm/hr (50 mm)	>20mm/hr (100mm)	註1
	~	~	10~20mm/hr (10~50 mm)	20mm/hr (100mm)	註3

(一)註1=日本高速公路調查會，1988；註2=日本道路公團土質地質調查要領，1992；註3=中華水土保持學會，1999；註4=Flentje and Chowdhury, 2002；註5=日本地滑協會，1978。
(二)註6：潛在=稍有，持續監測；注意=略顯著，緩慢運動中；警戒=顯著，活潑運動中；危險=非常顯著，急速崩壞。



連惠邦，土砂災害與防治

12

影響範圍與風險評估

1. 估算滑動體面積
10.5公頃
2. 以經驗式 ($V = 0.0799 \times A^{1.3302}$) 估算崩塌體積182.4萬 m^3
3. 若以平均厚度
30~35m 估算崩塌
體積 315 ~368 萬 m^3



13

破壞模式與影響範圍

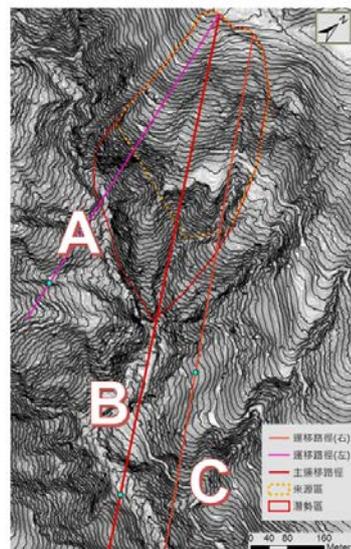
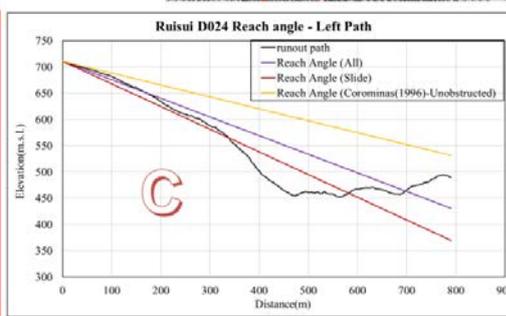
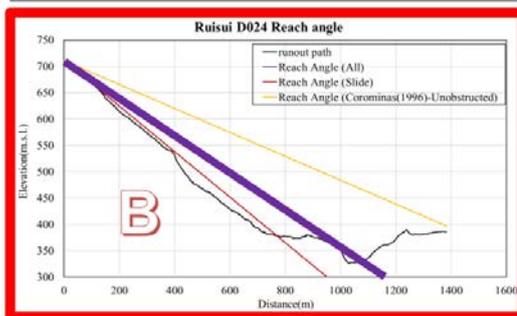
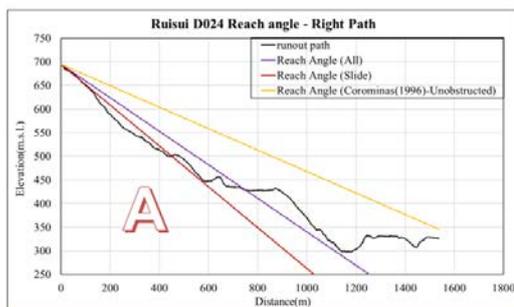
- 坡體一次式大規模滑動
- 一次式大規模滑動，阻礙下游河道形成堰塞湖
- 土石流(發生機率低)



14

坡體一次式大規模滑動

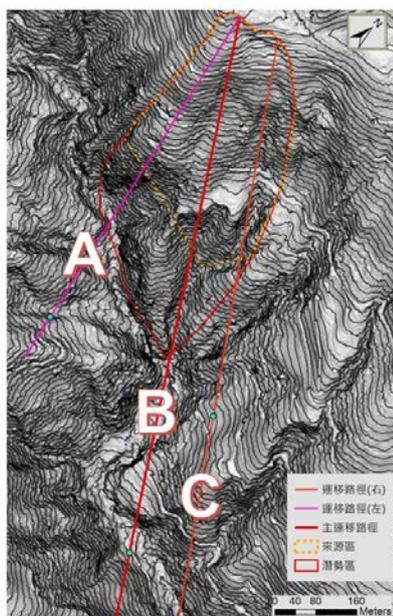
B路徑運移距離=1078m (H/L=0.35)



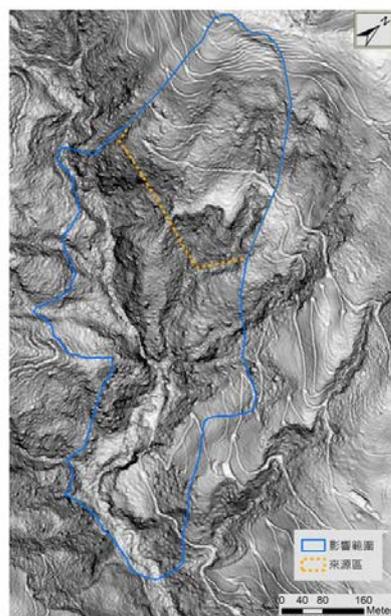
15

坡體一次式大規模滑動

路徑計算之運移距離

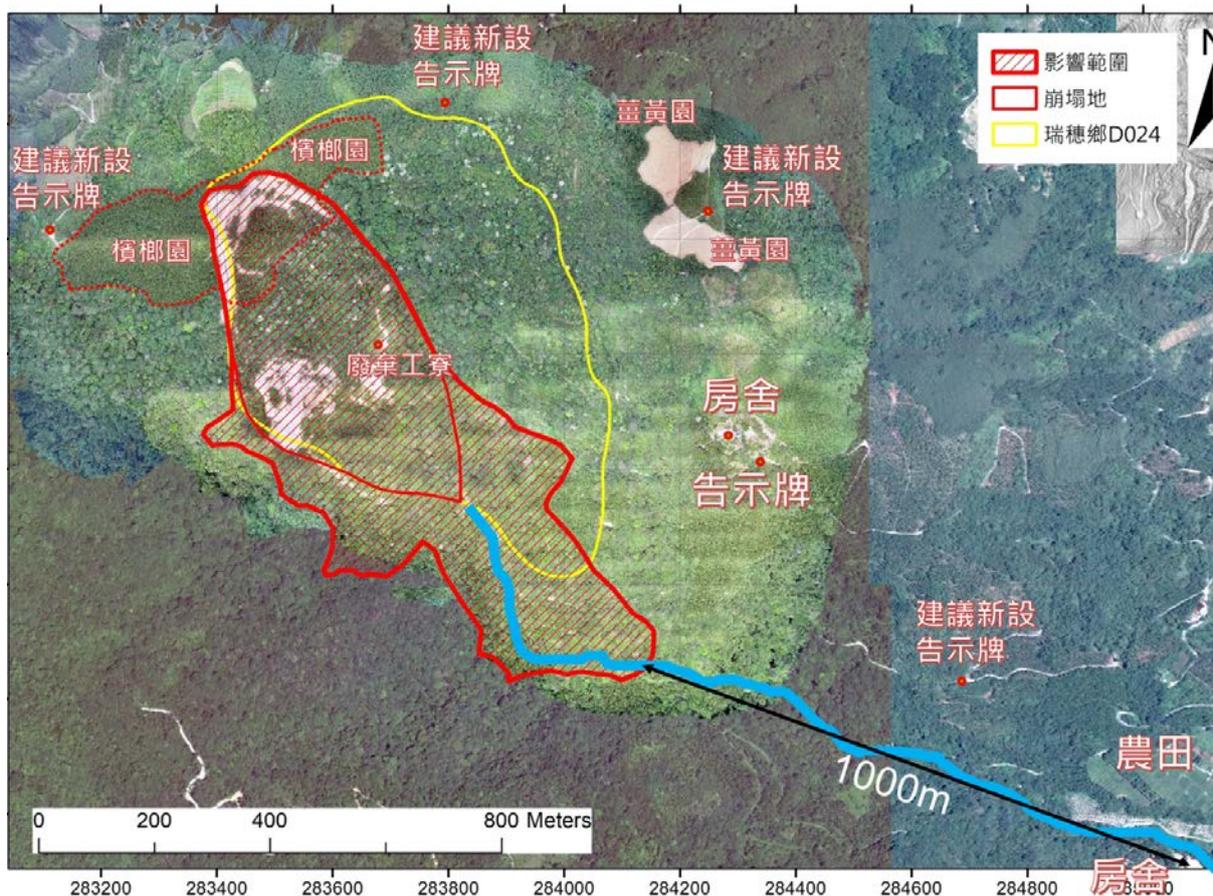


影響範圍



滑動後影響：阻塞下游河道、中斷下游影響範圍內道路

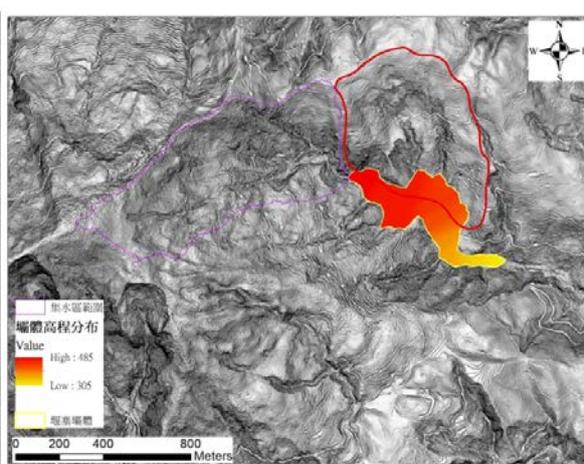
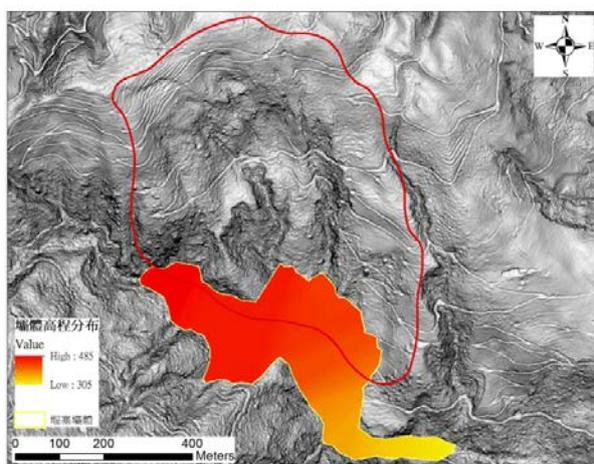
16



堰塞湖分析

依堆積範圍推估壩體地形

堆積體積: 228萬立方公尺
 堆積高度估計(平均): 45公尺
 集水區面積: 52公頃



天然壩穩定性

採用無因次阻塞指標(DBI)
Ermini and Casagli (2003)

$$DBI = \log\left(\frac{A_b \times H_d}{V_d}\right)$$

• **DBI=1.01**

- **DBI<2.75**時天然壩屬穩定
- **DBI >3.08**時天然壩屬不穩定

邏輯斯迴歸模式

Dong et al. (2010)

$$L_s = -2.22\log(A) - 3.76\log(H) + 3.17\log(W) + 2.85\log(L) + 5.93$$

• **$L_s=2.16$**

- $L_s < 0$ 時代表天然壩屬不穩定
- $L_s > 0$ 時代表天然壩屬穩定

- 堰塞壩形成後屬於”穩定”
- 堰塞湖上游集水區面積約52公頃，50年重現期流量約12 cms
- 上游坡降約13度，產生堰塞壩後蓄水量很小或無
- 堰塞壩對於下游之影響不大

19

土石流發生與運移路徑

土石流運移路徑



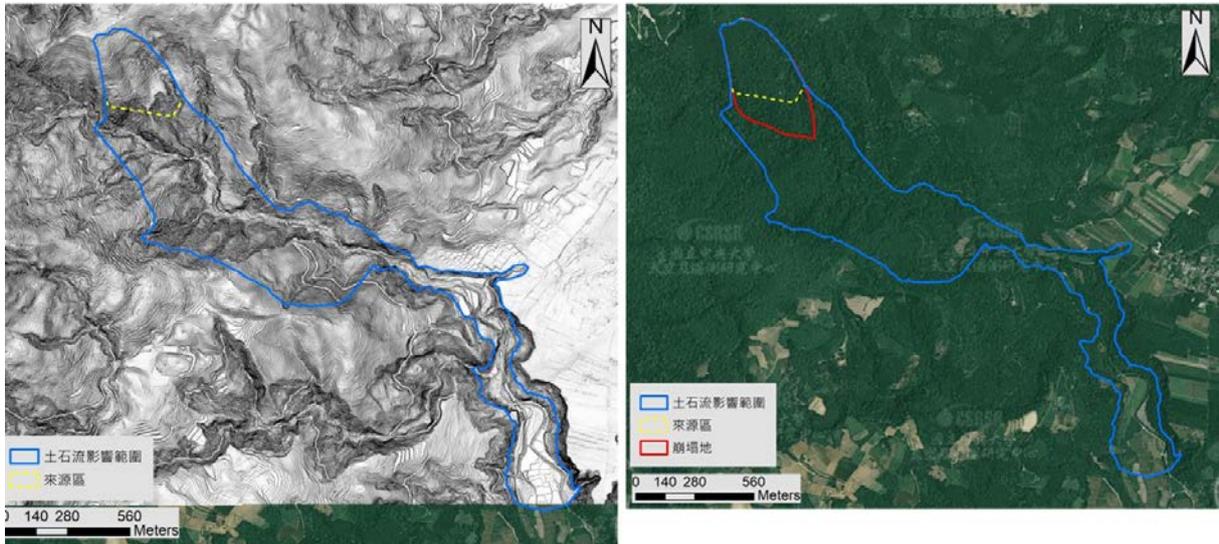
運移距離終點參考點



運移距離取大值劃設：3350m

20

土石流型影響範圍



21

土石流影響範圍

- 此崩塌地量體大、坡度陡峭，加上集水區水量很小或無，發生土石流可能性極低，此評估結果過度保守
- 溪溝兩側影響範圍大致為以溪谷高程+20~30m劃設。
- 影響範圍內曝險對象：3戶。(右圖紅圈內)



22

後續監測構想

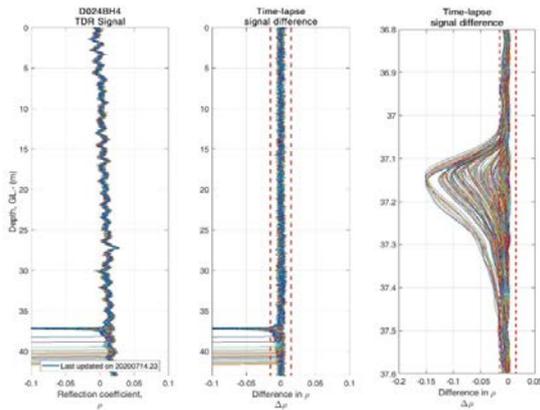
- 坡體一次式大規模滑動
- 土石流(發生機率低)



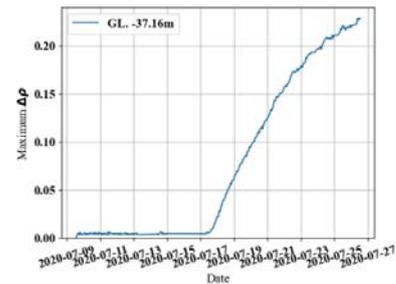
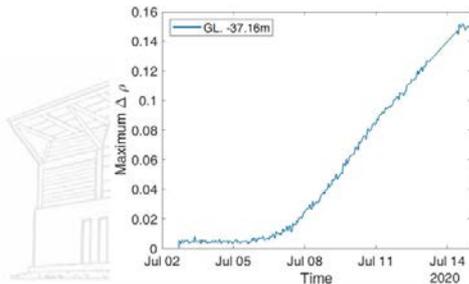
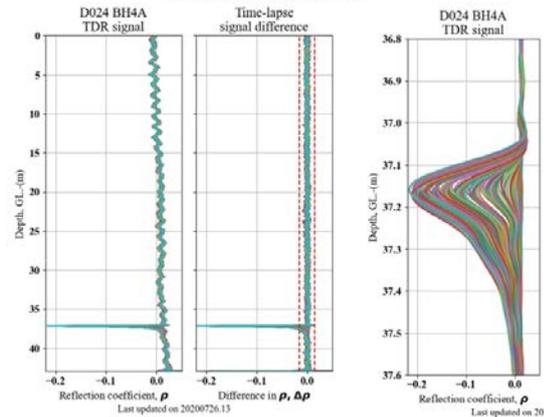
23

坡體一次式大規模滑動 坡體內TDR監測

109-D024-BH4 (測傾管外TDR)
20200702-20200714

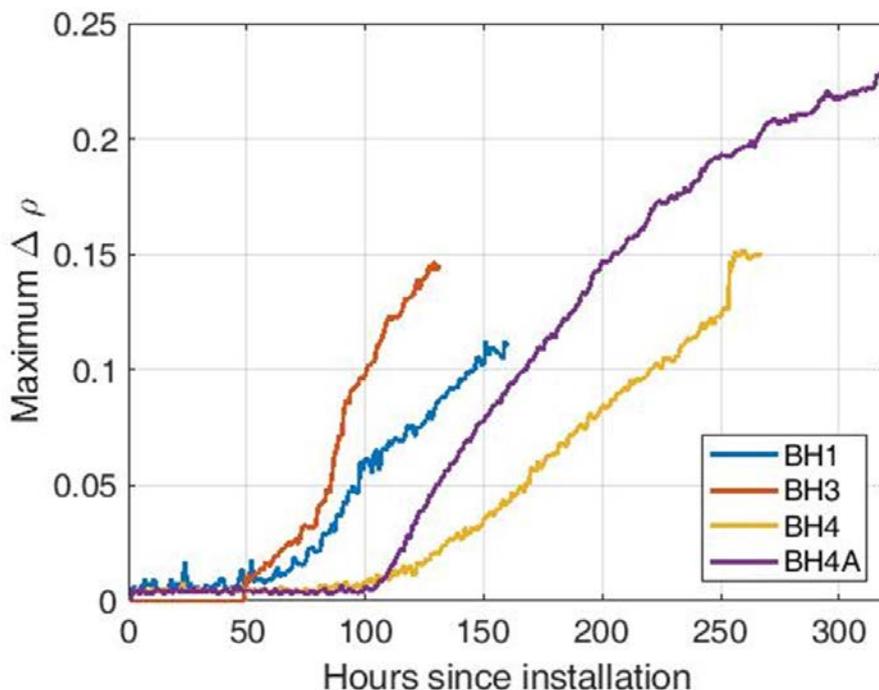


109-D024-BH4A (測傾管內TDR)
20200709-20200726



24

坡體一次式大規模滑動 坡體內TDR監測



25

坡體一次式大規模滑動 後續監測建議

監測設備	GPS	攝影機	地震儀	地表伸張計
優點	<ol style="list-style-type: none"> 空間解析度高 可直接獲得滑動體內地表位移量與速度變化結果 	<ol style="list-style-type: none"> 連續紀錄畫面、崩塌過程以錄影方式呈現運動過程於時間和空間上的細節 可遠距架設，不易受崩塌造成毀損，架設人員安全 架設門檻低 價格低 	<ol style="list-style-type: none"> 可架設於崩塌地外，不易受崩塌造成毀損 可藉由訊號分析判斷滑動體因滑動或崩塌產生之訊號，亦可能推估滑動加速特徵 	<ol style="list-style-type: none"> 空間解析度高 可直接獲得滑動體內地表位移量與速度變化結果
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 需架設於滑動體上，可能因崩塌造成毀損 定位受天候和對空高度影響大 價格高 即時解算門檻高 需專業人員架設與設定 	<ol style="list-style-type: none"> 光學影像若於大雨或濃霧時，可能無法清晰呈現 夜間無法監測 即時傳輸流量與耗電量大 	<ol style="list-style-type: none"> 非直接量測位移量與速度 需專業人員架設與設定 	<ol style="list-style-type: none"> 架設於滑動體內，可能因崩塌造成毀損 需分別架設於崩塌區內外，需評估合適安裝位置
價格	高(100萬) 不含解算與維護	低(一組28萬) 含1年維護費用+網路觀看	中(一組30~50萬)	待詢價

土石流-雨量警戒值(24小時)

卓溪鄉-600 mm

縣市 <input type="text" value="花蓮縣"/> 鄉鎮 <input type="text" value="卓溪鄉"/> 村里 <input type="text" value="全部"/> 合計共 15 條潛勢溪流						
縣市	鄉鎮	村里	土石流潛勢溪流編號	重要地標	參考雨量站 第一參考/第二參考	警戒值
花蓮縣	卓溪鄉	卓溪村	花縣DF049	中正84號	卓溪國小/卓溪	600
花蓮縣	卓溪鄉	卓溪村	花縣DF048	中正42-11號	卓溪國小/卓溪	600
花蓮縣	卓溪鄉	卓溪村	花縣DF040	卓溪33-7號	卓溪國小/卓溪	600
花蓮縣	卓溪鄉	卓溪村	花縣DF039	卓溪教會	卓溪國小/卓溪	600
花蓮縣	卓溪鄉	卓清村	花縣DF047	卓清橋	卓麗(4)/卓清國小	600
花蓮縣	卓溪鄉	卓清村	花縣DF046	卓樂活動中心	卓麗(4)/卓清國小	600
花蓮縣	卓溪鄉	卓清村	花縣DF045	卓清國小	卓麗(4)/卓清國小	600
花蓮縣	卓溪鄉	立山村	花縣DF165	山里橋	立山/立山	600
花蓮縣	卓溪鄉	古風村	花縣DF044	花75線4K無名橋	東里國中/東里	600
花蓮縣	卓溪鄉	古風村	花縣DF043	古風橋	東里國中/東里	600

27

土石流-雨量警戒值(24小時)

瑞穗鄉-550 mm

縣市 <input type="text" value="花蓮縣"/> 鄉鎮 <input type="text" value="瑞穗鄉"/> 村里 <input type="text" value="全部"/> 合計共 9 條潛勢溪流						
縣市	鄉鎮	村里	土石流潛勢溪流編號	重要地標	參考雨量站 第一參考/第二參考	警戒值
花蓮縣	瑞穗鄉	瑞祥村	花縣DF086	忠孝橋	瑞北國小/紅葉	550
花蓮縣	瑞穗鄉	富興村	花縣DF092	富興橋	富源/大農	550
花蓮縣	瑞穗鄉	富興村	花縣DF091	和諧橋	富源/大農	550
花蓮縣	瑞穗鄉	富興村	花縣DF090	安定橋	富源/大農	550
花蓮縣	瑞穗鄉	富源村	花縣DF085	富源森林遊樂區	富源/大農	550
花蓮縣	瑞穗鄉	富源村	花縣DF084	富源國小	富源/大農	550
花蓮縣	瑞穗鄉	奇美村	花縣DF089	漱玉橋	奇美國小/靜浦	550
花蓮縣	瑞穗鄉	奇美村	花縣DF088	秀姑橋	奇美國小/靜浦	550
花蓮縣	瑞穗鄉	奇美村	花縣DF087	奇美國小	奇美國小/靜浦	550

28

建議相關單位應變措施

- 針對可能發生**一次式大規模滑動**，建議可採用**TDR**加上**攝影機**持續進行監測
- **土石流**之發生機率極低，若需建立警戒值，提醒下游民眾注意，可採用**立山雨量站**，參考卓溪鄉(600mm/24hr)作為警戒值。

氣象局雨量分級定義如下所示：

大雨 24 小時累積雨量達 80mm 以上，或時雨量達 40mm 以上之降雨現象。

豪雨 24 小時累積雨量達 200mm 以上，或 3 小時累積雨量達 100mm 以上之降雨現象。

大豪雨 24 小時累積雨量達 350mm 以上，或 3 小時累積雨量達 200mm 以上之降雨現象。



附錄 7、教育訓練

本團隊依照勞動採購契約第十條投保專業責任險，發文字號 1098100755 號，如圖附 7-1。玉區 21 林班崩塌地調查評估教育訓練內容涵蓋崩塌地現況介紹、緊急應變對策、儀器架設方式說明及監測數據處理分析等議題，圖附 7-2 為教育訓練辦理情形。

裝 訂 線	行政院農業委員會林務局花蓮林區管理處 函	
	機關地址：97051 花蓮市林政街 1 號 承辦人：鍾少強 電話：03-8325141-229 傳真：03-8327446	
	受文者：國立交通大學	
	發文日期：中華民國 109 年 4 月 10 日	
	發文字號：花治字第 1098100755 號	
	速別：普通件	
	密等及解密條件或保密期限：	
	附件：	
	主旨：貴校承攬本處「玉區 21 林班崩塌地調查評估委託研究案」，所提專業責任保險單正本及繳費收據副本各 1 份案，本處同意備查，請查照。	
	說明：復貴校 109 年 4 月 6 日交大防災字第 1091003303 號函。	
正本：國立交通大學		
副本：本處治山課		
109/04/10 電話：03-8327446		
第 1 頁，共 1 頁		

圖附 7-1 專業責任保險公文



(a)第一次教育訓練 2020 年 4 月 8 日 (b)第二次教育訓練 2020 年 10 月 2 日
圖附 7-2 教育訓練