

目錄

摘要	1
Abstract.....	2
摘要報告	4
壹、前言	27
1-1、計畫目的	27
1-2、工作範圍	27
1-3、工作項目及內容	28
貳、工作計畫及方法	31
2-1、工作方法及流程	31
2-2、基礎資料與案例蒐集分析	32
2-2.1、基礎資料蒐集.....	32
2-2.2、歷史深層崩塌案例分析.....	32
2-3、深層崩塌調查、判釋方法檢討及評估	33
2-4、深層崩塌潛勢區位判釋、現地調查與分析	35
2-4.1、深層崩塌潛勢區位圖資判釋.....	35
2-4.2、現地查核.....	42
2-4.3、深層崩塌目錄建置.....	44
2-5、深層崩塌潛勢區危險等級評估	46
2-5.1、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法一.....	46
2-5.2、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法二.....	48
2-5.3、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法三.....	56
2-6、深層崩塌與天然壩形成之情境模擬	58
2-6.1、深層崩塌發生條件評估.....	58
2-6.2、深層崩塌與天然壩形成模擬之情境設定.....	59
2-6.3、深層崩塌運動與天然壩形成之模擬模式分析.....	60
2-6.4、模式理論與模擬參數說明.....	61
2-7、研擬處理對策	66
2-8、深層崩塌潛感分析模式評估	68
2-9、檢討本計畫成果與莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告之差異性	74
2-10、監測規劃及試辦	74
2-10.1、觀測點位評估與選定.....	75
2-11、深層崩塌調查作業手冊	76
2-12、成果圖資製作	77
2-13、教育訓練與技術移轉	80
參、計畫成果	81
3-1、流域基本資料	81
3-1.1、流域概述.....	81
3-1.2、地形.....	87

3-1.3、地質.....	91
3-1.4、雨量.....	97
3-2、基礎資料與案例蒐集分析.....	108
3-2.1、基礎資料蒐集.....	108
3-2.2、歷史崩塌案例蒐集分析.....	118
3-2.3、歷史崩塌案例分析與結論.....	158
3-4、深層崩塌潛勢區位判釋、現地調查與分析.....	162
3-4.1、深層崩塌潛勢區位圖資判釋.....	162
3-4.2、深層崩塌區位現場調查結果.....	174
3-5、深層崩塌潛勢區危險等級評估.....	277
3-5.1、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法一.....	277
3-5.2、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法二.....	281
3-5.3、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法三.....	285
3-5.4、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法比較.....	288
3-6、深層崩塌與天然壩形成之情境模擬.....	290
3-6.1、深層崩塌發生條件評估.....	291
3-6.2、模式理論與模擬參數說明.....	316
3-6.3、深層崩塌案例運動與天然壩形成模擬.....	317
3-6.4、天然壩形成結果比較.....	373
3-6.5、堰塞湖蓄水規模.....	374
3-7、研擬處理對策.....	379
3-8、檢討本計畫成果與莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告之差異性.....	382
3-9、深層崩塌潛感分析模式評估.....	384
3-9.1、深層崩塌潛勢評估.....	384
3-9.2、深層崩塌潛勢分析結果.....	390
3-10、監測規劃及試辦.....	396
3-10.1、觀測點位評估與選定.....	396
3-10.2、觀測點位試辦監測方法.....	402
3-10.3、監測儀器架設.....	403
3-10.4、監測數據成果說明.....	405
3-11、成果圖資製作.....	410
3-12、教育訓練與技術移轉.....	413
肆、結論與後續建議.....	414
4-1、結論.....	414
4-2、後續建議.....	416
參考文獻.....	417
附錄一、審查意見回覆說明.....	附-1
期初審查意見回覆.....	附-2
監測選點工作會議意見回覆.....	附-6
第一次期中審查意見回覆.....	附-7

第二次期中審查意見回覆.....	附-12
現勘委員審查意見回覆.....	附-16
期末審查意見回覆.....	附-17
附錄二、深層崩塌現場調查表	附-23
附錄三、類型 C 具滑動地形特徵之潛在深層崩塌之較高危險等級一欄表.....	附-30
附錄四、監測儀器施工前後照片	附-44
附錄五、監測資料處理說明	附-47
附錄六、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 空拍情形.....	附-52
附錄七、崩塌地編號嘉義縣-大埔鄉-D037 現地查核結果.....	附-56
附錄八、教育訓練活動照片與手冊	附-66

圖目錄

圖 1-1.1、計畫工作範圍。.....	28
圖 2-1.1、工作執行流程圖。.....	31
圖 2-4.1、本計畫各類型之深層崩塌潛勢區位判釋流程圖。.....	36
圖 2-4.2、近期發生之深層崩塌（類型 A）裸露與地形特徵。.....	36
圖 2-4.3、早期發生之疑似深層崩塌（類型 B）特徵判釋圖。.....	37
圖 2-4.4、深層崩塌微地形特徵特徵示意圖(修改自 Varnes, 1978)。.....	38
圖 2-4.5、順向坡之平面型破壞示意圖與案例影像。.....	39
圖 2-4.6、草嶺順向坡平面型破壞照片(地工技術, 第 81 期, 2000)。.....	39
圖 2-4.7、國道三號順向坡平面型破壞照片(網路照片)。.....	40
圖 2-4.8、岩體弱面控制之楔型破壞示意圖。.....	41
圖 2-4.9、深層崩塌編號原則示意圖。.....	44
圖 2-5.1、深層崩塌潛勢區發生度評估流程.....	48
圖 2-6.1、深層崩塌與天然壩形成模擬之情境設定關係圖。.....	59
圖 2-6.2、崩塌土體模擬座標系統圖。.....	61
圖 2-6.3、天然壩形成解析計算流程圖。.....	64
圖 2-6.4、深層崩塌與天然壩形成之模擬成果 (本團隊分析成果)。.....	65
圖 2-7.1、深層崩塌處置對策研擬流程。.....	67
圖 2-8.1、深層崩塌活動性與發生潛勢評估流程圖。.....	69
圖 2-8.2、崩塌與因子關係圖, B 為因子, D 為崩塌(Lee and Choi, 2004)。.....	70
圖 2-8.3、成功率曲線示意圖(Dahal et al, 2007)。.....	72
圖 2-8.4、山崩潛感圖工作流程圖。.....	73
圖 2-12.1、出圖版面設計示意圖。.....	79
圖 3-1.1、荖濃溪集水區概況。.....	83
圖 3-1.2、旗山溪集水區概況。.....	84
圖 3-1.3、隘寮溪集水區概況。.....	85
圖 3-1.4、曾文溪流域概況。.....	86
圖 3-1.5、荖濃溪集水區高程分布。.....	88
圖 3-1.6、荖濃溪集水區坡度分布。.....	88
圖 3-1.7、荖濃溪集水區坡向分布。.....	88
圖 3-1.8、旗山溪集水區高程分布圖。.....	88
圖 3-1.9、旗山溪集水區坡度分布圖。.....	89
圖 3-1.10、旗山溪集水區坡向分布圖。.....	89
圖 3-1.11、隘寮溪集水區高程分布圖。.....	89
圖 3-1.12、隘寮溪集水區坡度分布圖。.....	89
圖 3-1.13、隘寮溪集水區坡向分布圖。.....	90
圖 3-1.14、曾文溪流域高程分布圖。.....	90
圖 3-1.15、曾文溪流域坡度分布圖。.....	90
圖 3-1.16、曾文溪流域坡向分布圖。.....	90

圖 3-1.17、荖濃溪集水區流域地質圖(高屏溪流域地質圖，2009、甲仙地質圖，2000)。	93
圖 3-1.18、旗山溪集水區流域地質圖(高屏溪流域地質圖，2009、甲仙地質圖，2000)。	94
圖 3-1.19、隘寮溪集水區流域地質圖(高屏溪流域地質圖，2009)。	95
圖 3-1.20、曾文溪流域地質圖(修改自甲仙地質圖，2000、嘉義地質圖，2008、中埔地質圖，2009、新化地質圖，2005、五十萬分之一臺灣區域地質圖，2000)。	96
圖 3-1.21、2001 年桃芝颱風等雨量線圖。	102
圖 3-1.22、2004 年敏督利颱風等雨量線圖。	102
圖 3-1.23、2005 年海棠颱風等雨量線圖。	103
圖 3-1.24、2005 年馬莎颱風等雨量線圖。	103
圖 3-1.25、2005 年泰利颱風等雨量線圖。	103
圖 3-1.26、2006 年 0609 豪雨等雨量線圖。	103
圖 3-1.27、2007 年柯羅莎颱風等雨量線圖。	104
圖 3-1.28、2008 年卡玫基颱風等雨量線圖。	104
圖 3-1.29、2008 年鳳凰颱風等雨量線圖。	104
圖 3-1.30、2008 年辛樂克颱風等雨量線圖。	104
圖 3-1.31、2008 年薔蜜颱風等雨量線圖。	105
圖 3-1.32、2009 年莫拉克颱風等雨量線圖。	105
圖 3-1.33、2010 年凡那比颱風等雨量線圖。	105
圖 3-1.34、2011 年南瑪都颱風等雨量線圖。	105
圖 3-1.35、2012 年泰利颱風等雨量線圖。	106
圖 3-1.36、2012 年蘇拉颱風等雨量線圖。	106
圖 3-1.37、2012 年天秤颱風等雨量線圖。	106
圖 3-1.38、2013 年蘇力颱風等雨量線圖。	106
圖 3-1.39、2013 年潭美颱風等雨量線圖。	107
圖 3-1.40、2013 年康芮颱風等雨量線圖。	107
圖 3-1.41、2013 年天兔颱風等雨量線圖。	107
圖 3-2.1、荖濃溪集水區門牌系統、水系與道路圖。	109
圖 3-2.2、旗山溪集水區門牌系統、水系與道路圖。	109
圖 3-2.3、隘寮溪集水區門牌系統、水系與道路圖。	109
圖 3-2.4、曾文溪流流域門牌系統、水系與道路圖。	109
圖 3-2.5、荖濃溪集水區桃源山崩潛勢圖(地調所，2010)。	110
圖 3-2.6、旗山溪集水區民族山崩潛勢圖(地調所，2010)。	110
圖 3-2.7、隘寮溪集水區三地門山崩潛勢圖(地調所，2010)。	110
圖 3-2.8、曾文溪流流域特富野山崩潛勢圖(地調所，2010)。	110
圖 3-2.9、2005 年 0612 豪雨後影像及判釋之裸露地	112
圖 3-2.10、2005 年泰利颱風後影像及判釋之裸露地	112
圖 3-2.11、2006 年凱米颱風後影像及判釋之裸露地	112
圖 3-2.12、2007 年柯羅莎颱風後影像及判釋之裸露地	112
圖 3-2.13、2007 年米塔颱風後影像及判釋之裸露地	113
圖 3-2.14、2008 年卡玫基颱風後影像及判釋之裸露地	113

圖 3-2.15、2008 年辛樂克颱風後影像及判釋之裸露地	113
圖 3-2.16、2009 年汛期前影像及判釋之裸露地	113
圖 3-2.17、2009 年莫拉克颱風後影像及判釋之裸露地	114
圖 3-2.18、2010 年 0725 豪雨後影像及判釋之裸露地	114
圖 3-2.19、2010 年凡那比颱風後影像及判釋之裸露地	114
圖 3-2.20、2010 年梅姬颱風後影像及判釋之裸露地	114
圖 3-2.21、2011 年汛期前影像及判釋之裸露地	115
圖 3-2.22、2011 年 0719 豪雨後影像及判釋之裸露地	115
圖 3-2.23、2011 年南瑪都颱風後影像及判釋之裸露地	115
圖 3-2.24、2011 年 1001 豪雨後影像及判釋之裸露地	115
圖 3-2.25、2012 年汛期前影像及判釋之裸露地	116
圖 3-2.26、2012 年泰利颱風後影像及判釋之裸露地	116
圖 3-2.27、2012 年蘇拉、天秤颱風後影像及判釋之裸露地	116
圖 3-2.28、2013 年蘇力後影像	116
圖 3-2.29、2013 年康芮颱風後影像	117
圖 3-2.30、深層崩塌歷史案例分布圖。	121
圖 3-2.31、竹林崩塌地表地質圖。	123
圖 3-2.32、竹林崩塌特徵分布圖。	123
圖 3-2.33、竹林崩塌福衛二號衛星影像。	124
圖 3-2.34、水冬瓜崩塌地表地質。	126
圖 3-2.35、水冬瓜崩塌特徵分布圖。	126
圖 3-2.36、水冬瓜崩塌福衛二號衛星影像。	127
圖 3-2.37、獅山崩塌地表地質。	129
圖 3-2.38、獅山崩塌特徵分布圖。	129
圖 3-2.39、獅山崩塌福衛二號衛星影像。	130
圖 3-2.40、天池遊憩區崩塌位置圖。	132
圖 3-2.41、天池遊憩區崩塌地表地質。	133
圖 3-2.42、南橫公路梅山至啞口沿線工程地質圖(節錄自賴典章等，1989)。	133
圖 3-2.43、天池地質敏感區分布圖。	134
圖 3-2.44、天池 GPS 連續觀測資料 (張國禎教授提供)。	135
圖 3-2.45、荖濃溪崩塌地表地質圖。	137
圖 3-2.46、荖濃溪崩塌特徵分布圖。	137
圖 3-2.47、荖濃溪崩塌福衛二號衛星影像。	138
圖 3-2.48、案例六瑪雅峻崩塌地表地質圖(甲仙地質圖，2000)。	139
圖 3-2.49、瑪雅峻崩塌 AA'剖面示意圖(層面為視傾斜)。	140
圖 3-2.50、岩層褶曲示意圖。	143
圖 3-2.51、案例六瑪雅峻崩塌福衛二號衛星影像。	144
圖 3-2.52、案例七達卡努瓦崩塌地表地質圖(甲仙地質圖，2000)。	145
圖 3-2.53、達卡努瓦崩塌 AA'剖面示意圖(層面為視傾斜)。	146
圖 3-2.54、案例七達卡努瓦崩塌福衛二號衛星影像。	148

圖 3-2.55、南沙魯崩塌地表地質(甲仙地質圖，2000)。	149
圖 3-2.56、案例八崩塌福衛二號衛星影像。	151
圖 3-2.57、小林崩塌地表地質(甲仙地質圖，2000)。	152
圖 3-2.58、小林崩塌分區示意圖。崩塌發生區(紅)、崩塌滑動區(黃)及崩塌堆積區(藍)。	153
圖 3-2.59、案例九小林崩塌福衛二號衛星影像。	154
圖 3-2.60、帖布帖開崩塌地表地質(高屏溪流域地質圖，2009)。	155
圖 3-2.61、案例十帖布帖開崩塌福衛二號衛星影像。	157
圖 3-3.1、深層崩塌發生潛勢集水區篩選指南(日本土木研究所，2008)。	159
圖 3-3.2、深層崩塌判釋材料與特徵展現圖。	160
圖 3-4.1、深層崩塌於各岩性區間分布狀況。	164
圖 3-4.2、類型 A 深層崩塌分布範圍。	165
圖 3-4.3、類型 B 深層崩塌分布範圍。	166
圖 3-4.4、類型 C 深層崩塌分布範圍。	167
圖 3-4.5、類型 D 深層崩塌分布範圍。	168
圖 3-4.6、深層崩塌主要岩性統計結果。	169
圖 3-4.7、深層崩塌平均坡度統計結果。	170
圖 3-4.8、深層崩塌平均高程統計結果。	171
圖 3-4.9、深層崩塌距構造線最短距離統計結果。	172
圖 3-4.10、深層崩塌距河道最短距離統計結果。	173
圖 3-4.11、高雄六龜區現場調查點位分布圖。	174
圖 3-4.12、甲仙地區現場調查位置分布圖。	175
圖 3-4.13、杉林區小份尾地區現場調查位置分布圖。	175
圖 3-4.14、美濃區甲河上游地區現場調查位置分布圖。	176
圖 3-4.15、山地門地區現場調查位置分布圖。	176
圖 3-4.16、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 地質圖(高屏溪流域地質圖，AA'為剖面位置)。	179
圖 3-4.17、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。	180
圖 3-4.18、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 航照和調查點位。	182
圖 3-4.19、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 高精度數值地形判釋結果圖。	182
圖 3-4.20、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 崩塌特徵判釋圖。	183
圖 3-4.21、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。	183
圖 3-4.22、寶來聚落可能受崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。	192
圖 3-4.23、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 地質圖(高屏溪流域地質圖，AA'為高雄市-六龜區-D018 剖面位置)。	193
圖 3-4.24、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。	194
圖 3-4.25、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 航照和調查點位。	195
圖 3-4.26、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 高精度數值地形判釋結果圖。	195
圖 3-4.27、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 崩塌特徵判釋圖。	196
圖 3-4.28、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。	196
圖 3-4.29、巒仔埔聚落可能受崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。	197

圖)。	201
圖 3-4.30、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 地質圖(高屏溪流域地質圖，BB'為高雄市-六龜區-D021 剖面位置)。	202
圖 3-4.31、崩塌地編號高雄高雄市-六龜區-D021BB'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。	203
圖 3-4.32、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 航照和調查點位。	204
圖 3-4.33、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 高精度數值地形判釋結果圖。	204
圖 3-4.34、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 崩塌特徵判釋圖。	205
圖 3-4.35、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。	205
圖 3-4.36、巒仔埔聚落可能受崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。	209
圖 3-4.37、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 地質圖(高屏溪流域地質圖，AA'為高雄高雄市-六龜區-D020 剖面位置)。	210
圖 3-4.38、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。	211
圖 3-4.39、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 航照和調查點位。	212
圖 3-4.40、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 高精度數值地形判釋圖。	212
圖 3-4.41、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 崩塌特徵判釋圖。	213
圖 3-4.42、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。	213
圖 3-4.43、下新開聚落可能受編號高雄市-六龜區-D020 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。	218
圖 3-4.44、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 地質圖(高屏溪流域地質圖，AA'為高雄高雄市-六龜區-D015 剖面位置)。	219
圖 3-4.45、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。	220
圖 3-4.46、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 航照和調查點位。	221
圖 3-4.47、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 高精度數值地形判釋圖。	221
圖 3-4.48、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 崩塌特徵判釋圖。	222
圖 3-4.49、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。	222
圖 3-4.50、深層崩塌圓弧形滑動地形特徵示意圖(修改自 Coltorti et al., 2009)。	223
圖 3-4.51、紅水仙聚落可能受崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。	227
圖 3-4.52、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)地質圖(高屏溪流域地質圖，2009；AA'為高雄高雄市-甲仙區-D044、BB'為高雄高雄市-甲仙區-D047 剖面位置)。	229
圖 3-4.53、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044 AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。	230
圖 3-4.54、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D047 BB'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。	230
圖 3-4.55、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)航照和調查點位。	232
圖 3-4.56、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)高精度數值地形判釋結果圖。	233
圖 3-4.57、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)崩塌特徵判釋圖。	233
圖 3-4.58、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。	234
圖 3-4.59、甲仙聚落可能受崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。	239
圖 3-4.60、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 地質圖(高屏溪流域地質圖，2009；AA'為高雄高雄市-杉林區-D014 剖面位置)。	241

圖 3-4.61、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014AA'剖面圖示意圖。	241
圖 3-4.62、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 航照和調查點位。	242
圖 3-4.63、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 高精度數值地形判釋結果圖。	243
圖 3-4.64、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 崩塌特徵判釋圖。	244
圖 3-4.65、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。	244
圖 3-4.66、小份尾聚落可能受崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 和高雄市-杉林區-D020 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。	250
圖 3-4.67、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 地質圖(高屏溪流域地質圖，2009；AA'為高雄市-杉林區-D020 剖面位置)。	251
圖 3-4.68、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。	252
圖 3-4.69、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 航照和調查點位。	253
圖 3-4.70、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 高精度數值地形判釋結果圖。	253
圖 3-4.71、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 崩塌特徵判釋圖。	254
圖 3-4.72、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。	254
圖 3-4.73、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 地質圖(高屏溪流域地質圖，2009；AA'為高雄市-美濃區-D004 剖面位置)。	259
圖 3-4.74、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。	260
圖 3-4.75、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 航照和調查點位。	261
圖 3-4.76、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 高精度數值地形判釋結果圖。	261
圖 3-4.77、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 崩塌特徵判釋圖。	262
圖 3-4.78、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。	262
圖 3-4.79、甲河聚落可能受崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。	266
圖 3-4.80、崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 地質圖(高屏溪流域地質圖，2009；AA'為屏東縣-三地門區-D086 剖面位置)。	267
圖 3-4.81、崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。	268
圖 3-4.82、崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 航照和調查點位。	269
圖 3-4.83、崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 高精度數值地形判釋結果圖。	270
圖 3-4.84、崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 崩塌特徵判釋圖。	270
圖 3-4.85、崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。	271
圖 3-4.86、伊拉聚落可能受崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 影響範圍。	276
圖 3-5.1、深層崩塌潛勢區發生度等級分布圖(方法一)於國有林事業區內。	279
圖 3-5.2、深層崩塌潛勢區危險度等級分布圖(方法一)於國有林事業區內。	280
圖 3-5.3、深層崩塌潛勢區發生度等級分布圖(方法二)於國有林事業區內。	283
圖 3-5.4、深層崩塌潛勢區危險度等級分布圖(方法二)於國有林事業區內。	284
圖 3-5.5、深層崩塌潛勢區危險度等級分布圖(方法三)於國有林事業區內。	287
圖 3-6.1、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 剖面位置圖。	292
圖 3-6.2、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 光達數值地形圖。	293
圖 3-6.3、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 剖面比較圖。	293
圖 3-6.4、崩塌地編號高雄市-六龜區-D012 剖面位置圖。	295

圖 3-6.5、崩塌地編號高雄市-六龜區-D012 光達數值地形圖。	295
圖 3-6.6、崩塌地編號高雄市-六龜區-D012 剖面比較圖。	296
圖 3-6.7、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 剖面位置圖。	297
圖 3-6.8、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 光達數值地形。	298
圖 3-6.9、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 剖面比較圖。	298
圖 3-6.10、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 剖面位置圖。	300
圖 3-6.11、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 光達數值地形。	300
圖 3-6.12、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 剖面比較圖。	301
圖 3-6.13、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 剖面位置圖。	302
圖 3-6.14、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 光達數值地形。	303
圖 3-6.15、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 剖面比較圖。	303
圖 3-6.16、崩塌地編號屏東縣-三地門鄉-D086 剖面位置圖。	305
圖 3-6.17、崩塌地編號屏東縣-三地門鄉-D086 邊坡剖面及破壞面示意圖。	305
圖 3-6.18、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047 剖面位置圖。	307
圖 3-6.19、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044 邊坡剖面及破壞面示意圖。	308
圖 3-6.20、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D047 邊坡剖面及破壞面示意圖。	308
圖 3-6.21、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 剖面位置圖。	310
圖 3-6.22、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004_N 邊坡剖面及破壞面示意圖。	311
圖 3-6.23、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004_S 邊坡剖面及破壞面示意圖。	311
圖 3-6.24、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 剖面位置圖。	313
圖 3-6.25、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014_W 邊坡剖面及破壞面示意圖。	313
圖 3-6.26、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014_E 邊坡剖面及破壞面示意圖。	314
圖 3-6.27、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 剖面位置圖。	315
圖 3-6.28、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 邊坡剖面及破壞面示意圖。	315
圖 3-6.29、高雄市-桃源區-D346 崩塌地滑動體範圍。	318
圖 3-6.30、高雄市-桃源區-D346 穩定性分析破壞面剖面位置。	318
圖 3-6.31、高雄市-桃源區-D346 穩定性分析破壞面剖面形狀。	318
圖 3-6.32、高雄市-桃源區-D346 不安定土體分布情形。	318
圖 3-6.33、高雄市-桃源區-D346 崩塌地滑動體設定情形。	319
圖 3-6.34、高雄市-桃源區-D346 崩塌地滑動體運動過程。	320
圖 3-6.35、高雄市-桃源區-D346 天然壩形成分析斷面位置圖。	321
圖 3-6.36、高雄市-桃源區-D346 天然壩縱剖面。	321
圖 3-6.37、高雄市-桃源區-D346 天然壩橫剖面。	321
圖 3-6.38、高雄市-六龜區-D012 崩塌地滑動體範圍。	323
圖 3-6.39、高雄市-六龜區-D012 穩定性分析破壞面剖面位置。	323
圖 3-6.40、高雄市-六龜區-D012 穩定性分析破壞面剖面形狀。	323
圖 3-6.41、高雄市-六龜區-D012 不安定土體分布位置。	323
圖 3-6.42、高雄市-六龜區-D012 崩塌地滑動體設定情形。	324
圖 3-6.43、高雄市-六龜區-D012 崩塌地滑動體運動過程。	325
圖 3-6.44、高雄市-六龜區-D012 天然壩形成分析斷面位置圖。	326

圖 3-6.45、高雄市-六龜區-D012 天然壩縱剖面。	326
圖 3-6.46、高雄市-六龜區-D012 天然壩橫剖面。	326
圖 3-6.47、高雄市-六龜區-D015 崩塌地範圍。	328
圖 3-6.48、高雄市-六龜區-D015 破壞分析剖面。	328
圖 3-6.49、高雄市-六龜區-D015 穩定性分析破壞面剖面形狀。	328
圖 3-6.50、高雄市-六龜區-D015 不安定土體分布。	328
圖 3-6.51、高雄市-六龜區-D015 崩塌地滑動體設定情形。	329
圖 3-6.52、高雄市-六龜區-D015 崩塌地滑動體運動過程。	330
圖 3-6.53、高雄市-六龜區-D015 天然壩形成分析斷面位置圖。	331
圖 3-6.54、高雄市-六龜區-D015 天然壩縱剖面。	331
圖 3-6.55、高雄市-六龜區-D015 天然壩橫剖面。	331
圖 3-6.56、高雄市-六龜區-D018 崩塌地範圍。	333
圖 3-6.57、高雄市-六龜區-D018 破壞分析剖面。	333
圖 3-6.58、高雄市-六龜區-D018 穩定性分析破壞面剖面形狀。	333
圖 3-6.59、高雄市-六龜區-D018 不安定土體分布。	333
圖 3-6.60、高雄市-六龜區-D018 崩塌地滑動體設定情形。	334
圖 3-6.61、高雄市-六龜區-D018 崩塌地滑動體運動過程。	335
圖 3-6.62、高雄市-六龜區-D018 天然壩形成分析斷面位置圖。	336
圖 3-6.63、高雄市-六龜區-D018 天然壩縱剖面。	336
圖 3-6.64、高雄市-六龜區-D018 天然壩橫剖面。	336
圖 3-6.65、高雄市-六龜區-D021 崩塌地範圍。	338
圖 3-6.66、高雄市-六龜區-D021 破壞分析剖面。	338
圖 3-6.67、高雄市-六龜區-D021 穩定性分析破壞面剖面形狀。	338
圖 3-6.68、高雄市-六龜區-D021 不安定土體分布。	338
圖 3-6.69、高雄市-六龜區-D021 崩塌地滑動體設定情形。	339
圖 3-6.70、高雄市-六龜區-D021 崩塌地滑動體運動過程。	340
圖 3-6.71、高雄市-六龜區-D021 天然壩形成分析斷面位置圖。	341
圖 3-6.72、高雄市-六龜區-D021 天然壩縱剖面。	341
圖 3-6.73、高雄市-六龜區-D021 天然壩橫剖面。	341
圖 3-6.74、屏東縣-三地門鄉-D086 崩塌地滑動體範圍。	343
圖 3-6.75、屏東縣-三地門鄉-D086 穩定性分析破壞面剖面位置。	343
圖 3-6.76、屏東縣-三地門鄉-D086 穩定性分析破壞面剖面形狀。	343
圖 3-6.77、屏東縣-三地門鄉-D086 不安定土體分布情形。	343
圖 3-6.78、屏東縣-三地門鄉-D086 崩塌地滑動體設定情形。	344
圖 3-6.79、屏東縣-三地門鄉-D086 崩塌地滑動體運動過程。	345
圖 3-6.80、屏東縣-三地門鄉-D086 天然壩形成分析斷面位置圖。	346
圖 3-6.81、屏東縣-三地門鄉-D086 天然壩縱剖面。	346
圖 3-6.82、屏東縣-三地門鄉-D086 天然壩橫剖面。	346
圖 3-6.83、高雄市-甲仙區-D044 崩塌地滑動體範圍。	348
圖 3-6.84、高雄市-甲仙區-D044 穩定性分析破壞面剖面位置。	348

圖 3-6.85、高雄市-甲仙區-D044 穩定性分析破壞面剖面形狀。	348
圖 3-6.86、高雄市-甲仙區-D044 不安定土體分布位置。	348
圖 3-6.87、高雄市-甲仙區-D047 崩塌地滑動體範圍。	348
圖 3-6.88、高雄市-甲仙區-D047 穩定性分析破壞面剖面位置。	348
圖 3-6.89、高雄市-甲仙區-D047 穩定性分析破壞面剖面形狀。	349
圖 3-6.90、高雄市-甲仙區-D047 不安定土體分布位置。	349
圖 3-6.91、高雄市-甲仙區-D044 崩塌地滑動體設定情形。	349
圖 3-6.92、高雄市-甲仙區-D044 崩塌地滑動體運動過程。	350
圖 3-6.93、高雄市-甲仙區-D047 崩塌地滑動體設定情形。	351
圖 3-6.94、高雄市-甲仙區-D047 崩塌地滑動體運動過程。	352
圖 3-6.95、高雄市-甲仙區-D044 天然壩形成分析斷面位置圖。	353
圖 3-6.96、高雄市-甲仙區-D044 天然壩縱剖面。	353
圖 3-6.97、高雄市-甲仙區-D044 天然壩橫剖面。	353
圖 3-6.98、高雄市-甲仙區-D047 天然壩形成分析斷面位置圖。	354
圖 3-6.99、高雄市-甲仙區-D047 天然壩縱剖面。	354
圖 3-6.100、高雄市-甲仙區-D047 天然壩橫剖面。	354
圖 3-6.101、高雄市-美濃區-D004 崩塌地滑動體範圍。	356
圖 3-6.102、高雄市-美濃區-D004 破壞分析剖面。	356
圖 3-6.103、高雄市-美濃區-D004 破壞分析剖面成果。	356
圖 3-6.104、高雄市-美濃區-D004 不安定土體分布。	356
圖 3-6.105、高雄市-美濃區-D004 崩塌地滑動體設定情形。	357
圖 3-6.106、高雄市-美濃區-D004 崩塌地滑動體運動過程。	358
圖 3-6.107、高雄市-美濃區-D004 天然壩形成分析斷面位置圖。	359
圖 3-6.108、高雄市-美濃區-D004 天然壩縱剖面。	359
圖 3-6.109、高雄市-美濃區-D004 天然壩橫剖面。	359
圖 3-6.110、高雄市-杉林區-D014_W 崩塌地滑動體範圍。	361
圖 3-6.111、高雄市-杉林區-D014_W 破壞分析剖面。	361
圖 3-6.112、高雄市-杉林區-D014_W 破壞分析剖面成果。	361
圖 3-6.113、高雄市-杉林區-D014_W 不安定土體分布。	361
圖 3-6.114、高雄市-杉林區-D014_E 崩塌地滑動體範圍。	362
圖 3-6.115、高雄市-杉林區-D014_E 破壞分析剖面。	362
圖 3-6.116、高雄市-杉林區-D014_E 破壞分析剖面成果。	362
圖 3-6.117、高雄市-杉林區-D014_E 不安定土體分布。	362
圖 3-6.118、高雄市-杉林區-D014_W 崩塌地滑動體設定情形。	363
圖 3-6.119、高雄市-杉林區-D014_W 崩塌地滑動體運動過程。	363
圖 3-6.120、高雄市-杉林區-D014_E 崩塌地滑動體設定情形。	364
圖 3-6.121、高雄市-杉林區-D014_E 崩塌地滑動體運動過程。	365
圖 3-6.122、高雄市-杉林區-D014_W 天然壩形成分析斷面位置圖。	366
圖 3-6.123、高雄市-杉林區-D014_W 天然壩縱剖面。	366
圖 3-6.124、高雄市-杉林區-D014_W 天然壩橫剖面。	366

圖 3-6.125、高雄市-杉林區-D014_E 天然壩形成分析斷面位置圖。	367
圖 3-6.126、高雄市-杉林區-D014_E 天然壩縱剖面。	367
圖 3-6.127、高雄市-杉林區-D014_E 天然壩橫剖面。	367
圖 3-6.128、高雄市-杉林區-D020 崩塌地滑動體範圍。	369
圖 3-6.129、高雄市-杉林區-D020 破壞分析剖面。	369
圖 3-6.130、高雄市-杉林區-D020 破壞分析剖成果。	369
圖 3-6.131、高雄市-杉林區-D020 不安定土體分布。	369
圖 3-6.132、高雄市-杉林區-D020 崩塌地滑動體設定情形。	370
圖 3-6.133、高雄市-杉林區-D020 崩塌地滑動體運動過程。	371
圖 3-6.134、高雄市-杉林區-D020 天然壩形成分析斷面位置圖。	372
圖 3-6.135、高雄市-杉林區-D020 天然壩縱剖面。	372
圖 3-6.136、高雄市-杉林區-D020 天然壩橫剖面。	372
圖 3-6.137、堰塞湖蓄水區範圍剖面示意圖。	374
圖 3-7.1、坡腳保護工程施作範例。	381
圖 3-8.1、「莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告」計畫範圍	383
圖 3-8.2、本計畫工作範圍	383
圖 3-9.1、Dikau(1989)坡形分類。	386
圖 3-9.2、曾文溪流域潛感圖。	392
圖 3-9.3、曾文溪流域成功率與預測率曲線。	392
圖 3-9.4、旗山溪集水區潛感圖。	393
圖 3-9.5、旗山溪集水區成功率與預測率曲線。	393
圖 3-9.6、荖濃溪集水區域潛感圖。	394
圖 3-9.7、荖濃溪集水區成功率與預測率曲線。	394
圖 3-9.8、隘寮溪集水區域潛感圖。	395
圖 3-9.9、隘寮溪集水區成功率與預測率曲線。	395
圖 3-10.1、現場調查點位分布圖。	396
圖 3-10.2、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 崩塌位置與保全住戶相對位置。	397
圖 3-10.3、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 及高雄市-六龜區-D021 崩塌位置與保全住戶相對位置。	398
圖 3-10.4、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 崩塌位置與保全住戶相對位置。	400
圖 3-10.5、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 崩塌位置與保全住戶相對位置。	401
圖 3-10.6、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 監測儀器埋設位置。	404
圖 3-10.7、23-G1 GPS 監測資料。	405
圖 3-10.8、23-G2 GPS 監測資料。	405
圖 3-10.9、23-G3 GPS 監測資料。	406
圖 3-10.10、23-G4 GPS 監測資料。	406
圖 3-10.11、23-G5 GPS 監測資料。	406
圖 3-10.12、坡面降雨量觀測結果。	407
圖 3-10.13、23-G1 GPS 監測資料與雨量資料比對。	408
圖 3-10.14、23-G2 GPS 監測資料與雨量資料比對。	408

圖 3-10.15、23-G3 GPS 監測資料與雨量資料比對。	409
圖 3-10.16、23-G4 GPS 監測資料與雨量資料比對。	409
圖 3-11.1、深層崩塌潛勢區位判釋成果圖。	411
圖 3-11.2、深層崩塌影響範圍成果圖。	412
圖 3-12.1、深層崩塌教育訓練海報。	413

表目錄

表 2-3.1、本計畫深層崩塌調查方法類型分類表	34
表 2-4.1、本計畫深層崩塌類型分類表	35
表 2-4.2、深層崩塌潛勢區位現地查核表	43
表 2-4.3、深層崩塌目錄資料結構表	45
表 2-5.1、地滑之潛感評估方法	46
表 2-5.2、本研究初步擬定之深層崩塌潛勢區危險等級評估項目一覽表	47
表 2-5.3、深層崩塌潛感圖分析資料	49
表 2-5.4、坡度分級與權重計算結果	50
表 2-5.5、坡度分級簡化之權重計算結果	50
表 2-5.6、岩性分類與權重計算結果	51
表 2-5.7、岩性分類簡化之權重值計算結果	51
表 2-5.8、距構造線最短距離分級與權重計算結果	51
表 2-5.9、距構造線最短距離重新分類與權重計算結果	52
表 2-5.10、距河道最短距離分級與權重計算結果	52
表 2-5.11、距河道最短距離重新分類與權重計算結果	52
表 2-5.12、順向坡分類與權重值計算結果	53
表 2-5.13、因子分級/分類之評分	53
表 2-5.14、發生度等級評分表	54
表 2-5.15、保全評分表(方法二)	54
表 2-5.16、保全重要性評分表(方法二)	55
表 2-5.17、危險等級評分表(方法二)	55
表 2-5.18、保全評分表(方法三)	56
表 2-5.19、保全重要性評分表(方法三)	56
表 2-5.20、危險等級評分表(方法三)	57
表 2-6.1、深層崩塌發生情境評估與分析模式比較表	58
表 2-8.1、AUC 評估成效表	72
表 2-8.2、深層崩塌潛感分析所需資料	73
表 2-11.1、深層崩塌調查作業手冊內容規劃	76
表 2-12.1、計畫成果圖一覽表	77
表 2-13.1、教育訓練與技術移轉課程	80
表 3-1.1、雨量資料列表	97
表 3-2.1、基本資料蒐集分類表	108
表 3-2.2、2005 年至 2013 年山崩目錄及影像列表	111
表 3-2.3、深層崩塌歷史案例表	119
表 3-3.1、深層崩塌判釋方法與所需材料與限制一覽表	160
表 3-4.1、各範圍之各類型崩塌處數和面積	162
表 3-4.2、各事業區之各類型崩塌處數	163
表 3-4.3、潛在深層崩塌現場調查結果一覽表	177

表 3-5.1、各發生度之潛在深層崩塌(方法一)於各事業區數量統計	278
表 3-5.2、各危險度之潛在深層崩塌(方法一)於各事業區數量統計	278
表 3-5.3、各發生度之潛在深層崩塌(方法二)於各事業區數量統計	281
表 3-5.4、各危險度之潛在深層崩塌(方法二)於各事業區數量統計	282
表 3-5.5、各危險度之潛在深層崩塌(方法三)於各事業區數量統計	286
表 3-5.6、各發生度之已發生深層崩塌(方法一)於各事業區數量統計	288
表 3-5.7、各發生度之已發生深層崩塌(方法二及三)於各事業區數量統計	288
表 3-5.8、各發生度之類型 A、類型 C 深層崩塌數量及發生深層崩塌比例(方法一).....	289
表 3-5.9、各發生度之類型 A、類型 C 深層崩塌數量及發生深層崩塌比例(方法二及三).....	289
表 3-6.1、崩塌運動模擬選定案例	290
表 3-6.2、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 穩定分析使用參數	292
表 3-6.3、崩塌地編號高雄市-六龜區-D012 穩定分析使用參數	294
表 3-6.4、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 穩定分析使用參數	297
表 3-6.5、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 穩定分析使用參數	299
表 3-6.6、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 穩定分析使用參數	302
表 3-6.7、崩塌地編號屏東縣-三地門鄉-D086 穩定分析使用參數	304
表 3-6.8、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047 穩定分析使用參數.....	307
表 3-6.9、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 穩定分析使用參數	310
表 3-6.10、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 穩定分析使用參數	312
表 3-6.11、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 穩定分析使用參數.....	315
表 3-6.12、高雄市-桃源區-D346 崩塌地參數設定成果	317
表 3-6.13、高雄市-六龜區-D012 崩塌地參數設定成果	322
表 3-6.14、高雄市-六龜區-D015 崩塌地參數設定成果	327
表 3-6.15、高雄市-六龜區-D018 崩塌地參數設定成果	332
表 3-6.16、高雄市-六龜區-D021 崩塌地參數設定成果	337
表 3-6.17、屏東縣-三地門鄉-D086 崩塌地參數設定成果	342
表 3-6.18、屏東縣-三地門鄉-D086 堆積壩體形狀參數	346
表 3-6.19、高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047 崩塌地參數設定成果.....	347
表 3-6.20、高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047 堆積壩體形狀參數.....	354
表 3-6.21、高雄市-美濃區-D004 崩塌地參數設定成果	355
表 3-6.22、高雄市-美濃區-D004 堆積壩體形狀參數	359
表 3-6.23、高雄市-杉林區-D014 崩塌地參數設定成果	360
表 3-6.24、高雄市-杉林區-D014 堆積壩體形狀參數	367
表 3-6.25、高雄市-杉林區-D020 崩塌地參數設定成果	368
表 3-6.26、高雄市-杉林區-D020 堆積壩體形狀參數	372
表 3-6.27、10 處示範區形成天然壩之壩高、壩長比較.....	373
表 3-6.27、示範區形成天然壩之可能蓄水區範圍說明.....	374
表 3-9.1、福衛二號衛星影像使用日期.....	384
表 3-9.2、深層崩塌潛感圖分析資料.....	385
表 3-9.3、坡形分類名稱對照表	386

表 3-9.4、岩性與地層分類對照表	387
表 3-9.5、各流域、集水區挑選的坡面單元數量	389
表 3-9.6、區域內成功率與預測率曲線	390
表 3-9.7、各潛感層級所包含的深層崩塌數量	391
表 3-10.1、監測點位篩選比較表	401
表 3-10.2、雷射儀與 GPS 監測方法優缺點比較表	402
表 3-10.3、地表伸縮計分析結果	407
表 3-10.4、GPS 三軸方向最大變化量	409

摘要

本計畫建立一套確實可行之判釋、調查與潛勢評估方法，有系統地對高屏溪流流域及曾文溪流流域上游集水區之國有林事業區進行深層崩塌判釋及調查，找出具有深層崩塌發生潛勢之區位，並提出適合方法進行深層崩塌潛勢區危險等級評估，再針對具有較高危險等級之區位提出後續處理對策建議。另外選取 10 處深層崩塌潛勢區位進行現場查核及深層崩塌與天然壩形成之情境模擬。選定危險度較高地區 1 處進行規劃試辦監測作業。本計畫調查之深層崩塌指的是潛在發生面積大於 10 公頃之崩塌地，其崩塌深度達於岩盤或大於 10 公尺。

本計畫利用多期衛星影像、莫拉克風災前後期航照影像、各期山崩目錄與數值地形資料進行深層崩塌(面積大於 10 公頃)的快速篩選與歷史資料分析，並探討其崩塌特性。利用航照與數值地形產製之日照陰影圖與坡度圖等資料進行深層崩塌判釋，並分為四個類型，判釋的類型 A 近期發生之深層崩塌共 356 處；類型 B 早期發生之疑似深層崩塌共 376 處；類型 C 具滑動地形特徵之潛在深層崩塌共 1,003 處；類型 D 不具滑動地形特徵之潛在深層崩塌共 195 處。

深層崩塌區位現場調查主要依交通可及、聚落安全、國有林範圍等條件進行點位篩選，執行現場勘查共完成 10 處，並進行深層崩塌與天然壩形成模擬，模擬結果顯示共有 8 處有阻斷河道，其中較大規模有高雄市-六龜區-D015，其壩高為 39 公尺，壩長為 2,804 公尺，及屏東縣-三地門鄉-D086，其壩高為 67 公尺，壩長為 2,627 公尺。

本計畫以證據權重法建立發生度評分表，再參考國際減災策略組織公式進行危險度評估。危險度分析結果位於國有林事業區內之較高危險等級者(危險等級評分大於等於 6 分)共有 11 處。針對較高危險區位，告知相關防救災權責單位相關資訊，以利權責單位依其業務需求進行參考與評估。另外利用證據權重法以坡面單元作為分析基礎進行深層崩塌潛感分析。在研究區域內極高與高潛感區中，都有包含了共約 50%的類型 C 深層崩塌，顯示所製作的潛感圖具有一定的預測能力。

高雄市-桃源區-D346 為本計畫監測試辦點位。由 GPS 資料顯示因降雨因素造成約有 4.3 公分往北分量，約有 27.3 公分往西分量，約有 20.5 公分往下分量，此趨勢與坡向相符。由地表伸縮計觀測結果，最大約有 8 公分的拉伸量。

Abstract

This project has established a feasible method for deep-seated landslide investigation and landslide susceptibility assessment. State-owned forest business areas in upstream of Kao-Ping River and Zengwun River watershed are chosen as study area. The major scopes of work are to find the potential sites of deep-seated landslide through landslide interpretation, to evaluate the degrees of hazard and to propose the possible contingency plan for high risk sites. Field survey and simulation of landslide dams are implemented on 10 sites. A high risk site is chosen for trial of monitoring plan. In this study, a deep-seated landslide is defined when its area is larger than 10 Ha, and bedrock is reached or depth of landslide is more than 10 m.

Multi-temporal satellite images, aerial photos across Typhoon Moratko, multi-period landslide inventories, digital elevation model (DEM), and DEM derived hillshade and slope information are used for deep-seated landslide survey, historic data and landslide characteristics. Deep-seated landslides are classified into four types: landslides occurred in the recent years as “Type A” (356 sites); suspected landslides occurred in the past as “Type B” (376 sites); potential sites of landslides with topographical features of sliding as “Type C” (1,003 sites); and potential sites of landslides without topographical features of sliding as “Type D” (195 sites).

When choosing proper sites for field survey of deep-seated landslide studies, access of traffic, safety of villages, range of state-owned forest and other conditions are taken into consideration. Ten sites of field survey, and simulation of deep-seated landslides and its dam have been accomplished. The simulation result shows that eight landslides from ten might block the river and cause landslide dams. Details of two largest potential dams are as followings: (1) site D015 (Liouguei Dist., Kaohsiung City), size of dam is 2,804 m long and 39 m high; (2) site D086 (Sandimen Township, Pingtung County), size of dam is 2,627 m long and 67 m high.

The occurrence potential of deep-seated landslides is assessed by Weight-of-Evidence method. Occurrence potential together with International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) formula, degree of hazard is then estimated. 11 sites fall into relative high degree of hazard. Information of those sites is provided to responsible authorities of disaster prevention and mitigation as a working reference and basis. In

addition, slope units and Weight-of-Evidence method are used to produce susceptibility maps. 50% of type C landslides on susceptibility maps fall into extremely high and high risk areas which means those maps have certain predictive ability.

Monitoring plan is developed and carried out on site D346 (Taoyuan Dist., Kaohsiung City). GPS data shows that rainfall causes horizontal displacements of 4.3 cm to north and 27.3 cm to west, and 20.5 cm on vertical displacement. Observation data from surface extensometer shows the maximum amount of extension is 8 cm.

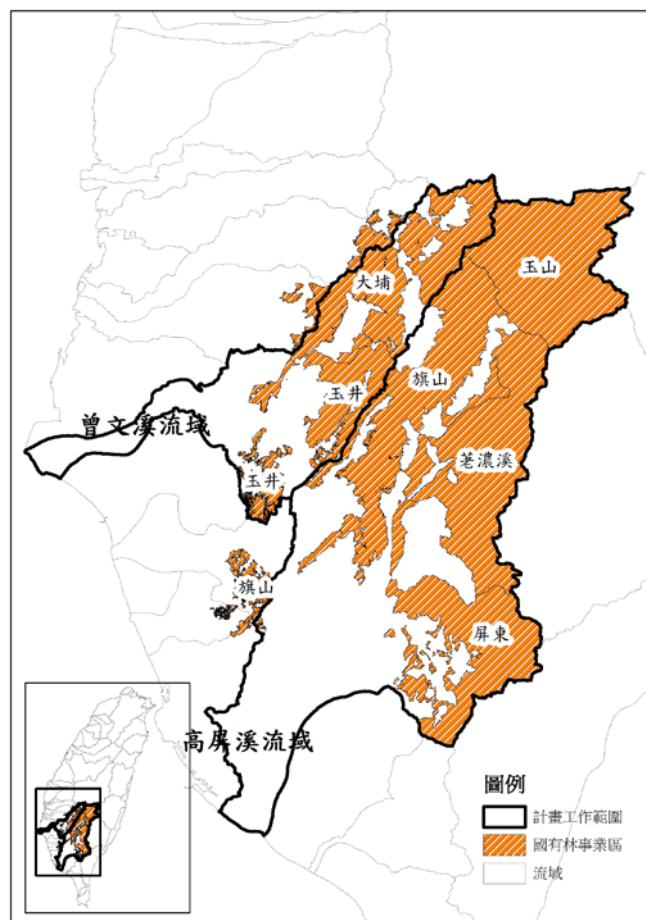
摘要報告

一、前言

民國 98 年 8 月莫拉克颱風災後，深層崩塌的發生潛勢成為國內相關單位調查研究之重點。本計畫期盼建立一套確實可行之判釋、調查與潛勢評估方法，有系統地對國有林重點流域進行深層崩塌判釋及調查，找出具有深層崩塌發生潛勢之區位，供防減災工作執行之參考。本計畫調查之深層崩塌指的是潛在發生面積大於 10 公頃之崩塌地，其崩塌深度達於岩盤或大於 10 公尺。此一調查對象與經濟部中央地質調查所及行政院農委會水土保持局所進行之相關調查研究所指之大規模崩塌相同。

二、計畫範圍

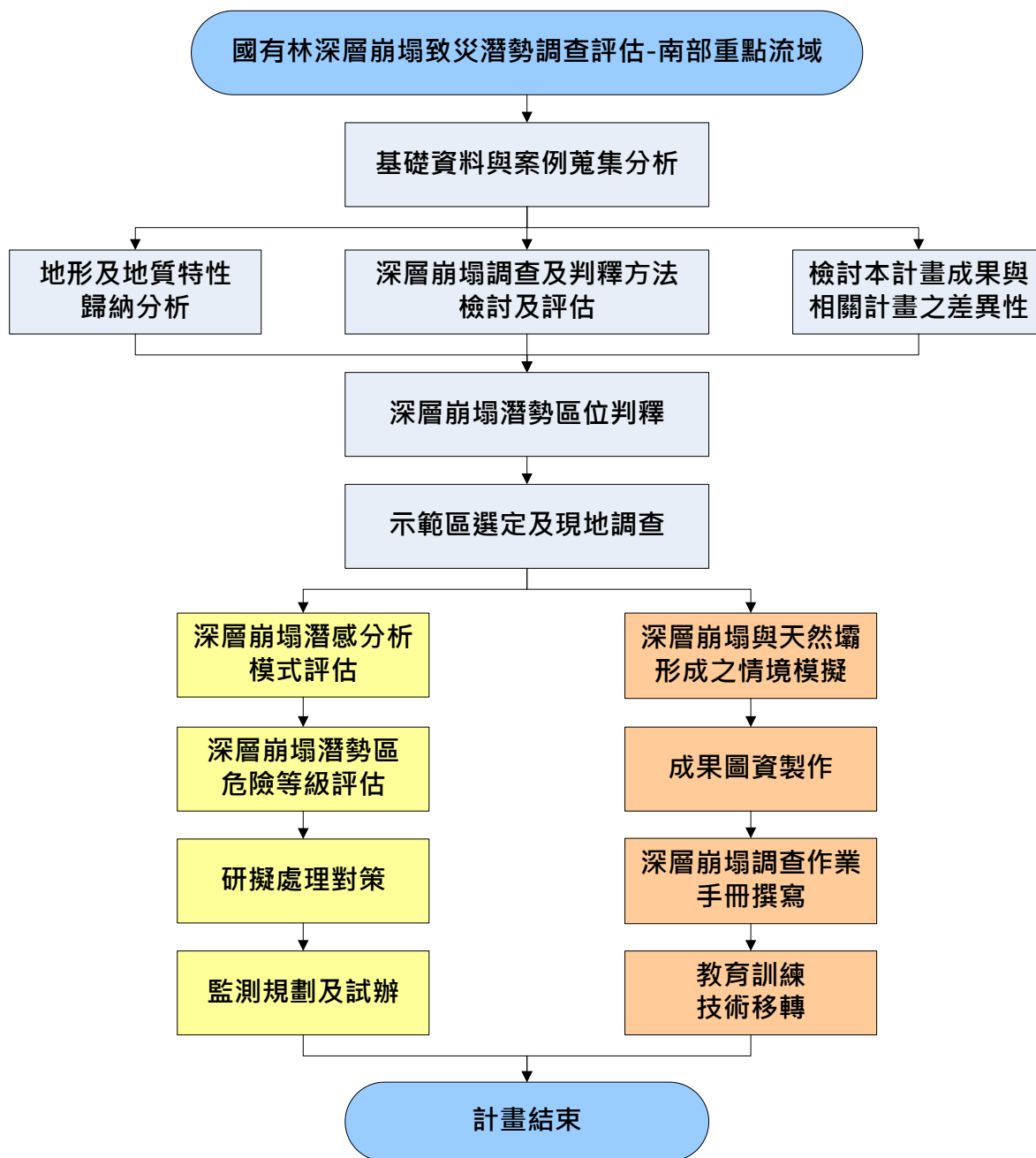
計畫範圍包括高屏溪流域及曾文溪流域上游集水區，涵蓋荖濃溪、旗山、玉山、屏東、玉井、大埔等國有林事業區(摘圖 1)。



摘圖 1、本計畫範圍。

三、工作項目及成果

本計畫主要工作為有系統對國有林重點流域進行深層崩塌判釋及調查，找出具有深層崩塌發生潛勢之區位，並嘗試提出較適合方法進行深層崩塌潛勢區危險等級評估，再針對具有較高危險等級之區位提出後續處理對策建議。另外選取 10 處深層崩塌潛勢區位進行現場查核及深層崩塌與天然壩形成之情境模擬。於荖濃溪集水區選定危險度較高地區 1 處進行規劃試辦監測作業，設置所需相關設備儀器，以瞭解並掌握變化情形(摘圖 2)。



摘圖 2、工作執行流程圖。

以下針對各主要工作項目進行成果說明：

1. 基礎資料與案例蒐集分析

本計畫蒐集計畫工作範圍內，包括人文、土地利用、地文、水文及氣象、山崩目錄、環境地質圖、地質圖、山崩潛感圖、數值高程模型、航空照片、衛星影像、水系圖、道路圖等基本資料，掌握計畫區域之環境基本資訊，本計畫收集之相關資料如摘表 1。

摘表 1、基本資料蒐集分類表

資料類別	掌握資料說明	精度需求	資料來源	備註
人文	1.部落分布 2.人口分布 3.門牌系統	1/25,000	原民會、縣市政府	已蒐集
土地利用	國土利用調查成果	1/5,000	國土測繪中心	已蒐集
地文	1.高程 2.坡度 3.坡向	1/25,000	內政部	已蒐集
水文及氣象	1.時雨量 2.平均雨量 3.颱洪事件雨量	1/25,000	中央氣象局、水利署	已蒐集 (共 21 個事件)
山崩目錄	山崩範圍與空間分布資料	1/5,000	中央地質調查所 農委會水土保持局	已蒐集 (共 19 幅成果)
環境地質圖	包括順向坡、崩塌等環境地質資料 (1/25,000 分幅)	1/25,000	中央地質調查所	已蒐集
地質圖	包括岩性、地層位態、構造等資料 (1/50,000 分幅)	1/50,000	中央地質調查所	已蒐集
山崩潛感圖	利用山崩的地形因子、地質因子、區位因子及水文因子等，建立潛感模型及計算潛感值	1/5,000	中央地質調查所 經濟部水利署 農委會水土保持局	已蒐集
數值高程模型	數值高程模型資料，可進行深層崩塌區位判釋	1. 5 米 2. 1 米	1. 農林航空測量所 內政部資訊中心 2. 中央地質調查所	已蒐集
航空照片	1.正射影像 2.非正射影像	1. 1/5,000 2. 1/13,000	農林航空測量所、 本團隊成果	已蒐集
衛星影像	包括 SPOT、福衛二號、QuickBird 與 IKONOS 等影像	8 米	中央大學太遙中心 福衛影像分送中心 商業衛星供應單位	已蒐集 (共計 21 幅)
水系圖	水系分布，河道攻擊側位置	1/5,000	農林航空測量所 國土測繪中心 經濟部水利署	已蒐集
道路圖	含省道、縣道、鄉道、一般道路、農路、林道	1/5,000	農林航空測量所 國土測繪中心 交通部運輸研究所	已蒐集

利用多期衛星影像、莫拉克風災前後期航照影像、各期山崩目錄與數值地形資料進行深層崩塌(面積大於 10 公頃)的快速篩選與歷史資料分析，並探討其崩塌特性，共蒐集十處歷史崩塌案例，如摘表 2。

摘表 2、深層崩塌歷史案例表

編號	坐標 (TWD97)	面積 (ha)	坡度 (度)	地層	不利條件	崩塌成因分析	崩塌 類型	地點	國有 林事業區
1	X : 223217	32	32.2	潮州層	坡趾侵蝕	劈理面位態與坡面呈直交坡關係，崩塌兩側發育蝕溝及坡趾河系向源侵蝕，造成坡趾掏空。	類型 C	高雄寶來竹林地區	無
	Y : 2556616								
2	X : 215074	23	19.5	長枝坑層 樟山層	土壠灣斷層 坡趾侵蝕	因構造線通過與水系侵蝕是導致崩塌發生的主要因素。	類型 C	高雄六龜區 荖濃溪右岸，水冬瓜地區	旗山
	Y : 2549744								
3	X : 214470	14	29.3	長枝坑層	六龜背斜 未命名向斜 土壠灣斷層 坡趾侵蝕	因構造線通過與水系侵蝕是導致崩塌發生的主要因素。	類型 C	高雄六龜區 荖濃溪右岸，獅山地區	旗山
	Y : 2548194								
4	X : 211681	126	32.5	廬山層 畢祿山層	順向坡 未命名斷層 坡趾侵蝕	因斷層通過造成地質破碎，又為順向坡地形，加上坡腳侵蝕作用旺盛，導致此處持續滑動。	類型 C	高雄天池遊憩區	玉山
	Y : 2574970								
5	X : 241103	48.9	37.5	廬山層 畢祿山層	坡趾侵蝕	前期崩塌造成坡面向源侵蝕、滙水，坡腳的淘刷是造成荖濃溪崩塌地發生的主因。	類型 A	高雄桃源區 荖濃溪，距梅山村上游約 17 公里處	玉山
	Y : 2581230								
6	X : 222173	49.65	30.5	長枝坑層	順向坡 老人溪向斜 坡趾侵蝕	因構造線通過，導致地質破碎，坡面厚層砂岩已發育挫曲，一	類型 A	高雄瑪雅峻(民權里)五權溪左岸，	旗山

編號	坐標 (TWD97)	面積 (ha)	坡度 (度)	地層	不利條件	崩塌成因分析	崩塌 類型	地點	國有 林事 業區
	Y：2571940					旦坡趾順向坡坡趾 掏刷和厚層砂岩挫 曲處破裂，崩塌將再 次發育。		距聚落上游 約 3 公里處	
7	X：221762	11.97	38.74	三民頁岩 紅花子層	紅花子背斜 坡趾侵蝕	頂部有裂隙及崩崖 發育，構造通過，岩 盤破碎。	類型 A	達卡努瓦 (民生里)上 游約 450 公 尺	旗山
	Y：2573440								
8	X：217614	43.81	32.5	三民頁岩	旗山斷層 坡趾侵蝕	旗山斷層通過，導致 坡面弱面發達，坡腳 位攻擊坡。	類型 A	高雄荖濃溪 右岸，南沙 魯(民族村) 下游 1.3 公 里處	旗山
	Y：2556730								
9	X：214746	236	18	糖恩山砂岩 鹽水坑頁岩	小林向斜 甲仙斷層	構造通過，地質破 碎，頂部可見楔型破 壞，坡腳位攻擊坡。	類型 A	高雄小林村 崩塌	旗山
	Y：2562611								
10	X：224811	128.6	26	三民頁岩 長枝坑層	老人溪向斜	坡頂有冠部崩崖發 育，構造發達，地質 破碎。	類型 A	達卡努瓦 (民生里)旗 山溪上游 2 公里的支流 帖不帖開溪	旗山
	Y：2576600								

由上述歷史分析結果，認為深層崩塌主要的發生模式為坡面鄰近構造線或構造線直接通過，導致坡面岩體破碎，而河道側向侵蝕沖刷坡腳，使坡面喪失支撐，而滑動面發育深至岩體。

2. 深層崩塌調查、判釋方法檢討及評估

本計畫判釋面積廣大，因此需一套快速、明確的判釋方法與流程。在大範圍判釋方法上，傳統上利用航照立體鏡尋找崩塌特徵(如崩崖)，有耗時耗力、不易判釋、難以數位化展示之缺點，且航空照片和衛星影像解析度不足，難以判釋深層崩塌細部特徵。但在高精度數值地形配合地理資訊系統軟體，利用陰影圖、坡度圖，可提高判釋效率，並將判釋結果直接在圖面上數化，並利用 3D 展示崩塌外貌配合崩塌特徵，使判釋人員快速了解深層崩塌的可能的崩塌範圍。

在深層崩塌調查方面，建議利用全自動長距離雷射測距經緯儀搭配 GPS 及雨量站，可定期追蹤崩塌坡面位移量，並連續紀錄雨量資料，建立深層崩塌與雨量的關係。一旦地表有明顯位移時，可再搭配地工監測，了解崩塌底部情形、滑動面深度。此監測方法較傳統方法快速、花費相對較少，以利大範圍了解、監測整體崩塌坡面情形。

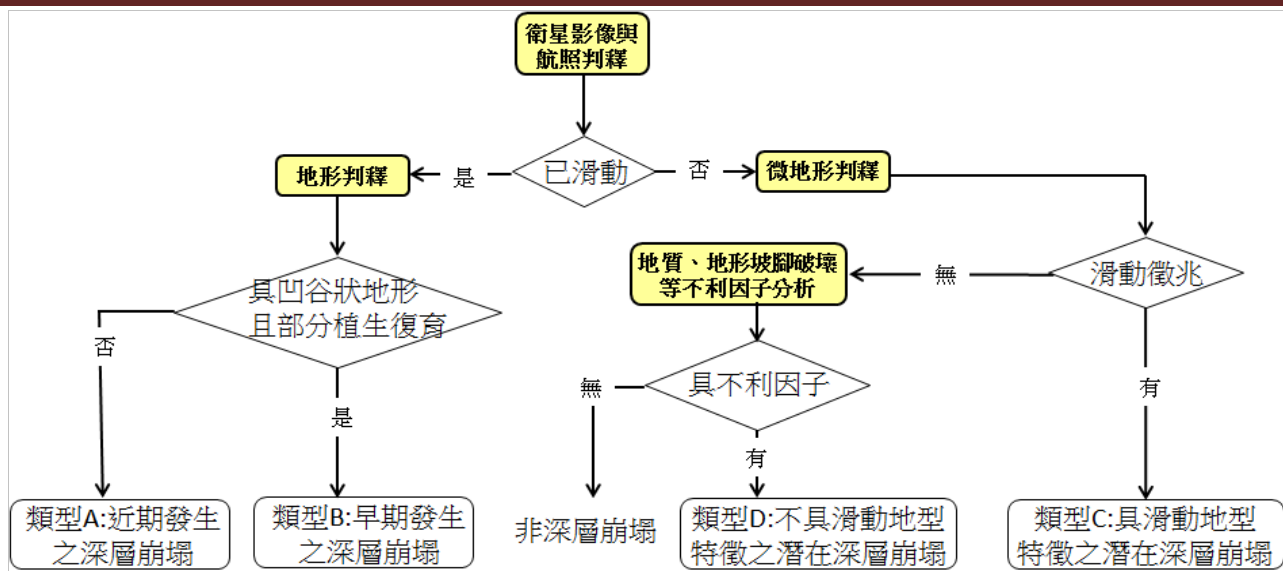
3. 深層崩塌潛勢區位判釋、現地調查與分析

深層崩塌潛勢區位圖資判釋

本計畫將調查潛在崩塌面積大於 10 公頃者為深層崩塌潛勢區位之必要條件，利用航照與數值地形產製之日照陰影圖與坡度圖等資料進行判釋，並分為四個類型，分類依據如摘表 3，判釋流程如摘圖 3。

摘表 3、本計畫深層崩塌類型分類表

類型	類型說明	崩塌特性	特性
A	近期發生之深層崩塌	已崩塌	● 具崩塌之地形特徵 ● 有明顯裸露
B	早期發生之疑似深層崩塌	已崩塌	● 具崩塌之地形特徵 ● 大部分已植生復育
C	具崩塌地形特徵之深層崩塌潛勢區位	具崩塌徵兆但未全面崩壞	● 具崩崖、側邊裂隙、蝕溝、坡趾隆起等圓弧型破壞地形特徵 ● 具崩崖、側邊裂隙、坡趾隆起等平面型或楔型破壞地形特徵
D	不具崩塌地形特徵之深層崩塌潛勢區位	具不利之地質與地形條件	● 具地質與地形不利因素者 ● 具坡趾破壞因素者 ● 邊坡屬山崩高潛感區域 ● 同時具備上述條件之邊坡



摘圖 3、本計畫各類型之深層崩塌潛勢區位判釋流程圖。

各類別判釋結果如摘表 4，判釋的類型 A 近期發生之深層崩塌共 356 處，面積 99.47 平方公里；類型 B 早期發生之疑似深層崩塌共 376 處，面積 115.66 平方公里；類型 C 具滑動地形特徵之潛在深層崩塌共 1,003 處，面積 342.07 平方公里，類型 D 不具滑動地形特徵之潛在深層崩塌共 195 處，面積 100.94 平方公里。其中位於玉山事業區內共 380 處，大埔事業區內共 254 處，玉井事業區內共 54 處，旗山事業區內共有 540 處，屏東事業區共有 263 處，荖濃溪事業區內共有 439 處(摘表 5)。

摘表 4、各範圍之各類型崩塌處數和面積

		曾文溪流域	旗山溪集水區	荖濃溪集水區	隘寮溪集水區	總計
A	個數	21	70	217	48	356
	面積 (平方公里)	3.87	22.79	63.46	9.35	99.47
B	個數	60	58	217	41	376
	面積 (平方公里)	13.04	15.55	76.60	10.47	115.66
C	個數	185	271	415	132	1,003
	面積 (平方公里)	68.41	84.88	147.59	41.21	342.09
D	個數	42	21	90	42	195
	面積 (平方公里)	22.51	7.03	43.66	27.74	100.94
判釋面積 (平方公里)		585.36	463.63	1052.33	371.72	2473.04

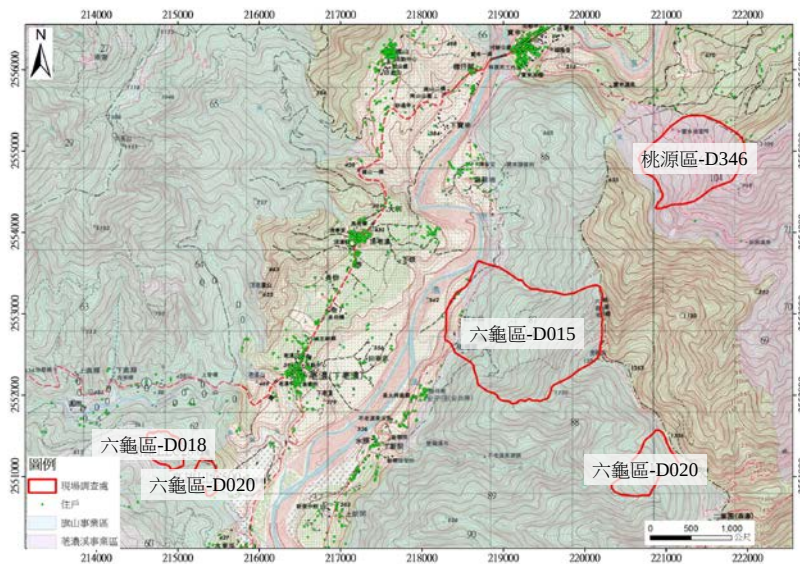
摘表 5、各事業區之各類型崩塌處數

	A	B	C	D	總計
大埔事業區	17	52	144	41	254
屏東事業區	48	41	132	42	263
旗山事業區	90	91	306	53	540
玉井事業區	4	8	41	1	54
玉山事業區	65	67	228	20	380
荖濃溪事業區	132	117	152	38	439
總計	356	376	1,003	195	1,930

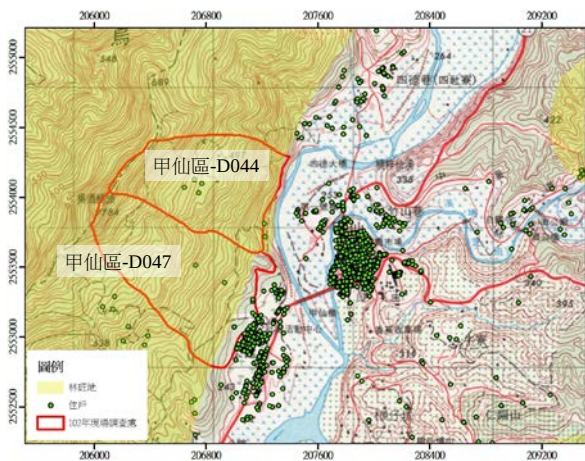
深層崩塌判釋完成後針對岩性、坡度、高程、構造距離、河道距離五個因子進行發生區位特性分析。在計畫區域範圍內大部分深層崩塌的主要岩性為砂頁岩互層或板岩；類型 A、B、D 的深層崩塌平均坡度多落在 30 到 45 度之間，類型 C 則集中在 20 到 40 度間；四種類型的深層崩塌在 500 到 2,000 公尺之間都有較高的數量分布；四種深層崩塌主要集中在有構造線通過或相切和最短距離 500 公尺以上兩個分級區間中；四種深層崩塌主要集中在有河道通過或相切、最短距離 50 公尺以下和最短距離 500 公尺以上三個分級區間中。

現地查核

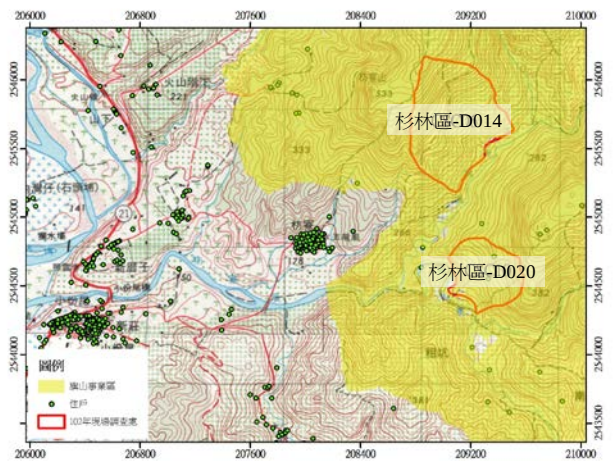
深層崩塌區位現場調查主要依交通可及、聚落安全、國有林範圍等條件進行點位篩選，執行現場勘查。共完成 10 處(摘圖 4～摘圖 8)，其中高雄寶來地區選取崩塌地編號高雄市-桃源區-D346；高雄荖濃地區選取 2 處，崩塌地編號高雄市-六龜區-D018、高雄市-六龜區-D021；藤枝地區 2 處，崩塌地編號高雄市-六龜區-D020、高雄市-六龜區-D015；高雄區甲仙附近崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044；高雄杉林區小份尾地區之高雄市-杉林區-D014 與高雄市-杉林區-D020；高雄美濃區甲河上游地區之崩塌地編號高雄市-美濃區-D004；及屏東山地門地區崩塌地編號屏東縣-三地門鄉-D086。



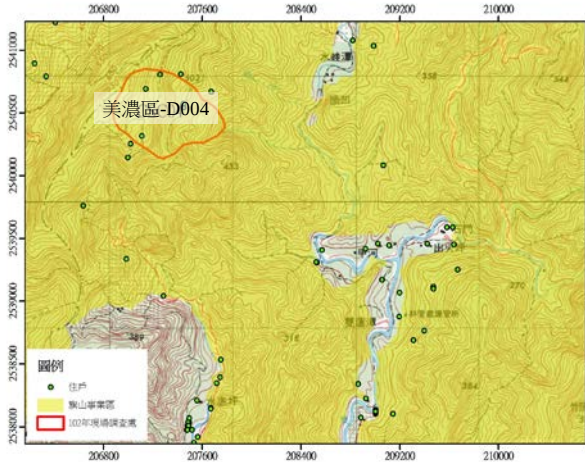
摘圖 4、高雄六龜區現場調查點位分布圖。



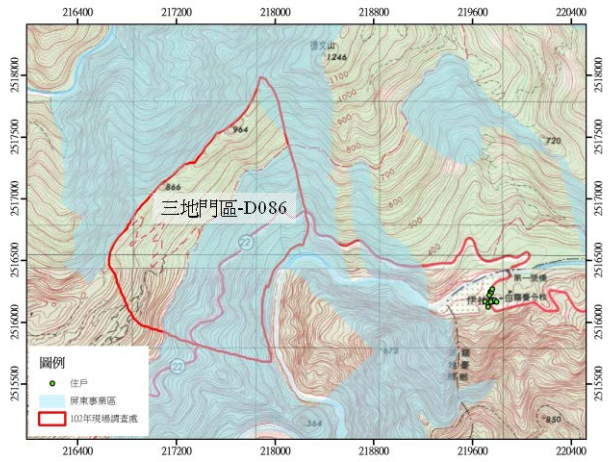
摘圖 5、甲仙地區現場調查位置分布圖。



摘圖 6、杉林區小份尾地區現場調查位置分布圖。



摘圖 7、美濃區甲河上游地區現場調查位置分布圖。



摘圖 8、山地門地區現場調查位置分布圖。

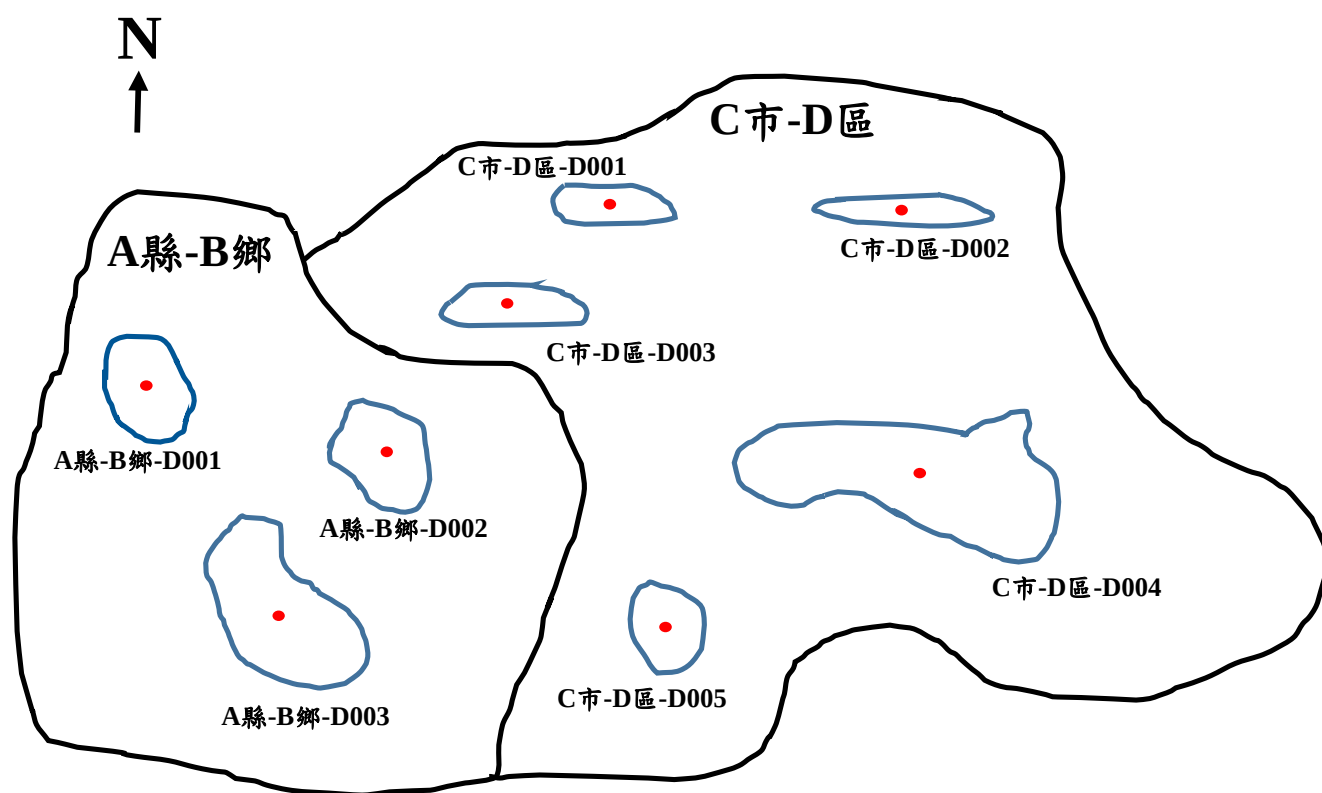
深層崩塌目錄建置

依據上述方法篩選出深層崩塌區位，以*.shp 檔進行建置。其建置規格與要求如下所述：

- 1、以 TWD97 坐標系統進行建置。
- 2、以 GIS 資料建檔將所有分析成果以「面」資料建置。

深層崩塌目錄包含地質與地形條件、崩塌機制、崩塌活動性與山崩區位等相關資訊。

另外深層崩塌編號原則是參考經濟部中央地質調查所公布的地質敏感區編號相關辦法。目前編號方法通則是以中心坐標的行政區為主，其編碼形式如:縣市名-鄉鎮市區名-D001。編號次序是取崩塌中心坐標，先由西往東，再由北往南依序編號，編號次序方法如摘圖 9 所示。



圖例

○ 深層崩塌 ● 深層崩塌中心位置

摘圖 9、深層崩塌編號示意圖。

4. 深層崩塌潛勢區危險等級評估

本工作以具滑動地形特徵之類型 C 潛在深層崩塌為分析對象，透過地質、地形、水文、崩塌、河道侵蝕與保全對象等不利條件，進行深層崩塌潛勢區危險等級評估，評估項目與細項規劃及評分(摘表 6)，分析結果位於國有林事業區範圍內如圖 3-5.1、3-5.2，包含 163 處位於高發生度等級，121 處位於高危險等級；575 處位於中發生度等級，242 處位於中危險等級；265 處位於低發生度等級，640 處位於低危險等級。

摘表 6、本研究初步擬定之深層崩塌潛勢區危險等級評估項目一覽表(方法一)

潛勢評估項目	評估細項	評分
地質不利因素	☐ 順向坡地形 ☐ 緊鄰地質構造 ☐ 岩體弱面發達 ☐ 厚層砂頁岩互層	1
地形不利因素	☐ 陡坡地形 ☐ 舊崩塌凹谷狀地形 ☐ 崖錐堆積地形	1
水文不利因素	☐ 有地表水(常流水河道、蝕溝) ☐ 有地下水(湧水)	1
崩塌不利因素	☐ 坡面崩塌發育 ☐ 崩崖 ☐ 橫向裂隙 ☐ 側邊裂隙 ☐ 趾部隆起 ☐ 坡面零散存在大型塊狀基岩	2
河道侵蝕	☐ 緊鄰河道	2
發 生 度		T ₁ (7)
高發生度：T ₁ =7 中發生度：6≥T ₁ ≥5 低發生度：T ₁ ≤4		
保全對象	☐ 門牌系統	4
危 險 度		T ₂ (11)
高危險度：T ₂ ≥9 中危險度：8≥T ₂ ≥6 低危險度：T ₂ ≤5		

另外再加入另一評估方法，使用類型 A 已發生深層崩塌及類型 C 潛在深層崩塌，以證據權重法建立評分表，針對類型 C 進行深層崩塌潛勢區發生度等級評估(摘表 7)。再參考國際減災策略組織(ISDR)公式，進行深層崩塌潛勢區危險等級評估(摘表 8、9)。分析結果位於國有林事業區範圍內包含 31 處位於高發生度等級、573 處位於中發生度等級及 399 處位於低發生度等級；危險等級評分部分，範圍內最高分數為 8 分共有兩處，位於旗山及大埔事業區內，較高危險等級者(危險等級評分大於等於 5 分)共有 26 處。

摘表 7、因子分級/分類之評分(方法二)

因子	分級/分類	Wc	因子內部評分	正規化	分數
坡度	>45 度	2.52776	2	1	4
	30~45 度	-1.23979	1.5	0.38181	1
	<30 度	-3.56673	1	0	0
河道距離	河道通過或相切	0.62732	2	0.68817	3
	無河道通過或相切	-0.62732	1	0.48231	1
岩性	板岩	0.53413	2	0.67288	3
	砂岩、砂頁岩互層 變質砂岩、片岩	-0.46676	1.5	0.50865	2
	頁岩	-2.02882	1	0.25234	1
順向坡	有	0.13551	2	0.60747	2
	無	-0.13551	1	0.563	1
構造距離	構造線通過或相切	0.08426	2	0.59906	2
	無構造線通過或相切	-0.08426	1	0.57141	1
發 生 度					T₁(14)
高發生度：14≥T ₁ ≥10 中發生度：9≥T ₁ ≥7 低發生度：T ₁ ≤6					

摘表 8、保全評分表(方法二)

	保全對象	分數
住戶	住戶 20 戶以上	5
	住戶 10 到 19 戶	4
	住戶 10 戶以下	3
交通	主要連外道路、橋梁	2
	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)	4
	水庫蓄水區	4
保全重要性評分		T₂(15)
高重要性：15≥T ₂ ≥10 中重要性：9≥T ₂ ≥5 低重要性：4≥T ₂ ≥1 無：T ₂ =0		

摘表 9、危險等級評分表(方法二)

危險等級評分表 (方法二)		保全重要性			
		高	中	低	無
發生度等級	高	9	6	3	0
	中	8	5	2	0
	低	7	4	1	0

為有效鑑別保全對象差異，方法三將方法二危險度評估方法加以修正。保全評分部分，多加住戶戶數大於 50 戶以上為一個等級，且分數再以原本分數加以平方作為新的保全評分依據如摘表 10。另也調整危險等級評分表，將中保全重要性及高發生度等級調整為 7 分，高保全重要性及低發生度等級調整為 6 分，中保全重要性及低發生度等級調整為 3 分，低保全重要性及高發生度等級調整為 4 分(摘表 11)。最終危險等級評分結果較高危險度共有 11 處(危險等級評分大於等於 6 分)。

摘表 10、保全評分表(方法三)

	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： $72 \geq T_2 \geq 36$ 中重要性： $35 \geq T_2 \geq 12$ 低重要性： $11 \geq T_2 \geq 1$ 無： $T_2 = 0$		

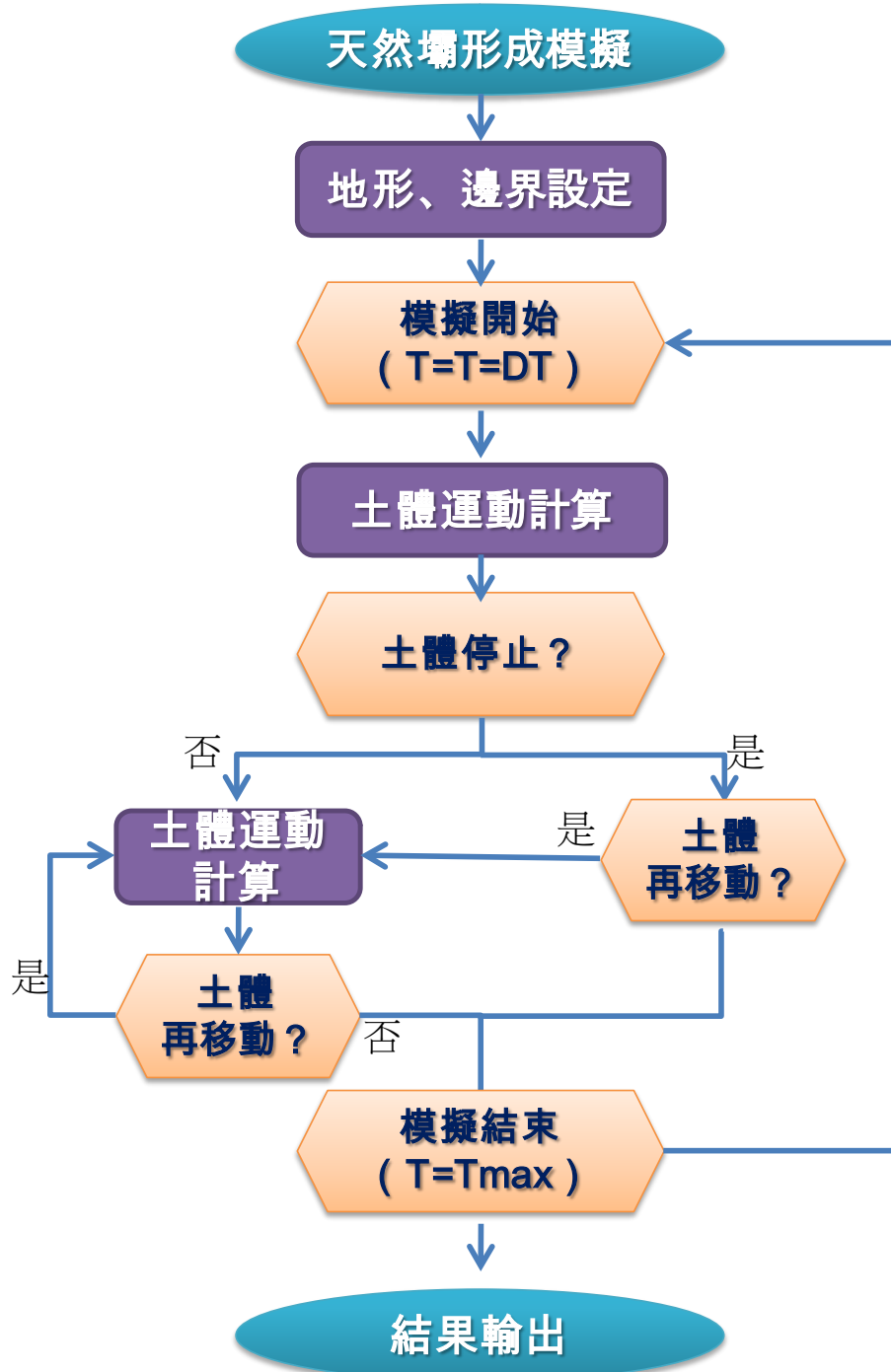
摘表 11、危險等級評分表(方法三)

危險等級評分表 (方法三)		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

比較三種方法，由潛在深層崩塌(類型 C)轉換為已發生深層崩塌(類型 A)比例，可發現方法二及三在高發生度等級達 66%，而方法一則約只有 34%，顯示發生度等級評估方法以方法二及三較為適當。危險度等級評估部分，方法一其評分總和差異並不明顯，故不同危險度差異有限，而方法三較方法二更能凸顯保全重要性的差異，故建議以方法三進行潛在深層崩塌危險等級評估。此評估方法仍屬研究階段，初步以方便取得相關資料進行整體性分析初估，後續建議再檢討評估項目及因子，改進現有評估方法，以建立符合國內深層崩塌潛勢區危險等級評估方法。

5. 深層崩塌與天然壩形成之情境模擬

本計畫選定研究區域內共十處可能發生深層崩塌地點，由現場調查與判釋得到崩塌潛勢範圍外，再利用 STABL 進行邊坡穩定性分析，求得可能之破壞面，當得到這些資料後，可以得到深層崩塌發生後之不安定土體，進行土體運動分析，以推求天然壩形成條件，包含堆積範圍、堆積土方以及壩體形狀等，土體運動分析方法係透過宮本(2000)所提出之土體運動方法進行，其模式假設崩壞土體運動中的過程可以以顆粒流型態來描述之，以連體力學的觀念建立連續、動量方程式與顆粒流之本構方程式，用以模擬邊坡破壞土體起動後之運動過程，該模式可考量固、液混和後之土體運動現象，不同於現有模式僅能模擬地震(乾燥狀態)下土體運動過程，更能模擬在颱風、豪雨期間(飽和狀態)的土體運動過程(摘圖 10)。



摘圖 10、天然壩形成解析計算流程圖。

模擬結果顯示 8 處有阻斷河道，其壩高各為分別為(1) 高雄市-六龜區-D015，其壩高平均在 0~20 公尺間；(2) 高雄市-桃源區-D346，其壩高平均在 20~30 公尺間；(3) 高雄市-六龜區-D012，其壩高平均在 20~30 公尺間；(4)屏東縣-三地門鄉-D086 為 70 公尺；(5)高雄市-甲仙區-D044 北面坡為 20 公尺；(6)高雄市-美濃區-D004 為 34 公尺；(7)高雄市-杉林區-D014 為 23 公尺；(8)高雄市-杉林區-D020 為 24 公尺。

6. 研擬處理對策

本計畫經深層崩塌判釋區位判釋以及現地查核後，確認具有持續發展潛勢之深層崩塌區位，若其崩塌影響範圍內有重要保全對象，則提出相關後續處理對策，供權責單位參考。首先進行深層崩塌潛勢判釋與危險度評估後，之後主要工作項目有二：(一) 地表監測、崩塌細部地表特徵與活動性評估，及影響範圍評估；(二) 告知相關防救災權責單位相關資訊，以利權責單位依其業務需求進行參考與評估。本計畫危險等級分析初步成果包含 11 處位於較高危險等級(危險等級評分大於等於 6 分)與 1 處位於曾文水庫集水區內的潛在深層崩塌(危險等級評分 5 分)。針對評估結果本計畫提出後續處理對策，地表監測、崩塌地表細部活動性及影響範圍評估工作項目。

7. 深層崩塌潛感分析模式評估

國內外常用的潛感分析模式有(1)邏輯斯回歸、(2)模糊集合理論、(3)類神經網路及(4)證據權重法。本計畫將使用證據權重法進行研究區域深層崩塌潛感分析。選用類型 A 及 C 兩種不同之深層崩塌目錄，並採用證據權重法以坡面單元作為分析基礎進行潛感分析，藉以評估曾文溪流域、旗山溪集水區、荖濃溪集水區與隘寮溪集水區四個區域範圍內的深層崩塌發生潛勢。其成功率曲線 AUC 值分別為曾文溪流域：0.800；旗山溪集水區：0.800；荖濃溪集水區：0.723；隘寮溪集水區：0.731。另外分析各個深層崩塌的潛感層級並統計數量，四個流域、集水區內的極高與高潛感區中，都有包含了共約 50%的類型 C 深層崩塌，顯示所製作的潛感圖具有一定的預測能力(摘表 12)。

摘表 12、各潛感層級所包含的深層崩塌數量

		曾文溪流域		旗山溪集水區		荖濃溪集水區		隘寮溪集水區	
		類型 A	類型 C	類型 A	類型 C	類型 A	類型 C	類型 A	類型 C
極高潛感	個數	16	69	47	102	107	167	32	68
	百分比	57.14%	29.74%	63.51%	32.69%	41.63%	31.87%	54.24%	32.85%
高潛感	個數	7	45	8	56	58	109	12	45
	百分比	25.00%	19.40%	10.81%	17.95%	22.57%	20.80%	20.34%	21.74%
中潛感	個數	1	45	14	51	49	107	6	55
	百分比	3.57%	19.40%	18.92%	16.35%	19.07%	20.42%	10.17%	26.57%
低潛感	個數	3	43	3	48	31	68	6	22
	百分比	10.71%	18.53%	4.05%	15.38%	12.06%	12.98%	10.17%	10.63%
極低潛感	個數	1	30	2	55	12	73	3	17
	百分比	3.57%	12.93%	2.70%	17.63%	4.67%	13.93%	5.08%	8.21%

8. 檢討本計畫成果與莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告之差異性

本計畫執行之成果與經濟部中央地質調查所提交之「莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告」進行比較檢討，針對異同作出分析比較說明。以下針對(1)工作目的、(2)工作範圍及(3)工作項目進行比較說明。

(1)工作目的

莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告：調查直接或間接影響聚落安全，進行潛在大規模崩塌區位調查；本計畫：有系統地對國有林重點流域進行深層崩塌判釋及調查，找出具有深層崩塌發生潛勢之區位，以供防減災工作執行之參考。

(2)工作範圍

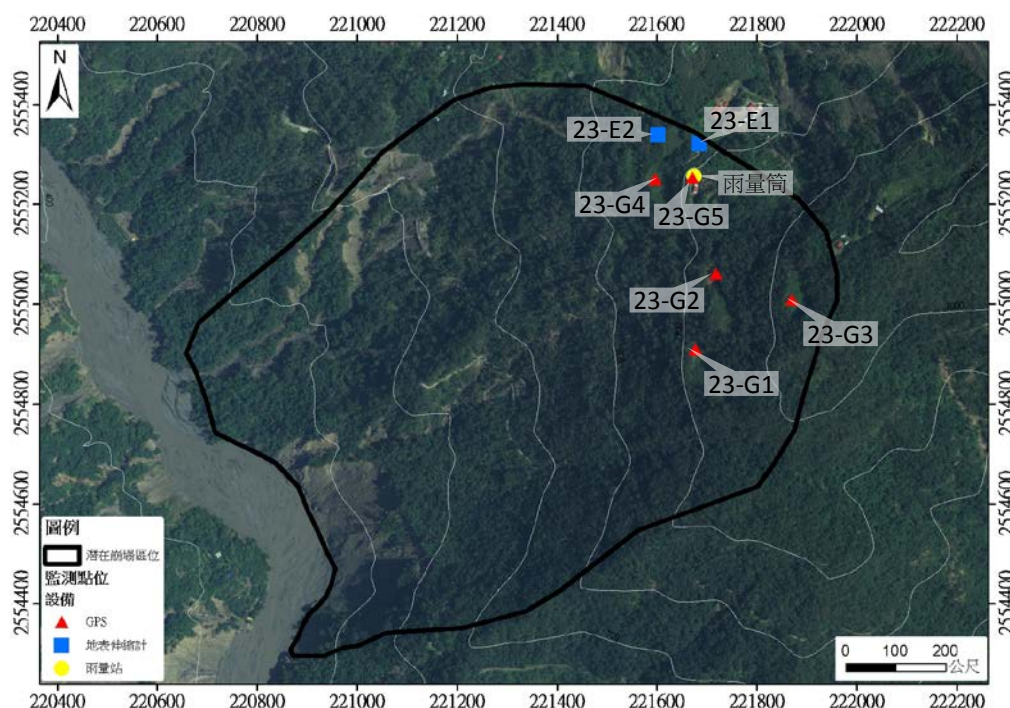
莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告：南部區域 100 幅比例尺 1/5,000 地形圖圖幅範圍；本計畫：南部重點流域國有林地。

(3)工作項目

莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告：調查影響聚落安全，進行深層崩塌區位分析；本計畫：南部重點流域國有林地及深層崩塌區位分析與堰塞湖模擬。調查直接或間接影響聚落安全，進行潛在大規模崩塌區位調查。

9. 監測規劃及試辦

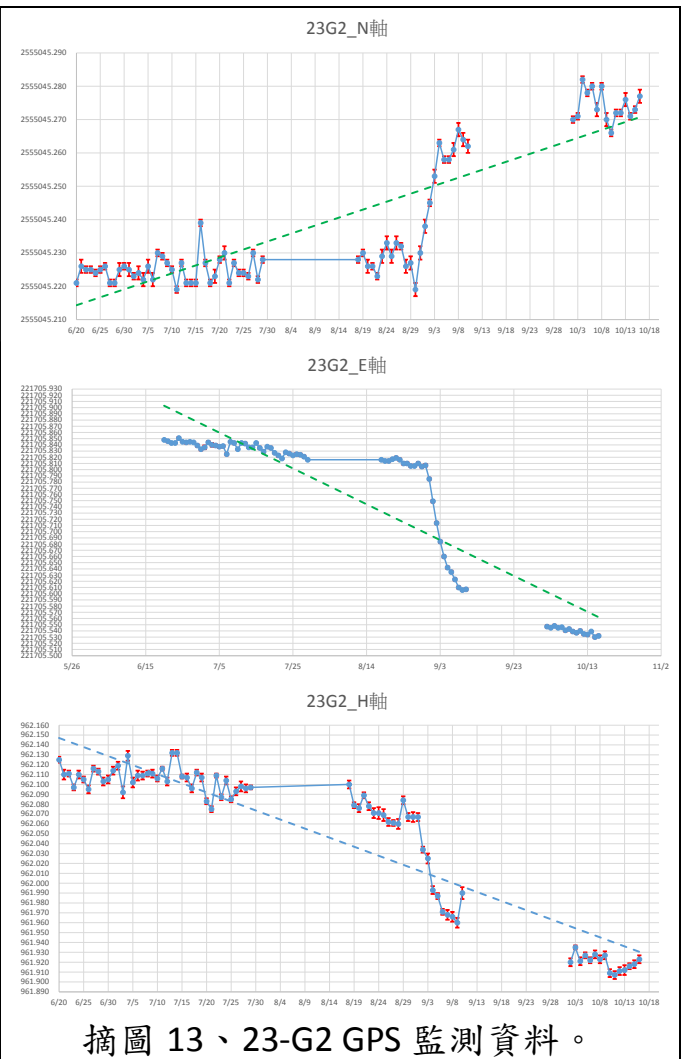
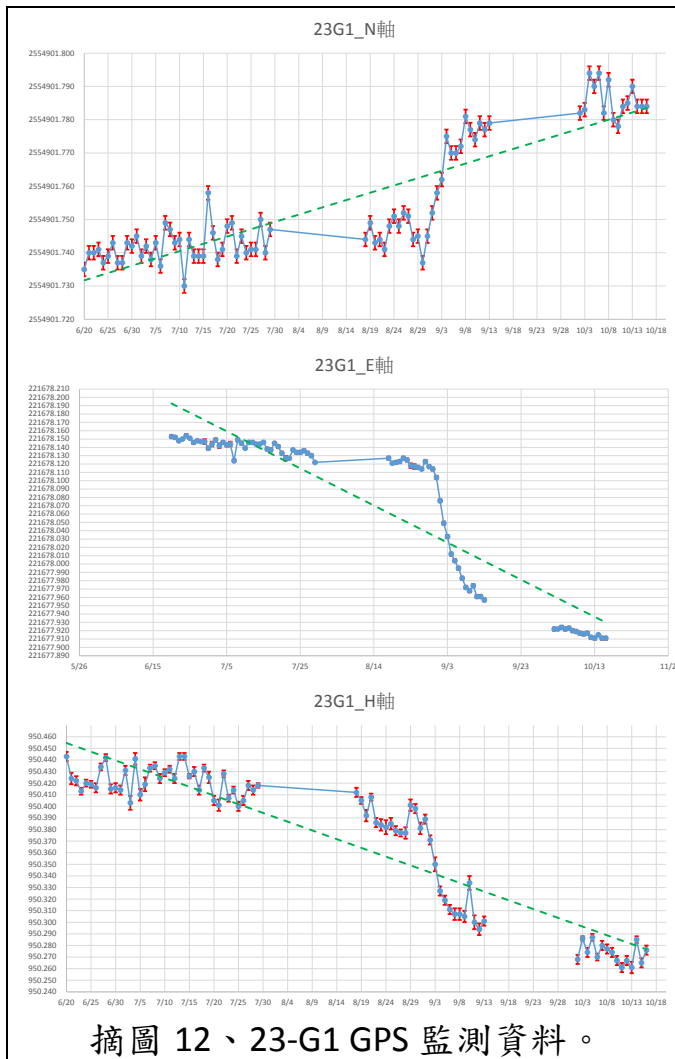
依據坡面透空度、透視度、保全住戶和活動性綜合評估結果，為取得較佳且連續性高的監測資料，監測點位選點以活動性高為原則，次之考慮保全住戶數目。本計畫選定高雄市-桃源區-D346 為監測試辦點位。為得到較佳監測資料與確保資料的連續性，本計畫將施作單頻 GPS 站並配合雨量計進行坡面大面積監測，並配合地表伸縮計量測坡面裂隙寬度變化(摘圖 11)。

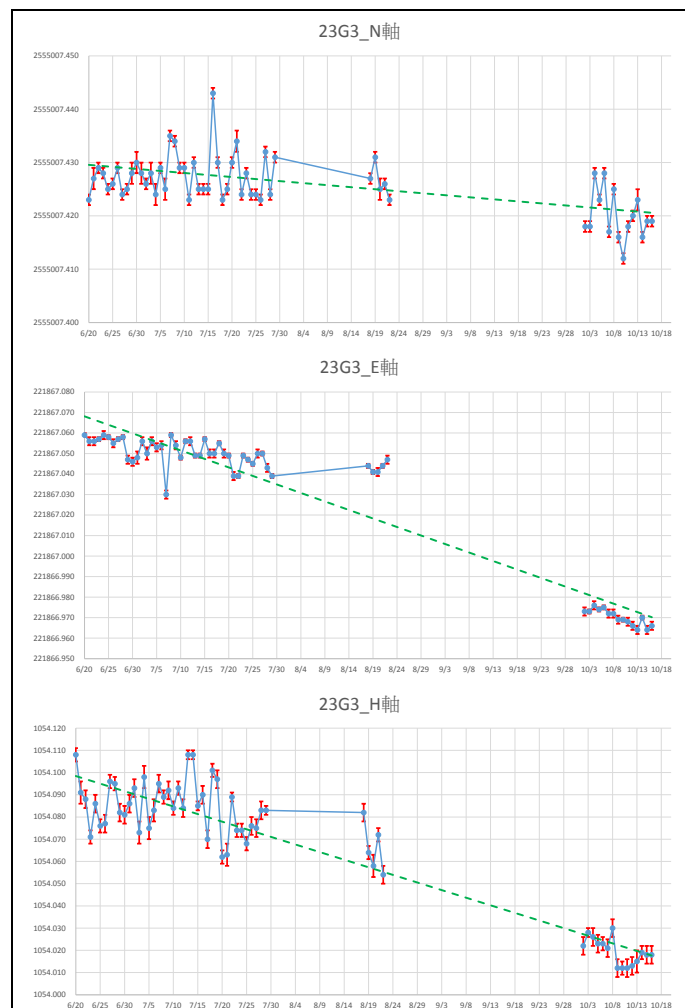


摘圖 11、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 監測儀器埋設位置。

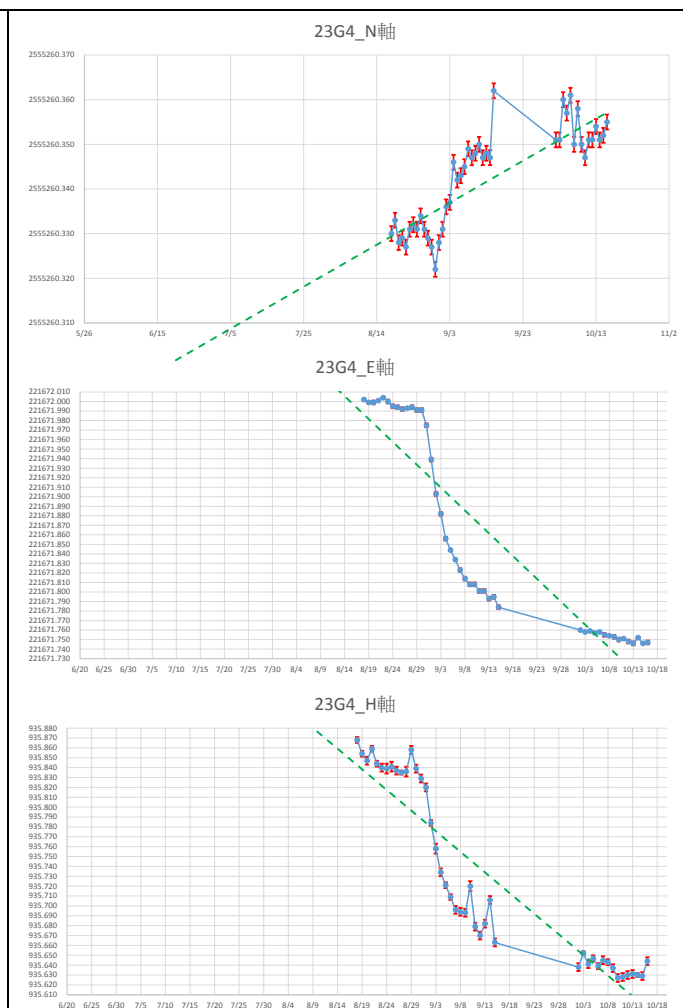
監測結果

GPS 接收時間為 102 年 6 月 20 日迄今，測量分析結果顯示其位移趨勢為往西北向移動，高程部分則有往下滑動趨勢(摘圖 12～摘圖 16)。

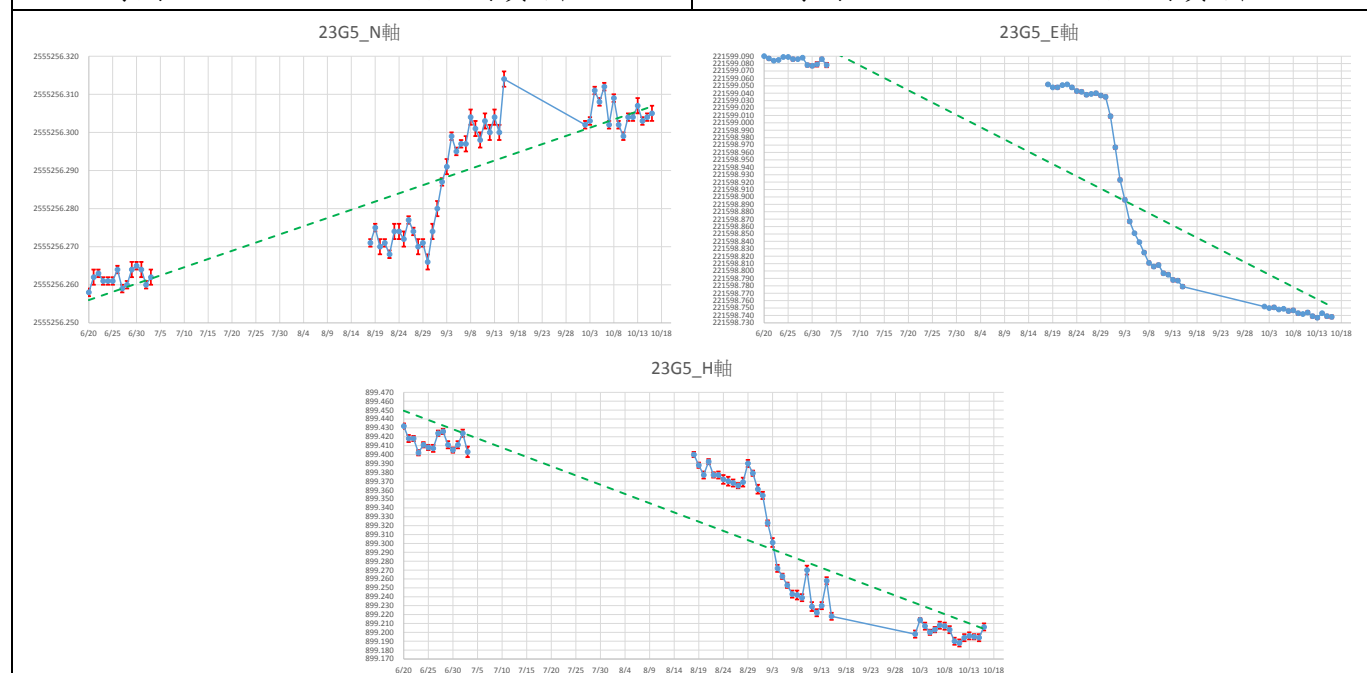




摘圖 14、23-G3 GPS 監測資料。

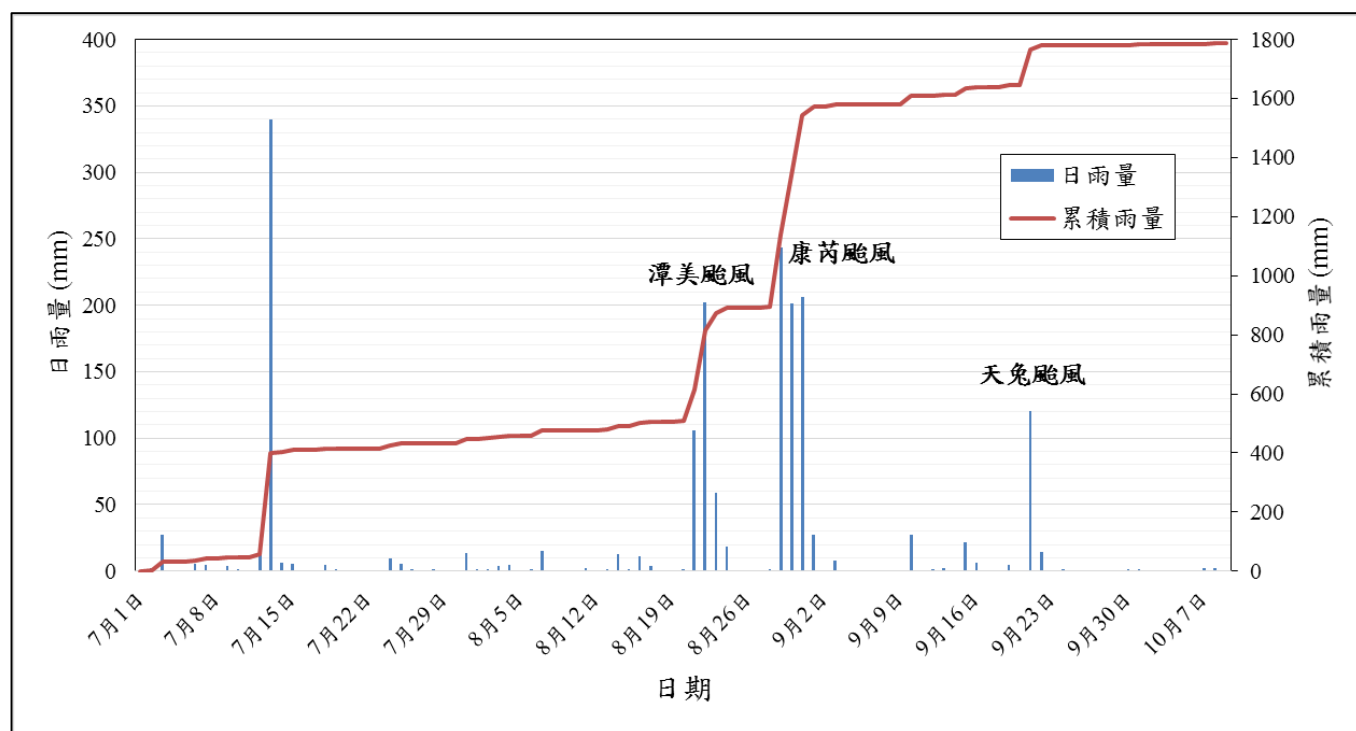


摘圖 15、23-G4 GPS 監測資料。



摘圖 16、23-G5 GPS 監測資料。

坡面降雨量部分，紀錄時間為 102 年 7 月 1 日迄今，此期間明顯降雨有三個事件(摘圖 17)，分別為：(1)8 月 20 日～8 月 24 日，潭美颱風，其累積雨量為 386 毫米；(2)8 月 27 日～9 月 1 日，康芮颱風，其累積雨量為 680 毫米；(3)9 月 19 日～9 月 22 日，天兔颱風，其累積雨量為 139.5 毫米。



摘圖 17、坡面降雨量觀測結果。

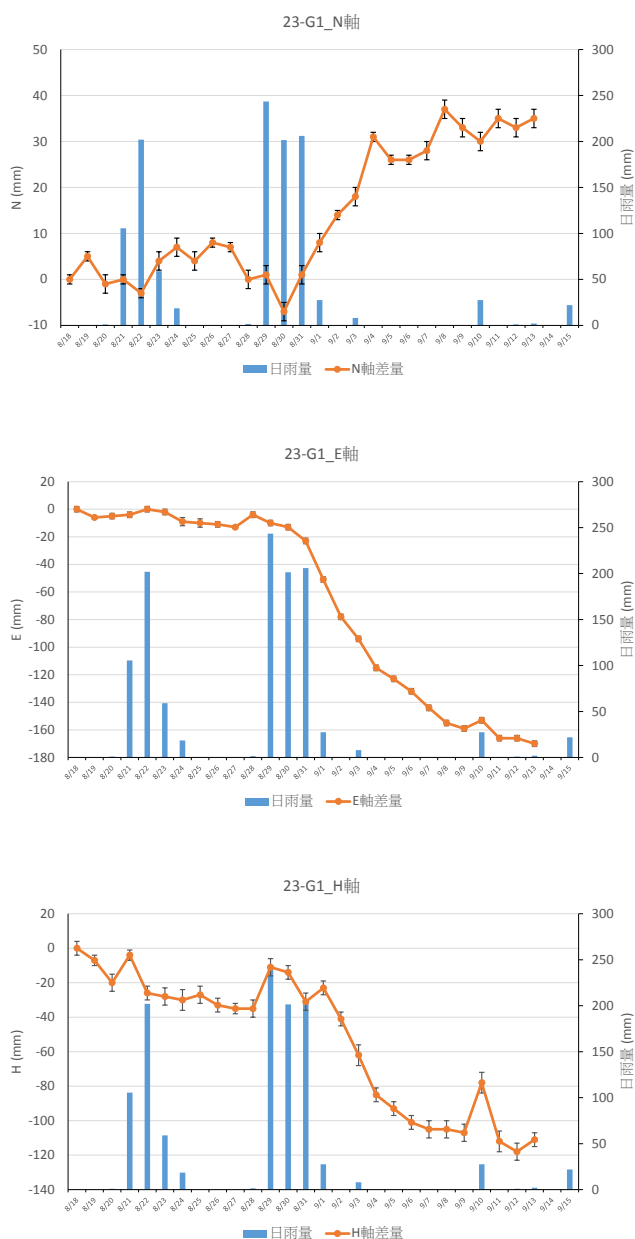
地表伸縮計自 102 年 8 月 17 日架設至今，其結果顯示 8 月 17～10 月 2 日，監測點 23-E1 約有 8 公分的拉伸量，而監測點 23-E2 也約有 5 公分的拉伸量；而 10 月 2 日～10 月 25 日，兩個監測點則無明顯的變化量(摘表 13)。

摘表 13、地表伸縮計分析結果

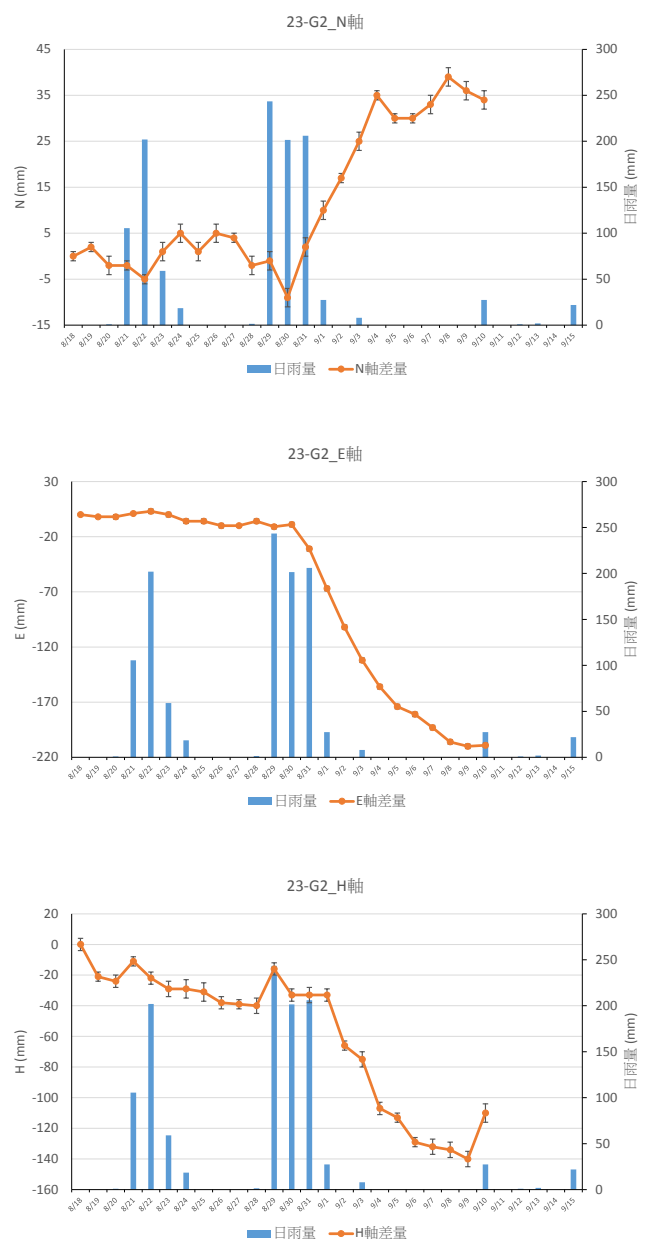
日期	23-E1			23-E2		
	讀取數值	對應長度 cm	變化量 (cm)	讀取數值	對應長度 cm	變化量 (cm)
102/08/17	0.567	11.45013231	(初始值)	0.700	14.15099300	(初始值)
102/10/02	0.970	19.63745210	8.18731979	0.950	19.23099050	5.07999750
102/10/25	1.000	20.24693000	0.60947790	0.970	19.63739030	0.40639980

比對 GPS 監測資料與雨量資料，在康芮颱風的降雨影響最為明顯，在南北向分量，最大約有 4.3 公分往北分量；東西向分量，最大約有 27.3 公分往西分

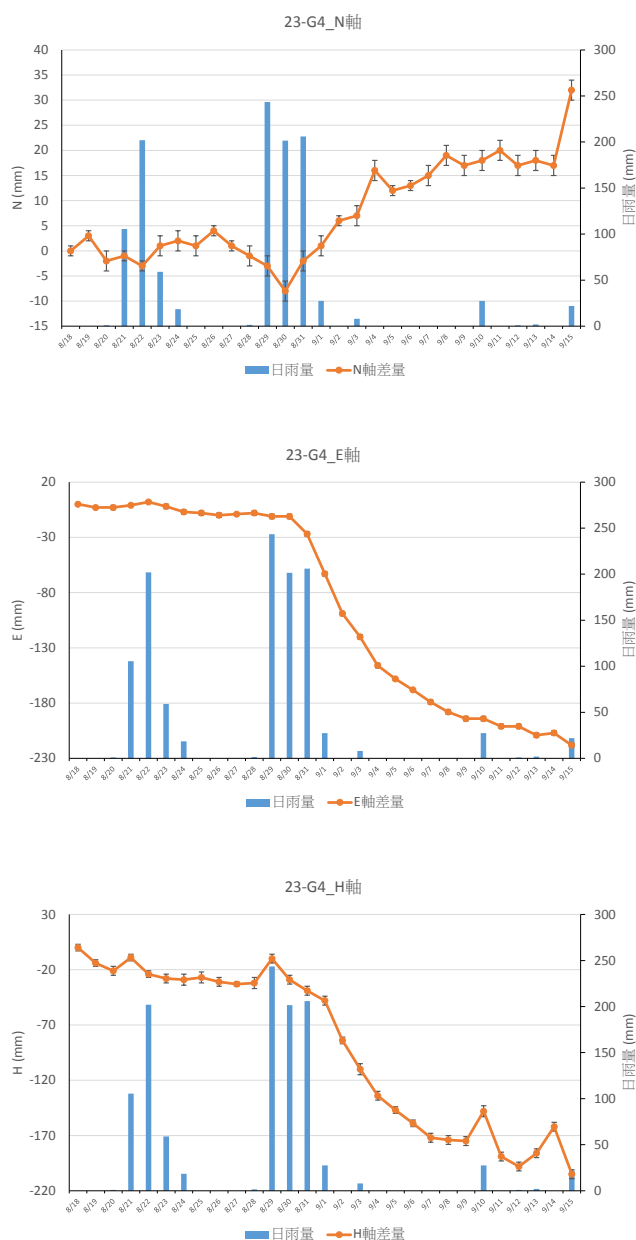
量；高程向分量，最大約有 20.5 公分往下分量(摘圖 18～摘圖 21)。顯示崩塌地高雄市-桃源區-D346 因降雨因素造成往西向下滑動，此趨勢與坡向相符。比對地表伸縮計與雨量資料，也可發現在 8 月 17～10 月 2 日期間共經歷了三次颱風事件(潭美、康芮、天兔颱風)，監測點 23-E1 約有 8 公分的拉伸量，監測點 23-E2 也約有 5 公分的拉伸量，而 10 月 2 日～10 月 25 日，因無明顯的降雨事件影響，兩個監測點皆無顯著的變化量，顯示崩塌地高雄市-桃源區-D346 因降雨因素造成明顯的滑動。



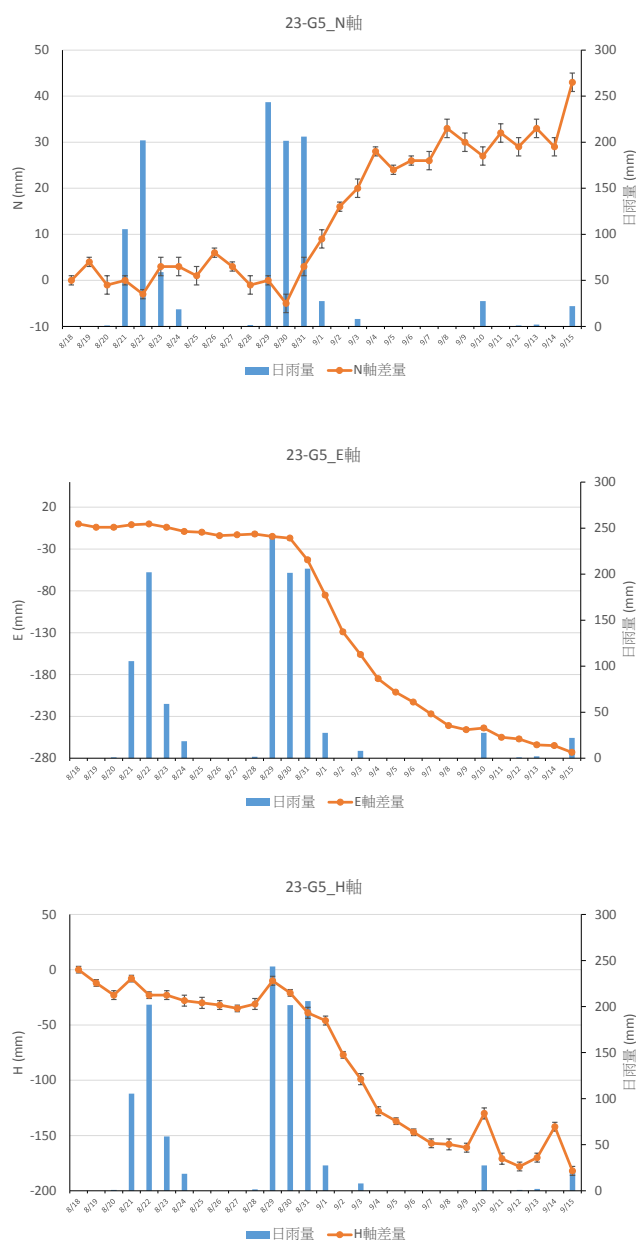
摘圖 18、23-G1 GPS 監測資料與雨量資料比對。



摘圖 19、23-G2 GPS 監測資料與雨量資料比對。



摘圖 20、23-G3 GPS 監測資料與雨量資料比對。



摘圖 21、23-G4 GPS 監測資料與雨量資料比對。

壹、前言

1-1、計畫目的

民國 98 年 8 月莫拉克颱風災後，深層崩塌的發生潛勢成為國內相關單位調查研究之重點，100 年度行政院農委會林務局(以下簡稱林務局)辦理「國有林地深層崩塌及堰塞湖形成潛勢與影響範圍調查評估—濁水溪上游集水區」委託案，以濁水溪流域國有林為示範區進行試驗性之深層崩塌判釋與致災潛勢評估，利用地質、地形與水文條件篩選與現地調查方式，判釋調查數處具深層崩塌發生潛勢之區位，供權責單位防減災整備之參考。然而，深層崩塌的發生成因與破壞機制極具複雜性，調查技術及評估方法均尚在持續發展階段，仍存有諸多問題亟待研究釐清。因此，林務局賡續辦理委託計畫，期盼建立一套確實可行之判釋、調查與潛勢評估方法，有系統地對國有林重點流域進行深層崩塌判釋及調查，找出具有深層崩塌發生潛勢之區位，供防減災工作執行之參考。

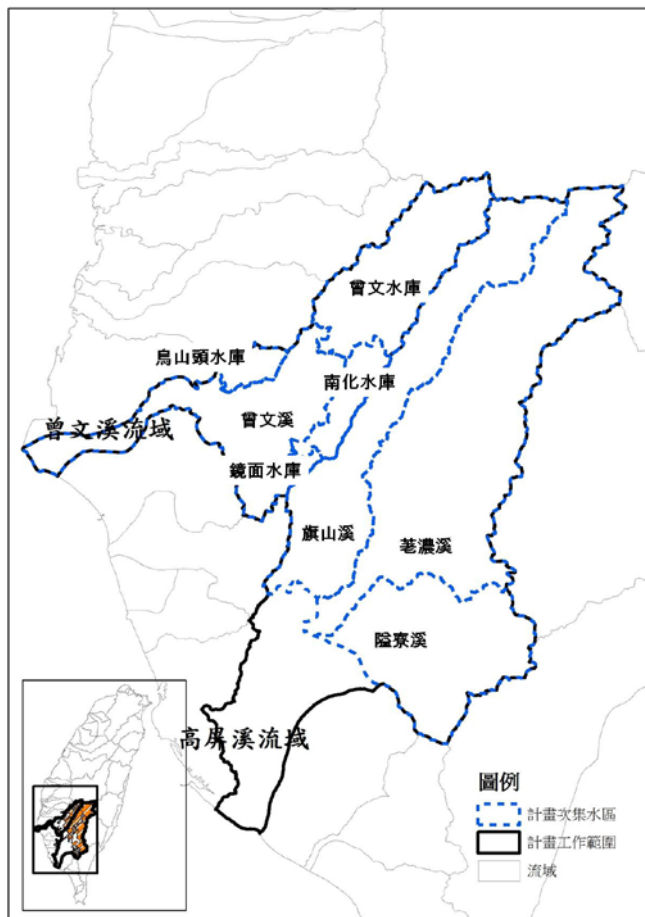
本計畫調查之深層崩塌指的是潛在發生面積大於 10 公頃之崩塌地，其崩塌深度達於岩盤或大於 10 公尺。此一調查對象與經濟部中央地質調查所及行政院農委會水土保持局所進行之相關調查研究所指之大規模崩塌相同。

1-2、工作範圍

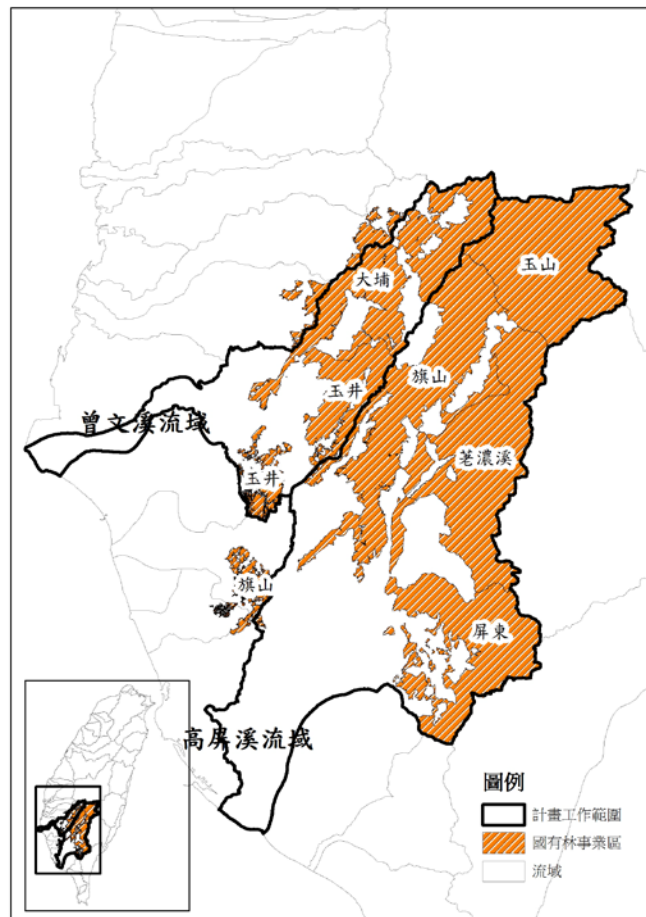
計畫範圍包括高屏溪流域及曾文溪流域上游集水區，涵蓋荖濃溪、旗山、玉山、屏東、玉井、大埔等國有林事業區，相關區位如圖 1-1.1 所示。

101 年以高屏溪流域之荖濃溪集水區為工作範圍。

102 年以高屏溪流域上游之旗山溪、隘寮溪集水區以及曾文溪流域之曾文溪、南化水庫、鏡面水庫、曾文水庫等集水區內之國有林班地為工作範圍。



計畫範圍集水分區



計畫範圍林班地

圖 1-1.1、計畫工作範圍。

1-3、工作項目及內容

(一) 基礎資料與案例蒐集分析

1、基礎資料蒐集

蒐集計畫範圍基本資料，包括人文、土地利用、地文、水文及氣象、山崩目錄、環境地質圖、地質圖、山崩潛感圖、數值高程模型、航空照片、衛星影像、水系圖、道路圖等資料。

2、歷史深層崩塌案例分析

利用多時期遙測影像及數值地形資料，判釋計畫區域內已發生深層崩塌之案例（101 及 102 年度範圍均至少 5 個案例），並探討其崩塌特性。

(二) 深層崩塌調查、判釋方法檢討及評估

參考林務局 100 年度「國有林地深層崩塌及堰塞湖形成潛勢與影響範圍調查評估—濁水溪上游集水區」計畫之調查及判釋方法，並與國、內外常使用之方法進行比較，依相關圖資與操作可行性，進行方法檢討與評估，研提執行深層崩塌潛勢區調查之作業方法。（101 年完成）

(三) 深層崩塌潛勢區位判釋、現地調查與分析

1、深層崩塌潛勢區位判釋與現地查核

- (1)圖資判釋：運用研提之作業方法，判釋計畫範圍內具深層崩塌發生潛勢之地點，並圈繪其範圍。
- (2)現地查核：針對所判釋之深層崩塌潛勢區位，依據各區位之交通可及性進行現地查核與調查，複核判釋成果之正確性。
- (3)現地會勘：依據現地查核結果，考慮交通可及性，提出既有且持續發展之潛勢區位辦理至少 5 處之現場勘查(101 及 102 年度均至少 5 處)，並應事先提送現勘計畫。

2、深層崩塌目錄建置

計畫調查成果必須建置深層崩塌目錄，包含發生位置、規模、性質、地質與地形條件等。

(四) 深層崩塌潛勢區危險等級評估

針對計畫範圍內所判釋圈繪具深層崩塌發生潛勢之地點，設定影響評估因子，進行危險等級分級。

(五) 深層崩塌與天然壩形成之情境模擬

於 101 及 102 年度之工作範圍，分別選定 5 處深層崩塌潛勢範圍之地形地質調查分析所得破壞面位置，分析不同降雨量、地下水文條件、可能破壞面之情境模擬，探討在不同情境下之深層崩塌運動，並研判天然壩可能之形成位置、規模及穩定性等，以及堰塞湖可能之形成蓄水規模。

(六) 研擬處理對策

針對計畫範圍經判釋與現地查核確認具有持續發展之深層崩塌區位，若崩塌影響範圍內有重要保全對象，須提出緊急以及後續處理對策，供權責單位參考。

(七) 深層崩塌潛感分析模式評估

利用統計分析或相關方法進行深層崩塌潛感分析之評估研究，內容至少包含評估因子選定、因子量化、因子權重分析等項目，初步建立評估方法與模式，並選定示範區域 5 處進行測試，檢討評估方法之可行性，提供後續評估方法及模式修正之參考。

(八) 檢討本計畫成果與莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告之差異性

針對經濟部於 101 年 5 月檢送該部中央地質調查所完成之「莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告」，探討其判釋技術篩選之成果資料，與本計畫調查評估與判釋進行比較，並檢討成果差異分析。

(九) 監測規劃及試辦

於 101 年度判釋並經現地查核之深層崩塌潛勢區位，選定危險度較高地區 1 處進行規劃試辦監測作業，設置所需相關設備儀器，以瞭解並掌握變化情形。

(十) 深層崩塌調查作業手冊

考量深層崩塌調查所需基礎資料之項目、來源與精度限制等，建立符合國內現況使用，且可實際操作之深層崩塌圖資判釋及調查作業流程與方法。(102 年完成)

(十一) 成果圖資製作

- 1、製作比例尺 1/10,000 深層崩塌潛勢區位圖及 GIS 圖層 1 式。
- 2、製作比例尺 1/10,000 深層崩塌影響範圍圖及 GIS 圖層 1 式。

(十二) 教育訓練與技術移轉

國有林深層崩塌圖資判釋及調查作業教育訓練講習會 2 場 (102 年)。

貳、工作計畫及方法

2-1、工作方法及流程

根據本計畫工作內容及目標，訂定工作執行流程如圖 2-1.1，首先進行資料收集與判釋方法檢討，確立判釋方法後即進行計畫範圍內深層崩塌之區位判釋及現地查核，評估其危險潛勢，並利用數值模式進行情境模擬，評估其影響範圍，後續再針對高潛在危險區位進行監測及對策研擬，最後完成成果產製與技術轉移，完成計畫工作。

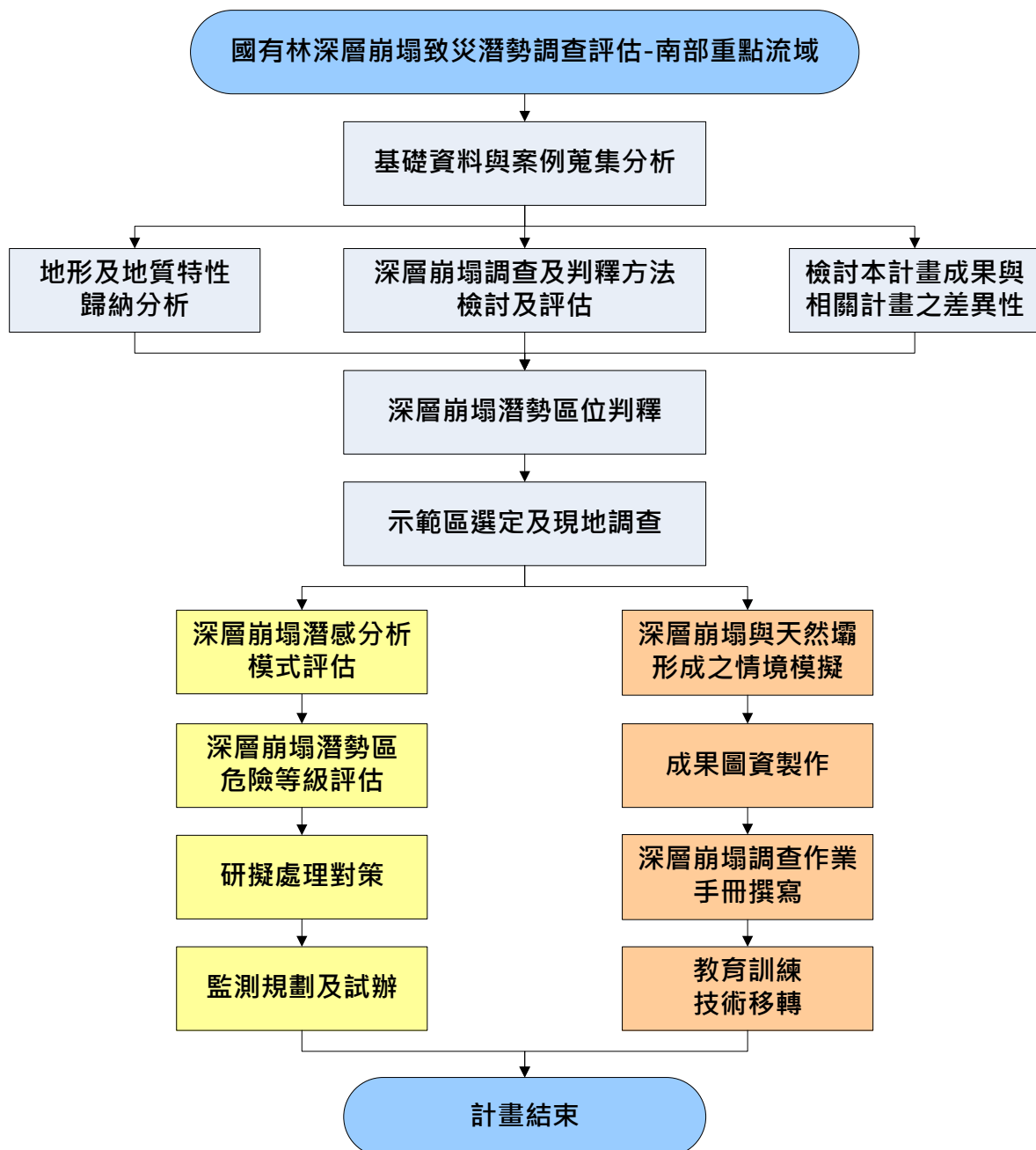


圖 2-1.1、工作執行流程圖。

2-2、基礎資料與案例蒐集分析

2-2.1、基礎資料蒐集

本計畫為延續 100 年度計畫成果，以南部重點流域為對象，利用地質、地形、水文條件篩選與現地調查方式，判釋調查具深層崩塌發生潛勢之區位，有系統地對國有林重點流域進行深層崩塌判釋及調查，找出具有深層崩塌發生潛勢之區位，供防減災工作執行之參考。

2-2.2、歷史深層崩塌案例分析

除就計畫範圍之環境特性進行資料蒐集與分析外，本計畫另需利用多時期遙測影像及數值地形資料，判釋計畫區域內已發生深層崩塌之案例，並探討其崩塌特性。針對各案例之崩塌特性，本團隊將其分成 4 項重點進行分析，簡要說明如下：

1. 地質條件

針對各案例之地質條件進行特性分析與說明，包括其岩性、岩層與構造位態、破裂面發育情形等，綜整分析其與深層崩塌之相互關聯性。

2. 地形與影像特徵分析

利用事件前後地形與影像資料之比對，分析其地形與影像特徵，比較其裸露情形、裂隙與崩崖發育狀況、以及崩積形狀變化之現象等。

3. 崩塌活動性

崩塌活動性調查方面，主要針對鄰近區域地質不利因素，如斷層、弱面發育與分布狀況進行評估分析。

4. 崩塌發生機制

除針對環境條件分析說明外，另配合相關水文或地震事件資料，判斷其可能之崩塌滑動機制與條件。

2-3、深層崩塌調查、判釋方法檢討及評估

(一) 深層崩塌判釋方法評估

本項工作透過國內外文獻蒐集，綜整相關文獻所提及有關深層崩塌判釋與調查之方法，依據各方法所需圖資之可及性與操作之可行性進行比較與檢討，圖資材料之可及性檢討包括衛星影像、航空照片、不同精度之數值地形、地質圖資、以及各類基本資料，各種判釋方法之比較與檢討則包括崩塌區之裸露區與植生特徵判釋、地形特徵判釋、細微地形特徵判釋與有利深層崩塌發育之因子分析等進行評估，以了解各材料之精度、限制條件與各方法之優勢與用途，並評估各類材料與判釋方法與後續調查方法串接之可行性。

針對圖資判釋方法之比較，除傳統利用航照立體相對進行崩塌之判釋方法外，同時將評估利用空載光達產製之高精度數值地形進行深層崩塌判釋之方法可行性，以及利用地質構造、順向坡、破碎岩體、河岸侵蝕、人工切割坡腳等有利崩塌發育因子區位之輔助判釋方法等。針對資料可取得性、判釋成果正確性，判釋所需之人力、時間與經費等項目進行檢討，提出具操作性與可行性之作業方法。

(二) 深層崩塌調查方法評估

深層崩塌調查目的為確認上述判釋方法篩選出區位為深層崩塌，同時進一步評估深層崩塌之滑動範圍、深度與潛在之崩塌土方等量體資訊。目前國內外相關之研究針對深層崩塌調查方法主要可歸納為「現地調查」、「地物探勘」、「地質鑽探」、等三部分，各方法之應用與限制初步歸納如表 2-3.1。而本計畫將注重在現地調查方法，評估各類型深層崩塌之現地地質與地形特徵。

表 2-3.1、本計畫深層崩塌調查方法類型分類表

調查方法	調查項目	應用範圍	限制
現地調查	崩塌地形特徵	確認崩塌特徵	人力可及處
	滑動範圍調查	確認崩塌範圍	人力可及處
	不利因子調查	了解表面水與地下水狀況，與坡腳切割情形	須有常流水與地下水情形
	地質調查	確認地質模式與崩塌類型	需有可供調查之岩盤露頭
地物探勘	1. 地電阻調查 2. 水體電導度調查	1. 了解深層崩塌之岩性與地層弱面分布狀況 2. 確認水體沿弱面流動後出露地表之位置，釐清是滑動界限	1. 受限地形 2. 須有常流水與地下水情形
地質鑽探	弱面及滑動面判釋	確認滑動面深度、地下水情形與弱面狀況	需鑽探機具可到達位置

2-4、深層崩塌潛勢區位判釋、現地調查與分析

2-4.1、深層崩塌潛勢區位圖資判釋

本團隊將調查潛在崩塌面積大於 10 公頃者為深層崩塌潛勢區位之必要條件，利用航照與數值地形產製之日照陰影圖與坡度圖等資料進行判釋，結合有利崩塌發生之各項地質與地形因子分析等方式，有系統找出計畫工作區域內各類型之深層崩塌潛勢區位，並針對位於計畫工作區域內可能產生破壞之潛在深層崩塌潛勢區位進行現地崩塌深度確認、地質調查、水文不利因素調查，藉以評估深層崩塌潛勢區位之可能崩塌深度、活動性與形成堰塞湖可能的位置與規模等。

工作初期將深層崩塌分成已發生大規模破壞或尚未發生但有潛勢發生兩大類。已發生大規模破壞者又依崩塌區域裸露與植生復育程度，將多數崩塌區域尚呈新鮮裸露狀態者歸類為近期發生之深層崩塌(類型 A)，而崩塌區域多已植生復育者則稱為早期發生之深層崩塌(類型 B)。尚未發生大規模破壞則分為具有破壞初期所顯現微地形特徵者之潛在深層崩塌(類型 C)，而不具明顯崩滑微地形，但具有利於崩塌發生之地形與地質因子者，歸類為不具崩塌地形特徵之潛在深層崩塌(類型 D)，茲將各類型深層崩塌潛勢判釋流程、區位特性與判釋方法敘述如後(表 2-4.1、圖 2-4.1)：

表 2-4.1、本計畫深層崩塌類型分類表

類型	類型說明	崩塌特性	地形特性
A	近期發生之深層崩塌	已崩塌	● 具崩塌之地形特徵 ● 有明顯裸露
B	早期發生之疑似深層崩塌	已崩塌	● 具崩塌之地形特徵 ● 大部分已植生復育
C	具崩塌地形特徵之深層崩塌潛勢區位	具崩塌徵兆但未全面崩壞	● 具崩崖、側邊裂隙、蝕溝、坡趾隆起等圓弧型破壞地形特徵 ● 具崩崖、側邊裂隙、坡趾隆起等平面型或楔型破壞地形特徵
D	不具崩塌地形特徵之深層崩塌潛勢區位	具不利之地質與地形條件	● 具地質與地形不利因素者 ● 具坡趾破壞因素者 ● 邊坡屬山崩高潛感區域 ● 同時具備上述條件之邊坡

註:上述判釋範圍皆需大於 10 公頃

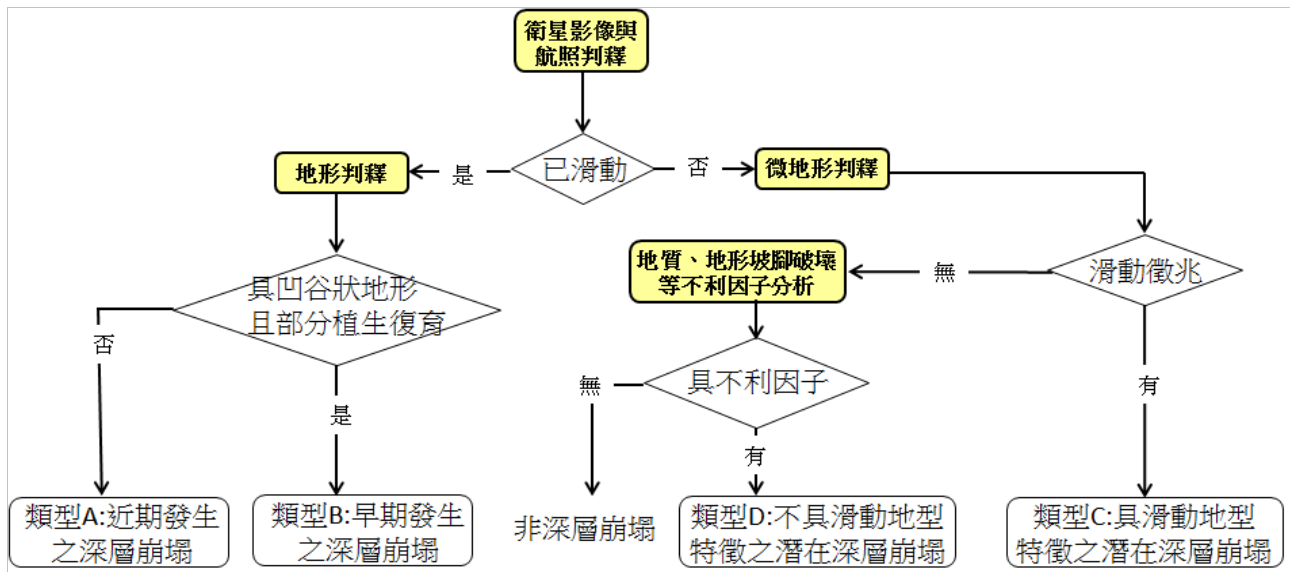


圖 2-4.1、本計畫各類型之深層崩塌潛勢區位判釋流程圖。

(一) 近期發生之深層崩塌（類型 A）判釋方法

近期發生之深層崩塌（類型 A），主要具有明顯裸露特徵之區位（圖 2-4.2），此類型因已產生大規模崩塌，坡面上較無足夠之土方，因此其深層崩塌再發生性相對低。

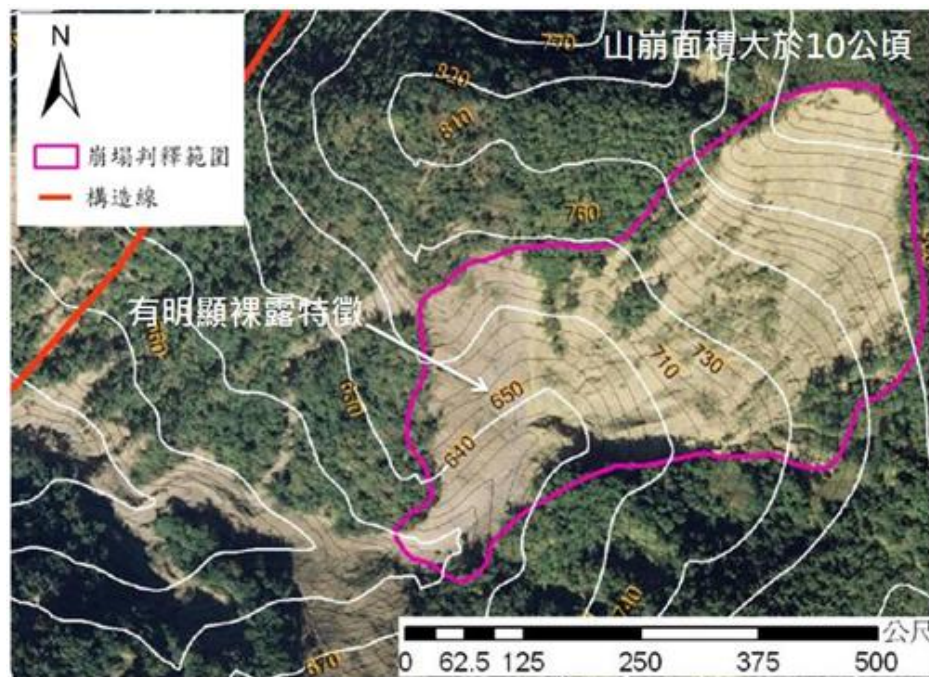


圖 2-4.2、近期發生之深層崩塌（類型 A）裸露與地形特徵。

（二）早期發生之深層崩塌（類型 B）判釋方法

早期發生之疑似深層崩塌（類型 B），航照特徵上有崩塌之地形特徵，且相較於其未崩塌區，植生特性不同，常以草本與較低矮灌木為主，從航照上可看出有崩塌植生復育的現象，同時亦具有凹谷狀地形（圖 2-4.3），因此為較早期之深層崩塌，而已有部分崩塌區域產生植生復育，相較於類型 A 之深層崩塌，為相對穩定之類型。

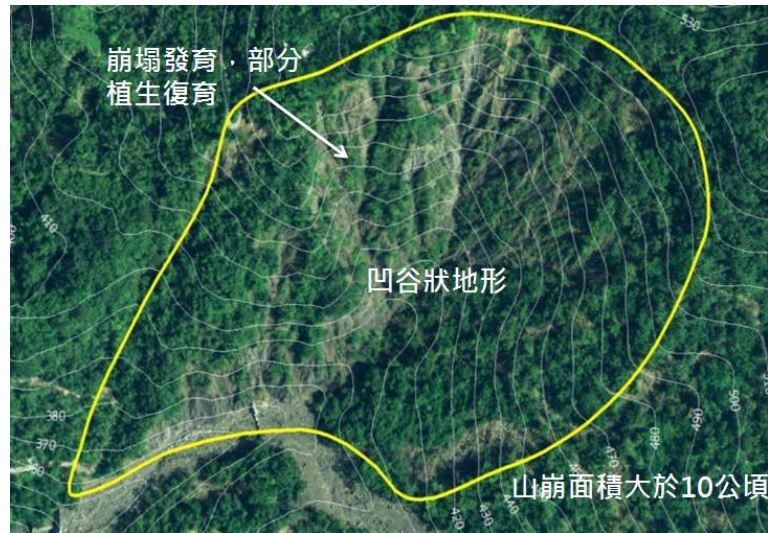


圖 2-4.3、早期發生之疑似深層崩塌（類型 B）特徵判釋圖。

（三）具崩塌地形特徵之深層崩塌潛勢區位（類型 C）判釋方法

具崩塌地形特徵之深層崩塌潛勢區位(類型 C)判釋方法，是利用高精度 Lidar 資料產製日照陰影圖和坡度圖配合航照等相關資料來進行圓弧型（或潛變型）破壞之地形特徵進行判釋。潛在深層崩塌之地形特徵圖 2-4.4。

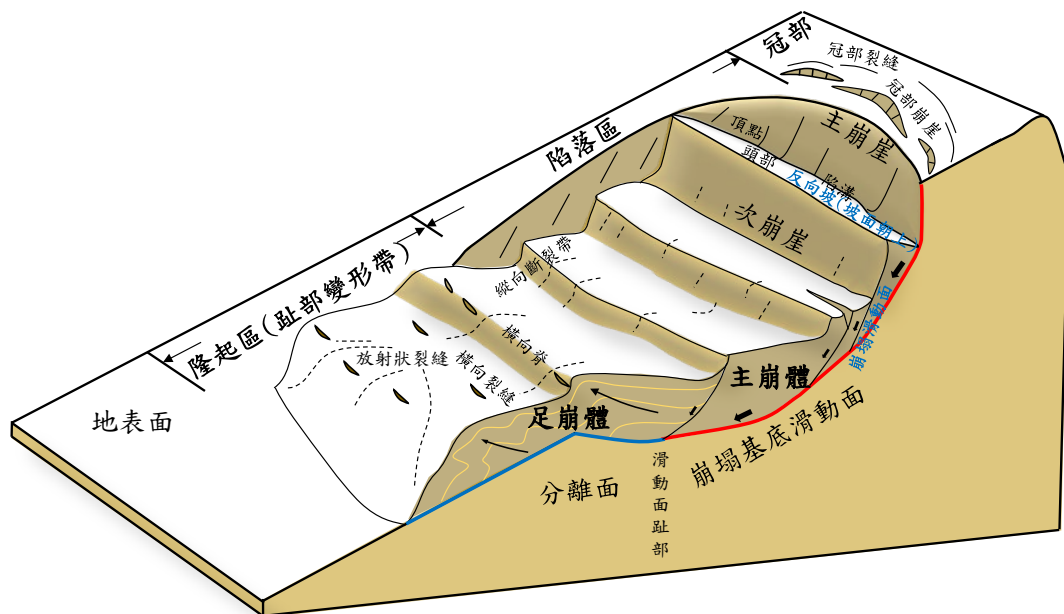


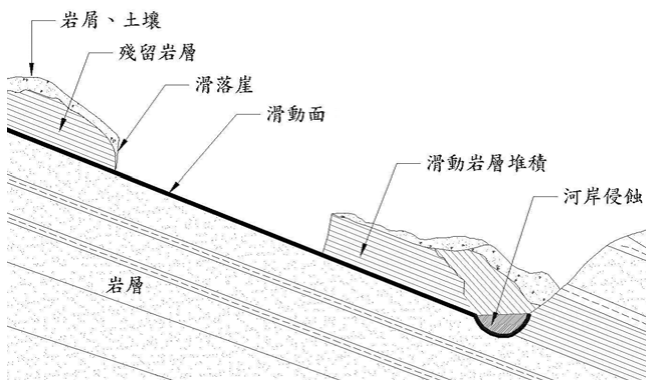
圖 2-4.4、深層崩塌微地形特徵特徵示意圖(修改自 Varnes, 1978)。

(四) 不具崩塌地形特徵之深層崩塌潛勢區位(類型D)判釋方法

依據國內外深層崩塌發生之案例分析，深層崩塌發生之觸發因子多為豪大降雨或地震，而其內在因子則深受地質條件與岩層結構之控制。本計畫提出之地質概念模式主要為利用順向坡、岩體弱面及地質構造與坡腳破壞因子，於山崩高潛感區（含極高潛感區）中，找出不具崩塌地形特徵之潛在深層崩塌發生區位。而坡腳破壞因子則透過道路圖層與河流侵蝕能力之判釋，結合地質構造型態與位置之判釋資訊，判釋前述潛勢區位可能遭受切割移除導致岩體崩塌破壞之地點。依控制深層崩塌之地文條件及其運動形態，可將此類深層崩塌分為以下兩類型：

1、順向坡之平面型破壞：

此類型之深層崩塌常發生在地形坡面與沈積岩層之層面、節理面或變質岩之劈理面一致或接近時（此時地形坡面為廣義之順向坡），沿岩體中所存在上述力學弱面崩塌，而控制其崩塌與否之地文條件與地質作用，則是順向坡之坡腳是否遭受切割移除導致岩體見光而崩塌破壞，如圖 2-4.5 所示。著名之草嶺山崩(圖 2-4.6)與國道三號山崩(圖 2-4.7)即屬順向坡岩體見光的案例。



(九份二山) (資料來源：中央地質調查所，2006)

圖 2-4.5、順向坡之平面型破壞示意圖與案例影像。



圖 2-4.6、草嶺順向坡平面型破壞照片(地工技術，第 81 期，2000)。



圖 2-4.7、國道三號順向坡平面型破壞照片(網路照片)。

2、岩體弱面控制之楔型破壞：

莫拉克颱風引發之小林山崩即屬此類。判釋此類型破壞之可能位置，需充分瞭解控制岩體弱面發育之機制及相關地層與地質構造之特性。因此伴隨斷層、褶皺地質構夠發育之破裂面結合地層位態等弱面相關資料，為此類判釋之主要依據，如圖 2-4.8 所示。

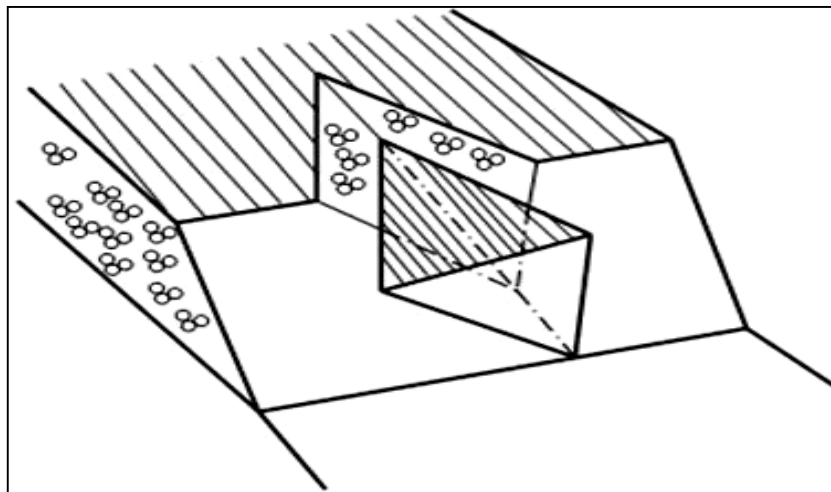


圖 2-4.8、岩體弱面控制之楔型破壞示意圖。

再透過區域地質構造特性之評估、河流侵蝕能力分析與人為開發有無，評估深層崩塌可能發生之位置，其破壞區位敘述如下：

- (1)順向坡、岩體弱面及地質構造判釋：結合數值地形資料、弱面位態（層面、節理面或變質岩之劈理面）判釋順向坡地形，配合與褶皺、斷層構造相關之岩體裂面與破碎帶，判釋具破壞發生潛勢之區位。
- (2)坡腳破壞因子：透過道路圖層與河流侵蝕能力之判釋，結合地質構造型態與位置之判釋資訊，篩選前述潛勢區位可能遭受切割移除導致岩體見光以致崩塌破壞之地點。

2-4.2、現地查核

現地查核選定方法，從潛在深層崩塌目錄查核區位中，依據交通是否可達、現地勘查之疑似深層崩塌區位其崩塌規模、影響範圍與致災程度篩選出至少 5 處現場調查區位(101 及 102 年度均至少 5 處)。並依據現地查核結果，考慮交通可及性，提出既有且持續發展之潛勢區位辦理至少 5 處之現場勘查(101 及 102 年度均至少 5 處)，並於事前提送現勘計畫。

此項工作之目的在於評估深層崩塌發生之地質條件與查核判釋結果，調查重點包括三部分：

(一) 深層崩塌活動性調查

在深層崩塌潛勢區位涵蓋的地表及鄰近地區，以深層崩塌潛勢區位初步篩選成果套疊 1/5,000 地形圖，作為調查底圖。活動性調查重點羅列如下：

- 1、調查可能之崩塌面位置，如砂頁岩互層中砂岩與頁岩交界之層面。
- 2、確定弱面方位與發生密度。
- 3、確認植生傾倒枯萎與潛變狀況。
- 4、確定地質構造位置與型態。
- 5、界定出崩崖面、崩塌體、崩積層以及崩塌範圍等界線。
- 6、確認河道側蝕與下切程度。
- 7、確認地下水與湧水狀況。
- 8、確認道路與人為開發是否截切坡腳。
- 9、確認趾部隆起位置與隆起量。

(二) 深層崩塌地形特徵調查

調查重點為確認深層崩塌篩選結果，透過深層崩塌地形特徵與分布之調查，界定出崩崖面、崩塌體、崩積層、活動性(與人為結構物與地物之截切關係)以及崩塌範圍等界線。並調查相關自然現象與人為活動，例如地面破裂是否含有夾層、滲水狀況、植生傾倒枯萎現況、河谷侵蝕下切程度、人為開發活動等資訊，輔助深層崩塌發生潛勢之評估。

(三) 地質條件調查

本計畫區岩體弱面類型相當多樣且複雜，不僅有脆性破裂面、層面，因變形作用的次數及其在大尺度地質構造中的部位不同，伴隨發育的劈理組數與位態也不同，即使在小範圍，劈理位態也有劇烈的變化。加上變質岩岩層變形程度強烈，中視尺度褶皺構造發達，其褶皺包絡面與褶皺軸亦是潛在之岩體脆弱帶。故上述弱面之調查、量測及分析所得之資訊，對於崩塌機制的評估十分重要。

由於深層崩塌影響範圍到達岩盤，僅針對崩塌地本身進行調查，易落入「見樹不見林」的盲點，致使誤判整體之地質環境。故本計畫針對崩塌地與鄰近地區進行現地細部調查，調查重點為岩盤之岩性與地質構造，包括未崩塌區之岩性與位態、崩塌區出露之岩性與位態、通過崩塌地之地質構造線位置與性質、弱面位態與密度之量測、地下水滲漏與岩體浸染狀況等等。本計畫採用表 2-4.2 之疑似深層崩塌現場調查表進行初勘調查之現地狀況記錄：

表 2-4.2、深層崩塌潛勢區位現地查核表

林班地深層崩塌資料表												
林班事業區	山崩編號			山崩中心點坐標 (TWD97)		X:	Y:	調查人員	調查日期			
保全對象	☐ A. 道路 ☐ B. 橋樑 建物 (☐ C1. <5 棟 ☐ C2. 5-10 棟 ☐ C3. >10 棟) ☐ D. 其他 ☐ E. 無			保全對象位置								
岩性	沉積岩 (主要岩性)			☐ A1. 礫岩 ☐ A2. 砂岩 ☐ A3. 粉砂岩 ☐ A4. 頁岩 ☐ A5. 泥岩 ☐ A6. 石灰岩 ☐ A7. 凝灰質砂岩 ☐ A8. 其他 _____								
	變質岩			☐ B1. 硬頁岩 ☐ B2. 板岩 ☐ B3. 千枚岩和片岩 (片麻岩) ☐ B4. 變質砂岩 ☐ B5. 大理岩 (含白雲岩)								
	火成岩			☐ C1. 安山岩 ☐ C2. 玄武岩 ☐ C3. 火山角礫岩 (集塊岩) ☐ C4. 凝灰岩 ☐ C5. 其他 _____								
	礫岩或未固結材料			☐ D1. 崩積層 ☐ D2. 風化層 ☐ D3. 紅土礫石層 ☐ D4. 其他 _____								
地質特性	層面位態		層面		劈理、片理位態		劈理、片理 N		/			
	節理特性	位態	節理組 1: N /		平均間距	節理組 1: m		開口	節理組 1: cm		節理組 1: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組 2: N /			節理組 2: m			節理組 2: cm			節理組 2: ☐ 有 ☐ 無
			節理組 3: N /			節理組 3: m			節理組 3: cm			
斷層構造		☐ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 正 ☐ 逆 ☐ 橫移、觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判										
褶皺構造		☐ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 背斜 ☐ 向斜 觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判										
山崩材料 ☐ A. 新鮮岩塊 ☐ B. 風化土石 ☐ C. 礫石 (紅土礫石) ☐ D. 崩積土石 ☐ E. 礦渣堆積 ☐ F. 填土 ☐ G. 其他 (可複選)												
規模大小 剖面數化 面積 m ² 最大寬度: _____ m; 最大高差: _____ m												
地形坡度 ☐ A. 緩 (0-20度) ☐ B. 陡 (21-40度) ☐ C. 極陡 (41-60度) ☐ D. 崖 (61度以上)												
地下水狀況 ☐ A. 乾 ☐ B. 溼 ☐ C. 滲水 ☐ D. 湧水												
地面水匯集 ☐ Y. 有 ☐ N. 無 河岸侵蝕 ☐ Y. 有 ☐ N. 無 趾部人為開挖 ☐ Y. 有 ☐ N. 無												
山崩趾部特徵 趾部河道寬度 _____ m 趾部突出河道 ☐ Y. 有 ☐ N. 無												
崩塌地形	主崩崖特徵		崖高: _____ m 崖寬: _____ m		崖面新鮮		☐ Y. 是 ☐ N. 否					
	冠部有張力裂縫		☐ Y. 是 ☐ N. 否		主崩崖下方有窪地或水池		☐ Y. 是 ☐ N. 否					
	外觀呈凹陷地形		☐ Y. 是 ☐ N. 否		上段呈下陷地形		☐ Y. 是 ☐ N. 否					
	中段呈緩坡狀		☐ Y. 是 ☐ N. 否		下段呈隆起地形		☐ Y. 是 ☐ N. 否					
	滑動體裂隙		☐ Y. 是 ☐ N. 否		圓弧形次崩崖		☐ Y. 是 ☐ N. 否					
滑動體特徵		滑動體裂隙		☐ Y. 是 ☐ N. 否		圓弧形次崩崖		☐ Y. 是 ☐ N. 否				
可能致災情形		崩塌體與圍岩剪切破壞，土石破碎		☐ Y. 是 ☐ N. 否		兩翼排水溝呈雙溝同源		☐ Y. 是 ☐ N. 否				

2-4.3、深層崩塌目錄建置

依據上述方法篩選出深層崩塌區位，以*.shp 檔進行建置。其建置規格與要求如下所述(表 2-4.3)：

- 1、以 TWD97 坐標系統進行建置。
- 2、以 GIS 資料建檔將所有分析成果以「面」資料建置。

深層崩塌目錄包含地質與地形條件、崩塌機制、崩塌活動性與山崩區位等相關資訊。

另外深層崩塌編號原則是參考經濟部中央地質調查所公布的地質敏感區編號相關辦法。目前編號方法通則是以中心坐標的行政區為主，其編碼形式如:縣市名-鄉鎮市區名-D001。編號次序是取崩塌中心坐標，先由西往東，再由北往南依序編號，編號次序方法如圖 2-4.9 所示。

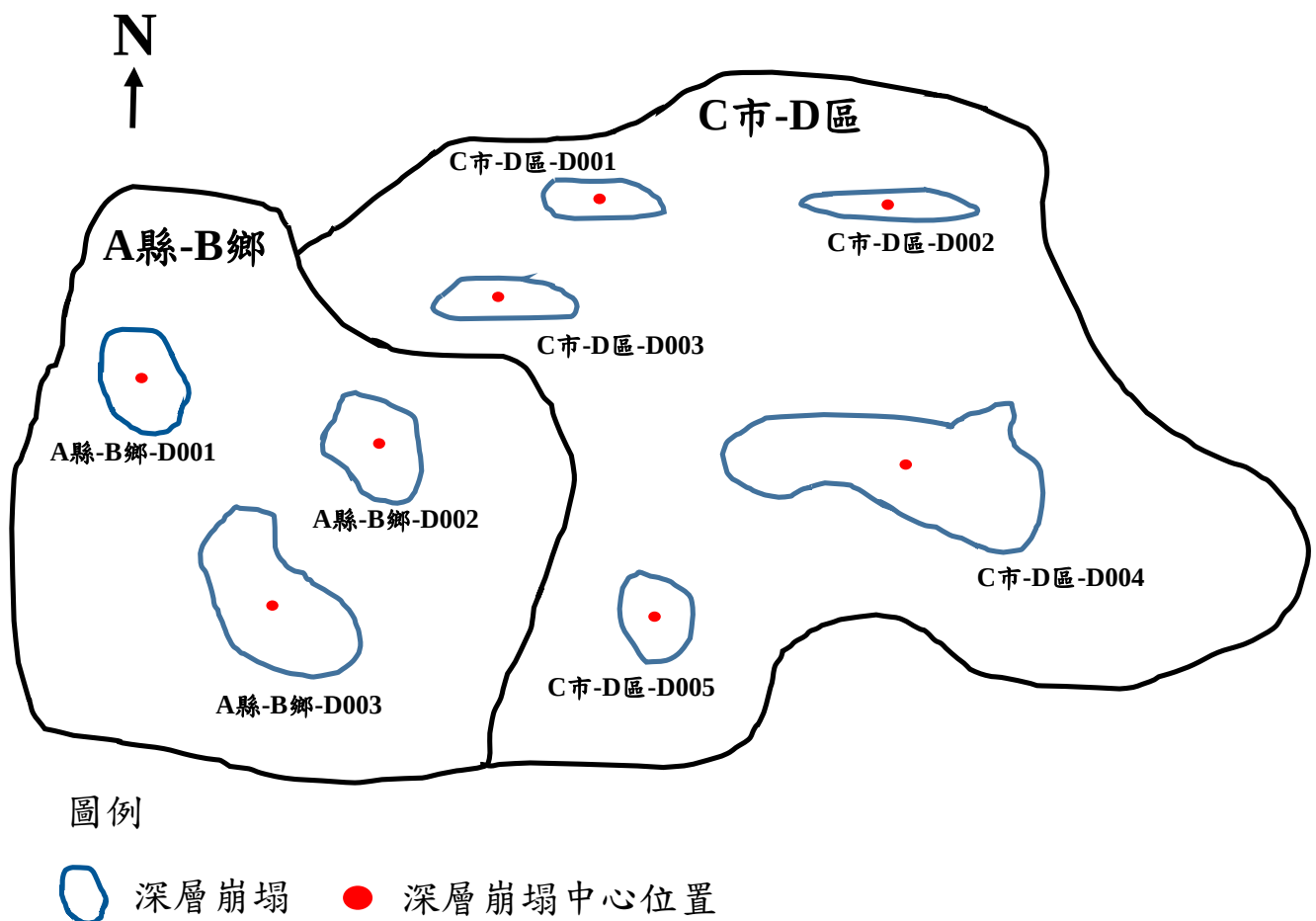


圖 2-4.9、深層崩塌編號原則示意圖。

表 2-4.3、深層崩塌目錄資料結構表

資料表名稱		DSlope	資料表說明	深層崩塌目錄基本資料表
序號	欄位名稱	資料型態	欄位說明	備註
1	mslink	NUMBER(10)	深層崩塌流水號	
2	landslideno	CHAR(30)	深層崩塌編號	例：嘉義縣-大埔鄉-D001
3	dist1	CHAR(12)	縣市別	
4	dist2	CHAR(12)	鄉鎮市區別	
5	dist3	CHAR(12)	村里別	
6	m-basin	CHAR(16)	主集水區名	
7	basin	CHAR(16)	次集水區名	
8	s-basin	CHAR(16)	子集水區名	
9	area	NUMBER(7,3)	深層崩塌面積	單位：ha.
10	locate_n	NUMBER(12,4)	深層崩塌中心點坐標(N)	
11	locate_e	NUMBER(12,4)	深層崩塌中心點坐標(E)	
12	elevation	NUMBER(6,0)	深層崩塌頂部標高	單位：m
13	gradient	NUMBER(6,2)	平均坡度	單位：度
14	stra	CHAR(10)	地層	
15	stru	CHAR(10)	構造線	
16	describe	CHAR(200)	深層崩塌活動性描述	
17	mesh	CHAR(200)	深層崩塌機制描述	
18	type	CHAR(10)	深層崩塌類型	類型 C

2-5、深層崩塌潛勢區危險等級評估

本工作項目將使用三種方法進行評估，詳細如下所述。

2-5.1、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法一

本方法參考日本建設省道路局(1990)針對地滑之潛感評估方法，如表 2-5.1。若有表中發現所列之項目則給與適當之配分，而當配分總和 ≥ 4 則為高危險，配分總和界於 2~3 分之間則為中危險， ≤ 1 則為低危險。而目前國內尚無相關之深層崩塌潛勢區危險等級評估指標之研究。

表 2-5.1、地滑之潛感評估方法

查核評估項目	是	否
1. 曾經滑動過	1	0
2. 週遭構造物發生異樣	3	0
3. 出現下陷、隆起、裂隙、坍方	4	0
4. 位於斷層或破碎帶、岩層受強烈風化或換質	1	0
5. 順向坡	1	0
6. 有滲水、泉水、湧水等現象	1	0
7. 易於匯集地表水之地形	1	0
8. 呈現明顯之地滑地形	2	0
合 計	T(14)	
高危險度：T≥4 中危險度：3≥T≥2 低危險度：T≤1		

(資料來源：日本建設省道路局，1990)

此方法將此工作項目分為兩個步驟，(1)以可操作為前提，透過地質、地形、水文、崩塌等四項不利條件及河道侵蝕進行深層崩塌潛勢區發生度評估，(2)再加入保全對象進行深層崩塌潛勢區危險等級評估，初步之評估項目與細項規劃及評分如表 2-5.2，當四項不利因素及河道侵蝕評分總和(T_1)=7 則為高發生度等級， T_1 界於 5~6 分則為中發生度等級， $T_1 \leq 4$ 分則為低發生度等級；加入保全對象後之評分總和(T_2) ≥ 9 則為高危險等級， T_2 界於 6~8 分之間則為中危險等級， $T_2 \leq 5$ 則為低危險等級。

表 2-5.2、本研究初步擬定之深層崩塌潛勢區危險等級評估項目一覽表

潛勢評估項目	評估細項(有一選項即給分)	評分
地質不利因素	☐ 順向坡地形 ☐ 緊鄰地質構造 ☐ 岩體弱面發達 ☐ 厚層砂頁岩互層	1
地形不利因素	☐ 陡坡地形 ☐ 舊崩塌凹谷狀地形 ☐ 崖錐堆積地形	1
水文不利因素	☐ 有地表水(常流水河道、蝕溝) ☐ 有地下水(湧水)	1
崩塌不利因素	☐ 坡面崩塌發育 ☐ 崩崖 ☐ 橫向裂隙 ☐ 側邊裂隙 ☐ 趾部隆起 ☐ 坡面零散存在大型塊狀基岩	2
河道侵蝕	☐ 緊鄰河道	2
發 生 度		T ₁ (7)
高發生度：T ₁ =7 中發生度：6≥T ₁ ≥5 低發生度：T ₁ ≤4		
保全對象	☐ 門牌系統	4
危 險 度		T ₂ (11)
高危險度：T ₂ ≥9 中危險度：8≥T ₂ ≥6 低危險度：T ₂ ≤5		

2-5.2、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法二

本計畫另外提出一評估方法，選定有較高樣本數量的高屏溪流域的類型 A 及 C 兩種不同的深層崩塌目錄配合證據權重法來建立評分表，針對類型 C 進行深層崩塌潛勢區發生度等級評估。再參考國際減災策略組織(ISDR)公式(式 2-5.1)，進行深層崩塌潛勢區危險等級評估。

危險等級＝發生度等級 X 保全重要性

(Risk=Hazard X Vulnerability)

2-5.1

(一) 深層崩塌潛勢區發生度評估

本計畫利用證據權重法進行研究區域全面之深層崩塌發生度評估，其流程主要包括使用資料選定、因子處理分級與權重值計算、深層崩塌發生度評估(圖 2-5.1)。

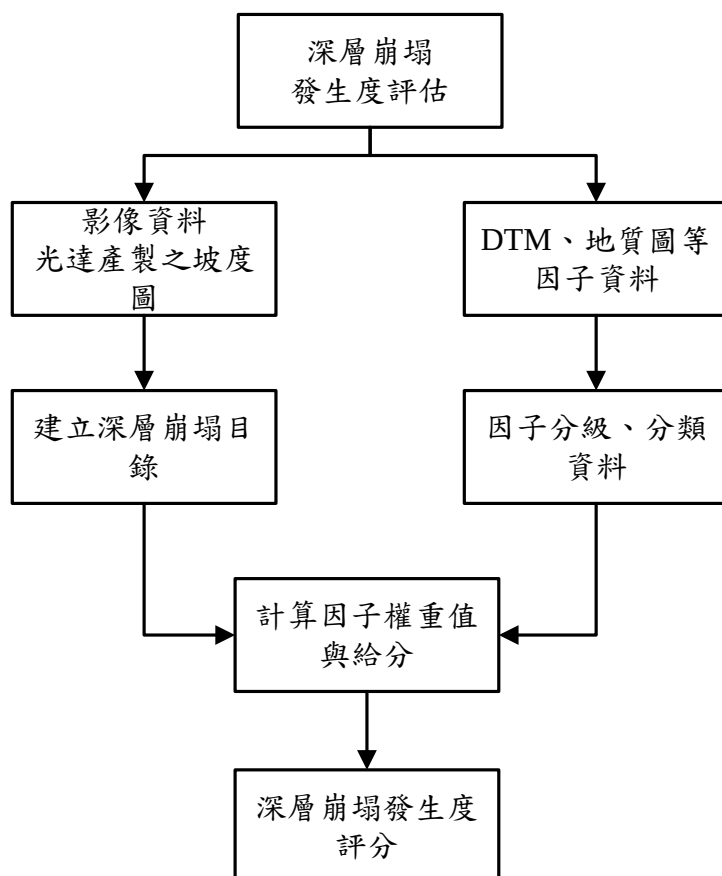


圖 2-5.1、深層崩塌潛勢區發生度評估流程

(1)使用資料選定

製作深層崩塌潛感圖所使用的資料有：內政部出版之 5 米網格數值地形模型、經濟部中央地質調查所製作之 1/50,000 高屏溪數值流域地質圖。

為達通用、簡易且快速評分之目的，分析所選用的因子將比照潛感分析並進行簡化，留下通用性較高之因子，分別有坡度、岩性、構造線距離、河道距離、順向坡共五個因子進行分析。各因子圖層類型列於表 2-5.3 中。

表 2-5.3、深層崩塌潛感圖分析資料

分析因子資料	名稱	類型	註備
	坡度	5m*5m 網格	由內政部出版 5mDTM 在 GIS 平台下進行空間分析取得
	岩性、構造線	Shpfile	地調所 1/50,000 高屏溪流域地質圖
	河道	Shpfile	在 GIS 平台下進行水文分析取得
	順向坡	Shpfile	

(2)因子處理分析

發生度評估所需的各個深層崩塌因子特性資料已於深層崩塌區位判釋中建立，接著便可進行因子分級或分類與計算權重值。

A. 坡度

使用內政部出版之 5 米網格數值地形模型於 ArcGIS 中進行空間分析(Spatial Analyst)，再利用空間分析中的 Zonal statistics 功能分別算出各深層崩塌的平均坡度，根據平均坡度的計算結果以 5 度為區間統計平均坡度分布狀況及計算權重值，結果如表 2-5.4：

表 2-5.4、坡度分級與權重計算結果

分級(度)	類型 A、C 深層崩塌	類型 A 深層崩塌	Wc
< 5	0	0	
5~10	0	0	
10~15	0	0	
15~20	0	0	
20~25	3	0	
25~30	85	1	-3.52851
30~35	315	35	-1.31430
35~40	515	100	-0.65045
40~45	355	131	0.61481
45~50	122	86	2.06853
50~55	31	30	4.46399
55~60	6	6	
>60	1	1	

根據表 2-5.4 的結果，參考權重值 W_c 將分級簡化，並讓簡化結果能同時保有較大的區間與權重值上的差異，新的坡度分級結果如表 2-5.5 所示：

表 2-5.5、坡度分級簡化之權重計算結果

分級(度)	類型 A、C 深層崩塌	類型 A 深層崩塌	Wc
<30	88	1	-3.56673
30~45	1,185	266	-1.23979
>45	160	123	2.52776

B. 岩性

分析範圍內的地質資料來源為中央地質調查所 1/50,000 高屏溪數值流域地質圖，利用 ArcGIS 空間分析中的 Zonal statistics 功能分析，先分析出各深層崩塌的主要岩性及統計主要岩性分布情況與計算權重值，結果如表 2-5.6 所示：

表 2-5.6、岩性分類與權重計算結果

分類	類型 A、C 深層崩塌	類型 A 深層崩塌	Wc
頁岩	21	1	-2.02882
砂岩	73	17	-0.21905
砂頁岩互層	405	87	-0.42370
變質砂岩	30	6	-0.41036
板岩	892	277	0.53413
片岩	12	2	-0.63022

根據表 2-5.6 的結果，參考權重值 W_c 將岩性分類進行簡化，將 W_c 值相近的合併，新的岩性分類結果如表 2-5.7 所示：

表 2-5.7、岩性分類簡化之權重值計算結果

分類	類型 A、C 深層崩塌	類型 A 深層崩塌	Wc
板岩	892	277	0.53413
砂岩、砂頁岩互層 變質砂岩、片岩	520	112	-0.46676
頁岩	21	1	-2.02882

C.構造距離

使用地調所 1/50,000 高屏溪數值流域地質圖的斷層、背斜與向斜之褶皺資料，於 ArcGIS 平台中計算流域內各深層崩塌到構造線的最短距離，先將其分成三級，分別為有構造線通過或相切、距構造線最短距離小於 500 公尺、最短距離大於 500 公尺以上，權重值計算結果如表 2-5.8 所示：

表 2-5.8、距構造線最短距離分級與權重計算結果

分級(m)	類型 A、C 深層崩塌	類型 A 深層崩塌	Wc
構造線通過或相切	319	91	0.08426
<500	361	82	-0.31602
>500	753	217	0.17098

從表 2-5.8 中可看到在最短距離大於 500 公尺時有最大的權重值，原因在於當最短距離大於 500 公尺時，其它因子的影響已經大於構造所造成的影響，因而出現此不合理的情形，故本計畫以有無構造線通過或相切來做分類，新的分類結果如表 2-5.9：

表 2-5.9、距構造線最短距離重新分類與權重計算結果

分類	類型 A、C 深層崩塌	類型 A 深層崩塌	Wc
構造線通過或相切	319	91	0.08426
無構造線通過或相切	1,114	299	-0.08426

D.河道距離

使用 5 米網格數值地形模型，透過 ArcGIS 中的 ArcHydro tool 9.2 執行水文分析，建立流域內之河道圖層，於 ArcGIS 平台中計算流域內各深層崩塌到河道的最短距離，先將其分成三級，分別為有河道通過或相切、距河道最短距離小於 450 公尺、最短距離大於 450 公尺以上，權重值計算結果如表 2-5.10 所示：

表 2-5.10、距河道最短距離分級與權重計算結果

分級(m)	類型 A、C 深層崩塌	類型 A 深層崩塌	Wc
河道通過或相切	374	138	0.62732
<450	771	196	-0.19565
>450	288	56	-0.53426

由於考量河道對於深層崩塌轉變為快速運動的的最大影響在於削去坡腳減少坡面穩定性，因此本計畫最後以有無河道通過或相切來做分類，新的分類結果如表 2-5.11：

表 2-5.11、距河道最短距離重新分類與權重計算結果

分類	類型 A、C 深層崩塌	類型 A 深層崩塌	Wc
河道通過或相切	374	138	0.62732
無河道通過或相切	1,059	252	-0.62732

E.順向坡

將順向坡圖層與深層崩塌圖層進行交集分析，再透過人工篩選的方式，篩去因與順向坡相切而被選取的深層崩塌，權重值計算結果於表 2-5.12 中：

表 2-5.12、順向坡分類與權重值計算結果

分類	類型 A、C 深層崩塌	類型 A 深層崩塌	Wc
無	1,123	299	-0.13551
有	310	91	0.13551

(3)深層崩塌發生度評分

因子分級分類與權重值計算完成後，首先對各因子自身分級或分類評分，其分數在 1 到 2 之間，此舉可以避免在統計上因權重值過於接近而忽略該因子在造成深層崩塌發生的地質上的意義，再將全部因子之分級分類依據權重值排序並正規化，將此正規化的值作為因子內部評分的加權值，最後獲得的分數放大兩倍作為發生度評分並建立如表 2-5.13 之評分表：

表 2-5.13、因子分級/分類之評分

因子	分級/分類	Wc	因子內部評分	正規化	分數
坡度	>45 度	2.52776	2	1	4
	30~45 度	-1.23979	1.5	0.38181	1
	<30 度	-3.56673	1	0	0
河道距離	河道通過或相切	0.62732	2	0.68817	3
	無河道通過或相切	-0.62732	1	0.48231	1
岩性	板岩	0.53413	2	0.67288	3
	砂岩、砂頁岩互層 變質砂岩、片岩	-0.46676	1.5	0.50865	2
	頁岩	-2.02882	1	0.25234	1
順向坡	有	0.13551	2	0.60747	2
	無	-0.13551	1	0.563	1
構造距離	構造線通過或相切	0.08426	2	0.59906	2
	無構造線通過或相切	-0.08426	1	0.57141	1

從表 2-5.13 的評分表中，可以看見評分分數在 0 到 4 分之間，且每個因子分級或分類都有不同分數。最後將此分數套回至類型 C 深層崩塌中，評分總和大於 10 分則為高發生度等級，評分總和界於 7~9 分則為中發生度等級，評分總和小於等於 6 分則為低發生度等級(表 2-5.14)。

表 2-5.14、發生度等級評分表

發生度等級	評分總和
高	10~14
中	7~9
低	4~6

(二) 深層崩塌潛勢區危險度評估

在危險度評估方面，須考量保全對象，如住戶、重要道路、橋梁、公共設施等來建立保全評分表，計算保全重要性，保全評分表如表 2-5.15：

表 2-5.15、保全評分表(方法二)

	保全對象	分數
住戶	住戶 20 戶以上	5
	住戶 10 戶到 19 戶	4
	住戶 10 戶以下	3
交通	主要連外道路、橋梁	2
	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)	4
	水庫蓄水區	4
最高為 15 分		

依據表 2-5.15，可將深層崩塌的保全評分進行加總，當評分在 10 分以上為高重要性，5~9 分為中重要性，4 分以下為低重要性(表 2-5.16)，接著再結合發生度等級(式 2-5.1)，即可評估深層崩塌潛勢區危險等級(表 2-5.17)。

表 2-5.16、保全重要性評分表(方法二)

保全重要性	評分總和
高	10~15
中	5~9
低	1~4
無	0

表 2-5.17、危險等級評分表(方法二)

危險等級評分表 (方法二)		保全重要性			
		高	中	低	無
發生度等級	高	9	6	3	0
	中	8	5	2	0
	低	7	4	1	0

2-5.3、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法三

為有效鑑別保全對象差異，方法三將方法二危險度評估方法加以修正。保全評分部分，多加住戶戶數大於 50 戶以上為一個等級，且分數再以原本分數加以平方作為新的保全評分依據如表 2-5.18

表 2-5.18、保全評分表(方法三)

	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
最高為 72 分		

依據表 2-5.18，可將深層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(表 2-5.19)，接著再結合方法二的發生度等級(式 2-5.1)，即可評估深層崩塌潛勢區危險等級，而方法三也調整危險等級評分表，將中保全重要性及高發生度等級調整為 7 分，高保全重要性及低發生度等級調整為 6 分(表 2-5.20)。

表 2-5.19、保全重要性評分表(方法三)

保全重要性	評分總和
高	36~72
中	12~35
低	1~11
無	0

表 2-5.20、危險等級評分表(方法三)

危險等級評分表 (方法三)		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

2-6、深層崩塌與天然壩形成之情境模擬

2-6.1、深層崩塌發生條件評估

劃定深層崩塌潛勢範圍後，透過地形地質調查分析所得破壞面位置，發生條件的評估分析，得知土體含水條件與滑動發生位置，有助給定後續深層崩塌運動與天然壩形成之情境模擬設定。藉由邊坡穩定性分析軟體分析於不同降雨量、地下水文條件、可能破壞面條件等之情境模擬，探討在不同情境下之深層崩塌運動發生之境況與規模。

一般國內常用邊坡穩定性分析軟體為 GEO-STUDIO、STABL、STEDWIN、FLAC、PLAXIS 與「廣域降雨崩塌模式」等商業工程軟體，各軟體因發展時間環境不同而各具特色，其比較如表 2-6.1 所示。本團隊過去曾多次應用 STABL、PLAXIS 和 GEO-STUDIO 模式進行紅葉坪、廬山與小林村深層崩塌發生條件機制之研究，皆獲得合理之模擬成果以及豐碩之處理經驗。本計畫將使用 STABL 進行邊坡穩定性分析。

表 2-6.1、深層崩塌發生情境評估與分析模式比較表

模式名稱	模式特色	坡面設定	破壞面設定	滲流效應	其他荷重
GEO-STUDIO	結合降雨與入滲對邊坡穩定性之影響，以及坡體內應力—應變與位移等各部分進行	非等向、非均質土壤	需指定破壞面位置	可加入滲流模組考量其效應	可加入其他荷重模組考量荷重效應
STABL	平面應變情況下任意破壞形狀之穩定分析，對於地震力的作用也可以擬靜態的方式加以分析	非等向、均質土壤	需指定破壞面位置	未考慮滲流影響	外加載重及邊坡上地錨或岩錨的設置、加勁材料
STEDWIN	極限平衡法處理邊坡穩定問題，簡化問題為靜定狀態，利用力距平衡求得臨界安全係數	相同材料與幾何特性之邊坡	需指定破壞面位置	未考慮滲流影響	可模擬道路荷重、建築結構物
FLAC	有限元素法所編寫，應用土壤強度折減之求取邊坡穩定安全係數，可求出該邊坡位移量	非等向、非均質土壤	不須指定破壞面，自動搜尋弱面位置	可評估滲流效應	可加入其他荷重設定
PLAXIS	有限元素法所編寫，應用土壤強度折減之求取邊坡穩定安全係數，並可求出該邊坡位移量	非等向、非均質土壤	不須指定破壞面，自動搜尋弱面位置	可評估滲流效應	各種荷重、工程、道路等，並分析破壞面與對應形變
廣域降雨崩塌模式	以 Richards 未飽和流動方程式配合無限邊坡之概念求取邊坡安全係數	等向、均質土壤	需指定破壞面位置	未考慮滲流影響	未考慮其他荷重效應

2-6.2、深層崩塌與天然壩形成模擬之情境設定

完成前述調查與評估，取得深層崩塌潛勢範圍與深度之評估後，即可進入數值模擬情境的設定與模擬流程，簡化之完整評估流程如 圖 2-6.1 之情境設定關係圖所示。

這一連串深層崩塌運動與天然壩形成之模擬中，包含有三種不同的分析機制，分別為：1.深層崩塌的發生條件；2.深層崩塌的運動過程，以及 3.天然壩堆積型態的分析工作，主要目的在於，提供發生深層崩塌後，滑動土體之邊界條件，此一條件包括有可能的範圍與深度兩者，透過前述的分析成果，決定坡面上各種滑動土體範圍與深度的搭配組合，設定可能之發生情境，次而進行深層崩塌運動與堆積的模擬。

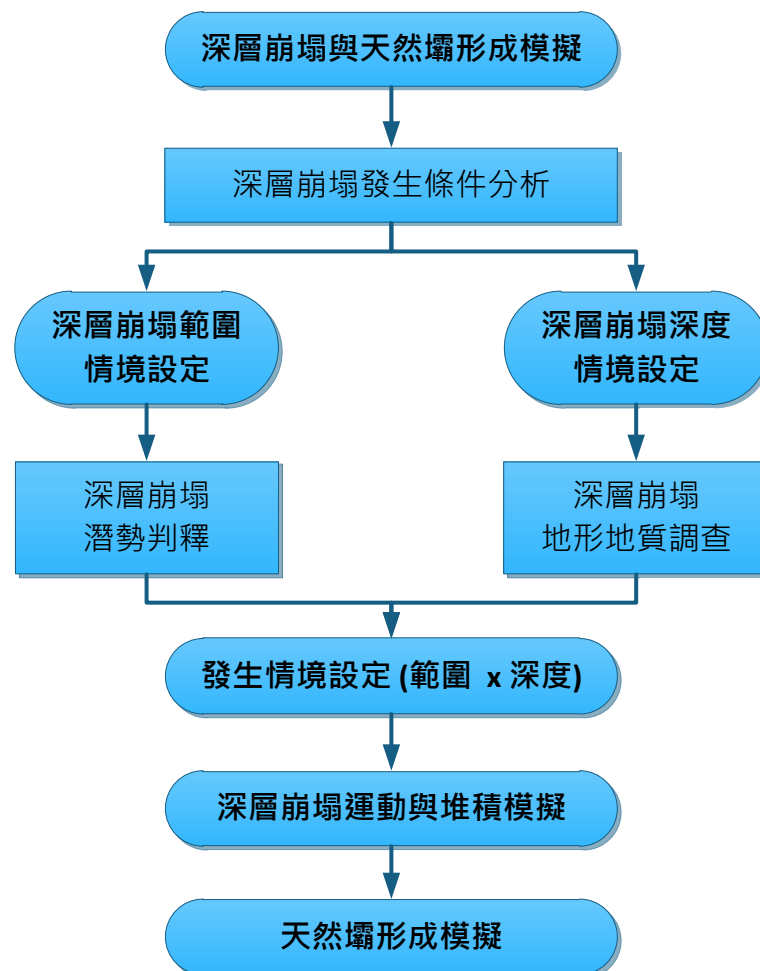


圖 2-6.1、深層崩塌與天然壩形成模擬之情境設定關係圖。

2-6.3、深層崩塌運動與天然壩形成之模擬模式分析

根據崩塌範圍、崩塌深度與滑動土體之含水量、孔隙等條件評估，可根據其成果設定深層崩塌運動之初始與邊界條件，模擬滑動土體在邊坡上運動與堆積之過程；而在河道上土體之堆積型態，同時也決定了天然壩的形成過程，是深層崩塌與堰塞湖形成評估工作中，重要的模擬工作。

地滑土體之運動過程模擬，目前普遍主要為兩種方法，即 Distinct Element Method, DEM (Cundall, 1971 ;Crosta et al. 2001) 及 Discontinuous Deformation Analysis, DDA (Shi and Goodman, 1984; Shi, 1993) 方法進行模擬，這兩類均由固體顆粒受力及變形發展而來，在分析顆粒材料或具有不連續面之材料的力學行為模式時，具有不錯的模擬成果，常應用於地震所誘發之地滑運動過程。如 Crosta 對 1987 的義大利 Val Pola Landslide，就有良好的模擬成果 (Crosta et al. 2006)。

相對於地震誘發之崩塌滑動體運動，由降雨所誘發之滑動體運動，運動過程中土石顆粒與地表上、下逕流混和，滑動材料包含有細微顆粒與大顆粒材料，其運動過程與剛體受力與變形機制有所不同，故在普遍使用之模擬情境與成果中，常造成運動距離或堆積厚度不足，僅能假設滑動體在運動中摩擦力大幅減少，強制相關參數配合現場之堆積成果，故率定後之參數往往和物理機制、土體試驗成果有所出入。再者，因參數受事件率定之影響甚鉅，故在不同誘發條件 (如地震、不同颱風事件) 下，參數無法具備一致性，故模擬成果多為單一事件之重現，無法用於未發生情境之推估與分析。

檢驗既有模式之不足之處，在於崩塌滑動體的運動模擬，並非為單純固體顆粒的受力或應變運動，而是滑動體與逕流複雜的混和運動，故在分析運動上，此一混合體的材料特性，在運動模式中能否有合理的本構關係 (Constitutive Equation) 加以描述，成為模擬、重現、預測評估各種不同情境下崩塌滑動土體運動的重要關鍵。

本計畫採用長年來與中研院、日本京都大學、筑波大學共同合作，針對土砂混和之兩項流體，所發展之崩塌、土石流的控制方程式與運動模式，除本構關係式具有合理的物理意義外，並能夠應用於各種不同條件下之水砂混和流體，故在參數之率定之評估上，具有合理的物理意義，且可由現場實驗、室內試驗方法，取得正確之參數值，修正了過去崩塌地模擬參數率定時，因物理特性不足所造成分析上的困難，也使得崩塌運動的推估或潛勢分析成為可能。該模式已多次應用於深層崩塌之分析中，如日本的 Unzen-Mayuyama 深層崩塌災害、台灣的小林村

深層崩塌境況模擬與分析，太麻里包盛社深層崩塌模擬等工作，皆能重現災害當時之滑動土體運動過程。

2-6.4、模式理論與模擬參數說明

根據前述之說明，本計畫應用之崩塌土體運動模式進行運動過程解析；其模式將崩壞土體運動中的過程以土砂與水流兩項混合流材料型態描述，並以連體力學的觀念建立連續及動量方程式 (式 2-6.1、式 2-6.2)，用以模擬邊坡破壞土體起動後之運動過程，採用之座標軸如 圖 2-6.2。

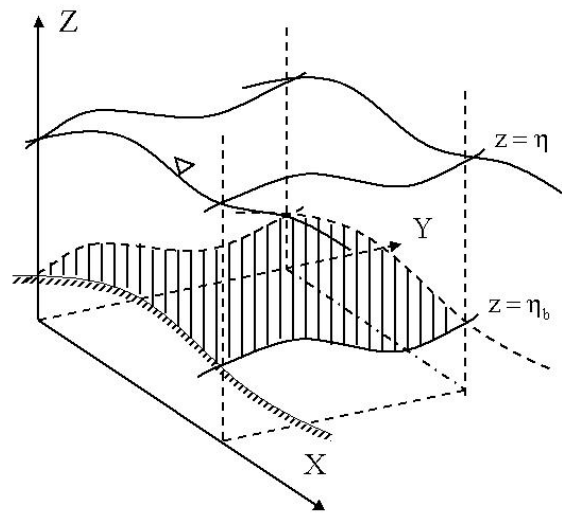


圖 2-6.2、崩塌土體模擬座標系統圖。

根據所採用之座標系統，崩塌土體運動過程中的連續方程式，可以表示如下：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (\text{式 2-6.1})$$

而二維連體之動量方程式則表示如下：

$$\begin{aligned} \frac{\partial M}{\partial t} + \beta \frac{\partial(u_m M)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(v_m M)}{\partial y} &= -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{0x}}{\rho_m} \\ \frac{\partial N}{\partial t} + \beta \frac{\partial(u_m N)}{\partial x} + \beta \frac{\partial(v_m N)}{\partial y} &= -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{0y}}{\rho_m} \end{aligned} \quad (\text{式 2-6.2})$$

式中 h 為崩塌土體運動深度， M, N 為 x, y 方向之通量， β 為動量補正係數， u_m, v_m 為 x, y 方向之平均速度， ρ_m 為土石流之密度， τ_{0x}, τ_{0y} 為 x, y 方向之底床剪應力，本模式將崩塌土體運動視為高濃度之土砂連體運動，故可從土

石流之底床剪應力方程式來推導，根據兩項混和流體之本構關係式，推導出土體之底部剪應力。考慮在均勻、穩定流況下，則土石與水的混合流體之動量方程式表示如下：

$$\begin{aligned} 0 &= \int_z^{h_t} \rho_m g \sin \theta dz - \tau(z) \\ 0 &= \int_z^{h_t} \rho_m g \cos \theta dz - p(z) \end{aligned} \quad (\text{式 2-6.3})$$

這裡的 $\tau(z)$ 為滑動體之剪應力， $p(z)$ 為滑動體之壓力， ρ_m 為滑動體之密度。後續根據 Egashira (1989、1992)、Miyamoto (1985、1997) 提出，混合流體的剪應力與壓力可以表示成：

$$\begin{aligned} p &= p_s + p_d + p_w \\ \tau &= \tau_y + \tau_d + \tau_f \end{aligned} \quad (\text{式 2-6.4})$$

此處的 p_s 為顆粒與顆粒間持續接觸所造成之壓力， p_d 為顆粒與顆粒間因非彈性碰撞所造成之壓力， p_w 為間隙水流所造成之水壓力； τ_y 為降服應力， τ_d 為因碰撞所造成之剪應力， τ_f 為間隙水流所造成之剪應力。藉由能量消散率之計算：1. 顆粒與顆粒間持續接觸之摩擦應力；2. 顆粒間之非彈性碰撞；3. 顆粒間間隙水流之紊流，故 式 2-6.3 與 式 2-6.4 合併如下：

$$\begin{aligned} p_s \tan \phi_s + \rho f_d d^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \rho f_f d^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 &= \rho g \sin \theta \int_z^{h_t} \left\{ \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) c + 1 \right\} dz \\ p_s + \rho f_d d^2 \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 &= \rho g \cos \theta \int_z^{h_t} \left(\frac{\sigma}{\rho} - 1 \right) c dz \end{aligned} \quad (\text{式 2-6.5})$$

合併後上式中 e 是碰撞係數， d 為顆粒的直徑， ϕ_s 為顆粒的摩擦角， f_d 與 f_f 為係數，但是 式 2-6.5 中之 p_s 仍為未知，故參考 Miyamoto & Itoh (2000) 假設 p_s 與流動濃度有關，並根據實驗推求其關係式：

$$\frac{p_s}{(p - p_w)} = f(c, c_*) = \left(\frac{c}{c_*} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (\text{式 2-6.6})$$

式中 c_* 為底床堆積濃度，由實驗求得為 $n=5$ 。

故在地滑崩塌土體運動時，假設間隙水流對於能量之消耗，遠小於滑動體顆粒碰撞與摩擦之效應，則可省略 τ_f 項不存在，再將 式 2-6.5 之結果積分可以得到滑動體的底床剪應力為：

$$\tau = \tau_{0y} + \tau_{0d}$$

$$\tau = \alpha c(\sigma - \rho)gh \cos \theta \tan \phi_s + \rho(f_d + f_w) \left(\frac{d}{h} \right) u_m^2 \quad (\text{式 2-6.7})$$

由上式之推導，可以獲得滑動體運動之控制方程式，且模式計算採用二維有限差分法進行，可得到水深平均之差分方程式；圖 2-6.3 為天然壩形成解析之計算流程，其中，運動土體的停止條件為模式中最為重要的判斷條件，係透過每時刻土體運動計算後，進行格網之檢核，視其是否達到停止條件，但土體仍可能因為驅動力再次大於摩擦力而再次運動，故進行再啟動條件之檢查；每個時刻計算結束後皆需檢查停止條件與再啟動條件，直至全滑動土體皆達到完全停止，即不再移動之條件，則此刻之堆積地形即為滑動土體之堆積型態。

根據前述之說明，模式內之各項參數，包含有三種類型：

1. 地形參數：包括有破壞前與破壞後之地形資料。
2. 滑動土體參數：包含有土體比重、土體安息角、土體粒徑分布、土體孔隙率與堆積體積濃度、地下水飽和度等。
3. 運動參數：包含有動量補正係數、逕流密度等。

由深層崩塌潛勢範圍的調查，以及深層崩塌發生條件的分析成果中，可分析破壞位置與地下水文條件，而本團隊將蒐集高精度地形模型資料，配合本計畫之調查成果可以給定各種情境下之深層崩塌滑動條件，而滑動土體參數部分，則可透過現場調查與實驗、室內試驗方法，如坡面土壤物性與剪力強度試驗，推求土壤比重、土壤凝聚力、安息角等相關土壤參數。

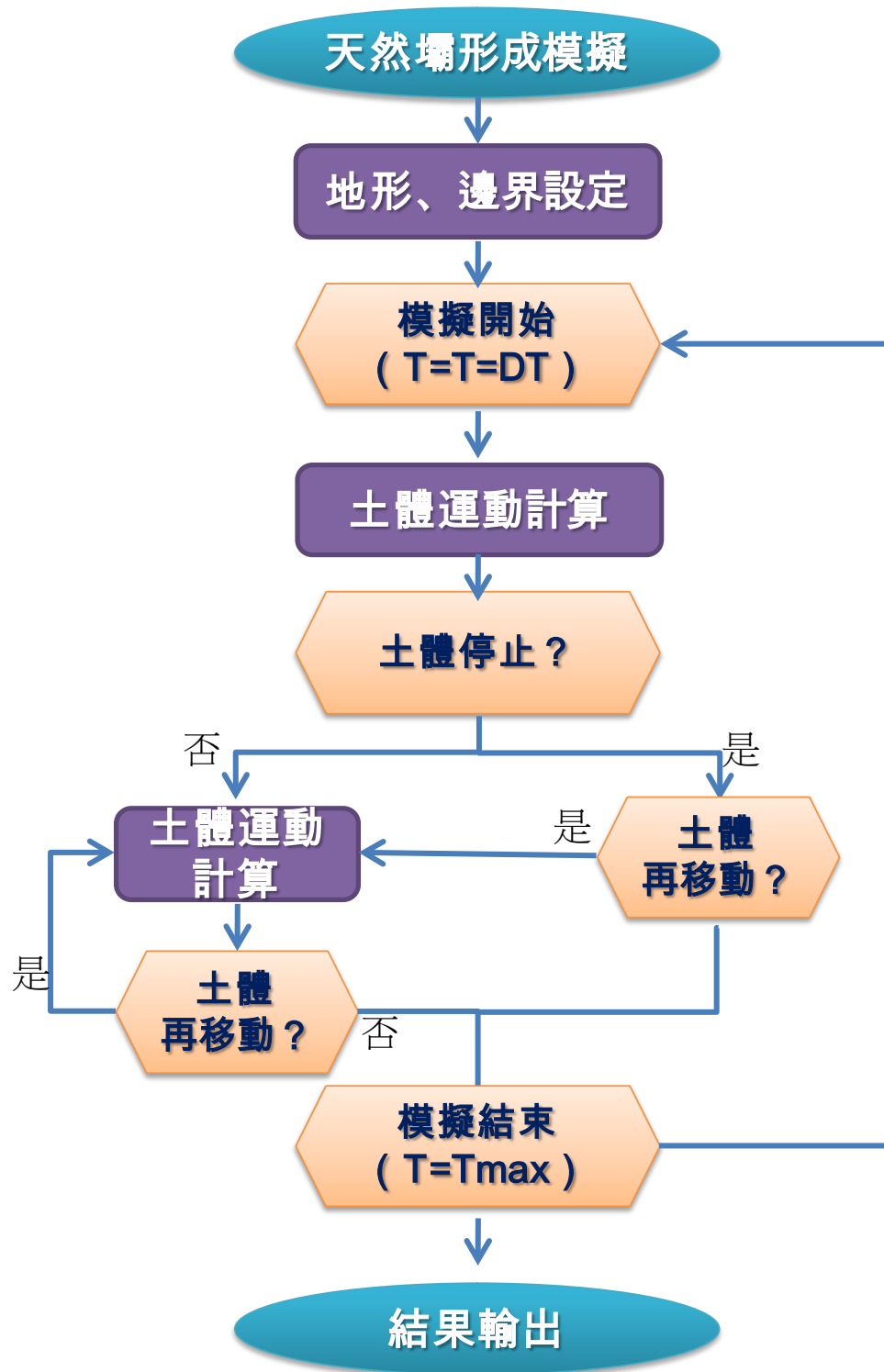
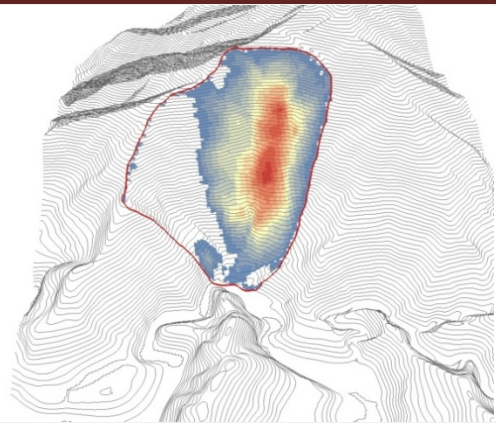


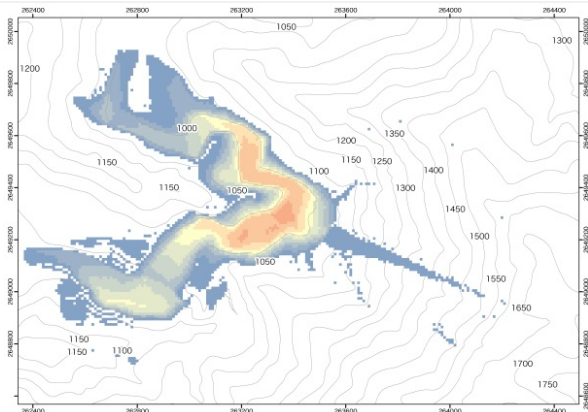
圖 2-6.3、天然壩形成解析計算流程圖。



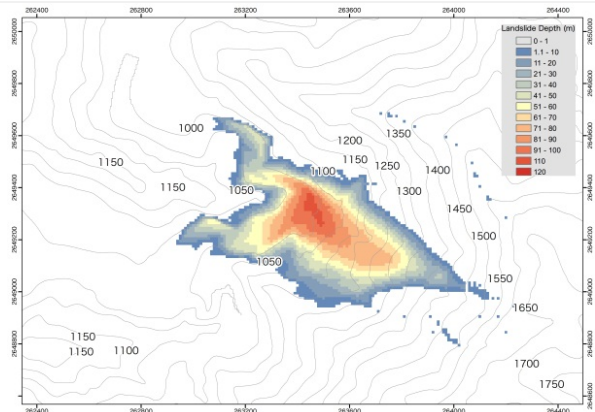
S7 崩塌地範圍(航照)



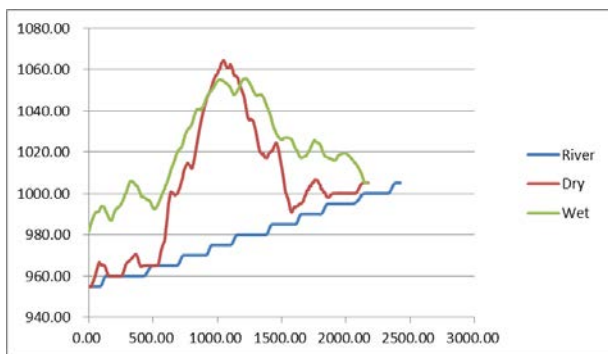
S7 崩塌地範圍(等高線)



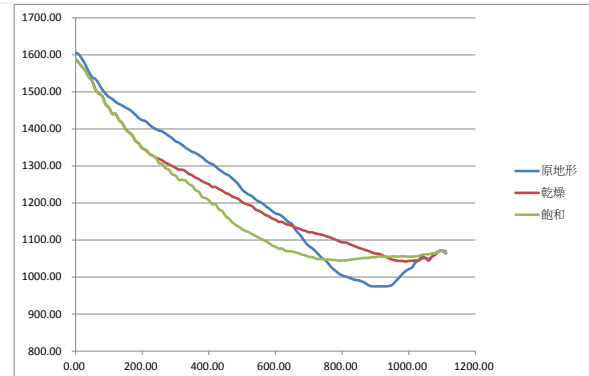
S7 崩塌影響範圍 (飽和狀態)



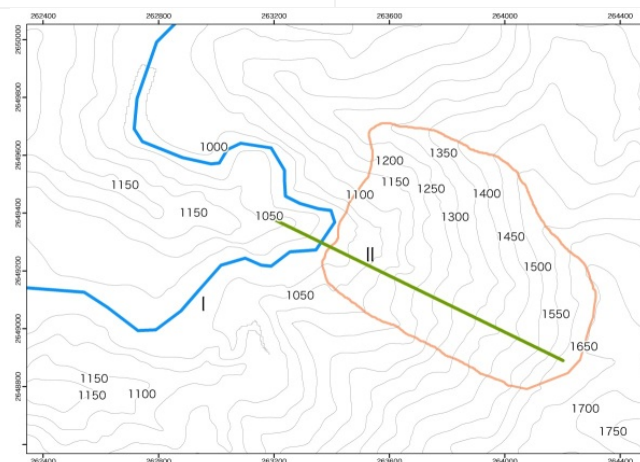
S7 崩塌影響範圍 (乾燥狀態)



S7 天然壩縱剖面 I



S7 天然壩橫剖面 II



S7 天然壩形成分析斷面位置圖

圖 2-6.4、深層崩塌與天然壩形成之模擬成果 (本團隊分析成果)。

2-7、研擬處理對策

本計畫經深層崩塌判釋區位判釋以及現地查核後，確認具有持續發展潛勢之深層崩塌區位，若其崩塌影響範圍內有重要保全對象，則提出相關後續處理對策，供權責單位參考。本計畫研擬後續處理對策之項目如圖 2-7.1 所示。首先進行深層崩塌潛勢判釋與危險度評估後，之後主要工作項目有二：(一)地表監測、崩塌細部地表特徵與活動性評估，及影響範圍評估；(二)告知相關防救災權責單位資訊，以利權責單位依其業務需求進行參考與評估。

地表監測、崩塌細部活動性及影響範圍評估主要工作項目是針對高危險區位進行簡易地表變位監測，以確認其活動性。經初步監測後，若為低活動性，則進行持續觀察即可；若其活動性較高、影響範圍較大，則進行細部地表調查，並進行地工監測確認滑動深度，並依據現場力學參數針對單一個案進行情境模擬，以做為日後防救災參考之用。

告知相關防救災權責單位資訊，以利權責單位依其業務需求進行參考與評估主要工作項目是：(一)針對保全項目，告知深層崩塌相關資訊給防救災權責單位，以供後續處理單位提出因應對策。若影響水利設施或位於蓄水區內之深層崩塌，則通知水利單位；(二)因深層崩塌通常具有大面積、大規模的特性，因此若針對個案進行坡面穩定工程花費甚大，因此目前建議以社區自主防災對策，以達到防災減災之目的。

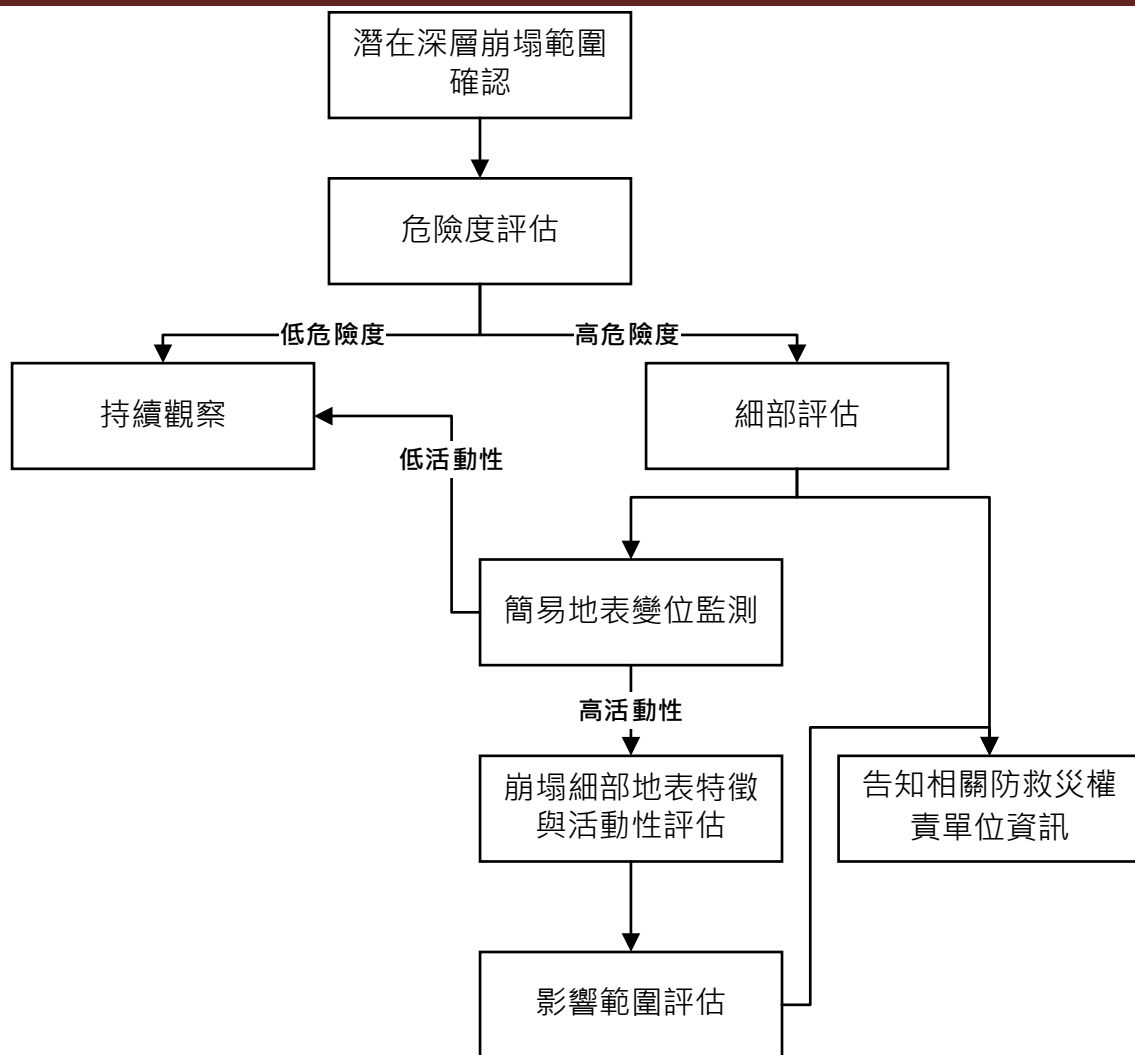


圖 2-7.1、深層崩塌處置對策研擬流程。

2-8、深層崩塌潛感分析模式評估

國內外常用的潛感分析模式有(1)邏輯斯回歸、(2)模糊集合理論、(3)類神經網路及(4)證據權重法。本計畫將使用證據權重法進行研究區域深層崩塌潛感分析，並以前述深層崩塌判釋成果進行模式檢討，以評估最適合國有林地深層崩塌潛感模式，對於未來應用於其他國有林地，可快速取得該區之高潛感深層崩塌區位。

近十年來，證據權重法結合地理資訊系統被廣泛的用於山崩潛感分析上(Van Westen, 1993; Sentz and Ferson, 2002; Lee et al., 2002; Van Westen et al., 2003; Thiery et al., 2004; Mathew et al., 2007; Neuhäuser and Terhorst, 2007; Thiery et al., 2007; Dahal et al., 2008)，除了山崩潛感分析外，證據權重法也被應用在礦藏預測或其他不同方面的研究。

針對計畫範圍內之深層崩塌發生潛勢，擬透過所建置之歷史深層崩塌目錄，應用證據權重法，進行深層崩塌潛感分析，並製作深層崩塌潛感圖，藉以區分深層崩塌發生之潛勢等級，找出深層崩塌發生高潛勢之區位。在深層崩塌目錄選定上，擬採用莫拉克災前後颱風事件期間所發生之深層崩塌案例，進行分析成果之驗證。

本團隊針對深層崩塌潛感分析作業擬以圖 2-8.1 所示之流程進行，主要包括因子權重值計算、因子檢定與成功率驗證與深層崩塌發生潛勢評估等三步驟，說明如下：

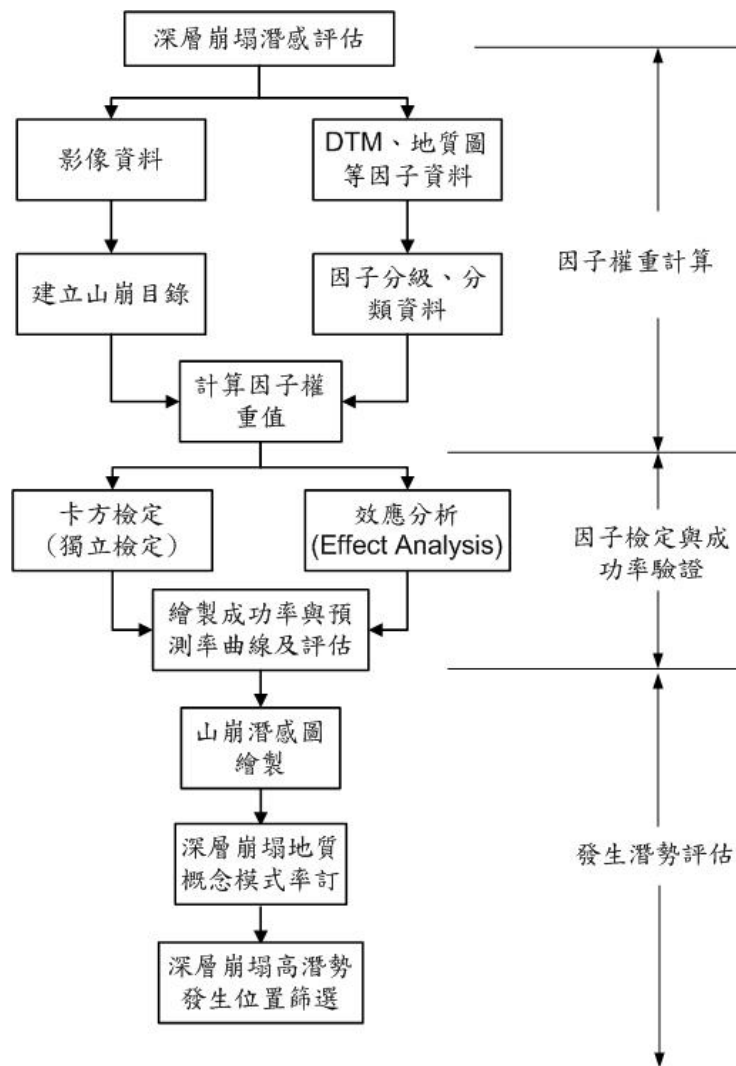


圖 2-8.1、深層崩塌活動性與發生潛勢評估流程圖。

一、因子權重計算

本計畫之深層崩塌因子權重計算擬採用證據權重法進行之，選擇此方法主要理由因本方法在山崩潛感分析之成效，已有甚多國外文章予以驗證。證據權重法是應用貝式定理(Bayes' theorem)與勝算比(odds ratio) 對各因子量化及計算各因子的權重值，再分別對各因子做條件獨立檢定，選定獨立因子群進行權重加總後，據以評估該群因子的潛勢等級，最後利用成功率曲線(Success rate curves)找出最好的因子群，得到最佳的潛勢等級分布。此法的優點為方法簡單、容易使用且不費時，直接利用圖層的堆疊就能計算出不同地區的潛感值。

深層崩塌活動性與發生潛勢評估首重因子之選取與各因子之權重配比。在因子選取中，將應用貝氏定理進行各因子之勝算比計算，分別算出各因子之勝算比，即可判斷選定因子是否容易發生崩塌。有關證據權重法利用貝氏定理與勝算比對因子進行量化，其因子權重值計算公式如下：

$$W^+ = \ln \frac{\frac{N_1}{N_1 + N_2}}{\frac{N_3}{N_3 + N_4}} = \ln \frac{N_1(N_3 + N_4)}{N_3(N_1 + N_2)} \quad (\text{式 2-8.1})$$

$$W^- = \ln \frac{\frac{N_2}{N_1 + N_2}}{\frac{N_4}{N_3 + N_4}} = \ln \frac{N_2(N_3 + N_4)}{N_4(N_1 + N_2)} \quad (\text{式 2-8.2})$$

W^+ 表示當因子 B 存在時，發生崩塌的權重值， W^- 表示當因子 B 不存在時發生崩塌的權重值， N_1 為在因子內的崩塌區域， N_2 為在因子外的崩塌區域， N_3 為因子內未發生崩塌之區域， N_4 為因子外未發生崩塌之區域(圖 2-8.2)。

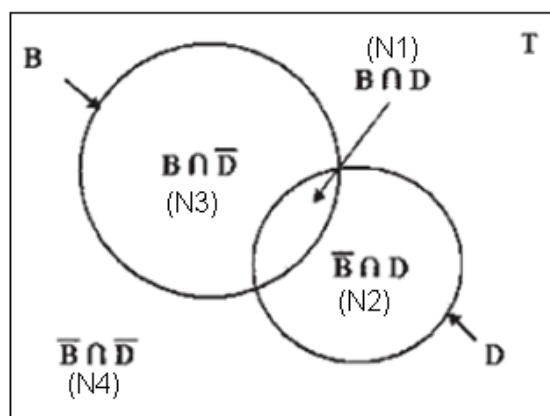


圖 2-8.2、崩塌與因子關係圖，B 為因子，D 為崩塌(Lee and Choi, 2004)。

計算完各因子之權重值 (W^+ 與 W^-) 後，再將兩個值相減，可得到一權重值 W_c ，此值可作為指示因子與崩塌之間關聯性的指標。

$$W_c = W^+ - W^- \quad (\text{式 2-8.3})$$

利用指標 C 之判定因子與崩塌間關聯性之準則如下：

- 1.當 C 大於 0 時，表示因子存在時發生崩塌的機率大於因子不存在時發生崩塌的機率，也就是崩塌與此因子相關
- 2.當 C 等於 0 時，表示因子存在與不存在時，發生崩塌的機率相等，反應崩塌與此因子無顯著關連性
- 3.當 C 小於 0 時，代表因子存在時發生崩塌的機率小於因子不存在時發生崩塌的機率，也就是崩塌與此因子不相關。

將所有因子量化後，可於地理資訊系統平台上把所有量化因子圖層進行疊加的動作，加總所有權重值 W_c ，此加總權重值即為崩塌潛感指標 (Landslide susceptibility index, LSI)。

$$LSI = \sum W_{c_{ij}} \quad (\text{式 2-8.4})$$

在證據權重法公式推導過程中，由於在連結多個因子時，假定因子彼此之間相互獨立，故最後才能夠將因子權重值加總，所以在加總權重值前須先對因子做條件獨立檢定。

二、成功率驗證

成功率驗證的方式是使用成功率曲線 (Success rate curves)，繪製方法是將潛感值切割成若干個等間距區間，由大到小累加，計算各區間山崩面積佔總山崩面積的比例與各區間面積佔總面積的比例，最後所繪製的曲線。在繪製時使用訓練資料繪製稱為成功率曲線 (Chung and Fabbri, 1999)，使用驗證資料所繪製稱為預測率曲線 (prediction rate curve) (Chung and Fabbri, 2003) (圖 2-8.3)。

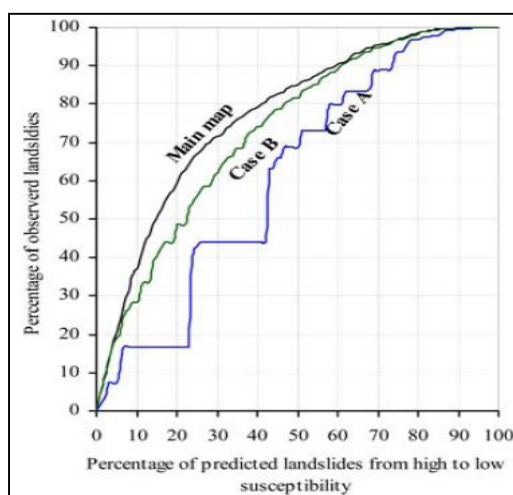


圖 2-8.3、成功率曲線示意圖(Dahal et al, 2007)。

曲線下的面積總和(the area under the curve, AUC)的大小，為判定該結果好壞的依據，其值在 0 到 1 之間，當面積為 1 時，表示少數的高潛感地區就可以百分之百包含目標事件，當面積為 0 時，表示整個沒有包含目標事件，當面積越接近中間值 0.5 左右，則表示該結果不會比隨機的結果好(Chung and Fabbri, 2003)。

對於 AUC 值的評估成效，Lee et al.(2008b)則有提出如表 2-8.1 中之建議：

表 2-8.1、AUC 評估成效表

AUC	評估效果
$AUC \geq 0.9$	極佳(excellent)
$0.9 > AUC \geq 0.8$	佳(good)
$0.8 > AUC \geq 0.7$	可(fair)
$0.7 > AUC \geq 0.6$	差(poor)
$AUC < 0.6$	極差(very poor)

三、深層崩塌潛感分析評估

深層崩塌潛感分析評估流程包括 1.使用資料選定、2.因子處理分析、3.崩塌潛感圖製作、4.崩塌潛感檢定與驗證，作業所需之圖資與方法分述如下：

(一)圖資需求

製作深層崩塌潛感圖所使用的資料有(1)莫拉克事件前後之福衛二號衛星影像(影像時間列於表 3-7.1 中)、(2)內政部出版之 5 米網格數值地形模型、(3)經濟部中央地質調查所製作之 1/50,000 高屏溪數值流域地質圖、1/50,000 嘉義、中埔、

新化、甲仙數值地質圖與 1/500,000 臺灣數值地質圖 (表 2-8.2)。

表 2-8.2、深層崩塌潛感分析所需資料

分析 因子 資料	名稱	類型	註備
	坡度、坡向、 高程、坡形	5m*5m 網格	由內政部出版 5mDTM 在 GIS 平台下進行空間分析取得
	岩性、構造線	Shpfile	地調所 1/50,000 高屏溪數值流域地質圖、 1/50,000 嘉義、中埔、新化、甲仙數值地質圖 與 1/500,000 臺灣數值地質圖分析取得
	河道	Shpfile	在 GIS 平台下進行水文分析取得
	順向坡	Shpfile	

(二)深層崩塌潛感分析方法

深層崩塌潛感分析步驟如圖 2-8.4，首先進行因子選定並針對各因子之獨立性進行檢定，並計算各因子之權重值，其後透過 GIS 平台將所計算出來之因子權重值套疊至各因子的分級圖層中，初步完成深層崩塌潛感圖，並以歷史深層崩塌判釋成果進行深層崩塌潛感圖之正確性檢驗(成功率曲線及預測率曲線)，依此步驟完成深層崩塌潛感圖。

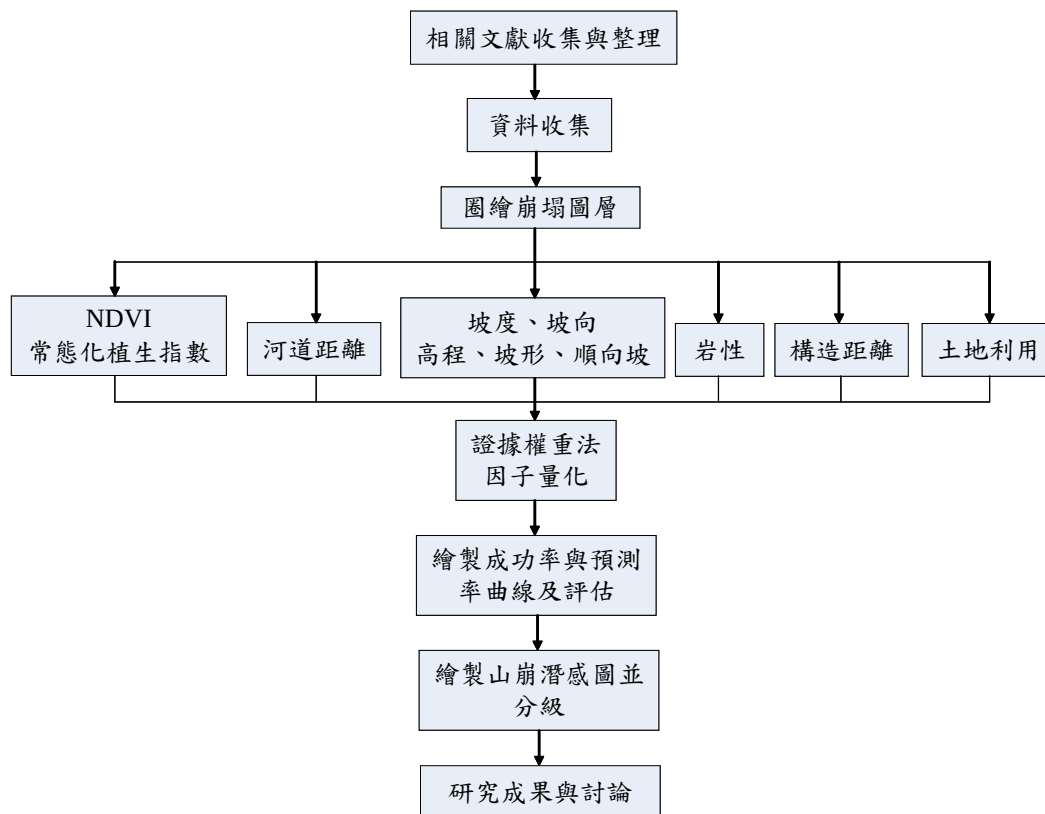


圖 2-8.4、山崩潛感圖工作流程圖。

2-9、檢討本計畫成果與莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告之差異性

本計畫執行之成果將與經濟部中央地質調查所提交之「莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告」進行比較檢討，針對異同作出分析比較說明。

2-10、監測規劃及試辦

本計畫擬針對判釋並經現地查核之一處高危險度深層崩塌潛勢區位，進行監測規劃與試辦工作。過去政府單位一直致力於崩塌潛勢的調查與危險度評估，然受到觀測資料與科技的限制，仍有其相對的極限，對於滑動面相對較深的崩塌，於技術上仍屬有待研究發展之領域。莫拉克颱風過後由於崩塌的調查技術的提升與高精度地形資料的應用，使得設置廣域簡易型觀測設備成為一種可行的方式，以此方法去取得較完整的證據，也才能讓大規模崩塌研究工作跨出一大步。

針對此一目的，本團隊擬配合全自動長距離雷射經緯儀與坡面反射稜鏡的施作，利用單頻 GPS 設備，布置於可能滑動的重點坡面，進行較長時期的、週期性的觀測作業，以分析坡面土體移動性與時間的關係。

本項工作細部項目包含：

一、深層崩塌坡面位移衛星定位系統(GPS)觀測分析

在預計觀測之深層崩塌潛勢坡面範圍內，經由現地調查和選點，選擇適宜之點位進行 GPS 儀器安裝，進行坡面土體之移動性評估。

二、全自動長距離雷射測距經緯儀(ALTS)應用於坡面位移觀測

另規劃並選擇適宜之控制點，利用全自動長距離雷射測距經緯儀(ALTS)觀測點位，進行每月之定期觀測，並進行資料分析及坡面土體之移動性分析評估。

三、深層崩塌坡面降雨量觀測

由於主要誘發深層崩塌地移動的外力因子為地震或降雨，地震發生可藉由中央氣象局觀測資訊進行崩塌外力的分析；而降雨量部分，因台灣地區的地形及氣候特性，降雨隨空間的變異性相當高，為瞭解深層崩塌較精確的降雨資訊，擬規劃在深層崩塌潛勢坡面適當地點設置雨量觀測站，配合前述兩項移動監測資料進

行分析，方能完整了解深層崩塌的移動機制與特性。

本計畫擬透過相關先進的監測設備，分別取得具移動潛勢崩塌坡面位移地連續資料、週期資料及雨量資料，並進行交互驗證；希以此方法去取得完整的深層崩塌的活動觀測紀錄，嘗試確認深層崩塌發生的可能，此應有助於後續治理與管理工作的推動。

2-10.1、觀測點位評估與選定

於 101 年度判釋並經現地查核之深層崩塌潛勢區位，選定危險度較高地區 1 處進行規劃試辦監測作業。監測點位選定以交通可達、可施工、具有相對穩定的基地及透空通視佳的崩塌地為原則。

監測區位之監測儀器選定方法與步驟如下：(一)航照影像判釋：由航照影像與門牌系統，綜合現場調查結果，評估可能影響的保全住戶，並瞭解崩塌坡面大致的用地情形與近期崩塌發育情形；(二)高精度數值地形判釋：由高精度影像判釋結果劃定潛在深層崩塌主崩崖、滑動體頭部與內部崩塌等深層崩塌地形特徵，用以瞭解監測設施紀錄的數據對深層崩塌地表位移的解釋。而高精度數值地形以可幫助了解坡面整體的交通概況。

2-11、深層崩塌調查作業手冊

有關深層崩塌調查作業手冊之製作，將依據本計畫所研提之各項判釋與調查作業方法及流程進行作業手冊之編撰，作業手冊內容將採條列式設計，以逐步解說方式(Step by Step)呈現，手冊內容初步規劃包含深層崩塌調查作業流程、採用圖資內容、深層崩塌目錄建置、現地調查作業及深層崩塌潛勢分析評估等。本手冊內容並將考慮實際操作之可行性，提供委託單位後續辦理深層崩塌判釋與潛勢評估作業參考，內容說明如下表：

表 2-11.1、深層崩塌調查作業手冊內容規劃

手冊內容	說明
分析使用圖資	資料來源 資料精度需求 資料分析方法
深層崩塌目錄建置	深層崩塌案例判釋準則 深層崩塌案例分析步驟 深層崩塌目錄建置方法 深層崩塌目錄資料庫結構
現地調查作業	現地調查方法與工具 調查方法之限制 現地地形與地質調查之查核重點 危險弱面評估方法
深層崩塌潛勢分析評估作業	深層崩塌潛勢評估 山崩活動性評估 危險度評估 評估分析方法限制

2-12、成果圖資製作

計畫區域範圍內之判釋及分析成果，將以成果圖之方式呈現深層崩塌潛勢區之分布及可能影響範圍，各類成果圖資詳細之內容規劃詳如表 2-12.1。

表 2-12.1、計畫成果圖一覽表

成果圖名稱	出圖比例尺	主題圖層	基本圖層
深層崩塌潛勢區位圖	1/10,000	深層崩塌潛勢區位	圖幅框 行政區界圖 交通路網圖 水系圖層 地名、地標 正射航照 地形等高線 日照陰影圖
深層崩塌影響範圍圖	1/10,000	深層崩塌影響範圍	

1. 深層崩塌潛勢區位判釋成果 GIS 圖層：主題圖層為深層崩塌目錄成果圖，而基本圖包括圖幅框、行政區界圖、交通路網圖、水系圖層、地名、地標、正射航照、日照陰影圖等。
2. 深層崩塌影響範圍分析成果 GIS 圖層：主題圖層為深層崩塌影響範圍，而基本圖包括圖幅框、行政區界圖、交通路網圖、水系圖層、地名、地標、正射航照、日照陰影圖等。

出圖版面的內容，包括主題圖名稱、圖幅名稱、圖號、主圖區、圖例、使用限制說明、比例尺與指北、位置索引圖等，詳細說明如下：

1. 主題圖名稱：說明此圖之主題，例如地質敏感區分布圖。
2. 圖幅名稱：為 1/5,000 或 1/25,000 圖幅之名稱。
3. 圖號：為 1/5,000 或 1/25,000 圖幅之圖號。
4. 主圖區：主要內容包含本計畫二大類之成果圖之內容，依成果圖內容選定不同主題圖層與基本圖層，依出圖規格進行設計展現。
5. 圖例：為主圖區的內容說明，說明各主圖區之符號或圖形代表之意義，定義或其他圖示說明，視各主圖區之需求編排不同內容。
6. 使用限制說明：此部分說明各主題圖使用時需注意之事項與限制及基本圖說，受限於篇幅展示範圍，圖幅使用說明與限制係重點式的提示。
7. 比例尺與指北：依成果圖規格標註圖紙之比例，並以指北標註地圖方位。

-
8. 位置索引圖：包含該圖幅相對於流域集水區及縣市之位置，以及本圖幅周圍其他圖幅之圖號及圖名。

各成果圖以 ArcMap9.3 軟體進行製作，並儲存製作檔 mxd 供後續出圖與研究之用，而成果圖電子檔則各依據各成果圖要求之版面尺寸與出圖比例尺利用 ArcMap9.3 軟體將製作檔輸出成具空間坐標之 JPG2000 格式，以利空間套疊與應用。為突顯本計畫之成果，易讀，並突顯資料的特性，出圖設計原則如下：

1. 圖資內容採用最新之圖資資訊，以能符合現地實況。
2. 儘量以影像為底圖，以補足向量圖資之空間資訊不足。
3. 主題圖需可清楚判讀空間資訊。
4. 在資料展現上，則以不同符號或顏色區分圖層所涵括之屬性特性，並以文字標註方式展現分析成果之數值量體。
5. 統一前述資料庫、展示以及成果圖幅之圖例、圖示，清楚表示簡圖以及所需資訊，以利於使用者查詢與閱讀。

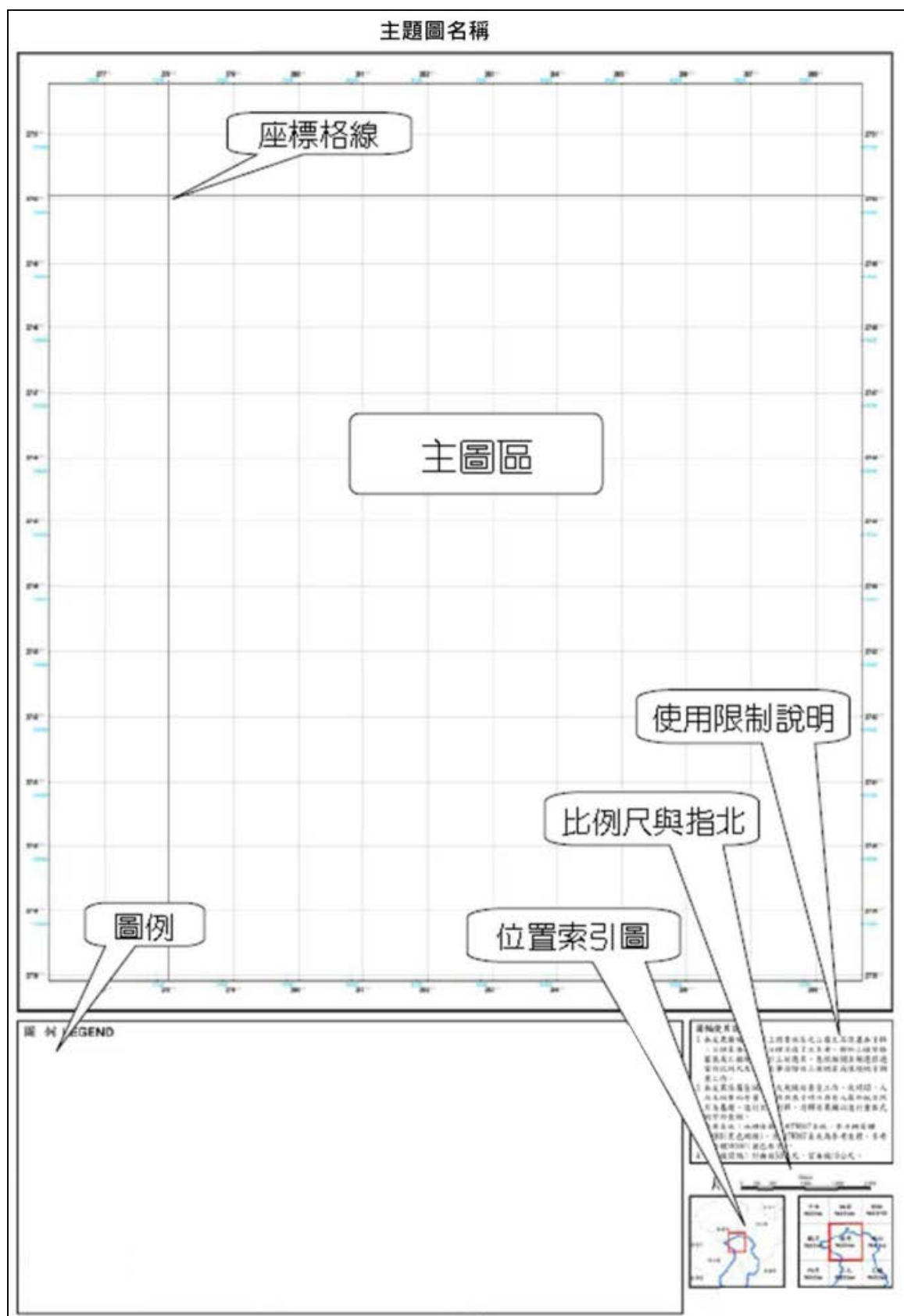


圖 2-12.1、出圖版面設計示意圖。

2-13、教育訓練與技術移轉

本計畫完成後，配合招標文件之規範，依據計畫執行之經驗與成果，將辦理有關之教育訓練與技術移轉工作，預計於 102 年辦理國有林深層崩塌圖資判釋及調查作業教育訓練講習會兩場，相關課程如表 2-13.1 所示。

表 2-13.1、教育訓練與技術移轉課程

課程名稱	內容	時間
深層崩塌現場調查	學習深層崩塌調查作業流程，特別針對現場人員之調查方式、工具、人員安全性、監測重點以及現場初步安全性評估方式進行說明。	一場
深層崩塌圖資判釋	學習深層崩塌發生機制與境況模擬技術，特別針對影像及地形圖資判釋方式，以及大範圍潛勢評估操作方式進行說明。	一場

參、計畫成果

3-1、流域基本資料

本計畫 101 年度工作範圍為高屏溪流域之荖濃溪集水區之國有林班地，102 年度範圍為高屏溪流域上游之旗山溪、隘寮溪集水區以及曾文溪流域之曾文溪、南化水庫、鏡面水庫、曾文水庫等集水區內之國有林班地，以下針對各區域進行說明。

3-1.1、流域概述

高屏溪流域-荖濃溪集水區

荖濃溪流域位於東經 120.54~121.06；北緯 23.49~22.82 之間，東鄰花蓮、台東二縣，北接南投縣及嘉義縣，南邊與屏東縣相連，而流域大部分區域皆在高雄市境內，主要分布於桃源區、茂林區及六龜區內，流域面積約為 1,367 平方公里。

荖濃溪為高屏溪上游的最大支流，其發源自玉山主峰東北坡，往東北流至八通關後轉向東南，分別與源頭為秀姑巒山西南坡及大水窟山西坡的支流合流進入高雄市，經梅山、桃源、寶來、六龜後，向南流至大津與東側之濁口溪交匯，再向西南至里港納入東南方之隘寮溪，最後於嶺口和來自北方的旗山溪合流後稱做高屏溪。

高屏溪流域-旗山溪集水區

旗山溪又名楠梓仙溪，位於台灣南部，為高屏溪主要支流之一，主流長度約 117 公里，集水區面積約為 751 平方公里，分布於嘉義縣阿里山鄉及高雄市桃源區、那瑪夏區、甲仙區、六龜區、杉林區、美濃區、旗山區及台南市內門區。

高屏溪流域-隘寮溪集水區

隘寮溪位於台灣南部，屬於高屏溪水系，為荖濃溪的最大支流。主流河長 69 公里，流域面積 623 平方公里，分布於屏東縣北部霧台鄉、瑪家鄉、三地門鄉與台東縣卑南鄉西側一小部分。

曾文溪流域

曾文溪流域之主流發源於阿里山脈(標高 2,609 公尺)，上游蜿蜒於山谷中，途經嘉義縣阿里山鄉、番路鄉、大埔鄉及高雄市那瑪夏區後流入曾文水庫；出水庫

壩址後再經台南市東山區、楠西區、玉井區、左鎮區，於大內與山上兩區之間轉西向進入嘉南平原；於台南市安南區青草崙西北方流入台灣海峽，主流全長約138.5 公里，集水面積約 1,177 平方公里。

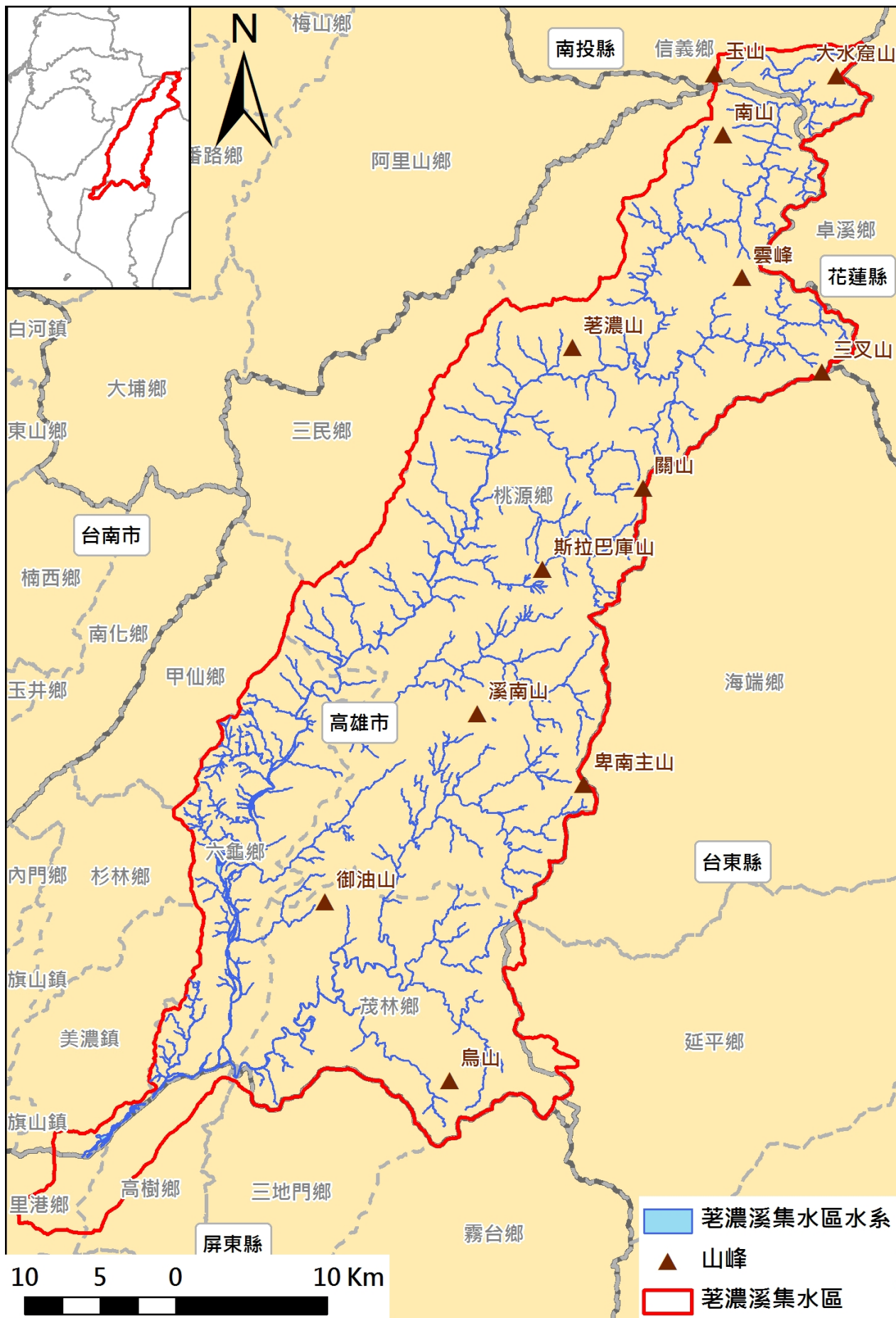


圖 3-1.1、荖濃溪集水區概況。

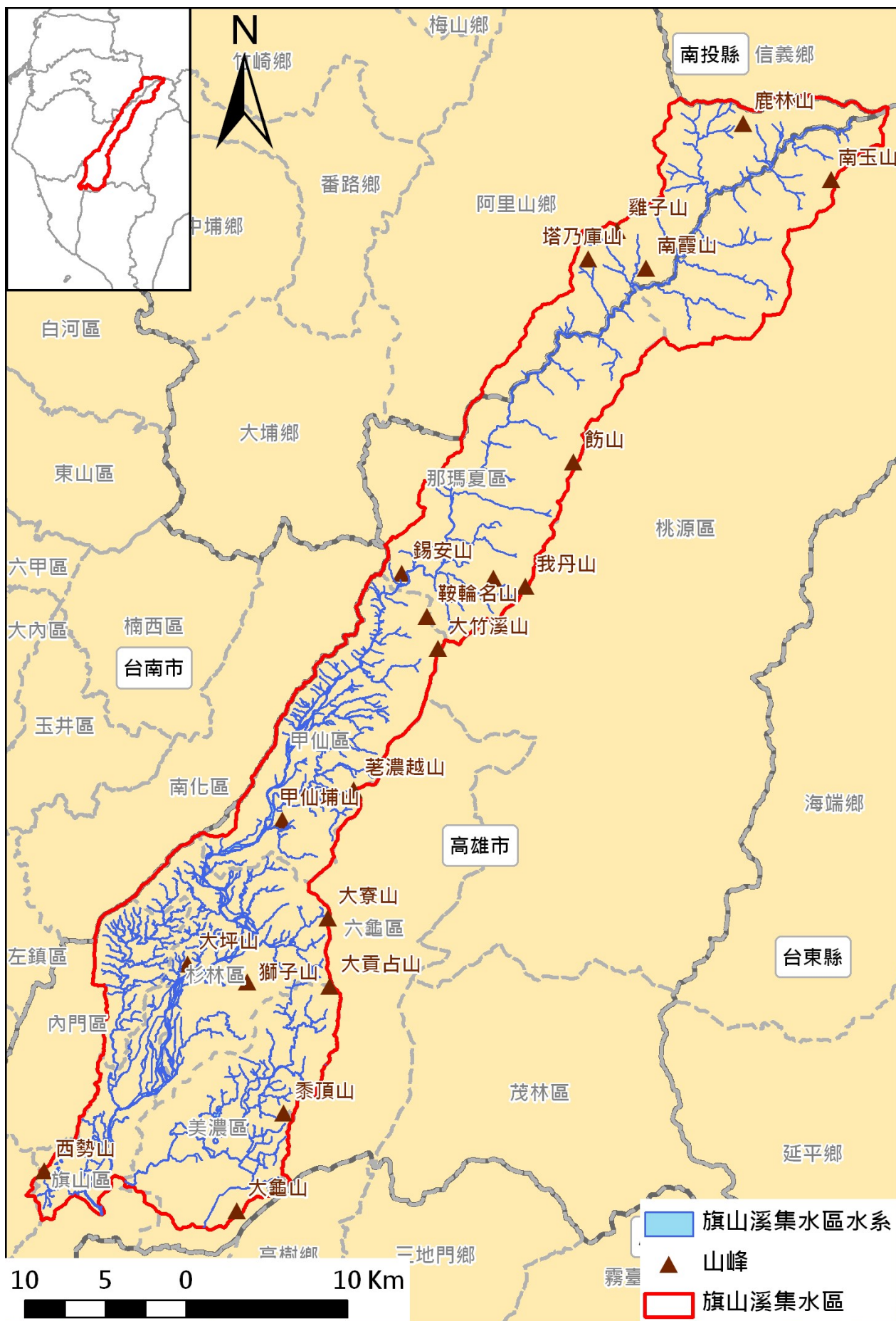


圖 3-1.2、旗山溪集水區概況。



圖 3-1.3、隘寮溪集水區概況。

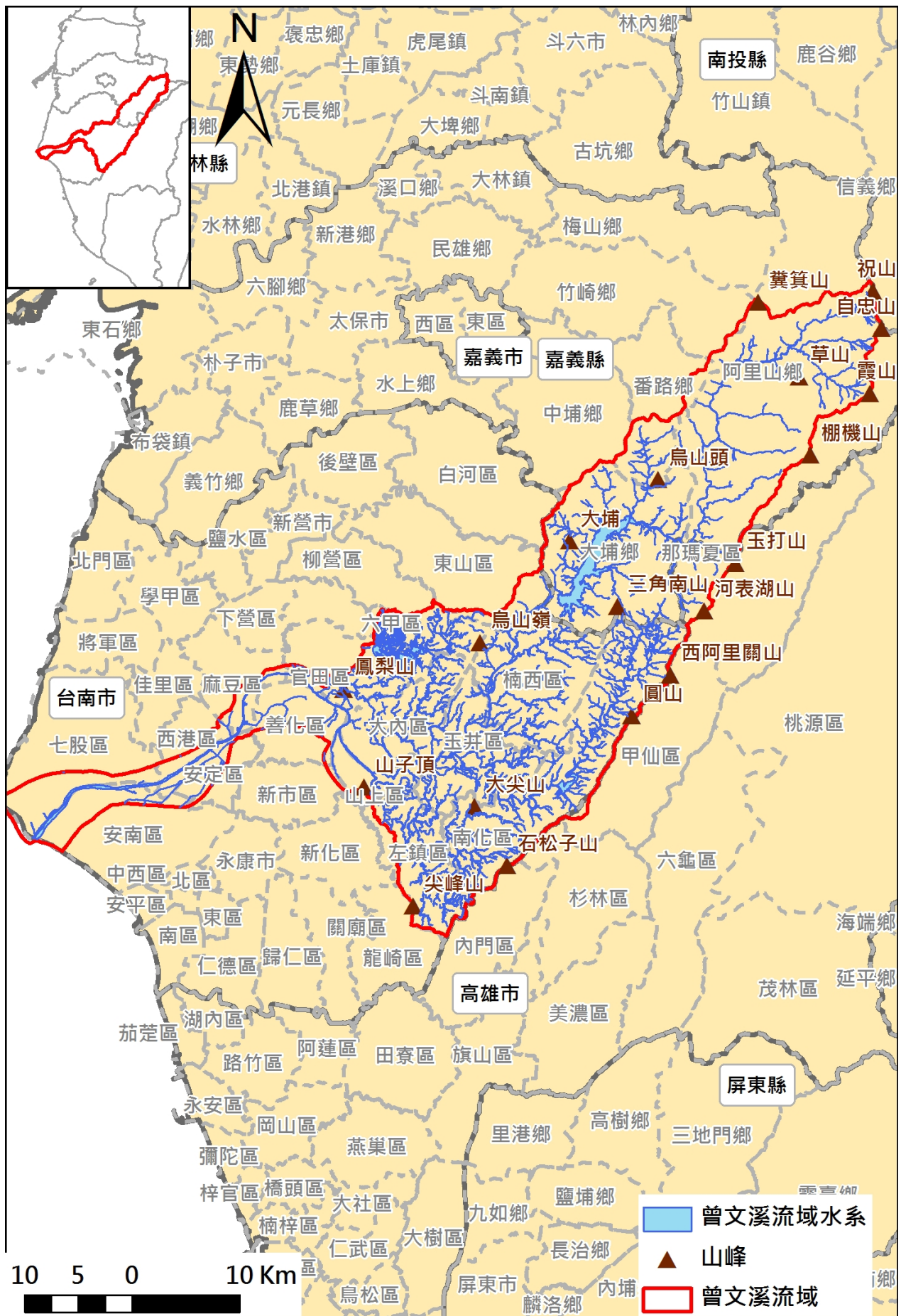


圖 3-1.4、曾文溪流域概況。

3-1.2、地形

高屏溪流域-荖濃溪集水區

在荖濃溪集水區內之地形地勢除西南方的美濃地區地勢較為低緩外，大部分的地區多為山區地帶，地勢起伏由海拔 55 公尺至海拔 3,941 公尺之間，以北端的玉山海拔 3,941 公尺為最高，全區地形自東北向西南傾斜，高度呈東北-西南向遞減，形狀為狹長形(圖 3-1.5)。

本計畫以收集之 5 米數值地形資料進行高程、坡度、及坡向分析，分布圖如圖 3-1.5 至 3-1.7。

高屏溪流域-旗山溪集水區

在旗山溪集水區內之地形地勢除西南方地勢較為低緩外，大部分的地區多為山區地帶，地勢起伏由海拔 30 公尺至海拔 3,920 公尺之間，全區地形自東北向西南傾斜，高度呈東北-西南向遞減，形狀為狹長形(圖 3-1.8)。

本計畫以收集之 5 米數值地形資料進行高程、坡度、及坡向分析，分布圖如圖 3-1.8 至 3-1.10。

高屏溪流域-隘寮溪集水區

在隘寮溪集水區內之地形地勢除西側的美濃地區地勢較為低緩外，大部分的地區多為山區地帶，地勢起伏由海拔 0 公尺至海拔 3,087 公尺之間，全區地形自東向西傾斜，高度呈東-西向遞減(圖 3-1.11)。

本計畫以收集之 5 米數值地形資料進行高程、坡度、及坡向分析，分布圖如圖 3-1.11 至 3-1.13。

曾文溪流域

在曾文溪流域內之地形地勢除西側為平原區，大部分的地區多為山區地帶，地勢起伏由海拔 0 公尺至海拔 2,612 公尺之間，全區地形自東北向西南傾斜，高度呈東北-西南向遞減(圖 3-1.14)。

本計畫以收集之 5 米數值地形資料進行高程、坡度、及坡向分析，分布圖如圖 3-1.14 至 3-1.16。

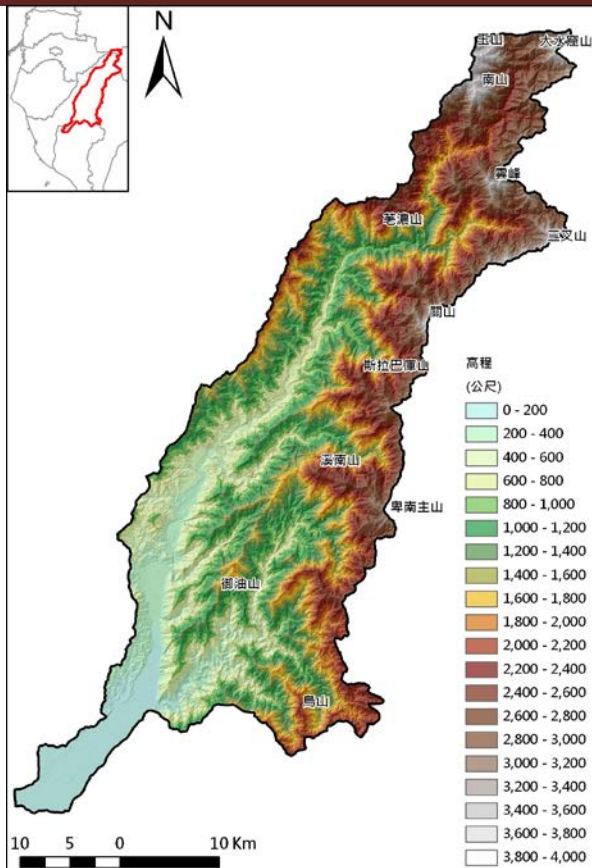


圖 3-1.5、荖濃溪集水區高程分布。

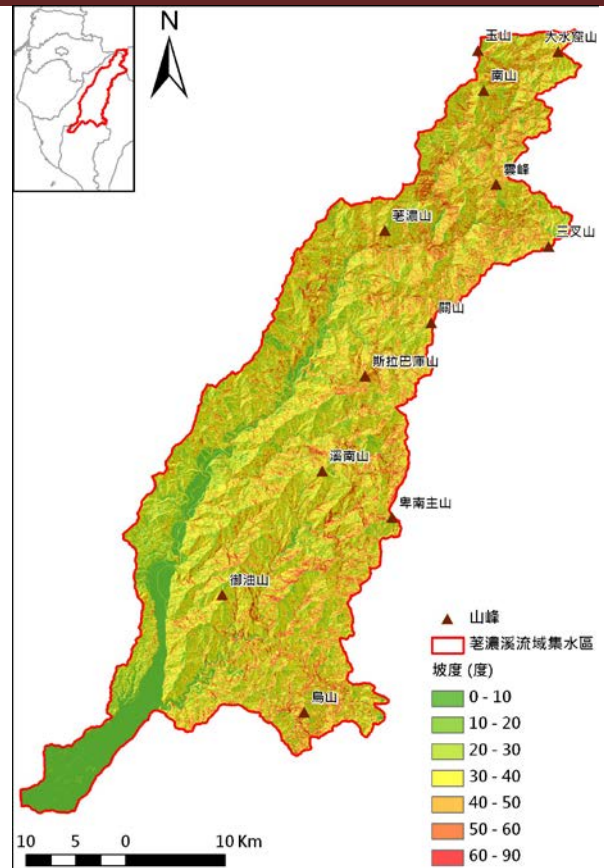


圖 3-1.6、荖濃溪集水區坡度分布。

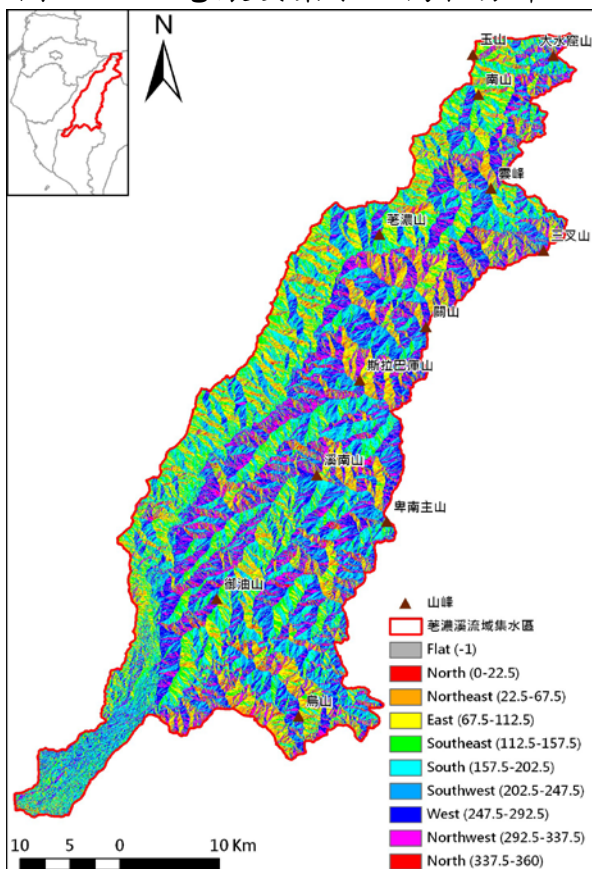


圖 3-1.7、荖濃溪集水區坡向分布。

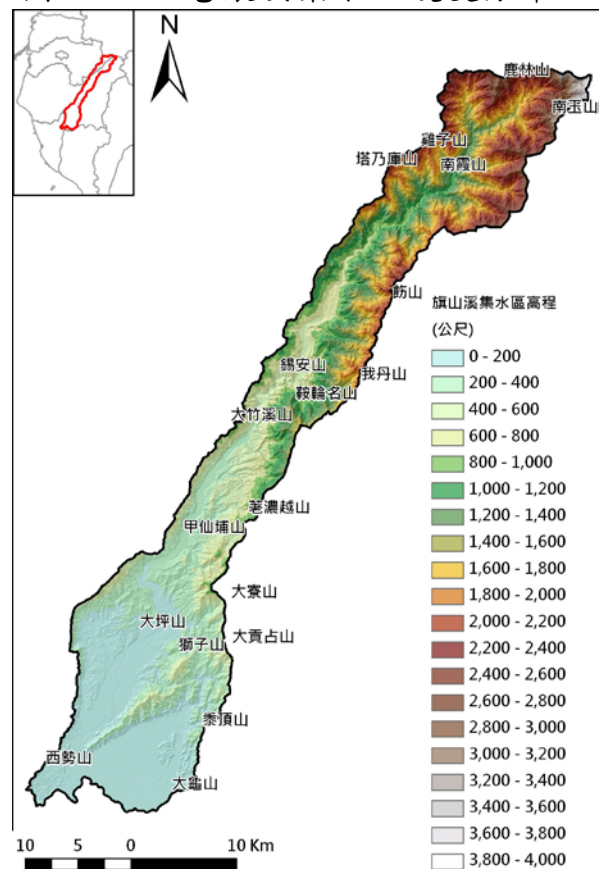
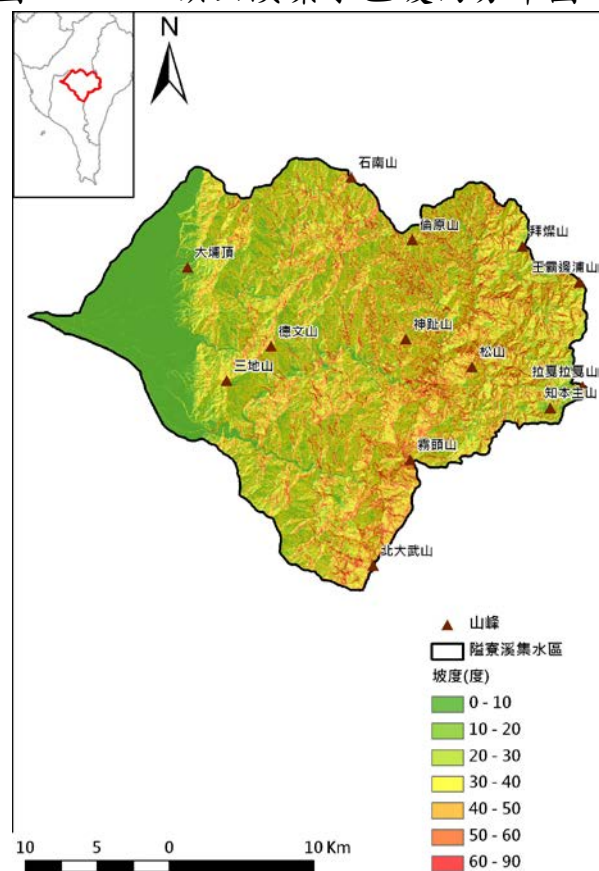
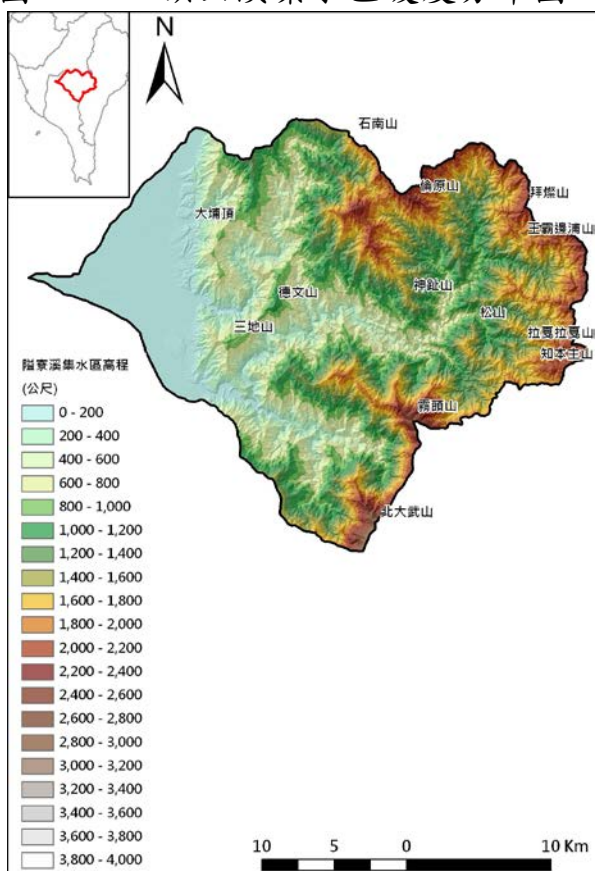
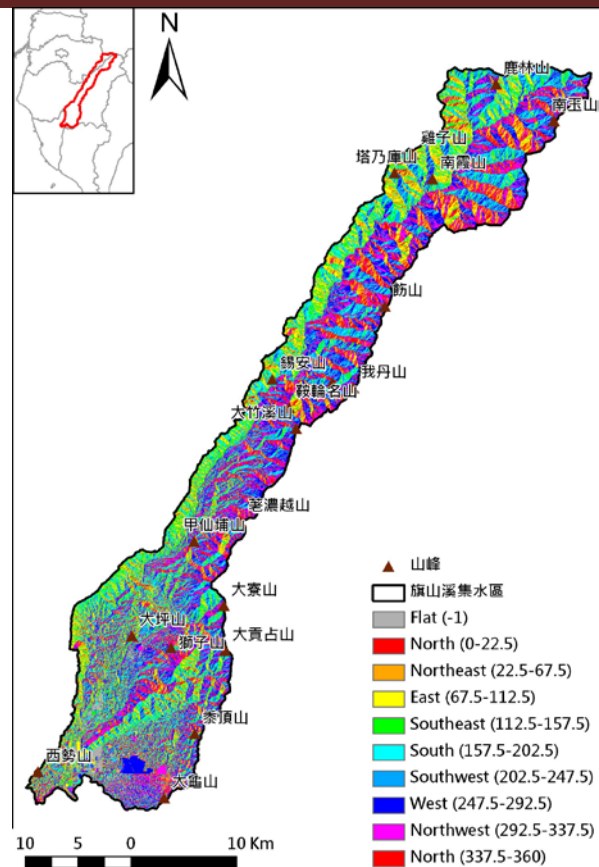
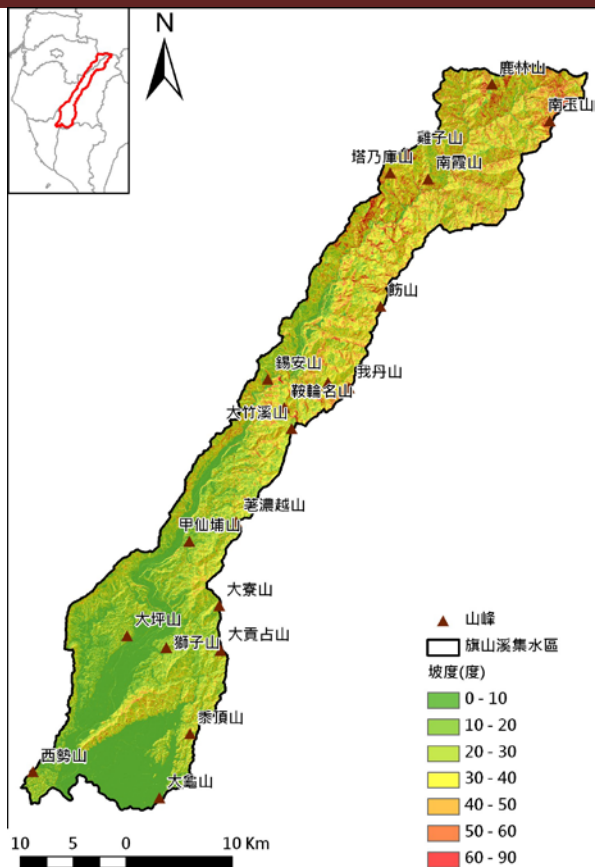


圖 3-1.8、旗山溪集水區高程分布圖。



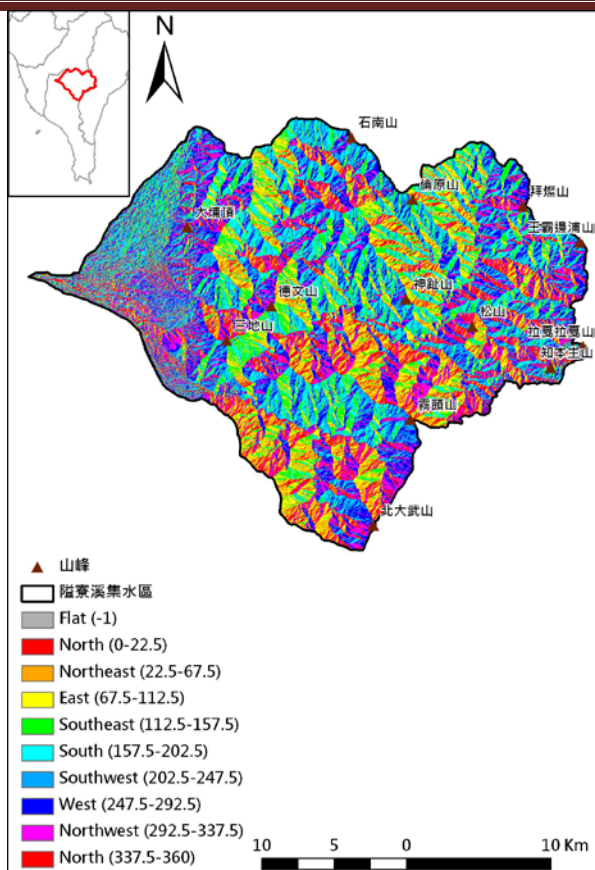


圖 3-1.13、隘寮溪集水區坡向分布圖。

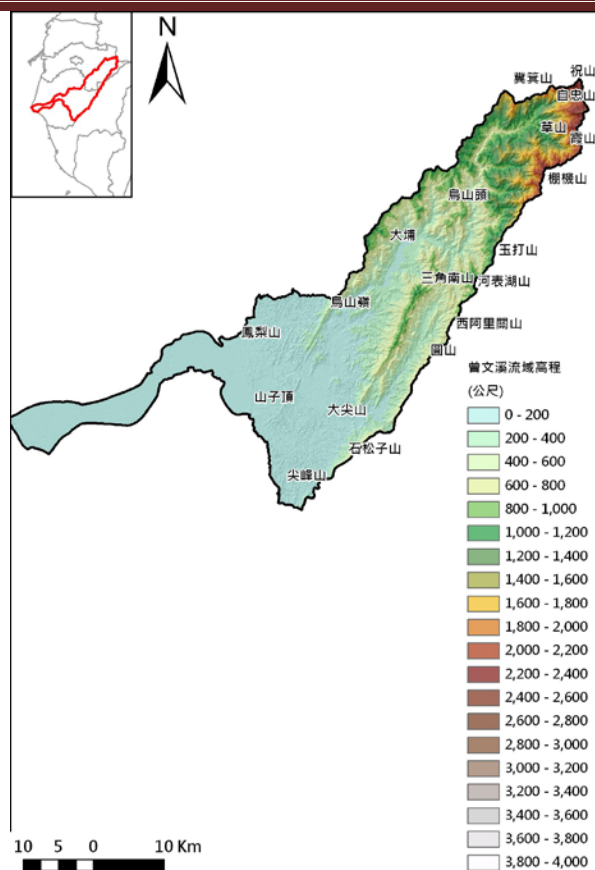


圖 3-1.14、曾文河流域高程分布圖。

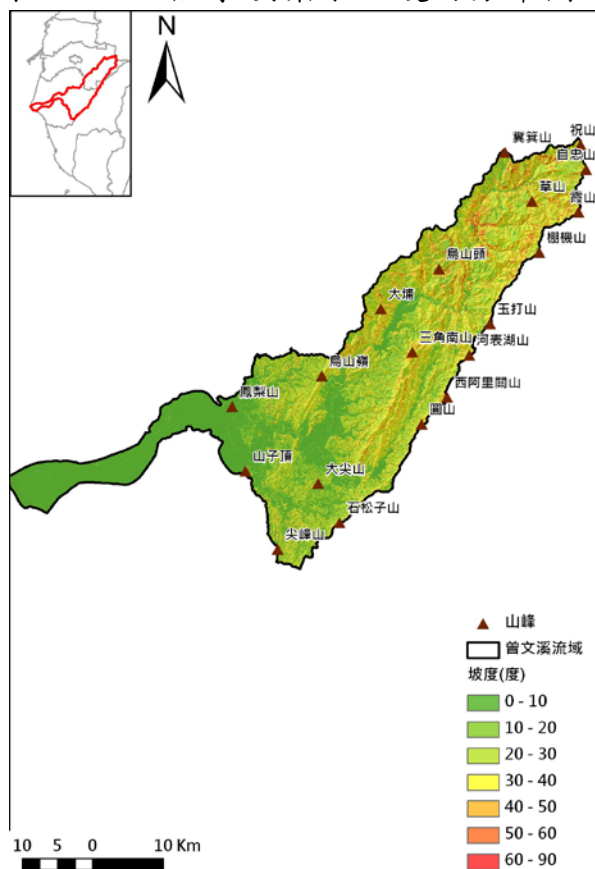


圖 3-1.15、曾文河流域坡度分布圖。

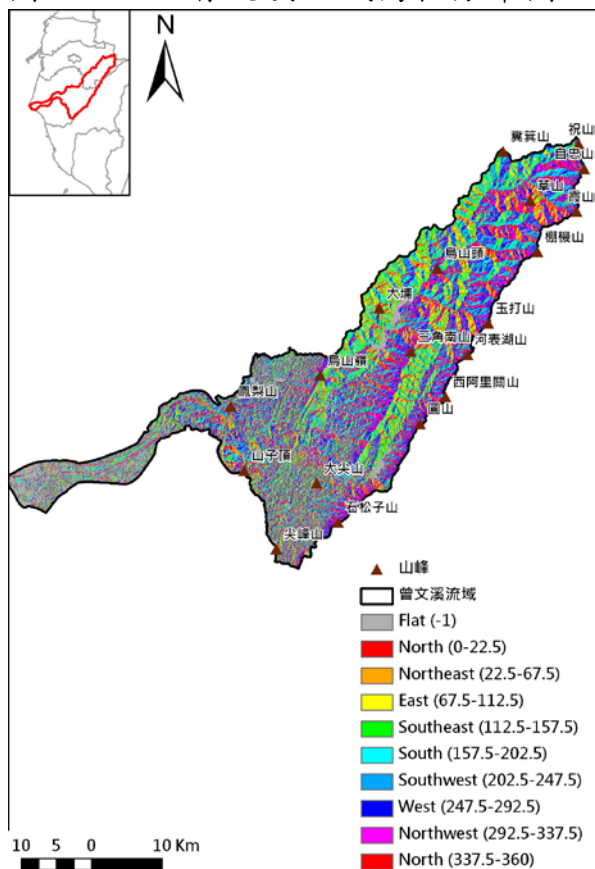


圖 3-1.16、曾文河流域坡向分布圖。

3-1.3、地質

高屏流域-荖濃溪集水區

參考中央地質調查所未出版之高屏流域地質圖、甲仙地質圖幅等資料(圖 3-1.17)，在本流域中所出露之岩層主要為中新世潮州層(相當於廬山層)和始新世板岩(畢祿山層)。荖濃河流域包含台灣 3 個主要地質區分帶-中央山脈西側、雪山山脈以及西部麓山帶。中央山脈西側地層主要位於荖濃溪以東，廬山層(相當於樟山層、潮州層)和畢祿山層，其岩性以板岩為主，夾少量變質砂岩。雪山山脈地層主要位於荖濃溪北部，眉溪斷層以西，為十八重溪層、達見砂岩、玉山主山層、佳陽層，其地層岩性為板岩和變質砂岩。西部麓山帶地層主要為南港層相當地層、長枝坑層和糖恩山砂岩(何春蓀，1986)，為沉積岩區。

在構造地質方面主要有土壠灣斷層、唯金溪斷層、眉溪斷層，這三條斷層是重要地質分界。土壠灣斷層主要位於荖濃溪河床，為逆斷層，其走向約呈北 40-50 度東，斷層傾向於地表處呈 75 度以上的高角度，區隔中央山脈西側(廬山層相當地層)和西部麓山帶(長枝坑層)。唯金溪斷層通過於荖濃溪支流唯金溪，為中央山脈畢祿山層和潮州層(廬山層)分界；眉溪斷層主在中部眉溪部落東面，沿眉溪呈東北-西南向延展，露頭不連續，為雪山山脈和中央山脈分界。

高屏流域-旗山溪集水區

參考中央地質調查所未出版之高屏流域地質圖、甲仙地質圖圖幅等資料(圖 3-1.18)，在本集水區中所出露之岩層年代以桂竹林層相當地層以及南莊層相當地層為主。旗山溪集水區包含台灣 2 個主要地質分帶-西部麓山帶以及雪山山脈。雪山山脈地層主要位於旗山溪集水區北部，眉溪斷層以西，為十八重溪層、達見砂岩、玉山主山層，其地層岩性為板岩和變質砂岩。西部麓山帶地層主要為南莊層相當地層、糖恩山砂岩、鹽水坑頁岩以及隘寮腳層(何春蓀，1986)，屬於沉積岩區。

在構造地質方面主要有甲仙斷層、旗山斷層，以及土壠灣斷層切過旗山溪集水區南部。曾長生等(1983)認為甲仙斷層是傾西高角度之正斷層，但宋國城等(2000)將甲仙斷層判定為斷面朝東之高角度逆斷層。甲仙圖幅之甲仙斷層為朝東之逆斷層，走向與小林向斜相近，且切過小林崩塌及角埔溪。旗山斷層在甲仙地區走向約為北 35 度東，傾角向東 70 度(宋國城等，2000)為一斷面朝東之高角度逆斷層。旗山斷層兩側皆為三民頁岩，根據主斷面擦痕及破裂面擦痕，及剪裂帶

的結構特性，陳柏村(2005)認為旗山斷層以逆衝為主兼有左移分量。土壠灣斷層主要位於荖濃溪河床，為逆斷層，其走向約呈北 40-50 度東，斷層傾向於地表處呈 75 度以上的高角度，區隔中央山脈西側(廬山層相當地層)和西部麓山帶(長枝坑層)。

高屏溪流域-隘寮溪集水區

參考中央地質調查所未出版之高屏溪流域地質圖(圖 3-1.19)，本集水區所出露之岩層主要為潮州層、畢祿山層、大南澳片岩以及沖積層。隘寮溪集水區主要屬於中央山脈脊梁山脈地質區內，大南澳片岩主要岩性為黑色片岩、綠色片岩、燧石以及大理岩。畢祿山層主要岩性為板岩以及千枚岩，潮州層主要岩性為硬頁岩或板岩夾透鏡狀砂岩體(何春蓀，1986)。

在構造地質方面主要有潮州斷層、隘寮北溪斷層以及小禿山斷層，其中以潮州斷層為重要的地質分界。潮州斷層為高角度向東傾斜的逆移斷層兼具左移性質，呈南北走向。斷層可以分為 2 段：北段由高雄市六龜區寶來里向南延伸至屏東縣三地門鄉大津村，長約 28 公里，本段又稱土壠灣斷層（鳥居敬造，1933），南段由大津村向南延伸至枋寮鄉加祿村，長約 61 公里（Tomita, 1955），總長約 89 公里。在六龜以北，土壠灣斷層也稱為樟山斷層（詹新甫，1964）。

曾文溪流域

參考中央地質調查所甲仙地質圖圖幅、嘉義地質圖圖幅、中埔地質圖圖幅、新化地質圖圖幅以及五十萬分之一臺灣區域地質圖等資料(圖 3-1.20)。曾文溪流域地質分區主要為西部麓山帶，本流域以中新世地層至上新世地層為主，包括南港層、石底層及相當地層，南莊層及相當地層，桂竹林層及相當地層，桂竹林層及相當地層，卓蘭層、錦水頁岩及相當地層，頭嵙山層及相當地層等，為沉積岩區。

在構造地質方面，以左鎮斷層為重要構造。左鎮斷層呈西北走向，斷層自台南市新莊附近向東南延伸，經左鎮、三角潭附近，全長超過 10 公里。左鎮斷層最早由衛星影像辨認出線形，而研判斷層存在之可能性，經野外調查發現沿斷層線形位置有小型斷層帶（數公分至數十公分寬），這些小型斷層常群聚成一寬約數公尺至十數公尺寬之斷層擾動帶，但僅局限於斷層的西段。斷層東段兩側的地層雖被劃分成不同地層，但野外此兩地層的岩性無法分辨，此段斷層是否存在仍有疑問。而西段所發現之斷層帶若為左鎮斷層所造成在衛星影像上的線性，現今尚無

法瞭解其活動時代。

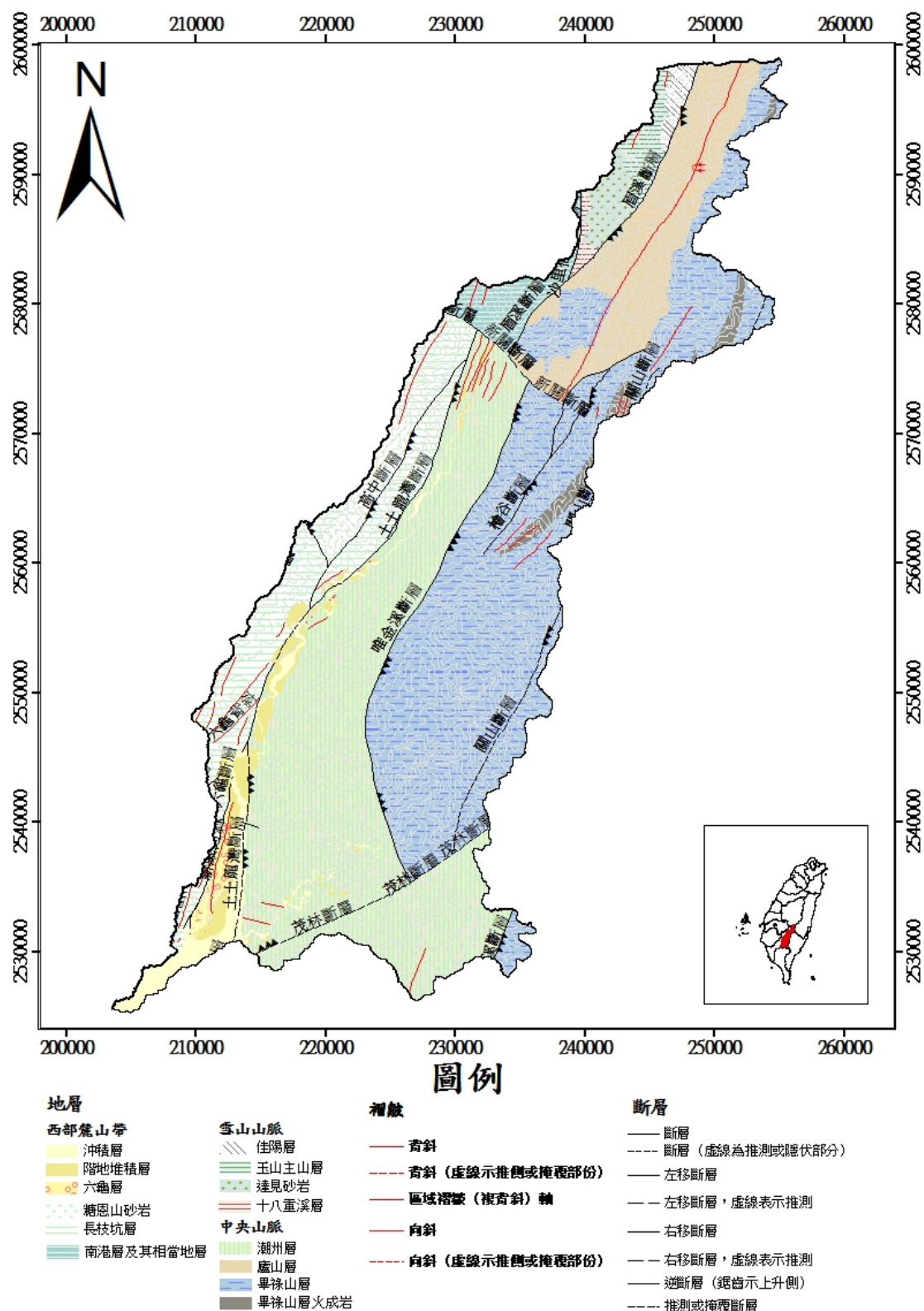


圖 3-1.17、荖濃溪集水區流域地質圖(高屏溪流域地質圖，2009、甲仙地質圖，2000)。

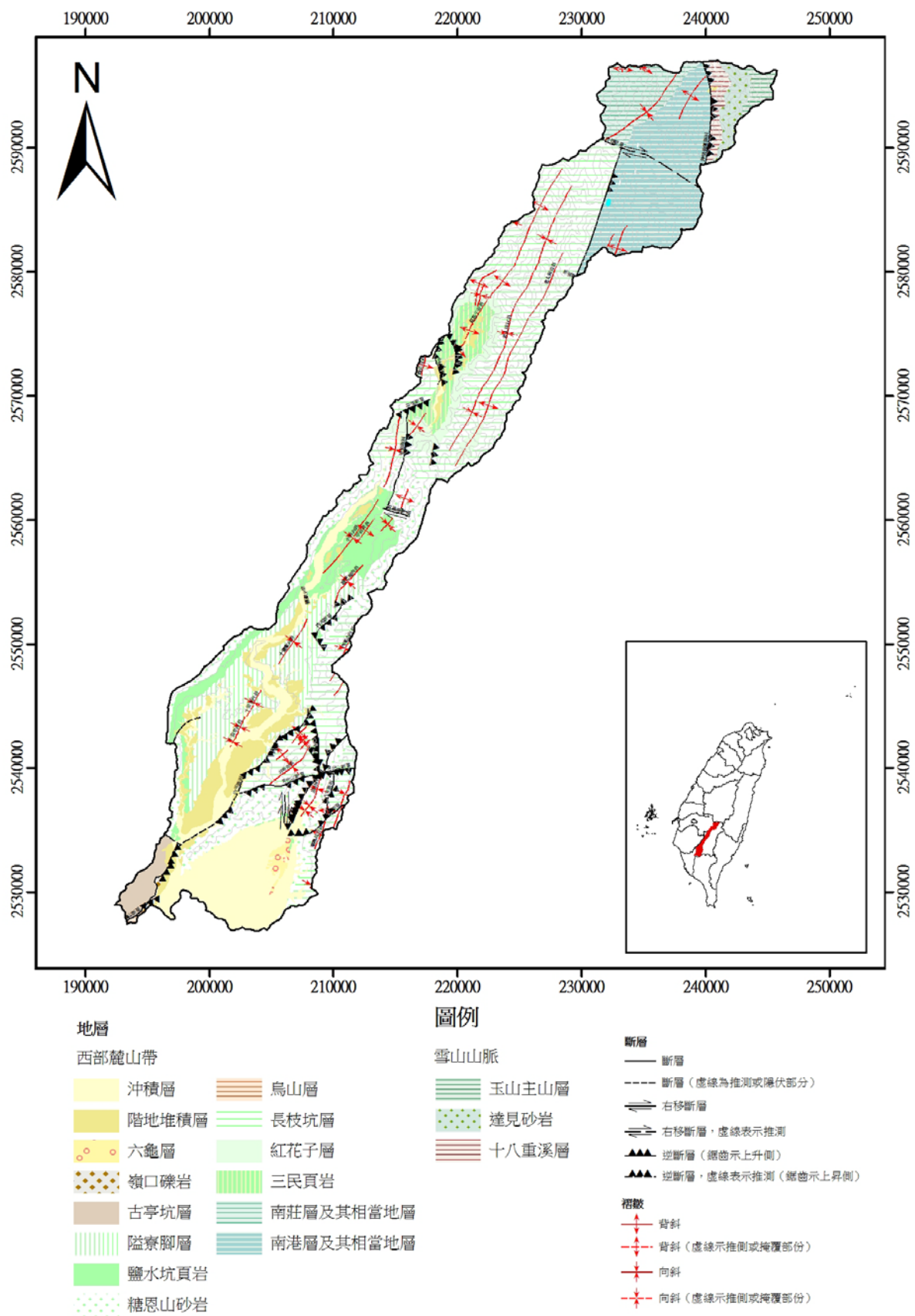
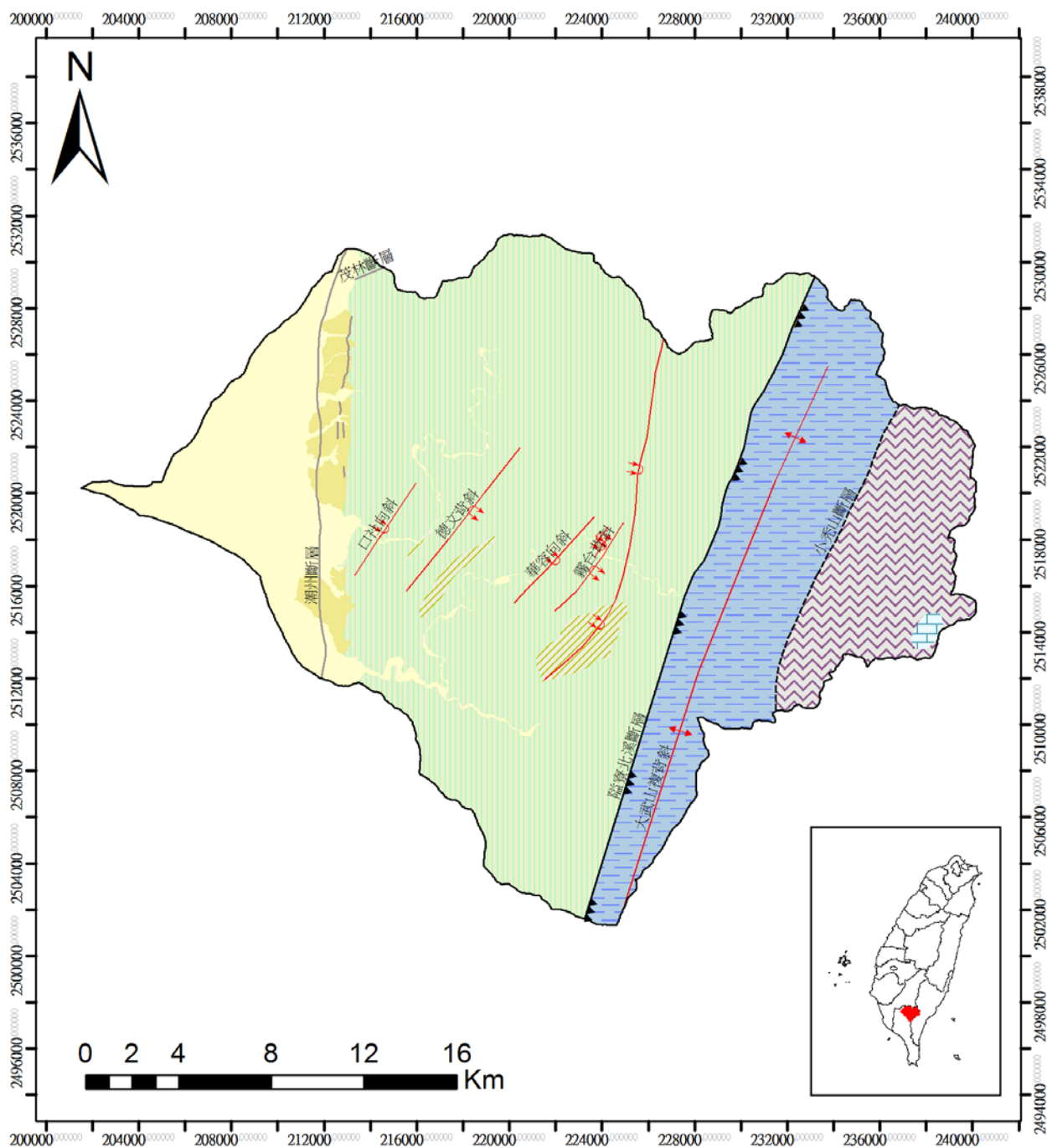


圖 3-1.18、旗山溪集水區流域地質圖(高屏溪流域地質圖，2009、甲仙地質圖，2000)。



圖例

地層

- 沖積層
- 階地堆積層
- 潮州層(硬頁岩或板岩間夾透鏡狀砂岩體)
- 潮州層(透鏡狀砂岩體)
- 畢祿山層
- 大南澳片岩(黑色片岩、綠色片岩、燧石)
- 大南澳片岩(大理岩)

構造

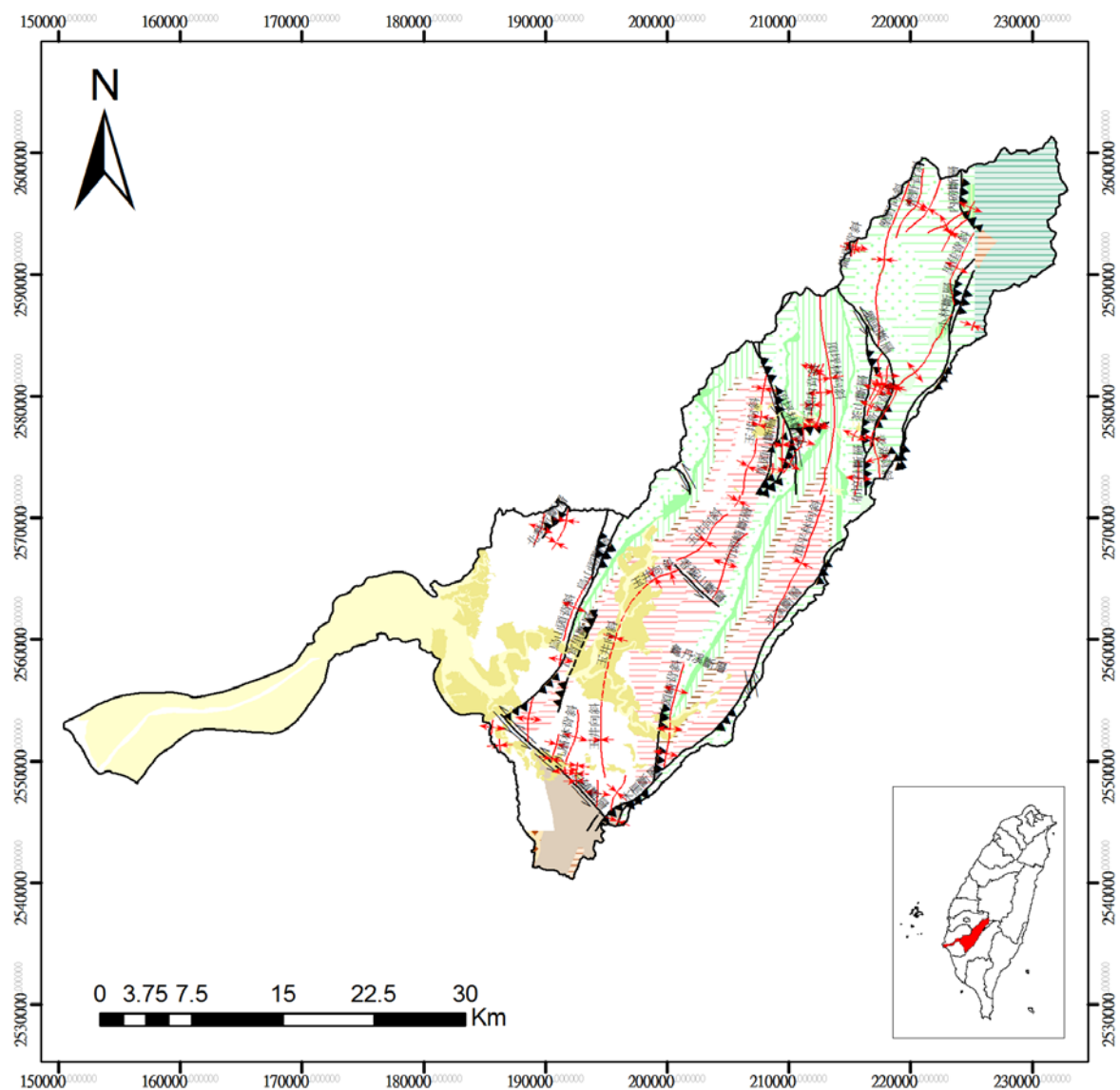
褶皺

- ↗↖ 倒轉背斜
- ↖↗ 區域褶皺(複背斜)軸
- ↘↙ 倒轉向斜

斷層

- 逆斷層(虛線表示推測)
- ▲▲ 逆斷層(鋸齒示上昇側)

圖 3-1.19、隘寮溪集水區流域地質圖(高屏溪流域地質圖，2009)。



圖例

圖 3-1.20、曾文溪流域流域地質圖(修改自甲仙地質圖，2000、嘉義地質圖，2008、中埔地質圖，2009、新化地質圖，2005、五十萬分之一臺灣區域地質圖，2000)。

3-1.4、雨量

高屏溪流域年平均降雨量為 3,046 毫米，降雨集中在 4 月至 10 月；曾文溪流域年平均降雨量為 2,350 毫米，降雨集中在 6 月至 10 月。本計畫收集 2000 年至 2013 年雨量資料(表 3-1.1)，其中包含多次重大事件，將各事件之發生時間與雨量繪製為降雨分布圖，各事件降雨分布說明如下，圖 3-1.21~41 為各事件之等雨量線圖。

表 3-1.1、雨量資料列表

颱風豪雨	影響時間	最大累積雨量(毫米)			
		曾文溪流域	旗山溪集水區	荖濃溪集水區	隘寮溪集水區
桃芝	2001/07/28~07/31	262	324	526	230
敏督利	2004/06/28~07/03	745	739	863	832
海棠	2005/07/16~07/20	1,178	1,427	1,829	1,801
馬莎	2005/08/03~08/06	425	462	577	259
泰利	2005/08/30~09/01	573	563	646	545
0609 豪雨	2006/06/09~06/13	1,026	1,005	1,238	1,017
柯羅莎	2007/10/04~10/07	1,145	752	918	785
卡玫基	2008/07/16~07/18	1,280	999	1,262	893
鳳凰	2008/07/26~07/29	633	639	950	840
辛樂克	2008/09/11~09/16	1,651	1,228	1,296	608
薔蜜	2008/09/26~09/29	1,093	774	976	603
莫拉克	2009/08/05~08/10	2,996	2,438	3,409	2,815
凡那比	2010/09/17~09/20	1,296	1,326	1,699	2,511
南瑪都	2011/08/27~08/31	389	608	745	941
泰利	2012/06/19~06/21	488	568	748	619
蘇拉	2012/07/30~08/03	687	504	465	385
天秤	2012/08/21~08/28	128	307	618	708
蘇力	2013/07/11~07/13	976	683	615	229
潭美	2013/08/20~08/22	663	531	440	538
康芮	2013/08/27~08/29	705	580	491	529
天兔	2013/09/19~09/22	196	455	777	647

A. 桃芝颱風

桃芝颱風(TORAJI)編號 0108，影響時間為 2001 年 7 月 28 日~7 月 31 日，颱風強度為中度颱風，由花蓮秀姑巒溪口登陸往北北西前進於新竹附近出海。在曾文溪流域最大累積雨量為 262 毫米；旗山溪集水區為 324 毫米；荖濃溪集水區為 526 毫米；隘寮溪集水區為 230 毫米。

B. 敏督利颱風

敏督利颱風 (MINDULLE) 編號 0407，影響時間為 2004 年 6 月 28 日~7 月 03 日，颱風強度為中度颱風，自花蓮登陸往北移動。在曾文溪流域最大累積雨量為 745 毫米；旗山溪集水區為 739 毫米；荖濃溪集水區為 863 毫米；隘寮溪集水區為 832 毫米。

C. 海棠颱風

海棠颱風 (HAITANG) 編號 0505，侵台時間為 2005 年 7 月 16 日~7 月 20 日，颱風強度為強烈颱風，自宜蘭登陸往西北移動。在曾文溪流域最大累積雨量為 1,178 毫米；旗山溪集水區為 1,427 毫米；荖濃溪集水區為 1,829 毫米；隘寮溪集水區為 1,801 毫米。

D. 馬莎颱風

馬莎颱風 (MATSA) 編號 0509，侵台時間為 2005 年 8 月 3 日~8 月 6 日，颱風強度為中度颱風，颱風路徑為由宜蘭外海往西北移動，雖未直接台，但仍影響台灣許多。在曾文溪流域最大累積雨量為 425 毫米；旗山溪集水區為 462 毫米；荖濃溪集水區為 577 毫米；隘寮溪集水區為 259 毫米。

E. 泰利颱風

泰利颱風(TALIM)編號 0513，影響時間為 2005 年 8 月 30 日~9 月 1 日，颱風強度為強烈颱風，颱風由花蓮宜蘭之間登陸。在曾文溪流域最大累積雨量為 573 毫米；旗山溪集水區為 563 毫米；荖濃溪集水區為 646 毫米；隘寮溪集水區為 545 毫米。

F. 0609 豪雨

0609 豪雨發生原因為滯留鋒面造成，發生時間為 2006 年 6 月 9 日～6 月 13 日。在曾文溪流域最大累積雨量為 1,026 毫米；旗山溪集水區為 1,005 毫米；荖濃溪集水區為 1,238 毫米；隘寮溪集水區為 1,017 毫米。

G. 柯羅莎颱風

柯羅莎颱風（KROSA）編號 0715，侵台時間為 2007 年 10 月 4 日～10 月 7 日，颱風強度為強烈颱風，颱風路徑為由宜蘭頭城登陸，往西北移動離開台灣。在曾文溪流域最大累積雨量為 1,145 毫米；旗山溪集水區為 752 毫米；荖濃溪集水區為 918 毫米；隘寮溪集水區為 785 毫米。

H. 卡玫基颱風

卡玫基颱風（KALMAEGI）編號 0807，侵台時間為 2008 年 7 月 16 日～7 月 18 日，颱風強度為中度颱風，颱風路徑為由宜蘭南方登陸，往西北移動離開台灣。在曾文溪流域最大累積雨量為 1,280 毫米；旗山溪集水區為 999 毫米；荖濃溪集水區為 1,262 毫米；隘寮溪集水區為 893 毫米。

I. 鳳凰颱風

鳳凰颱風(FUNG-WONG)編號 0808，影響時間為 2008 年 7 月 26 日～7 月 29 日，颱風強度為中度颱風，颱風路徑由靜浦與長濱之間登陸，往西北移動於彰化出海。在曾文溪流域最大累積雨量為 633 毫米；旗山溪集水區為 639 毫米；荖濃溪集水區為 950 毫米；隘寮溪集水區為 840 毫米。

J. 辛樂克颱風

辛樂克颱風(SINLAKU)編號 0813，影響時間為 2008 年 9 月 11 日～9 月 16 日，颱風強度為強烈颱風，由宜蘭縣蘭陽溪附近登陸，之後強度減弱並向南偏移至蘇澳附近呈打轉現象，後往台灣東北角進入北部海面。在曾文溪流域最大累積雨量為 1,651 毫米；旗山溪集水區為 1,228 毫米；荖濃溪集水區為 1,296 毫米；隘寮溪集水區為 608 毫米。

K. 薔蜜颱風

薔蜜颱風(JANGMI)編號 0815，影響時間為 2008 年 9 月 26 日~9 月 29 日，颱風強度為強烈颱風，由宜蘭縣南澳附近登陸，往北北西移動於桃園附近出海。在曾文溪流域最大累積雨量為 1,093 毫米；旗山溪集水區為 774 毫米；荖濃溪集水區為 976 毫米；隘寮溪集水區為 603 毫米。

L. 莫拉克颱風

莫拉克颱風 (MORAKOT) 編號 0908，侵台時間為 2009 年 8 月 5 日~8 月 10 日，颱風強度為強烈颱風，颱風路徑為由宜蘭頭城登陸，往西北移動離開台灣。在曾文溪流域最大累積雨量為 2,996 毫米；旗山溪集水區為 2,438 毫米；荖濃溪集水區為 3,409 毫米；隘寮溪集水區為 2,815 毫米。

M. 凡那比颱風

凡那比颱風(FANAPI)編號 1011，影響時間為 2010 年 9 月 17 日~9 月 20 日，颱風強度為中度颱風，路徑由花蓮縣豐濱登陸，往西南移動於台南附近出海。在曾文溪流域最大累積雨量為 1,296 毫米；旗山溪集水區為 1,326 毫米；荖濃溪集水區為 1,699 毫米；隘寮溪集水區為 2,511 毫米。

N. 南瑪都颱風

南瑪都颱風(NANMADOL)編號 1111，影響時間為 2011 年 8 月 27 日~8 月 31 日，颱風強度為強烈颱風，由台東縣大武附近登陸，往北北西移動於台南附近出海。在曾文溪流域最大累積雨量為 389 毫米；旗山溪集水區為 608 毫米；荖濃溪集水區為 745 毫米；隘寮溪集水區為 941 毫米。

O. 泰利颱風

泰利颱風(TALIM)編號 1205，影響時間為 2012 年 6 月 19 日~6 月 21 日，颱風強度為輕度颱風，生成後以東北方向朝台灣移動，在 21 日 5 時減弱成熱帶性低氣壓。在曾文溪流域最大累積雨量為 488 毫米；旗山溪集水區為 568 毫米；荖濃溪集水區為 748 毫米；隘寮溪集水區為 619 毫米。

P. 蘇拉颱風

蘇拉颱風(SAOLA)編號 1209，影響時間 2012 年 7 月 30 日~8 月 3 日，颱風強度為中度颱風，由花蓮縣秀林鄉附近登陸，登陸後呈現打轉的現象於東北角附近出海。在曾文溪流域最大累積雨量為 687 毫米；旗山溪集水區為 504 毫米；荖濃溪集水區為 465 毫米；隘寮溪集水區為 385 毫米。

Q. 天秤颱風

天秤颱風(TEMBIN)編號 1214，第一次影響時間為 2012 年 8 月 21 日~8 月 25 日，第二次影響時間為 2012 年 8 月 26 日~8 月 28 日，颱風強度為中度颱風，第一次由屏東縣牡丹鄉附近登陸，由台東東方往西南直撲恆春半島，穿越恆春半島後往西離去，後續颱風轉東造成第二次影響台灣，而鵝鑾鼻南方海面往東遠離台灣。在曾文溪流域最大累積雨量為 128 毫米；旗山溪集水區為 307 毫米；荖濃溪集水區為 618 毫米；隘寮溪集水區為 708 毫米。

R. 蘇力颱風

蘇力颱風(SOULIK)編號 1307，影響時間為 2013 年 7 月 11 日~7 月 13 日，颱風強度為強烈颱風，由 13 日 3 時於新北市及宜蘭縣交界處登陸並持續往西北移動，13 日 8 時於新竹附近出海後 16 時進入大陸。在曾文溪流域最大累積雨量為 976 毫米；旗山溪集水區為 683 毫米；荖濃溪集水區為 615 毫米；隘寮溪集水區為 229 毫米。

S. 潭美颱風

潭美颱風(TRAMI)編號 1312，影響時間為 2013 年 8 月 20 日~8 月 22 日，颱風強度為輕度颱風，由 21 日 14 時暴風圈進入臺灣北部及東北部，21 日晚間其中心逐漸通過北部海面，暴風圈壟罩臺灣中部以北、東北部及東部陸地，22 日 2 時由馬祖西南方進入福建。在曾文溪流域最大累積雨量為 663 毫米；旗山溪集水區為 531 毫米；荖濃溪集水區為 440 毫米；隘寮溪集水區為 538 毫米。

T. 康芮颱風

康芮颱風(KONGREY)編號 1315，影響時間為 2013 年 8 月 27 日~8 月 29 日，颱風強度為輕度颱風，28 日暴風圈逐漸進入台灣東部近海。29 日暴風圈影響台灣東半部及中部以北陸地，29 日清晨起台灣中南部地區發生明顯降雨，29 日 14 時颱風中心移動至臺北北北東方近海，逐漸轉向東北移動並遠離台灣。在曾文溪流域最大累積雨量為 705 毫米；旗山溪集水區為 580 毫米；荖濃溪集水區為 491 毫米；隘寮溪集水區為 529 毫米。

U. 天兔颱風

天兔颱風(USAGI)編號 1319，影響時間為 2013 年 9 月 19 日~9 月 22 日，颱風強度為強烈颱風，由 21 日暴風圈逐漸影響台灣東半部及台中以南陸地，21 日 17 時減弱為中度颱風並持續朝西北西方向前進，22 日暴風圈影響澎湖及金門地區而逐漸遠離台灣本島。在曾文溪流域最大累積雨量為 196 毫米；旗山溪集水區為 455 毫米；荖濃溪集水區為 777 毫米；隘寮溪集水區為 647 毫米。

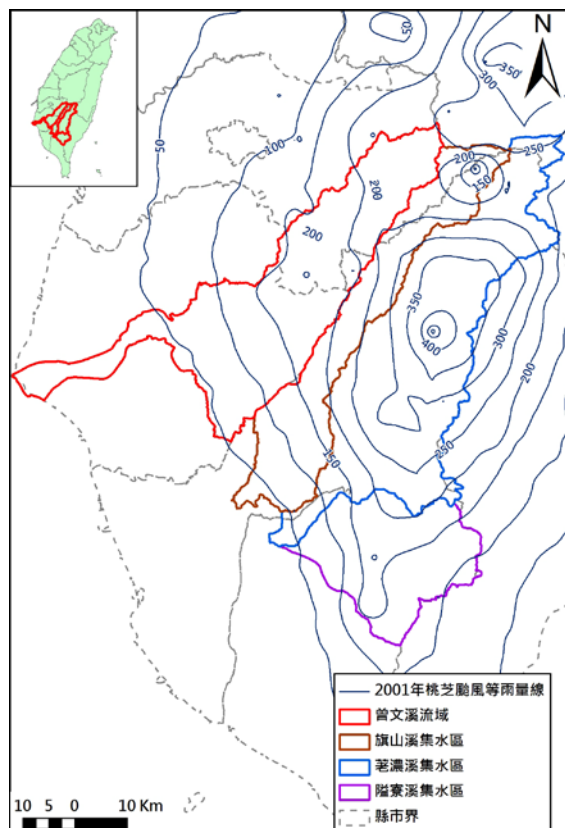


圖 3-1.21、2013 年桃芝颱風等雨量線圖。

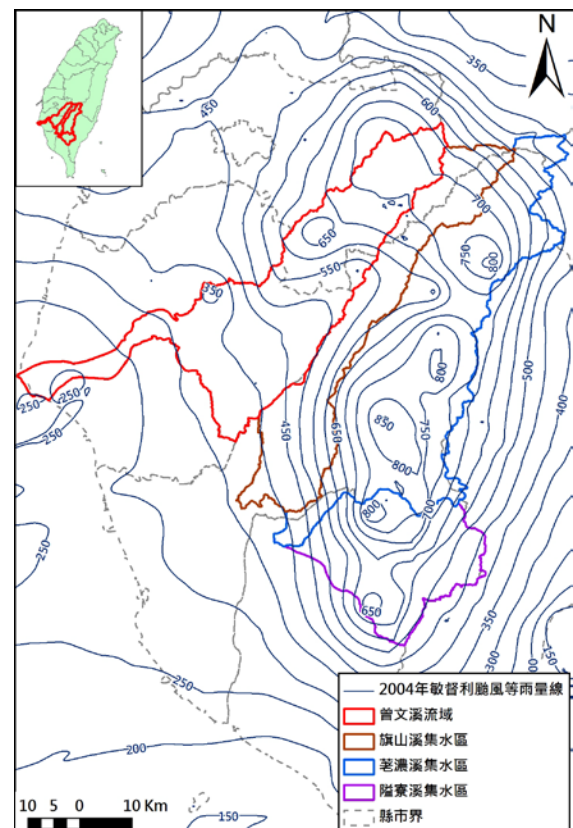


圖 3-1.22、2013 年敏督利颱風等雨量線圖。

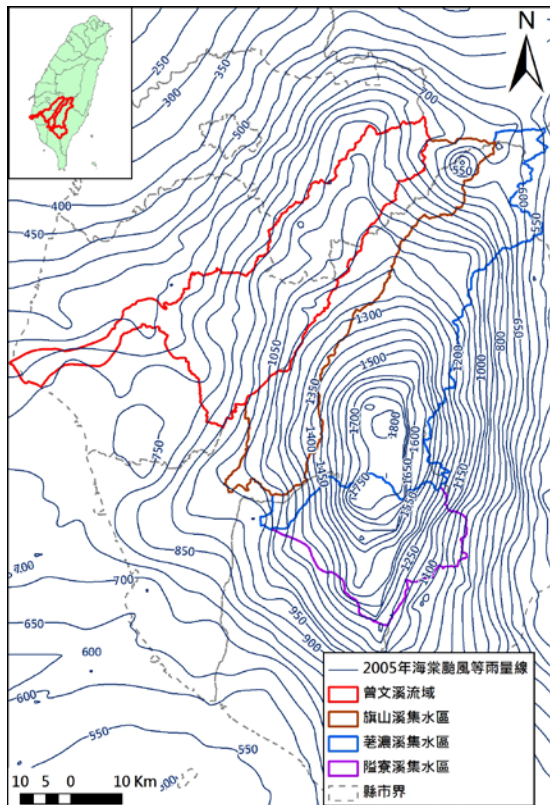


圖 3-1.23、2005 年海棠颱風等雨量線
圖。

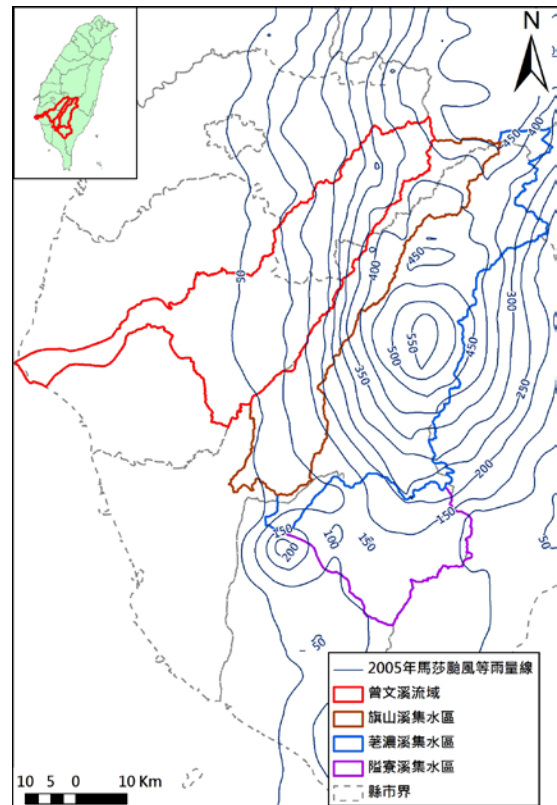


圖 3-1.24、2005 年馬莎颱風等雨量線
圖。

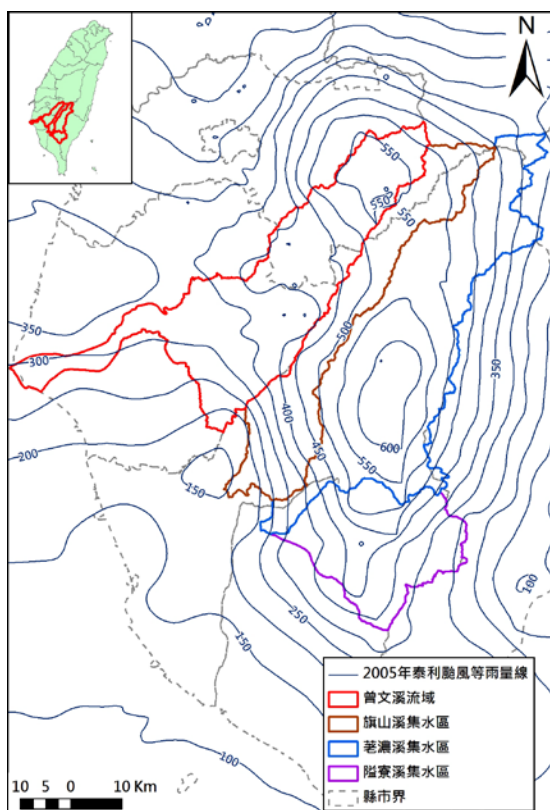


圖 3-1.25、2005 年泰利颱風等雨量線
圖。

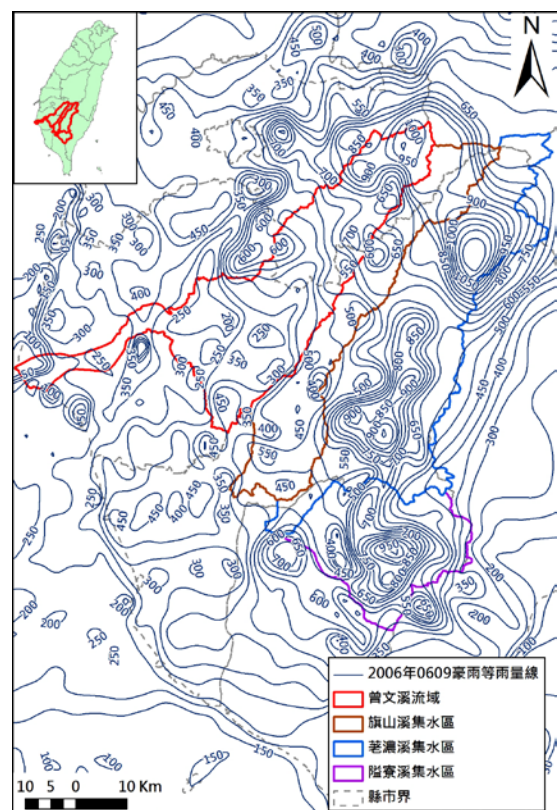


圖 3-1.26、2006 年 0609 豪雨等雨量線
圖。

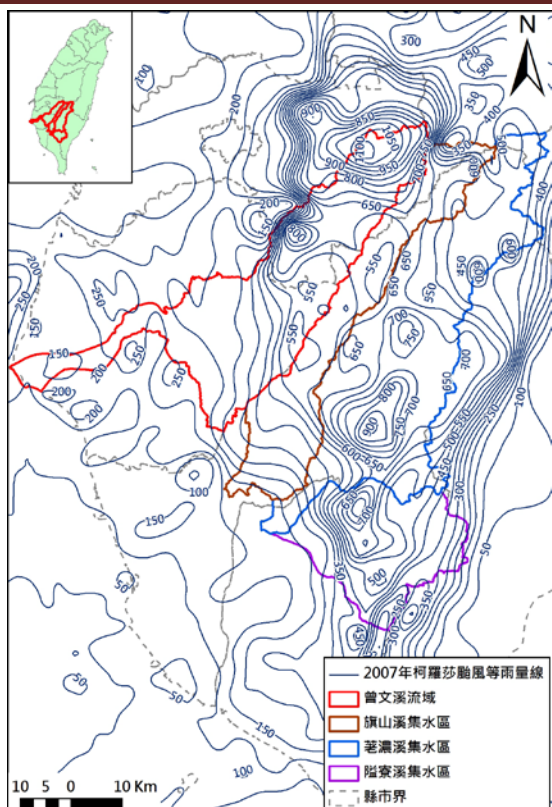


圖 3-1.27、2007 年柯羅莎颱風等雨量線
圖。

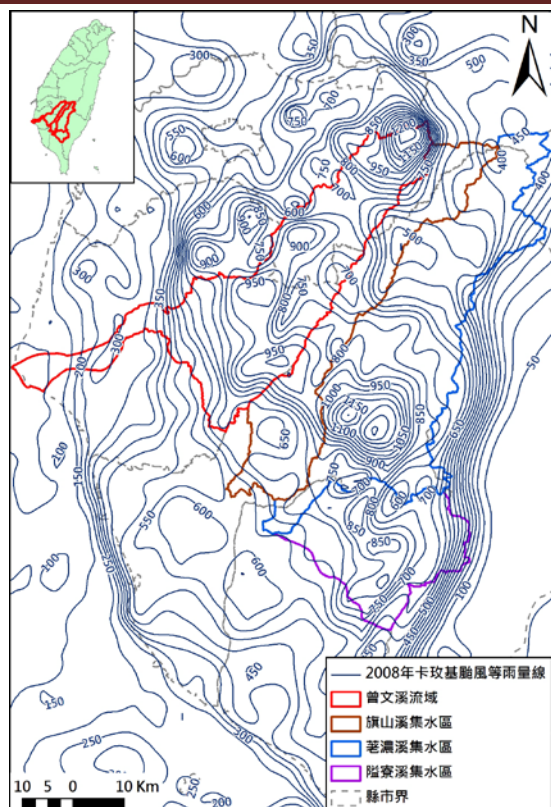


圖 3-1.28、2008 年卡玫基颱風等雨量線
圖。

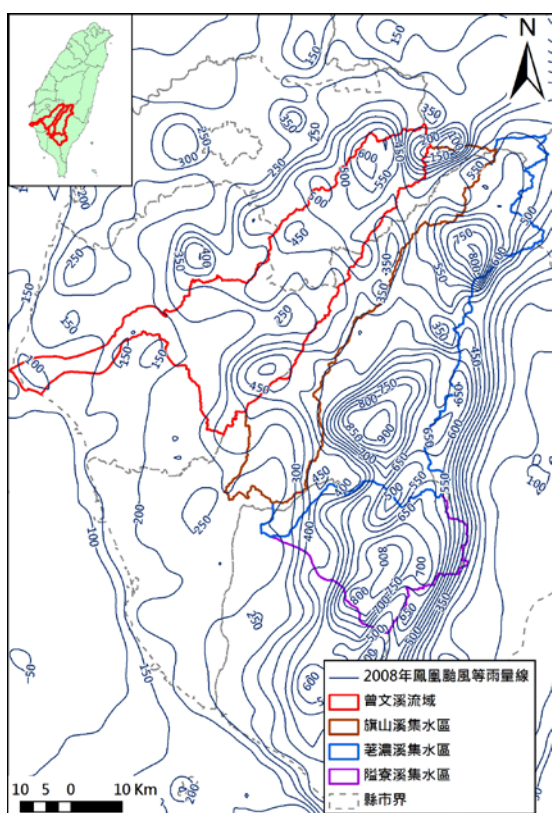


圖 3-1.29、2008 年鳳凰颱風等雨量線
圖。

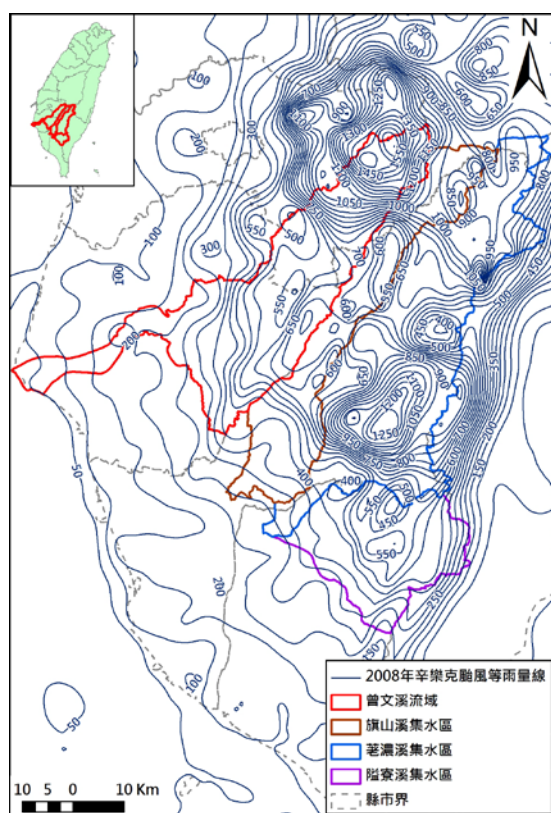


圖 3-1.30、2008 年辛樂克颱風等雨量線
圖。

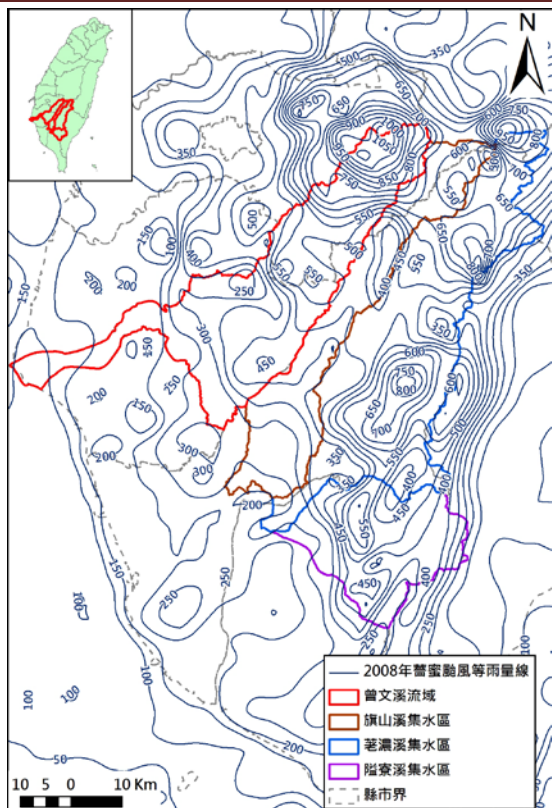


圖 3-1.31、2008 年薔蜜颱風等雨量線
圖。

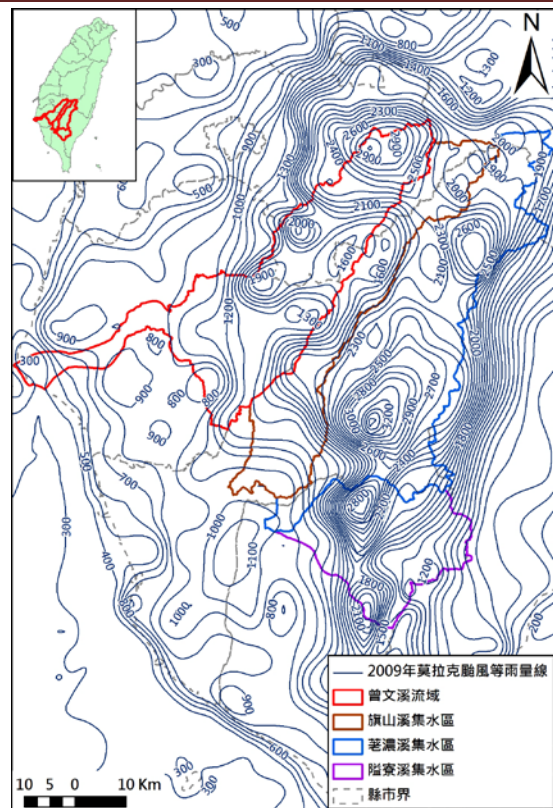


圖 3-1.32、2009 年莫拉克颱風等雨量線
圖。

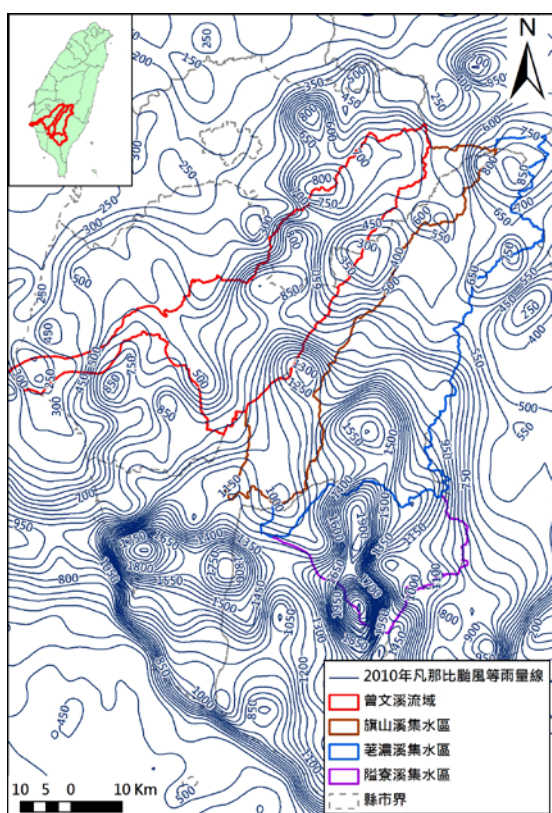


圖 3-1.33、2010 年凡那比颱風等雨量線
圖。

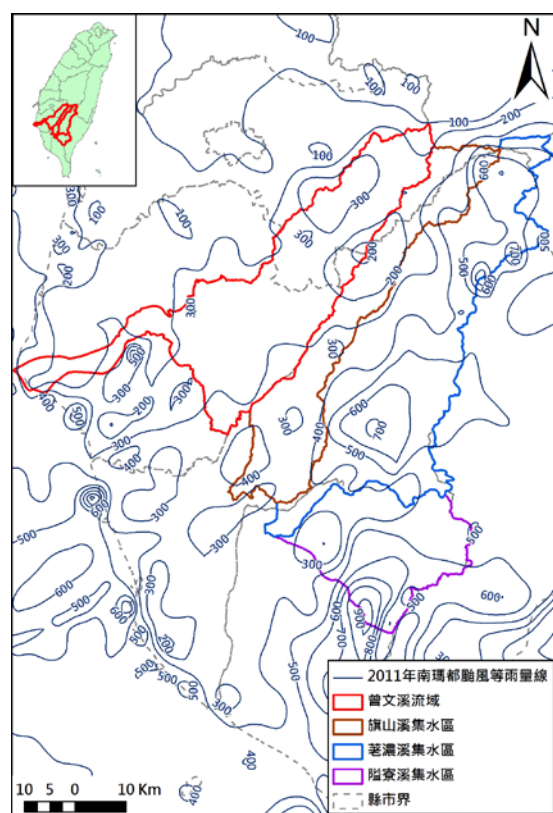


圖 3-1.34、2011 年南瑪都颱風等雨量線
圖。

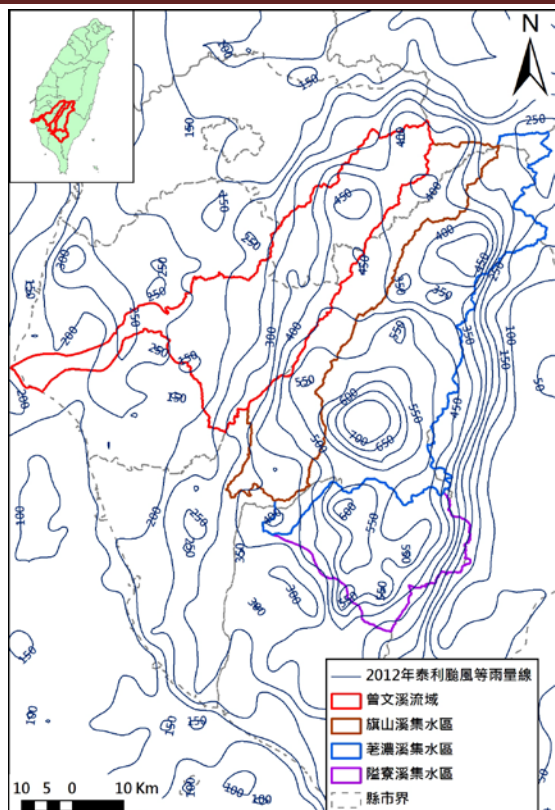


圖 3-1.35、2012 年泰利颱風等雨量線
圖。

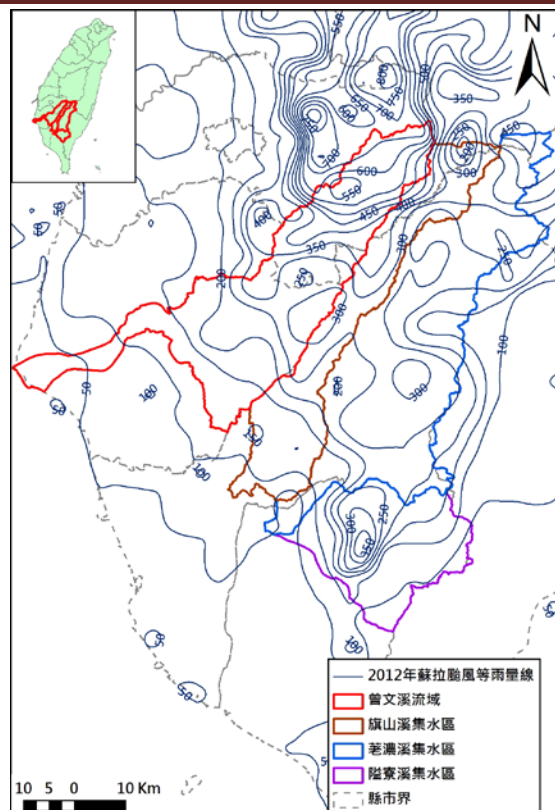


圖 3-1.36、2012 年蘇拉颱風等雨量線
圖。

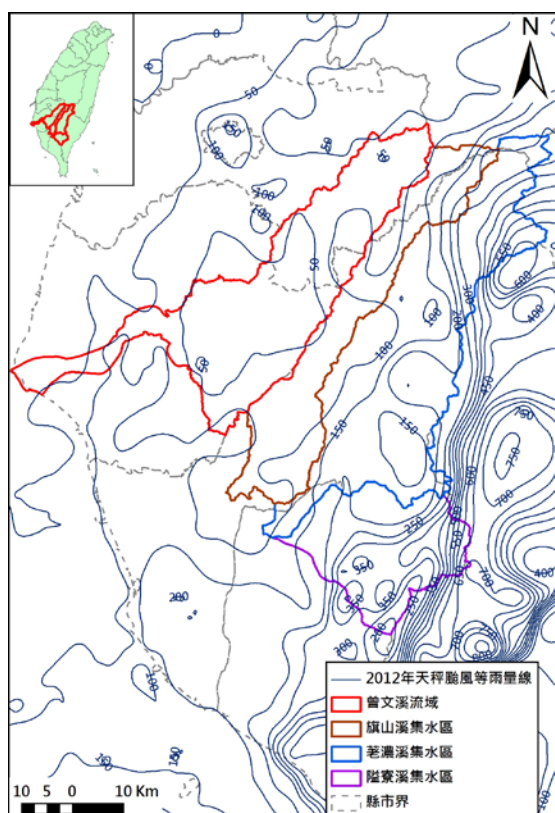


圖 3-1.37、2012 年天秤颱風等雨量線
圖。

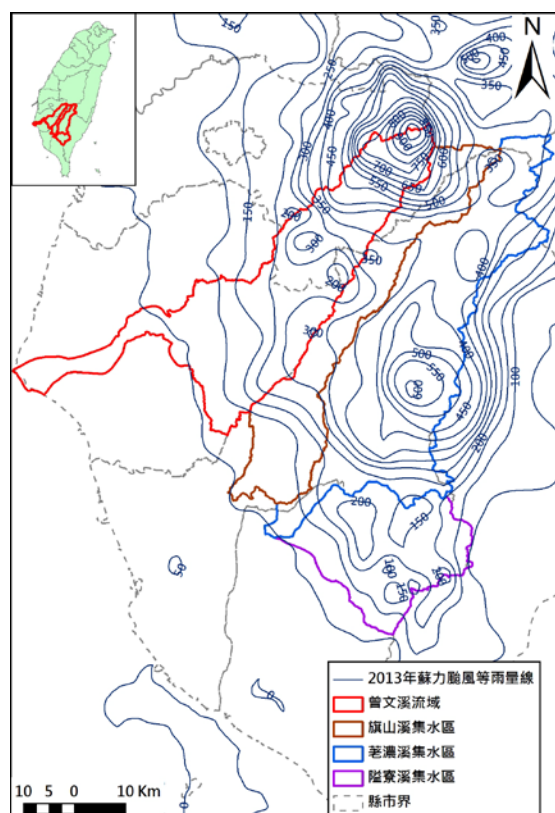


圖 3-1.38、2013 年蘇力颱風等雨量線
圖。

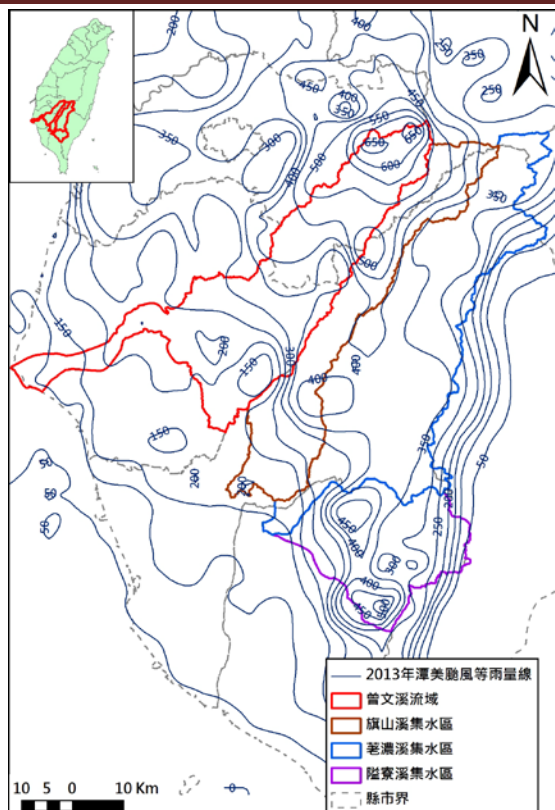


圖 3-1.39、2013 年潭美颱風等雨量線圖。

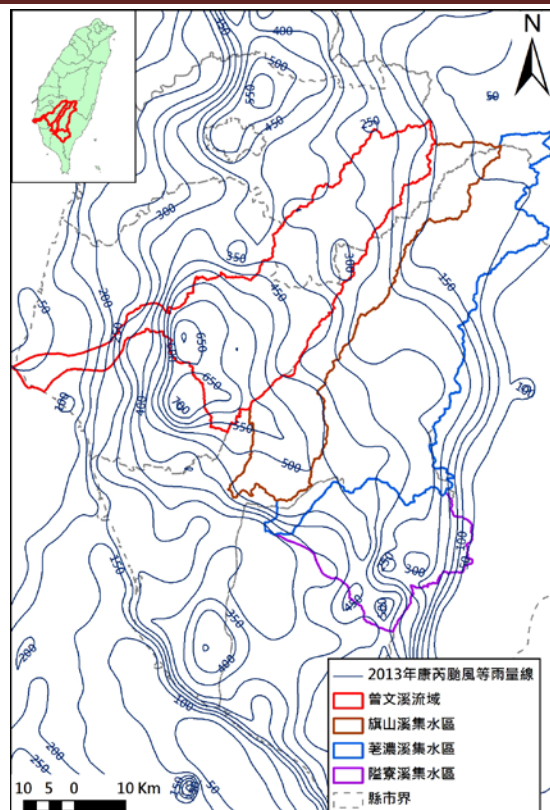


圖 3-1.40、2013 年康芮颱風等雨量線圖。

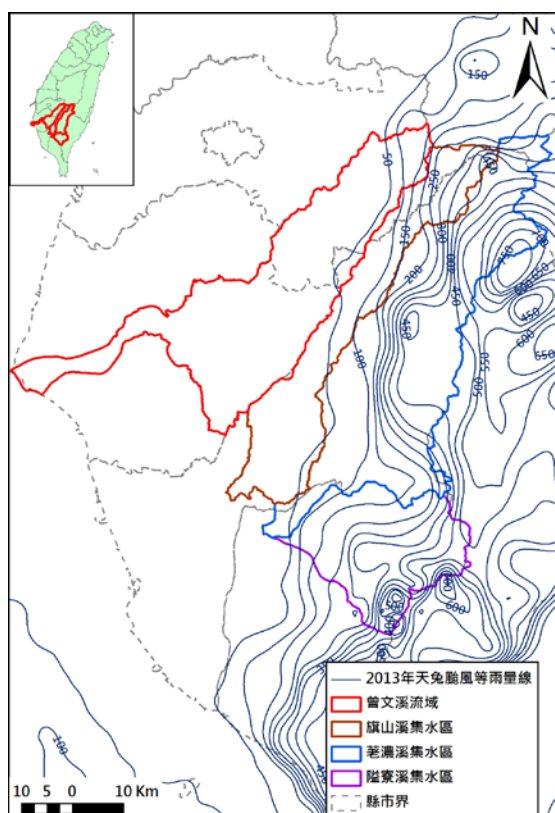


圖 3-1.41、2013 年天兔颱風等雨量線圖。

3-2、基礎資料與案例蒐集分析

3-2.1、基礎資料蒐集

本計畫蒐集計畫工作範圍內，包括人文、土地利用、地文、水文及氣象、山崩目錄、環境地質圖、地質圖、山崩潛感圖、數值高程模型、航空照片、衛星影像、水系圖、道路圖等基本資料，掌握計畫區域之環境基本資訊，本計畫收集之相關資料如表 3-2.1、圖 3-2.1~圖 3-2.8。

表 3-2.1、基本資料蒐集分類表

資料類別	資料說明	精度需求	資料來源	備註
人文	1.部落分布 2.人口分布 3.門牌系統	1/25,000	原民會、縣市政府	已蒐集
土地利用	國土利用調查成果	1/5,000	國土測繪中心	已蒐集
地文	1.高程 2.坡度 3.坡向	1/25,000	內政部	已蒐集
水文及氣象	1.時雨量 2.平均雨量 3.颱洪事件雨量	1/25,000	中央氣象局、水利署	已蒐集 (共 21 個事件)
山崩目錄	山崩範圍與空間分布資料	1/5,000	中央地質調查所 農委會水土保持局	已蒐集 (共 19 幅成果)
環境地質圖	包括順向坡、崩塌等環境地質資料 (1/25,000 分幅)	1/25,000	中央地質調查所	已蒐集
地質圖	包括岩性、地層位態、構造等資料 (1/50,000 分幅)	1/50,000	中央地質調查所	已蒐集
山崩潛感圖	利用山崩的地形因子、地質因子、區位因子及水文因子等，建立潛感模型及計算潛感值	1/5,000	中央地質調查所 經濟部水利署 農委會水土保持局	已蒐集
數值高程模型	數值高程模型資料，可進行深層崩塌區位判釋	1. 5 米 2. 1 米	1. 農林航空測量所 內政部資訊中心 2. 中央地質調查所	已蒐集
航空照片	1.正射影像 2.非正射影像	1. 1/5,000 2. 1/13,000	農林航空測量所、 本團隊成果	已蒐集
衛星影像	包括 SPOT、福衛二號、QuickBird 與 IKONOS 等影像	8 米	中央大學太遙中心 福衛影像分送中心 商業衛星供應單位	已蒐集 (共計 21 幅)
水系圖	水系分布，河道攻擊側位置	1/5,000	農林航空測量所 國土測繪中心 經濟部水利署	已蒐集
道路圖	含省道、縣道、鄉道、一般道路、農路、林道	1/5,000	農林航空測量所 國土測繪中心 交通部運輸研究所	已蒐集

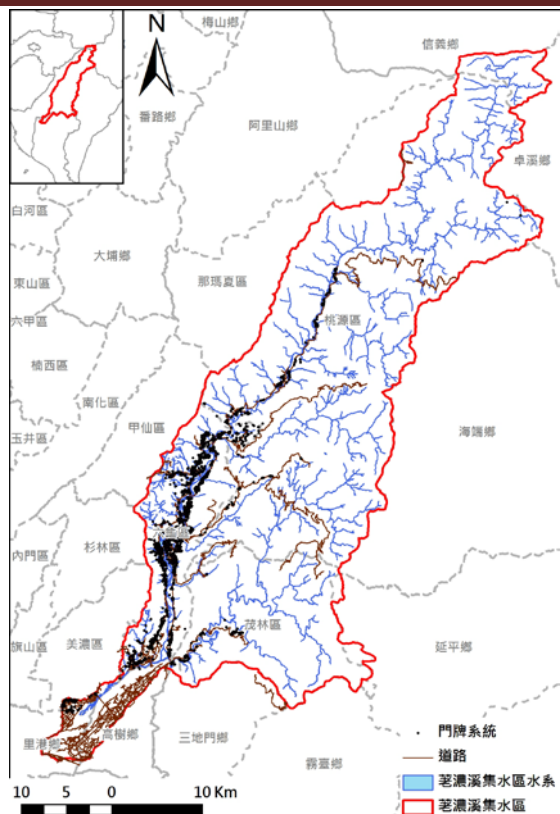


圖 3-2.1、荖濃溪集水區門牌系統、水系與道路圖。

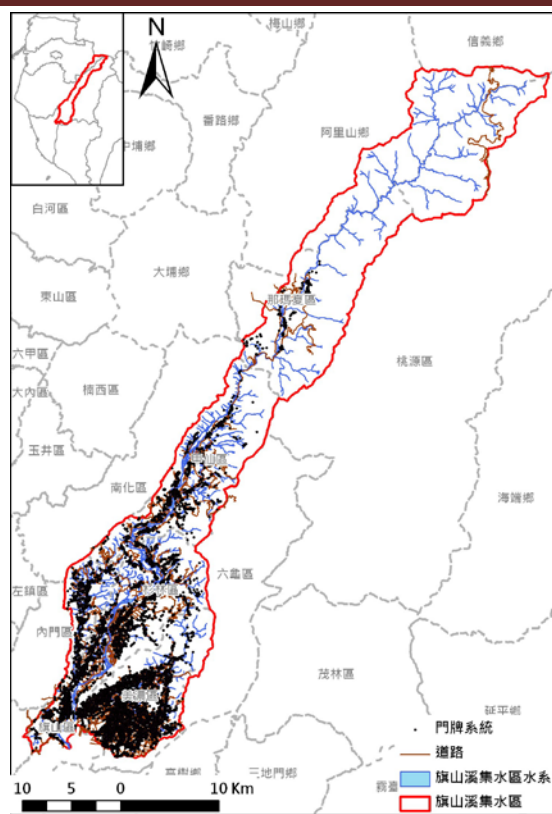


圖 3-2.2、旗山溪集水區門牌系統、水系與道路圖。

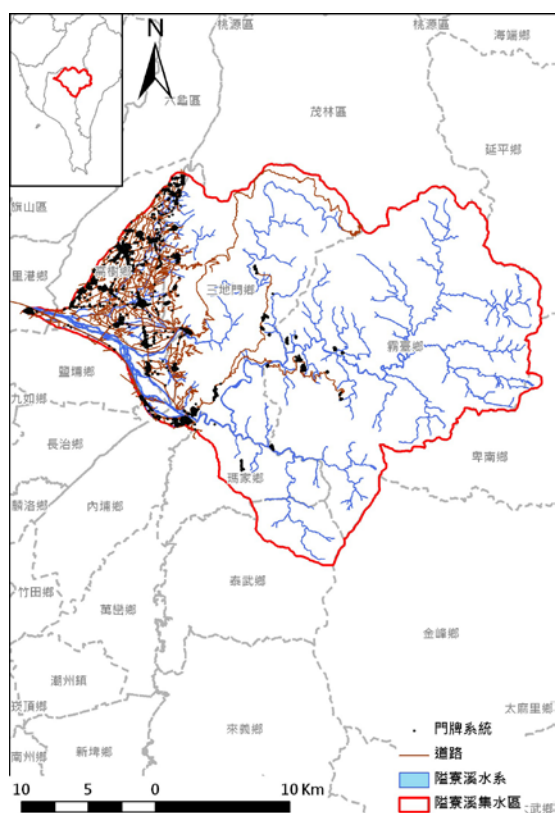


圖 3-2.3、隘寮溪集水區門牌系統、水系與道路圖。

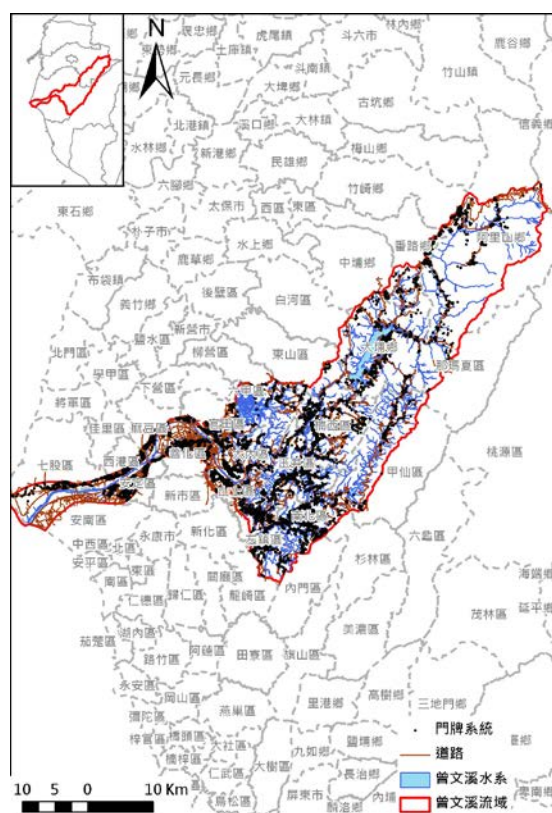


圖 3-2.4、曾文河流域門牌系統、水系與道路圖。

本計畫蒐集自 2005 年至 2013 年衛星影像共 21 幅，及 2005 年至 2012 年建立之山崩目錄共 19 幅。山崩目錄及影像列表如表 3-2.2、圖 3-2.9~圖 3-2.29。

表 3-2.2、2005 年至 2013 年山崩目錄及影像列表

影像類型	影像解析度(m)	影像時間	主要影響事件	事件時間	資料來源
福衛二號	8	2005/07/01~2005/07/14	0612 豪雨	2005/06/12	本團隊產製
福衛二號	8	2005/09/04~2006/04/07	泰利颱風	2005/08/30~2005/09/01	本團隊產製
福衛二號	8	2006/07/28~2006/03/10	凱米颱風	2006/07/23~2006/07/26	本團隊產製
福衛二號	8	2007/10/18~2007/11/23	柯羅莎颱風	2007/10/04~2007/10/07	本團隊產製
福衛二號	8	2007/11/30~2008/05/13	米塔颱風	2007/11/26~2007/11/27	本團隊產製
福衛二號	8	2008/07/23~2008/08/24	卡玫姬颱風	2008/07/16~2008/07/18	本團隊產製
福衛二號	8	2008/11/12~2009/01/14	辛樂克颱風	2008/09/11~2008/09/16	本團隊產製
福衛二號	8	2009/01/03~2009/06/06	-	-	本團隊產製
福衛二號	2	2009/08/17~2009/10/19	莫拉克颱風	2009/08/05~2009/08/10	本團隊產製
福衛二號	8	2010/08/01~2010/08/28	0725 豪雨	2010/07/25	本團隊產製
福衛二號	8	2010/09/21~2010/10/16	凡那比颱風	2010/09/17~2010/09/20	本團隊產製
福衛二號	8	2010/10/25~2010/11/30	梅姬颱風	2010/10/21~2010/10/23	本團隊產製
福衛二號	8	2011/04/02~2011/07/06	-	-	本團隊產製
福衛二號	8	2011/07/23~2011/08/26	0719 豪雨	2011/07/19	本團隊產製
福衛二號	8	2011/09/01~2011/09/27	南瑪都颱風	2011/08/27~2011/08/31	本團隊產製
福衛二號	8	2011/09/07~2011/11/14	1001 豪雨	2011/10/01	本團隊產製
福衛二號	8	2012/05/14~2012/05/22	-	-	本團隊產製
福衛二號	8	2012/06/28~2012/07/07	泰利颱風	2012/06/19~2012/06/21	本團隊產製
福衛二號	8	2012/08/19~2012/09/25	蘇拉、天秤 颱風	2012/07/30~2012/08/03 2012/08/22~2012/08/28	本團隊產製
福衛二號	8	2013/08/26~2013/09/13	蘇力颱風	2013/07/11~2013/07/13	本團隊產製
福衛二號	8	2013/07/17~2013/08/11	康芮颱風	2013/08/28~2013/08/29	本團隊產製

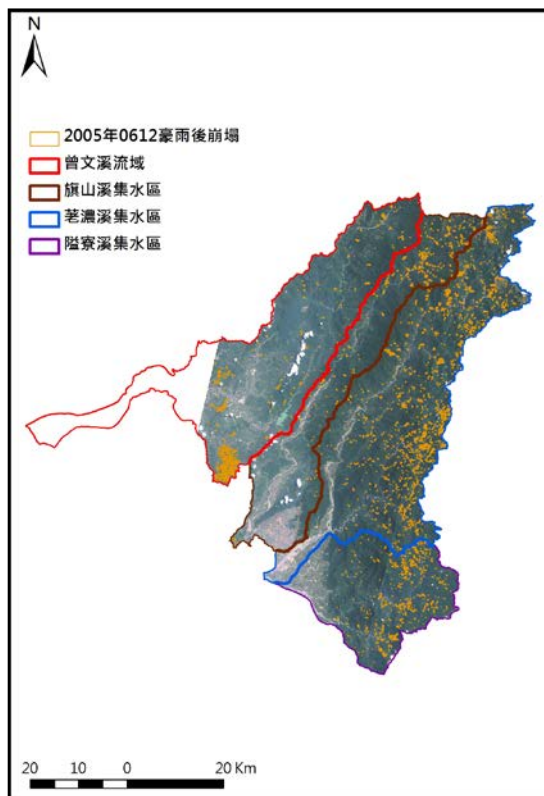


圖 3-2.9、2005 年 0612 豪雨後影像及
判釋之裸露地

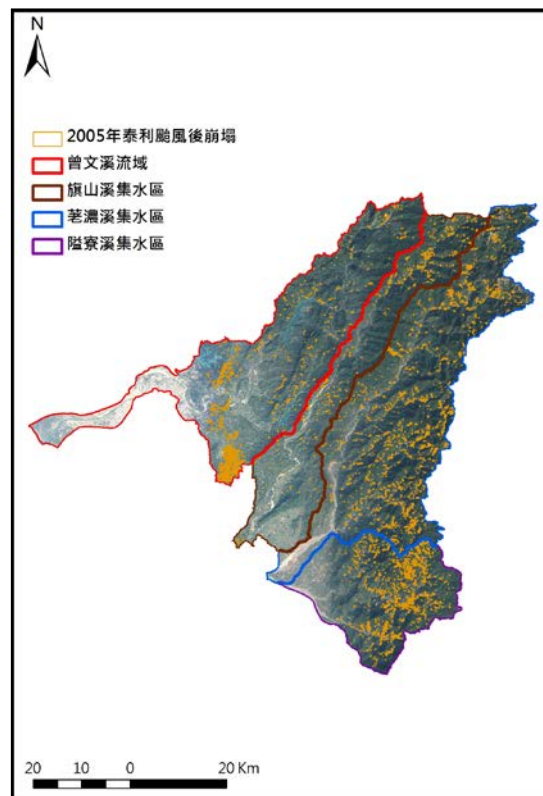


圖 3-2.10、2005 年泰利颱風後影像及
判釋之裸露地

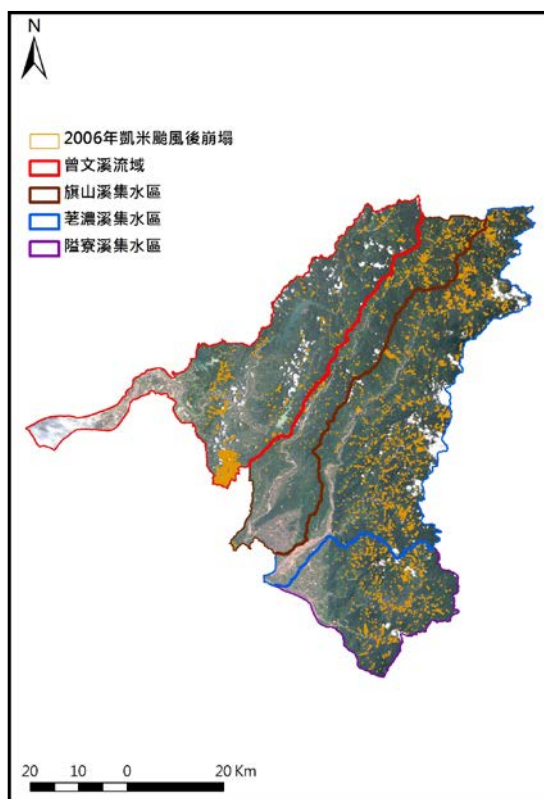


圖 3-2.11、2006 年凱米颱風後影像及
判釋之裸露地

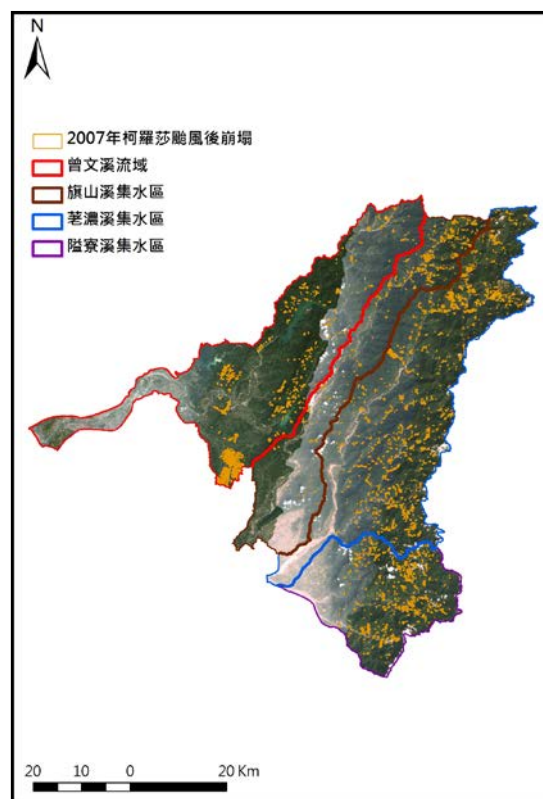


圖 3-2.12、2007 年柯羅莎颱風後影像
及判釋之裸露地

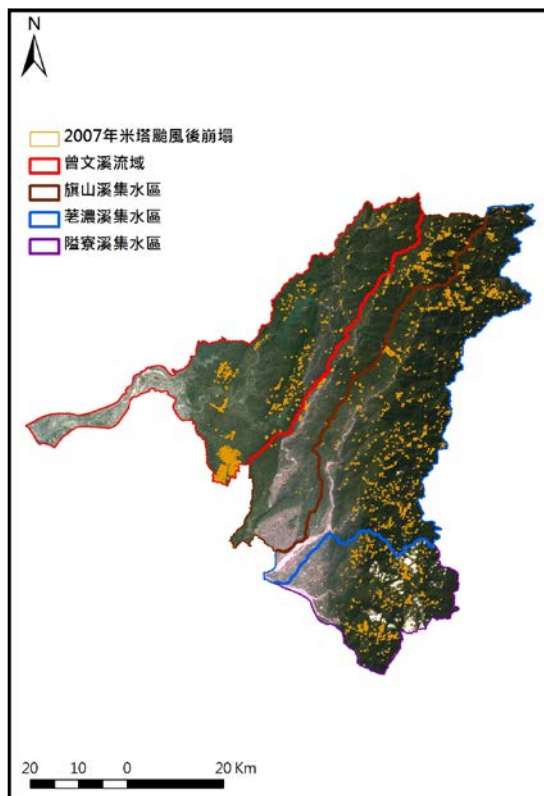


圖 3-2.13、2007 年米塔颱風後影像及
判釋之裸露地

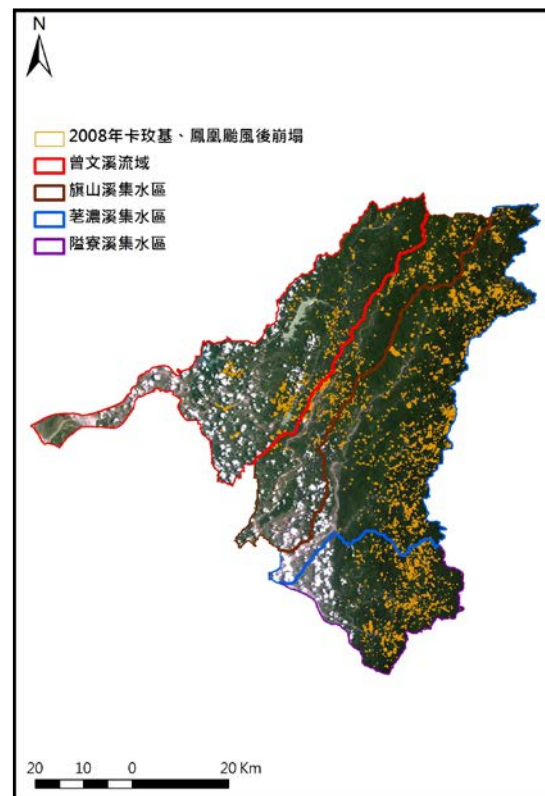


圖 3-2.14、2008 年卡玫基颱風後影像
及判釋之裸露地

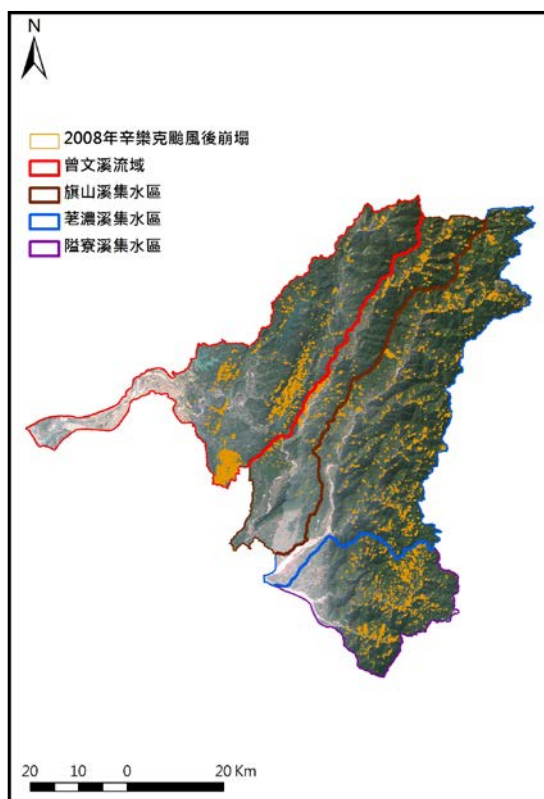


圖 3-2.15、2008 年辛樂克颱風後影像
及判釋之裸露地

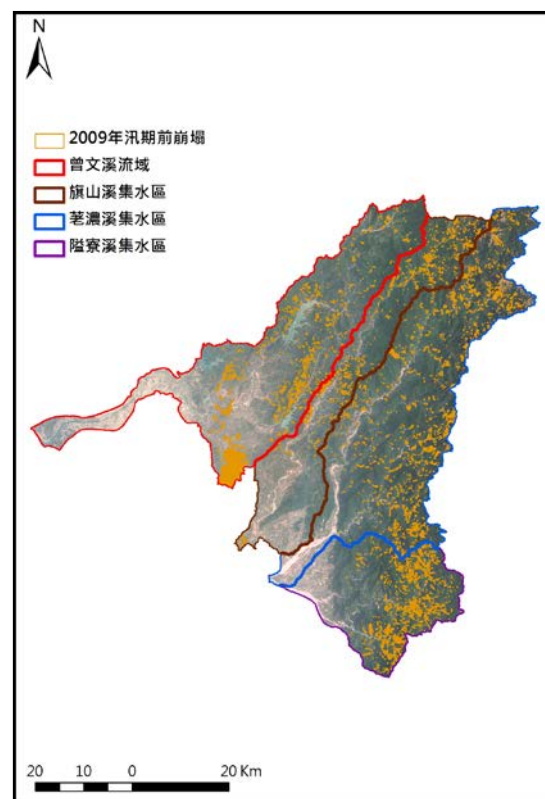


圖 3-2.16、2009 年汛期前影像及判釋
之裸露地

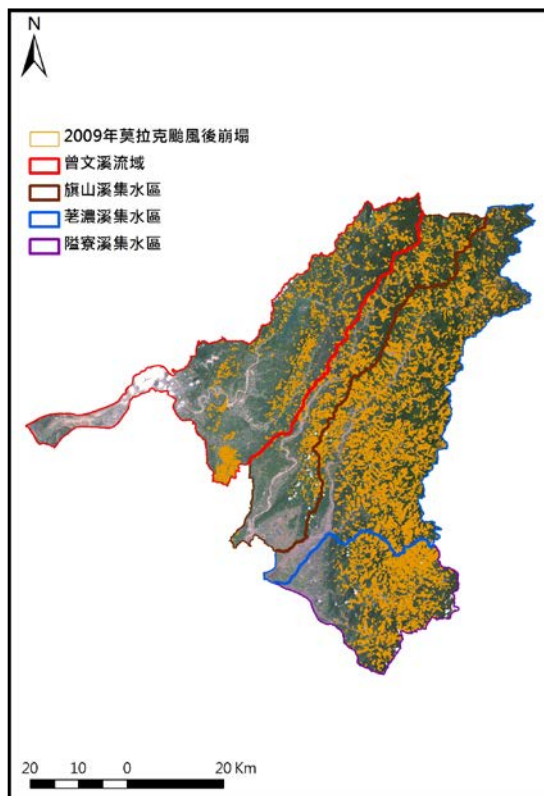


圖 3-2.17、2009 年莫拉克颱風後影像
及判釋之裸露地

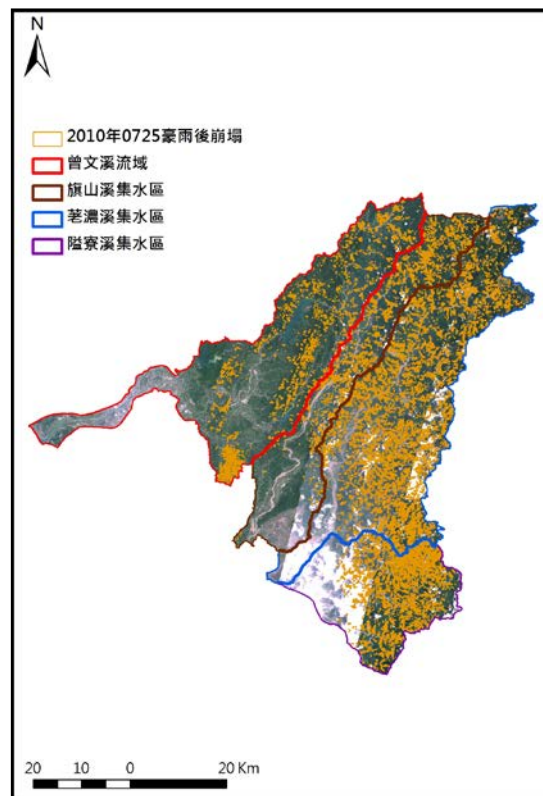


圖 3-2.18、2010 年 0725 豪雨後影像及
判釋之裸露地

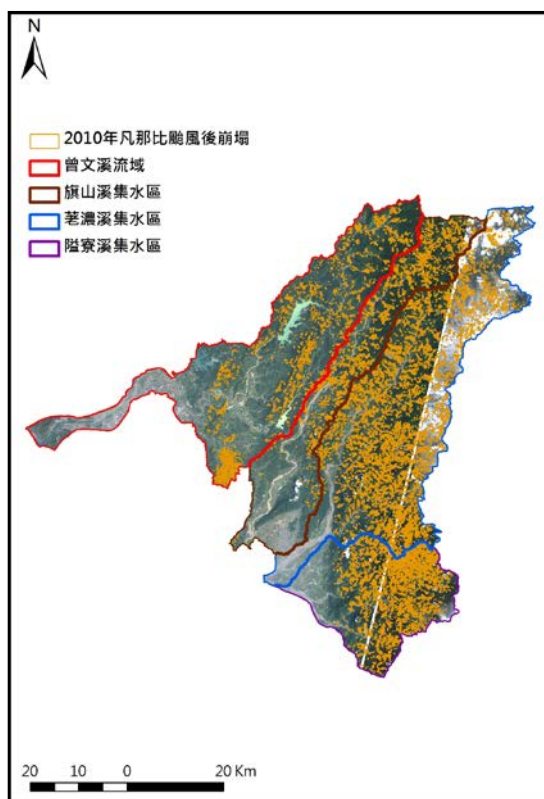


圖 3-2.19、2010 年凡那比颱風後影像
及判釋之裸露地

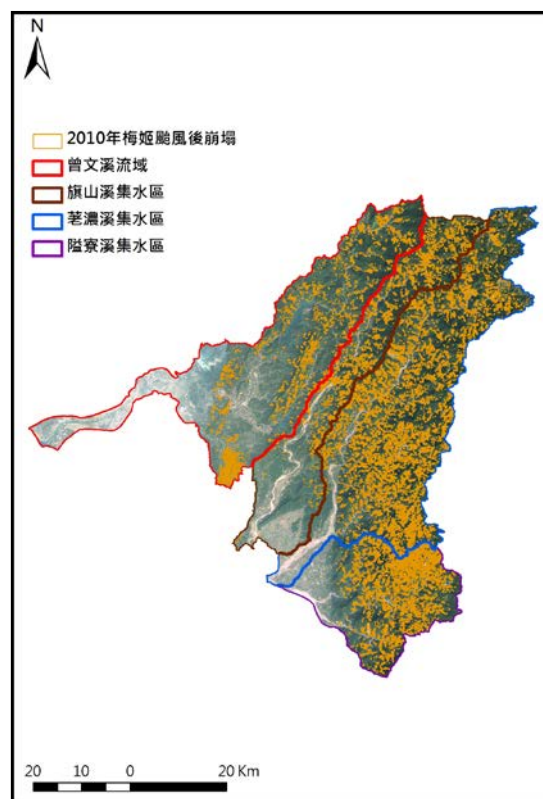


圖 3-2.20、2010 年梅姬颱風後影像及
判釋之裸露地

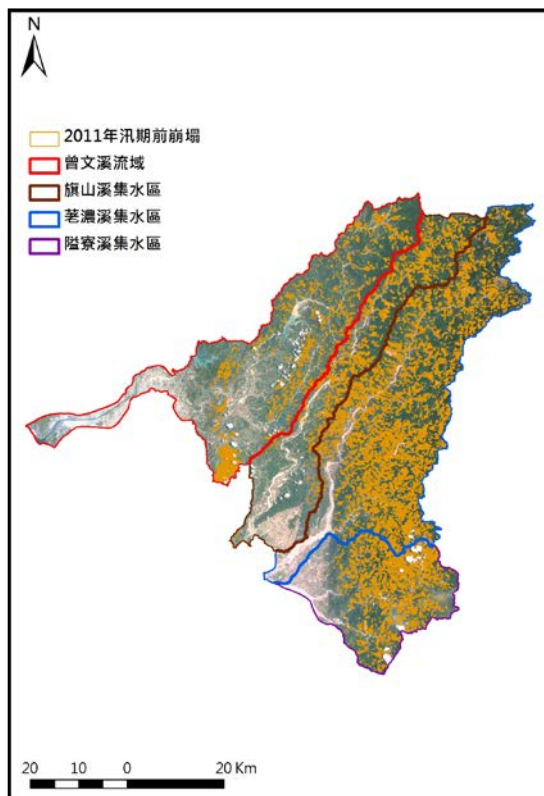


圖 3-2.21、2011 年汛期前影像及判釋之裸露地

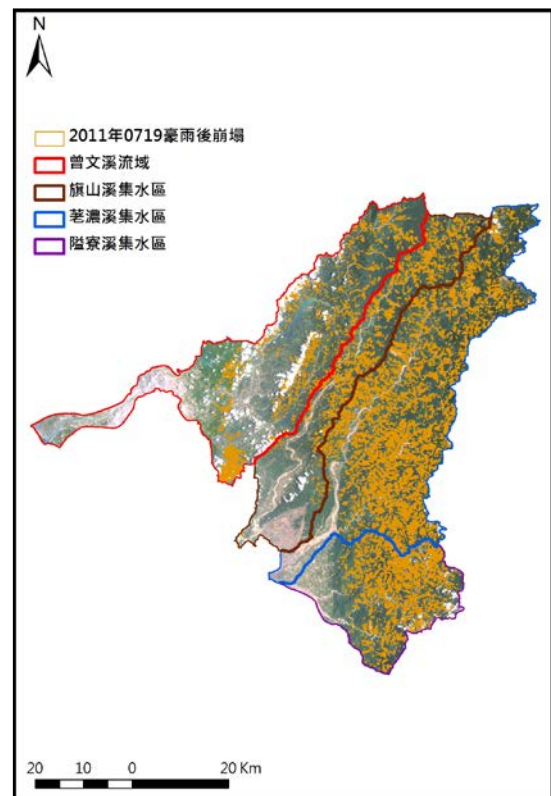


圖 3-2.22、2011 年 0719 豪雨後影像及判釋之裸露地

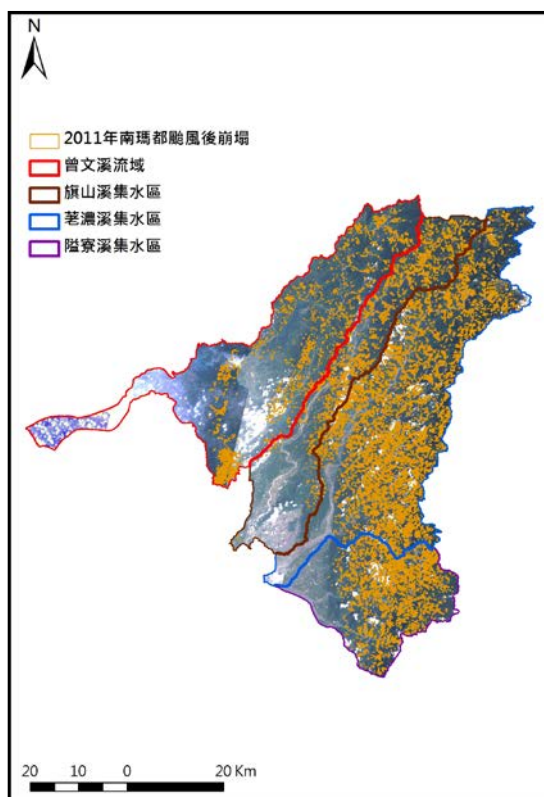


圖 3-2.23、2011 年南瑪都颱風後影像及判釋之裸露地

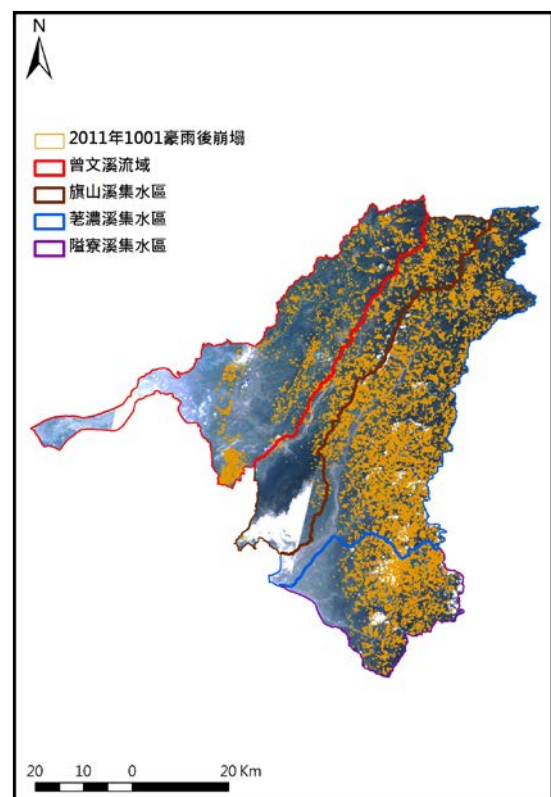


圖 3-2.24、2011 年 1001 豪雨後影像及判釋之裸露地

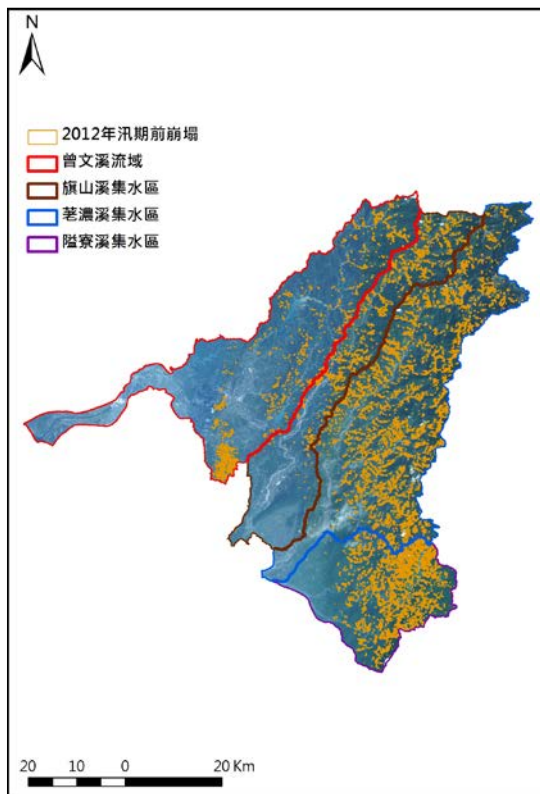


圖 3-2.25、2012 年汛期前影像及判釋之裸露地

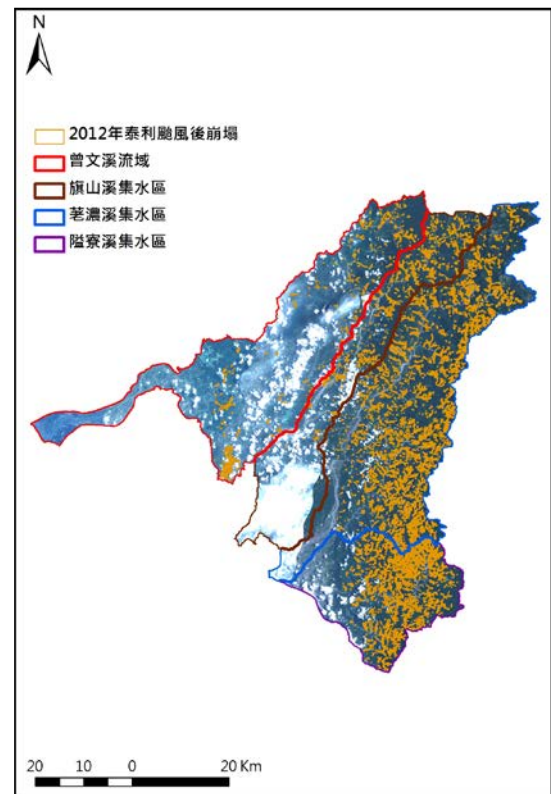


圖 3-2.26、2012 年泰利颱風後影像及判釋之裸露地

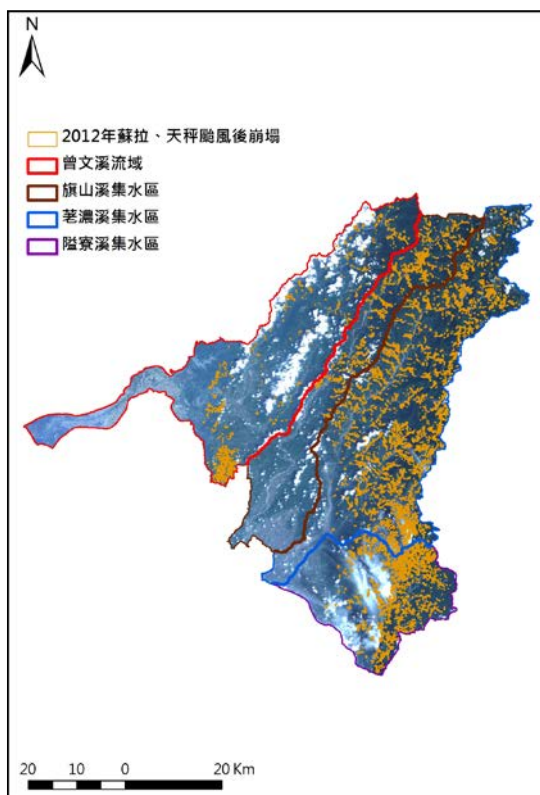


圖 3-2.27、2012 年蘇拉、天秤颱風後影像及判釋之裸露地

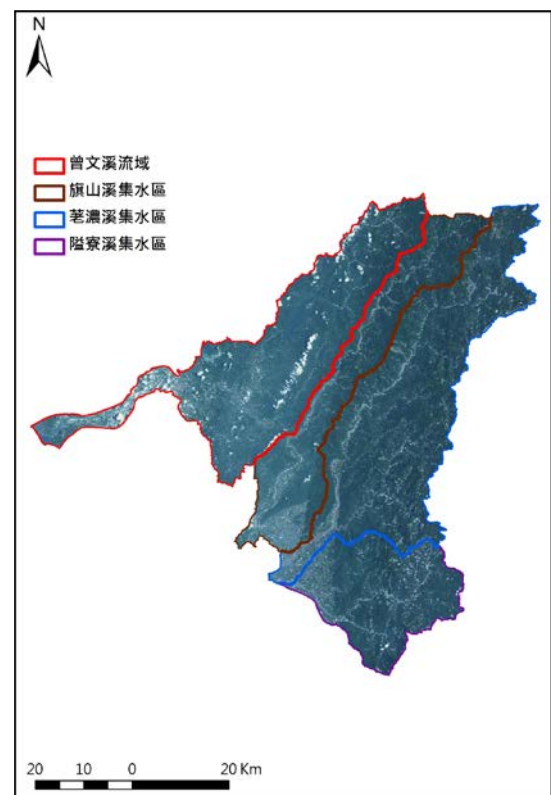


圖 3-2.28、2013 年蘇力後影像

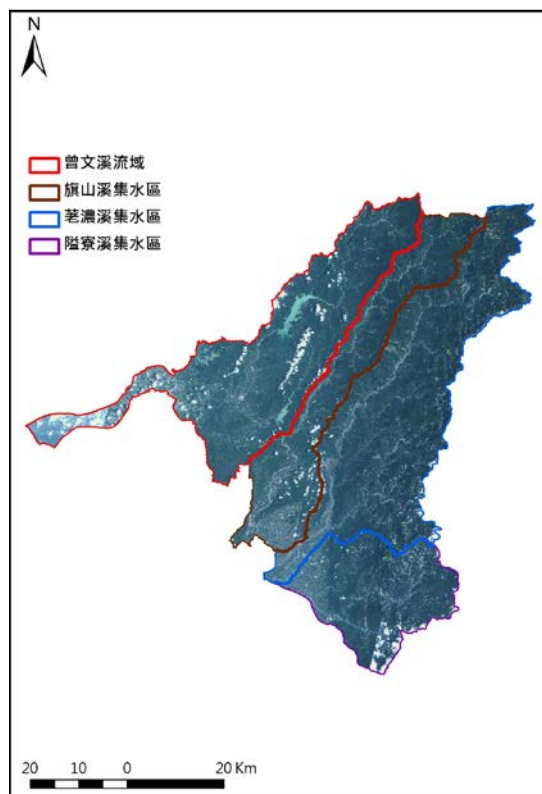


圖 3-2.29、2013 年康芮颱風後影像

3-2.2、歷史崩塌案例蒐集分析

本計畫利用多期衛星影像、莫拉克風災前後期航照影像、各期山崩目錄與數值地形資料進行深層崩塌(面積大於 10 公頃)的快速篩選與歷史資料分析，並探討其崩塌特性，共蒐集十處歷史崩塌案例(表 3-2.3、圖 3-2.30)。針對各案例之崩塌特性，本工作將其分成 4 項重點進行分析，簡要說明如下：

1. 地質條件

針對各案例之地質條件進行特性分析與說明，包括其岩性、岩層與構造位態、破裂面發育情形等，綜整分析其與深層崩塌之相互關聯性。

2. 地形與影像特徵分析

利用事件前後地形與影像資料之比對，分析其地形與影像特徵，比較其裸露情形、裂隙與崩崖發育狀況、以及崩積形狀變化之現象等。

3. 崩塌活動性

崩塌活動性調查方面，主要針對鄰近區域地質不利因素，如斷層、弱面發育與分佈狀況進行評估分析。

4. 崩塌發生機制

除針對環境條件分析說明外，另配合相關水文或地震事件資料，判斷其可能之崩塌滑動機制與條件。

表 3-2.3、深層崩塌歷史案例表

編號	坐標 (TWD97)	面積 (ha)	坡度 (度)	地層	不利條件	崩塌成因分析	崩塌 類型	地點	國有 林事業區
1	X : 223217	32	32.2	潮州層	坡趾侵蝕	劈理面位態與坡面呈直交坡關係，崩塌兩側發育蝕溝及坡趾河系向源侵蝕，造成坡趾掏空。	類型 C	高雄寶來竹林地區	無
	Y : 2556616								
2	X : 215074	23	19.5	長枝坑層 樟山層	土壠灣斷層 坡趾侵蝕	因構造線通過與水系侵蝕是導致崩塌發生的主要因素。	類型 C	高雄六龜區 荖濃溪右岸，水冬瓜地區	旗山
	Y : 2549744								
3	X : 214470	14	29.3	長枝坑層	六龜背斜 未命名向斜 土壠灣斷層 坡趾侵蝕	因構造線通過與水系侵蝕是導致崩塌發生的主要因素。	類型 C	高雄六龜區 荖濃溪右岸，獅山地區	旗山
	Y : 2548194								
4	X : 211681	126	32.5	廬山層 畢祿山層	順向坡 未命名斷層 坡趾侵蝕	因斷層通過造成地質破碎，又為順向坡地形，加上坡腳侵蝕作用旺盛，導致此處持續滑動。	類型 C	高雄天池遊憩區	玉山
	Y : 2574970								
5	X : 241103	48.9	37.5	廬山層 畢祿山層	坡趾侵蝕	前期崩塌造成坡面向源侵蝕、滙水，坡腳的淘刷是造成荖濃溪崩塌地發生的主因。	類型 A	高雄桃源區 荖濃溪，距梅山村上游約 17 公里處	玉山
	Y : 2581230								
6	X : 222173	49.65	30.5	長枝坑層	順向坡 老人溪向斜 坡趾侵蝕	因構造線通過，導致地質破碎，坡面厚層砂岩已發育挫曲，一旦坡趾順向坡坡趾掏刷和厚層砂岩挫曲處破裂，崩塌將再次發育。	類型 A	高雄瑪雅峻(民權里)五權溪左岸，距聚落上游約 3 公里處	旗山
	Y : 2571940								
7	X : 221762	11.97	38.74	三民頁岩 紅花子層	紅花子背斜 坡趾侵蝕	頂部有裂隙及崩崖發育，構造通過，岩盤破碎。	類型 A	達卡努瓦(民生里)上游約 450 公尺	旗山
	Y : 2573440								

編號	坐標 (TWD97)	面積 (ha)	坡度 (度)	地層	不利條件	崩塌成因分析	崩塌 類型	地點	國有 林事 業區
8	X : 217614	43.81	32.5	三民頁岩	旗山斷層 坡趾侵蝕	旗山斷層通過，導致 坡面弱面發達，坡腳 位攻擊坡。	類型 A	高雄荖濃溪 右岸，南沙 魯(民族村) 下游 1.3 公 里處	旗山
	Y : 2556730								
9	X : 214746	236	18	糖恩山砂岩 鹽水坑頁岩	小林向斜 甲仙斷層	構造通過，地質破 碎，頂部可見楔型破 壞，坡腳位攻擊坡。	類型 A	高雄小林村 崩塌	旗山
	Y : 2562611								
10	X : 224811	128.6	26	三民頁岩 長枝坑層	老人溪向斜	坡頂有冠部崩崖發 育，構造發達，地質 破碎。	類型 A	達卡努瓦 (民生里)旗 山溪上游 2 公里的支流 帖不帖開溪	旗山
	Y : 2576600								

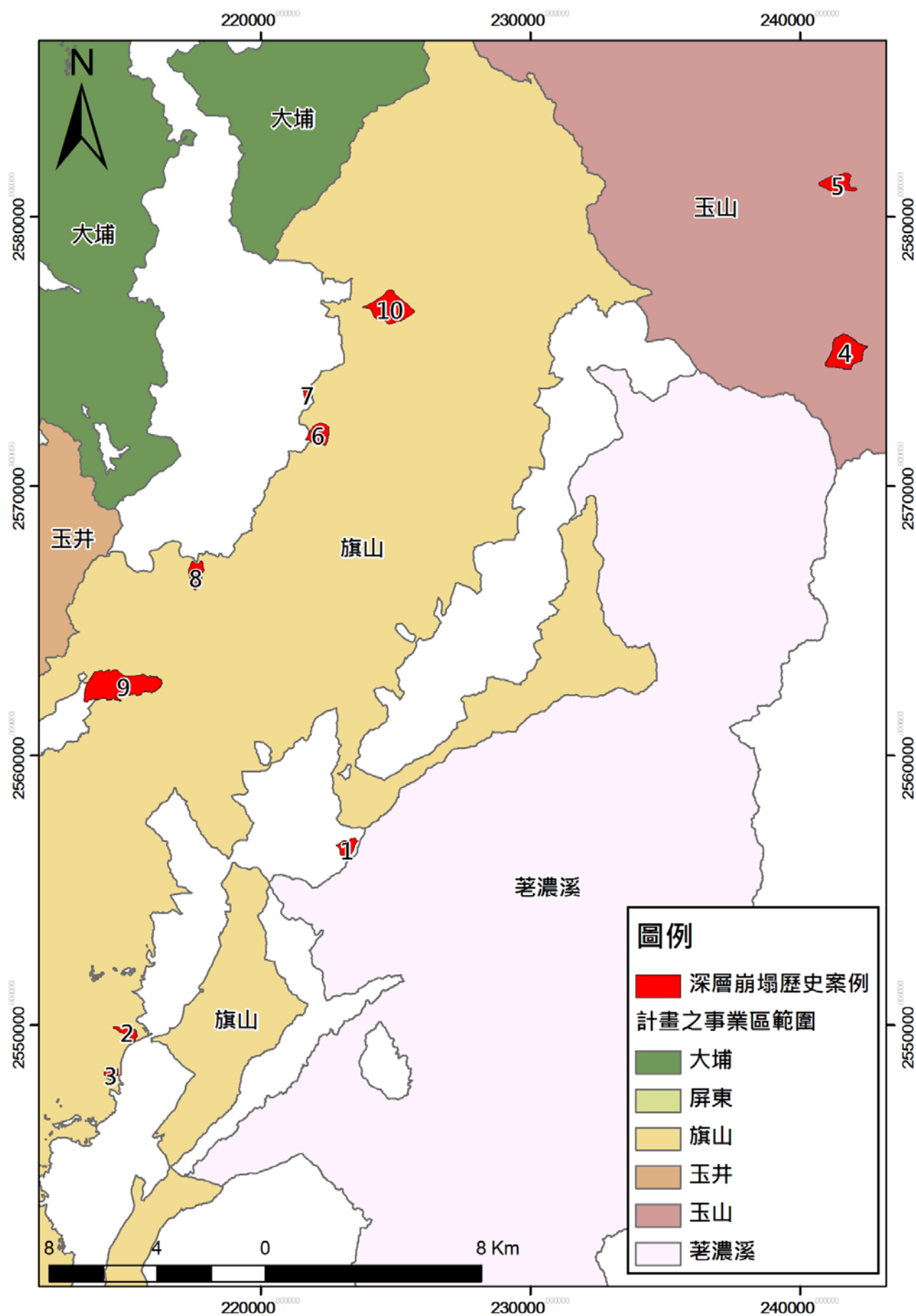


圖 3-2.30、深層崩塌歷史案例分布圖。

以下針對研究區域十個案例進行各別分析探討。

案例一

案例一竹林崩塌地位於高雄市六龜區寶來里竹林聚落之坡地。竹林聚落位於荖濃溪東側邊坡，聚落住戶散居於坡面上，以林道及農路相互連接，標高約 700 米（如圖 3-2.31）。崩塌地中心點之二度分帶 TWD97 坐標為（223217, 2556616），最高點為標高 1,182 米，最低點約 741 米，落差約 440 米，崩塌地呈上寬下窄的外形，初估面積可能約 32 公頃。

(1)地質條件調查

根據中央地質調查所比例尺 1/50,000 高屏溪流域地質圖，出露於本區之地層為潮州層（如圖 3-2.31），岩性以硬頁岩或板岩為主，間夾透鏡狀砂岩體。

(2)地形特徵調查與影像分析

竹林崩塌地位於荖濃溪右岸，崩塌範圍最長約 827 米、最大寬約 686 米，落差約 440 米。坡向為西北方，平均坡度 32.2 度，坡面為凹谷狀坡形。

利用 1 米解析度 DEM 之日照陰影圖並配合航照進行地形判釋，結果顯示竹林崩塌地有多處明顯的崩崖特徵，而單純從航照中亦可看出明顯多階之崩崖發育，下邊坡處有多處崩塌發育，而坡面亦有多處蝕溝發育（如圖 3-2.32）。

(3)崩塌活動性調查

崩塌活動性調查方面，地質圖顯示本區一公里內無地質構造通過。劈理面位態(N40W，40W)，與坡面呈直交坡關係。坡面底部有河系發育，並往崩塌兩側發育，造成底部坡趾掏空（如圖 3-2.33）。

(4)崩塌特性與發生機制

在莫拉克風災期間，導致坡面下部裸露，上部坡面因崩塌而產生拉張現象（如圖 3-2.32）。劈理面位態與坡面呈直交坡關係，崩塌兩側發育蝕溝及坡趾河系向源侵蝕，造成坡趾掏空。由影像及地質圖資料判釋結果認為崩塌發生成因主要是坡面向源侵蝕、側蝕的現象造成。

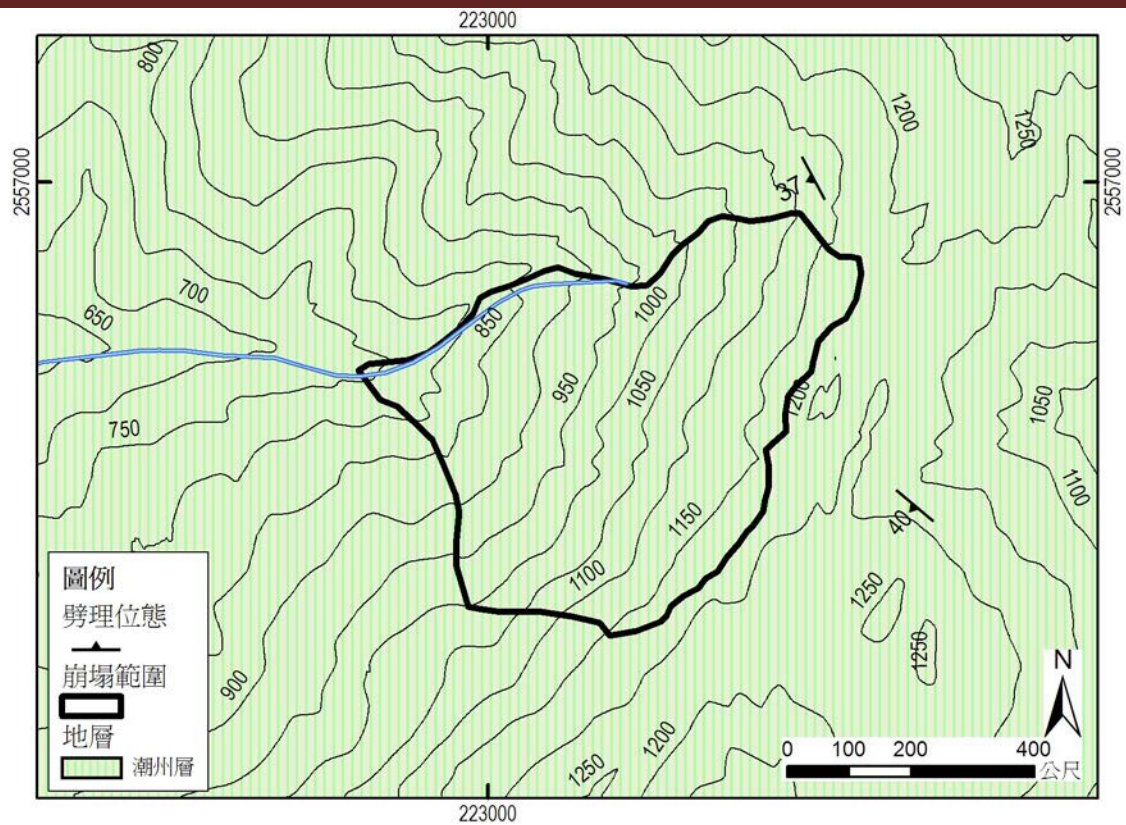


圖 3-2.31、竹林崩塌地表地質圖。

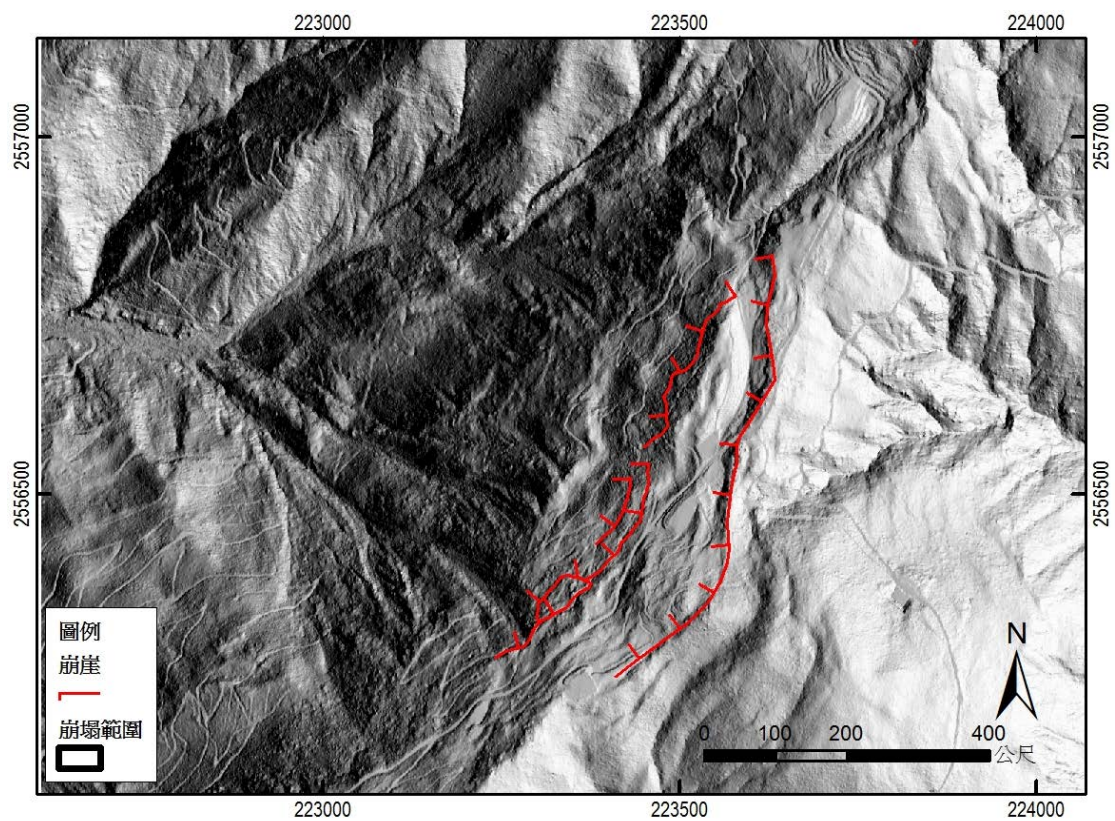
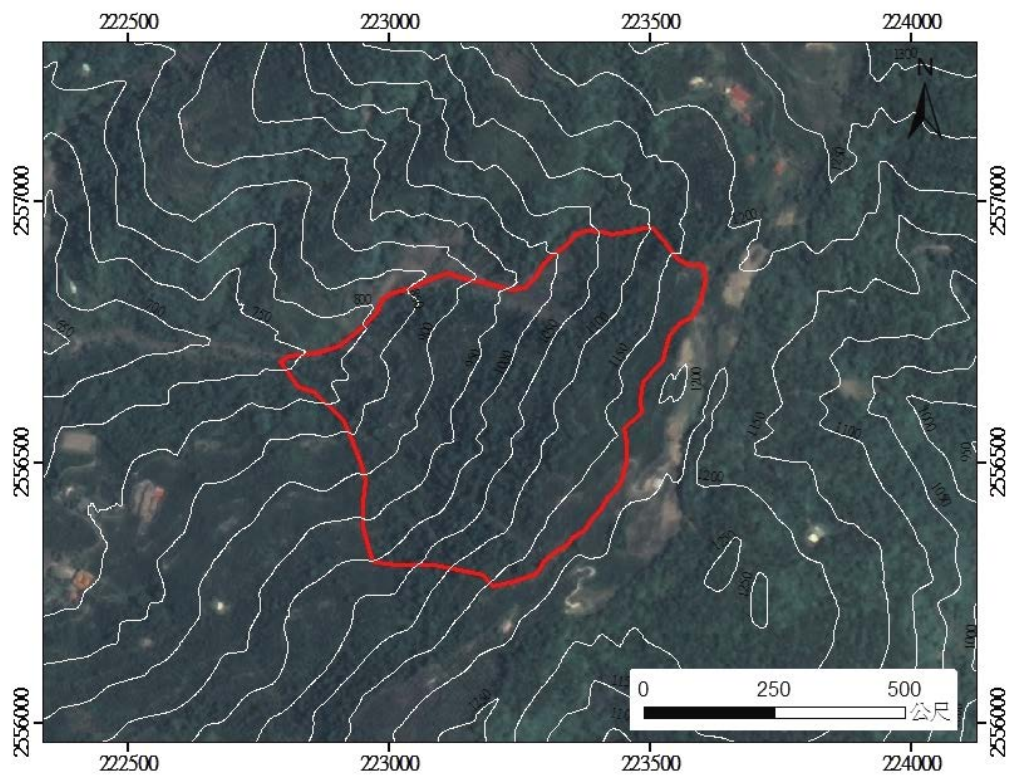
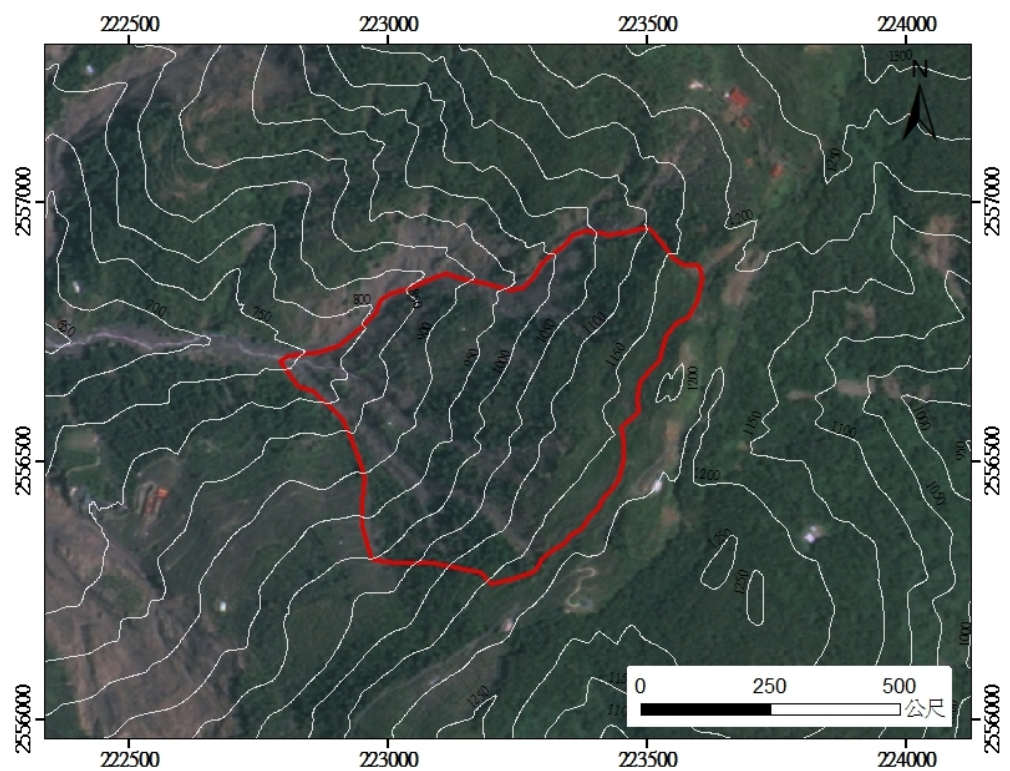


圖 3-2.32、竹林崩塌特徵分布圖。



災前福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.05.09；R-G-B:1-2-3)



災後福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.08.17；R-G-B:1-2-3)

圖 3-2.33、竹林崩塌福衛二號衛星影像。

案例二

案例二水冬瓜崩塌地位於高雄市六龜區荖濃里水冬瓜聚落西南方之坡地。崩塌地中心點之二度分帶 TWD97 坐標為 (215074, 2549744) 水冬瓜聚落位於荖濃溪右岸的山坡與階地上，分為兩部分，一部分位於鞍部的水冬瓜，位於台 27 線省道旁，標高約 385 米；另一部分位於較西側高坡地上的水冬瓜，標高約 430 米。最高點為崩塌西側約 720 米，最低點約 310 米，落差約 410 米，崩塌地略呈西北窄、東南寬的外形，初估面積可能約 23 公頃（如圖 3-2.34）。

(1)地質條件調查

根據中央地質調查所比例尺 1/50,000 甲仙地質圖幅，出露於本區之地層為長枝坑層及樟山層上段（如圖 3-2.34），岩性以灰黑色的硬頁岩以及薄層砂岩為主，劈理發育不明顯，多處有鉛筆狀構造，局部夾灰白或黃色的薄層砂岩。

(2)地形特徵調查與影像分析

水冬瓜崩塌地位於荖濃溪右岸之河階與坡地，崩塌範圍東南西北向長約 960 米、南北向寬約 460 米，落差約 410 米。坡向為東南方，平均坡度 19.5 度，坡面上部 1/3 為凹坡，下部 2/3 為凸坡，屬上凹下凸之坡形。崩塌地範圍內分布 3 條溪溝，其中最西側為已發育成較大型的野溪，現生崩塌沿野溪發育，已成為崩塌邊界（如圖 3-2.35）。

利用 1 米解析度 DEM 產製之日照陰影圖並配合航照進行地形判釋，結果顯示水冬瓜崩塌地有多處明顯的崩崖特徵，分布於坡頂至上半部之坡面（如圖 3-2.35）。

(3)崩塌活動性調查

崩塌活動性調查方面，地質圖顯示本區有土壠灣斷層通過。層面面位態 (N20W, 64W)，與坡面呈逆向坡關係。崩塌南側有侵蝕溝發育（如圖 3-2.36）。

(4)崩塌特性與發生機制

崩塌南側有侵蝕溝發育至荖濃溪，因蝕溝下切侵蝕坡腳，導致邊坡下滑甚至崩塌，可從陰影圖明顯看分辨出，本區為蝕溝下切影響，而下方邊坡為受控荖濃溪側蝕影響（如圖 3-2.35）。在本區有構造線通過，坡面有大量崩積層。因此構造線通過與水系的侵蝕是導致崩塌發生的主要因素。

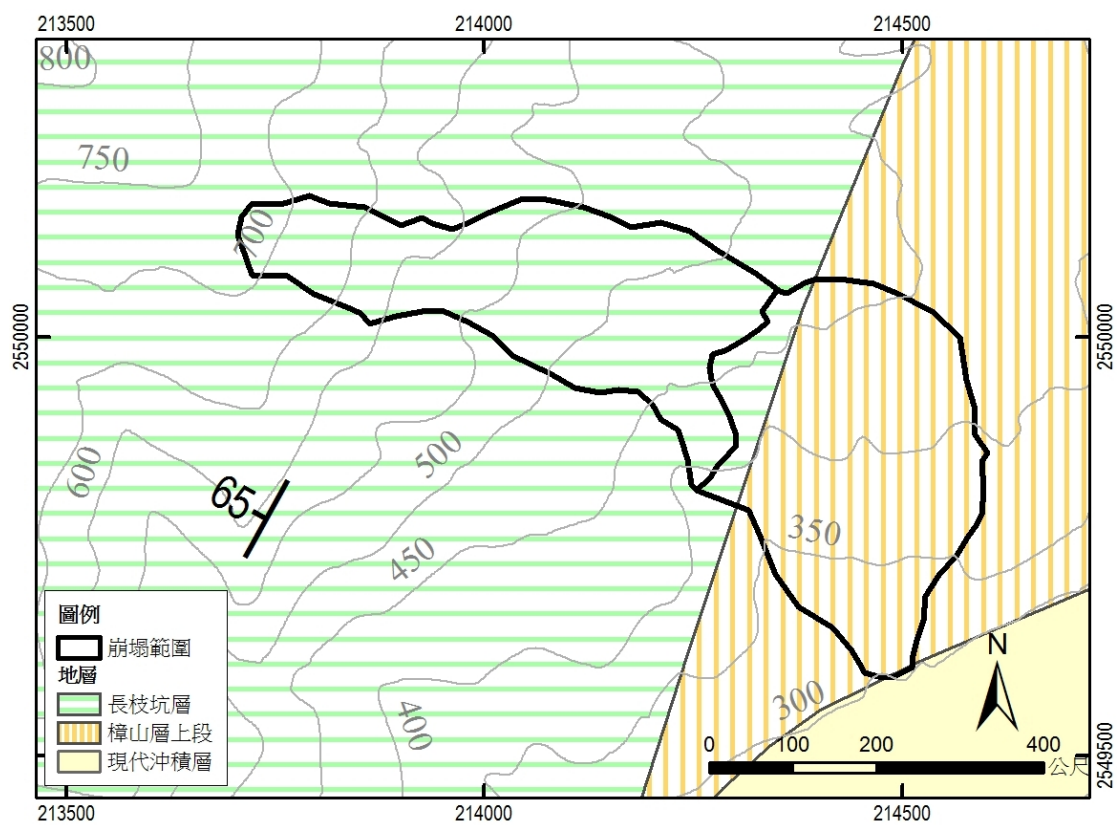


圖 3-2.34、水冬瓜崩塌地表地質。

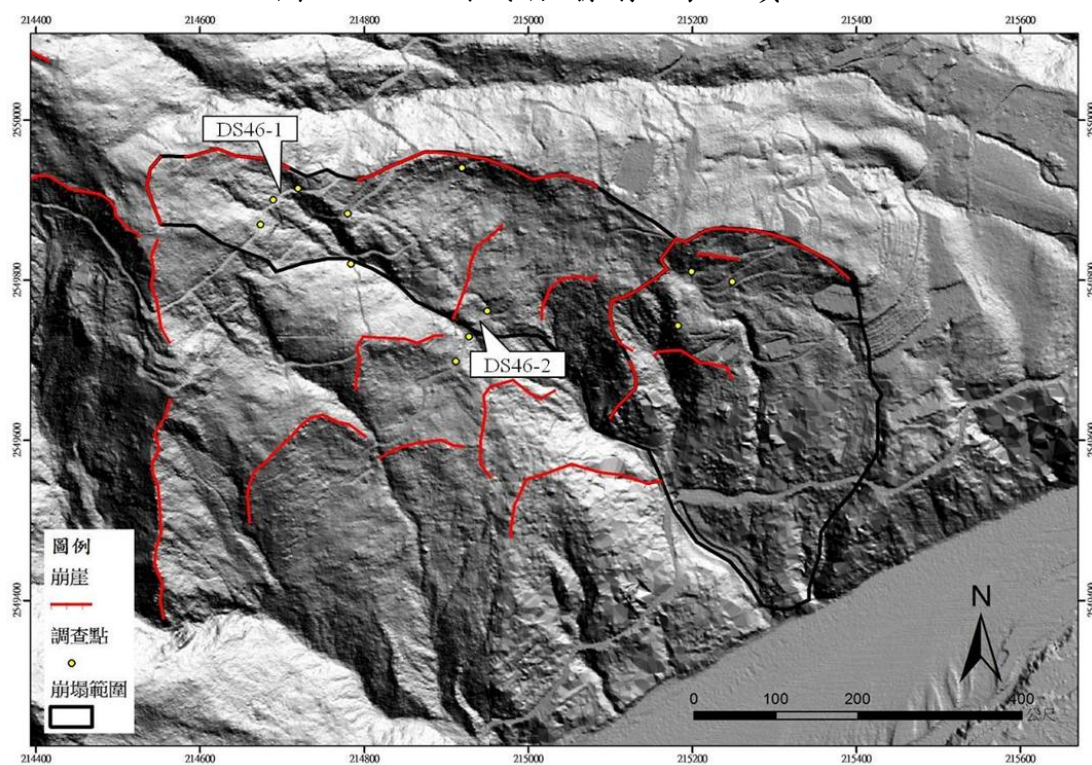
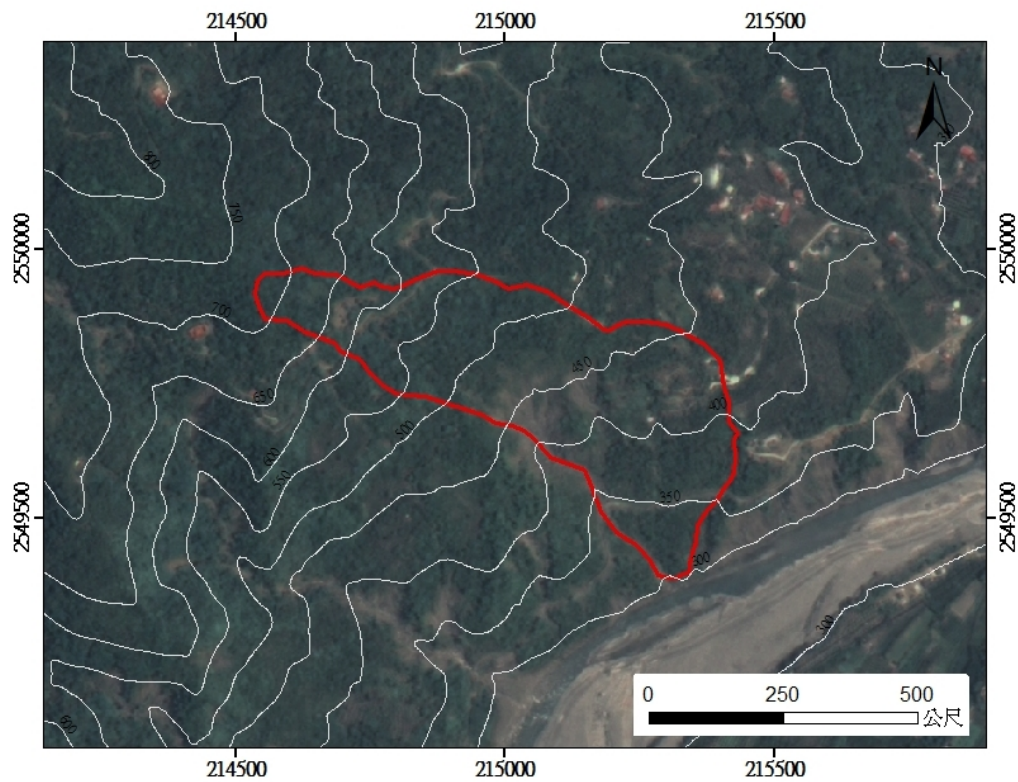
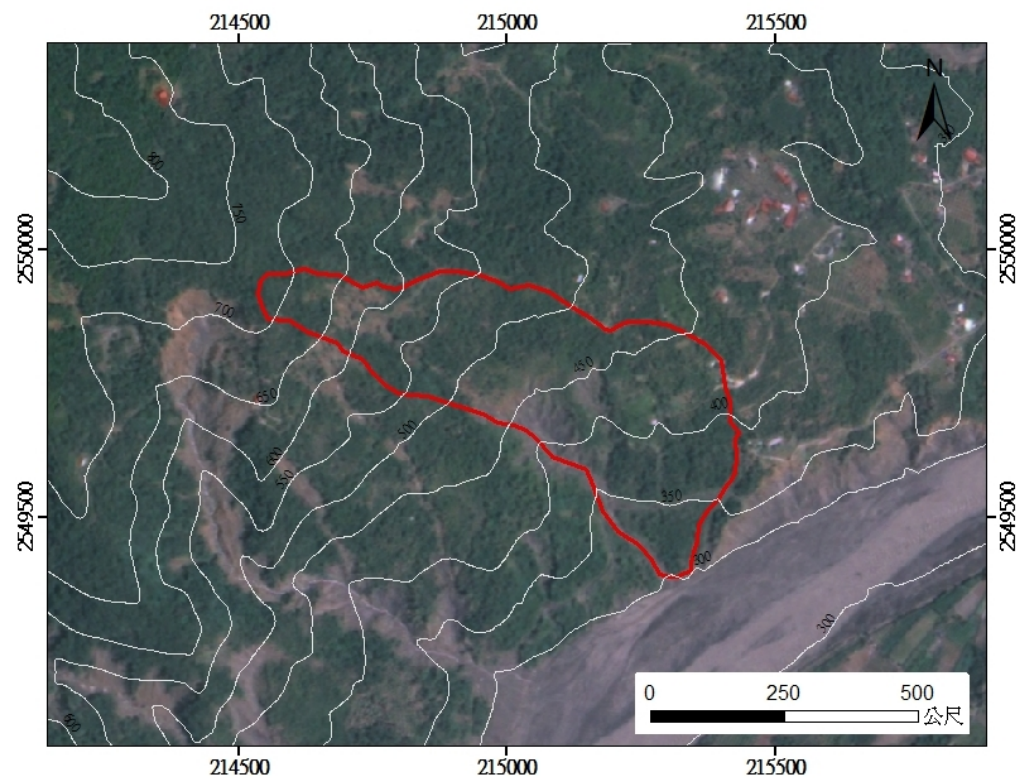


圖 3-2.35、水冬瓜崩塌特徵分布圖。



災前福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.05.09；R-G-B:1-2-3)



災後福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.08.17；R-G-B:1-2-3)

圖 3-2.36、水冬瓜崩塌福衛二號衛星影像。

案例三

案例三獅山崩塌地位於高雄市六龜區新發里獅山聚落西北方之坡地。崩塌地中心點之二度分帶 TWD97 坐標為 (214470, 2548194)，最高點為標高 580 米，最低點約 300 米，落差約 280 米，崩塌地呈東西向，坡面向東，略呈矩形，初估面積可能約 14 公頃（如圖 3-2.37）。此處交通不易到達，故調查較難進行。

(1)地質條件調查

根據中央地質調查所比例尺 1/50,000 甲仙地質圖幅（如圖 3-2.37），獅山崩塌地位於長枝坑層。長枝坑層的岩性以細砂岩和泥質砂岩與頁岩互層為主。地質構造方面，獅山崩塌地東側有土壠灣斷層通過，西側有六龜背斜與未命名向斜通過。地質構造發達，造成岩體十分破碎。

(2)地形特徵調查與影像分析

崩塌範圍東西長約 500 米、南北寬約 200 米，落差約 280 米。坡向為東方，平均坡度 29.3 度，坡面上部為凹坡，下部為凸坡，屬上凹下凸之坡形。崩塌地範圍內有侵蝕溝發育（如圖 3-2.38）。

利用 1 米解析度 DEM 之日照陰影圖並配合航照進行地形判釋，結果顯示獅山崩塌地有多處明顯的崩崖特徵，分布於坡頂至上半部之坡面（如圖 3-2.38）。獅山崩塌有土壠灣斷層通過，導致岩層破碎。

(3)崩塌活動性調查

本區域河道為南北走向，與附近地質構造走向相似，顯示此區河流發育與構造弱面有關。崩塌地位於溪流攻擊坡，坡腳受侵蝕作用常發生崩塌。從莫拉克風災前衛星影像已有崩塌發育，顯示獅山崩塌為舊有崩塌擴大（如圖 3-2.39）。

(4)崩塌特性與發生機制

崩塌南側有侵蝕溝發育至荖濃溪，因蝕溝下切侵蝕坡腳，導致邊坡下滑甚至崩塌，可從陰影圖明顯看分辨出，本區為蝕溝下切影響，而下方邊坡為受控荖濃溪側蝕影響（如圖 3-2.38）。在本區有構造線通過，坡面有大量崩積層。因此構造線通過與水系的侵蝕是導致崩塌發生的主要因素。

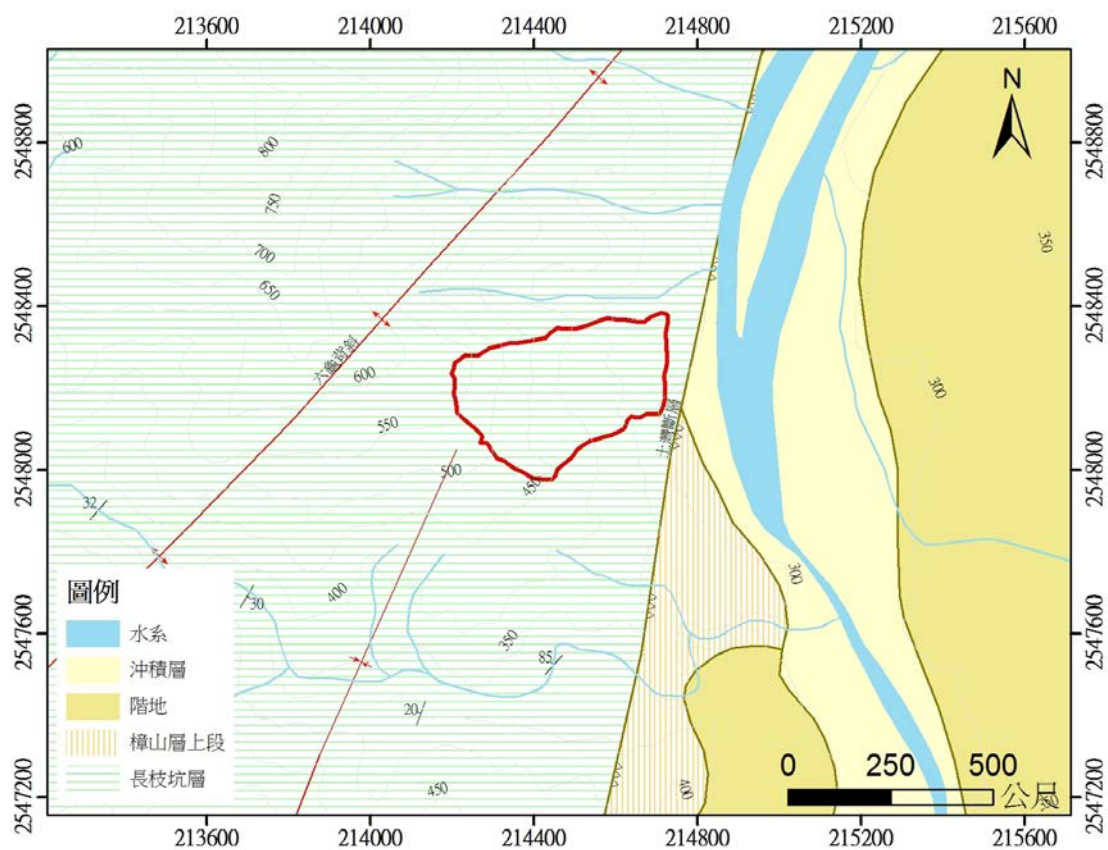


圖 3-2.37、獅山崩塌地表地質。

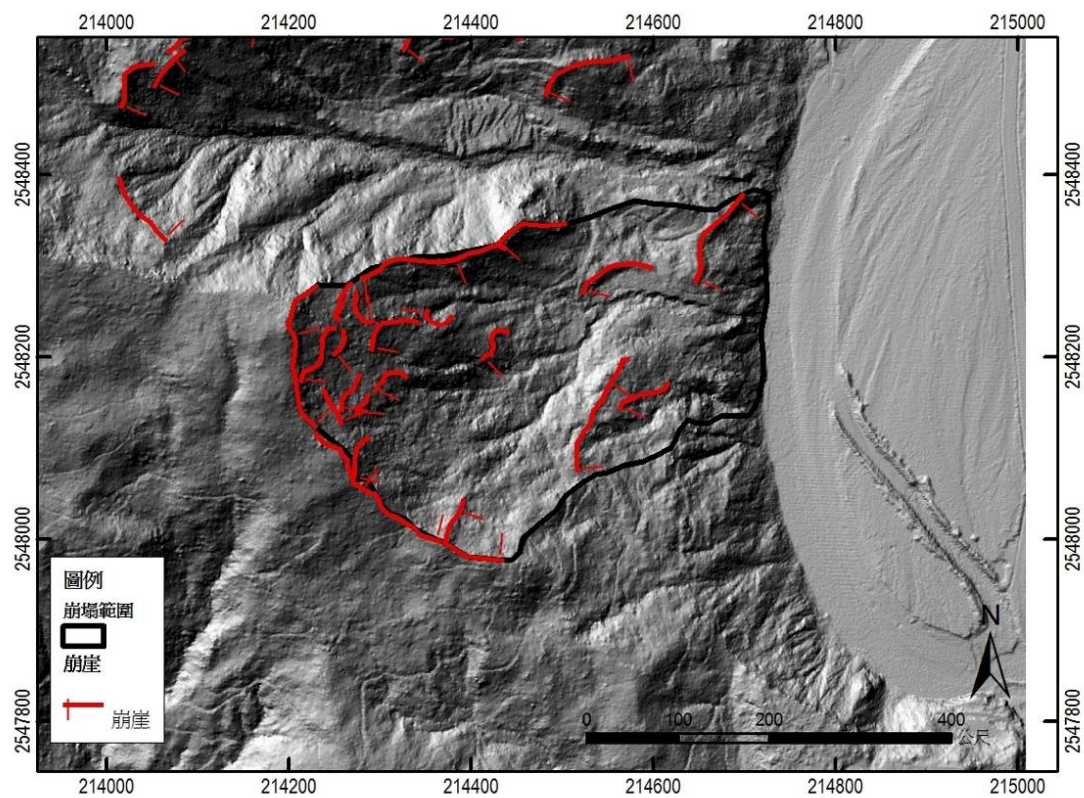
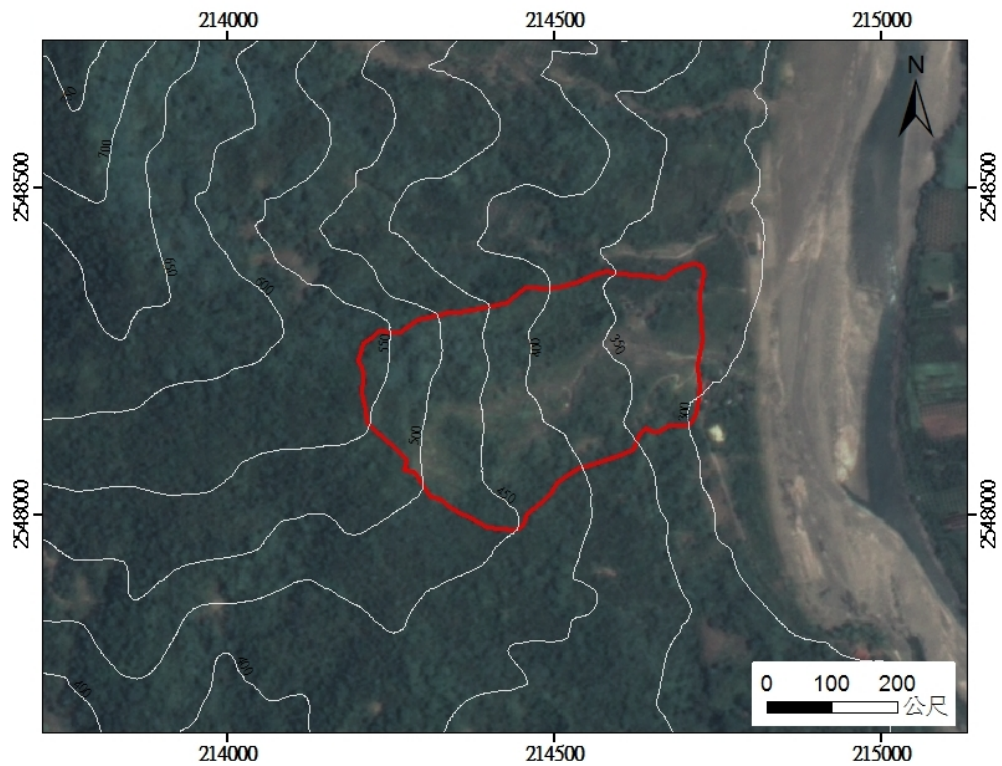
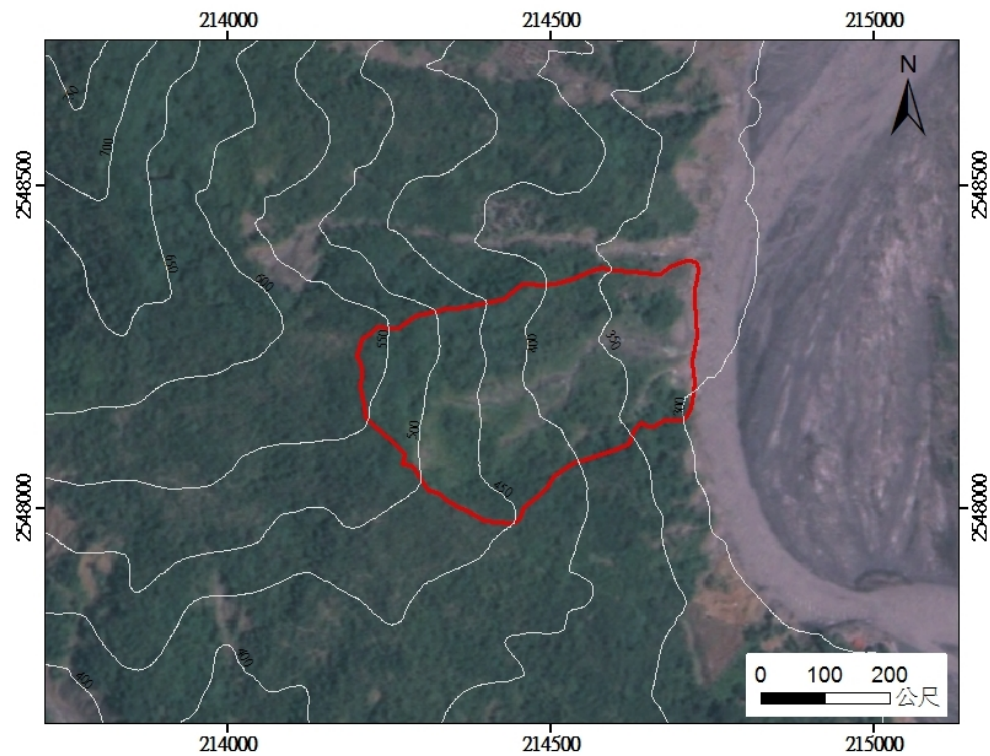


圖 3-2.38、獅山崩塌特徵分布圖。



災前福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.05.09；R-G-B:1-2-3)



災後福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.08.17；R-G-B:1-2-3)

圖 3-2.39、獅山崩塌福衛二號衛星影像。

案例四

案例四天池遊憩區崩塌地位於高雄市桃源區，天池位於庫哈諾辛山東北方的局部緩坡地上。此崩塌為目前僅有局部裸露地，為潛在的深層崩塌，中央研究院在坡面上已裝設監測系統，並有量測到明顯位移量。崩塌地中心點之二度分帶 TWD97 坐標為 (211681, 2574970)，最高點為標高 2,520 米，最低點約 1,700 米，落差約 820 米，崩塌形狀近正方形，坡向朝東南東方，其東方為東北向之溪流，初估面積可能約 126 公頃（如圖 3-2.40）。

(1)地質條件調查

根據中央地質調查所高屏溪流域地質圖幅（如圖 3-2.41），天池地區所在地層為廬山層（或稱梅山層），岩性為硬頁岩夾薄層變質砂岩，天池南方有東西至東北走向之斷層通過，不同地質圖所繪的斷層數量不同，相同的是該斷層是兩地層的界限，斷層南側的畢祿山層（或稱檜谷層）逆衝至廬山層之上。劈理位態指示天池地區所在的坡面為順向坡地形。

(2)地形特徵調查與影像分析

林務局天池工作站至天池小隊之間為舊崩塌地（圖 3-2.42），共有兩處：134.7K 的崩積層發生圓弧型滑動，為一舊有崩塌地，因公路沿著其邊緣穿過，而產生邊坡之表土風化層的移動；134.8K 岩塊掉落及圓弧型滑動，岩坡坡角傾斜至 50 度，岩塊掉落情形時有發生，而表土風化層受到公路穿過，使舊有崩塌地移動，形成圓弧型滑動。

影像判釋成果如圖 3-2.43 的天池地質敏感地區圖，坡面多處分布舊崩塌與崩積層，坡腳發生崩塌，顯示此處崩塌活動頻繁。

(3)崩塌活動性調查

天池地區長期設置中央研究院地球科學研究所的 GPS 連續觀測站，監測發現有明顯地滑現象，資料顯示在民國 98 年 6 月，監測站向東位移約 23cm、向南約 5cm、下降近 25cm（張國禎教授提供）（圖 3-2.44）。此與現地量測的趨勢一致，指示該地區正在進行邊坡潛移運動。

(4)崩塌特性與發生機制

長期而言，天池具有相當高的大規模崩塌之潛勢，原因在於：（1）和 GPS 監測的位移資料，顯示天池目前正進行潛移運動，且短期滑移速率頗高。（2）天池

位於突出的坡面，代表坡面存在大量岩體，並觀察到重力變形現象，顯示岩體應變逐漸累積中。(3) 斷層通過山腰處，除了造成斷層帶兩側岩體破碎之外，斷層泥形成阻水層，在斷層帶上方易使地下水壓升高。(4) 坡腳的侵蝕作用旺盛。

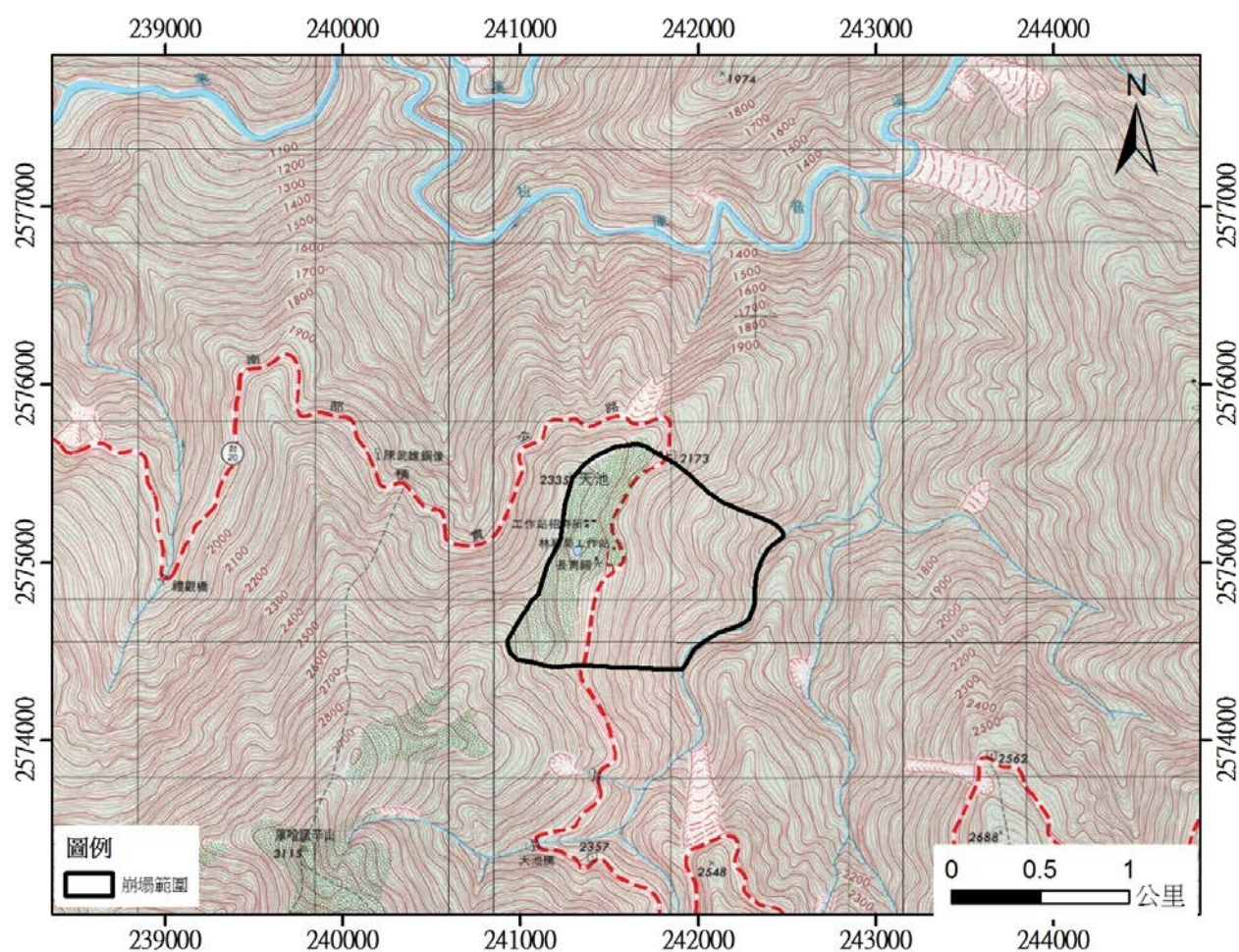


圖 3-2.40、天池遊憩區崩塌位置圖。

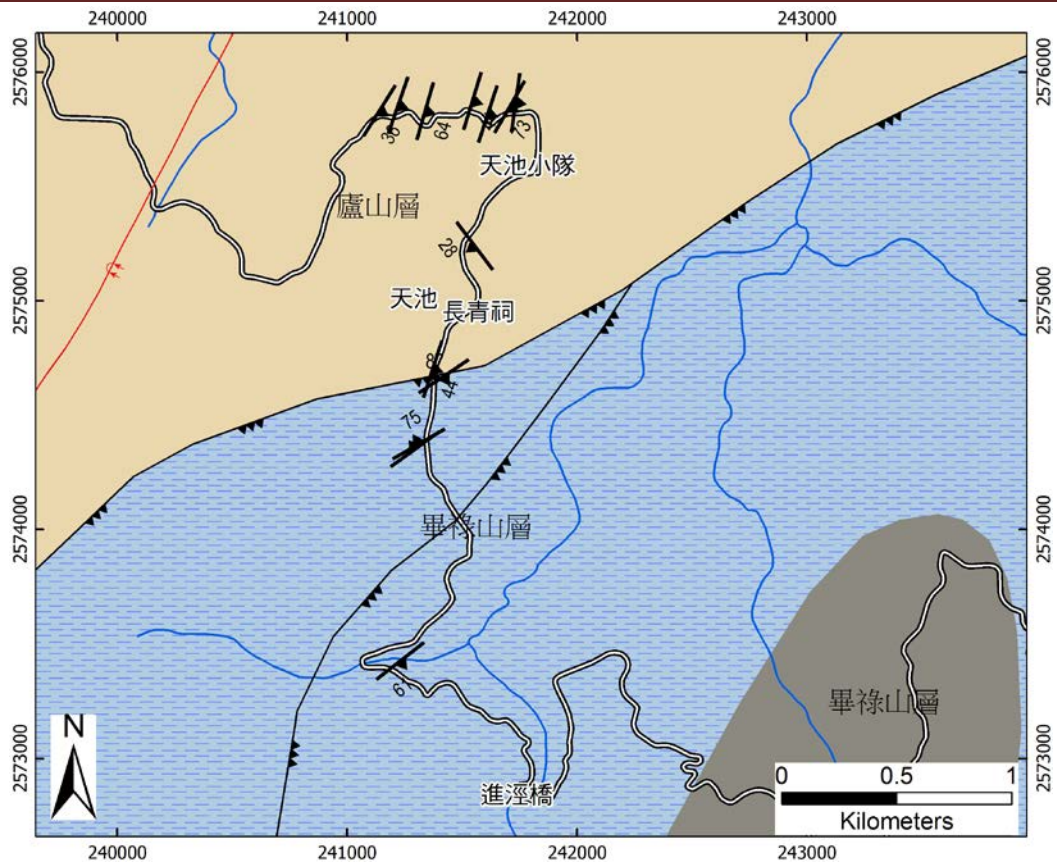


圖 3-2.41、天池遊憩區崩塌地表地質。

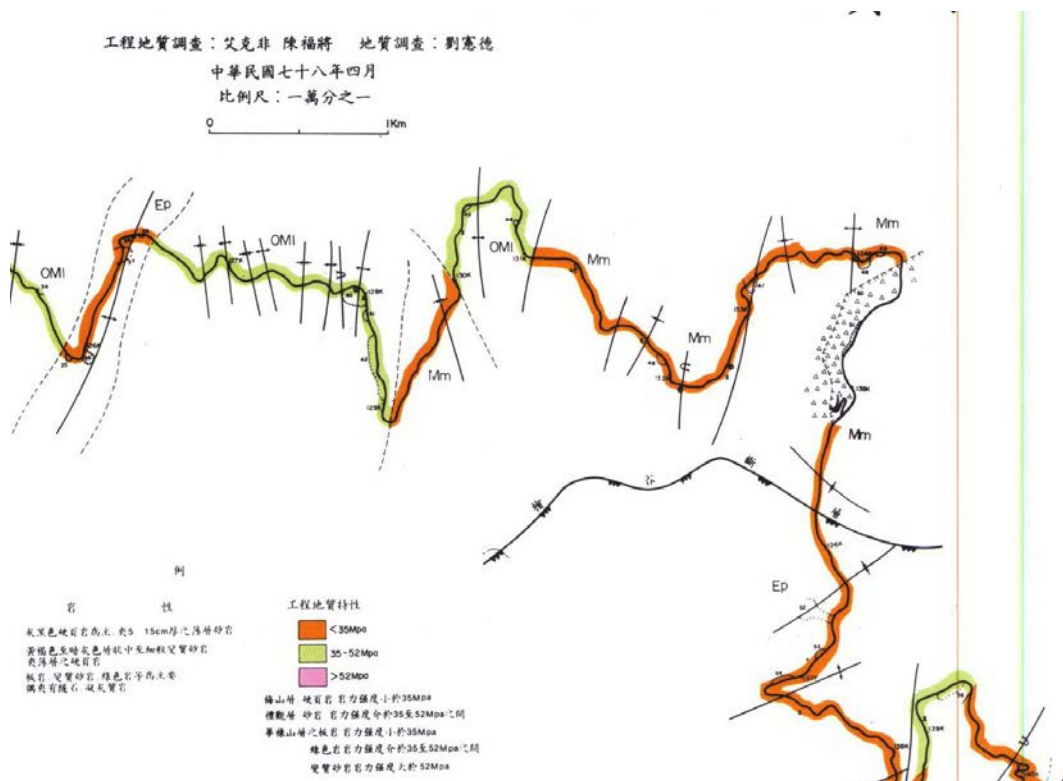


圖 3-2.42、南橫公路梅山至啞口沿線工程地質圖(節錄自賴典章等，1989)。

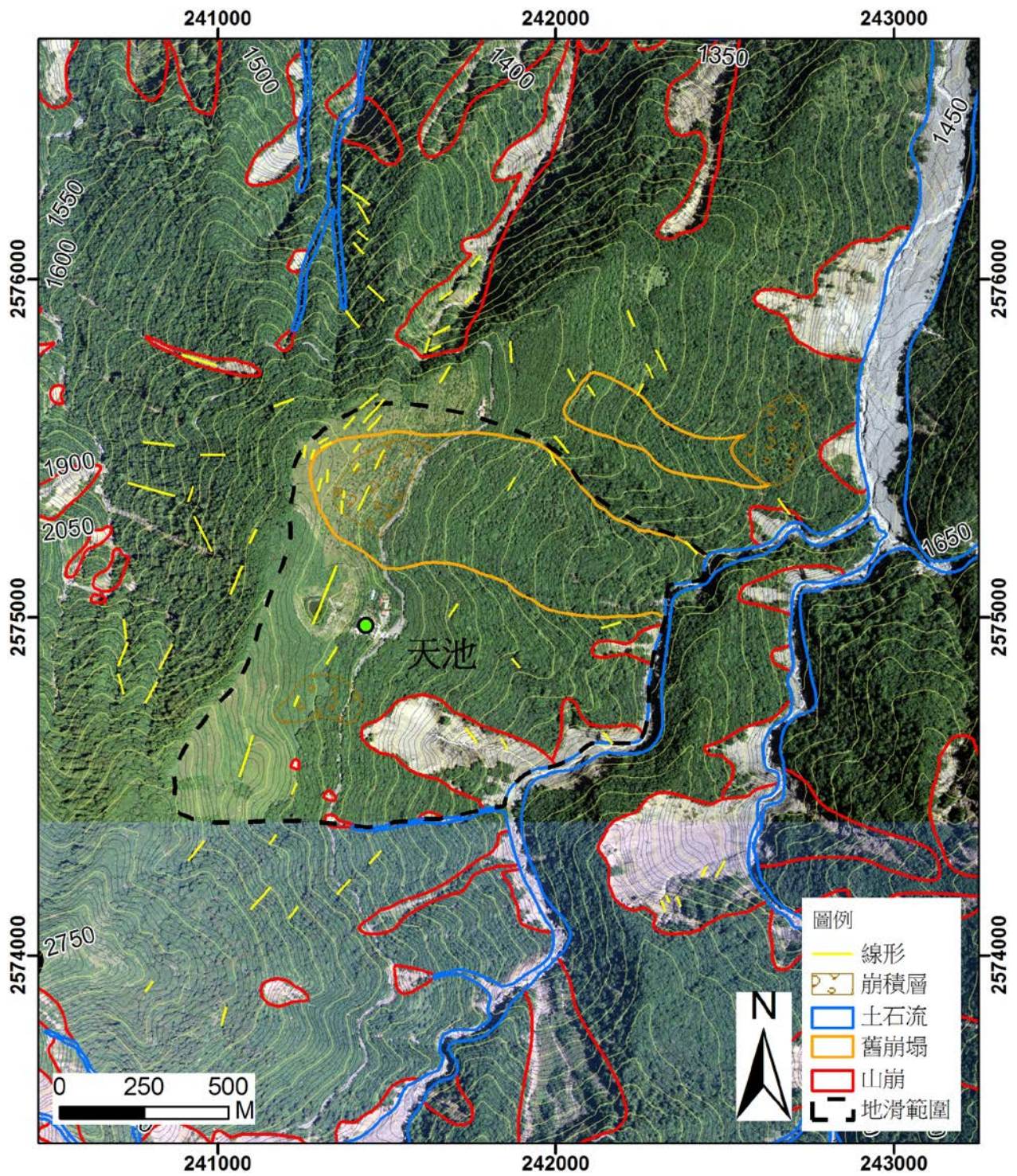


圖 3-2.43、天池地質敏感區分布圖。

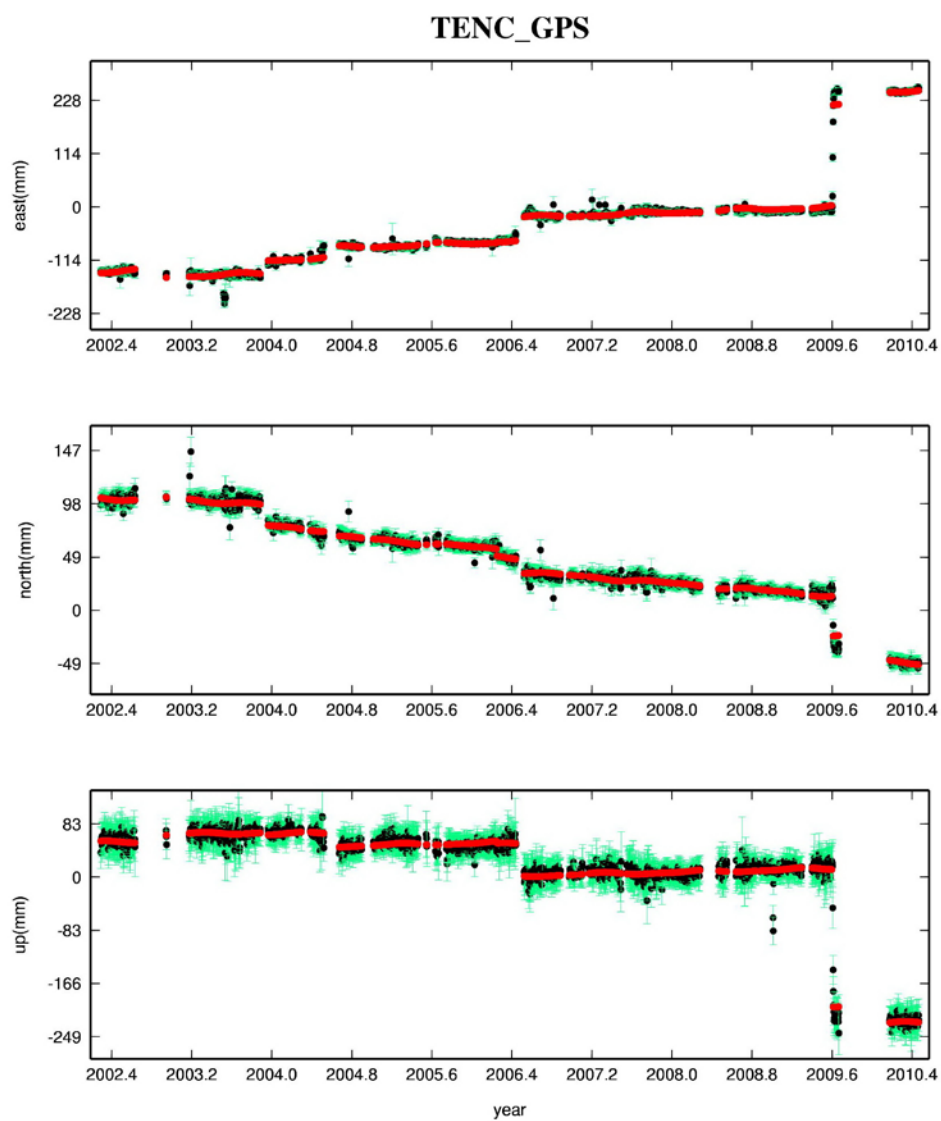


圖 3-2.44、天池 GPS 連續觀測資料（張國禎教授提供）。

案例五

案例五荖濃溪崩塌地位於高雄市桃源區梅山村，在莫拉克風災期間發生深層崩塌，造成堰塞湖。下游距離堰塞湖最近的保全對象為梅山部落，距離堰塞湖約 17 公里。崩塌地中心點之二度分帶 TWD97 坐標為 (241103, 2581230)，最高點為標高 2,040 米，最低點約 1,400 米，落差約 640 米，崩塌地呈上窄下寬的外形，初估面積可能約 48.9 公頃。此處交通不易到達，故調查較難進行。

(1)地質條件調查

根據中央地質調查所比例尺 1/50,000 高屏溪流域地質圖，出露於本區之地層為廬山層和畢祿山層（如圖 3-2.45）。廬山層為中新世地層，岩性以板岩為主，間夾透鏡狀砂岩體。畢祿山層地層年代屬始新世，岩性以板岩和千板岩為主，但是在變質的泥質岩層中夾有較厚的變質砂岩層，有的為石灰質砂岩，有的為長石質砂岩，砂岩粒度由細粒至粗粒。在構造地質方面，崩塌地東側 600 公尺有一褶皺軸通過，西側 1,700 公尺有眉溪斷層通過。

(2)地形特徵調查與影像分析

荖濃溪崩塌地位於荖濃溪右岸，崩塌範圍最長約 827 米、最大寬約 1,130 米，落差約 640 米。坡向為東方，崩塌坡面為圓弧形凹谷狀。

利用多期衛星影像並配合航照進行地形判釋，結果顯示荖濃溪崩塌地的在莫拉克風災之前已發生部分崩塌，土石堆積區面積約 25.1 公頃，崩塌發生區面積約 23.8 公頃（如圖 3-2.46）。

(3)崩塌活動性調查

崩塌活動性調查方面，崩塌地東側 600 公尺有一褶皺軸通過，西側 1,700 公尺有眉溪斷層通過。由莫拉克風災災前影像顯示已有崩塌發育，在坡面易形成侵蝕溝，造成坡面滙水及向源侵蝕（如圖 3-2.47）。

(4)崩塌特性與發生機制

在莫拉克風災災前，坡面下部已崩塌，造成坡面滙水及向源侵蝕。坡面位於河道攻擊坡，坡腳易遭河水淘刷，使下邊坡不穩定。因此前期崩塌造成坡面向源侵蝕、滙水，以及坡腳的淘刷是造成荖濃溪崩塌地發生的主因。

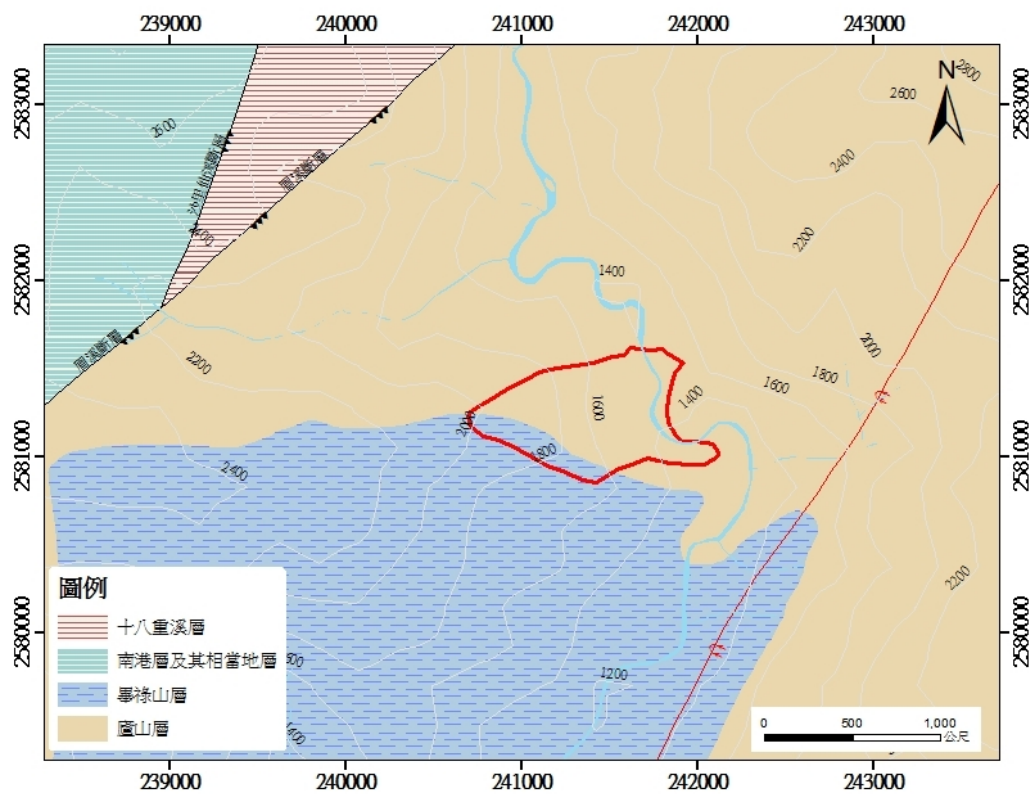
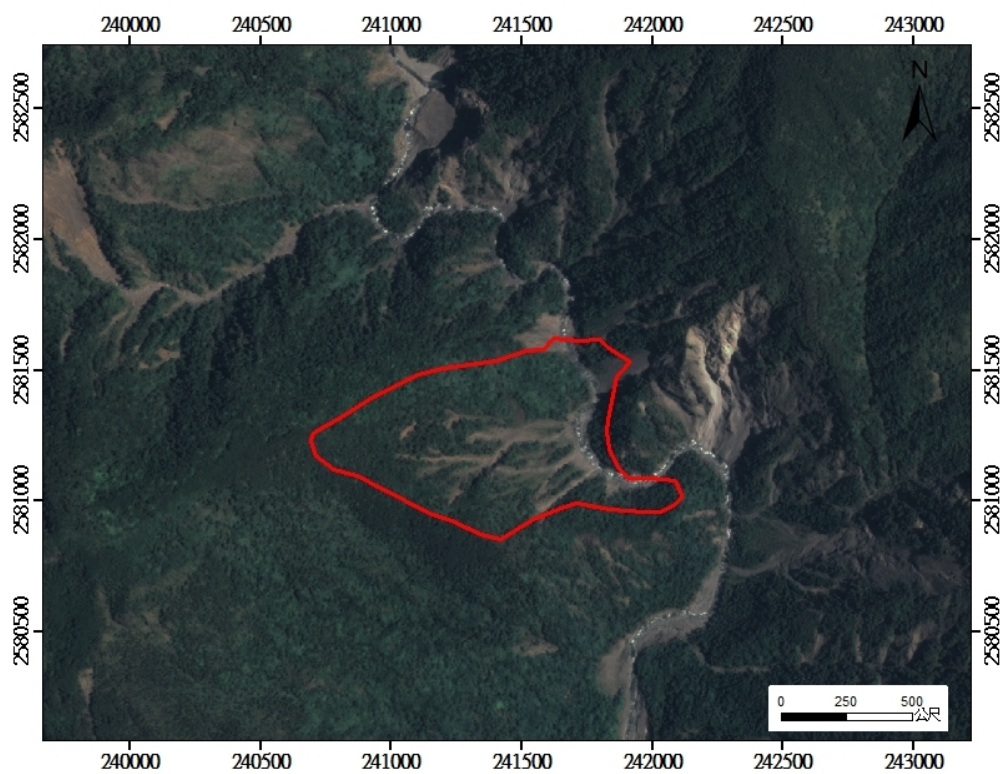


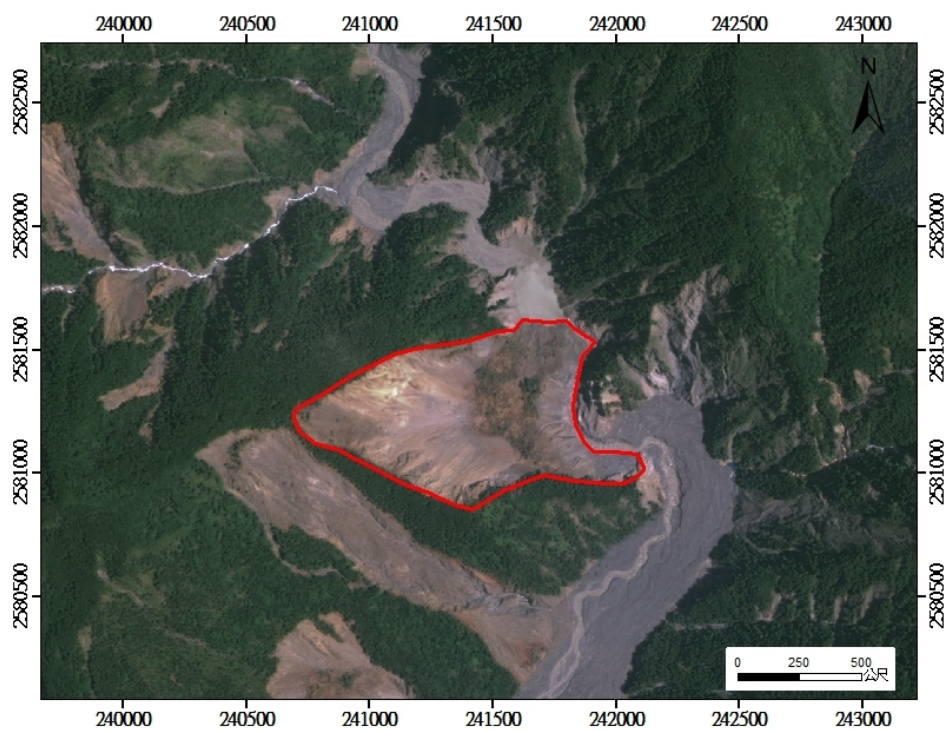
圖 3-2.45、荖濃溪崩塌地表地質圖。



圖 3-2.46、荖濃溪崩塌特徵分布圖。



災前福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.05.10；R-G-B:1-2-3)



災後福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.08.21；R-G-B:1-2-3)

圖 3-2.47、荖濃溪崩塌福衛二號衛星影像。

案例六

案例六瑪雅峻崩塌中心坐標 TWD97 (222173, 2571940)，位於那次蘭溪右岸，瑪雅峻(民權里)上游約 3 公里，屬旗山第 103 號林班地崩塌面積約為 49.65 公頃，外形近長方型，平均坡度約為 30.5 度，坡趾處河寬約 110 米，高點為標高 1,060 米，最低點約 880 米，落差約 180 米。

(1)地質條件調查

在地質方面，參考地質調查所五萬分之一地質圖甲仙圖幅，主要出露地層為長枝坑層(圖 3-2.48)，岩性主要為薄層砂頁互層岩與厚層砂岩，地層位態為(N80°E, 36°E)，而地層之傾向與坡面傾向約略夾 20 到 30 度，形成近順向坡地形(圖 3-2.49)。

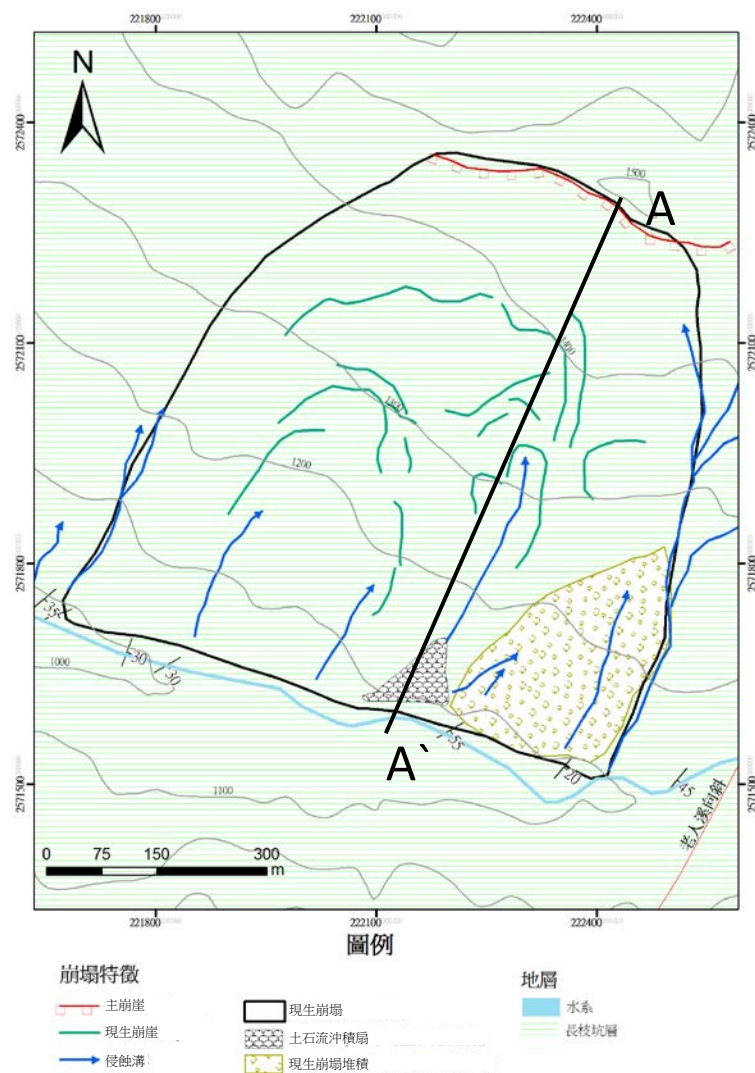


圖 3-2.48、案例六瑪雅峻崩塌地表地質圖(甲仙地質圖，2000)。

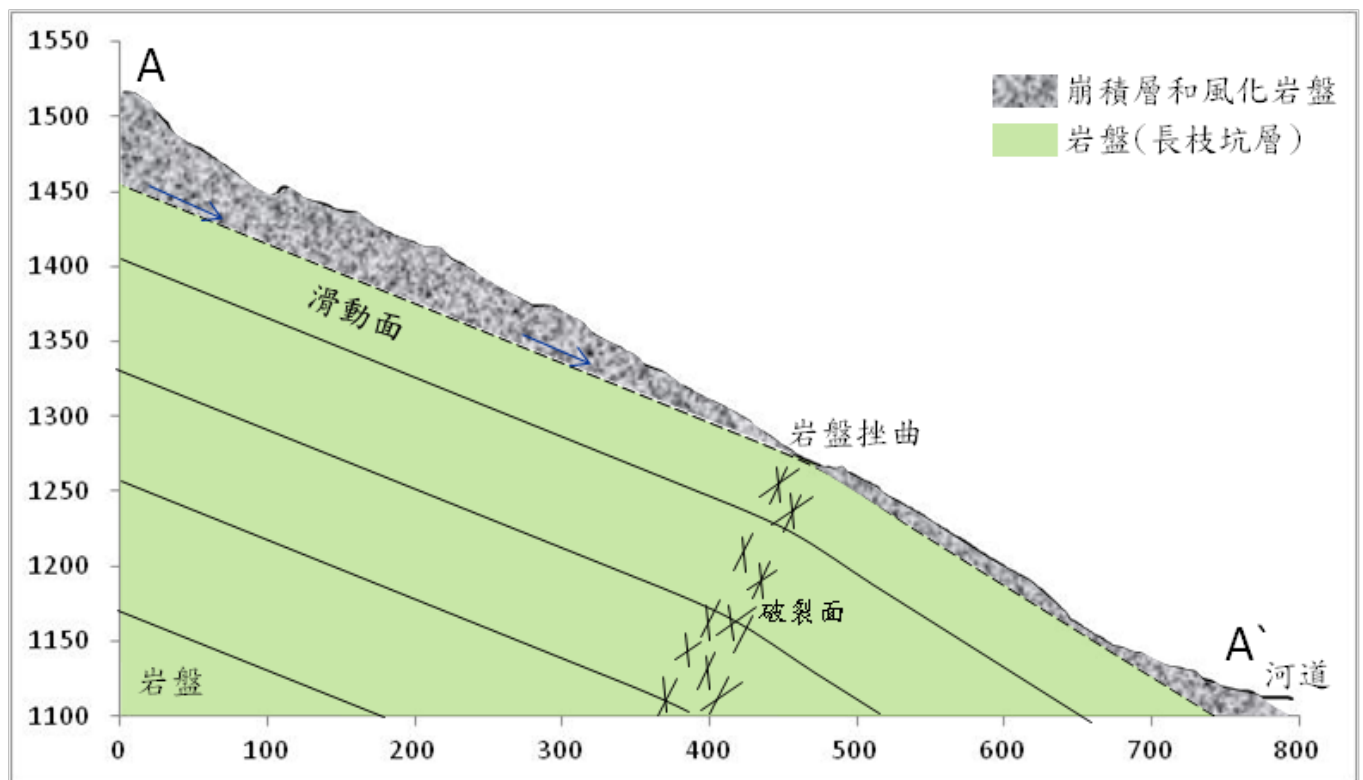


圖 3-2.49、瑪雅峻崩塌 AA'剖面示意圖(層面為視傾斜)。

(2)地形特徵調查與影像分析

在地形特徵方面，瑪雅峻崩塌邊界為侵蝕溝，西側侵蝕溝寬度約 2 公尺（照片 3-2.1）。崩塌主體現地為不穩定的崩積層，崩積材料常見 10 到 60 公分的巨礫（照片 3-2.2）。因材料鬆散，偶有落石發生，並發育許多長條形的侵蝕溝。

崩塌主體內，凹谷狀地形為裸露區，凸狀地形為植生區域，顯示因崩塌體內部滑移量的差異，造成不同的地形發育。因凹谷狀的發育，裸露區日後會發育為侵蝕溝密集區，將不利於邊坡穩定。



照片 3-2.1、崩塌邊界為侵蝕溝，西側侵蝕溝寬度約 2 公尺。



照片 3-2.2、崩塌主體現地為不穩定的崩積層，崩積材料常見 10 到 60 公分的巨礫。因材料鬆散，偶有落石發生，並發育許多長條形的侵蝕溝。裸露區日後會發育為侵蝕溝密集區，將不利於邊坡穩定。

(3)崩塌活動性調查

崩塌體主要為厚層崩積土及風化的薄層砂頁互層，滑動面並有明顯剪切泥岩發育，並有滲水跡象，顯示崩塌材料非常利於崩塌發育。而作為滑動面的砂岩體有褶曲的現象(照片 3-2.3、圖 3-2.50)，日後褶曲處斷裂時，滑動深度會持續加深。



照片 3-2.3、瑪雅峻崩塌滑動面底部厚層砂岩，其砂岩有褶曲的現象，褶曲處發育許多裂隙。

(4)崩塌特性與發生機制

崩塌區位中心東側 520 公尺有老人溪向斜通過。因構造線通過，導致地質破碎，地下水滲水集中，使得向斜軸部附近發生深層崩塌。坡趾為厚層崩積層，材料鬆散，又受河道侵蝕，表示崩塌易因河水掏刷而再次失去坡趾。坡面厚層砂岩已發育褶曲，一旦順向坡坡趾淘刷和厚層砂岩褶曲處破裂(圖 3-2.50)，崩塌將再次發育，並有機會形成堰塞湖。

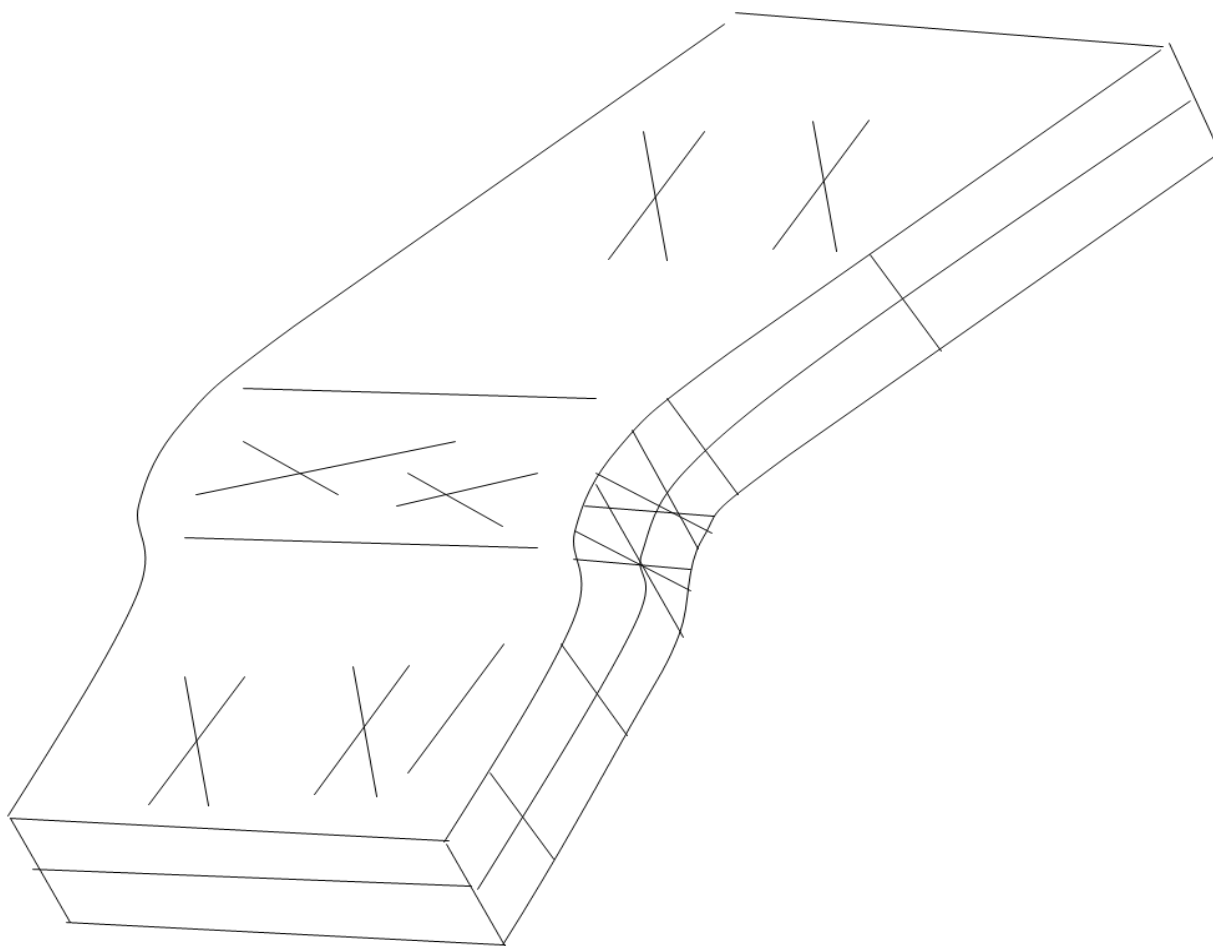


圖 3-2.50、岩層褶曲示意圖。



災前福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.05.09；R-G-B:1-2-3)



災後福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.08.17；R-G-B:1-2-3)

圖 3-2.51、案例六瑪雅峻崩塌福衛二號衛星影像。

案例七

案例七位於五權溪左岸，達卡努瓦(民生里)上游約 450 公尺。達卡努瓦崩塌中心坐標 TWD97 (221762, 2573440)，崩塌面積約為 11.97 公頃、平均坡度約為 38.74 度，坡趾處河寬約 20 米。崩塌形狀似橢圓形，最高點為崩塌約 1,040 米，最低點約 780 米，落差約 260 米。崩塌西側位於旗山第 103 號林班地。

(1)地質條件調查

參考地質調查所五萬分之一地質圖甲仙圖幅，主要出露地層為三民頁岩與紅花子層(圖 3-2.52)，岩性主要為厚層粉砂岩(大於 2 公尺)與厚層頁岩(大於 2 公尺)互層，地層位態為(N15°E, 45°E)，而地層傾向與坡面傾向約略夾 70 到 80 度，形成近直交坡地形(圖 3-2.53)。在構造地質方面，崩塌區位中心西側 1,500 公尺有紅花子背斜通過。

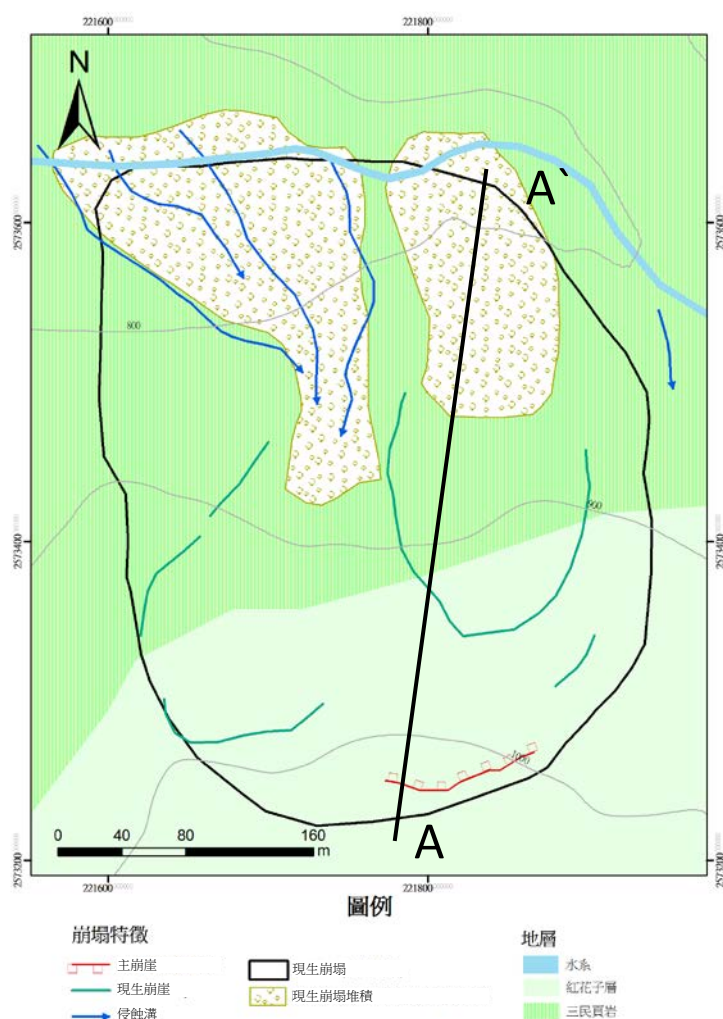


圖 3-2.52、案例七達卡努瓦崩塌地表地質圖(甲仙地質圖，2000)。

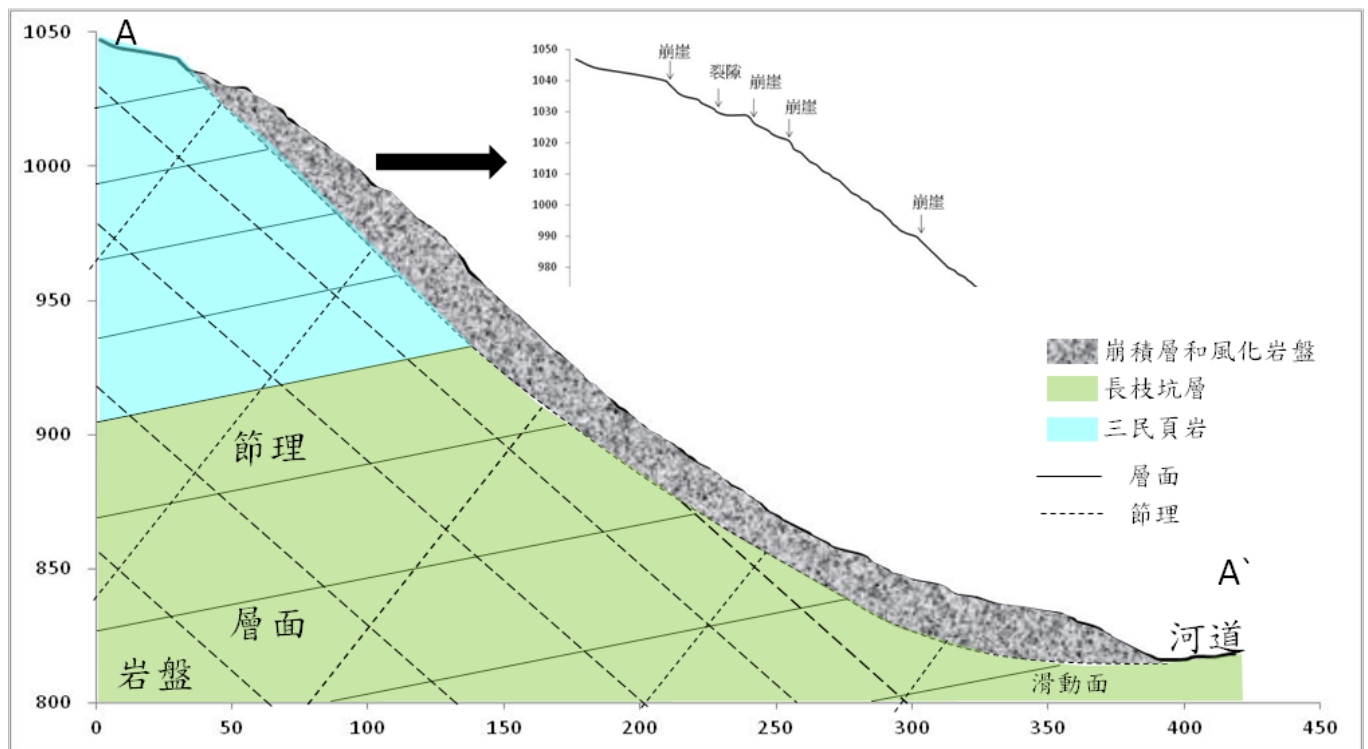


圖 3-2.53、達卡努瓦崩塌 AA'剖面示意圖(層面為視傾斜)。

(2)地形特徵調查與影像分析

達卡努瓦崩塌滑動體為厚層崩積層，滑動面發育明顯剪切的黑色泥岩，其黑色泥岩為局部帶狀分布。在崩塌地頂部重力拉張的因素，發育一寬 5 公尺裂隙及 1.5 公尺高的崩崖(照片 3-2.4)。

崩塌頂部有裂隙及崩崖發育、同時坡面上半部為陡峭崩崖、於坡趾為崩積層堆積。趾部堆積擠壓主河道，使得河道寬度僅剩 20 公尺。因河水持續掏刷坡腳、大量崩塌材料殘留在坡面及河道窄小的因素(照片 3-2.5)，日後再次發生深層崩塌，形成堰塞湖的潛勢高。

(3)崩塌活動性調查

崩塌主體為厚層崩積層，材料鬆散，又受河道侵蝕，表示崩塌易於因河水掏刷而失去坡趾再次滑動。在滑動體方面，崩塌體主要為厚層崩積土，內部有明顯帶狀剪切泥岩發育，並有滲水跡象，利於崩塌發育。而崩塌坡面頂部有裂隙及崩崖發育，表示日後崩崖將繼續向後發育擴大。



照片 3-2.4、達卡努瓦崩塌坡頂裂隙，拉張寬度約 5 公尺。



照片 3-2.5、達卡努瓦崩塌趾部堆積擠壓主河道，使得河道狹小。

(4)崩塌特性與發生機制

崩塌發生主因可能是因為鄰近紅花子背斜，岩盤較破碎。崩塌內部已發育斷層泥，材料鬆散。因此滑動體主要為坡面厚層崩積土。趾部堆積擠壓主河道，使得河道寬度僅剩 20 公尺(圖 3-2.54)。



災前福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.05.09；R-G-B:1-2-3)



災後福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.08.17；R-G-B:1-2-3)

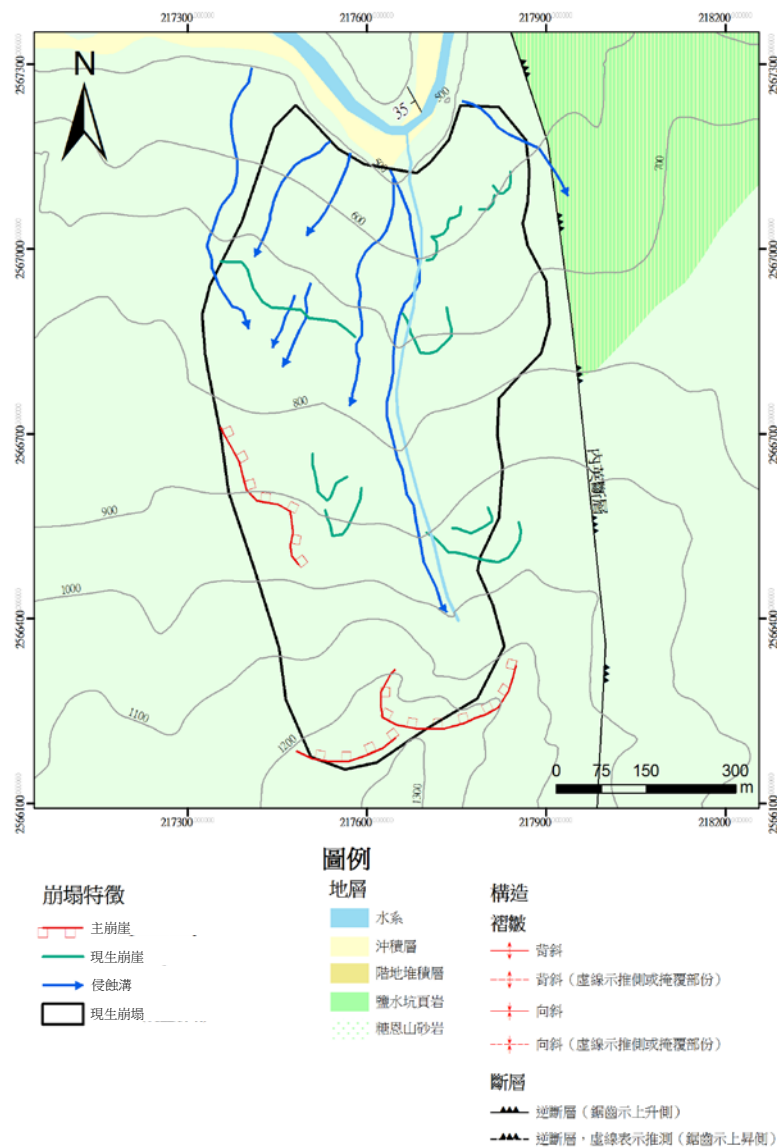
圖 3-2.54、案例七達卡努瓦崩塌福衛二號衛星影像。

案例八

案例八位於南沙魯(民族里)下游約 1.3 公里。南沙魯崩塌中心坐標 TWD97 (217614, 2556730)，屬旗山第 98 號林班地。崩塌面積約為 43.81 公頃、平均坡度約為 32.5 度，坡趾處河寬約 30 米。崩塌形狀上窄下寬，最高點為崩塌約 1,260 米，最低點約 520 米，落差約 740 米。

(1)地質條件調查

根據中央地質調查所比例尺 1/50,000 甲仙地質圖幅(如圖 3-2.55)，南沙魯崩塌地主要位於三民頁岩。三民頁岩的岩性以深灰色緻密頁岩為主，間夾薄層粉砂岩。地質構造方面，旗山斷層走向主要為南北向，並通過崩塌地東側坡趾。



(2)地形特徵調查與影像分析

南沙魯崩塌範圍東西寬度約 470 米、南北長約 960 米，落差約 740 米。坡向為北方，平均坡度 32.5 度，坡面形狀主要為凹谷形。

從現場以及影像判釋結果認為崩塌內部主要有 3 條侵蝕溝發育（如照片 3-2.6），此 3 條侵蝕溝向源侵蝕結果導致上部坡面為陡坡，下部堆積崩積材料。



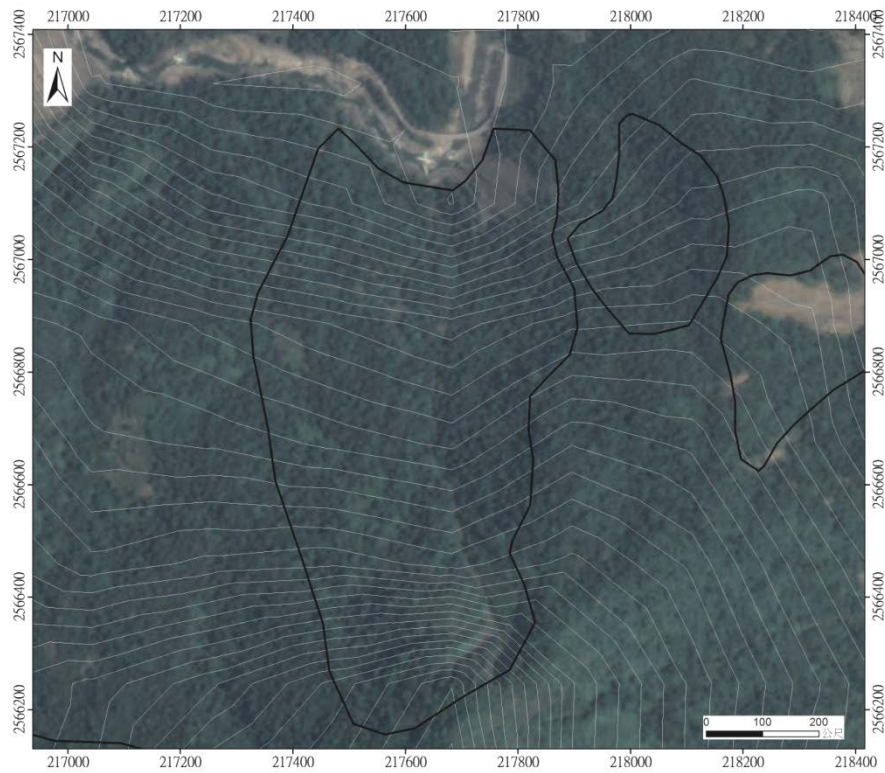
照片 3-2.6、案例八崩塌全景(紅線為判釋之崩塌範圍)。

(3)崩塌活動性調查

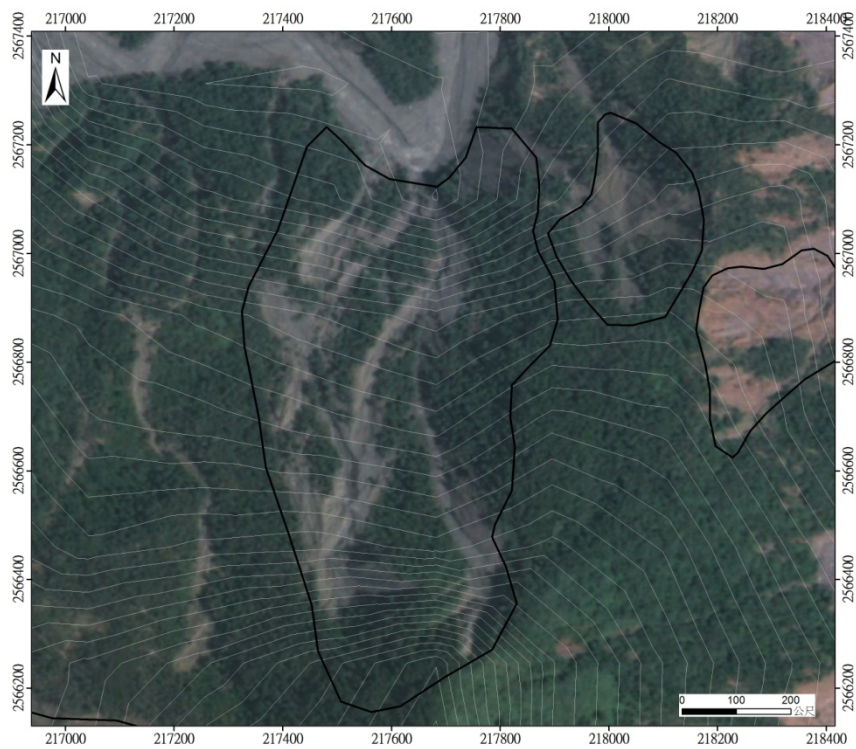
本區域河道為東西走向，與附近地質構造走向近南北，顯示崩塌發育與構造弱面和坡趾侵蝕有關。崩塌地位於旗山溪攻擊坡，坡腳受侵蝕作用常發生崩塌。從莫拉克風災前期衛星影像結果顯示坡面沒有崩塌發育，且植生茂密（如圖 3-2.56）。崩塌發生主要是位於莫拉克風災期間。

(4)崩塌特性與發生機制

崩塌坡趾有旗山斷層通過，導致坡面弱面發達，如照片 3-2.6。在坡趾因旗山溪持續淘刷坡趾，加上莫拉克風災的雨量驚人，導致坡趾快速下刷造成崩塌發育。又因弱面發達，一旦坡趾見光和侵蝕溝的持續發育與擴大，崩塌將持續進行。



災前福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.05.09；R-G-B:1-2-3)



災後福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.08.17；R-G-B:1-2-3)

圖 3-2.56、案例八崩塌福衛二號衛星影像。

案例九

案例九小林崩塌位於位於台灣西南部的高雄市甲仙區小林里，小林崩塌位於省道台 21 線第十號橋(台 21 線 222 公里)至第八號橋(台 21 線 224 公里)之間，屬旗山林班地。崩塌面積約 2.36 平方公里，崩塌地長 2.8 公里、寬 1.2 公里，由高程 375 米至 1,250 米，崩塌範圍之高程差為 875 米。

(1)地質條件調查

根據中央地調所 1/50,000 甲仙圖幅(圖 3-2.57)，小林崩塌附近有小林向斜、甲仙斷層、五里埔斷層及旗山斷層等主要構造。小林向斜走向東北且向南傾斜，向斜以東為傾角 20-30 度西傾之地層，以西地層則傾角 50-60 度向東。甲仙斷層走向與小林向斜相近，為一向東傾之逆斷層。五里埔斷層位於角埔溪，為近乎東西向具右移分量之走向滑移斷層。旗山斷層則位於甲仙斷層東方兩公里，走向與甲仙斷層近似，為高角度傾東之逆斷層，且向南延伸至甲仙地區，但並無經過本研究崩塌範圍。

崩塌區位分布地層為糖恩山砂岩、鹽水坑頁岩、階地堆積層及現代沖積層。糖恩山砂岩以堅硬之厚層砂岩為主體，且為主控研究區內山頭稜線分布之重要地層。鹽水坑頁岩則為較軟弱之塊狀頁岩為主體，分布於旗山溪河道兩側較低矮之山頭。階地堆積層與現代沖積層則以礫石、泥、砂等河成堆積物為主，分別位於五里埔地區或小林村落之階地及旗山溪或角埔溪河道上。

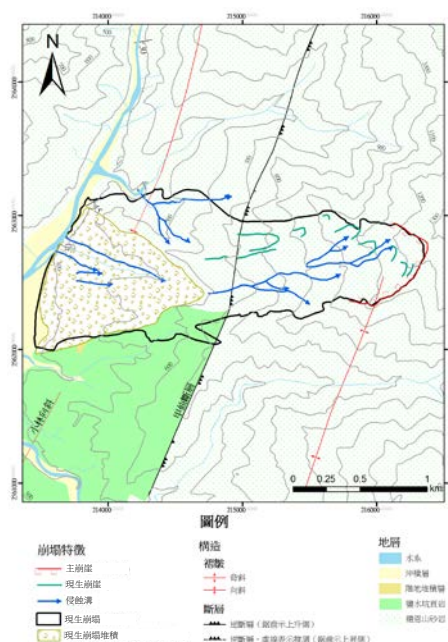


圖 3-2.57、小林崩塌地表地質(甲仙地質圖，2000)。

(2)地形特徵調查與影像分析

將崩塌區域依地形分為堆積區、滑動區及發生區(圖 3-2.58)。藍色框線圈繪之堆積區從旗山溪之高程 370 米至堰塞湖扇頂之高程 585 米為界。黃色框線為滑動區從堰塞湖扇頂之高程 585 米到崩塌上部平緩平台之高程 800 米。紅色框線內為發生區由高程 800 米之平台至崩塌最頂部高程 1,245 米(李延彥, 2011)。

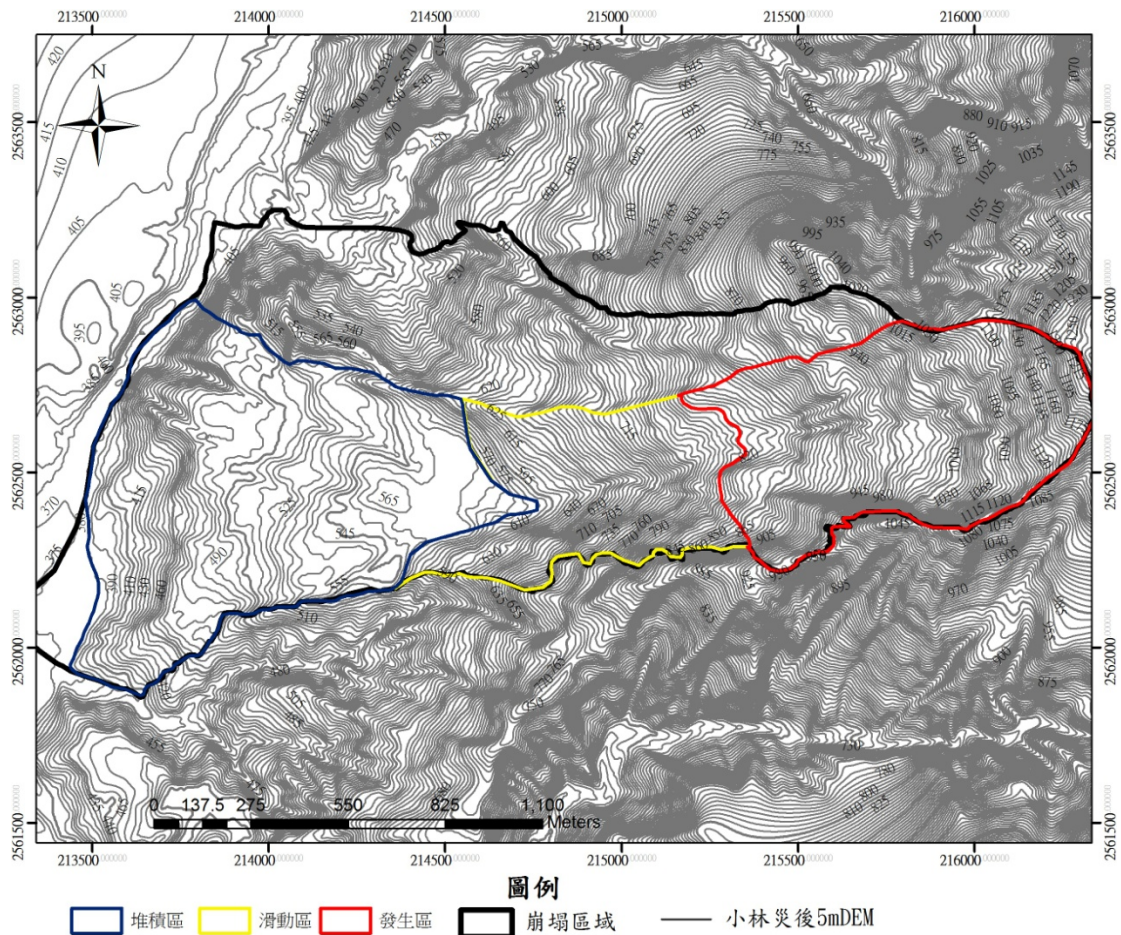


圖 3-2.58、小林崩塌分區示意圖。崩塌發生區(紅)、崩塌滑動區(黃)及崩塌堆積區(藍)。

(3)崩塌活動性調查

現地目前發生區與滑動區以岩盤為主,堆積區目前堆積高度約 215 公尺(圖 3-2.58 藍色區位高差)。堆積區位於坡趾,因受河岸侵蝕,材料鬆散,坡趾有繼續崩塌的跡象(圖 3-2.59)。

(4)崩塌特性與發生機制

崩塌頂部可見楔型破壞(wedge failure)之兩破壞面分別為近乎東西向之節理面及西北-東南向之地層面形成楔型交角,岩體朝西南西(21° ,S82W)方向滑動。顯

示研究區糖恩山砂岩之崩塌材料依此楔型交角面崩落，且堆積材料分區也符合崩塌來源地層特徵。破裂面分析中，研究區內存在節理面(N80°E/84°N)、滑動面(N26°W/22°W)及斷層帶(N7°E/40°W)等三組弱面影響岩體破碎且破裂面密集。尤其崩塌南側岩盤節理面將岩體切割成切口朝北之楔型，普遍存在於崩塌岩盤之中。故認為崩塌岩體以楔型破壞型式滑動破壞，且崩塌材料依楔型交線方向移動。



災前福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.05.09；R-G-B:1-2-3)



災後福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.08.24；R-G-B:1-2-3)

圖 3-2.59、案例九小林崩塌福衛二號衛星影像。

案例十

案例十帖布帖開崩塌位於達卡努瓦(民生一里)旗山溪上游約 2 公里的支流帖布帖開溪，此支流有兩處深層崩塌，分別位於支流帖布帖開溪北側。北側崩塌中心坐標 TWD97 (224811, 2576600)，屬旗山林班地。崩塌面積約為 128.6 公頃、平均坡度約為 26 度，坡趾處河寬約 20 米。崩塌形狀近正方形，最高點為崩塌約 1,960 米，最低點約 1,120 米，落差約 840 米。

(1)地質條件調查

根據中央地調所 1/50,000 高屏溪流域地質(圖 3-2.60)，崩塌地有老人溪向斜直接通過，東側 1 公里有老人溪背斜南北向通過，西側 2.3 公里有紅花子背斜南北向通過，表示崩塌地構造發達，地質破脆。

崩塌區位分布地層為三民頁岩和長枝坑層。長枝坑層岩性主要為薄層砂頁互層岩與厚層砂岩；三民頁岩岩性主要為厚層頁岩夾砂岩。老人溪向斜東側附近層面位態約(N35°E, 50°E)。

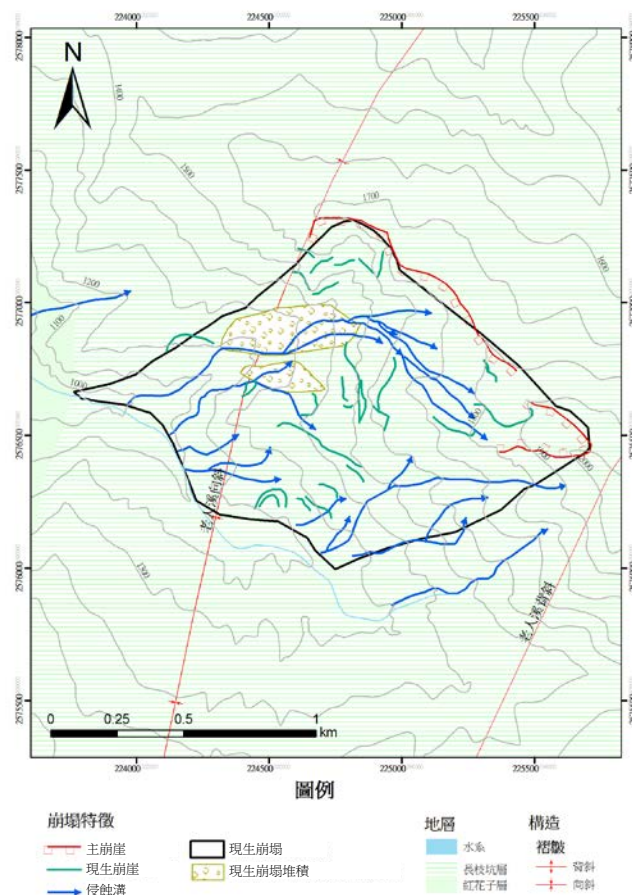


圖 3-2.60、帖布帖開崩塌地表地質(高屏溪流域地質圖，2009)。

(2)地形特徵調查與影像分析

由災前衛星影像可以明顯發現坡頂有冠部崩崖發育，崩塌地中間有近三角形分布的崩崖，中間三角形部分坡趾植生有復育的情況，顯示過去曾經發育崩塌。由災後影像判釋結果認為，災前崩塌地形發育最明顯的區位是莫拉克災後崩塌發育劇烈、嚴重的地方(圖 3-2.61)。

(3)崩塌活動性調查

由災前衛星影像，崩塌地形最明顯的區位是莫拉克災後發生崩塌最嚴重的區位。災前影像植生情形顯示此區位已有滑動跡象，而滑動位置主要在坡面侵蝕溝(圖 3-2.61)，表示此坡面活動性高。

(4)崩塌特性與發生機制

此崩塌趾部河寬約 20 公尺，上游集水區約 460 公頃。由災後影像分析認為坡面趾部未發育大面積崩塌，崩塌發育主要是在坡腹和坡頂，表示趾部的河岸侵蝕並非造成崩塌的主因。由災前影像和地質圖綜合判釋結果認為崩塌發生的主因是因為老人溪向斜通過崩塌本身，造成坡面地質破碎，易於侵蝕溝發育，進而造成深層崩塌發育(圖 3-2.61)。



災前福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.05.09；R-G-B:1-2-3)



災後福衛二號衛星影像(災前等高線；影像日期:2009.08.17；R-G-B:1-2-3)

圖 3-2.61、案例十帖布帖開崩塌福衛二號衛星影像。

3-2.3、歷史崩塌案例分析與結論

深層崩塌發育模式認為主要發生機制有三點，說明如下：(一)崩塌區位鄰近構造線或構造線直接通過，造成坡面地質破碎，導致岩體易產生大量破裂面，而發育滑動面深至岩盤的深層崩塌；(二)坡面受長期重力影響，導致岩體彎曲變形，而逐漸向下潛變移動，一旦失去坡腳支撐，可能導致岩體變形區位發生崩塌；(三)深層崩塌區位坡腳鄰近河道，受到側向侵蝕影響，導致坡趾喪失，失去支撐，而使崩塌發生。

十處歷史深層崩塌案例中，在地質不利因素中，其中 8 處鄰近構造線或構造線直接通過，表示深層崩塌發生區位與構造地質關係密切。在環境不利因素中，9 處歷史案例的坡趾緊鄰河道，且位於河道攻擊側，表示深層崩塌發生與河道侵蝕崩塌坡腳相關性極高。由上述歷史分析結果，認為深層崩塌主要的發生模式為坡面鄰近構造線或構造線直接通過，導致坡面岩體破碎，而河道側向侵蝕沖刷坡腳，使坡面喪失支撐，而滑動面發育深至岩體。

3-3、深層崩塌調查、判釋方法檢討及評估

日本關於深層崩塌判釋之研究(深層崩塌發生潛勢集水區篩選指南，日本土木研究所，2008)，其潛勢調查區分為全國尺度，集水區尺度以及坡面尺度，利用 1. 深層崩塌發生實際案例、2.地質構造以及微地形因素、3.數值地形所獲得地形特徵量等篩選出具有深層崩塌發生潛勢之集水區(如圖 3-3.1)，其將深層崩塌發生實際案例納入篩選作業，乃因研究發現深層崩塌常發生在鄰近過去具有深層崩塌歷史之地區，因此歷史深層崩塌地周邊地區，通常被認定具有較高之深層崩塌潛勢。但此方法無法針對單一坡面進行深層崩塌區位範圍劃定。

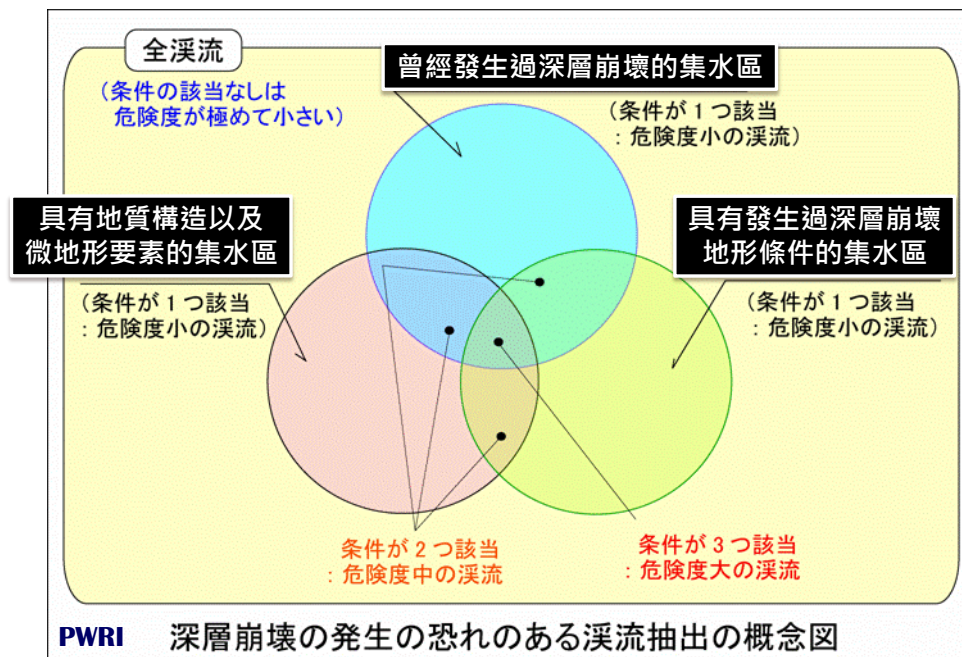


圖 3-3.1、深層崩塌發生潛勢集水區篩選指南(日本土木研究所，2008)。

本計畫判釋面積廣大，因此需一套快速、明確的判釋方法與流程。在大範圍判釋方法上，傳統上利用航照立體鏡尋找崩塌特徵(如崩崖)，有耗時耗力、不易判釋、難以數位化展示之缺點；除利用航照立體相對進行深層崩塌之地形特徵判釋外，針對各種圖資判釋方法之比較同時，利用空載光達產製之高精度數值地形進行深層崩塌判釋。航空照片和衛星影像解析度不足，難以判釋深層崩塌細部特徵(圖 3-3.2、表 3-3.1)。但在高精度數值地形配合地理資訊系統軟體，利用陰影圖、坡度圖，可提高判釋效率，並將判釋結果直接在圖面上數化，並利用 3D 展示崩塌外貌配合崩塌特徵，使判釋人員快速了解深層崩塌的可能的崩塌範圍，細部特徵，以利日後崩塌基地調查、監測計畫的實行。

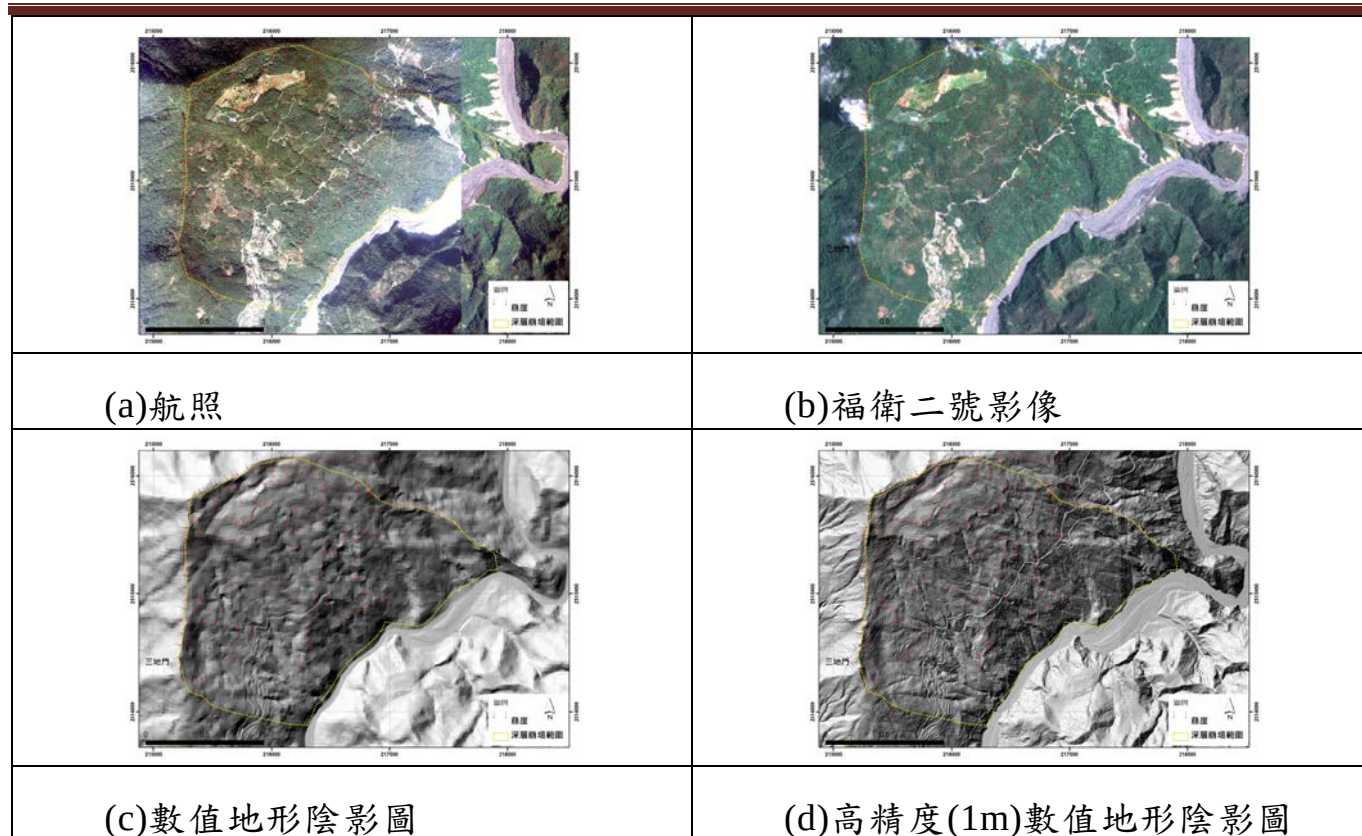


圖 3-3.2、深層崩塌判釋材料與特徵展現圖。

表 3-3.1、深層崩塌判釋方法與所需材料與限制一覽表

深層崩塌判釋內容	所需材料						
	衛星影像	航照立體相對	數值地形	高精度數值地形	地質構造	水系	道路
裸露區與植生特徵判釋	○	○		○			
地形特徵判釋		○	○	○			
細微地形特徵判釋				○			
有利崩塌發育之因子分析					○	○	○
精度需求	2 米	1/5,000	5 米	1 米	1/50,000	1/5,000	1/5,000
適用範圍	崩塌裸露區	已崩塌區		崩塌區、徵兆區	輔助崩塌發育因子判釋		

註：○:可進行判釋

過去監測深層崩塌是針對單點，並使用鑽井、傾斜管等地工方法，目的是了解崩塌滑動面。但此類工程花費甚鉅，且使用次數常具一次性，一旦崩塌稍微滑動，常導致儀器毀壞。或者施工鑽井深度不足，無法得到明確的地底資料。本計畫目的是為了日後龐大的深層崩塌數目而設計簡易型監測計畫，利用全自動長距離雷射測距經緯儀搭配 GPS 及雨量站，可定期追蹤崩塌坡面位移量，並連續紀錄雨量資料，建立深層崩塌與雨量的關係。一旦地表有明顯位移時，可再搭配地工監測，了解崩塌底部情形、滑動面深度。此監測方法較傳統方法快速，花費相對較少，以利大範圍了解、監測整體崩塌坡面情形。

3-4、深層崩塌潛勢區位判釋、現地調查與分析

3-4.1、深層崩塌潛勢區位圖資判釋

本計畫範圍分別為曾文溪流域、旗山溪集水區、荖濃溪集水區與隘寮溪集水區之國有林班地，面積約 2473.04 平方公里，共約 548 張比例尺 1/5,000 地形圖圖幅範圍，經由本計畫於莫拉克颱風後之影像所判釋的類型 A 近期發生之深層崩塌共 356 處，面積 99.47 平方公里(圖 3-4.2)；類型 B 早期發生之疑似深層崩塌共 376 處，面積 115.66 平方公里(圖 3-4.3)；類型 C 具滑動地形特徵之潛在深層崩塌共 1,003 處，面積 342.07 平方公里(圖 3-4.4)，類型 D 不具滑動地形特徵之潛在深層崩塌共 195 處，面積 100.94 平方公里(圖 3-4.5)(表 3-4.1)。其中位於玉山事業區內共 380 處，大埔事業區內共 254 處，玉井事業區內共 54 處，旗山事業區內共有 540 處，屏東事業區共有 263 處，荖濃溪事業區內共有 439 處，詳細統計如表 3-4.2。

表 3-4.1、各範圍之各類型崩塌處數和面積

		曾文溪流域	旗山溪集水區	荖濃溪集水區	隘寮溪集水區	總計
A	個數	21	70	217	48	356
	面積 (平方公里)	3.87	22.79	63.46	9.35	99.47
B	個數	60	58	217	41	376
	面積 (平方公里)	13.04	15.55	76.60	10.47	115.66
C	個數	185	271	415	132	1,003
	面積 (平方公里)	68.41	84.88	147.59	41.21	342.09
D	個數	42	21	90	42	195
	面積 (平方公里)	22.51	7.03	43.66	27.74	100.94
判釋面積 (平方公里)		585.36	463.63	1052.33	371.72	2473.04

表 3-4.2、各事業區之各類型崩塌處數

	A	B	C	D	總計
大埔事業區	17	52	144	41	254
屏東事業區	48	41	132	42	263
旗山事業區	90	91	306	53	540
玉井事業區	4	8	41	1	54
玉山事業區	65	67	228	20	380
荖濃溪事業區	132	117	152	38	439
總計	356	376	1,003	195	1,930

深層崩塌判釋完成後將針對岩性、坡度、高程、構造距離、河道距離五個因子進行發生區位特性分析。

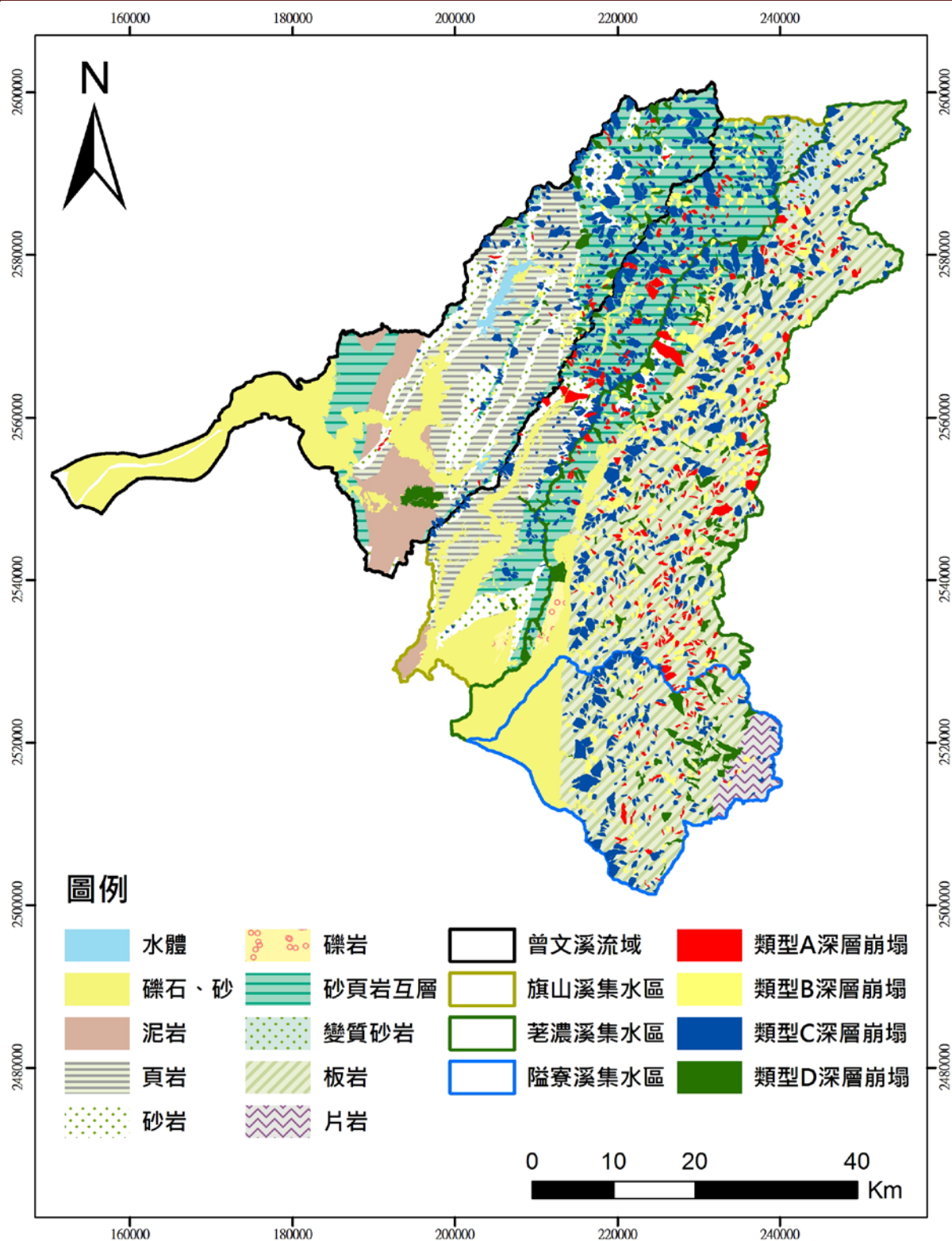


圖 3-4.1、深層崩塌於各岩性區間分布狀況。

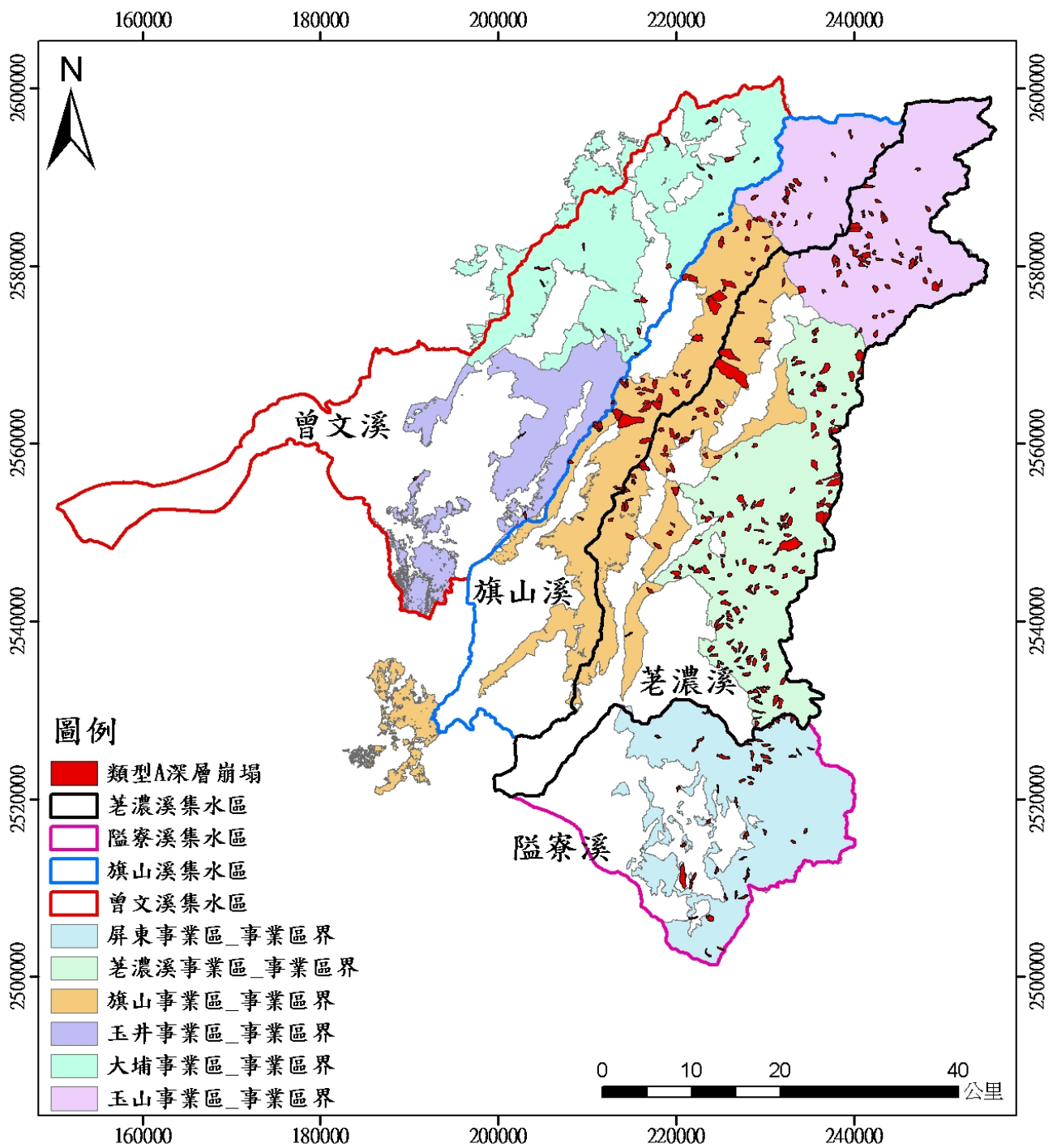


圖 3-4.2、類型 A 深層崩塌分布範圍。

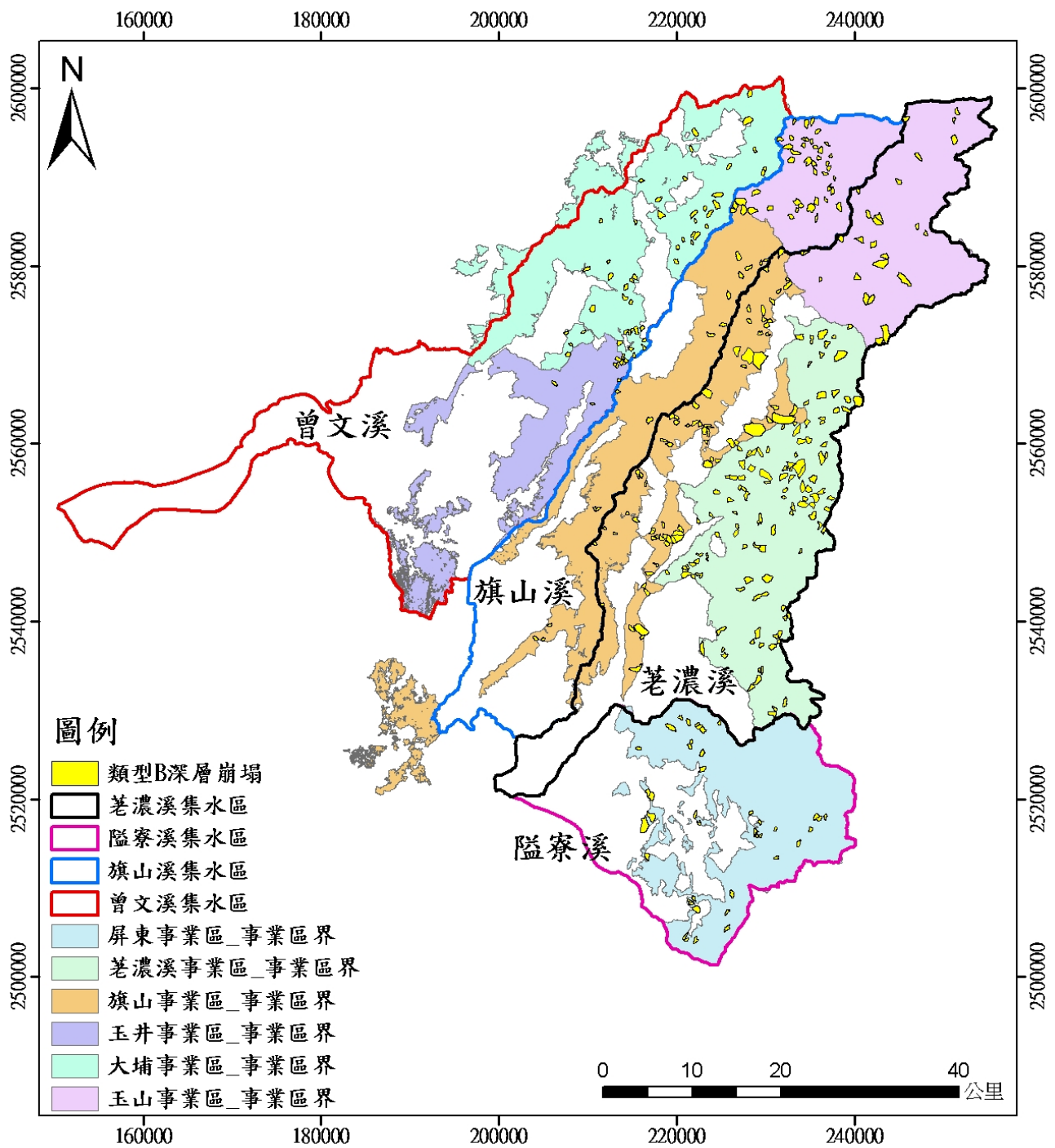


圖 3-4.3、類型 B 深層崩塌分布範圍。

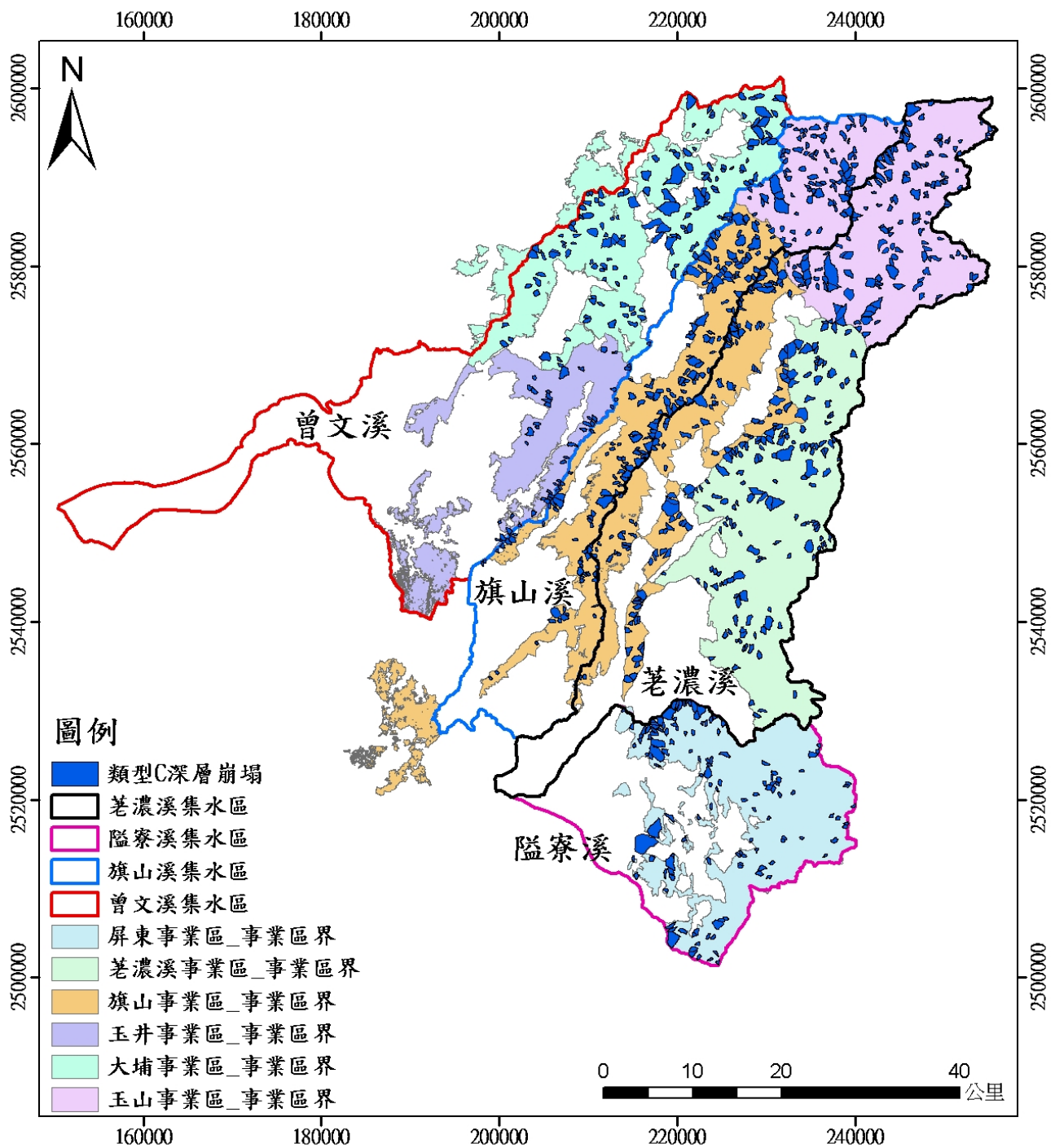


圖 3-4.4、類型 C 深層崩塌分布範圍。

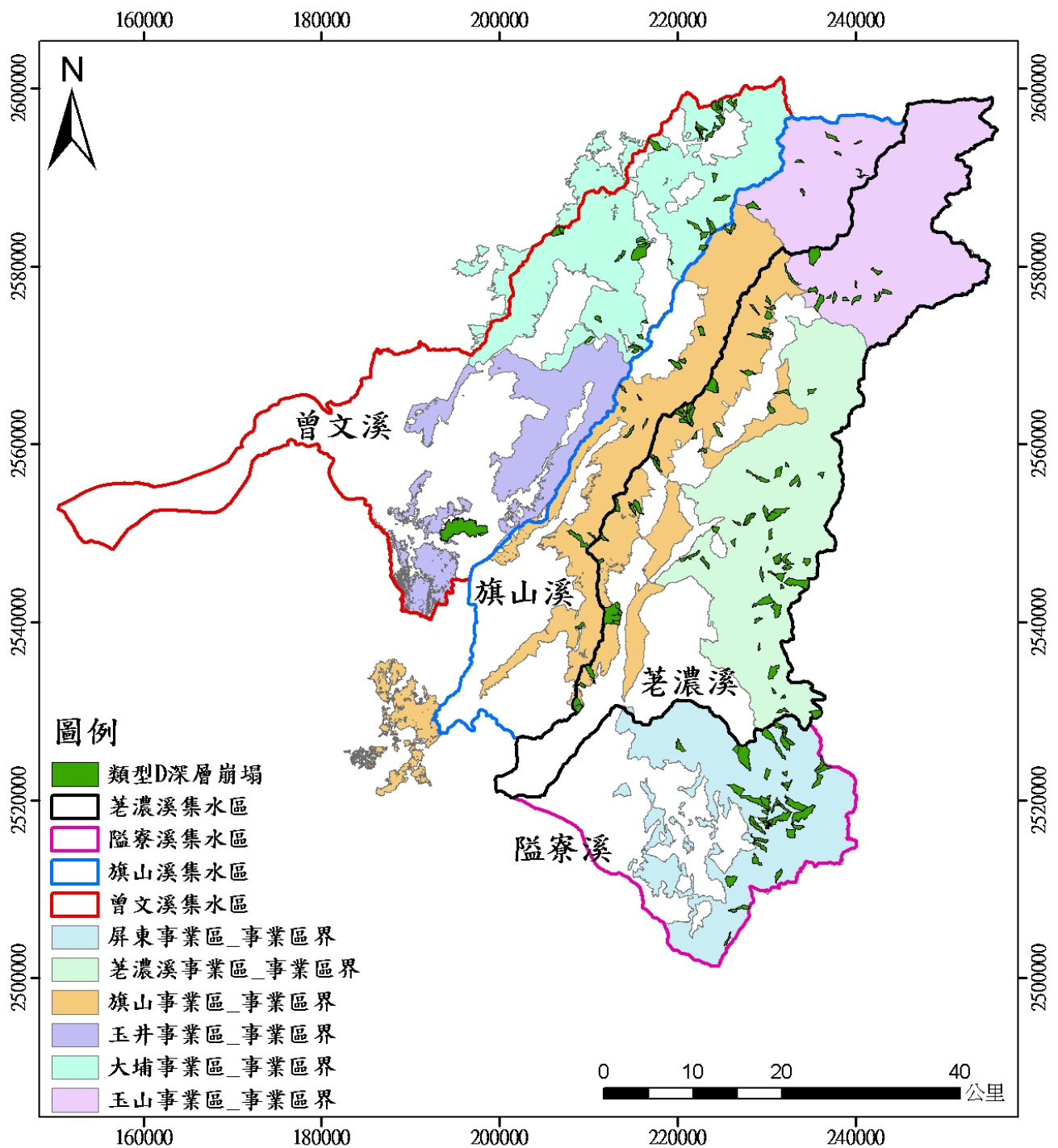


圖 3-4.5、類型 D 深層崩塌分布範圍。

岩性分析

透過地調所 1/50,000 高屏溪數值流域地質圖、1/50,000 嘉義、中埔、新化、甲仙數值地質圖與 1/500,000 臺灣數值地質圖之資料，依照地層的機械性質，在計畫範圍內的地層可分成礫石與砂、泥岩、頁岩、砂岩、礫岩、砂頁岩互層、變質砂岩、板岩、片岩共九種岩性，並套疊四種類型的深層崩塌圖層進行分析以取得各個深層崩塌的主要岩性，統計結果顯示大部分深層崩塌的主要岩性為砂頁岩互層或板岩(圖 3-4.6)。

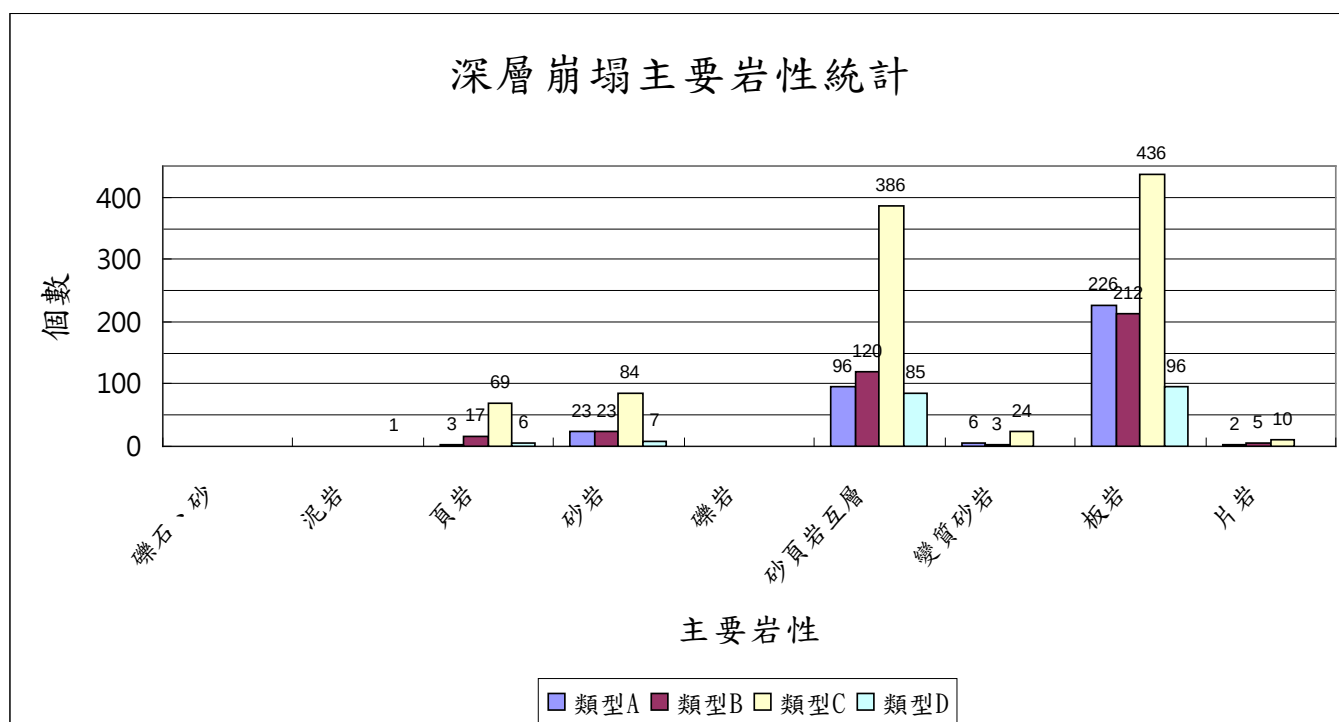


圖 3-4.6、深層崩塌主要岩性統計結果。

坡度分析

本計畫將內政部產製之五米網格數值地形模型透過 GIS 平台轉換成坡度分布圖並計算深層崩塌的平均坡度，再以 5 度為區間由 0 度開始分級至 50 度，50 度以上為一級共 11 個分級，統計分析四種類型的深層崩塌其平均坡度分布特性，統計結果如圖 3-4.7 所示，類型 A、B、D 的深層崩塌平均坡度多落在 30 到 45 度之間，並在 35 到 40 度這個區間有最大數量，類型 C 則集中在 20 到 40 度間，於 30 到 35 度間出現最大數量。

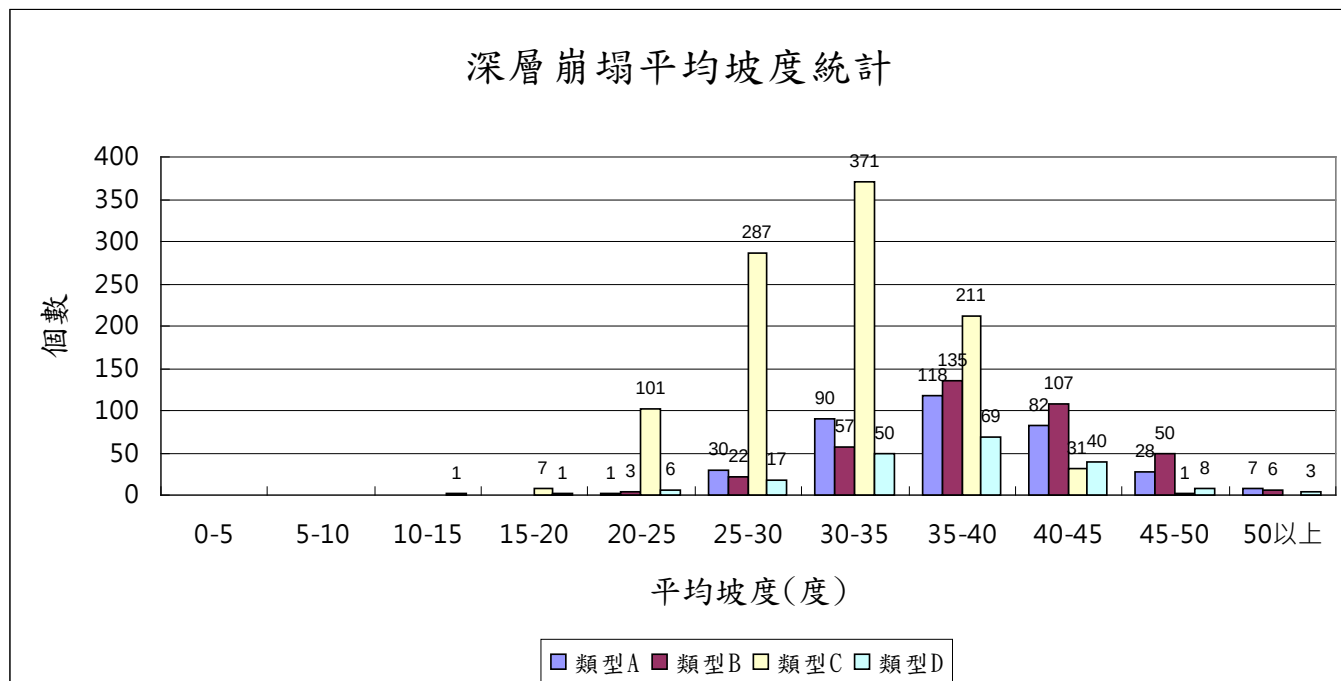


圖 3-4.7、深層崩塌平均坡度統計結果。

高程分析

本計畫利用內政部產製之五米網格數值地形模型套疊四種深層崩塌圖層計算各個深層崩塌的平均坡度，以 250 公尺為區間由 0 公尺開始分級至 3,000 公尺，3,000 公尺以上為一級共 13 個分級，統計分析四種深層崩塌其平均高層分布特性，統計結果如圖 3-4.8 所示，四種類型的深層崩塌在 500 到 2,000 公尺之間都有較高的數量分布。

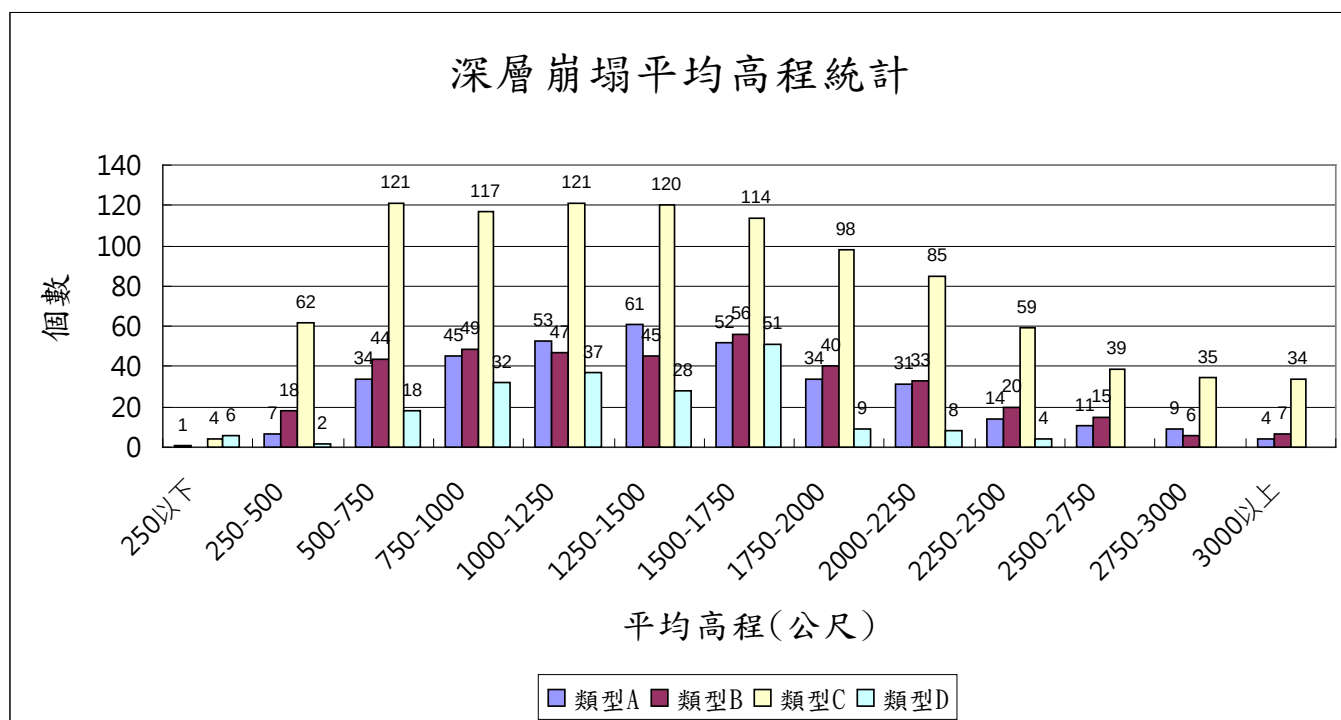


圖 3-4.8、深層崩塌平均高程統計結果。

距構造線最短距離分析

使用經濟部地質調查所出版 1/50,000 高屏溪數值流域地質圖、1/50,000 嘉義、中埔、新化、甲仙數值地質圖與 1/500,000 臺灣數值地質圖的斷層、背斜與向斜之褶皺資料，分析取得各個深層崩塌與構造線間的最短距離，先分出有構造線通過或相切者，其餘再依據與構造線間最短距離以 50 公尺為區間由 0 公尺開始分級至 500 公尺，500 公尺以上為一級，全部共分 12 級，統計結果如圖 3-4.9 所示，在計畫範圍內的四種深層崩塌主要集中在有構造線通過或相切和最短距離 500 公尺以上兩個分級區間中。

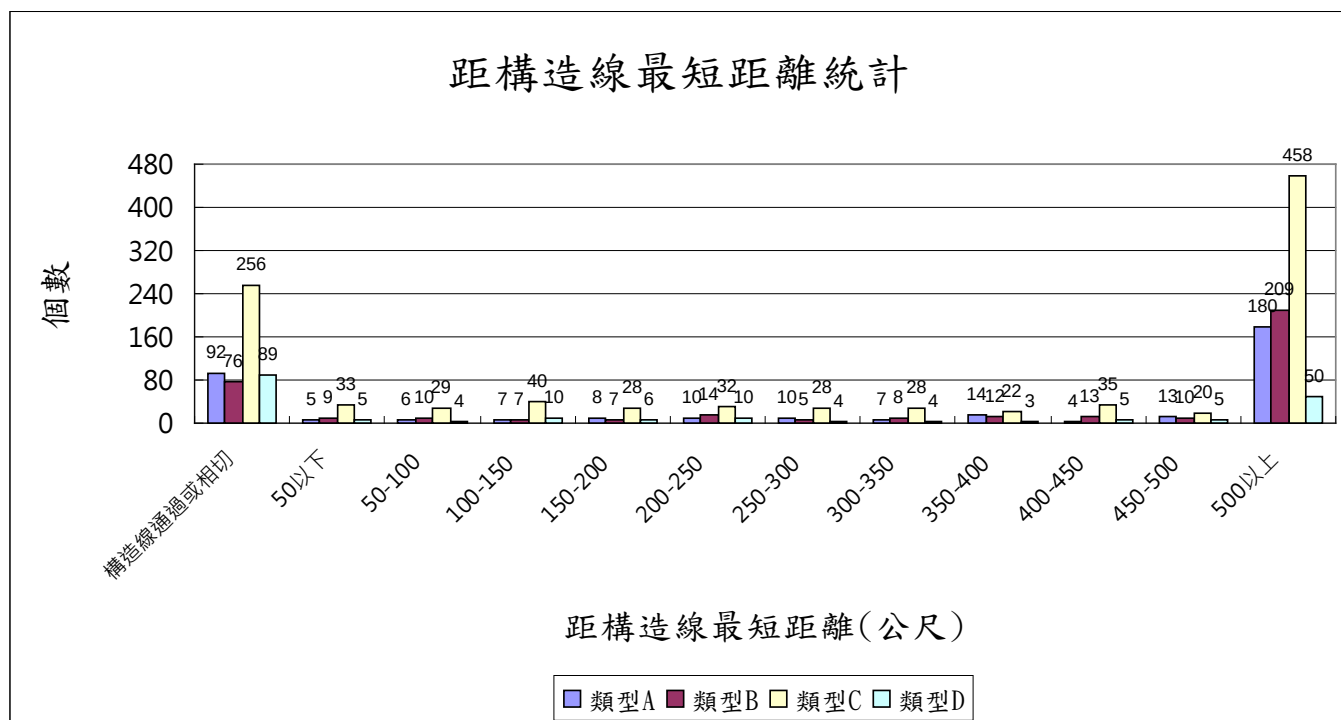


圖 3-4.9、深層崩塌距構造線最短距離統計結果。

距河道最短距離分析

透過 GIS 平台上的水文分析工具 Arc Hydro Tools 將 5 米網格數值地形模型轉換成河道圖層，分析取得各個深層崩塌與河道間的最短距離，先分出有河道通過或相切者，其餘再依據與河道間最短距離以 50 公尺為區間由 0 公尺開始分級至 450 公尺，450 公尺以上為一級，全部共分 11 級，統計結果如圖 3-4.10 所示，在計畫範圍內的四種深層崩塌主要集中在有河道通過或相切、最短距離 50 公尺以下和最短距離 500 公尺以上三個分級區間中。

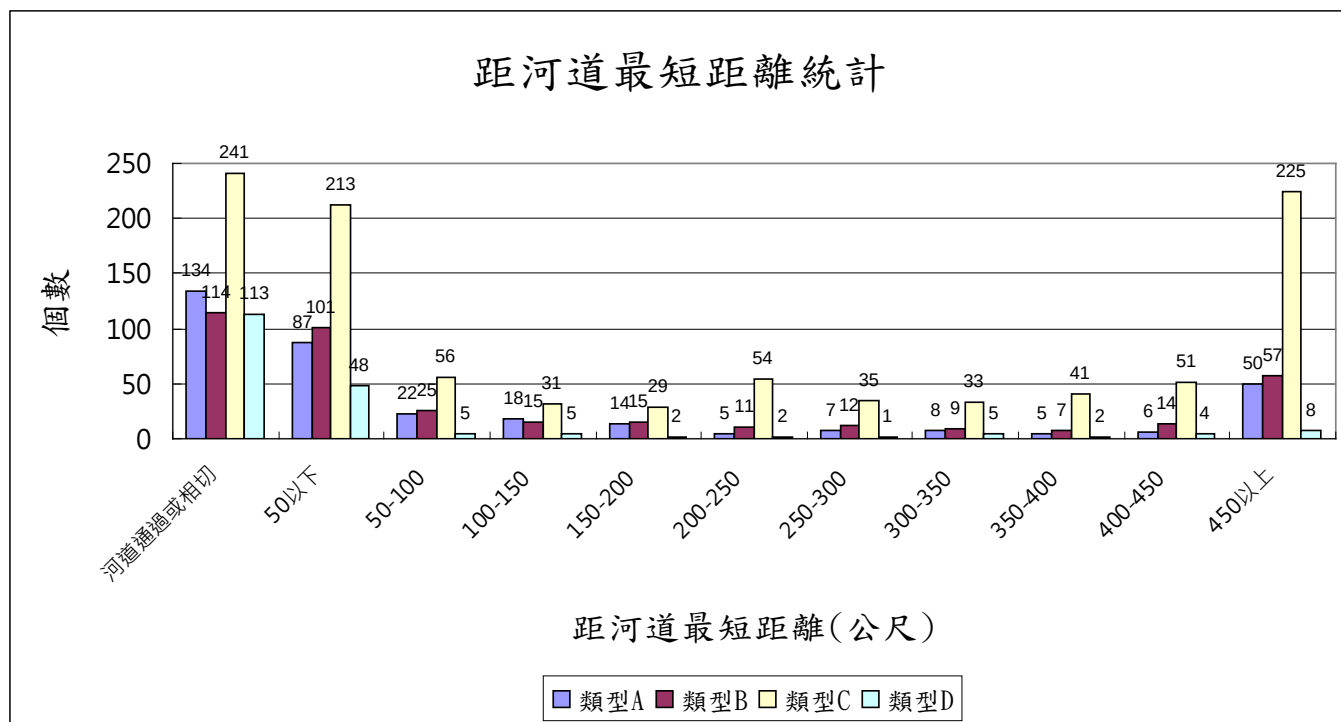


圖 3-4.10、深層崩塌距河道最短距離統計結果。

深層崩塌發生區位特性分析的結果顯示，在計畫區域範圍內大部分深層崩塌的主要岩性為砂頁岩互層或板岩；類型 A、B、D 的深層崩塌平均坡度多落在 30 到 45 度之間，類型 C 則集中在 20 到 40 度間；四種類型的深層崩塌在 500 到 2,000 公尺之間都有較高的數量分布；四種深層崩塌主要集中在有構造線通過或相切和最短距離 500 公尺以上兩個分級區間中；四種深層崩塌主要集中在有河道通過或相切、最短距離 50 公尺以下和最短距離 500 公尺以上三個分級區間中。

3-4.2、深層崩塌區位現場調查結果

影像及數值地形判釋所得之潛在深層崩塌(類型 C)依交通可及性、保全對象之多寡及重要性、潛在活動性等條件，在計畫範圍內共選定十處進行現地調查。

透過上述依據之篩選，選擇高雄六龜區(1)寶來地區之崩塌地編號高雄市-桃源區-D346，位於寶來溪右岸，與荖濃溪匯流口游約 3 公里(圖 3-4.11)；(2)荖濃地區之崩塌地編號高雄市-六龜區-D018，位於荖濃溪右岸巒仔埔與水冬瓜之間的無名溪，離溪口約 1.5 公里(圖 3-4.11)；(3)荖濃地區之崩塌地編號高雄市-六龜區-D021，位於荖濃溪右岸巒仔埔與水冬瓜之間的無名溪，離溪口約 800 公尺(圖 3-4.11)；(4)藤枝地區之崩塌地編號高雄市-六龜區-D020，位於藤枝林道二集團聚落往美輪山產業道路，距二集團聚落北方約 1.2 公里(圖 3-4.11)；(5)藤枝地區之崩塌地編號高雄市-六龜區-D015，位於美輪山，距二集團聚落北方約 2.6 公里(圖 3-4.11)；(6)高雄甲仙區甲仙地區附近之崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044 與高雄市-甲仙區-D047 (圖 3-4.12)；(7)高雄杉林區小份尾地區之崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 與(8)崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 (圖 3-4.13)；(9)高雄美濃區甲河上游地區之崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 (圖 3-4.14)；及(10)屏東山地門地區之崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 (圖 3-4.15)十處進行現地之調查。

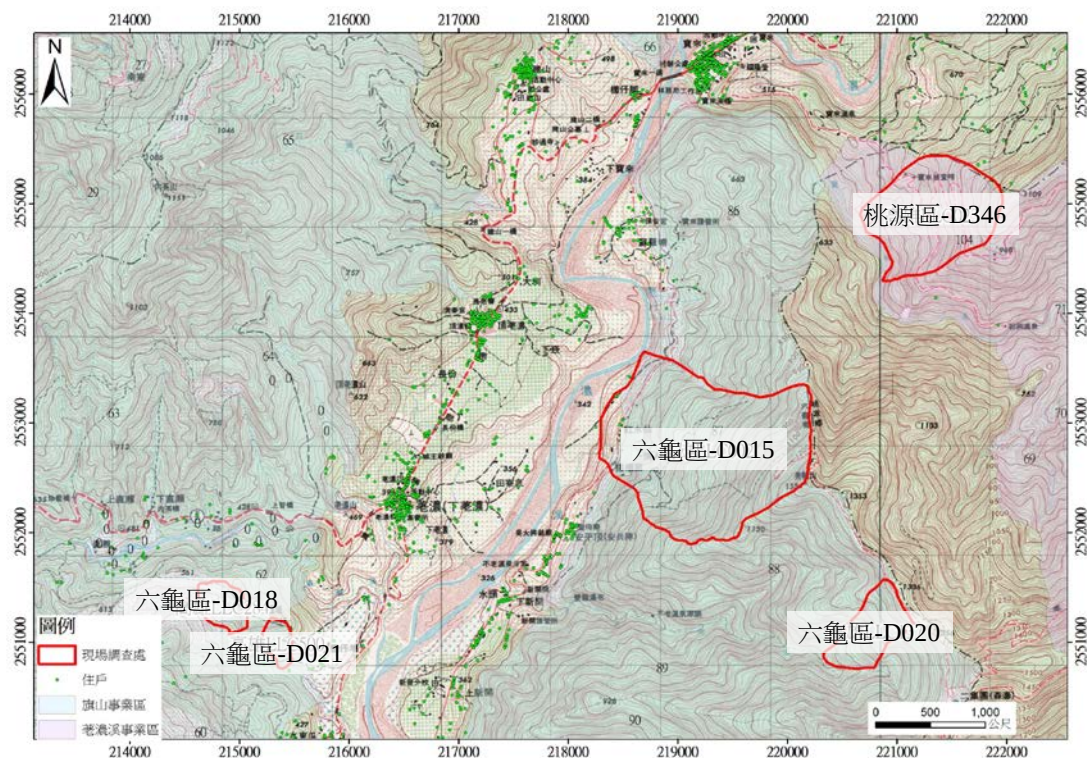


圖 3-4.11、高雄六龜區現場調查點位分布圖。

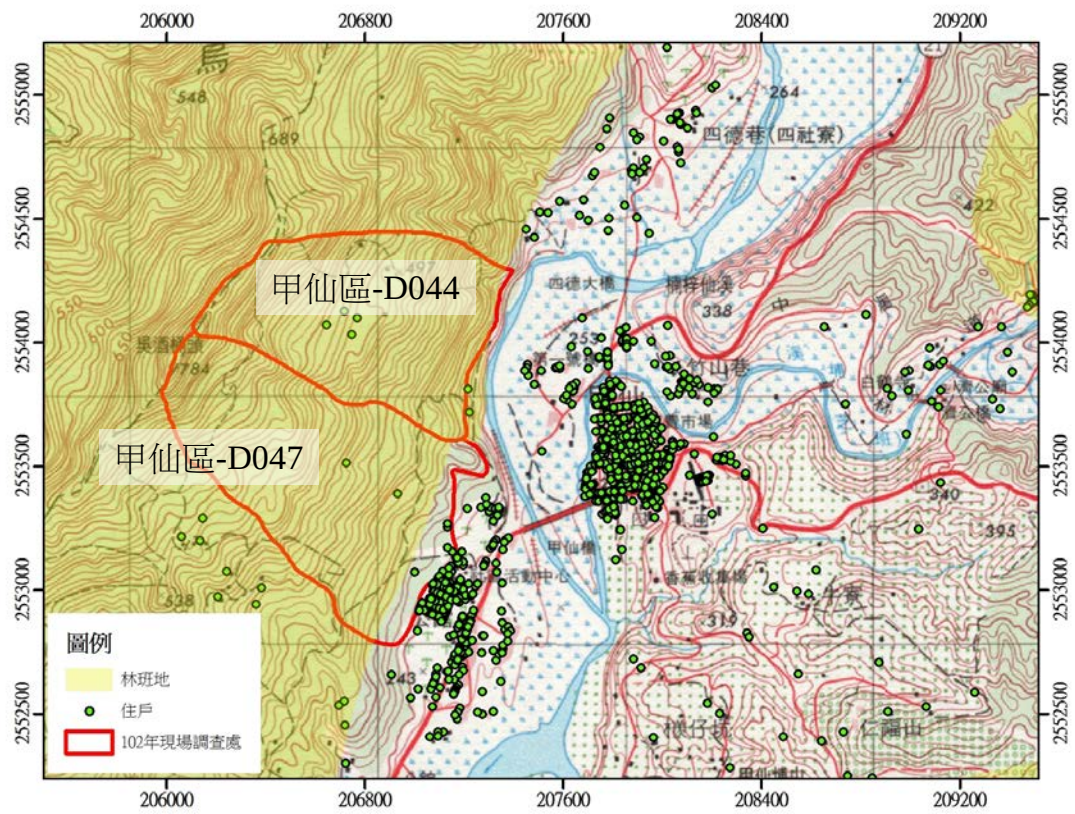


圖 3-4.12、甲仙地區現場調查位置分布圖。

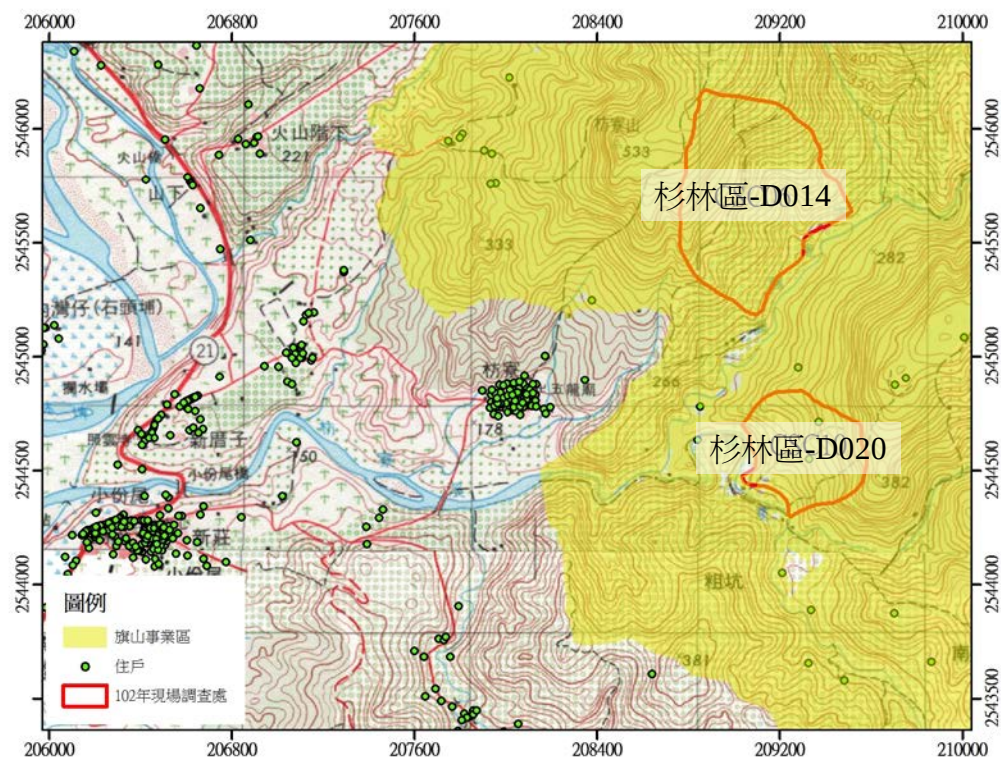


圖 3-4.13、杉林區小份尾地區現場調查位置分布圖。

表 3-4.3、潛在深層崩塌現場調查結果一覽表

項次	編號	影響聚落	初估保全戶數	崩塌地形特徵	地質環境	危險等級評分
1	高雄市-桃源區-D346	寶來聚落	24	崩塌範圍為一上下近等寬的五角形。坡面可分為兩大區，北側坡面中間呈現多處圓弧狀崩崖，崩崖分成兩部分，外側為主崩崖，內側為坡腹崩崖。南側坡面為上凹下緩近三角形凹狀坡面。	潮州層，主要岩性為硬頁岩	5
2	高雄市-六龜區-D018	巒仔埔聚落	1	崩塌範圍為一谷狀地形。主崩崖約 600 公尺，坡腹有在多處圓弧狀崩崖。但高精度數值地形中，西側主崩崖的遷急線並不顯著，推測崩塌活動性不高。	長枝坑層，主要岩性為砂岩及頁岩互層	1
3	高雄市-六龜區-D021	巒仔埔聚落	1	崩塌範圍為一上下等近等寬的五角形。坡面可分為兩大區，東側坡面中間呈現多處圓弧狀崩崖，崩崖分布大致有兩大圈，外側為主崩崖，內側為坡腹次崩崖。西側坡面為上凹下緩近三角形凹狀的坡面，主崩崖面的遷急線明顯。	長枝坑層，主要岩性為砂岩及頁岩互層	1
4	高雄市-六龜區-D020	不老溪河口聚落	41	坡頂已有裂隙發育，坡腹具數個圓弧形崩崖。	潮州層，主要岩性為硬頁岩	5
5	高雄市-六龜區-D015	紅水仙聚落	57	坡面內部有多處圓弧形崩崖，坡頂處發育雙重山脊和一系列小崩崖地形。	潮州層，主要岩性為硬頁岩	6
6	高雄市-甲仙區-D044	甲仙聚落	280	上部為順向坡岩盤，為陡峭山脊；中部較為平緩坡面，其中有一崩崖由砂岩體節理面形成，此岩體傾角近乎水平，表示過去頂部砂岩曾經滑動，停在此緩坡面上或岩體發育褶曲；下部最外側為最明顯崩崖，地形較陡。	糖恩山砂岩與鹽水坑頁岩	4

項次	編號	影響聚落	初估保全戶數	崩塌地形特徵	地質環境	危險等級評分
	高雄市-甲仙區-D047	甲仙聚落	280	上部為順向坡岩盤，地層層面位態與北段相近；下部為連續多階的平緩坡面，崖面具圓弧形，並發育多重山脊，崩塌特徵明顯。	糖恩山砂岩與鹽水坑頁岩	7
7	高雄市-杉林區-D014	小份尾聚落	222	崩塌整體範圍為一凹谷狀地形，且內部存在多處崩塌地形。崩塌東側區位內部崩塌地形特徵較為明顯且活動性高。	長枝坑層。此處岩性為厚層頁岩夾薄砂岩	4
8	高雄市-杉林區-D020	小份尾聚落	224	崩塌範圍為一上下等近等寬的五角形。坡面可分為南北兩區，北側坡面中間呈現多處圓弧狀崩崖，崩崖分布大致有兩大圈，外側為主崩崖，主崩崖線性明顯，內側為坡腹次崩崖。南側坡面為上凹下緩近三角形凹狀坡面。	長枝坑層。此處岩性為厚頁岩夾薄砂岩	4
9	高雄市-美濃區-D004	甲河聚落	11	崩塌範圍為一谷狀地形。主崩崖約 500 公尺，坡腹存在多處圓弧狀崩崖。崩塌下邊坡為一凹谷狀舊崩塌地形，上邊坡為一平緩坡面，冠部有多重山脊地形，由影像判釋結果認為此崩塌主要滑動體為上邊坡部分。	長枝坑層。此處岩性為厚頁岩夾砂岩	2
10	屏東縣-三地門區-D086	伊拉聚落	10	崩塌範圍近長方形。依坡面情形可分為上下區，上邊坡坡面較平整，下邊坡坡面起伏較大，似波浪狀，可能是因板岩受重力變形。	潮州層，主要岩性為硬頁岩	6

寶來地區

1、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346

崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 位於**荖濃溪事業區 104 號林班地**，寶來溪右岸，距離荖濃溪匯流口約 2.7 公里。崩塌中心坐標 TWD97 (221324, 2554900)，崩塌面積約為 96.6 公頃、平均坡度約為 31.1 度，潛在崩塌區位最高點標高 1,060 公尺，最低點標高 460 公尺，最大寬度 920 公尺。

(1) 地質條件調查

在地質方面，參考中央地質調查所高屏溪流域地質圖，主要出露地層為潮州層(圖 3-4.16)，主要岩性為硬頁岩，地層位態為(N16W, 56W)，地層之傾向與坡面傾向夾角約 10 度，形成近順向坡地形(圖 3-4.17)。本區坡趾為現生崩塌，由圖面顯示趾部崩塌崩高 70 公尺，趾部河道地區堆積厚度約 10 公尺(照片 3-4.1)。

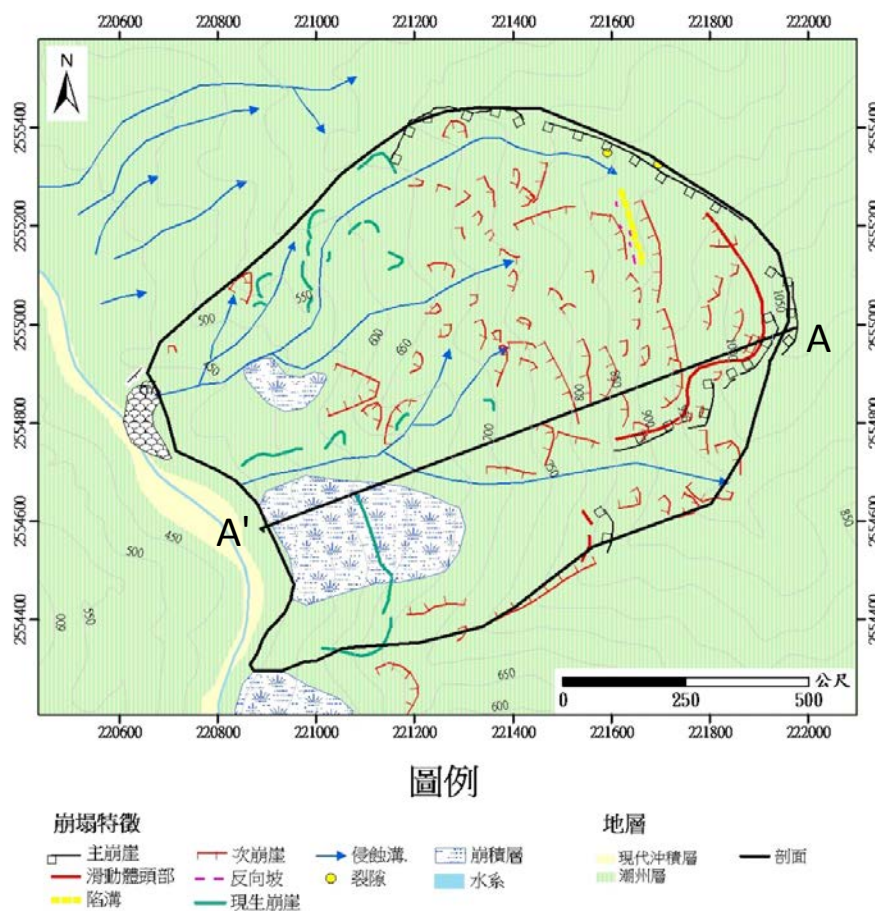


圖 3-4.16、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 地質圖(高屏溪流域地質圖，AA'為剖面位置)。

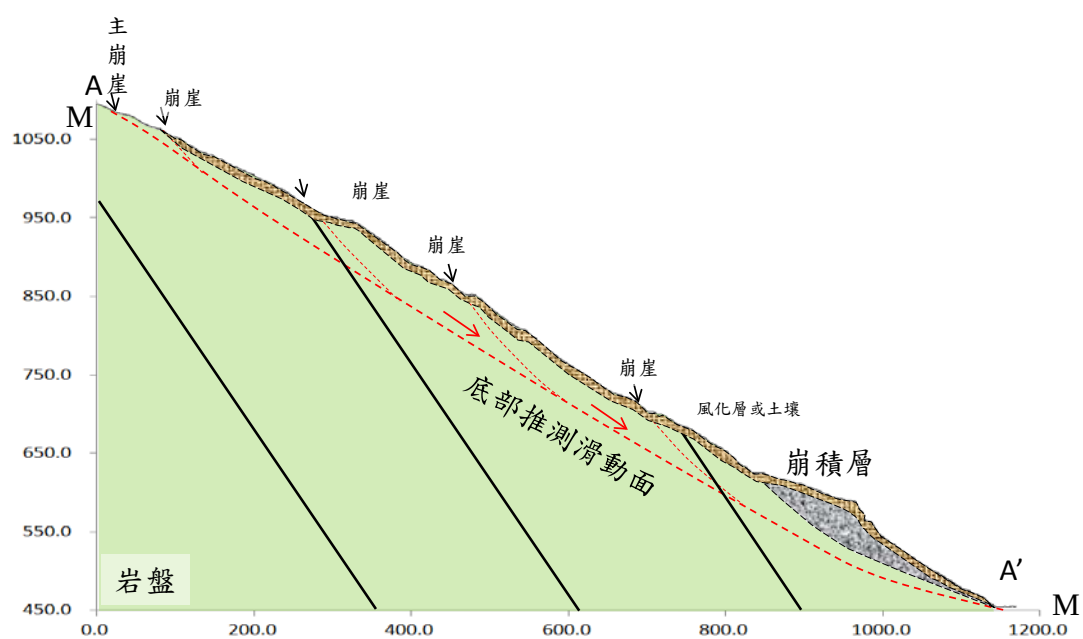


圖 3-4.17、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。



照片 3-4.1、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 趾部崩塌。崩積層厚度近 10 公尺。

(2) 地形特徵判釋與現場查核結果

在地形特徵方面，由高精度數值地形判釋結果，崩塌範圍為一上下近等寬的五角形。坡面可分為兩大區，北側坡面中間呈現多處圓弧狀崩崖，崩崖分成兩部分，外側為主崩崖，內側為坡腹崩崖(圖 3-4.18、圖 3-4.19、圖 3-4.20、圖 3-4.21)。南側坡面為上凹下緩近三角形凹狀坡面。

現場查核結果，崩崖調查方面，主崩崖高差約 18 公尺，並有 3 階連續崩崖地形，分別為調查點 13、14、15，每階崩崖崖高約 6 到 8 公尺，崩崖面可見高差約 60 到 80 公分 (照片 3-4.2、3-4.3、3-4.4、3-4.5)。調查點 16、20 為內圈次崩崖，調查點 20 崩崖崖高由圖面判釋結果顯示高差約 20 公尺(照片 3-4.6)；調查點 16 為一凹谷狀地形，底部為緩坡地(照片 3-4.7)。

坡面在主崩崖北側發育裂隙，調查點 7、8、17、19 為崩塌地北側崩崖上的裂隙。調查點 7 目前土地利用情況為果園，內部存在多條裂隙，裂隙長度約 5 到 10 公尺不等，寬度約 30 公分 (照片 3-4.8)。調查點 17 距調查點 7 約 20 公尺，發育一條高差 30 公分的裂隙，導致路面破裂毀壞 (照片 3-4.9)。調查點 8 為崩塌地最北側調查點，裂隙高差約 40 公分，裂隙方向約為西北-東南向，與邊界崩崖方向相近(照片 3-4.10)。坡頂調查點 12 為果園區，果園內部存在多階崩崖，高差約 30 公分 (照片 3-4.11)。調查點 19 因裂隙發育，導致路面有近 50 公分的落差 (照片 3-4.12)

坡面建物方面，調查點 1、5、6、9、11、19 為道路破壞。調查點 1 位於崩塌地內圈次崩崖邊界，由影像判釋結果顯示調查點 1 的上下邊坡皆有崩崖發育，因邊坡滑移導致路面有 20 公分的落差(照片 3-4.13)。調查點 5 位於崩塌南側坡面，由影像判釋結果顯示南側坡面為典型崩塌地形，配合現地電線桿已有傾斜的跡象(照片 3-4.14)顯示坡面有滑移現象。調查點 6 位於北側內圈崩崖內部，路面下方因有崩崖發育，導致道路滑移路面毀壞(照片 3-4.15)。調查點 9、11 位於崩塌北側坡頂附近，調查時坡面存在滑移陷落，導致路面毀損，產生約 60 公分的高差(照片 3-4.16、3-4.17)。

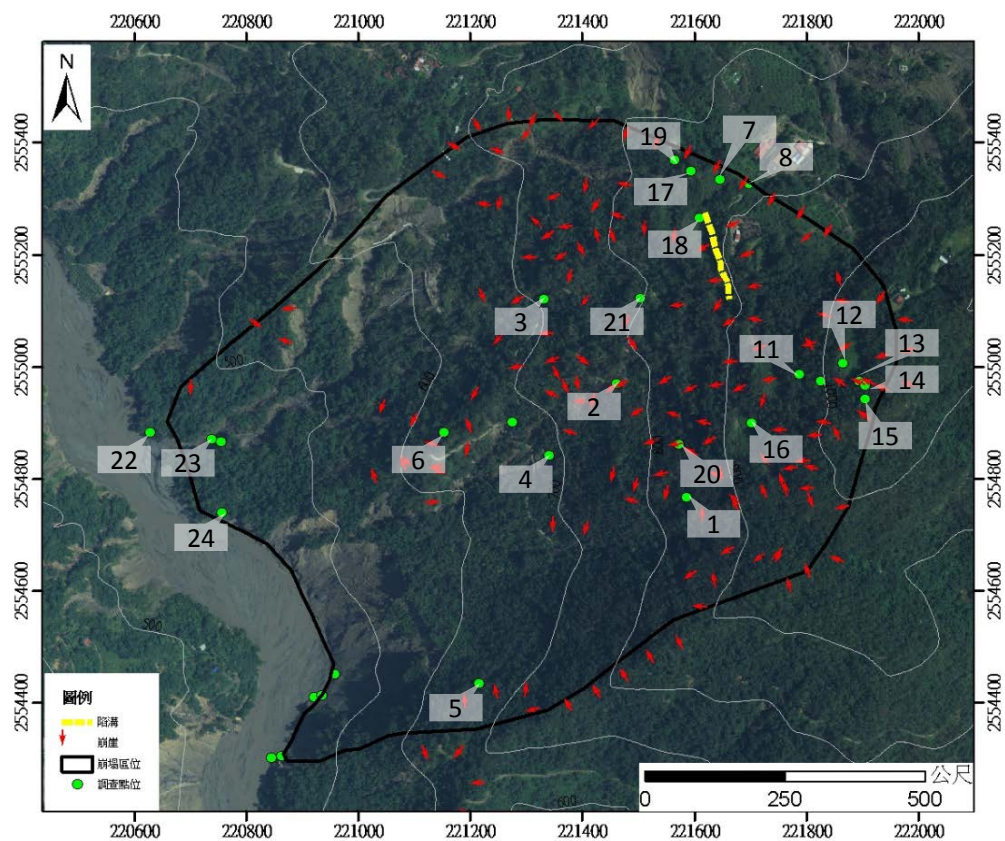


圖 3-4.18、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 航照和調查點位。

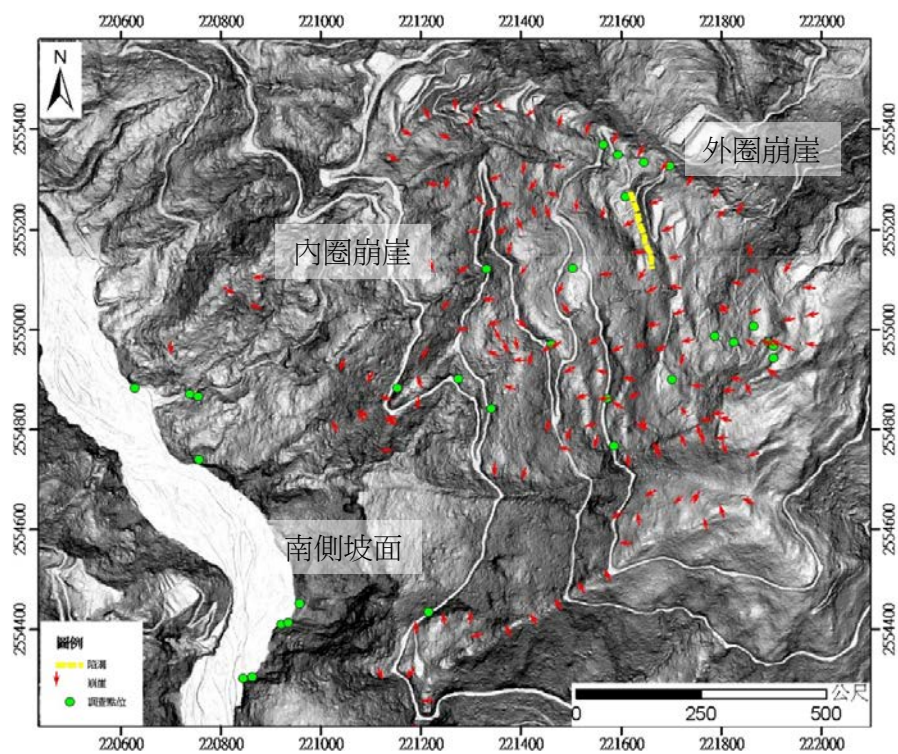


圖 3-4.19、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 高精度數值地形判釋結果圖。

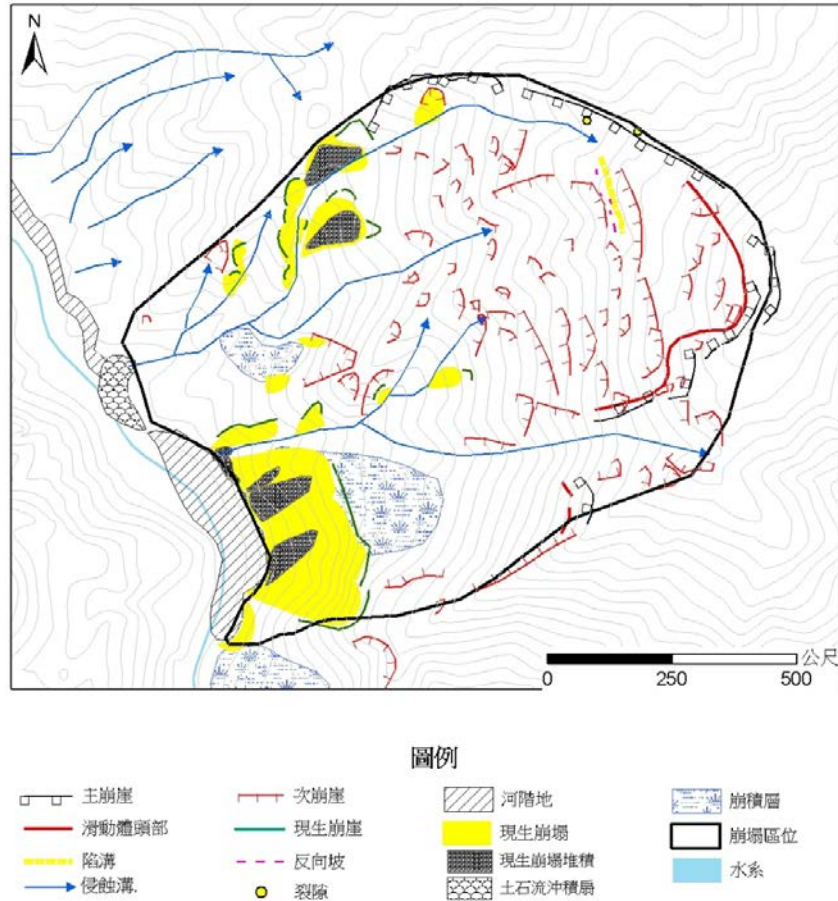


圖 3-4.20、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 崩塌特徵判釋圖。

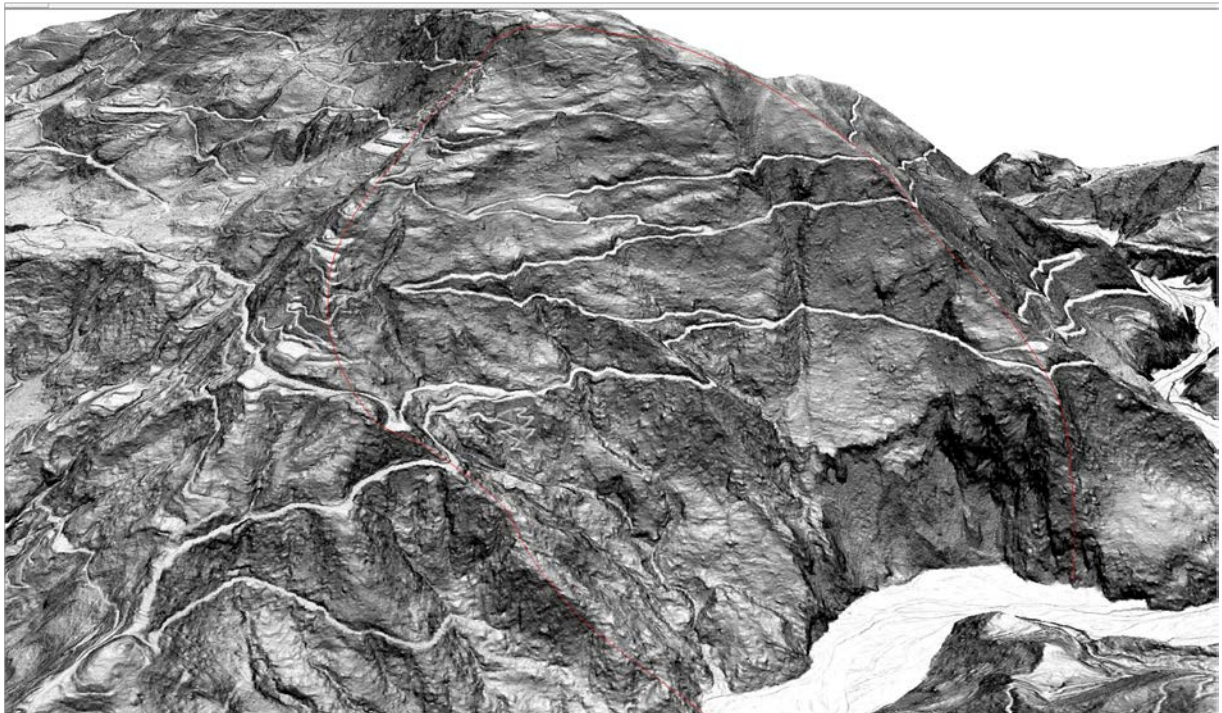


圖 3-4.21、崩塌編高雄市-桃源區-D346 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。



照片 3-4.2、調查點 15 主崩崖內最高階崩崖，高差 8 公尺。



照片 3-4.3、調查點 14 主崩崖內第二階崩崖，高差 4 公尺。



照片 3-4.4、調查點 14 內部近期發育之小型崩崖，崩崖高差 60 公分。



照片 3-4.5、調查點 13 主崩崖內第三階崩崖，高差 6 公尺。



照片 3-4.6、調查點 20 次崩崖高差約 5 公尺。



照片 3-4.7、調查點 16 為一凹谷狀地貌，底部為緩坡地。



照片 3-4.8、調查點 7 內部存在多條裂隙，寬度 30 公分不等。



照片 3-4.9、調查點 18 路面破裂毀壞，裂隙高差 30 公分。



照片 3-4.10、調查點 8 為主崩塌附近的裂隙，裂隙高差約 40 公分。



照片 3-4.11、調查點 12 為主崩崖底部，內部存在多處小高差的階地。



照片 3-4.12、調查點 19 因冠部裂隙拉張導致路面有近 50 公分的落差。



照片 3-4.13、調查點 1 因邊坡滑移導致路面有 20 公分的落差。



照片 3-4.14、調查點 5 位於崩塌南側坡面，現地電線桿已有傾斜的跡象。



照片 3-4.15、調查點 6 下邊坡滑移，路面毀壞。



照片 3-4.16、調查點 9，目前坡面部分滑移，導致路面毀損。



照片 3-4.17、調查點 11 位於坡面部分滑移，導致路面毀損，產生 60 公分不等的高差。

(3) 聚落安全與可能致災成因

寶來聚落主要分布在寶來溪河口右岸台地(照片 3-4.18)，聚落戶數 349 戶。由圖面判釋結果因聚落位於河道攻擊坡，若河道發生堰塞湖，對寶來聚落鄰近寶來溪，可能受影響戶數有 24 戶，並衝擊寶來溪橋(已完工)，影響荖濃溪左岸聯外道路(圖 3-4.22)。



照片 3-4.18、寶來溪匯流口。聚落與河床高差約 8 公尺。



圖 3-4.22、寶來聚落可能受崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。

荖濃地區

1、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018

崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 位於旗山事業區 61 號林班地，荖濃地區巒仔埔南側 500 公尺野溪左岸，距離荖濃溪匯流口上游約 1.5 公里。崩塌中心坐標 TWD97 (214852, 2551330)，崩塌面積約為 16.2 公頃、平均坡度約為 23.3 度，潛在崩塌區位最高點 562 公尺，最低點標高 420 公尺，最大寬度 570 公尺。

(1) 地質條件調查

在地質方面，參考中央地質調查所高屏溪流域地質圖，主要出露地層為長枝坑層(圖 3-4.23)，主要岩性為砂岩及頁岩互層，地層位態為(N30E, 50W)，地層之傾向與坡面傾向夾角約 90 度，形成近直交坡地形(圖 3-4.24)。本區植生茂密，多數有傾倒現象。

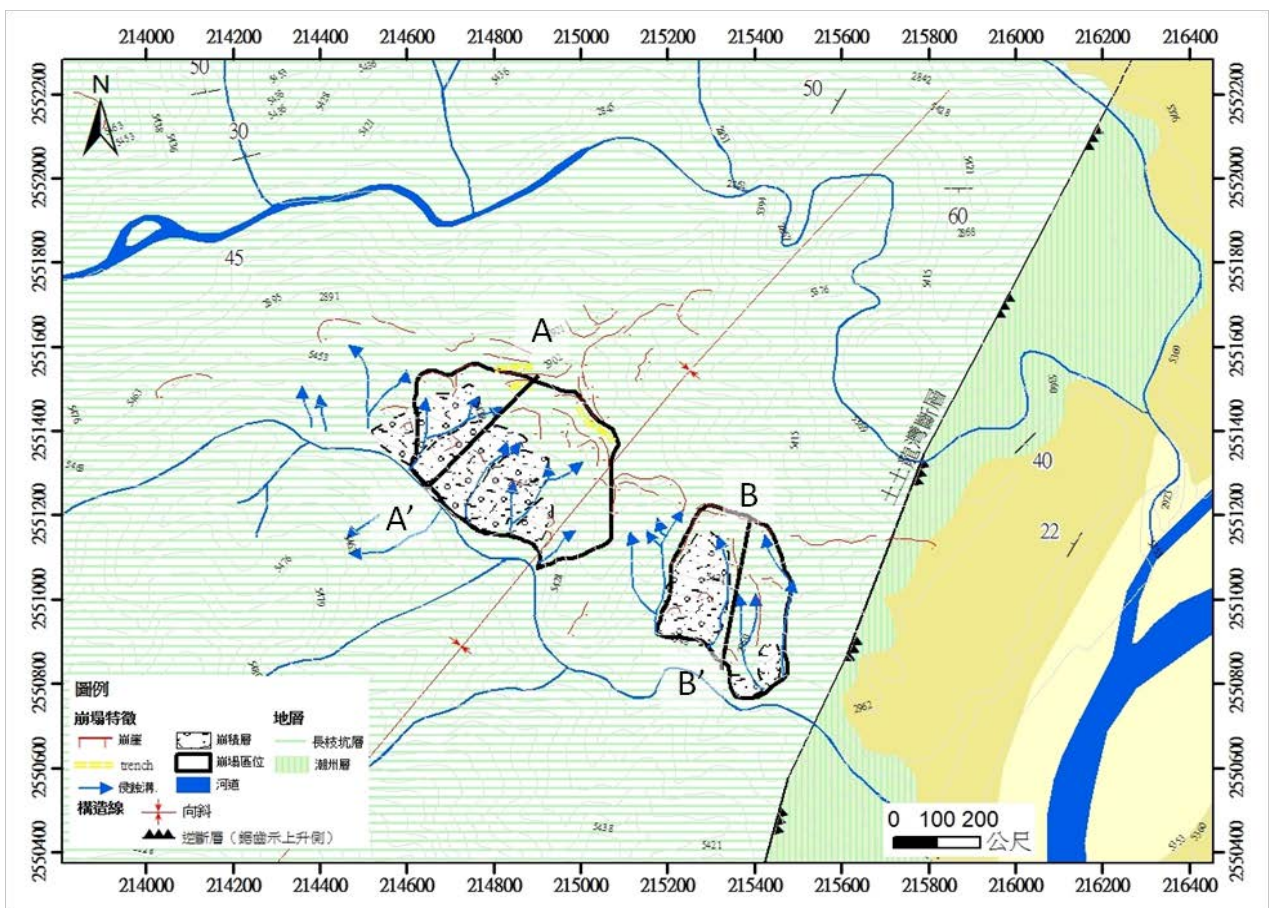


圖 3-4.23、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 地質圖(高屏溪流域地質圖，AA'為高雄市-六龜區-D018 剖面位置)。

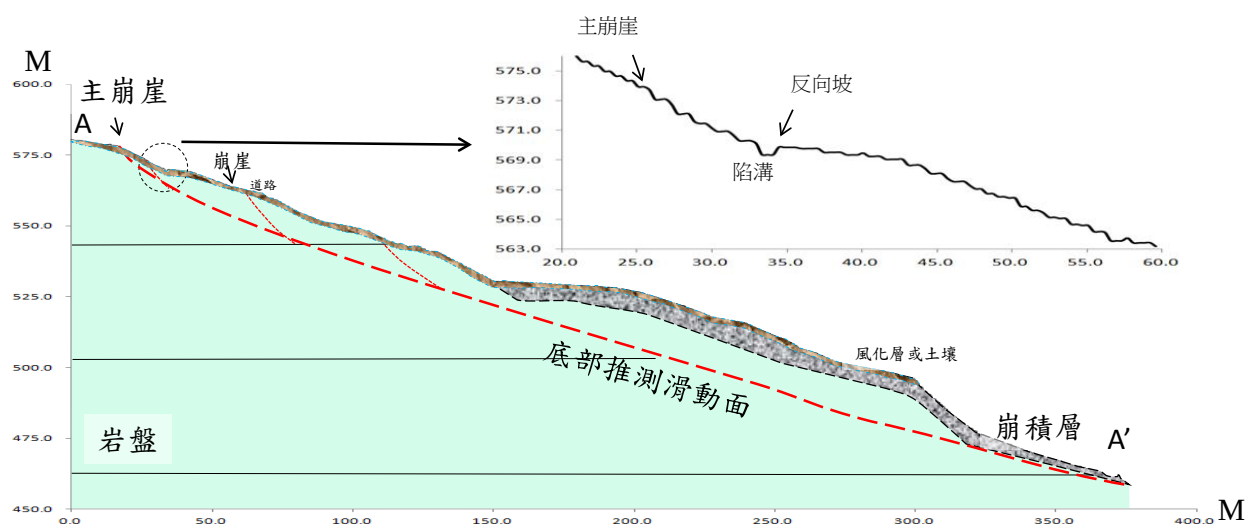


圖 3-4.24、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。

(2) 地形特徵判釋與現場查核結果

在地形特徵方面，由高精度數值地形判釋結果，崩塌範圍為一谷狀地形，(圖 3-4.25、圖 3-4.26、圖 3-4.27、圖 3-4.28)。主崩崖約 600 公尺，坡腹有在多處圓弧狀崩崖。但高精度數值地形中，西側主崩崖的遷急線並不顯著，推測崩塌活動性不高。

現場查核方面，調查點 G4-1 為冠部反向坡(照片 3-4.19、3-4.20)，反向坡高差約 1 公尺。坡腹存在多處小崩崖，調查點 G4-4 為次崩崖，崩崖高差約 30 公分不等(照片 3-4.21)。調查點 G4-9 為西側主崩崖，內部小崩崖高差約 30 公分(照片 3-4.22)。調查點 G4-10 為東側主崩崖，內部存在一高差 4 公尺崩崖 (照片 3-4.23)。

建物毀壞方面，調查點 G4-6 為主崩崖附近的建物，建物梁柱已有破壞，裂隙寬度約 2 公分(照片 3-4.24)。調查點 G4-11 位於冠部東側邊界道路，裂隙有平行與垂直道路兩組方向 (照片 3-4.25)

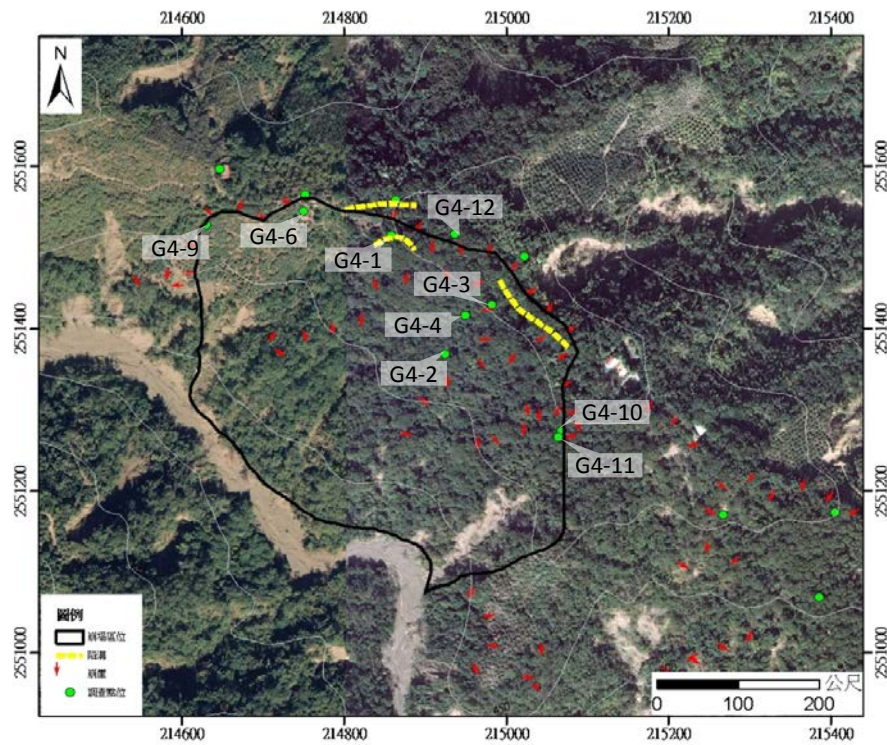


圖 3-4.25、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 航照和調查點位。

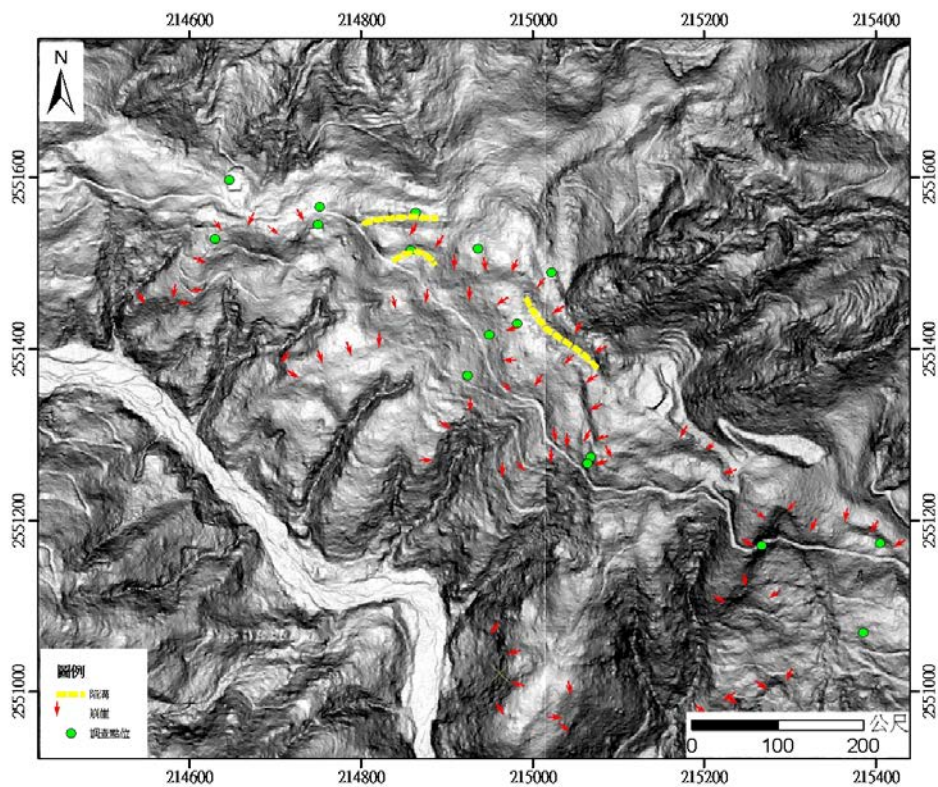


圖 3-4.26、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 高精度數值地形判釋結果圖。

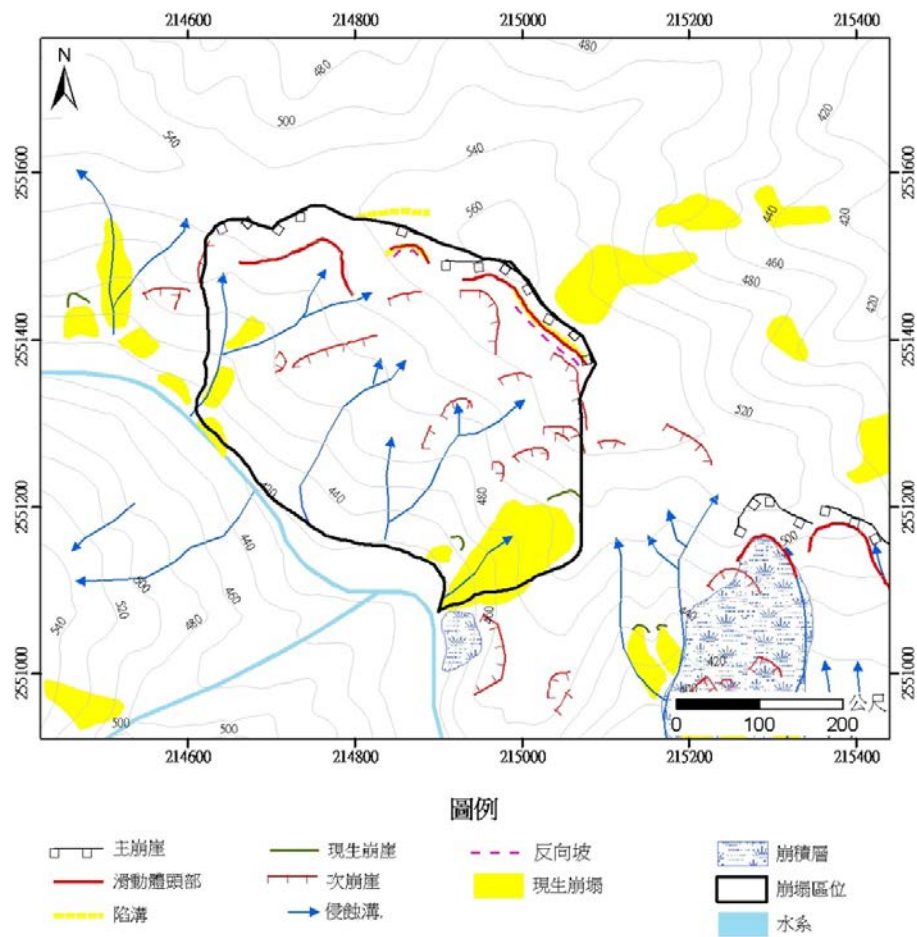


圖 3-4.27、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 崩塌特徵判釋圖。

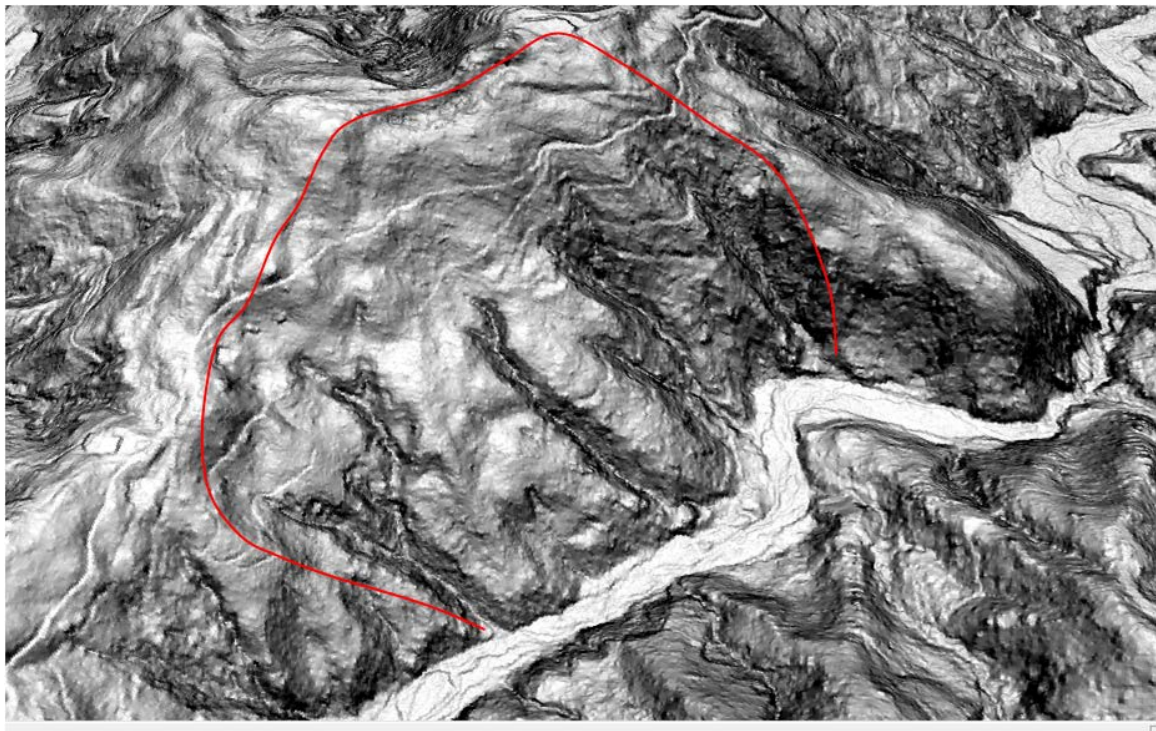


圖 3-4.28、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。



照片 3-4.19、調查點 G4-1 冠部反向坡地形。



照片 3-4.20、調查點 G4-1 冠部反向坡地形內部近照。



照片 3-4.21、調查點 G4-4 坡腹次崩崖，高差約 30 公分。



照片 3-4.22、調查點 G4-9 西側主崩崖，高差約 30 公分。



照片 3-4.23、調查點 G4-10 東側主崩崖。



照片 3-4.24、調查點 G4-6 建物已開始破壞，梁柱破壞寬度約 2 公分。



照片 3-4.25、調查點 G4-11 崩塌邊界路面毀壞。

(3) 聚落安全與可能致災成因

巒仔埔聚落主要分布在荖濃地區巒仔埔聚落，巒仔埔聚落主要分布在荖濃溪右岸台地，與河床高差約 30 公尺。致災情形可能情形有二。一是崩塌材料堆積在河道，形成堰塞湖；二是形成土石流。不論哪一種情形都會影響下游崩塌地編號高雄市-六龜區-D021。可能受影響戶數為鄰近河道與坡頂住戶，共 4 戶。現場調查結果，河道 3 戶已遷離(聯外道路毀損未修)，住戶為高雄市六龜區荖濃村水冬瓜 63 之 1 號(圖 3-4.29)。

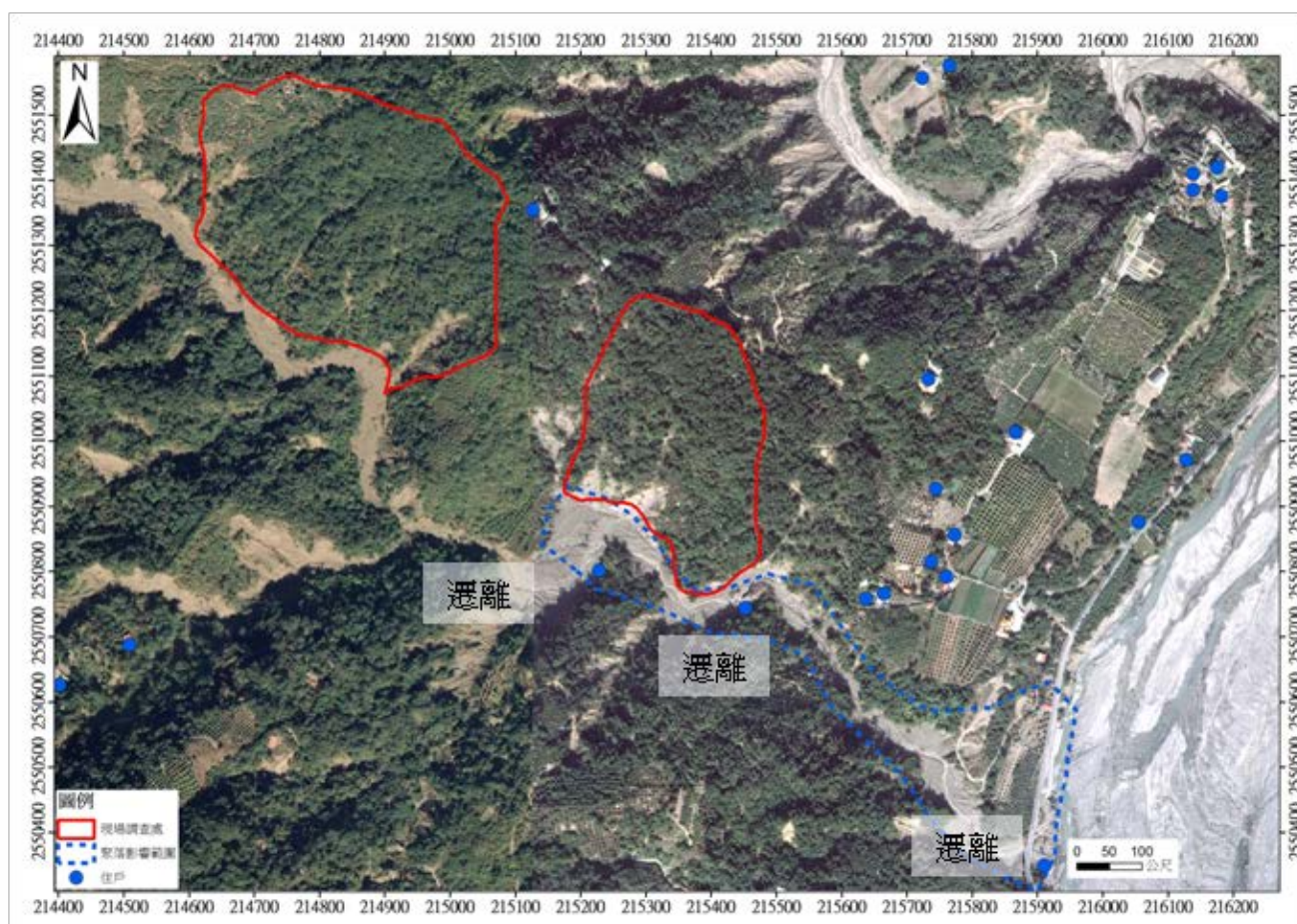


圖 3-4.29、巒仔埔聚落可能受崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。

2、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021

崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 位於旗山事業區 61 號林班地，荖濃地區巒仔埔南側 500 公尺野溪左岸，距離荖濃溪匯流口上游約 800 公尺。崩塌中心坐標 TWD97 (215347, 2551000)，崩塌面積約為 9.3 公頃、平均坡度約為 24.1 度，潛在崩塌區位最高點 520 公尺，最低點標高 360 公尺，最大寬度 290 公尺。

(1) 地質條件調查

在地質方面，參考中央地質調查所高屏溪流域地質圖，主要出露地層為長枝坑層(圖 3-4.30)，主要岩性為砂頁互層，地層位態為(N90E，60S)，地層之傾向與坡面傾向夾角約 0 度，形成近順向坡地形(圖 3-4.31)。本區植生茂密，多數有傾倒現象。

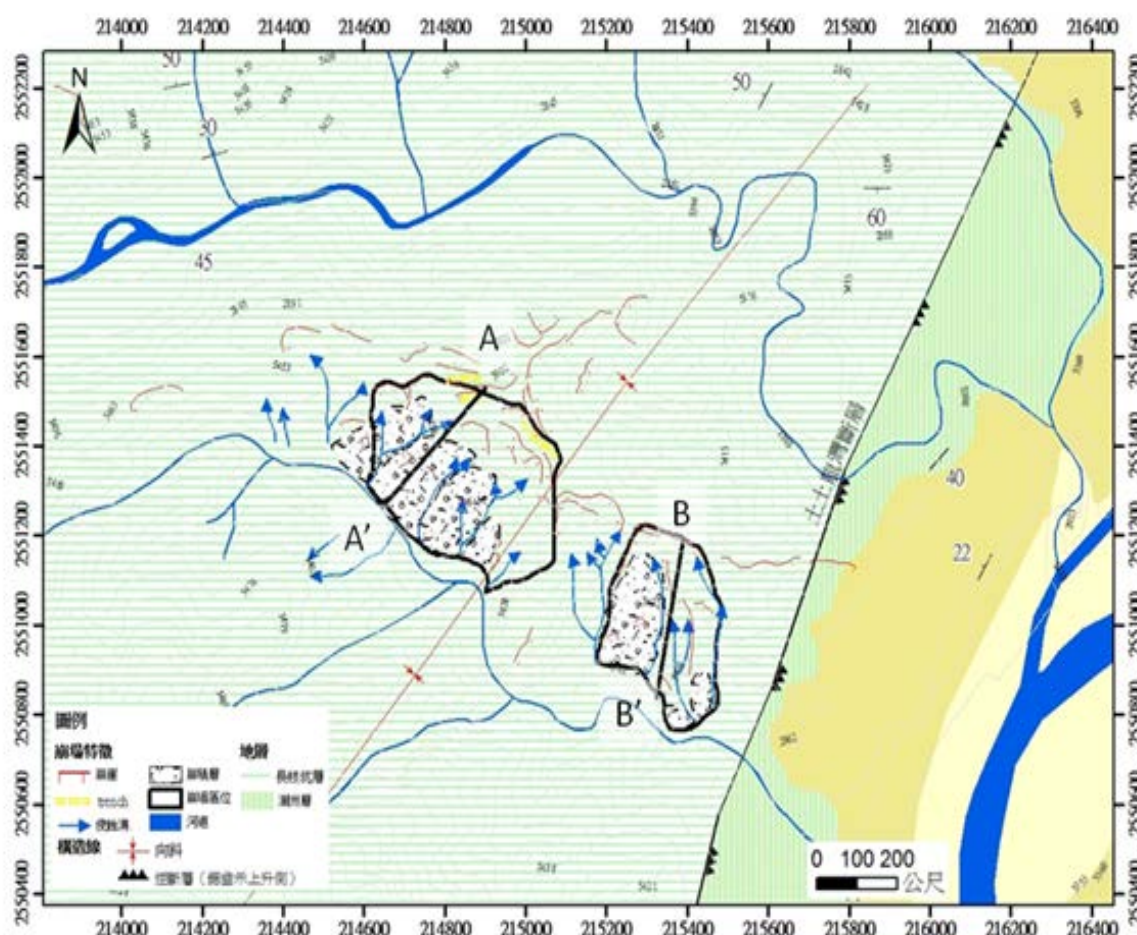


圖 3-4.30、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 地質圖(高屏溪流域地質圖，BB'為高雄市-六龜區-D021 剖面位置)。

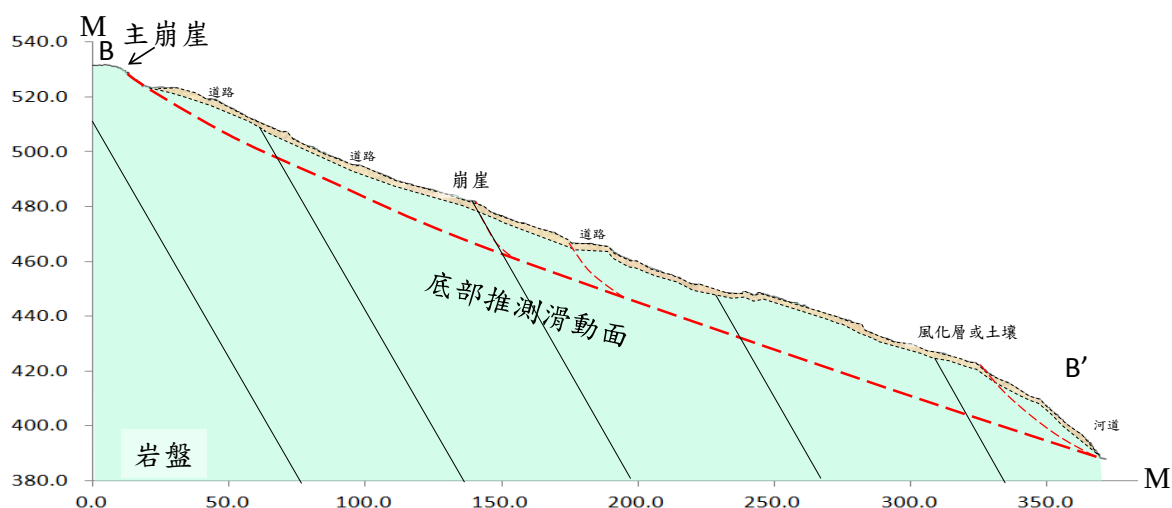


圖 3-4.31、崩塌地編號高雄高雄市-六龜區-D021BB'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。

(2) 地形特徵判釋與現場查核結果

在地形特徵方面，由高精度數值地形判釋結果，崩塌範圍為一上下等近等寬的五角形。坡面可分為兩大區，東側坡面中間呈現多處圓弧狀崩崖，崩崖分布大致有兩大圈，外側為主崩崖，內側為坡腹次崩崖(圖 3-4.32、圖 3-4.33、圖 3-4.34、圖 3-4.35)。西側坡面為上凹下緩近三角形凹狀的坡面，主崩崖面的遷急線明顯。

現場查核方面，調查點 G5-1 為西側主崩崖，航照影像植生茂密，現地情況為裸露地，顯示活動性高 (照片 3-4.26)。調查點 G5-2 為東側冠部崩崖，崩崖有岩盤出露(照片 3-4.27)。調查點 G5-3、5 為位於坡腹之崩崖。調查點 G5-3 崩崖高差 2 公尺(照片 3-4.28)，調查點 G5-3 次崩崖高差 1 公尺(照片 3-4.29)，兩處崩塌有現生崩塌發育，顯示崩崖活動性高。調查點 G5-4 發育一裂隙，裂隙高差 30 公分，寬度 40 公分(照片 3-4.30)。

建物毀壞方面，調查點 G5-4 位於崩塌地東側邊界，道路裂隙有平行與垂直道路兩組方向 (照片 3-4.31)。

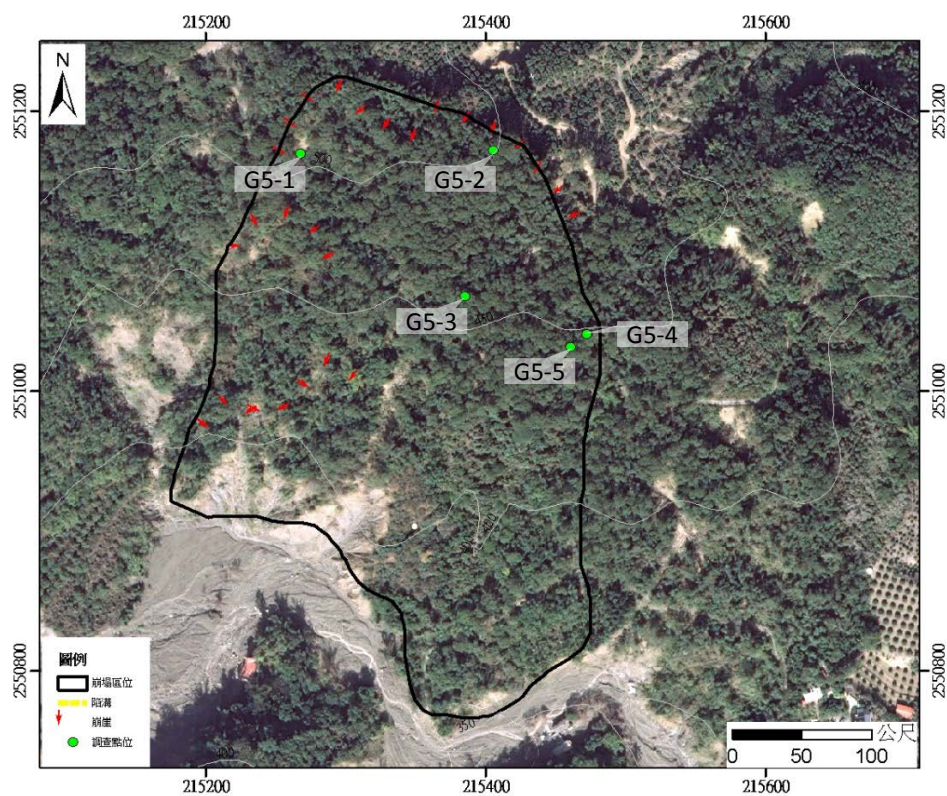


圖 3-4.32、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 航照和調查點位。

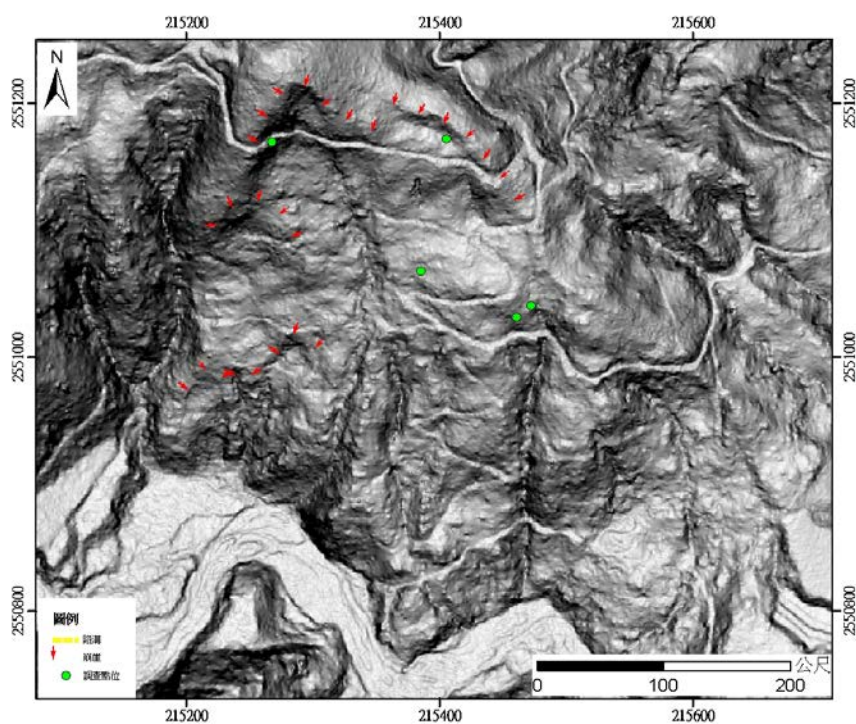


圖 3-4.33、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 高精度數值地形判釋結果圖。

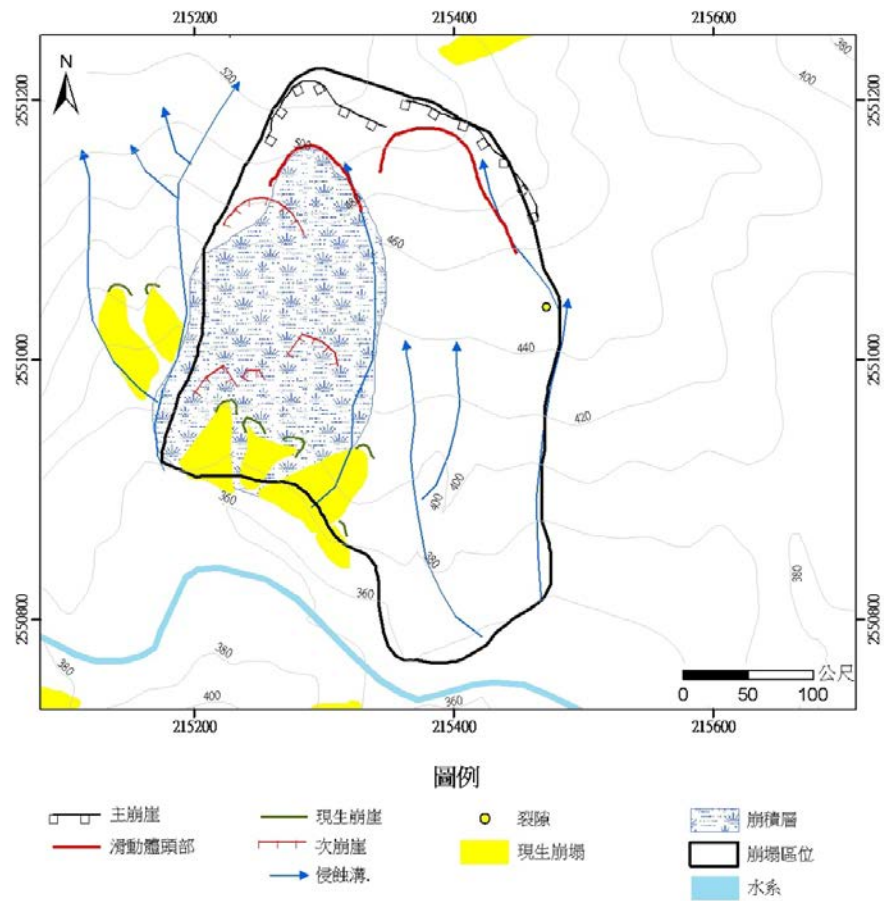


圖 3-4.34、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 崩塌特徵判釋圖。

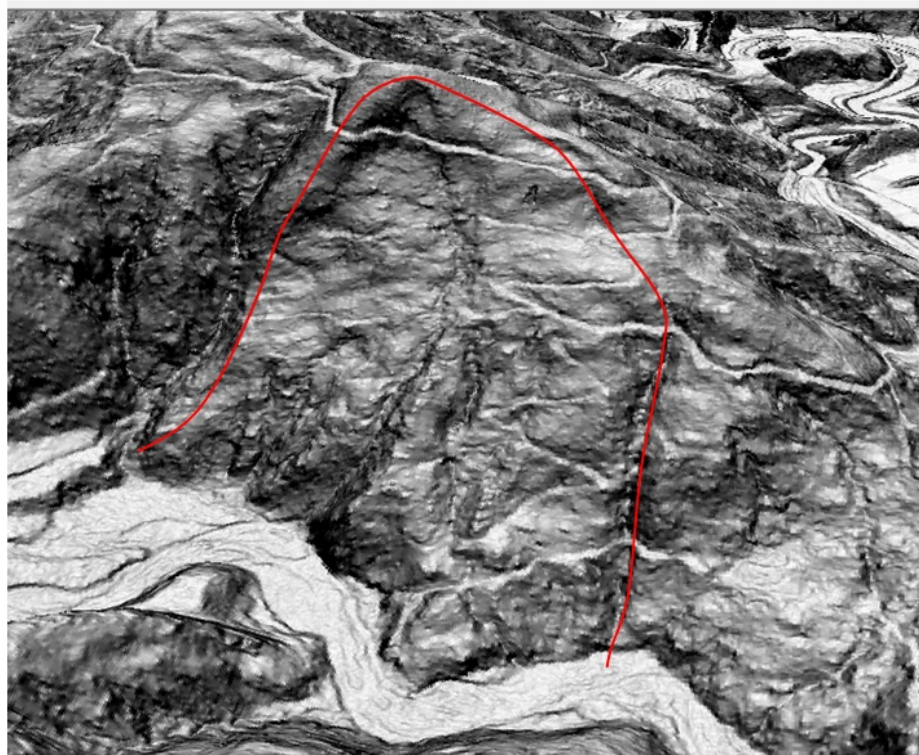


圖 3-4.35、崩塌編高雄市-六龜區-D021 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。



照片 3-4.26、調查點 G5-1 西側主崩崖。



照片 3-4.27、調查點 G5-2 東側主崩崖。



照片 3-4.28、調查點 G5-3 坡腹次崩崖。



照片 3-4.29、調查點 G5-5 坡腹次崩崖。



照片 3-4.30、調查點 G5-4 坡腹次崩崖。



照片 3-4.31、調查點 G5-4 為邊界，道路毀壞。

(3) 聚落安全與可能致災成因

巒仔埔聚落主要分布在荖濃地區巒仔埔聚落，巒仔埔聚落主要分布在荖濃溪右岸台地，與河床高差約 30 公尺。致災情形與高雄市-六龜區-D018 相似，一是崩塌材料堆積在河道，形成堰塞湖；二是形成土石流。可能受影響戶數為鄰近河道與坡頂住戶，共 4 戶。現場調查結果，河道 3 戶已遷離(聯外道路毀損未修)，住戶為高雄市六龜區荖濃村水冬瓜 63 之 1 號(圖 3-4.36)。

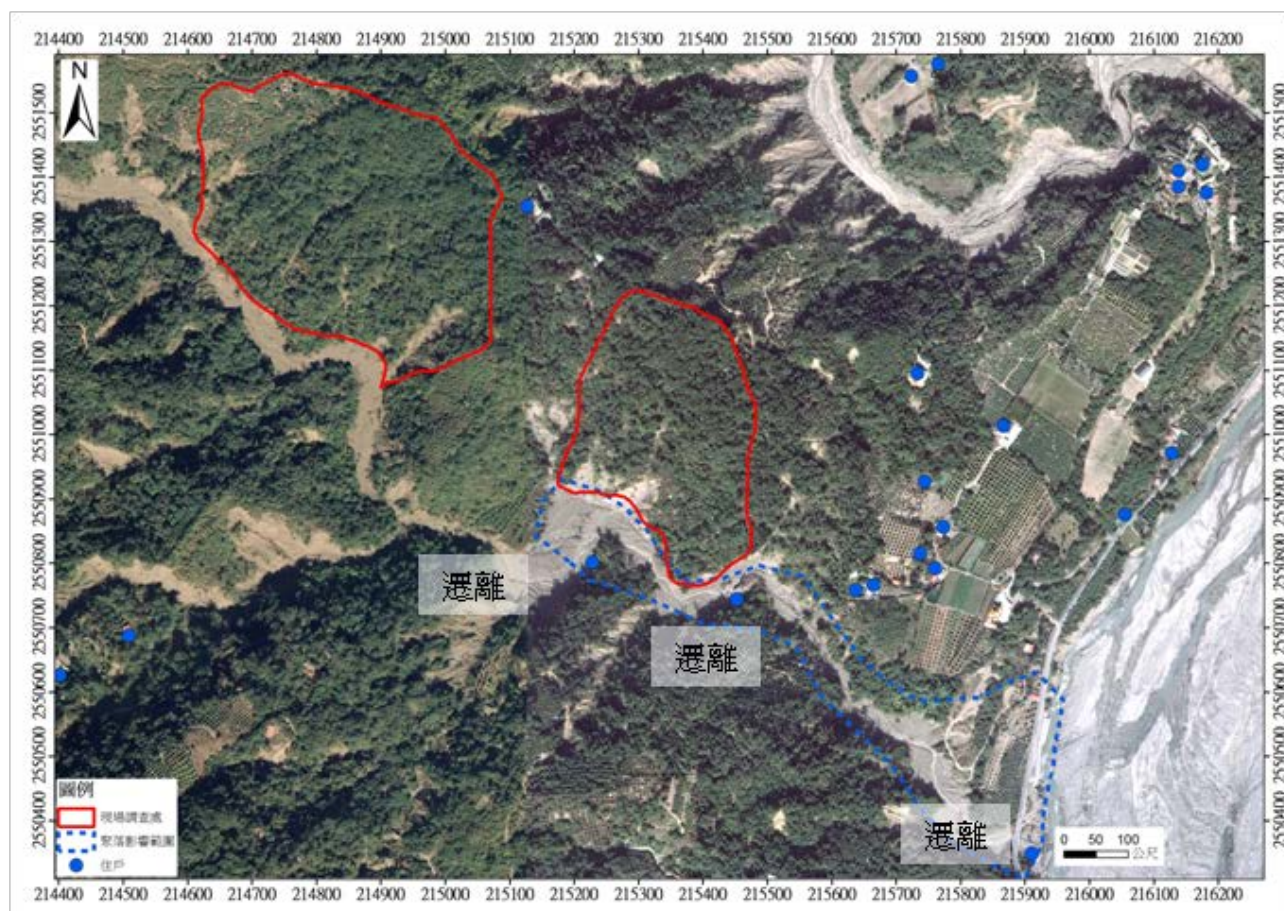


圖 3-4.36、巒仔埔聚落可能受崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。

藤枝地區

1、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020

崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 位於旗山事業區 88 號林班地，藤枝林道二集團聚落北側約 1.2 公里。崩塌中心坐標 TWD97 (220758, 2551110)，崩塌面積約為 33.6 公頃、平均坡度約為 29.7 度，潛在崩塌區位最高點 1,336 公尺，最低點標高 900 公尺，最大寬度 480 公尺。

(1) 地質條件調查

在地質方面，參考地質調查所高屏溪流域地質圖，主要出露地層為潮州層(圖 3-4.37)，主要岩性為硬頁岩，地層位態為(N20W, 45W)，地層之傾向與坡面傾向夾角約 10 度，形成近順向坡地形(圖 3-4.38)。範圍 1 公里內無構造線通過。地層位態為(N20W, 45W)，坡面方向朝西南，坡面與地層關係近順向坡。

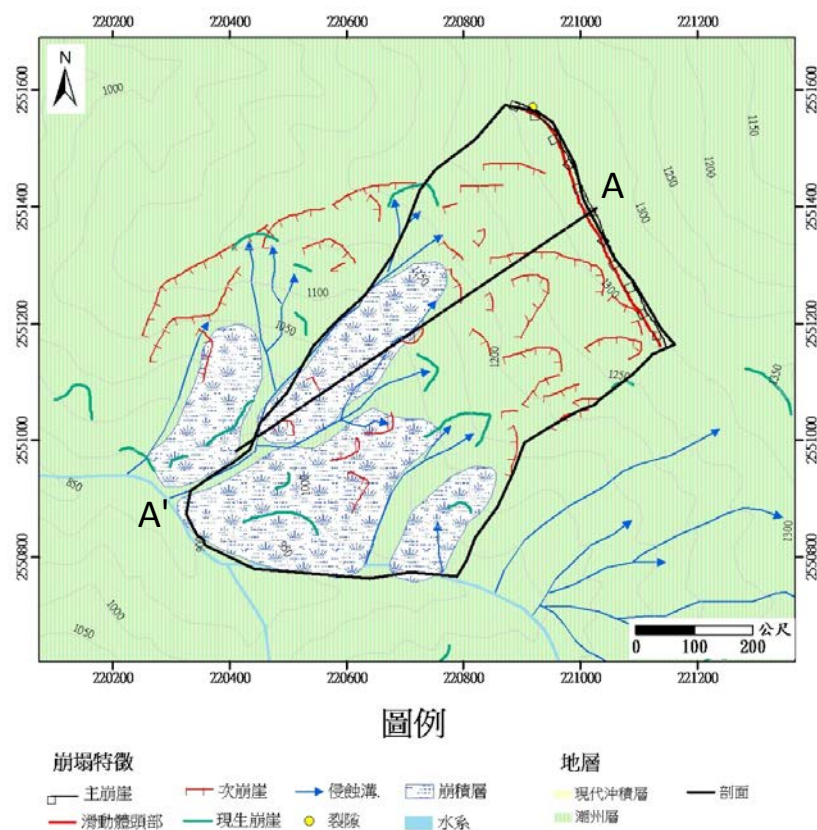


圖 3-4.37、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 地質圖(高屏溪流域地質圖，AA'為高雄
高雄市-六龜區-D020 剖面位置)。

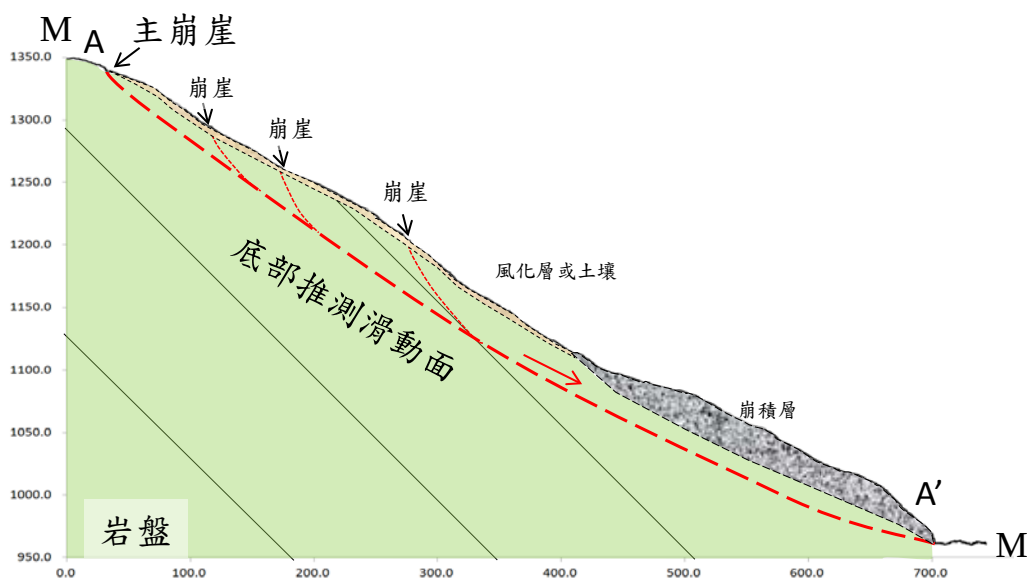


圖 3-4.38、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。

(2) 地形特徵判釋與現場查核結果

由高精度數值地形判釋結果顯示坡頂已有裂隙發育，坡腹具數個圓弧形崩崖(圖 3-4.39、圖 3-4.40、圖 3-4.41、圖 3-4.42)。

現場查核方面，從高精度數值地形顯示崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 坡頂發育南北兩處主要的冠部裂隙。目前坡面上的土地利用為茶園，坡頂冠部崩崖地形不易辨別，故人工建物(道路、房屋)的拉張破壞現象是冠部裂隙(或冠部崩崖)之表徵。坡頂多處調查點可發現建物、道路拉張毀損。南側冠部崩崖有調查點 G7-1、G7-2。調查點 G7-1 位於坡頂中間的房子，房子地面到處可見地面裂隙，裂隙最大高差可達 20 公分以上(照片 3-4.32、3-4.33)。調查點 G7-2 為坡頂水溝，水溝有些微彎曲，水溝側邊與地板水泥有約 5 公分空隙，後方路面呈波浪狀，顯示坡面具不同滑移量導致坡面路面呈現波浪狀(照片 3-4.34)。北側主崩崖有調查點 G7-3、G7-4、G7-5、G7-6。調查點 G7-3 為坡頂路面，路面發生拉張破壞的現象，張裂寬度 20 到 30 公分(照片 3-4.35)。調查點 G7-4 為北側坡頂邊界崩崖，在此處發育高差 5 公分，寬度 3 到 5 公分的冠部裂隙(照片 3-4.36)。調查點 G7-5 位於北側主崩崖冠部，建物已有 5 公分寬的拉張破壞現象(照片 3-4.37)。調查點 G7-6 位於北側邊界，因崩崖發育導致路面因拉張破壞，產生高角度截切路面的破壞(照片 3-4.38)。

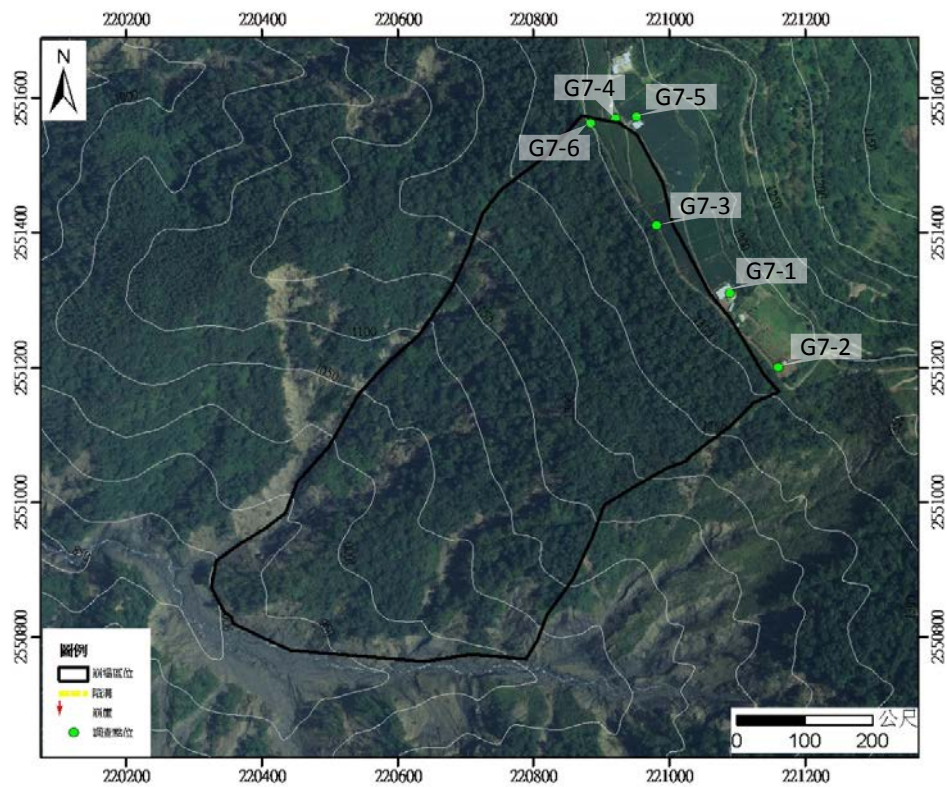


圖 3-4.39、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 航照和調查點位。

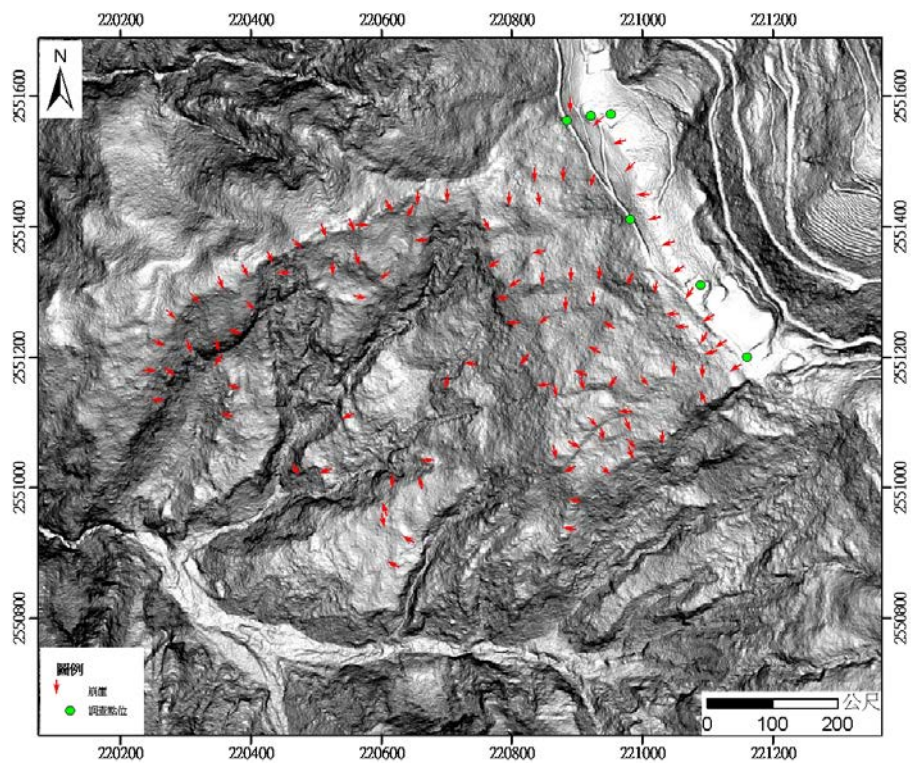


圖 3-4.40、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 高精度數值地形判釋圖。

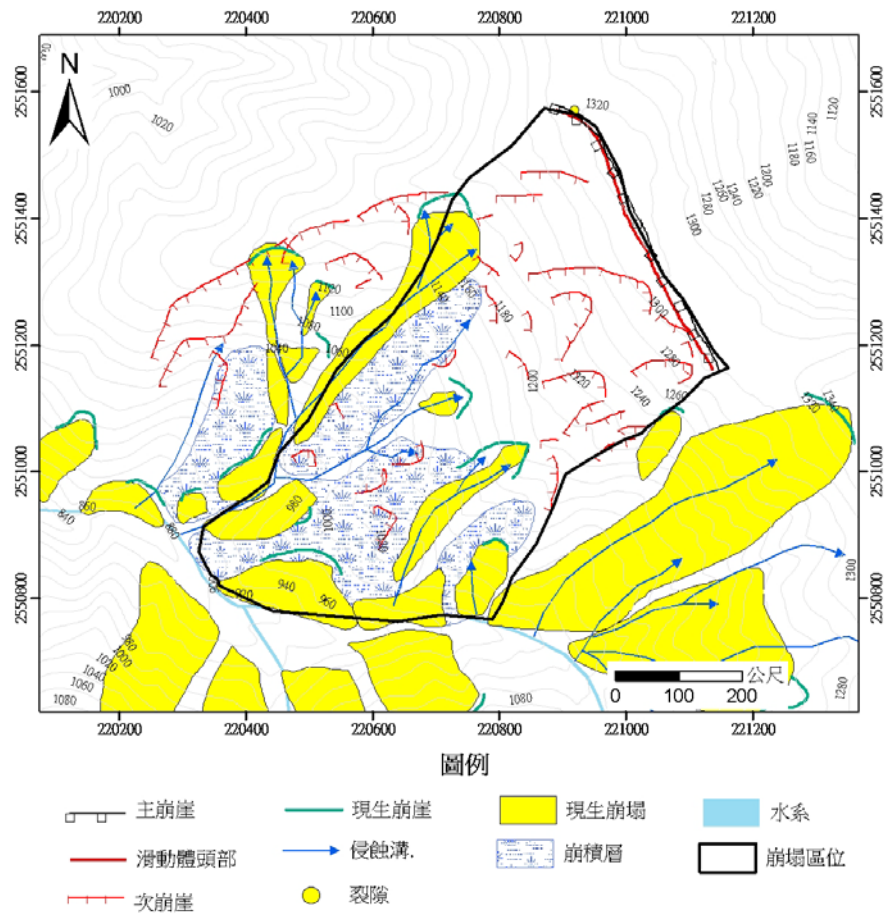


圖 3-4.41、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 崩塌特徵判釋圖。

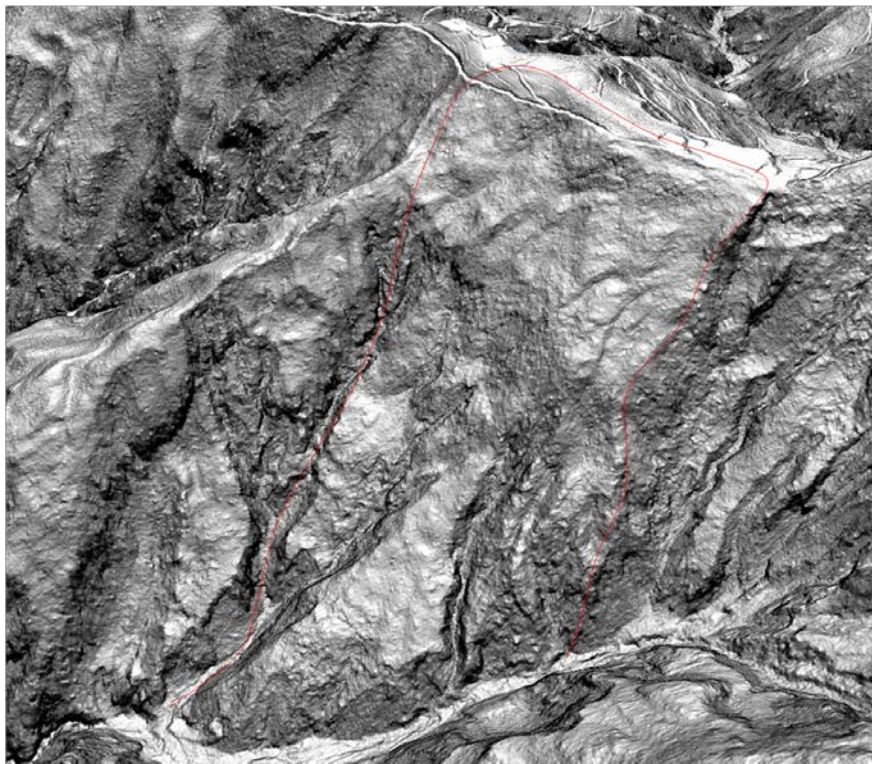


圖 3-4.42、崩塌編高雄市-六龜區-D020 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。



照片 3-4.32、調查點 G7-1 坡頂建物地板已拉張破壞，寬度約 5 公分。



照片 3-4.33、調查點 G7-1 坡頂建物拉張，高差 20 公分。



照片 3-4.34、調查點 G7-2 水溝側邊與地板接觸關係由密合到拉張，後方道路呈現波浪狀。



照片 3-4.35、調查點 G7-3 為道路破壞，路面拉張寬度 20 到 30 公分。



照片 3-4.36、調查點 G7-4 為坡頂發育冠部裂隙。



照 3-4.37、調查點 G7-5 冠部崩崖發育，導致建物拉張毀壞。



照片 3-4.38、調查點 G7-6 邊界裂隙通過路面，導致路面毀壞。

(3) 聚落安全與可能致災成因

下新開聚落主要分布在不老溪河口兩岸河階地(照片 3-4.39)，聚落戶數 102 戶。若河道發生土石流，因聚落位於河口，由圖面判釋可能受影響戶數有 39 戶，並衝擊新開橋(已完工)，影響荖濃溪左岸聯外道路(圖 3-4.43)。

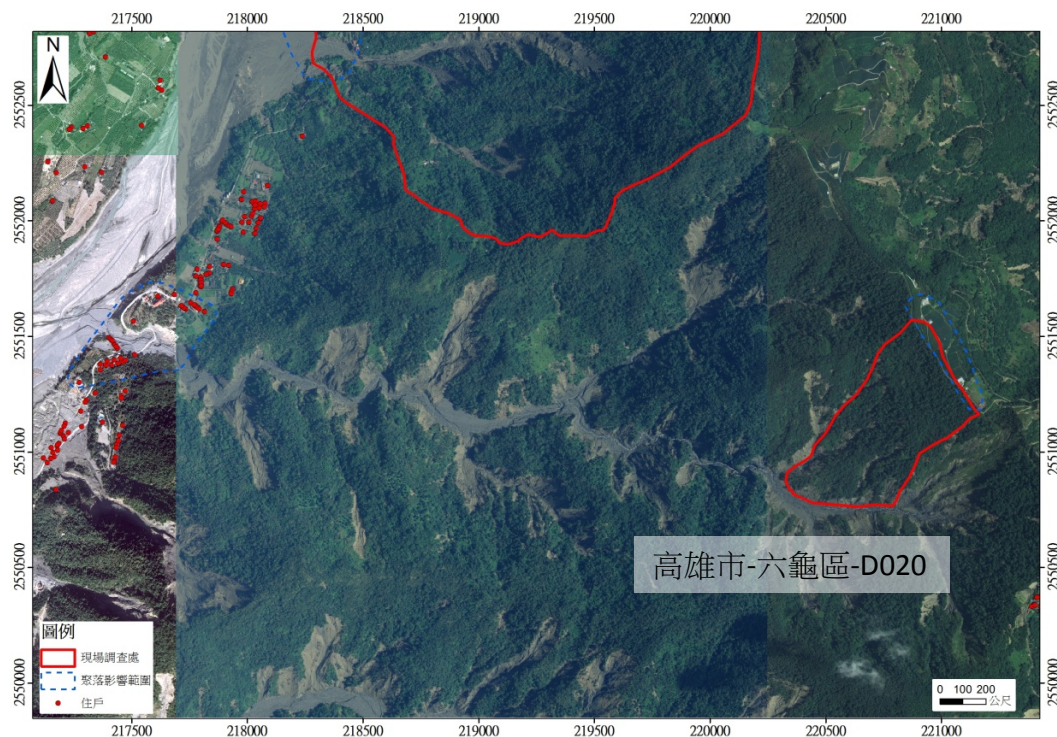


圖 3-4.43、下新開聚落可能受編號高雄市-六龜區-D020 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。



照片 3-4.39、不老溪匯流口。聚落與河床高差約 20 到 30 公尺。

2、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015

崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 位於旗山事業區 88 號林班地，美輪山西側集水區。崩塌中心坐標 TWD97 (220758, 2551110)，崩塌面積約為 228 公頃、平均坡度約為 29.7 度，潛在崩塌區位最高點 1,334 公尺，最低點標高 360 公尺，最大寬度 1,400 公尺。

(1) 地質條件調查

在地質方面，參考中央地質調查所高屏溪流域地質圖，主要出露地層為潮州層(圖 3-4.44)，主要岩性為硬頁岩，土壠灣斷層位於崩塌地西側 1.4 公里。地層位態為(N20°W, 45°W)，坡面方向朝西北，坡面與地層關係為斜交坡(圖 3-4.45)。

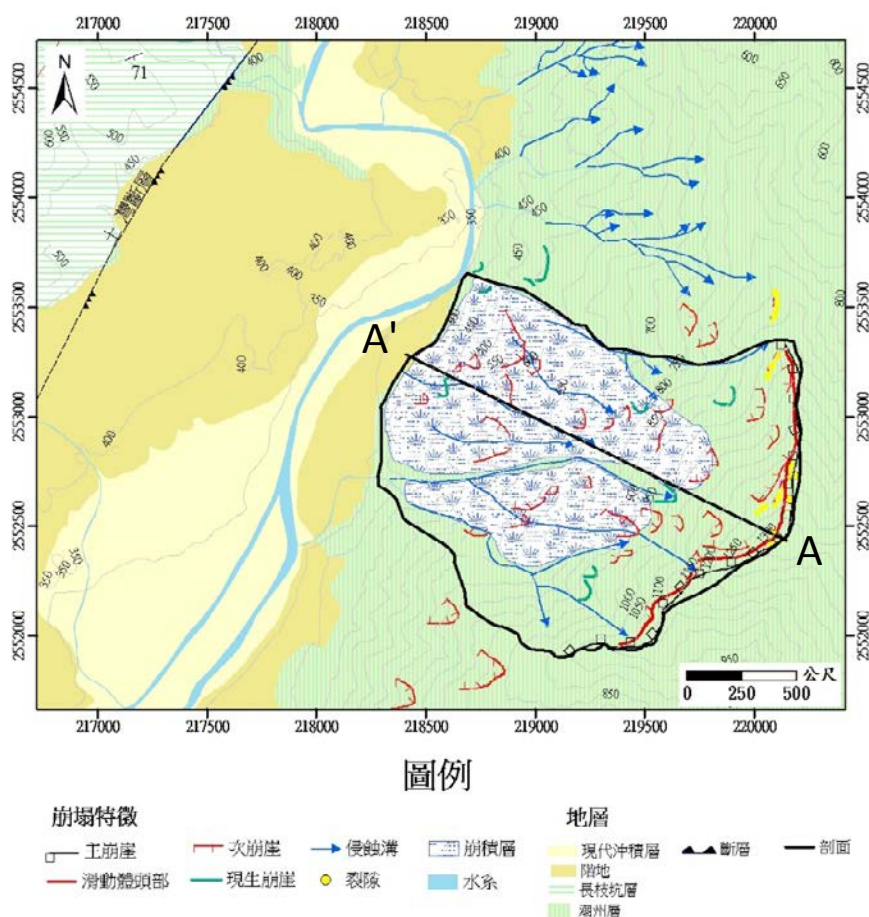


圖 3-4.44、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 地質圖(高屏溪流域地質圖，AA'為高雄
高雄市-六龜區-D015 剖面位置)。

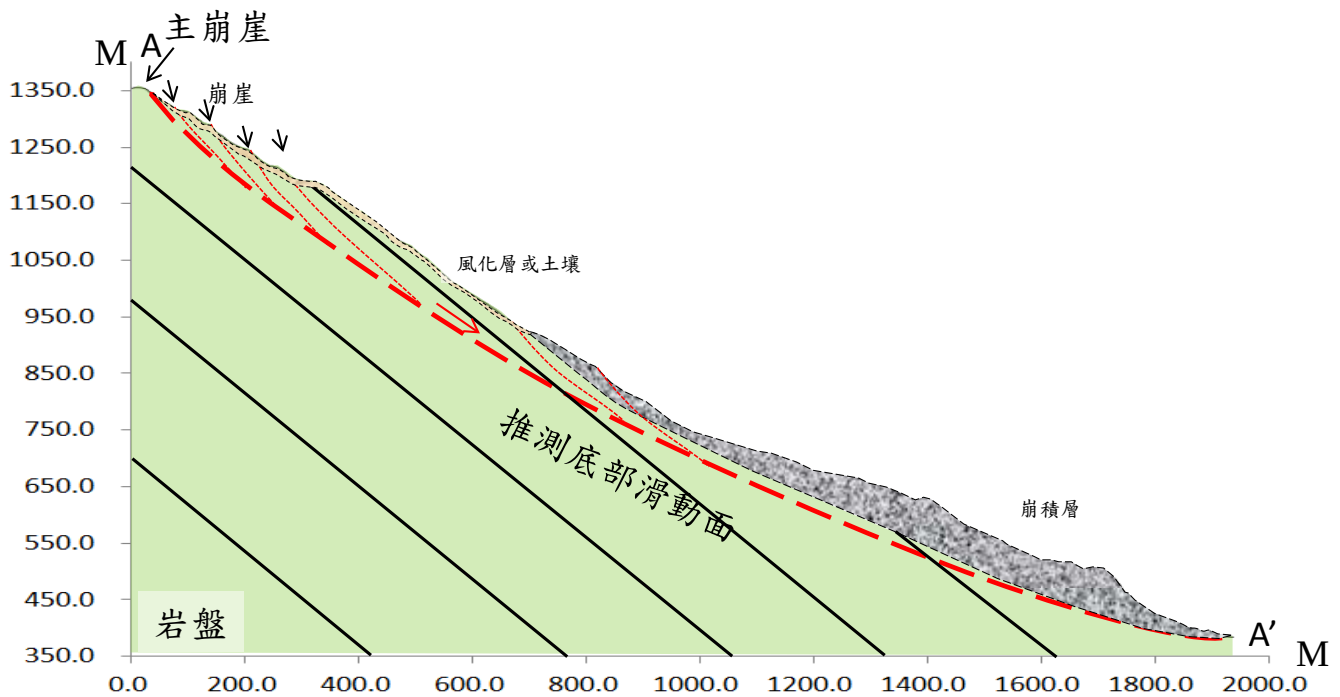


圖 3-4.45、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。

(2) 地形特徵判釋與現場查核結果

由高精度數值地形判釋結果顯示崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 坡面內部有多處圓弧形崩崖，坡頂處發育雙重山脊和一系列小崩崖地形(圖 3-4.46、圖 3-4.47、圖 3-4.48、圖 3-4.49)。

現場查核方面，調查點 G6-3 位於坡頂主崩崖處，現地崩崖為一近期發育的小型崩崖，高差近 1 公尺(照片 3-4.40)。調查點 G6-4 位於坡頂崩崖處，現地為一凹谷並發育反向坡。谷地寬度約 10 公尺，反向坡面坡高約 1.5 公尺(照片 3-4.41)。多重山脊地形模式與構造地質中的正斷層發育模型相似。坡面因重力影響，坡面下滑而在底部發育一系列的圓弧型滑動面，使得滑動體發生旋轉的作用，而在崩崖面的地形產生緩坡、甚至是反向坡的地形，如圖 3-4.50。調查點 G6-5 位於北側冠部崩崖，崩崖發育一高差 20 公分裂隙，裂隙方向垂直坡面並向內轉向平行坡面，形成弧形(照片 3-4.42)。調查點 G6-6 位於北側主崩崖，崩崖發育一高差 40 公分裂隙，寬度約 10 到 30 公分(照片 3-4.43)。

坡趾調查方面，坡面在南北兩側發育 2 條土石流，調查點 G6-1 為北側土石流寬度 50 公尺(照片 3-4.44)，並造成舊有道路破壞；調查點 G6-5 南側土石流出

口 60 公尺(照片 3-4.45)，住戶與河床高差 20 公尺。從高精度數值地形判釋結果在調查點 G6-2 是明顯凹谷狀舊崩塌地形，並於 0610 豪雨再次發生崩塌(照片 3-4.46)。從坡頂坡面和坡趾查核結果，認為此崩塌地現生和舊有崩塌發育密集，顯示此崩塌地活動性高。致災情形最保守情形為全坡面發育大規模崩塌。現地查核認為主要致災情形為上坡面發育大規模崩塌堆積在坡趾，坡趾厚層崩積層因易累積孔隙水壓、材料質地鬆軟加上豪雨事件形成土石流，衝擊聚落和聯外道路。

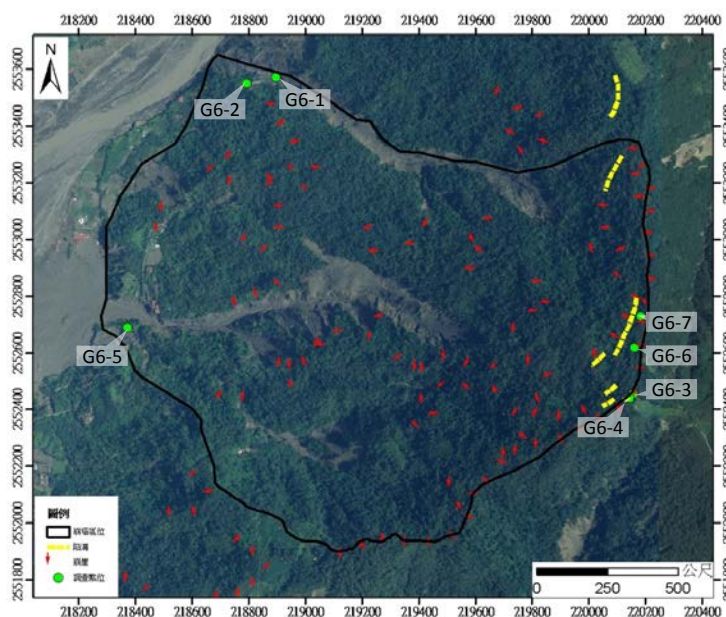


圖 3-4.46、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 航照和調查點位。

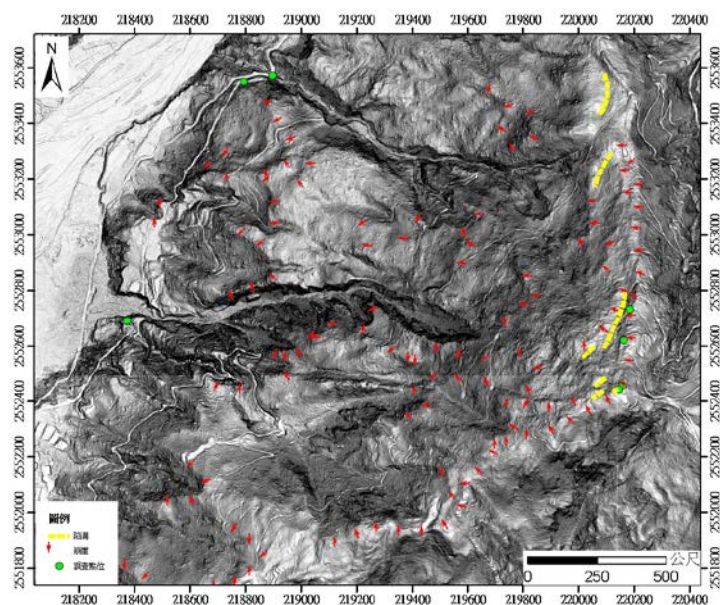


圖 3-4.47、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 高精度數值地形判釋圖。

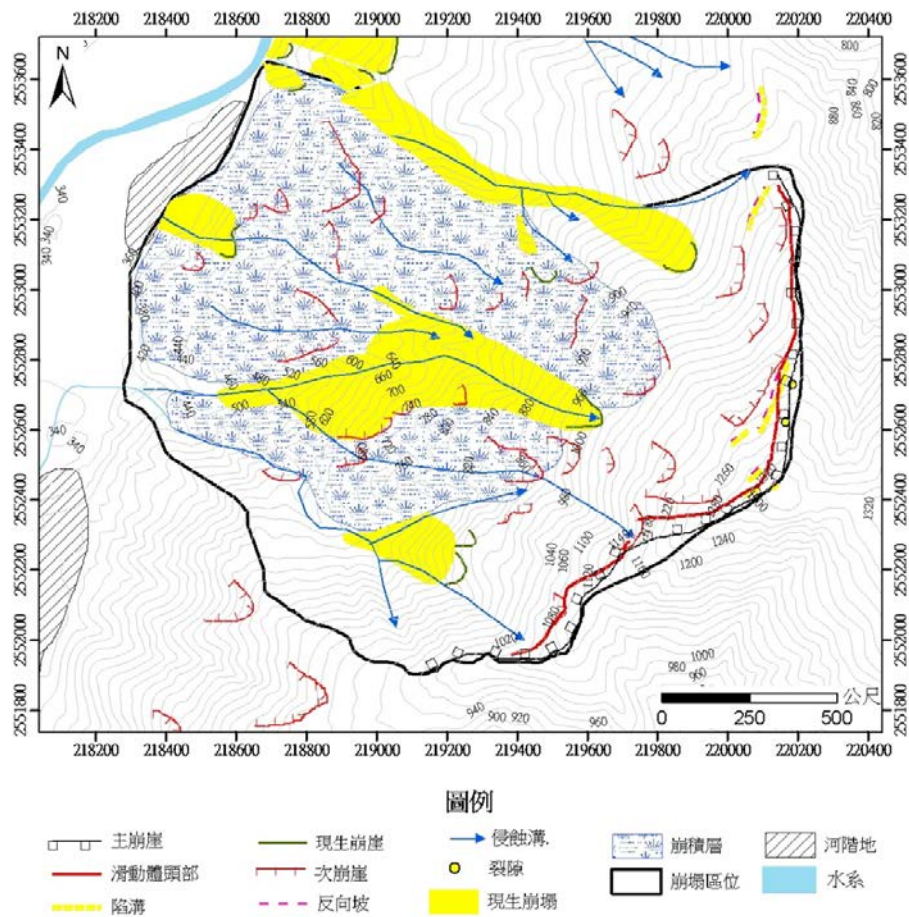


圖 3-4.48、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 崩塌特徵判釋圖。



圖 3-4.49、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。

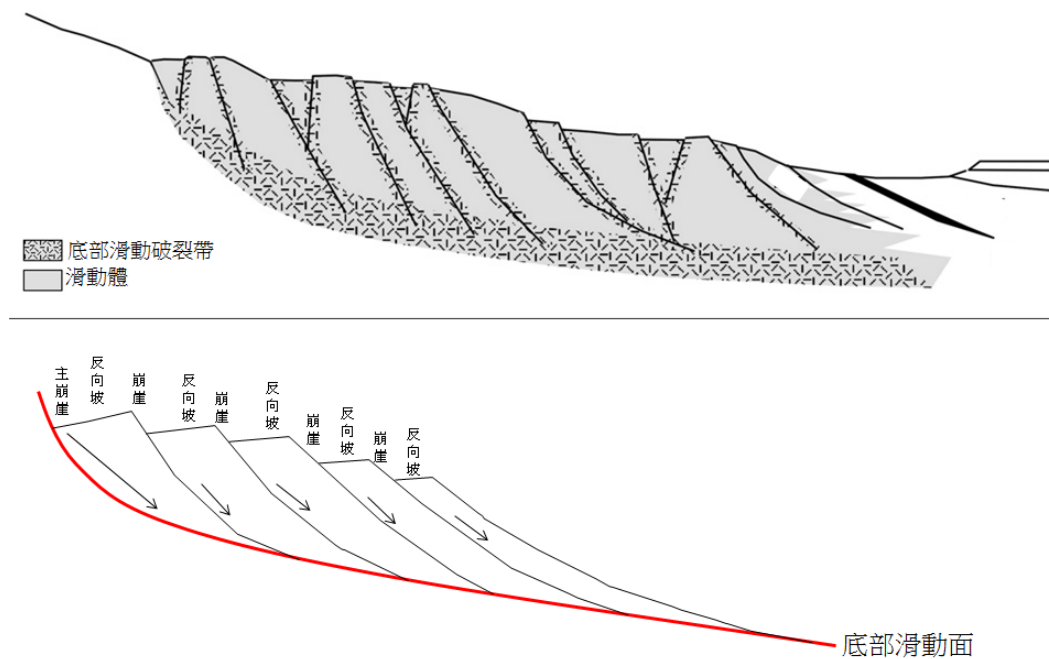


圖 3-4.50、深層崩塌圓弧形滑動地形特徵示意圖(修改自 Coltorti et al., 2009)。



照片 3-4.40、調查點 G6-3 深層崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 冠部崩崖，崩崖高差 1 公尺。



照片 3-4.41、調查點 G6-3 深層崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 坡頂的反向坡地形。



照片 3-4.42、調查點 G6-6 北側主崩崖內部發育一高差 20 公分裂隙。



照片 3-4.43、調查點 G6-7 北側主崩崖發育一高差 40 公分裂隙，寬度約 10 到 30 公分。



照片 3-4.44、調查點 G6-1 崩塌地北側土石流出口，坡趾主要為崩積層。



照片 3-4.45、G6-5 崩塌南側土石流，河口寬度 50 公尺，住戶與河床高差 20 公尺。



照片 3-4.46、G6-2 為舊崩塌地形，因 0610 豪雨而再次發生崩塌。

(3) 聚落安全與可能致災成因

紅水仙聚落主要分布在荖濃溪左岸台地，崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 下邊坡，聚落戶數 9 戶。若全坡面或下邊坡發生崩塌，聚落會直接受到衝擊。因坡趾堆積大量崩積土，容易因崩塌引發土石流災害。現場調查結果，大多數住戶已遷離，影響範圍內目前尚有 3 戶(圖 3-4.51)。

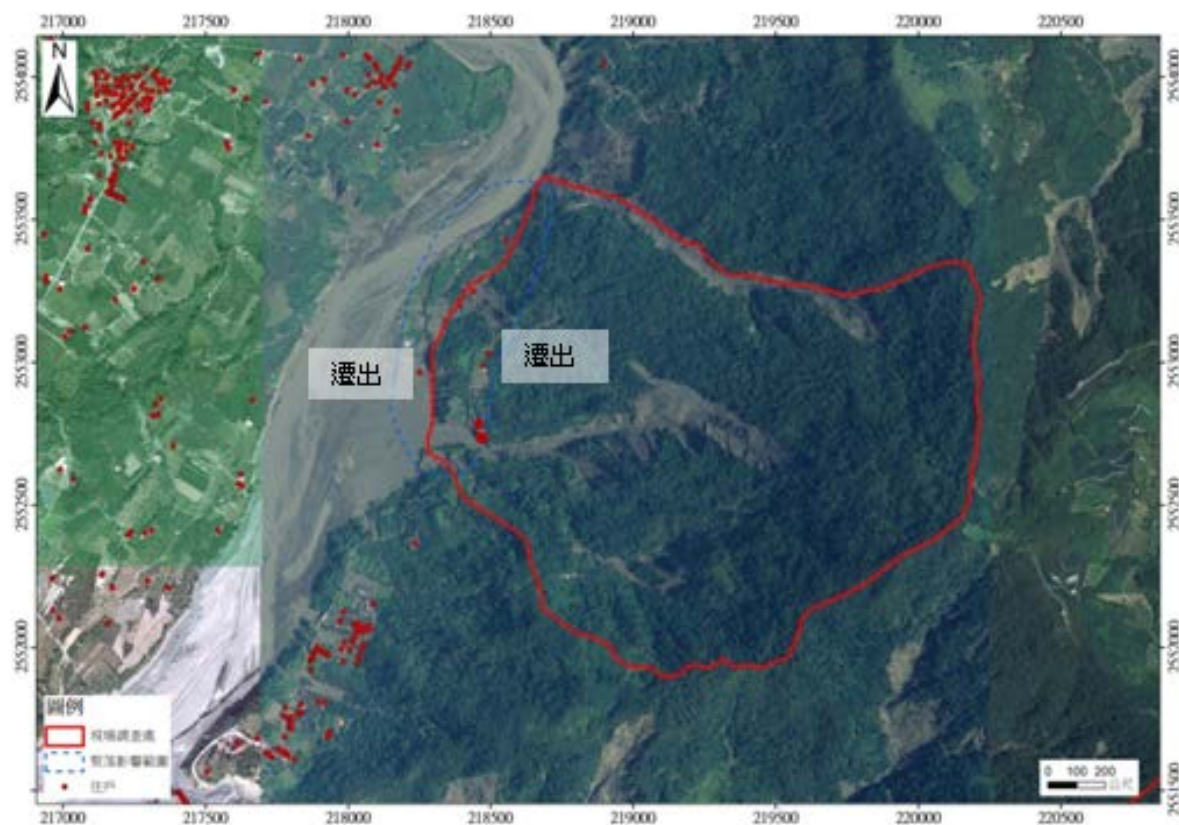


圖 3-4.51、紅水仙聚落可能受崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。

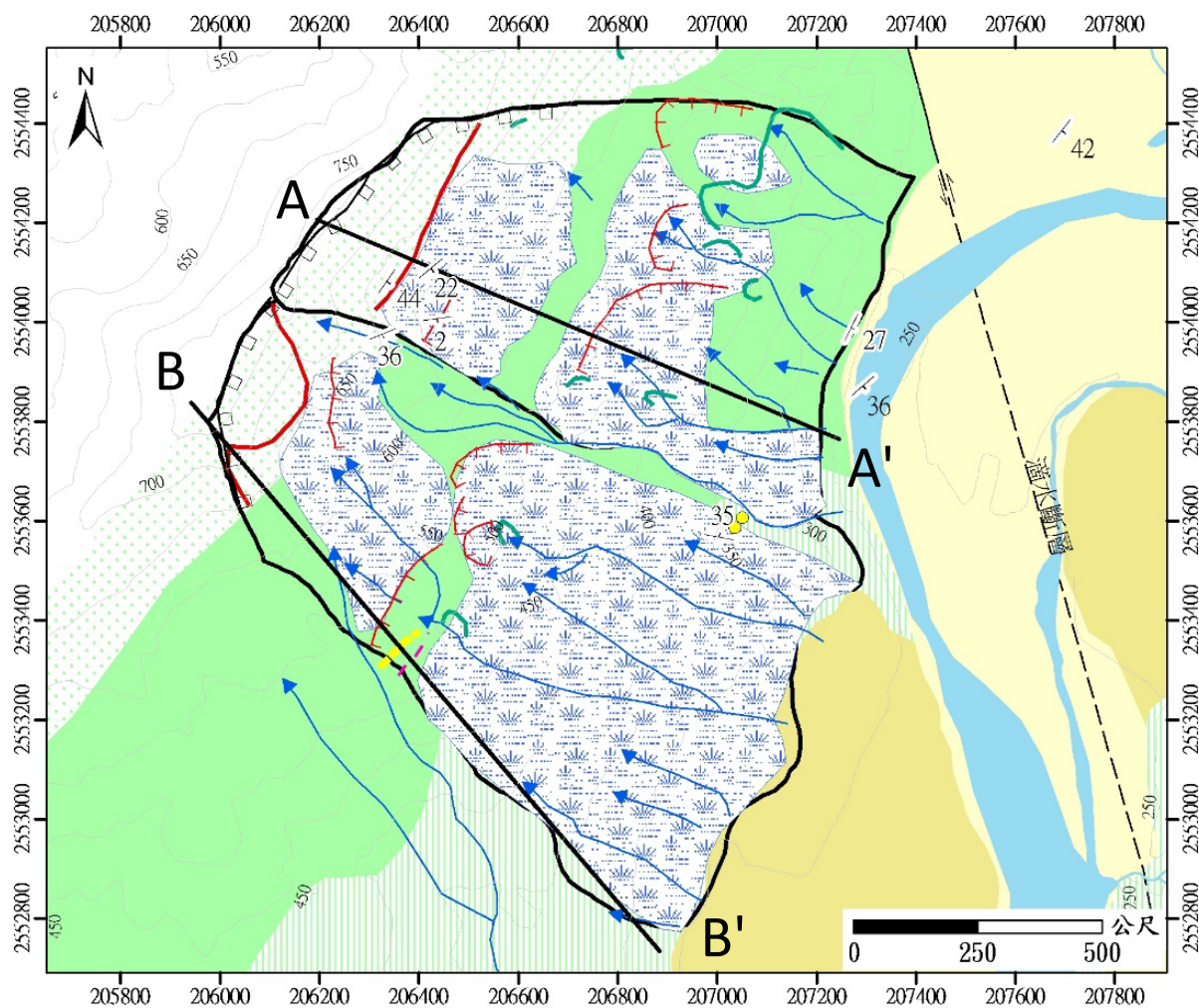
甲仙地區

1、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047

崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044 和高雄市-甲仙區-D047 鄰近甲仙聚落，位於旗山溪右岸屬**旗山事業區 4 號林班地**。崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044 潛在崩塌區位之中心坐標 TWD97 為(206813，2554099)，潛在崩塌面積約 67 公頃、平均坡度約為 20 度，潛在崩塌區位最高點高程為 750 公尺，最低點標高為 270 公尺，最大寬度 730 公尺；崩塌地編號高雄市-甲仙區-D047 中心坐標為(206635，2553453)，崩塌面積約 84 公頃、平均坡度在 17 度，潛在崩塌區位最高點之高程為 750 公尺，最低點標高在 270 公尺，最大寬度 850 公尺。

(1) 地質條件調查

在地質方面，參考中央地質調查所高屏河流域地質圖，潛在崩塌位置出露地層為糖恩山砂岩與鹽水坑頁岩(圖 3-4.52)。糖恩山砂岩於此處為厚層砂岩夾薄頁岩，砂岩厚度以 40 到 60 公分為主，頁岩厚度約 10 公分，地層位態為(N35E，44E)。鹽水坑頁岩為塊狀頁岩，地層之傾向與坡面傾向相近，呈順向坡地形(圖 3-4. 53、圖 3-4.54)。糖恩山砂岩出露於潛在崩塌坡頂至坡腹處，鹽水坑頁岩則分布於坡腹及坡趾處。因受岩性機械強度及差異侵蝕影響，鹽水坑頁岩地形表現上較為低矮平緩 (照片 3-4.47)，而坡頂由糖恩山砂岩組成，地形表現則為陡峭的山脊線。



圖例

崩塌特徵

- 主崩崖
- 滑動體頭部
- 陷溝
- 現生崩崖
- 次崩崖
- 反向坡
- 侵蝕溝
- 裂隙

地層

- 現代沖積層
- 階地
- 鹽水坑頁岩
- 糖恩山砂岩
- 長枝坑層

構造

- 推測斷層
- 剖面

圖 3-4.52、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)地質圖(高屏溪流域地質圖，2009；AA'為高雄市-甲仙區-D044、BB'為高雄市-甲仙區-D047 剖面位置)。

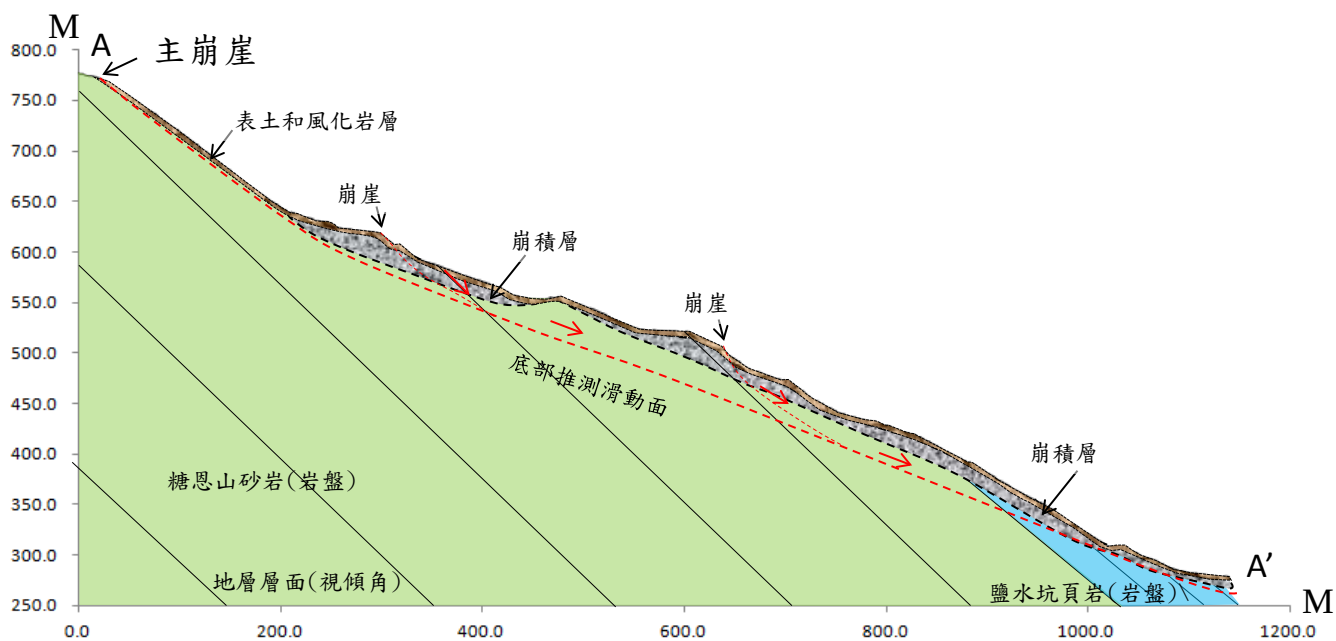


圖 3-4.53、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044 AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。

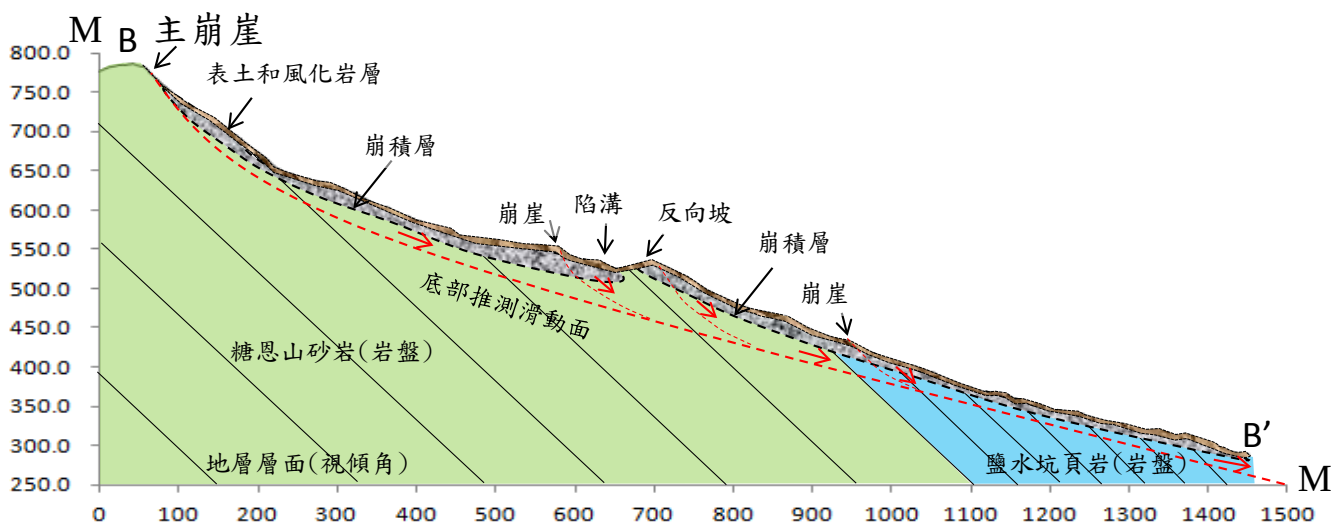


圖 3-4.54、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D047 BB'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。



照片 3-4.47、崩塌地編號高雄高雄市-甲仙區-D044 趾部為鹽水坑頁岩，岩性較為軟弱，地形常為緩坡或低矮區。

(2) 地形特徵判釋與現場查核結果

在地形特徵方面，由高精度數值地形判釋結果，崩塌範圍可分為南北兩部分(圖 3-4.55、圖 3-4.56、圖 3-4.57、圖 3-4.58)。高雄市-甲仙區-D044 地形可分為 3 部分，上部為順向坡岩盤，為陡峭山脊，地層層面位態(N35E, 44E)；中部較為平緩坡面，其中有一崩崖由砂岩體節理面形成，此岩體傾角近乎水平，表示過去頂部砂岩曾經滑動，停在此緩坡面上或岩體發育褶曲；下部最外側為最明顯崩崖，地形較陡。高雄市-甲仙區-D047 地形可分為 2 部分，上部為順向坡岩盤，地層層面位態與北段相近；下部為連續多階的平緩坡面，崖面具圓弧形，並發育多重山脊，崩塌特徵明顯。

現場查核方面，坡面主崩崖為順向坡岩盤，此區淺層崩塌發達，存在大量崩塌材料，如調查點 11(照片 3-4.48)。高雄市-甲仙區-D044 崩崖調查結果，調查點 01 為厚層砂岩的節理面所形成，此砂岩層面近水平(照片 3-4.49)，與上部岩盤差異甚大，表示此岩體為上方塊體沿坡面下滑堆積；調查點 03 為坡頂岩盤崩滑情況，局部岩盤已失去坡腳支撐。調查點 10 為高雄市-甲仙區-D044 最顯著的崩崖，現地調查發現，崩崖附近尚有發育裂隙(照片 3-4.50)，可能與坡趾位於河道攻擊

坡和侵蝕溝影響，此崩崖面仍具活動性。高雄市-甲仙區-D047 崩塌地坡趾為河階地，但崩塌地形特徵明顯，調查點 05 則為一雙重山脊地形，陷溝寬度約 25 公尺到 30 公尺(照片 3-4.51)。調查點 041 地層層面位態(N80°W, 35°N)，與大區域的層面位態相差頗大(照片 3-4.52)，顯示此坡面有岩盤變形之行為。在調查點 08、09、及 12 均有裂隙發育。調查點 08 裂隙高差約 20 到 30 公分(照片 3-4.53)；調查點 09 發育多階裂隙，裂隙高差約 50 到 80 公分不等(照片 3-4.54)；調查點 12 裂隙高差約 20 到 40 公分不等(照片 3-4.55)。

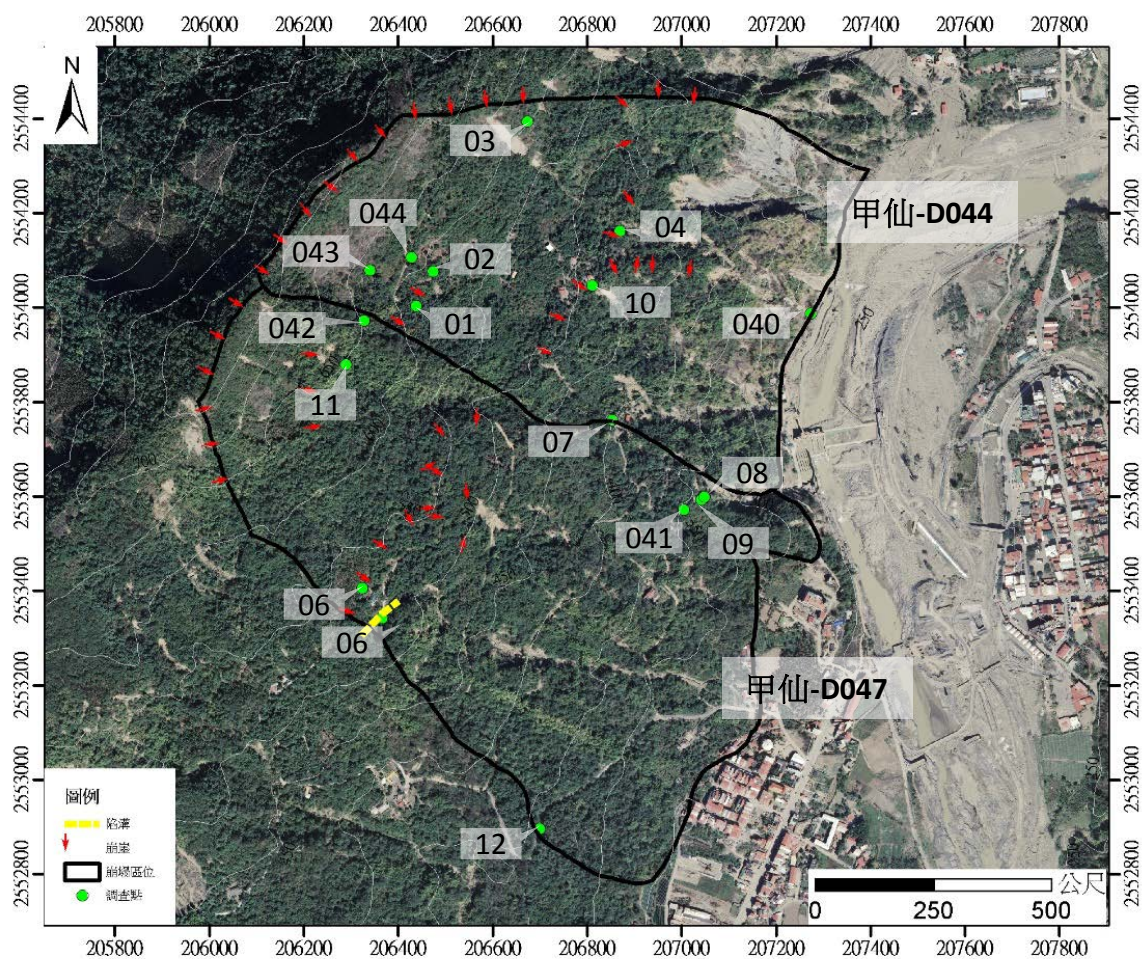


圖 3-4.55、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)航照和調查點位。

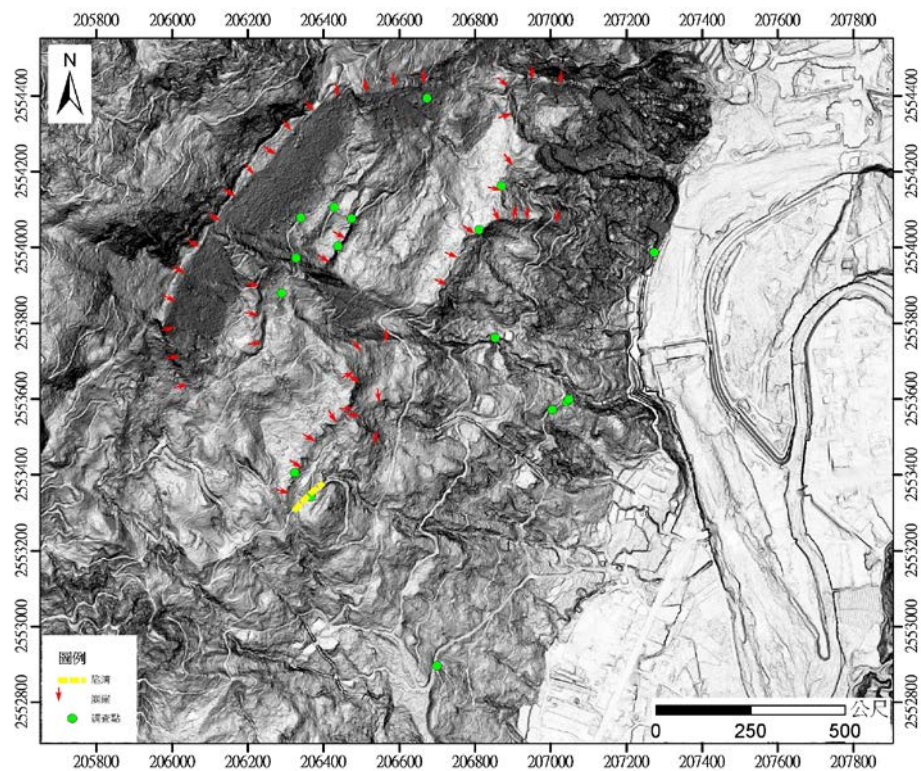


圖 3-4.56、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)高精度數值地形判釋結果圖。

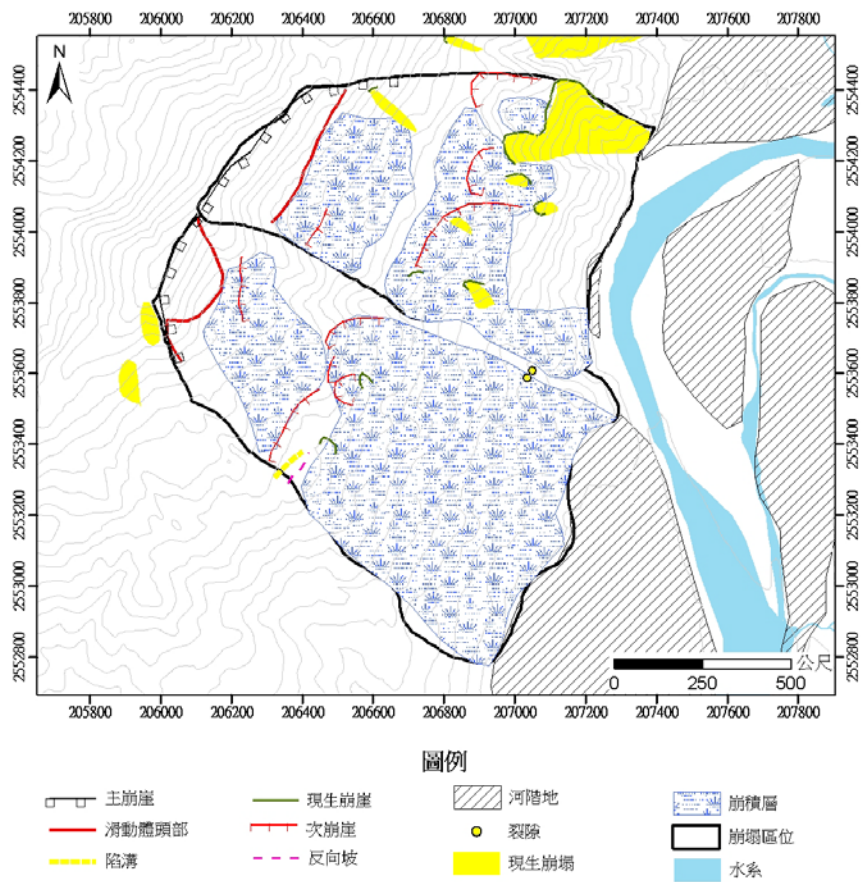


圖 3-4.57、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)崩塌特徵判釋圖。

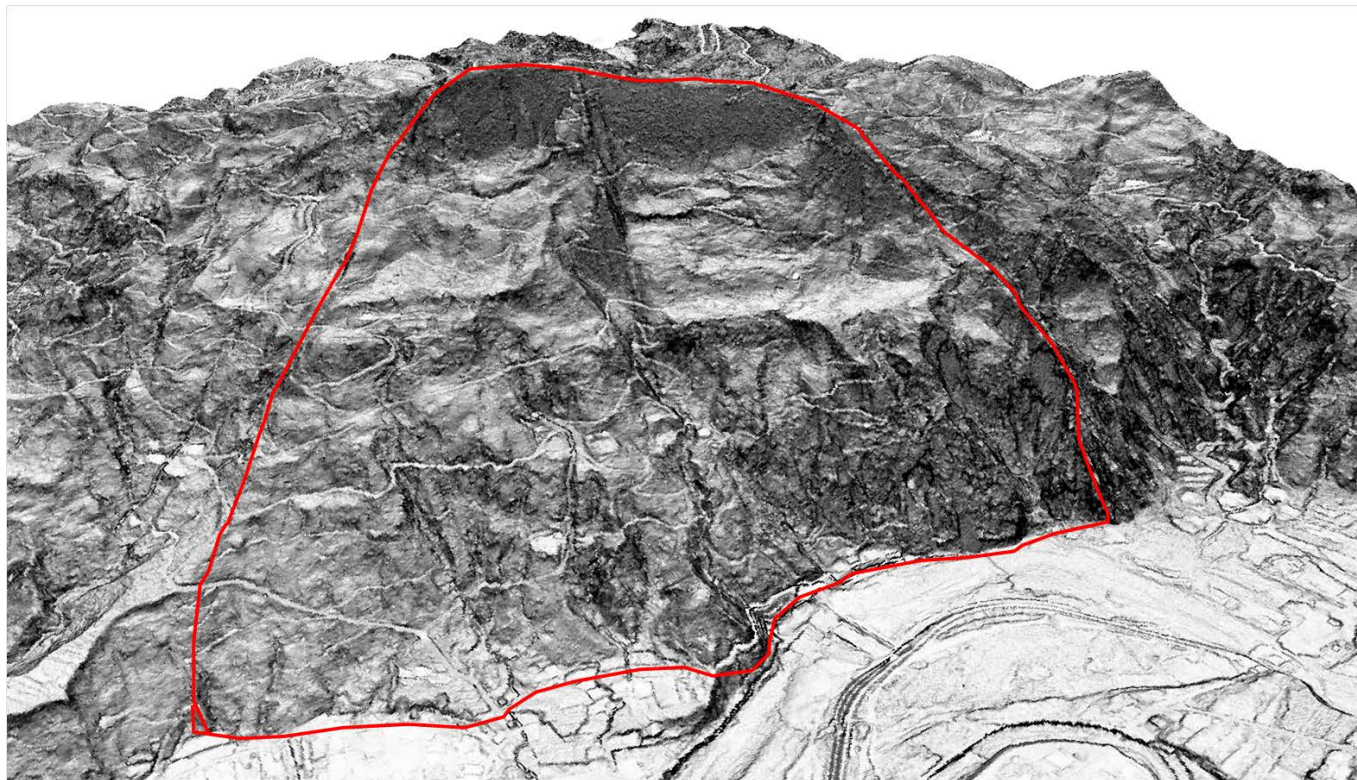


圖 3-4.58、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。



照片 3-4.48、調查點 11 坡頂岩盤淺層崩塌發達。



照片 3-4.49、調查點 01 平緩層面的砂岩體，與坡頂岩盤層面位態差異大，顯示此砂岩體為頂部滑移下來或岩體發育褶曲。



照片 3-4.50、調查點 10 北段崩塌外側崩崖，崩崖位置發育裂隙，顯示此崩崖仍具活動性。



照片 3-4.51、調查點 05 南段崩塌地坡腹發育多重山脊地形。



照片 3-4.52、調查點 041 岩盤位態($N80^{\circ}W$, $35^{\circ}N$)，與大區域地層位態差異甚大。



照片 3-4.53、調查點 08 位於南側崩塌坡腹，此裂隙高差約 20 公分。



照片 3-4.54、調查點 09 位於南側崩塌坡腹，發育多階裂隙，裂隙高差約 50 到 80 公分不等。



照片 3-4.55、調查點 12 位於南側崩塌坡腹，裂隙高差約 20 到 40 公分不等。

(3) 聚落安全與可能致災成因

甲仙聚落主要分布在甲仙地區旗山溪兩岸河階地，聚落戶數 1,100 戶。由圖面判釋結果因聚落位於崩塌地下方，若崩塌發生，會直接影響旗山溪右岸(西岸)甲仙聚落，可能受影響戶數有 280 戶 (圖 3-4.59)。

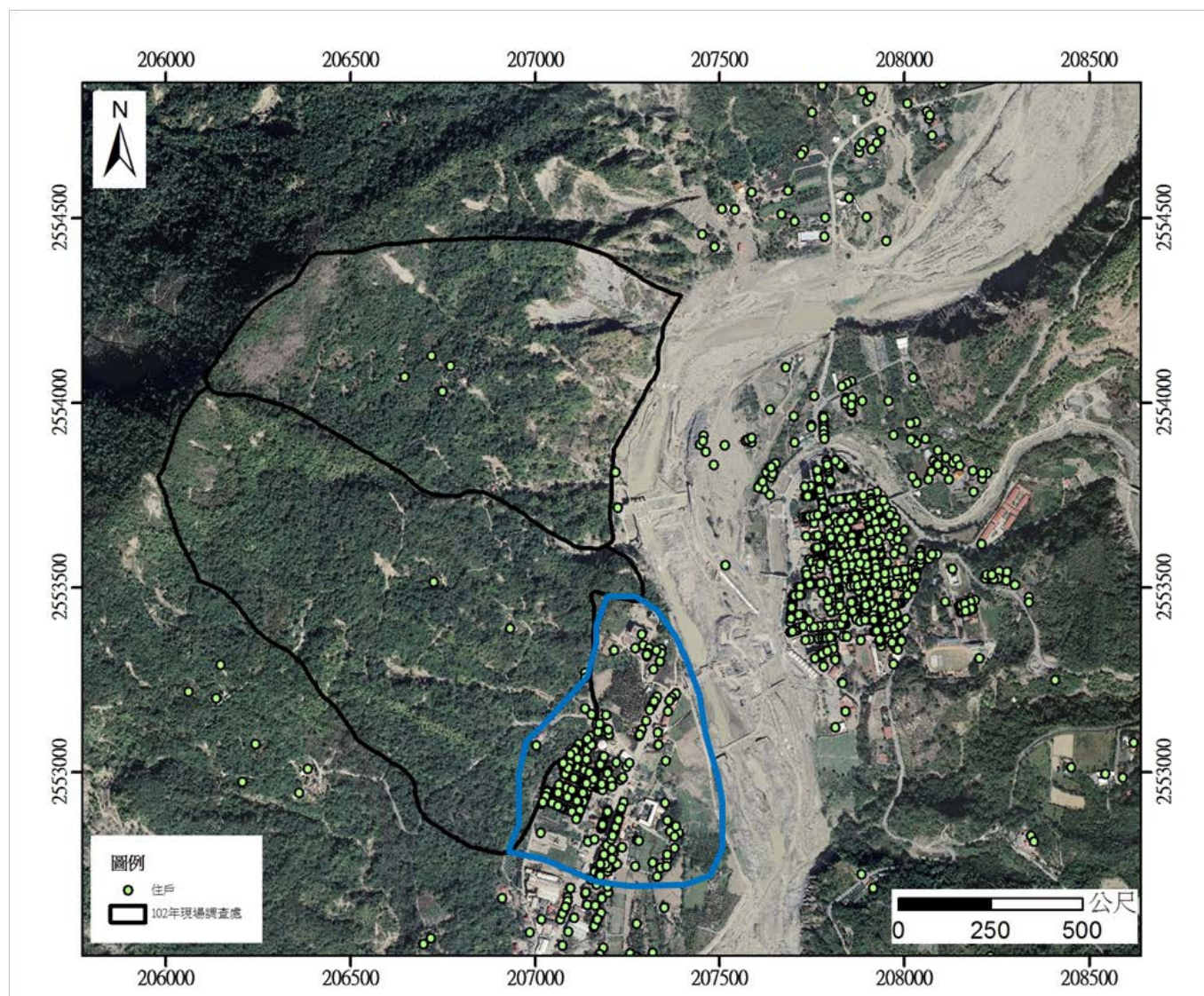


圖 3-4.59、甲仙聚落可能受崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)影響範圍
(藍線區為可能影響範圍)。

杉林區小份尾地區

1、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014

崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 位於位於(高雄)枋寮溪上游支流大荖藤溪右岸，屬**旗山事業區 36 號林班地**，崩塌地下方 1.7 公里有枋寮聚落，其下游 3.5 公里為枋寮溪與旗山溪匯流口與小份尾聚落。崩塌中心坐標為 TWD97(209077, 2545705)，崩塌面積約為 47.5 公頃、崩塌體平均坡度在 17 度，潛在崩塌區位最高點標高 535 公尺，最低點標高 280 公尺，最大寬度 660 公尺。

(1) 地質條件調查

在地質方面，參考中央地質調查所高屏河流域地質圖，潛在崩塌位置出露地層為長枝坑層(圖 3-4.60)。長枝坑層在此處岩性為厚層頁岩夾薄砂岩(砂岩厚度約 2 到 5 公分)，地層位態為(N88°E, 29°S)，地層位態與坡向相近，呈順向坡地形(圖 3-4.61)。因崩塌地岩性以頁岩為主，岩體強度相較於砂岩較為軟弱，且材料較為均質。地形表現因岩性控制，崩崖發育以圓弧形為主，地形上難以顯示出順向坡地形，明顯與甲仙地區崩塌地差異甚大。

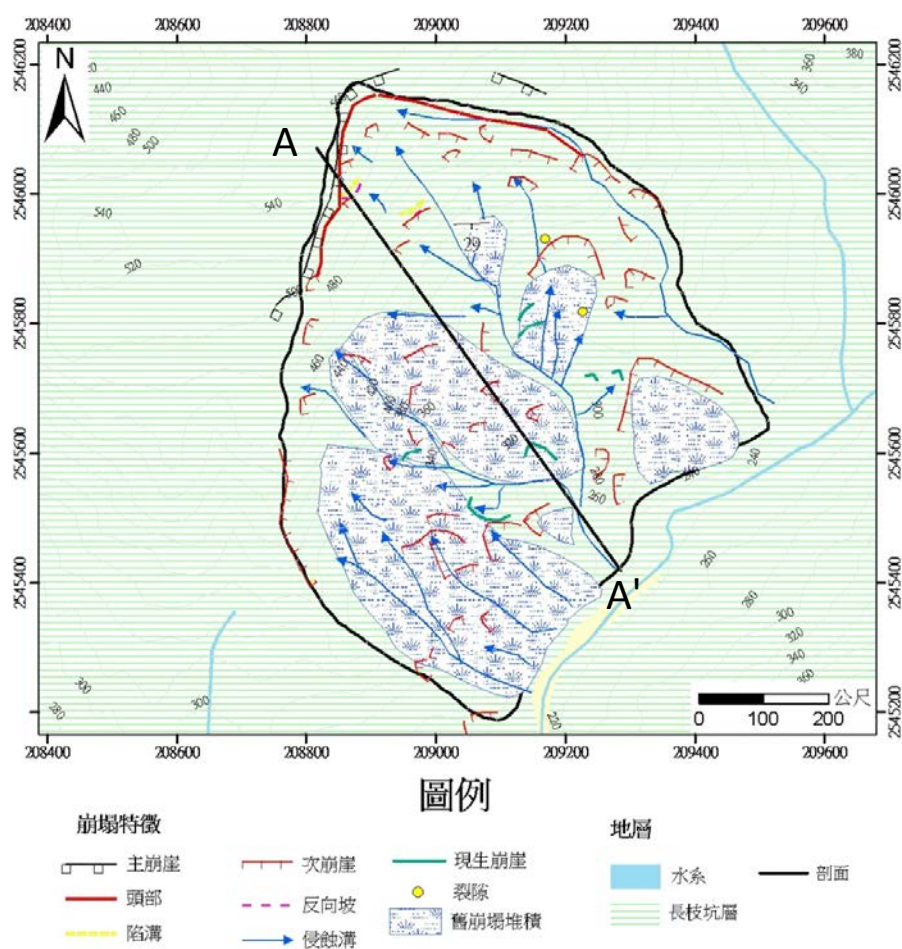


圖 3-4.60、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 地質圖(高屏河流域地質圖，2009；AA' 為高雄市-杉林區-D014 剖面位置)。

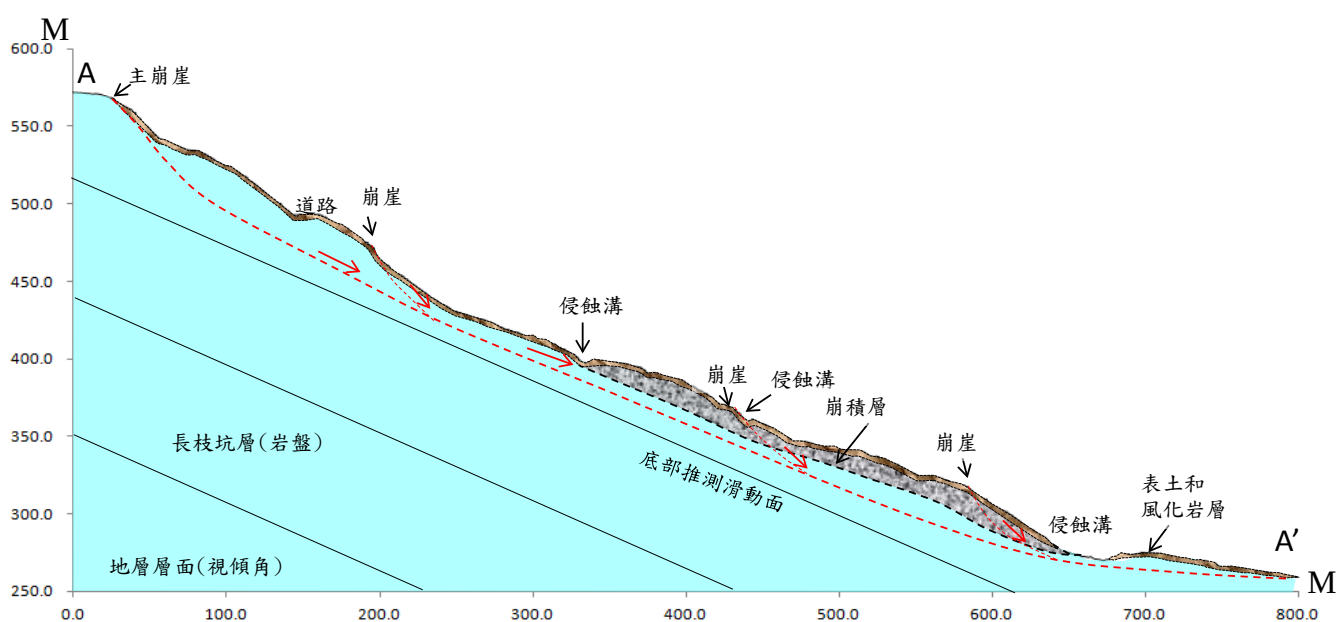


圖 3-4.61、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014AA'剖面圖示意圖。

(2) 地形特徵判釋與現場查核結果

在地形特徵方面，由高精度數值地形判釋結果，崩塌整體範圍為一凹谷狀地形，且內部存在多處崩塌地形。崩塌東側區位內部崩塌地形特徵較為明顯且活動性高(圖 3-4.62、圖 3-4.63、圖 3-4.64、圖 3-4.65)。主崩崖長度約 600 公尺，坡腹存在多處圓弧狀次崩崖以及兩處明顯之反向坡構造。

現場查核方面，調查點 2 以及 5 皆為冠部之地形特徵，調查點 2 為發育於冠部之裂隙(照片 3-4.56)，調查點 5 為主崩崖(照片 3-4.57)。東側區位內地形特徵明顯，調查點 4、6、7 皆位於東側坡腹崩塌。調查點 4 為位於坡腹裂隙造成道路拉張破壞之現象(照片 3-4.58)。調查點 6 以及 7 為位於坡腹之崩崖及裂隙，落差高度皆約 0.5 公尺(照片 3-4.59、3-4.60)。調查點 8 以及 9 兩處皆為西側邊界，調查點 8 為西側崩崖，現場地形有明顯陡坡，內部並存在小崩崖(照片 3-4.61)；調查點 9 可看出位於照片右方之塊體因受重力作用而下滑，形成反向坡地形(照片 3-4.62)。在主崩崖附近，發育 2 處多重山脊地形，調查點 10 為位於坡腹之反向坡構造(照片 3-4.63)，反向坡高差約 1 公尺；調查點 3 為舊道路，因邊坡下滑，地形略有反向坡地形，且有發育約 30 公分裂隙(照片 3-4.64)。

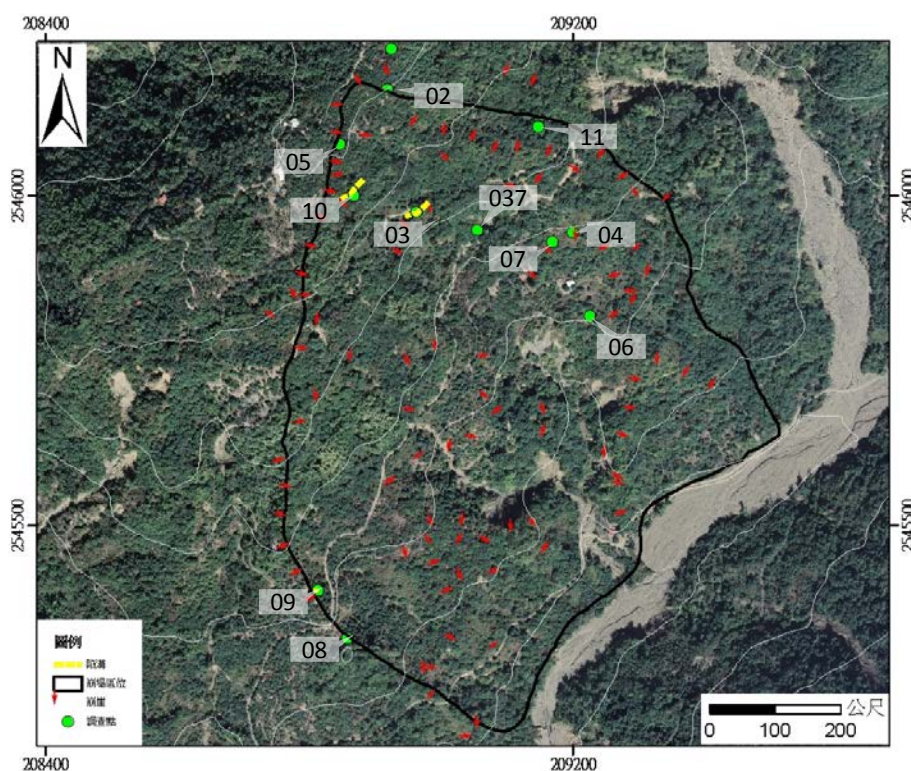


圖 3-4.62、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 航照和調查點位。

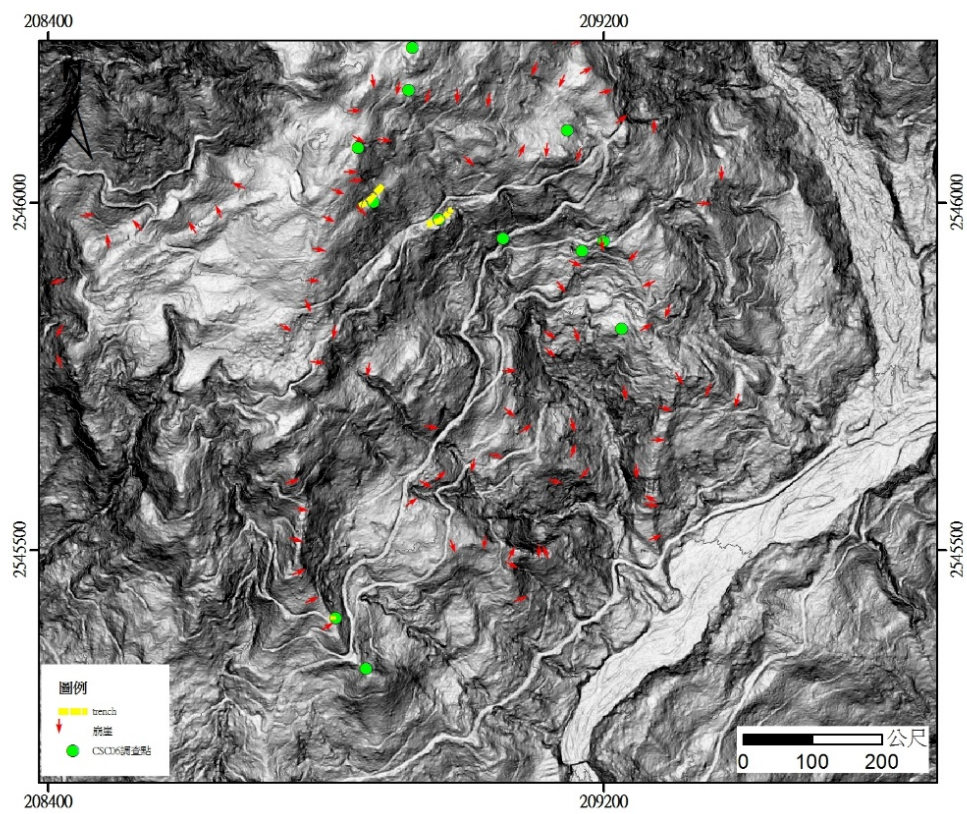
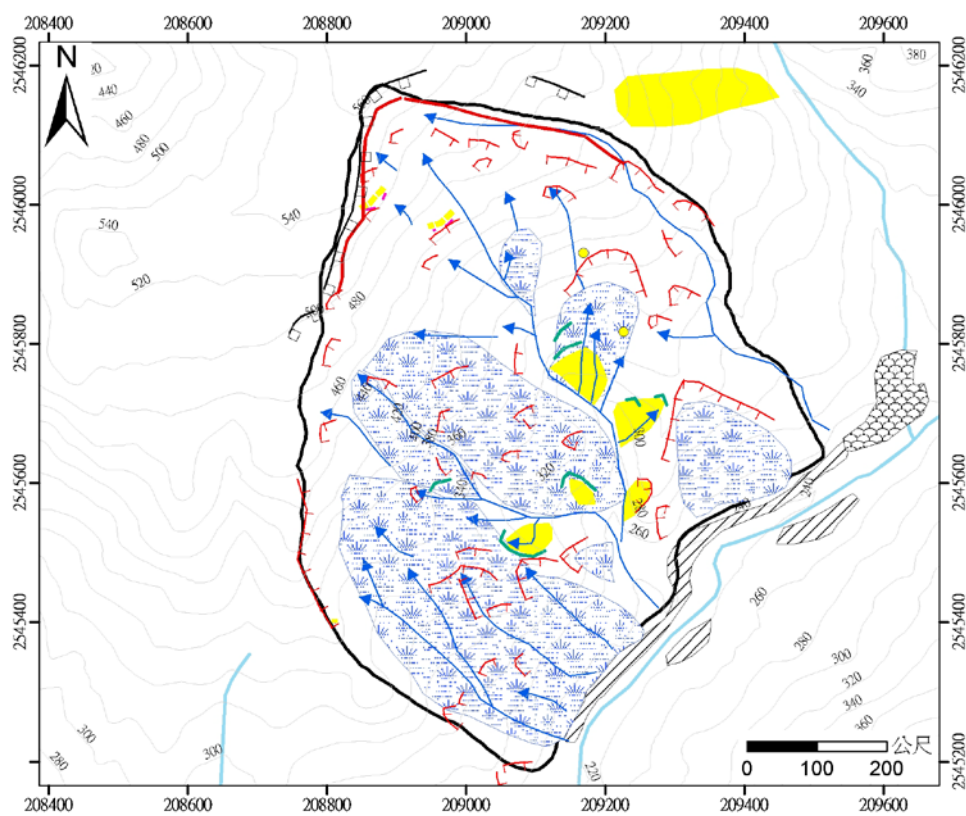


圖 3-4.63、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 高精度數值地形判釋結果圖。



圖例

- | | | | | |
|-------|------|------|-----|------|
| 主崩崖 | 現生崩崖 | 侵蝕溝 | 崩積層 | 崩塌區位 |
| 滑動體頭部 | 次崩崖 | 裂隙 | 沖積扇 | 水系 |
| 陷溝 | 反向坡 | 現生崩塌 | 河階地 | |

圖 3-4.64、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 崩塌特徵判釋圖。

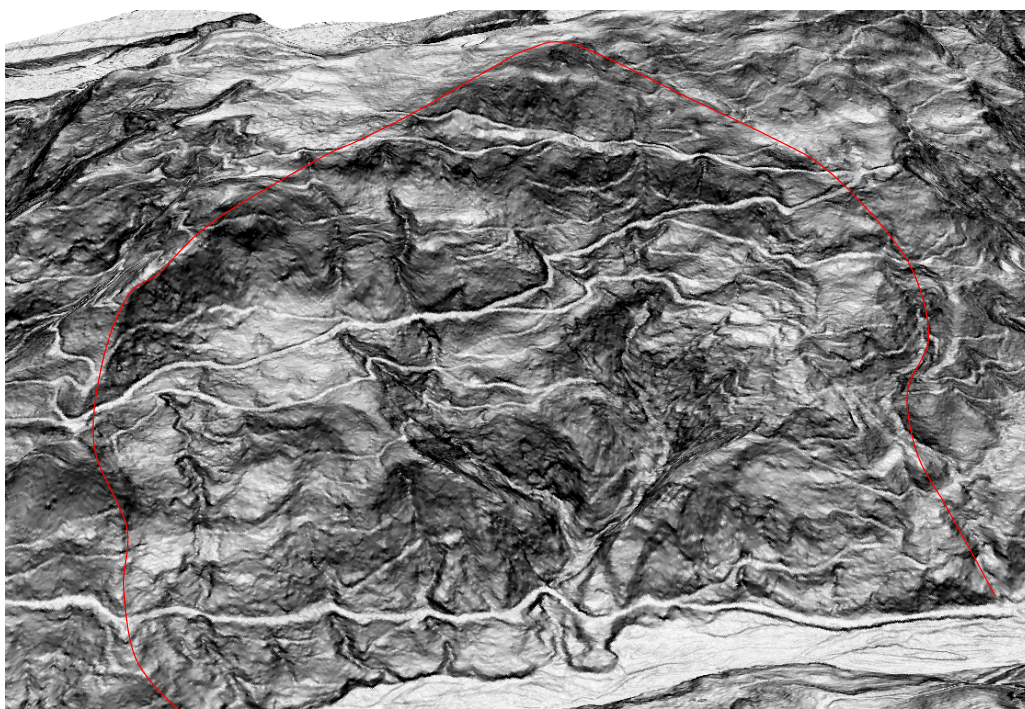


圖 3-4.65、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。



照片 3-4.56、調查點 2 冠部之裂隙。



照片 3-4.57、調查點 5 為主崩崖。



照片 3-4.58、調查點 4 坡腹裂隙造成道路破壞，高差約 30 公分。



照片 3-4.59、調查點 6 坡腹崩崖及裂隙，落差高度約 0.5 公尺。



照片 3-4.60、調查點 7 坡腹崩崖及裂隙，落差高度約 0.5 公尺。



照片 3-4.61、調查點 8 西側側邊崩崖。



照片 3-4.62、調查點 9 西側側邊崩崖，右方塊體因受重力作用而下滑的現象。



照片 3-4.63、調查點 10 位於坡腹之反向坡構造，高差約 1 公尺。



照片 3-4.64、調查點 3 發育一高差約 30 公分的裂隙。

(3) 聚落安全與可能致災成因

小份尾聚落主要分布在枋寮溪右岸與旗山溪匯流處河階地，致災情形可能為高雄市-杉林區-D014 和高雄市-杉林區-D020 崩塌導致堰塞湖，可能影響戶數大於 10 戶(圖 3-4.66)。

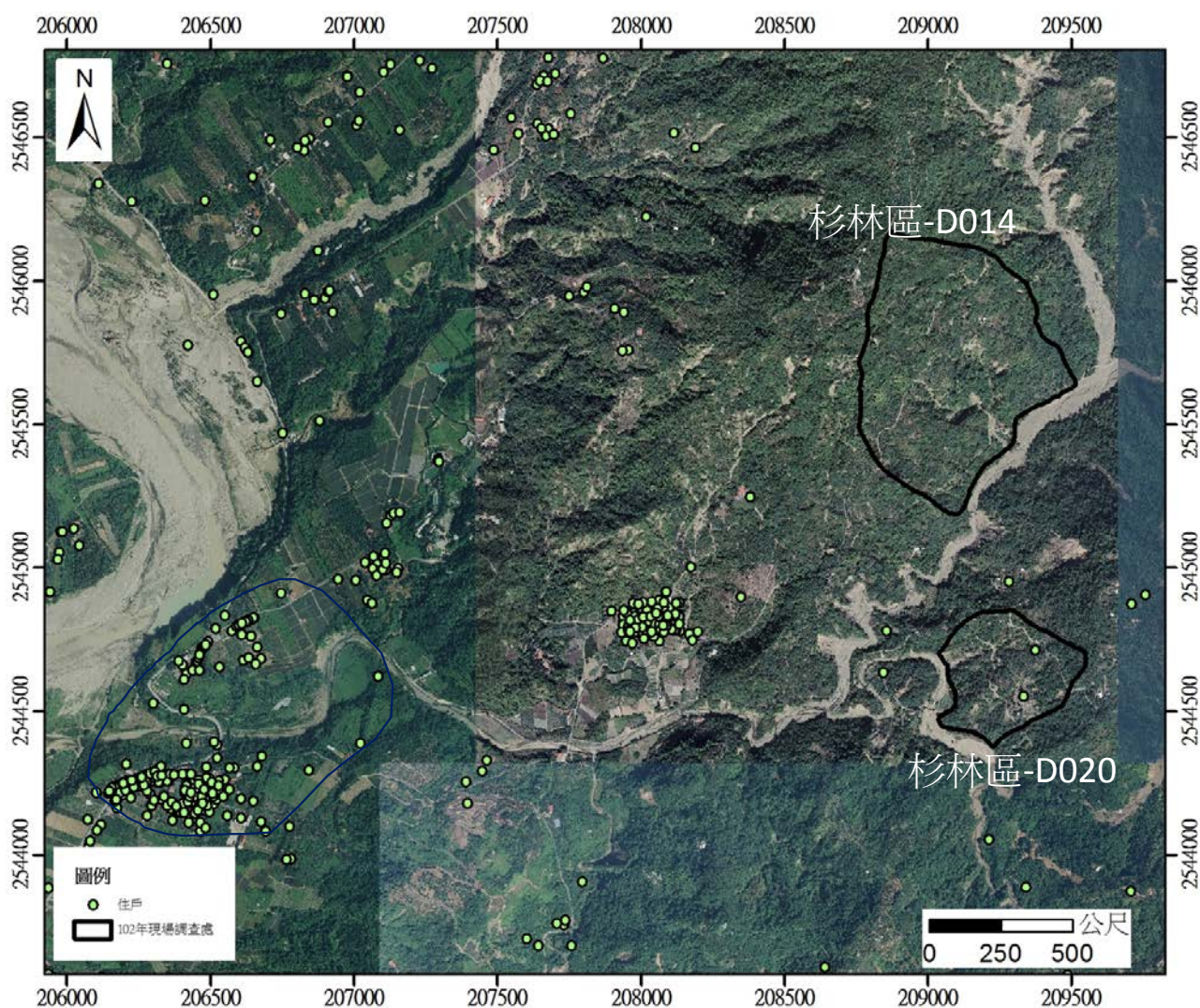


圖 3-4.66、小份尾聚落可能受崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 和高雄市-杉林區-D020 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。

2、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020

崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 位於位於(高雄)枋寮溪上游支流粗坑溪右岸，屬旗山事業區 37 號林班地。崩塌中心坐標 TWD97 (209272，2544630)。潛在崩塌面積約為 15.8 公頃、平均坡度在 24.1 度，潛在崩塌區位最高點 420 公尺，最低點標高 220 公尺，最大寬度 450 公尺。

(1) 地質條件調查

在地質方面，參考中央地質調查所高屏溪流域地質圖，潛在崩塌位置出露地層為長枝坑層(圖 3-4.67)。此區長枝坑層岩性為厚頁岩夾薄砂岩(砂岩厚度約 5 公分)，頁岩和砂岩比例 4:1。坡趾地層走向為南北向，地層高角度傾東，並發育 2 公尺寬的破碎帶，頁岩產狀呈菱形狀。崩塌地對岸岩盤地層位態(N40°W, 80°W)，此崩塌區位地層傾向與坡面傾向夾角相近，接近順向坡地形(圖 3-4.68)。

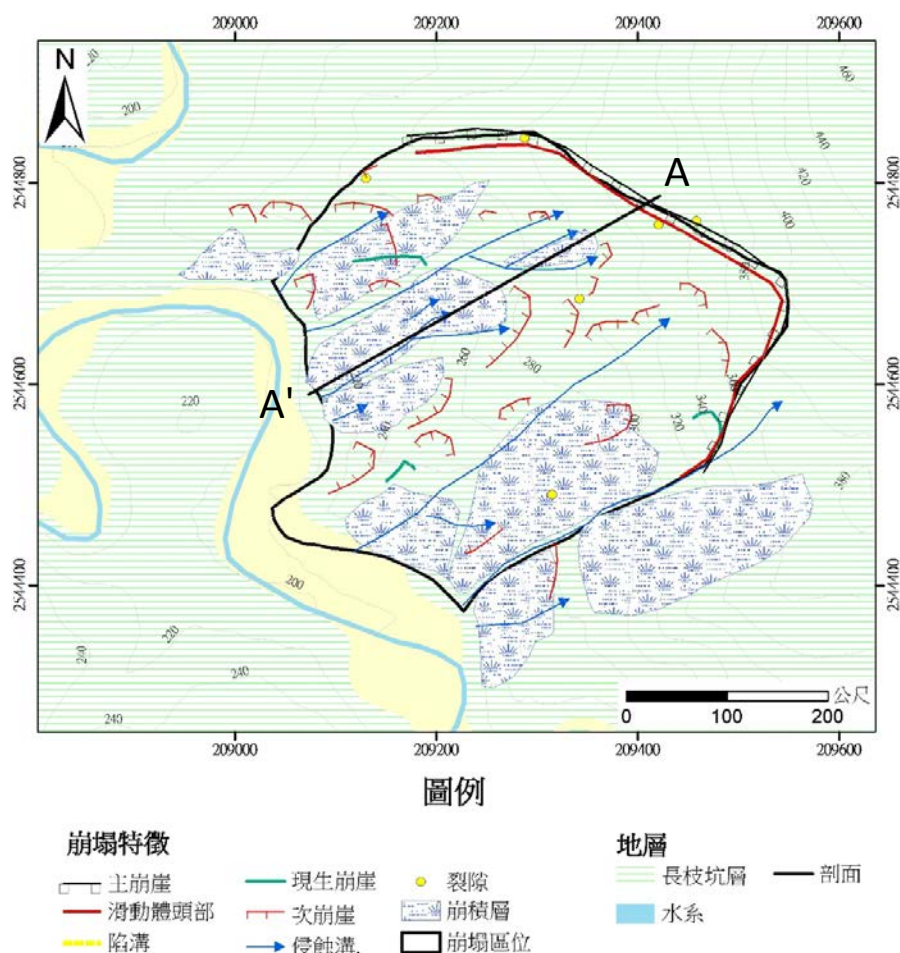


圖 3-4.67、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 地質圖(高屏溪流域地質圖，2009；AA'為高雄市-杉林區-D020 剖面位置)。

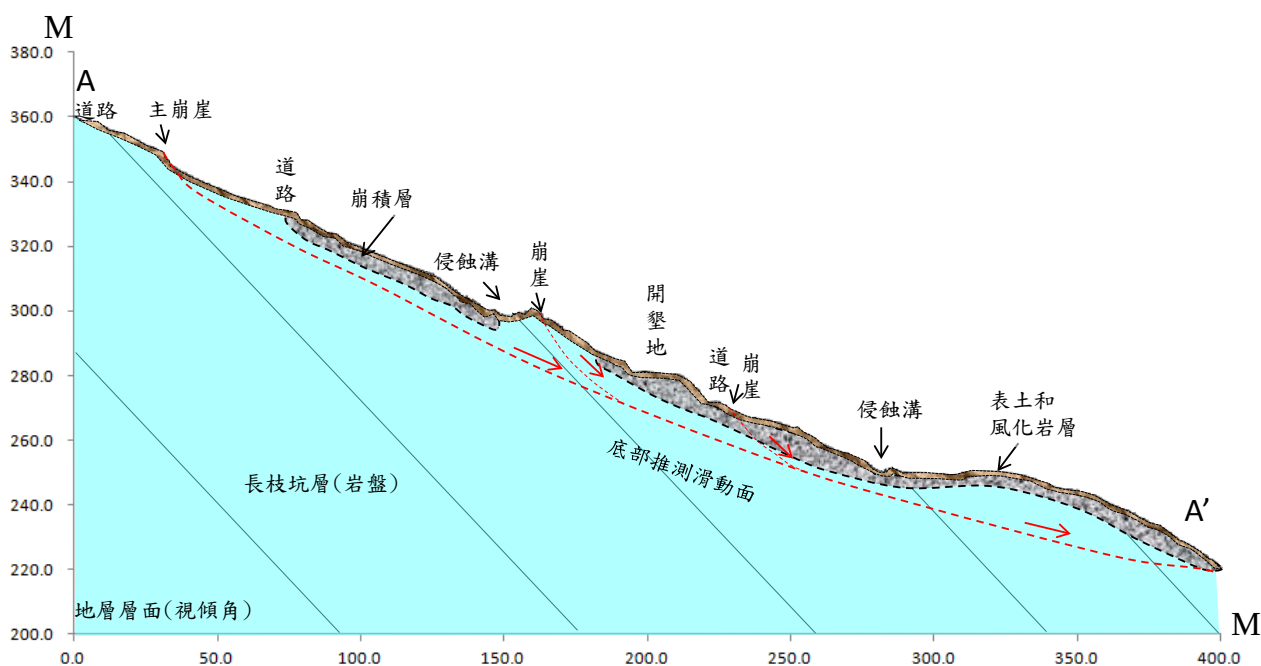


圖 3-4.68、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。

(2) 地形特徵判釋與現場查核結果

在地形特徵方面，由高精度數值地形判釋結果，崩塌範圍為一上下等近等寬的五角形。坡面可分為南北兩區，北側坡面中間呈現多處圓弧狀崩崖，崩崖分布大致有兩大圈，外側為主崩崖，主崩崖線性明顯，內側為坡腹次崩崖(圖 3-4.69、圖 3-4.70、圖 3-4.71、圖 3-4.72)。南側坡面為上凹下緩近三角形凹狀坡面。

現場查核方面，調查點 1、2 以及 8 為崩塌之北側主崩崖，航照影像植生茂密，現地查核情況可發現多處明顯崩崖，落差高度多約為 50 公分，顯示主崩崖活動性高。調查點 8 可發現由於崩崖的發育所影響農路的破壞(照片 3-4.66)，崩崖高差約 60 公分；調查點 1 有裂隙發育，高差約 80 公分(照片 3-4.67)，調查點 2 道路破壞，道路破裂方向與崩崖方向相近(照片 3-4.68)。調查點 3、9 以及 5、6 皆位於坡腹之位置，道路存在破壞以及裂隙。調查點 3 之道路破壞現象可由新舊之道路位置，下陷將近 2 公尺，顯示坡腹活動性活躍 (照片 3-4.69)。調查點 9 因邊坡滑移，造成道路破壞，有 20 公分落差(照片 3-4.70)。調查點 5 和 6 兩處鄰近東南側側邊之位置，調查點 5 之擋土牆出現多處嚴重的變形破壞以及道路受破壞下陷(照片 3-4.71)，調查點 6 點位則出現農舍因裂隙的發育而造成地基出現掏空的情況，裂隙高差約 20 公分(照片 3-4.72)。

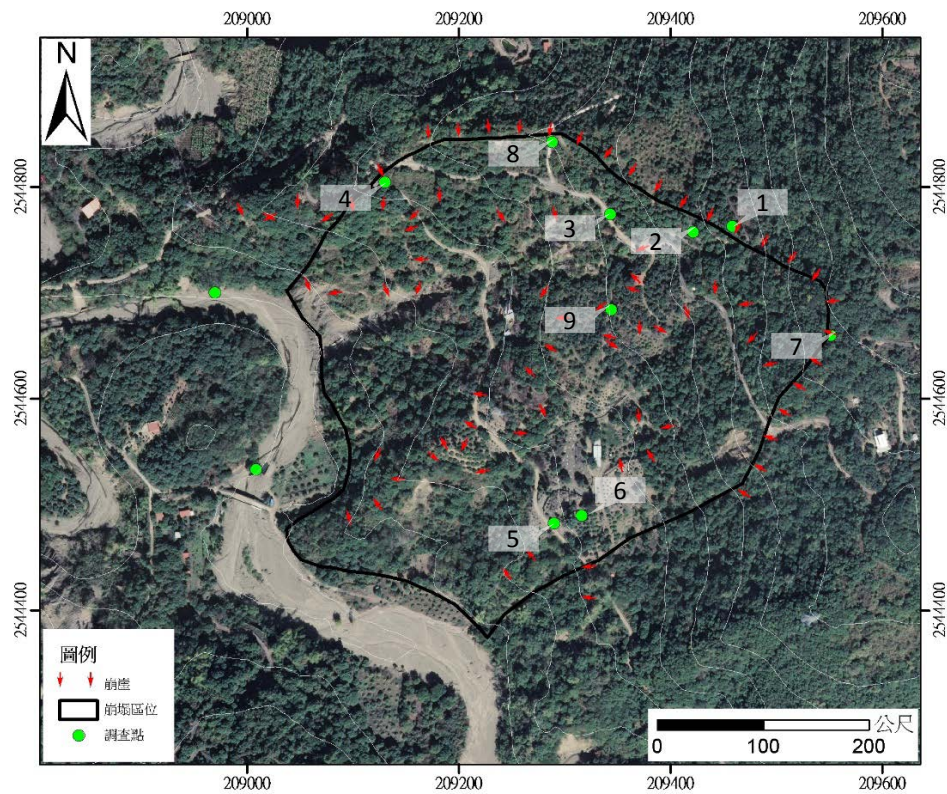


圖 3-4.69、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 航照和調查點位。

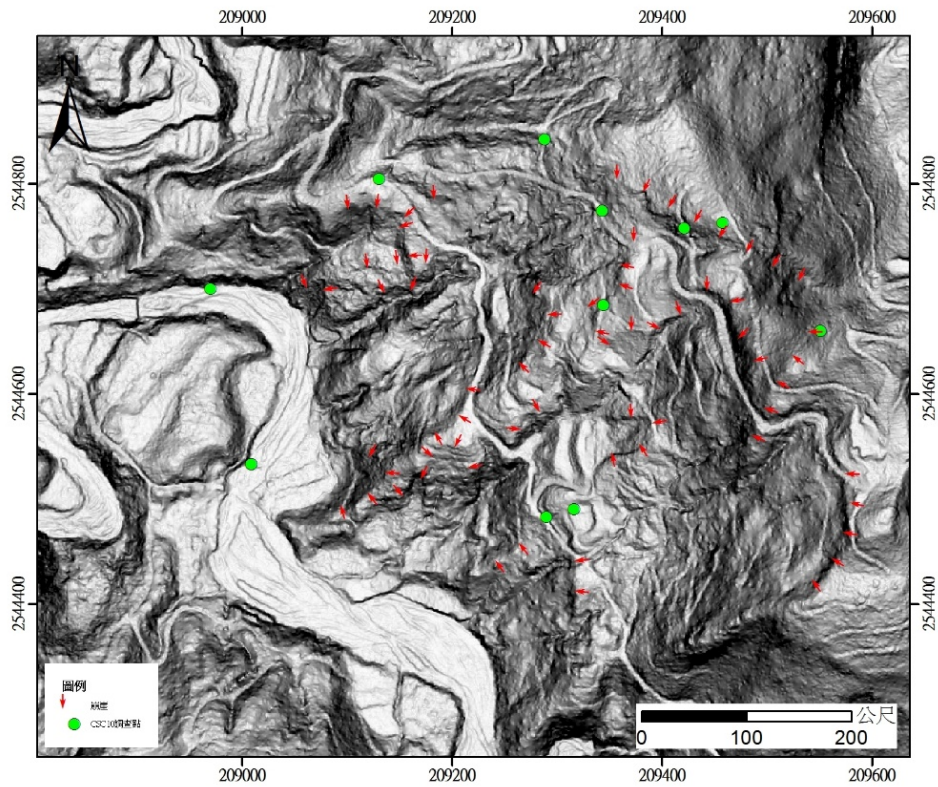


圖 3-4.70、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 高精度數值地形判釋結果圖。

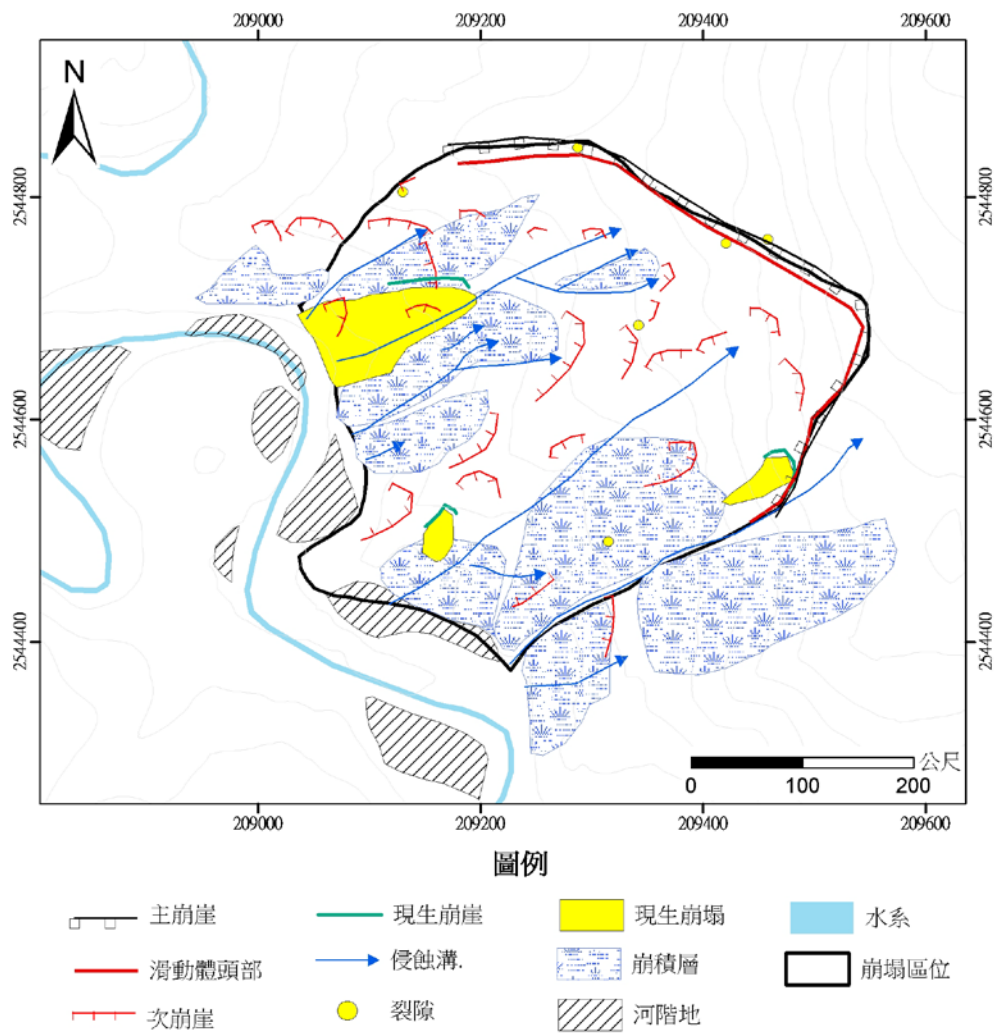


圖 3-4.71、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 崩塌特徵判釋圖。

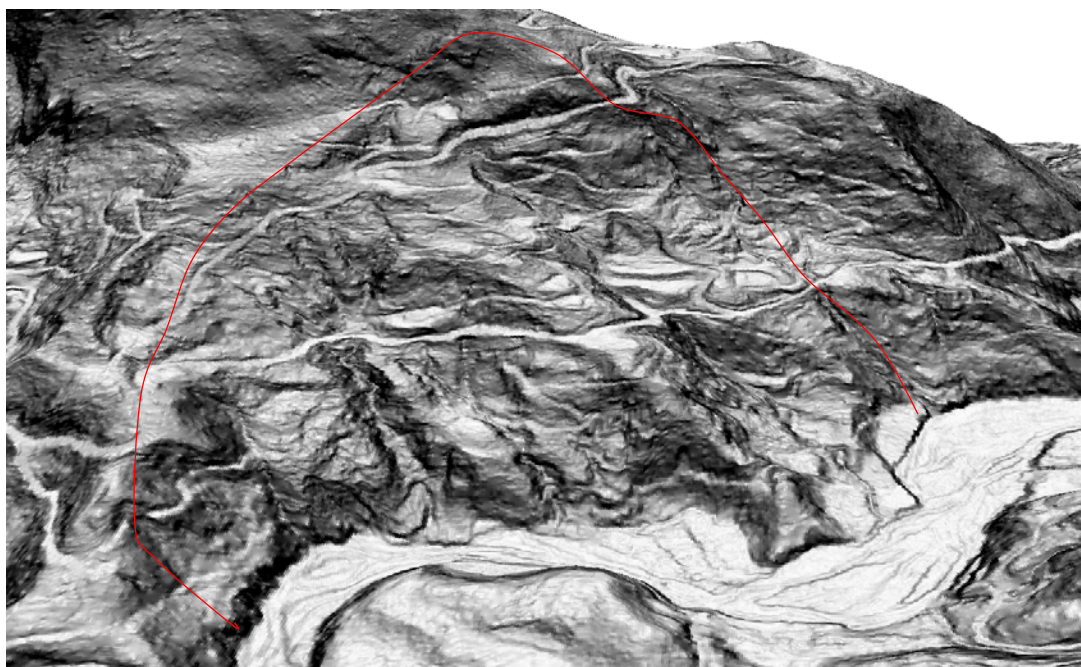


圖 3-4.72、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。



照片 3-4.66、調查點 8 主崩崖發育並切過農路，崩崖高差約 60 公分。



照片 3-4.67、調查點 1 主崩崖內發育之裂隙，落差約 50 公分。



照片 3-4.68、調查點 2 位於主崩崖，主崩崖與路面破壞方向相近。



照片 3-4.69、調查點 3 位於坡腹之道路與擋土牆破壞情形，舊有道路路面與現今路面落差約 2 公尺。



照片 3-4.70、調查點 9 位於坡腹道路，因邊坡滑移導致路面有 20 到 40 公分的落差。



照片 3-4.71、調查點 5 位於坡腹因坡體滑動，導致道路和擋土牆損壞。



照片 3-4.72、調查點 6 位於坡腹發育裂隙，裂隙高差約 25 公分。

(3) 聚落安全與可能致災成因

小份尾聚落主要分布在枋寮溪右岸與旗山溪匯流處河階地，致災情形可能情形為高雄市-杉林區-D014 和高雄市-杉林區-D020 崩塌導致堰塞湖，可能影響戶數大於 10 戶（圖 3-4.66）。高雄市-杉林區-D020 邊坡尚有 2 戶住戶，若高雄市-杉林區-D020 崩塌可能直接影響坡面住戶。

美濃甲河地區

1、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004

崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 位於美濃區甲河地區上游約 2.3 公里，屬旗山事業區 47 號林班地。崩塌中心坐標 TWD97 (209077, 2545705)，潛在崩塌面積約為 42 公頃、平均坡度 15.6 度，潛在崩塌區位最高點 620 公尺，最低點標高 320 公尺，最大寬度 690 公尺，崩塌範圍如橢圓形，上下較窄，中間較寬。

(1) 地質條件調查

在地質方面，參考中央地質調查所高屏溪流域地質圖，潛在崩塌位置出露地層為長枝坑層(圖 3-4.73)，此區長枝坑層為厚層頁岩夾砂岩(小於 5 公分)，地層位態為(N54°E, 35°W)(圖 3-4.74)。井角向斜在此區走向為東北-西南走向。因構造線通過崩塌地坡腹，導致地質破碎。因向斜構造易滙水，導致坡腹易發育崩塌，因此坡腹存在一明顯舊崩塌。

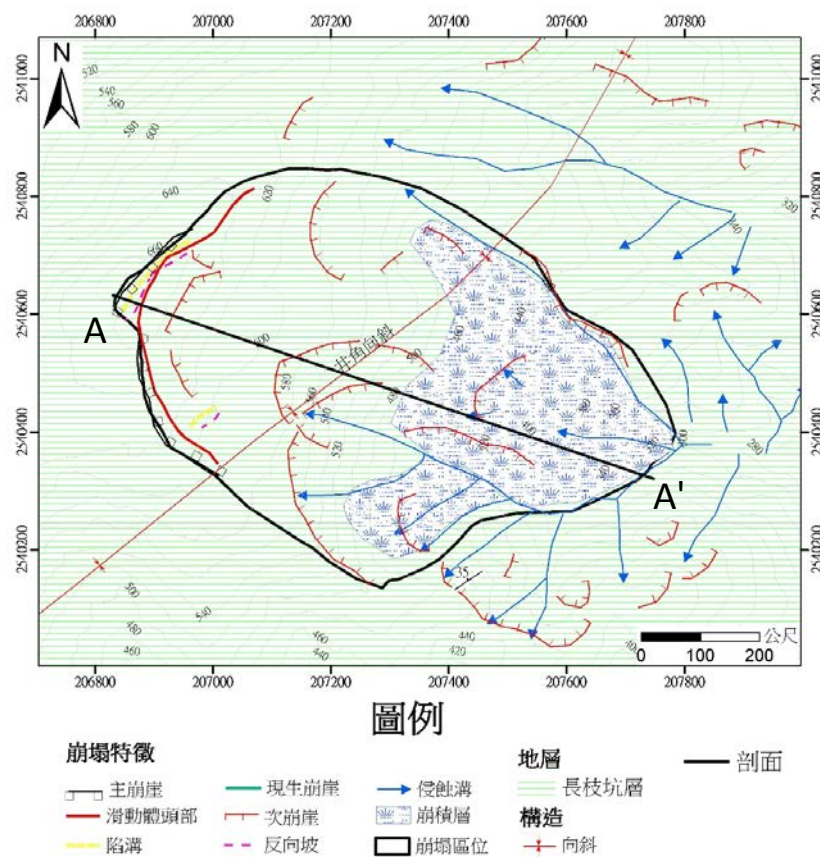


圖 3-4.73、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 地質圖(高屏溪流域地質圖，2009；AA' 為高雄市-美濃區-D004 剖面位置)。

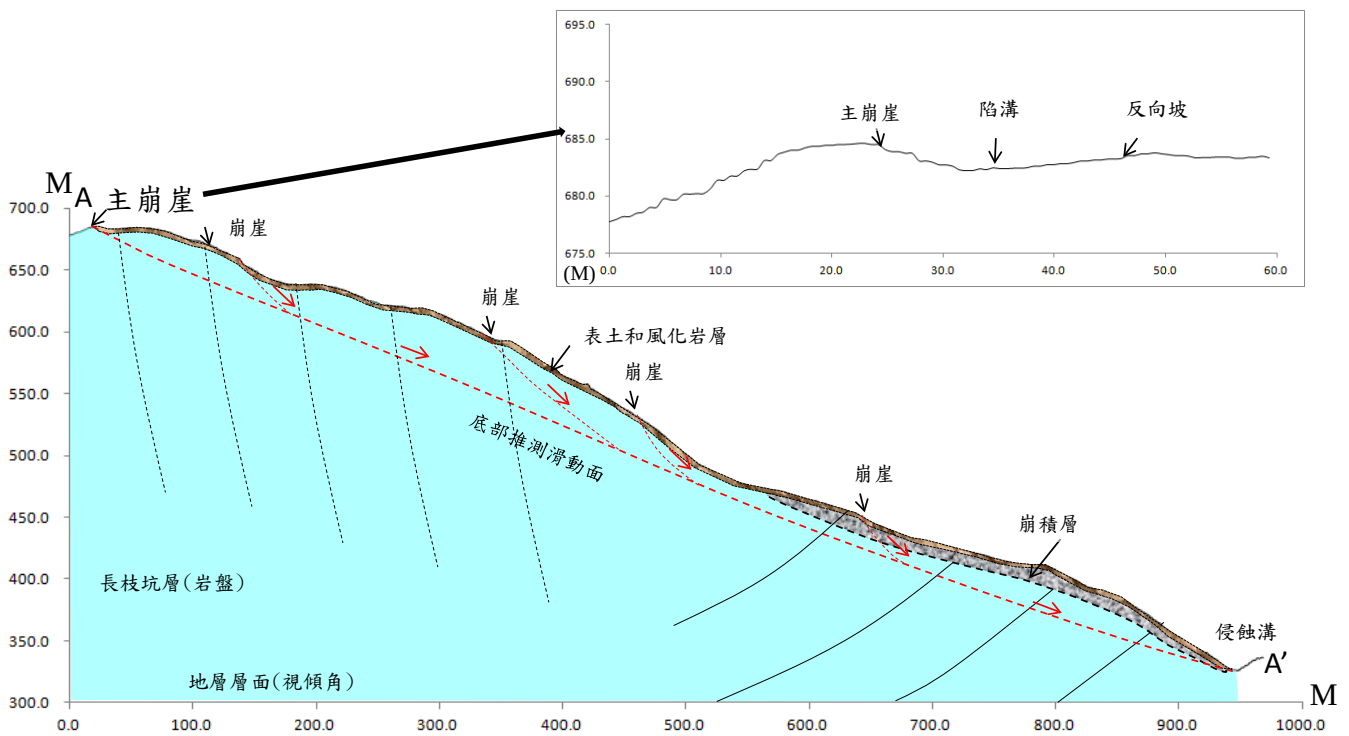


圖 3-4.74、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。

(2) 地形特徵判釋與現場查核結果

在地形特徵方面，由高精度數值地形判釋結果，崩塌範圍為一谷狀地形(圖 3-4.75、圖 3-4.76、圖 3-4.77、圖 3-4.78)。主崩崖約 500 公尺，坡腹存在多處圓弧狀崩崖。崩塌下邊坡為一凹谷狀舊崩塌地形，上邊坡為一平緩坡面，冠部有多重山脊地形，由影像判釋結果認為此崩塌主要滑動體為上邊坡部分。

現場查核方面，在多重山脊地形方面有 3 處，分別為調查點 01 和 02、03。調查點 02 於坡頂位置，此處出現明顯之反向坡地形(照片 3-4.73)，陷溝寬度約 20 公尺，為冠部多重山脊；調查點 01 位於坡腹位置出現寬廣之反向坡之地形，反向坡坡度緩(照片 3-4.74)；調查點 03 位於北側坡腹，此反向坡規模較小，長度不到 10 公尺，陷溝寬度約 2 公尺。在崩崖地形調查方面，此區調查點 05 為北側邊邊界崩崖及蝕溝，可明顯看見陡峭之崩崖地形及蝕溝地形(照片 3-4.75)，為雙溝同源之地形。調查點 03 位於坡腹出現之反向坡地形(照片 3-4.76)。調查點 04 位於坡腹現生崩塌內之新發育崩崖以及裂隙(照片 3-4.77)。

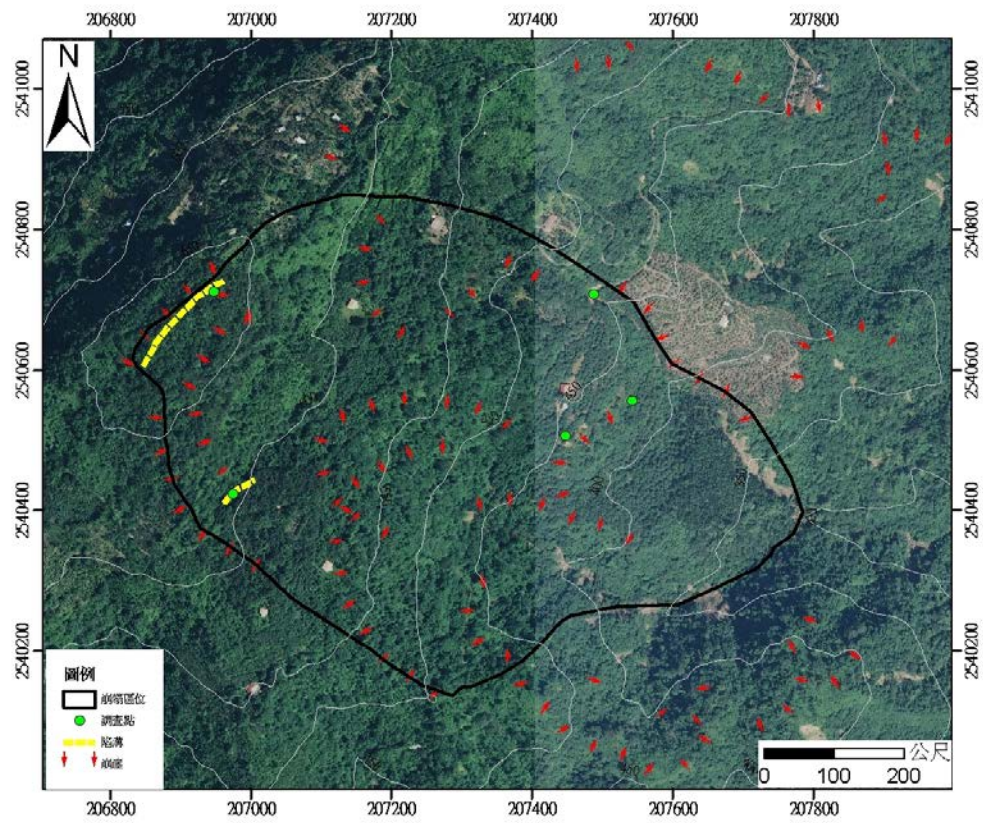


圖 3-4.75、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 航照和調查點位。

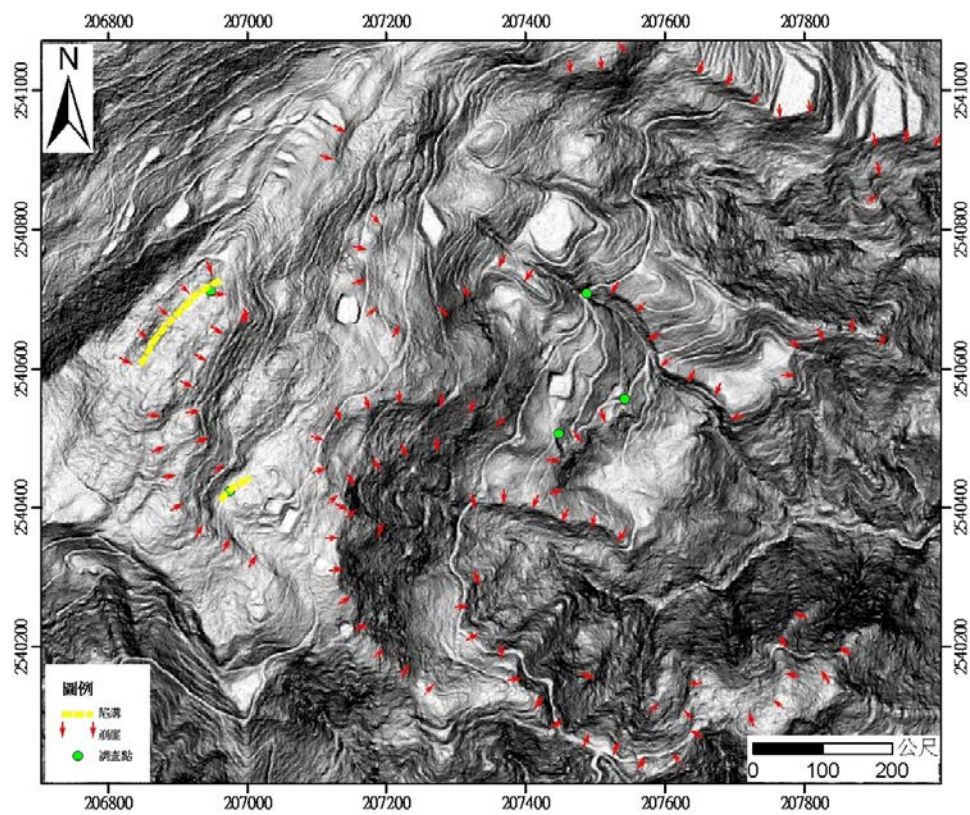


圖 3-4.76、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 高精度數值地形判釋結果圖。

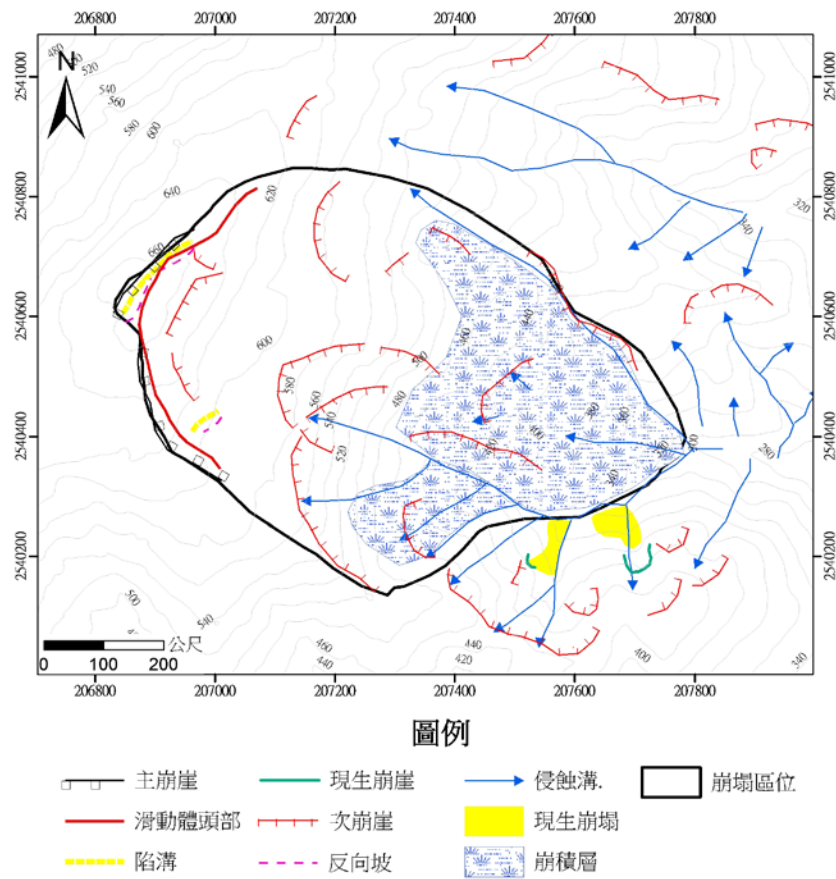


圖 3-4.77、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 崩塌特徵判釋圖。

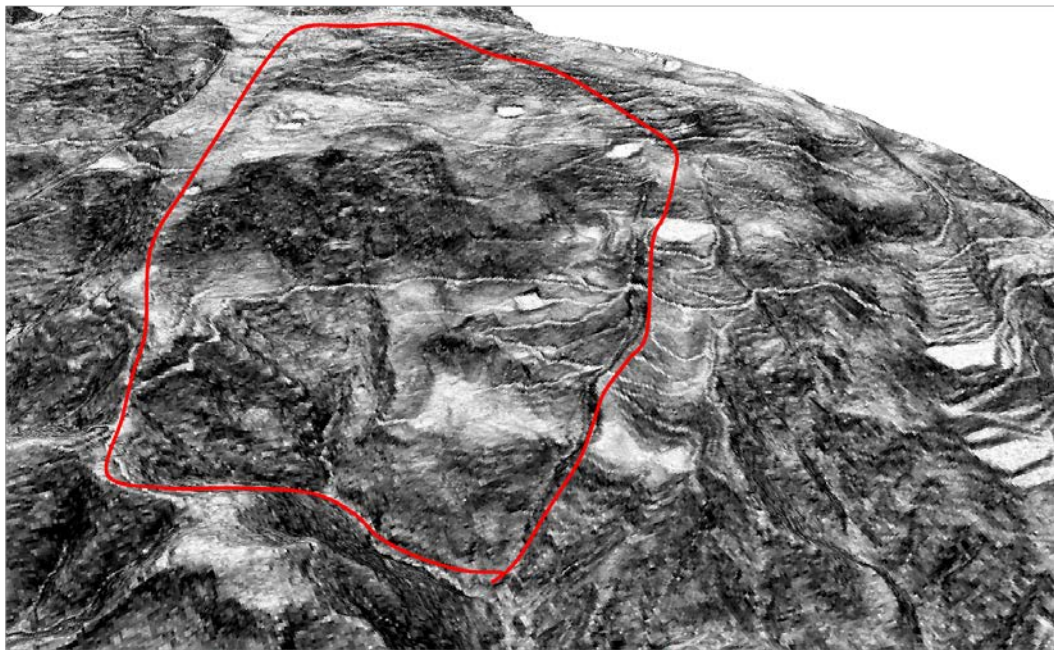


圖 3-4.78、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。



照片 3-4.73、調查點 02 位於冠部反向坡地形。



照片 3-4.74、調查點 01 於坡腹寬廣的反向坡地形。



照片 3-4.75、調查點 03 於北側坡腹出現反向坡地形。



照片 3-4.76、調查點 05 為北側側邊崩崖。



照片 3-4.77、調查點 04 現生崩塌內新發育出之裂隙，顯示此坡面仍具活動性。

(3) 聚落安全與可能致災成因

甲河聚落位於崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 下游 2.3 公里，致災成因有二：一、崩塌發生直接影響坡面聚落；二、崩塌發生大量土砂運輸到河道，產生土石流而影響下游甲河聚落(圖 3-4.79)。坡面住戶已部分遷出，由圖面判釋結果認為坡面和下游影響戶數大於 5 戶。

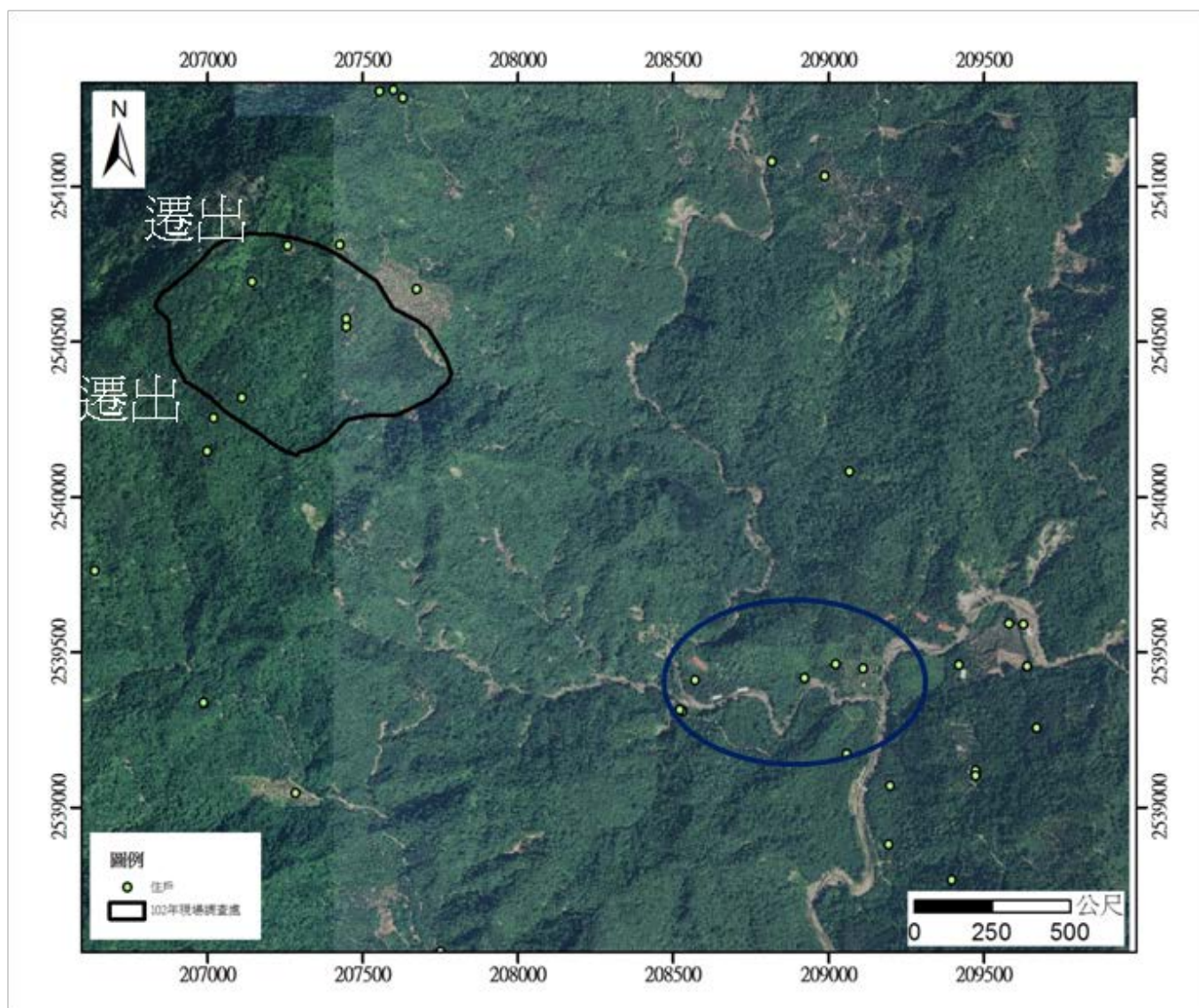


圖 3-4.79、甲河聚落可能受崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 影響範圍(藍線區為可能影響範圍)。

三地門地區

1、崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086

崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 位於隘寮溪右岸(北岸)，伊拉聚落下游約 1.5 公里，屬屏東事業區 43 號林班地。潛在崩塌中心坐標 TWD97 (217524，2516694)，潛在崩塌面積約為 21 公頃、平均坡度 32 度，崩塌區位最高點 960 公尺，最低點標高 230 公尺，最大寬度約 1,900 公尺。

(1) 地質條件調查

在地質方面，參考中央地質調查所高屏溪流域地質圖，潛在崩塌面積地層為潮州層(圖 3-4.80)，此區潮州層為板岩，劈理位態為(N32°E，37°S)，依照劈理傾向與坡面傾向關係，此崩塌為順向坡地形(圖 3-4.81)，崩塌地坡頂到坡腹風化層和崩積層厚度小於 2 公尺，坡頂地形明顯為一平面，與甲仙地區崩塌地相似，主要滑動體為變形岩體。崩塌地在莫拉克風災期間部分坡面已發育崩塌。

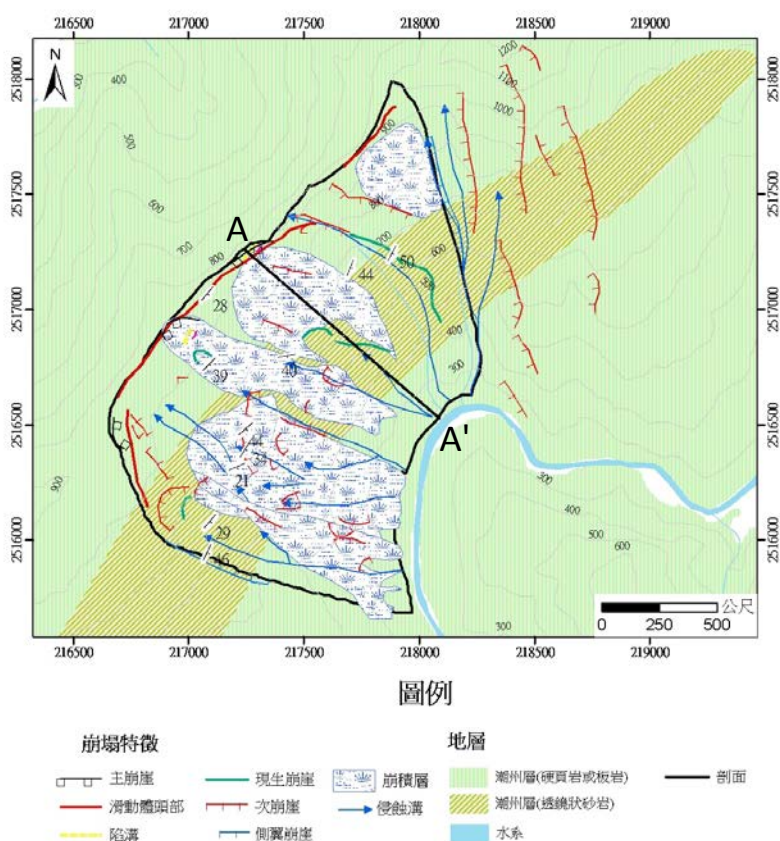


圖 3-4.80、崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 地質圖(高屏溪流域地質圖，2009；AA' 為屏東縣-三地門區-D086 剖面位置)。

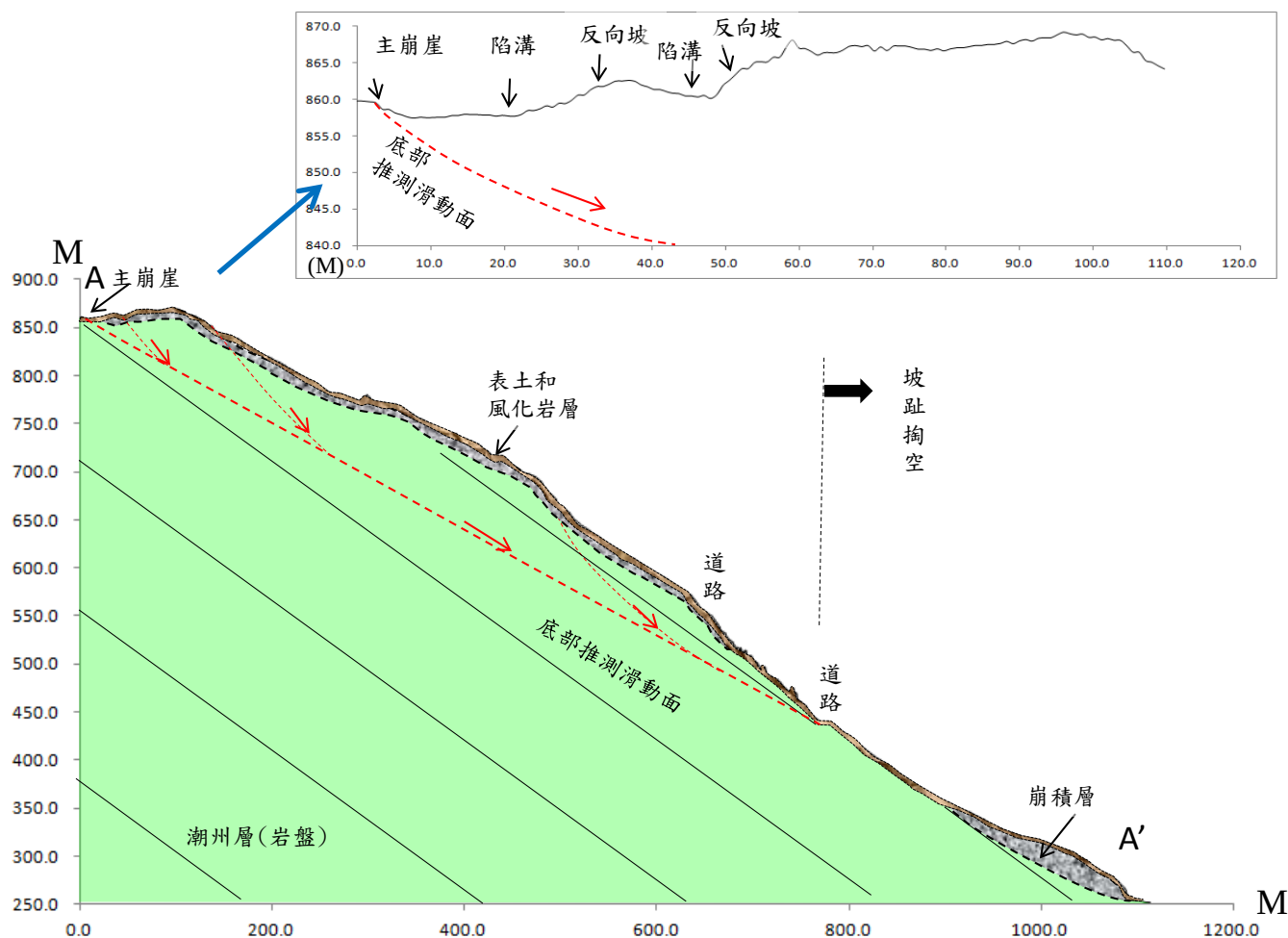


圖 3-4.81、崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 AA' 剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。

(2) 地形特徵判釋與現場查核結果

在地形特徵方面，由高精度數值地形判釋結果，崩塌範圍近長方形。依坡面情形可分為上下區，上邊坡坡面較平整，但在調查點 2 為緩坡地，此區塊為一弧狀地形，表示此區已有滑動跡象。下邊坡坡面起伏較大，似波浪狀，可能是因板岩受重力變形(圖 3-4.82、圖 3-4.83、圖 3-4.84、圖 3-4.85)。依圖面判釋結果認為崩塌坡腹崩崖具明顯崩塌特徵，莫拉克風災造成部分坡面已崩塌。

現場查核方面，在崩塌地形特徵調查結果。調查點 3 位於坡頂位置，為崩塌之冠部所發育出之小崩崖，小崩崖高差約 30 公分(照片 3-4.78)。調查點 2 位於坡腹位置，由坡度圖可明顯判釋出一反向坡地形。現地查核亦可清楚見到反向坡地形(照片 3-4.79)。調查點 1 位於坡腹位置且鄰近現生崩塌出露之岩盤，劈理位態為(N45°E，39°S)，坡面可見風化岩盤及新鮮岩盤為上覆滑動之崩積層(照片 3-

4.80)。調查點 5 為反向坡地形，反向坡面有堆積許多巨石，由高精度數值地形圖判釋結果認為此反向坡坡趾已出露。

在岩盤變形調查方面，有調查點 7、11、14。調查點 7 坡面發育重力變形 (creeping)，岩盤呈現彎曲、破裂，岩盤變形深度約 80 公分到 100 公分(照片 3-4.81)。調查點 11 出露剪切泥，附近無構造線通過，且剪切泥圍岩為風化岩盤，岩盤有許多開口，表示此剪切泥為岩盤重力滑動所形成，非構造作用所形成之剪切泥(照片 3-4.82)。調查點 14 為岩盤，岩盤之間存在許多空間，推測可能是因岩盤變形產生的空隙(照片 3-4.83)。

在建物破壞方面，調查點 6 此建物圍牆和樓梯有拉張破壞，破壞裂隙有 10 到 15 公分寬(照片 3-4.84)。在調查點 16 為道路水泥牆破壞和道路斜交的破壞線(照片 3-4.85)。

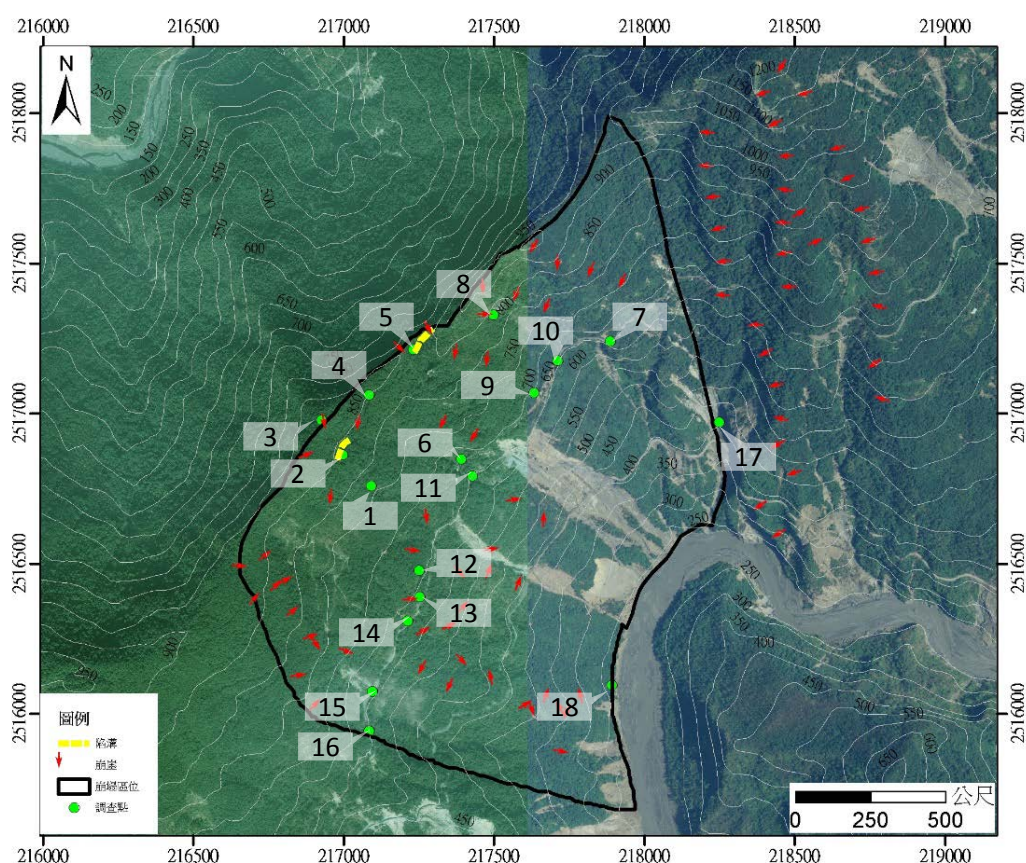


圖 3-4.82、崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 航照和調查點位。

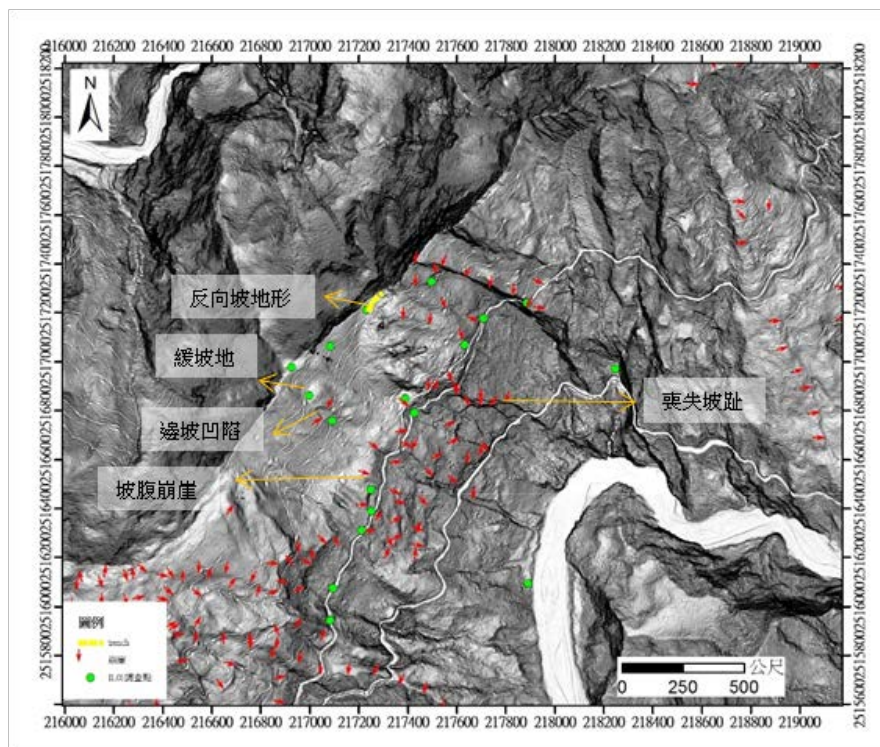


圖 3-4.83、崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 高精度數值地形判釋結果圖。

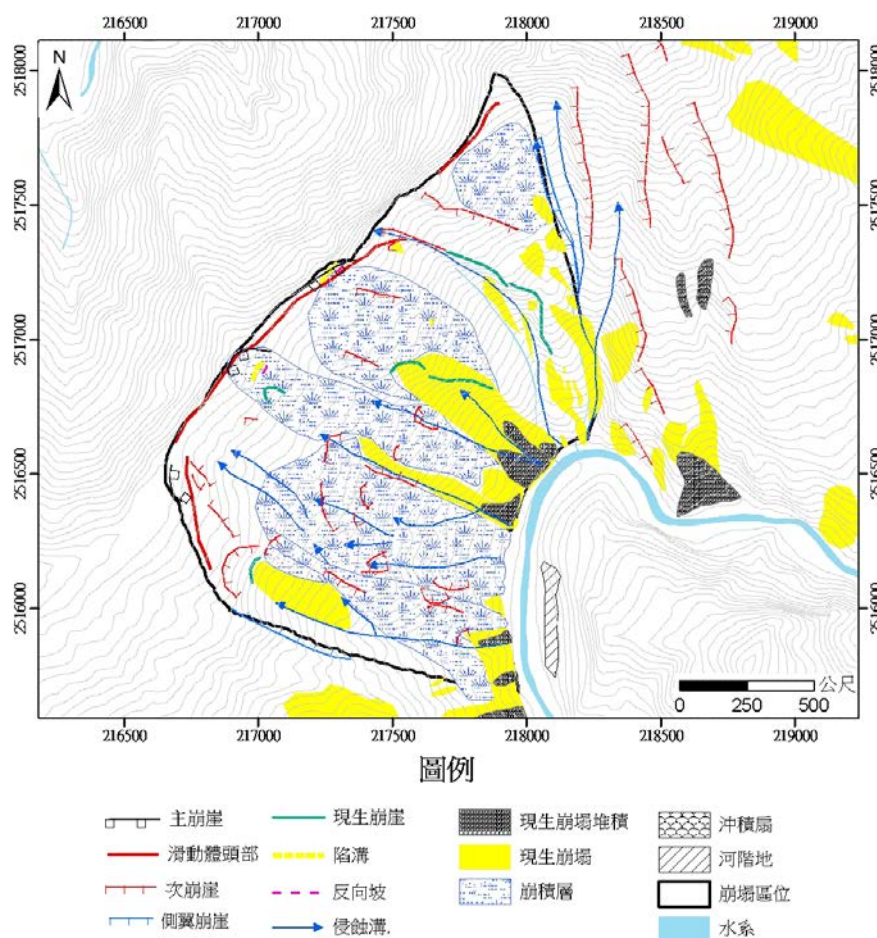


圖 3-4.84、崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 崩塌特徵判釋圖。

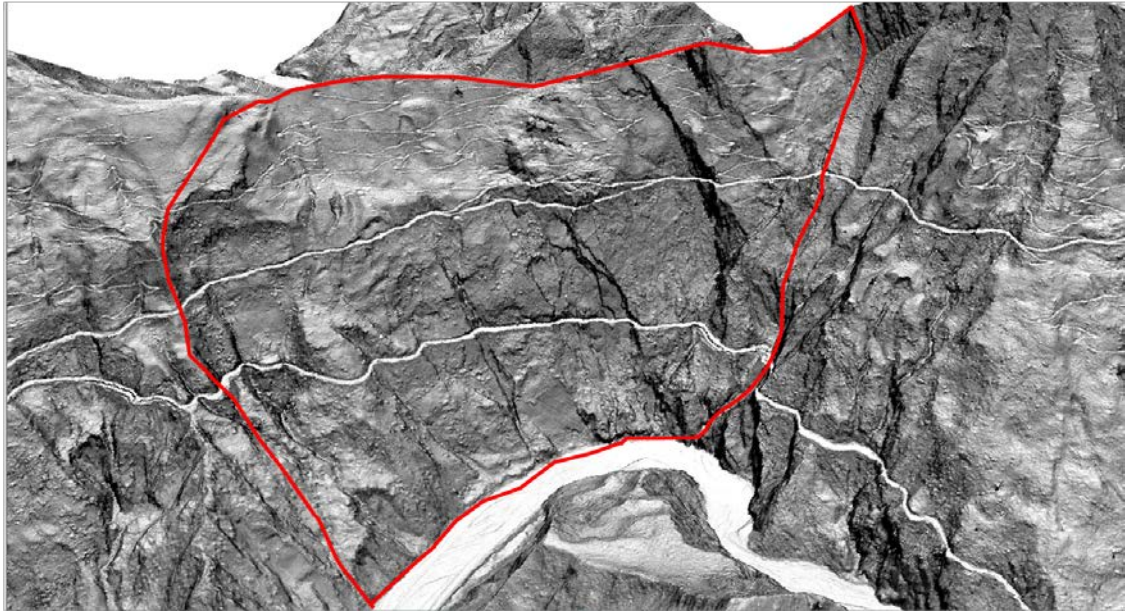


圖 3-4.85、崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。



照片 3-4.78、調查點 3 為冠部崩崖。



照片 3-4.79、調查點 2 位於坡腹之反向坡地形。



照片 3-4.80、調查點 1 位於坡腹現生崩塌處出露之岩盤。



照片 3-4.81、調查點 7 坡面發育重力變形(creeping)。



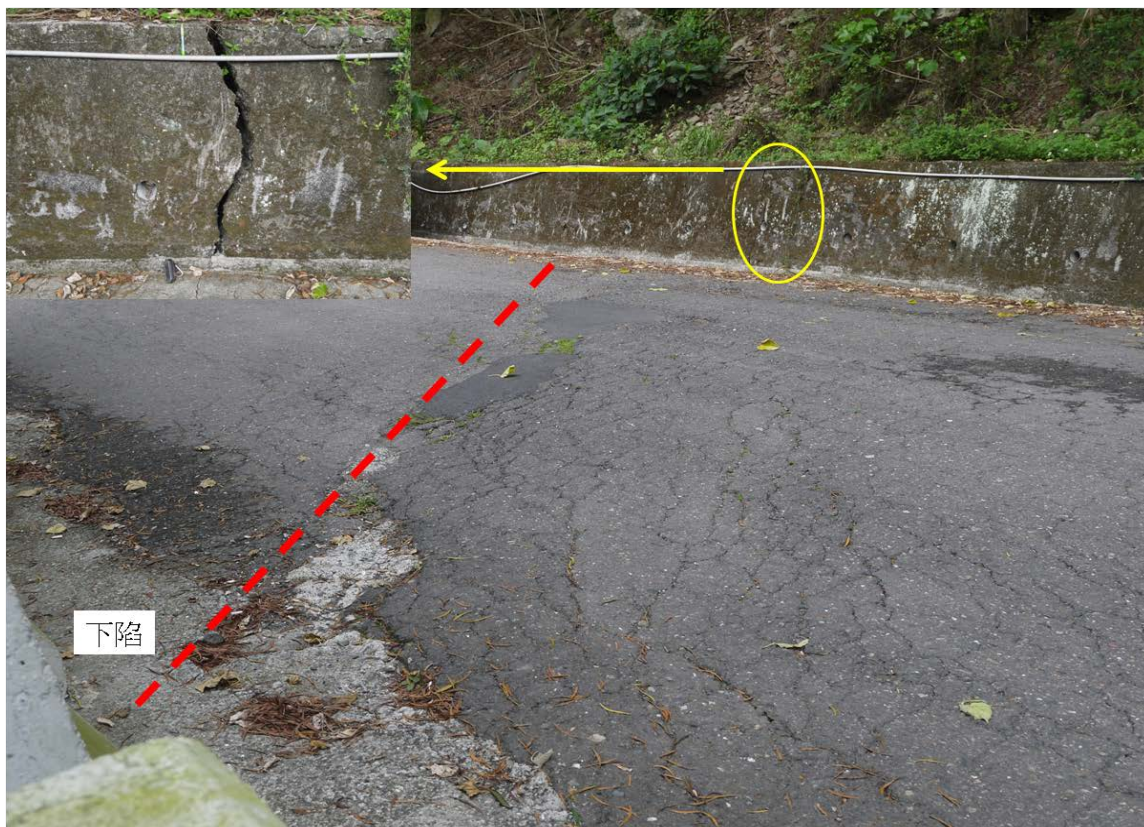
照片 3-4.82、調查點 11 剪切泥圍岩為風化岩盤，岩盤有許多開口，表示此剪切泥為岩盤重力滑動所形成。



照片 3-4.83、調查點 14 推測因岩盤變形而在岩盤間有多處空隙。



照片 3-4.84、調查點 6 建物圍牆和樓梯有拉張破壞，破壞裂隙有 10 到 15 公分寬。



照片 3-4.85、調查點 16 道路與水泥牆發育破壞面。

(3) 聚落安全與可能致災成因

伊拉聚落位於崩塌地上游 1.5 公里，住戶約 10 戶。可能致災模式是崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 發生深層崩塌，大量崩塌材料堆積在隘寮溪，導致隘寮溪產生堰塞湖，影響伊拉聚落和下游三地門聚落(圖 3-4.86)。因潛在崩塌位於河道攻擊坡，建議在坡趾處建立護岸、護坡等設施，以減緩坡趾受河道侵蝕的作用。

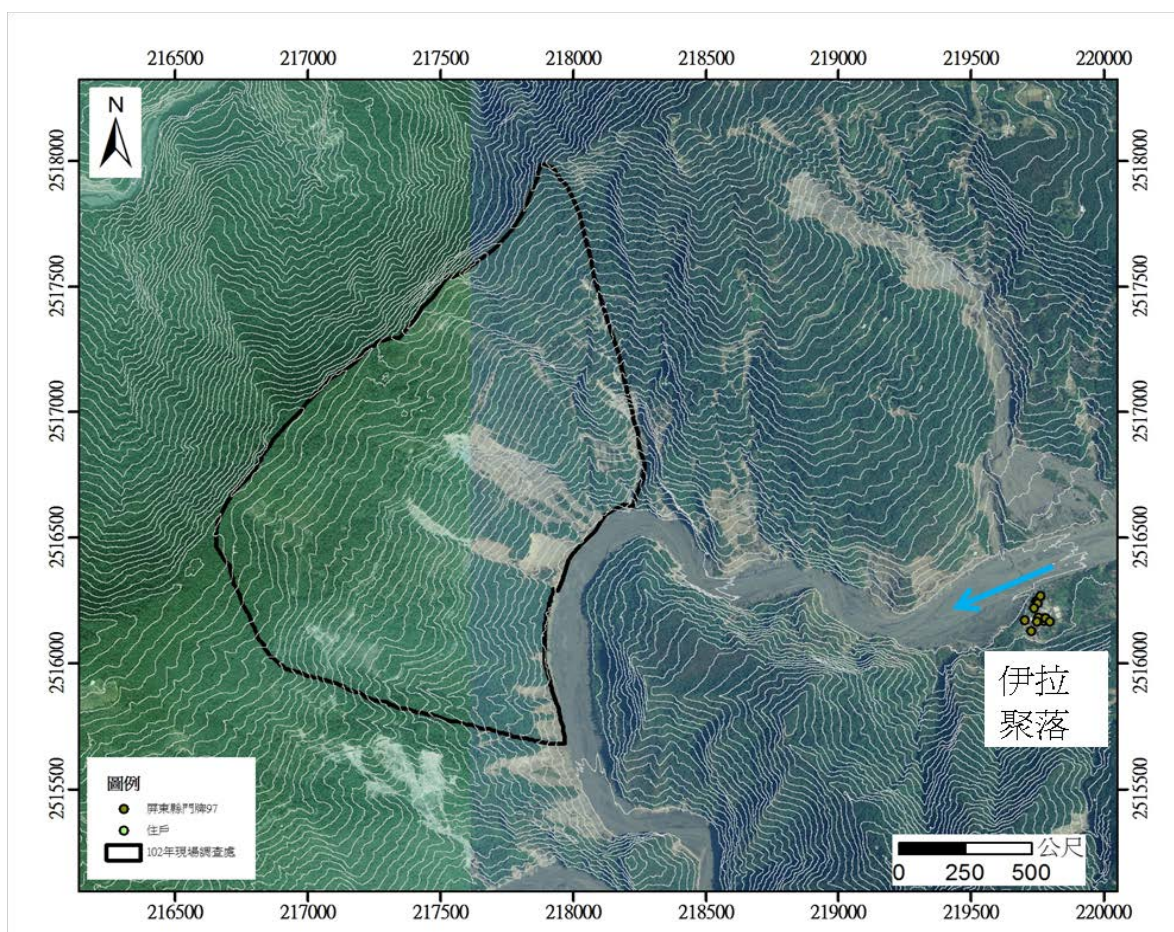


圖 3-4.86、伊拉聚落可能受崩塌地編號屏東縣-三地門區-D086 影響範圍。

3-5、深層崩塌潛勢區危險等級評估

本工作以具滑動地形特徵之類型 C 潛在深層崩塌為分析對象，透過地質、地形、水文、崩塌、河道侵蝕與保全對象等不利條件，進行深層崩塌潛勢區危險等級評估，評估項目與細項規劃及評分如表 2-5.2。另外本次再加入另兩種評估方法，使用類型 A 已發生深層崩塌及類型 C 潛在深層崩塌，以證據權重法建立評分表，針對類型 C 進行深層崩塌潛勢區危險等級評估。

3-5.1、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法一

此方法評估細項使用之參考資料為(1)比例尺五萬分之一流域地質圖、(2)順向坡資料、(3)5 米解析度數值高程模型、(4)地形陰影圖、(5)地形坡度圖、(6)航空照片、(7)衛星影像、(8)水系圖及(9)門牌系統等資料進行分析評估。在評估細項中，任一細項存在則此潛勢評估項目則給於評分，當四項不利因素及河道侵蝕評分總和(T_1)大於等於 7 則為高發生度等級， T_1 界於 5~6 分則為中發生度等級， T_1 小於等於 4 分則為低發生度等級；加入保全對象後之評分總和(T_2)大於等於 9 則為高危險等級， T_2 界於 6~8 分之間則為中危險等級， T_2 小於等於 5 則為低危險等級。

分析結果位於國有林事業區範圍內如圖 3-5.1、3-5.2，包含 163 處位於高發生度等級，121 處位於高危險等級；575 處位於中發生度等級，242 處位於中危險等級；265 處位於低發生度等級，640 處位於低危險等級，詳細統計數據如表 3-5.1、3-5.2。

表 3-5.1、各發生度之潛在深層崩塌(方法一)於各事業區數量統計

發生度 等級	玉山 事業區	旗山 事業區	荖濃溪 事業區	屏東 事業區	大埔 事業區	玉井 事業區	總計
高 (個數及 百分比)	26	66	21	15	23	12	163
	11.40%	21.57%	13.82%	11.36%	15.97%	29.27%	16.25%
中 (個數及 百分比)	131	190	62	70	93	29	575
	57.46%	62.09%	40.79%	53.03%	64.58%	70.73%	57.33%
低 (個數及 百分比)	71	50	69	47	28	0	265
	31.14%	16.34%	45.39%	35.61%	19.44%	0.00%	26.42%
總計	228	306	152	132	144	41	1,003

表 3-5.2、各危險度之潛在深層崩塌(方法一)於各事業區數量統計

危險度 等級	玉山 事業區	旗山 事業區	荖濃溪 事業區	屏東 事業區	大埔 事業區	玉井 事業區	總計
高 (個數及 百分比)	1	69	2	6	29	14	121
	0.44%	22.55%	1.32%	4.55%	20.14%	34.15%	12.06%
中 (個數及 百分比)	58	82	43	22	29	8	242
	25.44%	26.80%	28.29%	16.67%	20.14%	19.51%	24.13%
低 (個數及 百分比)	169	155	107	104	86	19	640
	74.12%	50.65%	70.39%	78.79%	59.72%	46.34%	63.81%
總計	228	306	152	132	144	41	1,003

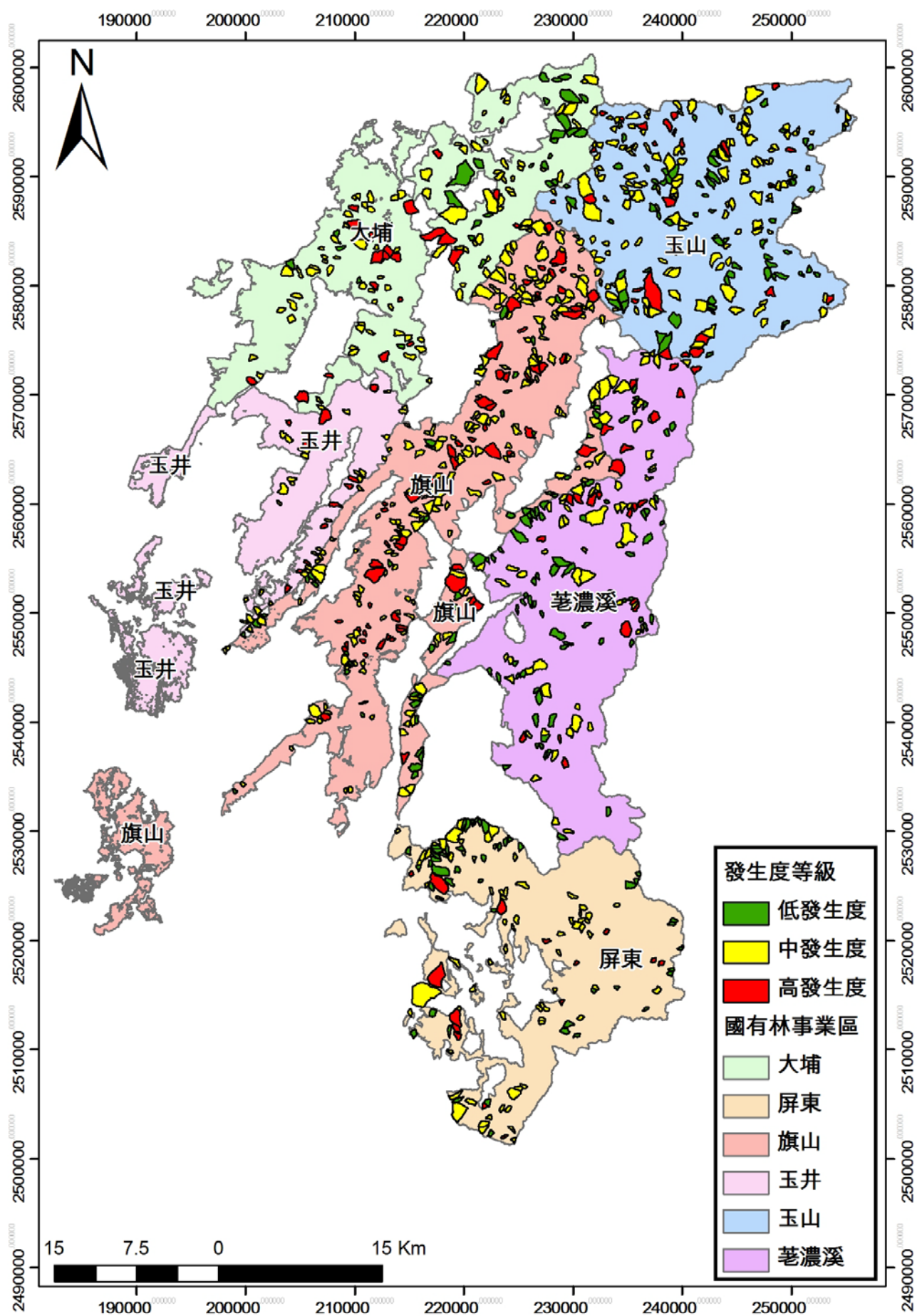


圖 3-5.1、深層崩塌潛勢區發生度等級分布圖(方法一)於國有林事業區內。

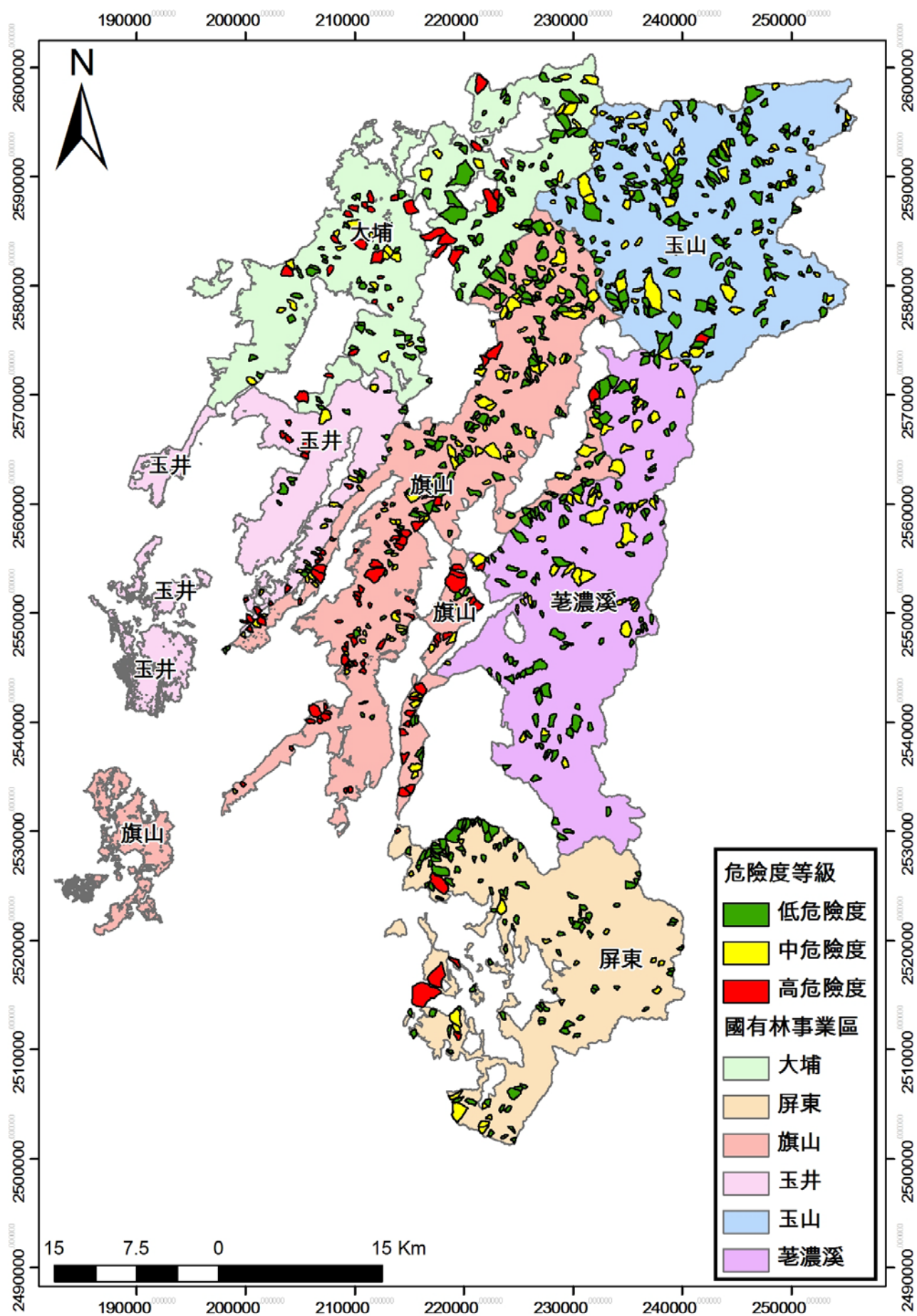


圖 3-5.2、深層崩塌潛勢區危險度等級分布圖(方法一)於國有林事業區內。

3-5.2、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法二

本方法選定有較高樣本數量的高屏溪流域的類型 A 及 C 兩種不同的深層崩塌目錄配合證據權重法來建立評分表(表 2-5.13)，使用之資料包含(1)坡度、(2)岩性、(3)構造線、(4)河道及(5)順向坡，針對類型 C 進行深層崩塌潛勢區發生度等級評估，評分總和區分為高、中、低三個等級如表 2-5.14。

再參考國際減災策略組織(ISDR)公式(式 2-5.1)，進行深層崩塌潛勢區危險等級評估，其中保全對象加入考慮因子包括(1)住戶、(2)交通、(3)重要設施及(4)水庫蓄水區，其評分表如表 2-5.15，再根據其保全對象分數總和區分為高、中、低及無四個保全重要性如表 2-5.16。最後依據保全重要性及發生度等級，給予 0~9 危險等級評分(表 2-5.17)。

分析結果位於國有林事業區範圍內如圖 3-5.3、3-5.4，包含 31 處位於高發生度等級、573 處位於中發生度等級及 399 處位於低發生度等級(表 3-5.3)；危險等級評分部分，範圍內最高分數為 8 分共有兩處，位於旗山及大埔事業區內，詳細統計數據如表 3-5.4。

表 3-5.3、各發生度之潛在深層崩塌(方法二)於各事業區數量統計

發生度 等級	玉山 事業區	旗山 事業區	荖濃溪 事業區	屏東 事業區	大埔 事業區	玉井 事業區	總計
高 (個數及 百分比)	8	5	10	8	0	0	31
	3.51%	1.63%	6.58%	6.06%	0.00%	0.00%	3.09%
中 (個數及 百分比)	135	161	117	94	48	18	573
	59.21%	52.61%	76.97%	71.21%	33.33%	43.90%	57.13%
低 (個數及 百分比)	85	140	25	30	96	23	399
	37.28%	45.75%	16.45%	22.73%	66.67%	56.10%	39.78%
總計	228	306	152	132	144	41	1,003

表 3-5.4、各危險度之潛在深層崩塌(方法二)於各事業區數量統計

危險等級 評分	玉山 事業區	旗山 事業區	荖濃溪 事業區	屏東 事業區	大埔 事業區	玉井 事業區	總計
9 (個數及 百分比)	0	0	0	0	0	0	0
	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8 (個數及 百分比)	0	1	0	0	1	0	2
	0.00%	0.33%	0.00%	0.00%	0.69%	0.00%	0.20%
7 (個數及 百分比)	0	1	0	0	0	0	1
	0.00%	0.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.10%
6 (個數及 百分比)	1	1	0	1	0	0	3
	0.44%	0.33%	0.00%	0.76%	0.00%	0.00%	0.30%
5 (個數及 百分比)	1	11	2	4	1	1	20
	0.44%	3.59%	1.32%	3.03%	0.69%	2.44%	1.99%
4 (個數及 百分比)	0	12	0	0	6	2	20
	0.00%	3.92%	0.00%	0.00%	4.17%	4.88%	1.99%
3 (個數及 百分比)	1	1	2	0	0	0	4
	0.44%	0.33%	1.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.40%
2 (個數及 百分比)	14	51	29	19	13	7	133
	6.14%	16.67%	19.08%	14.39%	9.03%	17.07%	13.26%
1 (個數及 百分比)	19	44	11	10	30	6	120
	8.33%	14.38%	7.24%	7.58%	20.83%	14.63%	11.96%
0 (個數及 百分比)	192	184	108	98	93	25	700
	84.21%	60.13%	71.05%	74.24%	64.58%	60.98%	69.79%
總計	228	306	152	132	144	41	1,003

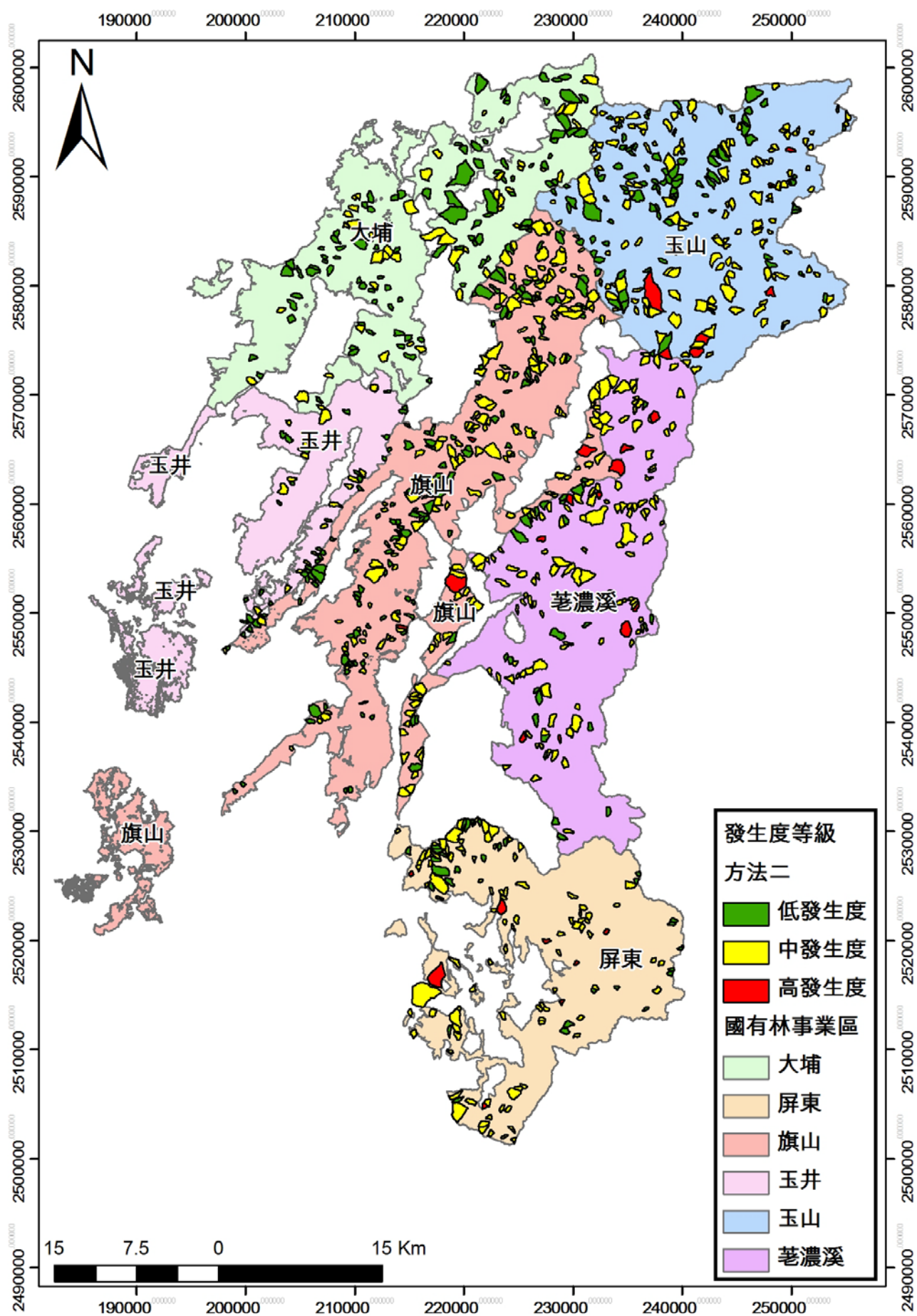


圖 3-5.3、深層崩塌潛勢區發生度等級分布圖(方法二)於國有林事業區內。

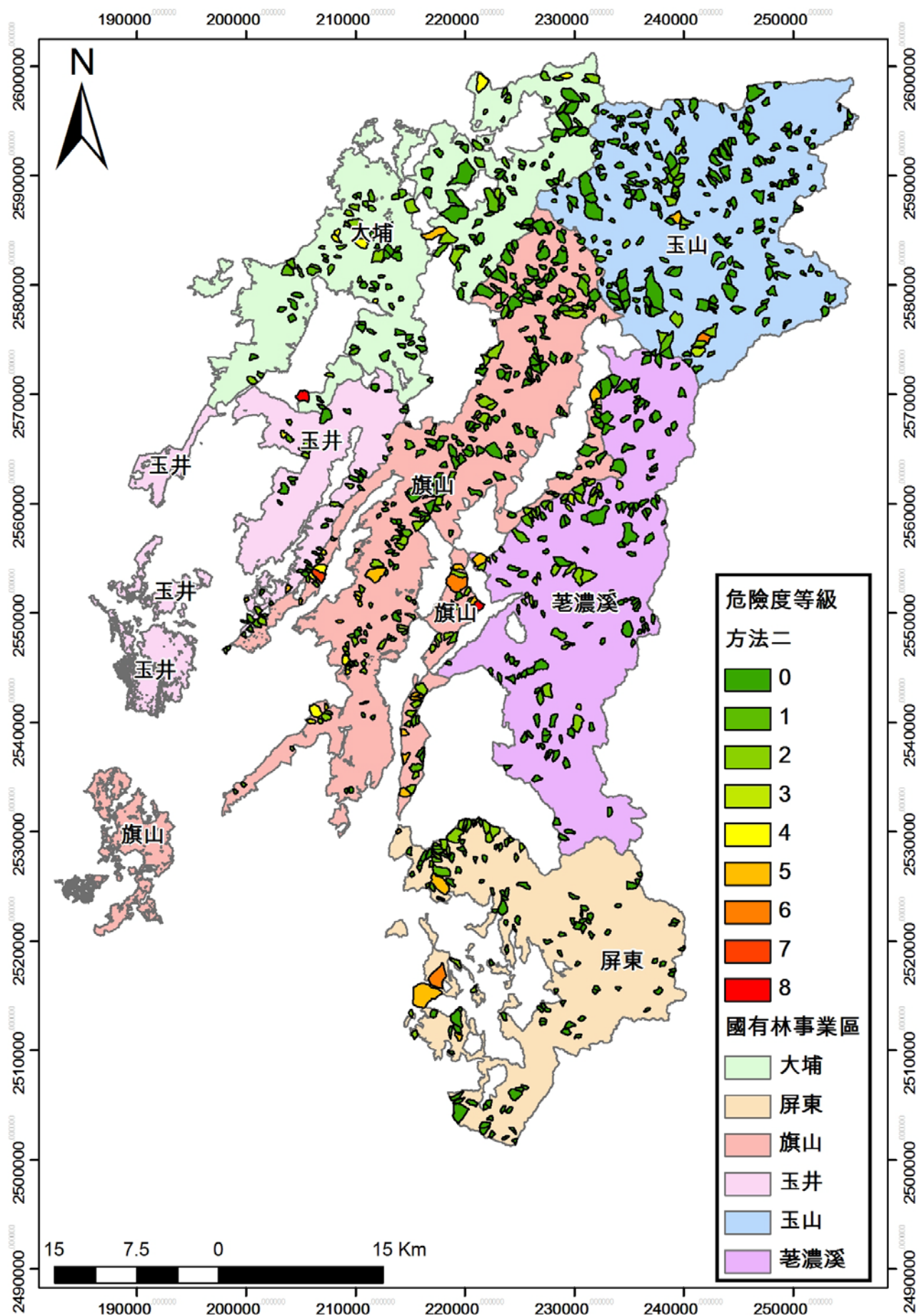


圖 3-5.4、深層崩塌潛勢區危險度等級分布圖(方法二)於國有林事業區內。

3-5.3、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法三

為有效鑑別保全對象差異，方法三將方法二危險度評估方法加以修正。保全評分部分，多加住戶戶數大於 50 戶以上為一個等級，且分數再以原本分數加以平方作為新的保全評分依據如表 2-5.18，當評分在 36 分以上為高保全重要性，12~35 分為中保全重要性，1~11 分為低保全重要性，0 分為無保全重要性(表 2-5.19)，再結合方法二的發生度等級，以評估深層崩塌潛勢區危險等級，而方法三也調整危險等級評分表，將中保全重要性及高發生度等級調整為 7 分，高保全重要性及低發生度等級調整為 6 分(表 2-5.20)。

危險等級評分分析結果位於國有林事業區範圍內如圖 3-5.5，範圍內最高分數為 9 分共有一處，位於旗山事業區內，大於 6 分共有 11 處(附錄三)，詳細統計數據如表 3-5.5。

表 3-5.5、各危險度之潛在深層崩塌(方法三)於各事業區數量統計

危險等級 評分	玉山 事業區	旗山 事業區	荖濃溪 事業區	屏東 事業區	大埔 事業區	玉井 事業區	總計
9 (個數及 百分比)	0	1	0	0	0	0	1
	0.00%	0.54%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.14%
8 (個數及 百分比)	0	0	1	2	0	0	3
	0.00%	0.00%	0.66%	1.52%	0.00%	0.00%	0.30%
7 (個數及 百分比)	0	0	0	1	0	0	1
	0.00%	0.00%	0.00%	0.76%	0.00%	0.00%	0.10%
6 (個數及 百分比)	0	6	0	0	0	0	6
	0.00%	1.96%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.60%
5 (個數及 百分比)	0	21	1	3	2	0	27
	0.00%	6.86%	0.66%	2.27%	1.39%	0.00%	2.69%
4 (個數及 百分比)	2	1	2	0	0	0	5
	0.88%	0.33%	1.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.50%
3 (個數及 百分比)	0	13	0	0	4	2	19
	0.00%	4.25%	0.00%	0.00%	2.78%	4.88%	1.89%
2 (個數及 百分比)	15	42	29	18	13	8	125
	6.58%	13.73%	19.08%	13.64%	9.03%	19.51%	12.46%
1 (個數及 百分比)	19	38	11	10	32	6	116
	8.33%	12.42%	7.24%	7.58%	22.22%	14.63%	11.57%
0 (個數及 百分比)	192	184	108	98	93	25	700
	84.21%	60.13%	71.05%	74.24%	64.58%	60.98%	69.79%
總計	228	306	152	132	144	41	1,003

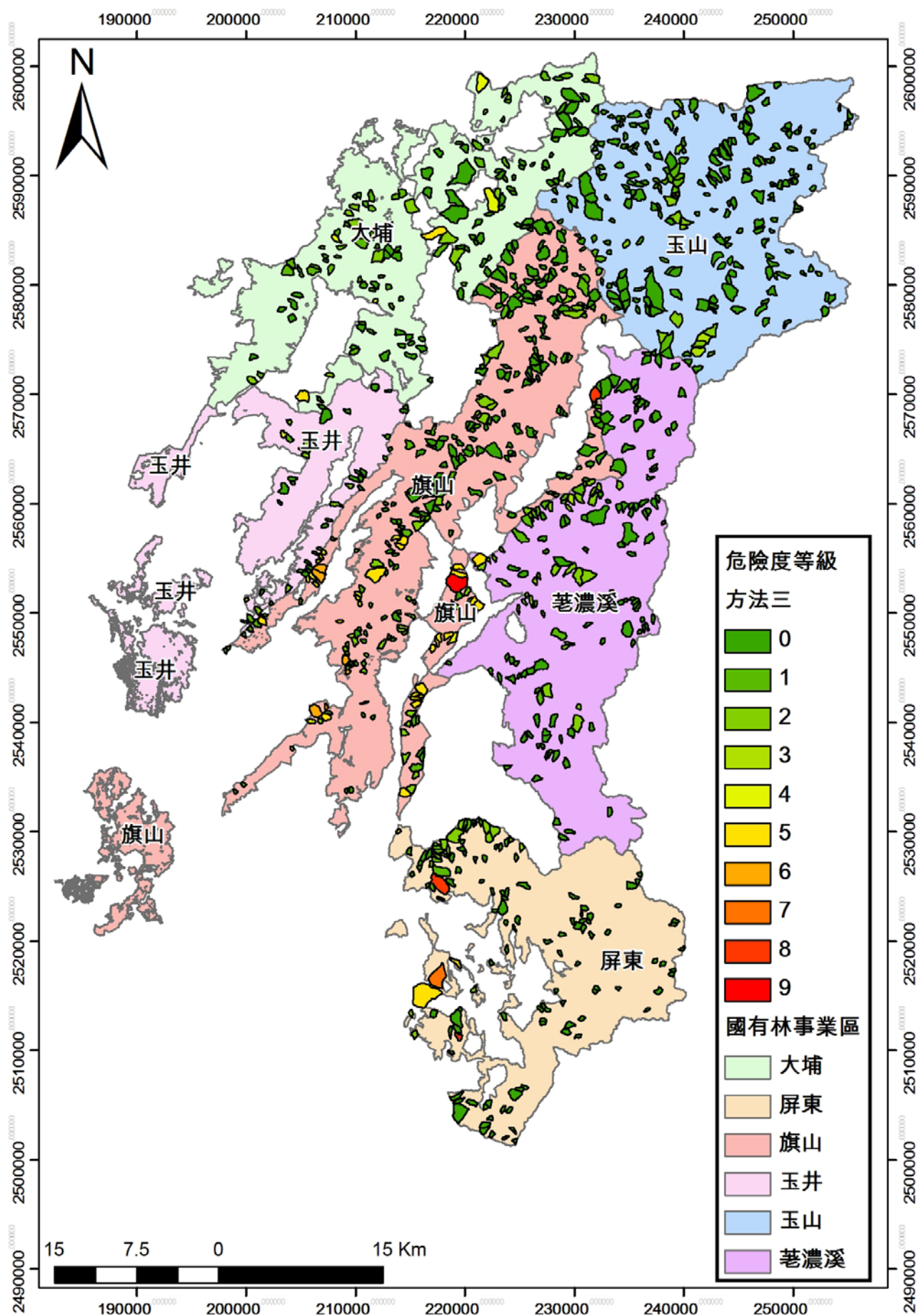


圖 3-5.5、深層崩塌潛勢區危險度等級分布圖(方法三)於國有林事業區內。

3-5.4、深層崩塌潛勢區危險等級評估方法比較

為比較兩種發生度等級評估方法，針對區域內類型 A 已發生深層崩塌進行兩種發生度評估，數量部分兩種方法皆集中於中發生度等級，方法一約占 51%，方法二及三約占 72%，評估結果如表 3-5.6、表 3-5.7。

表 3-5.6、各發生度之已發生深層崩塌(方法一)於各事業區數量統計

發生度等級	玉山事業區	旗山事業區	荖濃溪事業區	屏東事業區	大埔事業區	玉井事業區	總計
高 (個數及百分比)	10	28	29	11	4	2	84
	15.38%	31.11%	21.97%	22.92%	23.53%	50.00%	23.60%
中 (個數及百分比)	36	52	58	24	11	2	183
	55.38%	57.78%	43.94%	50.00%	64.71%	50.00%	51.40%
低 (個數及百分比)	19	10	45	13	2	0	89
	29.23%	11.11%	34.09%	27.08%	11.76%	0.00%	25.00%
總計	65	90	132	48	17	4	356

表 3-5.7、各發生度之已發生深層崩塌(方法二及三)於各事業區數量統計

發生度等級	玉山事業區	旗山事業區	荖濃溪事業區	屏東事業區	大埔事業區	玉井事業區	總計
高 (個數及百分比)	10	6	31	12	2	0	61
	15.38%	6.67%	23.48%	25.00%	11.76%	0.00%	17.13%
中 (個數及百分比)	48	58	101	36	10	3	256
	73.85%	64.44%	76.52%	75.00%	58.82%	75.00%	71.91%
低 (個數及百分比)	7	26	0	0	5	1	39
	10.77%	28.89%	0.00%	0.00%	29.41%	25.00%	10.96%
總計	65	90	132	48	17	4	356

若觀察由潛在深層崩塌(類型 C)轉換為已發生深層崩塌(類型 A)比例，可發現方法二及三在高發生度等級達 66%(表 3-5.9)，而方法一則約只有 34%(表 3-5.8)，顯示發生度等級評估方法以方法二及三較為適當。

表 3-5.8、各發生度之類型 A、類型 C 深層崩塌數量及發生深層崩塌比例(方法一)

發生度 等級	類型 A 深層崩塌	類型 C 深層崩塌	類型 A、C 深層崩塌	發生深層崩塌 比例
高	84	163	247	34.01%
中	183	575	758	24.14%
低	89	265	354	25.14%

表 3-5.9、各發生度之類型 A、類型 C 深層崩塌數量及發生深層崩塌比例(方法二及
三)

發生度 等級	類型 A 深層崩塌	類型 C 深層崩塌	類型 A、C 深層崩塌	發生深層崩塌 比例
高	61	31	92	66.30%
中	256	573	829	30.88%
低	39	399	438	8.90%

危險度等級評估部分，方法一其評分總和差異並不明顯，故不同危險度差異有限，而方法三較方法二更能凸顯保全重要性的差異，故建議以方法三進行潛在深層崩塌危險等級評估。

此評估方法仍屬研究階段，初步以方便取得之相關資料進行整體性分析初估，後續建議再檢討評估項目及因子，改進現有之評估方法，以建立符合國內深層崩塌潛勢區危險等級評估方法。

3-6、深層崩塌與天然壩形成之情境模擬

本計畫選定計畫範圍內十處可能因潛在深層崩塌發生而導致堰塞湖之區位，由現場調查或影像判釋結果得到崩塌潛勢範圍外，再利用穩定性分析，求得可能之破壞面，當得到這些資料後，可以得到深層崩塌發生後之不安定土體，進行土體運動分析，以推求天然壩形成條件，包含堆積範圍、堆積土方以及壩體形狀等，土體運動分析方法係透過宮本(2000)所提出之土體運動方法進行，其模式假設崩塌土體運動中的過程可以以顆粒流型態來描述之，以連體力學的觀念建立連續、動量方程式與顆粒流之本構方程式，用以模擬邊坡破壞土體起動後之運動過程，該模式可考量固、液混和後之土體運動現象，不同於現有模式僅能模擬地震(乾燥狀態)下土體運動過程，更能模擬在颱風、豪雨期間(飽和狀態)的土體運動過程。

崩塌土體運動模式計算需輸入參數有：不安定土體分布範圍(位置及深度)、不安定土體參數，包含顆粒比重、堆積濃度、土體平均粒徑、摩擦角等，在本計畫之模擬中，不安定土體之位置係崩塌土體運動模擬結果，而深度則是透過邊坡穩定分析及現地調查成果進行設定，土體參數部分則由模擬反推結果或參考鄰近地區土體參數進行參數設定，表 3-6.1 為本計畫選定進行模擬之 10 處崩塌基本資料。

表 3-6.1、崩塌運動模擬選定案例

編號	地點	面積(公頃)
高雄市-桃源區-D346	小關山林道	96
高雄市-六龜區-D012	寶來	43
高雄市-六龜區-D015	美輪山	2,28
高雄市-六龜區-D018	荖濃鑾仔埔	16
高雄市-六龜區-D021	荖濃鑾仔埔	9
屏東縣-三地門鄉-D086	屏東山地門地區	187
高雄市-甲仙區-D044/高雄市-甲仙區-D047	甲仙地區	67/ 84
高雄市-美濃區-D004	美濃區甲河上游地區	42
高雄市-杉林區-D014	杉林區小份尾地區	54
高雄市-杉林區-D020	杉林區小份尾地區	21

3-6.1、深層崩塌發生條件評估

劃定深層崩塌潛勢範圍後，再透過地形地質調查分析所得破壞面位置，及發生條件的評估分析，以得知土體含水條件與滑動發生位置，進而進行後續深層崩塌運動與天然壩形成之情境模擬設定。本工作藉由工程上常用的邊坡穩定分析軟體 STABL 進行模擬，利用莫拉克颱風災前和災後之數值地形建立崩塌前後期剖面，並依現地地層之特性及強度輸入材料參數和選定分析方法，進而找出破壞面長度及深度。但因為沒有現地地層的實驗數據，因此參考「重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測」(經濟部中央地質調查所，2010)中對岩石實驗所得到之材料參數進行評估，逆推求得破壞面之物理性質及強度參數。分析時假設地下水位面在坡面表面，以模擬降雨量後土體飽和時之可能地下水位位置。邊坡穩定性分析軟體分析於不同降雨量、地下水文條件、可能破壞面條件等之情境模擬，探討在不同情境下之深層崩塌運動發生之境況與規模。以下針對十個案例進行分析：

崩塌地編號高雄市-桃源區-D346

本研究將崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 進行邊坡穩定分析，利用莫拉克災前災後數值地形建立災前及災後剖面，剖面分析位置如圖 3-6.1 所示。圖中藍色部分為本研究對高雄市-桃源區-D346 崩塌所進行穩定分析之剖面位置，黃色為經邊坡穩定分析後可能破壞之位置。利用所建立之災前剖面進行穩定分析，假定岩石材料為頁岩層，材料參數使用本團隊過去對於頁岩進行之實驗，所得到之強度參數進行評估，逆推求得後之物理性質及強度參數如表 3-6.2 所示。分析時假設地下水位面在坡面表面，以模擬高降雨量下土體飽和時之可能破壞位置。

經過穩定分析後，找到之破壞面位置於航照上之位置，如圖 3-6.1 所標示黃色部分，可看出黃色部分和航照上見到之第一階崩塌位置相同，也代表崩塌的確是從第一階崩塌處開始往下移動，從圖 3-6.2 之光達數值地形也可看出此現象。

將所利用數值地形所建立之災前及災後剖面圖，和穩定分析所運算出之可能破壞剖面套疊現地調查報告中之地質剖面情形，如圖 3-6.3 所示。圖 3-6.3 中，紅色為莫拉克颱風災前之地形剖面，藍色為莫拉克颱風災後之地形剖面，綠色為穩定分析後之可能破壞面，此可能破壞面之安全係數為 0.91。由災前及災後地形剖面比對後發現，在坡頂處有明顯之陷落現象，崩塌土石量體大量堆積於坡趾處。第一階之崩塌和綠色之可能破壞面重合，沿著災後剖面之第一階崩塌往下呈現一

弧形破壞行為。可能破壞面距離災前地形剖面最大深度為 78 公尺，可能發生崩塌之長度為 1,000 公尺。

表 3-6.2、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 穩定分析使用參數

單位重 (kN/m ³)	飽和單位重 (kN/m ³)	凝聚力 (kPa)	摩擦角 (°)
23.0	23.6	30	22

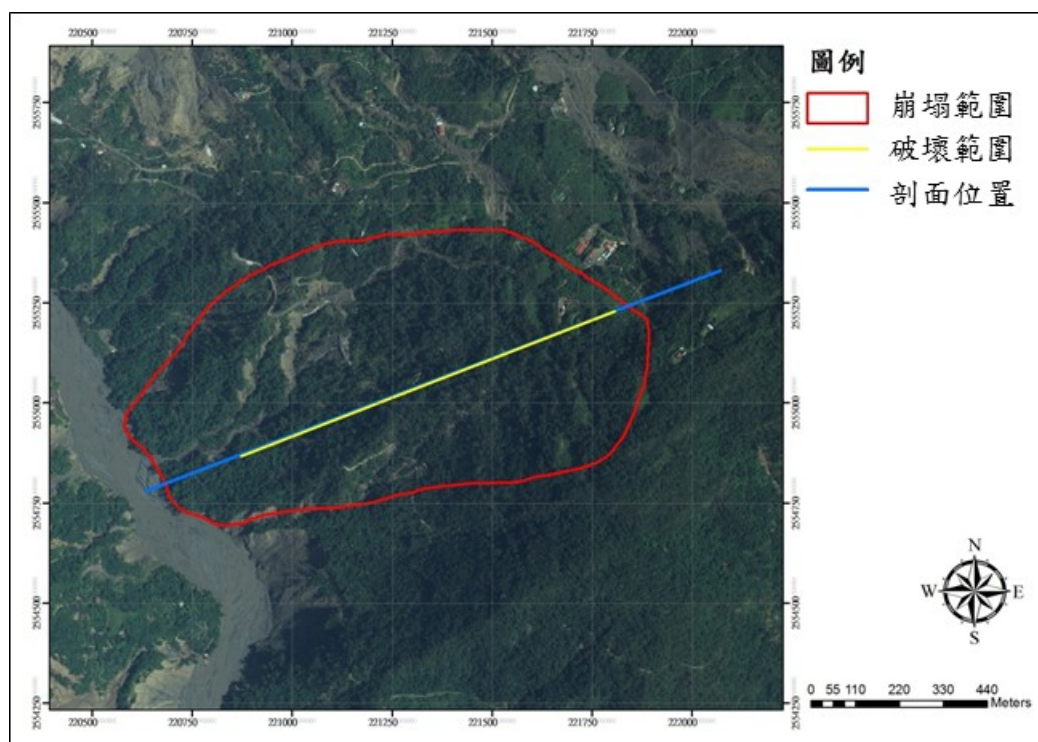


圖 3-6.1、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 剖面位置圖。

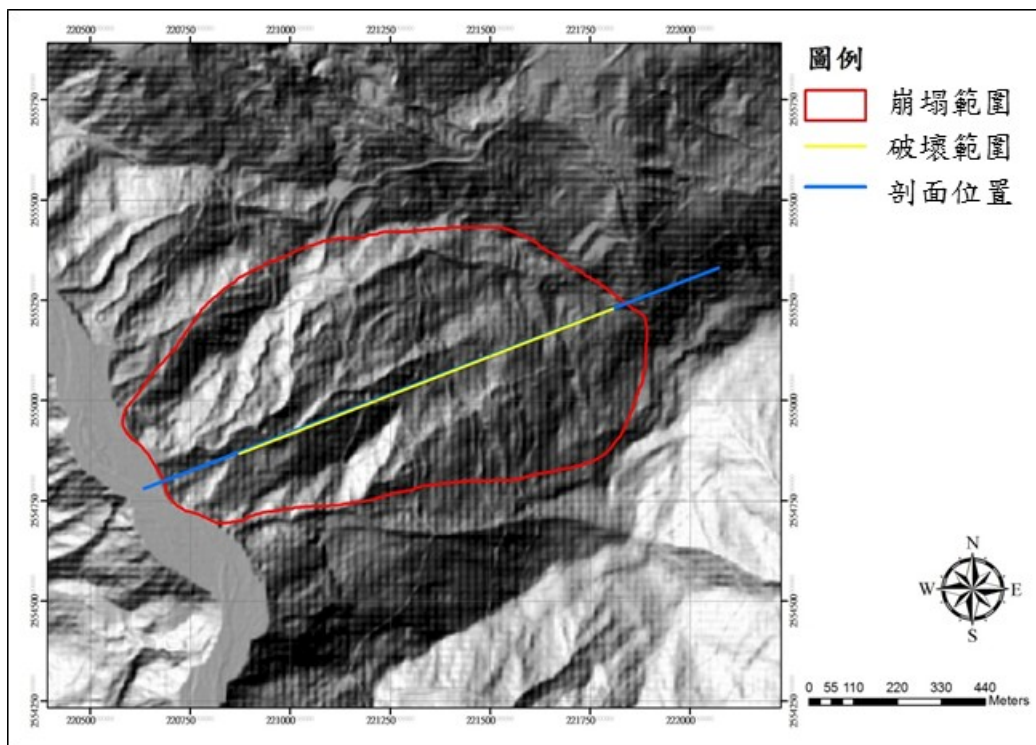


圖 3-6.2、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 光達數值地形圖。

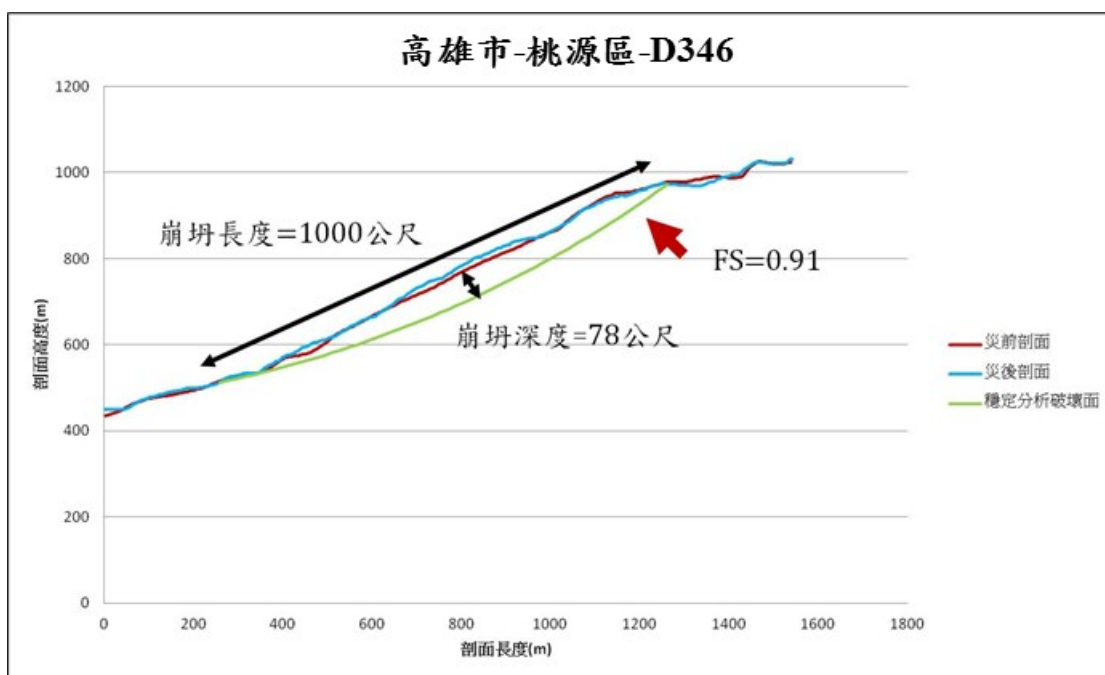


圖 3-6.3、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 剖面比較圖。

崩塌地編號高雄市-六龜區-D012

本研究將崩塌地編號高雄市-六龜區-D012 進行邊坡穩定分析，利用莫拉克災前災後數值地形建立災前及災後剖面，剖面分析位置如圖 3-6.4 所示。圖中藍色部分為本研究對高雄市-六龜區-D012 崩塌所進行穩定分析之剖面位置，黃色為經邊坡穩定分析後可能破壞之位置。利用所建立之災前剖面進行穩定分析，假定岩石材料為頁岩層，材料參數使用本團隊過去對於頁岩進行之實驗，所得到之強度參數進行評估，逆推求得後之物理性質及強度參數如表 3-6.3 所示。分析時假設地下水位面在坡面表面，以模擬高降雨量下土體飽和時之可能破壞位置。

經過穩定分析後，找到兩處可能破壞面，而破壞面位置於航照上之位置，如圖 3-6.4 所標示黃色部分，可看出兩處的黃色部分和航照上見到之第二階崩塌和第三階位置相同，代表此處崩塌由坡址的第三階崩塌處開始產生破壞，藉而誘發上方的第二階以及接近稜線第一階，從圖 3-6.5 之光達數值地形也可看出此現象，並有三階之崩塌往下一直延伸至坡腳處。

將利用數值地形所建立之災前及災後剖面圖，和穩定分析所運算出之可能破壞剖面套疊現地調查報告中之地質剖面情形，如圖 3-6.6。圖 3-6.6 中，紅色為莫拉克颱風災前之地形剖面，藍色為莫拉克颱風災後之地形剖面，綠色為穩定分析後之可能破壞面，此可能破壞面之安全係數分別為 0.97 以及 0.92。由災前及災後地形剖面比對後發現，在坡頂處有陷落現象，並往下呈現約三階之崩塌。第二階與第三階之崩塌和綠色之可能破壞面重合，沿著災後剖面之第二階與第三階崩塌往下呈現一弧形破壞行為。可能破壞面距離災前地形剖面最大深度分別為 43 公尺及 55 公尺，可能發生崩塌之長度分別為 393 公尺和 517 公尺。

表 3-6.3、崩塌地編號高雄市-六龜區-D012 穩定分析使用參數

單位重 (kN/m ³)	飽和單位重 (kN/m ³)	凝聚力 (kPa)	摩擦角 (°)
23.0	23.6	20	18

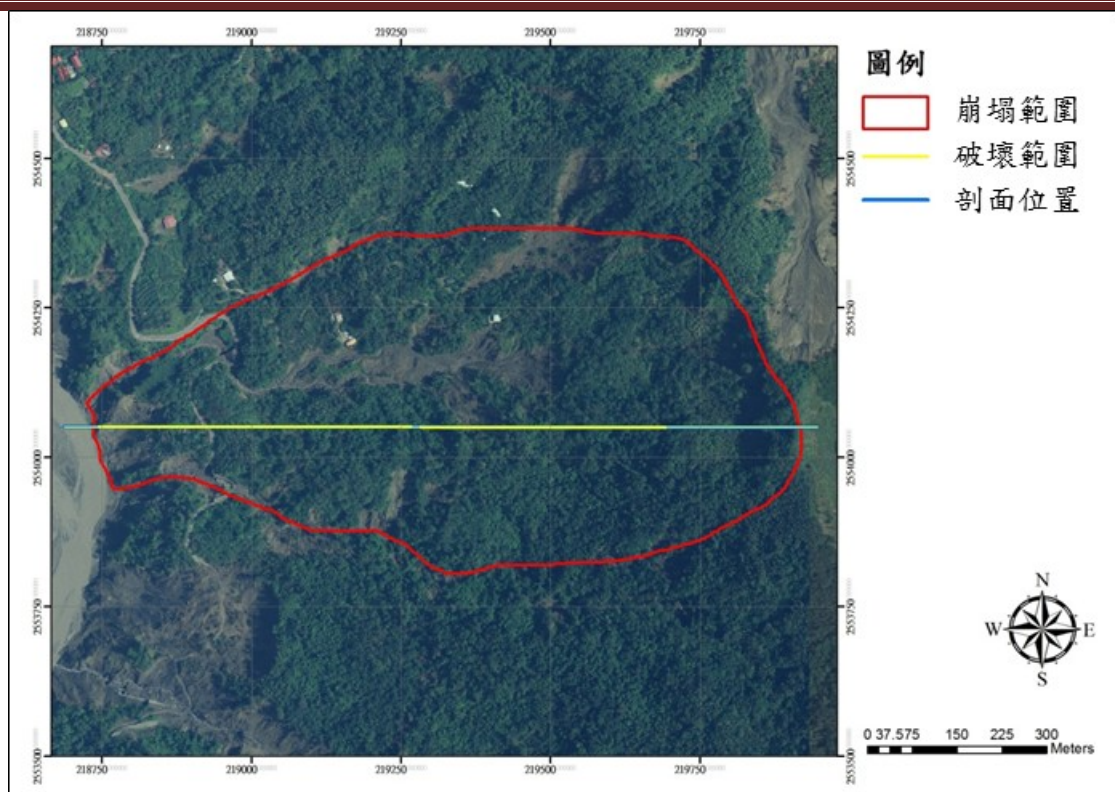


圖 3-6.4、崩塌地編號高雄市-六龜區-D012 剖面位置圖。

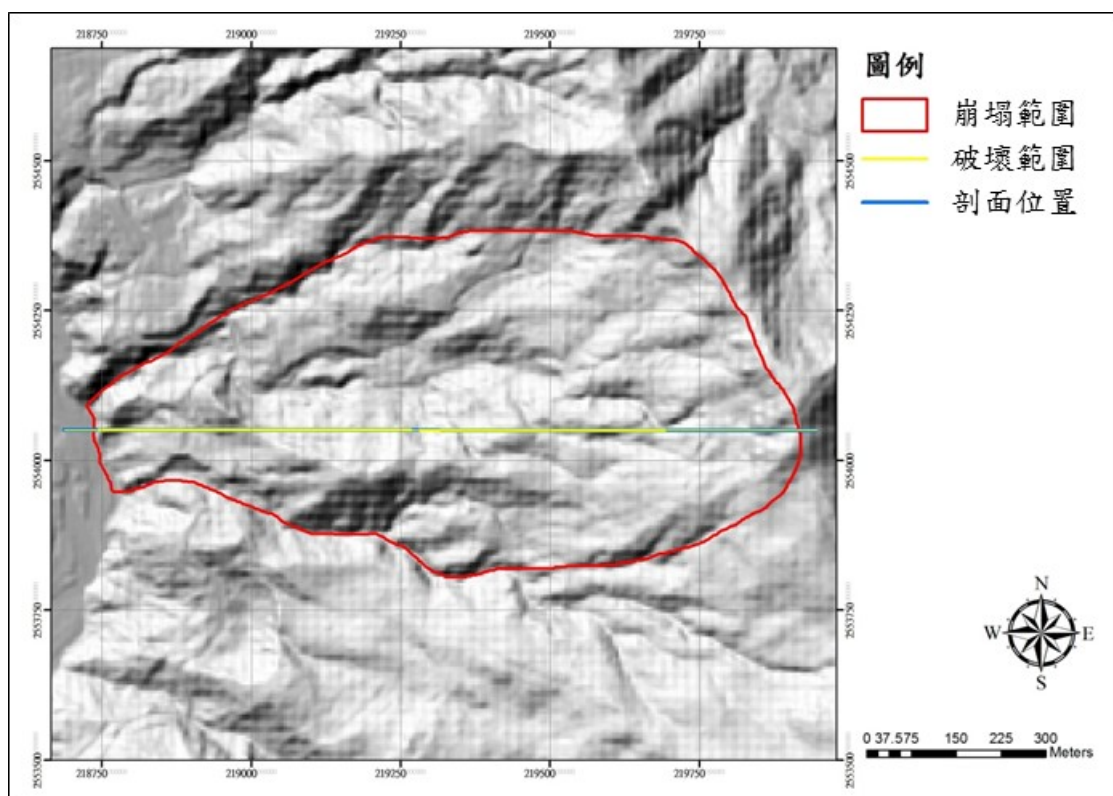


圖 3-6.5、崩塌地編號高雄市-六龜區-D012 光達數值地形圖。

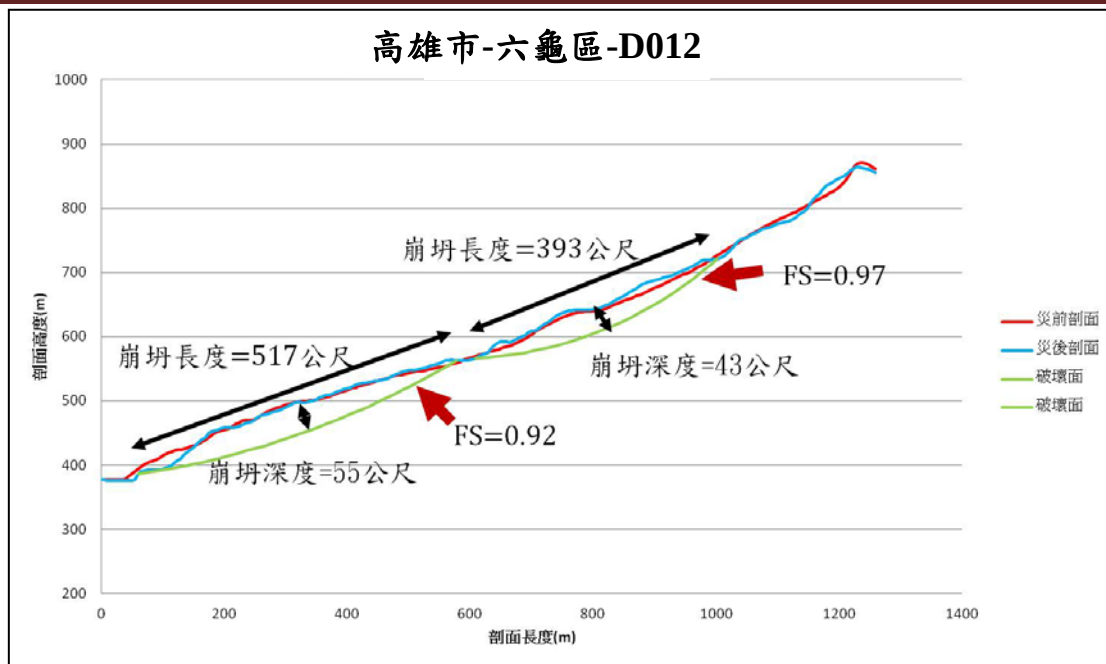


圖 3-6.6、崩塌地編號高雄市-六龜區-D012 剖面比較圖。

崩塌地編號高雄市-六龜區-D015

本研究將崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 進行邊坡穩定分析，利用莫拉克災前災後數值地形建立災前及災後剖面，剖面分析位置如圖 3-6.7 所示。圖中藍色部分為本研究對高雄市-六龜區-D015 崩塌所進行穩定分析之剖面位置，綠色為經邊坡穩定分析後可能破壞之位置。利用所建立之災前剖面進行穩定分析，假定岩石材料為頁岩層，材料參數使用本團隊過去對於頁岩進行之實驗，所得到之強度參數進行評估，逆推求得後之物理性質及強度參數如表 3-6.4 所示。分析時假設地下水位面在坡面表面，以模擬土體飽和時之可能破壞位置。

經過穩定分析後，得到之破壞面位置於航照上之位置，如圖 3-6.7 所標示綠色部分。由圖中可看出可能的滑動範圍在崩塌圈繪範圍內，可看出滑動範圍之上緣有植生的變化，下緣在蝕溝處，再將此結果比對達數值地形進行分析，如圖 3-6.8 所示。由圖 3-6.8 中可以發現，滑動範圍的上緣有一處明顯的落差，下緣處可看出堆積的上端。

首先利用數值地形所建立之災前及災後剖面圖，和穩定分析所運算出之可能破壞剖面，如圖 3-6.9 所示。圖 3-6.9 中，紅色為莫拉克颱風災前之地形剖面，藍色為莫拉克颱風災後之地形剖面，以穩定分析所計算出之可能破壞面位置，則可

能破壞面之安全係數為 0.81，如圖 3-6.9 中所示，可能破壞面距離災前地形剖面最大深度為 103 公尺，可能發生崩塌之長度為 935 公尺。

表 3-6.4、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 穩定分析使用參數

單位重 (kN/m^3)	飽和單位重 (kN/m^3)	凝聚力 (kPa)	摩擦角 ($^\circ$)
23	24	15	25

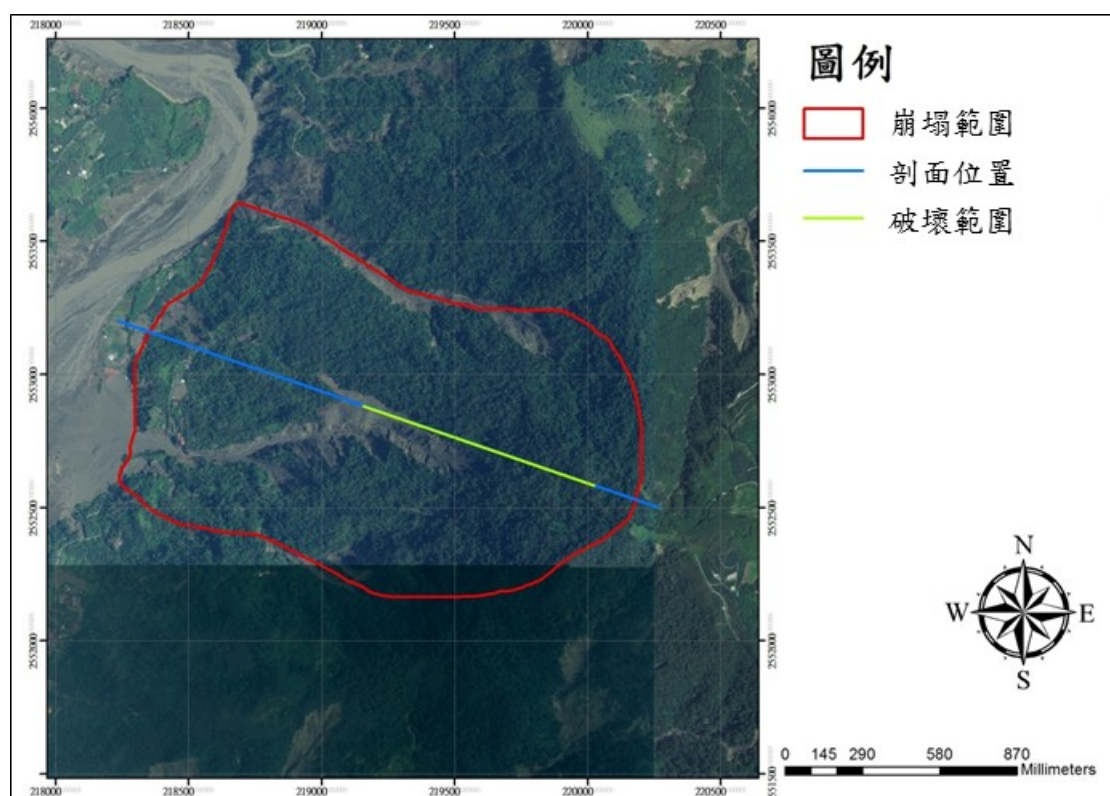


圖 3-6.7、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 剖面位置圖。

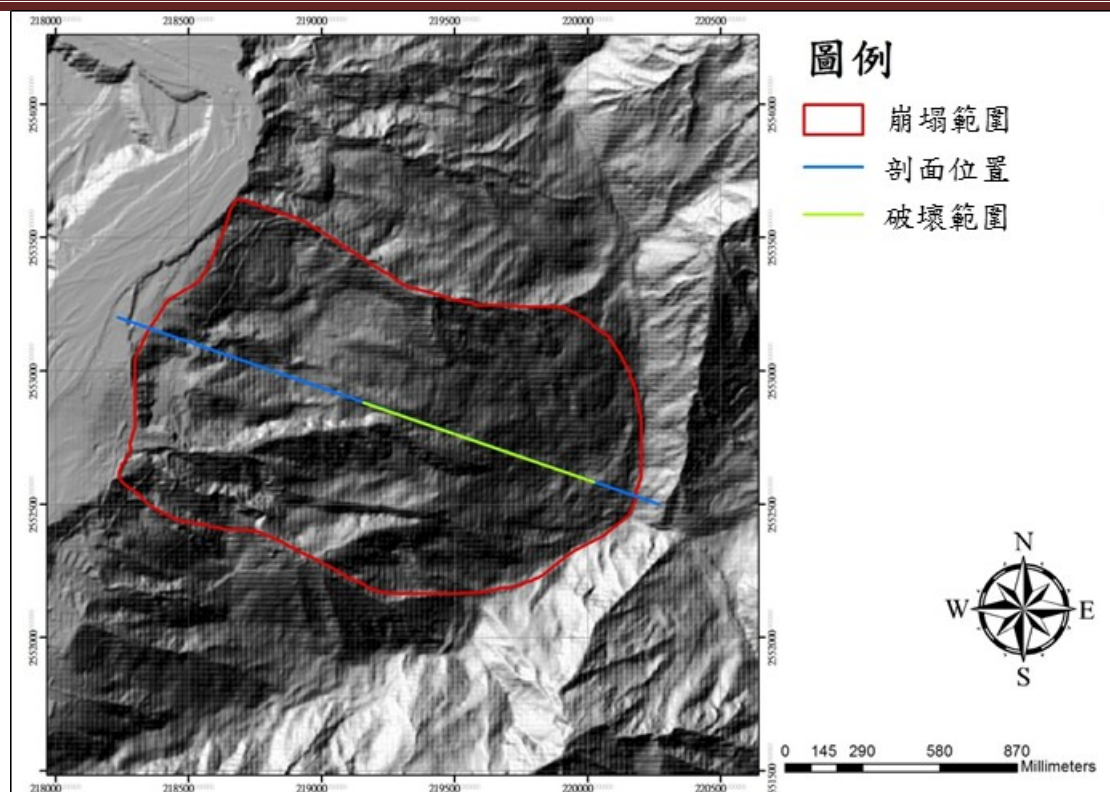


圖 3-6.8、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 光達數值地形。

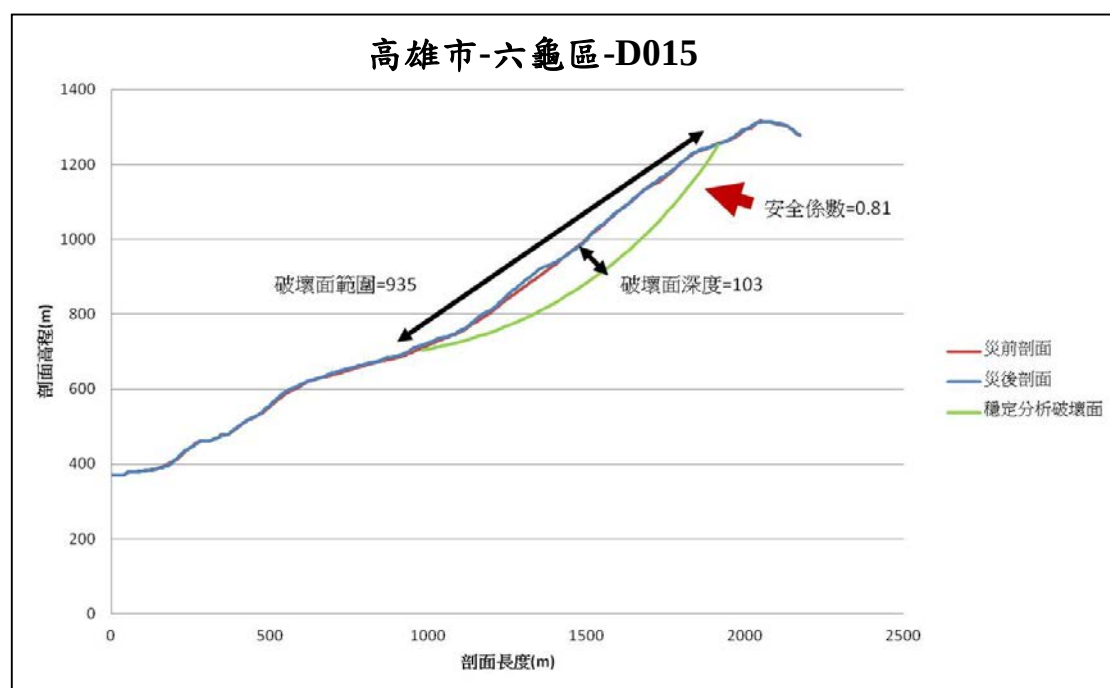


圖 3-6.9、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 剖面比較圖。

崩塌地編號高雄市-六龜區-D018

本研究將崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 進行邊坡穩定分析，利用莫拉克災前災後數值地形建立災前及災後剖面，剖面分析位置如圖 3-6.10 所示。圖中藍色部分為本研究對高雄市-六龜區-D018 崩塌所進行穩定分析之剖面位置，綠色為經邊坡穩定分析後可能破壞之位置。利用所建立之災前剖面進行穩定分析，假定岩石材料為頁岩層，材料參數使用本團隊過去對於頁岩進行之實驗，所得到之強度參數進行評估，逆推求得後之物理性質及強度參數如表 3-6.5 所示。分析時假設地下水位面在坡面表面，以模擬土體飽和時之可能破壞位置。

經過穩定分析後，得到之破壞面位置於航照上之位置，如圖 4 所標示綠色部分。由圖中可看出可能滑動範圍與崩塌圈繪範圍非常相近，比對光達數值地形進行分析，如圖 3-6.11 所示。由圖 3-6.11 中可以發現，可能滑動範圍之上緣在崩塌範圍內的第一階崩塌。

首先利用數值地形所建立之災前及災後剖面圖，和穩定分析所運算出之可能破壞剖面，如圖 3-6.12 所示。圖 3-6.12 中，紅色為莫拉克颱風災前之地形剖面，藍色為莫拉克颱風災後之地形剖面，以穩定分析所計算出之可能破壞面位置，則可能破壞面之安全係數為 0.98，可能破壞面距離災前地形剖面最大深度為 25 公尺，可能發生崩塌之長度為 356 公尺，即為從坡頂至坡趾處。

表 3-6.5、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 穩定分析使用參數

單位重 (kN/m ³)	飽和單位重 (kN/m ³)	凝聚力 (kPa)	摩擦角 (°)
23	24	10	18

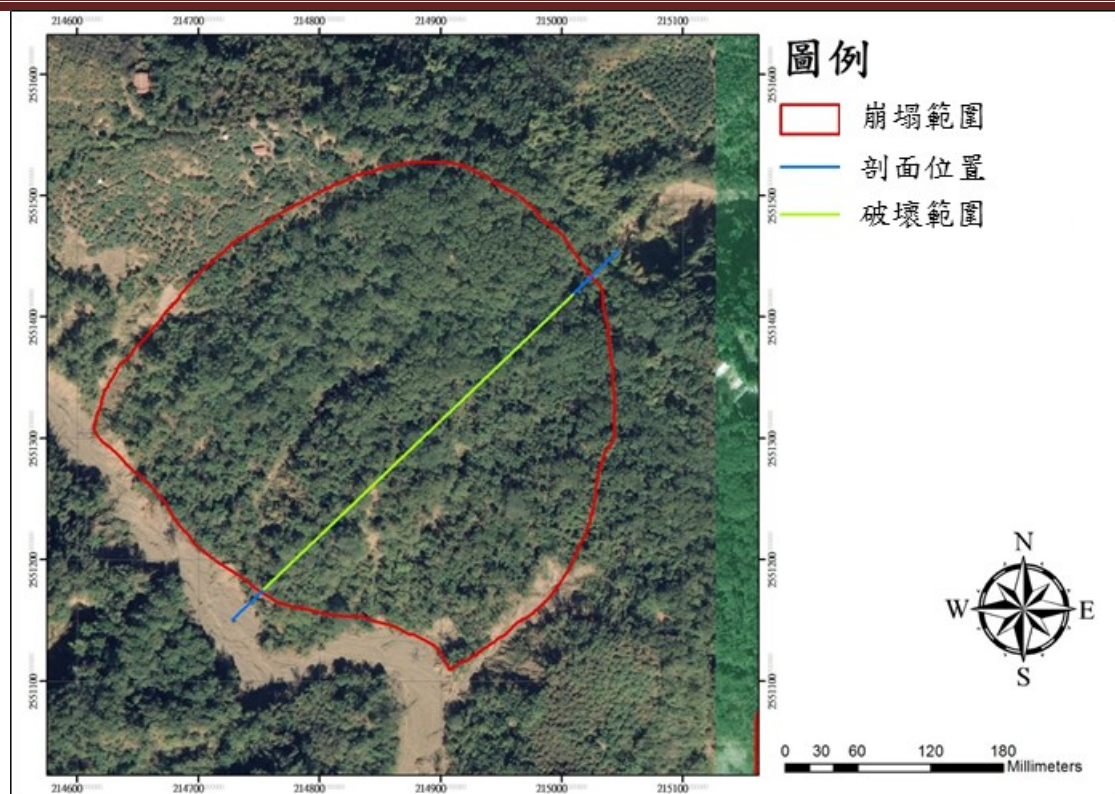


圖 3-6.10、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 剖面位置圖。

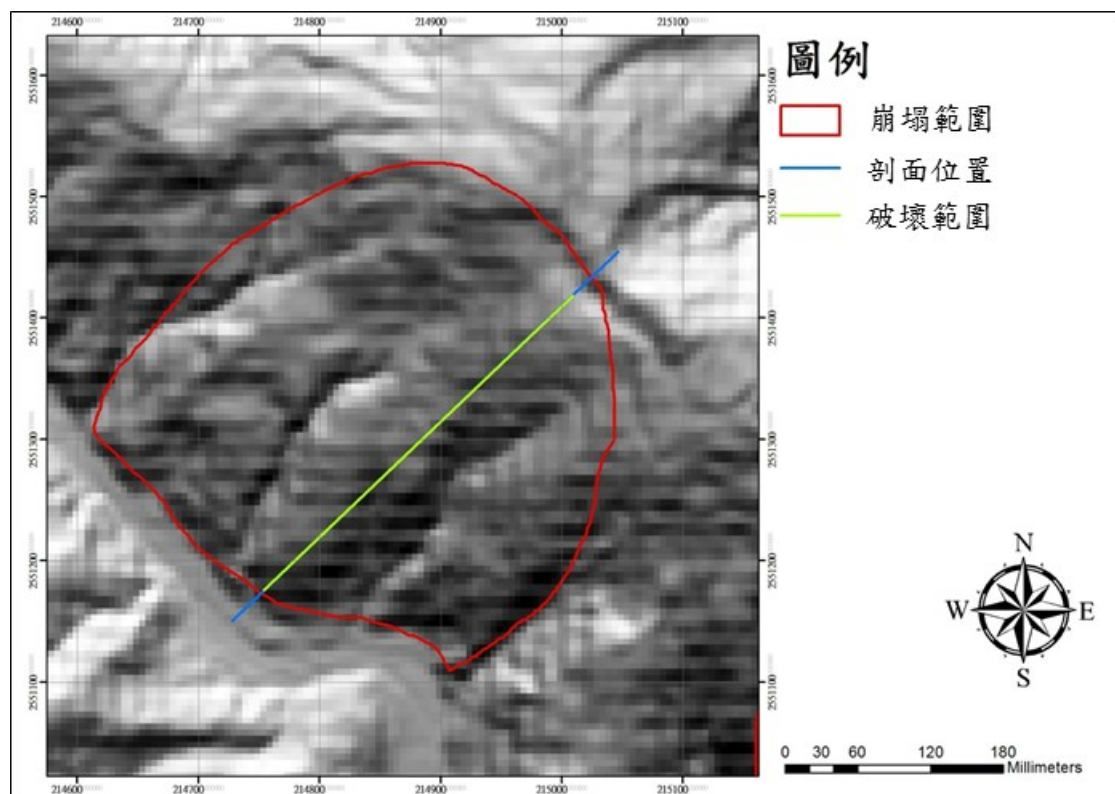


圖 3-6.11、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 光達數值地形。

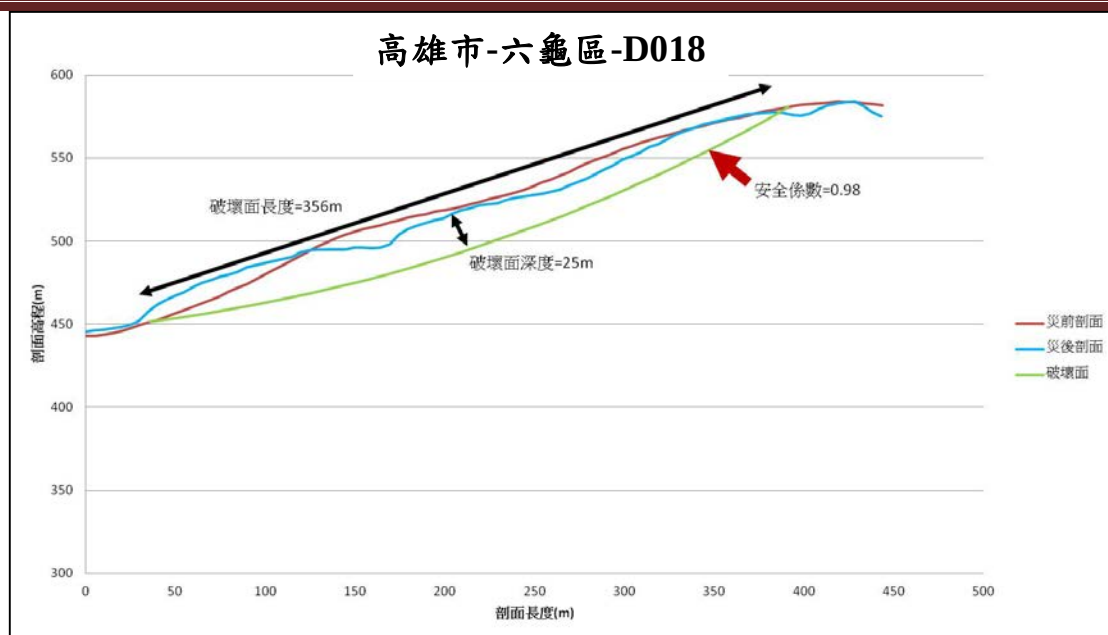


圖 3-6.12、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 剖面比較圖。

崩塌地編號高雄市-六龜區-D021

本研究將崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 進行邊坡穩定分析，利用莫拉克災前災後數值地形建立災前及災後剖面，剖面分析位置如圖 3-6.13 所示。圖中藍色部分為本研究對高雄市-六龜區-D021 崩塌所進行穩定分析之剖面位置，綠色為經邊坡穩定分析後可能破壞之位置。利用所建立之災前剖面進行穩定分析，假定岩石材料為頁岩層，材料參數使用本團隊過去對於頁岩進行之實驗，所得到之強度參數進行評估，逆推求得後之物理性質及強度參數如表 3-6.6 所示。分析時假設地下水位面在坡面表面，以模擬土體飽和時之可能破壞位置。

經過穩定分析後，得到之破壞面位置於航照上之位置，如圖 7 所標示綠色部分。由圖中可看出可能滑動範圍在崩塌圈繪範圍內，可能滑動範圍上緣處有明顯的植生變動，比對光達數值地形進行分析，如圖 3-6.14 所示。由圖 3-6.14 中可以發現，可能滑動範圍上緣在崩塌的第一階，下面還有兩處明顯的落差，而可能滑動範圍之下緣則位於第三階的崩坍處。

首先利用數值地形所建立之災前及災後剖面圖，和穩定分析所運算出之可能破壞剖面，套疊現地調查報告中之地質剖面情形，如圖 3-6.15 所示。圖 3-6.15 中，紅色為莫拉克颱風災前之地形剖面，藍色為莫拉克颱風災後之地形剖面，以穩定分析所計算出之可能破壞面位置，則可能破壞面之安全係數為 0.92，如圖 3-6.15

中所示。破壞面沿綠色可能滑動範圍從坡頂至坡腹，可能破壞面距離災前地形剖面最大深度為 17 公尺，可能發生崩塌之長度為 245 公尺。

表 3-6.6、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 穩定分析使用參數

單位重 (kN/m^3)	飽和單位重 (kN/m^3)	凝聚力 (kPa)	摩擦角 ($^\circ$)
23.5	23.6	50	26

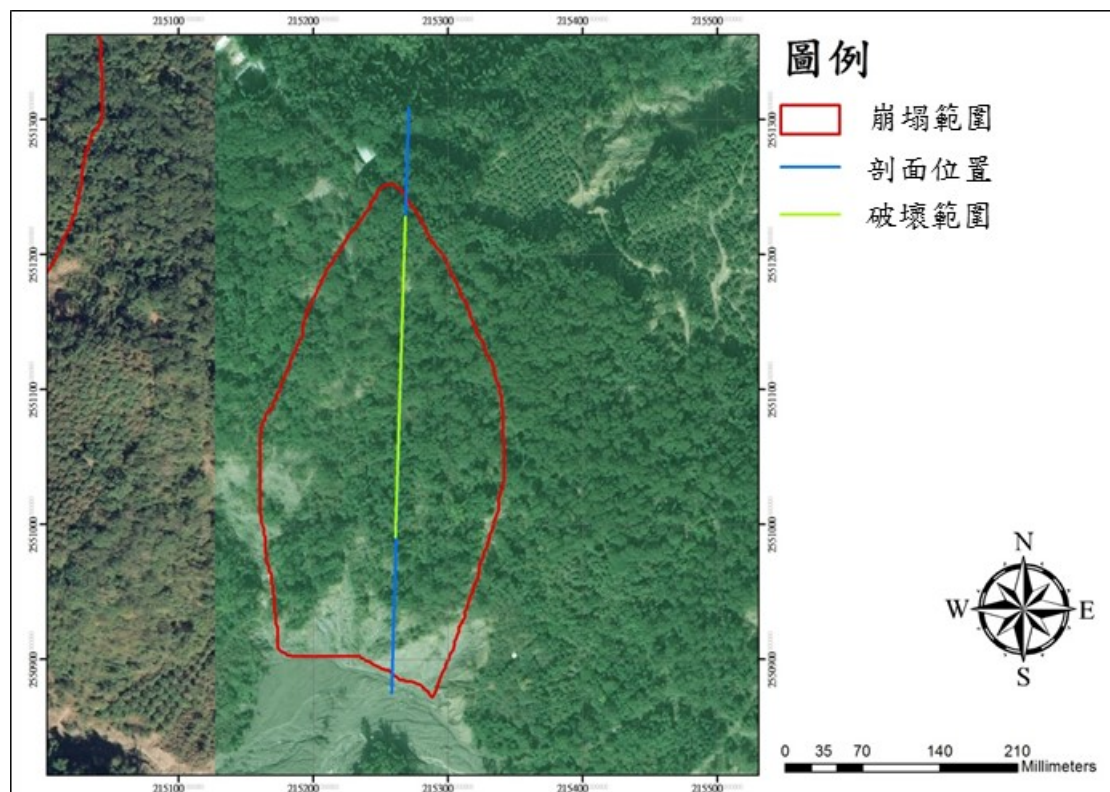


圖 3-6.13、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 剖面位置圖。

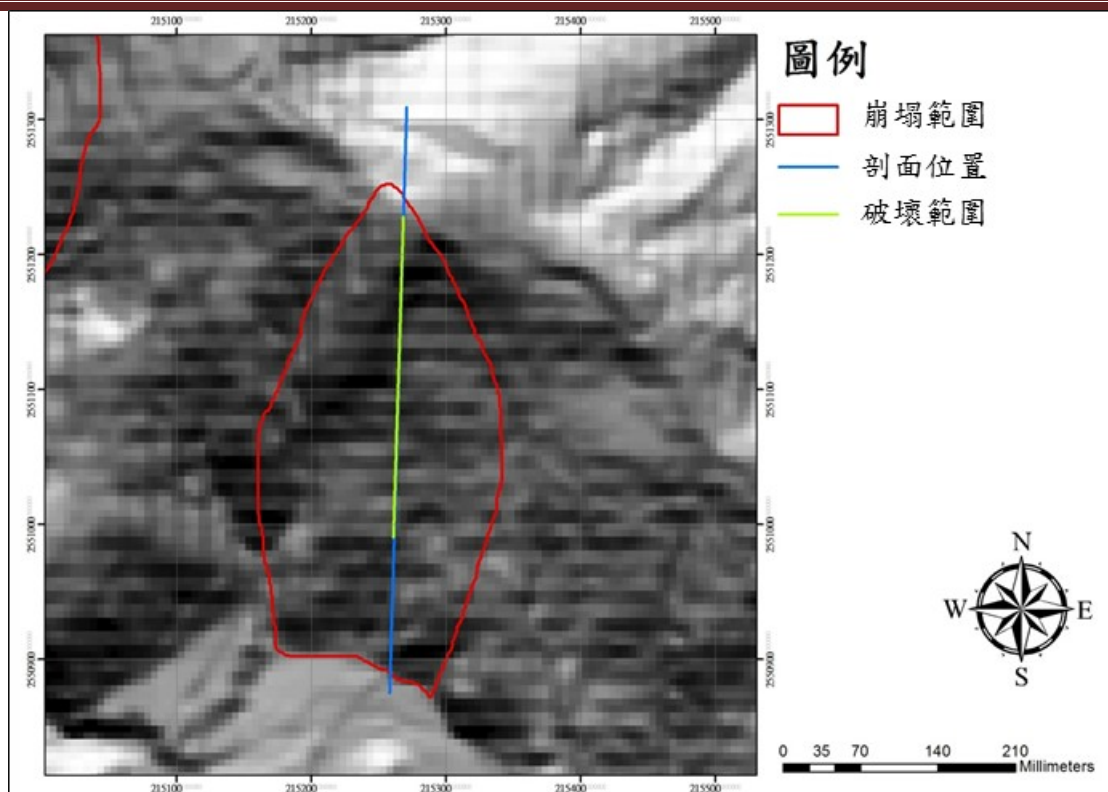


圖 3-6.14、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 光達數值地形。

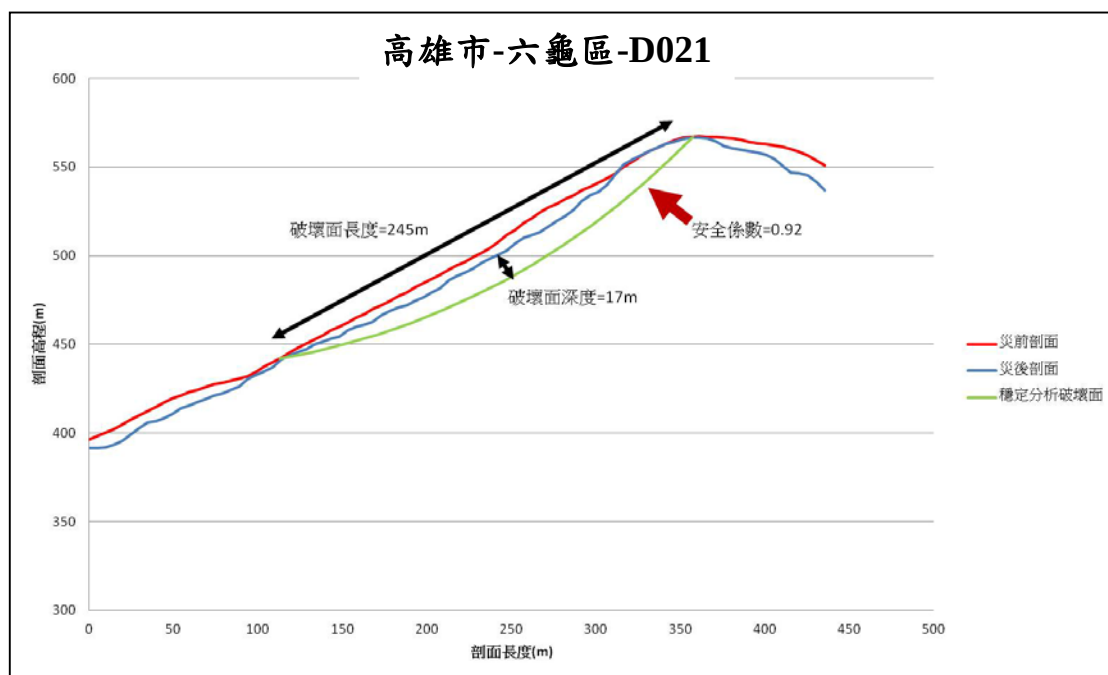


圖 3-6.15、崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 剖面比較圖。

崩塌地編號屏東縣-三地門鄉-D086

崩塌地編號屏東縣-三地門鄉-D086 範圍如圖 3-6.16 紅色框線所示，利用莫拉克颱風災前及災後數值地形圖建立崩塌前後期剖面。圖 3-6.16 中藍色線為分析的剖面位置，此處地層分布為潮州層，地層性質主要為板岩，而此處岩層傾向與坡向非常相近，因此分析時假設此處崩塌為平面型破壞，選取邊坡剖面時以平行岩層傾向選取，而邊坡剖面圖如圖 3-6.17 所示，橘色線為災前剖面，藍色為災後剖面。

將已知材料參數輸入，逆推求得後之物理性質及強度參數如表 3-6.7 所示。分析後的破壞面位置、長度及深度如圖 3-6.17 之紅色線所示，而將破壞面位置標示在航空照片上如圖 3-6.16 之黃色線所示。屏東縣-三地門鄉-D086 破壞面長度為 630 公尺，深度為 38 公尺，安全係數 0.94。可由邊坡剖面中可明顯看出滑動的塊體，前後期的剖面比較下，破壞面上緣的地表變形不大，而下緣處有明顯的移動，從航照中也可清楚看出滑動塊體上緣有明顯崩崖。

由穩定分析結果可看出，在材料強度偏高的情形下，安全係數仍低於 1，加上坡趾處屬攻擊側，因此屏東縣-三地門鄉-D086 產生滑動的可能性高，此崩塌的面積廣以及深度達將近 40 公尺，如果此處邊坡產生破壞滑動，滑動的量體會非常巨大可能形成堰塞湖。

表 3-6.7、崩塌地編號屏東縣-三地門鄉-D086 穩定分析使用參數

單位重 (kN/m ³)	飽和單位重 (kN/m ³)	凝聚力 (kPa)	摩擦角 (°)
24.0	24.7	17.8	25

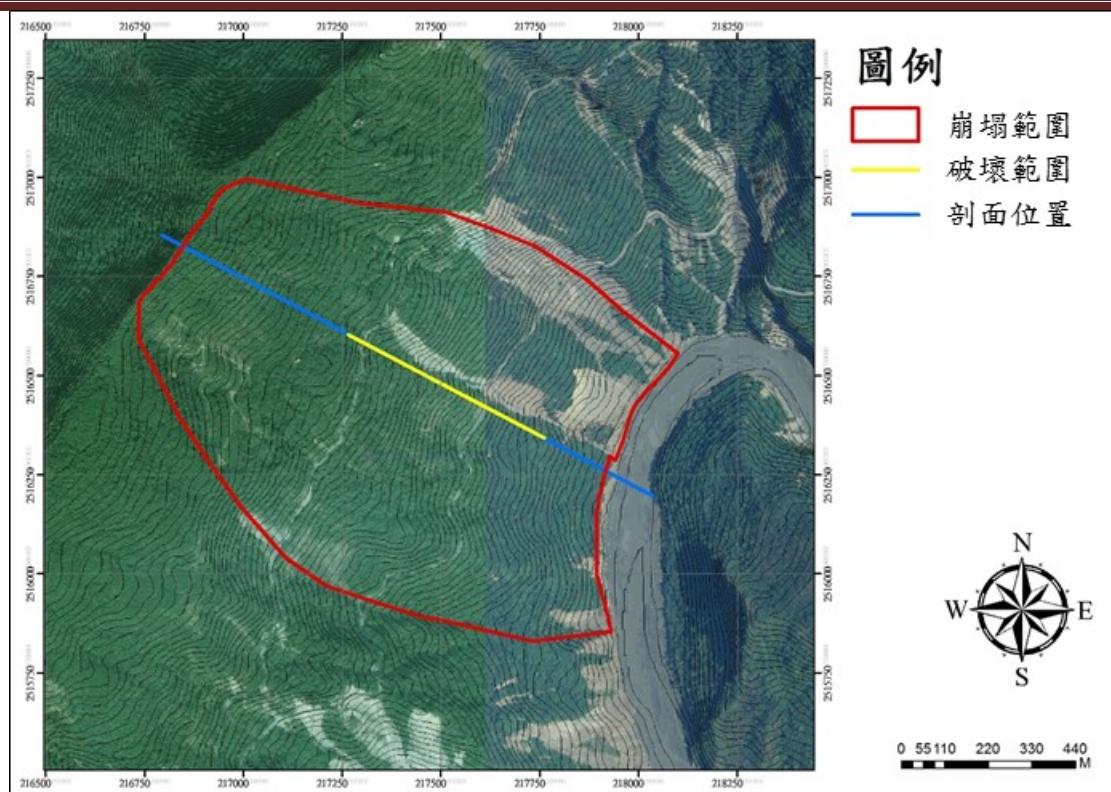


圖 3-6.16、崩塌地編號屏東縣-三地門鄉-D086 剖面位置圖。

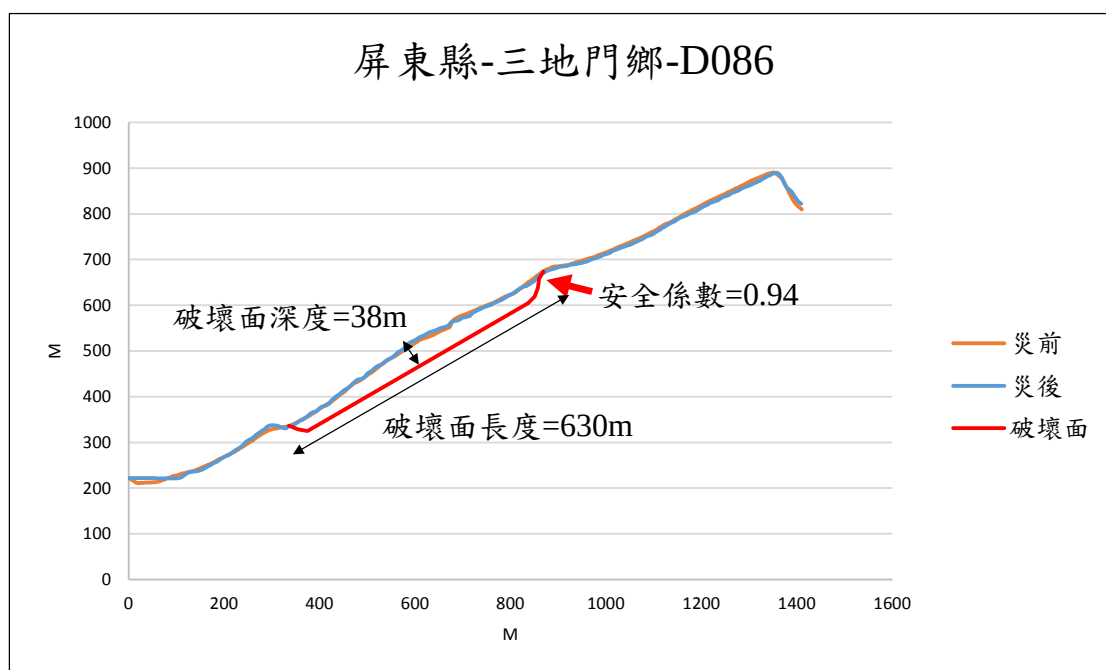


圖 3-6.17、崩塌地編號屏東縣-三地門鄉-D086 邊坡剖面及破壞面示意圖。

崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047

崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047 兩處，利用莫拉克颱風災前和災後之數值地形建立邊坡前後期剖面，崩塌位置如圖 3-6.18 所示，紅色框為崩塌範圍。此處岩層為糖恩山砂岩以及鹽水坑頁岩，兩種岩層之岩性皆為砂岩及頁岩互層，並且此處坡向與岩層傾向相交於 20 度之內，推測此崩塌可能為平面型破壞，因此分析的剖面位置沿著岩層傾向如圖 3-6.18 之藍色線所示，邊坡剖面圖如圖 3-6.19 和圖 3-6.20 所示，橘色線為災前剖面，藍色為災後剖面。

因為沒有現地地層的實驗參數，因此將已知的砂岩和頁岩的材料參數帶入，逆推求得後之物理性質及強度參數如表 3-6.8 所示。分析後的破壞面位置、長度及深度如圖 2 及圖 3 中的紅色線所示，而將破壞面位置標示在航照上如圖 3-6.18 之黃色線所示。高雄市-甲仙區-D044 破壞面長度為 984 公尺，深度為 60 公尺，安全係數 0.97。可由前後兩期的邊坡剖面中看出，邊坡大致上沒有大規模的地形變化，破壞面上緣可看出有邊坡滑動產生地形下陷，但破壞面下緣差異甚小。在航照中可看出破壞範圍上緣有植被變化並有明顯的崩崖，而下緣處沒有明顯的變化，但有嚴重的河岸侵蝕對於邊坡穩定有嚴重的影響。高雄市-甲仙區-D047 之破壞面長度為 742 公尺，深度為 32 公尺，安全係數 0.99，由前後期的邊坡剖面可看出邊坡並沒有大規模的變化，但是在破壞的上下緣處皆有因為邊坡滑動所產生的地形變化，而由航照中可看出破壞範圍的上緣處有明顯的崩崖，而下緣處沒有明顯的變化。

由高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047 兩處崩塌的分析結果由安全係數可看出，高雄市-甲仙區-D044 之穩定性較低，崩塌發生破壞的機會較高；再由反推之材料參數可看出，北側之崩塌在較高的凝聚力及摩擦角下即有可能產生破壞，而南側崩塌則是在材料強度偏弱的情形下才會有破壞產生，兩處會產生不同的分析結果推估為高雄市-甲仙區-D044 破壞面位於層面走向與坡向近似的糖恩山砂岩上，容易產生順向坡滑動，而高雄市-甲仙區-D047 的破壞面下緣則位於鹽水坑頁岩上，而鹽水坑頁岩與坡向呈斜交坡，因此較不易產生順向坡破壞，進而穩定性較高。

表 3-6.8、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047 穩定分析使用參數

崩塌地編號	單位重 (kN/m ³)	飽和單位重 (kN/m ³)	凝聚力 (kPa)	摩擦角 (°)
高雄市-甲仙區-D044	21.17	21.30	30	20
高雄市-甲仙區-D047	21.17	21.30	15	17

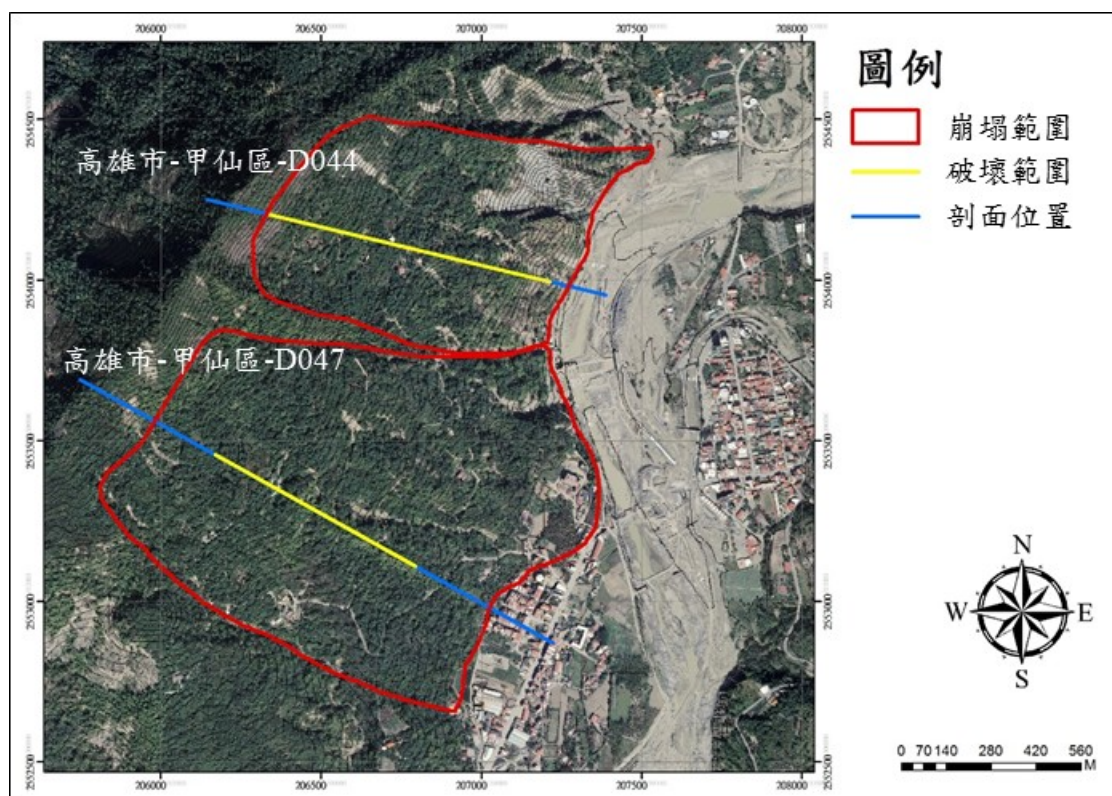


圖 3-6.18、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047 剖面位置圖。

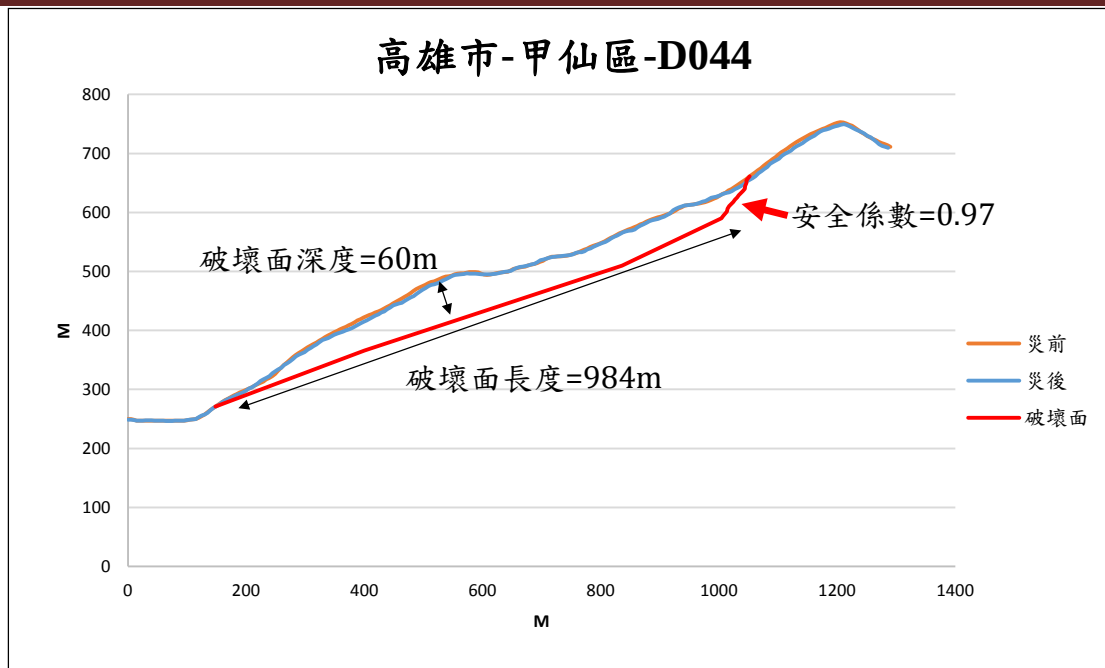


圖 3-6.19、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044 邊坡剖面及破壞面示意圖。

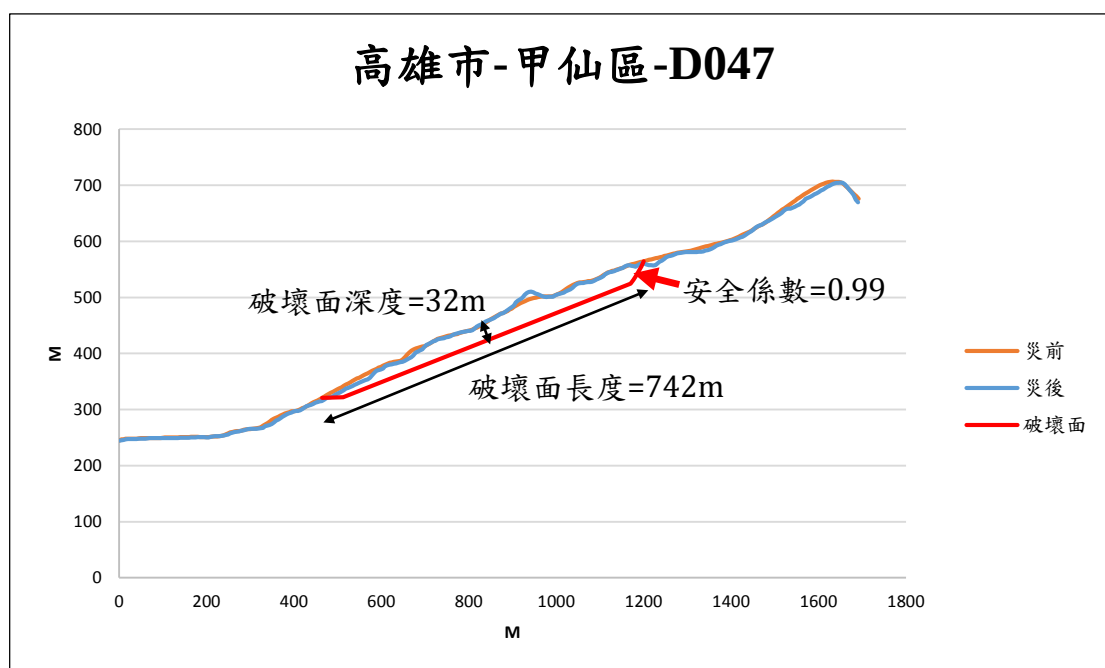


圖 3-6.20、崩塌地編號高雄市-甲仙區-D047 邊坡剖面及破壞面示意圖。

崩塌地編號高雄市-美濃區-D004

崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 範圍如圖 3-6.21 紅色框線所示，利用莫拉克颱風災前及災後數值地形圖建立崩塌前後期剖面。由此處地形可看出高雄市-美濃區-D004 可能由兩個小型崩塌形成，因此建立兩個剖面分析，分別為高雄市-美濃區-D004_N 及高雄市-美濃區-D004_S，此處地層分布為長枝坑層，此地層性質主要為砂頁岩互層，因地層傾向與坡向夾角超過 20 度，產生平面型破壞的可能性低，因此分析時假設此處崩塌為圓弧型破壞，選取邊坡剖面時以平行坡向的方式取得，圖 3-6.21 中藍色線為分析的剖面位置，而邊坡剖面圖如圖 3-6.22 及圖 3-6.23 所示，橘色線為災前剖面，藍色為災後剖面。

將已知材料參數輸入，逆推求得後之物理性質及強度參數如表 3-6.9 所示。分析後的破壞面位置、長度及深度如圖 3-6.22 及圖 3-6.23 之紅色線所示，而將破壞面位置標示在航空照片上如圖 3-6.21 之黃色線所示。高雄市-美濃區-D004_N 破壞面長度為 135 公尺，深度為 20 公尺，安全係數 0.93。由前後期的邊坡剖面並無法明顯看出地形變動，推測為舊崩塌地，由航照可看出邊坡坡腹至坡址處為舊崩塌堆積。高雄高雄市-美濃區-D004_S 之破壞面長度為 282 公尺，深度為 30 公尺，安全係數 0.93，比較前後期邊坡剖面後看出，破壞面上緣之邊坡有下陷的情形，推估為邊坡滑動所產生的地形變化，而破壞面下緣也有明顯的差異，從航照圖中可看出破壞範圍的上下緣處都有林相的變化。

由分析結果可推測出高雄市-美濃區-D004 崩塌北側為舊崩塌，已趨近平衡狀態，因此北側的崩塌如果再產生破壞，需要有外來因素將此區域之地層強度減弱。而崩塌南側則在同一情況下較容易產生滑動，因此高雄市-美濃區-D004 須注意南側的部分。

表 3-6.9、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 穩定分析使用參數

崩塌地編號	單位重 (kN/m ³)	飽和單位重 (kN/m ³)	凝聚力 (kPa)	摩擦角 (°)
高雄市-美濃區-D004_N	21.17	21.30	30	15
高雄市-美濃區-D004_S	21.17	21.30	30	22

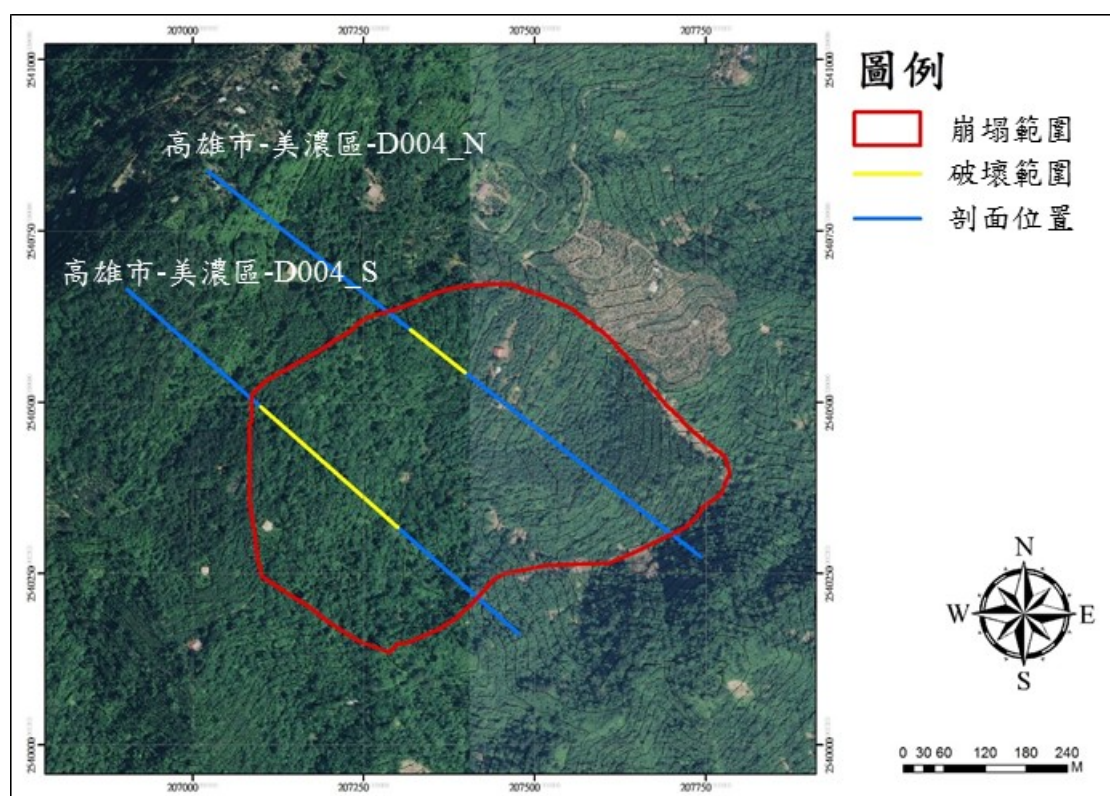


圖 3-6.21、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004 剖面位置圖。

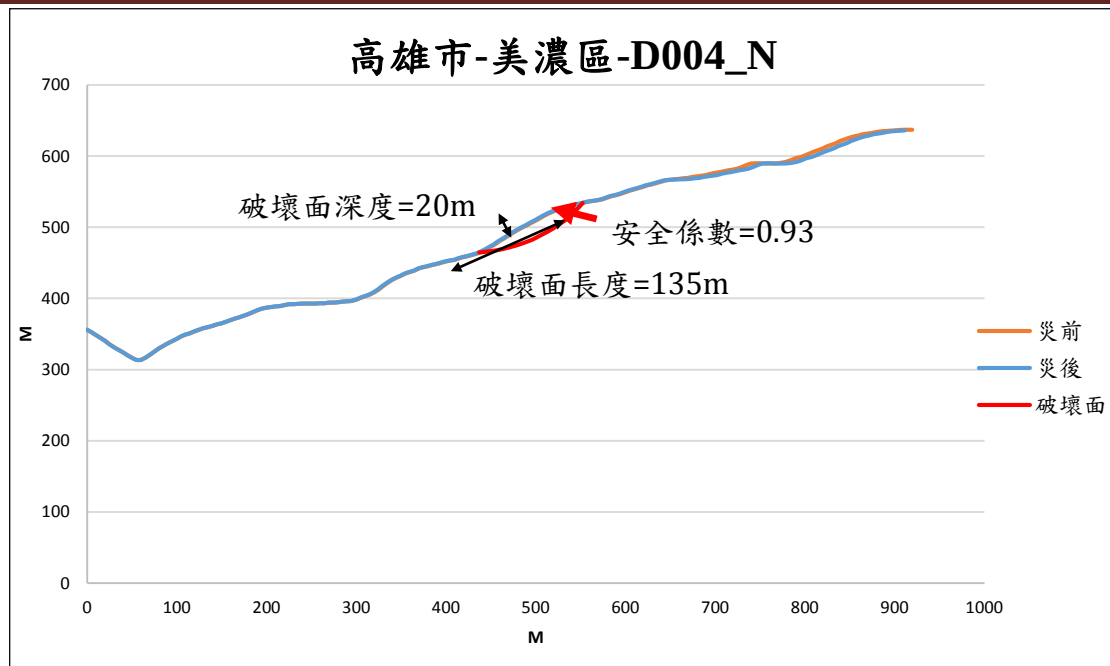


圖 3-6.22、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004_N 邊坡剖面及破壞面示意圖。

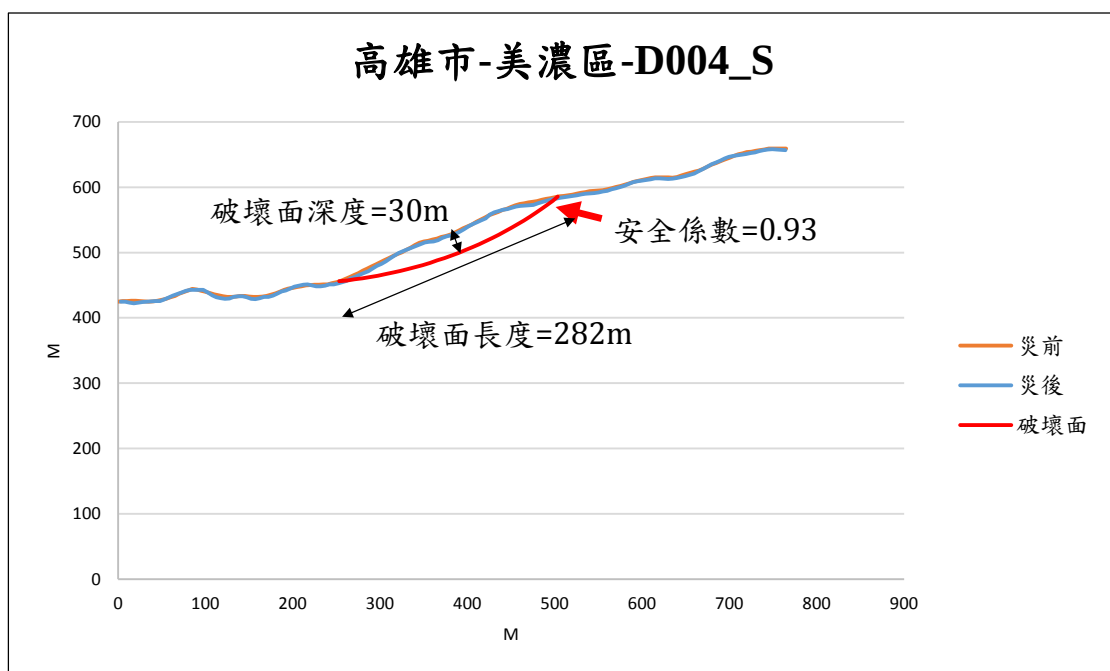


圖 3-6.23、崩塌地編號高雄市-美濃區-D004_S 邊坡剖面及破壞面示意圖。

崩塌地編號高雄市-杉林區-D014

崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 範圍如圖 3-6.24 紅色框線所示，高雄市-杉林區-D014 為兩處崩塌所建立，崩塌東西兩側在分析時用代號高雄市-杉林區-D014_W 及高雄市-杉林區-D014_E 來做分別。利用莫拉克颱風災前及災後數值地形圖建立邊坡前後期剖面，此處地層分布為長枝坑層，此地層主要為砂頁岩互層，但岩層傾向與坡向夾角超過 20 度，產生平面型破壞的可能性低，因此分析時假設此崩塌為圓弧型破壞，選取邊坡剖面時以平行坡向的方式取得，圖 3-6.24 中藍色線為分析的剖面位置，而邊坡剖面圖如圖 3-6.25 及圖 3-6.26 所示，橘色線為災前剖面，藍色為災後剖面。

將已知材料參數輸入，逆推求得後之物理性質及強度參數如表 3-6.10 所示。分析後的破壞面位置、長度及深度如圖 3-6.25 及圖 3-6.26 之紅色線所示，而將破壞面位置標示在航空照片上如圖 3-6.24 之黃色線所示。高雄市-杉林區-D014_W 破壞面長度為 292 公尺，深度為 34 公尺，安全係數 0.99。由兩期的邊坡剖面比較後可看出破壞面上下緣有地形上的變化，但幅度甚小，邊坡下緣可明顯看出是邊坡堆積。高雄市-杉林區-D014_E 之破壞面長度為 264 公尺，深度為 34 公尺，安全係數 0.99，由兩期的邊坡剖面比較後可看出，破壞面上緣可看出有邊坡地形有變動，而破壞面下緣地形隆起，推估為滑動後的堆積，在航照中可看出破壞範圍上緣有明顯崩崖。

高雄市-杉林區-D014 崩塌所分析出的安全係數都是 0.99，穩定性偏高，加上兩處前後期邊坡剖面的地形變化量甚小，推估為舊崩塌地。但坡趾處為河岸攻擊側，對於此邊坡的穩定有很大的影響。

表 3-6.10、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 穩定分析使用參數

崩塌地編號	單位重 (kN/m ³)	飽和單位重 (kN/m ³)	凝聚力 (kPa)	摩擦角 (°)
高雄市-杉林區-D014_W	21.17	21.30	30	20
高雄市-杉林區-D014_E	21.17	21.30	30	20

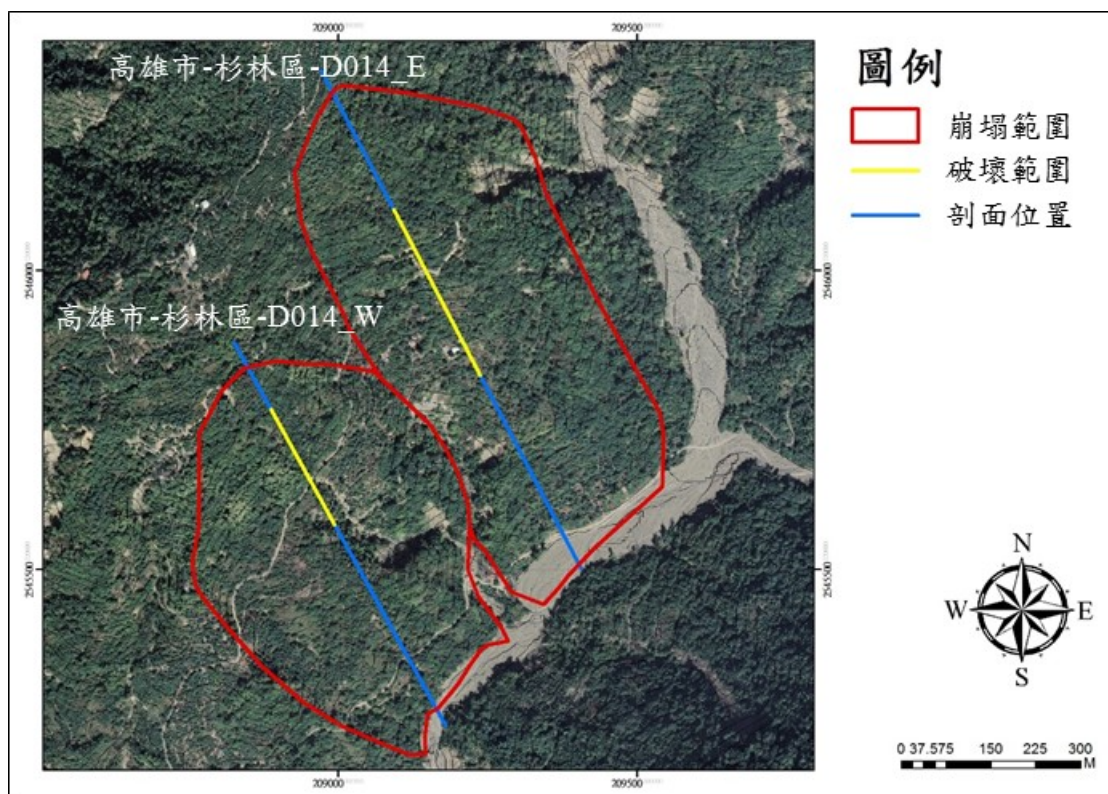


圖 3-6.24、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 剖面位置圖。

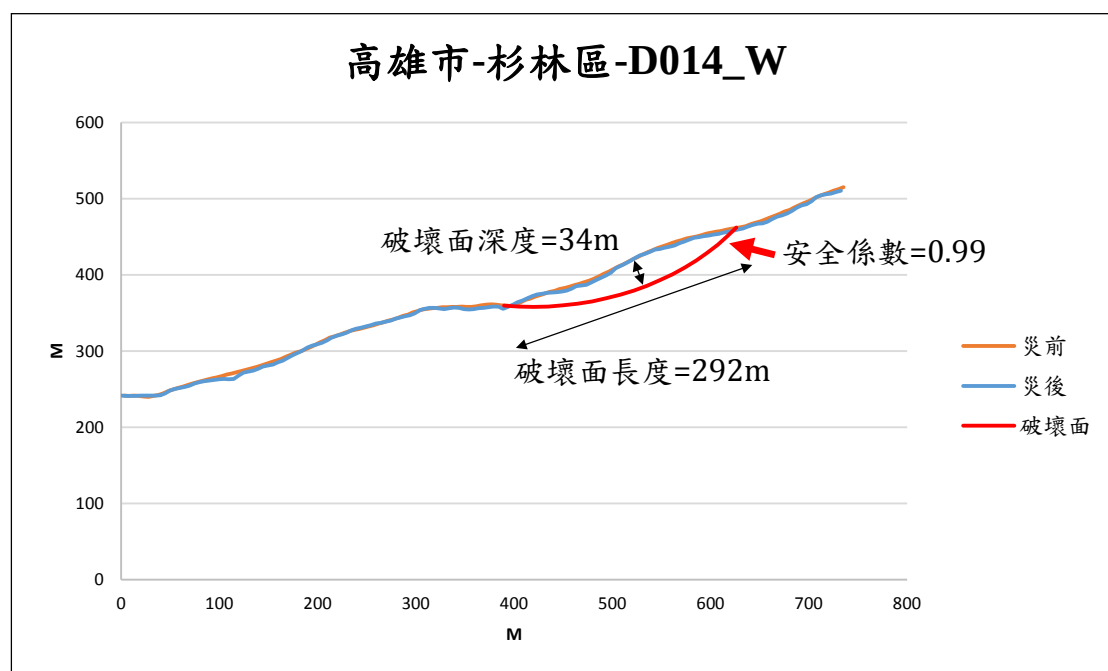


圖 3-6.25、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014_W 邊坡剖面及破壞面示意圖。

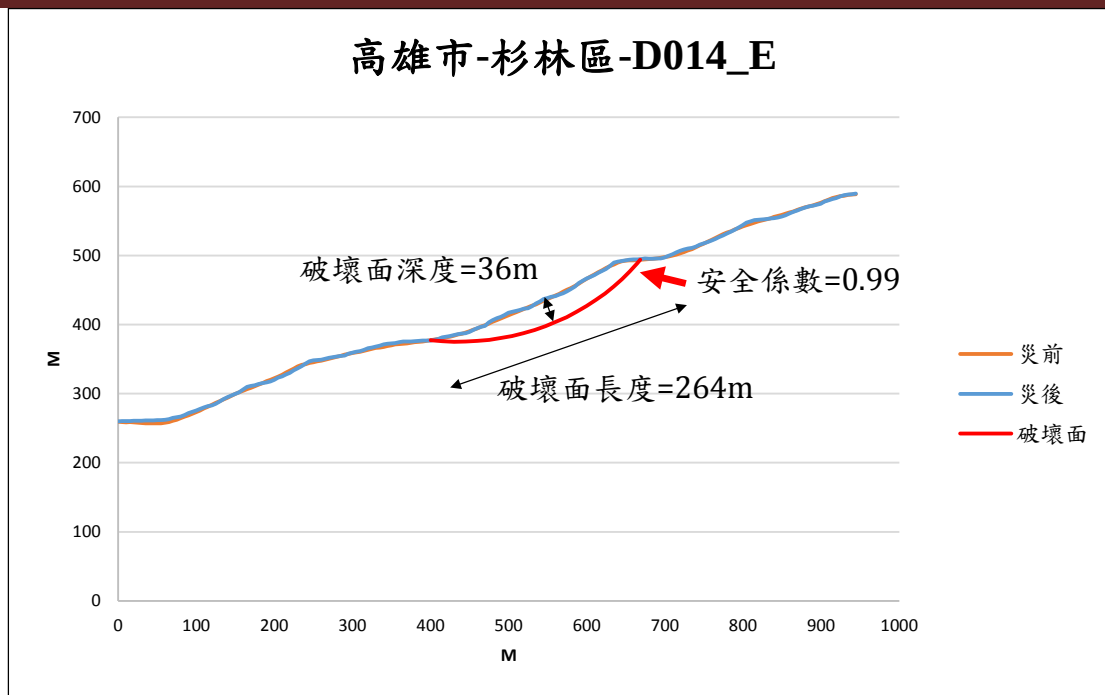


圖 3-6.26、崩塌地編號高雄市-杉林區-D014_E 邊坡剖面及破壞面示意圖。

崩塌地編號高雄市-杉林區-D020

崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 範圍如圖 3-6.27 紅色框線所示，利用莫拉克颱風災前及災後數值地形圖建立崩塌前後期剖面。圖 3-6.27 中藍色線為分析的剖面位置，而邊坡剖面圖如圖 3-6.28 所示，橘色線為災前剖面，藍色為災後剖面。

此處地層分布為長枝坑層，此地層性質主要為砂頁岩互層，而此處岩層傾向與坡向夾角超過 20 度，因此分析時假設此崩塌為圓弧型破壞，將已知材料參數輸入，逆推求得後之物理性質及強度參數如表 3-6.11 所示。分析後的破壞面位置、長度及深度如圖 3-6.28 之紅色線所示，而將破壞面位置標示在航空照片上如圖 3-6.27 之黃色線所示。高雄市-杉林區-D020 破壞面長度為 401 公尺，深度為 28 公尺，安全係數 0.98。可由前後期的邊坡剖面中看出，破壞面上緣可看出邊坡地形有變動，而破壞面下緣也有往外推的情形。

由穩定分析的結果可看出破壞範圍可能比當時圈繪的崩塌範圍還要大，由邊坡剖面可看出，圈繪範圍的上緣約落在崩塌的第二階上，而分析出的結果找到坡頂處有另一處可能產生破壞的位置，因此崩塌的滑動體可能比一開始圈繪的範圍還要廣，需要另外注意。

表 3-6.11、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 穩定分析使用參數

單位重 (kN/m ³)	飽和單位重 (kN/m ³)	凝聚力 (kPa)	摩擦角 (°)
21.17	21.30	30	22

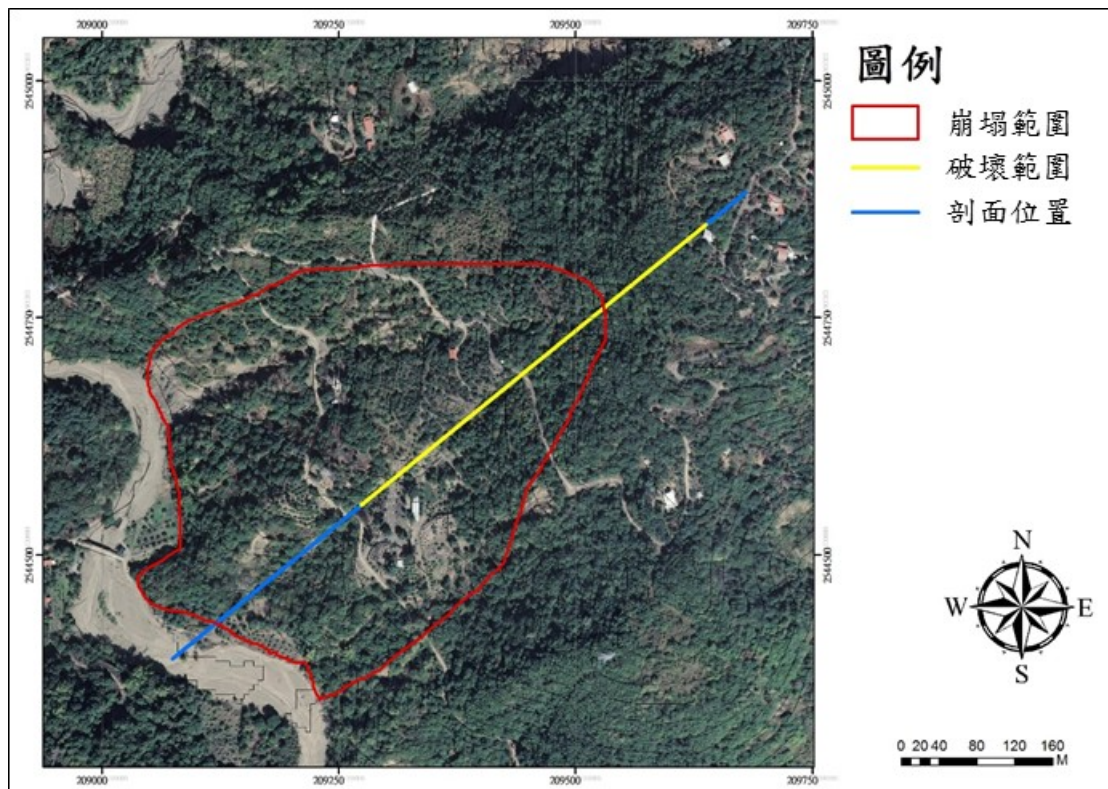


圖 3-6.27、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 剖面位置圖。

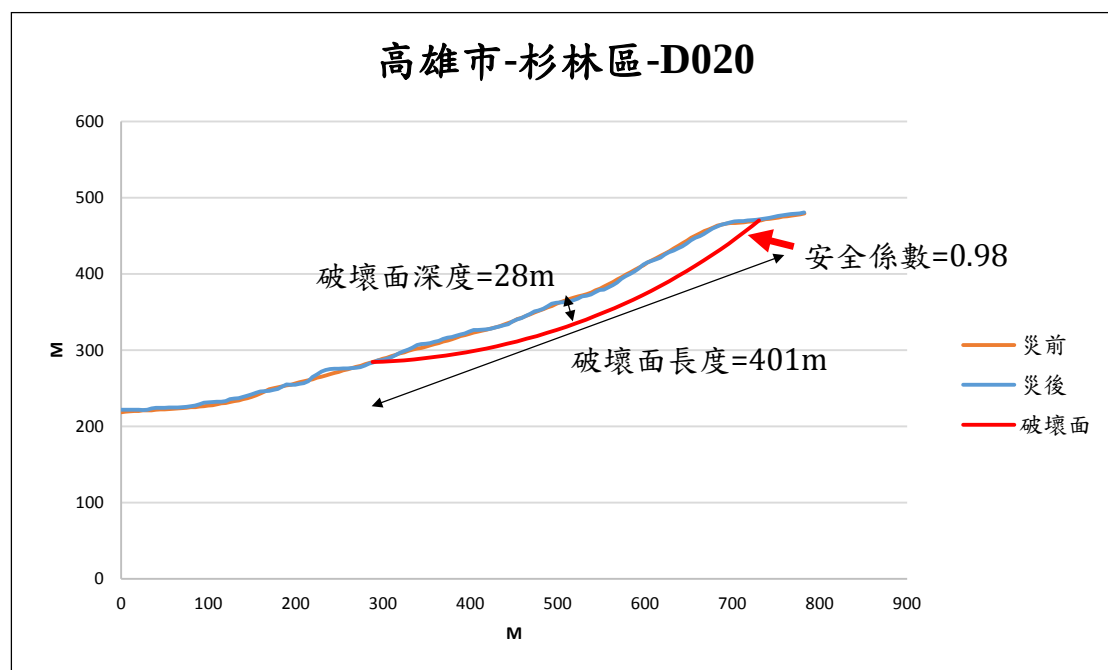


圖 3-6.28、崩塌地編號高雄市-杉林區-D020 邊坡剖面及破壞面示意圖。

3-6.2、模式理論與模擬參數說明

本計畫應用本團隊所發展之崩塌土體運動模式進行運動過程解析；其模式將崩壞土體運動中的過程以土砂與水流兩項混合流材料型態描述，並以連體力學的觀念建立連續及動量方程式，用以模擬邊坡破壞土體起動後之運動過程。

將崩塌土體運動視為高濃度之土砂連體運動，故可從土石流之底床剪應力方程式來推導之，故根據兩項混和流體之本構關係式，可以推導出土體之底部剪應力。再藉由能量消散率之計算：1. 顆粒與顆粒間持續接觸之摩擦應力；2. 顆粒間之非彈性碰撞；3. 顆粒間間隙水流之紊流。假設地滑崩塌土體運動時，間隙水流對於能量之消耗，遠小於滑動體顆粒碰撞與摩擦之效應，最後可以獲得滑動體運動之控制方程式，模式計算採用二維有限差分法進行計算，可得到水深平均之差分方程式。

圖 2-6.3 為天然壩形成解析之計算流程圖，其中，運動土體的停止條件為模式中最為重要的判斷條件，係透過每時刻土體運動計算後，進行各格網之檢核，若達到停止條件，此時土體可能因為驅動力再次大於摩擦力而再次運動，故進行再啟動條件之檢查，故每個時刻計算結束後皆需檢查停止條件與再啟動條件，直至全滑動土體達到完全停止條件，此刻之堆積地形即為滑動土體之堆積型態。

模式內之各項參數，包含有三種類型：

1. 地形參數：包括有破壞前與破壞後之地形資料。
2. 滑動土體參數：包含有土體比重、土體安息角、土體粒徑分布、土體孔隙率與堆積體積濃度、地下水飽和度等。
3. 運動參數：包含有動量補正係數、逕流密度等。

3-6.3、深層崩塌案例運動與天然壩形成模擬

崩塌地編號高雄市-桃源區-D346

(1) 模擬條件設定

表 3-6.12 為高雄市-桃源區-D346 深層崩塌潛勢區位之環境參數設定，摩擦角為 22 度、砂礫比重 2.36、水流比重 1.0、平均粒徑 0.3、堆積濃度為 0.7。圖 3-6.29 為現場調查之深層崩塌範圍，圖中橘線標示範圍即為模擬之崩塌滑動體範圍，圖 3-6.30 為穩定性分析之剖面位置，而圖 3-6.31 為穩定性分析得到之剖面形狀，由得到的剖面形狀，在設定崩塌所造成之不安定土體範圍、深度如圖 3-6.32 所示。

表 3-6.12、高雄市-桃源區-D346 崩塌地參數設定成果

參數名稱	飽和狀態
摩擦角(度)	22
砂礫比重	2.36
流體比重	1.0
平均粒徑(公尺)	0.3
堆積濃度	0.7

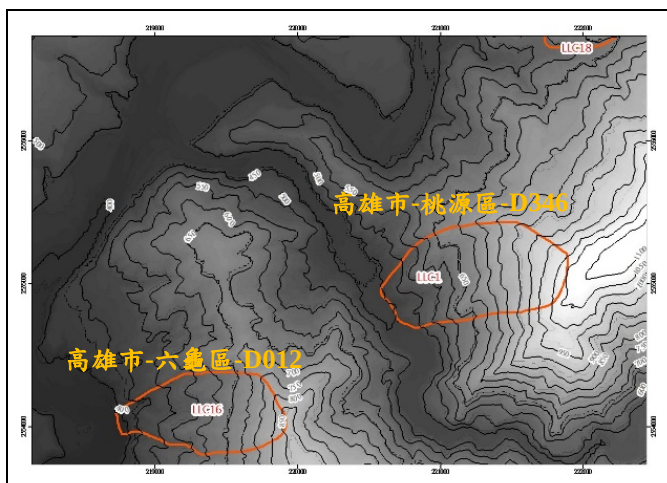


圖 3-6.29、高雄市-桃源區-D346 崩塌地滑動體範圍。

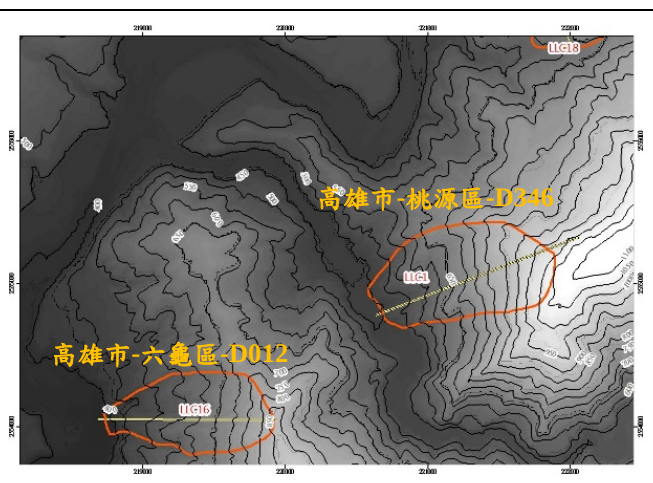


圖 3-6.30、高雄市-桃源區-D346 穩定性分析破壞面剖面位置。

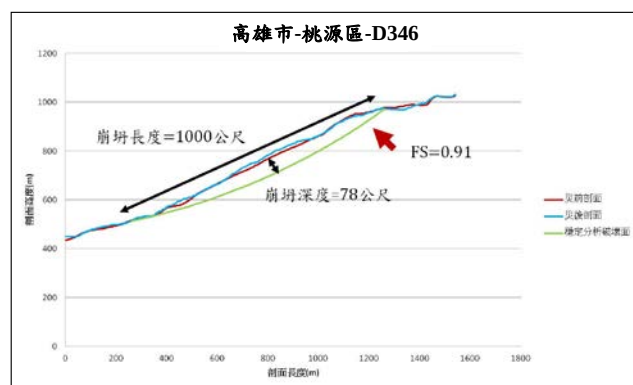


圖 3-6.31、高雄市-桃源區-D346 穩定性分析破壞面剖面形狀。

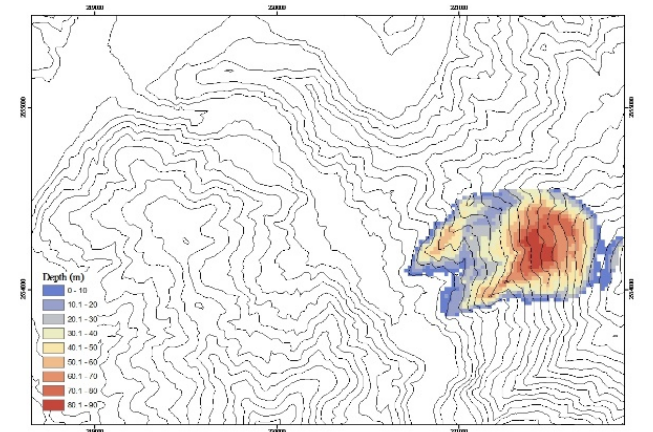


圖 3-6.32、高雄市-桃源區-D346 不安定土體分布情形。

(2) 模擬成果

崩塌深度之設定如圖 3-6.33 所示，最大崩塌深度為 85 公尺，平均深度為 40 公尺，而崩塌土體之相關參數設定如前說明。

圖 3-6.34 為高雄市-桃源區-D346 示範區之崩塌土體之運動模擬成果，展示時間分別為：10 秒、20 秒、30 秒、40 秒、50 秒及 60 秒，從結果可看到在運動開始時，不安定土體沿崩塌面往河道移動，大致可以分為兩股；在 20 秒時不安定土體抵達河道，開始有堆積產生；在 30 秒時，因慣性力的關係，堆積土體主要集中於崩塌對岸的坡面上，並開始往河道運動；40 秒時，堆積土體已大部分堆積於河道上，有明顯堆積形狀出現；50 秒時，堆積土體已開始往下游移動；60 秒時可以看到河道幾乎已被堆滿。

從堆積深度來看，在一開始出現河道堆積時，最大堆積深度約為 30 公尺，但在土體堆積於對面河道時，堆積高度稍緩，約為 20~30 公尺，而到了最後堆積時，堆積高度最高有 50 公尺，平均高度在 20~30 公尺間。

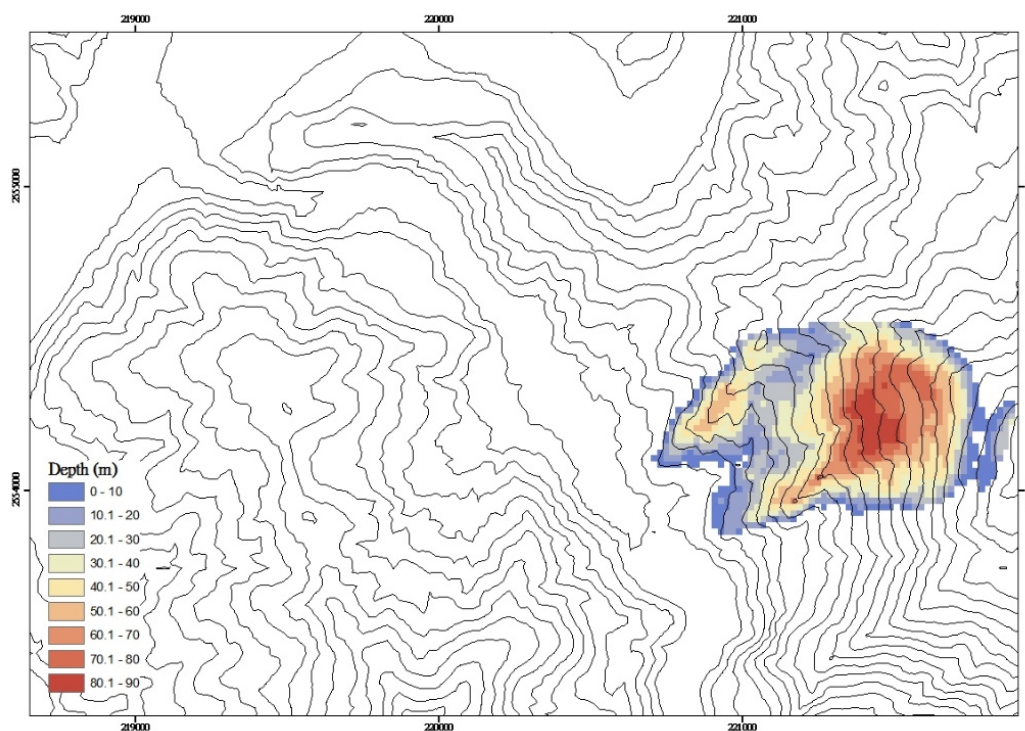


圖 3-6.33、高雄市-桃源區-D346 崩塌地滑動體設定情形。

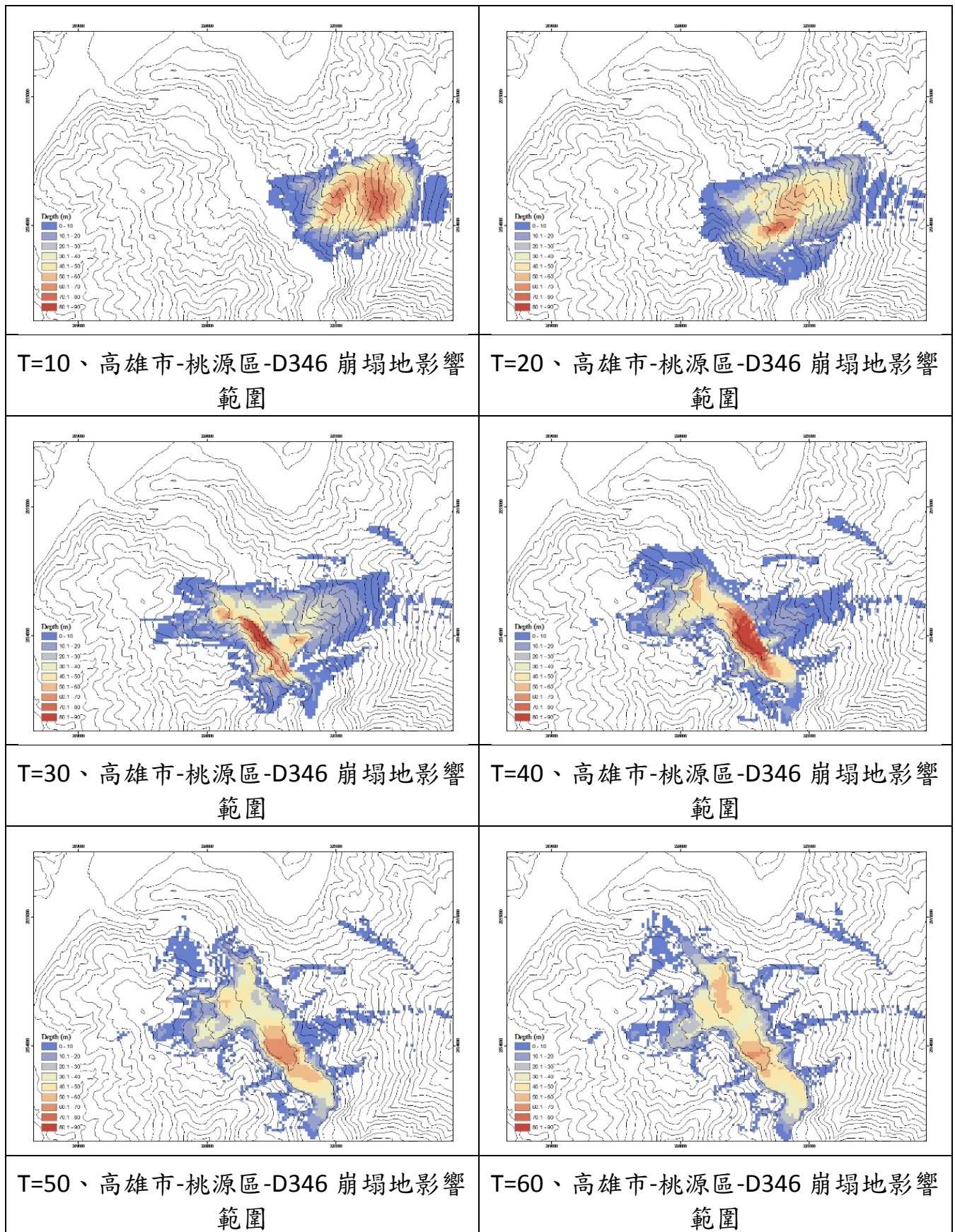


圖 3-6.34、高雄市-桃源區-D346 崩塌地滑動體運動過程。

(3) 天然壩形成成果

根據崩塌土體運動模擬成果，可以進行高雄市-桃源區-D346 示範區之深層崩塌所形成之天然壩形狀解析，圖 3-6.35 為分析所用剖面位置，剖面 I 可以用來評估天然壩影響範圍，而剖面 II 則可用來瞭解天然壩壩高以及橫向之堆積形狀。

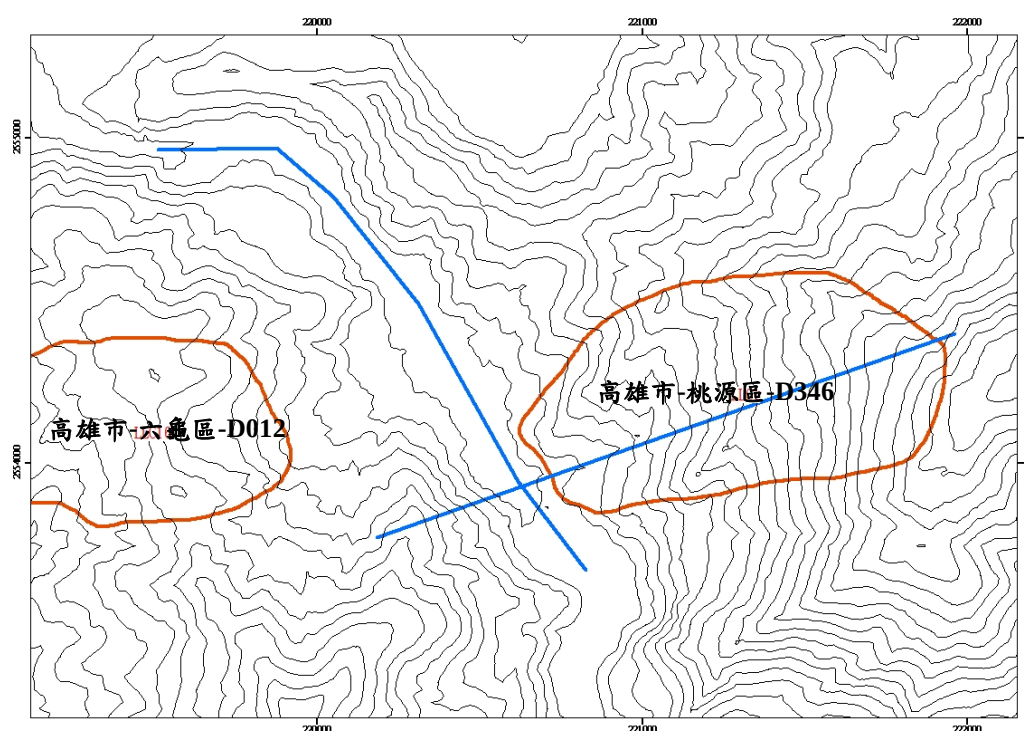
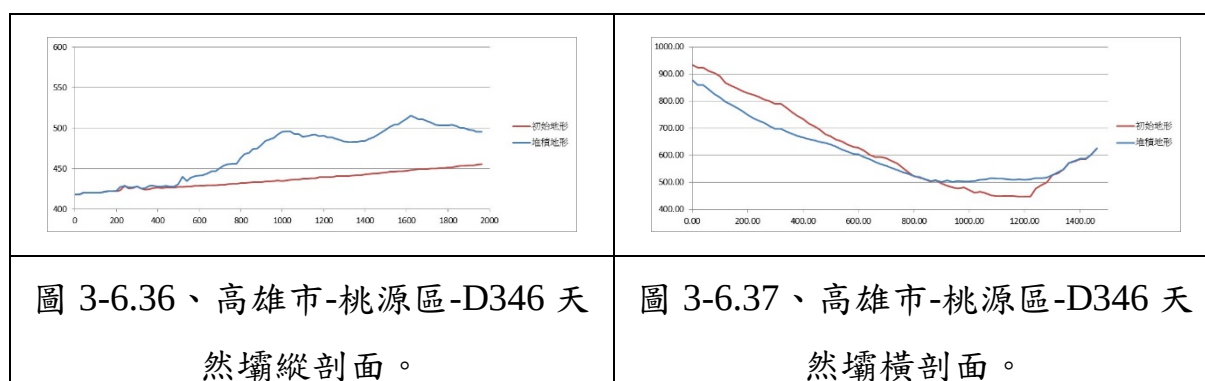


圖 3-6.35、高雄市-桃源區-D346 天然壩形成分析斷面位置圖。



崩塌地編號高雄市-六龜區-D012

(1) 模擬條件設定

表 3-6.13 為高雄市-六龜區-D012 深層崩塌潛勢區位之環境參數設定，摩擦角為 22 度、砂礫比重 2.36、水流比重 1.0、平均粒徑 0.3、堆積濃度為 0.7。圖 3-6.38 為現場調查之深層崩塌範圍，圖中橘線標示範圍即為模擬之崩塌滑動體範圍，圖 3-6.39 為穩定性分析之剖面位置，而圖 3-6.40 為穩定性分析得到之剖面形狀，由得到的剖面形狀，在設定崩塌所造成之不安定土體範圍、深度如圖 3-6.41 所示。

表 3-6.13、高雄市-六龜區-D012 崩塌地參數設定成果

參數名稱	飽和狀態
摩擦角(度)	22
砂礫比重	2.36
流體比重	1.0
平均粒徑(公尺)	0.3
堆積濃度	0.7

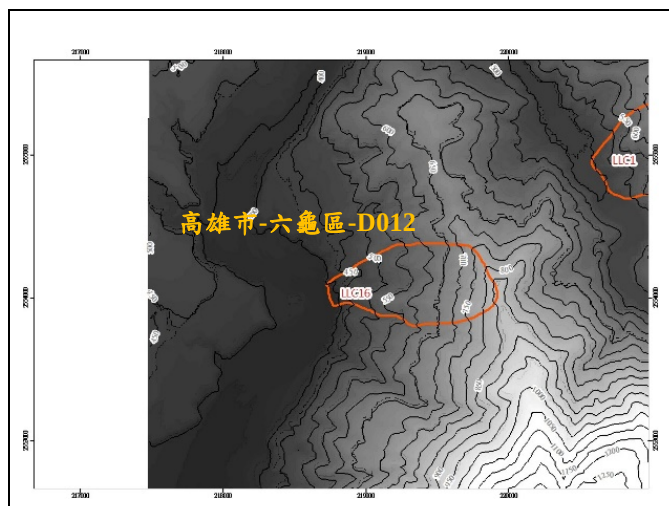


圖 3-6.38、高雄市-六龜區-D012 崩塌地滑動體範圍。

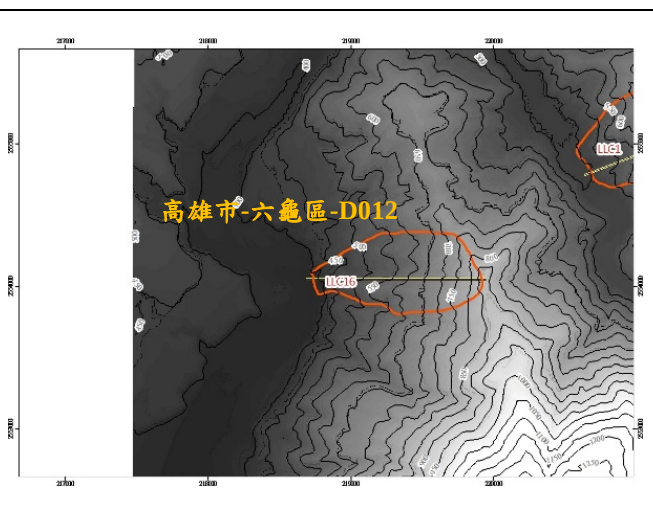


圖 3-6.39、高雄市-六龜區-D012 穩定性分析破壞面剖面位置。

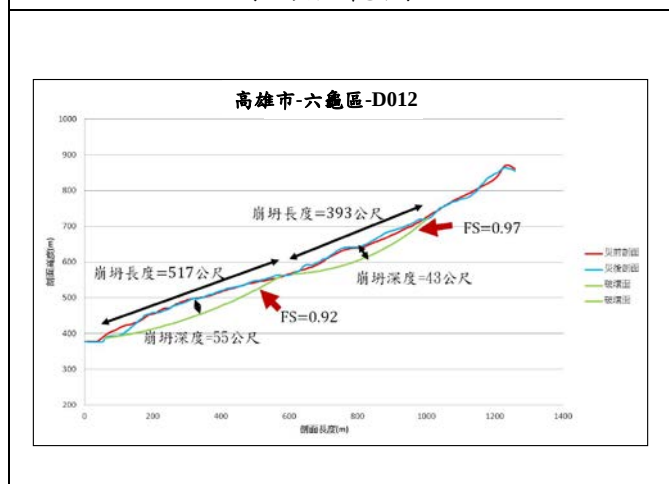


圖 3-6.40、高雄市-六龜區-D012 穩定性分析破壞面剖面形狀。

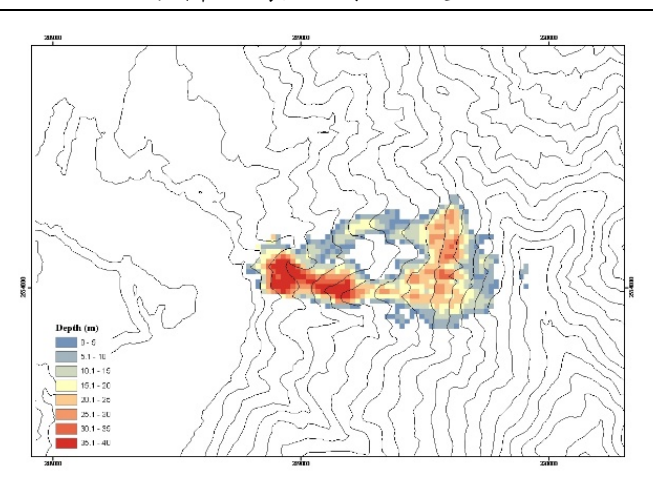


圖 3-6.41、高雄市-六龜區-D012 不安定土體分布位置。

(2) 模擬成果

崩塌深度之設定如圖 3-6.42 所示，最大崩塌深度為 85 公尺，平均深度為 40 公尺，而崩塌土體之相關參數設定如前說明。

圖 3-6.43 為高雄市-六龜區-D012 示範區之崩塌土體之運動模擬成果，展示時間分別為：10 秒、20 秒、30 秒、40 秒、50 秒及 60 秒，從結果可看到在運動開始時，不安定土體沿崩塌面往主流河道移動，但未完全阻斷河道；在 20 秒時不安定土體開始有阻斷河道的效應產生，堆積深度為 10~20 公尺；在 30 秒時，堆積土體因受到對岸地形影響，因此開始往主游河道之上、下游堆積，堆積深度 20~30 公尺；之後堆積土體範圍繼續擴大，天然壩開始有明顯之堆積形狀，深度為 20~30 公尺。

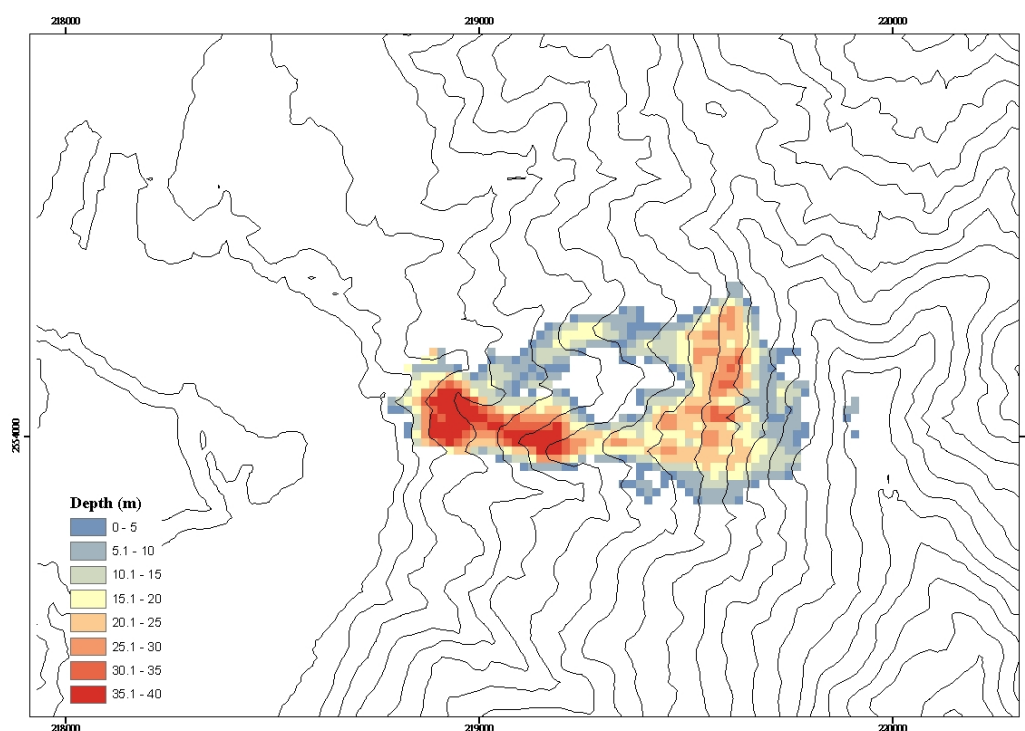


圖 3-6.42、高雄市-六龜區-D012 崩塌地滑動體設定情形。

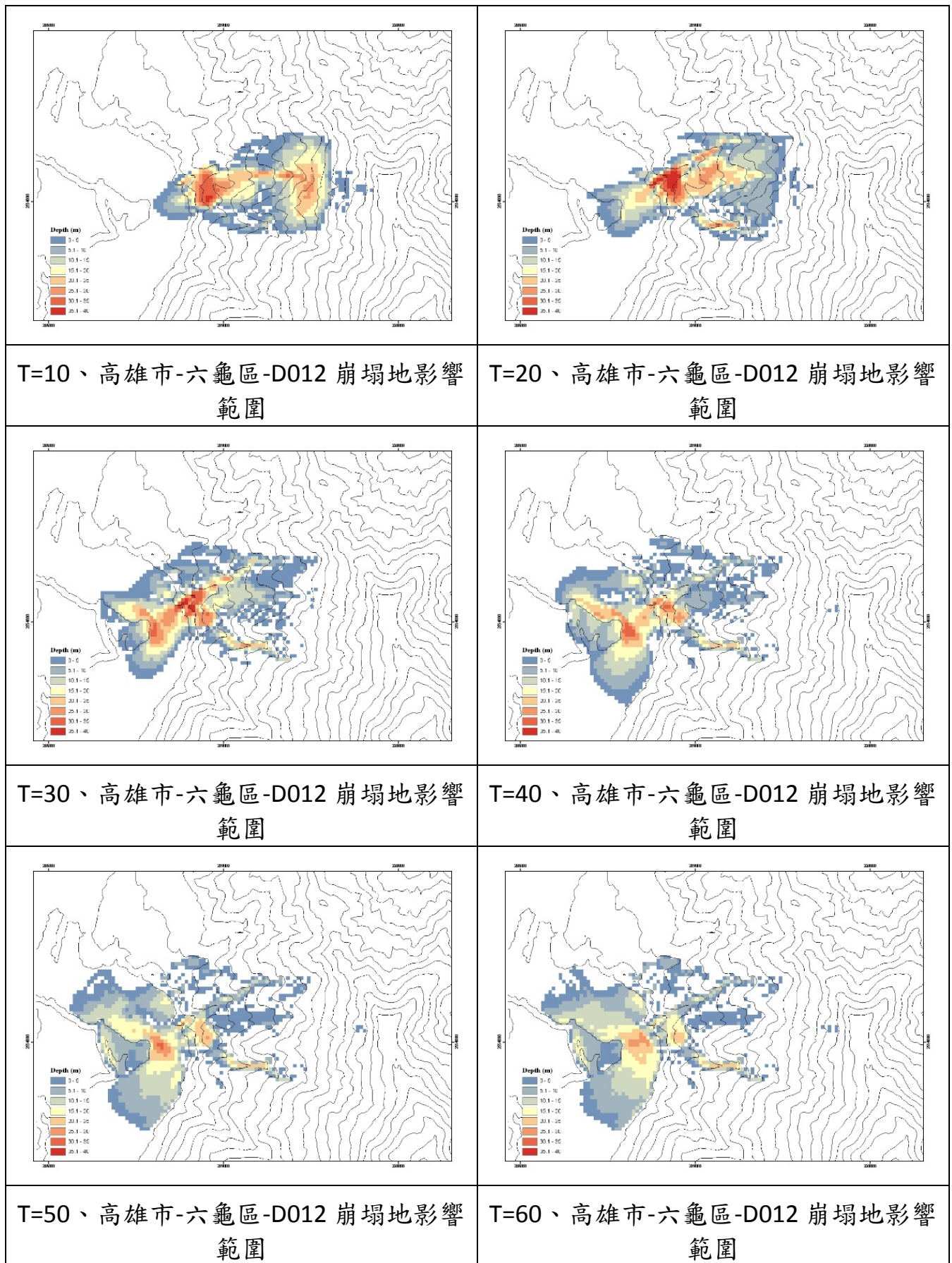


圖 3-6.43、高雄市-六龜區-D012 崩塌地滑動體運動過程。

(3) 天然壩形成成果

根據崩塌土體運動模擬成果，可以進行高雄市-六龜區-D012 示範區之深層崩塌所形成之天然壩形狀解析，圖 3-6.44 為分析所用剖面位置，剖面 I 可以用來評估天然壩影響範圍，而剖面 II 則可用來瞭解天然壩壩高以及橫向之堆積形狀。

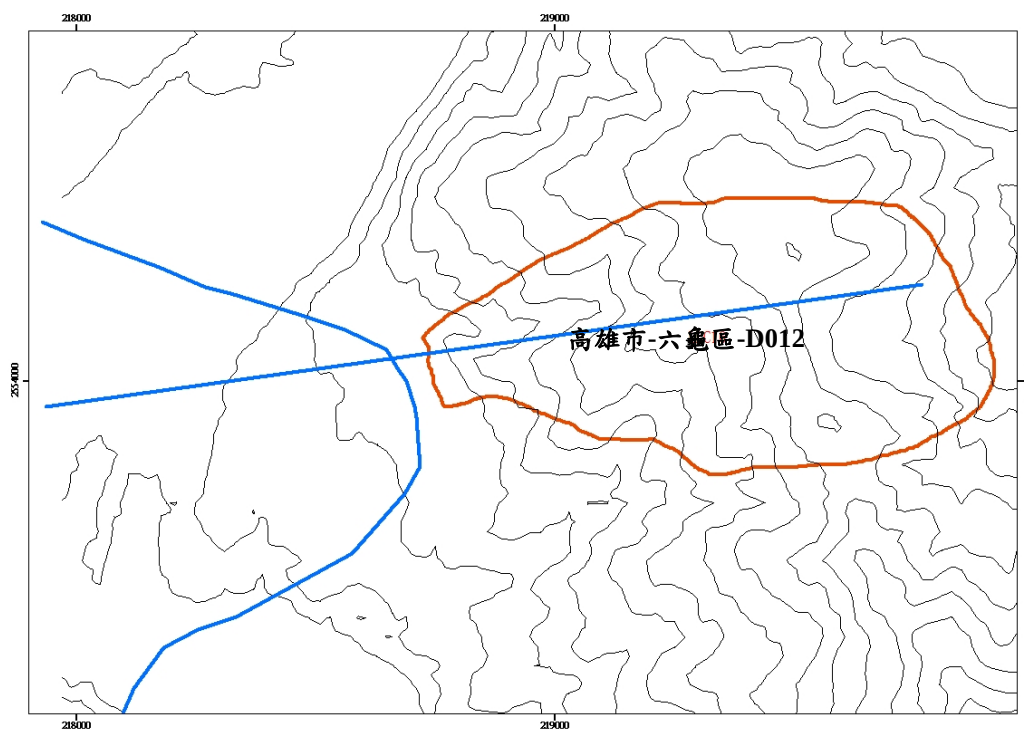
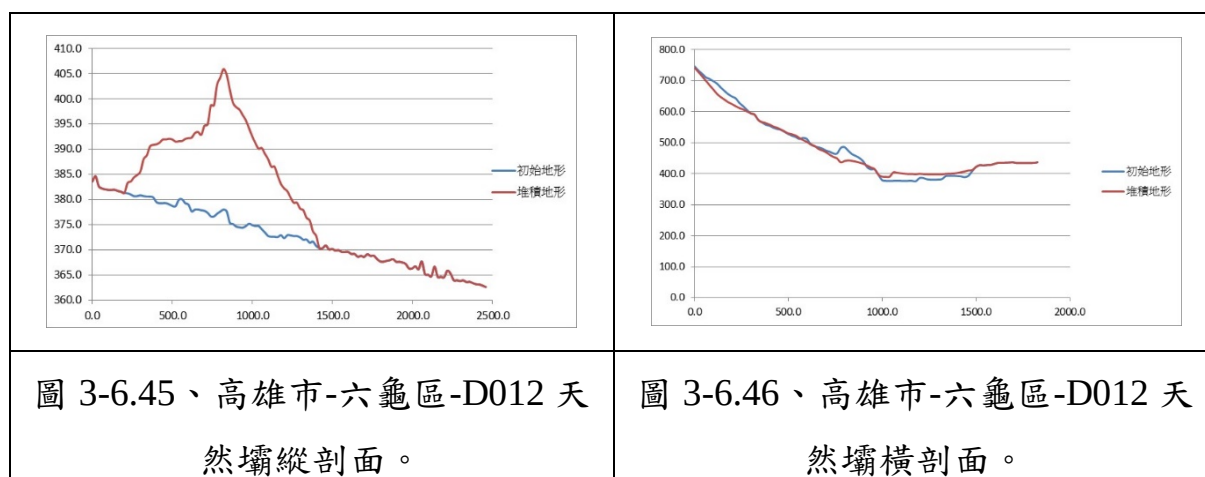


圖 3-6.44、高雄市-六龜區-D012 天然壩形成分析斷面位置圖。



崩塌地編號高雄市-六龜區-D015

(1) 模擬條件設定

表 3-6.14 為高雄市-六龜區-D015 深層崩塌潛勢區位之環境參數設定，摩擦角為 22 度、砂礫比重 2.36、水流比重 1.0、平均粒徑 0.3、堆積濃度為 0.7。圖 3-6.47 為現場調查之深層崩塌範圍，圖中橘線標示範圍即為模擬之崩塌滑動體範圍，圖 3-6.48 為穩定性分析之剖面位置，而圖 3-6.49 為穩定性分析得到之剖面形狀，由得到的剖面形狀，在設定崩塌所造成之不安定土體範圍、深度如圖 3-6.50 所示。

表 3-6.14、高雄市-六龜區-D015 崩塌地參數設定成果

參數名稱	飽和狀態
摩擦角(度)	22
砂礫比重	2.36
流體比重	1.0
平均粒徑(公尺)	0.3
堆積濃度	0.7

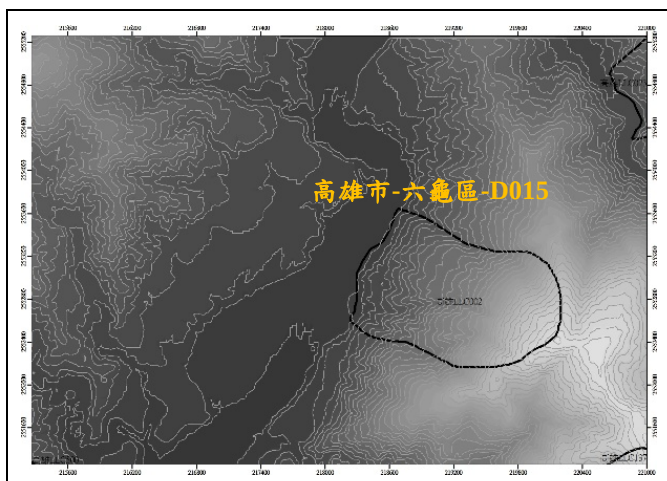


圖 3-6.47、高雄市-六龜區-D015 崩塌地範圍。

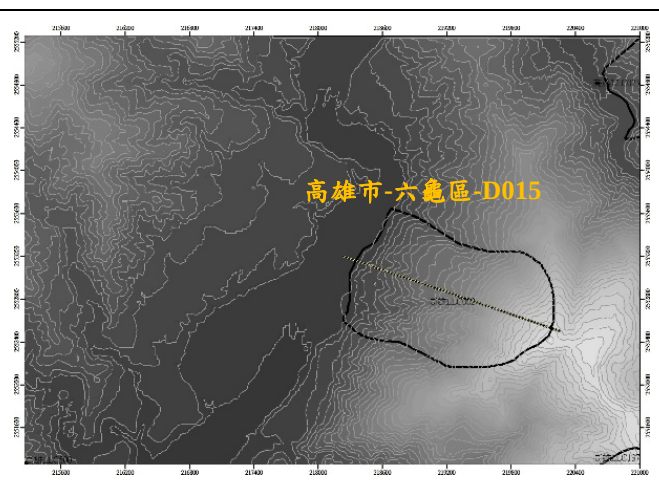


圖 3-6.48、高雄市-六龜區-D015 破壞分析剖面。

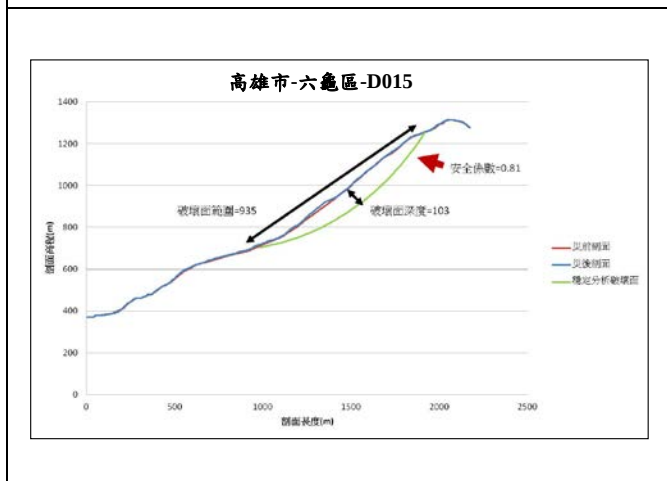


圖 3-6.49、高雄市-六龜區-D015 穩定性分析破壞面剖面形狀。

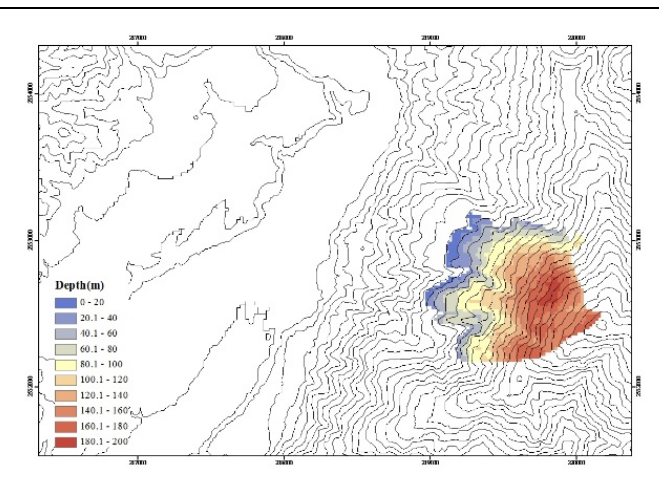


圖 3-6.50、高雄市-六龜區-D015 不安定土體分布。

(2) 模擬成果

高雄市-六龜區-D015 潛勢區不安定土體之設定如圖 3-6.51 所示，最大崩塌深度為 197.2 公尺，平均深度為 102.9 公尺，而崩塌土體之相關參數設定如前說明。

圖 3-6.52 為高雄市-六龜區-D015 示範區之崩塌土體之運動模擬成果，展示時間分別為：5 秒、10 秒、15 秒、20 秒、25 秒及 30 秒，從結果可看到在運動開始後，堆積土體開始往主流運動，但由於崩塌土體深度大、範圍廣，因此在剛開始的 15 秒內有往崩塌趾部堆積的現象發生，隨後才繼續往下游運動，20 秒時，崩塌土體在主流上已經開始堆積，但未完全阻斷主流；到了 25 秒時，崩塌土體開始阻斷主流河道，到了 30 秒時，大部分土體已堆積在主流河道上，且完全阻斷河道，形成堰塞湖，但橫向堆積深度不大。

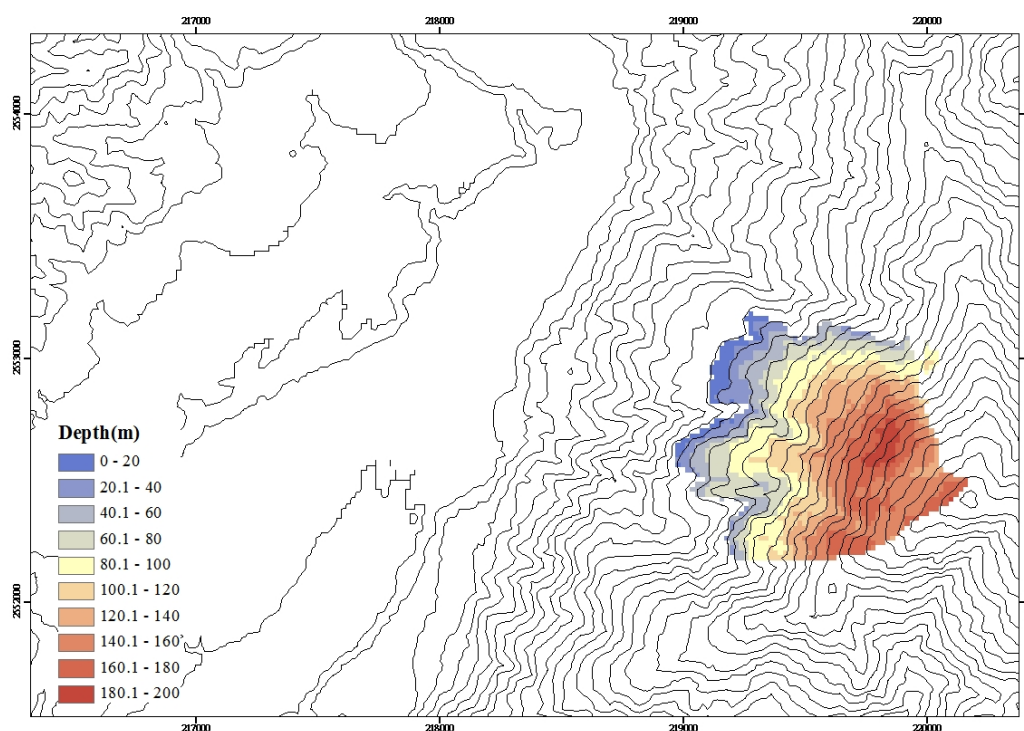


圖 3-6.51、高雄市-六龜區-D015 崩塌地滑動體設定情形。

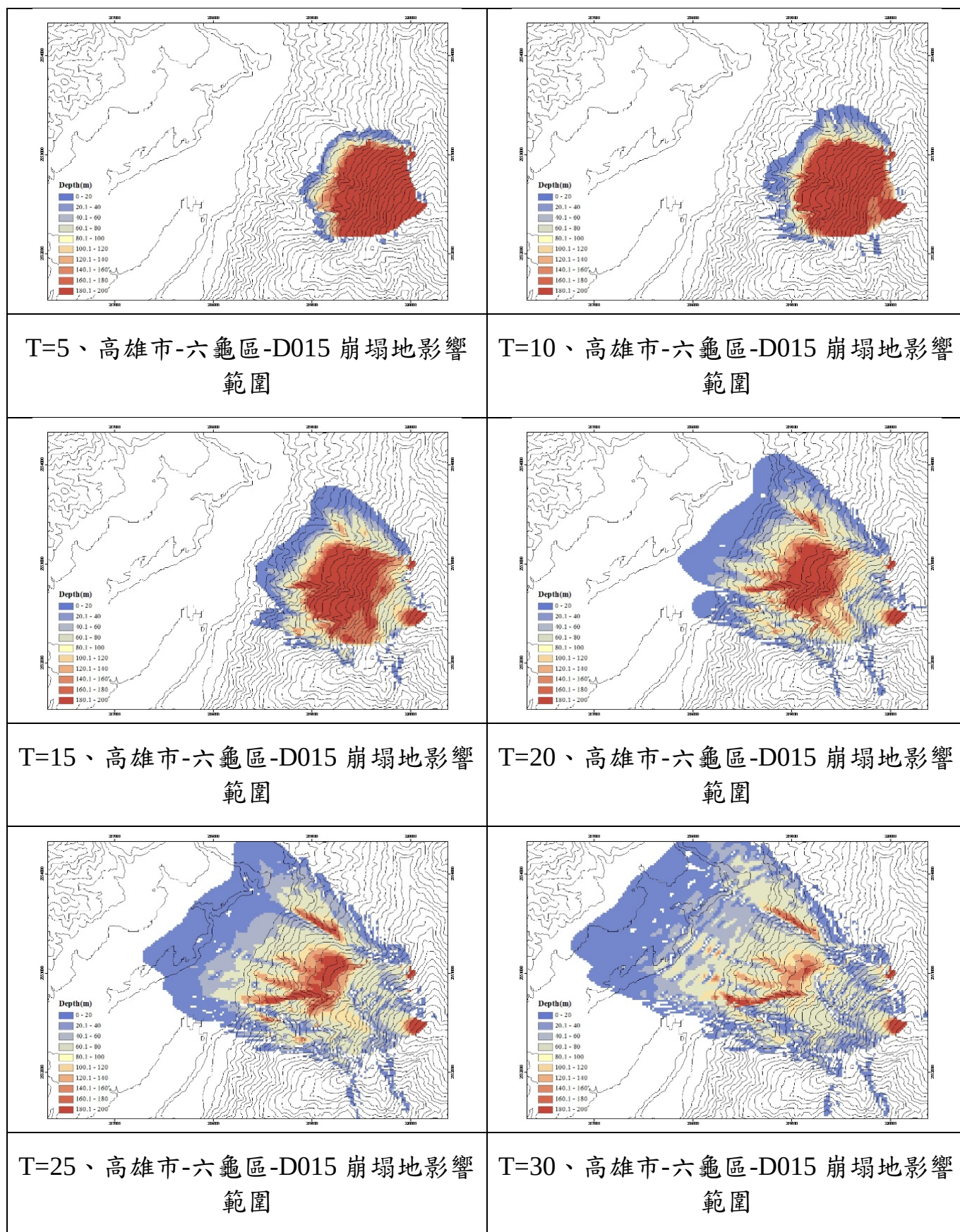


圖 3-6.52、高雄市-六龜區-D015 崩塌地滑動體運動過程。

(3) 天然壩形成成果

根據崩塌土體運動模擬成果，可以進行高雄市-六龜區-D015 示範區之深層崩塌所形成之天然壩形狀解析，圖 3-6.53 為分析所用剖面位置，剖面 I 可以用來評估天然壩影響範圍，而剖面 II 則可用來瞭解天然壩壩高以及橫向之堆積形狀。

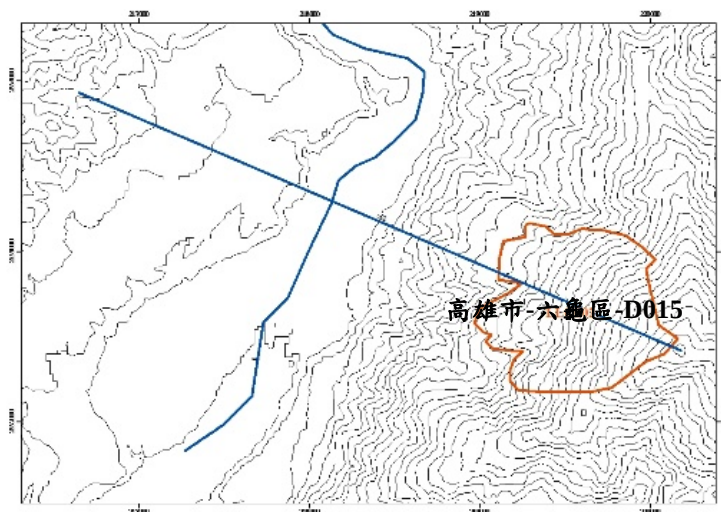


圖 3-6.53、高雄市-六龜區-D015 天然壩形成分析斷面位置圖。

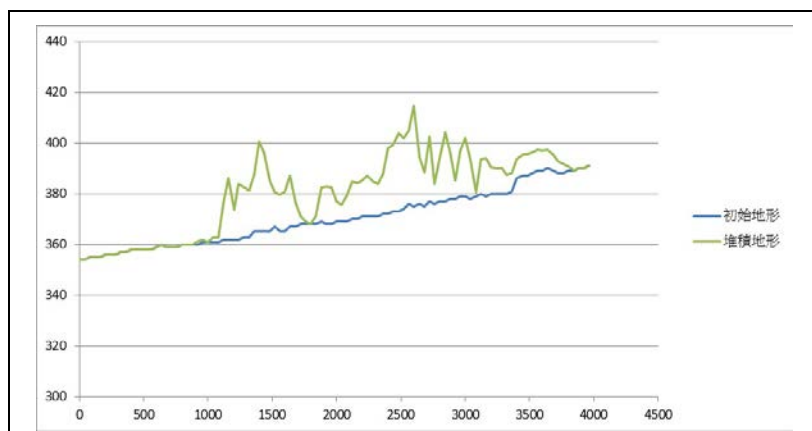


圖 3-6.54、高雄市-六龜區-D015 天然壩縱剖面。

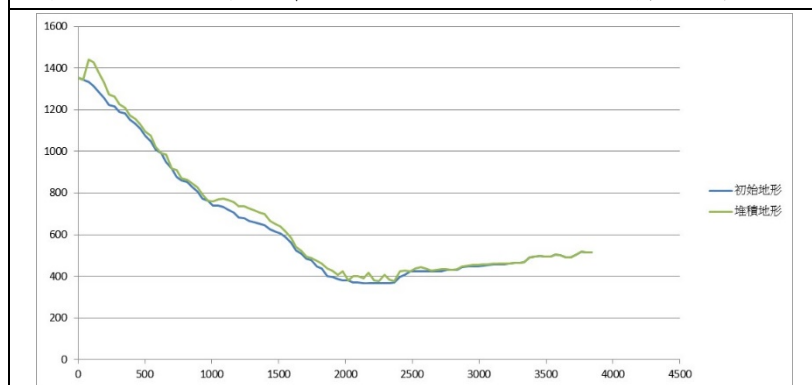


圖 3-6.55、高雄市-六龜區-D015 天然壩橫剖面。

崩塌地編號高雄市-六龜區-D018

(1) 模擬條件設定

表 3-6.15 為高雄市-六龜區-D018 深層崩塌潛勢區位之環境參數設定，摩擦角為 22 度、砂礫比重 2.36、水流比重 1.0、平均粒徑 0.3、堆積濃度為 0.7。圖 3-6.56 為現場調查之深層崩塌範圍，圖中橘線標示範圍即為模擬之崩塌滑動體範圍，圖 3-6.57 為穩定性分析之剖面位置，而圖 3-6.58 為穩定性分析得到之剖面形狀，由得到的剖面形狀，在設定崩塌所造成之不安定土體範圍、深度如圖 3-6.59 所示。

表 3-6.15、高雄市-六龜區-D018 崩塌地參數設定成果

參數名稱	飽和狀態
摩擦角(度)	22
砂礫比重	2.36
流體比重	1.0
平均粒徑(公尺)	0.3
堆積濃度	0.7

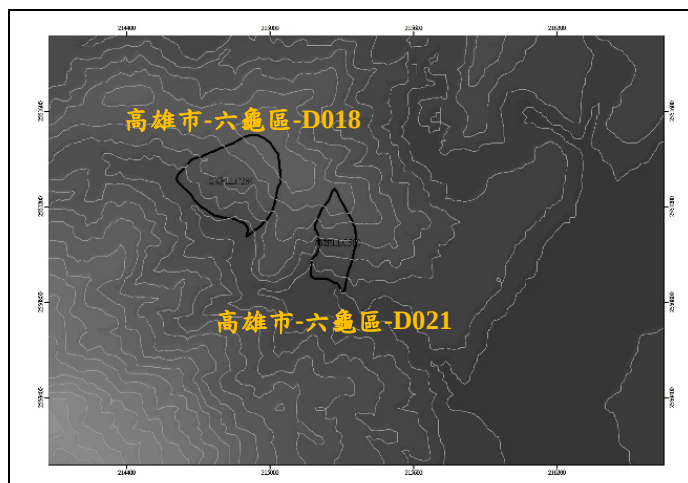


圖 3-6.56、高雄市-六龜區-D018 崩塌地範圍。

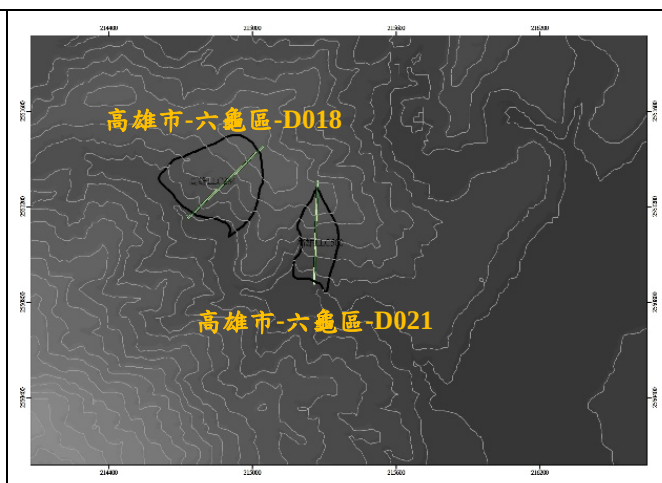


圖 3-6.57、高雄市-六龜區-D018 破壞分析剖面。

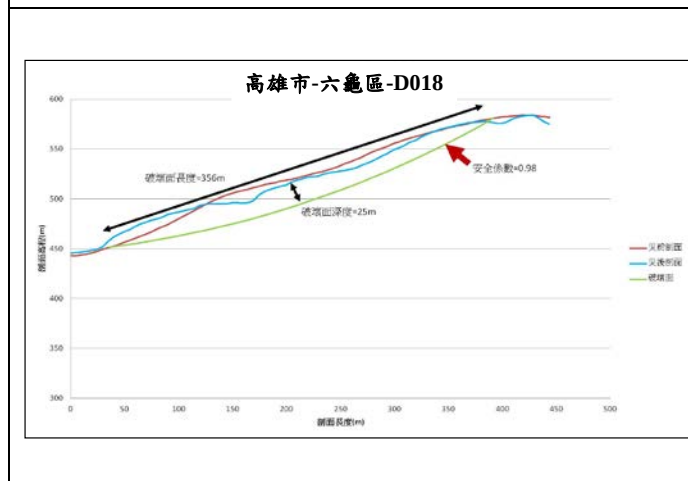


圖 3-6.58、高雄市-六龜區-D018 穩定性分析破壞面剖面形狀。

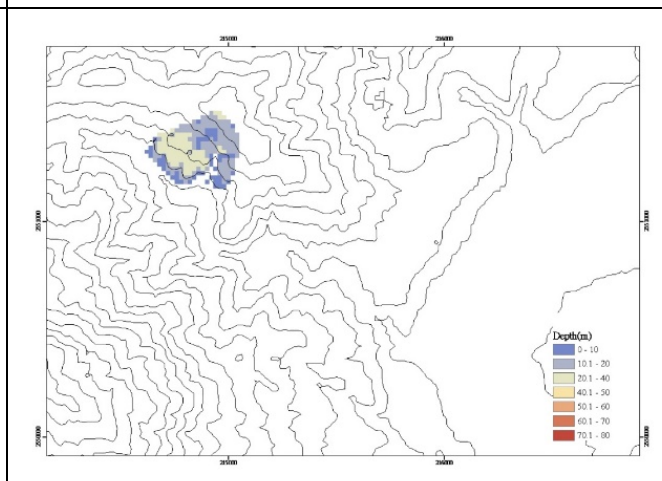


圖 3-6.59、高雄市-六龜區-D018 不安定土體分布。

(2) 模擬成果

高雄市-六龜區-D018 潛勢區不安定土體之設定如圖 3-6.60 所示，最大崩塌深度為 34.9 公尺，平均深度為 14.4 公尺，而崩塌土體之相關參數設定如前說明。

圖 3-6.61 為高雄市-六龜區-D018 示範區之崩塌土體之運動模擬成果，展示時間分別為：10 秒、20 秒、30 秒、40 秒、50 秒及 60 秒，從結果可看到在運動開始時，崩塌土體往支流深槽運動，並開始堆積，之後沿著河道持續往下游主河道運動，但都未有明顯壩體出現，也沒有影響到主流。

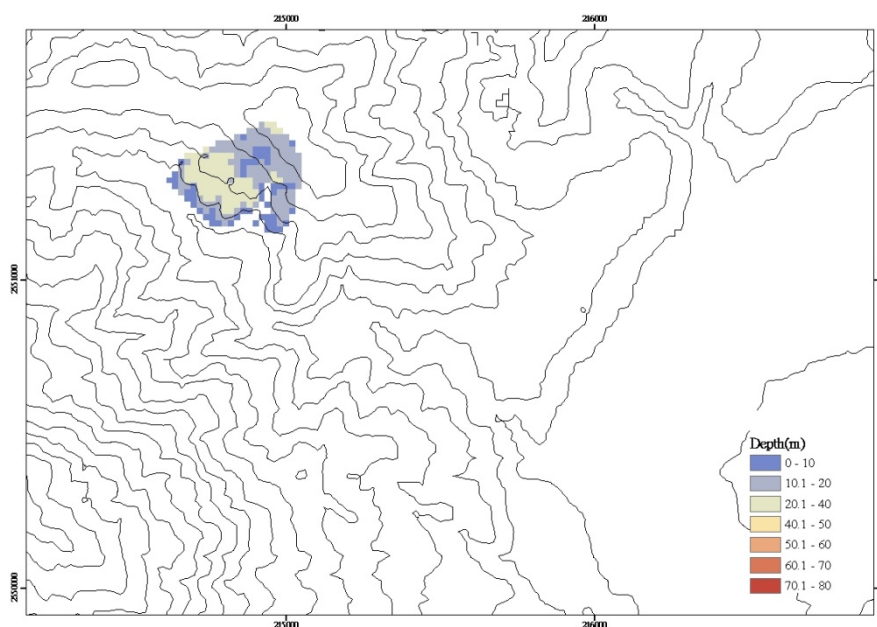


圖 3-6.60、高雄市-六龜區-D018 崩塌地滑動體設定情形。

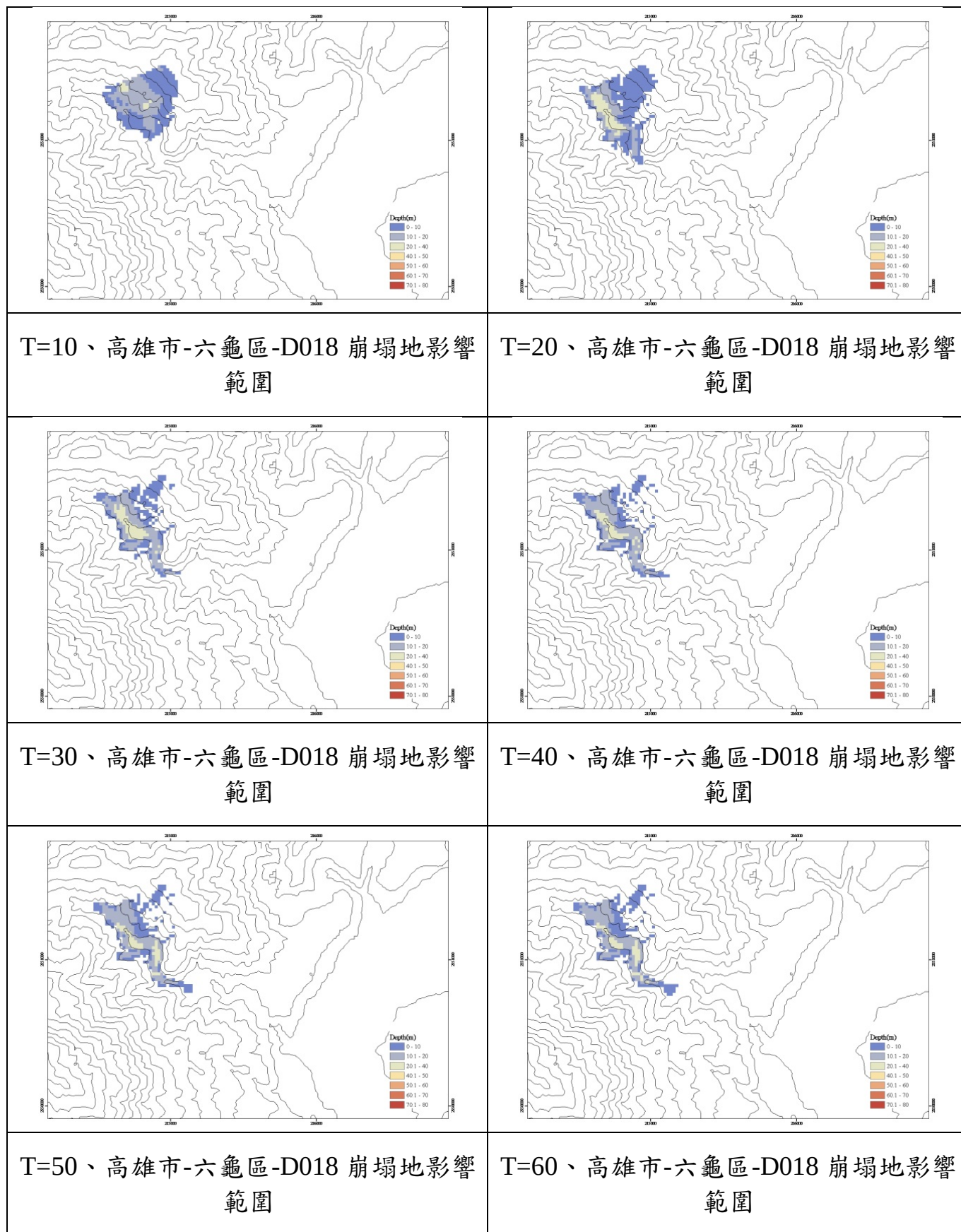


圖 3-6.61、高雄市-六龜區-D018 崩塌地滑動體運動過程。

(3) 天然壩形成成果

根據崩塌土體運動模擬成果，可以進行高雄市-六龜區-D018 示範區之深層崩塌所形成之天然壩形狀解析，圖 3-6.62 為分析所用剖面位置，剖面 I 可以用來評估天然壩影響範圍，而剖面 II 則可用來瞭解天然壩壩高以及橫向之堆積形狀。

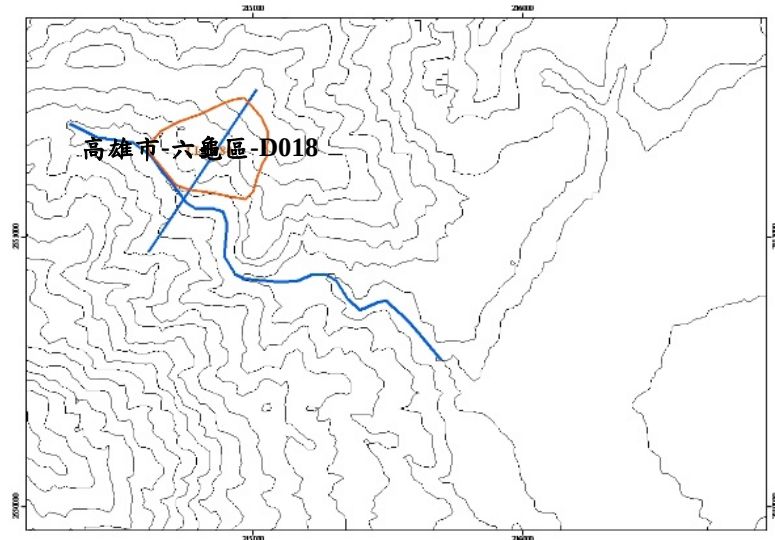


圖 3-6.62、高雄市-六龜區-D018 天然壩形成分析斷面位置圖。

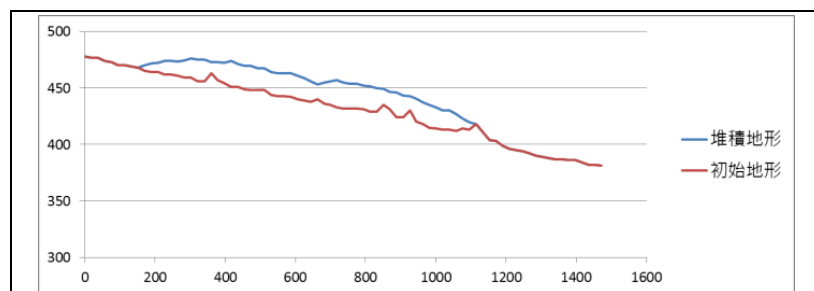


圖 3-6.63、高雄市-六龜區-D018 天然壩縱剖面。

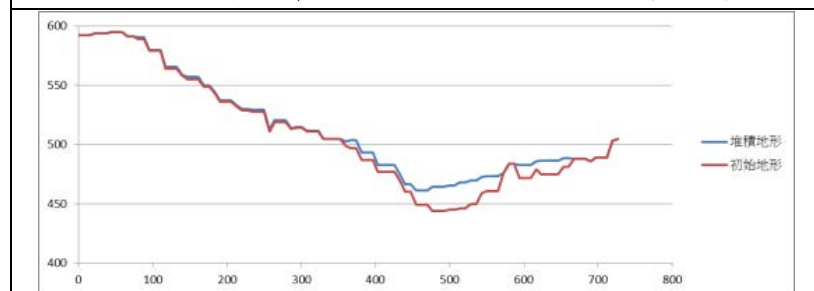


圖 3-6.64、高雄市-六龜區-D018 天然壩橫剖面。

崩塌地編號高雄市-六龜區-D021

(1) 模擬條件設定

表 3-6.16 為高雄市-六龜區-D021 深層崩塌潛勢區位之環境參數設定，摩擦角為 22 度、砂礫比重 2.36、水流比重 1.0、平均粒徑 0.3、堆積濃度為 0.7。圖 3-6.65 為現場調查之深層崩塌範圍，圖中橘線標示範圍即為模擬之崩塌滑動體範圍，圖 3-6.66 為穩定性分析之剖面位置，而圖 3-6.67 為穩定性分析得到之剖面形狀，由得到的剖面形狀，在設定崩塌所造成之不安定土體範圍、深度如圖 3-6.68 所示。

表 3-6.16、高雄市-六龜區-D021 崩塌地參數設定成果

參數名稱	飽和狀態
摩擦角(度)	22
砂礫比重	2.36
流體比重	1.0
平均粒徑(公尺)	0.3
堆積濃度	0.7

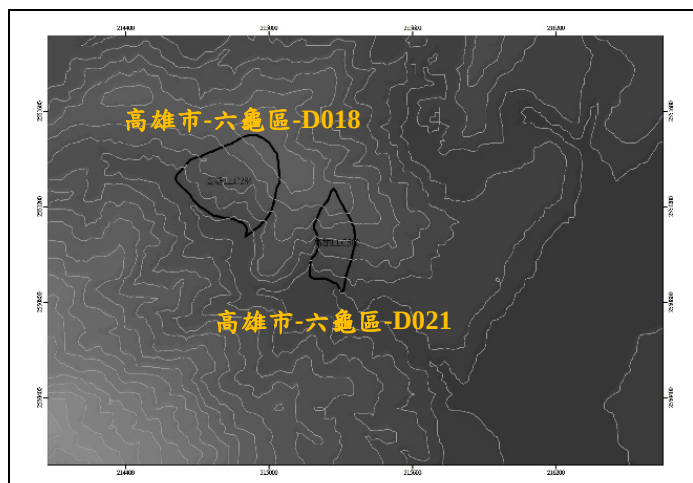


圖 3-6.65、高雄市-六龜區-D021 崩塌地範圍。

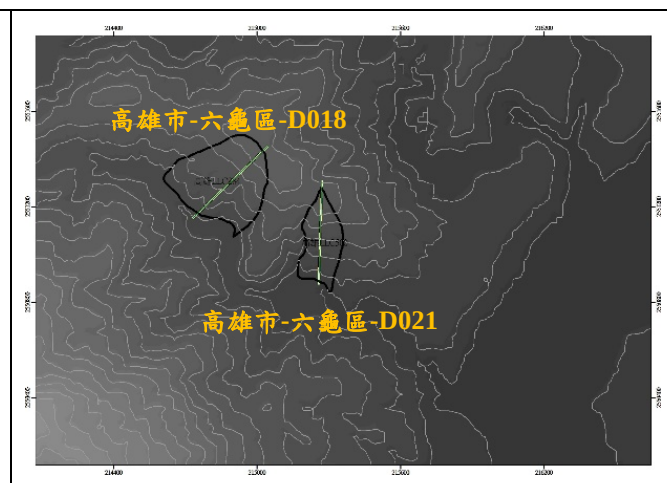


圖 3-6.66、高雄市-六龜區-D021 破壞分析剖面。

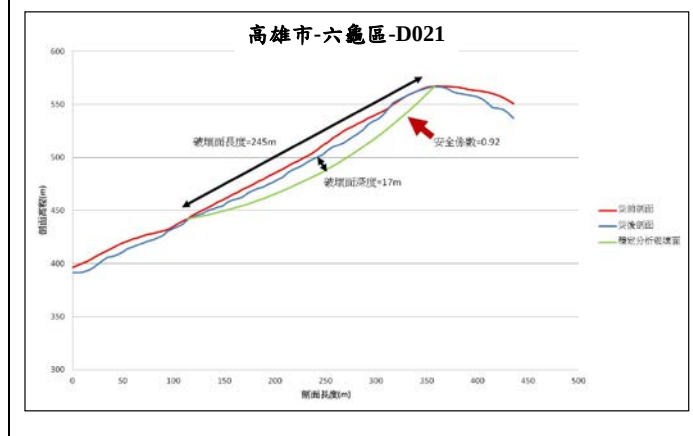


圖 3-6.67、高雄市-六龜區-D021 穩定性分析破壞面剖面形狀。

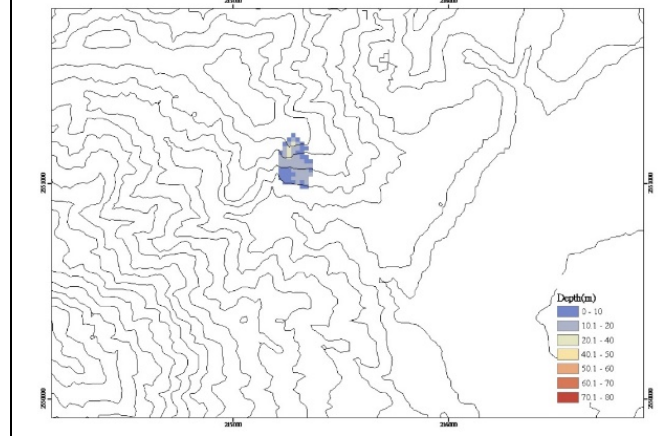


圖 3-6.68、高雄市-六龜區-D021 不安定土體分布。

(2) 模擬成果

高雄市-六龜區-D021 潛勢區不安定土體之設定如圖 3-6.69 所示，最大崩塌深度為 25.8 公尺，平均深度為 9.8 公尺，而崩塌土體之相關參數設定如前說明。

圖 3-6.70 為高雄市-六龜區-D021 示範區之崩塌土體之運動模擬成果，展示時間分別為：10 秒、20 秒、30 秒、40 秒、50 秒及 60 秒，可以看到由於崩塌深度較小，因此崩塌土體僅是往下游河道部分運動，不但沒有明顯堆積壩體，甚至連河道都沒有出現完全阻斷之現象。

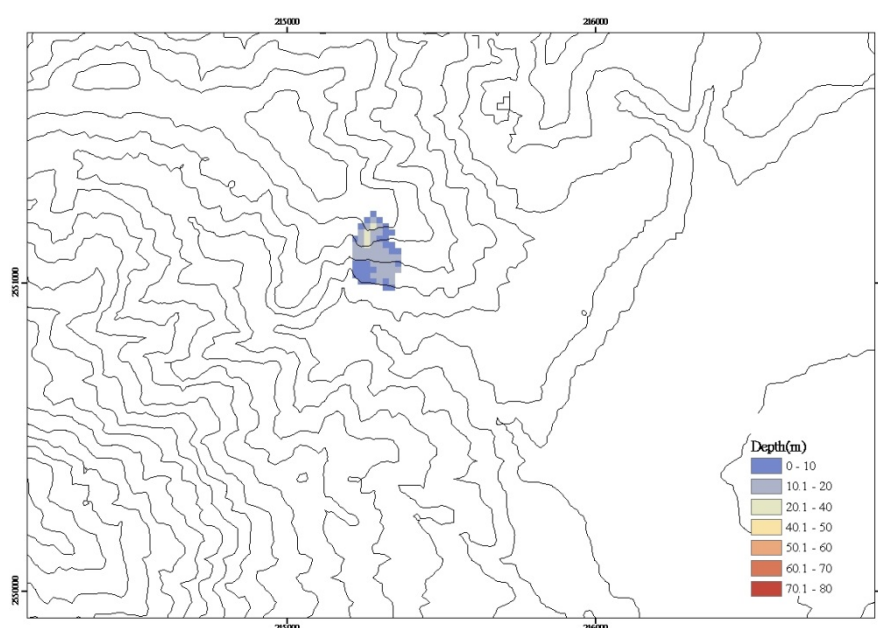


圖 3-6.69、高雄市-六龜區-D021 崩塌地滑動體設定情形。

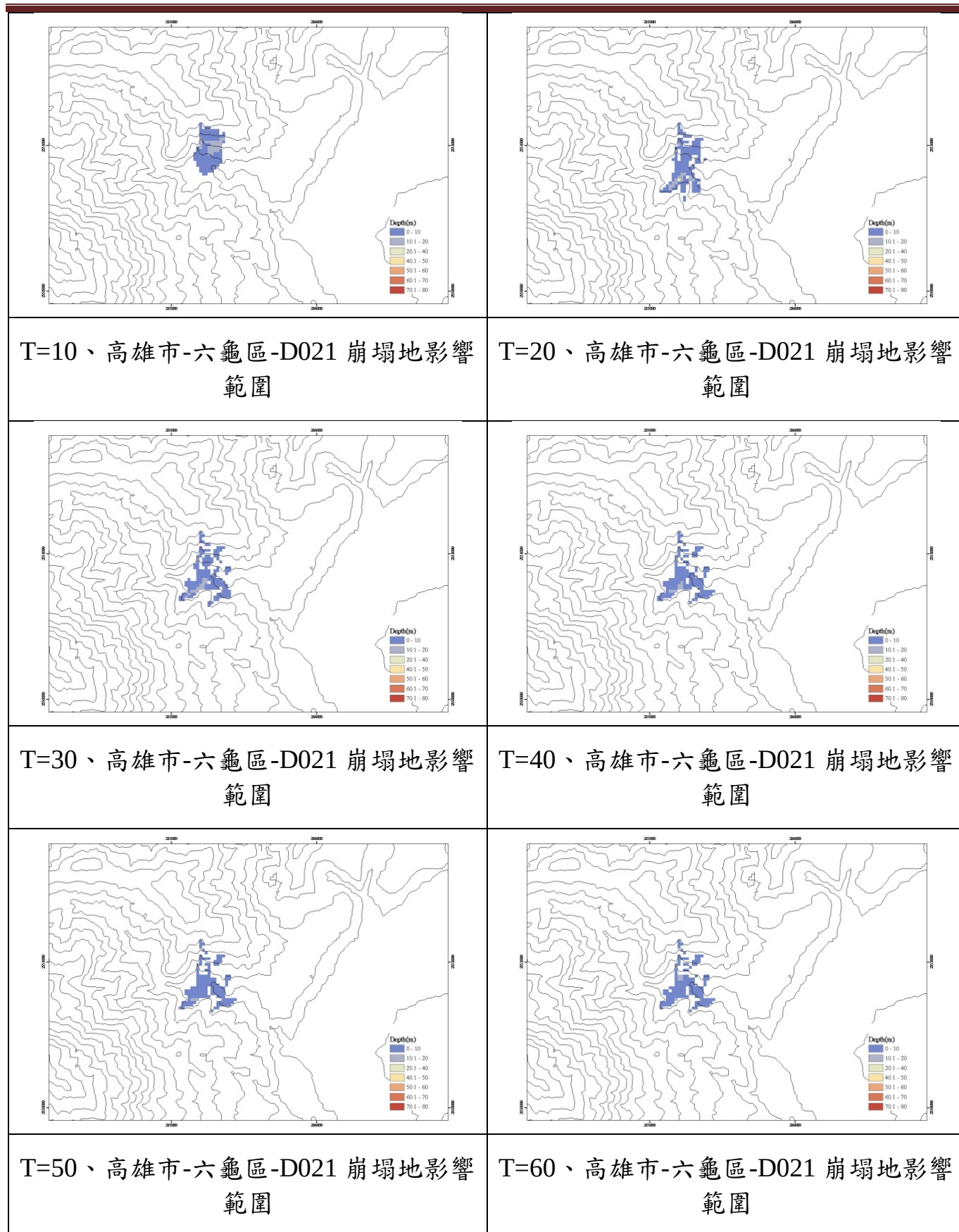


圖 3-6.70、高雄市-六龜區-D021 崩塌地滑動體運動過程。

(3) 天然壩形成成果

根據崩塌土體運動模擬成果，可以進行高雄市-六龜區-D021 示範區之深層崩塌所形成之天然壩形狀解析，圖 3-6.71 為分析所用剖面位置，剖面 I 可以用來評估天然壩影響範圍，而剖面 II 則可用來瞭解天然壩壩高以及橫向之堆積形狀。

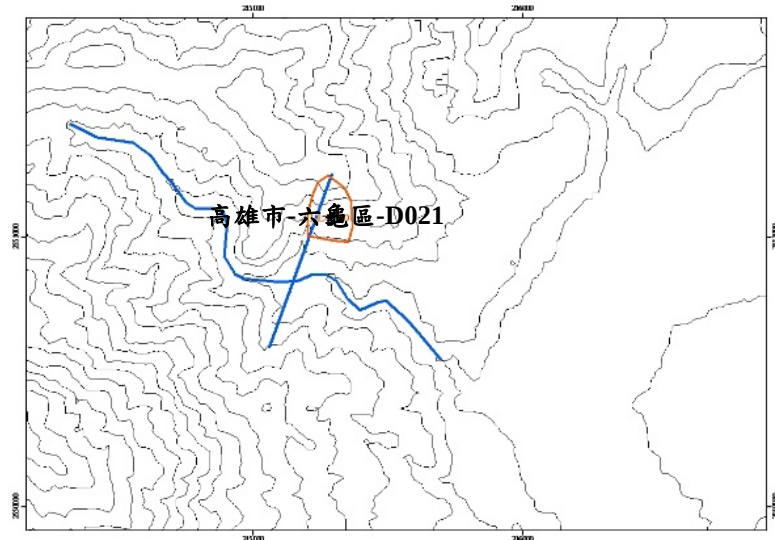


圖 3-6.71、高雄市-六龜區-D021 天然壩形成分析斷面位置圖。

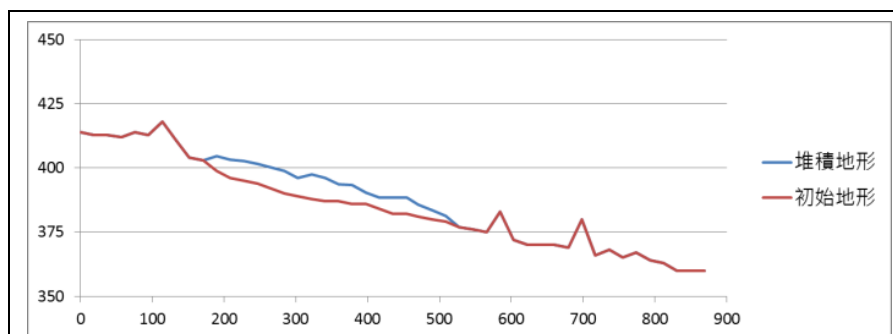


圖 3-6.72、高雄市-六龜區-D021 天然壩縱剖面。

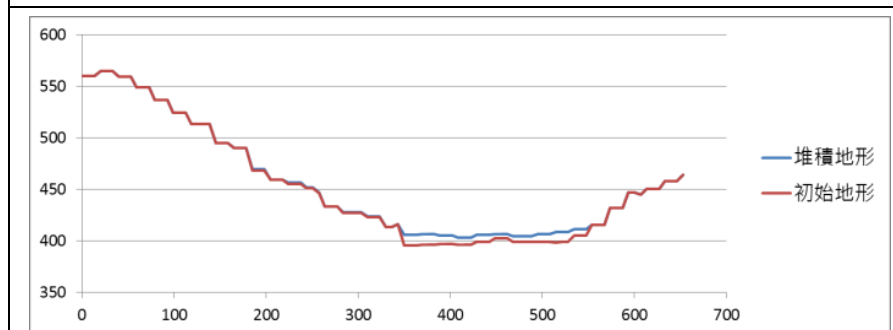


圖 3-6.73、高雄市-六龜區-D021 天然壩橫剖面。

崩塌地編號屏東縣-三地門鄉-D086

(1) 模擬條件設定

表 3-6.17 為屏東縣-三地門鄉-D086 深層崩塌潛勢區位之環境參數設定，摩擦角為 22 度、砂礫比重 2.36、水流比重 1.0、平均粒徑 0.3、堆積濃度為 0.7。圖 3-6.74 為現場調查之深層崩塌範圍，圖中橘線標示範圍即為模擬之崩塌滑動體範圍，圖 3-6.75 為穩定性分析之剖面位置，而圖 3-6.76 為穩定性分析得到之剖面形狀，由得到的剖面形狀，在設定崩塌所造成之不安定土體範圍、深度如圖 3-6.77 所示。

表 3-6.17、屏東縣-三地門鄉-D086 崩塌地參數設定成果

參數名稱	飽和狀態
摩擦角(度)	22
砂礫比重	2.36
流體比重	1.0
平均粒徑(公尺)	0.3
堆積濃度	0.7

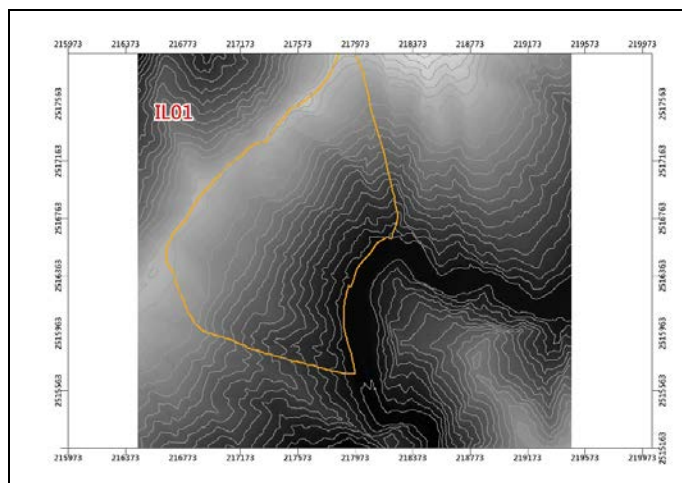


圖 3-6.74、屏東縣-三地門鄉-D086 崩塌地滑動體範圍。

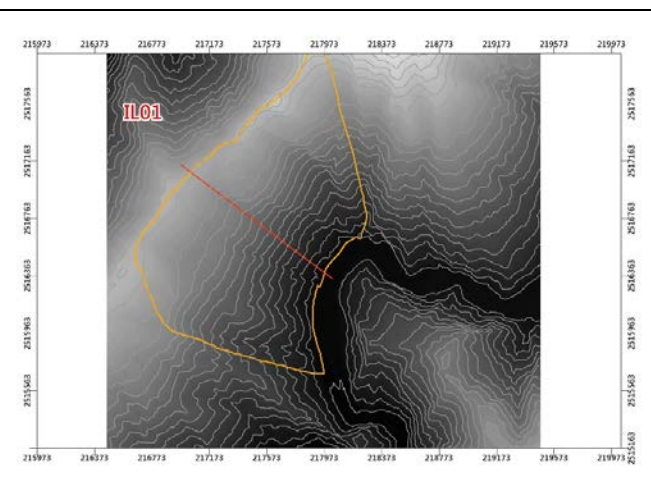


圖 3-6.75、屏東縣-三地門鄉-D086 穩定性分析破壞面剖面位置。

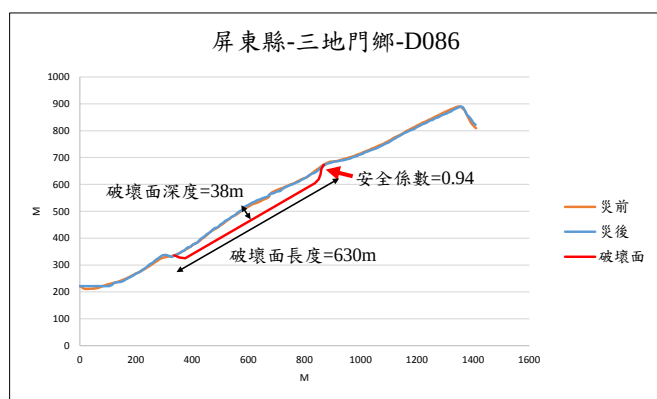


圖 3-6.76、屏東縣-三地門鄉-D086 穩定性分析破壞面剖面形狀。

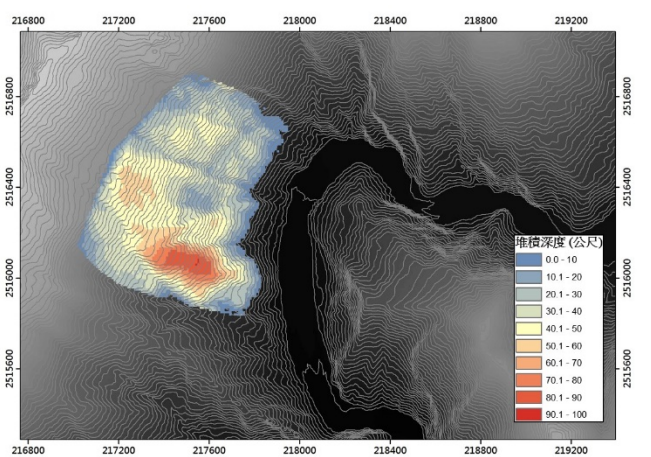


圖 3-6.77、屏東縣-三地門鄉-D086 不安定土體分布情形。

(2) 模擬成果

崩塌深度之設定如圖 3-6.78 所示，最大崩塌深度為 46.59 公尺，平均深度為 20.4 公尺，而崩塌土體之相關參數設定如前說明，因為本區坡面範圍較大，因此在不安定土方設定上較為困難。

圖 3-6.79 為屏東縣-三地門鄉-D086 示範區之崩塌土體之運動模擬成果，展示時間分別為：10 秒、20 秒、30 秒、40 秒之成果，從結果可看到在運動開始後，堆積土體開始往下游河道運動，在 10 秒時，崩塌土體開始抵達河到，20 秒時，開始阻斷河道，並於對岸坡面產生堆積，到了 30 秒時，崩塌土體持續運動，並在河道上形成明顯堆積，到 40 秒時，天然壩堆積範圍逐漸增大，之後土體大致抵達穩定狀態，差異不大。

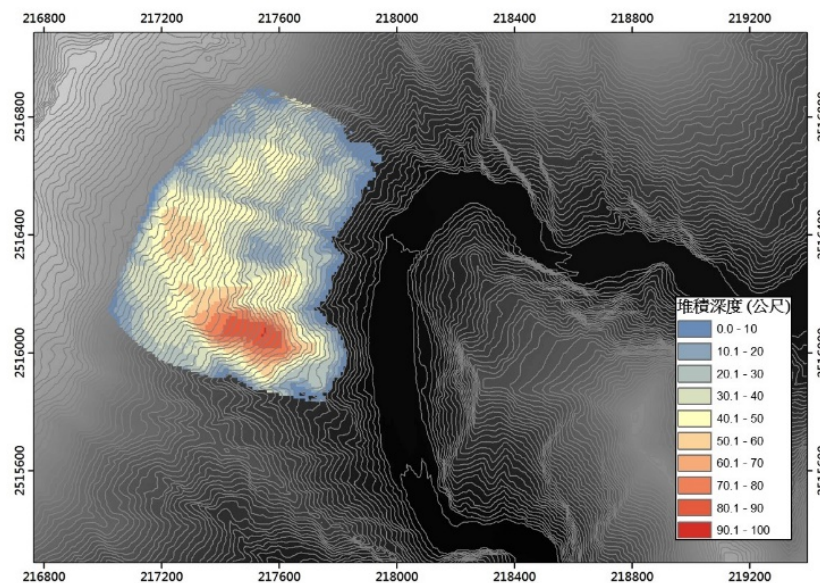


圖 3-6.78、屏東縣-三地門鄉-D086 崩塌地滑動體設定情形。

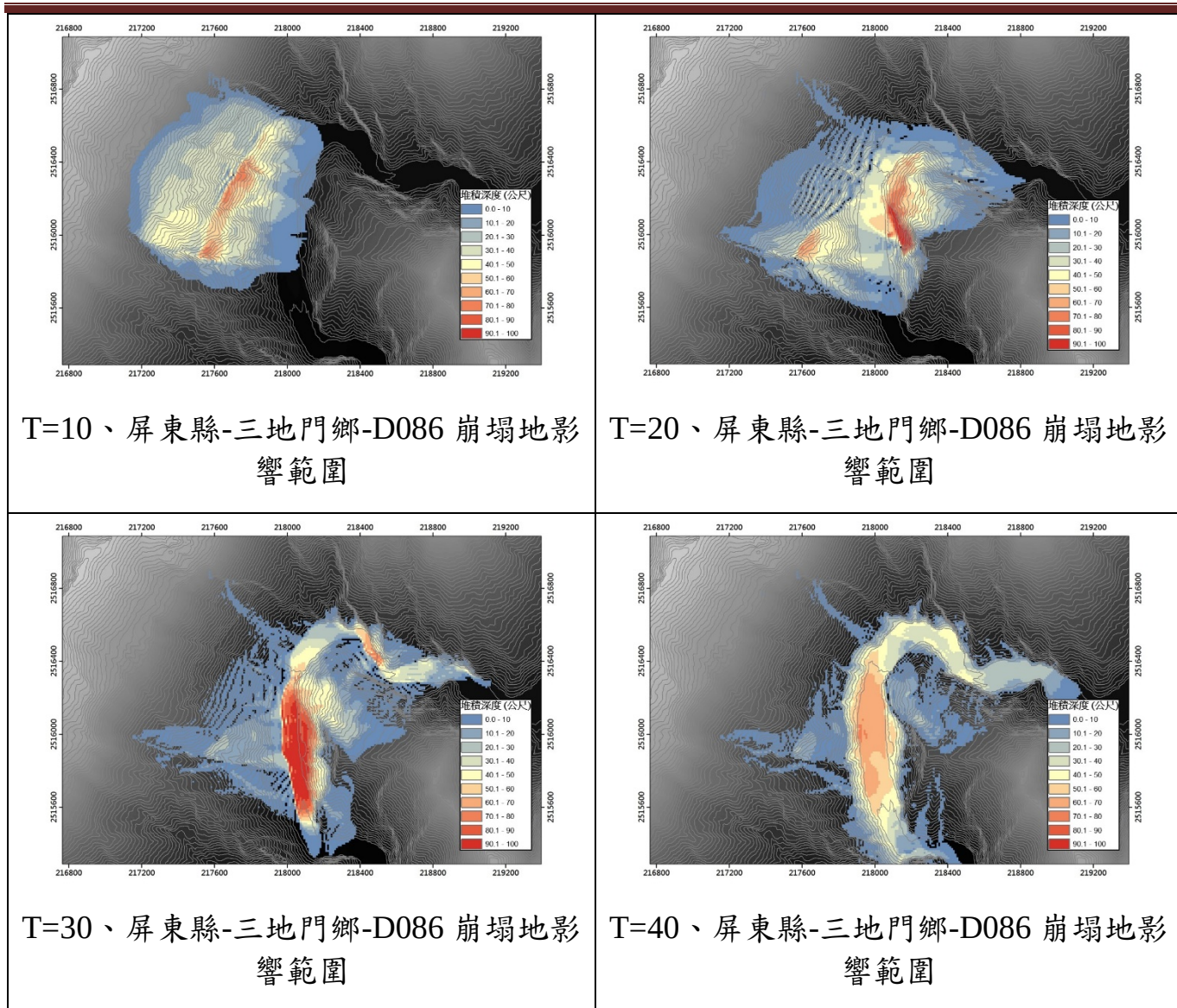


圖 3-6.79、屏東縣-三地門鄉-D086 崩塌地滑動體運動過程。

(3) 天然壩形成成果

根據崩塌土體運動模擬成果，可以進行屏東縣-三地門鄉-D086 示範區之深層崩塌所形成之天然壩形狀解析，圖 3-6.80 為分析所用剖面位置，剖面 I 可以用來評估天然壩影響範圍，而剖面 II 則可用來瞭解天然壩壩高以及橫向之堆積形狀，表 3-6.18 為屏東縣-三地門鄉-D086 案例所形成之天然壩參數。

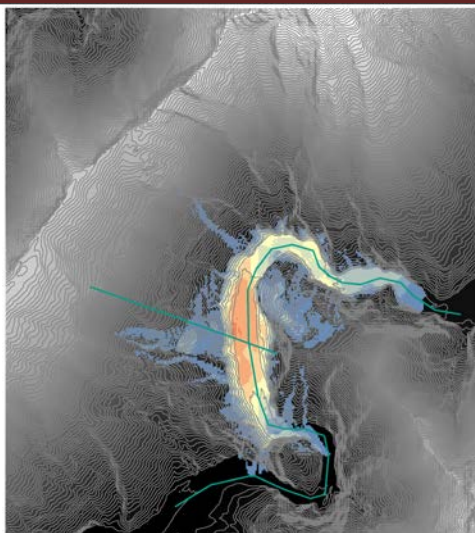


圖 3-6.80、屏東縣-三地門鄉-D086 天然壩形成分析斷面位置圖。

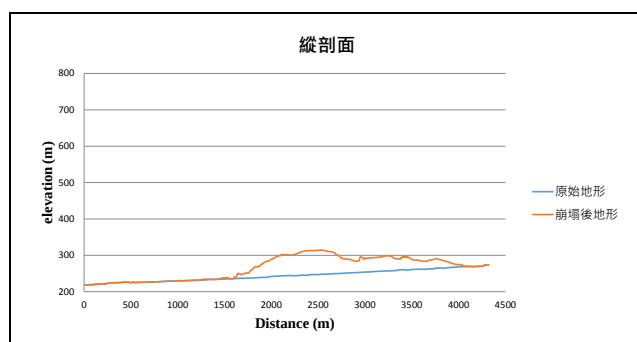


圖 3-6.81、屏東縣-三地門鄉-D086 天然壩縱剖面。

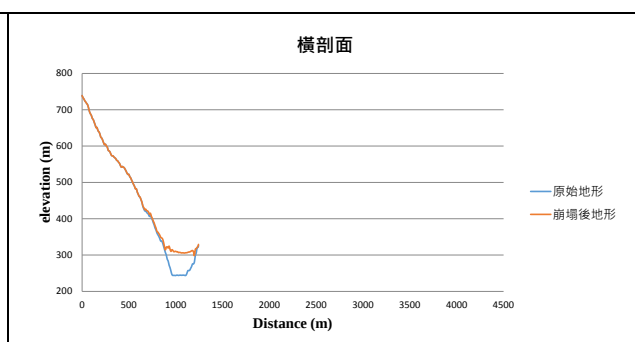


圖 3-6.82、屏東縣-三地門鄉-D086 天然壩橫剖面。

表 3-6.18、屏東縣-三地門鄉-D086 堆積壩體形狀參數

編號	壩高(m)	壩長(m)
屏東縣-三地門鄉-D086	67	2,627

崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047

(1) 模擬條件設定

崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044 及高雄市-甲仙區-D047 為相鄰的深層崩塌潛勢區位，表 3-6.19 為其環境參數設定，摩擦角為 22 度、砂礫比重 2.36、水流比重 1.0、平均粒徑 0.3、堆積濃度為 0.7。圖 3-6.83 為高雄市-甲仙區-D044 現場調查之深層崩塌範圍，圖中橘線標示範圍即為模擬之崩塌滑動體範圍，圖 3-6.84 為穩定性分析之剖面位置，而圖 3-6.85 為穩定性分析得到之剖面形狀，由得到的剖面形狀，在設定崩塌所造成之不安定土體範圍、深度如圖 3-6.86 所示；圖 3-6.87 為高雄市-甲仙區-D047 現場調查之深層崩塌範圍，圖中橘線標示範圍即為模擬之崩塌滑動體範圍，圖 3-6.88 為穩定性分析之剖面位置，而圖 3-6.89 為穩定性分析得到之剖面形狀，由得到的剖面形狀，在設定崩塌所造成之不安定土體範圍、深度如圖 3-6.90 所示。

表 3-6.19、高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047 崩塌地參數設定成果

參數名稱	飽和狀態
摩擦角(度)	22
砂礫比重	2.36
流體比重	1.0
平均粒徑(公尺)	0.3
堆積濃度	0.7

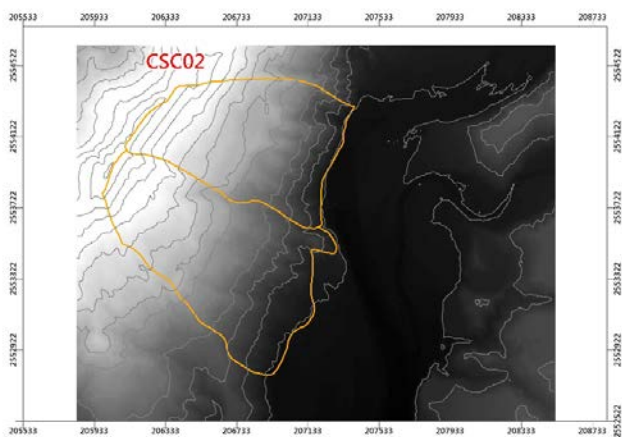


圖 3-6.83、高雄市-甲仙區-D044 崩塌地滑動體範圍。

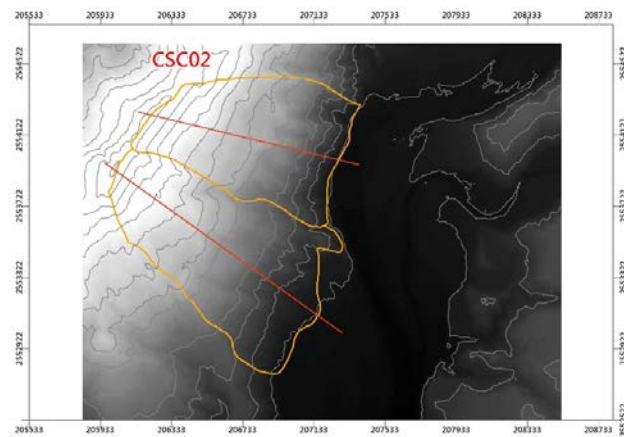


圖 3-6.84、高雄市-甲仙區-D044 穩定性分析破壞面剖面位置。

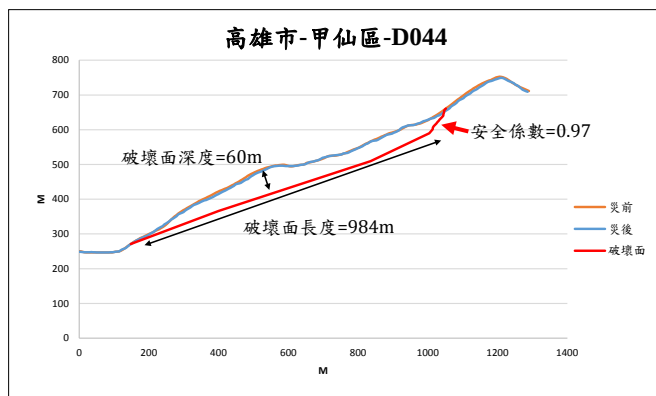


圖 3-6.85、高雄市-甲仙區-D044 穩定性分析破壞面剖面形狀。

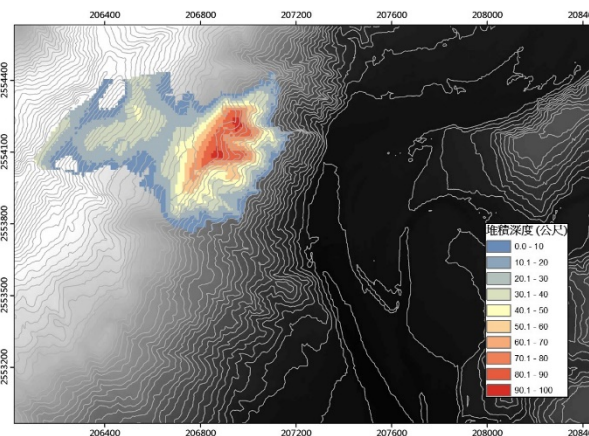


圖 3-6.86、高雄市-甲仙區-D044 不安定土體分布位置。

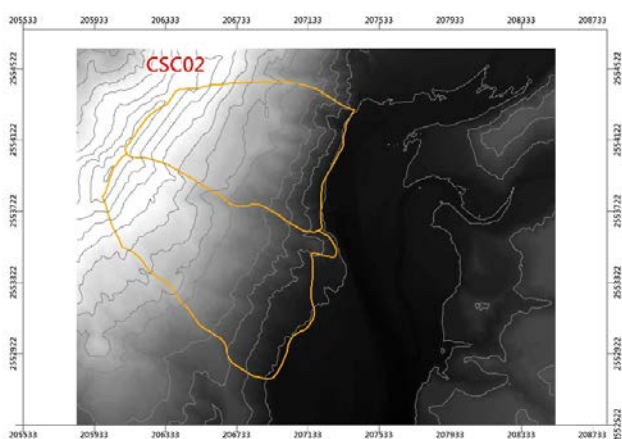


圖 3-6.87、高雄市-甲仙區-D047 崩塌地滑動體範圍。

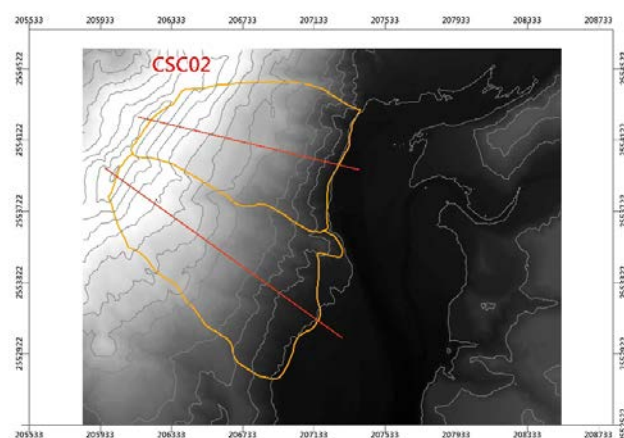


圖 3-6.88、高雄市-甲仙區-D047 穩定性分析破壞面剖面位置。

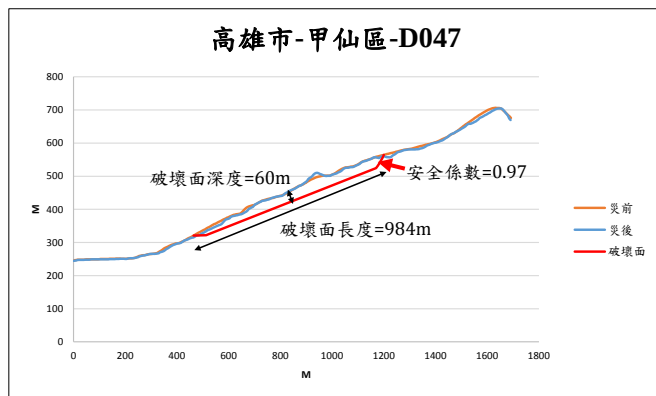


圖 3-6.89、高雄市-甲仙區-D047 穩定性分析破壞面剖面形狀。

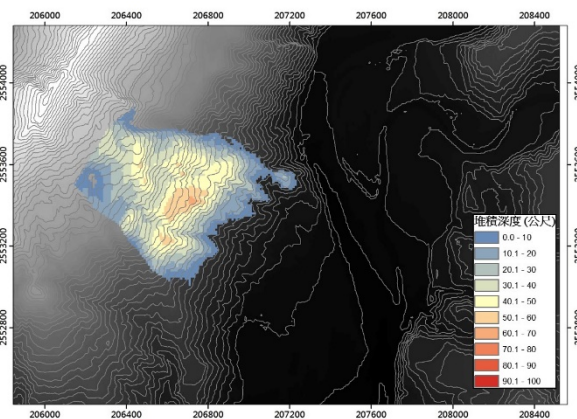


圖 3-6.90、高雄市-甲仙區-D047 不安定土體分布位置。

(2) 模擬成果

高雄市-甲仙區-D044 之不安定土體之設定如圖 3-6.91 所示，最大崩塌深度為 46.59 公尺，平均深度為 20.4 公尺，而崩塌土體之相關參數設定如前說明。

圖 3-6.92 為高雄市-甲仙區-D044 示範區之崩塌土體之運動模擬成果，展示時間分別為：5 秒、10 秒、15 秒、20 秒之成果，從結果可看到在運動開始後，堆積土體開始往支流河道運動，在 10 秒時，堆積土體開始抵達河道，到了 15 秒時，河道上開始出現堆積，在 20 秒時，土體運動停止，在河道產生堆積，但天然壩堆積形狀較不明顯。

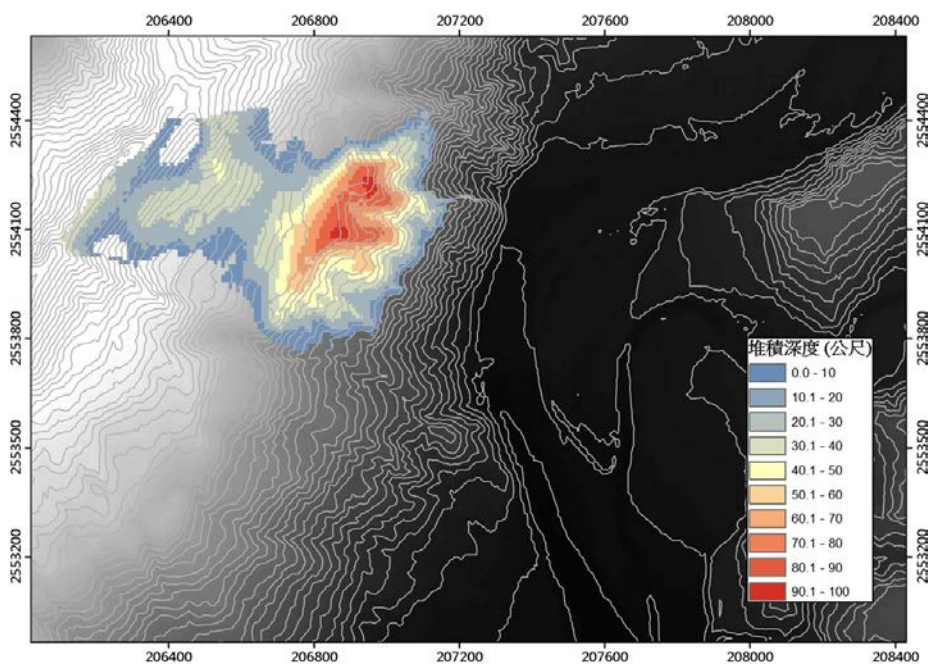


圖 3-6.91、高雄市-甲仙區-D044 崩塌地滑動體設定情形。

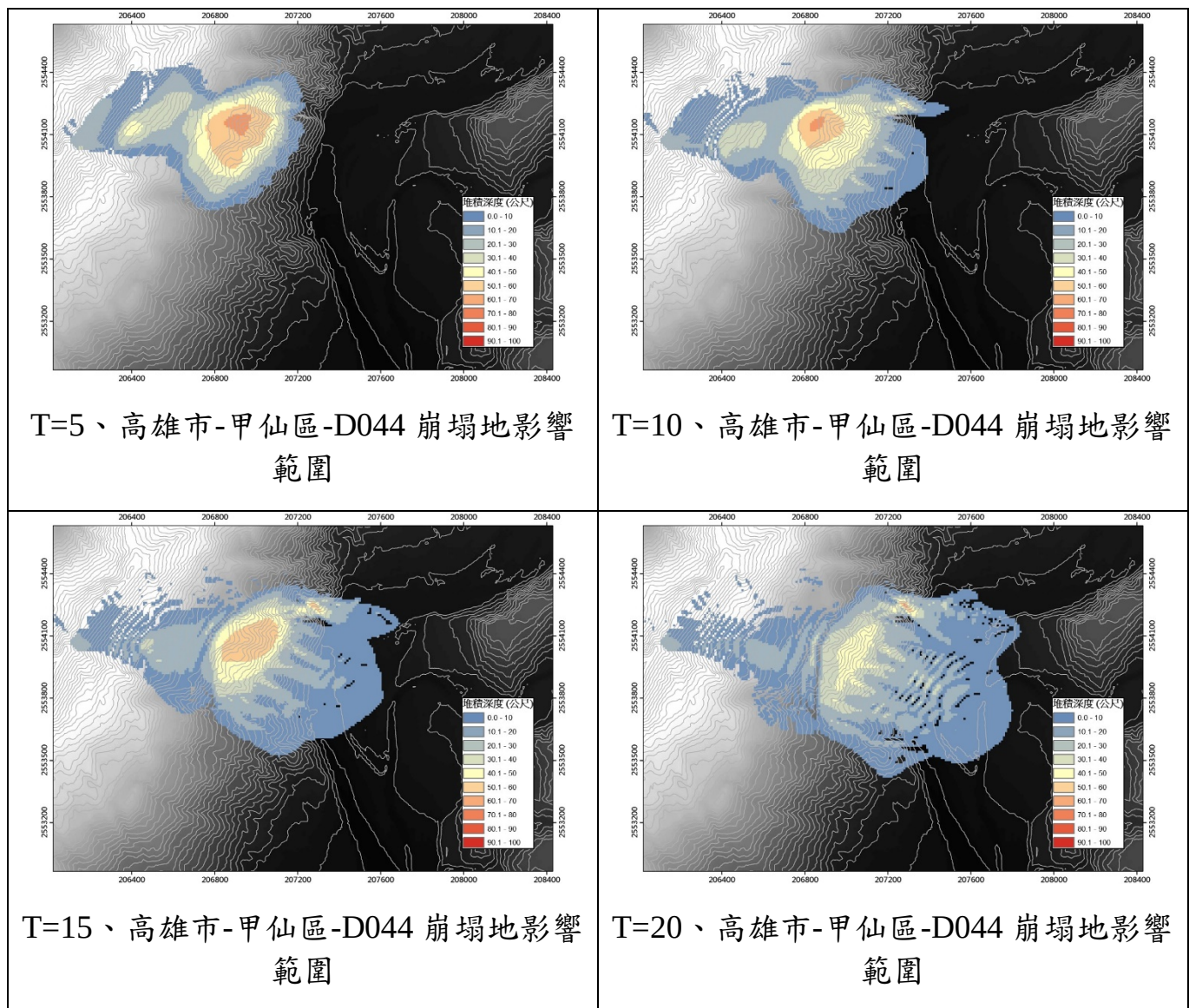


圖 3-6.92、高雄市-甲仙區-D044 崩塌地滑動體運動過程。

高雄市-甲仙區-D047 之不安定土體之設定如圖 3-6.93 所示，最大崩塌深度為 46.59 公尺，平均深度為 20.4 公尺，而崩塌土體之相關參數設定如前說明。

圖 3-6.94 為高雄市-甲仙區-D047 示範區之崩塌土體之運動模擬成果，展示時間分別為：10 秒、20 秒、30 秒、40 秒之成果，從結果可看到在運動開始後，堆積土體開始往支流河道運動，在 10 秒時，堆積土體尚未抵達河道，20 秒時，堆積土體開始阻斷河道，並於對岸坡面產生堆積；到了 30 秒時，崩塌土體仍處除持續運動，而前緣之崩塌土體已經開始堆積為天然壩，到 40 秒時，明顯產生天然壩堆積。

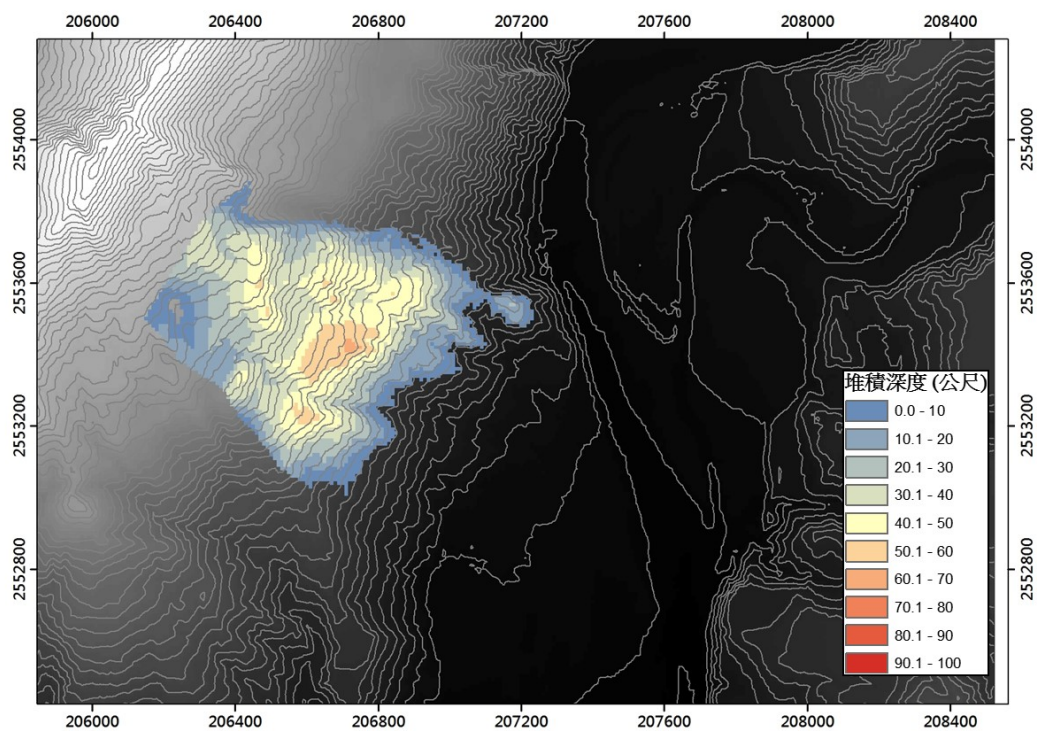


圖 3-6.93、高雄市-甲仙區-D047 崩塌地滑動體設定情形。

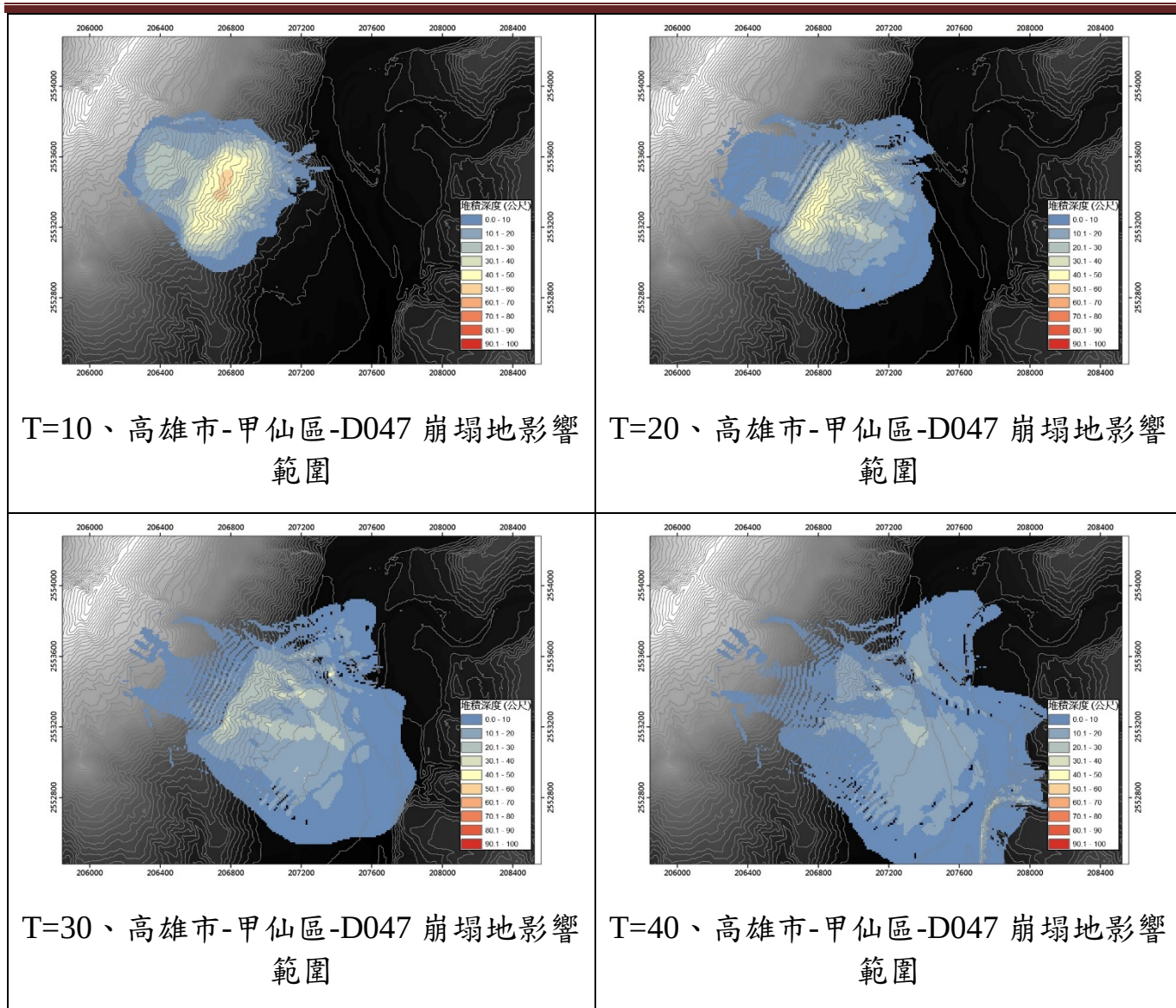


圖 3-6.94、高雄市-甲仙區-D047 崩塌地滑動體運動過程。

(3) 天然壩形成成果

根據崩塌土體運動模擬成果，可以進行高雄市-甲仙區-D044 示範區之深層崩塌所形成之天然壩形狀解析，圖 3-6.95 為分析所用剖面位置，剖面 I 可以用來評估天然壩影響範圍，而剖面 II 則可用來瞭解天然壩壩高以及橫向之堆積形狀，表 3-6.20 為高雄市-甲仙區-D044 案例所形成之天然壩參數。

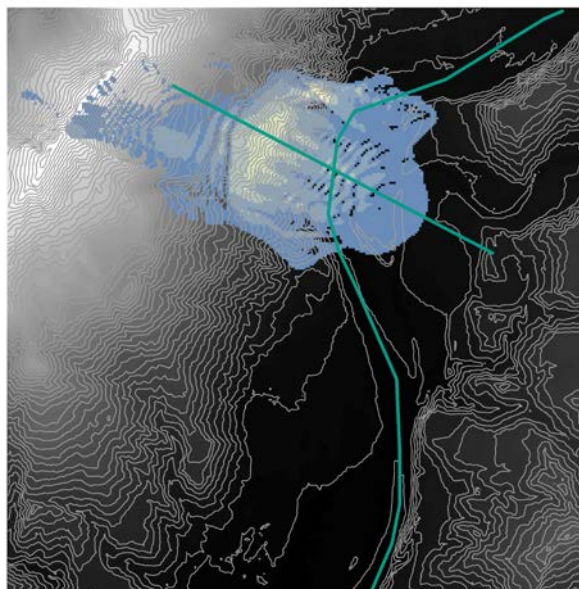
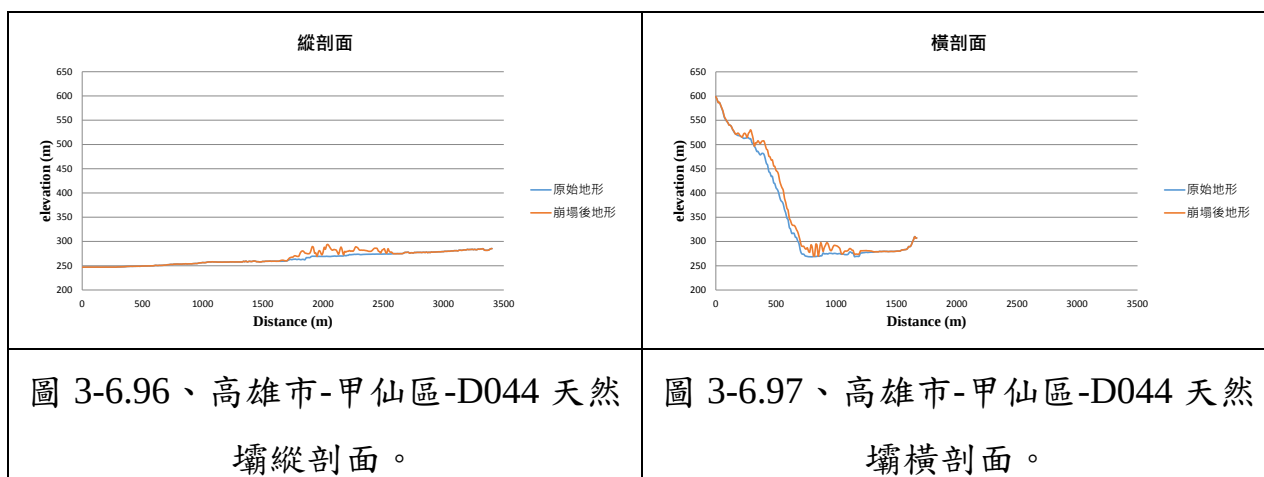


圖 3-6.95、高雄市-甲仙區-D044 天然壩形成分析斷面位置圖。



而在高雄市-甲仙區-D047 示範區之深層崩塌所形成之天然壩形狀解析，圖 3-6.98 為分析所用剖面位置，剖面 I 可以用來評估天然壩影響範圍，而剖面 II 則可用來瞭解天然壩壩高以及橫向之堆積形狀，表 3-6.20 為高雄市-甲仙區-D047 案例所形成之天然壩參數。

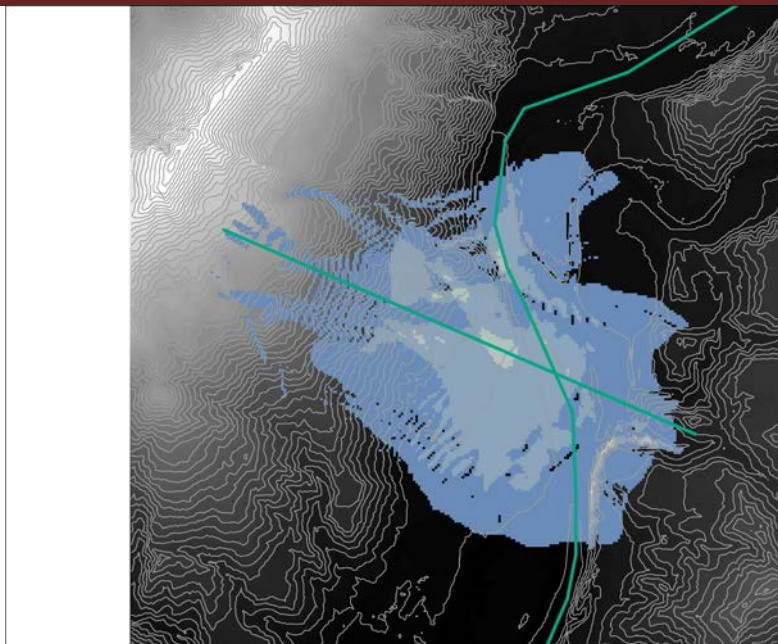


圖 3-6.98、高雄市-甲仙區-D047 天然壩形成分析斷面位置圖。

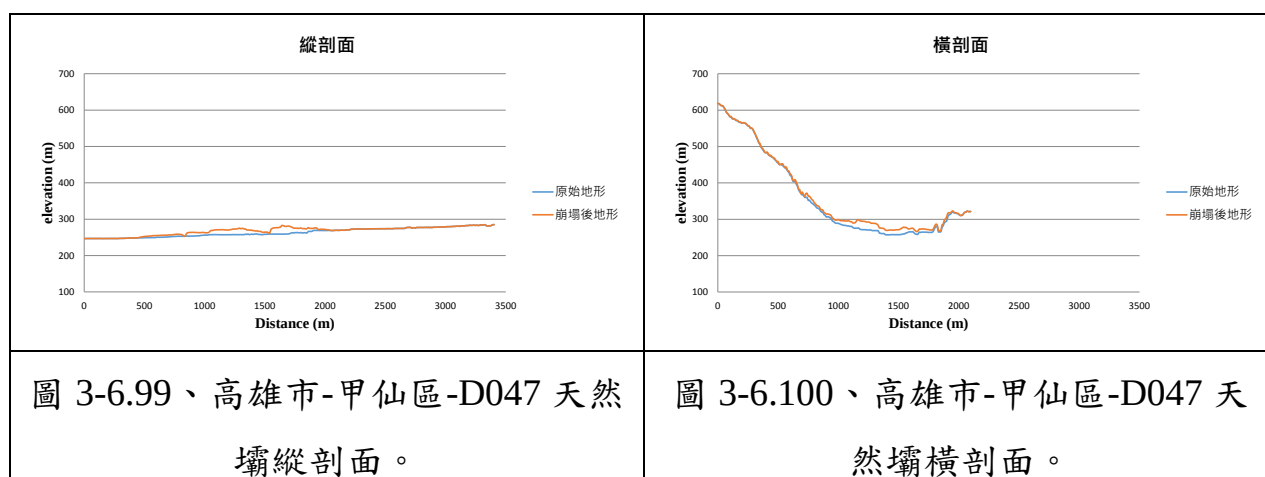


表 3-6.20、高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047 堆積壩體形狀參數

編號	壩高(m)	壩長(m)
高雄市-甲仙區-D044	25	949
高雄市-甲仙區-D047	24	1,600

崩塌地編號高雄市-美濃區-D004

(1) 模擬條件設定

表 3-6.21 為高雄市-美濃區-D004 深層崩塌潛勢區位之環境參數設定，摩擦角為 22 度、砂礫比重 2.36、水流比重 1.0、平均粒徑 0.3、堆積濃度為 0.7。圖 3-6.101 為現場調查之深層崩塌範圍，圖中橘線標示範圍即為模擬之崩塌滑動體範圍，圖 3-6.102 為穩定性分析之剖面位置，而圖 3-6.103 為穩定性分析得到之剖面形狀，由得到的剖面形狀，在設定崩塌所造成之不安定土體範圍、深度如圖 3-6.104 所示。

表 3-6.21、高雄市-美濃區-D004 崩塌地參數設定成果

參數名稱	飽和狀態
摩擦角(度)	22
砂礫比重	2.36
流體比重	1.0
平均粒徑(公尺)	0.3
堆積濃度	0.7

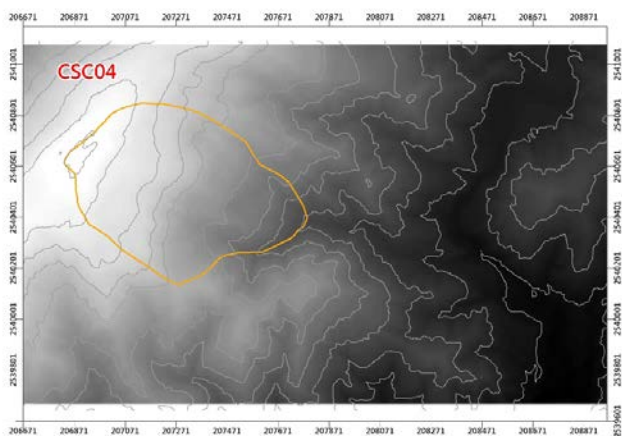


圖 3-6.101、高雄市-美濃區-D004 崩塌地滑動體範圍。

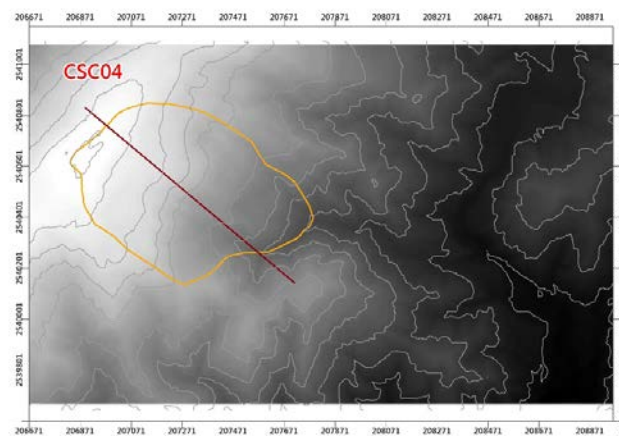


圖 3-6.102、高雄市-美濃區-D004 破壞分析剖面。

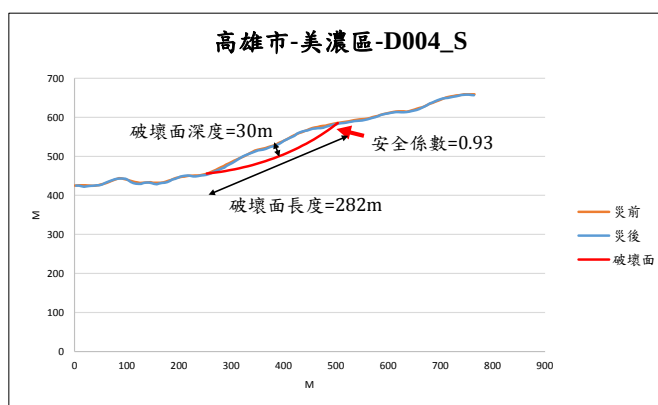


圖 3-6.103、高雄市-美濃區-D004 破壞分析剖面成果。

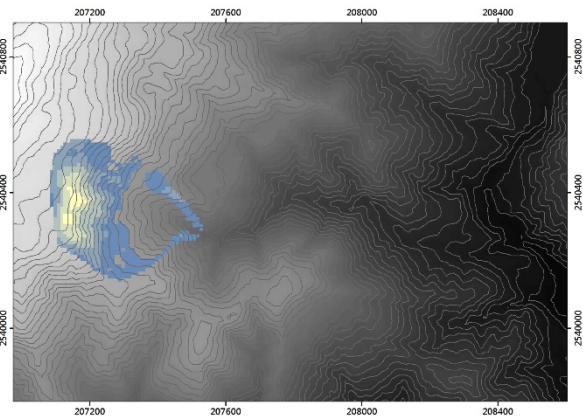


圖 3-6.104、高雄市-美濃區-D004 不安定土體分布。

(2) 模擬成果

高雄市-美濃區-D004 潛勢區不安定土體之設定如圖 3-6.105 所示，最大崩塌深度為 46.59 公尺，平均深度為 20.4 公尺，而崩塌土體之相關參數設定如前說明。

圖 3-6.106 為高雄市-美濃區-D004 示範區之崩塌土體之運動模擬成果，展示時間分別為：10 秒、20 秒、30 秒、40 秒、50 秒、60 秒、70 秒及 80 秒之成果，由於此區域為之流上游坡面，因此主要運動與主河道旁之坡面案例不同，堆積土體係先填滿支流河道後，再堆積於主河道上。

從結果可看到在運動開始後，堆積土體開始往支流河道運動，在 20 秒時，崩塌土體開始在支流河道形成天然壩之堆積，在 30 秒之後，土體持續堆積，天然壩開始擴大，直到 40 秒後堆積完成。

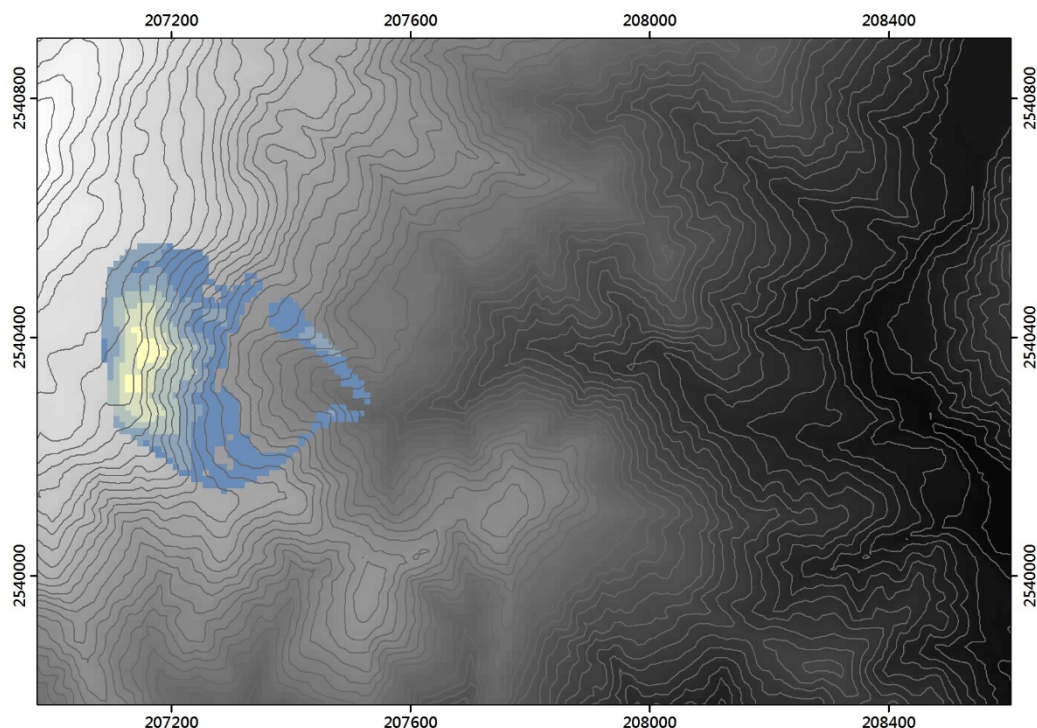


圖 3-6.105、高雄市-美濃區-D004 崩塌地滑動體設定情形。

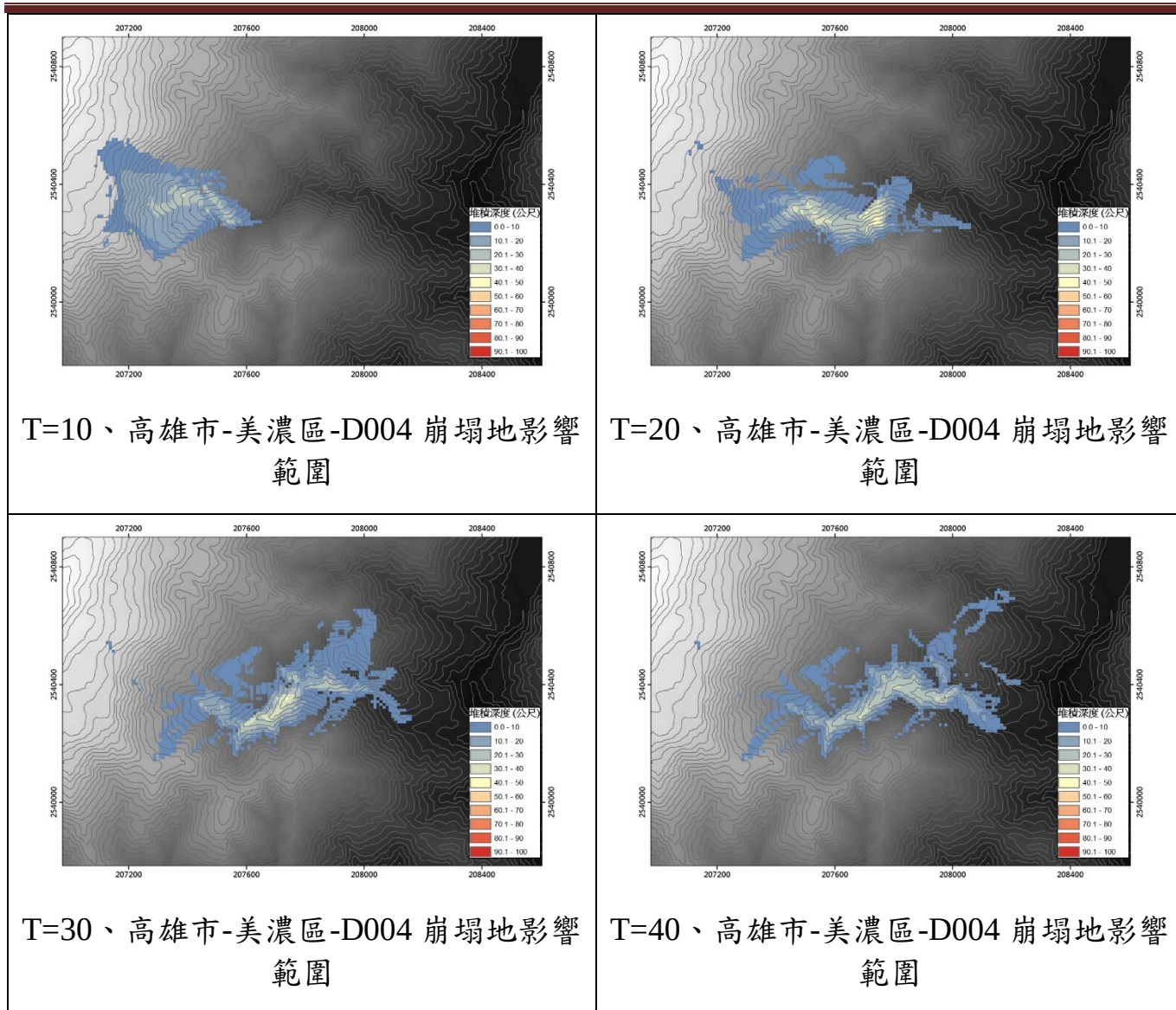


圖 3-6.106、高雄市-美濃區-D004 崩塌地滑動體運動過程。

(3) 天然壩形成成果

根據崩塌土體運動模擬成果，可以進行高雄市-美濃區-D004 示範區之深層崩塌所形成之天然壩形狀解析，圖 3-6.107 為分析所用剖面位置，剖面 I 可以用來評估天然壩影響範圍，而剖面 II 則可用來瞭解天然壩壩高以及橫向之堆積形狀。

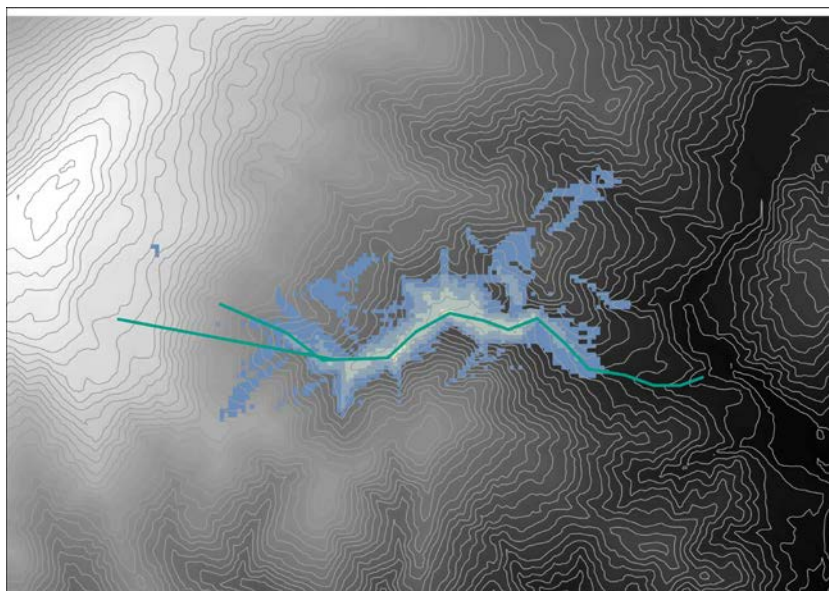


圖 3-6.107、高雄市-美濃區-D004 天然壩形成分析斷面位置圖。

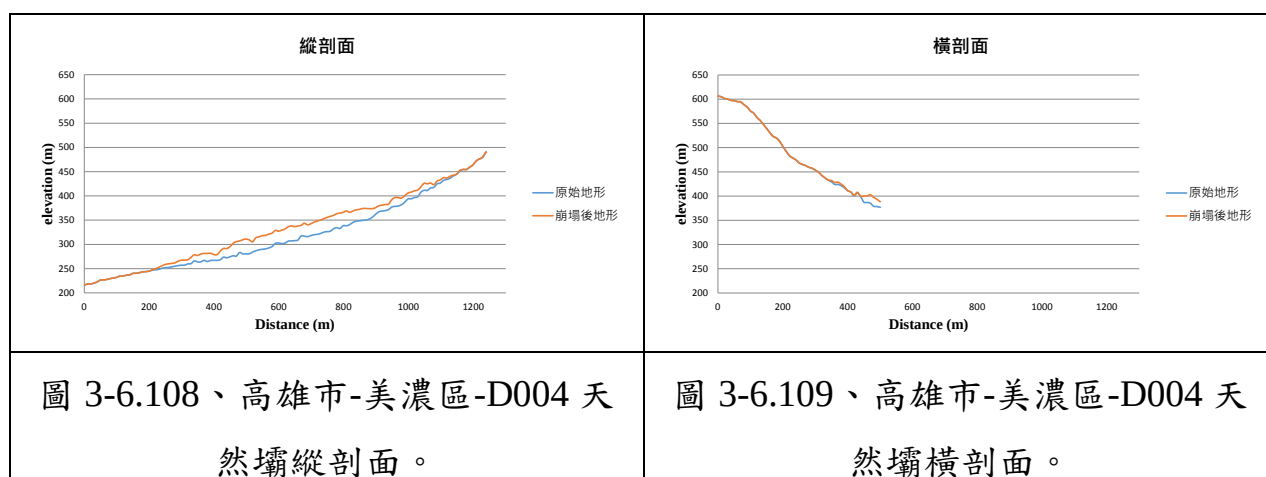


表 3-6.22、高雄市-美濃區-D004 堆積壩體形狀參數

編號	壩高(m)	壩長(m)
高雄市-美濃區-D004	32	948

崩塌地編號高雄市-杉林區-D014

(1) 模擬條件設定

崩塌地編號高雄市-杉林區-D014 可分東西兩塊，表 3-6.23 為高雄市-杉林區-D014_W 及高雄市-杉林區-D014_E 深層崩塌潛勢區位之環境參數設定，摩擦角為 22 度、砂礫比重 2.36、水流比重 1.0、平均粒徑 0.3、堆積濃度為 0.7。圖 3-6.110 為高雄市-杉林區-D014_W 現場調查之深層崩塌範圍，圖中橘線標示範圍即為模擬之崩塌滑動體範圍，圖 3-6.111 為穩定性分析之剖面位置，而圖 3-6.112 為穩定性分析得到之剖面形狀，由得到的剖面形狀，在設定崩塌所造成之不安定土體範圍、深度如圖 3-6.113 所示。圖 3-6.114 為高雄市-杉林區-D014_E 現場調查之深層崩塌範圍，圖中橘線標示範圍即為模擬之崩塌滑動體範圍，圖 3-6.115 為穩定性分析之剖面位置，而圖 3-6.116 為穩定性分析得到之剖面形狀，由得到的剖面形狀，在設定崩塌所造成之不安定土體範圍、深度如圖 3-6.117 所示。

表 3-6.23、高雄市-杉林區-D014 崩塌地參數設定成果

參數名稱	飽和狀態
摩擦角(度)	22
砂礫比重	2.36
流體比重	1.0
平均粒徑(公尺)	0.3
堆積濃度	0.7

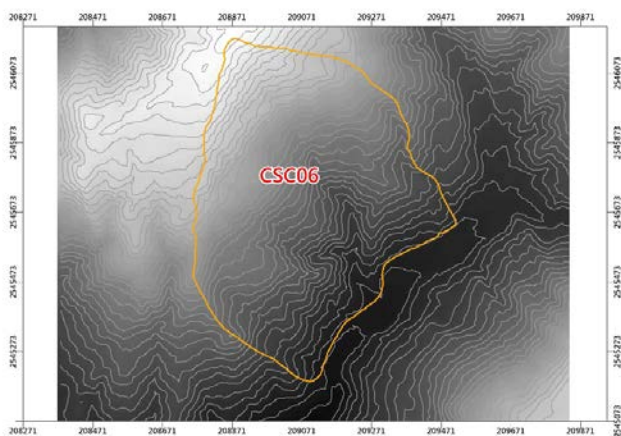


圖 3-6.110、高雄市-杉林區-D014_W 崩塌地滑動體範圍。

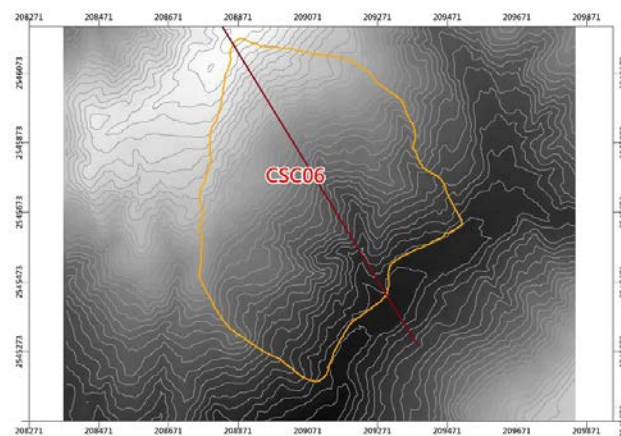


圖 3-6.111、高雄市-杉林區-D014_W 破壞分析剖面。

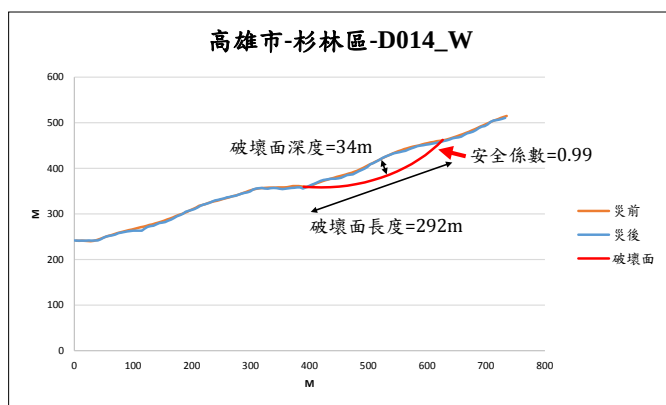


圖 3-6.112、高雄市-杉林區-D014_W 破壞分析剖成果。

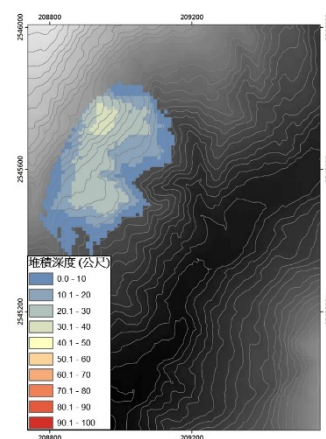


圖 3-6.113、高雄市-杉林區-D014_W 不安定土體分布。

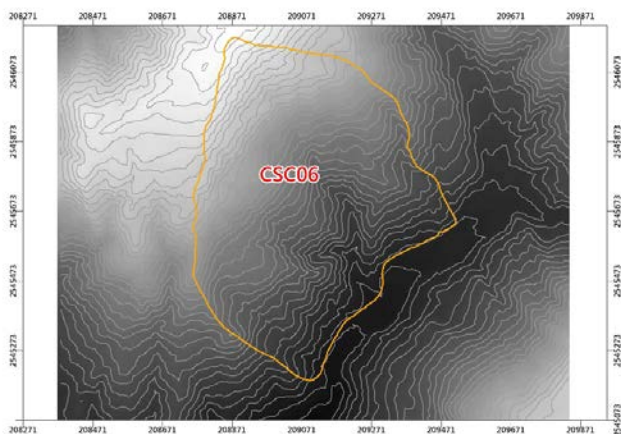


圖 3-6.114、高雄市-杉林區-D014_E 崩塌地滑動體範圍。

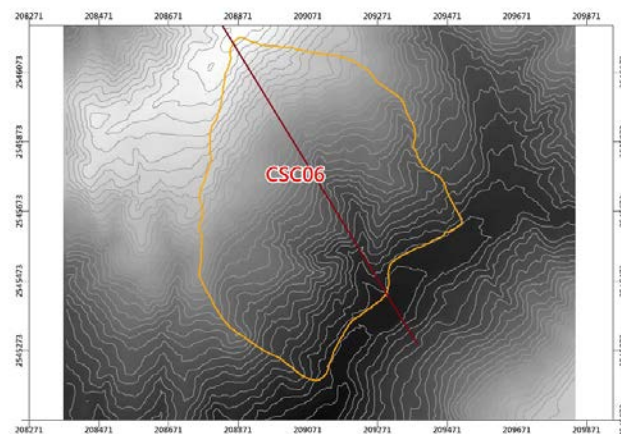


圖 3-6.115、高雄市-杉林區-D014_E 破壞分析剖面。

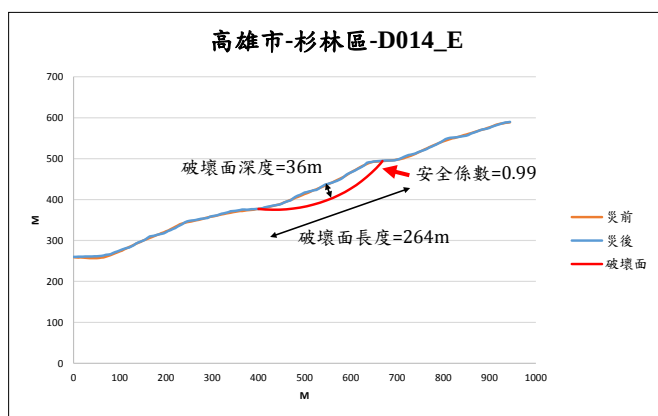


圖 3-6.116、高雄市-杉林區-D014_E 破壞分析剖成果。

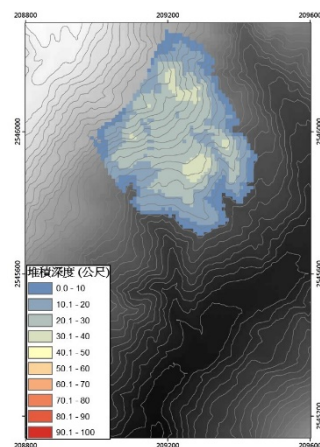


圖 3-6.117、高雄市-杉林區-D014_E 不安定土體分布。

(2) 模擬成果

高雄市-杉林區-D014_W 潛勢區不安定土體之設定如圖 3-6.118，最大崩塌深度為 46.59 公尺，平均深度為 20.4 公尺。

圖 3-6.119 為高雄市-杉林區-D014_W 示範區之崩塌土體之運動模擬成果，展示時間分別為：10 秒、20 秒、30 秒、40 秒之成果，從結果可看到在運動開始後，堆積土體開始往支流河道運動，在 20 秒時，開始阻斷河道，並於對岸坡面產生堆積，到了 30 秒時，崩塌土體仍處除持續運動，而前緣之崩塌土體已經開始堆積為天然壩，到 40 秒時，明顯產生天然壩堆積，後方崩塌土體繼續往河道運動，天然壩堆積範圍逐漸增大。

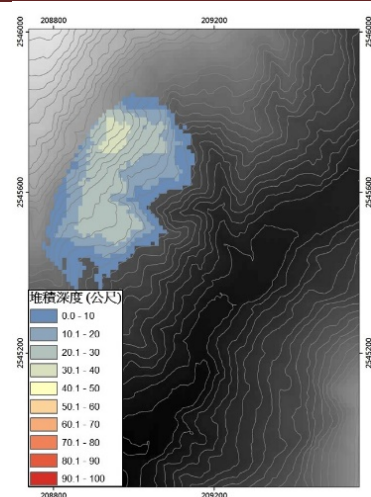
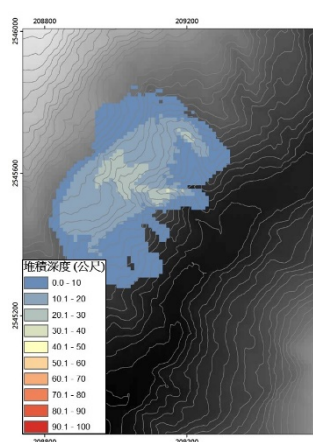
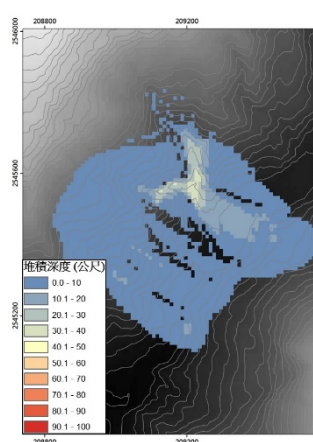


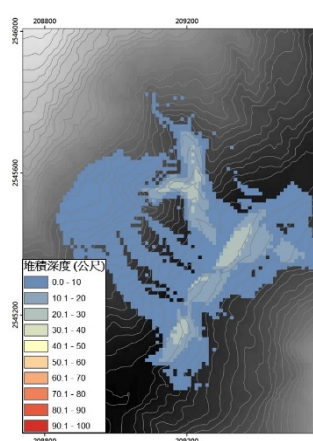
圖 3-6.118、高雄市-杉林區-D014_W 崩塌地滑動體設定情形。



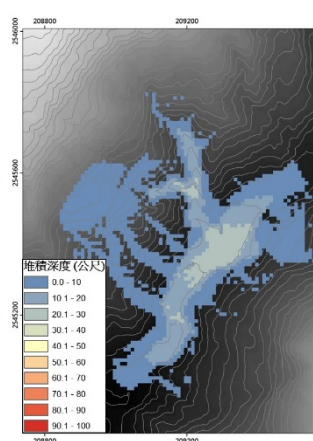
T=10、高雄市-杉林區-D014_W 崩塌地
影響範圍



T=20、高雄市-杉林區-D014_W 崩塌地
影響範圍



T=30、高雄市-杉林區-D014_W 崩塌地
影響範圍



T=40、高雄市-杉林區-D014_W 崩塌地
影響範圍

圖 3-6.119、高雄市-杉林區-D014_W 崩塌地滑動體運動過程。

高雄市-杉林區-D014_E 潛勢區不安定土體之設定如圖 3-6.120，最大崩塌深度為 46.59 公尺，平均深度為 20.4 公尺，而崩塌土體之相關參數設定如前說明。

圖 3-6.121 為高雄市-杉林區-D014_E 示範區之崩塌土體之運動模擬成果，展示時間分別為：5 秒、10 秒、15 秒、20 秒之成果，從結果可看到在運動開始後，堆積土體開始往支流河道運動，直到 15 秒時，開始阻斷河道，但堆積深度不大，20 秒時，堆積大都堆積於河道內，但堆積深度並無太大改變。

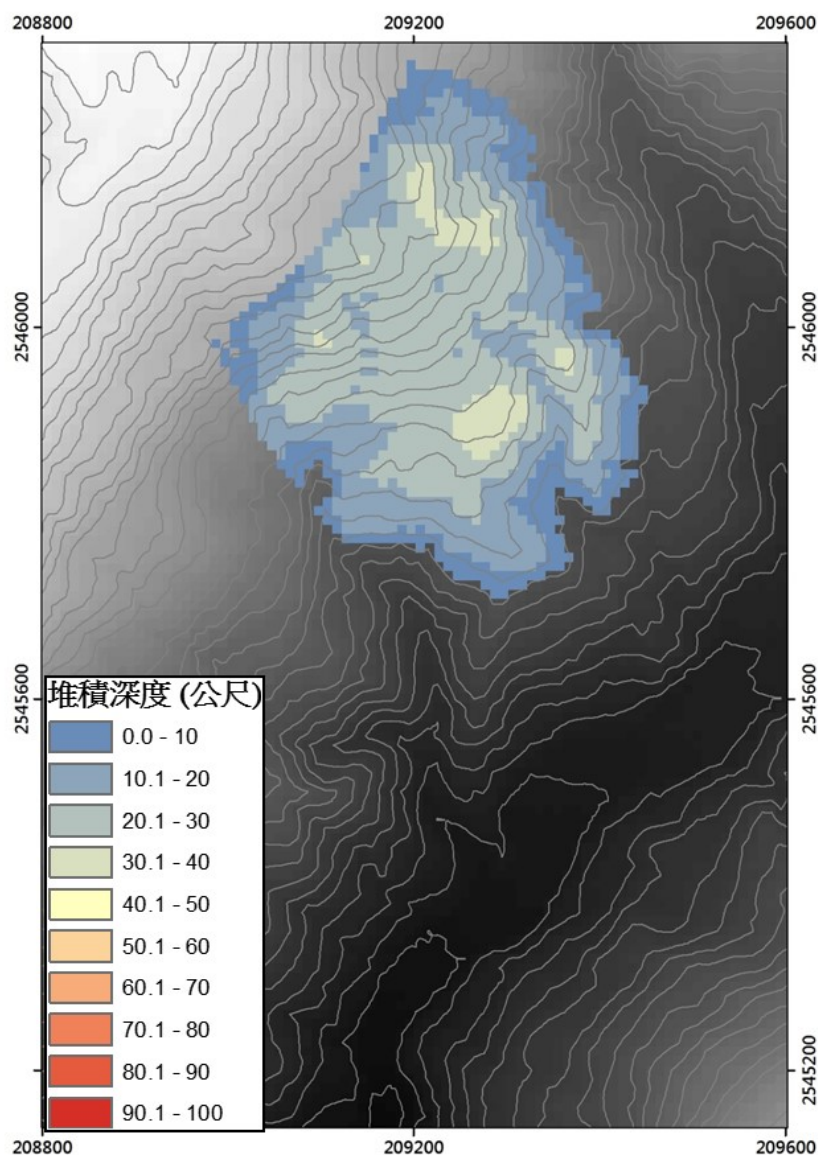
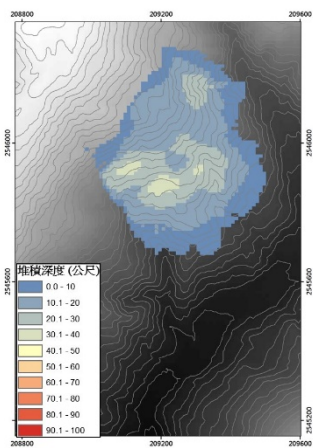
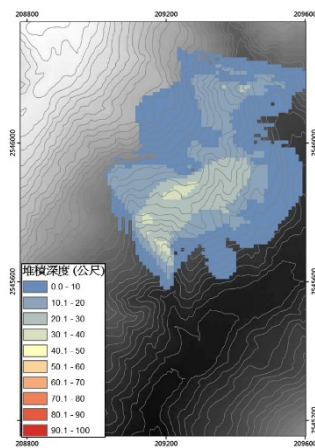


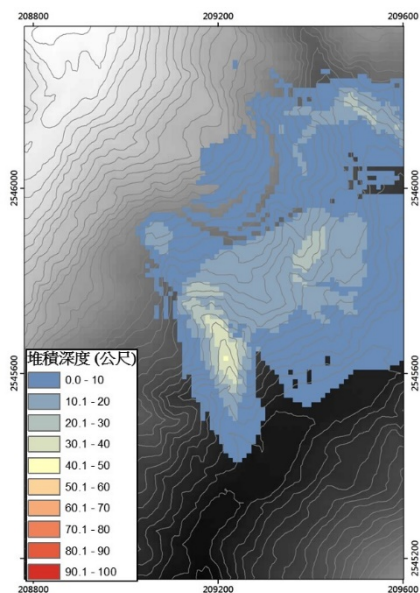
圖 3-6.120、高雄市-杉林區-D014_E 崩塌地滑動體設定情形。



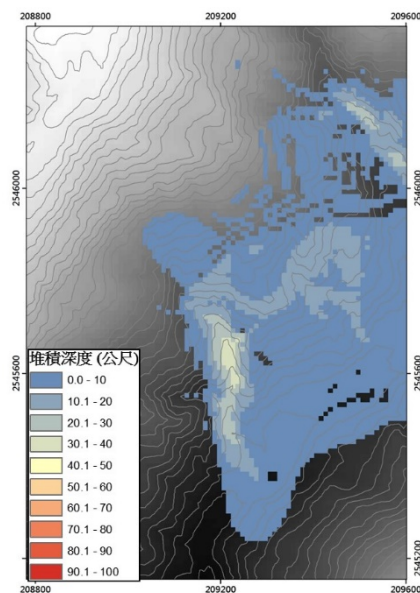
T=5、高雄市-杉林區-D014_E 崩塌地影響範圍



T=10、高雄市-杉林區-D014_E 崩塌地影響範圍



T=15、高雄市-杉林區-D014_E 崩塌地影響範圍



T=20、高雄市-杉林區-D014_E 崩塌地影響範圍

圖 3-6.121、高雄市-杉林區-D014_E 崩塌地滑動體運動過程。

(3) 天然壩形成成果

根據崩塌土體運動模擬成果，可以進行高雄市-杉林區-D014_W 示範區之深層崩塌所形成之天然壩形狀解析，圖 3-6.122 為分析所用剖面位置，剖面 I 可以用來評估天然壩影響範圍，而剖面 II 則可用來瞭解天然壩壩高以及橫向之堆積形狀，表 3-6.24 為高雄市-杉林區-D014_W 案例所形成之天然壩參數。

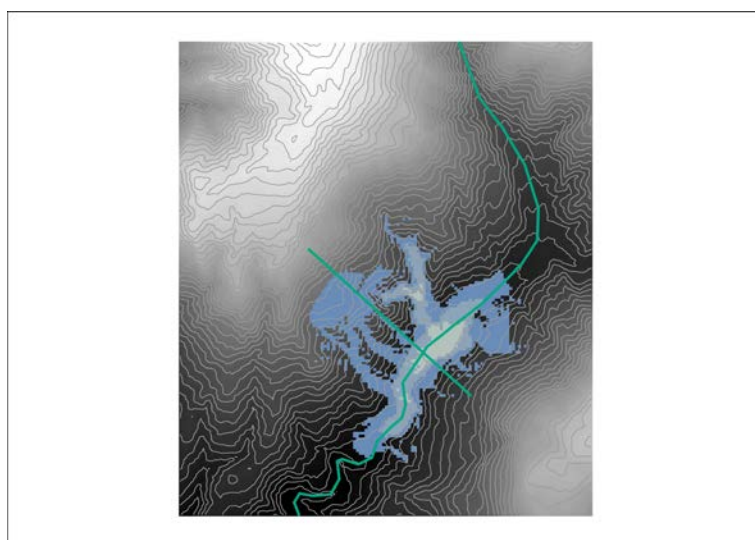
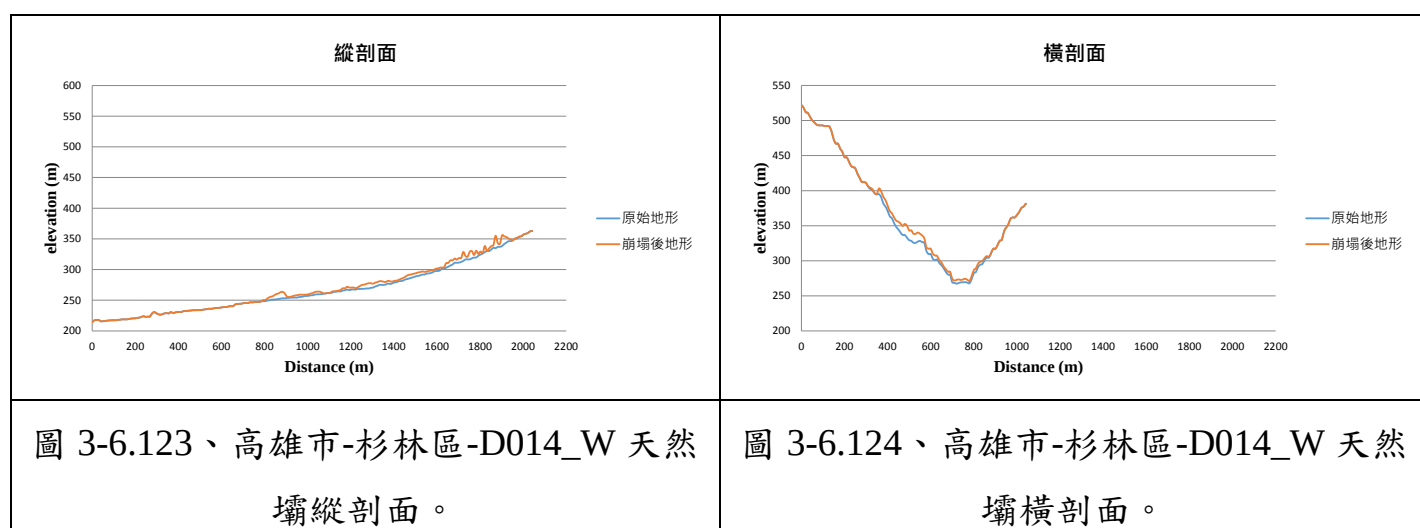


圖 3-6.122、高雄市-杉林區-D014_W 天然壩形成分析斷面位置圖。



而在高雄市-杉林區-D014_E 示範區之深層崩塌所形成之天然壩形狀解析，圖 3-6.125 為分析所用剖面位置，剖面 I 可以用來評估天然壩影響範圍，而剖面 II 則可用來瞭解天然壩壩高以及橫向之堆積形狀，表 3-6.24 為高雄市-杉林區-D014_E 案例所形成之天然壩參數。

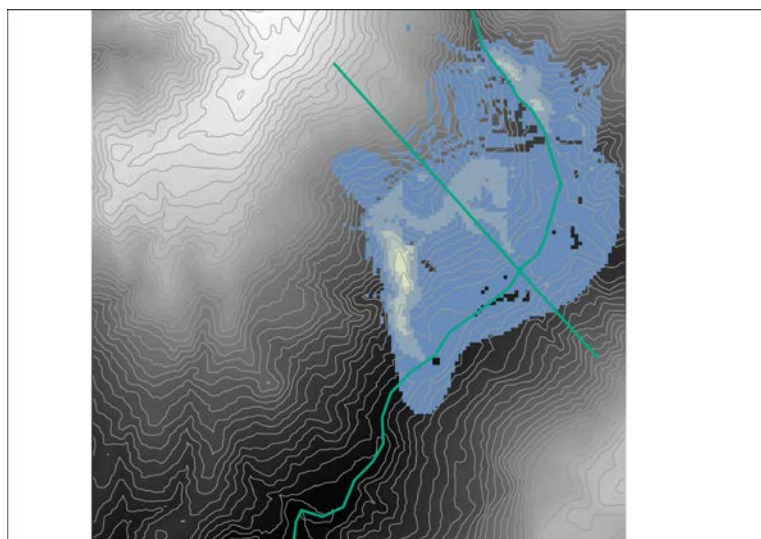


圖 3-6.125、高雄市-杉林區-D014_E 天然壩形成分析斷面位置圖。

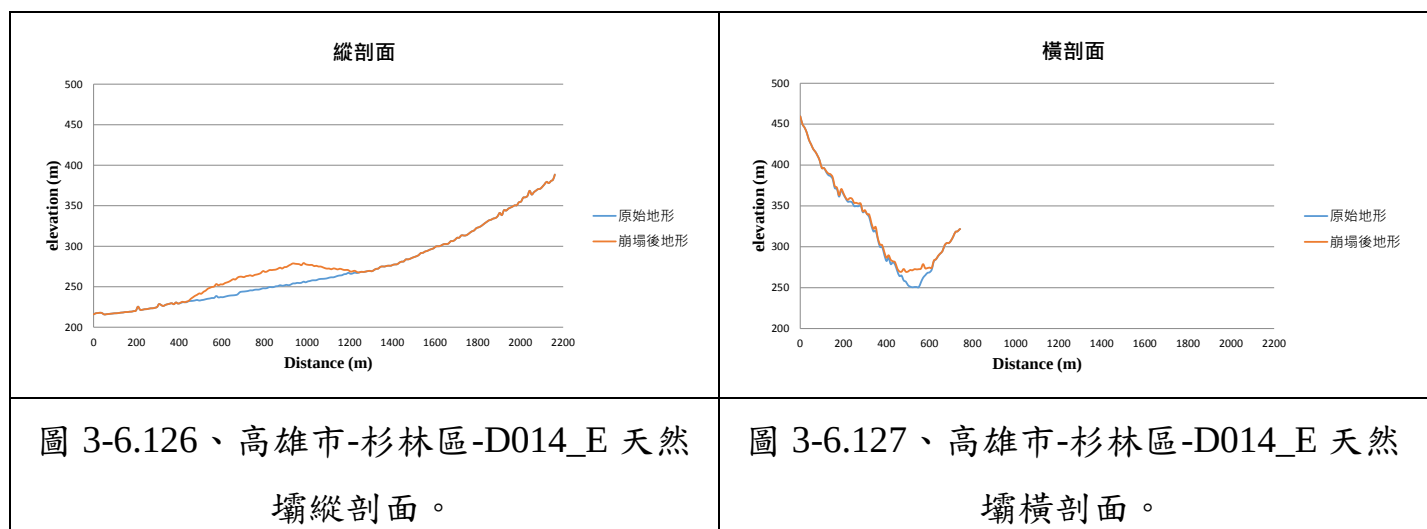


表 3-6.24、高雄市-杉林區-D014 堆積壩體形狀參數

編號	壩高(m)	壩長(m)
高雄市-杉林區-D014_W	25	828
高雄市-杉林區-D014_E	20	829

崩塌地編號高雄市-杉林區-D020

(1) 模擬條件設定

表 3-6.25 為高雄市-杉林區-D020 深層崩塌潛勢區位之環境參數設定，摩擦角為 22 度、砂礫比重 2.36、水流比重 1.0、平均粒徑 0.3、堆積濃度為 0.7。圖 3-6.128 為現場調查之深層崩塌範圍，圖中橘線標示範圍即為模擬之崩塌滑動體範圍，圖 3-6.129 為穩定性分析之剖面位置，而圖 3-6.130 為穩定性分析得到之剖面形狀，由得到的剖面形狀，在設定崩塌所造成之不安定土體範圍、深度如圖 3-6.131 所示。

表 3-6.25、高雄市-杉林區-D020 崩塌地參數設定成果

參數名稱	飽和狀態
摩擦角(度)	22
砂礫比重	2.36
流體比重	1.0
平均粒徑(公尺)	0.3
堆積濃度	0.7

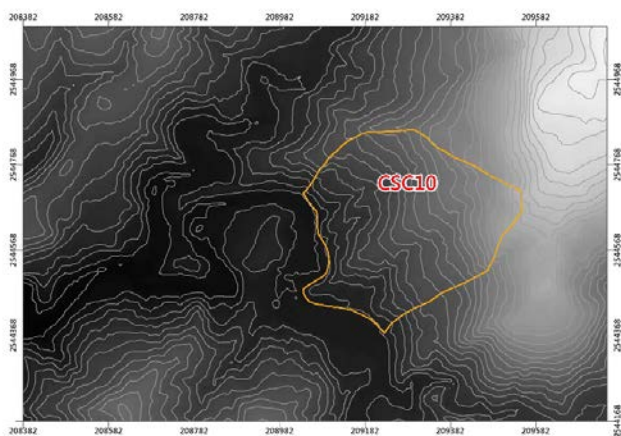


圖 3-6.128、高雄市-杉林區-D020 崩塌地滑動體範圍。

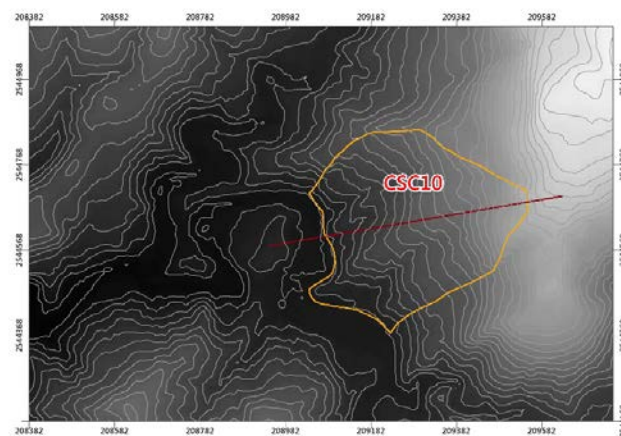


圖 3-6.129、高雄市-杉林區-D020 破壞分析剖面。

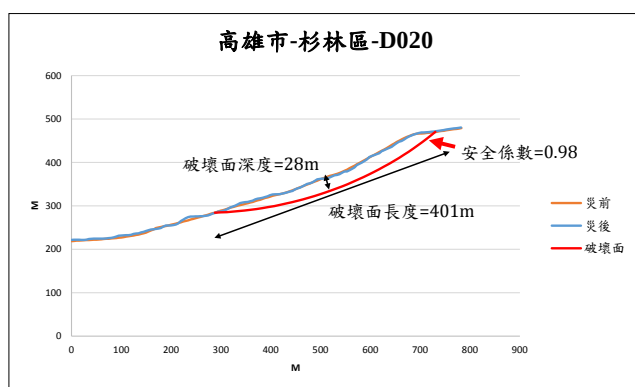


圖 3-6.130、高雄市-杉林區-D020 破壞分析剖成果。

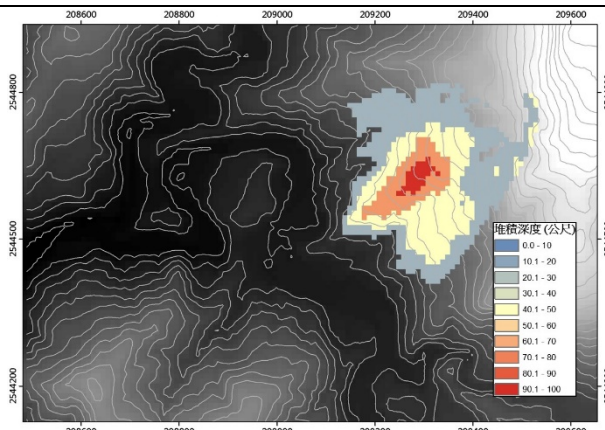


圖 3-6.131、高雄市-杉林區-D020 不安定土體分布。

(2) 模擬成果

高雄市-杉林區-D020 潛勢區不安定土體之設定如圖 3-6.132 所示，最大崩塌深度為 46.59 公尺，平均深度為 20.4 公尺，而崩塌土體之相關參數設定如前說明。

圖 3-6.133 為高雄市-杉林區-D020 示範區之崩塌土體之運動模擬成果，展示時間分別為：10 秒、20 秒、30 秒、40 秒之成果，從結果可看到在運動開始後，堆積土體開始往河道運動，由於此崩塌地位置位於河道轉彎處，因此崩塌運動分為兩股，20 秒時形成上、下游兩處堆積，30 秒時，兩處堆積開始出現重疊，直至 40 秒時，堆積形狀大致穩定。

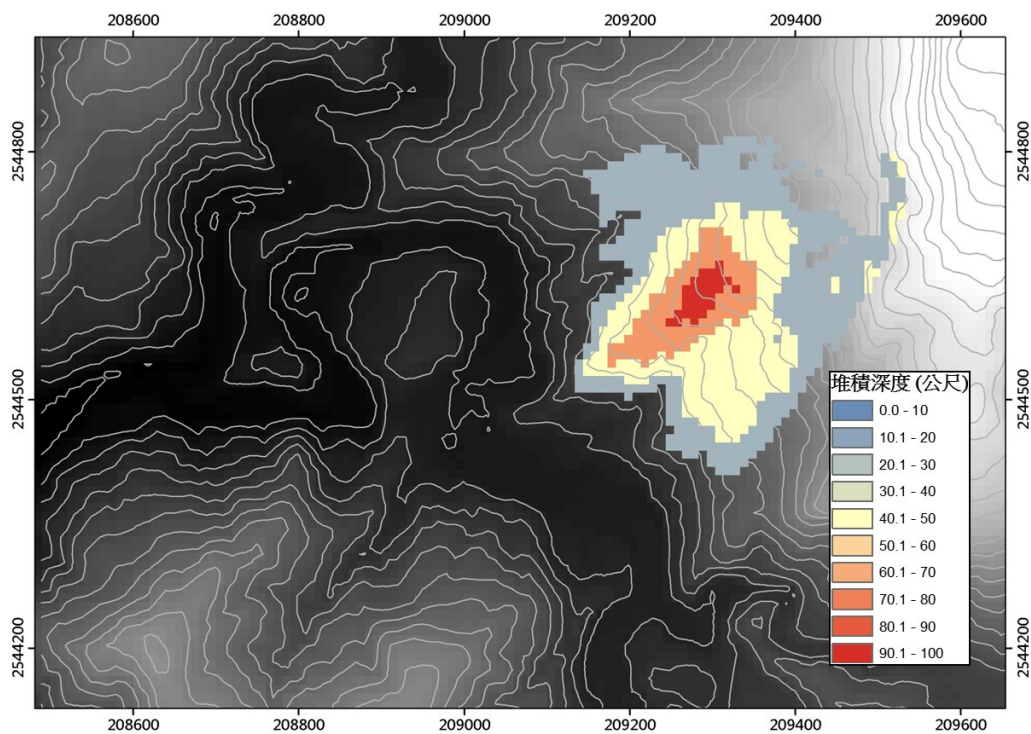


圖 3-6.132、高雄市-杉林區-D020 崩塌地滑動體設定情形。

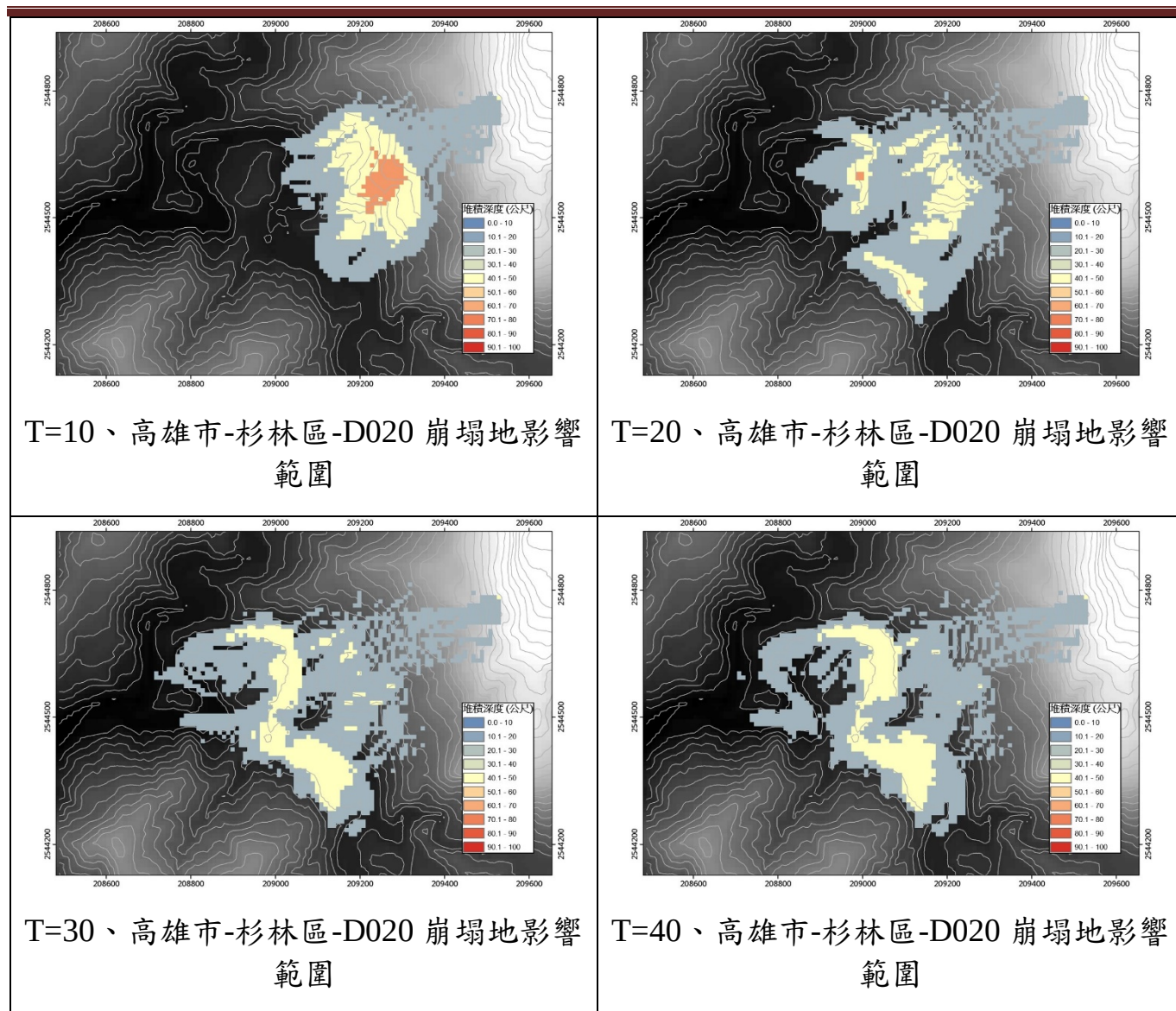


圖 3-6.133、高雄市-杉林區-D020 崩塌地滑動體運動過程。

(3) 天然壩形成成果

根據崩塌土體運動模擬成果，可以進行高雄市-杉林區-D020 示範區之深層崩塌所形成之天然壩形狀解析，圖 3-6.134 為分析所用剖面位置，剖面 I 可以用來評估天然壩影響範圍，而剖面 II 則可用來瞭解天然壩壩高以及橫向之堆積形狀，表 3-6.26 為高雄市-杉林區-D020 案例所形成之天然壩參數。

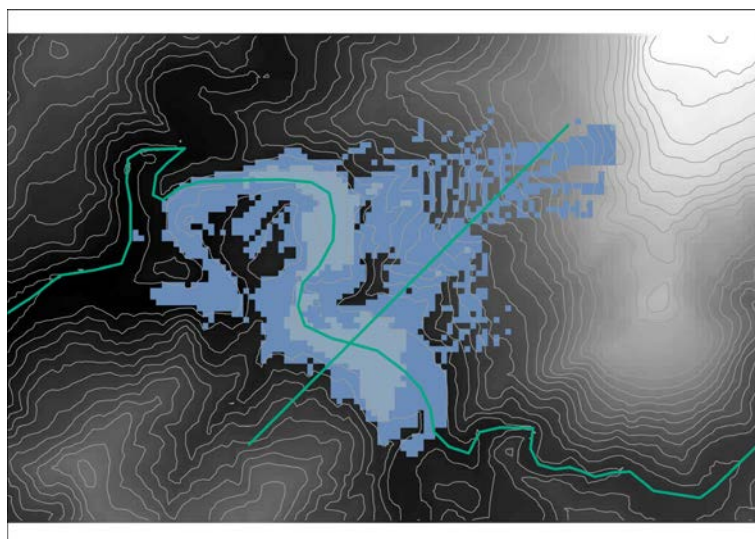


圖 3-6.134、高雄市-杉林區-D020 天然壩形成分析斷面位置圖。

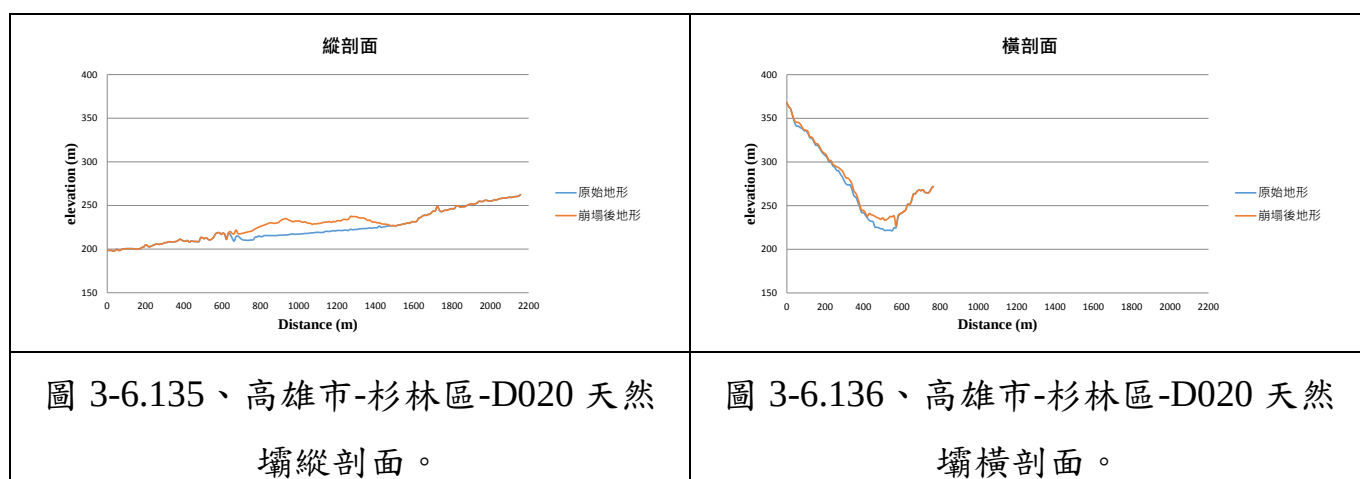


表 3-6.26、高雄市-杉林區-D020 堆積壩體形狀參數

編號	壩高(m)	壩長(m)
高雄市-杉林區-D020	19	847

3-6.4、天然壩形成結果比較

透過土體運動模擬，得到堆積天然壩形狀後，將 10 處示範區成果整理如表 3-6.27 所示，可以看到各自形成之天然壩的壩高、壩長。

表 3-6.27、10 處示範區形成天然壩之壩高、壩長比較

項次	編號	阻斷河道	壩高(m)	壩長(m)
1	高雄市-桃源區-D346	有	60	1,360
2	高雄市-六龜區-D012	有	28	1,258
3	高雄市-六龜區-D015	有	39	2,804
4	高雄市-六龜區-D018	無	17.48	967
5	高雄市-六龜區-D021	無	6.48	338
6	屏東縣-三地門鄉-D086	有	67	2,627
7	高雄市-甲仙區-D044	有	25	949
	高雄市-甲仙區-D047		24	1,600
8	高雄市-美濃區-D004	有	32	948
9	高雄市-杉林區-D014_W	有	25	828
	高雄市-杉林區-D014_E		20	829
10	高雄市-杉林區-D020	有	19	847

3-6.5、堰塞湖蓄水規模

堰塞湖形成有三大條件:(1)天然壩土方要能橫跨兩岸；(2)天然壩壩體土方量要足夠以阻斷河道；(3)河道水流沖刷量要小於堆積的土方量。此計畫目前無相關現地資料，無法準確評估河道水流淘刷與天然壩潰堤、堰塞湖集水區範圍等情境模擬。

堰塞湖的蓄水區規模參考第 3-6.3、3-6.4 節天然壩模擬結果(8 處形成天然壩)，並假設天然壩不潰堤、不流失，蓄水區內持續供水到滿水位的理想情形下。蓄水區最大規模應為蓄水水位與天然壩壩高相等，即蓄水區範圍為河道內天然壩壩高等高之範圍(如圖 3-6.137)。因此根據堰塞湖壩高，分別圈繪出堰塞湖主要壩體到上游等高之環狀區位為蓄水區範圍。可能的蓄水區範圍結果說明如表 3-6.28。

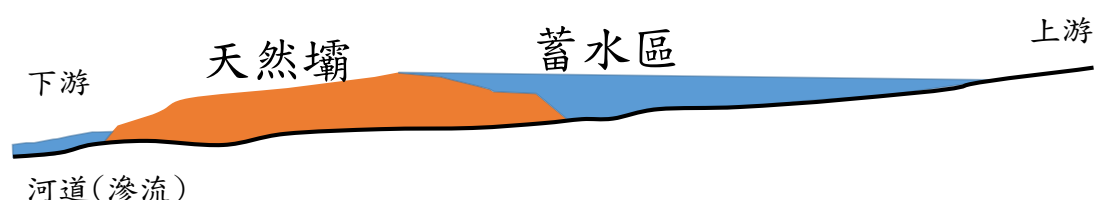
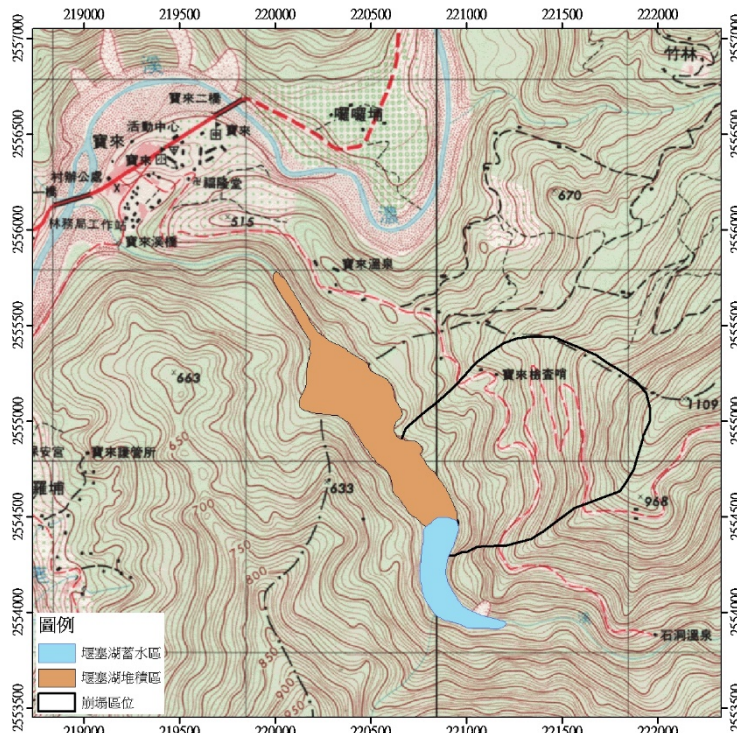
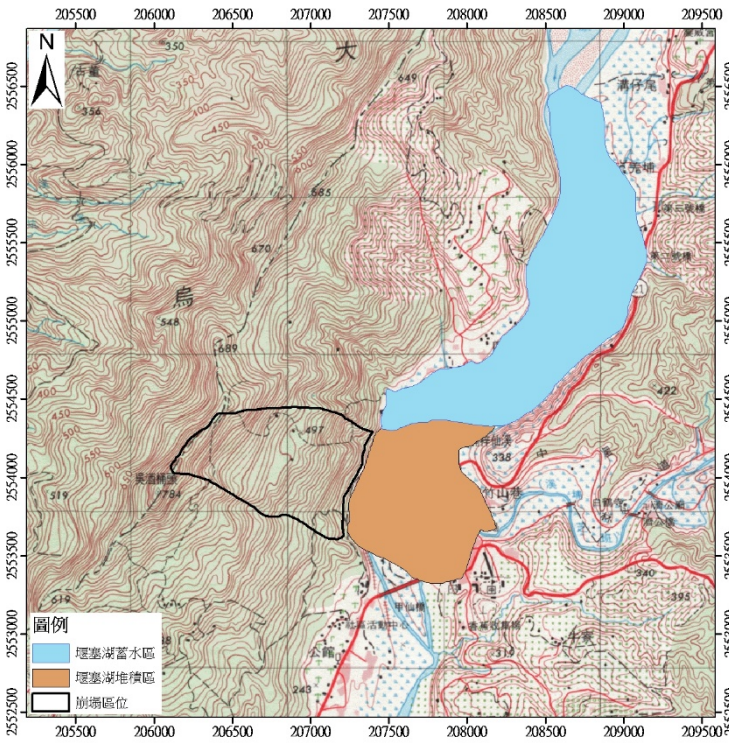
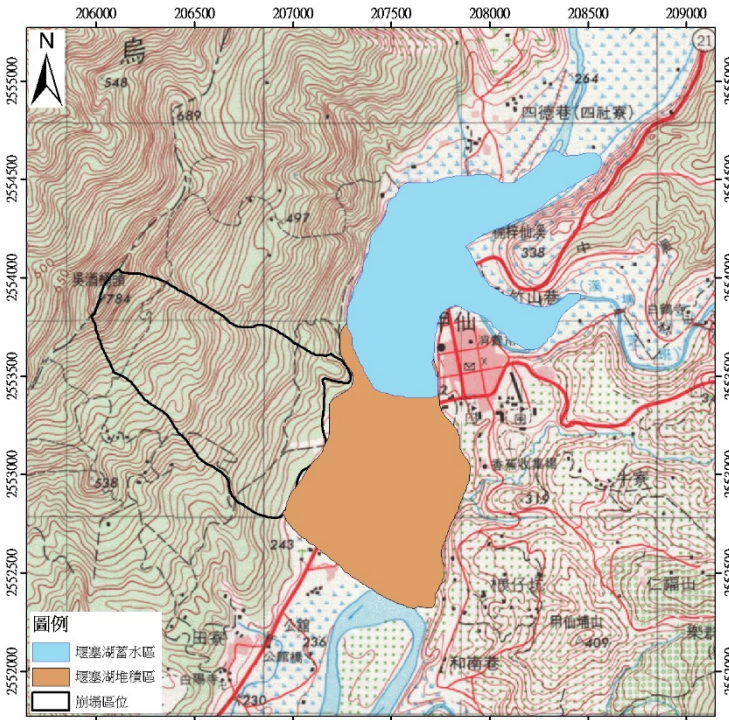
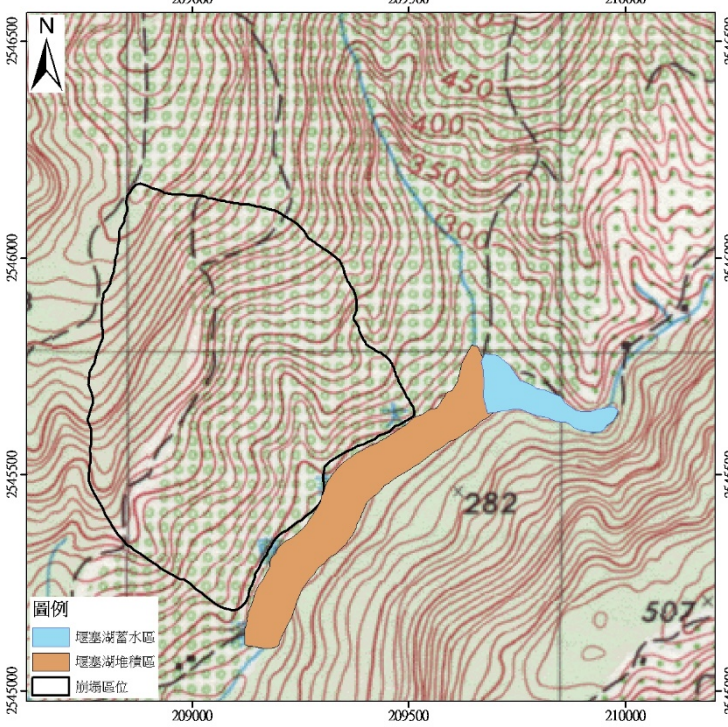
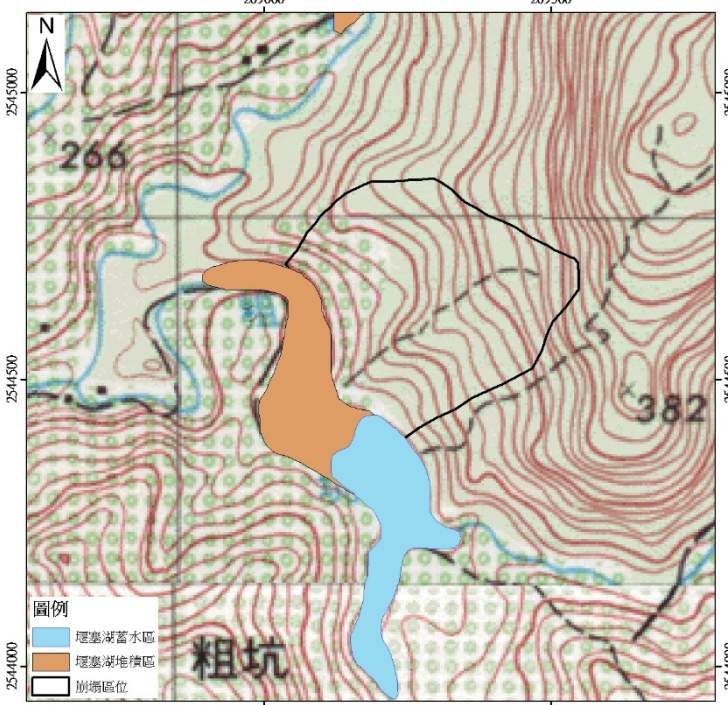


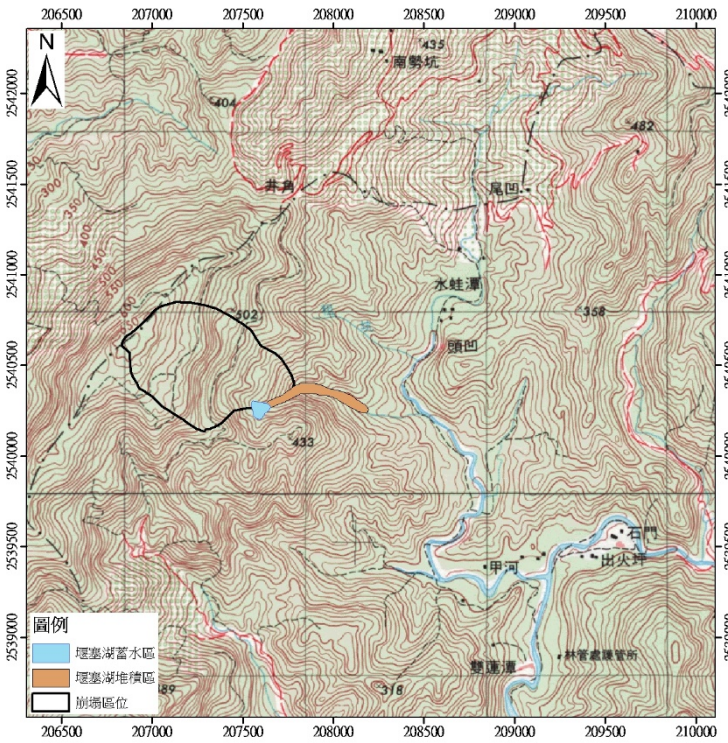
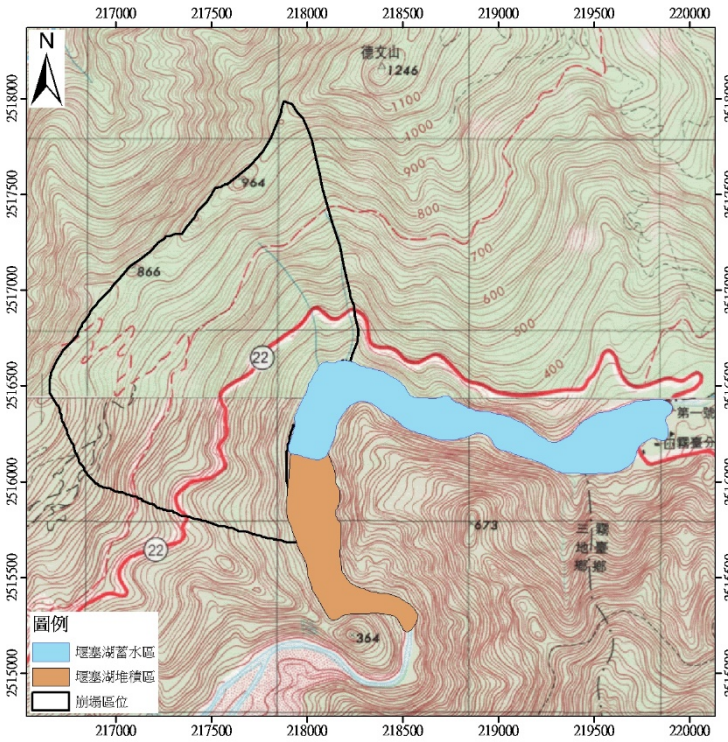
圖 3-6.137、堰塞湖蓄水區範圍剖面示意圖。

表 3-6.27、示範區形成天然壩之可能蓄水區範圍說明

編號	可能蓄水區範圍	說明
高雄市-桃源區- D346		根據壩高位置和高度，推測可能形成蓄水區面積達 9.7 公頃，蓄水區河道長度約 800 公尺。

編號	可能蓄水區範圍	說明
高雄市-甲仙區-D044		根據壩高位置和高度，推測可能形成蓄水區面積達 129.5 公頃，蓄水區河道長度約 2,860 公尺。因壩體上游為旗山溪河階地地形，因此產生的蓄水區面積較大，並可能影響到甲仙聚落。(與高雄市-甲仙區-D047 相鄰)
高雄市-甲仙區-D047		根據壩高位置和高度，推測可能形成蓄水區面積達 74.1 公頃，蓄水區河道長度約 2,050 公尺。因壩體上游為旗山溪河階地地形，因此產生的蓄水區面積較大，並可能影響部分甲仙聚落。

編號	可能蓄水區範圍	說明
高雄市-杉林區-D014		根據壩高位置和高度，推測可能形成蓄水區面積分別為 2.1 公頃，蓄水區河道長度約 310 公尺。因壩體上游河道狹窄，兩岸坡面較陡，因此產生的蓄水區面積較小。
高雄市-杉林區-D020		根據壩高位置和高度，推測可能形成蓄水區面積分別為 2.1 公頃，蓄水區河道長度約 310 公尺。因壩體上游河道狹窄，兩岸坡面較陡，因此產生的蓄水區面積較小。

編號	可能蓄水區範圍	說明
高雄市-杉林區- D004		根據壩高位置和高度，推測可能形成蓄水區面積分別為 0.7 公頃，蓄水區河道長度約 100 公尺。因壩體上游河道狹窄，兩岸坡面較陡且壩體壩高僅 19 公尺，因此產生的蓄水區面積較小。
屏東縣-三地門鄉-D086		根據壩高位置和高度，推測可能形成蓄水區面積達 45.6 公頃，蓄水區河道長度約 2,290 公尺。因壩體上游為隘寮溪峽谷地形，因此產生的蓄水區範圍為狹長型，並可能影響到伊拉聚落。

3-7、研擬處理對策

本計畫經深層崩塌判釋區位判釋以及現地查核後，確認具有持續發展潛勢之深層崩塌區位，若其崩塌影響範圍內有重要保全對象，則提出相關後續處理對策，供權責單位參考。本計畫研擬後續處理對策之項目如圖 2-7.1 所示。首先進行深層崩塌潛勢判釋與危險度評估後，之後主要工作項目有二：(一)地表監測、崩塌細部地表特徵與活動性評估，及影響範圍評估；(二)告知相關防救災權責單位資訊，以利權責單位依其業務需求進行參考與評估。

本案計畫中，經過潛勢區之危險等級評估，選定有較高樣本數量的高屏溪流域的類型 A 及 C 兩種不同的深層崩塌目錄配合證據權重法來建立評分表，針對類型 C 進行深層崩塌潛勢區發生度等級評估。再參考國際減災策略組織(ISDR)公式，進行深層崩塌潛勢區危險等級評估。其初步成果包含 11 處位於較高危險等級(危險等級評分大於等於 6 分)與 1 處(嘉義縣-大埔鄉-D037)(附錄七)位於曾文水庫集水區內的潛在深層崩塌(危險等級評分 5 分)。

針對評估結果本計畫提出後續處理對策。(1)地表監測、崩塌細部地表特徵與活動性評估，及影響範圍評估。(2)告知相關防救災權責單位相關資訊，工作項目與步驟說明如下：

(1)地表監測、崩塌細部地表特徵與活動性評估，及影響範圍評估

1、簡易地表監測

若在經費及時間允許下，初步建議針對滑動潛勢區域進行廣域簡易型監測。利用地表伸縮計、單頻 GPS 設備與雨量筒，布置於可能滑動的重點坡面，進行較長時期的、週期性的觀測作業，以分析坡面塊體移動性與時間、雨量的關係。

細部工作項目包含：

一、深層崩塌坡面位移衛星定位系統(GPS)觀測分析

在預計觀測之深層崩塌坡面範圍內，經由現地調查和崩塌特徵判釋，選擇至少 3 到 5 點適宜之點位，進行 GPS 儀器安裝。蒐錄和分析所獲資料，並進行坡面土體之移動性評估。

二、深層崩塌坡面降雨量觀測

由於主要誘發深層崩塌地移動的外力因子為地震或降雨，地震因發生頻率較低且在中央氣象局已布建有完善的監測網，故一旦地震發生可藉由中央氣象局觀測資訊進行崩塌外力的分析；至於降雨量部分，因台灣地區的地形及氣候特性，降雨隨空間的變異性相當高，為瞭解深層崩塌較精確的降雨資訊，在深層崩塌坡面適當地點設置雨量觀測站，配合前述兩項移動監測資料進行分析，方能完整了解深層崩塌的移動機制與特性；本計畫依崩塌地所在位置特性，每處深層崩塌坡面範圍內至少需具備 1 組雨量記錄系統。

三、深層崩塌坡面地表伸縮計分析

崩塌坡面裂隙發育是崩塌活動性的重要指標，且降雨易透過裂隙滲入滑動面。為能了解坡面裂隙發育情形，在裂隙處裝置地表伸縮計並定期量測讀數，以了解裂隙變化。由裂隙變化搭配坡面 GPS 資料，以瞭解坡面整體與單一區位的崩塌活動性。

2、崩塌細部地表特徵與活動性評估

由於前述相關評估與分析結果，僅顯示該區位具有崩塌滑移之運動跡象或潛勢，並不能直接瞭解其滑動速度與規模，因此待完成深層崩塌地表位移分析後，即針對林班地區內高危險區位，進一步確認其活動性。根據監測成果若判定其為低活動性，則進行持續觀察即可；若其活動性較高、影響潛勢較大，則進行進一步之崩塌細部地表調查與活動性評估。

崩塌細部地表特徵調查包括坡面主崩崖、次崩崖、裂隙的活動性與規模與崩塌周圍地質概況，提出潛在深層崩塌的地質概念模式，以利後續地工監測並提供二次災害模擬情境模式。崩塌活動性評估則包括崩塌區位水文分析，地底滑動面位置等地工方法進行崩塌坡面完整活動性分析。

3、深層崩塌影響範圍評估

進行細崩塌細部地表調查與活動性分析後，利用現地岩體力學參數，進行深層崩塌二次災害評估與分析模擬。但深層崩塌數量龐大且缺乏現地參數。故利用現地參數進行大量深層崩塌影響範圍評估與模擬，耗時且準確性低。因此建議先建立一簡易的深層崩塌影響評估方法，以達到評估大量深層崩塌影響範圍與之目

的。

(2) 告知相關防救災權責單位資訊

由於深層崩塌影響規模廣闊，整治經費龐大，且進行細部調查耗費大量人力及經費，故在進行崩塌影響範圍後續處理對策不宜全面性整治，故應告知相關防救災權責單位相關資訊，以利權責單位依其業務考量及需求進行防救災對策與保全對象避難疏散機制的參考與評估。

本計畫建議在保全對象避難疏散機制方面配合社區自主防災，挑選一較安全之避難疏散地點，搭配土石流預警系統，訂定一深層崩塌保全對象避難疏散機制，藉由平時避難疏散演練，提高社區居民防災意識，當在災害來臨時，能有效達到防災減災之目的。另外，對於具有明顯崩塌滑移徵兆，且其坡腳已開始出現見光自由端之坡面區域，因其具有相對較高之滑移潛勢，因此建議類似之順向坡區域都應針對坡腳進行保護，避免水流沖刷導致坡腳見光而崩塌滑移，如圖 3-7.1 所示。

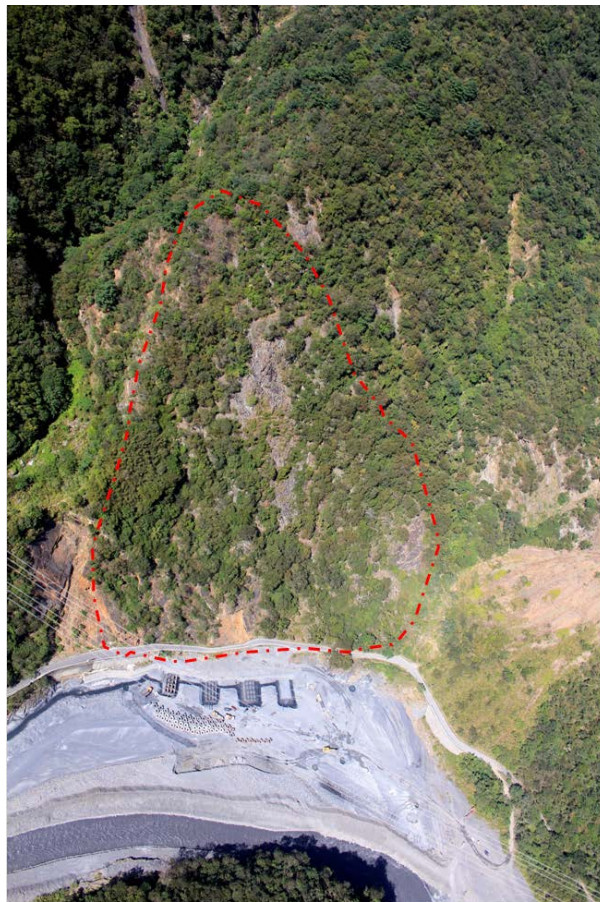


圖 3-7.1、坡腳保護工程施作範例。

3-8、檢討本計畫成果與莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告之差異性

本計畫執行之成果與經濟部中央地質調查所提交之「莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告」進行比較檢討，針對異同作出分析比較說明。以下針對(1)工作目的、(2)工作範圍及(3)工作項目進行比較說明。

工作目的

莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告的工作目的主要是評估聚落安全，並進行直接或間接影響聚落的潛在大規模崩塌區位現場調查。

本計畫將有系統地對國有林重點流域進行深層崩塌判釋，並針對直接或間接影響聚落以及形成堰塞湖的潛在崩塌區位進行現場調查。由判釋結果篩選出可能發生堰塞湖的崩塌區位進行崩塌深度及天然壩的情境模擬，其結果以供日後防救災之參考之用。

工作範圍

莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告：工作範圍為中央地質調查所選定的南部區域 100 幅比例尺 1/5,000 地形圖圖幅範圍(圖 3-8.1)，判釋面積約 717 平方公里。

本計畫工作範圍為南部地區高屏溪流域和曾文溪流域的國有林班地(圖 3-8.2)，判釋面積達 2,473 平方公里。

工作項目

莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告：(1)針對中央地質調查所選定的南部地區 100 幅比例尺 1/5,000 地形圖圖幅範圍進行潛在大規模崩塌判釋。(2)針對影響影響聚落安全的潛在大規模崩塌區位進行現場調查。

本計畫工作項目與經濟部中央地質調查所提交之「莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告」主要差異有以下幾點：(1)工作區域內基礎資料蒐集與案例蒐集；(2)深層崩塌調查、判釋方法檢討及評估；(3)深層崩塌潛勢區危險等級評估；(4)深層崩塌與天然壩形成之情境模擬；(5)研擬處理對策；(6)深層崩塌潛感分析模式評估；(7)監測及試辦；(8)深層崩塌調查作業手冊；(9)教育訓練與技術移轉。

其中第 3、4、5 點是針對林務局日後防救災作業參考使用，第 6、7 點是讓林務局相關工作人員對了解目前國內外深層崩塌相關研究、深層崩塌判釋流程與方法以及相關對策模擬。

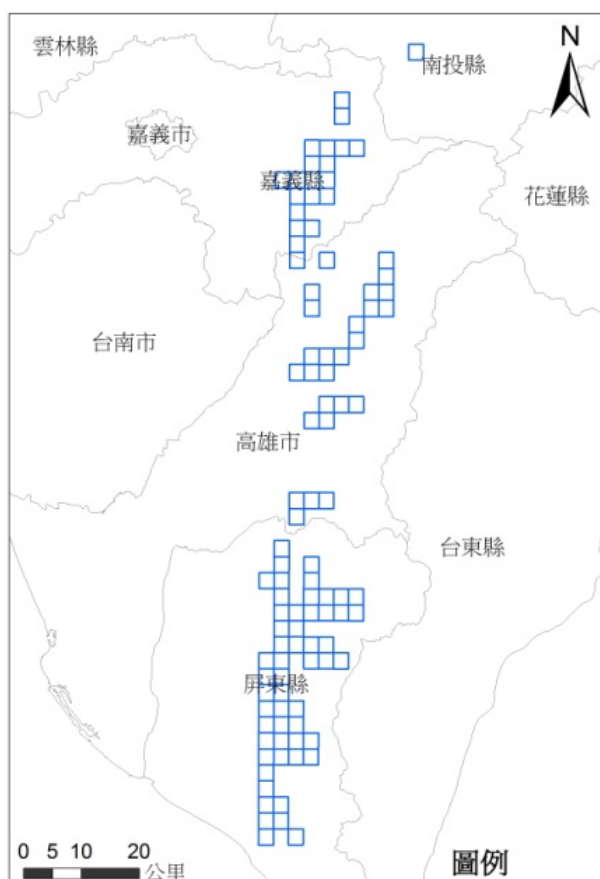


圖 3-8.1、「莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告」計畫範圍

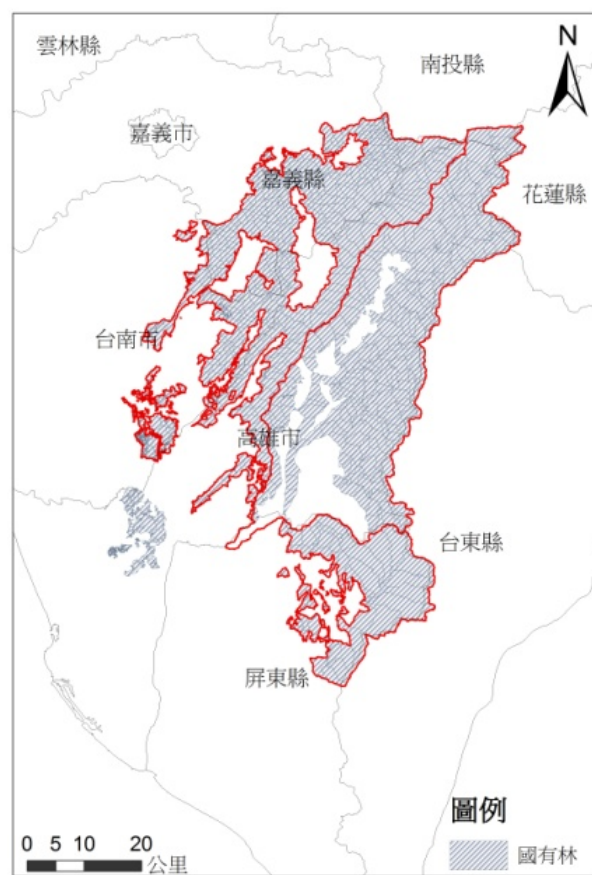


圖 3-8.2、本計畫工作範圍

3-9、深層崩塌潛感分析模式評估

針對全流域深層崩塌發生潛勢，本計畫選用類型 A 及 C 兩種不同之深層崩塌目錄，並採用證據權重法製作深層崩塌潛感圖，藉以評估曾文溪流域、旗山溪集水區、荖濃溪集水區與隘寮溪集水區四個區域範圍內的深層崩塌發生潛勢，此外，由於深層崩塌大多發生在整個坡面，因此本計畫以坡面單元作為分析基本單元進行潛感分析。

3-9.1、深層崩塌潛勢評估

本計畫之深層崩塌發生潛勢評估流程包括使用資料選定、坡面單元建立、因子處理分析、深層崩塌潛感圖製作與深層崩塌潛勢檢定與驗證，茲將初步成果分述如下：

(1)使用資料選定

製作深層崩塌潛感圖所使用的資料有：莫拉克事件前後之福衛二號衛星影像(影像時間列於表 3-9.1 中)、內政部出版之 5 米網格數值地形模型、經濟部中央地質調查所製作之 1/50,000 高屏溪數值流域地質圖、1/50,000 嘉義、中埔、新化、甲仙數值地質圖與 1/500,000 臺灣數值地質圖。

分析所選用的因子參考溫振宇(2005)統計 85 到 94 年間共 43 篇與山崩潛感製圖相關之文獻所選取因子統計，選取被多數研究所選用的潛在因子，選定坡度、坡向、高程、坡形、順向坡、岩性、河道距離、構造線距離共九個因子進行分析。各因子圖層之類型列於表 3-9.2 中。

表 3-9.1、福衛二號衛星影像使用日期

事件	事件日期	事件前影像日期	事件後影像日期
莫拉克	2009/08/05~2009/08/10	2008/12/21.2009/01/14	2009/08/17.2009/08/21

表 3-9.2、深層崩塌潛感圖分析資料

	名稱	類型	註備
分析因子資料	坡度、坡向、高程、坡形	5m*5m 網格	由內政部出版 5mDTM 在 GIS 平台下進行空間分析取得
	岩性、構造線	Shpfile	地調所 1/50,000 高屏溪數值流域地質圖、1/50,000 嘉義、中埔、新化、甲仙數值地質圖與 1/500,000 臺灣數值地質圖分析取得
	河道	Shpfile	在 GIS 平台下進行水文分析取得
	順向坡	Shpfile	

(2)坡面單元建立

坡面單元是利用等高線與坡向，依據山脊線及河道，將流域或集水區切割成許多坡向相近的坡面，此即坡面單元，在坡面單元建立完成後，由於深層崩塌其面積定義在 10 公頃以上，故須將面積小於 10 公頃的坡面單元與鄰近之坡面單元合併編修。

(3)因子處理分析

坡面單元的建立與編修完成後，則可針對進行坡面單元進行各因子的分析處理。

A. 坡度、坡向、高程、坡形

此四個因子使用內政部出版之 5 米網格數值地形模型於 ArcGIS 中進行空間分析(Spatial Analyst)，再利用空間分析中的 Zonal statistics 功能分別算出各坡面單元的平均坡度、主要坡向、平均高程、主要坡形，接著對各流域或集水區內的坡面單元進行分類，以下列出此四個因子之分級。

(a)坡度：由 0 度開始，每 5 度為間距等距分級，其中曾文溪流域與隘寮溪集水區分級至 45 度，45 度以上為一級，旗山溪集水區分級至 50 度，50 度以上為一級。

(b)坡向：分成北(337.5~22.5 度)、東北(22.5~67.5 度)、東(67.5~112.5 度)、東南(112.5~157.5 度)、南(157.5~202.5 度)、西南(202.5~247.5 度)、西

(247.5~292.5 度)、西北(292.5~337.5 度)與平坦，共九類。

(c)高程：以 250 公尺為間距，等距由 0 公尺開始分級，其中曾文溪流域與隘寮溪集水區分級至 2,000 公尺，2,000 公尺以上為一級，荖濃溪集水區分級至 3,000 公尺，3,000 公尺以上為一級，旗山溪集水區分級至 2,500 公尺，2,500 公尺以上為一級。

(d)坡形：依據 Dikau(1989)的分類法，以平面曲率(tangential curvature)與剖面曲率(profile curvature)分成九類(圖 3-9.1)，分別為：凸脊形、直脊形、凹脊形、凸直形、平直形、凹直形、凸谷形、直谷形和凹谷形(表 3-9.3)。

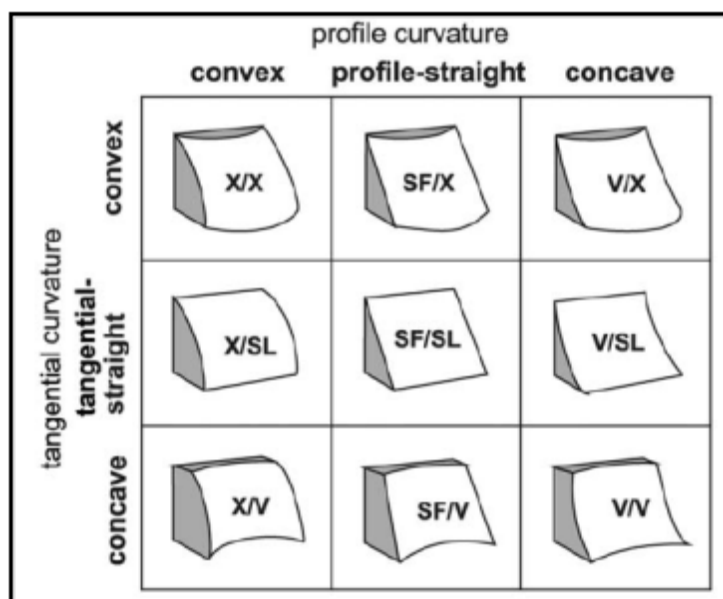


圖 3-9.1、Dikau(1989)坡形分類。

表 3-9.3、坡形分類名稱對照表

	分類名稱		分類名稱		分類名稱
X/X	凸脊形	SF/X	直脊形	V/X	凹脊形
X/SL	凸直形	SF/SL	平直形	V/SL	凹直形
X/V	凸谷形	SF/V	直谷形	V/V	凹谷形

B.岩性

分析範圍內的地質資料來源為中央地質調查所 1/50,000 高屏溪數值流域地質圖、1/50,000 嘉義、中埔、新化、甲仙數值地質圖與 1/500,000 臺灣數值地質圖，利用 Arcgis 空間分析中的 Zonal statistics 功能分析統計出各坡面單元的主要岩性，各流域與集水區在分析前皆須依地層岩性進行分類，表 3-9.4 列出各岩性分類所包含之地層

表 3-9.4、岩性與地層分類對照表

岩性	地層
礫石、砂	沖積層、階地堆積層
泥岩	六重溪層、古亭坑層、玉井頁岩、崁下寮層、崎頂層岡子林段
頁岩	北寮頁岩、茅埔頁岩、隘寮腳層、鹽水坑頁岩
砂岩	竹頭崎層、桂竹林層及其相當地層、烏山層、澧水溪層、糖恩山砂岩、頭嵙山層及其相當地層
礫岩	六龜層、嶺口礫岩
砂頁岩互層	二重溪層、三民頁岩、六雙層、卓蘭層、錦水頁岩及其相當地層、長枝坑層、南莊層及其相當地層、南港層及其相當地層、紅花子層、崎頂層大坑尾段、崎頂層過嶺段
變質砂岩	玉山主山層、達見砂岩
板岩	十八重溪層、畢祿山層、潮州層
片岩	大南澳片岩

C.構造距離

使用地調所 1/50,000 高屏溪數值流域地質圖、1/50,000 嘉義、中埔、新化、甲仙數值地質圖與 1/500,000 臺灣數值地質圖的斷層、背斜與向斜之褶皺資料，於 ArcGIS 平台中計算流域或集水區內各坡面單元到構造線的最短線距離，再以 50 公尺為間距進行分級，由 0 公尺開始分級至 500 公尺，500 公尺以上為一級，此外，有構造線通過或相切的坡面單元也當成一個分級。

D.河道距離

使用 5 米網格數值地形模型，透過 ArcGIS 中的 ArcHydro tool 9.2 執行水文分析，繪製集水區內之河道圖層，於 ArcGIS 平台中計算流域或集水區內各坡面單元到河道的最短距離，以 50 公尺為間距分級至 450 公尺，450 公尺以上為一級，有河道通過或相切的坡面單元也當成一個分級。

E.順向坡

將順向坡圖層與坡面單元進行交集分析，再透過人工篩選的方式，篩去因與順向坡相切而被選取的坡面單元。

F.除去穩定區域

因子分析處理完畢後，先除去坡度小於 5 度的區域，再利用莫拉克事件前後之衛星影像相互對比，除去河道與都市的部分，因影像解析度影響，過於細小的河道不易判釋，故河道的清除僅針對主要河道的部分進行。

(4)深層崩塌潛感圖製作

在潛感圖製作前，須先挑選出有發生深層崩塌之坡面單元作為訓練與驗證資料，其方法與挑選含有順向坡的坡面單元一樣，在本計畫中，是選用含類型 A 深層崩塌的坡面單元作為訓練組，含類型 C 深層崩塌的坡面單元作為驗證組，四個研究區域內所挑選的坡面單元數量如下表：

表 3-9.5、各流域、集水區挑選的坡面單元數量

流域/集水區名稱	含類型 A	含類型 C
曾文溪流域	28	237
旗山溪集水區	98	328
荖濃溪集水區	330	602
隘寮溪集水區	74	180

所有因子經過證據權重法的量化完成後，可將所計算出來的權重套疊至各因子的分級圖層中，依據深層崩塌發生分布的情形，以成功率與預測率曲線進行潛感圖的評估、分級，進而繪製出深層崩塌潛感圖，再將結果進行討論。

(5) 深層崩塌潛勢檢定、驗證與潛感圖分級

曾文溪流域、旗山溪集水區、荖濃溪集水區、隘寮溪集水區面積分別約為 125,355 公頃、75,077 公頃、140,766 公頃、62,330 公頃，除去穩定區域後，面積分別為 96,944 公頃、56,060 公頃、129,035 公頃、51,752 公頃，在潛感圖完成後使用成功率與預測率曲線進行潛感圖驗證，潛感分級是依據高潛感至低潛感坡面單元累計數量百分比進行分級，0%~20%為極高潛感(very high)、20%~40%為高潛感(high)、40%~60%中潛感(medium)、60%~80%低潛感(low)、80%~100%極低潛感(very low)。

3-9.2、深層崩塌潛勢分析結果

曾文溪流域、旗山溪集水區、荖濃溪集水區、隘寮溪集水區分析結果如圖 3-9.2 到圖 3-9.9 所示，各區域內成功率與預測率曲線 AUC 值則列在表 3-9.6 中，從表中可以看見四個區域的預測率曲線都有出現過低的情形，主要原因在於本計畫中挑選含有類型 C 的深層崩塌的坡面單元時，僅將與其相切的坡面單元篩去，但大部分類型 C 的深層崩塌多會有出現一部分跨到其它坡面單元的情形，因此影響計算結果，降低準確性。

表 3-9.6、區域內成功率與預測率曲線

	成功率曲線 AUC 值	預測率曲線 AUC 值
曾文溪流域	0.800	0.663
旗山溪集水區	0.800	0.641
荖濃溪集水區	0.723	0.638
隘寮溪集水區	0.731	0.625

由於進行潛感分析時是使用坡面單元，但深層崩塌的發生可能只佔坡面單元的一部分或是出現跨坡面單元的情形，再加上挑選訓練樣本時只有篩去與深層崩塌相切而被選取的坡面單元，因此單純以成功率與預測率曲線較難直接的表達預測成果的好壞，故本計畫分析各個深層崩塌的潛感層級並統計數量，以作為輔助評估的依據，而深層崩塌潛感層級的判斷，是依據各個深層崩塌主要坐落在哪個潛感層級，此即為該深層崩塌的潛感層級，接著便可統計各潛感層級所包含的深層崩塌數量，統計結果如表 3-9.7 所示，從統計結果來看，四個流域、集水區內的極高與高潛感區中，都有包含了共約 50% 的類型 C 深層崩塌，顯示所製作的潛感圖具有一定的預測能力。

表 3-9.7、各潛感層級所包含的深層崩塌數量

		曾文溪流域		旗山溪集水區		荖濃溪集水區		隘寮溪集水區	
		類型 A	類型 C	類型 A	類型 C	類型 A	類型 C	類型 A	類型 C
極高潛感	個數	16	69	47	102	107	167	32	68
	百分比	57.14%	29.74%	63.51%	32.69%	41.63%	31.87%	54.24%	32.85%
高潛感	個數	7	45	8	56	58	109	12	45
	百分比	25.00%	19.40%	10.81%	17.95%	22.57%	20.80%	20.34%	21.74%
中潛感	個數	1	45	14	51	49	107	6	55
	百分比	3.57%	19.40%	18.92%	16.35%	19.07%	20.42%	10.17%	26.57%
低潛感	個數	3	43	3	48	31	68	6	22
	百分比	10.71%	18.53%	4.05%	15.38%	12.06%	12.98%	10.17%	10.63%
極低潛感	個數	1	30	2	55	12	73	3	17
	百分比	3.57%	12.93%	2.70%	17.63%	4.67%	13.93%	5.08%	8.21%

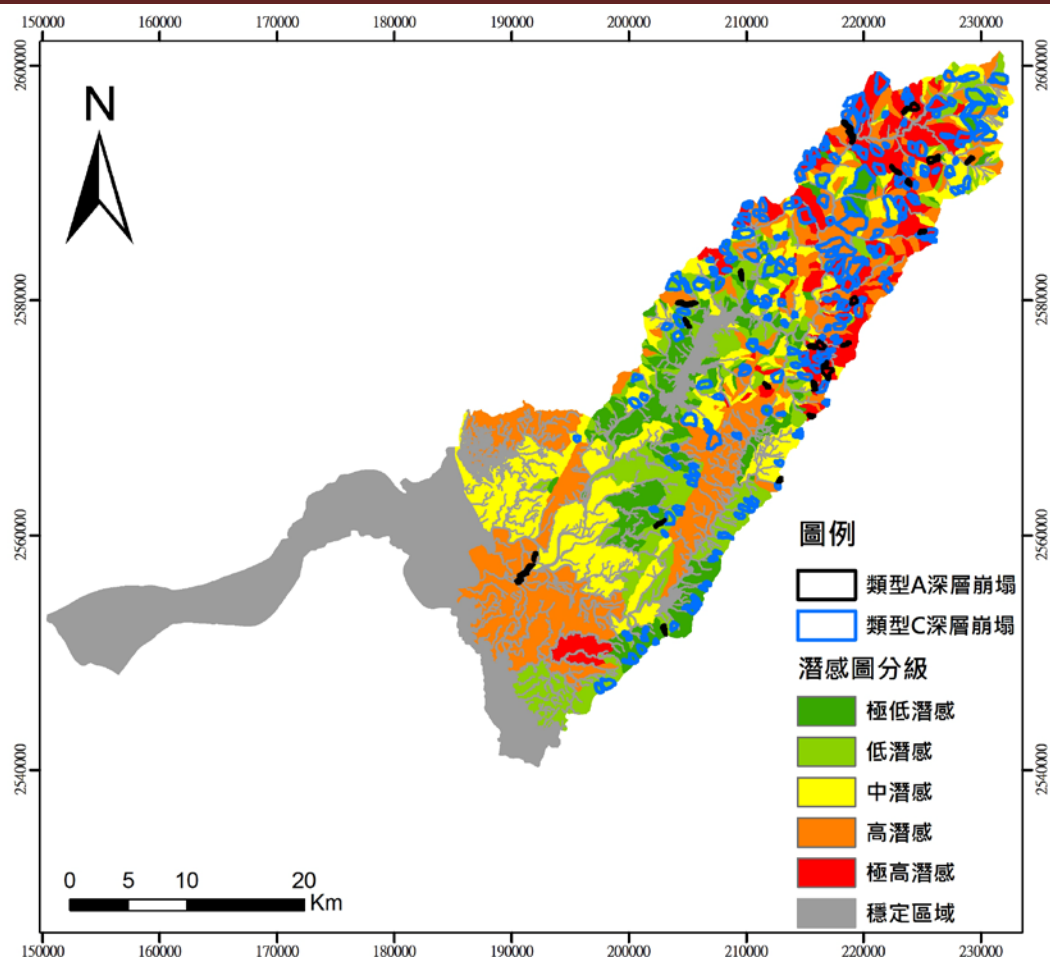


圖 3-9.2、曾文溪流域潛感圖。

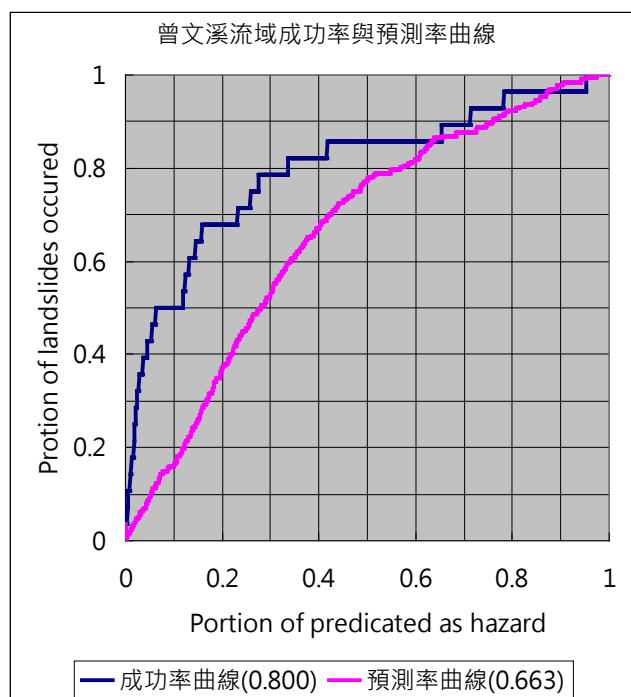


圖 3-9.3、曾文溪流域成功率與預測率曲線。

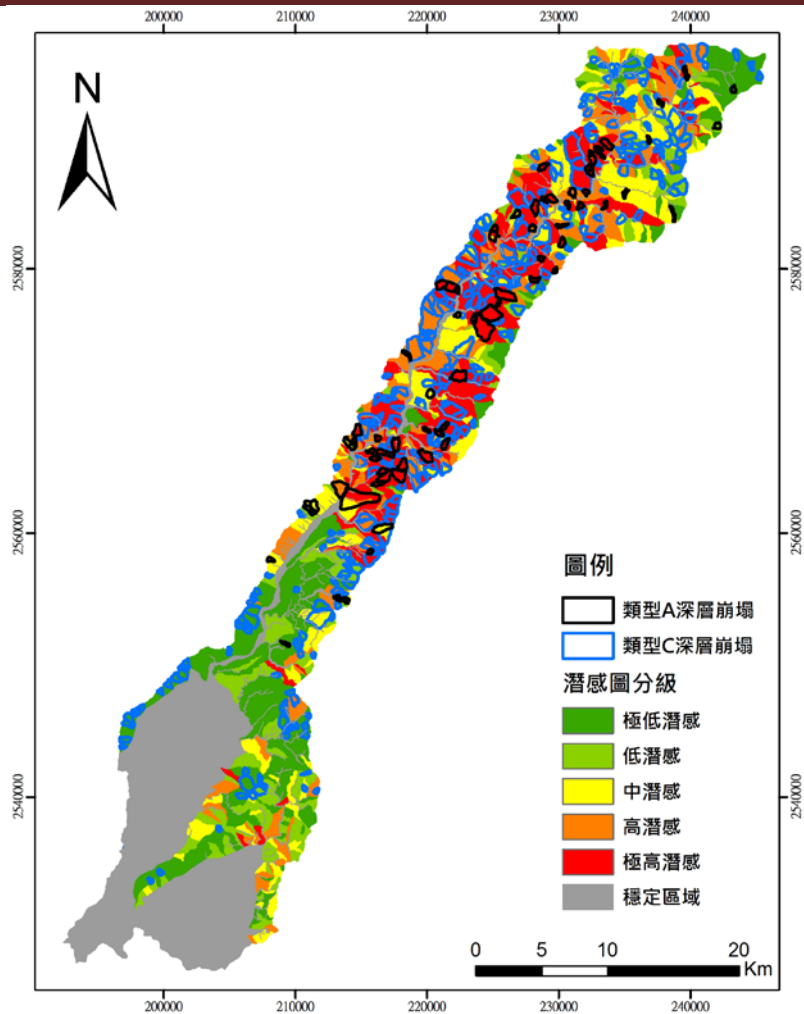


圖 3-9.4、旗山溪集水區潛感圖。

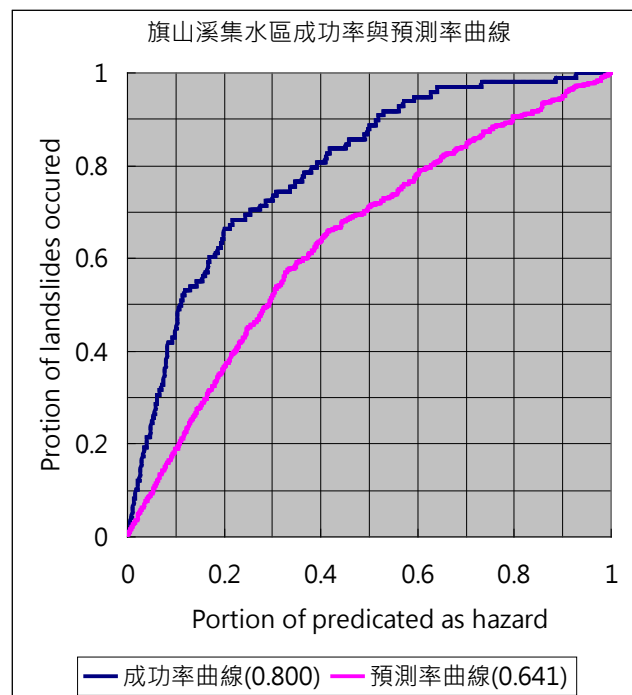


圖 3-9.5、旗山溪集水區成功率與預測率曲線。

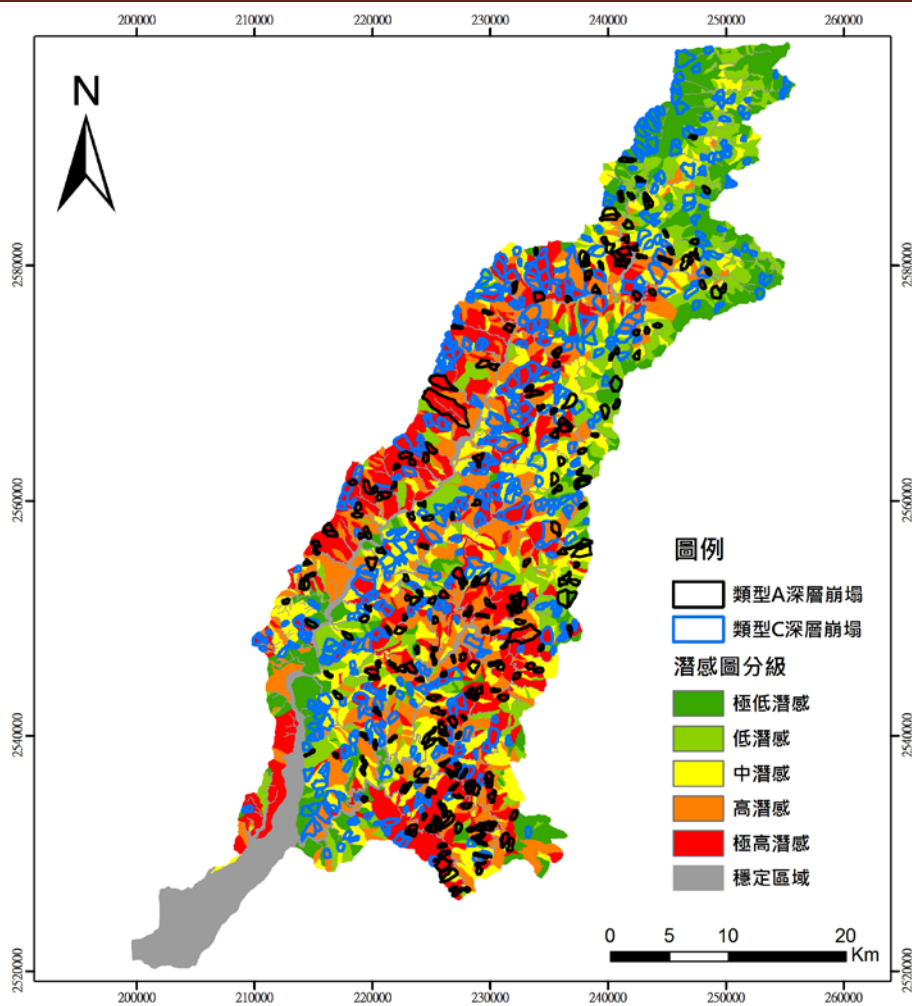


圖 3-9.6、荖濃溪集水區域潛感圖。

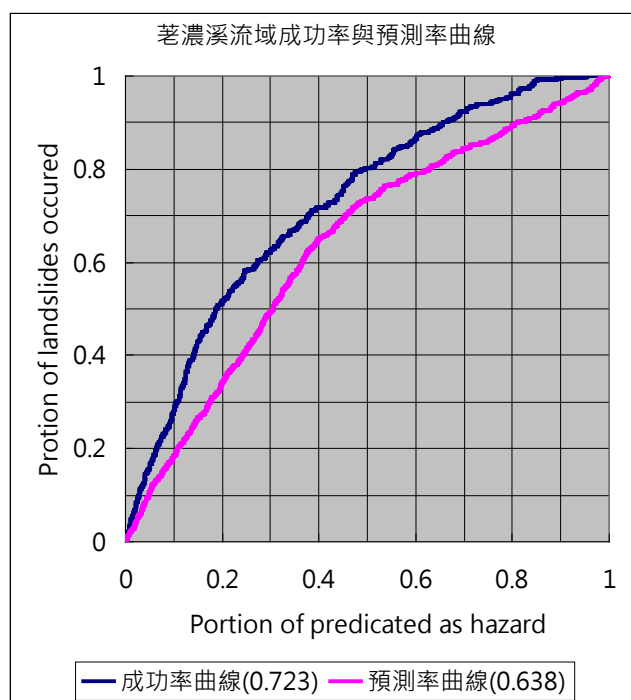


圖 3-9.7、荖濃溪集水區成功率與預測率曲線。

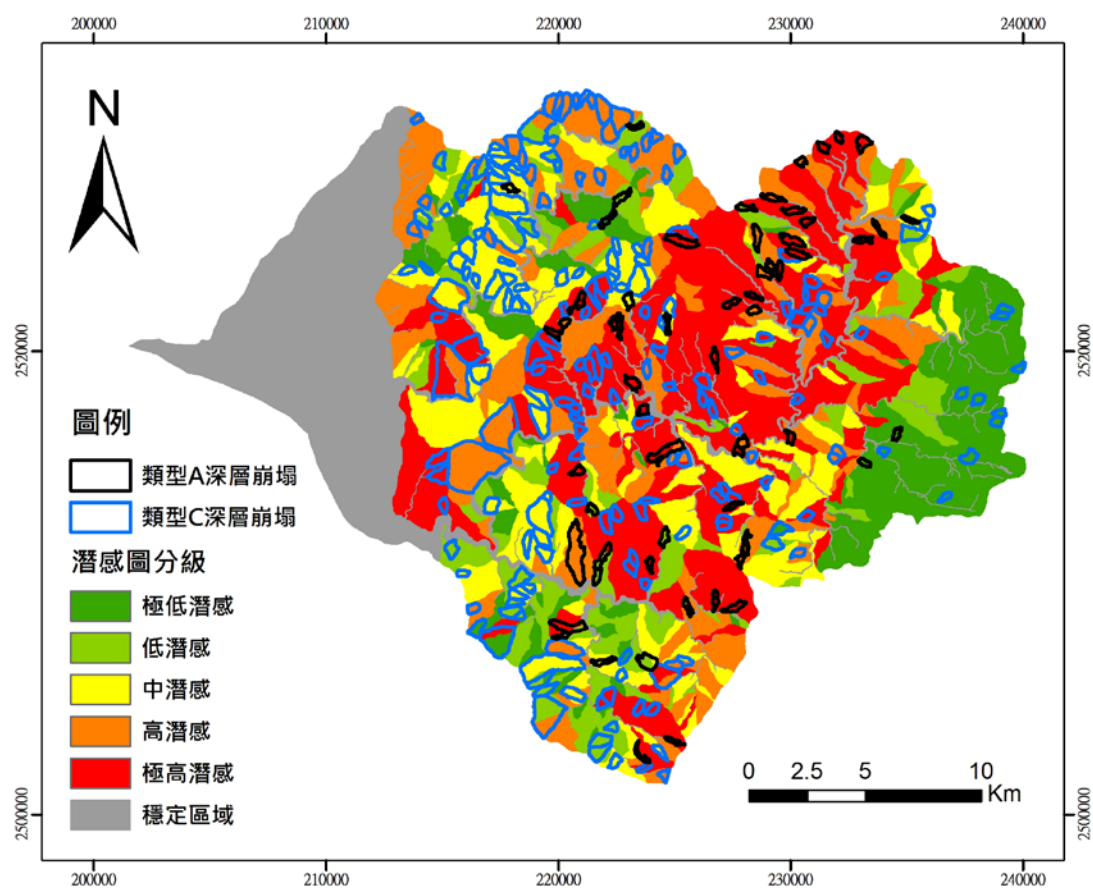


圖 3-9.8、隘寮溪集水區域潛感圖。

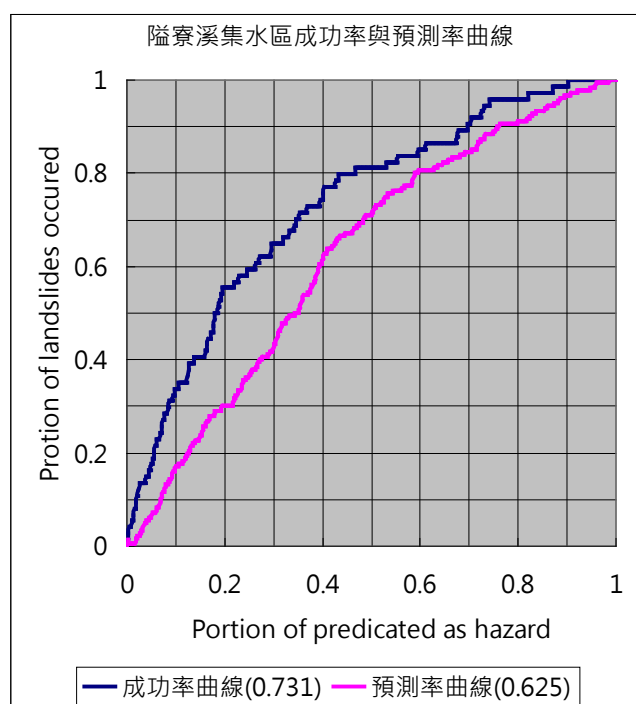


圖 3-9.9、隘寮溪集水區成功率與預測率曲線。

3-10、監測規劃及試辦

3-10.1、觀測點位評估與選定

於 101 年度判釋並經現地查核共 5 處深層崩塌潛勢區位，分別為高雄寶來地區崩塌地編號高雄市-桃源區-D346；高雄荖濃地區 2 處，崩塌地編號高雄市-六龜區-D018、高雄市-六龜區-D021；藤枝地區 2 處，崩塌地編號高雄市-六龜區-D020、高雄市-六龜區-D015，其點位分布位置如圖 3-10.1。

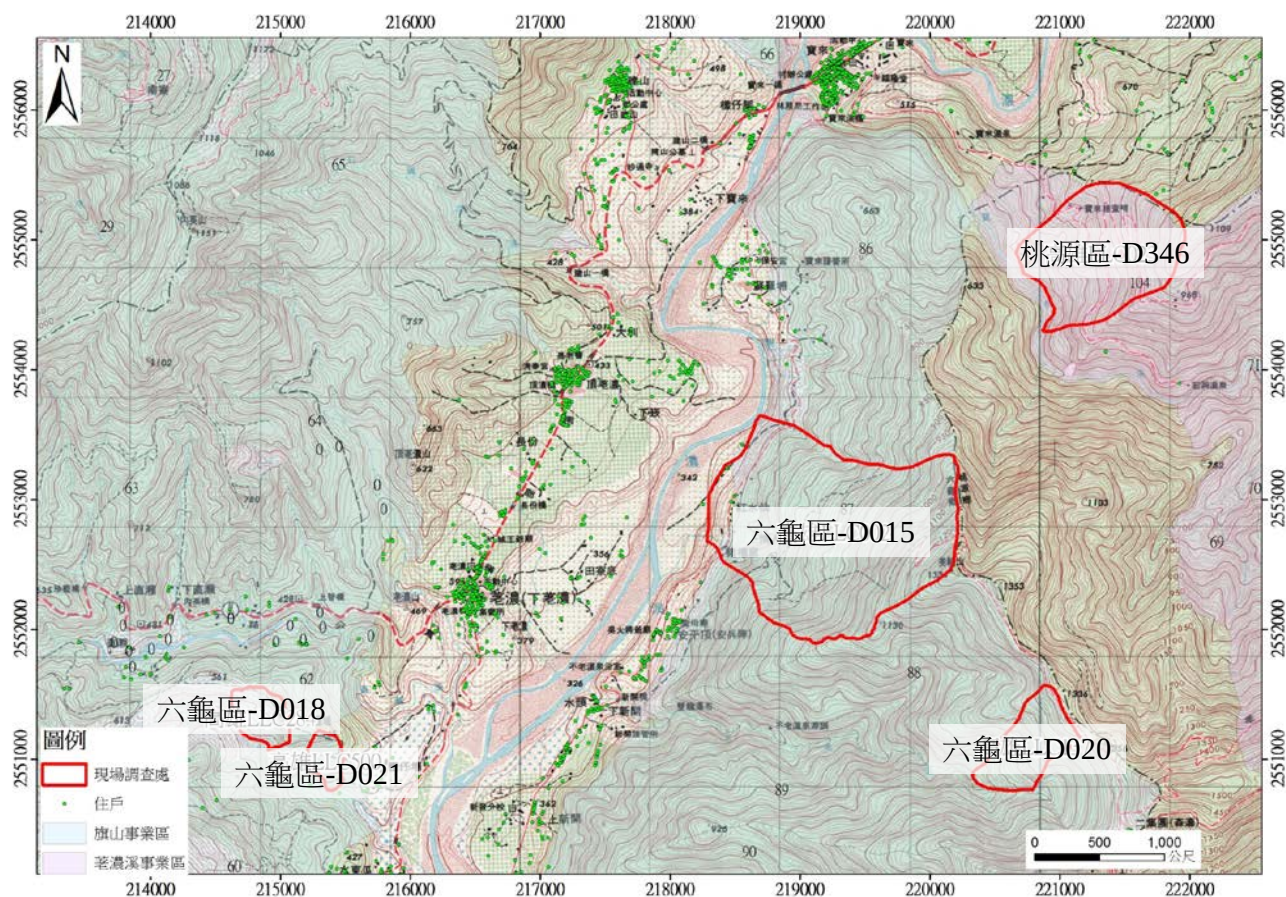


圖 3-10.1、現場調查點位分布圖。

選定原則為交通可達、可施工、具保全住戶及透空通視佳的崩塌地為原則，以下針對各處選點原則進行說明：

高雄寶來地區崩塌地編號高雄市-桃源區-D346

崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 位於**荖濃溪事業區 104 號林班地**，寶來溪右岸，距離荖濃溪匯流口約 2.7 公里。崩塌中心坐標 TWD97 (221324, 2554900)，崩塌面積約為 96.6 公頃、平均坡度約為 31.1 度，潛在崩塌區位最高點 1060 公尺，最低點標高 460 公尺，最大寬度 920 公尺。在地質方面，主要出露地層為潮州層，主要岩性為硬頁岩，地層位態為(N16W, 56W)，地層之傾向與坡面傾向夾角約 10 度，形成近順向坡地形。由高精度數值地形判釋結果認為此區崩塌地是由多處小崩塌組成，內部崩崖特徵明顯。現場調查結果顯示此坡面有多處裂隙發育，顯示高雄市-桃源區-D346 具有較高的活動性。

現場透空透視度方面，崩塌區位於林班地，植生茂密透視度差。對岸坡面與崩塌區中心位置相距約 1.2 公里，且由圖面判釋認為對岸坡面有現生崩塌發育，無可用之穩定固定點供自動長距雷射測距經緯儀使用，不利於施作長距離雷射儀監測。但在崩塌區北側坡頂位有數處透空度較佳的位置。在致災方式與保全方面，若發生深層崩塌，可能導致寶來溪產生堰塞湖，影響寶來溪出口兩岸的住戶，可能影響戶數約 24 戶(如圖 3-10.2)。



圖 3-10.2、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 崩塌位置與保全住戶相對位置。

高雄荖濃地區崩塌地編號高雄市-六龜區-D018

崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 位於旗山事業區 61 號林班地，荖濃地區巒仔埔南側 500 公尺野溪左岸，距離荖濃溪匯流口上游約 1.5 公里。崩塌中心坐標 TWD97 (214852, 2551330)，崩塌面積約為 16.2 公頃、平均坡度約為 23.3 度，潛在崩塌區位最高點 562 公尺，最低點標高 420 公尺，最大寬度 570 公尺。在地質方面，主要出露地層為長枝坑層，主要岩性為硬頁岩，地層位態為(N30E, 50W)，地層之傾向與坡面傾向夾角約 90 度，形成近直交坡地形。本區植生茂密，多數有傾倒現象。由高精度數值地形判釋結果認為此區內部崩崖較少，顯示活動性較低。

現場透空透視度方面，崩塌區位於林班地，兩岸坡面植生茂密，無可通視點位供自動長距雷射測距經緯儀使用，不利長距離雷射儀監測。在透空度方面，儘一處農舍位置透空度較佳，不利於坡面 GPS 監測。在致災方式與保全方面，若發生深層崩塌，致災情形可能情形有二。一是崩塌材料堆積在河道，形成堰塞湖；二是形成土石流。可能受影響戶數為鄰近河道與坡頂住戶，共 4 戶。現場調查結果，河道 3 戶已遷離(聯外道路毀損未修)，坡頂住戶為高雄市六龜區荖濃里水冬瓜 63 之 1 號(圖 3-10.3)。

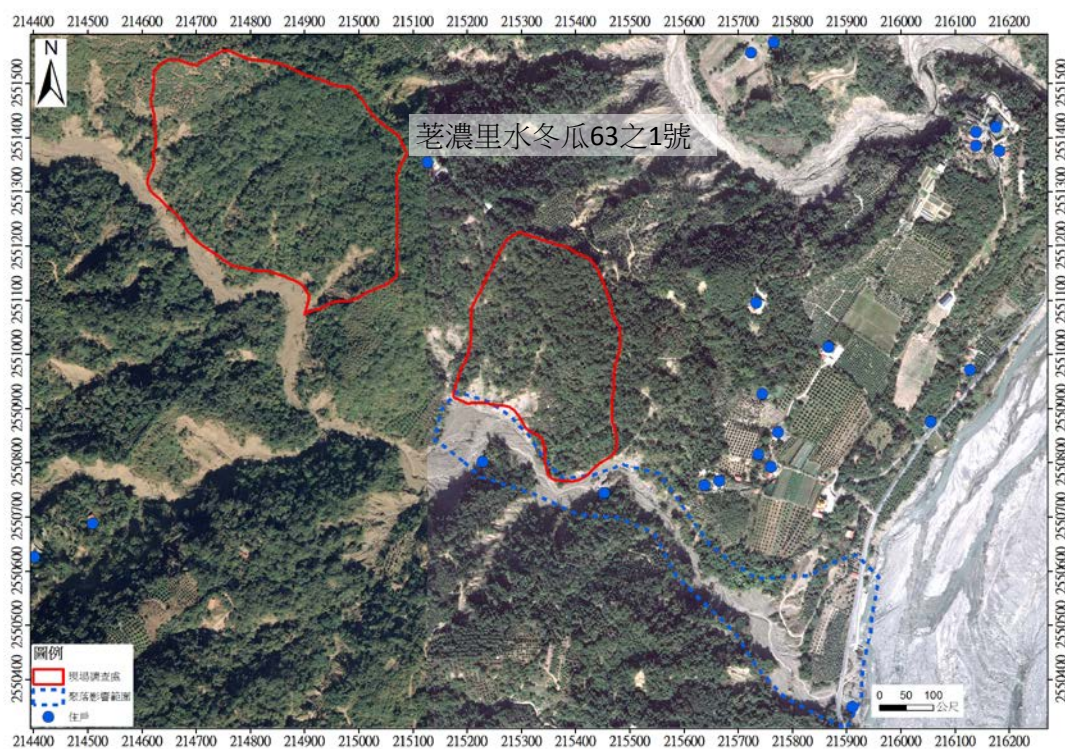


圖 3-10.3、崩塌地編號高雄市-六龜區-D018 及高雄市-六龜區-D021 崩塌位置與保全住戶相對位置。

高雄荖濃地區崩塌地編號高雄市-六龜區-D021

崩塌地編號高雄市-六龜區-D021 位於旗山事業區 61 號林班地，荖濃地區巒仔埔南側 500 公尺野溪左岸，距離荖濃溪匯流口上游約 800 公尺。崩塌中心坐標 TWD97 (215347, 2551000)，崩塌面積約為 9.3 公頃、平均坡度約為 24.1 度，潛在崩塌區位最高點 520 公尺，最低點標高 360 公尺，最大寬度 290 公尺。在地質方面，主要出露地層為長枝坑層，主要岩性為硬頁岩，地層位態為(N90E, 60S)，地層之傾向與坡面傾向夾角約 0 度，形成近順向坡地形。本區植生茂密，多數有傾倒現象。由高精度數值地形判釋結果認為此區內部崩崖較少，顯示活動性較低。

現場透空透視度方面，崩塌區位於林班地，兩岸坡面植生茂密，無可通視點位供自動長距雷射測距經緯儀使用。在透空度方面，坡面透空度差，不利於 GPS 監測。在致災方式與保全方面，致災情形與高雄市-六龜區-D018 相似。可能受影響戶數為鄰近河道與坡頂住戶，共 4 戶。現場調查結果，河道 3 戶已遷離(聯外道路毀損未修)(圖 3-10.3)。

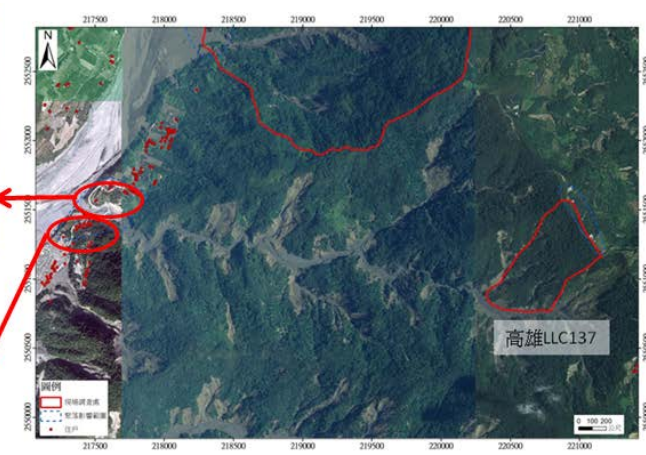
高雄荖濃地區崩塌地編號高雄市-六龜區-D020

崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 位於旗山事業區 88 號林班地，藤枝林道二集團聚落北側約 1.2 公里。崩塌中心坐標 TWD97 (220758, 2551110)，崩塌面積約為 33.6 公頃、平均坡度約為 29.7 度，潛在崩塌區位最高點 1,336 公尺，最低點標高 900 公尺，最大寬度 480 公尺。在地質方面，主要出露地層為潮州層，主要岩性為硬頁岩，地層位態為(N20°W, 45°W)，地層之傾向與坡面傾向夾角約 10 度，形成近順向坡地形。1 公里內無構造線通過。地層位態為(N20°W, 45°W)，坡面方向朝西南，坡面與地層關係近順向坡。由高精度數值地形判釋結果認為此區內部崩崖明顯，但崩崖數量較少，顯示活動性中等。

現場透空透視度方面，崩塌區位於林班地，坡面植生茂密透視度差。崩塌區位與對岸相距甚遠，難以尋找透視度佳的地點，不利於長距離雷射儀監測。在透空度方面，坡面冠部透空度較佳，冠部位置適合 GPS 監測。在致災方式與保全方面，若發生深層崩塌，大量崩塌材料堆積在不老溪河道，引發土石流沖擊不老溪河口兩岸台地住戶，可能影響戶數約 39 戶(圖 3-10.4)。



不老溪匯流口。聚落與河床高差約20到30公尺



不老溪匯流口。左岸聚落與河床高差約10公尺

圖 3-10.4、崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 崩塌位置與保全住戶相對位置。

高雄荖濃地區崩塌地編號高雄市-六龜區-D015

崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 位於旗山事業區 88 號林班地，美輪山西側集水區。崩塌中心坐標 TWD97 (220758, 2551110)，崩塌面積約為 228 公頃、平均坡度約為 29.7 度，潛在崩塌區位最高點 1,334 公尺，最低點標高 360 公尺，最大寬度 1,400 公尺。在地質方面，主要出露地層為潮州層，主要岩性為硬頁岩，土壠灣斷層位於崩塌地西側 1.4 公里。地層位態為(N20°W, 45°W)，坡面方向朝南，坡面與地層關係為斜交坡。由高精度數值地形判釋結果認為此區崩塌地是由多處小崩塌組成，內部崩崖特徵明顯，顯示具有較高的活動性。

現場透空透視度方面，因崩塌區位於林班地，坡面植生茂密透視度差。崩塌區位與對岸(荖濃溪)相距甚遠，難以尋找透視度佳的地點，不利於長距離雷射儀監測。在透空度方面，坡面透空度較差，不利於 GPS 監測。在致災方式與保全方面，若發生深層崩塌，聚落會直接受到衝擊。因坡趾堆積大量崩積土，若因崩塌會引發土石流災害。現場調查結果，大多數住戶已遷離，影響範圍內目前尚有 3 戶住戶(圖 3-10.5)。



圖 3-10.5、崩塌地編號高雄市-六龜區-D015 崩塌位置與保全住戶相對位置。

根據上述說明，依據坡面透空度、透視度、保全住戶和活動性綜合評估結果，為取得較佳且連續性高的監測資料，監測點位選點以活動性高為原則，次之考慮保全住戶數目。因崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 具高活動性，可能受影響住戶約 24 戶，故選定高雄市-桃源區-D346 為監測試辦點位，其各點位評估表如表 3-10.1。

表 3-10.1、監測點位篩選比較表

崩塌地編號	面積(ha)	影響戶數	可能致災方式	透視度	透空度	活動性
高雄市-六龜區-D015	228	3 戶	直接掩埋	不佳	不佳	高
高雄市-桃源區-D346	96.6	24 戶	堰塞湖	不佳	較佳	高
高雄市-六龜區-D020	33.6	39 戶	土石流	不佳	較佳	中
高雄市-六龜區-D018	16.2	1 戶	土石流	不佳	不佳	中
高雄市-六龜區-D021	9.3	無	土石流	不佳	不佳	中

3-10.2、觀測點位試辦監測方法

本計畫擬針對判釋並經現地查核之一處高危險度深層崩塌潛勢區位，進行監測規劃與試辦工作。過去政府單位一直致力於崩塌潛勢的調查與危險度評估，然受到觀測資料與科技的限制，仍有其相對的極限，對於滑動面相對較深的崩塌，於技術上仍屬有待研究發展之領域。莫拉克颱風過後由於崩塌的調查技術的提升與高精度地形資料的應用，使得設置廣域簡易型觀測設備成為一種可行的方式，以此方法去取得較完整的證據，也才能讓深層崩塌研究工作跨出一大步。

針對此一目的，本計畫擬配合(1)全自動長距離雷射經緯儀與坡面反射稜鏡的施作，利用(2)單頻 GPS 設備，布置於可能滑動的重點坡面，進行較長時期的、週期性的觀測作業，以分析坡面土體移動性與時間的關係。但林班地坡面特性植生茂密，透視度差，難以施作全自動長距離雷射經緯儀與坡面反射稜鏡監測。其監測方法優缺點比較如表 3-10.2。

表 3-10.2、雷射儀與 GPS 監測方法優缺點比較表

監測方法	優點	缺點	使用限制
衛星定位系統 (GPS)	•精度高 •資料連續性佳	•單價較高	需透空佳
全自動長距離 雷射測距經緯 儀(ALTS)	•單價較低(觀 測稜鏡)	•位移資料紀錄 間隔較大 •精度較低	需與監測點(固 定點)透視佳

經工作會議討論結果，為得到較佳監測資料與確保資料的連續性，本計畫將施作單頻 GPS 站並配合雨量計進行坡面大面積監測，並配合地表伸縮計量測坡面裂隙寬度變化。工作細部項目包含：

一、衛星定位系統(GPS)觀測分析

在預計觀測之深層崩塌潛勢坡面範圍內，經由現地調查和選點，選擇適宜之點位進行 GPS 儀器安裝，進行坡面土體之移動性評估。

二、坡面降雨量觀測

由於主要誘發深層崩塌地移動的外力因子為地震或降雨，地震發生可藉由中

央氣象局觀測資訊進行崩塌外力的分析；而降雨量部分，因台灣地區的地形及氣候特性，降雨隨空間的變異性相當高，為瞭解大規模崩塌較精確的降雨資訊，擬規劃在深層崩塌潛勢坡面適當地點設置雨量觀測站，配合前述兩項移動監測資料進行分析，方能完整了解深層崩塌的移動機制與特性。

三、地表伸縮計

崩塌坡面裂隙發育是崩塌活動性的重要指標，且降雨易透過裂隙滲入滑動面，為能了解坡面裂隙發育情形，在裂隙處裝置地表伸縮計並定期量測讀數，以了解裂隙變化。

3-10.3、監測儀器架設

為達到最佳監測效果，監測點位應廣泛平均分布於坡面，並設置在主崩崖與次崩崖。由圖面判釋結果認為高雄市-桃源區-D346 北側坡面與主崩崖的崩塌特徵明顯，經由工作會議討論認為北側坡面活動性應較高，監測儀器應以北側坡面為主。崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 植生茂密，坡面陡。在崩塌區位北側有數處平臺(目前土地利用為果園)，是此崩塌區位透空度最佳位置。監測儀器施工點位如圖 3-10.6，紅色三角點為單頻 GPS 埋設位置，黃圓點為雨量筒，藍方點為地表伸縮計，點 23-E1、23-E2、23-G3、23-G5 及雨量筒位於深層崩塌高雄市-桃源區-D346 主崩崖附近，點 23-G1、23-G2、23-G4 則位於次崩崖附近。

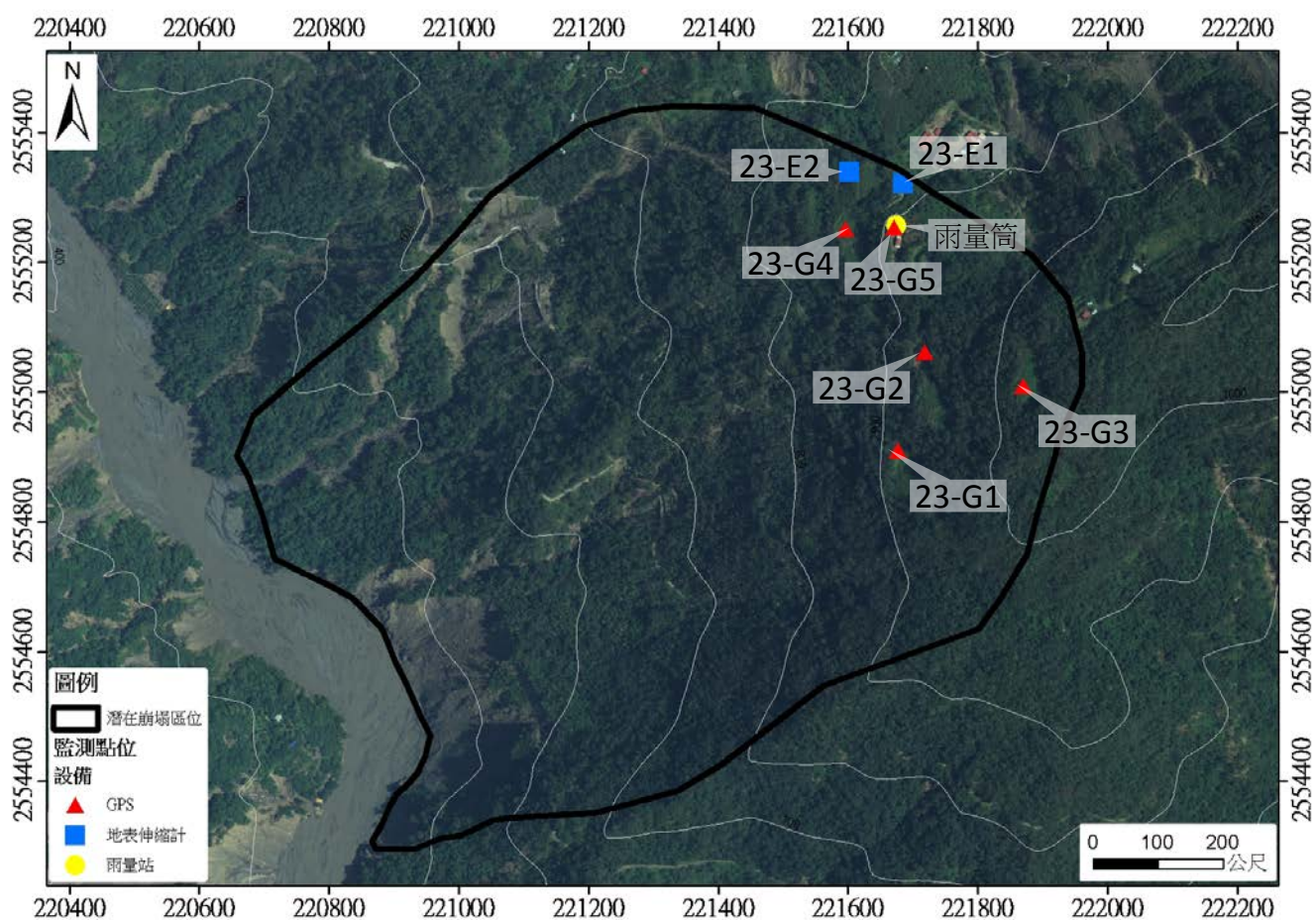


圖 3-10.6、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 監測儀器埋設位置。

3-10.4、監測數據成果說明

以下針對各監測儀器數據進行說明：

一、衛星定位系統(GPS)觀測分析

GPS 接收時間為 102 年 6 月 20 日迄今，測量分析結果顯示崩塌地高雄市-桃源區-D346 位移趨勢為往西北向移動，高程部分則有往下滑動趨勢如圖 3-10.7～3-10.11 所示。

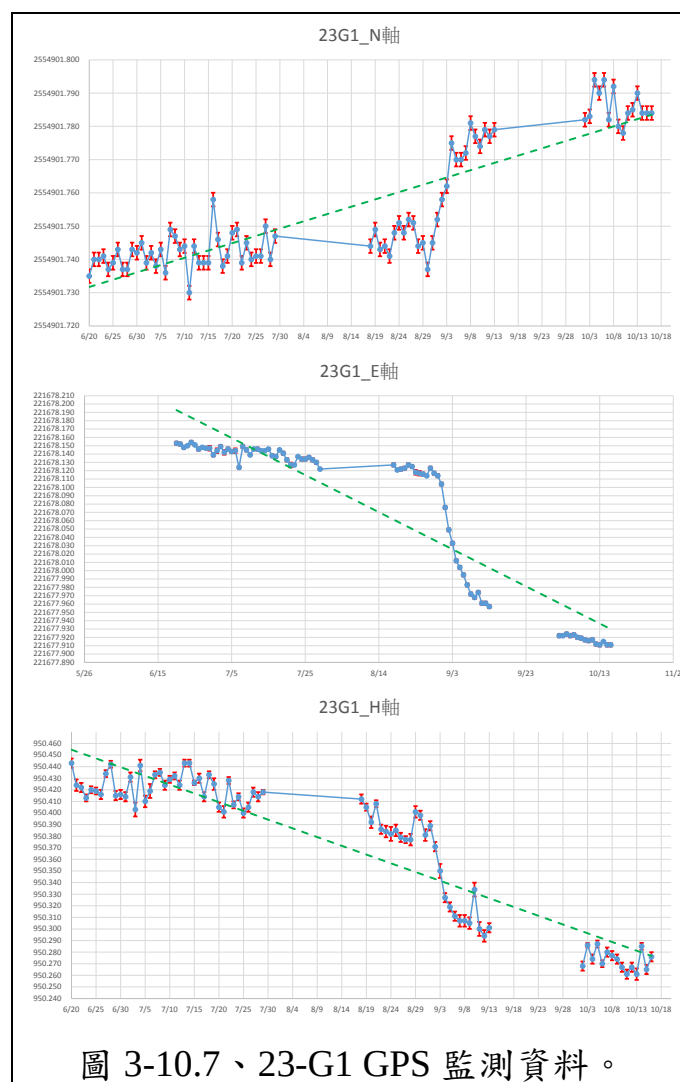


圖 3-10.7、23-G1 GPS 監測資料。

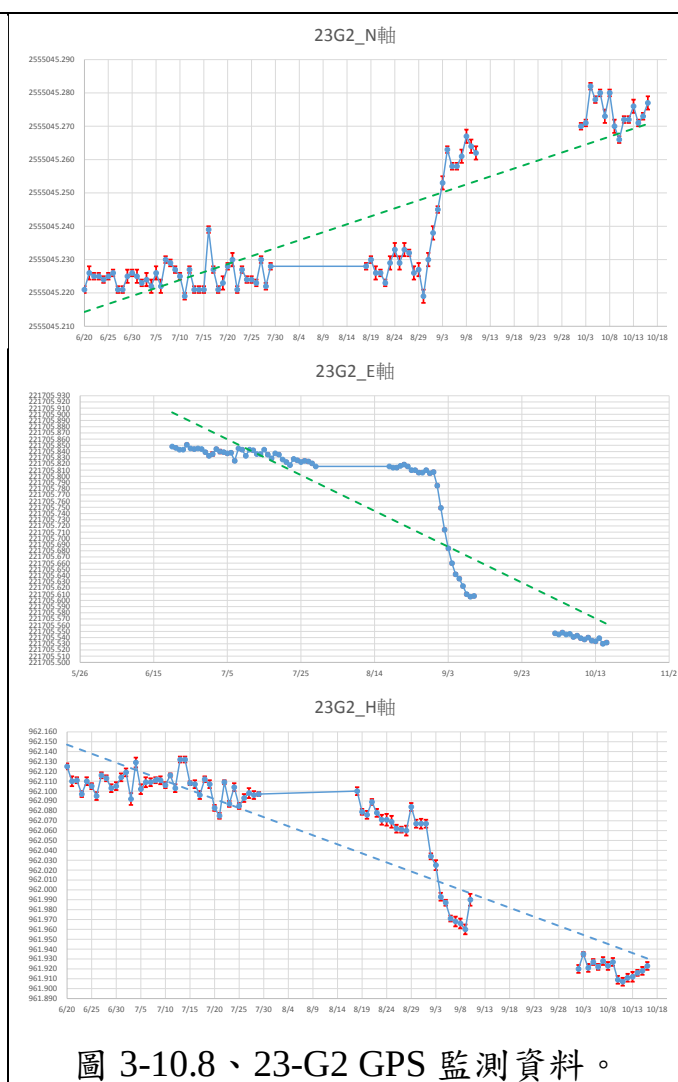


圖 3-10.8、23-G2 GPS 監測資料。

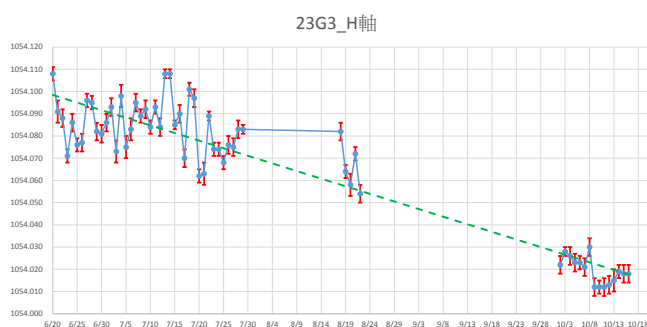
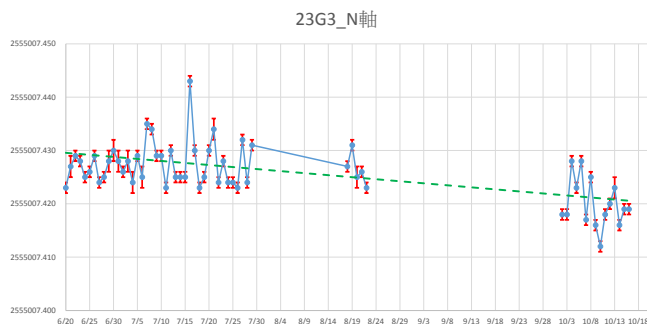


圖 3-10.9、23-G3 GPS 監測資料。

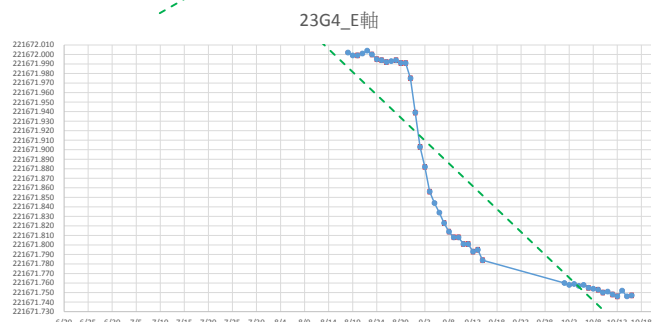
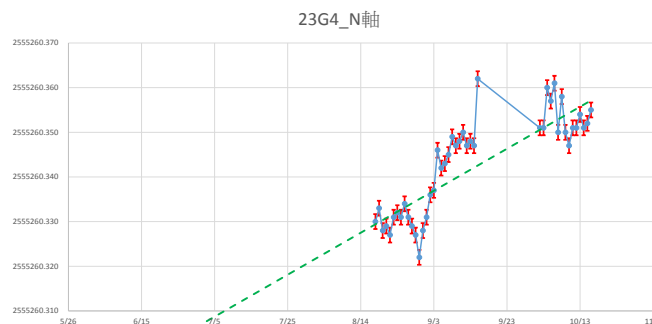


圖 3-10.10、23-G4 GPS 監測資料。

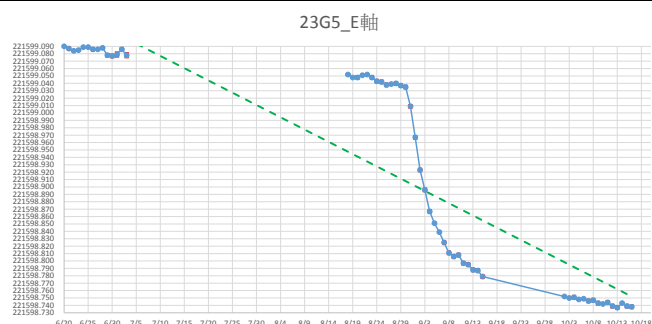
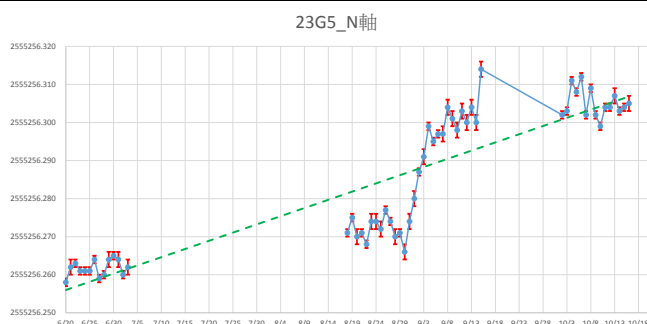


圖 3-10.11、23-G5 GPS 監測資料。

二、坡面降雨量觀測

雨量筒紀錄時間為 102 年 7 月 1 日迄今，此期間明顯降雨有三個事件，分別為：(1)8 月 20 日～8 月 24 日，潭美颱風，其累積雨量為 386 毫米；(2)8 月 27 日～9 月 1 日，康芮颱風，其累積雨量為 680 毫米；(3)9 月 19 日～9 月 22 日，天兔颱風，其累積雨量為 139.5 毫米。降雨歷程與累積雨量如圖 3-10.12 所示。

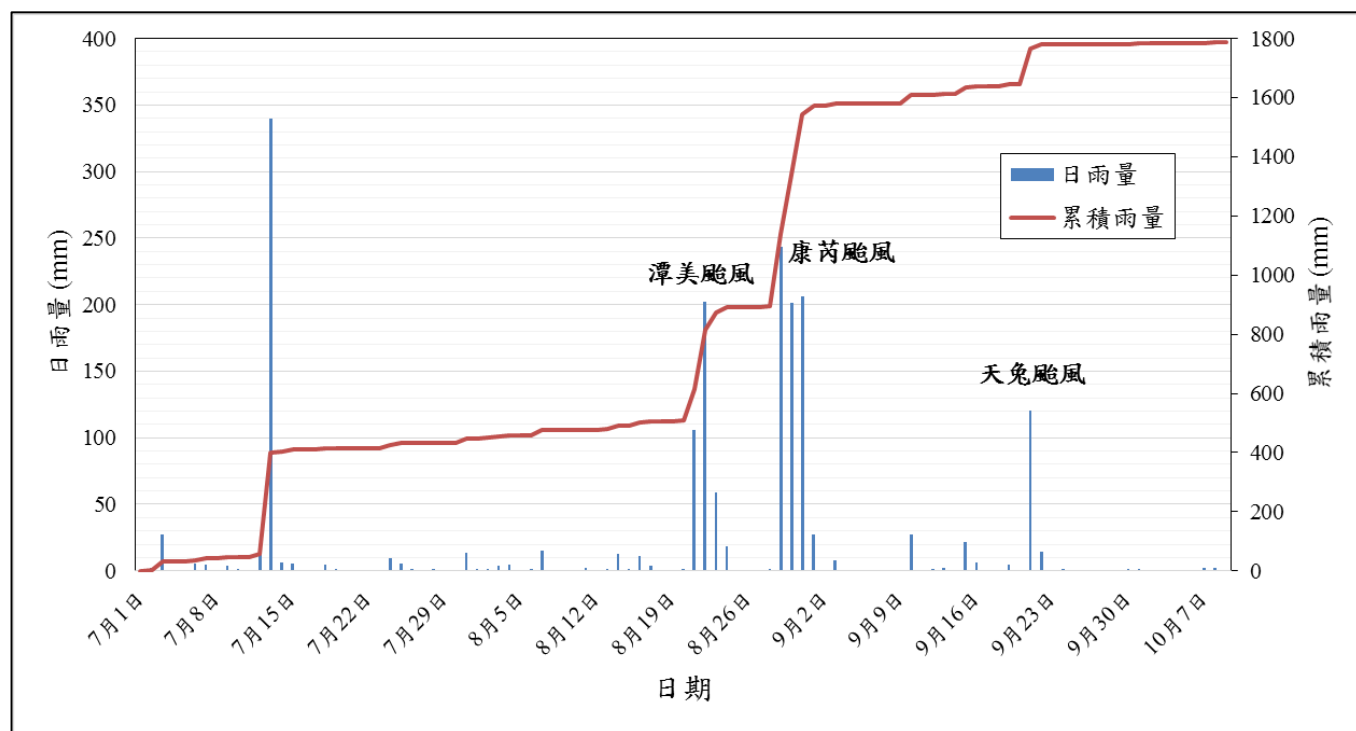


圖 3-10.12、坡面降雨量觀測結果。

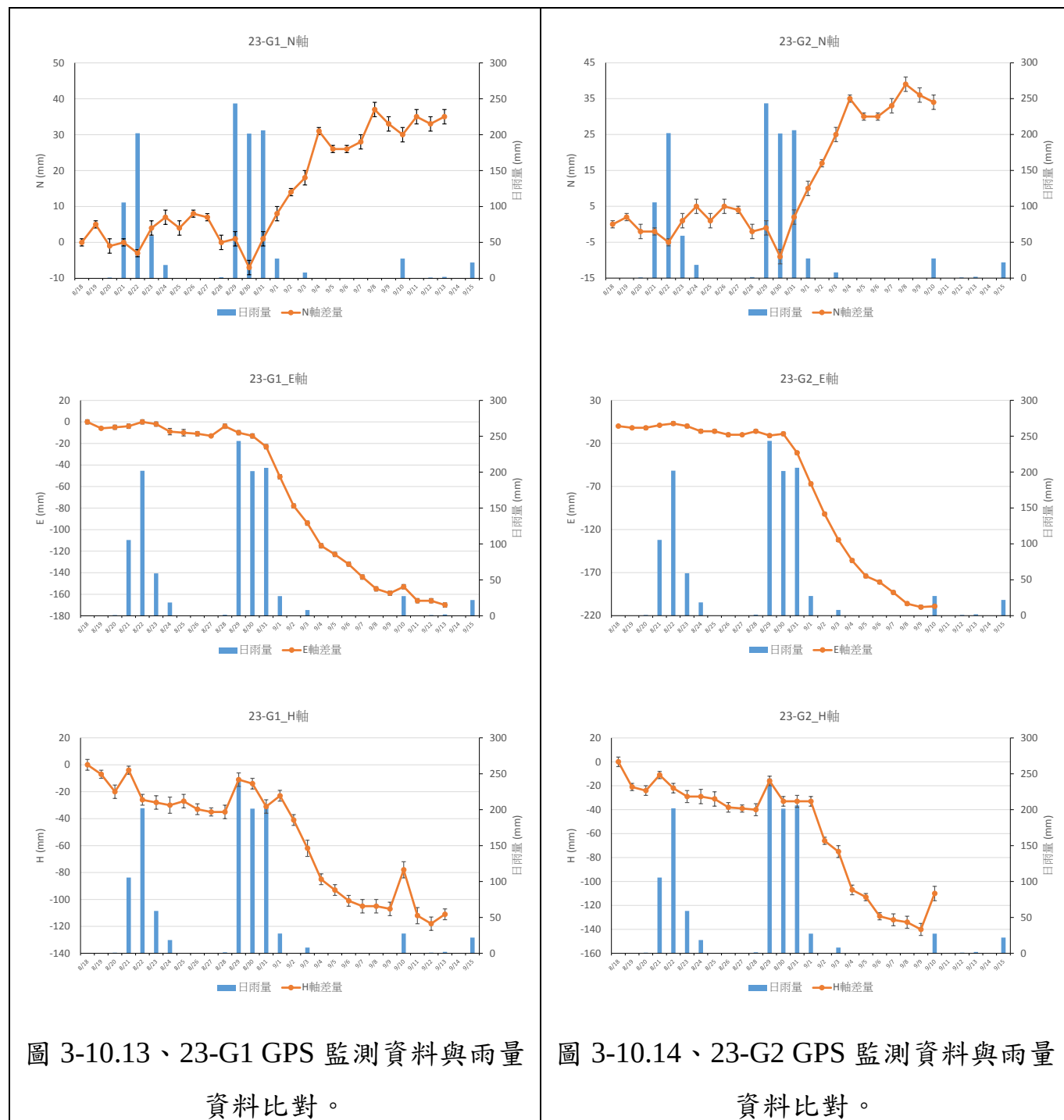
三、地表伸縮計

地表伸縮計自 102 年 8 月 17 日架設至今，期間於 10 月 2 日及 10 月 25 日各收取一次紀錄數據，其結果顯示 8 月 17～10 月 2 日，監測點 23-E1 約有 8 公分的拉伸量，而監測點 23-E2 也約有 5 公分的拉伸量；而 10 月 2 日～10 月 25 日，兩個監測點則無明顯的變化量(表 3-10.3)。

表 3-10.3、地表伸縮計分析結果

日期	23-E1			23-E2		
	讀取數值	對應長度 cm	變化量 (cm)	讀取數值	對應長度 cm	變化量 (cm)
102/08/17	0.567	11.45013231	(初始值)	0.700	14.15099300	(初始值)
102/10/02	0.970	19.63745210	8.18731979	0.950	19.23099050	5.07999750
102/10/25	1.000	20.24693000	0.60947790	0.970	19.63739030	0.40639980

進一步將有效資料的監測點 23-G1、23-G2、23-G4、及 23-G5 四個 GPS 資料與雨量資料(8/18~9/15)同時分析比對可發現，在潭美颱風及康芮颱風影響下，GPS 資料有明顯變化(圖 3-10.13~圖 3-10.16)，尤其在康芮颱風的降雨影響最為明顯。在南北向分量，最大約有 4.3 公分往北分量；東西向分量，最大約有 27.3 公分往西分量；高程向分量，最大約有 20.5 公分往下分量(表 3-10.4)。顯示崩塌地高雄市-桃源區-D346 因降雨因素造成往西向下滑動，此趨勢與坡向相符。



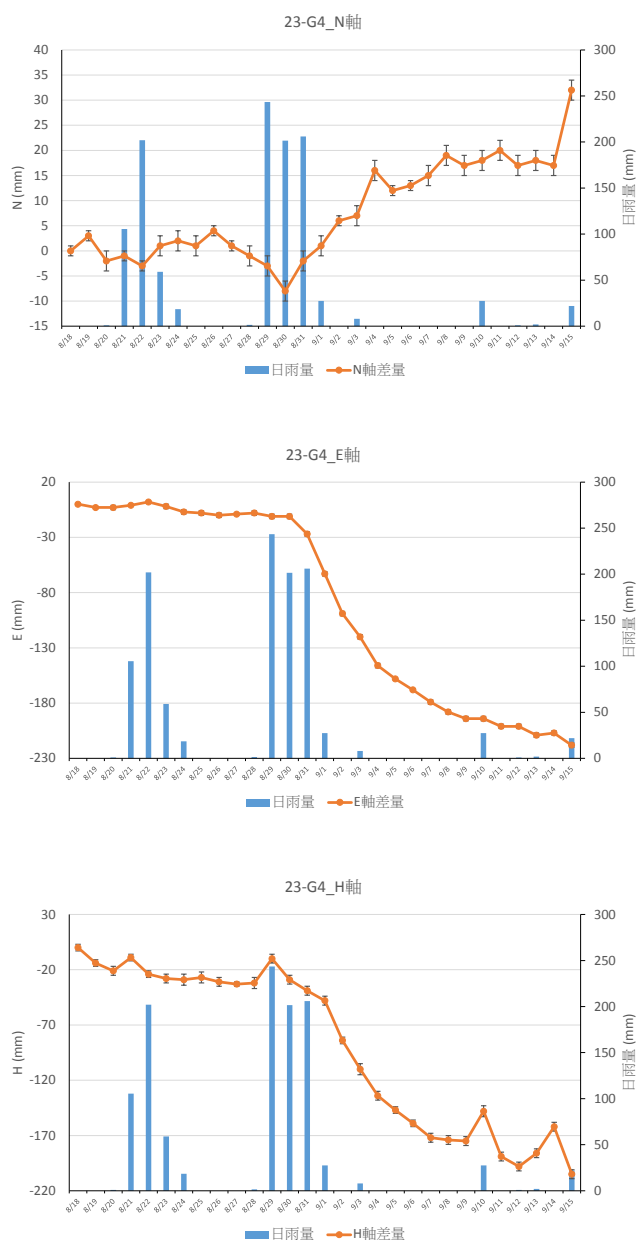


圖 3-10.15、23-G3 GPS 監測資料與雨量資料比對。

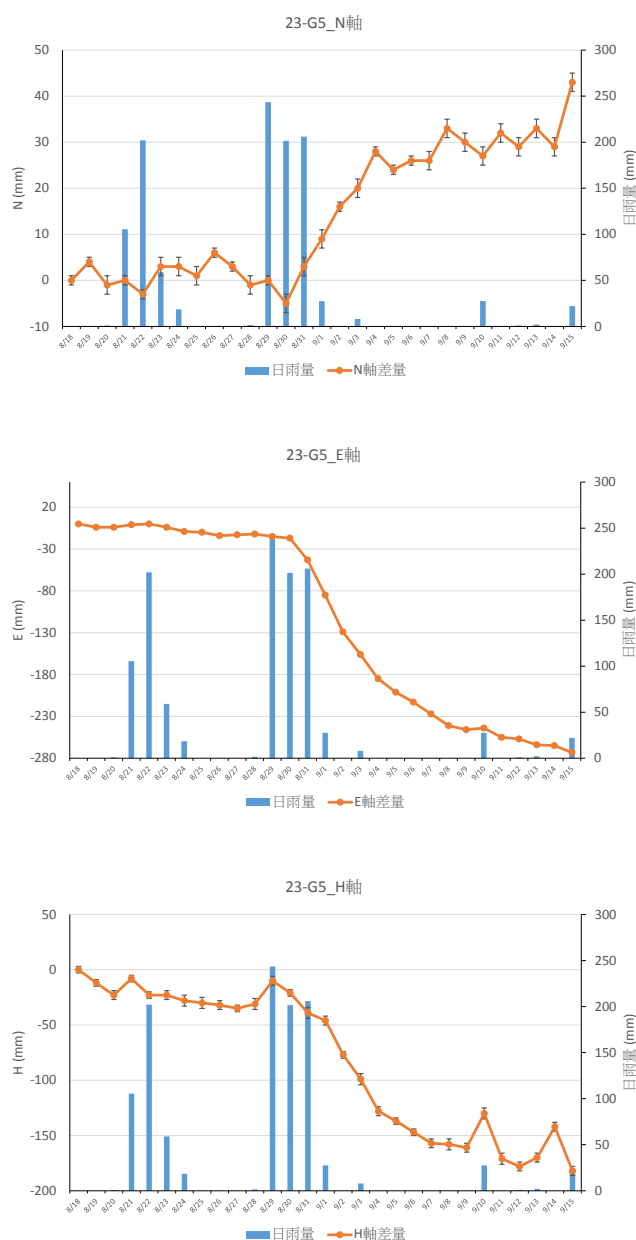


圖 3-10.16、23-G4 GPS 監測資料與雨量資料比對。

表 3-10.4、GPS 三軸方向最大變化量

	N (cm)	E (cm)	H (cm)
23-G1	3.7	-17.0	-11.8
23-G2	3.9	-21.0	-14.0
23-G4	3.2	-21.8	-20.5
23-G5	4.3	-27.3	-18.2

再比對地表伸縮計與雨量資料，也可發現在 8 月 17～10 月 2 日期間共經歷了三次颱風事件(潭美、康芮、天兔颱風)，監測點 23-E1 約有 8 公分的拉伸量，監測點 23-E2 也約有 5 公分的拉伸量，而 10 月 2 日～10 月 25 日，因無明顯的降雨事件影響，兩個監測點皆無明顯的變化量，顯示崩塌地高雄市-桃源區-D346 因降雨因素造成顯著的滑動。

3-11、成果圖資製作

研究區域範圍內之判釋及分析成果，將以成果圖之方式呈現深層崩塌潛勢區之分布及可能影響範圍，各類成果圖資詳細之內容規劃詳如表 2-12.1，版面設計及配置如圖 2-12.1。

1. 深層崩塌潛勢區位判釋成果 GIS 圖層：主題圖層為深層崩塌目錄成果圖，而基本圖包括圖幅框、行政區界圖、交通路網圖、水系圖層、地名、地標、正射航照、日照陰影圖等，如圖 3-11.1。
2. 深層崩塌影響範圍分析成果 GIS 圖層：主題圖層為深層崩塌影響範圍，而基本圖包括圖幅框、行政區界圖、交通路網圖、水系圖層、地名、地標、正射航照、日照陰影圖等，如圖 3-11.2。

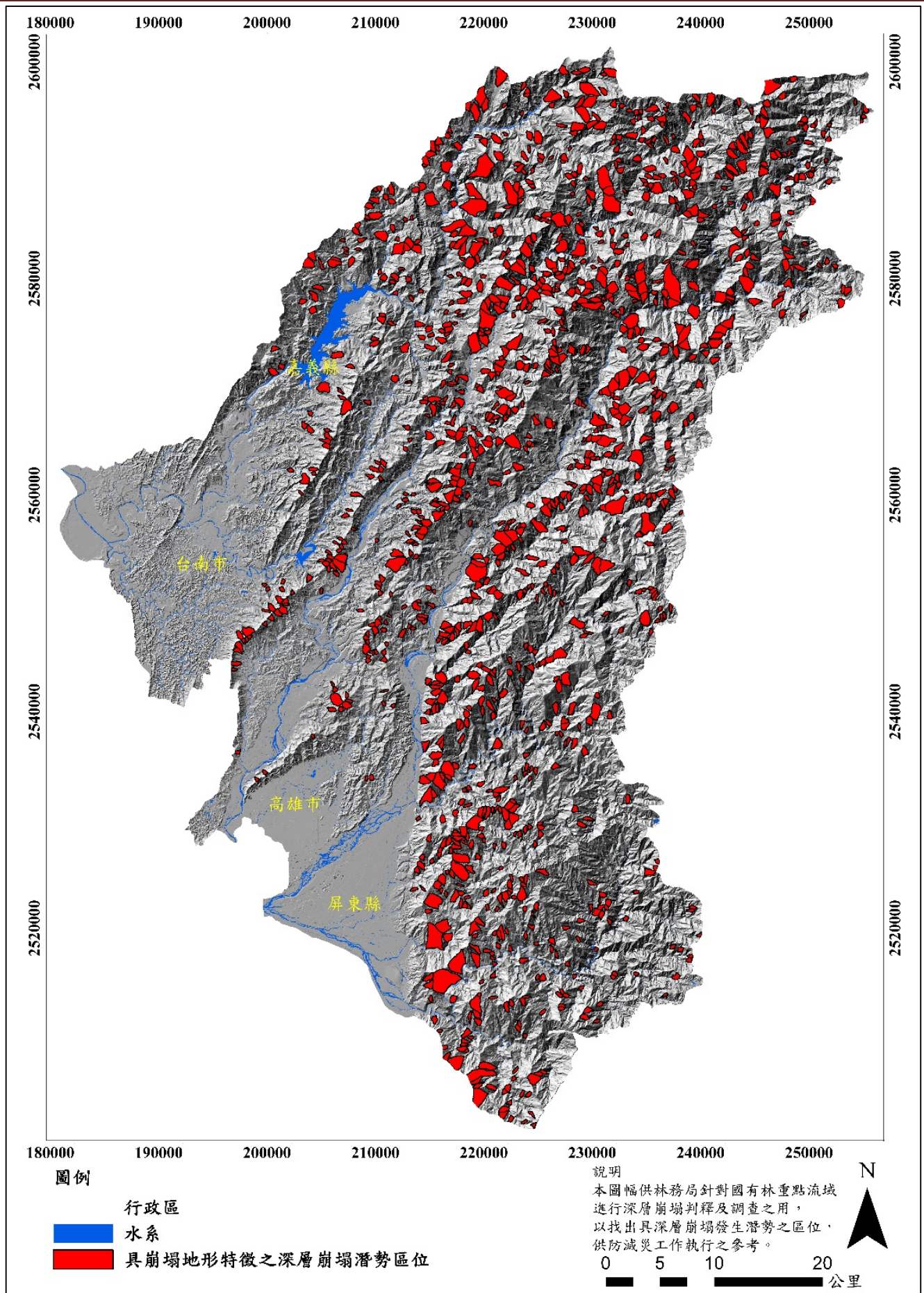


圖 3-11.1、深層崩塌潛勢區位判釋成果圖。

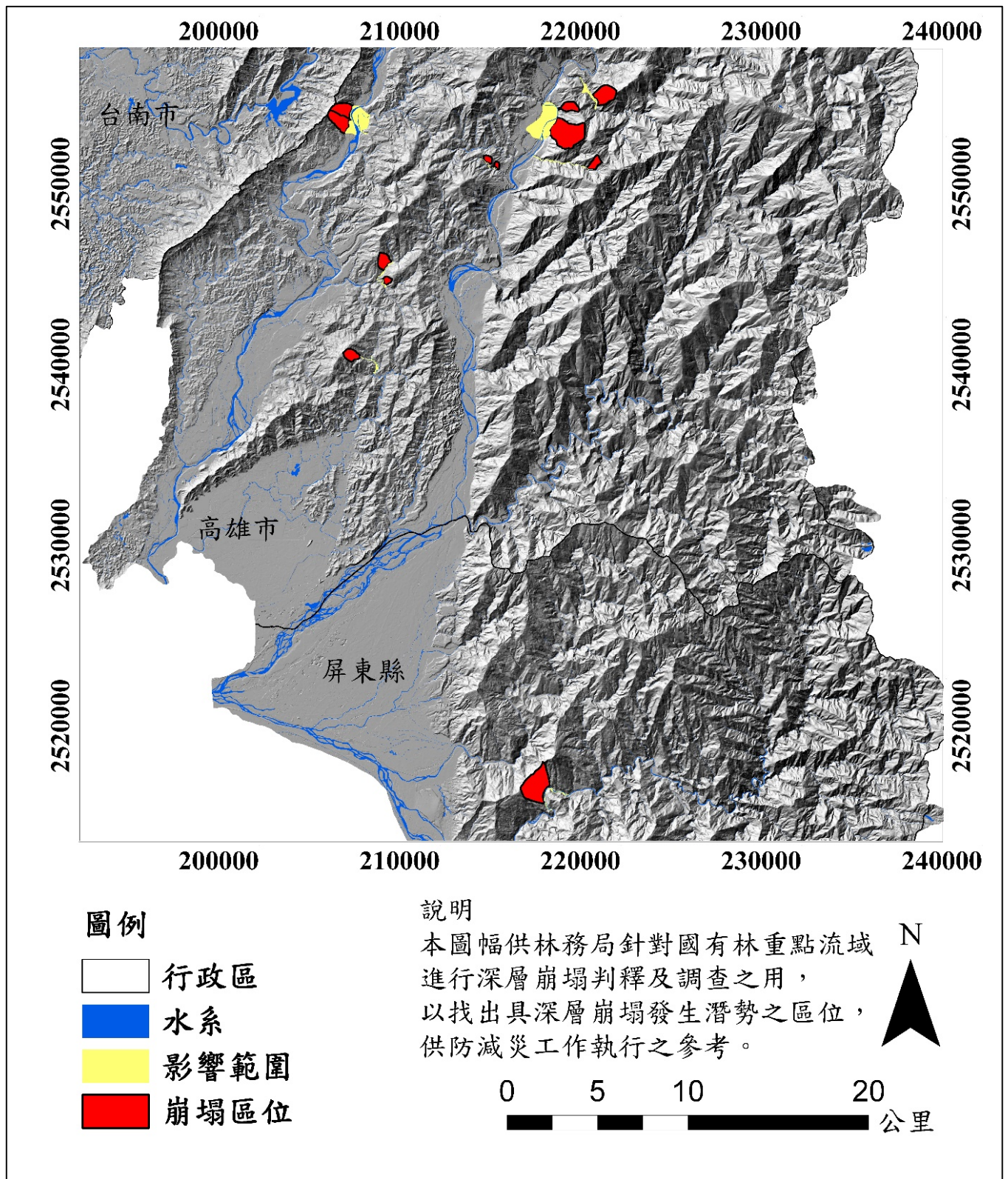


圖 3-11.2、深層崩塌影響範圍成果圖。

3-12、教育訓練與技術移轉

本計畫為達到提供林務局相關人員於管轄區域內利用現有技術與圖資，進行深層崩塌區位判釋與評估之目的，於 2013 年 10 月 28 日及 10 月 31 日舉辦兩場教育訓練，並提供深層崩塌調查作業手冊。預期讓與會人員可初步了解管轄範圍內之潛在深層崩塌區位與活動性，以利後續防災工程整治與對策研擬之依據。

本計畫教育訓練邀請成功大學地球科學系林慶偉教授擔任本次講師。本次課程內容分為兩部分：(一)深層崩塌判釋方法；(二)深層崩塌潛勢評估與案例說明。深層崩塌教育訓練海報如圖 3-12.1，深層崩塌作業手冊與活動照片見附件八。

「國有林災害應變暨深層崩塌圖資判釋及調查」教育訓練			
日期：102年10月28日			
地點：國立成功大學 水利及海洋工程學系4F演講廳 & 2F電腦教室			
議程：			
時間	主題	講師	地點
09:30~10:00 報到 (演講廳入口)			
10:00~11:00	一、攜帶式現場即時監測設備現地測試及操作教育訓練 1.攜帶式監測設備之功能及應用 2.設備操作教學 3.設備組裝訓練及現地測試	黃明榮 (成功大學 水利及海洋工程學系教授)	成功大學水利系 4F演講廳
11:00~12:00	二、國有林災害應變教育訓練講習(1)-國有林災害應變作業 1.國有林二砂災害應變程序 2.災害應變與決策輔助-國有林防災應變系統	羅維忠 (成功大學水利及海洋工程學系教授)	成功大學水利系 4F演講廳
12:00~13:00 午餐 (4678第二研討室)			
13:00~14:45	一、國有林災害應變教育訓練講習(2)-國有林防災應變系統電腦操作與系統測試(電腦實地操作) 1.防災地圖資訊查詢平台 2.緊急應變通報作業平台 3.警戒與通報提示機制 4.監測資料查詢與管理 5.整合型應變決策展示系統 6.行動版防災應變系統	林建威 (成功大學水利及海洋工程學系教授)	成功大學水利系 2F電腦教室
14:45~15:00 休息、餐點 (點心餐盒)			
15:00~16:00	四、深層崩塌判釋方法 1.名詞定義與簡介 2.作業圖資蒐集 3.山崩目錄建置方法	林慶偉 (成功大學地球科學系教授)	成功大學水利系 4F演講廳
16:00~17:00	五、深層崩塌潛勢評估與案例說明 1.現場地質調查 2.深層崩塌潛勢評估方法 3.問題與討論	林慶偉 (成功大學地球科學系教授)	成功大學水利系 4F演講廳
17:00 結束 賦歸			

「國有林災害應變暨深層崩塌圖資判釋及調查」教育訓練			
日期：102年10月31日			
地點：國立成功大學 水利及海洋工程學系4F演講廳 & 2F電腦教室			
議程：			
時間	主題	講師	地點
09:30~10:00 報到 (演講廳入口)			
10:00~11:00	一、深層崩塌判釋方法 1.名詞定義與簡介 2.作業圖資蒐集 3.山崩目錄建置方法	林慶偉 (成功大學地球科學系教授)	成功大學水利系 4F演講廳
11:00~12:00	二、深層崩塌潛勢評估與案例說明 1.現場地質調查 2.深層崩塌潛勢評估方法 3.問題與討論	林慶偉 (成功大學地球科學系教授)	成功大學水利系 4F演講廳
12:00~13:00 午餐 (4678第二研討室)			
13:00~14:00	三、攜帶式現場即時監測設備現地測試及操作教育訓練 1.攜帶式監測設備之功能及應用 2.設備操作教學 3.設備組裝訓練及現地測試	黃明榮 (成功大學 水利及海洋工程學系教授)	成功大學水利系 2F電腦教室
14:00~15:00	四、國有林災害應變教育訓練講習(1)-國有林災害應變作業 1.國有林二砂災害應變程序 2.災害應變與決策輔助-國有林防災應變系統	羅維忠 (成功大學水利及海洋工程學系教授)	成功大學水利系 2F電腦教室
15:00~15:15 休息、餐點 (點心餐盒)			
15:15~17:00	五、國有林災害應變教育訓練講習(2)-國有林防災應變系統電腦操作與系統測試(電腦實地操作) 1.防災地圖資訊查詢平台 2.緊急應變通報作業平台 3.警戒與通報提示機制 4.監測資料查詢與管理 5.整合型應變決策展示系統 6.行動版防災應變系統	林建威 (成功大學水利及海洋工程學系教授)	成功大學水利系 2F電腦教室
17:00 結束 賦歸			

圖 3-12.1、深層崩塌教育訓練海報。

肆、結論與後續建議

4-1、結論

1、在深層崩塌調查、判釋方法檢討及評估方面，以高精度數值地形配合地理資訊系統軟體，利用陰影圖、坡度圖，可提高判釋效率。利用地表伸縮計搭配 GPS 及雨量站，可定期追蹤崩塌坡面位移量，並連續紀錄雨量資料，建立深層崩塌與雨量及地表位移量的關係。

2、本計畫完成深層崩塌判釋，判釋面積約 2473.04 平方公里，所判釋的類型 A 近期發生之深層崩塌共 356 處，面積 99.47 平方公里；類型 B 早期發生之疑似深層崩塌共 376 處，面積 115.66 平方公里；類型 C 具滑動地形特徵之潛在深層崩塌共 1,003 處，面積 342.07 平方公里，類型 D 不具滑動地形特徵之潛在深層崩塌共 195 處，面積 100.94 平方公里。

3、本計畫深層崩塌編號原則是參考經濟部中央地質調查所公布的地質敏感區編號相關辦法。目前編號方法通則是以中心坐標的行政區為主，其編碼形式如：縣市名-鄉鎮市區名-D001。編號次序是取崩塌中心坐標，先由西往東，再由北往南依序編號。

4、在深層崩塌危險等級評估方法中，本計畫所提的方法三在高發生度等級有高達 66% 比例，且因災損評估將其分級差距拉大較能凸顯保全重要性的差異，故建議以方法三進行潛在深層崩塌危險等級評估。

5、雖然建議危險評估方法採方法三，但方法三仍屬初步研究成果，目前仍僅以方便取得相關資料進行整體性分析初估，利用本法進行危險度分級後，未來仍應發生事件之增加定期再檢討評估項目及因子，改進現有評估方法，以建立符合國內深層崩塌潛勢區危險等級評估方法。

6、10 處深層崩塌與天然壩形成之情境模擬結果顯示 8 處有阻斷河道，其中較大規模有高雄市-六龜區-D015，其壩高為 39 公尺，壩長為 2,804 公尺，其可能的蓄水區面積 247.7 公頃及屏東縣-三地門鄉-D086，其壩高為 67 公尺，壩長為 2,627 公尺，其可能的蓄水區面積 45.6 公頃。

7、本計畫經相關圖資判釋與現場調查評估後，根據初步危險度分析成果，位於國有林事業區內之較高危險等級者(危險等級評分大於等於 6 分)共有 11 處。

8、本計畫利用證據權重法以坡面單元作為分析基礎進行深層崩塌潛感分析。

其成功率曲線 AUC 值分別為曾文溪流域：0.800；旗山溪集水區：0.800；荖濃溪集水區：0.723；隘寮溪集水區：0.731。另外分析各個深層崩塌的潛感層級並統計數量，四個流域、集水區內的極高與高潛感區中，都有包含了共約 50% 的類型 C 深層崩塌，顯示所製作的潛感圖具有一定的預測能力。

9、本計畫選定高雄市-桃源區-D346 為監測試辦點位。以單頻 GPS 站並配合雨量計進行坡面大面積監測，並配合地表伸縮計量測坡面裂隙寬度變化。比對 GPS 監測資料與雨量資料，在康芮颱風的降雨影響最為明顯，在南北向分量，最大約有 4.3 公分往北分量；東西向分量，最大約有 27.3 公分往西分量；高程向分量，最大約有 20.5 公分往下分量。GPS 位移結果顯示因降雨因素造成往西向下滑動。比對地表伸縮計與雨量資料，也可發現經歷了三次颱風事件(潭美、康芮、天兔颱風)，監測點 23-E1 約有 8 公分的拉伸量，監測點 23-E2 也約有 5 公分的拉伸量，顯示因降雨因素造成明顯的滑動。

4-2、後續建議

1、本計畫以高精度光達數值地形資料所發展之深層崩塌判釋方法較傳統利用航空照片立體像對判釋之成果顯著且佳。因此建議未來應以高精度光達數值地形進行深層崩塌潛勢區位判釋，並以分年分期方式逐步完成全國林班地內深層崩塌潛勢區判釋及相關圖資建置。

2、本計畫以證據權重法建立發生度評分表，再參考國際減災策略組織公式所發展之深層崩塌危險度評估方法，在高屏溪流域及曾文溪流域有不錯的成果，建議未來針對研究樣本之增加與不同區域地質地形條件之差異，定期檢討危險度評估各項因子之權重，便能利用於其他區域，以作為潛在深層崩塌治災、防災之決策參考。若影響水利設施或位於蓄水區內之深層崩塌，則通知水利單位。

3、潛在深層崩塌數量龐大，政府相關單位囿於人力與經費之限制，勢必無法針對目前判釋結果進行全面防救災整治工程或對策研擬，且又因深層崩塌影響規模廣闊，整治經費龐大，因此針對特定潛勢區進行崩塌細部調查前，建議貴局依業務需求考量進行簡易監測，以瞭解坡面活動性，並持續本計畫監測試辦點位(高雄市-桃源區-D346)，以持續蒐集深層崩塌相關資料，做為未來防災工作規畫之參考。

4、針對深層崩塌影響範圍評估，因深層崩塌數量龐大且缺乏現地參數資料，以數值模擬方法評估崩塌深度及影響範圍將有較大誤差，亦難以驗證其正確性，且耗時，欲快速使用於大區域為數眾多潛在發生位置之影響範圍初估，實屬不易且不切實際。因此建議參考農委會水土保持局 102 年度「高屏溪山坡地大規模崩塌致災潛勢調查評估」計畫建議之大規模崩塌致災與影響範圍推估方法進行影響範圍評估。而在未來針對特定區位進行細部調查並取得土壤、岩層及地下水位之相關資訊與參數後，再利用數值模擬進行較為嚴謹之影響範圍評估。

5、針對本計畫評估之較高危險區位，建議宜先告知相關防救災權責單位相關資訊，以利權責單位依其業務需求進行參考與評估。

參考文獻

- Agterberg, F.P., Bonham-Carter, G.F., and Wright, D.F., (1990), Statistical pattern integration for mineral exploration: in Computer Applications in Resource Estimation Prediction and Assessment for Metals and Petroleum: Gaál, G. and Merriam, D.F., eds., Pergamon, Oxford-New York, p. 1-21.
- Chung, C.F., Fabbri, A.G., (1999), Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 65(12), 1389-1399.
- Chung, C.F., Fabbri, A.G., (2003), Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping, Natural Hazards 30, 451-472.
- Cundall, P. A. (1971), A computer model for simulating progressive, large-scale movements in blocky rock systems. Proc. Symp. Int. Soc. Rock Mech., Nancy, 2, 132- 150.
- Dahal, R.K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Dhakal, S., Paudyal, P. (2008), Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence, Geomorphology, Volume 102, Issues 3-4, pp.496-510.
- Dahal, R.K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Masuda, T., Nishino K., (2007), GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping, Environmental Geology Volume 54, Number 2, 311-324.
- S. Egashira, K. Ashida, H. Yajima, and J. Takahama, (1989), "Constitutive Equations of Debris Flow, Annuals of the Disaster Prevention Research Institute," Kyoto Univ., No.32, B-2, pp. 487-501 (in Japanese).
- S. Egashira and K. Ashida, (1992), "Unified View of the Mechanics of Debris Flow and Bed Load," Advances in Micromechanics of Granular Materials (Shen H. H. et al. Eds), Elsevier, pp. 391-400.
- Itoh, H., J. Takahama, et al. (2000). "Hazard estimation of the possible pyroclastic flow disasters using numerical simulation related to the 1994 activity at Merapi Volcano." Journal of Volcanology and Geothermal Research **100**(1-4): 503-516.
- Lee, C.T., Huang, C.C., Lee, J.F., Pan, K.L., Lin, M.L., Dong, J.J. (2008b) Statistical approach to storm event-induced landslide susceptibility, Natural Hazard and Earth System Sciences, 8, 941-960.
- Lee, S., Choi, J. (2004), Landslide susceptibility mapping using GIS and the weight-of-

-
- evidence model, *International Journal of Geographical Information Science*, Volume 18, Issue 8, pp.789 – 814.
- Lee, S., Choi, J., Min, K. (2002), Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model, *Environmental Geology*, Volume 43, Numbers 1-2, pp.120-131.
- Mathew, L.K., S. Sengupta, A. Kawakami, E.A. Andreassen C.V. Löhr, C.A. Loynes, S.A. Renshaw, R.T. Peterson, R.L. Tanguay. (2007). Unraveling tissue regeneration pathways using chemical genetics. *J. Biol. Chem.* 282:35202–35210.
- K. Yamano (Miyamoto) and A. Daido, (1985), “The Mechanism of Granular Flow of Mixed Diameter Composed Two Diameters,” *J. JSCE*, No.357/II-3, pp. 25-34 (in Japanese).
- Neuhäuser, B., Terhorst, B. (2007), Landslide susceptibility assessment using “weights-of-evidence” applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany), *Geomorphology*, Volume 86, Issues 1-2, pp.12-24.
- Regmi, N.R., Giardino, J.R., Vitek, J.D., (2010), Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA Original Research Article, *Geomorphology*, Volume 115, Issues 1-2, Pages 172-187.
- Sentz, K., Ferson, S. (2002), Combination of evidence in Dempster-Shafer theory, Report SAND2002-0835, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico. 96 pp.
- Shi GH and Goodman RE. (1984), Discontinuous deformation analysis. *Proc. 25th U.S. Symp. on Rock Mechanics*, pp. 269–277.
- Shi, G-h. (1993), Block system modeling by discontinuous deformation analysis. In: Brebbia, C. A. & Connor, J. J. (eds). *Topics in Engineering*, Vol. 11. Computational Mechanics Publication.
- Thiery, Y., Malet, J.P., Sterlacchini, S., Puissant, A., Maquaire, O. (2007) Landslide susceptibility assessment by bivariate methods at large scales: Application to a complex mountainous environment. *Geomorphology*, 92(1): 18 pp.
- Thiery, Y., Sterlacchini, S., Malet, J.P., Puissant, A., Maquaire, O. (2004), Strategy to reduce subjectivity in landslide susceptibility zonation by GIS in complex mountainous environments. In: Toppen, F., Prastacos, P. (eds), *Proceedings of AGILE 2004: 7th AGILE Conference on Geographic Information Science*. 29th April – 1st May 2004, Heraklion, Greece: pp.623-634.
- Tomita, Y., (1955), Some geomorphological considerations to the Chaochou fault in south Taiwan (Formosa), China, *Science Reports, Tohoku University, Series 3: Mineralogy*
-

Petrology and Economic Geology, 4, 59-66.

Van Westen, C. J., Rengers, N., Soeters, R. (2003), Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment, Natural Hazards, Volume 30, Number 3, pp.399-419.

Van Westen, C.J. (1993), Application of Geographic Information System to landslide hazard zonation, ITC-Publication No. 15, ITC, Enschede: 245.

Wang, H., Cai, G., and Cheng, Q., (2002), Data integration using weights of evidence model: applications in mapping mineral resource potentials, in Proceedings (CD) of Int. Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 9 pages.

宋國城、林慶偉、林偉雄、林文正(2000)，五萬分之一臺灣地質圖幅及說明書，圖幅第五十一號，甲仙，經濟部中央地質調查所出版。

張憲卿(2008)，五萬分之一臺灣地質圖幅及說明書，圖幅第四十四號，嘉義，經濟部中央地質調查所出版。

邵屏華、高銘健(2009)，五萬分之一臺灣地質圖幅及說明書，圖幅第四十五號，中埔，經濟部中央地質調查所出版。

何信昌、謝凱旋、高銘健、陳華玟(2005)，五萬分之一臺灣地質圖幅及說明書，圖幅第五十號，新化，經濟部中央地質調查所出版。

經濟部中央地質調查所(2000)，台灣地質圖[1:500,000]。經濟部中央地質調查所出版。

財團法人中興工程顧問社 (2008~2009) 易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置—集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估計畫，計畫成果報告，經濟部中央地質調查所研究報告。

陳柏村(2005)，里港地區旗山斷層變形特性研究，國立成功大學地球科學研究所碩士論文，共 115 頁。

曾長生、陳信茂、張渝龍、余輝龍、劉國賢(1983)，高雄縣甲仙構造地質圖，比例尺二萬五千分之一，中油台灣油礦探勘總處。

何春蓀 (1986) 台灣地質概論—台灣地質圖說明書，第二版，經濟部中央地質調查所，共 164 頁。

烏居敬造(1933)，高雄洲旗山油田調查報告。台灣總督府殖產局出版。第 633 號，共 36 頁。

詹新甫(1964)，臺灣南部楠梓仙河流域之地質。臺灣省地質調查所彙刊，第 15 號，35-64 頁。

附錄一、審查意見回覆說明

期初審查意見回覆

期初審查意見	回覆情形
一、費委員立沅	
1. 外在誘因應以長時期的降雨為主，地震因素可能暫時無法考量。	謝謝委員意見。
2. 地質條件中可以增加線型分析，因線型對於岩性完整、是否會形成重要之滑動面，降雨入滲等。另建議於表 2-5.2 加入。	謝謝委員意見，將於後續評估方法檢討與修正加入參考。
3. 大規模崩塌之整體範圍及其內小範圍各種類型之崩塌，請考慮如何呈現以凸顯差異。另請調整表 2-4.2 內容，重點呈現相關內容。	謝謝委員意見，將對表格進行調整。
二、廖委員志中	
1. 規劃團隊經驗豐富，足以完成本計畫，報告撰寫應避免與其他計畫重疊。	謝謝委員意見，遵照辦理。
2. 危險等級評估(表 2-5.2)，各項不利因素應更細緻考量，例如地質不利因素，建議將崩積地層納入考慮。	謝謝委員意見，將於後續評估方法檢討與修正加入參考。
3. 本計畫模擬模式分析(情境模擬)，以土石流為流動為主，是否可模擬其他不同之機制？	模式是以水、砂混合的二相流理論發展，在模擬境況上，並非以土石流流動為主，而是可以利用不同的水、砂混合比例進行模擬，因此可以用來評估地震(乾燥)或降雨(飽和)等不同境況所誘發的崩塌。
4. 坡面位移監測，如經費許可，建議採用地面光達。	謝謝委員意見。
5. 深層崩塌調查，初步判釋結果(P.103)之方法為何？請用例子說明。	請參考工作方法及案例。
6. 歷史案例(P.85~P.101)各案例之交通可行性、調查難易性為何？	謝謝委員意見，將於期中報告補充說明。
三、王委員昭堡	
1. 本案與中央地質調查所「莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告之差異性」，誠如費委員所述，本案係以地調所之調查成果為基礎，進行更詳細圖資判釋與現地查核，希望工作團隊依此原則執行計畫。	謝謝委員意見，本計畫將以此原則進行。
2. 計畫工作內容中有關監測規畫試辦之工作項目，其示範地點之選定，除考量崩塌發生潛勢、活動性外，應將保全聚落之影響程度列入地點優選之評估指標。	謝謝委員意見，保全對象為監測點位重要考量項目。
3. 深層崩塌之誘發原因包括降雨及地震，本案	目前不考慮地震影響因素。

潛勢區位調查主要考量之誘因是否包含地震誘發之深層崩塌，請說明。	
四、陳委員聯光	
1. 本案所述南部重點流域深層崩塌致災潛勢調查評估方法，與現行經濟部中央地質調查所應用 LiDAR 作業方法是否一致?亦或是有其他判釋方法?	中央地質調查所僅判釋 C 類型潛在深層崩塌，本計畫則加入現有與舊有深層崩塌類型(A、B 類型)。
2. 本案所述調查深層崩塌區進行情境模擬作業，評估規模及穩定性等工作，是否需瞭解可能崩塌深度與土方量?以利其評估其影響範圍劃定作業。	以坡面穩定分析方法回推崩塌深度及土方量，進而評估影響範圍。
3. 本案之監測作業屬即時或定時觀測?如屬即時監測作業，是否可應用於未來防災避難作業參考?	本案監測計畫為定時觀測，若日後坡面有明顯滑動現象，可改為即時監控作業。
五、嘉義林管處	
1. 案例四天池崩塌地，報告中顯示天池目前正進行潛移運動且短期滑移速率頗高，請說明該崩塌地於 98 年位移之後續資料收集，應就之前豪雨地震等事件是否有位移現象，以利後續評估。	目前資料僅取得 2002 年至 2010 年 4 月份資料。日後資料可請林務局洽詢張國禎教授，以利後續評估。
2. 案例五於 88 水災已產生大型崩塌，可能再發生崩塌僅有向源侵蝕，加上交通不易到達及無保全對象，是否納入請評估。	本計畫主要評估對象為潛在深層崩塌。
六、屏東林管處	
1. 報告書中提及一般國內常用坡地穩定分析軟體及評估國內外常用的潛感分析模式皆有多種，如何決定於本案之模式。	因模擬之崩塌地具深層崩塌地形特徵，故假設為圓弧型破壞。
2. 本調查報告第 8 頁表 2-2.2 是否納入地調所「莫拉克災區潛在大規模崩塌地區分析報告」之潛在大規模崩塌影響聚落一覽表中，DS45、DS46、DS48 之崩塌區並進行調查。	已納入
3. P23 表 2-5.2 為深層崩塌潛勢區危險等級評估項目表，其判釋結果為高、中、低潛感度，是否修改為危險等級之敘述，較為恰當。	謝謝委員意見，將於期中報告調整。
七、南投林管處	
1. 深層崩塌與淺層崩塌，建議有明確之定義及區分。	目前以崩塌面積大於 10 公頃定義為深層崩塌。
2. 各類型之深層崩塌(TYPE A.B.C.D)是否可能同時存在?	彼此為互斥關係，故不會同時存在。

3. 初步成果中，類型 A 計 211 處，3,916 公頃；類型 B 計 198 處，6,066 公頃，是否可能包括淺層崩塌在內？	目前以崩塌面積大於 10 公頃定義為深層崩塌，故不包括淺層崩塌。
八、東勢林管處	
1. 選取 5 處潛勢區案例，建議註明林班位置、地號。	謝謝委員意見，將加註於期中報告中。
2. 報告內年份描述，建議統一採民國年或西元年。	謝謝委員意見，將採用西元年撰寫。
九、臺東林管處	
1. P8 表 2-2.2 歷史案例表內，建議將編號 1~10 座標補繪於平面位置圖內，並加註隸屬哪個事業區 or 林班。	謝謝委員意見，將加註於期中報告中。
2. 針對報告書中，發生深層崩塌潛勢之處是否有土砂下移的可能性，如果影響範圍內有重要保安對象，建議是否可於後期的報告書中，具體提供林管處於汛期前或平時應做哪些防、減災準備工作，及應注意的事項。	謝謝委員意見，本計畫成果可提供各林管處後續防災工作參考。
十、花蓮林管處	
1. P10 調查重點為現地調查，為了瞭解深層崩塌之岩性與地層弱面分布狀況，必須使用地電阻調查法嗎？目前簡報說明是以發生的案例逆推，請問逆推精度為何？崩塌土石量可預估嗎？相關現地調查是否可選定幾處適合的點，於天然災害前後進行監測調查，以分析天然災害對崩塌之影響與變化。	目前為初步調查，故以現地調查資料為參考，本計畫以坡地穩定分析方法逆推崩塌深度以求得土方量。 監測計畫將於明年度進行。
2. P64，3-1 預期成果第 4 點可否建立預警機制或模式？第 7 點「深層崩塌調查作業手冊之製作」，以本案調查南部幾個流域就有約 400 處面積 10 公頃以上的深層崩塌，這個數目相當多，後續各林管處要如何因應？	目前無完整預警機制，建議先行參考土石流預警機制。 可針對有保全對象(如重大設施，社區聚落...等)，先行評估、處理。
3. P85 利用 1 米解析度 DEM 數值高程模型，與 P39 利用 5 米解析度 DEM 數值高程模型，想請教二者之差異及優劣。	1 米解析度 DEM 較易判釋出崩崖、裂隙等深層崩塌地形特徵。5 米解析度 DEM，崩崖地形較為圓滑，故較難界定其位置。
4. 本案調查係以崩塌面積大於 10 公頃，會不會在同一坡面同時存在數個小的潛勢崩塌，將來遇災後將相互影響，一次崩塌。	本計畫以保守角度推測未來深層崩塌發生情形為全坡面，故圈繪深層崩塌範圍是以冠部崩崖作為深層崩塌最大範圍，因此坡面會包含許多小型崩塌。
十一、羅東林管處	
1. 計畫前言中，對於保全對象(如重大設施，社	謝謝委員意見，將加強補充說明。

區聚落...等)位置或致災時之影響較少述及，建議增加適當論述說明，以使計畫成果較為明確及增加必要性。	
2. 後續監測點位擇定考量，除交通、施工性外，仍請增加保全對象，方能搭配防災議題與致災潛勢評估。	謝謝委員意見，保全對象為監測點位重要考量項目。

監測選點工作會議意見回覆

監測選點工作會議委員審查意見	回覆情形
一、潘委員國樑	
1. 報告內容及預採監測方法原則上可行，唯需提出較多的評估資料，包括：(一)宜就 5 個候選監測站中，提出其形狀、特性、危險性、移動證據、相對移動速度等，才能擇定設站位置。(二)建議在 main scarp 及少數幾個 minor scarps 的地方設移動量監測。(三)建議設一雨量站。	(一)目前此五處無監測相關資料，崩塌特性已於工作會議中提出；(二)謝謝委員意見；(三)此監測試辦會設置一雨量站。
2. 如果有經費，建議在快速移動時，能取得現狀影像，俾作比較。	謝謝委員意見，若經費許可本監測計畫
3. 不同的 scarp 代表不同的滑動面深度，故反射鏡宜設在不同的 scarp 旁。	因現場條件透視度不佳，故不設置反射稜鏡。
4. 不定點宜慎重選定。	監測點會選擇在滑動體頭部，崩崖、冠部等具高位移的崩塌特徵，但實際監測點以現場可施工為原則。
二、費委員立沅	
1、監測位置之選擇，建議依：(1)保全對象；(2)活動性；(3)監測之可行性；(4)監測之可及性；(5)未來是否需要治理。	為取得較佳監測資料，工作會議結果認為目前選點以活動性為考量。
2、GPS 需有固定點做為參考點，聯合解算時也需要固定點數據。是否有可能利用一個 GPS 主站，結合數個簡易型 GPS？另外 GPS 數據之處理是否已能符合精度之需要？	在鄰近的寶來國小有一固定站(雙頻站)，若固定站距離過遠，會在鄰近監測區位(小於 2 公里)架設新的固定站。
3、未來可考慮設置雨量計、地震儀等設備。	此監測試辦會設置一雨量站。

第一次期中審查意見回覆

第一次期中審查意見	回覆情形
一、陳委員明杰	
1. P24 頁，表 2-5.2 深層崩塌潛勢區危險等級評估項目當中，地質、地形、水文、崩塌等四項不利因素均給予評分 1 分是否妥當？四項不利因素的評估細項都包含兩項以上，如何決定包含幾項才給評分 1 分？	四項不利因素之評估細項，只要出現一項即給予評分。
2. 保全對象似乎成了危險度評估的主要因素，建議將崩塌潛勢評估與保全對象分開考慮。	謝謝委員意見，將分為崩塌潛勢評估之發生度及加入保全對象後之危險度兩種。
3. P168 頁，深層崩塌發生條件評估，假設岩石材料為頁岩，然 P104 頁及 P109 頁呈現的資料，研究區域的地質以板岩佔大部分，因此 P169 頁假設岩石材料為頁岩是否妥適？	岩層的依據是地質圖，岩層性質並不是假設。而材料參數是利用已知的數據再反覆的測試反推岩層參數。
4. P169 頁，表 3-6.2 的使用參數應用在 5 處崩塌潛勢區位是否妥適？表中參數如何取得？或是文獻來源？	因為現地並無鑽探資料或可靠的地層資料，因此利用目前已知的材料參數，再經由模擬反推其參數。 參數來源參考於中央地質調查所報告第 99-14 號「重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測」。本次模擬的區域與報告中的研究區域的岩層性質相同，因此參考其數值。
5. P181 頁，表 3-6.6 崩塌地參數如何取得？應用在 5 處崩塌潛勢區是否妥適？	因為現地並無鑽探資料或可靠的地層資料，因此利用目前已知的材料參數，再經由模擬反推其參數。 參數來源參考於中央地質調查所報告第 99-14 號「重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測」。本次模擬的區域與報告中的研究區域的岩層性質相同，因此參考其數值。
6. P132、133、140、153、154、155、160 等頁的文字說明是否誤植？	謝謝委員指正。
7. 深層崩塌發生情境分析模式，皆假設圓弧形滑動面，然深層崩塌可能是發生在岩層弱面，其是否為圓弧形的滑動面？若用其他形式的崩塌滑動面來分析，其可行性如何？結果又如何？	依崩崖特徵，認為崩塌特性應為圓弧形滑動。
8. P114 頁，圖 3-4.11 等幾張類似的圖（P137、150、157），侵蝕溝的箭頭指向是否為沖蝕水流的方向？	箭頭表示為上游。
二、費委員立沅	

1. 崩塌之活動性似應增加考量潛移性、河岸侵蝕等類環境地質影響、活動地形，甚至崩壞比等，比目前所列於 P8、P22 之內容會更完整。	謝謝委員意見。本計畫將會嘗試各種崩塌相關因子分來評估崩塌活動性。
2. 深層崩塌調查方法類型表（表 2-3.2），建議應依據需求分階段列出各階段之調查方法，對於活動性之調查也宜以不同階段列出不同之方法。	謝謝委員意見。目前調查階段是針對崩崖等崩塌地形特徵、崩塌不利條件來進行調查。
3. 崩塌位置之編碼，建議以全國尺度之需求，設計較佳之編碼方式。	謝謝委員意見。將於本計畫期結束前，會依地質法編碼方式進行編號
4. 崩塌深度目前以模擬方式推求，建議與地質材料、地質構造等加以比對。對於列舉之 5 個案例(例如高雄 LLC137)，在繪製剖面時，滑動面應與地質特性吻合。	地質剖面會依地質圖岩性、地層位態等相關資訊進行繪製。
三、陳委員聯光	
1. 本案所列之深層崩塌判釋單元以坡面，抑或集水區單元，其於文中所述之深層崩塌類型分類表 A、B、C、D 中，評估方法是否有異同？	坡面單元或集水區單元是潛感區位的崩塌個數單元
2. 報告中所述以反推方式找深層崩塌滑動深度，此一結果與其滑動機制息息相關，未來如何與處理對策結合，提出因地制宜的可行性處理對策？	因深層崩塌面積、深度大，以工程整治來達到防災目的花費較高，目前建議以避難疏散方式為優先考量
3. 如同報告所述，現行荖濃河流域 A、B、C、D 計達 1000 餘筆，對於未來各分類是否具活動性繼續發展造成大規模災害，如何判定之。	C 和 D 類是大多數的滑動體尚停留在坡面，若日後發生深層崩塌，此 2 類造成的崩塌量體較大。
4. 就 P128 頁，圖 3-4.19 所示圓弧型滑動地形特徵與圖 3-4.18 所示之推估滑動面特徵是否其滑動機制相同，建議補充之。	反向坡的發育是因為底部滑動面具圓弧滑動，導致坡面旋轉。
5. 圖 3-4.12 與 3-4.18 所示之岩盤(層面)採水平展現，其推估依據為何？	水平方向為視傾角。
6. 報告所引用之文獻與來源是否納入報告中？建議補充說明。	謝謝委員意見，將補充說明。
四、王委員昭堡	
1. P103 頁，深層崩塌潛勢區位判釋結果，是否均為國有林班地，請再說明並區分。	判釋結果有針對國有林班地另做說明。
2. P24 頁，有關危險等級評估表中，保全對象僅包括「門牌系統」，建議增加河道、道路(林道)等細項。	謝謝委員意見，目前針對「人」為主要保全對象，故以門牌系統為分析對象。
3. 高危險等級者計 13 處，建議提出保全對象(含名冊)，並納入本局之防災監測系統，以利後	謝謝委員意見，後續將針對高危險等級者提出保全對項(含名冊)。

續警戒處理。	
五、行政院農業委員會水土保持局	
1. 潛勢區危險等級評估方法，建議分發生潛勢及保全分開評分，亦應每個因子中有不同評分之考量，另可以歷史案例試做，以探討其適用性。	謝謝委員意見，將分為崩塌潛勢評估之發生度及加入保全對象後之危險度兩種。
2. 穩定分析應說明採何種模式，在情境模擬建議亦應交代在平時或暴雨、地震不同情境下之探討。	一般的地層利用 Bishop 簡化法模擬圓弧破壞；如果現地地層為順向坡，則利用 Block 進行模擬順向坡破壞。 本次進行之模擬重點為討論地下水位對於山崩之影響，但地下水位為假設之位置，如有更多的水文資料便能得到更好的模擬成果。
3. P76 頁有整理各颱風雨量分布情形，相當可貴，建議可再將深層崩塌潛勢區位予以套疊，了解其相關性，可做為未來警戒之參考。	謝謝委員意見。本計畫將會持續收集相關雨量資料。
六、羅東林管處	
1. 本計畫有「教育訓練」之項目，建議儘量安排於非年底(9~11月)，以提高同仁參訓學習配合度。	預計於汛期前舉辦工作會議。
2. 教育訓練課程共有「深層崩塌現場調查」、「深層崩塌圖資判釋」兩場次。課程內容僅以表 2-13.1 極簡要說明，因本調查、圖資、判釋極具專業與經驗養成性，宜將課程教材流程，再予說明操作方式，供與會專家協助檢討適宜性、可操作度及實務運用層面，以有效達到「技術轉移」目標，而非成果發表會(P64)。	現場調查主要目的是為了解深層崩塌相關地形特徵；圖資判釋是為了解如何判釋深層崩塌潛在區位。
3. 計畫內容所使用之 GPS 觀測分析及 ALTS(長距雷射測距經緯儀)坡面位移監測，與傳統、傾斜管測量、孔內伸縮計較具經濟性，建議本計畫可列表分析相關常用坡面監測方法之比較，與經費規模(單元經費)。(P10、11)。	謝謝委員意見。
七、南投林管處	
1. 誤繕或建議修正 (1). P10.精度 2 米→2 公尺 (2). P11.地下”屬”(水?) (3). P14.圖 2-4.4 (4). P15.豪大降雨→豪大雨 (5). P17.小林山崩→高雄市甲仙區小林里山崩 (6). P18.記錄→紀錄 (7). P55.圖 2-10.4 判斷條件?	謝謝指正。

(8). P65 至 P73 → P103、P109 荖濃溪流域→荖濃溪集水區 (9). P85.827 米米→827 公尺 (10). P99.梅山村→梅山里 (11). P103.流域→集水區	
八、東勢林管處（書面意見）	
1. 參照表 2-8.2 分析因子資料為不同規格網格格式，後續以那類規格作後續分析，另不同規格網格要用那類統計分析作為調整。	除了由 5 米 DTM 產製的資料外，其餘資料皆是由向量圖層轉換成網格進行分析，因此在後續分析應以 5 米網格進行。
2. 圖 2-12.1 建議加林班圖圖例。	謝謝委員意見，將加入林班圖圖例。
3. 有關 3.4 節潛感分析，本案將以不同崩塌類型之自然潛在因子分析，建議應將分析資料建置不同類型全區潛感圖，並與中央地調所資料作比較。	中央地質調查所目前尚無深層崩塌潛感圖。
4. 本案危險度分析是參照日本配分方式，惟日本方式是作為潛勢分析非危險度分析，建議先製作潛感圖，再配合脆弱度(保全對象、維生系統等)所產生危險度圖更能合乎需求。	謝謝委員意見，將分為崩塌潛勢評估之發生度及加入保全對象後之危險度兩種。
九、嘉義林管處	
1. 類型 D 判釋方法之一具坡址破壞因素者，而案例中，示出多處坡址凹岸冲刷破壞。P24 崩塌不利因素是否增列上述因素。	謝謝委員意見。此因子將納入危險等級評估
2. 教育訓練內容，建議可提供多處案例供同仁學習。	謝謝委員意見。
十、花蓮林管處	
1. 本調查案深層崩塌判釋方法，依 P102 是以人工判釋，請問本案流域面積 1,367 平方公里，人工判釋需要多少時間，不同人判釋是否有不同結果。	視工作解析度不同，判釋時間不一定。因判釋深層崩塌須具野外工作經驗者，判釋崩塌範圍具有主觀性，所以判釋結果略有不同。
2.有關研擬處理對策 P34、P207，因後續仍須由局或各林管理處執行，想請教： (1). 依本案就有 269 個具危險度深層崩塌 P164，廣域初步監測如 P208，每處所需經費約為多少。 (2). 若活動性低，有關持續觀察部分，要如何執行。 (3). 若活動性高，細部評估之執行，是否委託專業單位辦理較能精確快速掌握實際狀況。	(1)視崩塌地交通可行性、施工難易度、監測設備而不同。 (2)建議以 GPS 或雷射儀進行簡易監測。 (3)可委託地工、地質相關專業單位進行細部調查。
3. 目前本計畫調查之深層崩塌潛勢區位成果相	(1) 目前無調查計畫針對東部林班地進行相關

關良好，想請教： (1). 東部地區也會做相同調查計畫嗎？ (2). 後續教育訓練有關深層崩塌圖資判釋部分，是否辦理 1 場教育訓練，各同仁就有能力判釋？	調查。 (2)深層崩塌判釋建議以具野外工作能力者為佳。
--	---

第二次期中審查意見回覆

第二次期中審查意見	回覆情形
一、陳委員明杰	
1. P.44，嘉義縣吳鳳鄉，高雄市三民區是否誤植？	謝謝委員指正，已修正。
2. P.158，深層崩塌破壞的模擬，是否考慮地下水的影響？	有的。分析時假設地下水位面在坡面表面，以模擬降雨量後土體飽和時之可能地下水位置。
3. P.160，CSC02 崩塌地地質為鹽水坑層主要為頁岩，然 P.106 之剖面圖地質大部分為糖恩山砂岩，兩者似乎不一致？	此崩塌區位坡趾處主要岩層為鹽水坑層頁岩，故模擬數據則是採用頁岩岩體參數。
4. P.169，深層崩塌滑動模擬之崩塌地參數與其他四處深層崩塌皆相同(表 3-5.9，表 3-5.11，表 3-5.13，表 3-5.15)，尤其表 3-5.15 飽和狀態的摩擦角 22° ，而 P.166 表 3-5.6 的摩擦角為 15° ，是否合理？	因為沒有現地地層的資料，因此進行模擬時參考「重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測」(經濟部中央地質調查所，2010)的實驗參數，再進行反推求出崩塌產生破壞時的岩層強度。
5. P.204，曾文溪流域之極高與高潛感的百分比約 47%，與表 3-7.7 的內容似乎不一致？	文中所指的是將極高與高潛感區內 Type C 的百分比加總為 47%，已於文中重新敘述。
6. 深層崩塌潛勢的預測，四個集水區的訓練樣本各為多少？	潛感分析所使用的訓練樣本為含有 Type A 之坡面單元，各流域、集水區所使用的樣本數已於表 3-7.5 中列出。
7. 模擬之滑動深度是否能反映現地之地形及地質構造的特性？	模擬時會依現地的地層構造研判此處崩塌的破壞型式，如圓弧型破壞、順向坡破壞等。而模擬出的結果都能反映在地形的變動起伏上，能看出崩塌位置。
8. 模擬深層崩塌的滑動面，IL01，CSC02，CSC04 似乎是平面型，而其他兩者似乎是圓弧型？因此，其滑動面如何判定？	根據現場調查結果判定可能的滑動特性。若高精度數值地形與現場調查認為滑動面以平面型的可能性較大，則選擇平面型，反之則為圓弧形。
二、費委員立沅	
1. 行政上，使用地調所 LiDAR 資料是否有經由公文申請辦理正式手續，如有，請於表 3-2.1 註明。	謝謝委員意見，已在表中註明。
2. 本計畫工作項目非常多，部分內容在國內有成熟的技術，部分仍屬初步研究的性質，故在計畫成果中建議清楚說明。	謝謝委員意見，相關研究進度及使用情形會在報告中說明。
3. 建議在期末報告中對於崩塌地之編號依地調所建議之編碼方式處理；另外，本計畫	謝謝委員意見，深層崩塌地編號依地調所建議重新編號。另將於成果報告中將兩年度成果一

屬於兩年度不同調查區域之工作，建議總報告針對兩年度成果一併檢核修正。	併檢核修正。
4. 大規模崩塌之名詞、定義，考慮到未來環資部之作業一致性，建議能統一。	謝謝委員意見。
5. 深層崩塌目錄及附錄之資料表，部分內容仍有檢討之空間，請再修正。	謝謝委員意見，已修正。
三、陳委員聯光	
1. 高發生度與觸發條件息息相關，現行評估方法如何將其主要因子凸顯重要性？另依臨近過去 5 處案例得知坡度大部分均小於 40 度，大於 10 公頃面積之崩塌小於 26 度，如何展現其特性。	目前研究成果認為坡度大於 40 度和河道侵蝕坡腳是觸發潛在深層崩塌發生的主要條件。而目前著名案例如小林崩塌，草嶺崩塌，國道 3 號崩塌等雖平均坡度未達 40 度，但皆有河道侵蝕坡腳和人為開挖坡腳等行為，使得坡面失去支撐。
2. 報告案例 3 之南沙魯照片 3-2.6 初判似乎是侵蝕溝擴張側蝕，是否能由現行深層崩塌評估方法判是發生度？	崩塌機制主要是向源侵蝕造成上方岩體失去支撐而滑動，進而影響到下邊坡。
3. 期中簡報展示 2005 及 2010 年不同期 LIDAR 崩塌校驗結果，建議可納入期末報告中，以利補強其研究方法說明。	相關成果會進行補強說明。
4. 依報告 23 頁項目所述完成調查作業手冊，此手冊格式內容及其使用對象為何？另處理對策建議補強說明。	對象為進行深層崩塌的工作人員，建議判釋人員是以地質、地工等具野外工作經驗者為佳。
5. 報告中調整危險度評估方法，其保全評估與直接位於崩塌、土石流衝擊區或是間接影響區，其評估範圍為何？	保全直接位於崩塌地上或坡趾處，則為直接影響。間接影響情況有二：(一)若深層崩塌發生產生堰塞湖，若保全住戶在堰塞湖上下游 1 公里內；(二)若深層崩塌發生產生土石流，保全住戶在土石流河道或沖積扇內。
四、潘委員國梁	
1. 深層崩塌不宜以面積大小做為必要條件，而應以 massive，且致災性大為準則。	為了圖面判釋的可操作性，目前先以面積做為初步篩選的依據。
2. 破壞分析應填入岩層的資訊。	因為沒有現地地層的資料，因此進行模擬時皆參考「重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測」(經濟部中央地質調查所，2010)的實驗參數。
3. 深層崩塌宜以個體為研究單元，並附以坐標做為編號；進行深層滑動的潛感性分析，似乎意義不大。	謝謝委員意見。
4. 本研究以建立深層崩塌的清單及資料庫。	謝謝委員意見。
5. 崩塌機制研究將推測滑動面畫在岩盤內，應有合理的解釋。	深層崩塌目前認為是大面積且滑動面深入岩盤。

6. 崩塌地示意圖的縱橫坐標均無單位。	感謝委員指正，已於報告中修正。
7. 圖 2-4.5 插圖宜放置草嶺及國道 3 號山崩的照片。	感謝委員指正，已於報告中修正。
五、陳委員建良	
1. P.20，表 2-5.2 其發生度評分總和為 7，但高發生度 $T_2 \geq 7$ ，是否為 T_1 誤植，且是否有大於 7 之情形。	感謝委員指正，已於報告中修正。
2. P.215，監測針對深層崩塌之活動是否有其他監測器配置以作為證明趨動之資料。	尚有加裝伸縮計量測裂隙發育情形。
3. 本案選定之監測範例，是否建立警戒及疏散標準。	目前研究資料不足以建立警戒和疏散標準，需日後長期監測及各單位相關資料彙整研商。
六、廖委員志中	
1. 本計畫報告成果廣泛，然部分成果若要落實防災及治災，應進一步調查及分析。(例如調查重點區位及數值分析等)。	本研究主要是找出深層崩塌潛在區位，及簡易評估影響範圍。目前資料尚屬研究階段且資料不足，因此建議針對主要重點區位進行較詳細調查及長期監測，以供日後防災致災的參考依據。
2. 報告針對 5 處深層崩塌加以調查及分析，調查成果豐碩值得參考。建議依光達比對(2005 及 2010)提供更進一步調查的區位。然坍方深度由穩定深度加以推估，穩定分析的參數驗證性不足，部分滑動模式與地質條件不符(坡度存在平面滑動的機率不大)，因此對於可能堰塞壩的體積、長度應盡一步調查、分析。	目前 5 處(102 年度)現場調查區位未坐落於 2005 年光達資料範圍內。根據現場調查結果判定可能的滑動特性。若高精度數值地形與現場調查認為底部弱面為平面(平面或劈理面等)的可能性較大，則選擇平面型破壞，反之則為圓弧形破壞。現地參數部分則需日後詳細的崩塌區位調查(鑽探)。
3. 前述滑動分析以現地製得、冠部加以推估。但大多案例應為舊坍方(舊崩積層的滑動)是否可以整體滑動加以評估有待商榷，請檢核冠部的活動性，如冠部非活動狀態，滑動體的大小應修正。	目前崩塌範圍是以最保守的方式估計，故冠部或主崩崖的範圍是決定崩塌區位的主要條件，內部崩塌則視為整體深層崩塌內的次崩崖(次崩塌)。
七、行政院農業委員會水土保持局	
1. P.96，圖 3-3.8 坡度因子特性分析，type A、B、C 崩塌面積主分布在 50~60 度以上，但 type C 卻主分在 25~30 度，其原因為何。	圖 3-3.8 在統計方法上是將各個深層崩塌分割成具有不同因子分級再計算各因子分級內發生深層崩塌的面積比例，因此導致 Type C 出現不同的趨勢，新的統計方法是採用計算數量的方式進行，其結果較為合理，並已於報告中修正。
2. P.36，進行深層崩塌潛感分析時，圖資來源精度分別有 5m、8m，最後進行分析時，採用之精度為何。	本計畫在進行潛感分析時是使用坡面單元作為分析的基本單元，所使用的分析資料應如表 3-7.2 所示，表 2-8.2 已於報告中修正。

八、羅東林管處	
1. P8 表 2-3.1，調查方法類型分類表 贅餘字 → 地下水水狀況... 地下屬情形...	感謝委員指正，已修正。
2. P195 vs P33-6，研擬處理對策，宜就 <u>5 處潛勢地區</u> 個案初步建議。分為 (1)緊急減災工程 (2)監測系統 (3)保全對象避難疏散機制 (4)潛勢區位開發使用管制是否有其它對策 (ex.排除法令限制以外之修法建議) 另其減災治理工程之經濟性分析，建議概估性以深度、面積進行比較概算。	由於深層崩塌影響規模廣闊，整治經費龐大，且進行細部調查耗費大量人力及經費，為進行崩塌影響範圍後續處理對策，不宜全面性整治，應以管理管制作為，進行防災減災工作。本計畫建議配合社區自主防災，挑選一較安全之避難疏散地點，搭配土石流預警系統，訂定一深層崩塌保全對象避難疏散機制，藉由平時避難疏散演練，提高社區居民防災意識，當在災害來臨時，能有效達到防災減災之目的。
3. 後續教育訓練建議考慮一~二處現地作業調查勘查(具代表性地形或本案監測試辦點 LLC023)，提高技術移轉效果。	教育訓練會根據林務局課程時間安排適當課程。
九、南投林管處	
1. 報告 P117、120、127、137 等崩塌地地質圖圖例建議使用中文表示。	謝謝委員意見，已修正。
2. 深層崩塌發生條件評估及天然壩形成模擬採用相同案例所使用參數不一致，如屏東 IL01(P158 摩擦角採用 23°，P169 摩擦角採用 22°)；高雄 CSC10(P166 摩擦角採用 15°，P189 摩擦角採用 22°)。	因為崩塌所在的岩層性質不同，使用的參數亦不相同。進行模擬時，利用已知之實驗參數反推崩塌破壞時的強度，因此地層參數都不同。
3. 深層崩塌案例所使用參數為降雨量多少時之參數，降雨量或地下水位可能觸動邊坡崩塌？	目前皆假設降雨後地下水在邊坡表面的情形下進行模擬。
4. P214，GPS 監測建議後續補充說明 GPS 精度、監測資料儲存方式及傳輸方式及頻率，是否可於網站看到即時監測成果。	目前 GPS 等監測資料無網路傳輸設備，需定期至現場拷貝資料。

現勘委員審查意見回覆

現勘委員審查意見	回覆情形
廖志中委員	
1. 本日現勘 CSC02、CSC06、CSC10、CSC04 等四處。由光達測量判定出的大規模崩坍區，執行單位很有效率的帶領現勘坍方跡象，驗證本計畫調查成果，值得肯定。	謝謝委員意見及肯定。
2. 由現地勘查顯示，大部分坍方跡象（崩崖、張力裂縫）等，若無光達的輔助，實難由航照等於現場定位出。光達於大規模崩坍地的範圍認定及危險度的判定有十足的助益，建議林務局未來加以推廣。	謝謝委員意見及肯定。
3. 現勘的坍方跡象可為坍方區活動的證據，建議放大一兩處局部區域的光達地形，將跡象標示於平面圖說明勘查範圍及活動性。	謝謝委員意見。
4. 本計畫利用地形、現勘已提供甚佳坍方劃定及危險度的初步判斷，對於具保全對象及危險度較高的坍方區，建議未來進一步執行較精細的地工調查及分析（如 CSC02）。	謝謝委員意見。本計畫主要僅判釋潛在深層崩塌的區位及崩塌特徵的確認。對於崩塌細部調查及監測，日後需地質、地工相關人員共同參與調查。
5. 由光達及現勘資訊顯示 CSC04 大規模坍方的存在。但反向坡及多重山脊的存在性及 CSC04 的活動性，請進一步考慮可能的農作整地可能性，再加以判斷	此處冠部用地為林班地造林區位(未承租)，且多重山脊地形陷溝寬度 20 公尺，長度超過 100 公尺。因此根據用地使用情形及大規模的陷溝崩塌特徵，排除此多重山脊地形為人工開挖的可能性。

期末審查意見回覆

期末審查意見	回覆情形
一、費委員立沅	
1. 本計畫執行之工作項目相當多，但因大規模崩塌之研究在國內尚屬初步，部分成果(例如監測方式建議、處理對策研擬)可能不太成熟，宜加以說明。	謝謝委員意見。關於不成熟的技術會加以說明。
2. 使用「危險度(risk)」，易造成震撼，是否以使用「風險度」較妥。	目前以「危險度(risk)」為主。
3. 發生度評估方法二似應考量①全波型變化；②崩積層；③人為影響。	目前發生度是藉由高屏溪流域崩塌進行崩塌分析，故各類型的崩塌已納入考慮。
4. 分析之 D 類大規模崩塌，因為設定為「不利之地質與地形條件」，目前圖繪出 195 個，是否需再評估。	目前分析結果 D 為坡面單元，雖數量相對較少，但潛勢崩塌總面積達 100 平方公里。
5. 監測使用全測站，有其優缺點，宜說明。是否考慮設置 GPS 固定站+GPS 移動站。另外，地震儀是否有一定之監測助益。	謝謝委員意見，關於全測站優缺點在報告表 3-10.2 說明。若雙頻站(固定站)離坡面距離太遠，會在鄰近穩固地區加裝固定站，已取得較佳資料。因地震儀有雜訊處理的困擾，目前並不考慮加裝地震儀。
6. P.14 研擬處理對策之內容，建議再思考。	謝謝委員意見，關於處理對策會依林務局權責與業務需求加以修改。
7. P.9 深層崩塌目錄建置之目錄，其中「崩塌機制」及「崩塌活動性」用詞並不妥適，請修改。	目前崩塌目錄中，「崩塌機制」是由圖面判釋觸發崩塌外在環境因子，並非由現場調查之結果。「崩塌活動性」是依據發生度分析之結果加以推測。因此目前先不修改。
8. 建議依小林村原始地型分析所得到之結果，設定評估方法二有關地形因子之內容。	小林村崩塌位於高屏溪流域中，故已納入崩塌分析案例。
二、廖委員志中	
1. 本計畫以二年的時間利用衛星影像、航空照片、Lidar 快速的將大規模(深層)崩塌區位，並利自行建立證據權重分析型式的危險等級評估模式，並提出 26 處較具危險等級以上的崩塌區，成果豐碩，值得肯定。	謝謝委員肯定。
2. 本報告亦進行邊坡滑動分析，及天然土霸形成模擬，但因尺度之調查，試驗所限，採用的參數為經驗值，其結果僅供參考，尚無法供防災及整治使用，建議林務局未來擇一案例進行詳細的地工調查、試驗及模擬分析。	謝謝委員意見。因缺乏現場相關力學參數，模擬參數多為經驗值，其結果是僅供林務局參考。
3. 圖 2-4.1 (摘圖 3) 請註記何處為自動、半自	關於判釋部分皆為人工判釋。

動化、人工方式執行。	
4. 本計畫範圍內，經評估國有林較高危險以上達 26 處，建議林務局未來擇少數案例進行詳細的地工調查、試驗及分析等。若位於其他事業主管單位或有關聯者，建議行文相關單位進一步處理。	為凸顯保全的重要性，報告內會納入方法三的評估方法，其較高危險度有 11 處(分數大於 6)。相關處理對策會於被告中補充說明。
5. 建議將摘表 2 的 10 處，若與本計畫的劃定重疊，請加以註記。摘要 9 建議採用陣列式。	謝謝委員意見，報告中會加以修正。
6. 建議重整摘表 7，第一欄相同因子不宜重覆出現。	謝謝委員意見，報告中會加以修正。
7. 岩性因子建議應考量滑動體的材料，因此應將崩積層納入。	因目前無大區位詳細崩積層統計資料與相關圖層，故目前統計時尚無法將崩積層納入考慮。
8. 發生度高的區位應特別標記，以供未來災害發生驗證及反應。	由方法三較高危險度的區位會於報告中呈現。
9. 若無經費進行進一步的詳細調查，建議每年進行 GPS、雨量、光達量測，及少量孔內滑動量測（如 TDR），數年後再檢討未來的決策。	謝謝委員意見，關於此資訊會提供林務局作為日後相關決策考量。
10. GPS 監測結果顯示地表位移量甚大，若其精度可信，建議應多考慮材料行為、監測結果，檢討大規模潛移邊坡的滑動行為，供未來決策參考。	目前尚屬實驗階段，未來是否擴大監測規模，視林務局未來經費及業務需求考量。
三、陳委員聯光	
1. P45，表 2-5.4~表 2-5.12 與 P15 頁圖 3-4.6~圖 3-4.10 結果差異為何?數量明顯有異?	發生度分析使用資料為高屏溪流域深層崩塌，而圖 3-4.6~圖 3-4.10 為曾文溪流域與高屏溪流域統計結果。
2. P129 與 P135，部分剖面示意圖之剖面線位於圖面展示，建議補充之。(圖 3-2.48、3-2.52 等)	會於本文中修訂。
3. P274，深層崩塌發生條件評估中，分析使用參數與崩塌深度推估原則為何?部分災前與災後剖面似乎不合理?如圖 3-6.6 (P279)、圖 3-6.15 (P286)等，建議補強說明之。	力學參數參考「重大山崩災害潛勢地區災害模擬與監測」(經濟部中央地質調查所，2010)中對岩石實驗所得到之材料參數進行評估，崩塌深度則評估各種合理環境情形下，安全係數最小的情形及其深度。災前地形應高於災後地形，若剖面顯示彼此相交，表示地形應有明顯變動。
4. 封面日期 101 年 10 月?是否筆誤?	會於本文中修訂。
5. 附錄相關調查表，內容與本文描述不符，其原因為何?建議補強說明修訂之。如節理組都是 20m，地質特性是否全部都要調查，張力裂縫現場調查有表格沒有?(P217)	會於本文中修訂。目前現場調查主要是針對崩塌特性，關於全坡面調查是日後進行詳查之工作項目。
6. 對於具直接影響保全聚落的高危險崩塌調查	會於本文中表列較高危險的區位以供林務局參

結果，建議提供相關單位，以避免重大災害問題發生。	考。
7. 報告及簡報中，六龜區 D018 與 D021、甲仙區 D044 與 D047、杉林區 D014 與 D020，直接影響聚落是否是同一區？其保全數部分內容與報告內文不同？(如六龜區 D015、六龜區 D020)	會於本文中修訂。
四、王委員昭堡	
1、摘要部分，請精簡摘要	會於本文中修訂。
2、判釋之較高潛勢區域之後續處理，要有具體之對策建議。	會於本文中修訂。
3、危險等級評估，以及保全重要性及發生度之評分級距，可在細緻考量。	方法三已重新調整保全級距。
4、請將深層崩塌調查作業手冊內入報告。	會於本文中納入。
五、行政院農委會水土保持局	
1. 深層崩塌之影響範圍為保全危害度之評估依據，建議其劃定方法宜敘述於報告中。	目前計畫未全面劃定影響範圍，故影響保全數目是由人工進行圖面判釋，推測可能影響戶數。
2. P178，圖 3-4.22 未見影響範圍(藍色虛線)	影響範圍在寶來溪和荖濃溪匯流口
3. 天然壩形成模擬之剖面位置建議標明代號 A-A'，以利判別位置及方向。如圖 3-6.35、圖 3-6.44、圖 3-6.53 等。	橫剖面方向垂直主河道，縱剖面方向則平行河道。
4. 研擬處理對策宜釐清權責單位及可行方式，目前對大規模崩塌機制尚再研究，各項工作宜有完整配套措施。	目前建議先提供相關資訊給其他防救災相關單位，崩塌機制和影響範圍等資訊，本計畫尚未
六、東勢林管處	
1. 經本計畫使用危險等級三種方法調查結果，屬於高危險地區，建議未來能持續監測及相關防減災作業。並與地方政府維繫良好的橫向聯繫，以彰顯本計畫的功效	建議先提供相關資訊給相關防救災權責單位，未來監測及防救災工作視林務局業務需求考量。
2. 摘要計有 21 頁，內容太豐富了，請擇要敘述	會於本文中修訂。
3. P43 引用災害風險=災害考生度 x 災害損失或影響程度，與 P50，表 2-5.17，危險等級評分表，求得的結果不相符，請再酌	會於本文中修訂。
七、嘉義林管處	
1. 附錄三類型 C 具滑動地形特徵之潛在深層崩塌之較高危險等級一覽表中，既然各崩塌區已有 XY 座標，建議於「事業區」欄位內再加註「林班編號」，如「大埔事業區____林班」	會於本文中修訂。
2. 有關緊急處理對策中，因崩塌區多位於高山偏	目前各林管處已有相關計畫利用 UAV 在緊急事

遠地區，考量時間緊迫性及交通可及性，有否考慮以 UAV(無人載具)配合，以求第一時間內可取得災害後之即時訊息	件中取得災後影像。
八、屏東林管處	
1. 有關各深層崩塌致災圖說，建議增加林班圖，並將各位置之基本資料及可能影響範圍，以表列示呈現，以利權責單位參考。	關於各深層崩塌目錄已加入林班事業區。本計畫深層崩塌影響可能範圍僅模擬 10 處，影響範圍請參考影響範圍成果圖。
2. 針對後續處理，社區自主防災，避難疏散應變機制等研擬，建議提供較明確之方式，以有效達到防災減災之目的。	會於本文中修訂。
3. 編號高雄市-六龜區-D012 無調查資料;高雄市-六龜區-D020 無分析資料;高雄市-六龜區-D015 基本資料誤繕，應為旗山事業區 87 林班，請修正。	分析區位選擇條件是有形成堰塞湖之可能性。現調區位選擇主要條件是有保全住戶及交通可達。故兩者區位未必相同。
九、羅東林管處	
1. 建議套疊林班地編號與地震斷層帶圖。	報告成果已套疊相關圖層。
2. 摘表 7(P.11)，欄位排序方式建議以”因子”(如坡度、岩性、順向坡、河道距離、構造距離)為主。	會於本文中修訂。
3. 請列表簡述，監測所需儀器及經費供參。	本計畫試辦的監測點位含儀器(5 處 GPS、2 處地表伸縮計、1 處雨量筒)、施工、資料分析，所需經費約 70 萬上下。
4. 災害發生逃生疏散路線	因選定疏散路線及避難處所非林務局權責，目前建議先提供深層崩塌(大規模崩塌)，未來若有更詳細資料，再提供權責單位執行後續自主防災工作。
十、花蓮林管處	
1. P91. L.莫拉克颱風，侵台時間，颱風強度及登陸地點與中央氣象局公布資料不同，請查明修正。	會於本文中修訂。
2. p92.O.泰利颱風，第 2 列減”落”有誤，應為減”弱”，請修正。	會於本文中修訂。
3. p92.S..，第 1 列影響時間為 2013 年 8 月 20 日~”9”月 22 日，”9”月 22 日應修正為”8”月 22 日。	會於本文中修訂。
4. p93. V.天兔颱風，第 1 列影響時間為 2013 年 9 月 20 日~9 月”20”日，後方”20”有誤，請查明修正。	會於本文中修訂。
5. 建議所有颱風資料請依中央氣象局發布資料為依據再次檢視正確性。	會於本文中修訂。

十一、南投林管處	
1. 請敘明潛感分析模式採用(4)證據權重法之原因及與其他分析模式之比較。	證據權法目前以使用在中央地質調查所、水利署水利規劃試驗所已獲得良好成果，成功預測曲線達 7 成，顯示證據權法應用於崩塌潛感預測視可行可靠的方法。
2. 監測方式之各種監測儀器費用，使用功能及限制條件，請補充。	本計畫監測項目中單頻 GPS 站費用約 5 到 7 萬，雨量筒約 5 萬，地表伸縮計約 5 萬。其相關監測設備使用功能與限制條件請參考第 2-3、2-10、3-10.2 節。
3. 報告中所提 26 處較高危險等級部分，需建立社區自示防災有哪處？其基本疏散機制應包括哪些要素？是否須邀請地方政府一同參與？	因目前尚未有影響範圍，建議先提供地方政府及有關單位相關資訊。未來若建立影響範圍等資訊，再提供相關資料，給權責單位進行疏散機制。
4. 已完成深層崩塌與天然壩形成之情境模擬部分，其發生後對保全對象或設施之影響可否補充說明。	以於本文中加強說明。但本計畫模擬情境無現地力學參數資料，故結果僅供參考。
5. 監測數據應包括哪些數據以供後續研究處，請補充建議。	目前監測資料有雨量、GPS 位移和裂隙寬度變化。未來若業務需求要持續擴大監測，建議可以加入水位計等更多地工監測方法。
十二、集水區治理組	
1.摘要內容請精要簡化重點成果並列入結論與建議之重要事項。	會於本文中修訂。
2. P30，深層崩塌的定義(本計畫調查之條件、崩塌深度、面積、土方量。	會於本文中修訂。本計畫深層崩塌定義是指潛在崩塌土方量達 10 萬立方、崩塌面積達 10 公頃或崩塌深度達 10 公尺的崩塌區位。但為利於圖面判釋，故本計畫定義深層崩塌為潛在崩塌面積達 10 公頃。
3. P38. 表 2-4.2，現地查核表，建請加入調查人員及時間欄位。	會於本文中修訂。
3. §2-10.1 章節似未完整，請補正。(P358-圖 2-10.5、2-10.6 無)；P.69，表 2-11.1，加入調查作業流程。	會於本文中修訂。
4. P90~93，建議整理雨量資料一覽表(2000~2013 年)，便於閱讀(含累積雨量)。	會於本文中修訂。
5. P110 案例表，已整理出各案利相關資料，請加上名稱(或聚落地點)。建請於 P109 加入案例特性綜合歸納結果。	會於本文中修訂。
6. §3-4.2(P162)，現調結果 10 處應尊重總表，完整並清楚呈現相關資料。	會於本文中修訂。

7. 調查判釋繪製圖之區位，多為數個小崩塌潛勢，連成一大區域之崩塌區位，其崩滑方向應會有不同。再經研判分析屬高中潛勢者，可否在LiDAR圖中有較詳細崩塌或地表裂隙之描繪，以為後續調查之基礎資料。	LiDAR圖中遷急線明顯及長度較長者，較易在現場發現裂隙等崩塌特徵。但崩塌特徵、小區位崩塌的活動性詳細資料須進行地表詳查，才能得到交明確的資訊。
8. 危險等級評估方法有二，所選定之因子五項，報告內文各章節要一致。	會於本文中修訂。
9. §3-6(273)，選定之10處區位進行天然壩之模擬，該10處是否有具有堰塞湖形成條件(崩塌土方可到達對岸、要有足夠的土體、土砂供應能力>河道輸砂能力。)	會於本文中修訂。
10. §3-7 處理對策中提出26處位於較高危險等級，其中多數未屬已現勘查合區位，各潛勢區之基本資料及圖資，應請補列(含製表)	依據方法三，較高危險區位修訂為11處(分數大於等於6)，相關圖資補列於附錄三。
11. §3-8(360)與地調所之成果差異分析再補強說明。	會於本文中修訂。
12. 深層崩塌調查作業手冊，請補入報告中。(光碟中已有)	會於本文中修訂。
13. 教育訓練部分請納入報告。	會於本文中修訂。
14. 成果光碟須含各期報告、簡報、現勘照片、圖片檔、GIS圖層...等電子檔，請注意。	會將須繳交資料燒入於光碟。
15. 結論部分條列扼要呈現	會於本文中修訂。
16. 錯字或修辭:P12、P29、P30、P32、P36、P41-43、P51、P59-61、P70、P99、P109、P162-164、P188、P207、P273、P358、P366	會於本文中修訂。

附錄二、深層崩塌現場調查表

林班地深層崩塌資料表

林班事業區	芒濃溪事業區104號林班地		山崩編號	高雄市-桃源區-D346		山崩中心點坐標 (TWD97)	X: 221324 Y: 2554900		調查人員	何岱杰、許志宇	
調查日期	2012/9/27		保全對象	☒ A.道路 ☒ B.橋樑 建物(☐ C1. <5棟 ☐ C2. 5-10棟 ☒ C3. >10棟) ☐ D.其他 ☐ E.無		保全對象位置	寶來溪河道下游				
岩性	沉積岩(主要岩性)		☐ A1.礫岩 ☐ A2.砂岩 ☐ A3.粉砂岩 ☐ A4.頁岩 ☐ A5.泥岩 ☐ A6.石灰岩 ☐ A7.凝灰質砂岩 ☐ A8.其他_____								
	變質岩		☒ B1.硬頁岩 ☐ B2.板岩 ☐ B3.千枚岩和片岩(片麻岩) ☐ B4.變質砂岩 ☐ B5.大理岩(含白雲岩)								
	火成岩		☐ C1.安山岩 ☐ C2.玄武岩 ☐ C3.火山角礫岩(集塊岩) ☐ C4.凝灰岩 ☐ C5.其他_____								
	礫層或未固結材料		☒ D1.崩積層 ☐ D2.風化層 ☐ D3.紅土礫石層 ☐ D4.其他_____								
地質特性	層面位態		層面 (N16W, 56W)		劈理、片理位態		劈理、片理 N /				
	節理特性	位態	節理組1: N	/	平均間距	節理組1: m	開口	節理組1: cm	滲水	節理組1: ☒ 有 ☐ 無	
			節理組2: N	/		節理組2: m		節理組2: cm		節理組2: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組3: N	/		節理組3: m		節理組3: cm		節理組3: ☐ 有 ☐ 無	
斷層構造		☐ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 正 ☐ 逆 ☐ 橫移、觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判									
褶皺構造		☒ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 背斜 ☐ 向斜 觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判									
山崩材料	☒ A.新鮮岩塊 ☐ B.風化土石 ☐ C.礫石(紅土礫石) ☒ D.崩積土石 ☐ E.礫石堆積 ☐ F.填土 ☐ G.其他 (可複選)										
規模大小	圓面數化	面積	966000 m ²		最大寬度: 920 m; 最大高差: 600 m						
地形坡度	☐ A.緩 (0-20度) ☒ B.陡 (21-40度) ☐ C.極陡 (41-60度) ☐ D.崖 (61度以上)										
地下水狀況	☐ A.乾 ☐ B.溼 ☒ C.滲水 ☐ D.湧水										
地面水匯集	☒ Y.有 ☐ N.無 河岸侵蝕 ☒ Y.有 ☐ N.無 趾部人為開挖 ☐ Y.有 ☒ N.無										
山崩趾部特徵	趾部河道寬度 _____ m 趾部突出河道 ☒ Y.有 ☐ N.無										
崩塌地形	主崩崖特徵	崖高: 18 m		崖寬: _____ m		崖面新鮮		☐ Y.是 ☐ N.否			
		冠部有張力裂縫		☒ Y.是 ☐ N.否		主崩崖下方有窪地或水池		☐ Y.是 ☒ N.否			
	滑動體特徵	外觀呈凹陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否		上段呈下陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否			
		中段呈緩坡狀		☒ Y.是 ☐ N.否		下段呈隆起地形		☒ Y.是 ☐ N.否			
		滑動體裂隙		☒ Y.是 ☐ N.否		圓弧形次崩崖		☒ Y.是 ☐ N.否			
崩塌體與圍岩剪切破壞, 土石破碎		☐ Y.是 ☐ N.否		兩翼排水溝呈雙溝同源		☒ Y.是 ☐ N.否					
可能致災情形	若河道發生堰塞湖, 對寶來聚落鄰近寶來溪, 可能受影響戶數有24戶, 並衝擊寶來溪橋, 影響芒濃溪左岸聯外道路										

林班地深層崩塌資料表

林班事業區	旗山事業區61號林班地		山崩編號	高雄市-六龜區-D018		山崩中心點坐標 (TWD97)	X: 214852 Y: 2551330		調查人員	何岱杰、許志宇	
調查日期	2012/11/2		保全對象	☒ A.道路 ☒ B.橋樑 建物(☒ C1. <5棟 ☐ C2. 5-10棟 ☐ C3. >10棟) ☐ D.其他 ☐ E.無		保全對象位置	河道下游及坡面住戶				
岩性	沉積岩(主要岩性)		☐ A1.礫岩 ☒ A2.砂岩 ☐ A3.粉砂岩 ☒ A4.頁岩 ☐ A5.泥岩 ☐ A6.石灰岩 ☐ A7.凝灰質砂岩 ☐ A8.其他_____								
	變質岩		☐ B1.硬頁岩 ☐ B2.板岩 ☐ B3.千枚岩和片岩(片麻岩) ☐ B4.變質砂岩 ☐ B5.大理岩(含白雲岩)								
	火成岩		☐ C1.安山岩 ☐ C2.玄武岩 ☐ C3.火山角礫岩(集塊岩) ☐ C4.凝灰岩 ☐ C5.其他_____								
	礫層或未固結材料		☒ D1.崩積層 ☐ D2.風化層 ☐ D3.紅土礫石層 ☐ D4.其他_____								
地質特性	層面位態		層面 (N30E, 50W)		劈理、片理位態		劈理、片理 N /				
	節理特性	位態	節理組1: N	/	平均間距	節理組1: m	開口	節理組1: cm	滲水	節理組1: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組2: N	/		節理組2: m		節理組2: cm		節理組2: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組3: N	/		節理組3: m		節理組3: cm		節理組3: ☐ 有 ☐ 無	
斷層構造		☐ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 正 ☐ 逆 ☐ 橫移、觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判									
褶皺構造		☒ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 背斜 ☐ 向斜 觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判									
山崩材料	☒ A.新鮮岩塊 ☒ B.風化土石 ☐ C.礫石(紅土礫石) ☐ D.崩積土石 ☐ E.礫石堆積 ☐ F.填土 ☐ G.其他 (可複選)										
規模大小	圓面數化	面積	162000 m ²		最大寬度: 570 m; 最大高差: 142 m						
地形坡度	☐ A.緩 (0-20度) ☒ B.陡 (21-40度) ☐ C.極陡 (41-60度) ☐ D.崖 (61度以上)										
地下水狀況	☐ A.乾 ☐ B.溼 ☐ C.滲水 ☐ D.湧水										
地面水匯集	☒ Y.有 ☐ N.無 河岸侵蝕 ☒ Y.有 ☐ N.無 趾部人為開挖 ☐ Y.有 ☒ N.無										
山崩趾部特徵	趾部河道寬度 _____ m 趾部突出河道 ☒ Y.有 ☐ N.無										
崩塌地形	主崩崖特徵	崖高: 100 m		崖寬: _____ m		崖面新鮮		☐ Y.是 ☒ N.否			
		冠部有張力裂縫		☒ Y.是 ☐ N.否		主崩崖下方有窪地或水池		☐ Y.是 ☒ N.否			
	滑動體特徵	外觀呈凹陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否		上段呈下陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否			
		中段呈緩坡狀		☒ Y.是 ☐ N.否		下段呈隆起地形		☒ Y.是 ☐ N.否			
		滑動體裂隙		☐ Y.是 ☐ N.否		圓弧形次崩崖		☒ Y.是 ☐ N.否			
崩塌體與圍岩剪切破壞, 土石破碎		☐ Y.是 ☐ N.否		兩翼排水溝呈雙溝同源		☒ Y.是 ☐ N.否					
可能致災情形	可能情形有二。一是崩塌材料堆積在河道, 形成堰塞湖; 二是形成土石流。不論哪一種情形都會影響下游崩塌地編號高雄市-六龜區-D021。										

林班地深層崩塌資料表

林班事業區	旗山事業區61號林班地		山崩編號	高雄市-六龜區-D021		山崩中心點坐標 (TWD97)	X: 215347 Y: 2551000		調查人員	何岱杰、許志宇			
調查日期	2012/11/3												
保全對象	☒ A.道路 ☒ B.橋樑 建物(☐ C1. <5棟 ☐ C2. 5-10棟 ☐ C3. >10棟) ☐ D.其他 ☐ E.無					保全對象位置	河道下游及坡面住戶						
岩性	沉積岩(主要岩性) ☐ A1.礫岩 ☒ A2.砂岩 ☐ A3.粉砂岩 ☒ A4.頁岩 ☐ A5.泥岩 ☐ A6.石灰岩 ☐ A7.凝灰質砂岩 ☐ A8.其他_____												
	變質岩 ☐ B1.硬頁岩 ☐ B2.板岩 ☐ B3.千枚岩和片岩(片麻岩) ☐ B4.變質砂岩 ☐ B5.大理岩(含白雲岩)												
	火成岩 ☐ C1.安山岩 ☐ C2.玄武岩 ☐ C3.火山角礫岩(集塊岩) ☐ C4.凝灰岩 ☐ C5.其他_____												
	礦藏或未固結材料 ☒ D1.崩積層 ☐ D2.風化層 ☐ D3.紅土礫石層 ☐ D4.其他_____												
地質特性	層面位態		層面 (N90E, 60S)		劈理、片理位態		劈理、片理 N /						
	節理特性	位態	節理組1: N /		平均間距	節理組1: m		開口	節理組1: cm		滲水	節理組1: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組2: N /			節理組2: m			節理組2: cm			節理組2: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組3: N /			節理組3: m			節理組3: cm			節理組3: ☐ 有 ☐ 無	
斷層構造 ☐ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 正 ☐ 逆 ☐ 橫移、觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判													
褶皺構造 ☐ 無 ☒ 有 名稱: _____、類型: ☐ 背斜 ☒ 向斜 觀測方式: ☐ 現地量測 ☒ 地質圖研判													
山崩材料	☒ A.新鮮岩塊 ☒ B.風化土石 ☐ C.礫石(紅土礫石) ☐ D.崩積土石 ☐ E.礦渣堆積 ☐ F.填土 ☐ G.其他 (可複選)												
規模大小	層面數化		面積		93000 m ²		最大寬度: 290 m; 最大高差: 160 m						
地形坡度	☐ A.緩 (0-20度) ☒ B.陡 (21-40度) ☐ C.極陡 (41-60度) ☐ D.崖 (61度以上)												
地下水狀況	☒ A.乾 ☐ B.溼 ☐ C.滲水 ☐ D.湧水												
地面水匯集	☒ Y.有 ☐ N.無 河岸侵蝕 ☒ Y.有 ☐ N.無 趾部人為開挖 ☐ Y.有 ☒ N.無												
山崩趾部特徵	趾部河道寬度		50 m		趾部突出河道 ☐ Y.有 ☐ N.無								
崩塌地形	主崩崖特徵	崖高: m		崖寬: m		崖面新鮮		☐ Y.是 ☒ N.否					
		冠部有張力裂縫		☒ Y.是 ☐ N.否		主崩崖下方有窪地或水池		☐ Y.是 ☒ N.否					
	滑動體特徵	外觀呈凹陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否		上段呈下陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否					
		中段呈緩坡狀		☒ Y.是 ☐ N.否		下段呈隆起地形		☒ Y.是 ☐ N.否					
		滑動體裂隙		☒ Y.是 ☐ N.否		圓弧形式崩崖		☒ Y.是 ☐ N.否					
		崩塌體與圍岩剪切破壞, 土石破碎		☐ Y.是 ☐ N.否		兩翼排水溝呈雙溝同源		☒ Y.是 ☐ N.否					
可能致災情形 致災情形與高雄市-六龜區-D018相似。可能受影響戶數為鄰近河道與坡頂住戶, 共4戶。現場調查結果, 河道3戶已遠離(聯外道路毀損未修)。													

林班地深層崩塌資料表

林班事業區	旗山事業區88號林班地		山崩編號	高雄市-六龜區-D020		山崩中心點坐標 (TWD97)	X: 220758 Y: 2551110		調查人員	何岱杰、許志宇			
調查日期	2012/10/19												
保全對象	☒ A.道路 ☐ B.橋樑 建物(☐ C1. <5棟 ☐ C2. 5-10棟 ☒ C3. >10棟) ☐ D.其他 ☐ E.無					保全對象位置	不老溪下游及坡面住戶						
岩性	沉積岩(主要岩性) ☐ A1.礫岩 ☐ A2.砂岩 ☐ A3.粉砂岩 ☐ A4.頁岩 ☐ A5.泥岩 ☐ A6.石灰岩 ☐ A7.凝灰質砂岩 ☐ A8.其他_____												
	變質岩 ☒ B1.硬頁岩 ☐ B2.板岩 ☐ B3.千枚岩和片岩(片麻岩) ☐ B4.變質砂岩 ☐ B5.大理岩(含白雲岩)												
	火成岩 ☐ C1.安山岩 ☐ C2.玄武岩 ☐ C3.火山角礫岩(集塊岩) ☐ C4.凝灰岩 ☐ C5.其他_____												
	礦藏或未固結材料 ☐ D1.崩積層 ☐ D2.風化層 ☐ D3.紅土礫石層 ☐ D4.其他_____												
地質特性	層面位態		層面 (N20W, 45W)		劈理、片理位態		劈理、片理 N /						
	節理特性	位態	節理組1: N /		平均間距	節理組1: m		開口	節理組1: cm		滲水	節理組1: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組2: N /			節理組2: m			節理組2: cm			節理組2: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組3: N /			節理組3: m			節理組3: cm			節理組3: ☐ 有 ☐ 無	
斷層構造 ☐ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 正 ☐ 逆 ☐ 橫移、觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判													
褶皺構造 ☒ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 背斜 ☐ 向斜 觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判													
山崩材料	☒ A.新鮮岩塊 ☐ B.風化土石 ☐ C.礫石(紅土礫石) ☒ D.崩積土石 ☐ E.礦渣堆積 ☐ F.填土 ☐ G.其他 (可複選)												
規模大小	層面數化		面積		336000 m ²		最大寬度: 480 m; 最大高差: 436 m						
地形坡度	☐ A.緩 (0-20度) ☒ B.陡 (21-40度) ☐ C.極陡 (41-60度) ☐ D.崖 (61度以上)												
地下水狀況	☐ A.乾 ☐ B.溼 ☐ C.滲水 ☐ D.湧水												
地面水匯集	☒ Y.有 ☐ N.無 河岸侵蝕 ☐ Y.有 ☐ N.無 趾部人為開挖 ☐ Y.有 ☒ N.無												
山崩趾部特徵	趾部河道寬度		40 m		趾部突出河道 ☒ Y.有 ☐ N.無								
崩塌地形	主崩崖特徵	崖高: m		崖寬: m		崖面新鮮		☐ Y.是 ☒ N.否					
		冠部有張力裂縫		☒ Y.是 ☐ N.否		主崩崖下方有窪地或水池		☐ Y.是 ☒ N.否					
	滑動體特徵	外觀呈凹陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否		上段呈下陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否					
		中段呈緩坡狀		☒ Y.是 ☐ N.否		下段呈隆起地形		☒ Y.是 ☐ N.否					
		滑動體裂隙		☐ Y.是 ☐ N.否		圓弧形式崩崖		☒ Y.是 ☐ N.否					
		崩塌體與圍岩剪切破壞, 土石破碎		☐ Y.是 ☒ N.否		兩翼排水溝呈雙溝同源		☐ Y.是 ☒ N.否					
可能致災情形 若河道發生土石流, 因聚落位於河口, 由圖面判釋可能受影響戶數有39戶, 並衝擊新開橋(已完工), 影響老濃溪左岸聯外道路													

林班地深層崩塌資料表

林班事業區	旗山事業區87號林班地		山崩編號	高雄市-六龜區-D015		山崩中心點坐標 (TWD97)	X: 220758 Y: 2551110		調查人員	何岱杰、許志宇		
調查日期	2012/10/20		保全對象	☒ A.道路 ☐ B.橋樑 建物(☐ C1. <5棟 ☒ C2. 5-10棟 ☐ C3. >10棟) ☐ D.其他 ☐ E.無		保全對象位置	美輪山西側坡趾住戶					
岩性	沉積岩(主要岩性) ☐ A1.礫岩 ☐ A2.砂岩 ☐ A3.粉砂岩 ☐ A4.頁岩 ☐ A5.泥岩 ☐ A6.石灰岩 ☐ A7.凝灰質砂岩 ☐ A8.其他_____											
變質岩	☒ B1.硬頁岩 ☐ B2.板岩 ☐ B3.千枚岩和片岩(片麻岩) ☐ B4.變質砂岩 ☐ B5.大理岩(含白雲岩)											
火成岩	☐ C1.安山岩 ☐ C2.玄武岩 ☐ C3.火山角礫岩(集塊岩) ☐ C4.凝灰岩 ☐ C5.其他_____											
礫聚或未固結材料	☒ D1.崩積層 ☐ D2.風化層 ☐ D3.紅土礫石層 ☐ D4.其他_____											
地質特性	層面位態		層面		劈理、片理位態		劈理、片理 N /					
節理特性	位態		節理組1: N /		平均間距		節理組1: m		開口		節理組1: cm	
			節理組2: N /				節理組2: m				節理組2: cm	
			節理組3: N /				節理組3: m				節理組3: cm	
斷層構造	☐ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 正 ☐ 逆 ☐ 橫移、觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判											
褶皺構造	☒ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 背斜 ☐ 向斜 觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判											
山崩材料	☒ A.新鮮岩塊 ☐ B.風化土石 ☐ C.礫石(紅土礫石) ☒ D.崩積土石 ☐ E.礫石堆積 ☐ F.填土 ☐ G.其他 (可複選)											
規模大小	圓面數化		面積		2280000 m ²		最大寬度: 1400 m; 最大高差: 974 m					
地形坡度	☐ A.緩 (0-20度) ☒ B.陡 (21-40度) ☐ C.極陡 (41-60度) ☐ D.崖 (61度以上)											
地下水狀況	☐ A.乾 ☐ B.溼 ☐ C.滲水 ☒ D.湧水											
地面水匯集	☒ Y.有 ☐ N.無 河岸侵蝕 ☐ Y.有 ☒ N.無 趾部人為開挖 ☐ Y.有 ☒ N.無											
山崩趾部特徵	趾部河道寬度		800 m		趾部突出河道 ☒ Y.有 ☐ N.無							
崩塌地形	主崩崖特徵		崖高: m		崖寬: m		崖面新鮮		☒ Y.是 ☐ N.否			
			冠部有張力裂縫		☐ Y.是 ☒ N.否		主崩崖下方有窪地或水池		☐ Y.是 ☒ N.否			
			外觀呈凹陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否		上段呈下陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否			
			中段呈緩坡狀		☒ Y.是 ☐ N.否		下段呈隆起地形		☒ Y.是 ☐ N.否			
			滑動體裂隙		☒ Y.是 ☐ N.否		圓弧形次崩崖		☒ Y.是 ☐ N.否			
			崩塌體與圍岩剪切破壞, 土石破碎		☐ Y.是 ☒ N.否		兩翼排水溝呈雙溝同源		☒ Y.是 ☐ N.否			
可能致災情形	若全坡面或下邊坡發生崩塌, 聚落會直接受到衝擊。因坡趾堆積大量崩積土, 可能引發土石流災害。											

林班地深層崩塌資料表

林班事業區	旗山事業區4號林班地		山崩編號	高雄市-甲仙區-D044		山崩中心點坐標 (TWD97)	X: 206813 Y: 2554099		調查人員	何岱杰、許志宇		
調查日期	2013/3/21		保全對象	☒ A.道路 ☐ B.橋樑 建物(☐ C1. <5棟 ☐ C2. 5-10棟 ☒ C3. >10棟) ☐ D.其他 ☐ E.無		保全對象位置	甲仙地區旗山溪兩岸河階地					
岩性	沉積岩(主要岩性) ☐ A1.礫岩 ☒ A2.砂岩 ☐ A3.粉砂岩 ☒ A4.頁岩 ☐ A5.泥岩 ☐ A6.石灰岩 ☐ A7.凝灰質砂岩 ☐ A8.其他_____											
變質岩	☐ B1.硬頁岩 ☐ B2.板岩 ☐ B3.千枚岩和片岩(片麻岩) ☐ B4.變質砂岩 ☐ B5.大理岩(含白雲岩)											
火成岩	☐ C1.安山岩 ☐ C2.玄武岩 ☐ C3.火山角礫岩(集塊岩) ☐ C4.凝灰岩 ☐ C5.其他_____											
礫聚或未固結材料	☒ D1.崩積層 ☐ D2.風化層 ☐ D3.紅土礫石層 ☐ D4.其他_____											
地質特性	層面位態		層面 (N35E, 44E)		劈理、片理位態		劈理、片理 N /					
節理特性	位態		節理組1: N /		平均間距		節理組1: m		開口		節理組1: cm	
			節理組2: N /				節理組2: m				節理組2: cm	
			節理組3: N /				節理組3: m				節理組3: cm	
斷層構造	☐ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 正 ☐ 逆 ☐ 橫移、觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判											
褶皺構造	☒ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 背斜 ☐ 向斜 觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判											
山崩材料	☐ A.新鮮岩塊 ☒ B.風化土石 ☐ C.礫石(紅土礫石) ☒ D.崩積土石 ☐ E.礫石堆積 ☐ F.填土 ☐ G.其他 (可複選)											
規模大小	圓面數化		面積		669055 m ²		最大寬度: 760 m; 最大高差: 480 m					
地形坡度	☒ A.緩 (0-20度) ☐ B.陡 (21-40度) ☐ C.極陡 (41-60度) ☒ D.崖 (61度以上)											
地下水狀況	☒ A.乾 ☐ B.溼 ☐ C.滲水 ☐ D.湧水											
地面水匯集	☐ Y.有 ☒ N.無 河岸侵蝕 ☒ Y.有 ☐ N.無 趾部人為開挖 ☐ Y.有 ☒ N.無											
山崩趾部特徵	趾部河道寬度		500 m		趾部突出河道 ☒ Y.有 ☐ N.無							
崩塌地形	主崩崖特徵		崖高: 200 m		崖寬: 470 m		崖面新鮮		☒ Y.是 ☐ N.否			
			冠部有張力裂縫		☐ Y.是 ☒ N.否		主崩崖下方有窪地或水池		☐ Y.是 ☒ N.否			
			外觀呈凹陷地形		☐ Y.是 ☒ N.否		上段呈下陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否			
			中段呈緩坡狀		☒ Y.是 ☐ N.否		下段呈隆起地形		☒ Y.是 ☐ N.否			
			滑動體裂隙		☒ Y.是 ☐ N.否		圓弧形次崩崖		☒ Y.是 ☐ N.否			
			崩塌體與圍岩剪切破壞, 土石破碎		☐ Y.是 ☒ N.否		兩翼排水溝呈雙溝同源		☐ Y.是 ☒ N.否			
可能致災情形	因聚落位於崩塌地下方, 若崩塌發生, 會直接影響旗山溪右岸(西岸)甲仙聚落, 可能影響戶數有250戶											

林班地深層崩塌資料表

林班事業區	旗山事業區4號林班地		山崩編號	高雄市-甲仙區-D047		山崩中心點坐標 (TWD97)	X: 206635 Y: 2553453		調查人員	何岱杰、許志宇		
調查日期	2013/3/21		保全對象	☒ A.道路 ☐ B.橋樑 建物(☐ C1. <5棟 ☐ C2. 5-10棟 ☒ C3. >10棟) ☐ D.其他 ☐ E.無		保全對象位置	甲仙地區旗山溪兩岸河階地					
岩性	沉積岩(主要岩性)		☐ A1.礫岩 ☒ A2.砂岩 ☐ A3.粉砂岩 ☒ A4.頁岩 ☐ A5.泥岩 ☐ A6.石灰岩 ☐ A7.凝灰質砂岩 ☐ A8.其他_____									
	變質岩		☐ B1.硬頁岩 ☐ B2.板岩 ☐ B3.千枚岩和片岩(片麻岩) ☐ B4.變質砂岩 ☐ B5.大理岩(含白雲岩)									
	火成岩		☐ C1.安山岩 ☐ C2.玄武岩 ☐ C3.火山角礫岩(集塊岩) ☐ C4.凝灰岩 ☐ C5.其他_____									
	礫層或未固結材料		☒ D1.崩積層 ☐ D2.風化層 ☐ D3.紅土礫石層 ☐ D4.其他_____									
地質特性	層面位態		層面 (N35E, 44E)		劈理、片理位態		劈理、片理 N /					
	節理特性	位態	節理組1: N /		平均間距	節理組1: m		開口	節理組1: cm		滲水	節理組1: ☐ 有 ☐ 無
			節理組2: N /			節理組2: m			節理組2: cm			節理組2: ☐ 有 ☐ 無
			節理組3: N /			節理組3: m			節理組3: cm			節理組3: ☐ 有 ☐ 無
斷層構造		☐ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 正 ☐ 逆 ☐ 橫移、觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判										
褶皺構造		☒ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 背斜 ☐ 向斜 觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判										
山崩材料	☐ A.新鮮岩塊 ☒ B.風化土石 ☐ C.礫石(紅土礫石) ☒ D.崩積土石 ☐ E.礫石堆積 ☐ F.填土 ☐ G.其他 (可複選)											
規模大小	圓面數化	面積	840000 m ²		最大寬度: 760 m; 最大高差: 480 m							
地形坡度	☒ A.緩 (0-20度) ☐ B.陡 (21-40度) ☐ C.極陡 (41-60度) ☒ D.崖 (61度以上)											
地下水狀況	☒ A.乾 ☐ B.溼 ☐ C.滲水 ☐ D.湧水											
地面水匯集	☐ Y.有 ☒ N.無		河岸侵蝕		☒ Y.有 ☐ N.無		趾部人為開挖		☐ Y.有 ☒ N.無			
山崩趾部特徵	趾部河道寬度		500 m		趾部突出河道 ☒ Y.有 ☐ N.無							
崩塌地形	主崩崖特徵	崖高: 200 m		崖寬: 470 m		崖面新鮮		☒ Y.是 ☐ N.否				
		冠部有張力裂縫		☐ Y.是 ☒ N.否		主崩崖下方有窪地或水池		☐ Y.是 ☒ N.否				
	滑動體特徵	外觀呈凹陷地形		☐ Y.是 ☒ N.否		上段呈下陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否				
		中段呈緩坡狀		☒ Y.是 ☐ N.否		下段呈隆起地形		☒ Y.是 ☐ N.否				
		滑動體裂隙		☒ Y.是 ☐ N.否		圓弧形次崩崖		☒ Y.是 ☐ N.否				
崩塌體與圍岩剪切破壞, 土石破碎		☐ Y.是 ☒ N.否		兩翼排水溝呈雙溝同源		☐ Y.是 ☒ N.否						
可能致災情形	因聚落位於崩塌地下方, 若崩塌發生, 會直接影響旗山溪右岸(西岸)甲仙聚落, 可能影響戶數有250戶											

林班地深層崩塌資料表

林班事業區	旗山事業區36號林班地		山崩編號	高雄市-杉林區-D014		山崩中心點坐標 (TWD97)	X: 209077 Y: 2545705		調查人員	何岱杰、許志宇		
調查日期	2013/3/22		保全對象	☒ A.道路 ☒ B.橋樑 建物(☐ C1. <5棟 ☐ C2. 5-10棟 ☒ C3. >10棟) ☐ D.其他 ☐ E.無		保全對象位置	河道下游及坡面住戶					
岩性	沉積岩(主要岩性)		☐ A1.礫岩 ☒ A2.砂岩 ☐ A3.粉砂岩 ☒ A4.頁岩 ☐ A5.泥岩 ☐ A6.石灰岩 ☐ A7.凝灰質砂岩 ☐ A8.其他_____									
	變質岩		☐ B1.硬頁岩 ☐ B2.板岩 ☐ B3.千枚岩和片岩(片麻岩) ☐ B4.變質砂岩 ☐ B5.大理岩(含白雲岩)									
	火成岩		☐ C1.安山岩 ☐ C2.玄武岩 ☐ C3.火山角礫岩(集塊岩) ☐ C4.凝灰岩 ☐ C5.其他_____									
	礫層或未固結材料		☒ D1.崩積層 ☐ D2.風化層 ☐ D3.紅土礫石層 ☐ D4.其他_____									
地質特性	層面位態		層面 (N88E, 29S)		劈理、片理位態		劈理、片理 N /					
	節理特性	位態	節理組1: N /		平均間距	節理組1: m		開口	節理組1: cm		滲水	節理組1: ☐ 有 ☐ 無
			節理組2: N /			節理組2: m			節理組2: cm			節理組2: ☐ 有 ☐ 無
			節理組3: N /			節理組3: m			節理組3: cm			節理組3: ☐ 有 ☐ 無
斷層構造		☒ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 正 ☐ 逆 ☐ 橫移、觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判										
褶皺構造		☒ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 背斜 ☐ 向斜 觀測方式: ☐ 現地量測 ☒ 地質圖研判										
山崩材料	☒ A.新鮮岩塊 ☒ B.風化土石 ☐ C.礫石(紅土礫石) ☒ D.崩積土石 ☐ E.礫石堆積 ☐ F.填土 ☐ G.其他 (可複選)											
規模大小	圓面數化	面積	475000 m ²		最大寬度: 660 m; 最大高差: 255 m							
地形坡度	☒ A.緩 (0-20度) ☐ B.陡 (21-40度) ☐ C.極陡 (41-60度) ☐ D.崖 (61度以上)											
地下水狀況	☒ A.乾 ☐ B.溼 ☐ C.滲水 ☐ D.湧水											
地面水匯集	☐ Y.有 ☒ N.無		河岸侵蝕		☒ Y.有 ☐ N.無		趾部人為開挖		☐ Y.有 ☒ N.無			
山崩趾部特徵	趾部河道寬度		m		趾部突出河道 ☒ Y.有 ☐ N.無							
崩塌地形	主崩崖特徵	崖高: m		崖寬: m		崖面新鮮		☐ Y.是 ☒ N.否				
		冠部有張力裂縫		☐ Y.是 ☒ N.否		主崩崖下方有窪地或水池		☐ Y.是 ☒ N.否				
	滑動體特徵	外觀呈凹陷地形		☐ Y.是 ☒ N.否		上段呈下陷地形		☐ Y.是 ☒ N.否				
		中段呈緩坡狀		☒ Y.是 ☐ N.否		下段呈隆起地形		☒ Y.是 ☐ N.否				
		滑動體裂隙		☒ Y.是 ☐ N.否		圓弧形次崩崖		☒ Y.是 ☐ N.否				
崩塌體與圍岩剪切破壞, 土石破碎		☐ Y.是 ☒ N.否		兩翼排水溝呈雙溝同源		☐ Y.是 ☒ N.否						
可能致災情形	崩塌導致堰塞湖, 可能影響戶數大於10戶											

林班地深層崩塌資料表

林班事業區	旗山事業區37號林班地		山崩編號	高雄市-杉林區-D020		山崩中心點坐標 (TWD97)	X: 209272 Y: 2544630		調查人員	何岱杰、許志宇			
調查日期	2013/3/21		保全對象	河道下游及坡面住戶									
保全對象	☒ A.道路 ☒ B.橋樑 建物(☒ C1. <5棟 ☐ C2. 5-10棟 ☐ C3. >10棟) ☐ D.其他 ☐ E.無												
岩性	沉積岩(主要岩性)		☐ A1.礫岩 ☒ A2.砂岩 ☐ A3.粉砂岩 ☒ A4.頁岩 ☐ A5.泥岩 ☐ A6.石灰岩 ☐ A7.凝灰質砂岩 ☐ A8.其他_____										
	變質岩		☐ B1.硬頁岩 ☐ B2.板岩 ☐ B3.千枚岩和片岩(片麻岩) ☐ B4.變質砂岩 ☐ B5.大理岩(含白雲岩)										
	火成岩		☐ C1.安山岩 ☐ C2.玄武岩 ☐ C3.火山角礫岩(集塊岩) ☐ C4.凝灰岩 ☐ C5.其他_____										
	礫岩或未固結材料		☒ D1.崩積層 ☐ D2.風化層 ☐ D3.紅土礫石層 ☐ D4.其他_____										
地質特性	層面位態		層面 (N40W, 80W)		劈理、片理位態		劈理、片理 N /						
	節理特性	位態	節理組1: N /		平均間距	節理組1: m		開口	節理組1: cm		滲水	節理組1: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組2: N /			節理組2: m			節理組2: cm			節理組2: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組3: N /			節理組3: m			節理組3: cm			節理組3: ☐ 有 ☐ 無	
斷層構造		☐ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 正 ☐ 逆 ☐ 橫移、觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判											
褶皺構造		☐ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 背斜 ☐ 向斜 觀測方式: ☐ 現地量測 ☒ 地質圖研判											
山崩材料	☒ A.新鮮岩塊 ☒ B.風化土石 ☐ C.礫石(紅土礫石) ☒ D.崩積土石 ☐ E.礫石堆積 ☐ F.填土 ☐ G.其他 (可複選)												
規模大小	圓面數化		面積		158000 m ²		最大寬度: 450 m; 最大高差: 200 m						
地形坡度	☐ A.緩 (0-20度) ☒ B.陡 (21-40度) ☐ C.極陡 (41-60度) ☒ D.崖 (61度以上)												
地下水狀況	☒ A.乾 ☐ B.溼 ☐ C.滲水 ☐ D.湧水												
地面水匯集	☐ Y.有 ☒ N.無 河岸侵蝕 ☒ Y.有 ☐ N.無 趾部人為開挖 ☐ Y.有 ☒ N.無												
山崩趾部特徵	趾部河道寬度		80 m		趾部突出河道		☐ Y.有 ☒ N.無						
崩塌地形	主崩崖特徵	崖高: 0.3 m		崖寬: 400 m		崖面新鮮		☐ Y.是 ☒ N.否					
		冠部有張力裂縫		☒ Y.是 ☐ N.否		主崩崖下方有窪地或水池		☐ Y.是 ☒ N.否					
	滑動體特徵	外觀呈凹陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否		上段呈下陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否					
		中段呈緩坡狀		☒ Y.是 ☐ N.否		下段呈隆起地形		☒ Y.是 ☐ N.否					
		滑動體裂隙		☒ Y.是 ☐ N.否		圓弧形次崩崖		☒ Y.是 ☐ N.否					
		崩塌體與圍岩剪切破壞, 土石破碎		☐ Y.是 ☒ N.否		兩翼排水溝呈雙溝同源		☐ Y.是 ☒ N.否					
可能致災情形		崩塌導致堰塞湖, 可能影響戶數大於10戶, 而高雄市-杉林區-D020邊坡尚有兩住戶, 若高雄市-杉林區-D020崩塌可能直接影響坡面住戶											

林班地深層崩塌資料表

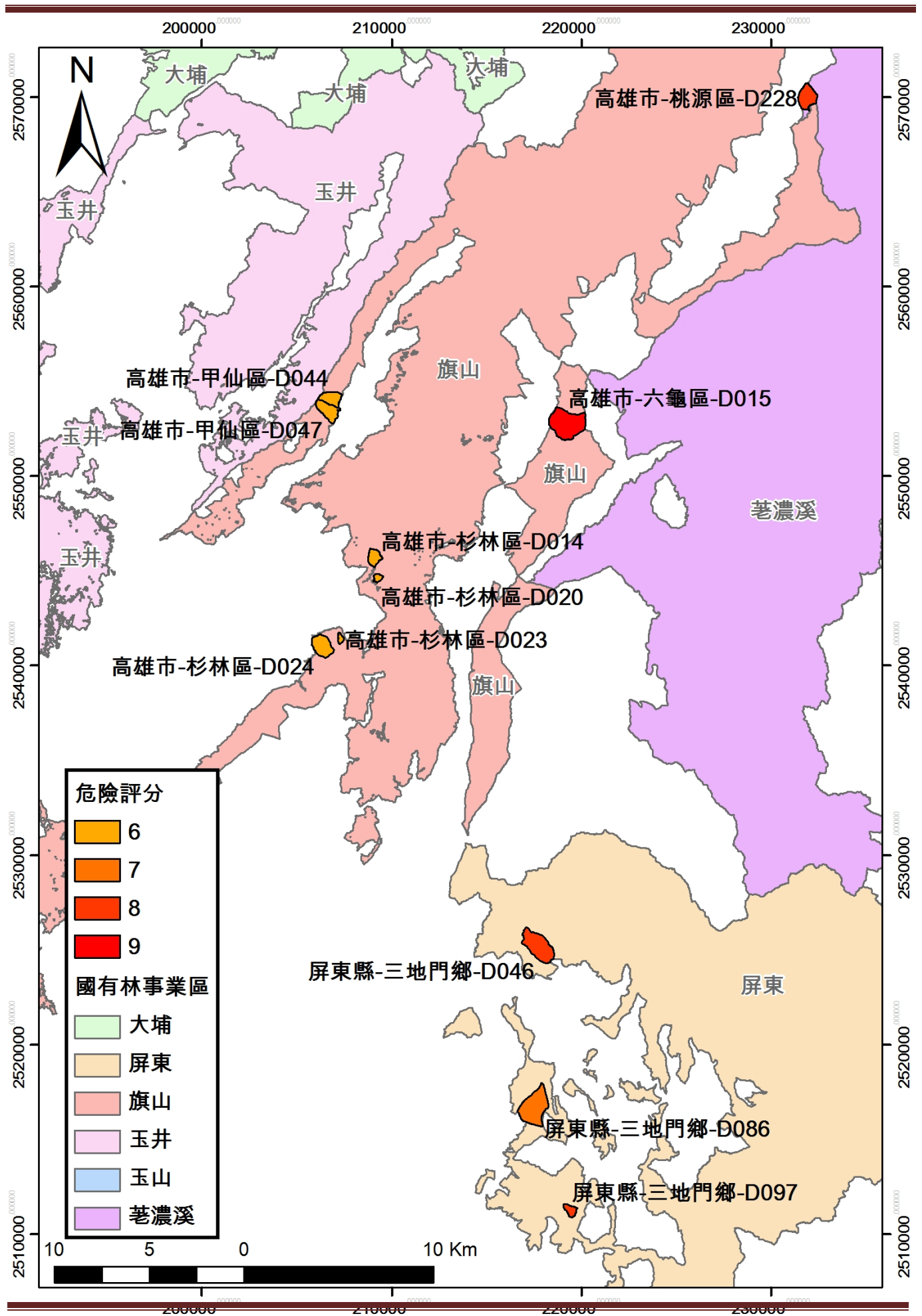
林班事業區	旗山事業區47號林班地		山崩編號	高雄市-美濃區-D004		山崩中心點坐標 (TWD97)	X: 209077 Y: 2545705		調查人員	何岱杰、許志宇			
調查日期	2013/4/24		保全對象	下游甲河聚落									
保全對象	☒ A.道路 ☐ B.橋樑 建物(☐ C1. <5棟 ☐ C2. 5-10棟 ☒ C3. >10棟) ☐ D.其他 ☐ E.無												
岩性	沉積岩(主要岩性)		☐ A1.礫岩 ☒ A2.砂岩 ☐ A3.粉砂岩 ☒ A4.頁岩 ☐ A5.泥岩 ☐ A6.石灰岩 ☐ A7.凝灰質砂岩 ☐ A8.其他_____										
	變質岩		☐ B1.硬頁岩 ☐ B2.板岩 ☐ B3.千枚岩和片岩(片麻岩) ☐ B4.變質砂岩 ☐ B5.大理岩(含白雲岩)										
	火成岩		☐ C1.安山岩 ☐ C2.玄武岩 ☐ C3.火山角礫岩(集塊岩) ☐ C4.凝灰岩 ☐ C5.其他_____										
	礫岩或未固結材料		☒ D1.崩積層 ☐ D2.風化層 ☐ D3.紅土礫石層 ☐ D4.其他_____										
地質特性	層面位態		層面 (N54E, 35W)		劈理、片理位態		劈理、片理 N /						
	節理特性	位態	節理組1: N /		平均間距	節理組1: m		開口	節理組1: cm		滲水	節理組1: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組2: N /			節理組2: m			節理組2: cm			節理組2: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組3: N /			節理組3: m			節理組3: cm			節理組3: ☐ 有 ☐ 無	
斷層構造		☒ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 正 ☐ 逆 ☐ 橫移、觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判											
褶皺構造		☒ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 背斜 ☐ 向斜 觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判											
山崩材料	☒ A.新鮮岩塊 ☒ B.風化土石 ☐ C.礫石(紅土礫石) ☒ D.崩積土石 ☐ E.礫石堆積 ☐ F.填土 ☐ G.其他 (可複選)												
規模大小	圓面數化		面積		420000 m ²		最大寬度: 690 m; 最大高差: 300 m						
地形坡度	☒ A.緩 (0-20度) ☐ B.陡 (21-40度) ☐ C.極陡 (41-60度) ☐ D.崖 (61度以上)												
地下水狀況	☒ A.乾 ☐ B.溼 ☐ C.滲水 ☐ D.湧水												
地面水匯集	☐ Y.有 ☒ N.無 河岸侵蝕 ☐ Y.有 ☒ N.無 趾部人為開挖 ☐ Y.有 ☒ N.無												
山崩趾部特徵	趾部河道寬度		10 m		趾部突出河道		☐ Y.有 ☒ N.無						
崩塌地形	主崩崖特徵	崖高: 0.5 m		崖寬: 500 m		崖面新鮮		☒ Y.是 ☐ N.否					
		冠部有張力裂縫		☒ Y.是 ☐ N.否		主崩崖下方有窪地或水池		☐ Y.是 ☒ N.否					
	滑動體特徵	外觀呈凹陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否		上段呈下陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否					
		中段呈緩坡狀		☒ Y.是 ☐ N.否		下段呈隆起地形		☒ Y.是 ☐ N.否					
		滑動體裂隙		☒ Y.是 ☐ N.否		圓弧形次崩崖		☒ Y.是 ☐ N.否					
		崩塌體與圍岩剪切破壞, 土石破碎		☐ Y.是 ☒ N.否		兩翼排水溝呈雙溝同源		☐ Y.是 ☒ N.否					
可能致災情形		致災成因有二: 一、崩塌發生直接影響坡面聚落; 二、崩塌發生大量土石運輸到河道, 產生土石流而影響到下游甲河聚落											

林班地深層崩塌資料表

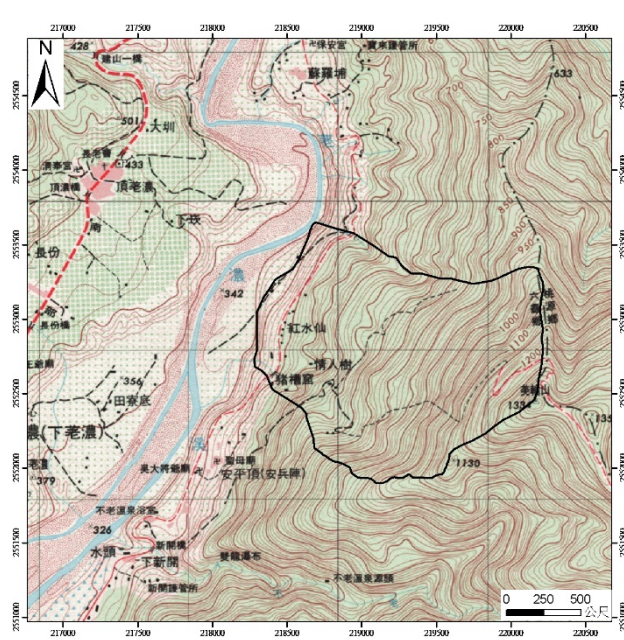
林班事業區	屏東事業區43號林班地		山崩編號	屏東縣-三地門鄉-D086		山崩中心點坐標 (TWD97)	X: 217524 Y: 2516694		調查人員	何岱杰、許志宇			
保全對象	☒ A.道路 ☐ B.橋樑 建物(☐ C1. <5棟 ☐ C2. 5-10棟 ☒ C3. >10棟) ☐ D.其他 ☐ E.無					保全對象位置	河道下游及坡面住戶						
岩性	沉積岩(主要岩性)		☐ A1.礫岩 ☒ A2.砂岩 ☐ A3.粉砂岩 ☐ A4.頁岩 ☐ A5.泥岩 ☐ A6.石灰岩 ☐ A7.凝灰質砂岩 ☐ A8.其他_____										
	變質岩		☐ B1.硬頁岩 ☒ B2.板岩 ☐ B3.千枚岩和片岩(片麻岩) ☐ B4.變質砂岩 ☐ B5.大理岩(含白雲岩)										
	火成岩		☐ C1.安山岩 ☐ C2.玄武岩 ☐ C3.火山角礫岩(集塊岩) ☐ C4.凝灰岩 ☐ C5.其他_____										
	礫層或未固結材料		☐ D1.崩積層 ☐ D2.風化層 ☐ D3.紅土礫石層 ☐ D4.其他_____										
地質特性	層面位態		層面 (N32E, 37S)		劈理、片理位態		劈理、片理 N /						
	節理特性	位態	節理組1: N /		平均間距	節理組1: m		開口	節理組1: cm		滲水	節理組1: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組2: N /			節理組2: m			節理組2: cm			節理組2: ☐ 有 ☐ 無	
			節理組3: N /			節理組3: m			節理組3: cm			節理組3: ☐ 有 ☐ 無	
斷層構造		☒ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 正 ☐ 逆 ☐ 橫移、觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判											
褶皺構造		☒ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 背斜 ☐ 向斜 觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判											
山崩材料	☒ A.新鮮岩塊 ☒ B.風化土石 ☐ C.礫石(紅土礫石) ☒ D.崩積土石 ☐ E.礦渣堆積 ☐ F.填土 ☐ G.其他 (可複選)												
規模大小	圓面數化	面積	210000 m ²		最大寬度: 1900 m; 最大高差: 730 m								
地形坡度	☐ A.緩 (0-20度) ☒ B.陡 (21-40度) ☐ C.極陡 (41-60度) ☐ D.崖 (61度以上)												
地下水狀況	☒ A.乾 ☐ B.溼 ☐ C.滲水 ☐ D.湧水												
地面水匯集	☐ Y.有 ☒ N.無		河岸侵蝕		☒ Y.有 ☐ N.無		趾部人為開挖		☐ Y.有 ☒ N.無				
山崩趾部特徵	趾部河道寬度		100 m		趾部突出河道		☐ Y.有 ☒ N.無						
崩塌地形	主崩崖特徵	崖高: m		崖寬: m		崖面新鮮			☐ Y.是 ☒ N.否				
		冠部有張力裂縫		☒ Y.是 ☐ N.否		主崩崖下方有窪地或水池			☐ Y.是 ☒ N.否				
	滑動體特徵	外觀呈凹陷地形		☐ Y.是 ☒ N.否		上段呈下陷地形			☐ Y.是 ☒ N.否				
		中段呈緩坡狀		☒ Y.是 ☐ N.否		下段呈隆起地形			☐ Y.是 ☒ N.否				
		滑動體裂隙		☒ Y.是 ☐ N.否		圓弧形次崩崖			☒ Y.是 ☐ N.否				
崩塌體與圍岩剪切破壞, 土石破碎		☐ Y.是 ☒ N.否		兩翼排水溝呈雙溝同源			☐ Y.是 ☒ N.否						
可能致災情形	大量崩塌材料堆積在隘寮溪, 導致隘寮溪產生堰塞湖, 影響依拉聚落和下游三地門聚落												

附錄三、類型 C 具滑動地形特徵之潛在深層崩塌之較高危險等級一欄表

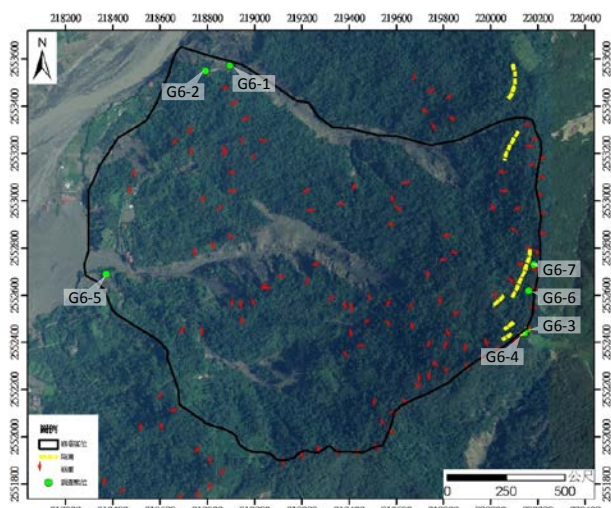
潛在深層崩塌編號	面積 (ha)	X	Y	事業區林班編號	保全 重要性	發生度 等級	危險等 級評分
高雄市-六龜區- D015	228	219237	2552762	旗山事業區第 87 號 林班	高	高	9
高雄市-桃源區- D228	93	231896	2569999	荖濃溪事業區第 115 號林班	高	中	8
屏東縣-三地門鄉- D097	31	219418	2511266	屏東事業區第 34 號 林班	高	中	8
屏東縣-三地門鄉- D046	178	217725	2525199	屏東事業區第 7 號 林班	高	中	8
屏東縣-三地門鄉- D086	209	217524	2516694	屏東事業區第 43 號 林班	中	高	7
高雄市-甲仙區- D044	67	206813	2554099	旗山事業區第 4 號 林班	高	低	6
高雄市-甲仙區- D047	84	206635	2553453	旗山事業區第 4 號 林班	高	低	6
高雄市-杉林區- D024	96	206338	2541037	旗山事業區第 39 號 林班	高	低	6
高雄市-杉林區- D020	16	209272	2544630	旗山事業區第 37 號 林班	高	低	6
高雄市-杉林區- D014	48	209077	2545705	旗山事業區第 36 號 林班	高	低	6
高雄市-杉林區- D023	12	207299	2541423	旗山事業區第 39 號 林班	高	低	6



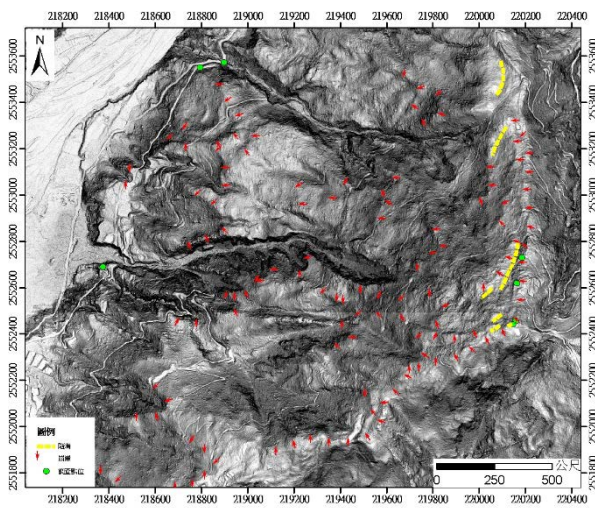
高雄市-六龜區-D015 位於高雄甲仙地區。潛在崩塌面積 228 公頃，所屬地層為潮州層(硬頁岩)。崩塌坡面內部有多處圓弧形崩崖，坡頂處發育雙重山脊和一系列小崩崖地形。



高雄市-六龜區-D015 位置圖(黑色範圍為潛在崩塌區位)

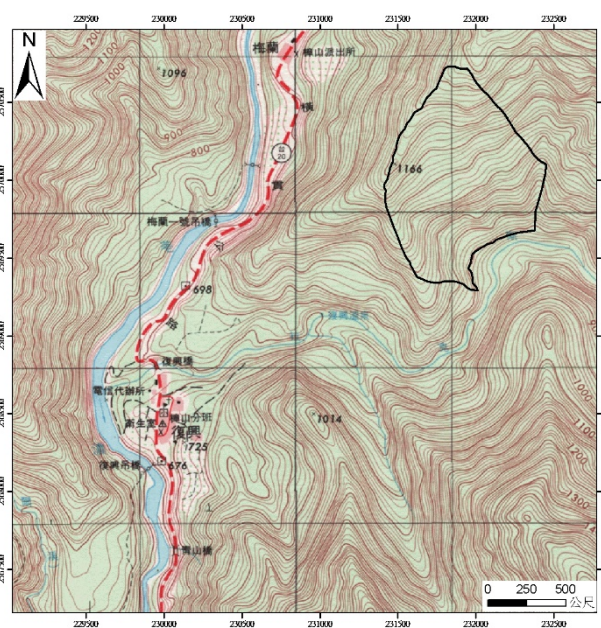


高雄市-六龜區-D015 航照圖

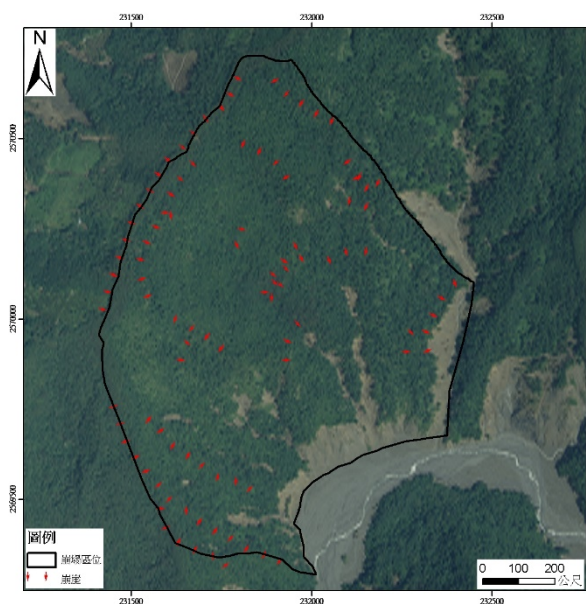


高雄市-六龜區-D015 高精度數值地形判釋圖

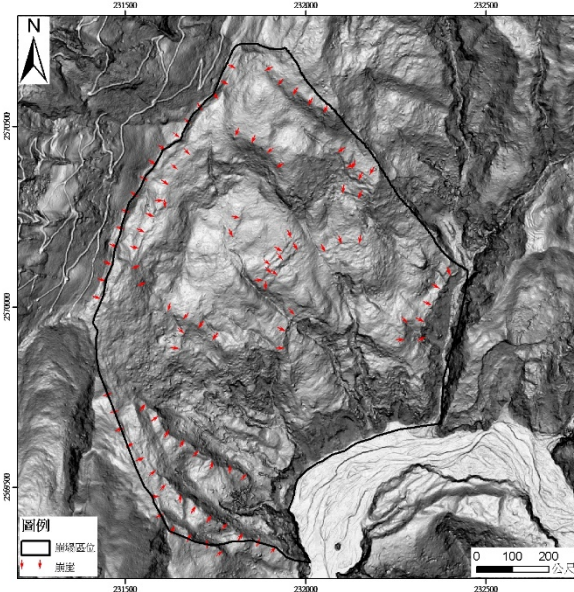
高雄市-桃源區-D228 位於高雄桃源鄉復興地區。潛在崩塌面積 93 公頃，所屬地層為潮州層(硬頁岩)。由影像判釋結果顯示坡面位於河道攻擊側，坡腳已裸露，坡面局部區域植生為淺綠色，表示坡面過去有崩塌發生。高精度數值影像顯示崩塌東北側存在多階崩崖，西南側為一滑距較大的崩崖面，表示滑動體主要位於崩塌東北側。



高雄市-桃源區-D228 位置圖(黑色範圍為潛在崩塌區位)

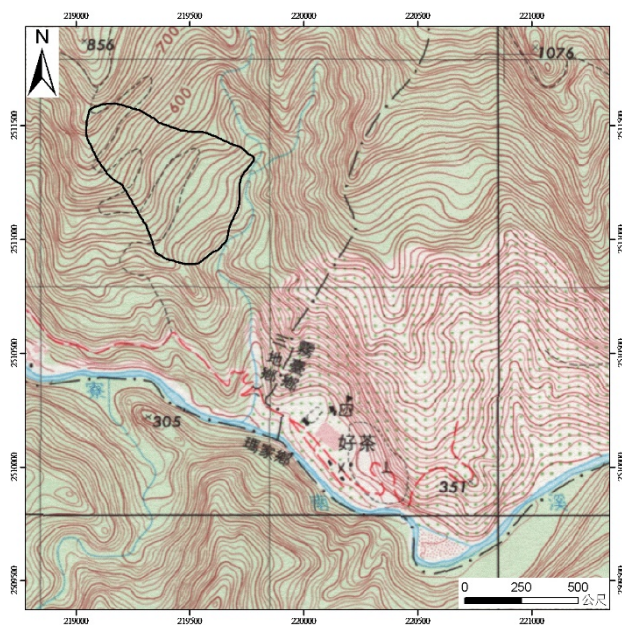


高雄市-桃源區-D228 航照圖

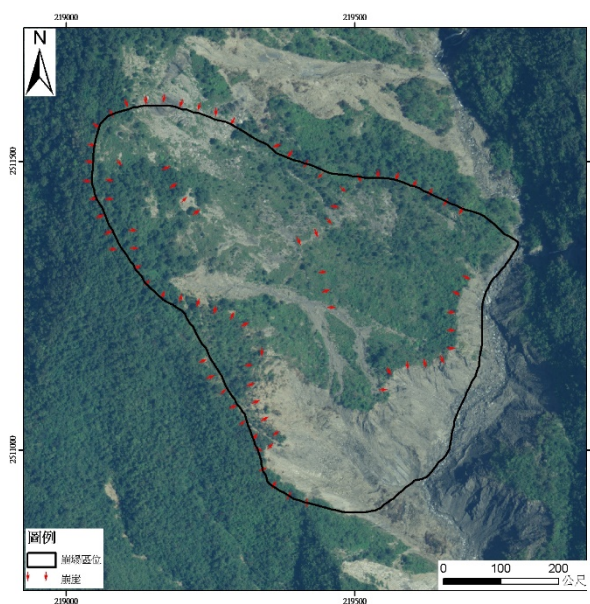


高雄市-桃源區-D228 高精度數值地形判釋圖

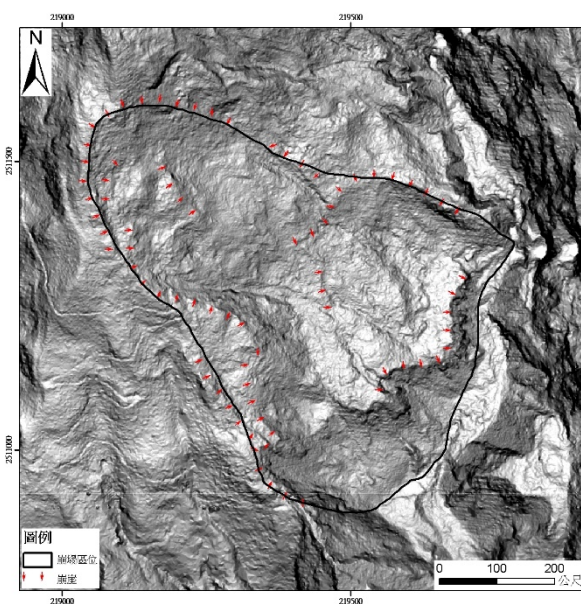
屏東縣-三地門鄉-D097 位於屏東三地門鄉好茶村地區。潛在崩塌面積 31 公頃，所屬地層為潮州層(硬頁岩)。由影像判釋結果顯示坡面位於主河道支流，坡面已有大面積裸露。高精度數值影像顯示坡面上部有大距離的崩崖，下部為緩坡地表示主要滑動體已崩滑到坡腹和坡趾處。



屏東縣-三地門鄉-D097 位置圖(黑色範圍為潛在崩塌區位)

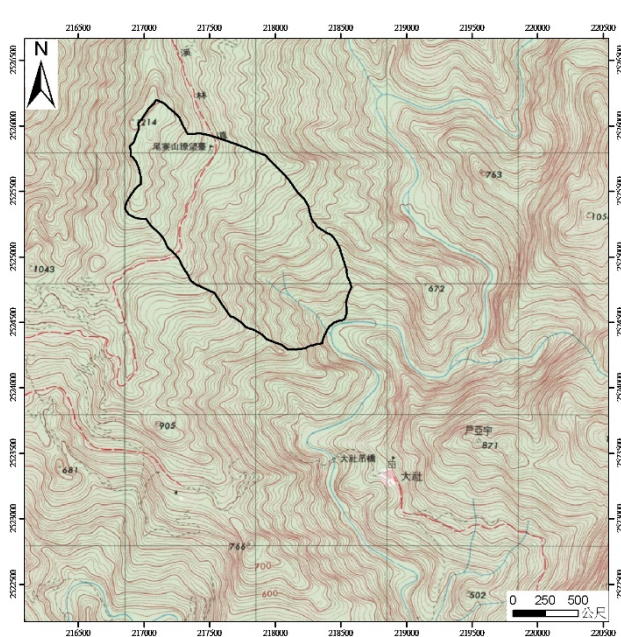


屏東縣-三地門鄉-D097 航照圖

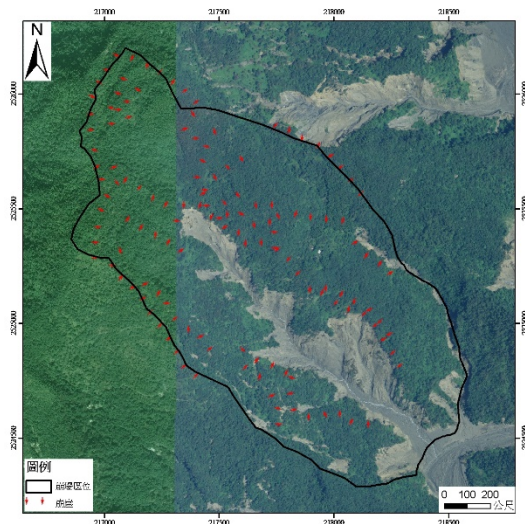


屏東縣-三地門鄉-D097 高精度數值地形判釋圖

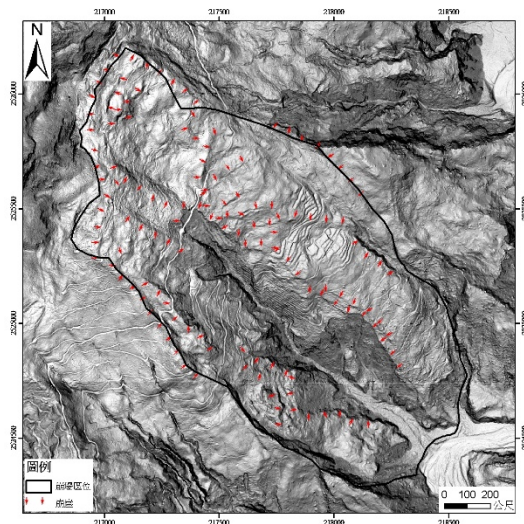
屏東縣-三地門鄉-D046 位於屏東三地門鄉大社地區。潛在崩塌面積 178 公頃，所屬地層為潮州層(硬頁岩)。由影像判釋結果顯示潛在崩塌區位形狀近長方形，中間有一明顯的侵蝕溝發育，將崩塌區位大致分成東北和西南兩側。高精度數值影像顯示東南側坡面為緩坡地並存在多處崩崖，西南側坡面，坡面陡，崩崖主要在山脊處或山頂。因此認為主要滑動體為東北側坡面。



屏東縣-三地門鄉-D046 位置圖(黑色範圍為潛在崩塌區位)

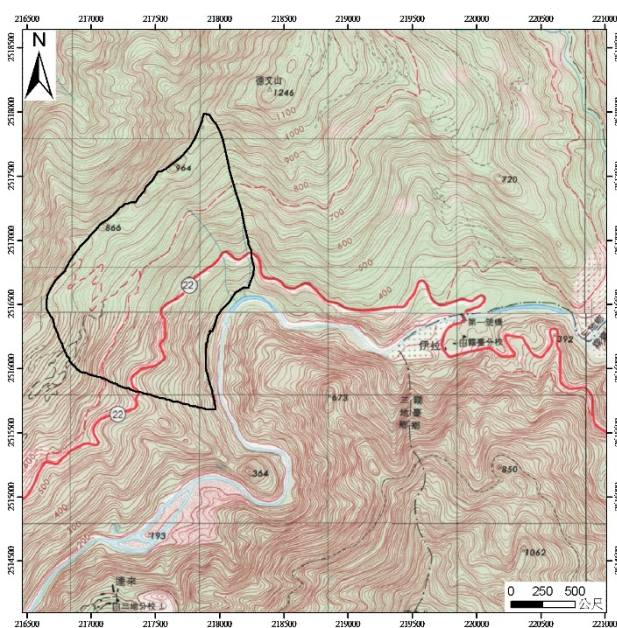


屏東縣-三地門鄉-D046 航照圖

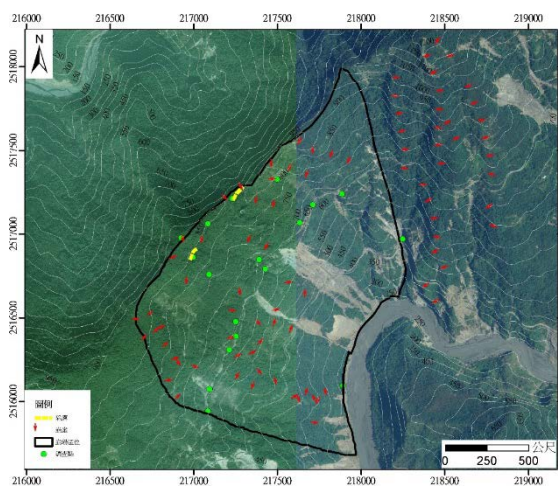


屏東縣-三地門鄉-D046 高精度數值地形判釋圖

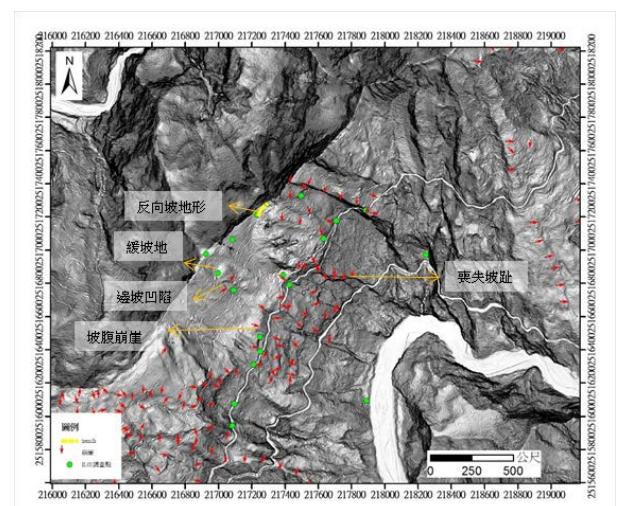
屏東縣-三地門鄉-D086 位於屏東三地門地區。潛在崩塌面積 209 公頃，所屬地層為潮州層(硬頁岩)。潛在崩塌範圍近長方形。依坡面情形可分為上下區，上邊坡坡面較平整，下邊坡坡面起伏較大，似波浪狀，可能是因板岩受重力變形。



屏東縣-三地門鄉-D086 位置圖(黑色範圍為潛在崩塌區位)

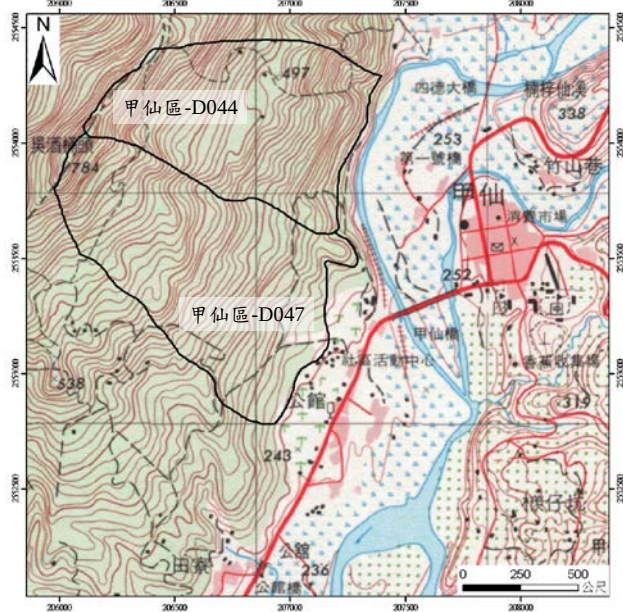


屏東縣-三地門鄉-D086 航照圖

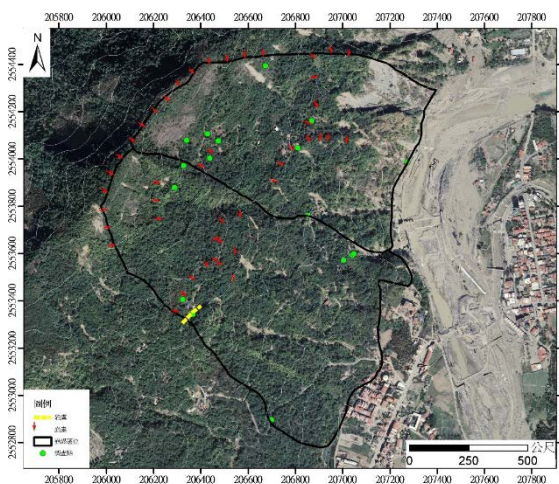


屏東縣-三地門鄉-D086 高精度數值地形判釋圖

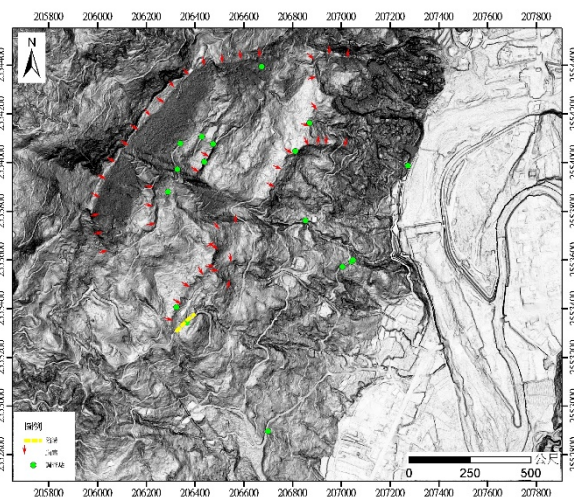
高雄市-甲仙區-D044 位於高雄甲仙地區。潛在崩塌面積 67 公頃，所屬地層為糖恩山砂岩與鹽水坑頁岩。上部為順向坡岩盤，為陡峭山脊；中部較為平緩坡面，其中有一崩崖由砂岩體節理面形成，此岩體傾角近乎水平，表示過去頂部砂岩曾經滑動，停在此緩坡面上或岩體發育褶曲；下部最外側為最明顯崩崖，地形較陡。



高雄市-甲仙區-D044 位置圖(黑色範圍為潛在崩塌區位)

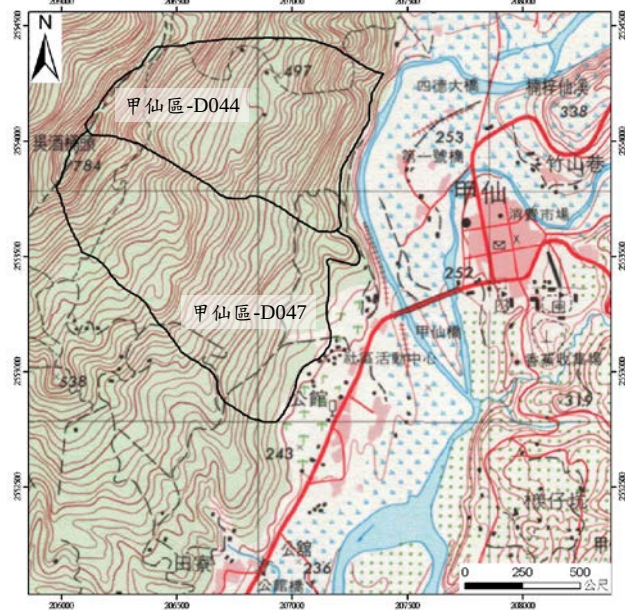


高雄市-甲仙區-D044 航照圖

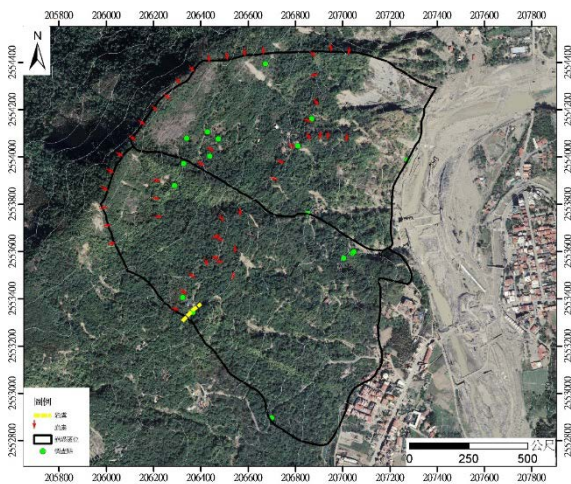


高雄市-甲仙區-D044 高精度數值地形判釋圖

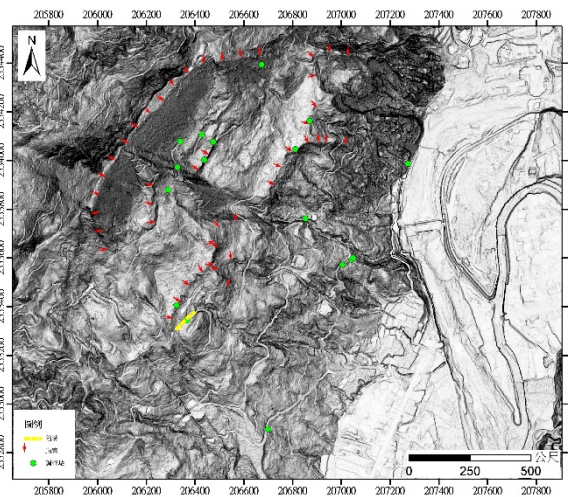
高雄市-甲仙區-D047 位於高雄甲仙地區。潛在崩塌面積 84 公頃，所屬地層為糖恩山砂岩與鹽水坑頁岩。上部為順向坡岩盤，地層層面位態與北段相近；下部為連續多階的平緩坡面，崖面具圓弧形，並發育多重山脊，崩塌特徵明顯。



高雄市-甲仙區-D047 位置圖(黑色範圍為潛在崩塌區位)

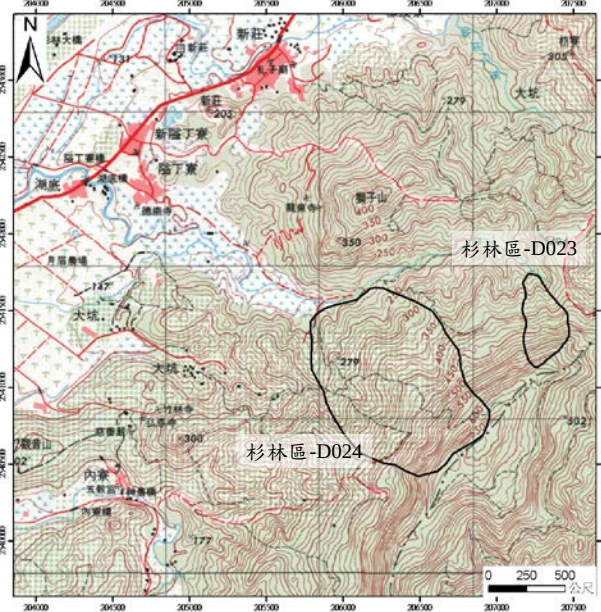


高雄市-甲仙區-D047 航照圖

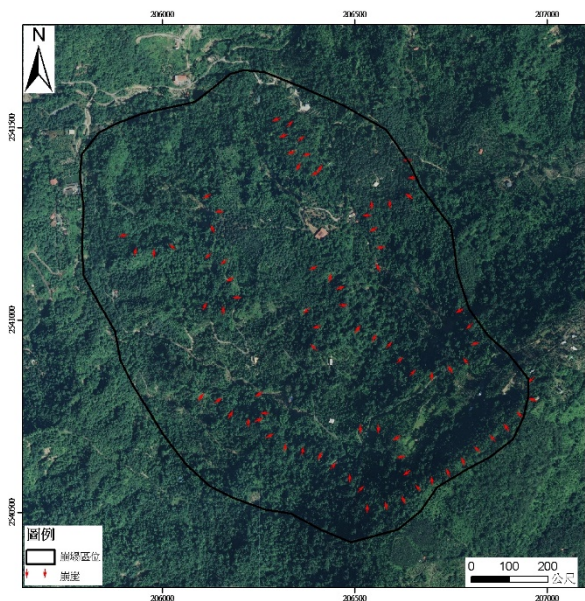


高雄市-甲仙區-D047 高精度數值地形判釋圖

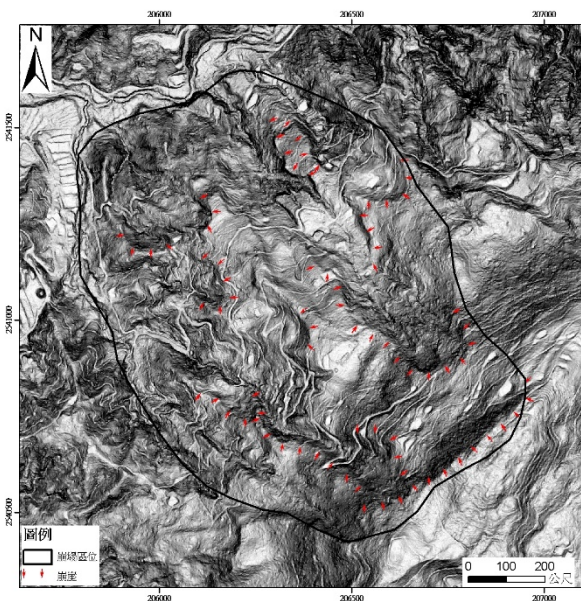
高雄市-杉林區-D024 位於高雄杉林區小份尾地區。潛在崩塌面積 96 公頃，所屬地層為長枝坑層。航照影像顯示坡面植生茂密，局部位置因人為開發而有所差異。高精度數值影像判釋結果顯示崩塌坡面存在一明顯的主崩崖，在崩塌內部有南北兩處明顯的舊崩塌地形。南側坡度較陡，推測多數滑動體體積相對較小。北側坡面較緩，故大多數滑動體還留在坡面上。



高雄市-杉林區-D024 位置圖(黑色範圍為潛在崩塌區位)

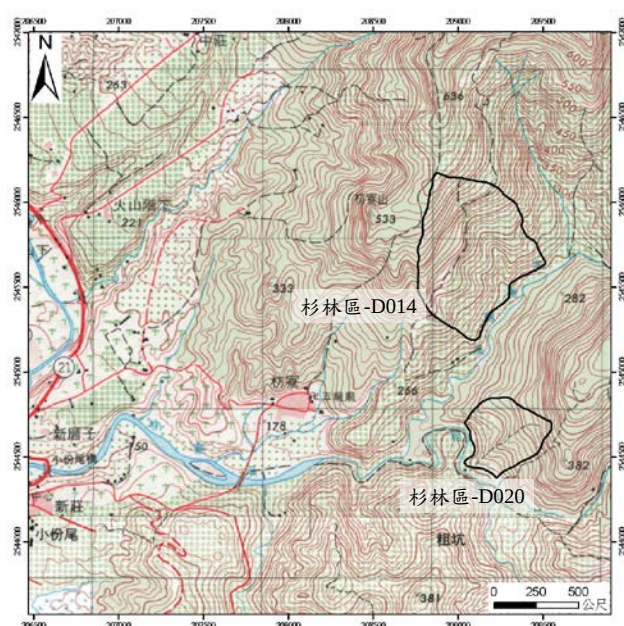


高雄市-杉林區-D024 航照圖

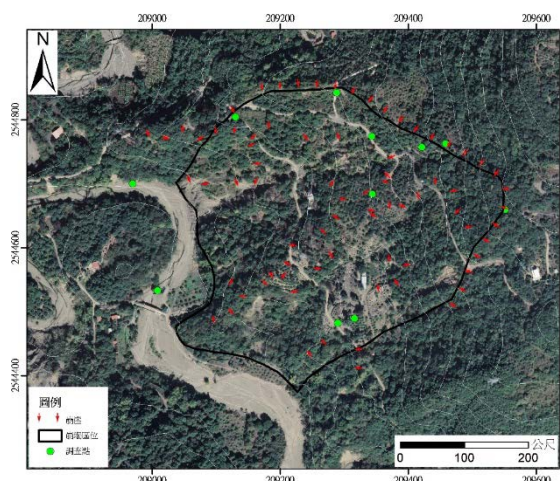


高雄市-杉林區-D024 高精度數值地形判釋圖

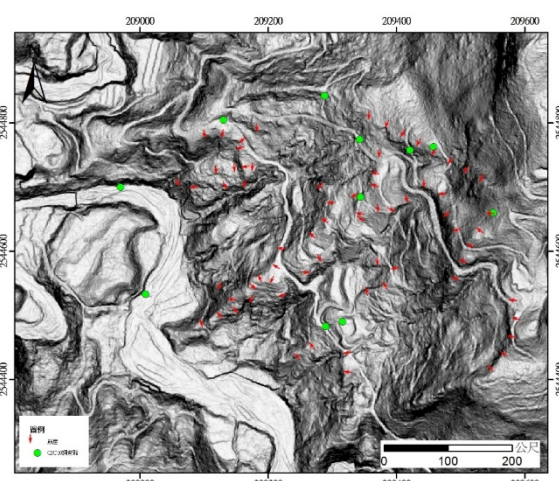
高雄市-杉林區-D020 位於高雄杉林區小份尾地區。潛在崩塌面積 16 公頃，所屬地層為長枝坑層。潛在崩塌範圍為一上下等近等寬的五角形。坡面可分為南北兩區，北側坡面中間呈現多處圓弧狀崩崖，崩崖分布大致有兩大圈，外側為主崩崖，主崩崖線性明顯，內側為坡腹次崩崖。南側坡面為上凹下緩近三角形凹狀坡面。



高雄市-杉林區-D020 位置圖(黑色範圍為潛在崩塌區位)

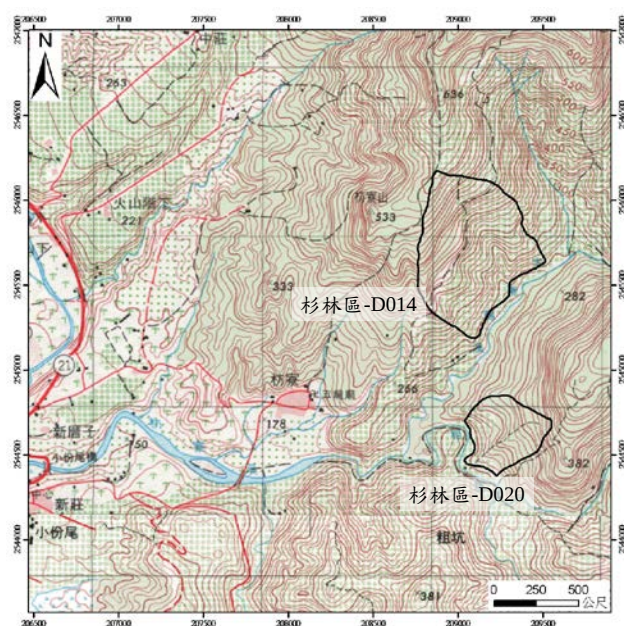


高雄市-杉林區-D020 航照圖

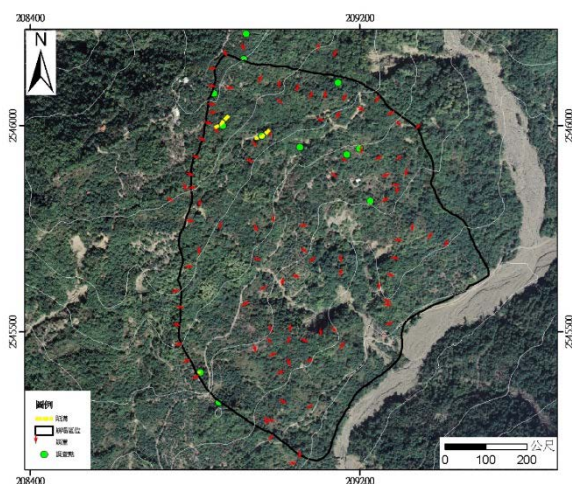


高雄市-杉林區-D020 高精度數值地形判釋圖

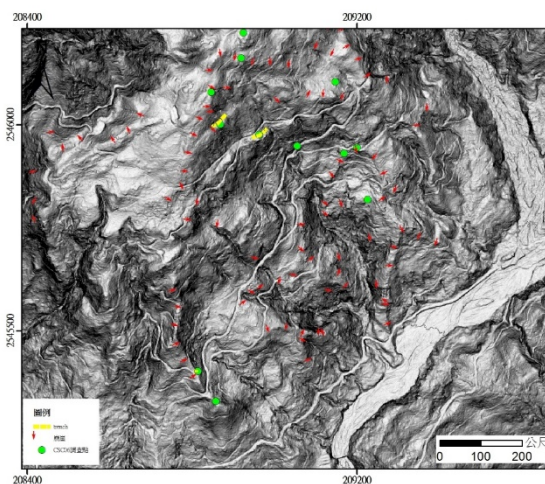
高雄市-杉林區-D014 位於高雄杉林區小份尾地區。潛在崩塌面積 48 公頃，所屬地層為長枝坑層。崩塌整體範圍為一凹谷狀地形，且內部存在多處崩塌地形。崩塌東側區位內部崩塌地形特徵較為明顯且活動性高。



高雄市-杉林區-D014 位置圖(黑色範圍為潛在崩塌區位)

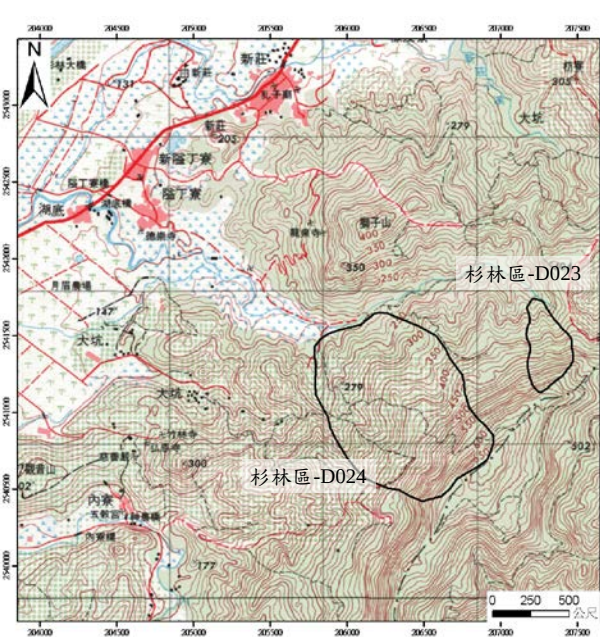


高雄市-杉林區-D014 航照圖

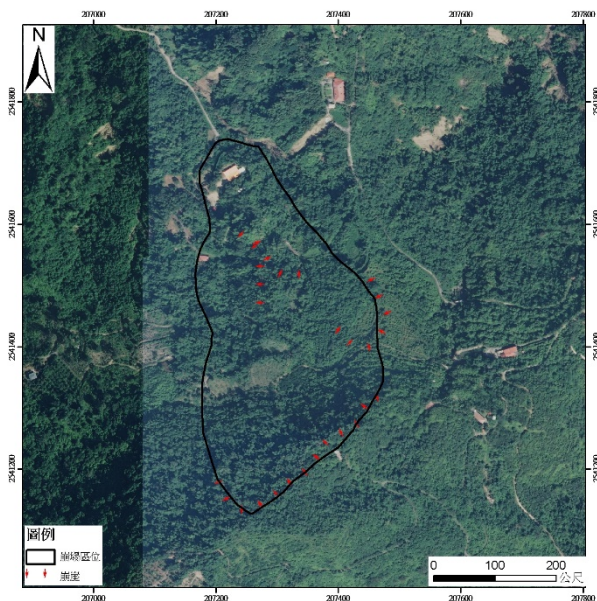


高雄市-杉林區-D014 高精度數值地形判釋圖

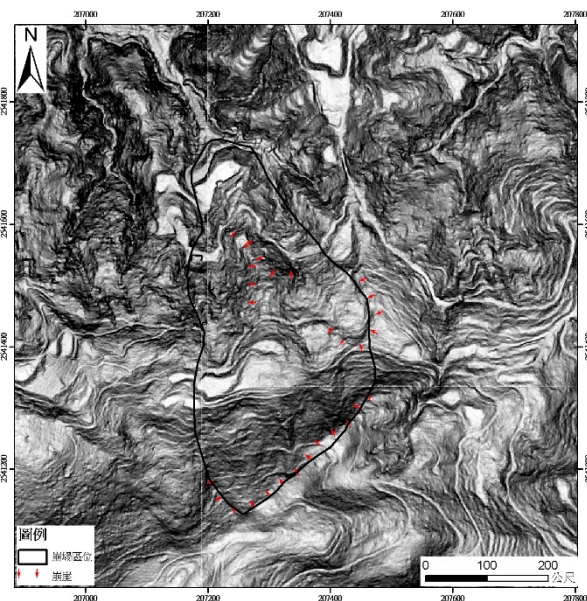
高雄市-杉林區-D023 位於高雄杉林區小份尾地區。潛在崩塌面積 12 公頃，所屬地層為長枝坑層。航照影像顯示坡面植生茂密，顏色相近，表示近期無崩塌發生。由高精度數值影像判釋結果顯示坡面上部為代表主崩崖的陡坡，滑距甚大。坡腹為緩坡地，表示滑動體主要在坡腹位置。



高雄市-杉林區-D023 位置圖(黑色範圍為潛在崩塌區位)



高雄市-杉林區-D023 航照圖



高雄市-杉林區-D023 高精度數值地形判釋圖

附錄四、監測儀器施工前後照片

監測設備 23-G1	
	
施工前	施工後
監測設備 23-G2	
	
施工前	施工後
監測設備 23-G3	
	
施工前	施工後
監測設備 23-G4	
	
施工前	施工後

監測設備 23-G5	
	
施工前	施工後
監測設備 23-E1	
	
施工前	施工後
監測設備 23-E2	
	
施工前	施工後

附錄五、監測資料處理說明

GPS 資料計算說明

本案以全球定位系統(Global Positioning System, GPS)進行監測區域內各單、雙頻連續站的位置計算，資料之計算可分為兩個階段如下：

(一) 監測區 GPS 雙頻連續站之坐標計算

GPS 雙頻連續站為監測區內的主要基準站，其應與國內(或國外，例如 IGS 站)具有較穩定坐標與速度量之雙頻連續站進行聯合計算，並辦理：

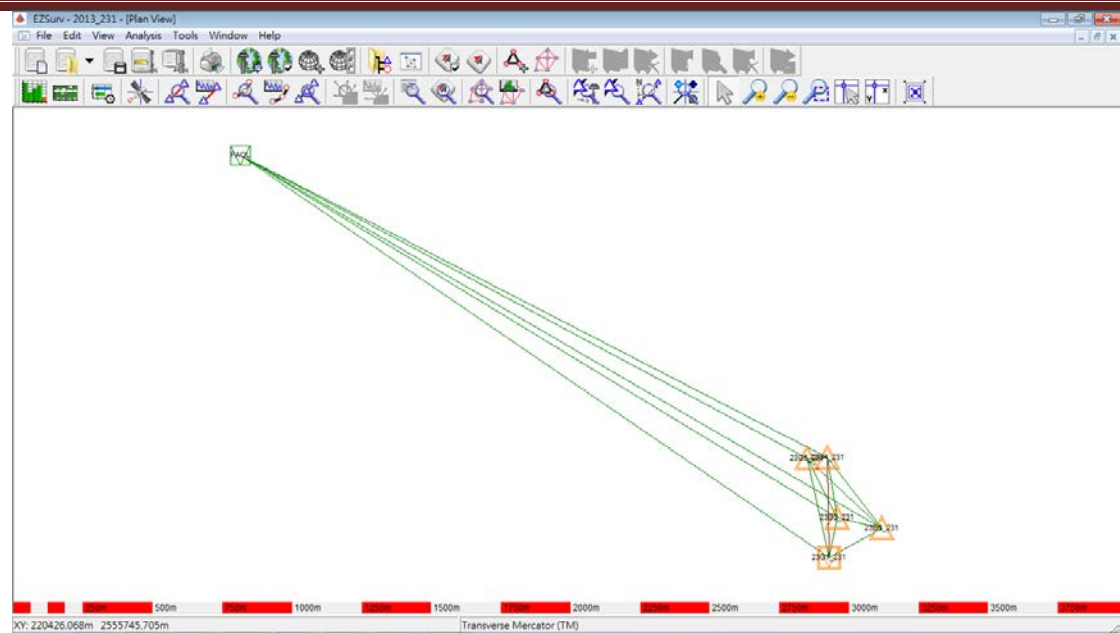
- (1)最小約制網平差計算：分析 GPS 雙頻連續站的資料品質，以進行時間序列資料的剔錯與篩選(一般以經標準化後的 3 倍殘差量為篩選門檻)；並藉由每日坐標的時間序列分析，瞭解區域 GPS 雙頻連續站坐標與速度量的穩定度，作為區域內單頻連續站相對定位之約制參考。

具體的作法為採用最小約制網平差模式與時間序列分析模式作為觀測資料與解算成果的品質控制，經由每日坐標成果的時間序列分佈圖，擬合一最佳擬合趨勢線，凡單日坐標值偏離趨勢線過大者(以標準化後的 3 倍的殘差量為篩選門檻)，則當日的坐標成果將不採用。如此，可以獲得監測區雙頻主站的穩定參考坐標。

- (2)套合約制網平差計算，約制於國內(或國外，例如 IGS 站)具有較穩定坐標與速度量之雙頻連續站，以獲得 GPS 雙頻連續站相對於國內(外)約制框架網的坐標以及速度量，作為解算區域內單頻連續站之相對滑移速度分析使用。

(二) 監測區 GPS 單頻連續站之坐標計算

GPS 單頻連續站與區域內的 GPS 雙頻連續站進行同步解算，以獲得每日單頻站的坐標成果。



※基線網型

ALL PROCESSED SUMMARY
EZSurv 2.93

Project	E:\FOREST\PROJECT\231\2013_231.apr
Mapping System	Transverse Mercator (TM)
Projection Template	Transverse Mercator
Datum	WGS84 (World)
Geoid Model	<None>

BASELINES

Baseline	Solution	*	Length (m)	RMS (m)	RDOP	Ratio	Duration	# Sat	Number of epochs		
									Total	Solved	% Solved
2302_231-2302_231(01)	L1 (fixed)		146.430	0.018	0.09	13.7	11:59:59.00	24	43199	43199	100.00
2301_231-2303_231(01)	L1 (fixed)		240.057	0.020	0.09	18.2	08:59:59.00	22	32399	32399	100.00
2301_231-2305_231(01)	L1 (fixed)		366.806	0.019	0.06	90.0	23:59:58.99	31	86399	86399	100.00
2302_231-2303_231(01)	L1 (fixed)		189.468	0.019	0.07	7.9	23:59:59.00	31	86400	83484	96.62
2302_231-2304_231(01)	L1 (fixed)		219.370	0.017	0.06	7.1	23:59:59.00	31	86399	84503	97.81
2302_231-2305_231(01)	L1 (fixed)		214.735	0.016	0.06	11.4	23:59:58.99	31	86399	84472	97.77
2303_231-2304_231(01)	L1 (fixed)		340.624	0.014	0.06	90.0	23:59:59.00	31	86399	86390	99.99
2303_231-2305_231(01)	L1 (fixed)		397.187	0.014	0.06	90.0	23:59:58.99	31	86399	86383	99.95
2304_231-2305_231(01)	L1 (fixed)		81.677	0.013	0.04	90.0	23:59:58.99	31	86399	86374	99.97
FA02-2301_231(01)	L1 (fixed)		2610.840	0.020	0.09	90.0	08:59:45.00	21	2159	2159	100.00
FA02-2302_231(01)	L1 (fixed)		2559.878	0.020	0.05	90.0	23:59:45.00	31	5760	5760	100.00
FA02-2303_231(01)	L1 (fixed)		2734.063	0.019	0.05	11.7	23:59:45.00	31	5760	5759	99.98
FA02-2304_231(01)	L1 (fixed)		2422.675	0.019	0.04	90.0	23:59:45.00	31	5759	5756	99.95
FA02-2305_231(01)	L1 (fixed)		2353.845	0.017	0.06	9.9	11:59:45.00	24	2879	2873	99.79

NETWORK

Some networks were adjusted. Check network adjustment summary for details.

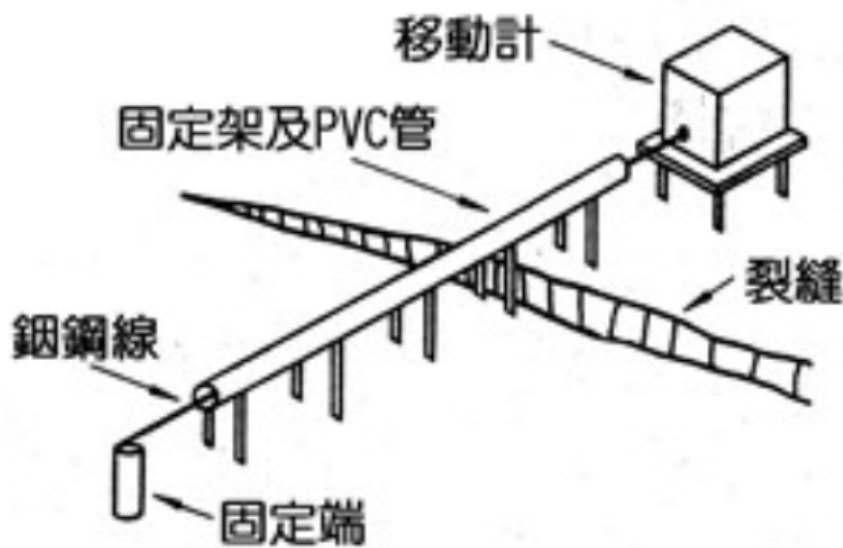
0 single point site 14 baselines 0 trajectory

※基線成果

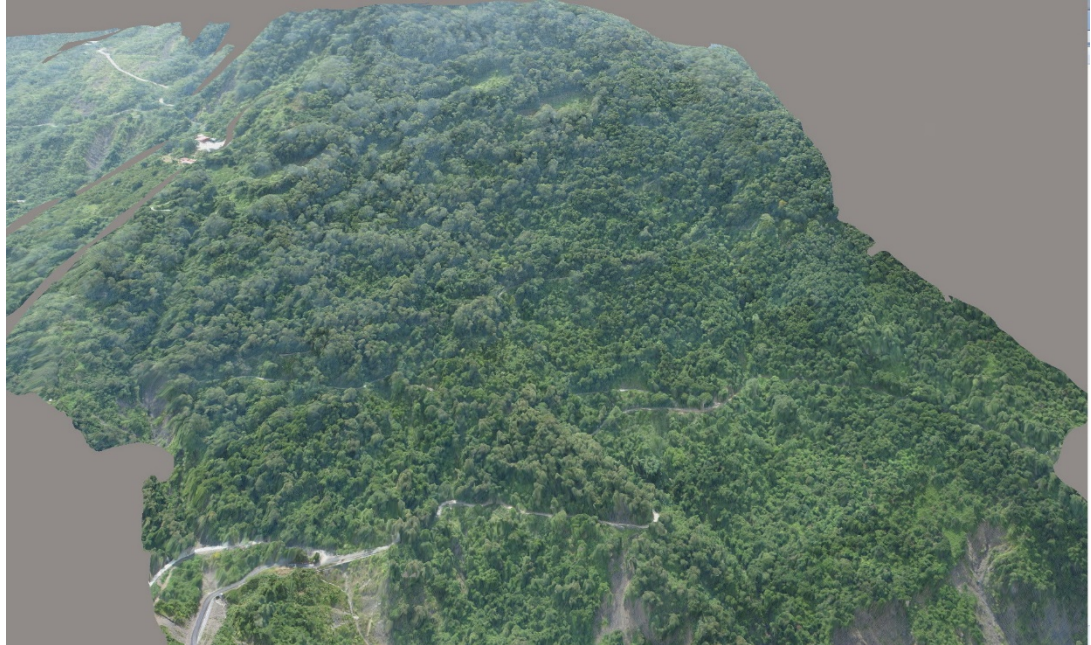
每日計算之基線網型，採約制於第一階段之 GPS 雙頻連續站，執行最小約制平差計算，通過 χ^2 統計測試模式後，計算出各單頻連續站每日坐標。

地表伸縮計資料計算說明

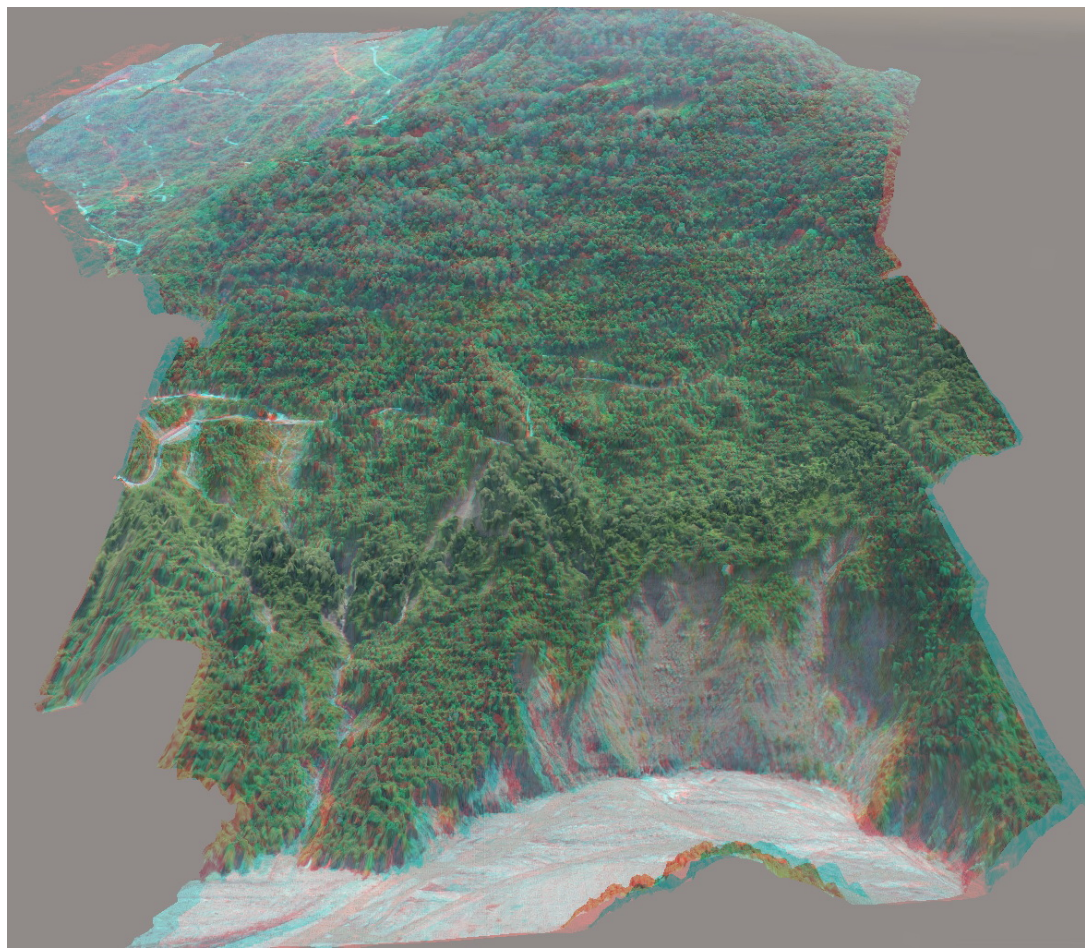
裂縫量測儀器是採用 Procal Technology 公司出產的伸縮計，伸縮計型號 SL-P。其儀器量測方法兩端分別架設固定端及移動計(機台)，中間並架設鋼線橫跨裂縫(如下圖)，因裂縫發育導致鋼線產生不同拉力，而是移動計(機台)會產生不同之電壓，並套用換算公式得到相應長度，此型號的最大測量範圍達 200 公分。監測點 23-E1 的換算公式為(對應長度)=(電壓)*(常數 R1)+(常數 C1)，常數 R1 和 C1 分別為 20.31593 和(-0.069)。監測點 23-E2 的換算公式為(對應長度)=(電壓)*(常數 R2)+(常數 C2)，常數 R2 和 C2 分別為 20.31999 和(-0.073)。



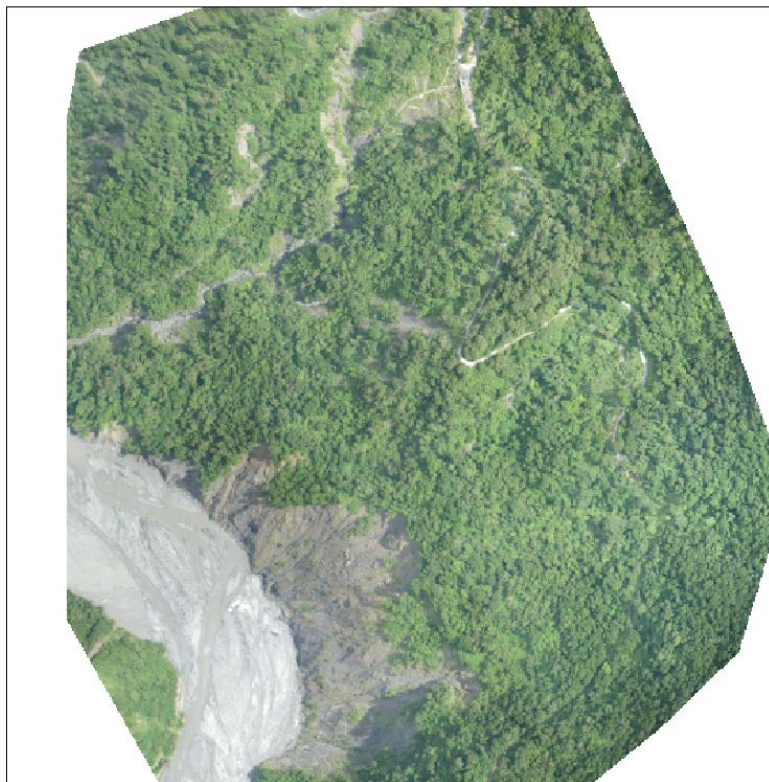
附錄六、崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 空拍情形

空拍載器-四旋翼飛機	空拍載器主控端
	
起飛情形	降落情形
	
崩塌監測區位上坡面影像	
	

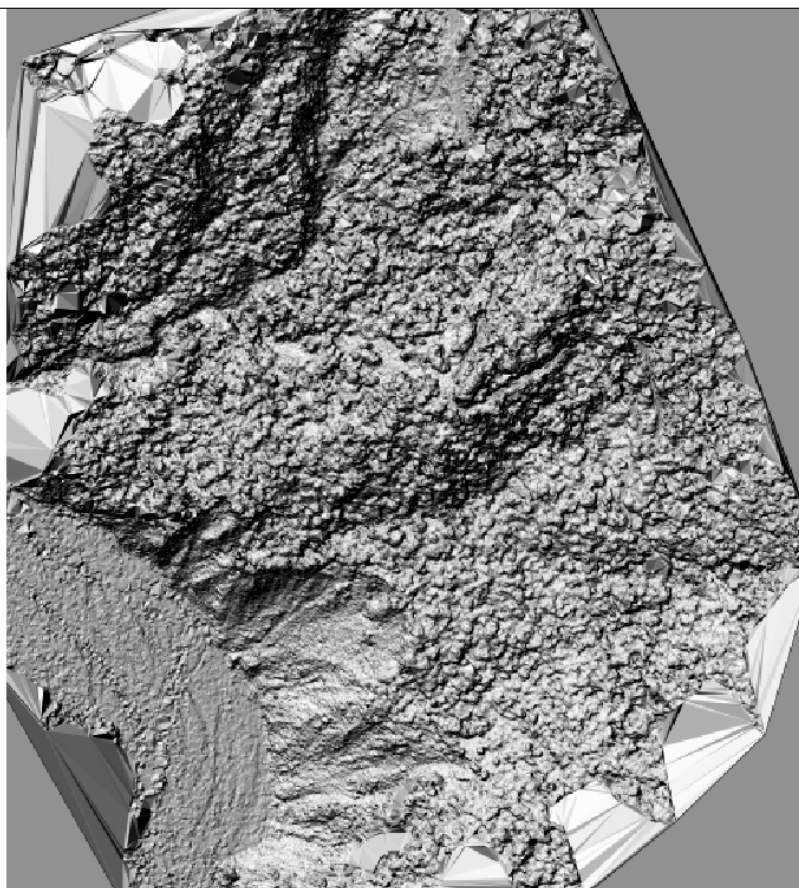
崩塌監測區位全景 3D 影像(需搭配紅藍眼鏡)



崩塌監測區位下坡面影像



崩塌監測區位下坡面陰影圖

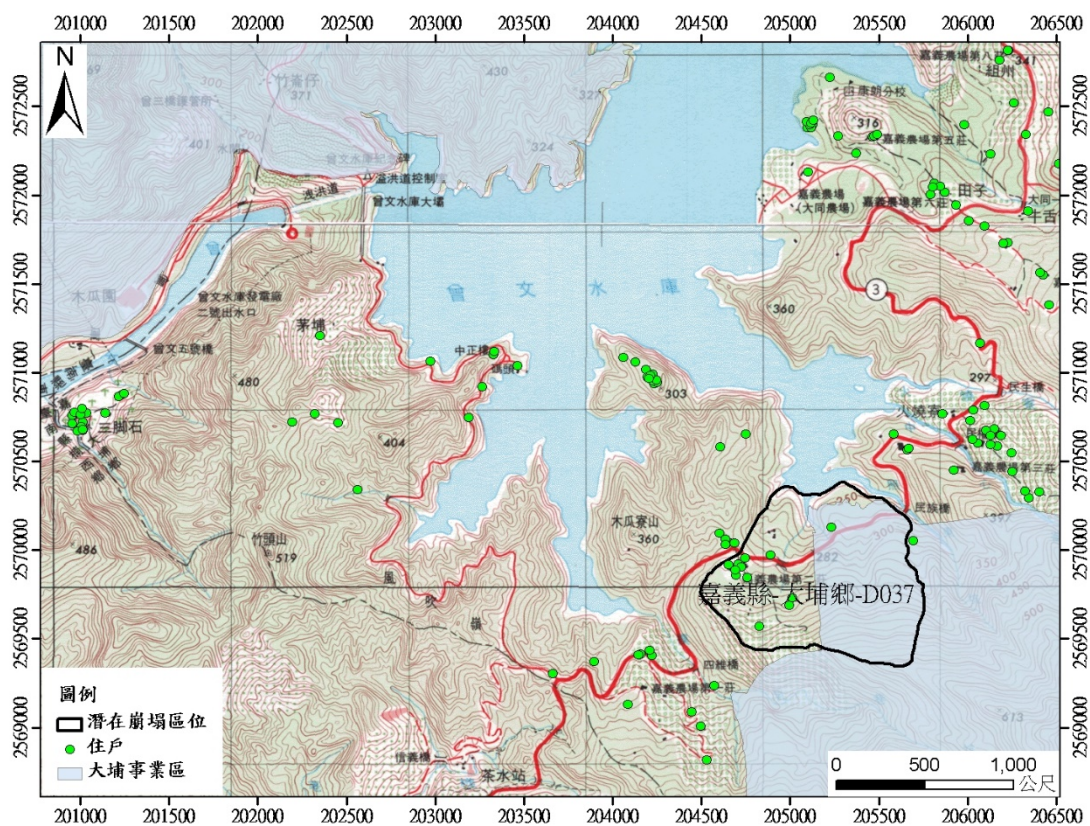


附錄七、崩塌地編號嘉義縣-大埔鄉-D037 現地查核結果

大埔地區

1、崩塌地編號嘉義縣-大埔鄉-D037

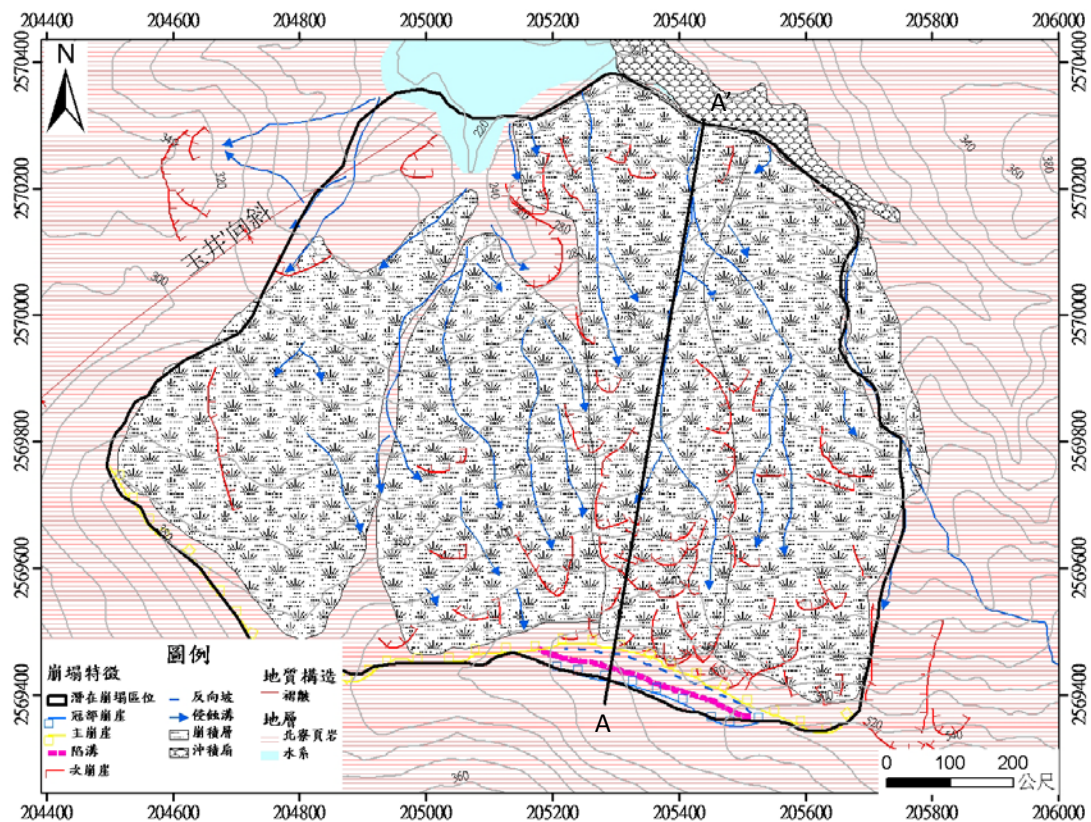
崩塌地編號嘉義縣-大埔鄉-D037，位於曾文溪左岸屬大埔事業區 73 號林班地，並位於曾文水庫蓄水區內。崩塌地編號嘉義縣-大埔鄉-D037 潛在崩塌區位之中心坐標 TWD97 為(205185, 2569850)，潛在崩塌面積約 91.5 公頃、平均坡度約為 17 度，潛在崩塌區位最高點高程為 750 公尺，最低點標高為 230 公尺，最大寬度 1,260 公尺(附錄圖 1)。崩塌影響範圍主要是坡面上的住戶(嘉義縣大埔鄉西興村 005 和 006 鄰)。



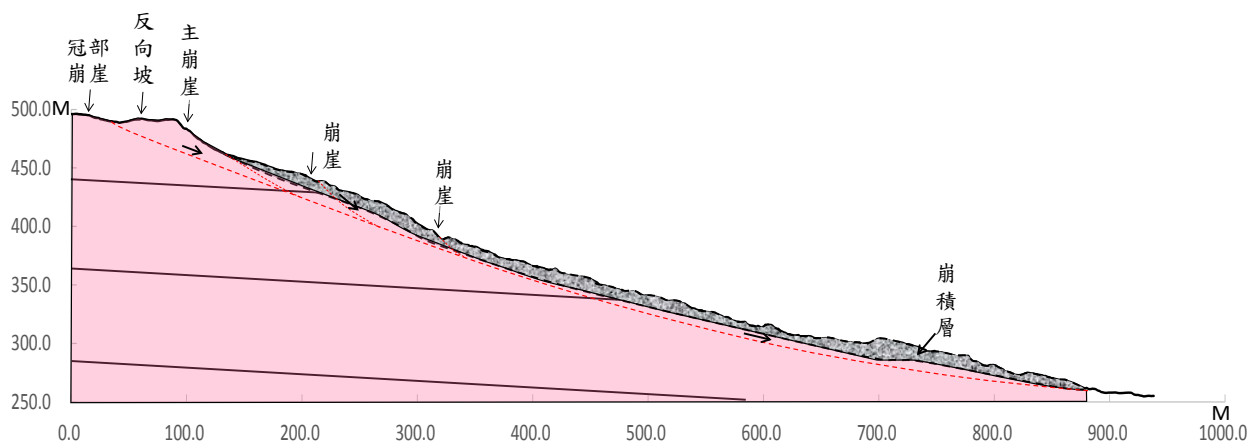
附錄圖 1、崩塌地編號嘉義縣-大埔鄉-D037 地理位置圖。

(1) 地質條件調查

在地質方面，參考中央地質調查所比例尺五萬分之一甲仙地質圖，潛在崩塌位置出露地層為北寮頁岩(附錄圖 2)。北寮頁岩在此區岩性已暗灰色頁岩或砂質頁岩為主，岩層傾向主要向西，坡面與岩層關係為直交坡(附錄圖 3)。在地質構造方面，玉井向斜通過崩塌地趾部西側，可能導致導致潛在崩塌地區岩層破碎，並發育明顯崩塌地形。



附錄圖 2、崩塌地編號嘉義縣-大埔鄉-D037 地質圖(經濟部中央地質調查所五萬分之一甲仙地質圖，2000；AA'剖面位置)。



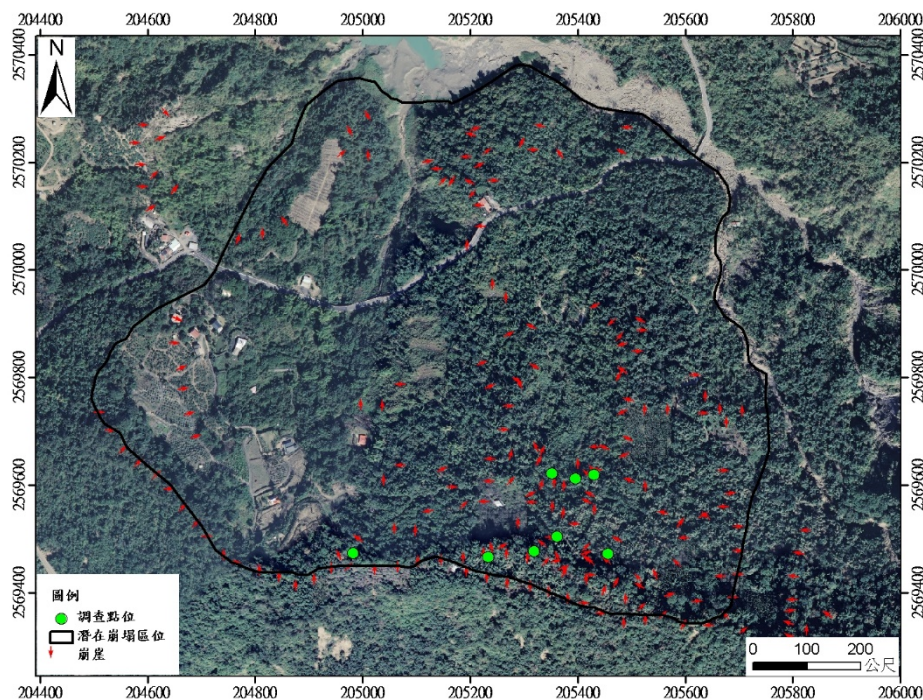
附錄圖 3、崩塌地編號嘉義縣-大埔鄉-D037 AA'剖面圖示意圖(岩層為視傾角)。

(2) 地形特徵判釋與現場查核結果

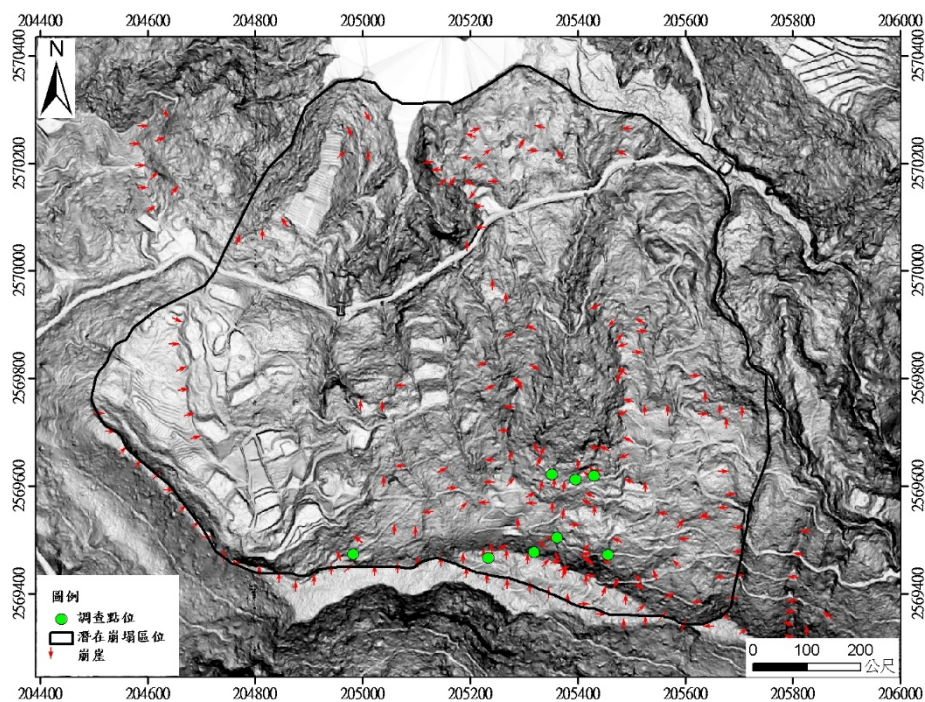
在地形特徵方面，由高精度數值地形判釋結果，崩塌範圍可分為東西兩部分(附錄圖 4~7)。西側坡面用地為住戶主要分布位置，由高精度數值地形顯示坡面平緩，因開發填土等人為因素導致崩崖特徵不顯著。東側坡面用地為林班地，由高精度數值地形顯示坡面上侵蝕溝發育明顯，主崩崖明顯和坡腹發育一處明顯次

崩崖。

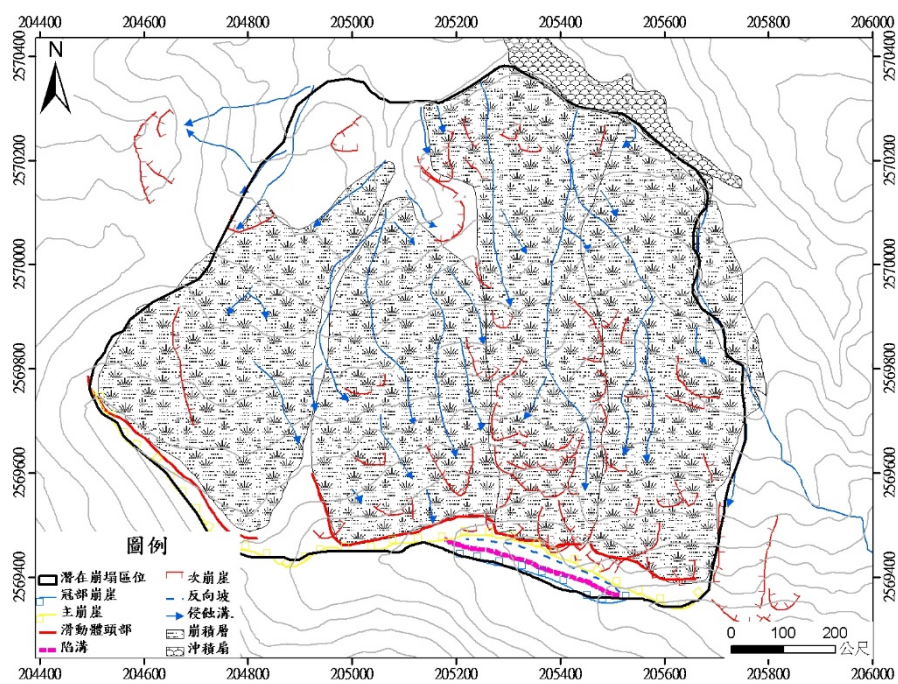
現場查核方面，主要調查重點有 2:(1)主崩崖地形特徵與主崩崖內部人工建物破壞，分別為調查點 5、調查點 6、調查點 8。調查點 6 為冠部多重山脊，陷溝寬度 20 公尺，正向坡高差約 7 公尺，反向坡高差約 5 公尺(附錄照片 1)。調查點 5 為主崩崖，主崩崖高差由圖面判釋結果約 15 公尺，平均坡度大於 35 度，遷急線明顯(附錄照片 2)。調查點 7 為主崩崖內的道路與次崩崖，因次崩崖發育 2 處裂隙，其中一處並通過道路導致路面產生平行次崩崖(裂隙)的破壞面(附錄照片 3)。(2)西側坡腹次崩崖地形特徵與人工建物破壞，分別為調查點 1、調查點 2、調查點 3。調查點 1 為坡腹次崩崖，崖高落差 60 公分。在此崩崖的樹幹有傾倒和錯移的情形，表示近期內此崩崖有滑動跡象(附錄照片 4)。調查點 2 為坡腹次崩崖，崖高高差 50 公分，並通過農路使其路基流失(附錄照片 5)。調查點 3 為坡腹次崩崖，次崩崖高差 2 公尺到 60 公分，此崩崖方向近乎垂直坡面，並垂直通過農路破壞，此破壞面和崩崖面方向一致(附錄照片 6)。



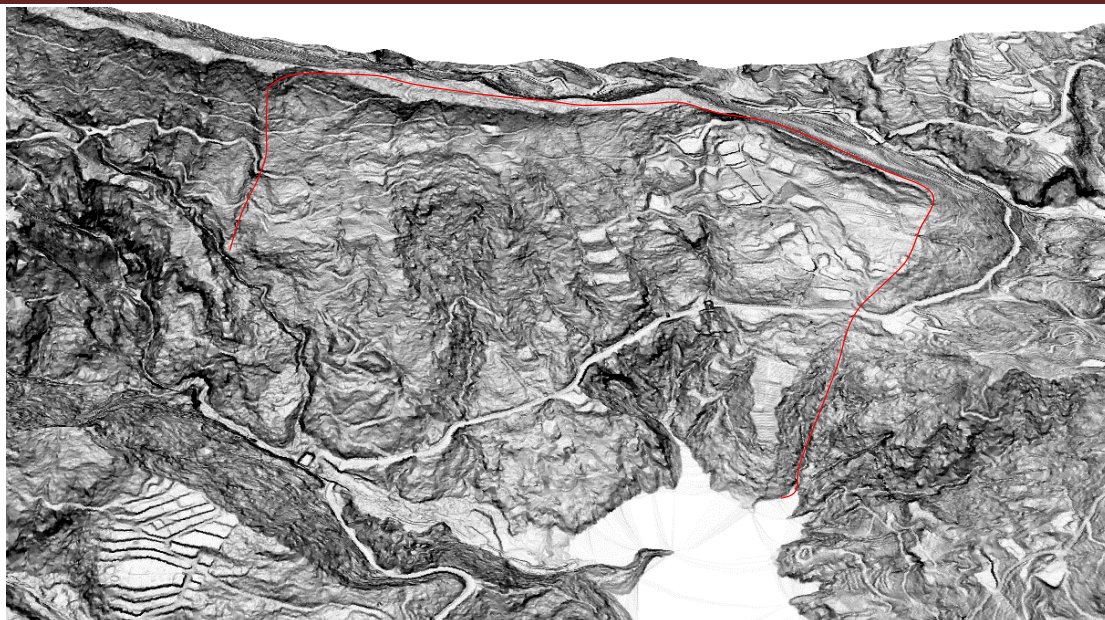
附錄圖 4、崩塌地編號嘉義縣-大埔鄉-D037 航照和調查點位。



附錄圖 5、崩塌地編號嘉義縣-大埔鄉-D037 高精度數值地形判釋結果圖。



附錄圖 6、崩塌地編號嘉義縣-大埔鄉-D037 崩塌特徵判釋圖。



附錄圖 7、崩塌地編號嘉義縣-大埔鄉-D037 立體圖，紅線為潛在崩塌範圍。



附錄照片 1、調查點 06 為冠部多重山脊，陷溝寬度 20 公尺。



附錄照片 2、調查點 05 為主崩崖，崖面甚陡，遷急線明顯。



附錄照片 3、調查點 07 主崩崖內的次崩崖，併發育 2 處裂隙。



附錄照片 4、調查點 07 坡腹次崩崖。在此崩崖的樹幹有傾倒和錯移的情形，表示近期內此崩崖有滑動跡象。



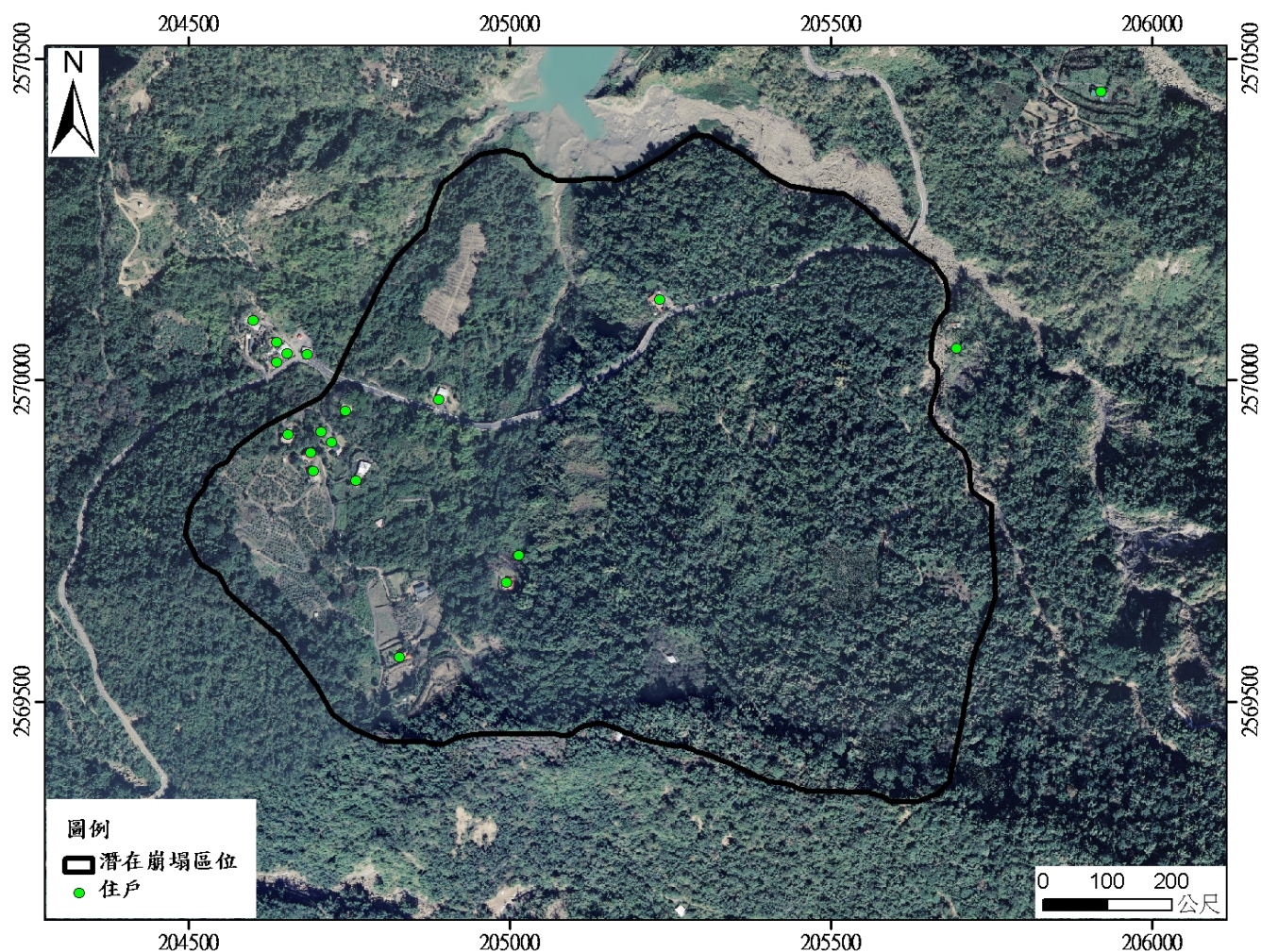
附錄照片 5、調查點 02 坡腹次崩崖通過農路，使其路基流失。



附錄照片 6、調查點 03 坡腹次崩崖垂直通過農路破壞，此破壞面和崩崖面方向一致。

(3) 聚落安全與可能致災成因

大埔西興聚落主要分布在大埔地區曾文溪左岸，近台南市與嘉義縣交界。由圖面判釋結果因聚落位於崩塌地內，若崩塌發生，會直接影響大埔西興聚落(005 鄰和 006 鄰)，可能受影響戶數有 12 戶(附錄圖 7)。



附錄圖 7、大埔西興聚落可能受崩塌地編號嘉義縣-大埔鄉-D037，部分住戶位於潛在崩塌地內。

附錄八、教育訓練活動照片與手冊

深層崩塌教育訓練活動照片

2013/10/28



附錄照片 7、教育訓練上課情形，講師與參與學員互動討論。



附錄照片 8、教育訓練上課情形，參與人員專心聽取簡報。



附錄照片 9、報到現場。



附錄照片 10、教育訓練上課情形，參與人員專心聽取簡報。



附錄照片 11、講師和參與人員進行 Q&A 的情形。

深層崩塌調查作業手冊

目錄

目錄	目-1
表目錄	表-1
圖目錄	圖-1
一、總則	1
(一) 目的	1
(二) 限制及適用說明	1
二、名詞定義	2
(一) 深層崩塌之操作定義	2
(二) 其他相關定義	3
三、操作流程	6
步驟一、作業所需資料蒐集	7
步驟二、山崩目錄建置方法	10
步驟三、現場地質複查	23
步驟四、深層崩塌潛勢評估	28
步驟五、深層崩塌危險等級評估	35
附錄、深層崩塌調查與評估案例	49

表目錄

表 1、本手冊之限制及適用說明.....	1
表 2、本手冊所用資料內容、精度需求與參考來源一覽表	7
表 3、深層崩塌之微地形特徵現地範例照片及說明.....	23
表 4、深層崩塌之不利因子現地範例照片及說明.....	27
表 5、深層崩塌調查表.....	28
表 6、AUC 評估成效表	32
表 7、深層崩塌潛感分析所需資料.....	33
表 8、本研究初步擬定之深層崩塌潛勢區危險等級評估項目一覽表	36
表 9、各發生度之潛在深層崩塌(方法一)於各事業區數量統計.....	37
表 10、各危險度之潛在深層崩塌(方法一)於各事業區數量統計.....	37
表 11、因子分級/分類之評分.....	40
表 12、發生度等級評分表.....	40
表 13、保全評分表.....	41
表 14、保全重要性評分表.....	41
表 15、危險等級評分表.....	42
表 16、各發生度之潛在深層崩塌(方法二)於各事業區數量統計.....	43
表 17、各危險度之潛在深層崩塌(方法二)於各事業區數量統計.....	44
表 18、各發生度之已發生深層崩塌(方法一)於各事業區數量統計.....	47
表 19、各發生度之已發生深層崩塌(方法二)於各事業區數量統計.....	47
表 20、各發生度之類型 A、類型 C 深層崩塌數量及發生深層崩塌比例(方法一).....	48
表 21、各發生度之類型 A、類型 C 深層崩塌數量及發生深層崩塌比例(方法二).....	48

圖目錄

圖 1、大規模崩塌特徵示意圖(修改自 Varnes, 1978).....	3
圖 2、大規模崩塌圓弧形滑動地形特徵示意圖(修改自 Coltorti et al., 2009).5	
圖 3、操作流程圖	6
圖 4、深層崩塌判釋流程	11
圖 5、類型 A：近期發生之深層崩塌裸露與地形特徵	12
圖 6、類型 A：近期發生之深層崩塌案例（高雄市甲仙區小林崩塌）	12
圖 7、類型 B：早期發生之疑似深層崩塌植生復育與地形特徵	13
圖 8、類型 B：早期發生之疑似深層崩塌案例（高雄市那瑪夏區）	13
圖 9、利用坡度圖進行深層崩塌微地形特徵特徵判釋範例	15
圖 10、利用正射航照與等高線進行深層崩塌微地形特徵特徵判釋範例	16
圖 11、深層崩塌微地形特徵案例(高雄市六龜區竹林)	17
圖 12、利用航照立體像對進行深層崩塌微地形特徵特徵判釋範例	18
圖 13、順向坡之平面型破壞示意圖	19
圖 14、平面型破壞深層崩塌案例(國道三號)	19
圖 15、岩體弱面控制之楔型破壞示意圖	20
圖 16、楔型破壞深層崩塌案例（小林村）	20
圖 17、高潛感以上之順向坡坡面及不利因子疊合篩選範例圖	21
圖 18、類型 D：不具滑動地形特徵之潛在深層崩塌區位判釋與航照特徵圖	22
圖 19、深層崩塌潛感分析作業流程圖	29
圖 20、崩塌與因子關係圖，B 為因子，D 為崩塌(Lee and Choi, 2004)	30
圖 21、成功率曲線示意圖(Dahal et al, 2007)	31
圖 22、山崩潛感圖工作流程圖	34
圖 23、深層崩塌潛勢區發生度等級分布圖(方法一)於國有林事業區內	38

圖 24、深層崩塌潛勢區危險度等級分布圖(方法一)於國有林事業區內39

圖 25、深層崩塌潛勢區發生度等級分布圖(方法二)於國有林事業區內45

圖 26、深層崩塌潛勢區危險度等級分布圖(方法二)於國有林事業區內46

一、總則

（一）目的

本參考手冊之操作步驟與方法，可提供林務管理相關人員於管轄區域內利用現有圖資與技術，進行邊坡深層崩塌區位判釋與評估作業，可初步了解管轄範圍內之潛在深層崩塌區位與活動性，以利後續防災工程整治與對策研擬之依據。

（二）限制及適用說明

本參考手冊所使用之圖資瀏覽、分析與判釋工具為 ESRI 公司之 ArcGIS 9.3 版地理資訊系統軟體，輔以空間分析模組（Spatial Analyst）進行之。使用者另可自行選用免費軟體（如:QGIS: <http://www.qgis.org/>），惟各地理資訊系統之操作方法不在本手冊進行細部步驟說明，使用者需具備地理資訊操作、分析與各類圖資之基本判釋能力（表 1）。

表 1、本手冊之限制及適用說明

項次	操作步驟	限制條件
1	山崩目錄建置方法	需具備地理資訊系統操作經驗
2	現場地質查核	需具備基本地質知識經驗與崩塌調查經驗
3	深層崩塌潛勢評估	需具備崩塌調查經驗與地質統計相關計算能力

二、名詞定義

（一）深層崩塌之操作定義

本手冊之目的為找出國有林班地之「深層崩塌」位置。日本用「深層崩壞」一詞代表山崩、崖崩之類的邊坡崩坍，其滑動面不只在表土層，也會在深層岩盤發生，所以會有較大規模的崩塌。國內與日本所指深層崩壞相近之用語則有經濟部中央地質調查所之「岩體滑動」與水土保持局之「地滑」。經濟部中央地質調查所以「岩體滑動」一詞代表規模較大、滑動面深度較深的山崩，其滑動面常深入岩層內。此外，於「易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置計畫」中，另以崩塌面積大於 10 公頃、發生頻度高、未來仍然會有大量土砂輸出，而具有崩塌潛勢之山崩之區域者為「重大崩塌區」。而水土保持手冊中「地滑」定義係指移動土體或岩體之規模較大，通常在較緩坡度之斜面發生，其運動之典型特徵在於移動速度緩慢，而移動時可能呈斷斷續續或持續緩慢運動，往往移動土體上方之構造物尚可保持原狀。目前行政院對於莫拉克颱風時在小林村所發生之嚴重土石災害是以「大規模崩塌」稱之。針對深層崩塌之名稱與定義目前尚未統一，應依何種崩塌深度作為深層崩塌與淺層崩壞之依據目前並無一致之看法。針對本手冊之目標，欲透過本研究找出國有林班地內具發生潛勢之「深層崩塌」，但具發生潛勢代表尚未發生滑動，因此若欲以深度來進行潛在「深層崩塌」區位之判釋，則因無確切之滑動面資料，無法研判滑動深度，而造成僅能挑出已崩害之深層崩塌位置，而無法篩選出目前未發生但具有發生潛勢之「深層崩塌」區位。因此就本手冊之特性，不易以深度條件進行深層崩塌區位之篩選。

本手冊所欲調查之深層崩塌應指的是大規模之崩塌其產生之土砂可能會掩埋聚落或造成堰塞湖等直接或間接影響之災害。從崩塌產生之土砂量體而論，越大範圍與滑動面越深之崩塌會產生較多之土方，面積 10 公頃之崩塌若其滑動深度為 1 米時，便足

以產生 10 萬立方米之土方。而崩塌之面積相較於崩塌之滑動深度而言，易於利用現有航照、衛星影像與數值地形等圖資進行篩選作業，因此本手冊暫以面積大於 10 公頃之區域作為「疑似深層崩塌」區位之必要條件。

因此本手冊初步以面積大於 10 公頃之區域作為「疑似深層崩塌」區位之必要條件，以較接近地調所之「潛在大規模崩塌」之範疇，以此可操作型之條件篩選出「疑似深層崩塌」區位，再透過現地調查方式結合數值模擬，以初步評估崩塌影響範圍。

（二）其他相關定義

深層崩塌大致可以分為冠部、陷落區和隆起區，其主要特徵有主崩崖、次崩崖、冠部崩崖、冠部裂縫，反向坡與陷溝等線性構造(F. Agliardi, et al., 2001；F. Agliardi, et al., 2013；Andrea Pedrazzini, et al., 2013；G.B. Crosta, et al., 2013；千木良雅宏，2011)，其示意圖如圖 1、圖 2。

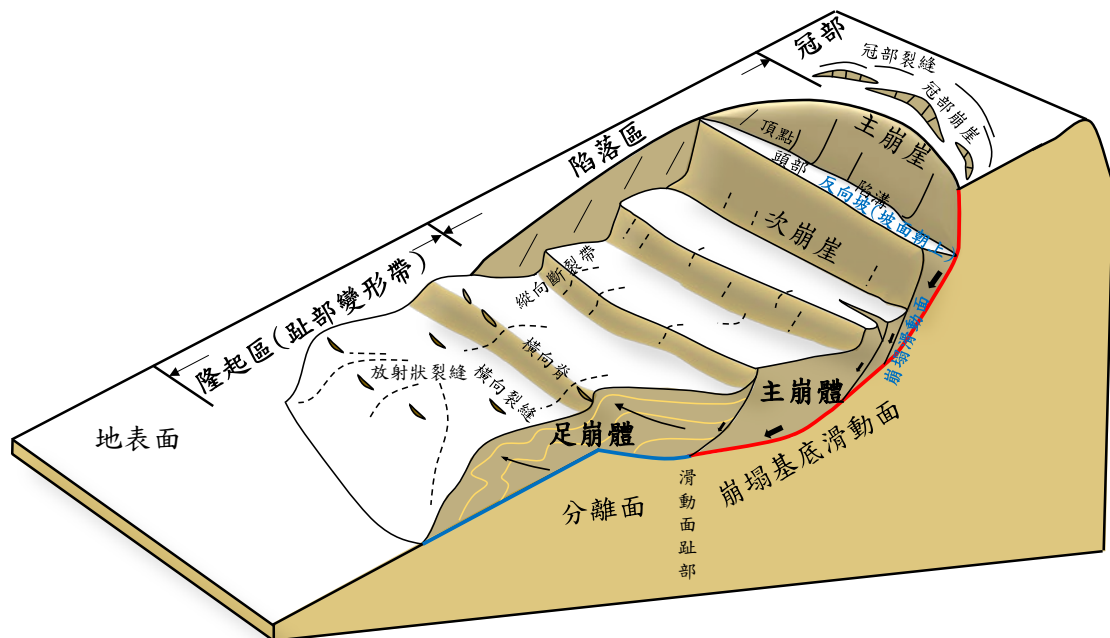


圖 1、大規模崩塌特徵示意圖(修改自 Varnes, 1978)

- 1、崩崖：為呈馬蹄狀之崖坡，新滑落崖之坡面色調光亮，崖坡上緣冠部有同心圓弧形張力裂隙，崩崖下方有窪地或水池形成。
- 2、崖錐堆積：由邊坡岩石產生風化與侵蝕作用後，崩解、掉落於坡腳之碎石與土壤所構成。崖錐堆積的材料組成很不規則，從大石塊到細土都有。其表層可能已經完全風化為細土，甚至可能生長了茂盛的植物，因此表層不易透水；但內部卻很疏鬆，易於透水。
- 3、蝕溝：地表逕流順坡而下逐漸匯集，逕流量逐漸增加，逕流流速逐漸加快，對表土的切割能力亦隨之增強，漸漸地數條紋溝匯集成較大的流路，稱為蝕溝（ gully）。
- 4、滑動體：外觀呈畚箕狀凹陷地形，植生林相改變與周圍林相不協調情況。如其為草生地或竹林地，或是被開墾為梯田狀水旱田，而與周圍多年生林相有所差異，滑動體上段呈現下陷地形，中段呈緩坡狀，下段則呈隆起地形。
- 5、側邊裂隙：崩塌的兩側為崩塌體與圍岩產生剪切破壞的地帶，岩土嚴重破碎，容易被侵蝕，久而久之就發育成兩條蝕溝，其源頭處逐漸朝主崩崖的部份包抄，故稱之雙溝同源。

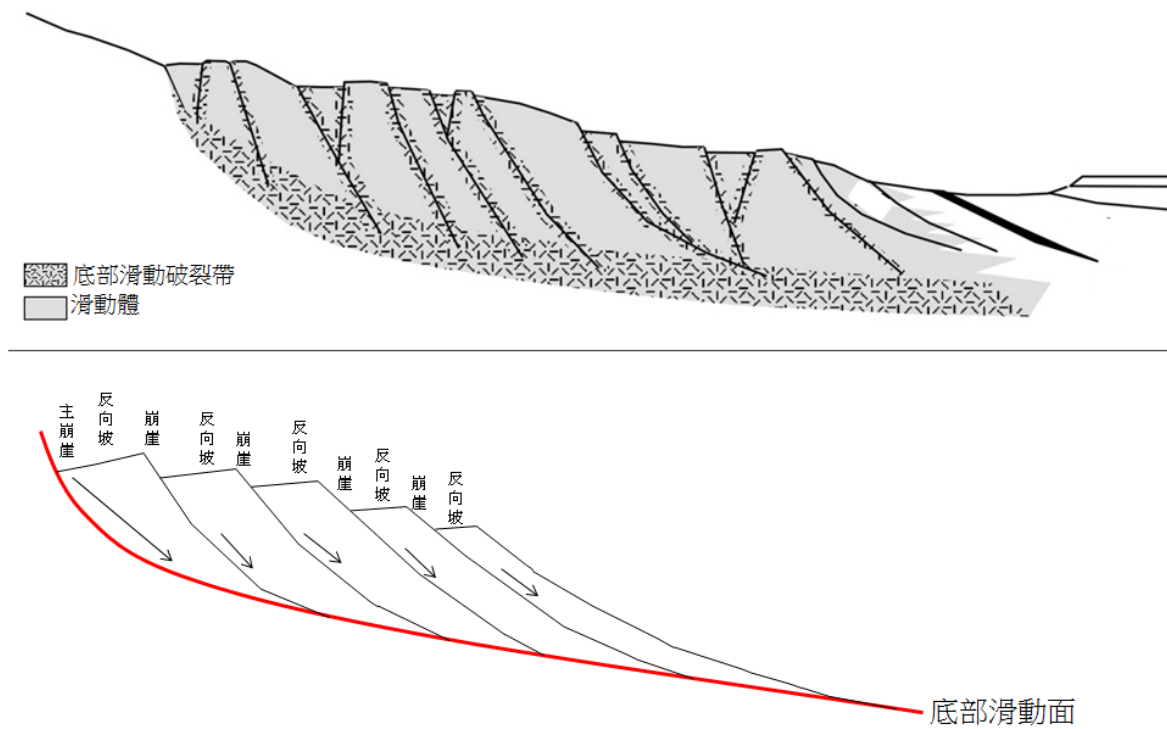


圖 2、大規模崩塌圓弧形滑動地形特徵示意圖(修改自 Coltorti et al., 2009)

三、操作流程

本參考手冊之操作流程（圖 3）如下：

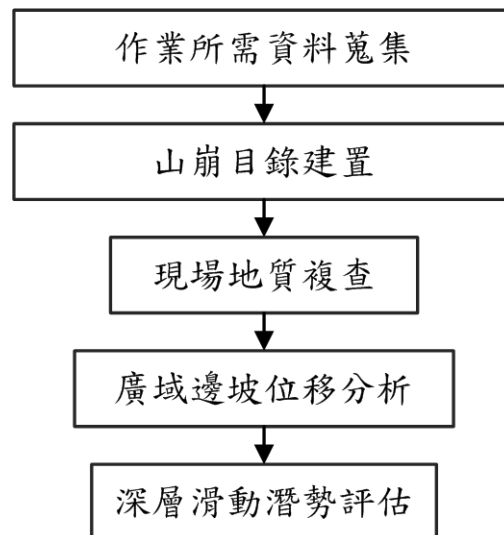


圖 3、操作流程圖

以下就各項操作步驟進行各項說明：

步驟一、作業所需資料蒐集

本手冊所使用之深層崩塌判釋材料包括山崩目錄、環境地質圖、正射航照等，相關資料內容、精度需求與參考來源如表 2。

表 2、本手冊所用資料內容、精度需求與參考來源一覽表

資料項目	說明	精度需求	參考資料來源
山崩目錄	山崩範圍與空間分布資料	1:5,000	經濟部中央地質調查所 行政院農委會水土保持局
環境地質圖	包括順向坡、崩塌等環境地質資料 (1:25000 分幅)	1:25,000	經濟部中央地質調查所
地質圖	包括岩性、地層位態、構造等資料 (1:50000 分幅)	1:50000	經濟部中央地質調查所
山崩潛感圖	主要利用山崩的地形因子、地質因子、區位因子及水文因子等，建立潛感模型及計算潛感值，並繪製山崩潛感圖，以供深層崩塌區位判釋參考	1:5,000	經濟部中央地質調查所 經濟部水利署 行政院農委會水土保持局 自行產製
數值高程模型	數值高程模型資料，可轉換為等高線與日照陰影資料進行深層崩塌區位判釋	5 米	行政院農委會航空測量所 內政部資訊中心
正射航照	彩色正射影像數值資料檔 (1:5000 分幅)	1:5,000	行政院農委會航空測量所
航照立體像對	彩色影像數值資料檔	1:5,000~ 1:13,000	行政院農委會航空測量所
衛星影像	以衛星酬載光學鏡頭進行高空取像之資料，主要資料包括 SPOT、福衛二號、QuickBird 與 IKONOS 等影像	8 米	中央大學太遙中心 福衛二號影像各分送中心 商業衛星民間供應單位
水系圖	水系分布，河灣攻擊側位置	1:5,000	行政院農委會航空測量所 內政部國土測繪中心 經濟部水利署
道路圖	含省道、縣道、鄉道與一般道路	1:5,000	行政院農委會航空測量所 內政部國土測繪中心 交通部運輸研究所
高精度數值地形圖	利用陰影圖及坡度圖可判釋深層崩塌地形特徵	1 米	經濟部中央地質調查所

（一）山崩目錄

山崩目錄資料主要是利用衛星影像與航空照片，利用航照判釋與衛星影像判釋技術，進行山崩判釋並圈繪後，以數位化方式進行紀錄，目前經濟部中央地質調查所與行政院農委會水土保持局皆有產出相關山崩目錄資料，因此本項資料建議向相關單位索取，而不進行判釋與山崩目錄建置，本作業所需山崩目錄之精度最低需求為 1:5,000。

（二）環境地質圖

環境地質圖包括山崩、土石流、順向坡等資料，其主要權責單位與資料來源為經濟部中央地質調查所，其精度需求為 1:25,000。

（三）地質圖

地質圖資料包括岩性、地層位態、構造等，此為本手冊判釋類型 D：不具滑動地形特徵之潛在深層崩塌重要之參考資料，其主要權責單位與資料來源為經濟部中央地質調查所，而本作業之精度需求為 1:50,000。

（四）山崩潛感圖

山崩潛感分析方法相當多元，包括定值法、機率法、羅吉斯迴歸法、證據權法等。由於經濟部中央地質調查所已建立台灣山崩潛感分級標準作業程序，因此本手冊建議可取得既有權責單位公告之山崩潛感圖，或利用上述方法自行產製山崩潛感圖，以為深層崩塌區位判釋參考，本作業之精度需求為 1:5,000。

（五）數值高程模型

數值高程模型為深層崩塌類型判釋之重要參考資料，可結合正射航照資料判釋已滑動之深層崩塌地形特徵。而數值高程模型資料，可利用地理資訊系統軟體之空間分析模組轉換為等高線與日照陰影資料。本項資料來源為行政院農委會航空測量所與內政部資訊中心，其精度需求為 5 米。

（六）正射航照

正射航照可記錄崩塌、植生與人為活動等地貌特徵，輔以地形資料有利於界定深層崩塌範圍，亦可檢視利用日照陰影資料進行尚未發生大規模破壞但有破壞初期所顯現微地形特徵之潛在深層崩塌區位之地貌現況，以提升判釋之可靠度，主要之資料來源為行政院農委會航空測量所，以 1:5,000 分幅方式對外供應。

（七）航照立體像對

利用航照立體像對進行崩塌地判釋為傳統之作業方式，透過立體成像，可讓判釋者俯瞰崩塌之地形與地貌，強化特徵判釋之能力，唯立體成像會有高度放大的情形，而判釋完之結果需進行轉繪方能疊合其它圖資，主要來源為行政院農委會航空測量所。

（八）衛星影像

本手冊建議可優先取得正射航照。當正射航照無法取得時則可參考衛星影像資料輔以數值地形進行判釋，衛星影像資料主要包括 SPOT、福衛二號、QuickBird 與 IKONOS 等，而影像之供應單位主要為中央大學太遙中心、福衛二號影像個分送中心與商業衛星民間供應單位。

（九）水系圖

水系圖為判定可能深層崩塌坡面之坡趾是否位於河道攻擊坡之重要依據，國內許多單位都有產製水系圖，經濟部水利署以流域別進行建置，而行政院農委會航空測量所與內政部國土測繪中心則以 1:25,000 或 1:5,000 進行分幅建置，而使用者可對需求向各單位申請取得，本手冊針對水系圖之精度要求為 1:5,000 以上。

（十）道路圖

道路圖為評估可能深層崩塌坡面是否截切坡面之參考，主要資料供應單位包括交通部運輸研究所、行政院農委會航空測量所與內政部國土測繪中心，本手冊針對道路圖精度要求為 1:5,000。

（十一）高精度數值地形圖

高精度數值地形圖利用 Arc GIS 軟體將圖資轉為八方陰影圖或坡度圖，此圖層為判釋深層崩塌地形之參考，主要資料供應單位經濟部中央地質調查所，本手冊針對數值地形圖精度要求為 1 米。

步驟二、山崩目錄建置方法

山崩目錄建置步驟內容包括：山崩目錄建置方法、深層崩塌判釋方法與其限制。操作流程說明如下：

一、山崩目錄建置方法

- (一) 衛星影像與航照判釋山崩：取得高精度之衛星影像與航空照片進行山崩判釋，在航照上崖面色調呈光亮，反應其為裸露或植被稀疏之坡面，或在陡崖下方可見坡度變緩且呈錐形堆積地形面。
- (二) 山崩圈繪及數化：圈繪符合上述航照判釋、歷史紀錄具有岩體滑動地貌特徵的地區，圈繪範圍原則上應包含山崩及山崩堆積區，並分別圈繪標示。利用已有山崩圖層，複製後再進行堆積土石區域編修，使外圈範圍與山崩所圈繪之邊界重合。
- (三) 方法學限制：利用衛星影像與航照判釋山崩方法，受限於判釋影像之解析度，而判釋人員之經驗與專業程度亦會影響判釋結果。

二、深層崩塌判釋方法

本手冊將深層崩塌分為四類型，此四類型之深層崩塌類型判釋流程主要包括正射航照判釋、地形判釋、微地形判釋與不利因子判釋，其判釋流程如下圖(圖 4)，而細部步驟說明如后：

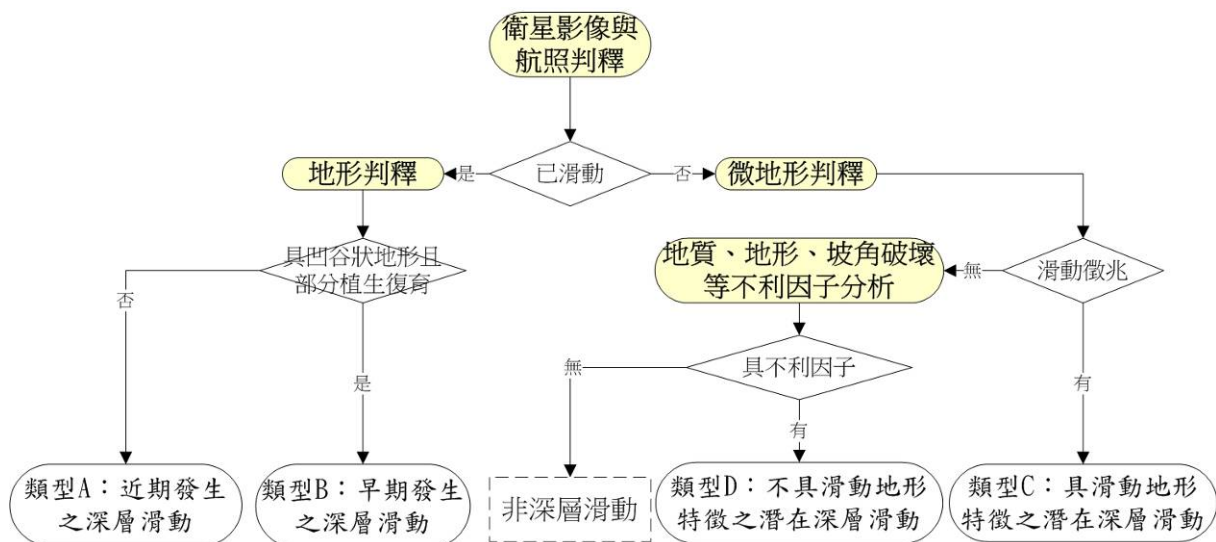


圖 4、深層崩塌判釋流程

(一) 衛星影像與航照判釋：

(1) 衛星影像與航照判釋，主要判釋是否有近期崩塌或早期崩塌之裸露地發育，若有則代表該區域已產生滑動，則進行步驟(二)之地形判釋，若無崩塌發育則進行步驟(三)之微地形判釋。

(2) 於地理資訊系統中加入正射航照與數值高程模型圖層。

(3) 利用地理資訊系統將數值高程模型轉為等高線疊加於正射航照上，輔助判釋。

(二) 地形判釋：

(4) 地形判釋主要是判釋是否具崩塌地形特徵（圖 1、圖 2、圖 7）。

(5) 從正射航照中圈繪具明顯裸露地特徵之區位，並確認圈繪面積大於 10 公頃者。

(6) 以上步驟可由已取得之山崩目錄替代，將山崩目錄加入地理資訊系統中，將面積大於 10 公頃之區位進行選取，另存新檔案後，即可得到。

(7)如果上述步驟圈繪之區域有明顯裸露且具崩塌滑動之地形特徵，則判定為”類型 A：近期發生之深層崩塌”。

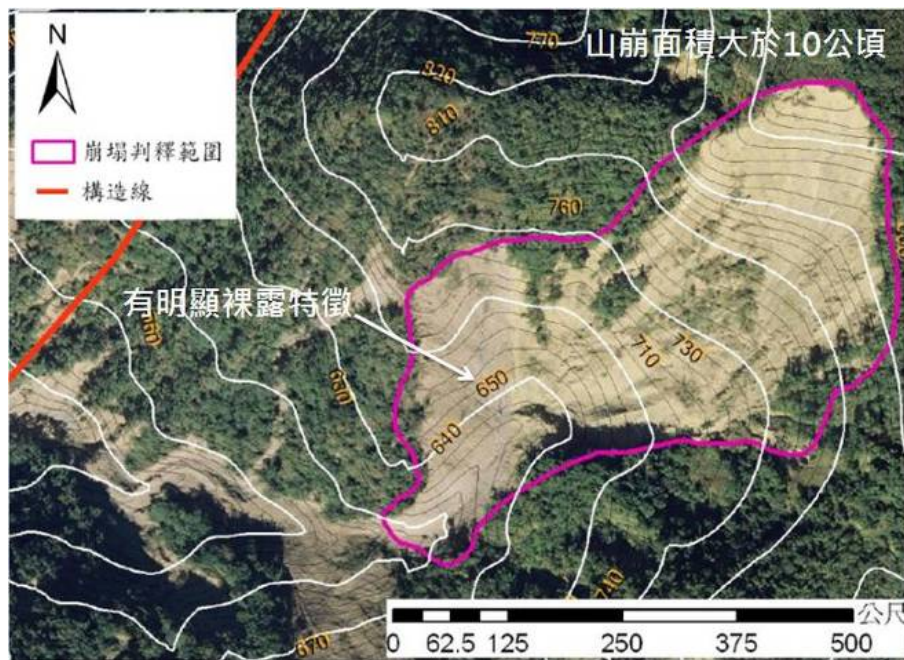


圖 5、類型 A：近期發生之深層崩塌裸露與地形特徵

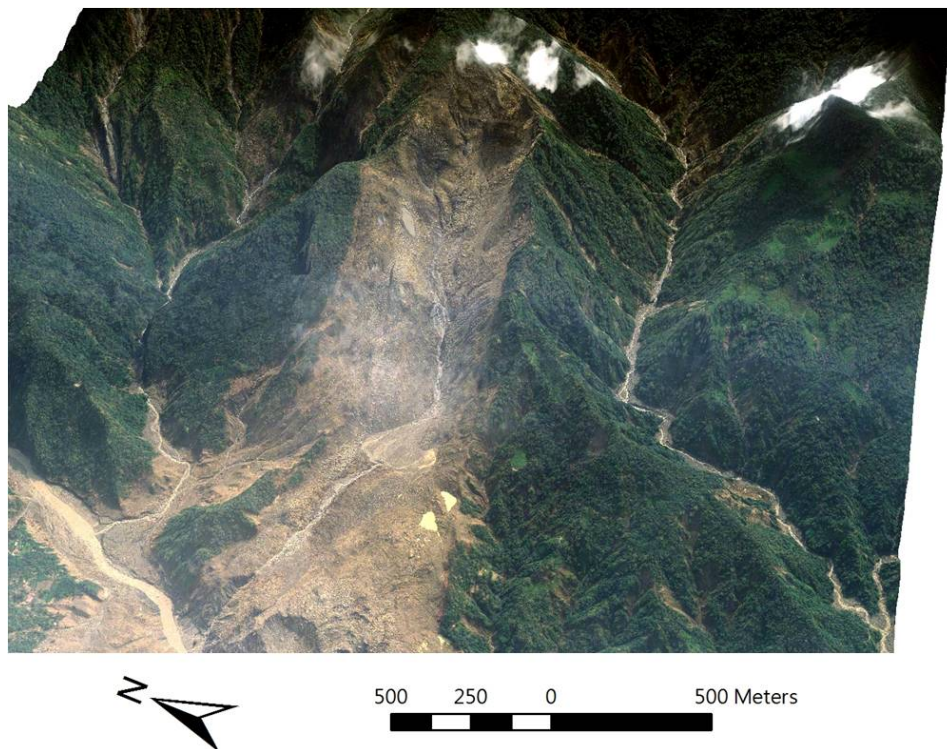


圖 6、類型 A：近期發生之深層崩塌案例（高雄市甲仙區小林崩塌）

若步驟(2)、(3)之崩塌區域有植生復育現象，同時具有凹谷狀地形者，則判定為”類型 B：早期發生之疑似深層崩塌”。而上述兩類因已產生滑動，坡面較無足夠之土方，其再發生性相對不高。



圖 7、類型 B：早期發生之疑似深層崩塌植生復育與地形特徵

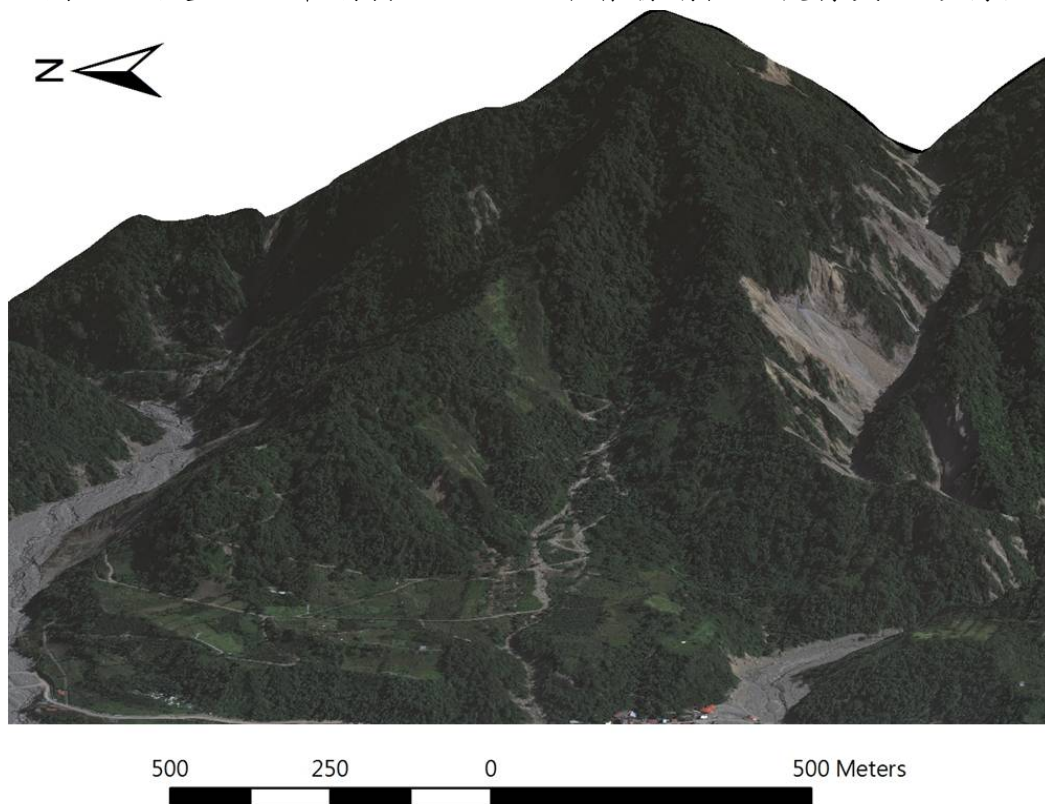


圖 8、類型 B：早期發生之疑似深層崩塌案例（高雄市那瑪夏區）

(三) 微地形判釋：

- (1) 當航照判釋無已滑動的現象，則利用地理資訊系統空間分析功能將數值地形資料轉為日照陰影圖(圖 9)或坡度圖與正射航照(圖 10)，進行崩塌微地形特徵判釋。
- (2) 深層崩塌微地形特徵如圖 1、圖 2、圖 11。茲說明如下：
 - (a) 冠部：深層崩塌位置之最上緣區塊，有張力裂隙發育。
 - (b) 崩崖：為呈馬蹄狀之崖坡，新滑落崖之坡面色調光亮，崖坡上緣冠部有同心圓弧形張力裂隙，崩崖下方有窪地或水池形成。
 - (c) 多重山稜：深層崩塌發育過程中，滑動體底部發育圓弧形破壞面，造成滑動體旋轉，產生一系列朝坡頂傾斜的反向坡(counterslope)與近乎平行等高線的陷溝(trench)。
 - (d) 滑動體：外觀呈畚箕狀凹陷地形，植生林相改變與周圍林相不協調情況。如其為草生地或竹林地，或是被開墾為梯田狀水旱田，而與周圍多年生林相有所差異，滑動體上段呈現下陷地形，中段呈緩坡狀，下段則呈隆起地形。
 - (e) 側邊裂隙：側翼裂隙(雙溝同源之水系特徵)：崩塌體的兩側為崩塌體與圍岩產生剪切破壞的地帶，岩土嚴重破碎，容易被侵蝕，久而久之就發育成兩條蝕溝，其源頭處逐漸朝主崩崖的部份包抄，故稱之雙溝同源。
 - (f) 坡趾隆起：趾部為河岸攻擊坡，由於坡趾部因崩塌擠壓，突出河道致使河道變窄或轉彎。
 - (g) 上述特徵越多，代表崩塌發育越成熟。

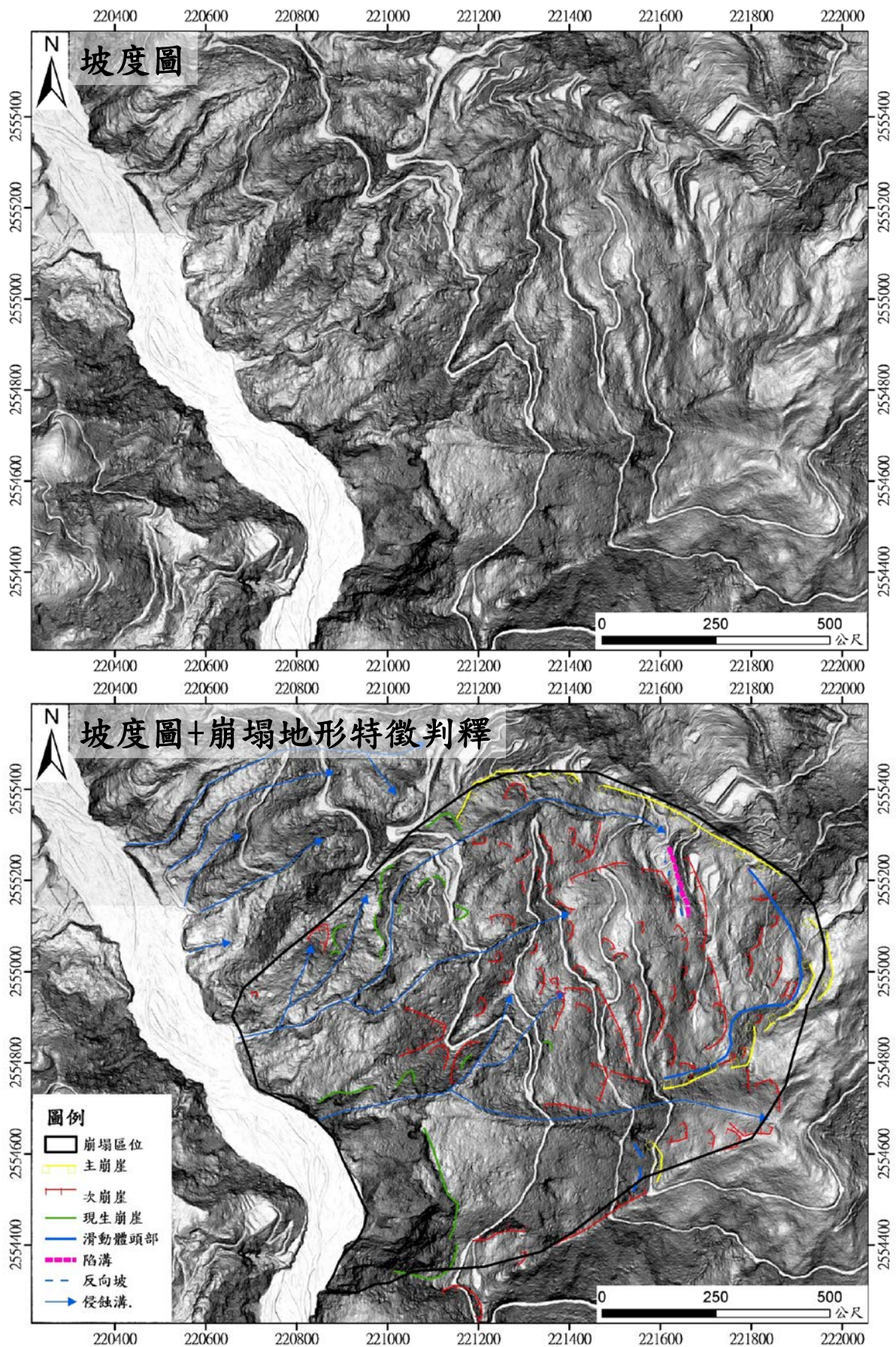


圖 9、利用坡度圖進行深層崩塌微地形特徵特徵判釋範例

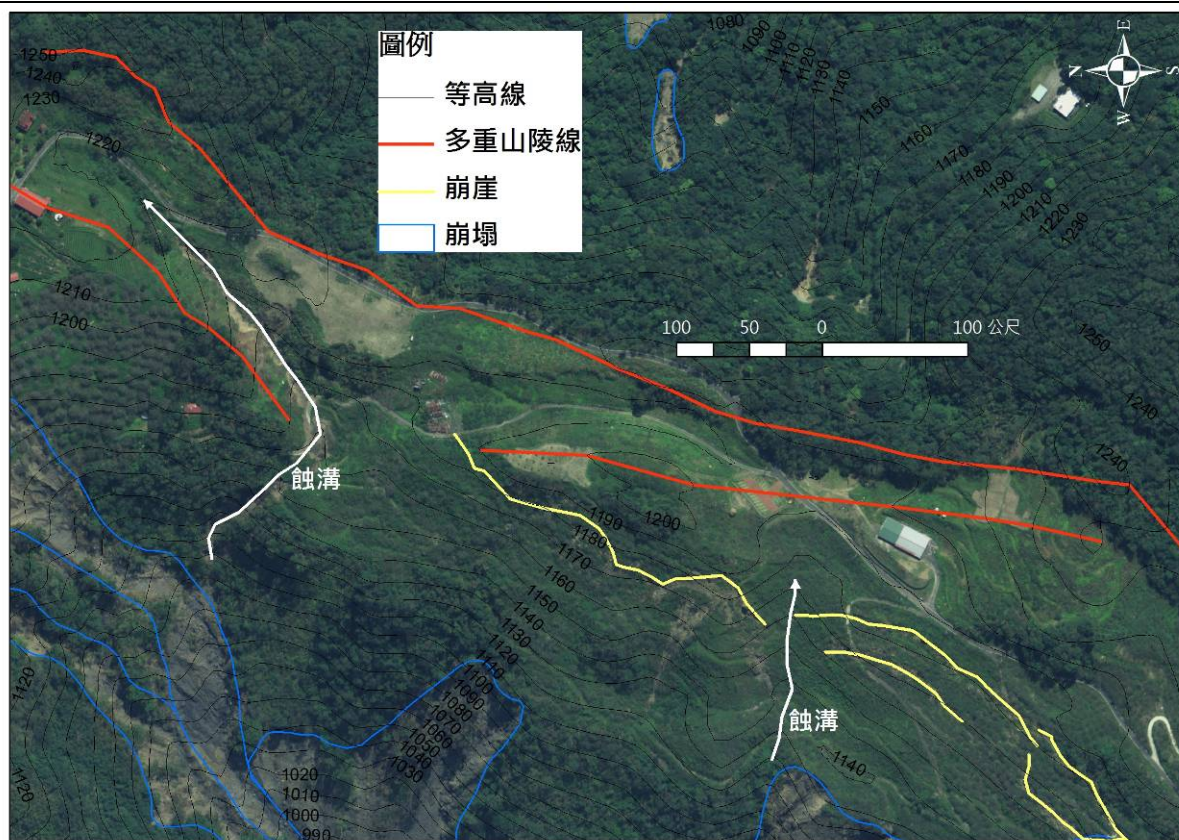


圖 10、利用正射航照與等高線進行深層崩塌微地形特徵特徵判釋範例

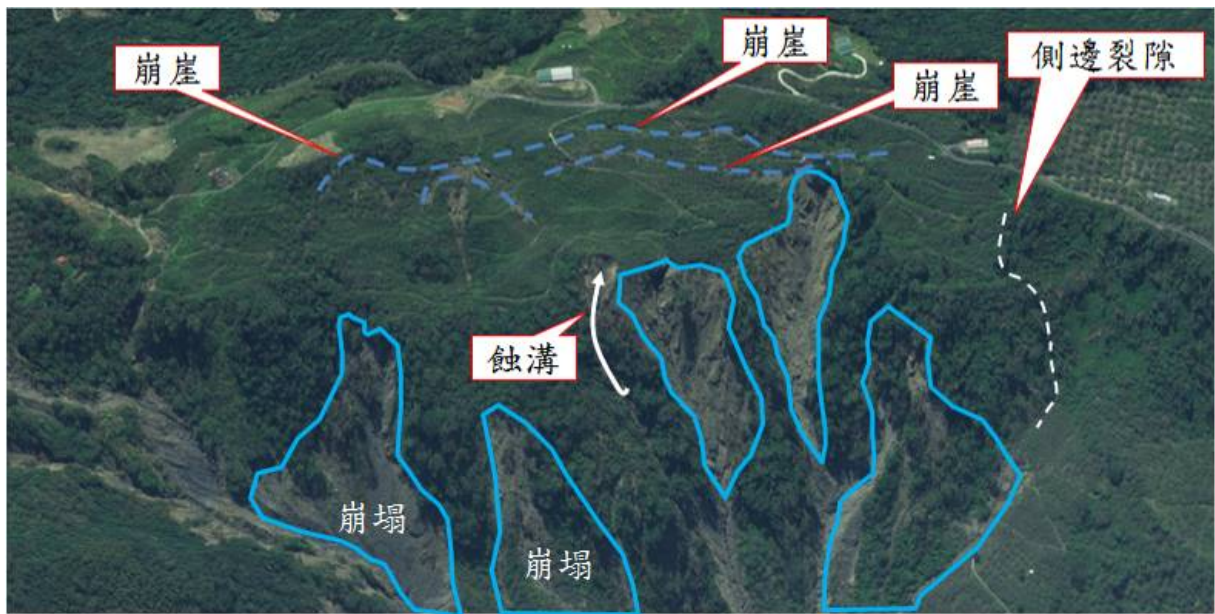


圖 11、深層崩塌微地形特徵案例(高雄市六龜區竹林)

(3)經日照陰影圖(或坡度圖)與正射航照判釋具有深層崩塌微地形特徵，則該區域判定為”類型 C：具滑動地形特徵之潛在深層崩塌”。

(4) 步驟(3)之判釋亦可採用航照立體像對進行判釋，找出崩塌之微地形特徵進行圈繪（圖 12），再將判釋成果轉繪以供後續之應用。

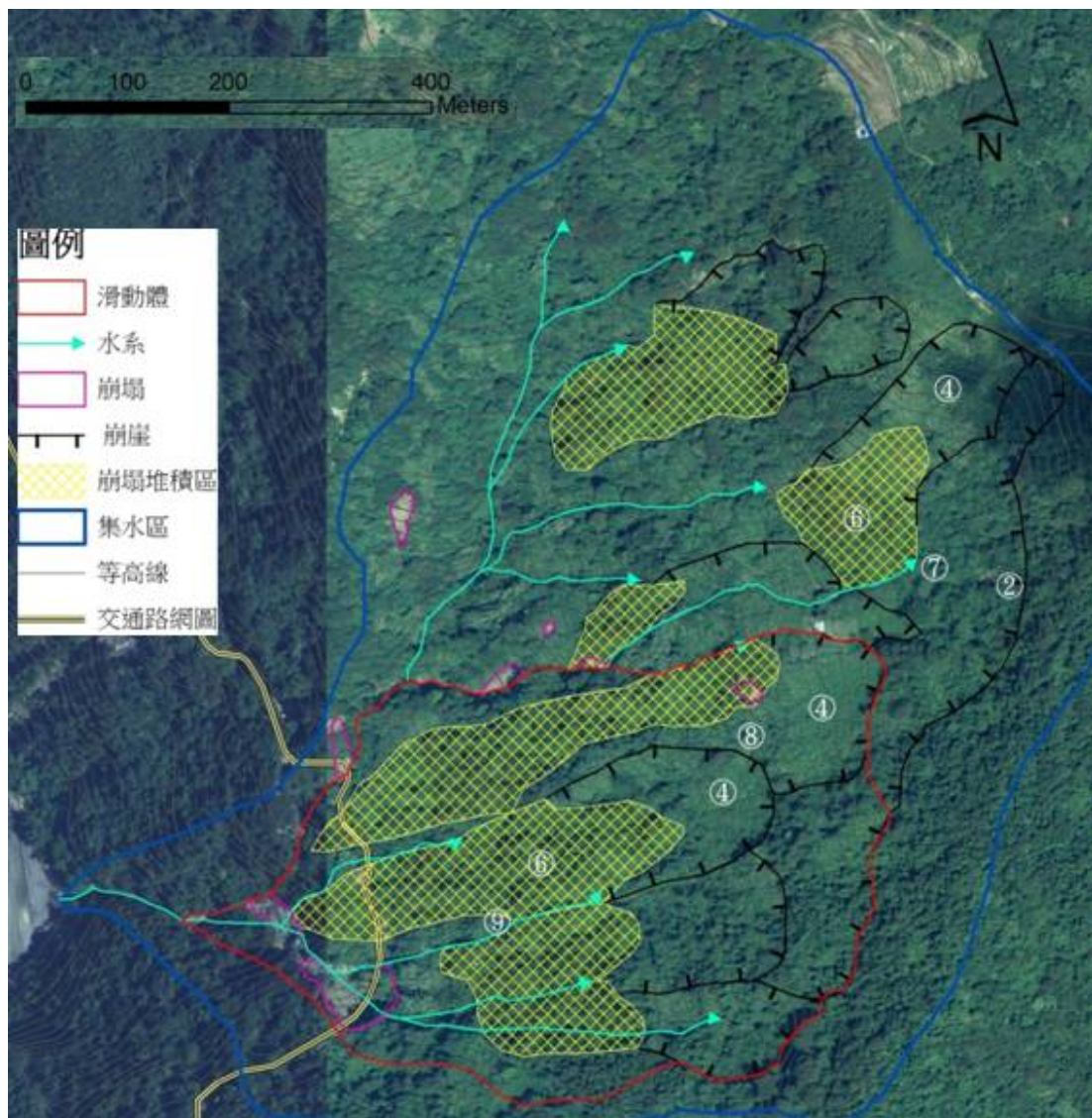


圖 12、利用航照立體像對進行深層崩塌微地形特徵特徵判釋範例

(5) 若經微地形判釋並無滑動徵兆，則進行下一步驟之地質、地形、坡角破壞等不利因子判釋。

地質、地形、坡角破壞等不利因子判釋：

- (1) 經崩塌微地形判釋無滑動徵兆者，則進行地質不利因素（構造、地層、順向坡）與坡腳破壞因子（河道攻擊側、道路）分析，找出山崩高潛勢區（含以上）中具順向坡地形之平面破壞（圖 13、圖 14）或岩體弱面控制之楔型破壞（圖 15、圖 16）。

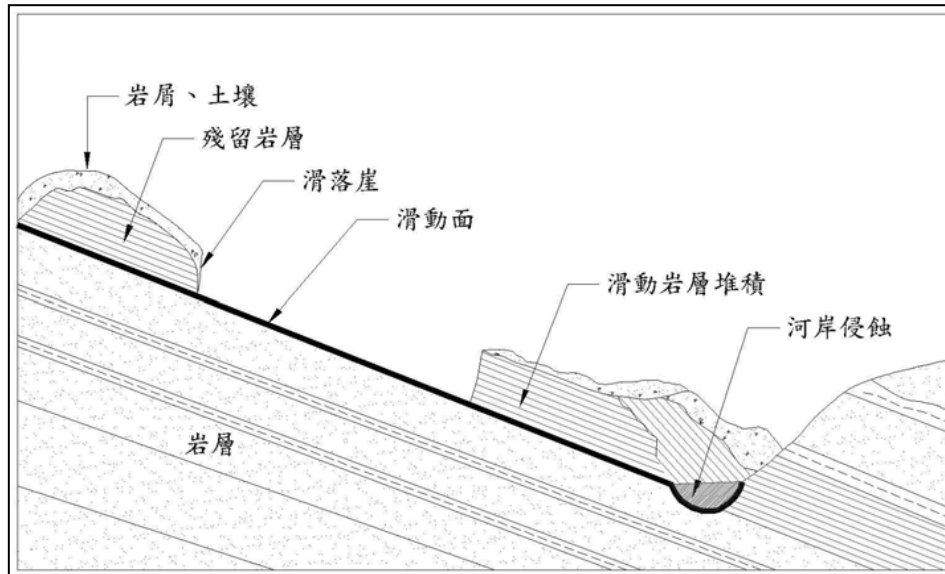


圖 13、順向坡之平面型破壞示意圖

（資料來源：中央地質調查所，2006）



圖 14、平面型破壞深層崩塌案例(國道三號)

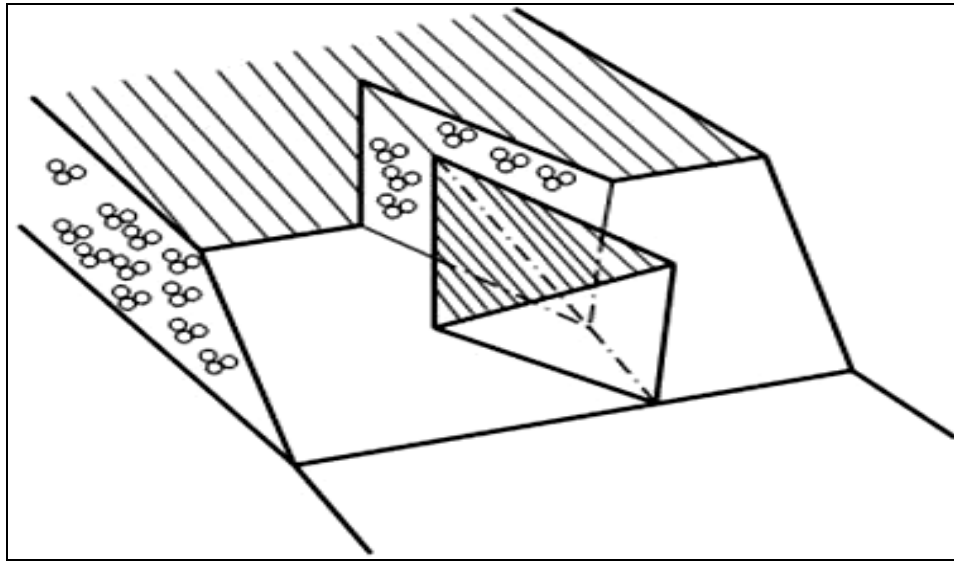
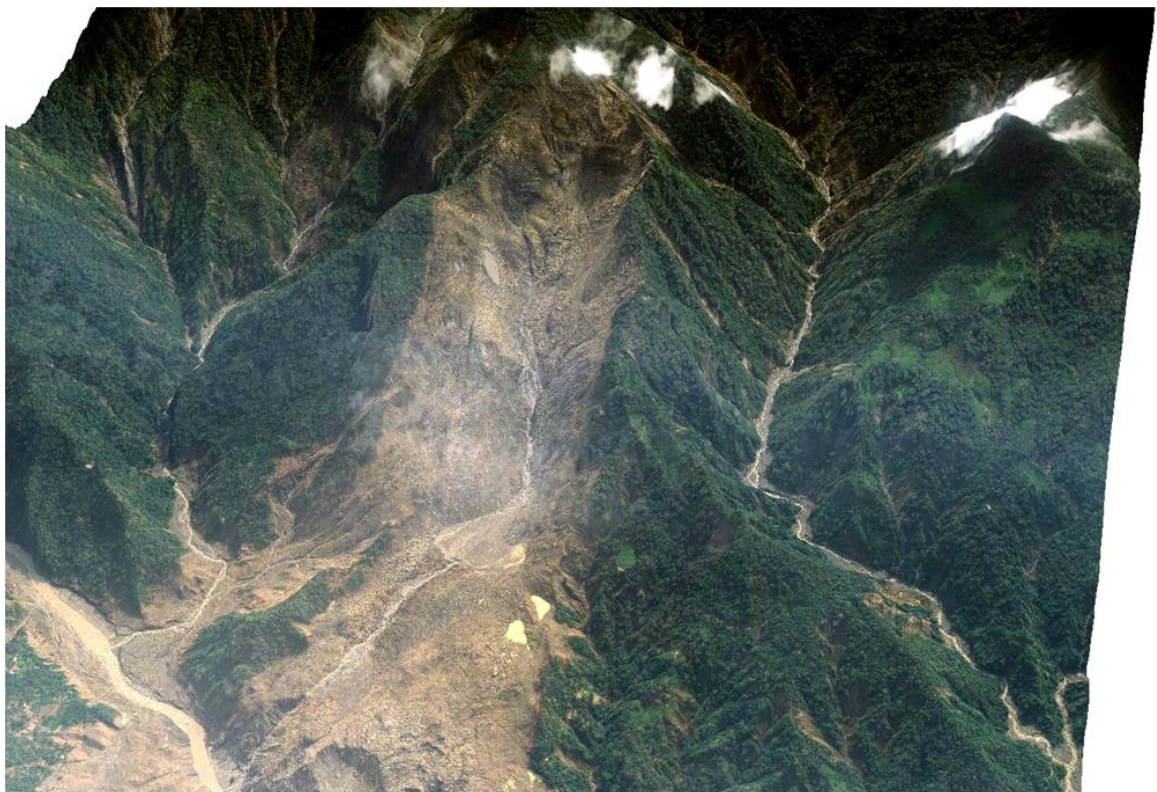


圖 15、岩體弱面控制之楔型破壞示意圖



500 250 0 500 Meters



圖 16、楔型破壞深層崩塌案例（小林村）

(2) 此類型崩塌亦屬尚未滑動，不利因子越多則越易產生破壞。而此判釋方法所需之材料包括地質圖、山崩潛感圖、環境地質圖、水系圖、道路圖、航照（若無航照則採用衛星影像）等資料，先將這些材料加入至地理資訊系統中以進行疊合分析。

(3) 判釋步驟如下：

(a) 於地理資訊系統中疊合山崩潛感圖、環境地質圖(順向坡)、構造線（斷層、褶皺）、水系圖。

(b) 找出高潛感以上之順向坡坡面，臨近 1 公里內有構造線通過或位於河道攻擊側、道路橫過坡面處位置，將此坡面進行圈繪(圖 17)。

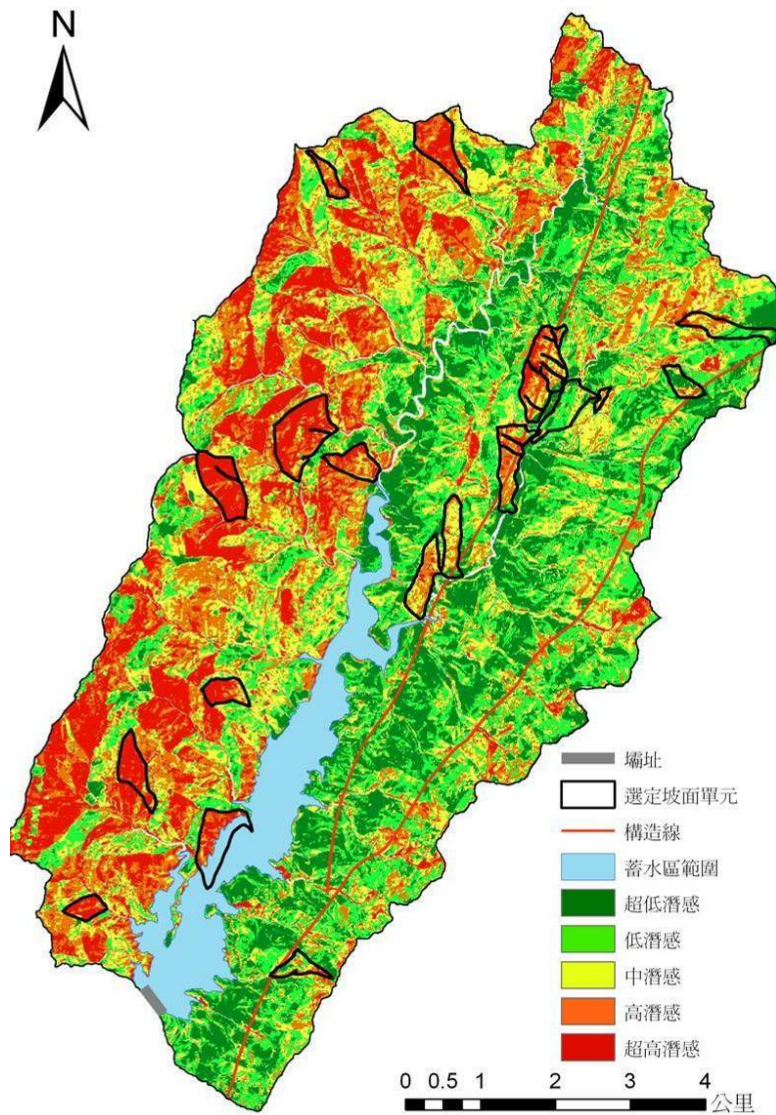


圖 17、高潛感以上之順向坡坡面及不利因子疊合篩選範例圖

(c) 圈繪範圍若大於 10 公頃則判定為” 類型 D：不具滑動地形特徵之潛在深層崩塌” (圖 18)。

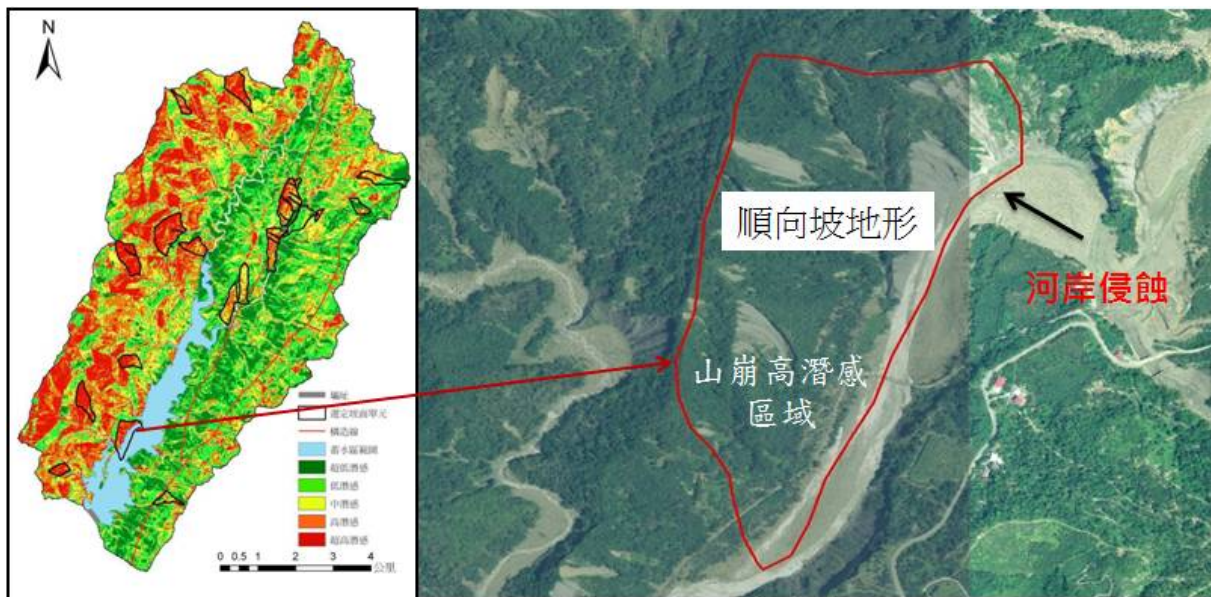


圖 18、類型 D：不具滑動地形特徵之潛在深層崩塌區位判釋與航照特徵圖

(四) 方法學限制：本判釋方法受限於取得數值地形之精度，精度越高越能判釋細微之深層崩塌特徵。同時圖資判讀者需具備相關野外與航照、衛星影像、地形圖、崩塌特徵等判釋經驗，同時需能將判釋結果轉換為數位化資料之能力。

步驟三、現場地質複查

現地調查步驟包括調查工作底圖製作、深層崩塌地形特徵調查、崩塌調查：

(一) 調查工作底圖製作：

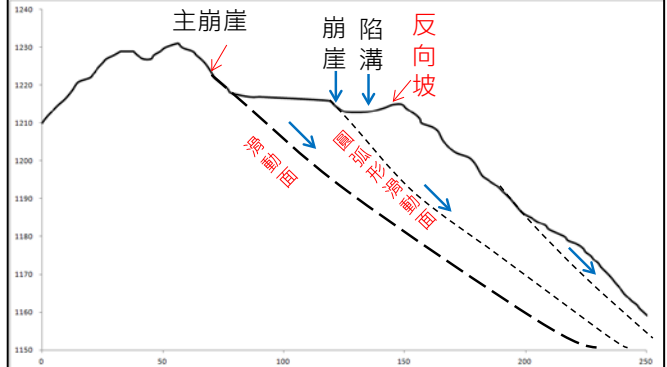
(1) 將步驟三之深層崩塌類型判釋結果套疊地質圖、環境地質圖、道路圖、水系圖等資料，地用地理資訊系統軟體，以 1:5,000 輸出 A1 圖紙之調查工作底圖，備齊現調裝備（GPS、羅盤、地質鎚）進行調查。

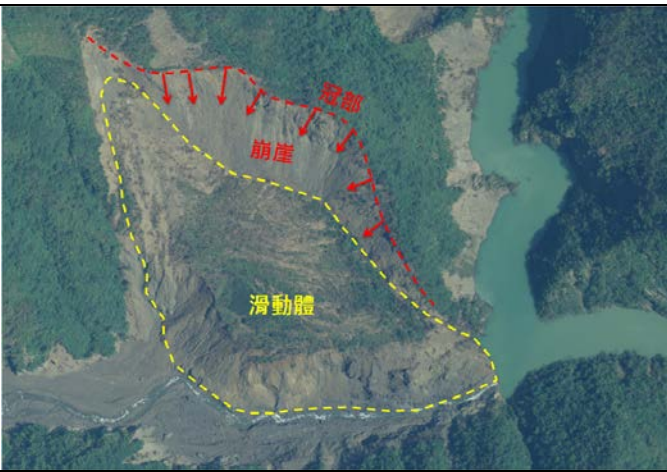
(二) 地形特徵調查：地形特徵調查之重點與做法羅列如下：

(1) 深層崩塌之滑動徵兆確認：深層崩塌地形特徵包括冠部、主崩崖、次崩崖、多重山稜、滑動體、側邊裂隙、坡趾隆起等特徵，依據表 3 之特徵進行現場研判，若具上述特徵則代表有滑動徵兆。

表 3、深層崩塌之微地形特徵現地範例照片及說明

地形特徵	範例照片	特徵說明
冠部		冠部常發育於主崩崖之上，山脊線附近，若冠部張力裂隙落差不大則不易進行觀察，範例照片為冠部張力裂隙發育於農墾地的情形。

地形特徵	範例照片	特徵說明
主崩崖		崩崖發育於冠部下方，因滑動距離長而沿滑動面產生崩崖現象，崩崖於野外常呈現陡坡裸露的情形，同時崩崖上、下植生常不一致，上方常為灌木，而下方崩塌土體則常為草本植物。
次崩崖		次崩崖為滑動體內部的崩崖，
多重山脊	 	多重山脊主要是因深層崩塌產生圓弧形滑動，造成滑動體旋轉，而形成另一道山脊。因滑動體旋轉，造成坡面朝上。此朝上坡面稱之為反向坡，兩道山脊之間的槽溝稱之為陷溝。此常為舊有滑動面的特徵，代表早期已有滑動的跡象。

地形特徵	範例照片	特徵說明
滑動體		滑動體通常呈塊體狀，由冠部位置沿崩崖重力向下滑落。
裂隙		裂隙為坡體受重力作用，發生位移量小的破壞面(或線性)，主要是發育在冠部、崩塌側邊、次崩崖上部或兩側。
側邊裂隙		崩塌側邊裂隙通常不易於野外觀察，其主要特徵為一不規則溝狀地形，裂隙上方為未滑動區，通常地勢較下方滑動體為高，且常有灌木生長，而下方滑動體則呈現裸露或植生彎曲的情形。

地形特徵	範例照片	特徵說明
坡趾隆起		崩塌址部常因隆起而擠壓道路及人工構造物，此為深層崩塌地形特徵中重要之指標之一。

(2) 滑動範圍確認：將上述之深層崩塌特徵之位置標註於工作底圖上進行深層崩塌判釋範圍之修正，依據崩崖、側邊裂隙、址部位置等界定出崩崖面、滑動體、崩積層以及滑動範圍等界線，並進行滑動面位置粗估。

(3) 不利因子調查：現地觀察之不利因子包括弱面方位與發生密度、河道側蝕與下切狀況、地下水與湧水狀況、道路與人為開發截切坡面等，而以上各因子之範例照片如表 4。

(三) 崩塌地質調查：

(1) 調查內容：地質調查重點為岩盤之岩性與地質構造，包括未崩塌區之岩性與位態、崩塌區出露之岩性與位態、通過崩塌地之地質構造線位置與性質、弱面位態與密度之量測、地下水滲漏至坡面與岩體浸染狀況等等。

(2) 調查方法：本手冊採用表 5 之深層崩塌現場調查表進行深層崩塌地質狀況調查與記錄。本表需詳實記錄以供後續深層崩塌潛勢評估之參考。

(四) 方法學限制：現場地質查核主要受限於交通可及性與調查人員之專業地質知識。交通不易到達地方，往往僅能透過既有圖資進行判釋。而若調查人員若不具備地質專業知識與經驗則不易勝任此工作。

表 4、深層崩塌之不利因子現地範例照片及說明

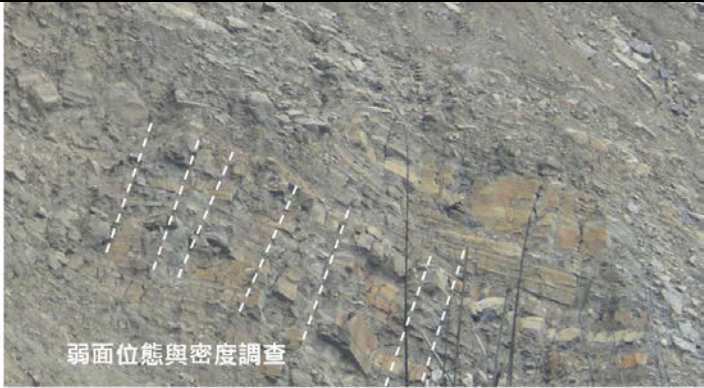
不利因子	範例照片	說明
弱面方位與發生密度		使用地質羅盤進行弱面方位之紀錄，並量測單位長度內弱面發育之數量。
河道側蝕與下切狀況		於河道攻擊側位置進行觀察，是否坡面有崩塌現象。
地下水與湧水狀況		地下水與湧水狀況常發生於不透水層與上方透水層交界處，出露地坡面後則以蝕溝方式發育進一步刷深坡面造成不穩定，此為深層崩塌重要之不利因子，常因有湧水而導致大規模滑動
道路與人為開發截切坡面		坡面常因道路截切而產生自由端出露，造成上方邊坡不穩定，而產生滑動。

表 5、深層崩塌調查表

林班地深層崩塌資料表										
林班事業區	山崩編號		山崩中心點坐標 (TWD87)		X:	Y:				
保全對象	☒ A.道路 ☒ B.橋樑 建物 ☐ C1. <5棟 ☐ C2. 5-10棟 ☒ C3. >10棟 ☐ D.其他 ☐ E.無				保全對象位置					
岩性	沉積岩(主要岩性)		☐ A1.礫岩 ☐ A2.砂岩 ☐ A3.粉砂岩 ☐ A4.頁岩 ☐ A5.泥岩 ☐ A6.石灰岩 ☐ A7.凝灰質砂岩 ☐ A8.其他_____							
	變質岩		☒ B1.硬頁岩 ☐ B2.板岩 ☐ B3.千枚岩和片岩(片麻岩) ☐ B4.變質砂岩 ☐ B5.大理岩(含白雲岩)							
	火成岩		☐ C1.安山岩 ☐ C2.玄武岩 ☐ C3.火山角礫岩(集塊岩) ☐ C4.凝灰岩 ☐ C5.其他_____							
	礫層或土層材料		☒ D1.崩積層 ☐ D2.風化層 ☐ D3.紅土礫石層 ☐ D4.其他_____							
地質特性	層面位態		層面		劈理、片理位態		劈理、片理 N /			
	節理特性	位態	節理組 1: N /		節理組 1:		節理組 1: cm		節理組 1: ☒ 有 ☐ 無	
			節理組 2: N /		節理組 2:		節理組 2: cm			節理組 2: ☐ 有 ☐ 無
			節理組 3: N /		節理組 3:		節理組 3: cm			
	斷層構造		☐ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 正 ☐ 逆 ☐ 橫移、觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判							
褶皺構造		☒ 無 ☐ 有 名稱: _____、類型: ☐ 背斜 ☐ 向斜 觀測方式: ☐ 現地量測 ☐ 地質圖研判								
山崩材料	☒ A.新鮮岩塊 ☐ B.風化土石 ☐ C.礫石(紅土礫石) ☒ D.崩積土石 ☐ E.礫石堆積 ☐ F.填土 ☐ G.其他 (可複選)									
規模大小	圓面數化	面積	m ²		最大寬度: m		最大高差: m			
地形坡度	☐ A.緩 (0-20度) ☒ B.陡 (21-40度) ☐ C.極陡 (41-60度) ☒ D.崖 (61度以上)									
地下水狀況	☐ A.乾 ☐ B.溼 ☒ C.滲水 ☐ D.湧水									
地面水匯集	☒ Y.有 ☐ N.無		河岸侵蝕		☒ Y.有 ☐ N.無		趾部人為開挖 ☐ Y.有 ☒ N.無			
山崩趾部特徵	趾部河道寬度		m		趾部突出河道		☒ Y.有 ☐ N.無			
崩塌地形	主崩崖特徵	崖高: m		崖寬: m		崖面新鮮		☒ Y.是 ☐ N.否		
		冠部有張力裂縫		☒ Y.是 ☐ N.否		主崩崖下方有窪地或水池		☒ Y.是 ☐ N.否		
	滑動體特徵	外觀呈凹陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否		上段呈下陷地形		☒ Y.是 ☐ N.否		
		中段呈緩坡狀		☒ Y.是 ☐ N.否		下段呈隆起地形		☒ Y.是 ☐ N.否		
		崩塌體與圍岩剪切破壞, 土石破碎		☐ Y.是 ☐ N.否		兩翼排水溝呈雙溝同源		☒ Y.是 ☐ N.否		
可能致災情形										

步驟四、深層崩塌潛勢評估

(一) 深層崩塌潛勢評估：

針對深層崩塌潛感分析作業擬以圖 19 所示之流程進行，主要包括因子權重值計算、因子檢定與成功率驗證與深層崩塌發生潛勢評估等三步驟，說明如下：

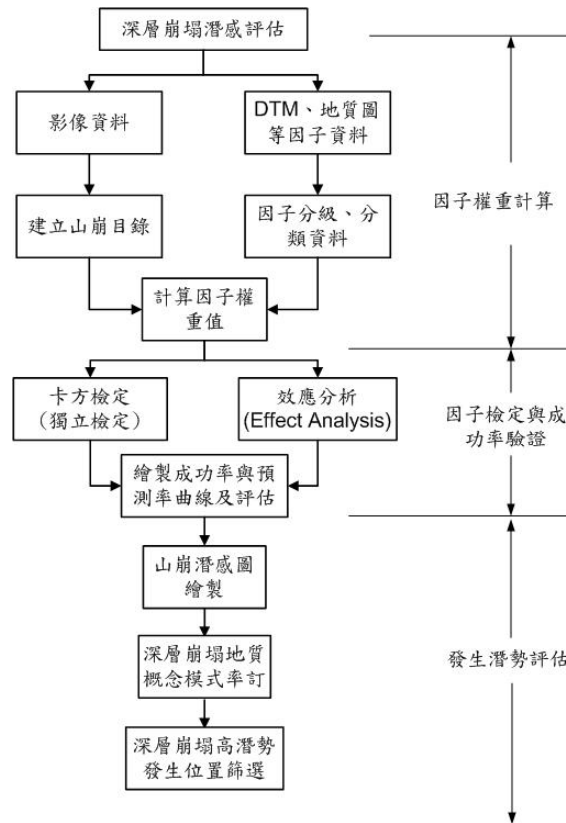


圖 19、深層崩塌潛感分析作業流程圖

一、因子權重計算

本計畫之深層崩塌因子權重計算擬採用證據權重法進行之，選擇此方法主要理由因本方法在山崩潛感分析之成效，已有甚多國外文章予以驗證。證據權重法是應用貝式定理(Bayes' theorem)與勝算比(odds ratio)對各因子量化及計算各因子的權重值，再分別對各因子做條件獨立檢定，選定獨立因子群進行權重加總後，據以評估該群因子的潛勢等級，最後利用成功率曲線(Success rate curves)找出最好的因子群，得到最佳的潛勢等級分布。此法的優點為方法簡單、容易使用且不費時，直接利用圖層的堆疊就能計算出不同地區的潛感值。

深層崩塌活動性與發生潛勢評估首重因子之選取與各因子之權重配比。在因子選取中，將應用貝氏定理進行各因子之勝算比計算，分別算出各因子之勝算比，即可判斷選定因子是否容易發生崩塌。有關證據權重法利用貝氏定理與勝算比對因子進行量化，其因子權重值計算公式如

下：

$$W^+ = \ln \frac{\frac{N_1}{N_1 + N_2}}{\frac{N_3}{N_3 + N_4}} = \ln \frac{N_1(N_3 + N_4)}{N_3(N_1 + N_2)} \quad (\text{式 1})$$

$$W^- = \ln \frac{\frac{N_2}{N_1 + N_2}}{\frac{N_4}{N_3 + N_4}} = \ln \frac{N_2(N_3 + N_4)}{N_4(N_1 + N_2)} \quad (\text{式 1})$$

W^+ 表示當因子 B 存在時，發生崩塌的權重值， W^- 表示當因子 B 不存在時發生崩塌的權重值， N_1 為在因子內的崩塌區域， N_2 為在因子外的崩塌區域， N_3 為因子內未發生崩塌之區域， N_4 為因子外未發生崩塌之區域(圖 20)。

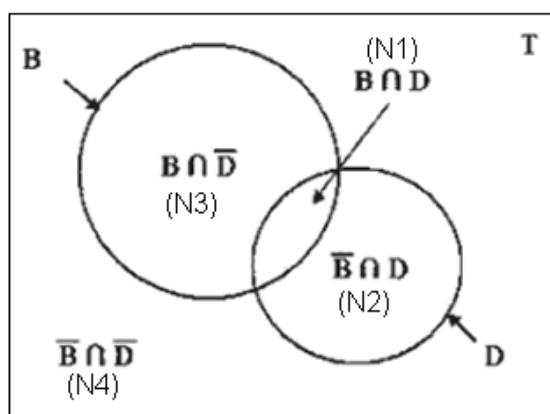


圖 20、崩塌與因子關係圖，B 為因子，D 為崩塌(Lee and Choi, 2004)

計算完各因子之權重值後(W^+ 與 W^-)，再將兩個值相減，可得到一對比值(contrast) C ，此值可作為指示因子與崩塌之間關聯性的指標。

$$C = W^+ - W^- \quad (\text{式 3})$$

利用指標 C 之判定因子與崩塌間關聯性之準則如下：

- 1.當 C 大於 0 時，表示因子存在時發生崩塌的機率大於因子不存在時發生崩塌的機率，也就是崩塌與此因子相關
- 2.當 C 等於 0 時，表示因子存在與不存在時，發生崩塌的機率相等，反應崩塌與此因子無顯著關連性

3.當 C 小於 0 時，代表因子存在時發生崩塌的機率小於因子不存時發生崩塌的機率，也就是崩塌與此因子不相關。

將所有因子量化後，可於地理資訊系統平台上把所有量化因子圖層進行疊加的動作，加總所有對比值，此加總對比值即為崩塌潛感指標 (Landslide susceptibility index, LSI)。

$$LSI = \sum C_{ij} \quad (\text{式 4})$$

在證據權重法公式推導過程中，由於在連結多個因子時，假定因子彼此之間相互獨立，故最後才能夠將因子權重值加總，所以在加總權重值前須先對因子做條件獨立檢定。

二、成功率驗證

成功率驗證的方式是使用成功率曲線(Success rate curves)，繪製方法將潛感值切割成若干個等間距區間，由大到小累加，計算各區間山崩面積佔總山崩面積的比例與各區間面積佔總面積的比例，最後所繪製的曲線。在繪製時使用訓練資料繪製稱為成功率曲線(Chung and Fabbri, 1999)，使用驗證資料所繪製稱為預測率曲線(prediction rate curve)(Chung and Fabbri, 2003)(圖 21)。

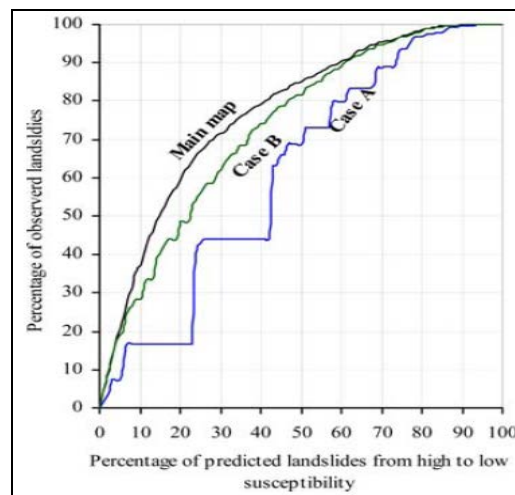


圖 21、成功率曲線示意圖(Dahal et al, 2007)

曲線下的面積總和(the area under the curve, AUC)的大小，為判定該結果好壞的依據，其值在 0 到 1 之間，當面積為 1 時，表示少數的高潛感地區就可以百分之百包含目標事件，當面積為 0 時，表示整個沒有包含目標事件，當面積越接近中間值 0.5 左右，則表示該結果不會比隨機的結果好(Chung and Fabbri, 2003)。

對於 AUC 值的評估成效，Lee et al.(2008b)則有提出如表 6 中之建議：

表 6、AUC 評估成效表

AUC	評估效果
$AUC \geq 0.9$	極佳(excellent)
$0.9 > AUC \geq 0.8$	佳(good)
$0.8 > AUC \geq 0.7$	可(fair)
$0.7 > AUC \geq 0.6$	差(poor)
$AUC < 0.6$	極差(very poor)

三、深層崩塌潛感分析評估

深層崩塌潛感分析評估流程包括 1.使用資料選定、2.因子處理分析、3.崩塌潛感圖製作、4.崩塌潛感檢定與驗證，作業所需之圖資與方法分述如下：

(一)圖資需求

製作深層崩塌潛感圖所使用的資料有(1)莫拉克事件前後之福衛二號衛星影像、(2)內政部出版之 5 米網格數值地形模型、(3)經濟部中央地質調查所製作之五萬分之一流域地質圖、區域地質圖(表 7)。

表 7、深層崩塌潛感分析所需資料

	名稱	類型	註備
分析因子資料	坡度、坡向、 高程、坡形	5m*5m 網格	由內政部出版 5mDTM 在 GIS 平台下進行空間分析取得
	岩性、構造線	Shpfile	地調所 1/50,000 高屏溪數值流域地質圖、1/50,000 嘉義、中埔、新化、甲仙數值地質圖與 1/500,000 臺灣數值地質圖分析取得
	河道	Shpfile	在 GIS 平台下進行水文分析取得
	順向坡	Shpfile	

(二)深層崩塌潛感分析方法

深層崩塌潛感分析步驟如圖 22，首先進行因子選定並針對各因子之獨立性進行檢定，並計算各因子之權重值，其後透過 GIS 平台將所計算出來之因子權重值套疊至各因子的分級圖層中，初步完成深層崩塌潛感圖，並以歷史深層崩塌判釋成果進行深層崩塌潛感圖之正確性檢驗(成功率曲線及預測率曲線)，依此步驟完成深層崩塌潛感圖。

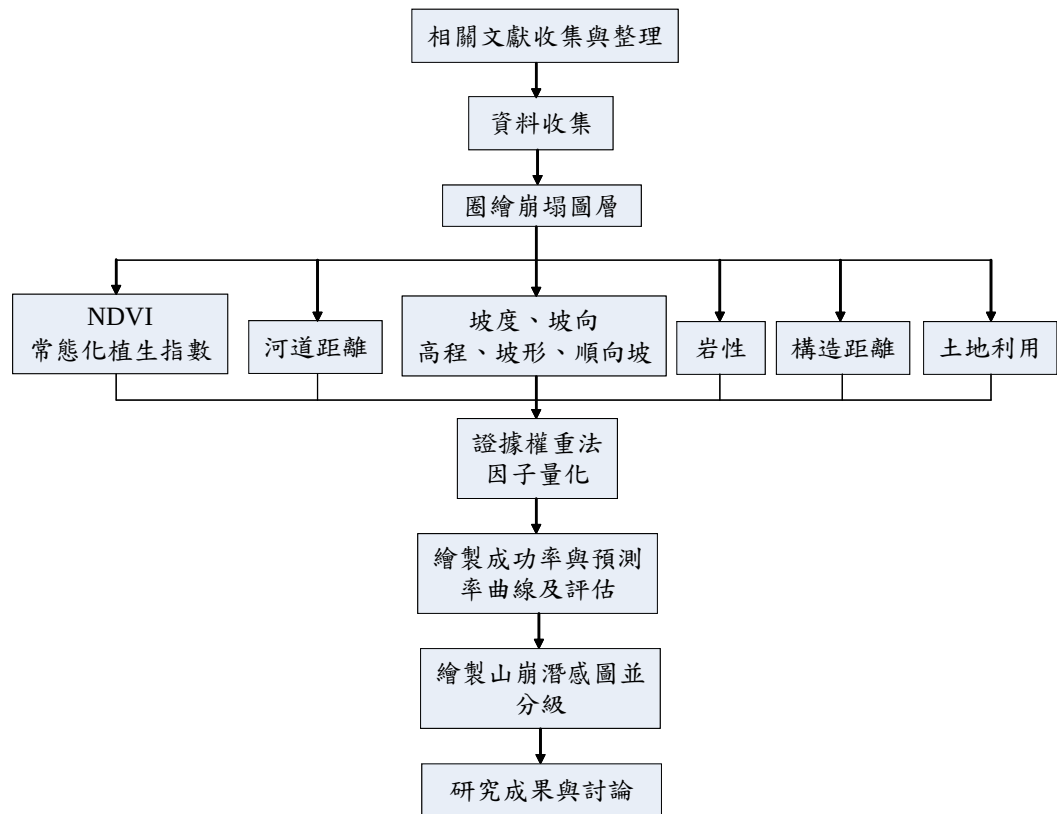


圖 22、山崩潛感圖工作流程圖

(二) 方法學限制：本手冊活動性評估是證據權法評估深層崩塌發生潛勢，以作為深層崩塌區位評估相關計畫之參考，建議進而增減與修正其評估項目或其他潛勢評估方式，建立真正符合國內使用之評估方法。

步驟五、深層崩塌危險等級評估

本工作以具滑動地形特徵之類型 C 潛在深層崩塌為分析對象，透過地質、地形、水文、崩塌、河道侵蝕與保全對象等不利條件，進行深層崩塌潛勢區危險等級評估，評估項目與細項規劃及評分如表 8。另外本次再加入另一評估方法，使用類型 A 已發生深層崩塌及類型 C 潛在深層崩塌，以證據權重法建立評分表，針對類型 C 進行深層崩塌潛勢區危險等級評估。

（一）深層崩塌危險等級評估方法一

此方法評估細項使用之參考資料為(1)比例尺五萬分之一流域地質圖、(2)順向坡資料、(3)5 米解析度數值高程模型、(4)地形陰影圖、(5)地形坡度圖、(6)航空照片、(7)衛星影像、(8)水系圖及(9)門牌系統等資料進行分析評估。在評估細項中，任一細項存在則此潛勢評估項目則給於評分，當四項不利因素及河道侵蝕評分總和(T1)大於等於 7 則為高發生度等級，T1 界於 5~6 分則為中發生度等級，T1 小於等於 4 分則為低發生度等級；加入保全對象後之評分總和(T2)大於等於 9 則為高危險等級，T2 界於 6~8 分之間則為中危險等級，T2 小於等於 5 則為低危險等級。

表 8、本研究初步擬定之深層崩塌潛勢區危險等級評估項目一覽表

潛勢評估項目	評估細項	評分
地質不利因素	☐ 順向坡地形 ☐ 緊鄰地質構造 ☐ 岩體弱面發達 ☐ 厚層砂頁岩互層	1
地形不利因素	☐ 陡坡地形 ☐ 舊崩塌凹谷狀地形 ☐ 崖錐堆積地形	1
水文不利因素	☐ 有地表水（常流水河道、蝕溝） ☐ 有地下水（湧水）	1
崩塌不利因素	☐ 坡面崩塌發育 ☐ 崩崖 ☐ 橫向裂隙 ☐ 側邊裂隙 ☐ 趾部隆起 ☐ 坡面零散存在大型塊狀基岩	2
河道侵蝕	☐ 緊鄰河道	2
發 生 度		T ₁ (7)
高發生度：T ₁ =7 中發生度：6≥T ₁ ≥5 低發生度：T ₁ ≤4		
保全對象	☐ 門牌系統	4
危 險 度		T ₂ (11)
高危險度：T ₂ ≥9 中危險度：8≥T ₂ ≥6 低危險度：T ₂ ≤5		

分析結果位於國有林事業區範圍內如圖 23、24，包含 163 處位於高發生度等級，121 處位於高危險等級；575 處位於中發生度等級，242 處位於中危險等級；265 處位於低發生度等級，640 處位於低危險等級，詳細統計數據如表 9、10。

表 9、各發生度之潛在深層崩塌(方法一)於各事業區數量統計

發生度 等級	玉山 事業區	旗山 事業區	荖濃溪 事業區	屏東 事業區	大埔 事業區	玉井 事業區	總計
高 (個數及 百分比)	26	66	21	15	23	12	163
	11.40%	21.57%	13.82%	11.36%	15.97%	29.27%	16.25%
中 (個數及 百分比)	131	190	62	70	93	29	575
	57.46%	62.09%	40.79%	53.03%	64.58%	70.73%	57.33%
低 (個數及 百分比)	71	50	69	47	28	0	265
	31.14%	16.34%	45.39%	35.61%	19.44%	0.00%	26.42%
總計	228	306	152	132	144	41	1,003

表 10、各危險度之潛在深層崩塌(方法一)於各事業區數量統計

危險度 等級	玉山 事業區	旗山 事業區	荖濃溪 事業區	屏東 事業區	大埔 事業區	玉井 事業區	總計
高 (個數及 百分比)	1	69	2	6	29	14	121
	0.44%	22.55%	1.32%	4.55%	20.14%	34.15%	12.06%
中 (個數及 百分比)	58	82	43	22	29	8	242
	25.44%	26.80%	28.29%	16.67%	20.14%	19.51%	24.13%
低 (個數及 百分比)	169	155	107	104	86	19	640
	74.12%	50.65%	70.39%	78.79%	59.72%	46.34%	63.81%
總計	228	306	152	132	144	41	1,003

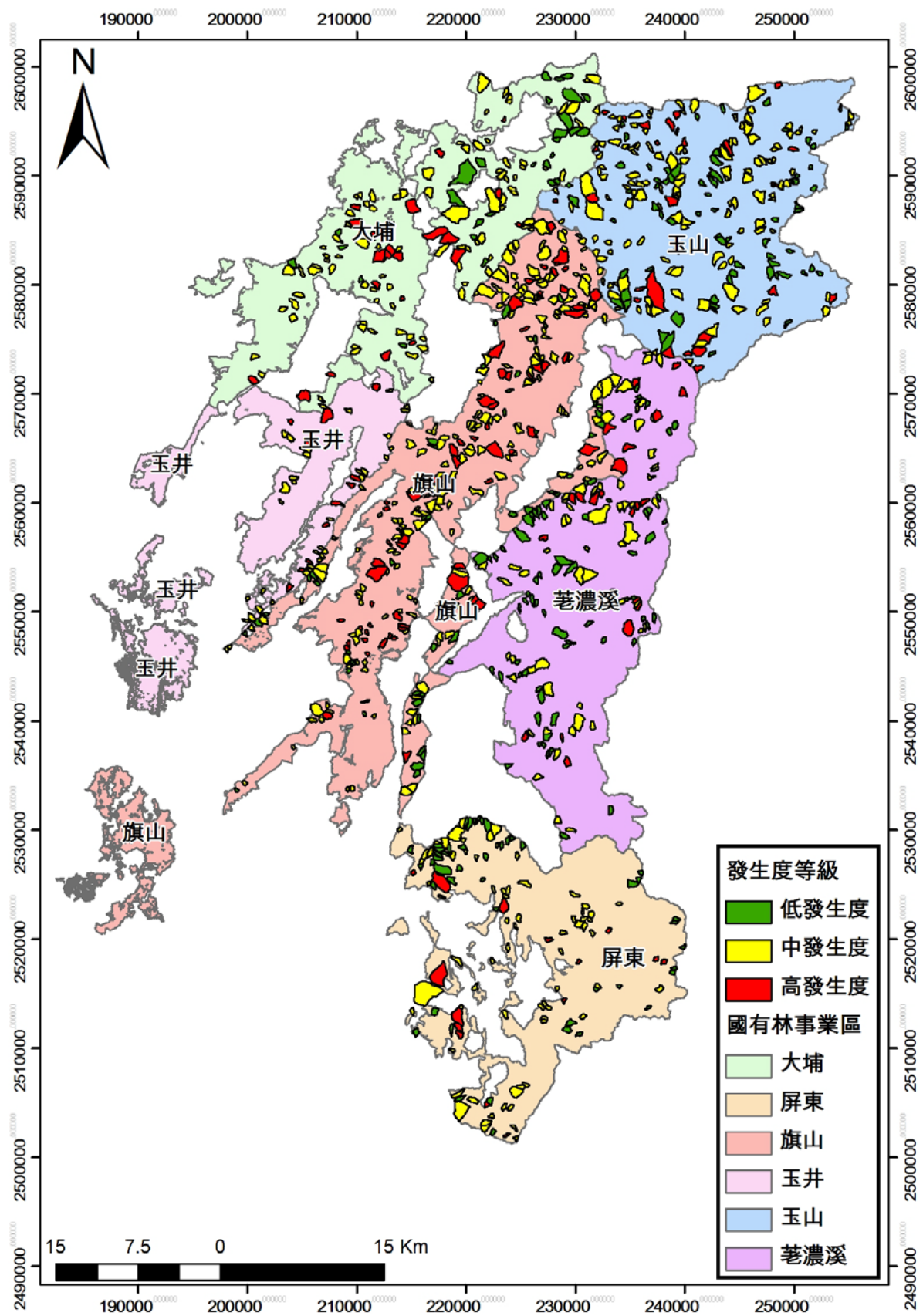


圖 23、深層崩塌潛勢區發生度等級分布圖(方法一)於國有林事業區內

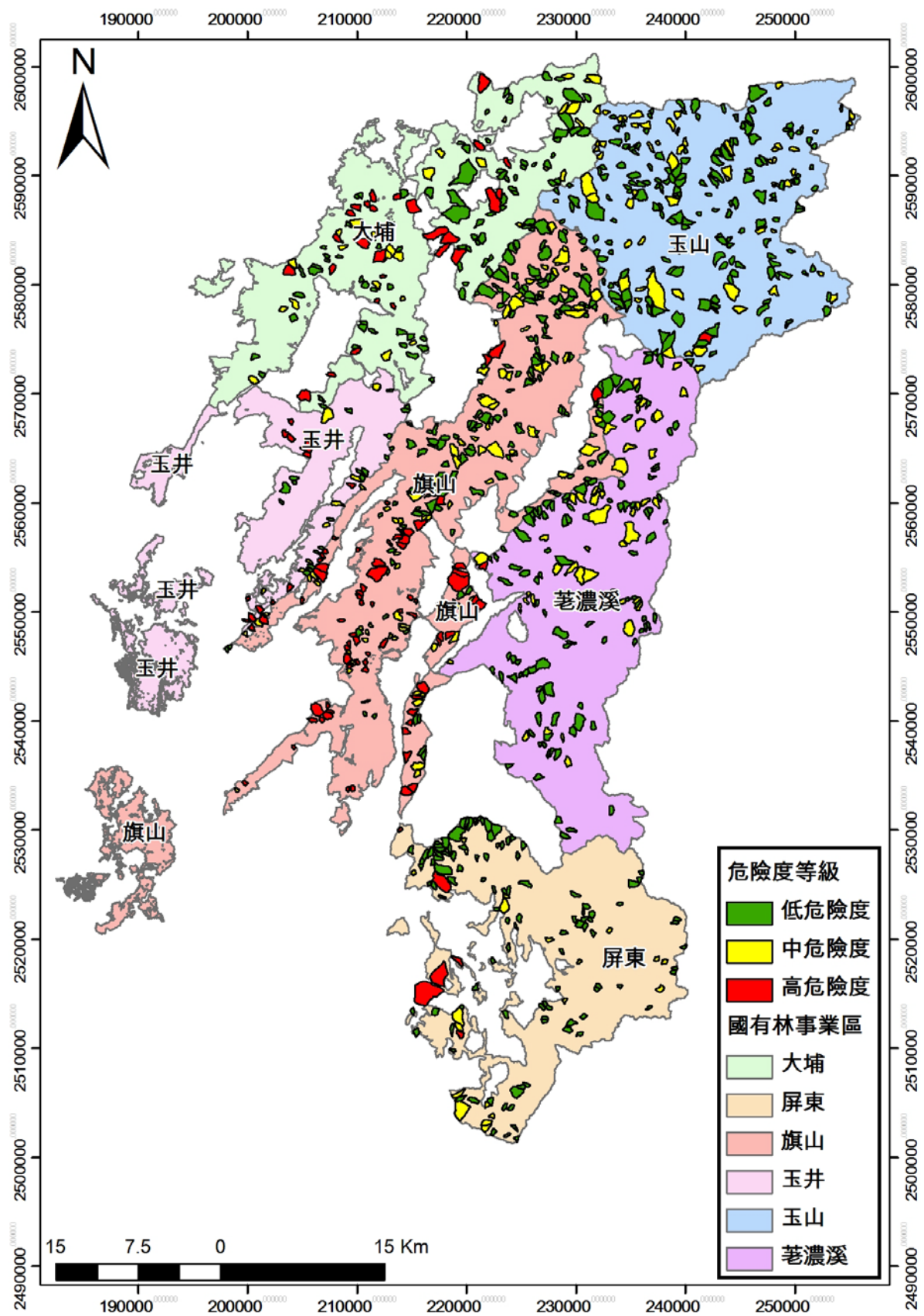


圖 24、深層崩塌潛勢區危險度等級分布圖(方法一)於國有林事業區內

(二) 深層崩塌危險等級評估方法二

本方法選定有較高樣本數量的高屏溪流域的類型 A 及 C 兩種不同的深層崩塌目錄配合證據權重法來建立評分表(表 11)，使用之資料包含(1)坡度、(2)岩性、(3)構造線、(4)河道及(5)順向坡，針對類型 C 進行深層崩塌潛勢區發生度等級評估，評分總和區分為高、中、低三個等級如表 12。

表 11、因子分級/分類之評分

因子	分級/分類	權重值	因子內部評分	正規化	分數
坡度	>45 度	2.52776	2.0	1	4
河道距離	河道通過或相切	0.62732	2.0	0.68817	3
岩性	板岩	0.53413	2.0	0.67288	3
順向坡	有	0.13551	2.0	0.60747	2
構造距離	構造線通過或相切	0.08426	2.0	0.59906	2
構造距離	無構造線通過或相切	-0.08426	1.0	0.57141	1
順向坡	無	-0.13551	1.0	0.56300	1
岩性	砂岩、砂頁岩互層 變質砂岩、片岩	-0.46676	1.5	0.50865	2
河道距離	無河道通過或相切	-0.62732	1.0	0.48231	1
坡度	30~45 度	-1.23979	1.5	0.38181	1
岩性	頁岩	-2.02882	1.0	0.25234	1
坡度	<30 度	-3.56673	1.0	0	0

表 12、發生度等級評分表

發生度等級	評分總和
高	10~14
中	7~9
低	4~6

再參考國際減災策略組織(ISDR)公式(式 6)，進行深層崩塌潛勢區危險等級評估，其中保全對象加入考慮因子包括(1)住戶、(2)交通、(3)重要設施及(4)水庫蓄水區，其評分表如表 13，再根據其保全對象分數總和區分為高、中、低及無四個保全重要性如表 14。最後依據保全重要性及發生度等級，給予 0～9 危險等級評分(表 15)。

災害風險＝災害發生度 X 災害損失或影響程度

$$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Vulnerability} \quad (\text{式 } 6)$$

表 13、保全評分表

	保全對象	分數
住戶	住戶 20 戶以上	5
	住戶 10 到 19 戶	4
	住戶 10 戶以下	3
交通	主要連外道路、橋梁	2
	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)	4
水庫蓄水區		4
最高為 15 分		

表 14、保全重要性評分表

保全重要性	評分總和
高	10～15
中	5～9
低	1～4
無	0

表 15、危險等級評分表

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

分析結果位於國有林事業區範圍內如圖 25、26，包含 31 處位於高發生度等級、573 處位於中發生度等級及 399 處位於低發生度等級(表 16)；危險等級評分部份，範圍內最高分數為 8 分共有兩處，位於旗山及大埔事業區內，詳細統計數據如表 17。

表 16、各發生度之潛在深層崩塌(方法二)於各事業區數量統計

發生度 等級	玉山 事業區	旗山 事業區	荖濃溪 事業區	屏東 事業區	大埔 事業區	玉井 事業區	總計
高 (個數及 百分比)	8	5	10	8	0	0	31
	3.51%	1.63%	6.58%	6.06%	0.00%	0.00%	3.09%
中 (個數及 百分比)	135	161	117	94	48	18	573
	59.21%	52.61%	76.97%	71.21%	33.33%	43.90%	57.13%
低 (個數及 百分比)	85	140	25	30	96	23	399
	37.28%	45.75%	16.45%	22.73%	66.67%	56.10%	39.78%
總計	228	306	152	132	144	41	1,003

表 17、各危險度之潛在深層崩塌(方法二)於各事業區數量統計

危險等級評分	玉山 事業區	旗山 事業區	荖濃溪 事業區	屏東 事業區	大埔 事業區	玉井 事業區	總計
9 (個數及 百分比)	0	0	0	0	0	0	0
	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
8 (個數及 百分比)	0	1	0	0	1	0	2
	0.00%	0.33%	0.00%	0.00%	0.69%	0.00%	0.20%
7 (個數及 百分比)	0	1	0	0	0	0	1
	0.00%	0.33%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.10%
6 (個數及 百分比)	1	1	0	1	0	0	3
	0.44%	0.33%	0.00%	0.76%	0.00%	0.00%	0.30%
5 (個數及 百分比)	1	11	2	4	1	1	20
	0.44%	3.59%	1.32%	3.03%	0.69%	2.44%	1.99%
4 (個數及 百分比)	0	12	0	0	6	2	20
	0.00%	3.92%	0.00%	0.00%	4.17%	4.88%	1.99%
3 (個數及 百分比)	1	1	2	0	0	0	4
	0.44%	0.33%	1.32%	0.00%	0.00%	0.00%	0.40%
2 (個數及 百分比)	14	51	29	19	13	7	133
	6.14%	16.67%	19.08%	14.39%	9.03%	17.07%	13.26%
1 (個數及 百分比)	19	44	11	10	30	6	120
	8.33%	14.38%	7.24%	7.58%	20.83%	14.63%	11.96%
0 (個數及 百分比)	192	184	108	98	93	25	700
	84.21%	60.13%	71.05%	74.24%	64.58%	60.98%	69.79%
總計	228	306	152	132	144	41	1,003

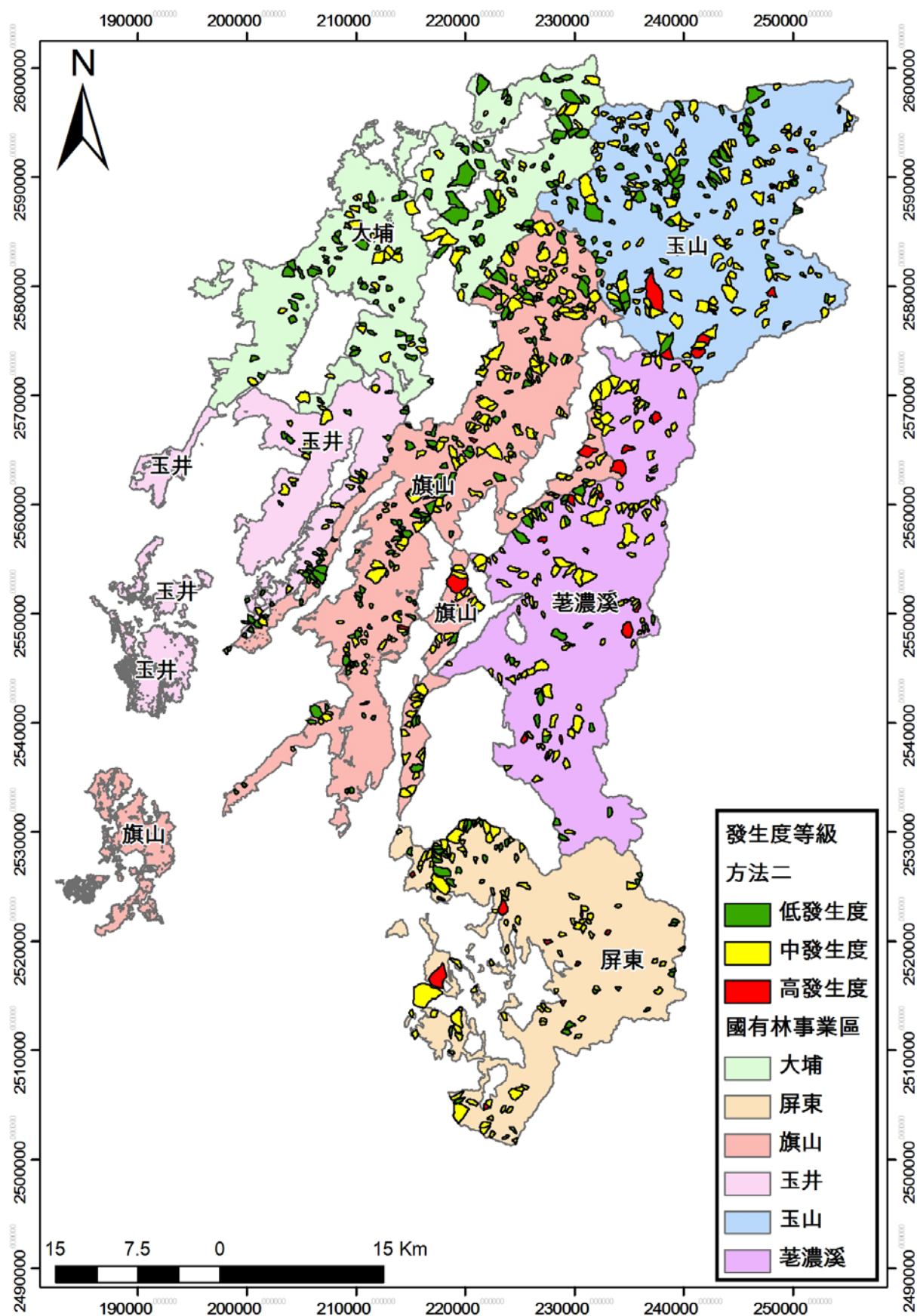


圖 25、深層崩塌潛勢區發生度等級分布圖(方法二)於國有林事業區內

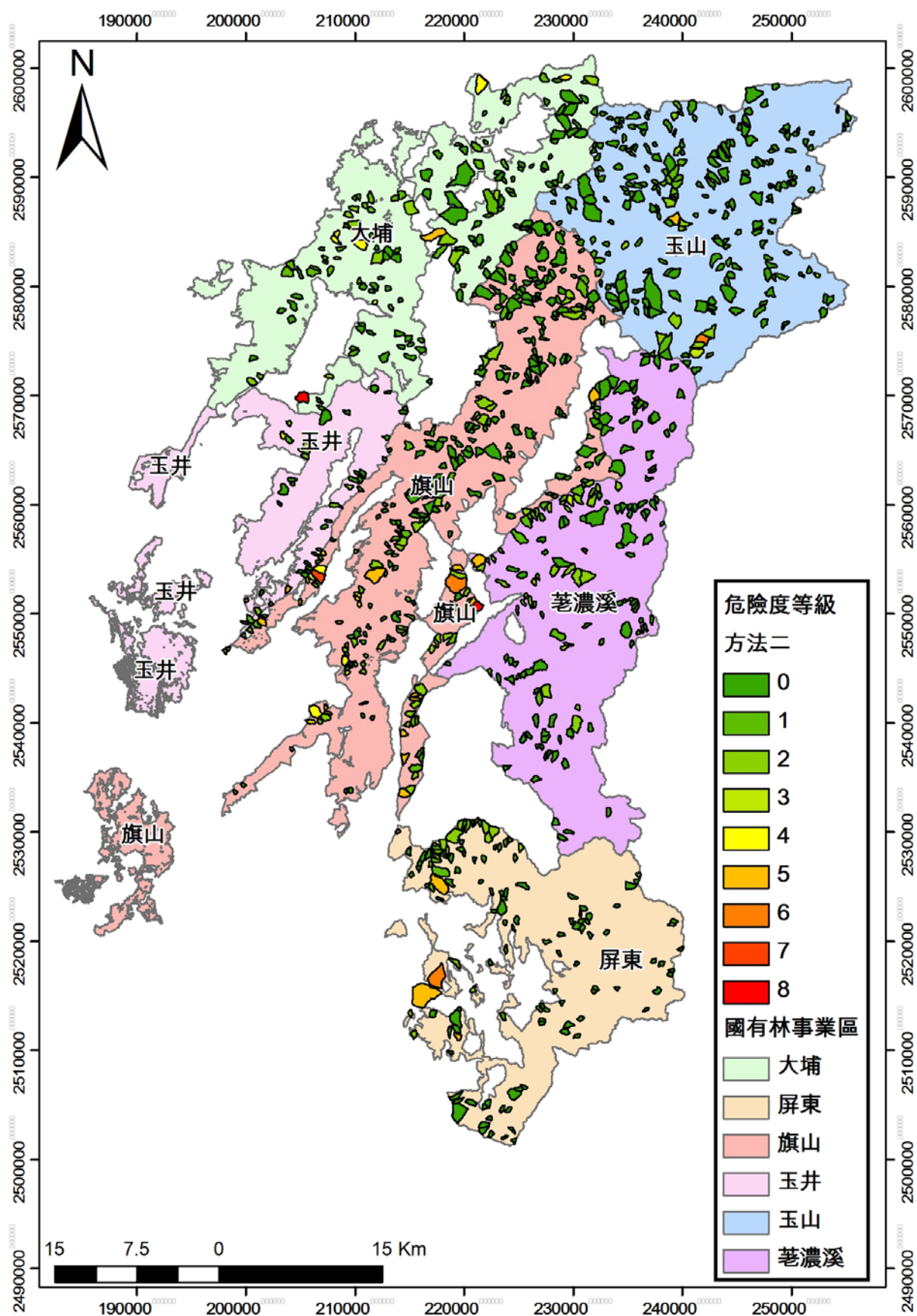


圖 26、深層崩塌潛勢區危險度等級分布圖(方法二)於國有林事業區內

為比較兩種評估方法，針對區域內類型 A 已發生深層崩塌進行兩種發生度評估，數量部份兩種方法皆集中於中發生度等級，方法一約占 51%，方法二約占 72%，評估結果如表 18、表 19。

表 18、各發生度之已發生深層崩塌(方法一)於各事業區數量統計

發生度 等級	玉山 事業區	旗山 事業區	荖濃溪 事業區	屏東 事業區	大埔 事業區	玉井 事業區	總計
高 (個數及 百分比)	10	28	29	11	4	2	84
	15.38%	31.11%	21.97%	22.92%	23.53%	50.00%	23.60%
中 (個數及 百分比)	36	52	58	24	11	2	183
	55.38%	57.78%	43.94%	50.00%	64.71%	50.00%	51.40%
低 (個數及 百分比)	19	10	45	13	2	0	89
	29.23%	11.11%	34.09%	27.08%	11.76%	0.00%	25.00%
總計	65	90	132	48	17	4	356

表 19、各發生度之已發生深層崩塌(方法二)於各事業區數量統計

發生度 等級	玉山 事業區	旗山 事業區	荖濃溪 事業區	屏東 事業區	大埔 事業區	玉井 事業區	總計
高 (個數及 百分比)	10	6	31	12	2	0	61
	15.38%	6.67%	23.48%	25.00%	11.76%	0.00%	17.13%
中 (個數及 百分比)	48	58	101	36	10	3	256
	73.85%	64.44%	76.52%	75.00%	58.82%	75.00%	71.91%
低 (個數及 百分比)	7	26	0	0	5	1	39
	10.77%	28.89%	0.00%	0.00%	29.41%	25.00%	10.96%
總計	65	90	132	48	17	4	356

若觀察由潛在深層崩塌(類型 C)轉換為已發生深層崩塌(類型 A)比例，可發現方法二在高發生度等級達 66%(表 20)，而方法一則約只有 34%(表 21)，顯示發生度等級評估方法以方法二較為適當。

表 20、各發生度之類型 A、類型 C 深層崩塌數量及發生深層崩塌比例(方法一)

發生度 等級	類型 A 深層崩塌	類型 C 深層崩塌	類型 A、C 深層崩塌	發生深層崩塌 比例
高	84	163	247	34.01%
中	183	575	758	24.14%
低	89	265	354	25.14%

表 21、各發生度之類型 A、類型 C 深層崩塌數量及發生深層崩塌比例(方法二)

發生度 等級	類型 A 深層崩塌	類型 C 深層崩塌	類型 A、C 深層崩塌	發生深層崩塌 比例
高	61	31	92	66.30%
中	256	573	829	30.88%
低	39	399	438	8.90%

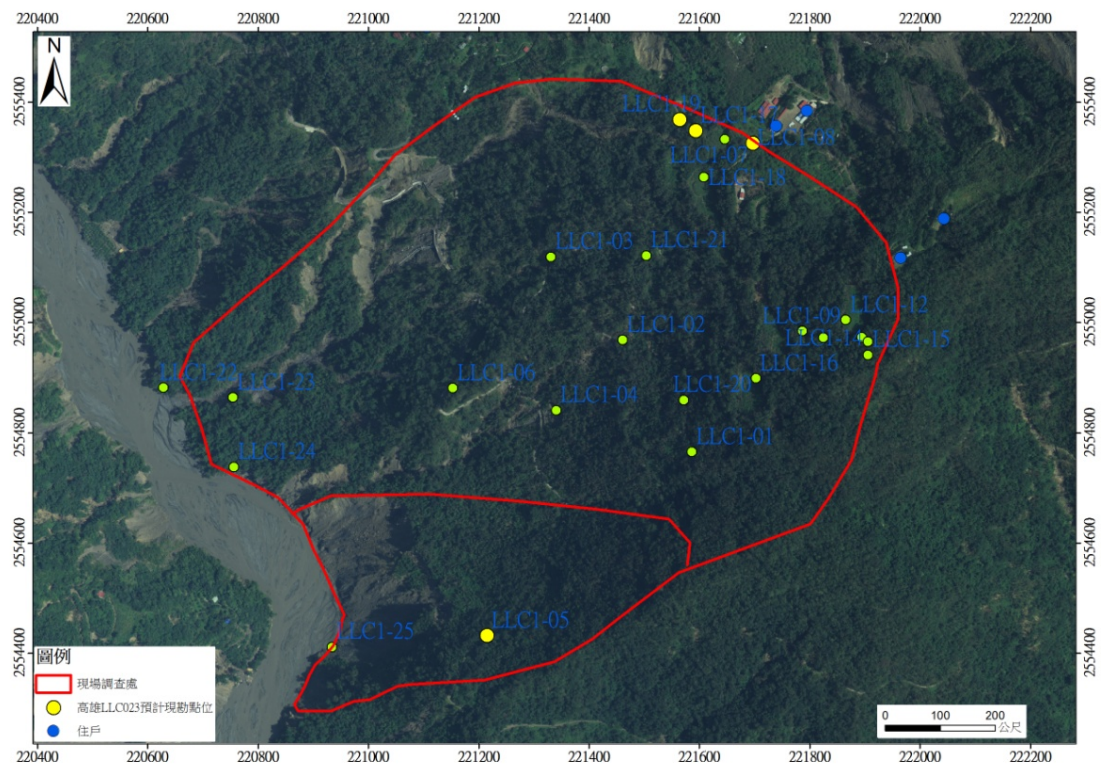
由前述兩種方法比較結果發現，方法一其評分總和差異並不明顯，故不同危險度差異有限，且再由發生深層崩塌比例數據比較，方法二在高發生度等級有高達 66%比例，故建議以方法二進行潛在深層崩塌危險等級評估。

此評估方法仍屬研究階段，初步以方便取得之相關資料進行整體性分析初估，後續建議再檢討評估項目及因子，改進現有之評估方法，以建立符合國內深層崩塌潛勢區危險等級評估方法。

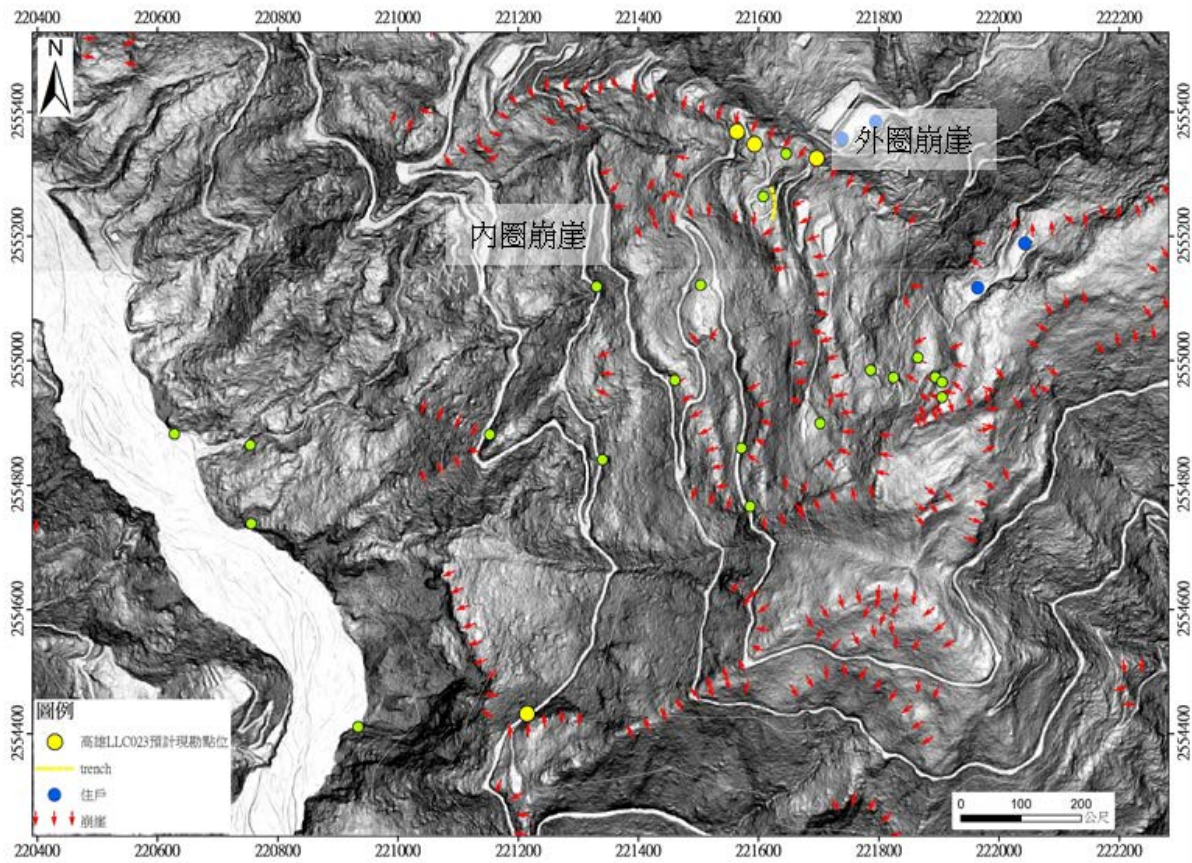
附錄、深層崩塌調查與評估案例

案例一 高雄市-桃源區-D346

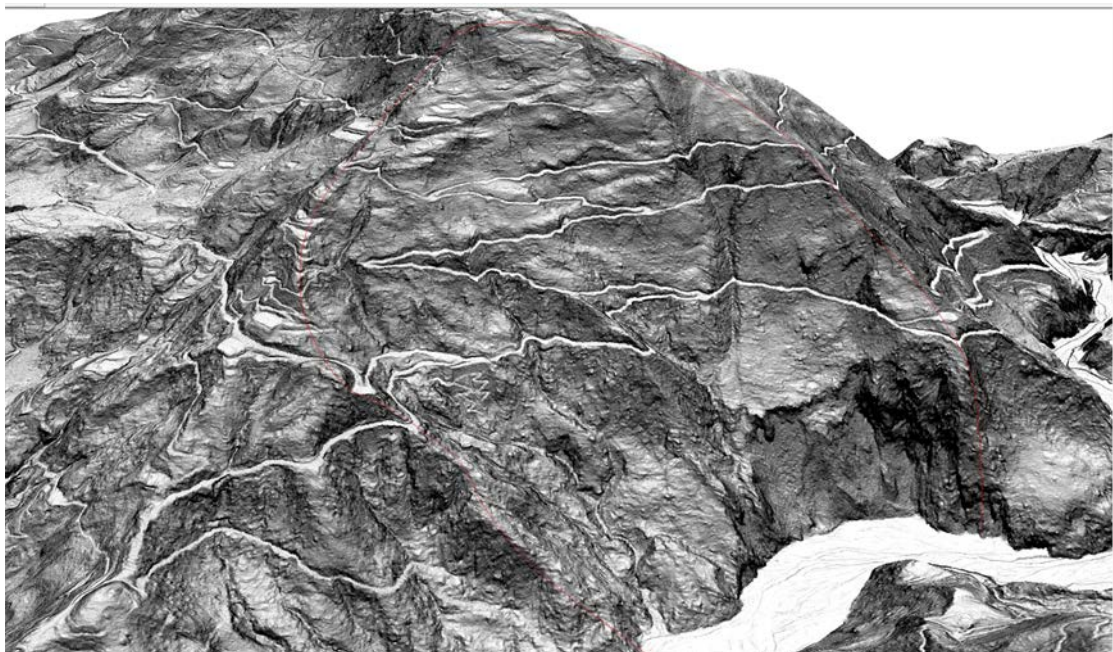
崩塌編號	高雄市-桃源區-D346	面積(ha)	96.6
平均坡度	31.1	最大寬度	460
最高處標高	1060	最低處標高	460
岩性	硬頁岩	地層位態	(N16W，56W)



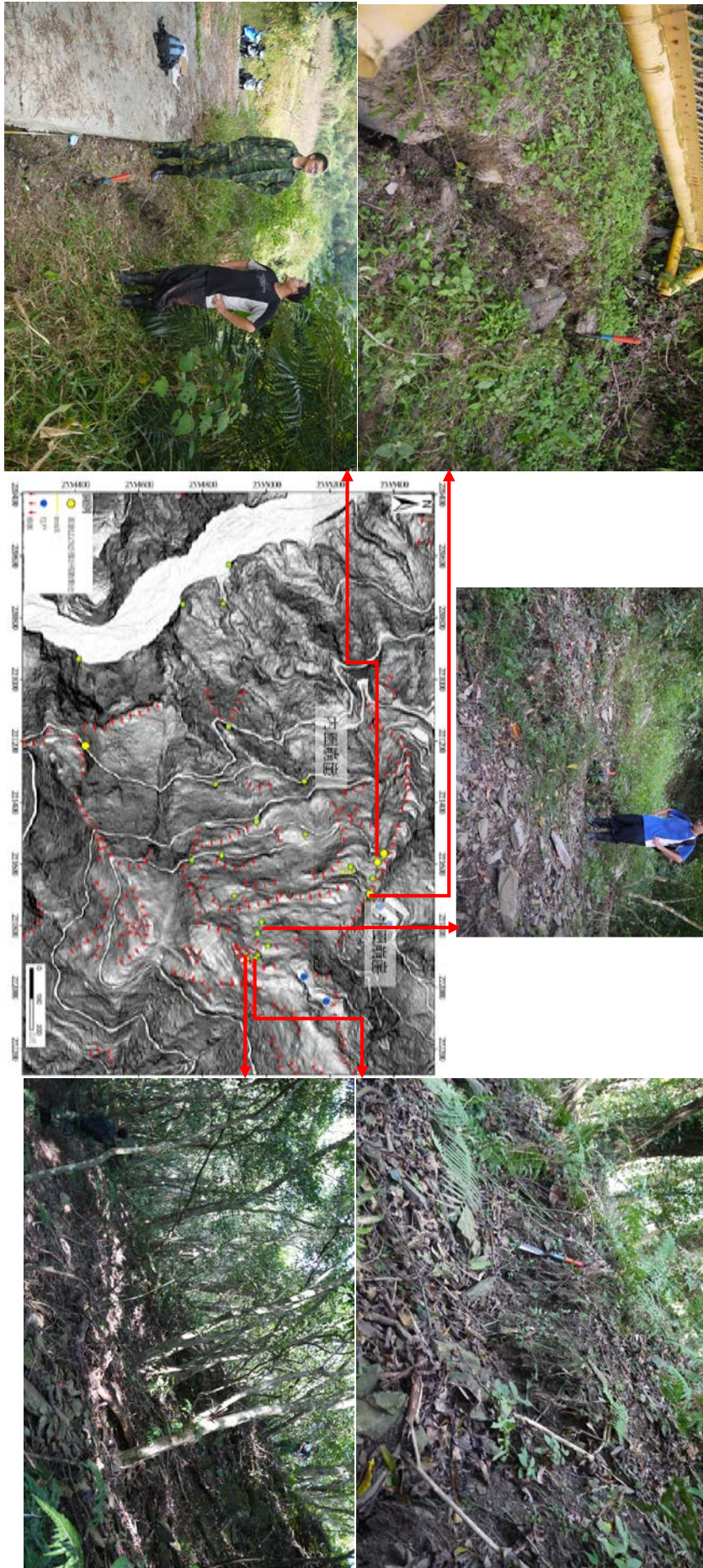
崩塌編號高雄市-桃源區-D346 航照影像



崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 高精度數值地形判釋圖

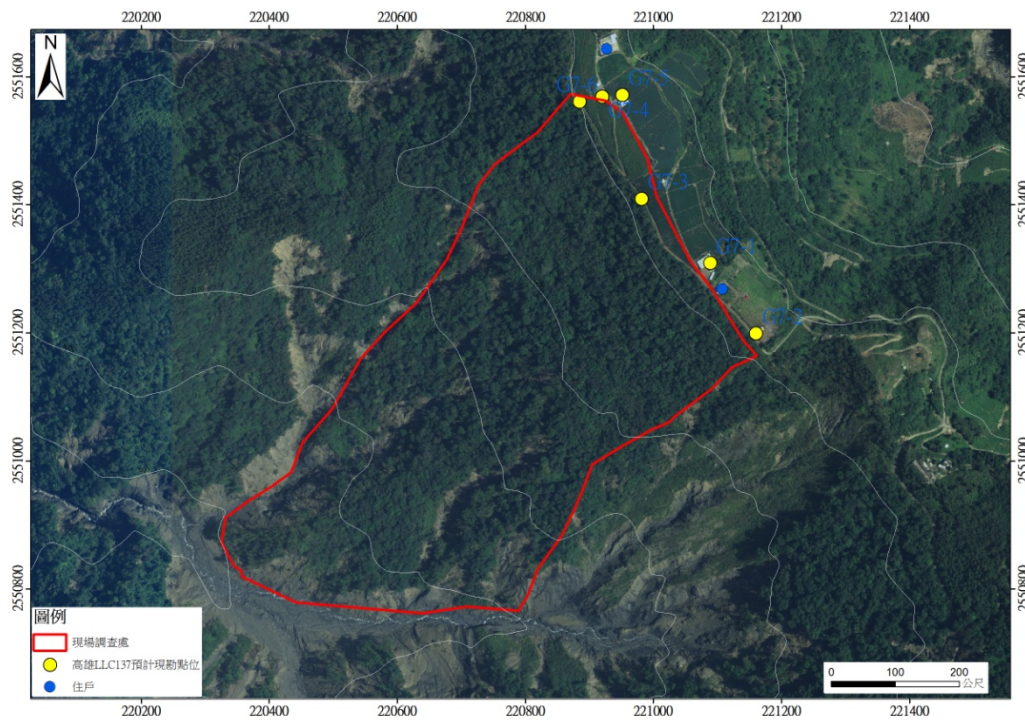


崩塌地編號高雄市-桃源區-D346 立體圖，紅線範圍為潛在崩塌範圍

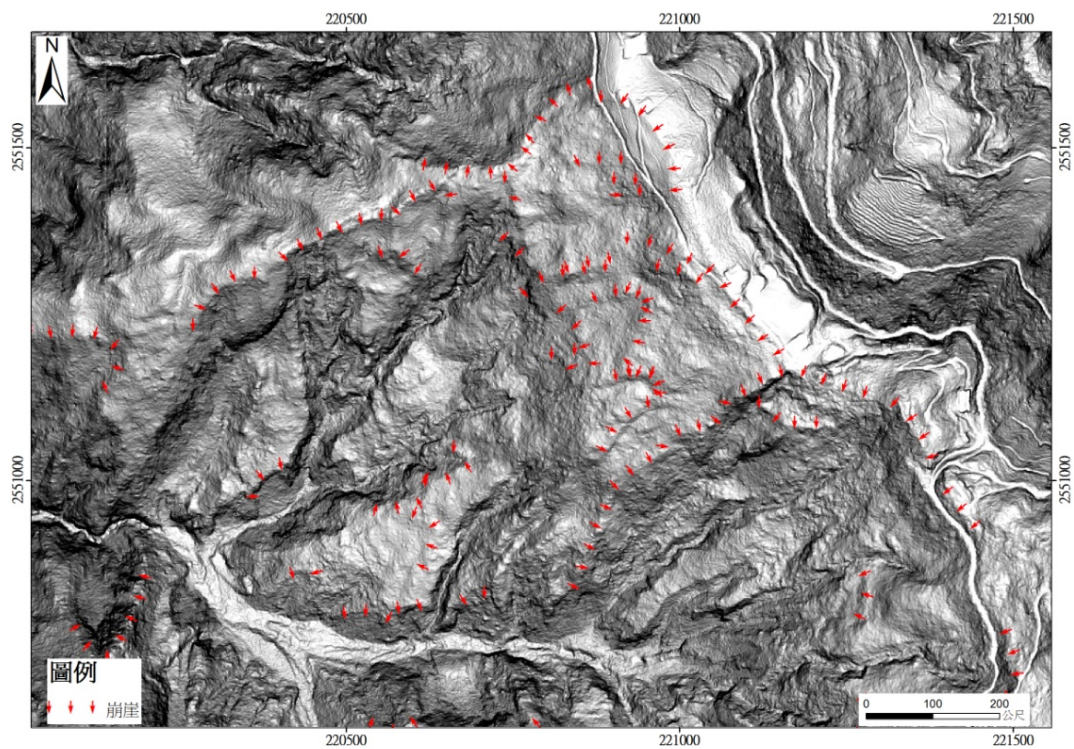


案例二 高雄市-六龜區-D020

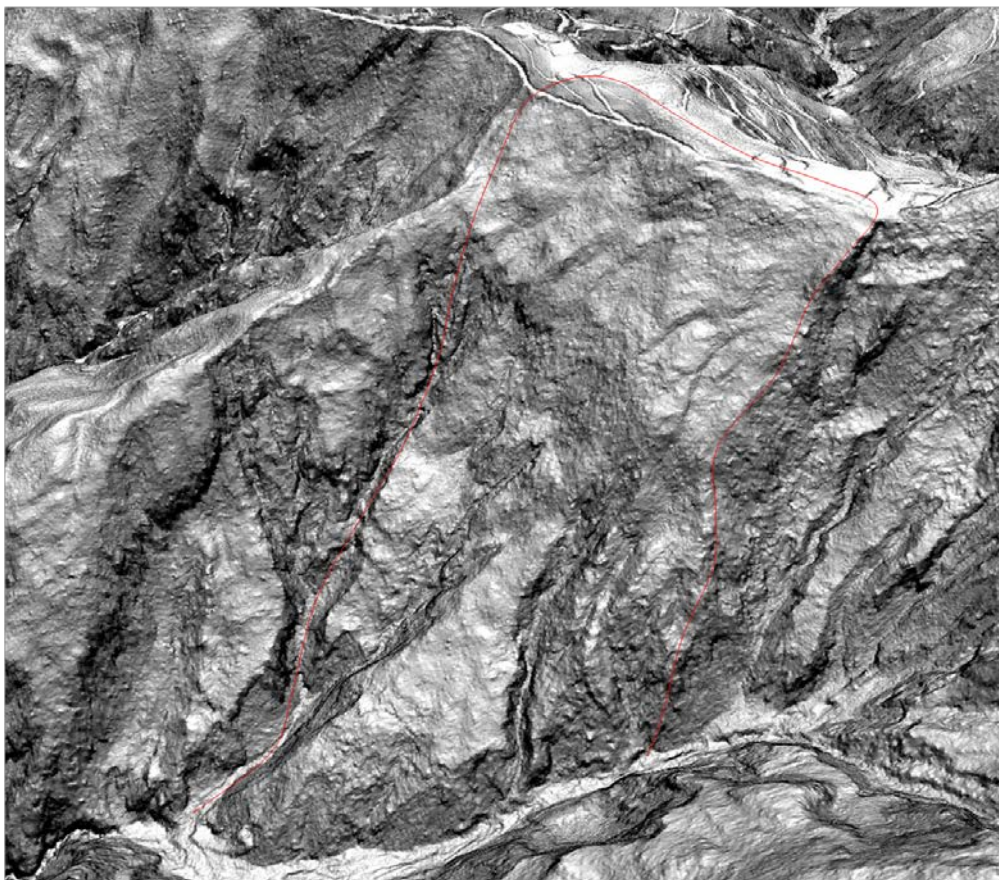
崩塌編號	高雄市-六龜區-D020	面積(ha)	33.6
平均坡度	29.7	最大寬度	480
最高處標高	1336	最低處標高	900
岩性	硬頁岩	地層位態	(N20W，45W)



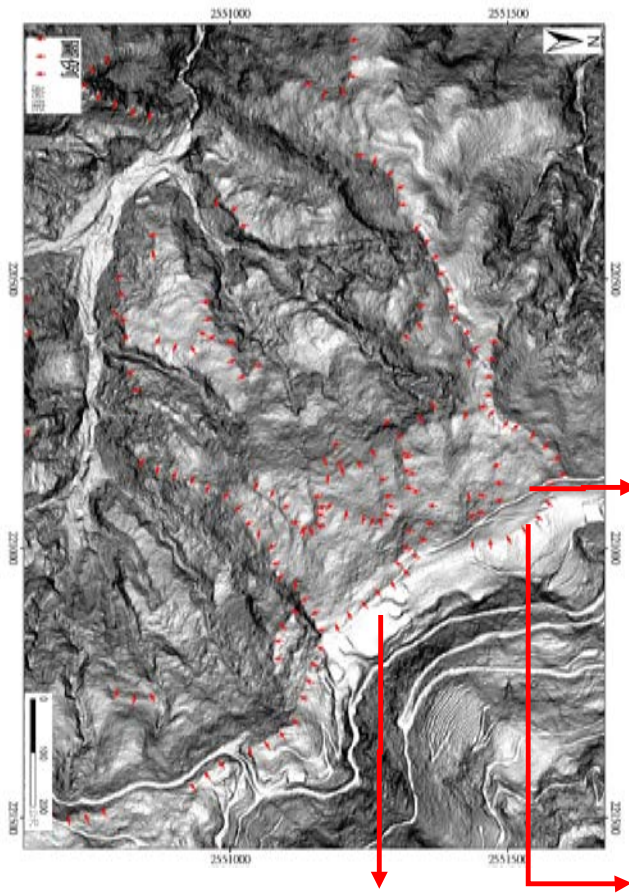
崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 航照影像



崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 高精度數值地形判釋圖

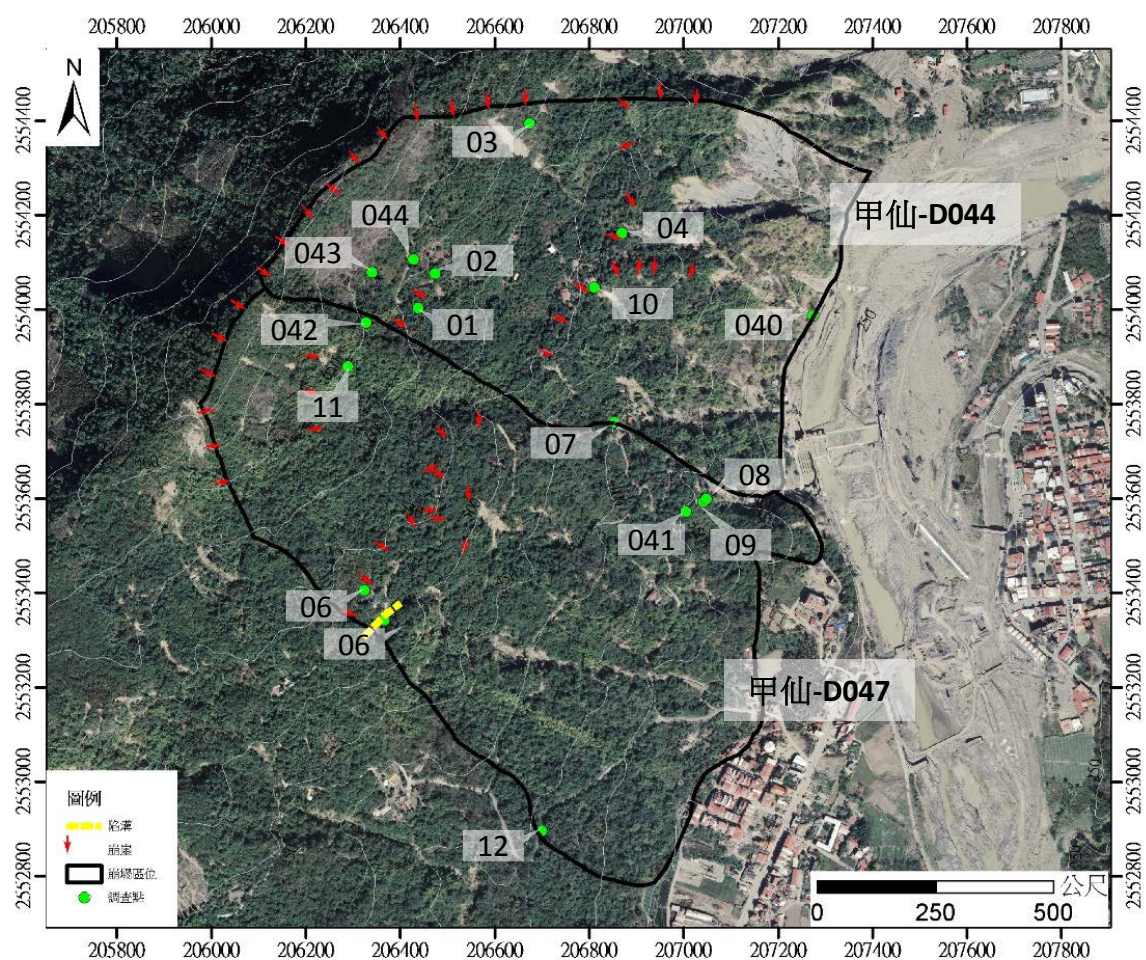


崩塌地編號高雄市-六龜區-D020 立體圖，紅線範圍為潛在崩塌範圍

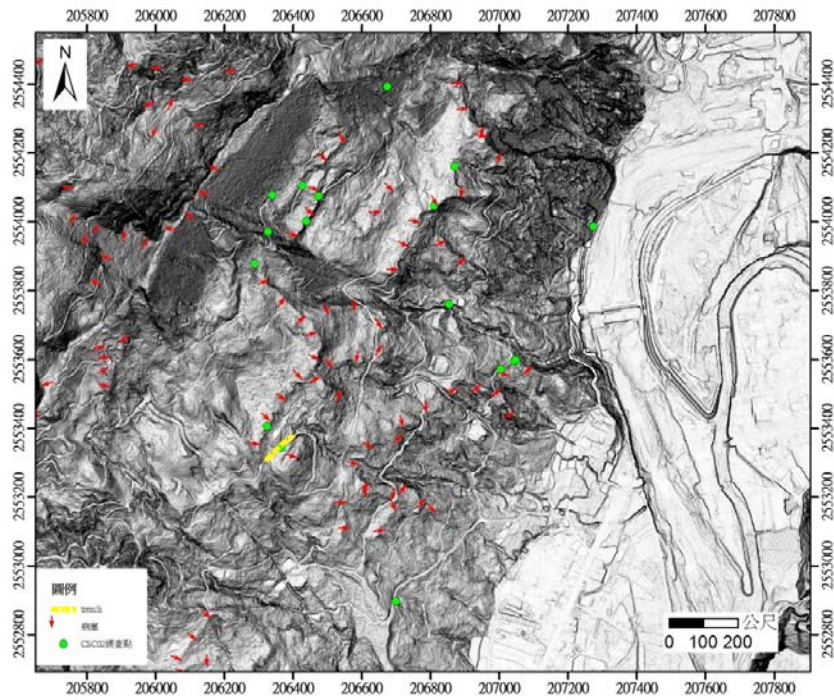


案例三 高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047

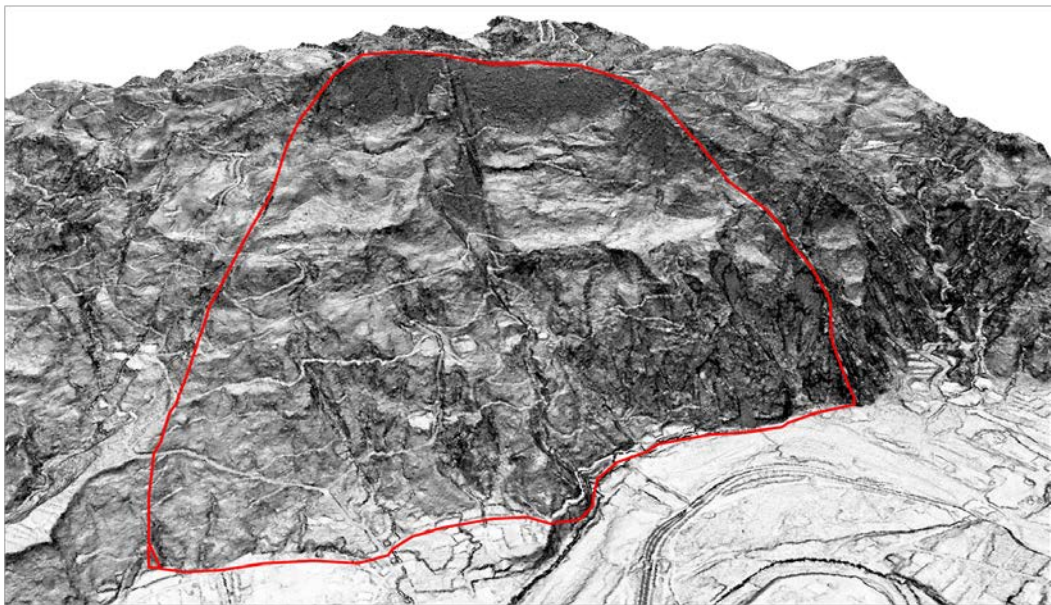
崩塌編號	高雄市-甲仙區-D044、 高雄市-甲仙區-D047	面積(ha)	67
平均坡度	20	最大寬度	730
最高處標高	750	最低處標高	270
岩性	糖恩山砂岩與鹽水坑 頁岩	地層位態	(N35E，44E)



崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044、高雄市-甲仙區-D047 航照影像



崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)高精度數值地形判釋圖



崩塌地編號高雄市-甲仙區-D044(和 D047)立體圖，紅線範圍為潛在崩塌範圍

