

計畫編號：109 保發-11.1-保-01-06-001(20)

建立淺層崩塌通用潛勢評估模式可行性
研究－南部沉積岩地區（2）

期 末 報 告 書

主辦單位：行政院農業委員會水土保持局

執行單位：國立臺灣大學 木工程學系

計畫主持人：林美聆教授

中華民國 109 年 11 月

目次

目次	I
表次	III
圖次	VII
第一章 前言	1
第一節 目的	1
第二節 研究方法與步驟	1
第二章 研究區基本資料建立	5
第一節 研究區基本資料	5
第二節 淺層崩塌圖層編修	9
第三章 研究區淺層崩塌特性分析	13
第一節 淺層崩塌因子統計	13
第二節 淺層崩塌特性比較	22
第四章 研究區淺層崩塌現地調查	33
第一節 現地調查表及地點簡介	33
第二節 現地調查調查資料	43
第三節 現地調查資料整理	87
第五章 多元淺層崩塌潛勢評估方法	93
第一節 分析方法	93
第二節 淺層崩塌潛勢因子相依性及顯著性	100
第三節 區別分析法	114
第四節 不安定指數法	140
第五節 隨機森林預測模式	150
第六節 土石流潛勢溪流發生潛勢與淺層崩塌潛勢值之關聯	156

第六章 南部沉積岩區淺層崩塌通用潛勢評估模式	159
第一節 各年度淺層崩塌潛勢模式比較	159
第二節 非土石流潛勢溪流集水區之區域	165
第七章 結論與建議	171
第一節 結論	171
第二節 建議	173
第八章 參考文獻	175
附錄 審查意見回復	177
附錄一、期中審查意見回復	177
附錄二、期中審查意見回復	180

表次

表 4-1	淺層崩塌現地調查表	34
表 4-2	現地調查淺層崩塌整理	37
表 4-3	現地調查資料整理(1/3)	90
表 4-4	現地調查資料整理(2/3)	91
表 4-5	現地調查資料整理(3/3)	92
表 5-1	研究區 A 淺層崩塌潛勢因子相依性(5 公尺網格)	102
表 5-2	研究區 A 淺層崩塌潛勢因子相依性(10 公尺網格)	103
表 5-3	研究區 A 淺層崩塌潛勢因子相依性(20 公尺網格)	103
表 5-4	研究區 A 淺層崩塌潛勢因子相依性(40 公尺網格)	104
表 5-5	研究區 B 淺層崩塌潛勢因子相依性(5 公尺網格).....	104
表 5-6	研究區 B 淺層崩塌潛勢因子相依性(10 公尺網格).....	105
表 5-7	研究區 B 淺層崩塌潛勢因子相依性(20 公尺網格).....	105
表 5-8	研究區 B 淺層崩塌潛勢因子相依性(40 公尺網格).....	106
表 5-9	兩研究區合併後之淺層崩塌潛勢因子相依性(5 公尺網格)	106
表 5-10	兩研究區合併後之淺層崩塌潛勢因子相依性(10 公尺網格)	107
表 5-11	兩研究區合併後之淺層崩塌潛勢因子相依性(20 公尺網格)	107
表 5-12	兩研究區合併後之淺層崩塌潛勢因子相依性(40 公尺網格)	108

表 5-13	研究區 A 淺層崩塌潛勢因子之顯著性	111
表 5-14	研究區 B 淺層崩塌潛勢因子之顯著性	112
表 5-15	兩處研究區淺層崩塌潛勢因子之顯著性	113
表 5-16	研究區 A 淺層崩塌因子 AUC 值.....	116
表 5-17	研究區 B 淺層崩塌因子 AUC 值.....	117
表 5-18	兩處研究區合併後之淺層崩塌因子 AUC 值	117
表 5-19	研究區 A 土石流潛勢溪流集水區分組	119
表 5-20	研究區 B 土石流潛勢溪流集水區分組	120
表 5-21	研究區 A 之區別分析分類結果(5 公尺網格單元)	124
表 5-22	研究區 A 之區別分析分類結果(10 公尺網格單元)	125
表 5-23	研究區 A 之區別分析分類結果(20 公尺網格單元)	125
表 5-24	研究區 A 之區別分析分類結果(40 公尺網格單元)	125
表 5-25	研究區 A 土石流潛勢溪流集水區預測組之淺層崩塌正確率	126
表 5-26	研究區 B 之區別分析分類結果(5 公尺網格單元).....	127
表 5-27	研究區 B 之區別分析分類結果(10 公尺網格單元).....	128
表 5-28	研究區 B 之區別分析分類結果(20 公尺網格單元).....	128
表 5-29	研究區 B 之區別分析分類結果(40 公尺網格單元).....	128
表 5-30	研究區 B 土石流潛勢溪流集水區預測組之淺層崩塌正確率	129
表 5-31	兩研究區之區別分析分類結果(5 公尺網格單元)	130
表 5-32	兩研究區之區別分析分類結果(10 公尺網格單元)	131

表 5-33	兩研究區之區別分析分類結果(20 公尺網格單元)	131
表 5-34	兩研究區之區別分析分類結果(40 公尺網格單元)	131
表 5-35	兩研究區土石流潛勢溪流集水區預測組之淺層崩塌正確率	132
表 5-36	研究區 A 之不安定指數分析整理	145
表 5-37	研究區 B 之不安定指數分析整理	146
表 5-38	各研究區淺層崩塌潛勢因子之變異係數	146
表 5-39	研究區 A 淺層崩塌發生潛勢面積百分比	157
表 5-40	研究區 B 淺層崩塌發生潛勢面積百分比	157
表 5-41	研究區合併之淺層崩塌發生潛勢面積百分比	157
表 6-1	各區域預測淺層崩塌正確率	161
表 6-2	非土石流潛勢溪流集水區地區之預測淺層崩塌正確率	165

圖次

圖 1-1	研究流程圖	3
圖 2-1	不同年度研究區分布(內政部經建版地形圖，92 年)	7
圖 2-2	研究區 A 地質圖(地調所流域地質圖，102 年)	8
圖 2-3	研究區 B 地質圖(地調所流域地質圖，102 年).....	8
圖 2-4	岩屑崩滑面積及形狀與大規模崩塌相似或邊緣分佈相符者 (那瑪夏地區，圖號：95193028)	10
圖 2-5	單一岩屑崩滑面積覆蓋率達大規模崩塌 50%以上 (六龜地 區，圖號：95193078).....	10
圖 2-6	研究區 A 土石流潛勢溪流集水區及淺層崩塌分佈	11
圖 2-7	研究區 B 土石流潛勢溪流集水區及淺層崩塌分佈	12
圖 3-1	研究區 A 淺層崩塌面積分布	14
圖 3-2	研究區 A 淺層崩塌坡度分布	14
圖 3-3	研究區 A 淺層崩塌坡向分布	15
圖 3-4	研究區 A 淺層崩塌高程分布	15
圖 3-5	研究區 A 淺層崩塌高程差分布	16
圖 3-6	研究區 A 淺層崩塌長寬比分布	16
圖 3-7	研究區 A 淺層崩塌縱剖面曲率分布	17
圖 3-8	研究區 A 淺層崩塌橫剖面曲率分布	17
圖 3-9	研究區 B 淺層崩塌面積分布	18
圖 3-10	研究區 B 淺層崩塌坡度分布	19
圖 3-11	研究區 B 淺層崩塌坡向分布	19

圖 3-12	研究區 B 淺層崩塌高程分布	20
圖 3-13	研究區 B 淺層崩塌高程差分布	20
圖 3-14	研究區 B 淺層崩塌長寬比分布	21
圖 3-15	研究區 B 淺層崩塌縱剖面曲率分布	21
圖 3-16	研究區 B 淺層崩塌橫剖面曲率分布	22
圖 3-17	那瑪夏地區淺層崩塌面積分布	23
圖 3-18	那瑪夏地區淺層崩塌坡度分布	23
圖 3-19	那瑪夏地區淺層崩塌坡向分布	24
圖 3-20	那瑪夏地區淺層崩塌高程分布	24
圖 3-21	那瑪夏地區淺層崩塌高程差分布	25
圖 3-22	那瑪夏地區淺層崩塌長寬比分布	25
圖 3-23	那瑪夏地區淺層崩塌縱剖面曲率分布	26
圖 3-24	那瑪夏地區淺層崩塌縱橫剖面面曲率分布	26
圖 3-25	108 年南部研究區淺層崩塌面積分布	27
圖 3-26	108 年南部研究區淺層崩塌坡度分布	28
圖 3-27	108 年南部研究區淺層崩塌坡向分布	28
圖 3-28	108 年南部研究區淺層崩塌高程分布	29
圖 3-29	108 年南部研究區淺層崩塌高程差分布	29
圖 3-30	108 年南部研究區淺層崩塌長寬比分布	30
圖 3-31	108 年南部研究區淺層崩塌縱剖面曲率分布	30
圖 3-32	108 年南部研究區淺層崩塌橫剖面曲率分布	31

圖 4-1	南投縣竹山鎮大鞍里淺層崩塌(編號：投縣 DF132-SL106)	37
圖 4-2	南投縣竹山鎮大鞍里淺層崩塌(編號：投縣 DF132-SL108)	38
圖 4-3	南投縣竹山鎮大鞍里淺層崩塌(編號：投縣 DF132-SL115)	38
圖 4-4	南投縣竹山鎮大鞍里淺層崩塌(編號：投縣 DF132-SL119)	39
圖 4-5	南投縣信義鄉新鄉村淺層崩塌(編號：投縣 DF193-SL120)	39
圖 4-6	台南市白河區大林里淺層崩塌(編號：南市 DF004-SL004)	40
圖 4-7	台南市白河區關嶺里淺層崩塌(編號：南市 DF009-SL006)	40
圖 4-8	台南市白河區關嶺里淺層崩塌(編號：南市 DF010-SL001)	41
圖 4-9	台南市東山區青山村淺層崩塌(編號：南市 DF014-SL002)	41
圖 4-10	台南市東山區南勢村淺層崩塌(編號：南市 DF025-SL016)	42
圖 5-1	區別分析樣本對變數資料分布示意圖	94
圖 5-2	以不同模式預測潛勢之 ROC 圖(a RF, b BRT, c CART, and d GLM)(Ahmed Mohamed Youssef , 2015)	98
圖 5-3	隨機森林法分析那瑪夏區域崩塌潛勢圖(黃柏軒,2019)	99

圖 5-4	ROC 及 AUC 示意圖	115
圖 5-5	研究區 A 土石流潛勢溪流集水區分組	121
圖 5-6	研究區 B 土石流潛勢溪流集水區分組	122
圖 5-7	環境潛勢因子 Z 值分級示意圖	135
圖 5-8	研究區 A 淺層崩塌潛勢圖 (研究區 A，10 公尺網格單元， 式 5-7).....	136
圖 5-9	研究區 A 淺層崩塌潛勢圖 (合併研究區，10 公尺網格單 元，式 5-16).....	137
圖 5-10	研究區 B 淺層崩塌潛勢圖 (研究區 B，10 公尺網格單元， 式 5-12).....	138
圖 5-11	研究區 B 淺層崩塌潛勢圖 (合併研究區，10 公尺網格單 元，式 5-16).....	139
圖 5-12	研究區 A 淺層崩塌潛勢值數量分布	147
圖 5-13	研究區 B 淺層崩塌潛勢值數量分布	147
圖 5-14	研究區 A 之淺層崩塌潛勢值分布(不安定指數法)	148
圖 5-15	研究區 B 之淺層崩塌潛勢值分布(不安定指數法).....	149
圖 5-16	決策樹總數和特徵總數袋外誤差圖	151
圖 5-17	決策樹葉子節點資料數袋外誤差	152
圖 5-18	決策樹最大深度袋外誤差圖	152
圖 5-19	研究區 A 淺層崩塌潛勢值分布圖(隨機森林模式)	154
圖 5-20	研究區 B 淺層崩塌潛勢值分布圖(隨機森林模式).....	155

第一章 前言

第一節 目的

在目前氣候變遷之趨勢下，全球及臺灣地區極端降雨有增加趨勢，行政院國家發展委員會「國家氣候變遷調適政策綱領」(2012-2017 年)分析顯示，極端降雨與氣候變異是坡地災害發生的重要原因之一，導致山坡地土砂災害事件之發生頻率增加。各類型坡地崩塌災害中以淺層崩塌災害最為常見，分布範圍廣且發生頻率高，易受到降雨強度影響，同時常引致土石流，兩者間關係非常密切(水保局，2005)。水保局(2017、2018 以及 2019)分別在臺灣選取不同的沉積岩地質研究區進行淺層崩塌研究，為了探討不同研究區的淺層崩塌模式彼此間的關聯，並嘗試初步建立通用性評估模式之可行性，本研究將針對臺灣南部地區擴大水保局(2017、2019)鄰近研究區的研究範圍，選取不同研究區的土石流潛勢溪流集水區，進行南臺灣的淺層崩塌發生潛勢通用評估模式研究。

本研究整理研究區內的淺層崩塌及討論其特性，並與水保局(2017、2019)的淺層崩塌資料做比對，以綜整南部研究區適用的淺層崩塌潛勢因子。本研究參考前期研究的區別分析法並加入機器學習方法，比較不同分析方法之成效，並藉由現地調查進行驗證，以建立本年度研究區淺層崩塌潛勢模式。將初步建立的南部沉積岩地區淺層崩塌評估模式與水保局(2017、2019)的研究成果進行比對，並探討沉積岩地區土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌發生潛勢評估方法之通用性，以初步建立南部沉積岩地區淺層崩塌通用潛勢評估模式。

第二節 研究方法與步驟

首先討論研究區內的淺層崩塌特性和潛勢因子之敏感性，以及檢

討水保局(2016)在那瑪夏地區的資料並加以整理。將整理過後的淺層崩塌特性及潛勢因子，與水保局(2016、2019)的淺層崩塌資料做比較，討論南部的淺層崩塌特性及合適的潛勢因子。本研究延續水保局(2017、2018 以及 2019)淺層崩塌潛勢模式的區別分析方法，並測試以多元的淺層崩塌潛勢分析方法帶來的成效，以選定及建立研究區土石流潛勢溪流集水區的淺層崩塌模式。挑選研究區內 10 處附近有保全對象且交通可及之處的淺層崩塌進行現地調查，了解現地的淺層崩塌潛勢及特徵並與淺層崩塌模式成果進行驗證討論，以初步建立研究區的淺層崩塌潛勢模式。再從研究區內其他歷史災害事件圖資，比對討論淺層崩塌模式的適用性。最後利用淺層崩塌潛勢模式得到的淺層崩塌潛勢圖，討論土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌發生潛勢評估，並與之前各期不同評估模式綜合比對討論土石流潛勢溪流發生率進行比對，以建立南部沉積岩地區淺層崩塌通用潛勢評估模式。本研究之研究流程圖如圖 1-1。

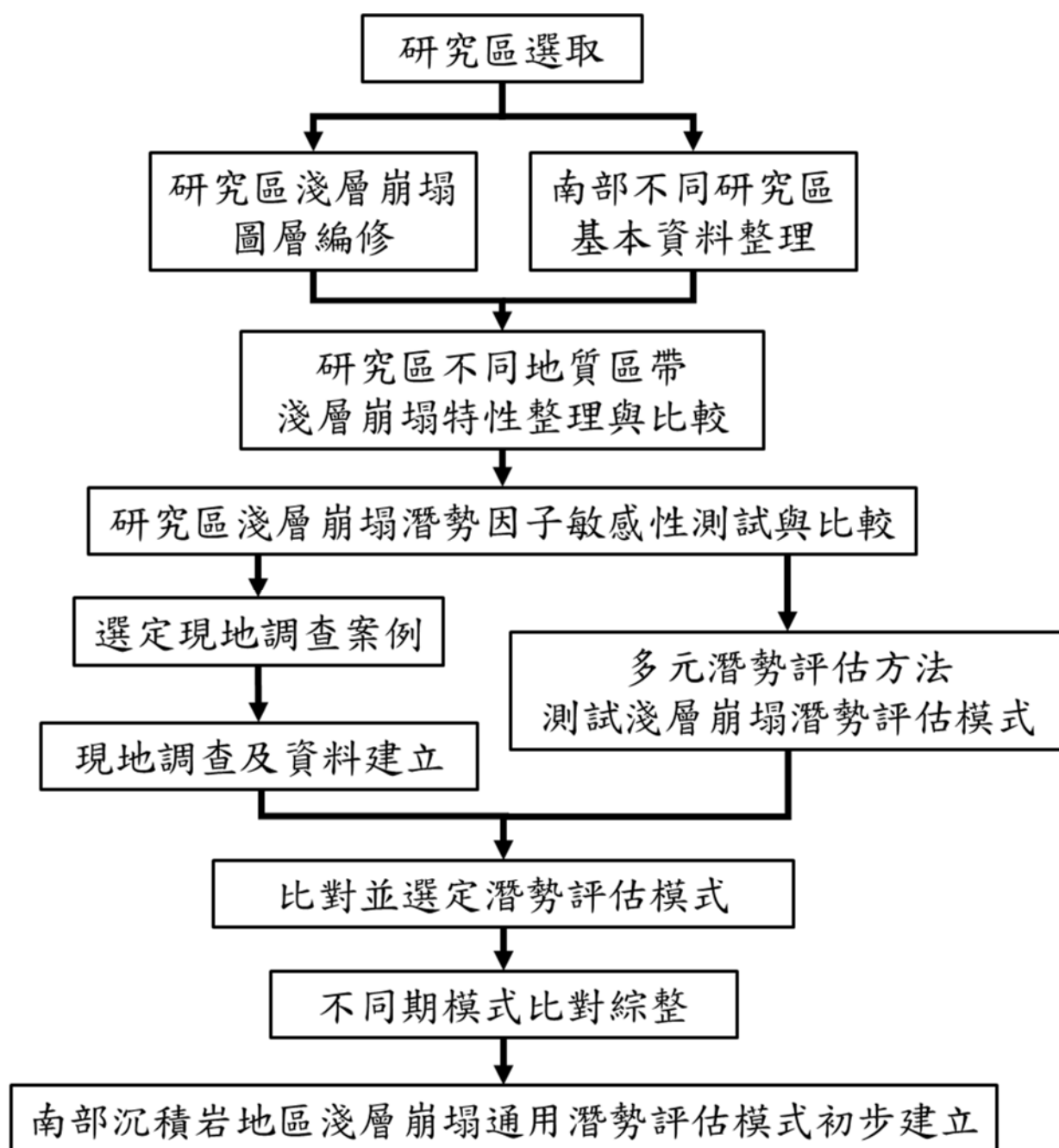


圖1-1 研究流程圖

第二章 研究區基本資料建立

第一節 研究區基本資料

水保局(2017、2018、2019)分別在不同的沉積岩地質區進行淺層崩塌潛勢模式研究，為了討論不同沉積岩研究區沉積相變動對淺層崩塌模式之影響，本研究將加入臺灣南部的沉積岩地質區，與前期不同區域之成果綜整，以合併研究區不同沉積岩性質進行分析，以討論南部研究區的淺層崩塌模式通用性。

水保局(2017、2019)分別在臺灣南部沉積岩區的那瑪夏地區以及嘉義縣靠近山區的 6 個鄉鎮進行淺層崩塌潛勢分析研究。本研究將從此兩個研究區往北及往南擴張，以涵蓋較大範圍的沉積岩帶，如圖 2-1 所示。往北延伸的 A 研究區包含南投縣的竹山鎮、鹿谷鄉以及信義鄉和雲林縣古坑鄉；往南延伸的 B 研究區包含臺南市白河區、東山區、楠西區和南化區，以及高雄市甲仙區、杉林區，和部分六龜區、美濃區和旗山區等 4 個縣市及 13 個鄉鎮區。

本研究挑選的研究區皆位於沉積岩區，由地調所的流域地質圖中可得知研究區 A 內包含的地層有十八重溪層、四稜砂岩、卓蘭層、南莊層、桂竹林層、錦水頁岩、頭嵙山層、深坑砂岩、樟湖坑頁岩、紅土台地堆積層、階地堆積層以及沖積層等 12 種地層，研究區 A 中最古老的沉積岩地層為始新世的十八重溪層以及四稜砂岩，再來為中新世的南莊層、深坑砂岩、樟湖坑頁岩，上新世的地層包含桂竹林層以及卓蘭層，更新世的地層為六雙層和階地堆積層，最年輕的地層為全新式的沖積層。

研究區 B 包含了二重溪層、崁下寮層、六雙層、六龜層、古亭坑層、潮州層、玉井頁岩、六重溪層、烏嘴層、沱水溪層、紅花子層、

長枝坑層、糖恩山層、竹頭崎層、北寮砂岩、茅埔頁岩、隘寮腳層、鹽水坑頁岩、鹽水坑頁岩、紅土台地堆積層、階地堆積層以及沖積層等 21 種不同地層，研究區 B 中的沉積岩地層年代分布中最古老的沉積岩地層為中新世的糖恩山砂岩、長枝坑層、紅花子層以及中崙層，再來為上新世的鹽水坑頁岩、隘寮腳層、茅埔頁岩、沱水溪層、鳥嘴層、竹頭崎層、六重溪層和古亭坑層，更新世地層包含二重溪層、崁下寮層、六龜層、六雙層、玉井頁岩和階地堆積層，最年輕的地層為全新式的沖積層。兩研究區的地質分布圖如圖 2-2 及圖 2-3。

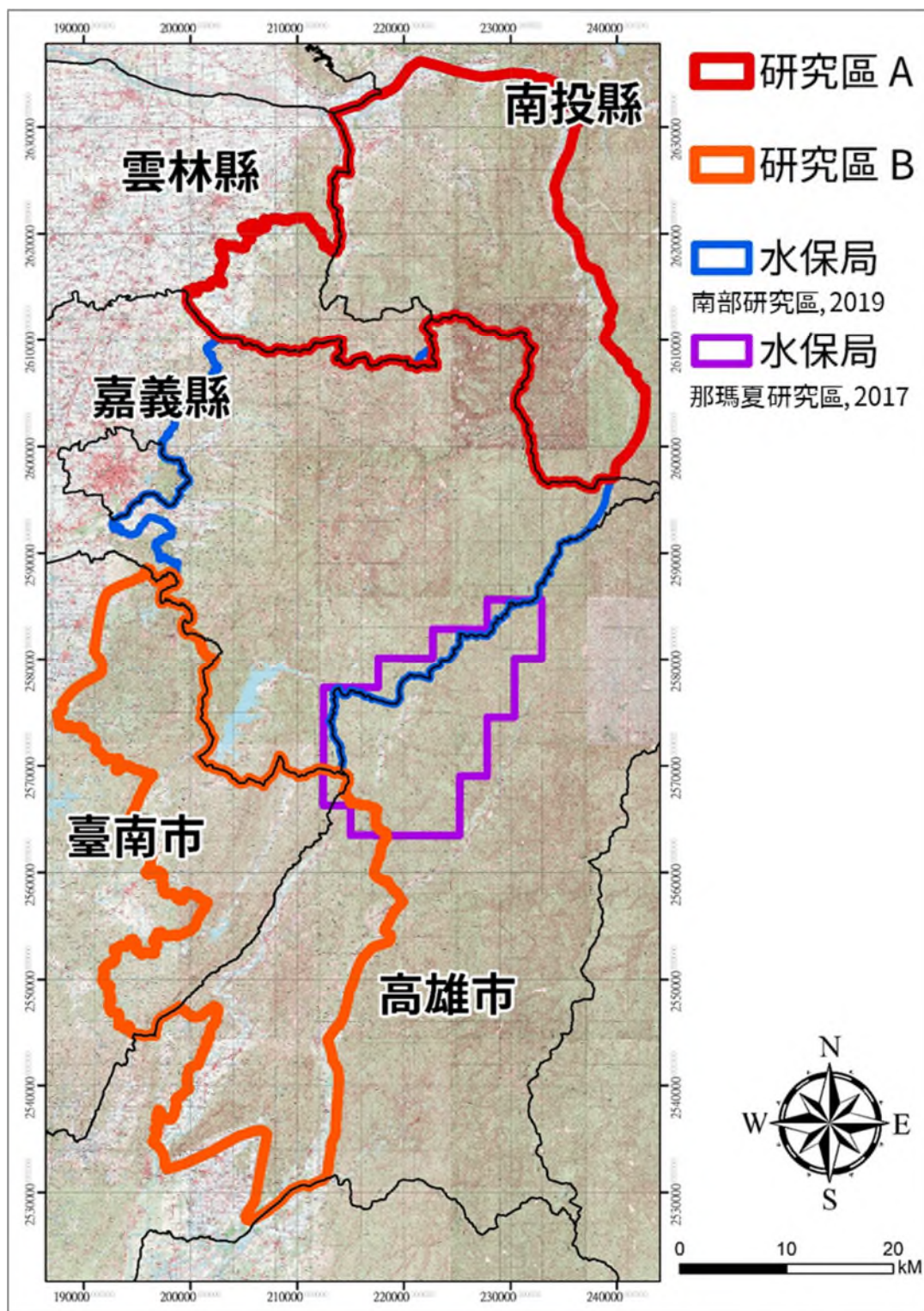


圖2-1 不同年度研究區分布(內政部經建版地形圖，92 年)

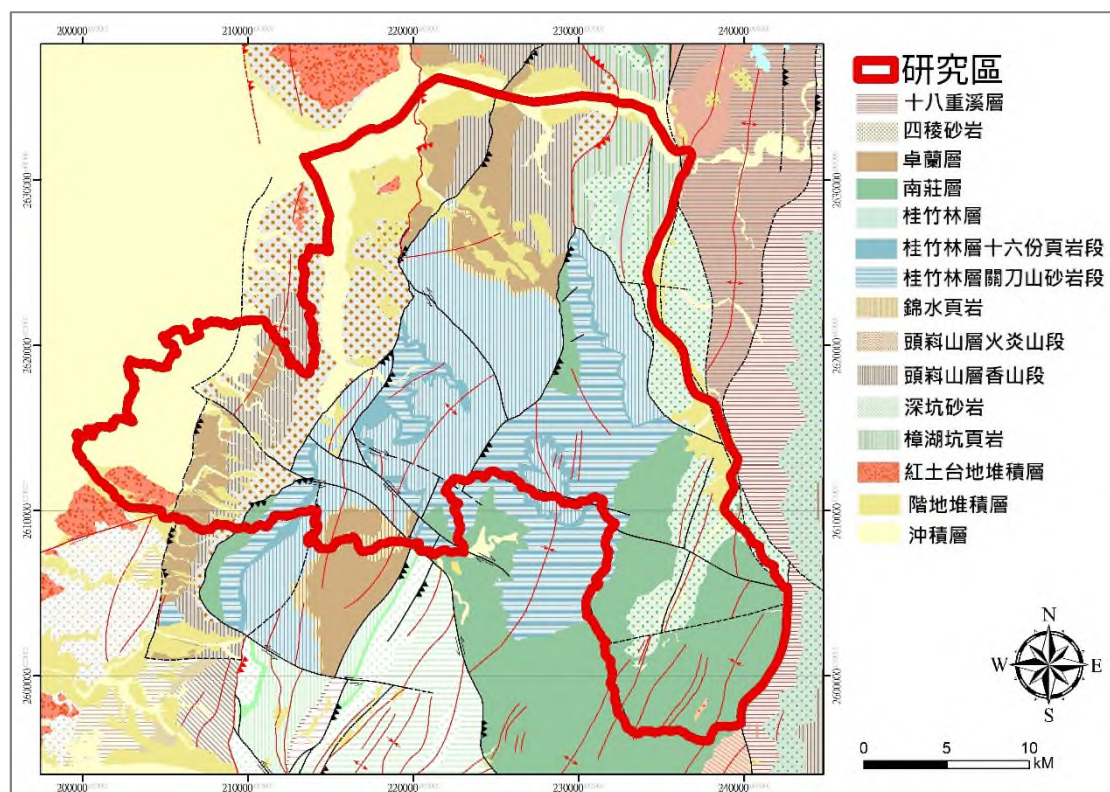


圖2-2 研究區 A 地質圖(地調所流域地質圖，102 年)

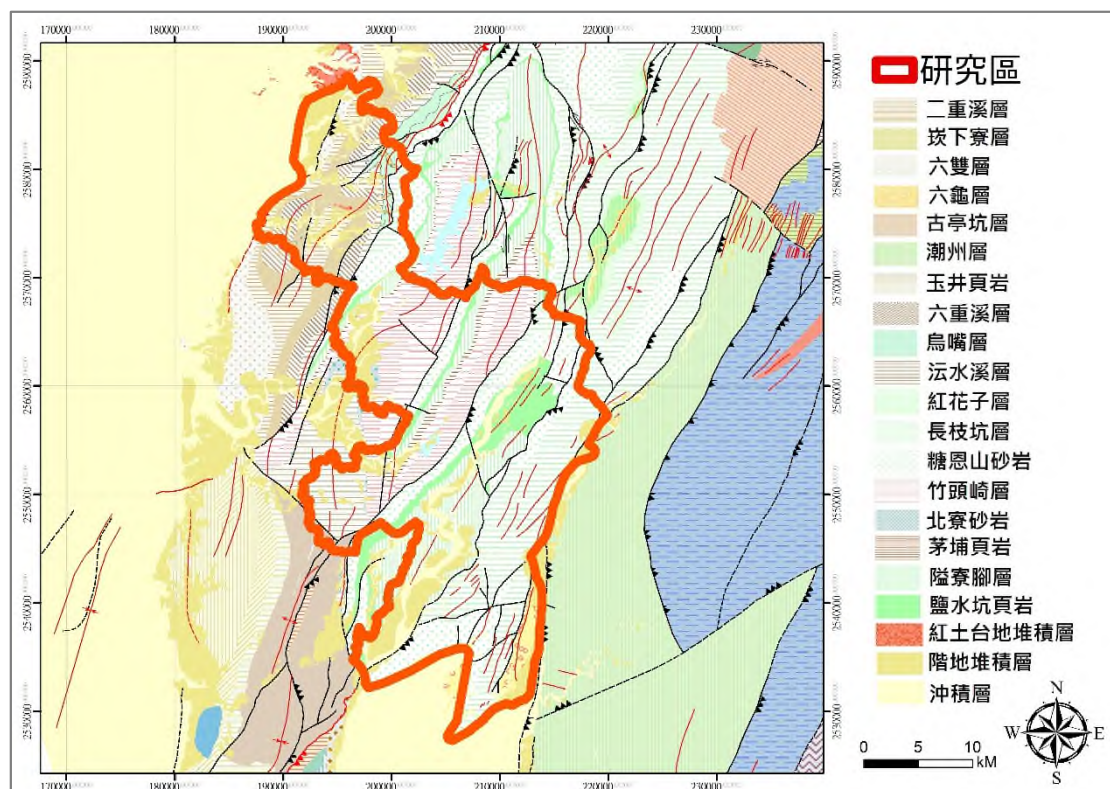


圖2-3 研究區 B 地質圖(地調所流域地質圖，102 年)

第二節 淺層崩塌圖層編修

本研究使用經濟部地質調查所(以下稱地調所)在莫拉克颱風後執行之「國土保育之地質敏感地區調查分析計畫」內的岩屑崩滑圖層，本計畫所使用的崩塌圖層產製年份包含有 2010、2011 以及 2012 年等 3 年。此計畫中岩屑崩塌的定義為「航照上色調呈光亮之長條型裸露地，坡面呈現淺凹槽狀，植生色調與周圍區域不協調，下方之坡度變平緩處具有山崩堆積特質，判釋與山崩造成有關者。套疊 5x5 公尺網格之數值地形分析其平均坡度在 55° 以下且坡高至少 5 公尺的範圍地區，或具有曾發生岩屑崩滑歷史紀錄地區(崩塌面積門檻為 20x20 公尺)。」由本團隊先前研究發現，河岸旁的崩塌其發生機制有多數是因為河流不斷沖刷坡腳導致崩塌發生，與一般邊坡之淺層崩塌之發生機制有所差異，因此將其崩塌分類至河岸侵蝕，在進行特性分析前會將其去除。

其次利用水保局 2017 年「淺層崩塌防災管理規劃與研究」中整理淺層崩塌的方法，將圖資中所包含的大規模崩塌去除。依據水保局對於大規模崩塌之定義為「崩塌面積大於 10 公頃、崩塌體積超過 10 萬立方公尺、崩塌深度在 10 公尺以上者」。編整圖資時，將國家災害防救科技中心的「大規模崩塌災害防治行動綱領」所產製的大規模崩塌圖層套疊蒐集地調所的崩塌圖層，除了將形狀面積相同者去除外，被大規模崩塌圖層覆蓋下的崩塌亦考量兩種條件，研判其仍主要為大規模崩塌而予以去除：

- (一) 岩屑崩滑面積及形狀與大規模崩塌相似，或邊緣分佈相符者，如圖 2-4。
- (二) 單一岩屑崩滑面積在大規模崩塌圈繪中面積覆蓋率 50% 以上者，如圖 2-5。

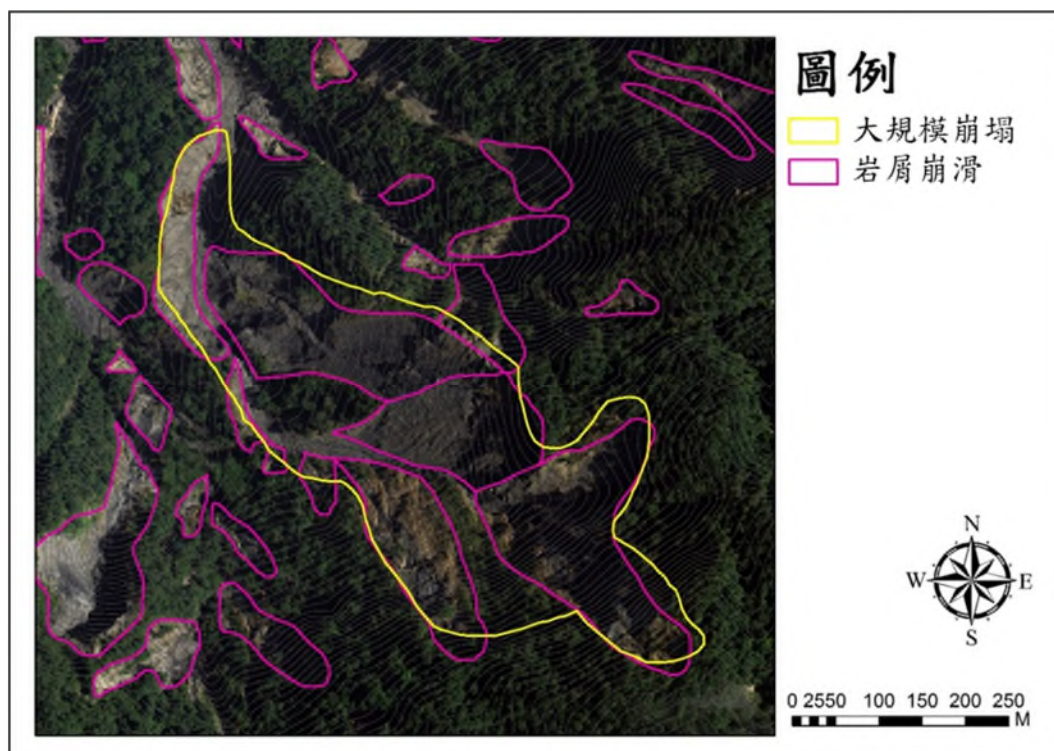


圖2-4 岩屑崩滑面積及形狀與大規模崩塌相似或邊緣分佈相符者
(那瑪夏地區，圖號：95193028)

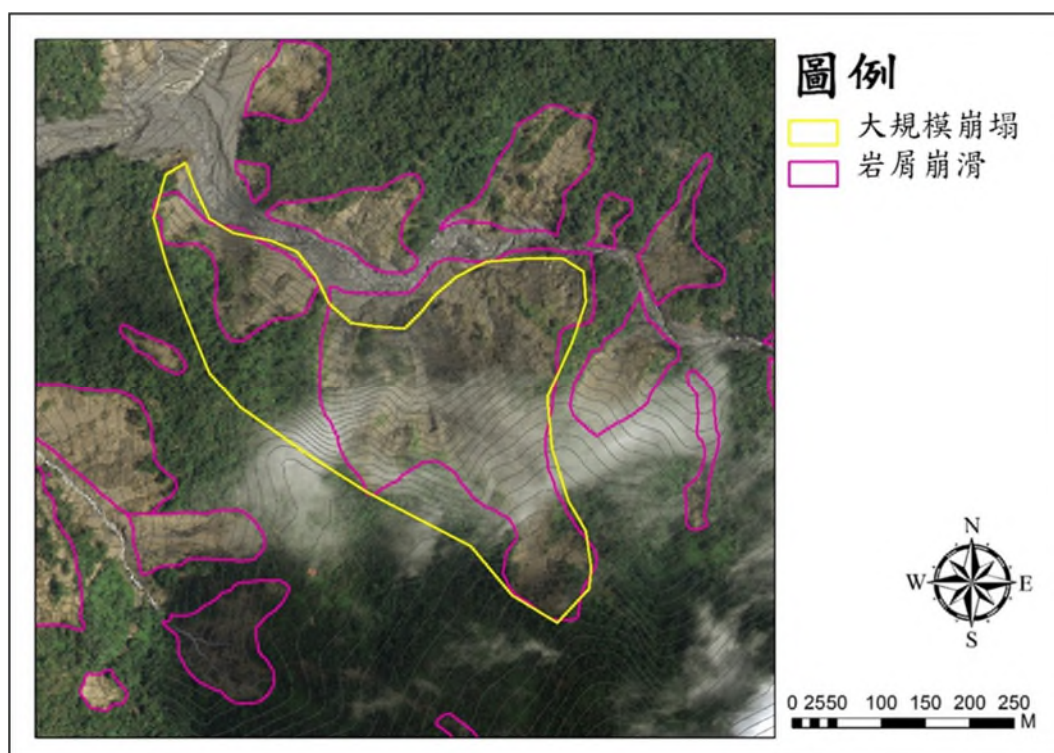


圖2-5 單一岩屑崩滑面積覆蓋率達大規模崩塌 50%以上
(六龜地區，圖號：95193078)

將淺層崩塌圖層初步編修後，研究區 A 包含了 1,356 處淺層崩塌，並有水保局公布之 74 處土石流潛勢溪流集水區，又土石流潛勢溪流集水區中包含了 570 處淺層崩塌。研究區 A 內的整體面積崩塌率約 0.74%，而土石流潛勢溪流集水區內的面積崩塌率約為 0.97%。研究區 B 中有 6,216 處淺層崩塌，並有 95 處土石流潛勢溪流集水區，土石流潛勢溪流集水區內包含 1,164 處淺層崩塌，研究區 B 內的面積崩塌率約為 2.47%，而土石流潛勢溪流集水區內的分布面積崩塌率約為 4.58%。由面積崩塌率可看出兩處研究區的淺層崩塌以在土石流潛勢溪流集水區內高於整體平均值，尤其是研究區 B 內更是多了約 2%，顯示土石流之誘發與淺層崩塌關聯性高，本研究著重在土石流潛勢溪流內的淺層崩塌，進而建立初步潛勢分析模式。兩研究區的淺層崩塌以及土石流潛勢溪流集水區分布如圖 2-6 及圖 2-7。

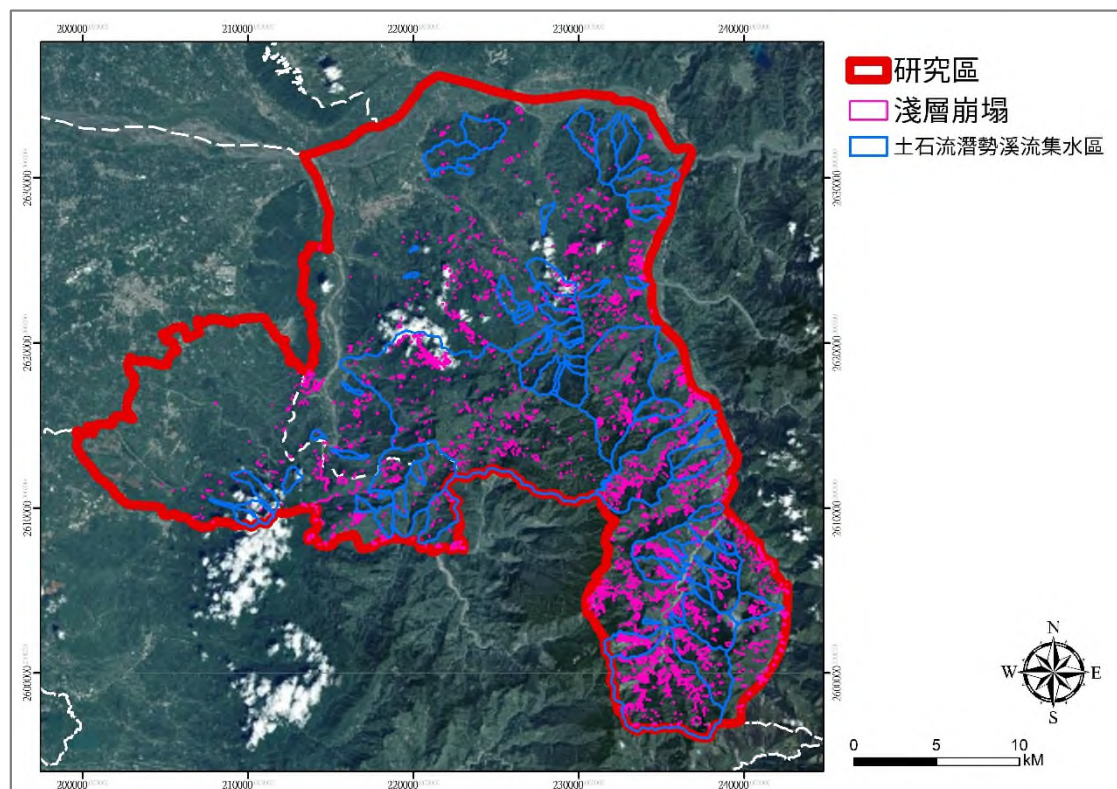


圖2-6 研究區 A 土石流潛勢溪流集水區及淺層崩塌分佈

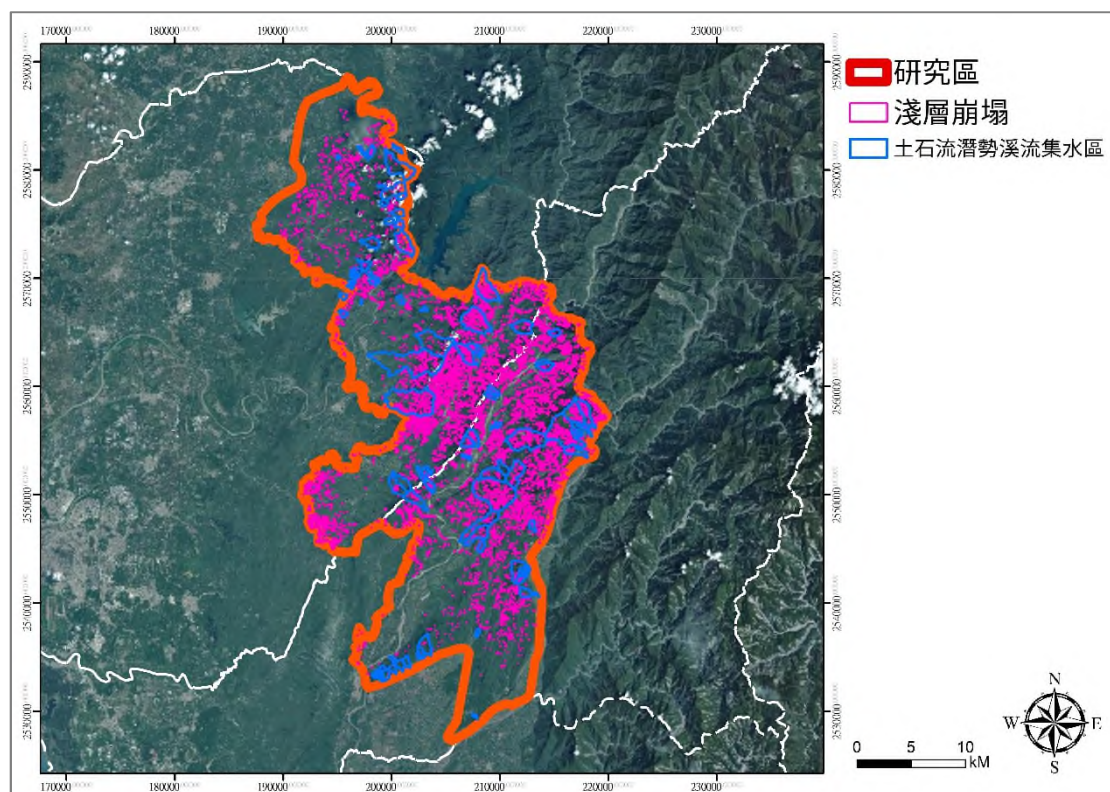


圖2-7 研究區 B 土石流潛勢溪流集水區及淺層崩塌分佈

第三章 研究區淺層崩塌特性分析

第一節 淺層崩塌因子統計

將兩研究區的淺層崩塌圖層編修完成後，將針對研究區內的淺層崩塌特性進行分析，本研究將採用不同的特性因子對研究區內的淺層崩塌進行特性分析，參考水保局(2017，2018 以及 2019)使用特性因子其包含面積、坡度、坡向、高程、高程差、長寬比以及兩種曲率等 8 種因子，此外本研究將再收集其他因子進行分析，以了解研究區內的淺層崩塌基本性質。

將研究區 A 中的土石流溪流集水區內的淺層崩塌整理後可看出研究區 A 的淺層崩塌特性因子分布如圖 3-1 至圖 3-8 所示。由圖 3-1 可看出研究區 A 的淺層崩塌面積分布大致上小於 0.2 公頃，仍有少許面積大於 1 公頃；發生淺層崩塌的邊坡坡度大致上介於 30~50 度之間；發生淺層崩塌的邊坡坡向以朝向北方、西北以及西方發生的淺層崩塌數量較少，其餘的坡向發生淺層崩塌數量相當；發生淺層崩塌的邊坡高程介於 500~2000 公尺之間；研究區 A 的淺層崩塌的高程差在 20~50 公尺間最多；長寬比分布集中於 1.25~2.25 間，表示淺層崩塌形狀偏向長條狀；由淺層崩塌的兩種曲率分布可分別看出，縱剖面曲率介於-0.5~2 之間，屬於平直偏凸的形狀，而橫剖面曲率介於-2~0.5 之間，是平直偏向谷型，而由兩種曲率分布綜合看出，此地區發生淺層崩塌的邊坡是平直型偏向凸谷型。

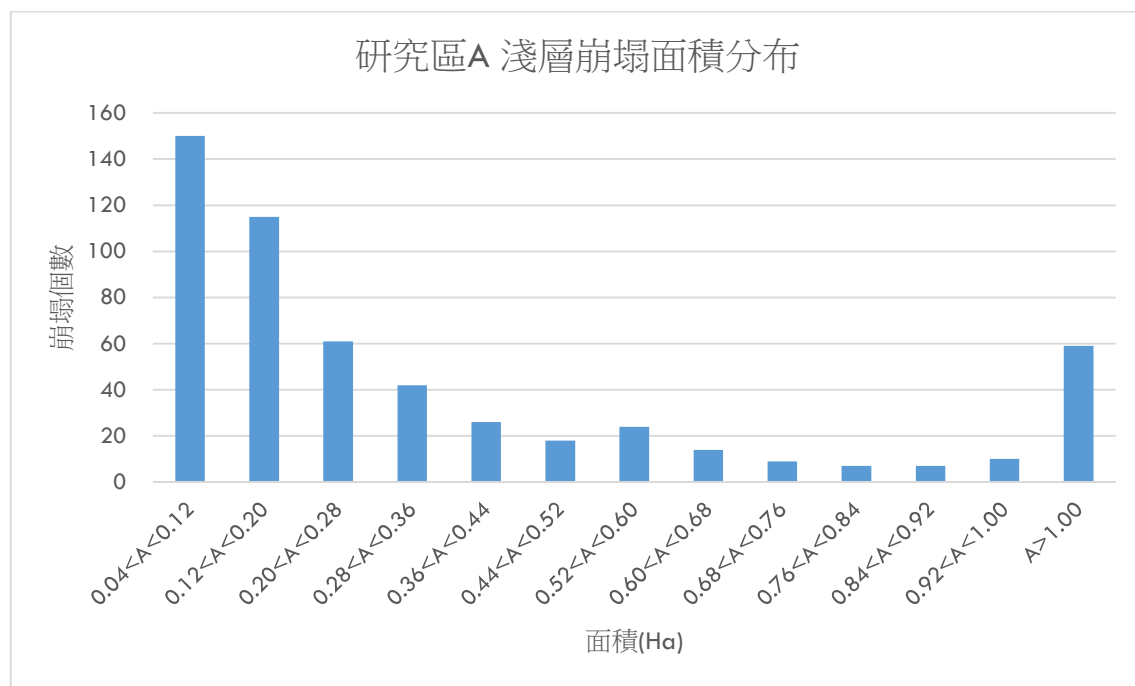


圖3-1 研究區 A 淺層崩塌面積分布

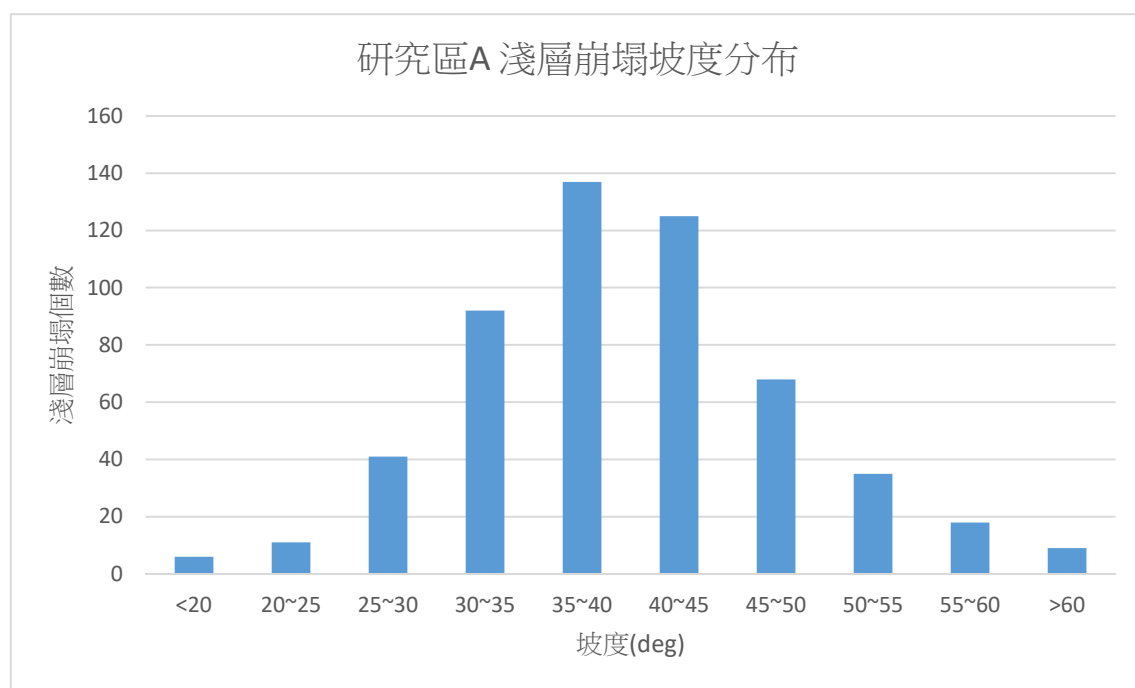


圖3-2 研究區 A 淺層崩塌坡度分布

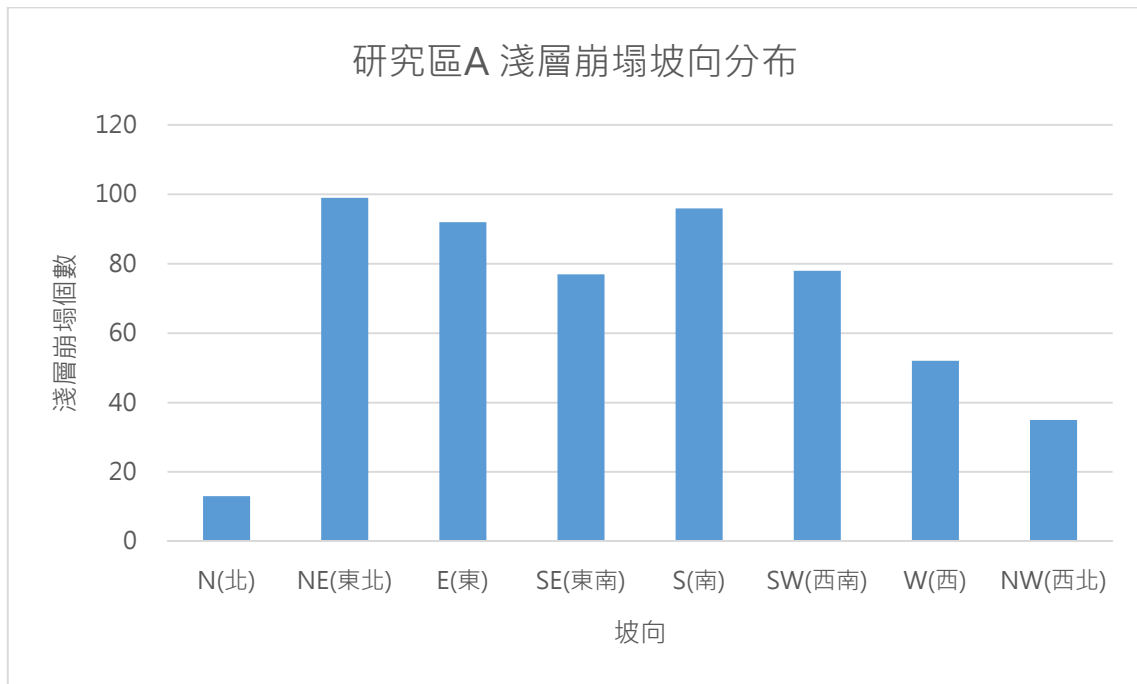


圖3-3 研究區 A 淺層崩塌坡向分布

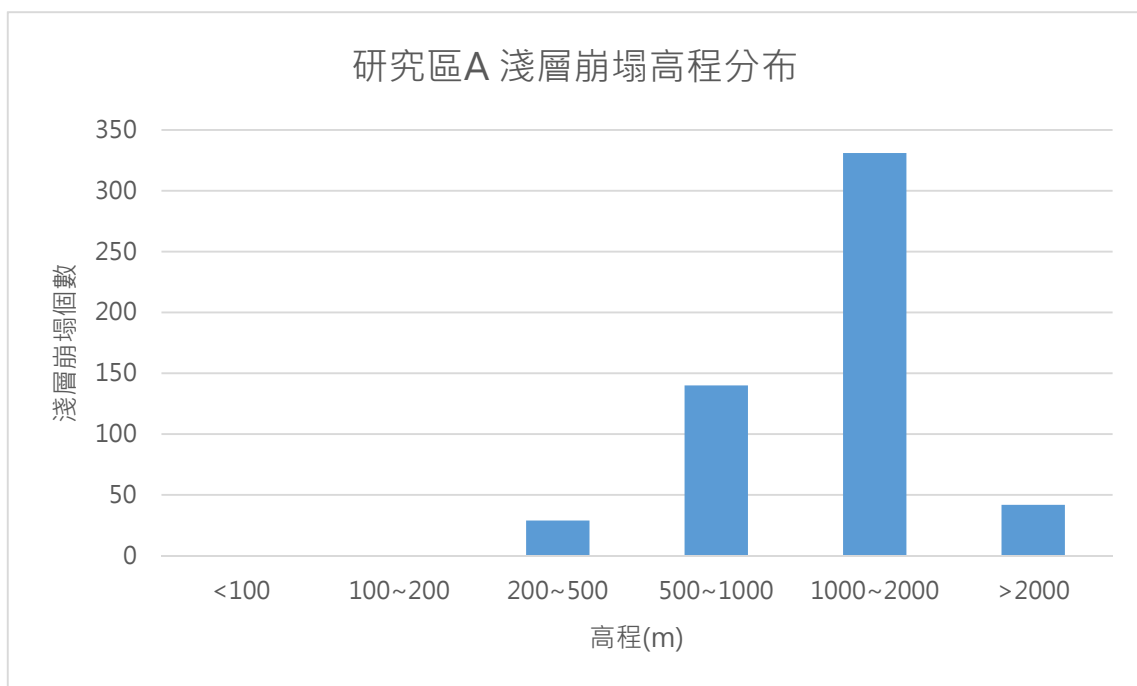


圖3-4 研究區 A 淺層崩塌高程分布

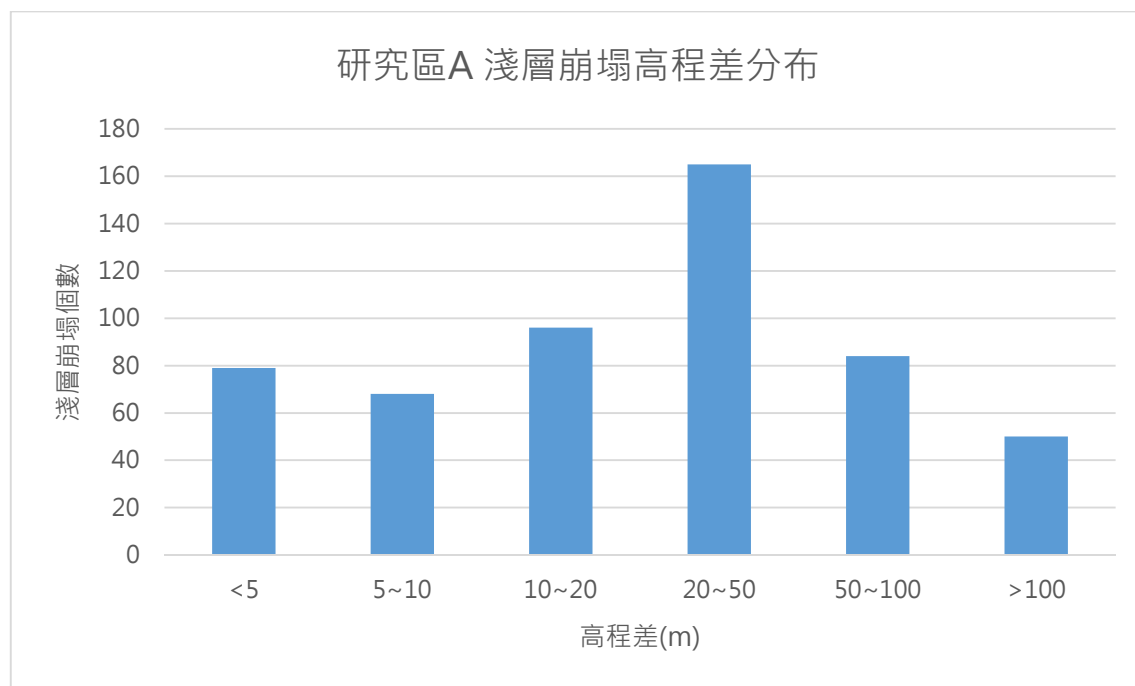


圖3-5 研究區 A 淺層崩塌高程差分布

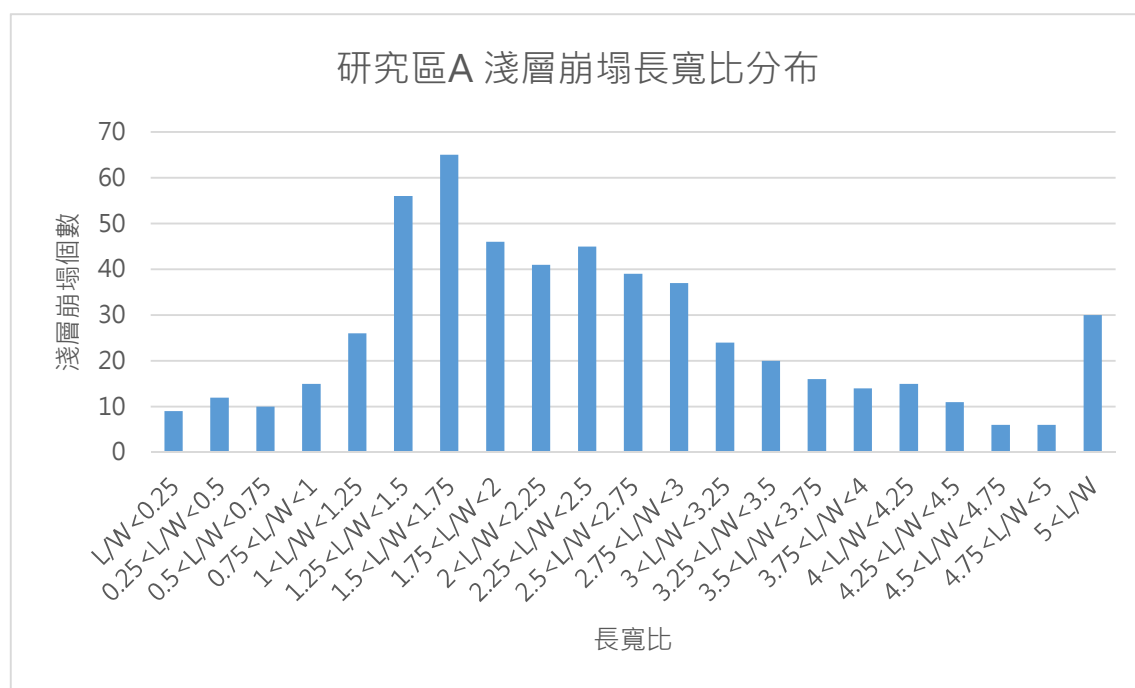


圖3-6 研究區 A 淺層崩塌長寬比分布

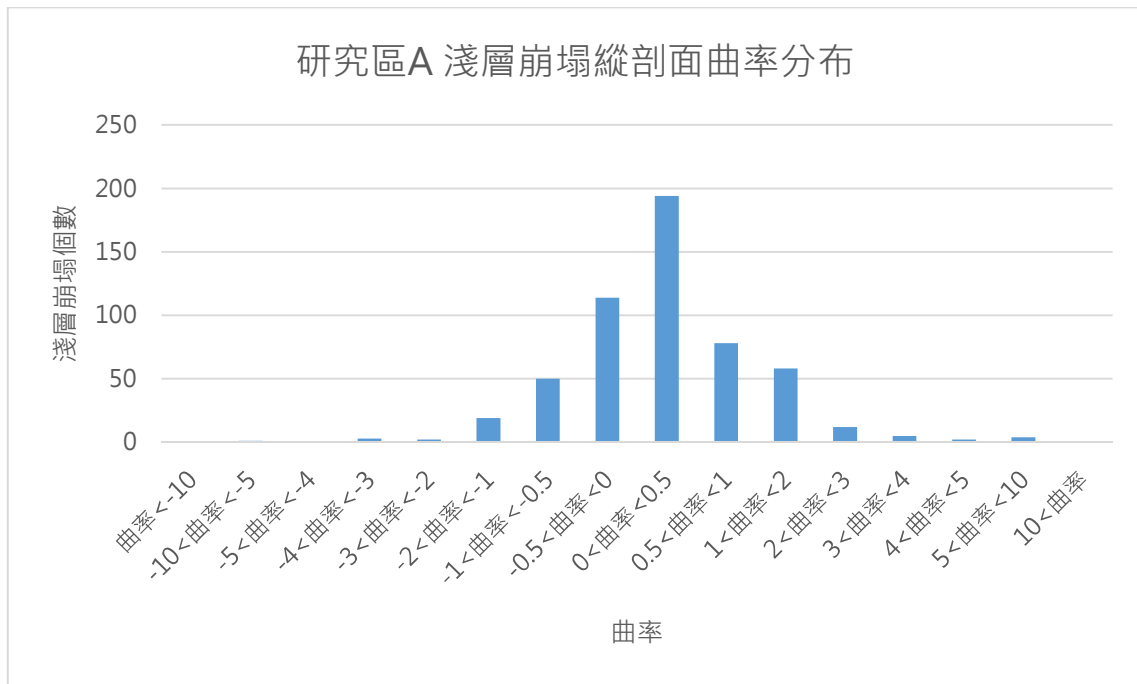


圖3-7 研究區 A 淺層崩塌縱剖面曲率分布

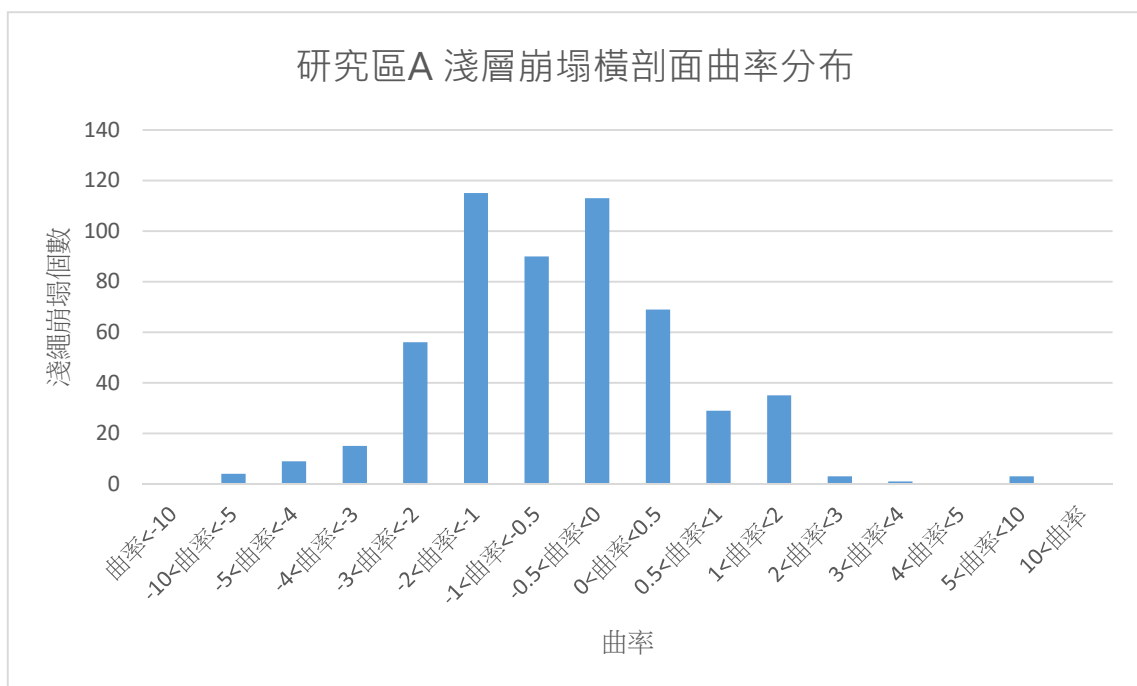


圖3-8 研究區 A 淺層崩塌橫剖面曲率分布

將研究區 B 土石流溪流集水區內的淺層崩塌整理後可看出研究區 B 的淺層崩塌特性因子分布如圖 3-9 至圖 3-16 所示。由圖中可看出研究區 B 的淺層崩塌面積分布大致上小於 0.2 公頃，仍有少許面積

大於 1 公頃；發生淺層崩塌的邊坡坡度大致上介於 30~40 度之間；發生淺層崩塌的邊坡坡向以朝向北方發生的淺層崩塌數量較少，而朝向南方以及東南方的邊坡上發生淺層崩塌的數量較多；發生淺層崩塌的邊坡高程介於 200~1000 公尺之間，尤其以 200~500 公尺發生較多的淺層崩塌；研究區 A 的淺層崩塌的高程差在大致上小於 50 公尺；長寬比分布集中於 1.25~2.25 間，表示淺層崩塌形狀偏向長條狀；由淺層崩塌的兩種曲率分布可分別看出，縱剖面曲率介於-0.5~0.5 之間，屬於平直型，而橫剖面曲率介於-2~0.5 之間，是平直偏向谷型，而由兩種曲率分布綜合看出，此地區發生淺層崩塌的邊坡是平直型偏向直谷型。

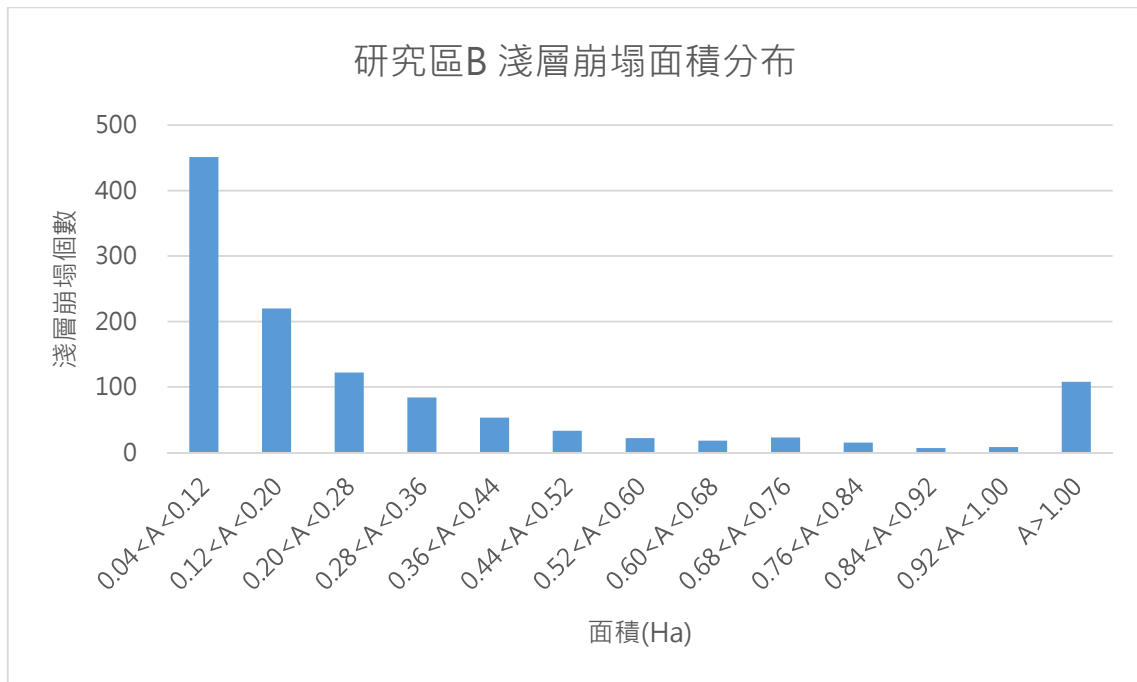


圖3-9 研究區 B 淺層崩塌面積分布

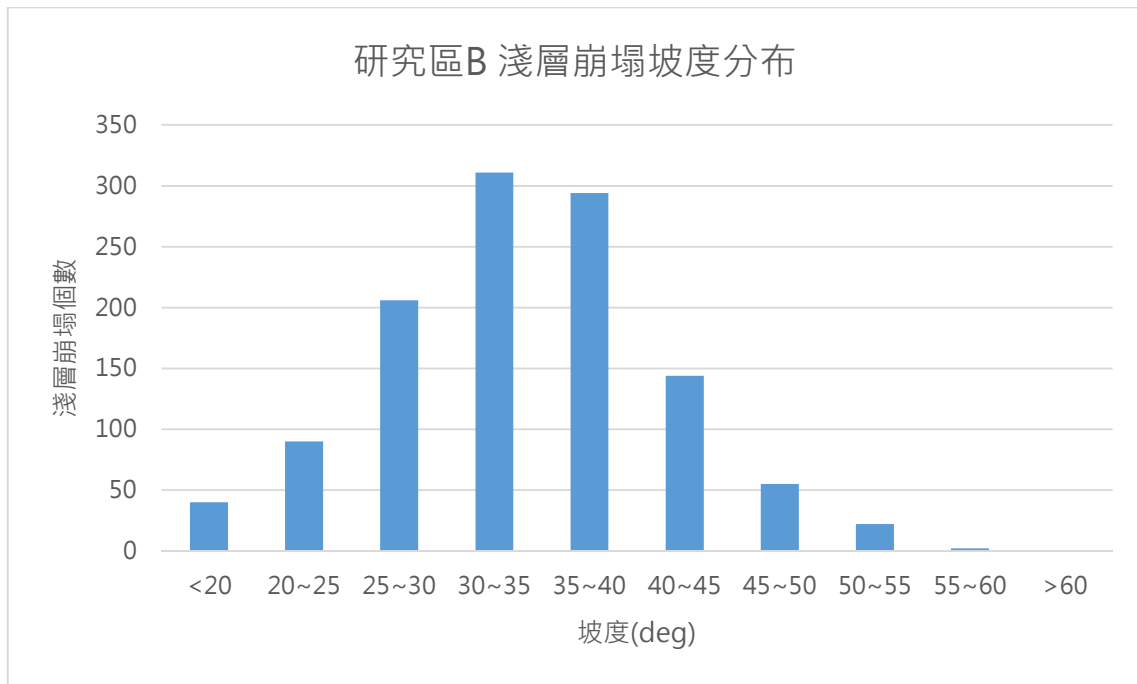


圖3-10 研究區 B 淺層崩塌坡度分布

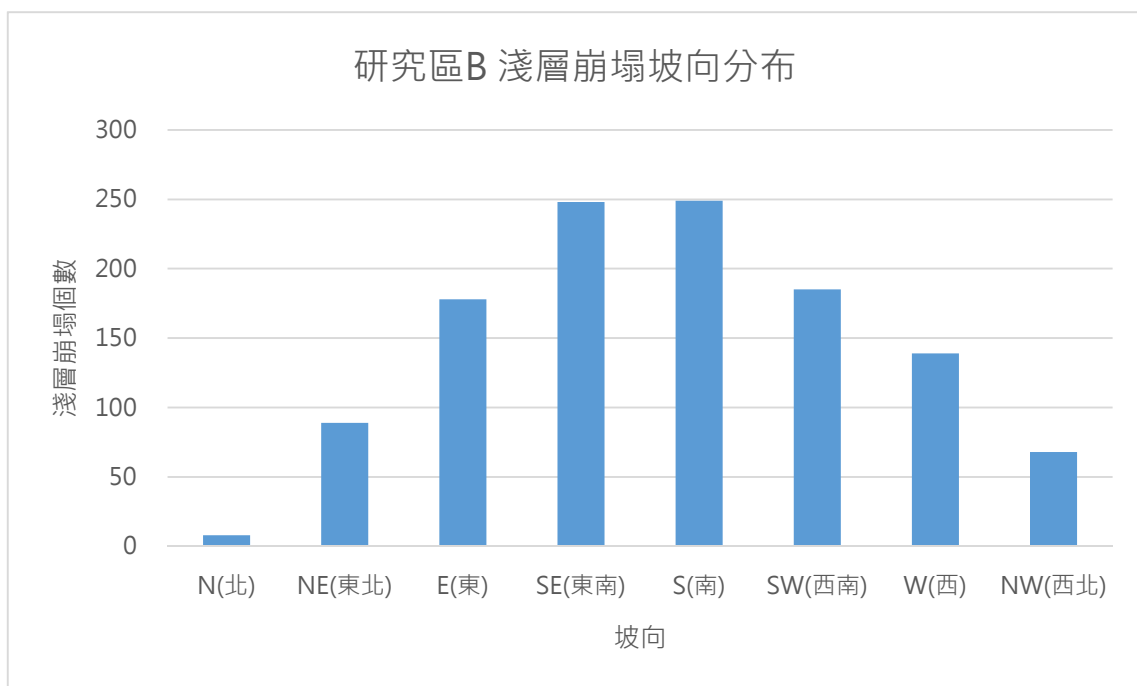


圖3-11 研究區 B 淺層崩塌坡向分布

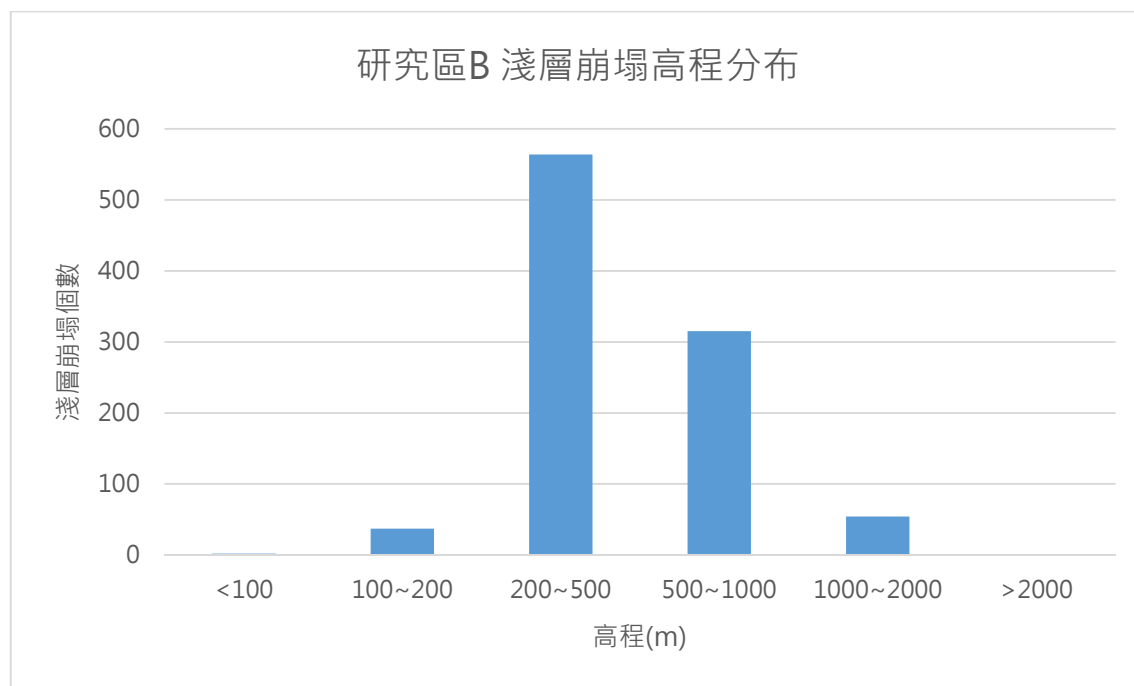


圖3-12 研究區 B 淺層崩塌高程分布

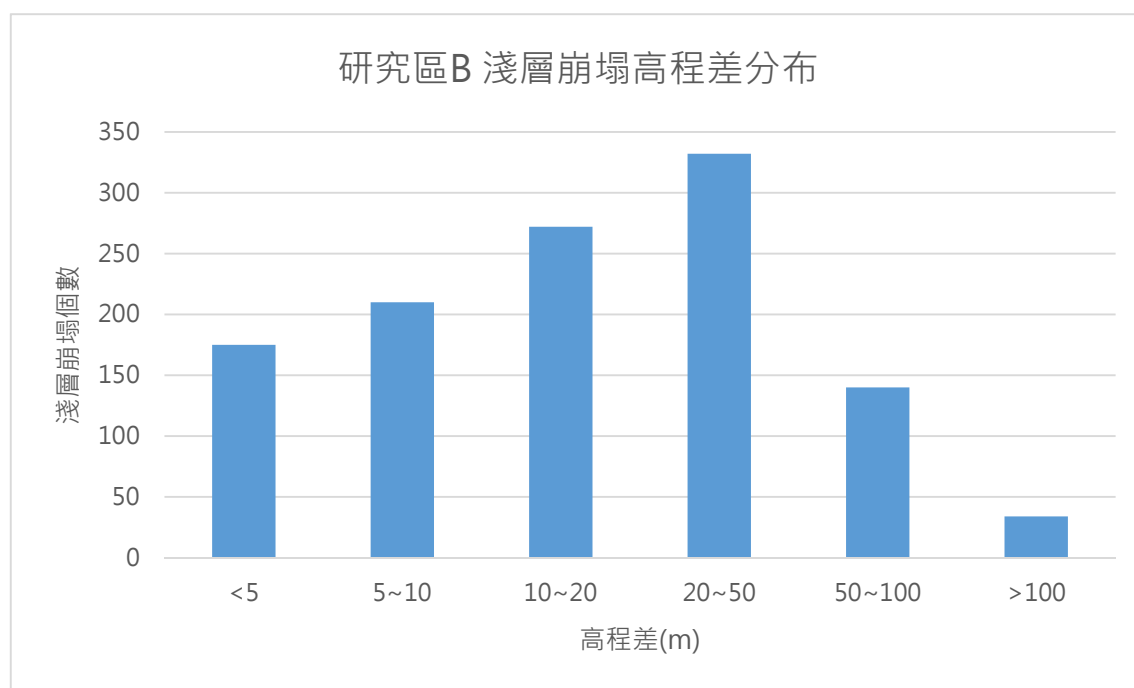


圖3-13 研究區 B 淺層崩塌高程差分布

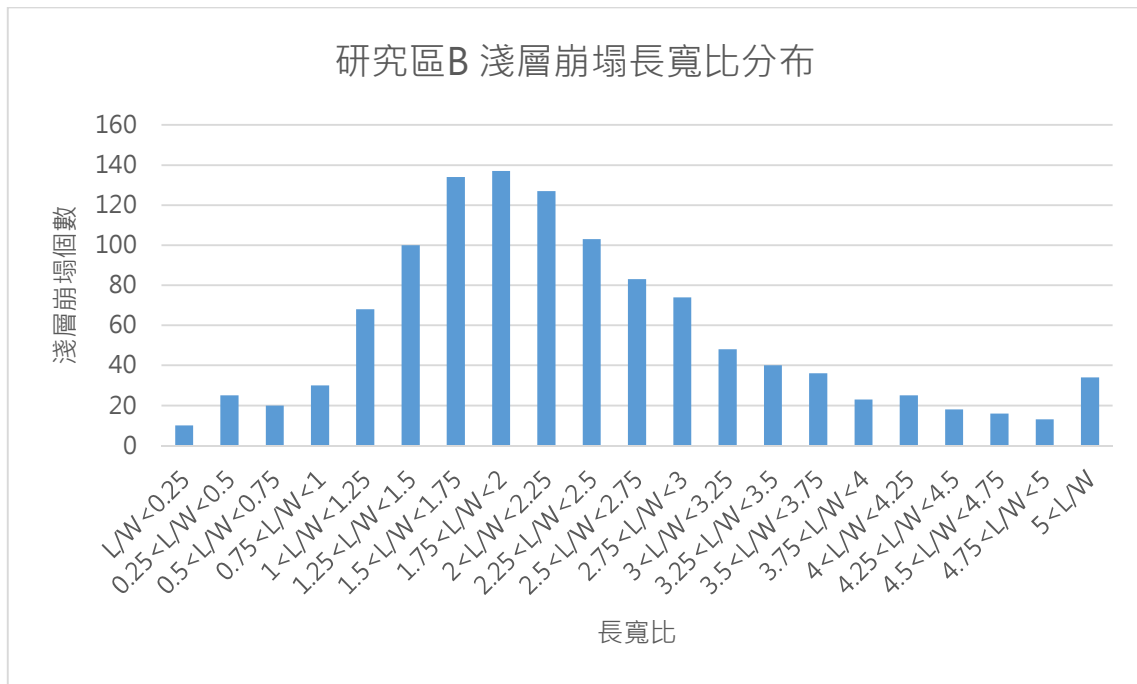


圖3-14 研究區 B 淺層崩塌長寬比分布

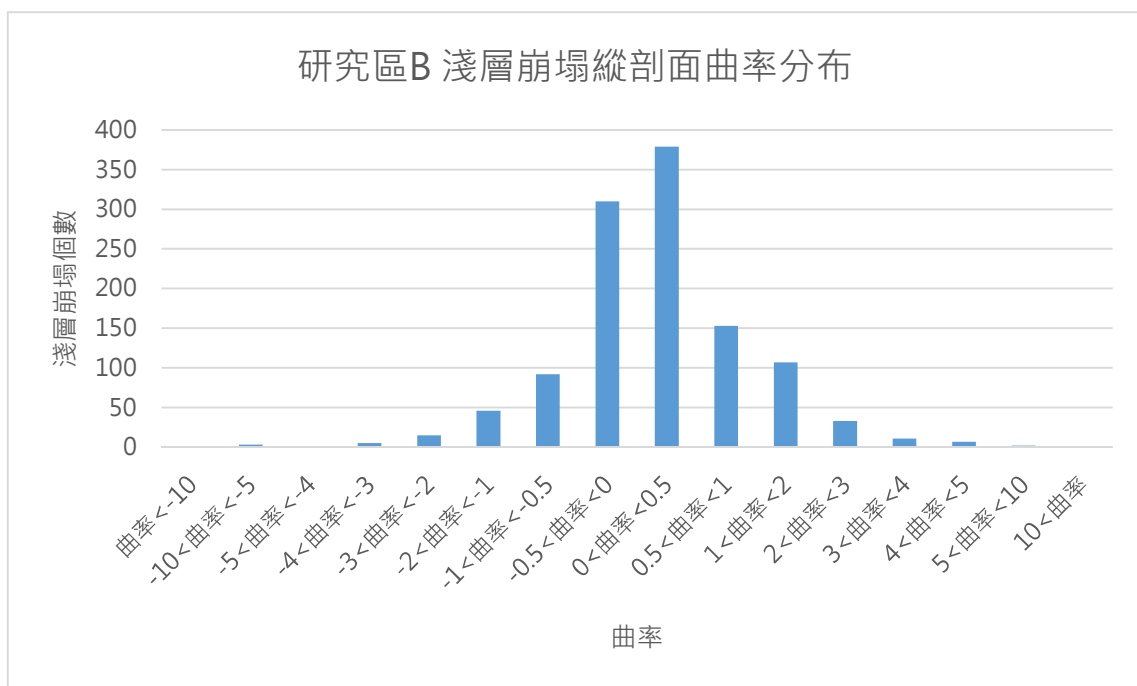


圖3-15 研究區 B 淺層崩塌縱剖面曲率分布

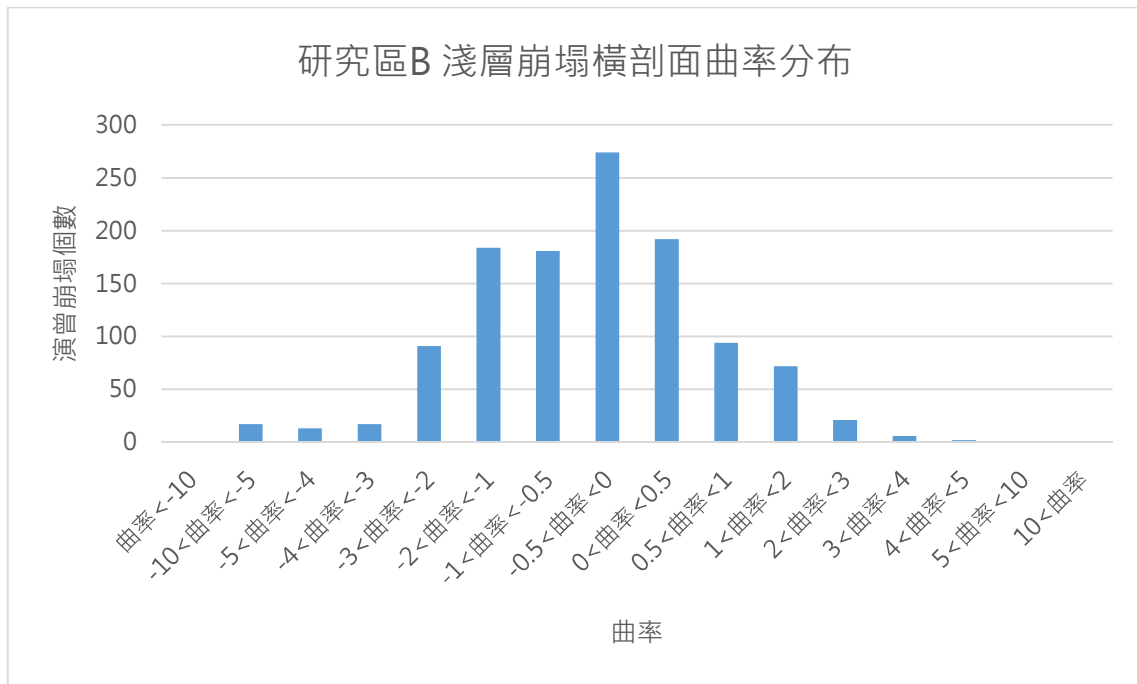


圖3-16 研究區 B 淺層崩塌橫剖面曲率分布

第二節 淺層崩塌特性比較

本捷對水保局(2017、2019)那瑪夏地區以及嘉義縣 6 鄉鎮內之淺層崩塌進行特性分析，將其特性分析成果與本次研究區之特性分析成果進行比對及討論。

那瑪夏地區土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌經過整理後，特性因子分布如圖 3-17 至圖 3-24。可看出那瑪夏地區的淺層崩塌面積分布大致上小於 0.2 公頃，大於 0.2 公頃的佔少數；而發生淺層崩塌的邊坡坡度大致上介於 25~50 度之間；發生淺層崩塌的邊坡坡向以朝向北方發生的淺層崩塌數量較少，而東北及西的邊坡較多；那瑪夏地區發生淺層崩塌的邊坡高程介於 500~2000 公尺之間；此地區的淺層崩塌的高程差大至小於 50 公尺；長寬比分布集中於 1~3，表示淺層崩塌形狀偏向圓形至長條狀；由淺層崩塌的兩種曲率分布可分別看出，縱剖面曲率介於-0.5~2 之間，屬於平直偏凸，而橫剖面曲率介於-2~0.5 之間，是平直偏向谷型，而由兩種曲率分布綜合看出，此地區發生淺

層崩塌的邊坡是平直型偏向凸谷型。

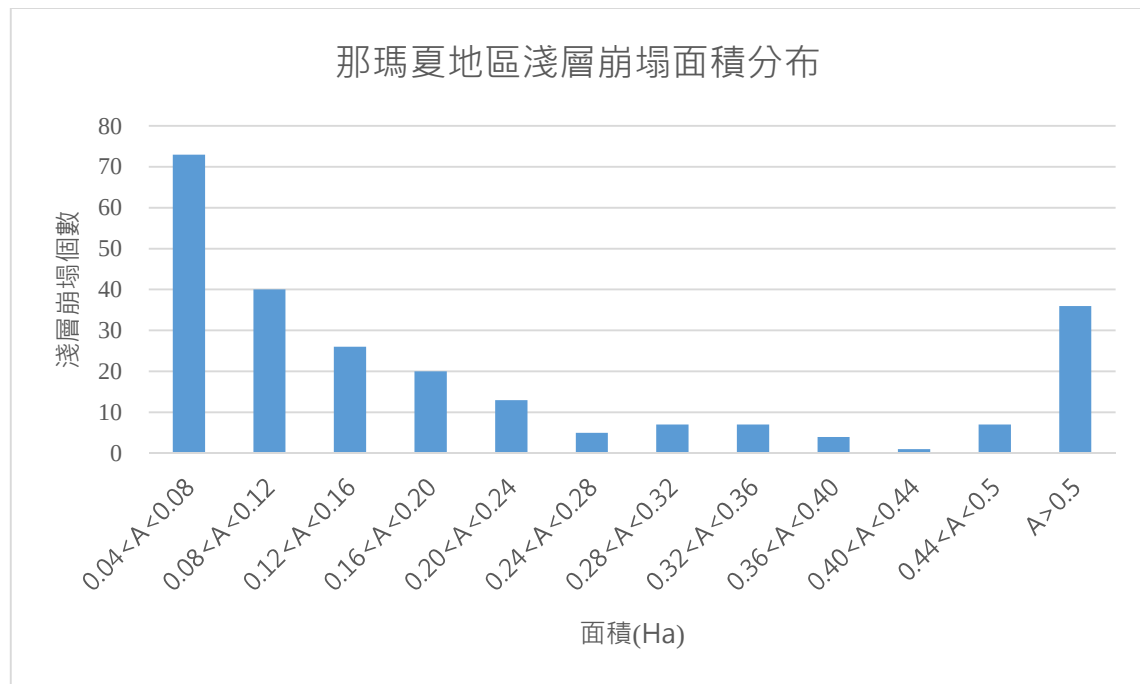


圖3-17 那瑪夏地區淺層崩塌面積分布

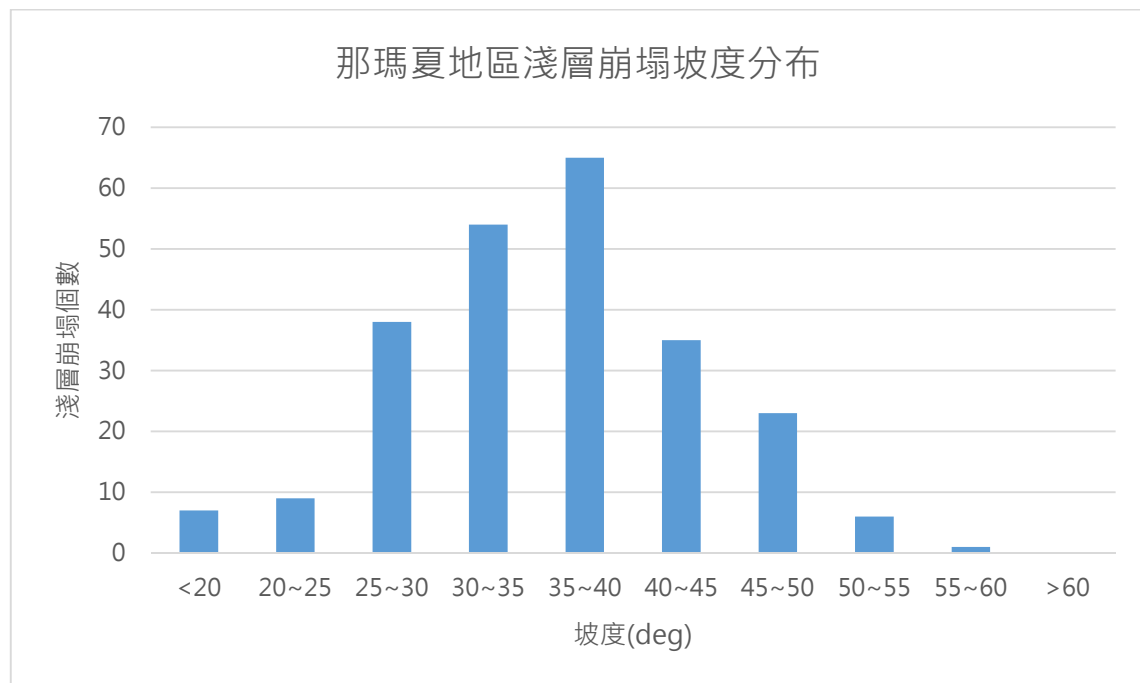


圖3-18 那瑪夏地區淺層崩塌坡度分布

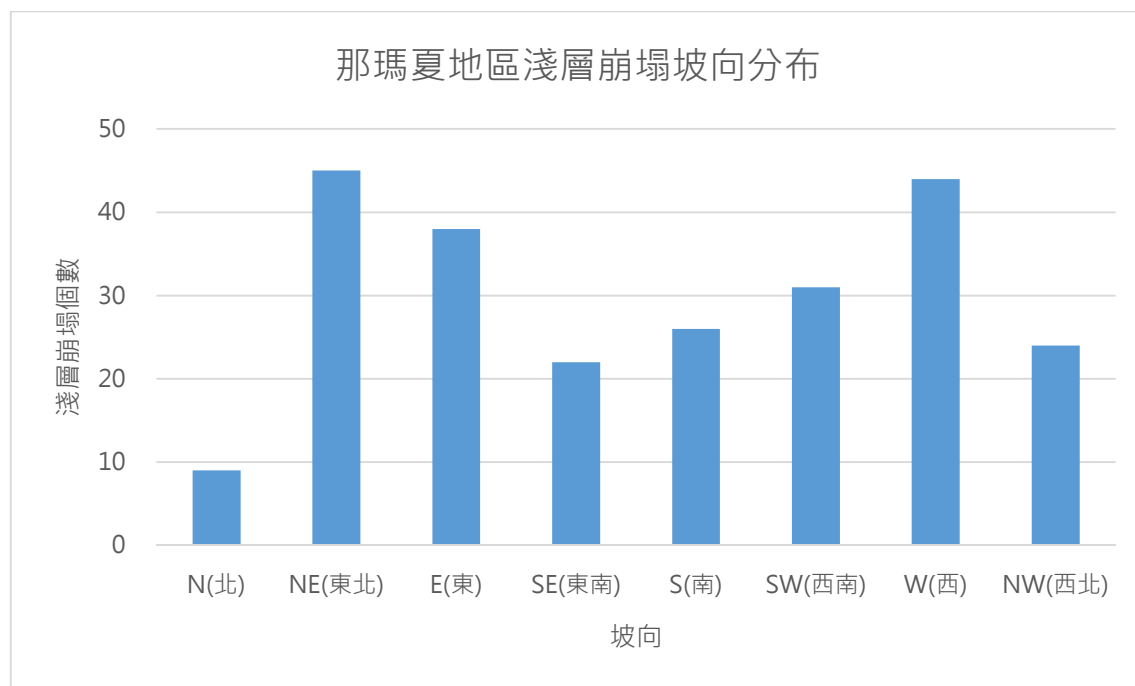


圖3-19 那瑪夏地區淺層崩塌坡向分布

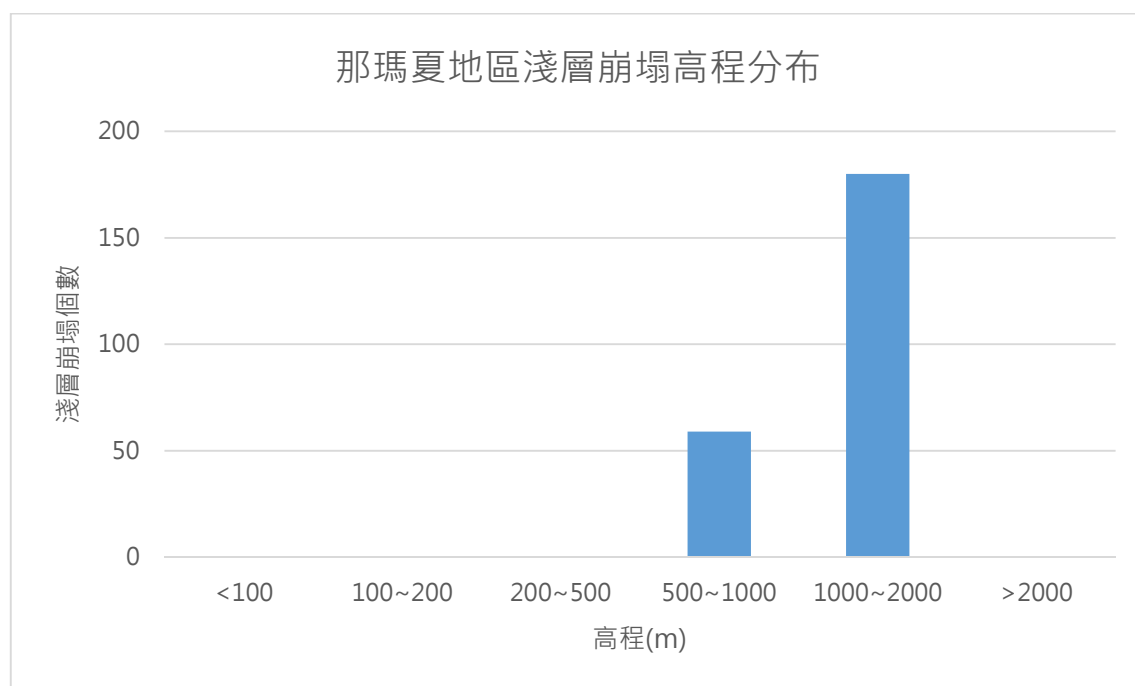


圖3-20 那瑪夏地區淺層崩塌高程分布

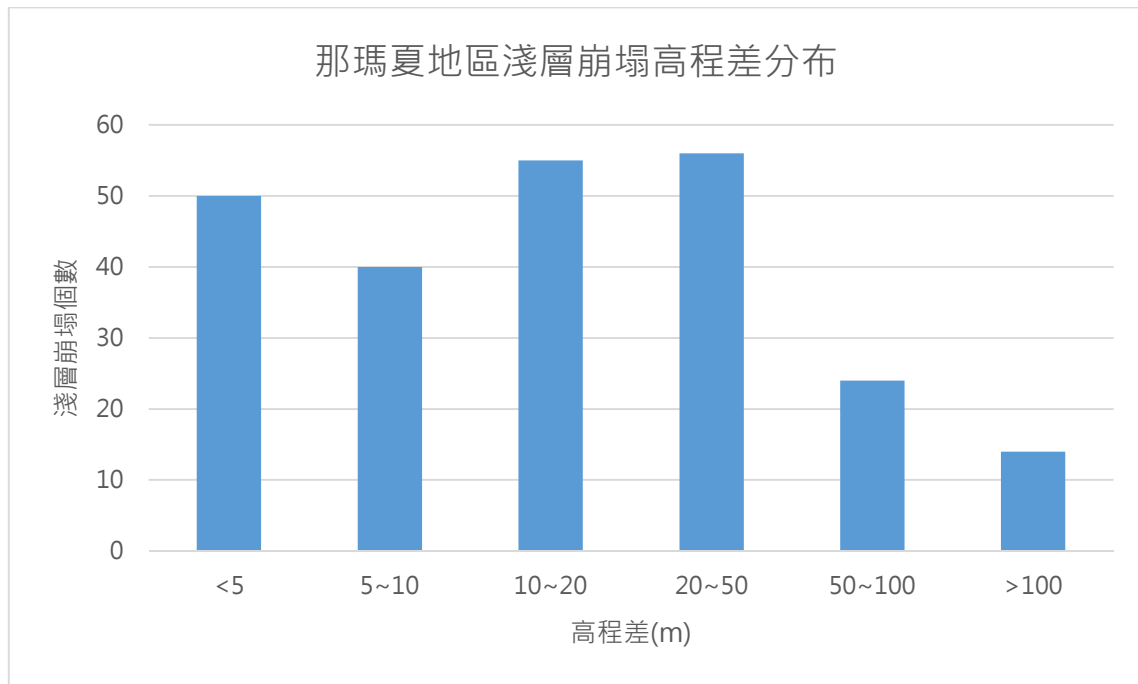


圖3-21 那瑪夏地區淺層崩塌高程差分布

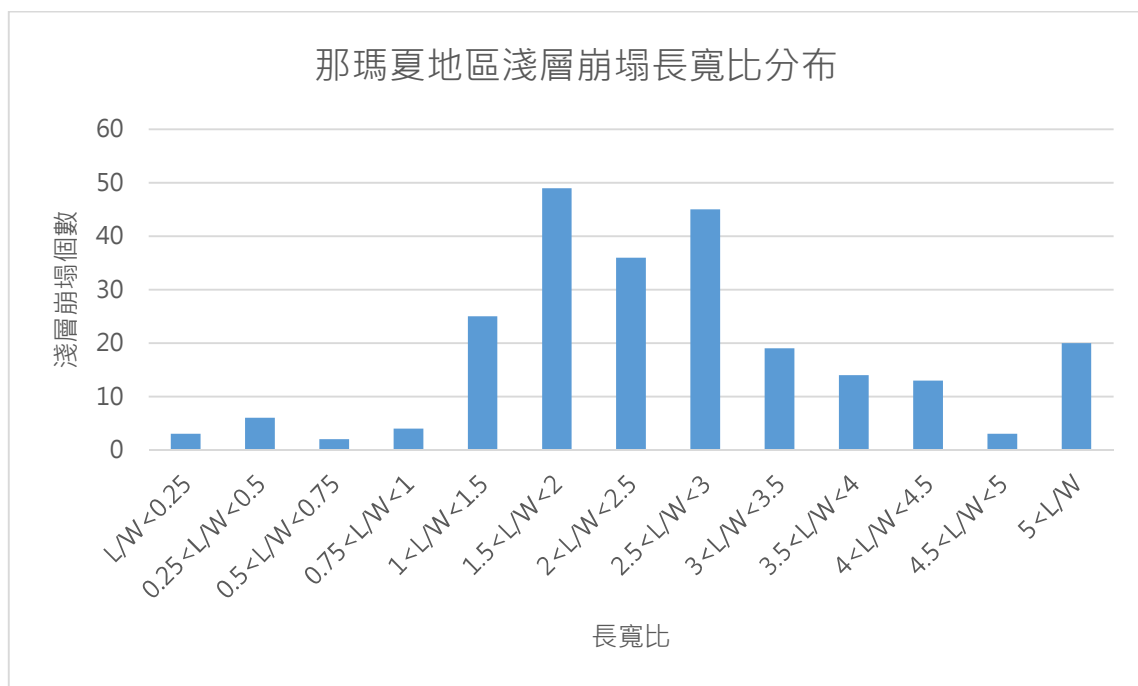


圖3-22 那瑪夏地區淺層崩塌長寬比分布

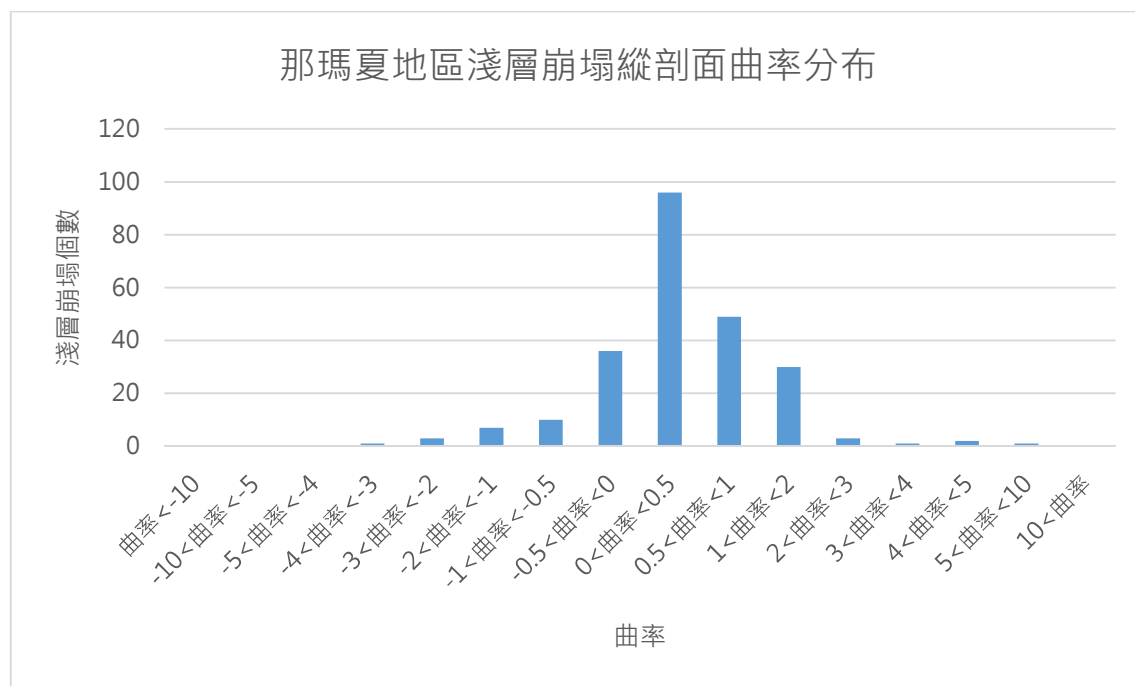


圖3-23 那瑪夏地區淺層崩塌縱剖面曲率分布

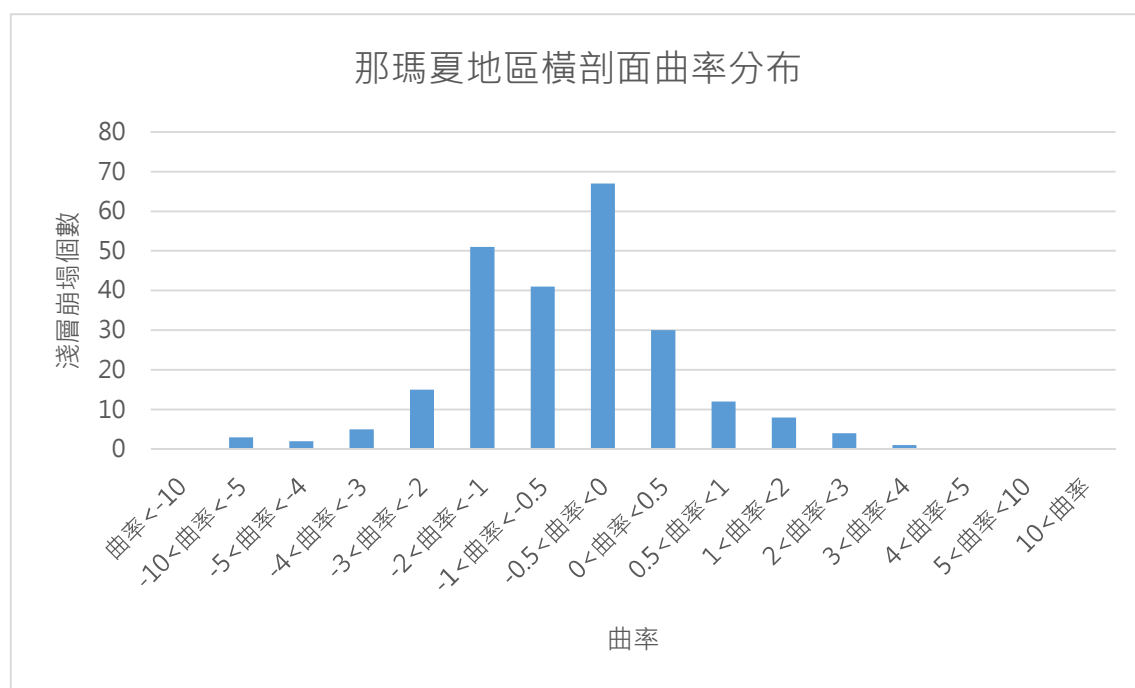


圖3-24 那瑪夏地區淺層崩塌縱橫剖面面曲率分布

水保局(108 年)研究中南部研究區包含在嘉義縣梅山鄉、竹崎鄉、番路鄉、阿里山鄉、中埔鄉以及大埔鄉，研究區中的土石流潛勢溪流內的淺層崩塌特性因子分布如圖 3-25 至圖 3-32 所示。淺層崩塌面積約集中在 0.04~0.28 公頃之間；發生淺層崩塌的邊坡坡度在 30~45 度之間；發生淺層崩塌的坡向多數集中在朝東至朝南的邊坡；多數淺層崩塌發生在高程 500~2000 公尺間的邊坡；高程差大致集中於 20~100 公尺；長寬比分布集中於 0.25~0.75，然而仍有多數的淺層崩塌長寬比大於 2，表示淺層崩塌形狀為扁平以及長條狀；屬於平直偏凸的形狀，而橫剖面曲率介於-2~0.5 之間，是平直偏向谷型，而由兩種曲率分布綜合看出，此地區發生淺層崩塌的邊坡是平直型偏向凸谷型。

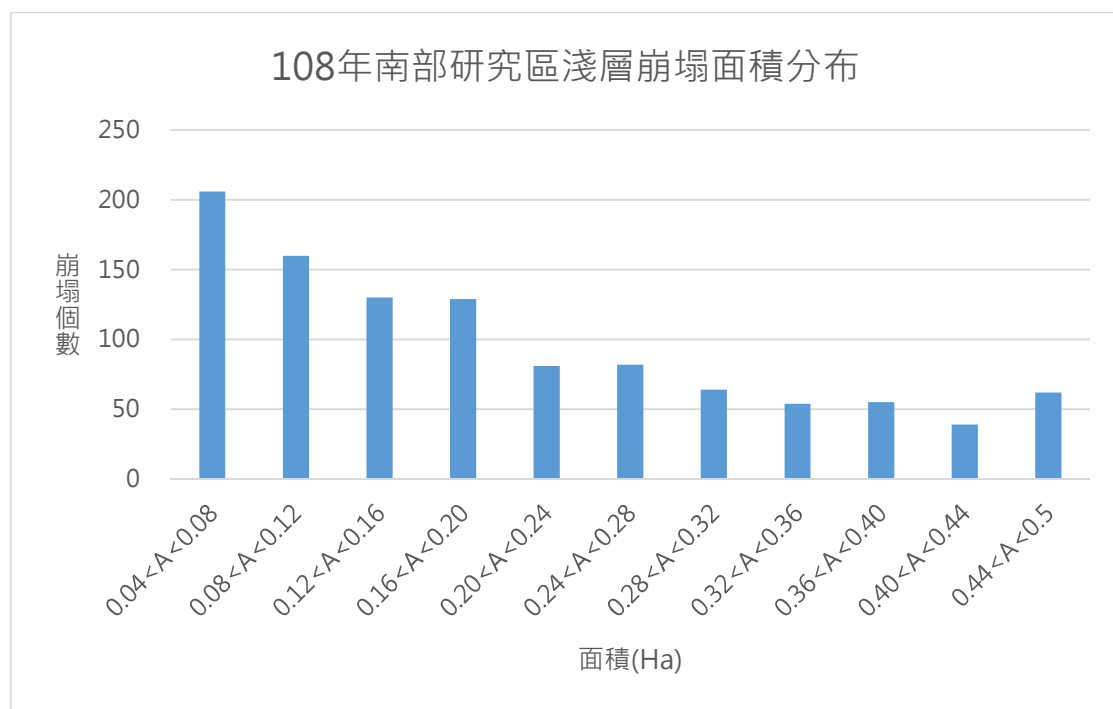


圖3-25 108 年南部研究區淺層崩塌面積分布

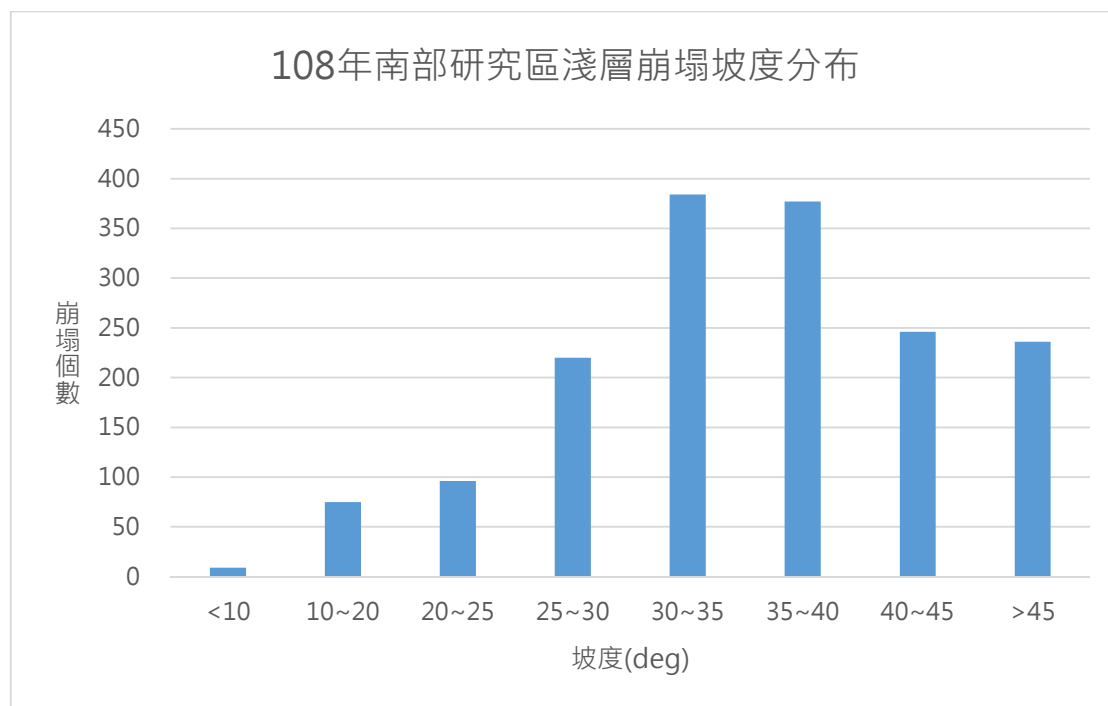


圖3-26 108 年南部研究區淺層崩塌坡度分布

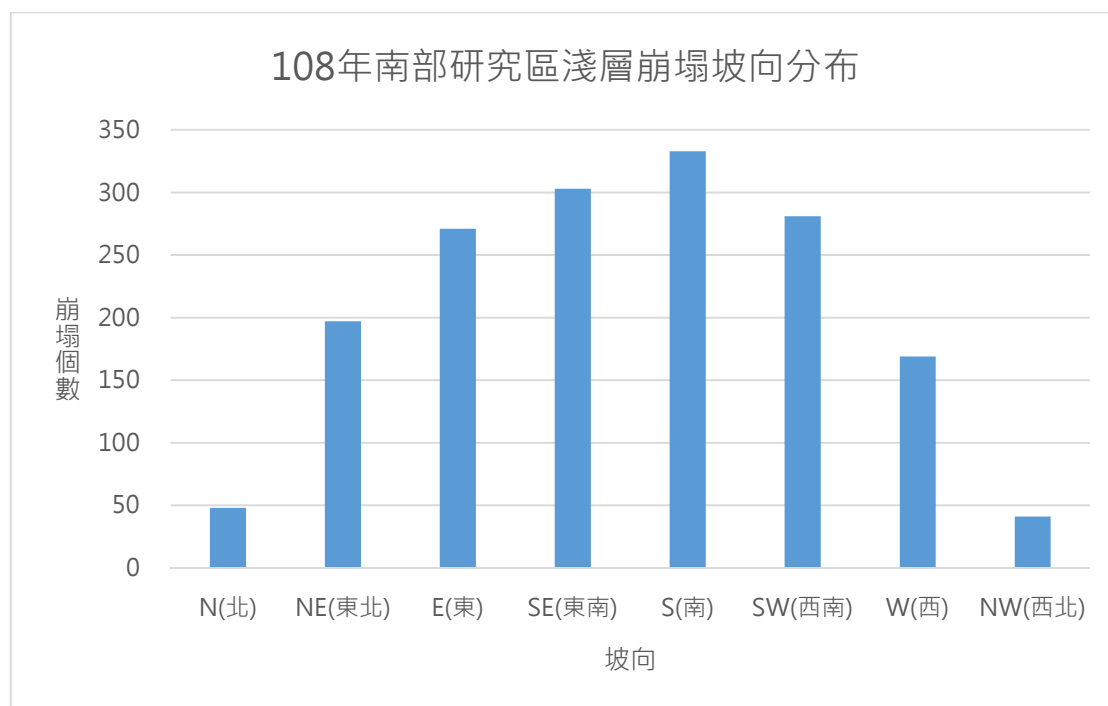


圖3-27 108 年南部研究區淺層崩塌坡向分布

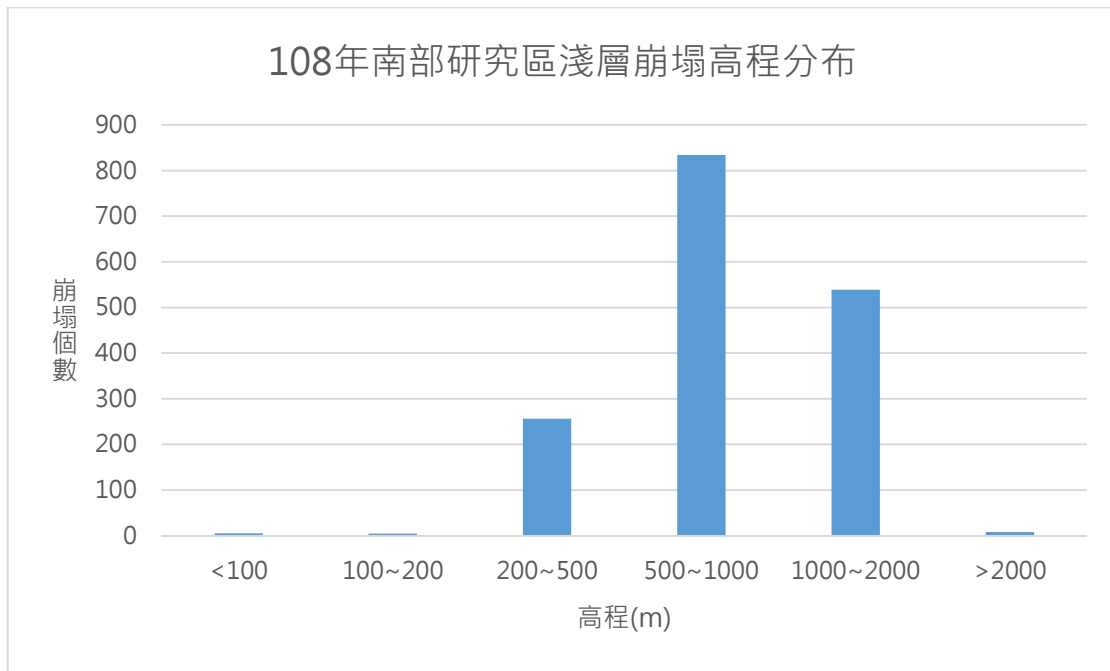


圖3-28 108 年南部研究區淺層崩塌高程分布

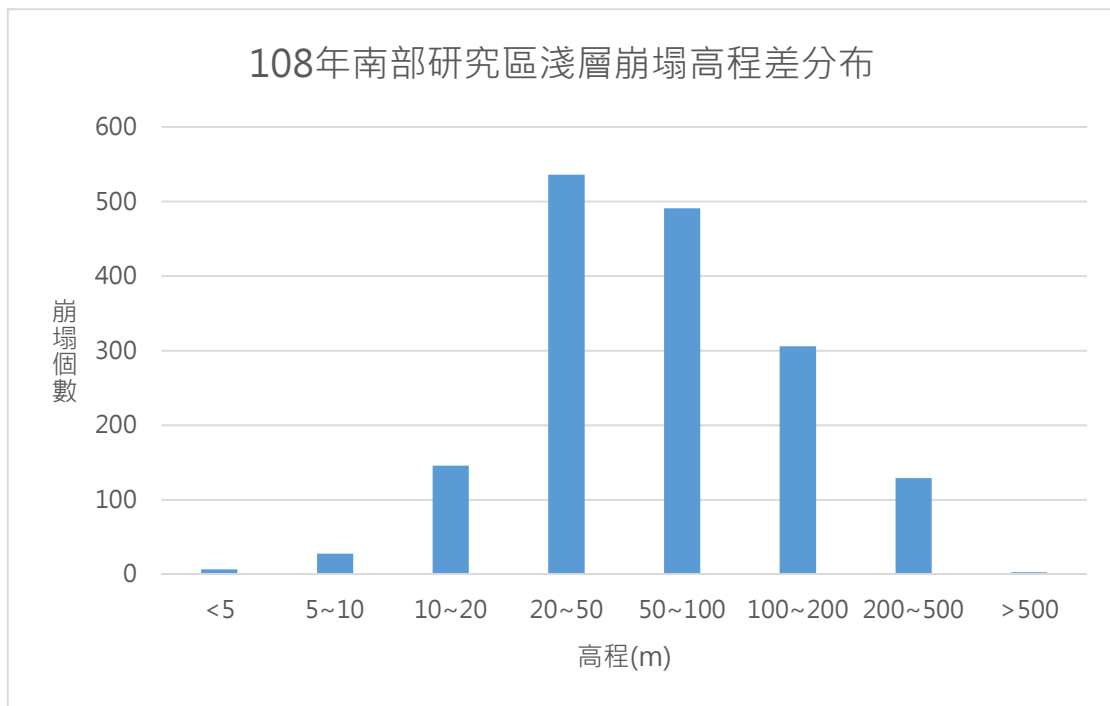


圖3-29 108 年南部研究區淺層崩塌高程差分布

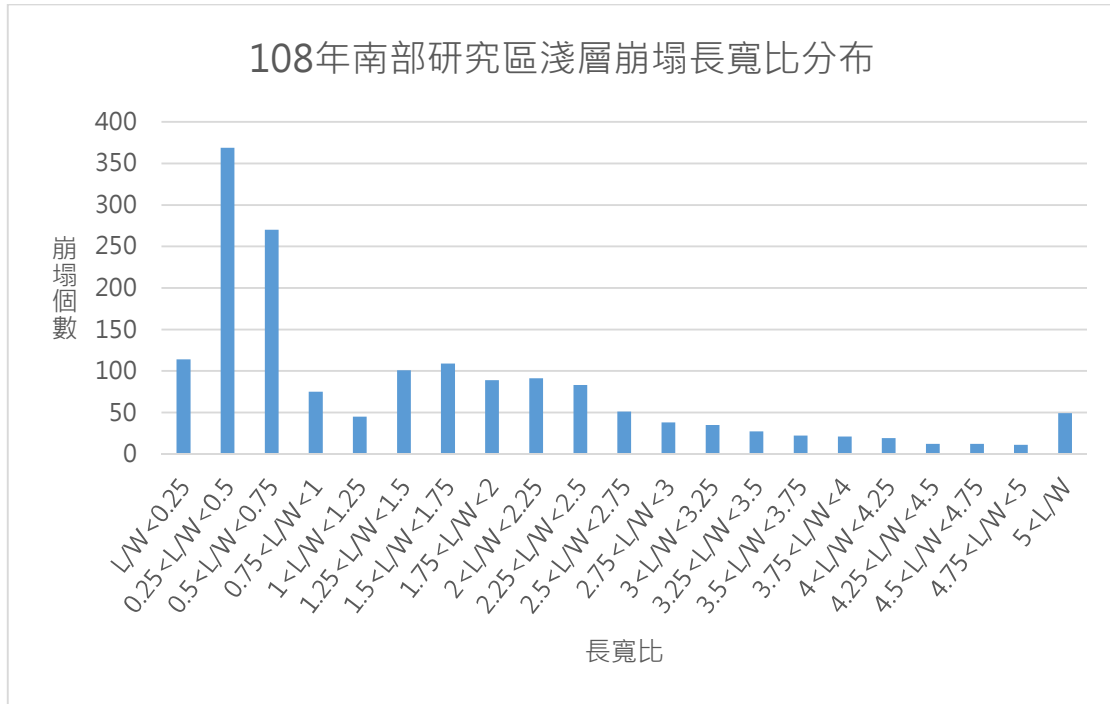


圖3-30 108年南部研究區淺層崩塌長寬比分布

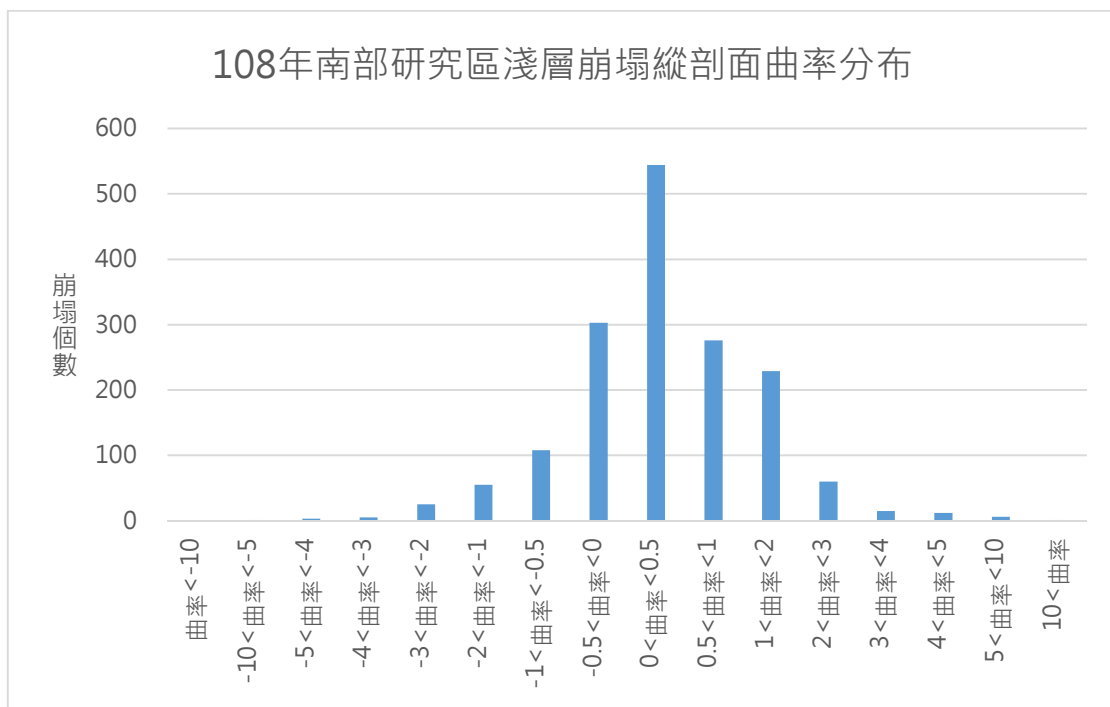


圖3-31 108年南部研究區淺層崩塌縱剖面曲率分布

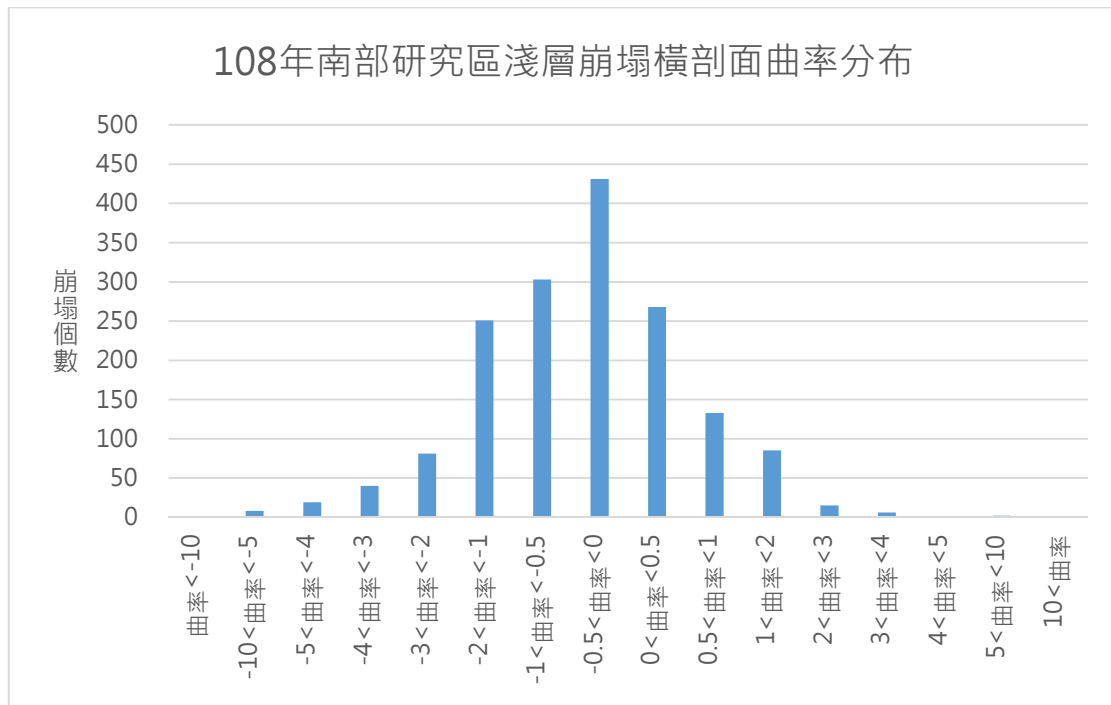


圖3-32 108 年南部研究區淺層崩塌橫剖面曲率分布

由以上特性分析可看出，目前四個研究區的淺層崩塌面積大都小於 0.2 公頃；發生淺層崩塌的邊坡坡度約在 30~40 度之間；而坡向則是朝南的邊坡有較多的淺層崩塌，朝北的邊坡則較少；發生淺層崩塌的邊坡多位於山區，所以發生淺層崩塌的高程約在 500~2000 公尺之間；而淺層崩塌的長寬比顯示，淺層崩塌的形狀大致上都是長條型的為主；由曲率來看，發生淺層崩塌的邊坡大致上是以平直型偏向凸谷型為主。

第四章 研究區淺層崩塌現地調查

第一節 現地調查表及地點簡介

本研究在研究區內挑選 10 處淺層崩塌，其附近有重要保全對象且交通可及之處進行現地調查並記錄。到現場查證地形、地貌及探查淺層崩塌潛勢之特徵並研判潛勢，提供比對驗證之參考。

進行現地調查時將使用水保局(2018)所建立的淺層崩塌調查表，其表格參考水土保持局、國家災害防救科技中心、地質調查所、中興顧問社與本計畫團隊過去參與集集地震、七二水災、八八風災等重大災害之調查表及現地調查經驗，亦配合現地調查實際使用及調整後所製成。表格內容包含五大項：(一)崩塌地基本資料；(二)坡地環境特性；(三)崩塌地地文特徵；(四)保全對象及既有工程設施敘述；(五)調查照片，詳如表 4-1。淺層崩塌調查表填寫方法依照水保局(2018)說明方式進行填表，而淺層崩塌編號參考水保局(2017)編列方法，建立編號方法為，以土石流潛勢溪流集水區為單位，並以集水區出口順時針方向依序給予編號。

表4-1 淺層崩塌現地調查表

一、崩塌地基本資料(預填)

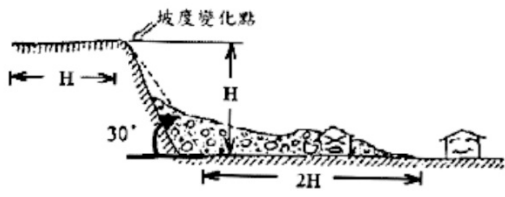
現勘日期	年	月	日	時	天氣	
調查單位/人員						
調查記錄編號				崩塌地編號		
土石流潛勢溪流編號				集水區名稱		
歷史災害	_____年_____月，_____颱風/豪雨					
行政區域	_____縣(市)_____鄉鎮區_____村(里)					
地點	臺(省道)/縣道			里程	k~	k
GPS 記錄代號	GPS 記錄坐標(TWD97)			X：	Y：	
與其他測點關係描述				高程	_____m	
岩體性質			構造	☐ 無 ☐ 有_____距離崩塌_____m		

二、坡地環境

邊坡位置	☐ 河岸階地 ☐ 集水區上游河階 ☐ 集水區中游河階 ☐ 集水區下游河階
潛在敏感區位	☐ 陡坡 ☐ 舊山崩 ☐ 斷層/褶皺(預判) ☐ 崩積土 ☐ 河岸侵蝕
植被覆蓋程度	☐ 地表裸露(☐ 土壤/ ☐ 岩石) ☐ 自然植生 ☐ 農墾地 ☐ 植被稀疏(10%<植被面積<30%) ☐ 植被中等稀疏(30%<植被面積<80%) ☐ 植被密集(植被面積>80%)

三、崩塌地地文特徵

地形 形貌與 邊坡 材料	崩塌區位	☐ 全邊坡 ☐ 山脊 ☐ 山腹 ☐ 坡腳 ☐ 溪流側岸/蝕溝側										
	坡向/坡度	N_____度 / _____度										
	崩塌滑移方向	N_____度										
	坡型(預判)	<table border="1"> <tr> <td> 凸脊形 Convex ridge</td> <td> 凸直形 Convex slope</td> <td> 凸谷形 Convex valley</td> </tr> <tr> <td> 直脊形 Straight ridge</td> <td> 平直形 Straight slope</td> <td> 直谷形 Straight valley</td> </tr> <tr> <td> 凹脊形 Concave ridge</td> <td> 凹直形 Concave slope</td> <td> 凹谷形 Concave valley</td> </tr> </table> ☐凸脊型 ☐凸直型 ☐凸谷型 ☐直脊型 ☐平直型 ☐直谷型 ☐凹脊型 ☐凹直型 ☐凹谷型		 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley
	 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley									
	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley									
 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley										
坡趾距河(海)岸 水平距離	_____公尺											
材料類型	☐ 風化土 ☐ 崩積土 ☐ 岩屑 ☐ 河階堆積											
表土厚度	☐ <0.5m ☐ 0.5~1m ☐ 1~2m ☐ 2~4m ☐ >4m											

	最大岩塊粒徑	_____m
崩塌類型(複選)	☐ 落石、土壤掉落 ☐ 淺層崩滑(岩屑、風化土) ☐ 深層滑動(坡體) ☐ 沖蝕 ☐ 其他 _____	
崩塌區幾何形狀	長度_____m、寬度_____m、高程差_____m 深度_____m(選填)	
坡面殘留材料	☐ 無 ☐ 有，長度_____m、寬度_____m、深度_____m	
堆積區狀況	推估上緣點位坐標：X _____ Y _____ 崩塌流出距離：_____m、寬度：_____m、 厚度：最大_____m 平均：_____m 堆積形狀：_____	
崩塌至保全對象相對位置		☐ 小於 2H 有保全對象 ☐ 小於 2H 無保全對象
崩塌地水文狀況	☐ 無滲流 ☐ 局部滲流 ☐ 大量滲流 ☐ 地表逕流匯集	

四、 保全對象及既有工程設施

保全對象說明	建物	住戶	☐ 無 ☐ 1~4 戶 ☐ 5 戶以上
		公共建築	☐ 無 ☐ 學校 ☐ 醫院 ☐ 活動中心
	交通設施	☐ 無 ☐ 橋梁【 】 ☐ 道路(含鐵路)【 】	
	其他重要保全對象		對象描述：_____
保全對象住戶地址	☐ 無 ☐ 有 _____		
鄰近保全對象之工程設施(複選)	☐ 無整治設施 ☐ 有 類別說明：_____		狀況： ☐ 正常 ☐ 破壞
現地整治成效評估	☐ 暫不須整治 ☐ 良好 ☐ 尚可 ☐ 待改進		

五、 照片及狀況說明

--

目前已在研究區 A 選取 5 處淺層崩塌進行現地調查，淺層崩塌編號分別為投縣 DF132-SL106、投縣 DF132-SL108、投縣 DF132-SL115、投縣 DF132-SL119 以及投縣 DF193-SL120。經過現地調查僅有 2 處邊坡有護坡工程，而 5 處發生淺層崩塌的坡面上已長滿茂密的植被，目前無滑動跡象。並且對投縣 DF132-SL106、投縣 DF132-SL108、投縣 DF132-SL119 以及投縣 DF193-SL120 等淺層崩塌進行現地調查後發現，其淺層崩塌範圍與圈繪圖資略有不同，因此重新圈繪淺層崩塌位置，其圈繪成果如後續淺層崩塌現地調查表中所示。研究區 B 進行現地調查的淺層崩塌編號為南市 DF004-SL001、南市 DF010-SL001、南市 DF014-SL003、南市 DF025-SL015 以及南市 DF025-SL017 等淺層崩塌，研究區 B 的 5 處淺層崩塌的坡面上已長滿植被，而目前都沒有設置防治工程。並且在現調過程中發現原本圈繪都過小，配合事先準備的陰影圖以及空拍照亦重新圈繪這 5 處淺層崩塌。而各淺層崩塌位置如圖 4-1 至圖 4-10，淺層崩塌調查點位整理至表 4-2。

表4-2 現地調查淺層崩塌整理

行政區			土石流潛勢溪流編號	淺層崩塌編號
南投縣	竹山鎮	大鞍里	投縣 DF132	投縣 DF132-SL106
				投縣 DF132-SL108
				投縣 DF132-SL115
				投縣 DF132-SL119
	信義鄉	新鄉村	投縣 DF193	投縣 DF193-SL120
台南市	白河區	大林里	南市 DF004	南市 DF004-SL001
		關嶺里	南市 DF010	南市 DF010-SL001
	東山區	青山村	南市 DF014	南市 DF014-SL002
		南勢村	南市 DF025	南市 DF025-SL015
				南市 DF025-SL017



圖4-1 南投縣竹山鎮大鞍里淺層崩塌(編號：投縣 DF132-SL106)

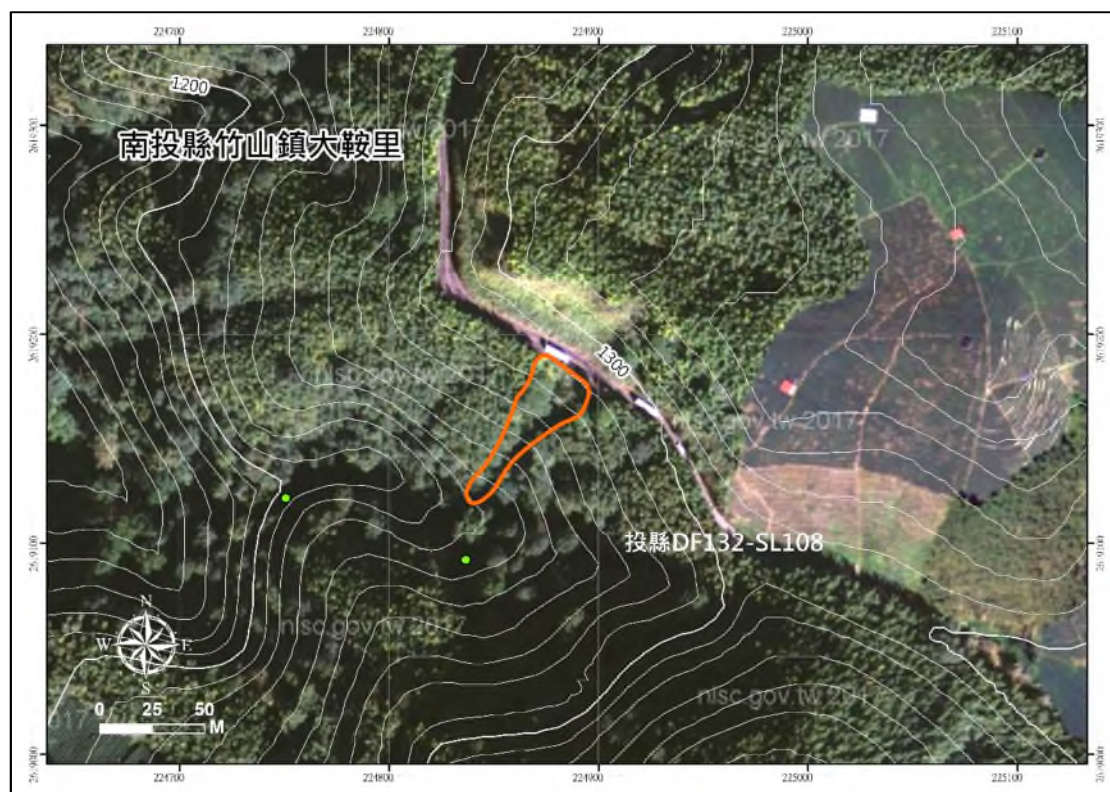


圖4-2 南投縣竹山鎮大鞍里淺層崩塌(編號：投縣 DF132-SL108)



圖4-3 南投縣竹山鎮大鞍里淺層崩塌(編號：投縣 DF132-SL115)



圖4-4 南投縣竹山鎮大鞍里淺層崩塌(編號：投縣 DF132-SL119)

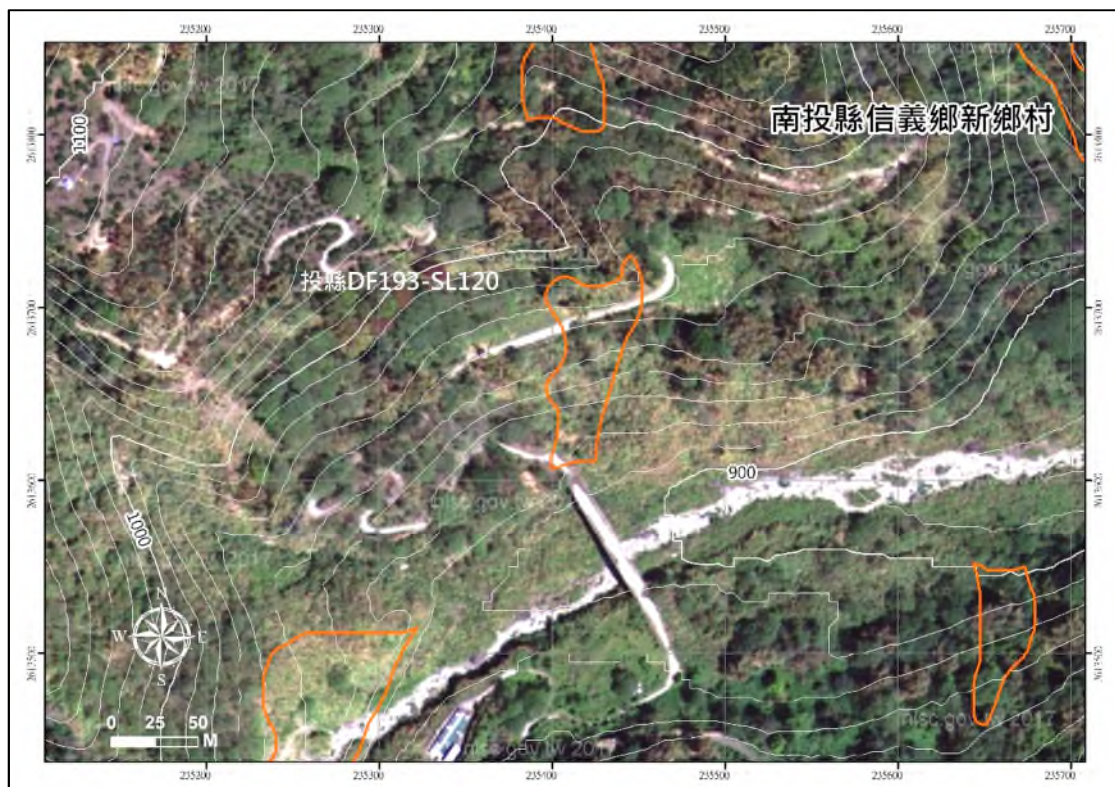


圖4-5 南投縣信義鄉新鄉村淺層崩塌(編號：投縣 DF193-SL120)



圖4-6 台南市白河區大林里淺層崩塌(編號：南市 DF004-SL004)



圖4-7 台南市白河區關嶺里淺層崩塌(編號：南市 DF009-SL006)



圖4-8 台南市白河區關嶺里淺層崩塌(編號：南市 DF010-SL001)



圖4-9 台南市東山區青山村淺層崩塌(編號：南市 DF014-SL002)

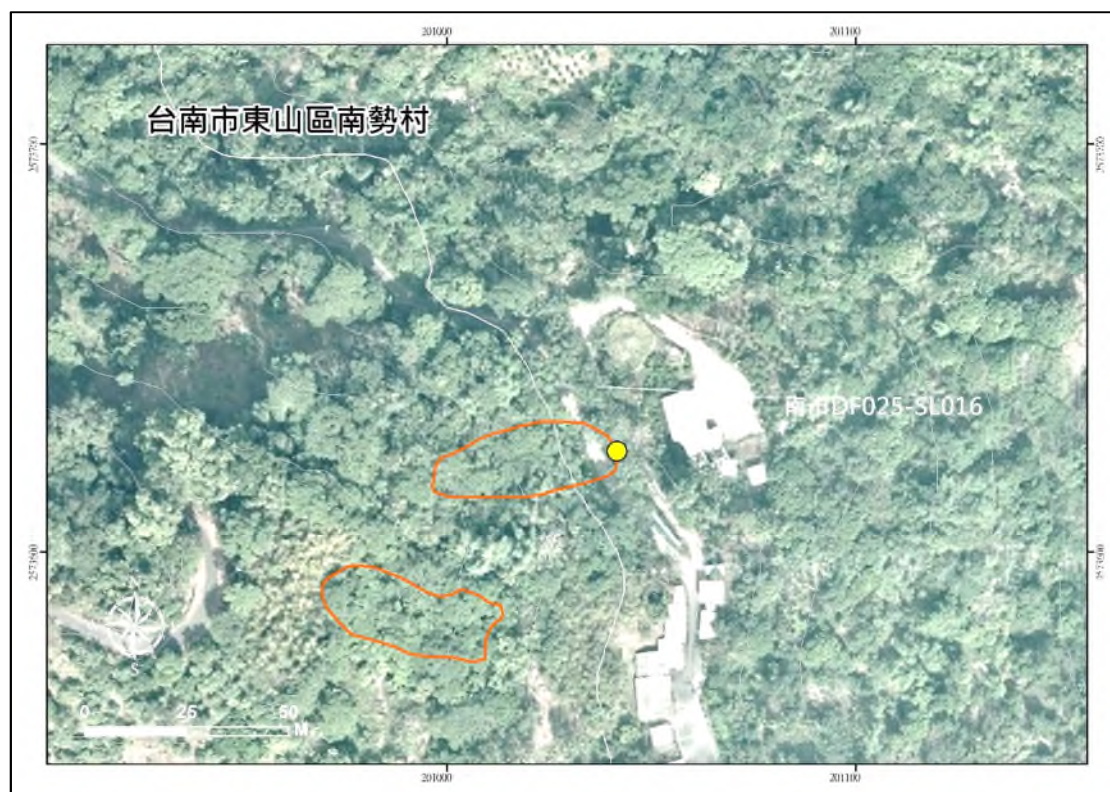


圖4-10 台南市東山區南勢村淺層崩塌(編號：南市 DF025-SL016)

第二節 現地調查調查資料

完成之淺層崩塌編號投縣 DF132-SL106、投縣 DF132-SL108、投縣 DF132-SL115、投縣 DF132-SL119 以及投縣 DF193-SL120，現地填列淺層崩塌現地調查表資料如下：

(一)崩塌編號：投縣 DF132-SL106

淺層崩塌投縣 DF132-SL106，其形心坐標為(224734,2619544)，位於南投縣竹山鎮大鞍里。崩塌發生的地層為桂竹林層大窩砂岩段，其岩體性質為泥質砂岩，砂岩及頁岩互層，崩塌附近並無地質構造。

崩塌發生於土石流潛勢溪流投縣 DF132 上游，潛在敏感區位為崩積土，目前坡面上植被茂密，已長滿雜草。崩塌區位是全邊坡，其邊坡坡向約 189 度，坡度約為 44 度，崩塌滑移方向為約 185 度，經由 GIS 判釋邊坡坡型為平直型。崩塌坡趾距離河道約 75 公尺，而崩塌材料為崩積土，推估其表土厚度為 0.5~1 公尺，邊坡上最大的岩石粒徑約為 0.5 公尺。

崩塌形式為淺層崩塌，其長度約為 135 公尺，寬度約 144 公尺，高程差約有 132 公尺。坡面上仍有殘留材料，其長度約 40 公尺，寬度 140 公尺，判斷其深度約 1 公尺，而堆積區最上緣坐標約為(224732.181,2619537.298)，目前坡面上並無滲流。在 2 倍坡高距離內保全對象為主要聯絡道路投縣 49 號以及電線桿。

在進行淺層崩塌投縣 DF132-SL106 的現地調查以及空拍發現，原本圈繪範圍過小，重新圈繪後如圖中橘色虛線所示。目前邊坡底下有護坡工程，而目前工程狀況良好，並且邊坡並無明顯移動現象。

投縣 DF132-SL106 淺層崩塌現地調查表

一、崩塌地基本資料(預填)

現勘日期	109 年 07 月 15 日 10 時		天氣	陰
調查單位/人員	臺灣大學/林美聆、陳彥澄、陳德偉、吳昕孺、邱勝煜			
調查記錄編號		崩塌地編號	投縣 DF132-SL106	
土石流潛勢溪流編號	投縣 DF132	集水區名稱	加走寮溪	
歷史災害	____年____月，____颱風/豪雨			
行政區域	南投縣(市) 竹山鄉鎮區 大鞍村(里)			
地點	臺(省道)/縣道 49 號	里程	k	地標
GPS 記錄代號		GPS 記錄坐標(TWD97)	X: 224734.49 Y: 2619544.00	
與其他測點關係描述				
岩體性質	泥質砂岩，砂岩及頁岩互層	構造	■無□有 _____ 距離崩塌 _____ m	

二、坡地環境

邊坡位置	☐ 河岸階地 ☒ 集水區上游河階 ☐ 集水區中游河階 ☐ 集水區下游河階
潛在敏感區位	☐ 陡坡 ☐ 舊山崩 ☐ 斷層(預判) ☒ 崩積土 ☐ 河岸侵蝕
植被覆蓋程度	☐ 裸岩 ☐ 植被稀疏(10%<植被面積<30%) ☐ 植被中等稀疏(30%<植被面積<80%) ☒ 植被密集(植被面積>80%)

三、崩塌地地文特徵

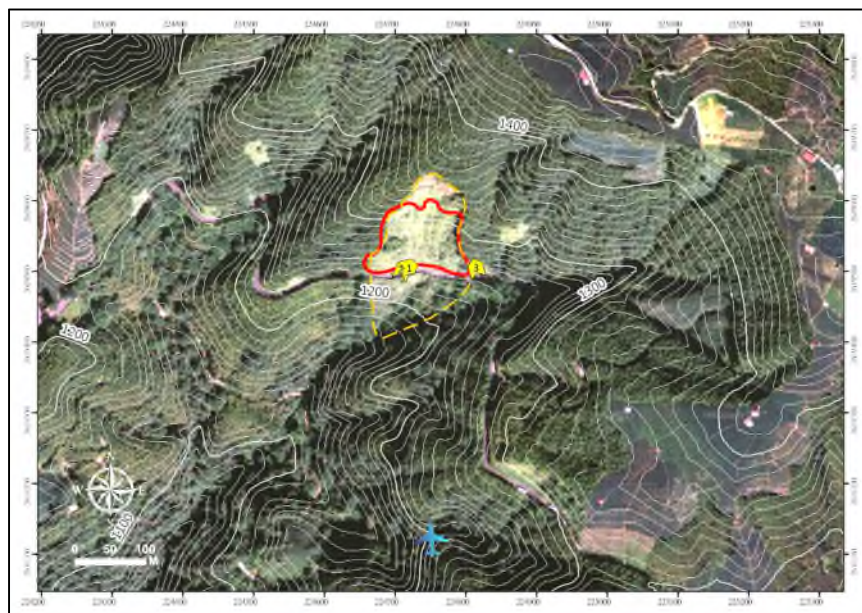
地形 形貌 與 邊坡 材料	崩塌區位	☒ 全邊坡 ☐ 山脊 ☐ 山腹 ☐ 坡腳 ☐ 溪流側岸/蝕溝側										
	坡向/坡度	N <u>189</u> 度 / <u>44</u> 度										
	崩塌滑移方向	N <u>185</u> 度										
	坡型(預判)	<table border="1"> <tr> <td> 凸脊形 Convex ridge</td> <td> 凸直形 Convex slope</td> <td> 凸谷形 Convex valley</td> </tr> <tr> <td> 直脊形 Straight ridge</td> <td> 平直形 Straight slope</td> <td> 直谷形 Straight valley</td> </tr> <tr> <td> 凹脊形 Concave ridge</td> <td> 凹直形 Concave slope</td> <td> 凹谷形 Concave valley</td> </tr> </table> ☐凸脊型 ☐凸直型 ☐凸谷型 ☐直脊型 ☐平直型 ☒直谷型 ☐凹脊型 ☐凹直型 ☐凹谷型		 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley
	 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley									
	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley									
	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley									
坡趾距河(海)岸 水平距離	<u>75</u> 公尺											
材料類型	☐ 風化土 ☒ 崩積土 ☐ 岩屑 ☐ 河階堆積											
表土厚度	☐ <0.5m ☒ 0.5~1m ☐ 1~2m ☐ 2~4m ☐ >4m											
最大岩塊粒徑	<u>0.5</u> m											

崩塌類型(複選)	☐ 落石、土壤掉落 ☒ 淺層崩滑(岩屑、風化土) ☐ 深層滑動(坡體) ☐ 沖蝕 ☐ 其他 _____	
崩塌區幾何形狀	長度 <u>135</u> m、寬度 <u>144</u> m、高程差 <u>132</u> m 深度 _____ m(選填)	
坡面殘留材料	☐ 無 ☒ 有，長度 <u>40</u> m、寬度 <u>140</u> m、深度 <u>1</u> m	
堆積區狀況	推估上緣點位坐標：X <u>224732.181</u> Y <u>2619537.298</u> Runout 距離：_____ m、寬度：_____ m、 厚度：最大 _____ m 平均：_____ m 堆積形狀： <u>扇形</u>	
崩塌至保全對象相對位置		☒ 小於 2H 有保全對象 ☐ 小於 2H 無保全對象
崩塌地水文狀況	☒ 無滲流 ☐ 局部滲流 ☐ 大量滲流 ☐ 地表逕流匯集	

四、保全對象及既有工程設施

保全對象說明	建物	住戶	☒ 無 ☐ 1~4 戶 ☐ 5 戶以上
		公共建築	☒ 無 ☐ 學校 ☐ 醫院 ☐ 活動中心
	交通設施	☐ 無 ☐ 橋梁	【 】 ☒ 道路(含鐵路) 【投縣 49 號】
	其他重要保全對象		對象描述：電線桿
保全對象住戶地址	☒ 無 ☐ 有 _____		
鄰近保全對象之工程設施(複選)	☐ 無整治設施 ☒ 護坡工程 ☐ 排水工程 ☐ 植生 ☐ 其他 _____		狀況： ☒ 正常 ☐ 破壞
現地整治成效評估	☐ 暫不須整治 ☒ 良好 ☐ 尚可 ☐ 待改進		

五、照片及狀況說明



照片 1 崩塌底下即為主要聯絡道路，以及電線桿。

坐標 X: 224718.43 Y: 2619505.96

方位角: 77 度



照片 2 崩塌及堆積區現況，坡面上已長滿植生。

坐標 X: 224710.44 Y: 2619501.73

方位角: 21 度



照片 3 邊坡旁有疑似逆向坡發生落石，坡面上有噴漿護坡。

坐標 X: 224814.48 Y: 2619504.51

方位角: 344 度



照片 4 邊坡的整體空拍照，可看出道路旁的下邊坡也有舊崩塌地痕跡。

坐標 X: 224748.64 Y: 2619121.36

方位角: 350 度

(二)崩塌編號：投縣 DF132-SL108

淺層崩塌投縣 DF132-SL108，其形心坐標為(224868 ,2619159)，位於南投縣竹山鎮大鞍里。崩塌發生的地層為桂竹林層大窩砂岩段，其岩體性質為泥質砂岩，砂岩及頁岩互層，崩塌附近並無地質構造。

崩塌發生於土石流潛勢溪流投縣 DF132 上游，潛在敏感區位為崩積土，目前坡面上植被茂密，已長滿雜草。崩塌發生在邊坡靠近山脊處，其邊坡坡向約 141 度，坡度約為 42 度，崩塌滑移方向為約 141 度，經由 GIS 判釋邊坡坡型為平直型。崩塌坡趾距離河道約 75 公尺，而崩塌材料為崩積土，推估其表土厚度為 0.5~1 公尺，邊坡上最大的岩石粒徑約為 0.5 公尺。

崩塌形式為淺層崩塌，其長度約為 78 公尺，寬度約 28 公尺，高程差約有 71 公尺，目前坡面上並無滲流。在 2 倍坡高距離內保全對象為主要聯絡道路投縣 49 號以及電線桿。

在進行淺層崩塌投縣 DF132-SL108 的現地調查以及空拍照發現，原本圈繪範圍過小，重新圈繪後如圖中橘色虛線所示。目前邊坡底下有護坡工程，而目前工程狀況良好，邊坡並無明顯移動現象。

投縣 DF132-SL108 淺層崩塌現地調查表

一、崩塌地基本資料(預填)

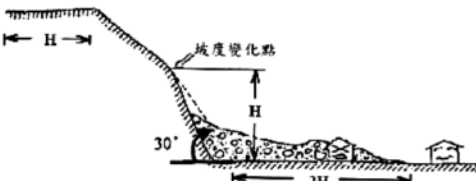
現勘日期	109 年 07 月 15 日 11 時		天氣	陰
調查單位/人員	臺灣大學 / 林美聆、陳彥澄、陳德偉、吳昕孺、邱勝煜			
調查記錄編號		崩塌地編號	投縣 DF132-SL108	
土石流潛勢溪流編號	投縣 DF132	集水區名稱	加走寮溪	
歷史災害	____年____月，____颱風/豪雨			
行政區域	南投縣(市) 竹山鄉鎮區 大鞍村(里)			
地點	臺(省道)/縣道 49 號	里程	k	地標
GPS 記錄代號		GPS 記錄坐標(TWD97)	X: 224868.473 Y: 2619159.20	
與其他測點關係描述				
岩體性質	泥質砂岩，砂岩及頁岩互層	構造	■無□有 _____ 距離崩塌 _____ m	

二、坡地環境

邊坡位置	☐ 河岸階地 ☒ 集水區上游河階 ☐ 集水區中游河階 ☐ 集水區下游河階
潛在敏感區位	☐ 陡坡 ☐ 舊山崩 ☐ 斷層(預判) ☒ 崩積土 ☐ 河岸侵蝕
植被覆蓋程度	☐ 裸岩 ☐ 植被稀疏(10%<植被面積<30%) ☐ 植被中等稀疏(30%<植被面積<80%) ☒ 植被密集(植被面積>80%)

三、崩塌地地文特徵

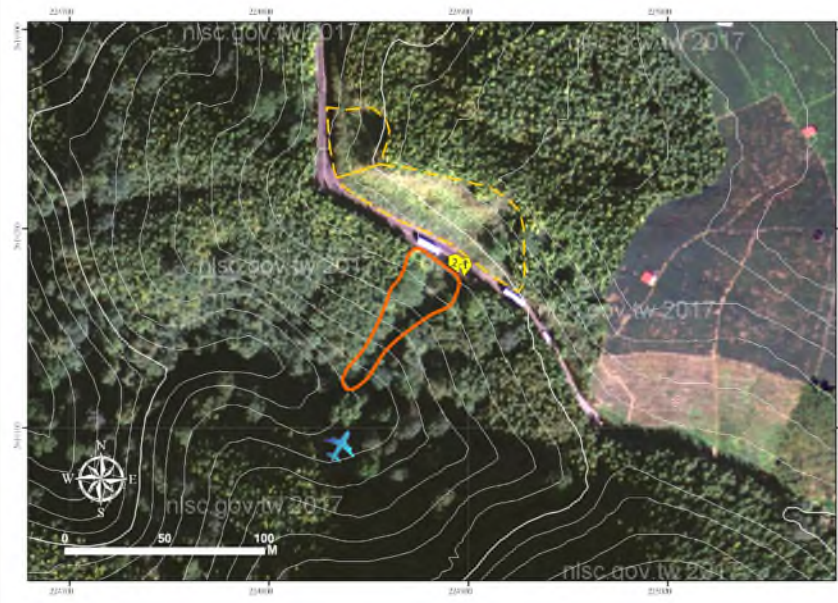
地形地貌與邊坡材料	崩塌區位	☐ 全邊坡 ☒ 山脊 ☐ 山腹 ☐ 坡腳 ☐ 溪流側岸/蝕溝側										
	坡向/坡度	N <u>141</u> 度 / <u>42</u> 度										
	崩塌滑移方向	N <u>141</u> 度										
	坡型(預判)	<table border="1"> <tr> <td> 凸脊形 Convex ridge</td> <td> 凸直形 Convex slope</td> <td> 凸谷形 Convex valley</td> </tr> <tr> <td> 直脊形 Straight ridge</td> <td> 平直形 Straight slope</td> <td> 直谷形 Straight valley</td> </tr> <tr> <td> 凹脊形 Concave ridge</td> <td> 凹直形 Concave slope</td> <td> 凹谷形 Concave valley</td> </tr> </table> ☐凸脊型 ☐凸直型 ☐凸谷型 ☐直脊型 ☒平直型 ☐直谷型 ☐凹脊型 ☐凹直型 ☐凹谷型		 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley
	 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley									
	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley									
	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley									
坡趾距河(海)岸水平距離	<u>56</u> 公尺											
材料類型	☐ 風化土 ☒ 崩積土 ☐ 岩屑 ☐ 河階堆積											
表土厚度	☐ <0.5m ☒ 0.5~1m ☐ 1~2m ☐ 2~4m ☐ >4m											
最大岩塊粒徑	<u>0.5</u> m											

崩塌類型(複選)	☐ 落石、土壤掉落 ☒ 淺層崩滑(岩屑、風化土) ☐ 深層滑動(坡體) ☐ 沖蝕 ☐ 其他 _____	
崩塌區幾何形狀	長度 <u>78</u> m、寬度 <u>28</u> m、高程差 <u>71</u> m 深度 _____ m(選填)	
坡面殘留材料	☒ 無 ☐ 有，長度 _____ m、寬度 _____ m、深度 _____ m	
堆積區狀況	推估上緣點位坐標：X _____ Y _____ Runout 距離： _____ m、寬度： _____ m、 厚度：最大 _____ m 平均： _____ m 堆積形狀： _____	
崩塌至保全對象相對位置		☒ 小於 2H 有保全對象 ☐ 小於 2H 無保全對象
崩塌地水文狀況	☒ 無滲流 ☐ 局部滲流 ☐ 大量滲流 ☐ 地表逕流匯集	

四、保全對象及既有工程設施

保全對象說明	建物	住戶	☒ 無 ☐ 1~4 戶 ☐ 5 戶以上
		公共建築	☒ 無 ☐ 學校 ☐ 醫院 ☐ 活動中心
	交通設施	☐ 無 ☐ 橋梁【 】 ☒ 道路(含鐵路)【縣道 49 號】	
	其他重要保全對象	對象描述： <u>電線桿</u>	
保全對象住戶地址	☒ 無 ☐ 有 _____		
鄰近保全對象之工程設施(複選)	☐ 無整治設施 ☒ 護坡工程 ☐ 排水工程 ☐ 植生 ☐ 其他 _____		狀況： ☒ 正常 ☐ 破壞
現地整治成效評估	☐ 暫不須整治 ☒ 良好 ☐ 尚可 ☐ 待改進		

五、 照片及狀況說明

	
 照片 1 邊坡上已長滿雜草，可明確看出植被的分界線。 坐標 X: 224897.55 Y: 2619181.73 方位角: 77 度	 照片 1 崩塌底下有擋土牆，亦有主要聯絡道路以及電線桿。 坐標 X: 224882.26 Y: 2619187.48 方位角: 74 度
 照片 1 邊坡的整體空拍照，可看出道路旁的上邊坡也有舊崩塌地痕跡。 坐標 X: 224836.28 Y: 2619092.63 方位角: 26 度	

(三)崩塌編號：投縣 DF132-SL115

淺層崩塌投縣 DF132-SL115，其形心坐標為(226448.21,2617077)，位於南投縣竹山鎮大鞍里。崩塌發生的地層為桂竹林層大窩砂岩段，其岩體性質為泥質砂岩，砂岩及頁岩互層，崩塌附近並無地質構造。

崩塌發生於土石流潛勢溪流投縣 DF132 上游，潛在敏感區位為崩積土，目前坡面上植被茂密，已長滿雜草。崩塌發生在邊坡靠近山脊處，其邊坡坡向約 177 度，坡度約為 42 度，崩塌滑移方向為約 177 度，經由 GIS 判釋邊坡坡型為平直型。崩塌坡趾距離河道約 261 公尺，而崩塌材料為崩積土，推估其表土厚度為 0.5~1 公尺，邊坡上最大的岩石粒徑約為 0.3 公尺。

崩塌形式為淺層崩塌，其長度約為 75 公尺，寬度約 35 公尺，高程差約有 68 公尺。坡面上仍有殘留材料，其長度約 29 公尺，寬度 26 公尺，判斷其深度約 0.7 公尺，而堆積區最上緣坐標約為(226454.73,2617073.95)，目前坡面上並無滲流。在 2 倍坡高距離內保全對象有一住戶以及投縣 49 號。

在進行淺層崩塌投縣 DF132-SL115 的現地調查以及空拍照發現，原本圈繪範圍過小，並且有另外 3 處崩塌未圈繪出來，重新圈繪後如圖中橘色虛線所示。目前邊坡底下有護坡工程，而目前工程狀況良好，邊坡並無明顯移動現象。

投縣 DF132-SL115 淺層崩塌現地調查表

一、崩塌地基本資料(預填)

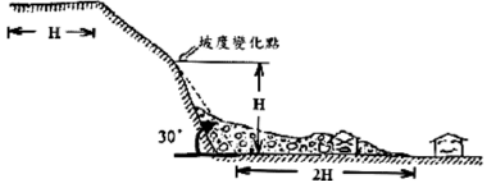
現勘日期	109 年 07 月 15 日 13 時		天氣	陰
調查單位/人員	臺灣大學 / 林美聆、陳彥澄、陳德偉、吳昕孺、邱勝煜			
調查記錄編號		崩塌地編號	投縣 DF132-SL115	
土石流潛勢溪流編號	投縣 DF132	集水區名稱	加走寮溪	
歷史災害	____年____月，____颱風/豪雨			
行政區域	南投縣(市) 竹山鄉鎮區 大鞍村(里)			
地點	臺(省道)/縣道 49 號 里程 k		地標	
GPS 記錄代號		GPS 記錄坐標(TWD97)	X: 226448.21 Y: 2617077.07	
與其他測點關係描述				
岩體性質	泥質砂岩，砂岩及頁岩互層	構造	■無□有 _____ 距離崩塌 ____ m	

二、坡地環境

邊坡位置	☐ 河岸階地 ☒ 集水區上游河階 ☐ 集水區中游河階 ☐ 集水區下游河階
潛在敏感區位	☐ 陡坡 ☐ 舊山崩 ☐ 斷層(預判) ☒ 崩積土 ☐ 河岸侵蝕
植被覆蓋程度	☐ 裸岩 ☐ 植被稀疏(10%<植被面積<30%) ☐ 植被中等稀疏(30%<植被面積<80%) ☒ 植被密集(植被面積>80%)

三、崩塌地地文特徵

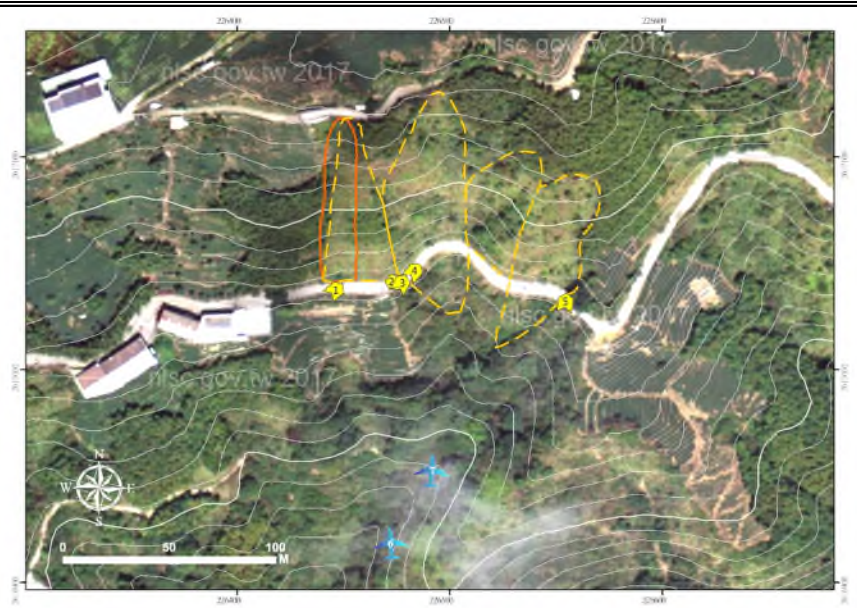
地形地貌與邊坡材料	崩塌區位	☒ 全邊坡 ☐ 山脊 ☐ 山腹 ☐ 坡腳 ☐ 溪流側岸/蝕溝側										
	坡向/坡度	N 177 度 / 42 度										
	崩塌滑移方向	N 177 度										
	坡型(預判)	<table border="1"> <tr> <td> 凸脊形 Convex ridge</td> <td> 凸直形 Convex slope</td> <td> 凸谷形 Convex valley</td> </tr> <tr> <td> 直脊形 Straight ridge</td> <td> 平直形 Straight slope</td> <td> 直谷形 Straight valley</td> </tr> <tr> <td> 凹脊形 Concave ridge</td> <td> 凹直形 Concave slope</td> <td> 凹谷形 Concave valley</td> </tr> </table>		 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley
	 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley									
	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley									
	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley									
坡趾距河(海)岸 水平距離	261 公尺											
材料類型	☐ 風化土 ☒ 崩積土 ☐ 岩屑 ☐ 河階堆積											
表土厚度	☐ <0.5m ☒ 0.5~1m ☐ 1~2m ☐ 2~4m ☐ >4m											
最大岩塊粒徑	0.3 m											

崩塌類型(複選)	☐ 落石、土壤掉落 ☒ 淺層崩滑(岩屑、風化土) ☐ 深層滑動(坡體) ☐ 沖蝕 ☐ 其他 _____	
崩塌區幾何形狀	長度 <u>75</u> m、寬度 <u>35</u> m、高程差 <u>68</u> m 深度 _____ m(選填)	
坡面殘留材料	☐ 無 ☒ 有，長度 <u>29</u> m、寬度 <u>26</u> m、深度 <u>0.7</u> m	
堆積區狀況	推估上緣點位坐標：X <u>226454.73</u> Y <u>2617073.95</u> Runout 距離：_____ m、寬度：_____ m、 厚度：最大 _____ m 平均：_____ m 堆積形狀： <u>扇形</u>	
崩塌至保全對象相對位置		☒ 小於 2H 有保全對象 ☐ 小於 2H 無保全對象
崩塌地水文狀況	☒ 無滲流 ☐ 局部滲流 ☐ 大量滲流 ☐ 地表逕流匯集	

四、保全對象及既有工程設施

保全對象說明	建物	住戶	☐ 無 ☒ 1~4 戶 ☐ 5 戶以上
		公共建築	☒ 無 ☐ 學校 ☐ 醫院 ☐ 活動中心
	交通設施	☐ 無 ☐ 橋梁	【 】 ☒ 道路(含鐵路) 【投縣 49 號】
	其他重要保全對象		對象描述：_____
保全對象住戶地址	☐ 無 ☒ 有 <u>南投縣竹山鎮杉林溪大鞍里安山路 70-1 號</u>		
鄰近保全對象之工程設施(複選)	☐ 無整治設施 ☒ 護坡工程 ☐ 排水工程 ☐ 植生 ☐ 其他 _____		狀況： ☒ 正常 ☐ 破壞
現地整治成效評估	☐ 暫不須整治 ☒ 良好 ☐ 尚可 ☐ 待改進		

五、 照片及狀況說明

	
 照片 1 坡面上已長滿雜草，邊坡底下即為主要聯絡道路以及電線桿。 坐標 X: 226446.12 Y: 2617037.18 方位角: 49 度	 照片 2 邊坡旁即為保全對象(藍色圓框處)。 坐標 X: 226474.17 Y: 2617041.01 方位角: 273 度
 照片 3 新圈繪的崩塌底下即為聯絡道路(投縣 49 號)。 坐標 X: 226477.40 Y: 2617040.45 方位角: 28 度	 照片 4 坡面上已長滿植被。 坐標 X: 226483.19 Y: 2617045.98 方位角: 40 度



照片 5 坡面上已長滿植被。

坐標 X: 228346.90 Y: 2616571.70

方位角: 117 度



照片 6 原圈繪崩塌的空拍照，可看出保全對象緊鄰崩塌。

坐標 X: 226470.62 Y: 2616918.13

方位角: 357 度



照片 7 到現地後發現的淺層崩塌發生處，可明顯看出植被不連續處，應為舊崩塌。

坐標 X: 226493.38 Y: 2616954.80

方位角: 3 度

(四)崩塌編號：投縣 DF132-SL119

淺層崩塌投縣 DF132-SL119，其形心坐標為(228376, 2616594)，位於南投縣竹山鎮大鞍里。崩塌發生的地層為桂竹林層關刀山砂岩段，其岩體性質為泥質砂岩夾頁岩，崩塌附近並無地質構造。

崩塌發生於土石流潛勢溪流投縣 DF132 上游，潛在敏感區位為崩積土，目前坡面上植被茂密，已長滿雜草。崩塌發生在邊坡靠近山脊處，其邊坡坡向約 115 度，坡度約為 38 度，崩塌滑移方向為約 115 度，經由 GIS 判釋邊坡坡型為平直型。崩塌坡趾距離河道約 40 公尺，而崩塌材料為崩積土，推估其表土厚度為 0.5~1 公尺，邊坡上最大的岩石粒徑約為 0.3 公尺。

崩塌形式為淺層崩塌，其長度約為 32 公尺，寬度約 26 公尺，高程差約有 25 公尺，目前坡面上並無滲流。在 2 倍坡高距離內保全對象有一住戶以及主要聯外道路投縣 95 號。

淺層崩塌投縣 DF132-SL119 目前並無防治工程，坡面上植被茂盛且並無滑動現象，但仍需注意邊坡狀態。

投縣 DF132-SL119 淺層崩塌現地調查表

一、崩塌地基本資料(預填)

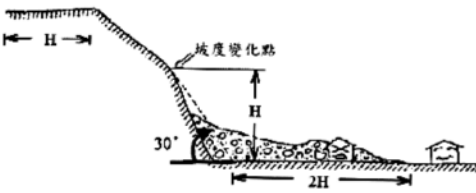
現勘日期	109 年 07 月 15 日 10 時	天氣	陰
調查單位/人員	臺灣大學/林美聆、陳彥澄、陳德偉、吳昕孺、邱勝煜		
調查記錄編號		崩塌地編號	投縣 DF132-SL119
土石流潛勢溪流編號	投縣 DF132	集水區名稱	加走寮溪
歷史災害	____年____月，____颱風/豪雨		
行政區域	南投縣(市) 竹山鄉鎮區 大鞍村(里)		
地點	臺(省道)/縣道 95 號 里程 k		
GPS 記錄代號		GPS 記錄坐標(TWD97)	X: 228376.40 Y: 2616594.14
與其他測點關係描述			
岩體性質	泥質砂岩夾頁岩	構造	■無□有 _____ 距離崩塌 _____ m

二、坡地環境

邊坡位置	☐ 河岸階地 ☒ 集水區上游河階 ☐ 集水區中游河階 ☐ 集水區下游河階
潛在敏感區位	☐ 陡坡 ☐ 舊山崩 ☐ 斷層(預判) ☒ 崩積土 ☐ 河岸侵蝕
植被覆蓋程度	☐ 裸岩 ☐ 植被稀疏(10%<植被面積<30%) ☐ 植被中等稀疏(30%<植被面積<80%) ☒ 植被密集(植被面積>80%)

三、崩塌地地文特徵

地形地貌與邊坡材料	崩塌區位	☐ 全邊坡 ☒ 山脊 ☐ 山腹 ☐ 坡腳 ☐ 溪流側岸/蝕溝側										
	坡向/坡度	N 115 度 / 38 度										
	崩塌滑移方向	N 115 度										
	坡型(預判)	<table border="1"> <tr> <td> 凸脊形 Convex ridge</td> <td> 凸直形 Convex slope</td> <td> 凸谷形 Convex valley</td> </tr> <tr> <td> 直脊形 Straight ridge</td> <td> 平直形 Straight slope</td> <td> 直谷形 Straight valley</td> </tr> <tr> <td> 凹脊形 Concave ridge</td> <td> 凹直形 Concave slope</td> <td> 凹谷形 Concave valley</td> </tr> </table> ☐凸脊型 ☐凸直型 ☐凸谷型 ☐直脊型 ☒平直型 ☐直谷型 ☐凹脊型 ☐凹直型 ☐凹谷型		 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley
	 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley									
	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley									
	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley									
坡趾距河(海)岸 水平距離	40 公尺											
材料類型	☐ 風化土 ☒ 崩積土 ☐ 岩屑 ☐ 河階堆積											
表土厚度	■<0.5m ☐ 0.5~1m ☐ 1~2m ☐ 2~4m ☐ >4m											
最大岩塊粒徑	0.3 m											

崩塌類型(複選)	☐ 落石、土壤掉落 ☒ 淺層崩滑(岩屑、風化土) ☐ 深層滑動(坡體) ☐ 沖蝕 ☐ 其他 _____	
崩塌區幾何形狀	長度 <u>32</u> m、寬度 <u>26</u> m、高程差 <u>25</u> m 深度 _____ m(選填)	
坡面殘留材料	☒ 無 ☐ 有，長度 _____ m、寬度 _____ m、深度 _____ m	
堆積區狀況	推估上緣點位坐標：X _____ Y _____ Runout 距離： _____ m、寬度： _____ m、 厚度：最大 _____ m 平均： _____ m 堆積形狀： _____	
崩塌至保全對象相對位置		☒ 小於 2H 有保全對象 ☐ 小於 2H 無保全對象
崩塌地水文狀況	☒ 無滲流 ☐ 局部滲流 ☐ 大量滲流 ☐ 地表逕流匯集	

四、保全對象及既有工程設施

保全對象說明	建物	住戶	☐ 無 ☒ 1~4 戶 ☐ 5 戶以上
		公共建築	☒ 無 ☐ 學校 ☐ 醫院 ☐ 活動中心
	交通設施	☐ 無 ☐ 橋梁	【 】 ☒ 道路(含鐵路) 【投縣 95 號】
	其他重要保全對象		對象描述： _____
保全對象住戶地址	☐ 無 ☒ 有 <u>南投縣竹山鎮溪山路 1-8 號</u>		
鄰近保全對象之工程設施(複選)	☒ 無整治設施 ☐ 護坡工程 ☐ 排水工程 ☐ 植生 ☐ 其他 _____		狀況： ☐ 正常 ☐ 破壞
現地整治成效評估	☒ 暫不須整治 ☐ 良好 ☐ 尚可 ☐ 待改進		

五、 照片及狀況說明

	
 照片 1 崩塌底下即為主要聯絡道路以及保全對象。 坐標 X: 228341.66 Y: 2616592.19 方位角: 128 度	 照片 2 邊坡坡面已長滿雜草。 坐標 X: 228351.50 Y: 2616579.81 方位角: 67 度

(五)崩塌編號：投縣 DF193-SL120

淺層崩塌投縣 DF193-SL120，其形心坐標為(235421, 2613631)，位於南投縣信義鄉新鄉村。崩塌發生的地層為南庄層，其岩體性質為砂岩及頁岩互層組成，崩塌附近並無地質構造。

崩塌發生於土石流潛勢溪流投縣 DF193 中上游，潛在敏感區位為崩積土，目前坡面上植被茂密，僅有少數雜草。崩塌發生在邊坡的山腹處，其邊坡坡向約 170 度，坡度約為 30 度，崩塌滑移方向為約 170 度，經由 GIS 判釋邊坡坡型為平直型。崩塌坡趾距離河道約 50 公尺，而崩塌材料為岩屑，推估其表土厚度為 0.5~1 公尺，邊坡上最大的岩石粒徑約為 0.3 公尺。

崩塌形式為淺層崩塌，其長度約為 102 公尺，寬度約 32 公尺，高程差約有 60 公尺。坡面上仍有殘留材料，其長度約 68 公尺，寬度 42 公尺，判斷其深度約 1 公尺，而堆積區最上緣坐標約為(235451.17, 2613637.36)，目前坡面上並無滲流。在 2 倍坡高距離內保全對象為羅溪橋以及信筆巷。

淺層崩塌 DF193-SL120 底端緊鄰羅溪橋，崩塌頂端有信筆巷通過，而邊坡坡面上植被茂盛，目前並無滑動現象，但仍需注意。

投縣 DF192-SL120 淺層崩塌現地調查表

一、崩塌地基本資料(預填)

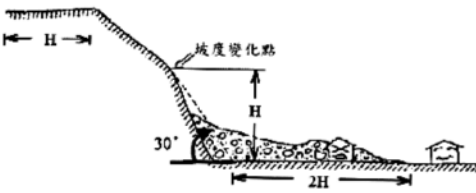
現勘日期	109 年 07 月 15 日 16 時	天氣	陰
調查單位/人員	臺灣大學/林美聆、陳彥澄、陳德偉、吳昕孺、邱勝煜		
調查記錄編號		崩塌地編號	投縣 DF192-SL120
土石流潛勢溪流編號	投縣 DF192	集水區名稱	筆石溪
歷史災害	____年____月，____颱風/豪雨		
行政區域	南投縣(市) 信義鄉鎮區 新鄉村(里)		
地點	臺(省道)/縣道 號 里程 k	地標	
GPS 記錄代號		GPS 記錄坐標(TWD97)	X: 235421.44 Y: 2613631.01
與其他測點關係描述			
岩體性質	砂岩及頁岩互層	構造	■無□有_____ 距離崩塌____m

二、坡地環境

邊坡位置	☐ 河岸階地 ☐ 集水區上游河階 ☒ 集水區中游河階 ☐ 集水區下游河階
潛在敏感區位	☐ 陡坡 ☐ 舊山崩 ☐ 斷層(預判) ☒ 崩積土 ☐ 河岸侵蝕
植被覆蓋程度	☐ 裸岩 ☐ 植被稀疏(10%<植被面積<30%) ☐ 植被中等稀疏(30%<植被面積<80%) ☒ 植被密集(植被面積>80%)

三、崩塌地地文特徵

地形地貌與邊坡材料	崩塌區位	☐ 全邊坡 ☐ 山脊 ☒ 山腹 ☐ 坡腳 ☐ 溪流側岸/蝕溝側										
	坡向/坡度	N 170 度 / 30 度										
	崩塌滑移方向	N 170 度										
	坡型(預判)	<table border="1"> <tr> <td> 凸脊形 Convex ridge</td> <td> 凸直形 Convex slope</td> <td> 凸谷形 Convex valley</td> </tr> <tr> <td> 直脊形 Straight ridge</td> <td> 平直形 Straight slope</td> <td> 直谷形 Straight valley</td> </tr> <tr> <td> 凹脊形 Concave ridge</td> <td> 凹直形 Concave slope</td> <td> 凹谷形 Concave valley</td> </tr> </table> ☐凸脊型 ☐凸直型 ☐凸谷型 ☐直脊型 ☒平直型 ☐直谷型 ☐凹脊型 ☐凹直型 ☐凹谷型		 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley
	 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley									
	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley									
	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley									
坡趾距河(海)岸 水平距離	50 公尺											
材料類型	☐ 風化土 ☐ 崩積土 ☒ 岩屑 ☐ 河階堆積											
表土厚度	☐ <0.5m ☒ 0.5~1m ☐ 1~2m ☐ 2~4m ☐ >4m											
最大岩塊粒徑	0.3 m											

崩塌類型(複選)	☐ 落石、土壤掉落 ☒ 淺層崩滑(岩屑、風化土) ☐ 深層滑動(坡體) ☐ 沖蝕 ☐ 其他 _____	
崩塌區幾何形狀	長度 <u>102</u> m、寬度 <u>32</u> m、高程差 <u>60</u> m 深度 _____ m(選填)	
坡面殘留材料	☐ 無 ☒ 有，長度 <u>68</u> m、寬度 <u>42</u> m、深度 <u>1</u> m	
堆積區狀況	推估上緣點位坐標：X <u>235451.17</u> Y <u>2613637.36</u> Runout 距離：_____ m、寬度：_____ m、 厚度：最大 _____ m 平均：_____ m 堆積形狀： <u>舌狀</u>	
崩塌至保全對象相對位置		☒ 小於 2H 有保全對象 ☐ 小於 2H 無保全對象
崩塌地水文狀況	☒ 無滲流 ☐ 局部滲流 ☐ 大量滲流 ☐ 地表逕流匯集	

四、保全對象及既有工程設施

保全對象說明	建物	住戶	☒ 無 ☐ 1~4 戶 ☐ 5 戶以上
		公共建築	☒ 無 ☐ 學校 ☐ 醫院 ☐ 活動中心
	交通設施	☐ 無 ☒ 橋梁【羅溪橋】 ☒ 道路(含鐵路)【信筆巷】	
	其他重要保全對象	對象描述：_____	
保全對象住戶地址	☒ 無 ☐ 有 _____		
鄰近保全對象之工程設施(複選)	☒ 無整治設施 ☐ 護坡工程 ☐ 排水工程 ☐ 植生 ☐ 其他 _____		狀況： ☐ 正常 ☐ 破壞
現地整治成效評估	☒ 暫不須整治 ☐ 良好 ☐ 尚可 ☐ 待改進		

五、 照片及狀況說明

	
 照片 1 坡面已長滿植被。 坐標 X: 235452.50 Y: 2613539.79 方位角: 96 度	 照片 2 崩塌緊鄰羅溪橋。 坐標 X: 235454.02 Y: 2613532.77 方位角: 95 度
 照片 3 崩塌上端有信筆巷通過。 坐標 X: 235443.32 Y: 2613547.73 方位角: 108 度	 照片 4 崩塌的空拍照，可明顯看出崩塌底下緊鄰羅溪橋，崩塌頂端有信筆巷通過。 坐標 X: 235452.22 Y: 2613628.37 方位角: 60 度

(六)崩塌編號：南市 DF004-SL001

淺層崩塌南市 DF004-SL001，其形心坐標為(195097.25 Y: 2581107.55)，位於台南市白水區大林里。崩塌發生的地層為鳥嘴層，其岩體性質為泥岩及砂質頁岩，崩塌附近並無地質構造。

崩塌發生於土石流潛勢溪流南市 DF004 的下游河階，潛在敏感區位為崩積土，目前坡面上植被茂密，已長滿雜草。崩塌區位是全邊坡，其邊坡坡向約 115 度，坡度約為 39 度，崩塌滑移方向為約 115 度，經由 GIS 判釋邊坡坡型為凹谷形。崩塌發生在河道旁，而崩塌材料為崩積土，推估其表土厚度為 1~2 公尺。

崩塌形式為淺層崩塌，其長度約為 41 公尺，寬度約 21 公尺，高程差約有 33 公尺。坡面上仍有殘留材料，其長度約 28 公尺，寬度 16 公尺，目前坡面上並無滲流。在 2 倍坡高距離內有多戶保全對象，以及市道南 96-1。

淺層崩塌南市 DF004-SL001 發生在民宅後方，並無法直接觀察到邊坡狀況，經由現地調查、現地的陰影圖以及空拍照可推估其崩塌範圍更大。而崩塌底下有多戶民家，目前崩塌無防治工程但並無滑動跡象，但仍需持續觀察邊坡狀態。

南市 DF004-SL001 淺層崩塌現地調查表

一、崩塌地基本資料(預填)

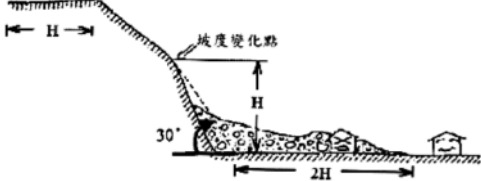
現勘日期	109 年 09 月 28 日 時	天氣	
調查單位/人員			
調查記錄編號		崩塌地編號	南市 DF004-SL001
土石流潛勢溪流編號	南市 DF004	集水區名稱	坑內
歷史災害	____年____月, _____ 颱風/豪雨		
行政區域	台南 縣(市) 白水 鄉鎮區 大林 村(里)		
地點	臺(省道)/市道 96-1 號	里程	k 地標
GPS 記錄代號		GPS 記錄坐標(TWD97)	X: 195097.25 Y: 2581107.55
與其他測點關係描述			
岩體性質	泥岩及砂質頁岩	構造	■無□有_____ 距離崩塌____m

二、坡地環境

邊坡位置	☐ 河岸階地 ☐ 集水區上游河階 ☐ 集水區中游河階 ☒ 集水區下游河階
潛在敏感區位	☐ 陡坡 ☐ 舊山崩 ☐ 斷層(預判) ☒ 崩積土 ☐ 河岸侵蝕
植被覆蓋程度	☐ 裸岩 ☐ 植被稀疏(10%<植被面積<30%) ☐ 植被中等稀疏(30%<植被面積<80%) ☒ 植被密集(植被面積>80%)

三、崩塌地地文特徵

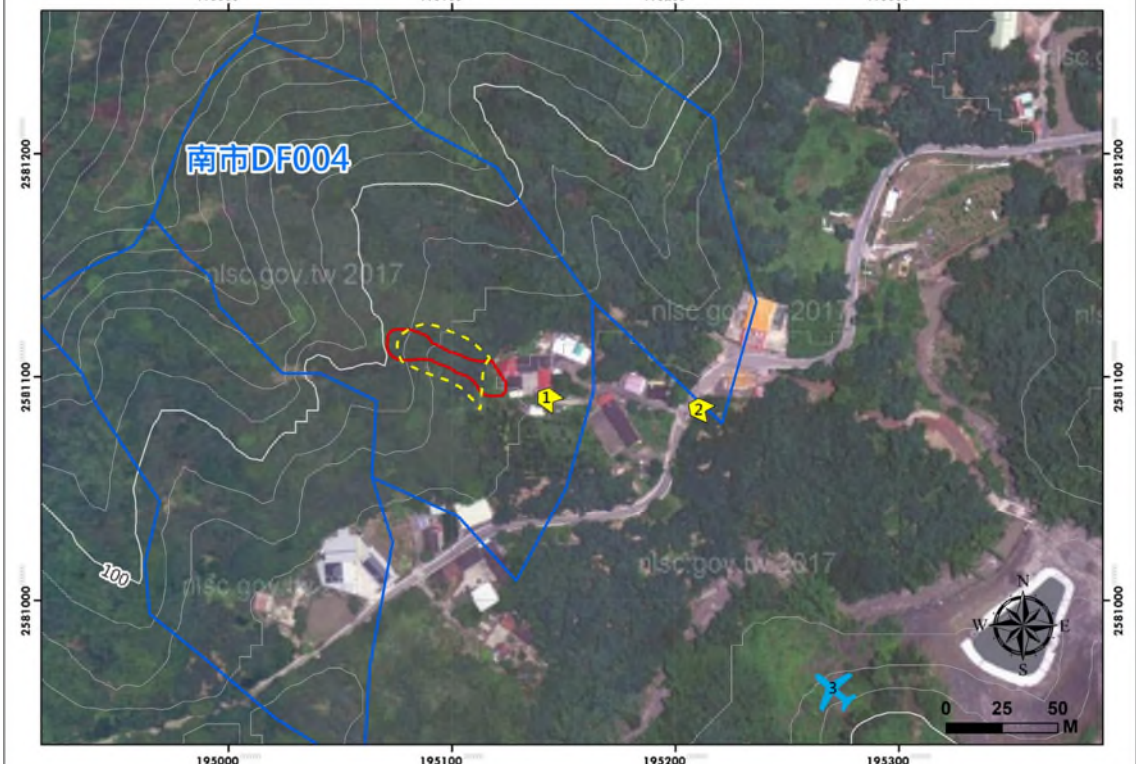
地形 形貌 與 邊坡 材料	崩塌區位	☒ 全邊坡 ☐ 山脊 ☐ 山腹 ☐ 坡腳 ☐ 溪流側岸/蝕溝側											
	坡向/坡度	N 115 度 / 39 度											
	崩塌滑移方向	N 115 度											
	坡型(預判)	<table border="1"> <tr> <td> 凸脊形 Convex ridge</td> <td> 凸直形 Convex slope</td> <td> 凸谷形 Convex valley</td> </tr> <tr> <td> 直脊形 Straight ridge</td> <td> 平直形 Straight slope</td> <td> 直谷形 Straight valley</td> </tr> <tr> <td> 凹脊形 Concave ridge</td> <td> 凹直形 Concave slope</td> <td> 凹谷形 Concave valley</td> </tr> </table>			 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley
	 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley										
	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley										
 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley											
坡趾距河(海)岸 水平距離	0 公尺												
材料類型	☐ 風化土 ☒ 崩積土 ☐ 岩屑 ☐ 河階堆積												
表土厚度	☐ <0.5m ☐ 0.5~1m ☒ 1~2m ☐ 2~4m ☐ >4m												

	最大岩塊粒徑	_____m
崩塌類型(複選)	☐ 落石、土壤掉落 ☒ 淺層崩滑(岩屑、風化土) ☐ 深層滑動(坡體) ☐ 沖蝕 ☐ 其他 _____	
崩塌區幾何形狀	長度 <u>41</u> m、寬度 <u>21</u> m、高程差 <u>33</u> m 深度 _____m(選填)	
坡面殘留材料	☐ 無 ☒ 有，長度 <u>28</u> m、寬度 <u>16</u> m、深度 <u>1</u> m	
堆積區狀況	推估上緣點位坐標：X _____ Y _____ Runout 距離：_____m、寬度：_____m、 厚度：最大 _____m 平均：_____m 堆積形狀：_____	
崩塌至保全對象相對位置		☒ 小於 2H 有保全對象 ☐ 小於 2H 無保全對象
崩塌地水文狀況	☒ 無滲流 ☐ 局部滲流 ☐ 大量滲流 ☐ 地表逕流匯集	

四、保全對象及既有工程設施

保全對象說明	建物	住戶	☐ 無 ☒ 1~4 戶 ☐ 5 戶以上
		公共建築	☒ 無 ☐ 學校 ☐ 醫院 ☐ 活動中心
	交通設施	☐ 無 ☐ 橋梁	【 _____ 】 ☒ 道路(含鐵路) 【南 96-1】
	其他重要保全對象		對象描述：_____
保全對象住戶地址	☐ 無 ☒ 有 <u>台南市白河區杭內 16 號</u>		
鄰近保全對象之工程設施(複選)	☒ 無整治設施 ☐ 護坡工程 ☐ 排水工程 ☐ 植生 ☐ 其他 _____		狀況： ☐ 正常 ☐ 破壞
現地整治成效評估	☒ 暫不須整治 ☐ 良好 ☐ 尚可 ☐ 待改進		

五、 照片及狀況說明

	
 照片 1 坡面上長滿植被。 坐標 X: 195143.29 Y: 2581090.25 方位角: 109 度	 照片 2 崩塌下方有多戶保全對象。 坐標 X: 195210.94 Y: 2581085.57 方位角: 90 度
 照片 3 可由無人機照片看出崩塌底下有多戶保全對象。 坐標 X: 195270.64 Y: 2580960.39 方位角: 310 度	

(七)崩塌編號：南市 DF010-SL001

淺層崩塌南市 DF010-SL001，其淺層崩塌形心坐標為(199675.35,2581751.46)，位於台南市白水區關嶺里。崩塌發生的地層為鳥嘴層，其岩體性質為泥質砂岩、砂質頁岩及厚砂岩，崩塌西邊 180 公尺處有一處前大埔向斜。

崩塌發生於土石流潛勢溪流南市 DF010 上游河階，潛在敏感區位為崩積土，目前坡面上植被茂密，已長滿雜草。崩塌區位發生在山脊，其邊坡坡向約 293 度，坡度約為 28 度，崩塌滑移方向為約 312 度，經由 GIS 判釋邊坡坡型為凹谷形。崩塌距離河道甚近，而崩塌材料為崩積土，推估其表土厚度為 0.5~1 公尺，邊坡上最大的岩石粒徑約為 1 公尺。

崩塌形式為淺層崩塌，其長度約為 105 公尺，寬度約 55 公尺，高程差約有 55 公尺。坡面上仍有殘留材料，其長度約 105 公尺，寬度 55 公尺，判斷其深度約 1 公尺，目前道路旁的水溝有水流動，應該為崩塌的局部滲流。在 2 倍坡高距離內保全對象為主要聯絡道路崩山農路以及電線桿。

在進行淺層崩塌南市 DF010-SL001 的現地調查以及空拍照發現，邊坡頂端有植被變化處應為崩塌的崩崖處，崩塌下方邊坡疑似為崩塌滑動以及堆積區，因此崩塌範圍應更大，在崩塌底部有蛇籠保護坡腳(崩塌農路)，而邊坡底下有擋土牆保護(市道 175)，目前邊坡並無滑動跡象但仍需注意。

南市 DF010-SL001 淺層崩塌現地調查表

一、崩塌地基本資料(預填)

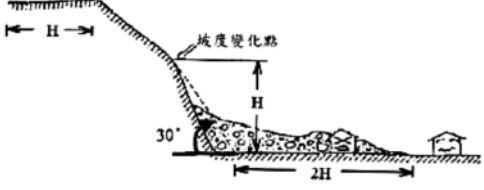
現勘日期	109 年 09 月 28 日 13 時		天氣	晴
調查單位/人員				
調查記錄編號		崩塌地編號	南市 DF010-SL001	
土石流潛勢溪流編號	南市 DF010	集水區名稱	溫泉坑	
歷史災害	____年____月，____颱風/豪雨			
行政區域	台南縣(市) 白水鄉鎮區 關嶺村(里)			
地點	崩山農路		地標	
GPS 記錄代號		GPS 記錄坐標(TWD97)	X: 199675.35 Y: 2581751.46	
與其他測點關係描述				
岩體性質	泥質砂岩、砂質頁岩及厚砂岩	構造	☐ 無 ☒ 有 前大埔向斜 距離崩塌 180 m	

二、坡地環境

邊坡位置	☐ 河岸階地 ☒ 集水區上游河階 ☐ 集水區中游河階 ☐ 集水區下游河階
潛在敏感區位	☐ 陡坡 ☐ 舊山崩 ☐ 斷層(預判) ☒ 崩積土 ☐ 河岸侵蝕
植被覆蓋程度	☐ 裸岩 ☐ 植被稀疏(10%<植被面積<30%) ☐ 植被中等稀疏(30%<植被面積<80%) ☒ 植被密集(植被面積>80%)

三、崩塌地地文特徵

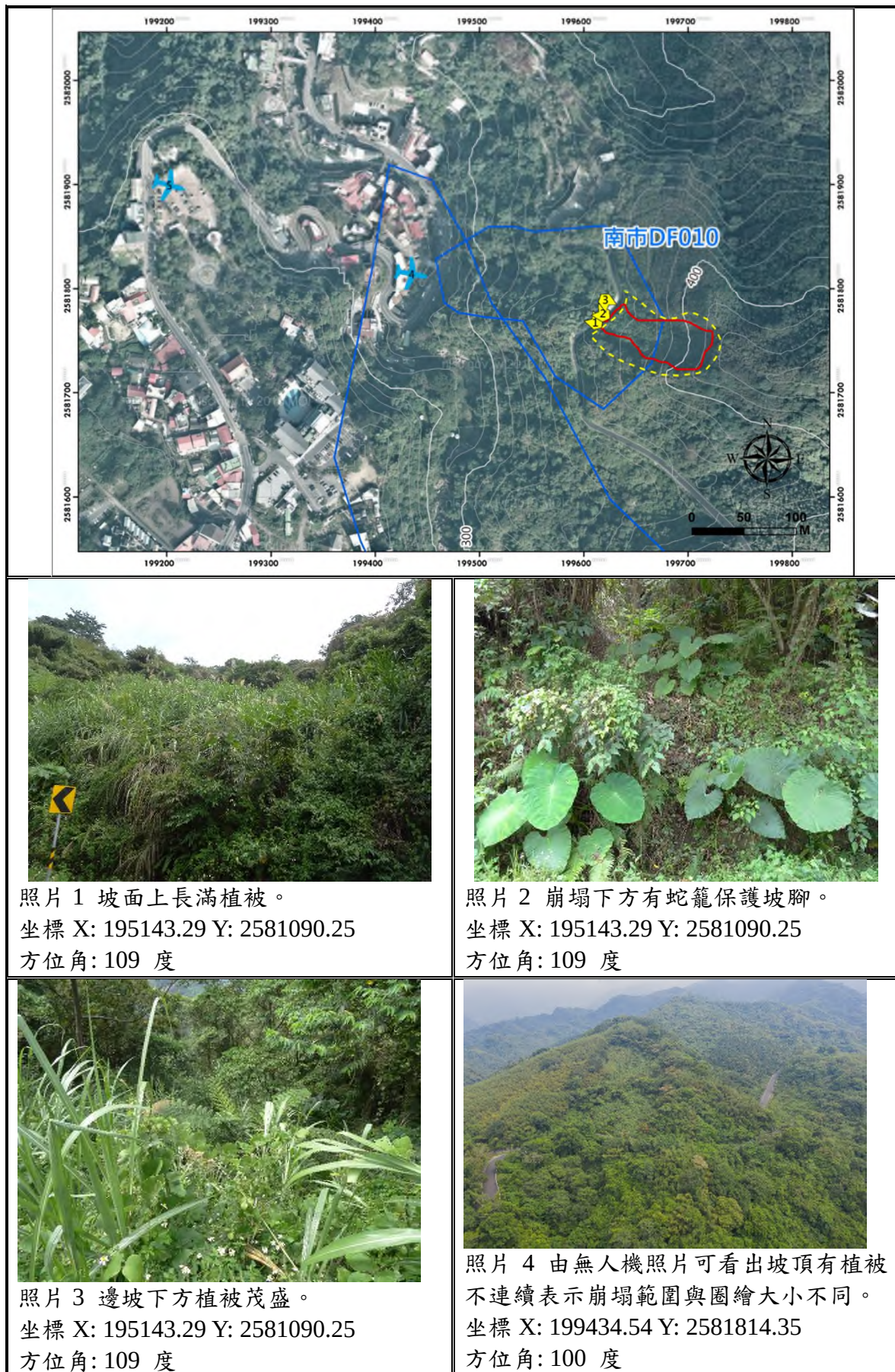
地形 形貌 與 邊坡 材料	崩塌區位	☐ 全邊坡 ☒ 山脊 ☐ 山腹 ☐ 坡腳 ☐ 溪流側岸/蝕溝側										
	坡向/坡度	N 293 度 / 28 度										
	崩塌滑移方向	N 312 度										
	坡型(預判)	<table border="1"> <tr> <td> 凸脊形 Convex ridge</td> <td> 凸直形 Convex slope</td> <td> 凸谷形 Convex valley</td> </tr> <tr> <td> 直脊形 Straight ridge</td> <td> 平直形 Straight slope</td> <td> 直谷形 Straight valley</td> </tr> <tr> <td> 凹脊形 Concave ridge</td> <td> 凹直形 Concave slope</td> <td> 凹谷形 Concave valley</td> </tr> </table>		 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley
	 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley									
	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley									
 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley										
坡趾距河(海)岸 水平距離	0 公尺											
材料類型	☐ 風化土 ☒ 崩積土 ☐ 岩屑 ☐ 河階堆積											
表土厚度	☐ <0.5m ☒ 0.5~1m ☐ 1~2m ☐ 2~4m ☐ >4m											

	最大岩塊粒徑	<u>1</u> m
崩塌類型(複選)	☐ 落石、土壤掉落 ☒ 淺層崩滑(岩屑、風化土) ☐ 深層滑動(坡體) ☐ 沖蝕 ☐ 其他 _____	
崩塌區幾何形狀	長度 <u>105</u> m、寬度 <u>55</u> m、高程差 <u>55</u> m 深度 _____ m(選填)	
坡面殘留材料	☐ 無 ☒ 有，長度 <u>87</u> m、寬度 <u>42</u> m、深度 <u>1</u> m	
堆積區狀況	推估上緣點位坐標：X _____ Y _____ Runout 距離：_____ m、寬度：_____ m、 厚度：最大 _____ m 平均：_____ m 堆積形狀：_____	
崩塌至保全對象相對位置		☒ 小於 2H 有保全對象 ☐ 小於 2H 無保全對象
崩塌地水文狀況	☐ 無滲流 ☒ 局部滲流 ☐ 大量滲流 ☐ 地表逕流匯集	

四、保全對象及既有工程設施

保全對象說明	建物	住戶	☒ 無 ☐ 1~4 戶 ☐ 5 戶以上
		公共建築	☒ 無 ☐ 學校 ☐ 醫院 ☐ 活動中心
	交通設施	☐ 無 ☐ 橋梁	【 _____ 】 ☒ 道路(含鐵路) 【崩山農路】
	其他重要保全對象	對象描述：_____ 電線桿	
保全對象住戶地址	☒ 無 ☐ 有 _____		
鄰近保全對象之工程設施(複選)	☐ 無整治設施 ☒ 護坡工程 ☐ 排水工程 ☐ 植生 ☐ 其他 _____		狀況： ☒ 正常 ☐ 破壞
現地整治成效評估	☐ 暫不須整治 ☒ 良好 ☐ 尚可 ☐ 待改進		

五、 照片及狀況說明





照片 5 由無人機照片可看出崩塌下方的植被有不連續並且地形有凸出，疑似為堆積區，並且坡腳處有擋土牆保護。

坐標 X: 199202.05 Y: 2581899.46

方位角: 106 度

(八)崩塌編號：南市 DF014-SL003

淺層崩塌編號南市 DF014-SL003，其淺層崩塌形心坐標為(200477.69, 2576220.64)，位於台南市東山區青山里。淺層崩塌發生的地層為階地堆積層，其岩體性質為砂、粉砂、泥及礫石，淺層崩塌西方 410 公尺處有崙後斷層為一處逆斷層。

崩塌發生於土石流潛勢溪流南市 DF014 中游，潛在敏感區位為崩積土，目前坡面上植被茂密，已長滿雜草。崩塌區位是山腹處，其邊坡坡向約 184 度，坡度約為 20 度，崩塌滑移方向為約 180 度，經由 GIS 判釋邊坡坡型為直脊形。崩塌位於河道旁，而崩塌材料為崩積土，推估其表土厚度為 1~2 公尺，邊坡上最大的岩石粒徑約為 1.5 公尺。

崩塌形式為淺層崩塌，其長度約為 45 公尺，寬度約 37 公尺，高程差約有 17 公尺。坡面上仍有殘留材料，其長度約 42 公尺，寬度 33 公尺，判斷其深度約 1 公尺，目前坡面上並無滲流。在 2 倍坡高距離內保全對象為主要聯絡道路市道 104-2 號、電線桿、農舍、燒窯以及一座廟宇。

淺層崩塌南市 DF014-SL003 經過現地調查後發現其坡向不同應分成不同區塊，再由空拍照以及陰影圖中可看出其崩塌範圍需要修正。目前坡面上留有許多土石堆積，而崩塌附近無防治工程保護，下邊坡有多數保全對象，邊坡上方亦有一處民宿，雖然目前崩塌並無滑動跡象但仍需注意。

南市 DF014-SL003 淺層崩塌現地調查表

一、崩塌地基本資料(預填)

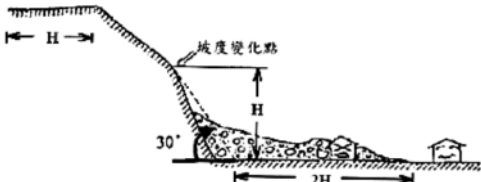
現勘日期	109 年 09 月 28 日 11 時		天氣	晴
調查單位/人員				
調查記錄編號		崩塌地編號	南市 DF014-SL003	
土石流潛勢溪流編號	南市 DF014	集水區名稱	水底寮	
歷史災害	____年____月，____颱風/豪雨			
行政區域	台南 縣(市) 東山 鄉鎮區 青山 村(里)			
地點	臺(省道)/市道 南 104-2 號 里程 k		地標	
GPS 記錄代號		GPS 記錄坐標(TWD97)	X: 200477.69 Y: 2576220.64	
與其他測點關係描述				
岩體性質	砂、粉砂、泥及礫石	構造	☐ 無 ☒ 有 崙後斷層 距離崩塌 410 m	

二、坡地環境

邊坡位置	☐ 河岸階地 ☐ 集水區上游河階 ☒ 集水區中游河階 ☐ 集水區下游河階
潛在敏感區位	☐ 陡坡 ☐ 舊山崩 ☐ 斷層(預判) ☒ 崩積土 ☐ 河岸侵蝕
植被覆蓋程度	☐ 裸岩 ☐ 植被稀疏(10%<植被面積<30%) ☐ 植被中等稀疏(30%<植被面積<80%) ☒ 植被密集(植被面積>80%)

三、崩塌地地文特徵

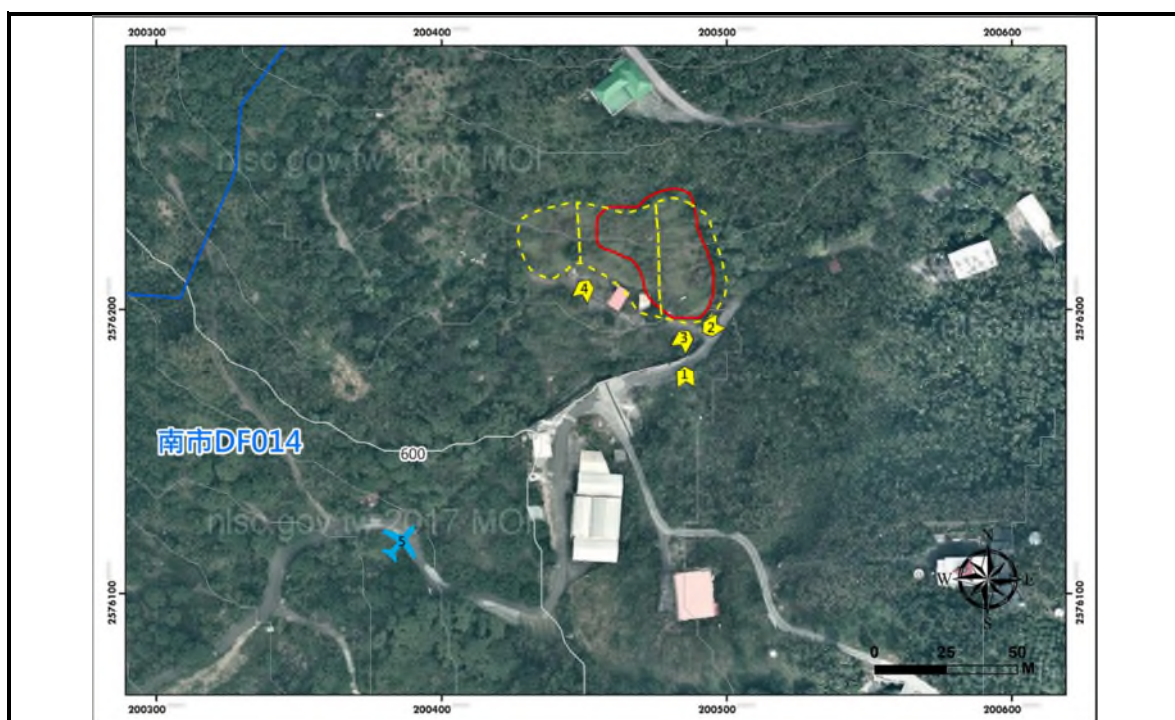
地形 形貌 與 邊坡 材料	崩塌區位	☐ 全邊坡 ☐ 山脊 ☒ 山腹 ☐ 坡腳 ☐ 溪流側岸/蝕溝側										
	坡向/坡度	N 184 度 / 20 度										
	崩塌滑移方向	N 180 度										
	坡型(預判)	<table border="1"> <tr> <td> 凸脊形 Convex ridge</td> <td> 凸直形 Convex slope</td> <td> 凸谷形 Convex valley</td> </tr> <tr> <td> 直脊形 Straight ridge</td> <td> 平直形 Straight slope</td> <td> 直谷形 Straight valley</td> </tr> <tr> <td> 凹脊形 Concave ridge</td> <td> 凹直形 Concave slope</td> <td> 凹谷形 Concave valley</td> </tr> </table>		 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley
	 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley									
	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley									
 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley										
坡趾距河(海)岸 水平距離	0 公尺											
材料類型	☐ 風化土 ☒ 崩積土 ☐ 岩屑 ☐ 河階堆積											
表土厚度	☐ <0.5m ☐ 0.5~1m ☒ 1~2m ☐ 2~4m ☐ >4m											

	最大岩塊粒徑	1.5 m
崩塌類型(複選)	☐ 落石、土壤掉落 ☒ 淺層崩滑(岩屑、風化土) ☐ 深層滑動(坡體) ☐ 沖蝕 ☐ 其他 _____	
崩塌區幾何形狀	長度 45 m、寬度 37 m、高程差 17 m 深度 _____ m(選填)	
坡面殘留材料	☐ 無 ☒ 有，長度 42 m、寬度 33 m、深度 1 m	
堆積區狀況	推估上緣點位坐標：X _____ Y _____ Runout 距離：_____ m、寬度：_____ m、 厚度：最大 _____ m 平均：_____ m 堆積形狀：_____	
崩塌至保全對象相對位置		☒ 小於 2H 有保全對象 ☐ 小於 2H 無保全對象
崩塌地水文狀況	☒ 無滲流 ☐ 局部滲流 ☐ 大量滲流 ☐ 地表逕流匯集	

四、保全對象及既有工程設施

保全對象說明	建物	住戶	☒ 無 ☐ 1~4 戶 ☐ 5 戶以上
		公共建築	☒ 無 ☐ 學校 ☐ 醫院 ☐ 活動中心
	交通設施	☐ 無 ☐ 橋梁	【 】 ☒ 道路(含鐵路) 【南 104-2】
	其他重要保全對象		對象描述：_____
保全對象住戶地址	☒ 無 ☐ 有 _____		
鄰近保全對象之工程設施(複選)	☒ 無整治設施 ☐ 護坡工程 ☐ 排水工程 ☐ 植生 ☐ 其他 _____		狀況： ☐ 正常 ☐ 破壞
現地整治成效評估	☒ 暫不須整治 ☐ 良好 ☐ 尚可 ☐ 待改進		

五、 照片及狀況說明



照片 1 坡面上長滿植被，崩塌下面有電線桿經過。

坐標 X: 200485.51 Y: 2576176.27

方位角: 356 度



照片 2 崩塌緊鄰河道。

坐標 X: 200494.95 Y: 2576193.96

方位角: 238 度



照片 3 邊坡底下有窯以及農舍。

坐標 X: 200484.70 Y: 2576189.19

方位角: 29 度



照片 4 可明顯看出坡向轉換。

坐標 X: 200449.98 Y: 2576206.84

方位角: 24 度



照片 5 由無人機可看出崩塌下方緊鄰河道，而崩塌上方有民宿。

坐標 X: 200385.89 Y: 2576118.28

方位角: 40 度

(九)崩塌編號：南市 DF025-SL015

淺層崩塌編號南市 DF025-SL015，其淺層崩塌形心坐標為(201019.56,2573622.13)，位於台南市東山區南勢村。崩塌發生的地層為糖恩山砂岩，其岩體性質為厚層塊狀砂岩和泥質砂岩，崩塌東北處距離約 140 公尺有一處無名橫移斷層。

崩塌發生於土石流潛勢溪流南市 DF025，潛在敏感區位為崩積土，目前坡面上植被茂密。崩塌區位是山脊處，其邊坡坡向約 61 度，坡度約為 29 度，崩塌滑移方向為約 61 度，經由 GIS 判釋邊坡坡型為平直形。崩塌坡趾距離河道約 75 公尺，而崩塌材料為崩積土，推估其表土厚度為 0.5~1 公尺，邊坡上最大的岩石粒徑約為 1.5 公尺。

崩塌形式為淺層崩塌，其長度約為 53 公尺，寬度約 52 公尺，高程差約有 29 公尺。坡面上仍有殘留材料，其長度約 37 公尺，寬度 35 公尺，判斷其深度約 1 公尺，目前坡面上並無滲流。在 2 倍坡高距離內保全對象為多戶保全對象、主要聯絡聯外道路以及電線桿。

淺層崩塌南市 DF025-SL015 的現地調查以及空拍照發現，原本圈繪範圍過小，邊坡底下有多戶民宅以及農舍，雖然目前無滑動跡象，但此處並沒有防治工程，需要持續觀察。

南市 DF025-SL015 淺層崩塌現地調查表

一、崩塌地基本資料(預填)

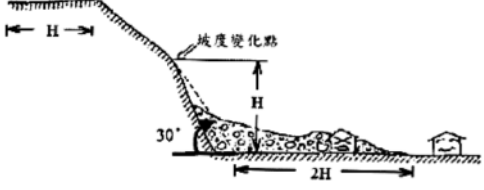
現勘日期	109 年 09 月 28 日 10 時		天氣	晴
調查單位/人員	國立臺灣大學/林美玲、陳彥澄、邱勝煜、李安			
調查記錄編號		崩塌地編號	南市 DF025-SL015	
土石流潛勢溪流編號	南市 DF025	集水區名稱	五叉溝	
歷史災害	____年____月，____颱風/豪雨			
行政區域	台南 縣(市) 東山 鄉鎮區 南勢 村(里)			
地點	臺(省道)/縣道 號 里程 k		地標	
GPS 記錄代號		GPS 記錄坐標(TWD97)	X: 201019.56 Y: 2573622.13	
與其他測點關係描述				
岩體性質	厚層塊狀砂岩和泥質砂岩	構造	☐ 無 ☒ 有 橫移斷層 距離崩塌 140 m	

二、坡地環境

邊坡位置	☐ 河岸階地 ☐ 集水區上游河階 ☒ 集水區中游河階 ☐ 集水區下游河階
潛在敏感區位	☐ 陡坡 ☐ 舊山崩 ☐ 斷層(預判) ☒ 崩積土 ☐ 河岸侵蝕
植被覆蓋程度	☐ 裸岩 ☐ 植被稀疏(10%<植被面積<30%) ☐ 植被中等稀疏(30%<植被面積<80%) ☒ 植被密集(植被面積>80%)

三、崩塌地地文特徵

地形 形貌 與 邊 坡 材 料	崩塌區位	☐ 全邊坡 ☒ 山脊 ☐ 山腹 ☐ 坡腳 ☐ 溪流側岸/蝕溝側											
	坡向/坡度	N 61 度 / 29 度											
	崩塌滑移方向	N 61 度											
	坡型(預判)	<table border="1"> <tr> <td> 凸脊形 Convex ridge</td> <td> 凸直形 Convex slope</td> <td> 凸谷形 Convex valley</td> </tr> <tr> <td> 直脊形 Straight ridge</td> <td> 平直形 Straight slope</td> <td> 直谷形 Straight valley</td> </tr> <tr> <td> 凹脊形 Concave ridge</td> <td> 凹直形 Concave slope</td> <td> 凹谷形 Concave valley</td> </tr> </table> ☐凸脊形 ☐凸直形 ☐凸谷形 ☐直脊形 ☒平直形 ☐直谷形 ☐凹脊形 ☐凹直形 ☐凹谷形			 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley
	 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley										
	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley										
 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley											
坡趾距河(海)岸 水平距離	75 公尺												
材料類型	☐ 風化土 ☒ 崩積土 ☐ 岩屑 ☐ 河階堆積												
表土厚度	☐ <0.5m ☒ 0.5~1m ☐ 1~2m ☐ 2~4m ☐ >4m												

	最大岩塊粒徑	1.5 m
崩塌類型(複選)	☐ 落石、土壤掉落 ☒ 淺層崩滑(岩屑、風化土) ☐ 深層滑動(坡體) ☐ 沖蝕 ☐ 其他 _____	
崩塌區幾何形狀	長度 53 m、寬度 52 m、高程差 29 m 深度 _____ m(選填)	
坡面殘留材料	☐ 無 ☒ 有，長度 37 m、寬度 35 m、深度 1 m	
堆積區狀況	推估上緣點位坐標：X _____ Y _____ Runout 距離：_____ m、寬度：_____ m、 厚度：最大 _____ m 平均：_____ m 堆積形狀：_____	
崩塌至保全對象相對位置		☒ 小於 2H 有保全對象 ☐ 小於 2H 無保全對象
崩塌地水文狀況	☒ 無滲流 ☐ 局部滲流 ☐ 大量滲流 ☐ 地表逕流匯集	

四、保全對象及既有工程設施

保全對象說明	建物	住戶	☐ 無 ☒ 1~4 戶 ☐ 5 戶以上
		公共建築	☒ 無 ☐ 學校 ☐ 醫院 ☐ 活動中心
	交通設施	☐ 無 ☐ 橋梁	【 】 ☒ 道路(含鐵路) 【 】
	其他重要保全對象		對象描述：電線桿
保全對象住戶地址	☒ 無 ☐ 有 _____		
鄰近保全對象之工程設施(複選)	☒ 無整治設施 ☐ 護坡工程 ☐ 排水工程 ☐ 植生 ☐ 其他 _____		狀況： ☐ 正常 ☐ 破壞
現地整治成效評估	☒ 暫不須整治 ☐ 良好 ☐ 尚可 ☐ 待改進		

五、 照片及狀況說明

	
 照片 1 邊坡坡面長滿植被，並未有設置防制設施。 坐標 X: 201042.26 Y: 2573618.34 方位角: 332 度	 照片 2 崩塌下方有電線桿通過，並且有保全對象在照片左下方。 坐標 X: 201032.25 Y: 2573631.66 方位角: 167 度
 照片 3 崩塌旁有多戶民宅以及農舍。 坐標 X: 201063.68 Y: 2573597.60 方位角: 190 度	 照片 4 由無人機照片可看出保全對象緊鄰保全對象，並且可看出植被的不連續變化，表示崩塌大小與圈繪範圍不同。 坐標 X: 201172.10 Y: 2573689.16 方位角: 243 度

(十)崩塌編號：南市 DF025-SL017

淺層崩塌編號南市 DF025-SL017，其淺層崩塌形心坐標為(200648.28,2573559.52)，位於台南市東山區南勢村。崩塌發生的地層為糖恩山砂岩，其岩體性質為泥厚層塊狀砂岩和泥質砂岩，崩塌東北側有一處無名橫移斷層。

崩塌發生於土石流潛勢溪流南市 DF025 中游，潛在敏感區位為崩積土，目前坡面上植被茂密。崩塌區位是山腹，其邊坡坡向約 98 度，坡度約為 25 度，崩塌滑移方向為約 100 度，經由 GIS 判釋邊坡坡型為平直形。崩塌坡趾距離河道約 318 公尺，而崩塌材料為崩積土，推估其表土厚度為 1~2 公尺，邊坡上最大的岩石粒徑約為 1.5 公尺。

崩塌形式為淺層崩塌，其長度約為 151 公尺，寬度約 93 公尺，高程差約有 72 公尺。坡面上仍有殘留材料，其長度約 80 公尺，寬度 80 公尺，判斷其深度約 1.5 公尺目前坡面上並無滲流。在 2 倍坡高距離內保全對象為民宅、農舍、主要聯絡道路以及電線桿。

淺層崩塌南市 DF025-SL017 的現地調查發現，圈繪的崩塌處並無防治工程，然而北側疑似另一處舊崩塌有設置擋土牆保護坡腳。由空拍照以及陰影圖看出，原本圈繪範圍過小需要重新圈繪，崩塌下方即為民宅以及農舍，並可由現地調查發現民宅後方為舊崩塌的堆積區，雖然目前崩塌並無明顯滑動現象，但仍需要持續觀察。

南市 DF025-SL017 淺層崩塌現地調查表

一、崩塌地基本資料(預填)

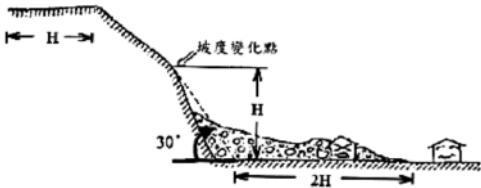
現勘日期	109 年 09 月 28 日 10 時	天氣	晴
調查單位/人員	國立臺灣大學/林美玲、陳彥澄、邱勝煜、李安		
調查記錄編號		崩塌地編號	南市 DF025-SL017
土石流潛勢溪流編號	南市 DF025	集水區名稱	五叉溝
歷史災害	____年____月，____颱風/豪雨		
行政區域	台南 縣(市) 東山 鄉鎮區 南勢 村(里)		
地點	臺(省道)/縣道 號 里程 k	地標	
GPS 記錄代號		GPS 記錄坐標(TWD97)	X: 200648.28 Y: 2573559.52
與其他測點關係描述			
岩體性質	厚層塊狀砂岩和泥質砂岩	構造	☐ 無 ☒ 有 橫移斷層 距離崩塌 470 m

二、坡地環境

邊坡位置	☐ 河岸階地 ☐ 集水區上游河階 ☒ 集水區中游河階 ☐ 集水區下游河階
潛在敏感區位	☐ 陡坡 ☐ 舊山崩 ☐ 斷層(預判) ☒ 崩積土 ☐ 河岸侵蝕
植被覆蓋程度	☐ 裸岩 ☐ 植被稀疏(10%<植被面積<30%) ☐ 植被中等稀疏(30%<植被面積<80%) ☒ 植被密集(植被面積>80%)

三、崩塌地地文特徵

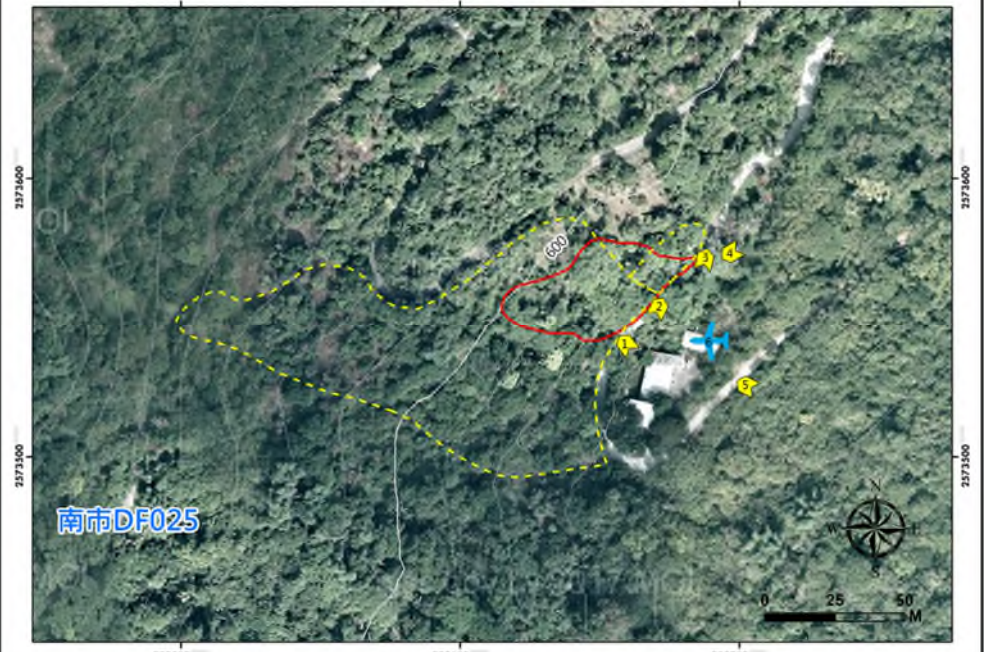
地形 形貌 與 邊 坡 材 料	崩塌區位	☐ 全邊坡 ☐ 山脊 ☒ 山腹 ☐ 坡腳 ☐ 溪流側岸/蝕溝側											
	坡向/坡度	N 98 度 / 25 度											
	崩塌滑移方向	N 100 度											
	坡型(預判)	<table border="1"> <tr> <td> 凸脊形 Convex ridge</td> <td> 凸直形 Convex slope</td> <td> 凸谷形 Convex valley</td> </tr> <tr> <td> 直脊形 Straight ridge</td> <td> 平直形 Straight slope</td> <td> 直谷形 Straight valley</td> </tr> <tr> <td> 凹脊形 Concave ridge</td> <td> 凹直形 Concave slope</td> <td> 凹谷形 Concave valley</td> </tr> </table> ☐凸脊形 ☐凸直形 ☐凸谷形 ☐直脊形 ☒平直形 ☐直谷形 ☐凹脊形 ☐凹直形 ☐凹谷形			 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley	 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley
	 凸脊形 Convex ridge	 凸直形 Convex slope	 凸谷形 Convex valley										
	 直脊形 Straight ridge	 平直形 Straight slope	 直谷形 Straight valley										
 凹脊形 Concave ridge	 凹直形 Concave slope	 凹谷形 Concave valley											
坡趾距河(海)岸 水平距離	318 公尺												
材料類型	☐ 風化土 ☒ 崩積土 ☐ 岩屑 ☐ 河階堆積												
表土厚度	☐ <0.5m ☐ 0.5~1m ☒ 1~2m ☐ 2~4m ☐ >4m												

	最大岩塊粒徑	1.5 m
崩塌類型(複選)	☐ 落石、土壤掉落 ☒ 淺層崩滑(岩屑、風化土) ☐ 深層滑動(坡體) ☐ 沖蝕 ☐ 其他 _____	
崩塌區幾何形狀	長度 151 m、寬度 93 m、高程差 72 m 深度 _____ m(選填)	
坡面殘留材料	☐ 無 ☒ 有，長度 80 m、寬度 80 m、深度 1.5 m	
堆積區狀況	推估上緣點位坐標：X _____ Y _____ Runout 距離：_____ m、寬度：_____ m、 厚度：最大 _____ m 平均：_____ m 堆積形狀：_____	
崩塌至保全對象相對位置		☒ 小於 2H 有保全對象 ☐ 小於 2H 無保全對象
崩塌地水文狀況	☒ 無滲流 ☐ 局部滲流 ☐ 大量滲流 ☐ 地表逕流匯集	

四、保全對象及既有工程設施

保全對象說明	建物	住戶	☐ 無 ☒ 1~4 戶 ☐ 5 戶以上
		公共建築	☒ 無 ☐ 學校 ☐ 醫院 ☐ 活動中心
	交通設施	☐ 無 ☐ 橋梁	【 】 ☒ 道路(含鐵路) 【 】
	其他重要保全對象		對象描述：_____
保全對象住戶地址	☒ 無 ☐ 有 _____		
鄰近保全對象之工程設施(複選)	☒ 無整治設施 ☐ 護坡工程 ☐ 排水工程 ☐ 植生 ☐ 其他 _____		狀況： ☐ 正常 ☐ 破壞
現地整治成效評估	☒ 暫不須整治 ☐ 良好 ☐ 尚可 ☐ 待改進		

五、 照片及狀況說明

	
 照片 1 邊坡坡面長滿植被。 坐標 X: 200659.5 Y: 2573540.25 方位角: 323 度	 照片 2 坡面殘留材料為崩塌土，並可看出樹幹傾斜，表示此區域有滑動。 坐標 X: 200670.99 Y: 2573553.68 方位角: 27 度
 照片 3 圈繪崩塌旁有另一處舊崩塌，並有擋土牆設置。 坐標 X: 200687.58 Y: 2573570.98 方位角: 12 度	 照片 4 崩塌下方並未設置防治工程，照片左下方則是保全對象。 坐標 X: 200697.14 Y: 2573573.34 方位角: 239 度



照片 6 保全對象位於崩塌下方，有兩戶人家以及農舍倉庫。
坐標 X: 200702.61 Y: 2573525.52
方位角: 296 度



照片 5 由無人機照片可看出崩塌範圍比圈繪還大，並且保全對象緊鄰。
坐標 X: 200689.33 Y: 2573541.62
方位角: 270 度

第三節 現地調查資料整理

水保局(2017、2019)分別對那瑪夏地區與嘉義縣等沉積岩地區的 17 處淺層崩塌進行調查與本次研究的研究區相近，在與本次研究所進行的 10 處淺層崩塌現地調查，總共 27 處淺層崩塌進行討論比較，特別整理出地層性質、地質構造(與距離)、邊坡位置，敏感區位、崩塌區位、坡向、坡度、波形、材料類型、表土厚度、幾何形狀、坡面殘留材料以及保全對象等 13 項現地調查資料，整理至表 4-3~表 4-5。

由表 4-3 可看出，因研究區主要選取在沉積岩區，因此淺層崩塌發生的地層性質主要為砂岩及頁岩為主。27 處淺層崩塌有 10 處靠近地質構造，分成 5 處褶皺以及 5 處斷層，離地質構造最近的為高市 DF086-SL001 距離為 100 公尺，在距離淺層崩塌 500 公尺內的地質構造並不算多數，由此可知地質構造對於淺層崩塌的影響較小。發生淺層崩塌的邊坡位置，有 15 處位在下游河階處，6 處中游河階，5 處在上游河階以及 1 處在河岸階地，因選取的淺層崩塌都是道路可及之處，因此選擇的淺層崩塌發生在下游河階處較多。而淺層崩塌發生區位有 19 處發生於崩積土上，7 處河岸侵蝕以及 1 處發生於舊山崩，由現調資料得知崩積土確實容易造成淺層崩塌。而崩塌區位則有 4 處位於邊坡的山脊處，7 處山腹，3 處發生於坡腳、7 處發生於溪流側岸/蝕溝側以及 5 處屬於全邊坡滑動，各區位發生次數相當並未有明顯區位容易發生淺層崩塌。坡向分成 16 等分，168.75~191.25 區間發生 9 處，其餘都是 1 處至 2 處。發生淺層崩塌的邊坡坡度在 0~20 度之間有 6 處淺層崩塌發生，30~40 度之間共有 14 處，40 度以上為 7 處，表示 30~40 度區間的邊坡最容易發生淺層崩塌。而邊坡坡形共有 9 種類型，發生淺層崩塌的坡形為平直形共有 17 處，而直脊形 3 處，直谷形 1 處，凸直形 2 處，直谷形 2 處而凹谷形有 2 處，發生淺層崩塌的邊坡

坡形主要類型為較平直的邊坡，凹或凸形的邊坡則較少發生淺層崩塌。而現地調查時看到的淺層崩塌材料類形分成崩積土及岩屑，崩積土有 22 處，而岩屑有 5 處。而表土厚度 1 處小於 0.5 公尺，0.5~1 公尺區間有 6 處，1~2 公尺區間有 10 處，2~4 公尺有 9 處，大於 4 公尺僅有 1 處，由此資料可看出多數的表土厚度都介於 1~4 公尺之間容易發生淺層崩塌。由幾何形狀可得知淺層崩塌的長與寬，可由淺層崩塌的長寬比可知道多數的淺層崩塌形狀是接近圓形以及長條形，寬扁形的淺層崩塌僅有 1 處。多數的淺層崩塌上仍有材料殘留，

關於淺層崩塌與保全對象的關係，有 19 處保全對象在 2 倍坡高的距離內，有 9 處淺層崩塌附近有 1~4 戶住宅，有 2 處有公共建築，19 處有道路經過，在 2017 以及 2019 還未有其他保全對象選項，因此在現地調查資料中電線桿等其他保全對象目前只出現 4 處。而目前淺層崩塌的坡面上僅有一處有局部滲流現象，其餘都無滲流。目前進行現地調查的淺層崩塌僅有 11 處有防治工程，而這些工程目前狀仍良好，其餘未設置防治工程的淺層崩塌目前並未有滑動現象。

由現地調查資料中可得到，多數的淺層崩塌發生在土石流潛勢溪流集水區的中、下游河階，但可能原因為這些淺層崩塌較能到達，且附近有保全對象。而造成淺層崩塌多數都是由崩積土所產生，因此產生的崩塌材料也多為崩積土。淺層崩塌並未發生在邊坡的特定區位，然而在中、南部研究區的邊坡坡度在 30~40 度的坡度為最容易發生淺層崩塌的坡度，而坡向則在 168.75~191.25 區間最容易發生，再來發生淺層崩塌的邊坡坡形主要為平直形，直脊與直谷形為少數，凹或凸的形狀幾乎沒有淺層崩塌產生。由現地調查得知淺層崩塌形狀接近圓形至長條形，其表土厚度約在 1~4 公尺最多，而多數都有殘留材料在坡面上。多數的淺層崩塌保全對象都會有重要道路經過或是有橋梁在附近。有 9 處淺層崩塌附近有保全對象，但僅有 5 處有設置防制設

施，其餘4處雖然邊坡目前無明顯滑動，但仍需要注意。

表4-3 現地調查資料整理(1/3)

崩塌編號	岩層性質	地質構造	構造距離	邊坡位置	敏感區位	崩塌區位	坡向	坡度	坡形	材料類型	表土厚度
高市 DF007-SL001	硬頁岩	N		下游	河岸侵蝕	溪流側岸/蝕溝側	206	42	平直形	崩積土	2~4
高市 DF007-SL073	硬頁岩	N		下游	崩積土	山腹	290	42	平直形	崩積土	2~4
高市 DF007-SL074	硬頁岩	N		下游	崩積土	山腹	296	21	平直形	崩積土	2~4
高市 DF051-SL017	硬頁岩	N		河岸階地	舊山崩	全邊坡	267	39	直脊形	崩積土	1~2
高市 DF065-SL001	硬頁岩	N		下游	崩積土	坡腳	90	32	直谷形	崩積土	2~4
高市 DF065-SL002	硬頁岩	背斜	279	下游	崩積土	坡腳	132	40	平直形	崩積土	2~4
高市 DF065-SL035	硬頁岩	背斜	368	下游	河岸侵蝕	溪流側岸/蝕溝側	175	31	平直形	崩積土	>4
高市 DF065-SL036	硬頁岩	背斜	368	下游	河岸侵蝕	全邊坡	162	35	平直形	崩積土	2~4
高市 DF069-SL002	硬頁岩	N		下游	河岸侵蝕	溪流側岸/蝕溝側	174	59	凸直形	崩積土	2~4
高市 DF085-SL001	硬頁岩	逆斷層	210	下游	河岸侵蝕	溪流側岸/蝕溝側	157	33	凸直形	崩積土	2~4
高市 DF085-SL009	硬頁岩	逆斷層	158	下游	河岸侵蝕	溪流側岸/蝕溝側	218	36	平直形	崩積土	2~4
高市 DF086-SL001	硬頁岩	小林斷層	100	中游	河岸侵蝕	溪流側岸/蝕溝側	86	35	直脊形	崩積土	1~2
嘉縣 DF006-SL005	砂岩	N		中游	崩積土	溪流側岸/蝕溝側	181	25	平直形	岩屑	1~2
嘉縣 DF008-SL050	砂岩	N		下游	崩積土	山腹	174	37	平直形	岩屑	1~2
嘉縣 DF018-SL007	泥質砂岩	N		下游	崩積土	全邊坡	92	35	直谷形	岩屑	1~2
嘉縣 DF023-SL003	泥質砂岩	N		下游	崩積土	山腹	140	37	平直形	岩屑	1~2
嘉縣 DF039-SL001	砂頁岩互層	N		下游	崩積土	坡腳	118	33	平直形	崩積土	1~2
投縣 DF132-SL106	泥質砂岩	N		上游	崩積土	全邊坡	189	44	直谷形	崩積土	0.5~1
投縣 DF132-SL108	泥質砂岩	N		上游	崩積土	山脊	141	42	平直形	崩積土	0.5~1
投縣 DF132-SL115	泥質砂岩	N		上游	崩積土	全邊坡	177	42	平直形	崩積土	0.5~1
投縣 DF132-SL119	泥質砂岩	N		上游	崩積土	山脊	115	38	平直形	崩積土	<0.5
投縣 DF193-SL120	砂頁岩互層	N		中游	崩積土	山腹	170	30	平直形	岩屑	0.5~1
南市 DF004-SL001	泥質砂岩	N		下游	崩積土	全邊坡	115	39	凹谷形	崩積土	1~2
南市 DF010-SL001	泥質砂岩	前大埔向斜	180	上游	崩積土	山脊	293	28	凹谷形	崩積土	0.5~1
南市 DF014-SL003	砂	崙後斷層	410	中游	崩積土	山腹	184	20	直脊形	崩積土	1~2
南市 DF025-SL015	砂岩	橫移斷層	140	中游	崩積土	山脊	61	29	平直形	崩積土	0.5~1
南市 DF025-SL017	砂岩	橫移斷層	470	中游	崩積土	山腹	98	25	平直形	崩積土	1~2

表4-4 現地調查資料整理(2/3)

崩塌編號	幾何形狀			坡面殘留材料		
	長	寬	高	長	寬	深
高市 DF007-SL001	67	104	61	67	104	61
高市 DF007-SL073	76	30	68	66	22	2
高市 DF007-SL074	69	38	29	33	38	1.6
高市 DF051-SL017	78.7	27.9	60	45	20	1
高市 DF065-SL001	85	62	53	71	62	2.3
高市 DF065-SL002	40	21	42	29	30	1.5
高市 DF065-SL035	43	98	71	31	60	2
高市 DF065-SL036	22	30	32	4	30	1
高市 DF069-SL002	67	98	112	17	13	3
高市 DF085-SL001	83	68	66	49	70	3
高市 DF085-SL009	63	116	85	49	96	3
高市 DF086-SL001	27	21	19	17	19	1.2
嘉縣 DF006-SL005	120	58	58	62	47	1
嘉縣 DF008-SL050	215	60	162	95	53	1
嘉縣 DF018-SL007	149	20	102	40	20	1.5
嘉縣 DF023-SL003	109	61	83	74	59	1
嘉縣 DF039-SL001	246	81	162	72	50	1
投縣 DF132-SL106	135	144	132	40	140	1
投縣 DF132-SL108	78	28	71	N	-	-
投縣 DF132-SL115	75	35	68	29	26	0.7
投縣 DF132-SL119	32	26	25	N	-	-
投縣 DF193-SL120	102	32	60	68	42	1
南市 DF004-SL001	41	21	33	28	16	1
南市 DF010-SL001	105	55	55	87	42	1
南市 DF014-SL003	45	37	17	42	33	1
南市 DF025-SL015	53	52	29	37	35	1
南市 DF025-SL017	151	93	72	80	80	1.5

表4-5 現地調查資料整理(3/3)

崩塌編號	保全對象								
	小於 2H 有保全對象	地水文狀況	住戶	公共建築	交通設施	其他	防治工程	防治工程狀況	整治成效評估
高市 DF007-SL001	N	N	N	N	道路	N	Y	正常	良好
高市 DF007-SL073	N	N	N	活動中心	N	N	N	-	-
高市 DF007-SL074	N	N	N	N	N	N	N	-	-
高市 DF051-SL017	N	N	N	N	道路	N	N	-	-
高市 DF065-SL001	Y	N	N	N	道路	N	N	-	-
高市 DF065-SL002	Y	N	N	N	道路	N	Y	正常	良好
高市 DF065-SL035	N	N	N	N	N	N	N	-	-
高市 DF065-SL036	N	N	N	N	N	N	N	-	-
高市 DF069-SL002	N	N	N	N	N	N	N	-	-
高市 DF085-SL001	Y	N	N	N	橋梁	N	Y	正常	良好
高市 DF085-SL009	Y	N	N	N	橋梁	N	N	-	-
高市 DF086-SL001	N	N	N	N	N	N	N	-	-
嘉縣 DF006-SL005	Y	N	1~4	N	道路	N	Y	正常	良好
嘉縣 DF008-SL050	Y	N	1~4	學校	道路	N	Y	正常	良好
嘉縣 DF018-SL007	Y	N	N	N	橋梁、道路	N	N	-	-
嘉縣 DF023-SL003	Y	N	1~4	N	道路	N	Y	正常	良好
嘉縣 DF039-SL001	Y	N	1~4	N	橋梁、道路	N	Y	正常	良好
投縣 DF132-SL106	Y	N	N	N	道路	電線桿	Y	正常	良好
投縣 DF132-SL108	Y	N	N	N	道路	電線桿	Y	正常	良好
投縣 DF132-SL115	Y	N	1~4	N	道路	N	Y	正常	良好
投縣 DF132-SL119	Y	N	1~4	N	道路	N	N	-	-
投縣 DF193-SL120	Y	N	N	N	橋梁、道路	N	N	-	-
南市 DF004-SL001	Y	N	1~4	N	道路	N	N	-	-
南市 DF010-SL001	Y	局部	N	N	道路	電線桿	Y	正常	良好
南市 DF014-SL003	Y	N	N	N	道路	N	N	-	-
南市 DF025-SL015	Y	N	1~4	N	道路	電線桿	N	-	-
南市 DF025-SL017	Y	N	1~4	N	道路	N	N	-	-

第五章 多元淺層崩塌潛勢評估方法

本研究除了沿用水保局(2017、2018 以及 2019 年)針對淺層崩塌潛勢所使用的區別分析法外，擬討論以區別分析、不安定指數以及機械學習等 3 種不同方式進行評估方法的可行性。將不同方法進行比較後，評估不同分析方法之適用性及預測成效。

第一節 分析方法

1. 區別分析法

水保局(2017、2018 以及 2019)針對淺層崩塌潛勢使用統計方法中的區別分析法，其學理係將兩組不同樣本：崩塌及非崩塌加以區分開來，如圖 5-1 所示，良好分析時成果穩定及顯著，能有效評估及預測淺層崩塌發生區域，且具有良好的學理意義，因此本研究以此方法為討論基準。

區別分析分成兩部分，第一部分擬合分析，主要採用選定的樣本進行擬合以取得區別函式；第二部分是以前所擬合區別函式另以獨立樣本進行的驗證分析。再將預測區之樣本套用到區別函式中，比對該區別公式預測情況以提供評估模式之驗證。進行區別分析時「淺層崩塌網格」和「未崩塌網格」兩種網格數量以盡量一致為宜，而本團隊參考莊漢鑫(2012)研究以「隨機取樣」是較好的選取方式，因此採用 Bernoulli's 隨機取樣方法挑選網格進行區別分析。

進行區別分析前先將研究區內的土石流潛勢溪流集水區分一半為「模式建立組」以及另一半的「預測組」。而為了使得到的區別函式能有效代表整個研究區，因此模式建立組的土石流潛勢溪流集水區需平均分布在研究區中。再從模式建立組裡的土石流潛勢溪流集水區中選取出的淺層崩塌網格及未崩塌網格，各再隨機選取 50% 的數量進行

擬合分析，可得到區別函式及環境潛勢值 Z ，而以剩餘的 50% 樣本作為驗證樣本。並且將得到的區別函式套入預測組的土石流潛勢溪流集水區中，以評值其預測能力。

區別分析中所使用之潛勢因子都先進行正規化，所以潛勢函數 Z 值為無因次，所得 Z 值中的各因子係數絕對值越大即代表該網格具有較高淺層崩塌的潛勢，在此分析模式中其關係式中的 Z 值係數如果為正表示為正相關，代表網格中此因子越大越可能為淺層崩塌網格，而 Z 值係數為負則其因子為負相關，亦代表網格中此因子絕對值越大越有可能為未崩塌網格。

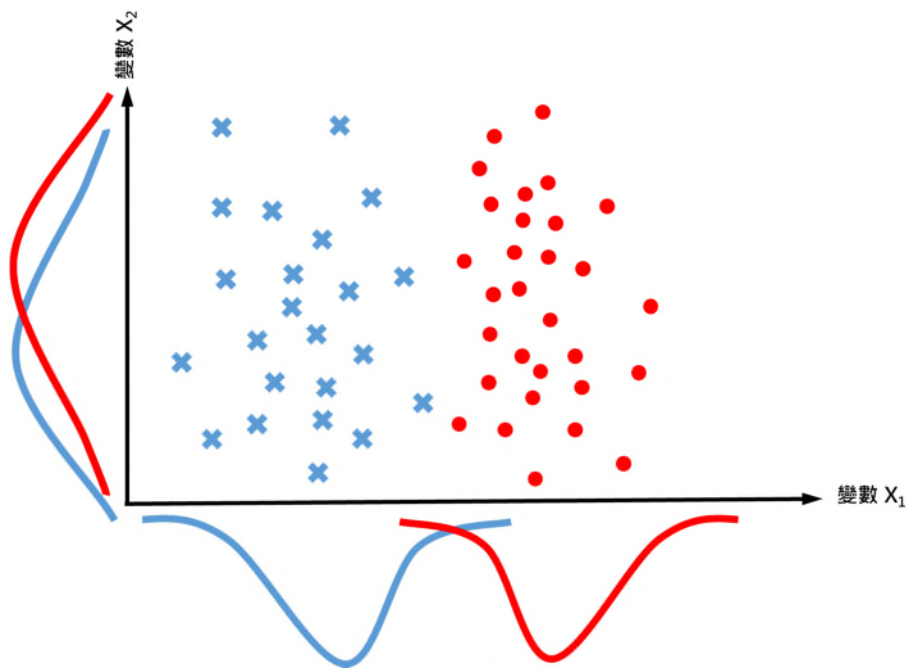


圖5-1 區別分析樣本對變數資料分布示意圖

2. 不安定指數法

同樣在定量的統計分析方法中，不安定指數法在分析崩塌潛勢上也有廣泛使用。許琦（1989）以地形、地質、環境、水文四大因子細分成十七個次要因子，對各個次要因子給予 A-E 五個等級，以模糊集合的方式做山崩潛感分析。Gao 等人（1991）以線性迴歸的方式，對高程、坡向、坡度、坡型四種不同的地形參數做分析，將迴歸曲線予

以正規化，以進行山崩潛感分析。簡李濱（1992）以苗栗鯉魚潭水庫大壩上游集水區為研究區，利用地形、地質、區位三大要因，依墜落、滑動、河岸侵蝕、向源侵蝕等四種方式個別選擇其崩坍因子，再利用地理資訊系統來做因子的疊置。鄭元振（1992）針對中橫公路天祥至太魯閣段，以裸露地、侵蝕溝影響區、岩性、坡度等四個因子，根據坡度、坡向疊置所得的最小邊坡為單位，求得各因子對山崩潛感的影響程度，用以繪製山崩潛感圖。陳永寬（1994）則以坡度梯度、剖面曲率、平面曲率、上坡流域面積及蝕溝指數等五個因子由三階 Lagrange 多項式所推出之的景形態參數進行山崩預測。林中興（1994）以水系的距離、坡度、坡型等因子來對梨山區域作分析。許煜煌（2002）以高程、坡向、坡度、距車籠埔斷層距離、距震央距離、距道路距離、距河流距離、地層、PGA-V、及 Ia 值等十個因子，討論地震與崩塌的關聯。

3. 機器學習方法

隨著人工智慧的發展速度越來越快，其技術也是日漸提升。機器學習應用廣泛，可學習數以億計的觀測樣本，預測和學習同步進行，在處理大數據時速度相當快，機器學習已經是解決多數問題的主要方法之一。目前有許多研究利用機器學習的方式，進行崩塌潛勢分析得到良好的結果，本研究將由機器學習的方式針對研究區淺層崩塌潛勢進行分析，以討論機械學習法之適用情形。

本研究將採用機器學習方法(Machine Learning)的「隨機森林法」，此方法屬於監督式學習(Supervised Learning)，監督式學習是藉由訓練資料中學習輸入的資料特徵及預期輸出後，建立一個模式或函數，再依此去預測新的輸入資料，很常用來在分類行為。其中訓練資料是由輸入特徵以及預期輸出所組成，輸出的結果可以是一個連續的值(稱

為迴歸分析)或是預測一個分類標籤(稱為分類)。本研究將採用由 Breiman(2001)提出的新型隨機森林演算法，以 1984 年 Breiman 提出的分類樹演算法(Classification and Regression Tree)結合了 1995 年由貝爾實驗室的 Tin Kam Ho 所提出隨機子空間(Random subspace method)這個概念，用裝袋取樣(Bagging)和隨機子空間概念建構多個決策樹分類器，每個決策樹分類器都由不同的特徵選出不同的數據集所建立，再將其以分類加權投票或迴歸平均整合為隨機森林分類器。隨機森林法的訓練集是隨機產出的，在樹中結點也是隨機取最適合特徵，這兩點隨機性，使得隨機森林法不會像單一決策樹會產生過擬合的現象且具有泛化性。且由於是決策樹的組合演算，對數據集適應力很高，可以應用於高維度的數據集，能同時處理離散型數據，也能處理連續型數據。

Ahmed Mohamed Youssef, Hamid Reza Pourghasemi(2016)以隨機森林(Random Forest, RF)、梯度提升樹(Gradient Boosted Regression Tree, GBRT)、分類與迴歸樹(Classification and Regression Tree, CART)和線性分析(general linear, GLM)四種分析模式分析沙烏地阿拉伯的 Wadi Tayyah 盆地崩塌潛勢，以 11 種環境因子作為分析資料庫，預測結果為圖 5-2，RF，GBRT，CART 和 GLM 模型的正確率分別為 81.2%、85.6%、86.2%和 76.9%，而分析結果中指出坡度、高程與道路距離為顯著環境因子。

Khaled Taalab, Tao Cheng & Yang Zhang(2018)以隨機森林法在容易受多種類型崩塌影響的大型研究區域生成崩塌潛勢。使用在意大利皮埃蒙特的案例研究，應用隨機森林算法生成分類圖以及潛勢圖，可以提供高度準確（超過 85%的分類準確度）的崩塌潛勢圖。顯示這種繪製崩塌潛勢的隨機森林法能夠為大型區域生成準確性高的潛勢圖，

且在分析崩塌潛勢外另外也對其崩塌形式進行預測，成功辨識崩塌類型的準確率為 77.26%，而分析結果中指出與河流距離、坡向與平均雨量為顯著環境因子。

國內也有使用此方法進行分析，羅文俊(2015)用於分析莫拉克颱風期間，土石流可能致災原因、條件，探討莫拉克颱風時受災嚴重之六縣市（南投縣、嘉義縣、台南市、高雄市、屏東縣、台東縣）218 條土石流潛勢溪流之土石流發生因子。先以主成分分析、皮爾森相關性分析、發生因子成功率曲線及多變量交叉關連性分析等統計分析方法，分析莫拉克颱風災區土石流潛勢溪流發生土石流之致災因子關連性及其顯著因子特性。將因子由 101 個篩選至 18 個後，以隨機森林法針對多變量因子間關連性進行研究與探討。由研究結果可知，莫拉克颱風引發土石流最顯著因子是降雨因子，其次才是土砂來源(崩塌地)、集水區高程因子、集水區形狀因子及其它地形指標影響。黃柏軒(2019)利用「隨機森林法」，針對那瑪夏研究區的淺層崩塌發生潛勢進行分析研究，由「隨機森林法」可快速的得到研究區的淺層崩塌潛勢圖，並可由淺層崩塌潛勢圖中看出圈繪之淺層崩塌都落在中高潛勢區，如圖 5-3 所示。所進行全區域之分析且淺層崩塌判釋正確率達 80%，表示此方法在該區分析淺層崩塌潛勢時能有良好的預測能力。

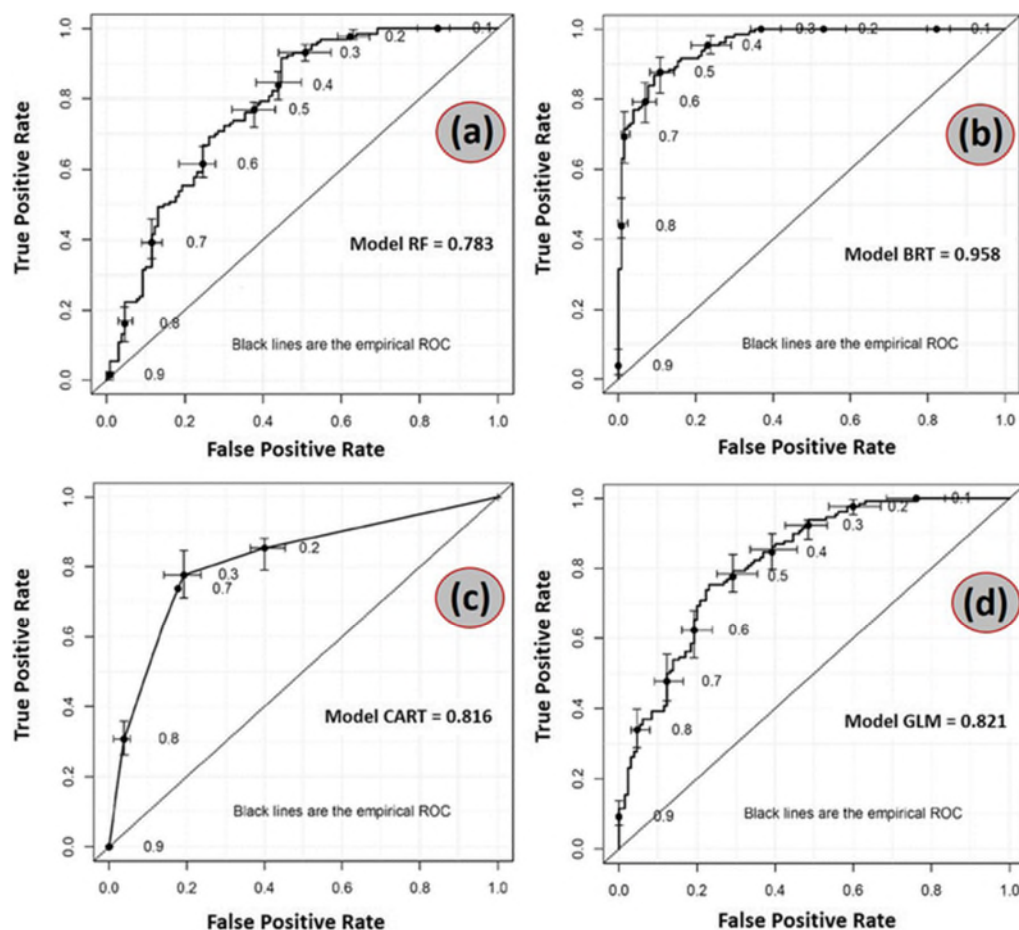


圖5-2 以不同模式預測潛勢之 ROC 圖(a RF, b BRT, c CART, and d GLM)(Ahmed Mohamed Youssef , 2015)

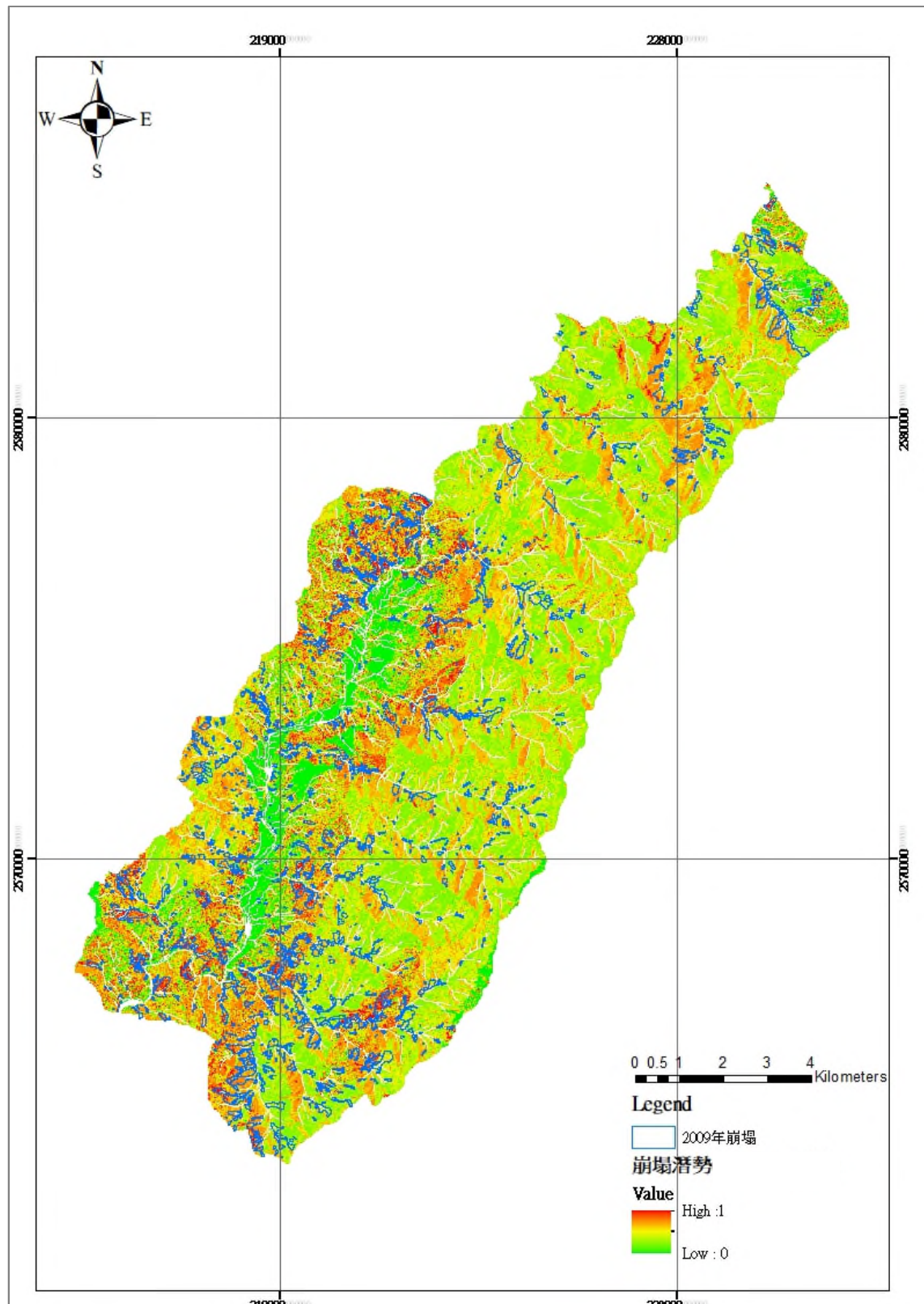


圖5-3 隨機森林法分析那瑪夏區域崩塌潛勢圖(黃柏軒,2019)

第二節 淺層崩塌潛勢因子相依性及顯著性

參考水保局(2017、2018 以及 2019)潛勢分析中使用的淺層崩塌潛勢因子，目前擬使用的淺層崩塌潛勢因子包含坡度、坡向、橫剖面、縱剖面曲率、粗糙度、線性構造距離、地層類型，以及加入地質年代等 8 種因子進行討論。

一、淺層崩塌因子相依性

坡向因子系以各坡向內的面積崩塌率表示；以研究區內各地層名稱以及不同地質年代的面積崩塌率，來代表各地層類別的影響。

地形粗糙指數(Terrain Ruggedness Index, TRI)由 Riley 在 1999 年提出，數字高程網格的相鄰單元之間的高程差異量，上計算來自中心單元和緊鄰其周圍的八個單元的高程值的差異。然後，它對八個高程差值平方進行加總，然後計算平方根來如式 5-1。

$$TRI = [\Sigma(x_{ij} - x_{00})^2]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{式 5-1})$$

x_{ij} :鄰近網格高程值

x_{00} :中心網格高程值

統計分析方式各潛勢因子間須保持獨立性，如果因子間彼此有相關性，其預測效果將受到影響。檢查潛勢因子間的相依性採用皮爾森(pearson)相關係數，皮爾森相關分析用於探討兩連續變數之間的線性相關，得到兩個變數間的相關係數，計算公式為式 5-2，其值通常介於-1~1 之間。若兩變數之間的相關係數絕對值較大，則表示彼此相互共變的程度較大。而正負號代表兩變數間變化方向的同異，正號代表變化方向相同，兩變數呈正相關；負號代表變化方向相反，兩變數呈負相關。而當其值為 0 時，即代表兩變數完全獨立。故可將皮爾森相關係數劃分五個等級，相關係數絕對值小於 0.2 為無相關、0.2~0.4 為

低度相關、0.4~0.6 為中度相關、0.6~0.8 為中高度相關、0.8~1.0 為高度相關。

$$r(x,y) = \frac{cov(x,y)}{s_x s_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{式 5-2})$$

$r(x,y)$ ：皮爾森相關係數

$cov(x,y)$ ：x、y共異變數

s_x ：為 x_i 樣本的樣本標準差

s_y ：為 y_i 樣本的樣本標準差

$\bar{x}$ ：為 x_i 樣本的平均值

$\bar{y}$ ：為 y_i 樣本的平均值

在進行崩塌圈繪時，常常將崩塌的滑動區以及堆積區都圈繪在一起，因此由圈繪圖層萃取因子時，常常會將堆積區也一併納入因子的分析，導致預測正確率降低。在前期研究中發現，僅利用崩塌圈繪範圍的上緣 1/2 作為淺層崩塌的滑動區來進行分析時，能有效提升預測的正確性，因此本研究延續此方式，僅使用各淺層崩塌圈繪範圍上緣 1/2 來萃取因子以及進行分析。

在研究區 A 以及研究區 B 分別用 5 公尺、10 公尺、20 公尺以及 40 公尺的網格來萃取淺層崩塌潛勢因子後，進行潛勢因子間相依性討論。將各因子之相依性整理表 5-1 至表 5-12，由所有的表中可看出除了兩種曲率彼此間有中高度相依外，在表 5-2 至表 5-4 中可看出研究區 A 中粗糙度在 20 公尺網格以及 40 公尺網格中與曲率因子有低度相關；地層類別以及地層年代因子之間有中度相關，並與坡度亦有低度相關。在表 5-5 至表 5-8 研究區 B 中，粗糙度因子與兩曲率因子有低度相關，地層類別與地質年代有高度相關。將兩個研究區合併後之潛勢因子的相關性可由表 5-9 至表 5-12 中看出，粗糙度因子與兩

種曲率有低度相關，而坡向因子與地層類別、地質年代有低度相關，但是在 20 公尺網格中則到達中度相關以及中高度相關，因此兩種曲率因子在後續研究中將不予採用，而粗糙度、坡向、地層類別以及地質年代將在後續研究中持續討論其適用性。

表5-1 研究區 A 淺層崩塌潛勢因子相依性(5 公尺網格)

	坡度	縱剖面 曲率	橫剖面 曲率	坡向	粗糙度	地層 類別	地質 年代	構造 距離
坡度	1	0.009	0.013	0.014	0.006	0.240	0.242	0.006
縱剖面 曲率	0.009	1	-0.334	0	-0.136	-0.001	0	0
橫剖面 曲率	0.013	-0.334	1	0	0.009	-0.001	0.001	0
坡向	0.014	0	0	1	0.004	-0.026	-0.008	0.029
粗糙度	0.006	-0.136	0.009	0.004	1	0	0.012	0.001
地層 類別	0.240	-0.001	-0.001	-0.026	0	1	0.492	-0.001
地質 年代	0.242	0	0.001	-0.008	0.012	0.492	1	-0.014
構造 距離	0.006	0	0	0.029	0.001	-0.001	-0.014	1

表5-2 研究區 A 淺層崩塌潛勢因子相依性(10 公尺網格)

	坡度	縱剖面 曲率	橫剖面 曲率	坡向	粗糙度	地層 類別	地質 年代	構造 距離
坡度	1	0.009	0.002	0.017	-0.001	0.240	0.241	0.004
縱剖面 曲率	0.009	1	0.397	-0.002	-0.156	0	-0.001	-0.001
橫剖面 曲率	0.002	0.397	1	0.005	0.032	-0.001	0	0.001
坡向	0.017	-0.002	0.005	1	0.011	-0.026	-0.007	0.032
粗糙度	-0.001	-0.156	0.032	0.011	1	0.004	0.014	0.003
地層 類別	0.240	0	-0.001	-0.026	0.004	1	0.493	-0.001
地質 年代	0.241	-0.001	0	-0.007	0.014	0.493	1	-0.014
構造 距離	0.004	-0.001	0.001	0.032	0.003	-0.001	-0.014	1

表5-3 研究區 A 淺層崩塌潛勢因子相依性(20 公尺網格)

	坡度	縱剖面 曲率	橫剖面 曲率	坡向	粗糙度	地層 類別	地質 年代	構造 距離
坡度	1	0.025	0.01	0.011	0.001	0.239	0.242	0.006
縱剖面 曲率	0.025	1	-0.348	-0.001	-0.238	0	0.006	-0.002
橫剖面 曲率	0.01	-0.348	1	0.001	0.052	0.003	-0.005	-0.001
坡向	0.011	-0.001	0.001	1	0.015	-0.027	-0.007	0.034
粗糙度	0.001	-0.238	0.052	0.015	1	0.005	0.012	-0.009
地層 類別	0.239	0	0.003	-0.027	0.005	1	0.492	-0.002
地質 年代	0.242	0.006	-0.005	-0.007	0.012	0.492	1	-0.016
構造 距離	0.006	-0.002	-0.001	0.034	-0.009	-0.002	-0.016	1

表5-4 研究區 A 淺層崩塌潛勢因子相依性(40 公尺網格)

	坡度	縱剖面 曲率	橫剖面 曲率	坡向	粗糙度	地層 類別	地質 年代	構造 距離
坡度	1	0.009	0.012	0.01	0.013	0.223	0.241	0.01
縱剖面 曲率	0.009	1	-0.581	0.011	-0.300	-0.008	0.009	0.011
橫剖面 曲率	0.012	-0.581	1	0.008	0.037	0.015	-0.007	0.008
坡向	0.01	0.011	0.008	1	0.014	-0.02	-0.01	0.040
粗糙度	0.013	-0.300	0.037	0.014	1	0.027	0.048	0.004
地層 類別	0.223	-0.008	0.015	-0.02	0.027	1	0.488	0.002
地質 年代	0.241	0.009	-0.007	-0.01	0.048	0.488	1	-0.006
構造 距離	0.01	0.011	0.008	0.040	0.004	0.002	-0.006	1

表5-5 研究區 B 淺層崩塌潛勢因子相依性(5 公尺網格)

	坡度	縱剖面 曲率	橫剖面 曲率	坡向	粗糙度	地層 類別	地質 年代	構造 距離
坡度	1	0.008	-0.006	-0.014	0.009	0.129	0.163	0.057
縱剖面 曲率	0.008	1	-0.565	-0.001	0.186	0.002	0.002	0.002
橫剖面 曲率	-0.006	-0.565	1	-0.001	-0.379	0.002	0.001	0.002
坡向	-0.014	-0.001	-0.001	1	0.002	0.016	-0.004	0.180
粗糙度	0.009	0.186	-0.379	0.002	1	0.002	0	-0.005
地層 類別	0.129	0.002	0.002	0.016	0.002	1	0.840	0.081
地質 年代	0.163	0.002	0.001	-0.004	0	0.840	1	-0.047
構造 距離	0.057	0.002	0.002	0.180	-0.005	0.081	-0.047	1

表5-6 研究區 B 淺層崩塌潛勢因子相依性(10 公尺網格)

	坡度	縱剖面 曲率	橫剖面 曲率	坡向	粗糙度	地層 類別	地質 年代	構造 距離
坡度	1	-0.026	0.013	-0.013	0.009	0.132	0.166	0.056
縱剖面 曲率	-0.026	1	-0.564	0.008	-0.374	-0.009	-0.008	-0.006
橫剖面 曲率	0.013	-0.564	1	0	0.188	-0.001	0.001	0.010
坡向	-0.013	0.008	0	1	0.005	0.011	-0.006	0.178
粗糙度	0.009	-0.374	0.188	0.005	1	0.002	0.001	-0.005
地層 類別	0.132	-0.009	-0.001	0.011	0.002	1	0.840	0.083
地質 年代	0.166	-0.008	0.001	-0.006	0.001	0.840	1	-0.046
構造 距離	0.056	-0.006	0.010	0.178	-0.005	0.083	-0.046	1

表5-7 研究區 B 淺層崩塌潛勢因子相依性(20 公尺網格)

	坡度	縱剖面 曲率	橫剖面 曲率	坡向	粗糙度	地層 類別	地質 年代	構造 距離
坡度	1	0.002	0.015	-0.007	-0.004	0.127	0.166	0.055
縱剖面 曲率	0.002	1	-0.561	0.014	-0.393	-0.021	-0.012	0.018
橫剖面 曲率	0.015	-0.561	1	-0.025	0.184	0.013	0.011	-0.012
坡向	-0.007	0.014	-0.025	1	-0.011	0.030	0.01	0.180
粗糙度	-0.004	-0.393	0.184	-0.011	1	0.021	0.019	-0.019
地層 類別	0.127	-0.021	0.013	0.030	0.021	1	0.840	0.081
地質 年代	0.166	-0.012	0.011	0.01	0.019	0.840	1	-0.047
構造 距離	0.055	0.018	-0.012	0.180	-0.019	0.081	-0.047	1

表5-8 研究區 B 淺層崩塌潛勢因子相依性(40 公尺網格)

	坡度	縱剖面 曲率	橫剖面 曲率	坡向	粗糙度	地層 類別	地質 年代	構造 距離
坡度	1	0.013	0.012	-0.029	0.031	0.132	0.165	0.064
縱剖面 曲率	0.013	1	-0.539	0.032	-0.394	-0.012	-0.031	0.013
橫剖面 曲率	0.012	-0.539	1	0.006	0.174	0.041	0.049	-0.01
坡向	-0.029	0.032	0.006	1	0.025	-0.004	-0.028	0.149
粗糙度	0.031	-0.394	0.174	0.025	1	-0.002	-0.01	-0.005
地層 類別	0.132	-0.012	0.041	-0.004	-0.002	1	0.841	0.094
地質 年代	0.165	-0.031	0.049	-0.028	-0.01	0.841	1	-0.035
構造 距離	0.064	0.013	-0.01	0.149	-0.005	0.094	-0.035	1

表5-9 兩研究區合併後之淺層崩塌潛勢因子相依性(5 公尺網格)

	坡度	縱剖面 曲率	橫剖面 曲率	坡向	粗糙度	地層 類別	地質 年代	構造 距離
坡度	1	0.007	0.012	-0.142	0.008	0.097	0.050	0.003
縱剖面 曲率	0.007	1	-0.344	-0.001	-0.150	0	0	0
橫剖面 曲率	0.012	-0.344	1	-0.001	0.033	-0.001	0	0
坡向	-0.142	-0.001	-0.001	1	-0.002	0.318	0.330	0.143
粗糙度	0.008	-0.150	0.033	-0.002	1	-0.001	-0.002	-0.002
地層 類別	0.097	0	-0.001	0.318	-0.001	1	0.705	0.068
地質 年代	0.050	0	0	0.330	-0.002	0.705	1	0
構造 距離	0.003	0	0	0.143	-0.002	0.068	0	1

表5-10 兩研究區合併後之淺層崩塌潛勢因子相依性(10 公尺網格)

	坡度	縱剖面 曲率	橫剖面 曲率	坡向	粗糙度	地層 類別	地質 年代	構造 距離
坡度	1	0.004	0.004	-0.142	0.004	0.097	0.051	0.001
縱剖面 曲率	0.004	1	0.316	-0.001	-0.180	-0.002	-0.002	-0.002
橫剖面 曲率	0.004	0.316	1	0.003	0.062	0	0	0.003
坡向	-0.142	-0.001	0.003	1	0	0.317	0.327	0.141
粗糙度	0.004	-0.180	0.062	0	1	0	-0.001	-0.001
地層 類別	0.097	-0.002	0	0.317	0	1	0.706	0.069
地質 年代	0.051	-0.002	0	0.327	-0.001	0.706	1	0.002
構造 距離	0.001	-0.002	0.003	0.141	-0.001	0.069	0.002	1

表5-11 兩研究區合併後之淺層崩塌潛勢因子相依性(20 公尺網格)

	坡度	縱剖面 曲率	橫剖面 曲率	坡向	粗糙度	地層 類別	地質 年代	構造 距離
坡度	1	0.019	0.011	-0.139	0	-0.026	-0.113	0.003
縱剖面 曲率	0.019	1	-0.382	0.005	-0.258	-0.004	0.001	0.003
橫剖面 曲率	0.011	-0.382	1	-0.006	0.097	0.001	0.002	-0.004
坡向	-0.139	0.005	-0.006	1	-0.003	0.528	0.702	0.142
粗糙度	0	-0.258	0.097	-0.003	1	0.020	0.009	-0.013
地層 類別	-0.026	-0.004	0.001	0.528	0.020	1	0.746	0.015
地質 年代	-0.113	0.001	0.002	0.702	0.009	0.746	1	0.058
構造 距離	0.003	0.003	-0.004	0.142	-0.013	0.015	0.058	1

表5-12 兩研究區合併後之淺層崩塌潛勢因子相依性(40 公尺網格)

	坡度	縱剖面 曲率	橫剖面 曲率	坡向	粗糙度	地層 類別	地質 年代	構造 距離
坡度	1	0.012	0.01	-0.149	0.02	0.090	0.050	0.008
縱剖面 曲率	0.012	1	-0.571	0.003	-0.323	-0.013	-0.018	0.01
橫剖面 曲率	0.01	-0.571	1	0.014	0.083	0.028	0.028	0.004
坡向	-0.149	0.003	0.014	1	0.009	0.306	0.314	0.132
粗糙度	0.02	-0.323	0.083	0.009	1	0.01	0.006	-0.001
地層 類別	0.090	-0.013	0.028	0.306	0.01	1	0.701	0.074
地質 年代	0.050	-0.018	0.028	0.314	0.006	0.701	1	0.004
構造 距離	0.008	0.01	0.004	0.132	-0.001	0.074	0.004	1

2. 淺層崩塌因子顯著性

對各因子進行顯著性的檢查，顯著性檢驗又稱為假設檢驗。虛無假設（Null Hypothesis）是某種有關母體參數值的主張，以 H_0 代表。會先假設其為正確的主張，直到有充分的統計數據而被證明該主張是錯的。假設檢定有兩個重要的錯誤型式，分別是型 I 錯誤（Type I error）、型 II 錯誤（Type II error）。拒絕虛無假設而 H_0 事實上成立，此種稱為型 I 錯誤；不拒絕虛無假設而 H_0 事實上不成立，稱為型 II 錯誤。

在判斷假設檢定的結果主要以可信度與顯著水準來看，可信度 p -值是在相同樣本數 n 、假設虛無假設 H_0 成立的情況下，得到一組比目前樣本更不利虛無假設的機率，也就是在此情況下， H_0 大概有 p -的機率是正確。顯著水準（Significance Level）則是用以評斷是否拒絕虛無假設 H_0 的標準，將型 I 錯誤的標準指定為 α ，而型 II 錯誤指定為 β ，當虛無假設 H_0 小於 α 時，拒絕 H_0 。例如當 α 的標準為 5% 時，

當 H_0 的可信度 p -值小於 5% 以下，代表 H_0 不可信，因此必須拒絕虛無假設。顯著水準 α 隱含信心水準之意涵，即要有 95% 以上的信心水準，才可以拒絕虛無假設。

對於獨立隨機樣本檢定，計算兩個母體平均的差異顯著性，乃使用檢定統計量 t ，計算方式如式 5-3，其中 $(\mu_1 - \mu_2)_0$ 是虛無假設裡母體平均的差異。因為在獨立隨機樣本檢定的基本假設裡，額外假設兩個母體互相獨立，故 $x_1 - x_2$ 的變異數等於 t 變異數加上 x_2 的變異數，如式 5-4。假設兩個母體都是獨立的常態分布，檢定統計量 t 值也會符合標準常態 t 分布，依照 Z 值換算出可信度 p -值，即可以 p -值與顯著水準 α 比較後，決定是否拒絕虛無假設。

$$t = \frac{(x_1 - x_2) - (\mu_1 - \mu_2)_0}{\sqrt{\sigma_1^2/n_1 + \sigma_2^2/n_2}} \quad (\text{式 5-3})$$

$$\text{Var}(x_1 - x_2) = \text{Var}(x_1) + \text{Var}(x_2) \quad (\text{式 5-4})$$

μ_1 、 μ_2 ：母體平均數

σ_1 、 σ_2 ：母體變異數

n_1 、 n_2 ：樣本大小

Var：獨立隨機樣本

對於兩個母體的變異數的顯著性檢定，以式 5-5 方式，將卡方值與自由度合併計算，得到 F 分配（ F Distribution）的 F 隨機變數，其中 χ_1^2 與 χ_2^2 分別是母體的卡方值， DOF_1 與 DOF_2 分別為母體的自由度。而相同的 F 值在不同的樣本數情況下，會代表不一樣的可信度 p -值，藉由查表或轉換可得知。由可信度 p -值與顯著水準 α 比較後，決定是否拒絕虛無假設 H_0 。

$$F_{(DOF_1, DOF_2)} = \frac{\chi_1^2 / DOF_1}{\chi_2^2 / DOF_2} \quad (\text{式 5-5})$$

討論各網格大小下的淺層崩塌潛勢因子之顯著性，各淺層因子之

顯著性整理至表 5-13~表 5-15。而平均數 T 檢定的顯著性欄即 p-值，其中數值如果超出 0.05 則其數值因為大於顯著水準 α 故不適用。同理 F 檢定顯著性欄，其數值小於 0.05 者未來盡量不選用。

由 3 個表整體可看出，在 5 公尺網格中各潛勢因子都有良好的顯著性，而在 40 公尺網格中，各潛勢因子的顯著性大致上都不佳，由此可知在較小網格能將各潛勢因子之顯著性體現出來。而在 10 公尺以及 20 公尺網格中，研究區 A 內兩種曲率因子以及粗糙度因子的顯著性很低，而地質構造距離的顯著性在不同的網格中也不穩定，其餘因子都有良好的顯著性。研究區 B 中兩種曲率因子也有相同情形，顯著性不佳，地質構造距離的顯著性也不好，其餘因子之顯著性都有良好表現。而將兩個研究區合併後再進行檢定後發現，亦有兩種曲率因子顯著性不佳的狀況，其餘潛勢因子大致上顯著性良好。

由本小節討論，可發現網格越大，潛勢因子的顯著性都有下降趨勢，在 5 公尺網格單元中各潛勢因子表現最佳，在 40 公尺網格單元中基本上都不具有顯著性。然而利用 5 公尺網格萃取因子以及整理資料時，都會需要大量的電腦運算時間，會降低使用效率，因此後續將討論各網格大小之適用性。

表5-13 研究區 A 淺層崩塌潛勢因子之顯著性

網格	5 公尺		10 公尺		20 公尺		40 公尺	
顯著性 檢定	F 檢定	T 檢定	F 檢定	T 檢定	F 檢定	T 檢定	F 檢定	T 檢定
坡度	2383.041	0	13.674	0.00	5.404	0.02	0.386	0.534
縱剖面 曲率	18.493	0	4.908	0.027	0.184	0.668	0.186	0.666
橫剖面 曲率	36.728	0	0.926	0.336	3.986	0.046	0.027	0.87
坡度	40.553	0	2.352	0.001	0.918	0.011	0.559	0.003
粗糙度	2399.942	0	1.434	0.231	4.316	0.038	0.338	0.561
地層 類型	3948.386	0	19.31	0	1.408	0.023	4.499	0.034
地質 年代	194.779	0	0.832	0.045	16.682	0	0.02	0.889
構造 距離	13.301	0	78.319	0	1.729	0.188	5.781	0.016

表5-14 研究區 B 淺層崩塌潛勢因子之顯著性

網格	5 公尺		10 公尺		20 公尺		40 公尺	
顯著性 檢定	F 檢定	T 檢定	F 檢定	T 檢定	F 檢定	T 檢定	F 檢定	T 檢定
坡度	7718.605	0	68.879	0	23.942	0	13.38	0
縱剖面 曲率	350.937	0	4.335	0.037	1.016	0.314	0.213	0.644
橫剖面 曲率	60.389	0	3.12	0.077	0.312	0.577	0.3	0.584
坡向	21.342	0	0.873	0.026	1.342	0.025	0.836	0.043
粗糙度	7541.818	0	68.683	0	30.49	0	2.315	0.128
地層 類型	1043.917	0	18.705	0	0.79	0.01	1.106	0.293
地質 年代	2547.736	0	25.458	0	3.771	0.02	2.66	0.103
構造 距離	1087.16	0	6.334	0.112	2.449	0.118	1.323	0.25

表5-15 兩處研究區淺層崩塌潛勢因子之顯著性

網格	5 公尺		10 公尺		20 公尺		40 公尺	
顯著性 檢定	F 檢定	T 檢定	F 檢定	T 檢定	F 檢定	T 檢定	F 檢定	T 檢定
坡度	10471.692	0	82.578	0	31.013	0	9.251	0.002
縱剖面 曲率	10.65	0.001	0.827	0.363	0.379	0.538	0.179	0.672
橫剖面 曲率	21.638	0	1.494	0.222	1.662	0.197	0.328	0.567
坡度	75850.365	0	814.878	0	173.162	0	47.143	0
粗糙度	2226.884	0	17.084	0	12.047	0.001	0.395	0.53
地層 類型	11379.427	0	119.348	0	47.953	0	9.037	0.003
地質 年代	55822.93	0	608.054	0	141.782	0	48.367	0
構造 距離	5888.006	0	50.05	0	20.528	0	7.002	0.008

第三節 區別分析法

過去在探討崩塌的潛勢，還有崩塌導致危害與風險的時候，經常配合地理資訊系統（Geographical Information System，GIS），套疊各種圖資以萃取空間資訊。而根據目的和分析方法而有所不同，會挑選適宜的分析單元，這些分析單元是根據某些準則條件下，將空間劃分成多塊區域，在給予特定定義下，這些分析單元具有不同代表性，使得單元內的一致性高、單元之間的區別性也高。在資料繁多複雜的空間分析裡，圈繪單元既方便資料系統性管理，在統計資料與運算上，也具有節省效能的優點。前人常用的分析單元劃設法大致上分成五種，網格單元法、斜坡單元法、地域單元法、特別條件單元法以及地貌單元法。而在崩塌潛勢分析中又以網格單元及斜坡單元較常被利用。然而斜坡單元在分析的尺度上較大，由淺層崩塌面積分布中可看出，淺層崩塌面積甚小，以斜坡單元進行分析會造成嚴重的高估。在水保局(2017、2018 以及 2019)的潛勢分析成果中即利用了網格單元進行淺層崩塌的潛勢分析，得到良好的分析結果，因此本研究將採用網格單元來進行潛勢分析之研究。

而選取的網格單元大小亦為重要的課題，過小的網格單元在分析時會造成龐大的計算量使效率降低，而過大的網格單元則可能會忽略地形特徵細節，造成分析的正確性降低。在水保局(2017、2018 以及 2019)進行淺層崩塌潛勢分析時，為了使分析單元更能具代表性，選擇 5 公尺網格單元使一個淺層崩塌圈繪都能有 3×3 個網格包覆。本研究後續將分別討論 5 公尺、10 公尺、20 公尺以及 40 公尺之網格，何者分析單元有較良好的預測能力以及有較高的效率。

然而在討論網格單元的分析能力時，常利用 ROC(receiver operating characteristic curve)曲線討論其成果如圖 5-4。ROC 曲線以偽

陽性率(FPR)為 X 軸，真陽性率(TPR)為 Y 軸。偽陽性代表所有陰性樣本中，檢測出假陽性機率，等同於 1 減去特異性；真陽性即為靈敏度，代表所有陽性樣本中，得以正確檢測出陽性結果機率，ROC 曲線是以這兩個比率的相對關係繪製而成。分析結果後，將其對應的偽陽性以及真陽性 ROC 曲線以座標從(0,0)到(1,1)的對角線劃分如圖 5-4 上之虛線，若預測值落在此線即為偽陽性和真陽性相當，跟隨機猜測一樣，代表此預測工具沒有預測效果，ROC 曲線越往左上方移動代表預測效果越好。

因此在比較不同分析單元時，可以將每個單元的 ROC 曲線繪出，比較各單元結果時，常用 ROC 曲線下的面積(Area under the Curve of ROC, AUC)作為指標如圖 5-4 粉色部分，因為橫剖面與縱剖面值域落在 0 到 1，故 AUC 值亦為落在 0 到 1 之間，AUC 值越大代表預測正確率越高。一般 AUC 數值對於預測結果好壞定義即為 AUC=0.5，無預測能力；0.5~0.7 之間為微預測能力；在 0.7~0.8 之間為普通預測能力；在 0.8~0.9 之間為優秀預測能力；在 0.9~1.0 之間為極佳預測能力。

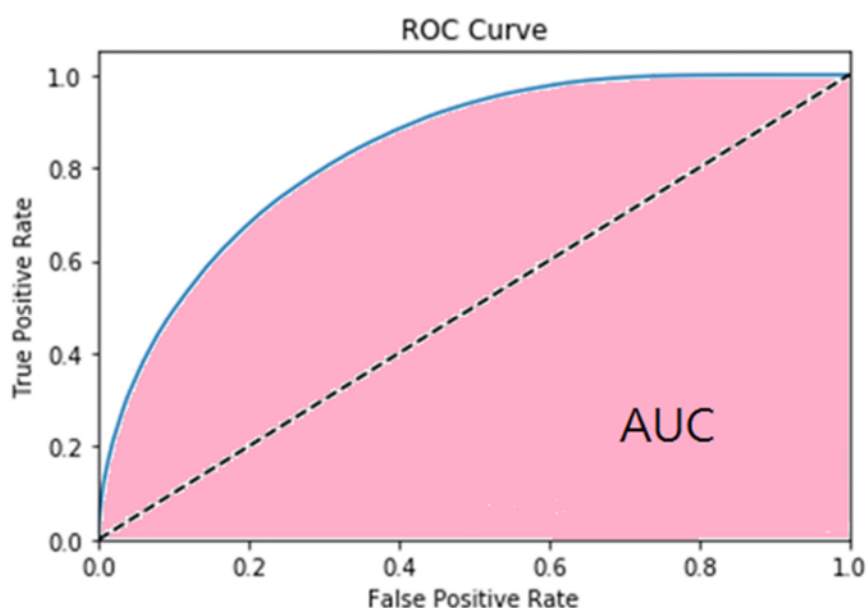


圖5-4 ROC 及 AUC 示意圖

將兩研究區所萃取出之各潛勢因子之 AUC 值整理表 5-16 至表 5-18，並由三個表中可看出兩種曲率的 AUC 值大都小於 0.5，表示其預測效果不佳，可能原因為淺層崩塌大都為表層的破壞，其形狀較為平直，因此曲率因子較無法突現其代表性。在研究區 A 中坡度因子之 AUC 值為最佳的因子，能有 0.6 以上良好數值，地質構造距離因子的 AUC 值並不穩定，在 10 公尺網格以及 20 公尺網格中的 AUC 值低於 0.5，以及粗糙度因子在 40 公尺網格中的 AUC 值低於 0.5，表示其預測能力不穩定。而其餘 5 種因子之 AUC 值都大於 0.5 表示都能有較佳的預測能力。在研究區 B 中，坡度因子之 AUC 值亦有良好的表現，而地層類型以及地質年代之 AUC 值也有 0.6 左右的良好數值。而將兩研究區合併後，各淺層崩塌潛勢因子的 AUC 值都有微幅上升的趨勢，而坡度、坡向、地層類型以及地質年代等 4 個淺層崩塌潛勢因子在 AUC 值上有較好的數值表現。

表5-16 研究區 A 淺層崩塌因子 AUC 值

分析單元尺寸	5 公尺	10 公尺	20 公尺	40 公尺
坡度	0.682	0.687	0.683	0.700
縱剖面曲率	0.495	0.49	0.482	0.538
橫剖面曲率	0.479	0.458	0.445	0.481
坡向	0.574	0.571	0.586	0.559
粗糙度	0.515	0.506	0.554	0.495
地層類型	0.552	0.602	0.605	0.594
地質年代	0.526	0.535	0.524	0.545
地質構造距離	0.518	0.486	0.484	0.512

表5-17 研究區 B 淺層崩塌因子 AUC 值

分析單元尺寸	5 公尺	10 公尺	20 公尺	40 公尺
坡度	0.685	0.678	0.708	0.679
縱剖面曲率	0.486	0.485	0.488	0.485
橫剖面曲率	0.489	0.482	0.492	0.461
坡向	0.538	0.545	0.514	0.523
粗糙度	0.523	0.525	0.512	0.515
地層類型	0.63	0.635	0.638	0.624
地質年代	0.586	0.593	0.58	0.62
地質構造距離	0.531	0.533	0.542	0.548

表5-18 兩處研究區合併後之淺層崩塌因子 AUC 值

分析單元尺寸	5 公尺	10 公尺	20 公尺	40 公尺
坡度	0.629	0.624	0.645	0.628
縱剖面曲率	0.495	0.488	0.488	0.502
橫剖面曲率	0.481	0.475	0.476	0.472
坡向	0.677	0.673	0.661	0.663
粗糙度	0.517	0.518	0.525	0.505
地層類型	0.72	0.717	0.713	0.697
地質年代	0.684	0.684	0.67	0.676
地質構造距離	0.537	0.534	0.538	0.55

將各淺層崩塌潛勢因子之 AUC 值，以及上一小節所討論的相依性以及顯著性各別討論後，可發現坡度、坡向、地層類型以及地質年代等潛勢因子為較佳的潛勢因子。地層類型與地質年代因子都是為了探討不同地質對於淺層崩塌的影響而加入討論的潛勢因子，然而同樣的地層類型可能在不同地區都有不同名稱，因此在使用上會較複雜，如果使用地層年代來取代地層名稱，則後續要討論更廣域的範圍時能較容易使用，而在上續討論過程中，地層類型及地質年代因子在 AUC 值與其他 6 個潛勢因子的相依性低以及顯著性上都有良好表現，因此後續研究將使用地質年代因子來代表不同地層對淺層崩塌的影響。因此最後挑選的淺層崩塌潛勢因子為坡度、坡向以及地質年代因子來進行後續研究。

在進行區別分析前，將兩研究區的土石流潛勢溪流集水區分成模式建立組以及預測組，將各研究區的土石流潛勢溪流集水區分組整理至表 5-19 和表 5-20，而兩研究區的模式建立組以及預測組分布如圖 5-5 及圖 5-6 所示。

表5-19 研究區 A 土石流潛勢溪流集水區分組

模式建立組		預測組	
投縣 DF128	投縣 DF220	投縣 DF129	投縣 DF196
投縣 DF130	投縣 DF221	投縣 DF131	投縣 DF197
投縣 DF132	投縣 DF223	投縣 DF133	投縣 DF200
投縣 DF134	投縣 DF226	投縣 DF135	投縣 DF202
投縣 DF136	投縣 DF228	投縣 DF137	投縣 DF212
投縣 DF138	投縣 DF229	投縣 DF139	投縣 DF222
投縣 DF142	投縣 DF232	投縣 DF140	投縣 DF224
投縣 DF144	投縣 DF234	投縣 DF141	投縣 DF225
投縣 DF146	投縣 DF256	投縣 DF143	投縣 DF227
投縣 DF149	投縣 DF258	投縣 DF145	投縣 DF233
投縣 DF162	投縣 DF259	投縣 DF147	投縣 DF235
投縣 DF195	投縣 DF260	投縣 DF148	雲縣 DF002
投縣 DF198	投縣 DF261	投縣 DF159	雲縣 DF004
投縣 DF199	雲縣 DF001	投縣 DF160	雲縣 DF005
投縣 DF201	雲縣 DF003	投縣 DF161	雲縣 DF007
投縣 DF203	雲縣 DF006	投縣 DF163	雲縣 DF008
投縣 DF213	雲縣 DF011	投縣 DF192	雲縣 DF009
投縣 DF214	雲縣 DF012	投縣 DF193	雲縣 DF010
投縣 DF216		投縣 DF194	

表5-20 研究區 B 土石流潛勢溪流集水區分組

模式建立組		預測組	
南市 DF004	高市 DF016	南市 DF001	高市 DF009
南市 DF006	高市 DF008	南市 DF003	高市 DF011
南市 DF002	高市 DF010	南市 DF005	高市 DF013
南市 DF009	高市 DF071	南市 DF007	高市 DF014
南市 DF011	高市 DF094	南市 DF008	高市 DF015
南市 DF027	高市 DF019	南市 DF010	高市 DF017
南市 DF016	高市 DF020	南市 DF014	高市 DF018
南市 DF018	高市 DF012	南市 DF015	高市 DF022
南市 DF020	高市 DF093	南市 DF017	高市 DF030
南市 DF022	高市 DF021	南市 DF019	高市 DF031
南市 DF023	高市 DF023	南市 DF021	高市 DF033
南市 DF025	高市 DF038	南市 DF024	高市 DF034
南市 DF012	高市 DF096	南市 DF026	高市 DF036
南市 DF013	高市 DF043	南市 DF028	高市 DF037
南市 DF046	高市 DF040	南市 DF029	高市 DF039
南市 DF039	高市 DF042	南市 DF031	高市 DF041
南市 DF041	高市 DF064	南市 DF034	高市 DF044
南市 DF030	高市 DF032	南市 DF038	高市 DF045
南市 DF032	高市 DF035	南市 DF040	高市 DF047
南市 DF033	高市 DF111	南市 DF042	高市 DF072
南市 DF035		南市 DF043	高市 DF073
高市 DF048		南市 DF044	高市 DF074
高市 DF100		南市 DF045	高市 DF095
高市 DF097		南市 DF047	高市 DF098
高市 DF046		南市 DF048	高市 DF099

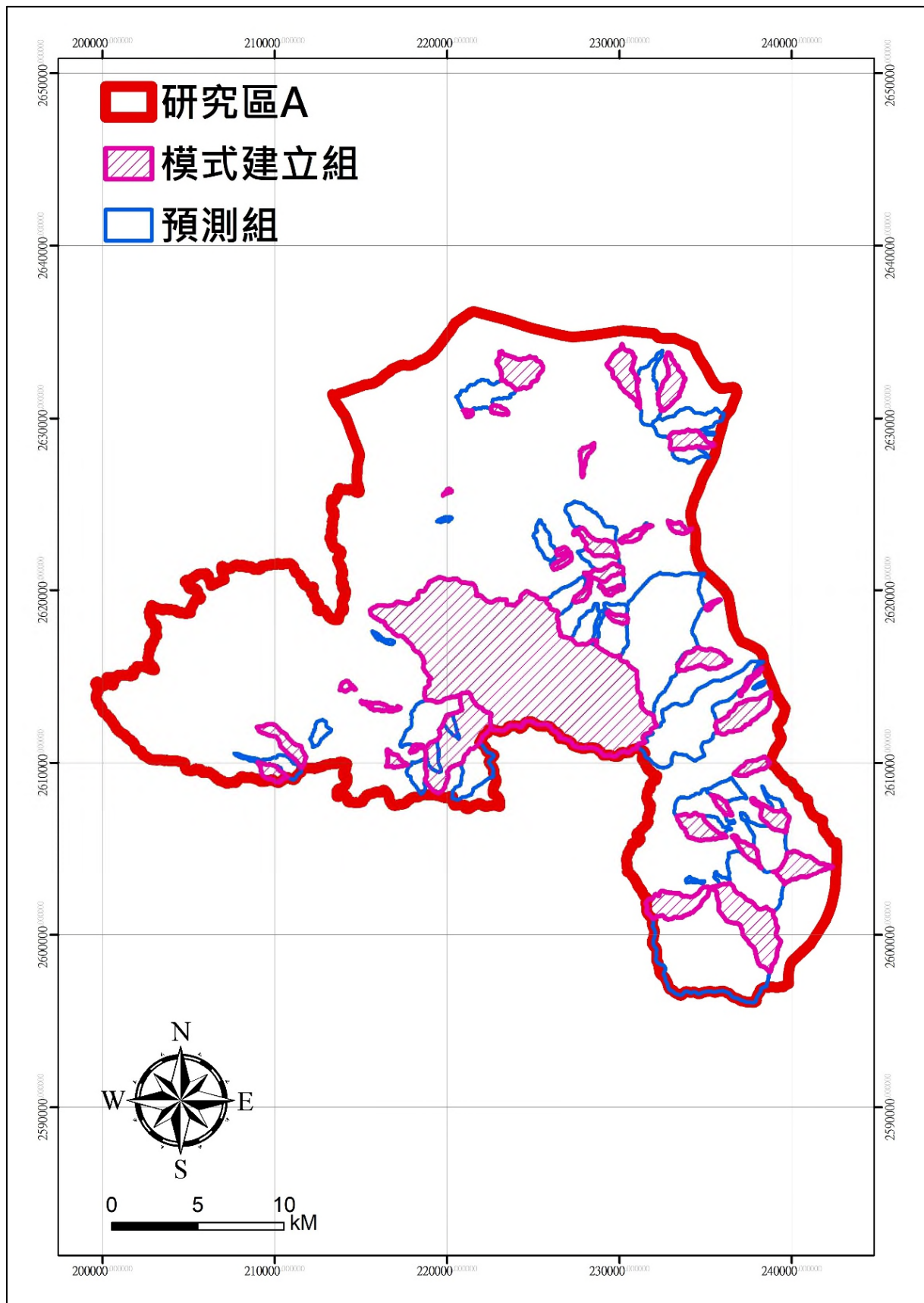


圖5-5 研究區 A 土石流潛勢溪流集水區分組

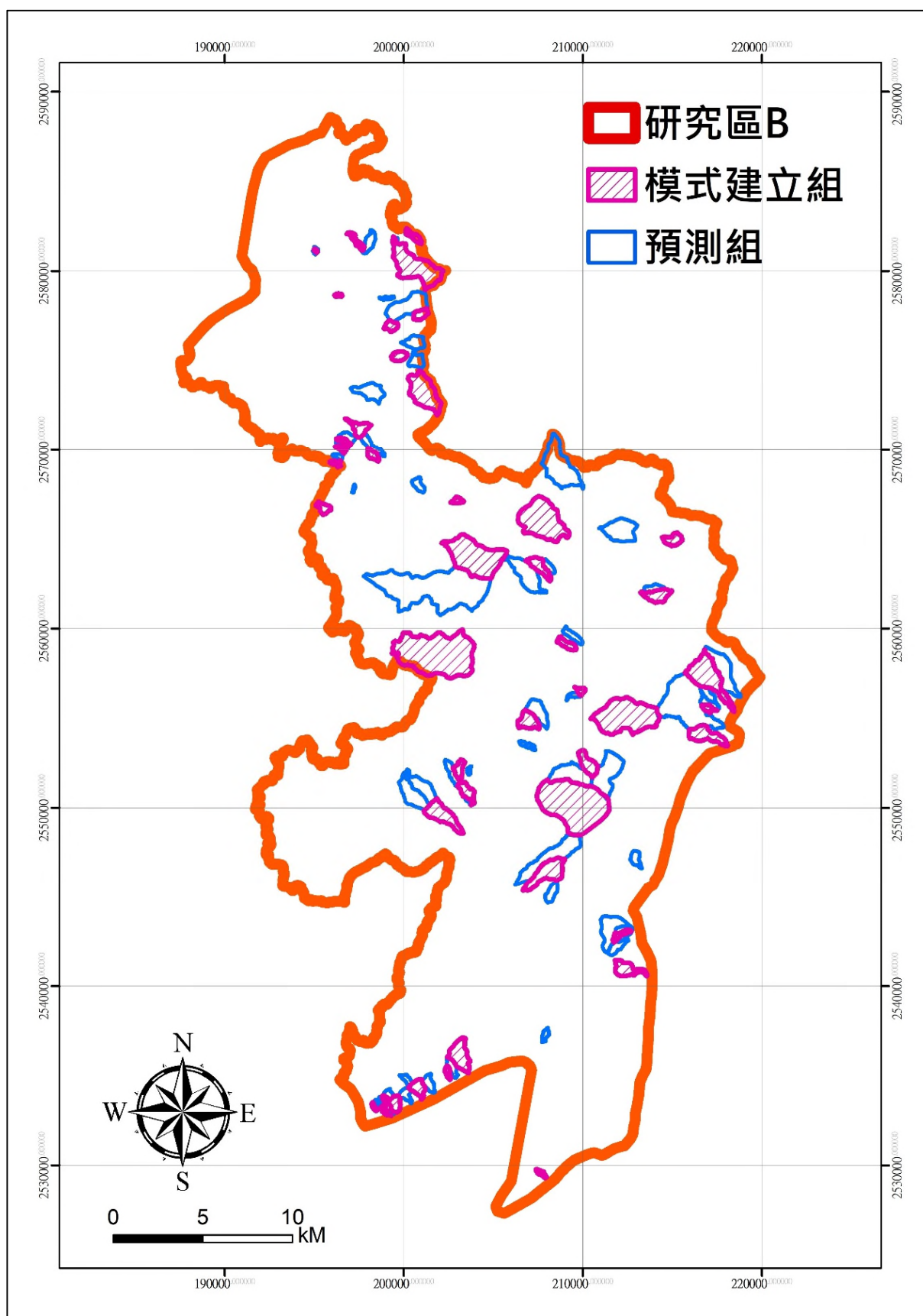


圖5-6 研究區 B 土石流潛勢溪流集水區分組

1. 研究區 A

採用坡度、坡向以及地質年代 3 項淺層崩塌潛勢因子在研究區 A 模式建立組土石流潛勢溪流集水區內，分別對於不同大小的網格單位進行區別分析，可得到式 5-6~式 5-9，等 4 個不同分析單元之淺層崩塌潛勢公式。

5 公尺網格單元之淺層崩塌潛勢公式：

$$Z = (0.983 \times Z_{\text{slope}}) + (0.213 \times Z_{\text{aspect}}) + (-0.032 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.424$$

(式 5-6)

Z：環境潛勢因子

Zslope：正規化坡度因子

Zaspect：正規化坡向因子

Zgeochron：正規化地質年代因子

10 公尺網格單元之淺層崩塌潛勢公式：

$$Z = (0.95 \times Z_{\text{slope}}) + (0.136 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.207 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.423$$

(式 5-7)

20 公尺網格單元之淺層崩塌潛勢公式：

$$Z = (0.929 \times Z_{\text{slope}}) + (0.259 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.139 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.34$$

(式 5-8)

40 公尺網格單元之淺層崩塌潛勢公式：

$$Z = (0.974 \times Z_{\text{slope}}) + (0.198 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.137 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.367$$

(式 5-9)

在各淺層崩塌潛勢公式中，其潛勢因子前的係數代表其因子在預測淺層崩塌發生的重要性，其值越大表示與淺層崩塌越有相關性。在

研究區 A 中的 4 個公式中可看出坡度因子是最主要的因子，其次是坡向，最後為地質年代。區別分析成果之正確率可看出淺層崩塌潛勢公式的預測能力，其中正確率是指環境潛勢值判斷為崩塌單元，而實際情形為崩塌單元，或判斷為非崩塌單元，實際情況也是非崩塌單元的情況，皆視為正確判斷，其他情況視為錯誤判斷。如表 5-21 中以 a、b、c 以及 d 代表數值，由此四種判定結果可計算擬合正確率如式 5-10 所示，亦即正確值佔總數量的百分比。

$$\text{正確率} = \frac{a+d}{a+b+c+d} \times 100\% \quad (\text{式 5-10})$$

而由表 5-21 至表 5-24 可看出區別分析成果，可發現其正確率接在 62% 以上，表示各公式能有良好的預測能力，表示亦有不錯的預測能力，而 10 公尺以及 20 公尺之網格單元則表現稍佳。

表5-21 研究區 A 之區別分析分類結果(5 公尺網格單元)

實際分類		依區別公式推估的分類結果(%)	
		未崩塌網格	淺層崩塌網格
擬合分析	未崩塌網格	62.5(a)	37.5(b)
	淺層崩塌網格	36.7(c)	63.3(d)
驗證分析	未崩塌網格	63.1	36.9
	淺層崩塌網格	37.8	62.2

擬合分析整體正確率為 62.9%

驗證結果整體正確率為 62.7%

表5-22 研究區 A 之區別分析分類結果(10 公尺網格單元)

實際分類		依區別公式推估的分類結果(%)	
		未崩塌網格	淺層崩塌網格
擬合分析	未崩塌網格	64.0	36.0
	淺層崩塌網格	34.8	65.2
驗證分析	未崩塌網格	62.2	37.8
	淺層崩塌網格	36.5	63.5

擬合分析整體正確率為 64.6%

驗證結果整體正確率為 62.8%

表5-23 研究區 A 之區別分析分類結果(20 公尺網格單元)

實際分類		依區別公式推估的分類結果(%)	
		未崩塌網格	淺層崩塌網格
擬合分析	未崩塌網格	62.7	37.3
	淺層崩塌網格	34.9	65.1
驗證分析	未崩塌網格	61.9	38.1
	淺層崩塌網格	34.1	65.9

擬合分析整體正確率為 63.8%

驗證結果整體正確率為 63.9%

表5-24 研究區 A 之區別分析分類結果(40 公尺網格單元)

實際分類		依區別公式推估的分類結果(%)	
		未崩塌網格	淺層崩塌網格
擬合分析	未崩塌網格	63.4	36.6
	淺層崩塌網格	36.0	64.0
驗證分析	未崩塌網格	58.7	41.3
	淺層崩塌網格	34.8	65.2

擬合分析整體正確率為 63.7%

驗證結果整體正確率為 62.0%

將各淺層崩塌潛勢公式帶入預測組中，可得到各大小網格單元之淺層崩塌的正確率，分別為 5 公尺網格單元的正確率為 57.0%，10 公尺網格單元的正確率為 70.4%，在 20 公尺網格單元的正確率為 58.3%，40 公尺網格單元的淺層崩塌預測正確率為 66.5%，由預測組的正確率可看出 5 公尺以及 20 公尺網格單元的正確率較低，然而在 10 公尺以及 40 公尺網格單元表現較佳。將所有的淺層崩塌正確率整理至表 5-25。

表5-25 研究區 A 土石流潛勢溪流集水區預測組之淺層崩塌正確率

網格單元	5 公尺	10 公尺	20 公尺	40 公尺
淺層崩塌 預測正確率 (%)	57.0	70.4	58.3	66.5

2. 研究區 B

選取坡度、坡向以及地質年代 3 項淺層崩塌潛勢因子在研究區 B 模式建立組土石流潛勢溪流集水區內，分別對於不同大小的網格單位進行區別分析，可得到式 5-11~式 5-14，等 4 個不同分析單元之淺層崩塌潛勢公式。

5 公尺網格單元之淺層崩塌潛勢公式：

$$Z = (0.948 \times Z_{\text{slope}}) + (0.138 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.545 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.433$$

(式 5-11)

10 公尺網格單元之淺層崩塌潛勢公式：

$$Z = (0.989 \times Z_{\text{slope}}) + (0.215 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.379 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.339$$

(式 5-12)

20 公尺網格單元之淺層崩塌潛勢公式：

$$Z = (0.996 \times Z_{\text{slope}}) + (0.249 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.326 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.359$$

(式 5-13)

40 公尺網格單元之淺層崩塌潛勢公式：

$$Z = (0.998 \times Z_{\text{slope}}) + (0.032 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.324 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.349$$

(式 5-14)

在研究區 B 中，最主要的控制因子仍為坡度因子，地質年代因子為第二重要，最後則是坡向因子。在研究區 A 中坡向及地質年代因子並沒有像在研究區 B 中有明顯的重要訊序排列，表示在不同地區，各潛勢因子的重要性不同，因此仍需要持續討論各潛勢因子的適用性。

而由表 5-26~表 5-29 可看出區別分析成果，可發現研究區 B 的正確率在 60%以上，表示各網格單元潛勢公式在預測能力上都有良好表現，5 公尺、10 公尺以及 20 公尺網格單元之正確率約在 62%，而 40 公尺網格單元則有 65%的正確率。

表5-26 研究區 B 之區別分析分類結果(5 公尺網格單元)

實際分類		依區別公式推估的分類結果(%)	
		未崩塌網格	淺層崩塌網格
擬合分析	未崩塌網格	60.0	40.0
	淺層崩塌網格	35.9	64.1
驗證分析	未崩塌網格	59.8	40.2
	淺層崩塌網格	36.0	64.0

擬合分析整體正確率為 62.1%

驗證結果整體正確率為 61.9%

表5-27 研究區 B 之區別分析分類結果(10 公尺網格單元)

實際分類		依區別公式推估的分類結果(%)	
		未崩塌網格	淺層崩塌網格
擬合分析	未崩塌網格	60.2	39.8
	淺層崩塌網格	35.1	64.9
驗證分析	未崩塌網格	59.2	40.8
	淺層崩塌網格	36.4	63.6

擬合分析整體正確率為 62.5%

驗證結果整體正確率為 61.4%

表5-28 研究區 B 之區別分析分類結果(20 公尺網格單元)

實際分類		依區別公式推估的分類結果(%)	
		未崩塌網格	淺層崩塌網格
擬合分析	未崩塌網格	60.2	39.8
	淺層崩塌網格	35.4	64.6
驗證分析	未崩塌網格	59.3	40.7
	淺層崩塌網格	36.8	63.2

擬合分析整體正確率為 62.4%

驗證結果整體正確率為 61.2%

表5-29 研究區 B 之區別分析分類結果(40 公尺網格單元)

實際分類		依區別公式推估的分類結果(%)	
		未崩塌網格	淺層崩塌網格
擬合分析	未崩塌網格	62.9	37.1
	淺層崩塌網格	30.1	69.9
驗證分析	未崩塌網格	60.7	39.3
	淺層崩塌網格	31.2	68.8

擬合分析整體正確率為 66.5%

驗證結果整體正確率為 64.7%

再將各淺層崩塌潛勢公式帶入預測組中，可得到各大小網格單元之淺層崩塌的正確率，分別為 5 公尺網格單元的正確率為 65.0%，10 公尺網格單元的正確率為 72.2%，在 20 公尺網格單元的正確率為 67.3%，40 公尺網格單元的淺層崩塌預測正確率為 61.4%。研究區 B 預測組中的淺層崩塌預測正確率在 10 公尺網格中表現最佳。將所有的淺層崩塌正確率整理至表 5-30。

表5-30 研究區 B 土石流潛勢溪流集水區預測組之淺層崩塌正確率

網格單元	5 公尺	10 公尺	20 公尺	40 公尺
淺層崩塌 預測正確率 (%)	65.0	72.2	67.3	61.4

3. 兩研究區合併

將兩研究區之分析單元合併後，採用坡度、坡向以及地質年代 3 個淺層崩塌潛勢因子帶入模式建立組土石流潛勢溪流集水區內，分別對於不同大小的網格單位進行區別分析，可得到式 5-15~式 5-18，等 4 個不同分析單元之淺層崩塌潛勢公式。而區別分析成果如表所示。5 公尺網格單元之淺層崩塌潛勢公式：

$$Z = (0.655 \times Z_{\text{slope}}) + (0.487 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.455 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.494$$

(式 5-15)

10 公尺網格單元之淺層崩塌潛勢公式：

$$Z = (0.714 \times Z_{\text{slope}}) + (0.17 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.681 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.436$$

(式 5-16)

20 公尺網格單元之淺層崩塌潛勢公式：

$$Z = (0.682 \times Z_{\text{slope}}) + (-0.182 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.675 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.438$$

(式 5-17)

40 公尺網格單元之淺層崩塌潛勢公式：

$$Z = (0.710 \times Z_{\text{slope}}) + (0.493 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.288 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.300$$

(式 5-18)

在合併的研究區中，不同的網格單元皆以坡度因子最重要，坡向以及地質年代因子之重要性則略有不同。而由表 5-31~表 5-34 可看出區別分析成果，各網格單元之正確率皆在 60%以上，而 5 公尺網格單元之正確率達 68.4%，是有最好表現，接下來為 20 公尺網格單元的 66.2%正確率，10 公尺網格單元為 65.6%，40 公尺網格單元為 64.6%。皆有不錯的分析結果。

表5-31 兩研究區之區別分析分類結果(5 公尺網格單元)

實際分類		依區別公式推估的分類結果(%)	
		未崩塌網格	淺層崩塌網格
擬合分析	未崩塌網格	73.5	26.5
	淺層崩塌網格	36.3	63.7
驗證分析	未崩塌網格	73.2	26.8
	淺層崩塌網格	36.4	63.6

擬合分析整體正確率為 68.6%

驗證結果整體正確率為 68.4%

表5-32 兩研究區之區別分析分類結果(10 公尺網格單元)

實際分類		依區別公式推估的分類結果(%)	
		未崩塌網格	淺層崩塌網格
擬合分析	未崩塌網格	72.1	27.9
	淺層崩塌網格	41.3	58.7
驗證分析	未崩塌網格	72.7	27.3
	淺層崩塌網格	41.3	58.7

擬合分析整體正確率為 65.3%

驗證結果整體正確率為 65.6%

表5-33 兩研究區之區別分析分類結果(20 公尺網格單元)

實際分類		依區別公式推估的分類結果(%)	
		未崩塌網格	淺層崩塌網格
擬合分析	未崩塌網格	71.3	28.7
	淺層崩塌網格	39.4	60.6
驗證分析	未崩塌網格	72.3	27.7
	淺層崩塌網格	40.0	60.0

擬合分析整體正確率為 65.9%

驗證結果整體正確率為 66.2%

表5-34 兩研究區之區別分析分類結果(40 公尺網格單元)

實際分類		依區別公式推估的分類結果(%)	
		未崩塌網格	淺層崩塌網格
擬合分析	未崩塌網格	72.8	27.2
	淺層崩塌網格	38.6	61.4
驗證分析	未崩塌網格	73.5	26.5
	淺層崩塌網格	43.1	56.9

擬合分析整體正確率為 67.2%

驗證結果整體正確率為 64.6%

將合併後的淺層崩塌潛勢公式，各大小網格單元之淺層崩塌潛勢公式分別帶入研究區 A 及研究區 B 的預測組中，得到各大小網格單元之淺層崩塌的正確率，研究區 A 的 5 公尺網格單元的正確率為 60.4%，10 公尺網格單元的正確率為 63.5%，在 20 公尺網格單元的正確率為 50.0%，40 公尺網格單元的淺層崩塌預測正確率為 58.8%。研究區 B 為 5 公尺網格單元的正確率為 57.6%，10 公尺網格單元的正確率為 58.7%，在 20 公尺網格單元的正確率為 55.5%，40 公尺網格單元的淺層崩塌預測正確率為 51.4%。將兩研究區合併後的公式分別帶回研究區 A 以及研究區 B 後，其淺層崩塌預測正確率都明顯下降，僅有研究區 A 利用 5 公尺以及 10 公尺網格大小下能有 60% 以上之正確率，其餘預測正確率都低於 60%。將所有的淺層崩塌正確率整理至表 5-35。

表5-35 兩研究區土石流潛勢溪流集水區預測組之淺層崩塌正確率

研究區	網格單元	5 公尺	10 公尺	20 公尺	40 公尺
	淺層崩塌預測正確率 (%)	60.4	63.5	50.0	58.8
研究區 B	網格單元	5 公尺	10 公尺	20 公尺	40 公尺
	淺層崩塌預測正確率 (%)	57.6	58.7	55.5	51.4

由以上可看出在進行分析時，5 公尺及 10 公尺網格單元所萃取的淺層崩塌潛勢因子在 AUC 值、相依性以及顯著性上都有良好的表現，而在區別分析中兩者都有不錯的預測能力，在建立模式的擬合以及驗證中的正確率都有 60% 以上，而將淺層崩塌潛勢公式帶入預測組時，也是有 60% 以上的正確值，將兩研究區合併分析後，10 公尺網格在模式建立組中的擬合以及驗證正確率有最好表現，表示 10 公尺網

格單元在淺層崩塌潛勢分析上能有良好的預測能力，又相較於 5 公尺網格單元有效率。20 公尺網格單元在萃取潛勢因子中亦有良好的表現，但是在預測能力上就不及 5 公尺及 10 公尺的網格單元。40 公尺網格單元在萃取潛勢因子時，在顯著性上已經效果不佳，在後來的區別分析中其預測能力也並不突出，表示 20 公尺以及 40 公尺網格單元並不適合使用於淺層崩塌，可能因淺層崩塌面積大多較小之故，故代表性不佳。

後續分析以坡度、坡向以及地質年代 3 項淺層崩塌因子，以及 10 公尺網格單元進行後續分析。

由上一小節可得到研究區 A 的 10 公尺網格淺層崩塌潛勢公式，

$$Z = (0.95 \times Z_{\text{slope}}) + (0.136 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.207 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.423$$

(式 5-7)

研究區 B 的 10 公尺網格淺層崩塌潛勢公式，

$$Z = (0.989 \times Z_{\text{slope}}) + (0.215 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.379 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.339$$

(式 5-12)

以及兩研究區合併後所得到的 10 公尺網格淺層崩塌潛勢公式，

$$Z = (0.714 \times Z_{\text{slope}}) + (0.17 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.681 \times Z_{\text{geochron}}) - 0.436$$

(式 5-16)

由三個公式中可看出，坡度因子皆為最重要的控制因子，坡向以及地質年代因子的權重相較低。然而在兩研究區合併後地質年代因子之重要性上升，可能考慮到有如上新世地層上有較多的淺層崩塌產生，導致其面積崩塌率較高，造成地質年代因子的判別效果提升，坡度因子則相較重要性下降，表示並無特定坡向有較多的淺層崩塌產生。

將三個公式分別帶入研究區 A 及研究區 B 中，可得到各研究區土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌潛勢 Z 值。環境潛勢因子 Z 值可分為淺層崩塌數值以及非崩塌數值，兩者相交處的值為區分網格是否為淺層崩塌或非崩塌網格，將此數值設定為低潛勢的上限，另外參考土石流潛勢評估時，分級以累積機率 70%處作為中、高等級之分界，取淺層崩塌數值曲線底下面積的 70%處設為中、高潛勢的分界線，如圖 5-7 所示。將 Z 值區分為低、中和高潛勢可得到兩個研究區淺層崩塌潛勢圖，如圖 5-8 至圖 5-11 所示。其中紅色粗框為研究區範圍，深藍色框為土石流潛勢溪流，黑色框線為淺層崩塌，淺層崩塌潛勢的表示方法用低潛勢以綠色表示，中潛勢以黃色表示，而高潛勢以紅色表示。

由 4 張圖中可明顯看出多數的淺層崩塌都位於黃色以及紅色區域，僅有少數的崩塌落在綠色區域。而圖 4-8 以及圖 4-9 中可看出，利用式 5-7 所得到的淺層崩塌潛勢有較多的中、高潛勢區，而利用式 5-16 所得到的淺層崩塌潛勢則低潛勢區域較多，又在圖 5-9 中的中高潛勢區亦包含多數的淺層崩塌，圖 5-10 及圖 5-11 亦有同樣現象，然而又以集水區下游處更為明顯，綠色區域分布更廣，推測原因為式 5-16 的坡度因子權重降低，而集水區下游大多較為平緩，因此由式 5-16 所得到的淺層崩塌潛勢值降低。而由三個公式所得到的結果可看出，式 5-16 將兩區域的潛勢因合併起來分析，可以將兩區域發生淺層崩塌特性一併表現在公式中，除了能有良好的預測能力外，僅用一個公式來繪製兩個研究區的淺層崩塌潛勢圖，對於大範圍研究區合併此淺層崩塌潛勢公式具有良好代表性且通用性佳。

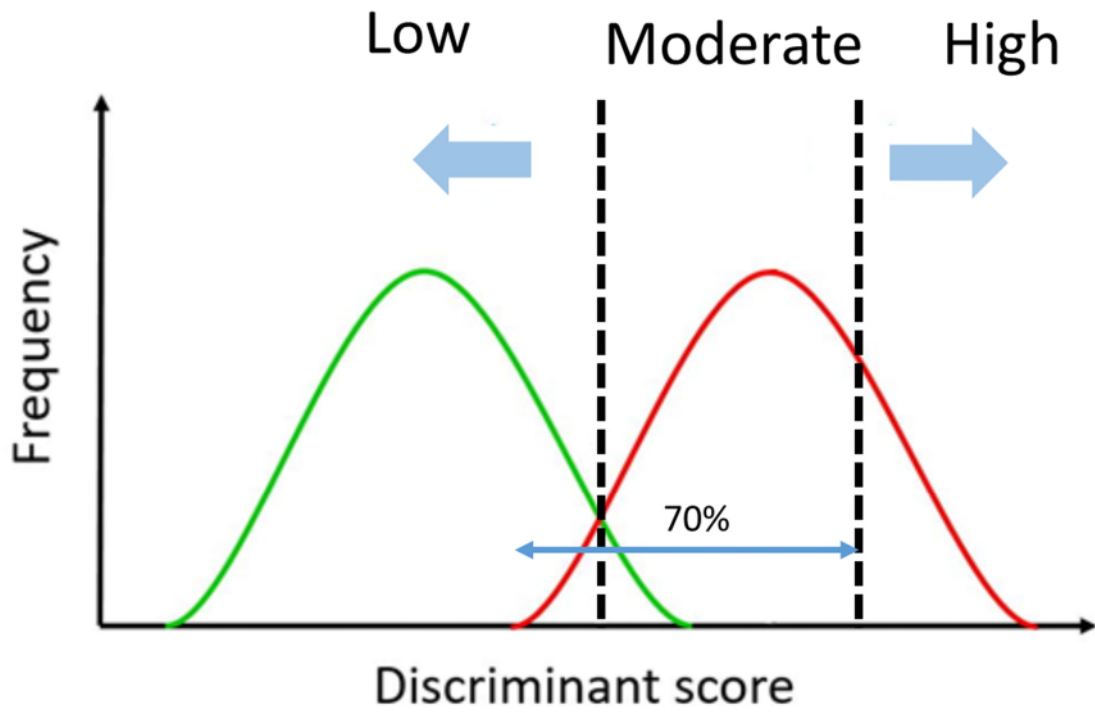


圖5-7 環境潛勢因子 Z 值分級示意圖

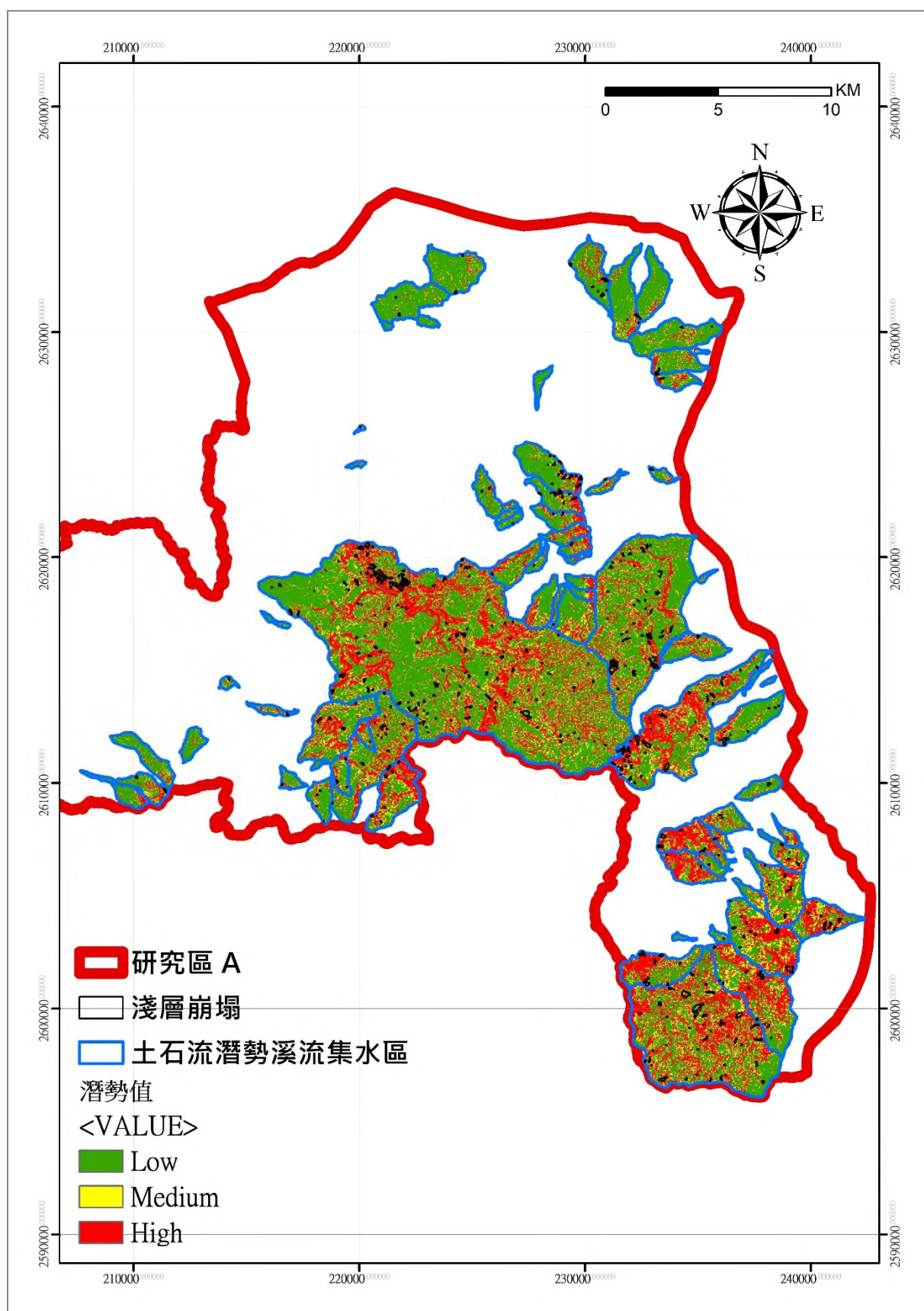


圖5-8 研究區 A 淺層崩塌潛勢圖

(研究區 A，10 公尺網格單元，式 5-7)

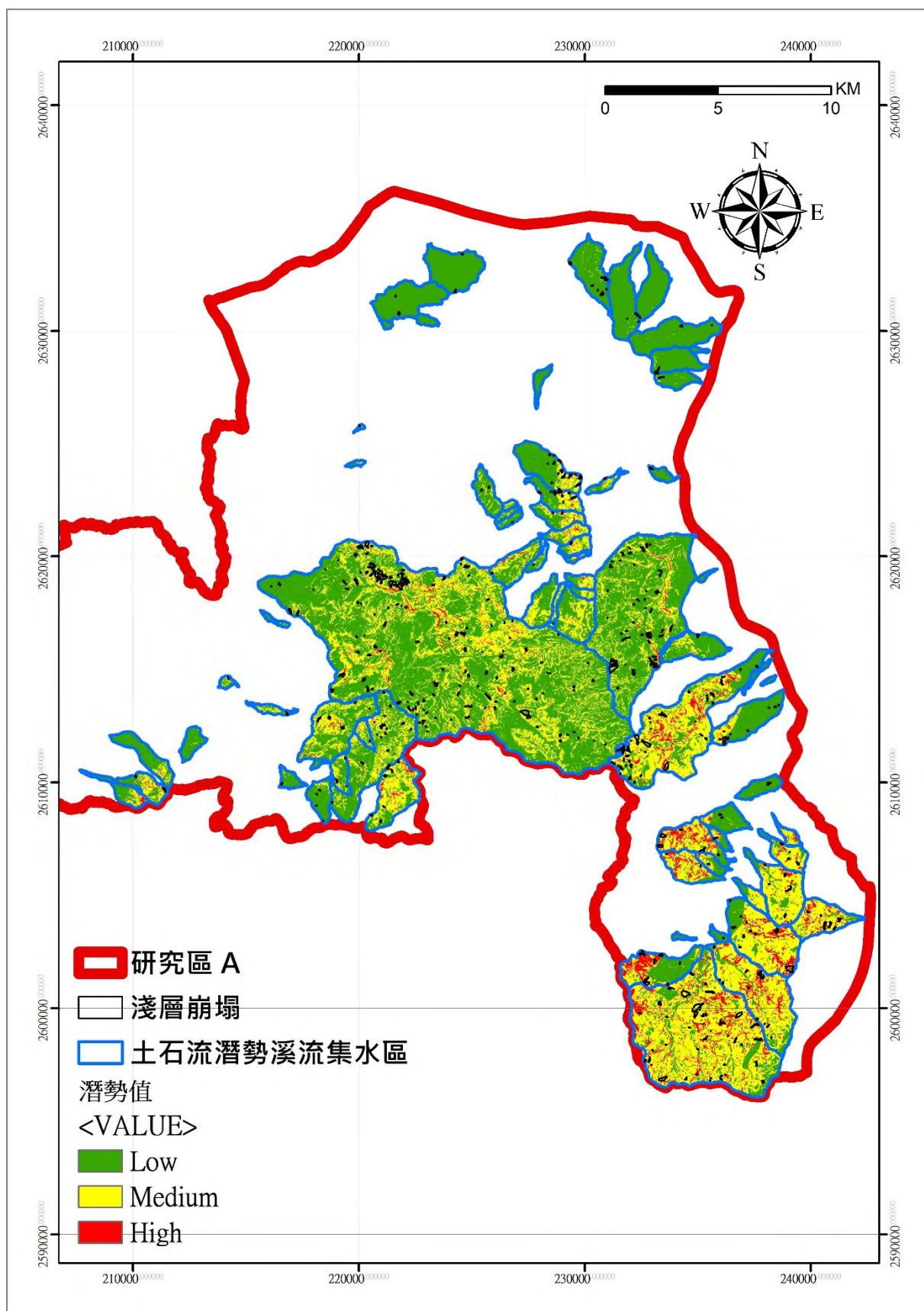


圖5-9 研究區 A 淺層崩塌潛勢圖
(合併研究區，10 公尺網格單元，式 5-16)

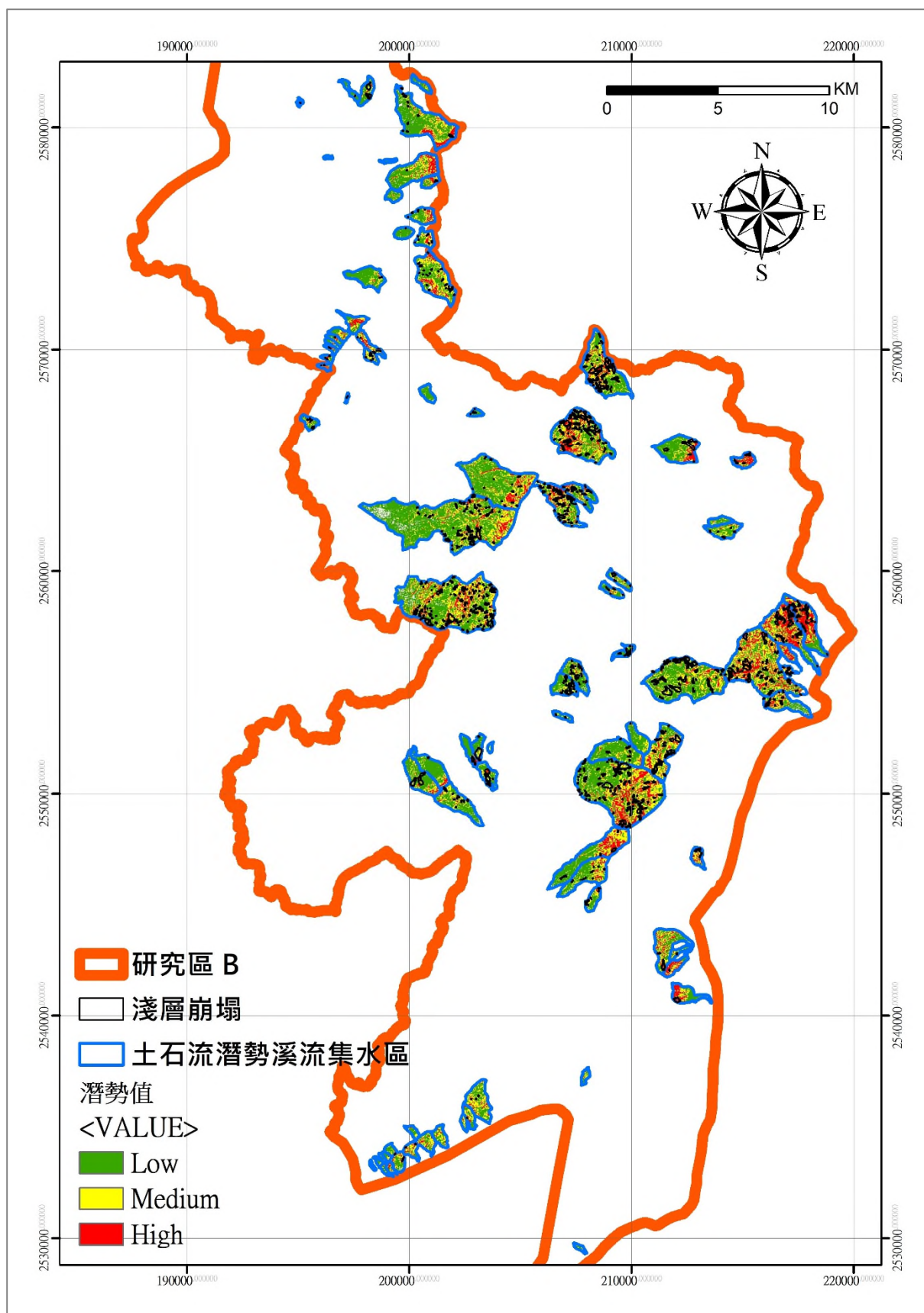


圖5-10 研究區 B 淺層崩塌潛勢圖

(研究區 B，10 公尺網格單元，式 5-12)

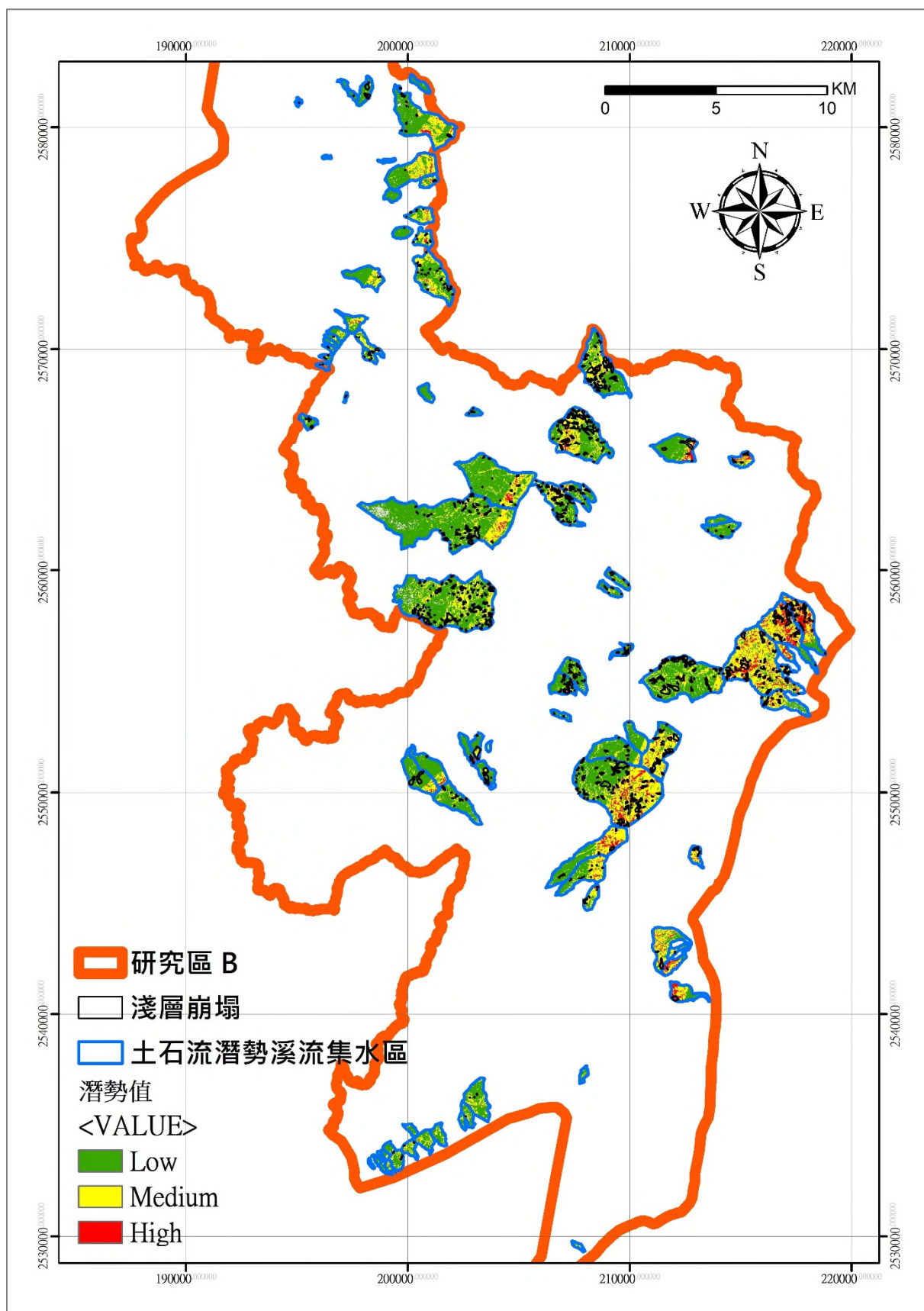


圖5-11 研究區 B 淺層崩塌潛勢圖
(合併研究區，10 公尺網格單元，式 5-16)

第四節 不安定指數法

不安定指數法屬於定量分析法，利用統計分析的方式，蒐集已經發生災害的資料，以統計或多變量分析的方法計算各因子的評分或組合之權重，此法較定性分析法客觀，且能反應出崩塌的特徵。而不安定指數法的概念是以計量之觀點，在一個相對的關係下，提出一個不安定指數值(D)來描述該邊坡在整個區域的研究下，會發生淺層崩塌的風險，不安定值較高代表著會發生淺層崩塌的可能性較大，反之則較小。利用上述討論的分析單元以及淺層崩塌潛勢因子，帶入不安定指數法進行分析，並與區別分析法進行比較。而不安定指數分析方法如下：

1. 因子選取

不安定指數法也是利用分析網格中的潛勢因子進行分析，而帶入的淺層崩塌潛勢因子為之前所討論的坡度、坡向以及地質年代等3個淺層崩塌潛勢因子。

2. 淺層崩塌影響因子評分

因子評分是利用面積崩塌率來做衡量的基準，而面積崩塌率是利用發生崩塌面積與該因子分區面積的比例來表示，計算如下：

$$S_i = \frac{A_{shallowlandslide,i}}{A_{total,i}} \quad (\text{式5-17})$$

其中， S_i 代表影響因子第*i*級面積崩塌率， $A_{shallowlandslide,i}$ 代表淺層崩塌潛勢因子第*i*級的崩坍面積， $A_{total,i}$ 代表影響淺層崩塌潛勢因子第*i*級的全部面積。

求出各潛勢因子分級的面積崩塌率後，再進行正規化處理，將各分級之面積崩塌率對應至 1-10 之間，即可求得各因子分級評分值。而正規化公式如下：

$$D_i = \frac{9(S_i - S_{min})}{(S_{max} - S_{min})} + 1 \quad (\text{式 5-18})$$

其中， D_i 代表淺層崩塌潛勢因子分級評分值， S_i 代表潛勢因子分級面積崩塌率， S_{max} 代表潛勢因子分級面積崩塌率最大者， S_{min} 代表潛勢因子分級面積崩塌率最小者。

3.淺層崩塌潛勢因子權重

權重值是用以描述所有因子組合後，各因子對不安定指數值之影響程度，權重之計算可分為下列兩個步驟：

a.各因子權重比較值

利用潛勢因子分級所得的面積崩塌率變異係數(V)，來代表因子分級發生淺層崩塌機率的靈敏度，當變異係數較小時，各分級發生淺層崩塌機率相近，表示此因子之分級方式無法將崩壞機率高或低的區域決定出來；相反的，若是變異係數較大時，則可以利用此因子的分級方式訂出因子分級對淺層崩塌所造成的影響，故可以利用潛勢因子變異係數的計算來作為各因子權重的比較值。

$$V = \frac{\sigma}{X} \times 100\% \quad (\text{式 5-19})$$

其中 V 為變異係數， σ 為標準差 (Standard Deviation)，X 為平均值。

b.權重值的計算

利用各因子所計算出的變異係數，除以全部變異係數值之總和，即可得該因子之權重值，計算如下：

$$W_j = \frac{V_j}{V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n} \quad (\text{式 5-20})$$

其中 W_j 代表第 j 個因子之權重值， V_j 代表第 j 個因子之變異係數，權重值(W_1 、 W_2 W_n)為因子間對邊坡安定之影響程度的指標值，其範圍介於 0-1 之間，且和為 1。

4.不安定指數值疊加方式

求得各潛勢因子評分值及權重後，最後定義因子評分與權重的疊加方式如下：

$$D = D_1^{w_1} \times D_2^{w_2} \times D_3^{w_3} \times \dots \times D_n^{w_n} \quad (\text{式 5-21})$$

其中 D 為不安定指數值， D_1 、 D_2 、...、 D_n 代表各淺層崩塌潛勢因子之分級評分值， w_1 、 w_2 、...、 w_n 則代表各淺層崩塌潛勢因子之權重值，疊加之後得到的不安定指數值介於 1-10 之間，數值所代表的意義為：當數值等於 10 時，表示在所有的資料中，此邊坡發生破壞的可能性為最大者，數值等於 1 時則表示在所有資料中，此邊坡發生淺層崩塌可能性為最小者，不安定指數值越高代表其發生淺層崩塌的可能性越大，反之越小，而權重值以次方之指數型式出現，其代表之意義為當權重值為 0 時，則此因子值變為 1，不影響乘積之結果，即代表因子為無效因子應予剔除，當權重值越大時，其影響不安定指數值越大，即代表著此因子越重要。

6 因子分級

a. 坡度因子

利用萃取出之坡度因子資料，依照小於 20° 、 $20^\circ \sim 30^\circ$ 、 $30^\circ \sim 40^\circ$ 、 $40^\circ \sim 50^\circ$ 以及大於 50° 等 5 個區間，分別求出其面積崩塌率。研究區 A 中各坡度區間的面積崩塌率分別為 0.034%、0.26%、1.10%、1.74% 以及 1.50%；研究區 B 的面積崩塌率分別為 0.32%、3.59%、9.05%、6.34% 以及 2.19%。將區間的面積崩塌率利用式 5-18 正規化後可得研究區 A 的分區評分值為 1、2.22、6.65、10 以及 8.76；研究區 B 的分區評分值分別為 1、4.37、10、7.20 以及 2.92。

b. 坡向分級

將坡向分成 16 個區間，北方為 0，則區分成 $348.75 \sim 11.25$ 、 $11.25 \sim 33.75$ 、 $33.75 \sim 56.25$ 、 $56.25 \sim 78.75$ 、 $78.75 \sim 101.25$ 、 $101.25 \sim 123.75$ 、 $123.75 \sim 146.25$ 、 $146.25 \sim 168.75$ 、 $168.75 \sim 191.25$ 、 $191.25 \sim 213.75$ 、 $213.75 \sim 236.25$ 、 $236.25 \sim 258.75$ 、 $258.75 \sim 281.25$ 、 $281.25 \sim 303.75$ 、

303.75~326.25、326.25~348.75 等 16 個區間。而研究區 A 中各坡度區間的面積崩塌率分別為 0.02%、0.28%、0.80%、1.26%、2.01%、1.33%、1.31%、1.41%、2.06%、1.85%、0.88%、0.95%、1.02%、0.53%、0.32% 以及 0.18%；研究區 B 的面積崩塌率分別為 0.09%、0.64%、2.11%、6.50%、8.84%、7.06%、8.55%、7.46%、7.44%、5.62%、3.84%、3.70%、5.52%、4.81%、1.77% 以及 0.31%。各坡向的分區評分在研究區 A 的為 1、2.15、4.46、6.51、9.78、6.79、6.70、7.14、10、9.07、4.80、5.11、5.44、3.28、2.35 以及 1.70；研究區 B 的分區評分值分別為 1、1.57、3.08、7.60、10、8.17、9.70、8.58、8.56、6.69、4.86、4.72、4.72、6.59、5.86、2.74 以及 1.23。

c. 地質年的分級

在兩研究區中包含的地質年代有全新世、更新世、更新世-上新世、上新世、上新世-中新世以及中新世等 6 個地質年代。其中各地質年代的面積崩塌率在研究區 A 分別為 0.05%、0.35%、0.50%、0.26%、0.98% 以及 0.99%；研究區 B 分別為 0.24%、0.89%、1.45%、6.37%、0.17%、以及 4.27%。研究區 A 的分區評分為 1、3.87、5.34、3.00、9.91 以及 10；研究區 B 的分區評分值分別為 1.09、2.04、2.86、10、1 以及 6.95。

將得到各分級潛勢因子的變異係數整理後，可得到研究區 A 的坡度因子權重值為 0.37，坡向因子的權重值為 0.29 而地質年代因子為 0.34。而研究區 B 坡度權重值為 0.30，坡向因子的權重值為 0.24 而地質年代因子為 0.46。將以上面積崩塌率以及分區評分值整理至表 5-38，因此可得到研究區 A 的不安定指數法公式為：

$$D_A = D_{slpoe}^{0.37} \times D_{aspect}^{0.29} \times D_{geochron}^{0.34} \quad (\text{式 5-22})$$

研究區 B 的不安定指數法公式為：

$$D_B = D_{slpoe}^{0.31} \times D_{aspect}^{0.25} \times D_{geochron}^{0.44} \quad (\text{式 5-23})$$

由式 5-22 以及式 5-23，可分別得到研究區 A 以及研究區 B 的淺層崩塌潛勢值。各研究區潛勢值分布如圖 5-12 與圖 5-13 所示。可由圖 5-12 中可看出，研究區 A 的淺層崩塌潛勢值分布與區別分析相似，以相同的區分方式，將潛勢值從中間值作為分界線，看分布在潛勢值大於 5.5 為淺層崩塌網格，反之為非淺層網格，由此方式得到的淺層崩塌正確率有 80.3% 有不錯的表現；由圖 5-13 中看出，多數的淺層崩塌潛勢值都落在 5 以下，而淺層崩塌正確率僅有 44.9%，有此結果推測為地質年代的關係。在研究區 A 中，多數的淺層崩塌因子評分並不會有太多差距，然而在研究區 B 地質年代中，上新世地層的評分明顯與其他地質年代差距甚大，如果單獨將研究區 B 的上新世地層拿出來看，上新世地層分布面積約占全部的 39%，而發生在上新世地層的淺層崩塌數量約為整體的 53%。由此可知上新世地層在研究區 B 中不僅面積分布廣又有一半以上的淺層崩塌發生於此地層，又由式 5-23 可看出地質年代因子的變異係數最大，因此在研究區 B 中的淺層崩塌潛勢值容易被上新世地層所控制，進而導致在預測上會有較大的誤差。

將式 5-22 與式 5-23 所得到的潛勢值，利用第一節提到的方法區分成三級發生潛勢再帶回各研究區的土石流潛勢溪流集水區中可得到圖 5-13 以及圖 5-14。由圖 5-13 可看出其發生潛勢的分布與區別分析所得到的潛勢值分布相似。圖 5-14 可看出，由於研究區 B 多數的潛勢值都小於 5，因此研究區 B 中多數都呈現低潛勢。

因目前只討論 3 種淺層崩塌潛勢因子，因此如果有如研究區 B 中地質年代的較特殊因子出現，容易被過度放大。在前人研究中，利用的因子都多於 3 種，其變異係數能較分散到各種不同的因子，較不易

集中在某特殊因子上，導致特定因子控制整個研究區的潛勢值。因此推論在不安定指數中如果加入較多的潛勢因子可能有良好的預測表現。

表5-36 研究區 A 之不安定指數分析整理

坡度	崩塌率		評分(D)	坡向	崩塌率	評分(D)	
<20	0.03		1.00	348.75~11.25	0.02	1.00	
20~30	0.26		2.22	11.25~33.75	0.28	2.15	
30~40	1.10		6.65	33.75~56.25	0.80	4.46	
40~50	1.74		10.00	56.25~78.75	1.26	6.51	
>50	1.50		8.76	78.75~101.25	2.01	9.78	
平均值	0.93	變異 係數	0.81	101.25~123.75	1.33	6.79	
標準差	0.75			123.75~146.25	1.31	6.70	
				146.25~168.75	1.41	7.14	
地質年代	崩塌率		評分(D)	168.75~191.25	2.06	10.00	
全新世	0.04		1.00	191.25~213.75	1.85	9.07	
更新世	0.30		1.36	213.75~236.25	0.88	4.80	
上新世—更新世	1.45		3.01	236.25~258.75	0.95	5.11	
上新世	6.37		10.00	258.75~281.25	1.02	5.44	
中新世至上新世	0.17		1.18	281.25~303.75	0.53	3.28	
中新世	4.27		7.02	303.75~326.25	0.32	2.35	
平均值	0.52	變異 係數	0.74	326.25~348.75		0.18	1.70
標準差	0.39			平均值	1.01	變異係數	0.63.
				標準差	0.64		

表5-37 研究區 B 之不安定指數分析整理

坡度	崩塌率		評分(D)	坡向	崩塌率	評分(D)	
<20	0.32		1.00	348.75~11.25		0.09	1.00
20~30	3.59		4.37	11.25~33.75		0.64	1.57
30~40	9.05		10.00	33.75~56.25		2.11	3.08
40~50	6.34		7.21	56.25~78.75		6.50	7.60
>50	2.19		2.92	78.75~101.25		8.84	10.00
平均值	4.30	變異 係數	0.80	101.25~123.75		7.06	8.17
標準差	3.45			123.75~146.25		8.55	9.70
				146.25~168.75		7.46	8.58
地質年代	崩塌率		評分(D)	168.75~191.25		7.44	8.56
全新世	0.24		1.00	191.25~213.75		5.62	6.69
更新世	0.89		1.36	213.75~236.25		3.84	4.86
上新世—更新世	1.45		3.01	236.25~258.75		3.70	4.72
上新世	6.37		10.00	258.75~281.25		5.52	6.59
中新世至上新世	0.17		1.18	281.25~303.75		4.81	5.86
中新世	4.27		7.02	303.75~326.25		1.77	2.74
平均值	2.23	變異 係數	1.13	326.25~348.75		0.31	1.23
標準差	2.53			平均值	4.64	變異係數	0.64
				標準差	2.96		

表5-38 各研究區淺層崩塌潛勢因子之變異係數

	研究區 A	研究區 B
坡度	0.37	0.31
坡向	0.29	0.25
地質年代	0.34	0.44

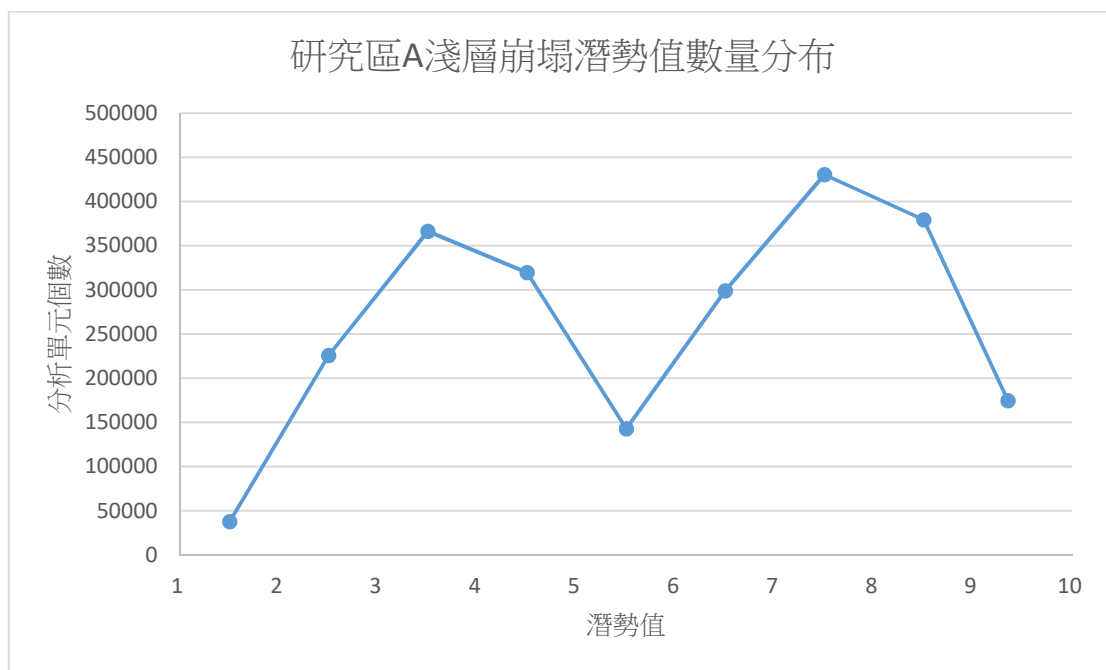


圖5-12 研究區 A 淺層崩塌潛勢值數量分布

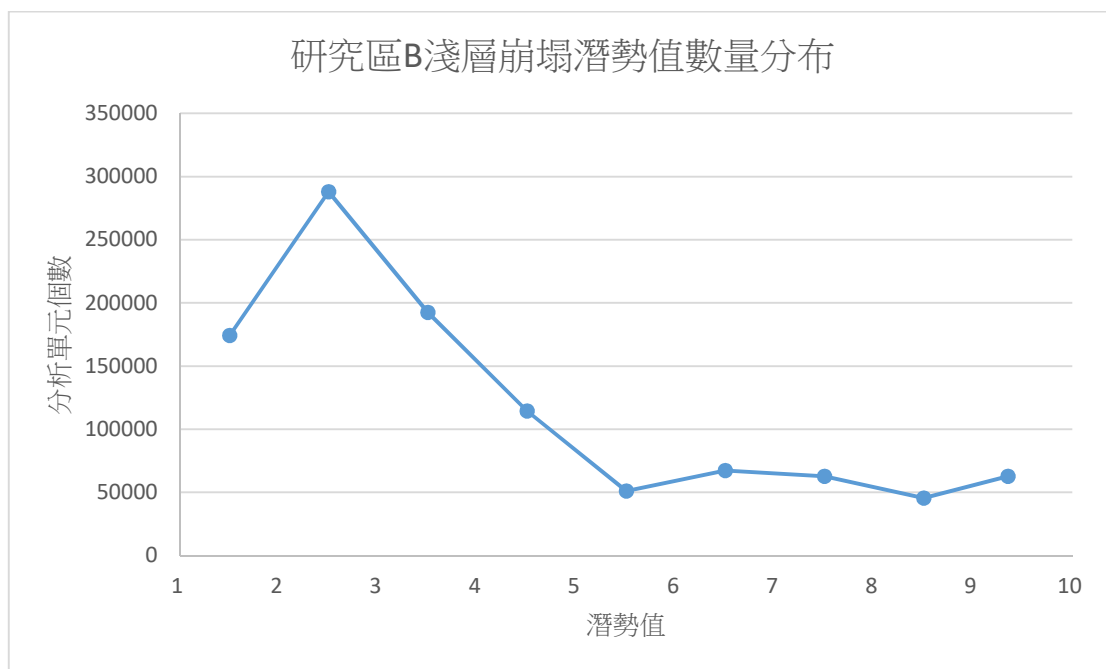


圖5-13 研究區 B 淺層崩塌潛勢值數量分布

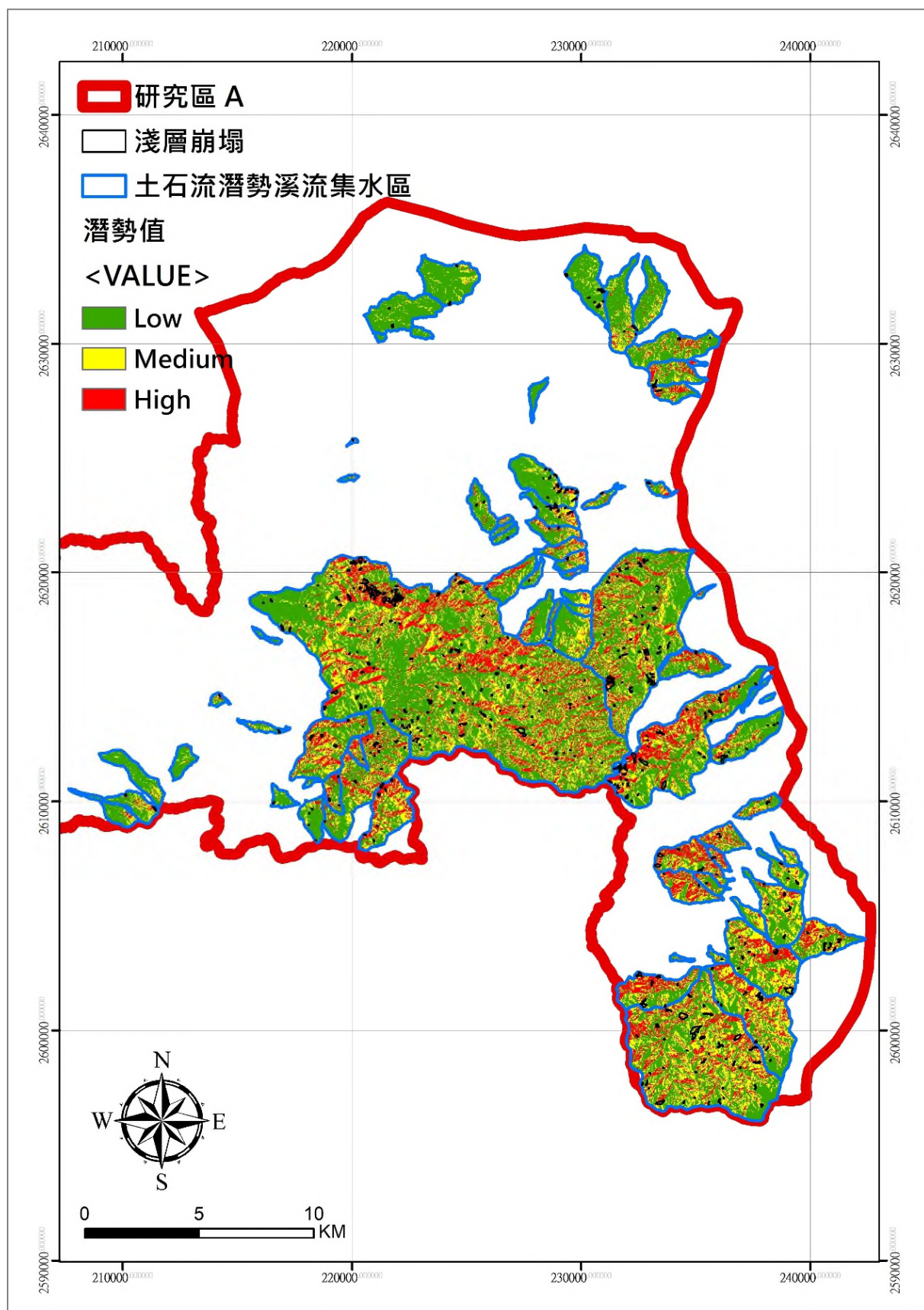


圖5-14 研究區 A 之淺層崩塌潛勢值分布(不安定指數法)

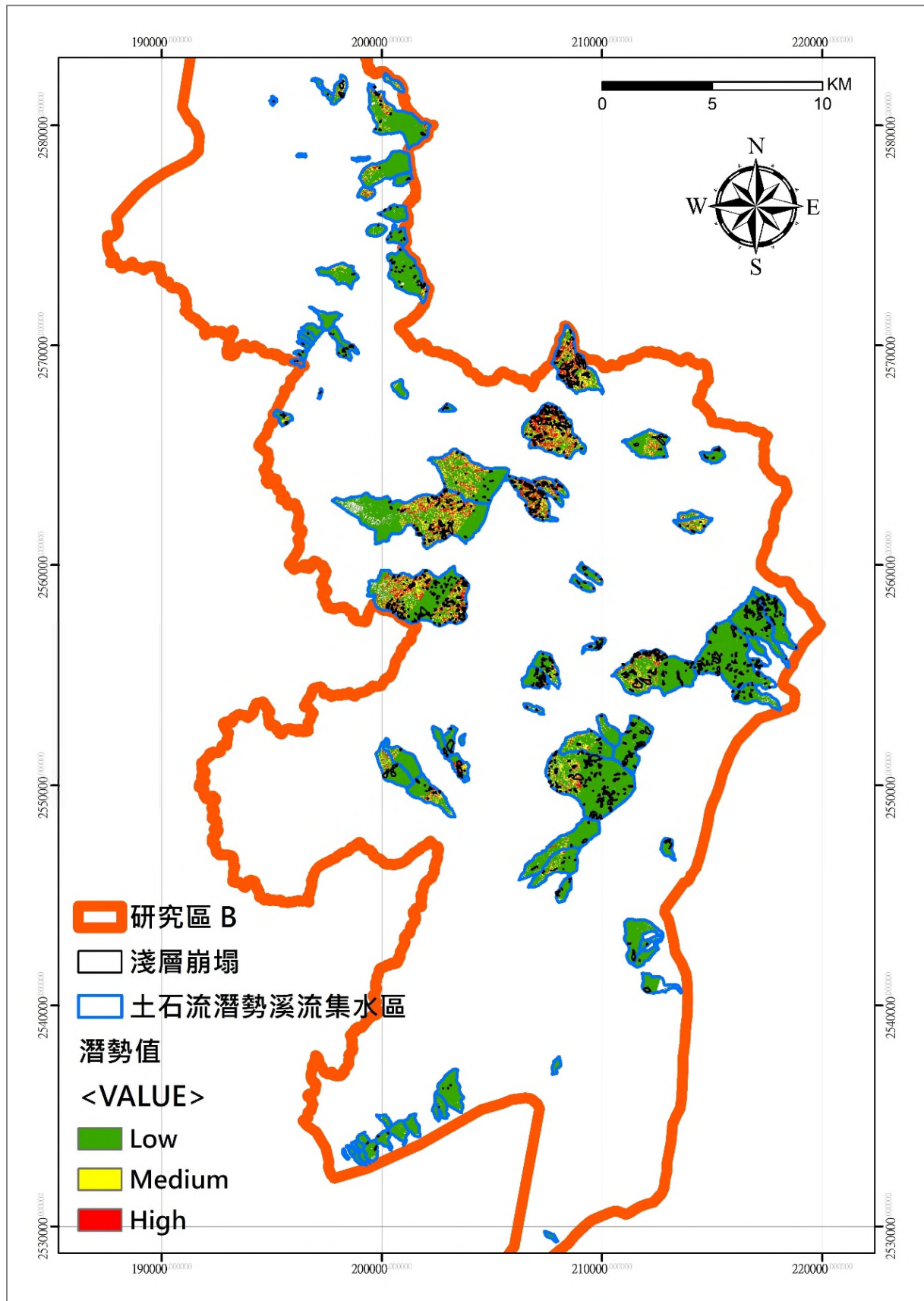


圖5-15 研究區 B 之淺層崩塌潛勢值分布(不安定指數法)

第五節 隨機森林預測模式

隨機森林是屬於機器學習的集成學習 (Ensemble Learning) 方法，透過集成學習的思想將多棵決策樹集成的一種方法，它的基本單元是決策樹，利用決策數來進行資料的分類，並將其結果進行分類投票，最後利用類別結果以投票次數除以總決策樹數量指定為最終的輸出機率。本研究採用 Python 中的 scikit-learn 資料庫編寫隨機森林的程式碼。scikit-learn 資料庫是在 Python 中一關於機器學習的資料庫，而本研究採用分類演算法裡的隨機森林程式碼 (RandomForestClassifier)，對於研究區的淺層崩塌特徵資料集進行分析，建構出預測模型。

建立隨機森林模型時，需要考量單一個決策樹節點上使用的最大特徵個數需考慮以何種特徵作為該節點的分類特徵、決策樹葉子節點資料數量由 10 到 500 個以及決策樹最大深度由 10 至 200 層。為找出最適合的設定，利用袋外錯誤率來進行個別設定的討論。袋外錯誤率 (Out-of-bag error) 為泛化誤差的一種指標，建立訓練隨機森林資料集是如前面所述有提到採用了隨機取樣後放回即為抽樣自助抽樣法會有未被抽樣的三分之一的資料能作為驗證集使用，這些數據稱之為袋外數據。透過使用這些袋外數據來評估隨機森林模型的方法，稱之為袋外誤差法，以每棵決策樹為單位，在每棵樹生成同時將其未建構此森林的袋外資料取出，計算該樹的袋外誤差率，最後將所有樹的袋外誤差率平均即是隨機森林的袋外誤差如式 5-24。

$$OOB\ Error = \sum_{i=1}^N \frac{Err_i}{N} \quad \text{式 5-24}$$

而其中 Err_i 為各決策樹袋外資料錯誤率， N : 決策樹數目。

決定最大特徵個數的方式分為無限制、自然對數方式和平方根方法，各方法的袋外誤差率如圖 5-15，可看出自然對數方法和平方根方

法在袋外誤差的表現都優於無限制，並都在 100 顆樹之後開始趨於穩定，最後挑選自然對數法來進行分析。由葉子節點的袋外誤差率如圖 5-16 可看出在 200 個節點後期誤差及趨於穩定，因此後續研究中即利用 200 個決策樹葉子節點進行分析。而決策樹最大深度的袋外誤差率如圖 5-17 可看出在 100 層後即趨於穩定，所以採用 100 層的決策樹深度進行分析。

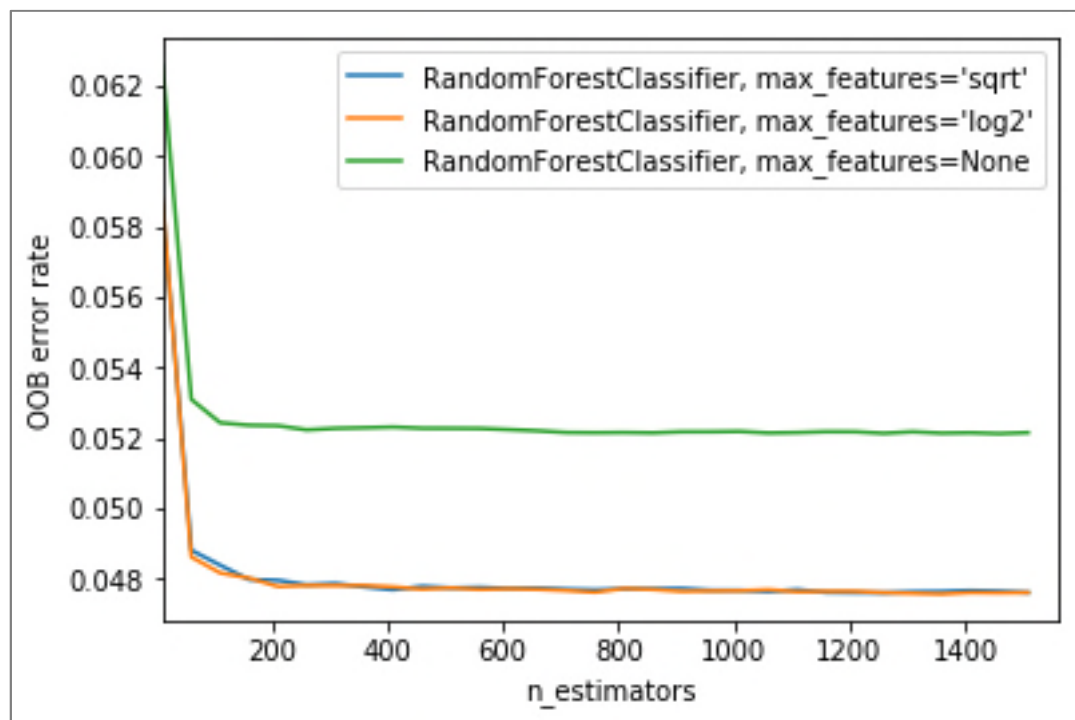


圖5-16 決策樹總數和特徵總數袋外誤差圖

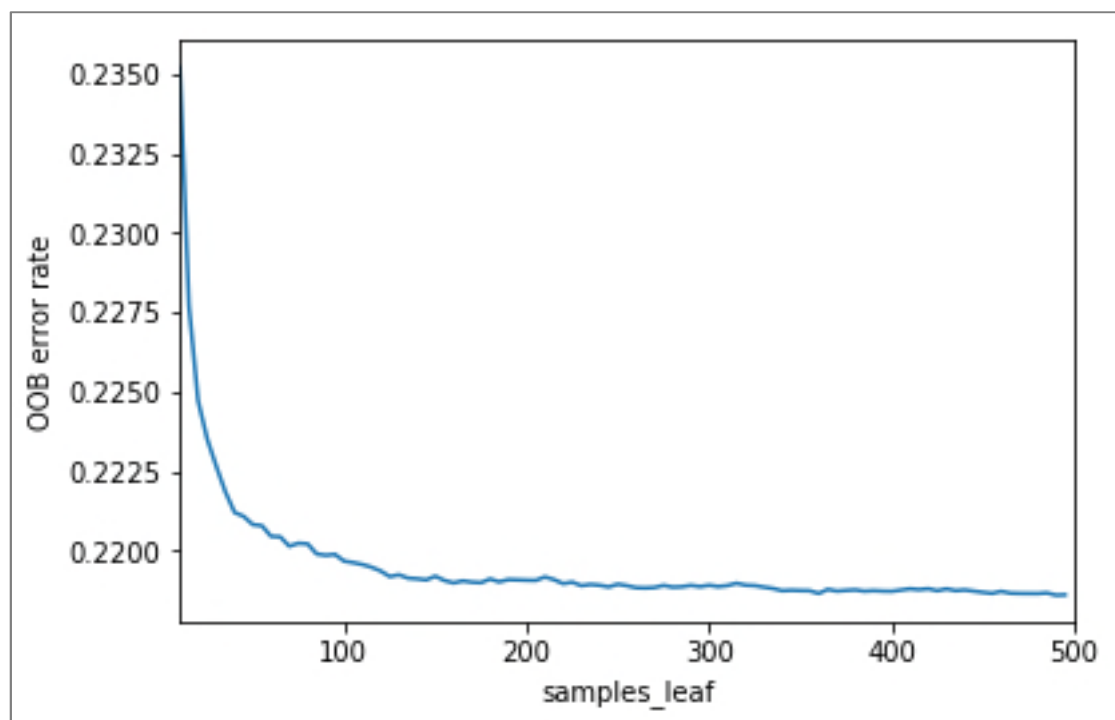


圖5-17 決策樹葉子節點資料數袋外誤差

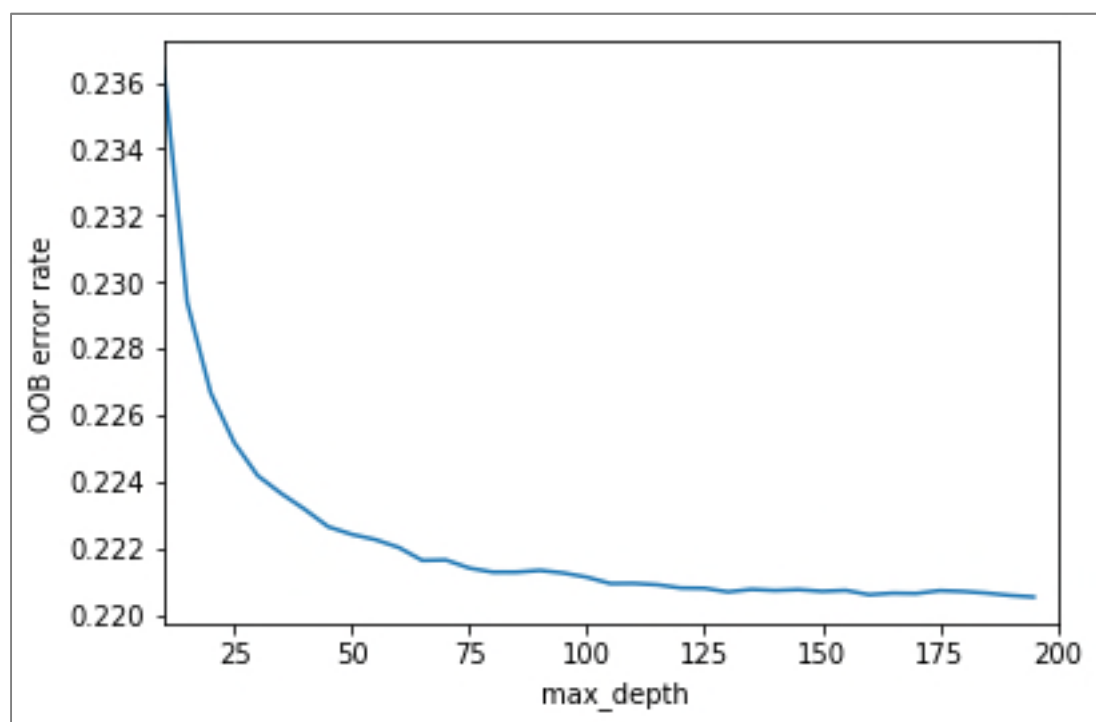


圖5-18 決策樹最大深度袋外誤差圖

在進行分析前需要將其隨機森林模式進行訓練，將淺層崩塌網格以及非淺層崩塌網格之輸入模型中進行模型的訓練，然而非淺層崩塌網格數量過多，因此利用隨機選取的方式選擇與淺層崩塌網格數量相同的非淺層崩塌網格進行訓練，在將其隨機分成擬合組以及驗證組，經過分析後可得到兩研究區的擬合以及驗證的正確率。研究區 A 的擬合正確率有 71.9%，驗證則為 70.0%；研究區 B 的擬合正確率有 70.9%，而驗證的正確率有 68.4%，都有良好的表現。最後再將所有網格單元輸入進行預測。將兩研究區中的淺層崩塌資料輸入後可得到各分析單元的發生潛勢值其分布為 0~100%。將潛勢值從中間切一半，將 50%以上的視為淺層崩塌單元，50%以下的為非淺層崩塌單元，由此做區分可分別得到研究區 A 的淺層崩塌正確率為 74.9%，而研究區 B 的正確率為 73.9%，都各有良好的表現。再將得到的潛勢值分成 3 個階級，區分方法與區別分析的方式相同，100~75%為高潛勢，75~50%為中潛勢以及 50%以下的低潛勢，將其分數值帶回兩個研究區中可得圖 5-19 與圖 5-20。

由圖 5-19 與圖 5-20 可看出，其淺層崩塌潛勢值的分布情形與區別分析得到的成果相似，而仔細觀察可看出，淺層崩塌發生大多數都位於中、高潛勢區，並且圈繪範圍與中、高潛勢區的分布極為相似。隨機森林模式中，主要是擬合淺層崩塌發生的位置所以可以得到較高正確率，因此在特定區域中要劃設淺層崩塌潛勢分佈時，利用隨機森林所得到的潛勢值可靠且快速。然而此方法僅限於預測一個特定範圍，隨機森林模式並不像區別分析法可得到一個淺層崩塌潛勢公式，可以帶到其他類似的區域中進行分析及預測，這是隨機森林法目前的侷限範圍。

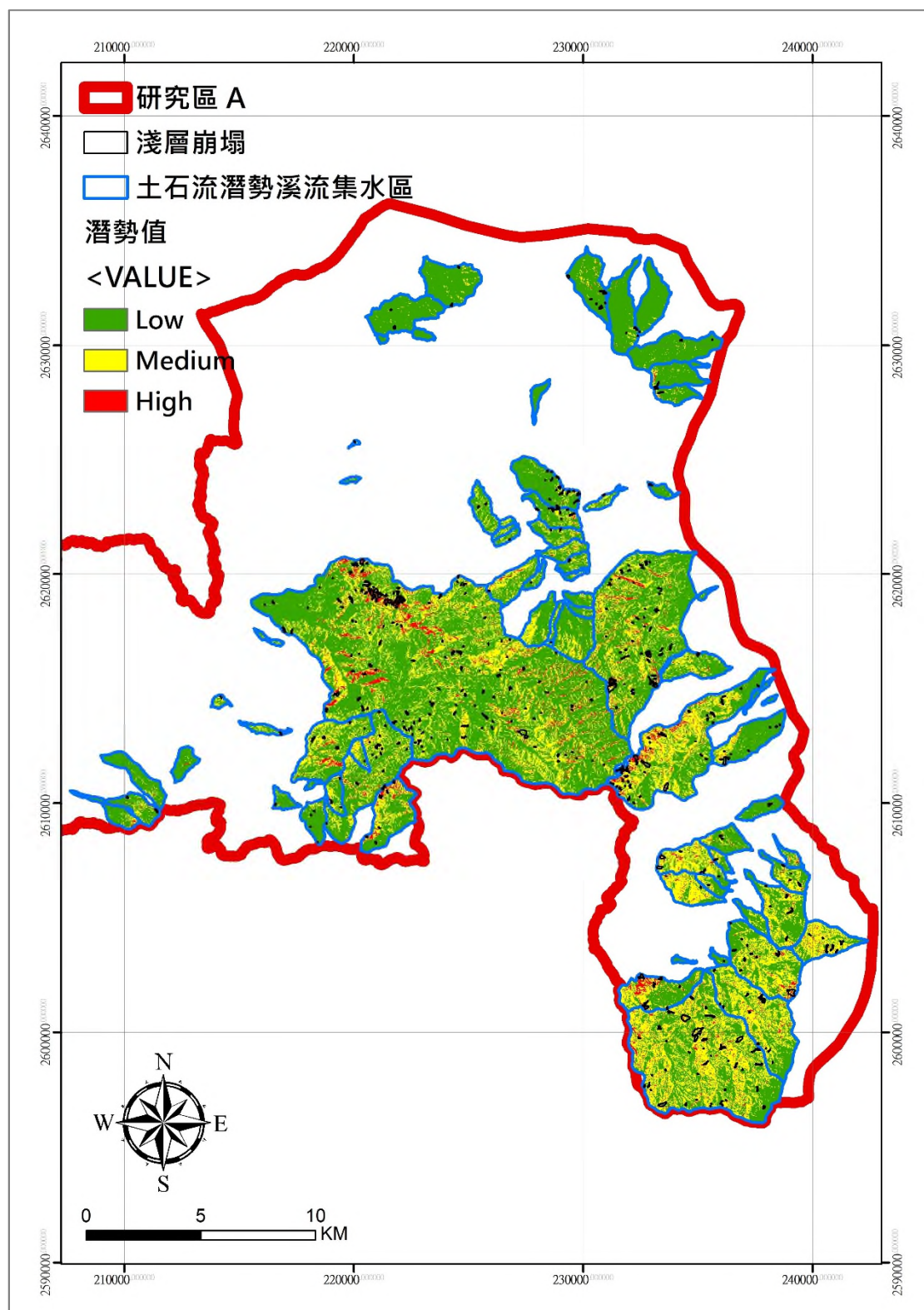


圖5-19 研究區 A 淺層崩塌潛勢值分布圖(隨機森林模式)

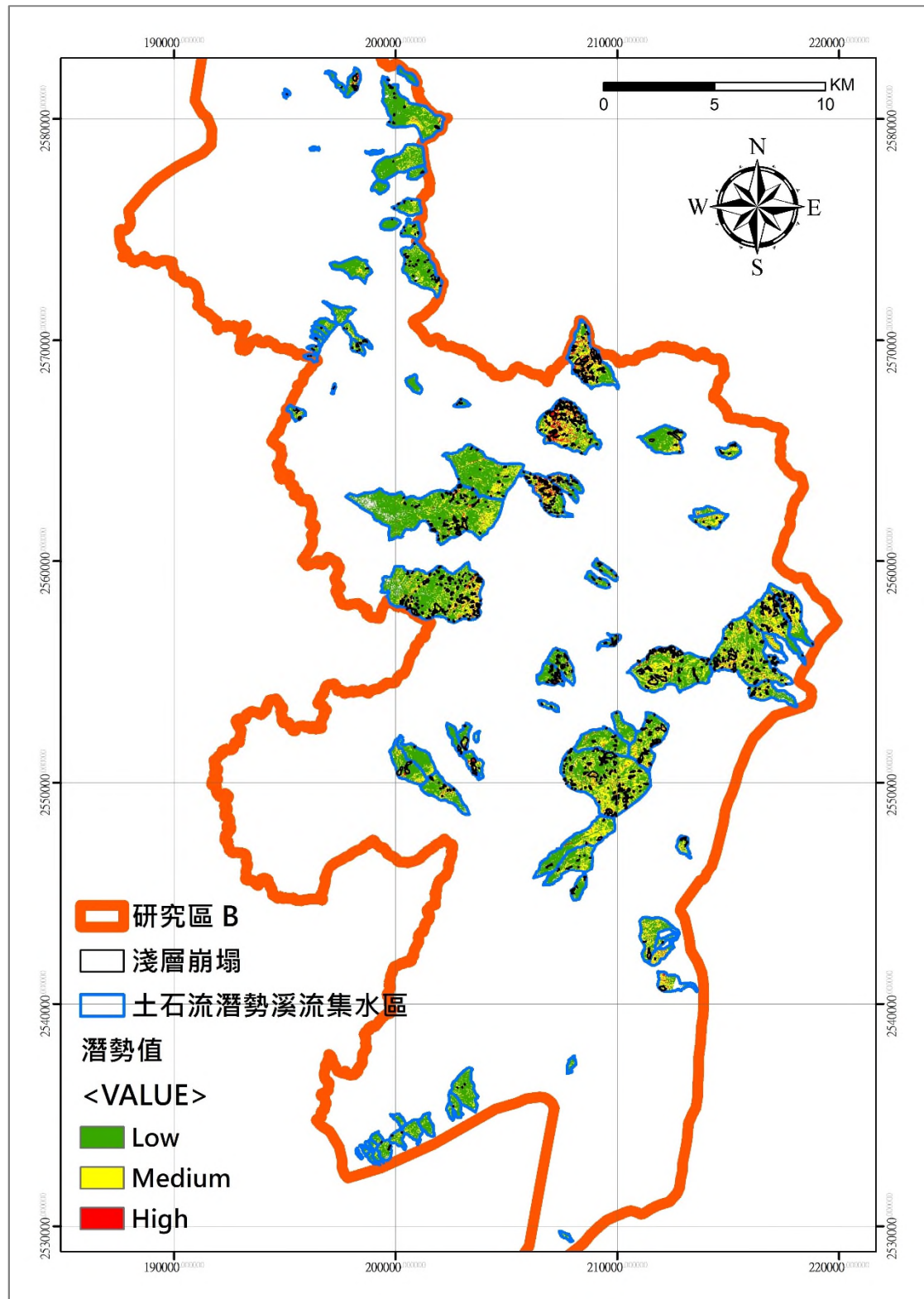


圖5-20 研究區 B 淺層崩塌潛勢值分布圖(隨機森林模式)

第六節 土石流潛勢溪流發生潛勢與淺層崩塌潛勢值之關聯

在第二章第二節計算淺層崩塌的面積崩塌率時，土石流潛勢溪流集水區內的面積崩塌明顯大於非土石流區域，由此可知淺層崩塌與土石流潛勢溪流有密切關係，進而討論淺層崩塌潛勢與土石流潛勢溪流發生潛勢等級之間的關聯性。

研究區 A 中有 14 處低等級，31 處中等級以及 28 處高等級；研究區 B 中有 36 處低等級，22 處中等級以及 33 處高等級。利用區別分析所得高、中和低潛勢面積大小，與各集水區面積做比較後可得到各研究區土石流潛勢溪流集水區內的淺層崩塌潛勢值的面積百分比整理至表 5-39 及表 5-40，可看出，在兩個研究區中淺層崩塌發生潛勢與土石流潛勢溪流發生等級之間並無直接的關聯，土石流潛勢溪流發生潛勢等級為中等級時，淺層崩塌發生潛勢的中、高潛勢的面積百分比都是最高的。再將兩研究區合併起來觀察如表 5-41，可發現土石流潛勢溪流發生潛勢為中等級時，中、高潛勢仍為較高，發生為低等級的中、高潛勢面積百分比有略高於發生為高等級的土石流潛勢溪流。

依目前的淺層崩塌潛勢公式所得到的淺層崩塌潛勢值，還無法與土石流潛勢溪流發生潛勢找到彼此的關係，僅有淺層崩塌的高潛勢發生在土石流潛勢溪流的潛勢等級為高的集水區中有較高的次數比例，但這無法直接解釋淺層崩塌與土石流之間的關係，因此還需要再持續討論淺層崩塌潛勢模式的成果以及更多處土石流潛勢溪流潛勢溪流進行比對討論。

表5-39 研究區 A 淺層崩塌發生潛勢面積百分比

研究區 A		淺層崩塌發生潛勢		
		低潛勢	中潛勢	高潛勢
土石流潛勢溪流 發生潛勢等級	低等級	58.0	16.0	26.0
	中等級	53.5	14.9	31.7
	高等級	56.9	15.2	28.0

表5-40 研究區 B 淺層崩塌發生潛勢面積百分比

研究區 B		淺層崩塌發生潛勢		
		低潛勢	中潛勢	高潛勢
土石流潛勢溪流 發生潛勢等級	低等級	54.6	26.5	18.9
	中等級	49.2	29.8	21.0
	高等級	57.5	24.6	17.9

表5-41 研究區合併之淺層崩塌發生潛勢面積百分比

合併研究區		淺層崩塌發生潛勢		
		低潛勢	中潛勢	高潛勢
土石流潛勢溪流 發生潛勢等級	低等級	56.3	21.2	22.5
	中等級	51.3	22.3	26.3
	高等級	57.2	19.9	23.0

第六章 南部沉積岩區淺層崩塌通用潛勢評估模式

水保局在 2017 年「淺層崩塌防災管理規劃與研究」在那瑪夏研究區進行淺層崩塌研究。2018 年「淺層崩塌影響範圍調查劃設及聚落致災評估方法之研究」在新北、桃園以及新竹等研究區的沉積岩區都進行淺層崩塌的潛勢分析。在水保局(2019)「建立沉積岩區帶廣域性淺層崩塌潛勢模式」挑選中部以及南部兩個研究區進行淺層崩塌潛勢研究。故由本期研究成果，利用不同地區所得到的環境潛勢值 Z 公式進行因子的比對及討論，討論建立沉積岩帶廣域性具代表性的環境潛勢評估方式。

第一節 各年度淺層崩塌潛勢模式比較

在 2017 年「淺層崩塌防災管理規劃與研究」中沉積岩帶以那瑪夏研究區為主，其中以土石流潛勢溪流高市 DF007 集水區為代表得到環境潛勢值 Z 的公式為：

$$Z = (0.893 \times Z_{\text{slope}}) + (0.436 \times Z_{\text{curve}_{\text{plan}}}) + (-0.77 \times Z_{\text{curve}_{\text{prof}}}) + (0.66 \times Z_{\text{aspect}}) + 0.174$$

(式 6-1)

$Z_{\text{curve}_{\text{plan}}}$ ：正規化縱橫面曲率因子

$Z_{\text{curve}_{\text{prof}}}$ ：正規化縱剖面曲率因子

在那瑪夏研究區所使用的淺層崩塌潛勢因子為坡度、橫剖面曲率、縱剖面曲率、坡向。因為在研究過層中發現那瑪夏地區的高程會有明顯的不連續現象，此現象為解析度 5 公尺的數值地型本身的誤差所產生，因此在那瑪夏地區未使用了高程因子進行分析。

在 2018 年「淺層崩塌影響範圍調查劃設及聚落致災評估方法之研究」中，在北部研究區的沉積岩區帶挑選了土石流潛勢溪流竹縣

DF041 及竹縣 DF045 等 2 個集水區進行淺層崩塌潛勢分析，並取淺層崩塌上端 1/2 處網格進行研究。除了得到個別的土石流潛勢溪流集水區的環境潛勢因子 Z 公式外，並將兩個集水區合併分析，得到良好的預測成果。

在水保局(2019)「建立沉積岩區帶廣域性淺層崩塌潛勢模式」挑選中部以及南部兩個研究區進行淺層崩塌潛勢研究，並將各研究區內的土石流潛勢溪流一起進行分析，亦得到良好的預測成果。並在最後規納出，坡度、坡向(崩塌率)以及地層類別(崩塌率)為研究中最重要之淺層崩塌潛勢因子，利用這三個因子得到各研究區的判別公式。

中部研究區判別公式：

$$Z = (0.752 \times Z_{\text{slope}}) + (0.271 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.631 \times Z_{\text{geology}}) - 0.431$$

(式 6-2)

南部研究區判別公式

$$Z = (0.876 \times Z_{\text{slope}}) + (0.402 \times Z_{\text{aspect}}) + (0.326 \times Z_{\text{geology}}) - 0.224$$

(式 6-3)

在本次研究不同於先前研究的地方在於使用了不同大小的分析單元，而選取的淺層崩塌潛勢因子包含坡度和坡向，及用來代替地層類別的地質年代與水保局(2019)相似。而將先前研究所得到的式 6-1 以及式 6-3，與本次研究所得到的式 5-7、式 5-12 以及式 5-16 可看出，坡度因子一直都是最重要的淺層崩塌潛勢因子，而地層相關的因子可能會因為某幾個地層上的淺層崩塌發生率較高，造成地層相關因子在某些公式中相對突出，坡向因子其權重則相對不高，可能要觀察特殊事件或是地層特殊走向才有可能造成坡向因子的高度變化。

由水保局(2018、2019)報告中以及本研究都認為坡度、坡向以及

地質相關因子為主要影響淺層崩塌的潛勢因子，而那瑪夏區域以及水保局(2019)研究區與本次的研究區距離甚近，因此利用本研究的式 5-16 帶入那瑪夏區域以及水保局(2019)研究區中。將式 5-16 帶入後，可得到在那瑪夏研究區的淺層崩塌預測正確率為 45.4%，而水保局(2019)中部研究區的預測淺層崩塌正確率有 74.8%，而預測南部研究區為 78.5%，整理至表 6-1，並將在各區域所的淺層崩塌潛勢分佈如圖 6-1、圖 6-2 以及圖 6-3。

那瑪夏區域的預測正確率較差的原因推測為，其淺層崩塌圖層原本在圈繪時就有些許誤差，由圖 6-1 中可看出，有多處淺層崩塌圈繪的形狀像是河道或是向源侵蝕，所以在淺層崩塌圈繪的上緣有落在中、高潛勢區，而圈繪的中下端卻在低潛勢區，而那瑪夏地區的數值地型誤差顯著亦為原因之一。以式 5-16 預測水保局(2019)的兩處研究區時則都有良好的成果，表示式 5-16 在預測臺灣中西及西南部的沉積岩區域上的淺層崩塌發生區域能有良好的結果。

表6-1 各區域預測淺層崩塌正確率

區域名稱	預測淺層崩塌正確率(%)
那瑪夏區域	45.4
水保局(2019)中部研究區	74.8
水保局(2019)南部研究區	78.5

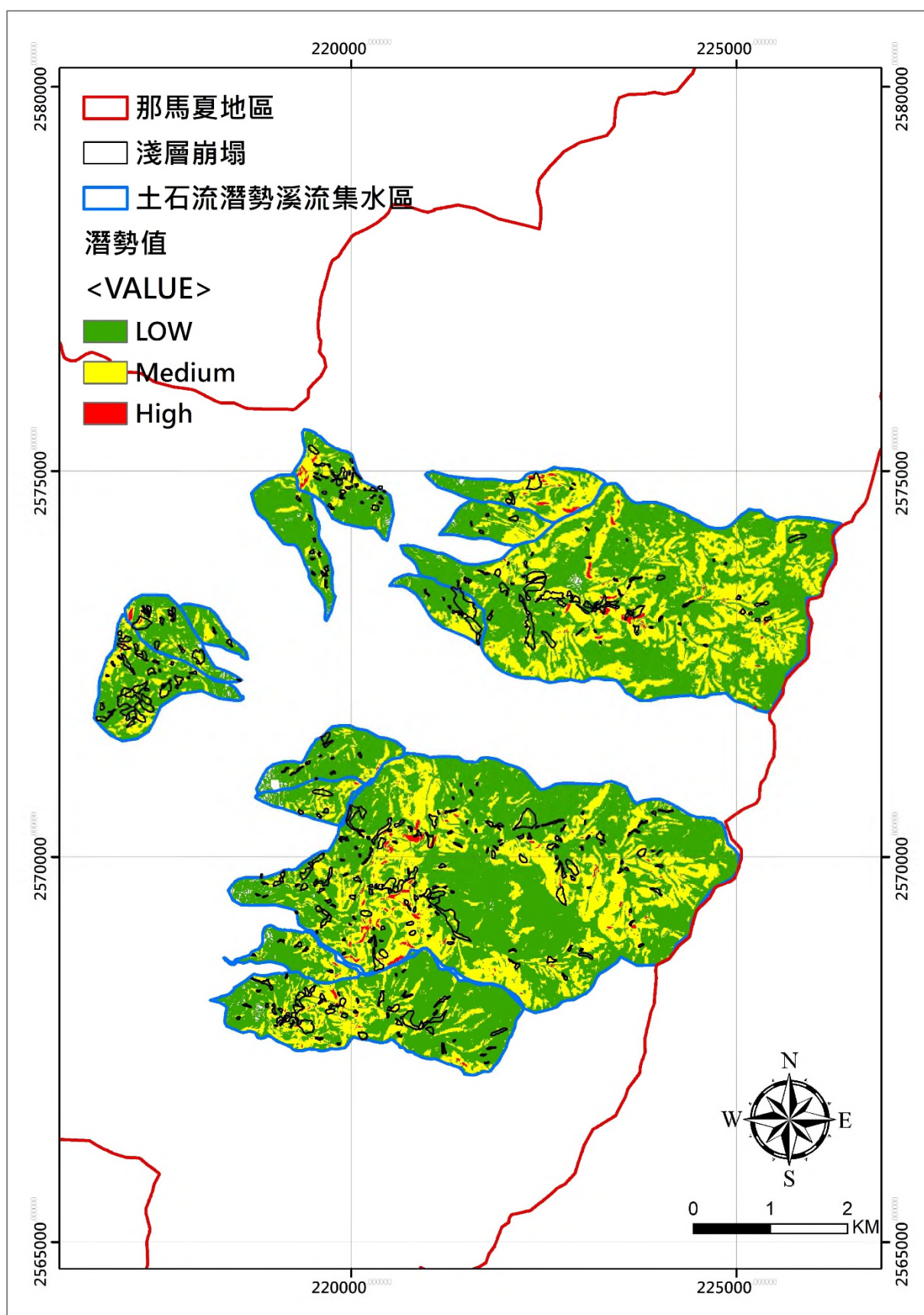


圖6-1 那瑪夏區域之淺層崩塌潛勢值分布圖
(合併研究區，10 公尺網格單元，式 5-16)

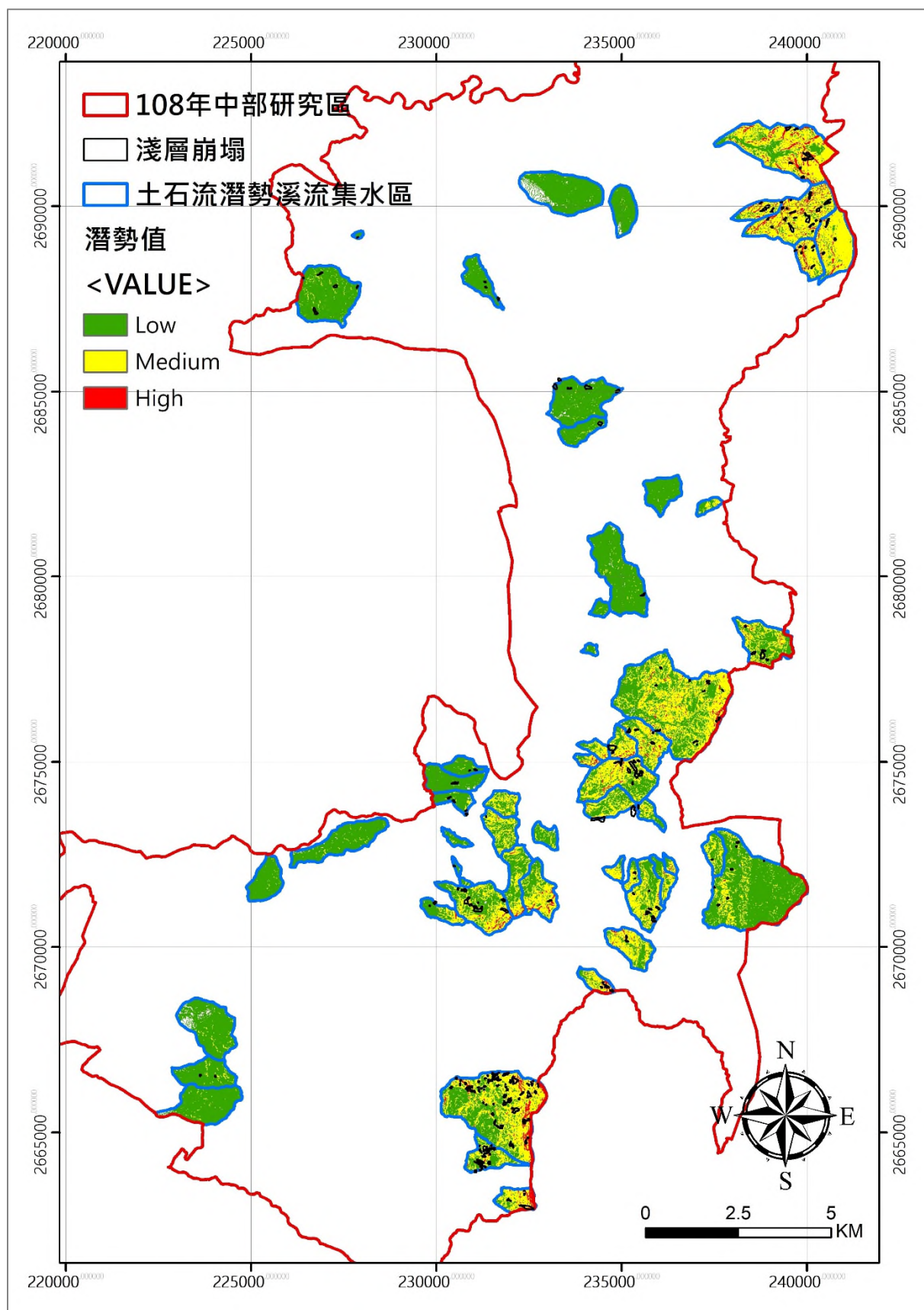


圖6-2 水保局(108)中部研究區之淺層崩塌潛勢值分布圖
(合併研究區，10公尺網格單元，式 5-16)

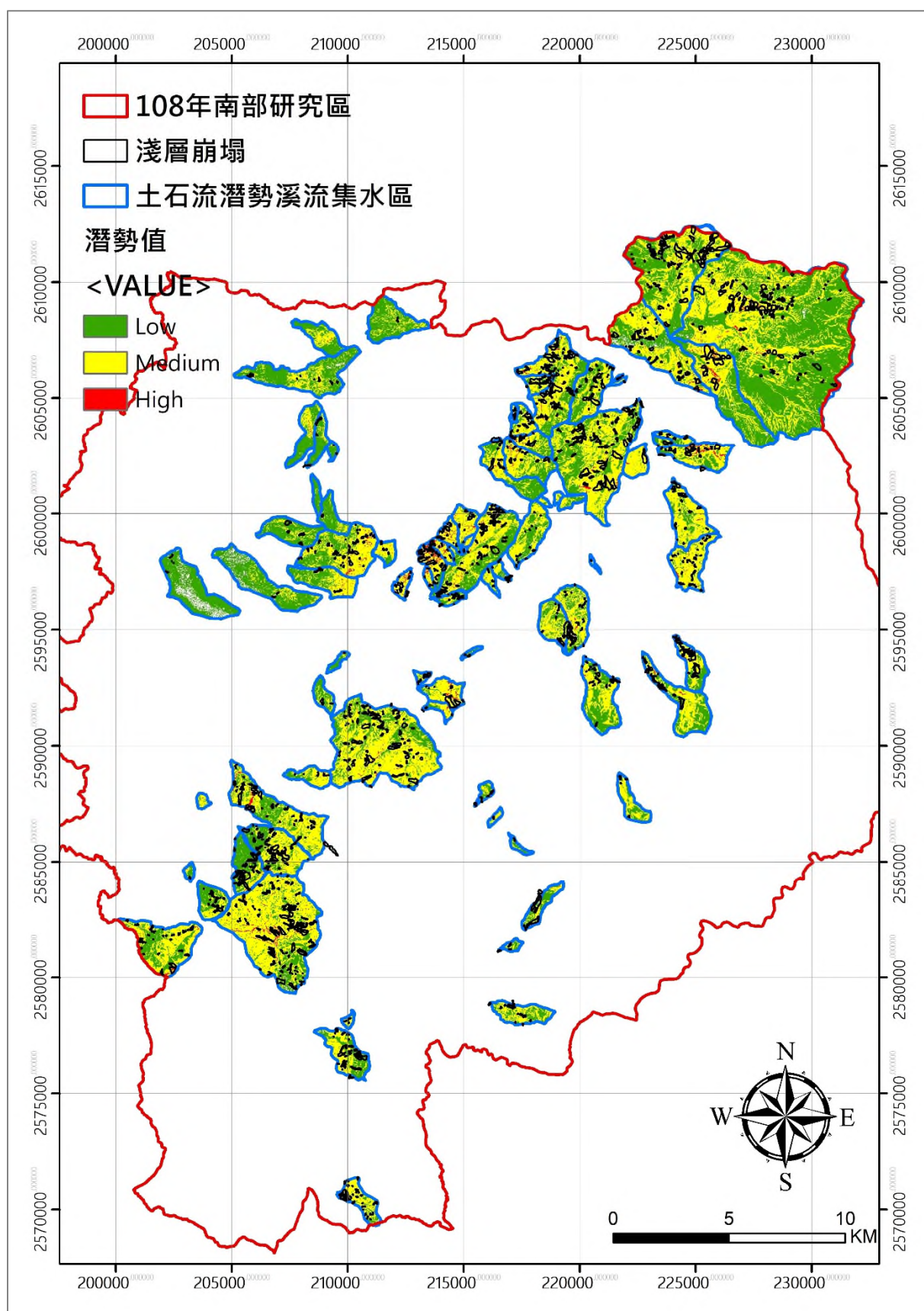


圖6-3 水保局(108)南部研究區之淺層崩塌潛勢值分布圖

(合併研究區，10公尺網格單元，式 5-16)

第二節 非土石流潛勢溪流集水區之區域

由上一小節可看出，式 5-16 在其他研究區域中也能得到良好的淺層崩塌發生潛勢。因此討論將研究區 A 的式 5-7、研究區 B 的式 5-12 以及研究區合併的式 5-16 帶入非土石流潛勢溪流集水區的區域，預測淺層崩塌的發生潛勢，將得到的淺層崩塌預測正確率整理至表 6-2，並將在各區域所的淺層崩塌潛勢分佈如圖 6-4、圖 6-5、圖 6-6 以及圖 6-7。

從表 6-2 可看出研究區 A 的淺層崩塌預測的正確率高達 80%以上，而研究區 B 利用式 5-12 有 81%的預測正確率，而套用式 5-16 亦有 75.9%的良好預測正確率。由圖 6-4 至圖 6-7 亦可看出多數淺層崩塌都發生在中、高潛勢區。表示這 3 個淺層崩塌潛勢公式不僅可以在土石流潛勢溪流集水區中有良好的預測效果，在非土石流潛勢溪流集水區的地區中亦有良好的預測正確率。

表6-2 非土石流潛勢溪流集水區地區域之預測淺層崩塌正確率

研究區 A	式 5-7	式 5-16
	83.2%	81.9%
研究區 B	式 5-12	式 5-16
	81.0%	75.9%

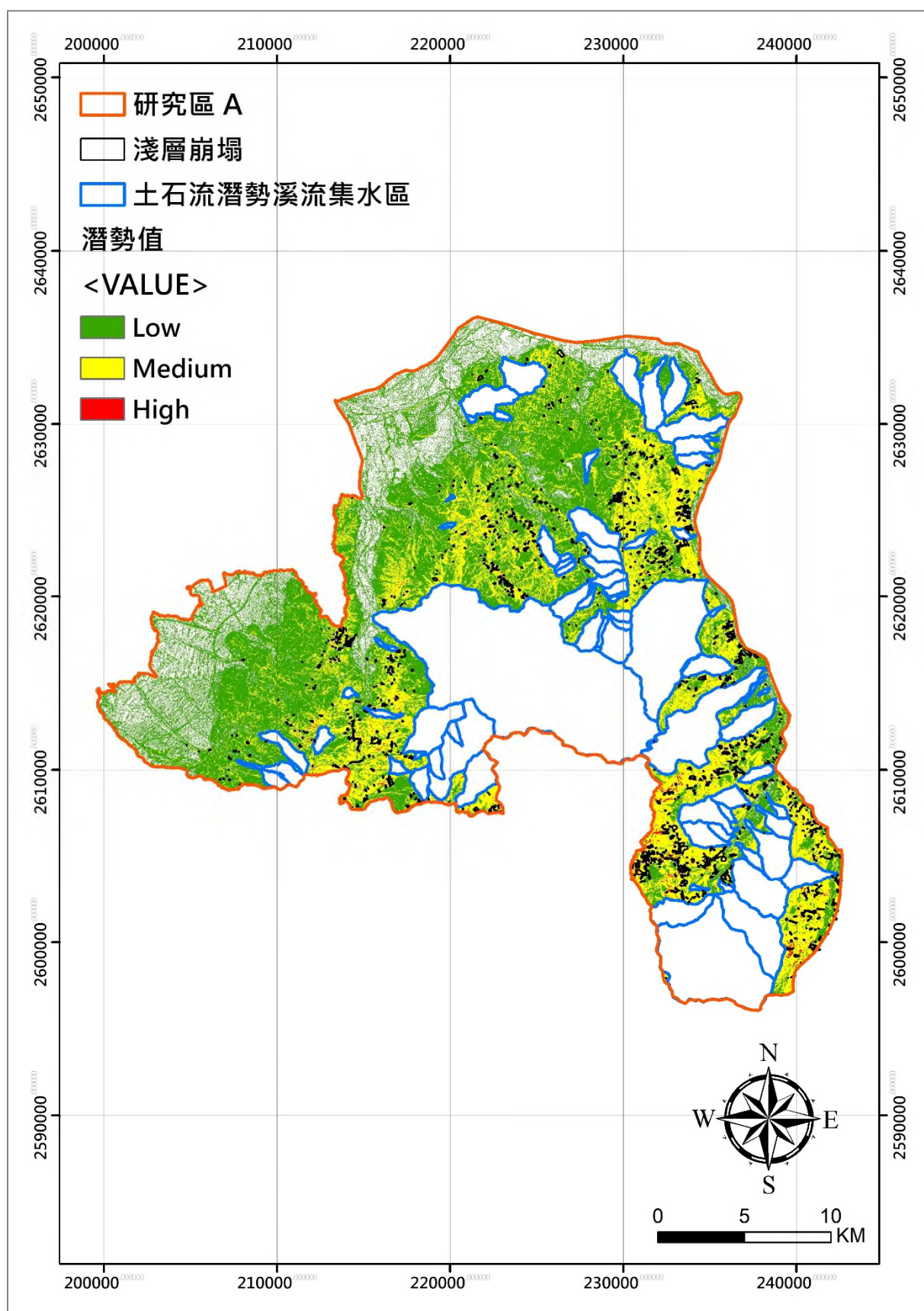


圖6-4 研究區 A 非土石流潛勢溪流集水區地區之淺層崩塌潛勢值分布圖(研究區 A，10 公尺網格單元，式 5-7)

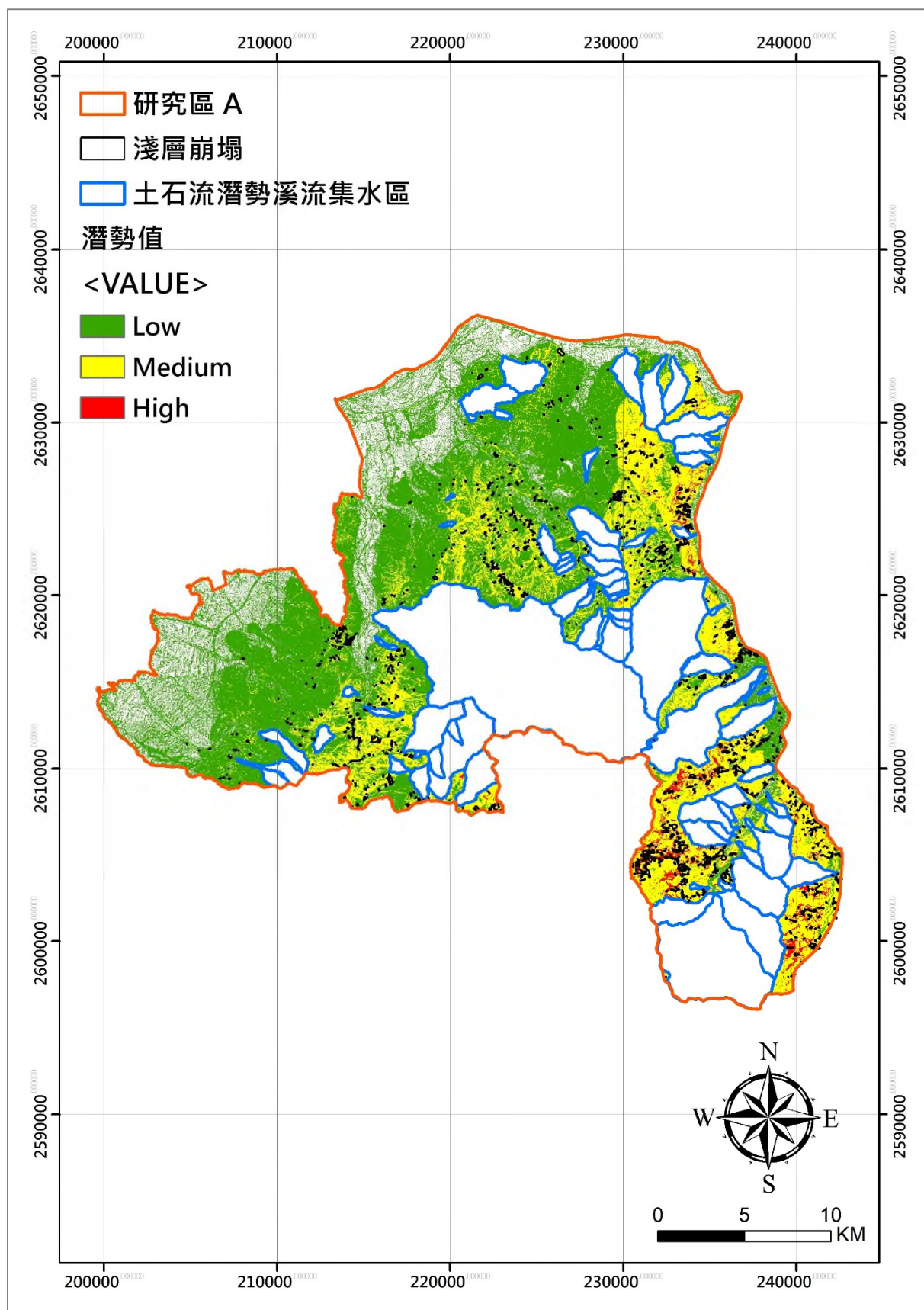


圖6-5 研究區 A 非土石流潛勢溪流集水區地區之淺層崩塌潛勢值分布圖(合併研究區，10 公尺網格單元，式 5-16)

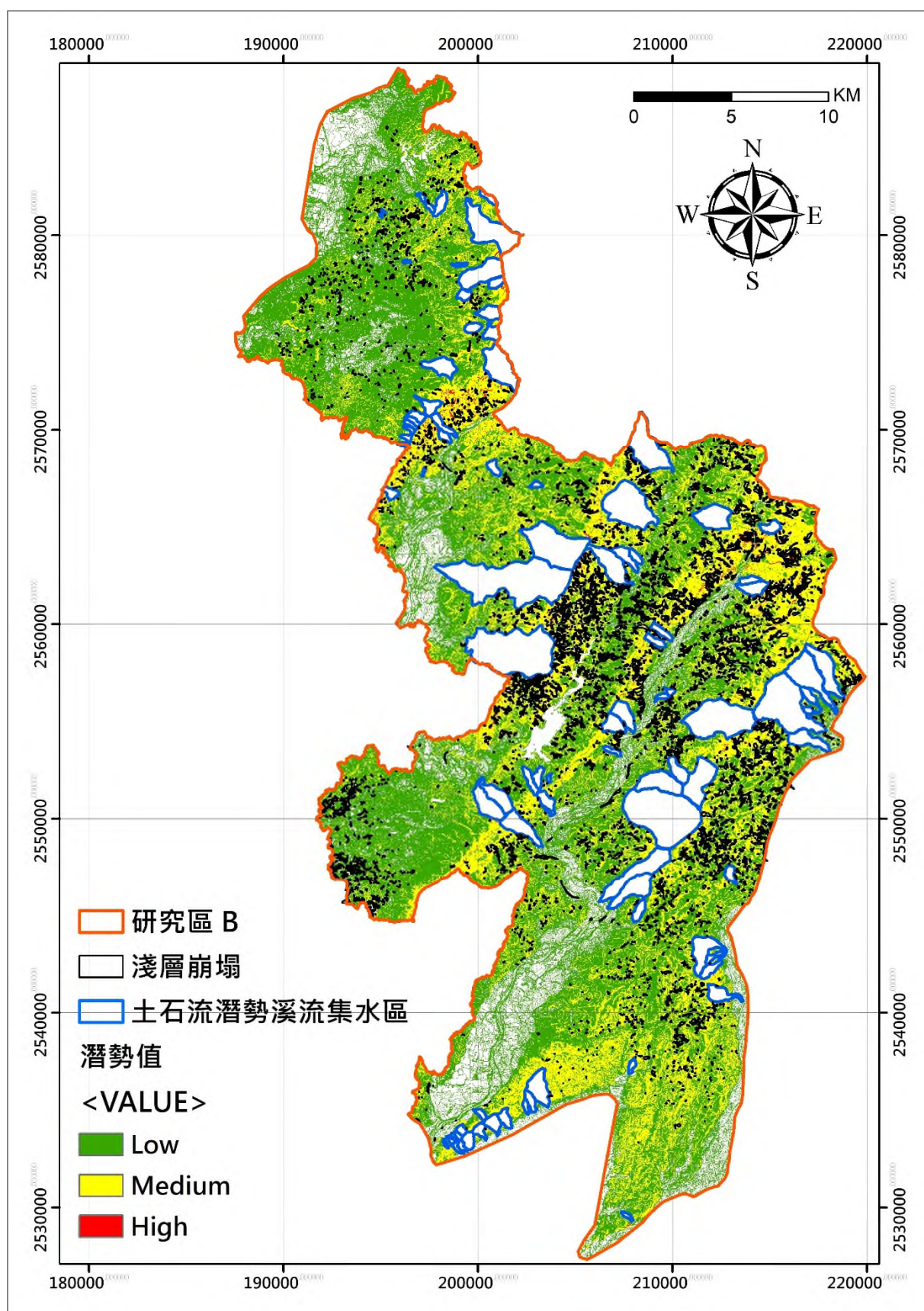


圖6-6 研究區 B 非土石流潛勢溪流集水區地區之淺層崩塌潛勢值分布圖(研究區 B，10 公尺網格單元，式 5-12)

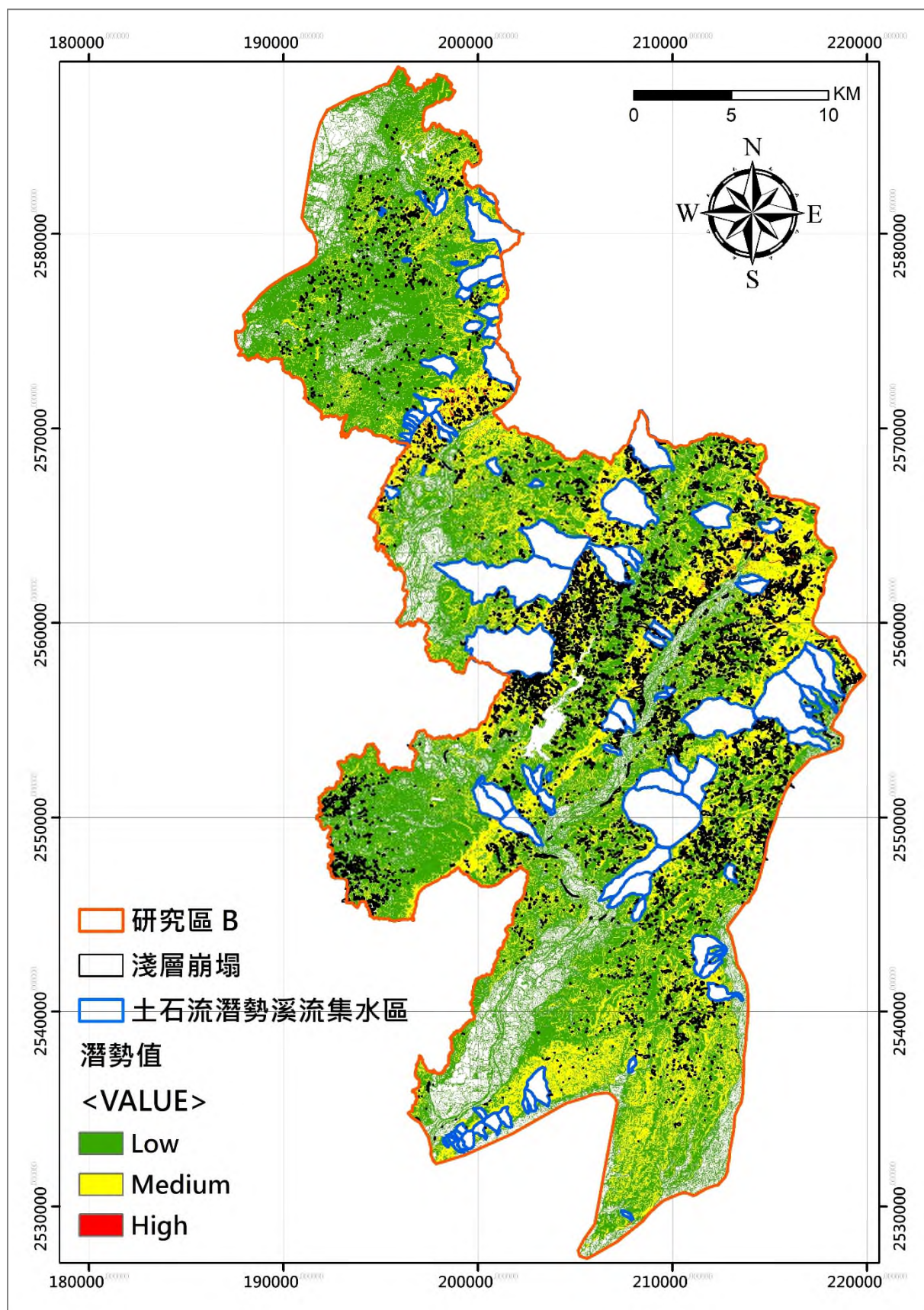


圖6-7 研究區 B 非土石流潛勢溪流集水區地區之淺層崩塌潛勢值分布圖(合併研究區，10 公尺網格單元，式 5-16)

由第五章得知區別分析法在擬合以及預測淺層崩塌發生潛勢上都有良好的正確率，而在本節討論的結果得知，不僅在土石流潛勢溪流集水區內，將淺層崩塌潛勢公式套用到非土石流潛勢溪流集水區的區域也有良好的正確率表現。目前對於台灣中西以及南部區域的沉積岩區域，都能用區別分析法所得到的淺層崩塌潛勢公式得到良好的預測結果，其淺層崩塌通用潛勢評估模式之可行性很高，能有效作為後續防災策略之參考依據。

第七章 結論與建議

第一節 結論

本研究已完成工作項目如下：

1. 已完成研究區 A 及研究區 B 共 10 處淺層崩塌現地調查，發現原圈繪資料與現地觀察有相當程度的差異。
2. 已完成兩研究區的因子統計分析，以及與那瑪夏地區以及水保局(2019)南部研究區之因子統計比對。由以上特性分析可看出，目前四個研究區的淺層崩塌面積大都小於 0.2 公頃；發生淺層崩塌的邊坡坡度約在 30~40 度之間；而坡向則是朝南的邊坡有較多的淺層崩塌，朝北的邊坡則較少；發生淺層崩塌的高程約在 500~2000 公尺之間；而淺層崩塌的長寬比顯示，淺層崩塌的形狀大致上都是長條型的為主；由曲率來看，發生淺層崩塌的邊坡大致上是以平直型偏向凸谷型為主。
3. 完成淺層崩塌潛勢因子相依性以及顯著性分析，並利用 AUC 值選定坡度、坡向、地質年代為主要的淺層崩塌潛勢因子
4. 分別利用 5 公尺、10 公尺、20 公尺和 40 公尺網格單元進行區別分析，由結果得知 10 公尺網格單元在預測及效率上是表現較佳的分析單元。
5. 將兩研究區之淺層崩塌潛勢因子合併分析後所得到的淺層崩塌潛勢公式，在兩研究區中預測淺層崩塌都有良好的正確率。並且所繪製的兩研究區淺層崩塌潛勢圖中亦能良好符合淺層崩塌的發生位置。
6. 以區別分析得到的淺層崩塌潛勢公式，分別帶回研究區 A 及研究

區 B 的土石流潛勢溪流集水區中可得到淺層崩塌潛勢圖，並由此潛勢圖中可看出多數淺層崩塌都發生在中、高潛勢區。

7. 利用不安定指數法進行兩個研究區的淺層崩塌潛勢分析，在使用坡度、坡向以及地質年代等 3 個淺層崩塌潛勢因子的狀況下，研究區 A 的正確率達到 80.3%，而研究區 B 則僅有 44.9%，推估為在僅有 3 個潛勢因子的情形下，不同研究區之特定因子被放大，導致在預測上造成誤差，故其穩定性不一致。
8. 利用機器學習法的隨機森林法進行淺層崩塌的潛勢分析，一樣使用坡度、坡向以及地質年代等 3 個淺層崩塌潛勢因子，得到研究區 A 的淺層崩塌預測正確率有 74.9%，而研究區 B 的正確率有 73.9%，此方法在兩研究區的預測正確率都能有良好表現，利用隨機森林法可以在特定區域內得到良好的淺層崩塌潛勢分布，缺點則為此方式並無法額外產生潛勢公式，以至於僅能利用所選定分析區，無法進行其他區域的預測。
9. 在 3 種分析方法比較後，發現區別分析法在擬合及預測上都能有良好表現。不安定法在使用上較容易，可很快得到淺層崩塌潛勢公式，但在本研究中發現方法可能會由特定潛勢因子控制導致在跨不同研究區造成誤差；隨機森林法在特定範圍內能得到良好的淺層崩塌潛勢值分布，但無法對其他區域進行預測，故以上兩種分析都不適合進行區域性通用潛勢分析。
10. 在討論水保局(2017、2019)分別在那瑪夏區域以及嘉義縣等 6 個縣市的研究區中進行分析時，坡度、坡向以及地層類別因子亦為重要的淺層崩塌潛勢因子。將本研究由區別分析中得到的式 5-16 套入到那水保局(2017、2019)的研究區中，可得到那瑪夏區域的正

確率為 45.4%，推測為此區域的淺層崩塌圖層及數值地型誤差引致。水保局(2019)的中部研究區有正確率達 74.8%，南部研究區則有 78.5%，有良好的預測表現。

11. 由區別分析法得到的各研究區以及合併研究區的淺層崩塌潛勢公式分別為式 5-7、式 5-12 以及式 5-16，帶入非土石流潛勢溪流集水區的區域中，能有 75%以上的正確率，表示由區別分析法得到的淺層崩塌潛勢模式不僅能在土石流潛勢溪流集水區中使用，亦能在非土石流潛勢溪流集水區。
12. 區別分析法所得到的淺層崩塌潛勢模式能在特定區域內的擬合中得到良好的表現，套用到其他區域後亦能得到良好的正確率，表示其淺層崩塌通用潛勢評估模式之可行性很高，能有效作為後續防災策略之參考依據。

第二節 建議

1. 目前臺灣南部沉積岩區域已經大致能由一個淺層崩塌潛勢模式進行淺層崩塌預測，未來應討論北部的沉積岩區域是否亦能用此模式進行預測。
2. 由水保局(2016)研究至今的研究已大致涵蓋臺灣西側的沉積岩區，未來應擴展到其他地質區帶進行研究，討論不同地質區帶中淺層崩塌潛勢模式的差別。
3. 建議持續討論淺層崩塌潛勢與土石流潛勢溪流發生潛勢的關聯，目前的土石流潛勢溪流的評分標準較為簡化，關於淺層崩塌對於土石流潛勢溪流的影響尚未明確，未來對於將淺層崩塌潛勢與土石流關聯性宜進一步研究，並與土石流潛勢溪流預警相結合，以利後續防災或撤離的參考依據。

4. 在進行分析研究中，淺層崩塌圖層需要持續編修；在現地調查中發現有多數的淺層崩塌圈繪相當程度差異而需編修，因此要提升淺層崩塌潛勢模式的正確率，淺層崩塌圖層持續編修是必要的。

第八章 參考文獻

1. 行政院農業委員會水土保持局-土石流災資訊網(2018)。
2. 任庭暘，碩士論文，大規模崩塌的潛感分析:以高屏溪流域為例，國立成功大學地球科學系，2013。
3. 林朝榮，臺灣地質，臺灣，國史館臺灣文獻館，1974。
4. 林美聆，研擬土石流潛勢溪流資料更新與回饋機制，行政院農業委員會水土保持局，2005。
5. 林美聆，土石流潛勢溪流資料管理與更新，行政院農業委員會水土保持局，2006。
6. 林裕翔，碩士論文，土石流發生潛勢-區別分析的擬合與預測，國立臺灣大學土木工程研究所，2008。
7. 林美聆,王國隆,葉俊麟,林京翰,陳天健(2009)。921 震後坡地及土石流災害及其後續管理。土木水利，第 36 卷，第 4 期，第 101-110 頁。
8. 林美聆,陳天健,王國隆,陳永昇、蘇群雅、莊漢鑫(2014)。六龜-寶來地區不同崩塌類型分類方法與土砂遷移分析，行政院農業委員會水土保持局。
9. 林伯勳,陳俊愷,邵國士,林忠志,王順民(2014)。坡地災害風險管理探討。中興工程，第 125 期，第 45-55 頁。
10. 林美聆，陳天健，王國隆，陳彥澄，李苡宣，蘇意筑，淺層崩塌防災管理規劃與研究，行政院農業委員會水土保持局研究委託研究計畫報告，2017.12。
11. 林美聆，王國隆，陳彥澄，李苡宣，淺層崩塌影響範圍調查劃設及聚落致災評估方法之研究，行政院農業委員會水土保持局

- 研究委託研究計畫報告，2018.12。
12. 林美聆，劉德礎，建立沉積岩區帶廣域性淺層崩塌潛勢模式，
行政院農業委員會水土保持局創新研究計畫，2019.12。
 13. 陳振宇、黃奉琦、李苡宣、劉維則、陳國威、莊志展、嚴曉嘉(2017)
國內外水土保持技術與研究發展趨勢。行政院農業委員會水土保持局。
 14. 莊漢鑫，碩士論文，考慮空間與雨量變異之土石流影響因子潛勢
分析，國立臺灣大學土木工程研究所，2012。
 15. 國家災害防救科技中心，災害潛勢地圖網站，網址：
<https://dmap.ncdr.nat.gov.tw/>
 16. 羅文俊，博士論文，莫拉克災區土石流發生因子關連性探
討，國立交通大學土木工程研究所，2015。
 17. A. Carrara, M. Cardinali, F. Guzzetti and P. Reichenbach, Gis
Technology in Mapping Landslide Hazard, Geographical
Information Systems in Assessing Natural Hazards, pp. 135-175,
1991.
 18. Avelar AS, Coelho Netto AL, Lacerda WA, et al. Mechanisms of the
recent catastrophic landslides in the mountainous range of Rio de
Janeiro, Brazil. In : Margottini C, Canuti P, and Sassa K (eds)
Landslide Science and Practice. Volume 4 : Global Environmental
Change. Berlin : Springer, 265–270, 2013.
 19. Khaled Taalab, Tao Cheng & Yang Zhang, “Issue Mapping landslide
susceptibility and types using Random Forest”, Big Earth Data,
Volume 2,. Pages 159-178, 2018.

附錄 審查意見回復

附錄一、期中審查意見回復

審查意見	意見回覆
1. A、B 兩區之淺層崩塌共 7572 處，其值生恢復者，是否納入評估？	會的，主要是觀察曾經發生淺層崩塌的邊坡特性。
2. 本計畫書之寫法，均以水土保持局作第一人稱，相對於本計畫主持人之角色則較模糊，應強調主持人之立場及對本研究之預期成果。	感謝意見，已修改內容寫法。
3. 本研究對象既是以發生之淺層崩塌，則以隨機森林法之抽樣來判是淺層崩塌之正確性，似無意義，請斟酌。	感謝意見，後續研究中會將淺層崩塌分成模式建立組以及預測組來驗證其預測正確性。
4. 淺層崩塌潛勢因子在探討其統計分佈，似無意義，宜瞭解樣本與母數之間的關係以及各樣本之獨立性如何，以避免主觀意識影響統計推論。	在第四章中將討論各潛勢因子之 AUC 值、相依性以及特徵性。 統計分析主要是觀察淺層崩塌在各研究區內的特性，在第三章第一節及第二節中有討論。
5. 建議本計畫於期中報告階段將 P. 29 中針對機器學習方法之文獻回顧做廣度與深度的統整，並於本期間與水保局律定出位於	感謝意見，會在加入更多文獻回顧。目前已完成研究區 A 中的 5 處淺層崩塌現地調查，後續會在研究區 B 中挑選 5 處進行淺層

審查意見	意見回覆
南部沉積岩具代表性的 10 處淺層崩塌進行後續一系列之研究。	崩塌現地調查。
6. 建議可由水保局每年所建立之重大土砂災害資料中，找出研究區之歷史土石流災害資料，以驗證相關模式之成果。	感謝意見，在建立研究區的潛勢模式後，將會查詢研究區內重大土砂災害資料與研究成果比對。
7. 淺層崩塌現地調查表中，在「三、崩塌地地文特徵」中之「表土厚度」在現地如何決定？又「四、保全對象及既有工程設施中，現地整治成效評估」可能因調查人員的經驗而有較大的落差，如何克服？	感謝意見，在水保局(2016)表格手冊中有說明表土厚度的決定方法為「現地調查時觀察崩塌地邊緣土壤剖面，以測距儀量測岩盤以上之平均土壤厚度進行勾選。」 現地調查需要大量經驗，所以目前在進行現地調查時均以有經驗助理進行調查。
8. P.9 第 1 段內容使用「山崩」一詞，建議使用「崩塌」替代。	感謝意見，此處的「山崩」是引用「國土保育之地質敏感地區調查分析計畫」內文，所以不便更改。
9. P.11 倒數第 2 行，...集水區內的淺層崩塌為依據建立...，語意似有不順，請再確認。	感謝意見，已修正內文。
10. P.15 挑選之 10 處淺層崩塌條件為何？是否有符合相同條件之其他地點可供選擇及參考？目	主要挑選道路可及，並有重要保全對象之淺層崩塌，目前所挑選要進行現地調查的淺層崩塌以整

審查意見	意見回覆
前是否已有初步挑選清單?	理至表 3-2。
11. P.24 倒數第 2 行，...利用區別分析法做得到的淺層崩塌...，「做」字為多餘。	感謝意見，已修正內文。
12. P.30 ...如圖 4-3 所示...，應為圖 4-5。	感謝意見，已修正編號。
13. P.32，第 1 段提及前人常用之分析單元畫設法大致分為六種，但隨後列出之方法僅五種，請確認。	感謝意見，已修正內文。
14. P.33，第 2 行及第 2 段第 3 行，2 處如圖 4-5，皆應為如圖 4-6。	感謝意見，已修正內文。
15. P.34 至 P.35，目前使用的淺層崩塌潛勢因子為 9 種 or10 種? 請確認。	感謝意見，目前所使用的淺層崩塌潛勢因子有坡度、坡向、橫剖面曲率、縱剖面曲率、粗糙度、道路距離、線性構造距離、地層類型，以及地質年代等 9 種因子。

附錄二、期中審查意見回復

審查意見	意見回覆
1. 淺層崩塌之處數係以何等大小計之，宜說明。(同坡向有數處崩塌是合併計算或分別計之？)	淺層崩塌圖層是利用經濟部地質調查所在莫拉克颱風後執行之「國土保育之地質敏感地區調查分析計畫」內的岩屑崩滑圖層，去除大規模崩塌以及河岸侵蝕的圖層等編修後所得，說明於第二章第二節。同坡向的淺層崩塌依各圈繪於崩塌進行分析，未合併。
2. A 區 5 處有完整之植被恢復，目前亦無滑動跡象，依此現象該等崩塌跡地是否適合作為潛勢評估之對象？以此類推，崩塌之跡地均有崩積土等堆積地形存在，然在現況亦已完成植生覆蓋，其崩塌潛勢又如何評估之？宜對此等地形演變過程作一合理之論述。	進行現地調查主要是觀察原本邊坡形態，以及滑動後的狀態，而植生可協助推測淺層崩塌的發生時間，因此仍以原邊坡狀態作為評估對象。
3. 潛勢評估方法係以現有崩塌及非崩塌分別取兩組不同樣本，而非崩塌樣本有可能是以前舊崩塌跡地，兩者又如何區別之？	是可能的，但目前仍以「國土保育之地質敏感地區調查分析計畫」內的岩屑崩滑圖層進行分析，並另圈繪更舊的崩塌。
4. 研究方法取崩塌區之樣本數	在進行分析時，需兩種不同性質

審查意見	意見回覆
進行學習，但不管崩塌樣本數多少，總是比未崩塌之樣本為少，若以未崩塌樣本學習，或找出與崩塌區相同地文條件之樣本同時納入，會有何等結果？宜加以探討。	的單元進行擬合及驗證，並未單就一種學習樣本，因可能會忽略重要因子。考量到不同區域造成淺層崩塌的因素可能不同，就算是同樣的地文條件，其發生淺層崩塌的條件也可能略有不同，因此不打算利用其他區域的淺層崩塌列入討論。
5. 淺層崩塌現場調查表中，坡地殘留材料如何估算？以 P56 頁為例，現地植生良好，如何估算殘留材料之長、寬及深度？	殘留材料會先在現地先以測量儀器以及植生推估可能範圍，並利用數值地形比對。
P80 頁：表 5-5~表 5-7 中，地層類別與地質年代之相依性，均介於 0.4-0.6 間，應屬中度相關，而非低度相關	感謝意見，已修正。
7. 文字誤值： (1) P29 頁：第 1 行：竹崎『鎮』 (2) P33 頁：倒數第 3 行：「...500~200 公尺之...」，應為 2000 公尺。	感謝意見，已修正。