計畫編號：SWCB-106-065

建立聚落周緣山坡坡面型土石流判釋模式及潛勢評估方法-中南東部沈積岩及變質岩區

Develop the recognition and the potential models of hillslope type debris flows at village-side hillslopes – sedimentary and the metamorphic strata in central, southern, and eastern Taiwan

執 行 單 位：國立屏東科技大學

執 行 期 間：106 年 02 月 20 日至 106 年 12 月 31 日

計畫主持人：陳天健 教授

行政院農業委員會水土保持局　編印

中華民國 106 年 12 月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

建立聚落周緣山坡坡面型土石流判釋模式及潛勢評估方法-中南東部沈積岩及變質岩區

摘要

近年全球氣候變遷顯著，劇烈天氣頻繁且加上地震狀況不斷，山區聚落周緣之山坡地愈來愈常出現坡面型土石流災害，由於山坡地緊鄰聚落社區，故而極易形成小災害但高危害度的災害狀況。臺灣山坡地區域有眾多聚落分佈其間，依原民會統計原住民聚落即達 731 處(2016)。這些聚落若未被劃入土石流潛勢溪流或大規模崩塌影響範圍區者，則常產生安全無虞之假象。基於此，本案發展坡面型土石流與崩塌地之地形判釋模式，且進一步建立坡面型土石流災害潛勢分析模式，提供未來圈劃坡地危險聚落之參考，有助於劇烈天氣時之防災預警。

本計畫應用坡面單元概念，新建與精進沈積岩、片岩與板岩地質區之坡面型土石流地形判釋模式。本判釋模式再應用於中部陳有蘭溪及高屏溪流域內典型沈積岩 10 處，及南部及花東變質岩地質區之 10 處聚落進行評估，而後再進而訂定出土石流潛勢分級模式。研究成果顯示，變質岩區研究區內共計 29 處坡面型土石流坑溝，板岩區計 17 處坡面型土石流單元，模式分析所得之正確捕捉數量為 14 處，捕捉率約為 82%，整體(土石流與崩塌)捕捉率則為 82%；片岩區計 14 處坡面型土石流坑溝，正確捕捉數量為 14 處，捕捉率達 100%，整體捕捉率則為 82%。而沈積岩區之成果略差，研究區內共計 22 處坡面型土石流坑溝，模式之正確捕捉數量為 17 處，捕捉率約為 77%，整體捕捉率則為 74%。整體而言，片岩區及板岩區之判釋模式結果，顯示

其適用性佳；然沈積岩區則仍尚有精進空間。

本計畫進一步擬定潛勢分級方法，就現地查核確認為土石流案例之潛勢分析狀況，顯示發生潛勢多位於中、高等級。其中，沈積岩區共計 22 處土石流案例，其中 16 處位於中、高潛勢，比例為 73%；變質岩區共計 31 處土石流案例，其中 24 處位於中、高潛勢，比例為 77%。而另聚落坡面型土石流潛勢評估結果顯示，沈積岩區中以 A08(山美聚落) 、A09(新美聚落)、A10(瑪雅聚落)等三區危險性較高。變質岩中則以 B01 區(新開聚落)及 B03 區(大津聚落)危險性較高。

總體而言，本計畫潛勢分級成果與實際土石流發生趨勢相符，顯示本計畫已獲取相當不錯之研究成果。惟台灣本島地質複雜，因此仍建議沈積岩及其他地質區則可再發展更精進之分析模式。

關鍵字：坡面型土石流、崩塌分析單元、判釋模式、潛勢分級

Develop the recognition and the potential models of hillslope type debris flows at village-side hillslopes – sedimentary and the metamorphic strata in central, southern, and eastern Taiwan

Abstract

Caused by earthquakes by tectonic movement and extreme weather conditions induced by the remarkable global climate changing in recent years, the hillslope type debris flow (HDF) occurred frequently on the mountain villages-side slopeland. There are 731 (2016) indigenous villages counted by Council of Indigenous Peoples on the slopeland of Taiwan. Many indigenous villages are surrounded by the slopeland. As a result of slopeland adjacent to the village, HDF are prone to small disasters but high damage conditions. The illusion of being safe and secure often arises, if those villages have not zoned in impact area of potential debris flow torrent or large-scale landslide. Based on this, developing recognization and occurrence potential models of HDF to provide a reference for villages, which is helpful to early warning and prevention from the damage of severe weather condition.

This project uses the slope unit concept to establish HDF recognization models in sedimentary rock, schist and slate geological area. The model is applied to 10 villages in sedimentary rocks in Chenyoulan-Stream and Gaoping River Basin, and 10 villages in the metamorphic rock areas in Hualien and Taitung areas, and then establishs the HDF potential model. The research results show that a total of 29 HDF in the metamorphic rock area. 17 HDF units in the slate area, 14 HDF have been catched by modelling, the capture rate is about 82% and

the overall catching rate of HDF and shallow landslide unit is also 82%; there are 14 HDF in the schist area, the correct number of catch is 14, capturing rate of 100% and overall capturing rate is 82%. On the whole, the results of the recognization model in the schist and slate areas show good applicability; however, the improvement is need in sedimentary rock areas.

The project further draw up the potential method and confirms the potential analysis situation of HDF events based on the field investigation. Results showed that the potential for HDF occurrence events are mostly in medium and high potential levels. Among them, there are 22 HDFs in sedimentary rock area, of which 16 HDFs are in medium and high potential with a ratio of 73%. There are 31 HDFs in the metamorphic rock area, of which 24 are in medium and high potential with a ratio of 77%. Last, the results of the assessment of HDF potential of villages show that, in the sedimentary area, A08 (Shanmei settlement), A09 (Shinmei settlement) and A10 (Maya village) are more dangerous. Metamorphic rocks in the B01(Xinkai settlements) and B03 (Dajin village) are also classicified in highly dangerous.

Comparising the results of the potential analysis and the trend of HDF events show that the project has achieved good research results. However, due to the complex geological situration in Taiwan, it is still suggested that the development of more sophisticated analytical models for sedimentary rocks and other geological areas are neceaasry.

Keywords: Hillslope type debris flow, slope unit, recognition model, potential analysis methodology

目次

摘要 …… I

Abstract …… III

目次 …… V

表次 …… VII

圖次 …… IX

第一章 計畫緣起 ……1-1

第二章 計畫項目及時程進度 ……2-1

第一節 本年度計畫工作項目 ……2-1

第二節 工作進度 ……2-7

第三章 相關文獻 ……3-1

第一節 坡面型土石流定義與分類 ……3-1

第二節 坡面型土石流與岩屑崩滑之差異 ……3-4

第三節 坡面型土石流特性 ……3-7

第四節 坡面型土石流之判釋準則 ……3-9

第五節 分析單元定義 ……3-10

第四章 研究區地質概況 ……4-1

第一節 坡面型土石流災害案例、圖資及調查資料庫 ……4-1

一、小規模坡面型土石流事件特性因子資料庫 ……4-1

二、研究區之地質概況 ……4-3

三、聚落之位置及地質概述 ……4-6

四、20 處聚落周邊坡面型土石流現地查核……4-22

第二節 聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分 ……4-49

一、崩塌坡面分析單元劃分方法及程序 ……4-49

二、研究區崩塌坡面分析單元圈繪成果 ……4-51

第三節 建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫 ……4-57
一、小型規模坡面型土石流資料庫 ……4-57
二、分析模式因子 ……4-58
第四節 最佳判釋分析因子選取 ……4-74
一、小型規模坡面型土石流資料庫 ……4-74
第五節 精進與擴充崩塌/坡面型土石流判釋準則 ……4-77
一、精進與擴充崩塌/坡面型土石流判釋準則……4-77
二、坡面型土石流判釋模式驗證 ……4-80
三、研究區坡面型土石流判釋成果 ……4-83
第六節 坡面型土石流地形潛勢分析模式 ……4-93
一、潛勢分級分界指標訂定 ……4-93
二、20 處聚落坡面型土石流潛勢分級……4-95
三、聚落潛勢分級成果討論 ……4-114
四、各聚落潛勢分級成果討論 ……4-117
第五章 結論……5-1
參考文獻 …… 參-1
附錄 …… 附錄-1
附錄一、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形 …… 附錄-1
附錄二、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形 …… 附錄-5
附錄三、皮爾森相關係數分析結果資料表 …… 附錄-9

表次

表 2-1 計畫工作進度預定表 2-7
表 3-1 崩塌與流動之判釋基準(游繁結，2005)..... 2-4
表 3-2 各類崩塌形態比較表(呂岡侃與徐美玲，2004)..... 3-6
表 4-1 區別分析之各因子使用代號表 4-58
表 4-2 特性因子代號表..... 4-74
表 4-3 板岩區特性因子之相關性檢定結果 4-76
表 4-4 片岩區特性因子之相關性檢定結果 4-76
表 4-5 皮爾森高相關性因子表 4-76
表 4-6 區別分析結果..... 4-79
表 4-7 坡面型土石流與未發生土石流之驗證點位 4-81
表 4-8 驗證區區別分析結果 4-82
表 4-9 沈積岩樣本區區別分析結果..... 4-83
表 4-10 沈積岩驗證區區別分析結果 4-83
表 4-11 中南東部沈積岩區及變質岩區分析單元判釋成果及捕捉率..... 4-91

圖次

圖 3-1 邊坡型(左)與山谷型(中)溪床型(右) (吳素慧，1997)..... 3-2
圖 3-2 九種基本坡型(PARSONS, 1988)..... 3-6
圖 3-3 高雄市六龜區中興里坡面型土石流，位於凸型邊坡，其發生區多位於坡腹或向源侵蝕區位，多為新生崩塌於溝壑或坡面地形。..... 3-7
圖 3-4 隘口與發生區選取示意圖 3-8
圖 3-5 集水區範圍示意圖(底圖來源:GOOGLE ERATH) 3-10
圖 3-6 斜坡縱斷面之變坡點示意圖（GILES AND FRANKLIN, 1998）..... 3-12
圖 3-7 以一級河集水區為例之斜坡單元示意圖（簡瑋延，2011）. 3-12
圖 4-1 高屏溪小規模土石流分析單元位置分布圖 4-2
圖 4-2 研究區位置與地質圖（底圖:中央地質調查所，2009）..... 4-5
圖 4-3 A01 研究區南投縣水里鄉興隆村(興隆聚落) 4-13
圖 4-4 A02 研究區南投縣信義鄉新鄉村(新鄉聚落) 4-13
圖 4-5 A03 研究區南投縣信義鄉羅娜村村(羅娜聚落) 4-14
圖 4-6 A04 研究區南投縣信義鄉望美村(久美聚落) 4-14
圖 4-7 A05 及 A06 研究區南投縣信義鄉望美村(望鄉聚落)及同富村(同富聚落)..... 4-15
圖 4-8 A07 研究區嘉義縣竹崎鄉(樟腦寮聚落)..... 4-15
圖 4-9 A08 研究區嘉義縣阿里山鄉(山美聚落)..... 4-16
圖 4-10 A09 研究區嘉義縣阿里山鄉(新美聚落)..... 4-16
圖 4-11 A10 研究區高雄市那瑪夏區瑪雅里(瑪雅聚落) 4-17
圖 4-12 B01 研究區高雄市六龜區新發里(新開聚落)..... 4-17
圖 4-13 B02 研究區高雄市六龜區中興里(中興聚落)..... 4-18
圖 4-14 B03 研究區高雄市六龜區大津里(大津聚落)..... 4-18
圖 4-15 B04 研究區屏東縣霧台鄉佳暮村(佳暮聚落)..... 4-19
圖 4-16 B05 研究區屏東縣三地門鄉德文村(德文聚落)..... 4-19

圖 4-17 B06 研究區台東縣大武鄉大竹村(愛國蒲聚落)..... 4-20
圖 4-18 B07 研究區台東縣延平鄉紅葉村(紅葉聚落)..... 4-20
圖 4-19 B08 研究區花蓮縣萬榮鄉馬遠村(馬遠聚落)..... 4-21
圖 4-20 B09 研究區花蓮縣光復鄉大興村(大興聚落)..... 4-21
圖 4-21 B10 研究區花蓮縣秀林鄉鄉銅門村(銅門聚落)..... 4-22
圖 4-22 A01 研究區內坡面型土石流河道土石堆積現況..... 4-23
圖 4-23 A02 研究區新鄉聚落遠景及後方邊坡狀況..... 4-24
圖 4-24 A03 研究區內聚落與邊坡情況及編號 A03-09 土石流下游河道出口現況..... 4-25
圖 4-25 A04 研究區內土石流下游河道現況..... 4-25
圖 4-26 A05、A06 研究區內土石流河道土石堆積現況..... 4-27
圖 4-27 A07 研究區內土石流河道土石堆積現況..... 4-27
圖 4-28 A07 研究區內土石流現地勘查現況..... 4-29
圖 4-29 A09 研究區內土石流河道及土石材料堆積狀況..... 4-30
圖 4-30 A10 研究區內土石流及土石材料堆積狀況..... 4-33
圖 4-31 B01 研究區內坡面型土石流遠景與河道土石堆積現況..... 4-36
圖 4-32 B02 研究區內坡面型土石流遠景與河道土石堆積現況..... 4-38
圖 4-33 B03 研究區內坡面型土石流遠景與河道土石堆積之情形.. 4-39
圖 4-34 B04 研究區內坡面型土石流集水區遠景與河道狀況..... 4-40
圖 4-35 B05 研究區內坡面型土石流及河道現況..... 4-41
圖 4-36 B06 研究區內坡面型土石流及河道土石材料堆積現況..... 4-42
圖 4-37 B07 研究區內坡面型土石流及河道土石材料堆積現況..... 4-43
圖 4-38 B07 研究區內坡面型土石流及河道土石材料堆積..... 4-44
圖 4-39 B09 研究區內河道內舊土石流堆積狀況..... 4-46
圖 4-40 B10 研究區內坡面型土石流河道土石堆積情形..... 4-48
圖 4-41 崩塌坡面分析單元圈劃流程圖 4-50
圖 4-42 災前 DEM 4-50
圖 4-43 600 格/1.5 公頃 4-50

圖 4-44 200 格/0.5 公頃 4-51
圖 4-45 坡面分析單元..... 4-51
圖 4-46 A01 區(興隆聚落)分析單元圈畫成果圖..... 4-52
圖 4-47 A02 區(新鄉聚落)分析單元圈畫成果圖..... 4-52
圖 4-48 A03 區(羅娜)分析單元圈畫成果圖..... 4-52
圖 4-49 A04 區(久美)分析單元圈畫成果圖..... 4-52
圖 4-50 A05 區(望鄉)及 A06 區(同富)分析單元圈畫成果圖..... 4-53
圖 4-51 A07 區(樟腦寮)分析單元圈畫成果圖..... 4-53
圖 4-52 A08 區(山美)分析單元圈畫成果圖..... 4-53
圖 4-53 A09 區(新美)分析單元圈畫成果圖..... 4-53
圖 4-54 A10 區(瑪雅)分析單元圈畫成果圖..... 4-54
圖 4-55 B01 區(新開)分析單元圈畫成果圖..... 4-54
圖 4-56 B02 區(中興)分析單元圈畫成果圖..... 4-54
圖 4-57 B03 區(大津)分析單元圈畫成果圖..... 4-55
圖 4-58 B04 區(佳暮)分析單元圈畫成果圖..... 4-55
圖 4-59 B05 區(德文)分析單元圈畫成果圖..... 4-55
圖 4-60 B06 區(愛國蒲)分析單元圈畫成果圖..... 4-55
圖 4-61 B07 區(紅葉)分析單元圈畫成果圖..... 4-56
圖 4-62 B08 區(馬遠)分析單元圈畫成果圖..... 4-56
圖 4-63 B09 區(大興)分析單元圈畫成果圖..... 4-56
圖 4-64 B10 區(銅門)分析單元圈畫成果圖..... 4-56
圖 4-66 發生區圈畫示意圖(陳柏龍 2013)..... 4-59
圖 4-68 流動段長度示意圖 4-61
圖 4-69 集水區形狀，狹長形(左)及寬圓形(右)(何明憲，2003)..... 4-63
圖 4-70 溪谷地形之定義(日本國土技術政策總和研究所，2007)..... 4-64
圖 4-71 集水區面積分佈情況 4-66
圖 4-72 有效集水區指標分佈情況 4-66
圖 4-73 流動段長度分佈情況..... 4-67

圖 4-74 集水區形狀係數分佈情況 4-68
圖 4-75 發生區形狀係數分佈情況 4-68
圖 4-76 形狀係數係數比分佈情況 4-69
圖 4-77 隘口深寬比分佈情況 4-70
圖 4-78 流動段深寬比分佈情況 4-70
圖 4-79 發生區凹陷程度分佈情況 4-71
圖 4-80 集水區平均坡度分佈情況 4-72
圖 4-81 發生區平均坡度分佈情況 4-72
圖 4-82 坡面平均坡度比分佈情況 4-73
圖 4-83 坡面型土石流與未發生土石流之區別函數分佈圖 4-79
圖 4-84 土石流發生三大條件之特性因子影響率 4-80
圖 4-85 HDF 與 NDF 之驗證點位與母體之區別函數分佈圖 4-82
圖 4-86 A01 邊坡單元判釋結果 4-84
圖 4-87 A02 邊坡單元判釋結果 4-84
圖 4-88 A03 邊坡單元判釋結果 4-84
圖 4-89 A04 邊坡單元判釋結果 4-84
圖 4-90 A05、A06 邊坡單元判釋結果 4-85
圖 4-91 A07 邊坡單元判釋結果 4-85
圖 4-92 A08 邊坡單元判釋結果 4-85
圖 4-93 A09 邊坡單元判釋結果 4-85
圖 4-94 A10 邊坡單元判釋結果 4-86
圖 4-95 B01 邊坡單元判釋結果..... 4-86
圖 4-96 B02 邊坡單元判釋結果..... 4-86
圖 4-97 B03 邊坡單元判釋結果..... 4-87
圖 4-98 B04 邊坡單元判釋結果..... 4-87
圖 4-99 B05 邊坡單元判釋結果..... 4-87
圖 4-100 B06 邊坡單元判釋結果..... 4-87
圖 4-101 B07 邊坡單元判釋結果..... 4-88

圖 4-102 B08 邊坡單元判釋結果 4-88
圖 4-103 B09 邊坡單元判釋結果 4-88
圖 4-104 B10 邊坡單元判釋結果 4-88
圖 4-105 分界指標 0.5 與 0.95 之潛勢分級結果 4-94
圖 4-106 分界指標 0.5 與 1.8 之潛勢分級結果 4-94
圖 4-107 集水區 A01 之潛勢分析結果 4-95
圖 4-108 集水區 A02 之潛勢分析結果 4-96
圖 4-109 集水區 A03 之潛勢分析結果 4-97
圖 4-110 集水區 A04 之潛勢分析結果 4-98
圖 4-111 集水區 A05、A06 之潛勢分析結果 4-99
圖 4-112 集水區 A07 之潛勢分析結果 4-100
圖 4-113 集水區 A08 之潛勢分析結果 4-101
圖 4-114 集水區 A09 之潛勢分析結果 4-102
圖 4-115 集水區 A10 之潛勢分析結果 4-103
圖 4-116 集水區 B01 之潛勢分析結果 4-104
圖 4-117 集水區 B02 之潛勢分析結果 4-105
圖 4-118 集水區 B03 之潛勢分析結果 4-106
圖 4-119 集水區 B04 之潛勢分析結果 4-107
圖 4-120 集水區 B05 之潛勢分析結果 4-108
圖 4-121 集水區 B06 之潛勢分析結果 4-109
圖 4-122 集水區 B07 之潛勢分析結果 4-110
圖 4-123 集水區 B08 之潛勢分析結果 4-111
圖 4-124 集水區 B09 之潛勢分析結果 4-112
圖 4-126 全部坡面型土石流及崩塌案例之潛勢分級結果 4-114
圖 4-127 沈積岩區(A 區)坡面型土石流及崩塌案例之潛勢分級結果 4-115
圖 4-128 變質岩區(B 區)坡面型土石流及崩塌案例之潛勢分級結果 4-115

圖 4-129 實際發生坡面型土石流案例之潛勢分級結果 4-116
圖 4-130 判釋模式分析後捕抓到之坡面型土石流案例潛勢分級結果 4-117
圖 4-131 沈積岩 A 區 10 聚落判釋結果統計圖 4-118
圖 4-132 沈積岩 A 區 10 聚落判釋結果百分比統計圖 4-119
圖 4-133 變質岩 B 區 10 聚落判釋結果統計圖 4-120
圖 4-134 變質岩 B 區 10 聚落聚落判釋結果百分比統計圖 4-121

第一章 計畫緣起

臺灣全島現今土石流潛勢溪流計 1705 條，分為溪流型與坡面型兩種土石流潛勢溪流，其中主要以位於河道的溪流型土石流為主，其危害區位相當明確，主要位於河道、河岸及出口三區位。而坡面型土石流，其規模較小，以有效集水區大於 3 公頃以上之野溪為主，多出現於山坡單元。

然近年全球氣候變遷，強降雨長延時之降雨事件逐漸增加，此種強降雨型態造成有效集水區小於 3 公頃的山坡單元，也常發生坡面型土石流。如 2009 莫拉克於高雄市六龜區新發里區，造成 7 處邊坡發生坡面型土石流災害，30 多名居民遭沖失或掩埋，數十戶房屋遭損毀或掩埋。2010 梅姬颱風造成蘇澳鎮冷泉路的白雲寺和鄰近民宅遭緊鄰山坡土石流淹沒，9 人被遭泥流掩埋。2014 年 7 月 22 日麥德姆颱風橫掃花蓮，萬榮鄉馬遠村 8 鄰多戶民宅遭土石流。2016 年 9 月莫蘭蒂颱風來襲，台東縣延平鄉紅葉村聚落後方邊坡發生大規模崩塌，大量雨水夾帶土砂沖蝕下移，造成 1-3 鄰聚落房屋嚴重受損。國外方面，如 2012 年 7 月 11 日日本地區豪雨，九州阿蘇市一之宮町坂梨地區 6 人遭坡面型土石流埋沒，十數間民房遭沖毀或掩埋。2014 年 8 月廣島豪雨致使數聚落周邊山溝發生多起坡面型土石流，造成 73 人傷亡。

臺灣山坡地區域有諸多聚落分佈其間，依原民會統計原住民聚落即達 731 處。於現今氣候變遷狀況下，許多聚落周緣之山坡地可能演化產生坡面型土石流，更因其緊鄰聚落社區，極易形成小災害但高危害度及大災損的高風險災害型態，惟因其未被劃入土石流潛勢溪流或大規模崩塌影響範圍區者，則常產生安全無虞之假象。由於坡面型土

石流常位於坡面且無明顯地形特徵，在未發生前一般不易警覺，因此若能針對聚落周緣山坡事前區分出可能崩塌或坡面型土石流，標定出可能發生的位置及潛勢，即可提高災害管理效能，保障居民安全。

本案採用地形特性因子，建立坡面型土石流與崩塌地之判釋模式，並進一步擬訂坡面型土石流災害潛勢分析方法，期望提供未來圈劃坡地危險聚落之參考，以助因應極端氣候之防災預警。基於此，本年度擇定中部陳有蘭溪及高屏溪流域內典型沈積岩 10 處，及南部及花東變質岩地質區之 10 處聚落進行模式發展研究。20 處聚落包括：

1. 沈積岩區-南投水里鄉興隆村、信義鄉新鄉村(新鄉聚落)、羅娜村(羅娜聚落)、望美村(久美聚落、望鄉聚落)及同富村(同富聚落)，嘉義縣竹崎鄉緞繻村(樟腦寮聚落)、阿里山鄉山美村、新美村，高雄市那瑪夏區瑪雅里等地區共 10 處聚落。
2. 變質岩區-板岩區以高雄市六龜區新發里(新開聚落)、中興里、大津里，屏東縣三地門鄉德文村，霧台鄉佳暮村，台東縣大武鄉大竹村(愛國蒲聚落)、延平鄉紅葉村；片岩區以花蓮縣萬榮鄉馬遠村、光復鄉大興村、秀林鄉銅門村(銅門聚落)等，共 10 處聚落。

第二章 計畫項目及時程進度

第一節 本年度計畫工作項目

本計畫應用前期發展之判釋模式，針對實際災害案例之分析單元，產製 19 項特性因子，建置成分析資料庫，進行崩塌及坡面型土石流分析單元判釋模式研究，再研擬最佳判釋模式及潛勢分析。

本年度研究分為二階段工作，首先應用崩塌及坡面型案例，精進與擴充崩塌/坡面型土石流判釋準則(沈積岩及板岩、片岩區)。而後，新擬訂沈積岩區坡面型土石判釋模式，再進行沈積岩區 10 處聚落分析。最後，擴充原判釋成果佳之板岩區坡面型土石流判釋模式至南部及花東變質岩區(涵蓋板岩、千枚岩、大南澳片岩(部分大理岩)區。

基於此，研究工作規劃如下：

1. 建置坡面型土石流災害案例、圖資及調查資料庫。
2. 聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分。
3. 建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫
4. 最佳判釋分析因子選取
5. 精進與擴充崩塌/坡面型土石流判釋準則(沈積岩及變質岩區)
6. 精進坡面型土石流地形潛勢分析模式(沈積岩及變質岩區)

以下簡要說明各項工作:

一、建置坡面型土石流災害案例、圖資及調查資料庫

本研究彙集高屏溪流域聚落周邊山坡內坡面型土石流案例，依據陳天健(2015)坡面型土石流之現地產狀特性描述，確認災害型態為坡

面型土石流，且進一步建置坡面型土石流災害案例圖資及資料庫。建置研究資料庫工作包括野外調查資料，室內配合航空照片與衛星影像(配合 Google Earth 套疊圖層使用)等進行檢核。為本研究使用之相關圖資包括：內政部第三版 1/25000 地形圖、五萬分之一地質圖幅、高屏溪流域衛星影像或航空照片、流域崩塌圖層、數值高程模型（5x5m DEM）等。應用地理資訊系統產製相關地文因子以供後續研究使用。本研究最終採用 70 筆坡面型土石流及崩塌災害案例做為模式研擬資料庫。其中災害案例分為沈積岩及變質岩兩組。

二、聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分

聚落周緣山坡地，同時具有一般崩塌及坡面型土石流兩種土砂運移型態。坡面分析單元劃分方法之良窳，影響崩塌坡面與坡面型土石流地形判釋之效率，因此需深入研究適當之坡面分析單元劃分方法及程序。本研究依前期計畫成果進行圈化作業(請詳前期105年度報告)。首先，選取出坡面型土石流案例及崩塌案例，採用次集水區概念，配合災前 5x5m DEM 劃定該案例所在集水區範圍，初步產生邊坡分析單元之範圍，坡面型土石流以 HDF 表示，僅具崩塌坡面則以 NDF 表示。逐次調整單元面積及地形出口等性質，求取吻合度最佳之分析單元劃分單元。本計畫應用此方法，針對將聚落周緣之山坡逐一劃定分析單元。

三、建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫

本研究首先因應新建與精進模式之所需，進行崩塌及坡面型土石流案例分析單元資料庫建置。而後再針對 20 處聚落鄰近山坡之分析單元，產製各特性因子之數值，建置成分析資料庫，以供後續判釋模式及潛勢分析作業應用。因其中部分因子較為特殊，以下簡要說明其特性因子。

(1) 隘口高程比：為以隘口高程差除以集水區高程差，可得隘口高程比，隘口高程比可間接表示發生區位於坡面縱剖面之區位，值越大則表示隘口接近坡趾，為大型崩塌，流動區短，較不易形成土石流，反之，其值越小，隘口位於坡腹至坡頂間，其流動距離長，較易形成土石流。進一步探討 HDF 與 NDF 之流動段高程差與集水區高程差及隘口高程比分布情形，再以兩個因子之相互關係呈現結果。

(2) 流動段長度(L_f')：應用地理資訊系統(GIS)中，套入數值地形，直接測繪之河道長度。為此是應用於正射投影觀念下產製而成，依照其工具所測繪之長度為水平距離(L)，但其真實長度為斜距(L')，將 L_f 除以 $\cos\theta_f$ 可求其較真實之流動段長度。其中 L_f' 為採用本研究判釋之流動段長度之斜距(m)，L_f 為流動段長度之水平投影距離(m)，θ_f 為流動段之平均坡度(°)。

(3) 集水區平均寬度(W)：為利用地理資訊系統(GIS)產製，分析單元之集水區面積(WA)與集水區之全長(L_w')後，以集水區面積(WA)除以集水區之全長(L_w')即計算集水區平均寬度。發生區平均寬度(W_o)產製亦同於上述方法，發生區為土石流發生之材料來源，其形狀因子更能表示該區土石材料產生情形。

(4) 坡面深寬比(HAR)：本研究將集水區分為兩個區位，以明顯看出整體集水區橫剖面變化情形。分別產製發生區深寬比(HAR_o)及流動段深寬比(HAR_f)，進一步探討整體集水區橫剖面變化與地形演化情形。深寬比為以坡面深 b 除以坡面寬 a 計算。進一步探討 HDF 與 NDF 之流動段深寬比、隘口深寬比及發生區深寬比分布情形，結果以兩個因子之相互關係呈

現。以流動段與發生區之深寬比相除，若其值趨近於 1，表示發生區至流動段於地形上無明顯變化，反之則地形有明顯變化。其關係式如下：$HAR=HAR_f/HAR_o$；以隘口與發生區之深寬比及隘口與流動段之深寬比相除，若其值趨近於 1，表示上坡面至下坡面於地形上無明顯變化，反之，值越大則地形變化明顯。

(5) 起伏比(TR)：為了更明顯看出整體集水區縱剖面變化情形，本研究計畫分別進行為發生區起伏比(TR_o)、流動段起伏比(TR_f)及集水區起伏比(TR_w)三個區位之起伏比分析，以探討整體集水區縱剖面變化情形。利用地理資訊系統(GIS)產製之高程差(ΔH)與水平距離(L)後，以高程差(ΔH)除以水平距離(L)計算起伏比。

(6) 坡面平均坡度：利用地理資訊系統(GIS)之空間模組內的坡度分析(Spatial Analysis Slope)，可由集水區範圍內之數值高程模型計算出集水區坡面平均坡度，並應用此方法另計算發生區坡面平均坡度，進一步探討 HDF 與 NDF 之集水區坡面平均坡度、發生區坡面平均坡度及坡面平均坡度比分布情形。

(7) 崩塌潛感面積比(RLSA)：本研究使用崩塌潛感面積比方法，以期獲得更具代表影響土石流發生之材料因子，崩塌潛感面積比為崩塌潛感面積(LSA)除以集水區面積(WA)，取其百分比。當崩塌潛感面積比越大，此區域之可能崩塌範圍較廣；反之則可能崩塌範圍較小。

四、 最佳判釋分析因子選取

本研究建置成統計分析資料庫後。究參酌相關學者之研究，挑選

出較適用之坡面型土石流之地文因子，因子中包括集水區面積、流動段長度、形狀係數、崩塌潛感、地形形狀等因子資料。經考慮後潛勢因子初步規劃如下：

- 集水區面積(WA)
- 土石流發生區面積(EWA)
- 有效集水指標(EWAI)
- 高程差
- 流動段平均坡度(ASF)
- 流動段長度(L_f')
- 溪流線(L_r')
- 形狀係數
- 集水區平均寬度(W)
- 坡面深寬比(HAR)
- 起伏比(TR)
- 坡面平均坡度
- 崩塌潛感面積比(RLSA)

五、 精進與擴充崩塌/坡面行土石流判釋準則(沈積岩及變質岩區)

本研究分為二階段工作，首先應用已發生之崩塌及坡面型案例，建立地形判釋模式；而後，再應用判釋模式進行 20 處聚落山坡分析，由分析成果再修訂模式，已獲得最佳之坡面型土石流地形判釋模式。計畫採用 SPSS 統計軟體惟工具，進行區別分析而建立坡面型土石流判定模式。

為了使兩母體檢驗前機率相同，坡面型土石流與崩塌兩個群組將

先各選定超過 30 筆觀測資料，進行坡面型土石流判別。由前述特性因子中選出指標因子進行區別分析，觀察其正判率，取得最佳判定之因子組合，而訂定坡面型土石流判釋模式。為檢核判釋模式之效力，本研究保留部分約崩塌及坡面型土石流約各 10 筆案例，作為判釋模式效力之檢測樣本。而後再應用於本研究之 20 處研究區，進行適當修訂，以獲得最佳之判釋模式。

六、 精進坡面型土石流地形潛勢分析模式(沈積岩及變質岩區)

延續前項得到坡面型土石流判釋成果，配合 20 個聚落作為驗證樣本群，依照區別函數值進行驗證，最後進行坡面型土石流潛勢分級。土石流發生潛勢之高低，可提供防災避難規劃優先順序之參考，本研究坡面型土石流潛勢分級模式，是將函數值分佈曲線累積百分比分成三份，將斜率最高之上升段設為中潛勢，其前後分別為低潛勢與高潛勢。當機率依序累加後可得累積積率百分比曲線為虛線，將此曲線面積分成高中低三潛勢等分。

第二節 工作進度

本計畫目前預定民國 106 年 12 月 31 日完成，工作期程如表 2-1 所示，其中黑色為預定工作進度，灰色為計畫執行進度。目前已完成。

表2-1 計畫工作進度預定表

月次 / 工作項目	106 年										
	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
1. 建置坡面型土石流災害案例圖資及調查資料庫											
2. 聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分											
3. 建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫											
4. 期中報告											
5. 最佳判釋分析因子選取											
6. 精進與擴充崩塌/坡面型土石流判釋準則(沈積岩與變質岩區)											
7. 精進坡面型土石流地形潛勢分析模式(沈積岩與變質岩區)											
預定進度累計百分比(%)	2	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

第三章 相關文獻

本章進行相關文獻整理，首先彙整國內外坡面型土石流相關定義與分類，接著說明為集水區及分析單元定義，其次，介紹坡面型土石流判別模式及其因子。最後，說明去年度聚落周緣坡面型土石流判釋工作之初步成果。

第一節 坡面型土石流定義與分類

土石流溪流類型，就地形觀點分為溪流型與坡面型(hillslope type debris flow)兩種。溪流型土石流之區位多位於河谷地形，而坡面型土石流區位主要位於邊坡之溝壑或坡面，由小規模崩塌匯流地表逕流後向下方輸送，災害規模及影響區均較小，主要危害之空間集中於銜接坡面處或溝壑出口。兩種土石流之發生產狀、地形、地貌、機制、區位等特性各有所不同。坡面型土石流產狀特性及地文特徵方面，周憲德(2002)、林慶偉(2002)、游繁結(2005)、及陳天健等(2015，2016)等學者研究中已有相關研究。而於「坡面型」土石流名稱方面，本研究沿用 Jomelli 等人 (2007)之稱為坡面型土石流(Hill Slope Debris Flow，HDF)。

在國內外有關於坡面型土石流的相關研究中，部分研究對坡面型土石流之名詞定義與外觀特徵，茲綜整如下：

Takahashi(1981)根據土石流發生區位置，在區位分類上進行土石流分類，其中發生於陡峭的岩盤或崖錐部位的土石流稱為「slope type debris flow」。此類土石流常沿坡面蝕溝發生，流動距離短。

在地貌分類中，詹錢登等(2000)引用 Takahashi(1981)描述，將土石流按照發生的地貌條件，劃分成河谷型土石流及山坡型土石流兩類，其中本研究坡面型土石流屬山坡型土石流。張石角 (1985)將 Varnes

(1978)所提到，土石料源為停積於斜坡之鬆散物質及崩塌產生之物質之崩塌物，因暴雨或滲流作用，使邊坡物質破壞形成之土石流稱為山坡型或邊坡型土石流。而吳素慧(1997)根據張石角(1985)上述之研究，將土石流以地形再分為三類如下述。第 1 類型土石流較為接近坡面型土石流；第 2、3 類型土石流則較為接近溪流型土石流：

(1) 邊坡型土石流

通常為暴雨發生時或其後，斜坡上的鬆散物質在重力作用下迅速滑動所形成者，如圖 3-1(左)所示。

(2) 山谷型土石流

邊坡已向內侵蝕成一深長的槽谷，堆積於谷內的崩塌物質，在暴雨時飽和水分向下移動，並衝出狹小的隘口，如圖 3-1(中)所示。

(3) 溪床型土石流

坡度較陡的溪床上所積累的巨厚堆積層，隨著暴雨的發生而形成的土石流動，如圖 3-1(右)所示。

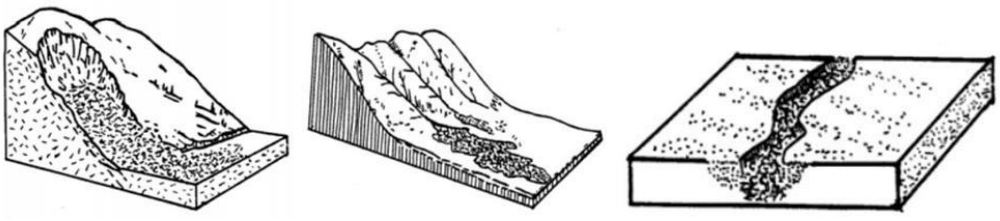


圖 3-1 邊坡型(左)與山谷型(中)溪床型(右) (吳素慧，1997)

連惠邦、林柏壽、薛祖淇(2000)將崩落型土石流，分為與溪流作用無關之主動崩落型土石流(坡面型土石流)及受溪流作用之被動式崩落型土石流(溪流型土石流)。

游繁結(1990)、高橋保等(1983)將發生於山腹斜面崩落之土砂土石流化現象，稱之為崩落型土石流。游繁結(2005)等人，發現火炎山區域邊坡土體運動方式，除表土沖蝕外，應可分為崩塌與坡面流動兩種型態：

(1) 崩塌

係指邊坡斜面上土體崩落之現象，土、石、岩塊等土體間非呈連續體之運動，此等不連續之空間亦未充斥水或泥漿等流體，故其運動至緩坡處停積之範圍較小。

(2) 坡面流動

主要發生於暴雨時或過後，斜坡上的鬆散物質因重力作用而迅速運動之行為。由於此等現象係崩塌土體在向下移動時，同時呈現土石流動之行為，可由上游崩落物質受水流帶動至下游並堆積而成沖積扇之地形作為判釋依據，且與崩塌之堆積型態相比較，其坡度較為平緩且堆積扇的主軸長度較長，與一般崩塌所形成的崖錐堆積有所不同。

廖偉民(2001)依水文啟動條件分為：1.溪床型土石流，為土體內之滲透係數較大，且因溪床水流匯集，造成之土石流。2.崩塌型土石流，土體內孔隙水壓升高，使土體崩塌所致。

第二節 坡面型土石流與岩屑崩滑之差異

游繁結(2005)等人針對火炎山區域研究中，指出邊坡土體運動方式除表土沖蝕外，應可分為崩塌與坡面流動兩種型態，這兩種型態之判釋基準如表 3-1 所示。其中，崩塌與坡面流動之詳細描述如下:

(1) 崩塌

係指邊坡斜面上土體崩落之現象，其崩落之行為包括落石、塌陷、崩滑等運動型態，而運動之特徵為土、石、岩塊等土體間非呈連續體之運動，亦即運動土體內部之土、石、岩塊等粒子之間有不連續之空間存在，此等不連續之空間亦未充斥水或泥漿等流體，故其運動至緩坡處停積之範圍較小。

表3-1 崩塌與流動之判釋基準(游繁結，2005)

特性\類型	崩塌	坡面流動
發生位置	邊坡斜面	崩塌斜面或沖蝕溝
堆積形式	崖錐	舌狀或扇狀堆積
停積範圍	小於 2 倍崩塌高	大於 2 倍崩塌高
堆積形狀	縱軸不一定大於橫軸	縱軸大於橫軸
植株	傾倒之林木尚附著枝葉	林木樹幹表皮充分磨損幾乎無枝葉附著
堆積區粒徑分布	堆積表面之土石無明顯之篩分現象	堆積表面之前緣有較粗大之石、礫材料，有明顯之篩分現象

(2) 坡面流動

主要發生於暴雨時或過後，斜坡上的鬆散物質因重力作用而迅速運動之行為。由於此等現象係崩塌土體在向下移動時，同時

呈現土石流動之行為，在相片基本圖上可能不具明顯之溝谷，作為流動之渠道，但於實地上可發現崩塌邊坡上有淺溝狀之蝕溝出現，此等蝕溝凹槽除可匯集逕流外，更可形成流動之流路。此外，發生區與流動區並無明顯之界面，但可由上游崩落物質受水流帶動至下游並堆積而成沖積扇之地形作為判釋依據，且與崩塌之堆積型態相比較，其坡度較為平緩且堆積扇的主軸長度較長，與一般崩塌所形成的崖錐堆積有所不同。

游繁結(2005)就地形方面，將各調查之邊坡破壞地區依Parsons(1988)之分類歸納(圖 3-2)，顯示火炎山地區邊坡破壞坡型為內聚凸坡與平行凸坡坡型。其中，崩塌以平行凸坡坡型為主，土石流則均發生在內聚凸坡坡型。一般凸坡有較多的土砂料源供應，並易形成坡陡環境造成崩塌，而內聚凸坡坡型有利於逕流集中產生侵蝕，並維持流動坡度條件，使得崩塌土體得以短距離形成土石流。

呂岡侃與徐美玲(2004)於南投縣九九峰地區現地調查發現，坡面土砂運動的形態如表 3-2 所示。其指出，坡面型土石流其地形形狀多呈碗狀，有利於雨量的有效聚集，不但容易引發崩塌，也容易攜帶土石在上緩下陡的邊坡轉折處切出較深的溝谷，並形成隘口。崩塌之物質首先集中於邊坡凹陷處，接著被水流沖刷而流動，在其下移過程中土石不斷攪拌，並切蝕邊坡摧毀邊坡上原有植生，結果樹幹殘枝或大塊石礫經常被卡於隘口形成障礙，造成後方土石的累積，直到土石壓力超過阻礙物的強度，才一舉沖出隘口，在坡腳形成堆積，此種塊體運動的主軸長度、深度和面積均顯著大於岩屑滑落和岩層滑崩。

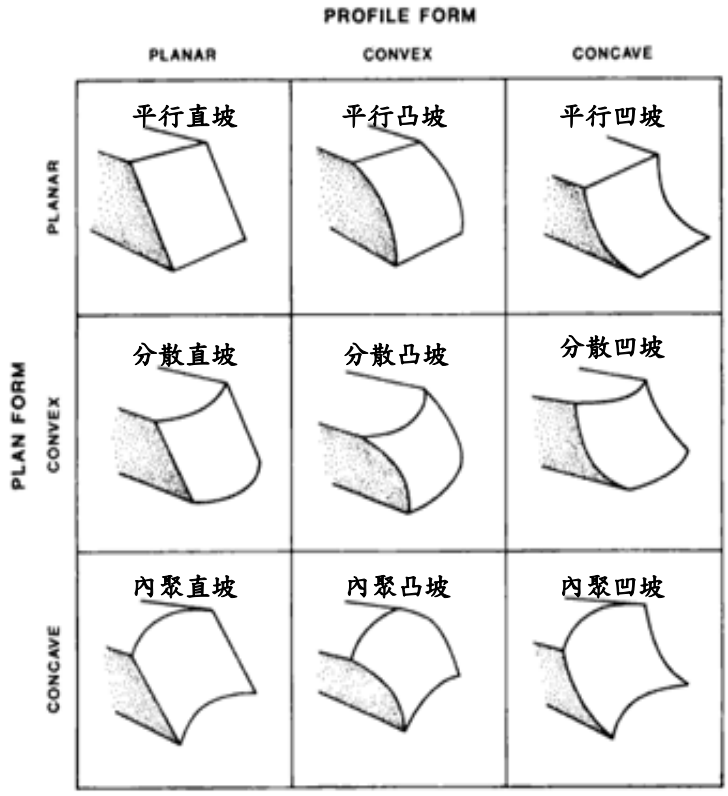


圖 3-2 九種基本坡型(Parsons, 1988)

表3-2 各類崩塌形態比較表(呂岡侃與徐美玲，2004)

觀察參數 / 崩塌形態	崩塌形狀	崩塌位置	隘口有無	邊坡坡形
岩屑滑落	橫平面狀	1. 坡面及坡底 2. 全邊坡	無	 平行禿坡
岩屑滑崩	碗狀	坡頂	有 (2 至 4 公尺)	 內聚禿坡
邊坡型土石流	碗狀	全邊坡	有 (4 至 6 公尺)	 內聚禿坡

第三節 坡面型土石流特性

本研究引述陳天健等(2015)對於坡面型土石流綜整之地形產狀特徵如下:

於地形上，坡面型土石流集水區較溪流型土石流小，多為河岸小集水區之坡面單元，多為新生崩塌於溝壑或坡面地形，屬零級河序之河岸地形，如圖 3.3 所示。其位置多發生於山腹區位，上游源頭處災前地形略呈碗狀，並連接一隘口地形（圖 3.4），其發生區與流動區不易區分且坡度較陡，惟隘口地形常為流動之起始而至坡趾處後，流速突降而形成堆積區。



圖 3-3 高雄市六龜區中興里坡面型土石流，位於凸型邊坡，其發生區多位於坡腹或向源侵蝕區位，多為新生崩塌於溝壑或坡面地形。

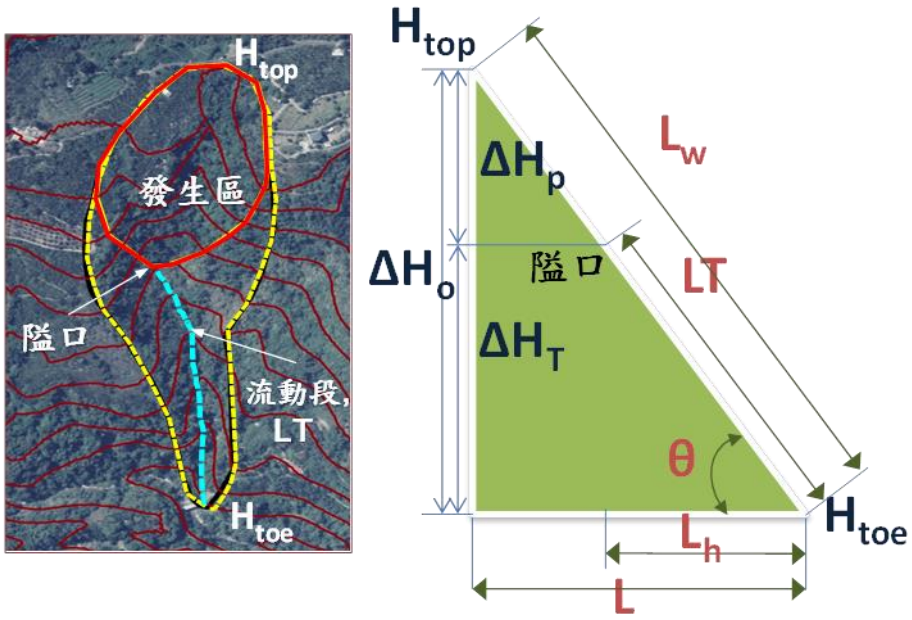


圖 3-4 隘口與發生區選取示意圖

於機制與產狀方面，坡面型土石流之發生料源為上游發生區之小規模新生崩塌地，由崩塌直接轉化成土石流，沿重力方向或溝渠流動。流動過程中有劇烈槽化作用。土石之流動距離短，集水區出口材料常堆積成堆積扇且坡度較陡，亦因流動距離短，因此堆積區材料稜角較為明顯。邊坡上方可能存在向源侵蝕作用且尚未發展至嶺線，因此坡面型土石流扮演由溝壑演化至野溪之階段作用期。

在材料方面，坡面型土石流為一個在陡坡上快速運動之水和沈積物的混合物(Jomelli, 2007)；整體土石流型態可由上游崩落物質受水流帶動至下游並堆積而成之沖積扇地形作為判釋依據，且與崩塌之堆積型態相比較，其坡度較為平緩且堆積扇的主軸長度較長，與一般崩塌所形成的崖錐堆積有所不同(游繁結等，2005)。

第四節 坡面型土石流之判釋準則

陳天健等人(2015)歸納高屏溪流域坡面型土石流之現地產狀特性及文獻描述，擬定出坡面型土石流判釋準則 12 項如下：

依地形與產狀觀點，坡面型土石流具有下列 12 項明顯特徵：

(1) 災前崩塌源頭地形為凸坡或平直坡

(2) 發生於溝壑或坡面地形，且不具明顯溪谷

(3) 屬零級河序 (zero order river)

(4) 河道長度短

(5) 發生區多位於坡腹或向源侵蝕區位

(6) 源頭崩塌地成碗狀

(7) 集水區內崩塌規模較小

(8) 發生區與流動區不易區別，且坡度較陡

(9) 具隘口地形並連接一土石流流槽

(10) 由新生崩塌地轉化為土石流

(11) 流動區劇烈槽化作用

(12) 堆積區顆粒稜角明顯

上述各項特徵可提供學者現地調查與室內影像判釋等作業應用。上述項產狀特徵前 9 項為地形特徵，第 10 項為機制特性，最後 2 項為產狀特徵。12 項為於經與坡面型土石流實例比對具有高符合率。

第五節 分析單元定義

一、 集水區定義及劃分

行政院農委會水土保持手冊(2005)中所定義之集水區，即沿山嶺線圍繞而成一以溪谷為中心的集水區域，在集水區內的坡面有各種不同的土地利用方式，但沿坡面流動的水流乃至於入滲至地下的地下水流，最終將匯集於溪谷中的流路沿河溪流至湖、海，如圖 3-3 所示。水土保持法提到集水區係指溪流一定地點以上天然排水所匯集地區。水利署定義則是集水區為針對某條河流而言，在某定點內，匯集該河流地表水的區域。

整體而言，集水區是一個以山脊線為邊界的水文系統，而集水區的邊界及面積大小則需視集水區出口指定，加以確定。集水區為多個同一匯水出口之小面積次集水區集結而成。



圖 3-5 集水區範圍示意圖(底圖來源:google erath)

集水區之劃定能先行以地理資訊系統水文分析模組工具進行電腦自動化劃定作業。一般較常被應用之分析工具為 ArcGIS 之 ArcHydro 模組。一般而言，ArcHydro 自動畫定集水區之單位網格是數值地形模型資料之解析度及設定參數而有所變異。

陳天健等人(2016)研究中則針對坡面型土石流提出地形判釋方法，其採以次集水區觀念劃分坡面型土石流分析單元，結果可提供山坡地區域進行潛勢評估，標定高風險集水區。

陳天健等人(2016)研究中則針對坡面型土石流提出地形判釋方法，其採以次集水區觀念劃分坡面型土石流分析單元，結果可提供山坡地區域進行潛勢評估，標定高風險集水區。

二、 坡面分析單元定義

坡面單元劃分方法依應用需求有諸多種劃分方式(李錫堤，2009)。坡面分析單元或稱斜坡單元(slope unit)有兩種地形定義，一為斜坡縱斷面上的各個最小單元，另一為侵蝕基準以上的整個斜坡系統（Penck, 1953），而本研究劃分之分析單元內較為接近第二種定義。

(一) 斜坡縱斷面上各個單元

就斜坡縱斷面地形而言，在一個二維的斜坡縱斷面上，以變坡點（breaks of slope）為上下邊界分割的單元，將山坡分成數個斜坡單元，此單元具有相對較同質的形狀和岩性（Giles and Franklin, 1998），如圖 3-5，圖中有三個變坡點，將一個斜坡分成四個斜坡單元山脊 A、坡頂 B、坡腹 C、及坡腳 D。本研究應用此區分法之概念，將分析單元縱斷面分為發生段(AB)，流動段(C)及堆積段(D)等之微地

形。

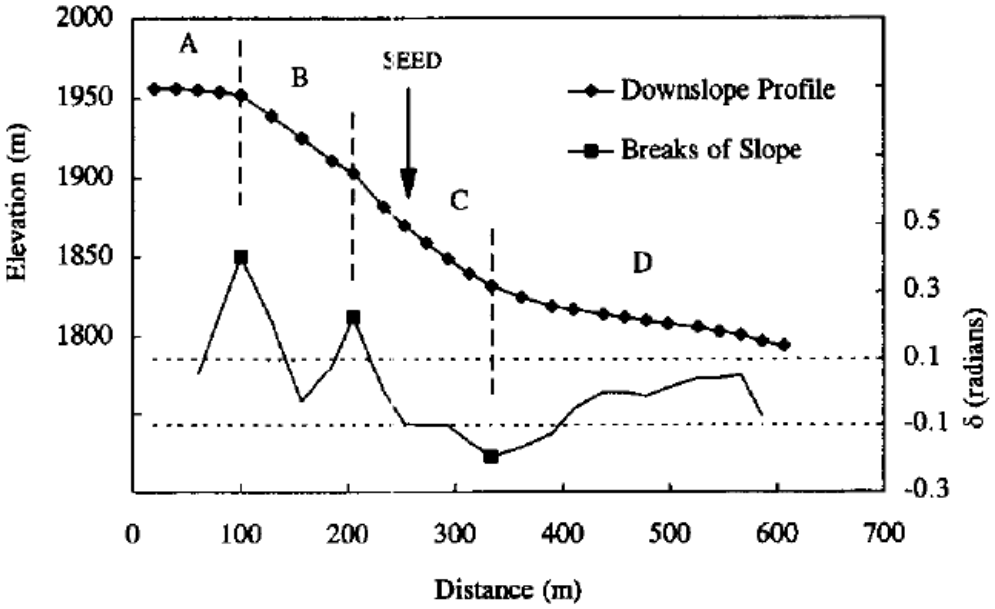


圖 3-6 斜坡縱斷面之變坡點示意圖（Giles and Franklin, 1998）

(二) 侵蝕基準以上的整個斜坡系統（Penck, 1953）

此定義較常被運用在坡地災害研究上，一個小集水區以水系為侵蝕基準，以上的左右兩側斜坡各被視為一個斜坡單元（Carrara et al., 1991; Xie et al.,2004），如圖 3-6 所示。

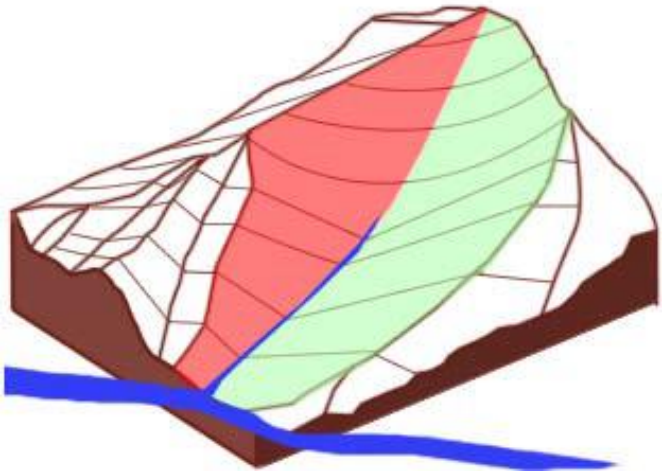


圖 3-7 以一級河集水區為例之斜坡單元示意圖（簡瑋延，2011）

第四章 研究成果

第一節 坡面型土石流災害案例、圖資及調查資料庫

本研究首先整理高屏溪流域聚落周邊山坡內坡面型土石流案例，70 筆坡面型土石流及崩塌災害案例做為模式研擬資料庫，以供後續產製相關地文因子使用。而後將配合聚落周邊歷史災害資料、遙測圖資與數值地型、及現地查核等，建立分析資料庫，提供進一步聚落坡面型土石流單元判釋與潛勢分級模式研究應用。本研究已蒐集之相關圖資包括：內政部第三版 1/25000 地形圖、五萬分之一地質圖幅、高屏溪流域衛星影像或航空照片、流域崩塌圖層、數值高程模型（5x5m DEM）等、歷史災害案例等，應用地理資訊系統產製相關地文因子以供後續研究使用。

一、 小規模坡面型土石流事件特性因子資料庫

研究團隊依據陳天健(2015)坡面型土石流之現地產狀特性描述，確認災害型態為坡面型土石流，且進一步建置坡面型土石流災害案例圖資及資料庫。建置研究資料庫工作包括野外調查資料，室內配合航空照片與衛星影像(配合 Google Earth 套疊圖層使用)等進行檢核。

因聚落週邊山坡次集水區主要為小面積之單元且位於不同地質區，故研究團隊分別就沈積岩、板岩及片岩地質區，重新選取規模較小之坡面型土石流事件，作為地形判釋模式之分析資料庫。小規模土石流樣本點位如圖 4-1 所示。研究中以研究區之災前及災後遙測影像與數值高程模型(DEM)等，於 ArcGIS 地理資訊系統平台萃取土石流與崩塌地之地文、水文、類型、產狀、災害範圍等資訊，

再加值產製各項判釋因子，挑選出發生及未發生小規模土石流分析單元資料總計 70 處、驗證區資料總計 40 處研究，建立樣本資料庫。

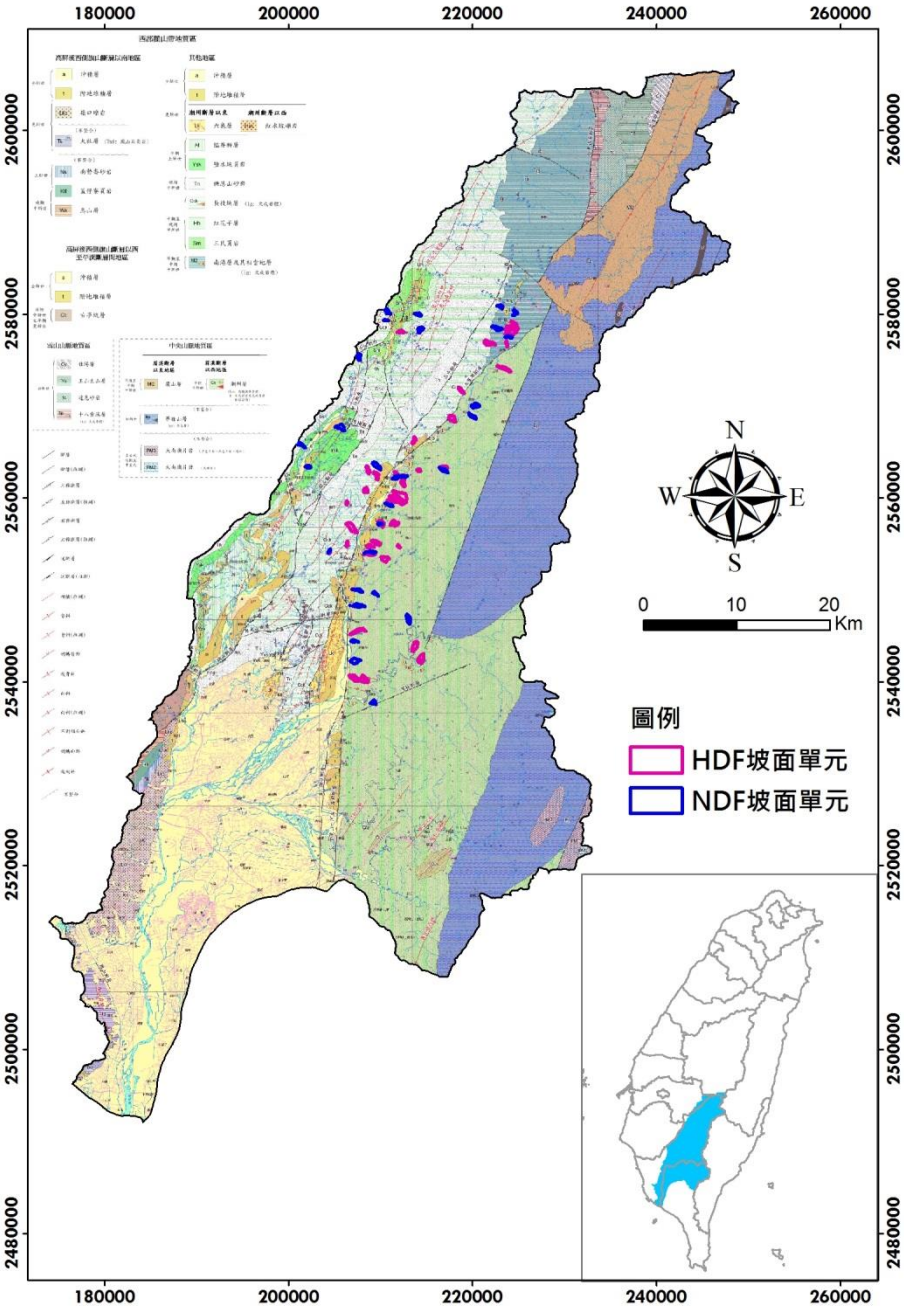


圖 4-1 高屏溪小規模土石流分析單元位置分布圖

二、研究區之地質概況

本年度擇定中部陳有蘭溪及高屏溪流域內典型沈積岩10處，及南部及花東變質岩地質區之10處聚落進行模式研究，研究區地質狀況如圖4-2所示。20處研究聚落包括：

1. 沈積岩區 -南投水里鄉興隆村(興隆聚落)、信義鄉新鄉村(新鄉聚落)、羅娜村(羅娜聚落)、望美村(久美聚落、望鄉聚落)及同富村(同富聚落)，嘉義縣竹崎鄉緞繻村(樟腦寮聚落)、阿里山鄉山美村(山美聚落)、新美村(新美聚落)，高雄市那瑪夏區瑪雅里(瑪雅聚落)等地區共10處聚落。
2. 變質岩區-板岩區:高雄市六龜區新發里(新開聚落)、中興里(中興聚落)、大津里(大津聚落)，屏東縣三地門德文村(德文聚落)，霧台鄉佳暮村(佳暮聚落)，台東縣大武鄉大竹村(愛國蒲聚落)、延平鄉紅葉村(紅葉聚落)。片岩區:花蓮縣萬榮鄉馬遠村(馬遠聚落)、光復鄉大興村(大興聚落)、秀林鄉銅門村(銅門聚落)等，共計10處聚落。

區域地質方面，荖濃溪與旗山溪流域研究區，地層與地質構造亦呈北北東—南南西走向延伸，流域內出露之地層可以土壠灣斷層以及潮州斷層的連線概略劃分為兩大區塊，斷層線以東出露地層以脊樑山脈帶之變質岩與亞變質岩地層為主，包含大南澳片岩、十八重溪層(板岩)、達見砂岩、畢祿山層(板岩及硬砂岩)、佳陽層(板岩)及廬山層(板岩)；斷層以西出露地層則屬西部麓山帶之沈積岩地層為主，包括南港層、南莊層、桂竹林層、古亭坑層與頭嵙山層之相當地層，岩性以砂岩、粉砂岩、頁岩與泥岩為主（中央地質調查所，2009）。

陳有蘭溪流域研究區，陳有蘭溪主要是沿著陳有蘭溪斷層發育，由於位於斷層上，溪流兩側的岩性明顯的不同，溪流右岸地層屬古第三紀輕度變質岩之地層，其主要組成為板岩、硬頁岩、變質砂岩與石英岩，而溪流左岸屬未變質之新第三紀沈積岩，包含頁岩、砂岩及砂頁岩互層。陳有蘭溪在地形上為一明顯的斷層線谷，在脆弱的斷層帶上緩慢發育。因為斷層經過，造成斷層鄰近區域的剪力節理發達，岩石破碎且易風化，再加上陡峭的地形及地震影響，使得邊坡極不穩定，所以經常造成崩塌地的發生。研究區域內的地層包含了深坑砂岩主要是由厚層塊狀砂岩及暗灰色頁岩組成。砂岩通常為灰至淡灰色，細粒泥質或粉砂質，常連續出現而構成巨大厚累層。上新世的桂竹林層，此地層主要由塊狀厚層灰色至棕色泥質砂岩為主要岩性，間夾灰色泥岩或頁岩。更新世的階地堆積層地層中大多包含礫石及砂。全新世的沖積層，沖積層中多礫石、砂以及黏土。

花東研究區，主要位於中央山脈南段及東翼變質雜岩區。中央山脈南段其以亞變質岩帶之板岩為主；東翼變質雜岩區則以變質程度較高的變質岩為主。變質雜岩區主要是由原來的沈積岩與火山岩，經過多次變質作用而成的各種片岩所構成，因此本區又有「大南澳片岩」之名；變質石灰岩（大理岩）也是常見的岩石。此外，也夾有一些片麻岩、角閃岩、變質基性火成岩及蛇紋岩等等。主要的片岩有三種，分別為從泥質沈積岩變質而成的黑色片岩（又稱泥質片岩）、由基性火山岩變質而成的綠色片岩，以及由砂質沈積岩變質而成的矽質片岩。

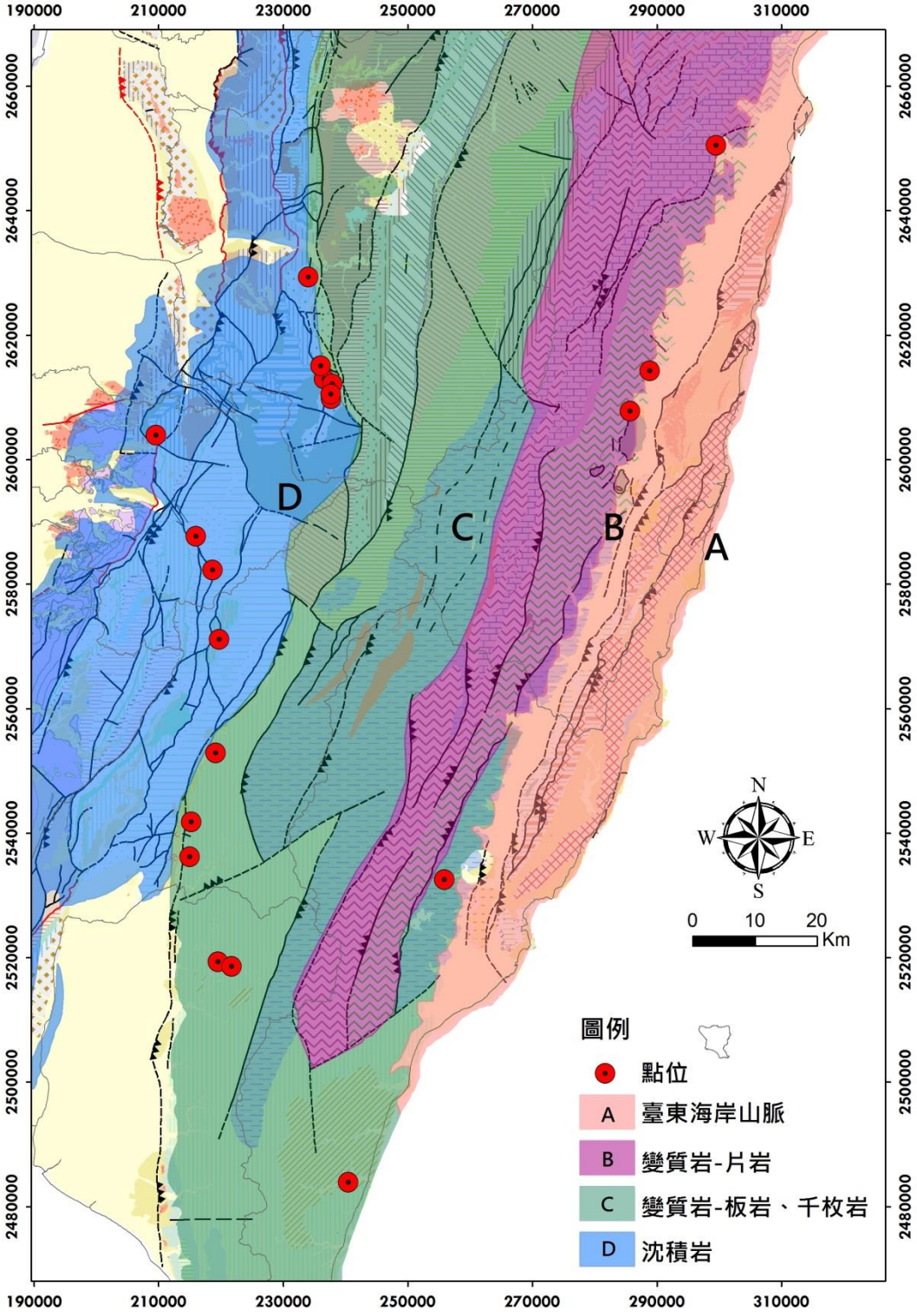


圖 4-2 研究區位置與地質圖（底圖:中央地質調查所，2009）

三、聚落之位置及地質概述

A.沈積岩區

南投縣水里鄉興隆村(興隆聚落)、信義鄉新鄉村(新鄉聚落) 、羅娜村(羅娜聚落)、望美村(久美聚落、望鄉聚落)及同富村(同富聚落)位於陳有蘭溪流域左岸河階地，為沈積岩地質區，如圖 4.3 至圖 4.7 所示。

興隆村位於水里鄉南端，北鄰永興村，東與新山、郡坑、上安村隔陳有蘭溪相對，西則與鹿谷鄉永隆村及鳳凰村相接。本村為陳有蘭溪之支流竹仔腳坑溪集水區，聚落所在位置為中新世早期-中期樟湖坑頁岩，屬沈積岩，岩性主要為暗灰色頁岩，局部夾細粒緻密砂岩。

信義鄉新鄉村位於新中橫（台 21 號省道）公路 99.5 公里，筆石上方約四公里處。北接自強村，南鄰羅娜村，東有筆石溪流過，西為牛稠坑溪貫穿。 兩河均為陳有蘭溪支流，陳有蘭溪在水里鄉龍神橋附近與濁水溪匯合後西流。

羅娜村位處信義鄉中央偏西側，東及南面與望美村相連，西接嘉義縣阿里山鄉香林村，北則與新鄉村相鄰。聚落及邊坡地層包含更新世階地堆積層及中新世南莊層。階地堆積層以顆粒支持的礫岩為主，基質紅化的情形較不明顯，有部分的露頭以基質支持。礫石層厚度約可在 50 公尺以上，由變質石英砂岩或變質砂岩所組成。南莊層是台灣西部中新世最上層的含煤地層，也是中新世分布最廣的含煤地層。地層厚度最厚可達 1400 公尺厚，上部以厚層中至粗粒灰白色石英質砂岩為主。交錯層與波痕常見甚多赤鐵礦化之菱鐵礦結核；下部以淺色頁岩間夾細粒砂岩為主，其中常有紋層狀之砂質或

粉砂質頁岩出現，具薄凸鏡狀或泥紋層理。

同富村位於信義鄉西南側，西麓中央山脈，東鄰陳有蘭溪，南接神木村，北壤望美村。聚落主要主要沿著和社溪沿岸河階地而居。另，望美村位於信義鄉西側，東臨豐丘村，西與嘉義縣相接，南毗神木、同富及東埔村，北則與羅娜村相接。望美村分為久美及望鄉兩大聚落。望美村地勢西高東低，海拔介於 650 公尺至 2550 公尺之間，高低差約有 1900 公尺。所屬地層為中新世中期之深坑砂岩層，岩性主要為巨厚狀砂岩及砂、頁岩互層，含化石富集層。

嘉義縣竹崎鄉緞繻村(樟腦寮聚落)，海拔高度約 500 至 800 公尺。位於竹崎鄉北緣，北接梅山鄉、東為金獅村，西接復金村，南則與龍山村以牛稠溪為界。緞繻村地勢由北往南降低，東北部之地形坡度起伏較大，西南部較為平緩，而人口多集中在平緩的西南部。樟腦寮的聚落（屬竹崎鄉緞繻村）就位於半山腰上，地勢傾斜，週邊幾乎無平地，如圖 4.8 所示。聚落所在位置為中新世-上新世桂竹林層下段關刀山砂岩段及中段桂竹林層十六份頁岩，屬沈積岩，關刀山砂岩，由細粒到中粒的淡青灰色砂岩組成，主要為厚層塊狀的泥質砂岩，並含有頁岩碎片和薄煤線，在貝類化石富集地方，砂岩多帶有石灰質；中段十六份頁岩，由深灰色頁岩組成，產許多貝類和蟹類化石。

嘉義縣阿里山鄉山美村(山美聚落)與新美村(新美聚落)，位於海拔高度 400 至 1200 公尺左右的曾文溪上游，如圖 4.9 及圖 4.10 所示。山美村位於阿里山鄉南區，曾文溪中游的向南平地區域東鄰里佳村，西為番路鄉，北接樂野村，南依新

美村，主要聯外道路為由台 18 線轉為 129 縣道，境內有曾文溪及達娜伊谷溪匯流。山美及新美聚落所在地層及山坡主要為晚期中新世沈積岩長枝坑層及中新世新晚期至上新世初期之糖恩山砂岩。長枝坑層屬於砂頁岩互層或厚層頁岩層，岩性以青色或青灰色細粒砂岩或泥質砂岩與黑色頁岩所形成之帶狀互層為主，細粒砂岩厚約 10~80 公分，較厚者常具有圓丘狀之交錯層理，呈巨波外形之透鏡體，砂岩體側向之連續性不佳，含有不少的海相化石，砂岩很緻密堅硬，部份且為石灰質，主要成分為亞混濁砂岩；糖恩山砂岩為厚層塊狀砂岩及泥質砂岩，岩性以厚層細粒砂岩、粉砂岩為主，質緻密堅實，偶具泥質，偶夾有薄層至厚層的頁岩。

高雄市那瑪夏區瑪雅里，南毗南沙魯里，東連桃源鄉復興里及桃源里，西接嘉義縣大埔鄉和平村及茄苳村，台 21 線道貫穿本里，為主要的聯外道路。瑪雅里呈東西狹長狀，地形四面環山，山坡地佔地多河床平台、山腰台地，四面高山峻嶺，多谷斷層台階。高雄市那瑪夏區位於高屏溪流域上游，主流為旗山溪，上游稱為楠梓仙溪，與那次蘭溪合流，形成馬雅只沖積扇，而瑪雅聚落位於馬雅只沖積扇南端階地，因斷層作用及地殼抬升作用而隆起於河道以上，地形隆起呈北高南低，如圖 4.11 所示。瑪雅位屬沈積岩地質區，分布之地層有更新世至全新世階地堆積層、中新世晚期三民頁岩及紅花子層。其中，三民頁岩層岩性以深灰色緻密頁岩為主，間夾灰色鈣質薄層粉砂岩，下部則夾有薄透鏡狀炭質頁岩或煤層。三民頁岩露出於旗山溪南沙魯里至瑪雅里一帶的河谷中。主要地質構造為楠梓仙溪河道西側南北向之小林斷層，屬逆

衝斷層，東側為上盤。東側邊坡之岩層向東傾，屬逆向坡，其特性為坡面有大量表層岩屑及淺層崩塌所造成的崖錐堆積；紅花子層主要由厚層灰色細粒至中粒緻密砂岩及粉砂岩為主，含灰色頁岩與泥質砂岩(生物擾動砂岩)，部分含灰至暗灰色砂質頁岩夾層。

B.變質岩區

高雄市六龜區新發里(新開聚落)、中興里(中興聚落)、大津里(大津聚落)，均位於輕度變質板岩之潮州層地質區，如圖 4.12 至圖 4.14 所示。六龜區處於中央山脈丘陵地和屏東平原交接處，南北狹長的地形有荖濃溪經過，東以中央山脈山與桃源、茂林區為界，西以荖濃溪與六龜分隔，北與桃源里為鄰，南與茂林為界。

其中，新發里位在六龜區東方，東連桃源鄉寶山里，西接荖濃里，北臨寶來里，南毗六龜里及興龍里。境內交通以省道台 27 線道為主，往北可銜接台 20 線往南橫方向，往南則經茂林鄉通往屏東縣。中興里四面環山，本里東以中央山脈山區與桃源、茂林區為界，西以荖濃溪與六龜、義寶、文武、新興等里相望，北與興龍里為鄰，南至葫蘆谷一線與大津里為界，村內主要聚落包括中庄、山腳、尾庄、草坌等聚落，目前山腳、尾庄、草坌此三部落的門號均稱尾庄，為一較大型山坡農村聚落。大津里位於六龜區東南端，緊臨荖濃溪水系二重溪，北連本鄉中興里，西接本區新興里，東則與茂林區茂林里接壤，南臨屏東縣三地鄉青葉村。大津里聚落座落於荖濃溪水系二重溪左岸，高度在海拔 100 公尺至 300

公尺之間。此三地區之聚落所在地層主要為沖積層、階地堆積層，坡地則以中新世中期潮州層為主，為亞變質岩地質區，岩性以硬頁岩及板岩為主，間夾厚至薄層變質砂岩。

屏東縣三地門鄉德文村與霧台鄉佳暮村，位處隘寮北溪右岸，二聚落隔著河谷遙望，如圖 4.15 及圖 4.16 所示。霧台鄉佳暮村(佳暮聚落)由新舊兩部落組成，位處隘寮北溪右岸與神山部落隔著河佳暮聚落座落於中新世時期輕度變質板岩之潮州層地質區內，岩層位態略呈東北方向向東傾沒。聚落位於隘寮北溪之北側，位於戶亞羅山集水區兩側山脈接近溪流之嶺線上高地，為順向坡地形，聚落即位於順向坡之頭部。隘寮北溪於佳暮村下方形成曲流，蜿蜒流向依拉部落。聚落高程介於 500 至 450 公尺間，地勢為北高南低，落差約 50 公尺。隘寮北溪由部落南側曲流朝東下流，原溪床與部落高差約 150 至 200 公尺。德文村位於屏東縣三地門鄉東北方，西面與大社村及馬兒村相鄰；南邊則緊鄰三地村與達來村。主要聯外道路為鄉道，往北通往大社村，往南則接台 24 線道後通往達來村。本村共分為德文巷、相助巷、上北巴巷及下北巴巷四個部落，均位於德文村南端。德文村形狀為狹長型，地勢東高西低，以位於東北方的大母母山（2423 公尺）地勢最高。本村所屬地層為潮州層，岩性主要以硬頁岩或板岩，偶夾薄層變質砂岩為主。聚落西北方有德文背斜通過，全村均位於陡坡上，岩層之板劈理傾斜方向與坡向一致，為順向坡地形。板劈理走向多為東北-西南走向，向東南傾斜約 22-60 度。

臺東縣大武鄉大竹村(愛國蒲聚落)及延平鄉紅葉村(紅葉

聚落)，聚落位置分別如圖 4.17 及 4.18 所示。其中，愛國蒲聚落聚落居地被大竹溪支流分隔為兩處。支流右岸聚落(愛國蒲)位處高程 85 公尺 到 130 公尺，由南南東往北北西緩降的坡地，坡度約 10 度；支流左岸聚落(工作地)位處高程 60 公尺 到 85 公尺 的平緩階地。愛國蒲聚落位於沖積層上，周邊邊坡岩層屬中新世中期亞變質岩之潮州層，岩性為硬頁岩或板岩偶夾透鏡狀砂岩體，劈理發達的硬頁岩或板岩易因風化作用而呈破碎狀。紅葉聚落鄰近鹿野溪，聚落主要位於階地堆積層，呈扇階地形。周緣山坡主要位於始新世畢祿山層，以板岩和千枚岩為主，常夾有較厚層的變質砂岩，部分為石灰質砂岩與長石質砂岩，砂岩粒度細至粗粒；另局部夾有安山岩質或玄武岩質之火山岩透鏡體。

花蓮縣萬榮鄉馬遠村(馬遠聚落)、光復鄉大興村(大興聚落)及秀林鄉銅門村(銅門聚落)等三個聚落，其位置分別如圖 4.19 至圖 4.21 所示。聚落主要位於中央山脈南段及東翼變質雜岩區，變質石灰岩（大理岩）也是常見的岩石。此外主要的片岩有三種,分別為從泥質沈積岩變質而成的黑色片岩(又稱泥質片岩)、由基性火山岩變質而成的綠色片岩，以及由砂質沈積岩變質而成的矽質片岩。

馬遠村位於萬榮鄉南側，境內幅員廣大，西與南投縣信義鄉為界,北臨萬榮鄉明利村,東接光復鄉大馬村、大興村、大豐村與瑞穗鄉富源村、富民村，南與卓溪鄉崙山村、萬榮鄉紅葉村及瑞穗鄉瑞祥村、瑞北村相鄰。全區多屬山地地形，地勢西高東低，由西側高程約 455 公尺降至東側階地平坦區約為 115 公尺，高程差約 340 公尺，屬富源溪水系，全長約

1.226 公里，流向由東向西流。另，大興村坐倚嘉羅蘭山，北有馬錫山，南清水溪貫穿全村，不起眼的入口讓大興像是一個典型封閉式的村落，也是光復鄉轄內十三個村子中規模最小的村落。大興村三面環山，位於大興村南方的是嘉羅蘭山，而北方的是馬錫山，大興村正西方的是中央山脈的那理塔山，整個大興村被這三座山包圍起來，山區之間的忉地居住地帶更顯寶貴。二聚落均位於古生代晚期至中生代時期之玉里層，下段以雲母片岩及千枚岩為主，中段以以鐵灰色之斑點片岩為主，上段以細至中粒石英雲母片岩為主，含發達夾皺劈理。

銅門村位於花蓮縣秀林鄉南端，屬木瓜溪中、上支流，海波高度約 300-1200 公尺，四周環山。屬原住民保留地，距臺電銅門發電廠約 500 公尺，銅門村後方為銅門山(賀田山)，海拔約 1484 公尺，銅門村海拔約 170 公尺，銅門聚落南側緊鄰陡峻坡度介於 30 度至 60 度之山嶺，銅門村部份民宅座落山嶺溝谷之間。屬中央山脈東翼太魯閣地帶，板塊碰撞帶之邊緣區，為古生代與中生代出露之基盤岩層，屬變質岩區。不連續面發達，如片岩間之片理及岩層間之節理；岩層之上有風化表土、崩積土及岩塊等，乃因多屬石英雲母片岩及綠片岩，節理緊密發達，岩質非常破碎，結構疏鬆，孔隙多，滲水容易。

銅門聚落內分布地層主要有九曲大理岩、玉里層及谷園片岩。古生代晚期至中生代早期之九曲大理岩以大理岩為主，多呈厚層塊狀、節理發達，偶有夾薄層之綠泥石片岩或雲母片岩。岩體堅固，常形成峽谷及陡崖。古生代晚期至中生代時期之玉里層，下段以雲母片岩及千枚岩為主，中段以以鐵灰

色之斑點片岩為主，上段以細至中粒石英雲母片岩為主，含發達夾皺劈理。中生代早期至中期的谷園片岩，以千枚岩、雲母片岩、石英雲母片岩為主，其中夾有些許礫岩或大理岩之透鏡體。千枚岩及雲母片岩均具有發達的連續劈理。



圖 4-3 A01 研究區南投縣水里鄉興隆村(興隆聚落)



圖 4-4 A02 研究區南投縣信義鄉新鄉村(新鄉聚落)



圖 4-5 A03 研究區南投縣信義鄉羅娜村村(羅娜聚落)



圖 4-6 A04 研究區南投縣信義鄉望美村(久美聚落)



圖 4-7 A05 及 A06 研究區南投縣信義鄉望美村(望鄉聚落)及同富村(同富聚落)

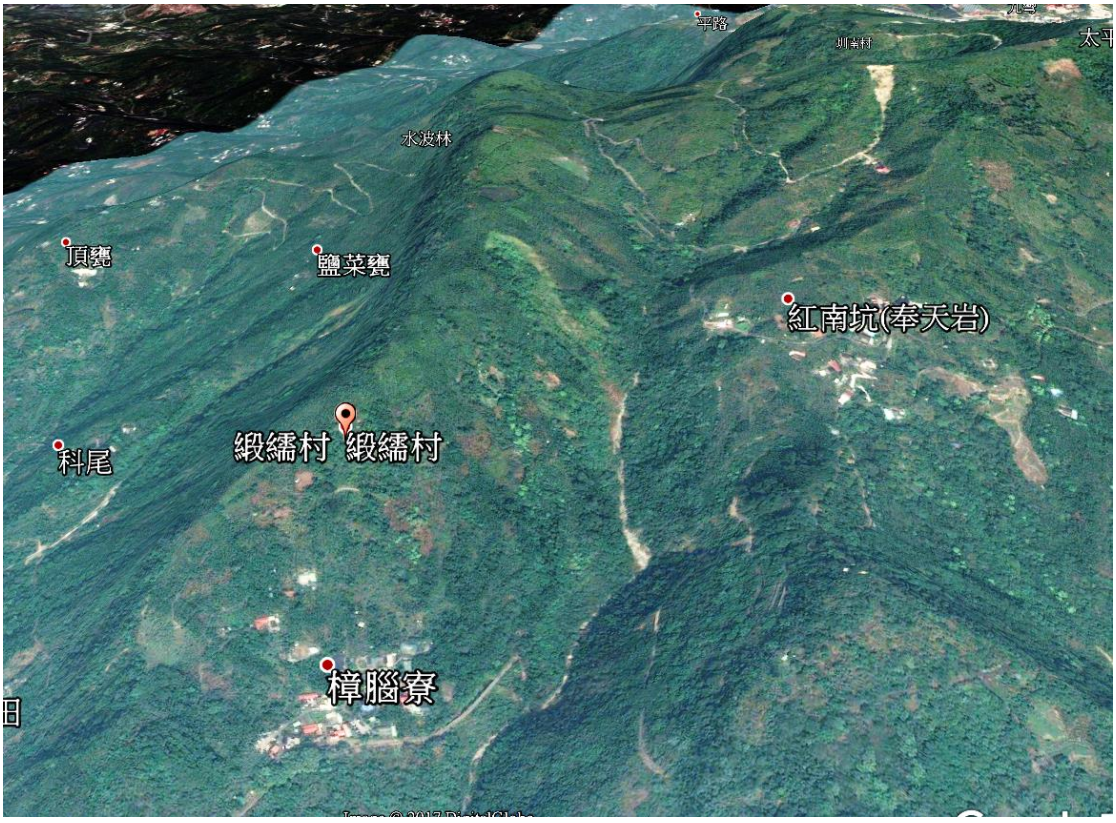


圖 4-8 A07 研究區嘉義縣竹崎鄉(樟腦寮聚落)



圖 4-9 A08 研究區嘉義縣阿里山鄉(山美聚落)



圖 4-10 A09 研究區嘉義縣阿里山鄉(新美聚落)



圖 4-11 A10 研究區高雄市那瑪夏區瑪雅里(瑪雅聚落)



圖 4-12 B01 研究區高雄市六龜區新發里(新開聚落)



圖 4-13 B02 研究區高雄市六龜區中興里(中興聚落)



圖 4-14 B03 研究區高雄市六龜區大津里(大津聚落)



圖 4-15 B04 研究區屏東縣霧台鄉佳暮村(佳暮聚落)



圖 4-16 B05 研究區屏東縣三地門鄉德文村(德文聚落)



圖 4-17 B06 研究區台東縣大武鄉大竹村(愛國蒲聚落)



圖 4-18 B07 研究區台東縣延平鄉紅葉村(紅葉聚落)

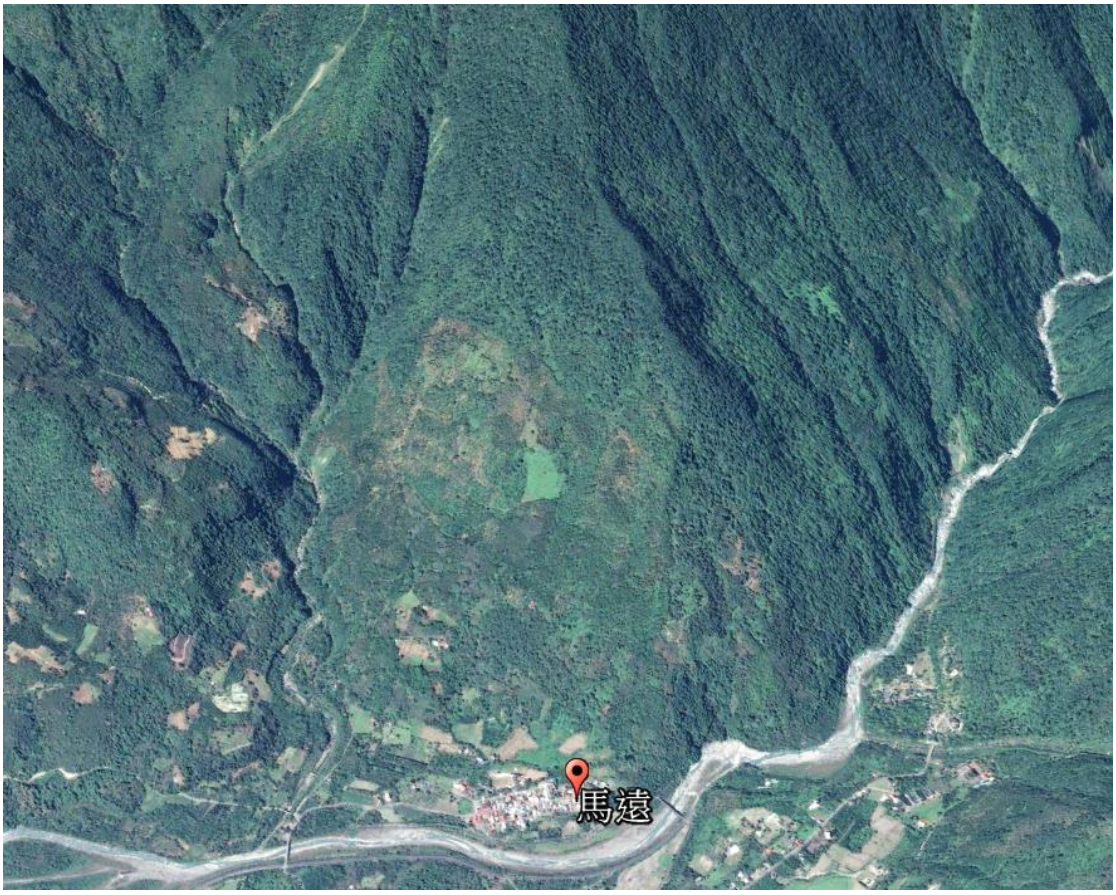


圖 4-19 B08 研究區花蓮縣萬榮鄉馬遠村(馬遠聚落)



圖 4-20 B09 研究區花蓮縣光復鄉大興村(大興聚落)



圖 4-21 B10 研究區花蓮縣秀林鄉鄉銅門村(銅門聚落)

四、 20 處聚落周邊坡面型土石流現地查核

本研究完成沈積岩區與變質岩區共 20 處聚落周緣山坡坡面型土石流現地查核。針對各聚落周緣山坡坡面型土石流現地實地勘查狀況分別如圖 4-22 至圖 4-40 所示。

A01 區-南投水里鄉興隆村(興隆聚落)，經現地勘查發生坡面型土石流有 3 處，其河道現況及土石堆積情況，如圖 4-22 所示。

編號 A01-12



編號 A01-04



編號 A01-10



圖 4-22 A01 研究區內坡面型土石流河道土石堆積現況

A02 區-信義鄉新鄉村(新鄉聚落)，經現地勘查並無土石流發生之溪流，圖 4-23 為聚落與邊坡之狀況。



圖 4-23 A02 研究區新鄉聚落遠景及後方邊坡狀況

A03 區-信義鄉羅娜村(羅娜聚落)，經勘查發生土石流有 1 處，其聚落與邊坡、及河道下游現況，如圖 4-24 所示





編號 A03-09





圖 4-24 A03 研究區內聚落與邊坡情況及編號 A03-09 土石流下游河道出口現況

A04 區-信義鄉望美村(久美聚落)，經勘查發生土石流有 1 處，其河道下游現況，如圖 4-25 所示

編號 A04-10





圖 4-25 A04 研究區內土石流下游河道現況

A05、A06 區-信義鄉望美村(望鄉聚落)及同富村(同富聚落)，經勘查發生土石流有 2 處，主要位於同富村內，各河道土石堆積狀況，如圖 4-26 所示

編號 A06-13





編號 A06-12









圖 4-26 A05、A06 研究區內土石流河道土石堆積現況

A07 區-嘉義縣竹崎鄉緞繻村(樟腦寮聚落)，經勘查發生土石流有 1 處，其河道及土石堆積現況，如圖 4-27 所示

編號 A07-02



圖 4-27 A07 研究區內土石流河道土石堆積現況

A08 區-嘉義縣阿里山鄉山美村(山美聚落)，經勘查發生土石流計有 7 處，部分溪流交通無法到達，採以下游河道可到達觀察處現地勘查，分別可見其河道及土石堆積狀況，如圖 4-28 所示。

編號 A08-02





編號 A08-13



編號 A08-14





A08-13 及 A08-14 兩溪下游匯流處

編號 A08-17





編號 A08-23



圖 4-28 A07 研究區內土石流現地勘查現況

A09 區-嘉義縣阿里山鄉新美村(新美聚落)，經勘查發生土石流有2處，其河道及土石堆積狀況，如圖 4-29 所示

編號 A09-29





編號 A09-13



圖 4-29 A09 研究區內土石流河道及土石材料堆積狀況

A10 區-高雄市那瑪夏區瑪雅里(瑪雅聚落)，經勘查發生土石流有5處，分別可見其河道內土石堆積狀況，如圖 4-30 所示。

編號 A10-06





編號 A08-10



河道狀況



河道兩側舊土石流堆積區

編號 A010-11





編號 A10-10 及編號 A10-11 兩溪下游交會處河道狀況

編號 A10-22





編號 A10-25





圖 4-30 A10 研究區內土石流及土石材料堆積狀況

B01 區-高雄市六龜區新發里(新開聚落)，經實際勘查發生土石流有 5 處，其河道現況及土石堆積情況，如圖 4-31 所示。

編號 B01-05



2017 年 10 月拍攝



2009 年 9 月拍攝



2009 年 9 月拍攝

編號 B01-11



2017 年 10 月拍攝



2009 年 9 月拍攝

編號 B01-12








編號 B01-55





圖 4-31 B01 研究區內坡面型土石流遠景與河道土石堆積現況

B02 區-高雄市六龜區中興里(中興聚落)，經實際勘查發生土石流有 3 處，其河道現況及土石堆積情況，如圖 4-32 所示。

編號 B02-08







編號 B02-62、63





編號 B02-62 及 B02-63 集水區之遠景及下游堆積扇

圖 4-32 B02 研究區內坡面型土石流遠景與河道土石堆積現況

B03 區-高雄市六龜區大津里(大津聚落)，經實際勘查發生土石流有 2 處，其河道現況及土石堆積情況，如圖 4-33 所示。

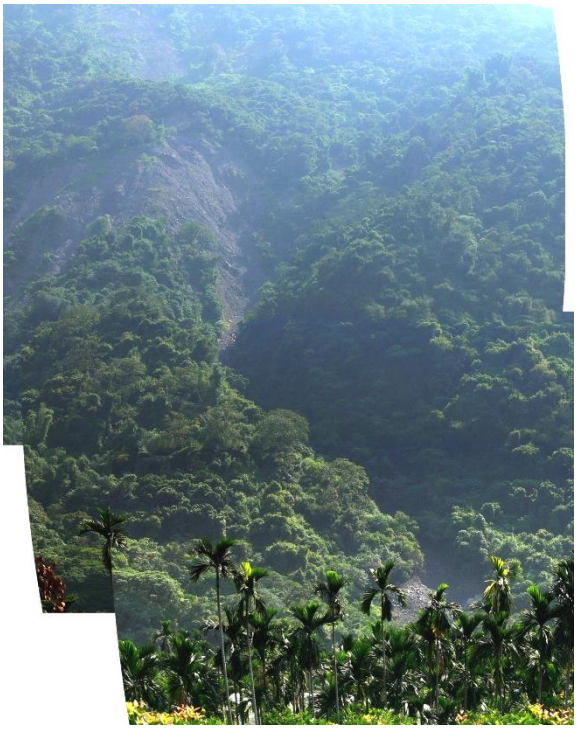
編號 B03-13





編號 B03-14









2009 年 10 月拍攝

圖 4-33 B03 研究區內坡面型土石流遠景與河道土石堆積之情形

B04 區-屏東縣霧台鄉佳暮村(佳暮聚落)，經實際勘查發生土石流有 1 處，其河道現況及土石堆積情況，如圖 4-34 所示。

編號 B04-02







圖 4-34　B04 研究區內坡面型土石流集水區遠景與河道狀況

B05 區-屏東縣三地門鄉德文村(德文聚落)，經實際勘查發生土石流有 3 處，其河道現況及土石堆積情況，如圖 4-35 所示。

編號 B05-26



編號 B05-32



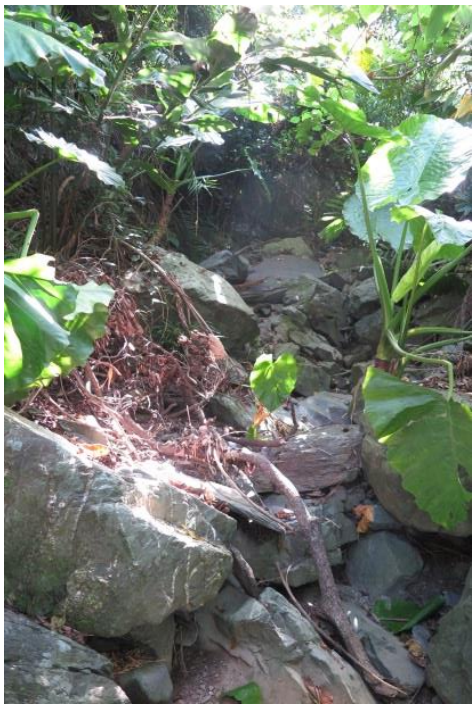
集水區遠景

圖 4-35 B05 研究區內坡面型土石流及河道現況

B06 區-台東縣大武鄉大竹村(愛國蒲聚落)，經實際勘查發生土石流有 2 處，其河道現況及土石堆積情況，如圖 4-36 所示。

編號 B06-3





編號 B06-6





圖 4-36 B06 研究區內坡面型土石流及河道土石材料堆積現況

B07 區-台東縣延平鄉紅葉村(紅葉聚落)，經實際勘查發生土石流有 2 處，其河道現況及土石堆積情況，如圖 4-37 所示。

編號 B07-07、B07-05





圖 4-37　B07 研究區內坡面型土石流及河道土石材料堆積現況

B08 區-花蓮縣萬榮鄉馬遠村(馬遠聚落)，經實際勘查發生土石流有 3 處，其河道現況及土石堆積情況，如圖 4-38 所示。

編號 B08-01



編號 B08-06





集水區內舊土石材料堆積

編號 B08-05



圖 4-38 B07 研究區內坡面型土石流及河道土石材料堆積

B09 區-花蓮縣光復鄉大興村(大興聚落)，經實際勘查發生土石流有 4 處，其河道現況及土石堆積情況，如圖 4-39 所示。

編號 B09-27





編號 B09-39





編號 B09-40





編號 B09-41



圖 4-39 B09 研究區內河道內舊土石流堆積狀況

B010 區-花蓮縣秀林鄉銅門村(銅門聚落)，經實際勘查發生土石流有 5 處，其河道現況及土石堆積情況，如圖 4-40 所示。

編號 B10-7





編號 B10-8



河道內舊土石流材料堆積

編號 B10-15



編號 B10-30



編號 B10-31





圖 4-40 B10 研究區內坡面型土石流河道土石堆積情形

第二節 聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分

本研究採用前期計畫之坡面分析單元劃分方法成果，選取出坡面型土石流案例及崩塌案例，採用崩塌坡面單元概念，配合災前 5x5m DEM 劃定該聚落周緣山坡地範圍，產生邊坡分析單元之範圍，逐一劃定 20 處聚落週緣之山坡分析單元，以供後續判釋分析應用

一、 崩塌坡面分析單元劃分方法及程序

本研究採用坡面崩塌單元作為分析之單元，進而訂出「崩塌坡面單元」分析單元劃分方法及程序，作為判釋分析之單元。

「崩塌坡面單元」適用之劃分程序如圖 4-41 所示。其中所獲取之分析單元，將再依坡面型土石流判釋準則判定是否為土石流潛勢潛勢單元，若為坡面型土石流者以 HDF 表示，若僅具崩塌坡面者以 NDF 表示；未符合劃分選取之其他邊坡單元，進行編入成崩塌單元(NDF)。相關劃定方法細節，請詳見前期報告。

全研究區之 1.5ha 範圍及 0.5ha 集水區範圍畫分成果之示意圖如圖 4-42 至圖 4-44 所示。最後再配合集流地形概念修正邊坡分析單元之範圍(圖 4-45)。

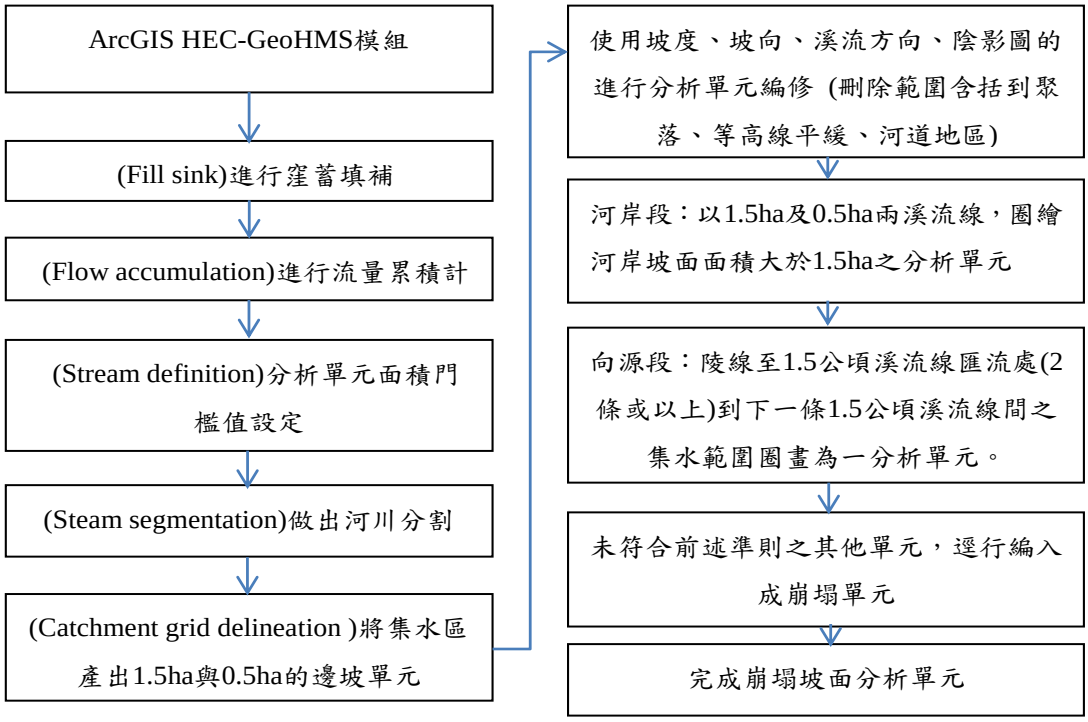


圖 4-41 崩塌坡面分析單元圈劃流程圖

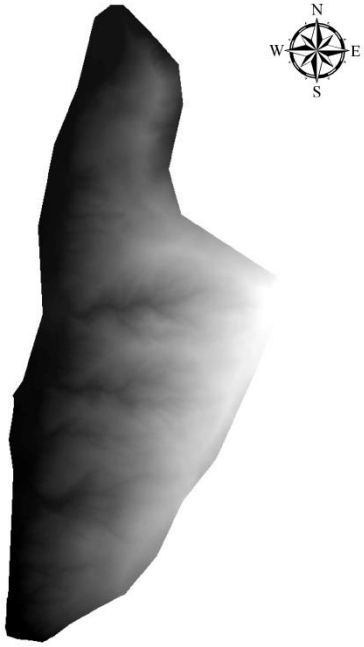


圖 4-42 災前 DEM

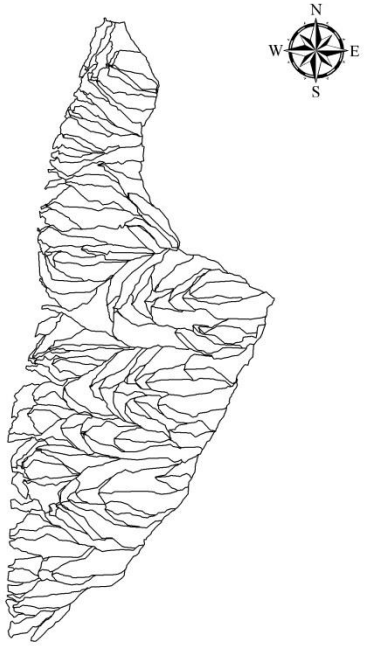


圖 4-43 600 格/1.5 公頃

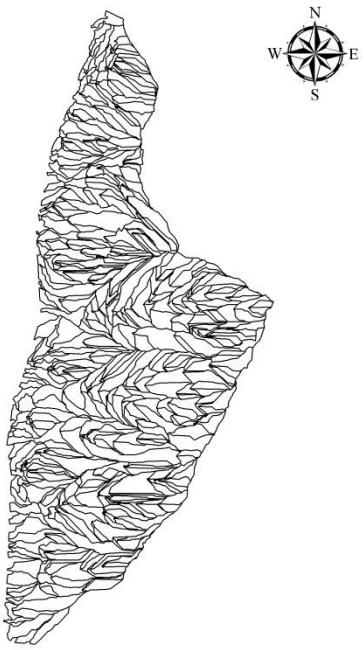


圖 4-44 200 格/0.5 公頃

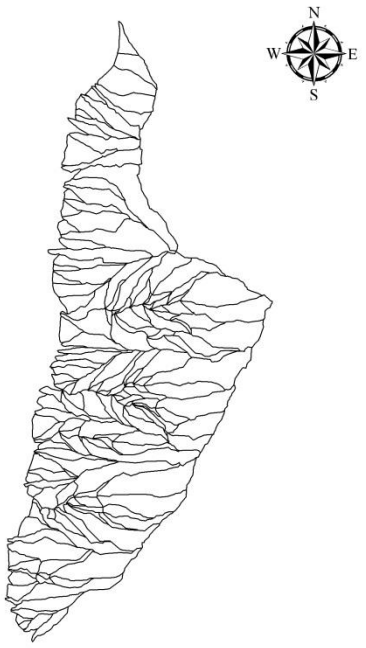


圖 4-45 坡面分析單元

二、 研究區崩塌坡面分析單元圈繪成果

依據上節程序進行本研究區沈積岩區(A 區)及變質岩區(B 區)各聚落位址之分析單元劃分，完成了 20 處聚落之圈繪，成果如圖 4-46 至圖 4-64 所示。獲得分析單元數目共計為 466 筆。其中，發生坡面型土石流案例之分析單元(圖中紅色單元)，於沈積岩區之 A01 區 3 處，A02 區 0 處，A03 區 1 處，A04 區 1 處，A05、A06 區 2 處，A07 區 1 處，A08 區 7 處，A09 區 2 處，A10 區 5 處；變質岩區之 B01 區 5 處，B02 區 3 處，B03 區 2 處，B04 區 1 處，B05 區 3 處，B06 區 3 處，B07 區 2 處，B08 區 3 處，B09 區 4 處，B10 區 5 處，共計 51 處實際發生坡面型土石流事件。

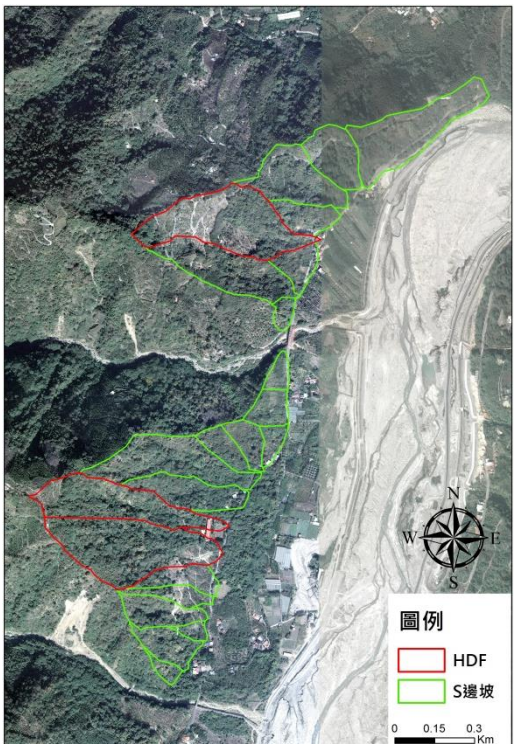


圖 4-46 A01 區(興隆聚落)分析單元圈畫成果圖

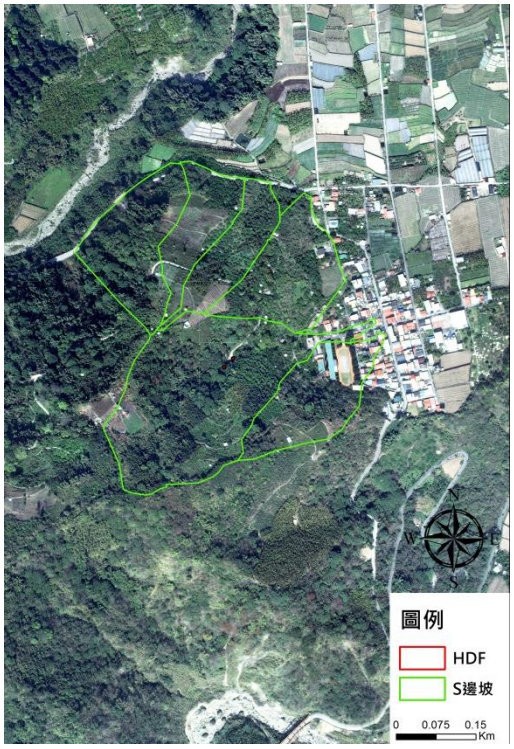


圖 4-47 A02 區(新鄉聚落)分析單元圈畫成果圖

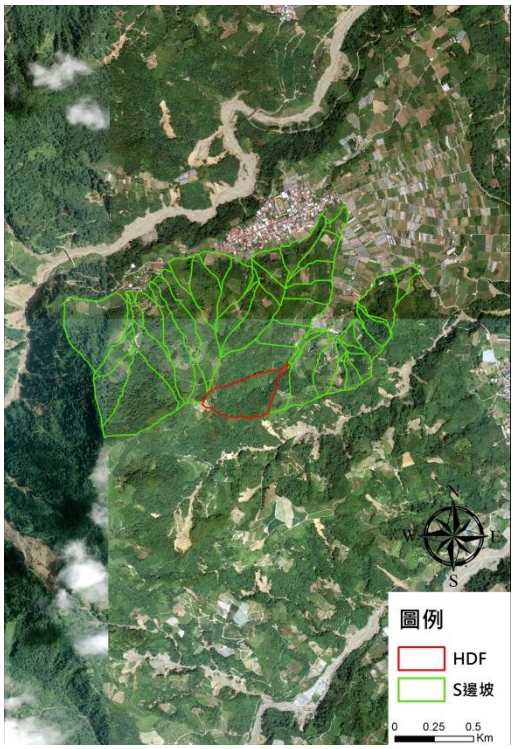


圖 4-48 A03 區(羅娜)分析單元圈畫成果圖

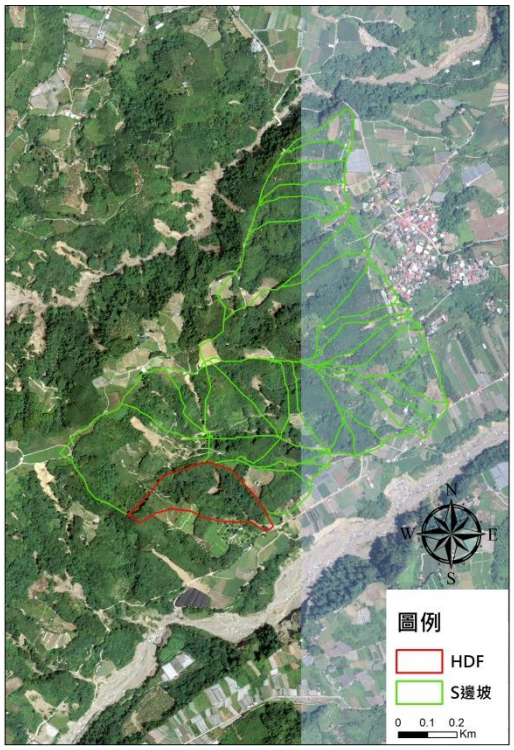


圖 4-49 A04 區(久美)分析單元圈畫成果圖

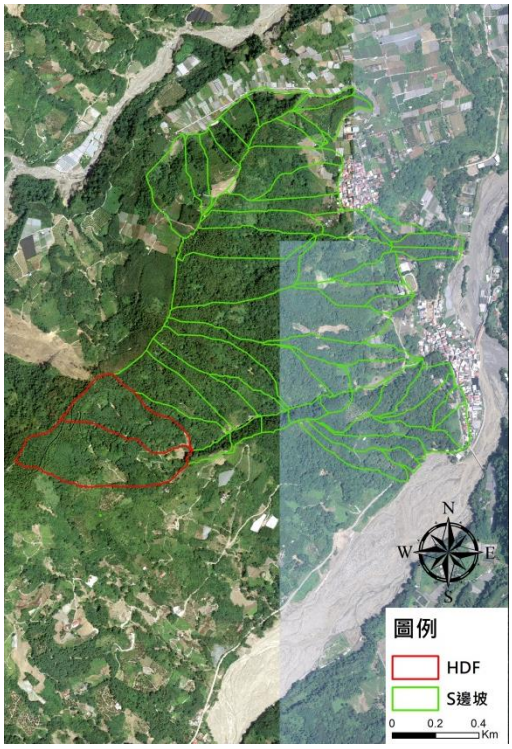


圖 4-50 A05 區(望鄉)及 A06 區(同富)分析單元圈畫成果圖

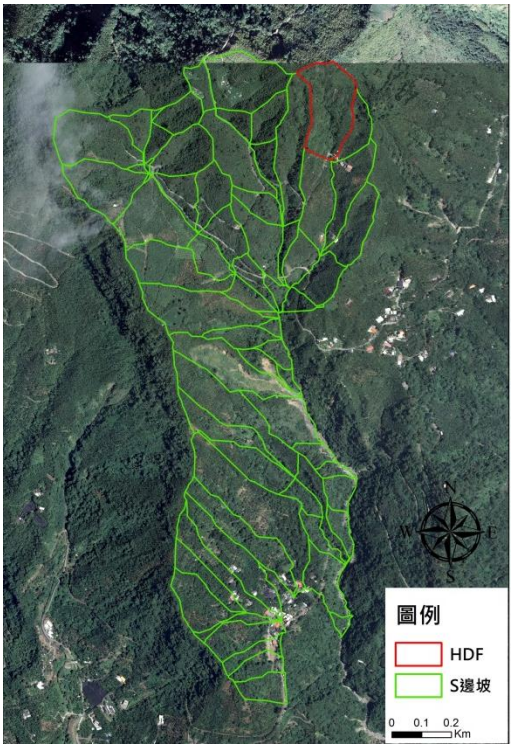


圖 4-51 A07 區(樟腦寮)分析單元圈畫成果圖

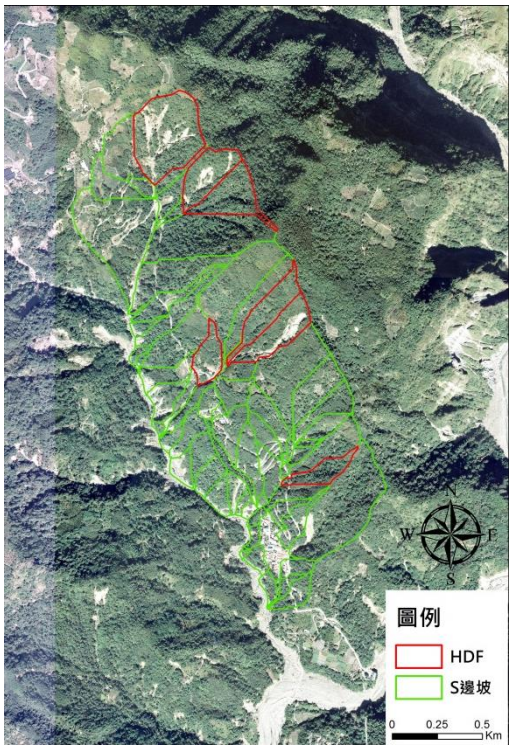


圖 4-52 A08 區(山美)分析單元圈畫成果圖

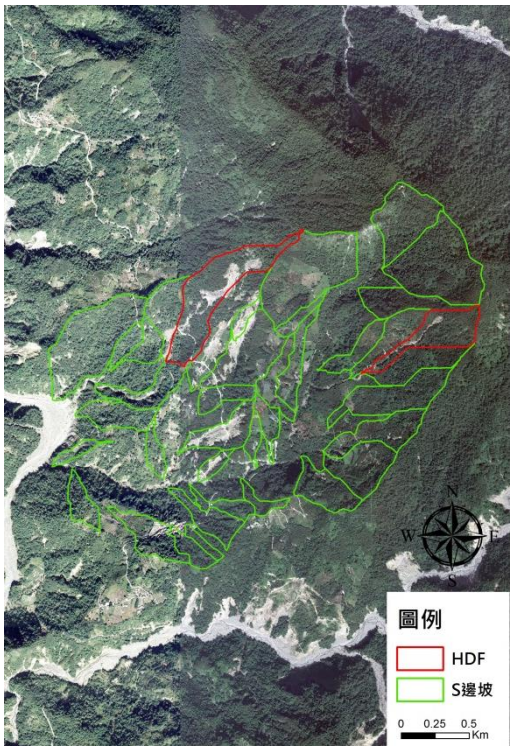


圖 4-53 A09 區(新美)分析單元圈畫成果圖

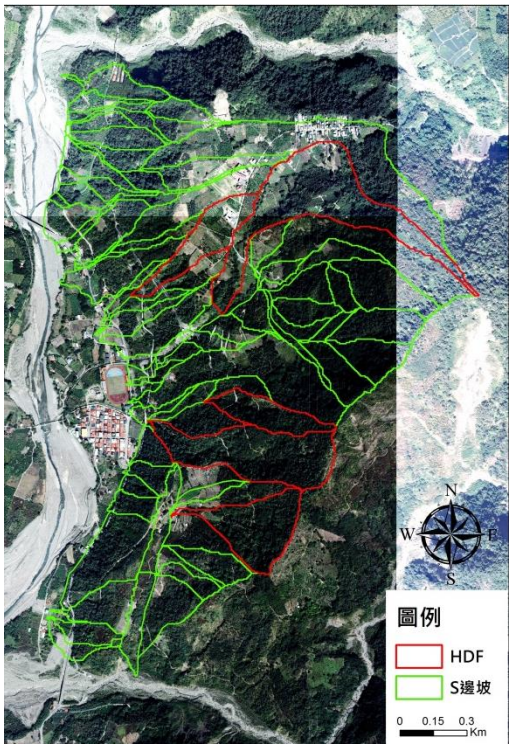


圖 4-54 A10 區(瑪雅)分析單元圈畫成果圖

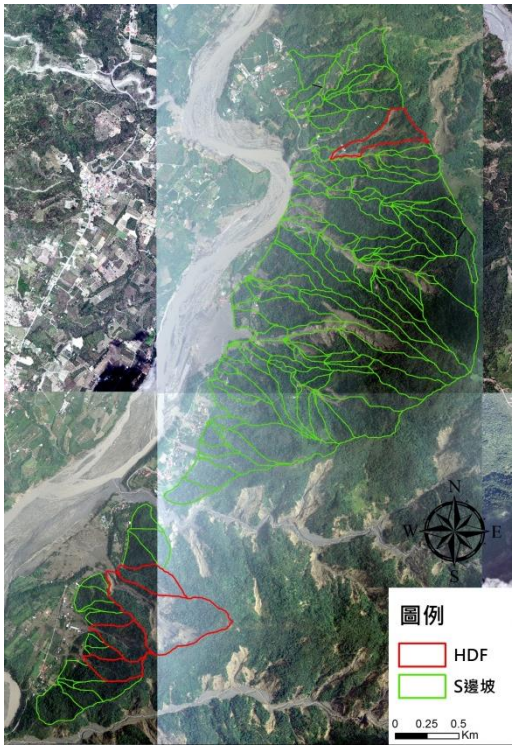


圖 4-55 B01 區(新開)分析單元圈畫成果圖

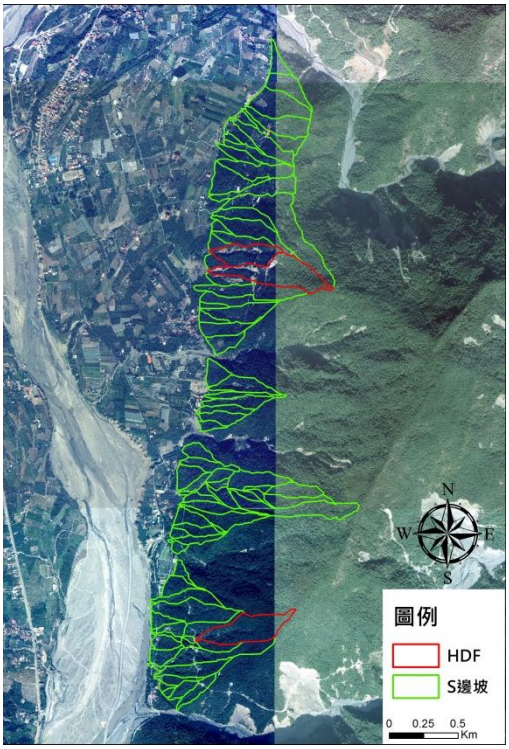


圖 4-56 B02 區(中興)分析單元圈畫成果圖

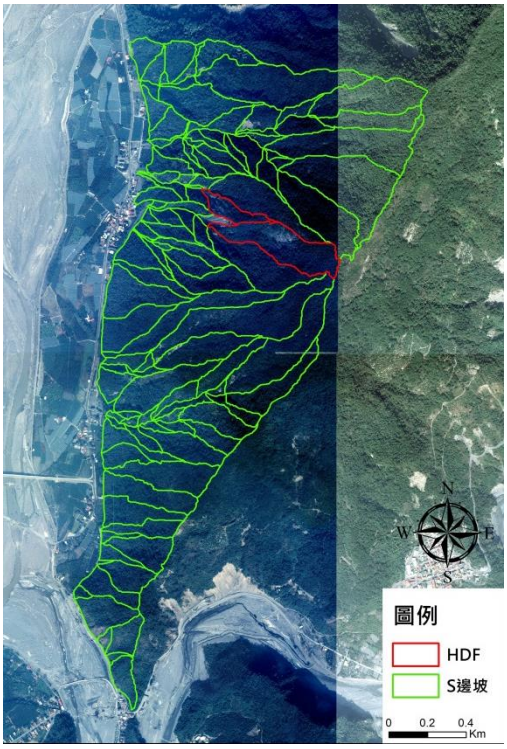


圖 4-57 B03 區(大津)分析單元圈畫成果圖

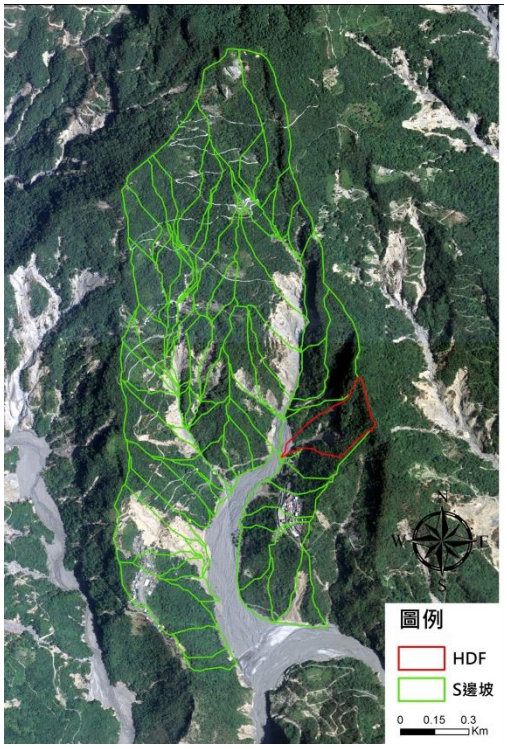


圖 4-58 B04 區(佳暮)分析單元圈畫成果圖

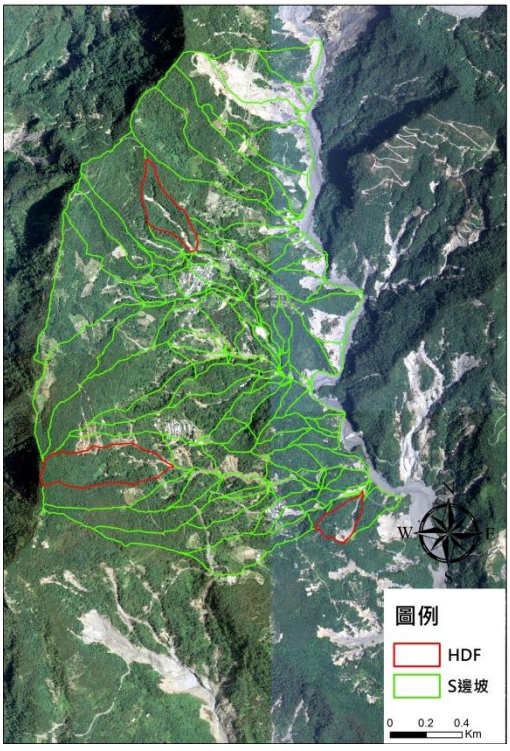


圖 4-59 B05 區(德文)分析單元圈畫成果圖

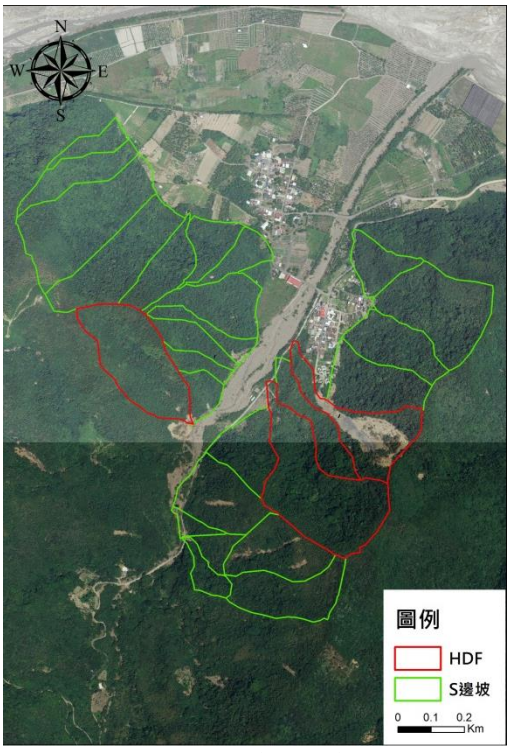


圖 4-60 B06 區(愛國蒲)分析單元圈畫成果圖

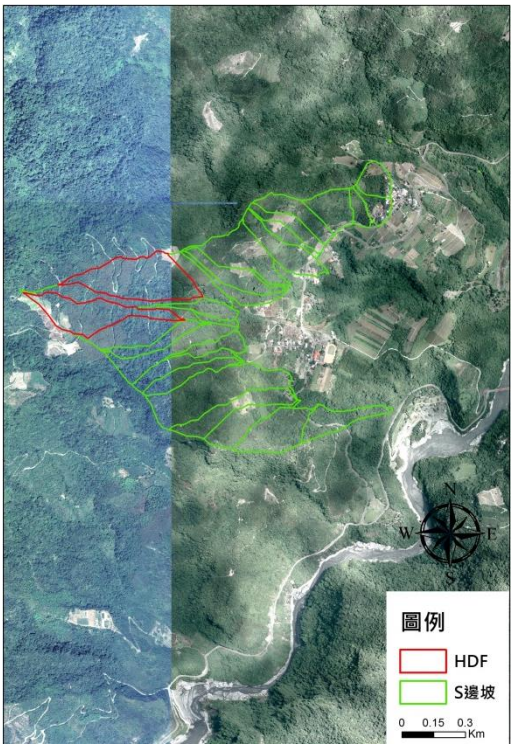


圖 4-61 B07 區(紅葉)分析單元圈畫成果圖

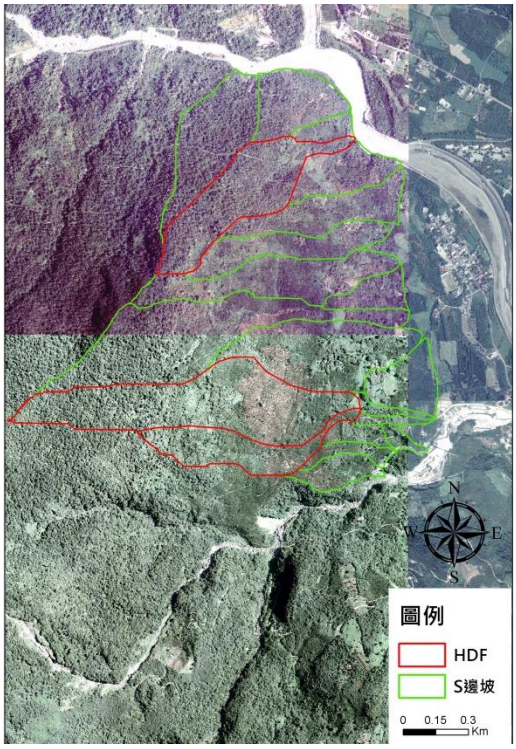


圖 4-62 B08 區(馬遠)分析單元圈畫成果圖

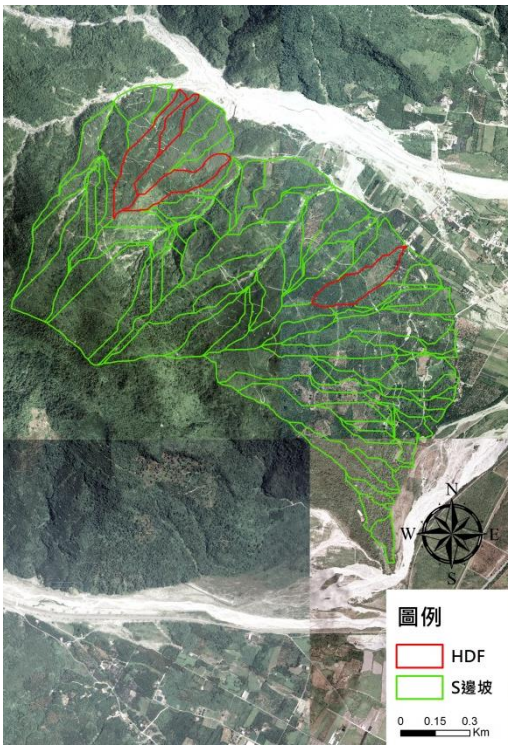


圖 4-63 B09 區(大興)分析單元圈畫成果圖

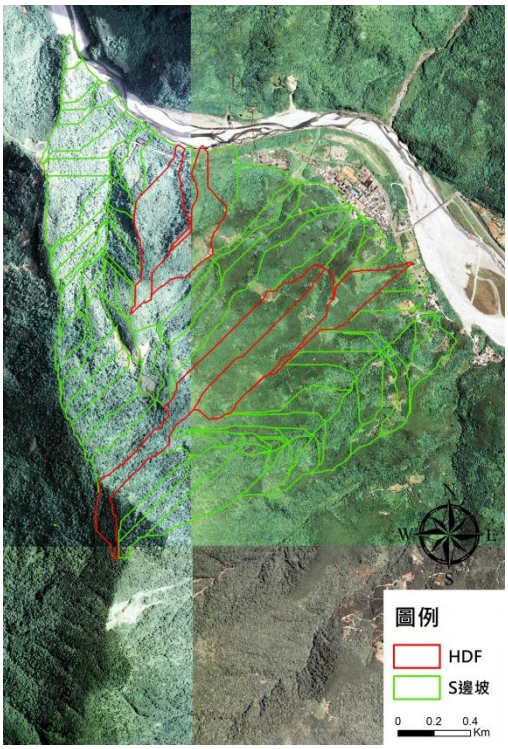


圖 4-64 B10 區(銅門)分析單元圈畫成果圖

第三節 建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫

本研究進行崩塌單元與坡面型土石流單元之地文、水文、崩塌等因子產製資料，建置成統計分析資料庫，並進一步新擬定最佳之小型規模坡面型土石流判釋準則。

一、 小型規模坡面型土石流資料庫

研究中以研究區之災前及災後遙測影像與數值高程模型(DEM)等，於 ArcGIS 地理資訊系統平台萃取土石流與崩塌地之地文、水文、類型、產狀、災害範圍等資訊，再加值產製各項判釋因子，挑選出發生及未發生小規模土石流分析單元資料各 35 處、驗證區資料各 20 處研究，建立樣本資料庫。坡面型土石流事件(以 HDF 表示)，點位分布如圖 4-65。

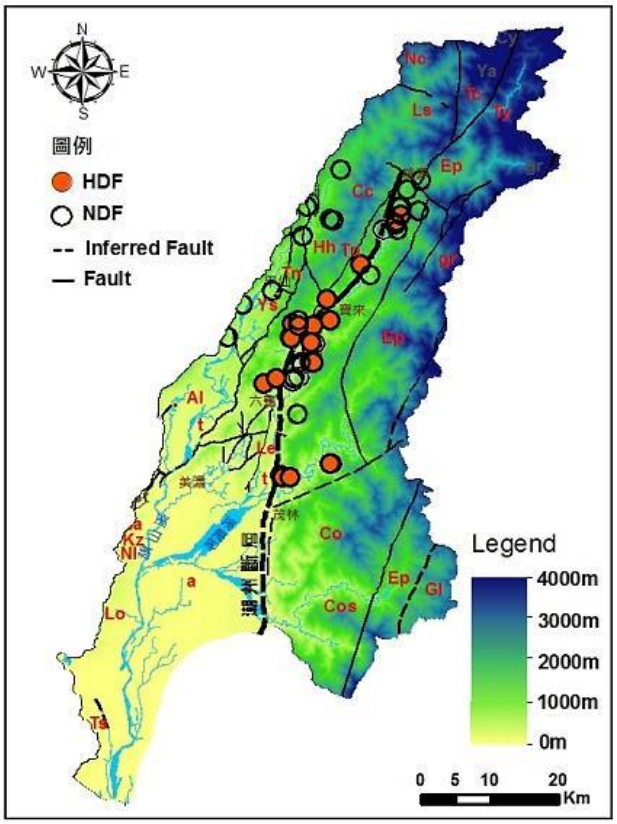


圖 4-65 坡面型土石流及崩塌事件所在位置

二、 分析模式因子

本研究分別考慮地形、集水區、水文等各項特性，經多方嘗試後挑選 19 項較適用於坡面型土石流之地文因子，因子如表 4-1 所示。下節將說明較重要因子之定義及產製方法。

表4-1 區別分析之各因子使用代號表

特性因子	使用代號	特性因子	使用代號
集水區面積	WA	發生區平均寬度	WO
有效集水指標	EWAI	發生段深寬比	HARO
形狀係數比	FR	發生區坡面平均坡度	HASO
集水區平均寬度	W	發生區起伏比	TRO
隘口高程比	DHPR	流動段長度	LF
崩塌潛感面積	LSA	流動段高程差	DHF
崩塌潛感面積比	RLSA	流動段平均坡度	ASF
集水區坡面平均坡度	HASW	流動段起伏比*	TRF
發生區坡面平均坡度比	HASR	流動段深寬比	HARF
發生區形狀係數	FO		

1. 分析單元面積(WA)

分析單元之面積即為原次分區之集水區面積，為利用災前 DEM 劃分出之分析單元範圍，佐以人工對照衛星影像或航照、等高線(10m)及同一匯水出口等條件編修範圍。最後再利用 GIS 計算其面積而得之。

2. 有效發生區面積(EWA)

有效發生區面積為引用土石流發生區面積之概念。本研究採陳柏龍(2013)之定義：坡面型土石流發生區為流動區以上之集水區，如圖 4-66 所示，GIS 產製分析單元之溪流線，溪流線

以上之集水區圈畫為坡面型土石流發生區，而本研究經測試後溪流線閥值以 0.005km^{2}時，與現況吻合度最高。



圖 4-66 發生區圈畫示意圖(陳柏龍 2013)

3. 有效集水指標(EWAI)

有效集水指標為模式中代表匯水能力之影響因子，定義如式 4.1:

$$EWAI=\frac{EWA}{WA} \qquad \text{式 4.1}$$

式中 EWA 為坡面型土石流發生區面積面積，WA 為分析單元面積。當有效集水指標越大，代表坡面型土石流發生區之匯水量對此集水區影響力越大；反之則較小。

4. 高程差

利用地理資訊系統(GIS)產製，分析單元最高點至土石流出流口之高程差。方法為由數值高程模型產製(DEM)取得兩點高程後相減，即可求得集水區高程差ΔH_w。

$$\Delta H_w = h_t - h_d \qquad \text{式 4.2}$$

其中，h_t 為集水區最高點高程，h_d 為集水區出流口高程，詳如圖 4-67 所示，本研究亦應用上述概念，產製「流動段」高程差(ΔH_f)及「發生區」高程差(ΔH_o)

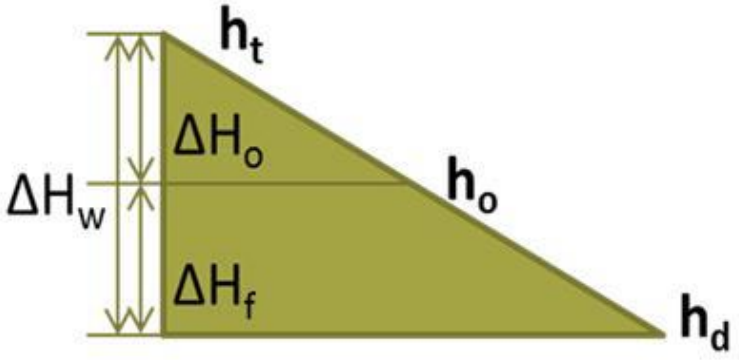


圖 4-67 分析單元高程差與隘口（H_o之位置）高程差之示意圖

以隘口高程差除以集水區高程差，可得隘口高程比(式 4.3)，隘口高程比可間接表示發生區位於坡面縱剖面之區位，值越大則表示隘口接近坡趾，為大型崩塌，流動區短，較不易形成土石流，反之，其值越小，隘口位於坡腹至坡頂間，其流動距離長，較易形成土石流。其中，ΔH_w 為集水區高程差(m)，Δh_o 為隘口高程差(m)。

$$\text{隘口高程比} = \frac{\Delta H_o}{\Delta H_w} \qquad \text{式 4.3}$$

流動段長度地理資訊系統(GIS)中所直接測繪之河道長度為正射投影長度，所測繪之長度為投影之水平距離(L)，但其真實長度為斜距(L′)，如圖 4-48 所示。本文利用式 4.4 求其較真實之流動段長度。其中，L_f'為流動段長度之斜距(m)，L_f 為流動段長度之水平投影距離(m)，θ_f 為流動段之平均坡度(°)。

$$L_f' = \frac{L_f'}{\cos\theta_f} \qquad \text{式 4.4}$$

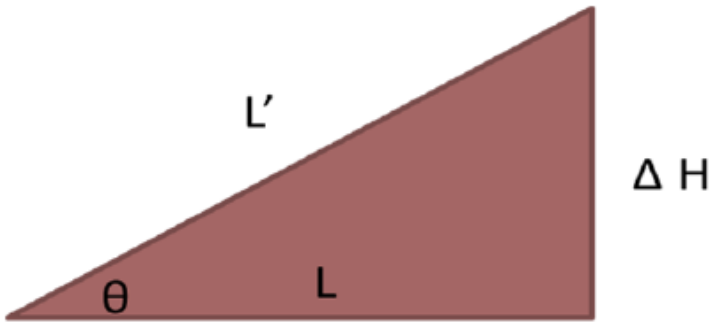


圖 4-68 流動段長度示意圖

應用上述概念，求取集水區之全長 L_w'，其中，L_w'為集水區長度之斜距(m)，L_w為集水區沿谷線量測之水平投影距離(m)，ΔH_w為集水區高程差(m)，再經由式4.5取得發生區長度L_o'(m)。

$$L_0' = L_w' - L_f' \qquad \text{式 4.5}$$

5. 流動段平均坡度

流動段平均坡度之求取方法，係利用地理資訊系統(GIS)查詢功能測得流動段長度及流動段高程差，再根據詹錢登(2000)之計算方式：

$$\text{流動段平均坡度} = \theta_f = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta H_f}{L_f}\right) \qquad \text{式 4.6}$$

其中，L_f為流動段長度之投影長度(m)，意即水平距離，ΔH_f為流動段高程差(m)。

6. 形狀係數

形狀係數所代表的意義為單位主要河川長度之流域面積。因此若形狀係數較大，集水區外觀成寬圓形；反之，則呈狹長

形，如圖 4-49 所示。本研究所使用之集水區形狀係數修改自 Horton(1932)提出之形狀係數，將集水區之全長(L_w')取代主要河道長度(L)，利用地理資訊系統(GIS)產製之集水區面積(WA)與集水區之全長(L_w')後，即可代入式 4.7 計算集水區形狀係數 F_w。

$$F_w=\frac{WA}{L_w'^2} \qquad \text{式 4.7}$$

發生區形狀係數(F_o)與集水區形狀係數概念相似，土石流發生所需之主要三條件：水、材料、坡度，其中土石流發生區就包括了集水區中水與材料兩樣條件，可見發生區之重要性，因此發生區形狀係數更能表現出土石流之水量的提供變化，可視為發生區匯水量的一種指標。

$$F_o=\frac{EWA}{L_o'^2} \qquad \text{式 4.8}$$

式中，L_o'為發生區長度(隘口沿谷線至發生區頂端之斜距，可由式 4.8 取得)，EWA 為發生區面積。

本研究進一步探討形狀係數影響土石流分佈狀況，將前述集水區形狀係數(F_w)及發生區形狀係數(F_o)以兩因子間相互關係呈現，其比值計算如下:

$$FF_o=\frac{F_w}{F_o}$$

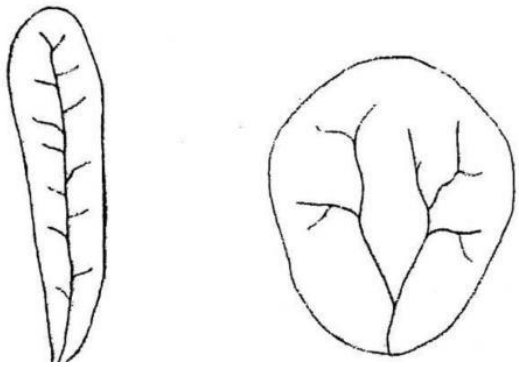


圖 4-69 集水區形狀，狹長形(左)及寬圓形(右)(何明憲，2003)

7. 集水區平均寬度

利用地理資訊系統(GIS)產製之集水區面積(WA)與集水區之全長(L_w')後，即可代入式 4.9 計算集水區平均寬度。

$$W_o=\frac{WA}{L_w'} \qquad \text{式 4.9}$$

發生區平均寬度(W_o)產製亦同於上述方法，發生區為土石流發生之材料來源，其形狀因子更能表示該區土石材料產生情形，關係如下式：

$$W_o=\frac{EWA}{L_o'} \qquad \text{式 4.10}$$

式中，L_o'發生區長度(可由式 4.5 取得)，EWA 為發生區面積。

8. 坡面深寬比

為了瞭解整體分析單元集水區橫剖面變化情形，本研究將集水區分為兩個區位，分別產製發生區深寬比(HAR_o)及流動段深寬比(HAR_f)，以進一步探討整體集水區橫剖面變化與地形演化情形。本文採用日本國土技術政策總和研究所 (2007)溪谷地

形之定義，利用兩萬五千分之一地形圖(圖 4-70)取集水區、發生區及流動段之最大寬度作為坡面寬 a，該平面之深度為坡面深 b，代入式 4.11 計算深寬比。

$$HAR=\frac{b}{a} \qquad \text{式 4.11}$$

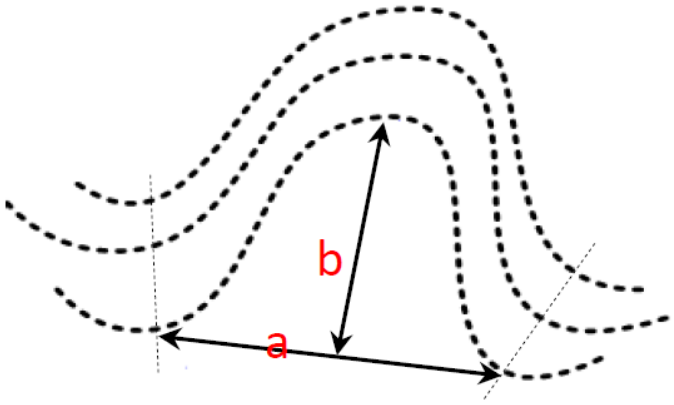


圖 4-70 溪谷地形之定義(日本國土技術政策總和研究所，2007)

9. 起伏比

為瞭解集水區縱剖面變化情形，本研究產製了發生區起伏比(TR_o)、流動段起伏比(TR_f)及集水區起伏比(TR_w)，以探討整體集水區縱剖面變化情形。其利用 GIS 產製之高程差(ΔH)與水平距離(L)後，即可代入式 4.12 計算起伏比。

$$TR_i = \frac{\Delta H}{\text{集水區之水平距離}} \qquad \text{式 4.12}$$

10. 坡面平均坡度

為採GIS 空間模組內的坡度分析(Spatial Analysis Slope)，配合集水區內之數值高程模型，計算出集水區坡面平均坡度，並應用此方法另計算發生區坡面平均坡度。

11. 坡面平均坡度(HASW)

利用 ArcGIS 地理資訊系統內之坡度分析(Spatial Analysis Slope)空間模組，可由集水區範圍內之數值高程模型計算出集水區坡面平均坡度，並使用相同方法計算得到發生區坡面平均坡度。

12. 崩塌潛感面積比(RLSA)

以 ArcGIS 地理資訊系統空間模組之坡度分析套件，套疊災後崩塌圖層計算土石流主崩塌地之災前坡面坡度，而後再計算依照陳柏龍(2013)發生區內災前崩塌潛感坡度 30 至 35 度區間所佔之面積，作為崩塌潛感面積(LSA)，崩塌潛感面積比，其公式如下:

$$RLSA=\frac{LSA}{WA}\times AAA\% \qquad \text{式 4.13}$$

式中，RLSA 為崩塌潛感面積比，LSA 為崩塌潛感面積，EWA 為土石流發生區面積。

13. 集水區分析單元面積、有效集水區指標

如圖 4-71 所示，與尖峰流量成正比的集水區分析單元代表其沖刷溪床碎屑物質的能力，圖中顯示 DF 與 NDF 之集水區分析單元面積在 0-20 公頃，佔總數百分比為 81.8%。如圖 4-72 所示，可以發現兩種類型之集水區面積大小分布相近，皆分佈於 0.4-1 公頃之間，其中 DF 較集中於 0.6-0.8 之間，其原因為 DF 因發生區面積較大，明顯夾帶材料來源較多，雖分佈相近，但仍以 DF 發生小規模土石流案例較多，推估在有效集水區指標 0.6-0.8 之間時較容易發生小規模土石流。

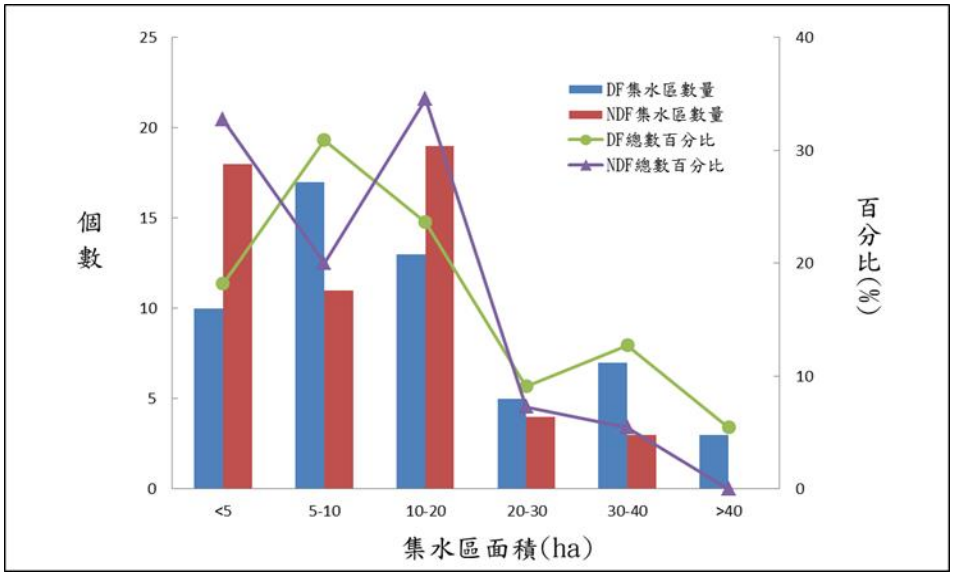


圖 4-71 集水區面積分佈情況

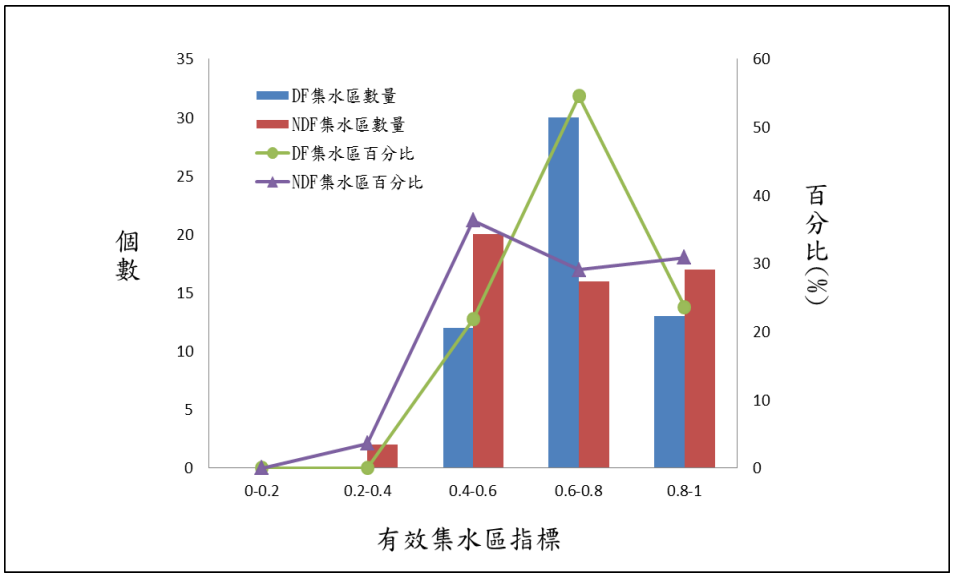


圖 4-72 有效集水區指標分佈情況

14. 流動段長度

流動段長度會影響溪流尖峰流量、集流時間及地表逕流，流動段長度分佈如圖 4-73 所示，DF 及 NDF 流動段長度兩者皆小於 1000 公尺，DF 主要分佈小於 200-400 公尺佔 56.3%；NDF 在 200 公尺以下佔 67.2%，兩者進行比較，顯示 DF 流

動段長度較長，NDF 流動距離較短形成土石流機率較小。

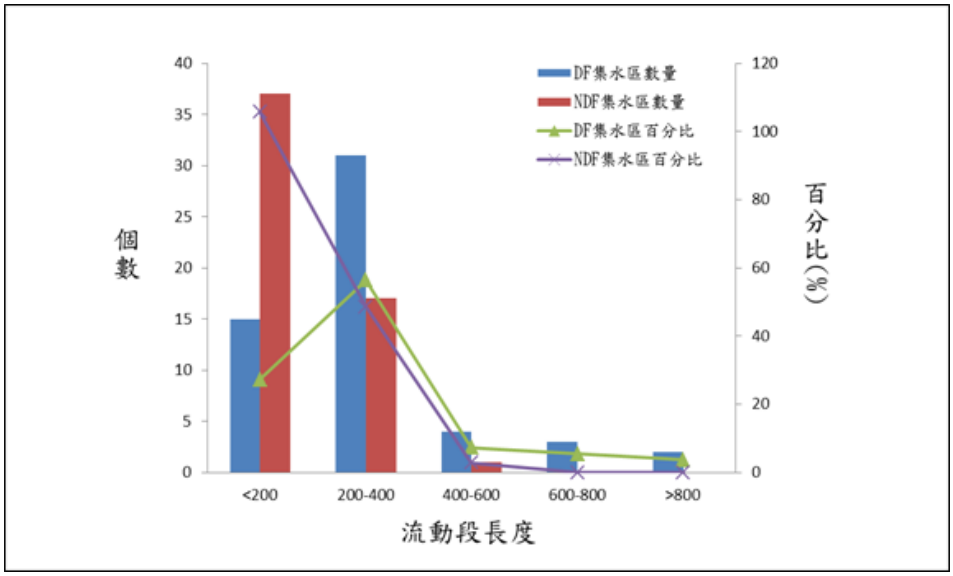


圖 4-73 流動段長度分佈情況

15. 形狀係數及形狀係數比

集水區形狀係數及發生區形狀係數分佈如圖 4-74 及 4-75 所示，DF 集水區形狀係數主要集中於 0-0.4，佔總筆數 90%以上，NDF 集水區形狀係數及發生區形狀係數分佈略大於 DF；表示 DF 集 NDF 發生區形狀都偏於狹長狀，相較之下，NDF 發生區較寬宏。

形狀係數比分佈如圖 4-76 所示，本研究選定 DF 與 NDF 選定發隘口方法為地形上之束縮段，DF 及 NDF 形狀係數比大於 1 以上佔總筆數 100%，呼應前述集水區形狀係數與發生區形狀係數分佈趨勢。

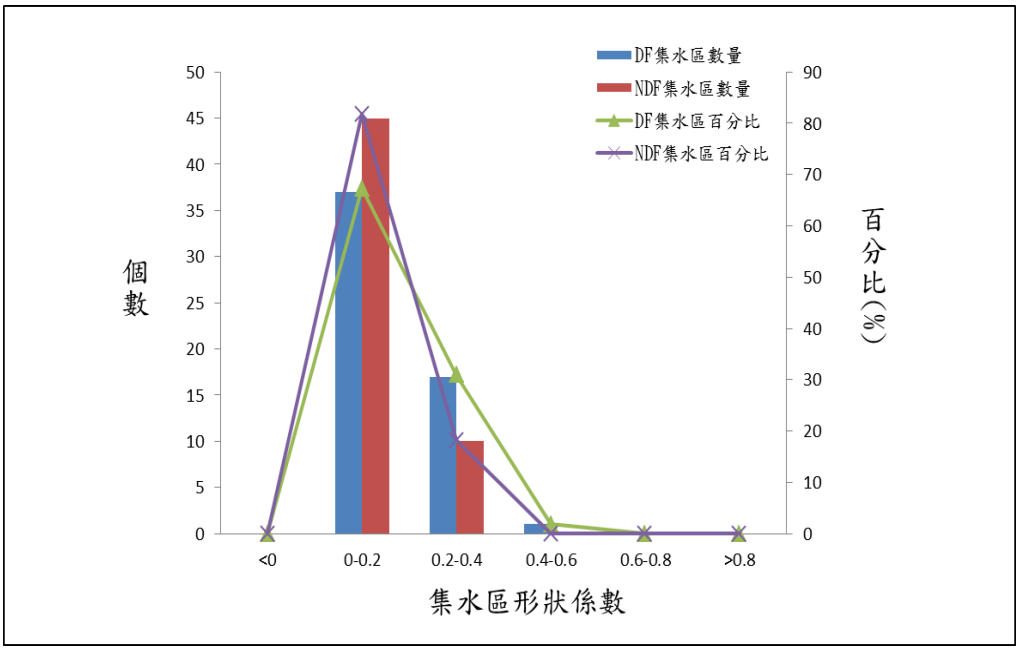


圖 4-74 集水區形狀係數分佈情況

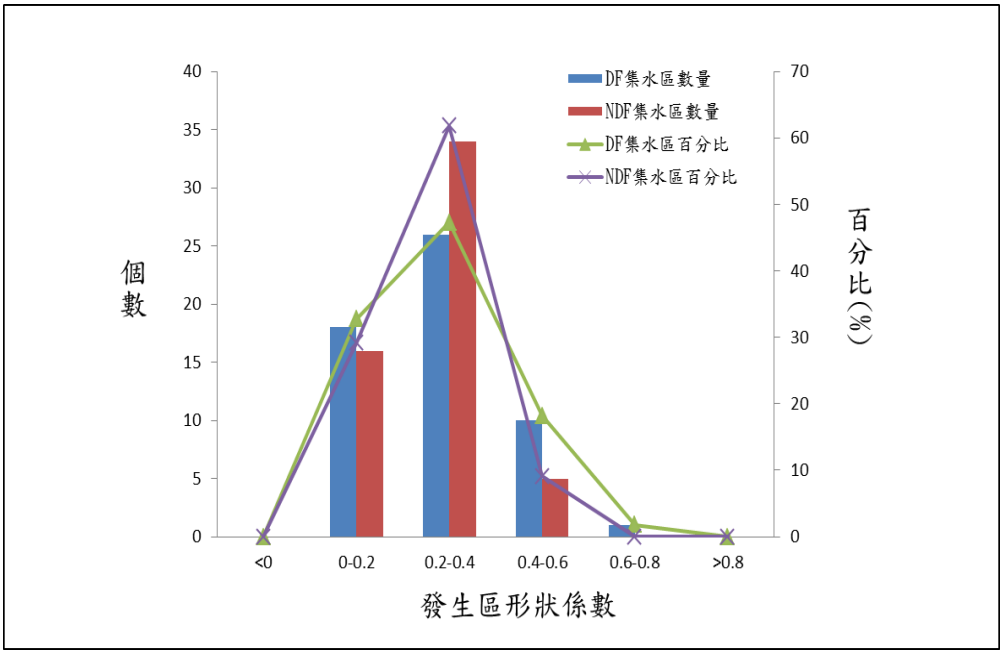


圖 4-75 發生區形狀係數分佈情況

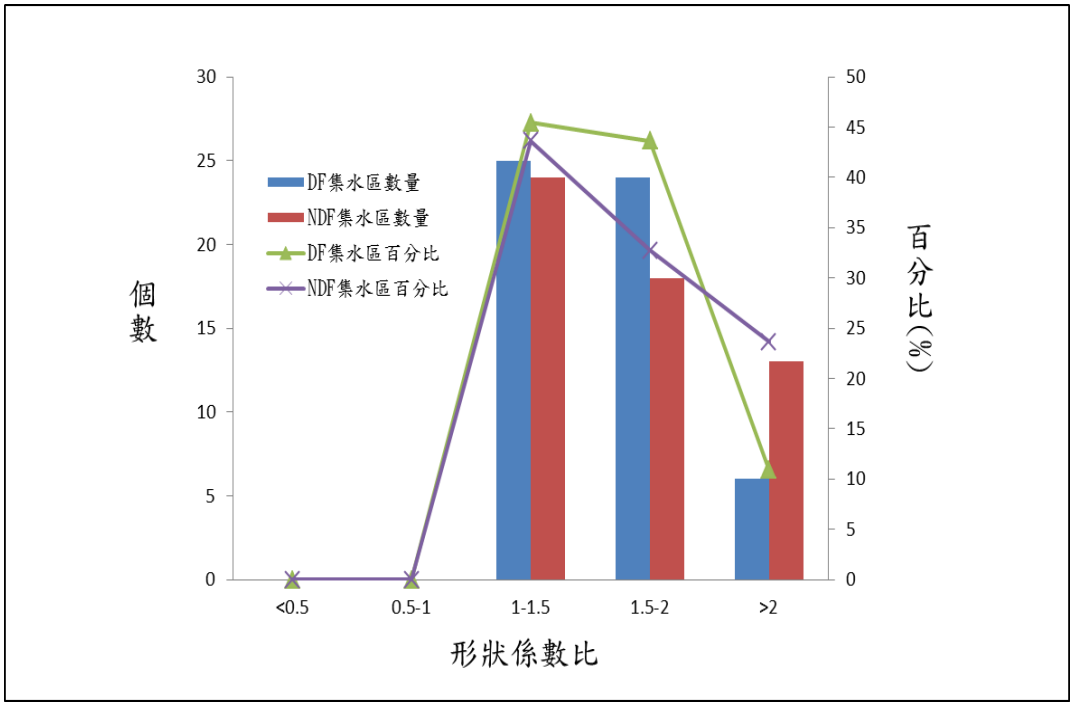


圖 4-76 形狀係數係數比分佈情況

16. 隘口深寬比、流動段深寬比、發生區凹陷程度

根據日本河川局防砂部溪谷地形初步判釋準則，深寬比可以表示集水區橫頗面之凹陷程度，數值越大代表谷線被沖蝕的越深。

隘口深寬比分佈如圖 4-77 所示，DF 及 NDF 之隘口深寬比主要分佈於 0-0.6 之間，其中 NDF 集中於 0-0.4 之間，佔總筆數 80%。

流動段深寬比分佈如圖 4-78 所示，DF 流動段深寬比主要分佈於 0.2-0.4，佔總筆數 43.6%，NDF 則分佈於 0-0.8 之間，兩者皆隨著流動段深寬比數字變大而縮減。

發生區凹陷程度分佈如圖 4-79 所示，DF 及 NDF 在 0-0.2 有集中之趨勢，分別佔 45.4%及 65.4%，NDF 略高於 DF，兩者皆為寬緩凹地開放之匯水坡面地形，與 Brunsden(1979)描述相符。

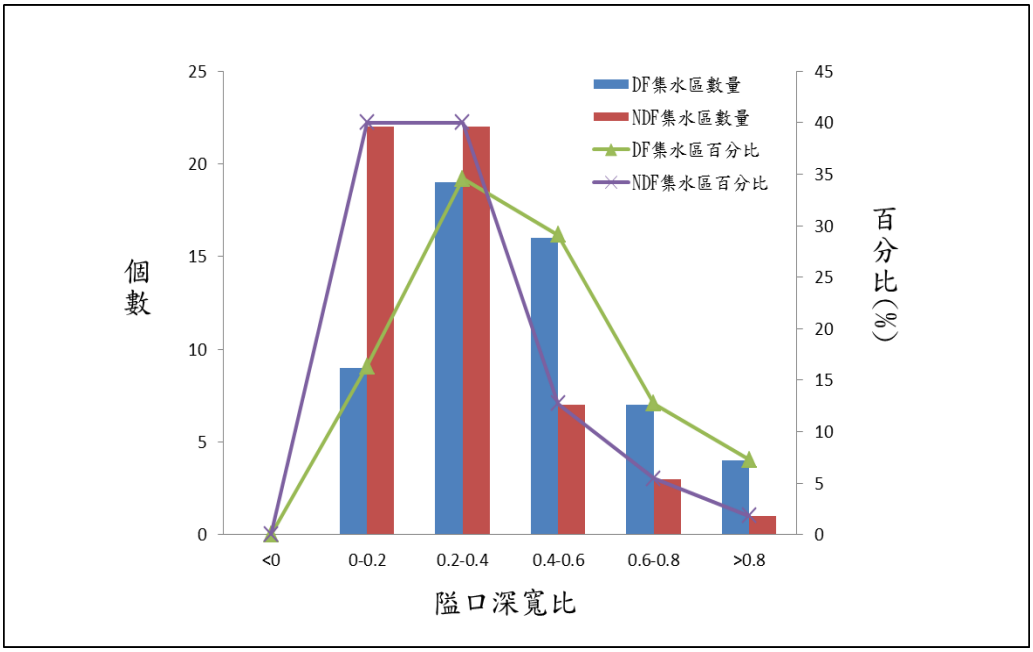


圖 4-77 隘口深寬比分佈情況

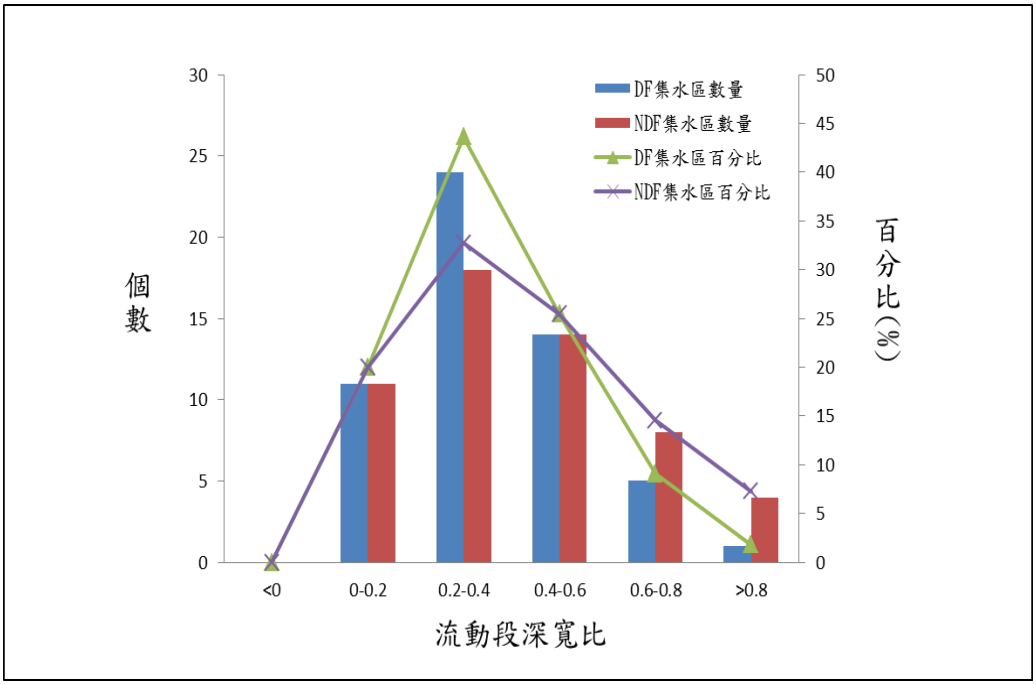


圖 4-78 流動段深寬比分佈情況

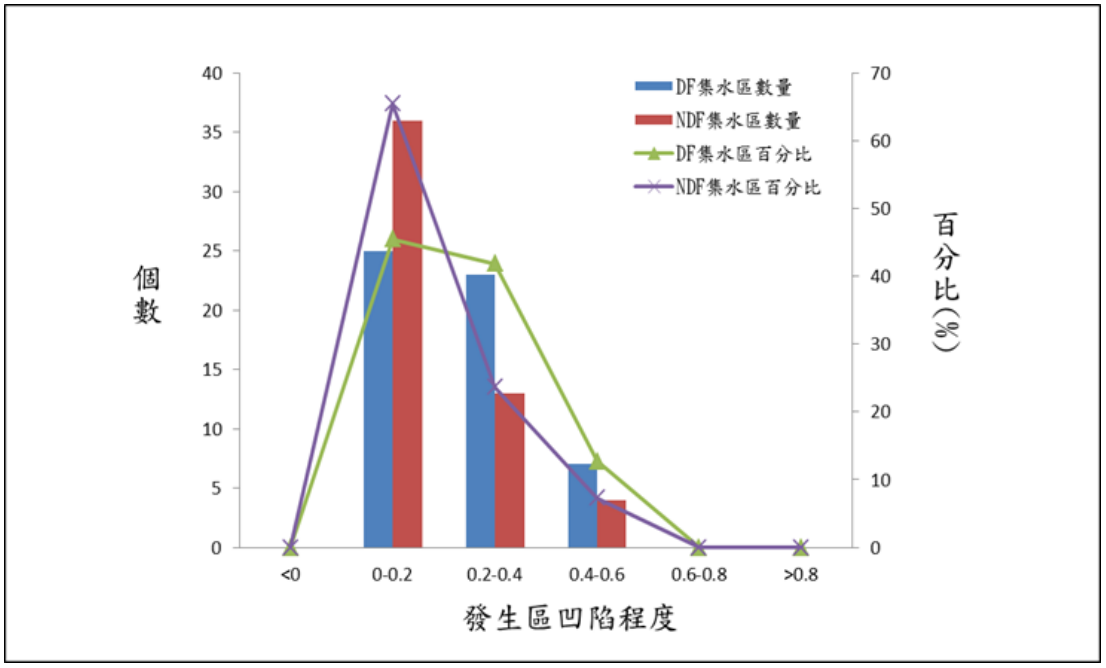


圖 4-79 發生區凹陷程度分佈情況

17. 集水區平均坡度、發生區平均坡度、坡面平均坡度比

集水區平均坡度分佈如圖 4-80 所示，集水區平均坡度 DF 主要集中分佈於 20-35 度之間，佔總筆數 83.6%，NDF 整體多分佈於 25-40 度之間，整體趨勢落於 DF 之下。

發生區平均坡度分佈如圖 4-81 所示，發生區平均坡度 DF 主要集中分佈於 20-35 度之間，佔總筆數 90.9%，趨勢大於 NDF。

坡面平均坡度比如圖 4-82 所示，坡面平均坡度比 DF、NDF 兩者皆集中於 0.8-1.2，略符合於前述流動段平均坡度明顯下切之情況。

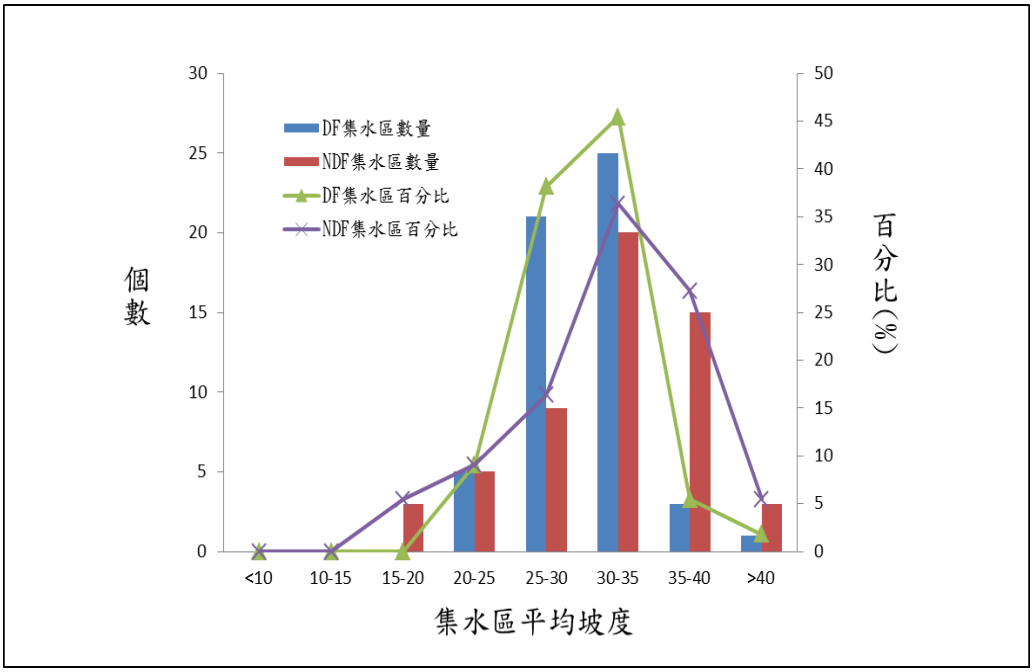


圖 4-80 集水區平均坡度分佈情況

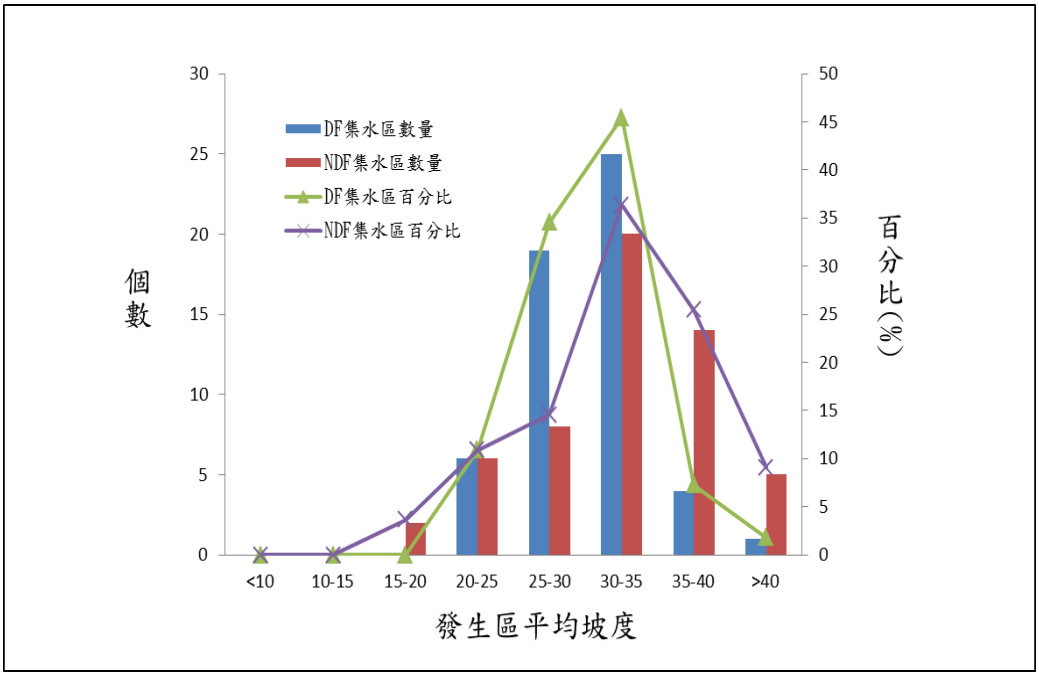


圖 4-81 發生區平均坡度分佈情況

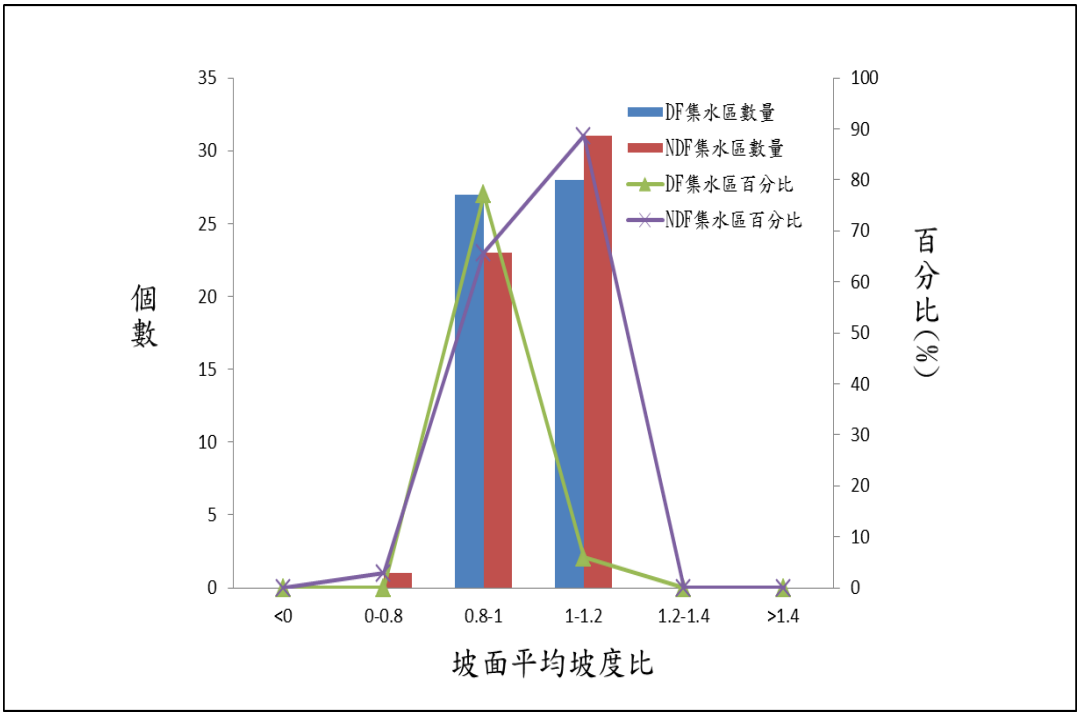


圖 4-82 坡面平均坡度比分佈情況

第四節 最佳判釋分析因子選取

本研究進行統計因子資料庫分析，進一步新擬定最佳之小型規模坡面型土石流判釋準則。

一、 小型規模坡面型土石流資料庫

本研究進行區別分析時採用 SPSS 統計軟體進行分析，針對沈積岩、板岩區及片岩區分別研訂坡面型土石流地形判釋模式。為了使兩母體驗前機率相同，本研究採用小規模土石流與未發生土石流，兩個群組各選定 35 筆觀測資料，兩群分組變數共 70 筆樣本，另外備有共計 40 筆小規模土石流與未發生土石流以供驗證。並事先給予類別編號。坡面型土石流資料為 1 及未發生坡面型土石流為 2 作為分組變數，選定地文因子及淺層崩塌因子共 19 項因子為預測變數進行區別分析(將資料輸入 SPSS 時使用代號如表 4-2 所示)。

表4-2 特性因子代號表

特性因子	使用代號	特性因子	使用代號
集水區面積	WA	有效集水指標	EWAI
發生區凹陷程度	HARO	流動段深寬比	HARF
隘口高程比	DHPR	流動段高程差	DHF
發生區起伏比	TRO	流動段起伏比	TRF
發生區形狀係數	FO	形狀係數比	FR
集水區平均寬度	W	發生區平均寬度	WO
流動段平均坡度	ASF	流動段長度	LF
崩塌潛感面積	LSA	崩塌潛感面積比	RLSA
集水區坡面平均坡度	HASW	坡面平均坡度比	HASR
發生區坡面平均坡度	HASO		

1.皮爾森相關性分析

在進行區別分析之前，考慮到選擇因子相關性過高讓其代表性降低及變異數含有較多的共變異數問題，故先進行皮爾森相關性分析，並盡量不使用同類型因子進入模式階段。

皮爾森相關性分析用於探討兩連續變數之間的線性相關，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，Pearson 相關係數介於-1 至 1 之間，當值等於 1 表示完全正相關，-1 表示完全負相關，0 代表兩變數相互獨立。皮爾森相關係數之絕對值小於 0.2 表示無相關，介於 0.2 至 0.4 表示低度相關，介於 0.4 至 0.6 之間表示中度相關，介於 0.6 至 0.8 表示中高度相關，介於 0.8 至 1.0 為高度相關。公式如下:

$$r(x,y) = \frac{COV(x,y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

式中，r 為相關係數，COV 為共變數。

皮爾森相關性結果詳見附錄 1 結果，而後為逐一盡量減少因子之間高相關性情況，以確保後續公式之土石流預測分析使用，在選用因子時保留低度相關的因子，如表 4-3 及表 4-4 所示，其中各項影響因子經相關性檢定後，為中低度相關，代表各項因子彼此之間不會互相影響為獨立因子。 其次，剔除相關性高(相關係數 0.8 以上)且權重較低的因子如表 4-4 所示，即集水區面積(WA)、崩塌潛感面積(LSA)、集水區平均寬度(W)、發生區平均寬度(WO)、流動段平均坡度(ASF)、流動段起伏比(TRF)，剩餘 13 個中低相關性因子進行下階段區別分析，將權重小且不影響模式之因子進行篩選組合，並帶入驗證區檢視其模式可用性。

表4-3 板岩區特性因子之相關性檢定結果

	EWAI	ASF	FR	WO	HARF	HASR	LAS
EWAI	1.000	-.051	-.118	.064	-.172	-.017	.254
ASF	-.051	1.000	-.066	-.286	-.359	.274	-.041
FR	-.118	-.066	1.000	.536	.110	.229	.137
WO	.064	-.286	.536	1.000	.312	.086	.543
HARF	-.172	-.359	.110	.312	1.000	-.092	-.083
HASR	-.017	.274	.229	.086	-.092	1.000	-.265
LAS	.254	-.041	.137	.543	-.083	-.265	1.000

表4-4 片岩區特性因子之相關性檢定結果

相關矩陣	RLAS	FFR	FO	HARF	LF	HASW
RLAS	1	-0.171	-0.140	0.063	-0.090	0.181
FFR	-0.171	1	0.279	-0.257	0.095	-0.061
FO	-0.140	0.279	1	0.235	-0.155	-0.230
HARF	0.063	-0.257	0.235	1	0.151	-0.065
LF	-0.090	0.095	-0.155	0.151	1	0.142
HASW	0.181	-0.061	-0.230	-0.065	0.142	1

表4-5 皮爾森高相關性因子表

因子	相關性	因子	相關性
WA&LSA	0.84	W&WO	0.96
WA&W	0.82	ASF&TRF	0.98

經由相關性因子篩選因子後，透過區別分析刪減至最少因子時，三地質區之最佳因子如下。

板岩區所得最佳化之 7 項因子為有效集水區指標(EWAI)，為流動段平均坡度(ASF)，形狀係數比(FR)，發生區平均寬度(WO)，流動區深寬比(HARF)，坡面平均坡度比(HASR)，崩塌潛感面積(LSA)。

片岩區之最佳化因子組合為為崩塌潛感面積比(RLSA)、形狀係數比(FFR)、發生區形狀係數(FO)、流動段深寬比(HARF)、流動段長度(LF)、與集水區坡面平均坡度(HASW)等六因子。

沈積岩之最佳化因子組合為崩塌潛感面積比(RLSA)、形狀係數比(FFR)、發生區形狀係數(FO)、流動段深寬比(HARF)、流動段長度(LF)、集水區坡面平均坡度(HASW)、發生區平均寬度(WO)。

第五節 精進與擴充崩塌/坡面型土石流判釋準則

本研究採用費雪區別分析法(Fisher's discriminant method)建立坡面型土石流判定模式。彙總前節所得之最佳特性因子，進一步建立坡面型土石流判釋模式。

一、精進與擴充崩塌/坡面型土石流判釋準則

前節經逐一篩選及剔除因子觀察正判率之變化結果，同時亦比對以各地質區實際發生案例，結果板岩區選定以 7 因子模式，片岩區以 6 因子模式及沈積岩以 7 因子判別模式最為適用。

其中，板岩區所得最佳化之 7 項因子未標準化之區別函數如下：

$$y=-1.627X_1-0.038X_2+0.553X_3-0.030X_4+3.144X_5+9.119X_{6+}0.003X_7-7.793$$

正判率最佳之組合達 87.5%。其中 y 為區別函數，X_1 有效集水區指標(EWAI)，X_2 為流動段平均坡度(ASF)，X_3 形狀係數比(FR)，X_4 發生區平均寬度(WO)，X_5 流動區深寬比(HARF)，X_6 坡面平均坡度比(HASR)，X_7 崩塌潛感面積(LSA)。

片岩區之最佳化之 6 項因子未標準化之區別函數如下：

$$y = 0.4197X_1 - 0.5192X_2 + 0.637X_3 - 0.807X_4 + 0.842X_5 - 0.228X_6$$

正判率最佳之組合達 87.5%。因子組合為為 X_1 崩塌潛感面積比(RLSA)、X_2 形狀係數比(FFR)、X_3 發生區形狀係數(FO)、X_4 流動段深寬比(HARF)、X_5 流動段長度(LF)、與 X_6 集水區坡面平均坡度(HASW)等六因子。

沈積岩之判釋模式選用模式中發生及未發生小規模土石流沈積岩分析單元各 16 筆、驗證區各 10 筆，判別公式如下。

$$y = 18.620X_1 - 0.170X_2 + 2.506X_3 - 1.215X_4 + 0.010X_5 - 0.164X_6 - 0.016X_7 + 2.814$$

因子組合為 X_1 崩塌潛感面積比(RLSA)、X_2 形狀係數比(FFR)、X_3 發生區形狀係數(FO)、X_4 流動段深寬比(HARF)、X_5 流動段長度(LF)、X_6 集水區坡面平均坡度(HASW)、X_7 發生區平均寬度(WO)。

以變質岩區之 6 因子模式為例，若區別函數值 y 大於 0，判定為坡面型土石流；當區別函數值 y 小於 0，則判定為未發生土石流。區別分析之判定結果如表 4-6 所示，整體正判率為 87.5%，

表4-6 區別分析結果

結果呈現	原始類別	預測 HDF	預測 NDF	總和
個數	HDF	15	5	20
	NDF	0	20	20
百分比(%)	HDF	75	25	100
	NDF	10	90	100
整體正判率＝(15+20)/(20+20)x100%＝87.5%				

圖 4-83 為發生坡面型土石流及未發生土石流區別函數之分佈情況，x 軸為區別函數，y 軸分別為資料數佔全資料之百分比。坡面型土石流之函數值分佈於-1.12~4.47 之間；而未發生土石流之函數值分佈於-3.74~0.9 之間。

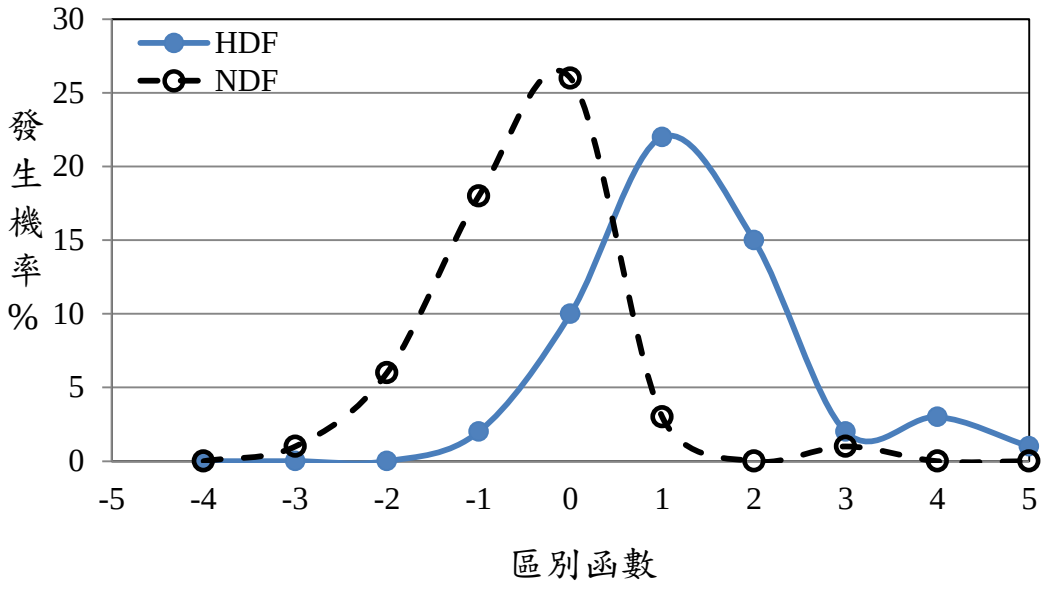


圖 4-83 坡面型土石流與未發生土石流之區別函數分佈圖

測試各因子對於正判率之影響，統計區別函數各因子之係數絕對值，如圖 4-84 所示，材料因子(RLSA)、地形因子(HASW、HARF、LF)、水文因子(FR、FO)，其中水文因子對於正判率影響最為大，代表崩塌之預測，對於判別坡面型土石流之發生極為重要。

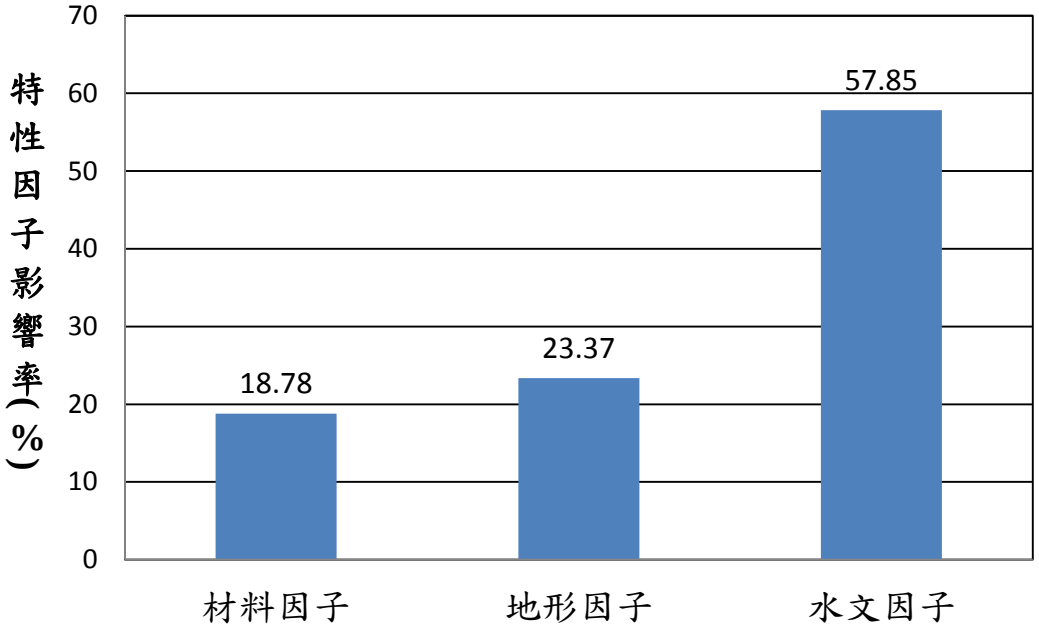


圖 4-84 土石流發生三大條件之特性因子影響率

以板岩及片岩區為例，首先將 19 個判別因子放入，觀察正判率之變化，類似因子之間選擇判釋率較差之因子逐一剔除，僅剩一個因子代表同一類因子，最後再嘗試刪減至以最少因子時其正判率最佳之組合，其過程如表 4-6。

二、坡面型土石流判釋模式驗證

本研究驗證組以區別函數進行分類，藉以驗證本研究之潛勢模式可行性。驗證樣本為選自同一研究試區(高屏溪流域)，母體樣本附近之坡面型土石流與未發生土石流之坡面集水區各 20 筆資料，點位分佈如表 4-7 示。

表4-7 坡面型土石流與未發生土石流之驗證點位

HDF 驗證	鄉鎮	村里	NDF 驗證	鄉鎮	村里
DF27	六龜區	新發里	NDF011	六龜區	荖濃里
DF28	六龜區	寶來里	NDF012	六龜區	荖濃里
DF29	六龜區	寶來里	NDF013	六龜區	荖濃里
DF30	六龜區	建山里	NDF014	六龜區	荖濃里
DF31	六龜區	建山里	NDF015	六龜區	荖濃里
DF32	六龜區	建山里	NDF26	桃源區	桃源里
DF33	六龜區	建山里	NDF27	桃源區	桃源里
DF34	桃源區	高中里	NDF28	桃源區	桃源里
DF35	六龜區	寶來里	NDF29	桃源區	桃源里
DF36	桃源區	高中里	NDF31	六龜區	新發里
DF37	桃源區	高中里	NDF32	桃源區	高中里
DF38	桃源區	桃源里	A01	六龜區	新發里
DF39	桃源區	桃源里	A05	六龜區	新發里
DF40	桃源區	復興里	A10	六龜區	新發里
DF42	桃源區	復興里	A13	六龜區	新發里
DF43	那瑪夏區	瑪雅里	E03	那瑪夏區	瑪雅里
DF44	桃源區	梅蘭里	E04	那瑪夏區	瑪雅里
DF45	桃源區	梅蘭里	E10	那瑪夏區	瑪雅里
DF46	桃源區	梅蘭里	E11	那瑪夏區	瑪雅里
DF47	桃源區	梅蘭里	E12	那瑪夏區	瑪雅里

依前節之特性因子產製方法，產製 20 筆驗證點位之 6 項區別因子資料(崩塌潛感面積比、形狀係數比、發生區形狀係數、流動段深寬比、流動段長度、集水區坡面平均坡度，代入式 4.12，得到驗證結果，如表 4-8 所示，並可由圖 4-85 看出判別情況良好，計算各點位驗證所得到之 Y 值，統計其判別率為 87.5%，由此可知，此坡面型土石流潛勢判定模式可有效判別出高屏溪流域坡面之可能發生坡面型土石流之機率。

表4-8 驗證區區別分析結果

	原始	預測		總和
結果呈現	類別	HDF	NDF	
個數	HDF	15	5	20
	NDF	0	20	20
百分比(%)	HDF	75	25	100
	NDF	10	90	100
整體正判率＝(15+20)/(20+20)x100%＝87.5%				

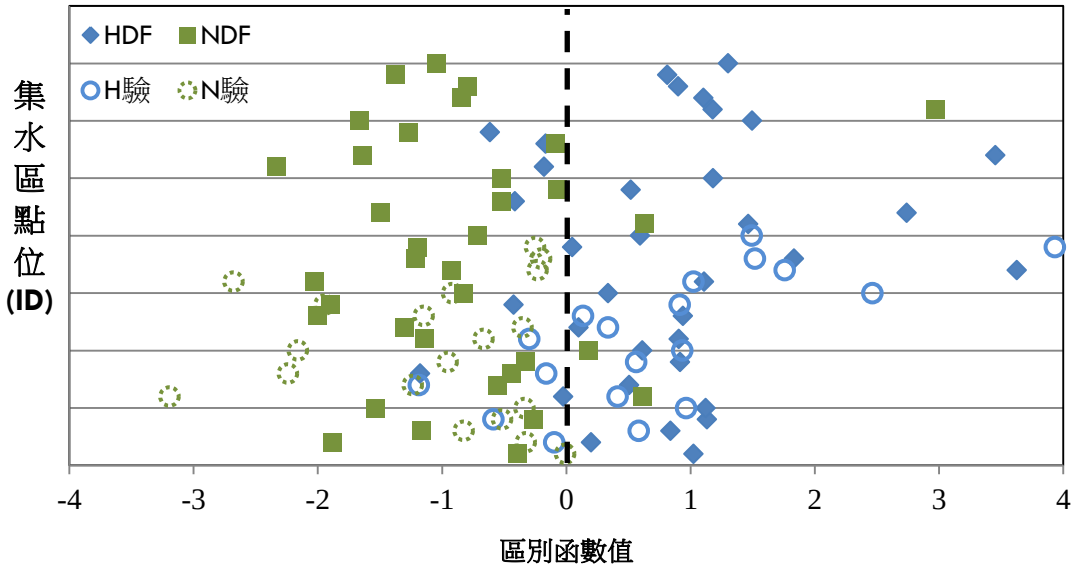


圖 4-85　HDF 與 NDF 之驗證點位與母體之區別函數分佈圖

沈積岩樣本經同樣程序，其正判率為 90%如表 4-9，驗證區正判率為 80%(表 4-10)。

表4-9沈積岩樣本區區別分析結果

	原始	預測		總和
結果呈現	類別	HDF	NDF	
個數	HDF	14	2	16
	NDF	1	15	16
百分比(%)	HDF	87.5	12.5	100
	NDF	6	94	100
整體正判率＝(14+15)/(16+16)×100%=90%				

表4-10 沈積岩驗證區區別分析結果

	原始	預測		總和
結果呈現	類別	HDF	NDF	
個數	HDF	4	1	5
	NDF	1	4	5
百分比(%)	HDF	80	20	100
	NDF	20	80	100
整體正判率＝(4+4)/(5+5)×100%=80%				

三、研究區坡面型土石流判釋成果

進一步應用前節判釋模式進行中南東部沈積岩區及變質岩區兩大區域研究區聚落周緣坡面單元判釋分析。圖 4-86 至圖 4-94 為沈積岩區 10 聚落判釋結果。圖 4-95 至圖 4-104 為變質岩區 10 聚落之判釋結果。此分析結果再與第二章第四節 20 處聚落周邊坡面型土石流現地查核成果進行比對。

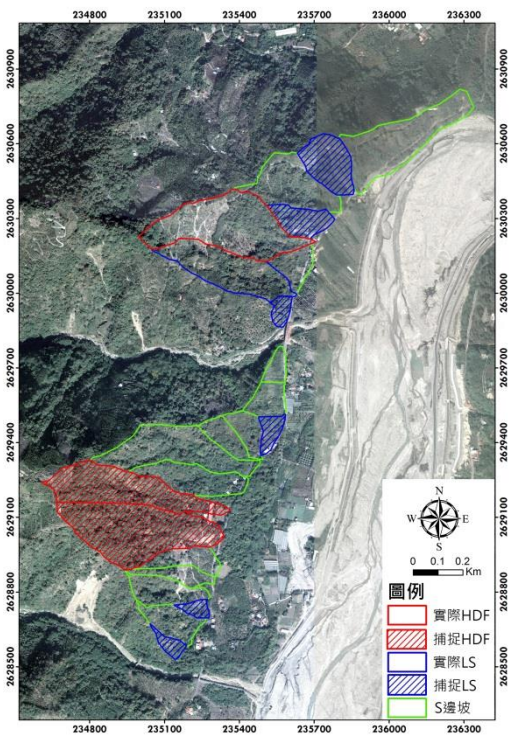


圖 4-86 A01 邊坡單元判釋結果

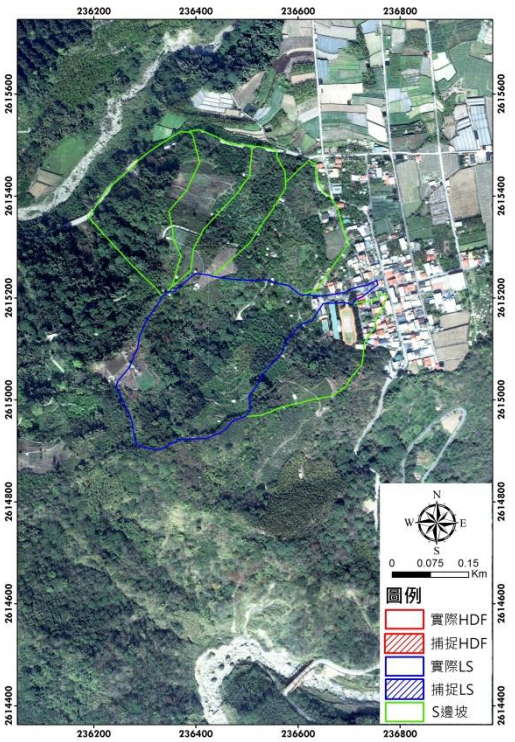


圖 4-87 A02 邊坡單元判釋結果

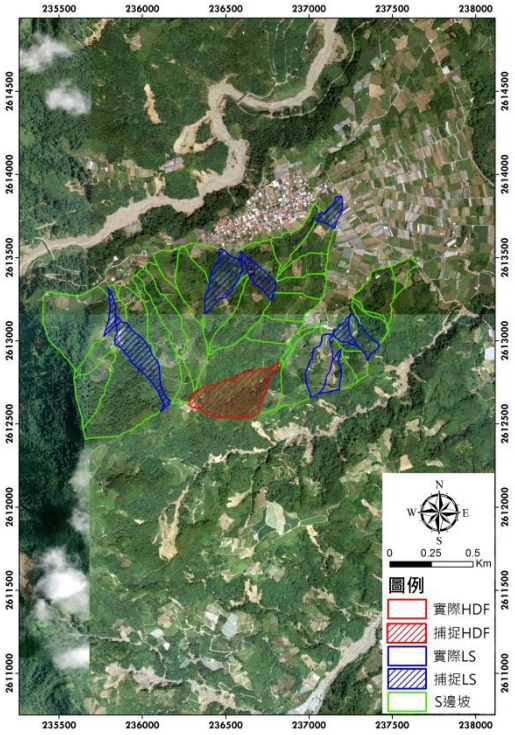


圖 4-88 A03 邊坡單元判釋結果

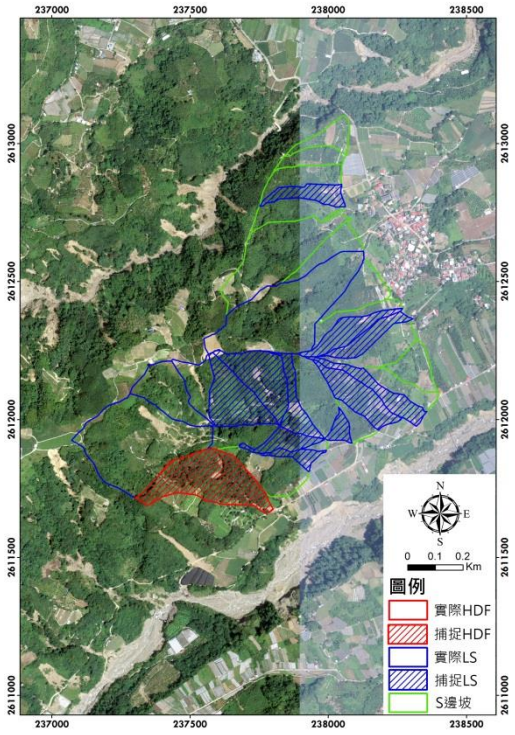


圖 4-89 A04 邊坡單元判釋結果

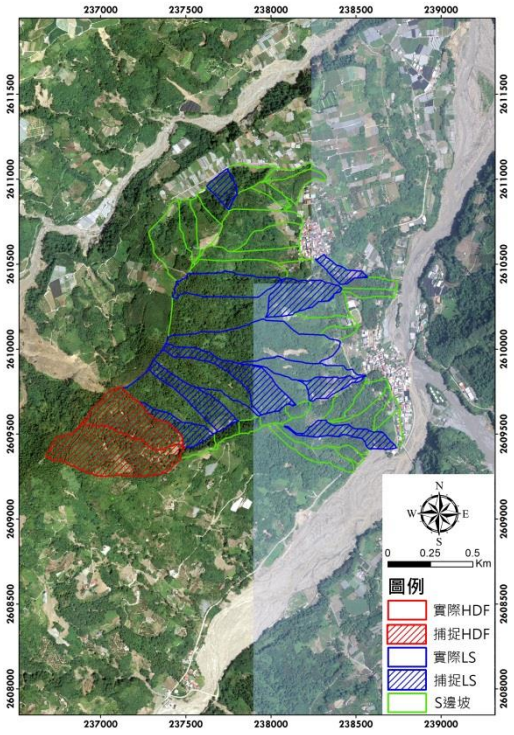


圖 4-90 A05、A06 邊坡單元判釋結果

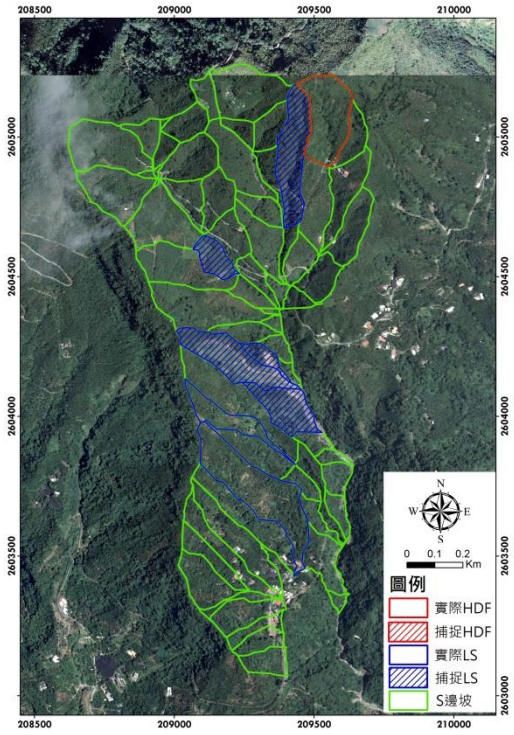


圖 4-91 A07 邊坡單元判釋結果

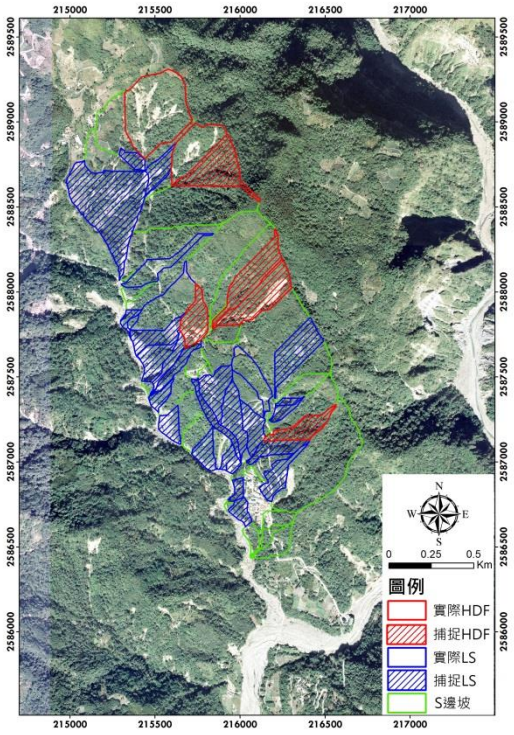


圖 4-92 A08 邊坡單元判釋結果

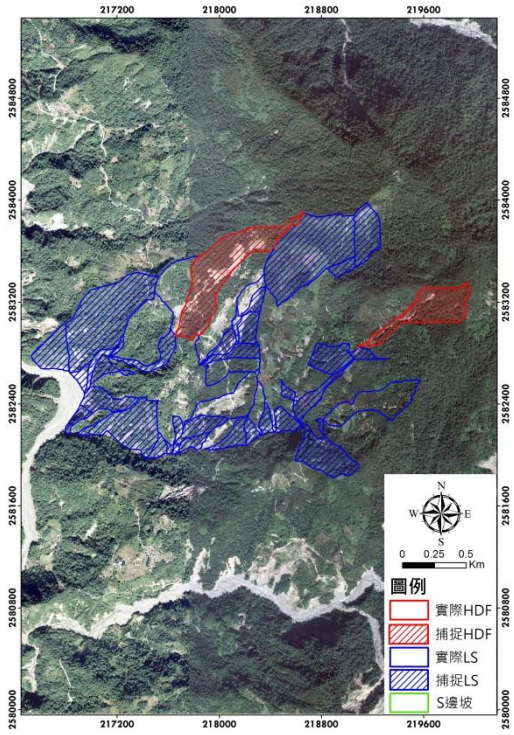


圖 4-93 A09 邊坡單元判釋結果

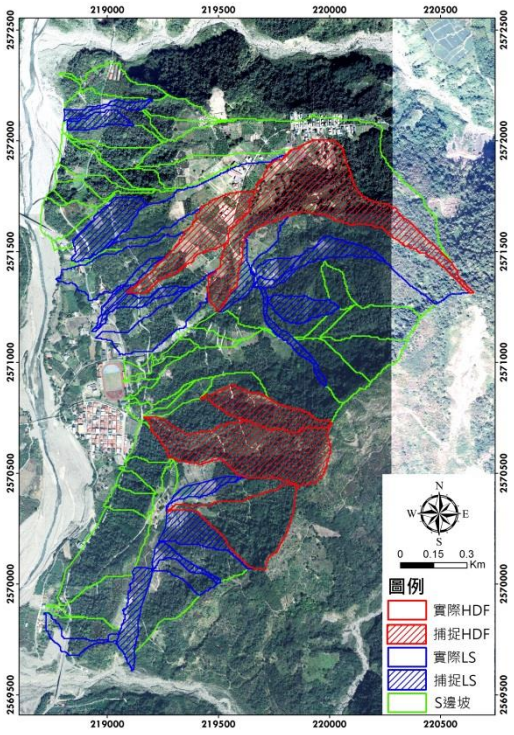


圖 4-94 A10 邊坡單元判釋結果

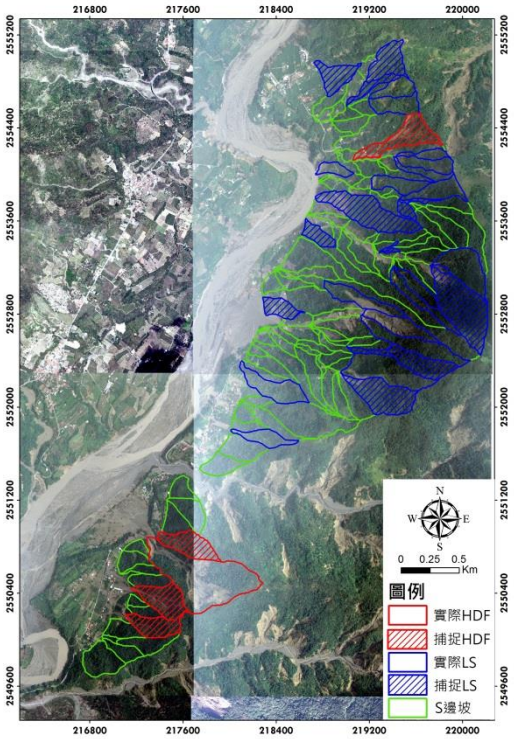


圖 4-95 B01 邊坡單元判釋結果

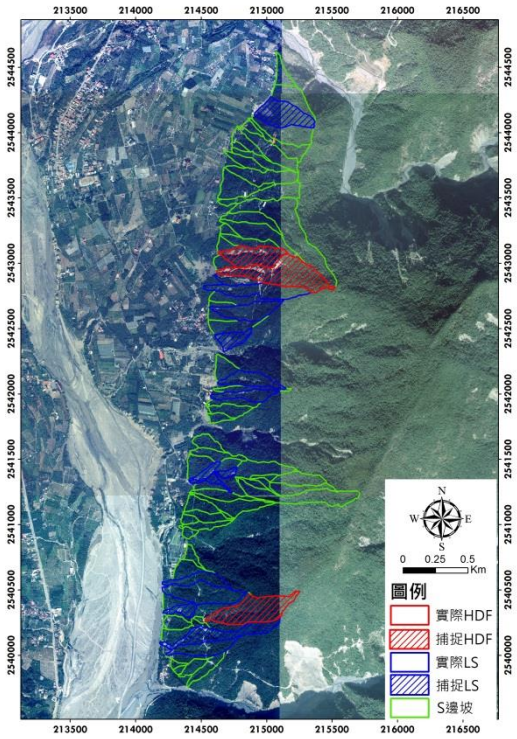


圖 4-96 B02 邊坡單元判釋結果

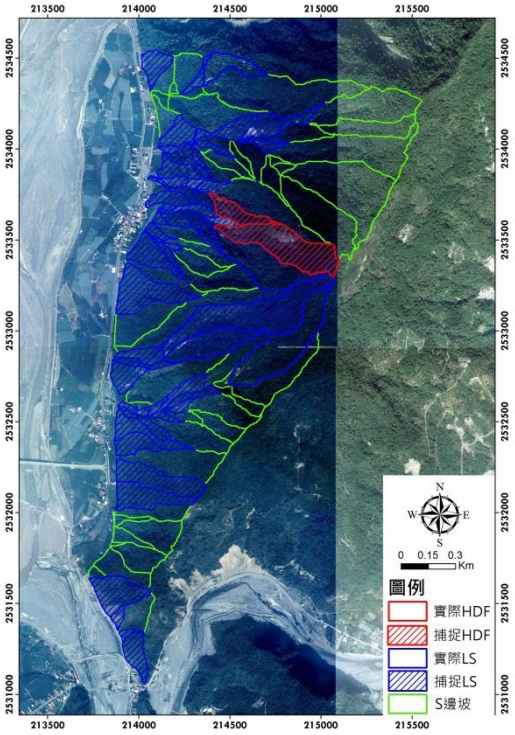


圖 4-97 B03 邊坡單元判釋結果

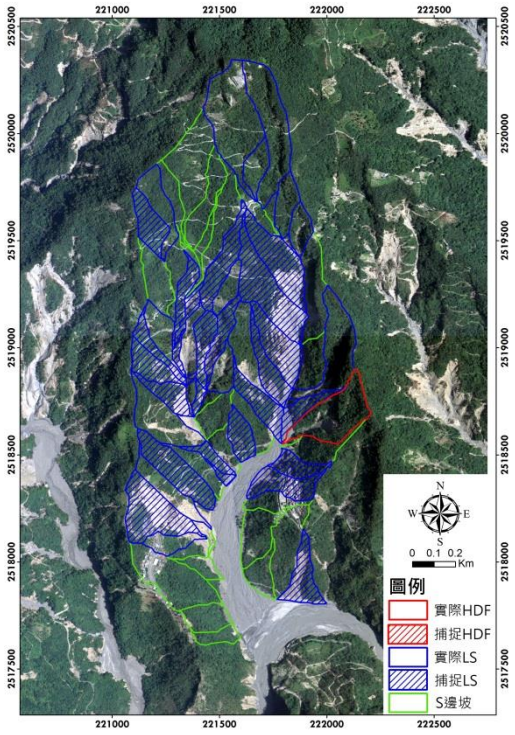


圖 4-98 B04 邊坡單元判釋結果

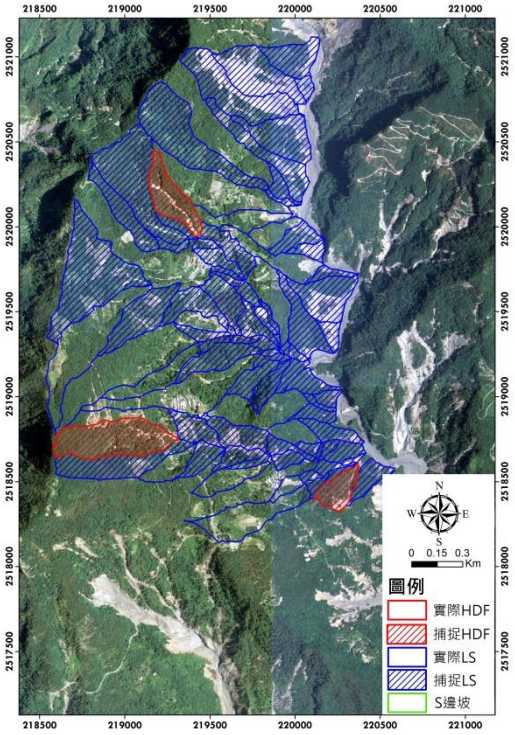


圖 4-99 B05 邊坡單元判釋結果

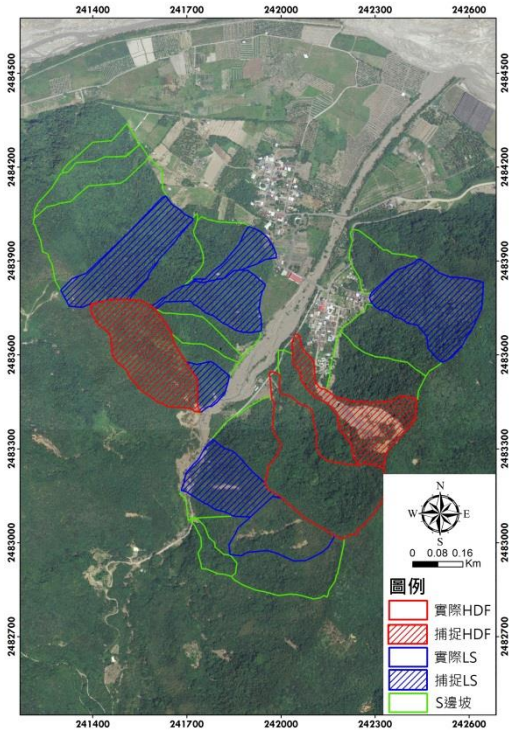


圖 4-100 B06 邊坡單元判釋結果

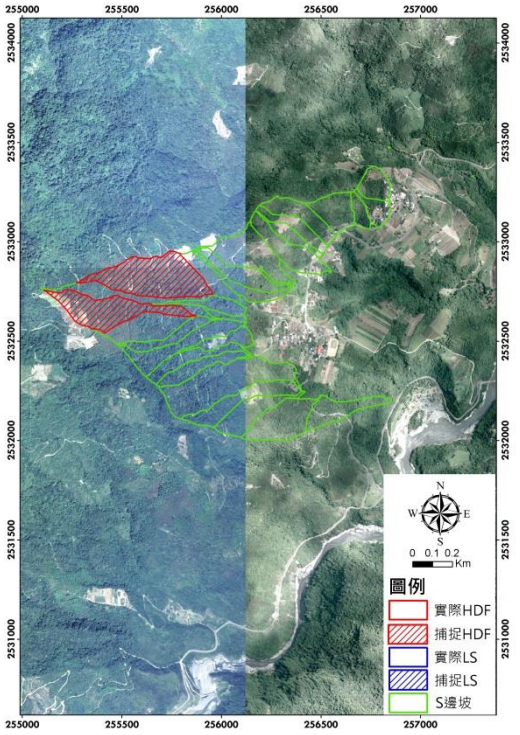


圖 4-101 B07 邊坡單元判釋結果

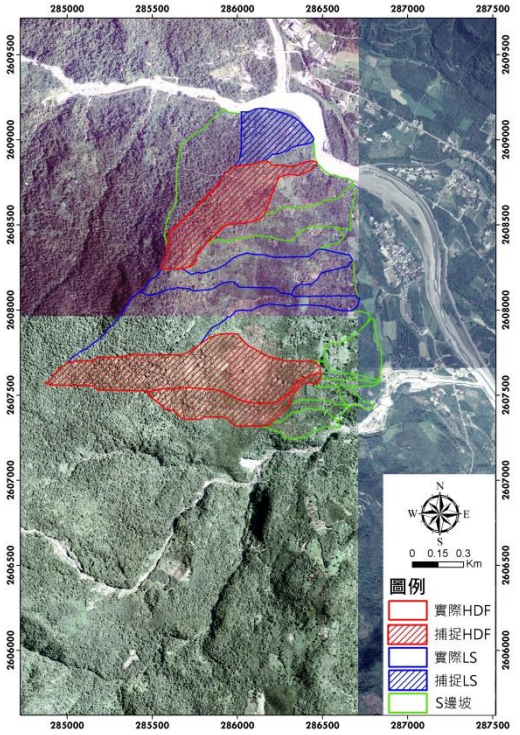


圖 4-102 B08 邊坡單元判釋結果

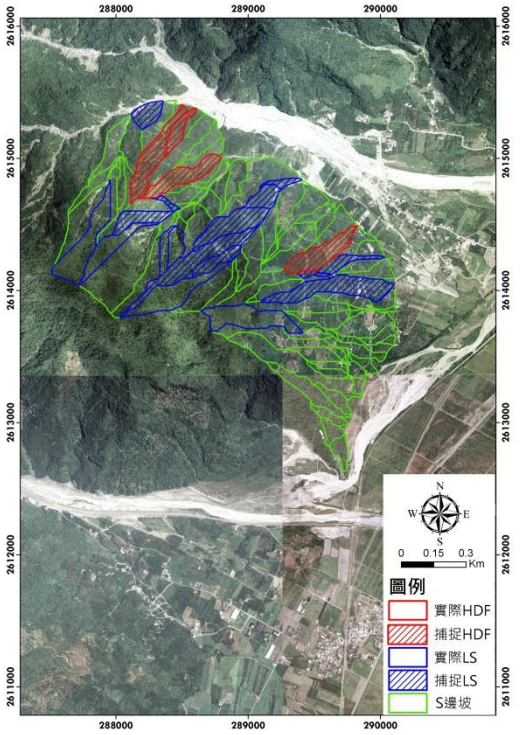


圖 4-103 B09 邊坡單元判釋結果

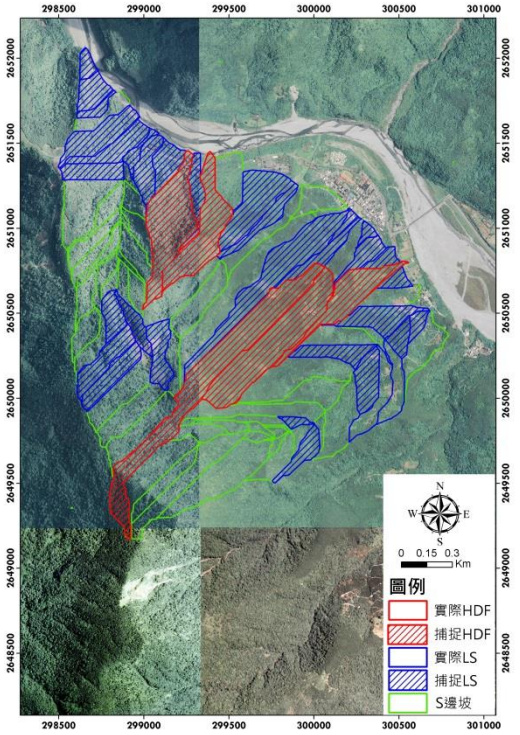


圖 4-104 B10 邊坡單元判釋結果

沈積岩區之結果如下:

- A01 邊坡單元判釋結果（圖 4-86）坡面型土石流實際發生 3 筆，捕捉 2 筆；崩塌單元實際發生 7 筆，捕捉 5 筆，整體捕捉率 80%；
- A02 邊坡單元判釋結果（圖 4-87）坡面型土石流實際發生 0 筆，捕捉 0 筆；崩塌單元實際發生 1 筆，捕捉 0 筆，整體捕捉率 0%；
- A03 邊坡單元判釋結果（圖 4-88）坡面型土石流實際發生 1 筆，捕捉 1 筆；崩塌單元實際發生 9 筆，捕捉 6 筆，整體捕捉率 70%；
- A04 邊坡單元判釋結果（圖 4-89）坡面型土石流實際發生 1 筆，捕捉 1 筆；崩塌單元實際發生 15 筆，捕捉 11 筆，整體捕捉率 75%；
- A05、A06 邊坡單元判釋結果（圖 4-90）坡面型土石流實際發生 2 筆，捕捉 2 筆；崩塌單元實際發生 13 筆，捕捉 8 筆，整體捕捉率 67%；
- A07 邊坡單元判釋結果（圖 4-91）坡面型土石流實際發生 1 筆，捕捉 0 筆；崩塌單元實際發生 7 筆，捕捉 5 筆，整體捕捉率 63%；
- A08 邊坡單元判釋結果（圖 4-92）坡面型土石流實際發生 7 筆，捕捉 5 筆；崩塌單元實際發生 28 筆，捕捉 24 筆，整體捕捉率 83%；
- A09 邊坡單元判釋結果（圖 4-93）坡面型土石流實際發生 2 筆，捕捉 2 筆；崩塌單元實際發生 41 筆，捕捉 34 筆，整體捕捉率 84%；
- A10 邊坡單元判釋結果（圖 4-94）坡面型土石流實際發生 5 筆，捕捉 4 筆；
- 崩塌單元實際發生 23 筆，捕捉 14 筆，整體捕捉率 64%。

整體共計 22 處坡面型土石流單元，正確捕捉數量為 17 處，捕捉率約為 77%。而崩塌單元之捕捉率則為 74%，如表 4-11 所示。

變質岩-板岩區之結果如下:

- B01 邊坡單元判釋結果（圖 4-95）坡面型土石流實際發生 5 筆，捕捉 4 筆；崩塌單元實際發生 32 筆，捕捉 15 筆，整體捕捉率 51%；
- B02 邊坡單元判釋結果（圖 4-96）坡面型土石流實際發生 3 筆，捕捉 3 筆；崩塌單元實際發生 15 筆，捕捉 7 筆，整體捕捉率 56%；
- B03 邊坡單元判釋結果（圖 4-97）坡面型土石流實際發生 2 筆，捕捉 2 筆；崩塌單元實際發生 66 筆，捕捉 63 筆，整體捕捉率 96%；
- B04 邊坡單元判釋結果（圖 4-98）坡面型土石流實際發生 1 筆，捕捉 0 筆；崩塌單元實際發生 41 筆，捕捉 26 筆，整體捕捉率 76%；
- B05 邊坡單元判釋結果（圖 4-99）坡面型土石流實際發生 3 筆，捕捉 3 筆；崩塌單元實際發生 82 筆，捕捉 68 筆，整體捕捉率 84%；
- B06 邊坡單元判釋結果（圖 4-100）坡面型土石流實際發生 3 筆，捕捉 2 筆；
- 崩塌單元實際發生 7 筆，捕捉 6 筆，整體捕捉率 80%。

整體共計 17 處坡面型土石流單元，正確捕捉數量為 14 處，捕捉率約為 82%。而崩塌單元之捕捉率則為 82%，如表 4-11 所示。

變質岩-片岩區之結果如下:

- B07 邊坡單元判釋結果（圖 4-101）坡面型土石流實際發生 2 筆，捕捉 2 筆；崩塌單元實際發生 5 筆，捕捉 2 筆，整體捕捉率 57%；
- B08 邊坡單元判釋結果（圖 4-102）坡面型土石流實際發生 3 筆，捕捉 3 筆；崩塌單元實際發生 3 筆，捕捉 1 筆，整體捕捉率 67%；

- B09 邊坡單元判釋結果（圖 4-103）坡面型土石流實際發生 4 筆，捕捉 4 筆；崩塌單元實際發生 17 筆，捕捉 11 筆，整體捕捉率 71%；
- B10 邊坡單元判釋結果（圖 4-104）坡面型土石流實際發生 5 筆，捕捉 5 筆；
- 崩塌單元實際發生 32 筆，捕捉 30 筆，整體捕捉率 95%。

整體共計 14 處坡面型土石流單元，正確捕捉數量為 14 處，捕捉率約為 100%。而崩塌單元之捕捉率則為 82%，如表 4-11 所示。

表4-11 中南東部沈積岩區及變質岩區分析單元判釋成果及捕捉率

沈積岩區										
研究區編號	A01		A02		A03		A04		A05、A06	
類型	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF
實際發生	3	7	0	1	1	9	1	15	2	13
捕捉	2	6	0	0	1	6	1	11	2	8
捕捉率	80%		0%		70%		75%		67%	
HDF 事件捕捉率	67%		-		100%		100%		100%	
研究區編號	A07		A08		A09		A10		總計	
類型	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF
實際發生	1	7	7	28	2	41	5	23	22	144
捕捉	0	5	5	24	2	32	4	14	17	106
捕捉率	63%		83%		84%		64%		74%	
HDF 事件捕捉率	0%		71%		100%		80%		77%	

表 4-10 中南東部沈積岩區及變質岩區分析單元判釋成果及捕捉率(續)

變質岩-板岩區										
研究區編號	B01		B02		B03		B04		B05	
類型	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF
實際發生	5	32	3	15	2	66	1	41	3	82
捕捉	4	15	3	7	2	63	0	26	3	68
捕捉率	51%		56%		96%		76%		84%	
HDF 事件捕捉率	80%		100%		100%		0%		100%	

研究區編號	B06		總計	
類型	HDF	NDF	HDF	NDF
實際發生	3	7	17	243
捕捉	2	6	14	185
捕捉率	80%		82%	
HDF 事件捕捉率	67%		82%	

變質岩-片岩區										
研究區編號	B07		B08		B09		B10		總計	
類型	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF
實際發生	2	5	3	3	4	17	5	32	14	57
捕捉	2	2	3	1	4	11	5	30	14	44
捕捉率	57%		67%		71%		95%		82%	
HDF 事件捕捉率	100%		100%		100%		100%		100%	

第六節 坡面型土石流地形潛勢分析模式

一、潛勢分級分界指標訂定

本研究針對中南東部沈積岩及變質岩區，進行坡面型土石流發生潛勢方法研究。坡面型土石流潛勢分級之方法，為將函數值分佈曲線累積百分比分成三份，其分別為低中與高潛勢。潛勢分級採以分析資料庫之 110 條溪流樣本之費雪區別函數值，不區分地質區，作為分級指標。

沈積岩區潛勢分級結果如圖 4-106 所示，其中橫座標代表區別函數值之區間，實線代表區間內發生機率，當機率依序累加後可得累積積率百分比曲線為虛線，將此曲線面積分成三等份，可得分界指標為 0.5 與 1.8，當區別函數值小於 0.5 時屬於低潛勢區，區別函數值落於 0.5 到 1.8 之間為中潛勢區，區別函數值大於 1.8 為高潛勢區。

變質岩-板岩區潛勢分級結果如圖 4-106 所示，其中橫座標代表區別函數值之區間，實線代表區間內發生機率，當機率依序累加後可得累積積率百分比曲線為虛線，將此曲線面積分成三等份，以指標 0 與 0.95 為分界，當區別函數值小於 0 時屬於低潛勢區，區別函數值落於 0 到 0.95 之間為中潛勢區，區別函數值大於 0.95 為高潛勢區。

變質岩-片岩區潛勢分級結果如圖 4-106 所示，其中橫座標代表區別函數值之區間，實線代表區間內發生機率，當機率依序累加後可得累積積率百分比曲線為虛線，將此曲線面積分成三等份，可得分界指標為 0.5 與 1.8，當區別函數值小於 0.5 時屬於低潛勢區，區別函數值落於 0.5 到 1.8 之間為中潛勢區，區別函數值大於 1.8 為高潛勢區。

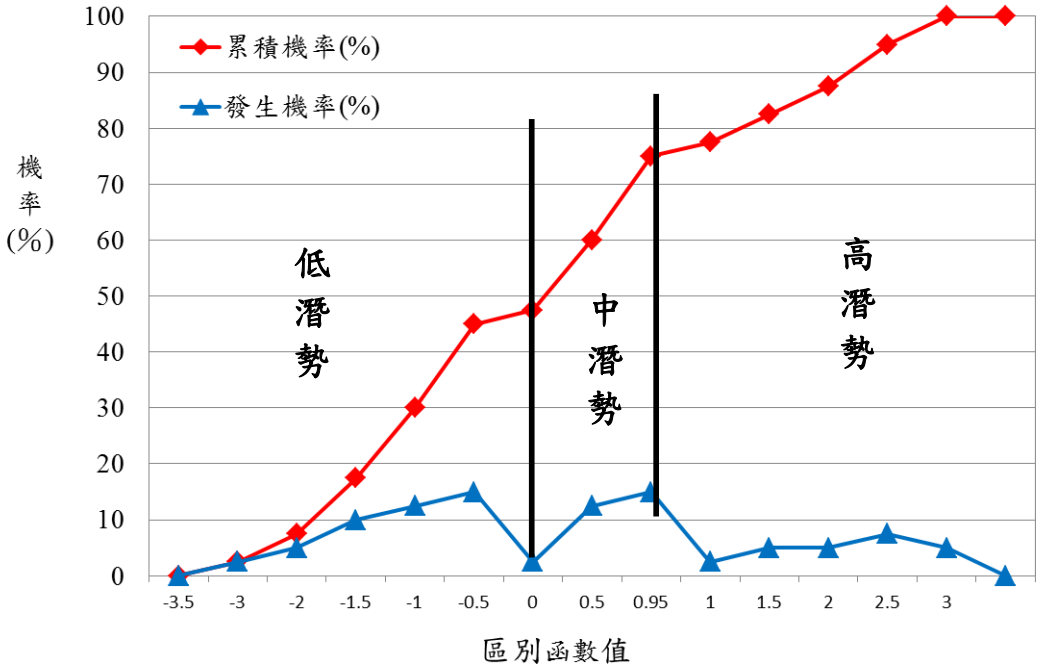


圖 4-105 分界指標 0.5 與 0.95 之潛勢分級結果

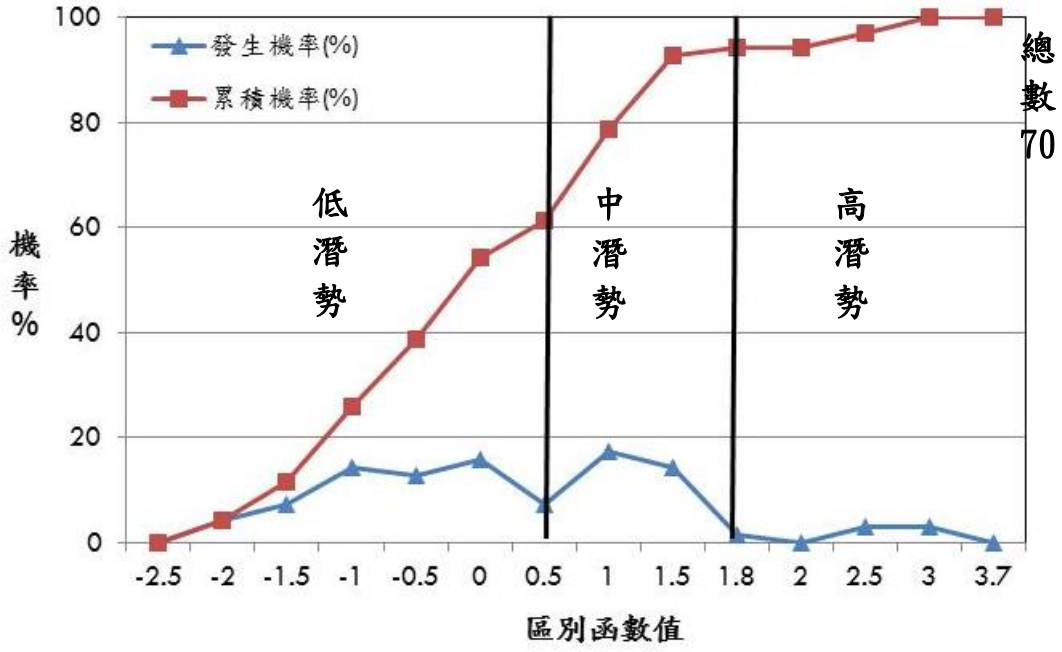


圖 4-106 分界指標 0.5 與 1.8 之潛勢分級結果

二、20 處聚落坡面型土石流潛勢分級

本研究區之 A 區潛勢分析結果分別如圖 4-106 至圖 4-114 所示，B 區潛勢分析結果則分別如圖 4-115 至圖 4-124 所示，敬請參閱。

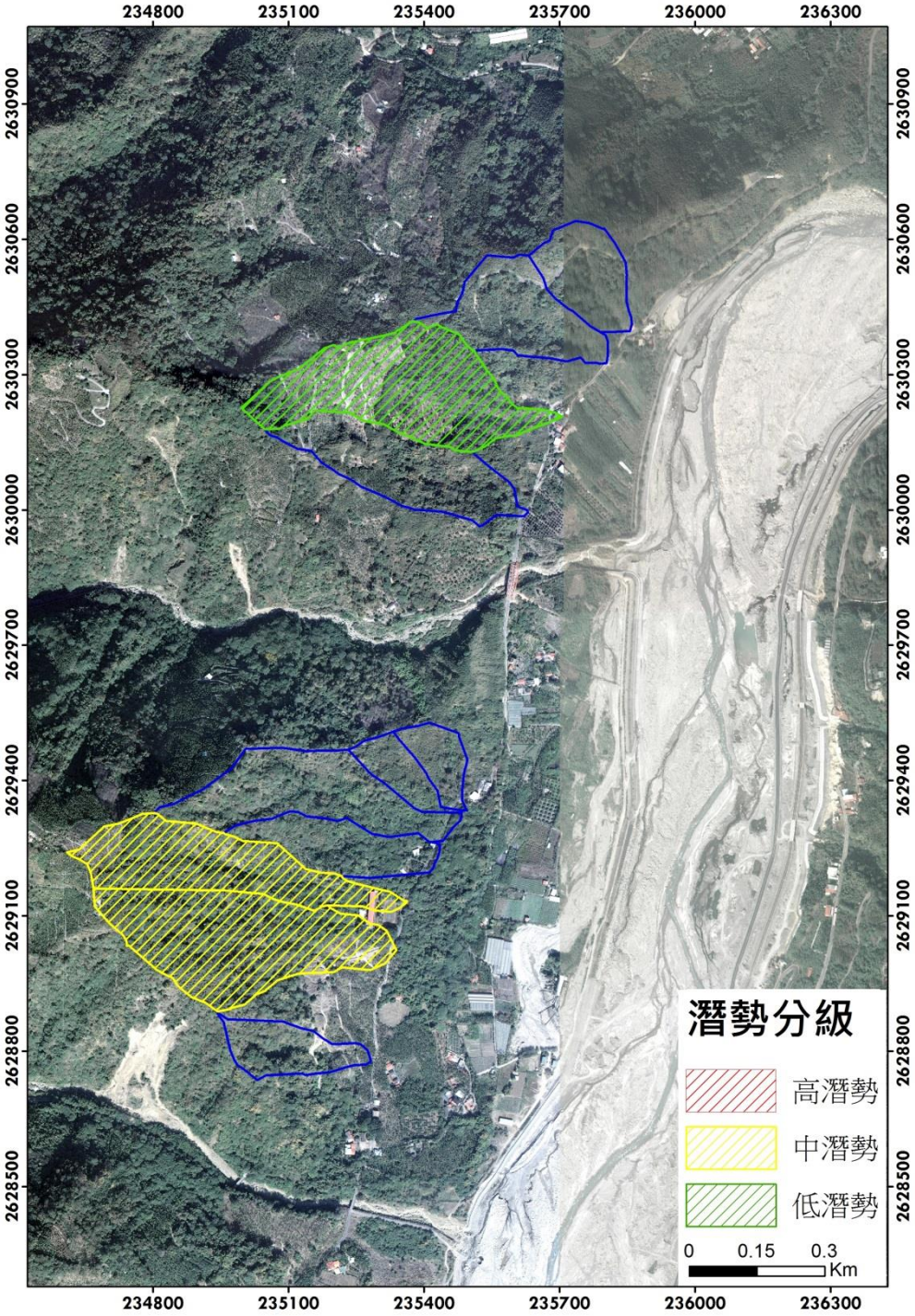


圖 4-107 集水區 A01 之潛勢分析結果

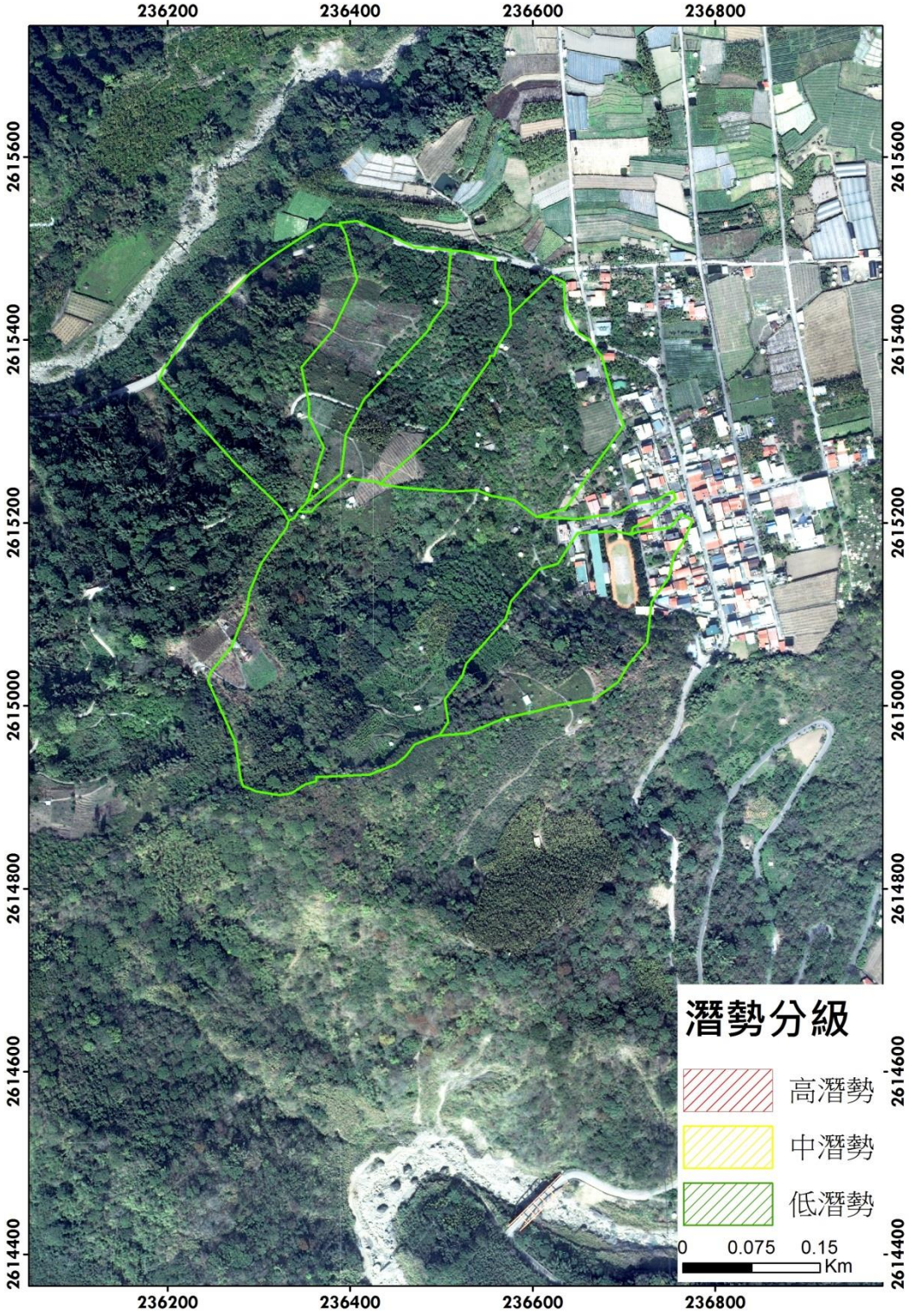


圖 4-108 集水區 A02 之潛勢分析結果



圖 4-109 集水區 A03 之潛勢分析結果

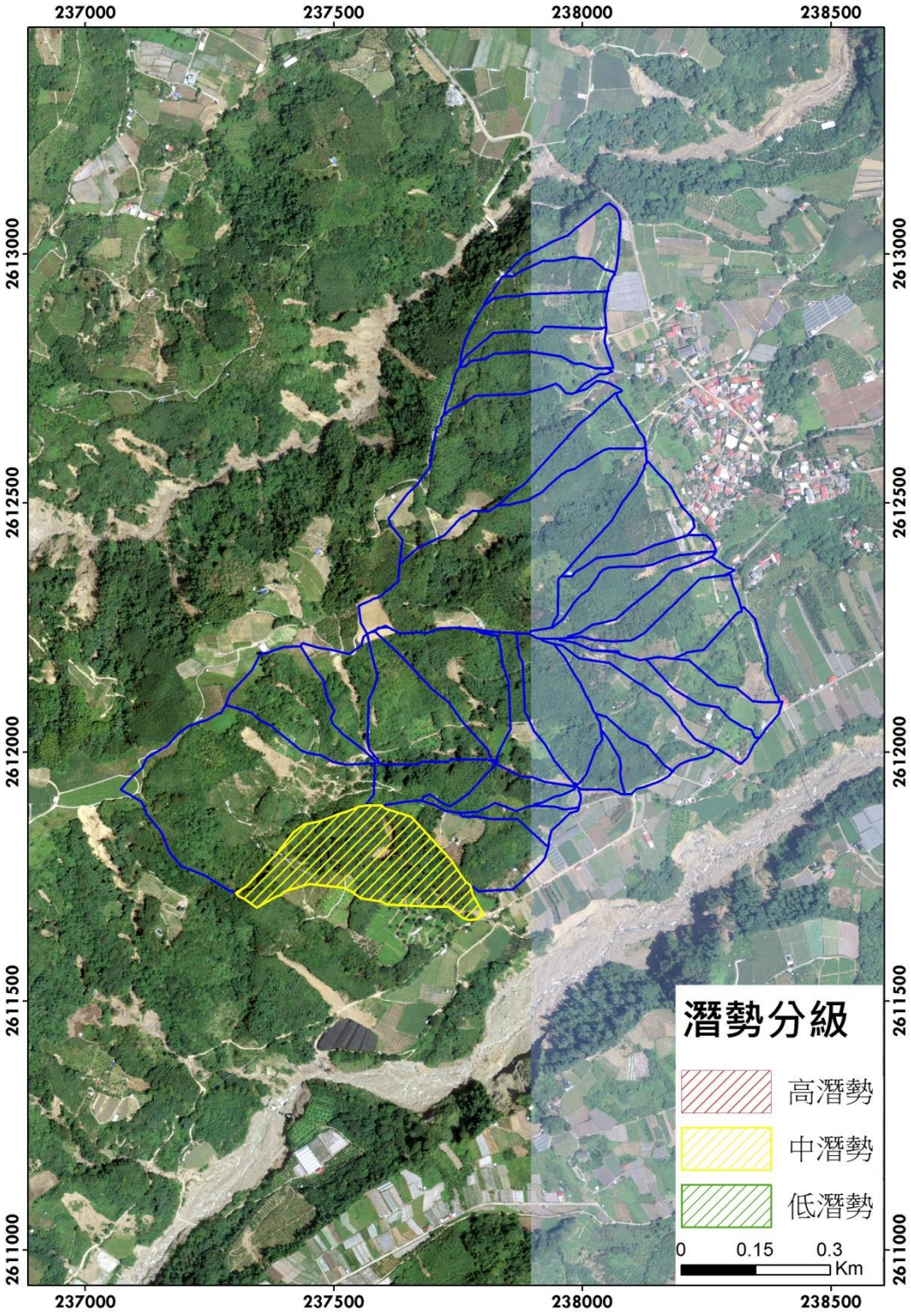


圖 4-110 集水區 A04 之潛勢分析結果

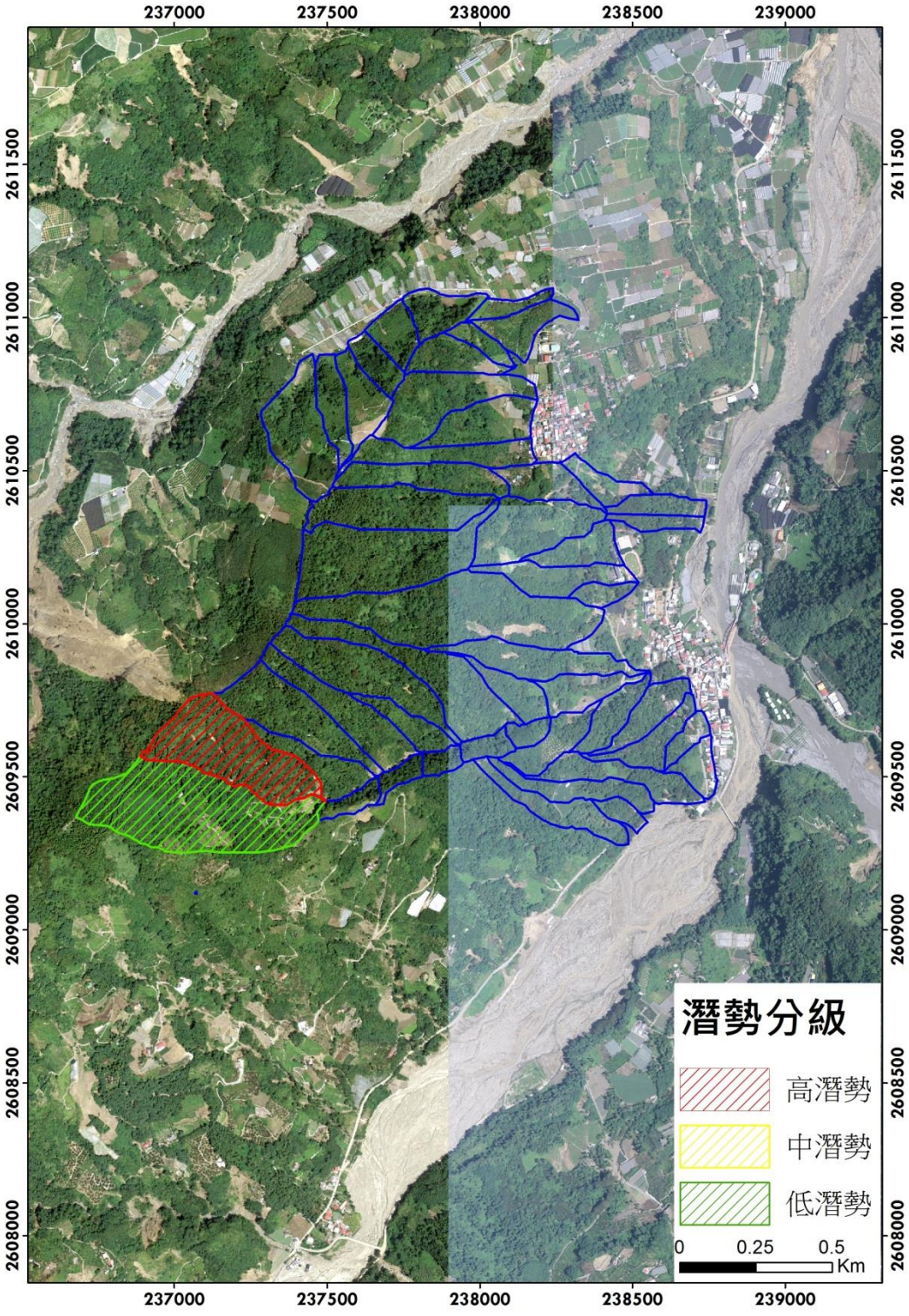


圖 4-111 集水區 A05、A06 之潛勢分析結果

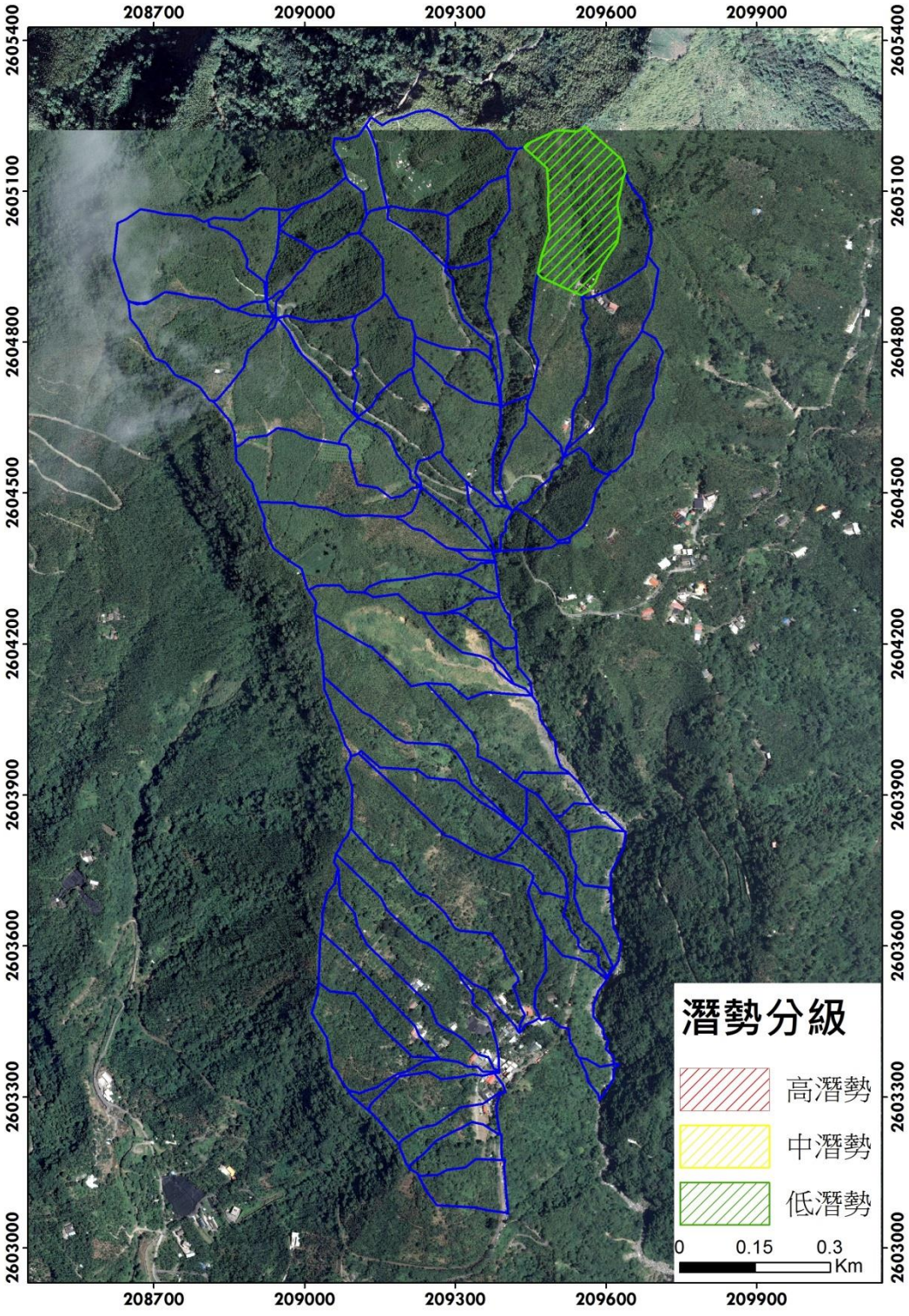


圖 4-112 集水區 A07 之潛勢分析結果

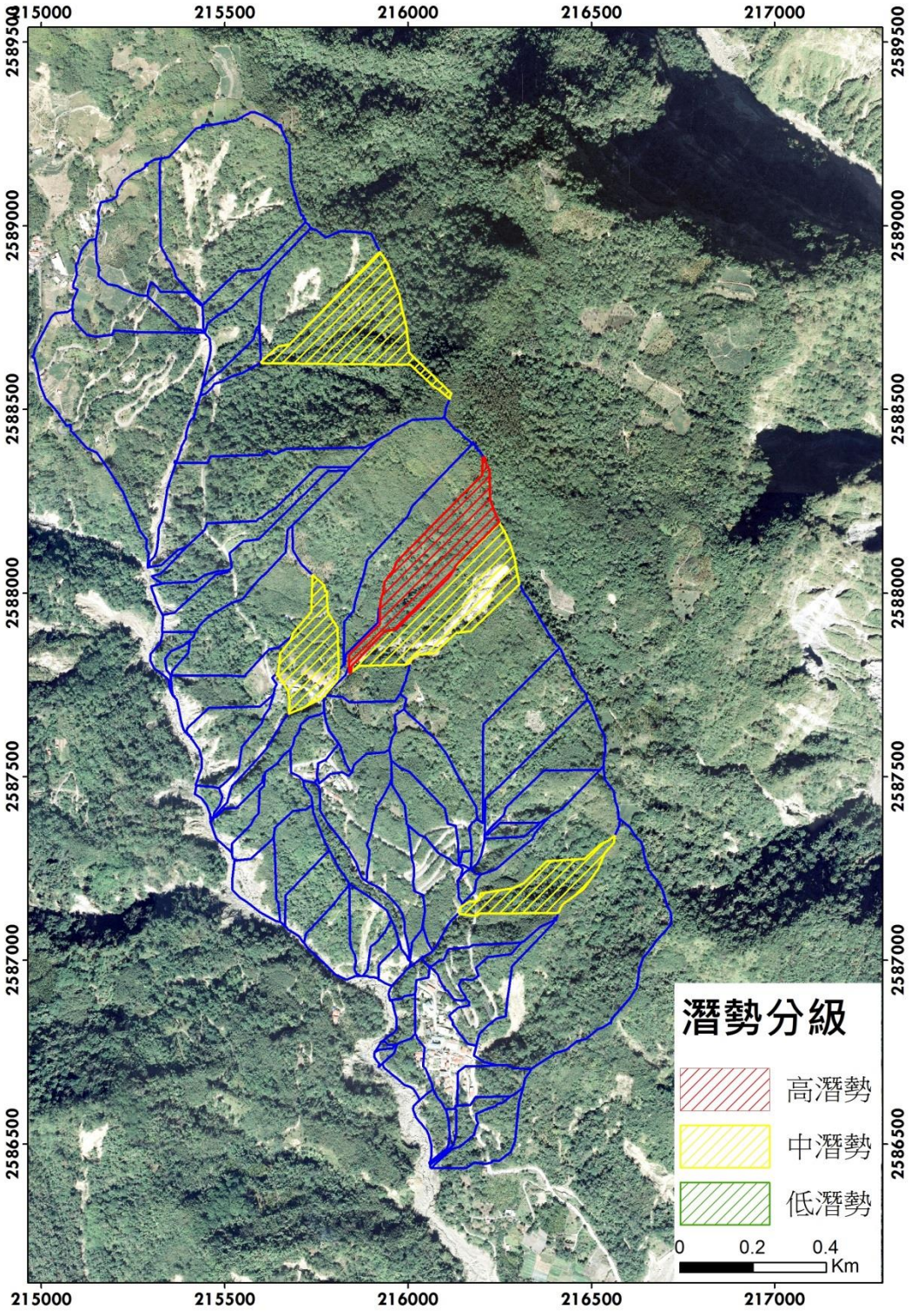


圖 4-113 集水區 A08 之潛勢分析結果

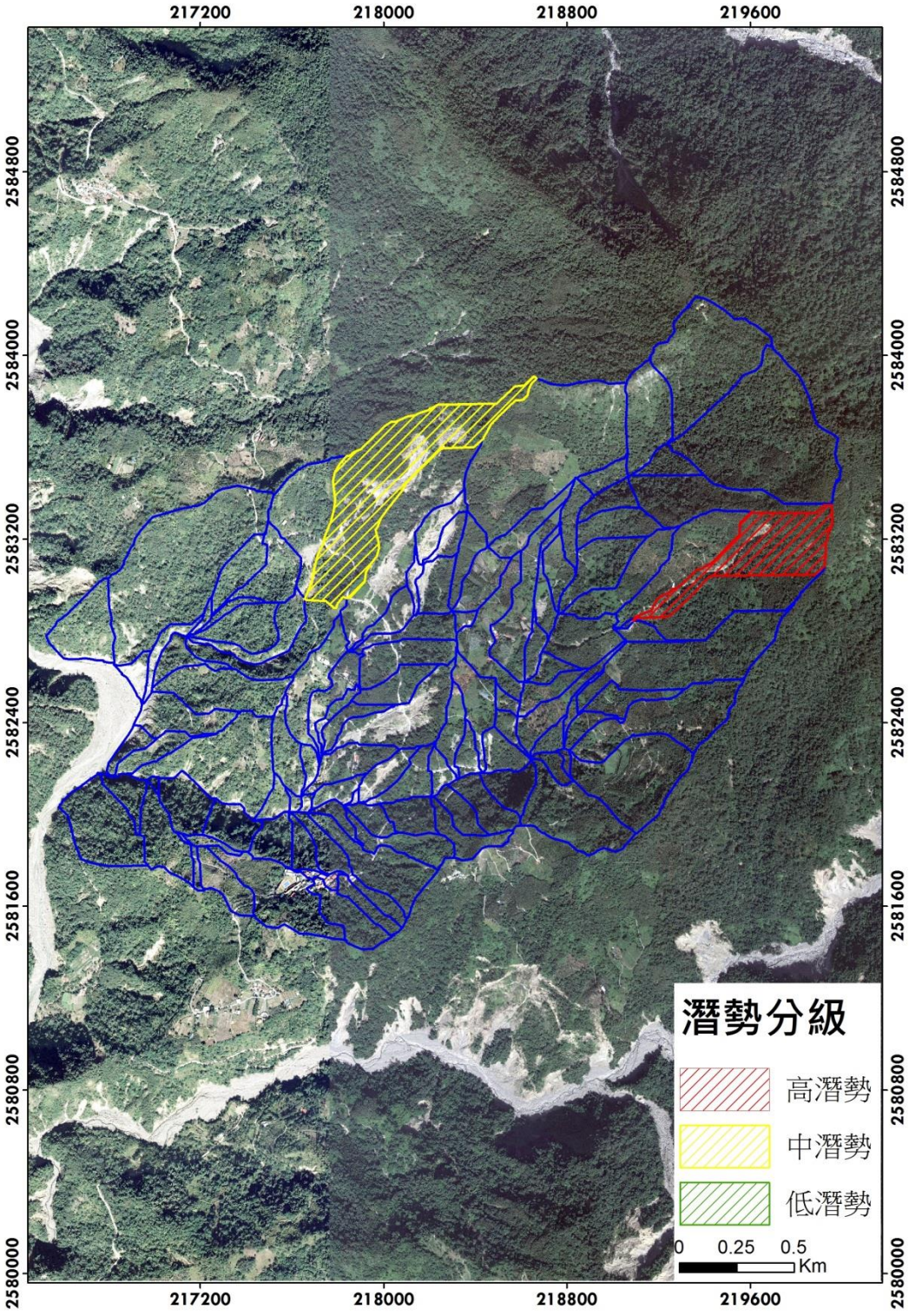


圖 4-114 集水區 A09 之潛勢分析結果

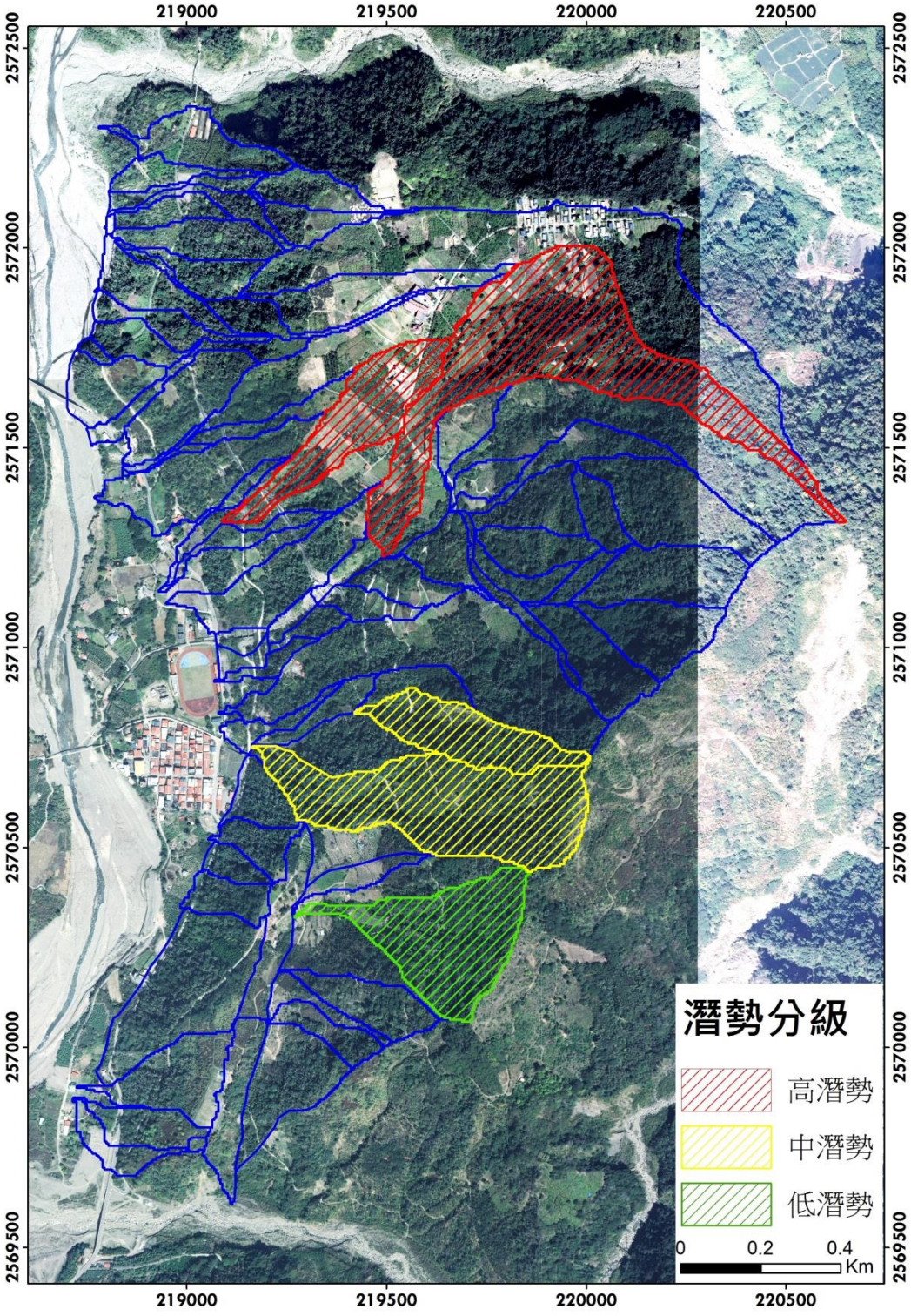


圖 4-115 集水區 A10 之潛勢分析結果

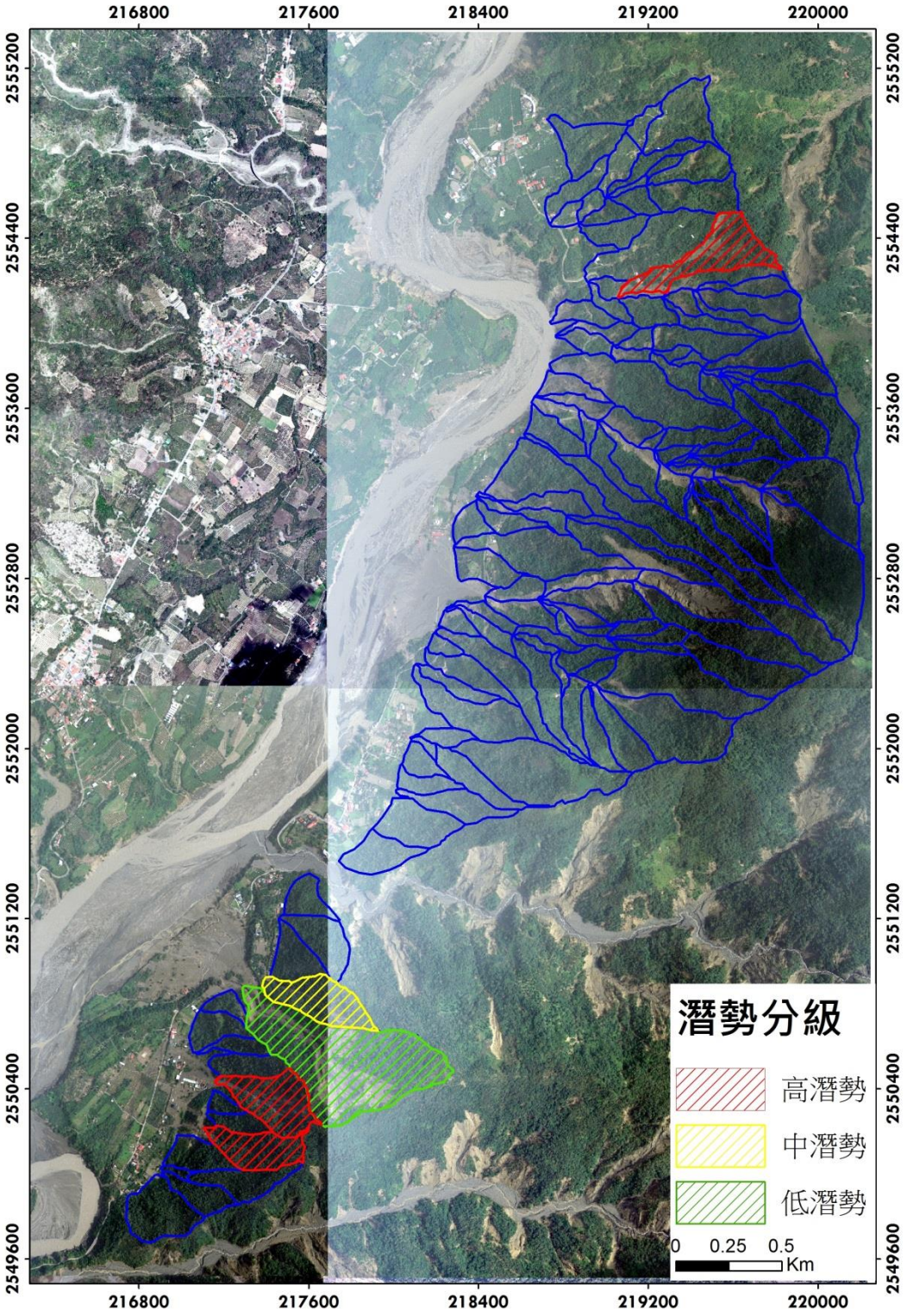


圖 4-116 集水區 B01 之潛勢分析結果

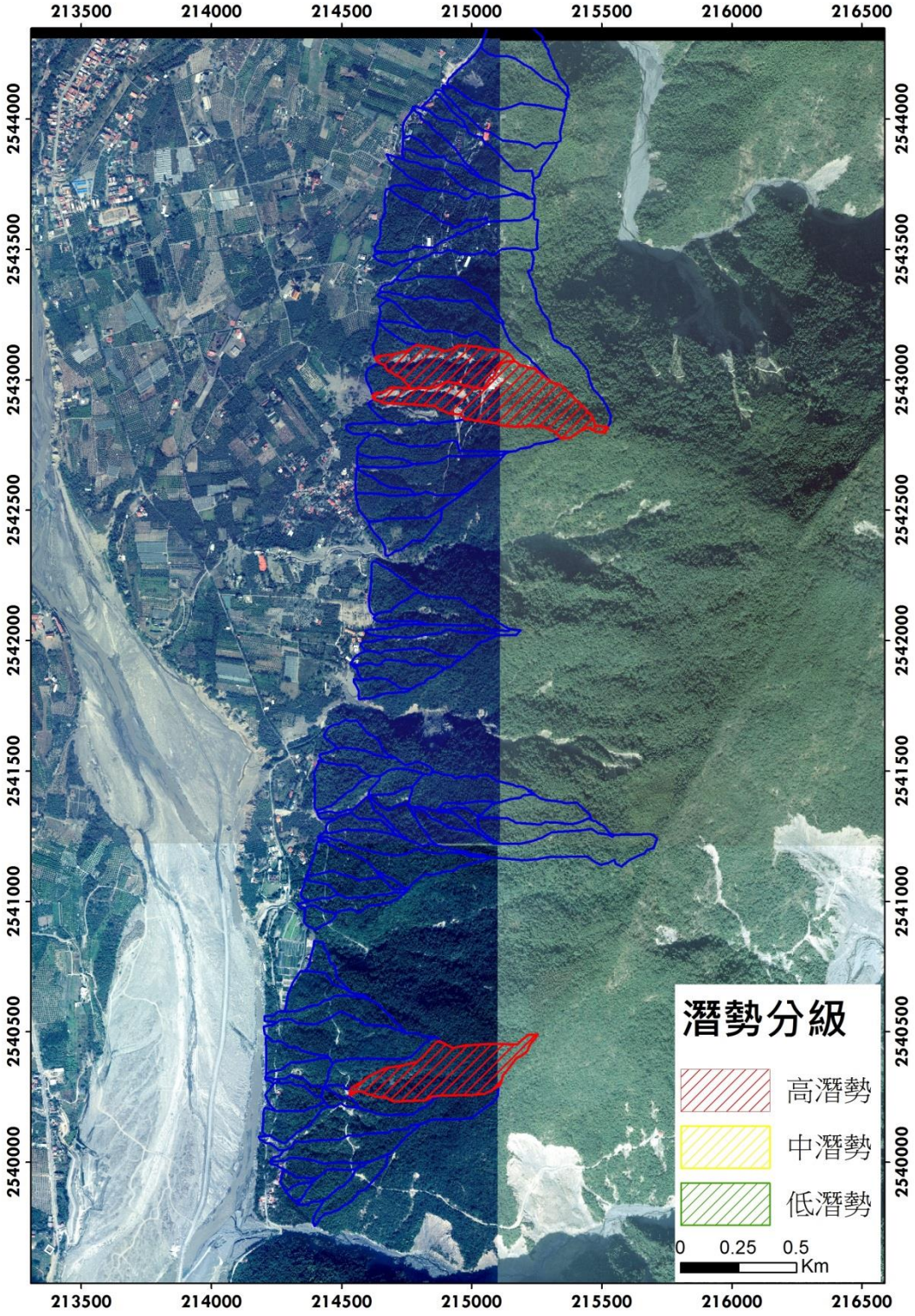


圖 4-117 集水區 B02 之潛勢分析結果

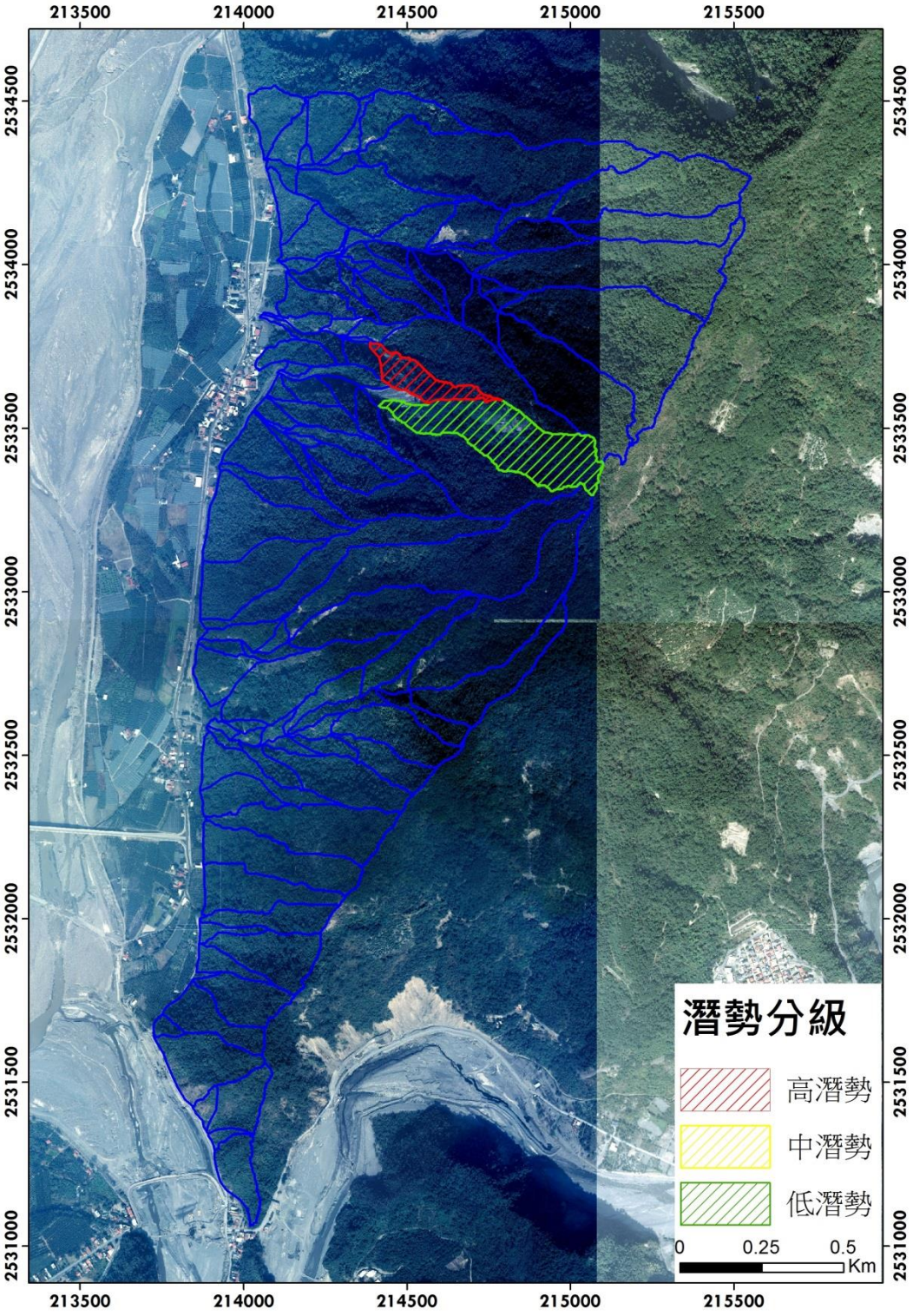


圖 4-118 集水區 B03 之潛勢分析結果

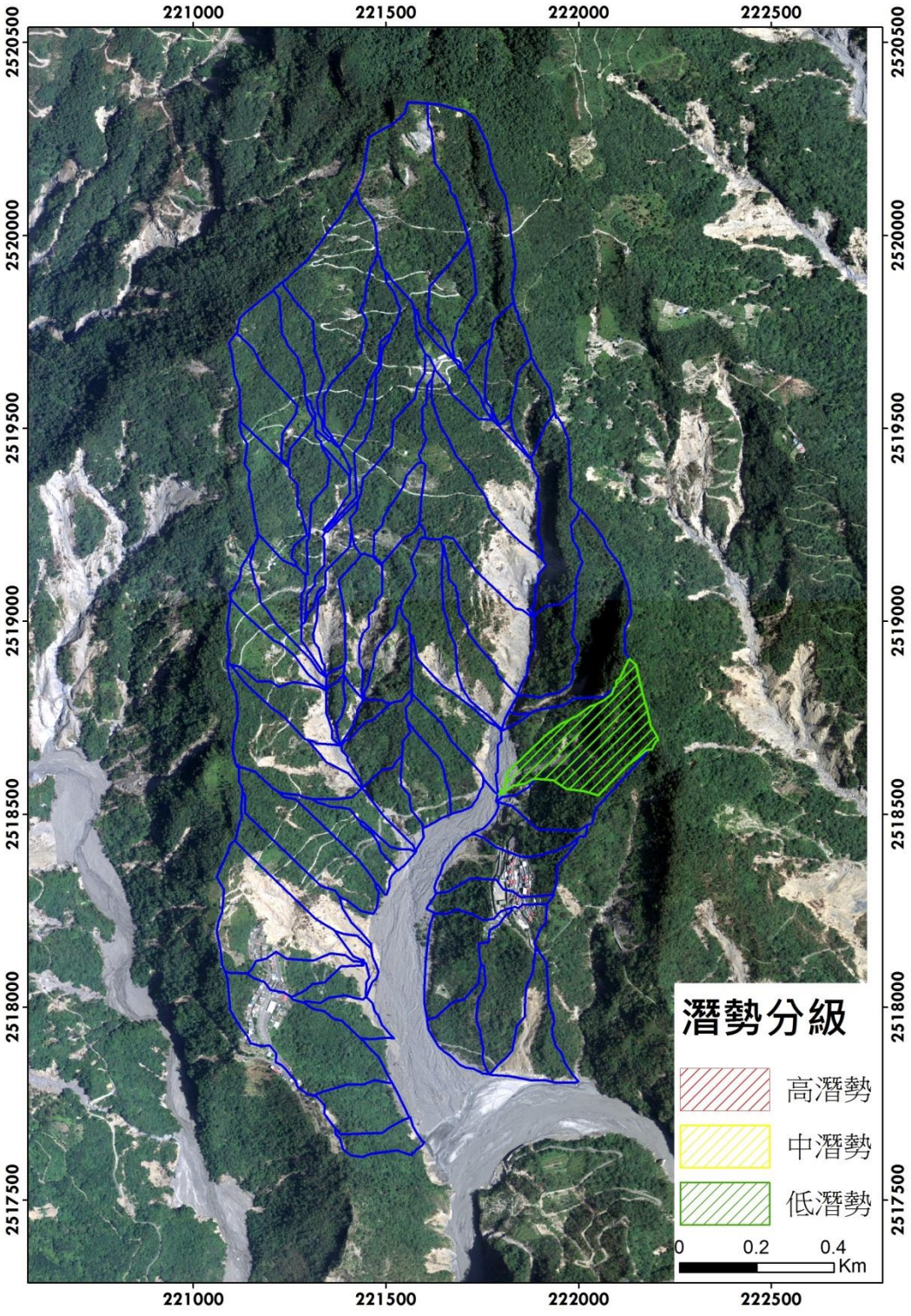


圖 4-119 集水區 B04 之潛勢分析結果

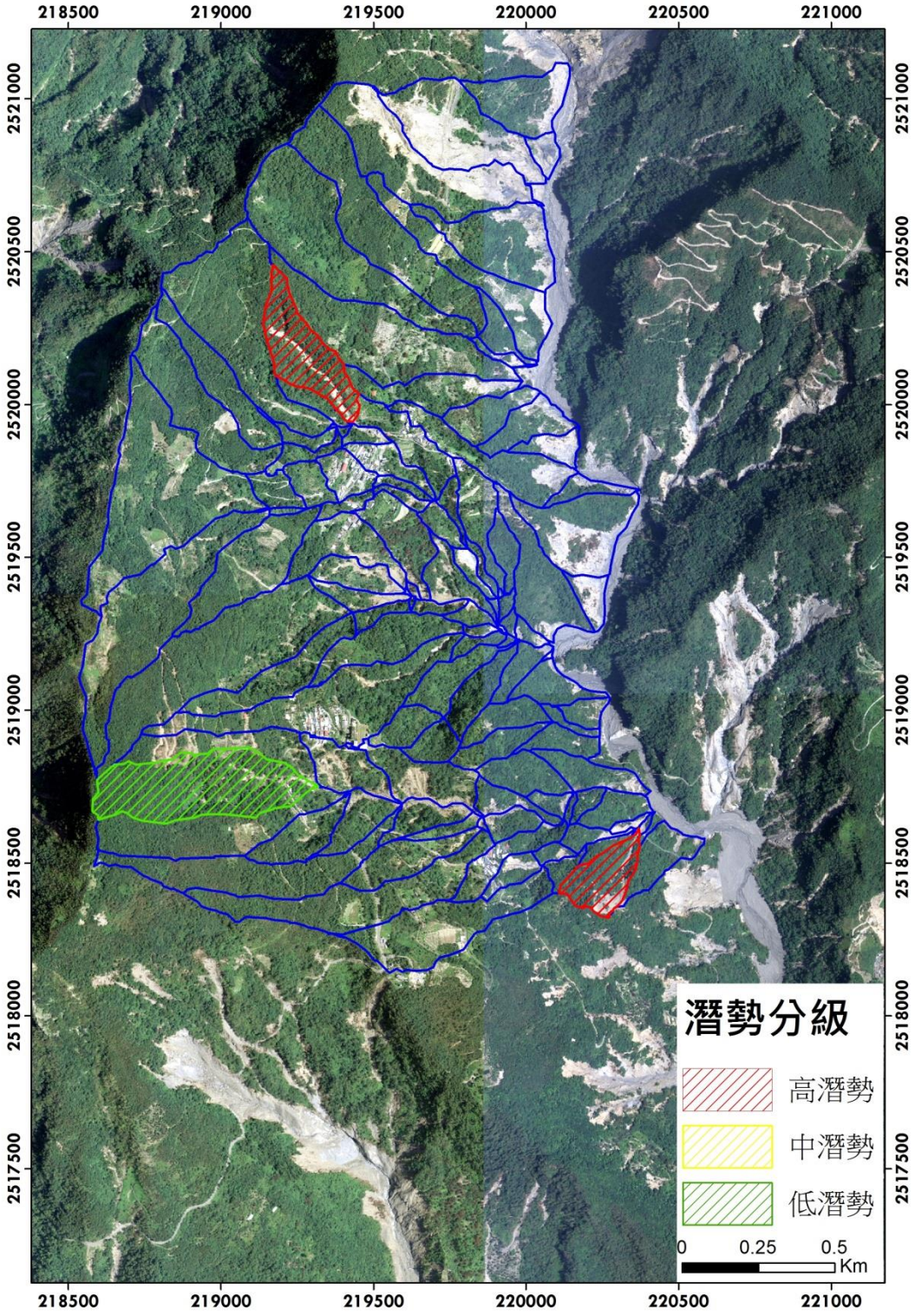


圖 4-120 集水區 B05 之潛勢分析結果

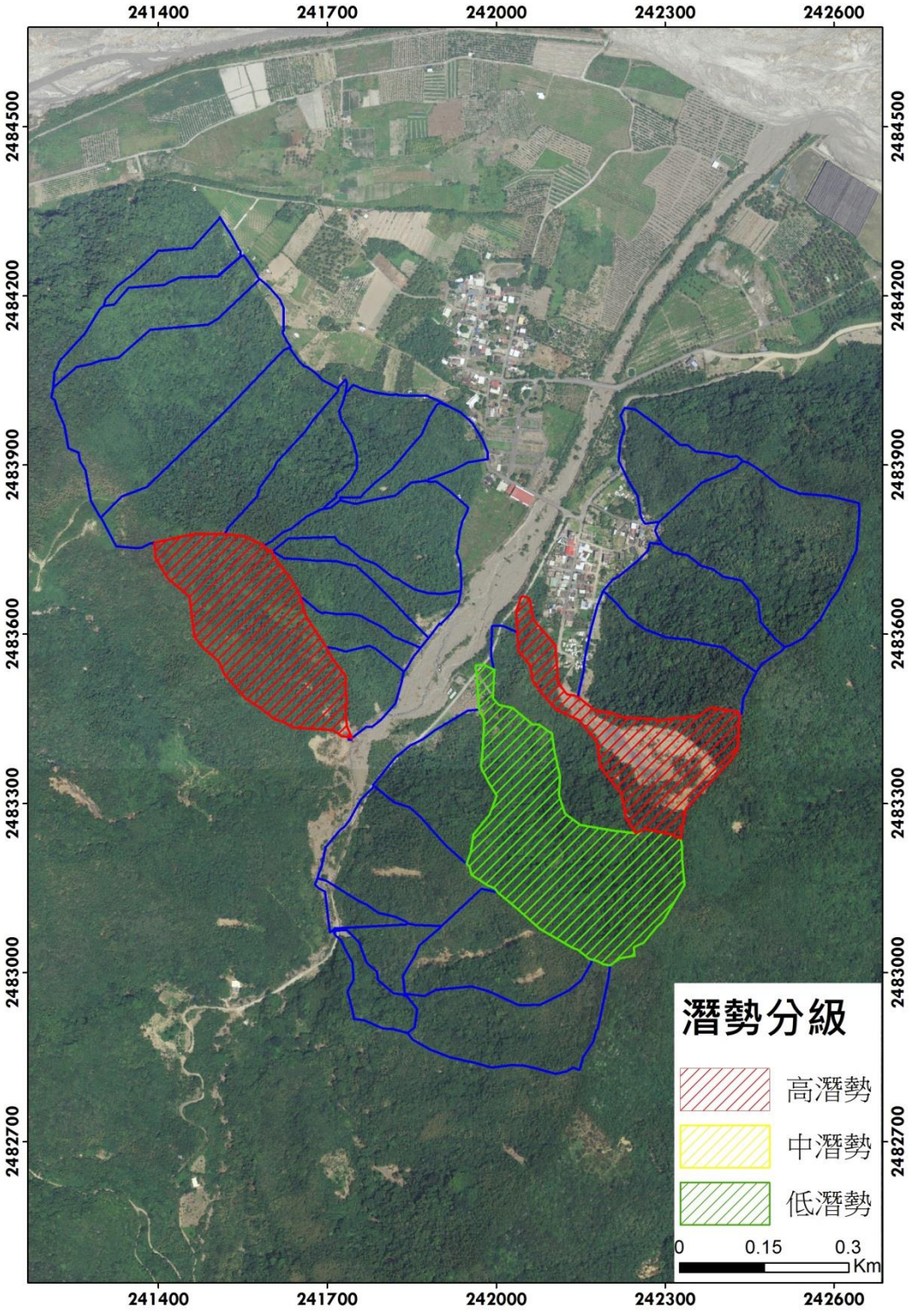


圖 4-121 集水區 B06 之潛勢分析結果

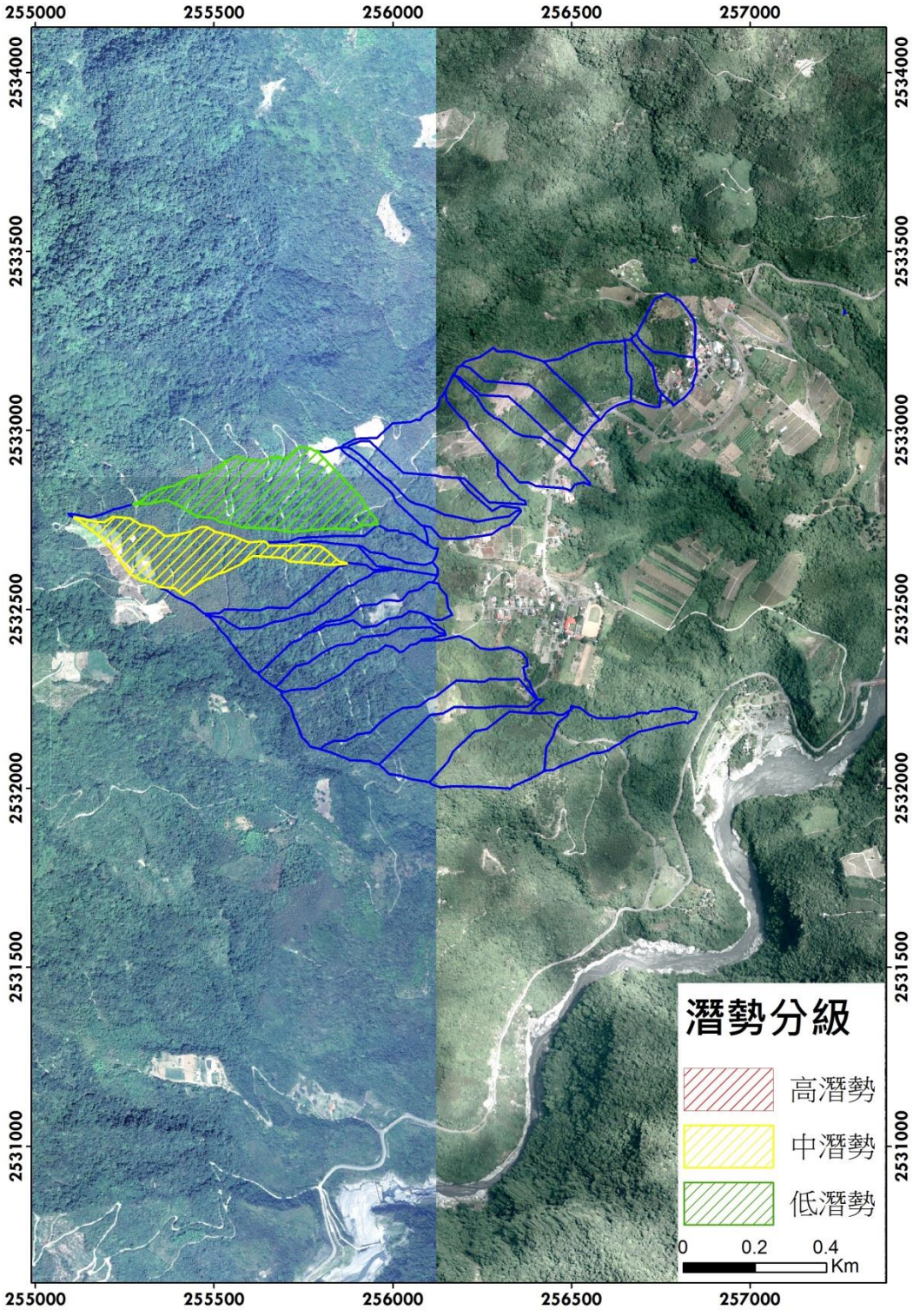


圖 4-122 集水區 B07 之潛勢分析結果

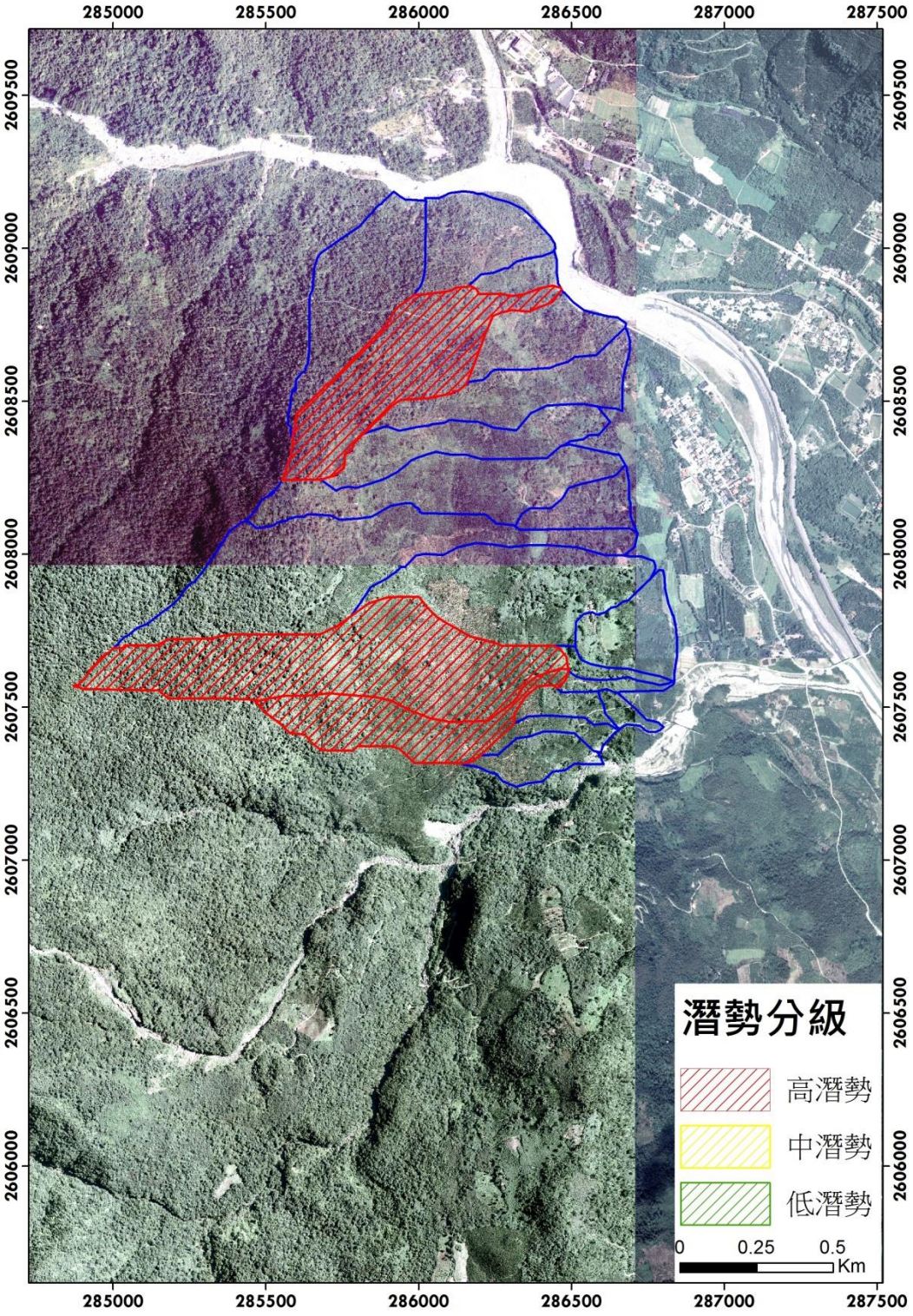


圖 4-123 集水區 B08 之潛勢分析結果

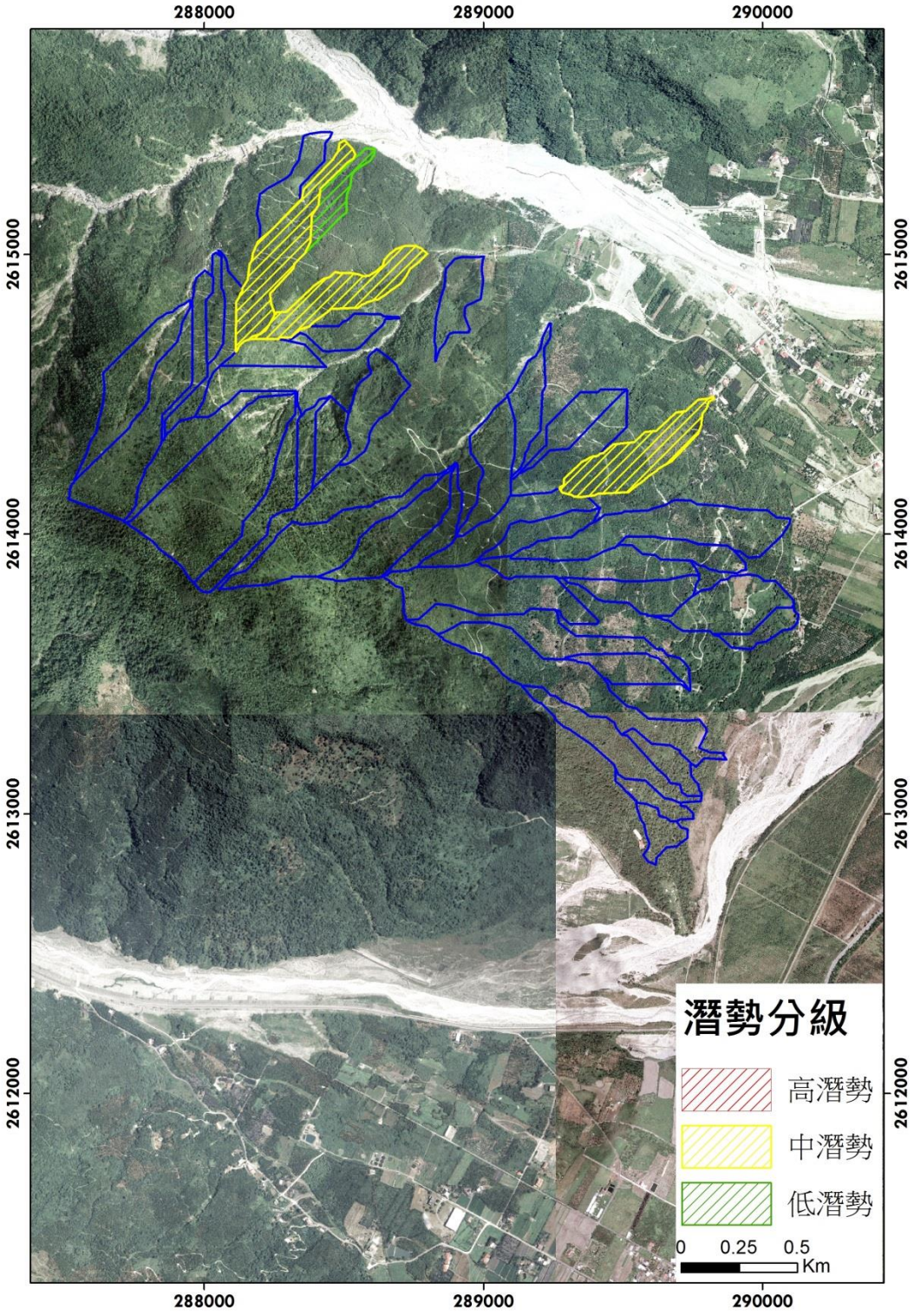


圖 4-124 集水區 B09 之潛勢分析結果

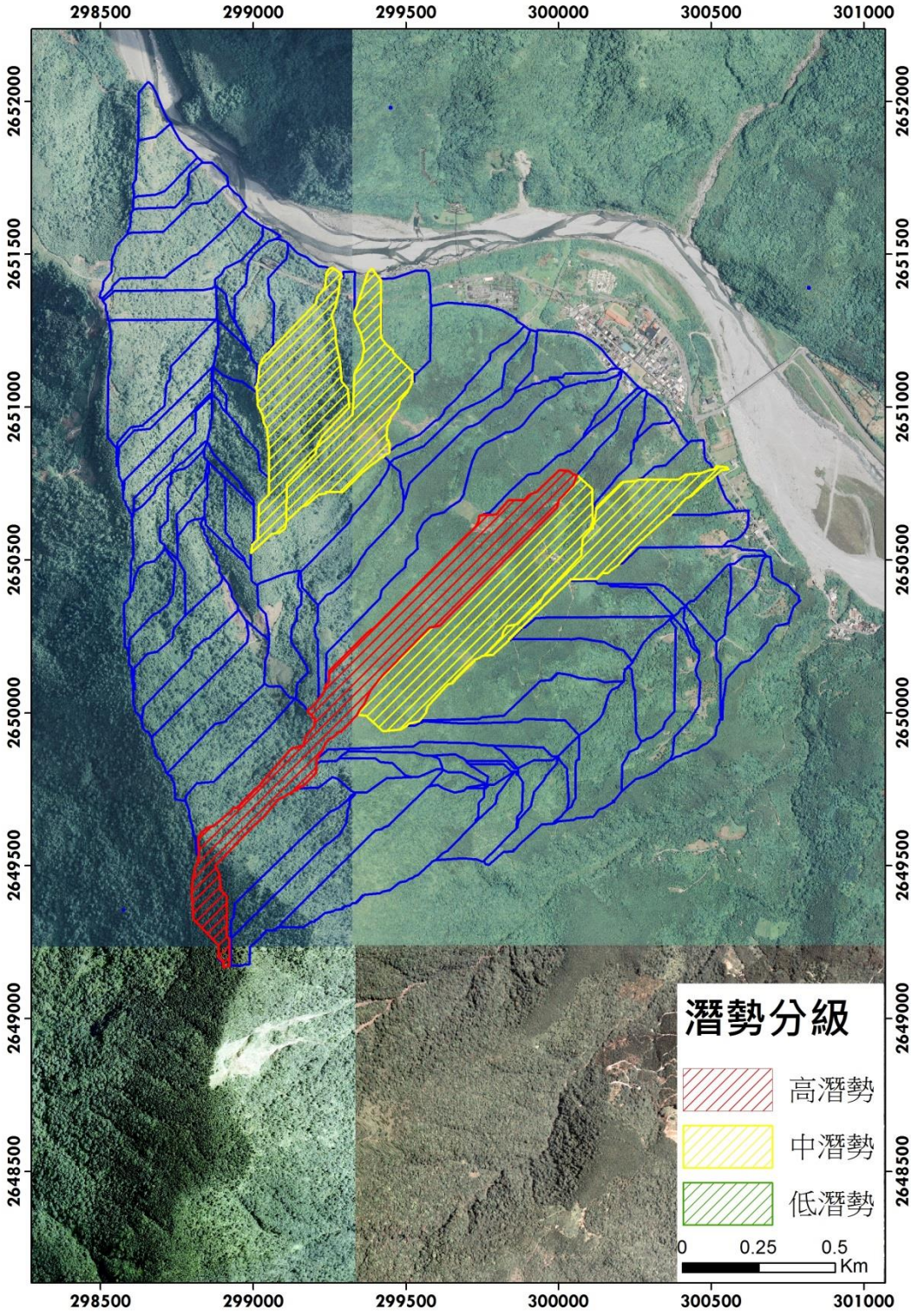


圖 4-125 集水區 B10 之潛勢分析結果

三、聚落潛勢分級成果討論

圖 4-126 統計所有聚落周邊山坡地分析單元潛勢分析結果，坡面型土石流有 53 筆及崩塌坡面(NDF)有 140 筆資料，實際土石流案例主要分布於中與高潛勢，而崩塌單元也多位於中與高潛勢。由於此為判釋後之結果，尚有許多區域交通無法到達，實施現地查核。因此不確定性較高。惟單就土石流單元之成果，仍稍具顯示土石流單元之潛勢特性。

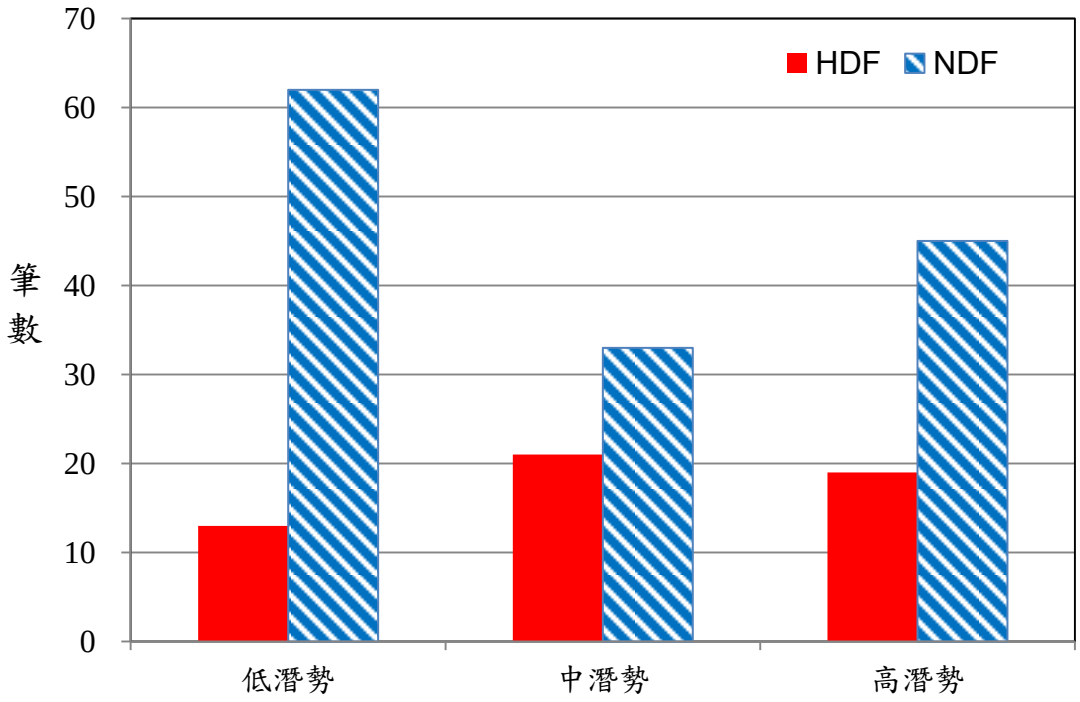


圖 4-126 全部坡面型土石流及崩塌案例之潛勢分級結果

本研究進一步探討不同地質區之成效。於沈積岩區聚落部分，坡面型土石流有 22 筆及崩塌坡面(NDF)有 57 筆資料，潛勢分級結果如圖 4-127 所示。而於變質岩區聚落部分，坡面型土石流有 31 筆及崩塌坡面則有 83 筆資料，潛勢分級結果如圖 4-128 所示。整體而言，變質岩區潛勢分析之成果較佳；而沈積岩區潛勢分析之成果則尚有改進空間，將於後續持續精進。

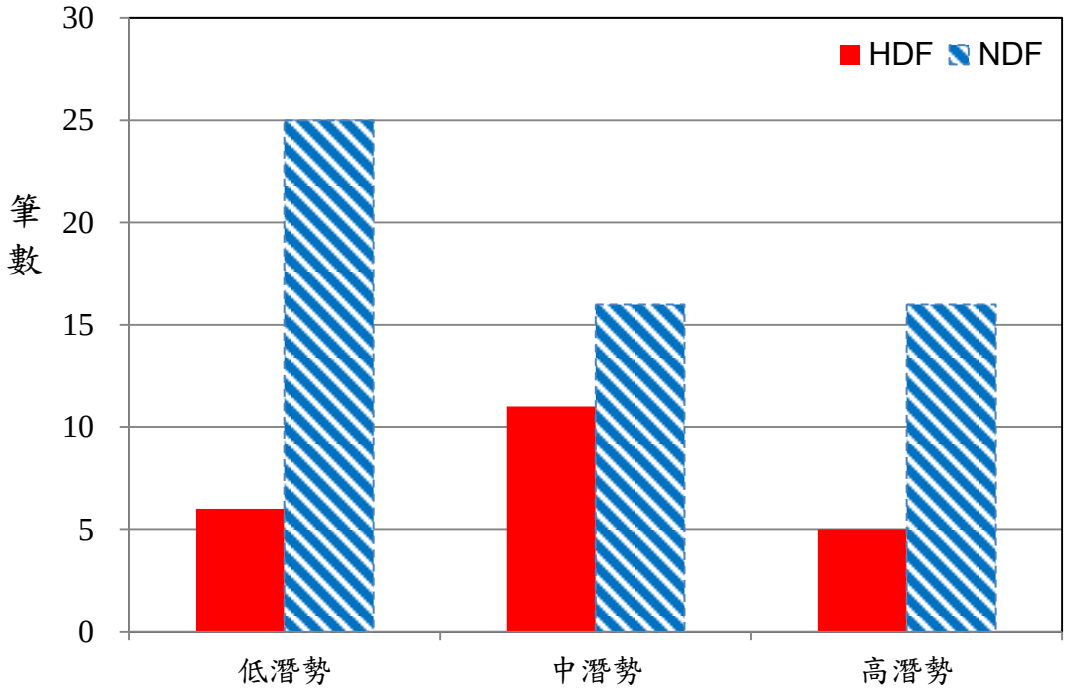


圖 4-127 沈積岩區(A 區)坡面型土石流及崩塌案例之潛勢分級結果

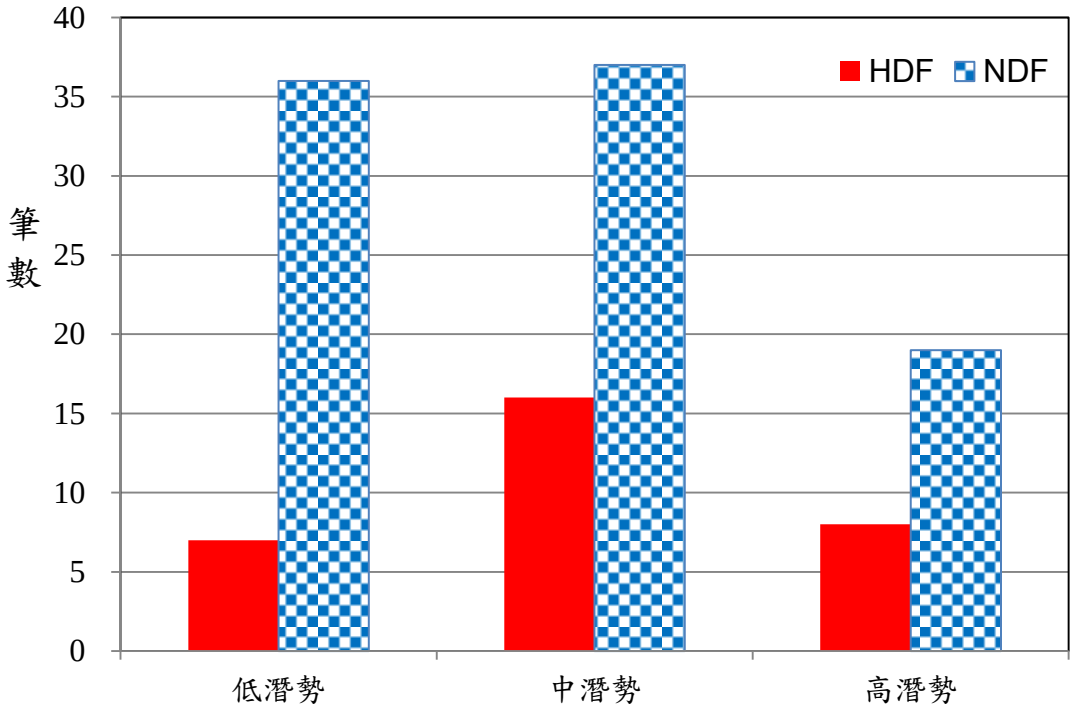


圖 4-128 變質岩區(B 區)坡面型土石流及崩塌案例之潛勢分級結果

本研究進一步就現地查核確認為土石流案例，進行潛勢分級結果分析，成果如圖 4-129 所示，顯示發生潛勢多位於中、高等級。其中，沈積岩區共計 22 處土石流案例，其中 16 處位於中、高潛勢，比例為 73%；變質岩區共計 31 處土石流案例，其中 24 處位於中、高潛勢，比例為 77%。其次，進一步就判釋模式分析後捕抓到之坡面型土石流案例，其之潛勢分級結果(圖 4-130)進行探討。如圖所示，顯示土石流案例發生潛勢主要位於中、高等級。其中，沈積岩區共計 17 處土石流案例，其中 16 處位於中、高潛勢，比例為 94%；變質岩區共計 27 處土石流案例，其中 23 處位於中、高潛勢，比例為 85%。

總體而言，本計畫潛勢分級成果與實際土石流發生趨勢相符。綜合以上，顯示本計畫已獲取相當不錯之研究成果。惟台灣本島地質複雜，因此仍建議沈積岩及其他地質區則可再發展更精進之分析模式。

HDF	低潛勢	中潛勢	高潛勢
A 區	6	11	5
B 區	7	10	14

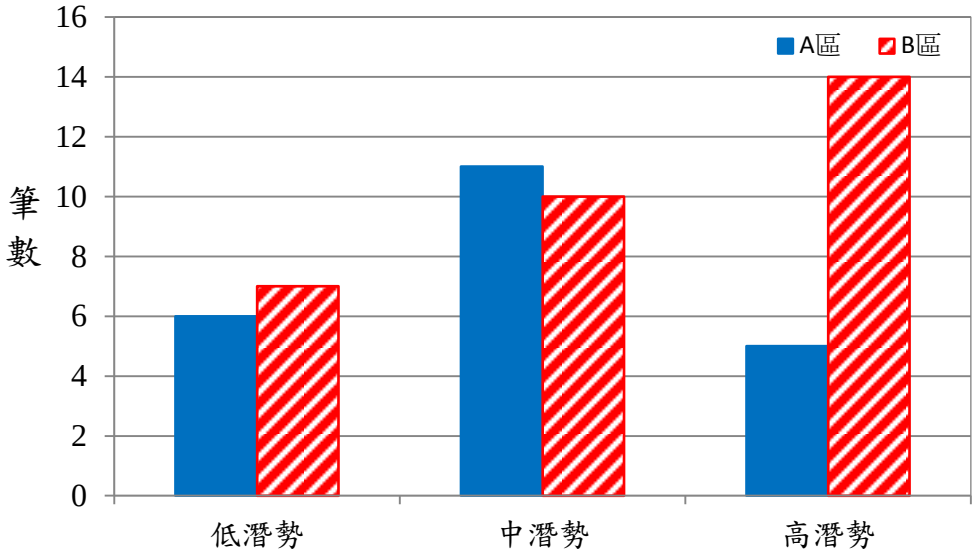


圖 4-129 實際發生坡面型土石流案例之潛勢分級結果

HDF-capture	低潛勢	中潛勢	高潛勢
A 區	1	11	5
B 區	4	9	14

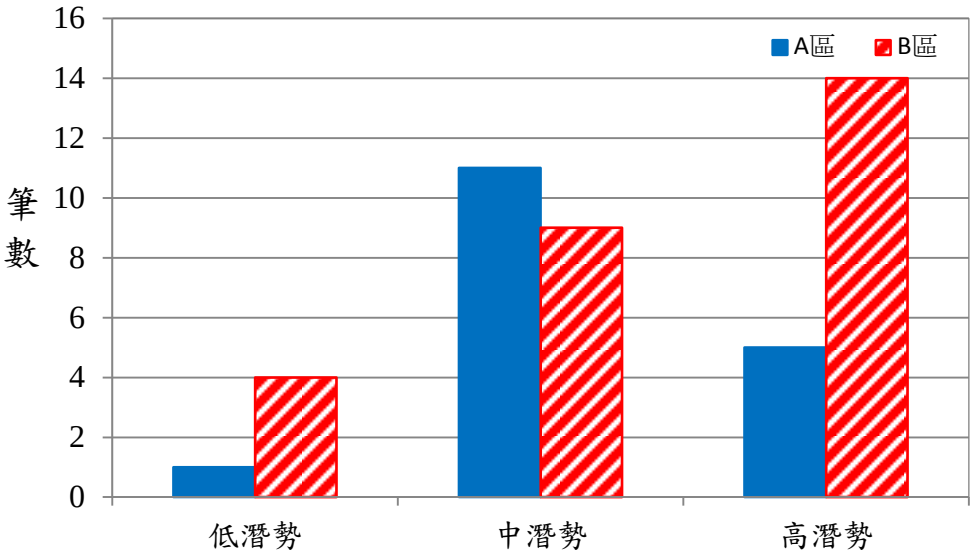


圖 4-130 判釋模式分析後捕抓到之坡面型土石流案例潛勢分級結果

四、各聚落潛勢分級成果討論

就沈積岩各聚落判釋結果統計圖 4-131 所示，沈積岩各區判釋結果百分比統計圖 4-132 所示，

低潛勢中，A01 區有 3 筆、A02 區有 0 筆、A03 區有 3 筆、A04 區有 3 筆、A05、A06 區有 3 筆、A07 區有 8 筆、A08 區有 5 筆、A09 區有 14 筆、A10 區有 13 筆；其中，A01 區佔 27%、A02 區 0%、A03 區 17%、A04 區 25%、A05、A06 區 20%、A07 區 44%、A08 區 20%、A09 區 38%、A10 區 37%。

中潛勢中 A01 區有 6 筆、A02 區有 2 筆、A03 區有 6 筆、A04 區有 6 筆、A05、A06 區有 5 筆、A07 區有 6 筆、A08 區有 12 筆、

A09 區有 8 筆、A10 區有 8 筆；其中，A01 區佔 55%、A02 區 100%、A03 區 33%、A04 區 50%、A05、A06 區 33%、A07 區 33%、A08 區 48%、A09 區 22%、A10 區 23%。

高潛勢中 A01 區有 2 筆、A02 區有 0 筆、A03 區有 9 筆、A04 區有 3 筆、A05、A06 區有 7 筆、A07 區有 4 筆、A08 區有 8 筆、A09 區有 15 筆、A10 區有 14 筆。其中，A01 區佔 18%、A02 區 0%、A03 區 50%、A04 區 25%、A05、A06 區 47%、A07 區 22%、A08 區 32%、A09 區 41%、A10 區 40%。

整體而言，潛勢分級成果與各分析單元發生坡面型土石流或崩塌之趨勢相近。目前沈積岩區之 10 區聚落內發生坡面型土石流單元共計 22 處，落於低、中、高潛勢內分別為 6、11、5 處。整體而言，就百分比來看以 A01 及 A08 區潛勢較高，惟就筆數而言，以 A08、A09、A10 區潛勢數量較多，因此沈積岩區中以 A08(山美聚落) 、A09(新美聚落)、A10(瑪雅聚落)等三區危險性較高。

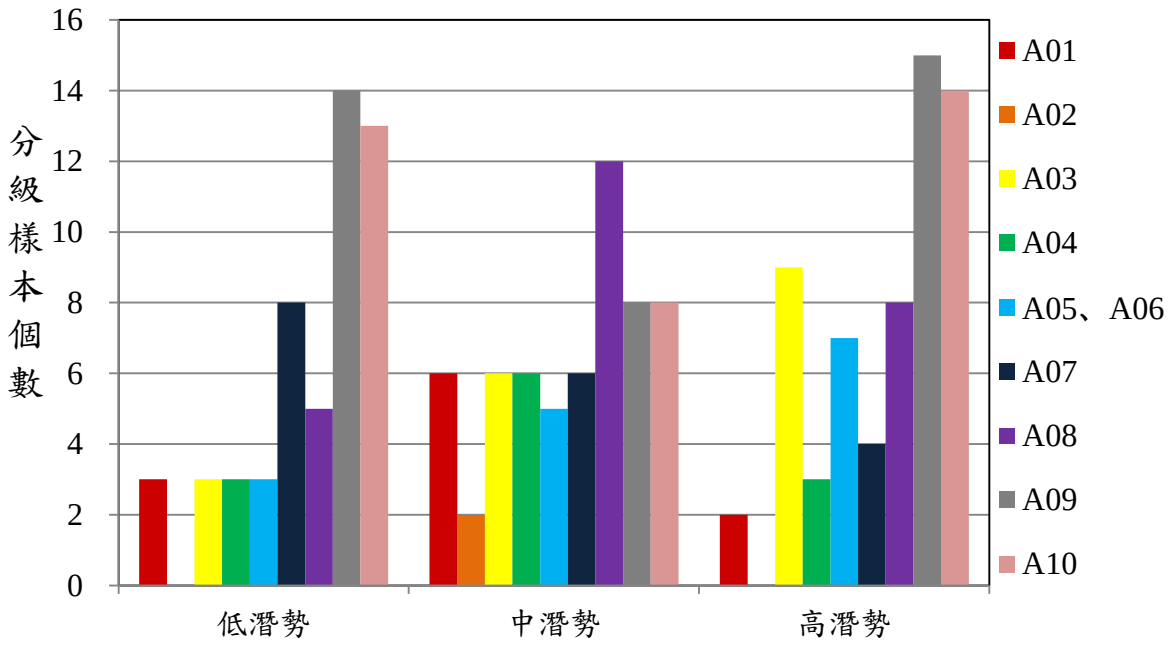


圖 4-131 沈積岩 A 區 10 聚落判釋結果統計圖

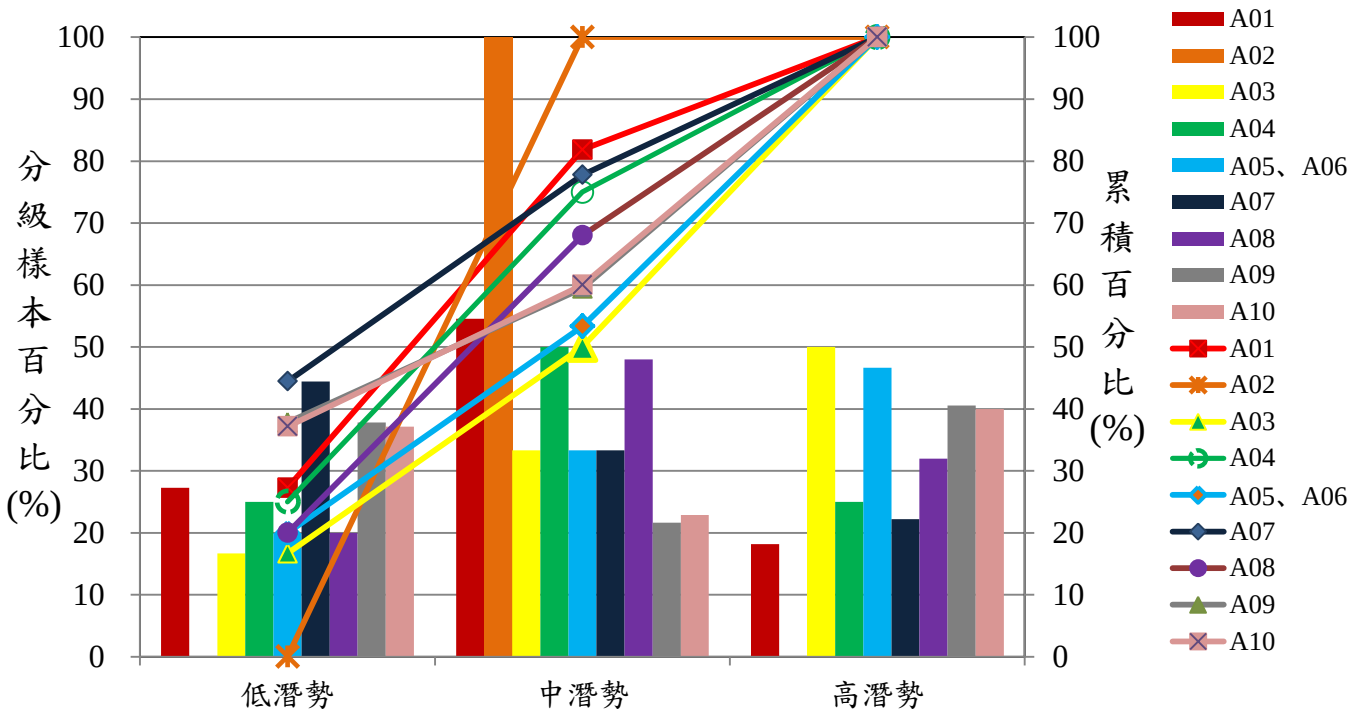


圖 4-132 沈積岩 A 區 10 聚落判釋結果百分比統計圖

變質岩區各區判釋結果統計圖 4-133 所示，而變質岩區各區判釋結果百分比統計圖 4-134 所示。

低潛勢中 B01 區有 19 筆、B02 區有 4 筆、B03 區有 10 筆、B04 區有 14 筆、B05 區有 13 筆、B06 區有 2 筆、B07 區有 6 筆、B08 區有 2 筆、B09 區有 23 筆、B10 區有 19 筆；其中，B01 區佔 33%、B02 區佔 10%、B03 區 30%、B04 區 54%、B05 區 38%、B06 區 25%、B07 區 33%、B08 區 25%、B09 區 59%、B10 區 68%。

中潛勢中 B01 區有 25 筆、B02 區有 6 筆、B03 區有 2 筆、B04 區有 4 筆、B05 區有 8 筆、B06 區有 1 筆、B07 區有 6 筆、B08 區有 1 筆、B09 區有 14 筆、B10 區有 8 筆；其中，B01 區佔 43%、B02 區佔 14%、B03 區 6%、B04 區 15%、B05 區 24%、B06 區 13%、B07 區 33%、B08 區 13%、B09 區 36%、B10 區 29%。

高潛勢中 B01 區有 14 筆、B02 區有 32 筆、B03 區有 21 筆、B04 區有 8 筆、B05 區有 13 筆、B06 區有 5 筆、B08 區有 5 筆、B09 區有 2 筆、B10 區有 1 筆。其中，B01 區佔 24%、B02 區佔 76%、B03 區佔 64%、B04 區佔 31%、B05 區佔 38%、B06 區佔 63%、B07 區佔 33%、B08 區佔 63%、B09 區佔 5%、B10 區佔 4%。

整體而言，潛勢分級成果與各分析單元發生坡面型土石流或崩塌之趨勢相近。目前變質岩區之 10 區聚落內發生坡面型土石流單元中共計 31 處，落於低、中、高潛勢分別為 7、10、14 處。整體而言，位於變質岩區中筆數以 B01 區潛勢較多，而就百分比來看以 B01 及 B03 區潛勢較高，故變質岩中 B01 區(新開聚落)及 B03 區(大津聚落)危險性較高。

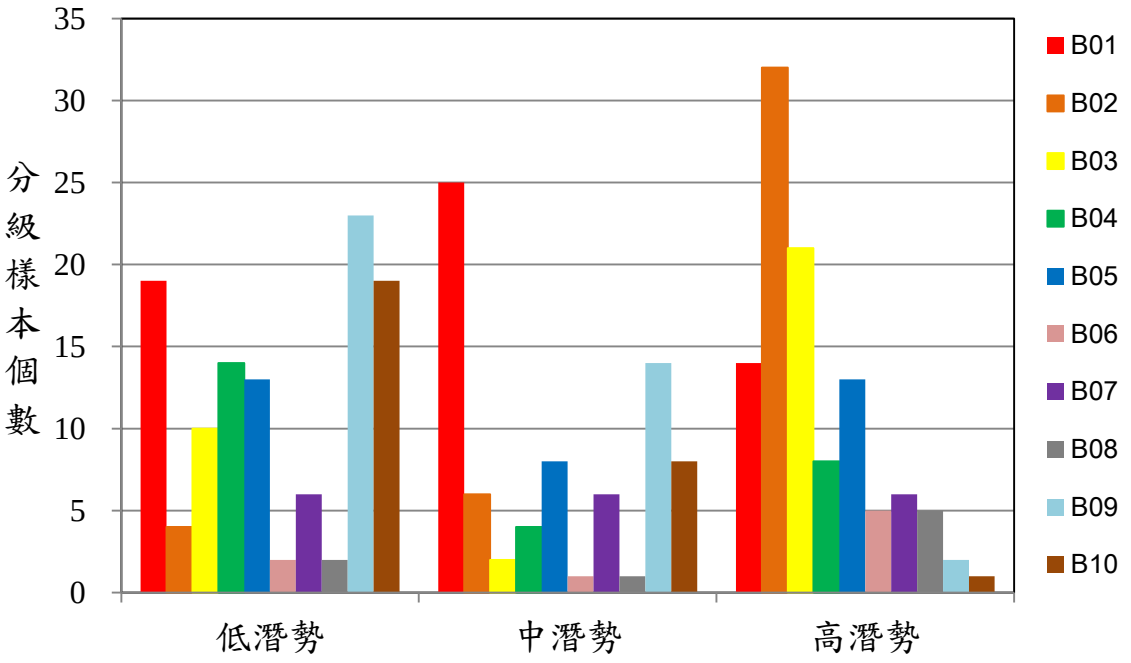


圖 4-133 變質岩 B 區 10 聚落判釋結果統計圖

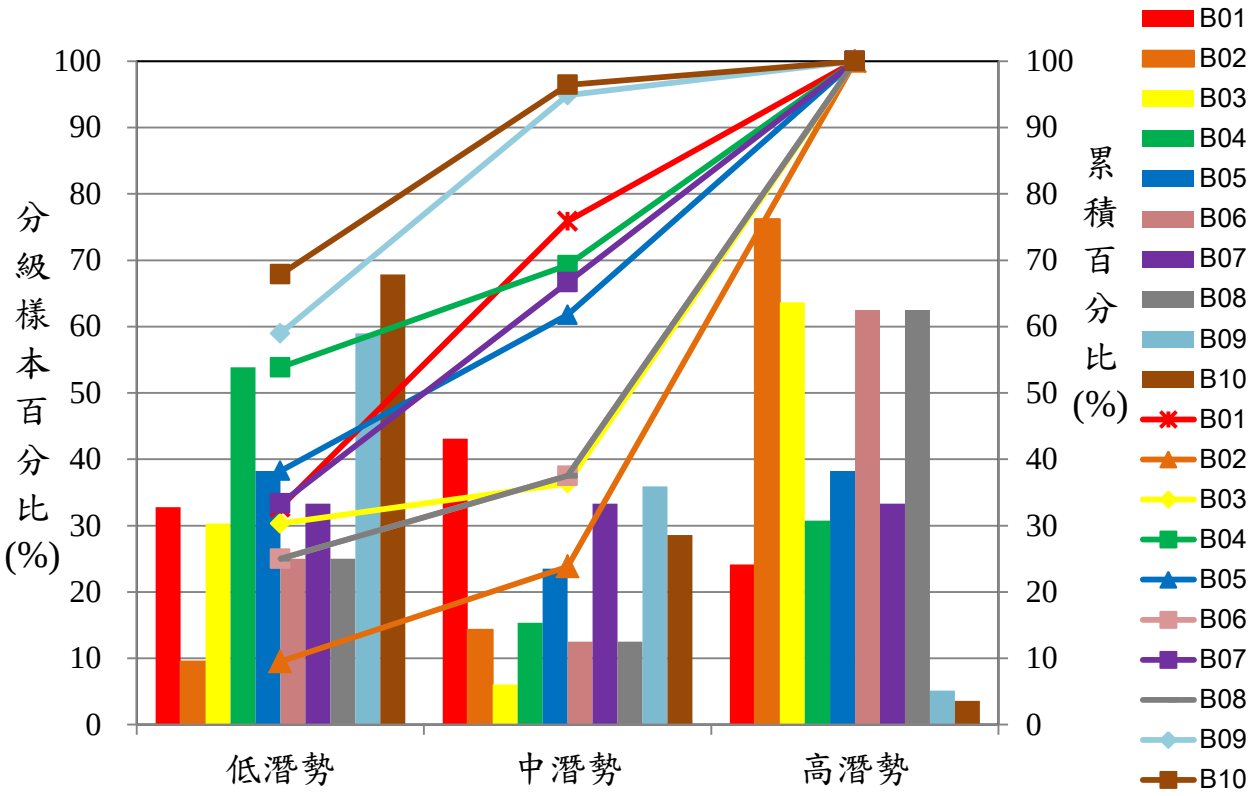


圖 4-134 變質岩 B 區 10 聚落聚落判釋結果百分比統計圖

第五章 結論

本計畫應用坡面單元概念，新建與精進沈積岩、片岩與板岩地質區之坡面型土石流地形判釋模式。本判釋模式再應用於中部陳有蘭溪及高屏溪流域內典型沈積岩 10 處，及南部及花東變質岩地質區之 10 處聚落進行評估，而後再進而訂定出土石流潛勢分級模式。綜整結論如下：

本計畫應用坡面單元概念，新建與精進沈積岩、片岩與板岩地質區之坡面型土石流地形判釋模式。本判釋模式再應用於中部陳有蘭溪及高屏溪流域內典型沈積岩 10 處，及南部及花東變質岩地質區之 10 處聚落進行評估，而後再進而訂定出土石流潛勢分級模式。綜整結論如下：

1. 本研究收集本研究收集高屏溪流域 2009 年莫拉克颱風豪雨引致之坡面型土石流案例 55 處，崩塌事件 55 處。同時建置 19 項特性因子分析資料庫。
2. 本研究以「崩塌坡面單元」概念，擬定坡面型土石流判釋分析單元圈畫方法。經試用顯示，此分析單元劃分模式之應用性優良。
3. 本研究完成板岩區、片岩區及沈積岩區之坡面型土石流新判釋模式，變質岩區獲得正判率達 87.5%，沈積岩正判率則達 90%，土石流單元判釋成效優良。模式應用至 20 研究區時，亦可達到良好之捕抓率。
4. 本計畫完成潛勢分級方法。就現地查核確認為土石流案例之潛勢分析狀況而言，沈積岩區共計 22 處土石流案例，其中 16 處位於中、高潛勢，比例為 73%；變質岩區共計 31 處土石流案例，其中 24 處位於中、高潛勢，比例為 77%。總體而言，土石流案例其評估之發生潛勢多位於中、高等級，成果與實際土石流發生趨勢相

符。

5. 聚落坡面型土石流潛勢評估結果顯示，沈積岩區中以 A08(山美聚落) 、A09(新美聚落)、A10(瑪雅聚落)等三區危險性較高。變質岩中則以 B01 區(新開聚落)及 B03 區(大津聚落)危險性較高。
6. 綜合成果顯示，本研究發展之地形判釋模式及潛勢分析方法，可提供作為評估聚落周緣山坡發生坡面型土石流事件之潛能，能早期掌握土石流危險區域，降低災害之衝擊。
7. 惟台灣本島地質複雜，因此仍建議沈積岩及其他地質區(如台地、火成岩、廣域變質岩及海岸山脈等)則可再發展更精進之分析模式。

參考文獻

1. 王振宇，坡面型土石流判勢準則與地形演化作用，碩士論文，國立屏東科技大學，水土保持研究所，屏東，2012。
2. 王隆昌,溪頭地區坡地型土石流地形及發生特性研究,碩士論文,國立成功大學，地球科學研究所，臺南，2005。
3. 呂岡侃，徐美玲，「南投縣九九峰土石流發生區之地形特徵」，地理學報，第 38期，第 1-16頁，2004。
4. 何明憲,台灣中部災區坡地型土石流發生特性之研究,碩士論文,國立臺灣大學，土木工程學研究所，臺北，2003。
5. 行政院農業委員會水土保持局,桃芝颱風災區土石流災害潛勢分析成果報告，2001。
6. 李錫堤，「山崩及土石流災害分析的方法學回顧與展望」，台灣公共工程學刊 第五卷 第一期，第1-29頁，2009。
7. 林美聆，陳天健，「研修土石流潛勢溪流影響範圍劃設方法」，農業委員會水土保持局研究報告，2010。
8. 林美聆、陳天健，王國隆，機率化土石流潛勢溪流影響範圍劃設與分析，農委會水土保持局，2011。
9. 林美聆，陳天健，洪鳳儀，王國隆，賴達倫，陳有蘭溪流域示範區土石流溪流潛勢分析方法,防災國家型科技計畫九十年度成果報告，2001。
10. 林慶偉、謝正倫與王文能， “集集地震對中部災區崩塌與土石流之影響.”，臺灣之活動斷層與地震災害研討會，124-134頁，2002。
11. 游繁結，吳仁明，翁緯明，「礫石層邊坡形成土石流之微地形探

討」，中華水土保持學報，第 37卷，第 4期，第 329-340頁，2005。

12. 周憲德，山崩型土石流災害之探討---子計畫：邊坡淺層崩塌引發土石流之機制研究(I) ，國科會研究計畫，2005。
13. 周憲德，土石流防災與監測之研究---土石流潛勢判定模式之研究，國科會研究計畫，1999。
14. 周憲德，“邊坡破壞與地滑轉化成土石流之研究(一)”，國家科學委員會研究計畫，NSC90-2625-z-008-006，2002。
15. 游繁結，土石流災害防治之研究-以南投示範區(陳有蘭溪)為對象-子計畫：溪谷邊坡崩滑土體之土石流化機制研究(I) ，國科會研究計畫，2001。
16. 游繁結、吳仁明、翁緯明，“礫石層邊坡形成土石流之微地形探討”，中華水土保持學報，第37卷，第4期， 329-340頁，2005。
17. 建設省河川局砂防部砂防課，土石流危險溪流および土石流危險區域調查要領，日本，1989。
18. 陳天健、吳嘉俊，莫拉克颱風重點聚落勘查-坡地災害組II，國家災害防救科技中心，2009。
19. 陳天健、王振宇、陳柏龍，坡面型土石流之地形特徵與判別方法，中華水土保持學報, 46(3): 133-141，2015。
20. 陳天健、羅元勳、楊婉君、陳柏龍，「坡面型土石流地形判釋分析模式」，中華水土保持學報，第47卷，第2期，95-102頁，2016。
21. 陳晉琪、李明熹、臧運忠、張師鐸、呂家豪、陳欣玫，“台灣土石流堆積特性之研究”，農業委員會水土保持局研究報告，2007。
22. 陳晉琪、謝正倫、林慶偉，「台灣中部地區土石流發生溪流之地

形特性」，中華水土保持學報，第三十五卷，第一期，第25~34頁，2004。

23. 陳榮河，坡地災害引起土石流發生機制之整合研究—總計畫暨子計畫：邊坡破壞引發土石流之機制研究-以土石流源頭為對象，國科會研究計畫，2004。
24. 曾國源、張斐章，以共用臨域類神經網路架構土石流預警系統之研究，中華水土保持學報，第37卷，第3期，259 -270頁，2006。
25. 黃宏斌，胡聖賢，李偉哲，黃彥文，蘇立明，「坡地土石流發生機制研究」，國家科學委員會研究計畫，NSC90-2625-z-002-017，2002。
26. 謝育樺，南投地區土石流發生潛勢分析，國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文，2007。
27. 謝正倫，桃芝颱風災區土石流災害潛勢分析成果報告書，行政院農業委員會水土保持局，2001。
28. Benda, L., Hassan, M. A., Church, M., and May, C.L.,“Geomorphology of Steepland Headwaters: The transition From Hillslopes to Channels.” Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) Vol. 41, No.4, pp.835-851, 2005.
29. Brunsden, D., In process in geomorphology, Edward Arnold Ltd., London, pp. 130-186, 1979.
30. Cruden, D. M., and D. J. Varnes, Landslide typesand processes, in Landslides: Investigation and Mitigation, edited by A. K. Turner, and R. L. Schuster, pp.26-75, Special Report 247, National Academy Press, Washington, D.C., 1996.
31. Dietrich, W.E. and Montgomery, D.R., “A Physically Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding,” Water Resources research, Vol. 30, No.4, pp. 1153-1171, 1994.

32. Evans, S. G., “Landslides and surficial depositsin urban area of British Columbia.” Canadian Geotechnical Journal, Vol.19, pp.269-288, 1982.
33. Hungr, O., Morgan, G. C., Kellerhals, R., “Quantitativean alysis of debris torrent hazards for design of remedial measures,” Canadian Geotechnical Journal, Vol. 21, No.4, pp. 663-677, 1984.
34. Iverson, R. M., M. E. Reid, R. G. La Husen, Debris flow mobilization from landslides, Annu. Rev. Earth Planet. Sci., Vol. 25, pp.85-138, 1997.
35. Jakob, M., and Hungr, O., Debris-flow hazards andrelated phenomena : Springer, Berlin, New York, 170 p, 2005.
36. Jeng-Wen Lin, Cheng-Wu Chen, Cheng-Yi Peng, “Potential hazard analysis and risk assessment of debris flow by fuzzy modeling,”Natural Hazards, 2012, Vol. 64, No.1, pp.273-282,2012.
37. Jomelli, V., Brunstein, D., Grancher, D., and Pech, P., “Is the Response of Hill Slope Debris Flows to Recent Climate Change Univocal? A Case Study in the Massif Des Ecrins (French Alps),” Climatic Change, Vol. 85, pp.119-137,2007.
38. Lorente, A., García-Ruiz, J.M., Beguería, S., and Arnáez, J., “Factors Explaining the Spatial Distribution of Hillslope Debris Flows: A Case Study in the Flysch Sector of the Central Spanish Pyrenees,” Mountain Research and Development, Vol. 22, No. 1, pp.32-39,2002.
39. Stock J. and Dietrich W. E., “Valley incision by debris flows:7 - 105/04/13 17:23:09 Evidence of a topographic signature,” Water Resources Research, Vol.39, No.4, April, 2003.
40. Thomas Glade, “Linking debris-flow hazard assessments with geomorphology , ” Geomorphology , Vol. 66, No.1-4, pp.189-213, 2005.

41. Takahashi T , Debris flows. Annu Rev Fluid Mech Vol.13, pp.57-77, 1981.

附錄

附錄一、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	委員意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見		
一	表 4-2 中出現 QT 參數，所代表為何？建議未來可以由表 4-2 中挑選出影響正判率的最重要因子，並論述其之所以成為重要因子的理由。	1.QT 為誤植，已修訂。 2.因子之選定為採計其可達最佳之正判率為原則。
二	P.66 圖 4-51 有關潛勢度的分界指標，目前分別選定為 0.5 及 1.8，其依據為何？宜加強說明。	坡面型土石流潛勢分級之方法，為將函數值分佈曲線累積百分比分成三份，其分別為低中與高潛勢。因此潛勢分級為以發生機率之累積積率百分比曲線，將此曲線面積分成三等份,可得分界指標為 0.5 與 1.8。
三	崩塌與坡面型土石流是否容易釐清？其差異？是否可納入其他崩塌案例。	各聚落均實施現地查核，且依再現調結果判釋該處是否為崩塌或坡面型土石流。
四	本研究以聚落為出發點，值得肯定，建議如何釐清可能影響聚落的坡面？	本研究以集水區之觀念，將聚落作為最低點，以土砂會影響聚落之山坡，作為分析坡地之範圍界定。

五	表4-2 從多項因子收斂成六項因子仍有 87.5%的正判率，個人非常肯定這一項結果。	謝謝委員肯定。
六	目前歸納出來的方程式，是否可以適合各種不同岩性？	經本年度研究成果顯示，各地質區各有其適用之判釋模式。
七	建議加強坡面單元劃分方法之說明。	因坡面單元劃分方法為上年度研究成果，因此於本年度報告中精簡說明，敬請見諒。
八	研究成果豐碩，具體明確。	謝謝委員肯定。
九	判釋之準確率可考慮加上誤判率，並歸納出整體準確率。	本研究準確率已同時考慮正判及誤判率。
十	加強建立土石流潛勢評估方法值得持續精進，經由長期各區域的擴增，可以增加對土石流潛勢溪流的掌握及防災工作的推動。	謝謝委員指導。
十一	需注意區別分析用了 19 個因子，太多因子可能讓模式不容易使用，看不出重點。	謝謝指導，判釋準則目前採用6-7 因子。
十二	坡面型土石流判識原則，如何回饋到現行水保局土石流潛勢溪流劃定之方式。	因目前尚在研發階段，因此尚未涉及本議題。未來可考慮以山區聚落為單位，先行圈畫潛勢單元。
十三	是否能大略分析數件案例當其發生時之有效降雨量，並與	謝謝指導。本研究尚無考慮降雨因素。

	現行水保局土石流警戒基準值比較。	
十四	本案目前驗證成果以變質岩區之成果較佳，惟沈積岩區是否考量以不同因子組合來提升正判率?	目前研究成果顯示，確實沈積岩需再進行更精進之研究。
十五	潛勢分級部分，不同岩性 HDF 捕捉率之差異如何產生及沈積岩區潛勢分級正判率如何精進亦請說明。	本研究已著手收集沈積岩區坡面型土石流案例與相關地形資料，後續單就以沈積岩區事件，擬定更佳知判釋模式。

附錄二、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	委員意見	回覆辦理情形
報告內容審查意見		
一	坡面型土石流判釋模式及潛勢評估方法等建立，可提供技術性之參用。	謝謝委員肯定本計畫。
二	可提供行政計畫推動之依據。	謝謝委員肯定本計畫，此亦是本計畫之最終目標。
三	本案持續建立判釋模式及評估方法，應為技術手冊重要的項目。	謝謝委員肯定本計畫。
四	對水土資源保育有長期的功能。	謝謝委員肯定。
五	從複雜的因子篩選重要且代表性的因子且仍具有高判斷的結果，值得肯定。	謝謝委員肯定。
六	從精簡後的因子，計算出每一個坡面的潛勢。也可以做為坡地管理之依據。	謝謝委員肯定及建議。
七	P98，在各種岩層的土石流判釋準則。各項因子的權重在不同岩性上差異不小，請進一步說明。	由現階段研究顯示，坡面型土石流之地形特性，確實受到岩性的影響。集水區形狀、坡度及隘口位置均有相當之差異。基於此，我們考慮未來針對不

		同岩性，發展出更適宜的判釋準則。
八	釐清坡面型土石流的特性。有助於土石流災害範圍之依據。	謝謝委員建議，惟現階段研究尚未擴及土石流災害範圍圈畫方面。
九	坡面型土石流與現行公告的土石流潛勢溪流如何切割?而兩者之間是否存在互轉的可能，建議可深入探討。	謝謝委員指導。目前本計畫尚未進入災害管理作業，未來本研究之成果應可納入潛勢溪流範疇。我們持續研究探討此方向。
十	成果未來的產出，建議宜適度簡化土石流潛勢區的公告流程，避免重複認定。	謝謝委員指導。
十一	坡面型土石流與淺層崩塌在定義及防災作為上是否有不同之防災對策?現行土石流潛勢溪流中，是否不會將坡面型土石流納入。	現行土石流潛勢溪流包括坡面型土石流。而淺層崩塌與坡面型土石流之差異，在於坡面型土石流其危害範圍遠大於淺層崩塌者，因此災害潛勢區需有更大的空間。
十二	目前所劃設單元，亦有非聚落周邊的坡面?何處?	因聚落生或除居住外，尚包括農墾。因此本研究範圍包括聚落住屋及周邊鄰近居民之農田或活動區域，已充分保障居民之安全。
十三	與崩塌之關係應再說明清楚。	定義部分請詳見報告第三章第

		二節坡面型土石流與岩屑崩滑之差異之說明。
十四	判釋公式因子很多，較不易操作能否再簡化。	謝謝委員建議，研究成果之最終為採板岩區以 7 因子模式，片岩區以 6 因子模式及沈積岩以 7 代表性較高之因子作為判釋模式。
十五	肯定本案資料蒐集，模式分析、驗證之探討研究。	謝謝委員肯定。
十六	本案坡面型土石流應將其定義清楚，如何與崩塌、溪流型土石流做區隔，另應考量若未來在土流警戒操作上是否有必要，如何分別。	本計畫研究目標即希冀建立全台各地質區適用之坡面型土石流與淺層崩塌之區分方法。定義部分請詳見報告第三章第一節坡面型土石流定義與分類內容。與第二節坡面型土石流與岩屑崩滑之差異之說明。
十七	本案持續以不同因子組合持續精進崩塌/坡面型土石流判識準則，並與現地查核成果進行比對值得肯定。	謝謝委員肯定。
十八	第四章現地查核部分 p46-p52"其該河道"之描述建議修正。	已修正，謝謝委員指導。

附錄三、皮爾森相關係數分析結果資料表

附錄 2.1 皮爾森相關係數分析結果資料表

		RLAS	LAS	FR	HASR	GWAI	WA	HASW
RLAS	Pearson 相關	1.00	0.65	-0.19	0.28	0.45	0.27	0.16
LAS	Pearson 相關	0.65	1.00	-0.26	0.01	0.45	0.84	0.02
FFR	Pearson 相關	-0.19	-0.26	1.00	0.29	-0.44	-0.22	-0.05
HASR	Pearson 相關	0.28	0.01	0.29	1.00	0.05	-0.14	-0.08
GWAI	Pearson 相關	0.45	0.45	-0.44	0.05	1.00	0.33	-0.06
WA	Pearson 相關	0.27	0.84	-0.22	-0.14	0.33	1.00	-0.07
HASW	Pearson 相關	0.16	0.02	-0.05	-0.08	-0.06	-0.07	1.00
W	Pearson 相關	0.22	0.66	-0.31	-0.21	0.42	0.82	-0.16
HASO	Pearson 相關	0.27	0.03	0.05	0.34	-0.02	-0.12	0.91
FO	Pearson 相關	-0.11	-0.23	0.26	-0.01	-0.03	-0.20	-0.24
WO	Pearson 相關	0.28	0.68	-0.19	-0.10	0.54	0.80	-0.19
TRO	Pearson 相關	0.21	-0.06	0.19	0.24	-0.15	-0.25	0.70
LF	Pearson 相關	0.00	0.44	0.05	-0.25	0.01	0.62	0.10
ASF	Pearson 相關	-0.02	-0.11	-0.08	-0.37	-0.17	-0.14	0.62
TRF	Pearson 相關	-0.03	-0.11	-0.08	-0.39	-0.16	-0.14	0.61
DHF	Pearson 相關	-0.05	0.15	0.39	-0.15	-0.42	0.28	0.34
HARO	Pearson 相關	0.00	0.02	-0.17	-0.17	0.25	0.08	-0.09
HARF	Pearson 相關	0.00	0.21	-0.22	-0.22	0.23	0.32	-0.04
DHPR	Pearson 相關	0.42	0.40	-0.62	0.19	0.81	0.28	-0.15

附錄 2.2 皮爾森相關係數分析結果資料表（續 1）

		W	HASO	FO	WO	TRO	LF	ASF
RLAS	Pearson 相關	0.22	0.27	-0.11	0.28	0.21	0.00	-0.02
LAS	Pearson 相關	0.66	0.03	-0.23	0.68	-0.06	0.44	-0.11
FFR	Pearson 相關	-0.31	0.05	0.26	-0.19	0.19	0.05	-0.08
HASR	Pearson 相關	-0.21	0.34	-0.01	-0.10	0.24	-0.25	-0.37
GWAI	Pearson 相關	0.42	-0.02	-0.03	0.54	-0.15	0.01	-0.17
WA	Pearson 相關	0.82	-0.12	-0.20	0.80	-0.25	0.62	-0.14
HASW	Pearson 相關	-0.16	0.91	-0.24	-0.19	0.70	0.10	0.62
W	Pearson 相關	1.00	-0.25	0.24	0.96	-0.27	0.41	-0.22
HASO	Pearson 相關	-0.25	1.00	-0.25	-0.23	0.76	-0.01	0.44
FO	Pearson 相關	0.24	-0.25	1.00	0.29	0.02	-0.09	-0.31
WO	Pearson 相關	0.96	-0.23	0.29	1.00	-0.25	0.39	-0.29
TRO	Pearson 相關	-0.27	0.76	0.02	-0.25	1.00	-0.02	0.41
LF	Pearson 相關	0.41	-0.01	-0.09	0.39	-0.02	1.00	-0.01
ASF	Pearson 相關	-0.22	0.44	-0.31	-0.29	0.41	-0.01	1.00
TRF	Pearson 相關	-0.21	0.43	-0.30	-0.28	0.39	-0.01	1.00
DHF	Pearson 相關	-0.05	0.26	-0.40	-0.07	0.13	0.35	0.51
HARO	Pearson 相關	0.23	-0.16	0.15	0.23	-0.30	-0.04	-0.18
HARF	Pearson 相關	0.43	-0.15	0.18	0.42	-0.16	0.02	-0.27
DHPR	Pearson 相關	0.42	-0.05	0.04	0.47	-0.06	-0.03	-0.44

附錄 2.3 皮爾森相關係數分析結果資料表（續 2）

		TRF	DHF	HARO	HAP	HARF	DHPR
RLAS	Pearson 相關	-0.03	-0.05	0.00	0.10	0.00	0.42
LAS	Pearson 相關	-0.11	0.15	0.02	0.26	0.21	0.40
FFR	Pearson 相關	-0.08	0.39	-0.17	-0.26	-0.22	-0.62
HASR	Pearson 相關	-0.39	-0.15	-0.17	-0.03	-0.22	0.19
GWAI	Pearson 相關	-0.16	-0.42	0.25	0.27	0.23	0.81
WA	Pearson 相關	-0.14	0.28	0.08	0.31	0.32	0.28
HASW	Pearson 相關	0.61	0.34	-0.09	-0.24	-0.04	-0.15
W	Pearson 相關	-0.21	-0.05	0.23	0.33	0.43	0.42
HASO	Pearson 相關	0.43	0.26	-0.16	-0.24	-0.15	-0.05
FO	Pearson 相關	-0.30	-0.40	0.15	0.01	0.18	0.04
WO	Pearson 相關	-0.28	-0.07	0.23	0.34	0.42	0.47
TRO	Pearson 相關	0.39	0.13	-0.30	-0.32	-0.16	-0.06
LF	Pearson 相關	-0.01	0.35	-0.04	0.16	0.02	-0.03
ASF	Pearson 相關	1.00	0.51	-0.18	-0.45	-0.27	-0.44
TRF	Pearson 相關	1.00	0.51	-0.17	-0.44	-0.25	-0.44
DHF	Pearson 相關	0.51	1.00	-0.22	-0.27	-0.24	-0.69
HARO	Pearson 相關	-0.17	-0.22	1.00	0.15	0.15	0.21
HARF	Pearson 相關	-0.25	-0.24	0.15	0.27	1.00	0.33
DHPR	Pearson 相關	-0.44	-0.69	0.21	0.42	0.33	1.00