

國有林大規模崩塌潛勢區 減災策略研擬及安全監測

Risk Management and Monitoring of Potential Large-scale
Landslide Areas in National Forests

成果報告



委託單位：行政院農業委員會林務局

執行單位：國立交通大學

中華民國 106 年 12 月

目錄

目錄.....	I
表目錄.....	V
圖目錄.....	VII
摘要.....	摘-1
ABSTRACT.....	A-1
壹、前言.....	1-1
1-1 計畫緣起與目的.....	1-1
1-2 委託工作項目及範圍.....	1-2
1-3 工作執行流程.....	1-5
貳、研擬國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫.....	2-1
2-1 計畫緣起.....	2-1
2-2 計畫目標.....	2-4
2-3 國有林班地大規模崩塌模潛勢區說明.....	2-4
2-3.1 林務局重點集水區大規模崩塌潛勢區判釋成果.....	2-4
2-3.2 林務局執行中之大規模崩塌潛勢判釋計畫.....	2-5
2-3.3 本執行計畫書研提之國有林大規模崩塌潛勢區計畫範圍 ...	2-5
2-4 大規模崩塌潛勢區之發生度、脆弱度與風險.....	2-9
2-4.1 活動性(發生度等級)評估方法說明.....	2-9
2-4.2 活動性評估方法.....	2-11
2-4.3 活動性評估結果.....	2-16
2-4.4 保全、風險(危險度).....	2-23
2-5 大規模崩塌潛勢區監測、減災規劃及經費.....	2-25
2-6 大規模崩塌潛勢區災害應變作為.....	2-37
參、國有林簡易觀測站之維護及活動性評估.....	3-1
3-1 國有林簡易觀測站之維護與監測.....	3-1

3-1.1	六龜區-D015.....	3-6
3-1.2	桃源區-D346.....	3-7
3-1.3	小結.....	3-9
3-2	大規模崩塌潛勢區活動性評估.....	3-10
3-2.1	六龜區-D015.....	3-10
3-2.2	桃源區-D346.....	3-14
3-2.3	甲仙區-D044 與 D047.....	3-21
3-2.4	阿里山鄉-D187.....	3-33
3-2.5	活動性評估小結.....	3-85
3-3	大規模崩塌潛勢區影響範圍檢討.....	3-86
肆、	高雄市-六龜區-D015 潛勢區現況調查.....	4-1
4-1	高雄市-六龜區-D015 概況.....	4-1
4-1.1	場址位置與交通.....	4-1
4-1.2	地形.....	4-1
4-1.3	區域地質.....	4-4
4-1.4	梅姬颱風後現地勘查.....	4-5
4-1.4	106 年 6 月大雨後現地勘查.....	4-6
4-2	地表地質調查.....	4-9
4-2.1	調查路線與調查結果.....	4-10
4-2.2	地層分層.....	4-11
4-3	地球物理探測.....	4-21
4-3.1	探測位置與數量.....	4-21
4-3.2	探測結果.....	4-21
4-3.3	地物探測結果綜合討論.....	4-28
4-4	地質鑽探.....	4-29
4-4.1	鑽孔位置.....	4-29
4-4.2	岩心取樣結果.....	4-30
4-4.3	力學試驗成果.....	4-32

4-4.3.1	岩石單軸壓縮強度試驗.....	4-32
4-4.3.2	岩石直接剪力試驗.....	4-32
4-4.3.3	崩積層三軸壓縮試驗.....	4-33
4-5	地質剖面與破壞機制探討.....	4-33
4-5.1	地質圖與地質剖面圖.....	4-33
4-5.2	邊坡特性與可能崩塌機制.....	4-34
伍、	高雄市-六龜區-D015 潛勢區監測及分析.....	5-1
5-1	潛勢區監測.....	5-1
5-1.1	傾斜觀測管.....	5-1
5-1.2	水位觀測井.....	5-5
5-2	綜合邊坡穩定分析.....	5-9
5-3	致災風險評估.....	5-16
5-4	後續長期監測建議.....	5-19
陸、	高雄市-六龜區-D015 潛勢區影響評估與減災策略研擬.....	6-1
6-1	影響範圍檢討劃定.....	6-1
6-1.1	經驗法.....	6-1
6-1.2	崩體運移數值模擬法及綜合探討.....	6-13
6-1.3	大規模崩塌潛勢區影響範圍經驗法檢討.....	6-15
6-2	管理基準值建議.....	6-22
6-2.1	歷年邊坡破壞事件.....	6-23
6-2.2	降雨事件蒐集與管理基準值建議.....	6-33
6-3	減災策略研擬.....	6-42
柒、	大規模崩塌潛勢活動性評估方法建立.....	7-1
7-1	活動性評估方法-無監測設備.....	7-1
7-2	活動性評估方法-簡易監測.....	7-3
7-3	活動性評估方法-細部監測.....	7-4
7-4	合成孔徑雷達干涉技術及初步成果.....	7-6
7-5	小結.....	7-15

捌、結論與建議.....	8-1
8-1 結論.....	8-1
8-2 建議.....	8-2

參考文獻

- 附錄一 會議審查意見與辦理情形
- 附錄二 國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫書(另冊)
- 附錄三 各大規模崩塌潛勢區活動性評估結果(附於末頁光碟)
- 附錄四 鑽孔柱狀圖(附於末頁光碟)
- 附錄五 岩心照片(附於末頁光碟)
- 附錄六 試驗成果(附於末頁光碟)
- 附錄七 簡易觀測站監測儀器(附於末頁光碟)

表目錄

表 2-1	國有林事業區大規模崩塌潛勢區較高危險等級評分區位	2-5
表 2-2	各林管處依據治理經驗及長期觀察研判納入 9 處大規模崩塌區	2-6
表 2-3	發生度評分(高屏溪法；林務局, 104).....	2-10
表 2-4	保全重要性評分(林務局, 104).....	2-10
表 2-5	危險等級評分(林務局, 104).....	2-11
表 2-6	各大規模崩塌潛勢區申請之航空照片年分	2-12
表 2-7	岩層順向滑動指標因子評分表	2-15
表 2-8	崩積層破壞指標因子評分表	2-15
表 2-9	活動性等級分類.....	2-15
表 2-10	大規模崩塌潛勢區活動性評估表	2-17
表 2-11	大規模崩塌潛勢區活動性評定等級表	2-22
表 2-12	活動性、保全重要性、與危險度評分	2-23
表 2-13	大規模潛勢區監測減災規劃	2-27
表 2-14	國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測分年經費表	2-32
表 2-15	106~109 年委辦費建議	2-33
表 2-16	106~109 年工程費建議	2-35
表 3-1	D015 及 D346 簡易監測站位置及設備說明(106.10.25).....	3-3
表 3-2	D015 簡易監測站解算成果.....	3-6
表 3-3	六龜區-D015 各觀測點說明表	3-13
表 3-4	桃源區-D346 各觀測點說明表	3-17
表 3-5	甲仙堰堰體旁鑽孔資料一欄表	3-26
表 3-6	甲仙堰堰體旁測傾儀量測結果	3-27
表 3-7	甲仙區-D044 及 D047 各觀測點說明表	3-30
表 3-8	甲仙區-D044 與 D047 各 GPS 計算點位解算成果.....	3-31
表 3-9	二萬坪工區監測點位座標	3-50
表 3-10	地層深度分布表.....	3-68
表 4-1	分層特性.....	4-12

表 4-2	地電阻影像剖面法測線配置表	4-21
表 4-3	鑽探長度及埋設監測設備表	4-30
表 4-4	岩石單軸壓縮強度試驗結果表	4-32
表 4-5	岩石直接剪力試驗結果表	4-33
表 4-6	崩積層三軸試驗結果表(黃棕色基質).....	4-33
表 5-1	鑽探孔位埋設監測設備表	5-3
表 5-2	邊坡穩定分析材料參數表	5-10
表 6-1	D015 重力堆積型劃設方法參數計算	6-7
表 6-2	局部崩塌 1 重力堆積型劃設方法參數計算	6-9
表 6-3	局部崩塌 2 重力堆積型劃設方法參數計算	6-11
表 6-4	經驗法及運移數值模擬影響範圍比較	6-14
表 6-5	鏡面法與水保局重力堆積型方法劃設大規模崩塌影響區結果 ...	6-16
表 6-6	重力堆積型劃設方法(水保局，105 年)計算結果.....	6-20
表 6-7	民國 81~106 年歷史大豪雨等級以上事件雨量記錄	6-36
表 7-1	岩層順向滑動指標因子評分表	7-2
表 7-2	崩積層崩滑指標因子評分表	7-3
表 7-3	衛星資料整理.....	7-7
表 7-4	D015 採用之 ESA Sentinel 1 日期及極性.....	7-8

圖目錄

圖 1-1	工作執行流程圖.....	1-6
圖 2-1	水土保持調適策略架構魚骨圖	2-2
圖 2-2	強化大規模崩塌危機應變能力調適策略執行步驟	2-3
圖 2-3	大規模崩塌潛勢區分布圖	2-8
圖 2-4	航空照片判釋流程圖.....	2-13
圖 2-5	立體像對判釋設備圖.....	2-13
圖 2-6	邊坡移動示意圖(Highland and Bobrowsky(2008)).....	2-14
圖 2-7	大規模崩塌潛勢區活動性評定等級分布	2-22
圖 3-1	D015 崩塌潛勢區簡易觀測站設置位置與監測內容	3-2
圖 3-2	D346 崩塌潛勢區簡易觀測站設置位置與監測內容	3-2
圖 3-3	D015-G3 及 D346-G1GPS 現況(106.10.25).....	3-4
圖 3-4	D346 雨量站現況(106.10.25).....	3-4
圖 3-5	GrafNet 觀測檔轉換畫面	3-5
圖 3-6	GrafNet 差分解算成果	3-5
圖 3-7	D346 G1 及 G2 觀測資料.....	3-7
圖 3-8	D346 G3 及 G4 觀測資料.....	3-8
圖 3-9	D346 G5 觀測資料.....	3-8
圖 3-10	GPS 觀測檔錯誤狀況	3-9
圖 3-11	六龜區-D015 崩塌潛勢區簡易觀測站設置位置.....	3-11
圖 3-12	六龜區-D015 前期崩塌特徵判釋圖	3-12
圖 3-13	六龜區-D015 前期觀測設備位置與崩塌內部分區圖	3-12
圖 3-14	LG015-G6 GPS 觀測資料(104 年).....	3-13
圖 3-15	桃源區 D346 地理位置圖.....	3-14
圖 3-16	桃源區 D346 高程分布圖.....	3-15
圖 3-17	桃源區 D346 區域地質圖.....	3-15
圖 3-18	桃源區 D346 民國 77 及 104 年航空影像判釋成果	3-16
圖 3-19	桃源區 D346 現況空拍圖.....	3-16

圖 3-20	桃源區-D346 簡易監測站位置與崩塌內部分區	3-17
圖 3-21	桃源區-D346 簡易監測站套匯 LiDAR 坡度圖	3-18
圖 3-22	桃源區-D346 觀測點套匯正射影像	3-19
圖 3-23	桃源區-D346 較大颱風事件位移速率向量圖	3-20
圖 3-24	甲仙區-D044 及 D047 地理位置圖	3-21
圖 3-25	甲仙區-D044 及 D047 地形分布圖	3-22
圖 3-26	甲仙區-D044 及 D047 區域地質圖	3-22
圖 3-27	大規模崩塌潛勢區甲仙區 D044 及 D047 航空影像判釋成果 ..	3-23
圖 3-28	大規模崩塌潛勢區甲仙區 D044 航空影像判釋成果說明	3-24
圖 3-29	大規模崩塌潛勢區甲仙區 D044 地形剖面圖	3-24
圖 3-30	大規模崩塌潛勢區甲仙區 D047 地形剖面圖	3-25
圖 3-31	甲仙堰堰體旁鑽孔位置分布圖	3-26
圖 3-32	甲仙堰堰體旁 BH3 測傾管量測結果	3-27
圖 3-33	甲仙堰堰體旁 BH4 測傾管量測結果	3-28
圖 3-34	甲仙區-D044 與 D047 簡易監測站位置與崩塌內部分區	3-30
圖 3-35	甲仙區-D044 與 D047 簡易監測站套繪 LiDAR 坡度圖	3-31
圖 3-36	甲仙區-D044 與 D047 崩塌潛勢區 GPS 位移分布圖	3-32
圖 3-37	JS044-G1 點位高程方向位移量解算成果(103~105)	3-32
圖 3-38	JS047-E 崩塌潛勢區伸張計變化圖	3-33
圖 3-39	阿里山鄉-D187 大規模崩塌潛勢區	3-34
圖 3-40	D187 大規模崩塌潛勢區 LiDAR 坡度陰影圖	3-35
圖 3-41	D187 大規模崩塌潛勢區 LiDAR 坡向圖	3-36
圖 3-42	D187 大規模崩塌潛勢區 LiDAR 坡度圖	3-37
圖 3-43	D187 大規模崩塌潛勢區地質圖	3-37
圖 3-44	D187 大規模崩塌潛勢區 LiDAR 崩崖及蝕溝判釋結果圖	3-39
圖 3-45	阿里山溪莫拉克颱風前後沖淤變化	3-39
圖 3-46	D187 崩塌潛勢區不同時期航空照片崩崖及蝕溝變化比較圖 ..	3-40
圖 3-47	阿里山中山村地質鑽孔配置圖	3-41
圖 3-48	中山村鑽孔及剖面圖位置	3-42

圖 3-49	中山村地質剖面 AA'	3-43
圖 3-50	中山村地質剖面 BB'	3-43
圖 3-51	二萬坪工區現地踏勘空拍照片-截圖拍攝方向	3-45
圖 3-52	二萬坪工區現地踏勘空拍照片-方向 A	3-45
圖 3-53	二萬坪工區現地踏勘空拍照片-方向 B	3-46
圖 3-54	二萬坪工區現地踏勘空拍照片-方向 C	3-46
圖 3-55	二萬坪工區現地踏勘空拍照片-方向 D	3-47
圖 3-56	二萬坪工區現地踏勘空拍照片-方向 E	3-47
圖 3-57	二萬坪鑽孔及監測配置圖(105 重新編號)	3-49
圖 3-58	二萬坪鑽孔及剖面位置圖(103 年編號)	3-50
圖 3-59	二萬坪地質剖面 AA' 及 103-106 監測結果	3-51
圖 3-60	二萬坪地質剖面 FF' 及 103-106 監測結果	3-51
圖 3-61	二萬坪地質剖面 BB' 及 103-106 監測結果	3-52
圖 3-62	二萬坪地質剖面 CC' 及 103-106 監測結果	3-52
圖 3-63	二萬坪 EWP103-A-SIOW1 監測結果 (103/8/16~104/12/8)	3-53
圖 3-64	二萬坪 EWP103-A-SIOW1 監測結果 (105/7/28~106/10/24)	3-53
圖 3-65	二萬坪 EWP103-A-SIOW2 監測結果 (103/8/16~104/12/8)	3-54
圖 3-66	二萬坪 EWP103-A-SIOW2 監測結果 (105/7/28~106/10/24)	3-54
圖 3-67	二萬坪 EWP103-A-SIOW3 監測結果 (103/8/16~104/12/8)	3-55
圖 3-68	二萬坪 EWP103-A-SIOW3 監測結果 (105/7/28~106/6/9)	3-55
圖 3-69	二萬坪 EWP103-A-SIOW4 監測結果(103/11/23~104/12/8)	3-56
圖 3-70	二萬坪 EWP103-A-SIOW4 監測結果(105/7/28~106/6/9)	3-56
圖 3-71	二萬坪 EWP103-A-SIOW5 監測結果(103/12/25~104/12/8)	3-57
圖 3-72	二萬坪 EWP103-A-SIOW5 監測結果(105/7/28~106/6/10)	3-57
圖 3-73	二萬坪 EWP103-A-SIOW6 監測結果(103/12/25~104/12/8)	3-58
圖 3-74	二萬坪 EWP103-A-SIOW6 監測結果(105/7/28~106/6/9)	3-58
圖 3-75	二萬坪 EWP103-A-SIOW7 監測結果(103/8/22~104/12/9)	3-59
圖 3-76	二萬坪 EWP103-A-SIOW7 監測結果(105/7/28~106/6/9)	3-59
圖 3-77	二萬坪 EWP103-A-SIOW8 監測結果(103/8/16~104/12/9)	3-60

圖 3-78	二萬坪 EWP103-A-SIOW8 監測結果(105/7/28~106/6/9).....	3-60
圖 3-79	二萬坪 EWP103-A-SIOW9 監測結果(103/8/16~104/12/9).....	3-61
圖 3-80	二萬坪 EWP103-A-SIOW9 監測結果(103/8/16~106/5/23).....	3-61
圖 3-81	TDR 量測結果(105/7/14-106/9/26).....	3-62
圖 3-82	二萬坪水位變化圖 1(近遊樂區門口).....	3-62
圖 3-83	二萬坪水位變化圖 2(近青年活動中心).....	3-63
圖 3-84	二萬坪水位變化圖 3(崩坍地區域).....	3-63
圖 3-85	第一分道與 D187 位置關係之坡度圖	3-66
圖 3-86	第一分道之坡度地形圖	3-66
圖 3-87	第一分道區域之鑽孔與 AA'、BB'、CC'剖面位置分布圖	3-67
圖 3-88	第一分道區域之 AA'、BB'、CC'地層剖面圖	3-68
圖 3-89	第一分道區域孔內傾斜管與地盤傾滑計位置分布圖	3-71
圖 3-90	孔內傾斜管 A-1 之 A、B 方向監測結果(104~105).....	3-71
圖 3-91	孔內傾斜管 A-2 之 A、B 方向監測結果(104~105).....	3-72
圖 3-92	孔內傾斜管 A-3 之 A、B 方向監測結果(104~105).....	3-72
圖 3-93	精巧型監測儀器 T1 組之歷時變化曲線圖	3-73
圖 3-94	精巧型監測儀器 T2 組之歷時變化曲線圖	3-73
圖 3-95	精巧型監測儀器 T3 組之歷時變化曲線圖	3-73
圖 3-96	精巧型監測儀器 T4 組之歷時變化曲線圖	3-74
圖 3-97	精巧型監測儀器 T5 組之歷時變化曲線圖	3-74
圖 3-98	精巧型監測儀器 T6 之歷時變化曲線圖	3-74
圖 3-99	SIS-1 變位曲線圖(105/1/18~105/5/13).....	3-75
圖 3-100	SIS-2 變位曲線(104/12/27~105/5/13).....	3-75
圖 3-101	SIS-3 變位曲線圖(104/12/27~105/5/13).....	3-76
圖 3-102	SIS-4 變位曲線圖(104/12/27~105/5/13).....	3-76
圖 3-103	SIS-5 變位曲線圖(104/12/27~105/5/13).....	3-77
圖 3-104	SIS-6 變位曲線圖(104/12/27~105/5/13).....	3-77
圖 3-105	由第一分道拉繩索下切位置	3-78
圖 3-106	下切途中所遇之數個局部小崖	3-79

圖 3-107	下切至溪谷為崩積層不穩定邊坡	3-80
圖 3-108	溪谷兩側崩積層照片	3-80
圖 3-109	遠眺下游方向照片.....	3-81
圖 3-110	UAV 拍攝第一分道邊坡(紅色曲線為主要崩崖).....	3-81
圖 3-111	DSM 立體影像與判釋結果圖	3-82
圖 3-112	第一分道區域之 MM'剖面圖位置	3-83
圖 3-113	第一分道區域之 MM'剖面圖	3-83
圖 3-114	桃源區-D346 影響範圍	3-87
圖 3-115	甲仙區-D044 與 D047 簡易監測站、鑽孔位置與地質剖面	3-88
圖 3-116	甲仙區-D044 AA'地質剖面圖	3-89
圖 3-117	甲仙區-D044 影響範圍	3-89
圖 3-118	甲仙區-D047 影響範圍	3-90
圖 3-119	阿里山鄉-D187 可能發生一次式大規模滑動範圍初步評估 ...	3-91
圖 3-120	阿里山鄉-D187 影響範圍比較	3-91
圖 4-1	高雄市-六龜區-D015 位置圖	4-2
圖 4-2	六龜區-D015 坡地範圍內道路狀況	4-2
圖 4-3	六龜區-D015 google earth 立體地形圖	4-3
圖 4-4	六龜區-D015 坡向圖	4-3
圖 4-5	六龜區-D015 區域地質圖	4-4
圖 4-6	D015 梅姬颱風期間雨量.....	4-5
圖 4-7	六龜區-D015 梅姬颱風後中央蝕溝遠眺照片	4-6
圖 4-8	六龜區-D015 潛勢區梅姬颱風後中央蝕溝淤積	4-6
圖 4-9	106 年 6 月雨量歷時曲線圖	4-7
圖 4-10	六龜區-D015 全景(106.6.12).....	4-7
圖 4-11	中央蝕溝與北側蝕溝崩崖照片(106.7.14).....	4-8
圖 4-12	北側蝕溝下游側及高 133 線道路邊坡狀況(106.7.14).....	4-8
圖 4-13	北側蝕溝攔砂壩工程(106.7.14).....	4-9
圖 4-14	照片拍攝位置圖.....	4-13
圖 4-15	北蝕溝下游崩積層，岩屑圓滑堆疊平整	4-13

圖 4-16	膠結良好之剪動泥.....	4-14
圖 4-17	硬頁岩出露，越往上游漸轉成岩盤	4-14
圖 4-18	岩層倒轉現象，位於中央蝕溝下游沖積扇左翼	4-15
圖 4-19	中央蝕溝下游崩積層.....	4-15
圖 4-20	中央蝕溝上游大多為岩層出露，破碎岩塊崩落蝕溝	4-16
圖 4-21	中央蝕溝崩崖.....	4-16
圖 4-22	中央蝕溝右側邊坡.....	4-17
圖 4-23	河道上岩層倒轉.....	4-17
圖 4-24	階地與上覆的崩積層.....	4-18
圖 4-25	寶來替代道路道路中斷位置	4-18
圖 4-26	美崙山步道邊坡地下水出露	4-19
圖 4-27	北蝕溝地下水滲出.....	4-19
圖 4-28	六龜區-D015 地表地質圖	4-20
圖 4-29	地電阻影像剖面法測線配置圖	4-22
圖 4-30	ERT-1 探測結果剖面圖.....	4-23
圖 4-31	ERT-2 探測結果剖面圖.....	4-24
圖 4-32	ERT-3 探測結果剖面圖.....	4-24
圖 4-33	ERT-4 探測結果剖面圖.....	4-25
圖 4-34	ERT-5 探測結果剖面圖.....	4-26
圖 4-35	ERT-6 探測結果剖面圖.....	4-27
圖 4-36	ERT-7 探測結果剖面圖.....	4-27
圖 4-37	ERT-8 探測結果剖面圖.....	4-28
圖 4-38	鑽孔位置圖.....	4-29
圖 4-39	地質剖面圖位置.....	4-35
圖 4-40	六龜區-D015 AA'地質剖面圖	4-36
圖 4-41	六龜區-D015 BB'地質剖面圖.....	4-37
圖 4-42	六龜區-D015 CC'地質剖面圖.....	4-38
圖 4-43	六龜區-D015 DD'地質剖面圖	4-38
圖 5-1	鑽孔位置及傾斜管方向圖	5-2

圖 5-2	BH01 測傾管量測結果圖.....	5-3
圖 5-3	BH02 測傾管量測結果圖.....	5-4
圖 5-4	BH03 測傾管量測結果圖.....	5-4
圖 5-5	BH07 測傾管量測結果圖.....	5-5
圖 5-6	水位觀測井位置.....	5-6
圖 5-7	BH04 水位變化與時雨量關係圖.....	5-7
圖 5-8	BH05 水位變化與時雨量關係圖.....	5-7
圖 5-9	BH06 水位變化與時雨量關係圖.....	5-8
圖 5-10	BH08 水位變化與時雨量關係圖.....	5-8
圖 5-11	EE'剖面圓弧形滑動面及安全係數-暴雨情境.....	5-11
圖 5-12	EE'剖面非圓弧形滑動面及安全係數-暴雨情境.....	5-12
圖 5-13	BB'剖面非圓弧形滑動面及安全係數-常時地水位情境.....	5-13
圖 5-14	BB'剖面圓弧形滑動面及安全係數-常時地水位情境.....	5-13
圖 5-15	BB'剖面非圓弧形滑動面及安全係數-暴雨情境.....	5-13
圖 5-16	BB'剖面圓弧形滑動面及安全係數-暴雨情境.....	5-14
圖 5-17	BB'剖面非圓弧形滑動面及安全係數-地震情境.....	5-14
圖 5-18	BB'剖面圓弧形滑動面及安全係數-地震情境.....	5-14
圖 5-19	BB'剖面沿岩土界面一次式滑動安全係數-暴雨情境.....	5-15
圖 5-20	BB'剖面沿岩土界面一次式滑動安全係數-地震情境.....	5-15
圖 5-21	PFC 虛擬單壓試驗結果.....	5-17
圖 5-22	EE'剖面邊坡滑動前地形.....	5-17
圖 5-23	EE'剖面邊坡滑動後地形-暴雨情境.....	5-18
圖 5-24	BB'剖面邊坡滑動後地形-暴雨情境.....	5-18
圖 6-1	地滑影響範圍評估示意圖(林務局, 104).....	6-3
圖 6-2	不同崩塌機制與土方量下土體運移距離(DFID, 2003).....	6-3
圖 6-3	可能滑動距離計算示意圖.....	6-4
圖 6-4	崩塌面積-體積關係式.....	6-4
圖 6-5	崩塌可能堆積寬度計算示意圖.....	6-5
圖 6-6	崩塌地寬度與堆積寬度關係式.....	6-5

圖 6-7	D015 大規模崩塌鏡面法影響範圍.....	6-7
圖 6-8	D015 大規模崩塌重力堆積型劃設影響範圍	6-8
圖 6-9	D015 全面性及一次式較大規模情境影響範圍比較	6-9
圖 6-10	局部崩塌 1 重力堆積型劃設影響範圍	6-10
圖 6-11	局部崩塌 2 崩塌影響範圍	6-11
圖 6-12	局部崩塌 2 重力堆積型劃設影響範圍	6-12
圖 6-13	局部崩塌 2 崩體運移數值模擬結果	6-13
圖 6-14	局部崩塌 1 崩體運移數值模擬結果-暴雨情境.....	6-14
圖 6-15	可能落高與可能移動距離/坡長水平距離關係圖	6-21
圖 6-16	民國 71.12.02 六龜區-D015 正射影像	6-24
圖 6-17	民國 77.7.21 六龜區-D015 正射影像	6-25
圖 6-18	民國 92.4.22 六龜區-D015 正射影像	6-25
圖 6-19	民國 94.10.29 六龜區-D015 正射影像	6-26
圖 6-20	民國 99 年六龜區-D015 LiDAR 坡度陰影圖	6-26
圖 6-21	民國 103.2.23 六龜區-D015 正射影像	6-27
圖 6-22	民國 106.3.24 六龜區-D015 正射影像	6-27
圖 6-23	民國 106.6.19 六龜區-D015 正射影像	6-28
圖 6-24	中央蝕溝區域歷年沖蝕變化	6-29
圖 6-25	北側蝕溝及高 133 線歷年沖蝕變化	6-31
圖 6-26	降雨臨界值與邊坡破壞關係示意圖(Lee et al., 2013).....	6-33
圖 6-27	歷史邊坡破壞發生位置一覽圖	6-39
圖 6-28	歷史大豪雨等級以上雨量資料	6-40
圖 6-29	歷史邊坡破壞事件及破壞描述	6-41
圖 7-1	雷達干涉幾何示意圖.....	7-9
圖 7-2	DInSAR 處理流程圖.....	7-11
圖 7-3	六龜區-D015 短基線差分技術計算垂直位移變化.....	7-14
圖 7-4	寶來溫泉荖濃溪上游左岸短基線差分技術計算垂直位移變化 ..	7-14

摘要

近年來國內相關單位透過航遙測影像與高精度數值地形進行圈繪大規模崩塌潛勢發生區已有初步成果，然而大規模崩塌的發生成因與破壞機制極為複雜，亟待相關單位進一步研究、調查分析以釐清相關問題。為因應重大颱風事件及地震可能誘發之一次式致災性大規模崩塌，本計畫研提「國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫書」，針對國有林大規模崩塌中、高潛勢區進行活動性評估，考量治理優先順序，提列 106~109 年委辦費與工程費的建議辦理方式。

本計畫歸納臺灣大規模崩塌潛勢區常見的崩塌行為，依破壞機制概分為順向滑動、崩積層破壞以及兩者複合型。順向滑動考慮崩崖活動性、坡趾活動性、岩層位態與坡向坡度關係等 3 項指標因子。崩積層破壞考慮崩崖活動性、蝕溝活動性、地表特徵等 3 項指標因子。由 33 處場址的早期與近年航空照片及 LiDAR DEM 判釋結果，依照地貌特徵變化程度評估其活動性，並考慮各破壞機制影響因子的相關性，分別給予 1~3 不同的序分再與加總，將活動性區分為高(8、9 分)、中(5、6、7 分)、低(3、4 分)。若判定為複合型，則比較兩種邊坡破壞機制的活動性後，將等級較高的視為主控機制，本計畫將以上評分方法稱為活動性簡易評估法。

本計畫檢討 5 處大規模崩塌潛勢區的簡易觀測站及地工監測結果與活動性，結果顯示 GPS 變位易受局部地形、覆蓋層等影響而失去代表性，傾斜觀測管及水位計需完善裝設，才能反映潛在滑動面變位與地下水位或水壓變化之關係。本計畫以六龜區-D015 大規模崩塌潛勢區為例，進行地質鑽探、細部調查及監測、建立地質模型、邊坡穩定分析、劃定影響範圍、訂定預警警戒值並研擬減災策略，以作為未來林務局或各林管處擬定大規模崩塌潛勢區的調查、監測、減災執行計畫之參考。

六龜區-D015 崩塌潛勢區坡長約 2,000 m、坡高約 1,000 m，邊坡穩定分析模擬結果顯示在地震與暴雨情境下，高 133 線上邊坡崩積層可能發生較大規模滑動，滑動體長度可達 460 m，高度可達 180 m。致災風險為造成高 133 線損毀中斷、道路下邊坡的河階地及荖濃溪左岸堆積厚達 50 m 的崩積

層，但不至於阻塞河道形成堰塞湖。減災策略包括控制蝕溝下切、擴寬、向源侵蝕，並保護坡趾避免受到河道側刷侵蝕。由歷史邊坡破壞事件與雨量關係，初步建議以累積降雨量 1,200 mm 做為管理基準值。岩層內的滑動則須在了解滑動面位置及行為，經長期監測後再以監測值及理論分析，制訂以剖面為基準的水壓、變位管理值。

國有林大規模崩塌潛勢區數量眾多，必須依活動性高低進行排序，做為分年編列預算之參考。本計畫以 33 處案例活動性評估結果為基礎，提出大規模崩塌潛勢區活動性評估方法。活動性簡易評估法可以初步判斷崩塌潛勢區是否具有大規模崩塌活動的跡象，並評估活動性等級。若該區破壞機制以局部崩塌為主，建議可於大雨、地震後監視坡面變化並製作正射影像、DSM 與前期航照比對，判釋地貌特徵的變化並檢討其活動性。若活動性簡易評估結果為大規模崩塌活動性高且有深層滑動的可能，則須經進一步詳細地質調查與監測，掌握該區潛在滑動面的活動性變化，進行穩定分析、情境模擬，做為後續擬定管理及治理對策之依據。

ABSTRACT

Many potential large-scale landslide areas (PLSLAs) have been identified through the interpretation of LiDAR-DEM and aerial images after the large-scale landslide at the Shiaolin village during the 2009 typhoon Morakot. However, the possible causes and failure modes of most PLSLAs remain indeterminate. This project proposes a disaster-reduction and monitoring plan for the PLSLAs in national forests. In addition, this project classifies the risk levels of 33 PLSLAs according to their landslide activities and risk exposures, also provides the suggestions for further investigation and risk management.

This project made use of multi-staged DEMs produced from aerial images and LiDER-DEM to assess the landslide activity of 33 PLSLAs with medium-to-high susceptibility. Landslide activity is classified according to the progress of geomorphological features identified from the aerial images with a span over 30 years. The possible failure modes of these PLSLAs include plane-slide failure in dip slopes, non-planar slide failure in colluvium deposits and failure with dual modes. For the failure mode of plane slide, three factors including the change in scarp, slope toe, and weak-plane orientation, are considered for landslide activity assessment. For the non-planar slide failure mode in colluvium, three factors including the change in scarps, gully erosion and surface vegetation, are considered for landslide activity assessment. For dual-failure modes, both failure modes are assessed independently; then, the failure mode with a higher activity class is regarded as the dominant failure mode. Each factor is assigned a score of 1, 2 or 3; the score for each factor then are summed up to obtain the total score. For a total score 3-4, the classification of relative activity is “low”. For a total score 5-7, the classification is “medium”. For a total score 8-9, the classification is “high”. This method is used for preliminary landslide-activity classification.

This project also reviewed the data from some simple GPS stations and geotechnical monitoring devices in five PLSLAs. The Liouguei-D015 site was chosen to demonstrate the detail investigation and monitoring work in a PLSLA. This site shows a high landside activity with the signs of deeply seated gravitational slope deformation (DSGSD).

The following conclusions can be drawn from this project.

1. The assessment of landslide activity is potentially useful for providing the reference for the long-term risk management of the PLSLAs in national forests.
2. The landslide activity of a PLSLA can be assessed by means of the change in geomorphological features and slope deformation (either by surface-deformation monitoring or inclinometer). However, the effectiveness and applicability of the assessment depends on the mode of failure, the slope-deformation behavior and the reliability of the monitoring data.
3. The run-out influenced area of PLSLAs is highly dependent of the mode of slope failure. The influenced area can be assessed either by empirical methods or by numerical simulations with the stability analysis assuming certain extreme scenarios.
4. The readings from inclinometer or piezometer are not usually directly applicable for the risk management in a PLSLA. The rainfall data (rainfall accumulation or rainfall intensity), on the other hand, may be more applicable for the purpose.

壹、前言

1-1 計畫緣起與目的

近年來國內相關單位透過航遙測影像與高精度數值地形進行圈繪大規模崩塌潛勢發生區已有初步成果；然而大規模崩塌的發生成因與破壞機制極為複雜，亟待相關單位進一步研究、調查分析以釐清相關問題。鑒於全球氣候變遷影響下所造成如大規模崩塌等複合型災害越來越顯著情形下，國內對於大規模崩塌的活動性、危害性及災害潛勢等防減災工作推動標的以及採取策略設定目標、分工與投入資源等，尚未有明確作為，現階段各單位主要依據中央災害防救會報通過之「坡地崩塌防災權責分工表」進行各項工作的權責分工，包括崩塌災害的預防、災害應變措施、災後復原與重建等工作。

為因應重大颱風事件誘發之大規模崩塌災害或複合型災害，行政院於 105 年 1 月核定「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」，期望相關單位能預先規劃大規模崩塌災害處理調適工作，強化對氣候變遷影響因應能力，積極推動此課題。爰此，為有效辦理後續相關減災工程及詳細監測作業，實有進一步擬定執行策略之必要；希冀透過本計畫研提「國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫」，作為日後林務局暨所屬辦理大規模崩塌潛勢區相關工作之依循參考。

除此之外，至 2016 年國有林大規模崩塌潛勢區之圈繪、評分結果，計有 24 處「危險度」評分較高，然其崩塌潛勢之活動性如何？仍須進一步進行監測及分析。故為判釋其活動性，本計畫將持續針對林務局目前已建置完成之簡易觀測站持續監測；並擇定 1 處「危險度」較高之潛勢區(六龜區-D015)，進行地質鑽探、細部調查及細部監測，並藉由其成果，劃定影響範圍、訂定預警警戒值並研擬其減災工法，建立有關國有林大規模崩塌潛勢區防災預警及減災工程規劃之作業流程，以作為林務局或各林管處未來辦理防災應變之參考。

1-2 委託工作項目及範圍

(一)研擬國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫

依據 105 年行政院核定之「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」，及目前林務局重點集水區大規模崩塌潛勢區判釋之既有成果，現階段執行之大規模崩塌潛勢判釋計畫，並蒐集相關機關大規模潛勢區防減災執行計畫(106 年~109 年)，擬定林務局轄管國有林地大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫，提供日後林務局暨所屬林區管理處辦理大規模崩塌潛勢區相關工作之依循參考；並於第 1 次期中報告提送前先行提出執行計畫（初稿），執行計畫之研擬，應配合林務局不定時召開工作會議，研討執行計畫書之撰擬內容，續於各次期中、期末報告予滾動式修正。執行計畫內容至少應包括：

- 1、執行計畫緣起及依據。
- 2、國有林班地大規模崩塌潛勢區說明。
- 3、大規模崩塌潛勢區脆弱度、致災性、影響範圍分析及風險管理評估。
- 4、研提國有林大規模崩塌潛勢區在不同危險度下之監測、減災作為。
- 5、研提國有林大規模崩塌潛勢區災害應變作為。
- 6、針對既有高潛勢區研提相關減災策略、減災工程、辦理方式及概估經費，並依規劃內容需求提列分年分期(106 年~109 年)執行建議。

(二)國有林簡易觀測站之維護及活動性評估

1、國有林簡易觀測站之維護與監測

- (1)目前本局已建置之 2 處簡易觀測站，分別為高雄市-六龜區-D015、高雄市-桃源區-D346 各 1 站。
- (2)針對前述 2 處簡易觀測站進行維護並持續監測。
- (3)本項監測於簽約後即開始進行，並配合各期報告提送期程提出相關監測成果。

- 2、大規模崩塌潛勢區活動性評估：針對既有高雄市-六龜區-D015、高雄市-桃源區-D346 及本局嘉義林區管理處及屏東林區管理處持續監測之嘉義縣-阿里山鄉-D187 及高雄市-甲仙區-D044 與高雄市-甲仙區-D047 等 5 處監測資料成果，進行大規模崩塌潛勢區活動性評估。並於第 2 次期中報告時提出相關活動性評估初步分析結果。
- 3、大規模崩塌潛勢區影響範圍檢討：針對前述大規模崩塌監測及潛勢活動性評估結果，檢討更新大規模崩塌潛勢區影響範圍。

(三)高雄市-六龜區-D015 潛勢區現況調查

- 1、地表地質調查：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。
- 2、地球物理探測
 - (1)地球物理探測之測線佈置應符合崩塌範圍調查需要，以地電阻或其它可達相同成果之儀器進行，總佈設長度應大於 1,500 公尺，且測深至少 30（含）公尺，深度達 60% 範圍。
 - (2)地球物理探測佈線規劃與使用監測儀器，須於期初簡報（工作執行計畫）時提出說明。
 - (3)探測成果：至少應包含地球物理性質（地電阻或波速等）剖面圖及推估地層或岩性剖面圖等。
- 3、地質鑽探
 - (1)依據地表地質調查結果，布置完成本計畫目的所需鑽探測線與孔位（鑽孔數目原則 6 孔），鑽孔需可供後續安裝觀測儀器使用。
 - (2)鑽孔數目得視鑽掘情形酌予調整孔數，惟鑽探總長需達 320 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 HQ 尺寸以上，其中每一剖面至少有 1 孔需深入新鮮岩盤 3 公尺以上或達研判為岩土界面處。
 - (3)依據鑽探結果進行力學試驗，最少應含各層土、岩材料相關力學參數如： γ 比重、C 凝聚力、 ϕ 摩擦角（以上皆須符合 CNS 試驗規範），並製作地質鑽探報告。

(4)為瞭解本區內之地下地質狀況及可能滑動面位置，以提供邊坡穩定分析及後續工程規劃之參考，地質鑽探報告至少應包含: A.環境地質;B.鑽孔位置圖;C.鑽孔柱狀圖;D.地質剖面圖;E.各鑽孔岩心彩色照片;F.地質資料比對說明;G.工程地質評估。

(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)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，依本局要求方式保存。

(四)高雄市-六龜區-D015 潛勢區監測及分析

- 1、潛勢區位監測: 參考鑽探結果，分別於各鑽探孔埋設地層滑動觀測設備（傾斜觀測管或同軸電纜線等），於計畫執行期間進行長期監測，其中至少 2 處自計式水位計及 4 處地層滑動觀測設施。每監測孔於計畫執行期間至少量測 10 次以上（含初始值），本區如發生震度 5 級以上地震或中央氣象局發佈陸上颱風警報，則應增加量測。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。
- 2、崩塌機制與原因探討: 利用本計畫地質調查、地球物理探測及地質鑽探等資料，並結合監測結果，分析及探討 D015 邊坡的崩塌機制與形成原因。
- 3、綜合邊坡穩定分析: 透過較深入之崩塌機制與原因探討結果進行邊坡穩定分析，並據以分析評估邊坡的整體安全性。
- 4、致災風險評估。
- 5、後續長期監測建議（含自動量測即時傳輸監測系統之必要性評估與建議）。

(五)高雄市-六龜區-D015 潛勢區影響評估與減災策略研擬

- 1、影響範圍檢討劃定: 依據崩塌區調查、分析及監測結果、致災原因及保全對象等，並參考國內外相關研究劃定本大規模崩塌潛勢區影響範圍。
- 2、管理基準值建議: 參考國內外相關研究，應用適當經驗、理論或數值模式初步建置本大規模崩塌潛勢區之管理基準值（如降雨量

與計畫區崩塌機率之關係、或監測移動量、移動速度等或其他因子)。

- 3、減災策略研擬：依據本計畫相關監測、判釋與分析成果，提出減災策略、工程規劃構想及概估預算，並進行預期效益分析；減災工程規劃構想至少需包含平面配置圖（套繪至像片基本圖或衛星影像圖）並概估工程項目、數量及經費，視規劃內容研擬分年分期治理建議。此外，透過此案例希冀建立大規模崩塌潛勢區預警及減災工程規劃之作業流程。

(六)大規模崩塌潛勢活動性評估方法建立

依據大規模崩塌簡易監測及細部監測案例分析結果，評估不同監測模式下崩塌潛勢活動性參考利用價值，並與運用衛星雷達影像判釋大規模崩塌潛勢區結果比較，研析 3 種方式在時效上、經濟上及參考準確度等差異，提擬建議後續大規模崩塌尺度分類、潛勢區活動性評估效益方案。

1-3 工作執行流程

根據本計畫內容與目標，訂定工作執行流程如圖 1-1 所示，整體計畫之執行分為三大主軸：

- 1、研擬國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫；
- 2、以高雄市-六龜區-D015 潛勢區為主的現況調查、監測分析、活動性評估、影響評估與減災策略研擬等；
- 3、建立大規模崩塌潛勢區活動性評估方法。

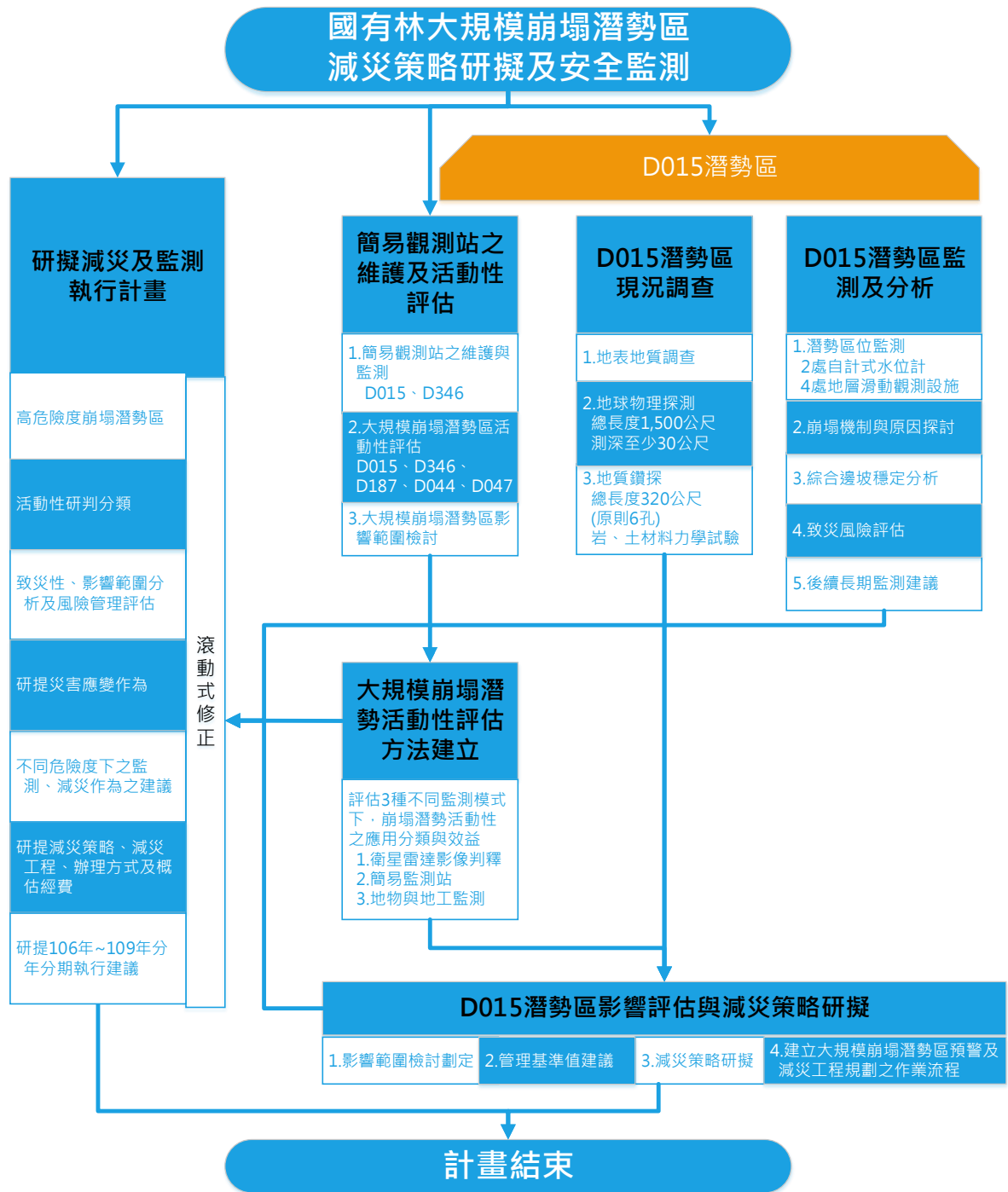


圖 1-1 工作執行流程圖

貳、研擬國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫

本工作依據 105 年行政院核定之「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」、林務局重點集水區大規模崩塌潛勢區判釋之既有成果，現階段執行之大規模崩塌潛勢判釋計畫、相關機關大規模潛勢區防減災執行計畫(106 年~109 年)、及本團隊的研究成果及相關經驗，擬定林務局轄管國有林地大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫，提供日後林務局暨所屬林區管理處辦理大規模崩塌潛勢區相關工作之依循參考。以下各節說明主要之各項研擬工作內容，完整之「國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫書(初稿)」請參閱附錄二(另冊)。

2-1 計畫緣起

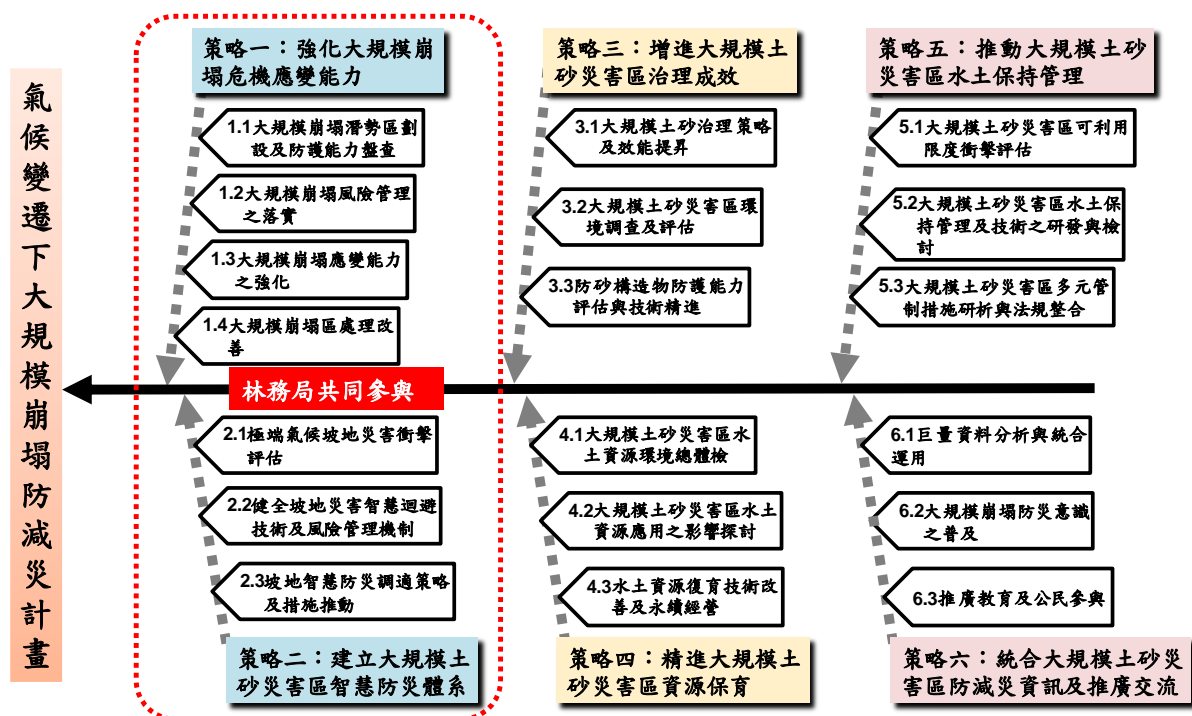
近年全球在氣候變遷影響下，國內時有大規模崩塌及土砂災害現象發生，國外亦常有大規模崩塌事件引致。面對全球氣候變遷影響下所造成如大規模崩塌等複合型災害越來越顯著情形下，世界各國於過去十多年開始進行大規模崩塌及氣候變遷相關調適研究工作，如近幾年歐、美、日等先進國家藉由硬體施作和軟體對策的聯合運用，持續進行警戒避難體制整備、土地利用限制、保育治理工程設置等措施作為及教育推廣，透過不斷研究發展持續精進與強化相關調適工作。國內的現況方面，對於大規模崩塌的活動性、危害性及災害潛勢等防減災工作推動標的以及採取策略設定目標、分工與投入資源等，尚未有明確作為，現階段各單位主要是以第 13 次中央災害防救會報通過之「坡地崩塌防災權責分工表」進行各項工作的權責分工，包括崩塌災害的預防、災害應變的措施、災後復原與重建等工作。

然而在氣候變遷持續影響下，相較於世界各國針對大規模崩塌災害課題所辦理研究工作，國內目前針對此類調適議題開發尚淺，然面臨未來氣候變遷下大規模土砂災害之高度不確定性及災害風險，現有治理強度及防減災體制對於因應大規模災變及減低災害風險之能力有限。2009 年莫拉克颱風所引發如小林村地區之大規模崩塌土砂災害，不僅造成人命損失，集水區環境受土砂災害影響難以復原，整體社會經濟損失更高達 2,000 億元，相當

於 GDP 1.6%，未來如遭受類似災害，加以同時誘發多處大規模崩塌，其及衍生土砂災害造成生命財產損失與復建經費對於政府財政及社會經濟影響甚鉅。(摘自「105 年行政院核定氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫-第一期(106 至 109 年)」)

為因應重大颱風事件誘發之大規模崩塌災害或複合型災害，行政院於 105 年 1 月核定「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫 - 第一期(106 至 109 年度)」，期望相關單位能預先規劃大規模崩塌災害處理調適工作，強化對氣候變遷影響因應能力，積極推動此課題。

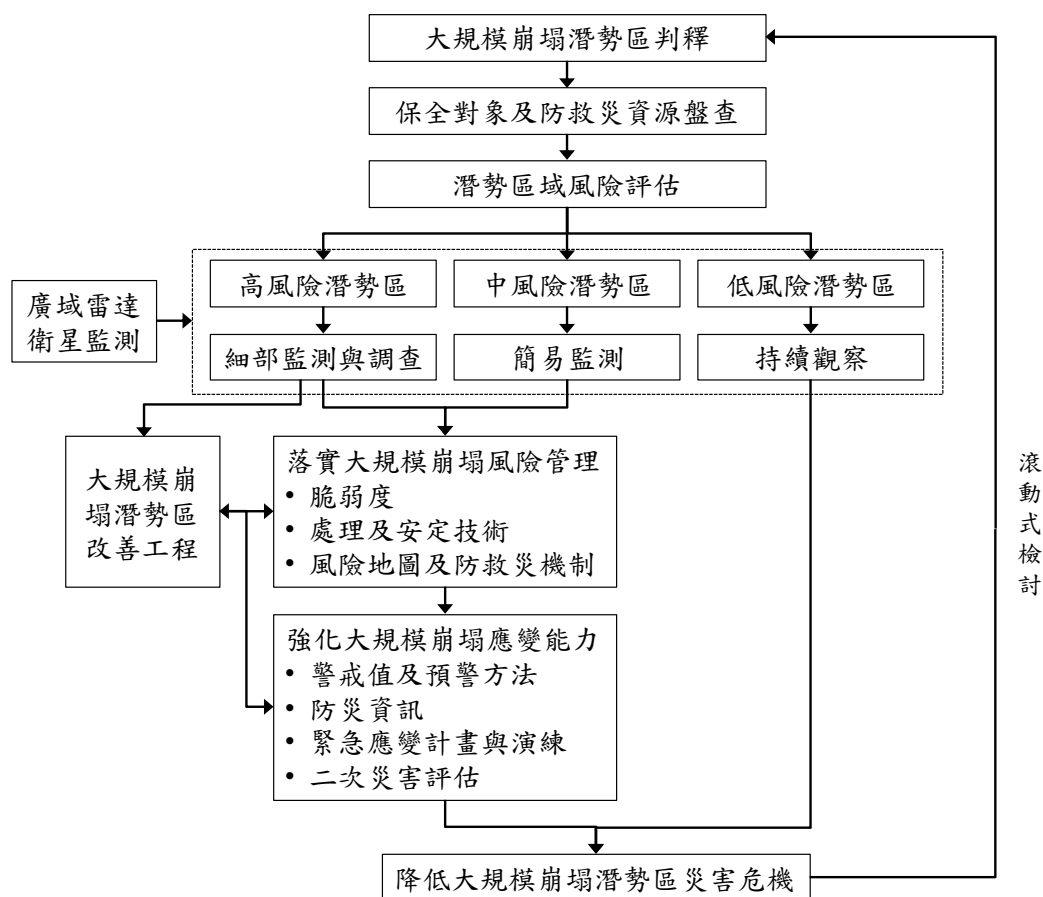
「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」第一期執行期程為 106 年度 109 年度，概算分配規劃經費約為 34 億元（水土保持局 30 億元、林務局 4 億元），林務局係協同水保局執行水土保持調適策略(圖 2-1)之策略 1 強化大規模崩塌危機應變能力與策略 2 建立大規模土砂災害區智慧防災體系。爰此，為有效辦理後續相關減災工程及詳細監測作業，遂研提本「國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫」，作為日後辦理大規模崩塌潛勢區相關工作之依循參考。



資料來源: 105 年行政院核定「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」- 第一期(106 至 109 年度)

圖 2-1 水土保持調適策略架構魚骨圖

行政院核定版「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」的策略一強化大規模崩塌危機應變能力，第一期計畫執行步驟(圖 2-2)建議依據光達地形判釋完成並可能影響聚落之大規模崩塌潛勢區，重新進行檢討，瞭解周邊保全對象與相關防救災資源能力之調查，藉以進行災害地區風險區分，包括高風險潛勢區、中風險潛勢區以及低風險潛勢區。其中高、中風險潛勢地區辦理坡地監測調查工作，落實坡地風險管理，並強化大規模崩塌警戒能力；低風險潛勢區則持續以現地觀察或透過衛星影像判釋，如有災害潛勢增加時納入中風險潛勢區辦理相關監測工作。政院核定版亦建議，另針對前述大規模崩塌潛勢區或大規模崩塌災害已有具體規劃成果，或非常明確且持續發生中之地區(林務局預定 4 處)，先行辦理治理改善工程，以降低災害發生之危害程度，其治理改善優先順序原則考量所在集水區整體性、緊急性及地方均衡性等因素，依據現場勘查情況，分為立即治理、優先治理及自然治理等治理優先順序。



資料來源: 105 年行政院核定「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」- 第一期(106 至 109 年度)

圖 2-2 強化大規模崩塌危機應變能力調適策略執行步驟

行政院核定版「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」的策略二建立大規模土砂災害區智慧防災體系，第一期計畫執行步驟建議針對大規模土砂災害區(大規模崩塌潛勢區所在及下游集水區)，提出聚落防護改善技術，並依據現有坡地防災資訊技術，納入氣候變遷影響考量，開發坡地災害智慧迴避技術以及智慧防災調適策略應用，同時加強辦理聚落民眾避難疏散計畫演練以及設置自主防災服務團，以降低大規模崩塌及其衍生之土砂災害所造成人命損失。林務局於策略二中預定完成大規模崩塌潛勢區監測系統建置與擴充 4 件。

2-2 計畫目標

林務局依循「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」架構內容，建立「106-109 年國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫」，以林務局近年辦理大規模崩塌潛勢區判釋成果為基礎，透過區域調查、問題分析、以及計畫案例調查，預先規劃 106-109 年度大規模崩塌潛勢區之減災、監測工作，以強化對於大規模崩塌潛勢區可能影響之因應能力，冀希透過分年分期之各項工作執行，釐清大規模崩塌潛勢區可能之影響衝擊，逐步落實達到防災、減災之目標。

2-3 國有林班地大規模崩塌潛勢區說明

2-3.1 林務局重點集水區大規模崩塌潛勢區判釋成果

為圈繪及判釋國有林大規模崩塌潛勢區域，林務局分別於 101-102 年辦理「國有林深層崩塌致災潛勢調查評估-南部重點流域」計畫(高屏溪及曾文溪流域)、103-104 年辦理「國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估與簡易觀測分析」計畫(大甲溪及濁水溪流域)，前述計畫利用經濟部中央地質調查所辦理全島空載光達掃描(LiDAR)所得之高精度數值地形模型結果，完成大甲溪、濁水溪、曾文溪、高屏溪流域等四處集水區國有林事業區之大規模崩塌潛勢區發生區位圈繪及危險度(風險)等級判釋，圈繪出的大規模崩塌潛勢區(含高、中、低等級)共計 2,523 處，包含大甲溪流域 461 處、濁水溪流域 1,059 處、曾文溪 185 處、及高屏溪 818 處。其中包括 24 處評分在 6 分以上之中、高等級潛在大規模崩塌區，前述計畫以證據權重法進行危險度評分，因潛勢

區的數量達 2,523 處，前述評分使用的相關地形、地質資料皆為小比例尺的既有文獻資料。

2-3.2 林務局執行中之大規模崩塌潛勢判釋計畫

國有林事業區面積廣達 153 萬餘公頃，101-104 已完成四處集水區國有林事業區(面積約為 51 萬公頃)之大規模崩塌潛勢區發生區位判釋，針對尚未判釋區域，林務局於 105-107 年辦理「國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估及危險度評估」計畫，目的在於針對尚未完成之 102 萬公頃國有林事業區進行判釋作業。

2-3.3 本執行計畫書研提之國有林大規模崩塌潛勢區計畫範圍

本計畫執行範圍為 101-104 年度「國有林深層崩塌致災潛勢調查評估」中已判釋完成之大甲溪流域、濁水溪流域、曾文溪、高屏溪等四處流域，依權重證據法進行危險度評分篩選出之 24 處評分在 6 分以上之中、高等級潛在大規模崩塌區(表 2-1)，及各林管處依據治理經驗及長期觀察研判納入之 9 處大規模崩塌區(表 2-2)，其中富源溪崩塌 01-07 合併為 1 處、向陽地區崩塌 01-14 合併為 1 處、紅葉村崩塌 1-3 合併為 1 處，其分布如圖 2-3。

表 2-1 國有林事業區大規模崩塌潛勢區較高危險等級評分(6 分以上)區位

編號	面積 (公頃)	危險度	發生度 等級	保全 重要性	主要保全對象
臺中市-和平區-D063	18	7	高	中	天輪壩
臺中市-和平區-D395	13	7	高	中	電塔 1 處
臺中市-和平區-D335	18	6	低	高	德基壩水庫蓄水區、德基壩
臺中市-和平區-D344	43	8	中	高	德基壩水庫蓄水區、德基壩
臺中市-和平區-D348	15	6	低	高	德基壩水庫蓄水區、德基壩
臺中市-和平區-D359	21	6	低	高	保全戶數 1 戶、德基壩水庫蓄水區、德基壩
南投縣-水里鄉-D006	30	6	低	高	保全戶數 7 戶、大觀發電廠蓄水區、電塔 2 處、主要道路縣道 131 通過
南投縣-水里鄉-D007	10	6	低	高	保全戶數 1 戶、大觀發電廠蓄水區、電塔 2 處、主要道路縣道 131 通過

編號	面積 (公頃)	危險度	發生度 等級	保全 重要性	主要保全對象
南投縣-水里鄉-D008	11	6	低	高	保全戶數 4 戶、大觀發電廠蓄水區、電塔 2 處、主要道路縣道 131 通過
南投縣-水里鄉-D015	32	6	低	高	保全戶數 42 戶、電塔 3 處、主要道路台 16 及投 27 通過
南投縣-水里鄉-D016	26	6	低	高	保全戶數 552 戶、避難處所 1 處、鉅工發電廠、電塔 3 處、主要道路台 16 及縣道 131 通過
嘉義縣-阿里山鄉-D187	555	6	低	高	保全戶數 251 戶、主要道路台 18 縣通過
高雄市-六龜區-D015	228	8	中	高	保全戶數 57 戶、一般道路荖濃溪林道通過
高雄市-六龜區-D022	51	8	中	高	保全戶數 46 戶、避難收容所 1 處、一般道路藤枝林道通過
屏東縣-三地門鄉-D046	178	8	中	高	保全戶數 54 戶、一般道路沙溪林道通過(大社部落已遷村)
屏東縣-三地門鄉-D097	31	8	中	高	保全戶數 101 戶(好茶部落已遷村)
嘉義縣-大埔鄉-D037	90	6	低	高	保全戶數 18 戶、主要道路台 3 線通過
高雄市-桃源區-D228	93	6	低	高	保全戶數 83 戶
高雄市-甲仙區-D044	67	6	低	高	保全戶數 280 戶、甲仙攔河堰
高雄市-甲仙區-D047	84	6	低	高	保全戶數 280 戶、甲仙攔河堰、避難收容所 1 處、主要道路台 20 線通過
高雄市-杉林區-D014	48	6	低	高	保全戶數 222 戶、電塔 1 處
高雄市-杉林區-D020	16	6	低	高	保全戶數 224 戶、電塔 2 處
高雄市-杉林區-D023	12	6	低	高	保全戶數 184 戶
高雄市-杉林區-D024	96	6	低	高	保全戶數 189 戶

表 2-2 各林管處依據治理經驗及長期觀察研判納入 9 處大規模崩塌區

管理處	崩塌名稱	面積 (公頃)	保全對象	備註
東勢處	必坦溪 1 號崩塌地	15.0	德基水庫大壩	潛在大規模崩塌
南投處	十八重溪集水區崩塌地	8.8	十八重溪集水區	已發生之大規模

管理處	崩塌名稱	面積 (公 頃)	保全對象	備註	
				崩塌	
南投處	奧萬大聯外道 4.5K 崩塌	5.8	奧萬大聯外道 4.4K	已發生之大規模崩塌	
屏東處	高雄市-甲仙區-D040	13	保全戶數 12 戶	潛在大規模崩塌	
屏東處	高雄市-桃源區-D346	97	保全戶數 24 戶、一般道路小關山林道	潛在大規模崩塌	
花蓮處	富源溪崩塌	01	11.6	富源森林遊樂區	潛在大規模崩塌
		02	245.2	富源森林遊樂區	潛在大規模崩塌 (部分無資料)
		03	49.8	富源森林遊樂區	潛在大規模崩塌
		04	16.9	富源森林遊樂區	潛在大規模崩塌
		05	36.9	富源森林遊樂區	潛在大規模崩塌 (資料品質不佳)
		06	11.1	富源森林遊樂區	潛在大規模崩塌
		07	74.3	富源森林遊樂區	潛在大規模崩塌 (部分無資料)
臺東處	向陽地區崩塌	01	19.3	向陽	潛在大規模崩塌
		02	7.8	向陽	潛在大規模崩塌
		03	8.5	向陽	潛在大規模崩塌
		04	4.9	向陽	潛在大規模崩塌
		05	2.5	向陽	潛在大規模崩塌
		06	6.1	向陽	潛在大規模崩塌
		07	53.6	向陽林務護管站	潛在大規模崩塌
		08	15.4	向陽，台 20	潛在大規模崩塌
		09	16.0	向陽，台 20	潛在大規模崩塌
		10	21.5	向陽，台 20	潛在大規模崩塌
		11	23.5	向陽，台 20	潛在大規模崩塌
		12	2.0	向陽	潛在大規模崩塌
		13	16.6	向陽	潛在大規模崩塌
		14	10.3	向陽，台 20	潛在大規模崩塌
臺東處	知本森林遊樂區崩塌	81.7	知本森林遊樂區	潛在大規模崩塌	
臺東處	紅葉村崩塌	01	26.4	紅葉村，林道	潛在大規模崩塌
		02	17.1	紅葉村，林道	潛在大規模崩塌
		03	6.8	紅葉村，林道	潛在大規模崩塌

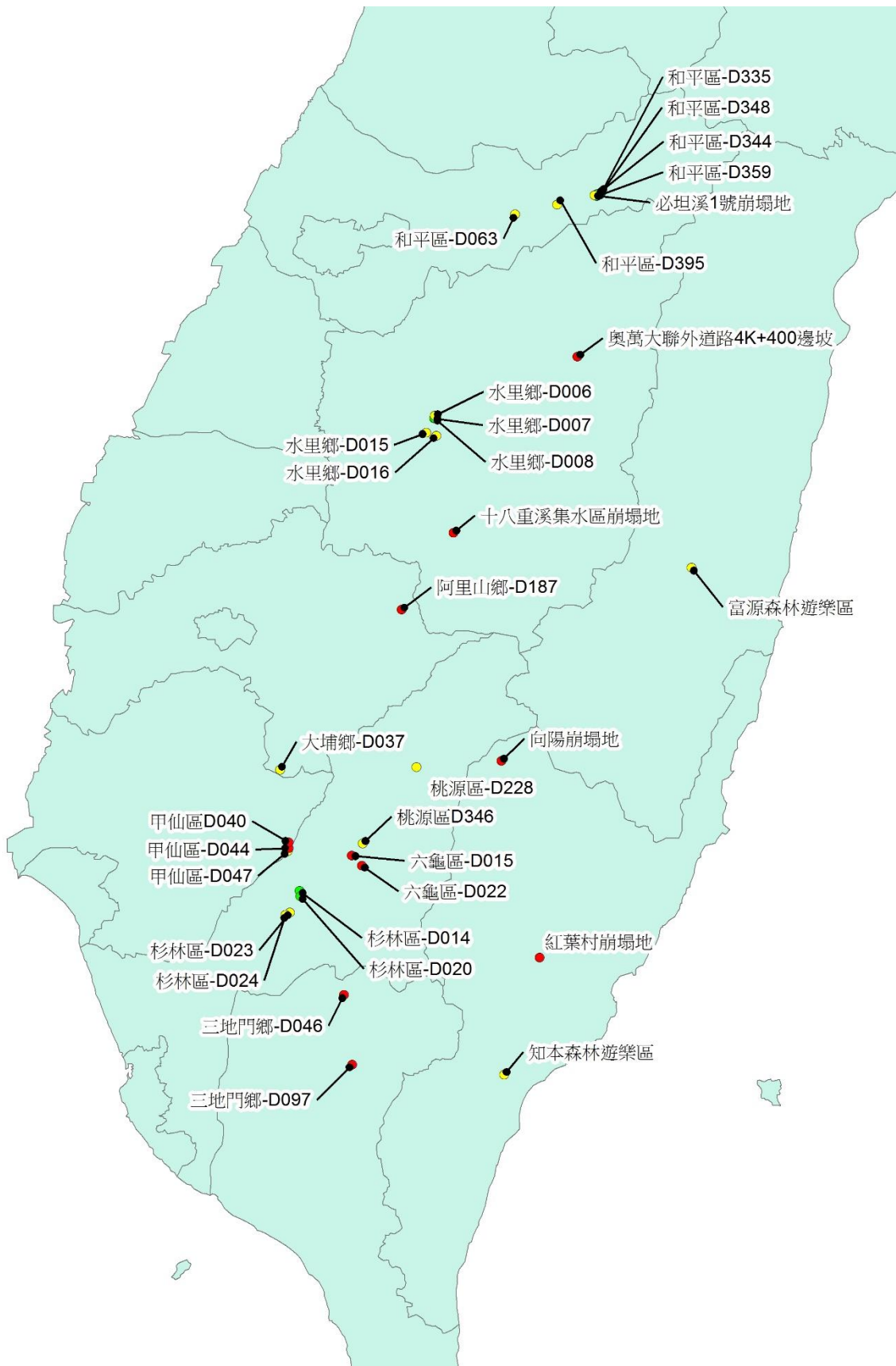


圖 2-3 大規模崩塌潛勢區分布圖

2-4 大規模崩塌潛勢區之發生度、脆弱度與風險

2-4.1 活動性(發生度等級)評估方法說明

前期計畫國有林深層崩塌致災潛勢調查評估-南部重點流域(林務局，102 年)、國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估與簡易觀測分析(林務局，104 年)中，採用證據權重法計算坡度、岩性、構造線距離、河道距離、順向坡等因子的權重值，與經正規化後得到的數值來給予各因子的分級或分類一個發生度分數，將此分數進行加總，即為大規模崩塌發生度的評分(表 2-3)。

脆弱度則以保全對象如住戶、重要道路、橋梁、公共設施等來建立保全評分表(表 2-4)，計算保全重要性，再將潛在大規模崩塌的保全評分進行加總，當評分在 36 分以上為高重要性，12~35 分為中重要性，1~11 分為低重要性，0 分為無保全重要性。最後將發生度等級與脆弱度結合評估潛在大規模崩塌地點的危險等級(表 2-5)，如以下公式：

$$\text{危險度(Risk)} = \text{災害發生度(Hazard)} \times \text{重要保全對象(Vulnerability)}$$

依風險評估的學理，上式的危險度與風險度相似，發生度等級類比於大規模的發生機率，前期的發生度評分因數量多，且屬於篩選階段，因此採用比例尺較小的地形、地質等資料，以證據權重法進行分析。然因國內發生一次、致災性的大規模崩塌案例不多，若直接採用前述結果進行大規模崩塌防、減災執行，恐不夠精細。

因此本工作利用光達微地形及前後期航空照片進行崩塌特徵判釋，以前後期崩塌地形等特徵的變化程度歸納準則，並據以評估其活動性等級，本活動性等級亦可類比於發生度等級即發生機率。首先利用林務局農林航空測量所（以下簡稱農航所）拍攝的前述 33 處大規模崩塌潛勢區前期與近期的航空照片，製作正射影像、數值地表模型(DSM)進行航照判釋，並參考前期 LiDAR 數值高程模型(DEM)微地形資料輔助判釋崩崖、蝕溝等地表特徵的變化。依照大規模崩塌常見的破壞機制及其指標因子，擬定大規模崩塌潛勢區活動性評估準則，再進行大規模崩塌潛勢區活動性評分。部分無法藉由航照判釋或現地勘查獲得，但是又與大規模崩塌活動性密切相關的指標因子(例如崩積層厚度、地下水位變化、地層的物理性質及力學參數等)，則可

於未來進行地工調查後，修正大規模崩塌活動性評分結果，進一步掌握大規模崩塌發生潛勢與規模。

本執行計畫書針對前期評估出的中、高危險度潛勢區，以較精緻的方式進行大規模崩塌潛勢區活動性評分，依據所得之破壞機制與其活動性，規劃各大規模崩塌潛勢區之監測、減災工作，以供後續執行參考。

表 2-3 發生度評分(高屏溪法；林務局, 104)

因子	分級/分類	Wc	正規化	分數
坡度	>45度	2.52776	1	4
	30~45度	-1.23979	0.38181	2
	<30度	-3.56673	0	0
河道距離	河道通過或相切	0.62732	0.68817	2
	無河道通過或相切	-0.62732	0.48231	1
岩性	板岩	0.53413	0.67288	3
	砂岩、砂頁岩互層、變質砂岩、片岩	-0.46676	0.50865	1
	頁岩	-2.02882	0.25234	0
順向坡	有	0.13551	0.60747	2
	無	-0.13551	0.563	1
構造距離	構造線通過或相切	0.08426	0.59906	2
	無構造線通過或相切	-0.08426	0.57141	1
發生度				T ₁ (14)
高發生度：14≥T ₁ ≥10 中發生度：9≥T ₁ ≥7 低發生度：T ₁ ≤6				

表 2-4 保全重要性評分(林務局, 104)

	保全對象	分數
住戶	住戶50戶以上	36
	住戶20戶到49戶	25
	住戶10戶到19戶	16
	住戶10戶以下	9
交通	主要連外道路、橋梁	4
	道路	1
重要設施	重要公共設施(如防災措施相關之公共場所、高壓電塔、攔河堰)	16
	水庫蓄水區	16
保全重要性評分		T ₂ (72)
高重要性：72≥T ₂ ≥36 中重要性：35≥T ₂ ≥12 低重要性：11≥T ₂ ≥1 無：T ₂ =0		

表 2-5 危險等級評分(林務局, 104)

危險等級評分表		保全重要性			
		高	中	低	無
發生度等級	高	9	7	4	0
	中	8	5	2	0
	低	6	3	1	0

2-4.2 活動性評估方法

本工作以 SOCET GXP 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，其由美國 BAE Systems 開發，為航遙測影像分析整合性判讀軟體，本計畫採用之航空照片如表 2-6 所示。

立體像對判釋、正射影像及數值地形模型產製之工作流程圖如圖 2-4 所示，航空照片以崩塌潛勢區為專案建立，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、內政部 5 公尺高精度 DEM 或 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。圖 2-5 為立體像對判釋設備，其利用解算完成之立體像對以 GXP 軟體繪製地形特徵。

大規模崩塌潛勢區的邊坡移動，依照運動行為可區分為崩落(fall)、滑動(slide)、流動(flow)、與複合型(complex)等四大類(Varnes, 1978)。而根據的地質材料(土壤或岩石)的差異，又可區分不同邊坡移動(slope movement)類型，如落石、岩坡順向滑動、土坡滑動、潛變、岩坡深層潛移、土石流等，邊坡移動主要類型可參考圖 2-6。並非每一種邊坡移動都會引致大規模崩塌，例如落石(rockfall)主要發生於坡度陡峭且岩體節理發達的邊坡，常在降雨或地震後造成道路坍方、交通中斷，但是因落石而造成大規模崩塌的機率並不高。有鑑於此，本計畫歸納 33 處案例及臺灣常見的大規模崩塌行為，依破壞機制概分為順向滑動、崩積層破壞以及兩者複合型。

順向滑動主要發生在坡向與岩層的不連續面(如層面)方向一致、且不連續面出露(daylight)處，其坡趾穩定性常為主控順向滑動是否發生的重要因子。崩積層破壞與蝕溝上溯發育息息相關，蝕溝上溯會影響崩塌層的穩定性，造成上邊坡、側坡崩塌。同時加速逕流下滲至岩土不整合界面，可能引致崩積層內的圓弧型滑動，或者是沿著岩土不整合界面的非圓弧形滑動。地表植生狀況則反映了表層局部穩定性，以下說明大規模崩塌活動性的評分準則。

表 2-6 各大規模崩塌潛勢區申請之航空照片年分

大規模崩塌潛勢區編號	年分	大規模崩塌潛勢區編號	年分
臺中市-和平區-D063	86、103	高雄市-六龜區-D022	77、104
臺中市-和平區-D395	76、104	高雄市-甲仙區-D044,D047	65、104
臺中市-和平區-D335、D348、D344、D359	76、105	高雄市-杉林區-D014、D020	73、104
必坦溪 1 號崩塌地	76、105	高雄市-杉林區-D023、D024	65、104
南投縣-水里鄉-D015	66、103	屏東縣-三地門鄉-D046	69、104
南投縣-水里鄉-D016	70、103	屏東縣-三地門鄉-D097	91、104
南投縣-水里鄉-D006、D007、D008	72、101	高雄市-甲仙區 D040	66、105
奧萬大聯外道 4.5K 崩塌	69、101	高雄市-桃源區-D346	77、104
十八重溪集水區崩塌地	66、105	富源崩塌地	74、104
嘉義縣-阿里山鄉-D187	65、103	紅葉村崩塌地	69、103
嘉義縣-大埔鄉-D037	65、104	知本森林遊樂區崩塌地	69、105
高雄市-桃源區-D228	72、104	向陽地區崩塌	69、104
高雄市-六龜區-D015	71、104		

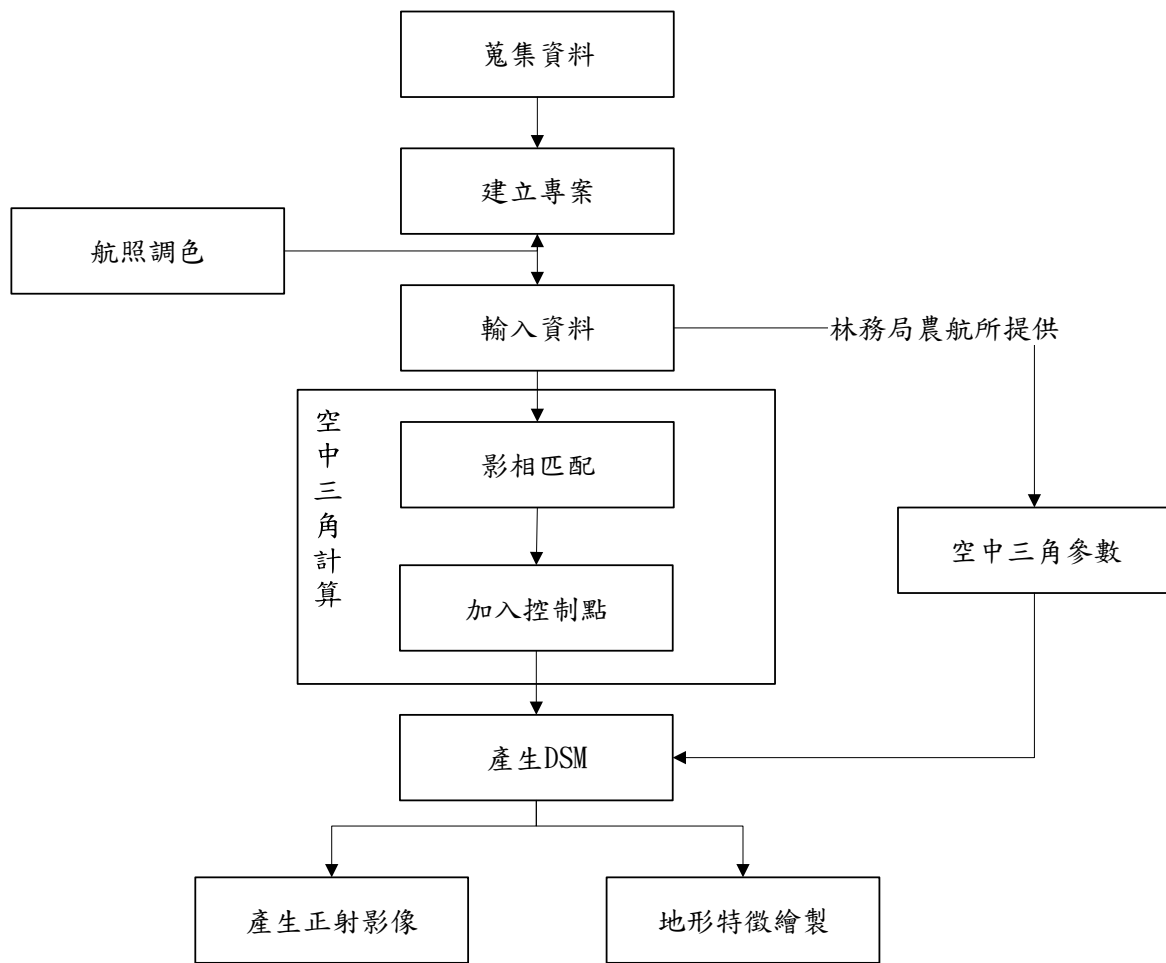


圖 2-4 航空照片判釋流程圖



圖 2-5 立體像對判釋設備圖

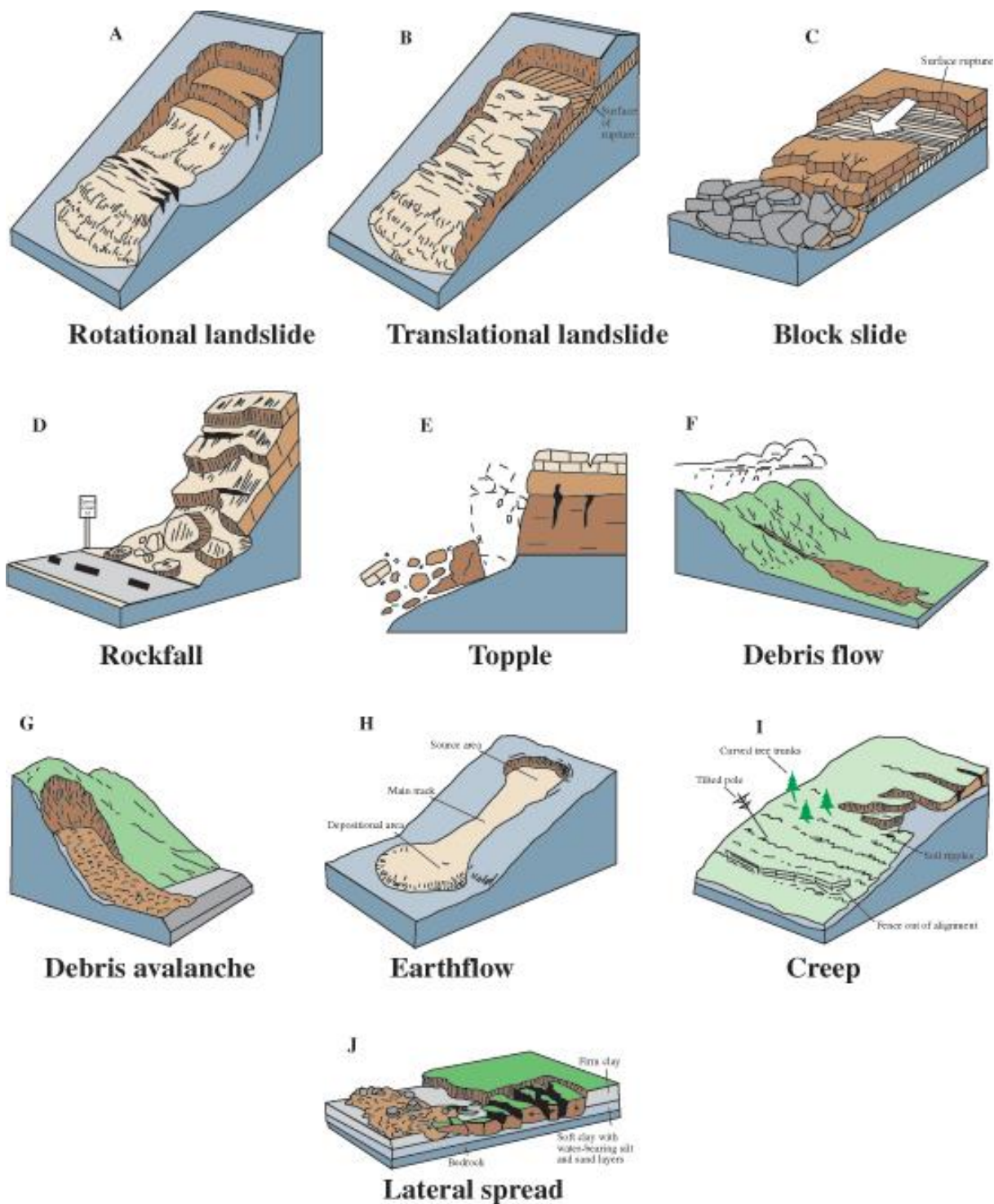


圖 2-6 邊坡移動示意圖(Highland and Bobrowsky(2008))

(改繪自 Varnes(1978))

本工作依照大規模崩塌常見的破壞機制-順向滑動與老崩積層破壞進行評分，順向滑動評分因子包含主崩崖活動性、坡趾活動性、岩層位態與坡向坡度之關係；崩積層破壞評分子包含崩崖活動性、蝕溝活動性及地表特徵。

若由航照判釋判定為可能複合型破壞，則比較兩種邊坡破壞機制的活動性後，將等級較高的視為主控機制。由前後期照片比較因子的變化，依其變化程度給予 1、2 及 3 分，評分準則及活動性等級如表 2-7、表 2-8 及表 2-9。

表 2-7 順向滑動指標因子評分表

因子	分級/分類	分數
崩崖活動性	崩崖範圍明顯擴大，冠部出現張力裂縫、重力變形跡象或崩崖後方(稜線另一側)被侵蝕。	3
	崩崖範圍稍微擴大	2
	崩崖無明顯變化。	1
坡趾活動性	河道/蝕溝明顯下切或側刷，導致坡趾持續侵蝕。	3
	河道/蝕溝有下切或側刷潛能，但變化不大。	2
	河道/蝕溝無侵蝕潛勢，前後期航照顯示無明顯變化。	1
岩層位態與坡向坡度之關係	航照判釋顯示岩層層面出露(daylight)，且具有順向滑動潛能(坡角>岩層傾角>層面摩擦角)。	3
	航照判釋顯示岩層層面可能會出露，且具有順向滑動潛能。	2
	航照判釋顯示目前無順向滑動潛能。	1

表 2-8 崩積層破壞指標因子評分表

因子	分級/分類	分數
崩崖活動性	崩崖明顯後退或範圍擴大、崩崖數量增加。	3
	崩崖有後退或範圍擴大趨勢。	2
	前後期航照的崩崖無明顯變化。	1
蝕溝活動性	蝕溝劇烈下切、上溯(可能造成不整合面出露)、蝕溝數量增加。	3
	航照判釋蝕溝有下切、上溯潛能，或尚未下切至不整合面。	2
	前後期航照的蝕溝無明顯變化。	1
地表特徵	表面無植生、岩盤裸露	3
	樹木傾斜、植被零星	2
	林相完整、茂密	1

表 2-9 活動性等級分類

等級	高	中	低
分數	8、9	5、6、7	3、4

2-4.3 活動性評估結果

以下分別就東勢處、南投處、嘉義處、屏東處活動性評估結果加以說明，其中東勢處共有 7 處，分別臺中市-和平區-D063、D395、D335、D348、D344、D359 及必坦溪 1 號崩塌地；南投處共有 7 處，分別為南投縣-水里鄉-D006、D007、D008、D015、D016、奧萬大聯外道 4.5K 崩塌及十八重溪集水區崩塌地；嘉義處共有 2 處，分別為嘉義縣-阿里山鄉-D087 及嘉義縣-大埔鄉-D037；屏東處共有 11 處潛在大規模崩塌，分別為高雄市-桃源區-D228、高雄市-六龜區-D015 及 D022、高雄市-甲仙區-D044 及 D047、高雄市-杉林區-D014、D020、D023 及 D024、屏東縣-三地門鄉-D046 及 D097、高雄市-甲仙區-D040 及高雄市-桃源區-D346；花蓮管理處富源崩塌地；台東管理處向陽崩塌地、紅葉村崩塌地及知本森林遊樂區崩塌地。

大規模崩塌潛勢區活動性因子評分表、活動性及其崩塌潛能如表 2-10 所示，各區概述、航空影像判釋及活動性評估請參照附錄三(附於末頁光碟)。整體而言，大規模崩塌潛勢區高活動性 11 處、中活動性 14 處，低活動性 8 處，分布如圖 2-7，各管理處涵蓋之活動性高、中及低等級如表 2-11。

本年度活動性與前期發生度的評分目的類似，但評分方式及研究尺度均與前期不同，因此評分結果會有些許差異。與 24 處前期發生度相比，8 處不變、2 處高變中、4 處中變高、8 處低變中、2 處低變高。大部分的崩塌地都是發生度稍微調高或降低一個等級，僅有 2 處變動較大，分別為「嘉義縣-阿里山鄉-D187」、「高雄市-甲仙區-D044」，活動性皆由低變高。檢討後發現本年度活動性評分有考慮河道下切或蝕溝侵蝕坡趾，對大規模順向滑動的影響。嘉義縣-阿里山鄉-D187 與高雄市-甲仙區-D044 的坡趾皆有明顯河道下切、侵蝕坡趾的情況，因此將活動性修正為「高」。

表 2-10 大規模崩塌潛勢區活動性評估表

大規模崩塌潛勢區	順向滑動活動性	老崩積層破壞活動性	主控活動性評分	主控活動性	大規模崩塌潛能	面積(公頃)	前期發生度等級
臺中市-和平區-D063	無	中	5	中	局部活動性：坡趾的河道凹岸沖蝕，造成陡坡岩屑崩滑。大範圍的岩盤裸露顯示本區持續有岩屑崩落。目前沒有一次式大規模崩塌活動的跡象。	18	高
臺中市-和平區-D335	無	低	3	低	局部活動性：未來應注意蝕溝是否出現上溯行為。目前沒有一次式大規模崩塌活動的跡象。	18	低
臺中市-和平區-D348	無	低	3	低	局部活動性：未來應注意蝕溝是否出現上溯行為。目前沒有一次式大規模崩塌活動的跡象。	14	低
臺中市-和平區-D344	低	中	6	中	局部活動性：陡坡蝕溝的岩盤裸露顯示本區持續有岩屑崩落。須持續注意蝕溝沖刷行為可能造成岩屑滑落及引致的道路中斷。目前沒有一次式大規模崩塌活動的跡象。	21	低
臺中市-和平區-D359	低	低	3	低	局部活動性：注意蝕溝未來是否出現上溯行為。目前沒有一次式大規模崩塌活動的跡象。	21	低
臺中市-和平區-D395	無	中	7	中	局部活動性：陡坡蝕溝植生稀疏，本區仍有岩屑崩落。	13	高
東勢處-必坦溪1號崩塌地	低	中	7	中	局部活動性：陡坡蝕溝的岩盤裸露顯示本區持續有岩屑崩落。目前沒有一次式大規模崩塌活動的跡象。	15	-

大規模崩塌 潛勢區	順向滑 動 活動性	老崩積 層破壞 活動性	主控活 動性評 分	主控活 動性	大規模崩塌潛能	面積 (公頃)	前期發 生度等 級
南投縣- 水里鄉-D006	無	中	5	中	局部活動性：LiDAR 微地形顯示本區存在沖蝕溝，目前地表植生茂密，活動性須持續觀察。	30	低
南投縣- 水里鄉-D007	無	低	4	低	局部活動性：LiDAR 微地形顯示本區存在沖蝕溝，但目前植生茂密，沖蝕不明顯，趨於穩定。 目前沒有一次式大規模崩塌活動的跡象。	10	低
南投縣- 水里鄉-D008	無	低	4	低	局部活動性：LiDAR 微地形顯示本區存在沖蝕溝，但目前植生茂密，沖蝕不明顯，趨於穩定。目前沒有一次式大規模崩塌活動的跡象。	11	低
南投縣- 水里鄉-D015	無	中	6	中	局部活動性：LiDAR 微地形顯示本區存在沖蝕溝，目前地表植生完整，活動性須持續觀察。本區活動性與範圍外兩側蝕溝沖刷密切相關，建議須一起納入評估。	32	低
南投縣- 水里鄉-D016	無	中	5	中	局部活動性：由地形與現勘結果可知本區為由一大範圍老崩積層組成。現況坡趾穩定，然其活動性與蝕溝沖蝕行為密切相關，未來應注意蝕溝沖蝕情形。	26	低
南投處- 奧萬大聯外道 路4K+400 邊坡	無	高	8	高	局部活動性：河道凹岸侵蝕坡腳，造成邊坡持續崩落破壞。	6	-
南投處- 十八重溪集水 區崩塌地	無	高	8	高	局部活動性：邊坡落石型態為主，須注意稜線另一側邊坡崩滑行為	9	-

大規模崩塌 潛勢區	順向滑 動 活動性	老崩積 層破壞 活動性	主控活 動性評 分	主控活 動性	大規模崩塌潛能	面積 (公頃)	前期發 生度等 級
嘉義縣- 阿里山鄉-D187	高	高	9	高	為一大範圍的崩塌潛勢區，下邊坡阿里山溪下切嚴重，引致潛勢區崩塌地形特徵明顯且變化大。區域內存在甚多老崩積層，二萬坪崩塌地為其中之一，過去曾多次崩滑。	555	低
嘉義縣- 大埔鄉-D037	無	中	5	中	局部活動性：崩積層中央有一蝕溝上溯。	90	低
高雄市- 桃源區-D228	中	低	6	中	大規模崩塌潛能：此區應為順向坡，LiDAR 顯示崩崖為順向滑動後的殘坡，若坡趾持續侵蝕、蝕溝上溯，可能造成老崩積層非圓弧形滑動、下方岩層順向滑動。	93	低
高雄市- 甲仙區-D044	中	高	8	高	大規模崩塌潛能：此區為順向坡，崩崖為順向滑動後的殘坡，若坡趾持續侵蝕、蝕溝上溯，可能造成老崩積層非圓弧形滑動、下方岩層順向滑動。 局部活動性：蝕溝上溯、岩屑崩滑。	67	低
高雄市- 甲仙區-D047	低	中	5	中	此區雖為順向坡，但目前坡趾保護尚好，層面沒有見光，因此發生一次式大規模滑動機率不高。 局部活動性：老崩積層於莫拉克颱風後出現許多崩崖，可能局部崩塌破壞。	84	低
高雄市- 六龜區-D015	無	高	9	高	大規模崩塌潛能：本區有厚崩積層，可能沿岩土界面滑動。局部活動性：蝕溝上溯下切，造成岩屑崩滑。	228	中

大規模崩塌 潛勢區	順向滑 動 活動性	老崩積 層破壞 活動性	主控活 動性評 分	主控活 動性	大規模崩塌潛能	面積 (公頃)	前期發 生度等 級
高雄市- 六龜區-D022	中	高	8	高	局部活動性：荖濃溪林道下 方的崩積層的蝕溝已下切 至岩盤，地下水沿不整合面 持續滲出。由於坡度較陡， 因此老崩積層容易局部崩 塌滑。	51	中
高雄市- 杉林區-D014	待進一 步調查	低	3	低	局部活動性：蝕溝上溯。	48	低
高雄市- 杉林區-D020	無	低	3	低	局部活動性：蝕溝上溯。	16	低
高雄市- 杉林區-D023	低	低	4	低	局部活動性：蝕溝上溯。	12	低
高雄市- 杉林區-D024	低	中	7	中	大規模崩塌潛能：本區上邊 坡崩崖疑似順向滑動的殘 坡，由地形判釋可能有厚層 老崩積層，其活動性與蝕溝 下切行為息息相關。局部活 動性：崩積層內及兩側的蝕 溝上溯。	96	低
屏東縣- 三地門鄉-D097	中	高	8	高	大規模崩塌潛能：由地形地 貌可知此處應為順向滑動 後堆積的老崩積層。目前崩 崖岩盤裸露，崩積層趾部侵 蝕，若持續沖刷，可能會沿 著岩土界面滑動。	31	中
屏東縣- 三地門鄉-D046	無	高	9	高	局部活動性：老崩積層的蝕 溝下切、坡趾凹岸沖蝕，造 成崩積層右翼陷落、蝕溝左 側邊坡持續崩滑。	178	中
高雄市- 甲仙區 D040	無	高	9	高	局部活動性：蝕溝已下切、 上溯至岩盤，造成兩側老崩 積層持續崩滑、破壞，沿著 蝕溝向下運移。	13	-

大規模崩塌 潛勢區	順向滑 動 活動性	老崩積 層破壞 活動性	主控活 動性評 分	主控活 動性	大規模崩塌潛能	面積 (公頃)	前期發 生度等 級
高雄市- 桃源區 D346	無	中	5	中	局部活動性：蝕溝下切接近 主崩崖，加上坡趾侵蝕，須 進一步調查不整合面位置。	97	-
花蓮處-富源 森林遊樂區	無	中	6	中	局部活動性：右岸邊坡以崩 落為主，左岸邊坡須注意蝕 溝上溯行為。	434	-
台東處- 紅葉村崩塌地	無	高	9	高	強颱莫蘭蒂挾帶豪雨，於9 月15日清晨引發紅葉國小 後山崩塌土石災害，上邊坡 崩積層向下流動。現已清 淤，施作截水溝、導流土堤。	50	-
台東處-知本森 林遊樂區	待進一 步調查	中	7	中	局部活動性：崩積層內小蝕 溝可能下切、上溯。	82	-
台東處-向陽	中	高	8	高	局部活動性：崩塌區內多處 岩盤裸露，蝕溝持續下切、 上溯。崩塌範圍擴大、岩屑 崩落。此區劈理發達，地質 狀況複雜，需掌握地質條件 方能評估可能的邊坡運動 型態。	208	-

(-:前期未評分)

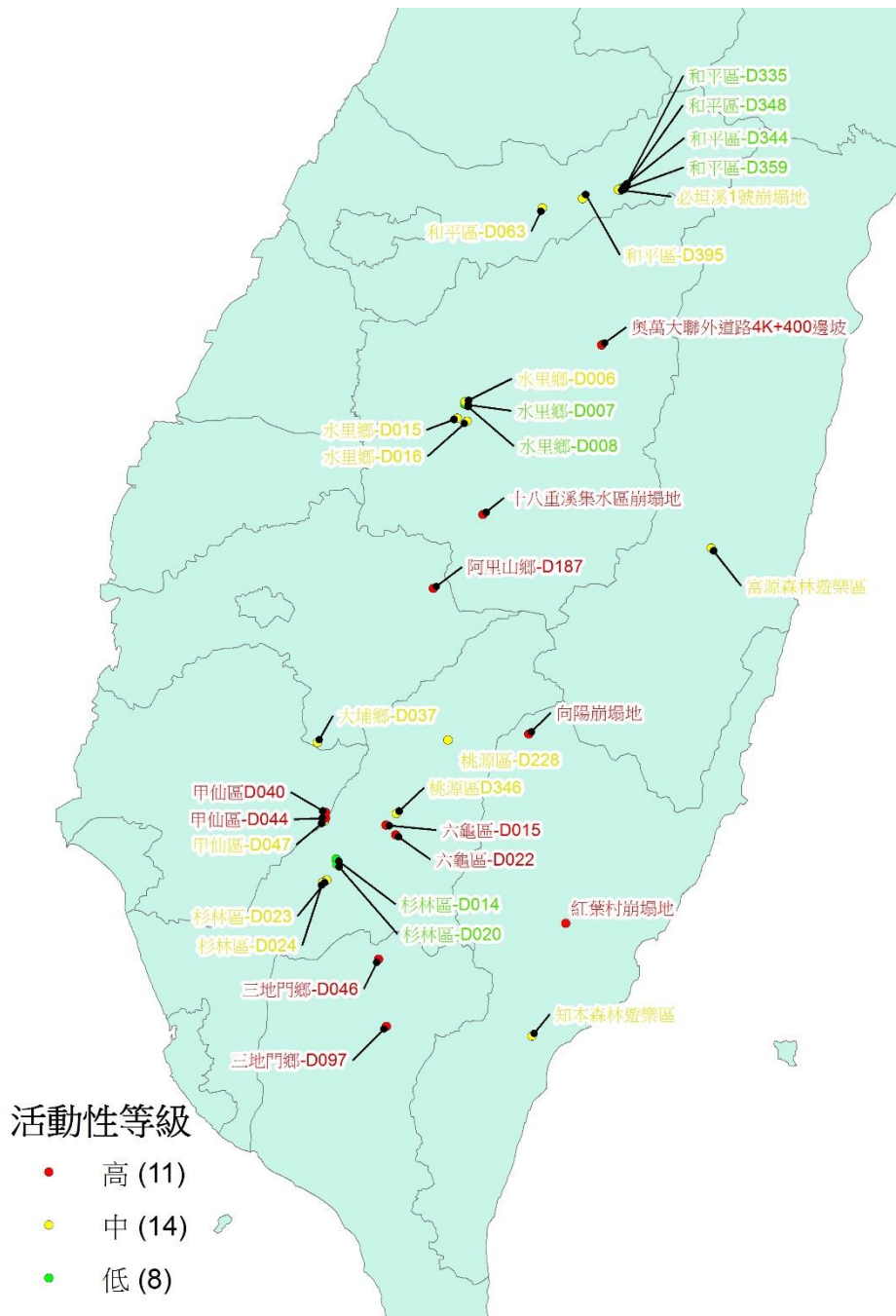


圖 2-7 大規模崩塌潛勢區活動性評定等級分布

表 2-11 大規模崩塌潛勢區活動性評定等級表

東勢處(7)			南投處(7)			屏東處(13)		
高	中	低	高	中	低	高	中	低
0	4	3	2	3	2	6	5	2
嘉義處(2)			花蓮處(1)			台東處(3)		
高	中	低	高	中	低	高	中	低
1	1	0	0	1	0	2	1	0

2-4.4 保全、風險(危險度)

本執行計畫書脆弱度採用前期計畫考量保全對象所建立之保全評分表(表 2-4)，並以前期計畫所採用之危險等級評分方法(表 2-5)進行評分，所得之危險等級評分如表 2-12 所示，可做為後續執行時之參考。惟須注意保全對象之變動將會影響危險等級，例如大社、好茶部落之遷村，是否確已無保全住戶存在，建議應審慎重新檢視後再加以進行調整。

表 2-12 活動性、保全重要性、與危險度評分

名稱	活動性	保全重要性	危險度	保全對象	面積 (公頃)
臺中市-和平區-D063	中	中	5	天輪壩	18
臺中市-和平區-D335	低	高	6	德基壩水庫蓄水區、 德基壩、臺 8 線	18
臺中市-和平區-D348	低	高	6	德基壩水庫蓄水區、 德基壩、臺 8 線	14
臺中市-和平區-D344	中	高	6	德基壩水庫蓄水區、 德基壩、臺 8 線	21
臺中市-和平區-D359	低	高	6	保全戶數 1 戶、德基 壩水庫蓄水區、德基 壩	21
臺中市-和平區-D395	中	中	5	電塔 1 處	13
東勢處-必坦溪 1 號崩 塌地	中	高	8	德基水庫、台八線道 路及進出人員	15
南投縣-水里鄉-D006	中	高	8	保全戶數 7 戶、大觀 發電廠蓄水區、電塔 2 處、主要道路縣道 131	30
南投縣-水里鄉-D007	低	高	6	保全戶數 1 戶、大觀 發電廠蓄水區、電塔 2 處、主要道路縣道 131 通過	10
南投縣-水里鄉-D008	低	高	6	保全戶數 4 戶、大觀 發電廠蓄水區、電塔 2 處、主要道路縣道 131 通過	11

名稱	活動性	保全重要性	危險度	保全對象	面積 (公頃)
南投縣-水里鄉-D015	中	高	8	保全戶數 42 戶、電塔 3 處、主要道路台 16 及投 27 通過	32
南投縣-水里鄉-D016	中	高	8	保全戶數 552 戶、避難處所 1 處、鉅工發電廠、電塔 3 處、主要道路台 16 及縣道 131 通過	26
南投處-奧萬大聯外道路 4K+400 邊坡	高	高	9	道路 1000 公尺、奧萬大森林遊樂區、保全戶數 10 戶	6
南投處-十八重溪集水區崩塌地	高	中	7	道路 800 公尺、本處林業人員作業安全	9
嘉義縣-阿里山鄉-D187	高	高	9	保全戶數 251 戶、主要道路台 18 縣通過	555
嘉義縣-大埔鄉-D037	中	高	8	保全戶數 18 戶、主要道路台 3 線通過	90
高雄市-桃源區-D228	低	高	6	保全戶數 83 戶	93
高雄市-甲仙區-D044	高	高	9	保全戶數 280 戶、甲仙攔河堰	67
高雄市-甲仙區-D047	中	高	8	保全戶數 280 戶、甲仙攔河堰、避難收容所 1 處、主要道路台 20 線通過	84
高雄市-六龜區-D015	高	高	9	保全戶數 57 戶、一般道路荖濃溪林道通過	228
高雄市-六龜區-D022	高	高	9	保全戶數 46 戶、避難收容所 1 處、一般道路藤枝林道通過	51
高雄市-杉林區-D014	低	高	6	保全戶數 222 戶、電塔 1 處	48

名稱	活動性	保全重要性	危險度	保全對象	面積 (公頃)
高雄市-杉林區-D020	低	高	6	保全戶數 224 戶、電塔 2 處	16
高雄市-杉林區-D023	中	高	8	保全戶數 184 戶	12
高雄市-杉林區-D024	高	高	9	保全戶數 189 戶	96
屏東縣-三地門鄉-D097	高	高	9	保全戶數 54 戶、一般道路沙溪林道通過(大社部落已遷村)	31
屏東縣-三地門鄉-D046	高	高	9	保全戶數 101 戶(好茶部落已遷村)	178
高雄市-甲仙區 D040	高	高	9	保護人口 14 人，房舍 3 座，公路 0.3 公里，橋樑 1 座	13
高雄市-桃源區 D346	中	中	5	保全戶數 24 戶、一般道路	97
花蓮處-富源森林遊樂區	中	高	8	富源森林遊樂區	434
台東處-紅葉村崩塌地	高	高	9	紅葉村、延平林道	50
台東處-知本森林遊樂區	中	高	8	知本森林遊樂區	82
台東處-向陽	高	高	9	向陽森林遊樂區、台 20 線	208

2-5 大規模崩塌潛勢區監測、減災規劃及經費

本工作參考風險等級(活動性、脆弱度)、道路可及性等，針對各大規模崩塌潛勢區的活動性及可能崩塌行為，進行各大規模崩塌監測、減災、穩定工程規劃，考量治理優先順序、105-107 年各期階段性成果、林管處依據治理經驗建議之區域，提列 106~109 年委辦費與工程費的建議辦理方式，詳見表 2-13。委辦費工作項目包含「監視」與「調查、監測、治理策略」兩種辦理方式，監視的目的是透過不定期的 UAV 空拍與現地勘查，掌握現地變化狀況；並由 UAV 航照產製的正射影像與數值地表模型(DSM)，判釋蝕

溝、崩崖等線型，檢討活動性變化。初步建議 25 處活動性高及中等級之潛勢區均進行一次監視工作，8 處活動性低的潛勢區則建議由林管處監控。「調查、監測、治理策略」則是針對有可能深層滑動的大規模崩塌區加以建議，提供後續長期監測、管理、或治理工程參考。其工作涵蓋地表地質調查、地球物理調查、鑽探、GPS 地表位移監測、水位計、傾斜觀測管、雨量站、邊坡穩定分析，並說明道路可及性，作為治理工程調查規劃之依據。

工程費則包含「減災工程」與「穩定工程」兩大類，減災工程主要針對地表的沖刷或崩滑現況進行處理。首先釐清治理標的，並透過蝕溝控制(如攔砂壩等)、樁、坡面保護(如地表排水等)等工法提高崩塌區的穩定性。穩定工程主要針對潛在大規模崩塌，如範圍大於 10 公頃、深度大於 10 公尺等區域進行治理。本工作亦先釐清治理標的，提出初步治理建議，後續將再依照調查、監測、治理策略結果，修正工程預算經費。工程治理順序參考本年度活動性及前期脆弱度評分結果初步評估的危險度，並依照林務局評定集水區治理急迫性等級的 4 個分級「優先、關注、重點、一般」進行排序，如果屬於活動性低，且經多年監視、檢討後活動性均無太大變化，可考慮列為一般，降低監測頻率，並於極端降雨事件後檢討活動性、逐步退場。

國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測 106-109 分年經費表如表 2-14 所示，其中業務費 4,000 仟元，主要辦理大規模崩塌潛勢減災及監測工作；委辦費用 106~109 年分別為 17,767、18,075、17,950 及 10,500 仟元，各年度規劃委辦項目、潛勢區及經費概估如表 2-15。工程費用先分配予立即性減災工程，待大規模崩塌潛勢區調查、監測及治理策略完成後，再據以分配辦理穩定工程。106~107 年工程費用規劃為 76,907 及 78,000 仟元，因 108 及 109 年多處工程需要配合委辦工作提出之穩定分析，再視結果修正工程經費。另阿里山鄉-D187 位於國家森林遊樂區內，整治經費恐過於龐大，建議另案辦理系統性的調查、監測及治理工作。108 及 109 年工程經費依治理策略調整穩定工程至 81,050 及 88,500 仟元，各年度規劃之工程項目及經費如表 2-16。

表 2-13 大規模潛勢區監測減災規劃

大規模崩塌 潛勢區	活動 性	面積 (公頃)	委辦工作項目	減災工程與穩定工程建議	委辦順序		工程 治理 順序
					監視	調查 監測	
臺中市-和平區-D063	中	18	監視、檢討活動性變化	河岸保護工程，抑制河道凹岸沖刷、穩定坡腳避免持續崩塌。	2	4	關注
臺中市-和平區-D344	中	21	監視、檢討活動性變化	道路坡面保護、排水工程，減緩蝕溝沖蝕行為。	2	4	關注
臺中市-和平區-D335	低	18	由東勢處自行監視 (或可配合 D344 同時辦理)	持續觀察沖蝕行為，可施作蝕溝控制工程避免蝕溝持續上溯。	3	4	重點
臺中市-和平區-D348	低	14		持續觀察沖蝕行為，可施作蝕溝控制工程避免蝕溝持續上溯。	3	4	重點
臺中市-和平區-D359	低	21		道路坡面保護、排水工程，減緩蝕溝沖蝕行為。	3	4	關注
臺中市-和平區-D395	中	13	監視、檢討活動性變化	此區道路可及性差，建議先持續監視活動性。	2	4	重點
東勢處- 必坦溪 1 號崩塌地	中	15	監視、檢討活動性變化	道路坡面保護、排水工程，減緩蝕溝沖蝕行為。	1	4	優先
南投縣-水里鄉-D006	中	30	監視、檢討活動性變化	持續觀察沖蝕行為，針對後續發生之沖蝕行為處理(如蝕溝控制、地表排水、坡面保護)。	2	4	重點

大規模崩塌 潛勢區	活動 性	面積 (公頃)	委辦工作項目	減災工程與穩定工程建議	委辦順序		工程 治理 順序
					監視	調查 監測	
南投縣-水里鄉-D007	低	10	由南投處自行監視 (或可配合 D006 同時辦理)	持續觀察沖蝕行為，針對後續發生之沖蝕行為處理(如蝕溝控制、地表排水、坡面保護)。	3	4	重點
南投縣-水里鄉-D008	低	11			3	4	重點
南投縣-水里鄉-D015	中	32	監視、檢討活動性變化，並做 詳細調查、監測後，提出治理 策略。	1. 持續觀察沖蝕行為，針對後續發生 之沖蝕行為處理(如蝕溝控制、地表 排水、坡面保護)。 2. 待調查、監測、治理策略(邊坡穩定 分析)完成後，提出穩定工程建議。 初步建議崩積層做地表排水、抑制 兩側蝕溝沖刷，提高穩定性。	1	1	關注
南投縣-水里鄉-D016	中	26	監視、檢討活動性變化	持續觀察沖蝕行為，可針對後續發生之 沖蝕行為處理(如蝕溝控制、地表排 水、坡面保護)。	2	4	關注
南投處-奧萬大聯外道路 4K+400 邊坡	高	6	監視、檢討活動性變化	河岸保護工程，抑制河道凹岸沖刷、穩 定坡腳避免持續崩塌。	2	4	優先
南投處- 十八重溪集水區崩塌地	高	9	監視、檢討活動性變化	道路坡面保護、排水工程	2	4	關注

大規模崩塌 潛勢區	活動 性	面積 (公頃)	委辦工作項目	減災工程與穩定工程建議	委辦順序		工程 治理 順序
					監視	調查 監測	
嘉義縣-阿里山鄉-D187	高	555	監視、檢討活動性變化(含既有資料)，並做詳細調查、監測後，提出治理策略。	1. 河岸保護工程，抑制河道側刷、提高坡腳穩定性。 2. 蝕溝控制(如攔砂壩)，避免蝕溝持續上溯。 3. 待調查、監測、治理策略(邊坡穩定分析)完成後，提出穩定工程建議。初步建議需減緩河道下切行為，提高坡腳穩定性、避免蝕溝上溯。	1	1	優先
嘉義縣-大埔鄉-D037	中	90	監視、檢討活動性變化	蝕溝控制(如攔沙壩)，減緩蝕溝沖蝕行為。	2	4	關注
高雄市-桃源區-D228	中	93	此區雖有大規模崩塌潛能，但道路可及性差，不易進行調查及工程，故建議先檢討活動性變化。	河岸保護工程，抑制河道凹岸沖刷、穩定坡腳避免持續崩塌(此區道路可及性差)。	2	4	重點
高雄市-甲仙區-D044	高	67	監視、檢討活動性變化(含既有資料)，並做詳細調查、監測後，提出治理策略。	1. D044 河岸保護工程，抑制河道側刷、提高坡腳穩定性。 2. 待調查、監測、治理策略(邊坡穩定分析)完成後，提出穩定工程建議。初步建議崩積層做地表排水、坡趾穩定工程，避免大規模順向滑動發生。	1	1	關注
高雄市-甲仙區-D047	中	84					

大規模崩塌 潛勢區	活動 性	面積 (公頃)	委辦工作項目	減災工程與穩定工程建議	委辦順序		工程 治理 順序
					監視	調查 監測	
高雄市-六龜區-D015	高	228	檢討活動性變化(含既有資料), 持續補充調查、監測後,檢討 修正治理策略。	1. 河岸保護工程,抑制河道側刷、提 高坡腳穩定性。 2. 蝕溝控制(如攔砂壩),避免蝕溝持 續上溯。 3. 待調查、監測、治理策略(邊坡穩定 分析)完成後,提出穩定工程建議。 初步建議坡面保護、排水,提高崩 積層穩定性。	1	1	優先
高雄市-六龜區-D022	高	51	監視、檢討活動性變化	1. 荖濃溪林道坡面保護工程。 2. 抑制中央蝕溝上溯(道路可及性 差)。	2	4	關注
高雄市-杉林區-D014	低	48	由屏東處自行監視	河岸保護工程,抑制河道側刷、提高坡 腳穩定性。	3	4	重點
高雄市-杉林區-D020	低	16	由屏東處自行監視	河岸保護工程,抑制河道側刷、提高坡 腳穩定性。	3	4	重點
高雄市-杉林區-D023	低	12	由屏東處自行監視	持續觀察沖蝕行為,可施作蝕溝控制工 程避免蝕溝持續上溯。	3	4	關注
高雄市-杉林區-D024	中	96	監視、檢討活動性變化,並做 詳細調查、監測後,提出治理 策略。	1. 持續觀察沖蝕行為,可施作蝕溝控 制工程,避免蝕溝持續上溯。 2. 待調查、監測、治理策略(邊坡穩定 分析)完成後,提出穩定工程建議。	2	2	關注

大規模崩塌 潛勢區	活動 性	面積 (公頃)	委辦工作項目	減災工程與穩定工程建議	委辦順序		工程 治理 順序
					監視	調查 監測	
				初步建議崩積層做地表排水、坡趾穩定工程，避免大規模順向滑動發生。			
屏東縣-三地門鄉-D097	高	31	此區雖有大規模崩塌潛能，但道路可及性差，不易進行調查及工程。故建議先監視、檢討活動性變化。	下邊坡河道沖刷抑制工程(道路可及性差)	2	4	關注
屏東縣-三地門鄉-D046	高	178	監視、檢討活動性變化	1. 沙溪林道坡面保護、排水工程。 2. 抑制河道凹岸侵蝕、中央蝕溝上溯(道路可及性差)。	2	4	關注
高雄市-甲仙區 D040	高	13	監視、檢討活動性變化	蝕溝控制(如攔沙壩)，減緩蝕溝沖蝕行為。	2	4	優先
高雄市-桃源區 D346	中	97	檢討活動性變化、簡易觀測站之維護與監測。	河岸保護工程，抑制河道凹岸沖刷、穩定坡腳避免持續崩塌(河道道路可及性差)。	2	4	關注
花蓮處-富源森林遊樂區	中	434	監視、檢討活動性變化	1. 河岸保護工程，抑制河道側刷、提高坡腳穩定性。 2. 蝕溝控制工程(如攔砂壩)，避免蝕溝持續上溯。	1	1	關注
台東處-紅葉村崩塌地	高	50	檢討莫蘭蒂颱風後，整治後的活動性變化。	1.坡面排水、保護工程。 2.蝕溝控制工程(如攔砂壩)，避免蝕溝持續上溯。	2	4	關注

大規模崩塌 潛勢區	活動 性	面積 (公頃)	委辦工作項目	減災工程與穩定工程建議	委辦順序		工程 治理 順序
					監視	調查 監測	
台東處-知本森林遊樂區	中	82	檢討活動性變化	1. 河岸保護工程，抑制河道側刷、提高坡腳穩定性。 2. 蝕溝控制工程(如攔砂壩)，避免蝕溝持續上溯。	1	1	關注
台東處-向陽	高	208	檢討活動性變化	蝕溝控制(如攔砂壩)，減緩蝕溝沖蝕行為。	3	3	重點

表 2-14 國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測分年經費表

工作項目	年度				單位:仟元
	106	107	108	109	合計
業務費	1,000	1,000	1,000	1,000	4,000
委辦費	17,767	18,075	17,950	10,500	81,553
工程費	76,906.599	78,000	81,050	88,500	308,807
總計	95,673.599	97,075	100,000	100,000	394,360

表 2-15 106~109 年委辦費建議

年度	規劃項目	大規模崩塌潛勢區	經費(仟元)	年度經費 合計 (仟元)	備註
106	UAV 監視及活動性檢討	和平區-D063、D344 (D335、 D348、D359)、D395	554	17,703	
	調查及初步探討	水里鄉-D015	4,800		
	調查及初步探討	甲仙區-D044、D047	2,050		
	調查及初步探討	富源崩塌地	1,372		
	調查及初步探討	知本森林遊樂區	2,500		
	國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬 及安全監測 國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估及危 險度評估		6,427		
107	潛在大規模崩塌活動性評估	羅東處	1,500	18,130	
	補充調查、監測、治理策略	南投處大規模潛勢區監測	4,700		
	補充調查、監測、治理策略	屏東處大規模潛勢區監測	5,430		
	補充調查、監測、治理策略	知本森林遊樂區	2,500		
	補充調查、監測、治理策略	富源崩塌地	2,000		
	國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬 及安全監測		2,000		

年度	規劃項目	大規模崩塌潛勢區	經費(仟元)	年度經費 合計 (仟元)	備註
108	UAV 監視及活動性檢討	六龜區-D022、三地門-D046、三地門-D097、紅葉村、桃源區-D228	950	17,950	
	UAV 監視及活動性檢討、 地表地質調查	向陽	1,000		
	補充調查、監測、治理策略	阿里山鄉-D187	10,000		
	調查及初步探討	杉林溪-D024	3,000		
	國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估及危險度評估		3,000		
109	補充調查、監測、治理策略	杉林溪-D024	5,000	10,500	視前期調查及初步探討 結果調整
	活動性、治理策略及穩定工程檢討		5,500		

註: 本表得依據 105-107 年林務局執行之『國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估及危險度評估』各期階段性成果，調整調查區域

表 2-16 106~109 年工程費建議

	工程項目	大規模崩塌潛勢區	工程內容	經費 (仟元)	年度經費 合計 (仟元)	備註
106	減災工程	必坦溪 1 號崩塌地	潛壩 3 座、護岸 80 m	9,025	75,657	
	減災工程	奧萬大聯外道路 4K+400 邊坡保護工程	基樁 20 支、地錨 40 支、水溝 100 m 及其他 零星邊坡保護措施	19,132		
	減災工程	阿里山鄉-D187	固床工 3 座長 60m 高 4 m，邊坡穩定工長約 900 m 高 6 m	14,250		
	減災工程	大埔鄉-D037	護坡約 60 m、坡面植生及截排水措施	4,750		
	減災工程	六龜區-D015	潛壩 1 座、固床工 6 座、護岸 200 m、河道整 理 100 m、坡面植生 2500 m ² 、縱橫向排水工 350 m、截水牆 2 座、坑溝整理 50 m、坡面整 理 200 m ²	16,150		
	減災工程	甲仙區-D040	節制壩 3 座、系列固床工 4 座、坡面植生 2000 m ² 、縱橫向排水工 300 m、護岸 300 m	12,350		
107	減災工程	和平區 D344	坡面穩定(1/2)0.5 公頃	15,000	80,870	
	減災工程	阿里山鄉 D187	邊坡穩定工程 1500m 高 6m	20,000		
	減災工程	六龜區 D022	坡頂截排水設施:120 米，坡面穩定:200 平方 公尺	10,000		
	減災工程	六龜區 D015	固床工 6 座、護岸 200 m、河道整理 100m、 坡面整理	20,000		

	減災工程	富源崩塌地	邊坡整治	6,870		
	減災工程	知本森林遊樂區	蝕溝整治:200 米、基礎保護工	9,000		
108	減災工程	和平區-D344	坡面穩定(2/2): 0.5 公頃	12,500	101,050	
	減災工程	和平區-D063	護岸:350 m，基礎保護工:10 座	12,500		
	減災工程	水里鄉-D015	蝕溝整治 300 m	6,000		視穩定分析結果調整
	穩定工程	六龜區-D015	基樁:100 m，坡面穩定:3000 m ² ，坑溝治理:250 m	30,000		視穩定分析結果調整
	穩定工程	知本森林遊樂區	蝕溝整治:300 m，護岸 400 m，基礎保護工	20,050		視穩定分析結果調整
	穩定工程	富源崩塌地	野溪整治:500 m	20,000		視穩定分析結果調整
109	減災工程	和平區-D395	防砂設施 2 座	16,000	100,450 (阿里山鄉-D187 專案處理)	
	穩定工程	阿里山-D187	蝕溝治理，深層滑動治理，阿里山溪野溪治理，二萬坪崩塌整治	1,780,000		建議專案辦理
	減災工程	桃源區-D228	護岸:600 m，基礎保護工:10 座	26,000		道路可及性差
	穩定工程	知本森林遊樂區	蝕溝整治:400 m，護岸 400 m，基礎保護工	18,450		視穩定分析結果調整
	穩定工程	富源崩塌地	野溪整治:1000 m	40,000		視穩定分析結果調整

註 1: 本表得依據 105-107 年本局執行之「國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估及危險度評估」各期階段性成果，調整工程施作地點

註 2: 本表得持續視標的及經費預算滾動式修正

2-6 大規模崩塌潛勢區災害應變作為

災害應變作為係屬潛勢區防災應變作為，也就是非工程手段的即時監測、警戒發布與疏散避難等相關措施應變作為也可包括災害風險告知、防災宣導、避災計畫。例如烏來西羅岸地區之建議勸導疏散撤離，係依據水保局之土石流紅色警戒值(雨量達 350 mm/day)，或中央地質調查所監測之地下水水位上升達 5 m/day，或有危險之虞時，由地方政府就現地情況研判是否啟動疏散撤離相關作業。

林務局管轄之國有林班地，海拔、地勢較高且範圍廣闊，道路交通可及性有限，作為警戒之即時監測項目以降雨量較為可行，但不同之大規模崩塌潛勢區之地表特性、地質條件、可能滑動機制等各不相同，訂定一般性之管理值仍有待進一步研究之進行，初步可考量利用歷史崩塌災害與降雨量之關係，做為啟動災害應變之參考。

採用降雨量之經驗關係式作為邊坡管理依據為相對經濟之方式(Jamaludin & Ali, 2011)，降雨量之臨界值也曾被應用於邊坡之管理(Sengupta *et al.*, 2010; Nafarzadegan *et al.*, 2012)；時降雨強度及降雨延時之冪次式應用於澳洲、義大利、馬來西亞等國之邊坡警戒系統(Aleotti, 2004; Flentje and Chowdhury, 2006; Jamaludin and Ali, 2011)；日本亦曾應用時降雨強度及累積雨量於此目的(Kuramoto *et al.*, 2002; Sato *et al.*, 2002)；降雨量於臺灣亦為最常為引起邊坡崩塌之直接影響因素，常見之綜合採用 2 種降雨臨界值與邊坡破壞關係，採用上、下限來說明邊坡破壞發生情形，下限(line A)為邊坡開始發生破壞的降雨條件，上限(line B)則為邊坡維持穩定的降雨條件(Lee *et al.*, 2013)。Lee *et al.* (2013)利用民國 85-99 年間之颱風降雨量與阿里山公路邊坡破壞事件進行研究，89 場颱風中有 18 場颱風發生邊坡破壞，總計有 258 處邊坡破壞，提出阿里山公路邊坡之管理值，包含有效累積降雨量(mm)以及最大降雨強度(mm/hour)之下限值。然此類回歸關係常有場址條件相關，應用時需適當進行檢核探討。本計畫參考以上概念，以六龜區-D015 為案例，提出管理基準值建議，做為災害應變作為之參考，詳見 6-3 節。

參、國有林簡易觀測站之維護及活動性評估

3-1 國有林簡易觀測站之維護與監測

針對林務局目前已建置之高雄市-六龜區-D015、高雄市-桃源區-D346 簡易觀測站，於設備移交後進行簡易觀測站維護並持續監測，D015 以及 D346 之簡易觀測站設置位置與監測內容分別如圖 3-1、圖 3-2 所示，設備共計包含單頻 GPS 11 處、伸張計 2 處、以及雨量筒 2 處，監測各劃分出之滑動體之地表面滑動量、以及降雨量。其中 D346 僅建置 5 個監測站，固定站與中央地調所簡易監測站共用主站，目前中央地調所的簡易監測站主站觀測資料並無提供申請方式，需直接向簡易監測站維護廠商索取。簡易觀測站例行維護工作包含以下項目：

- 1、設備維護-整體外觀，包含儀器箱與天線柱。
- 2、儀器箱內部設備檢查。
- 3、各觀測站週遭環境整理。
- 4、確認備援電力是否充足。
- 5、現場檢查主機是否正常運作。
- 6、資料下載收取。

林務局屏東林管處已委託廠商進行 D015 及 D346 二處簡易觀測站之復原，本計畫已於本(106)年 10 月 25 日會同屏東林管處及廠商進行點交之工作，測站設備及位置如表 3-1 所示，設備照片如附錄七(附於末頁光碟)。其中 D015-G3、D346-G1 及 D346 的雨量站由於架設位置附近遮蔽較多，且雨量計上方被樹枝及樹葉擋住(圖 3-3 及圖 3-4)，恐會堵塞雨量計、影響量測結果。本次點交並未交付詳細之相關資料，如儀器廠牌、規格、竣工資料、操作手冊、系統配置圖、及維修紀錄等，後續資料下載、維護及保養由該廠商進行，本計畫針對數據進行解算，並於廠商改善上述遮蔽後(D015-G3、D346-G1 及 D346)，持續保持環境，如現地設備遭到破壞將通知林務局屏東林管處，委請廠商進行復原。維護頻率本團隊固定每月一次例行性維護作業，並解算每月下載資料之資料，如遇到天災(如颱風)或是其他特殊狀況依照需求增加維護次數。

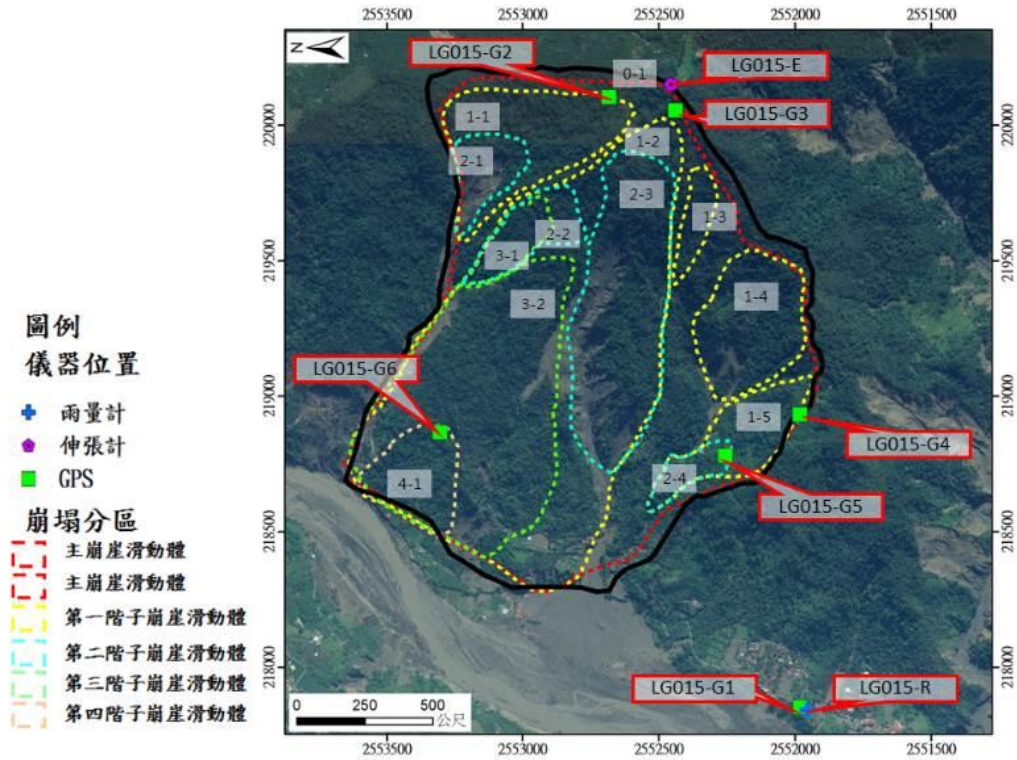


圖 3-1 D015 崩塌潛勢區簡易觀測站設置位置與監測內容

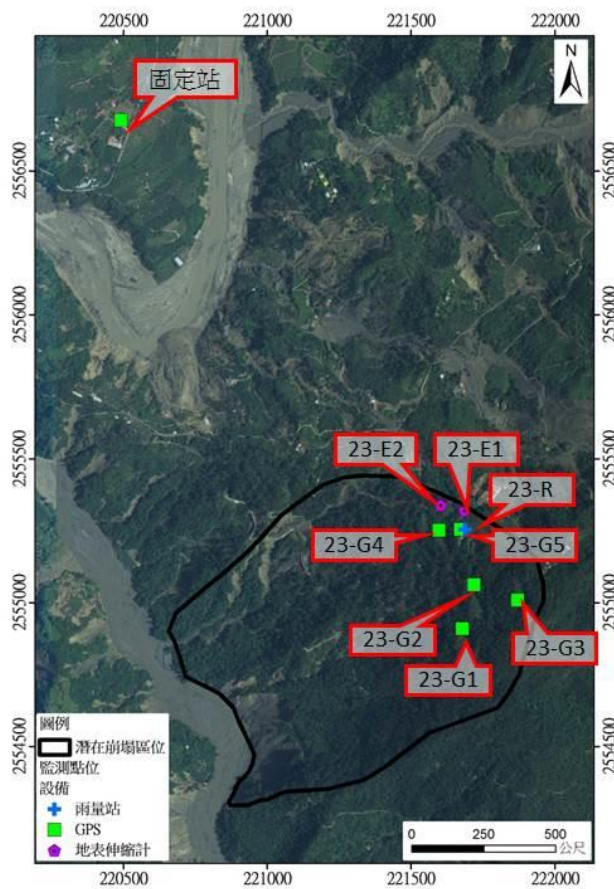


圖 3-2 D346 崩塌潛勢區簡易觀測站設置位置與監測內容

表 3-1 D015 及 D346 簡易監測站位置及設備說明(106.10.25)

位置	站名	X	Y	設備	備註
D015	G1	217854	2551982	天線盤、主機、穩壓器、電池、太陽能板、發射器	雨量站
	G2	220110	2552686	天線盤、主機、穩壓器、電池、太陽能板、發射器	單頻 GPS
	G3	220007	2552407	天線盤、主機、穩壓器、電池、太陽能板、發射器	故障排除中
	G4	218926	2551980	天線盤、主機、穩壓器、電池、太陽能板、發射器	單頻 GPS
	G5	218773	2552256	天線盤、主機、穩壓器、電池、太陽能板、發射器	單頻 GPS
	G6	218866	2553304	天線盤、主機、穩壓器、電池、太陽能板、發射器	單頻 GPS
	E1	220158	2552455	主機、纜線	伸張計
D346	G1	221674	2554896	天線盤、主機、穩壓器、電池、太陽能板、發射器	單頻 GPS
	G2	221703	2555045	天線盤、主機、穩壓器、電池、太陽能板、發射器	單頻 GPS
	G3	221868	2555003	天線盤、主機、穩壓器、電池、太陽能板、發射器	單頻 GPS
	G4	221597	2555254	天線盤、主機、穩壓器、電池、太陽能板、發射器	單頻 GPS
	G5	221669	2555256	天線盤、主機、穩壓器、電池、太陽能板、發射器	雨量站
	E1	221689	2555321	主機、纜線	伸張計
	E2	221589	2555348	主機、纜線	伸張計

本計畫以加拿大 Novatel 公司開發之商用軟體 GrafNav 中的 GrafNet 每天解算一筆靜態結果，軟體操作介面如圖 3-5、圖 3-6。



圖 3-3 D015-G3 及 D346-G1GPS 現況(106.10.25)



圖 3-4 D346 雨量站現況(106.10.25)

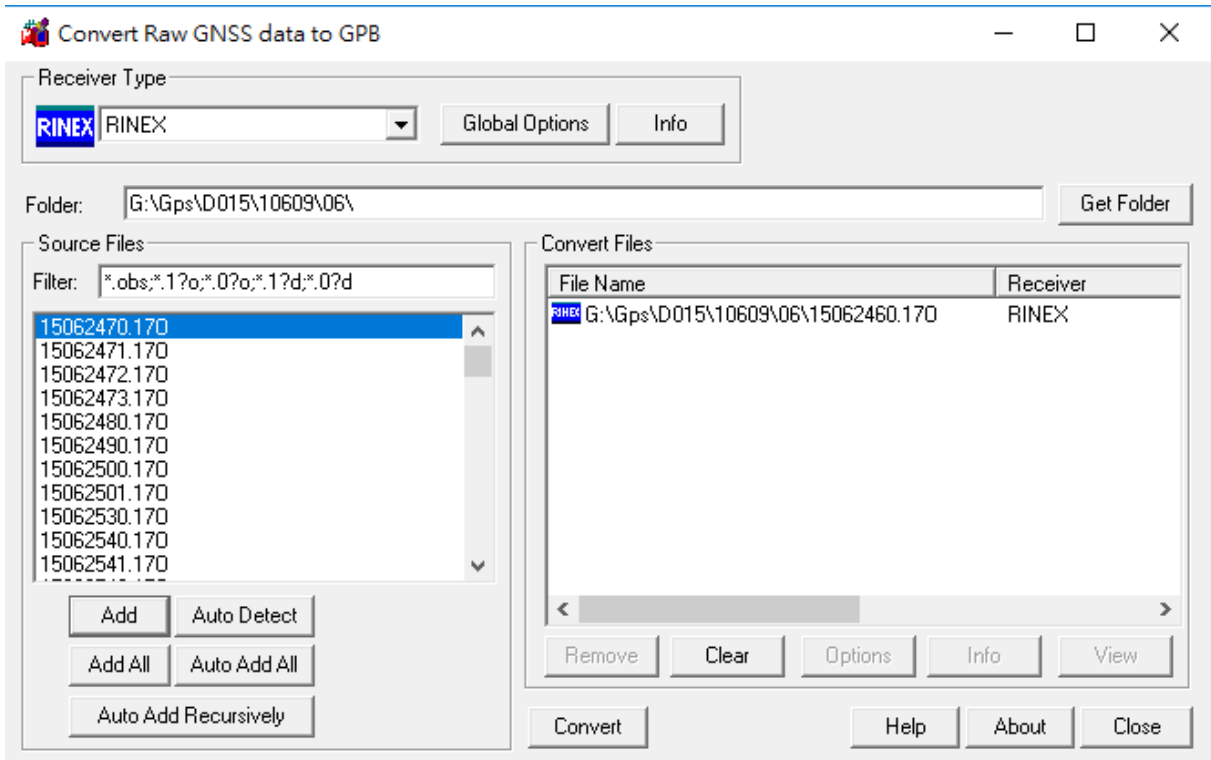


圖 3-5 GrafNet 觀測檔轉換畫面

D34610609 - GrafNet 8.40
File Process Options Output Tools Window Help

Name	SD(m...)	Relia...	RMS(...)	SolTy...	Time(h:m)	Dist(k...)	Status	From	To	#
✓ 0201 to 23010901 (1)	0.7	3.10	11.9	L1-Ne...	03:21:20	3.36	Good	0201	23010901	1
✓ 23010921 to 23050921 (2)	0.9	4.00	9.3	L1-Ne...	01:00:21	0.40	Good	23010...	23050921	2
✓ 0201 to 23010901 (6)	1.6	2.00	11.5	L1-Fix...	00:37:37	3.36	Good	0201	23010901	6
✓ 0201 to 23010901 (7)	1.6	1.60	7.5	L1-Ne...	00:33:44	3.36	Good	0201	23010901	7
✓ 0201 to 23020927 (2)	0.5	1.70	14.2	L1-Ne...	05:37:44	3.37	Good	0201	23020927	2
✓ 23010922 to 23020922 (2)	0.5	3.00	13.7	L1-Fix...	05:55:34	0.08	Good	23010...	23020922	2
✓ 0201 to 23010902 (1)	0.2	5.00	8.7	L1-Ne...	16:20:06	3.36	Good	0201	23010902	1
✓ 0201 to 23010902 (2)	0.7	3.40	11.5	L1-Ne...	02:04:25	3.36	Good	0201	23010902	2
✓ 0201 to 23020929 (2)	1.0	2.00	18.2	L1-Fix...	05:15:18	3.37	Good	0201	23020929	2
✓ 0201 to 23010902 (4)	1.2	2.20	10.0	L1-Ne...	01:01:15	3.36	Good	0201	23010902	4
✓ 0201 to 23010902 (5)	0.9	4.10	8.0	L1-Ne...	02:53:53	3.36	Good	0201	23010902	5
✓ 0201 to 23010904 (1)	0.3	4.90	11.6	L1-Ne...	18:00:39	3.36	Good	0201	23010904	1
✓ 0201 to 23010904 (2)	0.5	4.40	10.6	L1-Ne...	03:09:52	3.36	Good	0201	23010904	2
✓ 0201 to 23010904 (3)	1.3	2.00	8.9	L1-Fix...	00:48:38	3.36	Good	0201	23010904	3
✓ 0201 to 23010904 (4)	0.9	3.10	12.5	L1-Ne...	01:56:56	3.36	Good	0201	23010904	4
✓ 0201 to 23010905 (1)	0.4	3.30	16.5	L1-Ne...	13:53:04	3.36	Good	0201	23010905	1
✓ 0201 to 23010906 (1)	0.5	4.30	13.7	L1-Ne...	05:14:26	3.36	Good	0201	23010906	1
✓ 0201 to 23010907 (1)	5.7	1.50	9.0	L1-Ne...	00:32:36	3.36	Good	0201	23010907	1
✓ 0201 to 23010907 (2)	0.3	4.70	13.0	L1-Ne...	19:16:55	3.36	Good	0201	23010907	2
✓ 0201 to 23010907 (3)	0.8	1.60	16.9	L1-Ne...	01:35:20	3.36	Good	0201	23010907	3
✓ 0201 to 23010908 (1)	0.8	3.60	12.1	L1-Ne...	01:39:03	3.36	Good	0201	23010908	1
✓ 0201 to 23010908 (10)	2.0	1.50	11.5	L1-Ne...	00:21:56	3.36	Good	0201	23010908	10
✓ 0201 to 23010908 (11)	1.0	6.20	5.5	L1-Fix...	01:20:33	3.36	Good	0201	23010908	11
✓ 0201 to 23010908 (12)	4.5	1.80	5.0	L1-Fix...	00:18:19	3.36	Good	0201	23010908	12
✓ 0201 to 23010908 (13)	1.4	1.90	5.5	L1-Fix...	00:19:57	3.36	Good	0201	23010908	13
✓ 0201 to 23010908 (14)	0.8	3.20	7.6	L1-Fix...	01:20:11	3.36	Good	0201	23010908	14
✓ 23010926 to 23050926 (2)	0.6	4.30	10.1	L1-Fix...	13:56:56	0.40	Good	23010...	23050926	2
✓ 0201 to 23010908 (2)	0.7	2.60	12.9	L1-Ne...	02:34:25	3.36	Good	0201	23010908	2
✓ 23010912 to 23030912 (2)	0.3	2.80	13.9	L1-Ne...	09:07:22	0.24	Good	23010...	23030912	2
✓ 0201 to 23010908 (4)	1.5	1.90	13.0	L1-Ne...	01:22:11	3.36	Good	0201	23010908	4
✓ 0201 to 23010908 (5)	1.0	3.60	8.9	L1-Fix...	01:21:47	3.36	Good	0201	23010908	5
✓ 0201 to 23010908 (6)	2.1	1.70	11.8	L1-Ne...	00:23:56	3.36	Good	0201	23010908	6

圖 3-6 GrafNet 差分解算成果

3-1.1 六龜區-D015

六龜區-D015 主站 G1 的天線盤故障，於 106 年 9 月中旬修復完成，但 G1 觀測數據 9 月有 5 天、10 月有 10 天及 11 月有 6 天，顯示 G1 站尚未完成復建，主站位於日照、透光度或電力等較無影響(或可改善)之位置，該站儀器可能尚未設置妥當，後續仍需改善。因簡易觀測站計算相對於主站之位移，主站未復建完成，無法分析長期變化量。本計畫僅就 9 月及 10 月計算其成果，結果如表 3-2 所示。由數據量還不足以看出變位趨勢，需於主站完成修復後再評估其變化並與前期結果做比較。

表 3-2 D015 簡易監測站解算成果

GPS 測站	日期	E 方向位移 (mm)	N 方向位移 (mm)	高程方向位移 (mm)
G2	2017/9/24	-0.30	-1.00	-9.20
G2	2017/9/25	8.90	-12.60	-30.30
G2	2017/9/26	6.40	-6.20	-34.00
G2	2017/9/27	13.20	-2.50	-17.90
G2	2017/10/11	8.20	-40.10	-29.80
G2	2017/10/12	-28.50	-3.90	-77.80
G2	2017/10/13	20.00	4.10	-28.20
G2	2017/10/14	-2.30	-22.50	-56.90
G3	2017/9/24	-8.10	1.90	9.60
G3	2017/9/25	-2.50	5.20	-11.80
G3	2017/9/26	-10.00	11.40	7.90
G3	2017/9/27	16.60	-5.30	-33.50
G4	2017/9/25	1.70	-9.80	-23.30
G4	2017/9/26	1.40	-2.60	1.00
G4	2017/9/27	0.30	-7.80	-13.70
G4	2017/10/5	-7.30	14.50	-10.60
G4	2017/10/6	-6.60	-9.90	-10.80
G4	2017/10/11	4.30	-23.20	16.80
G4	2017/10/12	-129.40	-13.90	57.40
G4	2017/10/14	-1.20	-13.90	-35.60
G5	2017/9/26	-4.2	10	10.3
G6	2017/9/25	26.5	-28.7	-4.1

G6	2017/9/26	28.6	-39.3	12.6
G6	2017/10/5	21.8	-24.1	-7.8
G6	2017/10/11	31.9	-84.2	-13.1
G6	2017/10/12	-26.6	-34.3	-73.0
G6	2017/10/13	10.2	-6.4	7.1

3-1.2 桃源區-D346

GPS 解算時間為 106 年 8 月 1 日至 11 月 30 日，G4 於 11 月 8 日後無觀測數據，其餘部份資料缺失主要係因為機器受潮、日照與電力不足、透空度不佳等因素。由圖 3-7 至圖 3-9 觀測結果顯示 8 月 1 日至 8 月 11 日有較明顯的東西向及高程變化，以 G1、G2 及 G3 來看，10 天的向西(向東為正)位移量約 10 公分，高程位移量較小約 2 公分，其餘時間有向西及向下趨勢(1~2 公分/月)。本次觀測與前期結果比較將於 3-2.2 節說明。

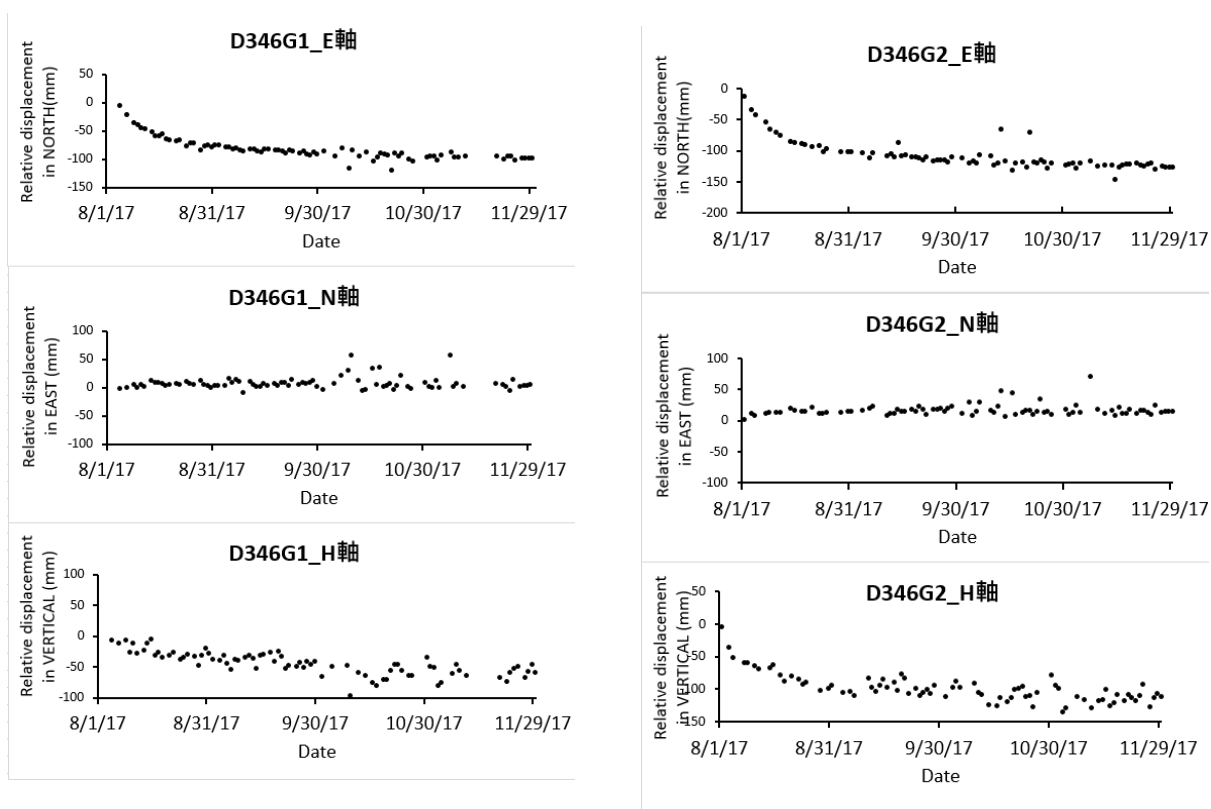


圖 3-7 D346 G1 及 G2 觀測資料

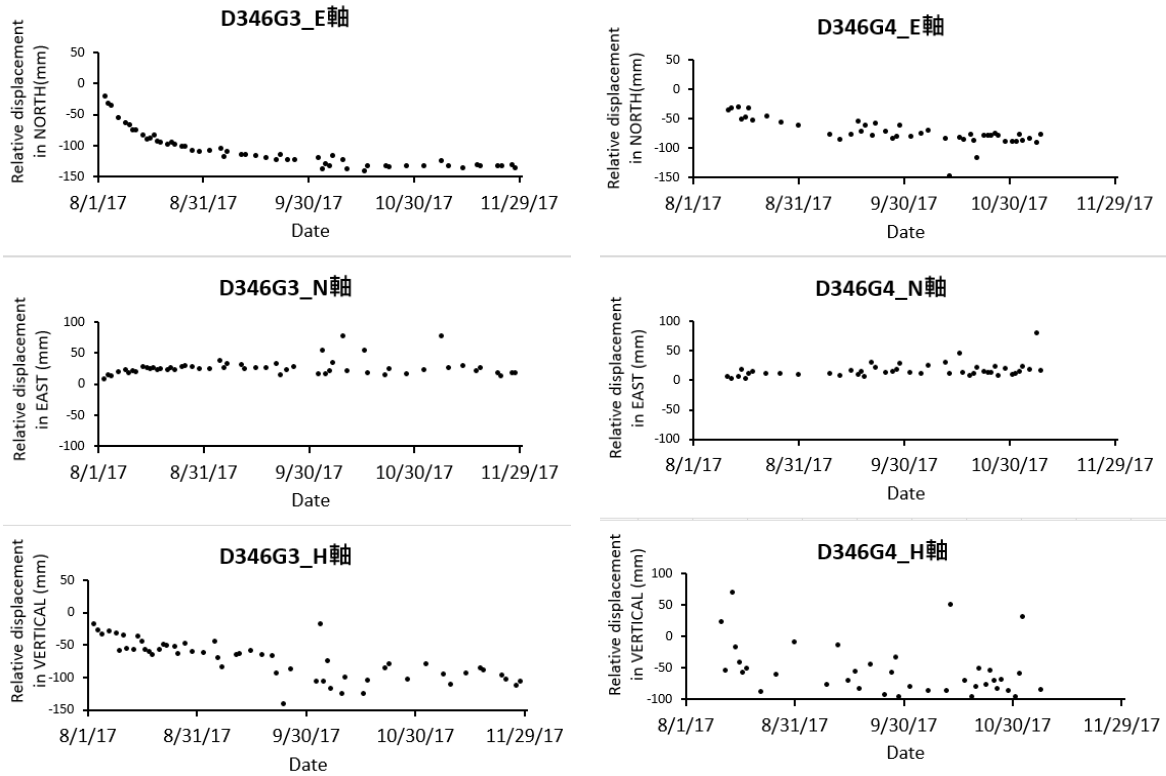


圖 3-8 D346 G3 及 G4 觀測資料

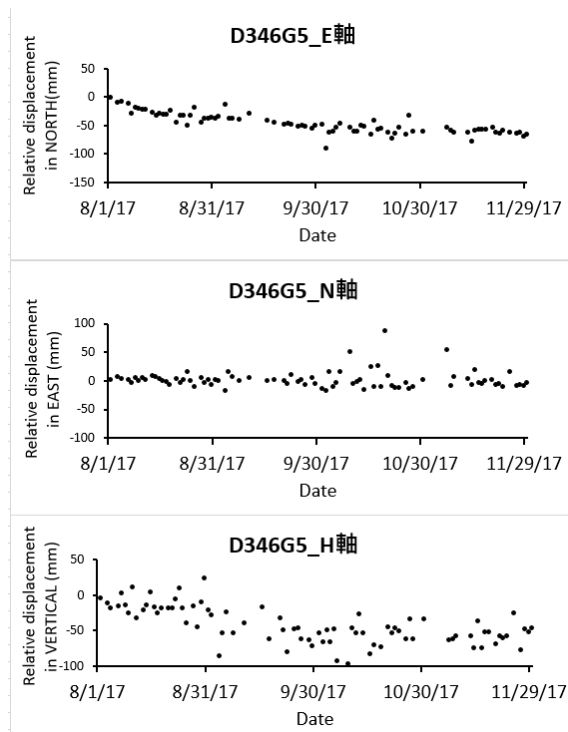


圖 3-9 D346 G5 觀測資料

3-1.3 小結

D015 及 D346 簡易監測站至本年度(106)11 月底仍存在 2 個問題。

- 1、D015 主站 G1 尚未能正常運作，影響整體觀測數據解算，及分析長期變化。
- 2、觀測資料連續性較差，如 D015-G3 及 D015-G5。D346-G4 觀測數據自 11 月 8 日後即中斷。
- 3、部分時間觀測記錄檔會於同一時段紀錄多筆觀測數據，如圖 3-10 所示，2017 年 10 月 1 日 0 時 0 分 0 秒有 3 組觀測數據，但數據不同。

> 2017 10 01 00 00 0.0000000 0 18					
G	11220443671.894	6413474782.076		-2669.469	49.000
G	31220628761.363	6414447433.970		1254.430	46.000
G	61223142263.190	6427655975.697		2659.497	27.000
G	71221679538.614	6419969306.288		-3199.452	35.000
G11	1221188112.387	6417386844.064		-2515.776	45.000
G17	122254283.871	6422989612.603		986.824	47.000
G19	1223360053.389	6428800470.794		1650.889	38.000
G22	1221066890.681	6416749819.534		-472.361	46.000
G28	1220307530.565	6412759354.600		1876.317	48.000
G30	1220870732.085	6415718999.408		-1896.820	44.000
C	11235851469.729	6435402881.363		-208.343	44.000
C	31235657087.007	6434390679.399		-196.340	45.000
C	41236909490.216	6440912272.443		-190.179	41.000
C	51239043784.537	6452026102.780		-154.028	30.000
C	71235123498.228	6431612142.647		-970.618	45.000
C	81235978291.036	6436063273.927		-746.220	45.000
C10	1234957297.608	6430746693.262		-496.381	46.000
C13	1236133362.236	6436871811.323		-530.507	46.000
> 2017 10 01 00 00 0.0000000 0 18					
G	1920651721.985	4838857451.596		-2669.607	49.000
G	3920836064.958	4839026179.805		1253.895	46.000
G	6923349294.596	4852233316.855		2658.960	27.000
G	7921887689.836	4844552506.260		-3200.187	35.000
G11	921396132.838	4841969359.838		-2515.799	45.000
G17	922461638.142	4847568625.686		987.025	47.000
G19	923567281.216	4853378820.138		1650.652	38.000
G22	921274522.340	4841330292.150		-472.978	46.000
G28	920514715.394	4837337478.383		1876.164	48.000
G30	921078635.305	4840300896.274		-1897.039	44.000
C	1936059051.655	4874305089.680		-208.210	44.000
C	3935864666.735	4873292875.610		-196.177	45.000
C	4937117068.687	4879814462.368		-189.883	41.000
C	5939251356.063	4890928256.308		-154.531	30.000
C	7935331226.736	4870515113.208		-970.612	45.000
C	8936185976.303	4874966020.286		-746.191	45.000
C10	935164935.200	4869649189.851		-496.564	46.000
C13	936341206.145	4875774341.733		-530.482	46.000
> 2017 10 01 00 00 0.0000000 0 18					
G	1620859772.230	3262640121.390		-2670.241	49.000
G	3621043368.204	3263604926.333		1253.156	46.000
G	6623556330.854	3276810658.527		2658.044	27.000
G	7623995641.883	3268135706.528		-3200.187	35.000

圖 3-10 GPS 觀測檔錯誤狀況

3-2 大規模崩塌潛勢區活動性評估

除針對既有六龜區-D015、桃源區-D346 二處簡易監測站外，本工作亦包含嘉義林區管理處及屏東林區管理處持續監測之阿里山鄉-D187 既有傾斜管、地下水位監測井及甲仙區-D044 與甲仙區-D047 簡易監測等，共計 5 處監測資料成果，進行大規模崩塌潛勢區活動性評估。各崩塌潛勢區之監測成果說明如下：

3-2.1 六龜區-D015

本計畫蒐集六龜區-D015 自 103 年 10 月至 104 年 10 月的監測資料解算結果，區域內一共有 5 個 GPS 監測點、1 個伸張計及 1 個雨量計(圖 3-11 及表 3-3)。前期計畫「國有林大規模崩塌潛區判釋評估與簡易觀測分析」藉由 LiDAR 微地形資料進行崩塌特徵判釋，大部分是以子崩崖、蝕溝為邊界，區分出許多子崩滑體，將崩塌分區後決定觀測設備位置，目的為觀察各子滑動體的滑移速率。如果 GPS 裝設得宜，就可以代表這些崩塌體的滑移速率，但如果受到局部微地形影響，就要重新檢討其代表性，以及是否能掌握整體變化行為。

監測結果顯示除 LG015-G6 有較明顯的位移量，其餘多在 2 公分以下，不足據以評估活動性。LG015-G6(圖 3-14)位於高 133 線道路中斷處崩崖冠部(102 年崩滑)，可用以估算局部(冠部)邊坡滑移速率。在 104 年 4 月至 10 月開始有較大之移動量，大約是 4 公分向北，3 公分向西，方向與坡向一致。5 個 GPS 觀測點垂直位移則有向下之趨勢，約在 1~5 公分。LG015-G2 位於主崩崖頭部與蝕溝上溯崩崖冠部之間，可評估崩體整體穩定性及蝕溝上溯行為。整體而言，資料及變動量尚不足據以評估活動性，且與雨量資料較無相關，需再持續長時間觀測。地表伸縮計長度約 2m，位移變化結果在 104 年 1 月 4 日有 7.5 毫米的壓縮變化，106 年 9 月修復後，9/7~10/8 沒有伸縮變化，資料及變動量尚不足據以評估活動性。

本區簡易監測站已於 106 年 7 月修復，但如前一節所述，可用之數據不足，尚無法據以分析趨勢。因此將配合本計畫的地工監測結果於第六章說明活動性評估結果。

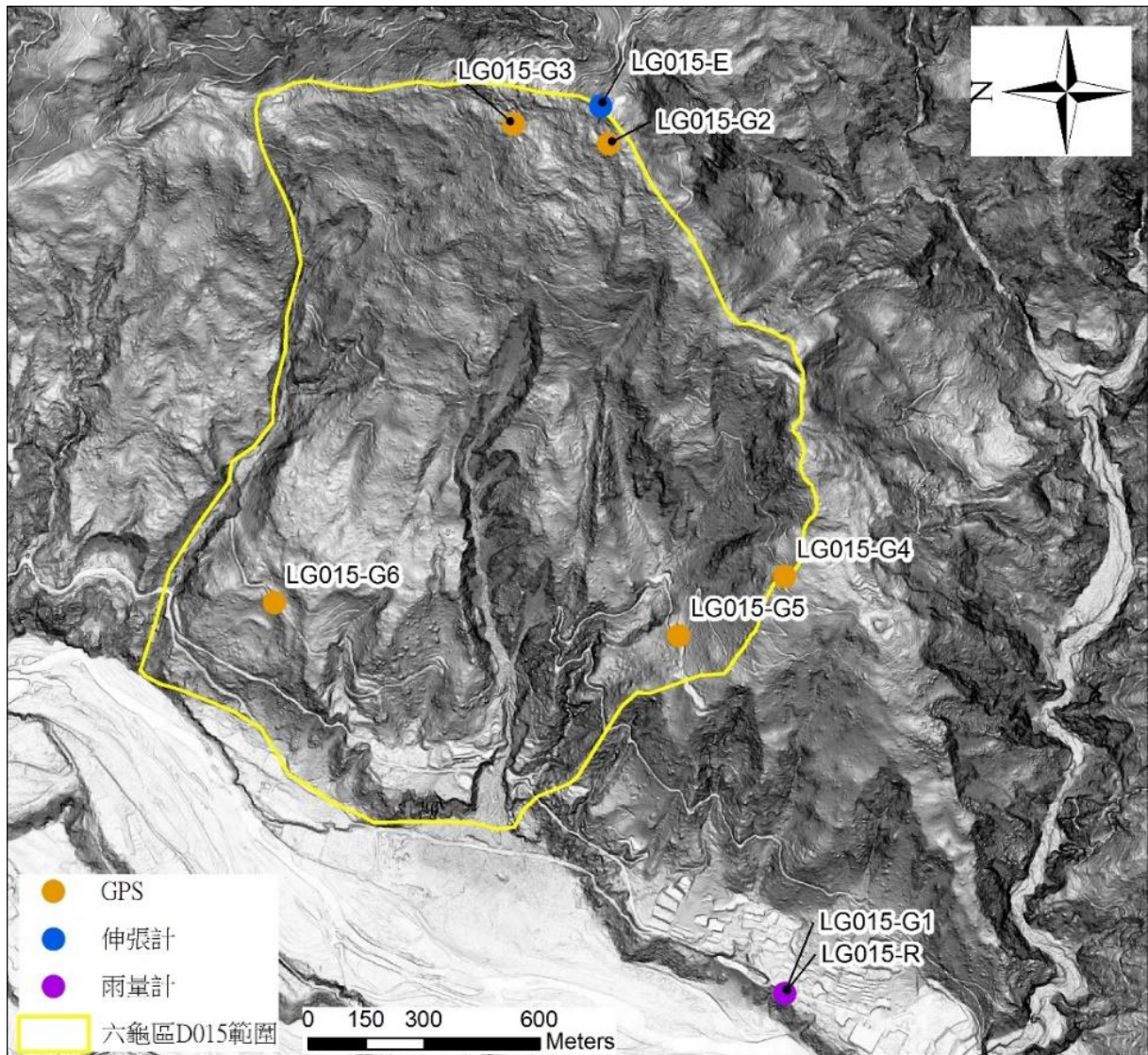
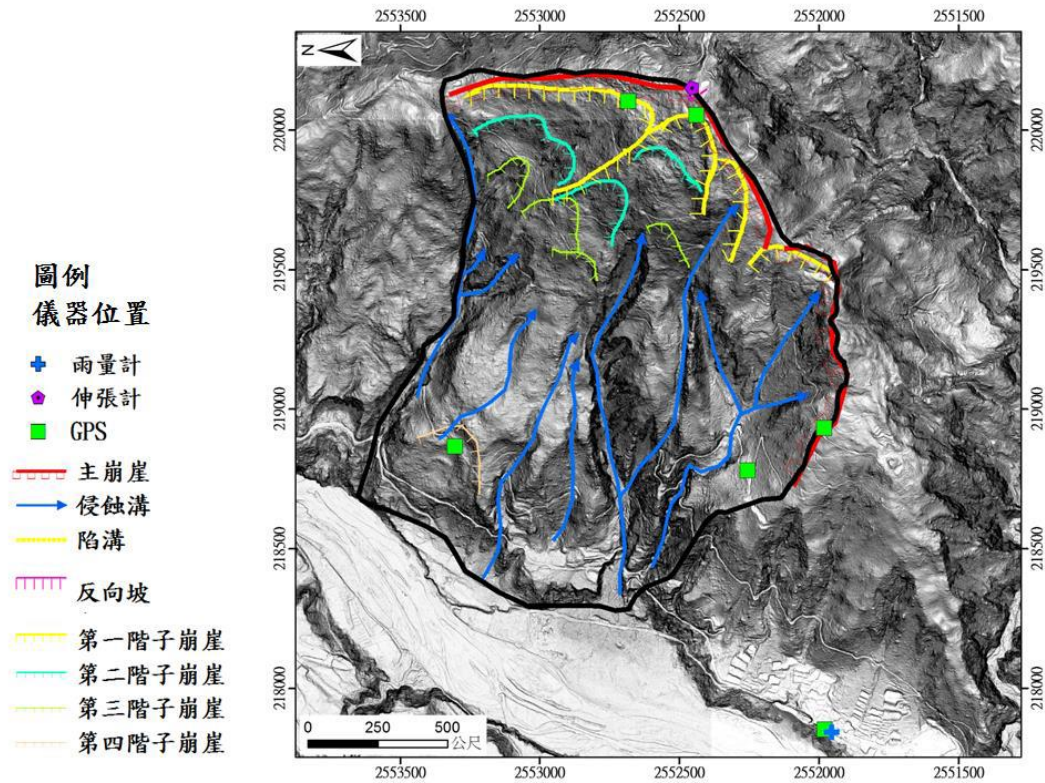
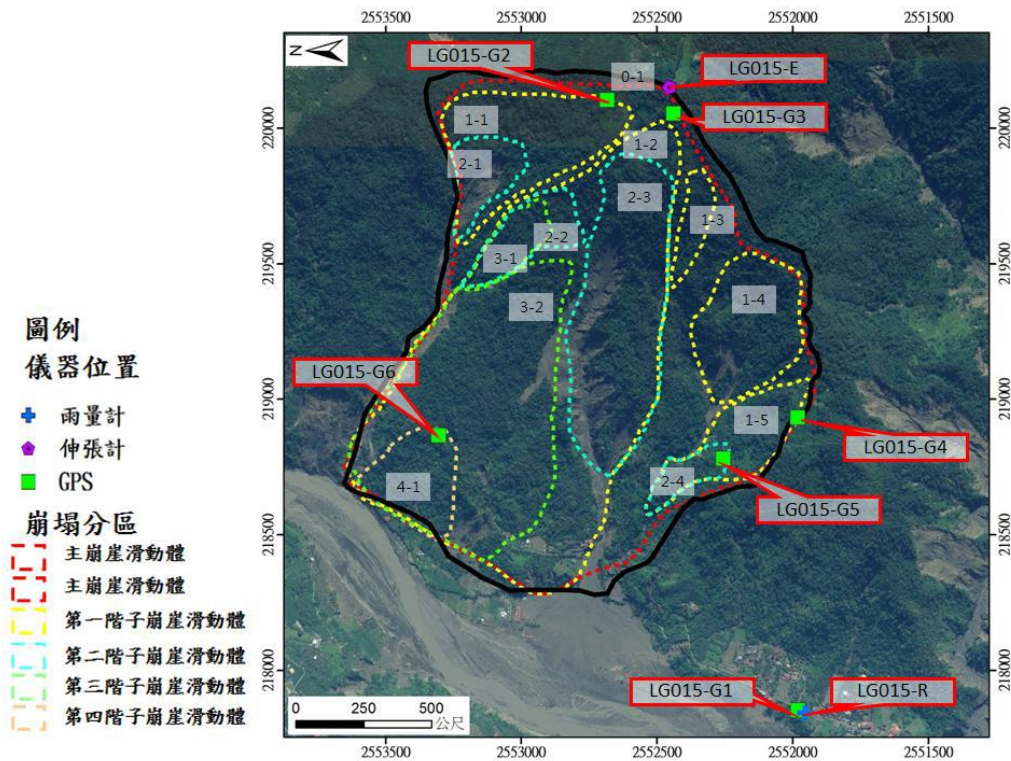


圖 3-11 六龜區-D015 崩塌潛勢區簡易觀測站設置位置



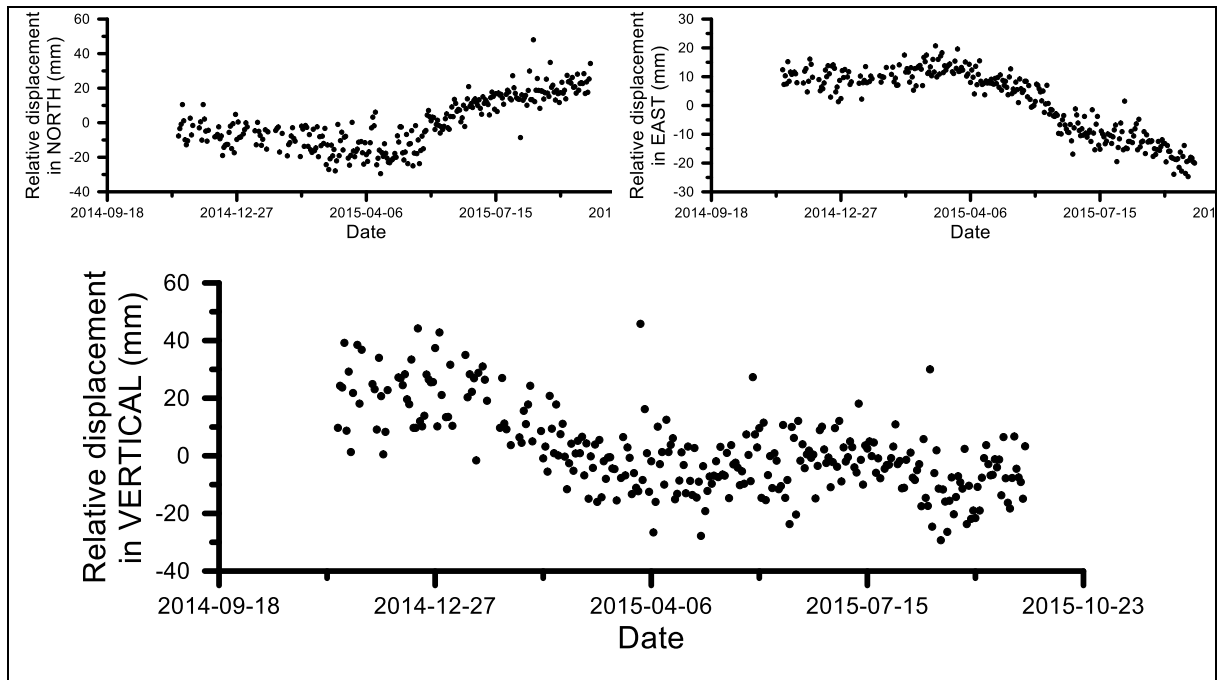
資料來源：國有林大規模崩塌潛區判釋評估與簡易觀測分析(林務局，104年)

圖 3-12 六龜區-D015 前期崩塌特徵判釋圖



資料來源：國有林大規模崩塌潛區判釋評估與簡易觀測分析(林務局，104年)

圖 3-13 六龜區-D015 前期觀測設備位置與崩塌內部分區圖



(摘自:國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估與簡易觀測分析, 104)

圖 3-14 LG015-G6 GPS 觀測資料(104 年)

表 3-3 六龜區-D015 各觀測點說明表

編號	觀測對象	TWD97_X	TWD97_Y
GPS			
LG015-G1	觀測目的為以穩定的河階地做為崩塌地固定站	217853	2551981
LG015-G2	觀測目的為滑動體編號 1-1 滑動體的滑動體頭部滑移速率	220054	2552438
LG015-G3	觀測目的為主崩崖滑動體頭部(0-1)滑移速率	220105	2552684
LG015-G4	觀測目的為滑動體編號 1-5 滑動體的滑動體頭部滑移速率	218933	2551981
LG015-G5	觀測目的為滑動體編號 2-4 滑動體的滑動體頭部滑移速率	218780	2552256
LG015-G6	觀測目的為滑動體編號 4-1 滑動體的滑動體頭部滑移速率與崩塌區趾部變形情形	218866	2553304
伸張計			
LG015-E	觀測目的為主崩崖滑動體頭部和主崩崖的相對滑移速率	220151	2552458
雨量計			
LG015-R	觀測目的為此崩塌之雨量紀錄	217853	2551981

(摘自:國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估與簡易觀測分析, 104)

3-2.2 桃源區-D346

潛在大規模崩塌區桃源區-D346 行政區為高雄市桃源區寶山里，屬於老濃溪第 104 林班地，寶來溪集水區。潛勢區高程呈由東北向西南遞減，高程介於 1,200 至 400 公尺(圖 3-15)，區域內高程分布圖如圖 3-16，主要坡向為向西(圖 3-16 箭頭 1)及西南西(圖 3-16 箭頭 2)。崩塌地主要出露中新世中期潮洲層，岩性主要為硬頁岩或板岩間夾透鏡狀砂岩體(圖 3-17)，岩層位態北偏東 80 度，向南傾 50，與邊坡呈現斜交。比較民國 77 與 104 年近 30 年間航空影像(圖 3-18)，顯示桃源區 D346 潛勢區的地表變化，主崩崖沒有後退的情形，下邊坡左岸蝕溝發育發達，右岸則因側蝕形成崩塌，比較民國 77 及民國 104 年河寬，最大變化河寬達 65 公尺。左側上邊坡蝕溝已侵蝕至崩崖。由現況空拍圖可見(圖 3-19)左右側蝕溝主要發育於崩積層中，右側蝕溝之穩定性受凹岸沖刷影響甚鉅。

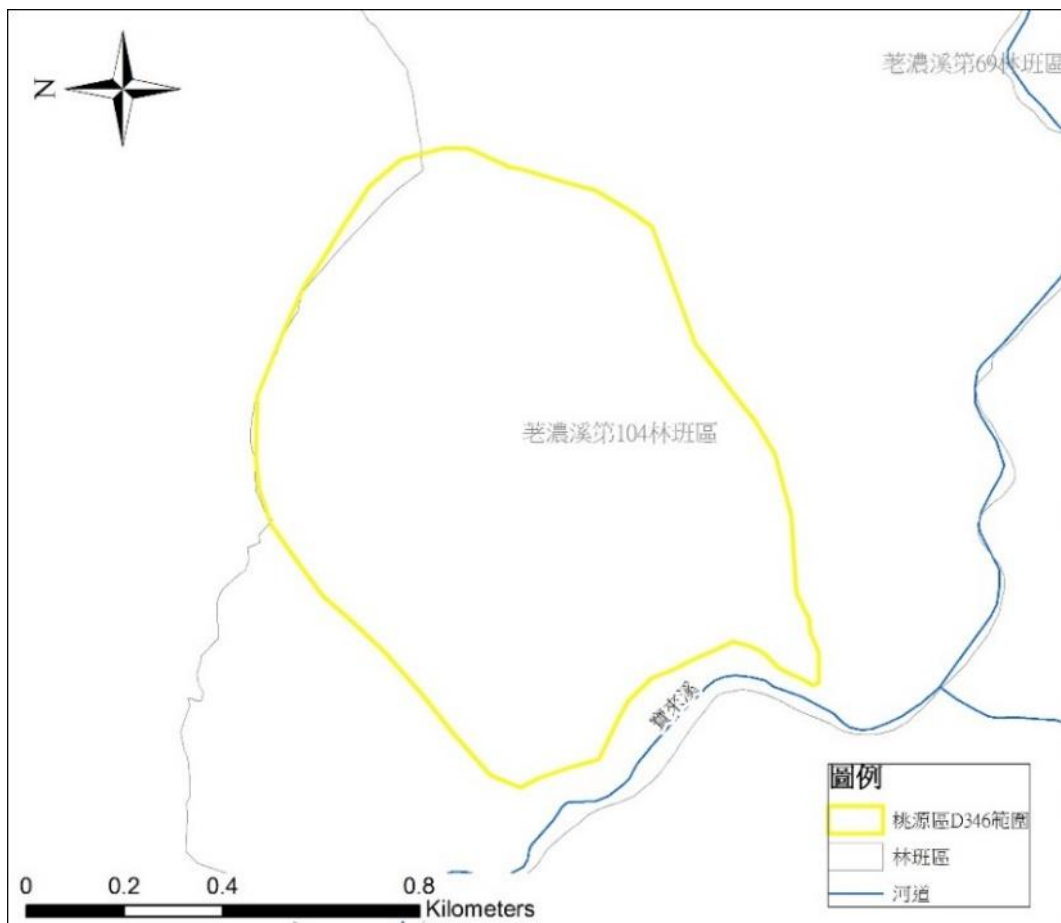


圖 3-15 桃源區 D346 地理位置圖

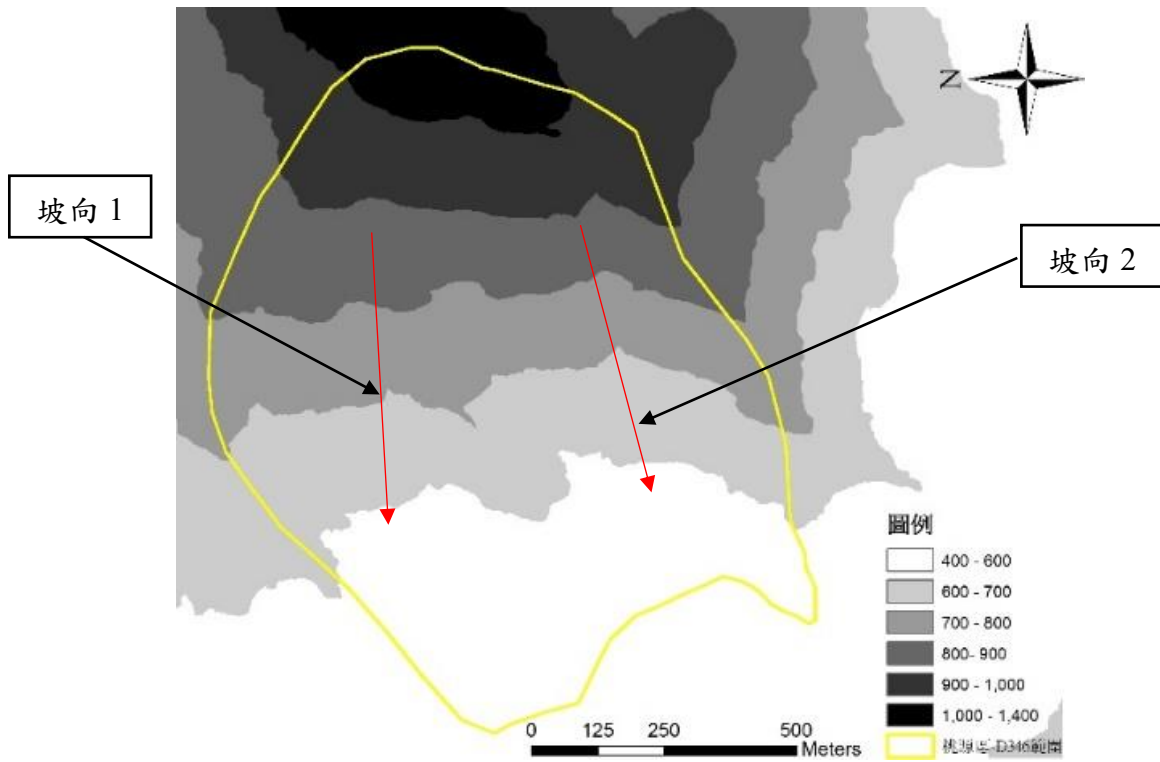
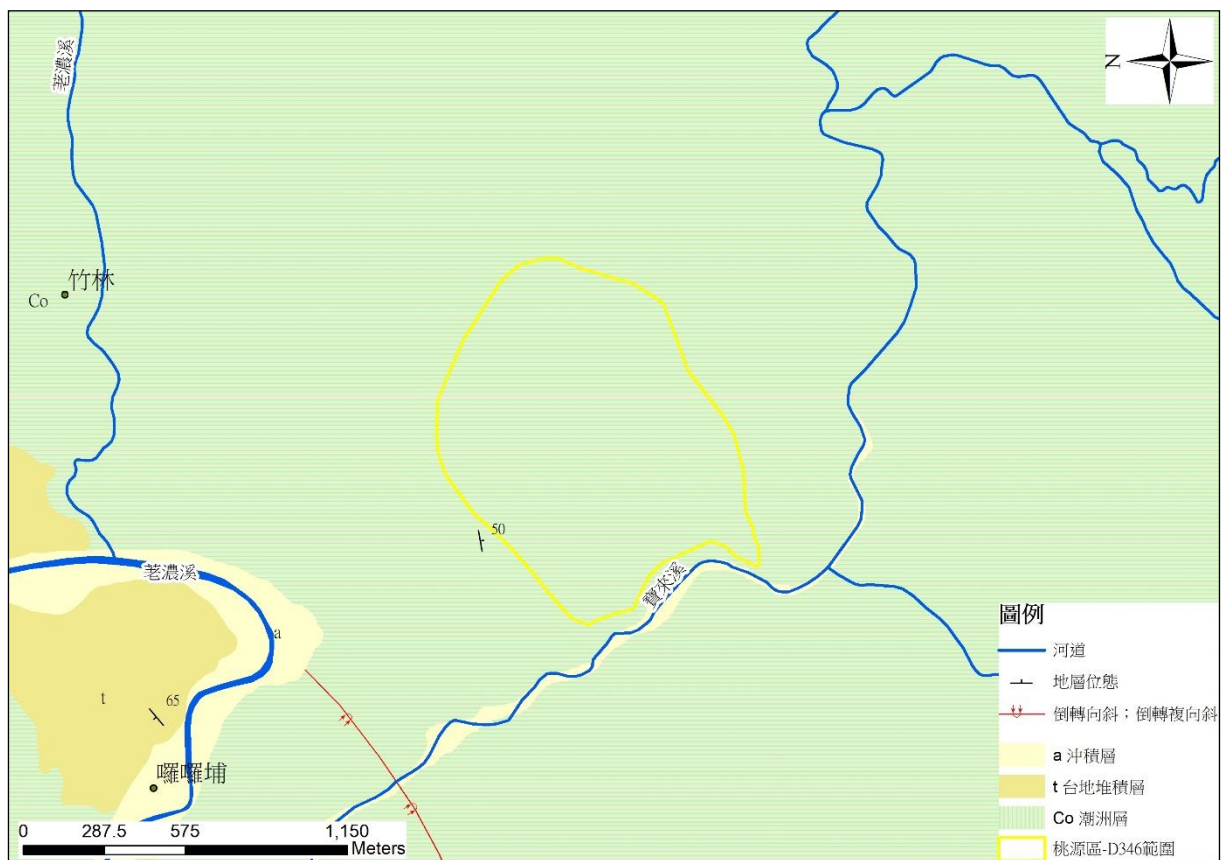


圖 3-16 桃源區 D3466 高程分布圖



資料來源:中央地質調查所,流域地質圖

圖 3-17 桃源區 D346 區域地質圖

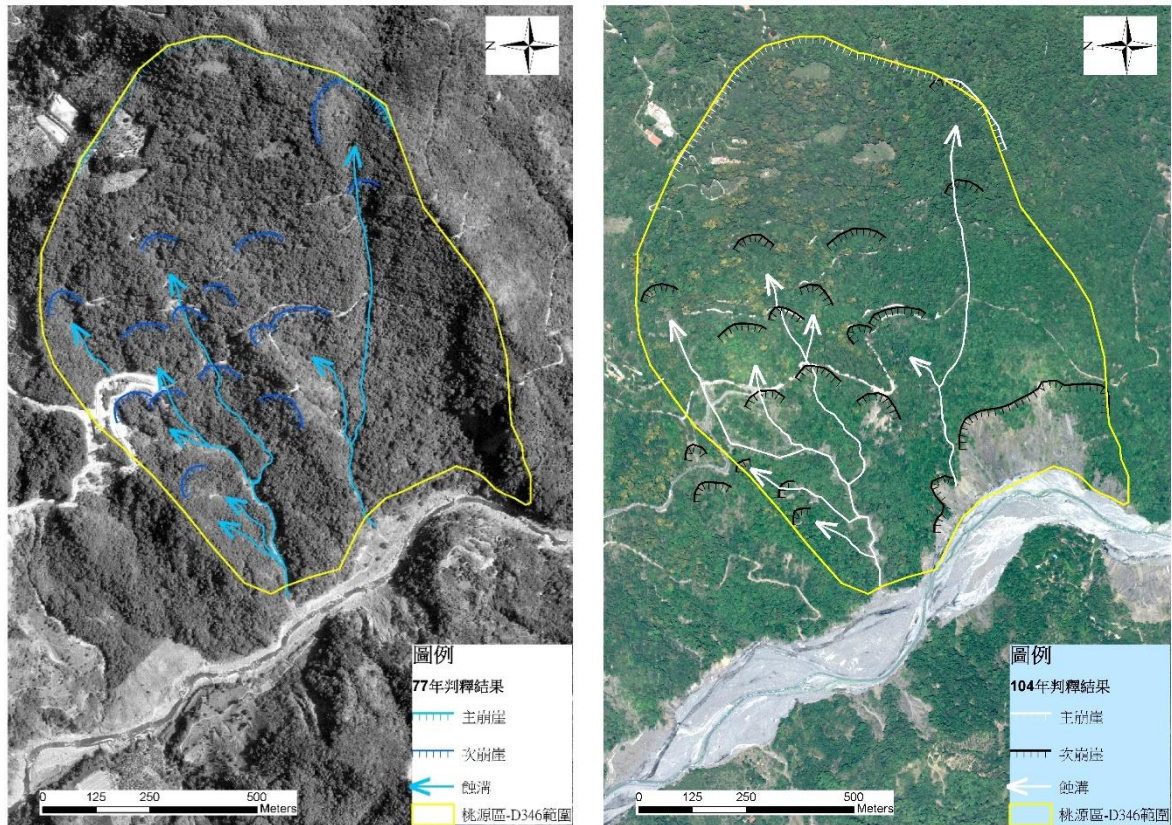


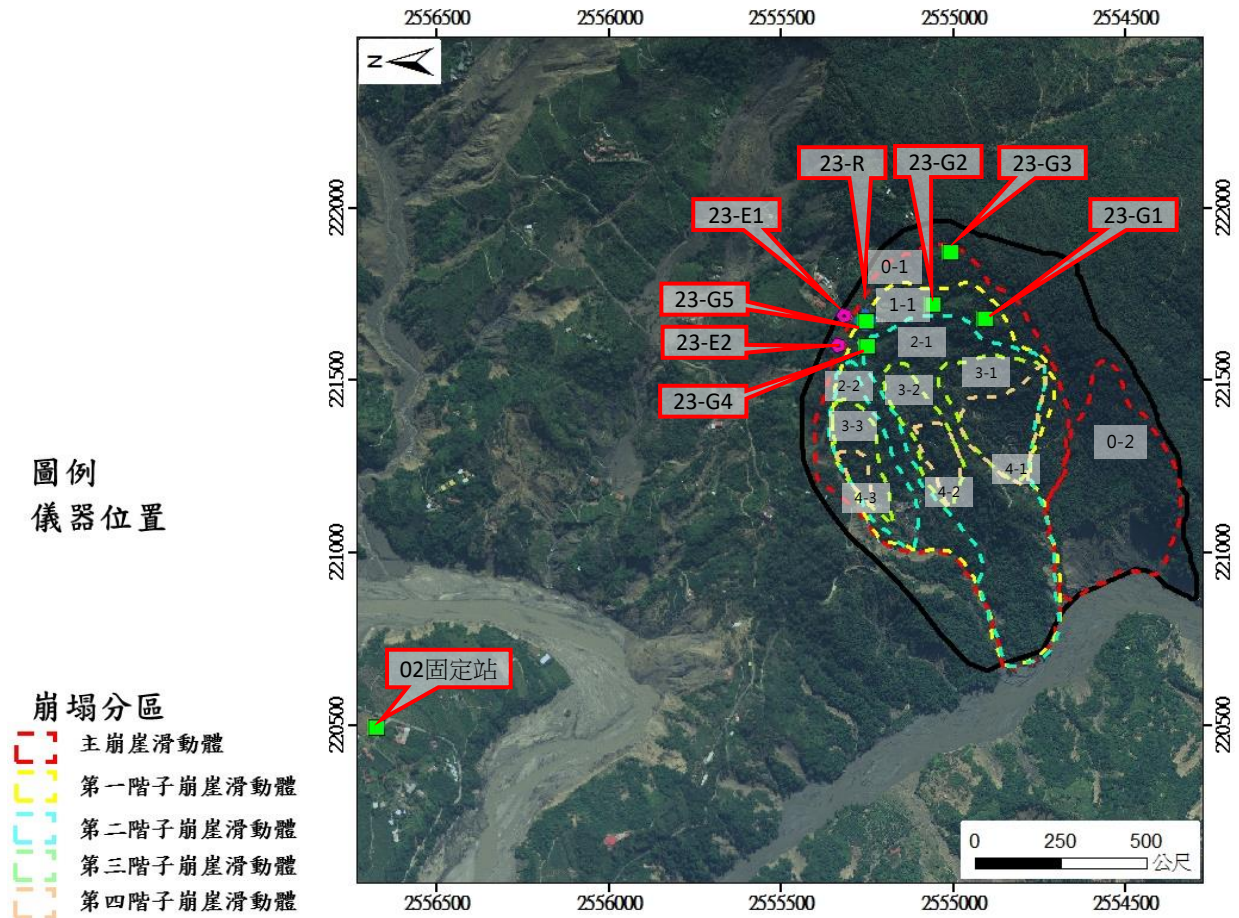
圖 3-18 桃源區 D346 民國 77 及 104 年航空影像判釋成果



圖 3-19 桃源區 D346 現況空拍圖

104 年國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估與簡易觀測分析於桃源區-D346 建置 5 個 GPS 監測點、1 個伸張計及 1 個雨量計(圖 3-20 及表 3-4)，目的為監測潛勢區內主崩崖(0-1)、第一階子崩崖(1-1)及第二階子崩崖(2-1)

滑動體頭部是否有移動。由前述航照判釋，本區域崩塌受蝕溝上溯影響，由前期判釋之各子分區，多為上溯之崩塌前緣，GPS 可監視蝕溝是否上溯。由圖 3-21 及表 3-5 可見 GPS 監測站位於一較平坦之地形之邊緣，參考 103 年設站時，在最佳透空度考量下，選擇崩塌區北側數處平臺(目前為果園)，然 77 年及 104 年正射影像顯示(圖 3-22)，平臺自 77 年起即已存在，果園應經過整地，GPS 變位量位移變化易受整地之影響。



摘自：國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估與簡易觀測分析，104

圖 3-20 桃源區-D346 簡易監測站位置與崩塌內部分區

表 3-4 桃源區-D346 各觀測點說明表

編號	觀測對象	TWD97_X	TWD97_Y
GPS			
23-G1	觀測目的為滑動體編號 1-1 滑動體的頭部東側滑移速率	221678	2554910
23-G2	觀測目的為滑動體編號 1-1 滑動體的頭部滑移	221719	2555060

編號	觀測對象	TWD97_X	TWD97_Y
	速率		
23-G3	觀測目的為主崩崖滑動體頭部(0-1)滑移速率	221871	2555010
23-G4	觀測目的為滑動體編號 2-1 滑動體的西側頭部滑移速率	221598	2555250
23-G5	觀測目的為滑動體編號 1-1 滑動體的頭部西側滑移速率	221672	2555250
02 固定站	觀測目的為以穩定的河階地做為崩塌地固定站	220492	2556680
伸張計			
23-E1	觀測目的為主崩崖滑動體頭部(0-1)和主崩崖的相對滑移速率	221687	2555320
23-E2	觀測目的為滑動體編號 1-1 滑動體頭部張力裂縫變化	221603	2555340
雨量計			
23-R	觀測目的為此崩塌之雨量紀錄	221676	2555260

(摘自:國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估與簡易觀測分析, 104)

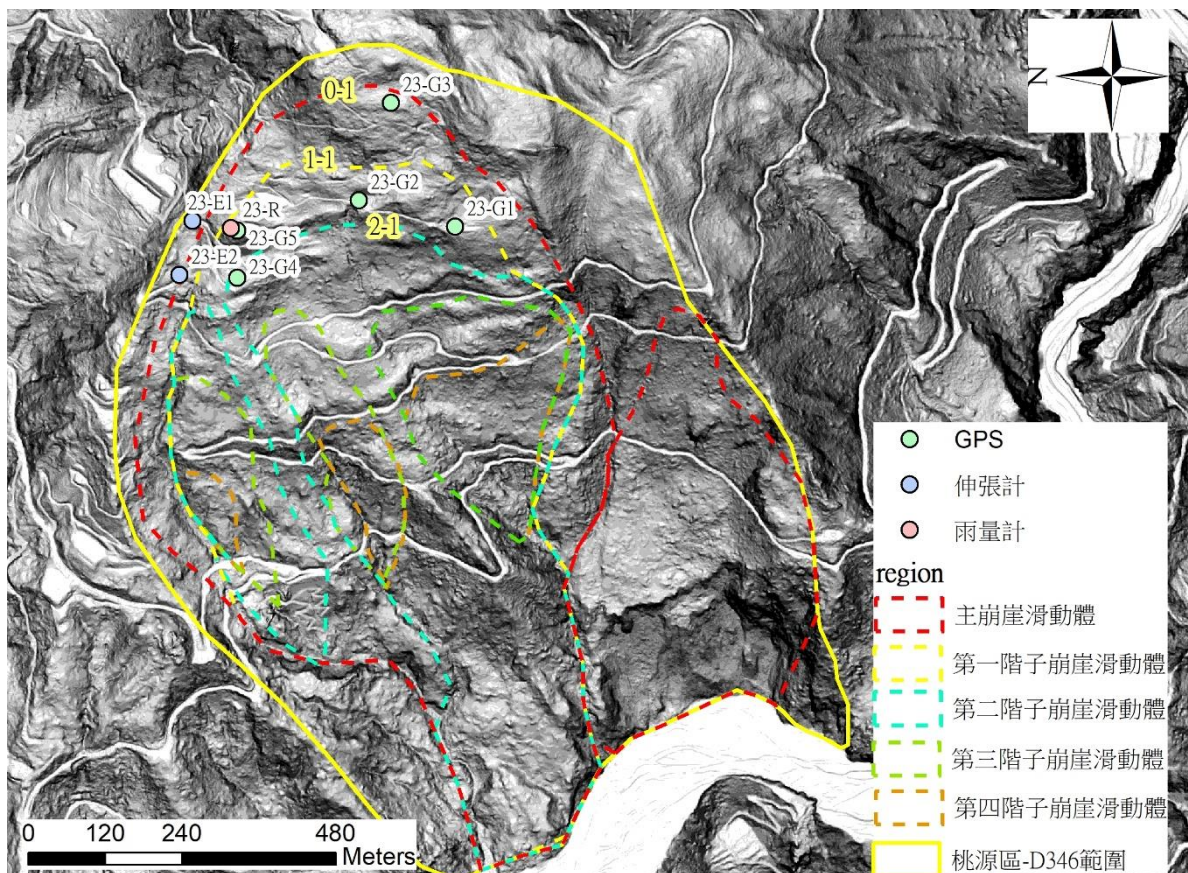
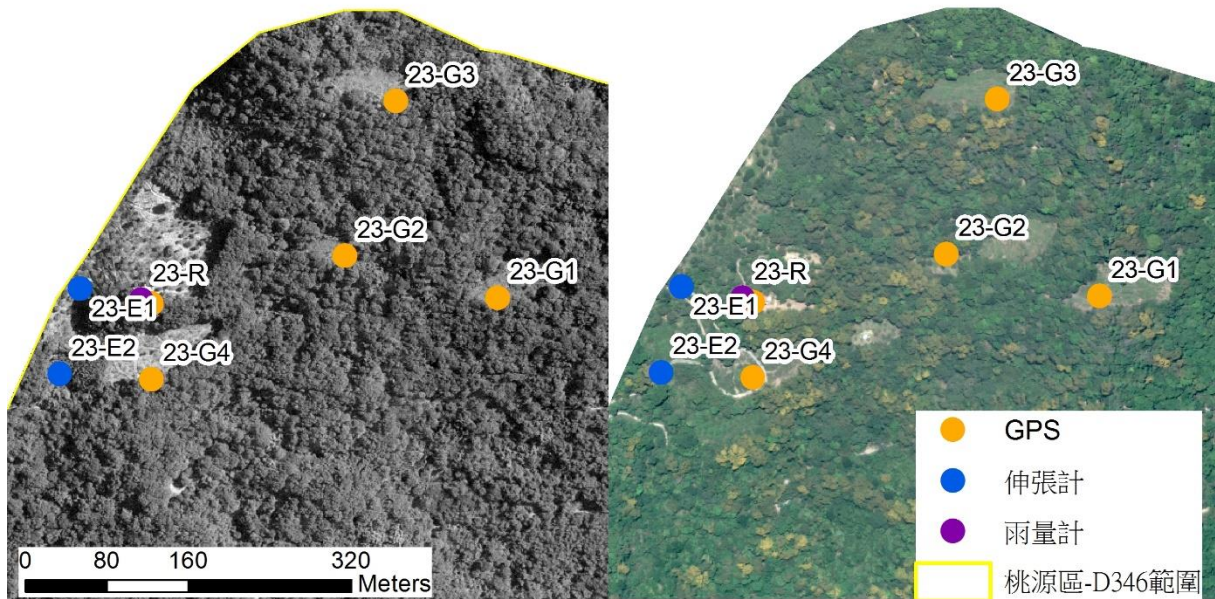


圖 3-21 桃源區-D346 簡易監測站套匯 LiDAR 坡度圖

77年

104年



(左)77年 (右)104年

圖 3-22 桃源區-D346 觀測點套匯正射影像

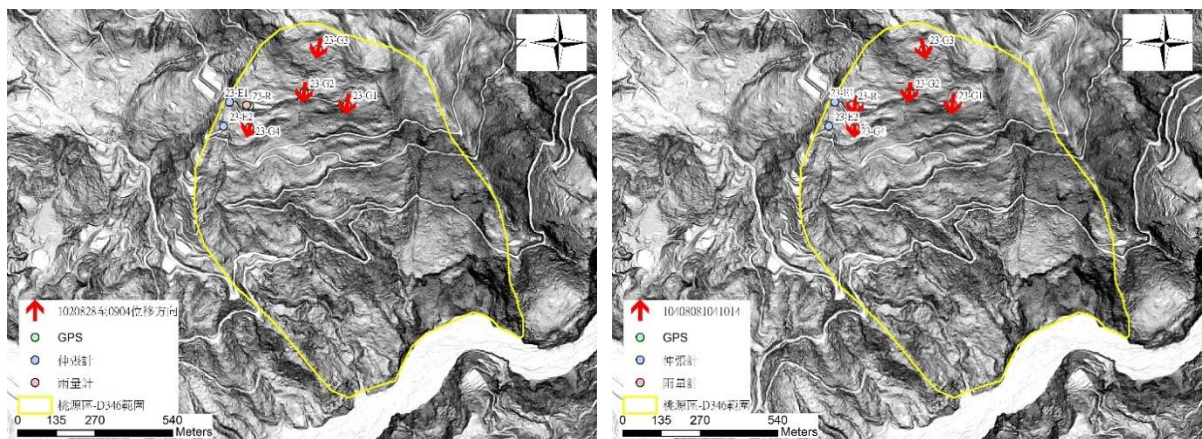
簡易監測站監測區間為 102 年 6 月至 104 年 10 月，期間內有 3 場較大颱風事件，分別為 102 年潭美颱風及康芮颱風與 104 年蘇迪勒颱風。

由 GPS 監測結果顯示，102 年潭美颱風及康芮颱風時變位量有明顯的向西及向下移動，檢視康芮颱風後 GPS 各觀測點位移速率(102/8/28~102/9/4)，南北向位移速率最大為 23-G3 約有 6.31 mm/day 向北；東西向位移速率最大為 23-G1 約有 29.82 mm/day 向西；高程向位移速率最大為 23-G2 約有 20.80 mm/day 沉陷。在 103 年及 104 年雨季前，各觀測點變化趨勢一致，以相對緩慢的速度向西向下移動。104 年蘇迪勒颱風後(104/8/8~104/10/14)各觀測點位移速率明顯增大，在南北向位移速率最大為 23-G2 約有 0.43 mm/day 向北；東西向位移速率最大為 23-G5 約有 1.98 mm/day 向西；高程向位移速率最大為 23-G4 約有 1.21 mm/day 沉陷，圖 3-23 為較大颱風事件位移速率向量圖。整體而言，觀測點位移受雨量影響，位置朝西及向下移動趨勢。本年度 8 月及 9 月觀測結果顯示(圖 3-7 至圖 3-9)，8 月 1 日至 8 月 11 日觀測點 G1、G2 及 G3 有較明顯的向西(10 mm/day)及向下趨勢(2 mm/day)，因當時雨量站尚未修復，由鄰近雨量站 C1V231_高

中資料顯示，7月31日至8月1日有一場累積雨量435.5 mm的大豪雨，位移可能與該場豪雨有關。整體而言，觀測點位移受雨量影響，位置朝西及向下移動趨勢。

本年度8月及11月觀測結果顯示(圖 3-7 至圖 3-9)，8月1日至8月11日觀測點 G1、G2 及 G3 有較明顯的向西(10 mm/day)及向下趨勢(2 mm/day)，因當時雨量站尚未修復，由鄰近雨量站 C1V231_高中資料顯示，7月31日至8月1日有一場累積雨量435.5 mm的大豪雨，位移可能與該場豪雨有關。整體而言，觀測點位移受雨量影響，位置朝西及向下移動趨勢。

綜合102年6月至104年10月、106年8-11月觀測結果，桃源區-D346的GPS量測結果顯示在降雨事件後有向下位移的趨勢，方向與區域坡向一致，與整體坡向不太一致，推測受局部地形效應影響，此區域量測到的位移變化趨勢與雨量有相當大的相關性，但可能不足以代表整體滑動體的行為。



(左)康芮颱風後 (右)蘇迪勒颱風後
圖 3-23 桃源區-D346 較大颱風事件位移速率向量圖

地表伸張計資料最大變化顯示在經歷102年三次颱風事件(潭美、康芮、天兔颱風)，觀測點23-E1約有8公分的拉伸量，觀測點23-E2也約有5公分的拉伸量。103至104年雖受梅雨或颱風事件影響，伸縮計變化量不大，其中103/6/1~103/8/1間，23-E2有3.3公分之拉伸量。前期報告並未敘明地表伸張計之長度，本計畫現勘時發現，地表伸張計長度約1公尺，以判斷滑

動體頭部張力裂縫的變化情形而言，長度太短，無法涵蓋整個頭部張力裂縫影響之範圍，所量測到之結果僅為局部崩塌之張力裂縫影響。

由第二章活動性評估結果，可知本區目前沒有一次式大規模崩塌活動的跡象。但蝕溝上溯接近主崩崖，加上河道持續侵蝕坡趾，須進一步調查及分析崩積層是否可能沿著岩土界面滑動。目前簡易監測站的監測點都集中於上邊坡，且安裝位置受局部地形效應影響，無法由現有結果反映大規模崩塌潛勢區的變形趨勢及活動性。

3-2.3 甲仙區-D044 與 D047

甲仙區-D044 及 D047 大規模崩塌潛勢區行政區為高雄市甲仙區和安里及大田里，位於旗山溪集水區，屬於旗山第 4 林班地，聯外主要道路為台 20 及台 21。潛勢區高程呈由東向西遞增，高程介於 200 至 800 公尺(圖 3-25)。

依中央地質調查所流域地質圖，甲仙區-D044 上邊坡出露地層為中新世-上新世厚層砂岩及泥質砂岩之糖恩山砂岩，下邊坡出露塊狀頁岩之鹽水坑頁岩，甲仙區 D047 上邊坡出露地層為唐恩山砂岩，下邊坡出露鹽水坑頁岩及粉砂岩及頁岩薄互層之隘寮腳層(圖 3-26)，崩積層局部覆蓋於下邊坡。

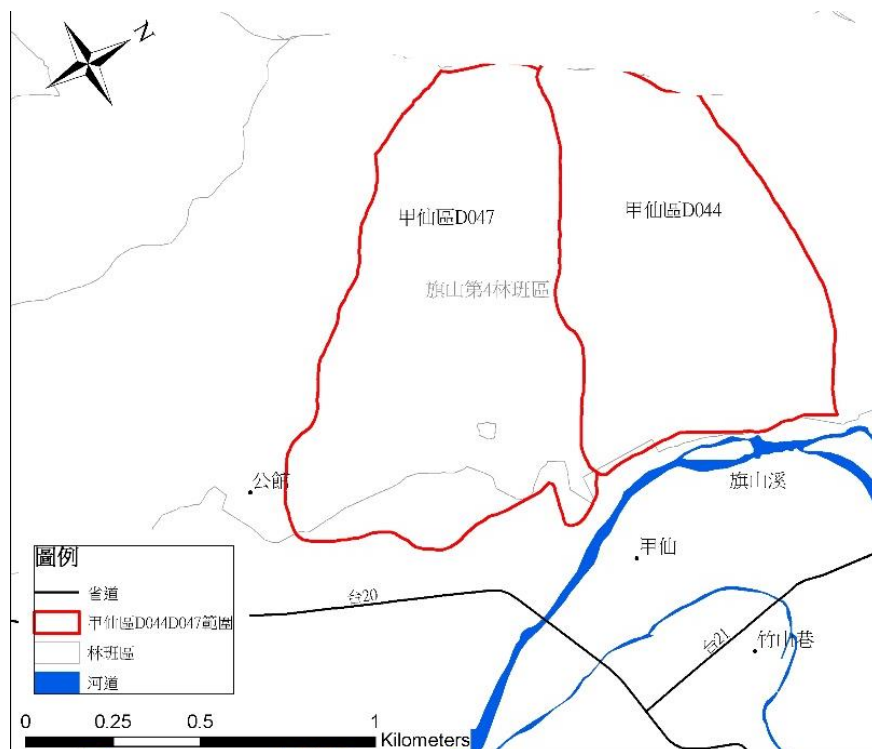


圖 3-24 甲仙區-D044 及 D047 地理位置圖

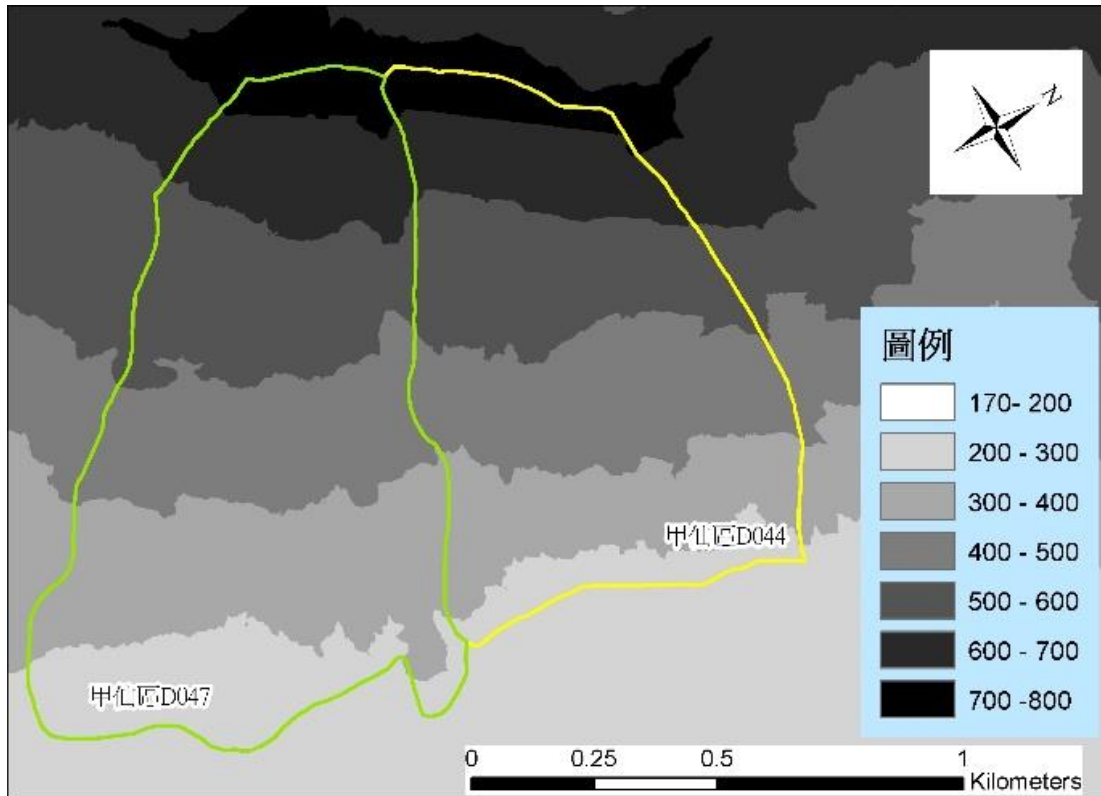
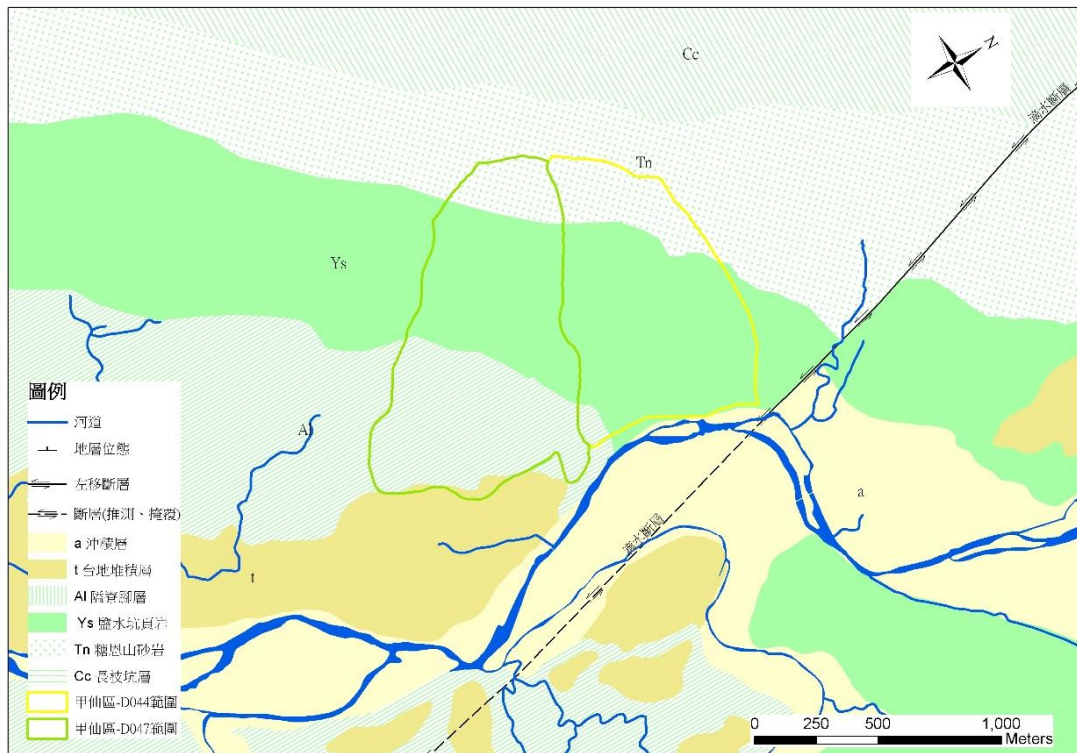


圖 3-25 甲仙區-D044 及 D047 地形分布圖



資料來源:中央地質調查所,流域地質圖

圖 3-26 甲仙區-D044 及 D047 區域地質圖

比較民國 65 與 104 年 30 年間航空影像(圖 3-27)，甲仙區-D044 潛勢區的地表變化，主崩崖沒有後退的情形，下邊坡蝕溝發育主要受河岸侵蝕影響。甲仙攔河堰於民國 82 年 10 月完工，堰頂高程為 246 公尺，此區域前期受河岸侵蝕造成蝕溝上溯，攔河堰完成後，蝕溝上溯之情形不明顯，其引致之崩崖倒退情形亦不明顯。下邊坡崩塌類型受岩性影響，右側崩塌為厚層頁岩，崩積層厚度約 1 公尺，頁岩容易受水沖蝕，在坡面上呈現凹凸狀。中側崩塌為頁岩夾薄砂岩，為順向坡，崩積層厚度約 2 公尺，左側崩塌由蝕溝發育較密集推測其崩積層厚度應較厚，蝕溝主要在崩積層上發育(圖 3-28)。

甲仙區-D044 及 D047 在地形上可分成三區，分別為坡頂崩崖區、坡腹漸緩段與坡址(D044 有岩盤裸露，D047 則為崩塌層)，圖 3-29、圖 3-30 為順著層面傾角繪製之地形剖面圖。

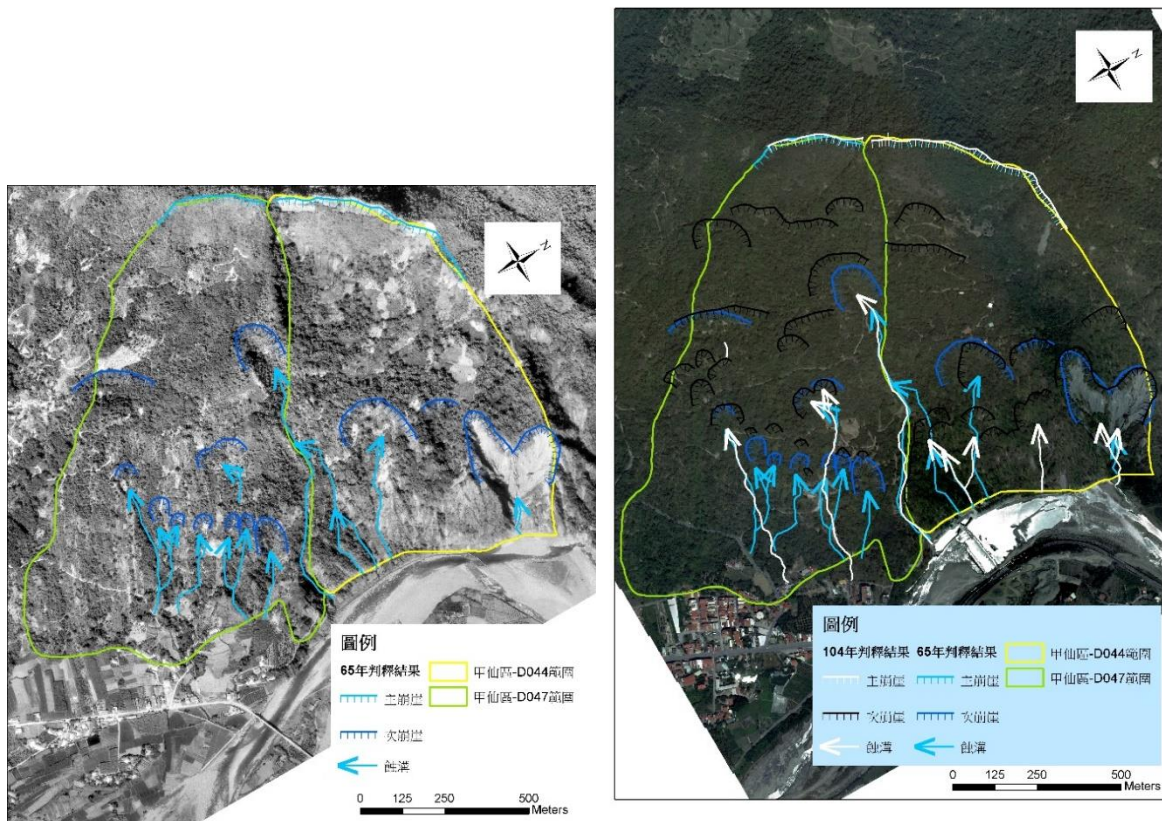


圖 3-27 大規模崩塌潛勢區甲仙區 D044 及 D047 航空影像判釋成果

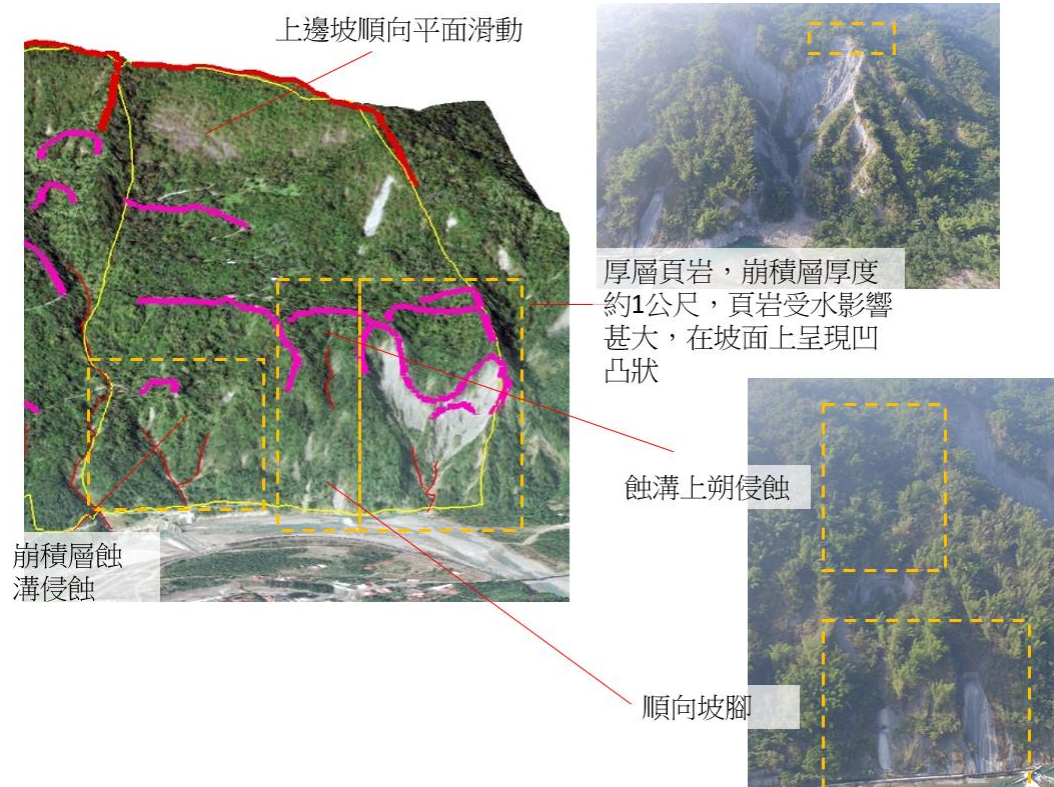


圖 3-28 大規模崩塌潛勢區甲仙區 D044 航空影像判釋成果說明

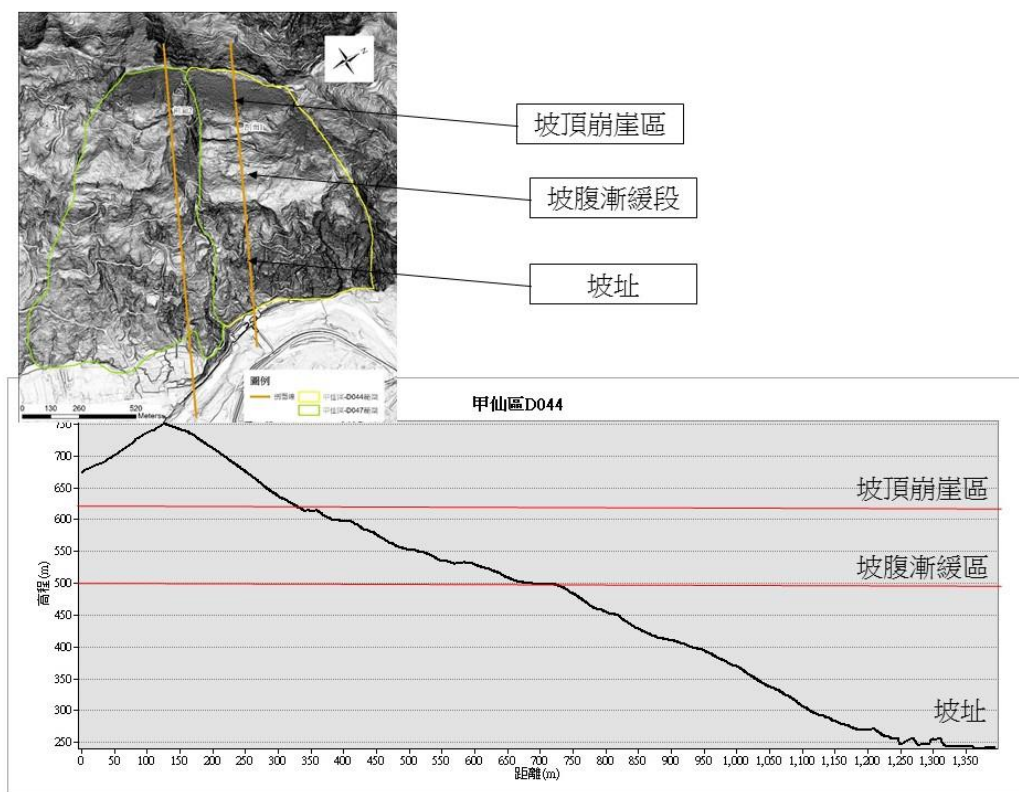


圖 3-29 大規模崩塌潛勢區甲仙區 D044 地形剖面圖

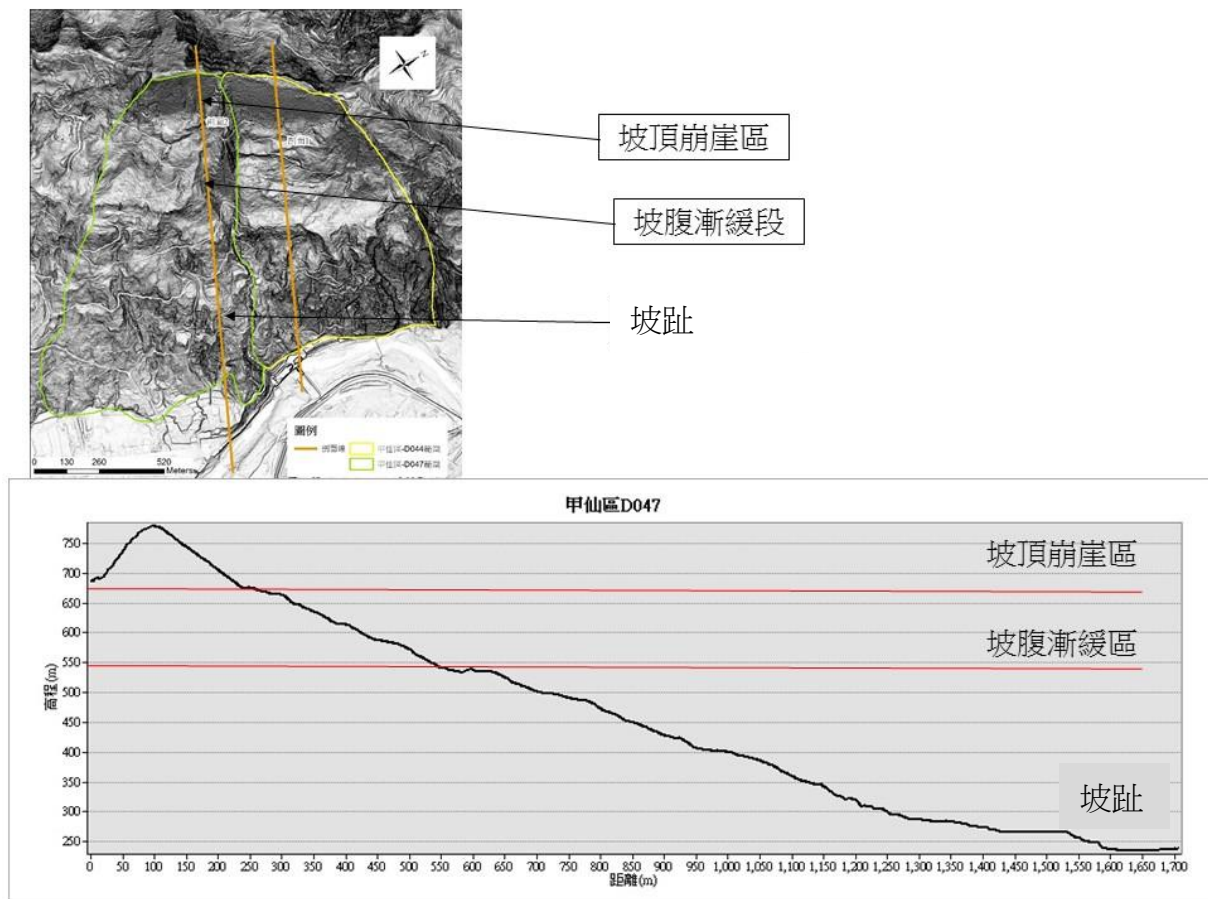


圖 3-30 大規模崩塌潛勢區甲仙區 D047 地形剖面圖

水利署南區水資源局於 97 年委託黎明顧問公司執行甲仙堰安全評估計畫，於甲仙堰堰體旁邊坡(D044 坡趾附近)施作 5 個鑽探孔，總長 85 公尺，各鑽孔位置與深度如表 1；鑽孔位置分布圖如圖 4.5 所示。岩層材料以新鮮頁岩為主，局部破碎。新鮮完整岩石單壓強度試驗值介於 71.57~103.86 kg/cm² 之間；部分試驗值較低，介於 11.30~43.29 kg/cm² 之間，可能富含裂隙或鑽探擾動有關。

由該計畫測傾管量測結果顯示，莫拉克颱風後(98/8/19 及 98/8/26)孔號 BH1、BH2、BH3、BH4 分別在各孔深度 2、13、7、14 公尺的位置有滑動，圖 3-32 及圖 3-33 為 BH3 及 BH4 之量測結果，BH3 量測圖中存在許多不規則曲點，在 2 公尺處有一明顯的淺層滑動，而 BH4 於 15 公尺處有相當明顯的變位量，為可能滑動面。就 D044 下邊坡測傾管量測結果而言，在極大雨量下屬於不穩定邊坡。

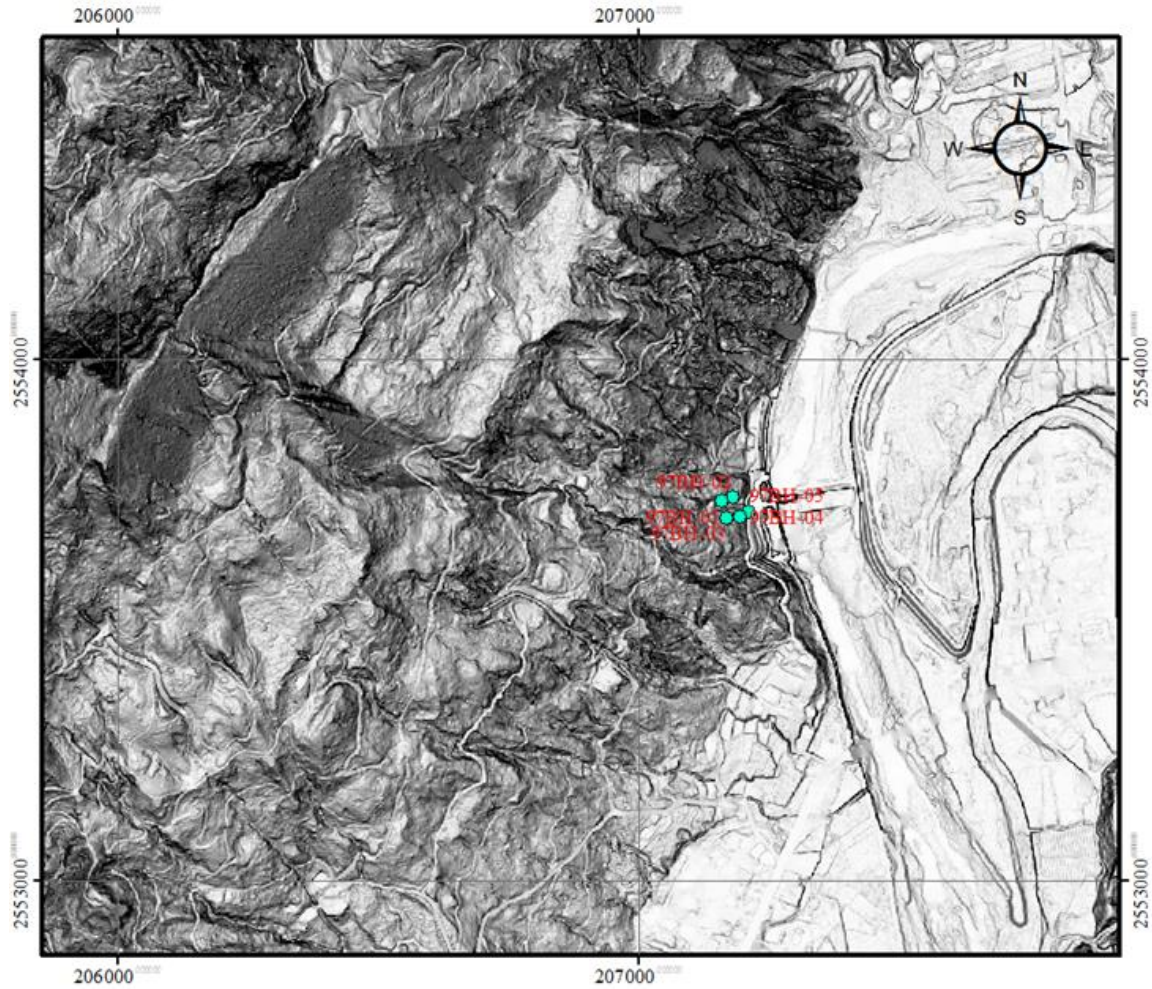


圖 3-31 甲仙堰堰體旁鑽孔位置分布圖

表 3-5 甲仙堰堰體旁鑽孔資料一欄表

孔號	座標(TWD97)		孔口高程 (m)	鑽探深度 (m)	覆土層厚 (m)	岩層深度 (m)
	N	E				
BH01	2553728	207160	285.27	15	1.5	13.5
BH02	2553734	207180	274.08	15	2.9	21.1
BH03	2553696	207169	283.06	20	2.45	17.55
BH04	2553697	207195	268.59	20	2.2	17.8
BH05	2553708	207212	260	15	3.05	11.95

表 3-6 甲仙堰堰體旁測傾儀量測結果

量測日期	孔 號				滑動類別
	BH-1	BH-2	BH-3	BH-4	
98.06.26	4.00	4.22	27.46	2.94	潛在滑動
98.07.08	3.14	4.17	28.54	-1.95	潛在滑動
98.08.05	5.82	5.65	28.93	2.48	潛在滑動
98.08.19	50.72	24.36	39.66	50.34	確定滑動
98.08.26	92.83	50.46	52.32	99.71	確定滑動
98.10.07	90.34	49.32	51.24	95.14	潛在滑動
98.10.30	86.96	50.21	47.57	92.90	潛在滑動
98.12.02	85.96	49.60	50.45	94.92	潛在滑動
98.12.14	85.68	44.81	51.84	94.55	潛在滑動

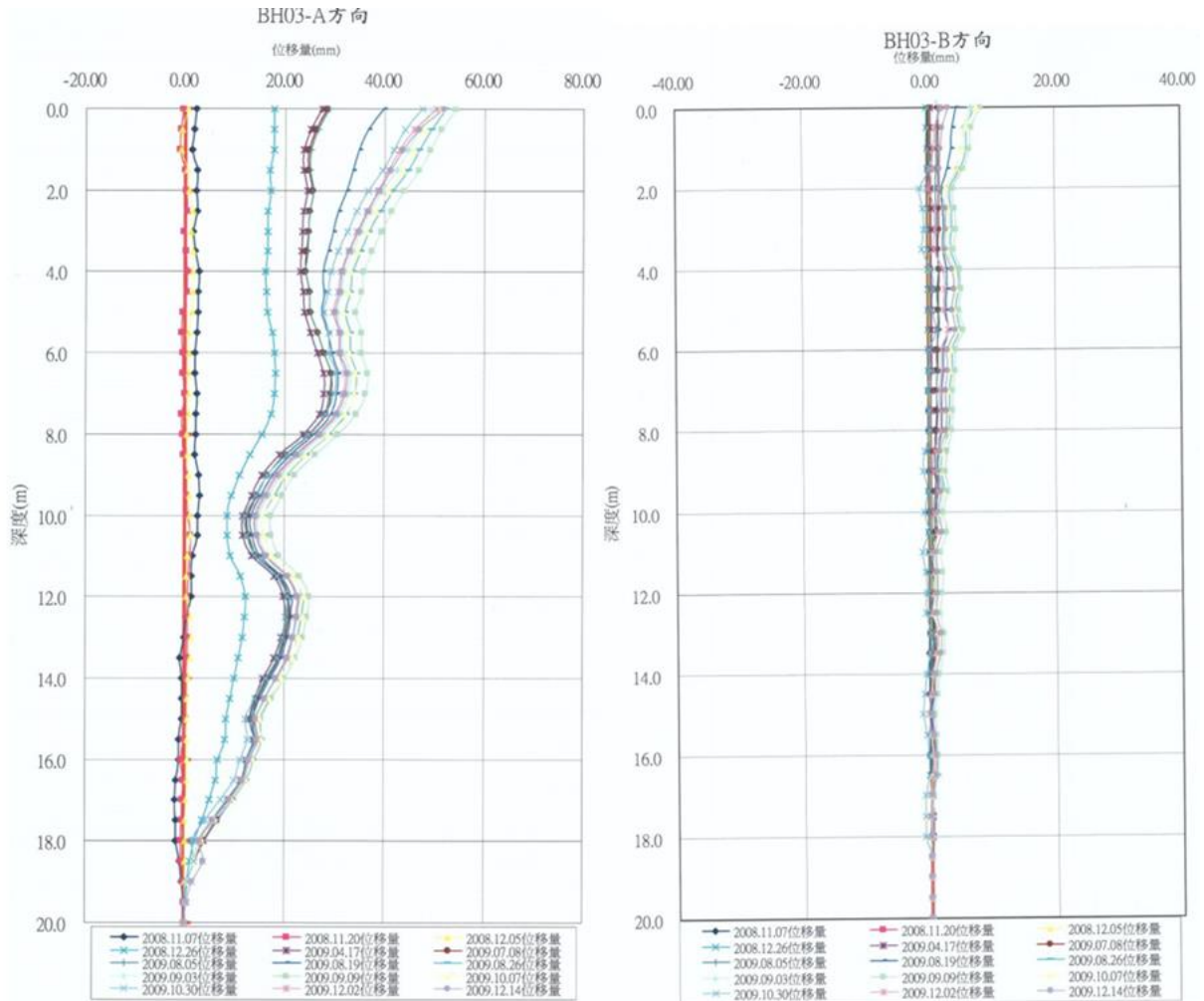


圖 3-32 甲仙堰堰體旁 BH3 測傾管量測結果

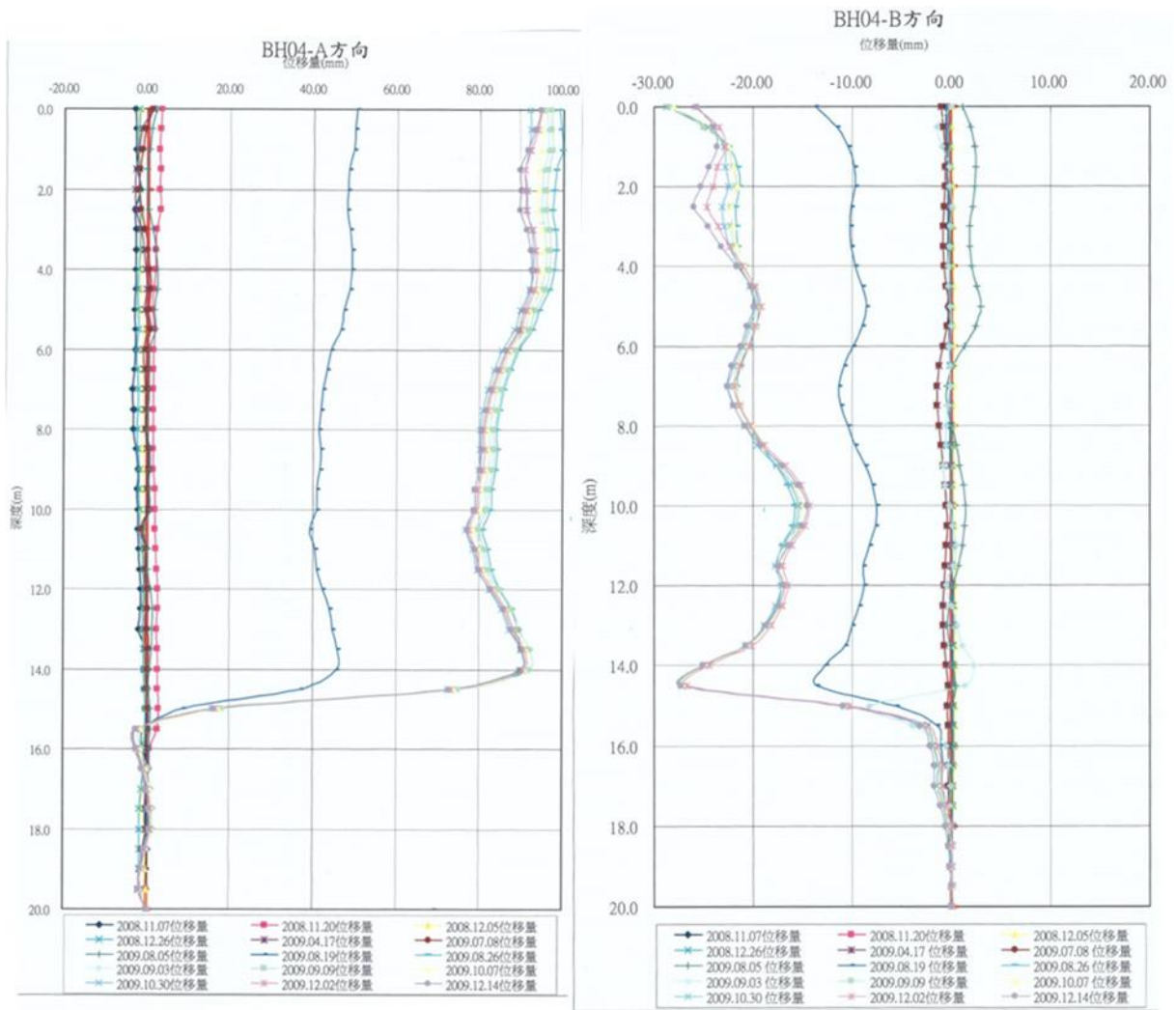


圖 3-33 甲仙堰堰體旁 BH4 測傾管量測結果

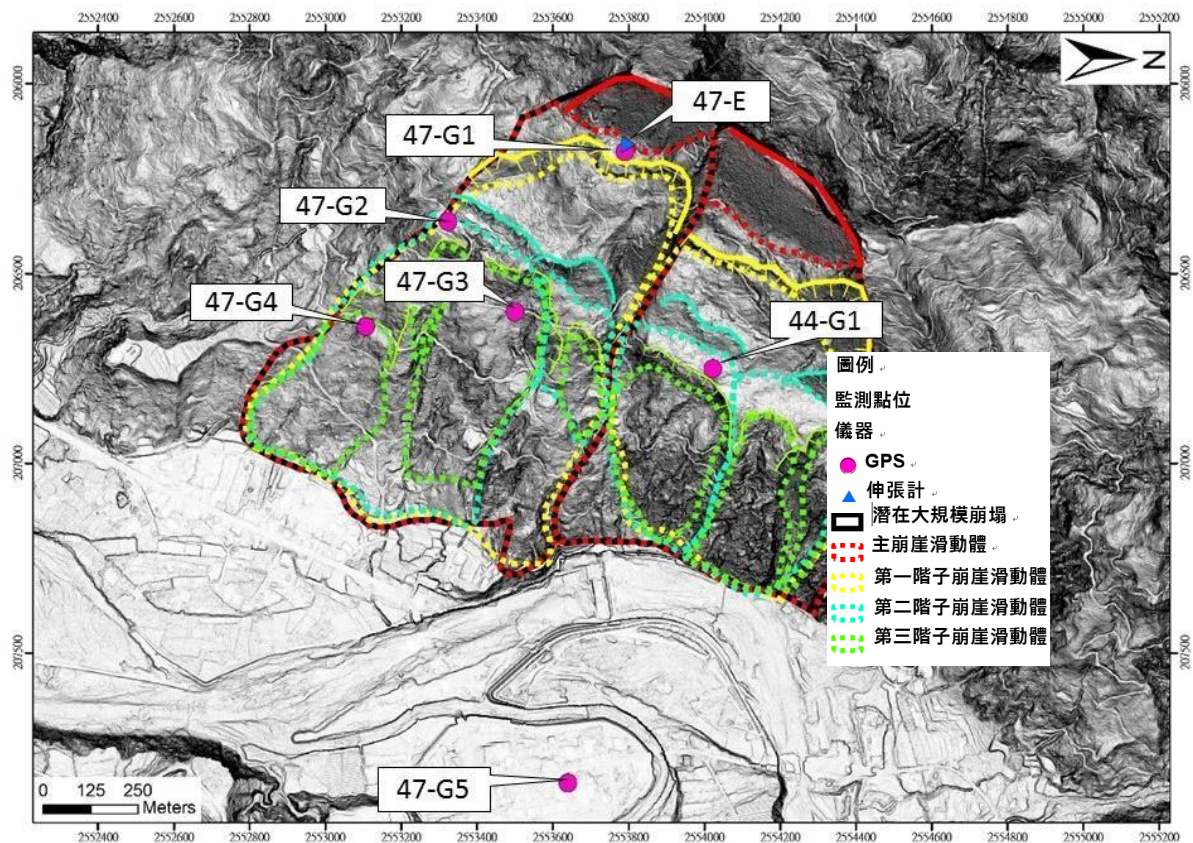
本計畫蒐集甲仙區-D044、D047 自 103 年 7 月至 105 年 11 月的監測資料解算結果，區域內一共有 5 個 GPS 監測點及 1 個伸張計(圖 3-34 及表 3-7)。如圖 3-34 所示，甲仙區-D044 與 D047 可細分為三個分區，主滑動體位於坡頂崩滑區下緣，第一及第二階子崩崖滑動區位於坡腹漸緩區，第三階子崩崖滑動區位於坡腹漸緩區至坡址。JS047-G1 設置於主崩塌體頭部，JS047G2 設置第二階子崩崖滑動體頭部(坡腹漸緩區之堆積區)，JS047G3 及 G4 設置於第三階子崩崖滑動體。JS044G1 設置第二階子崩崖滑動體頭部(坡腹漸緩區之堆積區)。其中，JS047G3 及 G4 設置於道路邊坡旁(圖 3-35)應受道路影響，僅測得局部崩塌。JS044-G1 設置於坡址與坡腹漸緩區交界處，應可了解坡腹漸緩區是否有持續向下位移及坡址區是否有上溯。

104 年雨季(104/05~104/09)及 105 年雨季(105/05~105/10)5 個 GPS 監測點皆有較明顯之變化，整體而言，5 個 GPS 監測點位移朝東南向(坡腳)移動，水平位移量約 4.3~8 公分，JS047(大規模崩塌地 D047)高程位移量下降約 0.6~2.5 公分，JS044-G1(大規模崩塌地 D044)則上升約 7 公分(圖 3-36、表 3-7 及圖 3-37)，其中 JS044-G1 之垂直變形量較值得注意，自開始監測後即呈現上升，雨季過後亦呈現上升，然於 105 年 9 月梅姬颱風的降雨使得垂直位移有向下的趨勢，可能為坡址不穩定造成，後續須持續觀察。

整體而言，GPS 的監測成果顯示坡面的位移方向大致朝著坡腳方向，JS047 除 G4 外位移量在每年 3 公分左右，尚不足判斷其活動性，G4 則有較大的位移量，但其位於道路下邊坡因為局部崩塌之影響，對整體崩塌體的穩定性無關。JS044 垂直變形量由上升變為下降，其位於第二級第三階子崩崖滑動區之間，後續須持續注意其變形量。JS47-E 累積位移約 2.5 公分，其變化的時間目前看起來與較大雨量無相關，後續建議持續觀察，前期報告並未敘明地表伸張計之長度，難以評估此變化量之代表性。

本計畫綜合第二章活動性評估結果及現有監測結果，檢討甲仙區-D044、D047 之活動性。由活動性評估結果可知 D044 為順向坡，層面傾角約 40 度，坡度約 15~20 度，層面沒有見光，但屬於旗山溪凹岸攻擊側，需注意坡趾侵蝕為可能造成順向滑動。此外，目前堆積於坡腹的崩積層也有可能沿著岩土界面一次式大規模滑動，本報告第二章活動性評估大規模崩塌活動性高。D047 亦為順向坡，但目前坡趾保護尚好，因此發生一次式大規模滑動機率較低，然有待進一步調查、監測確定。

根據 D044 坡趾鑽孔於莫拉克前後測傾管量測結果比較，該區地下 2~15 m 之間有潛在滑動面，莫拉克前後的滑動量達到 5~10 公分，顯示 D044 坡趾並不穩定。簡易監測站結果顯示 D047 崩塌潛勢區常時穩定，但降雨會誘發坡體變形朝坡趾方向移動，D044 崩塌潛勢區僅有一個 GPS 點且向上變形，需要再檢討是否受局部地形影響，目前資料尚不足據以評估活動性。



摘自：國有林堰塞潛勢防災監控暨災害調查委託技術服務，106

圖 3-34 甲仙區-D044 與 D047 簡易監測站位置與崩塌內部分區

表 3-7 甲仙區-D044 及 D047 各觀測點說明表

編號	觀測對象	TWD97_X	TWD97_Y
GPS			
JS044-G1	D044 第二階子崩崖滑動體頭部	206799	2554052
JS047-G1	D047 主滑動體頭部	206201	2553760
JS047-G2	D047 第二階子崩崖滑動體頭部	206350	2553309
JS047-G3	D047 第三階子崩崖滑動體頭部	206602	2553508
JS047-G4	D047 第三階子崩崖滑動體頭部	206642	2553091
JS047-G5	固定站(甲仙分站)	207842	2553499
伸張計			
JS047-E	D047 主滑動體和主崩崖相對滑移速度	206160	2553801

(摘自：國有林堰塞潛勢防災監控暨災害調查委託技術服務，106)

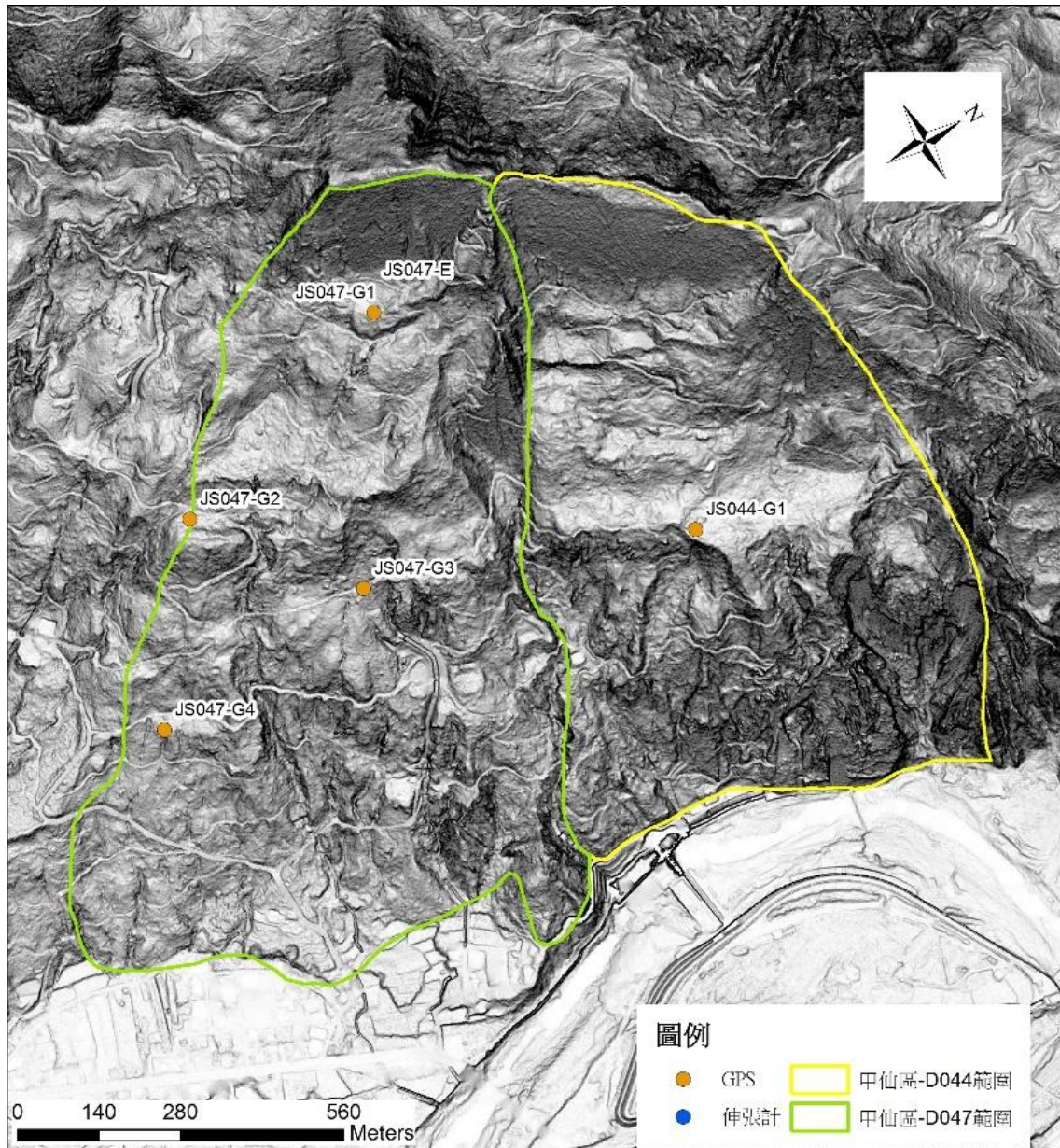


圖 3-35 甲仙區-D044 與 D047 簡易監測站套繪 LiDAR 坡度圖

表 3-8 甲仙區-D044 與 D047 各 GPS 計算點位解算成果

GPS 點位	103/07/01 ~ 105/11/30 總位移量(mm)		
	N	E	Z
JS044-G1	-36.72	59.87	70.08
JS047-G1	-29.51	37.43	-24.55
JS047-G2	-28.42	37.08	-12.98
JS047-G3	-22.86	36.45	-17.6
JS047-G4	-71.57	40.19	-6.35

(摘自：國有林堰塞潛勢防災監控暨災害調查委託技術服務，106)

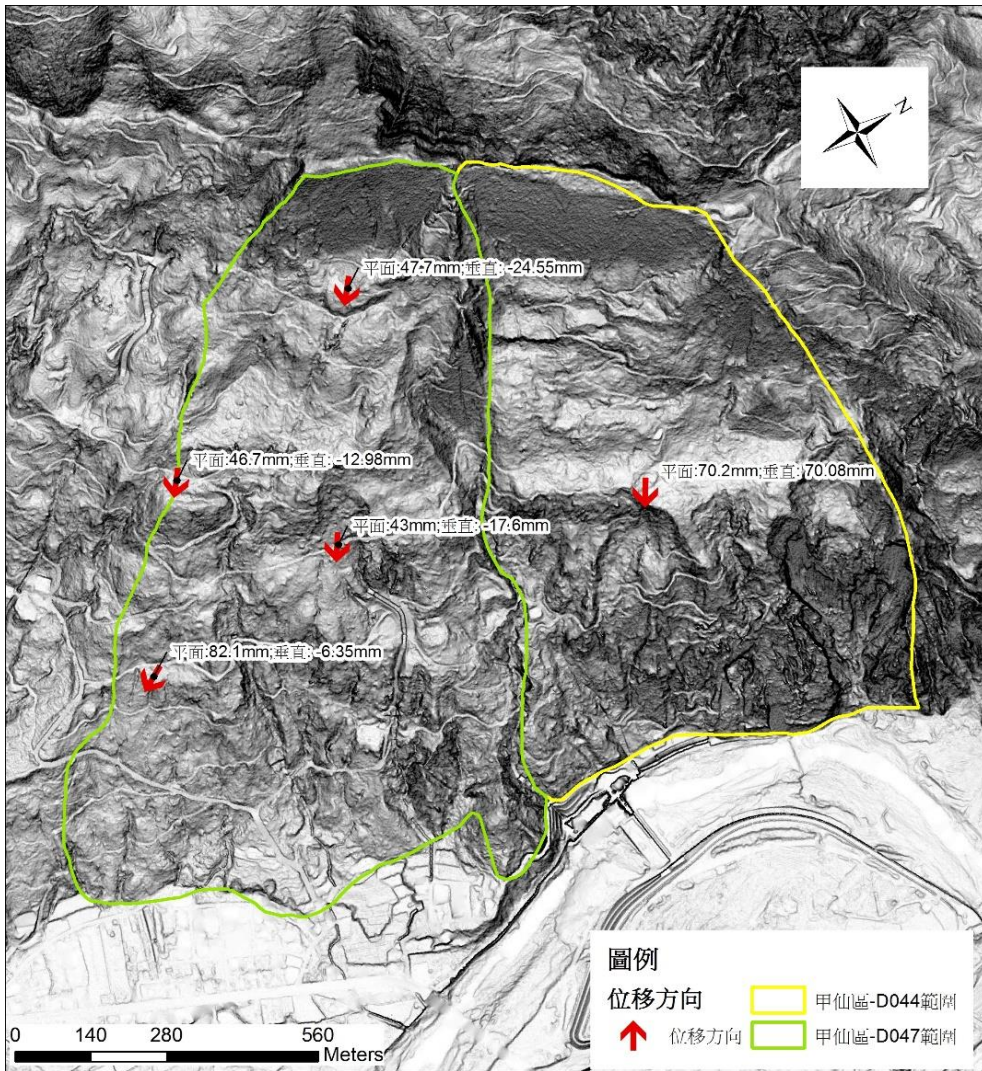
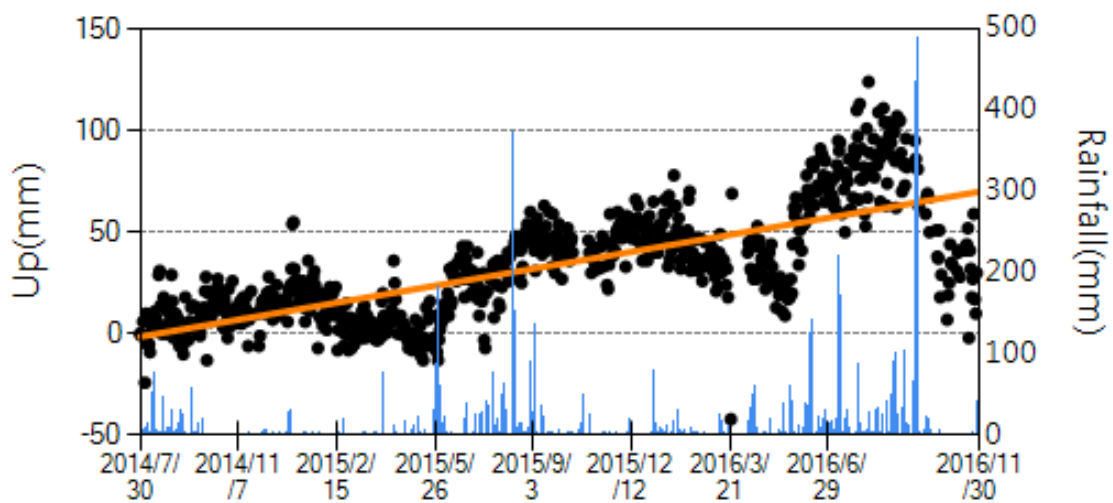


圖 3-36 甲仙區-D044 與 D047 崩塌潛勢區 GPS 位移分布圖



(摘自：國有林堰塞潛勢防災監控暨災害調查委託技術服務，106)

圖 3-37 JS044-G1 點位高程方向位移量解算成果(103/07/01~105/11/30)



(摘自：國有林堰塞潛勢防災監控暨災害調查委託技術服務，106)

圖 3-38 JS047-E 崩塌潛勢區伸張計變化圖

3-2.4 阿里山鄉-D187

阿里山鄉-D187 大規模崩塌潛勢區位於阿里山國家森林遊樂區內，行政區為嘉義縣阿里山鄉香林村，屬於阿里山第 5 至 10 林班地，範圍約達 555 公頃(圖 3-39)。屏蔽那火車站、二萬坪火車站、第一分道(靠近本潛勢區)、阿里山火車站、旅館商店區、中山村等設施皆位於其範圍內，其餘神木火車站、沼平火車站、祝山火車站、姊妹潭等皆在其鄰近區域，因此其對遊樂區的影響甚大。本高危險潛勢區經判釋後尚未進行系統性的調查、監測及穩定分析評估、或簡易觀測站設置等。然因 2009 年莫拉克颱風等事件，引致部分阿里山鐵路邊坡崩塌及園區內部分路基不穩定等，而進行邊坡調查、監測、治理等工作(103-104 二萬坪地區整體調查規劃及安全監測、105-106 阿里山森林遊樂區及奮起湖地區安全監測及林道地錨檢測、精巧型邊坡監測儀器於阿里山森鐵第一分道之應用研究、104-105 阿里山森鐵第一分道 62K+490-62K+820 周邊整治工程安全監測工作、103 阿里山森林鐵路對高岳車站安全監測等等)。前述計畫曾於潛勢區範圍內的二萬坪、中山村、第一分道進行部分地質鑽探、地下水、孔內傾斜、地表沉陷等相關監測。本項目旨在利用前述監測結果進行大規模崩塌潛勢的活動性評估，提供後續大規模崩塌潛勢區活動性評估建立參考。

(一)D187 地形地質、LiDAR 及航空照片崩塌分析

圖 3-40 為由高精密 LiDAR 地形所製作的 D187 大規模崩塌潛勢區坡度陰影圖，圖中顯示整區地形略呈波浪狀，局部存在平坦地形，南高北低的地形被數條略呈南北向的野溪或蝕溝所切割，明顯應為一處由老崩積覆蓋的崩塌地形，阿里山溪於本潛勢區下邊坡略呈東西向發展，並因野溪或蝕溝的下切、擴寬、向源侵蝕，造成潛勢區內分布大小不一的局部崩塌區。

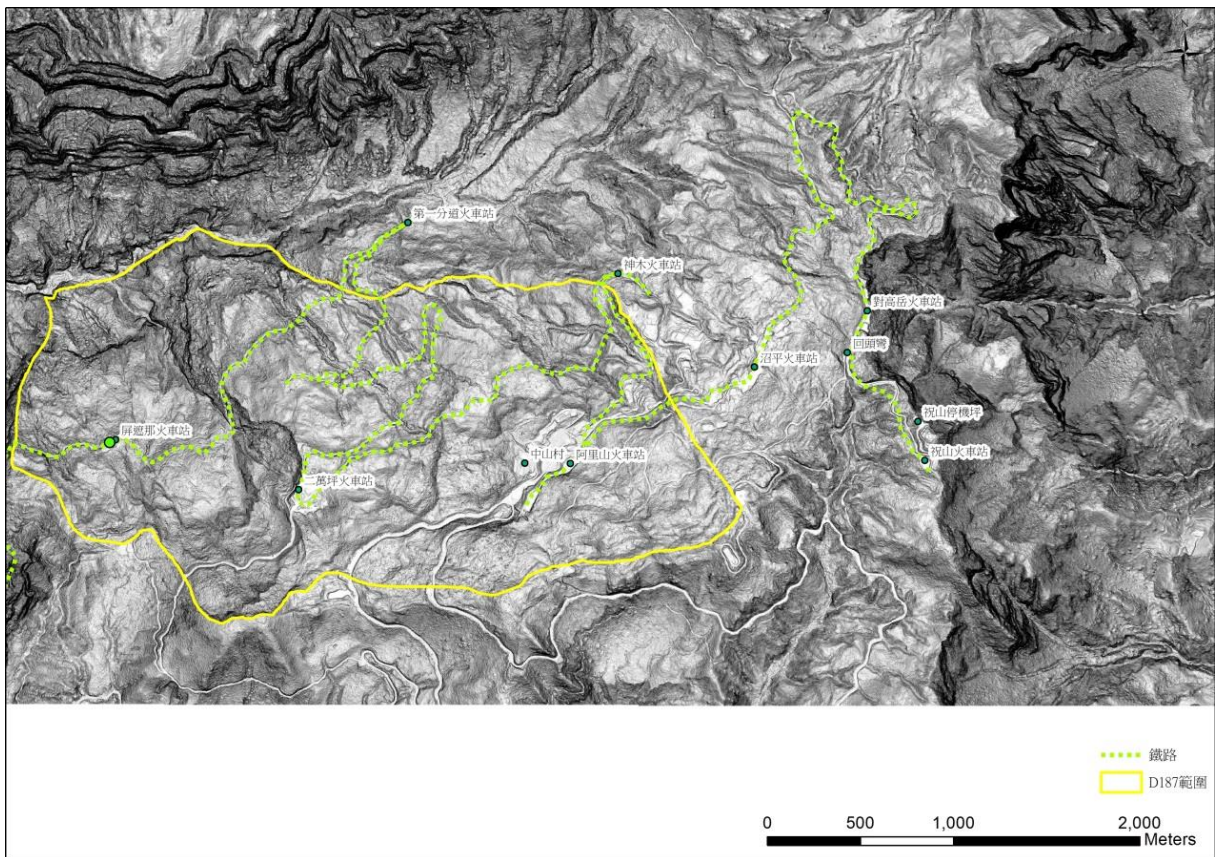


圖 3-40 D187 大規模崩塌潛勢區 LiDAR 坡度陰影圖

圖 3-41 及圖 3-42 分別為 D187 的坡向分佈及坡度分佈圖，圖中顯示本潛勢區範圍內除蝕溝二側外，邊坡略向北傾斜(南高北低)，蝕溝的坡度大多大於 40 度，區內地形坡度則以 15-30 度為主。圖 3-43 為 D187 大規模崩塌潛勢區之區域地質圖，圖中層面位態為由阿里山相關計畫地質調查資料所繪製。由遊樂區林道、步道可觀察到，園區內大都為植生覆蓋，岩層甚少於地表出露，區域地質圖中顯示本區地質構造不發達，

主要出露地層為中新世晚期至上新世之南莊層(砂岩及頁岩互層)。由鄰近的地層及少部分區內的地質調查資料線顯示，岩層走向略呈東北東至東，向西北至北傾斜 10-25 度。由地形及岩層位態顯示本區為具順向滑動潛能的邊坡。然因本區岩層露頭稀少，覆蓋層下的岩層、構造分布、及岩層位態需進一步有系統地進行地質鑽探、地球物理探測、地表地質調查(沿溪谷、蝕溝)，才能瞭解本區是否存在深層重力邊坡變形及大規模岩層滑動的可能。

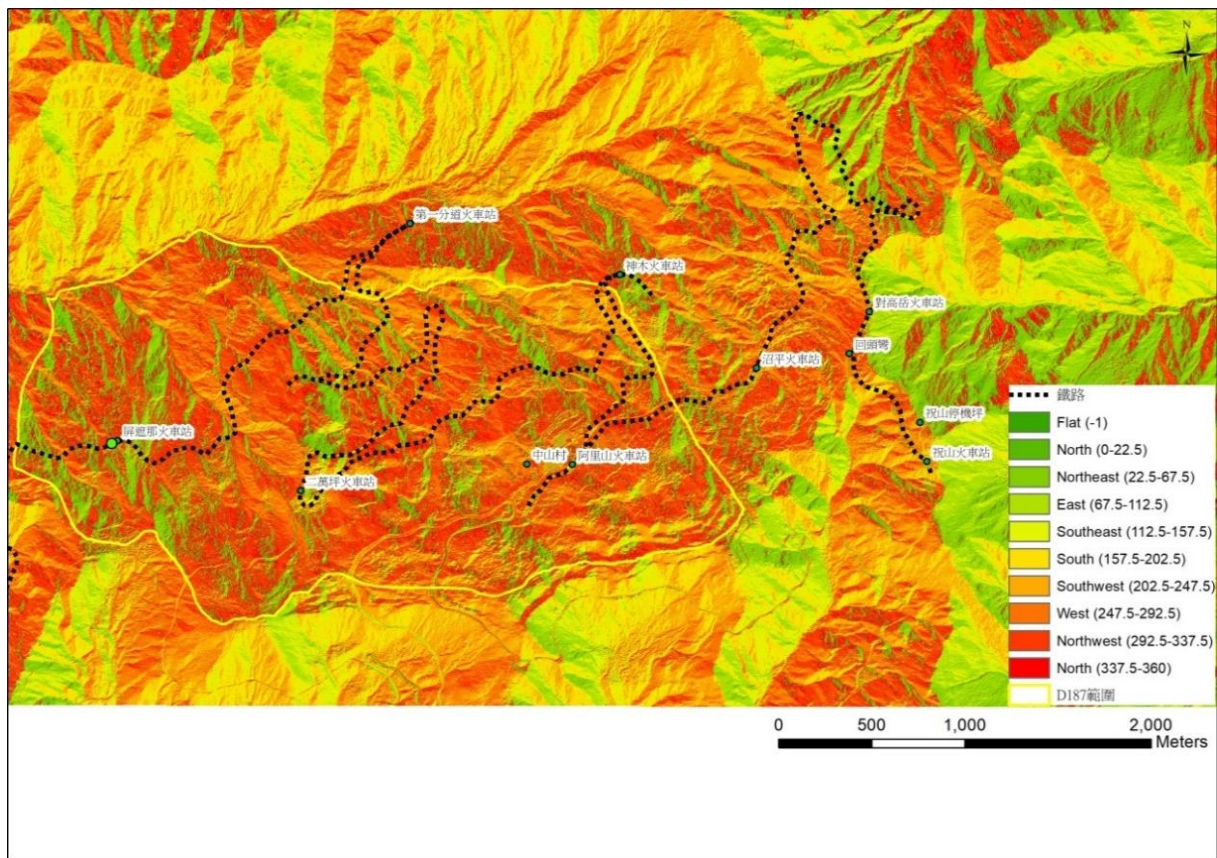


圖 3-41 D187 大規模崩塌潛勢區 LiDAR 坡向圖

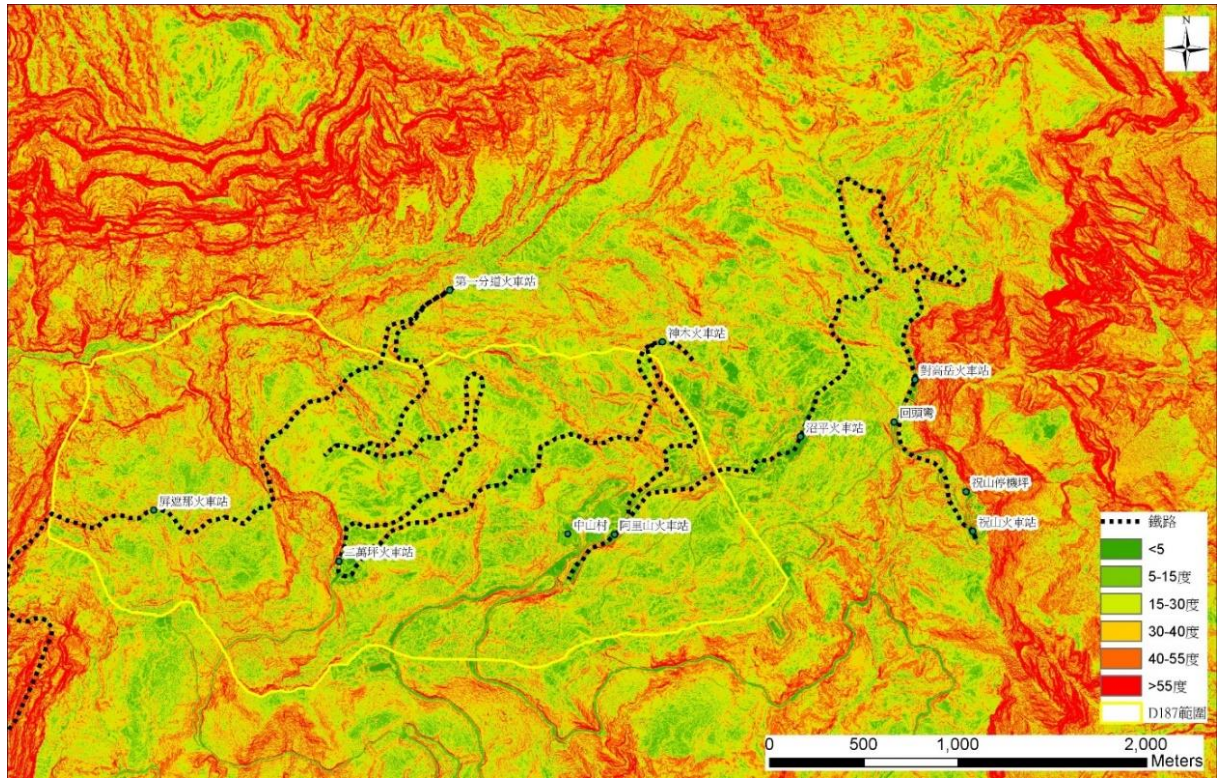


圖 3-42 D187 大規模崩塌潛勢區 LiDAR 坡度圖

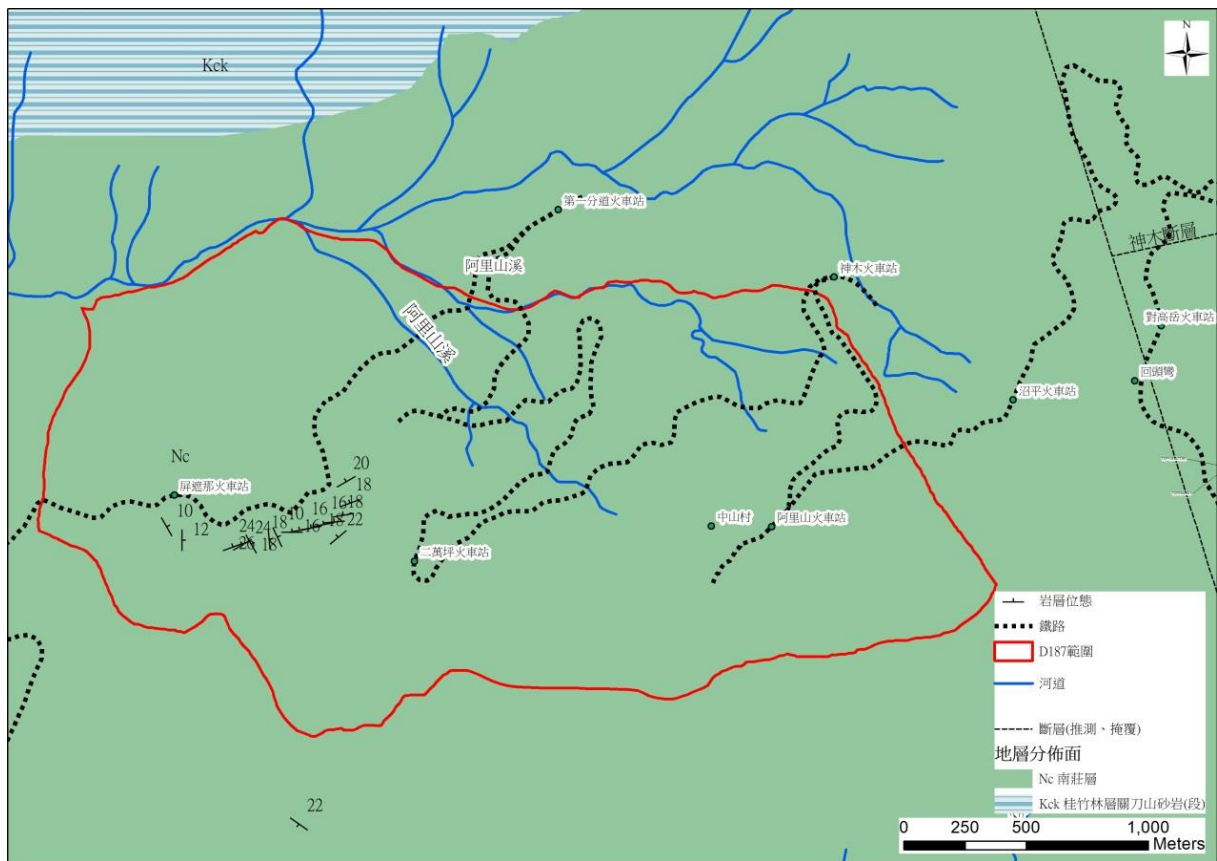


圖 3-43 D187 大規模崩塌潛勢區地質圖(修改自中央地調所流域地質圖)

圖 3-44 為本計畫利用光達坡度陰影圖所得的 D187 大規模崩塌潛勢區崩崖及蝕溝判釋結果，圖中顯示南側的主崩崖(約略於位於山脈稜線)略呈東西向弧形狀，現存崩體似因南北向岩層順向滑動所形成，次崩崖則零星分布於山腹、蝕溝旁、及趾部。整個潛勢區則被阿里山溪的支流(蝕溝)因溯源沖刷區隔成數塊，次崩崖下的崩體則因地形、蝕溝而呈現滑動方向不一的狀態，其應為老崩積體內(或沿岩盤面)因降雨或地震引致的局部崩滑。二萬坪所在位置應為老崩體所堆積的平坦地，向源侵蝕引致不同方向的老崩積層滑動，其上邊坡的老崩積層或下方岩層皆不能排除再崩滑的可能。前述的順向滑動及部分局部老崩積層滑動，亦可能因阿里山溪下切所引致，圖 3-45 顯示莫拉克颱風前後二萬坪至第一分道下邊坡下降達 30 公尺。中山村及阿里山火車站所在地形尚稱平坦，似乎為厚崩積層經整地後的地形，其上邊坡並無滑動跡象，然其東北側及下方的蝕溝若繼續上溯，則可能引致本區的不穩定。由坡度陰影圖亦顯示第一分道附近地形成波浪狀，河道邊坡崩崖明顯，其下邊坡受阿里山溪上游之下切作用影響存在不穩定現象，連帶影響第一分道附近邊坡的穩定性。圖 3-46 為使用 69、97、103 年航空照片所判釋出的崩崖及蝕溝變化圖，圖中顯示三十多年來主崩崖無變化，然次崩崖有擴大、及增生現象，增生位置大部分與蝕溝發展相關，但亦有部分位於山腹，圖中亦顯示蝕溝上溯現象明顯。前述結果顯示本老崩積層邊坡活動性(不穩定性)明顯，但無法評估崩積層下的順向滑動的活動性。

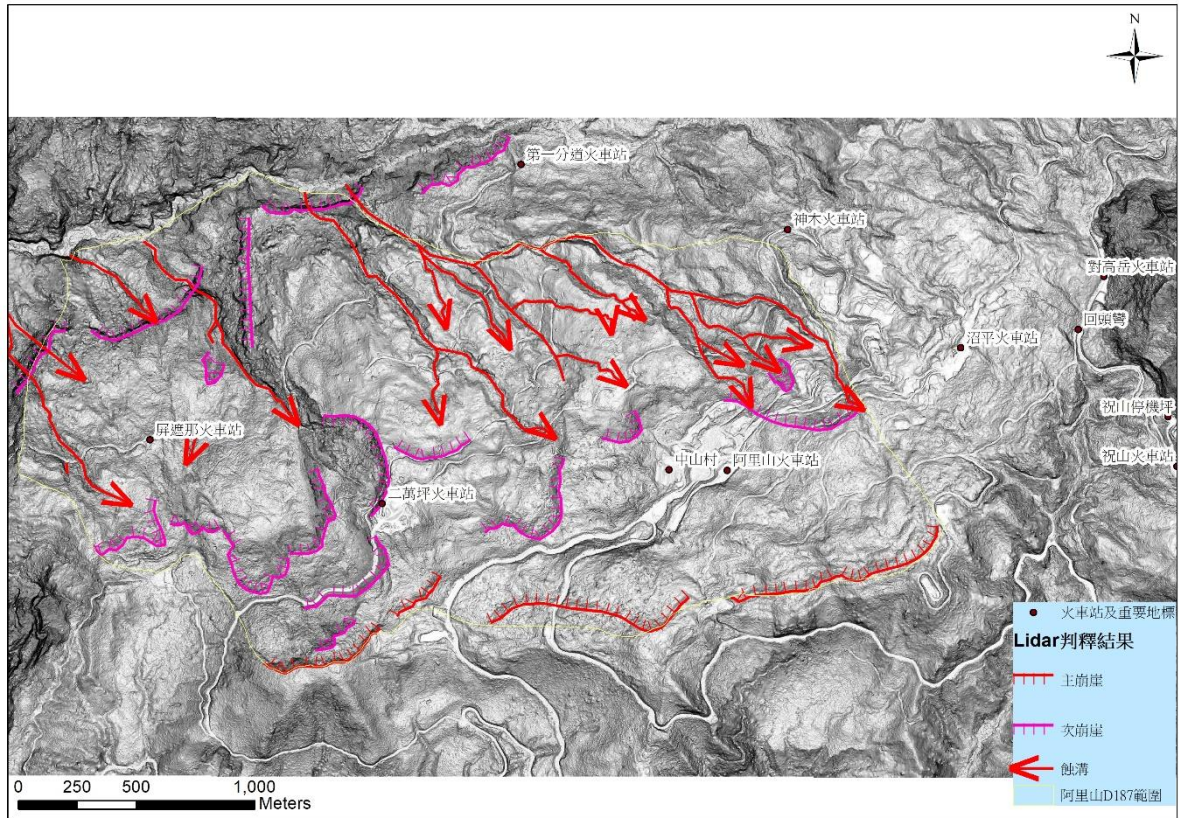


圖 3-44 D187 大規模崩塌潛勢區 LiDAR 崩崖及蝕溝判釋結果圖

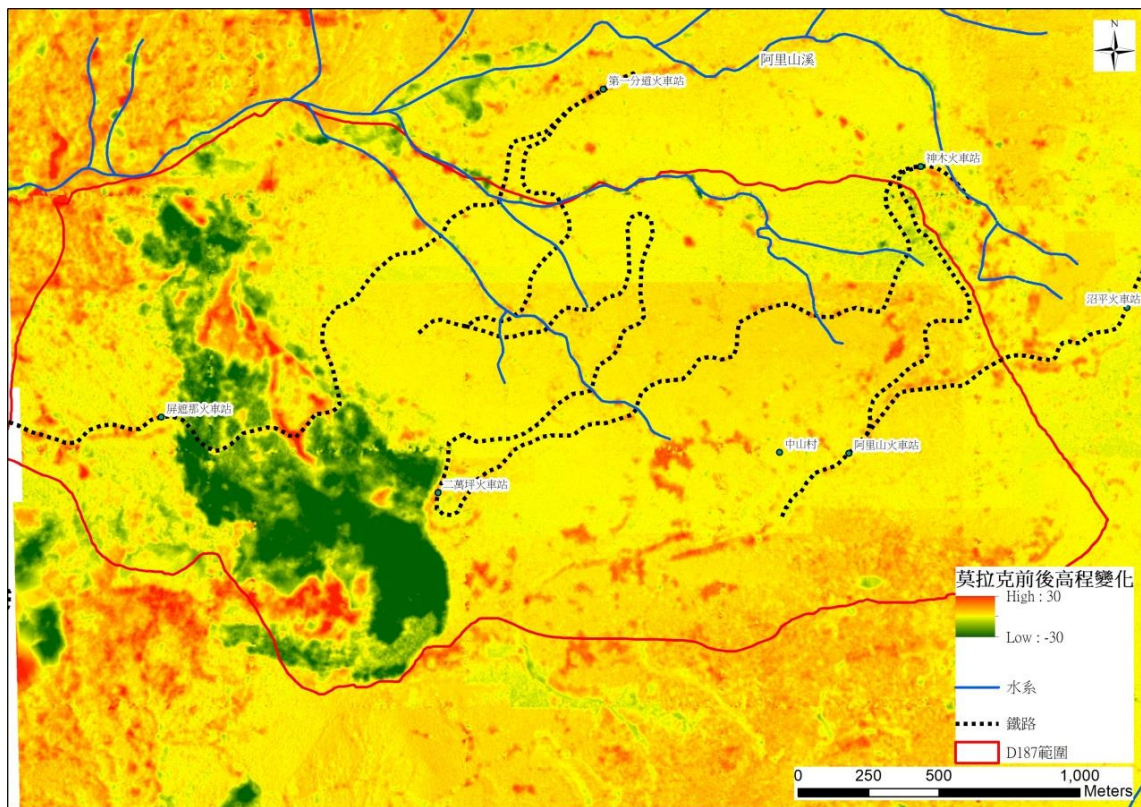


圖 3-45 阿里山溪莫拉克颱風前後沖淤變化(97、98 航照製作比較結果)

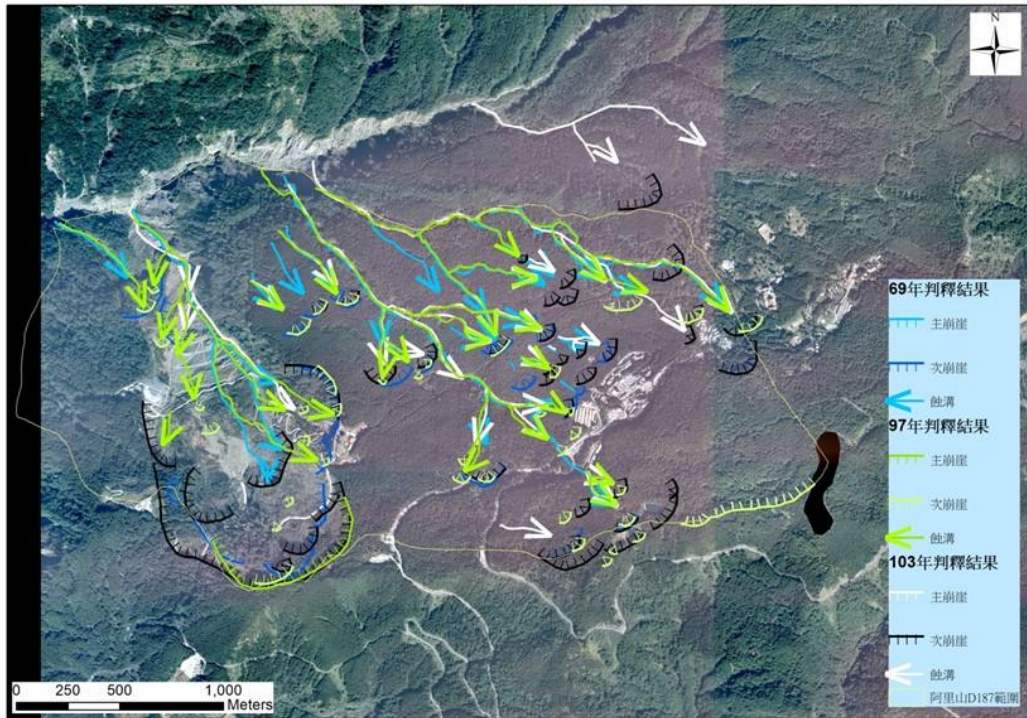


圖 3-46 D187 崩塌潛勢區不同時期航空照片崩崖及蝕溝變化比較圖

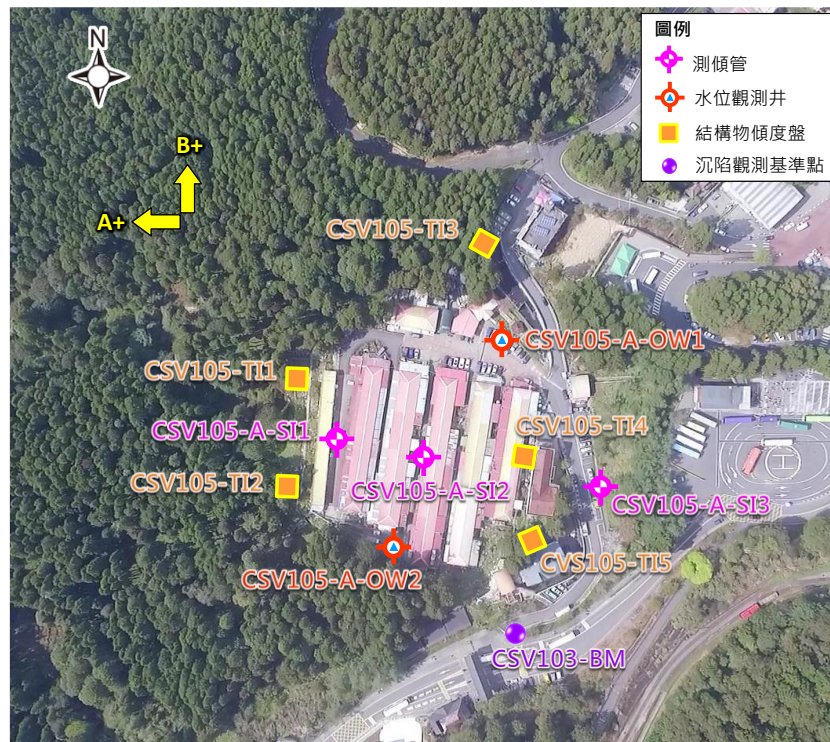
(二) 中山村監測結果分析

依據「阿里山森林遊樂區及奮起湖地區安全監測及林道地錨檢測」第一、二次期中及期末報告彙整說明中山村的地形、地質、監測結果如下：

中山村位於一西北之單向坡，本區域利用型態為沿山腹採多階平台逐層興建，因而邊坡與擋土構造物數量較多，工區周圍未見明顯露頭。中山村曾歷經 921 震災及歷次風災等，有地層潛移疑慮，居民亦反映房屋有傾斜及開裂的狀況，經排水溝及擋土設施的設置之後已有成效。

中山村於 100 年起執行安全監測工作，監測項目為於每階平台走道上各設置 4 處共 20 處之地表沉陷觀測點。根據前「二萬坪地區整體調查規劃及安全監測成果報告」(民國 104 年 12 月)，中山村工區地表沉陷觀測點監測期間沉陷點因受到破壞而重新鋪設，變位量僅-0.6cm~1.0cm，尚無明顯之沉陷量發生。參考「嘉義處轄奮起湖等地區安全監測及預警系統工程」(民國 100 年 12 月)的監測記錄(量測期間：100 年 7 月~12 月)，中山村內舊有設置之傾斜管 2 處及地下水位觀測井 1 處皆無明顯

變化情形，區域尚屬穩定。上述測傾管及水位井受工程影響已損壞，於 101 年後無法使用。105 年阿里山森林遊樂區及奮起湖地區安全監測及林道地錨檢測計畫進行五孔鑽孔，其鑽孔配置如圖 3-47，並於 CSV105-A-SI1~CSV105-A-SI3 安裝測傾管，及於 CSV105-A-OW1 及 CSV105-A-OW2 安裝水位觀測井。



(摘自阿里山森林遊樂區及奮起湖地區安全監測及林道地錨檢測 第二次期中報告)

圖 3-47 阿里山中山村地質鑽孔配置圖

依據鑽孔岩心記錄並以二萬坪及阿里山公路周邊露頭平均層面平均位態 $N47^{\circ}E/22^{\circ}NW$ ，繪製地質剖面如圖 3-49、圖 3-50。由地質剖面圖顯示中山村座落在年代不明、厚達 50 m 以上的崩積層上，岩盤面平緩，邊坡坡度小，產生沿崩積層與岩盤面大規模滑動的機率不大，若部落下邊坡擋土牆穩定性夠，地表排水良好，社區發生崩積層內的局部崩滑的機會亦不大。然整體邊坡屬順向坡，若開挖或蝕溝沖刷使岩層見光則可能產生順向滑動。

由 105 年 6 月至 106 年 10 月監測結果顯示，測傾管 CSV105-A-SI1 於 A+方向最大累積位移量為 14.8 mm，發生於地下 31 公尺處，位移曲

線靠近地表的部分並未出現明顯位移量，由鑽孔岩心可知 CSV105-A-SI1 在 35.6 m~36.6 m 處為一空洞，判斷此處應非地層實際滑移。CSV105-A-SI2 及 CSV105-A-SI3 之量測變位量皆在誤差範圍內，尚無明顯滑動面出現。受 105 年 9 月受莫蘭蒂及梅姬兩颱風降雨之影響，地下水位井 CSV105-A-OW1 較常時水位抬升約 5.5 m，CSV105-A-OW2 較常時水位抬升約 22 m，在颱風降雨約 20 天後，兩水位井之水位皆下降至常時水位，106 年 6 月初之梅雨於阿里山地區帶來日累積降雨量 622 mm，使 CSV105-A-OW2 地下水位面隨之上升 20 m。由一年的監測及地質調查結果可知，中山村工區常時地下水位偏低，且表土層由疏鬆之厚崩積層所組成，而 CSV105-A-OW2 設置位置較接近中山村外側坑溝，故推測受地勢及覆土材料影響，於強降雨時地下水流易匯集於此，造成地下水位隨降雨量出現明顯增高的情況。

綜合地形、地質資料及一年多的監測結果顯示，中山村目前並無滑動之虞，但因監測時間短及監測深度及範圍不足，並無法用以評斷 D187 的活動性。然而中山村所在邊坡與 D187 整體邊坡同屬順向坡，若未來工程開挖或蝕溝沖蝕使岩層見光則可能產生順向滑動。建議應進行有系統的調查、監測，以供管理及治理參考。

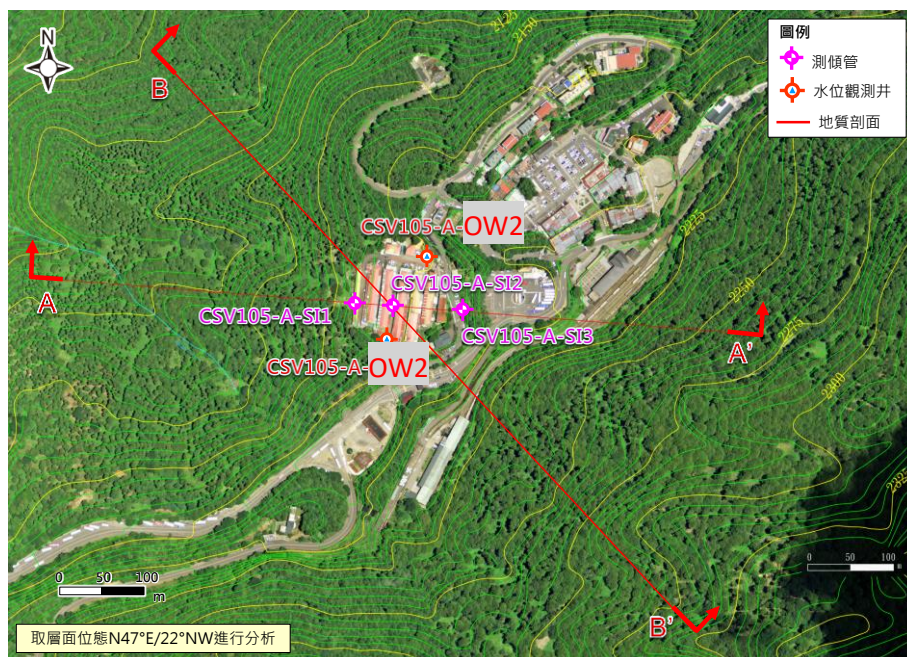


圖 3-48 中山村鑽孔及剖面圖位置

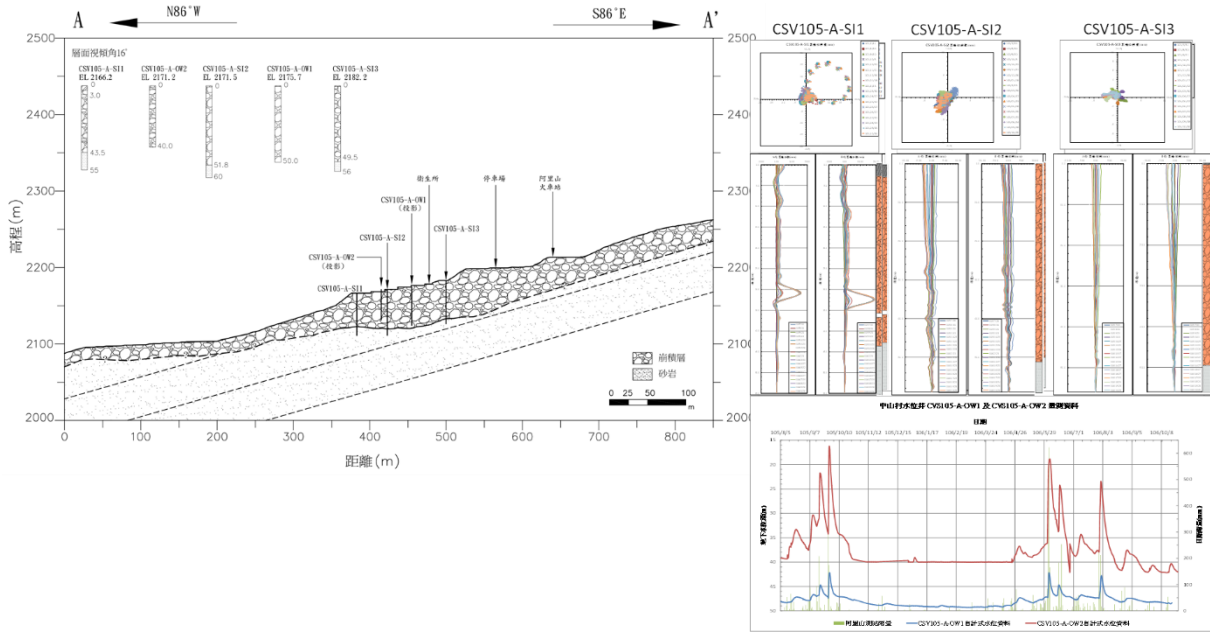


圖 3-49 中山村地質剖面 AA'

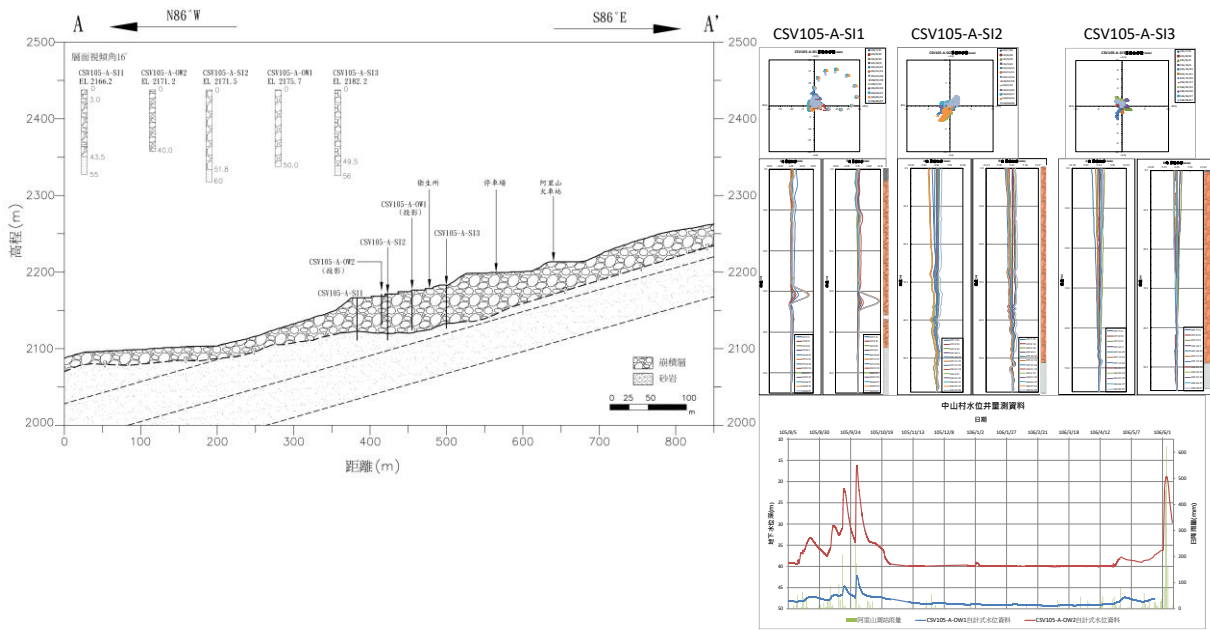


圖 3-50 中山村地質剖面 BB'

(三)二萬坪崩塌區監測結果分析

因莫拉克風災造成二萬坪車站(活動中心)上下邊坡大範圍崩滑，嘉義林管處除進行必要的穩定、水保及鐵路改建工程(隧道工程)外，並於103年開始進行二年期的二萬坪整體規劃及安全監測，並於105、106年度持續監測(二萬坪地區整體規劃及安全監測成果報告，104；阿里山森林遊樂及奮起湖地區安全監測及林道地錨檢測第二次期中及期末報告，106)。本計畫將依據前述二報告及監測結果進行D187的活動性評估。

二萬坪火車站及青年活動中心位於平坦地上，然其上下邊坡為西北向的陡峭邊坡，邊坡坡腳處為阿里山溪之溪谷。由現場及鑽探結果顯示，二萬坪為早期大規模崩滑所堆積形成。由鄰近區域的地質調查結果顯示，岩層走向呈 $N46\sim 48^{\circ}E/22^{\circ}NW$ ，崩塌區內無地質構造通過。節理出露共有兩組，分別為 $N54^{\circ}W/74^{\circ}S$ 及 $N44^{\circ}E/88^{\circ}N$ ，均屬高傾角節理，本區域邊坡朝西北傾斜，因此本區域為順向坡地形。本區地層以疏鬆透水的崩積層及易遇水軟化的頁岩、風化程度高之砂頁岩互層為主。莫拉克颱風侵襲時，於4天期間內帶來帶來累積雨量3,049.5 mm，單日最大雨量達1,161.5 mm，已超過氣象局統計之200年重現期距，在強降雨長延時作用下，本區域內的坡面排水不及，造成嚴重的地表沖蝕；且疏鬆的崩積層在吸水後，土體重量大增，使得坡面安全係數下降，最終導致邊坡滑動坡壞，並在森鐵區間內形成縱向長度(水平投影)達2,000 m，最大橫向寬度達800m、總崩塌面積達130公頃的大規模崩塌，該崩塌區冠部靠近二萬坪車站上邊坡高程約2,080 m處，冠部崩崖落差達10 m~20 m；崩塌趾部位於阿里山溪溪谷，高程約1,200 m。發生於民國53年之屏遮那山崩位於二萬坪崩塌區的坡腳處，即接近阿里山溪的位置。

二萬坪車站下邊坡於莫拉克颱風時崩塌，並造成路基流失、鐵軌懸空，現車站月台旁軌道平台下邊坡已施作擋土牆、基樁及地錨等，坡面並施作自由樑框護坡與縱橫向排水溝等整治，二萬坪崩塌區之空拍照片詳見圖3-51至圖3-56。(摘自阿里山森林遊樂及奮起湖地區安全監測及林道地錨檢測第二次期中報告，106)

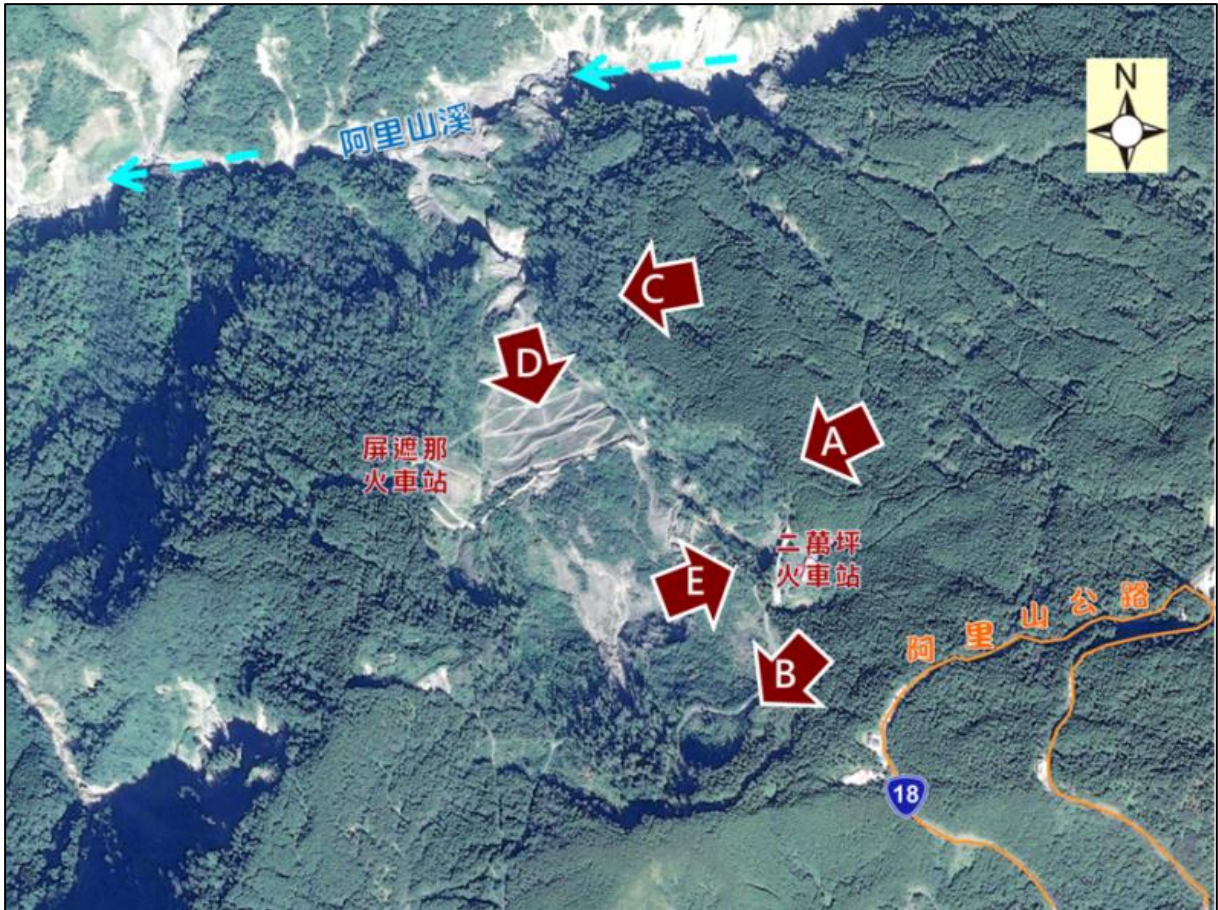


圖 3-51 二萬坪工區現地踏勘空拍照片-截圖拍攝方向



圖 3-52 二萬坪工區現地踏勘空拍照片-方向 A



圖 3-53 二萬坪工區現地踏勘空拍照片-方向 B



圖 3-54 二萬坪工區現地踏勘空拍照片-方向 C



圖 3-55 二萬坪工區現地踏勘空拍照片-方向 D



圖 3-56 二萬坪工區現地踏勘空拍照片-方向 E

本區於 103 及 105 年分別進行地質鑽探及地下水位、孔內水平位移(測傾管)監測，其位置及統計如圖 3-57、圖 3-58 及表 3-9 所示，103 年計畫利用鑽探孔裝設 ABS 傾斜管，並將傾斜管打洞，於孔壁與 ABS 管間回填七厘石，以充當測傾管及地下水位井用。為比較 103 年裝設的傾斜量測結果，105 計畫於原 BH-4 孔鄰近裝設一孔 TDR 位移監測。104 年報告繪製完整的地質剖面圖(圖 3-59 至圖 3-62)，圖中顯示調查區域為厚度達 60 m 以上的新、舊崩積層覆蓋於砂岩、頁岩、及砂頁岩互層上，且崩積層與岩盤交界的不整合面傾角與岩層傾角略同或略小。由地質剖面顯示本區可能存在蝕溝沖蝕引致的新崩積層的崩塌，老崩積層與岩盤界面(不整合面)滑動及岩層的順向滑動。圖 3-63 至圖 3-80 為區內側傾管 103/8-104/12、及 105/7-106/10 的監測結果，但由於本區存在新、舊崩積層，崩積層由大小不一的岩塊及細料組成，並可能存在空洞，且七厘石取代水泥漿回填，測傾管的穩定性恐不佳，因此量測結果並不佳。

檢視測傾管變位顯示，因裝設不佳，部分受大、小岩塊或空洞、及七厘石影響，累積位移大都呈彎曲狀。若考慮儀器的量測誤差、忽略接近孔口附近的變位、及變位曲線前後擺盪的結果，僅 EWP103-A-SIOW8 約於地下 40 m 處，EWP103-A-SIOW9 約於地下 35 m 處有較明顯變位外，其餘因傾斜管裝設問題，監測功能並未發揮。前述二孔皆位於原阿里山鐵路軌道鄰近，EWP103-A-SIOW8 約於老崩積層與岩盤界面或於破碎砂岩層內變位，EWP103-A-SIOW9 則似於頁岩夾砂岩層內變位，兩者應屬深層順向或沿岩盤面的滑動，其受阿里山溪河道侵蝕的影響甚大。

TDR 地滑計安裝於二萬坪工區 EWP105-A-TDR1 (60 m)，位於 103 年安裝的測傾管兼水位井 EWP103-A-SIOW4 附近，歷次量測資料(圖 3-81)顯示沒有剪動跡象。鄰近之測傾管 EWP103-A-SIOW4 監測資料亦無明顯剪動量發生，兩者監測結果相符。

二萬坪地下水位觀測井 EWP103-A-SIOW1~EWP103-A-SIOW9 變化如圖 3-82 至圖 3-84 所示。EWP103-A-SIOW1 及 EWP103-A-SIOW2 位於崩塌區冠部，常時地下水位約在地表下 36 m 處，受強降雨影響約上升 6~9 m 不等。EWP103-A-SIOW3~ EWP103-A-SIOW5 接近阿里山

青年活動中心，此區常時地下水位約在地下 38 m~47 m 間，EWP103-A-SIOW4 及 EWP103-A-SIOW5 位於連外道路旁，受降雨量影響地下水位變動較大。EWP103-A-SIOW6~EWP103-A-SIOW9 位於屏遮那崩塌地中上緣，受 106 年 6 月初梅雨降雨量影響，水位上升約 4~6 m 不等，唯 EWP103-A-SIOW9 因位置較靠近坑溝，為逕流易匯集處，因此水位變動較大，受強降雨影響水位升降範圍約為 11 m。

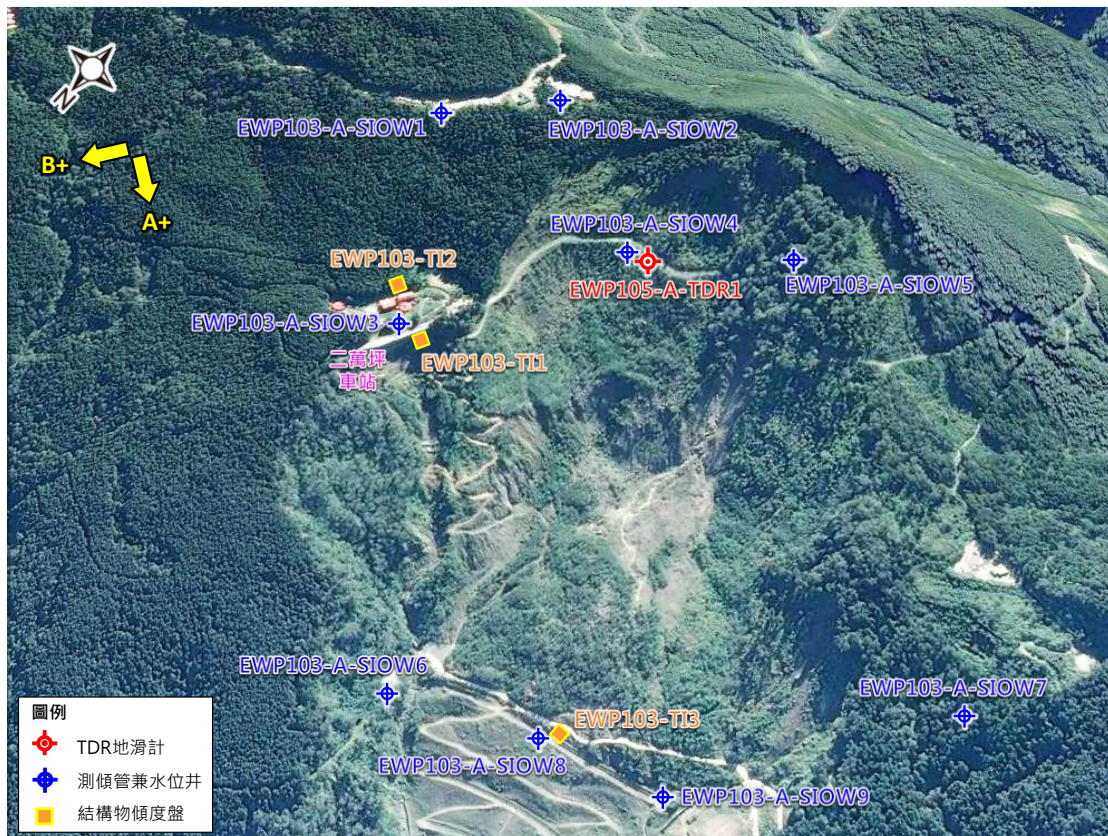


圖 3-57 二萬坪鑽孔及監測配置圖(105 重新編號)

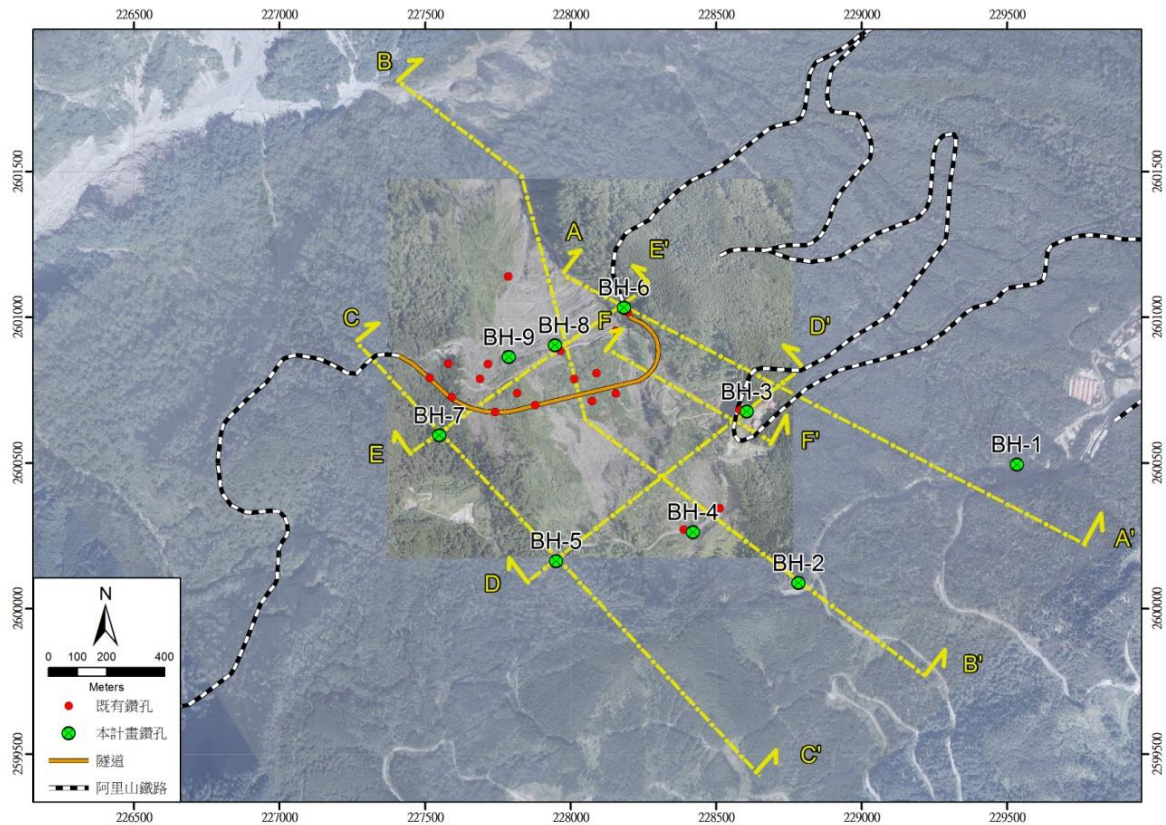


圖 3-58 二萬坪鑽孔及剖面位置圖(103 年編號)

表 3-9 二萬坪工區監測點位座標

孔號(103 年編號)	鑽孔座標 (TWD97)			深度 (m)	監測儀器項目
	N	E	孔口高程		
EWP103-A-SIOW1 (BH-1)	2600495	229534	2173.4	50	測傾管/水位井
EWP103-A-SIOW2 (BH-2)	2600088	228783	2116.2	50	測傾管/水位井
EWP103-A-SIOW3 (BH-3)	2600677	228605	2002.2	50	測傾管/水位井
EWP103-A-SIOW4 (BH-4)	2600263	228421	2025.5	55	測傾管/水位井
EWP103-A-SIOW5 (BH-5)	2600163	227950	2015.9	65	測傾管/水位井
EWP103-A-SIOW6 (BH-6)	2601034	228184	1751.6	50	測傾管/水位井
EWP103-A-SIOW7 (BH-7)	2600595	227549	1783.3	50	測傾管/水位井
EWP103-A-SIOW8 (BH-8)	2600905	227947	1725.3	50	測傾管/水位井
EWP103-A-SIOW9 (BH-9)	2600864	227788	1631.1	50	測傾管/水位井
EWP105-A-TDR1	2600263	228414	2027.93	60	TDR 地滑計
EWP103-TI1	2600672	228560	-	-	傾度盤
EWP103-TI2	2600633	228640	-	-	傾度盤
EWP103-TI3	2600905	227947	-	-	傾度盤
EWP103-DI3	2600633	228640	-	-	自計式傾斜儀

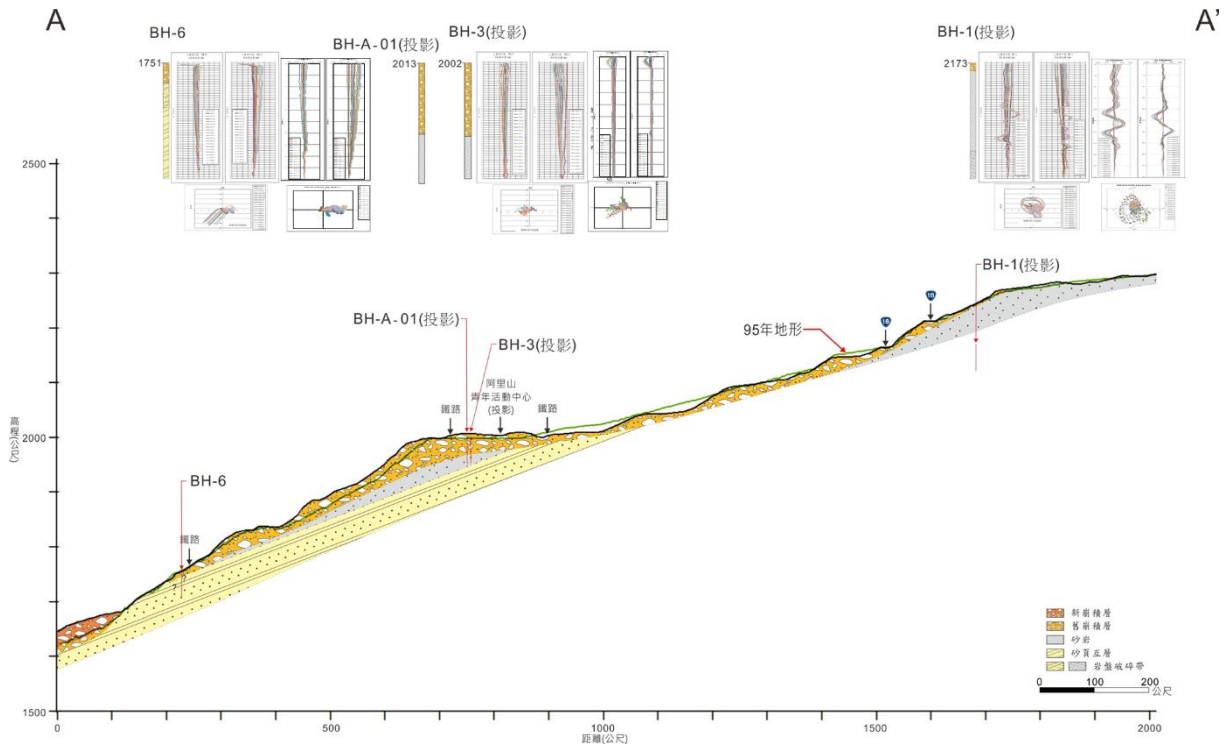


圖 3-59 二萬坪地質剖面 AA'及 103-106 監測結果

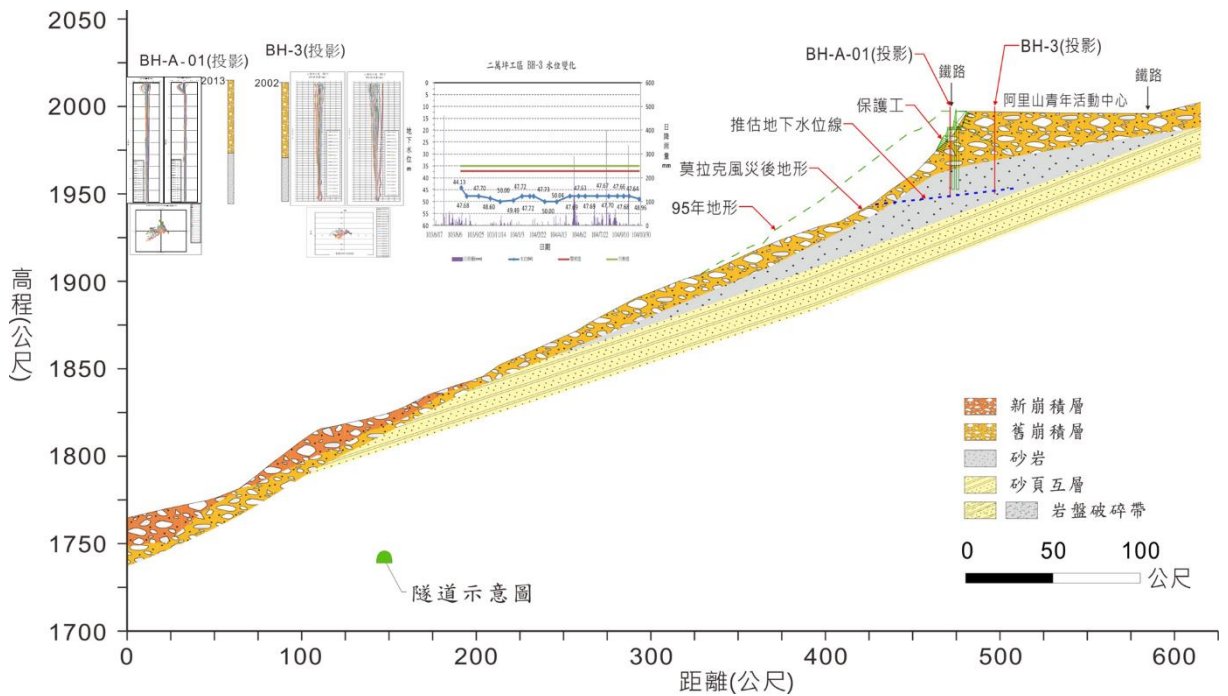


圖 3-60 二萬坪地質剖面 FF'及 103-106 監測結果

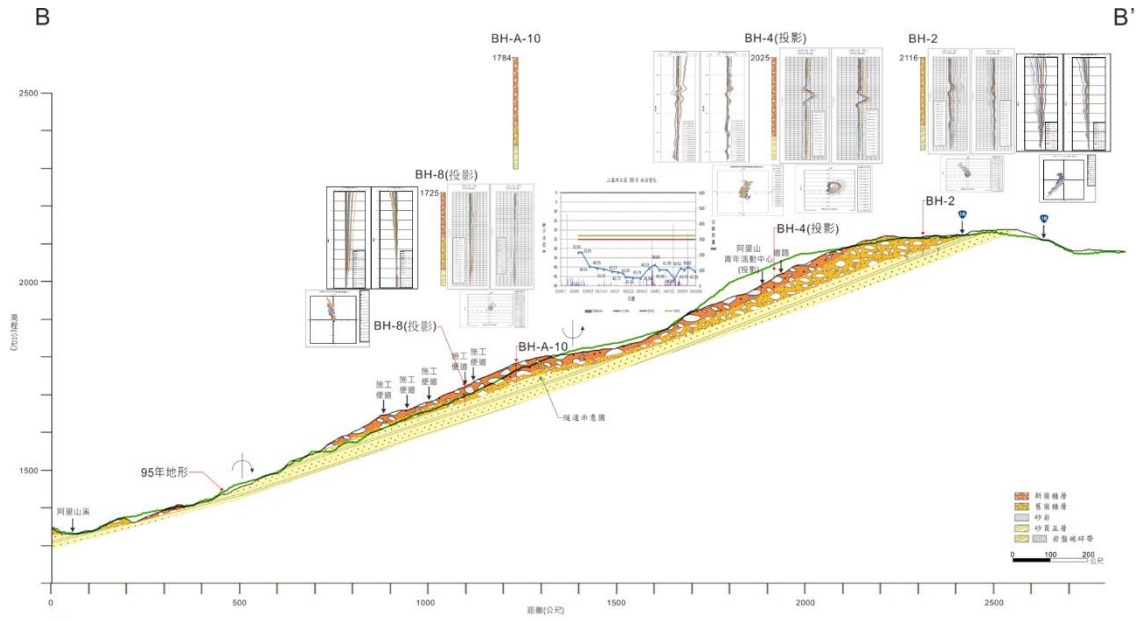


圖 3-61 二萬坪地質剖面 BB'及 103-106 監測結果

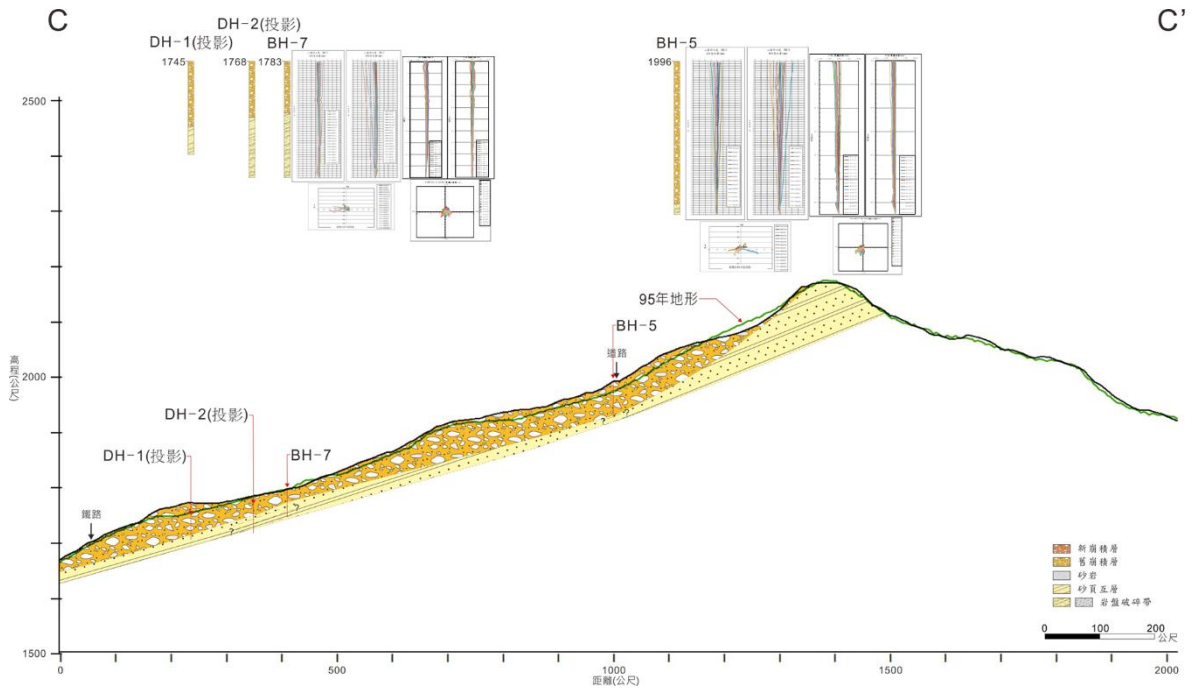


圖 3-62 二萬坪地質剖面 CC'及 103-106 監測結果

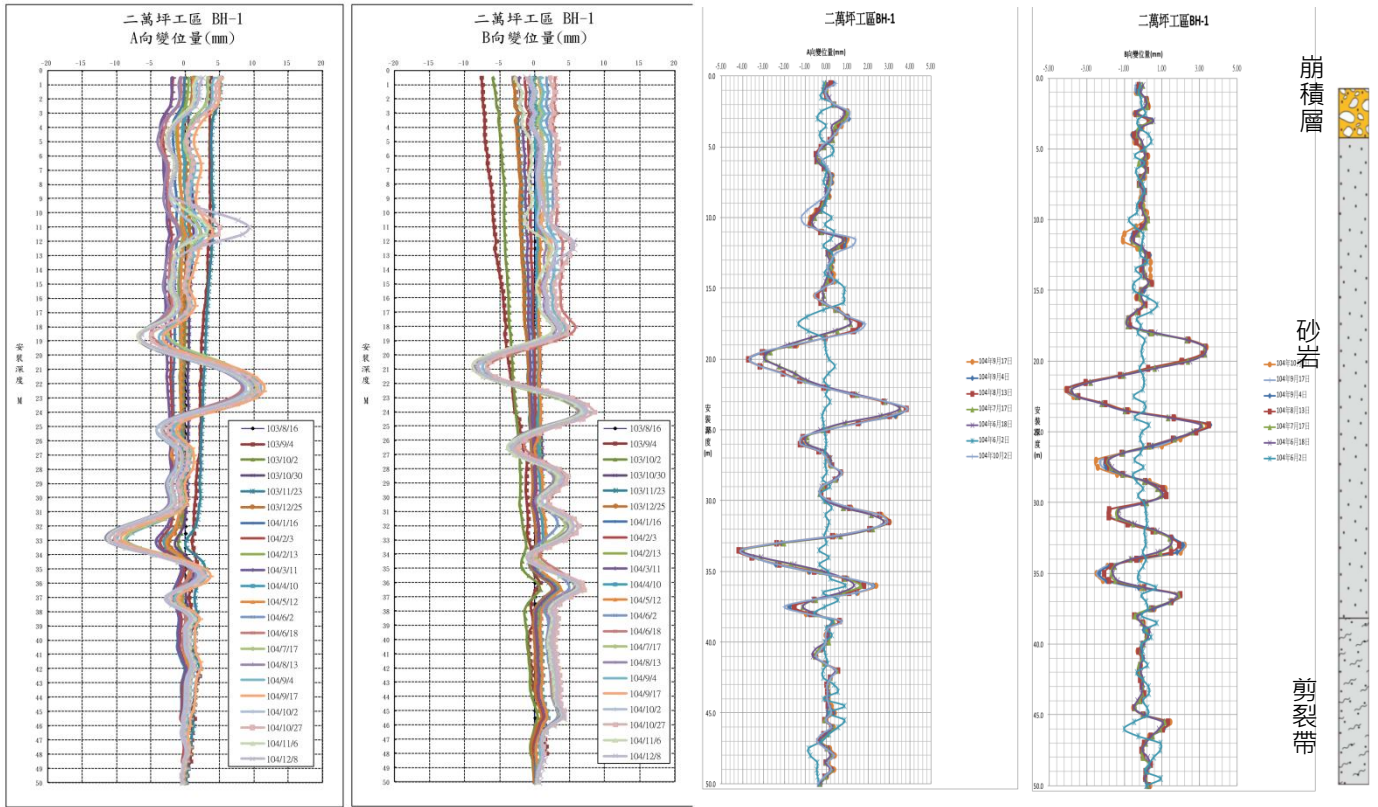


圖 3-63 二萬坪 EWP103-A-SIOW1 監測結果 (103/8/16~104/12/8)

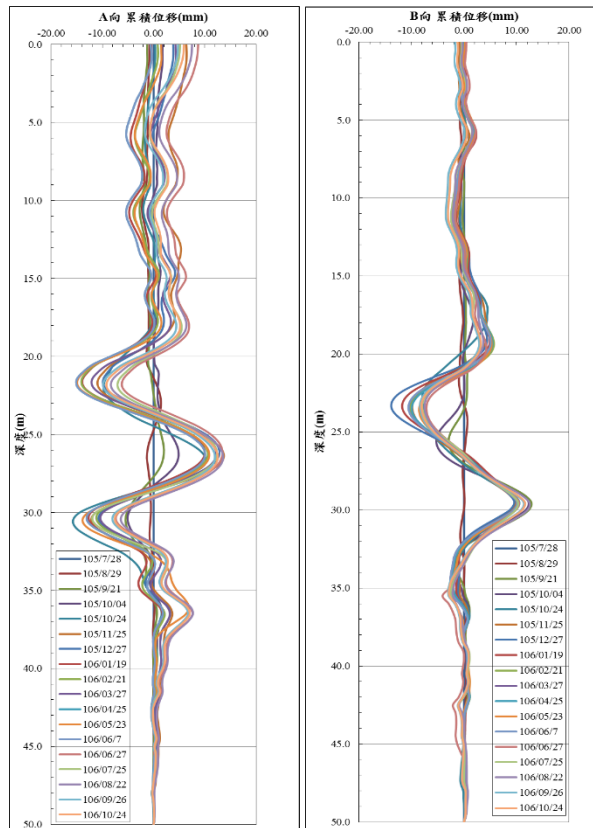


圖 3-64 二萬坪 EWP103-A-SIOW1 監測結果 (105/7/28~106/10/24)

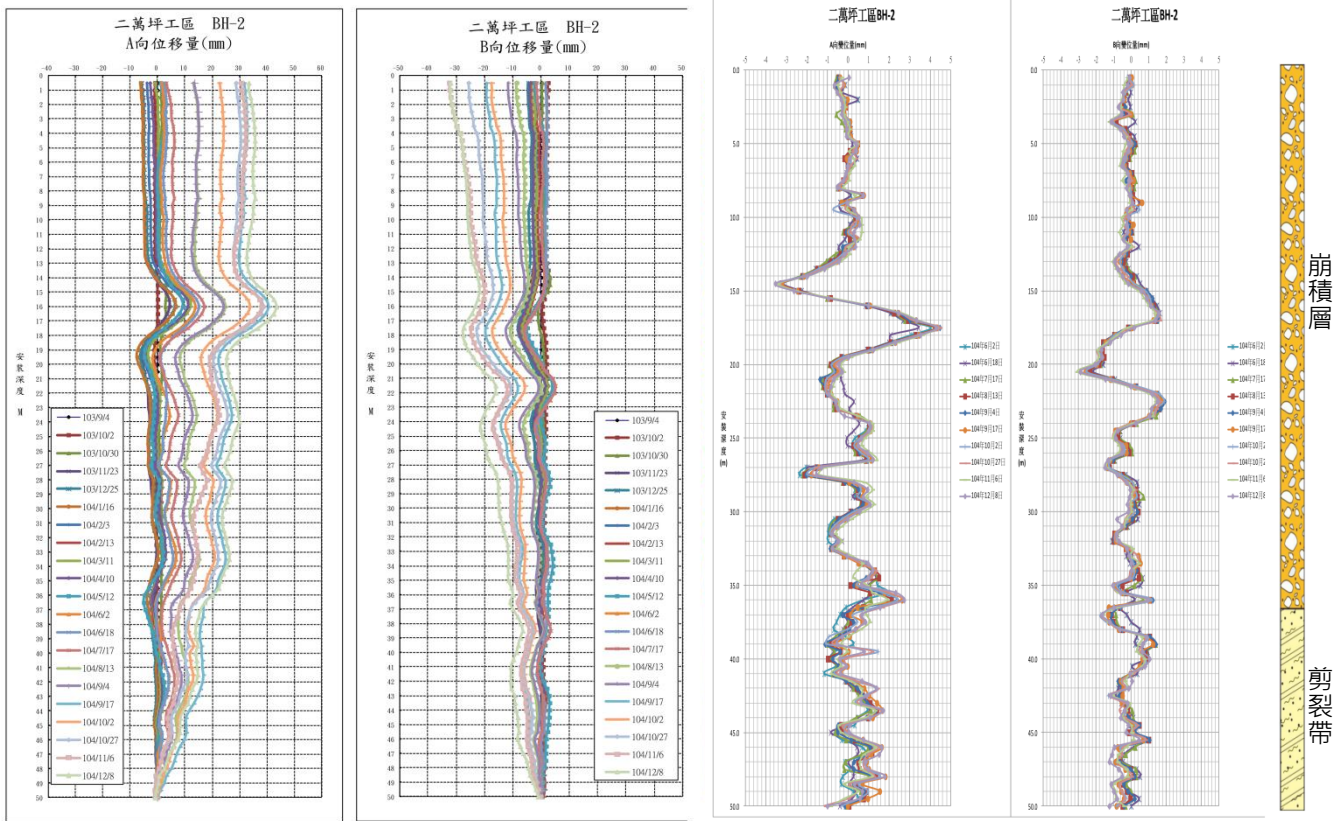


圖 3-65 二萬坪 EWP103-A-SIOW2 監測結果 (103/8/16~104/12/8)

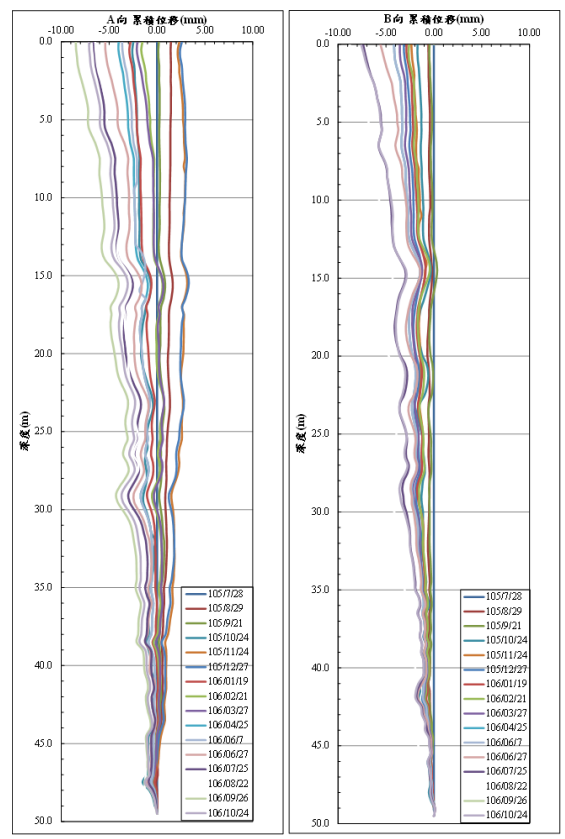


圖 3-66 二萬坪 EWP103-A-SIOW2 監測結果 (105/7/28~106/10/24)

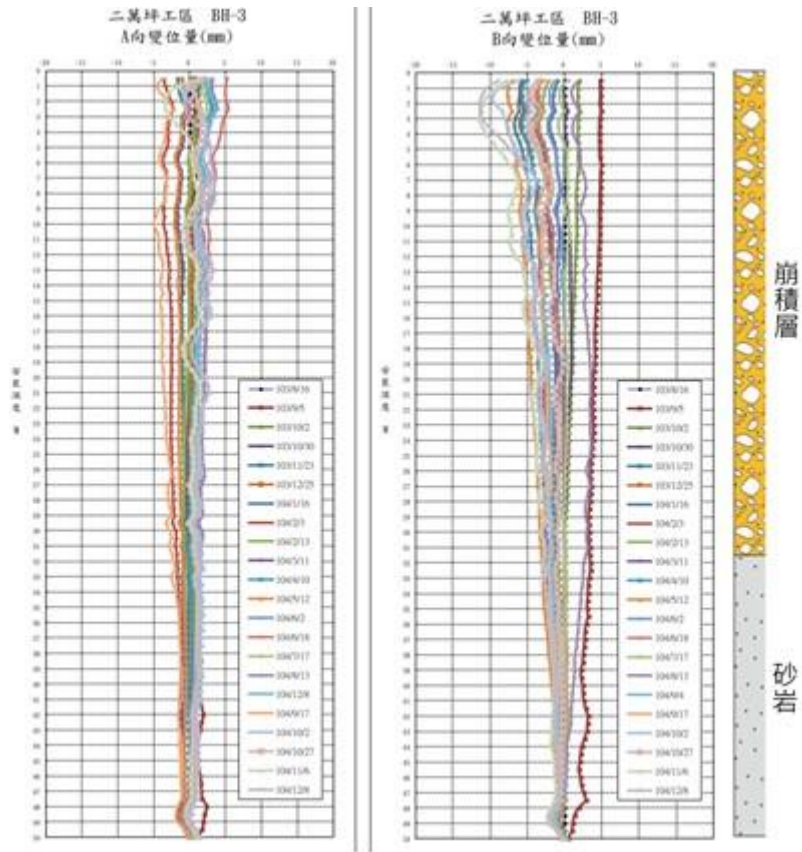


圖 3-67 二萬坪 EWP103-A-SIOW3 監測結果 (103/8/16~104/12/8)

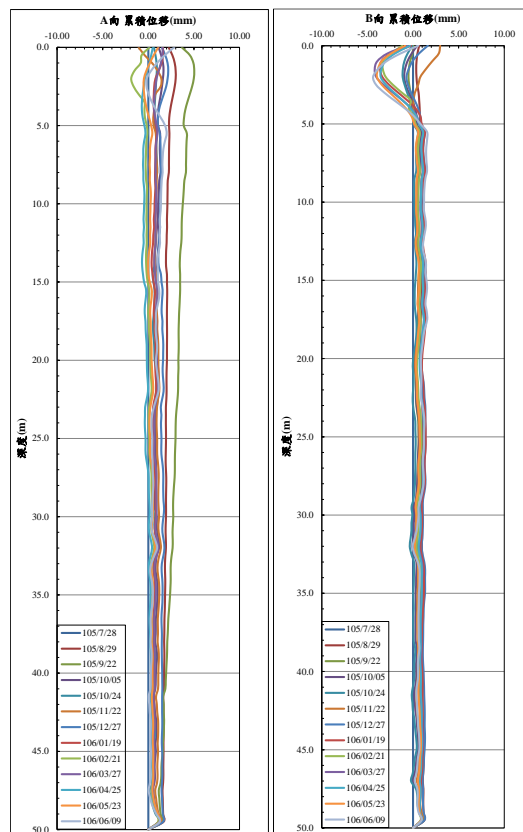


圖 3-68 二萬坪 EWP103-A-SIOW3 監測結果 (105/7/28~106/6/9)

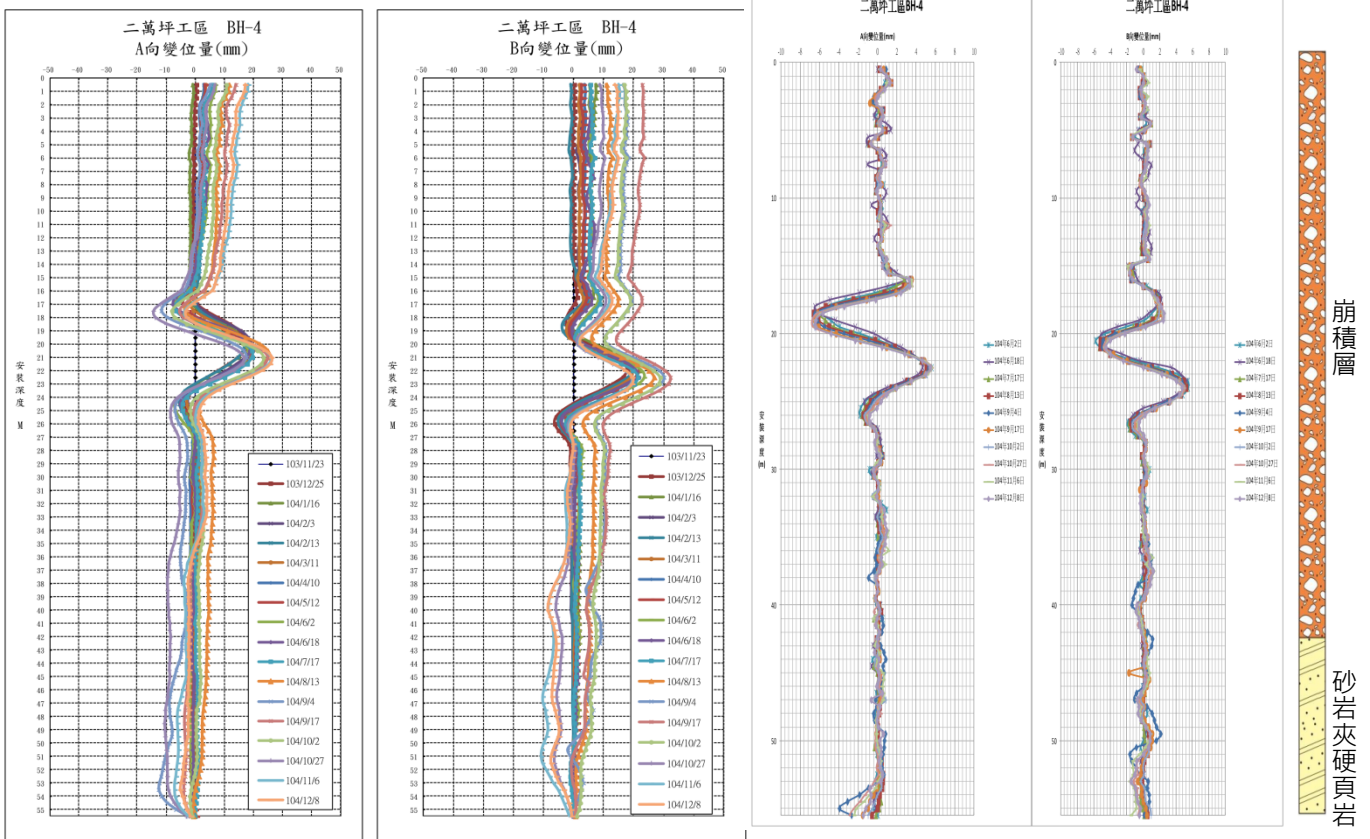


圖 3-69 二萬坪 EWP103-A-SIOW4 監測結果(103/11/23~104/12/8)

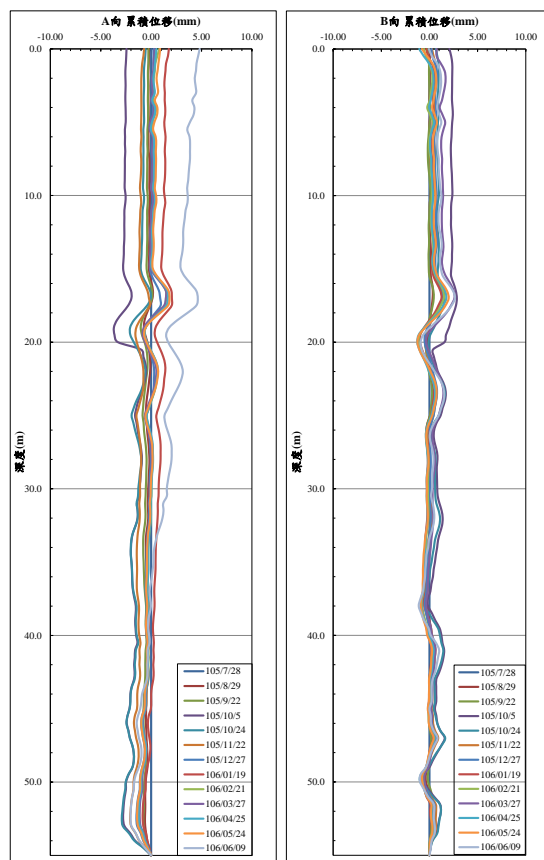


圖 3-70 二萬坪 EWP103-A-SIOW4 監測結果(105/7/28~106/6/9)

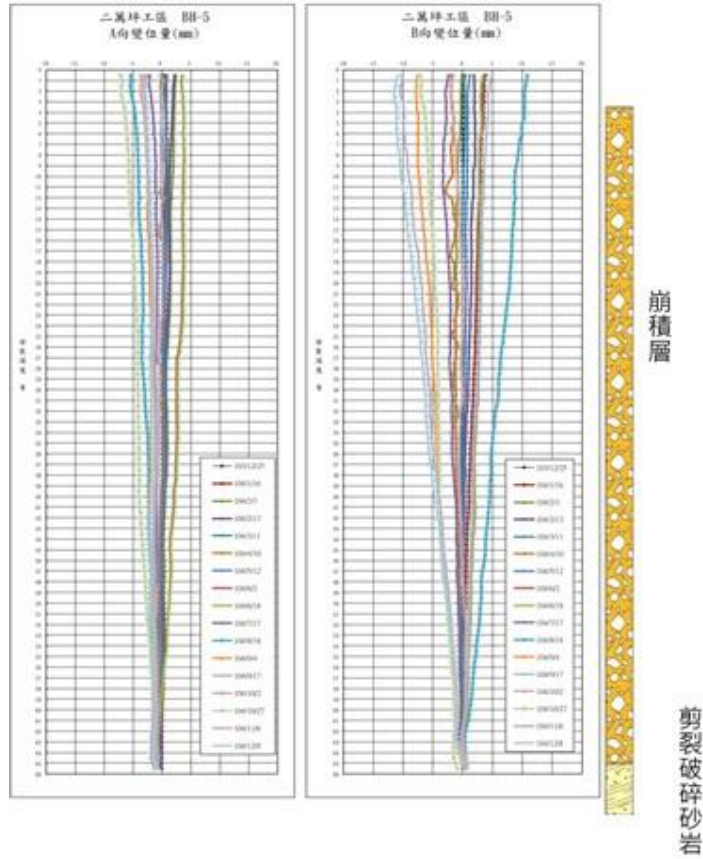


圖 3-71 二萬坪 EWP103-A-SIOW5 監測結果(103/12/25~104/12/8)

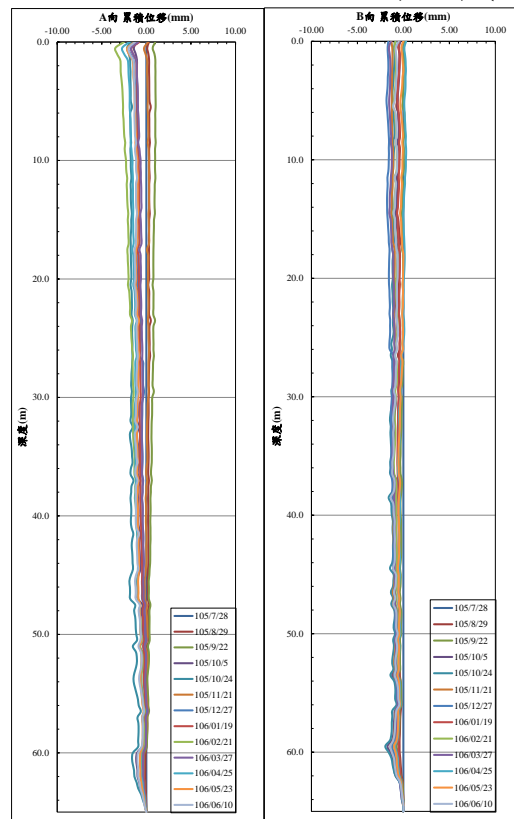


圖 3-72 二萬坪 EWP103-A-SIOW5 監測結果(105/7/28~106/6/10)

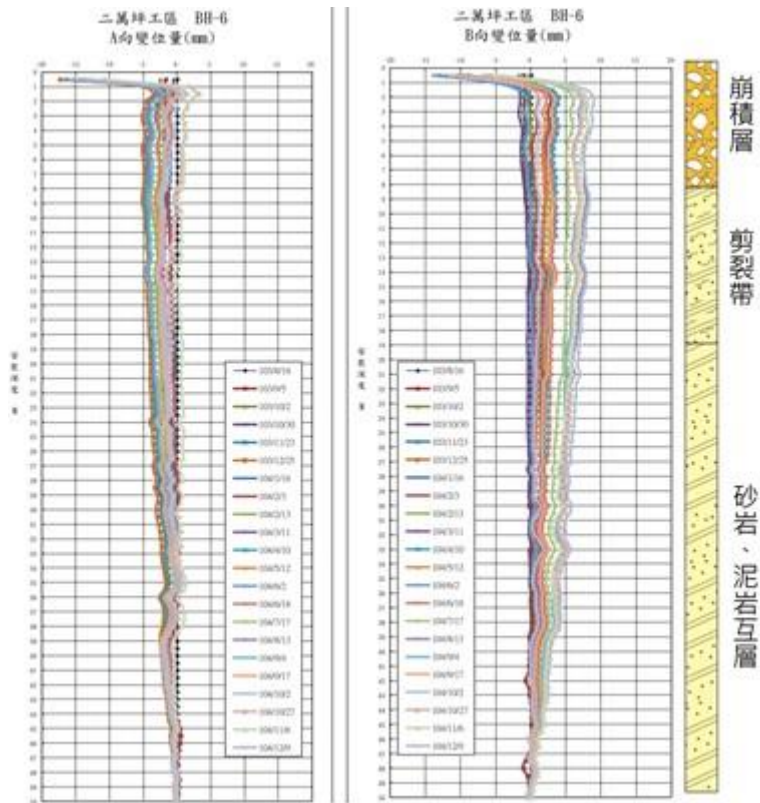


圖 3-73 二萬坪 EWP103-A-SIOW6 監測結果(103/12/25~104/12/8)

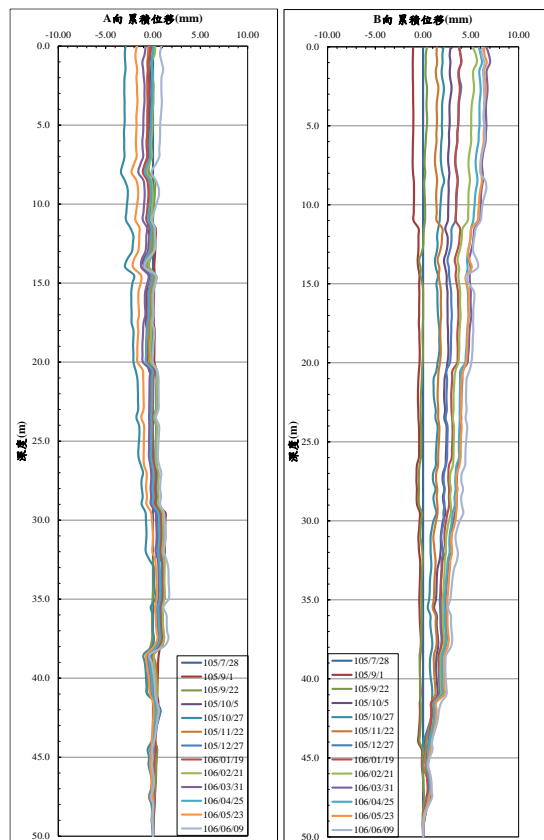


圖 3-74 二萬坪 EWP103-A-SIOW6 監測結果(105/7/28~106/6/9)

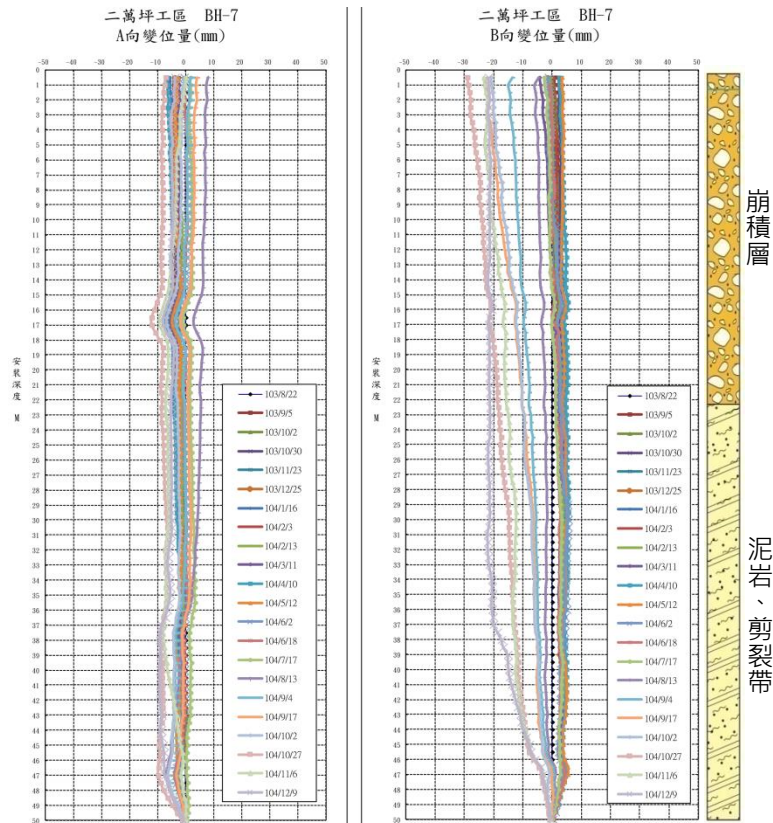


圖 3-75 二萬坪 EWP103-A-SIOW7 監測結果(103/8/22~104/12/9)

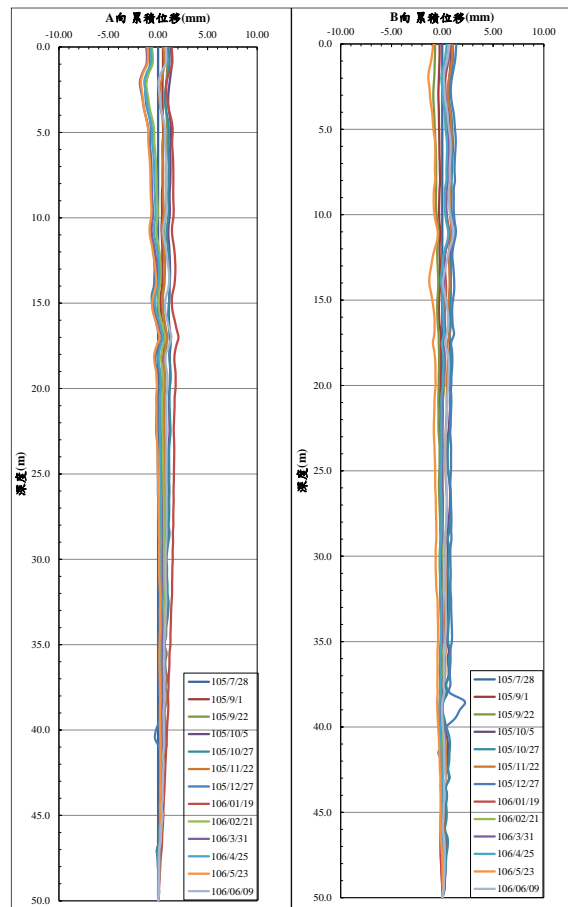


圖 3-76 二萬坪 EWP103-A-SIOW7 監測結果(105/7/28~106/6/9)

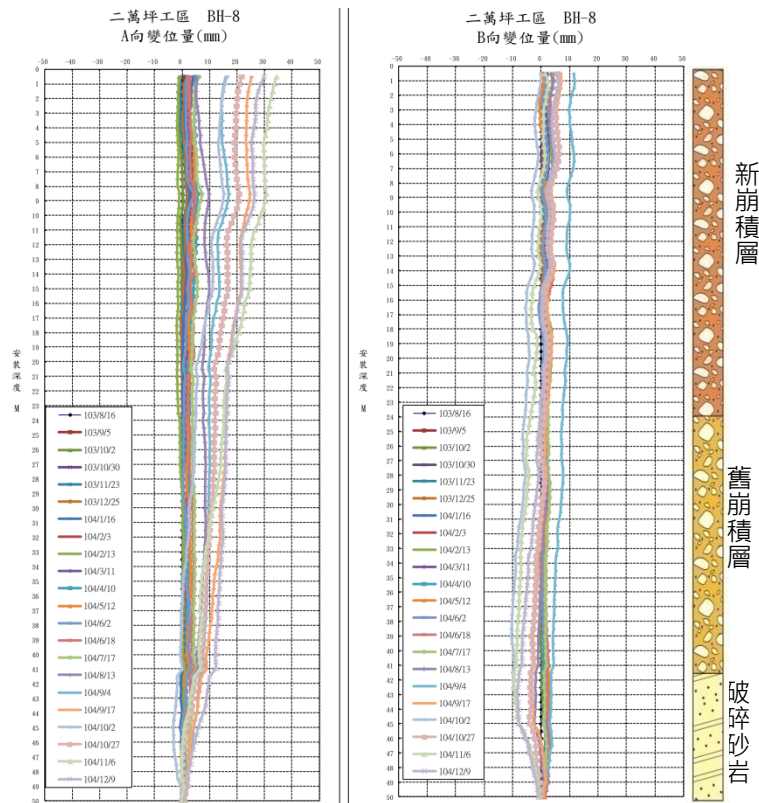


圖 3-77 二萬坪 EWP103-A-SIOW8 監測結果(103/8/16~104/12/9)

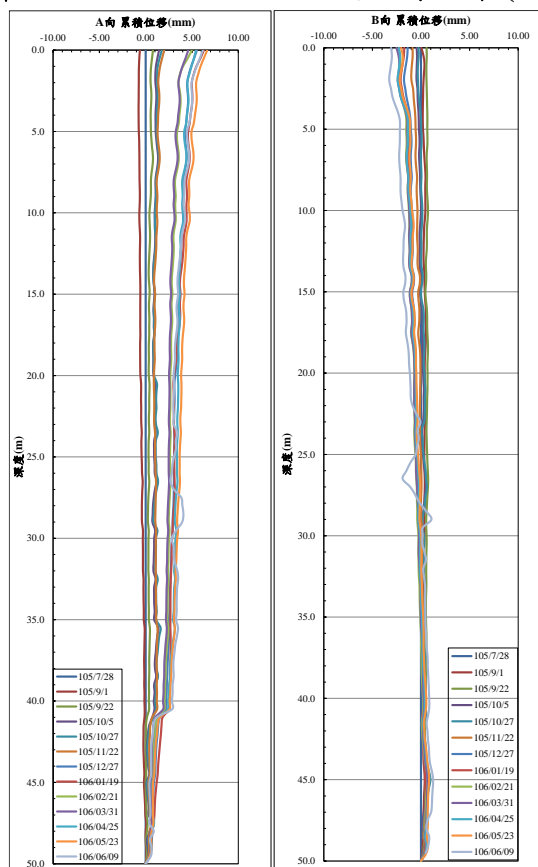


圖 3-78 二萬坪 EWP103-A-SIOW8 監測結果(105/7/28~106/6/9)

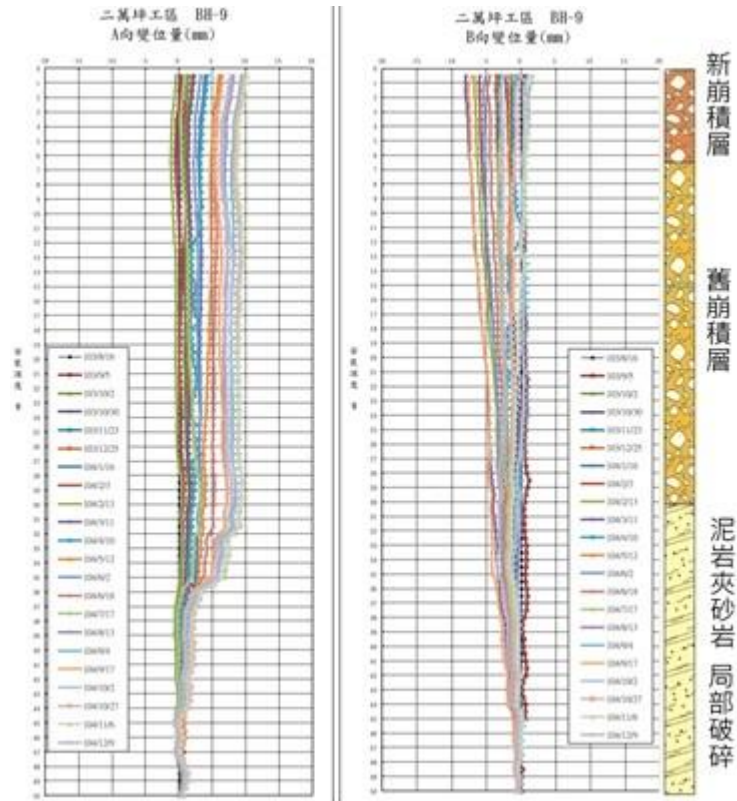


圖 3-79 二萬坪 EWP103-A-SIOW9 監測結果(103/8/16~104/12/9)

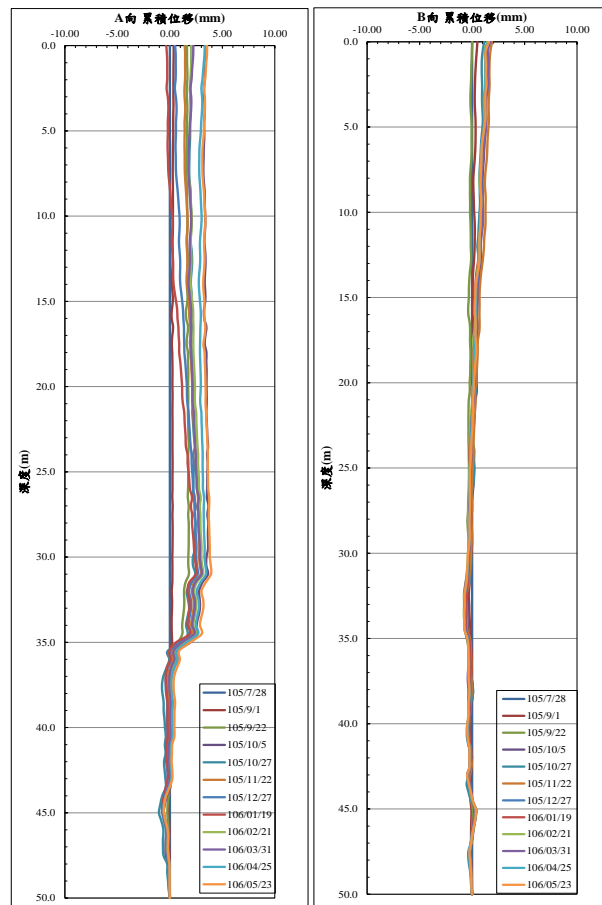


圖 3-80 二萬坪 EWP103-A-SIOW9 監測結果(103/8/16~106/5/23)

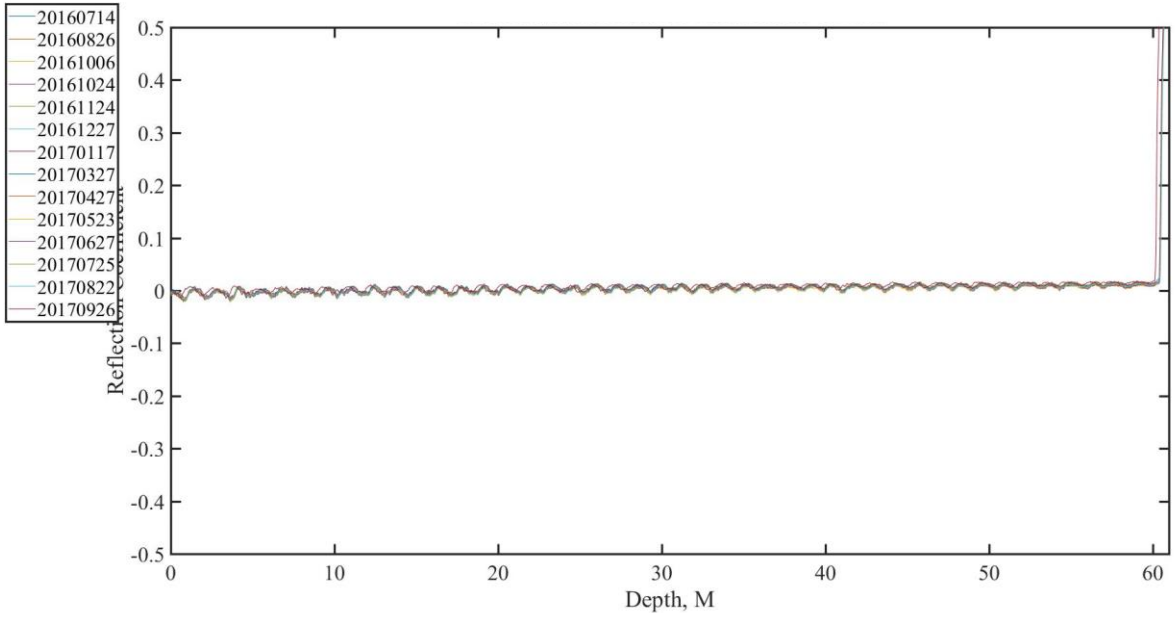


圖 3-81 TDR 量測結果(105/7/14-106/9/26)

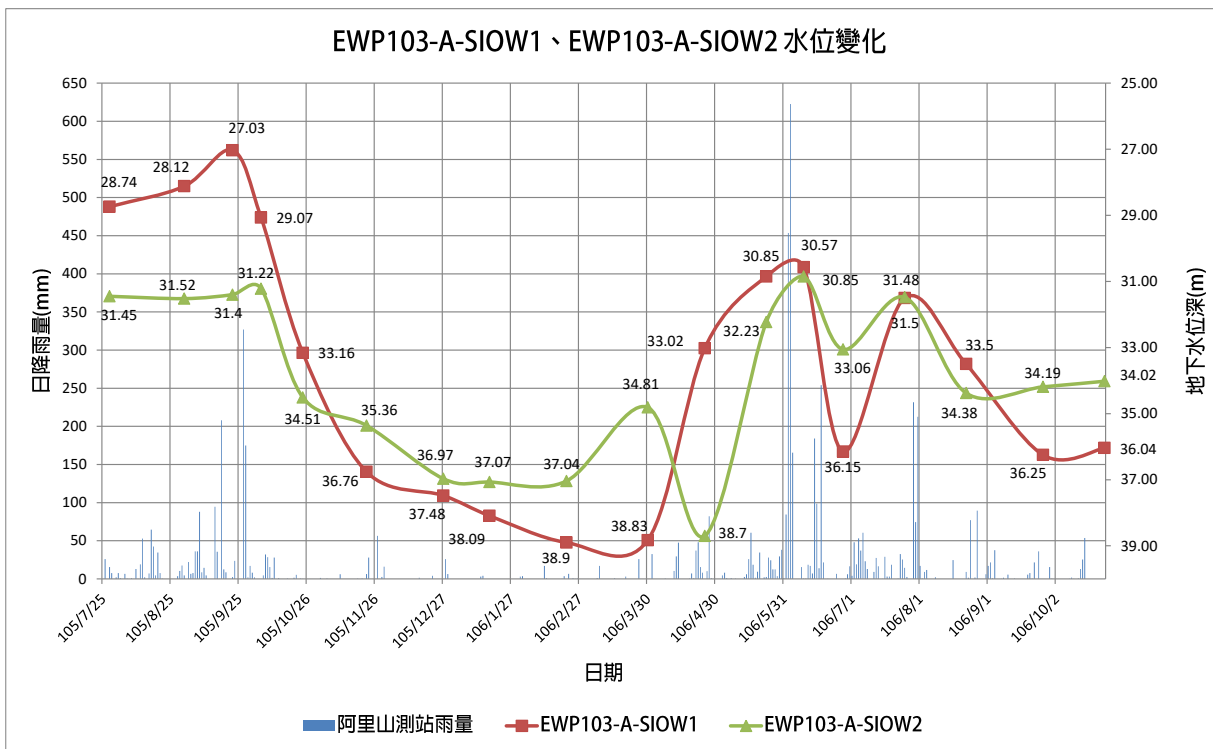


圖 3-82 二萬坪水位變化圖 1(近遊樂區門口)

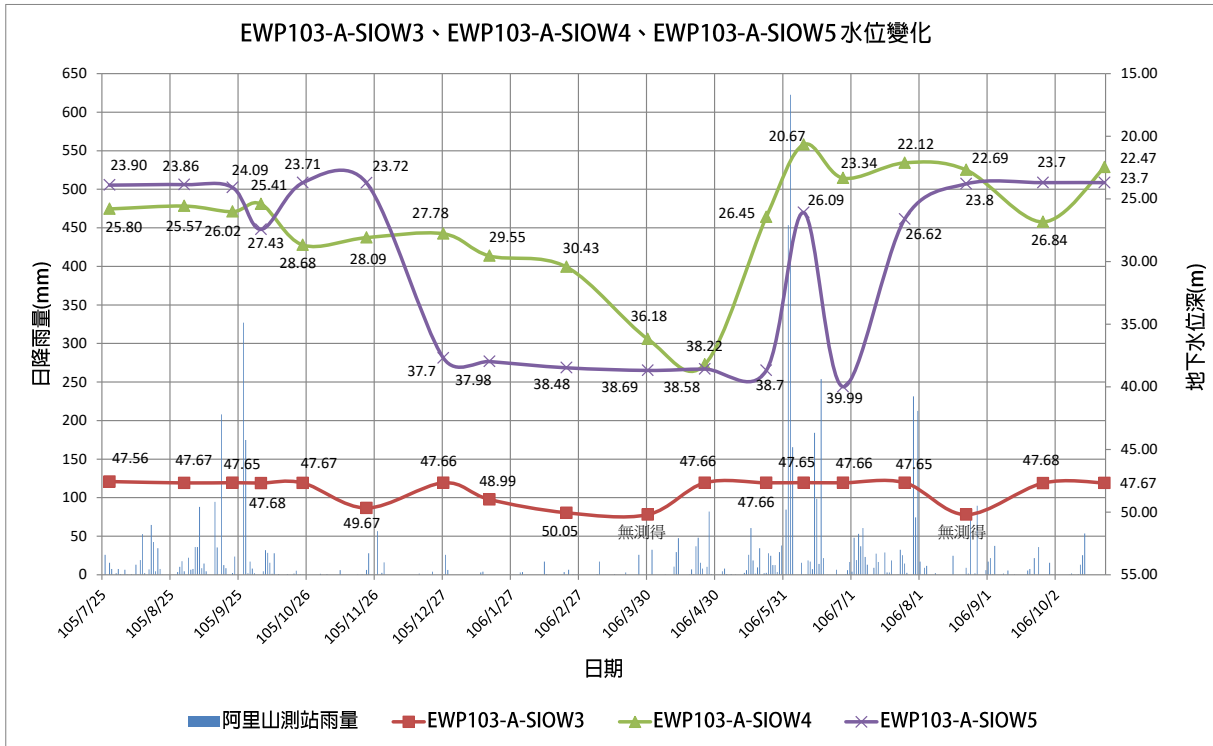


圖 3-83 二萬坪水位變化圖 2(近青年活動中心)

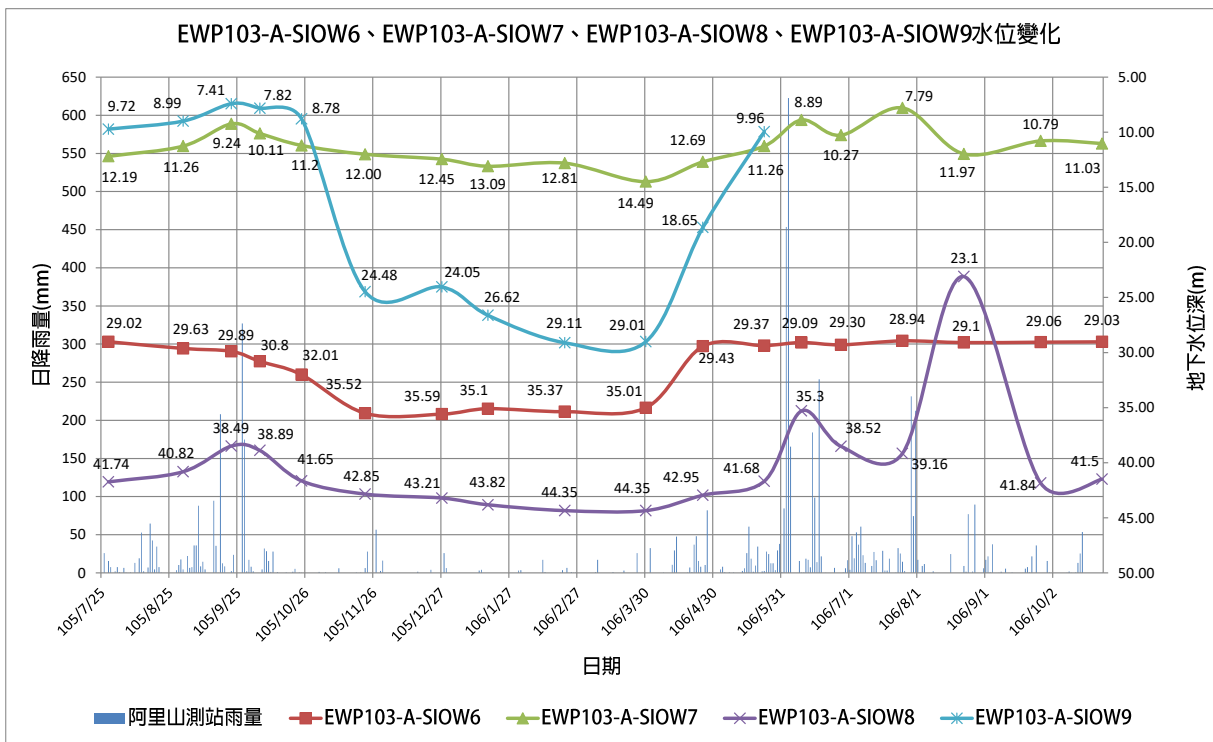


圖 3-84 二萬坪水位變化圖 3(崩坍地區)

(四)阿里山森鐵第一分道監測結果分析

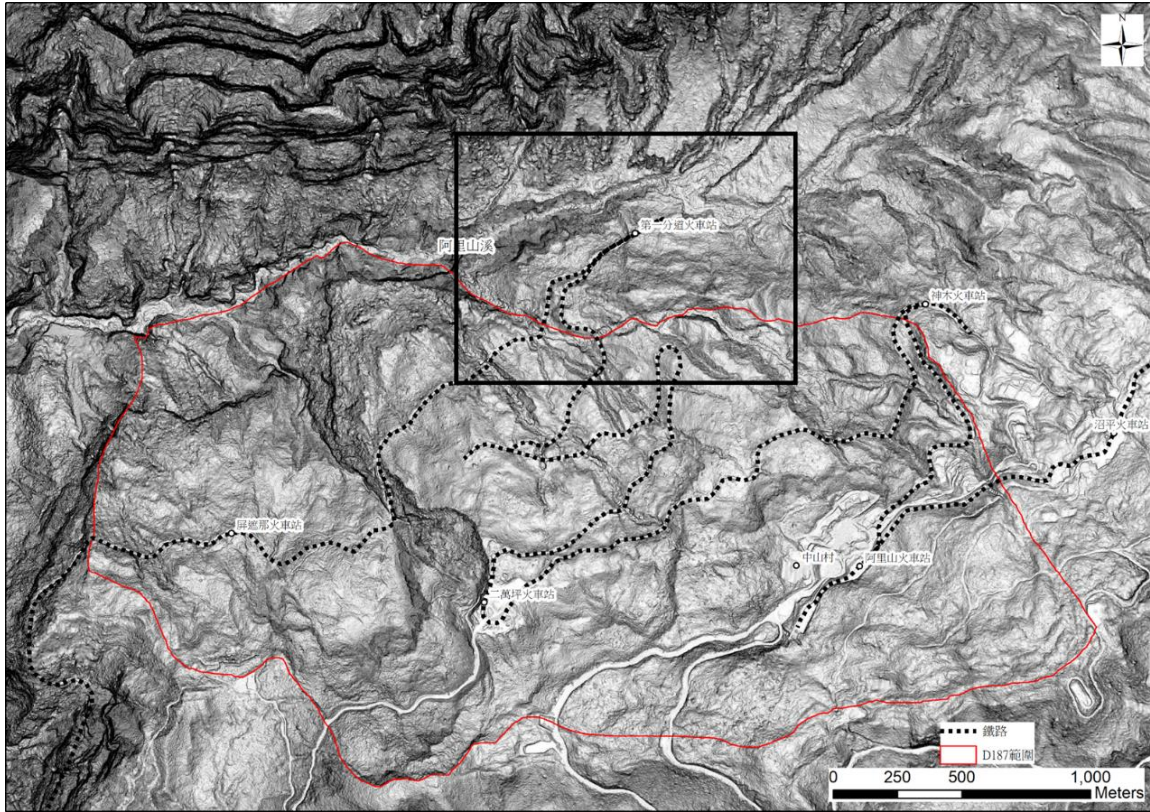
根據「森林鐵路第一分道周邊整治工程-地質鑽探報告」(105 年 1 月)、「105 年度森林鐵路屏遮那至二萬坪周邊改善工程」(106 年 1 月 5 日開工)、「精巧型邊坡監測儀器於阿里山森鐵第一分道之應用研究 105 年 5 月監測報告書」(105 年 6 月)、「嘉義縣阿里山鄉阿里山森林鐵路第一分道森鐵里程 62k+490~62k+820 間周邊整治工程安全監測工作」(106 年 8 月 22 日)與阿里山森林遊樂區及奮起湖地區安全監測及林道地錨檢測期末報告(105 年 11 月)等文獻報告，綜合整理第一分道之地形、地質與監測結果。最後補充現地調查之照片與數值地表模型之立體影像，說明現勘之觀察結果。

阿里山森林鐵路沿線第一分道之位置緊鄰於 D187 之北側(圖 3-85)，僅存在一小山脊與 D187 集水區範圍分隔，而第一分道所在邊坡之坡向為西北，其下邊坡即為阿里山溪上游段(圖 3-86)，此段鐵軌高程介於 1820 m 至 1830 m，第一分道之平台與阿里山溪河谷落差約介於 70 m 至 100m(沿坡面方向，以圖 3-86 中兩條雙箭頭線段為例)，由於阿里山溪下切造成河道邊坡失穩，亦可能影響第一分道路基不穩定，近幾年第一分道附近曾有鐵軌不均勻沉陷及擋土牆開裂之現象，嘉義林管處為了解其原因及治理，而於本區域進行 13 孔地質鑽探與監測(圖 3-87)。

根據行政院農業委員會嘉義林區管理處 105 年 1 月「森林鐵路第一分道周邊整治工程-地質鑽探報告」，鑽孔位置(BH-1~BH-6)與地層剖面圖(圖 3-87 和圖 3-88)，本區邊坡地下分為兩層，即岩塊堆積層(9~56.4m)及岩層青灰色中至粗粒砂岩夾薄層頁岩以及灰黑色頁岩和薄層砂岩互層，岩心多處可見剪裂泥，報告中顯示本區岩層位態為 $N32^{\circ}E/20^{\circ}N$ (圖 3-88)，因坡向大致為西北，故此區邊坡為順向坡，如圖 3-88 之 AA'和 CC'剖面所示(註：BB'剖面中岩層之視傾角應為 10.6°)。根據 105 年度森林鐵路屏遮那至二萬坪周邊改善工程報告，本區共有四鑽探 C1 ~ C4 (圖 3-87)，參考岩心柱狀圖記錄與岩心照片，本計畫將地層歸類二層，即岩塊堆積層(黃棕色或灰色崩積層夾黃棕色或灰色砂、頁岩塊、回填黃棕色砂土夾岩塊、灰色剪裂泥夾灰色黃棕色破碎頁岩、破碎灰色頁岩或

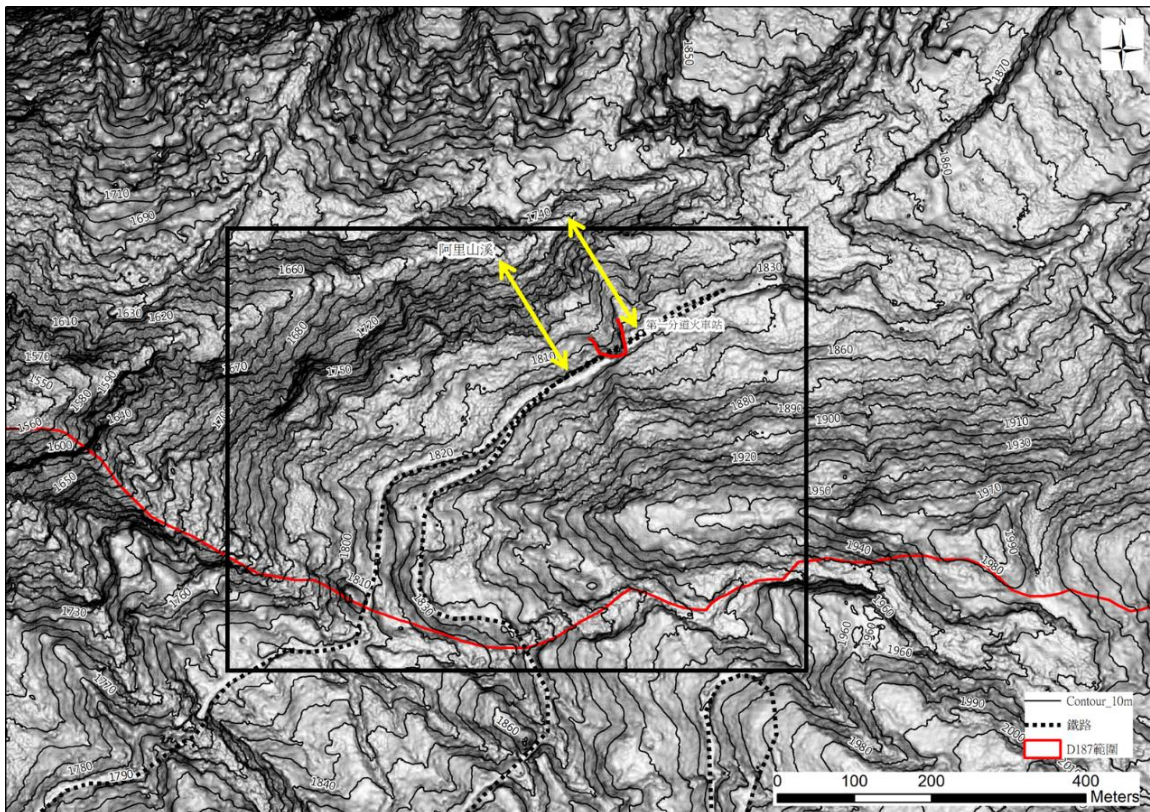
砂頁岩互層夾剪裂泥和棕灰色砂岩塊夾砂質粉土、岩屑等)，岩層(灰色砂頁岩薄互層夾破碎岩塊或剪裂泥和新鮮與風化砂岩偶夾頁岩等)。另外，在精巧型邊坡監測儀器於阿里山森鐵第一分道之應用研究 105 年 5 月監測報告書中，於本區有 3 孔鑽井且位置接近前述之脊線，岩塊堆積層較薄；以上 10 孔岩心分層深度分布情形如表 3-10 所示，表中顯示地表覆蓋層 16~56 m 厚的崩積材料或風化岩層，其可能受到阿里山溪下切側向侵蝕向上延伸失去支撐，而發生該層內部或沿其與岩盤之不整合面崩塌，另外兩篇鑽探報告中皆提到岩層中含有多處剪裂帶，故仍有深層潛移作用之可能性存在。

根據 105 年度森林鐵路屏遮那至二萬坪周邊改善工程共有四孔鑽井 C1~C4(圖 3-87)，報告提供鑽孔柱狀圖記錄與岩心照片，據此一樣可將地層歸類為(1)岩塊堆積層：描述方式如黃棕色或灰色崩積層夾黃棕色或灰色砂、頁岩塊、回填黃棕色砂土夾岩塊、灰色剪裂泥夾灰色黃棕色破碎頁岩、破碎灰色頁岩或砂頁岩互層夾剪裂泥和棕灰色砂岩塊夾砂質粉土、岩屑等，(2)岩層：描述方式如灰色砂頁岩薄互層夾破碎岩塊或剪裂泥和新鮮與風化砂岩偶夾頁岩等；以上 10 孔岩心分層深度分布情形如表 3-8 所示，總結此區域地表覆蓋一層 16.3~56.4 m 厚的崩積材料或風化岩層，其可能受到阿里山溪下切側向侵蝕向上延伸失去支撐，而發生該層內部或沿其與岩盤之不整合面崩塌，此外，其下伏岩層厚度至少約 50 m 以上，以及兩篇鑽探報告中皆提到岩層中含有多處剪裂帶，故仍有深層潛移作用之可能性存在。



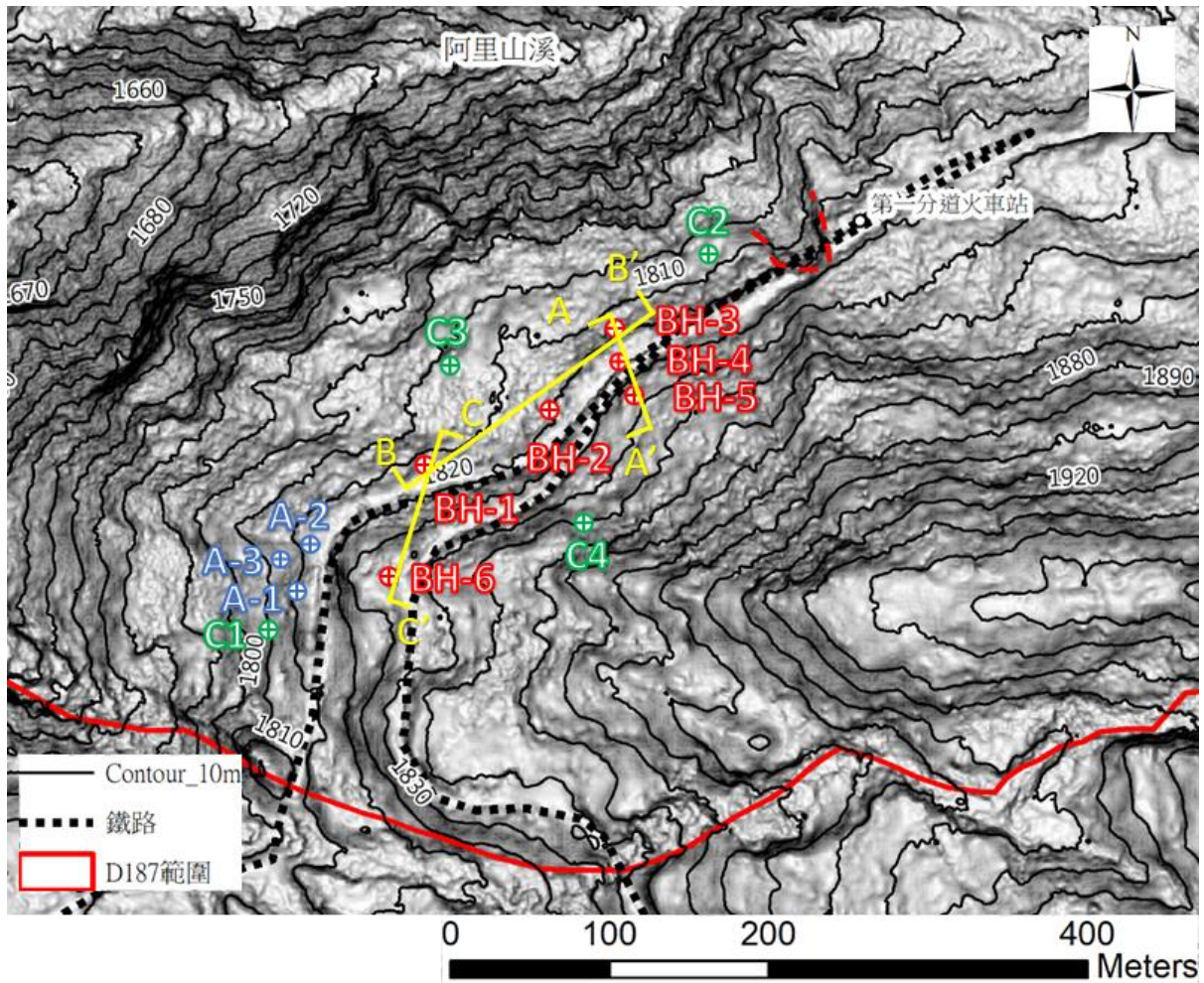
(黑色方框為圖 3-86)

圖 3-85 第一分道與 D187 位置關係之坡度圖



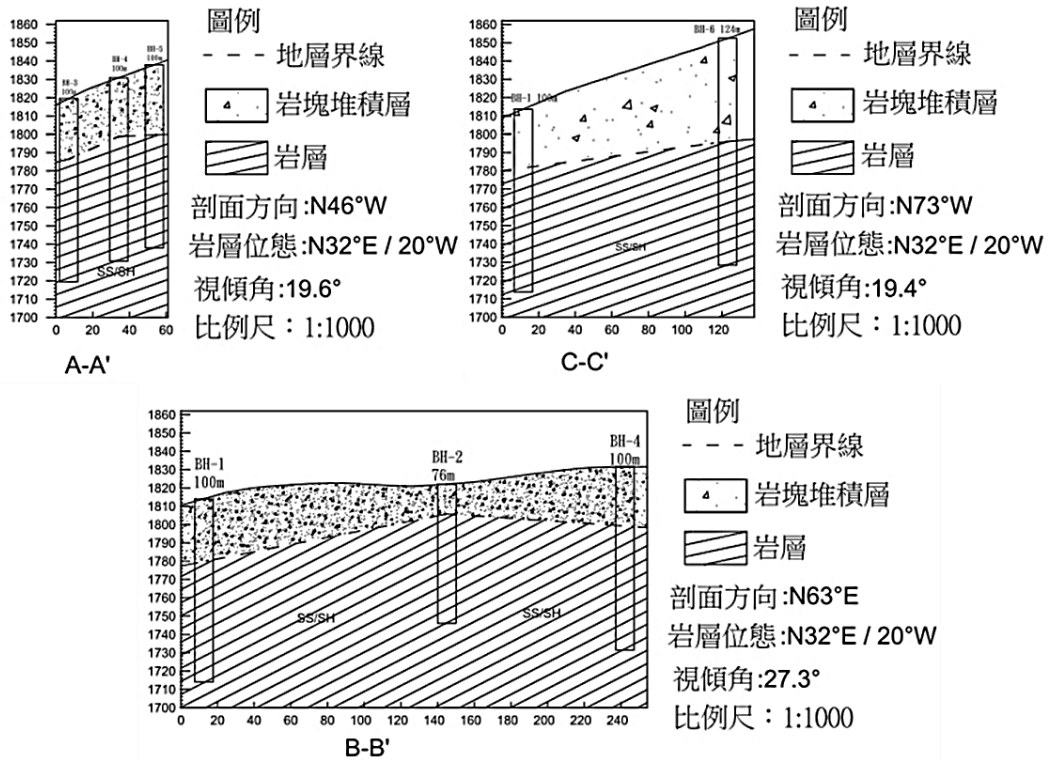
(黑色方框為圖 3-87)

圖 3-86 第一分道之坡度地形圖



- ⊕ A-1~A-3 (精巧型邊坡監測儀器於阿里山森鐵第一分道之應用研究)
- ⊕ BH-1~BH-6 (森林鐵路第一分道周邊整治工程地質鑽探報告)
- ⊕ C1~C4 (105 年度森林鐵路屏遮那至二萬坪周邊改善工程)

圖 3-87 第一分道區域之鑽孔與 AA'、BB'、CC'剖面位置分布圖



(摘自森林鐵路第一分道周邊整治工程 - 地質鑽探報告(2016))

圖 3-88 第一分道區域之 AA'、BB'、CC'地層剖面圖

表 3-10 地層深度分布表

孔號	岩塊堆積層與岩層交界深度(m)	鑽孔深度(m)
A-1	9	100
A-2	16	70
A-3	9	100
BH-1	32.5	100
BH-2	16.3	76
BH-3	33.1	100
BH-4	32.0	100
BH-5	38.3	100
BH-6	56.4	120
C1	22.0	80
C2	29.8	80
C3	21.8	80
C4	27.9	80

(修改自精巧型邊坡監測儀器於阿里山森鐵第一分道之應用研究 105 年 5 月監測報告書、森林鐵路第一分道周邊整治工程-地質鑽探報告與森林鐵路屏遮那至二萬坪周邊改善工程)

嘉義林管處於 104 年至 105 年針對第一分道附近進行「精巧型邊坡監測儀器於阿里山森鐵第一分道之應用研究」，於前述鑽孔之 A-1~A-3 設置 3 組孔內傾斜管、6 組地盤傾滑計 $T_1\sim T_6$ (含坡面傾斜感應計、土壤含水量水份計等)(圖 3-89)。

孔內傾斜管監測結果如圖 3-90 至圖 3-92 所示(104/05/29 ~ 105/05/12 期間共六次量測結果)，圖中 A 方向往下坡方向為正與 B 方向(面對 A 正方向順時針 90 度方向為正)，A-1 之結果顯示岩塊堆積層與岩層中數處呈彎曲，可能為回填不實空洞或剪裂帶存在造成。深度 37m~38m 處於 B 方向至孔口累積位移約 60 mm，可能是層面間之剪動；A-2 量測數據顯示 A 方向於深度 10 m 處可能有一滑動帶形成於崩積層中，B 方向有多處呈彎曲型；A-3 量測結果於 A 和 B 方向含有部分彎曲型，深度 13 m 處似乎存在崩積層與岩層之不整合面的滑動，岩層內似乎亦存在滑動面。本報告的孔內傾度管可能因裝設時回填不實，故整體水平滑動量測品質不佳，甚難以其量測值評估邊坡的活動性。然由量測結果顯示崩積層內、崩積層與岩盤界面、及岩層內皆存在明顯的滑動面，顯示本區域邊坡呈不穩定狀態，第一分道附近的軌道、擋牆的損壞與前述邊坡不穩定相關，至於其整治方式則有待進一步監測及進行邊坡穩定分析加以建議。

六組地盤傾滑計 $T_1\sim T_6$ (或稱精巧型監測儀器)監測結果如圖 3-94 至圖 3-98 所示(記錄期間為 104 年 7 月 1 日至 105 年 5 月 16 日)，根據監測報告結論所述，當降雨少且持續一段時間後，土壤含水量略微降低，同時土中傾斜管變位量也會較小，表示監測土壤含水量應可推估邊坡之活動行為，但此監測值可能僅反應淺層區，即為地下水水位面變動範圍，對於崩積層與岩盤之不整合面或岩層內深部剪動應與剪動帶所受之水壓有更直接關係，由其結論顯示本地表傾滑計無助於評估大規模崩塌潛勢區的活動性。

依據「阿里山森林鐵路第一分道森鐵里程 62k+490~62k+820 間周邊整治工程安全監測工作」(106 年 8 月 22 日)所述，監測項目包含孔內傾斜管 6 處(SIS-1~SIS-6 裝設於 BH-1~BH-6)(圖 3-99 至圖 3-104)，監

測結果顯示，大部分傾斜管可能因回填不實，量測結果皆呈現多處 S 型的曲線，故整體水平滑動量測品質不佳，甚難以其量測值評估邊坡的活動性。由前述結果圖上可判斷 SIS-1 約於地下 10 m(崩積層內)，SIS-2 約於地下 10 m(崩積層內)，SIS-3 約於地下 35 m(崩積層與岩盤界面)，SIS-4 約於地下 35 m，SIS-5 約於地下 35 m(崩積層與岩盤界面或其下的頁岩層內)，SIS-6 約於地表下 10 m(崩積層內)存在明顯滑動面。此監測結果與「精巧型邊坡監測儀器於阿里山森鐵第一分道之應用研究」監測結果雷同，建議嘉義林管處以既有鑽探結果、地表地質調查結果製作合理的地質圖及地質剖面圖，再配合孔內傾斜管滑動量測結果及光達地形結果圈繪第一分道附近的崩塌區，作為整治依據。

前述監測結果亦佐證光達地形、二萬坪及中山村的調查、監測結果，D187 因阿里山溪及區內的沖蝕溝的切割，D187 鄰阿里山溪的坡地皆存在崩積層或岩盤界面的滑動，岩層內亦呈現滑動跡象，至於其是否為大規模的順向滑動(潛移)或局部的剪裂帶滑動及其活動性，有待進一步有系統的調查及監測加以判釋。

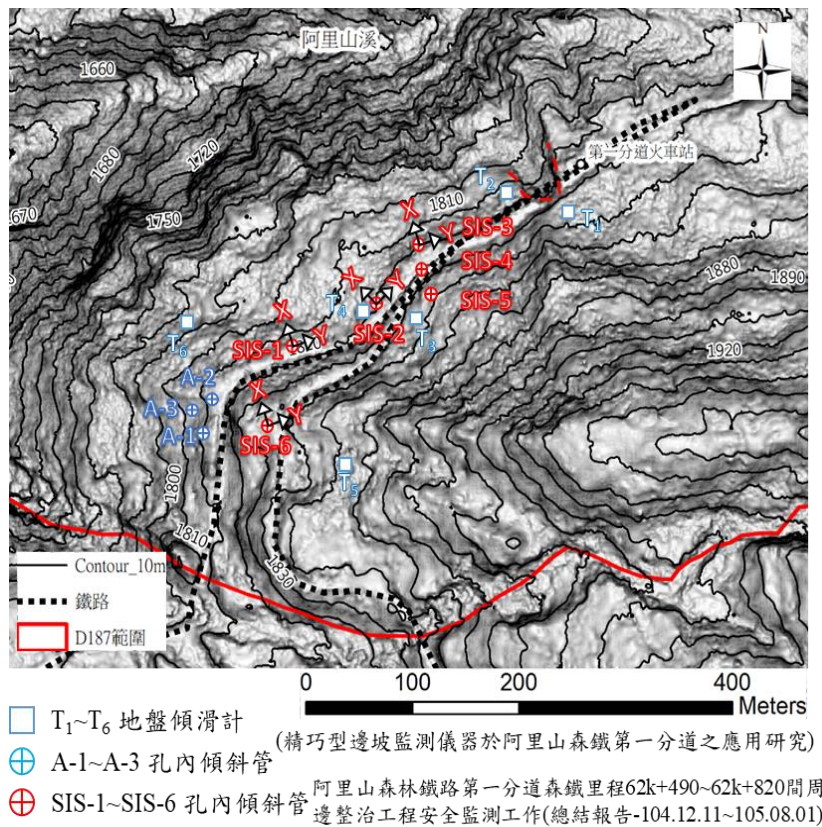


圖 3-89 第一分道區域孔內傾斜管與地盤傾滑計位置分布圖

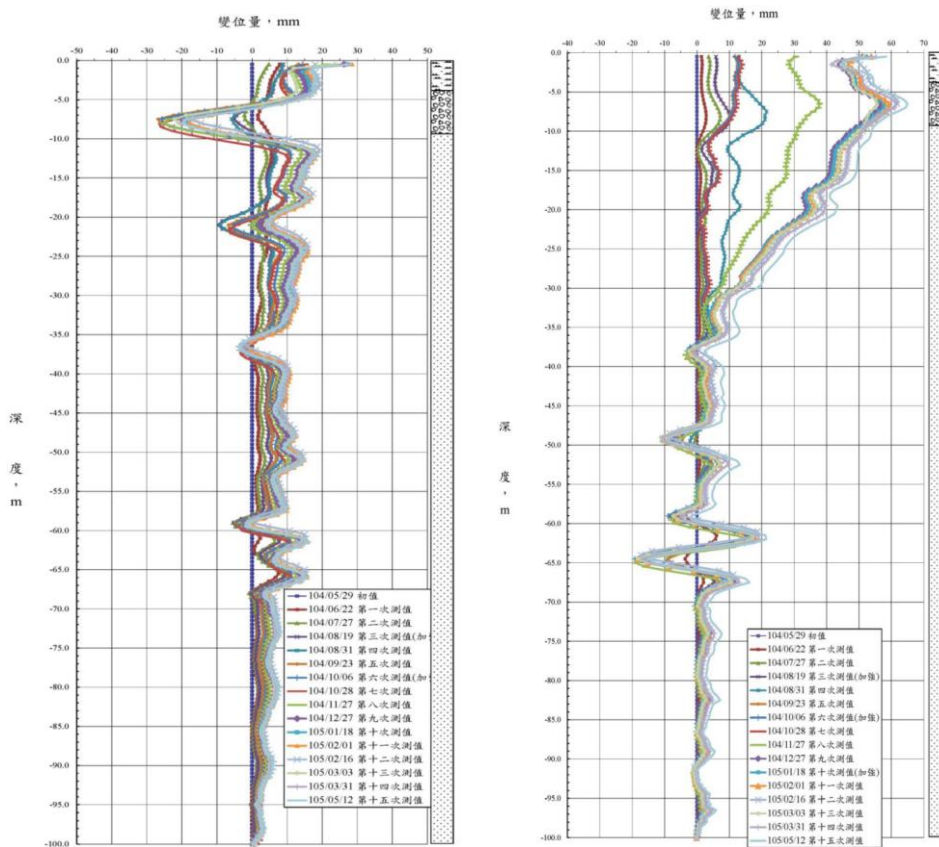


圖 3-90 孔內傾斜管 A-1 之 A、B 方向監測結果(104/05/29~105/05/12)

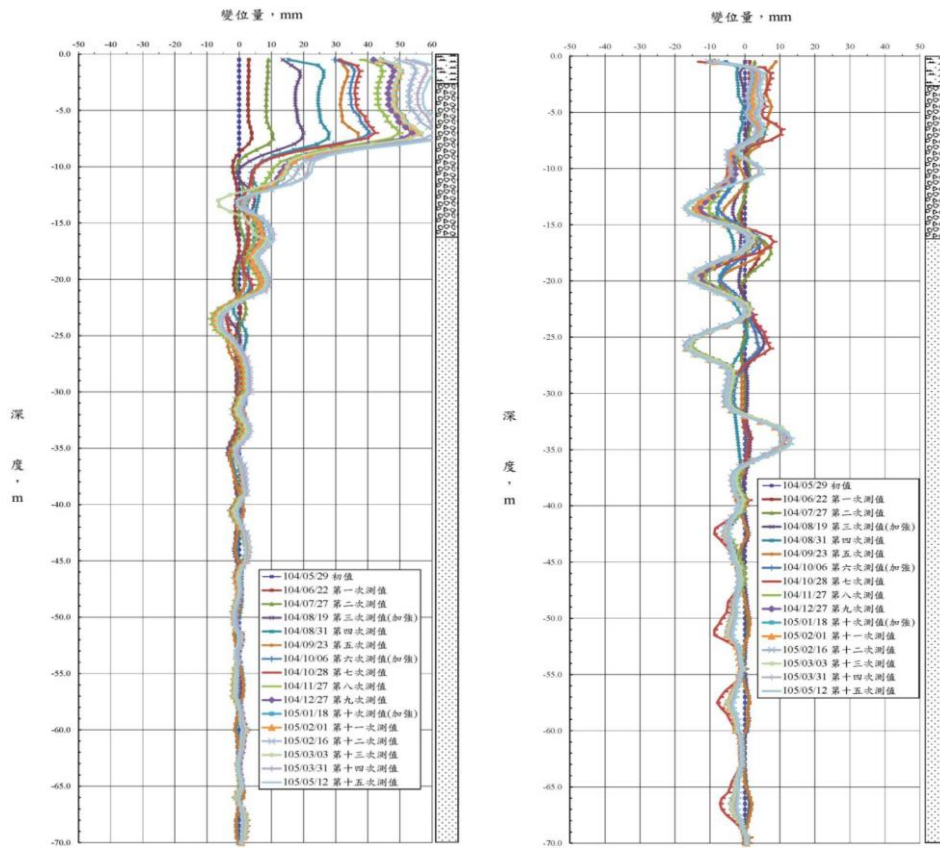


圖 3-91 孔內傾斜管 A-2 之 A、B 方向監測結果(104/05/29~105/05/12)

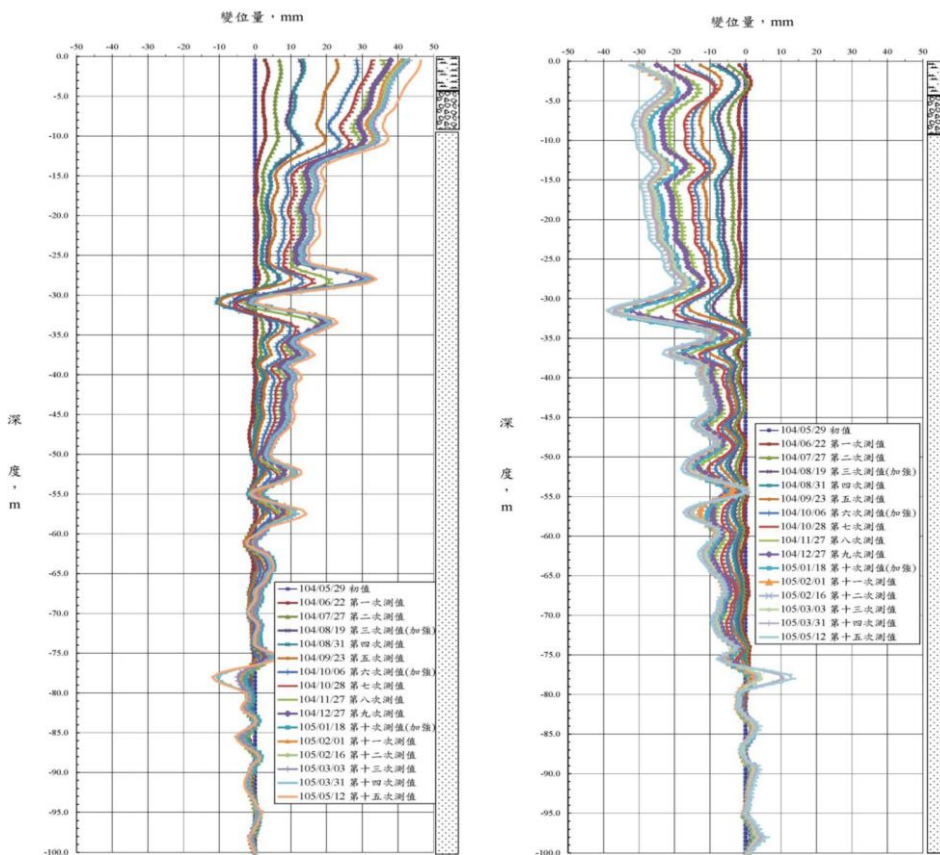


圖 3-92 孔內傾斜管 A-3 之 A、B 方向監測結果(104/05/29~105/05/12)

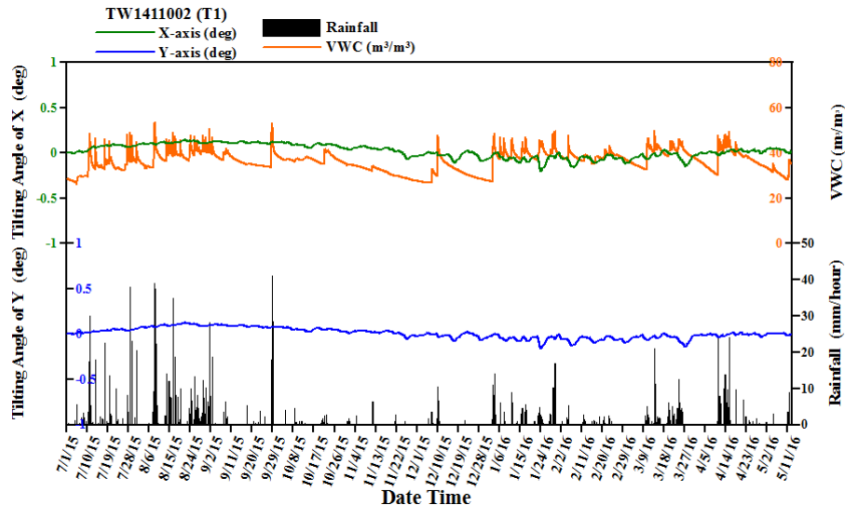


圖 3-93 精巧型監測儀器 T1 組之歷時變化曲線圖

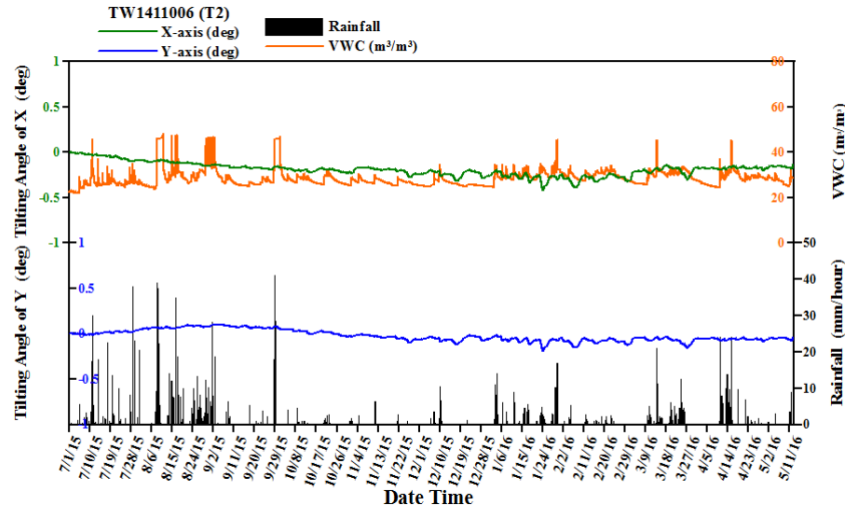


圖 3-94 精巧型監測儀器 T2 組之歷時變化曲線圖

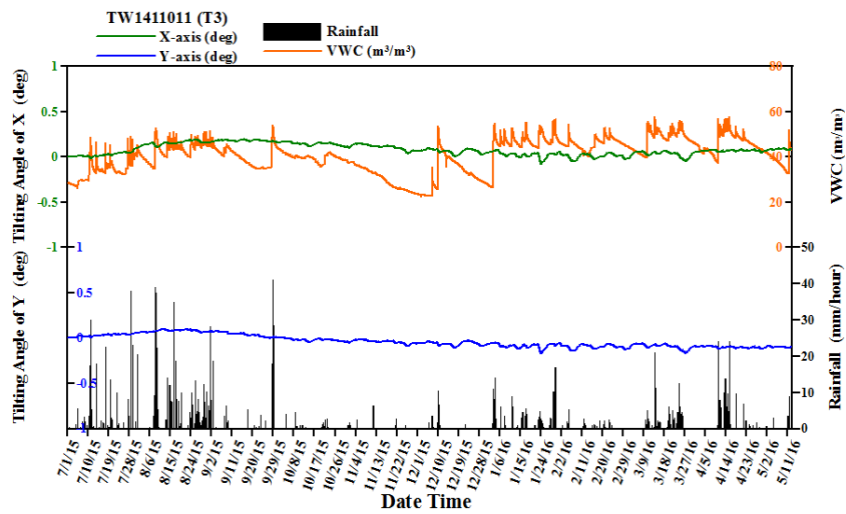


圖 3-95 精巧型監測儀器 T3 組之歷時變化曲線圖

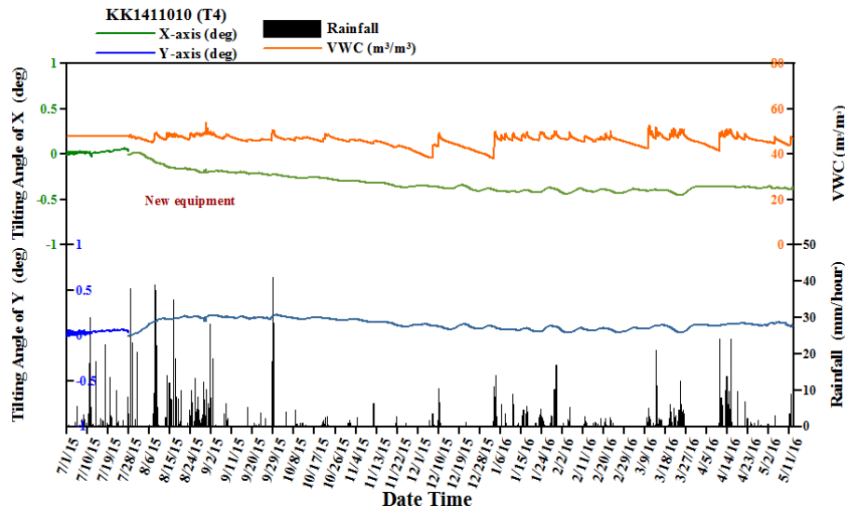


圖 3-96 精巧型監測儀器 T4 組之歷時變化曲線圖

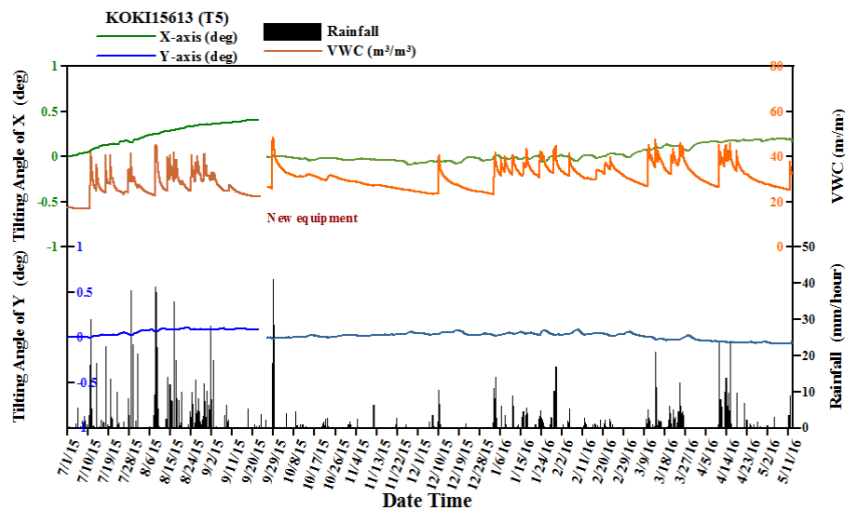


圖 3-97 精巧型監測儀器 T5 組之歷時變化曲線圖

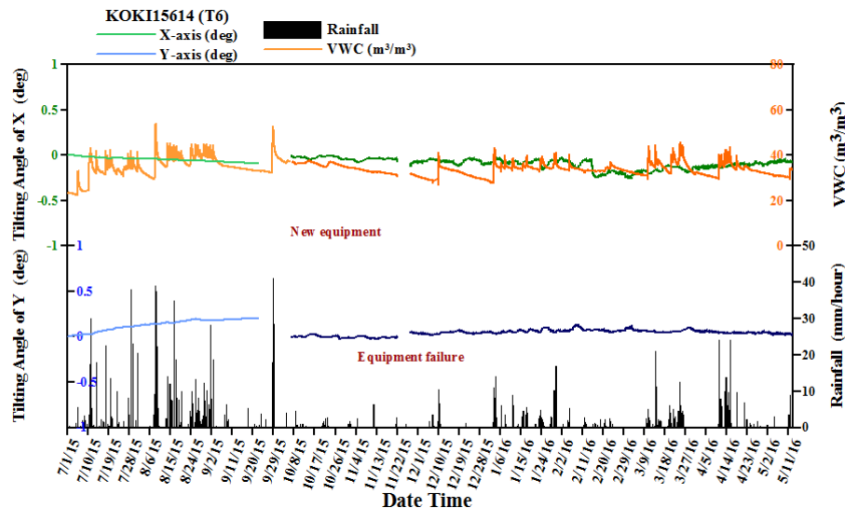


圖 3-98 精巧型監測儀器 T6 之歷時變化曲線圖

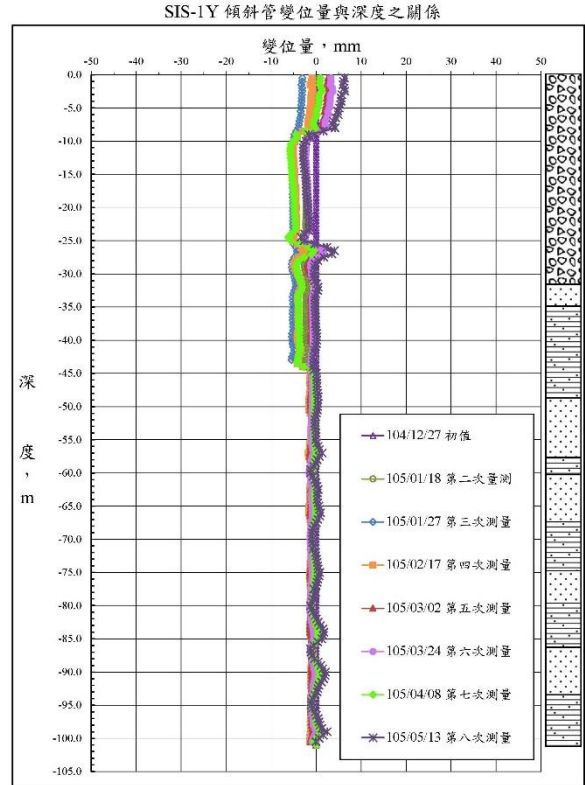
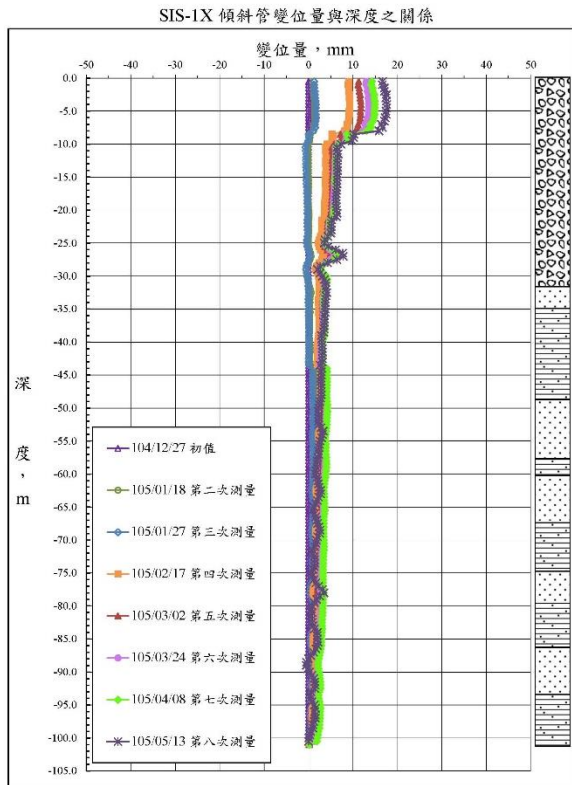


圖 3-99 SIS-1 變位曲線圖(105/1/18~105/5/13)

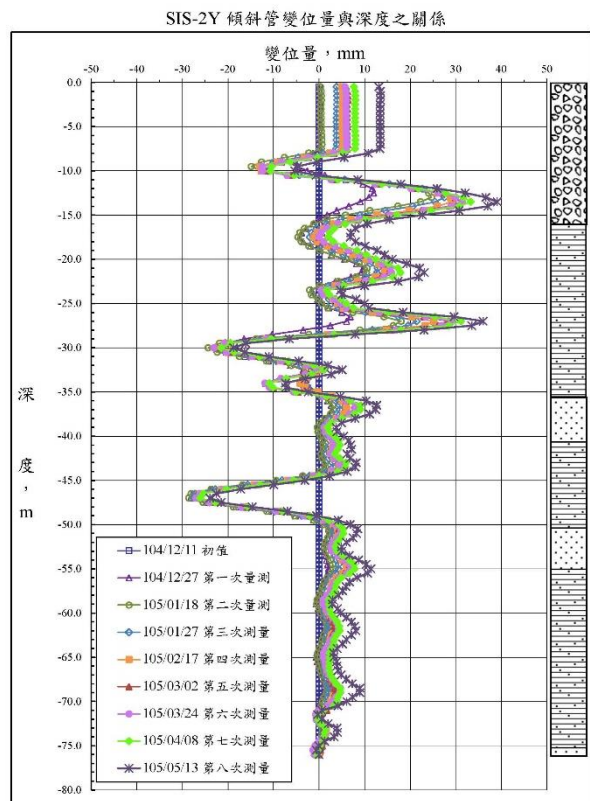
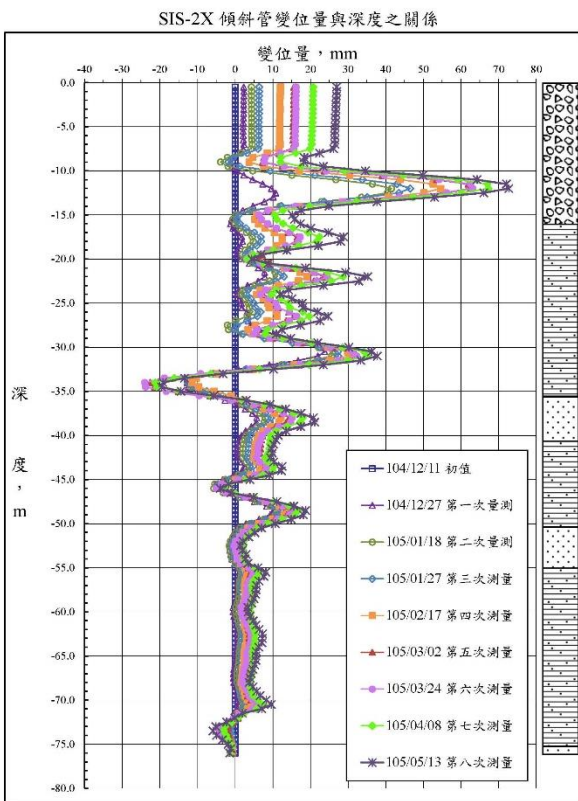


圖 3-100 SIS-2 變位曲線(104/12/27~105/5/13)

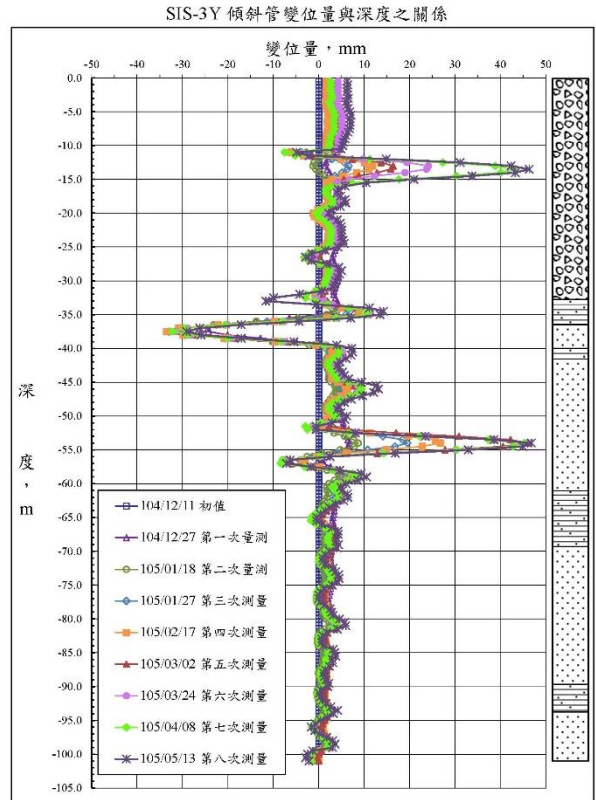
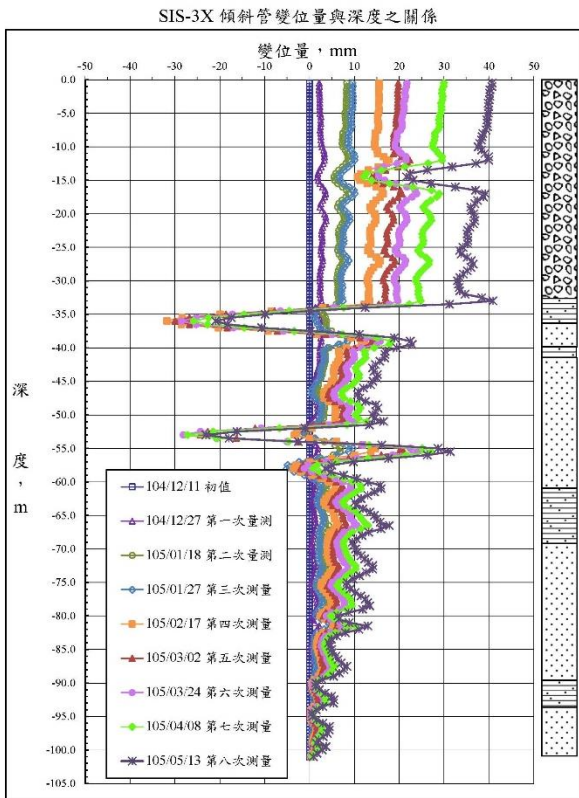


圖 3-101 SIS-3 變位曲線圖(104/12/27~105/5/13)

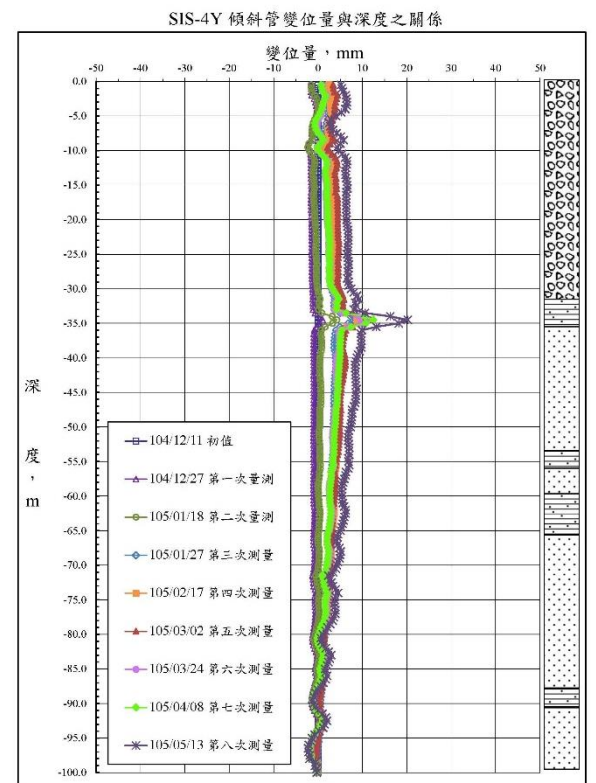
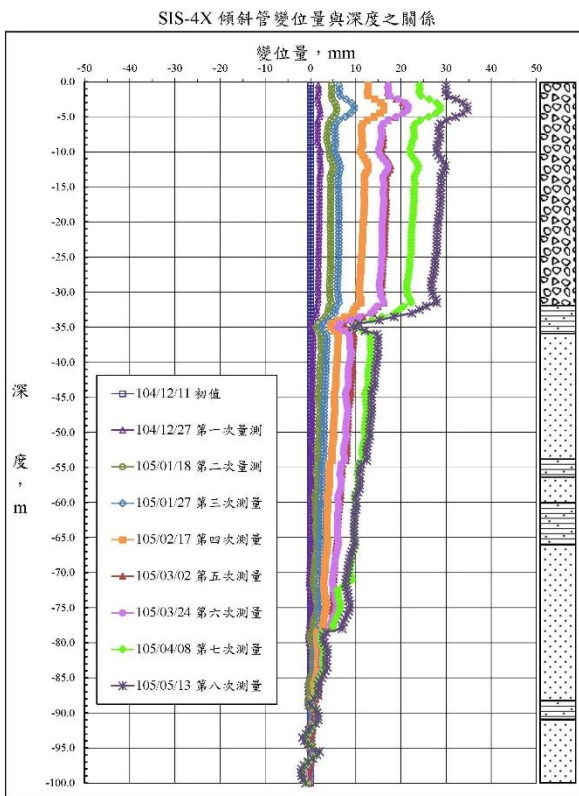


圖 3-102 SIS-4 變位曲線圖(104/12/27~105/5/13)

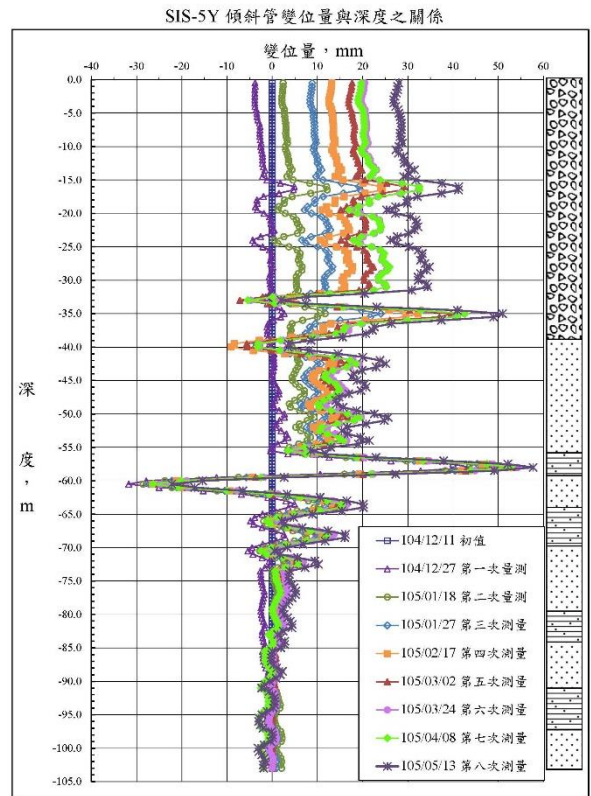
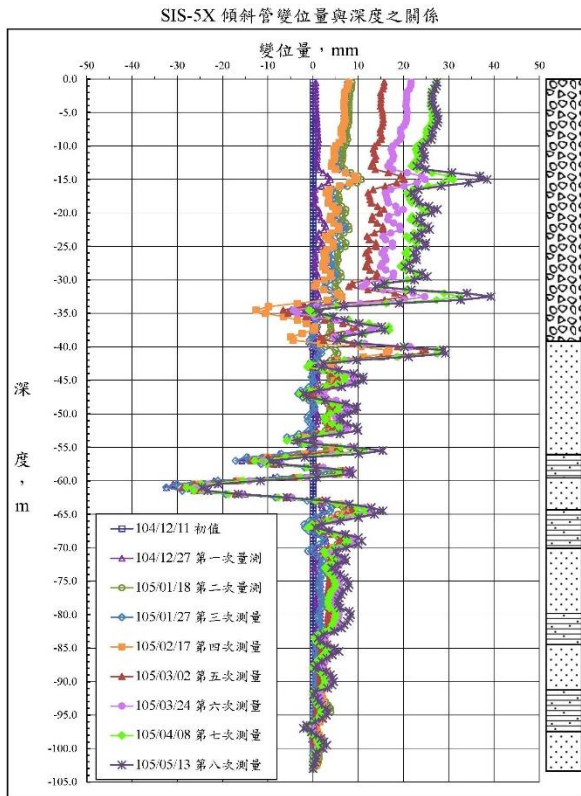


圖 3-103 SIS-5 變位曲線圖(104/12/27~105/5/13)

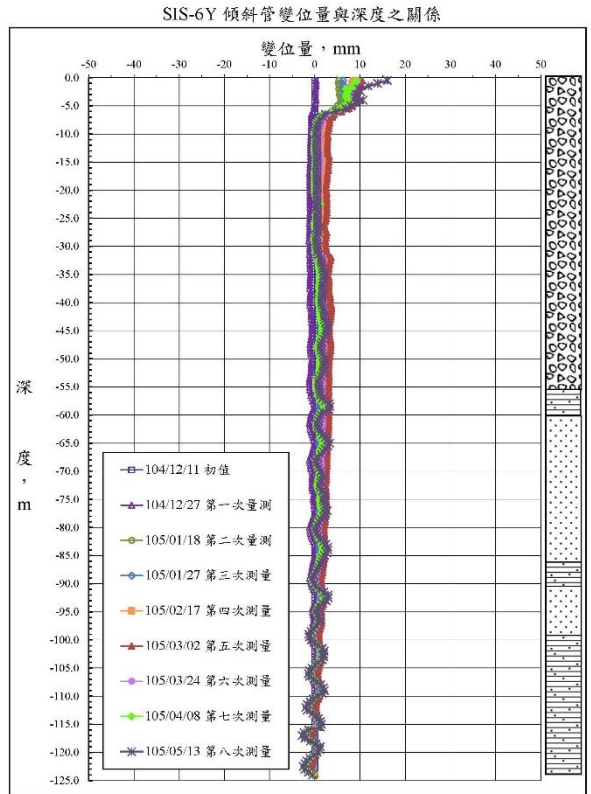
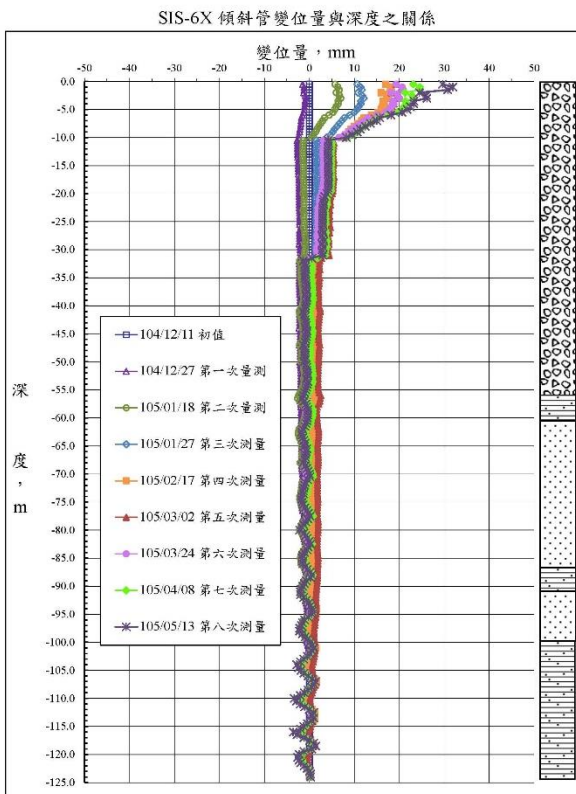


圖 3-104 SIS-6 變位曲線圖(104/12/27~105/5/13)

本計畫於 106 年 9 月 7 日由嘉義林管處沈宜慶技正協助進行第一分道下方的阿里山溪現勘及 UAV 拍攝。現勘調查路線由第一分道下切至阿里山溪開始(圖 3-105)，下切時發現許多小崖(圖 3-106)，可能為岩塊堆積層內部滑動所造成，但無監測與鑽井岩心可驗證此推論。下切至阿里山溪溪谷後，可觀察到溪谷兩側為崩積層不穩定邊坡，邊坡上材料之粒徑可從泥質至中礫，礫石呈角形至次圓形，表示部分材料受水流搬運過或崩移較長距離。大量崩積層與崖錐堆積出現於坡趾(圖 3-107、圖 3-108)，顯示阿里山溪上游之側向侵蝕作用相當活躍，對第一分道鐵軌及其上、下邊坡的穩定性有不利的影響。由於溪谷中有許多巨石不易往下游前進，於溪谷透過遠眺和 UAV 空拍獲取大量影像，並建立數值地表模型(DSM)得以對溪谷兩側之岩層露頭與崩塌面進行觀察，遠眺下游時可看到下游處兩側出露的岩層(圖 3-109)，較近的左岸似乎往南傾斜，呈現逆向坡的現象，但左岸出露岩層的位置已超過第一分道邊坡之範圍，至於右岸出露向北傾之岩層為塔山的趾部，符合大尺度區域向北傾的層面趨勢；UAV 拍攝之影像所建立之有較大範圍展示空間資訊的優勢，圖 3-110 與圖 3-111 分別為空拍影像與 UAV 產製之 DSM 立體影像，由這些影像與 LiDAR 全區域地理空間資訊可大幅地使地形與地物判釋更加容易與有效率。



圖 3-105 由第一分道拉繩索下切位置



圖 3-106 下切途中所遇之數個局部小崖
(高差約 0.5~1m，可觀察延伸約數公尺，可能受地形與植被影響)



圖 3-107 下切至溪谷為崩積層不穩定邊坡



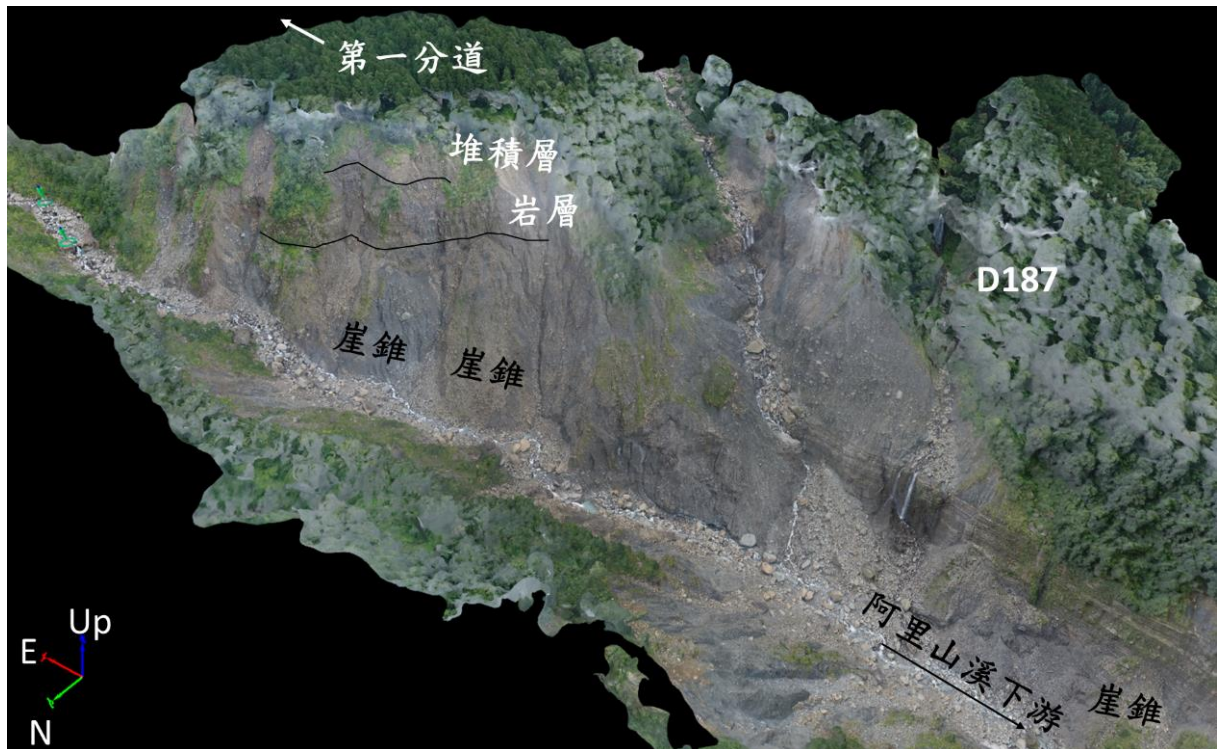
圖 3-108 溪谷兩側崩積層照片



圖 3-109 遠眺下游方向照片
(左岸略呈逆向坡地形，傾角緩；右岸符合大區域層面位態方向)



圖 3-110 UAV 拍攝第一分道邊坡(紅色曲線為主要崩崖)



(該處堆積層材料於 DSM 中測量約 15 m ~ 20 m)

圖 3-111 DSM 立體影像與判釋結果圖

綜合前述之地質、地形、鑽井岩心與監測數據，本計畫藉由 LiDAR 地形產製之陰影圖判釋此邊坡可能之崩崖位置，並且將岩心柱狀圖投影至沿著層面傾向之 MM' 剖面(圖 3-112 與圖 3-113)，考慮傾斜管監測數據得知 SIS-3~SIS-5 於 35m 有明顯滑移的岩土不整合面，且由 UAV 影像和 DSM 得知於 MM' 剖面水平距離 500 m 處之崩崖，有 15~20 m 之堆積層覆蓋於岩層之上，因此將滑移之不整合面向下波延伸至上述之堆積層與岩層出露之交界，另向上延伸至由光達地形所判釋之崩崖，除此一可能滑動面須注意之外，亦有傾斜管顯示堆(崩)積層內有滑動的現象，從 MM' 剖面中水平距離 420 m 和 480 m 處的小崖可能是堆(崩)積層堆積後再次失穩破壞所形成，且這些小崖也使其上邊坡淺層堆(崩)積層受到砍腳作用而降低穩定性。本勘查分析結果亦佐證前述結論。

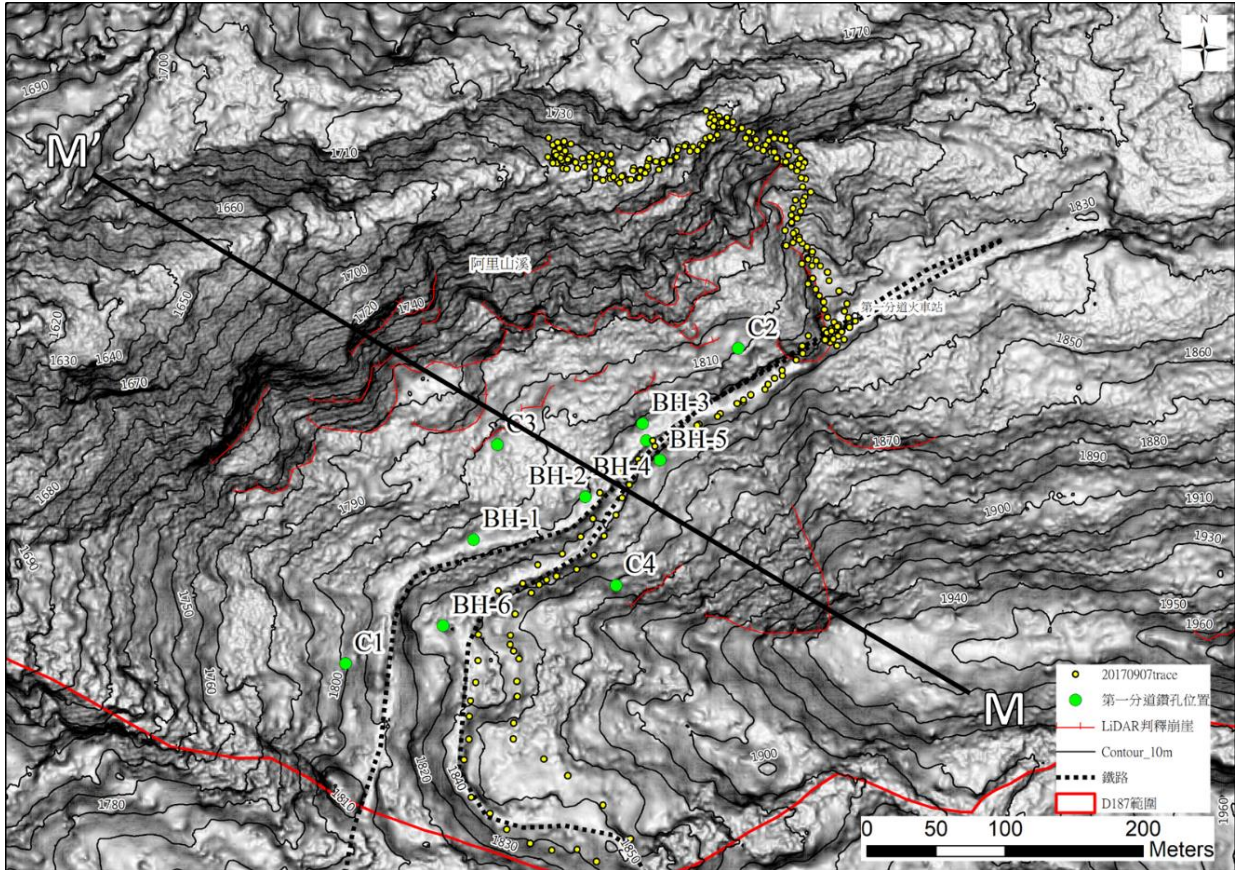


圖 3-112 第一分道區域之 MM'剖面圖位置

(紅線標示 LiDAR 陰影圖判釋之崩崖，黃點為 2017/09/07 現地調查軌跡)

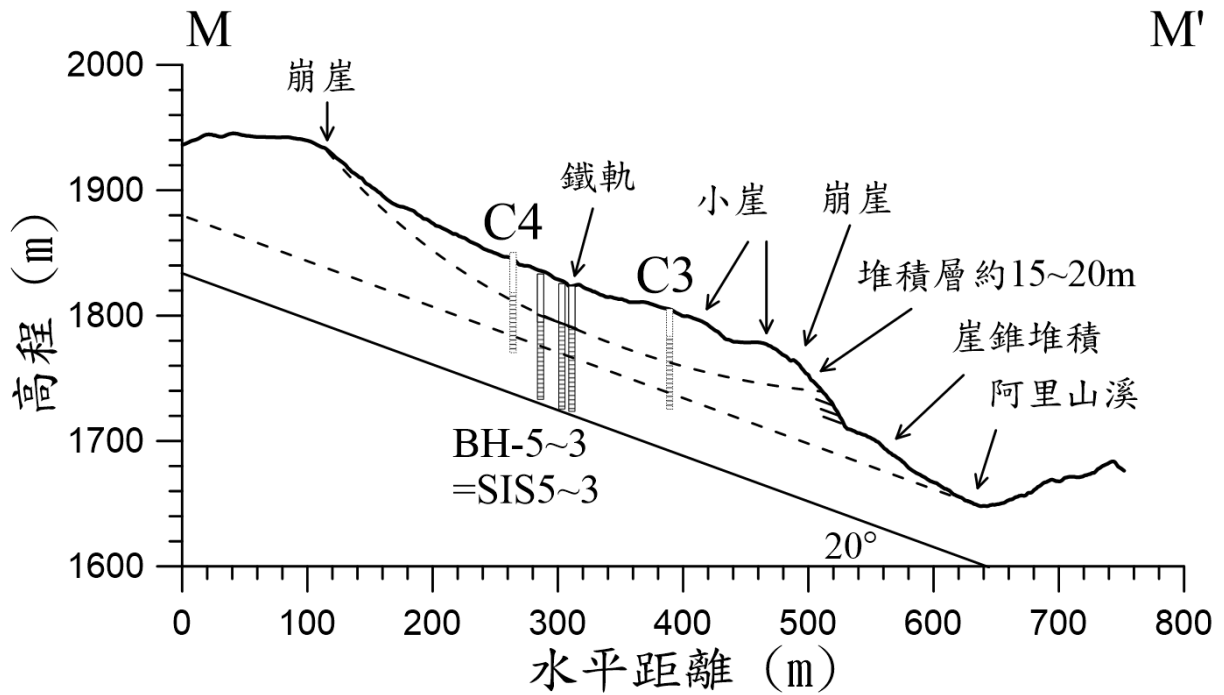


圖 3-113 第一分道區域之 MM'剖面圖

(五)小結

阿里山鄉-D187 主要探討地工監測結果與活動性的關係，由檢視中山村、二萬坪與第一分道的傾斜管監測結果，二孔位於二萬坪的監測結果顯示於老崩積與岩盤界面及岩層內滑動(然其監測品質不佳，無法確定其滑動方向)，第一分道的監測結果，則顯示存在崩積層內、崩積層與岩層之不整合面和岩層內之剪動或滑移。再由地質調查及地質鑽探結果綜整的地質剖面圖顯示活動中心下邊坡除沖蝕溝沖蝕引致新舊崩積層的崩塌外，確實存在深層滑動潛勢及潛移現象，其受阿里山溪下切和側向侵蝕造成砍腳失穩以及地下水上升的影響甚鉅。再由加油站下邊坡(活動中心西側上邊坡)的老崩積的崩滑(slump)，二萬坪區的邊坡不穩定性確實存在，活動性亦高。二萬坪區監測期間地下水位確實因降雨而上升，部分監測井因受坑溝逕流影響上升較高，然由少數鑽孔及因崩積層的不均質性，甚難掌握其流向等。因此，本區長期有效的穩定性整治急需進行，但應進行更進一步有系統的調查及高精度的監測，以掌握潛在滑動面及地下水變化及流路。中山村目前並無滑動之虞，但因監測時間短及監測深度及範圍不足，並無法用以評斷 D187 的活動性。然而中山村所在邊坡與 D187 整體邊坡同屬順向坡，若未來工程開挖或蝕溝沖蝕使岩層見光則可能產生順向滑動。

以目前品質不佳的監測結果僅能初步判斷 D187 的西區(二萬坪蝕溝以西)與第一分道的淺層崩塌活動性高，亦存在深層順向滑動的潛能。二萬坪沖蝕溝以東則無監測資料可加評述。然由 LiDAR 及多年期航空照片判釋結果顯示，中山村、阿里山火車站、及商店區等所在地形尚稱平坦，似乎為厚崩積層並或經整地的地形，其上邊坡並無滑動跡象，然其東北側及下方的蝕溝若繼續上溯，則可能引致本區的不穩定。第一分道附近地形成波浪狀，河道邊坡崩崖明顯，其下邊坡受河道侵蝕影響存在不穩定現象，連帶影響第一分道附近邊坡的穩定性。使用 69、97、103 年航空照片所判釋出的崩崖及蝕溝變化圖，顯示三十多年來主崩崖無變化，然次崩崖有擴大、及增生現象，增生位置大部分與蝕溝發展相關，但亦有部分位於山腹。圖中顯示蝕溝上溯明顯。前述結果顯示本老崩積

層邊坡活動性(不穩定性)明顯，但無法評估崩積層下的順向滑動的活動性。

嘉義林管處陸續完成阿里山國家森林遊樂區的治理工作，也抑制了甚多地表沖蝕發展，及完成局部的穩定性工程，使園區的安全獲得保障。然較大規模的沿老崩積層及岩盤界面的非圓弧型滑動及沿層面的順向平面滑動發生的可能性無法加以排除，建議應加以釐清，並提出長期的管、治理對策。為評估 D187 的穩定性、活動性、及綜合治理，本報告建議應先依 LiDAR 地形進行子崩塌區判釋及活動性分析、地表地質調查、參考既有調查及監測結果，再依子崩塌進行有系統的調查及高品質的監測，以掌握邊潛在滑動面、滑動行為，及地下水的流向及變化等。

3-2.5 活動性評估小結

1. 大規模崩塌區的活動性建議區分為局部崩塌活動性及大規模、深層滑動的一次式致災性崩塌活動性。局部崩塌雖然規模較小，視發生地點亦有致災可能性。
2. 經航照判釋、地質調查等結果，顯示潛勢區具大規模、深層滑動(沿岩盤面或層面滑動)的潛勢，建議應先依 LiDAR 地形進行子崩塌區判釋、由前後期航照初步評估其活動性，然後進行有系統的工址調查(如地質鑽探、地物探測、力學試驗、地下水位調查、潛在滑動面調查等)、邊坡穩定分析。再以調查、分析結果綜合評估其活動性，並提出治理策略及長期監測計畫。
3. 若經調查後，對邊坡崩塌形式及行為充分了解，GPS 或伸張計等地表位移量可做為長期監測項目之一。
4. 佈設少量的單頻 GPS 量測結果，其位移行為容易受到局部地形、覆蓋層等影響，無法完整評估大規模崩塌及局部崩塌的活動性。
5. 若要使用簡易監測站評估崩塌活動性或監測警戒，建議 GPS 應以子崩塌區為單元設置多處，求得應變場，並應設置於固結地層上。伸張計需足夠長，以確保二固定點分別位於穩定區及滑動區。活動性可依據量測值，以理論分析結果或經驗判斷其活動性。

3-3 大規模崩塌潛勢區影響範圍檢討

本節針對前述六龜區-D015、桃源區-D346、甲仙區-D044、甲仙區-D047、阿里山鄉-D187 的地表監測、地中監測與活動性評估結果，以經驗法(鏡面法)估算大規模崩塌潛勢區破壞後的影響範圍，然後檢討與前期影響範圍的差異。

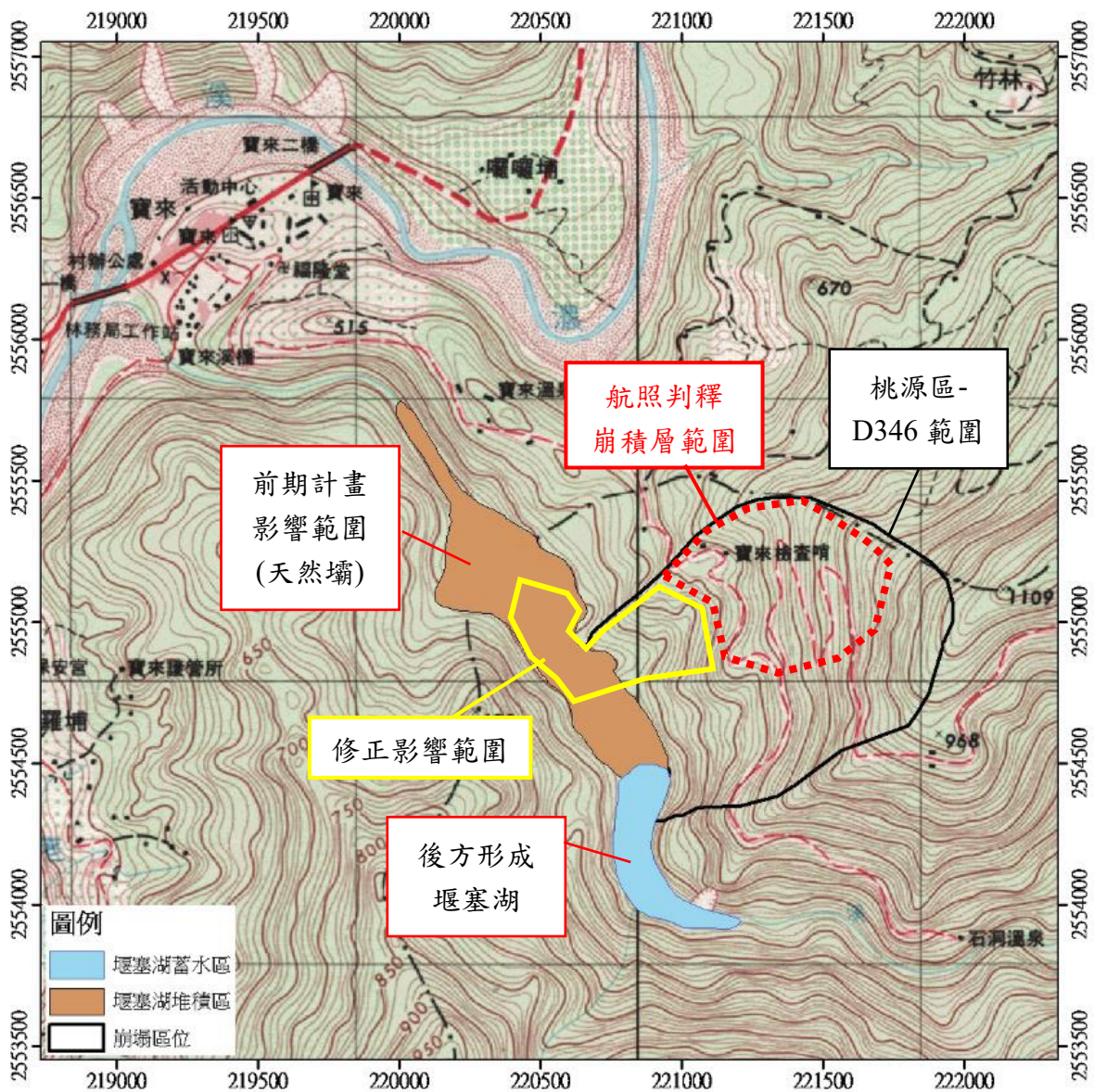
目前林務局及水保局在劃定大規模崩塌潛勢區的影響範圍時，均假設最保守的情況，即整個崩塌潛勢區範圍全面滑動，然後由經驗法或土體運動分析(林務局，102年)等方法計算影響範圍。但各崩塌潛勢區的地質、地形條件各異，並非所有邊坡都有發生全面滑動的條件。在坡度較陡且非順向坡的崩塌潛勢區，邊坡破壞行為通常以表層岩屑崩落為主；以地表覆蓋崩積層為主的緩坡，其邊坡破壞行為通常受到蝕溝上溯及坡趾河道側刷影響，形成漸進式後退破壞；有的邊坡屬於複合型的破壞，局部破壞會造成整體邊坡穩定性降低。不同的破壞機制，會有不同的崩塌行為，若每一個崩塌潛勢區都假設全面滑動，會高估影響範圍。

有鑑於此，若要細緻的逐一檢討大規模崩塌潛勢區影響範圍，首先要掌握邊坡的破壞機制。若是有可能發生一次式致災性大規模滑動(如岩層見光的順向坡、或經判釋可能有厚崩塌層且不穩定的邊坡)，則必須進行細部調查、建立地質模型、由監測以及邊坡穩定分析，掌握潛在滑動面，再透過是數值模擬方式或經驗法決定影響範圍。本計畫以六龜區-D015 為例，示範完整的地質模型與破壞機制調查方法、邊坡穩定分析、影響範圍檢討的作業流程，結果詳見第伍章及第陸章。本節針對既有簡易監測站及地工監測結果，檢討桃源區-D346、甲仙區-D044、甲仙區-D047、阿里山鄉-D187 的影響範圍，並與前期計畫假設全面性破壞後的影響範圍做比較。

(一)桃源區-D346

桃源區-D346 所有的監測點都集中於上邊坡，且安裝位置受局部地形效應影響，故無法進一步反應整個崩塌潛勢區的變形趨勢。若僅由簡易監測站監測結果，無法以較細緻的方式重新評估桃源區-D346 的潛在破壞區域。目前僅能從第二章活動性評估結果，認為本區應無大規模順

向滑動可能，但崩積層是否可能沿著岩土界面滑動以及崩積層厚度仍需進一步調查，目前監測資料還不足以檢討、獲得較合理的影響範圍。因此，本計畫暫時先從航照判釋可能的崩積層範圍(約佔全區面積 1/3)，然後估算影響範圍，如圖 3-114 所示。前期影響範圍模擬結果假設邊坡發生全面性破壞(林務局，102 年)，崩塌量體會堵塞河道形成壩高 60 m，壩長 1,360 m 的天然壩。



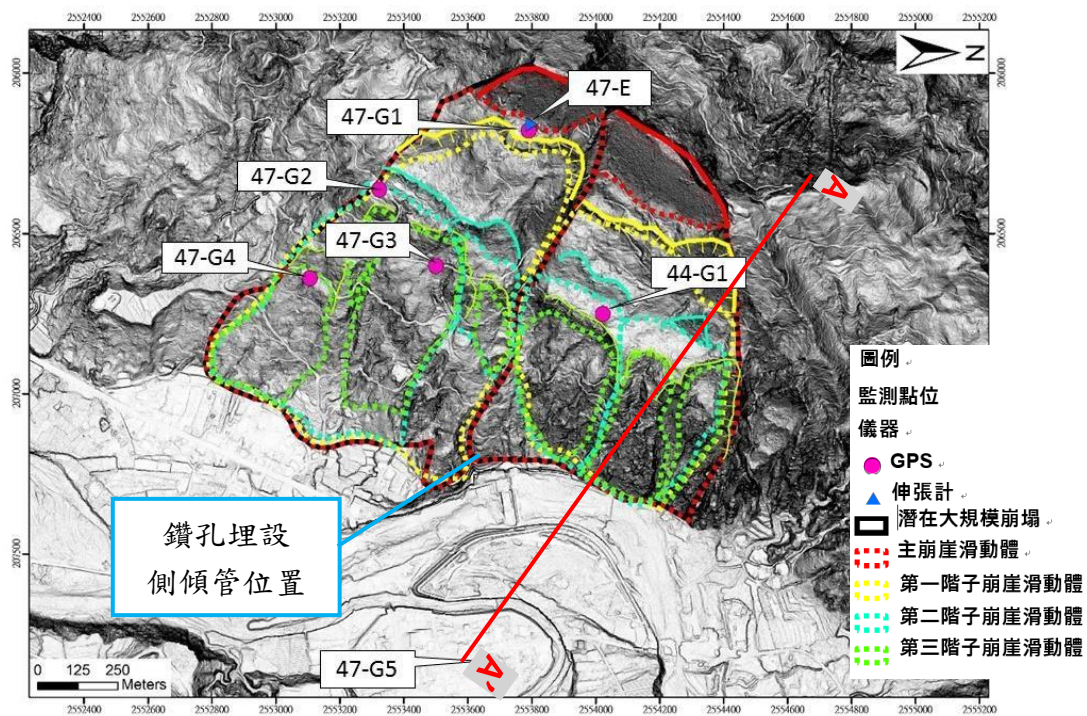
資料來源：林務局(102)「國有林深層崩塌致災潛勢調查評估-南部重點流域」

圖 3-114 桃源區-D346 影響範圍

(二)甲仙區-D044、D047

D044 的坡趾為旗山溪凹岸攻擊側，順向滑動潛能較高，本計畫參考 LiDAR DEM 與現地調查結果，繪製 AA'地質剖面圖(如圖 3-116)，剖面位置見圖 3-115。假設崩積層會沿著層面發生一次式致災性滑動，使用經驗法(重力堆積型方法)計算影響範圍，修正後的影響範圍雖不至於像前期模擬結果會形成壩高 25 m、壩長 949 m 的天然壩，但仍會堆積河道並堵塞甲仙攔河堰取水口，圖 3-117 為前期影響範圍及檢討後的影響範圍。建議未來應進行細部調查、建立該區地質模型、進行邊坡穩定分析與崩塌體運移模擬，進一步評估影響範圍及研擬減災策略。

D047 的坡趾保護良好，由活動性評估與監測資料顯示本區順向滑動活動性低。建議先持續監測地表位移(GPS)，並著手調查潛在滑動面位置與崩積層厚度，再檢討可能發生一次式大規模滑動的位置與影響範圍。前期影響範圍模擬結果顯示(林務局，102 年)，假設邊坡發生全面性破壞，量體會堵塞河道形成壩高 24 m，壩長 1,600 m 的天然壩，影響範圍如圖 3-118 所示。



資料來源：國有林堰塞潛勢防災監控暨災害調查委託技術服務，106

圖 3-115 甲仙區-D044 與 D047 簡易監測站、鑽孔位置與地質剖面

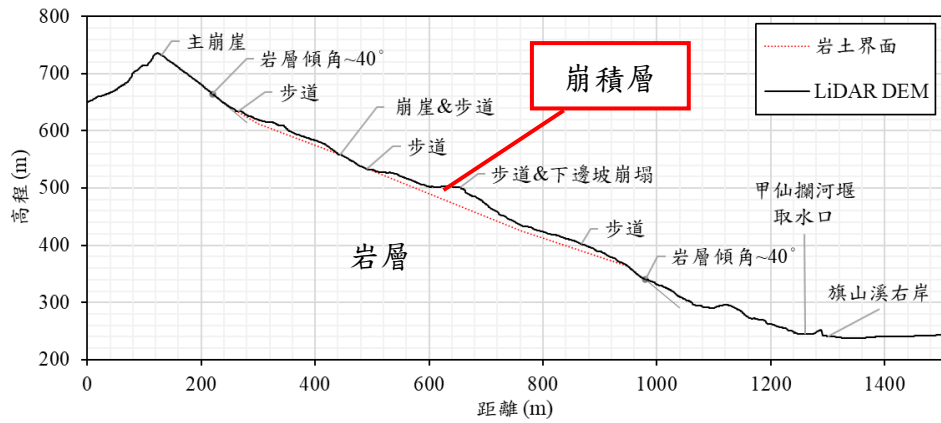
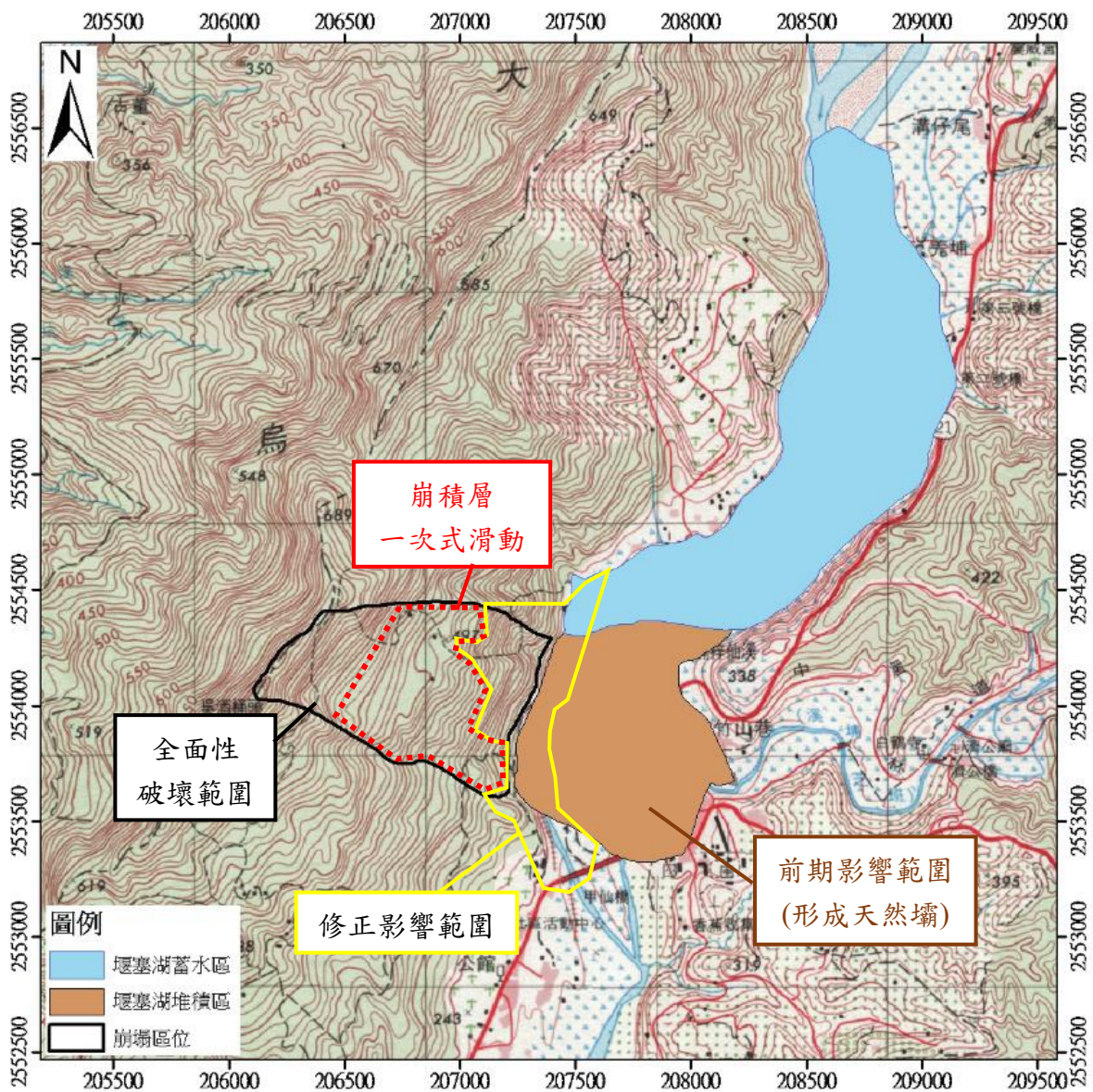
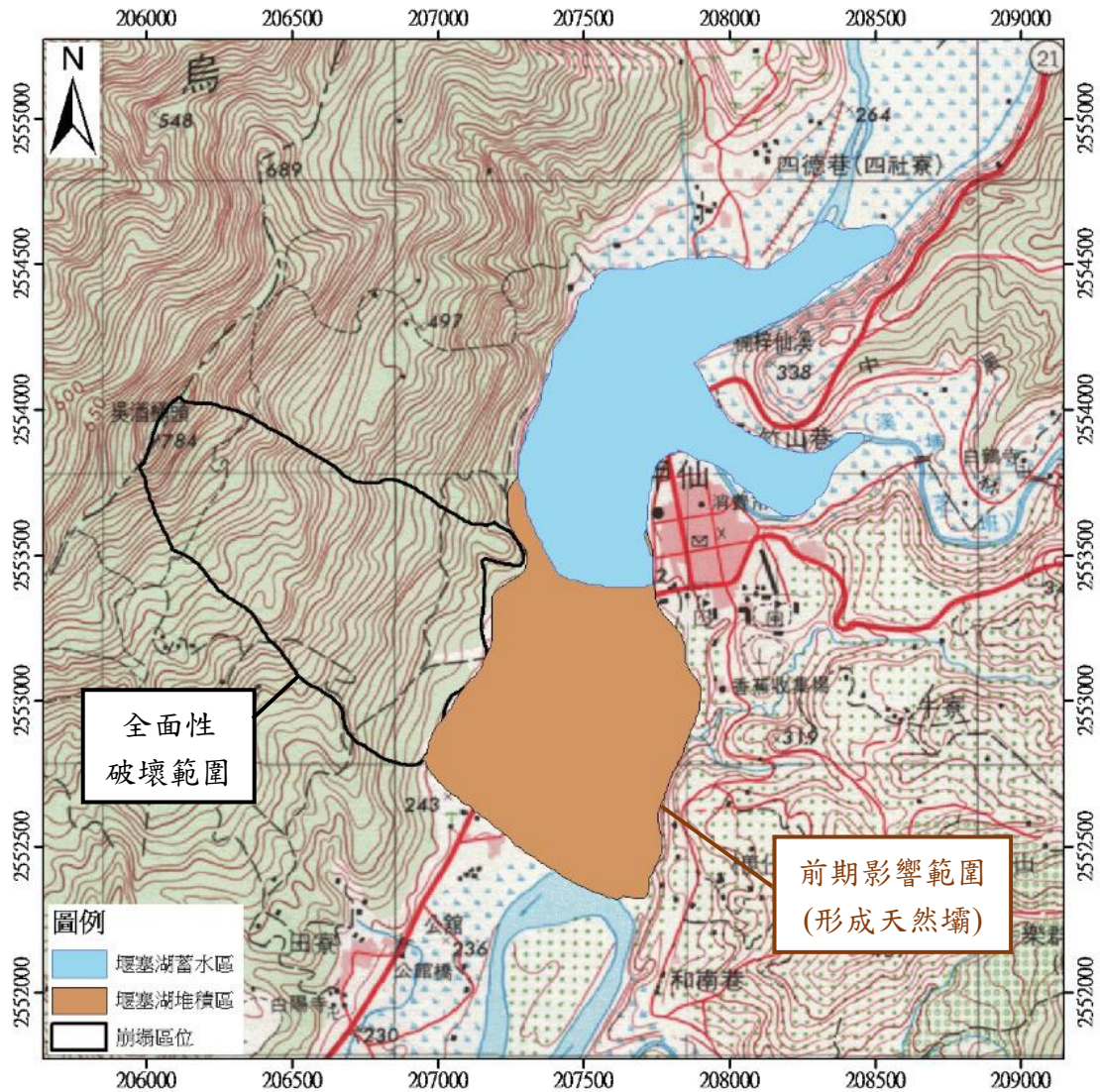


圖 3-116 甲仙區-D044 AA'地質剖面圖



資料來源：林務局(102)「國有林深層崩塌致災潛勢調查評估-南部重點流域」

圖 3-117 甲仙區-D044 影響範圍



資料來源：林務局(102)「國有林深層崩塌致災潛勢調查評估-南部重點流域」

圖 3-118 甲仙區-D047 影響範圍

(三)阿里山鄉-D187

由活動性評估結果、二萬坪、中山村、第一分道的調查及監測結果，D187 因阿里山溪及區內的沖蝕溝的切割，鄰阿里山溪的坡地皆存在崩積層或岩盤界面的滑動，岩層內亦呈現滑動跡象，至於其是否為大規模的順向滑動(潛移)或局部的剪裂帶滑動及其活動性，有待進一步有系統的調查及監測加以判釋。因此，一次式大規模沿老崩積層及岩盤界面的非圓弧型滑動及沿層面的順向平面滑動發生的可能性無法加以排除。本計畫由活動性評估及地貌特徵假設崩積層有沿著層面發生一次式致災性滑動的可能，使用經驗法(重力堆積型方法)計算影響範圍、依照河道

地形修正，並與前期影響範圍比較，結果如圖 3-120 所示。前期計畫假設 D187 全區 555 公頃會同時滑動，因此影響範圍較大。模擬結果顯示 D187 若發生一次式大規模崩塌會造成河道阻塞，可能影像下游民眾安全，建議應進行更進一步有系統的調查及高精度的監測，以掌握潛在滑動面及地下水變化及流路，才有辦法掌握潛在破壞區域及影響範圍，並提出長期的管、治理對策。

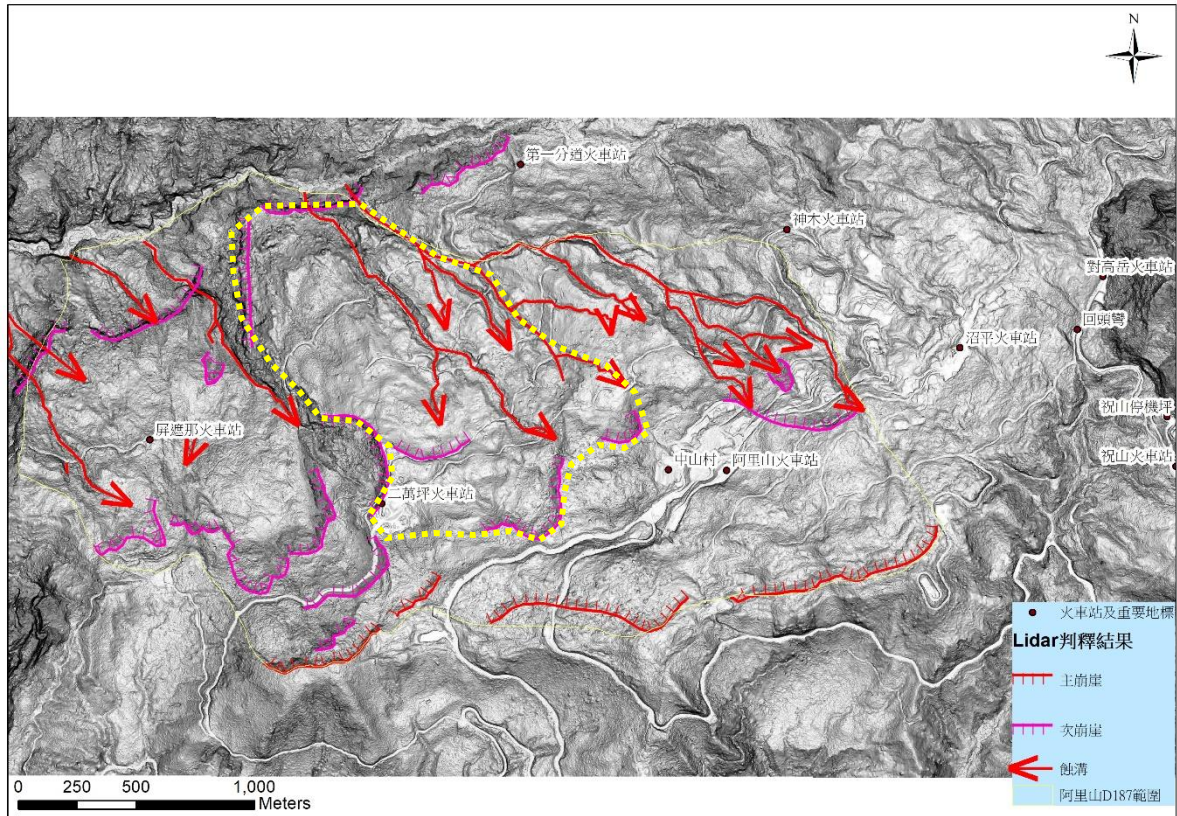
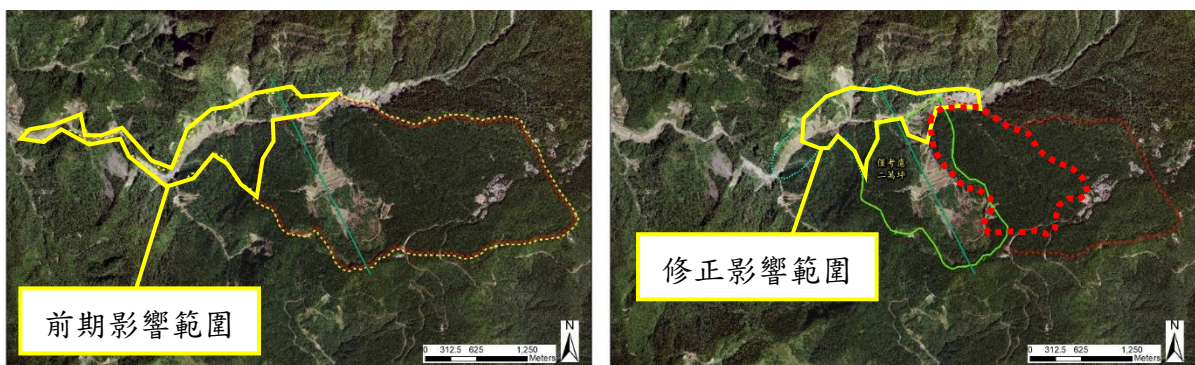


圖 3-119 阿里山鄉-D187 可能發生一次式大規模滑動範圍初步評估



(a) 前期計畫影響範圍

(b) 僅考慮二萬坪滑動影響範圍

圖 3-120 阿里山鄉-D187 影響範圍比較

肆、高雄市-六龜區-D015 潛勢區現況調查

4-1 高雄市-六龜區-D015 概況

4-1.1 場址位置與交通

高雄市-六龜區-D015 潛勢區位於高雄市六龜區紅水仙附近(圖 4-1)，屬於旗山事業區 88 號林班地，美崙山西側集水區，崩塌中心座標 TWD97 (220758, 2551110)，崩塌面積約為 228 公頃、平均坡度約為 30 度。D015 位於荖濃溪左岸(高程約 350 m)，可藉由高 133 線到達潛勢區邊坡趾部(高程約 400m)，但因高 133 線在本潛勢區北側受到邊坡局部崩塌而中斷，欲到達本潛勢區北側，需繞道台 20 線於寶來銜接高 133 線進入。D015 邊坡頂部為美崙山(高程 1350 m)，徒步可由美崙山登山步道前往，開車通行則可由台 20 線銜接藤枝林道(荖濃溪林道)，經寶山、二集團後步行抵達。

綜合光達坡度陰影圖之路跡、Google 地圖道路、以及 1/25,000 地形圖上道路及現地勘查等結果，彙整如圖 4-2。D015 範圍內以通過坡趾處之高 133 線為主要通達道路(但北側中斷)，另有一條局部有水泥鋪面之產業小徑可通行四輪傳動車至私人茶園(GPS 之 G4 點位)，茶園以上有坡度陡峭的登山步道通往美崙山。其他坡地範圍內之路跡受蝕溝、局部崩塌、陷落等影響而中斷。

4-1.2 地形

六龜區-D015 為一畚箕形之邊坡(圖 4-3)，坡面面向西北方，上邊坡坡度明顯較下邊坡陡峭，應是受到崩塌土石堆積於下邊坡之影響。由 D015 坡向圖(圖 4-4)亦可觀察到，D015 邊坡之上方由主稜線區隔、其坡面面向西北方，目前 D015 圈繪範圍之北邊界為一條蝕溝、南邊界為一凸坡，中央有一條發達大型蝕溝，邊坡之潛在滑移主要係沿坡向發生，以及蝕溝下切後沿兩側方向局部破壞。

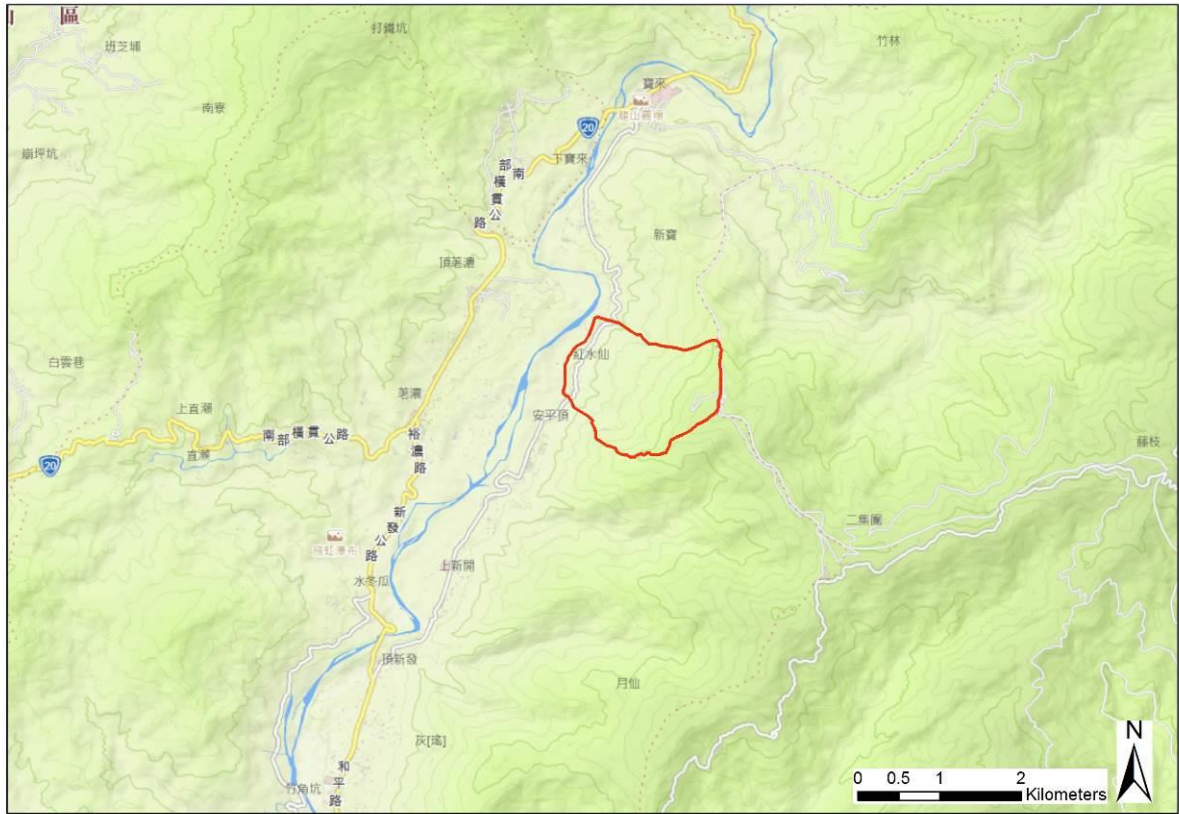


圖 4-1 高雄市-六龜區-D015 位置圖

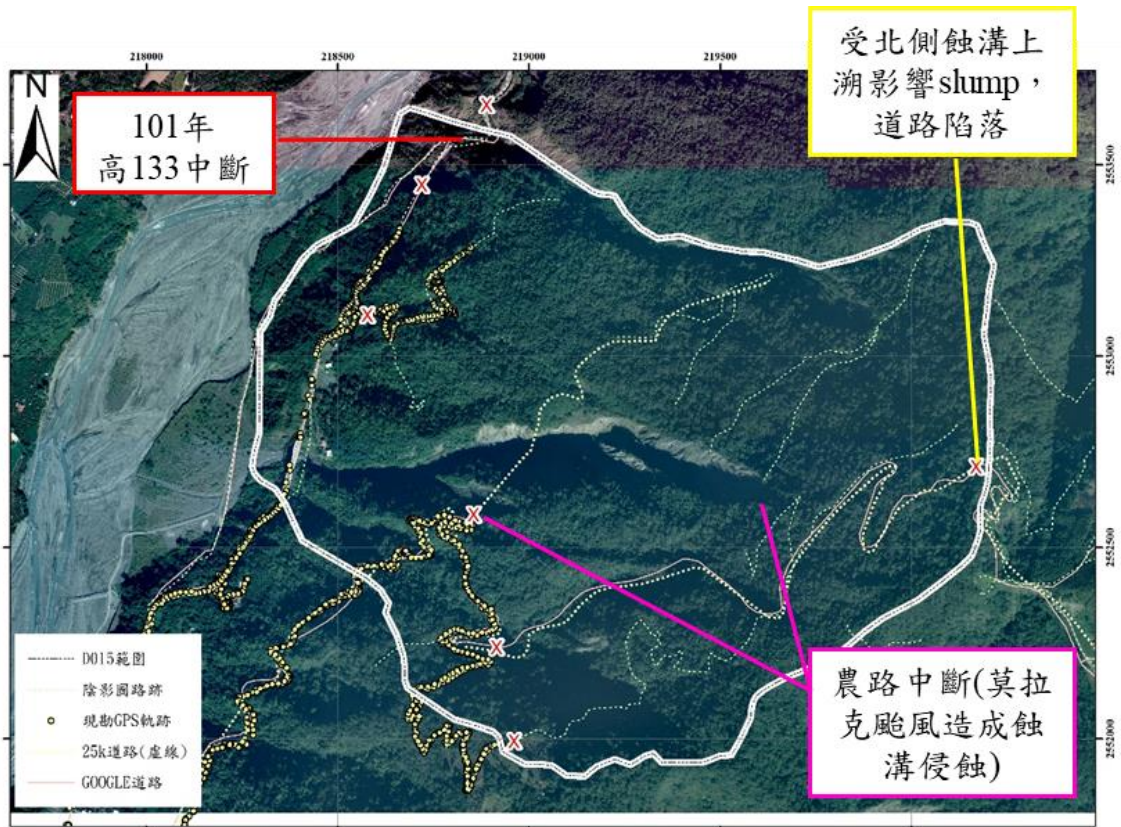


圖 4-2 六龜區-D015 坡地範圍內道路狀況



圖 4-3 六龜區-D015 google earth 立體地形圖

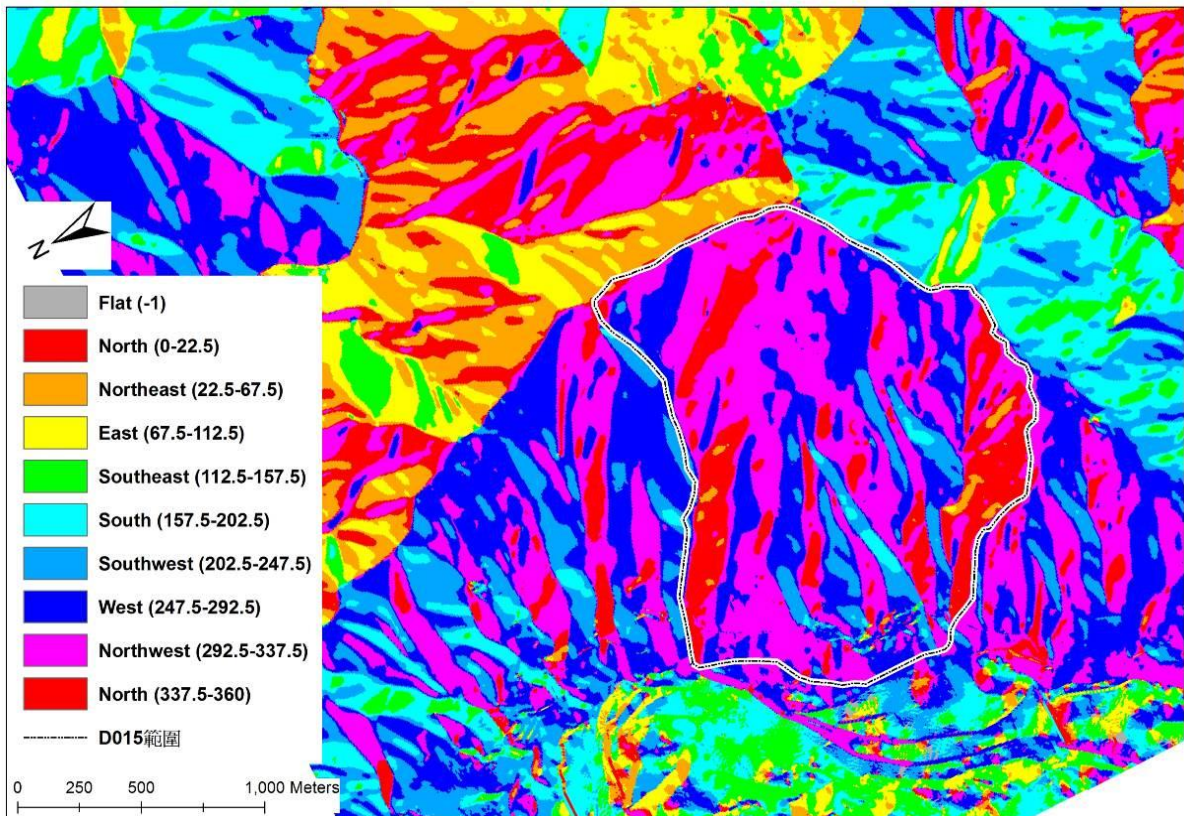


圖 4-4 六龜區-D015 坡向圖

4-1.3 區域地質

由中央地質調查所高屏溪流域地質圖(圖 4-5)，本崩塌區出露之地層應為中新世中期潮州層(或樟山層)，其主要岩性為硬頁岩(硬頁岩或板岩間夾透鏡狀砂岩體)，區域地質圖上在六龜區-D015 範圍內無岩層位態調查點，鄰近的露頭調查點顯示劈理位態約 N10W/60S。部分區域地層倒轉，走向為東北向，傾向東南。D015 以西約 1.4 公里有土壠灣斷層通過，土壠灣斷層為潮州斷層(第二類活動斷層)之北段，土壠灣斷層以西出露地層為中新世晚期長枝坑層(相當於南莊層)。

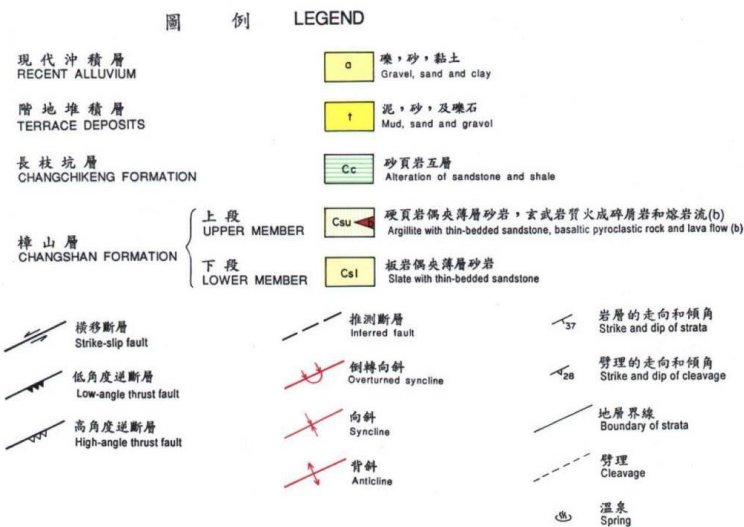
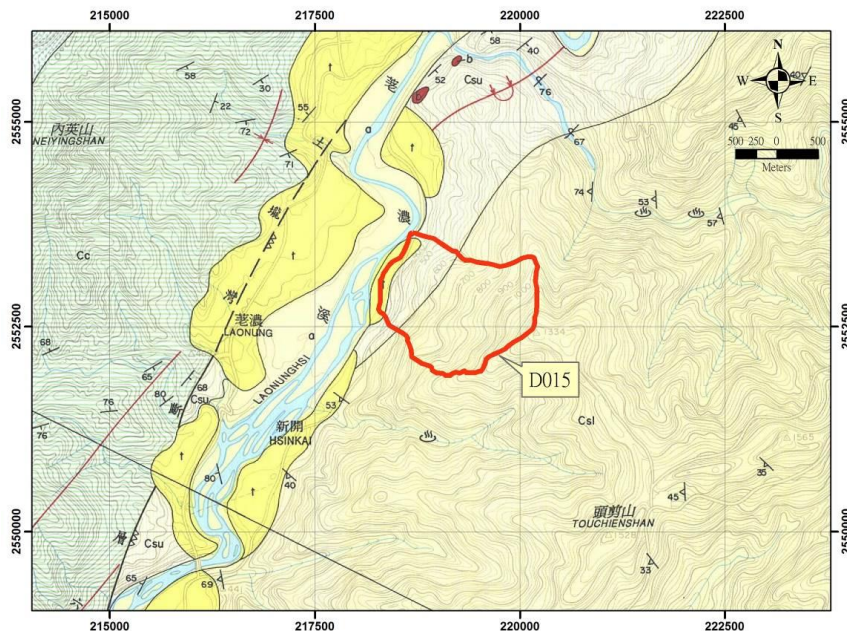


圖 4-5 六龜區-D015 區域地質圖

4-1.4 梅姬颱風後現地勘查

梅姬颱風於 105 年 9 月底期間侵台，為南部地區帶來豐沛雨量。位於 D015 潛勢區附近之雨量站計有高中站、藤枝站、及新發站等三處(圖 4-6)，本計畫收集新發雨量站資料進行分析，其 24 小時累計雨量(9/27 10:00 至 9/28 10:00)為 877 毫米，超出氣象局定義的超大豪雨(24 小時累積雨量達 500 毫米以上)，最大時雨量也超過 50 毫米。為了解梅姬颱風對 D015 潛勢區之影響，本團隊於颱風後前往現勘，遠眺及近攝中央蝕溝狀況(圖 4-7、圖 4-8)。整體而言，坡面無明顯變化，但可見蝕溝中水量匯流豐沛，蝕溝明顯沖蝕、側壁土石崩落現象。

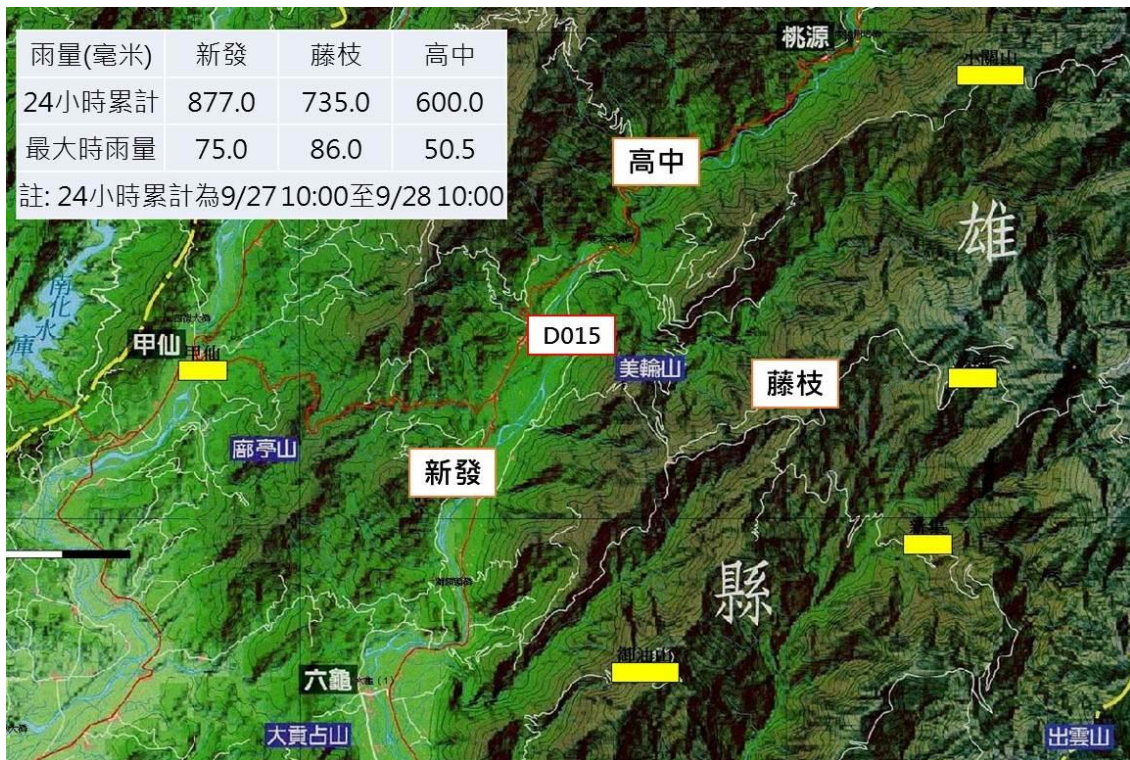


圖 4-6 D015 梅姬颱風期間雨量



圖 4-7 六龜區-D015 梅姬颱風後中央蝕溝遠眺照片



沖刷崩落，蝕溝
上游帶下大量砂
石，淤積河道

圖 4-8 六龜區-D015 潛勢區梅姬颱風後中央蝕溝淤積

4-1.4 106 年 6 月大雨後現地勘查

106 年 6 月初及 6 月中曾發生一場大豪雨及一場豪雨事件，雨量歷時曲線如圖 4-9。本團隊於 6 月 12 日及 7 月 14 日分別前往現勘拍攝、記錄本區邊坡破壞及蝕溝侵蝕狀況。圖 4-10、圖 4-11 顯示 6 月大雨將原本堆積於蝕溝的風化岩屑帶向蝕溝下游側，部分坡度較緩的蝕溝裸露表面已經逐漸長出新的植生，但是在靠近河道及蝕溝兩側陡坡仍持續侵蝕，如圖 4-12。目前北側蝕溝下游側及高 133 線道路邊坡是局部破壞較頻繁發生的區域，有攔砂壩正在施工。

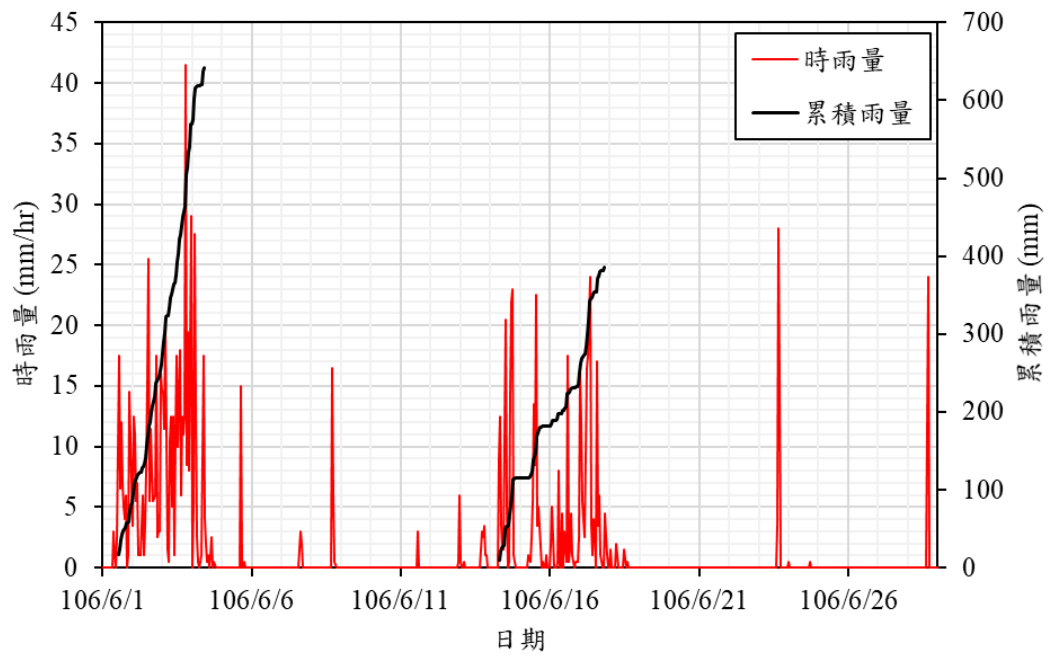


圖 4-9 106 年 6 月雨量歷時曲線圖



圖 4-10 六龜區-D015 全景(106.6.12)



圖 4-11 中央蝕溝與北側蝕溝崩崖照片(106.7.14)



圖 4-12 北側蝕溝下游側及高 133 線道路邊坡狀況(106.7.14)



圖 4-13 北側蝕溝攔砂壩工程(106.7.14)

4-2 地表地質調查

本計畫地表地質調查採用 99 年 LiDAR DEM 以及 104 年航照自製正射影像為調查底圖，再以調查結果繪製 1/10,000 比例尺地表地質圖，並整合地質鑽探、地物探測結果以 LiDAR DEM 為底圖製作依分析需要的較大比例尺地質剖面圖。本地表地質調查，包括地形、水文、滑動現象、岩層露頭等相關地質特性加以調查記錄，作為研判崩塌機制與原因之基礎資料。本區坡頂上多為植生及風化土壤覆蓋，露頭稀少；產業道路上邊坡露頭較多；蝕溝下邊坡可見破碎風化之岩層；高 133 線局部崩塌處邊坡可見風化岩塊崩落。因此，地表地質調查以道路或產業道路沿線邊坡、蝕溝沿線可達之位置為調查重點路線，記錄下列重點資訊：

- 1、岩層岩性種類及位態。
- 2、地質構造之型態、延伸長度及特性。
- 3、地質弱面之特性、型式、變化狀況。
- 4、崩積層厚度與滑動特徵。
- 5、植生狀態。

6、地下水滲流狀況。

7、拍照並記錄 GPS 坐標。

由於本區邊坡坡度陡峭，而且多數區域並無道路或步道可通達，調查上亦將採用無人飛行載具拍攝較高精度照片作為調查輔助資訊。調查結果將整理分析研判後，繪製調查區域地表地質圖及地質剖面圖。

4-2.1 調查路線與調查結果

地表地質調查前先進行室內航照判釋，再進行野外調查。本區域在航照上除崩塌地冠部與蝕溝裸露明顯外，大多因植被茂盛不易判釋，現地調查項目包含崩塌特徵、位置、覆土厚度、膠結程度等崩積層資料，以及岩性判釋、位態量測、地下水滲出位置等紀錄。

本計畫調查路線主要為六龜 D015 內兩條主要蝕溝，以北蝕溝與中央蝕溝稱之，另外包含荖濃溪河道左岸露頭，以下詳細說明調查結果，現地照片拍攝位置及說明如圖 4-14。

北蝕溝位於高 133 線與寶來替代道路交會口北方約 100 公尺處，蝕溝靠近道路區域可明顯看見大面積崩積層 coll(如圖 4-15)，厚度約 25 公尺，崩積層(如圖 4-16)下方即為剪動泥。越往上游崩積層厚度漸減，上溯約 300 公尺後即多為風化岩盤出露，岩性以硬頁岩為主(圖 4-17)。

中央蝕溝位於紅水仙大橋上游，蝕溝下游沖積扇左翼有一連續約 30 公尺的硬頁岩夾砂岩露頭出露，岩層均有倒轉現象(圖 4-18)。沿蝕溝上溯靠近橋樑附近即有大面積崩積層，厚約 20 公尺，此崩積層大致可分為 2 區段，如圖 4-19，上段為掏選度極差的疏鬆崩積層，層厚約 5 公尺，下段為掏選度佳結構緊實顆粒均勻崩積層，此層下方受剪動與地下水影響形成膠結度較好的剪動泥(部分受蝕溝沖積物掩埋)。更往上游岩盤逐漸出露，岩盤受剪動影響導致岩層破碎。沿著蝕溝上溯崩積層逐漸減少，轉為硬頁岩夾砂岩岩層，因受風化、解壓及斷層影響，岩盤十分破碎，蝕溝上游崩塌物主要為風化岩盤所形成(圖 4-20)。蝕溝崩崖左側逆向坡劈理發達，存在岩屑崩落；崩崖右側岩塊沿層面順向滑動，邊坡破壞行為與蝕溝兩側坡角與岩層位態相

關(圖 4-21)。中央蝕溝右側邊坡硬頁岩弱面發達，高傾角弱面沿邊坡方向重力變形，上方岩層傾倒(圖 4-22)。

荖濃溪河道左岸沿線可見連續約 200-300 公尺長的露頭，岩性為硬頁岩夾砂岩，皆為倒轉岩層，如圖 4-23。北蝕溝下游河道處則為崩積層覆蓋於河階之上(圖 4-24)，故河階堆積應早於崩塌發生時期。

寶來替代道路與高 133 線交會處(即路斷位置)的大面積崩塌為崩積層 1 再崩塌(圖 4-25)，應為局部崩滑所造成的剪動。

地下水：此地區觀察到多處地下水滲出位置，分別位於美崙山步道上，孔位 BH01 向上走約 80 公尺處，地表高程約 723 公尺(圖 4-26)；BH02 和 BH03 之間步道上，地表高程約 689 公尺；北蝕溝上，推測為崩積層與岩盤界面滲出(圖 4-27)，地表高程約 470 公尺。

4-2.2 地層分層

本區域岩盤主要岩性為硬頁岩夾砂岩，岩層軟弱葉理不發達，受西側潮州斷層影響岩層較為破碎，又受崩塌與重力變形影響，層面位態較不一致。荖濃溪河道左岸岩盤為倒轉層面，是向斜構造一翼或是重力變形所致需再深入調查。

由現地調查結果將本區域大致分為 3 層，由下至上分別是岩盤、河階堆積、崩積層，分層逐項說明如下，分層特性表格如表 4-1，圖 4-28 為地表地質圖。

1. 崩積層：主要出現於坡腹與坡趾，由中央蝕溝可見崩積層覆蓋於岩層之上。由鑽孔岩心判釋可將崩積層細分為黃棕色基質崩積層與灰黑色基質崩積層，在崩積層較厚的區域，黃棕色基質崩積層大致以 10~30 m 不等的厚度覆蓋在 15~20 m 厚的灰黑色基質崩積層上(詳見 4-4.2 節)。也有部分區域的黃棕色基質崩積層直接覆蓋在風化岩盤上。中上邊坡由蝕溝可觀察到風化岩層上覆 5-10 m 厚或更薄的黃棕色基質崩積層，但因甚薄，因此於製作地質圖時將其忽略。前述崩積層的分布及種類，顯示本區崩塌層可能多次崩塌、堆積而成。

2. 河階：為本區域最老的未固結地層，出露於荖濃溪兩岸，在北蝕溝下游左岸可見崩積層覆蓋於河階上，顯示早期崩塌發生時河階堆積層已經存在。
3. 岩盤：本區域主要出露岩層為硬頁岩偶夾砂岩，硬頁岩葉理不發達。坡面上層面位態大致約 N40E/60S，劈理位態約 N28E/76S，但坡面上露頭多受邊坡潛移影響。沿荖濃溪河岸出露岩層皆為倒轉層理，層面位態約 N50E/76S，劈理位態約 N48E/70S。

表 4-1 分層特性

分層名稱	特徵	現地調查出露地區
崩積層	<ol style="list-style-type: none"> 1. 覆於岩盤或河階地上。 2. 部分地方與岩盤間有剪動痕跡。 	D015 坡腹與坡趾
河階地	<ol style="list-style-type: none"> 1. 結構較為緊實，顆粒圓滑均勻，呈水平狀整齊排列。 2. 目前未固結地層中年代最老。 	荖濃溪河道兩岸
岩盤	<ol style="list-style-type: none"> 1. 硬頁岩夾砂岩。 2. 受斷層、崩滑及風化解壓影響，層面破碎。 3. 荖濃溪河道左岸顯示層面倒轉，坡面上岩層較為風化，較無法確認。 	坡頂、步道、蝕溝側壁、河道岸壁等

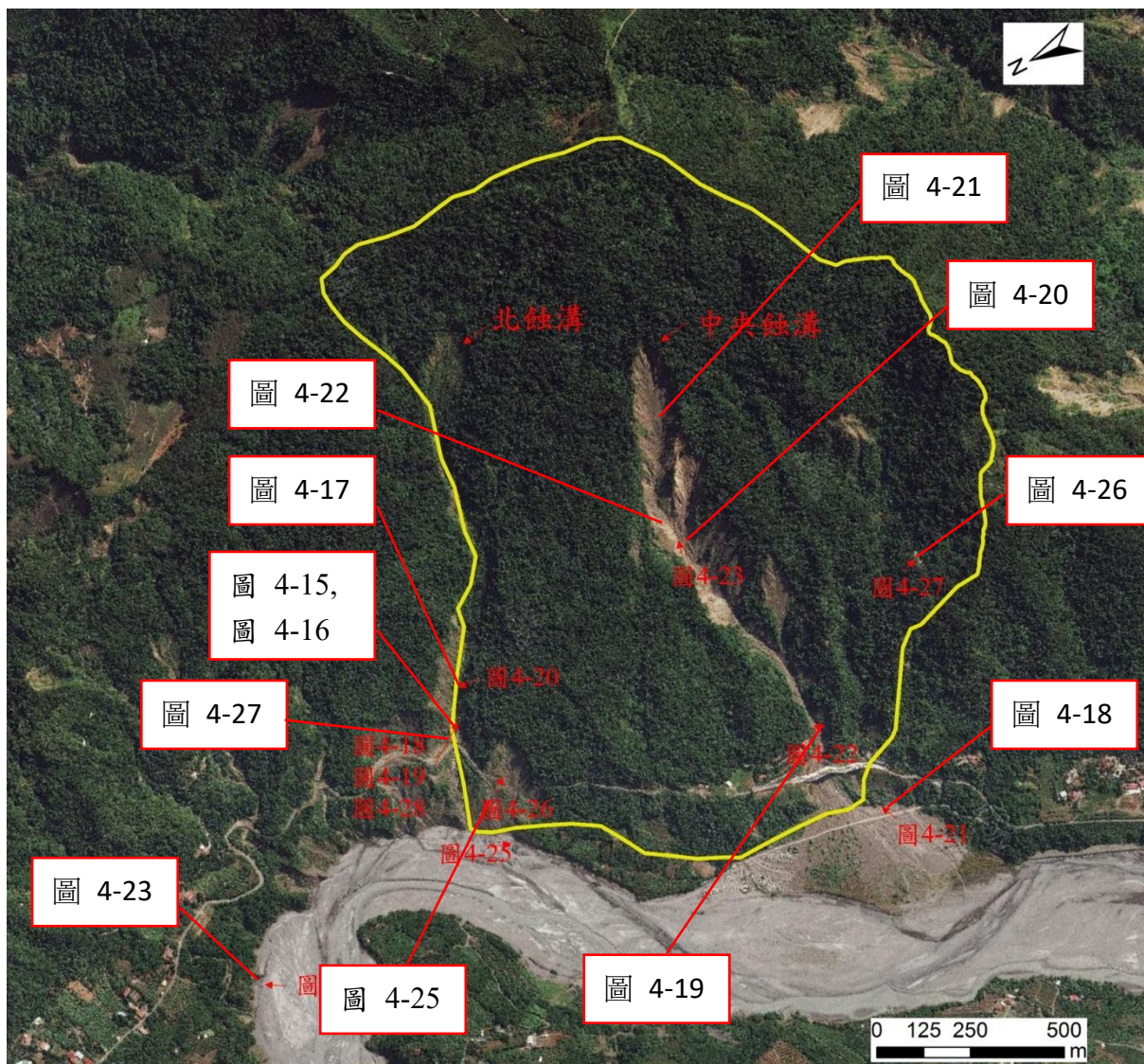


圖 4-14 照片拍攝位置圖



圖 4-15 北蝕溝下游崩積層，岩屑圓滑堆疊平整



圖 4-16 膠結良好之剪動泥



圖 4-17 硬頁岩出露，越往上游漸轉成岩盤

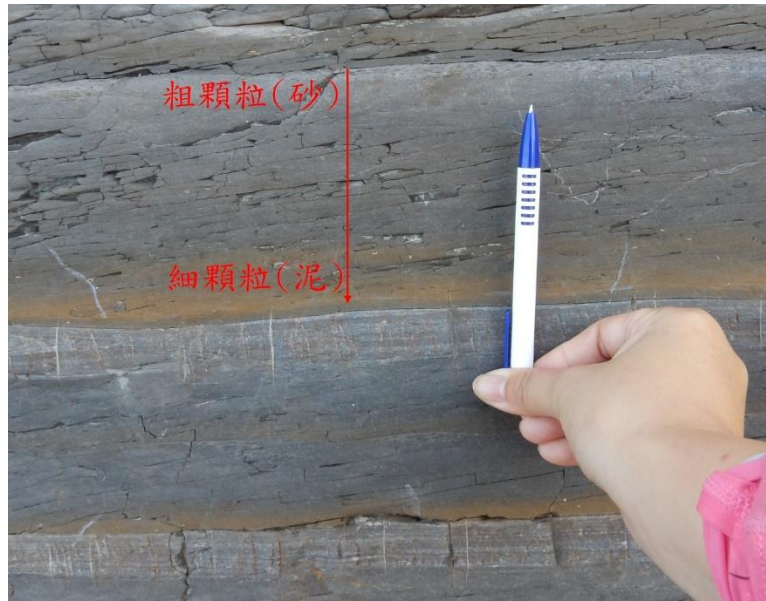


圖 4-18 岩層倒轉現象，位於中央蝕溝下游沖積扇左翼



圖 4-19 中央蝕溝下游崩積層



圖 4-20 中央蝕溝上游大多為岩層出露，破碎岩塊崩落蝕溝



圖 4-21 中央蝕溝崩崖

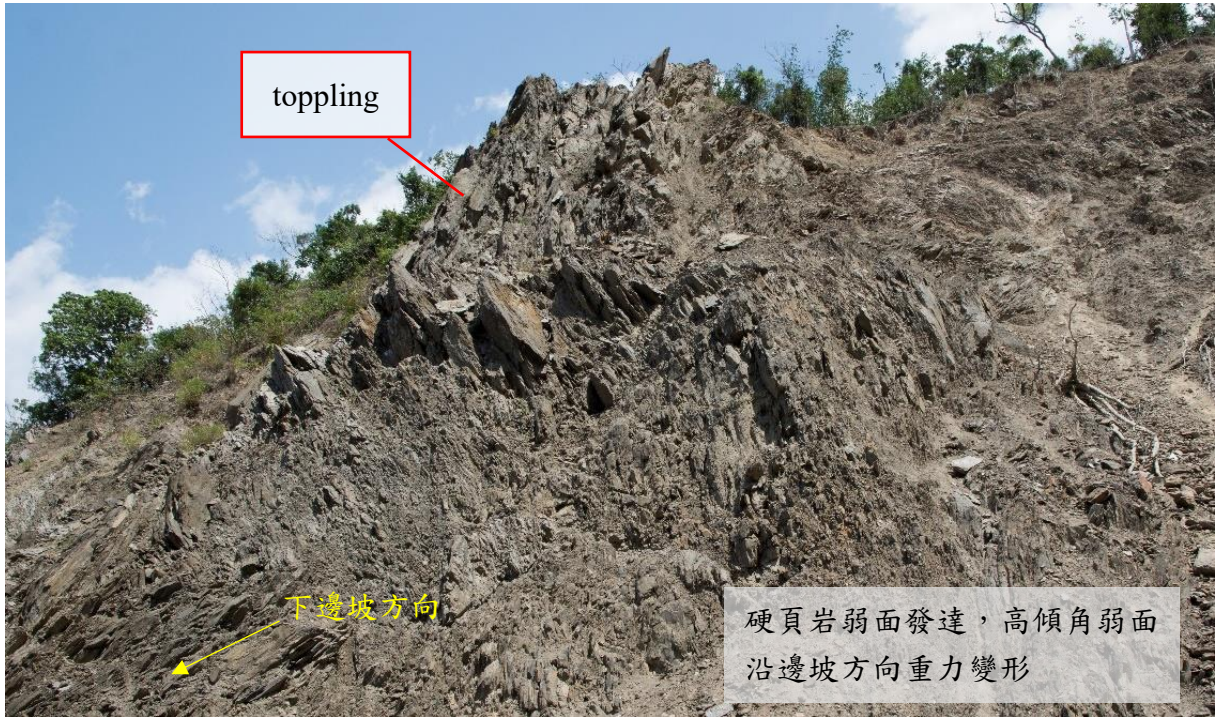


圖 4-22 中央蝕溝右側邊坡



圖 4-23 河道上岩層倒轉



圖 4-24 階地與上覆的崩積層



圖 4-25 寶來替代道路道路中斷位置



圖 4-26 美崙山步道邊坡地下水出露



圖 4-27 北蝕溝地下水滲出

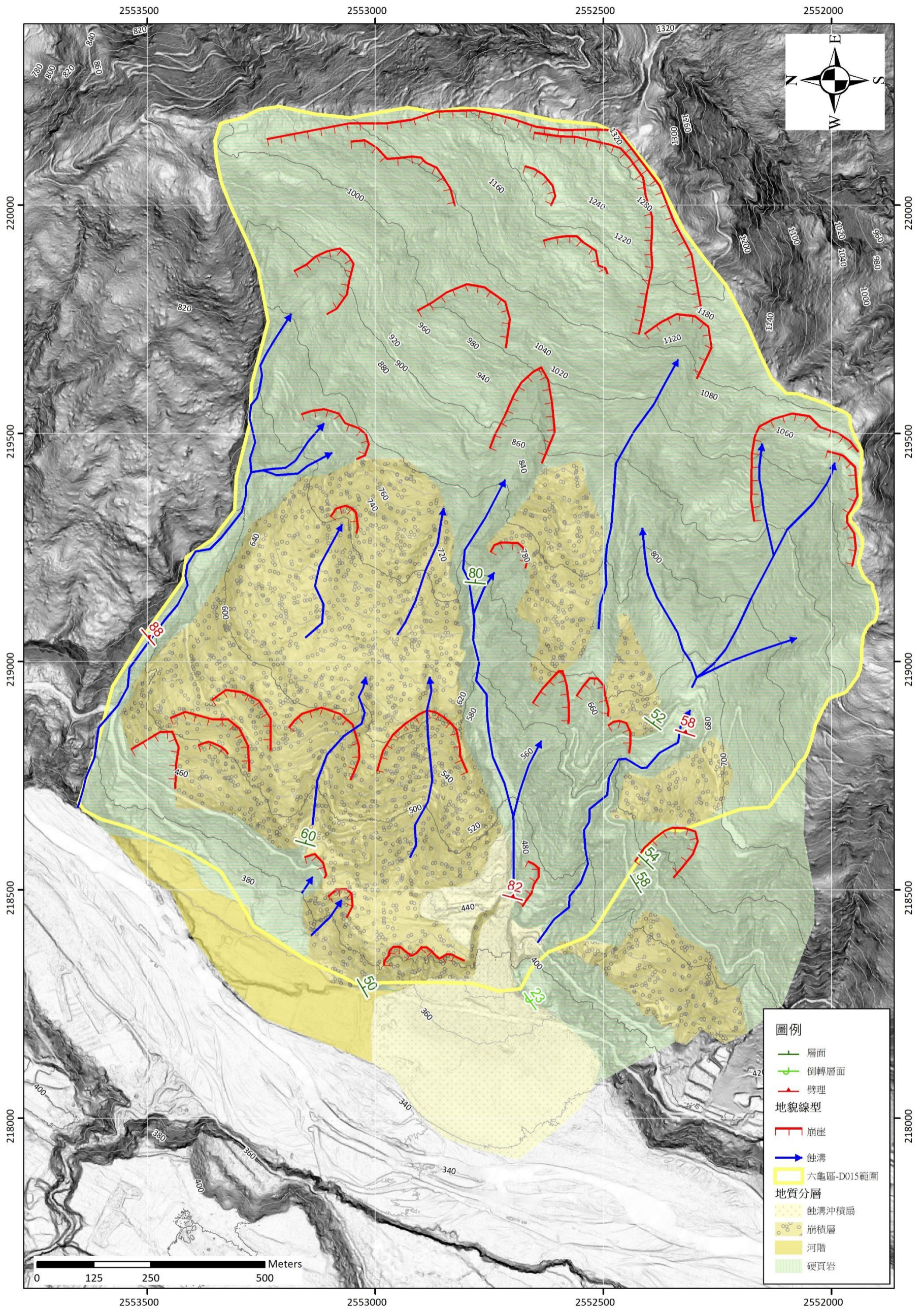


圖 4-28 六龜區-D015 地表地質圖

4-3 地球物理探測

4-3.1 探測位置與數量

本工作於 D015 區域內進行地球物理探測，調查崩積層厚度、岩盤可能位置、以及相關地下水資訊。依道路及施作可及性，共施作 8 條二維地電阻影像剖面法測線(同時施作 pole-pole、Wenner-Schlumberger 法)，1 條折射震測測線，總測線長度為 1,719 公尺。測線配置如圖 4-29，各測線說明如表 4-2。前述規劃符合總佈設長度應大於 1,500 公尺的招標文件規定。地球物理探測之探測結果繪製為地球物理性質(地電阻或波速等)剖面圖，並依據鑽探岩性比對推估地層或岩性分布剖面圖。前述地電阻剖面的測深至少 30(含)公尺，深度達 60% 範圍。

表 4-2 地電阻影像剖面法測線配置表

測線名稱	方向	電極數目	長度(公尺)	起始座標	結束座標
ERT-1	東向西	93	276	2552294.5 218931.5	2552258.8 218675.1
ERT-2	西北向東南	54	159	2552417.1 Y: 218830.5	2552288.35 218914.1
ERT-3	西南向東北	71	210	2552380.2 218191.4	2552560.9 218286.7
ERT-4	東向西	46	135	2552736.6 218611.4	2552745.7 218488.4
ERT-5	西南向東北	101	300	2553170.9 218549.7	2553419.4 218698.7
ERT-6	東向西	62	244	2553111.4 218771.4	2553017.8 218541.7
ERT-7	東向西	56	110	2552458.3 218636.7	2552448.4 218535.9
ERT-8	東向西	51	150	2552730.7 220208	2552674.9 220081.7
		總計長度	1,584		
測線名稱	方向	探頭間距	長度(公尺)	起始座標	結束座標
震測-1	東北向西南	5	135	2553325.8 218658.6	2553233.6 218593.6

4-3.2 探測結果

ERT-1 位於探測區域南側林道上，干擾少，資料品質佳，最大探測深度超過 50 公尺以上。地質鑽探孔 BH-1 在測線水平距離約 188 公尺處。探測

結果顯示，地表下 10 公尺左右(黑色虛線)，電阻率為相對高電阻大致在 400 Ohm-m 以上，色調呈現紅色，研判為崩積層，根據鑽探結果為黃褐色崩積土夾岩塊。崩積層電阻率的變化乃受地表乾溼、硬頁岩塊多寡與顆粒粗細組成程度不同而有所差異，因此當崩積層局部組成不同時，電阻率產生的變化。地表下 10-20 公尺左右(紅色虛線)，電阻率約為 280-400 Ohm-m，變化性不大，色調呈現黃色，推測為風化硬頁岩夾碎屑板岩岩塊或者是黃褐色崩積土夾岩屑；地表下 20-25 公尺以下，電阻率降至約 250 Ohm-m，呈現綠色或者藍色色調，推測為較為完整之硬頁岩岩層含水的因素，使得電阻率大幅降低。探測結果如圖 4-30。

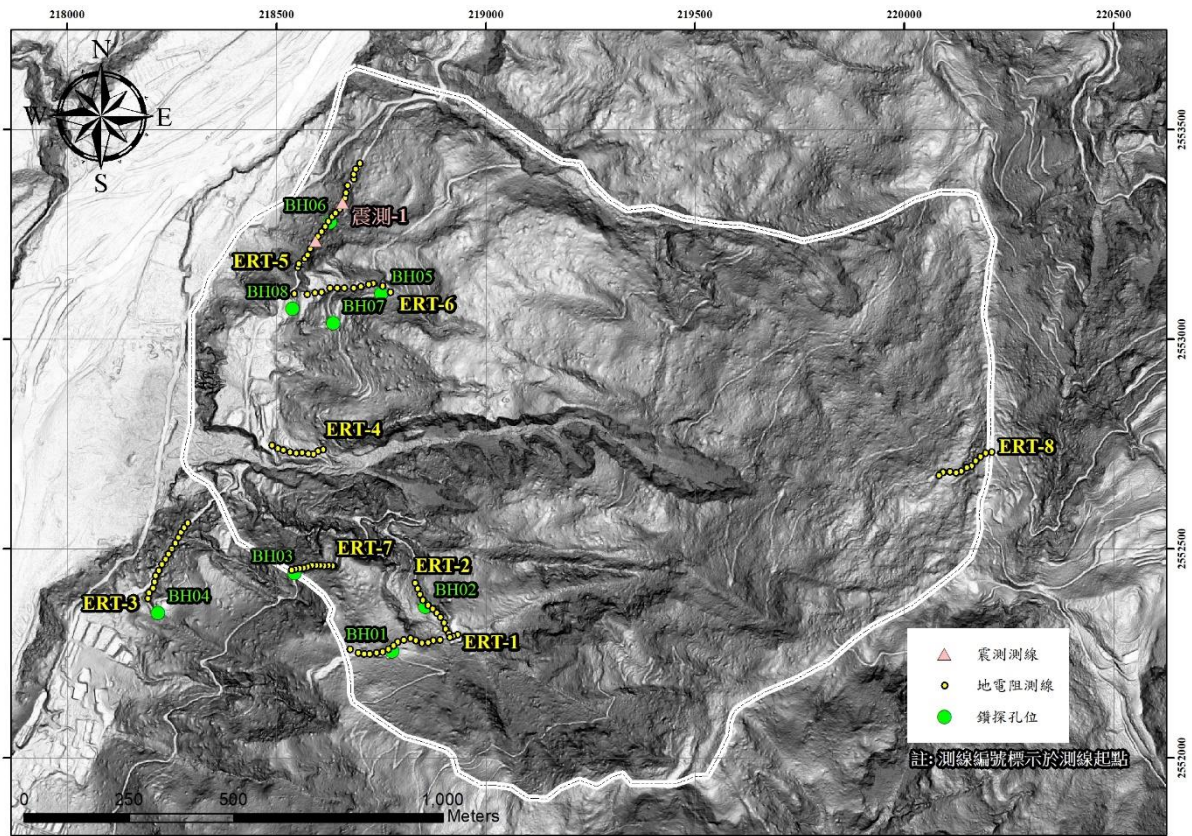


圖 4-29 地電阻影像剖面法測線配置圖

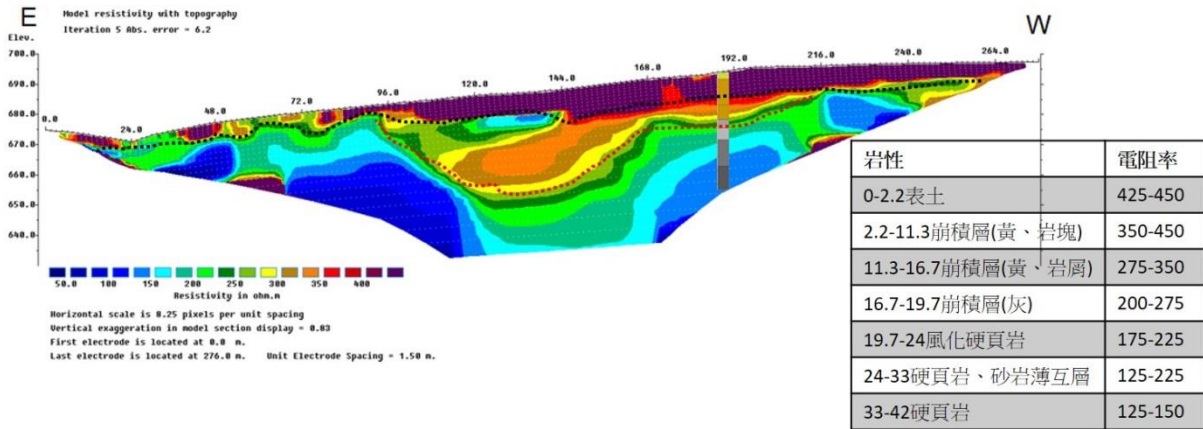


圖 4-30 ERT-1 探測結果剖面圖

ERT-2 位於 ERT-1 北側，干擾少，資料品質佳。地質鑽孔位置 BH02 在測線水平距離約 68 公尺處。很明顯 ERT-1 與 ERT-2 整體電阻率分布不同，根據鑽探結果淺層推測為崩積層的岩性也略微不同，導致電性地層電阻率分布也不同，明顯看出 ERT-2 淺層電阻率區間高許多。探測結果顯示，地表下 15 公尺間，電阻率為超過 450 Ohm-m 以上，色調呈現紅色調，研判為崩積層，根據鑽探結果推測為乾燥風化硬頁岩，而此高電阻下夾一薄黃色系電阻率帶，推測為電阻率過渡帶，岩性出現變化。超過地表下 20 公尺，電阻率約為 250 Ohm-m 以下，色調呈現綠色，推測為硬頁岩，與 ERT-1 相較，地下含水層的範圍有縮小的趨勢。探測結果如圖 4-31。

ERT-3 位於探測區域西北側道路上，資料品質佳，最大探測深度超過 45 公尺以上。地質鑽探孔 BH04 在測線起始處附近。因為測線施測位置位於下邊坡，距離河道近，根據鑽探結果顯示地下水位面淺，大致 10 公尺便見地下水，本測線因為地下水關係，與其他測線比較整體電性地層電阻率下降的趨勢，為了突顯電性地層岩性的不同，調整整體電阻率色階區間。探測結果顯示，地表下 20-25 公尺左右(黑色虛線)，電阻率為相對高電阻大致在 160 Ohm-m 以上，色調呈現紅色系，研判為較為細顆粒的崩積層，而相對深紅色電阻率落在 330 Ohm-m，推測為較為粗顆粒崩積層，根據鑽探結果為崩積層夾岩塊。崩積層電阻率的變化乃受地表乾溼、板岩塊多寡與顆粒粗細組成程度不同而有所差異，因此當崩積層局部組成不同時，電阻率就產生了變化。地表下 20 公尺以下，大致上電阻率落在 100 Ohm-m 以下，推測

為含水部分風化硬頁岩夾碎屑硬頁岩或者是完整硬頁岩。本測線比較特別處為測線中後段出現一高電阻率包，深度落在 25-50 公尺，推測可能為崖邊坡面地形變化影響地下水分布所導致。探測結果如圖 4-32 所示。

ERT-4 位於探測區域中間的侵蝕溝處，干擾少，資料品質佳，最大探測深度超過 30 公尺以上。探測結果顯示，地表下 5-8 公尺左右(黑色虛線)，電阻率為相對高電阻大致在 400 Ohm-m 以上，色調呈現紅色，研判為崩積層，根據附近鑽探結果為黃褐色崩積土夾岩塊。電性地層電阻率的變化乃受地表乾溼、顆粒粗細組成程度不同而有所差異，因此當地層局部組成不同時，電阻率產生的變化。地表下紅色虛線便將測線分成兩部分，上半部電阻率約為 200 Ohm-m 以下，變化性不大，推測可能為較為完整的硬頁岩分布，而下半部電阻率落在 200-356 Ohm-m 間，推測為較為風化硬頁岩夾砂岩與完整頁岩。探測結果如圖 4-33。

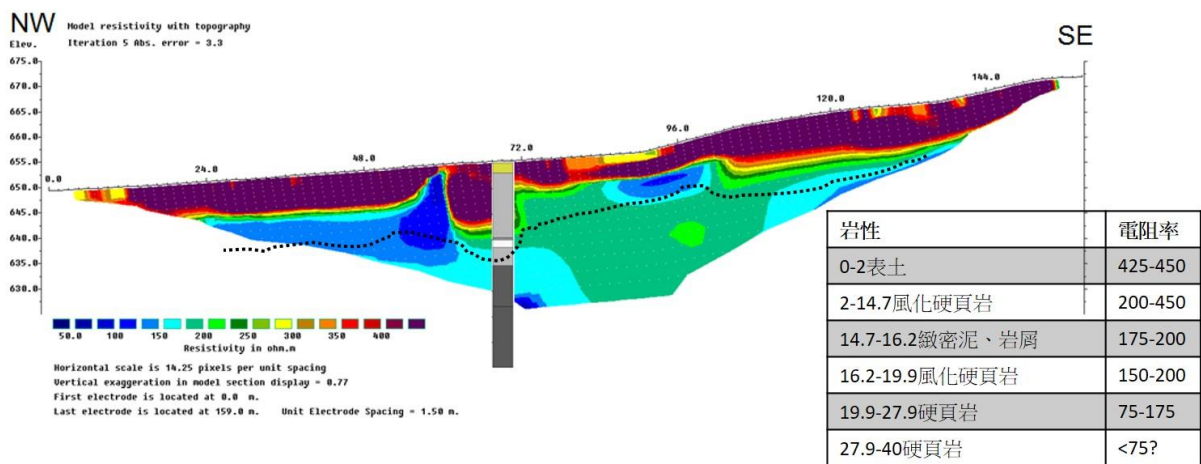


圖 4-31 ERT-2 探測結果剖面圖

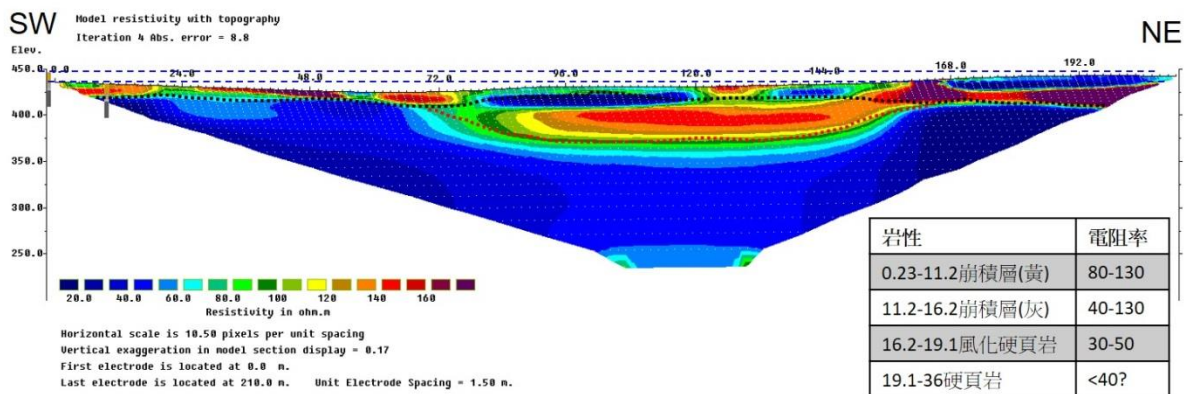


圖 4-32 ERT-3 探測結果剖面圖

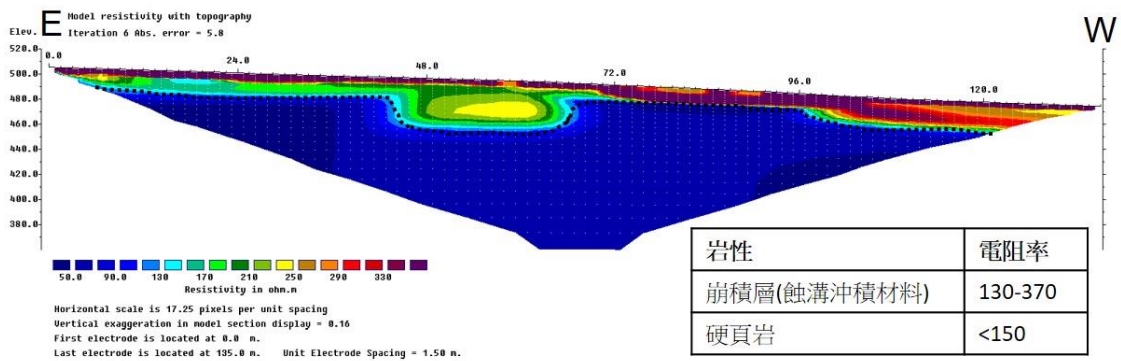
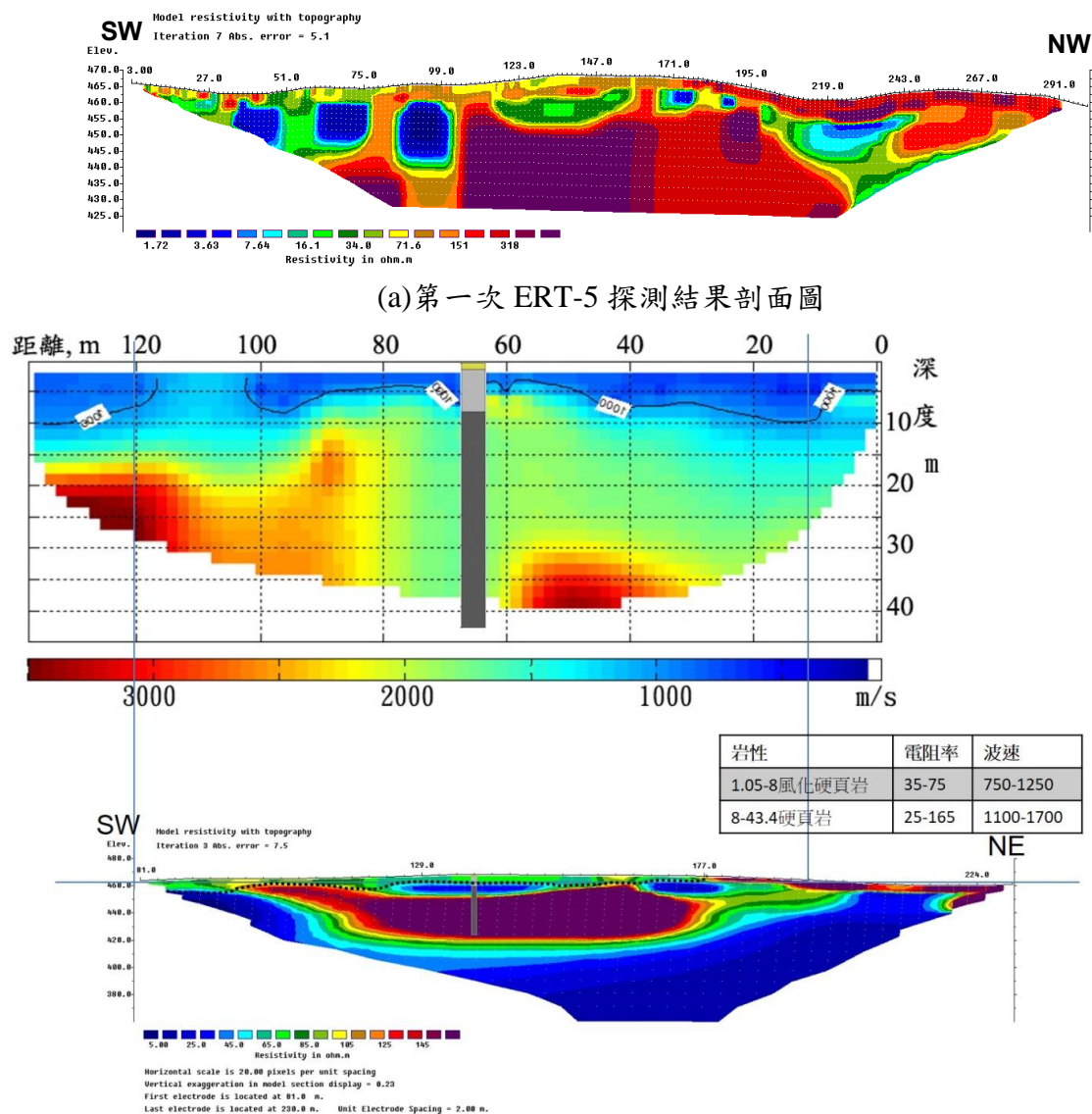


圖 4-33 ERT-4 探測結果剖面圖

ERT-5 位於探測區域西北隅的道路上預期干擾少，施測結果如圖 4-34 (a)所示，電性地層電阻率分布凌亂且深層電阻出現極高且無法收斂現象，尤其是測線水平距離 0-100 公尺下方電阻率出現極度異常且低現象。透過其他方法發現馬路下方有不只一層織工構造物，經由實驗室率定仍無法得到最佳數據。經現地重新施測一次並避開主要的干擾區域，得到一干擾小且資料品質佳的數據，如圖 4-34(b)所示，最大探測深度超過 80 公尺以上。BH06 地質鑽孔位置在測線水平距離 140 公尺。探測結果顯示，地表下 5 公尺左右(黑色虛線)，電阻率為相對高電阻大致在 100 Ohm-m 以上，色調呈現黃褐色，研判為風化的硬頁岩，並無明顯高電阻率超過 200 Ohm-m 以上的崩積層出現。電性地層電阻率的變化乃受地表乾溼、顆粒粗細組成程度不同而有所差異，電阻率也會隨之變化。電性地層深度超過 10 公尺出現一高電阻率 300 Ohm-m 以上。根據鑽探資料顯示為相對完整硬頁岩，而且分布範圍為地下水位面以上，透過圖中地下水位面很清楚將硬頁岩分為乾燥與相對濕潤兩種狀態，地下水位面以下硬頁岩電阻率下降至 80 Ohm-m 以下。本測線位置亦同時進行震測，根據走時資料，第一層的波速約在 900-1,000 m/s 間，可作為岩盤初估面，探測結果與地電阻之比較如圖 4-34(b)。

ERT-6 位於探測區域西隅，干擾少，資料品質佳，最大探測深度超過 100 公尺以上。BH05 地質鑽孔位置在測線水平距離 10 公尺。因為測線施測位置位於下邊坡，距離河道近，根據鑽探結果顯示地下水位面淺，大致 11 公尺便見地下水，本測線因為地下水關係，與其他測線整體電阻率比較電性地層電阻率下降的趨勢，為了突顯電性地層岩性的不同，調整整體電阻率色

階。探測結果顯示，地表下 5-10 公尺左右(黑色虛線)，電阻率為相對高電阻大致在 250 Ohm-m 以上，色調呈現深紅色，研判為崩積層，根據附近鑽探結果為黃褐色崩積土夾硬頁岩塊。電性地層電阻率的變化乃受地表乾溼、顆粒粗細組成程度不同而有所差異，因此當地層局部組成不同時，電阻率就隨之變化。地表下紅色虛線便將測線分成兩部分，上半部電阻率約為 80-200 Ohm-m 推測為濕潤的風化頁岩，下半部深度超過 80 公尺以上，電性地層等值線出現梯度變化，電阻率降至 50 Ohm-m 以下，推測可能為較為完整的硬頁岩分布，探測結果如圖 4-35。



(b)第二次 ERT-5 探測與震測結果剖面圖

圖 4-34 ERT-5 探測結果剖面圖

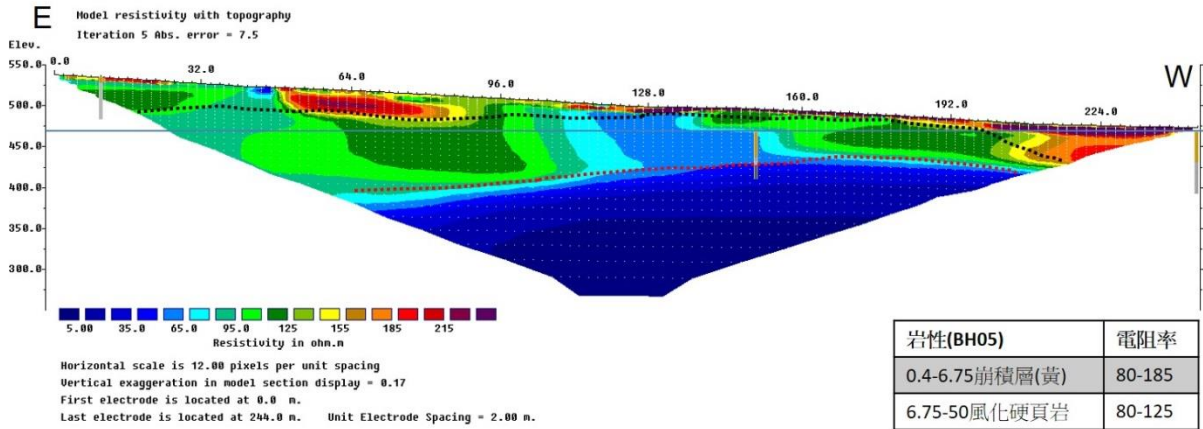


圖 4-35 ERT-6 探測結果剖面圖

ERT-7 位於探測區域西南隅，干擾少，資料品質佳，最大探測深度超過 80 公尺以上。BH03 地質鑽孔位置在測線水平距離 103 公尺。整體電阻率區間在 80-350 Ohm-m 左右。根據鑽探結果與全區電阻率分布，推測本測線皆分布硬頁岩；而電性地層電阻率的變化乃受地表乾溼、顆粒粗細組成程度不同而有所差異，因此電阻率就產生了硬頁岩區電阻率分布區間。探測結果如圖 4-36。

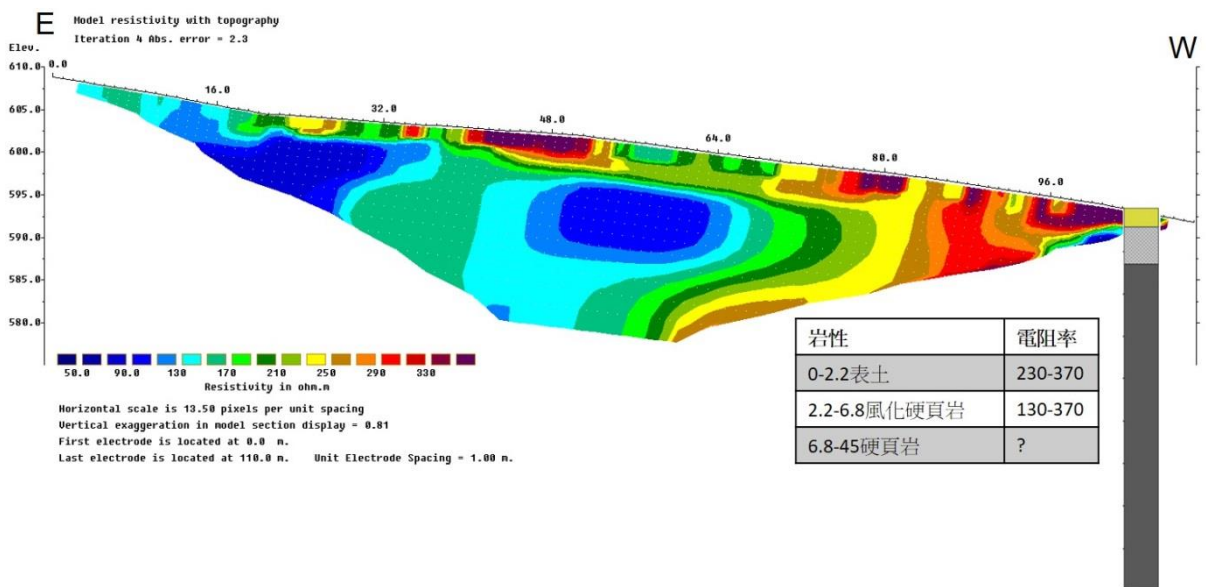


圖 4-36 ERT-7 探測結果剖面圖

ERT-8 位於探測區域頂部，干擾少，資料品質佳，最大探測深度超過 35 公尺以上。整體電阻率分布是八條測線之首 300 Ohm-m 以上。根據鑽探結

果與全區電阻率分布，推測本測線皆分布相對乾燥硬頁岩；而電性地層電阻率的變化乃受地表乾溼、顆粒粗細組成程度不同而有所差異，因此電阻率就產生了硬頁岩區電阻率分布區間，淺層 2-5 公尺出現一超過 1000 Ohm-m 以上硬頁岩應為乾燥且風化之硬頁岩所造成相對高電阻率狀態。探測結果如圖 4-37。

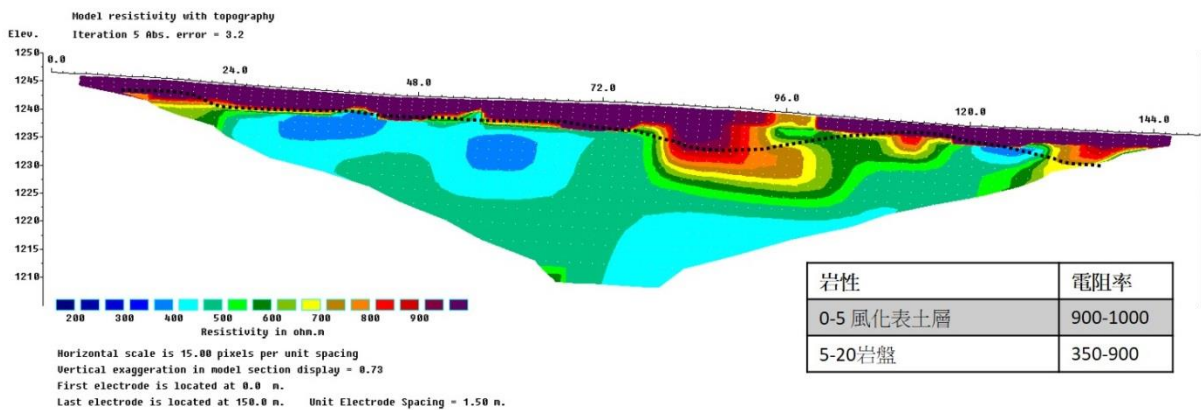


圖 4-37 ERT-8 探測結果剖面圖

4-3.3 地物探測結果綜合討論

綜合本計畫地物探測結果，地下水、崩積土含泥量、岩石風化及破裂性影響地層之電阻率甚巨，若無其他調查配合甚難以地電阻法合理決定大規模崩塌區的地層剖面。本調查區域除坡頂附近風化表土層存在高電阻值(900-1,000 歐姆·米)外，表土下的崩積層(崩積土加岩塊)的電阻值受地下水、岩塊及含泥量的影響，電阻值約為 40-450 歐姆·米。崩塌區下的硬頁岩呈現節理發達、破碎，且岩層內亦量測到大小不一的地下水壓，地電阻值呈現越深越低的趨勢，近崩積層的地電阻約 30-400 歐姆·米，較深的硬頁岩地電阻值約 250 歐姆·米以下。上邊坡因地下水低對地層的影響不大，因此地電阻值較高(350-900 歐姆·米)。

由震測-1 結果顯示，震測折射較易決定崩積層的分布，但因其深度受測線展距影響，且山區較不易施測長測線，因此較厚的崩積層(40 m 以上)不適合施作震測折射。若由折射、鑽孔結果，供地電阻解算參考，應可供大規模崩塌區調查(如 ERT-5)。上述利用地物、鑽探、地表估算崩積土厚度結果，本計畫據以參考製作地質剖面圖。

4-4 地質鑽探

4-4.1 鑽孔位置

依招標文件規定，本工作應於 D015 區域內進行地質鑽探工作，鑽孔數目得視鑽掘情形酌予調整孔數，鑽孔數目原則 6 孔，惟鑽探總長需達 320 公尺(以鑽探進尺深度為主)，且可供後續安裝觀測儀器使用；鑽探方式孔徑採用 HQ 尺寸以上，其中每一剖面至少有 1 孔需深入新鮮岩盤 3 公尺以上或達研判為岩土界面處。

依據岩層位態與現地勘查結果，初步研判本區崩塌機制主要為崩積層沿岩土界面的滑動，因此鑽探目的定為探查崩積層分布及其厚度。本處邊坡在坡度較陡之上邊坡處並無明顯崩積層存在，大多僅為表面之風化岩層，厚度約在數公尺內；而坡度較緩之下邊坡，則可明顯觀察較厚之崩積層，且越往下邊坡崩積層厚度有漸增厚之趨勢。由於本場址上邊坡處受歷年局部崩塌及蝕溝侵蝕之影響，既有道路均已中斷損毀，鑽探孔位只能布置於本區域坡面中下邊坡之道路可及處，鑽孔位置與長度依據現場條件及施作狀況(實際到達岩土界面深度)彈性調整，共計完成 8 孔鑽孔，總長度 386 公尺，並另於 BH01 孔位旁鑽設一孔 42 公尺不取樣，目的為埋設 TDR 監測電纜，鑽孔位置圖如圖 4-38 所示，鑽探長度及埋設監測設備如表 4-3 所示。

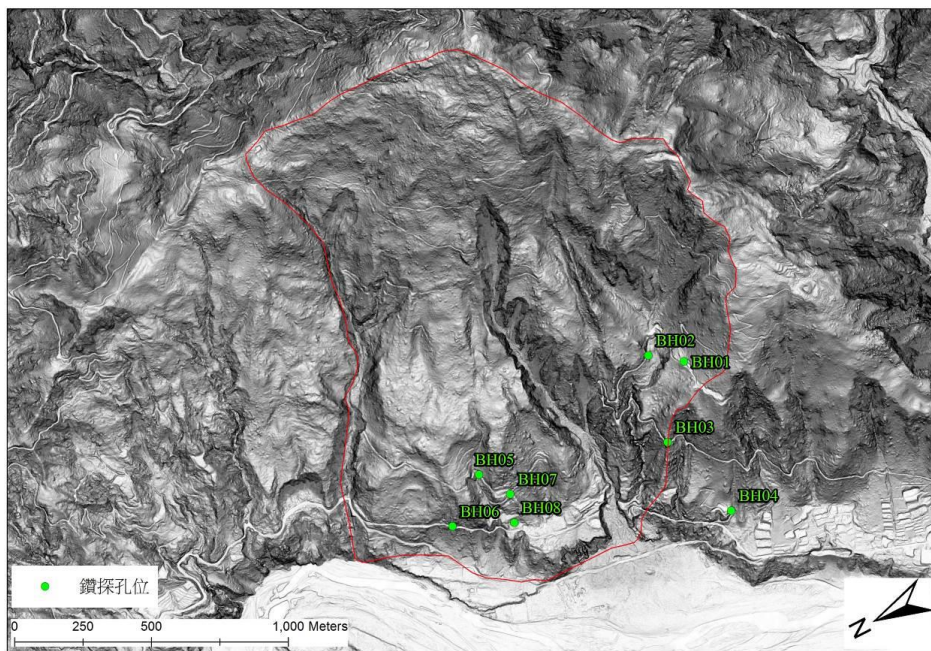


圖 4-38 鑽孔位置圖

表 4-3 鑽探長度及埋設監測設備表

孔號	鑽探深度(m)	埋設設備	備註
BH01	42	測傾管	可與旁邊簡易觀測 GPS 站比較
TDR1	42	TDR 纜線	鑽設於 BH01 旁，未取樣
BH02	40	測傾管	
BH03	45	測傾管	
BH04	36	水位計	
BH06	42	水位計	
BH05	50	水位計	
BH07	60	測傾管	
BH08	71	水位計	
合計	386		合約數量 320 公尺；TDR01 未計入

4-4.2 岩心取樣結果

現場鑽探所取得的岩心，由地質工程師進行地質記錄，項目包括岩性描述、弱面傾角等，並依據上述資料製作鑽孔柱狀圖如附錄四(附於末頁光碟)，岩心照片如附錄五(附於末頁光碟)。茲將鑽孔資料依序摘述如下：

BH01

0.0 至 2.2 m 為表土及回填層，於 0.6 m 處夾近代鋁箔包垃圾；2.2 至 11.3 m 為崩積層，其組成為黃褐色崩積土夾岩塊；11.3 至 16.7 m 為崩積層，主要由黃褐色崩積土夾岩屑組成；16.7 至 19.7 m 為崩積層，主要為灰色崩積土夾岩屑；19.7 至 24 m 為高度風化硬頁岩，其中硬頁岩多已受剪切，層面傾角約 57 度，葉理傾角約 47 至 68 度；24.0 至 33.0 m 為硬頁岩與砂岩薄互層，層面傾角約 35 度，葉理傾角約 52 至 66 度；33.0 至 42.0 m 為硬頁岩偶夾薄層砂岩，層面傾角約 30 度，葉理傾角約 35 至 46 度。

BH02

0.0 至 2.0 m 為表土夾岩塊；2.0 至 14.7 m 為風化硬頁岩岩塊，岩塊之弱面風化呈黃褐色；14.7 至 15.1 m 為灰色緻密泥；15.1 至 16.2 m 為疏鬆膠

結不良之岩屑；16.2 至 19.9 m 為風化硬頁岩，多已受剪；19.9 至 27.9 m 為硬頁岩局部較風化破碎，層面傾角約 29 至 58 度，葉理傾角約 52 至 69 度；27.9 至 40.0 m 為硬頁岩，層面傾角約 43 至 47 度，葉理傾角約 52 至 68 度。

BH03

0.0 至 2.2 m 為表土夾岩塊；2.2 至 6.8 m 為風化硬頁岩，弱面風化呈黃褐色，層面傾角約 19 至 35 度；6.8 至 45.0 m 為硬頁岩夾薄層砂岩，層面傾角約 27 至 64 度。

BH04

0.0 至 0.23 m 為表土層，0.15 至 0.23 m 為水泥；0.23 至 11.2 m 為崩積層，主要由黃褐色崩積土夾岩塊及岩屑組成；11.2 至 16.2 m 為崩積岩塊及岩屑，岩塊間充填碳酸鈣；16.2 至 19.1 m 為風化硬頁岩，層面傾角約 43 至 50 度；19.1 至 36.0 m 為硬頁岩，層面傾角約 37 至 65 度。

BH05

0.0 至 0.4 m 為表土層；0.4 至 6.75 m 為崩積層，主要由黃褐色崩積土夾硬頁岩岩塊組成；6.75 至 50.0 m 為風化硬頁岩，層面傾角約 29 至 52 度，葉理傾角約 54 至 73 度。

BH06

0.0 至 0.05 m 為表土；0.05 至 0.8 m 為表土夾岩屑；0.8 至 1.05 m 為破碎岩塊；1.05 至 8.0 m 為風化硬頁岩偶夾薄層砂岩，層面傾角約 33 至 37 度；8.0 至 43.4 m 為硬頁岩偶夾薄層砂岩，層面傾角約 33 至 50 度。

BH07

0.0 至 0.3 m 為表土層；0.3 至 31.8 m 為黃褐色崩積土夾硬頁岩岩塊；31.8 至 36.1 m 為灰色崩積土夾硬頁岩岩塊；36.1 至 41.8 m 為風化硬頁岩，岩體破碎；41.8 至 60.0 m 為硬頁岩偶夾砂岩，層面傾角約 44 至 62 度。

BH08

0.0 至 0.3m 為表土層；0.3 至 34.1m 為崩積層，由黃褐色崩積土夾硬頁岩岩塊組成；34.1 至 47.0m 為崩積層，主要為灰色崩積土夾硬頁岩岩塊；47.0 至 71.0 m 為風化硬頁岩層。

4-4.3 力學試驗成果

本計畫目前共計完成岩石單軸壓縮強度試驗 3 組、岩石弱面直剪試驗 3 組、併構岩/土三軸壓縮試驗 1 組，試驗工作與成果如以下說明，詳細試驗成果圖請參閱附錄六(附於末頁光碟)。

4-4.3.1 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，並由測微錶量度岩石試驗之端點變形量，由此變形量並可推算彈性模數。本項試驗採用電腦控制之材料試驗機進行試驗，試體即為鑽探之岩心，長徑比為 2.5 左右，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 4-4 所示。岩性為硬頁岩，破裂面多沿層面發展，單壓強度介於 77~130 kg/cm²。

表 4-4 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 (%)	備註
BH2 UCT1	33.5~33.7	130	18968	0.9	沿硬頁岩層面破壞(68°)
BH6 UCT1	36.5~36.7	84	8632	1.21	沿硬頁岩層面破壞(35°)
BH6 UCT2	33.3~33.5	77	8424	1.21	沿硬頁岩層面破壞(50°)

4-4.3.2 岩石直接剪力試驗

本項試驗目的係將岩樣置於剪力盒中進行直接剪力試驗，測量不連續面之抗剪強度。正向力與剪力大小由 load cell 量測，以測微錶測讀剪向變形量。採用多段式直剪試驗，每一階正向力施加至 10% 應變量後停止，試體移回原位，進行下一階加載。試驗儀器為 10 噸岩石弱面直剪儀，試驗步驟係照國際岩石力學學會 ISRM 建議方法，試驗結果如表 4-5 所示。直剪試驗弱面挑選完整硬頁岩塊切割後的人工弱面，以及硬頁岩既有的開裂層面。

表 4-5 岩石直接剪力試驗結果表

試體 編號	取樣深度 (m)	Cr (kPa)	ϕ_r (°)	備註
BH06-DST1	37.1	0	21.8	硬頁岩人工弱面 基本摩擦角
BH06-DST2	33.55	0	31.7	硬頁岩層面
BH07-DST1	43.55	0	35.5	硬頁岩層面

4-4.3.3 崩積層三軸壓縮試驗

為了探討崩積層內的力學行為，由鑽心製作併構土試體，進行三軸不壓密不排水試驗，記錄在不同圍壓下的軸向應力及軸向應變，並繪製莫爾圓、計算凝聚力與摩擦角，供後續穩定分析使用。試驗結果如表 4-6 所示。併購土破壞面主要沿著岩塊與土壤界面發展，力學參數凝聚力 $c=0.8 \text{ kg/cm}^2$ ，摩擦角 $\phi=21$ 度。

表 4-6 崩積層三軸試驗結果表(黃棕色基質)

試體編號	高度 (cm)	直徑 (cm)	重量 (gf)	σ_3 (kg/cm ²)	σ_1 (kg/cm ²)	c (kg/cm ²)	ϕ (°)
BH4-1	15.930	6.115	1102.15	1	4.57	0.8	21
BH4-2	18.311	6.114	1303.98	3	8.50		
BH4-3	18.341	6.065	1275.11	5	13.07		

4-5 地質剖面與破壞機制探討

4-5.1 地質圖與地質剖面圖

綜合以上區域地質資料、地表地質調查結果、地球物理探測結果、地質鑽探結果，本計畫亦選擇較完整的岩心段進行孔內造影試驗。試驗結果顯示在逆向坡，高傾角的岩層，層面傾角會隨深度改變，顯示本區有深層重力變形的跡象。另外也參考水保局台南分局(106)「106 水保局台南分局-高雄市六龜區 D015 大規模崩塌區調查及治理規劃」於坡頂稜線的鑽探資料，其地質分層顯示坡頂的表土層/崩積層約 5~10 m，風化岩層約 20 m。綜合以上調

查結果，本計畫整合地質鑽探、地物探測結果以 LiDAR DEM 為底圖製作依分析需要的較大比例尺地質剖面圖，圖 4-39 為地質剖面圖位置，地質剖面圖如圖 4-40、圖 4-41、圖 4-42、圖 4-43 所示。

4-5.2 邊坡特性與可能崩塌機制

六龜區-D015 大規模潛勢區邊坡受到多次崩塌、蝕溝侵蝕發展、河道側向沖刷之影響，地形變化劇烈而複雜。綜合本計畫調查結果，六龜區-D015 大規模崩塌潛勢區邊坡特性如下：

1. 本處邊坡在上邊坡處，坡度可達 30 度以上，並無明顯崩積層存在，大多僅為表面之風化岩層或薄崩積物，厚度約僅數公尺左右。
2. 坡度變緩之邊坡範圍，坡度約介於 10-20 度，則可明顯觀察到崩積層存在，崩積層厚度可達 20 m；下邊坡接近坡腳處是由多次堆積所形成的崩積層，其厚度可超過 50 m。
3. 坡面上之蝕溝由下往上溯源沖刷且拓寬，蝕溝崩崖逐漸接近坡頂，隨蝕溝侵蝕作用崩塌下來之材料，運移下來堆積於蝕溝出口處，形成蝕溝沖積扇。
4. 本區大範圍坡向屬逆向坡，由鑽探地質判釋與孔內造影結果可證明崩積層下的硬頁岩受重力變形傾倒彎曲、風化破碎、剪裂。
5. 崩塌區存在大小蝕溝、野溪。崩積層材料受到局部崩塌、蝕溝侵蝕作用的影響，造成崩積材料流失而大幅降低其崩積層厚度，甚至直接局部出露岩盤，在中央蝕溝與北側蝕溝特別明顯。

本區可能的邊坡破壞機制包含：

1. 主坡面沿崩積層界面或重力變形形成剪動帶的滑動，以及道路邊坡崩積層內或沿岩盤界面的局部滑動，如圖 4-40、圖 4-41 的崩積層與岩盤交界。
2. 重力變形形成深層剪動帶的滑動，如圖 4-43。
3. 沖蝕溝兩側的崩滑、及蝕溝源頭崩滑引致上溯，如圖 4-42。

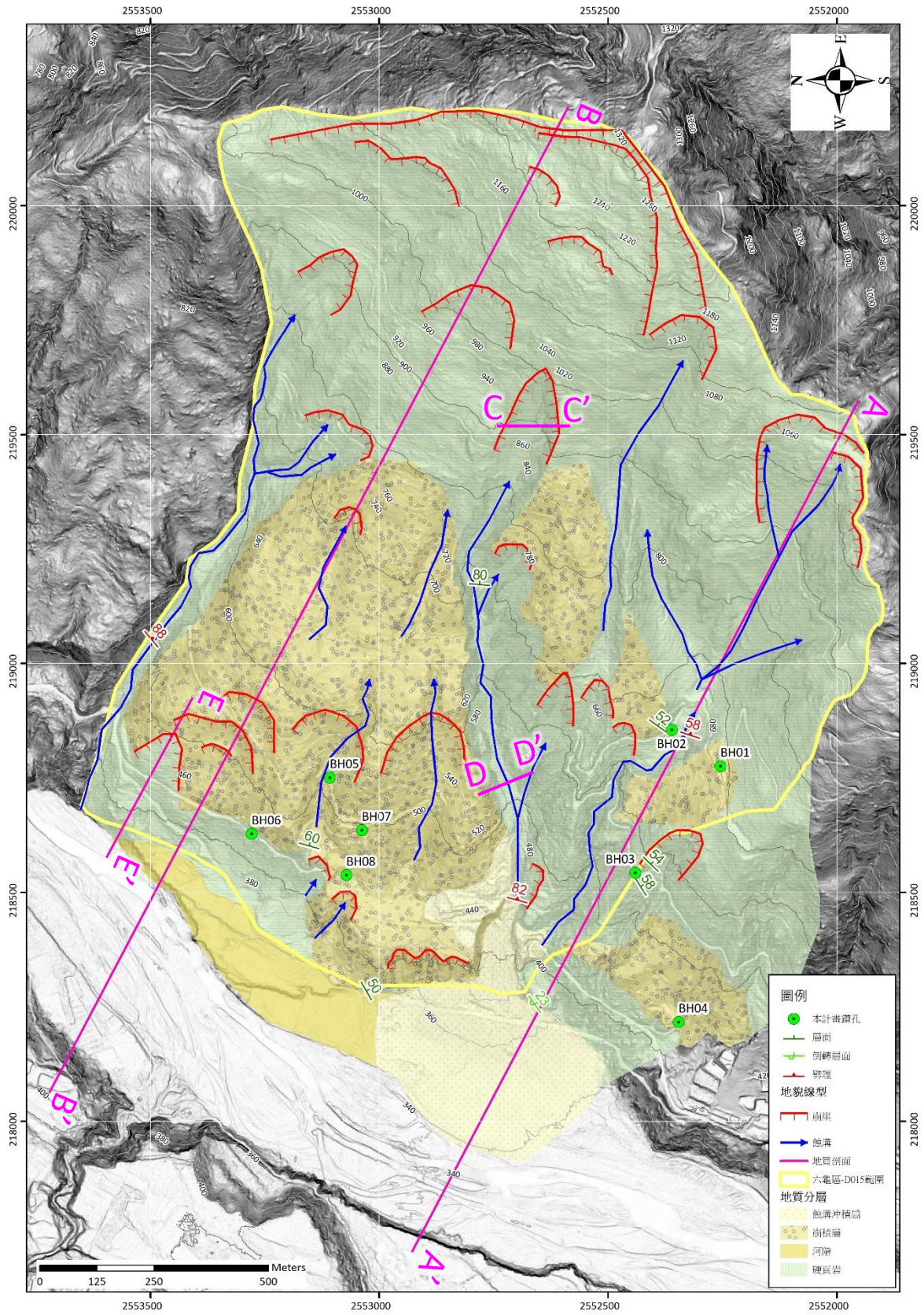


圖 4-39 地質剖面圖位置

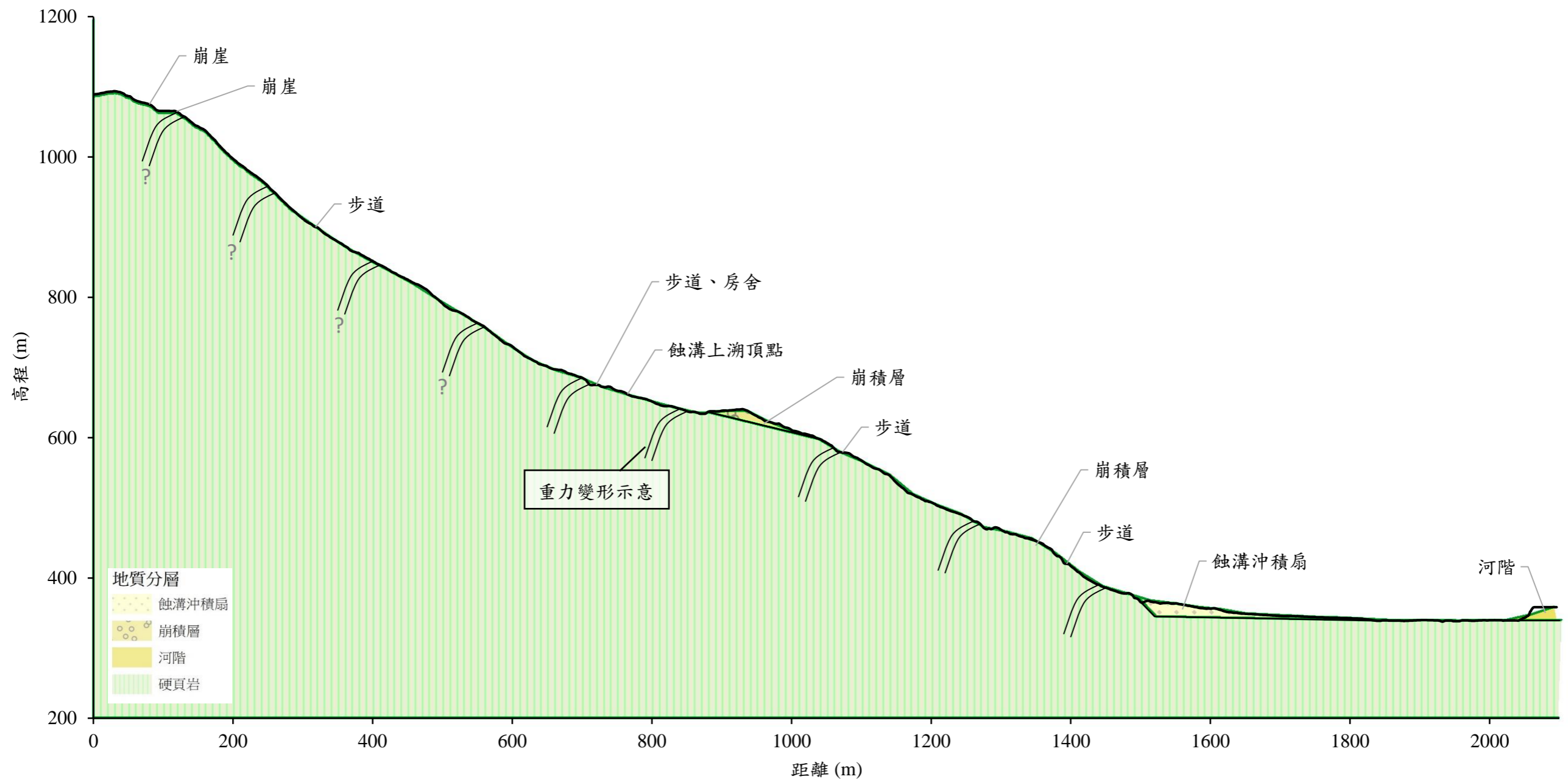


圖 4-40 六龜區-D015 AA'地質剖面圖

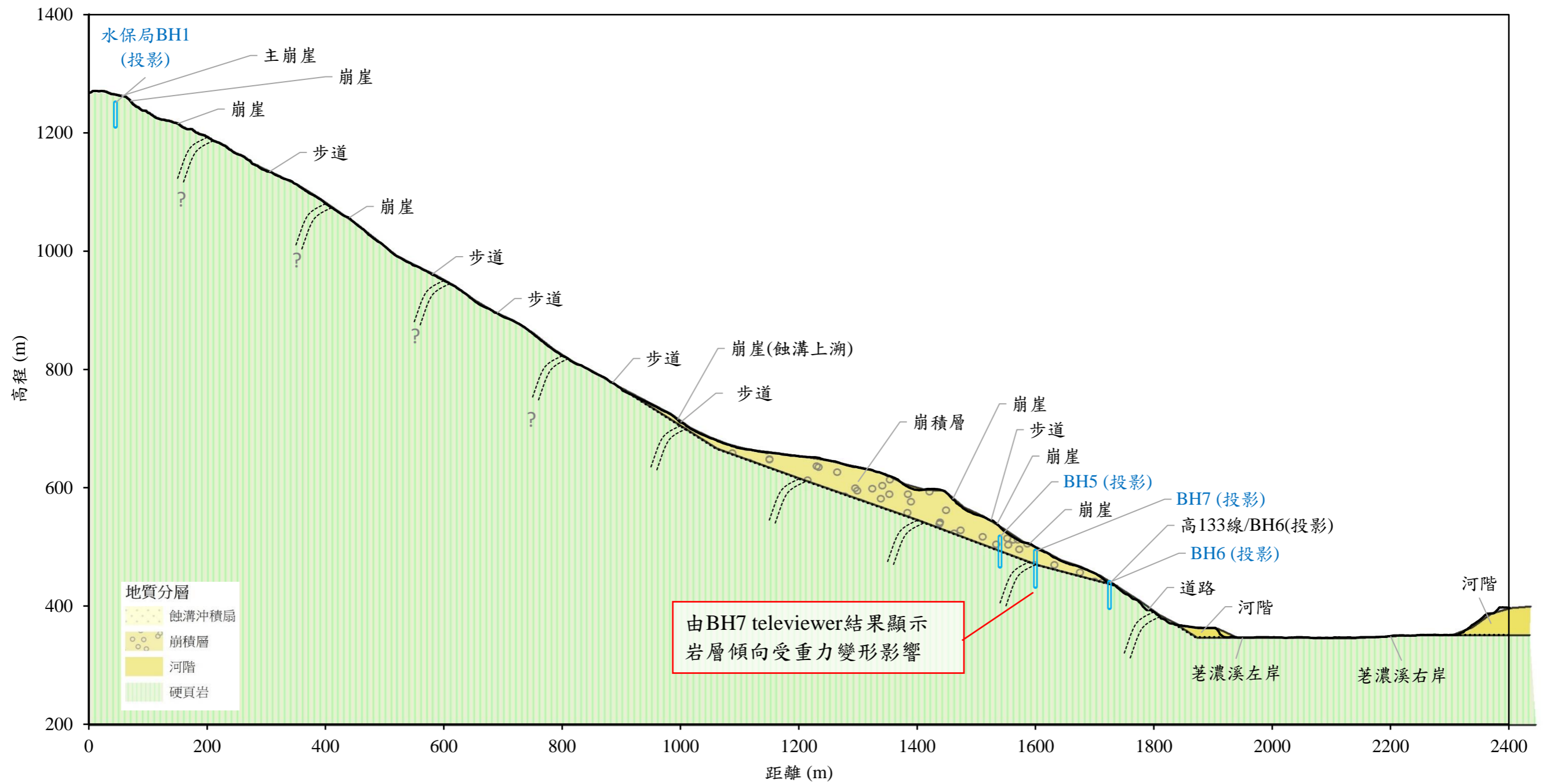


圖 4-41 六龜區-D015 BB'地質剖面圖

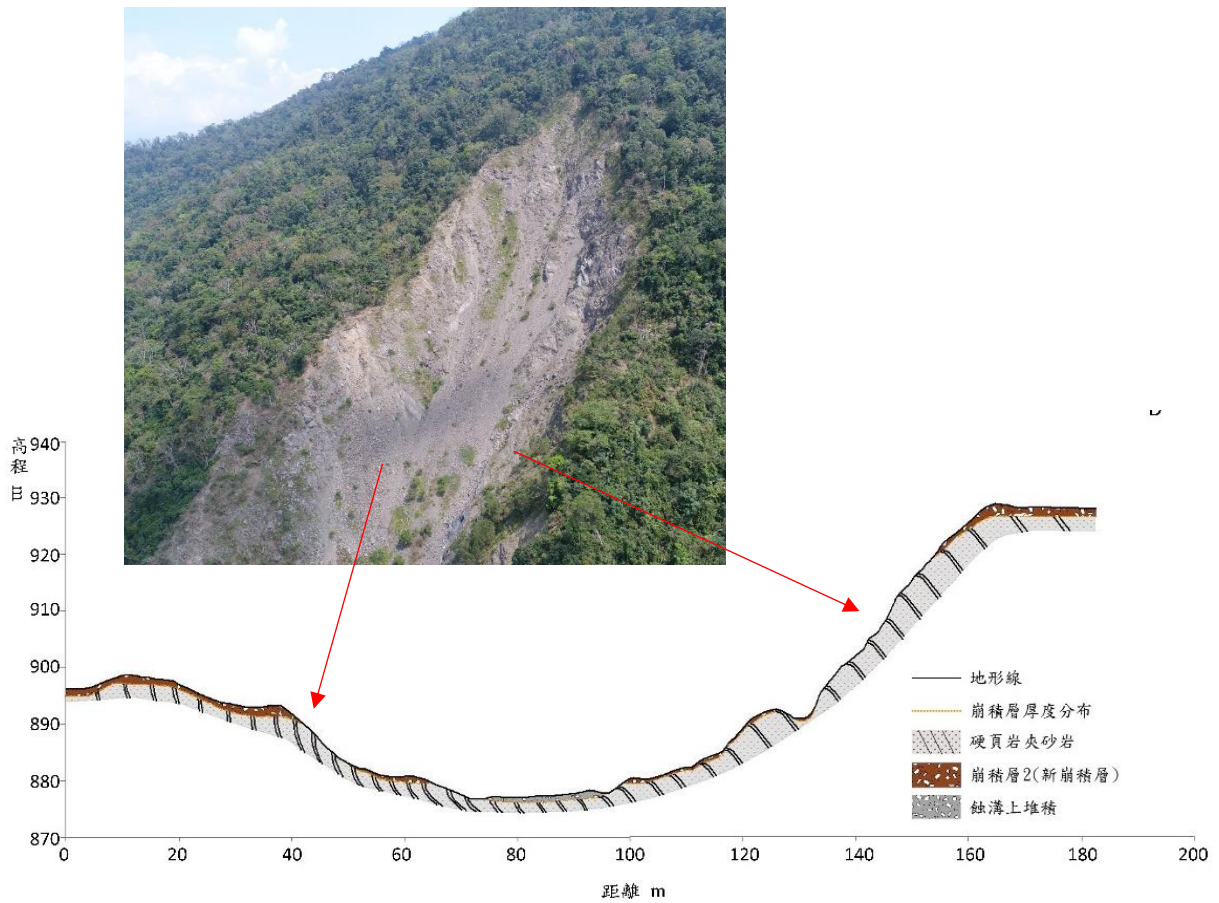


圖 4-42 六龜區-D015 CC'地質剖面圖

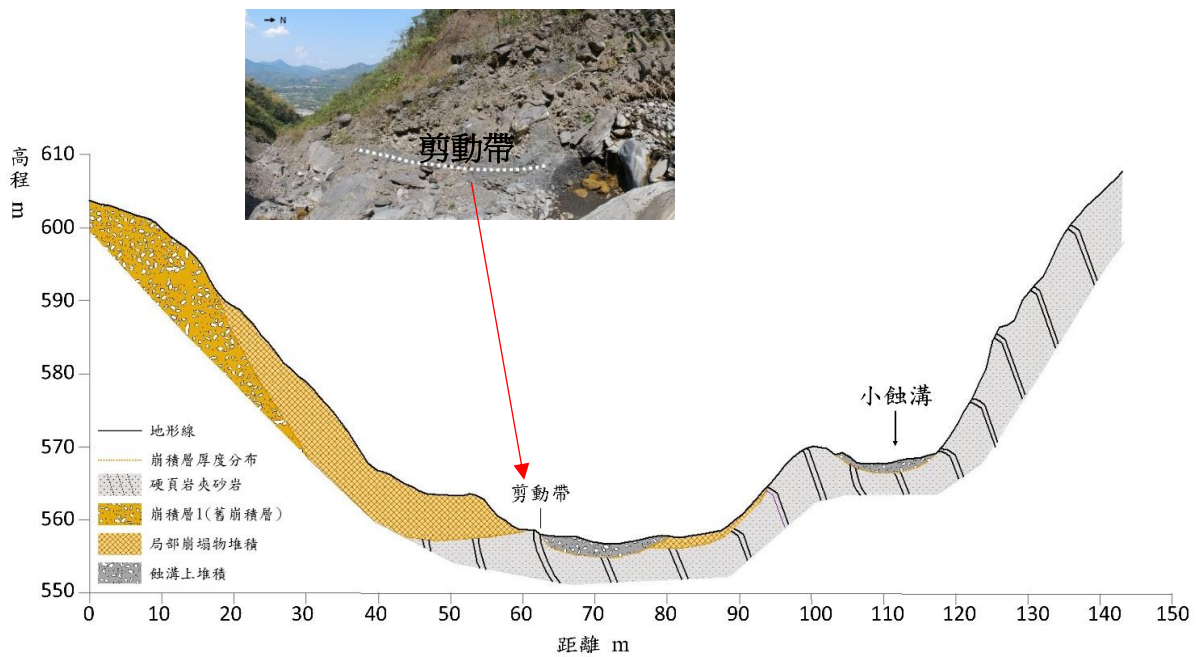


圖 4-43 六龜區-D015 DD'地質剖面圖

伍、高雄市-六龜區-D015 潛勢區監測及分析

5-1 潛勢區監測

本工作搭配地質鑽探共計埋設 4 處傾斜觀測管(BH01、BH02、BH03、BH07)，4 處水位井，每一處水位井在兩個不同深度分層封堵，裝設自計式水位計與非自計式水位計(BH04、BH05、BH06、BH08)，與 1 處 TDR 變形量測電纜線，表 5-1 為鑽孔深度與監測儀器埋設位置。計畫執行期間每月定期前往進行傾斜觀測管量測，並下載收集自計式水位計、TDR 變形量測資料。截至期末報告繳交前，傾斜管已量測 10~14 次(包含初始值)，自計式水位計 106 年 1 月裝設後記錄多場降雨的水位變化資料。

5-1.1 傾斜觀測管

圖 5-1 說明傾斜觀測管位置、A+方向及地表累積變位向量之關係，BH01、BH02、BH03、BH07 側傾管量測結果如圖 5-2~圖 5-5。由 106 年 1 月至 10 月的監測結果顯示，BH01 深度 42 m，A 方向變位量在 ± 2 mm 之間擺盪，於誤差範圍內，地表累積變位量 0.7 mm(本團隊使用 RST 數位傾斜儀的系統精度(system accuracy)為 ± 2 mm /25 m)。B 方向變位量在 ± 2 mm 之間擺盪，於誤差範圍內，地表累積變位量-0.2 mm。整體而言，BH1 地表與地中皆無明顯變位。

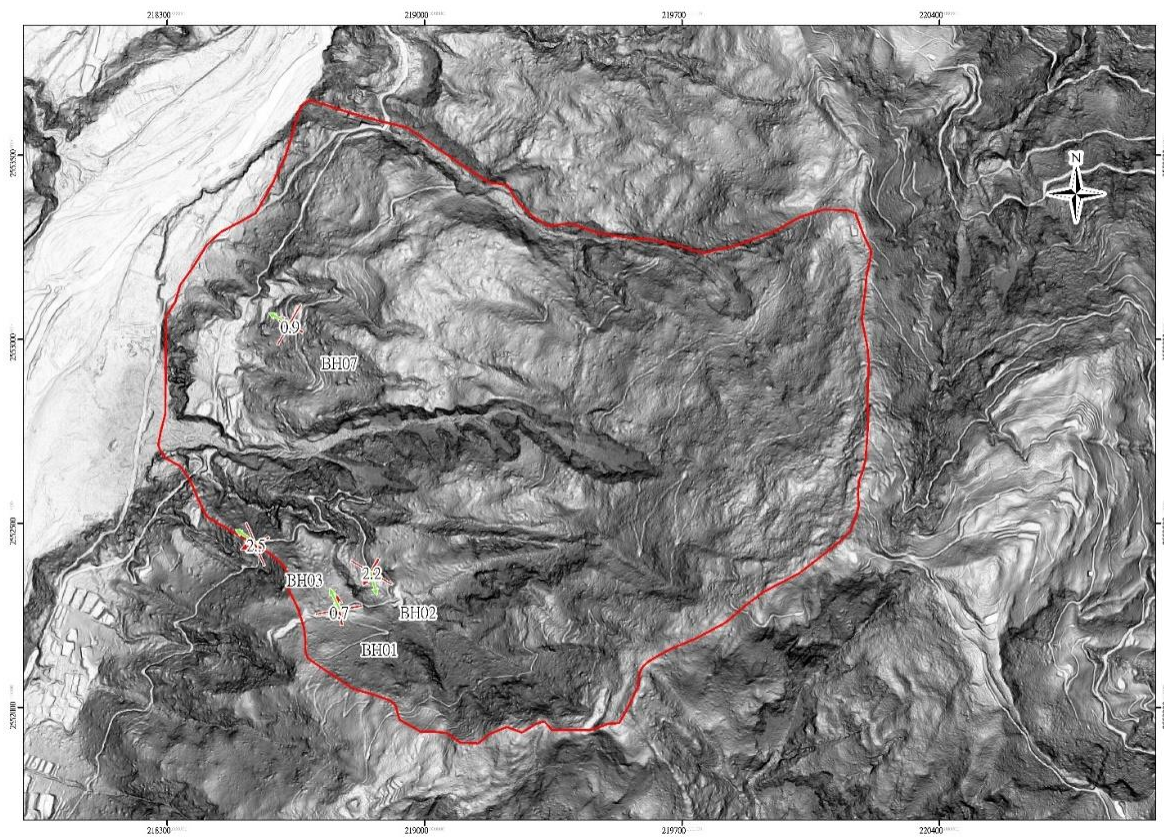
BH02 深度 40 m，A 方向變位量在 ± 2 mm 之間擺盪，於誤差範圍內，地表累積變位量 1.6 mm。B 方向變位量在 ± 2 mm 之間擺盪，於誤差範圍內，地表累積變位量-1.5 mm。整體而言，BH02 於監測時間內地表與地中皆無明顯變位。

BH03 深度 45.5 m，A 方向整體變位量在-3.5~1.5 mm 之間擺盪，地表累積變位量 1.6 mm。B 方向變位量在 ± 2 mm 之間擺盪，於誤差範圍內，地表累積變位量 2 mm。整體而言，BH03 於監測時間內地表與地中皆無明顯變位。本孔於深度 12 m、20 m 各有一處不合理的凸出變形(各約 11 mm)，檢討鑽探地質記錄及傾斜觀測管施工記錄後發現，該深度岩層較為破碎、且

傾斜觀測管施工完成後回填灌漿時一直漏漿，研判傾斜觀測管於該深度可能沒有與岩盤完全固結、形成空洞，造成該深度凸出變形。

BH07 深度 54.5 m，A 方向變位量在 ± 1 mm 之間擺盪，於誤差範圍內，地表累積變位量 0.9 mm。B 方向變位量在 $-2\sim 1$ mm 之間擺盪，於誤差範圍內，地表累積變位量 < 0.1 mm。整體而言，BH07 於監測時間內地表與地中皆無明顯變位。

綜合以上傾斜觀測管監測結果，目前尚無明顯滑動面，亦無法評估其活動性。



(註：紅色箭頭為 A+方向、綠色箭頭為地表位移向量)

圖 5-1 鑽孔位置及傾斜管方向圖

表 5-1 鑽探孔位埋設監測設備表

孔號	鑽孔深度 (m)	埋設設備	備註
BH01	42	傾斜觀測管	監測時間 106/1/22~106/10/24，共 14 次
TDR1	42	TDR 纜線	埋設於 BH01 旁，監測大變形量使用
BH02	40	傾斜觀測管	監測時間 106/1/15~106/10/24，共 14 次
BH03	45.5	傾斜觀測管	監測時間 106/3/7~106/10/24，共 10 次
BH04	36	水位計	自計式水位計-18.65~-19.35 m, 非自計式水位計-28~-28.7 m
BH05	50	水位計	自計式水位計-44.35~-44.85 m, 非自計式水位計-13.55~14.1 m
BH06	42	水位計	自計式水位計-30~-31 m(6 月新設), 非自計式水位計-18.8~-19.3 m
BH07	54.5	傾斜觀測管	監測時間 106/3/7~106/10/24，共 10 次
BH08	71	水位計	自計式水位計-68.6~69.2 m(6 月新設), 非自計式水位計-37~37.55 m

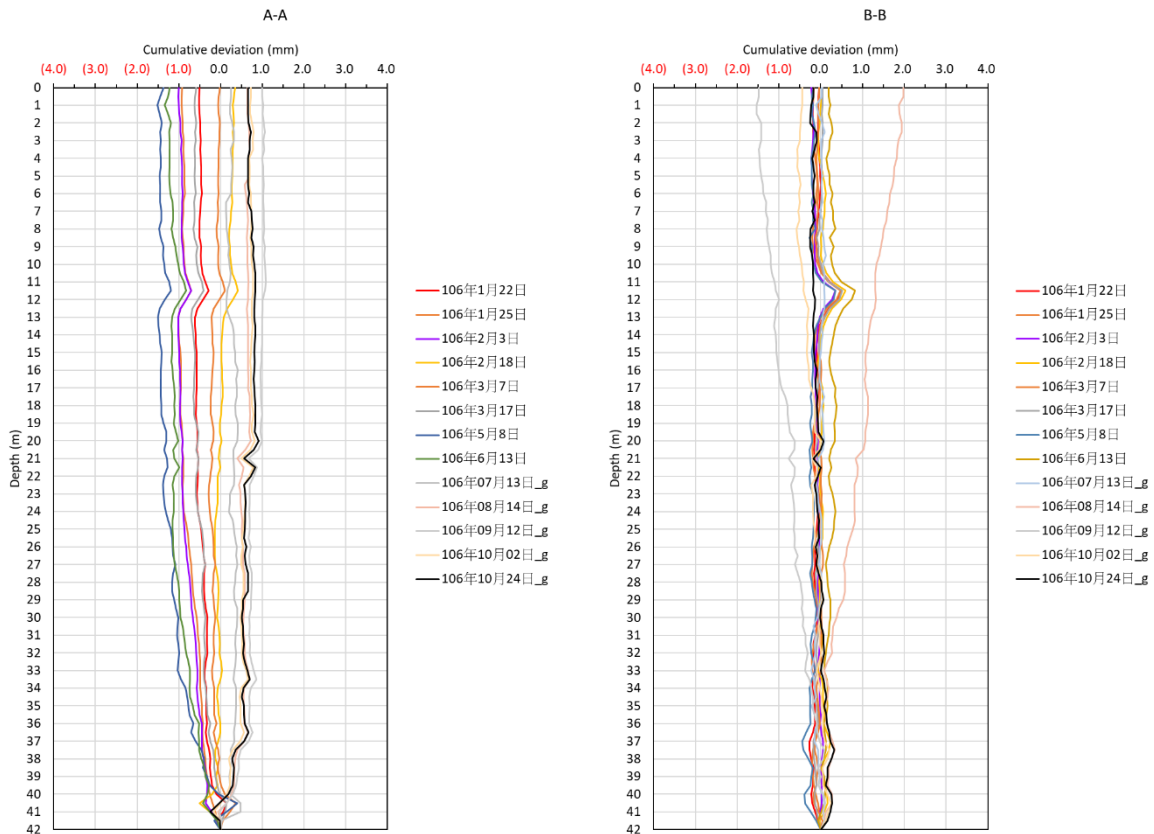


圖 5-2 BH01 測傾管量測結果圖

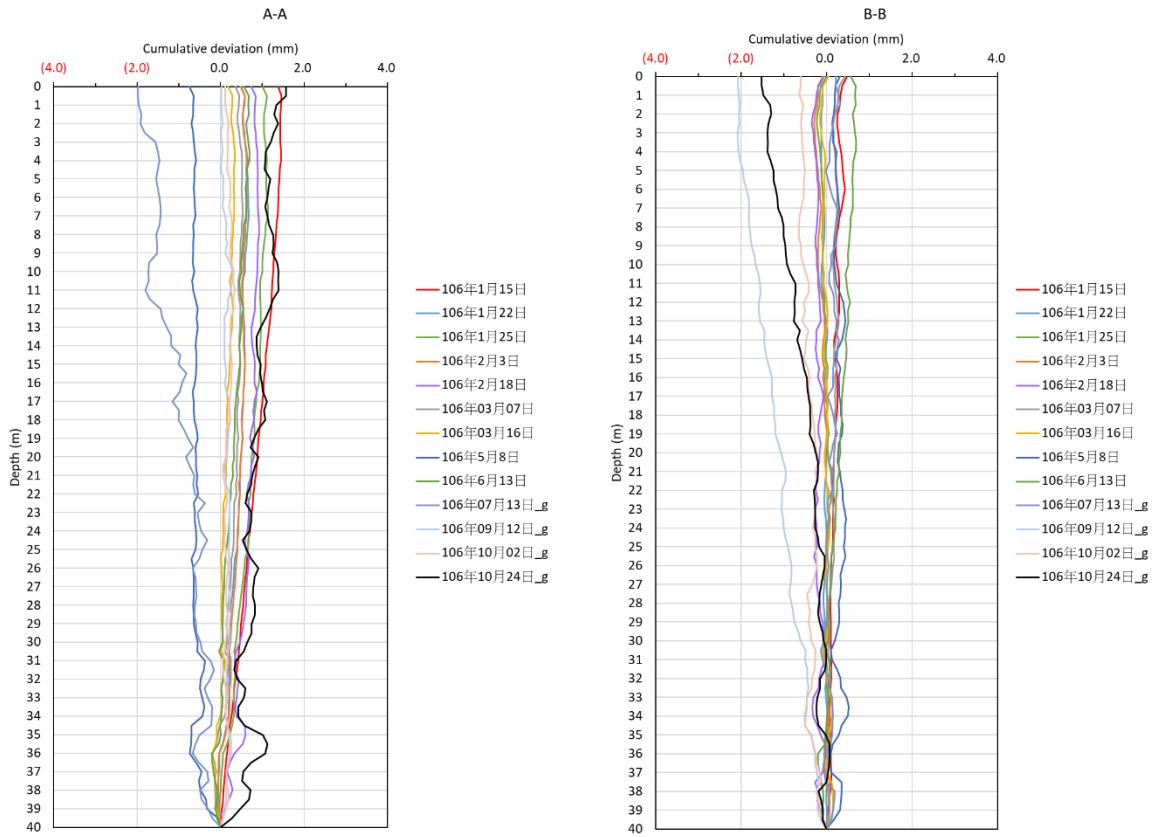


圖 5-3 BH02 測傾管量測結果圖

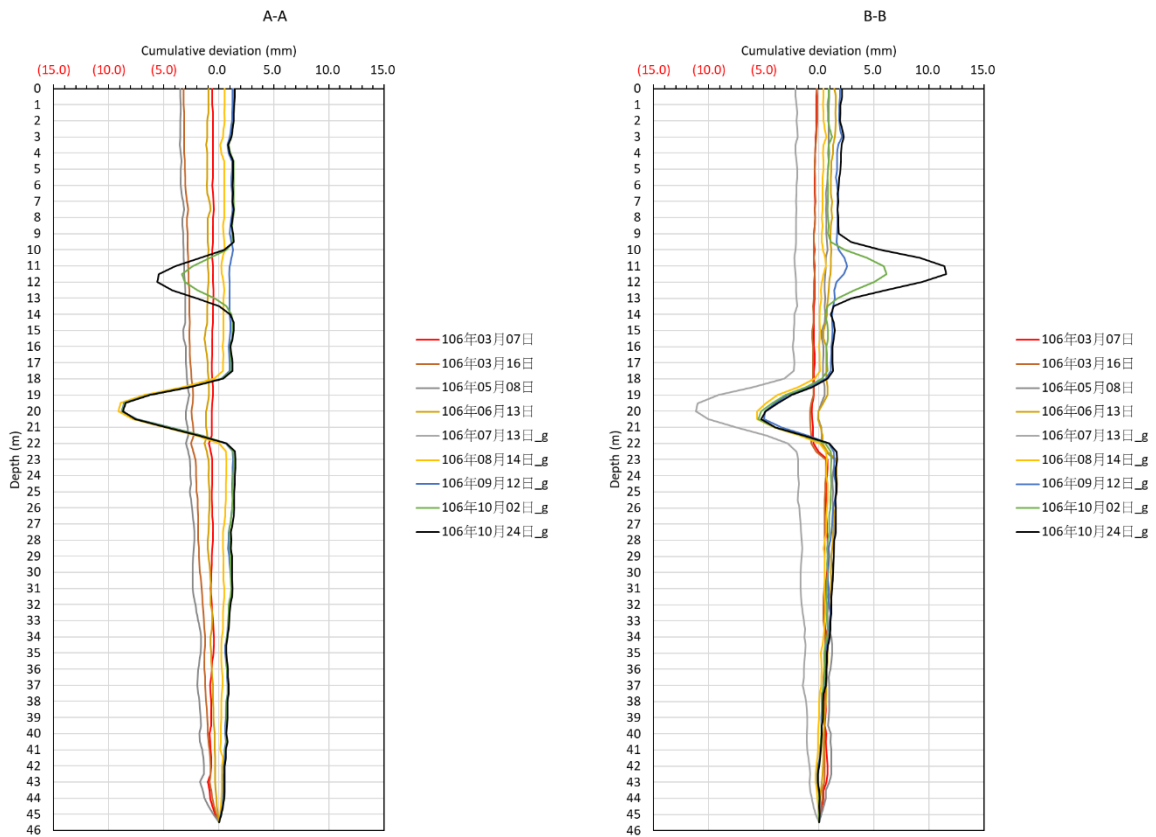


圖 5-4 BH03 測傾管量測結果圖

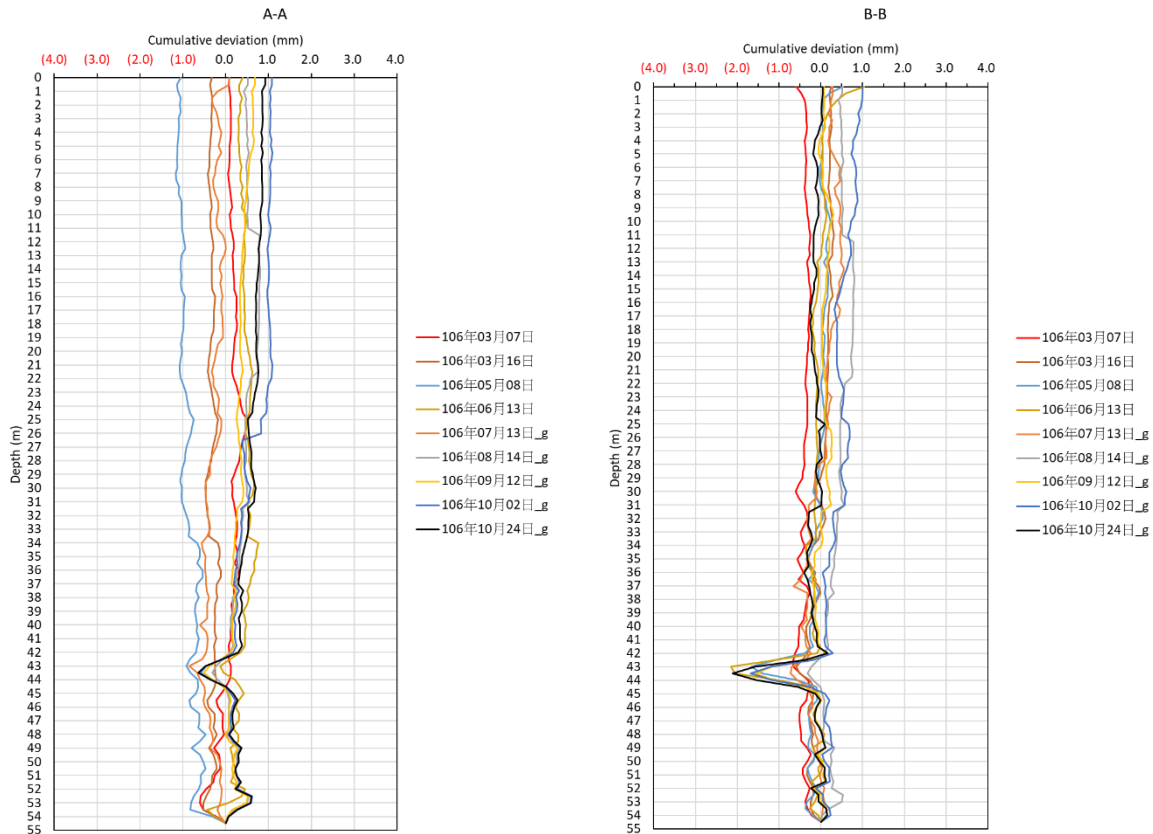


圖 5-5 BH07 測傾管量測結果圖

5-1.2 水位觀測井

本計畫於 BH04、BH05、BH06、BH08 四處埋設水位井，每一處水位井在兩個不同深度分層封堵，裝設自計式水位計與非自計式水位計，鑽孔位置如圖 5-6，開篩段位置如表 5-1。圖 5-7~圖 5-10 為水位觀測結果與鄰近新發雨量站之關係，以下討論降雨對崩積層或岩層內水位升降的影響。

BH05 位於蝕溝、BH06 位於邊坡凹陷處，兩孔都是位於地勢相對較低處，觀測結果顯示水位變化受降雨影響很大。BH05 自計式水位計封堵於風化硬頁岩較破碎處，比較自計式水位計與非自計式水位計的水位變化以及鑽探地質記錄，可知風化岩層內水壓並非完全連通。6 月份與 7 月份兩場大雨後風化岩層內水壓分別上升 17 m、10 m，兩個月後水壓仍未消散至原水壓。顯示該區風化岩層側向水力傳導性佳。

BH06 裝設於相對新鮮的硬頁岩層，水壓變化同樣受降雨影響，7 月份大雨後水壓上升 8 m，但因為 BH06 在高 133 道路旁、靠近邊坡外側、所以

水壓消散較快。BH04、BH08 自計式水位計分別裝設於風化硬頁岩與崩積層，水壓/水位也會隨著降雨變化，但沒有像 BH05、BH06 那麼明顯。BH04 八月份量測時發現孔口遭破壞至無法修復的狀態，為了避免自記式水位計遺失，因此將儀器回收，此孔改為每月人工量測。

綜合以上資料，本區的地下水位/水壓分布與地勢密切相關，若為既有蝕溝或逕流易匯集處，地下水位、水壓變化就會較大，且消散較慢。

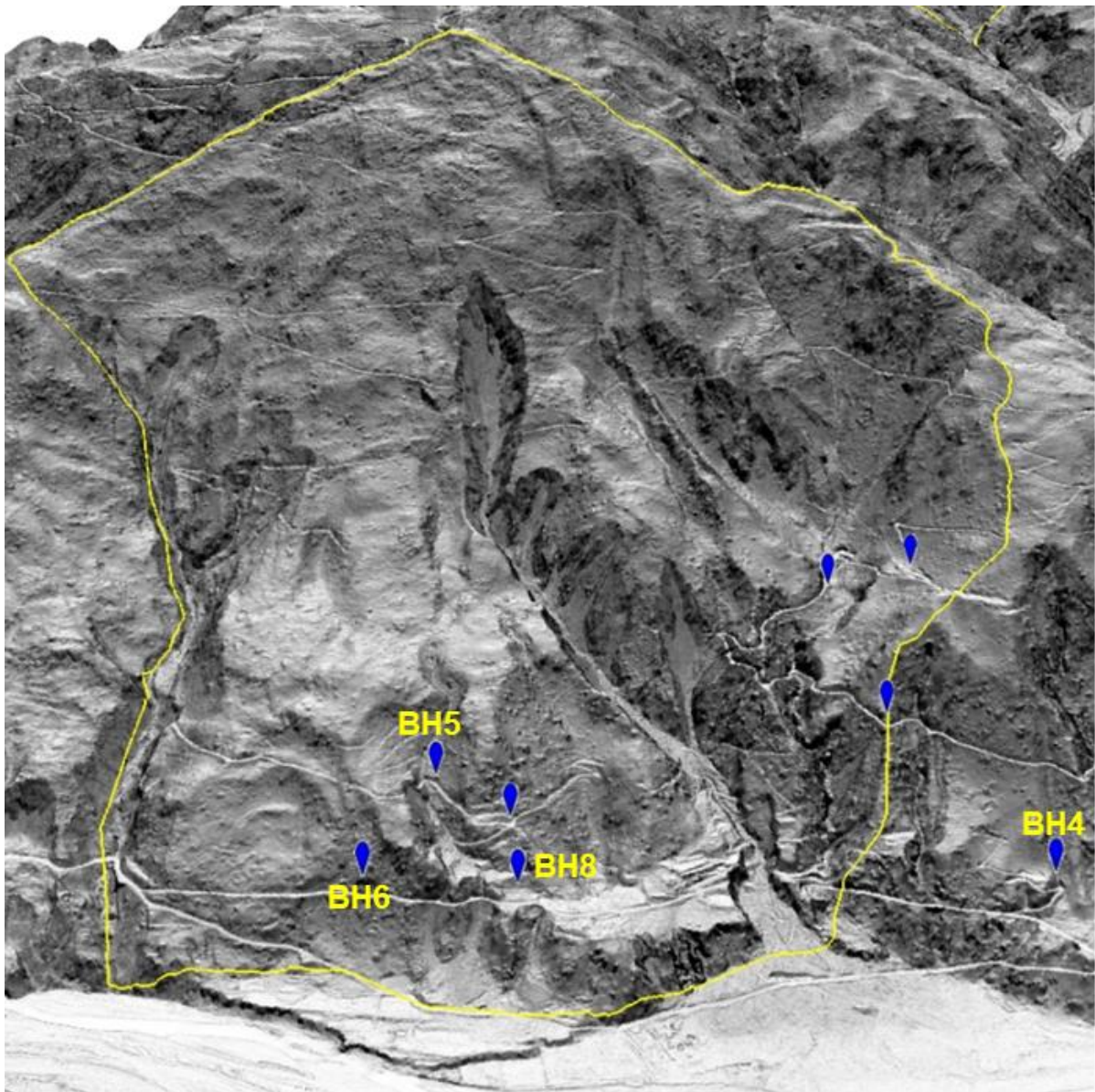


圖 5-6 水位觀測井位置

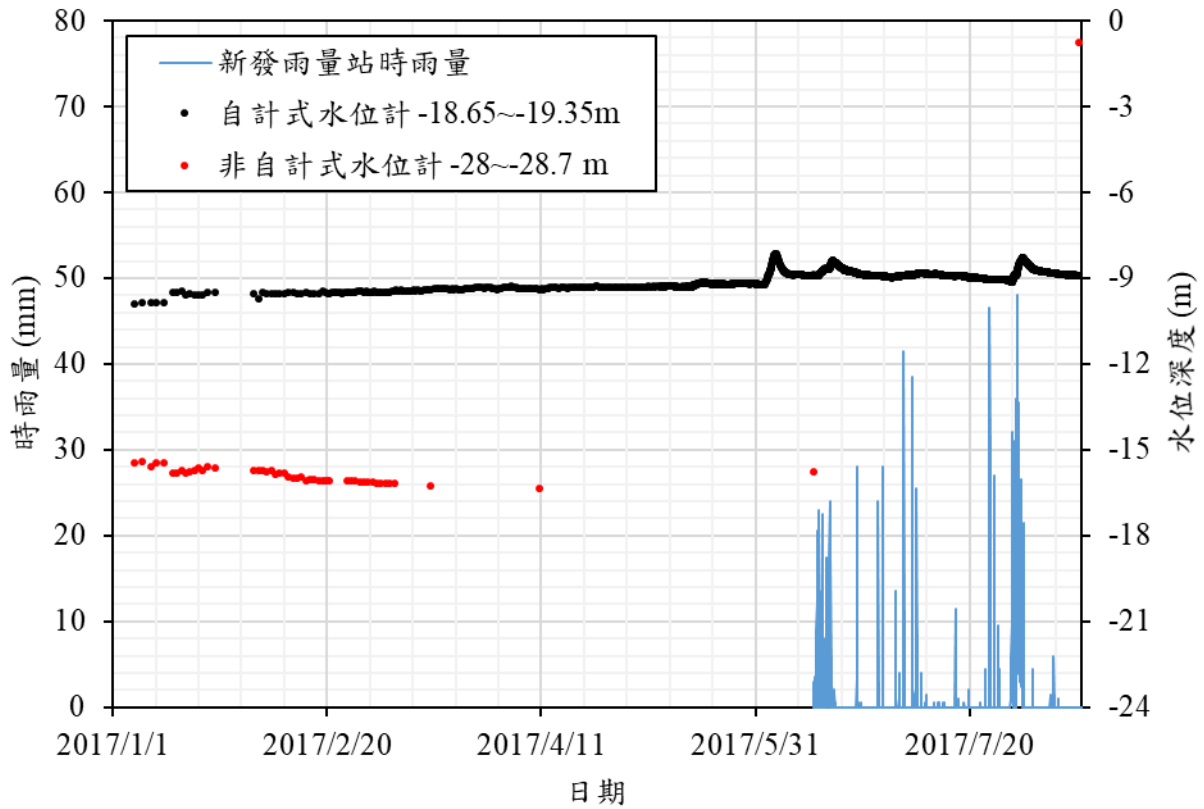


圖 5-7 BH04 水位變化與時雨量關係圖

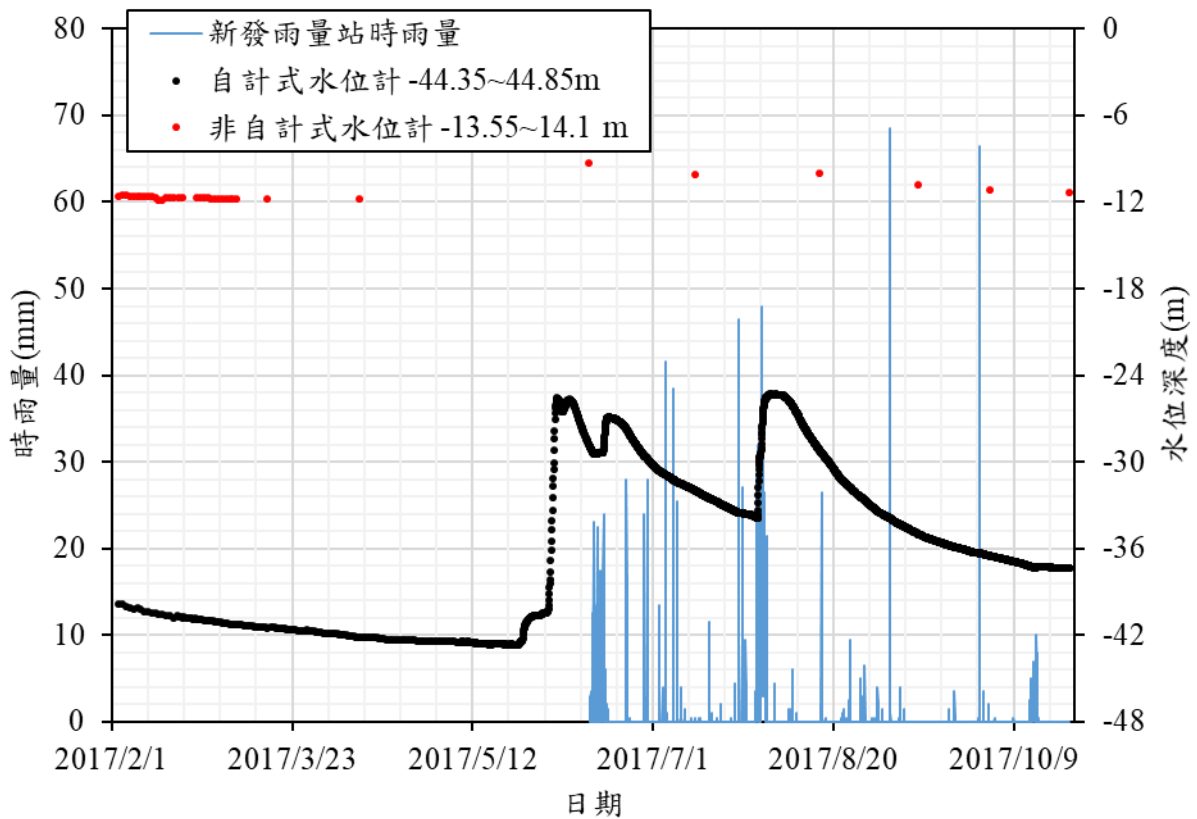


圖 5-8 BH05 水位變化與時雨量關係圖

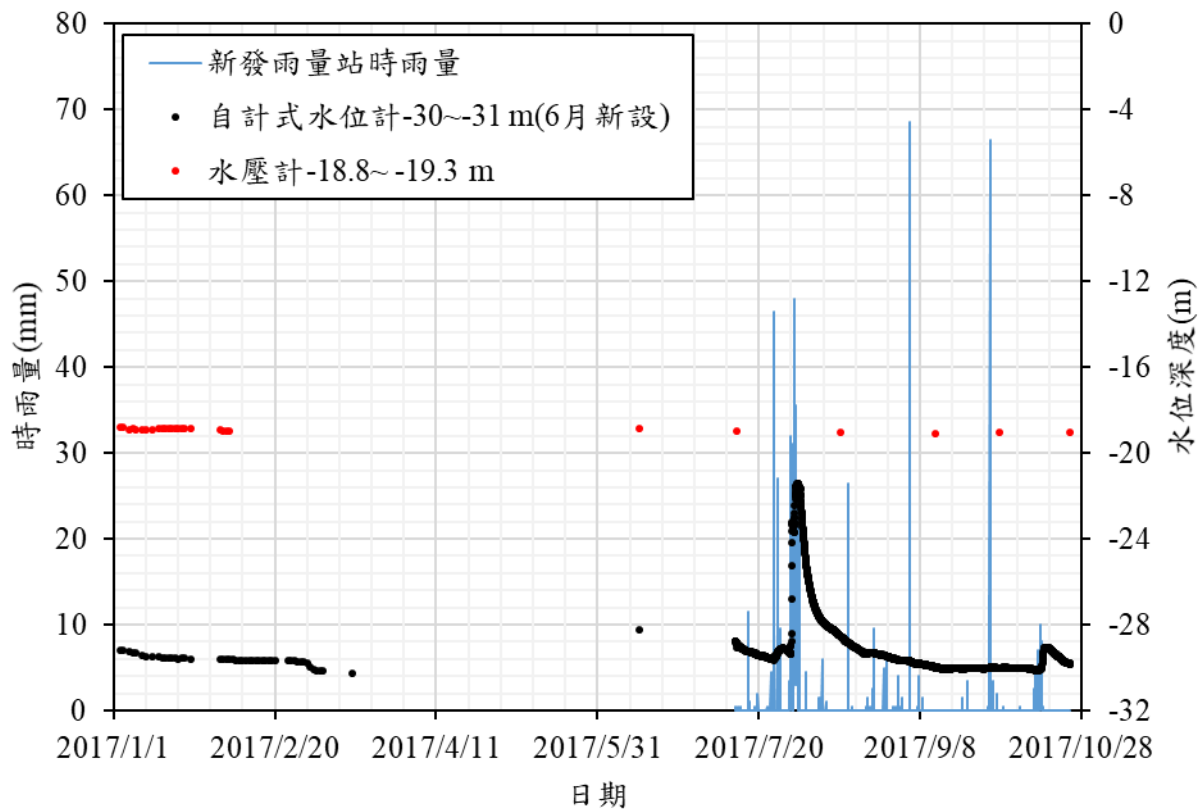


圖 5-9 BH06 水位變化與時雨量關係圖

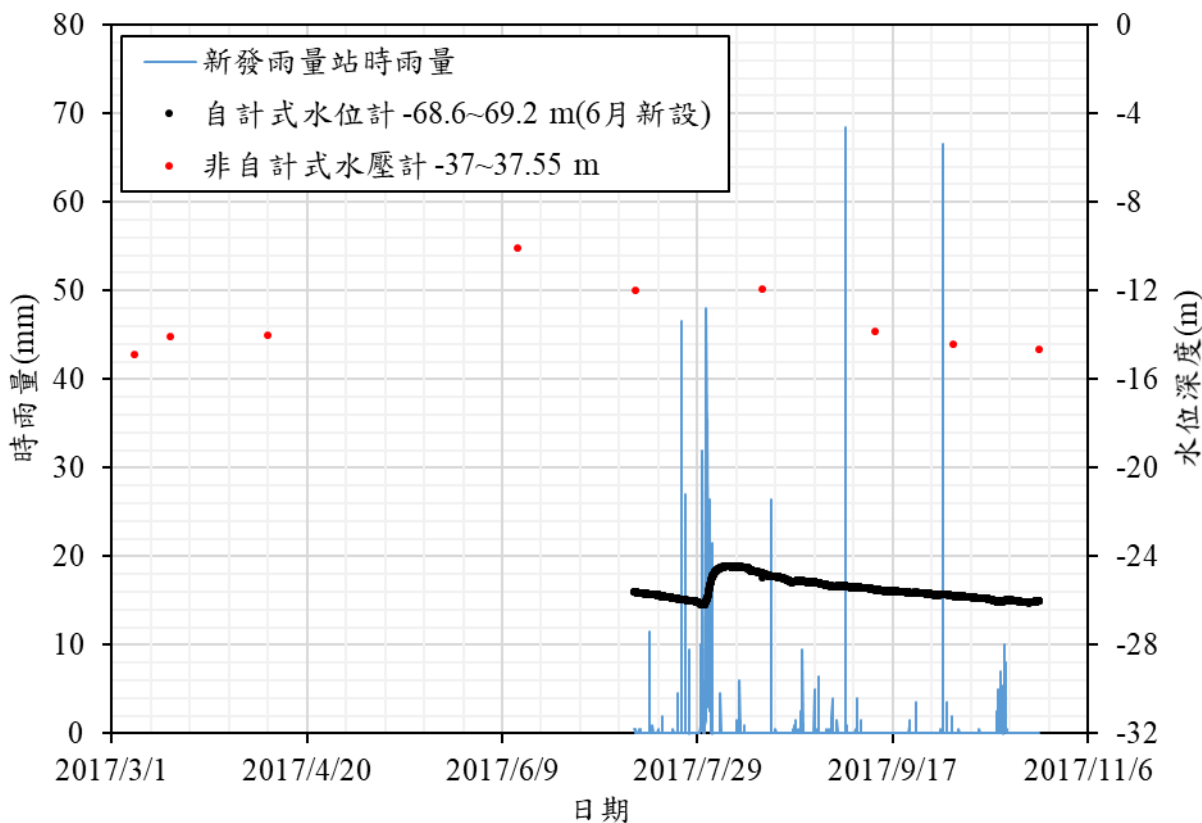


圖 5-10 BH08 水位變化與時雨量關係圖

5-2 綜合邊坡穩定分析

欲嚴謹了解大規模滑動邊坡的形成原因，及評估大規模滑動邊坡的活動性、可能致災性、及工程構造物的安全，首需掌握邊坡材料特性(材料模式)及邊坡的破壞機制，以進行傳統的邊坡穩定分析(極限平衡)及以數值方法進行力學分析、情境模擬等。國內外的研究顯示，大規模崩滑邊坡的成因複雜，滑動機制也因地質條件、組成材料、啟動外力種類而異，因此需確實掌握地質模式、地質材料特性等等，並透過數值模擬及監測結果加以驗證，方能建立合理的邊坡破壞機制。惟此方式須進行更多細部調查試驗工作方能建立。

本節邊坡穩定分析工作依據 4-5 節「地質剖面與破壞機制探討」結果，挑選具有代表性的剖面以進行分析，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，藉此靜態地來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圓弧形滑動、平面滑動、不整合面滑動等破壞模式。

本計畫挑選 BB'、EE'剖面進行邊坡穩定模擬，BB'剖面可視為 D015 中央蝕溝與北側蝕溝之間地層的代表剖面，模擬是否有一次式全面性滑動之可能，以及崩積層局部滑動的穩定性。EE'剖面模擬 101 暴雨造成高 133 線中斷的邊坡滑動事件反算分析，驗證參數合理性，以及破壞時滑動面位置。剖面位置及地層分布如圖 4-39、圖 4-41 所示。

表層覆蓋崩積土的岩石邊坡，主要破壞機制可分為(1)崩積層內圓弧形滑動或沿岩土界面滑動、(2)岩體內部不連續面的順向滑動、(3)高度風化岩體或重力變形岩體的材料弱化行為。其力學參數可分別透過如併構土三軸試驗、岩石弱面直剪試驗、岩石三軸試驗、岩體分類法等方法獲得。參數選取除了參考試驗結果，亦可從文獻、相關經驗式、反算分析獲得。

本計畫由鑽探地質判釋及岩體分類法，將 D015 地層適度簡化為新鮮岩盤、低風化岩盤、高風化岩盤、崩積層、河階，低風化及高風化岩盤厚度參考鑽探地質判釋假設各 22 m。各層材料參數選用參考力學試驗結果，風化岩盤參數依岩心 GSI 評分後折減，表 5-2 為邊坡穩定分析採用的模擬參數。

模擬情境考慮可能的潛在破壞條件，挑選常時地水位、地震、暴雨情境進行圓弧形與非圓弧形滑動分析。常時地水位參考下邊坡水位觀測井的枯水期地水位，上邊坡保守估計、假設地下水位在低風化岩盤底部。暴雨情境考慮地下水位上升至地表面。地震情境參考甲區震區水平加速度係數 0.33 g，然最大地動加速度往往是一個瞬間時刻，整體地震發生的時候並非長時間都處在如此高的地動加速度，所以在進行模擬時折減水平加速度為 0.2 g，垂直加速度 0.1 g 較為合理。以下分別就 EE'剖面、BB'剖面邊坡穩定分析模擬結果進行說明。

表 5-2 邊坡穩定分析材料參數表

	滲透係數 (m/s)	凝聚力 c (kPa)	摩擦角 $\varphi(^{\circ})$	單位重 (kN/m ³)
新鮮岩盤	1.00E-09	1970	46	26
低風化岩盤	1.00E-09	400	37	26
高風化岩盤	1.00E-07	135	36	26
崩積層、河階	1.00E-07	100	23	22

EE'剖面模擬 101 暴雨造成高 133 線中斷的邊坡滑動事件，假設地下水面上升至地表面的暴雨情境，進行反算分析驗證參數合理性，並推估破壞當時的滑動面位置作為後續影響範圍模擬之依據。破壞前的地形面參考 99 年 LiDAR DEM，岩層分布由崩塌後 106 年 UAV 空拍 DSM、現地露頭調查、鄰近鑽探地質判釋進行合理假設。

圖 5-11、圖 5-12 為圓弧形滑動與非圓弧形滑動模擬結果。模擬結果顯示在暴雨情境時崩積層有可能沿著風化岩層界面發生一次式較大規模滑動，滑動體長度約 230 m，高度約 130 m，滑動後的殘坡範圍與現況相似，顯示參數選擇合理。滑動後的量體運移模擬見 5-3 節。

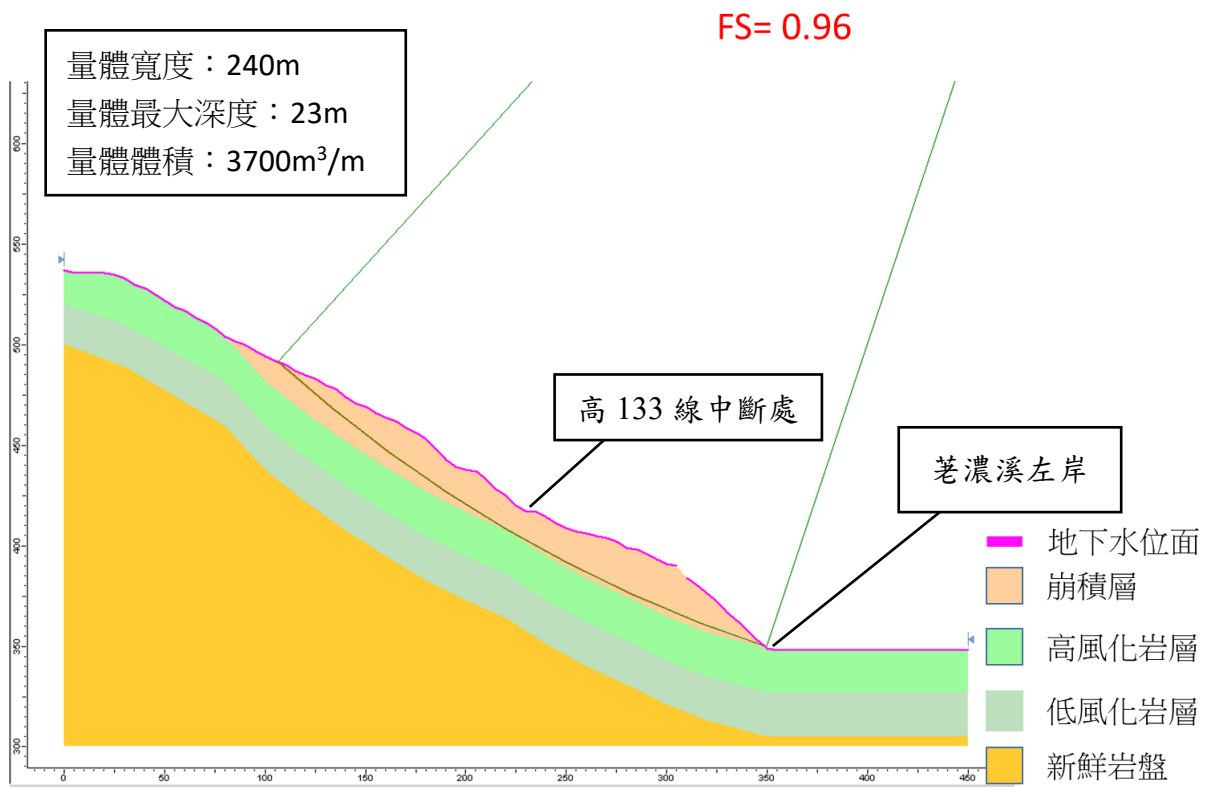


圖 5-11 EE'剖面圓弧形滑動面及安全係數-暴雨情境

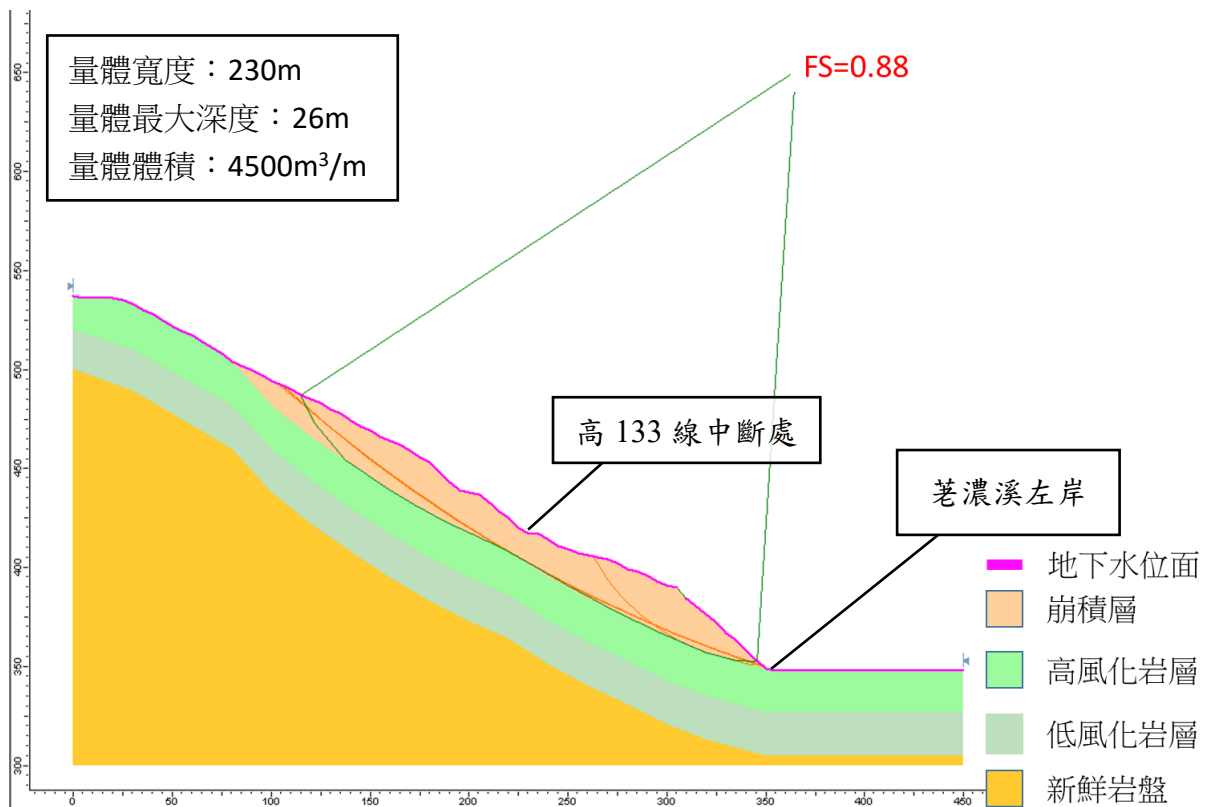


圖 5-12 EE'剖面非圓弧形滑動面及安全係數-暴雨情境

BB'剖面模擬 D015 是否有一次式全面性滑動之可能，以及崩積層局部滑動的穩定性。針對常時地水位、暴雨、地震三種情境進行邊坡穩定分析，模擬結果如圖 5-13~圖 5-20 所示。由模擬結果可知在常時地水位條件下，安全係數皆大於 1(圖 5-13、圖 5-14)。在地震與暴雨條件，高 133 線上邊坡崩積層可能發生崩積層內的圓弧形滑動或是沿岩土界面的非圓弧形滑動，滑動體長度介於 220~460 m，高度介於 120~180 m，安全係數介於 0.74~0.8(圖 5-15、圖 5-16、圖 5-17、圖 5-18)。

本計畫檢討 D015 大規模崩塌潛勢區是否有發生從坡頂至坡趾一次式全面性滑動的可能(高程差 1,000 m，水平距離 1,900 m)，模擬暴雨與地震情境，並強制破壞面沿著風化岩層內部滑動。模擬結果顯示本區於極端不利的情境下並沒有發生一次式全面性滑動的可能(圖 5-19、圖 5-20)。

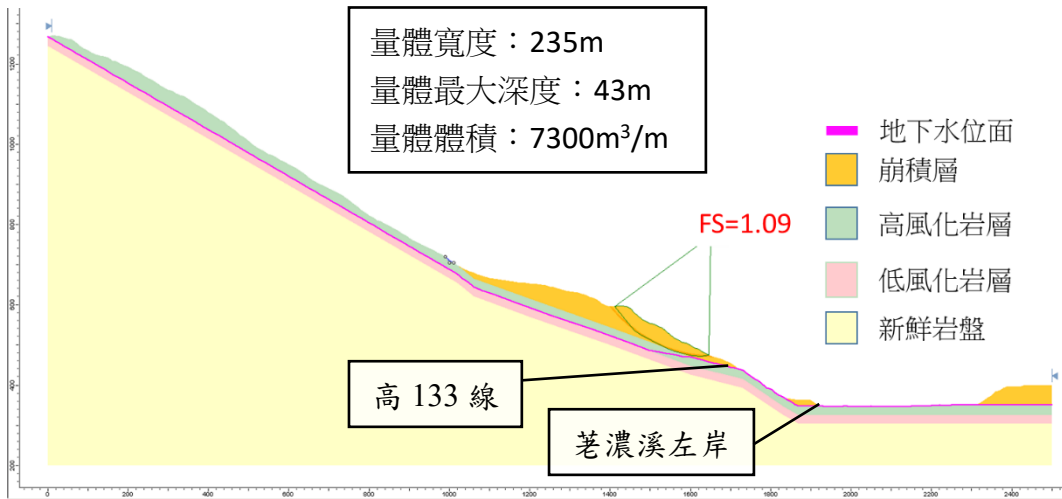


圖 5-13 BB'剖面非圓弧形滑動面及安全係數-常時地水位情境

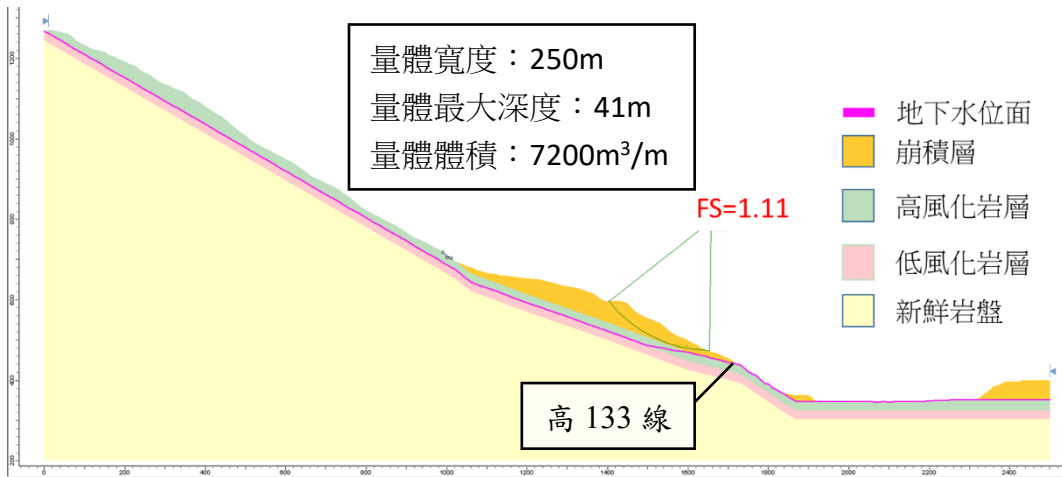


圖 5-14 BB'剖面圓弧形滑動面及安全係數-常時地水位情境

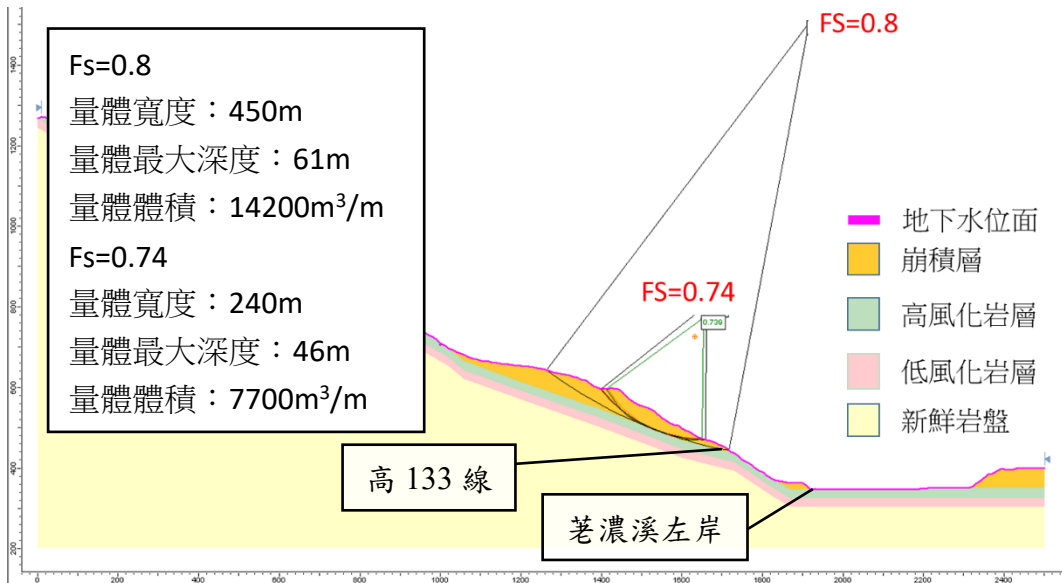


圖 5-15 BB'剖面非圓弧形滑動面及安全係數-暴雨情境

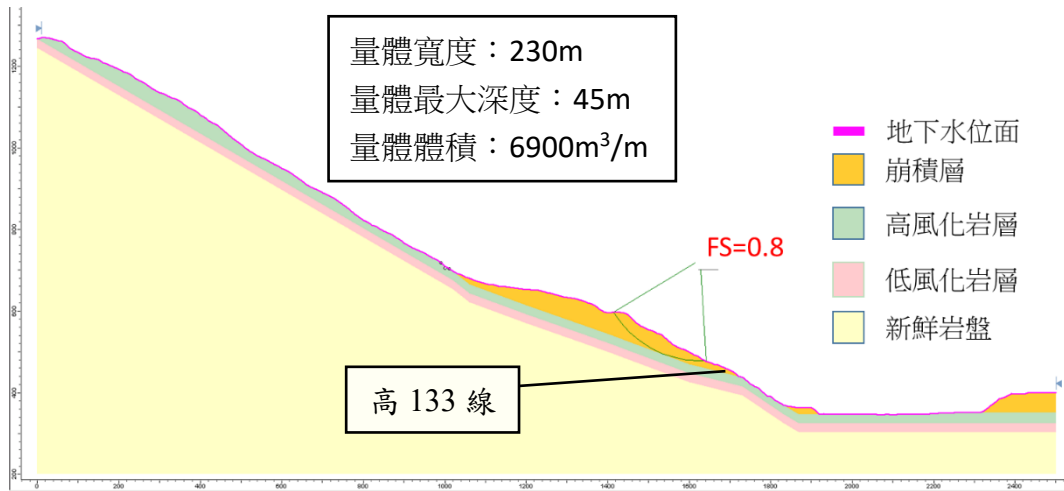


圖 5-16 BB'剖面圓弧形滑動面及安全係數-暴雨情境

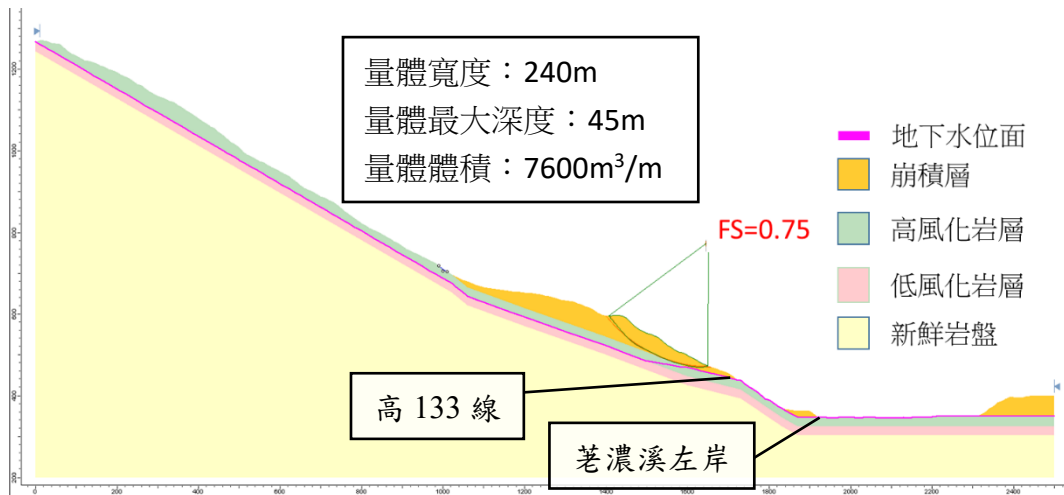


圖 5-17 BB'剖面非圓弧形滑動面及安全係數-地震情境

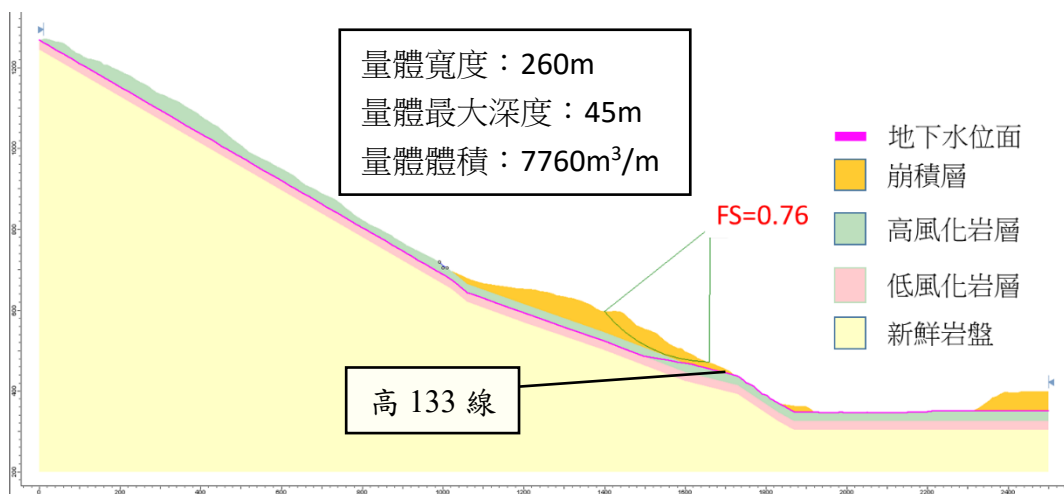


圖 5-18 BB'剖面圓弧形滑動面及安全係數-地震情境

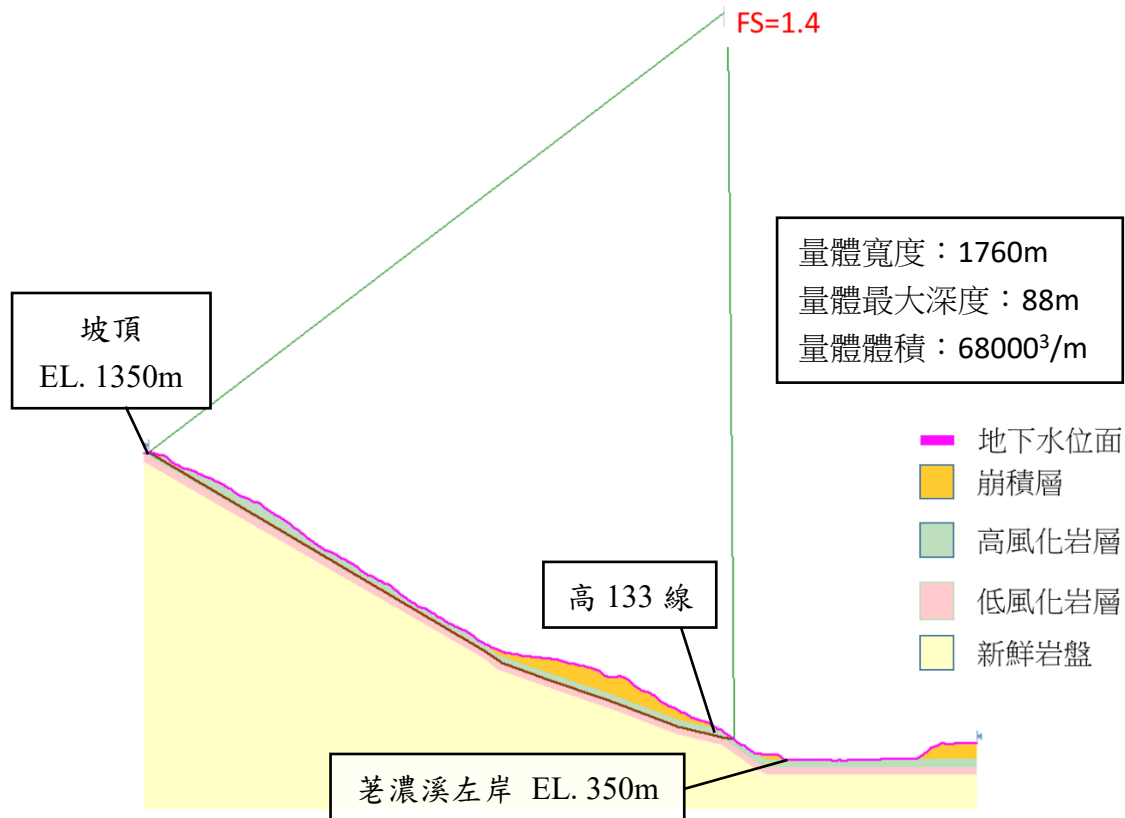


圖 5-19 BB'剖面沿岩土界面一次式滑動安全係數-暴雨情境

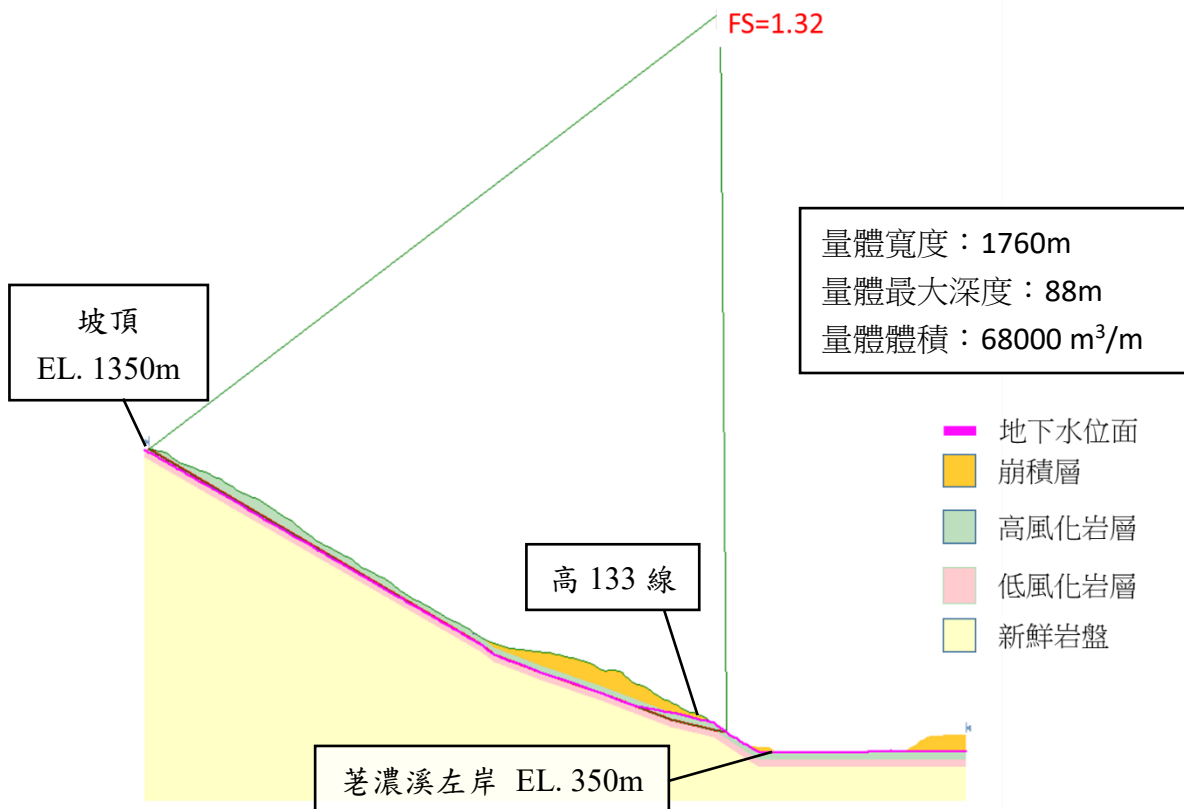


圖 5-20 BB'剖面沿岩土界面一次式滑動安全係數-地震情境

5-3 致災風險評估

D015 潛勢區之致災風險評估，採用上一節邊坡穩定分析結果，考量在暴雨、地震情境下，邊坡破壞後滑動體的影響範圍，分析保全對象之可能受災性，並評估致災風險。邊坡穩定分析結果顯示 D015 應無一次式全面性滑動的可能，破壞機制以崩積層沿著岩土界面滑動為主。本區住戶於莫拉克颱風後已經遷離，目前保全對象為高 133 線。可能致災風險為邊坡破壞是否會造成高 133 線中斷，以及邊坡破壞後的運移量體是否會阻塞河道，形成堰塞湖。

本計畫採用離散元素法軟體 PFC^{2D} 5.0 模擬邊坡破壞後的運移距離，PFC^{2D} 為以離散元素法為基礎所開發的三維顆粒流模擬軟體，模型的建立以牆和球作為單元，並將單元進行組合堆疊而形成，單一顆粒元素視為剛性體，且顆粒間接觸區域很小，可視為一點。元素間運動行為遵守牛頓第二運動定律，且以固定勁度之彈簧模擬接觸行為，運行時以時階作為計算週期，每個週期分別透過牛頓第二運動定律及力與位移法 (Force-Displacement Law) 去計算每個單元的位置、速度以及接觸力的變化，並自動記錄或消除接觸點，由於 PFC 分析之元素為球與牆，並以顆粒鍵結與彈簧勁度的方式來模擬元素間彼此的接觸行為，透過虛擬單軸壓縮試驗來標定材料的微觀參數與巨觀行為之關係，應力應變曲線如圖 5-21。

EE'剖面模擬 101 年暴雨造成高 133 線中斷的邊坡滑動事件，邊坡滑動面位置參考 Slide 模擬結果。圖 5-22、圖 5-23 為運移模擬前後地形，模擬過程中在滑動面上方岩體施加滲流力及重力，計算滑動體的運移行為。在假設滑動到河道的量體不會被沖走的情況下，模擬結果顯示邊坡滑動後最大影響範圍為 140 m，高 133 線損毀、部分岩塊堆積於殘坡，崩塌堆積量體不足以阻塞河道。對比真實情況，此處荖濃溪河寬約 300 m，暴雨誘發邊坡崩滑至河道的過程，水流會持續將崩塌量體帶至下游，與模擬結果相符。

BB'剖面模擬 D015 代表剖面的邊坡破壞後運移行為，邊坡滑動面參考 5-2 節 Slide 模擬結果，選擇滑動量體最大的情境進行模擬(圖 5-15 非圓弧形滑動-暴雨情境)。圖 5-24 為模擬結果，最大運移距離 490 m，堆積河道範

圍 220 m，高 133 線損毀。此斷面河寬約 400 m，崩塌堆積量體不足以完全阻塞河道。

綜合以上模擬結果，D015 潛在大規模崩塌致災風險為暴雨或地震可能引致高 133 線上邊坡崩積層沿岩土界面滑動，若為一次式大規模崩塌，崩塌量體將造成高 133 線損毀中斷、道路下邊坡的河階地及荖濃溪左岸堆積厚達 50 m 的崩積層，但應無阻塞河道形成堰塞湖之風險。

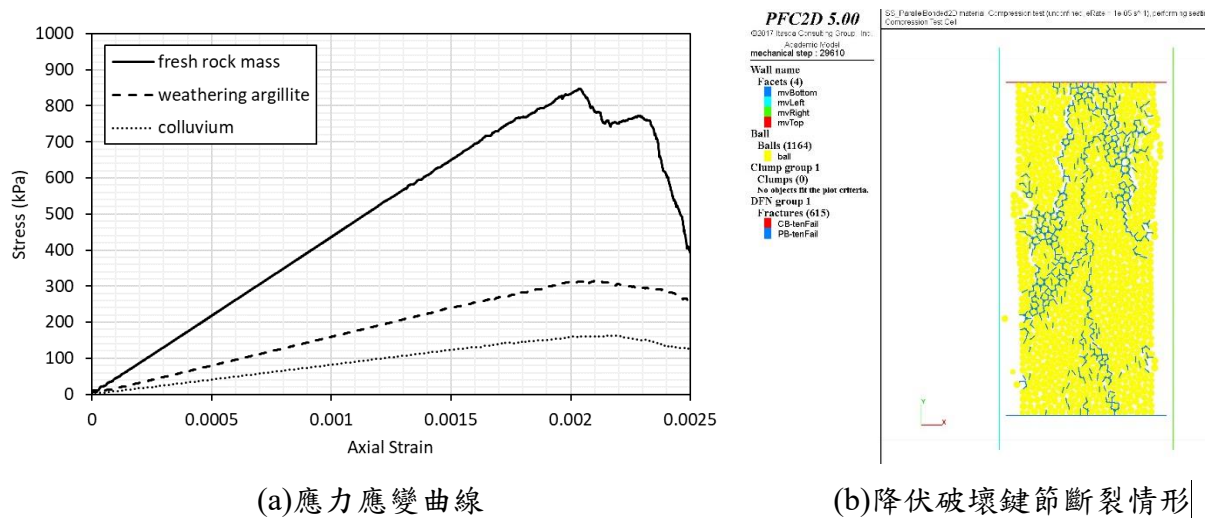


圖 5-21 PFC 虛擬單壓試驗結果

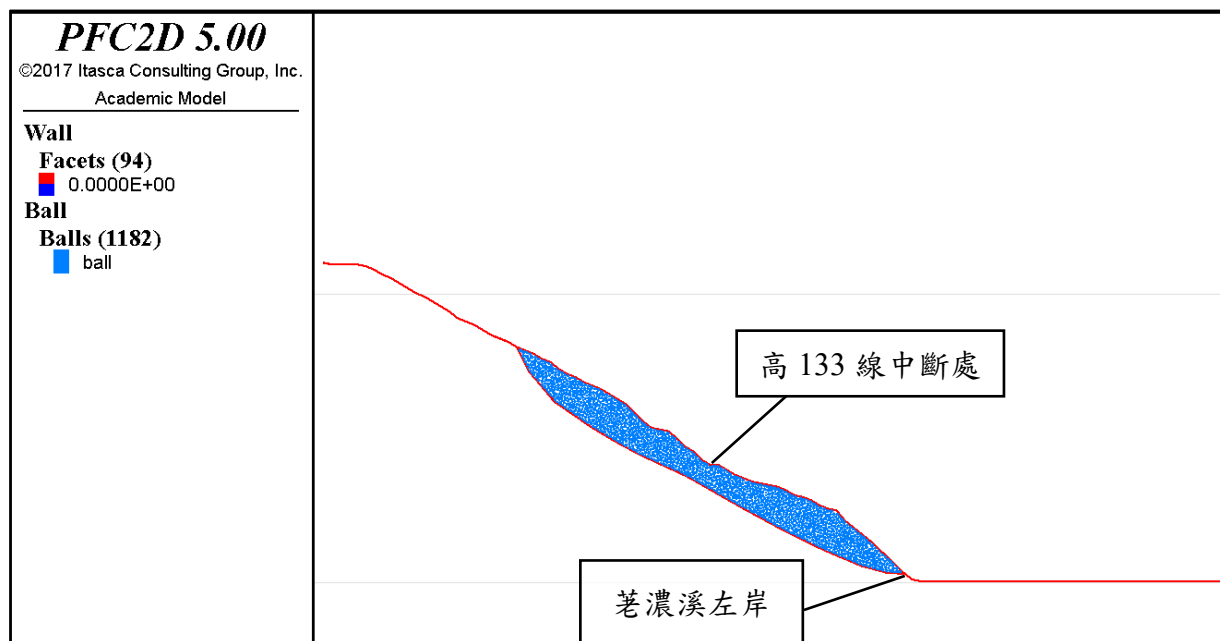


圖 5-22 EE'剖面邊坡滑動前地形

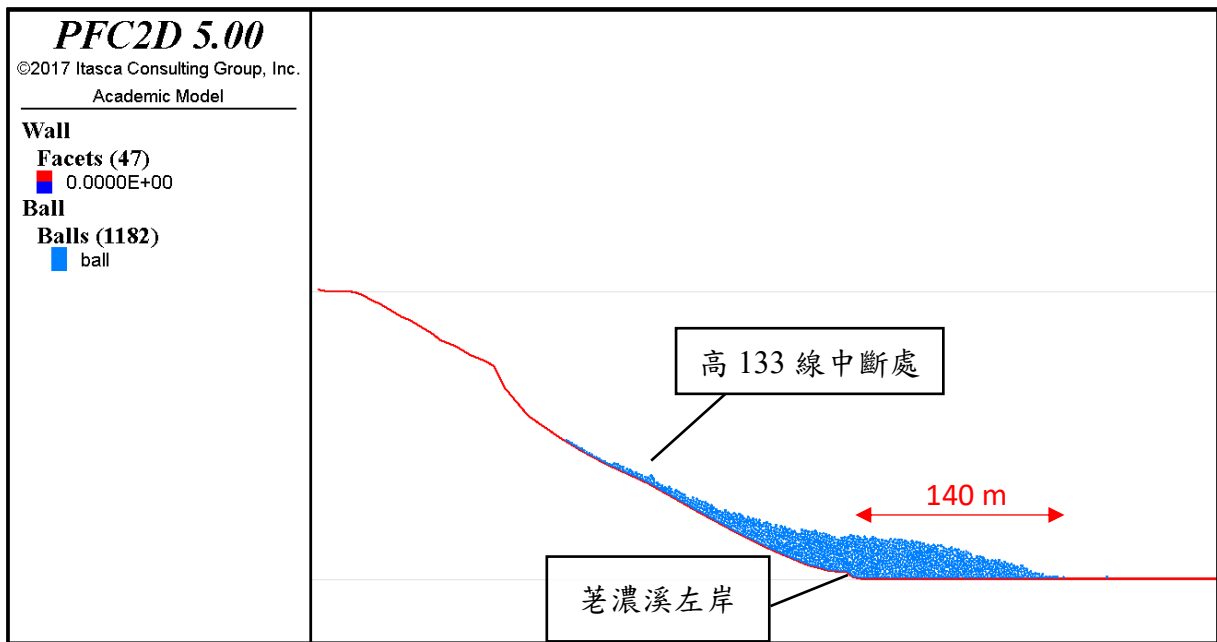


圖 5-23 EE'剖面邊坡滑動後地形-暴雨情境

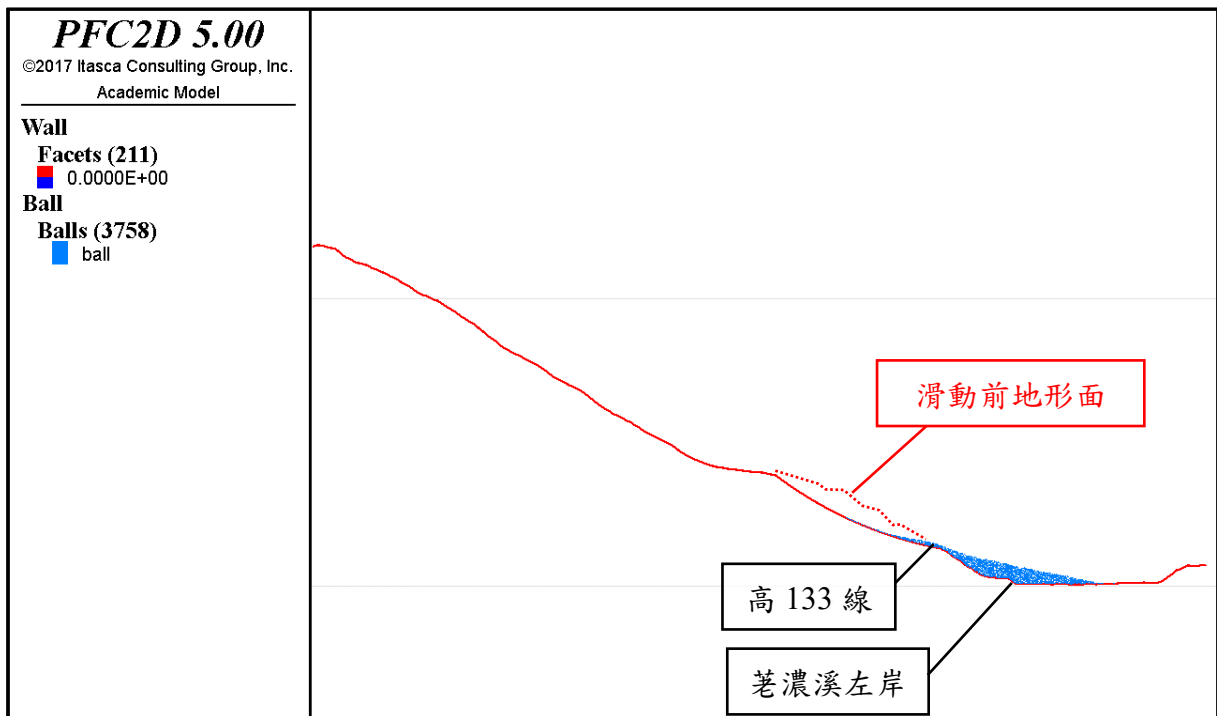


圖 5-24 BB'剖面邊坡滑動後地形-暴雨情境

5-4 後續長期監測建議

長期監測需視大規模崩塌潛勢區活動性以及保全對象而定，並且須搭配監測管理值之訂定來進行。綜合第參、肆、伍章工作結果，本計畫提出後續長期監測建議如下：

1. 本區坡腹存在厚度 20 m 以上的崩積層、坡趾持續受到荖濃溪沖刷、且坡面蝕溝發達且岩盤裸露，種種跡象顯示崩塌活動性高。模擬結果顯示暴雨或地震時安全係數不足，有發生一次性大規模崩塌的可能。因此建議後續必須持續進行地工監測，監測降雨、地下水位及地中變形之關係，定期檢討活動性變化。
2. 本區邊坡範圍 228 公頃，高差達 1,000 m，目前鑽孔及監測儀器布置所能提供資訊有限，希望後續能根據 BB'剖面邊坡穩定分析結果，於潛在滑動面位置佈設鑽孔進行補充調查及監測。
3. 根據致災風險評估，本區住戶皆已遷離，崩塌後堆積河道形成堰塞湖機率低，主要保全對象為高 133 線。累積降雨量、降雨強度為常見的公路邊坡管理基準值建議。
4. 依據目前 D015 簡易觀測站建置內容，設備具自動傳輸能力，但因山區網路訊號容易飄移極不穩定，所以目前仍採取人工定期擷取監測資料方式進行。自動即時傳輸之需求需視監測目的而定，建議現階段可以建立雨量資料即時傳輸系統，作為管理基準值及預警建議，其餘資料並無自動傳輸之必要性。

陸、高雄市-六龜區-D015 潛勢區影響評估與減災策略研擬

目前林務局在劃定大規模崩塌潛勢區的影響範圍時，是假設最保守的情況，即整個崩塌潛勢區範圍全面滑動，然後由經驗法或土體運動分析(林務局，102 年)等方法計算影響範圍。然而各崩塌潛勢區的地質、地形條件各異，並非所有邊坡都有發生全面滑動的條件，若每一個崩塌潛勢區都假設全面滑動，會高估影響範圍。本計畫試圖以較細緻的方式，以六龜區-D015 為例檢討影響範圍，首先由前後期航照判釋及 LiDAR 坡度陰影圖，評估大規模崩塌潛勢區內的活動性以及破壞機制，並由經驗法計算影響範圍。然後由本計畫進行的工址調查、試驗、監測結果進行邊坡穩定分析及崩體運移數值模擬，計算影響範圍並比較前期經驗法與崩體運移數值模擬的影響範圍差異。最後針對可能影響範圍提出大規模崩塌減災策略研擬之建議。

6-1 影響範圍檢討劃定

六龜區-D015 影響範圍之檢討劃定，本計畫採用簡易經驗法、崩體運移數值模擬法進行比較，崩體運移數值模擬結果詳見 5-3 節。

6-1.1 經驗法

本計畫除整理前期計畫引用日本治水砂防協會針對地滑的影響範圍之鏡面法評估方式，並採用水保局(105 年)所建議的大規模崩塌區影響範圍劃設作業手冊之重力堆積型劃設方法，以下說明這兩種方法的劃設方式。

鏡面法影響範圍之劃定，於 101-104 年林務局前期計畫中主要係參考日本治水砂防協會針對地滑的影響範圍之評估進行劃設，可參考圖 6-1。圖中 A 為潛在滑動區，長度 L；B 為上方擴大區，寬度為 30 m；C 為下方擴大區，面積約為 A 之大小，並依照地形分布修繪下方擴大區得到修繪後之下方擴大區 C，結合"潛在大規模崩塌擴大的可能影響範圍(B)"、"潛在大規模崩塌下方可能影響範圍(C)"及"潛在大規模崩塌範圍(A)"即為潛在大規模崩塌的影響範圍。

崩塌影響範圍的劃定需要經過詳細的調查分析後決定，包含可能滑動的區域、可能被崩塌覆蓋淹沒的範圍。影響崩塌土體滑動運移的重要因素包含崩塌機制、崩塌土方量、崩塌土體運移區域的地形條件，英國LRA(Landslide Risk Assessment)(DFID, 2003)計畫曾針對尼泊爾地區不同崩塌機制與土方量下土體運移距離進行統計(圖 6-2)，其中河道中之土石流水水平運移距離可達 4 公里，岩坡滑動則多在 1 公里以下，水平運移距離之變化差異相當大，影響範圍之差異也相對增大。而崩塌土體運移之速度亦為另一個重要因素。崩塌影響範圍之劃定與土體運移距離(runout / travel distance)息息相關，評估土體運移距離之方法可大致區分為經驗法、數值模擬方法，而又以經驗方法為主。經驗法則可區分為地形方法(geomorphological method)、幾何方法(geometrical method)、體積變化方法(volume-change method)等，數值方法則包含不同解析模型的數值求解模擬(Hungr et al., 2005)。

依據大規模崩塌區影響範圍劃設作業手冊(水保局，105 年)之重力堆積型劃設方法，崩塌土體沿坡面進入緩坡或平坦地者，其劃設方法依：1. 可能滑動距離與 2. 可能堆積寬度劃設之。

1. 可能滑動距離 L_{Runout} (圖 6-3)：崩塌可能滑動距離可透過等價摩擦係數求之，公式如下

$$L_{runout} = \frac{H}{10^{0.62-0.157\log V}}$$

式中 H 為坡頂高程差(m)、 V 為崩塌體積(m^3)，公式如下

$$V = 0.1025 \times A_L^{1.401} \quad (\text{圖 6-4})$$

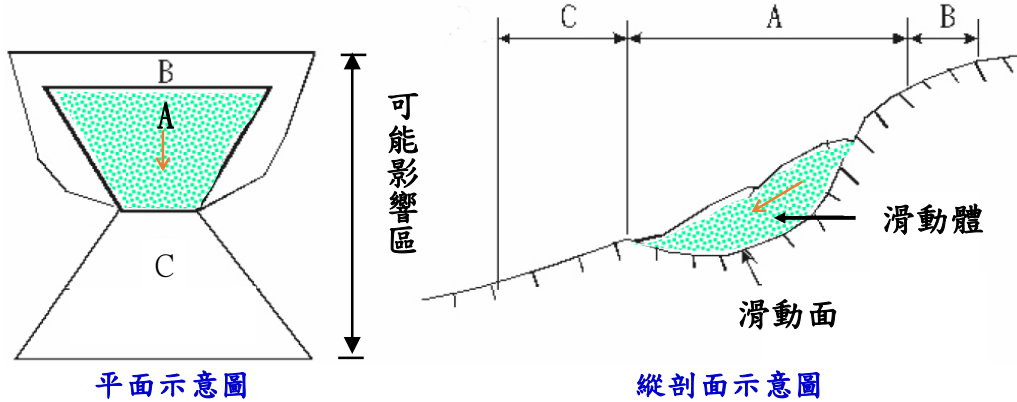
式中 A_L 為崩塌面積(m^2)

2. 可能堆積寬度 W_{Max} (圖 6-5)：根據崩塌地寬度 W_L 與堆積寬度 W_{Max} 關係式 (圖 6-6)，可以看出大部分之堆積寬度多為崩塌寬度之 1.5 至 2 倍 之間，因此建議可能堆積寬度可以下式進行計算：

$$W_{Max} = 1.5 \sim 2W_L$$

式中 W_{Max} 為最大堆積寬度(m)， W_L 為崩塌地寬度(m)，目前依防災之需求，建議取 $W_{Max}=2W_L$

地滑影響範圍評估



- | | | |
|------------------|---|-------|
| A：潛在滑動區，長度L | → | 危險區 |
| B：上方擴大區，寬度為30m | } | 可能影響區 |
| C：下方擴大區，面積約為A之大小 | | |

(取材自：全國治水砂防協會,1999)

圖 6-1 地滑影響範圍評估示意圖(林務局，104)

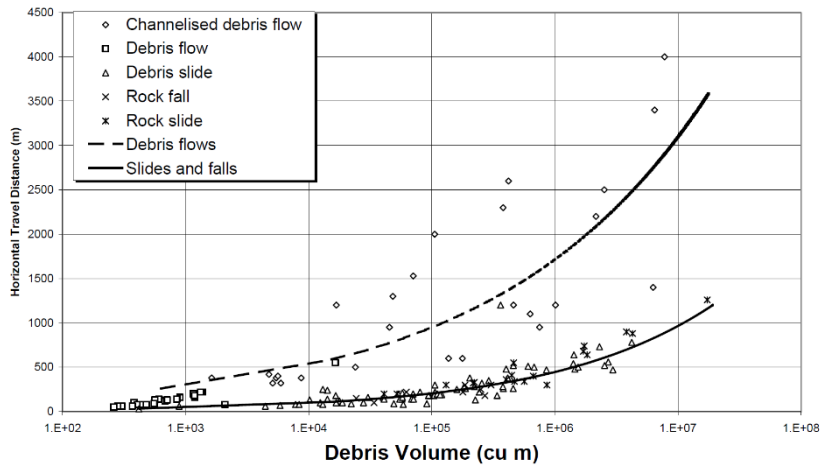
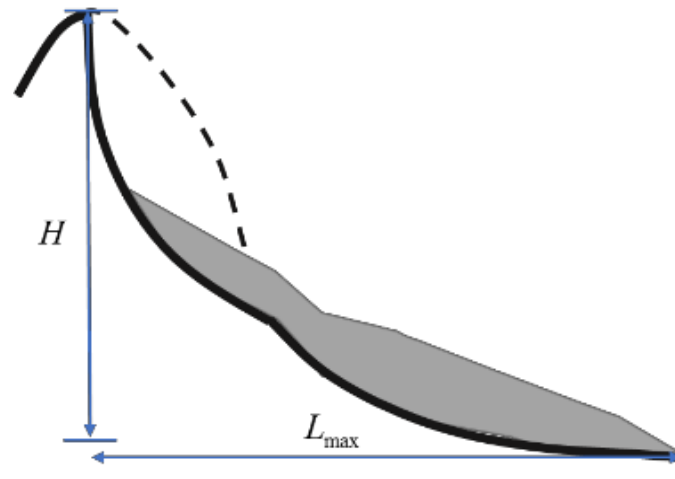
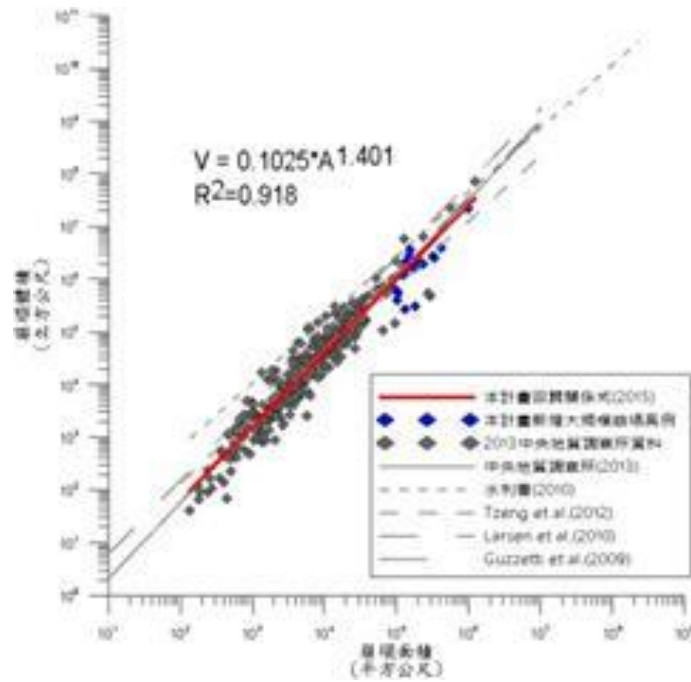


圖 6-2 不同崩塌機制與土方量下土體運移距離(DFID，2003)



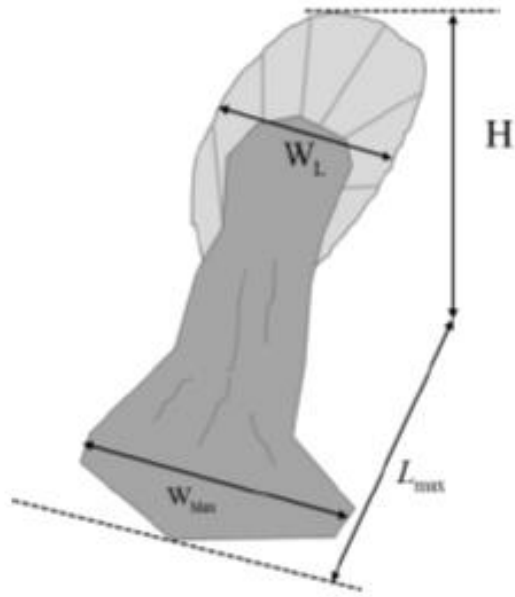
資料來源：水保局(105)「大規模崩塌區影響範圍劃設作業手冊(草案)」

圖 6-3 可能滑動距離計算示意圖



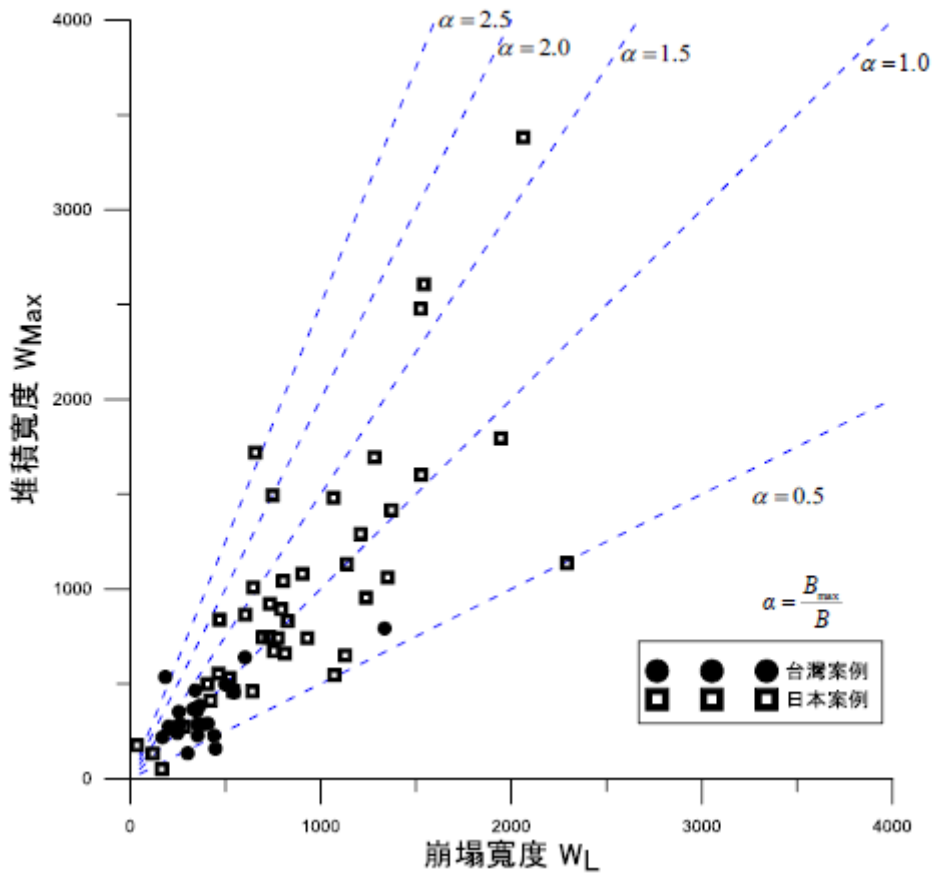
資料來源：水保局(105)「大規模崩塌區影響範圍劃設作業手冊(草案)」

圖 6-4 崩塌面積-體積關係式



資料來源：水保局(105)「大規模崩塌區影響範圍劃設作業手冊(草案)」

圖 6-5 崩塌可能堆積寬度計算示意圖



資料來源：水保局(105)「大規模崩塌區影響範圍劃設作業手冊(草案)」

圖 6-6 崩塌地寬度與堆積寬度關係式

D015 崩塌潛勢區影響範圍的經驗法劃設，分為 2 個部分：

- 1、大規模崩塌影響範圍:D015 經活動性評估結果，大規模崩塌潛能為本區之厚崩積層可能沿岩土界面滑動。雖然 D015 經本計畫調查後，其厚崩積層主要分布於下邊坡處，但為了與前期鏡面法劃設結果於同一基準進行比較，遂以全區進行劃設。
- 2、局部崩塌影響範圍:D015 經調查分析後，顯示 2 處局部活動性較高區域，一為造成高 133 線中斷之局部崩滑區域；另一則為主坡面上經 SLIDE 分析後，可能產生局部崩滑的區域。因此針對上述二處局部區域化設其崩塌影響範圍。

(一)大規模崩塌影響範圍

前期計畫中劃設之 D015 大規模崩塌影響範圍如圖 6-7 所示，包含潛在滑動區、上方擴大區(寬度為 30 m)、下方擴大區(面積約為潛在滑動區之大小)，並依照地形分布修繪下方擴大區。

採用水保局(105 年)所建議的大規模崩塌區影響範圍劃設作業手冊之重力堆積型劃設方法，結果如圖 6-8 所示，劃設參數計算如表 6-1，其可能運移距離為 4,027 m，但因其運移路徑抵達之地形高於其等效摩擦角，故依地形將可能運移距離修正為 3,539 m(圖 6-8 剖面圖)。

鏡面法與重力堆積型劃設方法所得之影響範圍套疊比較如圖 6-9 所示，主要之差異在於下方擴大堆積區，鏡面法面積約為 162.6 公頃，而重力堆積型法則為 327.5 公頃。以上方法計算之影響範圍皆會衝擊至荖濃溪對岸的村落，但考量河道阻隔、水流沖刷等原因，實際上是否會以這樣的型態堆積，以及是否有可能形成堰塞湖，仍待進一步檢討。

(二)局部崩塌(一次式較大規模崩塌)影響範圍

D015 二處局部崩塌影響範圍採用重力堆積型方法進行劃設，局部崩塌 1 為主坡面上經 SLIDE 分析後，可能產生局部崩滑的區域，局部崩塌範圍如圖 6-10 所示。劃設參數計算如表 6-2，其可能運移距離為 489 公尺，結果如圖 6-9 所示，僅於坡趾處產生局部堆積，土石應可為河川水流所帶走。

局部崩塌 2 為造成高 133 線中斷之局部崩滑區域，局部崩塌範圍如圖 6-12 所示，劃設參數計算如表 6-3，其可能運移距離為 265 公尺，結果如圖 6-11 所示，運移距離僅達坡趾處，崩落土石可能進入河道由河水所帶走。本崩塌體緊鄰河道，若扣掉水流帶走的量體，僅存部分岩塊停留於殘坡上。

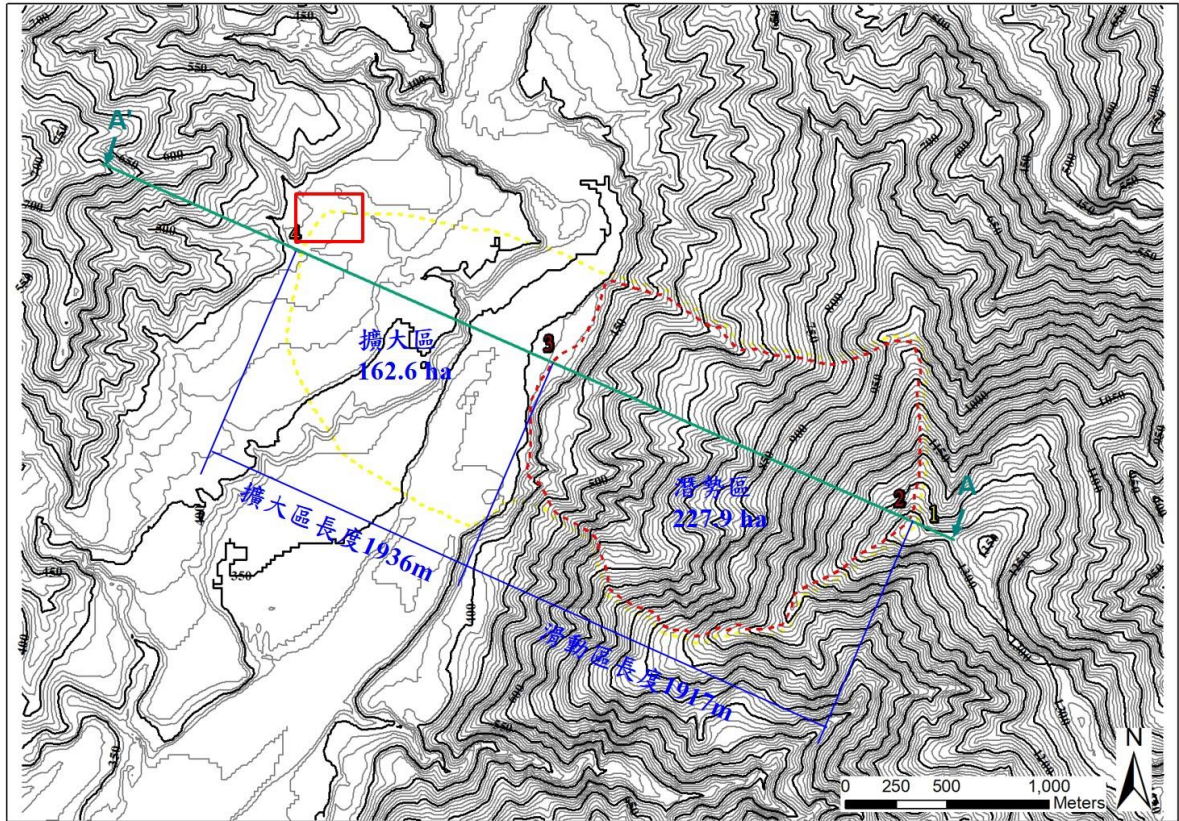


圖 6-7 D015 大規模崩塌鏡面法影響範圍

表 6-1 D015 重力堆積型劃設方法參數計算

崩塌型態	說明	參數	參數計算方法	結果
一次式崩塌	崩塌體積推估	崩塌面積	$A_L (m^2)$	2,278,875
		崩塌體積	$V = 0.1025 \times A_L^{1.401} (m^3)$	82,773,304
	可能移動距離推估	可能落高	$H = Z_{max} - Z_{min} (m)$	968
		可能移動距離	$L_{runout} = \frac{H}{10^{0.624 - 0.157 \log V}} (m)$	4,027
		等價摩擦角	$\Phi_s = \tan^{-1} \left(\frac{H}{L_{runout}} \right) (度)$	13

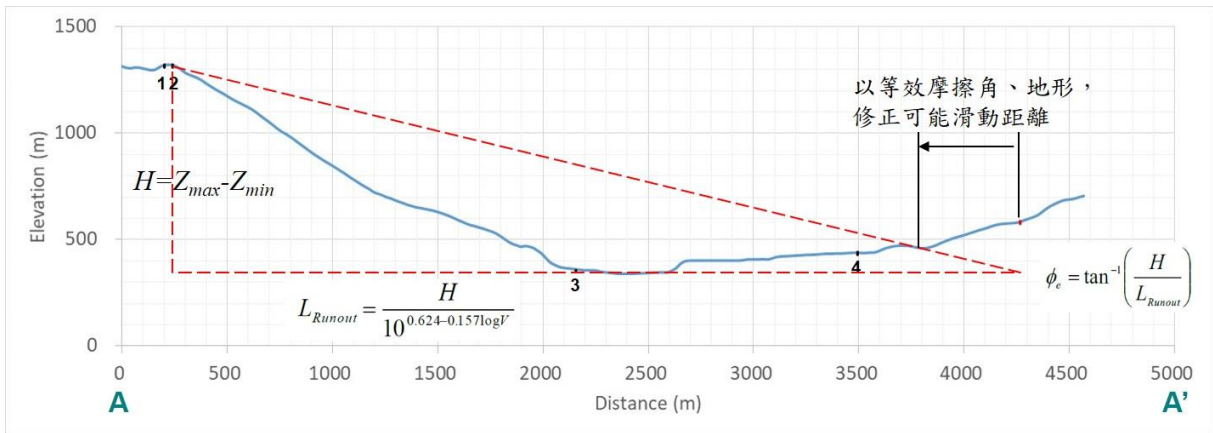
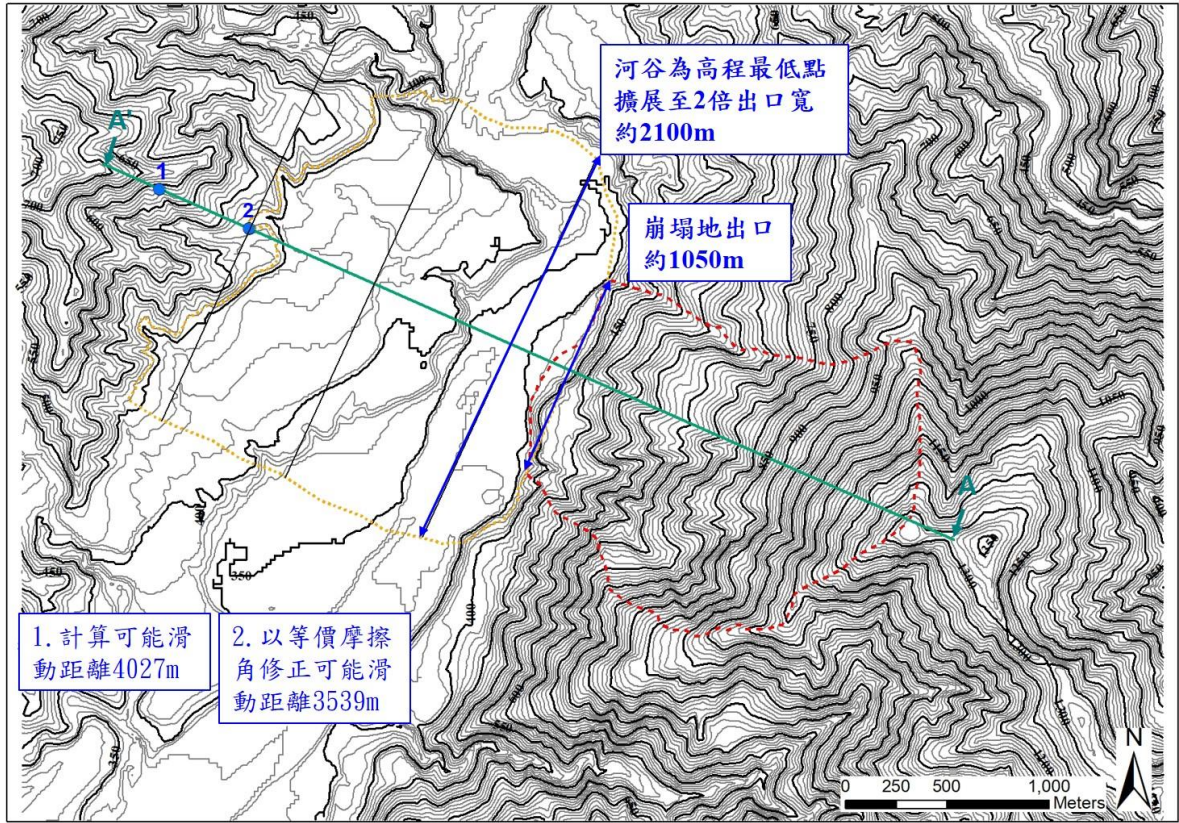


圖 6-8 D015 大規模崩塌重力堆積型劃設影響範圍



圖 6-9 D015 全面性及一次式較大規模情境影響範圍比較
(鏡面法與重力堆積型劃設方法)

表 6-2 局部崩塌 1 重力堆積型劃設方法參數計算

崩塌型態	說明	參數	參數計算方法	結果
局部崩塌	崩塌體積推估	崩塌面積	A_L (m ²)	118,517
		崩塌體積	$V = 0.1025 \times A_L^{1.401}$ (m ³)	1,315,499
	可能移動距離推估	可能落高	$H = Z_{\max} - Z_{\min}$ (m)	225
		可能移動距離	$L_{Runout} = \frac{H}{10^{0.624 - 0.157 \log V}}$ (m)	489
		等價摩擦角	$\Phi_e = \tan^{-1} \left(\frac{H}{L_{runout}} \right)$ (度)	25

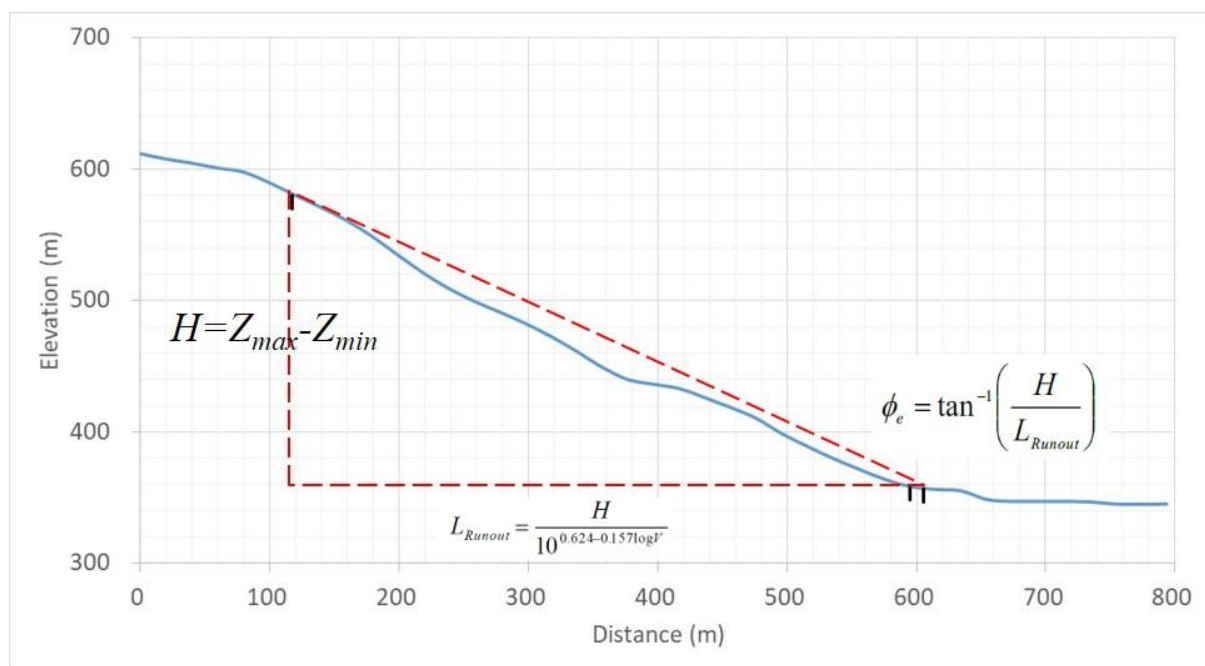
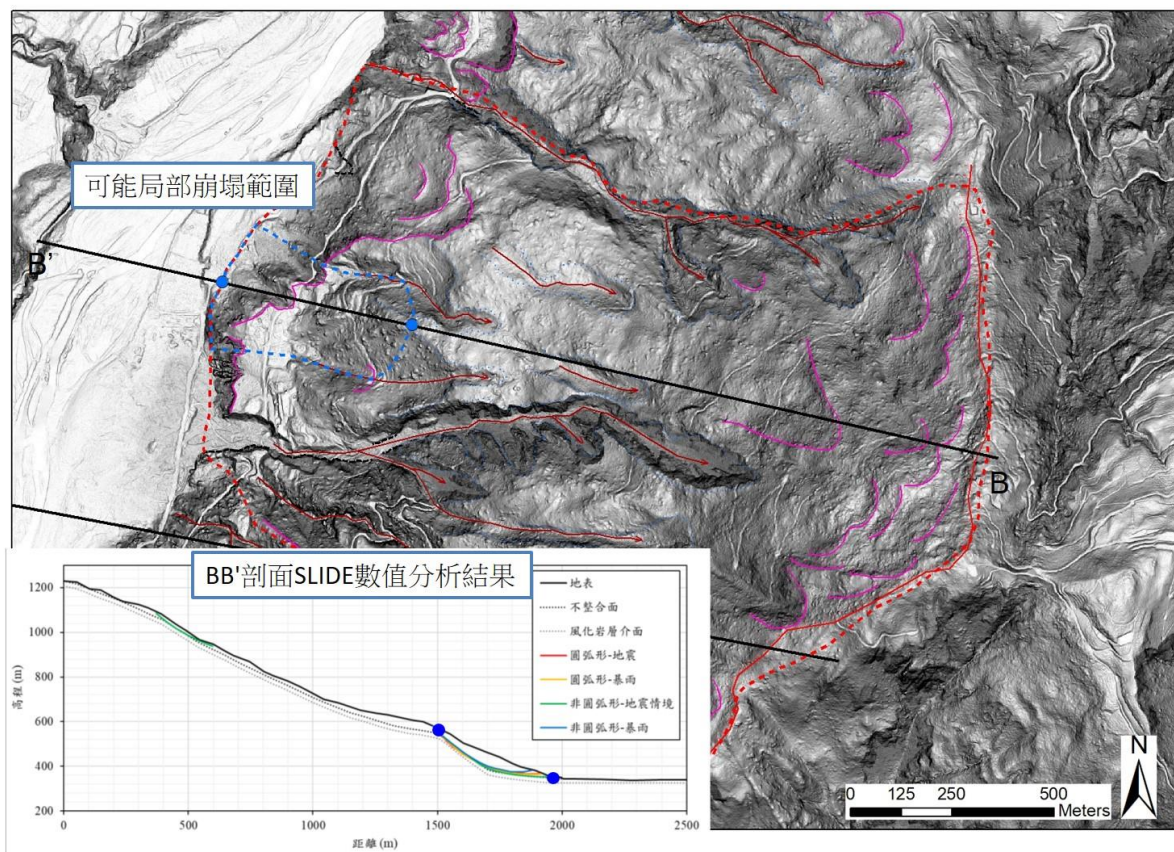


圖 6-10 局部崩塌 1 重力堆積型劃設影響範圍

表 6-3 局部崩塌 2 重力堆積型劃設方法參數計算

崩塌型態	說明	參數	參數計算方法	結果
北側道路中斷	崩塌體積推估	崩塌面積	$A_L(m^2)$	46,312
		崩塌體積	$V = 0.1025 \times A_L^{1.401} (m^3)$	352,663
	可能移動距離推估	可能落高	$H = Z_{max} - Z_{min} (m)$	150
		可能移動距離	$L_{Runout} = \frac{H}{10^{0.624+0.157\log V}} (m)$	265
		等價摩擦角	$\Phi_e = \tan^{-1} \left(\frac{H}{L_{runout}} \right) (度)$	30



圖 6-11 局部崩塌 2 崩塌影響範圍

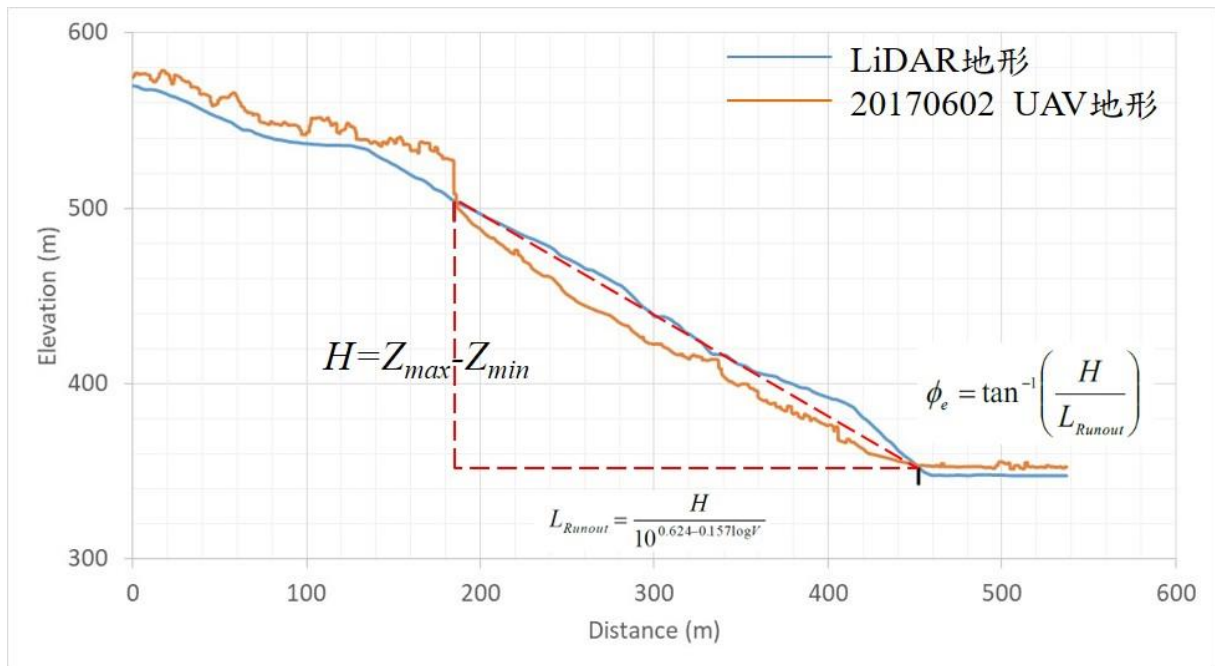
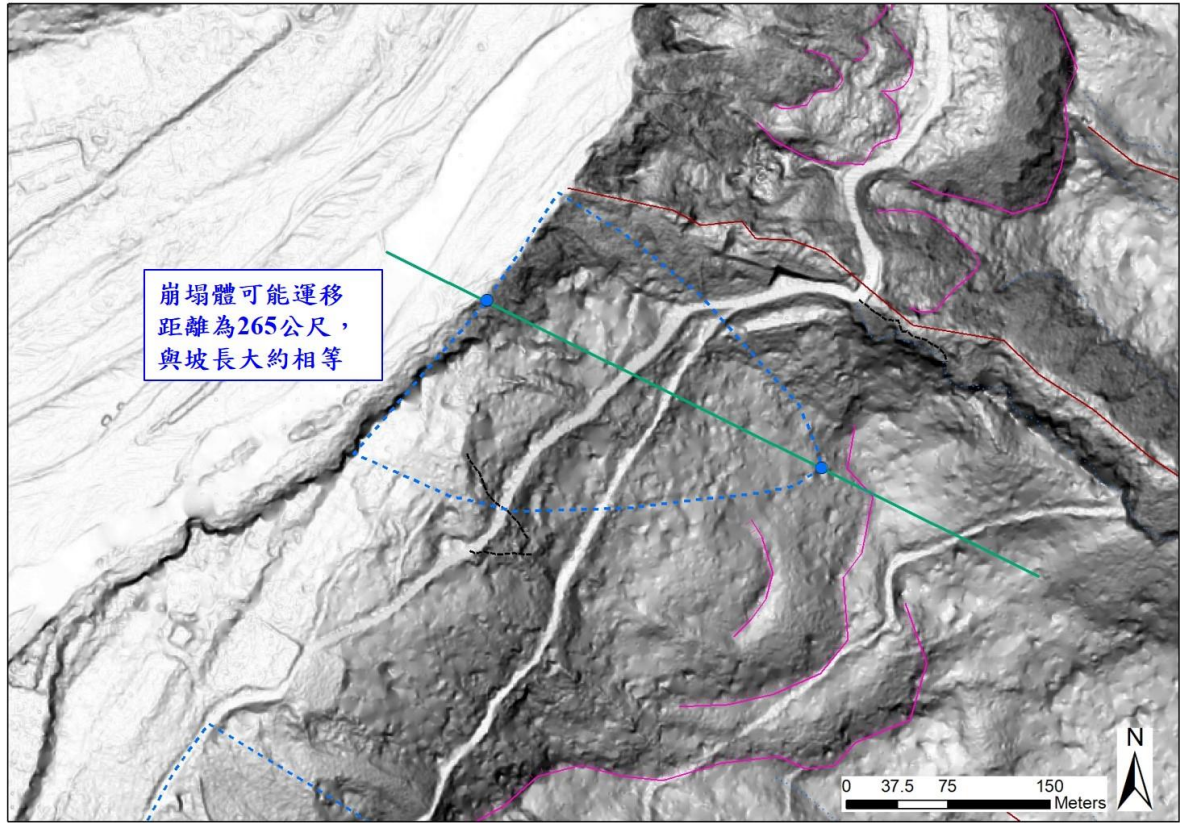


圖 6-12 局部崩塌 2 重力堆積型劃設影響範圍

6-1.2 崩體運移數值模擬法及綜合探討

崩體運移數值模擬結果詳見 5-3 節，本計畫使用 PFC2D 進行模擬，在假設滑動到河道的量體不會被沖走的情況下，模擬結果顯示「局部崩塌 2」(數值模擬之 EE'剖面)邊坡滑動後最大影響範圍為 140 m，會造成高 133 線損毀、部分岩塊堆積於殘坡，但崩塌堆積量體不足以阻塞河道，模擬結果如圖 6-13。此一模擬為 101 年暴雨發生高 133 線邊坡滑動之真實案例，此處荖濃溪河寬約 300 m，在暴雨誘發邊坡崩滑至河道的過程，水流會持續將崩塌量體帶至下游，與模擬結果相符。「局部崩塌 1」(數值模擬之 BB'剖面)運移模擬結果顯示最大運移距離 490 m，堆積至河道範圍 220 m，高 133 線損毀。此斷面河寬約 400 m，崩塌堆積量體不足以完全阻塞河道，模擬結果如圖 6-14。

重力堆積型劃設法與崩體運移數值模擬結果皆顯示若 D015 發生一次性大規模崩塌，影響範圍會造成高 133 線中斷、上下邊坡損毀，且崩塌量體均會向下運移至河道，但都不會造成堵塞河道形成堰塞湖。表 6-4 為兩種方法堆積河道的影響範圍比較。

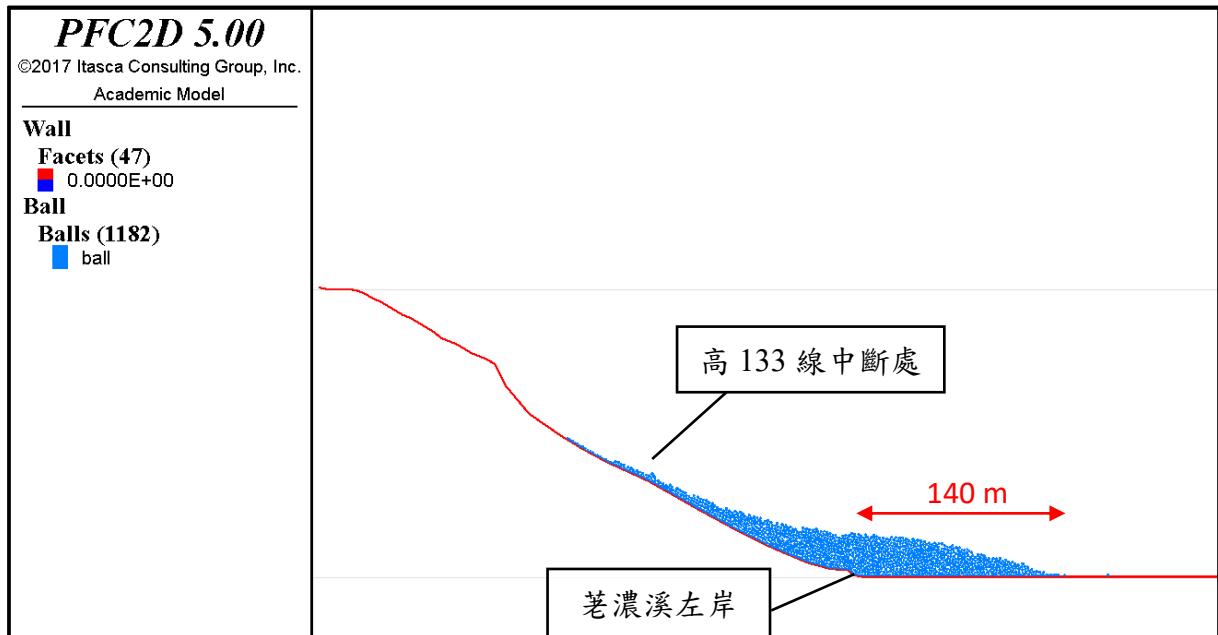


圖 6-13 局部崩塌 2 崩體運移數值模擬結果

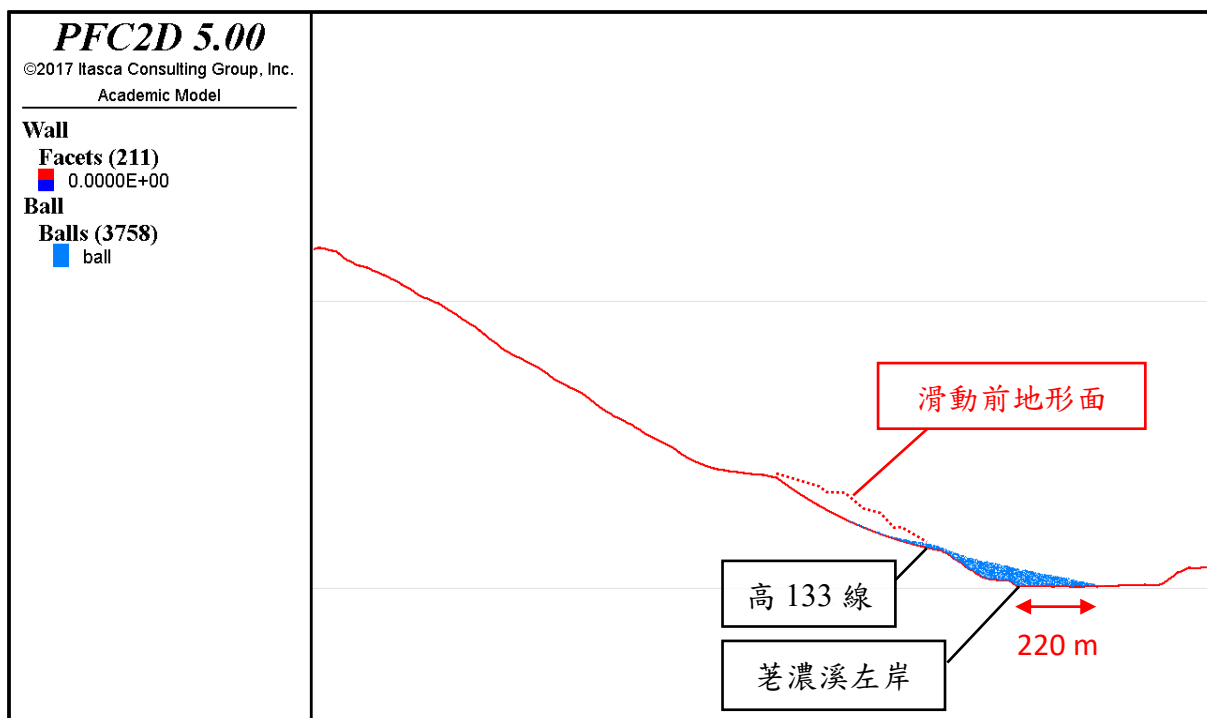


圖 6-14 局部崩塌 1 崩體運移數值模擬結果-暴雨情境

表 6-4 經驗法及運移數值模擬影響範圍比較

分析剖面	堆積河道範圍 (m)		
	重力堆積法 (L_{runout} -崩崖至河岸距離)	鏡面法	崩體運移 數值模擬法
局部崩塌 2 (高 133 線 101 年暴雨中斷處)	5	200	140
局部崩塌 1 (一次式較大規模崩塌)	20	300	220

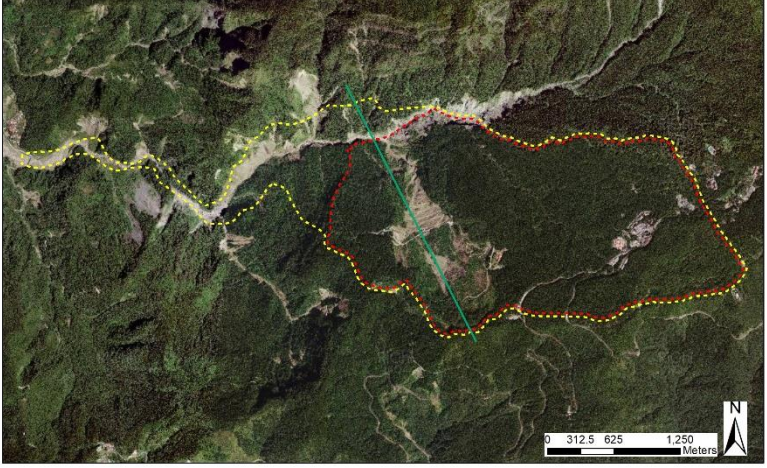
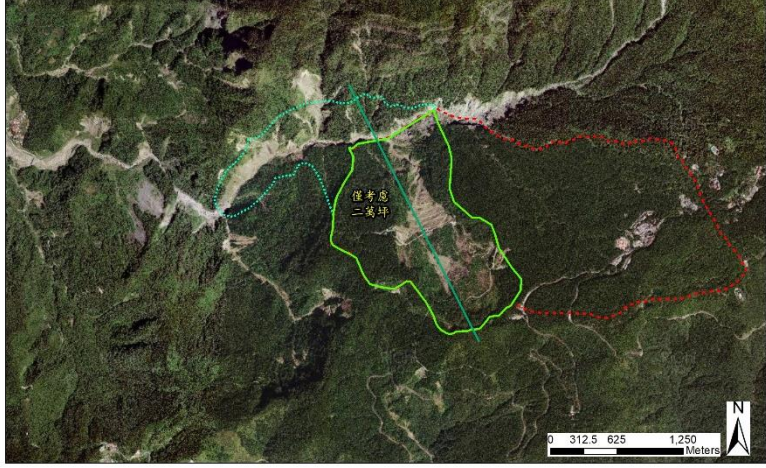
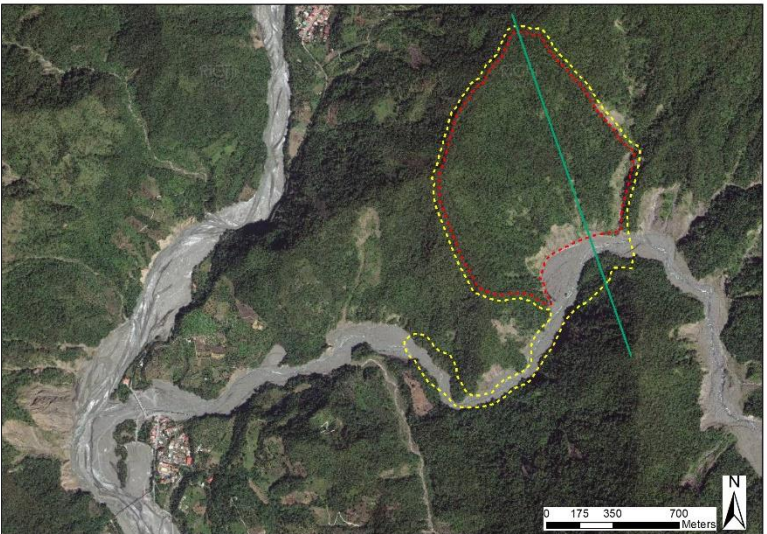
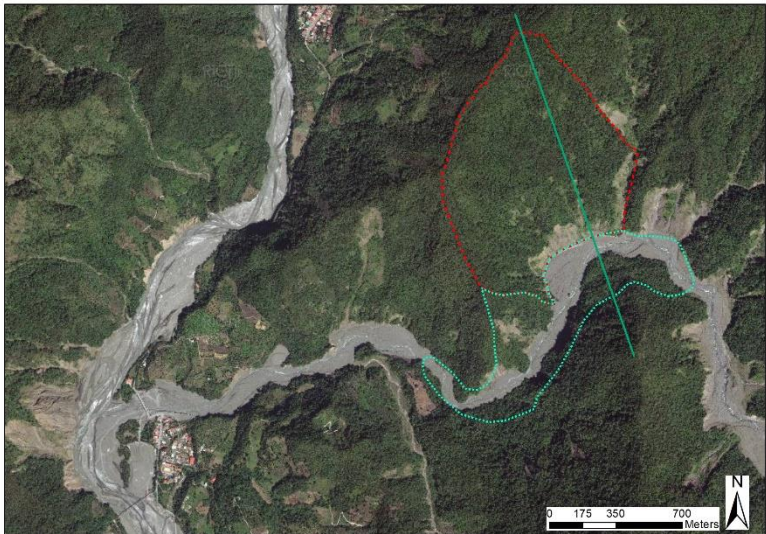
6-1.3 大規模崩塌潛勢區影響範圍經驗法檢討

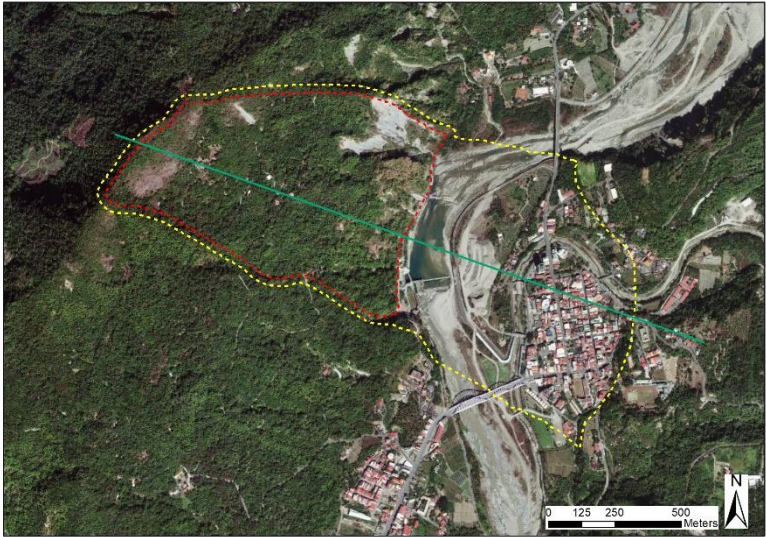
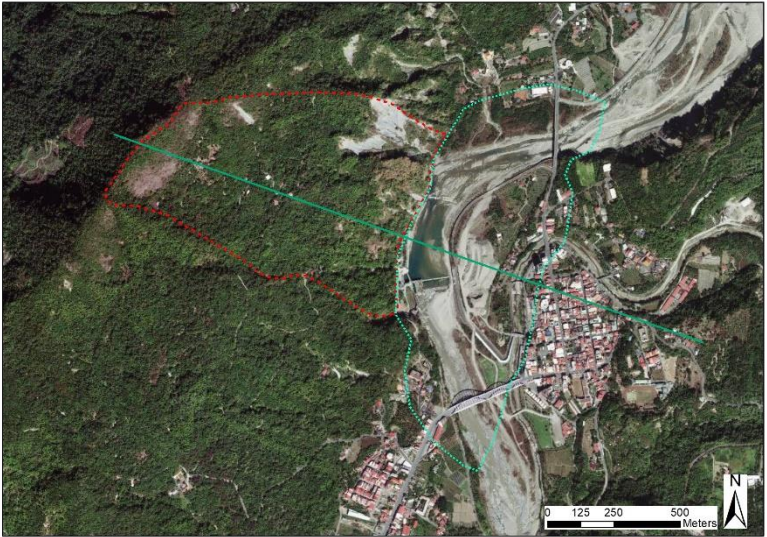
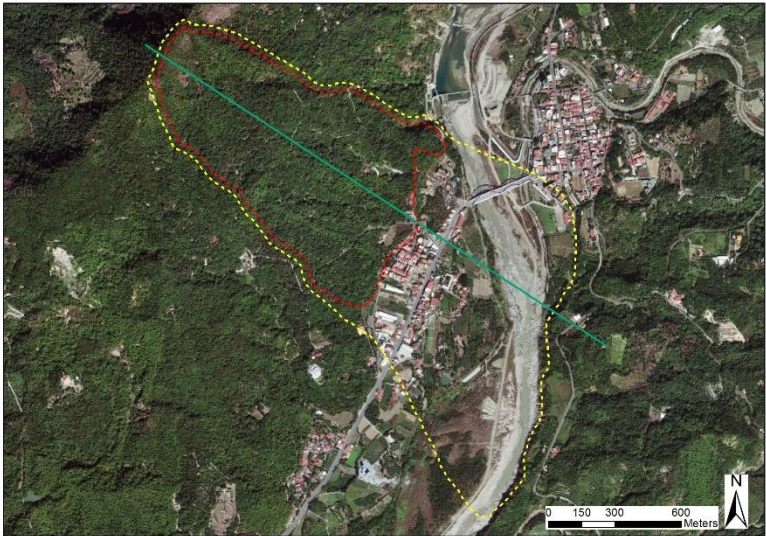

對於崩塌影響範圍的劃定，考量目前各崩塌潛勢區已調查獲得之條件參數，以經驗方法中優選較佳之方式進行探討應用為主。本計畫以下採用大規模崩塌區影響範圍劃設作業手冊(水保局，105年)之重力堆積型劃設方法，選擇經本計畫活動性評估具有大規模崩塌潛勢之潛勢崩塌區進行劃設，將影響範圍劃設結果，與前期計畫採用鏡面法劃設結果進行比較，如表 6-5。

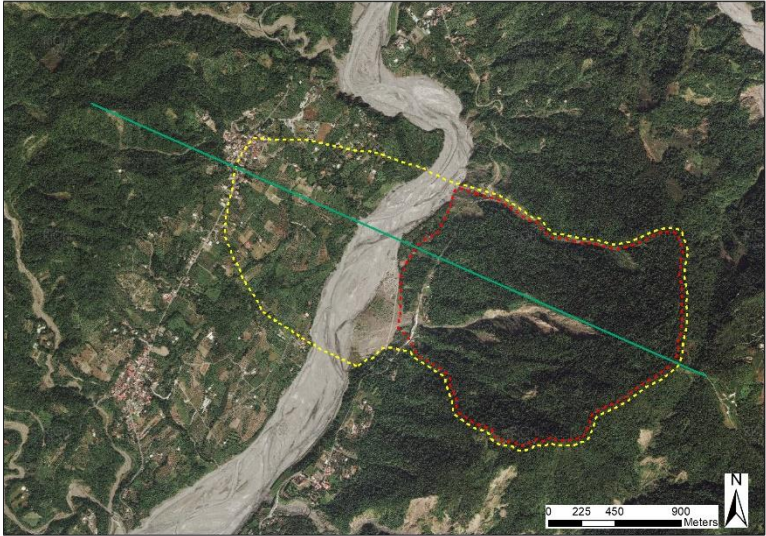
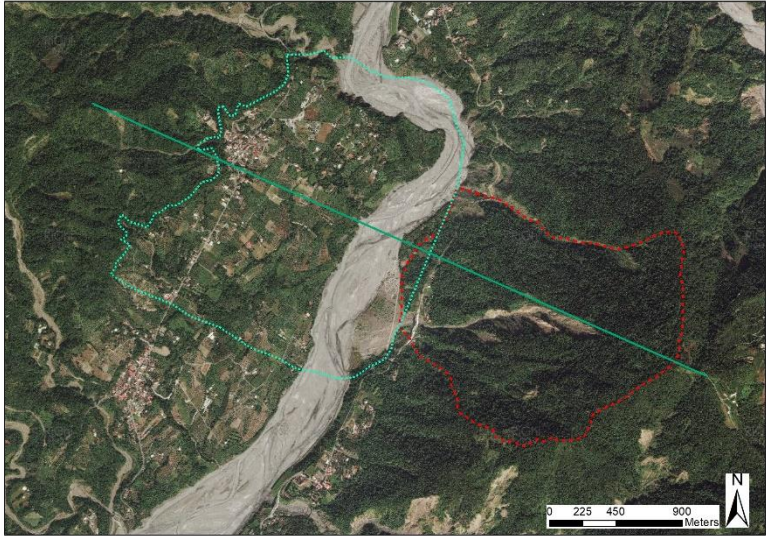
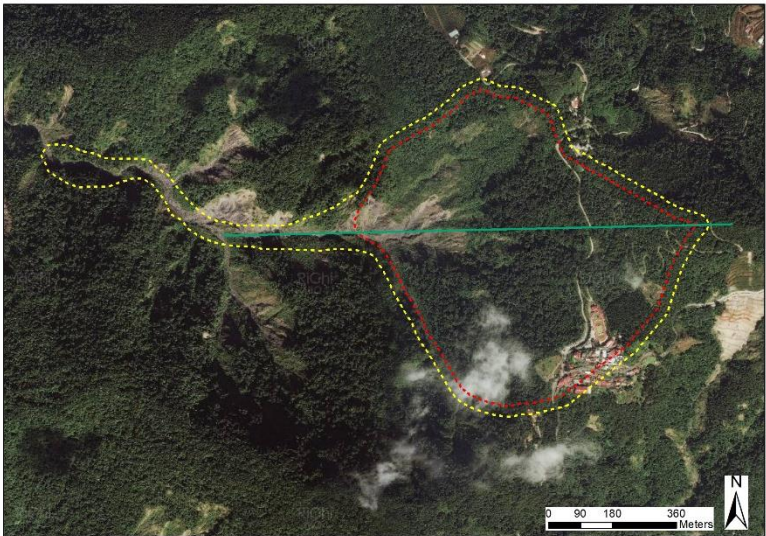
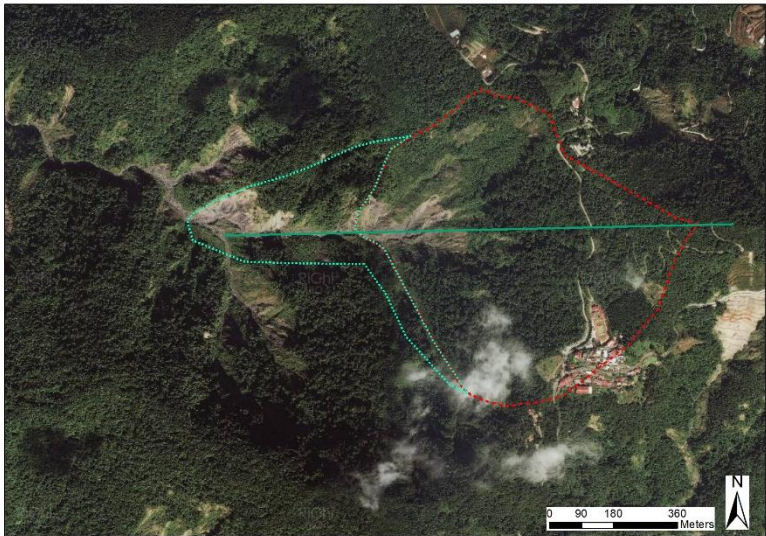
前期採用之鏡面法，下方擴大區若未經地形修正，其面積大約為潛在滑動區的鏡射，意即其可能滑動距離大約為崩塌體坡頂至坡趾水平距離(坡長水平距離)的 2 倍長度。為比較鏡面法與重力堆積型劃設方法之主要差異，表 6-6 列出本計畫大規模崩塌潛勢區重力堆積型劃設方法之計算結果，表 6-6 最後一欄計算可能滑動距離與坡長水平距離的比值，24 處大規模崩塌潛勢區中，可能滑動距離與坡長水平距離的比值有 6 處約為 2 左右(可能落高 968-455m)，7 處約為 1.5 左右(可能落高 823-367m)，11 處約為 1 左右(可能落高 540-194m)；上述結果顯示鏡面法劃設之影響範圍相對於重力堆積型劃設方法(水保局，105)而言較為保守(較大)，且在崩塌潛勢區之可能落高減小時相對顯著(圖 6-15)。

重力堆積型的運移距離與可能落高相關，以局部崩塌的模擬結果而言，因為可能落高相對於一次式全面滑動小很多(約為一次式的 1/5)，因此等價摩擦角就增加為 25~30 度，計算滑動距離相對減小。將局部崩塌的重力堆積型劃設方法與數值模擬方法相比較，數值運移模擬的崩塌後殘坡為 15~20 度。從歷史災害的統計而言，數值運移模擬結果應較為合理。重力堆積型的假設情境是崩塌土體沿坡面進入緩坡或平坦地，若用於崩積層沿著岩土界面的滑動破壞，其適用性仍待檢討。

表 6-5 鏡面法與水保局(105年)重力堆積型方法劃設大規模崩塌影響區結果

名稱	面積	鏡面法	重力堆積型方法
嘉義縣- 阿里山鄉- D187	全區 555 公頃 二萬坪 區約 183 公頃		
高雄市- 桃源區- D228	93 公頃		

名稱	面積	鏡面法	重力堆積型方法
高雄市- 甲仙區- D044	67 公頃		
高雄市- 甲仙區- D047	84 公頃		

名稱	面積	鏡面法	重力堆積型方法
高雄市- 六龜區- D015	228 公頃		
高雄市- 六龜區- D022	51 公頃		

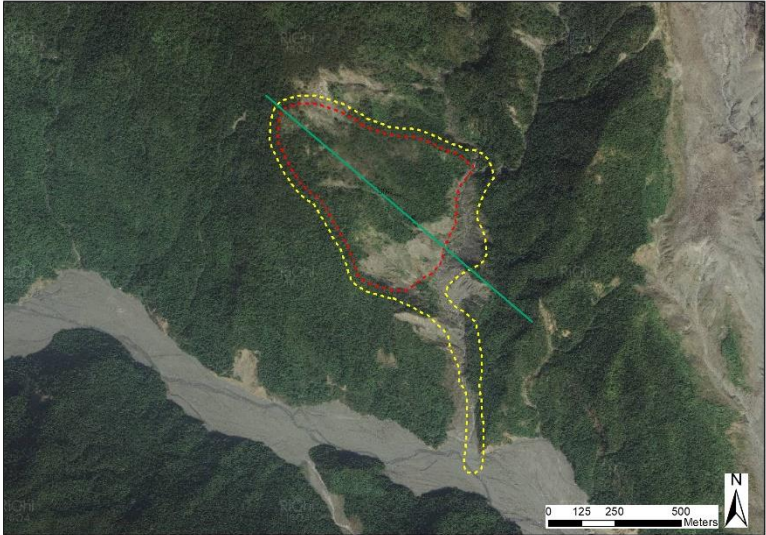

名稱	面積	鏡面法	重力堆積型方法
屏東縣- 三地門鄉- D097	31 公頃		

表 6-6 重力堆積型劃設方法(水保局，105 年)計算結果

大規模崩塌潛勢區	崩塌面積(m ²)	崩塌體積(m ³)	Zmax	Zmin	可能落高	可能移動距離(Lmax)	坡長水平距離(Hd)	等價摩擦角	Lmax/Hd
臺中市-和平區-D063	180,000	2,362,439	1175	720	455	1083	495	23	2.19
臺中市-和平區-D335	180,000	2,362,439	1920	1420	500	1190	610	23	1.95
臺中市-和平區-D348	140,000	1,661,305	2080	1700	380	856	595	24	1.44
臺中市-和平區-D344	210,000	2,931,927	2114	1400	714	1758	902	22	1.95
臺中市-和平區-D359	210,000	2,931,927	2206	1540	666	1640	886	22	1.85
臺中市-和平區-D395	130,000	1,497,471	1750	1233	517	1146	555	24	2.06
南投縣-水里鄉-D006	300,000	4,832,488	954	537	417	1111	854	21	1.30
南投縣-水里鄉-D007	100,000	1,036,869	863	520	343	717	680	26	1.06
南投縣-水里鄉-D008	110,000	1,184,991	751	485	266	568	485	25	1.17
南投縣-水里鄉-D015	320,000	5,289,797	574	315	259	700	682	20	1.03
南投縣-水里鄉-D016	260,000	3,954,591	657	290	367	947	645	21	1.47
阿里山 D187(僅取二萬坪)	1,831,500	60,941,953	2168	1345	823	3263	2030	11	1.61
嘉義縣-大埔鄉-D037	900,000	22,522,553	512	225	287	973	1095	16	0.89
高雄市-桃源區-D228	930,000	23,581,340	1280	780	500	1708	1164	16	1.47
高雄市-甲仙區-D044	670,000	14,895,486	753	249	504	1602	1118	17	1.43
高雄市-甲仙區-D047	840,000	20,447,450	780	240	540	1804	1400	17	1.29
高雄市-六龜區-D015	2,280,000	82,830,558	1326	358	968	4027	1961	13	2.05
高雄市-六龜區-D022	510,000	10,163,182	1487	1001	486	1455	958	18	1.52
高雄市-杉林區-D014	480,000	9,335,613	560	240	320	945	800	19	1.18

大規模崩塌潛勢區	崩塌面積(m ²)	崩塌體積(m ³)	Zmax	Zmin	可能落高	可能移動距離(Lmax)	坡長水平距離(Hd)	等價摩擦角	Lmax/Hd
高雄市-杉林區-D020	160,000	2,003,069	394	200	194	450	477	23	0.94
高雄市-杉林區-D023	120,000	1,338,618	577	317	260	566	603	25	0.94
高雄市-杉林區-D024	960,000	24,653,913	660	185	475	1634	1305	16	1.25
屏東縣-三地門鄉-D097	310,000	5,059,663	747	344	403	1081	827	20	1.31
屏東縣-三地門鄉-D046	1,780,000	58,554,771	1200	414	786	3097	2167	14	1.43

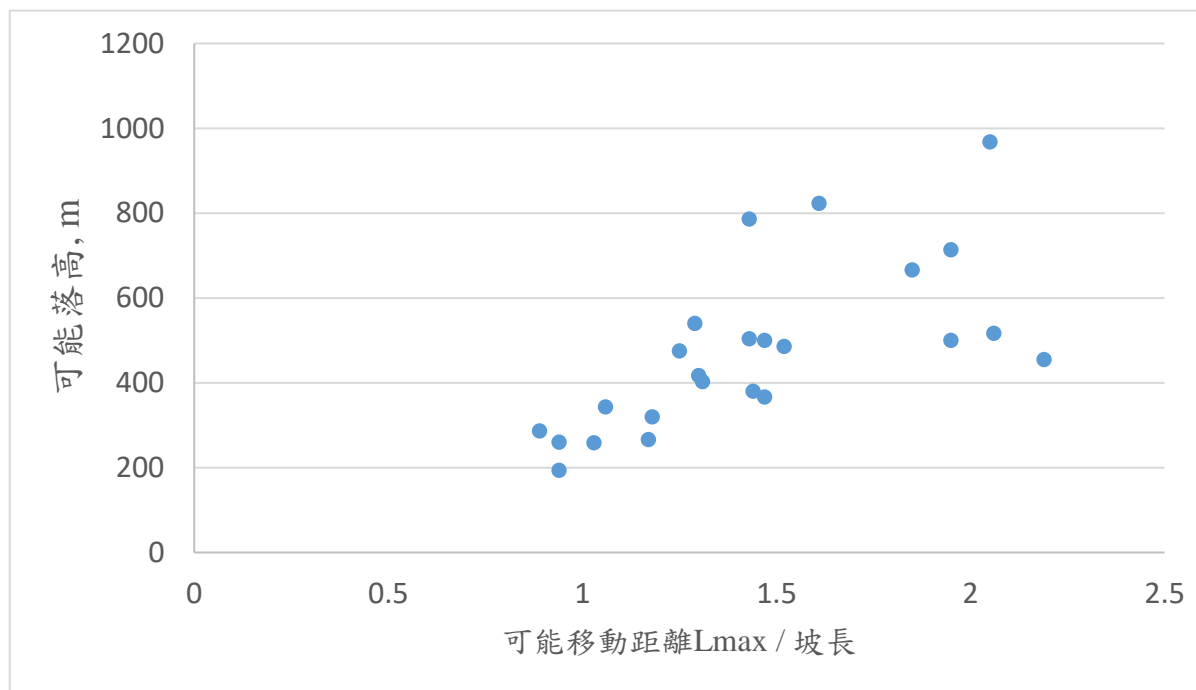


圖 6-15 可能落高與可能移動距離/坡長水平距離關係圖

6-2 管理基準值建議

針對 D015 之管理基準值，可參考本計畫邊坡穩定分析與相關調查監測結果研析管理基準值，並參考國內外相關研究，應用適當經驗、理論模式進行概估。進行比較探討後，選擇適當策略作為六龜區-D015 大規模崩塌潛勢區之管理基準值。以下分為四個策略進行說明：

(一)策略一：以臨界應變為準

Chigira (2009)經日本多案例歸納，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。然須需考量裝設測傾管前地盤可能存在前期位移，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。

至於土工監測系統尚不存在或不完備者的大規模崩塌潛勢區，可由崩體頭部位移量 d 除以滑動體長度 L 推估剪應變($=d/L$)，作為管理基準值之參考。

(二)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。本研究建議使用“累積降雨量”做為管理基準值。

(三)策略三：以監測值為準

經檢視測傾管及水位(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(包絡線、變化率等)建議管理值。

(四)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(因測傾管及水位量測數值影響因素太多，如裝設、地質條件等)。本計畫建議測傾管及水位井在邊坡的主要功用為調查。

本計畫以 D015 邊坡破壞事件資料目錄，初步以策略二作為建立管理基準值之建議，蒐集歷年航空照片(71~106 年)及 LiDAR、UAV 影像判釋邊坡破壞事件；降雨事件蒐集鄰近御油山雨量站 81~106 年雨量資料。探討降雨強度、累積降雨量與邊坡破壞關係，作為管理基準值建議。

6-2.1 歷年邊坡破壞事件

本計畫蒐集民國 71、77、85、92、94、96、102、103、104 年的農航所航空照片，以及本工作團隊於 106 年 3 月、6 月的 UAV 空拍影像，製作正射影像(如圖 6-16~圖 6-23)及數值地表模型(DSM)，並參考 99 年 LiDAR 資料進行航照判釋。比較歷年變化，圈繪六龜區-D015 大規模崩塌區邊坡破壞位置。

圖 6-24 為中央蝕溝區域歷年沖蝕變化，71 年航照判釋顯示中央蝕溝早在莫拉克颱風之前就已存在，蝕溝與崩崖位置可由航照立體對圈繪如圖 6-24(a-1)所示，此時蝕溝表面植生良好、樹林茂密，無岩盤裸露。由 71~96 年航照顯示僅有中央蝕溝右側出現零星崩塌，無其他邊坡破壞。由圖 6-24(d) LiDAR 坡度陰影圖可知：98 年莫拉克颱風造成中央蝕溝劇烈下切，蝕溝兩側土石崩落、岩盤裸露，且上溯約 300 m。蝕溝帶下的大量土砂及岩塊，沖毀高 133 線及河階地，並於出口處形成沖積扇。102、104、106 年正射影像顯示中央蝕溝裸露且坡度較陡處仍持續沖刷，岩盤風化、崩落後新鮮岩盤出露，但坡度較緩處則陸續開始出現植生，且越來越茂密。北側蝕溝及高 133 線沿線道路邊坡破壞統計方式如同前述方法，由歷年正射影像、DSM 及 LiDAR 微地形特徵進行航照判釋、圈繪崩塌範圍。

綜合以上資料，本區歷年邊坡破壞及影響範圍主要集中於 (1)中央蝕溝、(2)北側蝕溝及(3)高 133 線道路邊坡等三個區域。由 71 年航照可知中央蝕溝、北側蝕溝過去可能曾經發生過類似的大規模崩滑，莫拉克颱風的極端降

雨事件又再引發致災性的大規模邊坡破壞，影響範圍除了沖毀高 133 線，也造成邊坡上的農路中斷，並波及原沖積扇及河階地上的住戶。如今蝕溝植生已逐漸恢復，但大部分岩盤裸露區域表面仍持續風化掉落。

高 133 線位於本區下邊坡崩積層且緊鄰荖濃溪左岸，通過許多既有蝕溝及老崩坍區，道路邊坡曾多次破壞，災害型態包含下邊坡凹岸侵蝕、蝕溝下切、上邊坡崩滑等機制。由 77 年航照判釋可知圖 6-25(b)，道路凹向上邊坡處即為歷史邊坡崩坍留下的證據。98 年莫拉克颱風後，高 133 線道路沿線邊坡大範圍岩盤裸露，一直反覆崩滑至今，造成高 133 沿線上下邊坡、臨時便道多次中斷，蝕溝攔砂壩淤積等。

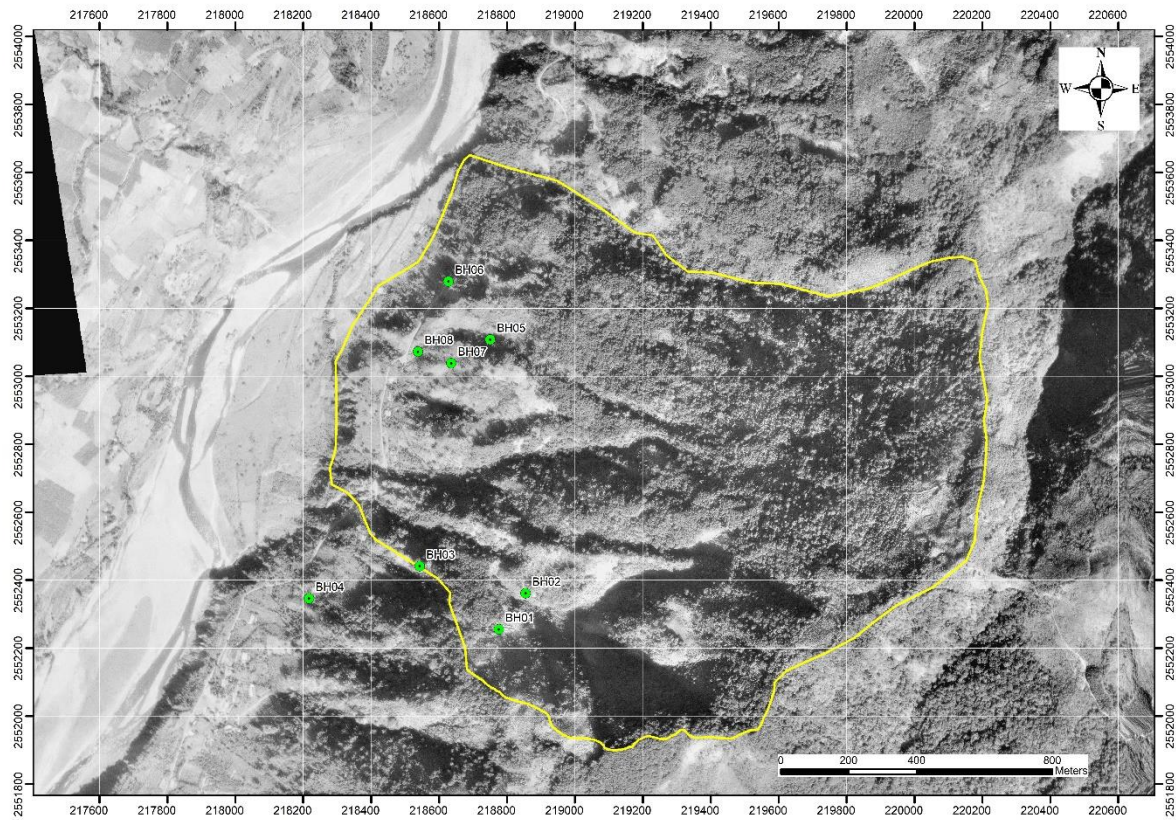


圖 6-16 民國 71.12.02 六龜區-D015 正射影像

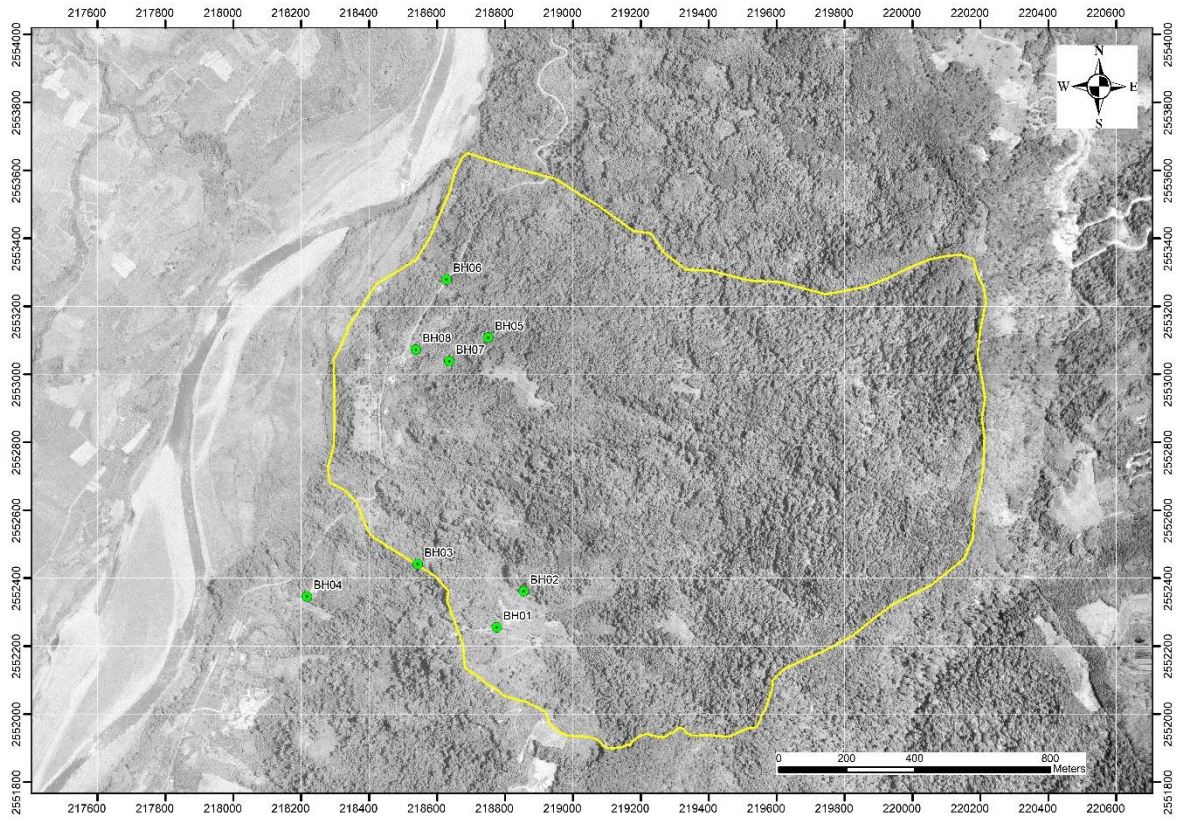


圖 6-17 民國 77.7.21 六龜區-D015 正射影像

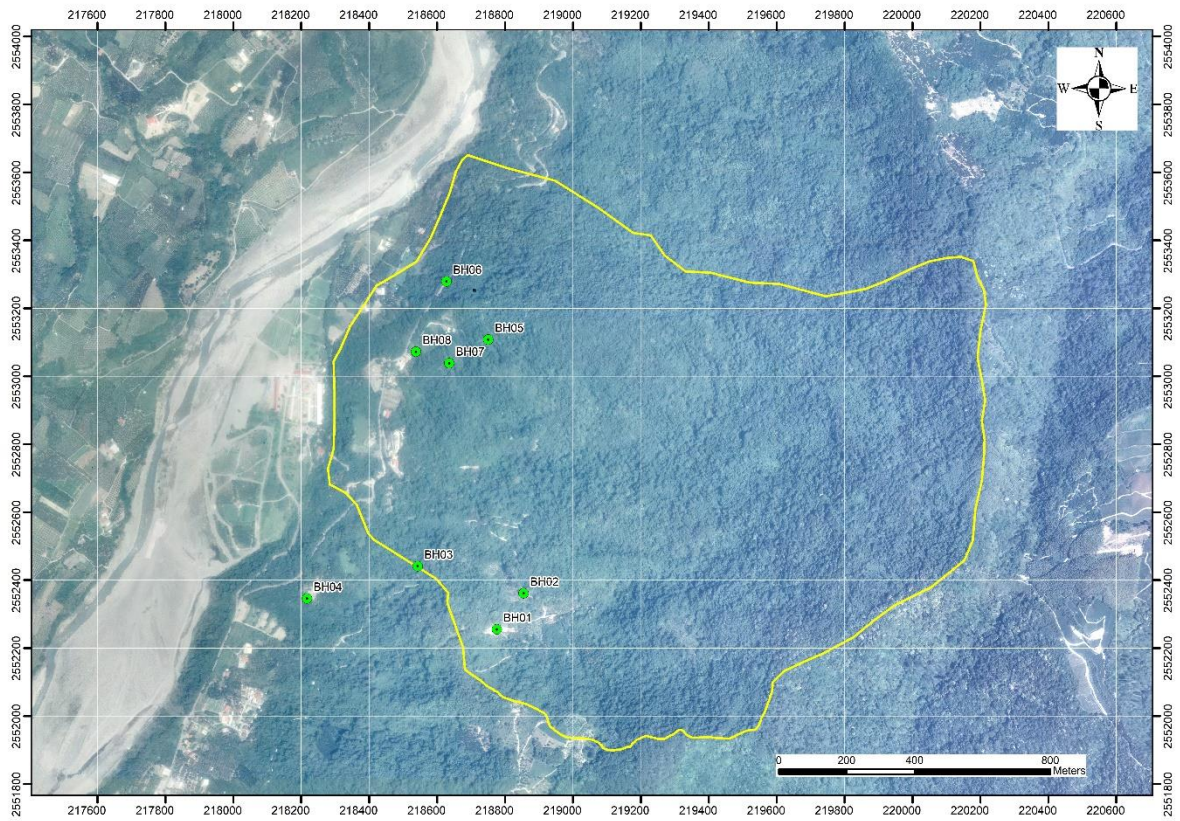


圖 6-18 民國 92.4.22 六龜區-D015 正射影像

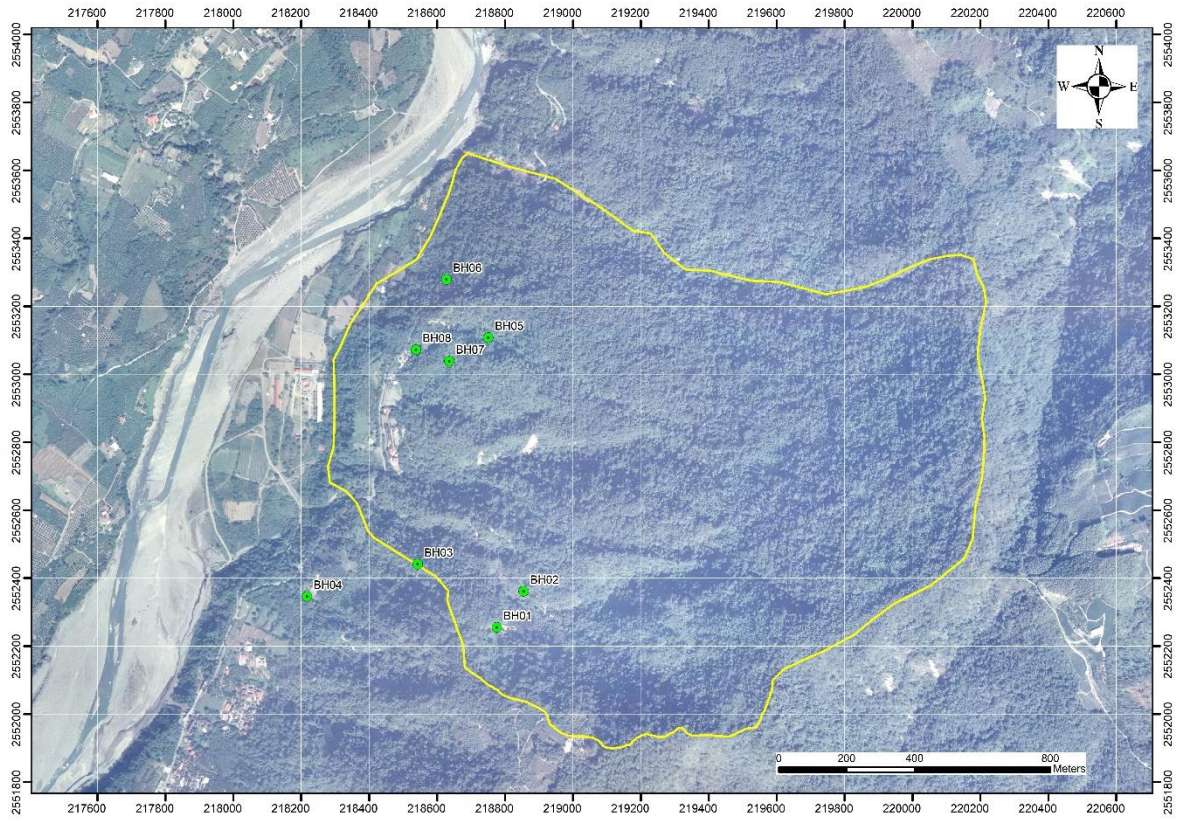


圖 6-19 民國 94.10.29 六龜區-D015 正射影像

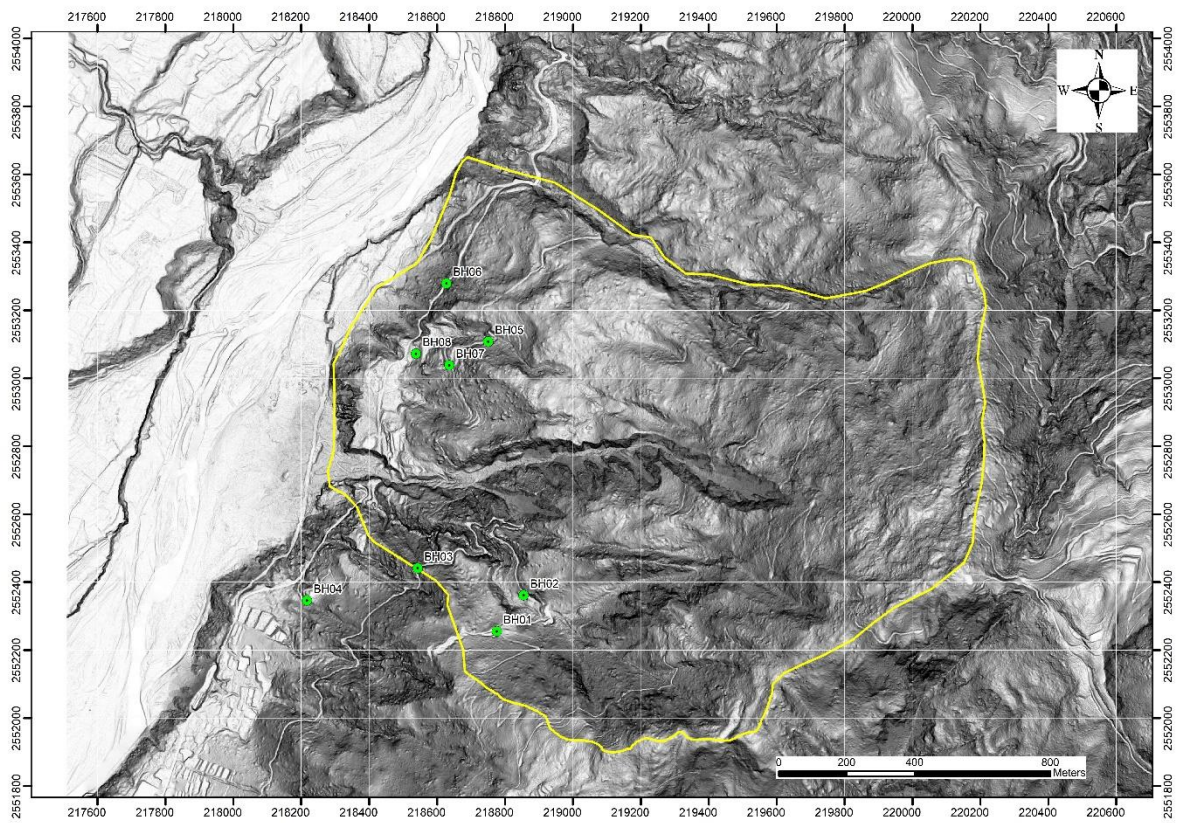


圖 6-20 民國 99 年六龜區-D015 LiDAR 坡度陰影圖

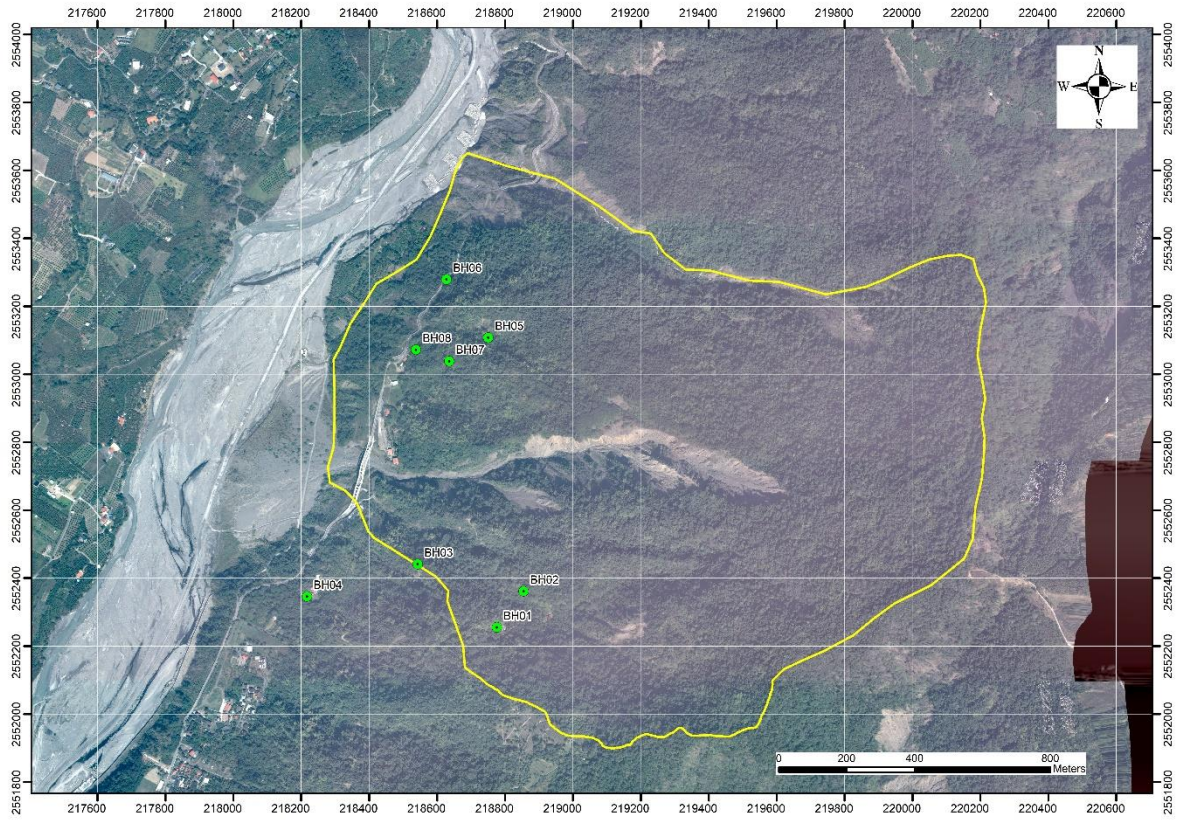


圖 6-21 民國 103.2.23 六龜區-D015 正射影像

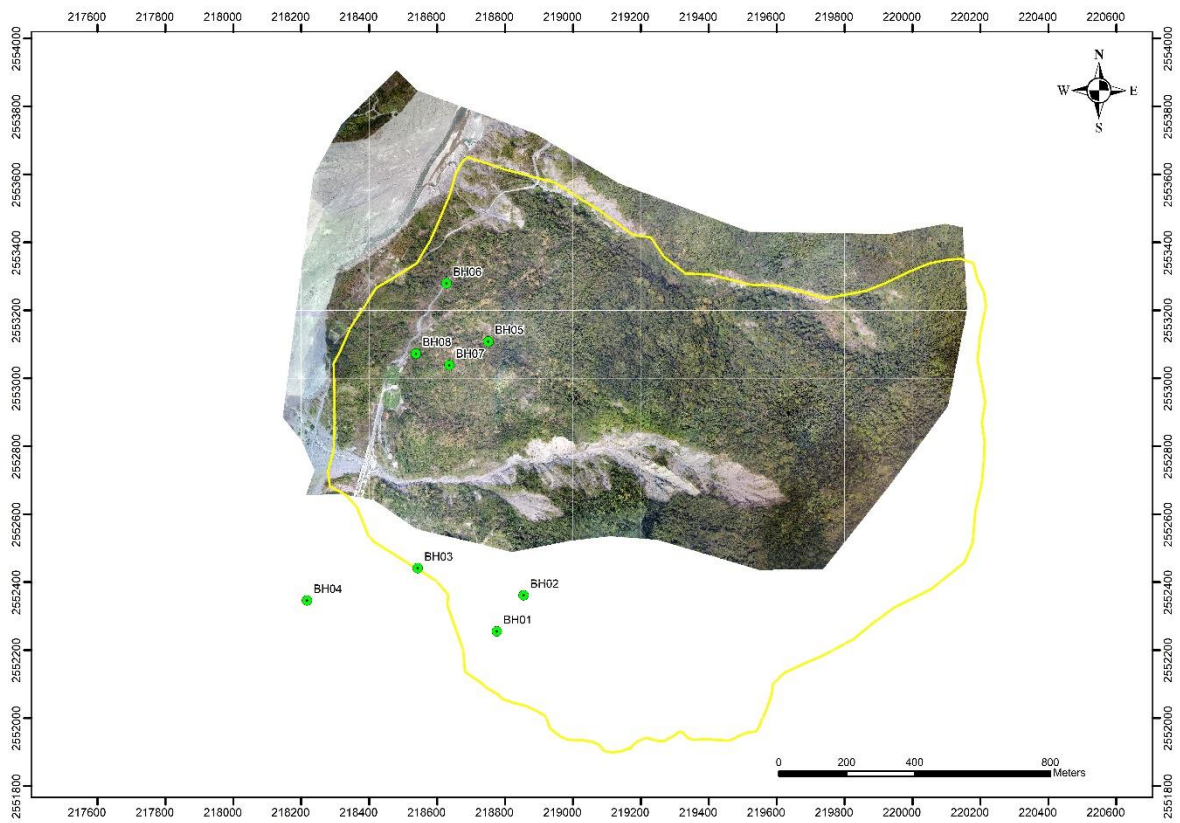


圖 6-22 民國 106.3.24 六龜區-D015 正射影像

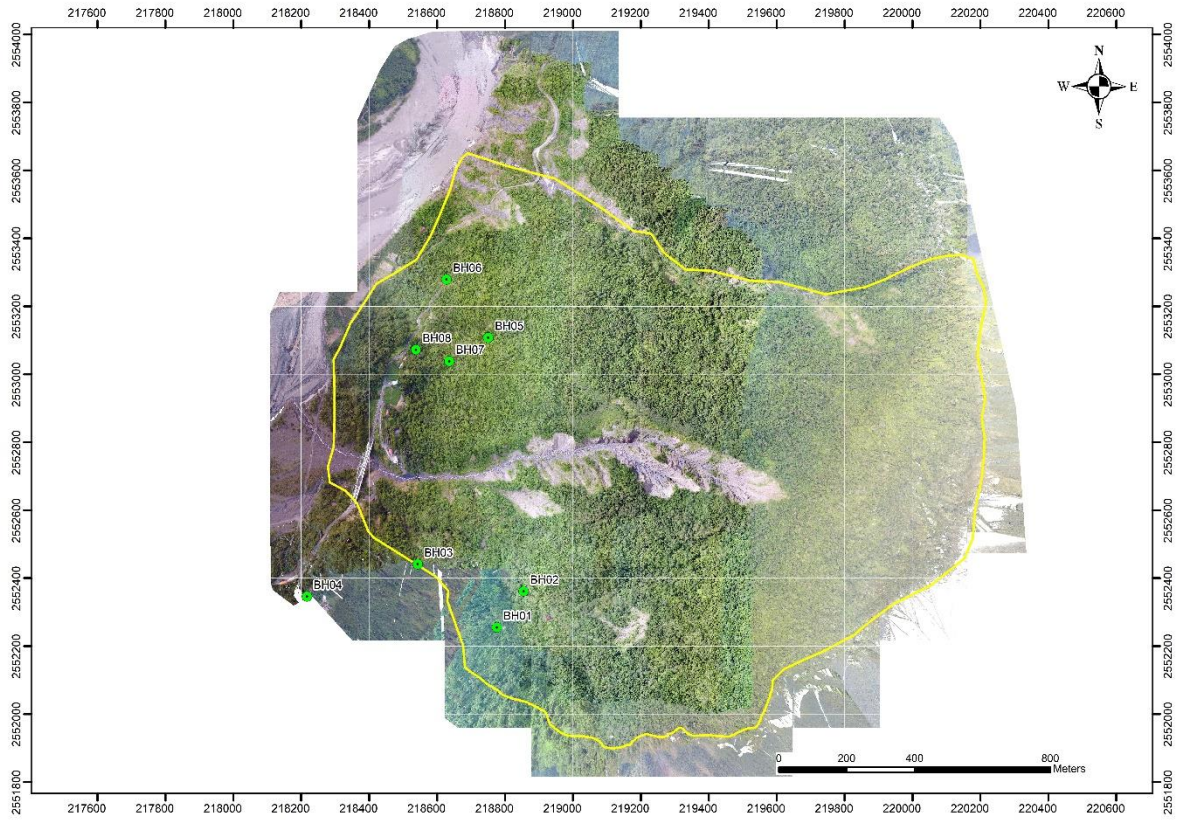
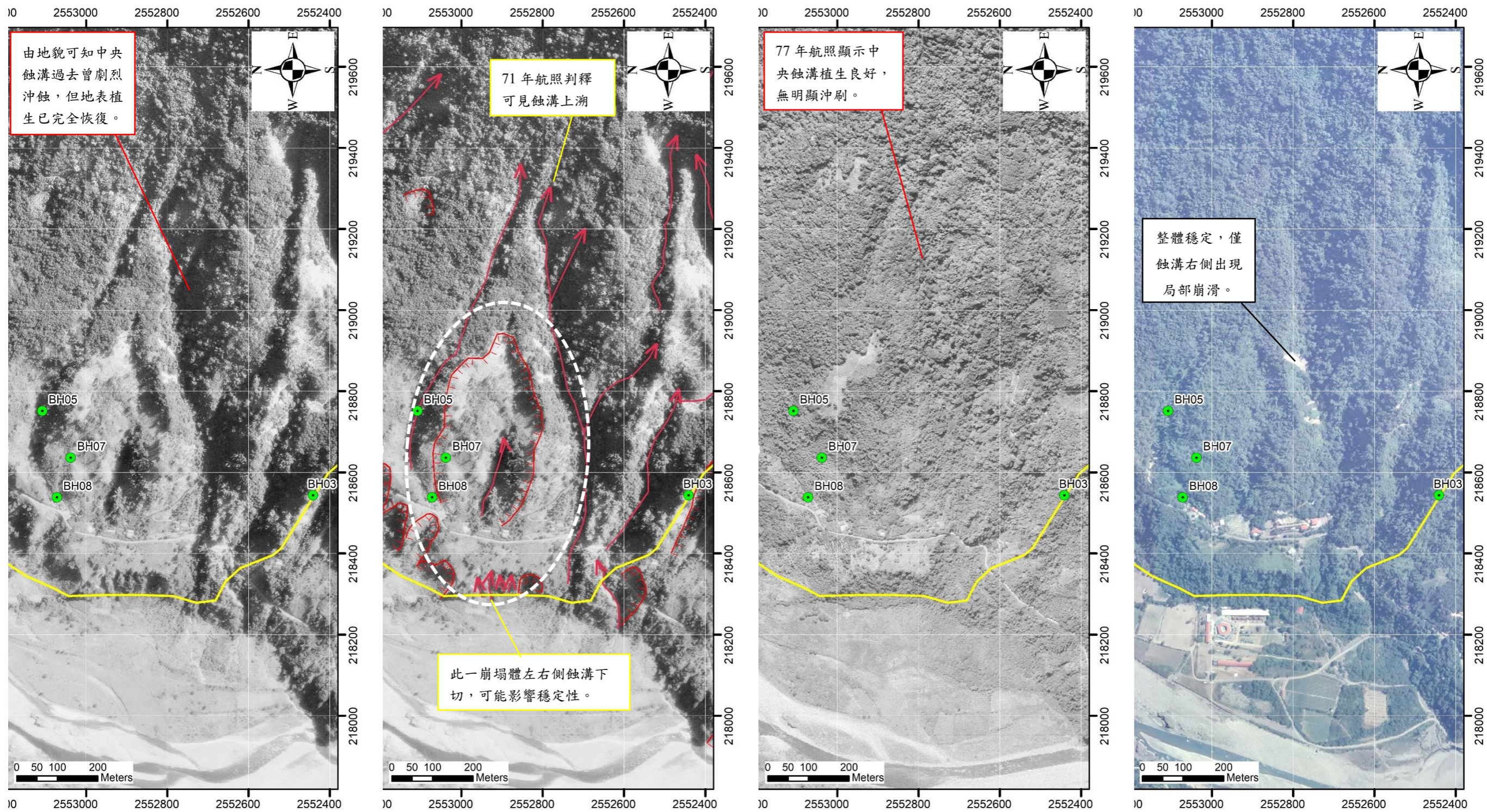


圖 6-23 民國 106.6.19 六龜區-D015 正射影像



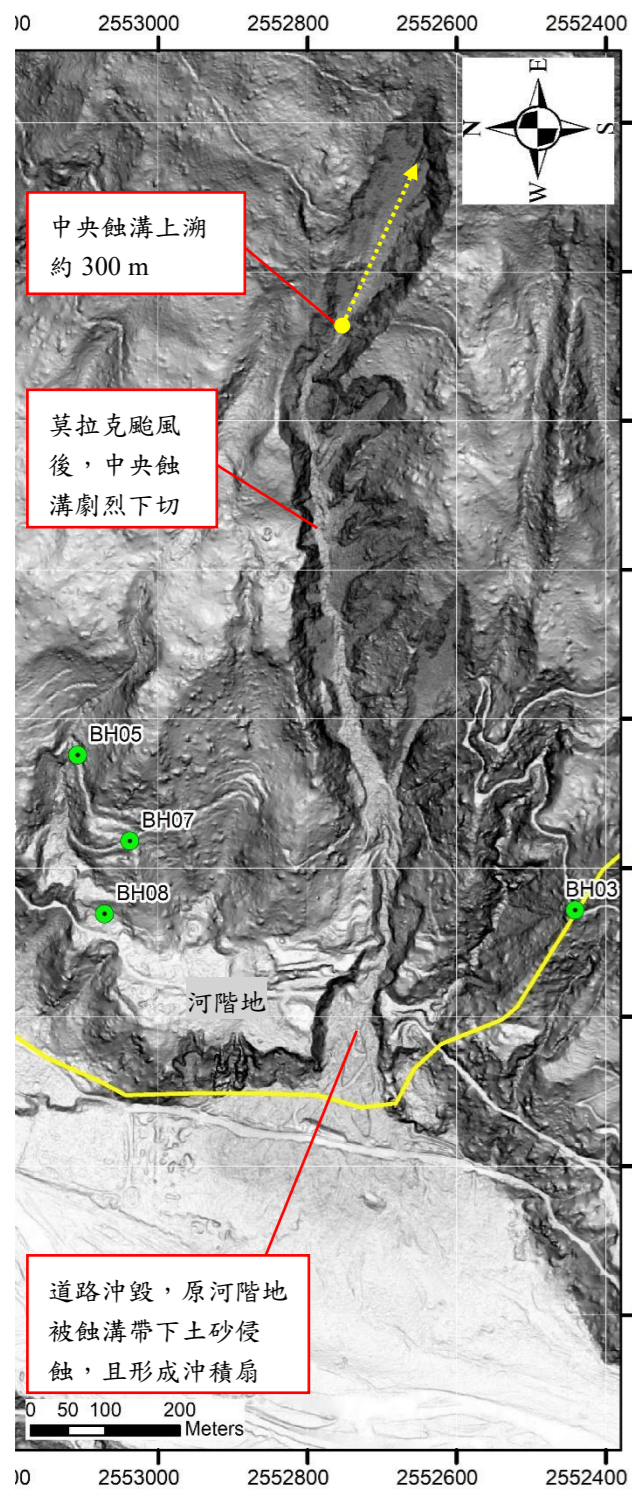
(a) 71.12.02

(a-1) 71.12.02 航照判釋

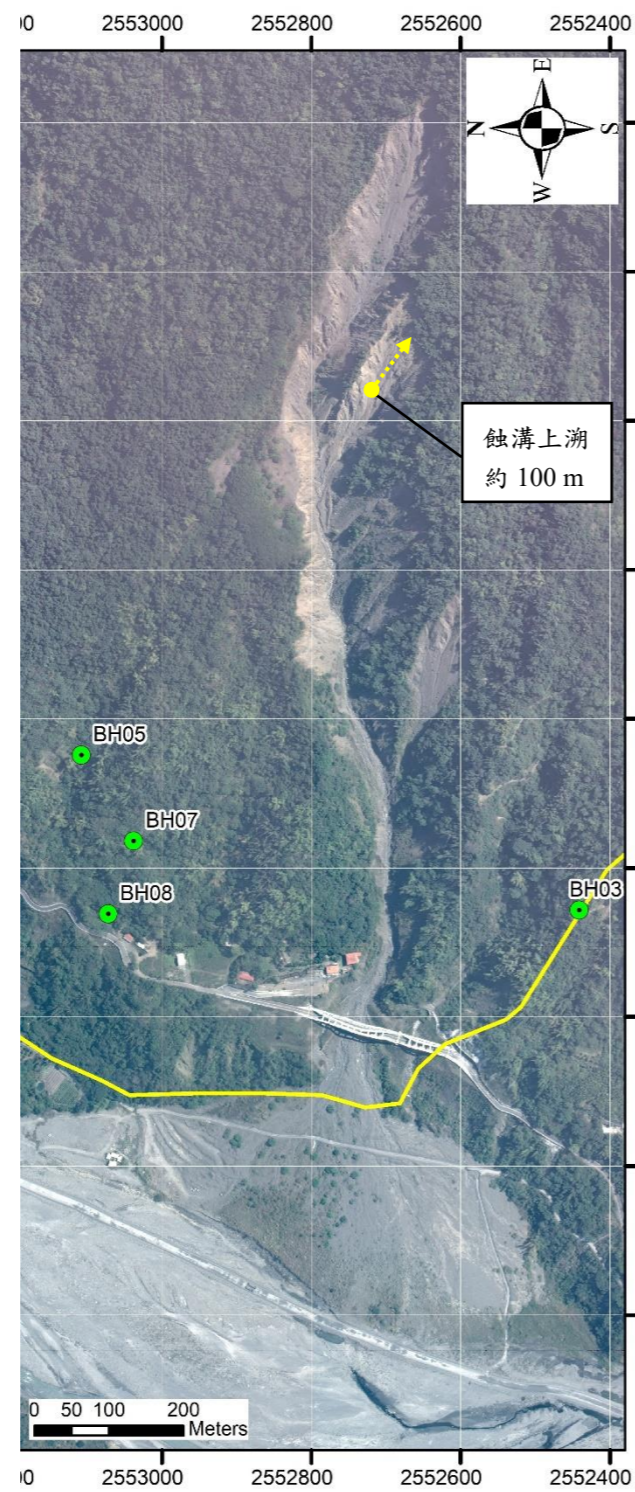
(b) 77.7.21

(c) 94.10.29

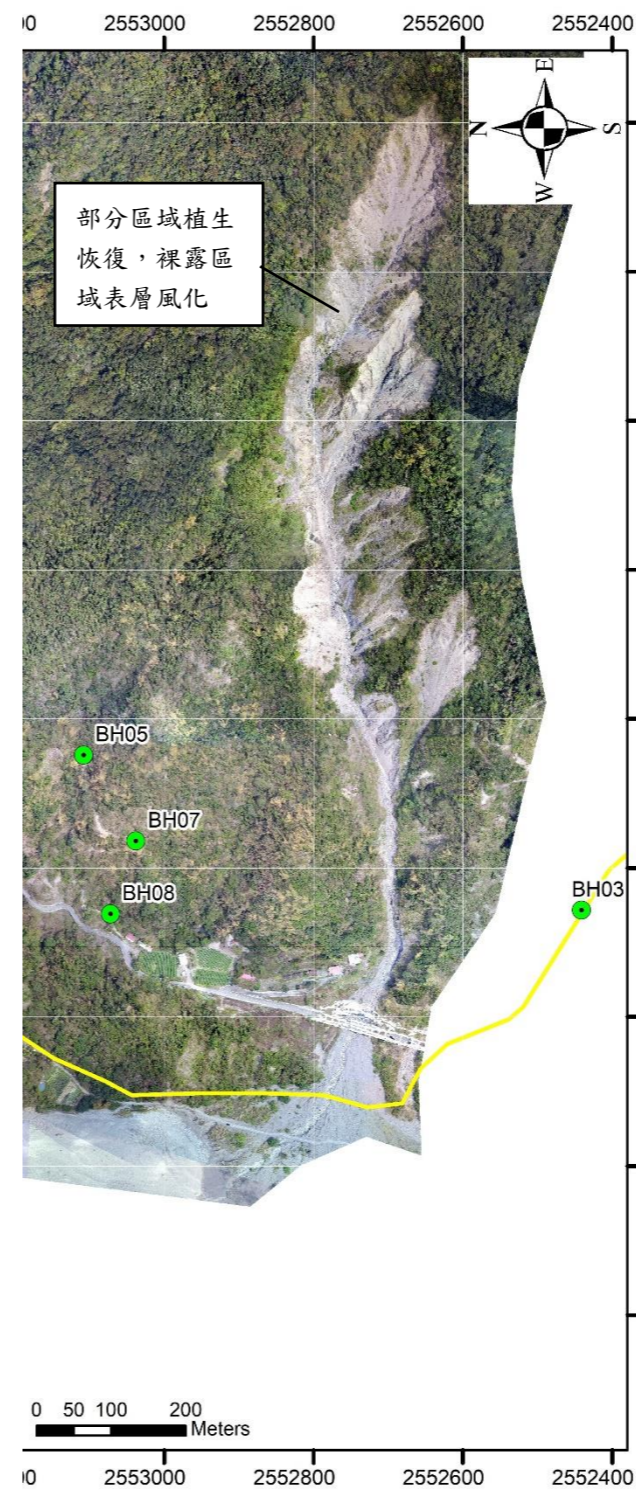
圖 6-24 中央蝕溝區域歷年沖蝕變化



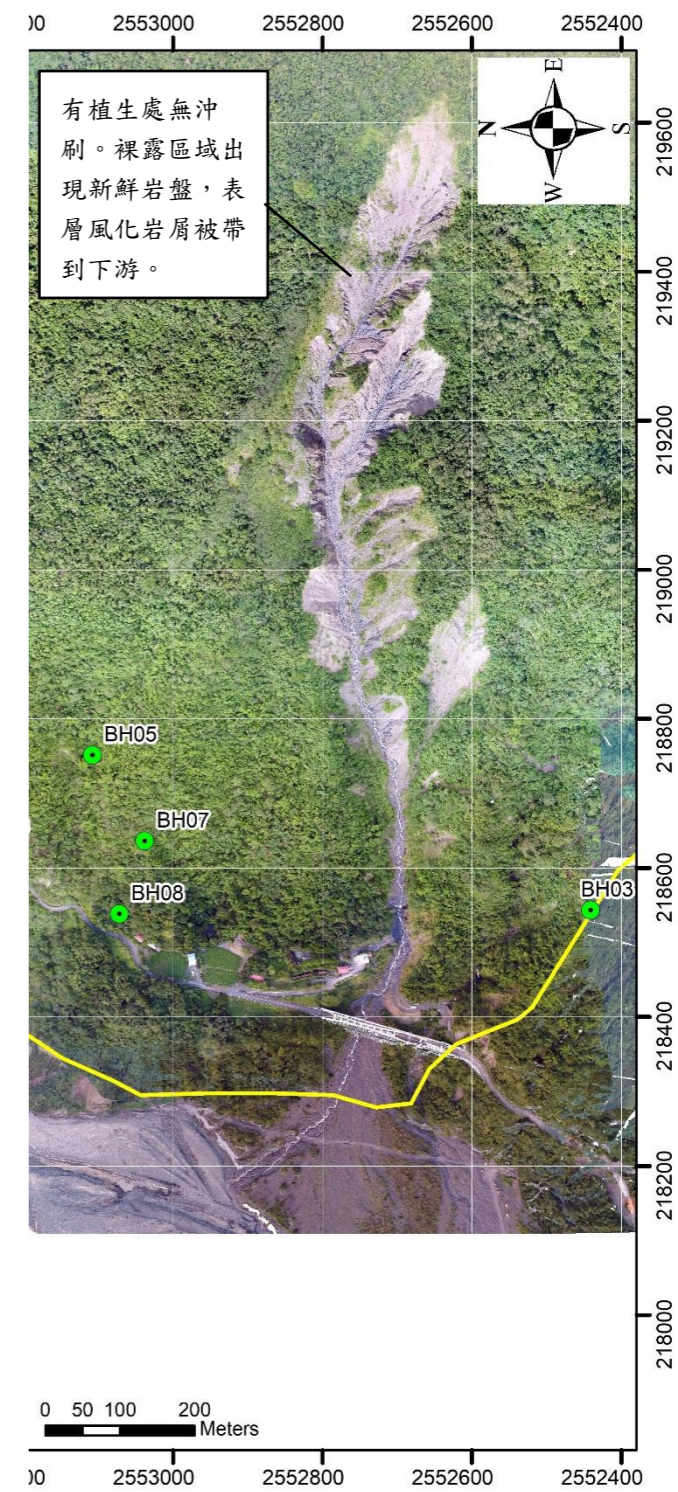
(d) 99 年 LiDAR 坡度陰影圖



(e) 103.2.23

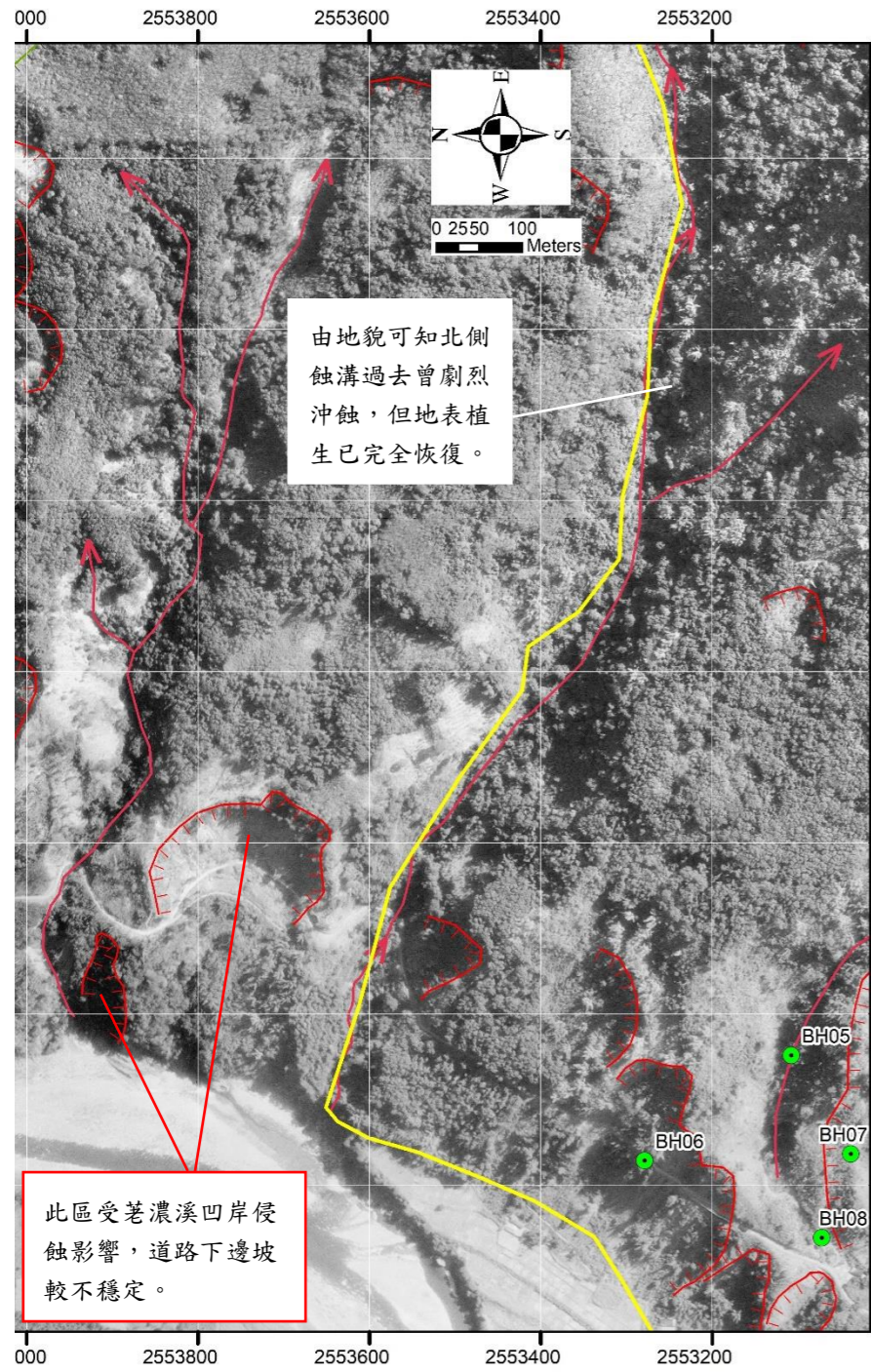


(f) 106.3.24

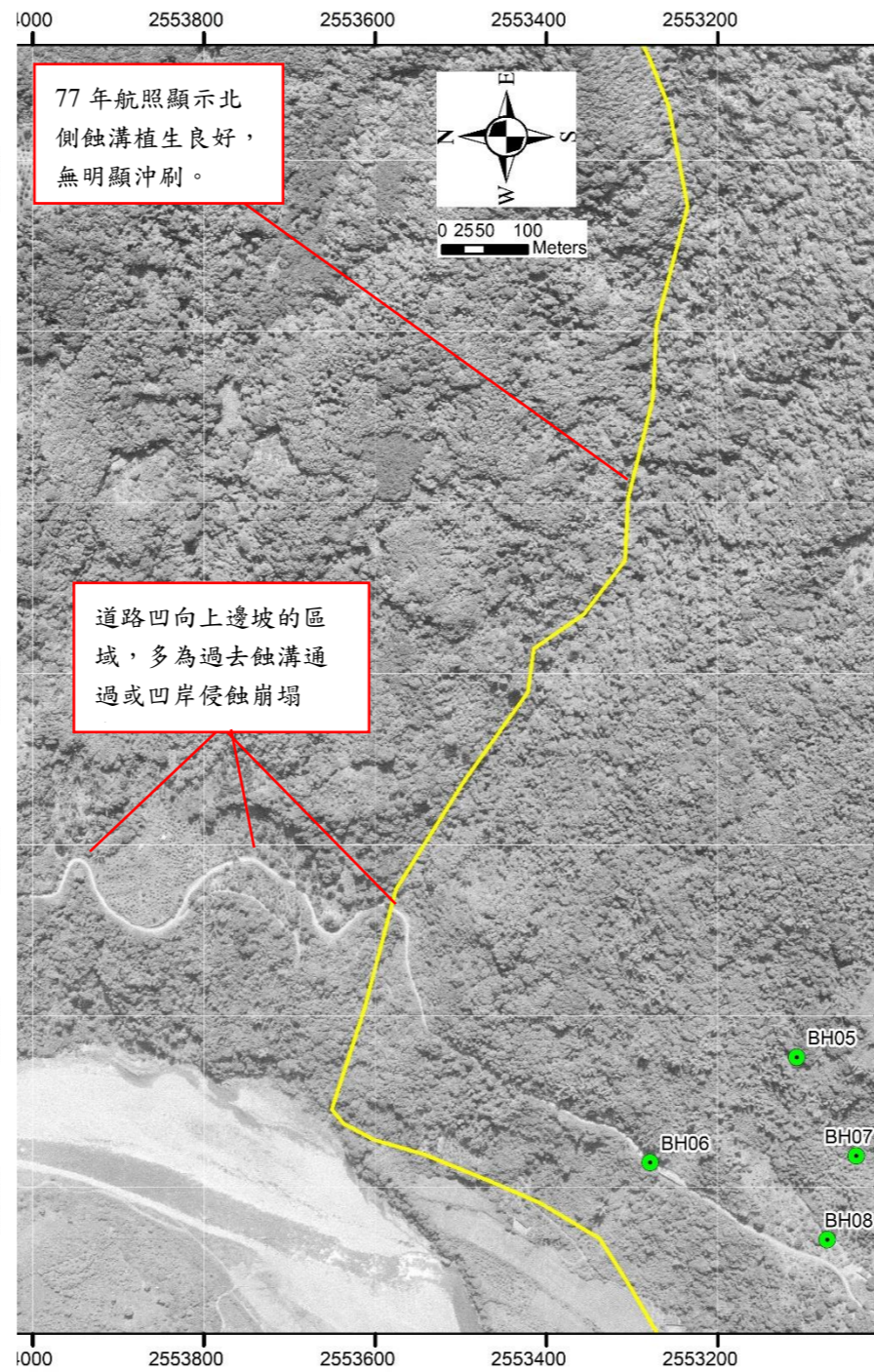


(g) 106.6.19

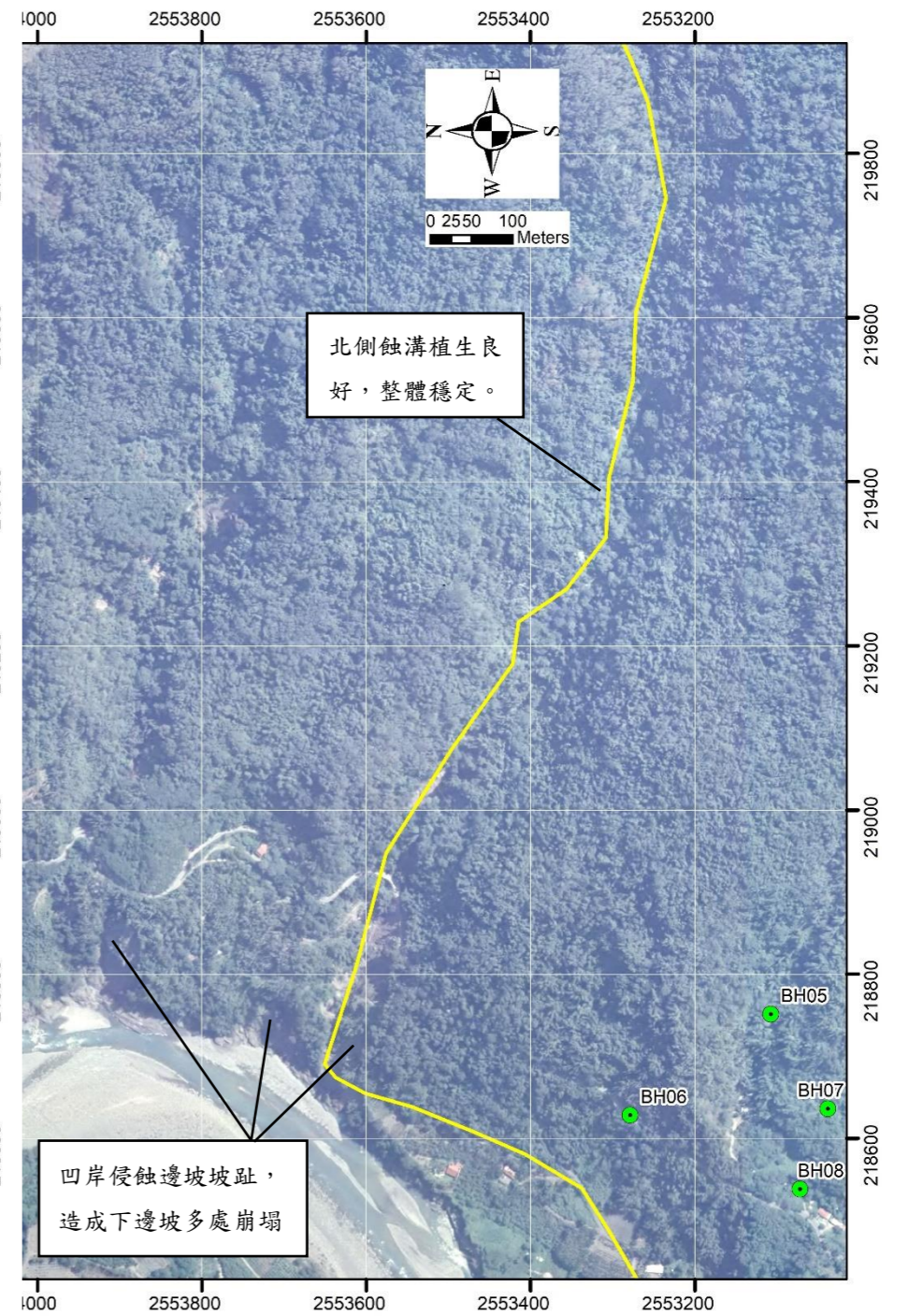
圖 6-24 中央蝕溝區域歷年沖蝕變化(續)



(a) 71.12.02 航照判釋

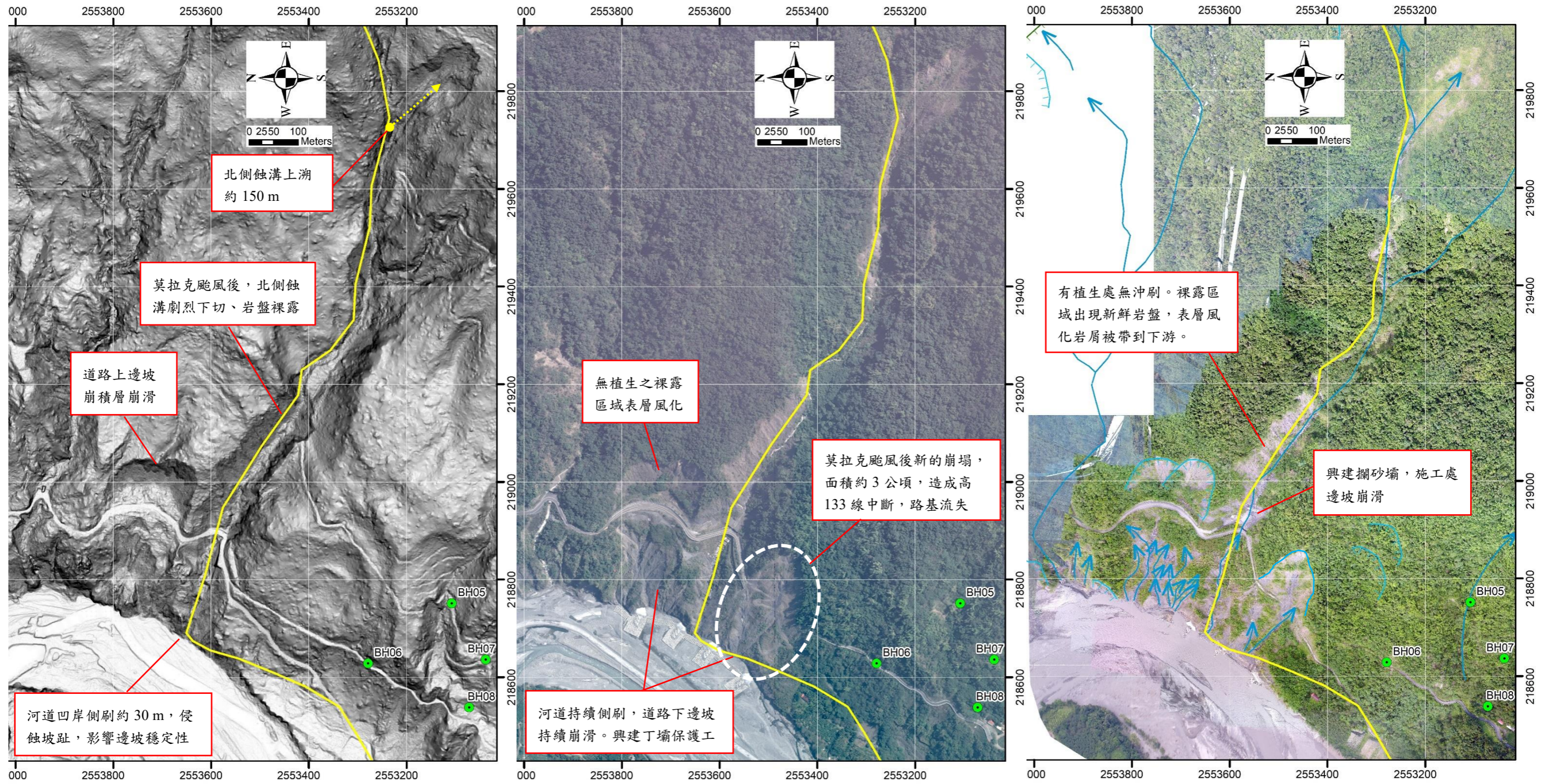


(b) 77.7.21



(c) 94.10.29

圖 6-25 北側蝕溝及高 133 線歷年沖蝕變化



(d) 99 年 LiDAR 坡度陰影圖

(e) 103.2.23

(f) 106.6.19 航照判釋

圖 6-25 北側蝕溝及高 133 線歷年沖蝕變化 (續)

6-2.2 降雨事件蒐集與管理基準值建議

採用降雨量之經驗關係式作為邊坡管理依據為相對經濟之方式(Jamaludin, 2011)，降雨量之臨界值也曾被應用於邊坡之管理(Sengupta et al., 2010; Nafarzadegan et al., 2012)；時降雨強度及降雨延時之冪次式應用於澳洲、義大利、馬來西亞等國之邊坡警戒系統(Aleotti, 2004; Flentje and Chowdhury, 2006; Jamaludin and Ali, 2011)；日本亦曾應用時降雨強度及累積雨量於此目的(Kuramoto et al., 2002; Sato et al., 2002)；降雨量於臺灣亦為最常為引起邊坡崩塌之直接影響因素，常見之綜合採用 2 種降雨臨界值與邊坡破壞關係(圖 6-26)採用上、下限來說明邊坡破壞發生情形，下限(line A)為邊坡開始發生破壞的降雨條件，上限(line B)則為邊坡維持穩定的降雨條件(Lee et al., 2013)。Lee et al. (2013)利用民國 85-99 年間之颱風降雨量與阿里山公路邊坡破壞事件進行研究，89 場颱風中有 18 場颱風發生邊坡破壞，總計有 258 處邊坡破壞，提出阿里山公路邊坡之管理值，包含有效累積降雨量(mm)以及最大降雨強度(mm/hour)之下限值。

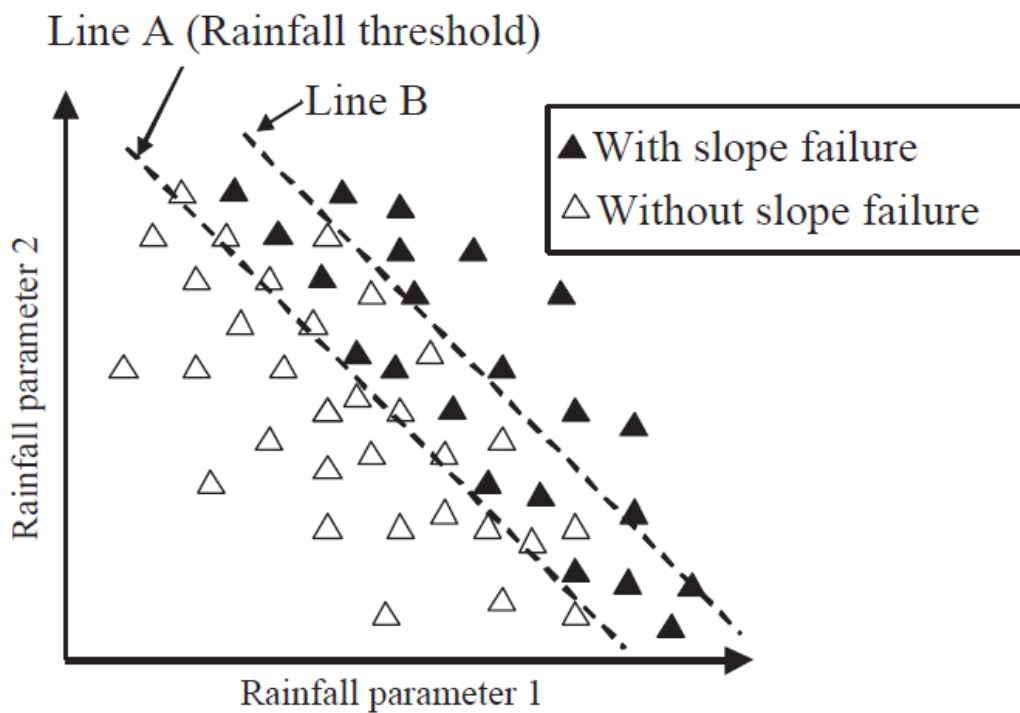


圖 6-26 降雨臨界值與邊坡破壞關係示意圖(Lee et al., 2013)

交通部(2002)指出邊坡崩塌預警主要目的是為了降低邊坡崩塌災害，崩塌預警之意涵為根據各邊坡崩塌徵兆觀察、記錄或量測結果，於邊坡崩塌事發前提出警告，並為管理單位採取不同防災措施之重要參考。監測系統實測物理量提供做為防災之參考，共涉及三個環節：(1)確保安全監測所得之物理量為合宜之參考物理量(包括監測設備種類選擇、監測系統設置位置、量測方法、資料儲存與傳輸)；(2)妥善進行監測所得物理量之詮釋(監測資料之分析及透過經驗或學理分析後之資料解釋)；與(3)訂定合宜之預警基準。結合參考物理量、物理量之詮釋及預警基準，道路防災管理方能落實。

交通大學防災中心執行的交通部「道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制訂」(交通部，2002)計畫，對順向邊坡、崩積層與填土邊坡崩塌預警基準制定模式有以下之建議：

(1) 順向邊坡預警基準制定模式

屬平面型運動之順向岩層邊坡崩塌，相較於其他旋滑型之地層滑動，速度明顯較快，因此崩塌預警基準制定若欲依據位移做為徵兆物理量，建議應選擇自動化監測設備，若預警基準制定模式選擇以直接物理量位移之經驗法則為主，建議應於經驗區間中選擇較保守之值。另外，利用崩塌誘因如雨量做為搭配之預警基準可有效增加反應時間。

(2) 崩積層與填土邊坡預警基準制定模式

崩積層與填土邊坡之破壞運動型態多屬旋滑型，一般移動速度較為緩慢，長期監測建立位移監測潛變曲線，而根據潛變模式進行破壞時間預測對於重要路段之預警亦經過實例驗證確屬可行(惟需依賴自動化監測資料方屬可行)。另外，此類邊坡崩塌與地下水位或水壓相關性甚高，因此建立地下水位或水壓與安全之相關性做為預警基準，亦可適度搭配前述根據位移速度做為預警基準合併解釋。建立降雨與地下水位或水壓之相關性模式對於已知滑動特定邊坡崩塌預警提供第三種有效之選擇。

對於不確定崩塌位置之大規模崩積層，廣域路段預警較為可行，適當之模式選擇應以誘發崩積層位移之間接物理量為主，如降雨特性。臨界降雨線之模式經實例驗證具可行性，唯適量之位移監測(地表或地下位移)與地下水位或水壓監測對於現象之詮釋仍屬必要。

本計畫嘗試由歷年正射影像、LiDAR、本計畫 UAV 成果，建立六龜區-D015 大規模崩塌區邊坡破壞事件資料庫，並蒐集該破壞事件可能發生時間之鄰近雨量站資料，探討降雨強度、累積降雨量與歷史邊坡破壞事件之關係，了解既有邊坡破壞事件的影響範圍，作為建立管理基準值之建議。

臺灣自民國 94 年起採用 RTI 模式設定各鄉鎮雨量警戒值，建立土石流紅黃警戒發布機制，該模式之有效累積雨量係考量前七日之前期降雨，且以 24 小時為折減周期，折減係數採 0.7 之方式，以冪級數方式逐日折減。本計畫參考這個概念，蒐集六龜區-D015 附近的雨量資料進行分析，發現鄰近氣象測站大部分都是從 102 年 12 月開始啟用，其中離本區最近的是新發測站(距 D015 西南西方 5.5km)。目前 D015 附近有長期觀測的僅有御油山測站(距 D015 東南南方 8 km)，記錄民國 81 年迄今的雨量資料。本研究目前採用御油山測站單一雨量站資料進行分析，後續待簡易監測站雨量站修復後，再改用新的雨量資料。本研究對累積降雨量的定義參考水保局針對土石流潛勢溪流警戒管理對於有效連續降雨事件之定義，即：「一場連續降雨過程，以時雨量大於 4mm 處視為有效降雨時間之開始，以時雨量連續 6 小時總累積雨量不超出 24mm，且其中任 1 小時之降雨量不超過 10 mm 時視為降雨結束。」，以作為歷史邊坡事件對應之累積降雨量。

本計畫參考中央氣象局的大豪雨定義(24 小時累積雨量 350 mm 以上)，整理近 25 年御油山測站每一場大豪雨以上事件的降雨強度(最大時雨量)、累積降雨量，對應歷史航照判釋(71、77、85、92、94、96、102、103、104、106)的災害事件，作為建立管理基準值建議之依據。本計畫將歷年邊坡破壞事件的發生位置即發生前後立體影像整理如圖 6-27，由 71 年立體影像可知本區過去就有蝕溝沖刷凹陷的地形，在植生良好的情況下，即使大豪雨等級以上的降雨事件也不容易造成崩塌，在 98 年之前僅有零星局部崩滑，整體植生良好、邊坡穩定。98 年莫拉克颱風極端降雨事件的累積降雨量高達

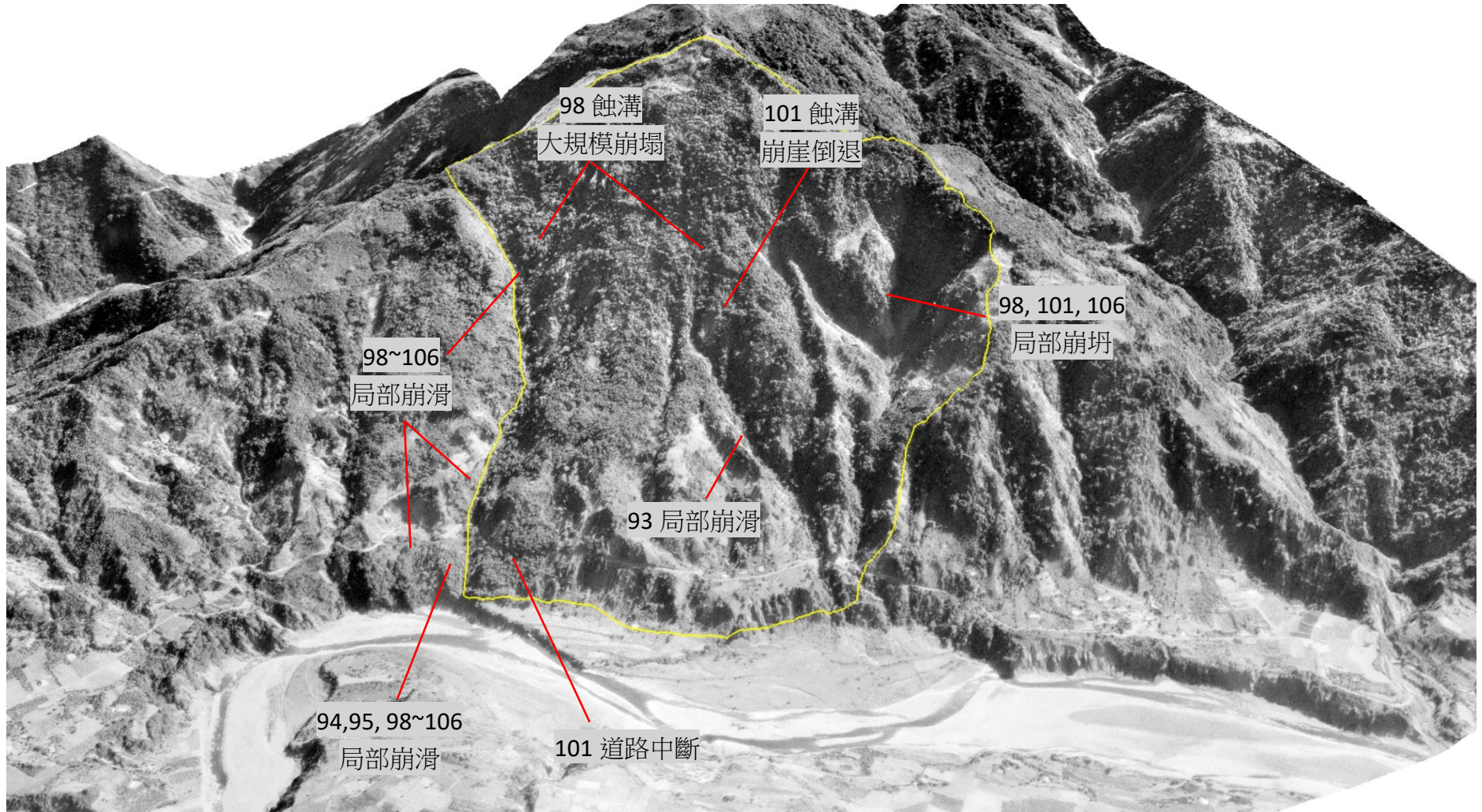
2,903 mm，造成中央蝕溝及北側蝕溝大規模崩塌，多處地表裸露持續至今。雖然本年度現地勘查發現植生有開始逐漸自行復育的趨勢，但在岩盤裸露且坡度較陡的區域(如蝕溝下切處、道路下邊坡)，大豪雨等級的降雨事件就會造成表層崩塌。綜合以上資料，本計畫將降雨強度、累積降雨量、邊坡破壞型態、破壞時地表植生狀態整理如表 6-7，近 25 年內共有 25 場大豪雨等級以上的降雨紀錄，其降雨強度與累積雨量關係如圖 6-28。其中颱風佔 76%，累積雨量超過 1,000 mm 共有六場。將這些雨量資料對照航照判釋邊坡是否破壞及地表植生狀況，統計結果如圖 6-29，初步認定在六龜區-D015 大規模崩塌區在累積雨量超過 600 mm 時就會造成邊坡局部/表層崩塌行為。既有雨量資料及邊坡破壞事件顯示累積雨量超過 1,900 mm 就會發生大規模崩塌，本計畫保守選用 2/3(約 1,200 mm)作為大規模崩塌的管理基準值建議。後續依策略一並參考監測資料，再提出管理基準值之建議，亦建議以其他案例進行本策略的降雨量管理值建立，以供比較、修正參考。

表 6-7 民國 81~106 年歷史大豪雨等級以上事件雨量記錄

累積降雨量(mm)	降雨強度(mm/hr)	日期	測站	颱風	邊坡破壞行為
727	55.5	85/7/31	御油山	賀伯	無(植生良好)
371	51	88/8/9	御油山	-	無(植生良好)
653	68.5	89/8/22	御油山	碧利斯	無(植生良好)
625	62	90/5/19	御油山	-	無(植生良好)
464	53	90/7/29	御油山	桃芝	無(植生良好)
1949	110	93/7/1	御油山	敏督利	中央蝕溝右側崩滑(原植生茂密)
832	39	94/6/14	御油山	-	/
2163	83	94/7/18	御油山	海棠	中央蝕溝右側崩滑(原植生稀疏)、北側蝕溝道路下邊坡侵蝕(原植生茂密)
770	61.5	94/8/31	御油山	泰利	/
1128	86.5	95/6/8	御油山	-	北側蝕溝道路下邊坡侵蝕(原地表裸露)
832	61	95/7/13	御油山	碧利斯	/
1131	65	96/8/17	御油山	聖帕	/
721	47.5	96/10/6	御油山	柯羅莎	/
847	111	97/7/17	御油山	卡玫基	/

788	65.5	97/7/28	御油山	鳳凰	/
972	51	97/9/13	御油山	辛樂克	/
2903	90.5	98/8/6	御油山	莫拉克	中央蝕溝大規模崩塌(原植生茂密)、北側蝕溝大規模崩塌(原植生茂密)、高 133 線上下邊坡多處崩塌(原植生茂密)、南側蝕溝小崩滑(原植生茂密)
667	76.5	99/9/19	御油山	凡那比	/
1159	54.5	101/6/10	御油山	-	中央蝕溝崩崖倒退、高 133 線道路中斷(原植生茂密，可能受坡腳侵蝕影響)、南側蝕溝小崩滑(原地表裸露)
706	57	101/6/18	御油山	泰利	/
378	57	102/7/12	御油山	蘇力	/
609	111	103/7/22	御油山	麥德姆	多處局部崩滑(原地表裸露)
414	61		新發		
799	76.5	104/8/8	御油山	蘇迪勒	多處局部崩滑(原地表裸露)
743	67.5		新發		
770	77	105/9/27	御油山	梅姬	多處局部崩滑(原地表裸露)
874	76		新發		
833	32	106/6/1	御油山	-	多處局部崩滑(原地表裸露)、南側蝕溝局部崩坍(原地表裸露)
642	41.5		新發		

註：「-」代表非颱風事件，「/」代表無法判斷是否造成邊坡破壞

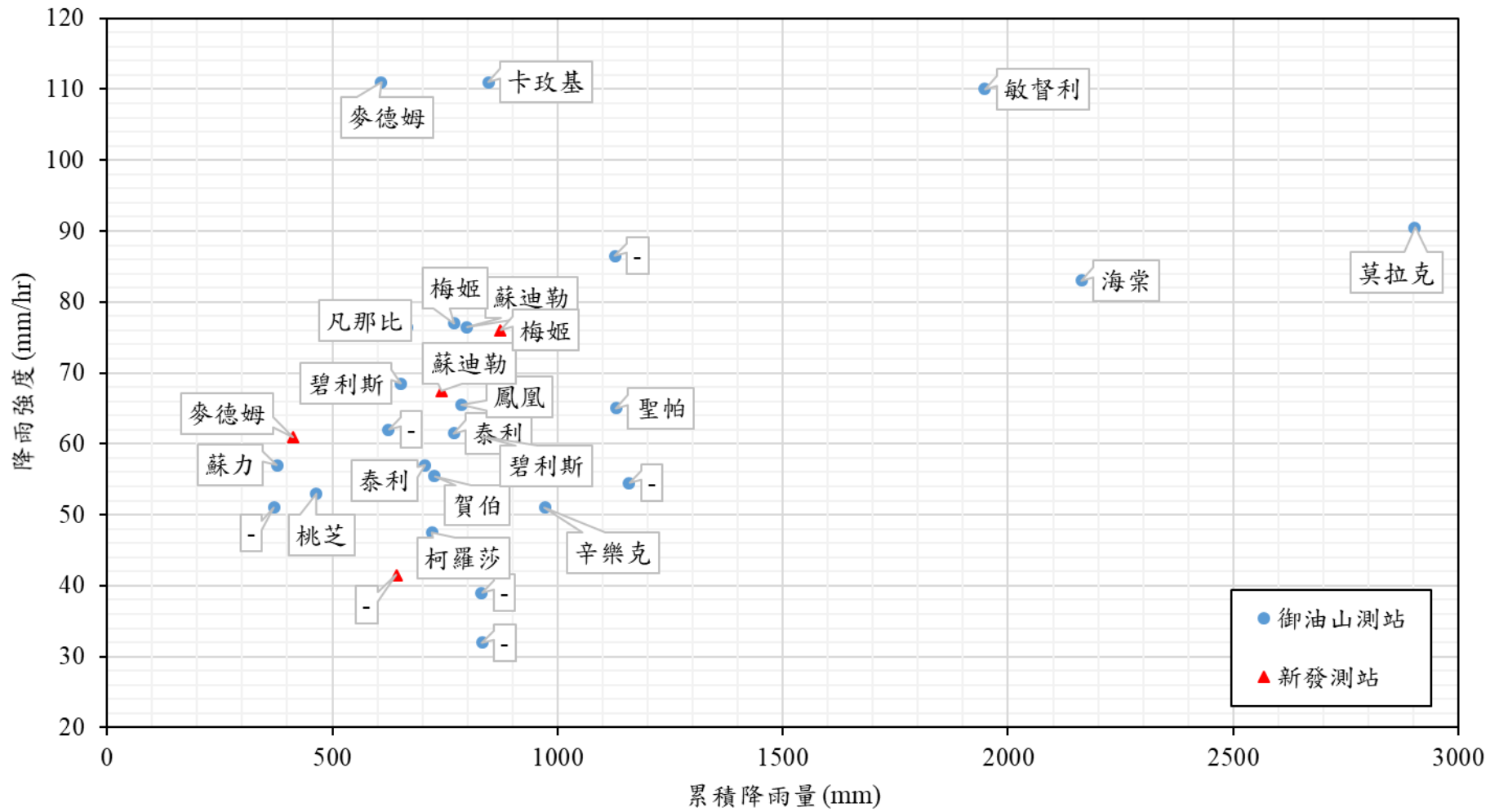


(a) 71 年航照立體鳥瞰圖(此為災害發生前地形)



(b) 103 年航照立體鳥瞰圖(與現況相近地形)

圖 6-27 歷史邊坡破壞發生位置一覽圖



註：「-」代表非颱風事件

圖 6-28 歷史大豪雨等級以上雨量資料

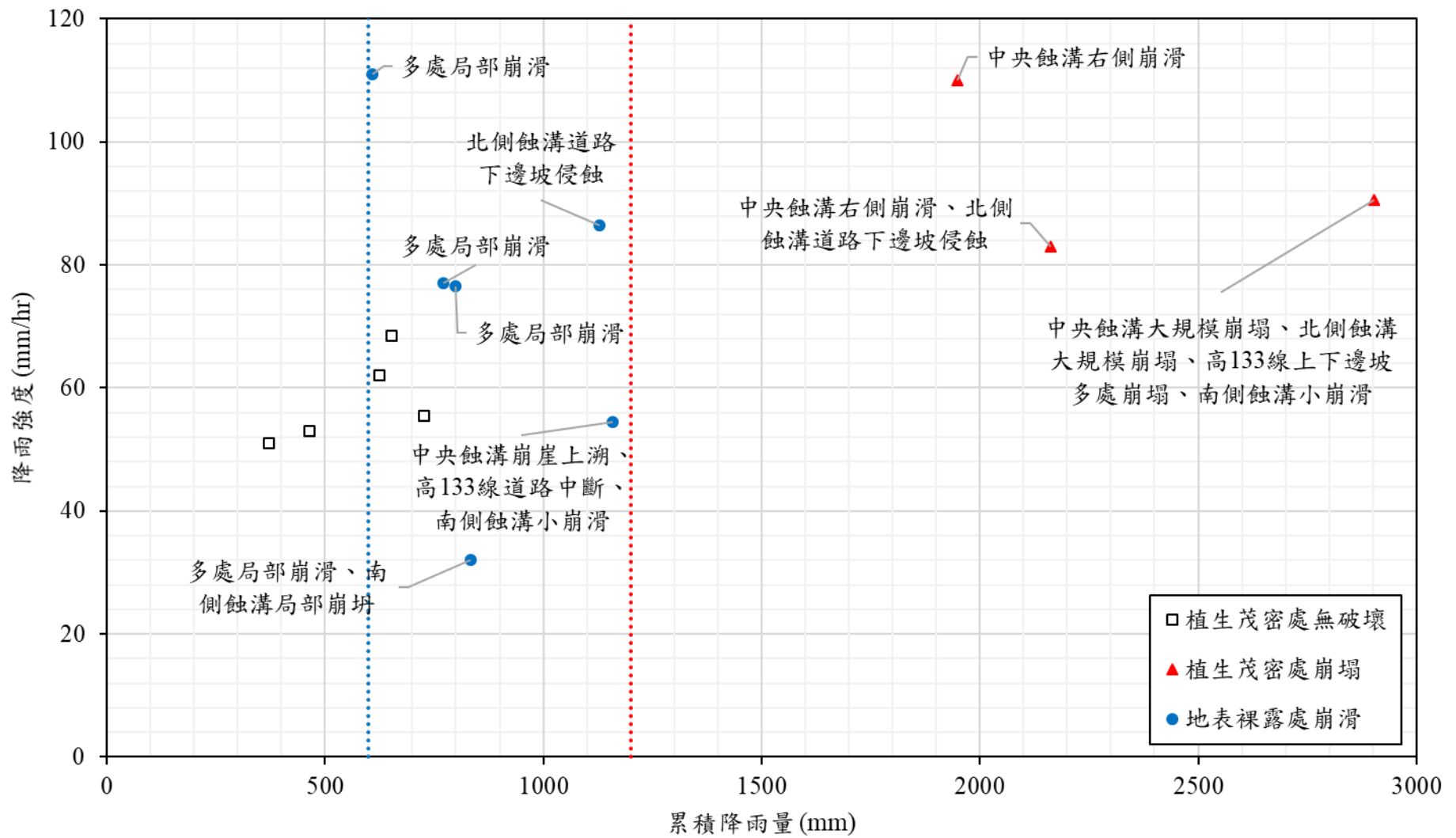


圖 6-29 歷史邊坡破壞事件及破壞描述

6-3 減災策略研擬

大規模深層崩塌以地表、地下排水為主，局部、淺層、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、擋土牆、抗滑樁等等方式。對於危險之大規模深層崩塌地而言，最有效之方式為進行撤離，危險程度則須依據風險程度或管理值來定義，風險管理在確認治理手段的使用是為了避免保全對象的傷害。可綜合考慮不同的策略，包括接受風險、避災、降低風險。不同的策略可採用主動(降低不穩定)或被動(避災)的治理手段。若使用構造物的工程手段(structural measures)，務需經過詳細分析，否則一方面未必完全有效，還可能破壞生態。當生命財產或重大設施直接受到安全威脅時，應考慮非工程性的防治手段(尤其是預警系統)。早期預警系統(early warning system, EWS)包括合宜的監測、監測門檻值的訂定、邊坡短期行為的預測、及一旦危害事件發生時可有效降低風險的行動。降雨及變形量最常被採用為監測門檻值；針對不同型態的山崩，全面破壞前會有不同大小的位移率；因此監測小尺度的邊坡變形可能可用於該尺度邊坡破壞的預測，卻未必定能擴大適用於大尺度或不同破壞機制邊坡預測。

由致災風險評估結果可知，D015 潛在大規模崩塌致災風險為暴雨或地震後，可能引致高 133 線上邊坡崩積層沿岩土界面滑動，根據數值運移模擬結果及經驗法影響範圍評估，若為一次式大規模崩塌，崩塌量體將造成高 133 線損毀中斷、道路下邊坡的河階地及荖濃溪左岸堆積厚達 50 m 的崩積層，但應無阻塞河道形成堰塞湖之風險。歷年邊坡破壞事件顯示暴雨時常造成邊坡崩塌、蝕溝溯源侵蝕、蝕溝下切側壁崩滑，恐加速道路邊坡崩積層內或沿岩盤界面的局部滑動。綜合以上，本計畫提出減災策略原則如下：

1. 針對有保全對象的蝕溝進行調查、防治。長期穩定目標是控制蝕溝下切、擴寬，向源侵蝕。若蝕溝規模較小或道路可及性較高，可試圖讓源頭崩塌物留在下方，否則就是適當清理蝕溝上的堆積物，避免一次性大雨攜帶大量土砂至下游致災。

2. D015 中央蝕溝雖持續沖刷，若經費許可可進行系統性的蝕溝控制防止下切、擴寬，向源侵蝕，將有助於全區的穩定性。然本蝕溝下游已興建橋梁跨越高 133 線(附近住戶也已經遷離)，加上蝕溝範圍太大，建議先觀察植生復育的狀況，持續監視。106 年在蝕溝出口處興建一座攔砂壩，於 6 月份大雨後已經淤滿，形成一個人工遷急點，水流越過攔砂壩可能會直接衝擊攔砂壩基礎，需持續觀測基礎是否有掏空的現象。
3. 北側蝕溝與高 133 線交會處，目前已經興建新的攔砂壩阻擋土砂，蝕溝上方的植生已經逐漸恢復。但要持續觀測河道沖刷是否會影響下邊坡的穩定，建議於凹岸攻擊處可施作丁壩等護岸工調整水流方向，可以避免直接沖刷坡腳，提高邊坡穩定性。
4. 由邊坡穩定分析可知，高 133 線沿線上邊坡的崩積層有可能在大雨或地震時崩塌，影響用路人安全。建議先以雨量作為管理基準值，當累積雨量大於 600 mm，歷史災害顯示就會有局部、表層崩塌，建議須提醒用路人注意。當累積雨量大於 1,200 mm 就有一次式致災性崩塌的可能，必須禁止通行。此一管理基準值有待地工監測持續進行，再提出修正建議並重新評估活動性。
5. 高 133 線上邊坡目前植生還算良好，若要恢復其通行，應進行詳細的邊坡穩定分析，並依據分析結果進行必要的治理工程。

柒、大規模崩塌潛勢活動性評估方法建立

本計畫於第參章使用現有監測方式評估大規模崩塌潛勢區的活動性，如六龜區-D015、桃源區-D346、甲仙區-D044、D047 簡易監測站的地表單頻 GPS、伸張計、雨量筒。以及六龜區-D015、阿里山鄉-D187 使用的既有地工監測方式，例如測傾管、地下水位觀測井、水壓計等。本章則以案例為基礎探討既有監測方式的適用性及限制條件。除了以上監測方式，本計畫亦探討其他監測方式的適用性，針對不同的崩塌型態與現地條件，提出活動性評估方法建議。本計畫探討使用合成孔徑雷達干涉技術(InSAR)觀測地表變形於活動性評估之適用性，首先蒐集國內既有 InSAR 應用案例，並以六龜區-D015 為例，應用永久散射體差分干涉(PSInSAR)、多時域差分干涉(MTI)進行地表變形偵測。除此之外，本工作亦將探討使用 UAV 空拍照片後處理或 LiDAR 所獲得的正射影像、DSM、DEM 於評估活動性變化之適用性。

本計畫以既有案例為基礎，研擬 3 種活動性評估方法，分別為(1)無監測設備、(2)簡易監測、與(3)細部監測。以下將介紹這 3 種監測方式的適用條件，建立大規模崩塌潛勢區活動性評估方法。

7-1 活動性評估方法-無監測設備

本計畫於第貳章研擬國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫，蒐集一共 33 處案例，歸納臺灣常見的致災性大規模崩塌潛勢區的崩塌行為，依破壞機制概分為岩層順向滑動、崩積層崩滑、及順向與崩積層複合滑動型。其邊坡崩滑範圍因地形、地質條件大小不一，一般而言，深層的順向滑動產生大範圍崩滑(一次式毀滅式災害)的機會較大，而崩積層的崩塌常為漸進式破壞(道路開挖、排水或蝕溝沖蝕引致)。本計畫建議可依照前後期航照判釋的崩崖、蝕溝、坡趾、地表植生等邊坡活動性地貌特徵變化情形，考慮各破壞機制影響因子的相關性，給予 1~3 不同的序分再與加總，將活動性區分為高(8, 9 分)、中(5, 6, 7 分)、低(3, 4 分)。若判定為複合滑動型，則比較兩種邊坡破壞機制的活動性後，將等級較高的視為主控機制，評分準則如表

7-1、表 7-2。本計畫將以上評分方法稱為活動性簡易評估。由風險評估的學理，活動性等級可類比於大規模崩塌的發生機率(Hazard)。

大規模崩塌潛勢區因範圍大，及地質、地形關係，除存在機率較小的一次式崩滑可能外，甚易於蝕溝、野溪，或邊坡開挖處，在豪雨、地震下產生局部性的順向或崩積層崩滑現象。因此若未先將潛勢區的地質、地形、子崩塌區等加以區分、探討、掌握，而僅由局部性的簡易監測或細部監測資料，恐甚難評估其整體活動性。綜合以上，本計畫建議針對尚未設置監測儀器的崩塌潛勢區，或是從未進行過活動性評估的崩塌潛勢區，應先蒐集區域地形、地質資料、以及前後期航空照片及 LiDAR DEM(或坡度陰影圖)進行活動性簡易評估。若大規模崩塌活動性高、且有深層滑動的可能，後續再討論如何進行調查、建立地質模型、邊坡穩定分析，並藉由簡易監測、細部監測等方式更進一步掌握該區潛在滑動面的活動性。若經活動性簡易評估後認為該區目前沒有一次式大規模崩塌活動的跡象，則建議定期或在大雨、地震後用 UAV 空拍監視坡面變化並製作正射影像與 DSM，與前一期航照比對，判釋地貌特徵的變化，檢討活動性是否有變化。

以外，針對目前沒有設置監測儀器的崩塌潛勢區，除了使用活動性簡易評估方法，本計畫也探討 InSAR 觀測地表變形應用及適用性，並以六龜區-D015、寶來溫泉荖濃溪上游左岸為例進行測試，測試結果詳見 7-4 節。結論是 InSAR 以國有林大規模崩塌潛勢區大多是植生茂密的條件下較不適用，但在已有崩塌現象(裸露地)的情況下，可評估其位移趨勢。

表 7-1 岩層順向滑動指標因子評分表

因子	分級/分類	分數
崩崖活動性	崩崖範圍明顯擴大，冠部出現張力裂縫、重力變形跡象或崩崖後方(稜線另一側)被侵蝕。	3
	崩崖範圍稍微擴大	2
	崩崖無明顯變化。	1
坡趾活動性	河道/蝕溝明顯下切或側刷，導致坡趾持續侵蝕。	3
	河道/蝕溝有下切或側刷潛能，但變化不大。	2
	河道/蝕溝無侵蝕潛勢，前後期航照顯示無明顯變化。	1

岩層位態與坡向坡度之關係	航照判釋顯示岩層層面出露(daylight)，且具有順向滑動潛能(坡角>岩層傾角>層面摩擦角)。	3
	航照判釋顯示岩層層面可能會出露，且具有順向滑動潛能。	2
	航照判釋顯示目前無順向滑動潛能。	1

表 7-2 崩積層崩滑指標因子評分表

因子	分級/分類	分數
崩崖活動性	崩崖明顯後退或範圍擴大、崩崖數量增加。	3
	崩崖有後退或範圍擴大趨勢。	2
	前後期航照的崩崖無明顯變化。	1
蝕溝活動性	蝕溝劇烈下切、上溯(可能造成不整合面出露)、蝕溝數量增加。	3
	航照判釋蝕溝有下切、上溯潛能，或尚未下切至不整合面。	2
	前後期航照的蝕溝無明顯變化。	1
地表特徵	表面無植生、岩盤裸露	3
	樹木傾斜、植被零星	2
	林相完整、茂密	1

7-2 活動性評估方法-簡易監測

本計畫蒐集六龜區-D015、桃源區-D346、甲仙區 D044、D047 案例進行簡易監測探討，前期計畫「國有林大規模崩塌潛區判釋評估與簡易觀測分析」藉由 LiDAR 微地形資料進行崩塌特徵判釋，大部分是以子崩崖、蝕溝為邊界，區分出許多子崩滑體，將崩塌分區後決定觀測設備位置，目的為觀察各子滑動體的滑移速率。如果 GPS 裝設得宜，可以代表這些崩塌體的滑移速率，但如果安裝位置受到局部地形影響，就要重新檢討其位移量是否能代表整體變形行為。

綜合本計畫案例監測結果，GPS 量測結果在降雨事件後有向下位移的趨勢，但方向有時會跟可能的滑動方向不太一致，部分 GPS 甚至往上位移 70 mm(如甲仙區-D044)。推測可能受到局部地形效應影響，例如設置在道路轉彎處、茶園附近整地處(如桃源區-D346)，則該變形量僅反映地表位移，而非深層滑動面的變形量。因此，若要使用簡易監測站評估崩塌活動性，建議 GPS 應以子崩塌區為單元設置多處，求得應變場，並設置於固結地層上。

本計畫現勘發現部分場址的地表伸張計長度僅約 2 公尺(如桃源區-D346、六龜區-D015)，且伸張量幾乎沒有變化。推測是長度太短導致量測到之結果僅為崩塌體的局部張力裂縫變化。伸張計需足夠長，確保二端分別固定在位於穩定區及滑動區，其變化量才可代表崩滑區域的行為。若經長期監測，可依據 GPS、伸張計的量測值配合雨量資料，以理論分析結果或經驗判斷其活動性。本計畫建議若經活動性簡易評估及現地勘查後，對邊坡崩塌形式及行為充分了解，雨量站、GPS、伸張計等地表位移量可做為長期監測項目之一。但若未經進一步的地質、工址調查，少量的簡易監測量測結果恐不適合進行大規模崩塌潛勢區的活動性評估。

7-3 活動性評估方法-細部監測

本節以六龜區-D015 與阿里山鄉-D187 的地工監測結果進行活動性評估之適用性探討。細部監測針對有深層滑動可能的崩塌地，如順向坡、老崩積層覆蓋等，在經過詳細的地質調查，建立合理的地質模型後，裝設監測設備，目的是長期監測水位變化及潛在滑動面變位。在尚未有明顯破壞或滑動的大規模崩塌潛勢區，變形量往往不大，需要長期觀察降雨、地下水位、潛在滑動面變形才能建立三者之間的關係，是以調查潛在滑動面活動性為目的的監測。因此需完善的裝設裝設水位(壓)計與傾斜觀測管，才能觀測到有意義的數據。

傾斜觀測管的目的是調查潛在滑動面的位置，必須能確實掌握地層初期的小變形量。由孔內造影或攝影結果可知在崩積層或高度風化岩層內鑽探時，管壁會留下數公分甚至十公分以上的空洞，這些空洞難以藉由從孔口倒入七厘石的方式而填實。阿里山鄉-D187 的地工監測結果顯示有一些傾斜觀測管變位呈現 S 型或是波浪狀的變形，這可能就是管壁與傾斜觀測管沒有完全貼合的原因。潛在滑動面的初期小變形量可能僅有數 mm 的變位，也不適合用七厘石回填，因為七厘石從上方倒入，顆粒之間是鬆動可調整位置的。建議應使用水泥混皂土漿(配比可依地層勁度調整)由鑽孔底部，以特密管的方式由下向上灌漿(如由孔口往下倒入，水泥混皂土漿會跟地下水混

合，而且也灌不實)，才能將傾斜觀測管充分固結在地層之中。地中變位量測方式除了傾斜觀測管，也可使用時域反射儀(TDR)、定置型孔內傾斜儀(IPI)、光纖等觀測方式，重點是監測設備必須與地層完全固結。

水位監測井的目的量測地層內水位(壓)的變化，須配合雨量計，建立降雨與水位(壓)變化的關係。大規模崩塌潛勢區的地質條件複雜且不均質，由地質分層至少包含新鮮岩盤、風化岩層、崩積層等，其透水性差異甚大，彼此也並非完全連通，若要觀察地下水位(壓)必須分層量測。回填七厘石僅適用於水壓完全連通的地層，並不適用在大規模崩塌潛勢區的深層滑動監測。以阿里山鄉-D187 二萬坪為例，傾斜管開篩兼做水位井功能，僅能反映降雨後地下水位上升，但無法了解量到的是崩積層還是岩層的水位(壓)。本計畫可以參考六龜區-D015 水位觀測井的施作方式。首先要從鑽探地質判釋(logging)決定要量測哪一層的水位(壓)，於施作水位井時在水壓計頭段回填乾淨砂濾料 50~70 cm，上下以皂土夯實封堵，再使用自記式水位計量測地下水位變化。由以上細部調查結果，可初步掌握大規模崩塌潛勢區內地質狀況及可能滑動面位置，以提供邊坡穩定分析及後續工程規劃之參考。若細部調查及邊坡穩定分析後認為該區目前尚不需整治、或整治完成後需驗證成效，則進行後續監測。

六龜區-D015 因細部監測時間較短，傾斜觀測管變位量都在誤差範圍內，沒有看到明顯的潛在滑動面。六龜區-D015 共安裝 4 個水位觀測井，每一個水位觀測井皆於兩個不同深度埋設 1 個自計式 1 個非自計式水位計。自計式水位計可以配合雨量站記錄降雨事件地層內的水位(壓)變化。位於蝕溝的水位井(BH5)的水壓變化相較於其他位於坡面的水位(壓)計明顯不同。在降雨時受到地形影響水壓上升速度與幅度皆較大，且降雨後兩個月的水位仍未回復至降雨前的狀態。顯示風化岩層內側向水力傳導性佳，可能也有地下水的流路。這些地下水位(壓)監測結果皆可反映該區的水文特性，可作為活動性評估之依據，也可作為減災或治理策略的參考。

阿里山鄉-D187 範圍廣大、地形與地質條件複雜，必須先經過 LiDAR 地形分析、航空照片崩塌跡象判釋，再進行監測資料分析，詳細過程可參考 3-2.4 節。檢視中山村、二萬坪與第一分道的監測資料，二孔位於二萬坪的

傾斜管監測結果顯示於老崩積與岩盤界面及岩層內滑動，第一分道的傾斜管監測結果，則顯示存在崩積層內、崩積層與岩層之不整合面和岩層內之剪動或滑移。二萬坪區監測期間地下水位確實因降雨而上升，部分監測井因受坑溝逕流影響上升較高，然由少數鑽孔及因崩積層的不均質性，甚難掌握其流向等。D187 範圍太大，又被蝕溝下切分為數區，各區及整體的穩定性有待進一步調查、分析監測。由地質調查及地質鑽探結果綜整的地質剖面圖顯示活動中心下邊坡除沖蝕溝沖蝕引致新舊崩積層的崩塌外，確實存在深層滑動潛勢及潛移現象，其受阿里山溪下切和側向侵蝕造成砍腳失穩以及地下水上升的影響甚巨，二萬坪區的邊坡不穩定性確實存在，活動性亦高。

輔以 7-2 節所述的活動性簡易評估方法，由 LiDAR 及多年期航空照片判釋結果顯示，中山村、阿里山火車站、及商店區等所在地形尚稱平坦，似乎為厚崩積層並或經整地的地形，其上邊坡並無滑動跡象，然其東北側及下方的蝕溝若繼續上溯，則可能引致本區的不穩定。第一分道附近地形成波浪狀，河道邊坡崩崖明顯，其下邊坡受河道侵蝕影響存在不穩定現象，連帶影響第一分道附近邊坡的穩定性。建議後續調查與細部監測建議應加以釐清，本報告建議應先依 LiDAR 地形進行子崩塌區判釋及活動性分析、地表地質調查、參考既有調查及監測結果，再依子崩塌進行有系統的調查及高品質的監測，以掌握邊潛在滑動面、滑動行為，及地下水的流向及變化等。

7-4 合成孔徑雷達干涉技術及初步成果

一般用來偵測地表變形的的方法有地面以水準儀進行之高程測量、全站儀進行之角邊測量、航空攝影測量、GNSS、地面或空載之光達、地面或空載之雷達等，均可用來了解區域內前後期之地形變化，其中水準儀進行之測量方式，一等水準可達 $\pm 2\text{mm}\sqrt{K}$ ，為解析度與精度均十分高的作業。但是，水準儀、全站儀、GNSS，獲取之資料均為較稀疏點之型態。攝影測量、光達與雷達則可以達成較密之涵蓋。需至現地施測之水準儀、全站儀、GNSS 及地面光達，以及以專案進行之航空攝影測量與空載光達，其作業受天候影響，使用航空器作業更受到多種管制。

以感測器之性質區分，雷達與光達均是主動式系統，差異在於光達使用光波，雷達使用微波。其中，基於儀器之設計合成孔徑雷達(Synthetic Aperture Radar, SAR)為雷達儀器之主要型態。雷達發射並接收雷達回波，可不分晝夜，亦不受雲雨影響，進行觀測。藉由雷達干涉(Interferometric SAR, InSAR)等技術，可以進而獲得地表之三維資訊(林紀綱，2003)。雷達影像包含振幅及相位，同時可據而判斷地表粗糙度、地表物徵及物徵性質等。合成孔徑雷達干涉技術近年來廣泛利用在火山監測、壩體沉陷監測、崩塌地監測等相關領域。藉由差分雷達干涉(Differential InSAR, DInSAR)，可得到地表變形觀測量。

雷達儀器之使用，依載台分，包涵地面、車載、空載、及衛星。衛星雷達遙測可以提供周期性之觀測資料，且具有廣域、軌道穩定之優點。本計畫蒐集國內既有 InSAR 應用案例並以六龜 D015 為例，應用永久散射體差分干涉(PSInSAR)或多時域差分干涉(MTI)進行地表變形偵測。謹就常用衛星雷達影像、InSAR 及 DInSAR，介紹如下：

1、常用衛星雷達影像

第一顆衛載 SAR 系統 SEASAT(L 波段，HH 偏極入射角為 23 度)於 1978 年 6 月由美國國家航空太空中心(National Aeronautics and Space Administration, NASA)成功發射，表 7-3 為統整後常用的衛星雷達影像之資訊。目前衛載常用之波段為 X、C 及 L，一般而言，波長越長地表解析度越低，但其對於樹冠及地表面之穿透力則較強。

本計畫採用 C 波段之 ESA Sentinel 1 於 2014 至 2017 年雷達影像的 35 幅升軌雷達影像(表 7-4)。

表 7-3 衛星資料整理

衛星	發射日期	所屬單位	波段、波長(mm)	入射角(deg)	重複週期(天)	軌道高度(km)	空間最高解析度(m)
ERS-1	1991	ESA	C/56.7	23	3,35,168	790	25
ERS-2	1995	ESA	C/56.7	23	35	790	25
JERS-1	1992	JAXA	L/235	35	44	568	18
RADARSAT-1	1995	CSA	C/57.7	10~65	24	798	8

ENVISAT	2002	ESA	C/56.7	15~45	35	800	25
ALOS	2003	JAXA	L/235	8~60	46	691.65	8
RADARSAT-2	2007	CSA	C/56	10~49	24	798	3
TerraSAR-X	2007	DLR	X/31	20~45	11	798	1
Cosmo-Skymed	2007	ASI	X/31	20~60	16	785	1
TanDEM-X	2010	DLR	X/31	20~45	11	798	1
Sentinel-1	2014	ESA	C/65	20~46	12	693	13
ALOS-2	2014	JAXA	L/235	8~70	14	628	1

(資料來源: 潘南霖, 2015)

表 7-4 D015 採用之 ESA Sentinel 1 日期及極性

日期	極性	日期	極性	日期	極性
2015/05/26	VV+VH	2016/02/14	VV+VH	2016/10/11	VV+VH
2015/07/25	VV+VH	2016/03/09	VV+VH	2016/10/23	VV+VH
2015/08/06	VV+VH	2016/03/21	VV+VH	2016/11/04	VV+VH
2015/08/18	VV+VH	2016/04/14	VV+VH	2016/11/16	VV+VH
2015/08/30	VV+VH	2016/05/08	VV+VH	2016/11/28	VV+VH
2015/10/05	VV+VH	2016/05/20	VV+VH	2016/12/10	VV+VH
2015/10/17	VV+VH	2016/06/01	VV+VH	2017/01/03	VV+VH
2015/10/29	VV+VH	2016/06/13	VV+VH	2017/01/15	VV+VH
2015/11/22	VV+VH	2016/07/07	VV+VH	2017/01/27	VV+VH
2015/12/04	VV+VH	2016/07/31	VV+VH	2017/02/08	VV+VH
2015/12/16	VV+VH	2016/08/21	VV+VH	2017/02/20	VV+VH
2015/12/28	VV+VH	2016/09/29	VV+VH		

2、合成孔徑雷達干涉(InSAR)

由於兩幅攝像位置不同而涵蓋地區相同之 SAR 影像，其間相位差受到多項因素影響，包涵地表地形。InSAR 即利用兩幅或多幅不同時間或位置的 SAR 影像進行干涉計算，藉由相位差在除去其他因素影響後獲取地表的三維資訊。

如圖 7-1 所示，A1 及 A2 為不同時間同一天線的空間位置，B 為兩天線間之距離(基線)，H 為航高， θ 為視角，r 為第一個天線至地面點的距離， δ 為第二個天線至地面點的距離與 r 的距離差值， α 為基線與水平線的夾角。 ϕ 為兩個天線所接收到的同一地面訊號的相位差值，相位差代表兩個相同頻率正弦的量。

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda}(r + \delta) - \frac{2\pi r}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} \delta \quad (1)$$

因雷達訊號往返其傳遞路徑為 2 倍，亦即

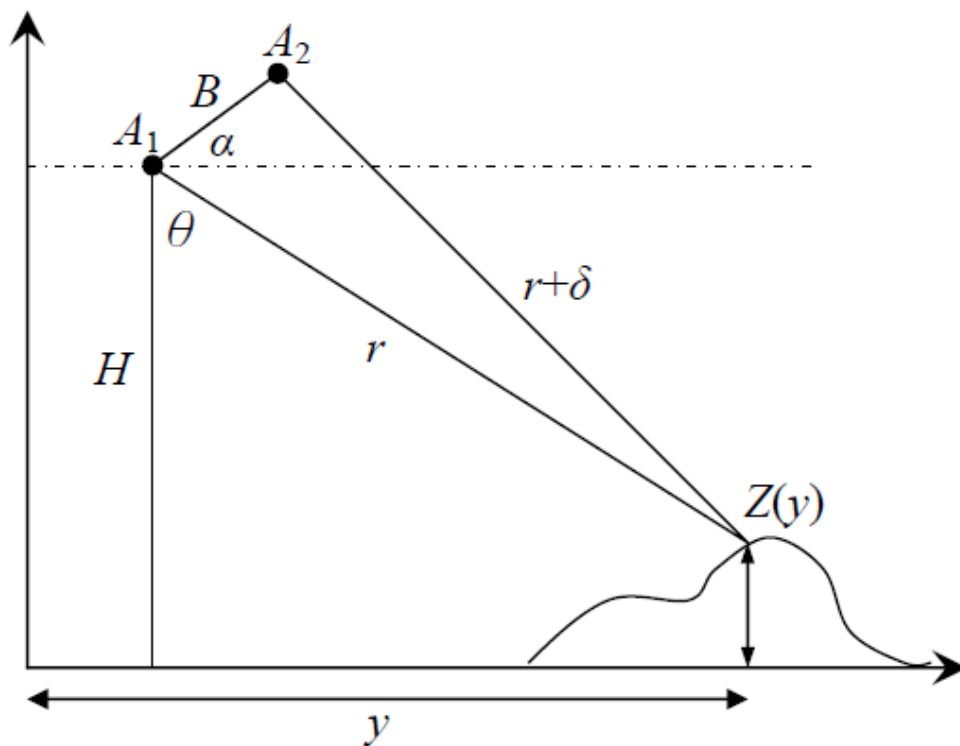
$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda}(2r + 2\delta) - \frac{2\pi 2r}{\lambda} = \frac{4\pi}{\lambda} \delta \quad (2)$$

因此其距離差值可表示為

$$\delta = \frac{\lambda\phi}{4\pi} \quad (3)$$

利用三角函數可計算出 $Z(y)$

$$Z(y) = \frac{\left(\frac{\lambda\phi}{4\pi}\right)^2 - B^2}{2\left[B\sin(\theta - \alpha) - \left(\frac{\lambda\phi}{4\pi}\right)\right]} \cos\theta \quad (4)$$



(資料來源：發展合成孔徑雷達干涉技術於測繪領域應用先期規劃，2010)

圖 7-1 雷達干涉幾何示意圖

如式 4 所示，在 InSAR 處理技術中，只要確定軌道的航高、視角、基線、基線與水平線的夾角及雷達波長等資料，即可計算出地面點位的高程。

3、合成孔徑雷達差分干涉(DInSAR)

DInSAR 利用兩幅或多幅雷達影像進行干涉後再移除地形效應，可以得到地表微小變形之觀測量。依照採用之雷達影像數量可分為二軌跡、三軌跡及四軌跡。二軌跡差分干涉係以 2 幅影像組成干涉圖，配合既有的數值高程模型做成地形對，將 2 幅干涉圖進行差分處理，並去除時間週期、衛星軌道誤差、植被等雜訊後，進行相位解纏，即可得到地表變形量；三軌跡差分干涉則可以不需要既有的數值高程模型，以時間排序第一、三張 SAR 影像產生之干涉圖做成變形對，第一、二張則做為地形對，以此得到地表變形量；四軌跡差分干涉則可選擇第一、二幅影像之干涉圖做為地形對，第三、四幅影像之干涉圖作為變形對，以此得到地表變形量。二軌跡法之缺點在於數值高程模型之精度對於成果影響很大，三及四軌跡法則因地形對需經過相位解纏(Phase unwrapping)，當干涉圖同調性低時容易產生錯誤。

以下以二軌跡法說明合成孔徑雷達差分干涉求解方法，如圖 7-2 所示 DInSAR 需對 A 及 B 雷達影像進行配準、相位差計算與同調性計算、雜訊濾除及相位解纏、計算位移及地理定位，各方法如下所述。

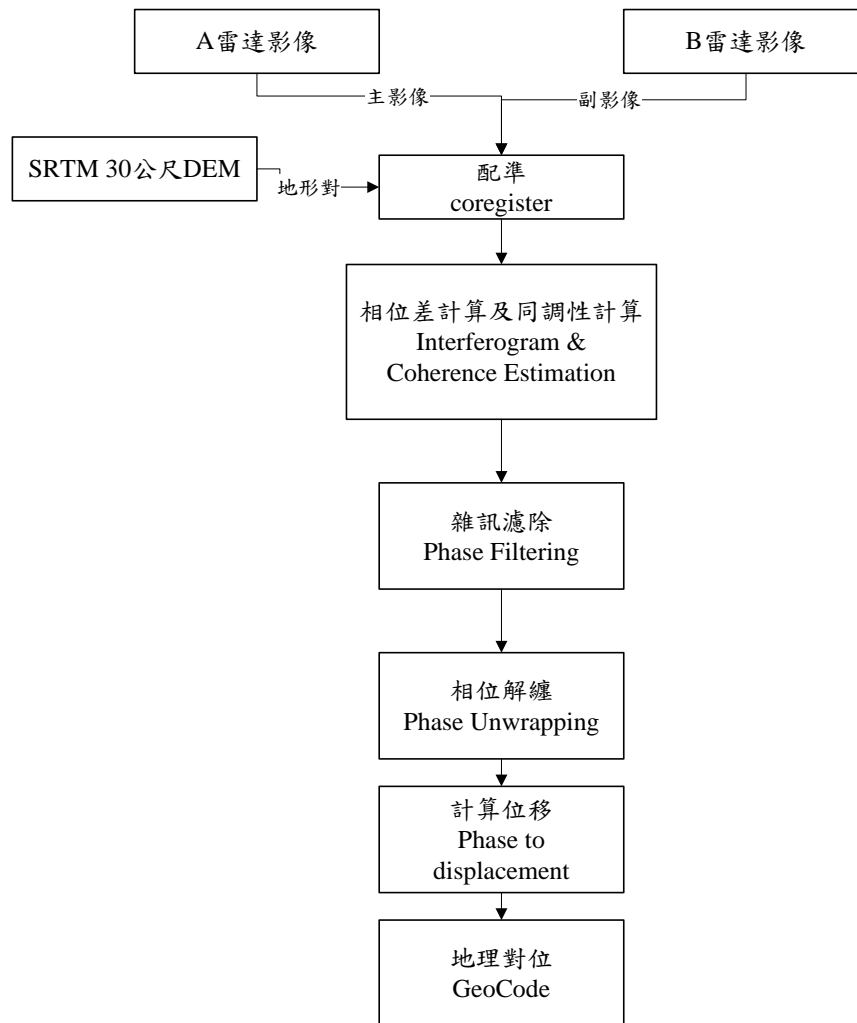


圖 7-2 DInSAR 處理流程圖

(1)配準

將 A 及 B 雷達影像設定一個為主影像一個為副影像，本計畫均以日期較新的為主影像，地形對則採用 SRTM 1 秒(30 公尺解析度)之 DEM。

(2)相位差計算與同調性計算

在合成孔徑雷達干涉章節中，兩個天線所接收到的同一地面訊號的相位差值 ϕ ，式 2 之關係式成立為假設兩雷達影像擷取時地表沒有發生變形。因此，若將地表變形、大氣影響、雜訊及大地曲率效應移除後，即可獲得地表相位差值，相位差值計算如式 5 所示。

$$\phi = \phi_{flat} + \phi_{elevation} + \phi_{displacement} + \phi_{atmosphere} + \phi_{noise} \quad (5)$$

其中， ϕ_{flat} 為大地曲率相位差值； $\phi_{elevation}$ 高程相位差值； $\phi_{displacement}$ 位移相位差值； $\phi_{atmosphere}$ 大氣影響相位差值； ϕ_{noise} 雜訊相位差值。

另外，於此步驟可計算出兩幅雷達影像之同調性(coherence)，當同調性越低，代表兩幅雷達影像之相關性越低，產製出之干涉圖越差。影響同調性之因素包含雷達影像時間週期、衛星軌道誤差、植被等。

(3)雜訊濾除

如前項提及，干涉圖會受雷達影像時間週期、衛星軌道誤差、植被等，此步驟為濾除相關雜訊。

(4)相位解纏、計算位移及地理定位

完成上述步驟後則取得干涉圖，利用全相位回復處理，計算各點的真實相位。利用相位解纏後之相位差乘上波長即可取得各點之位移量，此處之位移量方向為朝著衛星方向。最後透過地理地位即可將成果套上座標系統，則可與其他資料做比對。

4、永久散射體差分干涉(PSInSAR)

永久散射體差分干涉技術建構在多時期、多張影像，由其中選取優質之反射點。由此而得之形變觀測量，可由而提高品質。作業時設定其中一幅為主影像，找出雷達波波對地表穩定的回波訊號，一般而言，永久散射(Permanent Scatterers, PS)點位選擇的點位，多為人工構造物、岩石裸露地等不易變動且具有高時間相關性，這些 PS 點位在經過地形效應率除及相位解纏後，可獲得精密的地表變動量，Ferretti et al.(2000)及 Hooper et al.(2004)均為永久散體體差分技術中具有重要貢獻者，本計畫擬使用之 StaMPS 則為 Hooper et al(2012)所提出。

永久散射體差分干涉在考量最佳之時間基線與空間基線組合後，擇定一組主影像，在雷達回波訊號較差之區域如植生較茂密或時間基線過長等因素，會有部分附影像與主影像有失相關之現象，選擇出之 PS 點位較少。

5、史丹佛永久散射體/多時域差分干涉(StaMPS/MTI)

Hooper(2008)提出多時域差分干涉，融合單主影像及 Berardino et al.(2002)提出之短基線差分技術(SBAS)，先以永久散射體差分干涉技術選取出 PS 點，再透過 SBAS 限制每組影像對均為短空間基線及時間基線，以多主影像方式在經過空間率波選取 SDFP(Slowly-Decorrelation Filtered phase Pixels)點，最後將其 2 種成果合併以提高點位精度。

6、時域相關點雷達干涉(TCP InSAR)

前者所述之 PSInSAR 或 StaMPS/MTI 均為選點後(前者為 PS 點，後者為 PS 點加 SDFP 點)，重新進行相位解纏，在植生茂密的區域，點位分布稀疏，相關點位無法精確被選定，可能會導致相位解纏失敗。Zhang et al.(2012)提出時域相關點雷達干涉技術，以多主影像及基線之干涉對，進行 DInSAR 處理，利用雷達回波回傳之強度值(Intensity)，個別對影像對進行偏移量分析，並對每組影像對取交集後，選擇偏移量較小的 TCP 候選點，可有效提高點位密度。TCP 點之相位差值則以最小二乘法解算，透過殘差之大小區隔該點是否有相為模糊度，在剔除有相位模糊之點位後，移除軌道誤差及地形效應，再以最小二乘法重新估算地表變形量。

本計畫以香港中文大學發展之 Skysense 進行 Sentinel 1 的短基線差分技術(SBAS)解算六龜區-D015 的變形量，設定條件為：地形為 SRTM 30 公尺解析度地形、時間基線小於 6 個月、空間基線小於 100 公尺，同調性門檻值設定為 0.45，其成果如圖 7-3 所示僅蝕溝、崩塌及河道位置有 SDFP 點，以中央蝕溝而言，蝕溝上溯區可能因沖刷變化較大，僅蝕溝中下游可獲得穩定的 SDFP 點位，除局部沖刷後，多為淤積，與現況相符。由結果顯示，以 SDFP 方法及 C 波段的 Sentinel 1 數據評估 D015 這樣植生密度的大規模崩塌潛勢區，無法獲得整個潛勢區的垂直位移量分布。圖 7-4 為寶來溫泉茅濃溪上游左岸以同樣設定獲得之 SDFP 點位，由圖可見，蝕溝呈現淤積，有幾處呈現沉陷，為潛在不穩定的地方。

Sentinel 1 雷達影像具取得容易且週期短之優點，然 C 波段對植生穿透率較差，以大規模潛勢區大多是植生茂密的區域較不適合，在已有崩塌現象(裸露地)的情況下，可評估其位移趨勢。

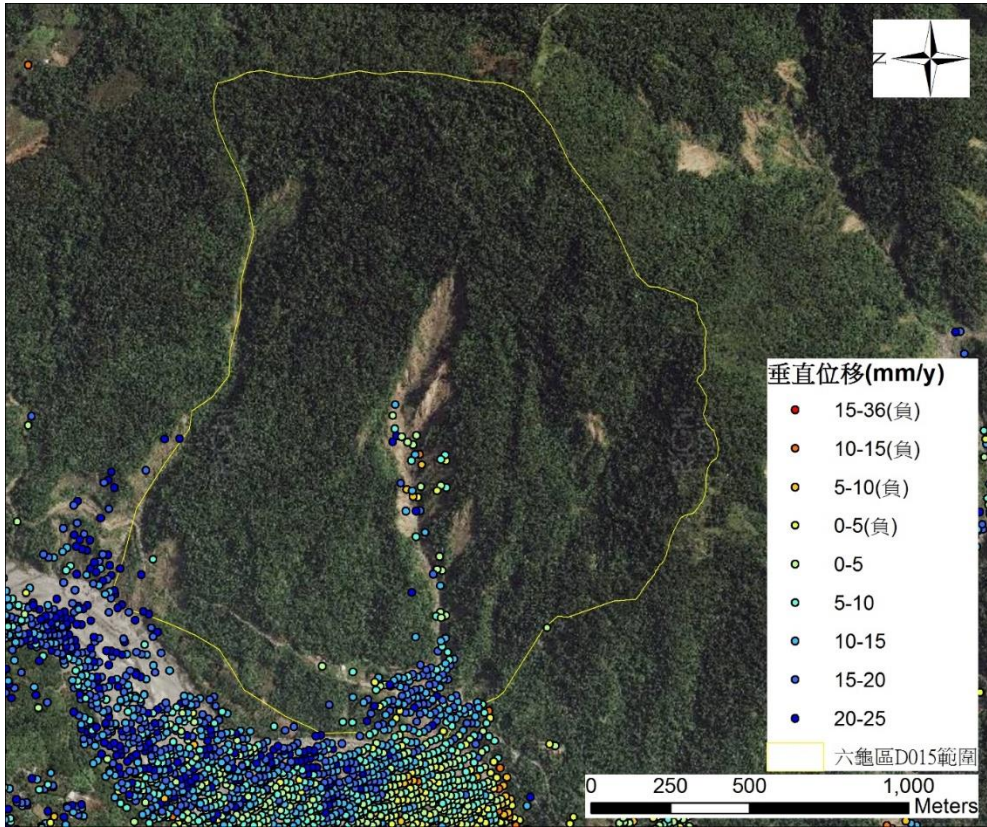


圖 7-3 六龜區-D015 短基線差分技術計算垂直位移變化

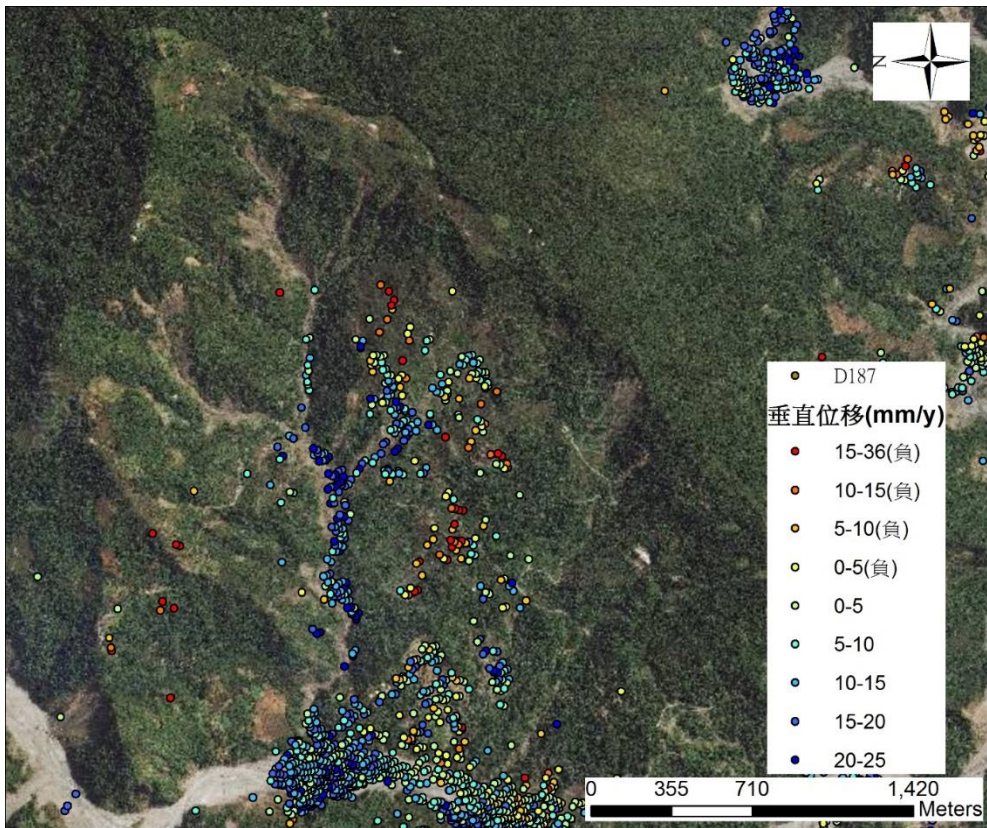


圖 7-4 寶來溫泉荖濃溪上游左岸短基線差分技術計算之垂直位移變化

7-5 小結

國有林大規模崩塌潛勢區數量眾多，如何經濟有效率的篩選出可能發生一次式致災性大規模崩塌場址，並依照活動性高低排序，做為規劃中高危險潛勢區調查、監測、減災執行計畫的依據，是刻不容緩的議題。以下是本計畫所提出的大規模崩塌潛勢區活動性評估方法。

針對尚未設置監測儀器的崩塌潛勢區，或是從未仔細調查過的崩塌潛勢區，應先蒐集區域地形、地質資料、以及前後期航空照片及 LiDAR DEM(或坡度陰影圖)進行活動性簡易評估。首先應從地質與地形資料評估該區可能的破壞機制，因為並非每一種邊坡破壞機制都會形成大規模崩塌。由目前案例歸納臺灣常見的致災性大規模崩塌潛勢區的崩塌行為，依破壞機制可概分為岩層順向滑動、老崩積層崩滑、及順向與老崩積層複合滑動型。由前後期航照判釋的崩崖、蝕溝、坡趾、地表植生等邊坡活動性地貌特徵變化，LiDAR DEM(或坡度陰影圖)可以輔助判釋植生覆蓋處的地貌特徵。考慮各破壞機制影響因子的相關性，給予 1~3 不同的序分再與加總，將活動性區分為高(8, 9 分)、中(5, 6, 7 分)、低(3, 4 分)。若判定為複合滑動型，則比較兩種邊坡破壞機制的活動性後，將分數較高的視為主控機制。

活動性簡易評估可以初步判斷大規模崩塌潛勢區是否具有一次式大規模崩塌活動的跡象，並依照活動性高低排序，做為分年編列預算之參考。若大規模崩塌活動性高、且有深層滑動的可能，後續需進行細部調查、建立地質模型、邊坡穩定分析，並藉由簡易監測、細部監測等方式更進一步掌握該區潛在滑動面的活動性變化。若經活動性簡易評估後認為該區目前沒有一次式大規模崩塌活動的跡象則建議持續監視，可於大雨、地震後用 UAV 空拍監視坡面變化並製作正射影像與 DSM，與前期航照比對，判釋地貌特徵的變化，檢討活動性等級是否需要調整。

經活動性簡易評估後，活動性高且有深層滑動可能的崩塌地，需要進行細部調查及監測，其目的是建立地質模型，找出潛在滑動面位置並監測位移量，以及建立與降雨、地下水位之間的關係。本計畫蒐集六龜區-D015、桃源區-D346、甲仙區 D044、D047 案例的簡易觀測站資料進行探討。若經活

動性簡易評估及現地勘查，對邊坡崩塌形式及行為充分了解後，雨量站、GPS、伸張計等地表位移量可做為長期監測項目之一。但若未經進一步的地質、工址調查，少量的簡易監測量測結果恐不適合進行大規模崩塌潛勢區的活動性評估。

活動性高且有深層滑動可能的崩塌地在經過詳細的地質調查、建立地質模型後，應進行細部監測。在尚未有明顯破壞或滑動的大規模崩塌潛勢區，變形量往往不大，需要長期觀察降雨、地下水位、潛在滑動面變形才能建立三者之間的關係，是以調查為目的的監測。因此需完善的裝設裝設水位(壓)計與傾斜觀測管，才能觀測到有意義的數據。

傾斜觀測管的目的是調查潛在滑動面的位置，必須能確實掌握地層初期的小變形量。潛在滑動面的初期小變形量可能僅有數 mm 的變位，建議應使用水泥混皂土漿由鑽孔底部，以特密管的方式由下向上灌漿，才能將傾斜觀測管充分固結在地層之中。地中變位量測方式除了傾斜觀測管，也可使用時域反射儀(TDR)、定置型孔內傾斜儀(IPI)、光纖等觀測方式，重點是監測設備與地層充分固結。

水位監測井的目的量測地層內水位(壓)的變化，須配合雨量計，建立降雨與水位(壓)變化的關係。大規模崩塌潛勢區的地質條件複雜且不均質，由地質分層至少包含新鮮岩盤、風化岩層、崩積層等，其透水性差異甚大，彼此也並非完全連通，若要觀察地下水位(壓)必須分層量測。建議參考六龜區-D015 水位觀測井的施作方式。從鑽探地質判釋決定要量測哪一層的水位(壓)，於施作水位井時在水壓計頭段回填乾淨砂濾料 50~70 cm，上下以皂土夯實封堵，再使用自記式水位計量測地下水位變化。由以上細部調查結果，可初步掌握大規模崩塌潛勢區內地質狀況及可能滑動面位置，以提供邊坡穩定分析及後續工程規劃之參考。若細部調查及邊坡穩定分析後認為該區目前尚不需整治、或整治完成後需驗證成效，可進行長期監測潛在滑動面變型趨勢，並以理論分析結果或經驗檢討其活動性。

捌、結論與建議

8-1 結論

1. 國有林大規模崩塌中、高潛勢區經進一步活動性評估並提出長期的管理、治理對策，如調查、監測、減災工程等。應可避免大規模崩塌引致的大災害。
2. 國有林大規模中、高潛勢區邊坡破壞的類型以順向坡滑動、崩積層與岩盤界面的非圓弧型滑動、及崩積層內的局部崩塌、滑動為主。前二者發生機率較低，但可能引致的災害較大，須經詳細地質調查(鑽探、地物、孔內監測等)、穩定分析、情境模擬、再決定管理及治理對策。後者發生機率高，但較易治理。
3. 大規模崩塌潛勢區的活動性可由地形特徵變化、地表位移監測、孔內水平變位等加以評估，然評估的合理性與對邊坡崩塌類型、行為，監測數據的代表性等相關。
4. 大規模崩塌潛勢區的影響範圍，應考慮崩滑種類，以經驗法或情境模擬穩定分析後的崩體運移數值模擬法加以圈繪。
5. 由崩積層露頭或鑽孔岩心分類，可推估潛勢區以往的崩滑種類，因其成因不一，崩積層甚不均質，物理性質、力學性質、地下水分佈等的空間變化甚大，甚難掌握。因此利用位移、水位等監測結果制訂監測管理值有其難度及風險，可先以降雨量制訂管理值。岩層內的滑動則須在了解滑動面位置、行為經長期監測後再以監測值及理論分析制訂以剖面為基準的水壓、變位管理值。

8-2 建議

1. 阿里山鄉-D187 可能一次式大規模沿老崩積層及岩盤界面的非圓弧型滑動，或沿岩層順向滑動，建議應進行更進一步有系統的調查及高精度的監測，才有辦法掌握潛在破壞區域及影響範圍，並提出長期的管理及治理對策。
2. 六龜區-D015 初步採用降雨量做為管理基準值建議，建議後續其他案例可採用相同方式建立管理基準值，以供比較、修正參考。
3. 甲仙區-D044&D047 活動性高，但需進一步調查釐清是否存在大規模深層滑動之可能。根據下邊坡既有孔內位移監測結果顯示，崩積層呈不穩定狀態，建議須盡速進行細部調查、監測及分析。

參考文獻

1. Agliardi, F., Crosta, G. B., and Zanchi, A., (2001). Structural constraints on deep-seated slope deformation kinematics. *Engineering Geology* 59, 83-102.
2. Agliardi, F. Zanchi, A., Giovanni and Crosta, G.B., (2009). Tectonic vs. gravitational morphostructures in the central Eastern Alps (Italy): Constraints on the recent evolution of the mountain range. *Tectonophysics*, 474, 250-270.
3. Aleotti, P., (2004). A warning system for rainfall-induced shallow failures. *Engineering Geology* 73, 247–265.
4. Ambrosi, C., Crosta, G.B., (2006). Large sackung along major tectonic features in the Central Italian Alps. *Engineering Geology*, 83(1-3), 183-200.
5. Antonello, G., Casagli, N., Farina, O., Leva, D., Nico, G., Siebar, A.J., Tarchi, D., (2004). Groun-based SAR interfereimetry for monitoring mass movements. *Landslides*, 1, 21-28.
6. Apuani, T., Masetto, M. and Rossi, M., (2007). Stress–strain–time numerical modelling of a deep-seated gravitational. *Quaternary International*, 171-172, 80-89.
7. Dai, F.C., Lee, C.F., Ngai, Y.Y. (2002). “Landslide risk assessment and management: an overview.” *Engineering Geology*, 64, 65–87.
8. Department for International Development (DFID), UK. (2003). “Landslide Risk Assessment in the Rural Sector - Guidelines on best practice.”
9. Dowding, C. H., Su, M. B., and O'Connor, K. M., (1988) "Principles of time domain reflectometry applied to measurement of rock mass deformation," *Int. J. Rock Mech. and Min. Sci.*, Vol. 25, pp. 287-297.
10. Dowding, C. H. and Pierce, C. E., (1994) “Use of time domain reflectometry to detect bridge scour and monitor pier movement,” *Proceedings of the Symposium on Time Domain Reflectometry in Environmenal, Infrastructure, and Mining Applications*, Evanston, Illinois, Sept 7-9, U.S. Bureau of Mines,

Special Publication SP 19-94, NTIS PB95-105789, pp. 579-587.

11. Flentje, P., Chowdhury, R.N., (2006). Observational approach for urban landslide management, engineering geology for tomorrow's cities. Proceedings of the 10th International Association of Engineering Geology and the Environment Congress, Nottingham, UK (Paper no. 522)
12. Hungr, O., Corominas, J., and Eberhardt, E. (2005). "Estimating landslide motion mechanism, travel distance and velocity." Landslide Risk Management, Proceedings, Vancouver Conference, State of the Art Paper #4, In: Hungr, O., Fell, R., Couture, R. and Eberhardt, E. (eds.), Taylor and Francis Group, London, pp. 99–128.
13. Jamaludin, S., Ali, F., (2011). An overview of some empirical correlations between rainfall and shallow landslides and their applications in Malaysia. Electronic Journal of Geotechnical Engineering 16, 1429–1440.
14. Kim, M. H., (1989) "Quantification of rock mass movement with grouted coaxial cables," M.S. Thesis, Northwestern University, Evanston, IL.
15. Kuramoto, K., Arakawa, M., Seguchi, T., Nakamura, H., Suto, T., Furukawa, H., (2002). Investigating the Rainfall Threshold to Mitigate the Rainfall-induced Highway Accidents. The 57th Symposium of Japan Society of Civil Engineers, Hokkaido, Japan, pp. 881–882
16. Lee, D. H., Lai, M. H., Wu, J. H., Chi, Y. Y., Ko, W. T., and Lee, B. L., (2013). Slope management criteria for Alishan Highway based on database of heavy rainfall-induced slope failures: Engineering Geology, v. 162, p. 97-107.
17. Lin, C.-P. (2009), "TDR as Geo-Nerve: Slope Monitoring System Example," Geotechnical News, Vol. 27, No. 1., pp. 38-40.
18. Lin, C.-P., Tang, S.-H., Lin, W.-C., and Chung, C.-C., (2009) "Quantification of cable deformation with TDR: implications to landslide monitoring," Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 135, No. 1, pp. 143-152.
19. Lin, C.-P. and Tang, S.-H., (2007) "Comprehensive wave propagation model

- to improve TDR interpretations for geotechnical applications,” *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 30, No. 2, pp. 90-97.
20. Lin, C.-P., Chung, C.-C., Tang, S.-H., and Lin, C.-H., (2007)“ Some innovative developments of TDR technology for geotechnical monitoring,” 7th International Symposium on Field Measurement in Geomechanics, September 24-27, 2007, Boston, MA.
 21. Nafarzadegan, A.R., Talebi, A., Malekinezhad, H., Emami, N., 2012. Antecedent rainfall thresholds for the triggering of deep-seated landslides (case study: Chaharmahal & Bakhtiari Province, Itran). *Ecopersia* 1, 187–203.
 22. Pirce, C. E., Bilaine, C., Huang, F.-C., and Dowding, C. H., (1994) “Effects of multiple crimps and cable length on reflection signatures from long cables,” *Proceedings of the Symposium on Time Domain Reflectometry in Environmental, Infrastructure, and Mining applications*, Northwestern University Evanston, Illinois, Step 7-9, 1994, pp.540-554.
 23. Prokesova, R., Kardos, M., Taborik, P., Medved'ova, A., Stacke, V., Chudy, F., (2014). Kinematic behaviour of a large earthflow defined by surface displacement monitoring, DEM differencing, and ERT imaging. *Geomorphology*, 224, 86-101.
 24. Sato, T., Arakawa, M., Suto, T., Nakayama, H., Nakahara, T., Furukawa, H., (2002). Determination of rainfall threshold for the highway management in Yamaguchi Prefecture, Japan. *The 54th Symposium of Japan Society of Civil Engineers Chugoku Regional Branch*, Okayama, Japan, pp. 637–638.
 25. Sengupta, A., Gupta, S., Anbarasu, K., (2010). Rainfall thresholds for the initiation of landslide at Lanta Khola in north Sikkim, India. *Natural Hazards* 52, 31–42.
 26. Ter-Stepanian, G., (1966). Types of depth creep on slopes in rockmasses. *First International Congress of the International Society of Rock Mechanics*, vol. 2, 157–160.
 27. Tsou, C.Y., Chigira, M., Matsushi, Y., Chen, S.C., (2014). Fluvial incision

- history that controlled the distribution of landslides in the Central Range of Taiwan. *Geomorphology*, 226, 175-192.
28. Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. Special report, 176, 11-33.
 29. Varnes, D.J., Radbruch-Hall, D., Savage, W.Z., (1989). Topographic and Structural Conditions in Areas of Gravitational Spreading of Ridges in the Western United States. Professional Papers 1496.
 30. Wasowski, J. and Bovenga, F., (2014). Investigating landslides and unstable slopes with satellite Multi Temporal Interferometry: Current issues and future perspectives. *Engineering Geology*, 174, 103-138.
 31. 何春蓀，民國 83 年，臺灣地質概論臺灣地質圖說明書，經濟部中央地質調查所。
 32. 史天元，民國 90 年，以雷達干涉技術偵測地表變形之研究。
 33. 陳鴻緒，民國 92 年，使用 ERS 資料與 SAR 干涉技術在臺灣地區求定 DEM 之實務探討，國立成功大學測量工程學系碩士論文。
 34. 內政部國土測繪中心，民國 99 年，發展合成孔徑雷達干涉技術於測繪領域應用先期規劃(NLSC-98-13)委託辦理案期末報告。
 35. 廖志中、潘以文、林志平、唐禎國、黃玉麟、羅文驤，民國 100 年，梨山崩坍區大規模崩積地層之形成機制，*中華水土保持學報*，42(4): 175-186。
 36. 千木良雅弘，民國 100 年，大規模崩塌潛感區，科技圖書。
 37. 林務局，民國 102 年，國有林深層崩塌致災潛勢調查評估-南部重點流域。
 38. 林務局，民國 104 年，國有林大規模崩塌潛勢區判釋評估與簡易觀測分析。
 39. 林務局嘉義林區管理處，民國 104 年，二萬坪地區--整體調查規劃及安全監測。
 40. 林務局屏東林區管理處，民國 104 年，圓山集水區及周遭崩塌地治理評估暨先期工程規劃、設計監造委託技術服務。

41. 行政院，民國 104 年，氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫 - 第一期(106 至 109 年度)。
42. 潘南霖，應用多時雷達差分干涉技術探討竹苗地區地形變遷，國立交通大學土木工程學系碩士論文。
43. 王文能，民國 105 年，崩塌的地質特性與防災，中華防災學會。

附錄一 會議審查意見與辦理情形

會議名稱: 評選委員會會議

會議時間: 105 年 10 月 14 日下午 4 時 30 分

會議地點: 林務局 5 樓會議室

主持人: 廖召集人一光

紀錄人員: 戴技正欣怡

委員意見	辦理情形
1.管理基準值建議，可能要跟水保系統比較、瞭解跟平衡。	遵照辦理，將收集水保系統相關資料作為參考。管理值建議將針對 D015 進行。
2.評估方法建議，沒有自動傳輸，時機上操作有無問題，如何去解釋？	安全監測初步建議以雨量觀測較為可靠，可採自動傳輸方式。
3.D015 調查最後完成的成果圖比例尺多大，要表現出什麼東西，應該有幾個代表性的剖面。	D015 之地質調查成果將以 1/10,000 比例尺繪製，並繪製代表性地質剖面。
4.工程力學試驗，崩積層土壤力學試驗，預期做到什麼數量。	力學試驗將依據岩心判釋地層分類結果，挑選各分類之岩樣進行力學試驗，獲取邊坡穩定、運移等相關分析所需之材料物性與力學參數，並進行岩體分類。
5.第 5 頁時可以說明得更清楚，怎麼做？	崩塌潛勢區之活動性評估方法說明於 2-4.1(四)。
6.減災策略研擬-和研擬國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫，和水保局有沒有不一樣？計畫要交出麼？	研擬國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫，將提出 106-109 年度 4 年 4 億經費之監測與減災工程之規劃。
7.工作項目有 6 項，在計畫是上位計畫要給管理處執行的部份，潛勢區不同危險度，要提出減災略策。高潛勢區的減災，是如同水保局的疏散撤離，還是有不同的方向？	監測規劃、減災策略與減災工程，將依據風險分類結果為基礎來進行規劃，研提活動性及保全對象高的國有林大規模崩塌潛勢區之監測、減災作為，減災策略與工程部分，大規模深層崩塌以地表、地下排水為主，局部、淺層、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、擋土牆、抗滑樁等方式。對於危險之大規模深層崩塌地而言，最佳之方式為進行撤離。監測部分可區分為無須監測定期管理、簡易監測、細部調查與地工監測等方式來擬定其包含監測內容。災害應變作為係屬潛勢區防災應變作為，也就是非工程手段的即時監測、警戒發布與疏散避難等相關措施。
8.地質尺度和工程尺度，活動性評估和檢討影響範圍，簡易監測不好執行，困難度滿高的，是不是可以再說明一下？	簡易觀測站反應局部地表活動，但可應用於局部崩塌之監測。影響範圍將以 run out distance 為主要方式，針對活動性明顯區位，進行影響範圍之評估。
9.第 6 項工作，活動性評估方法，本局有	活動性評估方法將依據風險分類結果為

委員意見	辦理情形
3 個面向要考慮，如何去綜合考量和取捨？	基礎來進行規劃，依高、中、低活動性區分為無須監測定期管理、簡易監測、細部調查與地工監測等方式。
10.早期航空照片要和 LiDAR 如何比較(植被)？	航空照片與 LiDAR 並非直接比對，而是將 LiDAR 判釋出之微地形與航照判釋結果套繪，觀察其變化，作為活動性研判依據，方法請參閱 2-4.1(四)。
11.InSAR 資料做相關分析，補充說明用到那一類型的雷達衛星種類。目前有無完備的軟硬體可以做這些資料分析。	針對 D015 進行，本計畫擬採用 ESA 於 2014 發射之 Sentinel 1 雷達影像，以 ESA 發展之 SNAP 4.0 軟體進行 DInSAR 計算，以 SNAPHU 軟體進行相位解纏，該軟體為以統計的方法為基礎，以最大的後驗機率來解其最佳的解，再計算各點的真實相位。
12.計畫用到的航空照片，年代會很久，地面共同點會有相當的困難，目前有無想法將來要如何做？	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、內政部 5 公尺高精度 DEM 或 LiDAR 1 公尺高精度 DEM 或現地量測獲得控制點座標。
13.本案題目(大規模…)與工作內容不完全一致，執行仍以工作內容為主。4 年執行計畫，我們現在已經向行政為要經費，這 4 年 4 億要如何執行，監測怎麼做？3 億 2 千萬要做什麼工程？3 月才會提出執行計畫，可否達成相關目標？作為明年執行依據。(滾動式調整)	謝謝委員協助說明題目與內容之關係。本團隊將儘可能努力於 1 月底前提出執行計畫初稿。
14.大規模影響範圍的評估(水保局委託成大，不同 type)，我們是用鏡面法(最簡易的方式)，簡單說明是不是比鏡面法準，可以和水保局比較一下。	本案將以 run out distance 為主要方式，針對活動性明顯區位，進行影響範圍之評估。
15.明年 8 千萬要執行工程，林管處的思維例如 D015 治理中央蝕溝，下游做防砂壩，上面做節制壩，固床工一直做上去，團隊是不是可以協助我們 4 個林管處工程設計予以建議。	本團隊將選擇重要區位，與各林管處人員前往現場勘查，並就整治工程做意見交換與討論。

105 年 12 月 2 日工作會議

行政院農業委員會林務局

「國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測」

105 年 12 月 2 日工作會議紀錄

- 一、開會時間：105 年 12 月 2 日（星期五）上午 10 時 30 分
- 二、地點：本局 4 樓會議室
- 三、主持人：王組長昭堡
記錄：林貴崑
- 四、出（列）席單位及人員：如后附會議簽到簿
- 五、主席致詞：(略)
- 六、廠商簡報：(略)
- 七、討論：(略)
- 八、決議事項：
 - (一) 本案涉及相關申請程序時，請事先辦理申請作業，並洽林管處或工作站予以協助。
 - (二) 本案鑽探進機路線請廠商儘量避免損及林木，惟必要時再行辦理障礙木排除。
 - (三) 本案鑽孔及測線布設，可在不影響需求下，依現場條件微調鑽探孔位或測線位置。
 - (四) 原則同意本次工作會議所提鑽探孔位布設，請廠商儘速進場施作並依契約期程辦理相關作業。
- 九、散會：上午 11 時 15 分

行政院農業委員會林務局

「國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測」

105 年 12 月 2 日工作會議簽到單

壹、開會時間：105 年 12 月 2 日（星期五）上午 10 時 30 分

貳、開會地點：本局 4 樓會議室

參、主持人：王組長昭堡 王昭堡

肆、出席人：

記錄：林貴崑

單位/人員 單位(機關)	簽名處	
	職稱	姓名
集水區治理組	科長	李輝耀
	技士	林貴崑
國立交通大學		王昭堡

陸、散會：上午 11 時 15 分

會議名稱: 期初簡報暨工作執行計畫書審查會議

會議時間: 105 年 12 月 14 日上午 9 時

會議地點: 林務局 8 樓會議室

主持人: 廖副局長一光 (王組長昭堡代)

紀錄人員: 林技士貴崑

委員意見	辦理情形
(一) 林委員美聆	
1. 本計畫工作項目繁多, 建議以分項主軸及項目流程分列, 以利進度及成果管理 24 處及個案。	1. 謝謝委員建議, 將納入內部控管進度應用。
2. 以工作項目進行之時程, 部分項目須蒐集較齊全之資料, 可能需時較久方能順利進行, 故建議以分期方式, 列為初期成果, 以方便工作進行及成果呈現。	2. 謝謝委員建議, 目前工作之執行均遵循工作進度表預定進度完成, 各工作項目均逐項推進。
3. 不同工作主軸之精度需求及分析監測方法有所差異, 宜分開進行及討論。	3. 謝謝委員建議, 後續分析將會考量不同尺度(精度)所可能之差異性。
4. 對於活動性評估, 以危險度為依據較不恰當, 相對於活動性, 測站及觀測點選取以潛勢為依據, 較能呈現。	4. 目前本計畫採用活動性評估方法說明於 2-4 節, 後續將綜合各方法提供活動性評估建議。
5. 測站所得資料之意義與布設位置之適宜性有關, 故在布設前宜先對潛在滑動位置及量體先行評估, 並配合潛在滑動體及滑動方向進行配置, 目前 D044 及 D047 之移動方向與判釋不符。	5. D044 及 D047 測站之位置係前期計畫所建置, 後續將依據本計畫判釋結果進行探討。
6. 大規模崩塌尤其在硬頁岩(板)岩區, 其滑動深度多在深處, 如僅檢視覆土及崩塌表土, 可能受到誤導; D015 所取剖面坡向不符。	6. 謝謝委員建議, 會綜合採用地表地質、鑽探、地物等結果進行後續分析。剖面方向已做調整。
7. 個案部分建議詳加檢討, 鑽孔及儀器位置受限於地形及道路可及, 建議再討論是否加以改善。	7. 將針對本期結果提出後續調查建議。
8. InSAR 建議使用 L-band, 山區植生多, 波長太短不易穿透。	8. 考量 Sentinel 提供多時序的雷達資料, 本計畫將利用其進行多時序分析, 並以六龜區 D015 探討適用性, 另, 亦納入 C 波段的 ALOS 雷達影像。
9. 原有保全度分級等, 是以全國等級以較簡易方式進行, 本項工作對於所選定 24 處, 宜再思考以更進一步資料及模式加以評估。	9. 原有保全度採一次性災害考量的鏡面法決定範圍, 若該區崩塌潛勢有一次性破壞潛能(如順向滑動), 可採用前期結果。若都是蝕溝或局部崩塌, 建議以其規模、及其鄰近的保全對象給脆弱度等級。
10. 地表變形監測對於崩塌發展之代表意義建議詳加討論。	10. 地表變形監測(GPS)可以明顯反映淺層、局部地形效應的地表變位, 後續將於

委員意見	辦理情形
	第柒章「大規模崩塌潛勢活動性評估方法建立」針對此法對不同崩塌類型崩塌地之適用性提出建議。
(二) 蘇委員苗彬	
1. 本案執行國有林之大規模崩塌潛勢評估，目的在減災策略，可能要考量減災可行的方案多屬下游河道的安全排水能力的維持，應一併納入調查評估。	1. 謝謝委員建議，後續將一併納入考量。
2. 報告中應注意錯別字，如美崙山，如 P.2-7 地質圖出處等。	2. 遵照辦理，修正各文字誤植處。
3. 選擇 D015 區域內的現況可加強調查，包括土地利用等，蝕溝很深，所以交通不便，建議不要把太多資源投入單點。	3. 謝謝委員建議。
4. 簡易觀測單頻 GPS 的解析能力不大，是否足夠做崩塌潛勢的評估，地表的傾斜觀測可以更明確顯示。	4. 將於後續評估 GPS 崩塌地監測之適用性。
5. P.2-34 地質調查結果採 1/10,000 是否足夠，若有鑽探、地物可以更精細，依 P.2-38 地形看來，目前規劃的深度是否足夠，大規模崩塌的深度可能要考慮更深。	5. 謝謝委員建議，初步採用 1/10,000 尺度呈現，細部區域將會採用更大比例尺呈現細節。另調查部分將針對本期結果提出後續調查建議。
6. 本案包括部分過去已有觀測的個案，應有摘要說明目前的狀況，以利瞭解。	6. 已將其成果摘要納入第一次期中報告。
7. 建議國有林大規模崩塌集中經費在已知的個案上，目前阿里山鐵路範圍，災害嚴重，調查與治理較易有成效。	7. 遵照辦理，已於執行計畫書中建議阿里山鄉-D187 的調查、監測、治理之委辦費用，並建議調查完成後以專案辦理穩定工程。
8. 參考文獻可再擴充，如地工技術有編了邊坡穩定的專刊，很有參考性。	8. 謝謝委員建議，已蒐集該專刊納入本案執行參考。
(三) 傅委員桂霖	
1. 高潛勢區減災策略、減災工程等規劃（106~109 年）執行建議請儘速提出，以利林務局參考執行。	1. 遵照辦理，國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫（初稿）已於 2 月底提出，3 月 3 日召開工作會議討論，修訂後初稿提出如本報告書附錄二(另冊)。
2. 簡易監測站之維護及活動性評估，應即時回報業務單位，隨時瞭解監測數據之變化，並作好財產維護管理工作。	2. 遵照辦理，計畫執行期間將與主辦機關密切連繫配合。
3. D015 潛勢區影響評估與減災策略，其中影響範圍如何劃定？管理基準值如何訂定？應提出方法並洽水保局瞭解，提出建議，使標準一致。	3. 六龜區-D015 影響範圍將藉由穩定分析及數值模擬方式，模擬在暴雨、地震的情境下的可能破壞機制與崩滑、堆積範圍。後續相關工作執行成果，將洽水保局討論了解。

委員意見	辦理情形
<p>4. 建議林務局以重點區為主體，前期首重崩塌地的掌控，後期則防災減災為主，次後則以成效評估。</p>	<p>感謝委員建議，減災及監測執行計畫前期將著重於崩塌地掌控，透過減災工程處理地表的沖刷或崩滑現況。並規劃調查、監測、治理策略，針對有可能深層滑動的大規模崩塌區加以建議，提供後續長期監測、管理、或治理工程參考。同時，亦規劃不定期的 UAV 空拍與現地勘查，掌握現地變化狀況。</p>
(四) 費委員立沅 (書面意見)	
<p>1. 高雄市一六龜區-D015 的調查分析，屬於本計畫重要的工作項目之一，請：</p> <p>(1)釐清調查區部分邊坡是否屬於順向坡？依據 p.2-7 地層位態為 N20°W/45°W，因此局部 WS 向邊坡可能為順向坡。</p> <p>(2)圖 2-2~2-7 之指北最好能一致，其中圖 2-7 建議加以調整。</p> <p>(3)p.2-5 上段之文字描述 D015 之地形，建議於圖 2-2 上標示；圖 2-2 部分圖面符號未說明於圖例中。</p> <p>(4)依據 p.2-37，成果剖面以兩條長坡向者為主，建議增加 SN 向之橫剖面，可以增加瞭解地質與水文特性。</p> <p>(5)執行單位增加之 EH01，預定裝設 TDR 變形量測量設備，有無可能在其中加裝水壓計量測設備？</p> <p>(6)TDR 未來將裝設之位置，建議考量地表地質調查及單頻 GPS 觀測數據合併的成果。</p> <p>(7)圖 2-9 請增加拍攝方向之註記。</p> <p>(8)本計畫將使用經驗法與數值法，針對 D015 崩塌地評估崩塌的影響範圍，建議對兩種分析方法做一較為完整的比較，且建議初步只考慮萬一發生崩塌災害後之直接影響範圍，而暫時不要考慮造成土石流或堰塞湖之影響範圍。</p> <p>(9)p.2-34 說明將完成 1/10,000 區域地表地質圖，如果有可能有較大比例尺之底圖(例如使用 1m 之 DEM 資料處理)，建議能完成 1/5,000 崩塌地地質圖。</p>	<p>(1)區域地質圖並無 D015 區域位態資料。依據地表地質調查結果，初判應無順向坡。</p> <p>(2)謝謝委員建議，除地表地質圖外，為方便觀察比較，均調整圖面為面對坡向。</p> <p>(3)謝謝委員建議，文字說明及圖面均已進行適度調整。</p> <p>(4)謝謝委員建議，初步先呈現垂直坡向剖面結果，後續將陸續增補。</p> <p>(5)本調查工作已埋設 4 孔水壓計頭，並於 2 孔裝設自計式水位計。</p> <p>(6)謝謝委員建議，將合併各監測設備結果綜合比較分析。</p> <p>(7)圖片已刪除。</p> <p>(8)謝謝委員建議，將納入後續分析考量。</p> <p>(9) 謝謝委員建議，初步採用 1/10,000 尺度呈現，細部區域將會採用更大比例尺呈現細節。</p>

委員意見	辦理情形
2. 本計畫將針對前期執行的簡易觀測(建議在適當時機將其改為“地表觀測”可能較恰當)資料做檢討,且在 p.2-30 提出:簡易觀測站觀測所得之地表變形,是否代表崩塌潛勢區之深層滑動,尚有待進一步探討。前述做法值得鼓勵,也希望能得到檢核的效果。	2.將持續蒐集六龜區-D015、桃源區-D346、甲仙區-D044, D047 之地表 GPS 資料進行分析。後續將於第柒章「大規模崩塌潛勢活動性評估方法建立」針對此法對不同崩塌類型崩落地之適用性提出建議。
3. 部分圖件清晰度不佳,例如圖 2-1、圖 2-17,請改善。	3.遵照辦理改善。
(五) 陳委員連晃	
1. 本案崩塌潛勢區立體像對判釋預字使用農航所歷年航照影條,因 95 年以前使用底片式相機,其中 85 至 95 年應用 GPS 輔助空三,可提像主點三維坐標,85 年以前則為人工轉繪於 1/25,000 地形圖,所得坐標精度不足,僅供航線參考,建議使用時應注意。	1.謝謝指導,本計畫利用既有相片基本圖、內政部 5 公尺 DEM 及光達資料重新解算各崩塌潛勢區航空照片之空中三角參數,並據以進行立體判釋,並非採用原始提供之像主點三維座標。
2. 請說明本案使用 5m×5m DTM 來源及精度。	2.本案使用之 5m×5m DTM 係由內政部依「高精度及高解析度數值地型模型測製規範」製作,平面中誤差在平地及丘陵地為 0.5m,在山地及陡峭地為 0.8m。高程中誤差之最大允許值則與地形類別及植被覆蓋相關。
3. P.2-51 Phase Unwrapping 相位解饒翻譯名詞是否正確?	3.謝謝指導,已於內文將相位解饒修正為相位解纏。
4. P.2-19 農林航測所建議修正為農林航空測量所,簡稱農航所,規畫應全面修正為規劃。	4.遵照辦理修正。
(六) 王組長昭堡	
1. 本案工項之研擬減災及測執行計畫為未來本局及各林管處辦理大規模崩塌潛勢區之處理對策,時程上較為急迫,請於第 1 次期中報告期限前配合本局辦理工作會議適時溝通,以利該項項進行。	1.遵照辦理,國有林大規模崩塌潛勢區減災及監測執行計畫(初稿)已於 2 月底提出,3 月 3 日召開工作會議討論,修訂後初稿提出如本報告書附錄二(另冊)。
2. 本計畫在研擬大規模崩塌潛勢區後續處理原則,相關工作宜以滾動式檢討,必要時修正處理策略,以符合現況需求。	2.遵照辦理,後續將依據本計畫相關成果進行滾動式檢討,召開工作會議討論,必要時修正處理策略,以符合現況需求
(七) 李科長膺讚	

委員意見	辦理情形
<p>1. 有關工作項目一研擬大規模崩塌防減災執行計畫書，建議可循以下原則及時程進行研擬，並予持續滾動式調整修正，以契合現況需求：</p> <p>(1) 有關本局第一期 106-109 年計畫有關監測評估委託與工程經費之比率，建議可參考水保局之作法與階段性思考，考量執行初期，在尚未充分瞭解各大規模崩塌場址之概要地質狀態與滑動機制前，防災水保工程之介入僅能針對各場址外顯不穩定土砂對保全對象形成潛在致災因子予以降低或排除，其對降低大規模崩塌整體滑動致災機率貢獻度微弱；另一方面，若初期階段面對 24 處及各林管處於 9-10 月份提報屬有明確保全對象且經成大判釋確認屬大規模崩塌之 51 處場址，合計 75 處之多，能夠初步以地表地質調查及多時期航、遙測影像之比對，來初步評估滑動性與危險度並建議其後續之「監測等級與方式」，逐年編列充足經費進行監測，按部就班循序漸進地有效掌握各潛在場址之活動性並持續更新追蹤、並於監測到活動性與危險度(風險度)提升至較高等級者適時研訂防災行動基準值，即已屬能有效逐步掌控、達成本局階段性大規模崩塌防災之階段性政策目標，具實質且廣泛之成效。</p> <p>(2) 俟於計畫第二期 110-113 年期間，由於已透過持續監測之成果回饋而充分瞭解各場址之滑動機制，能針對大規模滑動之關鍵機制與因子進行精準改善之時，再行編列較多之防災工程，以確保各期計畫之階段性效益展現，避免先期不必要之多餘工程浪費(鑒於目前成大所判釋之 24 處中高潛勢場址多偏向屬 TYPE-C「潛在未曾發生崩塌」，現地多無顯著崩塌威脅)。</p> <p>(3) 第 1 次期中報告(106.3.10 前交稿)內容，建請應包含：(1)24 處中高潛勢之影響範圍調整、危險度之調整(含調升與調降)，俾於明年汛期前有一明確掌握並供各林管處適切因應。(2)東勢處、南投處及屏東處 106 年度執行委辦案件(審酌其預算額</p>	<p>(1) 感謝委員建議，針對工程的部分，初期以減災工程為主，針對地表的沖刷或崩滑現況進行處理。於釐清治理標的後，透過蝕溝控制(如攔砂壩等)、樁、坡面保護(如地表排水等)等工法提高崩塌區的穩定性。針對有可能深層滑動的大規模崩塌區，則建議於調查、監測、治理策略完成後(工作包含地表地質調查、地球物理調查、鑽探、GPS 地表位移監測、水位計、測傾管、雨量站、邊坡穩定分析等)，考慮活動性、脆弱度以及道路可及性，作為治理工程設計規劃之依據。陸續判釋確認屬於大規模崩塌之 51 處場址，建議應納入不定期的 UAV 空拍與現地勘查，掌握現地變化狀況；並由 UAV 航照產製的正射影像與數值地表模型(DSM)，判釋蝕溝、崩崖等線型，檢討活動性變化。建議於下年度執行這些場址的活動性評估，並滾動式修正委辦經費分配。</p> <p>(2) 遵照辦理，本計畫將區分各崩塌地的可能崩塌機制，針對有可能一次性大規模崩塌的潛勢區域才進行調查、監測、治理策略建議。並參考邊坡穩定分析及監測結果，作為治理工程調查規劃之依據，避免不必要之多餘工程浪費。</p> <p>(3) 遵照辦理，大規模潛勢區監測減災規劃表、106~109 年的委辦費與工程費規劃項目及經費表均已完成，請參閱 2-5 節。</p>

委員意見	辦理情形
<p>度)之執行場址優先順序以及建議之「監測等級與方式」，俾供三林管處據以參考執行。</p> <p>(4) 第二次期中報告(106.7.20 前交稿)建請針對前述(24+51)處以及成大持續判釋產出之新竹處轄區大規模崩塌場址成果(106年5月完成)，初步評估其活動性(風險性)與建議之「監測等級與方式」，以利本局規劃評估107年度各林管處防災工程與監測委辦案之執行點位，及考量工程與委辦案之經費比率。</p>	<p>(4) 感謝委員建議，委辦案及工程案的經費應該就持續判釋產出的大規模崩塌地活動性評估進行滾動式修正、調整。建議新判釋出的大規模崩塌地活動性評估可於107年度再執行。</p>
<p>2. 執行計畫書有關大規模崩塌場址「監測等級與方式」之研訂，除經先期初步評估後予以判定等級外，另請提出「提升等級」或「降低等級」之滾動式調整機制，以據現地監測成果進行較具行政效率之機動調整。此外，各監測等級所採用的監測工具與方法，可採逐級疊加模式呈現，例如：初級、中級(進階)、高級(深度)與最高級(即時警戒)，各級分別辦理現場地表地質調查、航遙測影像分析比對、UAV定期監測、各類LiDAR或衛星雷達波之地表變位監測、各類GPS地表變位監測、各類機械式直接地表變位監測工具(傾斜儀或伸縮計)、地球物理探測、各類地中變位監測工具、各類監測工具需具即時傳輸功能、地下水位計及雨量計(含評估設置之必要性)...等由大尺度到小尺度、粗略到細緻不同光譜等級中，其鄰近等級可「向下內含疊加」的方式來呈現與執行，以提升資料易讀性；另該監測等級之適用條件建議應與現行各場址「崩塌活動性」與「保全對象重要性」或「危險度」間之關連性具體勾稽連結，以利相互對應對照。</p>	<p>2.感謝委員建議，目前執行計畫書中的監測等級與方式之研訂，規劃106年度由UAV空拍與現地勘查，掌握現地變化狀況；並由UAV航照產製的正射影像與數值地表模型(DSM)，判釋蝕溝、崩崖等線型，檢討活動性變化。初步建議25處活動性高及中等級之潛勢區均進行一次監視工作，8處活動性低的潛勢區則建議由林管處監控。其優先順序大致參考本年度活動性及前期脆弱度評分結果初步評估的危險度，並依照林務局評定集水區治理急迫性等級的4個分級「優先、關注、重點、一般」進行排序，如果屬於活動性低，且經多年監視、檢討後活動性均無變化，可改列為一般。</p> <p>107~109年度大規模崩塌潛勢區的監視方式，將會依照本年度工作項目「大規模崩塌潛勢活動性評估方法建立」檢討現有監視方式的限制，並總和評估其他監視方式的適用性(如LiDAR、InSAR等)。同時，亦將依照崩塌區的崩塌類型，修正崩塌影響範圍評估方式，檢討脆弱度及危險度評分。原則上將依照「危險度」擬定崩塌潛勢區的監視/監測等級，後續將依此概念，滾動式修正執行計畫書。</p>
(八) 羅東林管處	
<p>1. 羅東處預定調查期程列於106年11月，其預定調查的詳細位置可否先告知羅東處，並先行提出相關協助需求，以利本處配合。</p>	<p>1.謝謝委員建議，後續將依據工作進程與結果進行聯繫。</p>

委員意見	辦理情形
2. 有關簡報所列羅東處預計研究的 8 處潛勢區在公路總局第四區養護工程處與林管處應有相關規劃報告，建議可以加以參考。	2. 謝謝委員建議，後續將納入資料蒐集對象。
(九) 東勢林管處	
1. P.1-2、P.2-12、P.2-15 中 2. 國有林「班地」大規模崩塌「模」潛勢區說明。其中「」文字誤植，請予修正。	1. 遵照辦理修正。
2. P.2-35 表 2-3 地球物理探測測量長度與規劃，請補充說明 RSM01 測量長度及規劃如何？	2. 補充說明於表 4-1。
3. P.3-1 參 預期成果 3...5 處觀測...與 P.2-17(三)計畫研擬構想，...6 處進行地形特徵為主的現地查核，...。規劃地點與成果不相同，請予說明。	3. 謝謝委員指正，不符處非為對應項目。
4. 本局 24 處高危險區東勢處轄內有 6 處，請說明如何進行補充資料蒐集，本處如何協助交大執行完成本計畫成果需求。	4. 建議可以先監視 6 處的活動性，透過 UAV 空拍與現地勘查，掌握現地變化狀況；並由 UAV 航照產製的正射影像與數值地表模型(DSM)，判釋蝕溝、崩崖等線型，檢討活動性變化。 感謝委員熱心協助，若能提供過去的災害歷史照片、調查報告等文獻，將更有助於評估活動性及邊坡破壞模式。
(十) 南投林管處	
1. 104 年計畫判釋 24 處危險較高之崩塌潛勢區，因有補充判釋而增加數處，建議列入相關資料，俾做為後續監測或減災工程之依據。	感謝委員建議，委辦案及工程案的經費應該就持續判釋產出的大規模崩塌地活動性評估進行滾動式修正、調整。建議新判釋出的大規模崩塌地活動性評估可於 107 年度再執行。
2. 南投處於 106 年度預定辦理 1 件減災工程(奧萬大聯外道路 4k+400 邊坡保護工程)及 1 件監測案(南投縣水里鄉國有林地)，本處將配合大局計畫依上位減災策略研擬細部作業。	敬悉。
(十一) 屏東林管處	
1. P.2-5 圖 2-3 請標列潛勢區範圍。	1. 遵照辦理，如圖 4-3。
2. P.2-9 圖 2-10 位置 2 之崩積層，前後字句重複出現，請修正。	2. 謝謝委員指正，文句已刪除。
決議事項：	

委員意見	辦理情形
(一) 本案期初工作執行計畫書內容請國立交通大學依各委員意見及承諾事項修正，並持續執行相關工作。	遵照辦理。
(二) 本案期初工作執行計畫書經討論原則通過，同意依契約第 5 條規定撥付第 1 期款(契約總額 26%)。	謝謝。
(三) 同意依各林管處所提新增場址且經成大團隊判釋符合大規模崩塌定義共 51 處(詳簡報第 11、12 頁，請各處確認是否齊全)，納入本計畫執行計畫書之研擬範圍。	遵照辦理

行政院農業委員會林務局

「國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測」

期初簡報暨工作執行計畫書審查會議簽到單

壹、開會時間：105 年 12 月 14 日（星期三）上午 9 時

貳、開會地點：本局 8 樓簡報室

參、主持人：廖副局長一光

肆、出席委員：

審 查 委 員	簽 名 處
林委員美聆	林美聆
蘇委員苗彬	蘇苗彬
費委員立沅	請假
傅委員桂霖	傅桂霖
陳委員連晃	陳連晃

伍、出(列)席單位及人員：

單位/人員	簽名處	
單位(機關)	職稱	姓名
羅東林區管理處	技正	黃至明
新竹林區管理處	課長	林宜羣
東勢林區管理處	技正	賴原崇
南投林區管理處	課長	徐文宗
嘉義林區管理處	課長	傅新敏
屏東林區管理處	課長	施偉元
臺東林區管理處	課長	邱元成
花蓮林區管理處	技正	蔡聖瑞
集水區治理組	李輝耀 林貴崑	
國立交通大學	廖志史 林志平 董明華 王慧蓉	

陸、散會：上午 10 時 30 分

行政院農業委員會林務局

「國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測」

第 2 次工作會議紀錄

- 一、開會時間：105 年 1 月 11 日（星期三）下午 3 時
- 二、地點：本局 7 樓會議室
- 三、主持人：王組長昭堡 記錄：林貴崑
- 四、出（列）席單位及人員：如后附會議簽到簿
- 五、主席致詞：(略)
- 六、廠商簡報：(略)
- 七、討 論：(略)
- 八、決議事項：
 - (一) 有關恢復六龜區-D015 監測儀器功能與桃源區-D346 監測儀器續租事宜，請本局屏東處納入本年度「國有林大規模崩塌及相關防災監控暨災害調查」案一併辦理。
 - (二) 交大團隊依目前調查結果調整鑽探孔位案，原則同意，請依契約規定辦理後續事宜。
 - (三) 關於 107 年以後大規模崩塌潛勢區防減災計畫經常門及資本門預算比例，請交大團隊評估各林管處需求後，於第 1 次期中報告（106 年 3 月 10 日）前提出。
 - (四) 經交大團隊評估屏東處轄區內大規模崩塌潛勢區活動性屬高活動性等級之潛勢區，請依期程辦理現地調查及規劃後續處理事宜。
- 九、散會：下午 4 時 30 分

行政院農業委員會林務局

「國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測」

106年1月11日工作會議簽到單

壹、開會時間：106年1月11日（星期三）下午3時

貳、開會地點：本局7樓會議室

參、主持人：王組長昭堡 王昭堡

肆、出席人：

單位/人員	簽名處	
單位(機關)	職稱	姓名
集水區治理組		
	科長	李齊輝
	技士	林貴崑
國立交通大學		廖志中
		潘以文
		葉明華
		李國維
		毛慧蓉

陸、散會：下午 4 時 30 分

行政院農業委員會林務局

「國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測」

第 3 次工作會議紀錄

- 一、開會時間：106 年 3 月 3 日（星期五）下午 3 時
- 二、地點：本局 4 樓會議室
- 三、主持人：王組長昭堡（劉簡任技正忠憲代） 記錄：林貴崑
- 四、出（列）席單位及人員：如后附會議簽到簿
- 五、主席致詞：(略)
- 六、廠商簡報：(略)
- 七、討 論：(略)
- 八、決議事項：
 - (一) 有關執行計畫之撰寫格式，請依本局提供參考之執行計畫修正；內容編排順序亦請參採參考資料。
 - (二) 有關執行計畫之表 4-1 大規模潛勢區監測減災規劃，請依本次會議討論修改。
 - (三) 交大團隊目前已完成 33 處潛勢區活動性評估，請於相關報告補充評估結果與成功大學評估結果差異之說明。
 - (四) 有關本案地質鑽探 BH08 孔調整為埋設水位計事宜，經交大團隊說明本次調整在符合契約要求且不影響監測的原則下辦理，本局原則同意，請依契約規定辦理後續事宜。
- 九、散會：下午 4 時 50 分

行政院農業委員會林務局

「國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測」

第 3 次工作會議簽到單

壹、開會時間：106 年 3 月 3 日（星期五）下午 3 時

貳、開會地點：本局 4 樓會議室

參、主持人：王組長昭堡 劉忠憲代

肆、出席人：

紀錄：林貴崑

單位/人員	簽名處	
單位(機關)	職稱	姓名
集水區治理組	科長	李輝耀
	技士	林貴崑
國立交通大學		潘以文
		王明華
		王慧蓉
		李國維

陸、散會：下午 4 時 50 分

會議名稱: 第 1 次期中報告審查會議
 會議時間: 106 年 3 月 31 日(星期五)上午 10 時
 會議地點: 林務局 7 樓會議室
 主持人: 廖副局長一光 (王組長昭堡代)
 紀錄人員: 林技士貴崑

委員意見	辦理情形
(一) 蘇委員苗彬	
1. 本案包括工作項目很多，部分建議事項供參考；對大規模崩塌，尤其應注意其為潛在性或已發生、治理工作曾否實施，處理對策不一樣。	感謝委員建議，蒐集歷史航空照片並判釋為潛在性或已發生的崩塌、是否曾經治理，作為減災策略研擬之參考。
2. p.2-14 等引用資料注意儘量用原始出處；p.2-15 中對分級分類等評分表分數的訂定應有依據。	感謝委員建議，已加上原始出處於 p.2-14。現階段因子評分先依照活動性高低主觀給予 1~3 分，後續案例增加後會再進行檢討。
3. 對資料評估，如 p.3-13 等儘量有交叉比對，如伸張量與雨量的關係、地表與深層移動量等，設法定出滑動範圍與發生時機。	謝謝委員建議，將盡可能就所蒐集彙整資料進行比對，除了解邊坡之行為，亦為進行管理值建議之基礎資料。
4. P.3-15 等中山村的觀測，已有相當時日，是否可有初步結論，對地區的安全性及後續處理安排會有影響。	中山村目前並無滑動之虞，但因監測時間短及監測深度及範圍不足，並無法用以評斷 D187 的活動性。然而中山村所在邊坡與 D187 整體邊坡同屬順向坡，若未來工程開挖或蝕溝沖蝕使岩層見光則可能產生順向滑動。
5. 所選定示範區 D015 規模大，目前鑽探孔數是否足夠，有否後續追加的需求？	D015 規模大，本期鑽探調查尚不足夠，將依據本期調查結果，建議後續計畫調查數量與位置。
6. 本案第 1 次期中報告應有初步成果及後續工作的描述，以後建議增加 1 個章節。	遵照辦理，已增加於第捌章。
7. 附錄中地質位置圖如附 1-1，應有相關地名、地物等，以瞭解相對位置。	遵照辦理，已修正附錄三(附於末頁光碟)。
8. p.附錄 1-69 為杉林溪或杉林區，建議修正。	已修正附錄二(另冊)及附錄三(附於末頁光碟)。
9. GPS 簡易觀測，採用儀器型號及其精度應補充說明。	GPS 已由林務局屏東管理處委託廠商進行復原，現況尚未進行點交，將於期末報告補充復原後採用之儀器型號及相關說明。
10. 地質分類中是否崩積與風化能否分辨？	崩積層材料與風化岩盤可加以分辨，崩積層為不規則崩積堆疊材料，風化岩盤則有不同風化程度，且保留岩盤位態一致之特性。

委員意見	辦理情形
(二) 費委員立沅	
<p>1. 表 2-7 之建議：(1)不要使用「岩層順向滑動」。(2)是否包含楔型滑動？(3)不連續面宜考慮岩體中之各類界面。(4)坡腹有無特徵可描述？(5)請增加判釋之微地形示意圖。(6)未來是否可加入 GPS 或 SAR 之結果？(7)有無時間距之考量？(8)p.2-12 之不整合面建議改為「岩土不整合界面」。</p>	<p>(1) 感謝委員建議，依照運動類型改為「順向滑動」。</p> <p>(2) 在邊坡局部破壞時有考慮楔型滑動的可能。</p> <p>(3) 感謝委員建議。除了層面也會考慮其他可能引致大規模崩塌的不連續面。</p> <p>(4) 老崩積層坡腹的穩定性，透過蝕溝上溯及地表植生狀況進行評分。</p> <p>(5) LiDAR 微地形判釋已補充於附錄三。</p> <p>(6) 遵照辦理。</p> <p>(7) 由於能夠製作良好地形資料的航空照片的數量並不夠多，目前僅能考慮最早與最新的差異。</p> <p>(8) 遵照辦理，已修正於 p.2-12。</p>
<p>2. 表 2-8 似乎不僅為老崩積層，可能還有古土石流、階地堆積層等。</p>	<p>感謝委員建議，表 2-8 的目的是評估未來大規模崩塌的活動性。在目前本計畫 24+9 的案例中，尚無觀察到古土石流、階地堆積層可能形成的大規模邊坡破壞。後續若有更多案例，會一併加入活動性評分因子中。</p>
<p>3. 本年度活動性評估與前期有不同成果，請以統計數字表表現，且探討差異原因。</p>	<p>與前期活動性相比，共有 2 處降低、8 處不變、14 處調高，大部分的崩塌地都是發生度稍微調高或降低一個等級，僅有 2 處變動較大，分別為「嘉義縣-阿里山鄉-D187」、「高雄市-甲仙區-D044」，活動性皆由低變高。差異原因補充於 p.2-15。</p>
<p>4. 高雄市-六龜區 D015 之內容：(1)地調所區域地質圖可依現地特性加以修改。(2)利用 LiDAR 之 DEM，可增加地質特性之判釋。(3)2 條蝕溝之編碼請合理化。(4)現場觀察到的剪裂帶，於崩塌地扮演之角色。(5)圖 4-10 位於 D105 北部之區塊是否因河岸侵蝕，而有更高潛勢？(6)圖 4-11~12 之圖例，請依老至新由下而上排列。</p>	<p>(1)本計畫調查之地表地質圖係參考區域地質圖就調查結果加以修繪；(2)本計畫就 LiDAR 之 DEM 製作之陰影圖進行地質、地形特徵之判釋；(3)蝕溝命名目前係採用其於 D015 位置，如中央蝕溝、北蝕溝；(4)剪裂帶可用於推測可能滑動面位置、滑動深度、與滑動機制；(5)河岸侵蝕對邊坡穩定性有一定程度影響，但是否為關鍵因素仍須進一步分析研判；(6)遵照辦理修正。</p>
(三) 傅委員桂霖	
<p>1. 有關活動性監測工作前辦理對象主要針對具直接保全對象之崩塌地進行長期監測，惟部分具高風險之崩塌地，未具直接保全對象，但一旦發生崩塌，其</p>	<p>感謝委員建議，本計畫暫以 24+9 處大規模崩塌潛勢區為主。後續將持續研究活動性高但脆弱度低的崩塌影響。</p>

委員意見	辦理情形
所產生之崩塌土體仍可能逐漸對下游土砂運移造成影響，建議考量此類崩塌地納入活動性評估之可行性。	
2. 目前國有林大規模崩塌潛勢區尚未完成全區判釋，高風險及高保全之區域仍持續釋出，加以受氣候變遷影響，亦可能擴大持續發生中之崩塌區之危害程度，建議未來工作執行區域及項目規劃，可以依據相關研究方法之精進、監測成果與環境情勢變遷，持續滾動式檢討調整。(第三章)	遵照辦理。
3. 有關「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」，主要由水保局辦理年度成果與績效彙整工作，建議各相關計畫階段性成果可適時提供水保局參考。	遵照辦理，各項工作完成後可提供水保局參考、討論。
4. 崩塌區之發生度、保全度及危險等級評分，林務局與水保局之評估方式略有不同，建議可評估整合之需要性及可行性。(表 2-3、P.2-10)	感謝委員建議，本計畫採用的活動性評估方式的確與前期不同，本計畫將於第柒章提出後續大規模崩塌潛勢活動性評估方法之建議。
5. 第 2-6 節災害應變作為規劃太簡略，應補充監測、警戒發布、疏散撤離等作業流程及執行單位，以利後續執行。	遵照辦理，後續將會更新此部分之研究探討結果。
6. 水保局針對崩塌之 GPS 簡易觀測、活動性評估及影響範圍劃設等，持續投入相關研究，建議可納入本計畫相關評估參考。(6-1 節)	遵照辦理，本計畫將持續蒐集水保局相關研究。
7. 有關崩塌區活動性評估，除 GPS、傳統地工監測、衛星雷達影響應用等方法，建議可廣泛多元蒐集不同型態研究供執行單位參考。(7-1 節)	崩塌潛勢區之活動性評估除 GPS、傳統地工監測(伸張計、測傾儀)、衛星雷達影像應用、航空攝影測量(有人及無人載具航拍)等應用，本計畫將探討各評估方法之適用性。
8. 國有林大規模崩塌潛勢區判釋尚未完成，相關工作及執行經費是否納入本執行計畫範疇，建議釐清(第四章)若列入，建請於年度計畫時修正提報。	遵照辦理。
9. 水土保持局另有計畫進行大規模崩塌監測資料庫及整合查詢系統建置，建議後續相關監測等成果可一併納入，使資料更臻完整。	遵照辦理，後續將依水土保持局訂定之資料格式提供，以納入崩塌監測資料庫及整合查詢系統。
10. 建請協助林務局，將成果儘量發表於學術期刊或媒體文章中，以利上級機關考核及增進民眾了解計畫成效。	遵照辦理，本研究已經整理初步成果投稿 4th Slope Tectonics Conference。

委員意見	辦理情形
(四) 陳委員連晃	
1. 本案 105 年 12 月 14 日期初審查會議提出 Phase Unwrapping 相位解纏應修正為相位解纏，仍有部份未修正，如 P.7-8、7-5，請檢查修正。	已修正。
2. P.4-7，D015 地表地質調查使用 1/10,000 相片基本圖，應為內政部第一版臺灣地區相片基本圖，測製期間為民國 70 年前後，本區應有 80、90 年代二次 1/5000 林區相片基本圖及近年內政部測製 1/5000 第二版相片基本圖可使用，未採用原因為何？	本計畫地表地質調查採用 LiDAR DEM 地形、以及近年新拍攝製作之正射影像為調查底圖，最後呈現之地表地質圖採 1/10000 製作，已經修正相關敘述。
3. P.2-12 奧萬大聯外道路 4.5K 崩塌只有 69 年航攝，無最新航攝是否誤？（表 2-6）	謝謝提供資訊，已納入 101 年航拍成果。
4. 以 GPS 進行地表位移監測，建議補充點位現場照片，以了解實際現場周邊環境，雙頻連續固定站是否考慮增加 1 個，以確保固定站穩定性能掌握。	GPS 已由林務局屏東管理處委託廠商進行復原，現況尚未進行點交，將於期末報告補充週邊環境。雙頻連續固定站卻能增加固定站之解算品質，因本案工作項目並未包含 GPS 監測站建置，故不考慮新增 1 個雙頻連續固定站。
(五) 廖副局長一光	
關於大規模崩塌潛勢區阿里山 D187：(1) 本案嘉義處已建置監測設施，未來監測計畫應納入考量，並整合相關監測資料。(2) 岩層深層滑動，評估時應圈繪出可能崩塌之區域，以利後續穩定工程規劃設計參考。(3) 水保局在附近已辦理相關監測計畫，其評估成果也應納入參考。	謝謝委員建議，阿里山 D187 活動性評估已收集近年相關整治理報告、監測結果進行評估，相關內容說明於 3-2.4 節，將作為後續減災監測建議參考。
(六) 王組長昭堡	
1. 活動性評估方法嚴謹，請考慮規格化後將由林管處或工程規劃設計團隊執行之可行性。	遵照辦理，將於第柒章「大規模崩塌潛勢活動性評估方法建立」完成後提供林管處或工程規劃設計團隊。
2. P.2-12 航攝影像有 1、2、3 年份，判釋結果是否會有差異，有無補助方法？	本計畫建立之活動性評估以兩個年度判釋 10~30 之間的變化，P2-21 於六龜區-D015 有 3 個年份之影像係因六龜區-D015 需做更詳細之活動性評估，本計畫共分析了 71、77、81、85、92、94、96、102、103 及 104 年共 10 個年度，為避免混淆，P2-12 中六龜區-D015 僅列入作為大範圍活動性評估所採用之 77 及 104 年。
3. 在監視方法上，可否考量 UAV 加	由 UAV 加上 LiDAR 可以同時掌握崩塌裸

委員意見	辦理情形
LiDAR 之可行性？	露區域(UAV)及微地形變化(LiDAR), 效果更好。
4. 關於執行計畫部分：(1)辦理依據請加入相關文號、日期。(2)關鍵課題分請加入：①警戒值及管理面等問題；②本計畫工程之不確定性，本計畫經費有限（1億/年，共4億），難以陳述具體之工程效益；③北、東部尚在判釋中，需滾動式調整檢討。(3)相關單位介面應配合或銜接事項請加入：①本計畫與水保局相關配合事項；②本計畫與地方政府相關配合事項。	遵照辦理，已將初步修正結果補充於附錄二，將持續滾動式修正。
(七) 東勢林管處	
1. 臺中市和平區 D335、344、348 及 359 主要保全對象請增列臺八線。	遵照辦理，補充於表 2-12。
2. 有關高雄六龜 D015 潛勢區貴團隊地全地質調查詳盡，建議圖 5-5、5-6 崩積層分布厚度圖可將地電阻探測成果剖面圖加以利用，作為圖 5-5、5-6 無法確認厚度之補充資料或說明。	謝謝委員建議，已將地電阻結果納入評估崩積層厚度。
3. 層面傾角判釋係由岩芯判釋或孔內造影所獲得，兩種資料是否可整合分析及利用。	謝謝委員建議，層面傾角判釋係由岩心判釋、孔內造影綜合分析判斷所獲得。
4. 建議水位觀測資料搭配雨量資料比對分析關聯。	遵照辦理，已收集雨量資料進行分析比對。
(八) 南投林管處	
1. 建議活動性評估方法之順向滑動指標因子評分表及老崩積層破壞指標因子評分表之分級分類部份再予具體定量或詳細定性描述，配合實際現照輔助研討。	感覺委員建議，目前僅就 24+9 處大規模崩塌潛勢區的航照判釋結果，進行定性描述。附錄二有標示判釋結果繪製的線形，提供輔助參考。
2. 另外活動性等級分類判定等級分數亦請一併提出其依據來源。	活動性評分方式請參考表 2-7、表 2-8。
(九) 屏東林管處	
1. 表 2-13 大規模潛勢區監測減災規劃，其中工程治理順序，是否可依管理處分類，再由治理之優先順序排序。	表 2-13 大規模前是區監測減災規畫係以納入評估之 24+9 處，其分屬於東勢、南投、嘉義、屏東、花蓮及臺東管理處，工程治理順序分依各管理處分配，而是以整體工程治理順序作為考量，不宜先依管理處分類在由治理之優先順序排序。
2. P.4-29、4-42 岩心取樣及紀錄結果，是否補充鑽心深入新鮮岩盤式達研判岩	謝謝委員建議，入岩深度均記載於鑽孔地質柱狀圖，並說明於紀錄結果中。

委員意見	辦理情形
土介面處之說明。	
(十) 臺東林管處	
1. P-2-35「表 2-16 106~109 工程費建議」,臺東處紅葉村減災工程編列 2,400 萬,經了解紅葉部落計畫將於紅葉國小下方 0.98 公頃土地作為遷建基地,現有崩塌區域雖有延平林道經過,惟該林道 10K 以下均非為本處轄管林班地,現水保局正進行規劃調查中,且相關治理權責尚未釐清畫分,目前本處尚無修復計畫,日後亦僅針對林道部分進行復建。	遵照辦理,已將紅葉村減災工程編列改列至知本森林遊樂區。
2. 目前本處轄管知本森林遊樂區及向陽森林遊樂區經成大防災中心協助研判亦為大規模崩塌潛勢區範圍,建請將 107 年臺東處紅葉村減災工程經費改列至本處轄管大規模崩塌潛勢區域辦理蝕溝控制及護岸等相關工程。	遵照辦理,已將紅葉村減災工程編列改列至知本森林遊樂區。
決議事項	
1. 本案請國立交通大學參考各委員意見及承諾事項修正,並持續執行相關工作。	遵照辦理。
2. 本案鑽探報告及第 1 次期中報告經討論原則通過,同意依契約第 5 條規定撥付撥付第 2 期款(契約總額 19%)及第 3 期款(契約總額 15%)。	敬悉。


行政院農業委員會林務局

「國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測」

第 1 次期中報告審查會議簽到單

壹、開會時間：106 年 3 月 31 日（星期五）上午 10 時

貳、開會地點：本局 7 樓會議室

參、主持人：廖副局長一光 

肆、出席委員：

記錄：林貴崑

審 查 委 員	簽 名 處
林委員美聆	請假
蘇委員苗彬	
費委員立沅	
傅委員桂霖	
陳委員連晃	

伍、出(列)席單位及人員：

單位/人員	簽名處	
單位(機關)	職稱	姓名
羅東林區管理處	技士	林維祥
新竹林區管理處	技正	吳登峰
東勢林區管理處	技士	張福國
南投林區管理處	技士	梁文坤
嘉義林區管理處	技士	陳立直
屏東林區管理處	技士	陳連良
臺東林區管理處		請假
花蓮林區管理處	技正	黎璧端
集水區治理組		王昭佳 李輝讚
國立交通大學	序中	史又文 王慧蓉 黃明芳

陸、散會：下午 12 時 30 分

會議名稱: 第 2 次期中報告審查會議

會議時間: 106 年 8 月 10 日(星期四)下午 2 時

會議地點: 林務局 5 樓會議室

主持人: 廖副局長一光

紀錄人員: 林技士貴崑

委員意見	辦理情形
(一) 蘇委員苗彬	
1. 本案已含工作項目繁多, 應特別注意後續執行的可行性, 已據策略擬定及安全防災應變的需求。和平區-D344 及必坦溪 1 號崩塌地等有治理工程評為活動性低? 簡易監測改善。	和平區-D344 主要崩塌行為是蝕溝上溯引致岩屑持續崩落, 目前沒有一次式致災性的大規模崩塌活動跡象。故建議道路坡面保護、排水工程, 減緩蝕溝沖蝕行為, 並監視、檢討活動性變化。
2. P.3-23 甲仙堰旁的傾斜管監測可能需要重新佈置, 由 P.3-25 等的 GPS 觀測有上升部份, 尤其 G1 在坡頂不太合理, 應整體來評估, 或變更觀測的方式, 儀器監測應輔以測量 (定期或不定期), 大範圍掌握全區變化。	測傾管監測成果係蒐集南區水資源局成果, 非本計畫進行。
3. P.3-37 等中山村的評估應注意崩積地上的特性, 易受降雨造成地下水位上升, 地表與地層的變形行為, 目前的傾斜管變化不太合理。	監測資料顯示地下水會隨著降雨而上升, 但傾斜管監測時間短及監測深度及範圍不足, 並無法用以評斷活動性。由鑽孔岩心照片推測, 部分不合理的變形可能因為該處有空洞, 不易回填。
4. 二萬坪 P.3-49 等的變化不太合理, 應增加地表測量來輔助判釋。	感謝委員建議, 目前沒有蒐集到地表測量的報告, 如有會補充。
5. P.5-2 顯示鑽探與監測系統均置於下邊坡, 可能不易掌握大規模崩塌的變化。請補充說明自計水位計與水壓計的差異。	由地表地質圖及地質剖面圖可知本區崩積層主要分布於下邊坡, 因此本年度針對下邊坡進行調查。已經文字修改為自計式水位計及非自計式水位計。
6. P.5-15 等之滑動分析取的範圍亦很小, 沒有涵蓋整個大規模崩塌的範圍, 是否足夠, 應進一步討論。	感謝委員建議, 已於 5-2 節新增模擬大範圍崩塌的邊坡穩定安全係數。
7. P.7-9 之垂直位移變化看不出合理與否, 是否有做水平位移, InSar 仍有精度的疑慮, 應用上應小心。	In-SAR 所計算之變形量為順著衛星軌道方向, 水平位移量需透過 GPS 固定站作為控制點, 以修正水平向位移, 目前尚無法進行。
(二) 費委員立沅	
1. 潛在大規模崩塌之崩塌類型分類, 建議可依林務局需求, 選擇運動行為、地質材料、邊坡移動、破壞機制中最合適之分類方式。	感謝委員建議, 依照目前 24+9 處案例歸納, 依破壞機制概分為岩層順向滑動、老崩積層破壞以及兩者複合型。後續會隨案例增加檢討修正。
2. 本計畫活動性評估採用與過去不完全	由目前 24+9 處的前後期航照, 比較各崩

委員意見	辦理情形
一致之方法，是否可增加部分定量之數據？或嘗試以 2-3 人一起評分，瞭解是否有差異？	塌潛勢區約 30 年的地貌特徵變化，依照不同破壞機制的影響因子進行主觀評分，目前還無法量化。未來案例逐漸增加，將嘗試量化地貌特徵的變化並反映於評分。
3. 目前包括本計畫對於潛在大規模崩塌，很多工作都具有研究性質，建議可思考：(1) 有無較新技術適用於此型崩塌；(2) 地表簡易監測系統如何與地下監測系統分工；(3) 崩積層在成因、膠結程度、水文特性等都很複雜，值得仔細研究；(4) 崩塌地調查適宜使用之方法、工具都可加以評估，完成之成果應具有之內容及比例尺等。(5) 地下水變化在大規模崩塌中扮演極重要之角色，值得加強研究。	感謝委員建議，若由地形、地質、DSGSD 微地形判斷為有可能一次式大規模崩塌的潛勢區。本研究建議應先由地表地質調查、鑽探、地球物理探測建立該區的地質模型，並透過地工監測掌握潛在滑動面的位置及變形率。同時記錄地下水、邊坡變形與降雨及地震之間的關係，作為活動性評估、管理基準值的建議。委員提出的寶貴意見，本團隊會持續研究。
4. 順向坡地形在大規模崩塌中可能扮演相當重要之角色，但是須考量岩性、傾角、上覆地質材料、人工或河流削斷坡腳(如產業道路之密集開發)等造成高潛勢之順向坡或不具潛勢。	感謝委員建議，完全同意。表 2-7 考慮順向坡的坡趾狀況、岩層位態與坡向坡度之關係。
5. 以六龜區-D015 為例；(1) 請說明地層倒轉及剪裂帶之影響；(2) 請於每一項工作項目做一小結；(3) 請以本調查區可判釋之地形，選擇合宜之名詞定義；(4) 請將文字說明註明於圖上(照片及附圖)，以方便閱讀。	(1) 沿河道調查到的地層倒轉，目前資訊不足，是否為重力變形造成，仍有待調查。剪裂帶目前僅出露於蝕溝下游段，可能為重力變形的證據，詳細成因仍有待補充調查。(2)、(3)、(4)：遵照辦理。
6. In-SAR 技術是否可以合併降軌及升軌影像，或是以裝設角反射器精進，宜進一步研究。	以植生茂密之大規模崩塌潛勢區而言，主要為永久散射點不足，無法評估大範圍之變形。In-SAR 之優點為快速取得大範圍之變形，裝設角反射器僅能取得數量有限的點，與其使用目的不符。
7. 類似圖 3-26~3-27，如果垂直軸之 scale 較大，是否可呈現更清楚之地形細節？	已修正。
(三) 傳委員桂霖	
1. 氣候變遷下大規模崩塌防災計畫，研究之資料和成果報告，係共享資源，應回歸策略六資訊平台中，建議參考水保局「大規模崩塌區影響範圍劃設作業手冊」、「大規模崩塌區防災監測作業手冊」及「大規模土砂災害集水區調適規劃作業手冊」。	感謝委員建議，若後續製作作業手冊時會參考水保局既有格式。

委員意見	辦理情形
2. P.6-19~P.6-20 頁，表 6-1 有蒐集民國 81~106 年的歷史大豪雨事件，資訊寶貴尤其重要，但目前報告描述主要對於累積降雨量在認定六龜區-D015 的局部崩塌行為，但未考慮究竟是 24 小時還是多久時間內的累積雨量所造成局部崩塌情況，所以是否可由降雨強度資訊做參考？因時雨量也可能是重要資訊。(表 6-1 降雨強度欄位是否為事件紀錄中最大降雨強度？)	感謝委員建議，已修正表 6-7，納入該事件最大降雨強度，圖 6-28、圖 6-29 也納入降雨強度的資訊。
3. 崩積層 1 與崩積層 2 是否有明確定義？或結構定量上的差異，(如表 5-2，崩積材料參數是否有區別？) 是否有野外露頭出露可進行區別。	地表地質圖已修正於圖 4-28，無特別區分崩積層 1 或崩積層 2。
4. 圖 4-5 地質圖與圖 5-11、5-12 剖面圖之地層出露位置不一致 (如蝕溝沖積扇)，建議統一。	遵照辦理，地質圖與地質剖面圖已修正於圖 4-28、圖 4-40、圖 4-41、圖 4-42、圖 4-43。
5. 建議地電阻剖面可以套疊鑽孔資料，進行綜合研析說明。	遵照辦理，更新如 4-3.3 節地球物理探測內容。
6. 報告中蝕溝為土石流潛勢溪流高市 DF055 在 5 月份已施作完成防砂壩，應以土石流集水區概念治理施作構造物，現在在大規模崩塌的尺度下看時，在河道內設置防砂壩對於往上游回淤後的控制高程，防砂壩作用對於崩塌地內地下水有無變化影響？是否增加崩塌位移因子？	此一蝕溝規模甚大，水平距離超過 1 公里，高差約 600 公尺。蝕溝表層為風化岩屑，6 月份的一場大雨將岩屑帶下已完全淤滿防砂壩。目前部分水流沿著壩體兩側與岩盤交界處沖刷，部分水流越過壩頂直接沖擊下游形成沖刷坑，不利於局部穩定性。由於監測時間較短，本計畫尚無觀察到防砂壩對地下水位的影响。
7. 計畫名稱建議統一為「氣候變遷下大規模崩塌防減災計畫」。	遵照辦理。
8. 簡易觀測站，有檢討施設之必要性，惟更須檢討儀器配置施設之合理性，可提供更多研究參考。	感謝委員建議，已於第柒章綜合探討簡易監測站之適用性。
9. 管理基準值 D015 建議為 2/3 (約 1200 mm)，2/3 有無根據？其他地質區位是否適合此方法來訂？建議說明清楚。	既有雨量資料及邊坡破壞事件顯示累積雨量超過 1,900 mm 就會發生大規模崩塌，本計畫保守選用 2/3(約 1200 mm)作為大規模崩塌的管理基準值建議。後續依策略一並參考監測資料，再提出管理基準值正建議。建議其他案例也嘗試用這種方法建立降雨量管理值，以供比較、修正參考。
(四) 陳委員連晃	
1. 本案工作內容相當繁雜，感謝交大團隊的付出與努力。	感謝委員肯定。

委員意見	辦理情形
2. P.2-9 大規模崩塌潛勢區活動性評估方法係利用光達微地形及前後期航空照片進行崩塌特徵判釋，製作正射影像、數值地表高程模型(DSM)進行航照判釋，因山區植被覆蓋，如何克服？	航空照片中植被覆蓋處的線型較不明顯，本計畫參考 LiDAR DEM 交叉比對、輔助判釋。
3. P.2-12 表 2-6，向陽地區崩塌使用航空照片為 69 年，並無近期航照影像，是否遺漏？	向陽崩塌區近期航空照片使用 104 年度，表 2-6 漏列，已補充。
4. P.3-3 桃源區-D346 崩塌地潛勢區簡易觀測站分布位置似乎過於集中，其原因為何？	桃源區-D346 為其他單位所建置，本計畫僅分析其成果，由報告推測，該地區植生茂密，適合 GPS 觀測之位置甚少，故選擇較為密集，也因此點位位於局部破壞區域，無法反應整體崩塌體。
5. P.6-8、9、10 六龜區-D015 下方由歷年航照可發現可能是一所學校由無至有，由有至無，能否增加歷史過程的敘述，或許可提供未來工程建設選擇的借鏡。(71.77.94.99 等年度)。	這是一個很典型的案例，山區許多建築及開發都在老蝕溝或野溪沖積扇上，因為該處地勢較為平坦且土壤較為肥沃。但等到下一次暴雨事件(重現期往往百年以上)，上游帶來的大量土砂或土石就會再次覆蓋在沖積扇上。
(五) 廖副局長一光	
1. 阿里山鄉-D187 潛勢區範圍涵蓋非常大，其穩定度或者說活動性是否可細分或有必要再細分不同區塊去評估？	感謝委員建議。本研究將 D187 分為二萬坪、中山村、第一分道三處探討其活動性。
2. 在潛勢區範圍內過去所做的調查與治理是否對其潛勢活動度造成影響？或有助於降低其活動性。	針對有一次式致災性滑動的大規模崩塌潛勢區，本計畫建議必須做細部調查與監測，掌握潛在滑動面位置，以及變形量、地下水與降雨、地震的關係，才能掌握未來可能發生的崩塌類型與行為，規劃穩定工程。針對局部崩塌處可先採減災工程手段避免範圍擴大，以上策略皆有助於降低(或掌握)活動性。
3. 假若潛勢區活動性經認定屬高或中者則其誘發因子及其標準如何？將來是否應依此據以作為防災、勸離或撤離之依據？	本計畫利用歷史崩塌災害與降雨量之關係做為六龜區-D015 管理基準值建議。但不同之大規模崩塌潛勢區之地表特性、地質條件、可能滑動機制等各不相同。考慮林務局管轄之國有林班地，海拔、地勢較高且範圍廣闊，道路交通可及性有限，作為警戒之即時監測項目應以降雨量較為可行。
(六) 王組長昭堡	
1. 感謝交大團隊對於本計畫的投入，資料非常豐富詳細。	感謝委員肯定。

委員意見	辦理情形
2. 有關執行計畫之內容及經費門之比例問題，建議再於工作會議作進一步之檢討確認。	遵照辦理。檢討確認後滾動式修正。
3. 阿里山鄉-D187 極為重要，建請提供相關減災治理建議，以利嘉義林管處逐年治理控制。	遵照辦理，由既有地質模式及監測資料的活動性評估結果與建議已補充於 3-2.4(五)小節。
4. P.4-6 及 4-7 之圖說並無前後比較圖，請補充。	已補充文字說明於圖 4-7、圖 4-8。
5. 如單頻 GPS 效果有限，TPC-InSAR 效果尚待評估，則短期間還有那些方法進行大面積監測？	針對活動性高且有一次式大規模崩塌的崩塌潛勢區，必須先進行調查才能決定監測方式。若為無立即性危險的崩塌潛勢區，建議可以使用 UAV 定期拍攝，並製作正射影像與 DSM 監視其變化，較為經濟可行。
(七) 李科長膺讚	
大規模崩塌潛勢區之動態監測，金額較高的地中變位監測系統可應用於確定屬於高危險度大規模崩塌潛勢區，惟針對高危險度次要者，另有其他相對較經濟可行的監測方式可選擇，例如空載光達、無人機光達、地面光達、單頻 GPS 測站、航照立體判釋測量、大地測量、In-SAR …等，建議可將其適用環境與限制條件(包含精度與單價費用)予以簡要臚列分析，以利各林管處於規劃選擇監測方式時的作業參考。	遵照辦理，已於 7-5 小結說明活動性評估方法與建議的監測方式。
(八) 水土保持局臺南分局	
1. P.4-25 部分文字有誤，凸顯”突顯”、或著”或者”。地電阻 ERT-3 看圖 4-30 位置，似乎位於高 133 線道路上，所以在描述上說明『由電阻值資料推測”可能是淘空或河道下切，侵蝕邊坡，造成上方空洞有關”』，是否正確？又該如何蒐集佐證？	謝謝委員，文字誤植處已修正。另關於地電阻 ERT-3 之初步討論，後續已作修正，如 P.4-26。
2. ERT-8 地電阻測線位為本崩塌區冠部，與水保局地電阻測線相交，所以冠部測線目前探測成果為崩積土及高角度裂隙，僅供參考。	感謝寶貴資訊。
3. 鑽孔 BH08，地表下 21~60m，是否為崩積層？抑或是河階堆積之沖積層？建議再確認。	經地質技師由岩塊與基質組成特性，確認為崩積層。
4. BB' 剖面邊坡穩定分析初步結果來看，目前常態、暴雨、地震時均未達到	邊坡穩定分析結果已更新於 5-2 小節。

委員意見	辦理情形
<p>最小安全係數規範要求，似乎顯示崩塌的高活動性，未來是否區分斜坡單元來歸納風險？</p>	
<p>5. 是否有施作現地透水試驗？</p>	<p>無。</p>
<p>6. 圖 5-7，看起來 BH05 水位在降雨時短時間抬升地下水位深度約-26 公尺處(虛線抬升)，在 2017/6/11 與 2017/6/21 之間，也就是 2017/6/16 左右區間雨量又上升，但地下水位卻下降，而後又逐漸抬升後地下水位又稍減緩，想瞭解後續降雨減少後地下水位常時降至多深處？又歷時多久？</p>	<p>BH5 位於蝕溝，地勢相對較低，因此降雨後地下水位下降較慢。水位變化歷時曲線已補充於 5-1.2 小節。</p>
<p>(九) 東勢林管處</p>	
<p>1. 5-4 節致災風險評估(P.5-19)內容尚未呈現具體成果，請再補充說明。5-5 節後續長期監測建議之內容尚未具體建議如何執行，可否補充說明需求設備、監測資料應用及管理分析等項目。</p>	<p>遵照辦理，已於 7-5 小節說明活動性評估方法與建議的監測方式。</p>
<p>2. 2-5 節大規模崩塌潛勢區監測 (P.2-25)，請再考量減災規劃及經費中之表 2-13 中之活動性及工程治理順序之合理性分析，減災工程與穩定工程建議之可行性及施工合理性。</p>	<p>遵照辦理，後續也將滾動式修正。</p>
<p>3. P.2-33 表 2-15 中和平區經費是否正確？</p>	<p>表 2-15 委辦經費為規劃使用，實際上支用以林務局最後核定為依據。</p>
<p>4. P.2-35 表 2-16 中 D344、D063、D395 減災工程之施工是否合理？</p>	<p>該處主要為表層岩屑崩滑，暫無一次式大規模崩塌潛能。建議減災工程標的「道路坡面保護、排水工程，減緩蝕溝沖蝕行為」。工法與經費僅為原則建議。</p>
<p>(十) 嘉義林管處</p>	
<p>1. 圖 3-41 阿里山鄉-D187 大規模崩塌潛勢區結果圖，建議標註火車站點位方便比對。</p>	<p>已標註火車站點位，p.3-39。</p>
<p>2. 圖 3-45OW2 誤植為 OW1 建議更正。</p>	<p>遵照辦理，已修正於 p.3-42。</p>
<p>(十一) 南投林管處</p>	
<p>1. 南投第 107 年度有提列減災工程的部分，請團隊再次幫忙確認，如有列入請於 106~109 年工程經費規畫表內呈現。</p>	<p>經查南投處於 107 年度提列之減災工程未納入執行計畫中，107 年度僅規劃委辦費用。</p>
<p>2. 請補充第 1 次期中報告審查會議簽到簿。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>(十二) 屏東林管處</p>	
<p>1. P.6-20，本計畫保守使用的累積雨量</p>	<p>不同大規模崩塌潛勢區之地表特性、地質</p>

委員意見	辦理情形
<p>1,200mm 作為大規模崩塌的管理基準值建議，是否僅為六龜區-D015 個案之管理基準值，亦或六龜區大規模崩塌區均可適用。</p>	<p>條件、可能滑動機制等各不相同，未來將進行案例研究，制定降雨警戒值並探討適用性。</p>
<p>2. P.2-35 表 2-16、106~109 年工程建議表，其中甲仙 D044 編列減災工程 1,200 萬元辦理護岸 400m 新建，但該工程為旗山溪主流，建議由主管機關水利署第七河川局施作，建議提供相關資料由本處擇期召開說明會。</p>	<p>遵照辦理，將配合貴處提供相關資料。</p>
<p>決議事項</p>	
<p>1. 本案請國立交通大學參考各委員意見及承諾事項修正，並持續執行相關工作。</p>	<p>遵照辦理。</p>
<p>2. 本案第 2 次期中報告經討論原則通過，同意依契約第 5 條規定撥付第 4 期款(契約總額 20%)。</p>	<p>敬悉。</p>

行政院農業委員會林務局

「國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測」

第 2 次期中報告審查會議簽到單

壹、開會時間：106 年 8 月 10 日（星期四）下午 2 時

貳、開會地點：本局 5 樓會議室

參、主持人：廖副局長一光



肆、出席委員：

記錄：林貴崑

審 查 委 員	簽 名 處
林委員美聆	請假
蘇委員苗彬	蘇苗彬
費委員立沅	費立沅
傅委員桂霖	傅桂霖
陳委員連晃	陳連晃

伍、出(列)席單位及人員：

單位/人員	簽名處	
單位(機關)	職稱	姓名
水土保持局		請假
水土保持局臺南分局		蒯文賢 蔣季翰
羅東林區管理處	技正	黃至用
新竹林區管理處	技正	吳雲瑞
東勢林區管理處	技正	賴原崇
南投林區管理處	技士	洪恩維
嘉義林區管理處	技士	陳立直
屏東林區管理處	技正	林彥志
臺東林區管理處	技佐	蘇志良
花蓮林區管理處	技正	蔡麗端
集水區治理組		王昭信 林貴崑
國立交通大學		潘以文 楊哲銘 王慧蓉

陸、散會：下午 4 時 15 分

會議名稱: 期末報告審查會議

會議時間: 106 年 12 月 13 日(星期三)上午 11 時

會議地點: 寶來遊客中心

主持人: 廖副局長一光

紀錄人員: 林技士貴崑

委員意見	辦理情形
(一) 林委員美聆	
1. 本項工作範圍廣，工作項目多，目前大約均已完成，實為不易。	感謝委員肯定。
2. 前期在潛勢發生度採證據權重法，本期以活動度評估，二者所得之差異及原因宜加以說明。	前期的發生度評分因數量多，且屬於篩選階段，因此採用比例尺較小的地形、地質等資料，以證據權重法進行分析。然因國內發生一次、致災性的大規模崩塌案例不多，若直接採用前述結果進行大規模崩塌防、減災執行，恐不夠精細。因此本工作利用光達微地形及前後期航空照片進行崩塌特徵判釋，以前後期崩塌地形等特徵的變化程度歸納準則，並據以評估其活動性等級。
3. 目前將大規模崩塌機制分為順向及老崩積層，複合型三類，並未包含岩層內滑動，建議參考其它文獻並有一致性之說明，亦較符合實際狀況。	感謝委員建議，岩層內滑動(如深層重力變形引致滑動)確為大規模崩塌機制之一，但由目前 33 處案例及活動性簡易評估方法較難歸納活動性。將於明年度計畫將此破壞機制納入探討。
4. 目前活動性評分之依據，宜說明係依現地調查或航照判釋，所取兩期航照部份時序間距達 30 年，對於活動性之發生時間及近期之活動性無法判定。	大規模崩塌通常發生於暴雨或地震等極端事件後，因此本計畫希望藉由目前所能蒐集的長期觀測資料(間隔 30 年以上航照)，盡可能包含極端事件以判斷活動性。
5. 表 2-10 及 2-11 活動性判定，保全等，係用分數或分級宜有一致性若利用風險矩陣，則危險度仍以分級為宜。	感謝委員建議，為保持一致性，本計畫參考林務局(104)危險等級評分，如表 2-5。
6. 簡易觀測站目前多有設站位置不佳，所得資料對於大規模崩塌行為代表性不佳者，建議加以說明及判別，並提供後續處理之建議。	感謝委員建議，已於 3-2 節將各簡易監測站監測結果加以說明及判別，並提供建議。
7. GPS 量測為地表變動，可能受到沖蝕，淺層崩塌等之影響，所得資料與大規模崩塌之關係，建議加以說明。	GPS 如果安裝位置受到局部地形影響，就要重新檢討其位移量是否能代表大規模崩塌變形行為。已於 7-2 節補充說明。
8. D015 部份測傾管底部尚未達到不動點，所得資料代表性有限，宜加以說明。	目前 D015 測傾管變位量在±2 mm 之間擺盪，於誤差範圍內。後續會持續檢討。
9. D015 之蝕溝發育及向源侵蝕現象明	感謝委員建議，已補充於 4.5-2 節。

委員意見	辦理情形
顯，與大規模崩塌之關聯可再加討論。	
10. 折射等量測佈線，目前多沿蝕溝佈設，其代表性宜加以說明。	地球物理探測位置大多選在坡面上既有步道，如圖 4-29(p.4-22)。
11. 目前施作之孔內攝影，建議將所得層面及弱面加以判別，並判定其位態。	選擇較為完整岩心段進行孔內造影，發現層面傾角隨深度變化，有觀察到深層重力變形跡象。
12. 目前大規模崩塌，地調所圈繪為最大可能範圍，建議將範圍內之主要崩塌詳加編修，並作為後續監測，管理及分析之標的 (main scarp)。	感謝委員建議，本計畫以六龜區-D015 為例，建議地質模型後進行邊坡穩定分析，檢討可能破壞範圍，並提出致災風險評估、後續長期監測建議。詳見第五章。
13. 大規模崩塌主崩塌之範圍內，多包含到淺崩塌及蝕溝等，為常見之情形，故各項量測及分析所得，宜釐清究竟為主崩塌或其他項之破壞等。	感謝委員建議，已於 3-2 節將各簡易監測站監測結果依照 LiDAR DEM 加以說明及判別，釐清變位量為局部或整體變形。
14. 目前所完成之穩定分析，所得滑動深度及位置等，建議與測傾資料及 LiDAR 地表地形等加以比對。	目前穩定分析採用 LiDAR DEM 資料，本年度 D015 測傾管變位量不明顯(在±2 mm 之間擺盪，於誤差範圍內)。後續會進行檢討、比對。
15. 本計畫之最終目標為減災策略及管理，故建議在擬定策略之管理基準，宜考量其可操作性。	感謝委員建議，考慮可操作性，本計畫建議可先採用降雨量做為管理基準值。
16. InSAR 部份，因所採 Sentinel 為 C band，對於地表面植生之穿透性不佳，宜採 L band 較為適用。	本團隊於科技部計畫採用 L band 對南庄鄉鹿場部落進行測試，該處植生狀況與六龜區-D015 類似。但是一樣無法得到良好的結果。
(二) 蘇委員苗彬	
1. 本案綜合討論與評估國有林目前較重大的大規模崩塌區，工作量極大，建議局方要有較長期的委託案來執行，才能確實掌握現地狀況。	感謝委員建議。
2. 個案中有奧萬大 4.4k 此為南投林管處目前正整治的部分，已不是潛勢區，所列個案應儘量將已發生及潛勢區有所區別，並非每個個案均需處理。建議用處理方案來取代理理工程。	本計畫執行範圍為 24 處大規模崩塌潛勢區，以及各林管處依據治理經驗及長期觀察研判納入之 9 處大規模已崩塌區(含奧萬大聯外道 4.4K)。已補充說明於表 2-2(p.2-6)。
3. 106~109 的工程費建議中有許多潛壩，固床工等對解決砂床內大量土石堆積河道可能不太適合，林班地內似有許多地區大量堆積，仍應先整理河道。	感謝委員建議。已於表 2-13(p.2-27)補充蝕溝控制及河道整理建議。
4. 桃源區-D346 有較長期觀測，可以好好作探討，如有損毀必要的可以考慮增加及調整，逐步以防災應變預警的功	綜合 102 年 6 月至 106 年 11 月觀測結果，桃源區-D346 的 GPS 量測結果顯示在降雨事件後有向下位移的趨勢，方向與區域坡

委員意見	辦理情形
能為主。	向一致，與整體坡向不太一致，推測可能為局部地形效應影響，此區域量測到的位移變化趨勢與雨量有相當大的相關性，但可能不足以代表整體滑動體的行為。詳細評估結果已補充於 3-2.2 節。
5. 阿里山鄉-D187 過去也有很多的調查，可以好好做檢討有關阿里山鐵路，應有專案辦理，目前看來現有監測不太能明確定義問題規模與範圍大小。	以目前品質不佳的監測結果僅能初步判斷 D187 的西區(二萬坪蝕溝以西)與第一分道的淺層崩塌活動性高，亦存在深層順向滑動的潛能。二萬坪沖蝕溝以東則無監測資料可加評述。為評估 D187 的穩定性、活動性、及綜合治理，本報告建議應先依 LiDAR 地形進行子崩塌區判釋及活動性分析、地表地質調查、參考既有調查及監測結果，再依子崩塌進行有系統的調查及高品質的監測，以掌握邊潛在滑動面、滑動行為，及地下水的流向及變化等。詳細檢討結果已補充於 3-2.4 節。
6. P.3-73 的精巧型傾斜儀變動很大，可達一度的變化，可能要檢討。	精巧型傾斜儀裝置於地表，可能受局部變化影響，無法代表整體邊坡變形。
7. P.5-7 水位變化與時雨量顯示地區水位口上升快退水緩慢，應特別注意。	BH05 位於蝕溝，水位變化受降雨影響很大。BH05 自計式水位計封堵於風化硬頁岩較破碎處，6 月份與 7 月份兩場大雨後風化岩層內水壓分別上升 17m、10m，兩個月後水壓仍未消散至原水壓。顯示該區風化岩層側向水力傳導性佳。
(三) 費委員立沅	
1. 岩層順向滑動，考慮順向之條件可能係由不同類型之不連續面造成，建議改為「岩體順向滑動」。	感謝委員建議，已將此項修改為「順向滑動」，考慮順向之條件可能係由不同類型之不連續面造成。
2. 活動性(hazard)之重新評估，請考慮： (1) 前期是分析現況，本期是分析近期之變化；(2) 目前可用於判定變化之影像期距約 30 年，大規模崩塌可能以百年為單位；(3) 目前探討的是一次發生之災害，前期考慮的是長期(可能累積多次後)才發生的一次劇變；(4) 大範圍如能分為子分區，可能較符合實際狀況；(5) 前期較適合初步大範圍之分析，目前方法則針對重點區域，進行之進一步分析，且需現場調查之地質條件，水文資料調查。(6) 歷史資料蒐集及居民訪談可能對分析很重要。	本期分析近年的活動性變化，藉由間隔 30~40 年以上的航空照片，盡可能包含重大降雨或地震事件之影響。本研究試圖建立方法，大規模崩塌雖然可能以百年發生頻率為單位，但航空照片已是目前所能找到相隔最久的影像資料。 前期針對 LiDAR 微地形資料圈繪大規模崩塌潛勢區後，再用證據權重法評估發生度。本計畫則是用地貌特徵變化評估活動性，若有深層滑動的可能，於調查地質水文條件、佈設地工監測儀器後，可依地中變化進行更細的子分區。本計畫以六龜區-D015 為例，已記錄歷史災害及與居民訪

委員意見	辦理情形
	談。
3. 單頻 GPS 之設置，設置將透空度不易符合規範、設置地點之選擇宜有方法進行評估篩選；數據之呈現，目前較缺長期結果，分析時可探討長期變化趨勢及短期事件影響；分析時考慮水平合力及垂直向結果。	本計畫建議若經活動性簡易評估及現地勘查後，對邊坡崩塌形式及行為充分了解，GPS 等地表位移量可做為長期監測項目之一。但若未經進一步的地質、工址調查，少量的簡易監測量測結果恐不適合進行大規模崩塌潛勢區的活動性評估。
4. 影響範圍之考量，宜分為是一次變動結果，還是考慮崩塌率（水保局今年計畫考量崩塌 25%、50%、75%、100%之情況）。	若可能深層滑動且有重要保全對象的大規模崩塌潛勢區，建議應先進行詳細的地質調查、建立地質模型後，進行細部監測。再進行邊坡穩定分析、評估影響範圍。
5. 儀器點交出現之問題，建議未來於招標文件中清楚條列。	遵照辦理，將建議各林管處注意。
6. 六龜區-D015，建議：(1)依地質資料，全區岩層似應全屬倒轉情形；(2)是否有 LiDAR DEM 判釋之線型？(3)現場量測之劈理及節理應表現於圖 4-28；鑽井岩芯量測之層面及劈理面傾角宜表現於圖 4-40~4-43 地質剖面圖；(4)崩積層材料之粒徑、圓度、結構、膠結度不同，表示材料之機制、土工特性、水文特性都不相同；(5)表 4-1 分層特性，請補充各層厚度、膠結、地下水特性；是否補充剪裂泥之相關資料；(6)請將結果 P.3-11 附圖之分區做比較。	(1)由中央地質調查所高屏河流域地質圖顯示全區岩層應為倒轉，荖濃溪河道左岸露頭顯示層面倒轉，坡面上岩層較為風化，無法確認。(2)圖 4-8(p.4-6)蝕溝與崩崖為 LiDAR 判釋之線型。(3)現場量測的劈理及節理已補充於圖 4-8(p.4-6)。(4)崩積層材料的材料性質不同的確反映不同的土工與水文特性，本團隊有嘗試將其分類分層，試圖解釋衍育過程。(5)已補充於 4-2.2 節。(6)由目前 GPS 位移及土工監測結果，D015 尚無明顯變位，未來將持續關注地中變位並與前期子崩塌體分區做比較。
7. 大規模崩塌區調查地下水文地質，目前之觀測方法及數據解釋。	本計畫於 BH04、BH05、BH06、BH08 四處理設水位井，觀測結果顯示水位變化受降雨影響很大。BH05 自計式水位計封堵於風化硬頁岩較破碎處，比較自計式水位計與非自計式水位計的水位變化以及鑽探地質記錄，可知風化岩層內水壓並非完全連通。6 月份與 7 月份兩場大雨後風化岩層內水壓分別上升 17m、10m，兩個月後水壓仍未消散至原水壓。顯示該區風化岩層側向水力傳導性佳。本區的地下水位/水壓分布與地勢密切相關，若為既有蝕溝或逕流易匯集處，地下水位、水壓變化就會較大，且消散較慢。詳細觀測方法與數據解釋已補充於 5-1.2 節。
(四) 陳委員連晃	
1. 有關六龜區-D015 簡易監測站 G1~G6	(1) 六龜區-D015 目前使用單頻 GPS，固

委員意見	辦理情形
<p>GPS 觀測相關問題：</p> <p>(1)G01 天線盤故障期間，有無附近的 GPS 固定站資料（如國土測繪中心、氣象局、地調所、中研院）可取得作為主站計算運用？報告書 P.3-6 提到缺主站資料無法進行解算。</p> <p>(2)表 3-1 中 G3 備註故障排除中，表 3-2 中 G3 為何有解算結果？</p> <p>(3)報告書表 3-2 計算 9 月份結果，後續會解算 10 月份資料報告書應補充更新。</p> <p>(4)表 3-2 差值 E.N.H 請補充註明單位為 mm 站名應統一 G1…G01。</p>	<p>定站與簡易監測站之間的距離需小於 2 km，方能忽略電離層的影響。</p> <p>(2)表 3-1 為 106.10.25 交接時的狀況，後來 G3 已經修復。</p> <p>(3)10 月、11 月解算結果已更新於 3-1 節。</p> <p>(4)感謝委員提醒，已修正於表 3-2(p.3-6)。</p>
<p>2. P.3-27 最後一行坡腹漸緩區，有漏字，請修正。</p>	<p>已修正於 p.3-28。</p>
<p>3. 本案委託工作項目有關國有林簡易觀測站之維護及活動性評估與屏東處委託進行 D015、D346 之復原工作，建議補充工作內容及分析結果。</p>	<p>屏東處委託進行 D015、D346 之簡易觀測站復原內容如表 3-1 所示。</p>
<p>4. P.2-13 農林航測所建議更正為農航所。</p>	<p>遵照辦理，已修正於圖 2-4(p.2-13)。</p>
<p>5. P.2-21 台東處-向陽前期發生度等級請補正。</p>	<p>向陽崩塌地前期並無發生度評分。</p>
(五) 廖副局長一光	
<p>1. P.2-9 危險度、災害發生度及重要保全對象，相同公式在簡報資料有不同名詞，請予修正</p>	<p>遵照辦理，已修正簡報資料。本活動性等級可類比於前期發生度等級，即發生機率，詳細說明補充於 2-4.1 節。</p>
<p>2. 阿里山鄉-D187 已經團隊調查，獲得初步成果，請提供在未來長期性的監測及治理之建議。</p>	<p>D187 較大規模的沿老崩積層及岩盤界面的非圓弧型滑動及沿層面的順向平面滑動發生的可能性無法加以排除，建議應加以釐清，並提出長期的管、治理對策。為評估 D187 的穩定性、活動性、及綜合治理，本報告建議應先依 LiDAR 地形進行子崩塌區判釋及活動性分析、地表地質調查、參考既有調查及監測結果，再依子崩塌進行有系統的調查及高品質的監測，以掌握邊潛在滑動面、滑動行為，及地下水的流向及變化等。詳細說明補充於 3-2.4(五)小節。</p>
<p>3. P.2-5 頁相關表格請加序號。表 2-13 請依治理優先順序給予排序建議。</p>	<p>感謝委員建議，工程治理順序參考本年度活動性及前期脆弱度評分結果初步評估的危險度，並依照林務局評定集水區治理急迫性等級的 4 個分級「優先、關注、重點、一般」進行排序(補充於表 2-13 最後</p>


委員意見	辦理情形
	一欄)。
(六) 高專門委員宗賢	
1. 請協助比較本團隊研究成果與水保局之相關處理策略、管理值。	感謝委員建議，目前水保局針對大規模崩塌潛勢區尚無明定管理值。本計畫認為再尚未進行完善調查前，利用位移、水位等監測結果制訂監測管理值有其難度及風險，初步建議可先以降雨量制訂管理值。
2. 執行計畫書分期預算工程項目，請洽本局承辦修正，並納入報告書。	遵照辦理，已修正於 2-5 節及附錄二(另冊)。
3. 六龜區-D015 監測方面，請會同本局洽成大團隊取得相關數據，或做相關調整。	遵照辦理，本年度 9~11 月監測資料已向成大團隊取得，並由交大解算，補充於 3-1 節。
(七) 屏東林管處	
1. P.2-16 活動性評估數量有誤，請修正。	已修正於 2-4.3 節。與 24 處前期發生度相比，8 處不變、2 處高變中、4 處中變高、8 處低變中、2 處低變高。
2. P.3-18 桃源區 D346 各年度的觀測，解算結果請依年度表列說明。	遵照辦理，已將前期計畫 102 年 6 月至 104 年 10 月，以及本計畫 106 年 8-11 月的觀測結果及位移趨勢補充於 3-2.2 節。
3. P.3-19 表格中說明地表伸張度太短，是否建議改善伸張計的長度？	伸張計需足夠長，以確保二固定點分別位於穩定區及滑動區，需視場址而定。然而在尚未出現明顯滑動行為的崩塌潛勢區，伸張計較難應用。
4. P.6-44 六龜區-D015 紅水仙溪已做崩塌地整治工程，淤砂已清，庫容深度約達 2 公尺，第 2 期工程也將施作，未來本計畫若有延續，是否協助後續觀察。	遵照辦理。
(八) 東勢林管處	
1. 建議增加摘要內容(含中、英文版)提供本局決策需求。	遵照辦理，已完成中英文摘要。
2. 表 2-10、表 2-11 及表 2-13 中東勢處活動性評估為何？中？處、低？處、台中市-和平區-D344 活動性評估結果不同，請再查證確認。	感謝委員指正，東勢處高 0 處、中 4 處、低 3 處。D344 活動性為中，已修正於表 2-10、表 2-11、表 2-13。
3. 表 2-10、表 2-1 中台中市-和平區-D344 其前期發生度等級評為低，但主控活動性評估為中(6)請再補充說原因為何？是否為危險區域？是否有擴大趨勢？是否需有監測作及對策？	D344 陡坡蝕溝的岩盤裸露顯示本區持續有岩屑崩落，但目前沒有一次式大規模崩塌活動的跡象。須持續注意蝕溝沖刷行為可能造成岩屑滑落及引致的道路中斷。建議可採用 UAV 觀察、監視坡面變化狀況。
4. P.3-85 中 3-2.5 活動性評估小結：第 5 點之排版要對齊。	遵照辦理，已修正 3-2.5 節排版。

委員意見	辦理情形
(九) 嘉義林管處	
1. 感謝交大團隊提供阿里山溪上游側向侵蝕對第一分道的影響並建議水位與傾斜觀測管安裝的改進方向做為本處相關課室治理參考。	感謝委員肯定。
2. GPS 與伸張計可做為長期監測項目之一，是否可提供設置位置相關建議 (P.3-85)	本計畫建議經過詳細地質調查，對邊坡崩塌形式及行為充分了解之後，GPS 等地表位移量才可做為長期監測項目之一。但若未經進一步的地質、工址調查，少量的簡易監測量測結果恐不適合做為大規模崩塌潛勢區的活動性評估。
(十) 南投林管處	
1. 6-3 減災策略研擬，提到早期預警系統監測門檻值訂定，以降雨量為管理基準值，是否含括其他影響因素，並提出之涉及安全容許及警戒疏散之量化判定方式。	由崩積層露頭或鑽孔岩心分類，可推估潛勢區以往的崩滑種類，因其成因不一，崩積層甚不均質，物理性質、力學性質、地下水分佈等的空間變化甚大，甚難掌握。因此利用位移、水位等監測結果制訂監測管理值有其難度及風險，可先以降雨量制訂管理值。岩層內的滑動則須在了解滑動面位置、行為經長期監測後再以監測值及理論分析制訂以剖面為基準的水壓、變位管理值。
2. P.6-44 建議在第 4 點提到大於 600mm 或 1,200mm 有局部及表層崩塌之詳細地點。	感謝委員建議，已將歷史災害位置補充於圖 6-27。
3. P.8-3 建議第 2 點提出雨量超過 60mm 及 1,900mm 即有局部及表層崩塌似有前述不同，請研析補正。	歷史災害顯示六龜區-D015 超過 1,900mm 就有發生一次式較大規模崩塌之可能。建議保守採用 1,200mm 作為管理基準值。
(十一) 台東林管處	
建議表 2-16 之工程項目及工程內容宜視實際崩塌情況再予調整、檢視及修正。	遵照辦理，已跟承辦索取最新資料，更新表 2-14、表 2-15、表 2-16。
決議事項	
1. 本案請國立交通大學參考各委員意見及承諾事項修正，依期程提送成果報告。	遵照辦理。
2. 本案期末報告經討論原則通過，同意依契約第 5 條規定撥付第 5 期款(契約總額 10%)。	敬悉。

行政院農業委員會林務局
 「國有林大規模崩塌潛勢區減災策略研擬及安全監測」
 期末報告審查會議簽到單

壹、開會時間：106年12月13日（星期二）上午11時

貳、開會地點：茂林國家風景區管理處-寶來遊客中心

參、主持人：廖副局長一光 

肆、出席委員：

記錄：林貴崑

審 查 委 員	簽 名 處
林委員美聆	林美聆
蘇委員苗彬	蘇苗彬
費委員立沅	費立沅
傅委員桂霖	請假
王委員昭堡	王昭堡
陳委員連晃	陳連晃

伍、出(列)席單位及人員：

單位/人員	簽名處	
單位(機關)	職稱	姓名
羅東林區管理處	-	請假
新竹林區管理處	課長	林宜羣
東勢林區管理處	技正	賴厚崇
南投林區管理處	技士	張坤
嘉義林區管理處	技士	陳正直
屏東林區管理處	副處長 評會	許志如 林弘基 謝新農 曾登慧 胡筱雅 林萬傳
臺東林區管理處	技正	張蘇能
花蓮林區管理處	技正	潘家玉
行政院農業委員會 水土保持局		請假
行政院農業委員會 水土保持局臺南分局		請假
集水區治理組		高宗賢

<p>國立交通大學</p>	<p>楊哲銘 黃明高 簡翊文 王慧蓉 蘇耿豪 鄭又珍</p>
<p>寶來遊客中心工作人員</p>	<p>陳中翔 林信良 陳秋蘭 章雅堯 張碩仁</p>

陸、六龜區-D015 履勘 (13:30-16:00)

柒、散會：下午 17 時 50 分 (高鐵左營站)