計畫編號：**SWCB-107-139**

精進沉積岩地質區聚落周緣坡地之坡面型土石流判釋及潛勢評估方法

Advancing models on recognition and potential evaluation of hillslope type debris flows for village side hillslope in sedimentary geology

執 行 單 位：國立屏東科技大學

執 行 期 間：107 年 02 月 09 日至 107 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 107 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)

精進沉積岩地質區聚落周緣坡地之坡面型土石流判釋及潛勢評估方法

摘要

我國土砂災害類型多樣，全島之大型土砂災害如大規模崩塌潛勢區部分，水保局已針對 153 處(2017)作為防減災策略之執行對象，而 1719 條(2018)土石流潛勢溪流等，亦多已有所掌握及防災管理。然近年全球氣候變遷，強降雨長延時之降雨事件逐漸增加，此種降雨型態造成有效集水區小於 3 公頃的山坡單元，也發生坡面型土石流。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。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，夾帶大量雨水沖蝕下移，造成聚落房屋嚴重受損。

基於此，本計畫旨在發展全島山區聚落周緣山坡地之坡面型土石流易發生地形判釋模式，以能事先勘定聚落週緣山坡之坡面型土石流高潛勢區，以助因應極端氣候之防災預警。本年度(107)計畫即針對台灣西部沉積岩地質區聚落周緣坡地之坡面型土石流判釋及潛勢評估方法再精進研發。

本計畫新擇定阿里山溪、曾文溪流域、旗山溪及陳有蘭溪等流域內如嘉義縣阿里山鄉里佳村、外來吉聚落、太和村等，沉積岩 10 處山區聚落，同時整合前期已建置之阿里山鄉山美村等10處聚落資料，共計 20 處聚落，進行聚落周緣坡地之坡面型土石流判釋模式及潛勢評估方法研發。

首先，本研究應用山坡微地形特性觀念，建立坡面分析單元，發展新坡面型土石流/崩塌地之判釋模式。模式樣本為採隨機選出 31(/52)筆之坡面型土石流事件，作為分析及驗證樣本，同時配以 31 處崩塌案件，建成樣本資料庫。再由 19 項土石流特性因子中，經因子獨立性檢驗與應用費雪區別分析方法，完成沉積岩區新坡面型土石流判釋模式，結果顯示其正判率達 83.3%且驗證率亦達 80%。該判釋模式應用至前述 20 處聚落研究區周緣山坡，坡面型土石流捕捉率達到 85%以上，成效良好。

本計畫完成坡面型土石流潛勢分級方法。結果可得模式判釋之土石流單元，其發生潛勢多位於中、高潛勢等級，比例達 97%。而崩塌單元也多位於低潛勢，比例約 72%，此成果符合地形及物理模型概念，顯示本計畫已獲取相當不錯之研究成果。綜整沉積岩研究區成果，以 A09(新美聚落)、A10(瑪雅聚落)、A(蜈蜞潭聚落)、B(和安里 9～11 鄰聚落)、C(里佳 1～3 鄰聚落)、G(過溪聚落)、H(瑞竹里聚落)等七聚落風險較高。

總體而言，針對中南部沉積岩區之坡面型土石流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，因此仍建議針對中北部地區(人口密集區)及其他地質區，發展適宜之分析模式，以增進山區聚落土砂災害之防災管理效力。

關鍵字：沉積岩地質區、坡面型土石流、分析單元、判釋模式、潛勢分級

Advancing models on recognition and potential evaluation of hillslope type debris flows for village side hillslope in sedimentary geology

Abstract

There are many shallow landslide, debris flow, and large scale sediment-related hazards in Taiwan. Such as 153 (2017) potential large-scale landslide and 1719 (2018) potential debris flow torrent issued by Bureau of Soil and Water Conservation, have been well documented and managed for disaster prevention. Caused by the global climate change, heavy rainfall with long duration events gradually increased in recent years, this rainfall pattern induced the occurrence of hillslope type debris flow (HDF) even in the effective catchment area less than 3 hectares on hillslope. For example, 2009 Typhoon Morakot triggered 7 hillslope type debris flows, more than 30 residents were dead or buried and dozens of homes were damaged in Xinfali village, Liugui District, Kaohsiung City. September 2016 Typhoon Moranti caused a large-scale landslide close to Hongye village in Taitung County, a large amount of landslide sediment induced serious damage to the settlement.

The objective of project is to develop the advancing models on recognition and potential evaluation of hillslope type debris flows for village-side hillslope in sedimentary geology, and to predict the high potential location of HDF on mountain village for help prevent disasters in response to extreme weather in western Taiwan. The study area included Alishan River, Zengwenxi River, Qishan River and Chen Youlan River, and 10 mountain villages, such as Lijia Village, Aliji Village, Taihe Village, Chili County in Jiayi County, etc., were selected to be the subjective villages. Moreover, 10 settlements in previous year (106) were

also introduced into database to develop the advancing models on recognition and potential evaluation of hillslope type debris flows on village-side hillslope.

The micro-topography concept was induced to establish the Slope Unit and applied to be the analysis unit of the advancing recognition models on HDF/NDF. 31 in 52 events of HDF, with 31 landslide events (NDF), were randomly selected as samples for model development and model verification. There were 19 characteristic factors relating to material supply, hydraulic, and topographic properties selected in the study. Using of factor independence test and Fisher differential analysis a 7 indexes of NDF recognition model was achieved. Results showed that the positive judgment rate reached 83.3% and the verification rate was 80%. The model was then applied to the HDF prediction on the village side hillslope in 20 settlements, and the capture rate of HDF reached more than 85%, demonstrated the good application.

The HDF potential assessment method was developed and resulted that the potential of HDF units were mostly rated in medium and high potential, the percent is 97% of events. NDF units were mostly located in low potential, the percent is about 72%. The results showed that the sedimentary rock areas, A09 (Xinmei settlement), A10 (Maya village), A (Wuchitan settlement), B (He'an village, 9~11 neighborhood), C (Lijia village, 1~3 neighborhood), G (Guoxi settlement), H (Ruizhu village) are more dangerous within 20 settlements.

Summarizing above, this project has fulfilled the objectives and achieved good research results. However, due to the complexity geology in Taiwan, the development of more sophisticated analytical models for the central and northern regions (densely populated areas) and other geological areas is suggested.

Keywords: sedimentary rock geology, hillslope type debris flow, slope unit, recognition model, potential assessment model

目次

摘要 …… I

Abstract …… III

目次 …… VI

表次 …… VIII

圖次 …… X

第一章 前言 ……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 ……2-1

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模式 ……3-8

第五節 坡面型與溪流型土石流之異同 ……3-9

第六節 分析單元定義 …… 3-10

第四章 研究區域及方法 ……4-1

第一節 研究區域 ……4-1

第二節 研究流程及方法 ……4-1

第五章 研究成果 ……5-1

第一節 坡面型土石流災害案例、圖資及分析資料庫……5-1

一、坡面型土石流事件特性因子資料庫 ……5-1

二、研究區地質概況 ……5-3

三、各聚落之地形及地質說明 ……5-7

四、10 處聚落周邊坡面型土石流現地查核…… 5-16
第二節　聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分 …… 5-44
一、崩塌坡面分析單元劃分方法及程序 …… 5-44
二、研究區崩塌坡面分析單元圈繪成果 …… 5-46
第三節　特性因子分析資料庫 …… 5-50
一、坡面型土石流案例資料庫 …… 5-50
二、分析模式因子 …… 5-51
第四節　精進崩塌/坡面型土石流判釋模式…… 5-60
一、精進與擴充崩塌/坡面型土石流判釋模式…… 5-60
二、坡面型土石流判釋模式驗證 …… 5-62
三、研究區坡面型土石流判釋成果 …… 5-65
第五節　坡面型土石流地形潛勢分析模式 …… 5-76
一、潛勢分級分界指標訂定 …… 5-76
二、20 處聚落坡面型土石流潛勢分級…… 5-77
三、聚落潛勢分級成果討論 …… 5-96
四、各聚落潛勢分級成果討論 …… 5-99
第六章 結論……6-1
參考文獻 …… 參-1
附錄 …… 附錄-1
附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形 …… 附錄-1
附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形 …… 附錄-4
附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形 …… 附錄-5

表次

表 2-1 計畫工作進度表 2-2
表 3-1 崩塌與流動之判釋基準(游繁結，2005) 3-4
表 3-2 各類崩塌形態比較表(呂岡侃與徐美玲，2004) 3-6
表 5-1 區別分析之各因子使用代號表 5-51
表 5-2 區別分析結果 5-61
表 5-3 坡面型土石流與崩塌單元之驗證點位 5-63
表 5-4 驗證案例之判釋結果 5-63
表 5-5 107 年度聚落沉積岩區分析單元判釋成果及捕捉率 5-74
表 5-6 106 年度聚落沉積岩區分析單元判釋成果及捕捉率 5-75

圖次

圖 3-1 邊坡型(左)與山谷型(中)溪床型(右)(吳素慧，1997)..... 3-3
圖 3-2 九種基本坡型(PARSONS, 1988)..... 3-6
圖 3-3 土石流集水區面積與河道長度分布圖 3-9
圖 3-4 集水區範圍示意圖(底圖來源:GOOGLE ERATH) 3-11
圖 3-5 台北市南港區崩塌分析單元劃定圖(歐陽希，2008)..... 3-12
圖 3-6 斜坡縱斷面之變坡點示意圖（GILES AND FRANKLIN, 1998）..... 3-13
圖 3-7 以一級河集水區為例之斜坡單元示意圖（簡瑋延，2011）. 3-14
圖 4-1 研究流程圖..... 4-2
圖 4-2 發生區圈畫示意圖(陳柏龍 2013)..... 4-6
圖 4-3 分析單元高程差與隘口（H_o之位置）高程差之示意圖 4-7
圖 4-4 流動段長度示意圖 4-8
圖 4-5 集水區形狀，狹長形(左)及寬圓形(右)(何明憲，2003)..... 4-10
圖 4-6 溪谷地形之定義(日本國土技術政策總和研究所，2007)..... 4-11
圖 5-1 中南部沉積岩區流域內崩塌及坡面型土石流案例分布圖 5-2
圖 5-2 研究區位置與地質圖（底圖:中央地質調查所，2009）..... 5-6
圖 5-3 研究區 A-高雄市杉林區木梓里 12～13 鄰(蜈蜞潭聚落) 5-11
圖 5-4 研究區 B-高雄市甲仙區和安里(和安里 9～11 鄰聚落)..... 5-11
圖 5-5 研究區 C-嘉義縣阿里山鄉里佳村(里佳村 1～3 鄰聚落) 5-12
圖 5-6 研究區 D-嘉義縣阿里山鄉豐山村(豐山村 4 鄰聚落) 5-12
圖 5-7 研究區 E-嘉義縣阿里山鄉來吉村 3～4 鄰(外來吉聚落)..... 5-13
圖 5-8 研究區 F-嘉義縣梅山鄉太和村(蛤里味聚落) 5-13
圖 5-9 研究區 G-南投縣竹山鎮桶頭里 15～17 鄰(過溪聚落-右)及研究區 H 瑞竹里(瑞竹里聚落-左) 5-14
圖 5-10 研究區 I-南投縣信義鄉神木村(民和巷聚落)..... 5-14
圖 5-11 研究區 J-南投縣信義鄉同富村(太平巷聚落)..... 5-15

圖 5-12、A 研究區內各坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況 5-18
圖 5-13、B 研究區內各坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況 5-20
圖 5-14、B 研究區內非坡面型土石流之河道及土砂堆積現況 5-21
圖 5-15、C 研究區內各土石流河道及土石流材料搬運堆積現況 5-25
圖 5-16、D 研究區內各土石流河道及土石流材料搬運堆積現況 5-26
圖 5-17、D 研究區內非坡面型土石流之河道及土砂堆積現況 5-27
圖 5-18、E 研究區內各土石流河道及土石流材料搬運堆積現況 5-30
圖 5-19、F 研究區內各土石流河道及土石流材料搬運堆積現況 5-33
圖 5-20、G 研究區內各土石流河道及土石流材料搬運堆積現況 5-36
圖 5-21、H 研究區內各土石流河道及土石流材料搬運堆積現況 5-38
圖 5-22、H 研究區內非坡面型土石流之河道及土砂堆積現況 5-38
圖 5-23、I 研究區內非坡面型土石流之河道現況 5-41
圖 5-24、J 研究區內土石流河道及土石流材料搬運堆積現況 5-42
圖 5-25、J 研究區內非坡面型土石流之河道現況 5-43
圖 5-26 崩塌坡面分析單元圈劃流程圖 5-45
圖 5-27 災前 DEM 5-45
圖 5-28 600 格/1.5 公頃 5-45
圖 5-29 200 格/0.5 公頃 5-46
圖 5-30 坡面分析單元 5-46
圖 5-31 A 區分析單元圈畫成果圖(蜈蜞潭) 5-47
圖 5-32 B 區分析單元圈畫成果圖(和安里 9～11 鄰) 5-47
圖 5-33 C 區分析單元圈畫成果圖(里佳村 1～3 鄰) 5-47
圖 5-34 D 區分析單元圈畫成果圖(豐山村 4 鄰聚落) 5-47
圖 5-35 E 區分析單元圈畫成果圖(外來吉聚落) 5-48
圖 5-36 F 區分析單元圈畫成果圖(蛤里味聚落) 5-48
圖 5-37 G 區分析單元圈畫成果圖(過溪聚落) 5-48

圖 5-38 H 區分析單元圈畫成果圖(瑞竹里聚落)..... 5-48
圖 5-39 I 區分析單元圈畫成果圖(民和巷聚落)..... 5-49
圖 5-40 J 區分析單元圈畫成果圖(太平巷聚落)..... 5-49
圖 5-41 坡面型土石流及崩塌事件所在位置 5-50
圖 5-42 集水區面積分佈情況..... 5-52
圖 5-43 有效集水區指標分佈情況..... 5-52
圖 5-44 流動段長度分佈情況..... 5-53
圖 5-45 集水區形狀係數分佈情況..... 5-54
圖 5-46 發生區形狀係數分佈情況..... 5-54
圖 5-47 形狀係數係數比分佈情況..... 5-55
圖 5-48 隘口深寬比分佈情況..... 5-56
圖 5-49 流動段深寬比分佈情況..... 5-56
圖 5-50 發生區凹陷程度分佈情況..... 5-57
圖 5-51 集水區平均坡度分佈情況..... 5-58
圖 5-52 發生區平均坡度分佈情況..... 5-58
圖 5-53 坡面平均坡度比分佈情況..... 5-59
圖 5-54 坡面型土石流與未發生土石流之區別函數分佈圖 5-61
圖 5-55 土石流發生三大條件之特性因子影響率 5-62
圖 5-56 HDF 與 NDF 之驗證點位與母體之區別函數分佈圖..... 5-64
圖 5-57 A 邊坡單元判釋結果 5-66
圖 5-58 B 邊坡單元判釋結果..... 5-66
圖 5-59C 邊坡單元判釋結果 5-66
圖 5-60 D 邊坡單元判釋結果 5-66
圖 5-61 E 邊坡單元判釋結果..... 5-67
圖 5-62 F 邊坡單元判釋結果..... 5-67
圖 5-63 G 邊坡單元判釋結果 5-67
圖 5-64H 邊坡單元判釋結果 5-67
圖 5-65 I 邊坡單元判釋結果..... 5-68

圖 5-66J 邊坡單元判釋結果 5-68
圖 5-67 A01 邊坡單元判釋結果 5-69
圖 5-68 A02 邊坡單元判釋結果 5-69
圖 5-69 A03 邊坡單元判釋結果 5-70
圖 5-70 A04 邊坡單元判釋結果 5-70
圖 5-71 A05-A06 邊坡單元判釋結果 5-70
圖 5-72 A07 邊坡單元判釋結果 5-70
圖 5-73 A08 邊坡單元判釋結果 5-71
圖 5-74 A09 邊坡單元判釋結果 5-71
圖 5-75 A10 邊坡單元判釋結果 5-71
圖 5-76 分界指標 0 與 1.1 之潛勢分級結果 5-76
圖 5-77 集水區 A 之潛勢分析結果 5-77
圖 5-78 集水區 B 之潛勢分析結果 5-78
圖 5-79 集水區 C 之潛勢分析結果 5-79
圖 5-80 集水區 D 之潛勢分析結果 5-80
圖 5-81 集水區 E 之潛勢分析結果 5-81
圖 5-82 集水區 F 之潛勢分析結果 5-82
圖 5-83 集水區 G 之潛勢分析結果 5-83
圖 5-84 集水區 H 之潛勢分析結果 5-84
圖 5-85 集水區 I 之潛勢分析結果 5-85
圖 5-86 集水區 J 之潛勢分析結果 5-86
圖 5-87 集水區 A01 之潛勢分析結果 5-87
圖 5-88 集水區 A02 之潛勢分析結果 5-88
圖 5-89 集水區 A03 之潛勢分析結果 5-89
圖 5-90 集水區 A04 之潛勢分析結果 5-90
圖 5-91 集水區 A05-A06 之潛勢分析結果 5-91
圖 5-92 集水區 A7 之潛勢分析結果 5-92
圖 5-93 集水區 A8 之潛勢分析結果 5-93

圖 5-94 集水區 A9 之潛勢分析結果..... 5-94
圖 5-95 集水區 A10 之潛勢分析結果..... 5-95
圖 5-96 全部坡面型土石流及崩塌案例之潛勢分級結果..... 5-96
圖 5-97 106 年與本年度坡面型土石流案例之潛勢分級結果..... 5-97
圖 5-99 實際發生坡面型土石流案例之潛勢分級結果 5-98
圖 5-100 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..... 5-98
圖 5-101 前期(106 年)10 處聚落判釋結果統計圖 5-100
圖 5-102 前期(106 年)10 處聚落判釋結果百分比統計圖..... 5-100
圖 5-103 本年度(107 年)10 處聚落判釋結果統計圖..... 5-102
圖 5-104 本年度(107 年)10 處聚落判釋結果百分比統計圖 5-102

第一章 前言

我國土砂災害類型多樣，全島之大型土砂災害如大規模崩塌潛勢區部分，水保局已針對 153 處(2017)作為防減災策略之執行對象，而 1719 條(2018)土石流潛勢溪流等，亦多已有所掌握及防災管理。然近年全球氣候變遷，強降雨長延時之降雨事件逐漸增加，此種降雨型態造成有效集水區小於 3 公頃的山坡單元，也發生坡面型土石流。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 年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。2016 年 9 月莫蘭蒂颱風來襲以台東縣大武鄉大竹村愛國蒲聚落及台東縣延平鄉紅葉村受災最為嚴重。愛國蒲聚落後方原崩塌區擴大，造成土石沖蝕淤積災害導致 7-8 戶受土砂影響，而台東縣延平鄉紅葉村聚落後方邊坡發生大規模崩塌，夾帶大量雨水沖蝕下移，造成聚落房屋受損，尤以紅葉村 1-3 鄰受災最為嚴重。

我國對於大規模崩塌及土石流潛勢溪流方面，多已有所掌控與管理。然小規模淺層崩塌及小規模坡面型土石流則尚待更精確模式，以提供適切的資訊納入防災管理中。由於在極端降雨狀況下，山坡上岩石土壤易於由崩塌轉化成坡面型土石流 (陳榮河，2004；游繁結，2001；周憲德，2005；黃宏斌等人，2005；何明憲，2005)。惟此型土石流位於坡面且無明顯地形特徵，在未發生前聚落居民一般不易警覺；若山坡地緊鄰聚落社區，則往往形成小規模但高危害度的災害狀況。

依原民會統計全台原住民部落達 746 處(2018)，有多數聚落散佈

於臺灣山區，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。因此，若能針對聚落周緣山坡事前區分出可能發生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。

基於此，本計畫旨在發展全島山區聚落周緣山坡地之坡面型土石流易發生地形判釋模式，以能事先勘定聚落週緣山坡之坡面型土石流高潛勢區，以助因應極端氣候之防災預警。本案採用地形特性觀念，建立坡面型土石流/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，以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。

於 106 年度，本研究完成板岩區、片岩區及沉積岩區之坡面型土石流新判釋模式及發生潛勢分級方法。應用於多個山區聚落時，模式於板岩區、片岩區兩區可達到不錯之 82%捕捉率；惟沉積岩捕捉率僅達 77%，仍有提升空間。惟台灣西部麓山帶為山區聚落分布與活動最密集之區域，其亦多為沉積岩地質區。因此 107 年度計畫即針對台灣西部沉積岩地質區聚落周緣坡地之坡面型土石流判釋及潛勢評估方法再精進研發。

本計畫新擇定阿里山溪、曾文溪流域、旗山溪及陳有蘭溪等流域內如嘉義縣阿里山鄉里佳村、外來吉聚落、太和村等，沉積岩 10 處山區聚落，同時整合前期已建置之阿里山鄉山美村等10處聚落資料，共計 20 處聚落，進行聚落周緣坡地之坡面型土石流判釋模式及潛勢評估方法研發。

第二章 計畫項目及時程進度

第一節 本年度計畫工作項目

本計畫首先進行坡面型判釋模式再精進，先完成崩塌及坡面型土石流分析單元劃分方法測試，建置實際災害案例之分析單元，產製19項特性因子及分析資料庫，再研擬最佳判釋模式及潛勢分析模式。而後再將分析模式應用於20處聚落週緣山坡之判釋及潛勢分析。

基於計畫目標，本年度研究工作項目如下：

1. 收集與建置沉積岩區坡面型土石流災害案例、圖資及分析資料庫。
2. 最佳判釋分析因子選取。
3. 精進與擴充沉積岩區坡面型土石流/崩塌判釋模式。
4. 精進沉積岩區坡面型土石流發生潛勢分析模式。
5. 進行10處聚落周緣坡地坡面型土石流及崩塌地調查。
6. 沉積岩區聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分。
7. 建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫。
8. 精進與擴充沉積岩區坡面型土石流/崩塌判釋模式。
9. 完成20處山區聚落周緣山坡地之坡面型土石流判釋及潛勢分析與測試

第二節 工作進度

本計畫至民國107年12月31日完成，工作期程如表2-1所示。

表2-1 計畫工作進度表

本計畫於民國 107 年 12 月 31 日完成，工作期程如表 2-1 所示，其中黑色為計畫規劃工作進度，灰色為計畫執行進度。

工作項目 \ 月次	107 年										
	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
1. 建置沉積岩區坡面型土石流災害案例、圖資及資料庫											
2. 進行 10 處聚落周緣坡地坡面型土石流及崩塌地調查											
3. 沉積岩區聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分											
4. 最佳判釋分析因子選取											
5. 期中報告											
6. 建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫											
7. 精進與擴充沉積岩區坡面型土石流/崩塌判釋模式											
8. 精進沉積岩區坡面型土石流發生潛勢分析模式											
9. 完成 20 處山區聚落周緣山坡地之坡面型土石流判釋及潛勢分析											
累積百分比(%)	2	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

第三章 相關文獻

就地形觀點，土石流分為溪流型(Channelized debris flow)與坡面型(Un-channelized debris flow, Hillslope type debris flow)兩種。溪流型土石流之區位多位於河谷地形，災害多肇因於河道中游之沖刷與下游之土石撞擊及淤埋等情況，災害規模較鉅。對於其成因與影響，近年國內外有較多之研究與認識。而坡面型土石流則主要出現於大地震震後降雨或劇烈天氣事件(如集集地震與 2009 莫拉克颱風等)，其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。

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，接著為集水區及分析單元定義，最後判別模式及其因子的介紹。

第一節 坡面型土石流定義與分類

台灣發生之土石流依型態可分為溪流型土石流與坡面型土石流等兩種。而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。近年來，坡面型土石流產狀特性及地文特徵於周憲德(2002)、林慶偉(2002)、游繁結(2005)等學者研究中已有初步認識。但「坡面型」土石流之名稱並無統一，本研究沿用 Jomelli 等人 (2007)稱之為坡面型土石流(Hillslope type debris flow，HDF)。另有部份研究亦稱之為流體化崩塌(Fluidized landslide)之一種。

就發生區位而言，坡面型土石流源頭常為溪流型土石流流動段兩側邊坡上，成為溪流型土石流料源之一，與崩塌與地滑之發生區位極為類似。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，有較多之說明，茲綜整如下：

在區位分類上 Takahashi(1981)根據土石流發生區位置，將土石流進行分類。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，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。

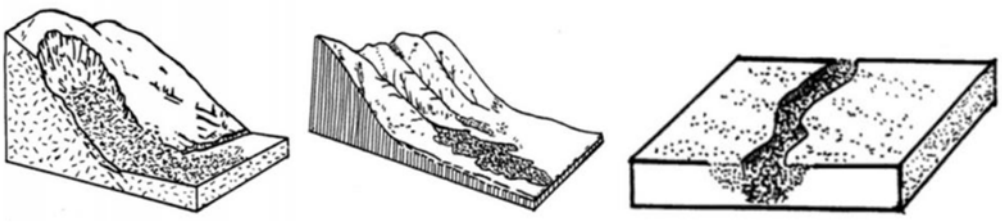


圖 3-1 邊坡型(左)與山谷型(中)溪床型(右) (吳素慧，1997)

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。

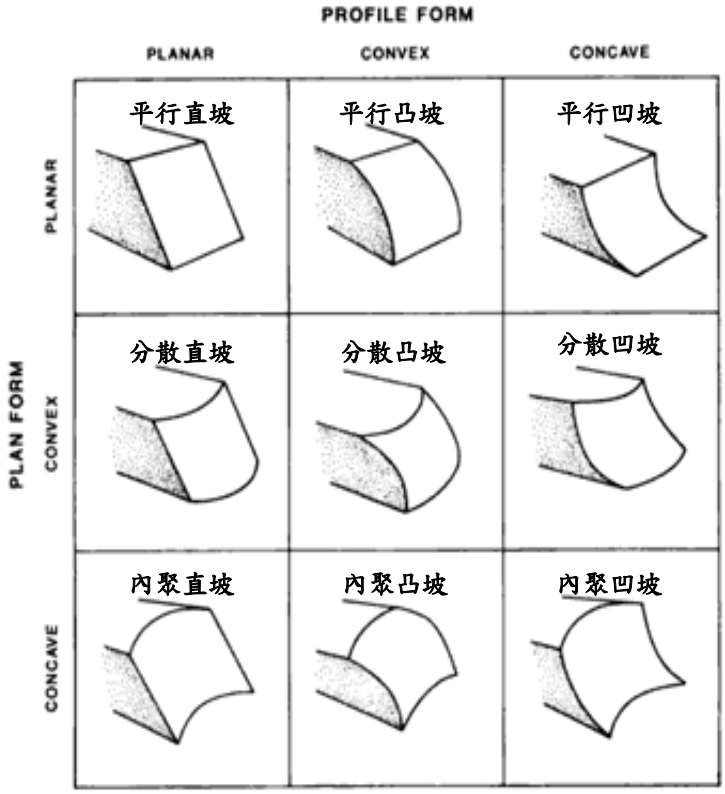


圖 3-2 九種基本坡型(Parsons, 1988)

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

本研究引述王振宇(2012)對於坡面型土石流綜整之地形產狀特徵如下: 於地形上，坡面型土石流常發生於具豐富與鬆散之沉積物坡面上、坡度陡、稀疏植物覆蓋表面，且之前無溪流或下切渠道(Brunsden，1979)；坡面型土石流主要指無明顯溪谷地形(經室內地形圖判釋作業與現地查核後)，受到上游崩塌地影響，由降雨觸發坡面崩塌，致使範圍擴大帶動土石流動，並於地形上新生成沖蝕溝地形(林慶偉，2002)；坡面型土石流發生於主要谷地兩側邊坡上，規模較小，站在主要谷地中可以一覽全貌，其流動的土石在主河谷邊緣堆積成土石堆積扇，堆積體坡度較其他崩塌形態的堆體平緩，且主軸較長(呂岡侃與徐美玲，2004)；坡面型土石流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，但在實地上可發現在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；坡面型土石流發生區與流動區並無明顯之界面(游繁結等，2005)。

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沉積物的混合物(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模式

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特性 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 坡面型與溪流型土石流之異同

坡面型與溪流型土石流具有顯著之差異特性(陳天健等人,2015)。其選用集水區面積與河道長度兩因子,繪製 113 處土石流溪流案例分布圖如圖 3-3 所示。圖中顯示坡面型土石流集水區面積較小,分布範圍為 5ha-100ha 之間,河道長度多短於 1000m,佔坡面型土石流整體筆數 93%;溪流型土石流集水區面積則較大,面積之分布較為廣泛,主要分布範圍為 50ha-1500ha 之間,佔整體溪流型土石流筆數 90%,河道長度分布於 1000-7000m 之間,佔溪流型土石流整體筆數 86%,平均值為 2937m。

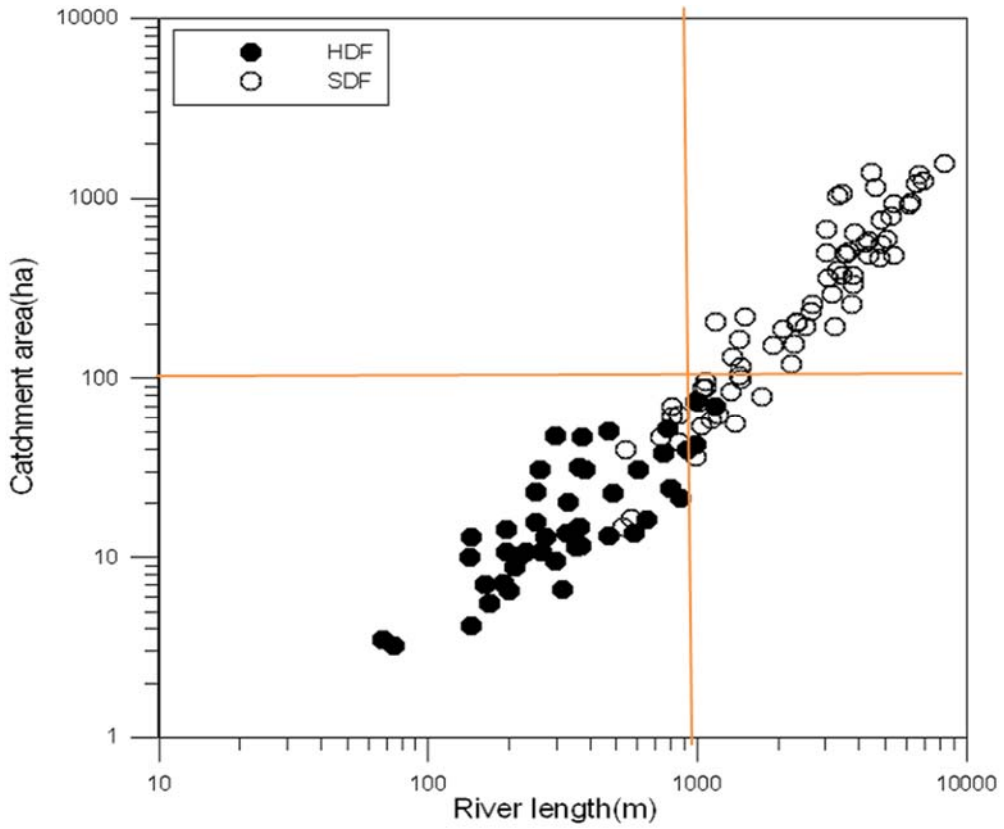


圖 3-3 土石流集水區面積與河道長度分布圖

本文以土石流集水區面積 100ha 與河道長度 1000m（如圖中棕色細線）兩指標，同時考慮兩指標，即能獲得平均 88%的區別率。

本文進一步應用雙變數概念，同時採用集水區面積與河道長度兩種變數組合，建立一判別公式：

$$Z=0.17x+y-870 \qquad \text{式 3-1}$$

其中，x 為集水區面積（m^2），y 為河道長度（m）。Z 小於 0 為坡面型土石流；Z 若大於 0 則為溪流型土石流。該式分析坡面型與溪流型土石流之正判率約達 90%。

第六節 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 3-4 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。

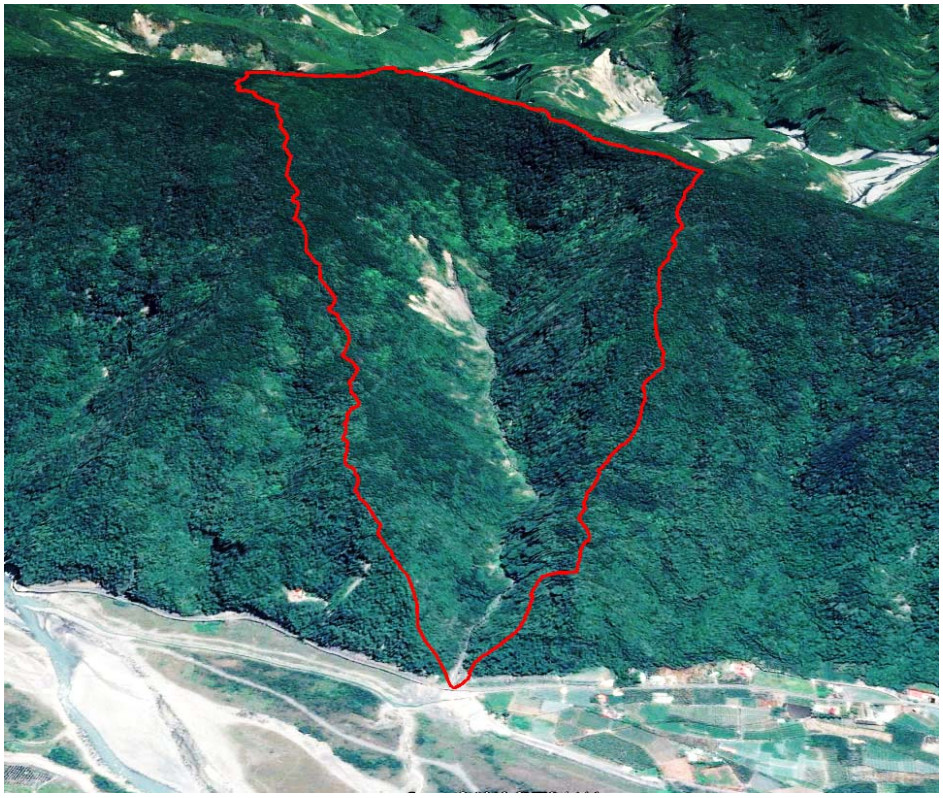


圖 3-4 集水區範圍示意圖(底圖來源:google erath)

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。圖 3-5 為歐陽希 (2008)應用次集水區觀念進行台北市南港區崩塌分析單元劃定圖。

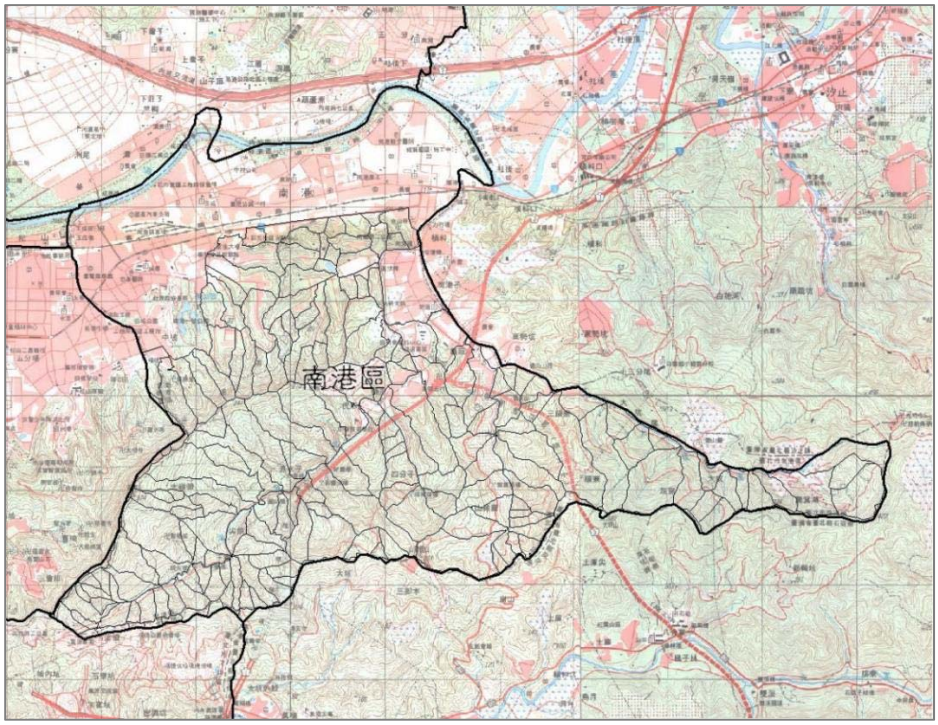


圖 3-5 台北市南港區崩塌分析單元劃定圖(歐陽希，2008)

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 3-6，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。

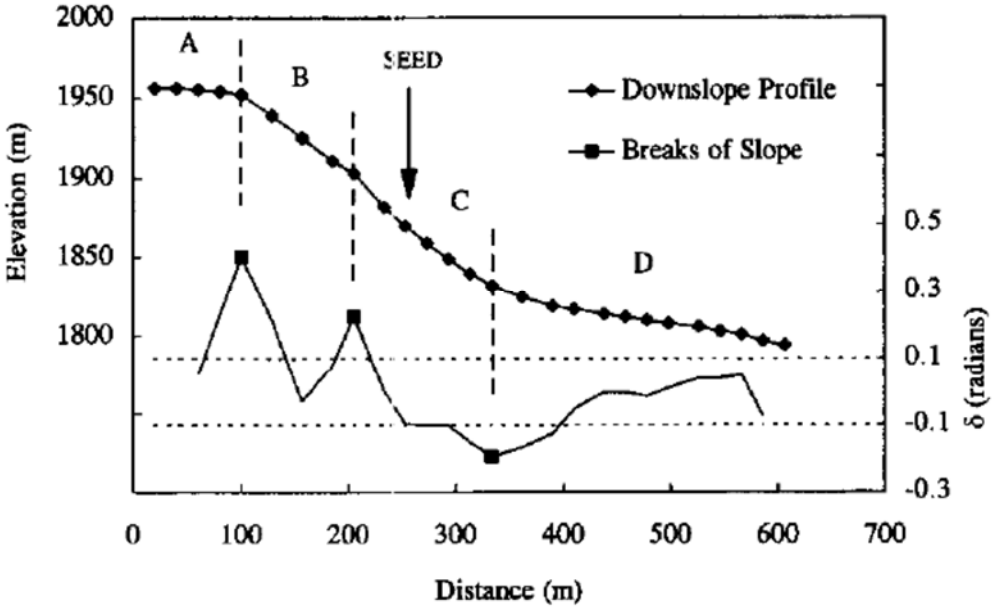


圖 3-6 斜坡縱斷面之變坡點示意圖（Giles and Franklin, 1998）

(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 3-7 所示。

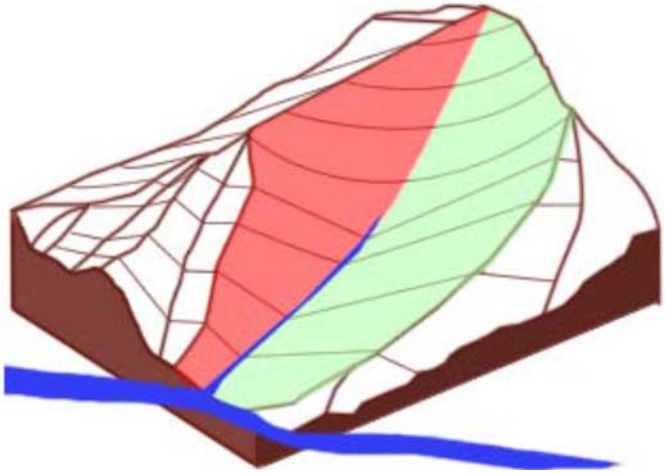


圖 3-7 以一級河集水區為例之斜坡單元示意圖（簡瑋延，2011）

第四章 研究區域及方法

第一節 研究區域

本年度計畫研究區域為中南部沉積岩區為主。本年度選定阿里山溪、曾文溪流域、旗山溪及陳有蘭溪等流域內 10 處聚落，另整合前期已建置之 10 處聚落資料，以精進沉積岩區坡面型土石流/崩塌判釋模式。

本年度工作聚落包括：A.高雄市杉林區木梓里 12～13 鄰(蜈蜞潭聚落)、B.甲仙區和安里(和安里 9～11 鄰聚落)、C.嘉義縣阿里山鄉里佳村(里佳 1～3 鄰聚落)、D.豐山村(豐山 4 鄰聚落)、E.來吉村 3～4 鄰(外來吉聚落)、F.太和村(蛤里味聚落)、G.南投縣竹山鎮桶頭里 15～17 鄰(過溪聚落)、H.瑞竹里(瑞竹里聚落)及 I.信義鄉神木村(民和巷聚落)、J.同富村(太平巷聚落)等共 10 處聚落。各聚落之地形及地質將於第五章中說明。

另前期已建置中部陳有蘭溪及高屏溪流域內典型沉積岩 10 處，分別為 A01.南投水里鄉興隆村、A02.信義鄉新鄉村(新鄉聚落)、A03.羅娜村(羅娜聚落)、望美村(A04.久美聚落、A05.望鄉聚落)及 A06.同富村(同富聚落)，嘉義縣 A07.竹崎鄉緞繻村(樟腦寮聚落)、阿里山鄉 A08.山美村、A09.新美村，A10.高雄市那瑪夏區瑪雅里等地區共 10 處聚落。

第二節 研究流程及方法

本年度計畫研究流程，如圖 4-1 所示。

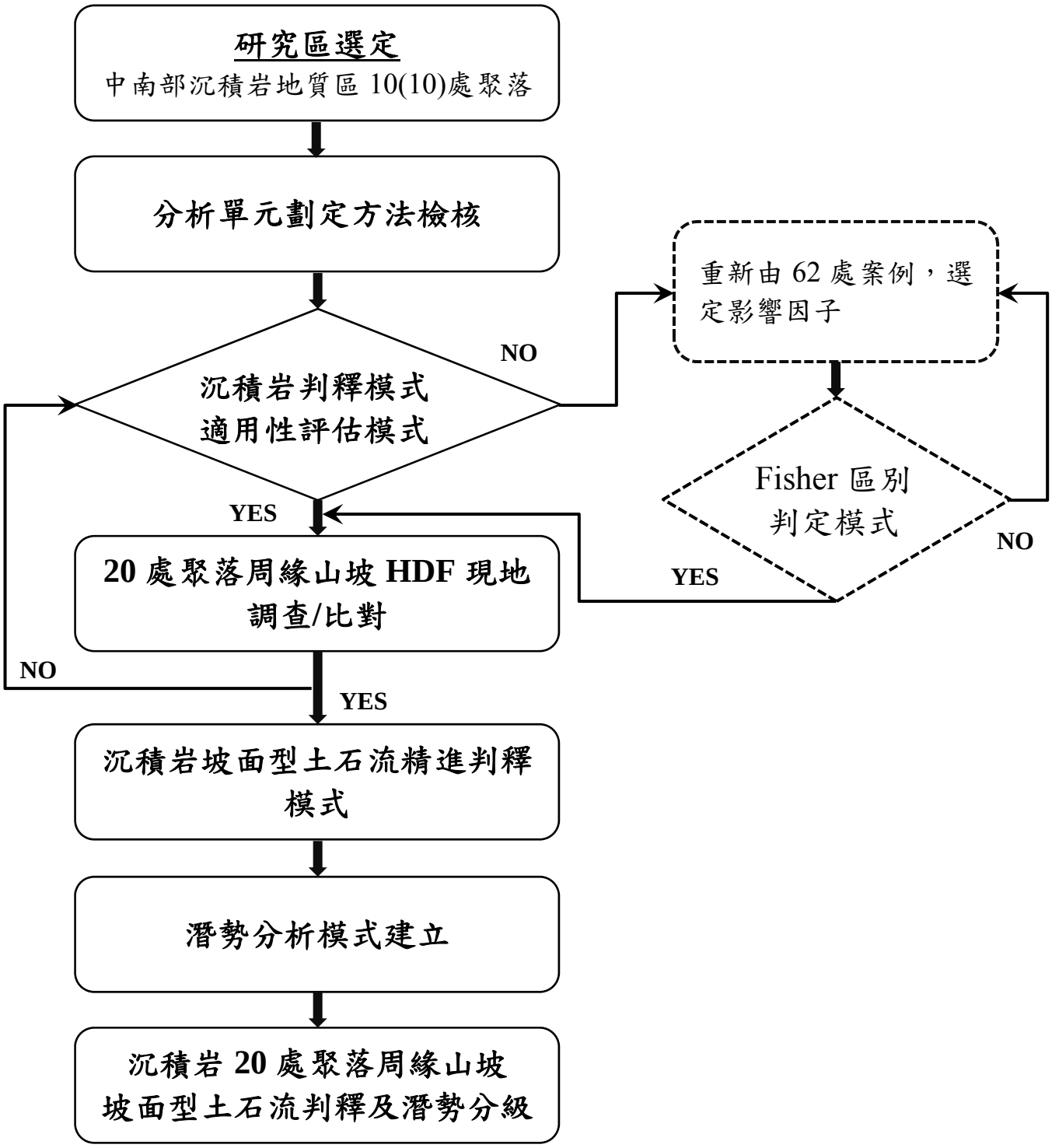

研究區選定
中南部沉積岩地質區 10(10)處聚落
分析單元劃定方法檢核
沉積岩判釋模式
適用性評估模式
NO
重新由 62 處案例，選定影響因子
Fisher 區別判定模式
NO
YES
YES
20 處聚落周緣山坡 HDF 現地調查/比對
NO
YES
沉積岩坡面型土石流精進判釋模式
潛勢分析模式建立
沉積岩 20 處聚落周緣山坡坡面型土石流判釋及潛勢分級

圖 4-1 研究流程圖

以下簡要說明各項工作：

一、收集及建置沉積岩區坡面型土石流災害案例、圖資及分析資料庫

本研究預計蒐集南部沉積岩區之聚落周邊山坡內坡面型土石流案例。再依據陳天健等(2015，2016)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、崩塌或其他災害，且建置坡面型土石流災害案例資料庫。災害資料除收集各研究文獻、調查報告等，亦將根據水保局「重大土砂災例現勘及報告彙編」所判定崩塌及土石流為依據，室內配合航空照片與衛星影像(配合 Google Earth 套疊圖層使用)等進行災害型態檢核。本研究使用之相關圖資包括：內政部第三版 1/25000 地形圖、流域地質圖資、研究區災前後航空照片或衛星影像、地質敏感區圖層、崩塌目錄、災前數值高程模型（5x5mDEM）等，應用地理資訊系統產製相關分析因子以供後續研究使用。

二、進行聚落周緣坡地坡面型土石流及崩塌地調查

除現生土石流災害案例做為模式研擬資料庫外，本研究亦進行聚落周緣山坡地現地工程地質調查，除查核既有土石流及崩塌災害案例外，同時發掘早期土石流之案例。除現地踏勘外，上游不易到達區域亦將配合 UAV 進行地表勘查。

三、沉積岩區聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分

應用本研究創新之「崩塌坡面單元」分析單元劃分程序及模式，針對 10 處聚落周緣之邊坡進行分析單元劃分。聚落週緣山坡地，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，因此本研究將在深入研究沉積岩區適用之坡面分析

單元劃分方法。本研究依前項工作判釋結果，首先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5X5mDEM 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，僅具崩塌坡面建置以 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模式。而後，再應用此劃分模式，針對沉積岩區聚落週緣之山坡逐一劃定分析單元。

四、最佳判釋分析因子選取

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，同時建置成統計分析資料庫。本研究參酌相關學者之研究，嘗試挑選出較適用於坡面型土石流之地文因子，由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，以作為判釋模式精進與擴充時之分析因子。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(Lf')

■溪流線(Lr')

■發生區平均寬度(WI)

■形狀係數比(FFR)

■集水區平均寬度(W)

■坡面深寬比(HAR)

■起伏比(TR)

■平均坡面坡度比(HASR)

■崩塌潛感面積比(RLSA)

五、建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫

本研究團隊分別考慮地形、集水區、水文等各項特性，以利採 FISHER 區別分析，建立多因子之判釋模式。而後本研究進一步進行針對 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。因其中主要特性因子定義，簡要說明如下:

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 4-2 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 4-2 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:

$$EWAI=\frac{EWA}{WA} \qquad 式\ 4.1$$

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。

$$\Delta H_w = h_t - h_d \qquad 式\ 4.2$$

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 4-3 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)。

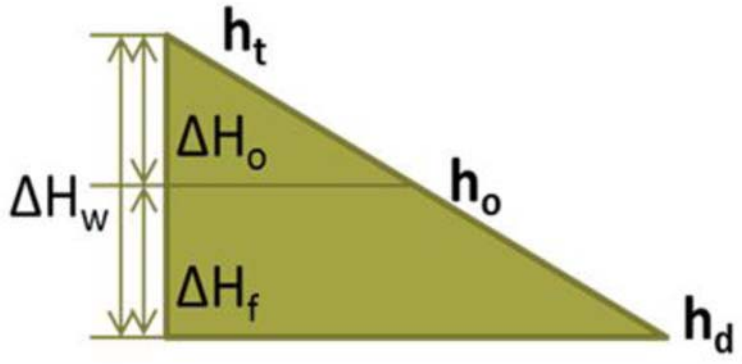


圖 4-3 分析單元高程差與隘口（H_o之位置）高程差之示意圖

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 4-4 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(°)。

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

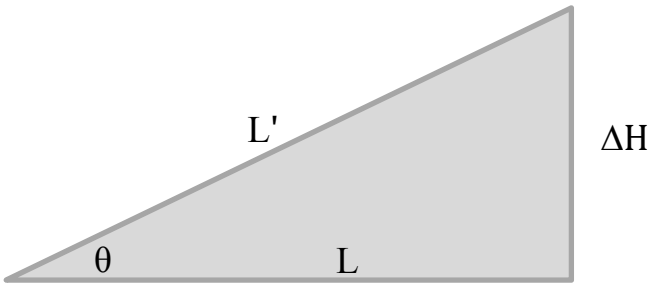


圖 4-4 流動段長度示意圖

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 4-5 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:

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

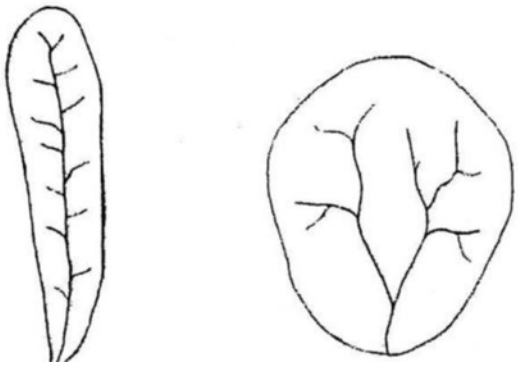


圖 4-5 集水區形狀，狹長形(左)及寬圓形(右)(何明憲，2003)

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 4-6)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。

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

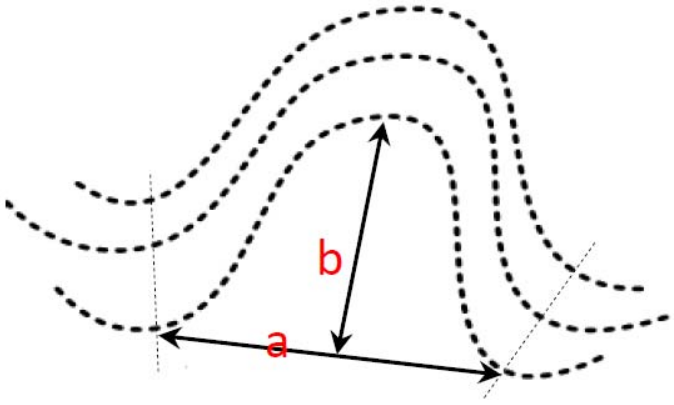


圖 4-6 溪谷地形之定義(日本國土技術政策總和研究所，2007)

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(CGI)、流動段起伏比(CGT)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(AGW)

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。

六、精進與擴充沉積岩區坡面型土石流/崩塌判釋模式

本研究團隊前期初步針對沉積岩區已建立 7 項因子判別模式，其對崩塌及坡面型土石流之正判率達 83.3%。其 7 項因子之

區別函數為：

$$y = 18.620X_1 - 0.170X_2 + 2.506X_3 - 1.215X_4 + 0.010X_5 - 0.164X_6 - 0.016X_7 + 2.814 \quad \text{式 4.14}$$

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)。本判別模式雖有不錯之正判率，但應用於前期沉積岩山區聚落時，坡面型土石流捕捉率僅達77%，仍有改善空間。

因此，本年度首先蒐集更多沉積岩區坡面型土石流及崩塌案例，做為分析資料庫，測試模式因子之效力，精進坡面型土石流判釋模式。而後，應用至沉積岩區10處聚落及前期10處研究聚落(共 20 處)進行土石流案例捕捉率測試，由分析成果再修訂模式，以完成沉積岩區坡面型土石流判釋模式。

分析工具預計採用費雪(FISHER)區別分析，建立坡面型土石流判定模式。初步由前述 19 項因子(視狀況增加因子)經獨立性顯著性檢定後，選出指標因子進行區別分析，觀察其正判率，取得最佳判釋之因子組合，而訂定坡面型土石流判釋模式。

七、精進沉積岩區坡面型土石流發生潛勢分析模式

本研究建立坡面型土石流潛勢分析模式，利用區別函數值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；以指標0與1.1為分界，當區別函值小於0時屬於低潛勢區，區別函值於0到1.1之間為中潛勢區，區別函值大於1.1為高潛勢區。本年度將再以10個聚落及前期10處共計20處研究聚落作

為驗證樣本群，擬訂更適切之分及模式，最後獲得坡面型土石流潛勢分級。

第五章 研究成果

第一節 坡面型土石流災害案例、圖資及分析資料庫

本研究首先收集中南部沉積岩區流域內聚落周邊山坡內坡面型土石流案例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，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，提供聚落坡面型土石流單元判釋與潛勢分級模式研究使用。本研究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、衛星影像或航空照片、流域崩塌圖層、數值高程模型（5×5m DEM）等、歷史災害案例等，及應用地理資訊系統產製相關地文因子。

一、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。

研究團隊收集之坡面型土石流事件共 51 筆。採隨機選出 31 筆之坡面型土石流事件作為分析及驗證樣本。其中，再配合 31 處崩塌案件，建立樣本資料庫: 崩塌及坡面型土石流案例各 21 處、驗證案例各 10 處。崩塌(NDF)及坡面土石流(HDF)樣本點位如圖 5-1 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，採 ArcGIS 地理資訊為工具，劃定分析單元，而後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，再加值產製出各項判釋因子。

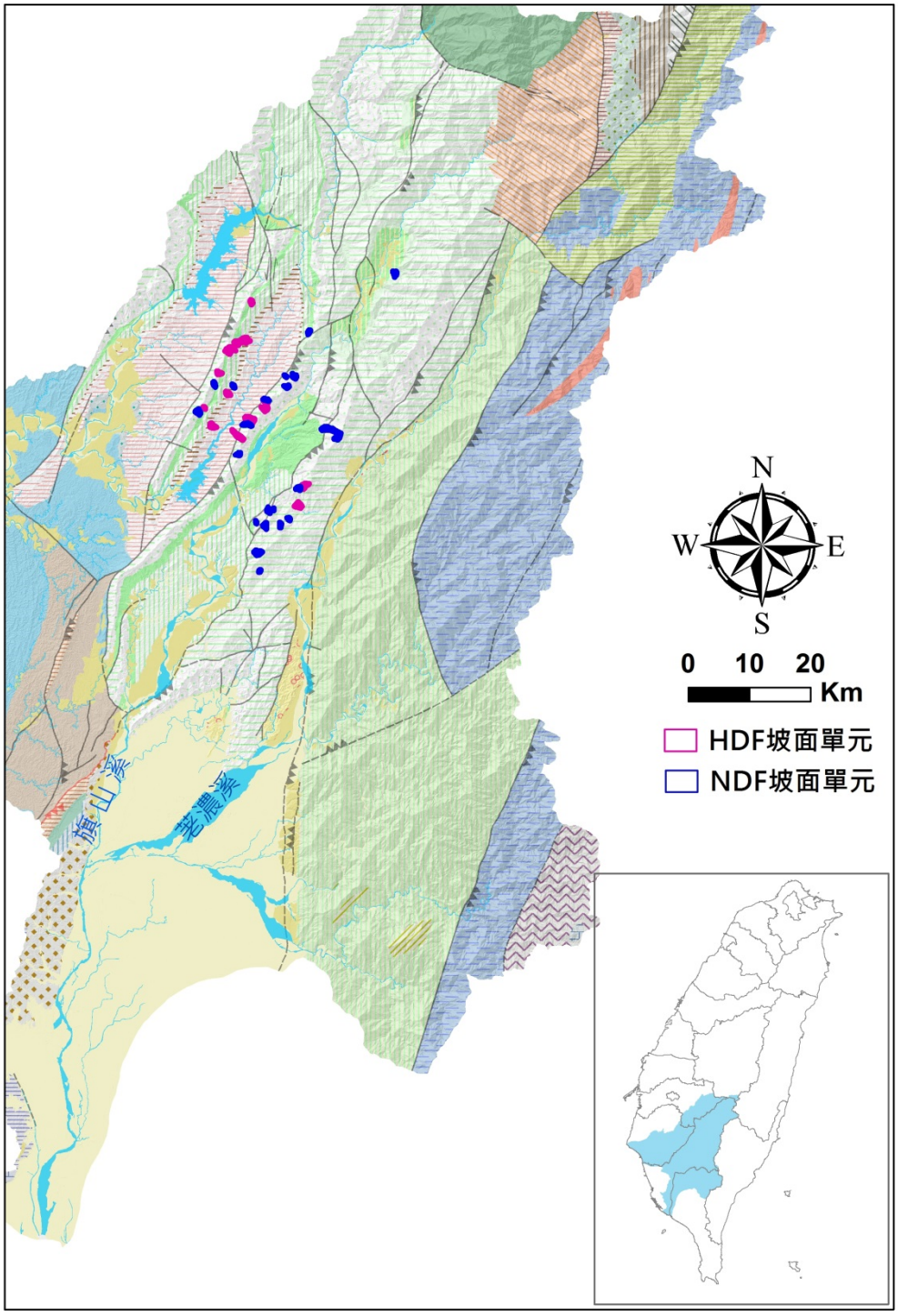


圖 5-1 中南部沉積岩區流域內崩塌及坡面型土石流案例分布圖

二、研究區地質概況

本計畫研究區域為中南部沉積岩區為主。本年度選定阿里山溪、曾文溪流域、旗山溪及陳有蘭溪等流域內 10 處聚落，另整合前期已建置之 10 處聚落，以精進沉積岩區坡面型土石流/崩塌判釋模式。

前期已建置中部陳有蘭溪及高屏溪流域內典型沉積岩 10 處，分別為南投水里鄉興隆村、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。

本年度擇定中南部沉積岩區為主。選定阿里山溪、曾文溪流域、旗山溪及陳有蘭溪等流域內 10 處聚落進行模式研究，研究區地質狀況如圖 5-2 所示。10 處沉積岩區聚落包括：本年度工作聚落包括：A.高雄市杉林區木梓里 12～13 鄰(蜈蜞潭聚落)、B.甲仙區和安里(和安里 9～11 鄰聚落)、C.嘉義縣阿里山鄉里佳村(里佳 1～3 鄰聚落)、D.豐山村(豐山 4 鄰聚落)、E.來吉村 3～4 鄰(外來吉聚落)、F.太和村(蛤里味聚落)、G.南投縣竹山鎮桶頭里 15～17 鄰(過溪聚落)、H.瑞竹里(瑞竹里聚落)及 I.信義鄉神木村(民和巷聚落)、J.同富村(太平巷聚落)等共 10 處聚落。

另前期已建置中部陳有蘭溪及高屏溪流域內典型沉積岩 10 處，分別為 A01.南投水里鄉興隆村、A02.信義鄉新鄉村(新鄉聚落)、A03.羅娜村(羅娜聚落)、望美村(A04.久美聚落、A05.望鄉聚落)及 A06.同富村(同富聚落)，嘉義縣 A07.竹崎鄉緞繻村(樟腦寮聚落)、阿里山鄉 A08.山美村、A09.新美村，A10.高雄市那瑪夏區瑪雅里等地區共 10 處聚落。

旗山溪流域研究區原名楠梓仙溪，屬於高屏溪上游支流，發源自

高雄縣東北端的玉山山麓，旗山溪上游河道蜿蜒曲折，坡陡流急，地形高度落差大。本流域地層自中新世中期至上新世晚期均有，地質構造複雜，褶曲以內英山向斜延伸較長，另平溪、旗山、枋寮及月光山等四處具規模斷層，呈東北-西南向發育，偏於流域西側，為一縱谷地形，流域地勢由東北向西南傾，兩側地勢以東側較緩，西側較陡。在地質與構造上，本流域主要為中新世沉積岩區，由沉積的砂岩、頁岩互層構成，並包含少量海底火山噴發的枕狀玄武岩。沉積岩的沉積年代主要以第三紀晚期為主，少數沉積於第三紀中期。主要岩層為三峽群及其相當地層及瑞芳群及其相當地層、階地堆積層及沖積層。本流域中上游段主要受到一系列東北-西南走向，且略呈平行之逆衝斷層及褶皺作用影響。流域之下游段東側則有旗山溪斷層經過，為一逆衝斷層，全區亦有多處向斜及背斜等構造現象。

曾文溪流域內得地層以沉積岩為主，包括南莊層、桂竹林層、卓蘭層，以及古亭坑層。其中古亭坑層為泥岩地層，容易受風化、侵蝕。曾文溪流域之地勢東北高西南低，區域最高高程位於集水區東北側之後大埔溪上游，高程最高達 2,602 公尺，區域最低之高程為集水區西南側的曾文水庫處，高程接近海平面，流域高程落差稍大，全區平均高程約為 958 公尺。曾文溪上游至下游之地勢變化大，容易造成河川的侵蝕作用及河岸坡面崩塌的發生。

清水溪的上游為阿里山溪，發源於阿里山脈標高 2,663 公尺的大塔山，其主流至豐山附近與石鼓盤溪會合後，才始稱「清水溪」。清水溪的主流轉向西，在流經草嶺、倒交山後，再轉向北，流經樟湖、檳榔宅後，至桶頭開始，河道兩度方向改變，因此出現河階與攻擊坡，繼續流經林頂、瑞竹、過溪，最後於觸口注入濁水溪主流。地形東南側較高，向西北側降低，地表岩層分布以中新世桂竹林層的砂岩為主。

土壤為沖積土，由砂礫及粘土混合而成。阿里山溪主要分布於嘉義縣梅山鄉及阿里山鄉，阿里山溪以西北向注入清水溪，向南則於阿里山公路山谷為曾文溪上游。阿里山地區的地層為南港砂岩層，年代約晚期中新世（一千萬年）。岩性以厚層塊狀砂岩為主，少部份為砂頁互層。且由於本地區具有南北向與東西向之斷層，故經常形成陡峻的山崖與瀑布。

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沉積岩，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。

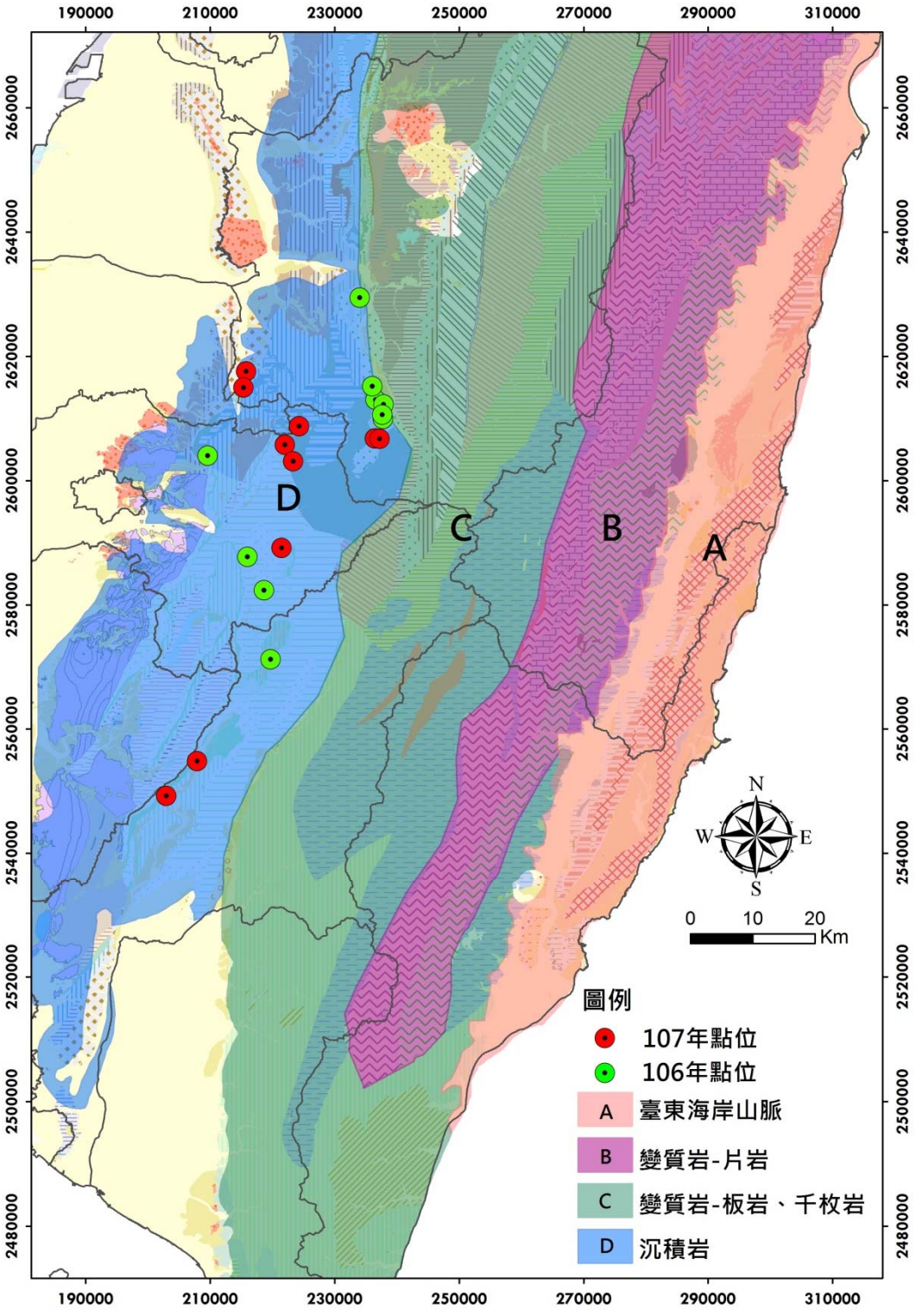


圖 5-2 研究區位置與地質圖（底圖:中央地質調查所，2009）

三、各聚落之地形及地質說明

高雄市杉林區木梓里、甲仙區和安里為旗山溪流域。蜈蜞潭聚落(圖 5-3)鄰近邊坡為屬地層主要為中新世-上新世糖恩山砂岩、上新世鹽水坑頁岩及上新世隘寮腳層；另，和安里 9～11 鄰聚落(圖 5-4)周圍邊坡地層則為為糖恩山砂岩及鹽水坑頁岩內，屬沉積岩地質區。岩性分別為糖恩山砂岩，以厚層砂岩和泥質砂岩為主的地層，具有堅硬的化石碎屑密集層為其特色。鹽水坑頁岩，深灰色、頁岩為主，中夾薄層黃灰色細粒至中粒砂岩及泥質砂岩。主要為巨厚、塊狀之頁岩為主，受強烈之生物擾動，偶夾黃灰色砂岩或泥質砂岩，常呈凸鏡狀向兩端尖滅。砂岩多半具有平行層理，偶有波痕和交錯層理。隘寮腳層，粉砂岩和頁岩薄互層，其岩性之頁岩，砂頁岩也常呈互層出現。頁岩中常含有帶狀之砂岩體，砂岩岩體略微堅硬緻密，淘選良好，其中間含有砂棒與碎屑化石。

嘉義縣阿里山鄉里佳村，里佳依傍於里佳溪(曾文溪支流烏奇哈溪流域)，海拔高度在 1100 至 1400 公尺之間。北鄰達邦村、樂野村，西南接山美村，東南鄰高雄縣桃源鄉。169 縣道是里佳唯一對外的通道。里佳村 1～3 鄰聚落(圖 5-5)主要位於中新世至上新世糖恩山砂岩及中新世長枝坑層，長枝坑層岩性主要為細粒薄層砂岩、中層緻密砂岩與泥質砂岩。

嘉義縣阿里山鄉豐山村位於阿里山脈西麓，塔山山腰，是台灣地勢最高的平地農村，海拔 750 公尺，四周則是 1000 公尺以上高山，故形成盆地，盆地內，清水溪、石鼓盤溪等大小溪流交錯分布，形成樹狀的河域，豐山聚落研究區如圖 5-6 所示。主要地層為中新世南莊層，以砂岩為主，夾薄層頁岩和砂岩與頁岩之薄葉互層。豐山村位於石鼓盤溪及其支流乾坑溪會流處，窪盆四周之河川上游山地，形成一

連串環狀瀑布群，其中包括著名之蛟龍大瀑布，山脈下則形成複合沖積扇。

嘉義縣阿里山鄉來吉村地形位於阿里山溪切割造成的河床階地，依傍阿里山溪而居。來吉村位於阿里山鄉之北段，東接香林村、南為十字村，北鄰豐山村，西與梅山鄉太和村相接。來吉村東西、南北約略等長，東側、南側地勢較高，西側溪谷處地勢較低，海拔最高約1,230 公尺，最低約 660 公尺，高差約 570 公尺。本村主要位於三峽群之南莊層上，以白砂岩、灰色砂岩、暗灰色頁岩、砂頁岩薄葉互層以及薄煤層等組成，而以砂岩為本層中最顯著之岩類。來吉村位於阿里山鄉北部，屬於阿里山溪上游。來吉村東依塔山山麓，西臨阿里山溪，隔溪與梅山鄉太和村相望。主要有兩大聚落即內來吉、外來吉，內來吉位於阿里山溪山麓谷口右岸沖積地。阿里山溪上游因侵蝕劇烈下切很深，塔山（2480 公尺）到內來吉（864 公尺）之間，直線距離僅 4 公里，落差竟 1616 公尺，至來吉附近，切穿山麓，以下河谷寬廣平緩，盛行堆積，在右岸內、外來吉兩聚落形成平坦階地，北流至社後坪（舊稱全仔社），納石鼓盤溪。社後坪以下，阿里山溪折向西流出本鄉，再折向北流進雲林縣境，以下始稱清水溪，研究區外來吉聚落如圖 5-7 所示。

嘉義縣梅山鄉太和村，太和村位於竹崎鄉西北端，被阿里山山脈包圍，北鄰草嶺、豐山，西至瑞里，乃梅山鄉最北、最偏遠的村落，海拔 1,200 到 1,600 公尺之間，村民們散居在不同的山坡處，地方產業以茶葉及林地產物生產為主。地層位於中新世長枝坑層，其岩性為砂岩及砂頁岩互層，研究區太和村蛤里味聚落如圖 5-8 所示。

南投縣竹山鎮桶頭里(過溪聚落)及瑞竹里(瑞竹里聚落)(圖 5-9)位於阿里山溪下游清水溪右岸臺地堆積層上，主要地層位於中新世-上

新世桂竹林層，本區地層可分為三個岩段，上段大窩砂岩(Kct)主要以細粒至粉砂質砂岩為主，由薄層以至厚層塊狀。與所夾頁岩常呈薄互層，局部呈薄葉互層，但延展不遠即尖滅。砂岩相當堅硬緻密。岩質純淨，顏色以淺灰至中灰色為主，風化後呈黃棕色甚至紫紅色。局部含泥質團塊。在薄層砂岩面上可見水流造成之波痕及波浪造成之交錯層。向上頁岩成分增多，岩質由堅緻逐漸變為疏鬆。本層砂岩中常含石灰質砂岩層或結核，厚數公分至數十公分。在砂岩層底面上時見管狀生痕化石，縱橫相連。本層中富含貝類，有孔蟲及海膽等海相化石。中段十六份頁岩(Kcs)，由深至青灰色頁岩組成，夾有薄層至中層的細粒砂岩，層理不明顯，常呈洋蔥狀剝離，產有許多貝類和蟹類化石海相化石甚豐。下段關刀山砂岩(Kck)，由細粒到中粒的深灰色、灰色、淡青灰色砂岩組成，夾深灰色頁岩或砂質頁岩和少量的礫石條帶，散見有孔蟲與貝類化石。砂岩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。境內有檳榔宅斷層、布袋窟斷層通過，亦有一內寮向斜構造由東北向西南通過。檳榔宅斷層位於大尖山斷層桶頭之東側。斷層呈北北東走向，北端則於山坪頂附近與大尖山斷層合而為一，其與大尖山斷層間露出之地層形成內寮向斜，由此推測，檳榔宅斷層可能為發生在大尖山斷層之後的分岐斷層，其斷面向東而東側地塊相對上昇之逆斷層。其斷面傾角可能較大尖山斷層為陡，而於地下某一深處與大尖山斷層合而為一。布袋窟斷層，位於草嶺東部呈西北東走向。其西北端檳榔宅斷層之分歧斷層截失，東南端則通過石壁山東方之後斷跡不明而消失。本斷層為一右移斷層，將石崁湖背斜截切成南北兩塊，南側地塊受本斷層向西擠壓，造成背斜西側另一向斜構造。

神木村位於南投縣信義鄉西南方陳有蘭溪上游，由南投水里至信義經豐丘、同富（和社）。神木村位於陳有蘭溪上游支流和社溪上源之愛玉子溪、出水溪及那馬嘎班溪三條溪流之匯流處，源頭標高約2000 公尺；西方為對高山、祝山（約 2489m），南方為石山、鹿林山，東面為東埔山，北有瓊山，神木村海拔約 1000m~2000m，為一群山圍繞而地勢向東北傾斜之山地地形。神木地區之地質環境屬於臺灣麓山帶地質區內帶，主要由中新世晚期南莊層之砂、頁岩互層構成，間夾一火山凝灰岩體，由於遭受強烈之擠壓褶曲與變形，岩體不連續面相當發達，部落附近地質構造出露頻繁，歷年來地質災害不斷，研究區神木村民和巷聚落如圖 5-10 所示。

南投縣信義鄉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，研究區同富村太平巷聚落如圖 5-11 所示。

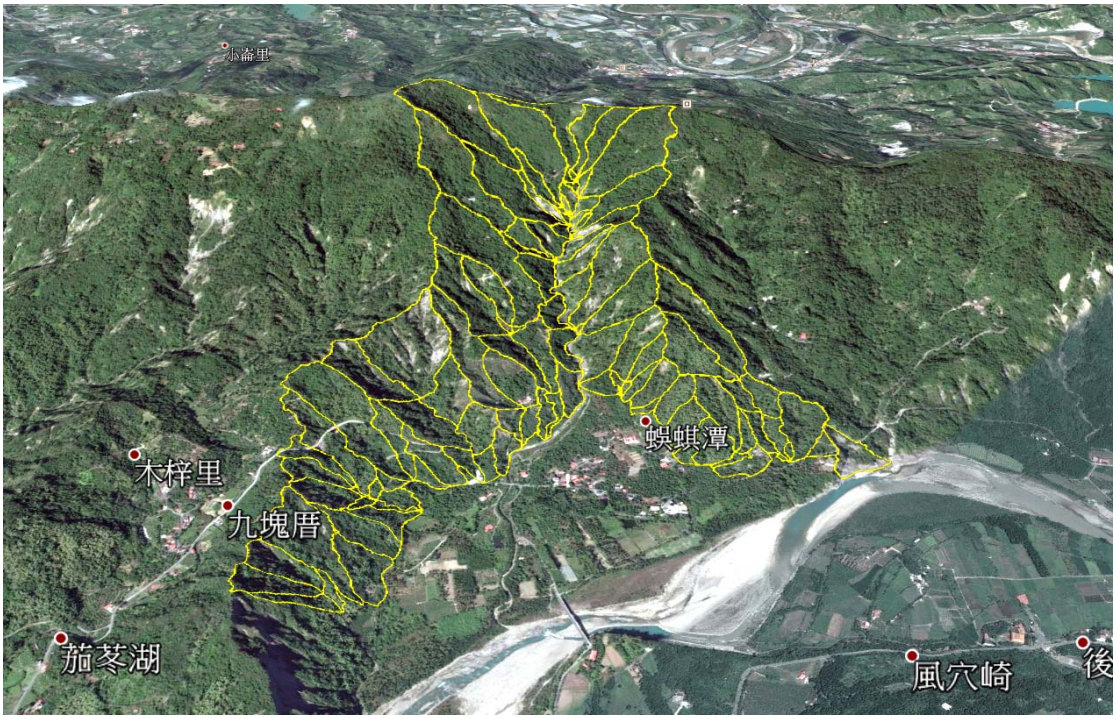


圖 5-3 研究區 A-高雄市杉林區木梓里 12～13 鄰(蜈蜞潭聚落)

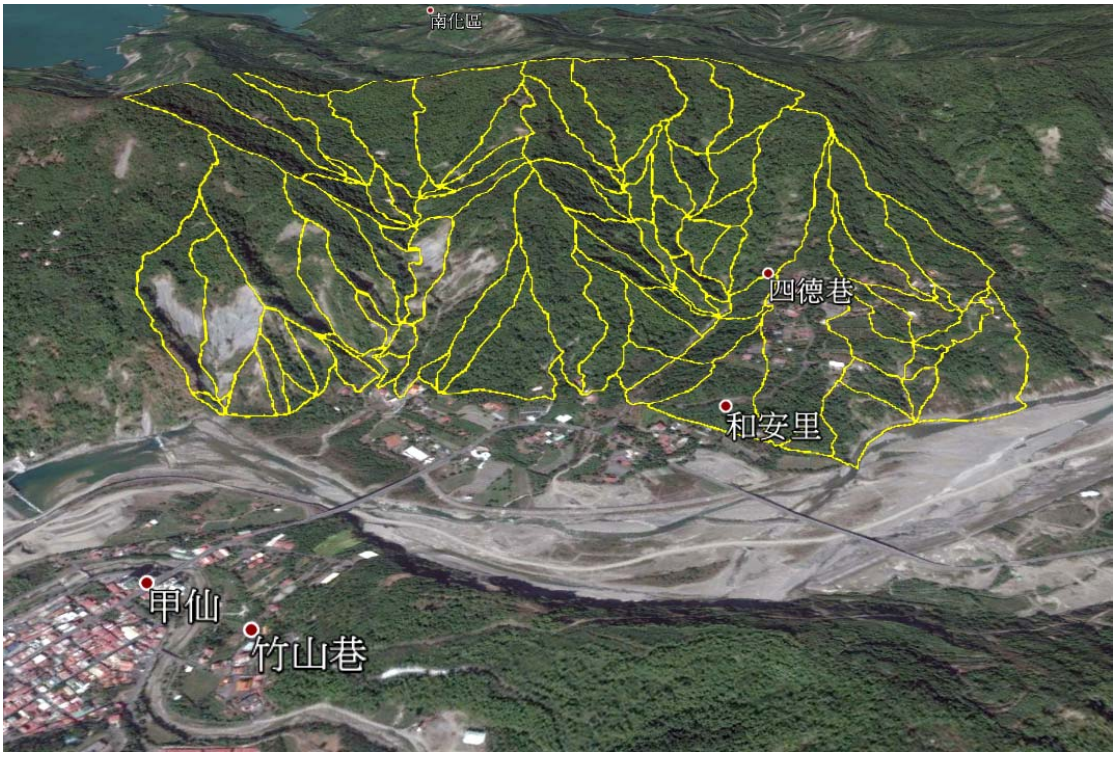


圖 5-4 研究區 B-高雄市甲仙區和安里(和安里 9～11 鄰聚落)

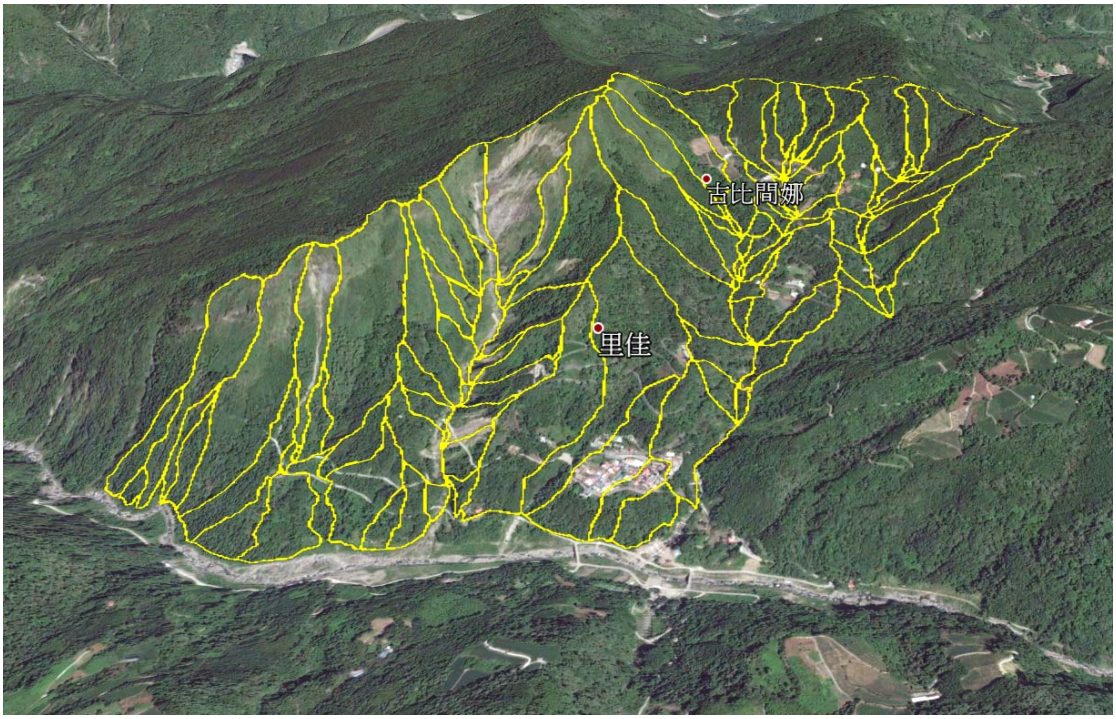


圖 5-5 研究區 C-嘉義縣阿里山鄉里佳村(里佳村 1～3 鄰聚落)

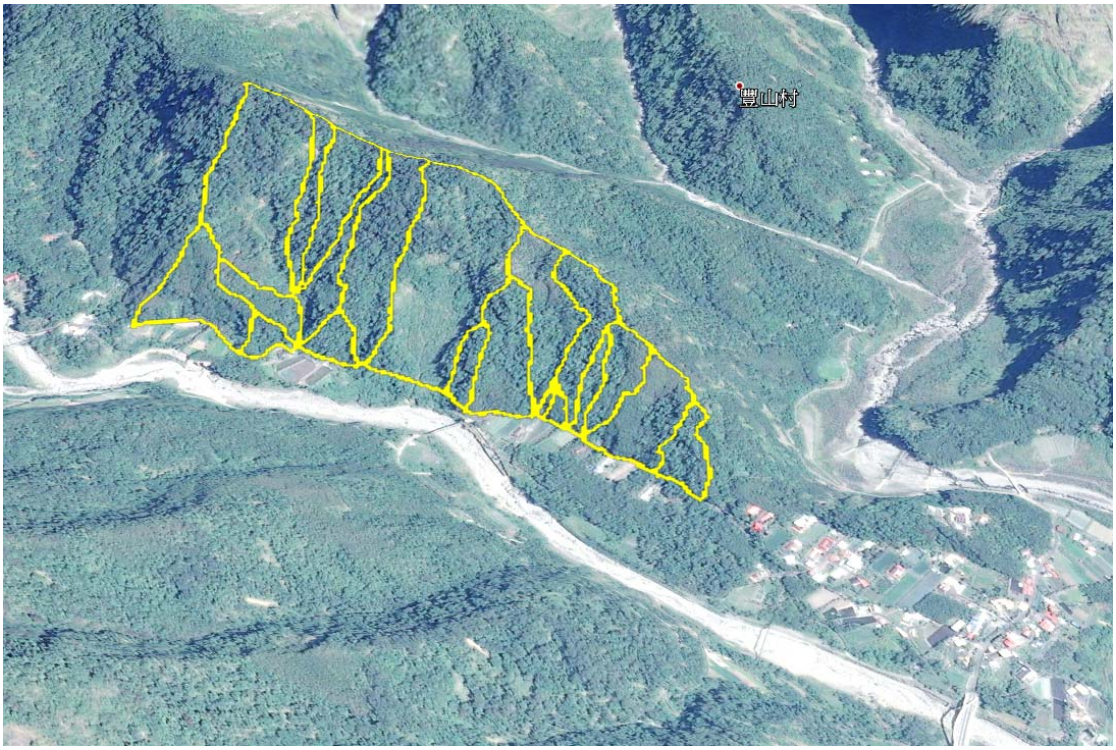


圖 5-6 研究區 D-嘉義縣阿里山鄉豐山村(豐山村 4 鄰聚落)

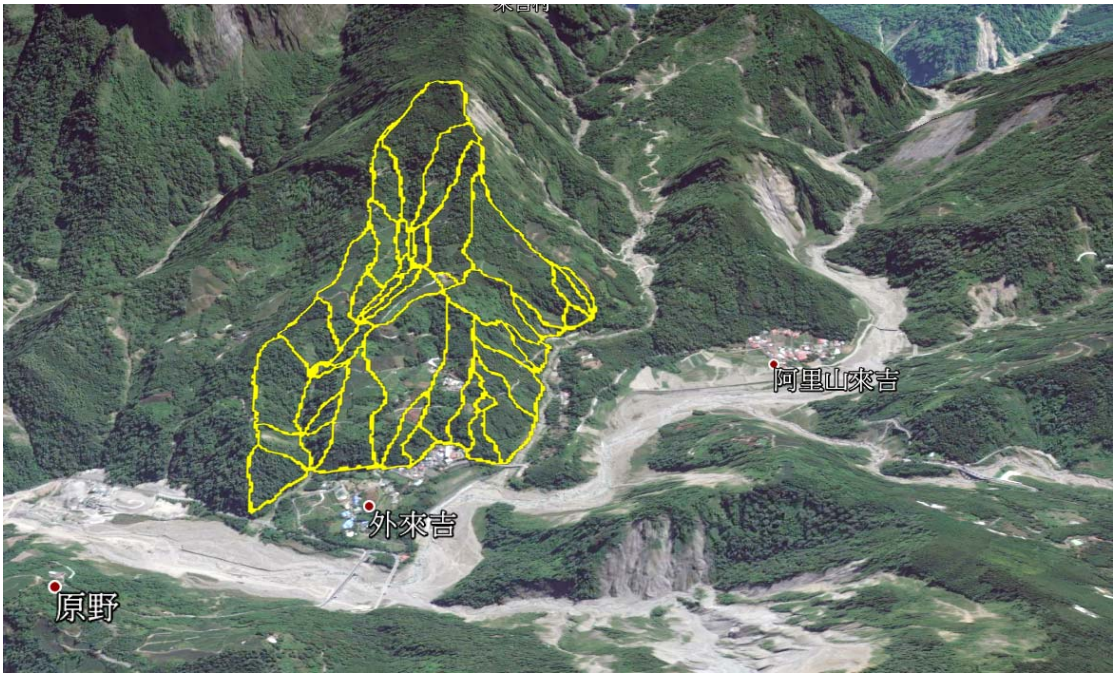


圖 5-7 研究區 E-嘉義縣阿里山鄉來吉村 3～4 鄰(外來吉聚落)



圖 5-8 研究區 F-嘉義縣梅山鄉太和村(蛤里味聚落)

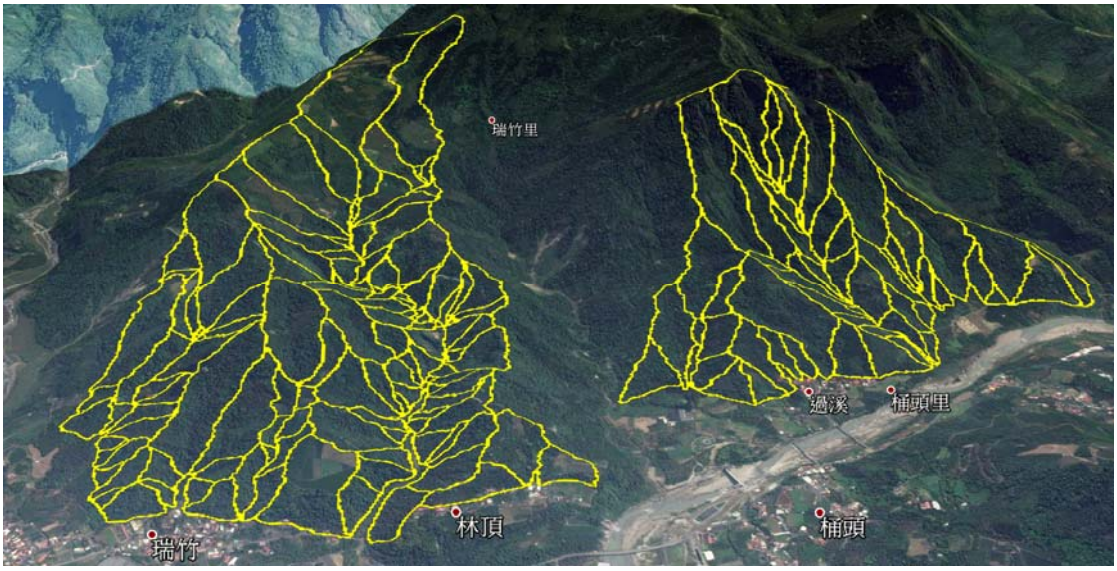


圖 5-9 研究區 G-南投縣竹山鎮桶頭里 15～17 鄰(過溪聚落-右)及研究區 H 瑞竹里(瑞竹里聚落-左)

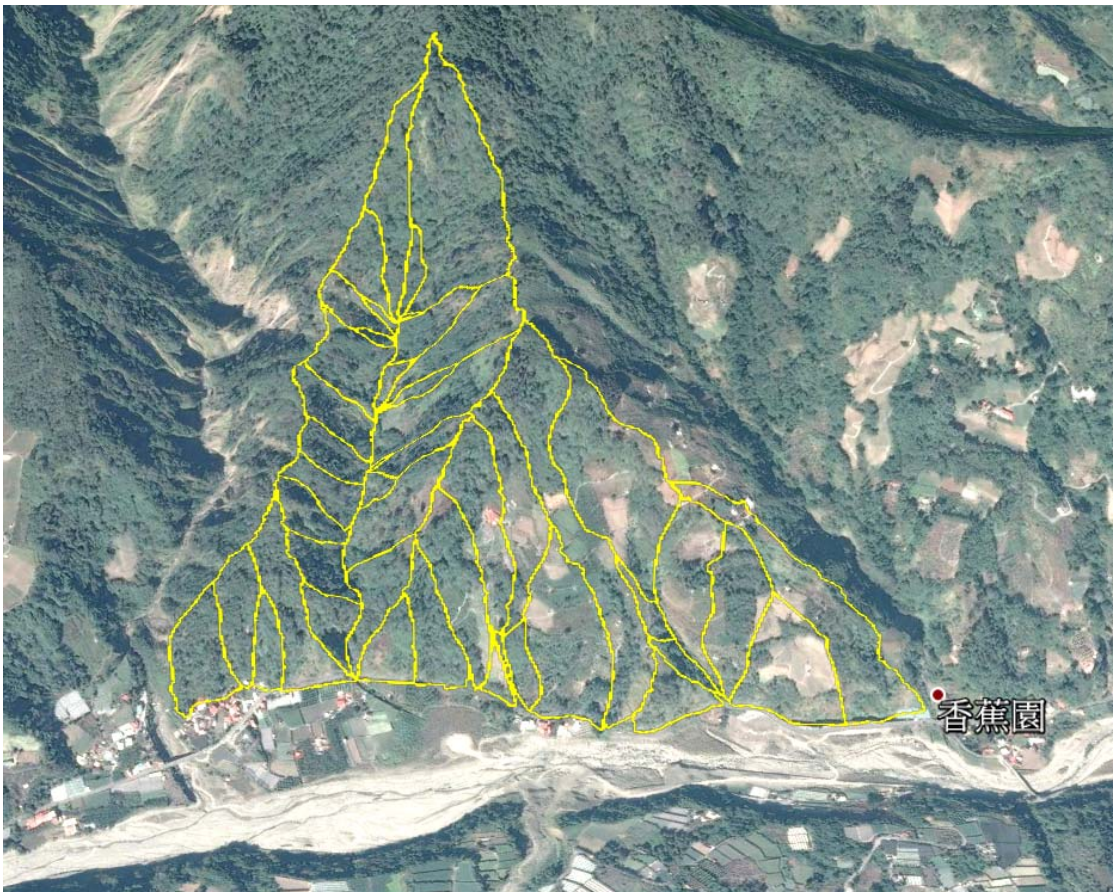


圖 5-10 研究區 I-南投縣信義鄉神木村(民和巷聚落)

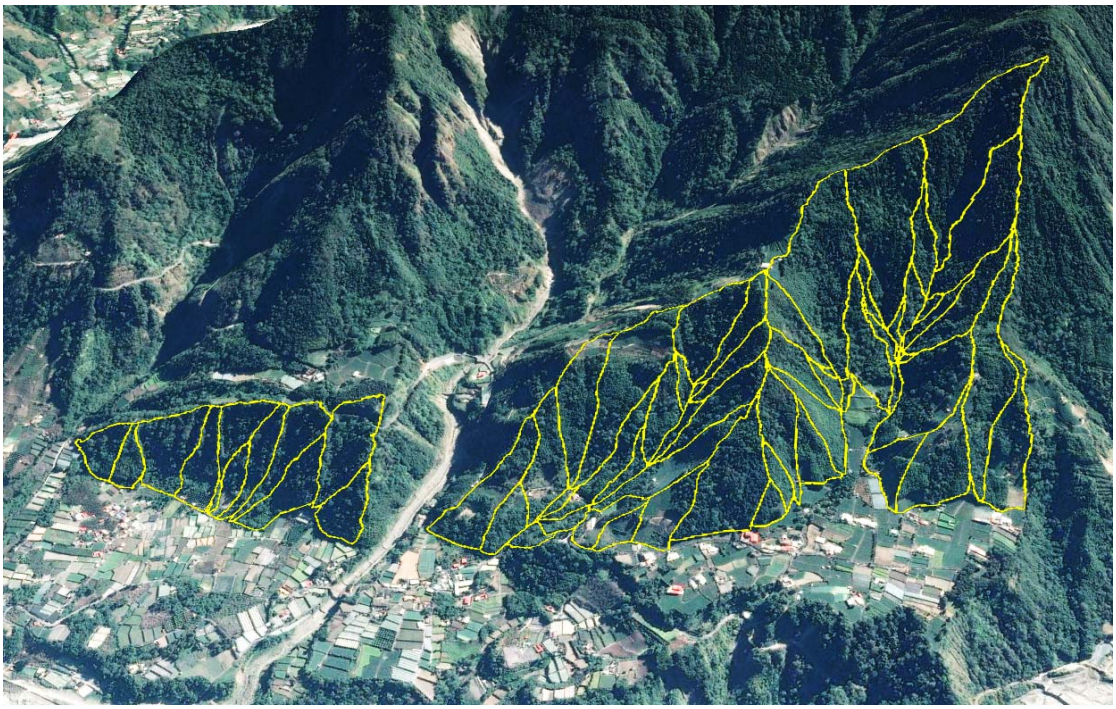
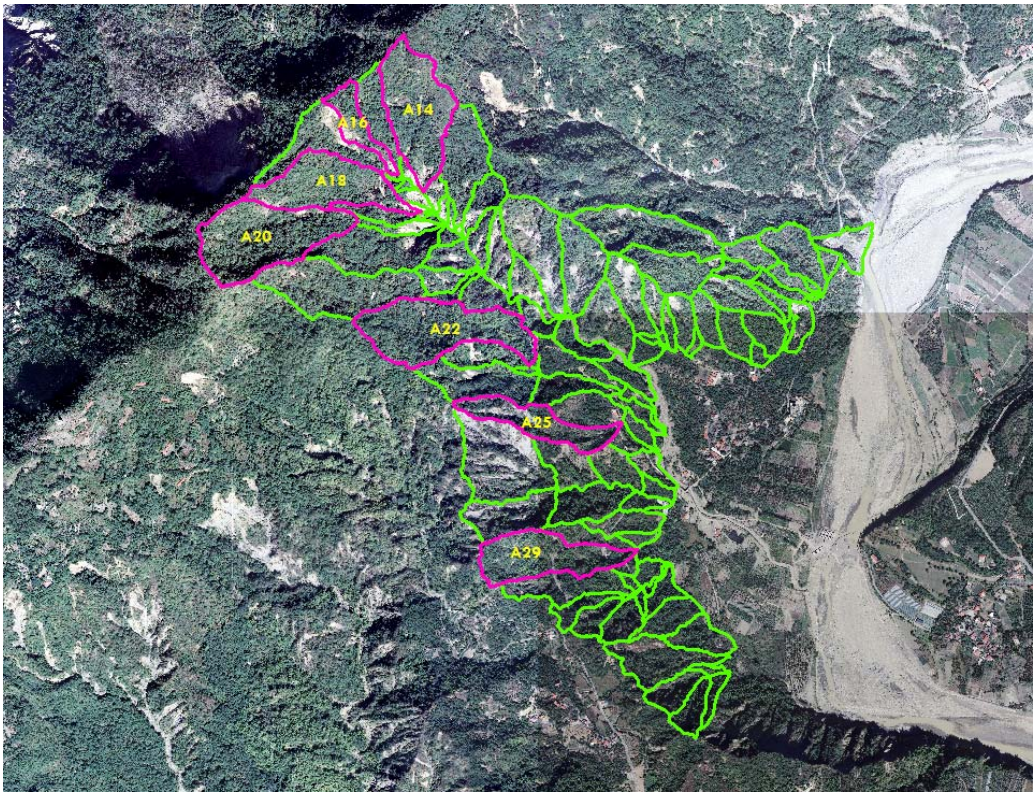


圖 5-11 研究區 J-南投縣信義鄉同富村(太平巷聚落)

四、10 處聚落周邊坡面型土石流現地查核

本研究完成沉積岩區 10 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 5-12 至圖 5-25 所示

針對 A 區-高雄市杉林區木梓里 12～13 鄰(蜈蜞潭聚落)聚落周緣邊坡判釋為坡面型土石流之溪流，依交通可及性及安全性考量之實際勘查，分別依循各集水區河道內各項特徵及土石材料搬運、堆積分布情形，為觀察是否確實有發生土石流之依據；經現地勘查實際發生坡面型土石流有 7 處(紫色分析單元)，現地照片分別如下圖 5-12 所示。







A14



A16



A18





A18





A20

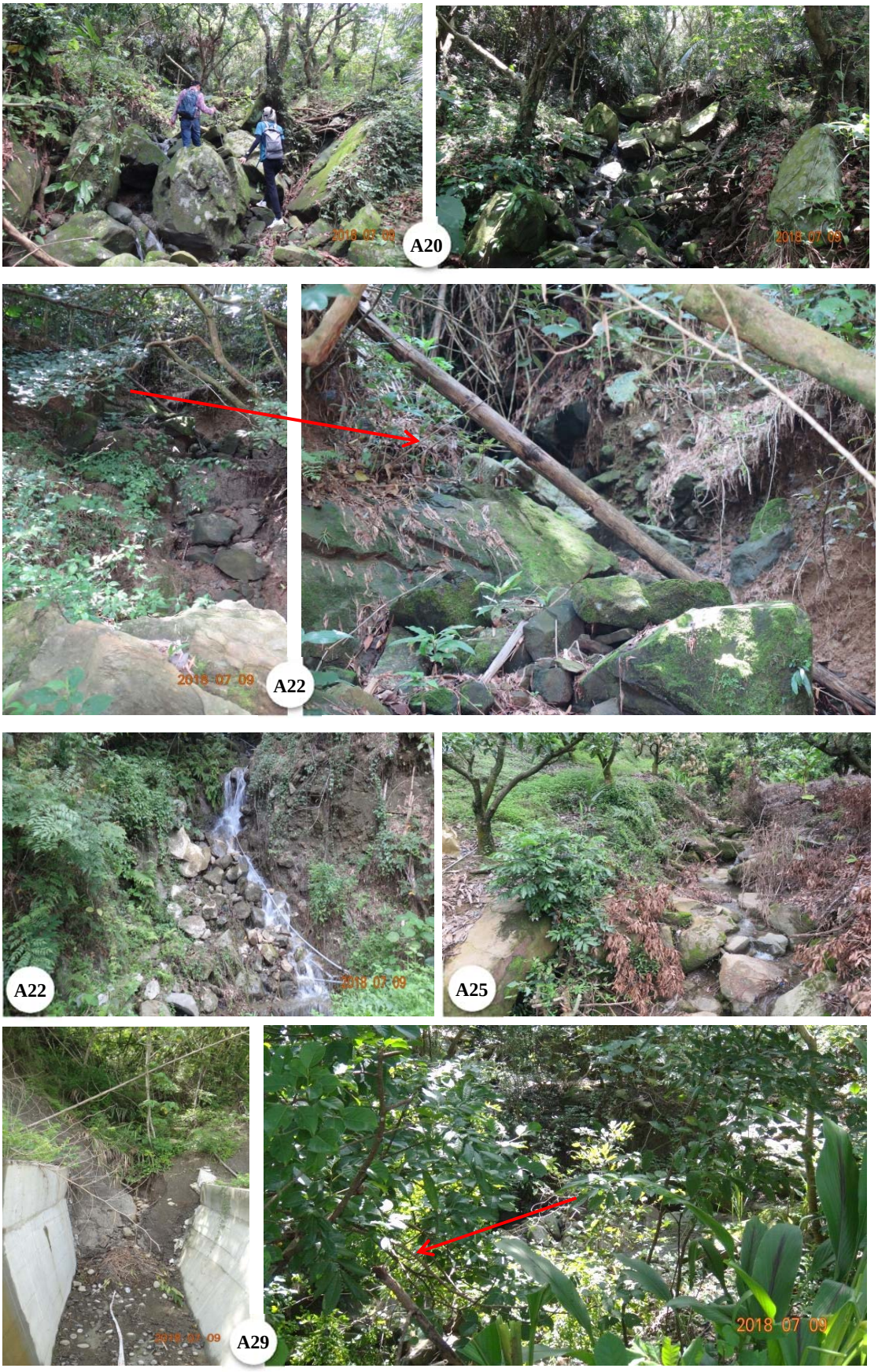


圖 5-12、A 研究區內各坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況

B 區-高雄市甲仙區和安里 9～11 鄰(和安里聚落)聚落周緣邊坡判釋為坡面型土石流之溪流，依交通可及性及安全性考量之實際勘查，分別依循本聚落周緣邊坡集水區河道內各項特徵及土石材料搬運、堆積分布情形，做為觀察是否確實有發生土石流之依據。部分溪流雖然河道已有施做整治工程，但仍可由其兩側堆積範圍內找尋到是為土石流搬運堆積的分布狀況，經實際勘查發生坡面型土石流有 2 處(紫色分析單元)，如圖 5-13 所示。而未發生土石流之溪流，河道內雖也有材料堆積，但僅是洪水沖刷或是崩塌而下堆積之材料分布，圖 5-14 則分別為非土石流之現地照片。

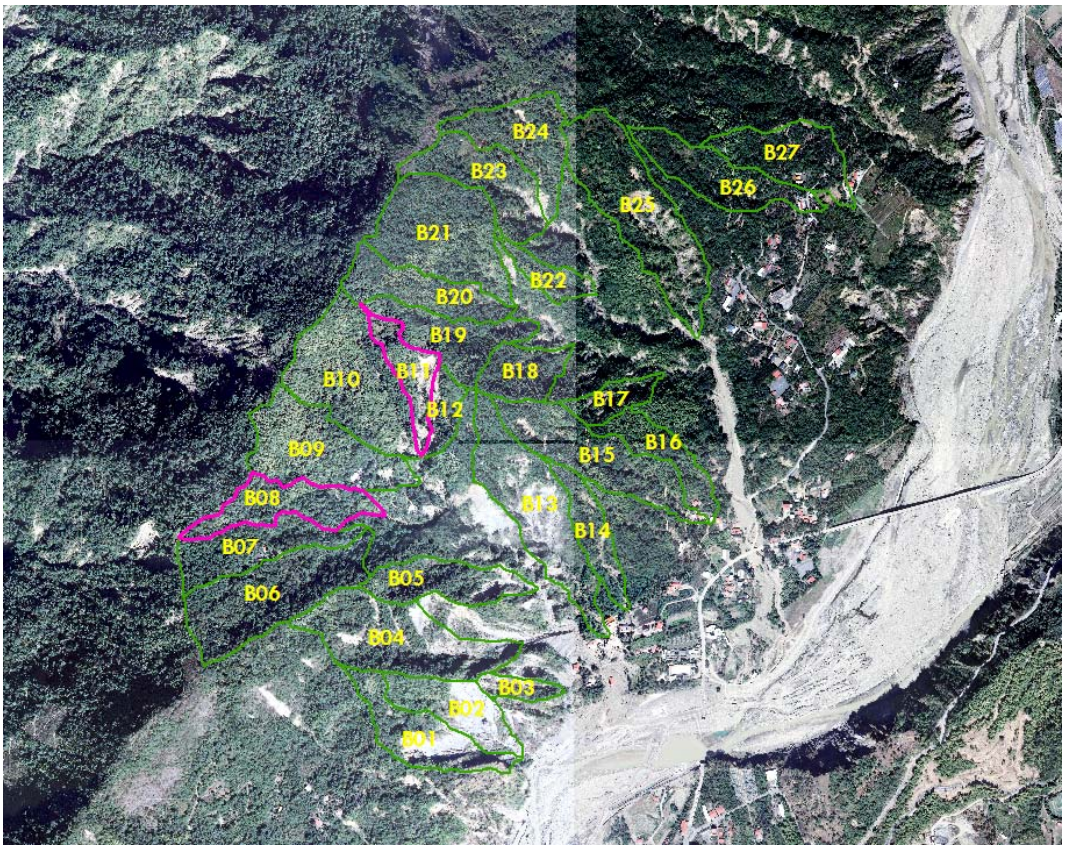


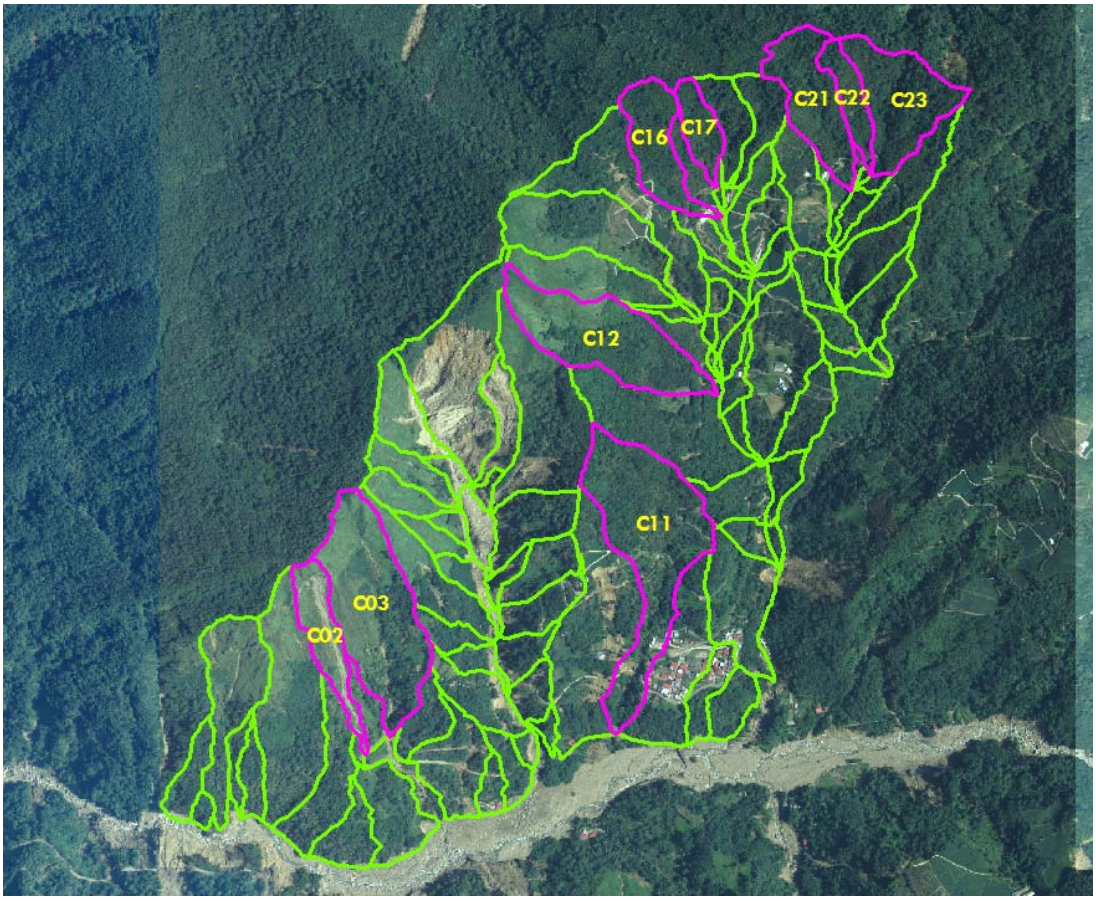


圖 5-13、B 研究區內各坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況

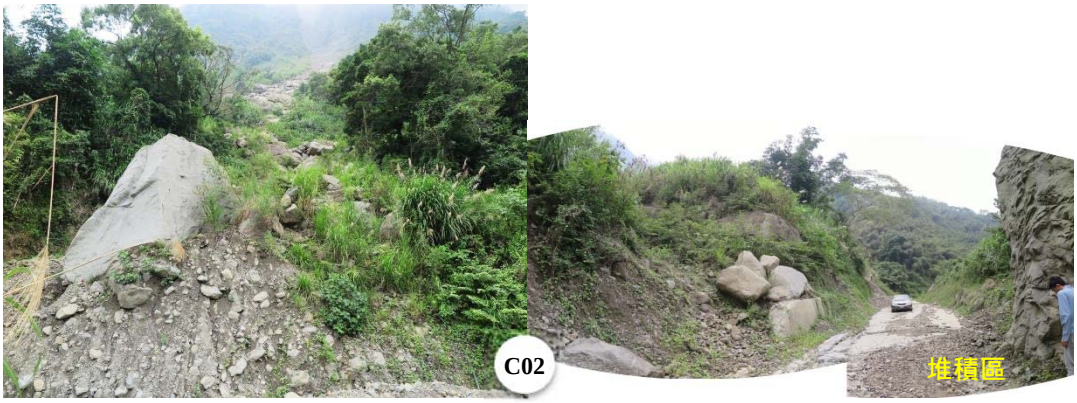


圖 5-14、B 研究區內非坡面型土石流之河道及土砂堆積現況

C 區-嘉義縣阿里山鄉里佳村 1～3 鄰(里佳 1～3 鄰聚落)聚落周緣邊坡判釋為坡面型土石流之溪流，依交通可及性及安全性考量之實際勘查，分別依循本聚落周緣邊坡集水區河道內各項特徵及土石材料搬運、堆積分布情形。部分河道雖已有施做整治工程及草木覆蓋，但仍可由其河道內及兩側土石堆積情形等，做為觀察是否確實為發生土石流之依據;經現地勘查實際發生坡面型土石流有 9 處(紫色分析單元)，現地照片如圖 5-15 所示。




C02
C03
C02 及 C03 集水區遠景
2018 07 16
C02
C03


C02
堆積區


C03
下游出口整治工程


C11
上游河道


2018 07 16
C11
中下游河道


下游河道出口
2018 07 16
C11


下游河道堆積現況
2018 07 16
C12
土石流搬運堆積


2018 07 16
C16



圖 5-15、C 研究區內各土石流河道及土石流材料搬運堆積現況

D 區-嘉義縣阿里山鄉豐山村 4 鄰(豐山村 4 鄰聚落)聚落周緣邊坡判釋為坡面型土石流之溪流，依交通可及性及安全性考量之實際勘查，分別依循本聚落周緣邊坡集水區河道內各項特徵及土石材料搬運、堆積分布情形但仍可由其河道內及兩側土石堆積情形等，做為觀察是否確實曾有發生土石流之依據，經實際勘查發生坡面型土石流有 1 處(紫色分析單元)，如圖 5-16 所示。另，圖 5-17 則為現勘區域內非土石流溪流之現況，河道內無明顯堆積材料，兩側也無明顯土石流材料搬運堆積之現象，僅是上游大水夾帶崩塌堆積材料，並無明顯土石流掏刷渠道。

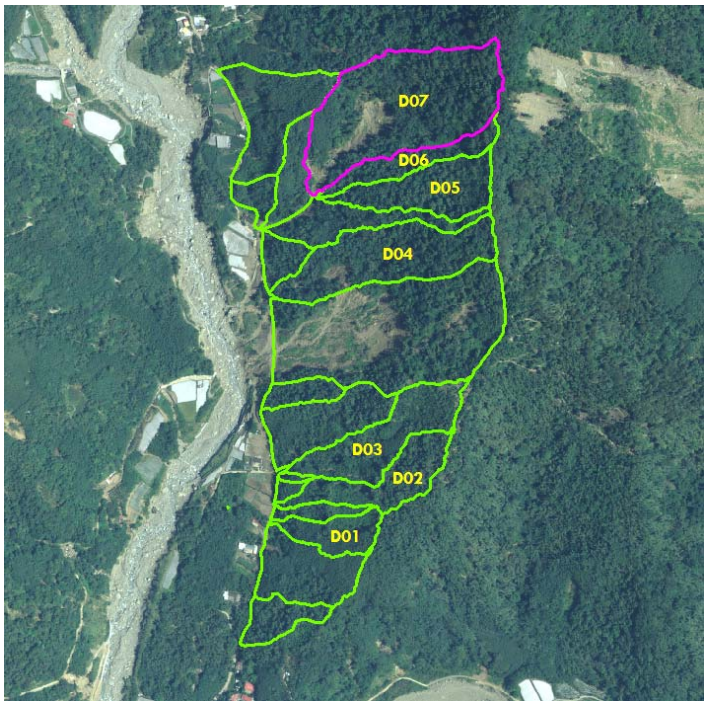


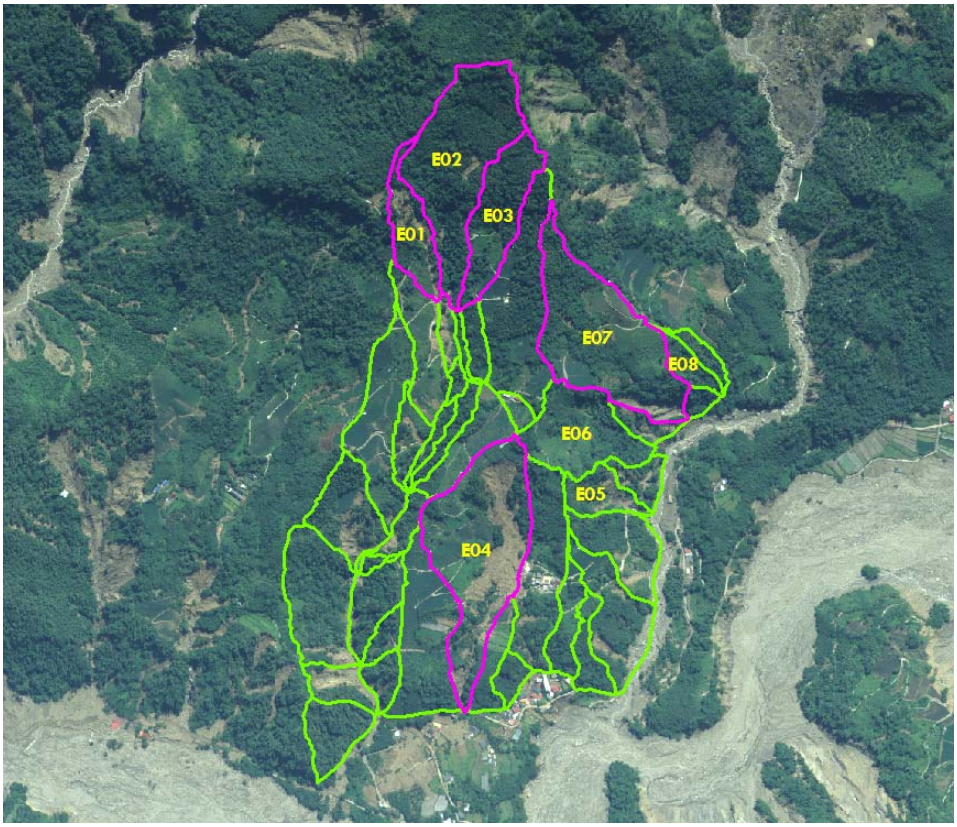


圖 5-16、D 研究區內各土石流河道及土石流材料搬運堆積現況



圖 5-17、D 研究區內非坡面型土石流之河道及土砂堆積現況

E 區-嘉義縣阿里山鄉來吉村 3～4 鄰(外來吉聚落)聚落周緣邊坡判釋為坡面型土石流之溪流，依交通可及性及安全性考量之實際勘查，分別依循本聚落周緣邊坡集水區河道內各項特徵及土石材料搬運、堆積分布情形，現地勘查部分溪流河道已有施做整治工程且草木叢生覆蓋，但仍可由其河道內及兩側土石搬運堆積現象等，做為觀察是否確實為發生土石流之依據。經現地勘查實際發生坡面型土石流有 5 處(紫色分析單元)，現地照片如圖 5-18 所示。





E07




舊堆積扇上左側河道
E04


舊堆積扇上右側邊坡坑溝
E04

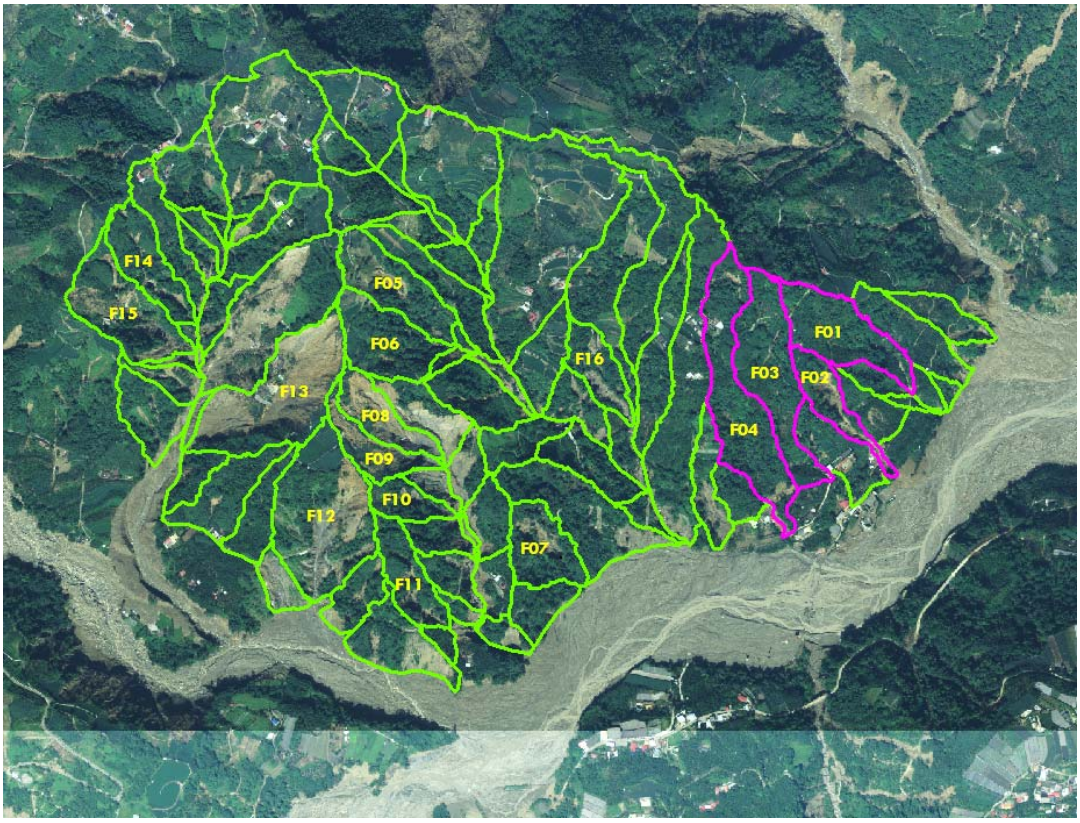

E03
土石流材料搬運堆積分布


E02



圖 5-18、E 研究區內各土石流河道及土石流材料搬運堆積現況

F 區-嘉義縣梅山鄉太和村(蛤里味聚落)聚落周緣邊坡判釋為坡面型土石流之溪流，依交通可及性及安全性考量之實際勘查，分別依循本聚落周緣邊坡集水區河道內各項特徵及土石材料搬運、堆積分布情形，現地勘查部分溪流河道已有施做整治工程且河道草木叢生覆蓋，但仍可由其河道內及兩側土石搬運堆積現象等，做為觀察是否確實為發生土石流之依據。經現地勘查實際發生坡面型土石流有 4 處(紫色分析單元)，現地照片如圖 5-19 所示。


F14
F15
F05
F06
F13
F08
F09
F10
F12
F07
F11
F16
F01
F03
F02
F04


現有河道已有整治，但雜草叢生覆蓋
F01


土石流材料搬運堆積分布


F02




F02
土石流材料堆積堆積分布

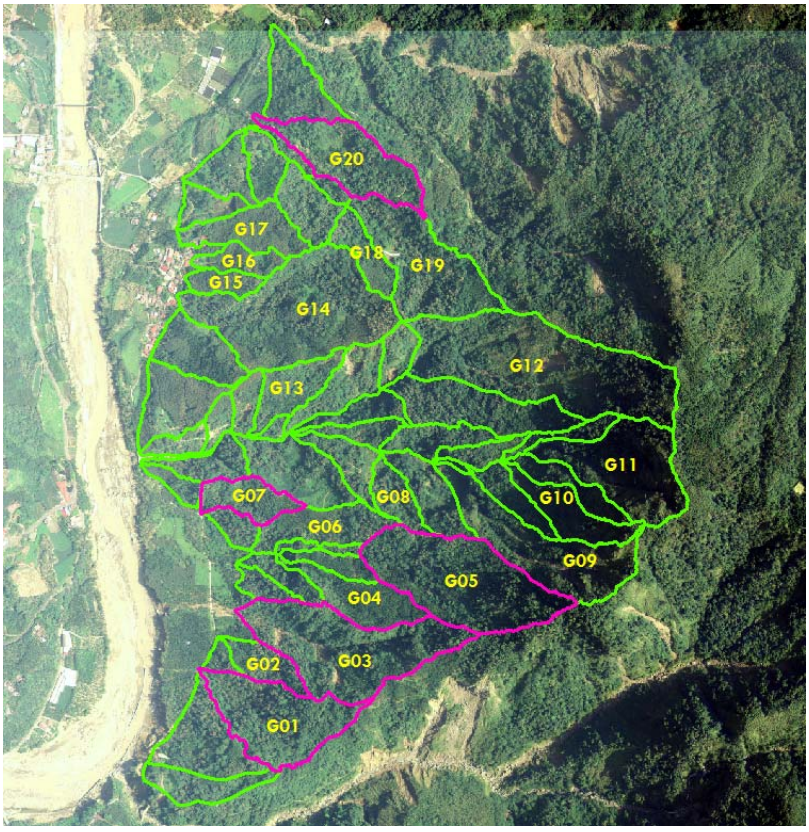

F03


F03



圖 5-19、F 研究區內各土石流河道及土石流材料搬運堆積現況

G 區-南投縣竹山鎮桶頭里 15～17 鄰(過溪聚落)聚落周緣邊坡判釋為坡面型土石流之溪流，依交通可及性及安全性考量之實際勘查，分別依循本聚落周緣邊坡集水區河道內各項特徵及土石材料搬運、堆積分布情形，現地勘查部分溪流河道已有施做整治工程且河道草木叢生覆蓋，但仍可由其河道內及兩側土石搬運堆積現象等，做為觀察是否確實為發生土石流之依據。經現地勘查實際發生坡面型土石流有 6 處(紫色分析單元)，現地照片如圖 5-20 所示。


G20
G17
G16
G15
G18
G19
G14
G12
G13
G11
G07
G08
G10
G06
G09
G05
G04
G02
G03
G01




G01


G03




集水區下游土石流材料搬運堆積分布


集水區上游段河道現況
G03


G07
土石流材料搬運堆積分布

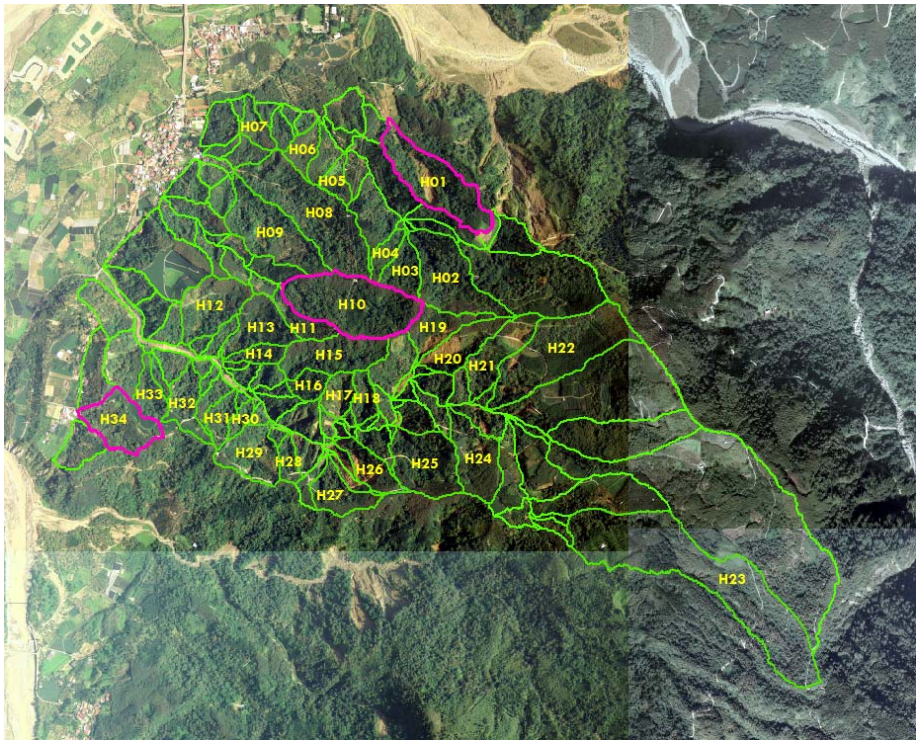

G05
土石流材料搬運堆積分布


G20
下游河道及土石材料分布現況



圖 5-20、G 研究區內各土石流河道及土石流材料搬運堆積現況

H 區-南投縣竹山鎮瑞竹里(瑞竹里聚落)聚落周緣邊坡判釋為坡面型土石流之溪流，依交通可及性及安全性考量之實際勘查，分別依循本聚落周緣邊坡集水區河道內各項特徵及土石材料搬運、堆積分布情形，現地勘查部分溪流河道已有施做整治工程且河道草木叢生覆蓋，但仍可由其河道內及兩側土石搬運堆積現象等，做為觀察是否確實為發生土石流之依據。經現地勘查實際發生坡面型土石流有 3 處，現地照片如圖 5-21 所示；圖 5-22 則為現地勘查並非發生土石流之溪流河道現況。


H07
H06
H05
H01
H08
H09
H04
H03
H02
H12
H10
H13
H11
H19
H14
H15
H20
H21
H22
H33
H32
H16
H17
H18
H34
H31
H30
H29
H28
H26
H25
H24
H27
H23


下游河道出口及堆積區


H34
雜草覆蓋土石流材料堆積分布


H34
河道內依稀可見土石流搬運堆積材料



圖 5-21、H 研究區內各土石流河道及土石流材料搬運堆積現況

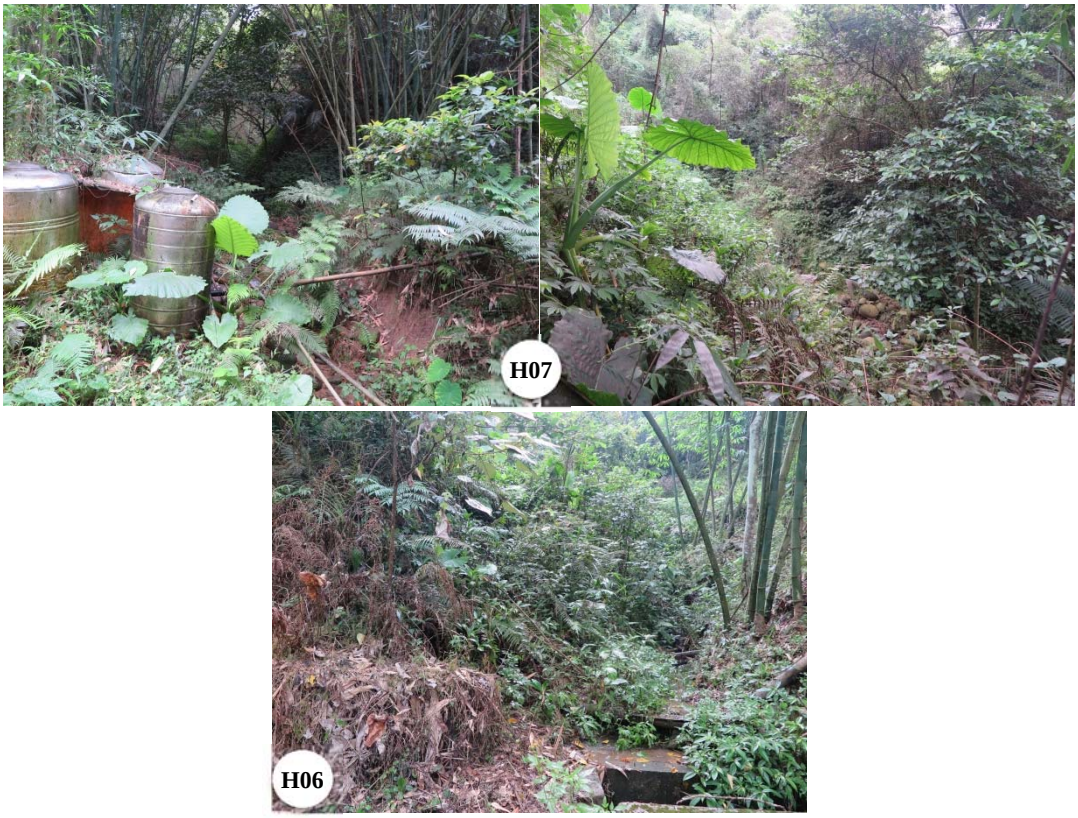
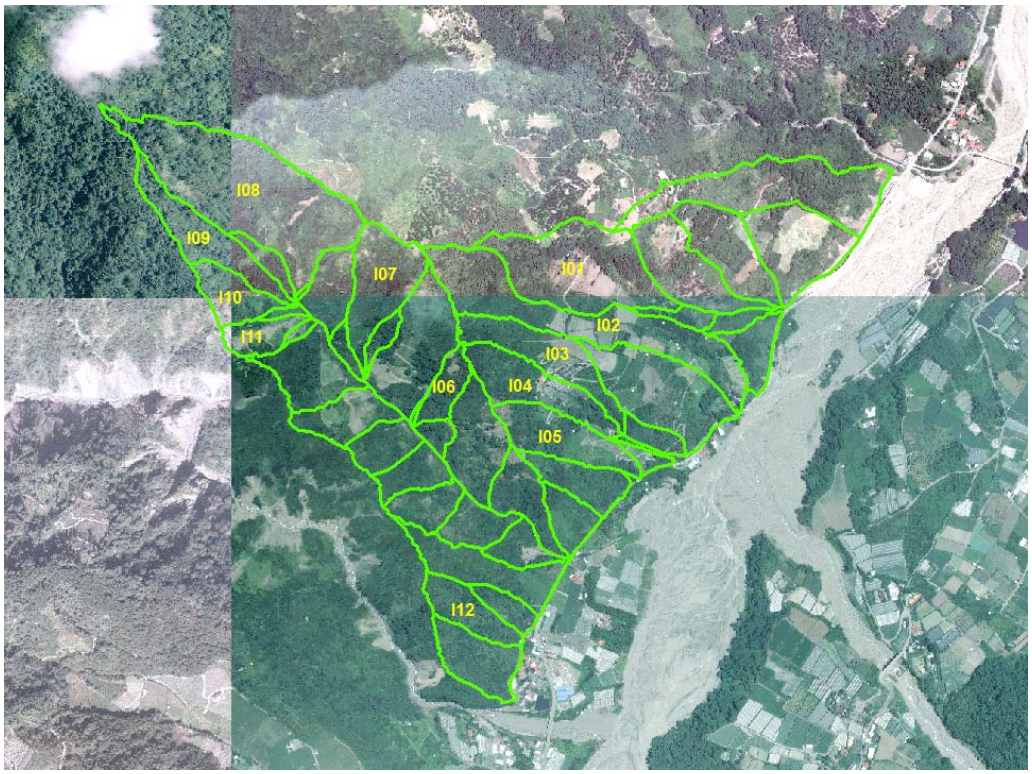
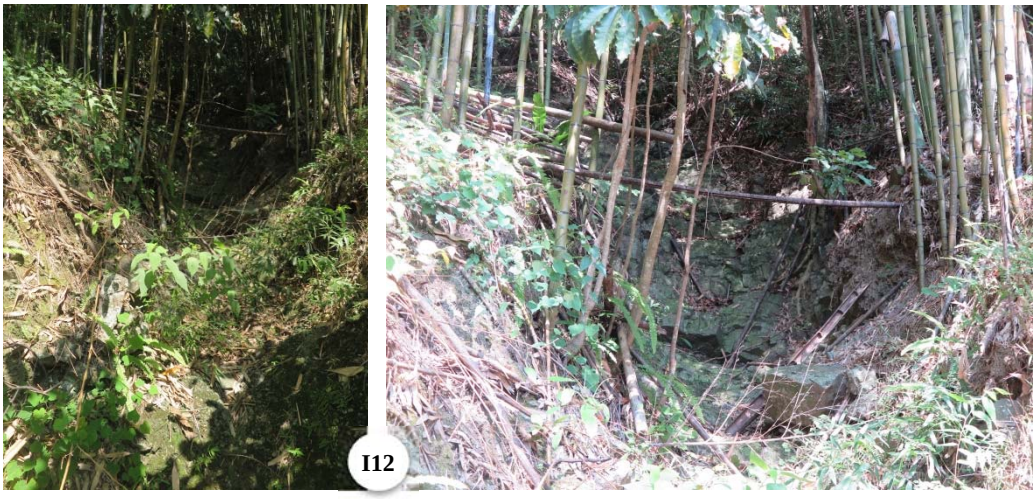


圖 5-22、H 研究區內非坡面型土石流之河道及土砂堆積現況

I 區-南投縣信義鄉神木村(民和巷聚落)聚落周緣邊坡判釋為坡面型土石流之溪流，依交通可及性及安全性考量之實際勘查，分別依循本聚落周緣邊坡集水區河道內各項特徵及土石材料搬運、堆積分布情形，依其河道內及兩側土石搬運堆積現象等，做為觀察是否確實為發生土石流之依據。經現地勘查實際發生坡面型土石流 0 處；依判釋結果現地勘查並非發生土石流之溪流則為圖 5-23 所示。






I05


I04
沒有明顯河道及土石堆積


I02



圖 5-23、I 研究區內非坡面型土石流之河道現況

J 區-南投縣信義鄉同富村(太平巷聚落)聚落周緣邊坡判釋為坡面型土石流之溪流，依交通可及性及安全性考量之實際勘查，分別依循本聚落周緣邊坡集水區河道內各項特徵及土石材料搬運、堆積分布情形，依其河道內及兩側土石搬運堆積現象等，做為觀察是否確實為發生土石流之依據。經現地勘查實際發生坡面型土石流 1 處(紫色分析單元)，如圖 5-24 所示；依判釋結果現地勘查並非發生土石流之溪流則為圖 5-25 所示。

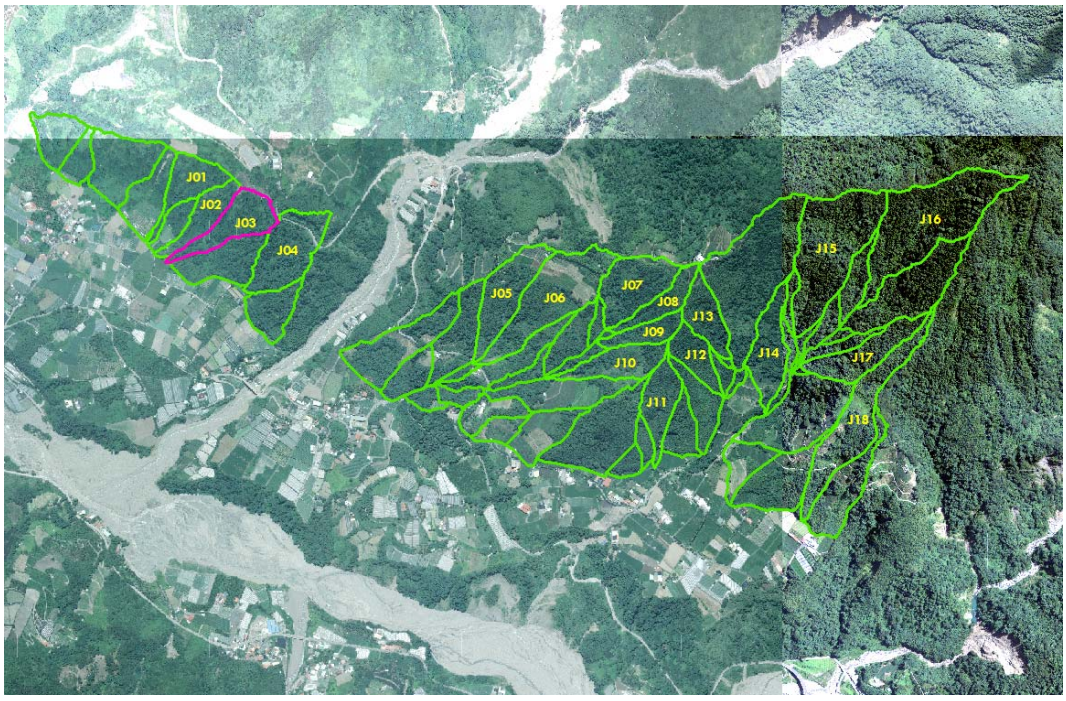




圖 5-24、J 研究區內土石流河道及土石流材料搬運堆積現況





圖 5-25、J 研究區內非坡面型土石流之河道現況

第二節 聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分

本研究依前項工作判釋結果，首先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 10 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 5-26 所示。其中所獲取之分析單元，將再依坡面型土石流判釋模式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(S 邊坡，如河岸直坡等)，逕行編入成崩塌單元(NDF)。河岸直坡等之崩塌邊坡單元因無匯水地形(無集水區地形)，不可能形成土石流，因此僅可能為崩塌(NDF)狀況。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 5-27 至圖 5-30 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 5-30)。

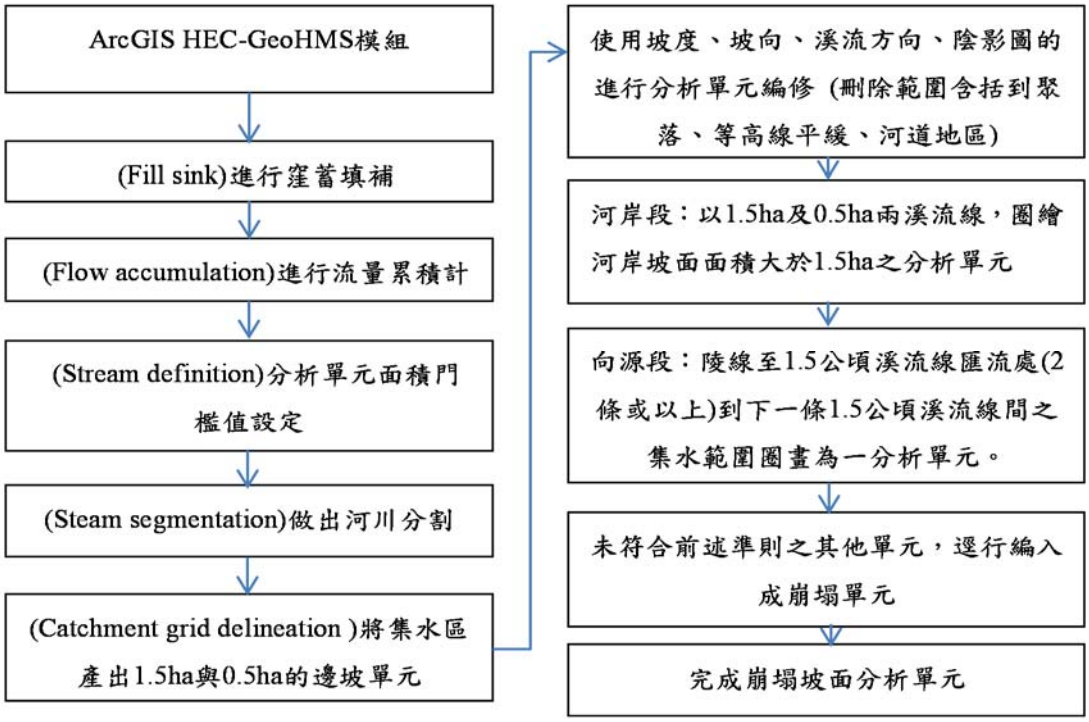


圖 5-26 崩塌坡面分析單元圈劃流程圖

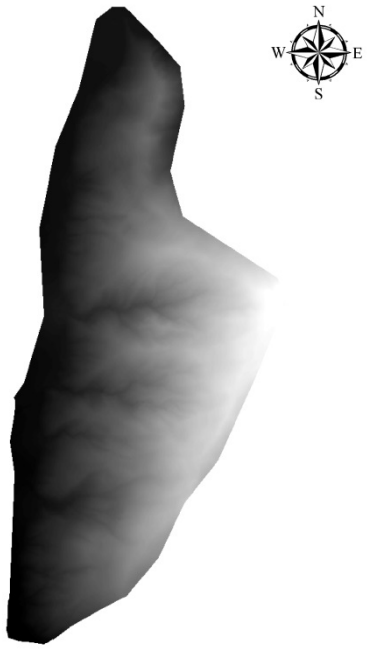
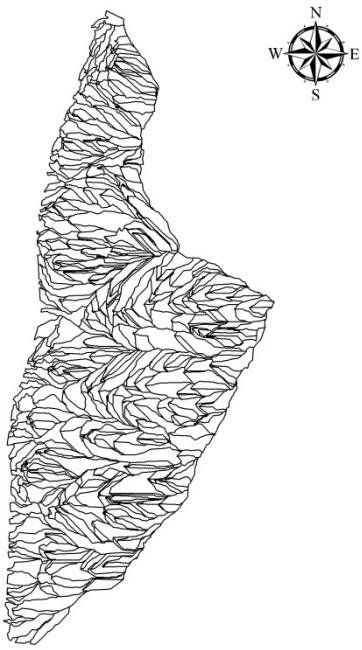


圖 5-27 災前 DEM



圖 5-28 600 格/1.5 公頃



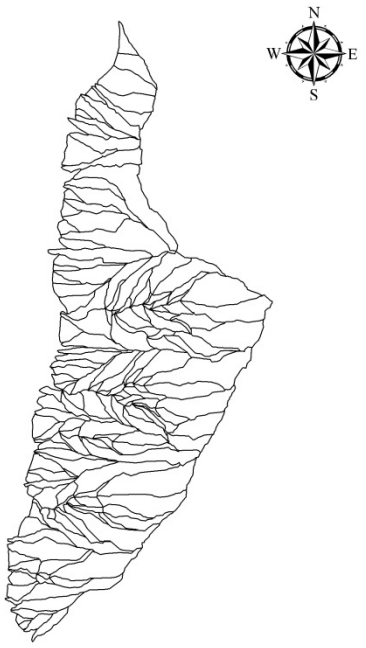


圖 5-29 200 格/0.5 公頃　　**圖 5-30 坡面分析單元**

二、研究區崩塌坡面分析單元圈繪成果

依據上節程序進行研究區沉積岩區各聚落位址之分析單元劃分，已完成 10 處聚落之圈繪，成果如圖 5-31 至圖 5-40 所示。獲得分析單元數目共計為 182 筆。其中，發生坡面型土石流案例之分析單元(圖中紅色單元)，於沉積岩區之 A 區 33 處，B 區 24 處，C 區 23 處，D 區 7 處，E 區 5 處，F 區 14 處，G 區 20 處，H 區 31 處，I 區 12 處，J 區 15 處，共計 184 處判釋發生坡面型土石流事件。

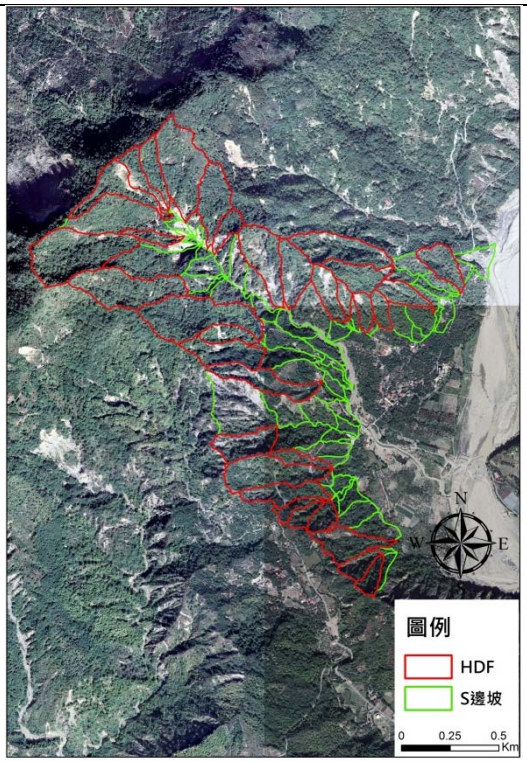


圖 5-31 A 區分析單元圈畫成果圖
(蜈蜞潭)

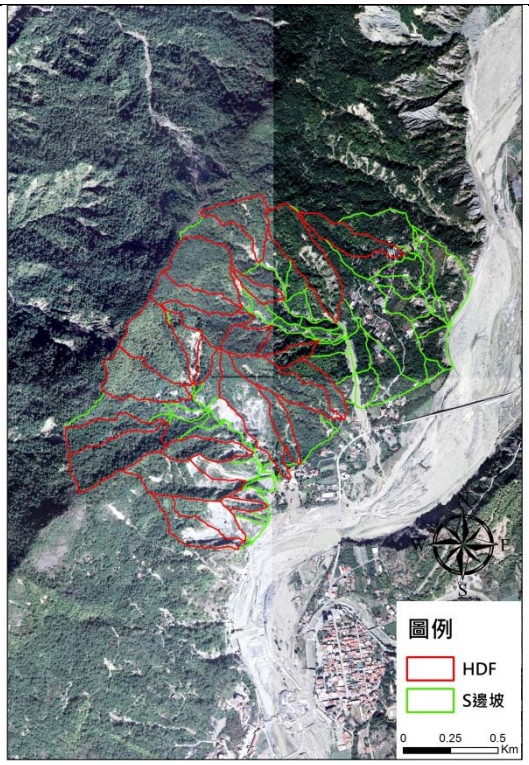


圖 5-32 B 區分析單元圈畫成果圖
(和安里 9～11 鄰)

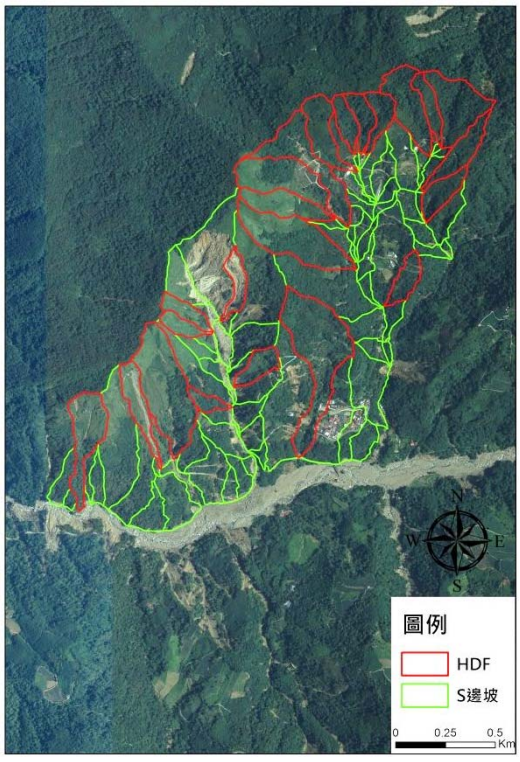


圖 5-33 C 區分析單元圈畫成果圖
(里佳村 1～3 鄰)

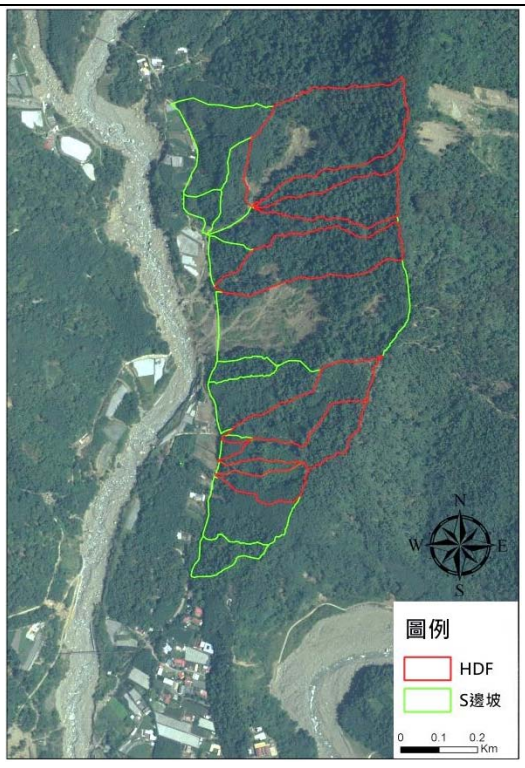


圖 5-34 D 區分析單元圈畫成果圖
(豐山村 4 鄰聚落)

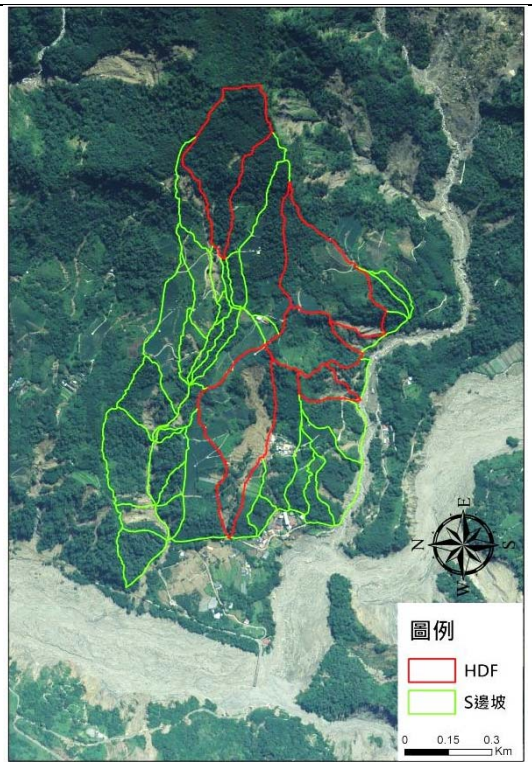


圖 5-35 E 區分析單元圈畫成果圖(外來吉聚落)

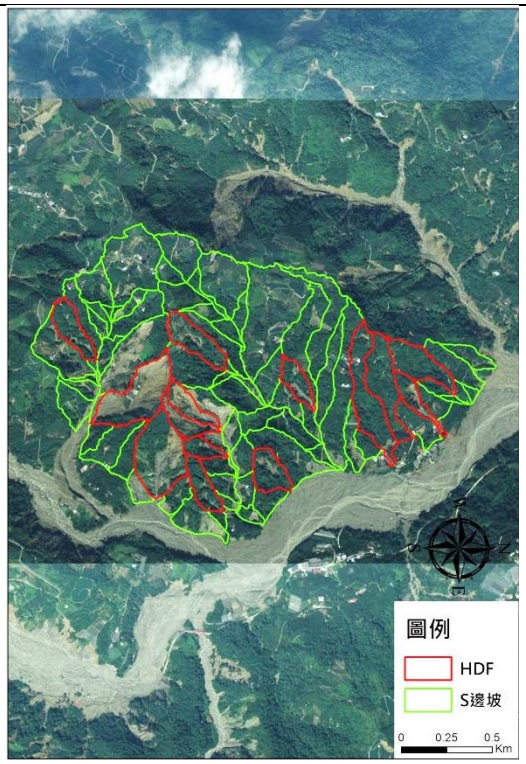


圖 5-36 F 區分析單元圈畫成果圖(蛤里味聚落)

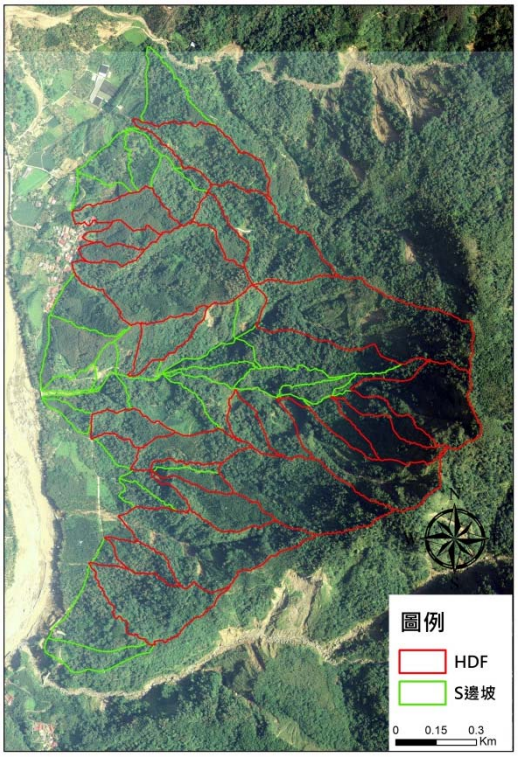


圖 5-37 G 區分析單元圈畫成果圖(過溪聚落)

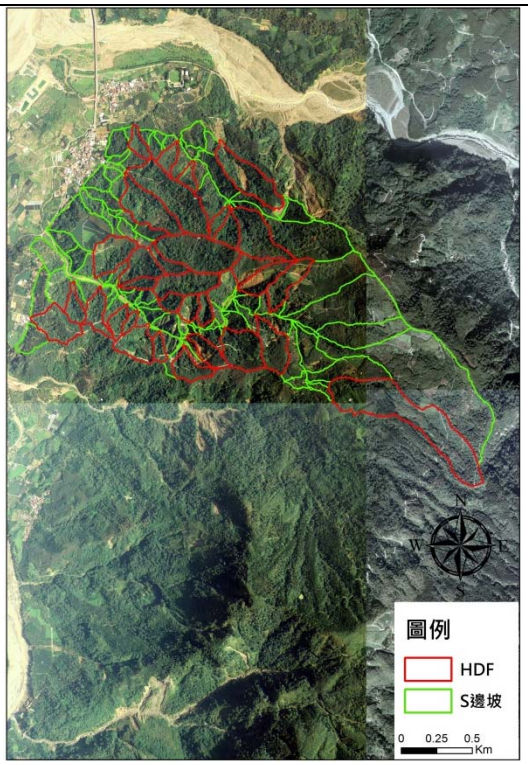


圖 5-38 H 區分析單元圈畫成果圖(瑞竹里聚落)

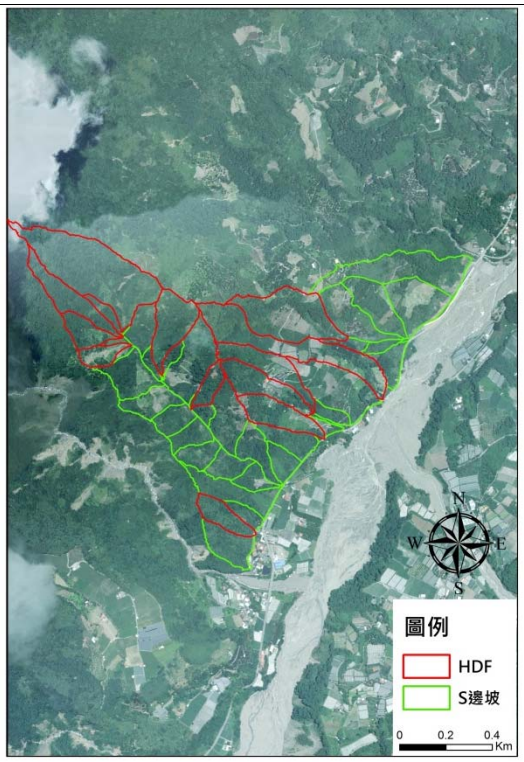


圖 5-39 I 區分析單元圈畫成果圖
(民和巷聚落)

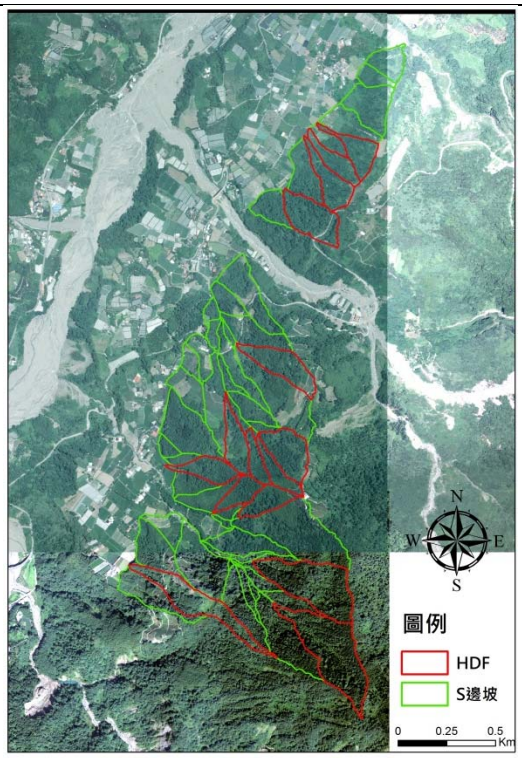


圖 5-40 J 區分析單元圈畫成果圖
(太平巷聚落)

第三節 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，並進一步擬定最佳之小型規模坡面型土石流判釋模式。

一、坡面型土石流案例資料庫

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。本研究由隨機挑選出崩塌及坡面型土石流分析單元資料各 21 處、驗證區資料各 10 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 5-41。

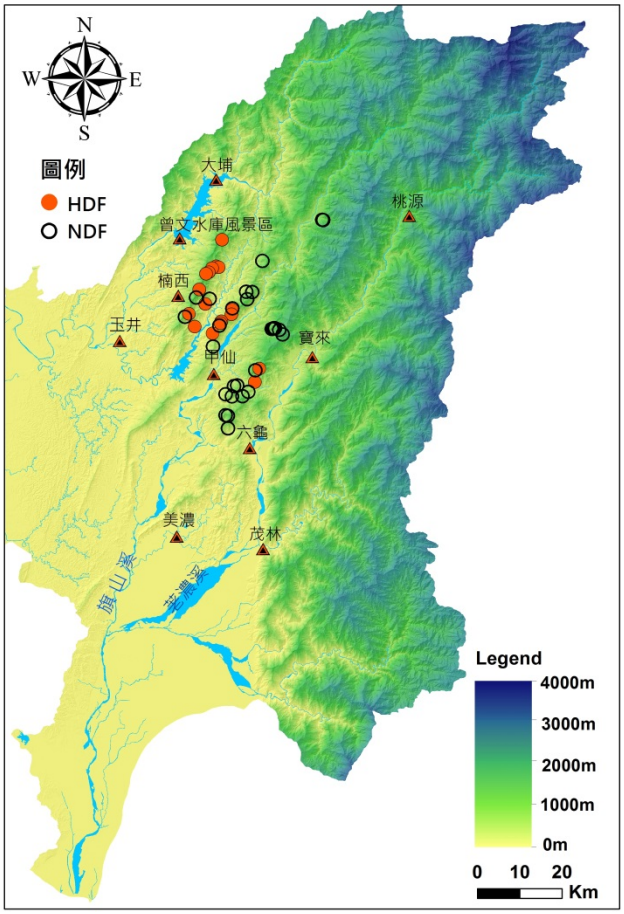


圖 5-41 坡面型土石流及崩塌事件所在位置

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 5-1 所示。

表5-1 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. 集水區分析單元面積、有效集水區指標

如圖 5-42 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 92.9%。如圖 5-43 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 0.2-0.4 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 0.2-0.4 之間時較容易發生小規模土石流。

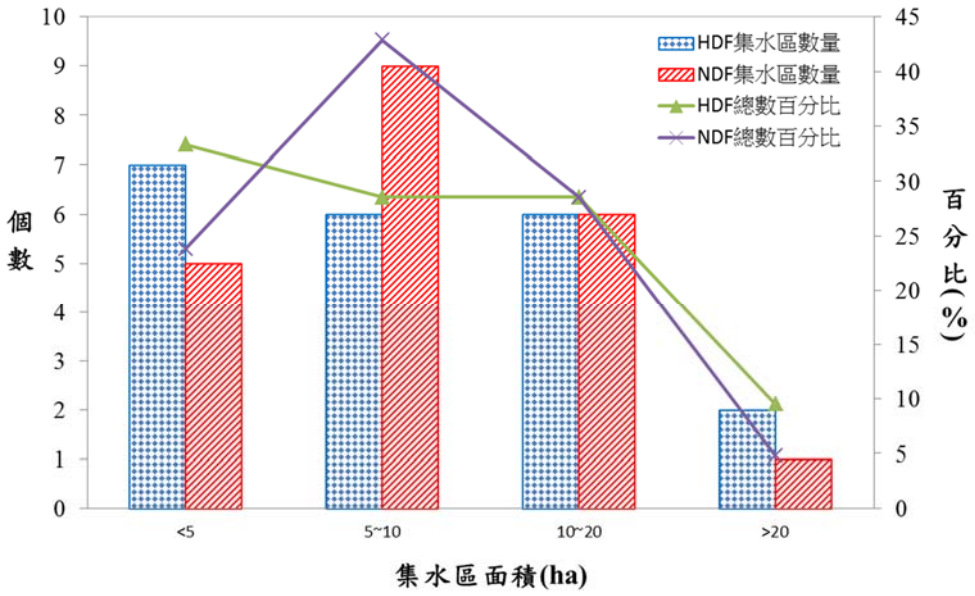


圖 5-42 集水區面積分佈情況

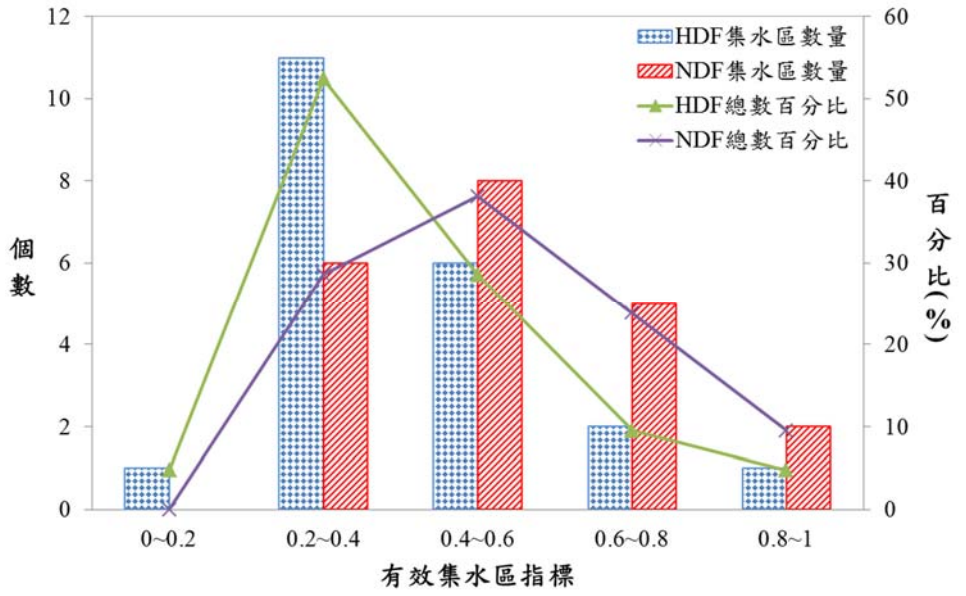


圖 5-43 有效集水區指標分佈情況

2. 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 5-44 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 200-600 公尺佔 81%；NDF 在 200-600 公尺以下佔 66.7%，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。

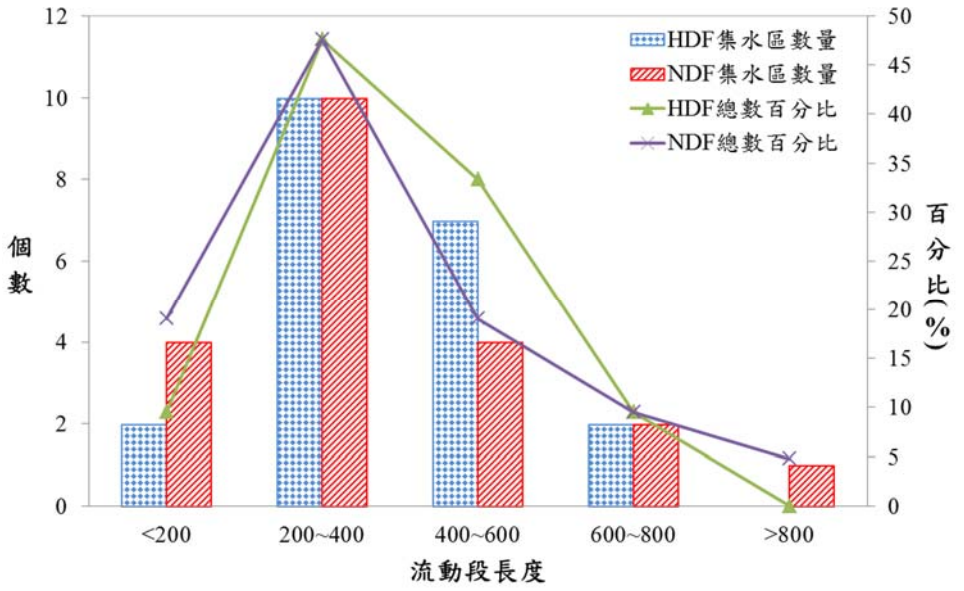


圖 5-44 流動段長度分佈情況

3. 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 5-45 及 5-46 所示，DF 集水區形狀係數主要集中於 0-0.4，佔總筆數 100%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 5-47 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 97.6%，呼應前述集水區形狀係數與發生區形狀係數分佈趨勢。

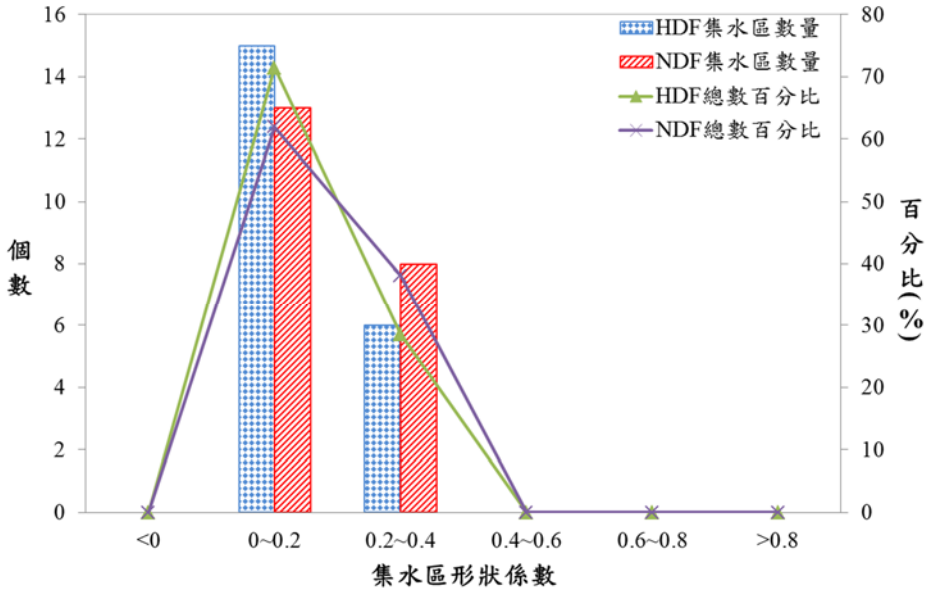


圖 5-45 集水區形狀係數分佈情況

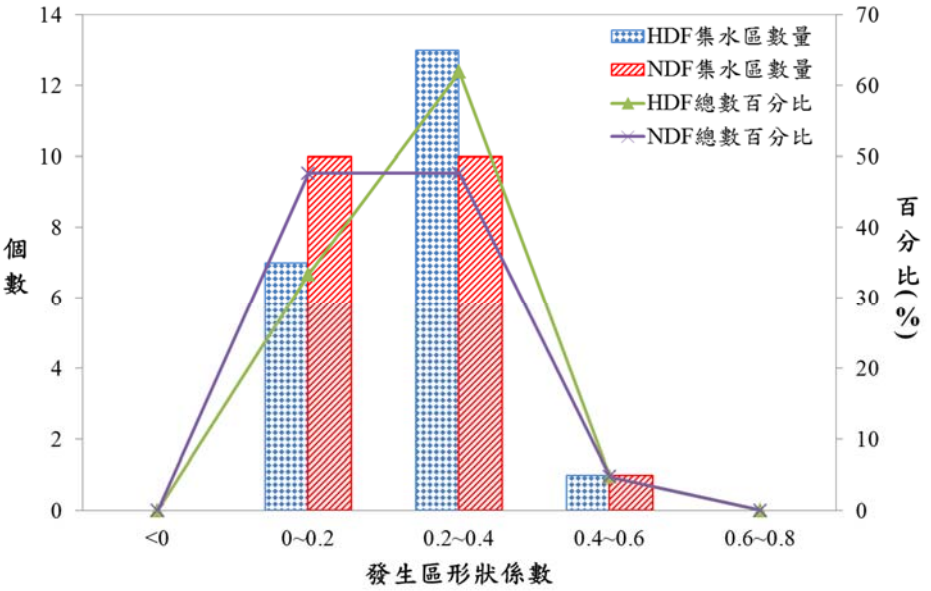


圖 5-46 發生區形狀係數分佈情況

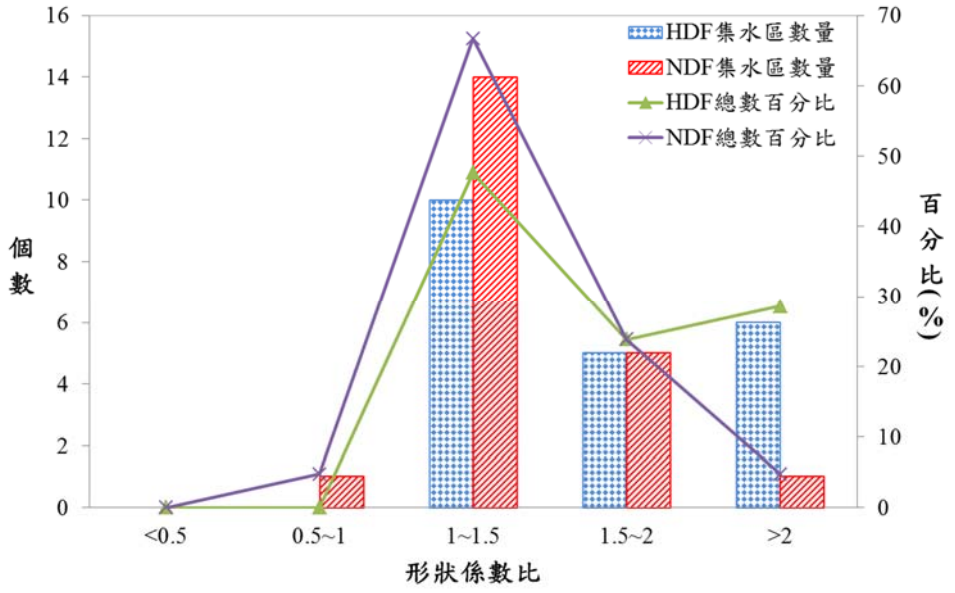


圖 5-47 形狀係數係數比分佈情況

4. 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模式，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 5-48 所示，DF 及 NDF 之隘口深寬比主要分佈於 0-0.8 之間，其中 NDF 集中於 0-0.6 之間，佔總筆數 85.7%。

流動段深寬比分佈如圖 5-49 所示，DF 流動段深寬比主要分佈於 0.2-0.4，佔總筆數 57.1%，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 5-50 所示，DF 及 NDF 在 0-0.4 有集中之趨勢，均佔 85.7%，兩者皆為寬緩凹地開放之匯水坡面地形，與 Brunsden(1979)描述相符。

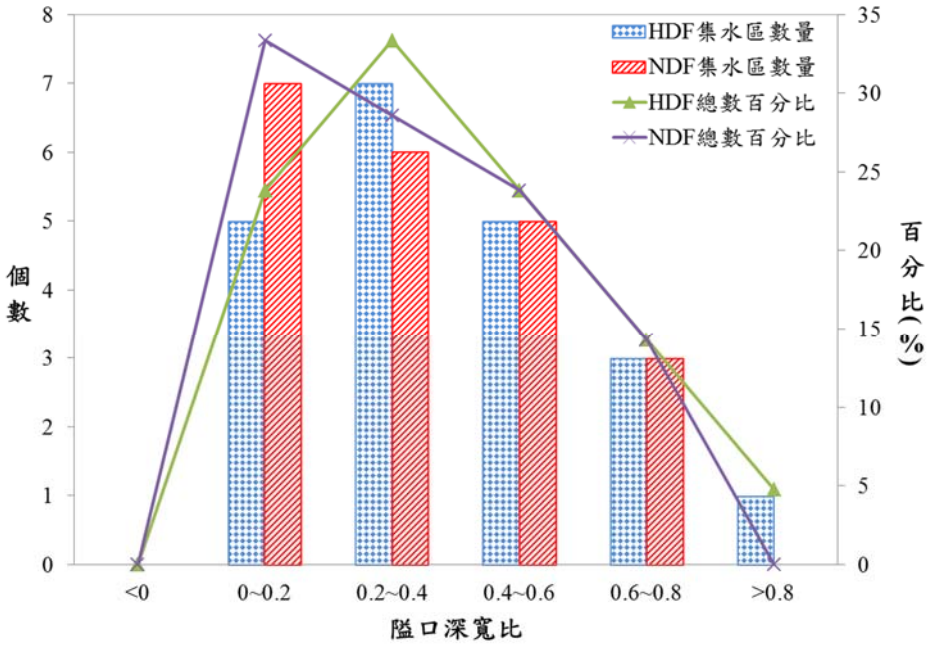


圖 5-48 隘口深寬比分佈情況

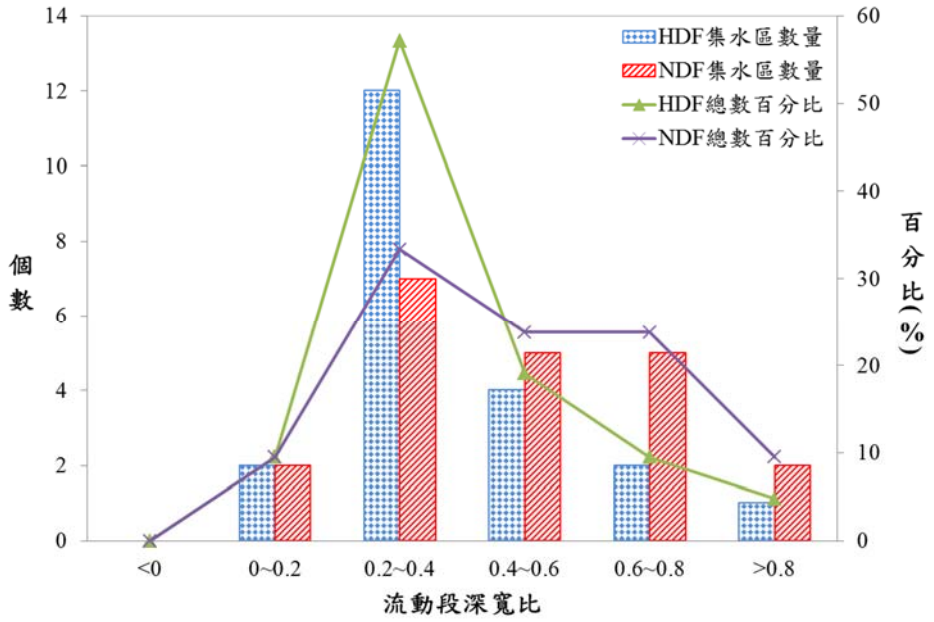


圖 5-49 流動段深寬比分佈情況

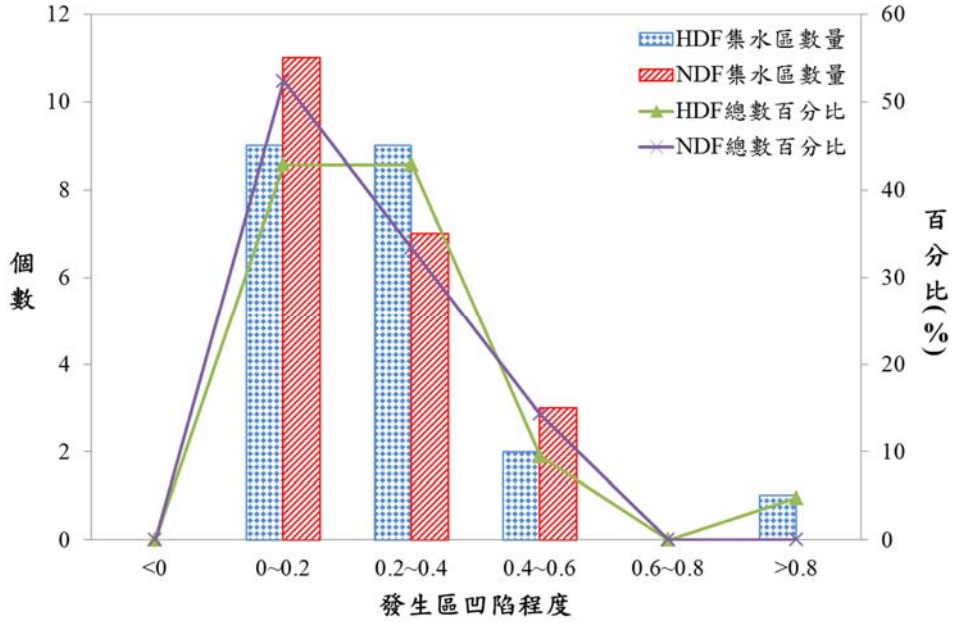


圖 5-50 發生區凹陷程度分佈情況

5. 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 5-51 所示，集水區平均坡度 DF 主要集中分佈於 30-40 度之間，佔總筆數 66.76%，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 5-52 所示，發生區平均坡度 DF 主要集中分佈於 30-35 度之間，佔總筆數 47.6%，趨勢大於 NDF。

坡面平均坡度比如圖 5-53 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。

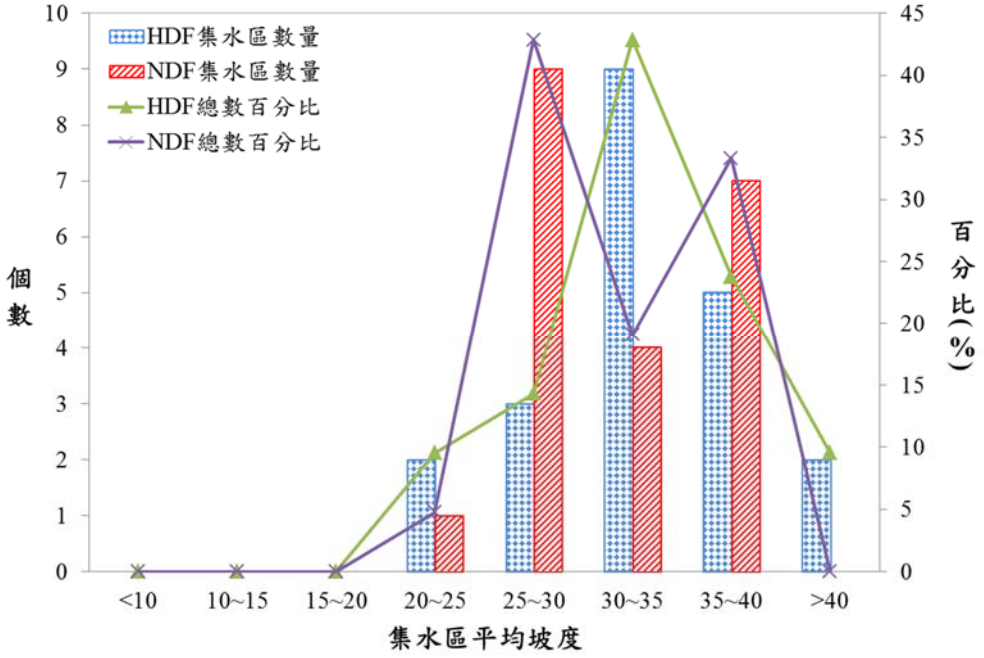


圖 5-51 集水區平均坡度分佈情況

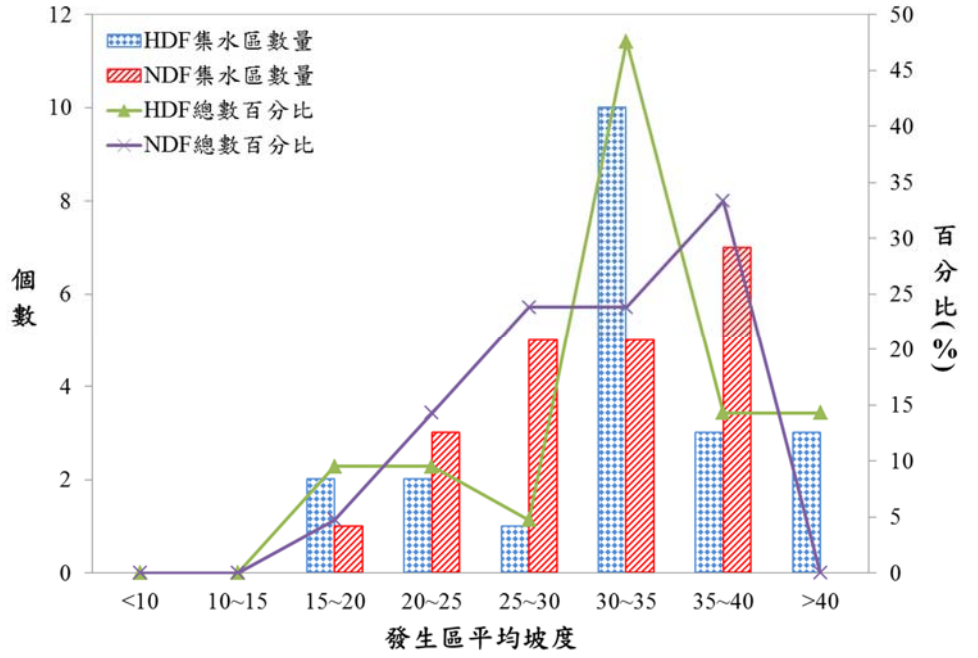


圖 5-52 發生區平均坡度分佈情況

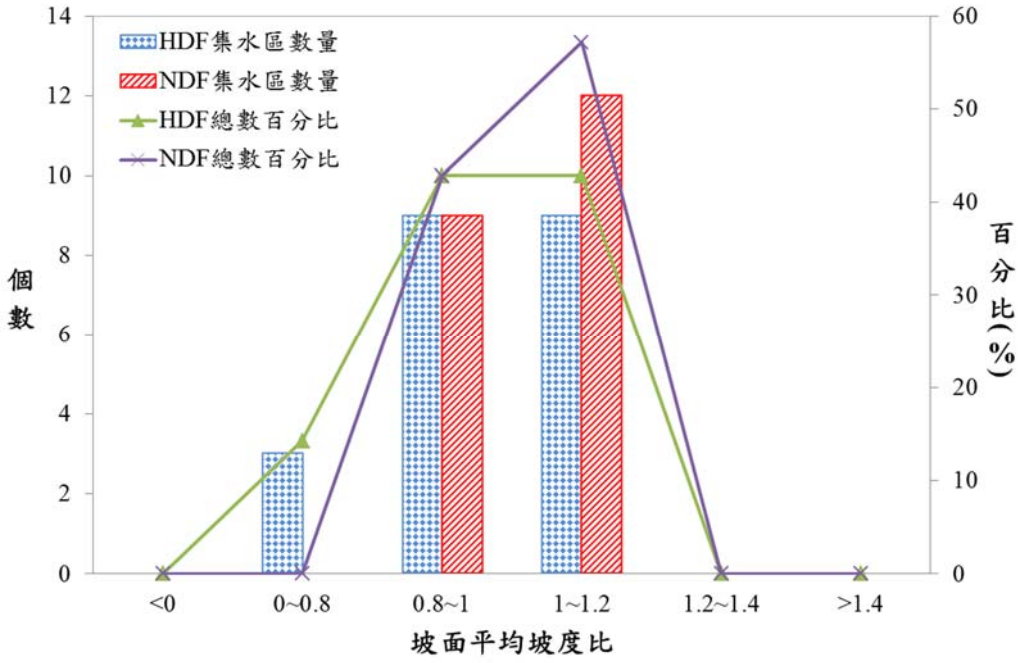


圖 5-53 坡面平均坡度比分佈情況

第四節 精進崩塌/坡面型土石流判釋模式

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，而後再另以實際案例驗證模式效力。

一、精進與擴充崩塌/坡面型土石流判釋模式

初步由前述 19 項因子經獨立性顯著性檢定後，選出指標因子，再應用費雪區別分析法，逐一篩選及剔除因子觀察正判率之變化結果，最後獲得七項因子模式，正判率最佳之組合達 83.3%。此七項因子之區別函數如下：

$$y=0.457X_1-0.049X_2+0.059X_3+13.608X_4-0.98X_5-0.005X_6-2.661X_7+1.102$$

式 5.1

其中，其中X_1為集水區面積(WA)、X_2為集水區平均寬度(W)、X_3為發生區坡面平均坡度(HASo)、X_4為發生區形狀係數(Fo)、X_5為崩塌潛感面積(LSA)、X_6為流動段高程差(DHF)、X_7為發生區坡面平均坡度比(DHPR)。

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 5-2 所示，整體正判率為 83.3%。

表5-2 區別分析結果

	原始	預測		總和
結果呈現	類別	HDF	NDF	
個數	HDF	17	4	21
	NDF	3	18	21
百分比(%)	HDF	81	19	100
	NDF	14	86	100
整體正判率＝(17+18)/(21+21)×100%=83.3%				

圖 5-54 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-0.92~2.4 之間；而未發生土石流之函數值分佈於-2.43~1.44 之間。

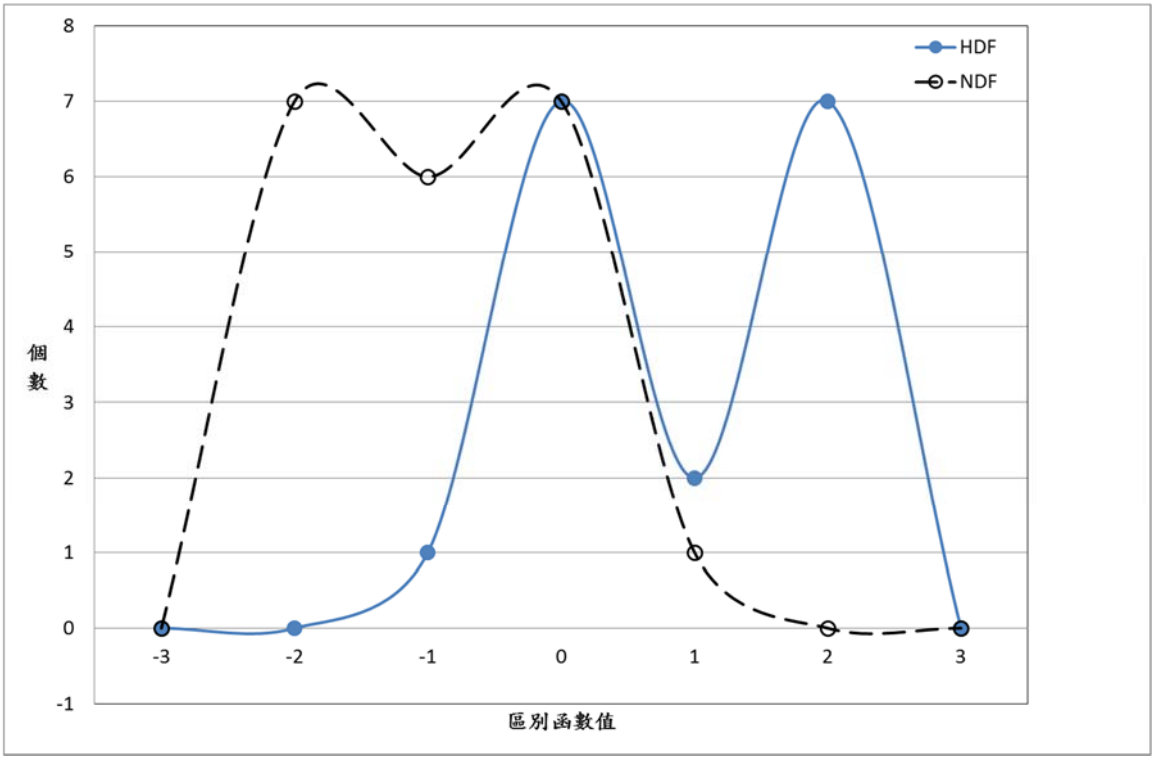


圖 5-54 坡面型土石流與未發生土石流之區別函數分佈圖

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 5-55 所示，材料因子(LSA、HASR)、地形因子(HASo、DHF)、水文因子(WA、W、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。

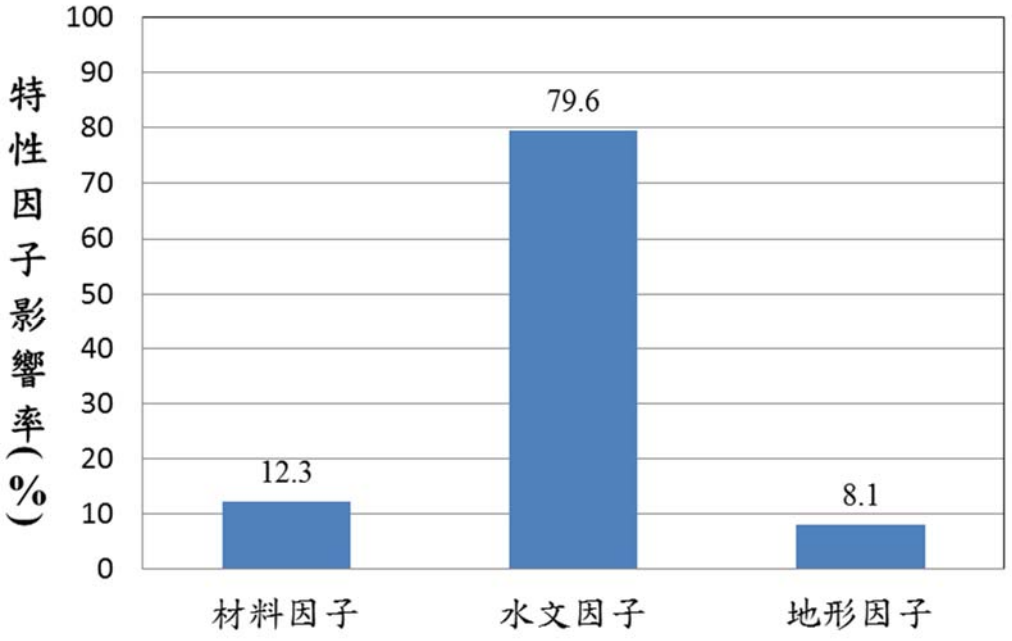


圖 5-55 土石流發生三大條件之特性因子影響率

二、坡面型土石流判釋模式驗證

除對樣本外，區別模式需能夠對未知之樣本加以區別分類，故本研究進一步進行驗證組分析，以驗證本研究判釋模式之效力。驗證樣本為選自同一沉積岩區內之坡面型土石流與崩塌單元各 10 筆資料，點位分佈如表 5-3 示。

表5-3 坡面型土石流與崩塌單元之驗證點位

HDF 驗證	鄉鎮	村里	NDF 驗證	鄉鎮	村里
HDF088	南化區	關山里	**NDF51**	南化區	關山里
HDF089	南化區	關山里	**NDF53**	甲仙區	小林里
HDF091	南化區	關山里	**NDF54**	甲仙區	東安里
HDF098	南化區	關山里	**NDF55**	甲仙區	西安里
HDF040	六龜區	荖濃里	**NDF56**	甲仙區	西安里
HDF041	六龜區	荖濃里	**NDF59**	南化區	關山里
DF37	桃源區	高中里	**E04**	三民區	民權里
DF39	桃源區	桃源里	**E10**	三民區	民權里
DF40	桃源區	復興里	**E11**	三民區	民權里
DF43	三民區	民權里	**E12**	三民區	民權里

依前節之特性因子產製方法，產製 20 筆驗證點位之 7 項區別因子資料(集水區面積、集水區平均寬度、發生區坡面平均坡度、發生區形狀係數、崩塌潛感面積、流動段高程差、發生區坡面平均坡度比)，代入式 5.1，得到驗證結果，如表 5-4 所示，並可由圖 5-56 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 80%，由此可知，此坡面型土石流判釋模式可有效判別出沉積岩區域之坡面型土石流區位。

表5-4 驗證案例之判釋結果

	原始	預測		總和
結果呈現	類別	HDF	NDF	
個數	HDF	10	0	10
	NDF	4	6	10
百分比(%)	HDF	100	0	100
	NDF	40	60	100
整體正判率＝(10+4)/(10+10)×100%＝80%				

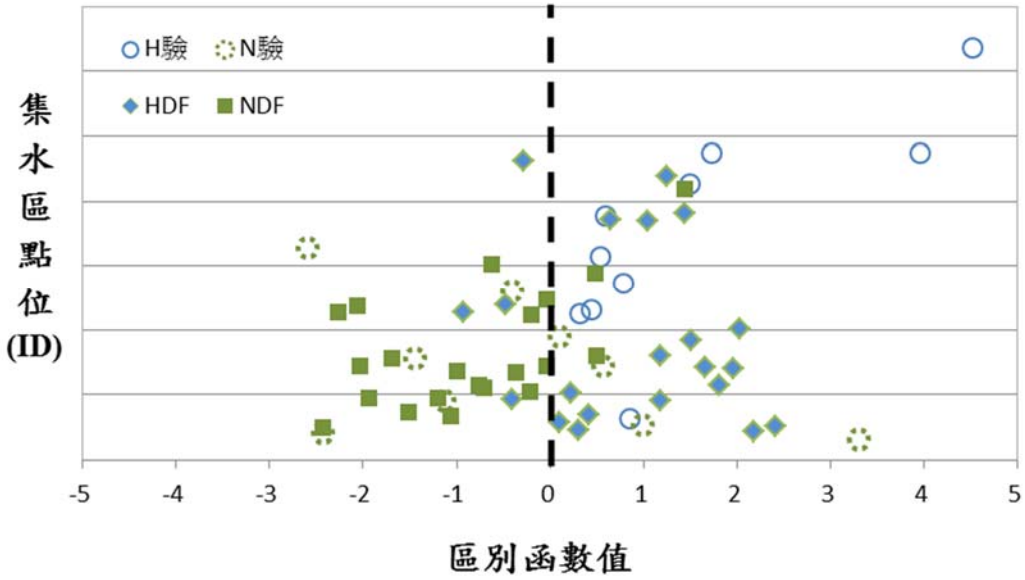


圖 5-56　HDF 與 NDF 之驗證點位與母體之區別函數分佈圖

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部沉積岩區研究區聚落周緣坡面單元判釋分析。本年度 10 處研究聚落判釋結果，如圖 5-57 至圖 5-66 所示。另再整合前期(106 年)10 處聚落於精進沉積岩模式後判釋之結果，分別如圖 5-67 至圖 5-75 所示。

聚落編號如下: 106 年度 A01.南投水里鄉興隆村、A02.信義鄉新鄉村(新鄉聚落)、A03.羅娜村(羅娜聚落)、望美村(A04.久美聚落、A05.望鄉聚落)及 A06.同富村(同富聚落)，嘉義縣 A07.竹崎鄉緞繻村(樟腦寮聚落)、阿里山鄉 A08.山美村、A09.新美村，A10.高雄市那瑪夏區瑪雅里等地區共 10 處聚落。

本年度擇定中南部沉積岩區為主。選定阿里山溪、曾文溪流域、旗山溪及陳有蘭溪等流域內 10 處聚落進行模式研究，研究區地質狀況如圖 5-2 所示。10 處沉積岩區聚落包括：A.高雄市杉林區木梓里 12～13 鄰(蜈蜞潭聚落)、B.甲仙區和安里(和安里 9～11 鄰聚落)、C.嘉義縣阿里山鄉里佳村(里佳 1～3 鄰聚落)、D.豐山村(豐山 4 鄰聚落)、E.來吉村 3～4 鄰(外來吉聚落)、F.太和村(蛤里味聚落)、G.南投縣竹山鎮桶頭里 15～17 鄰(過溪聚落)、H.瑞竹里(瑞竹里聚落)及 I.信義鄉神木村(民和巷聚落)、J.同富村(太平巷聚落)。

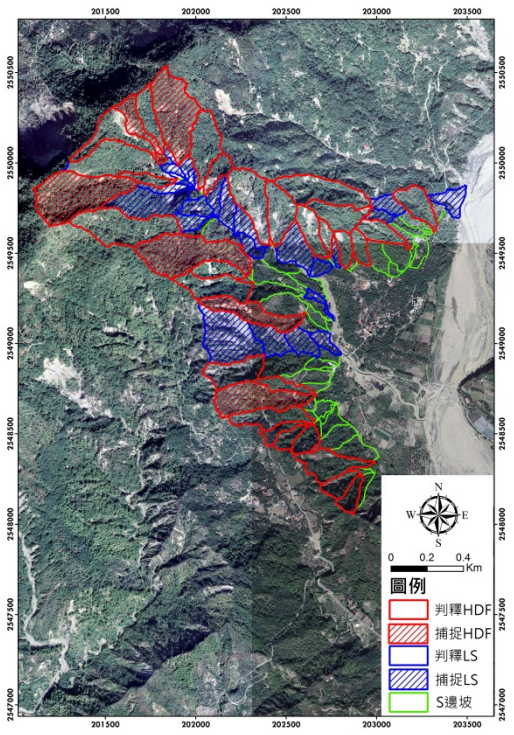


圖 5-57 A 邊坡單元判釋結果

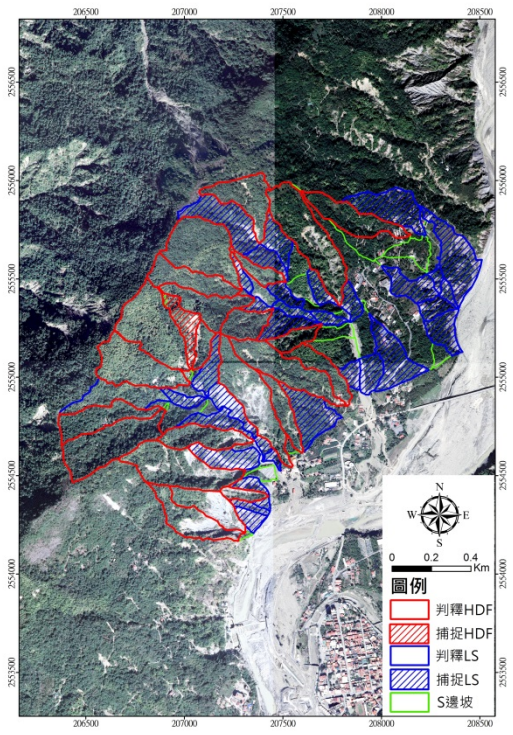


圖 5-58 B 邊坡單元判釋結果

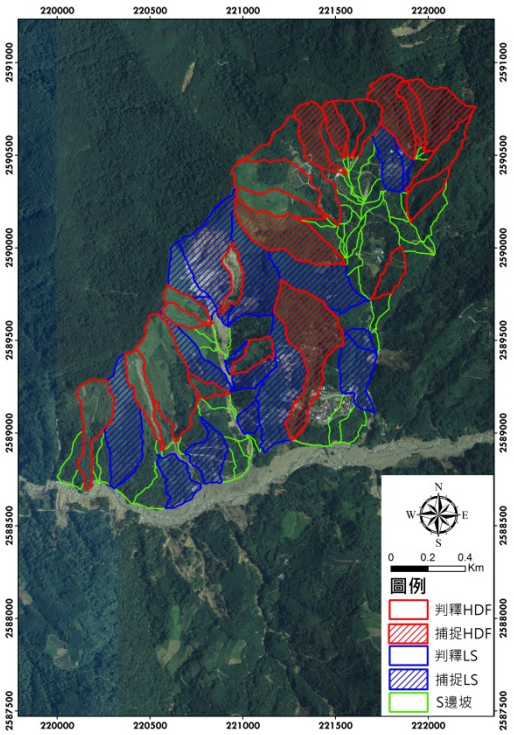


圖 5-59C 邊坡單元判釋結果

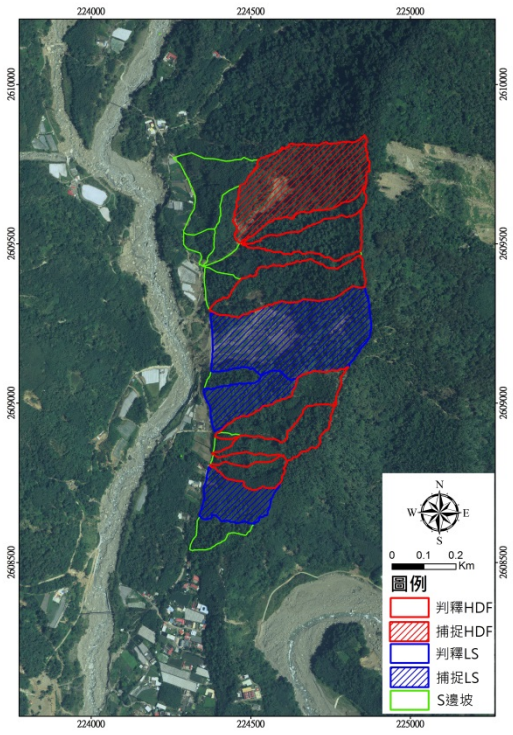


圖 5-60 D 邊坡單元判釋結果

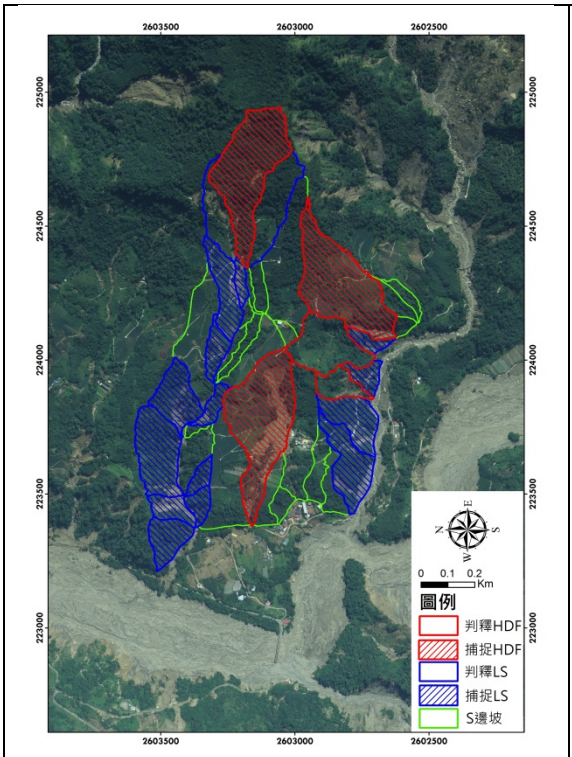


圖 5-61 E 邊坡單元判釋結果

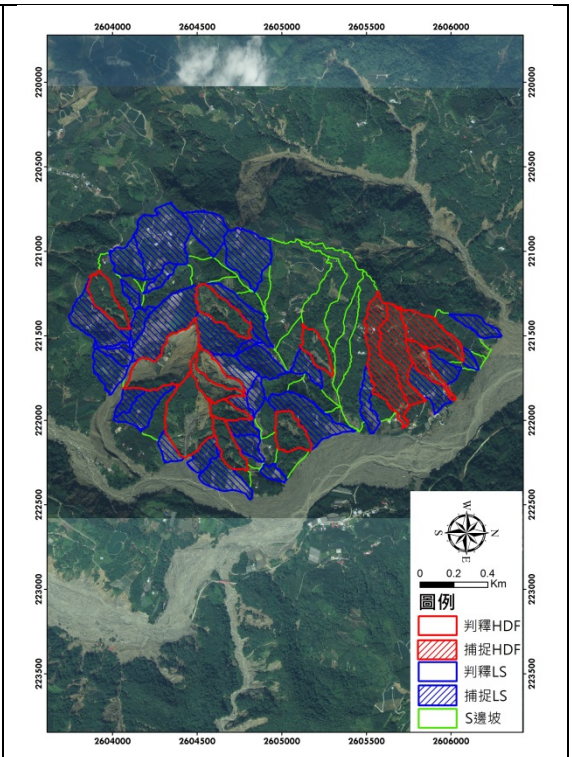


圖 5-62 F 邊坡單元判釋結果

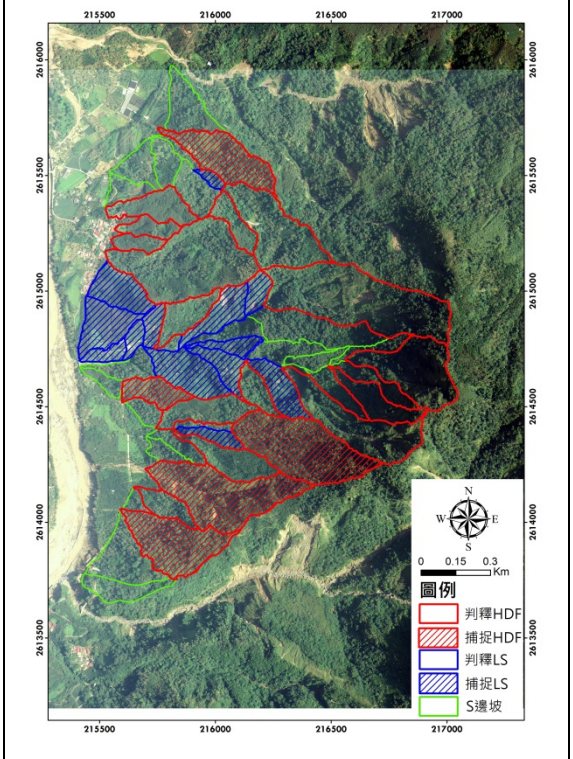


圖 5-63 G 邊坡單元判釋結果

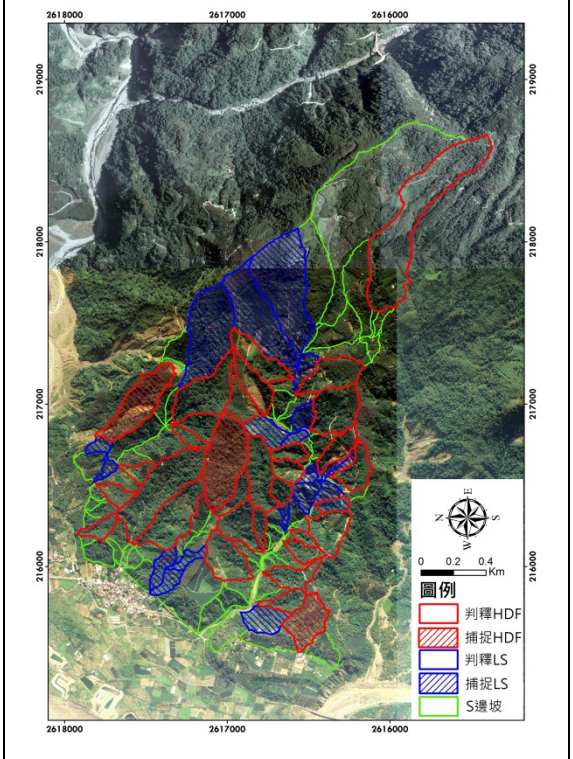


圖 5-64H 邊坡單元判釋結果

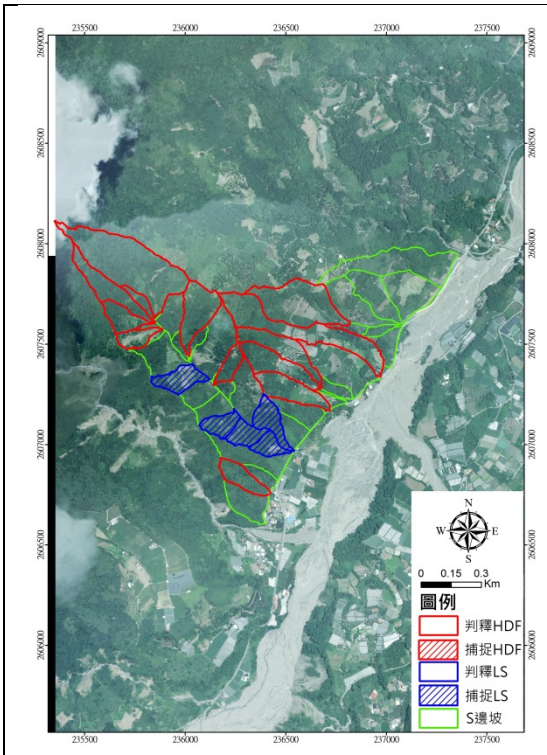


圖 5-65 I 邊坡單元判釋結果

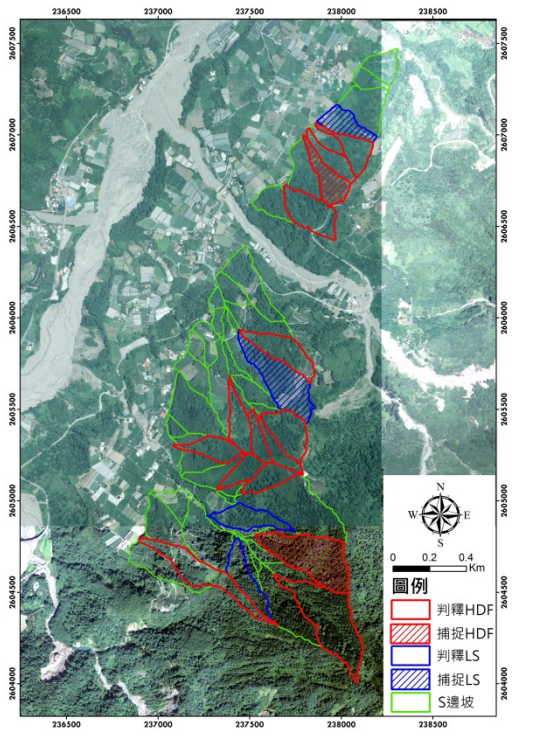


圖 5-66J 邊坡單元判釋結果

A 邊坡單元判釋結果（圖 5-57），判釋坡面型土石流 33 筆，實際發生 7 筆，捕捉 6 筆；判釋崩塌單元 66 筆，實際發生 29 筆，捕捉 25 筆，整體捕捉率 86%。B 邊坡單元判釋結果（圖 5-58），判釋坡面型土石流 24 筆，實際發生 2 筆，捕捉 1 筆；判釋崩塌單元 58 筆，實際發生 35 筆，捕捉 33 筆，整體捕捉率 92%。C 邊坡單元判釋結果（圖 5-59），判釋坡面型土石流 23 筆，實際發生 7 筆，捕捉 7 筆；判釋崩塌單元 65 筆，實際發生 21 筆，捕捉 18 筆，整體捕捉率 89%。D 邊坡單元判釋結果（圖 5-60），判釋坡面型土石流 7 筆，實際發生 1 筆，捕捉 0 筆；判釋崩塌單元 12 筆，實際發生 4 筆，捕捉 3 筆，整體捕捉率 80%。E 邊坡單元判釋結果（圖 5-61），判釋坡面型土石流 5 筆，實際發生 5 筆，捕捉 3 筆；判釋崩塌單元 35 筆，實際發生 15 筆，捕捉 14 筆，整體捕捉率 85%。F 邊坡單元判釋結果（圖 5-62），判釋坡

面型土石流 14 筆，實際發生 4 筆，捕捉 4 筆；判釋崩塌單元 66 筆，實際發生 38 筆，捕捉 35 筆，整體捕捉率 93%。G 邊坡單元判釋結果（圖 5-63），判釋坡面型土石流 20 筆，實際發生 5 筆，捕捉 5 筆；判釋崩塌單元 36 筆，實際發生 17 筆，捕捉 13 筆，整體捕捉率 82%。H 邊坡單元判釋結果（圖 5-64），判釋坡面型土石流 31 筆，實際發生 3 筆，捕捉 3 筆；判釋崩塌單元 65 筆，實際發生 23 筆，捕捉 21 筆，整體捕捉率 92%。I 邊坡單元判釋結果（圖 5-65），判釋坡面型土石流 12 筆，實際發生 0 筆，捕捉 0 筆；判釋崩塌單元 30 筆，實際發生 11 筆，捕捉 5 筆，整體捕捉率 45%。J 邊坡單元判釋結果（圖 5-66），判釋坡面型土石流 15 筆，實際發生 2 筆，捕捉 2 筆；判釋崩塌單元 46 筆，實際發生 5 筆，捕捉 2 筆，整體捕捉率 57%。整體共計判釋 184 處坡面型土石流單元，實際發生 25 處，正確捕捉數量為 24 處，整體捕捉率約為 87%，土石流捕捉率則為 89%。

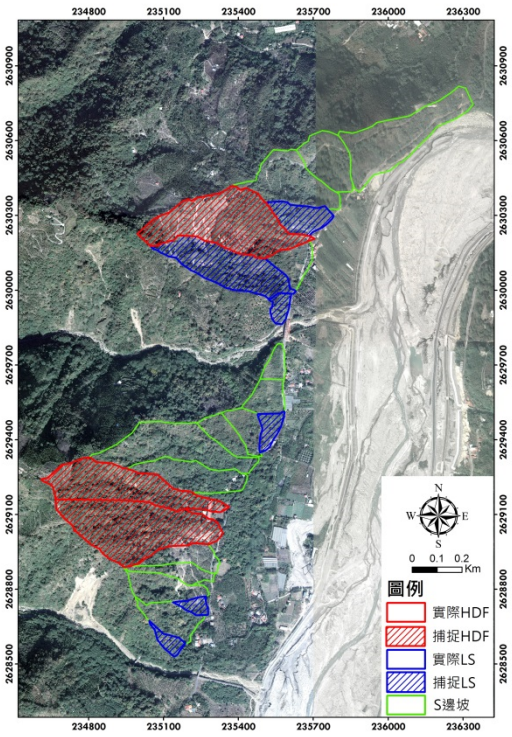


圖 5-67 A01 邊坡單元判釋結果

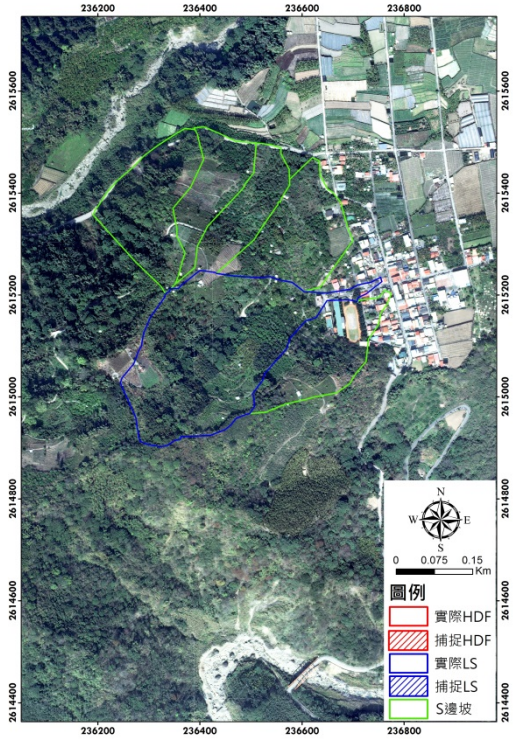


圖 5-68 A02 邊坡單元判釋結果

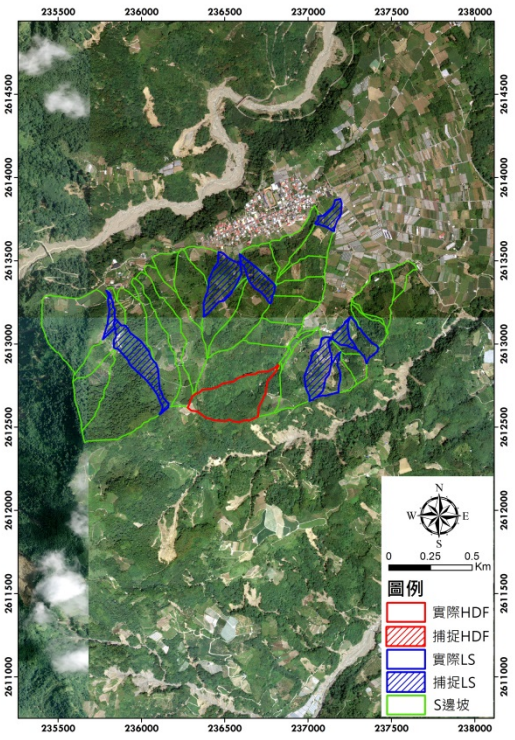


圖 5-69 A03 邊坡單元判釋結果

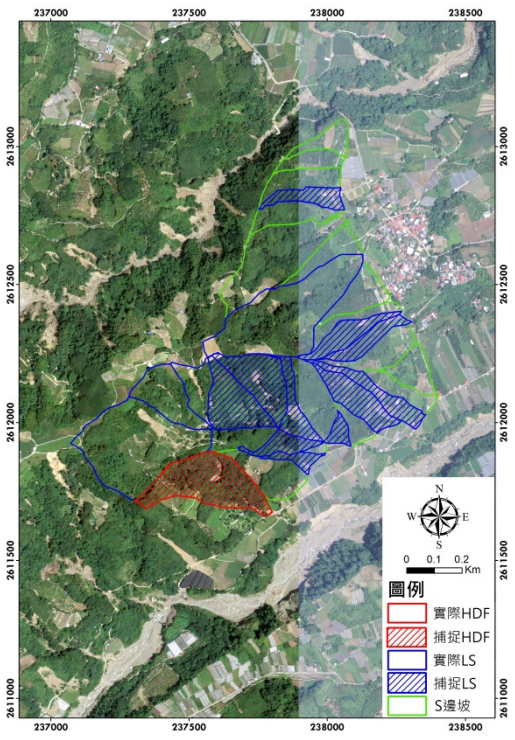


圖 5-70 A04 邊坡單元判釋結果

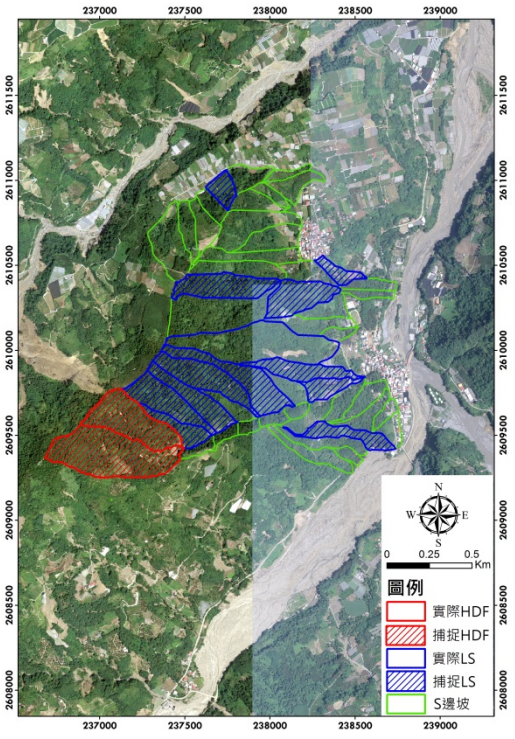


圖 5-71 A05-A06 邊坡單元判釋結果

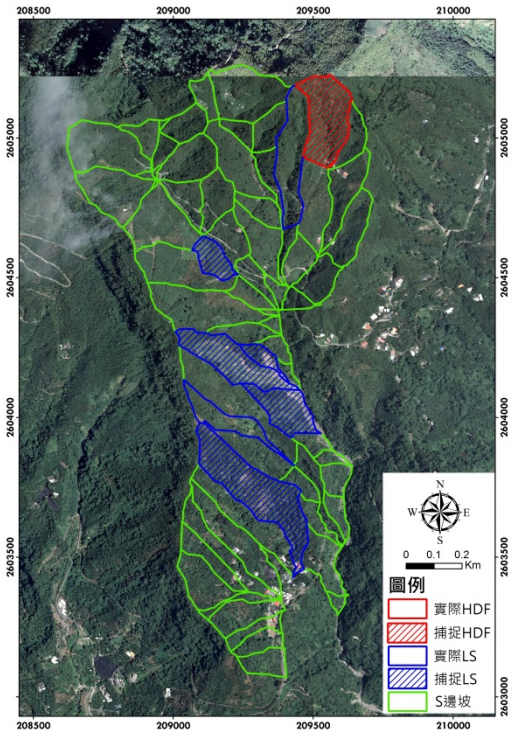


圖 5-72 A07 邊坡單元判釋結果

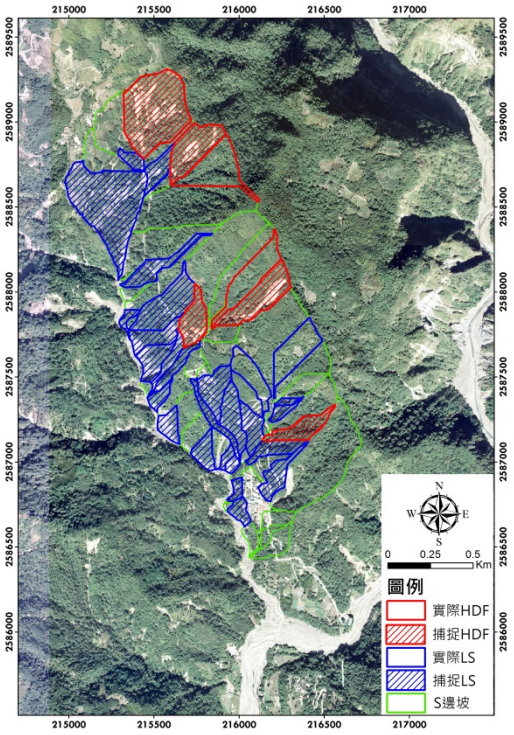


圖 5-73 A08 邊坡單元判釋結果

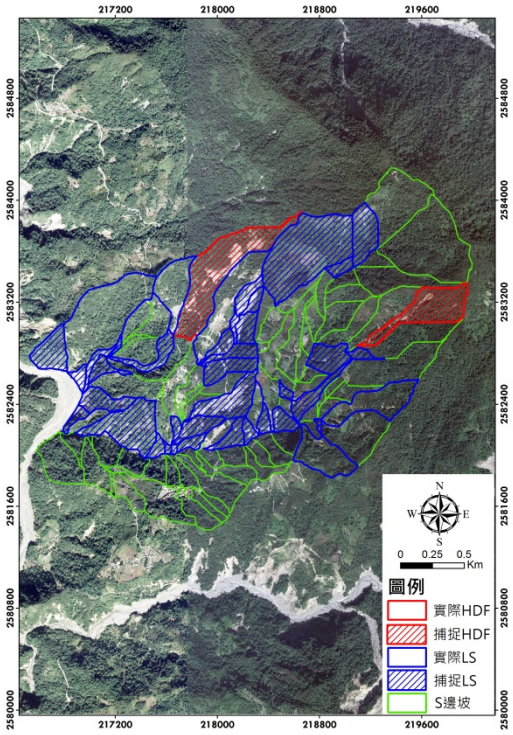


圖 5-74 A09 邊坡單元判釋結果

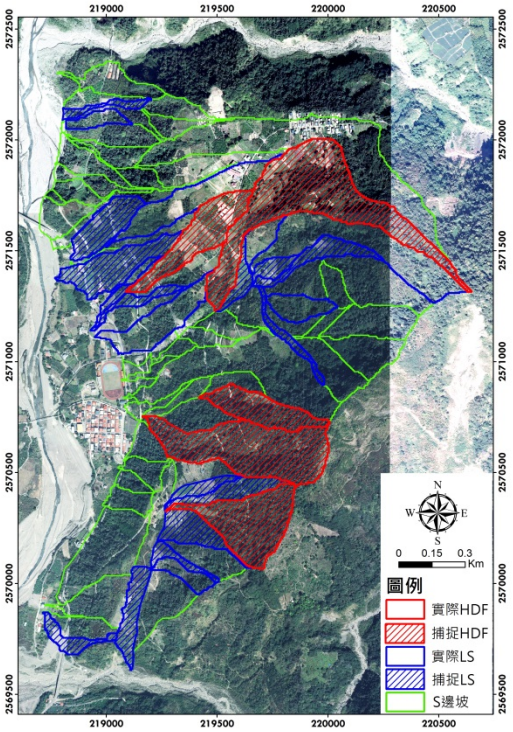


圖 5-75 A10 邊坡單元判釋結果

A01 邊坡單元判釋結果（圖 5-67），判釋坡面型土石流 9 筆，實際發生 3 筆，捕捉 3 筆；判釋崩塌單元 14 筆，實際發生 6 筆，捕捉 6 筆，整體捕捉率 100%。A02 邊坡單元判釋結果（圖 5-68），判釋坡面型土石流 2 筆，實際發生 0 筆，捕捉 0 筆；判釋崩塌單元 4 筆，實際發生 0 筆，捕捉 0 筆，整體捕捉率 0%。A03 邊坡單元判釋結果（圖 5-69），判釋坡面型土石流 10 筆，實際發生 1 筆，捕捉 0 筆；判釋崩塌單元 33 筆，實際發生 7 筆，捕捉 7 筆，整體捕捉率 88%。A04 邊坡單元判釋結果（圖 5-70），判釋坡面型土石流 8 筆，實際發生 1 筆，捕捉 1 筆；判釋崩塌單元 24 筆，實際發生 11 筆，捕捉 11 筆，整體捕捉率 100%。A05-A06 邊坡單元判釋結果（圖 5-71），判釋坡面型土石流 6 筆，實際發生 2 筆，捕捉 2 筆；判釋崩塌單元 43 筆，實際發生 12 筆，捕捉 12 筆，整體捕捉率 100%。A07 邊坡單元判釋結果（圖 5-72），判釋坡面型土石流 14 筆，實際發生 1 筆，捕捉 1 筆；判釋崩塌單元 51 筆，實際發生 5 筆，捕捉 5 筆，整體捕捉率 100%。A08 邊坡單元判釋結果（圖 5-73），判釋坡面型土石流 16 筆，實際發生 7 筆，捕捉 5 筆；判釋崩塌單元 50 筆，實際發生 25 筆，捕捉 25 筆，整體捕捉率 94%。A09 邊坡單元判釋結果（圖 5-74），判釋坡面型土石流 20 筆，實際發生 2 筆，捕捉 2 筆；判釋崩塌單元 86 筆，實際發生 35 筆，捕捉 35 筆，整體捕捉率 100%。A10 邊坡單元判釋結果（圖 5-75），判釋坡面型土石流 24 筆，實際發生 5 筆，捕捉 5 筆；判釋崩塌單元 42 筆，實際發生 15 筆，捕捉 15 筆，整體捕捉率 100%。整體共計判釋 109 處坡面型土石流單元，實際發生 22 處，正確捕捉數量為 18 處，整體捕捉率約為 98%，土石流捕捉率則為 86%。

表 5-5 為今年度中南部沉積岩區分析單元判釋成果及捕捉率狀況，

整體捕捉率達 87%，而 HDF 事件捕捉率為 89%；另表 5-6 則為前期 106 年度 10 處沉積岩區分析單元判釋成果及捕捉率狀況，整體捕捉率達 98%，而 HDF 事件捕捉率為 86%，大幅提升判釋之效力。整體而言，土石流捕捉率相當不錯，初步可茲實用於聚落週緣山坡之分析。

綜整判釋成果，106 年研究區聚落判釋之坡面型土石流有 109 筆及崩塌坡面單元(NDF)有 64 筆資料；本年度研究區聚落，坡面型土石流則有 184 筆、崩塌坡面(NDF)有 17 筆資料。其他邊坡單元數量(S 邊坡，如河岸直坡等，逕行編入成崩塌單元)可由表中 NDF 數扣除上者獲得。

表5-5 107年度聚落沉積岩區分析單元判釋成果及捕捉率

107 年										
研究區編號	A		B		C		D		E	
類型	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF
判釋結果	33	64	24	58	23	65	7	12	5	35
實際發生	7	29	2	35	7	21	1	4	5	15
捕捉	6	25	1	33	7	18	1	3	3	14
整體捕捉率	86%		92%		89%		80%		85%	
HDF 事件捕捉率	86%		50%		100%		100%		60%	
研究區編號	F		G		H		I		J	
類型	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF
判釋結果	14	66	20	36	31	65	12	30	15	46
實際發生	4	38	5	17	3	23	0	11	2	5
捕捉	4	35	5	13	3	21	0	5	2	2
整體捕捉率	93%		82%		92%		45%		57%	
HDF 事件捕捉率	100%		100%		100%		-		100%	
研究區編號	總計									
類型					HDF	NDF				
判釋結果					184	477				
實際發生					36	204				
捕捉					32	177				
整體捕捉率					87%					
HDF 事件捕捉率					89%					

表5-6 106年度聚落沉積岩區分析單元判釋成果及捕捉率

106 年										
研究區編號	A01		A02		A03		A04		A05-A06	
類型	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF
判釋結果	9	14	2	4	10	33	8	24	6	43
實際發生	3	6	0	0	1	7	1	11	2	12
捕捉	3	6	0	0	0	7	1	11	2	12
整體捕捉率	100%		-		88%		100%		100%	
HDF 事件捕捉率	100%		-		0%		100%		100%	
研究區編號	A07		A08		A09		A10			
類型	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF
判釋結果	14	51	16	50	20	86	24	42		
實際發生	1	5	7	25	2	35	5	15		
捕捉	1	5	5	25	2	35	5	15		
整體捕捉率	100%		94%		100%		100%			
HDF 事件捕捉率	100%		71%		100%		100%			
研究區編號	總計									
類型					HDF	NDF				
判釋結果					109	347				
實際發生					22	104				
捕捉					18	104				
整體捕捉率					98%					
HDF 事件捕捉率					86%					

第五節 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

本研究針對中南部沉積岩，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部份，其分別為低中與高潛勢。潛勢分級採以分析資料庫之 62 條溪流樣本之費雪區別函數值，以沉積岩地質區，作為分級指標。

沉積岩區潛勢分級結果如圖 5-76 所示，其中橫坐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部份，可得分界指標為 0 與 1.1，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 1.1 之間為中潛勢區，區別函數值大於 1.1 為高潛勢區。

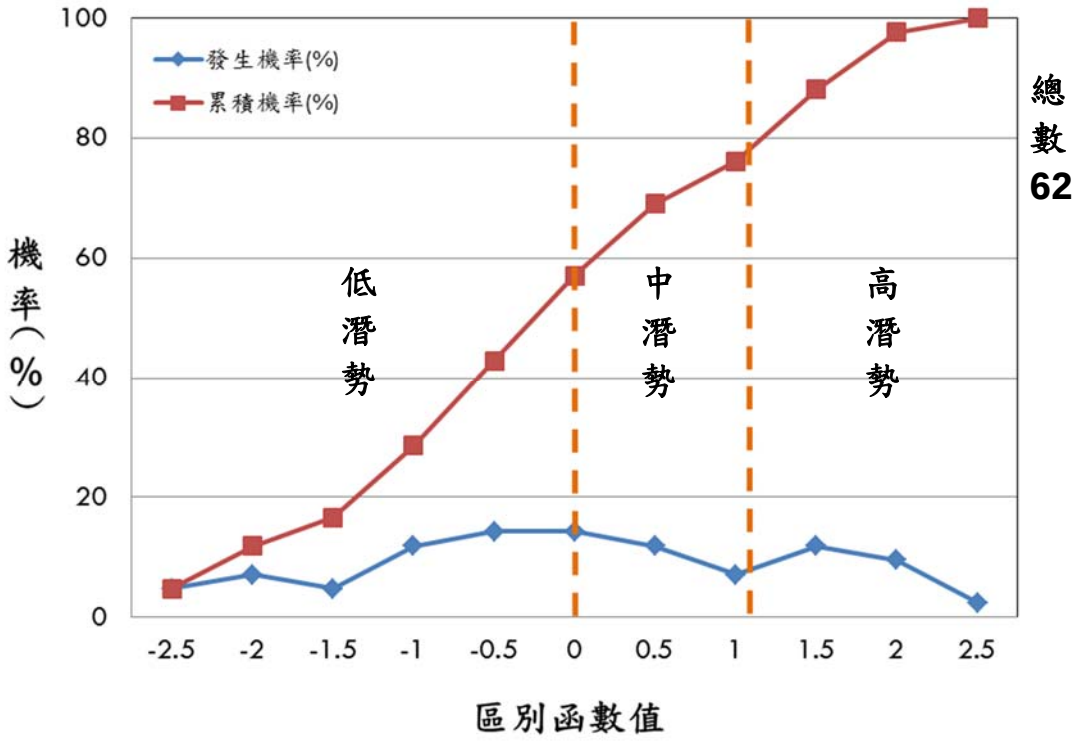


圖 5-76 分界指標 0 與 1.1 之潛勢分級結果

二、20 處聚落坡面型土石流潛勢分級

進一步將判釋模式應用至本年度沉積岩 10 處聚落，並整合前期 10 處聚落(共 20 處)進行聚落周緣坡面單元潛勢分析結果。本年度研究區之 107 年潛勢分析結果分別如圖 5-77 至圖 5-86 所示；前期(106 年)潛勢分析結果則分別如圖 5-87 至圖 5-95 所示。



圖 5-77 集水區 A 之潛勢分析結果

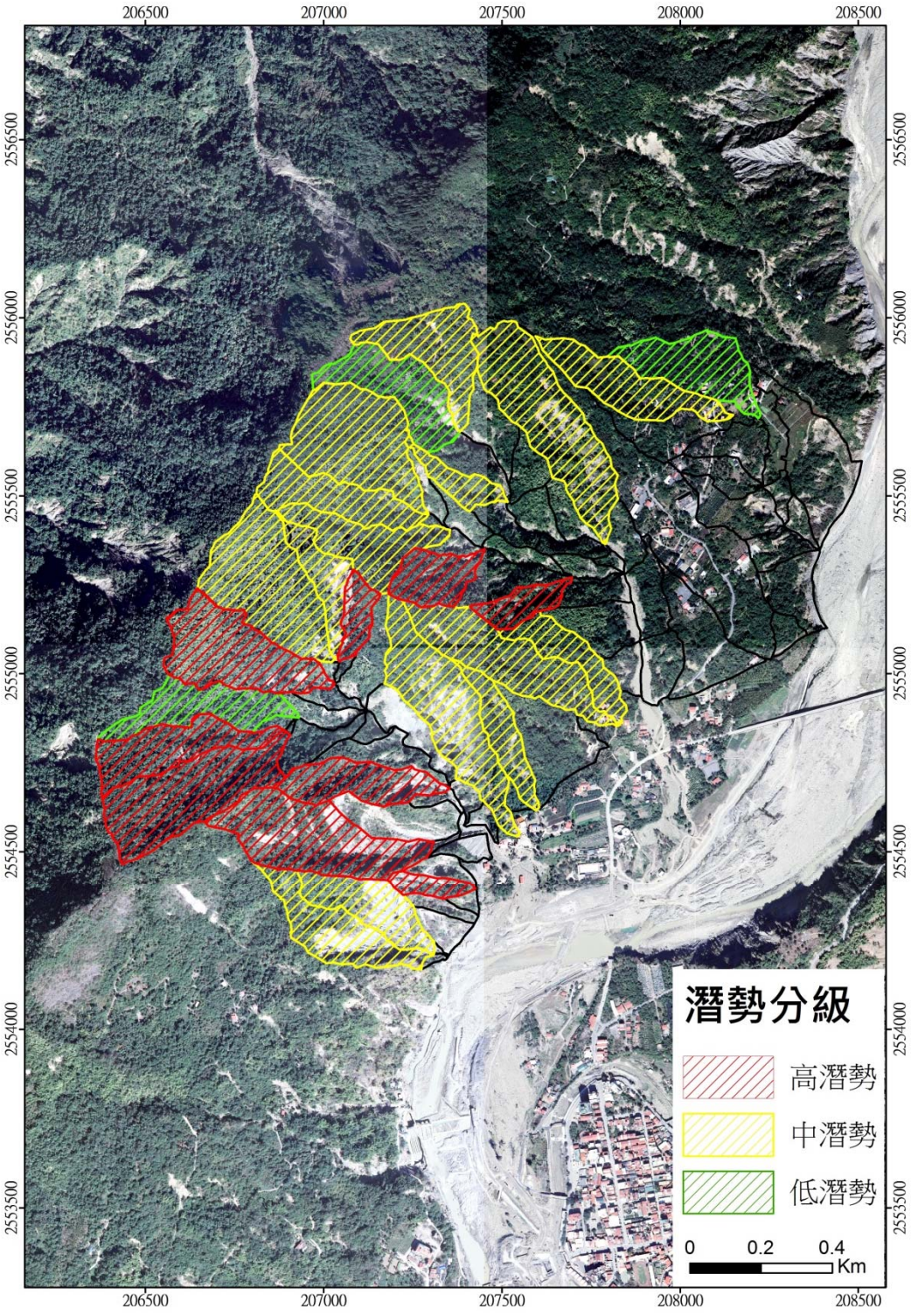


圖 5-78 集水區 B 之潛勢分析結果

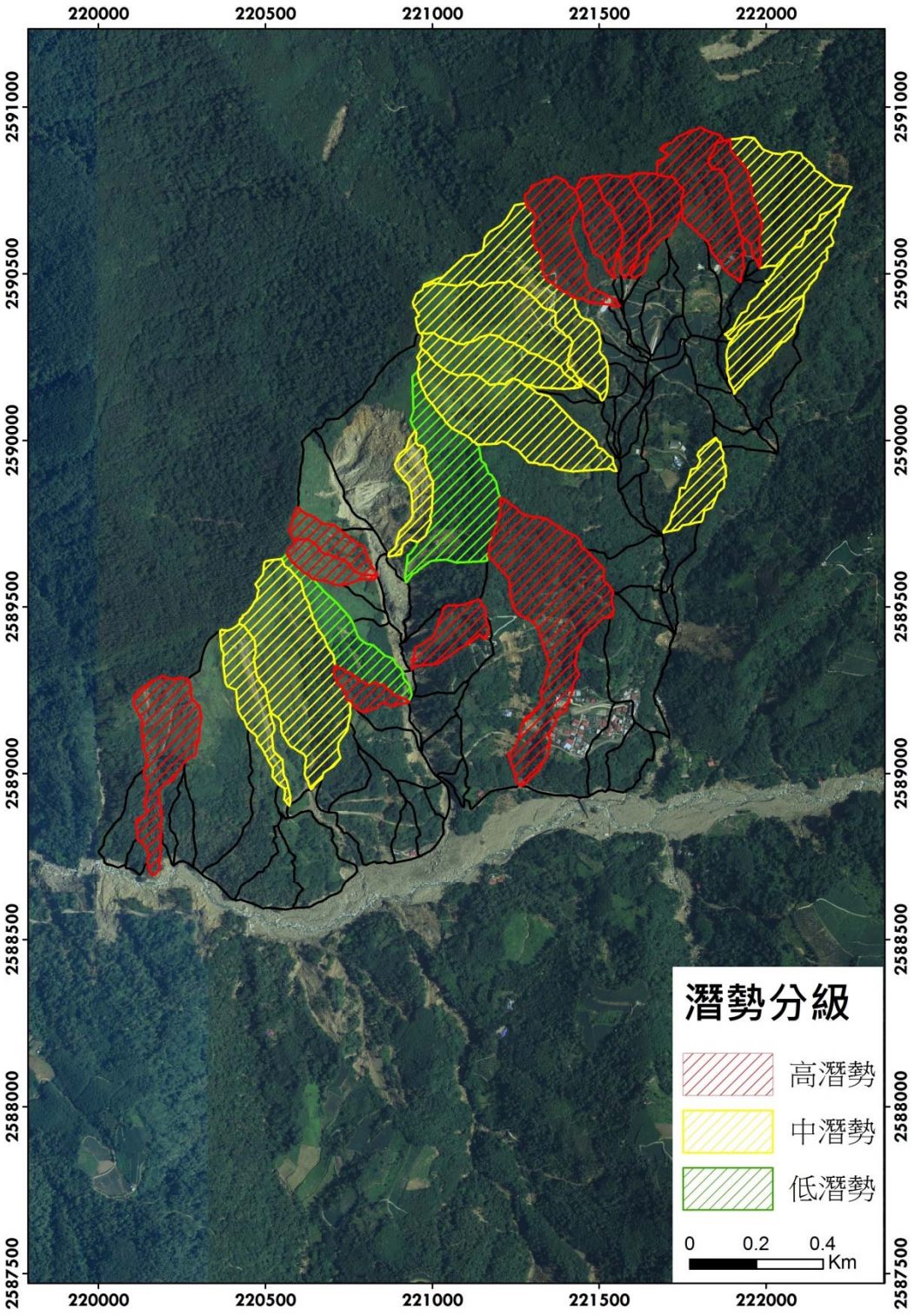


圖 5-79 集水區 C 之潛勢分析結果

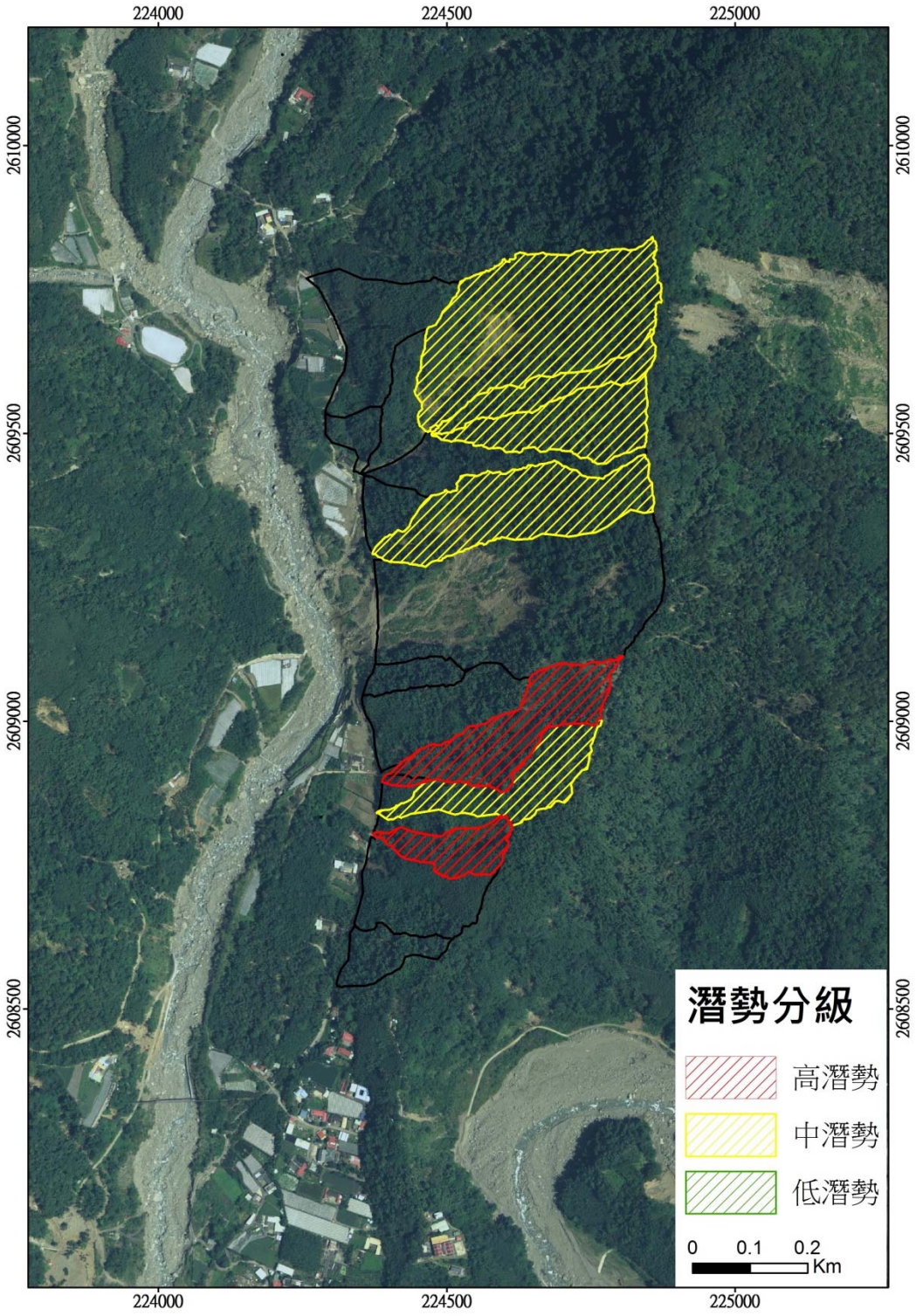


圖 5-80 集水區 D 之潛勢分析結果

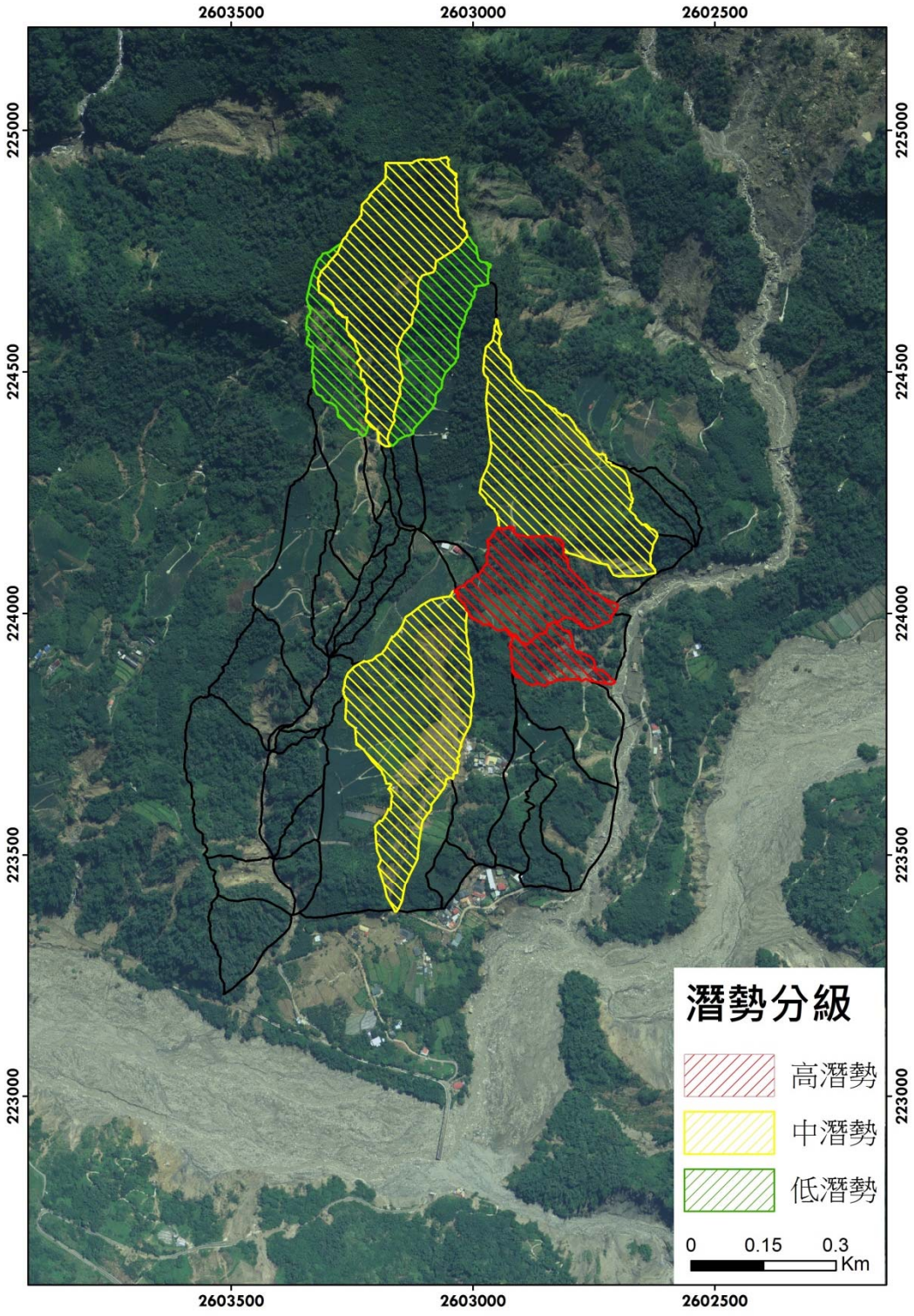


圖 5-81 集水區 E 之潛勢分析結果

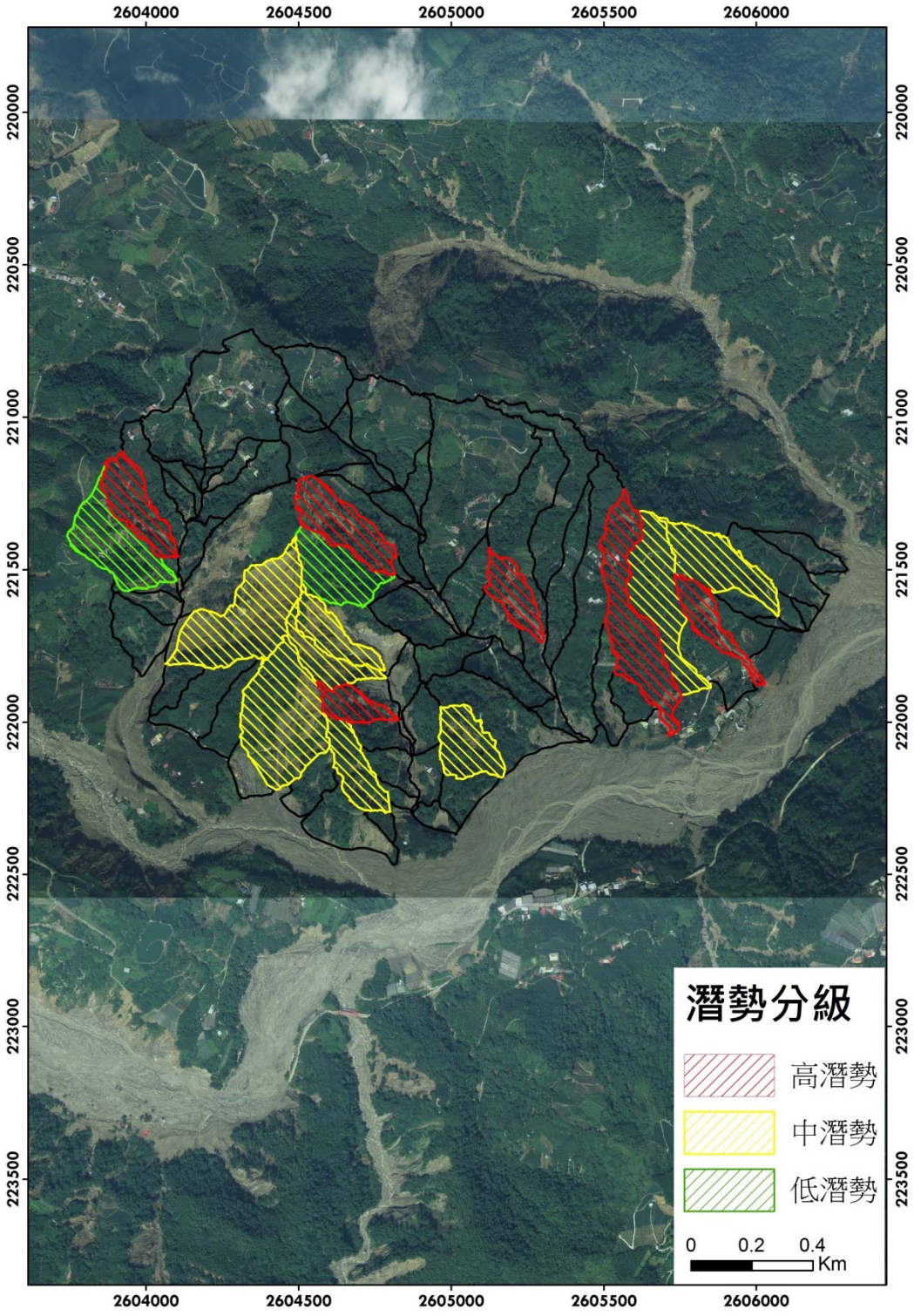


圖 5-82 集水區 F 之潛勢分析結果

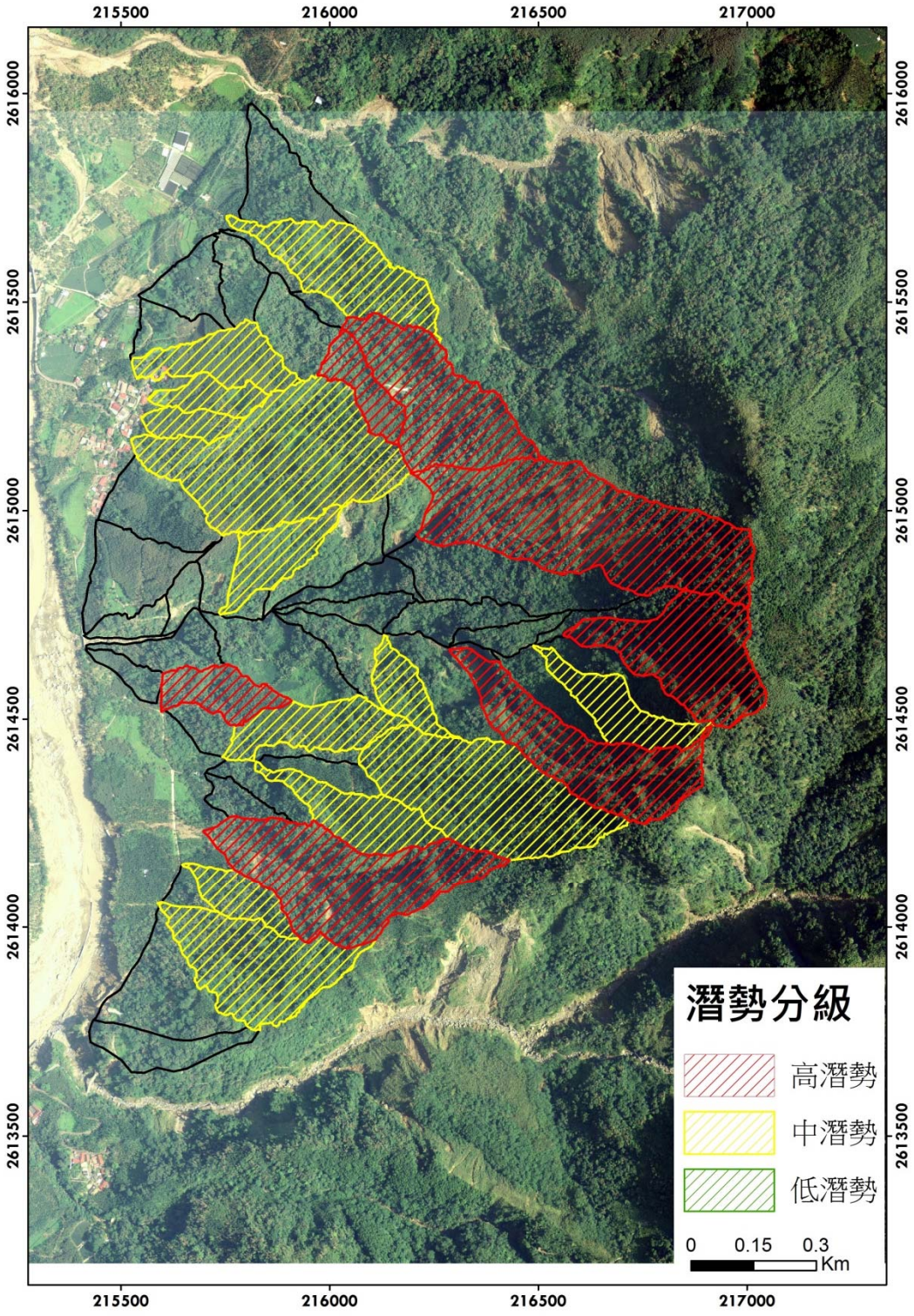


圖 5-83 集水區 G 之潛勢分析結果

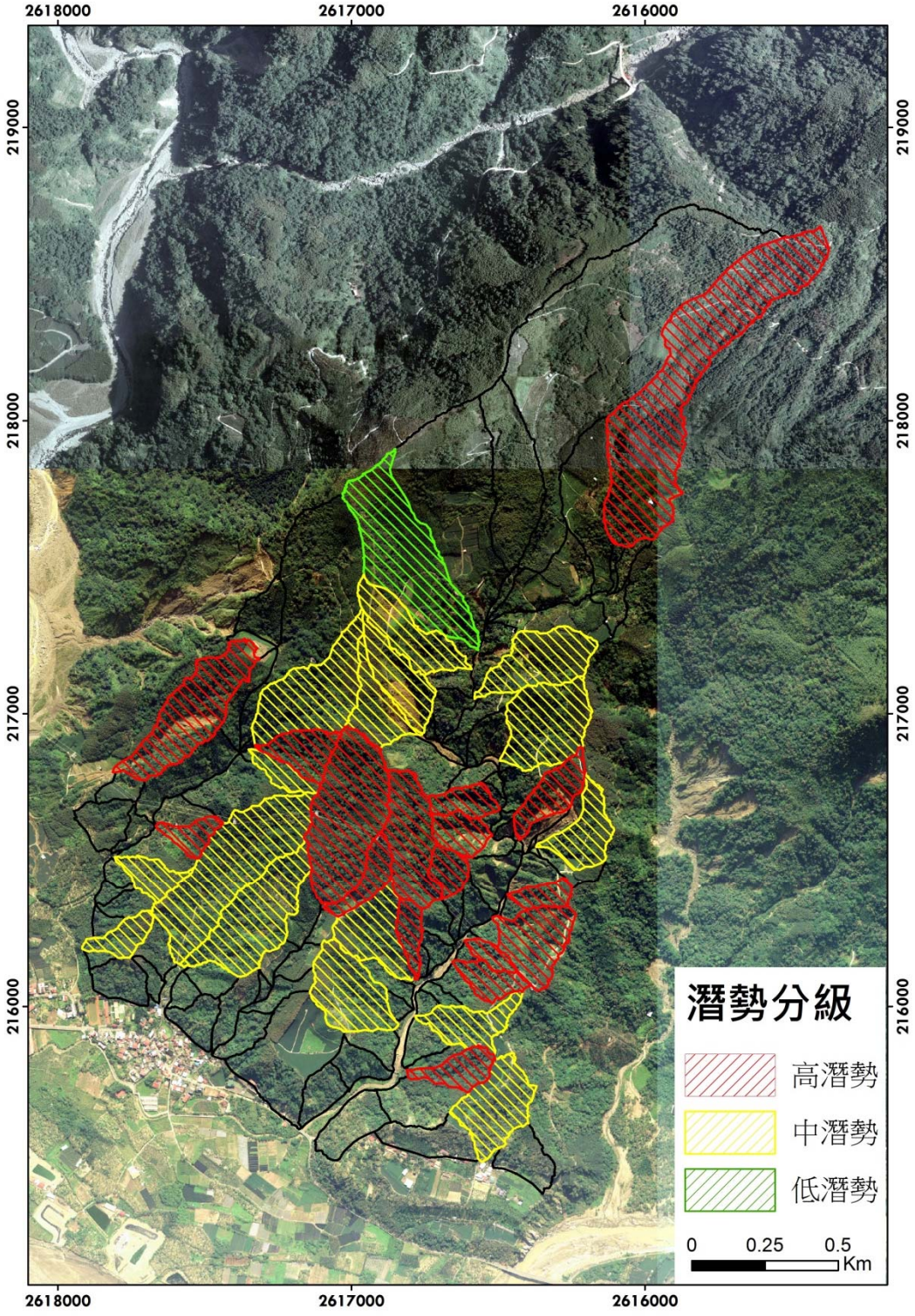


圖 5-84 集水區 H 之潛勢分析結果

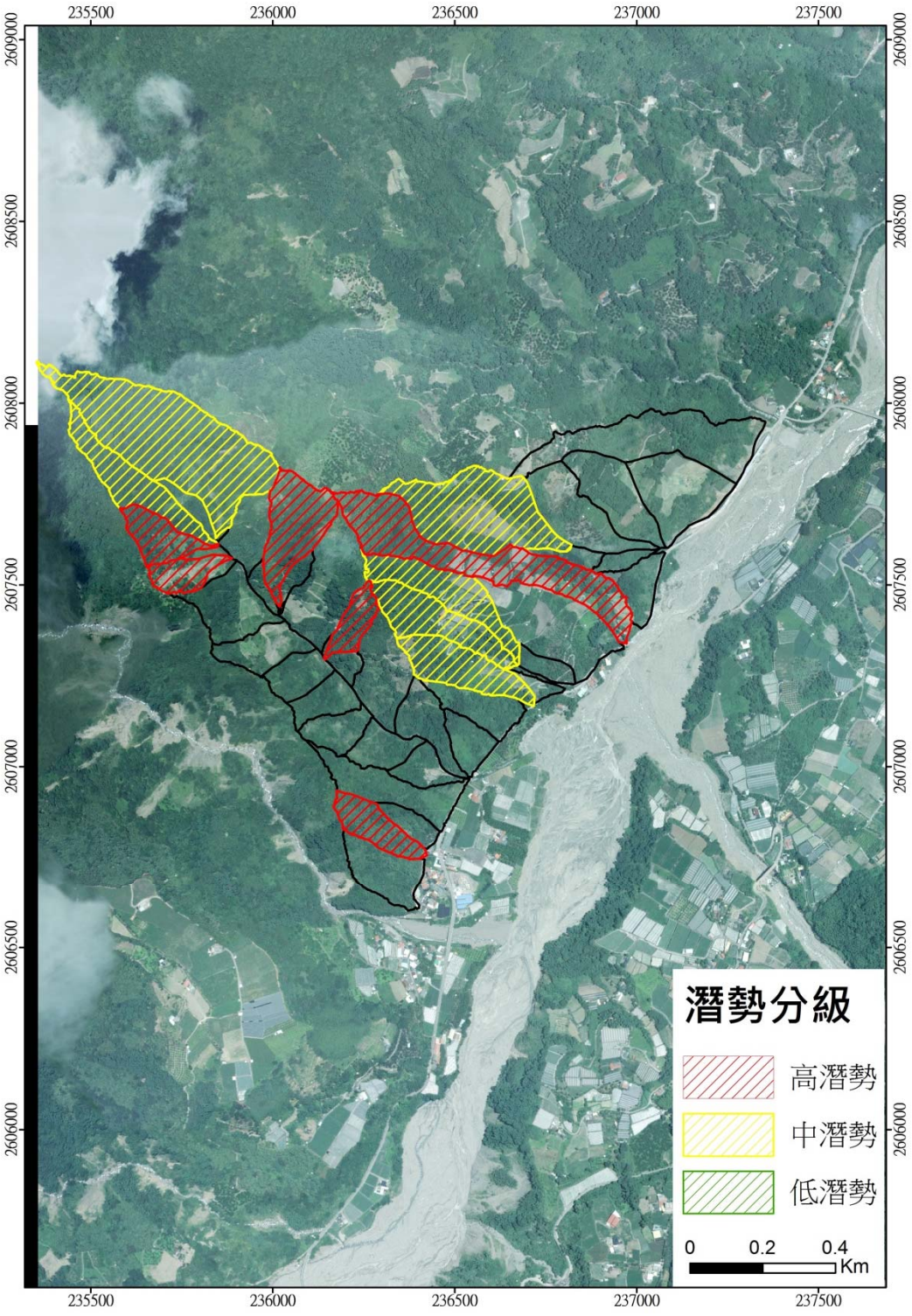


圖 5-85 集水區 I 之潛勢分析結果

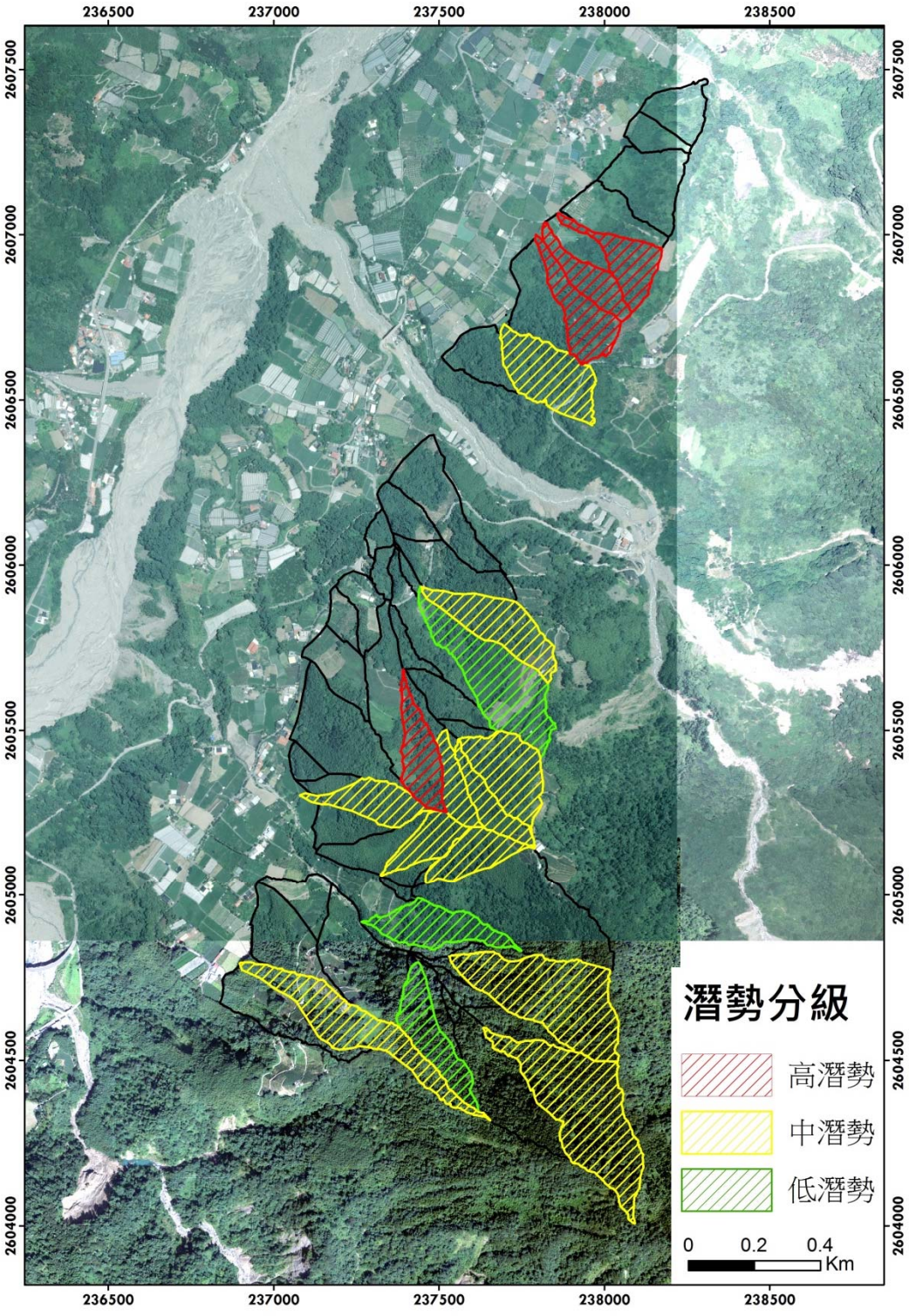


圖 5-86 集水區 J 之潛勢分析結果

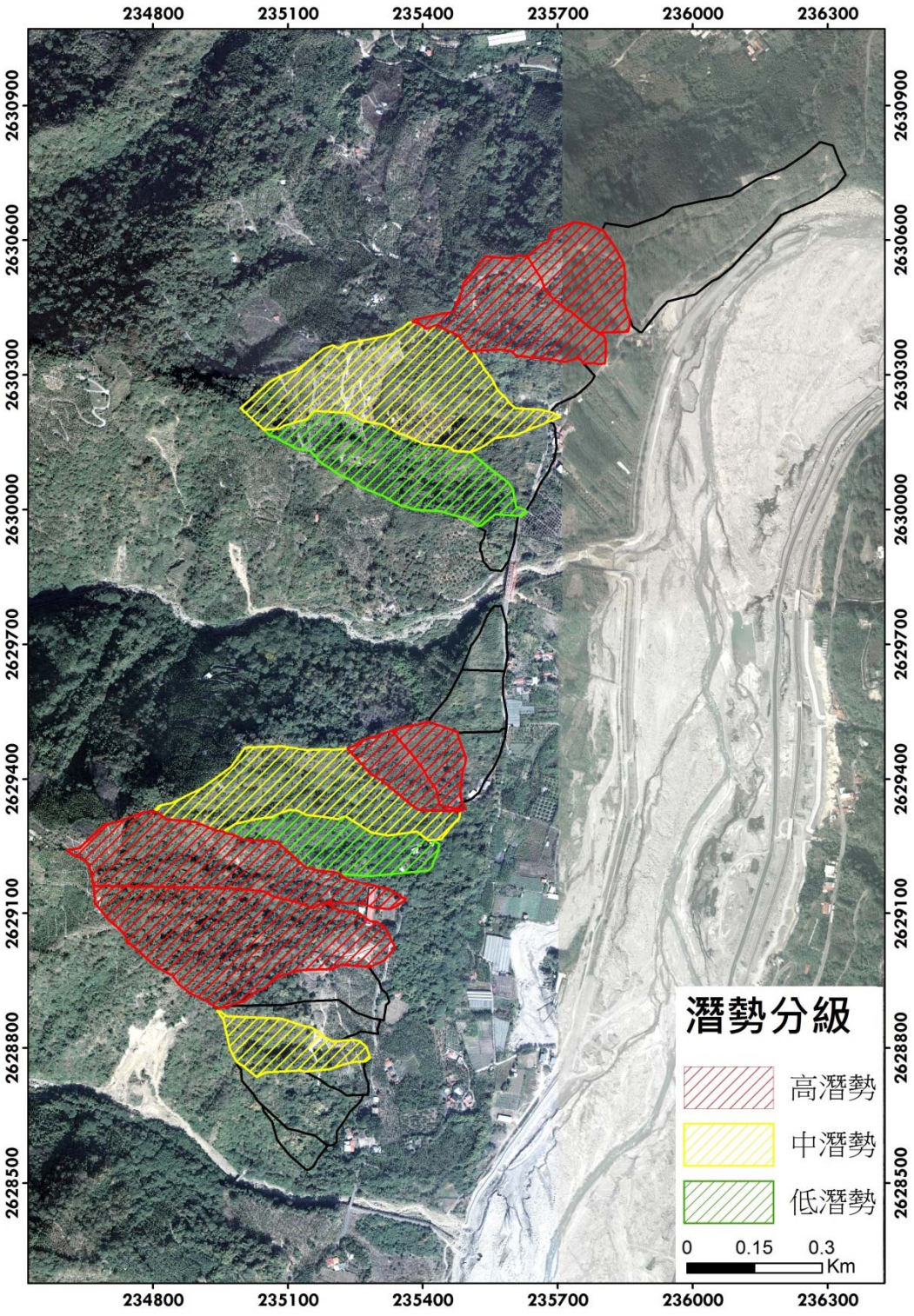


圖 5-87 集水區 A01 之潛勢分析結果

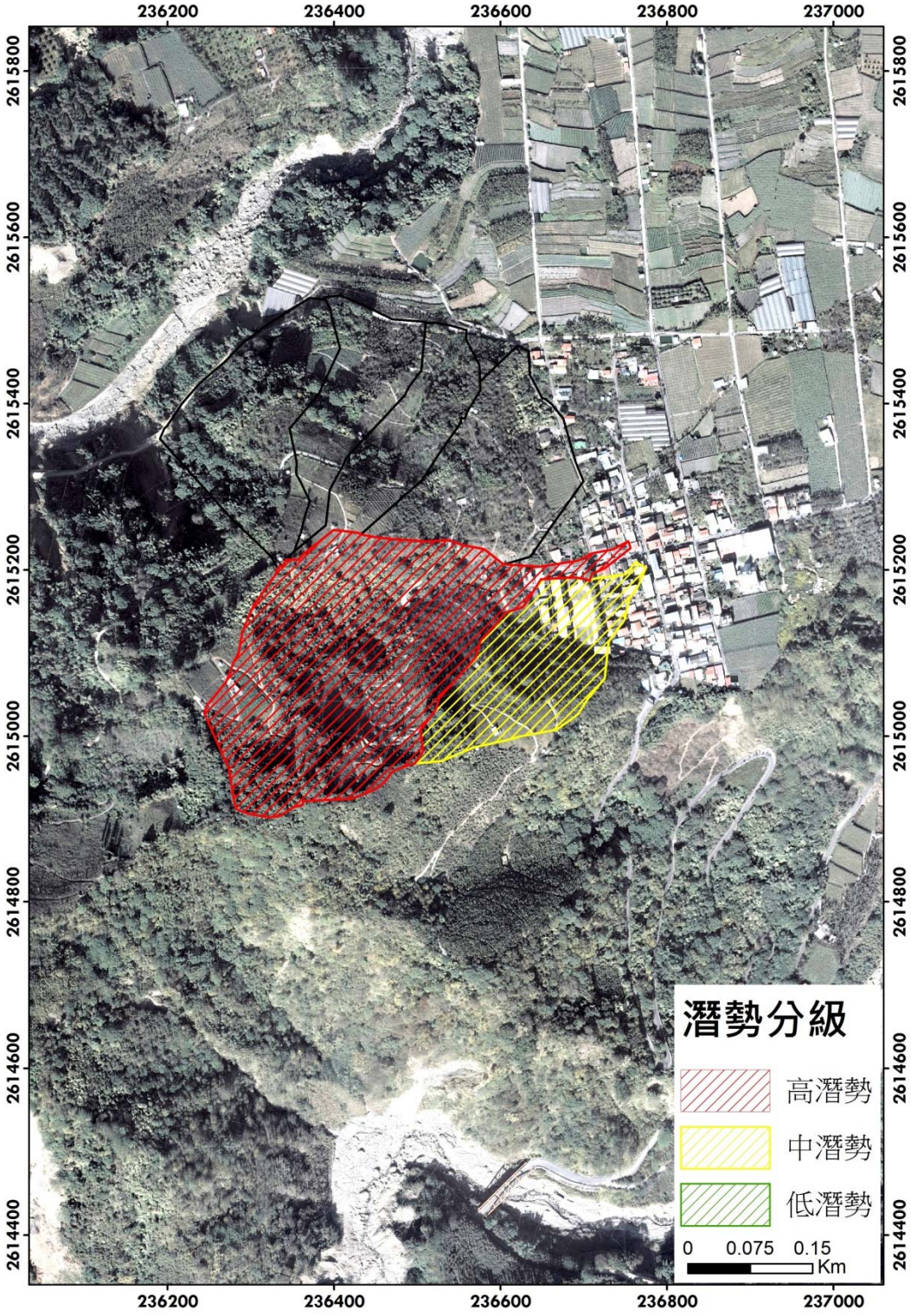


圖 5-88 集水區 A02 之潛勢分析結果

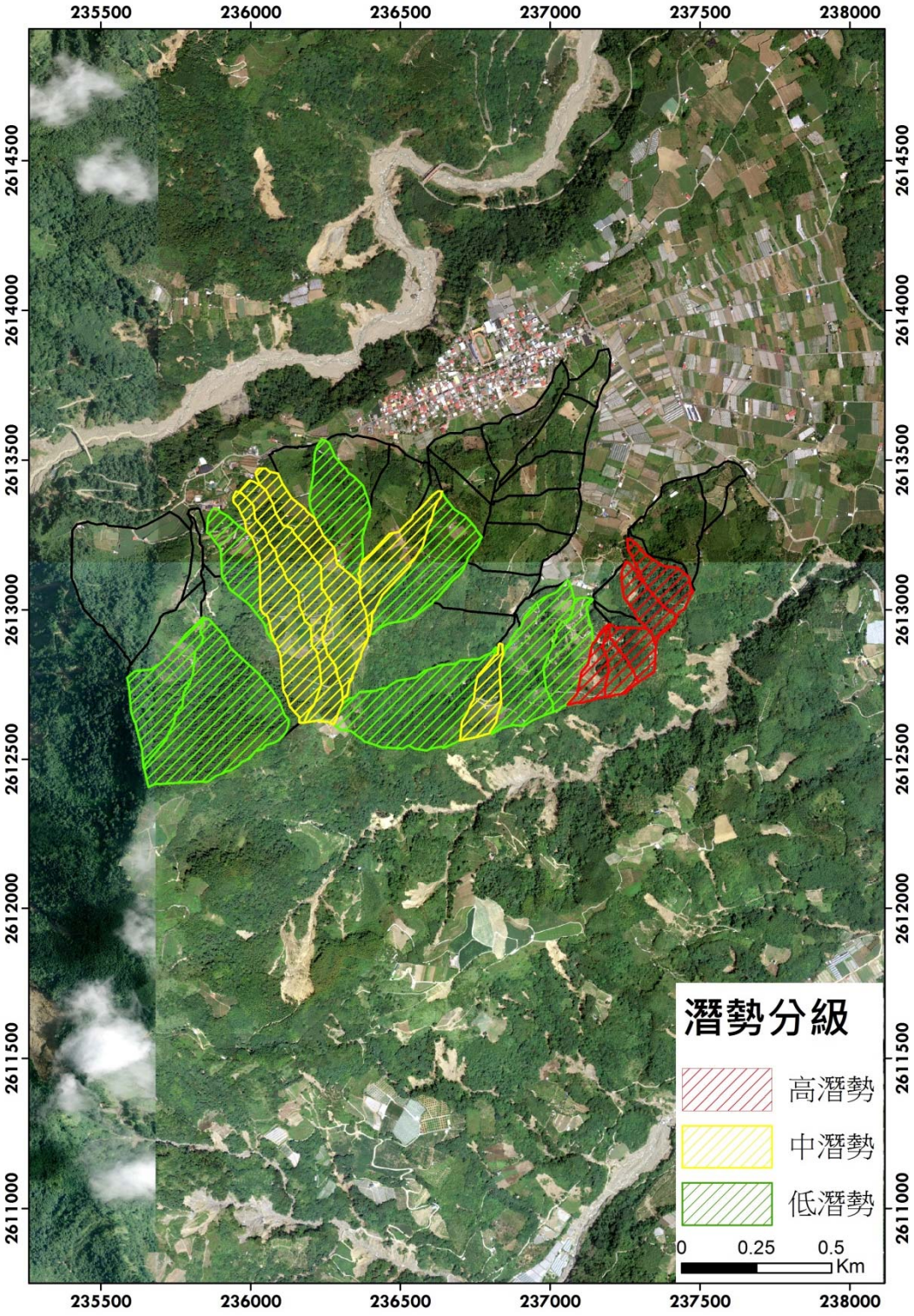


圖 5-89 集水區 A03 之潛勢分析結果

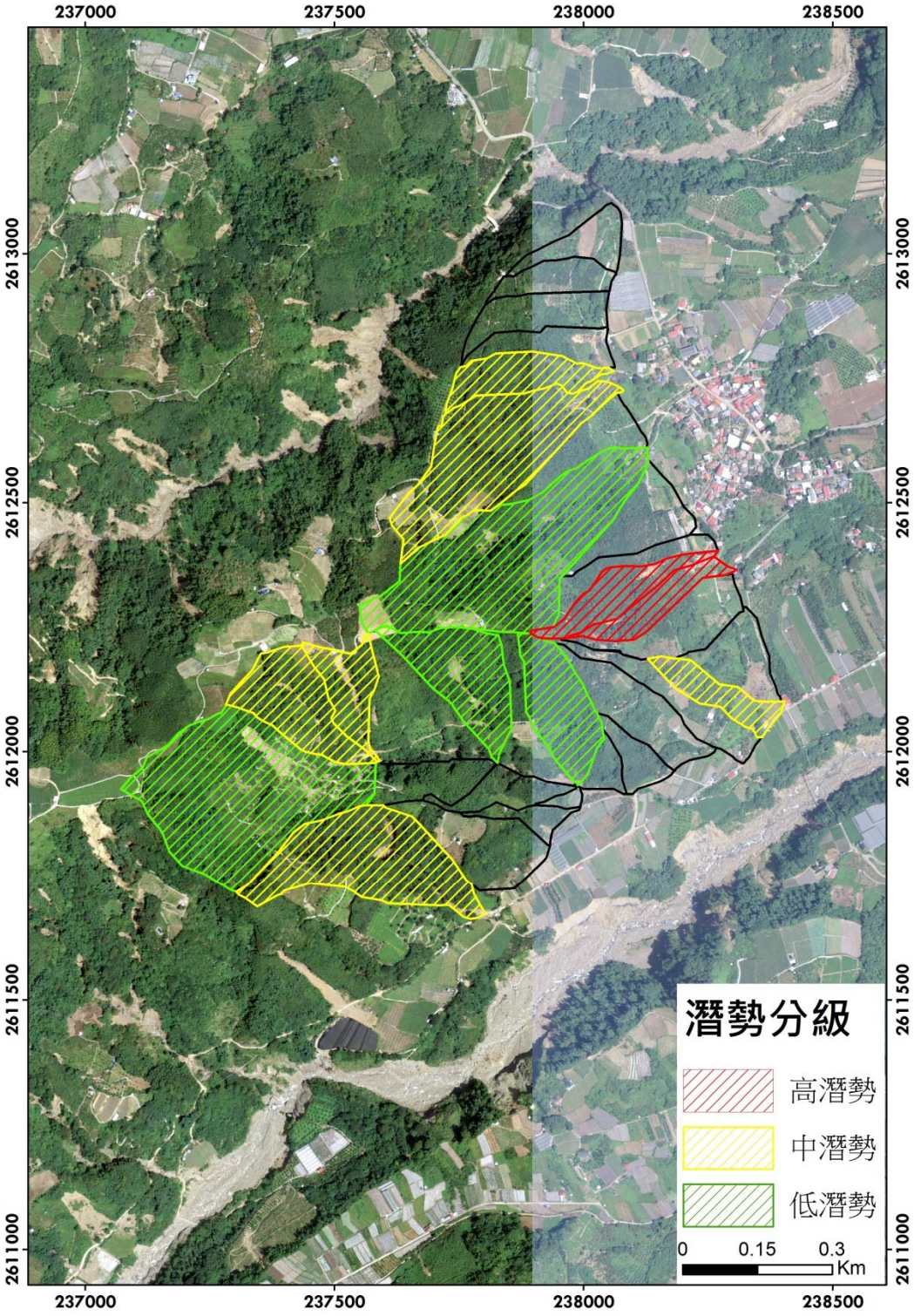


圖 5-90 集水區 A04 之潛勢分析結果

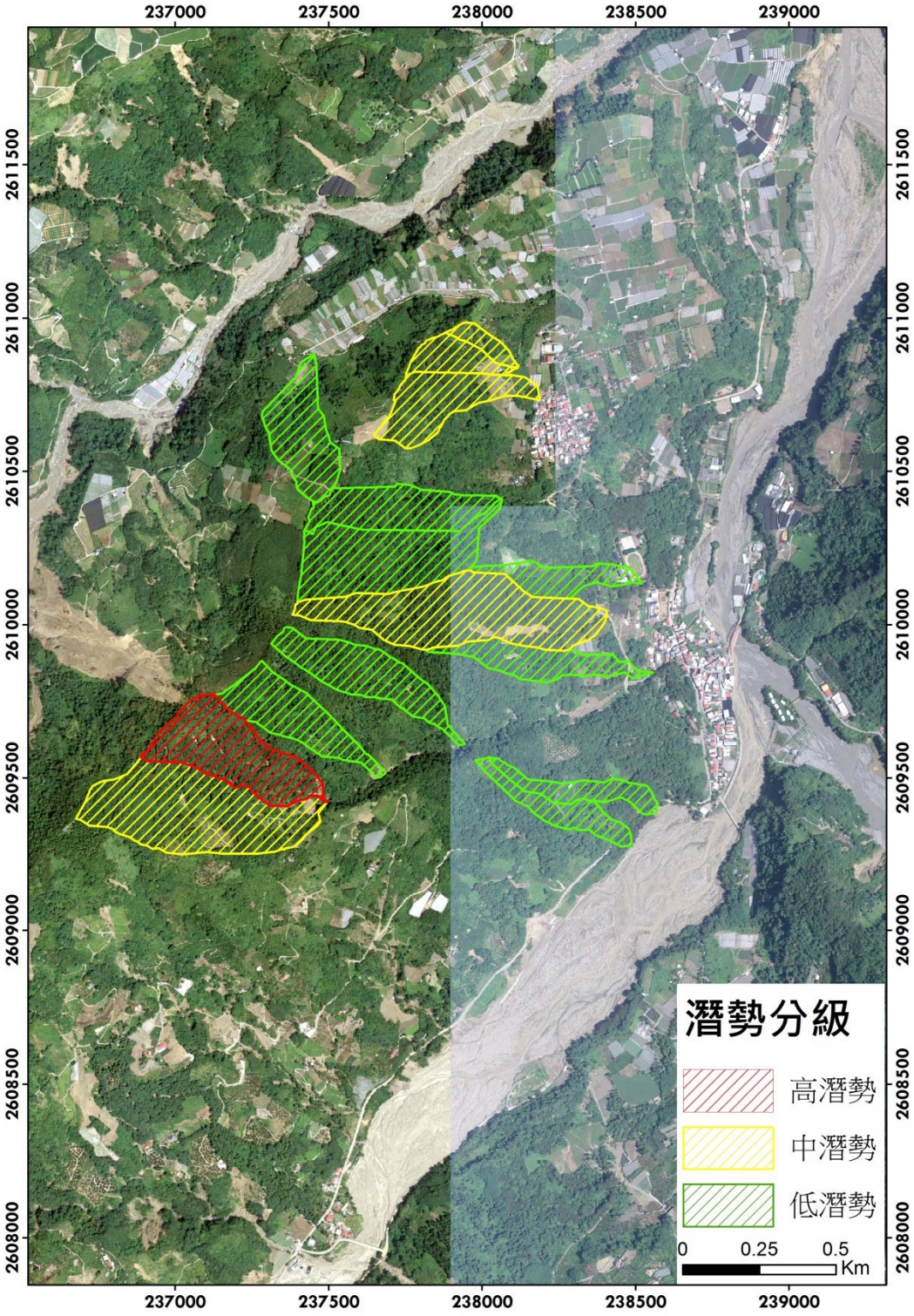


圖 5-91 集水區 A05-A06 之潛勢分析結果

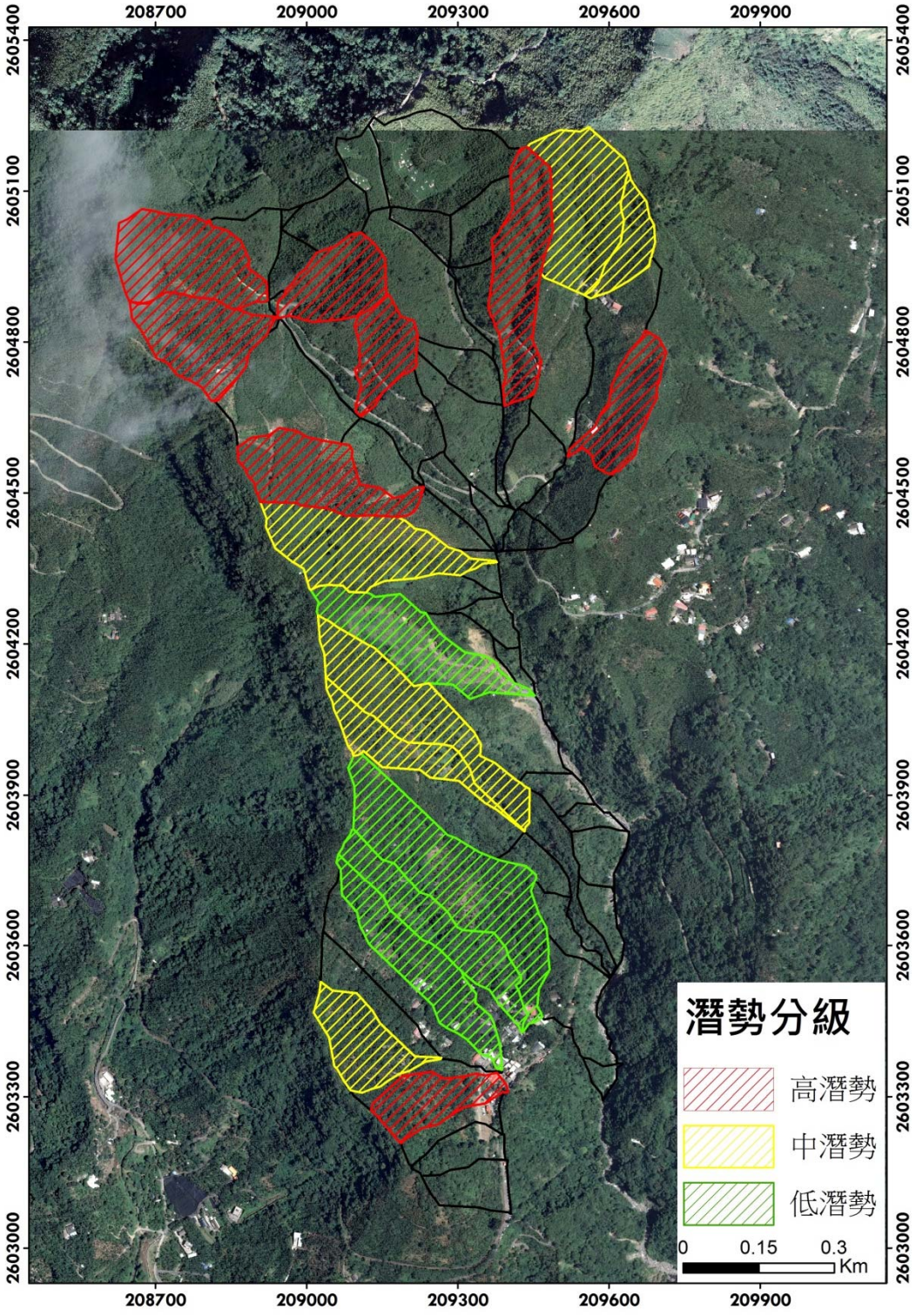


圖 5-92 集水區 A7 之潛勢分析結果

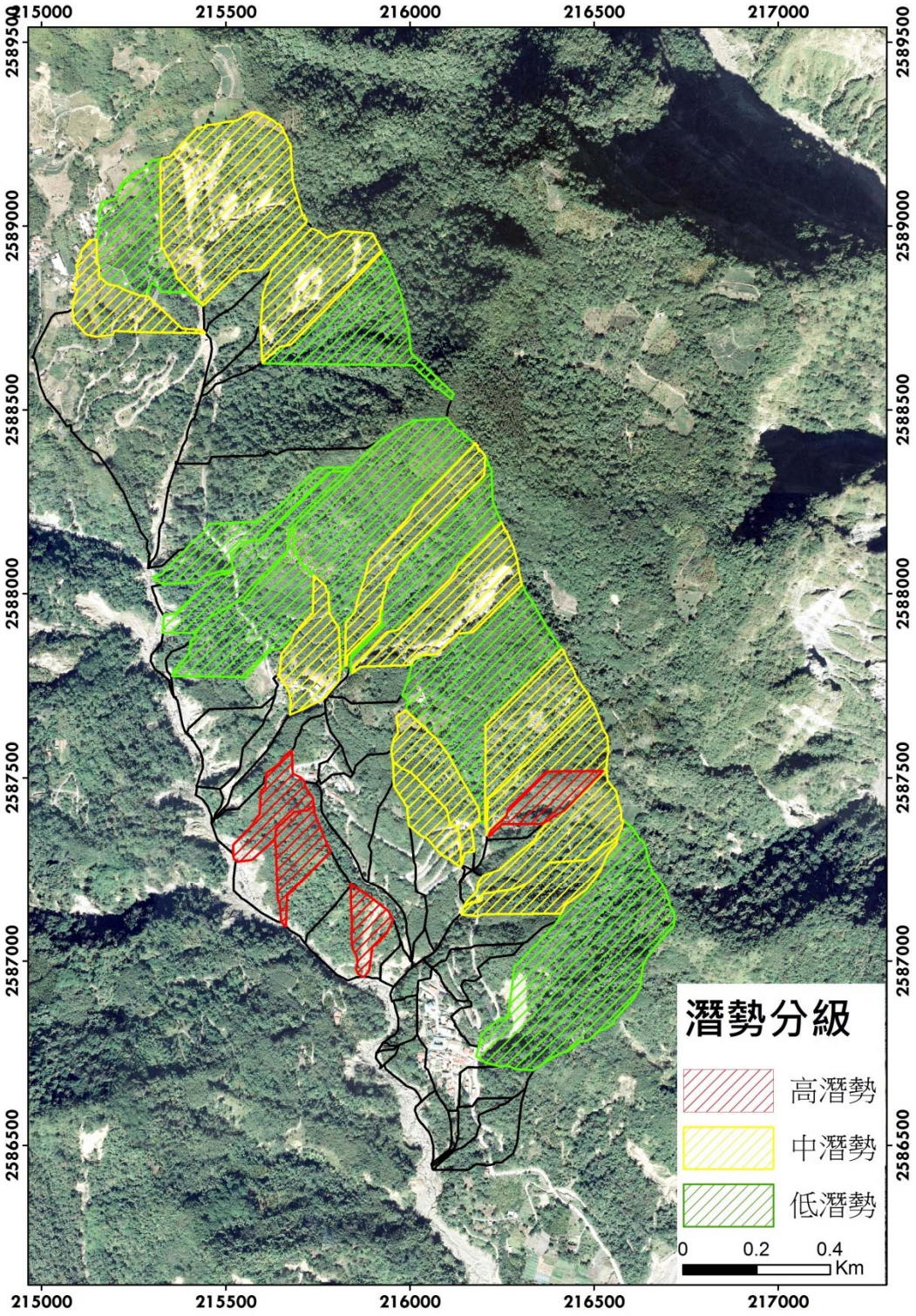


圖 5-93 集水區 A8 之潛勢分析結果

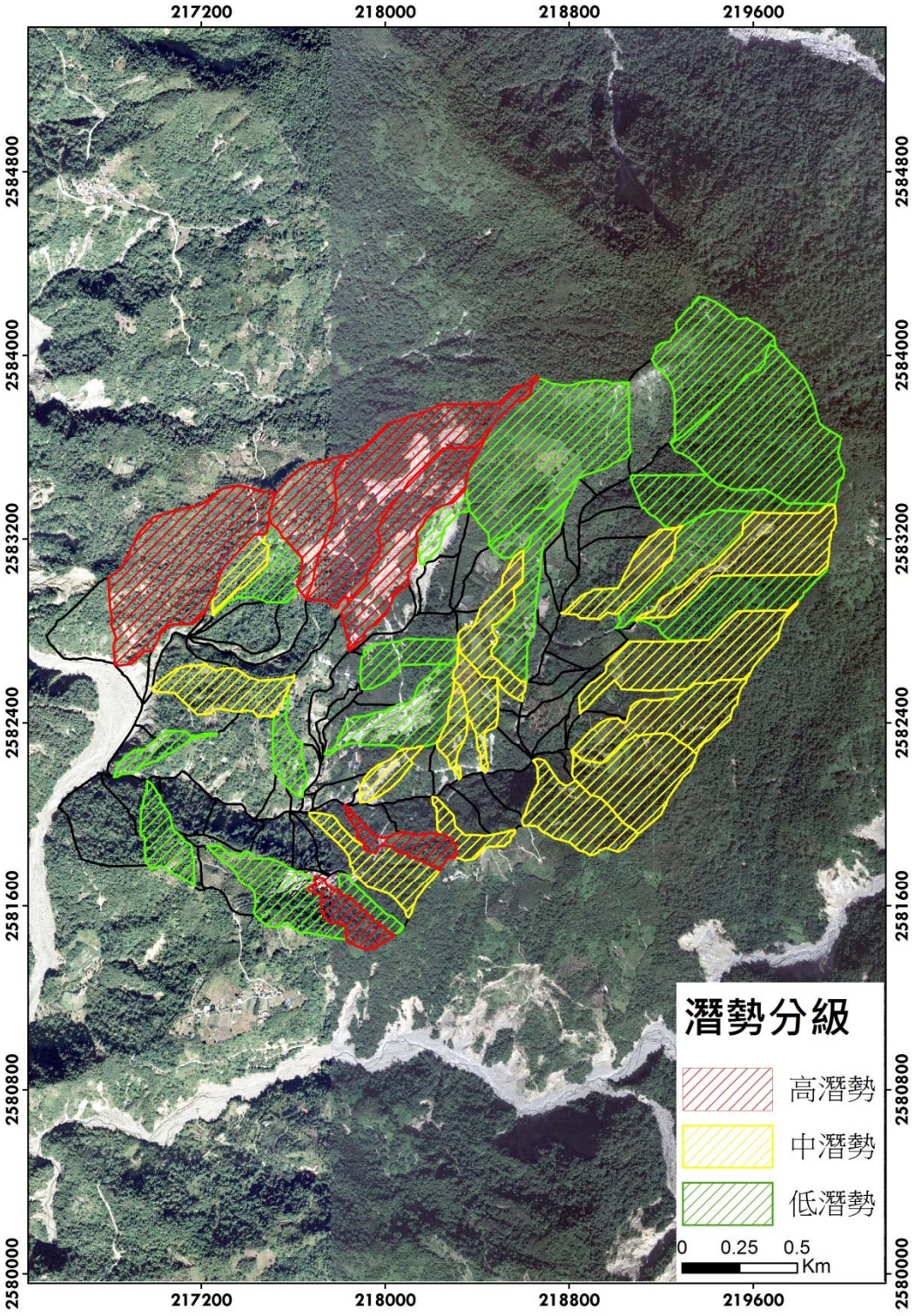


圖 5-94 集水區 A9 之潛勢分析結果

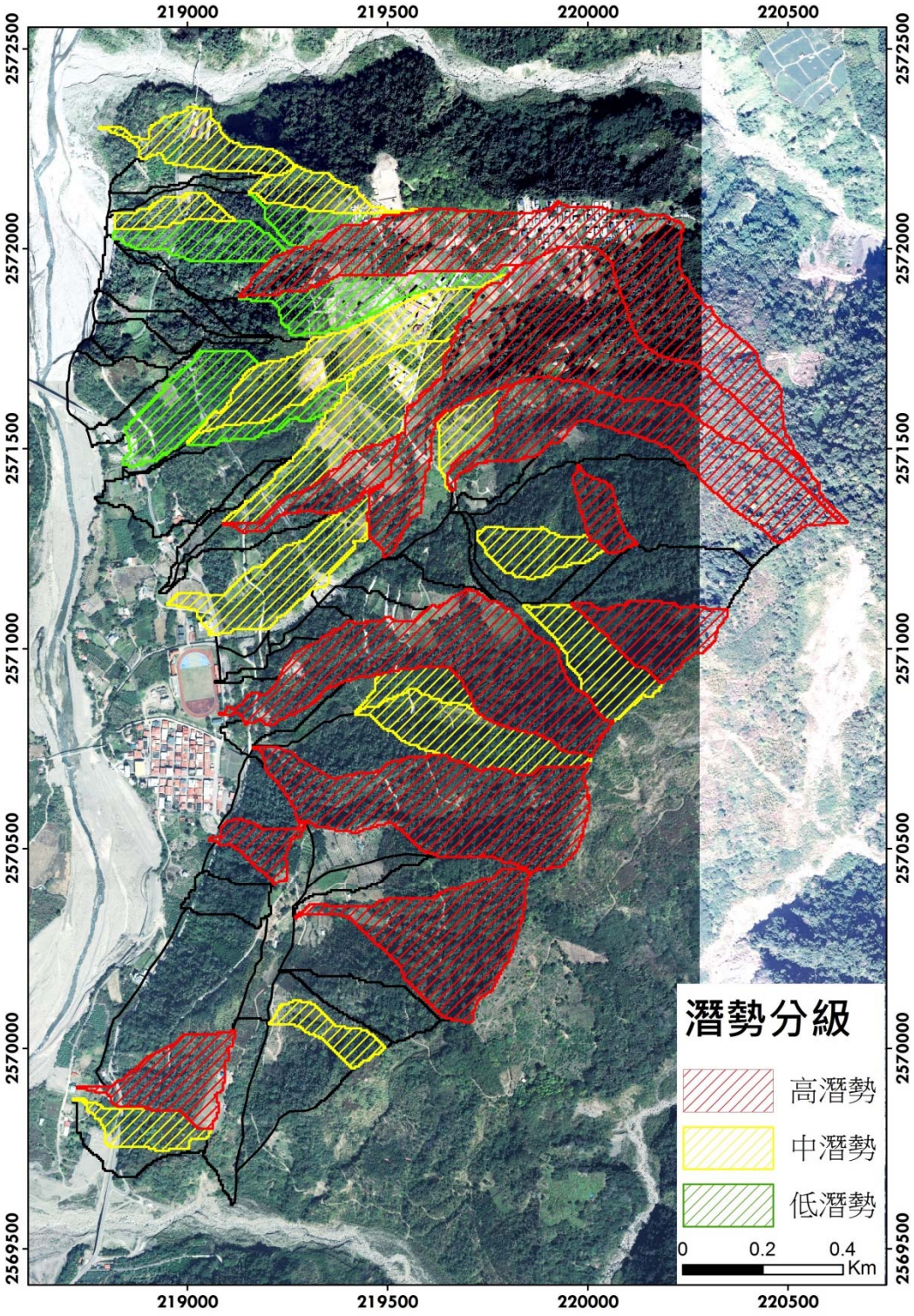


圖 5-95 集水區 A10 之潛勢分析結果

三、聚落潛勢分級成果討論

所有聚落(20 處)周邊山坡地分析單元潛勢分析結果統計如圖 5-96 所示。判釋為坡面型土石流單元有 274 筆及崩塌坡面(NDF)單元有 81 筆資料，其中，崩塌坡面(NDF)單元部分不列計河岸直坡等之崩塌邊坡單元(請參考圖 5-26 崩塌坡面分析單元圈劃流程圖)，該崩塌邊坡單元因無匯水地形(無集水區地形)，不可能形成土石流，故無費雪函數值產出，歸類為「無發生潛勢」。圖中顯示坡面型土石流單元主要分布於中與高潛勢，而崩塌單元也多位於低潛勢。此成果顯示其潛勢分級結果符合物理模型概念。

圖 5-97 顯示前期(106 年)研究區聚落判釋之坡面型土石流單元有 109 筆及崩塌坡面單元(NDF)有 64 筆資料；本年度研究區內判釋之坡面型土石流單元則有 184 筆、崩塌坡面(NDF)有 17 筆資料，兩者潛勢分級成果顯示兩期研究區之分布趨勢相仿。

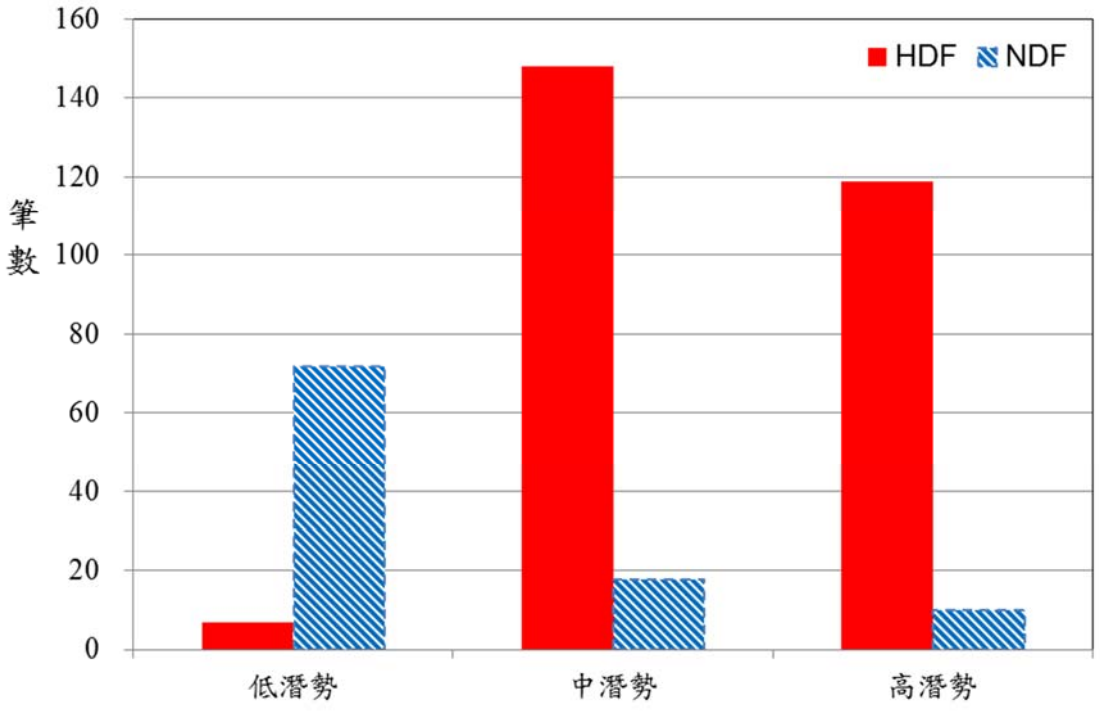


圖 5-96 全部聚落坡面型土石流及崩塌判釋單元之潛勢分級結果

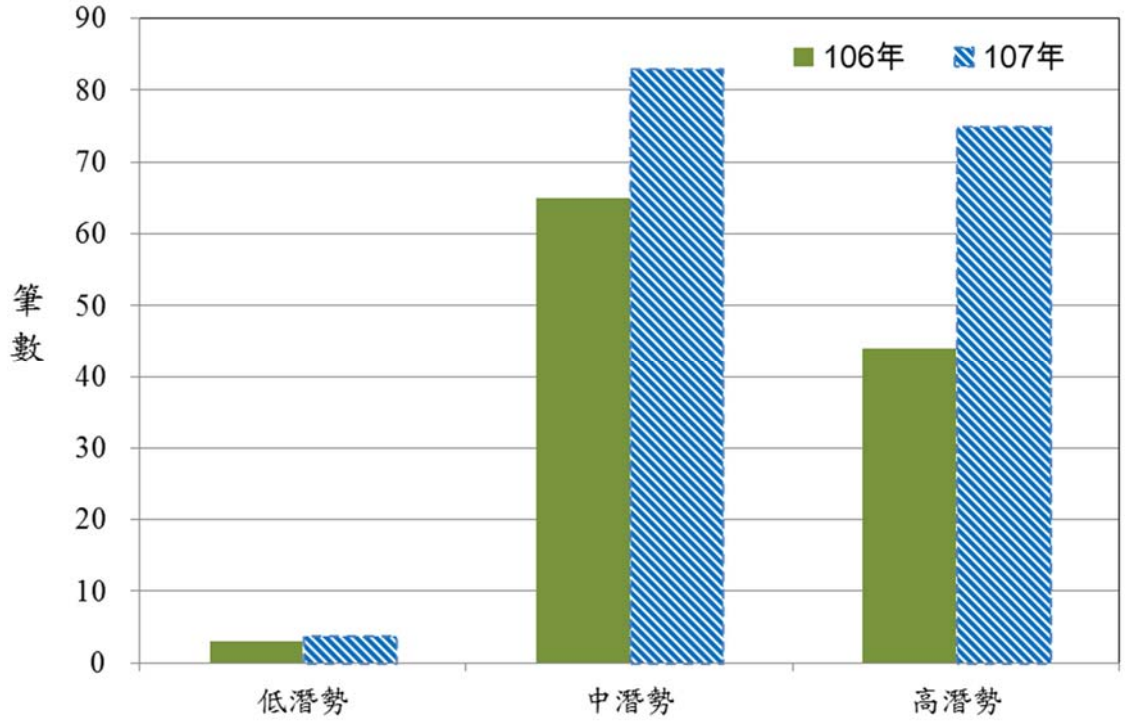


圖 5-97 106 年與本年度之坡面型土石流單元潛勢分級結果

本研究進一步探討經現地查核確認為土石流案例之單元，其潛勢分級之狀況，分級成果如圖 5-98 所示。圖中顯示實際土石流案例之發生潛勢多位於中、高等級。其中，沉積岩區 57 處土石流案例中 50 處位於中、高潛勢，比例為 88%。其次，進一步討論模式捕捉到之坡面型土石流單元之潛勢狀況，分級結果如圖 5-99 所示。圖中顯示土石流案例發前期研究區生潛勢位於中、高等級。其中，沉積岩區共計 50 處土石流案例，其中 50 處位於中潛勢之比例約為 53%。另就兩期研究區成果討論，前期研究區(陳有蘭溪、曾文溪)之中潛勢溪流較多，而本年度(旗山溪、阿里山溪、曾文溪) 研究區則中及高潛勢比例相當。

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。

HDF	低潛勢	中潛勢	高潛勢
106 年	3	12	7
107 年	4	15	16

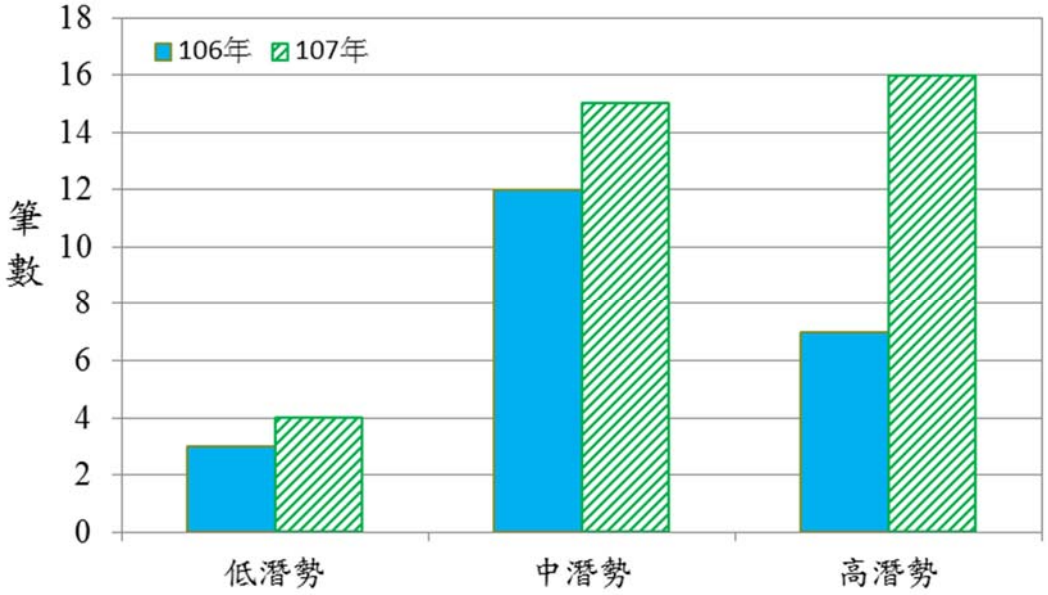


圖 5-98 實際發生坡面型土石流案例之潛勢分級結果

HDF-capture	低潛勢	中潛勢	高潛勢
106 年	0	12	7
107 年	0	15	16

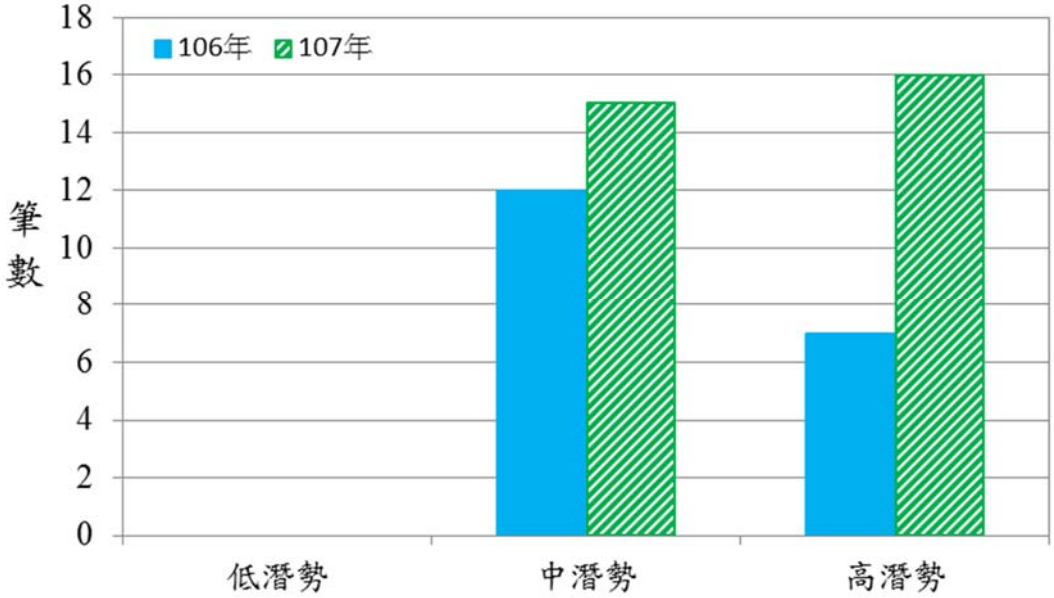


圖 5-99 判釋模式分析後捕抓到之坡面型土石流案例潛勢分級結果

四、各聚落潛勢分級成果討論

首先就前期(106 年)研究區各聚落判釋結果討論，分析成果統計如圖 5-100 所示，各區判釋結果百分比統計圖 5-101 所示。前期沉積岩區之 10 區聚落內發生坡面型土石流單元共計 109 處，落於低、中、高潛勢內分別為 0、65、44 處。

於此研究區中低潛勢者，A01 區至 A10 區均為 0 筆。

中潛勢者 A01 區有 3 筆、A02 區有 1 筆、A03 區有 5 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 14 筆、A10 區有 13 筆；其中，A01 區佔 33%、A02 區 50%、A03 區 45%、A04 區 750%、A05、A06 區 83%、A07 區 43%、A08 區 67%、A09 區 70%、A10 區 54%。

高潛勢者 A01 區有 6 筆、A02 區有 1 筆、A03 區有 5 筆、A04 區有 2 筆、A05、A06 區有 1 筆、A07 區有 8 筆、A08 區有 4 筆、A09 區有 6 筆、A10 區有 11 筆。其中，A01 區佔 67%、A02 區 50%、A03 區 45%、A04 區 75%、A05、A06 區 83%、A07 區 43%、A08 區 67%、A09 區 70%、A10 區 54%。

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。就中高潛勢單元之筆數而言，以 A07(14)、A08(16)、A09(20)、A10(24)區潛勢單元數量較多，潛勢度相對較高。故此區以 A07(樟腦寮聚落)、A08(山美聚落) 、A09(新美聚落)、A10(瑪雅聚落)等四聚落風險較高。

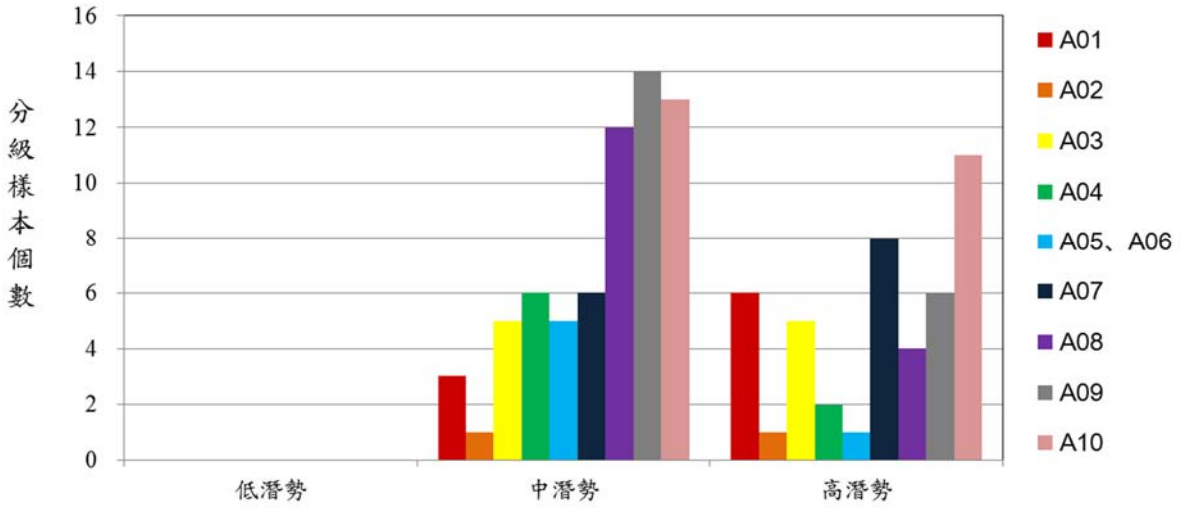


圖 5-101 前期研究區 10 處聚落判釋結果統計圖

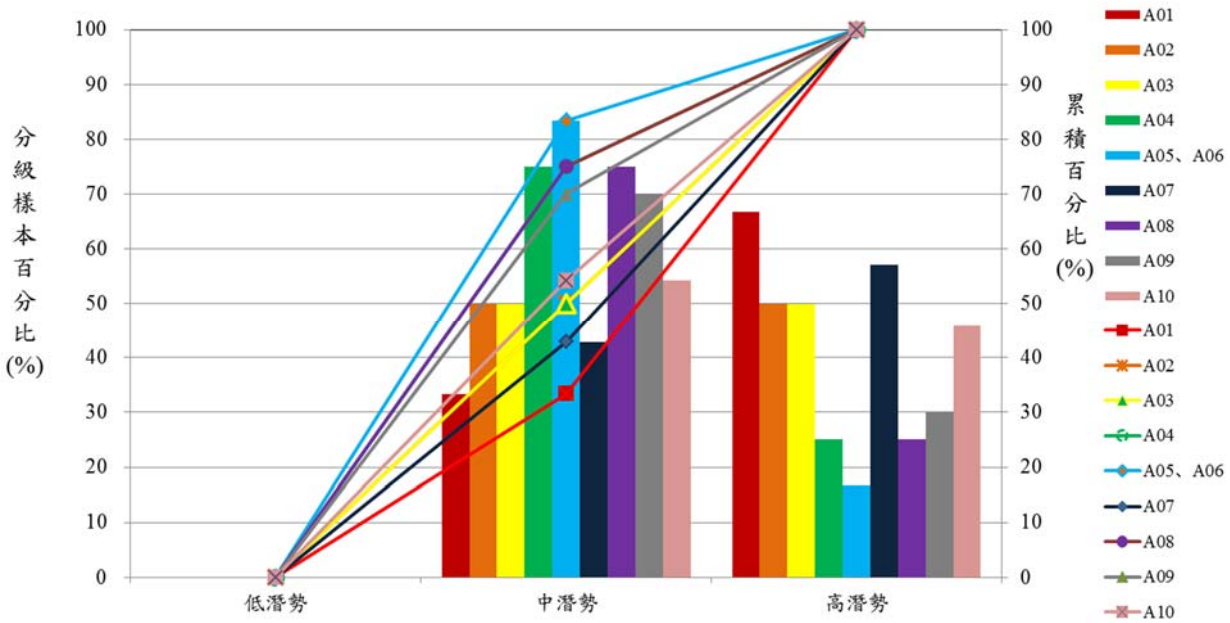


圖 5-102 前期研究區 10 處聚落判釋結果百分比統計圖

本年度(107 年)各區判釋結果統計圖 5-103 所示，各區判釋結果百分比統計圖 5-104 所示。本年度 10 區聚落內發生坡面型土石流單元中共計 184 處，落於低、中、高潛勢分別為 0、101、83 處。其中，低潛勢者，A 區至 J 區均為 0 筆。

中潛勢者，A 區有 12 筆、B 區有 15 筆、C 區有 11 筆、D 區有 5 筆、E 區有 3 筆、F 區有 8 筆、G 區有 13 筆、H 區有 17 筆、I 區有 6 筆、J 區有 11 筆；其中，A 區佔 36%、B 區佔 63%、C 區 48%、D 區 71%、E 區 60%、F 區 57%、G 區 65%、H 區 55%、I 區 50%、J 區 73%。

高潛勢者，A 區有 21 筆、B 區有 9 筆、C 區有 12 筆、D 區有 2 筆、E 區有 2 筆、F 區有 6 筆、G 區有 7 筆、H 區有 14 筆、I 區有 6 筆、J 區有 4 筆；其中，A 區佔 64%、B 區佔 38%、C 區 52%、D 區 29%、E 區 40%、F 區 43%、G 區 35%、H 區 45%、I 區 50%、J 區 27%。

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。整體而言，就中高潛勢單元之筆數而言，以A(33)、B(24)、C(23)、G(20)、H(31)區潛勢單元數量較多，潛勢度相對較高。因此本年度沉積岩區中以 A(蜈蜞潭聚落)、B(和安里 9～11 鄰聚落) 、C(里佳 1～3 鄰聚落)、G.(過溪聚落)、H(瑞竹里聚落)等五聚落風險較高。

綜整兩期研究成果，沉積岩研究區中以 A09(新美聚落)、A10(瑪雅聚落)、A(蜈蜞潭聚落)、B(和安里 9～11 鄰聚落)、C(里佳 1～3 鄰聚落)、G. (過溪聚落)、H(瑞竹里聚落)等七聚落風險較高。

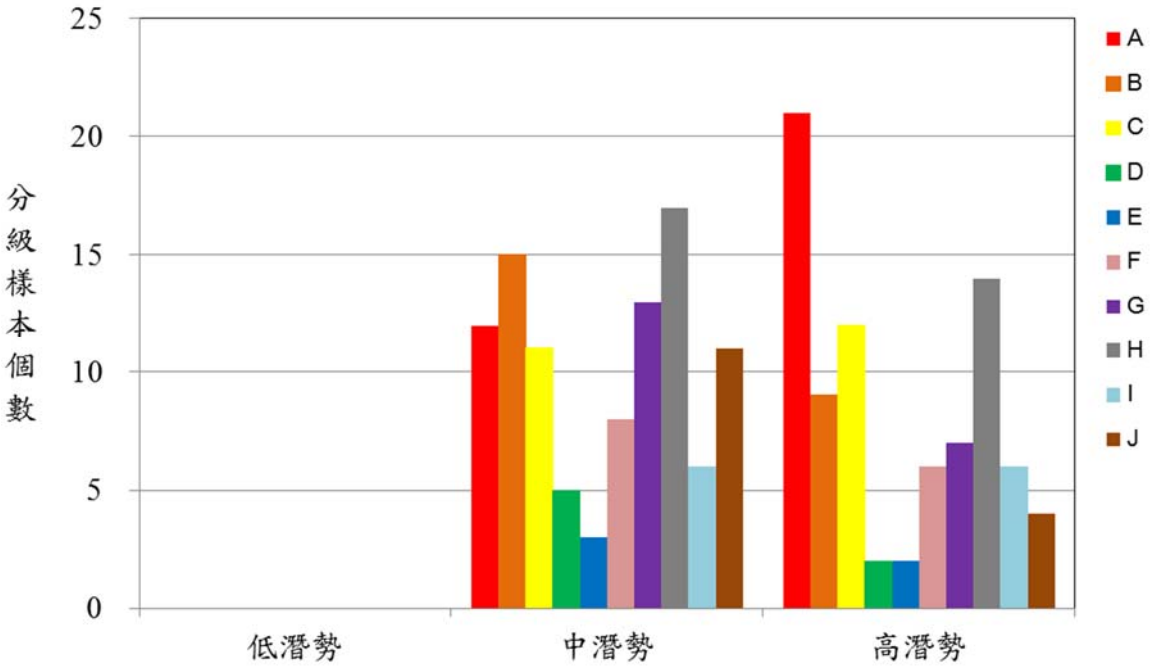


圖 5-103 本年度研究區 10 處聚落判釋結果統計圖

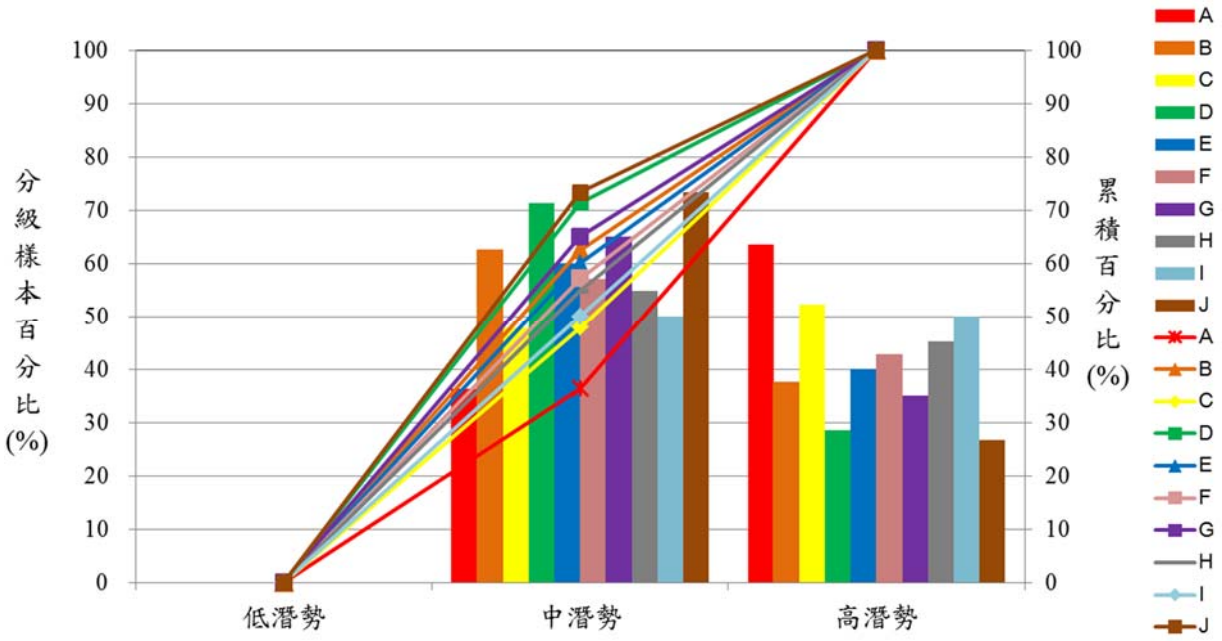


圖 5-104 本年度研究區 10 處聚落判釋結果百分比統計圖

第六章 結論

綜整本研究成果，結論如下：

1. 本計畫針對台灣西部沉積岩地質區聚落周緣坡地之坡面型土石流判釋及潛勢評估方法再精進研發。擇定阿里山溪、曾文溪流域、旗山溪及陳有蘭溪等流域內 10 處山區聚落，同時整合前期已建置之 10 處山區聚落資料，共計 20 處聚落，進行聚落周緣坡地之坡面型土石流判釋模式及潛勢評估方法研發。
2. 本研究收集高雄台南地區坡面型土石流案例 52 處，坡面型土石流事件共 51 筆。採隨機選出 31 筆之坡面型土石流事件作為分析及驗證樣本。其中，再配合 31 處崩塌案件，建立樣本資料庫: 崩塌及坡面型土石流案例各 21 處、驗證案例各 10 處。
3. 本研究已完成 10 聚落研究區之坡面型土石流現地野外調查。調查成果回饋於判釋模式之精進作業。
4. 建置完成沉積岩區精進之坡面型土石流判釋模式，獲得沉積岩區正判率達 83.3%，土石流單元驗證達 80%，成效良好。模式應用至 20 處研究區時，亦可達到良好之捕捉率，初步可達實用需求。
5. 今年度中南部沉積岩區分析單元整體(HDF 及 NDF)捕捉率達 87%，而 HDF 事件捕捉率為 89%；應用於 106 年度 10 處聚落其整體捕捉率達 98%，而 HDF 事件捕捉率為 86%。本年度研發之新模式大幅提升判釋之效力。
6. 本計畫完成潛勢分級方法。分析結果顯示模式判釋之土石流單元，其發生潛勢多位於中、高潛勢等級，比例達 97%。而崩塌單元也多位於低潛勢，比例約 72%，此成果符合物理模型概念，顯示本計畫已獲取相當不錯之研究成果。

7. 分析實際土石流案例之潛勢，其發生潛勢多位於中、高等級，57處土石流實際案例中，50 處位於中、高潛勢，比例為 88%。
8. 綜整兩期研究成果，沉積岩研究區中以 A09(新美聚落)、A10(瑪雅聚落)、A(蜈蜞潭聚落)、B(和安里 9～11 鄰聚落)、C(里佳 1～3 鄰聚落)、G (過溪聚落)、H(瑞竹里聚落)等七聚落風險較高。
9. 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。
10. 台灣本島地質複雜，中南部沉積岩以三峽至瑞芳群地質為主，地質年代較為年輕，相對於中北部則以野柳至瑞芳群之較古老地質為主，兩區之岩性及組成有所差異。加上北部山坡地人口密集，災害危害度高。因此建議應針對中北部沉積岩地質區之進行模式成果驗證及實用。
11. 台灣本島如台地、火成岩、廣域變質岩及海岸山脈等地質區，其材料及地形特性有所差異，建議可再發展適用之分析模式。

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、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。
20. 陳天健、王振宇、陳柏龍 (2015.09)，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.(Scopus and GEOBASE)
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. Shu, H. M., Chen, T.C.*, Yang, W.C., and Luo,Y.X., (2016), “ Interpretation and Analysis of Potential Fluidized

LandslideSlope,”Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA Vol. 47No.2:101-110. June 2016. ISSN 0046-5828 (Author for correspondence, EI)

41. Thomas Glade, “Linking debris-flow hazard assessments with geomorphology , ” Geomorphology , Vol. 66, No.1-4, pp.189-213, 2005.
42. Takahashi T , Debris flows. Annu Rev Fluid Mech Vol.13, pp.57-77, 1981.
43. Yang Z.Y., Chen T.C.*, Lin C.W., and Lin S.C., (2016),“Rainfall landslide in Sedimentary and Sub-Metamorphic Rock - an example in Kaoping River Basin,” Journal of Applied Science and Engineering, 19(2):169-176 (Author for correspondence, EI,)

附錄

附錄一、期初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	研究內容新穎實用，值得探討。	謝謝委員肯定。
二	沉積岩與非沉積岩在分析判釋及潛勢評估方面有何不同？	依據前數期成果顯示，不同地質區之特性因子種類亦有不同之狀況，而潛勢分級因子亦會變動。此與土石流之發生特性受地形及材料等因素影響。
三	坡面型與非坡面型之土石流在分析判釋及潛勢評估方面有何不同？	土石流約分為溪流型及坡面型，兩者地形有明顯差異，容易區分。而本研究主要針對坡面型土石流與崩塌單元之判區分判釋。
四	題目之語意模糊，似有商榷之處。	本研究前期曾針對沉積岩區之坡面型土石流初步研定出判釋模式。本期則進一步精進，提升判釋模式之實用性。
五	判釋準則一詞應避免「準則」之法令名詞用語。	本報告均改用為「模式」一詞取代準則。
六	P23 坡面型或崩塌等土石流	謝謝指導，我們將再持續收集

	之區別函數是否正確，宜再檢討其樣品數取得之合理性。	坡面型土石流案例，及崩塌案例，以期更能合理選取樣本隨機特性。
七	沉積岩區所選者及坡面型土石流若在支流且深入山區部份，請再檢視是否符合。	於同一地質區中，坡面型土石流之發生特性機制相似，就案例捕抓成果狀況，顯示其亦較不受位置之影響。
八	區別函數似沒有如前述之水文等因子蒐集均包括在內，也許是不明顯而刪除。另請注意 FFR 與 FO 之係數正、負的相互關係與說明。	1.本研究選用發生區面積、溪流長度等，間接表現水文之因子。 2.因區分對象為坡面型土石流與崩塌，因此判釋因子係數的正負主要表現，因子在其二者之相依程度。
九	建議空拍時留意若發生區（崩塌料源區）若有開發或受道路影響時應先刪除。	謝謝寶貴建議。開發或受道路影響確實於分析單元圈畫之困擾。
十	如何將坡面型土石流納入現行土石流潛勢溪流劃設作業，在其未發生前，現地能否找出明顯地形特徵？	1.未來可仿照現有土石流潛勢溪流劃設作業，針對有保全對象之進行山坡地坡面單元潛勢分析。再進而設定管理策略。 2.其次亦可參考地調所之山崩潛感分析作業，進行全台山坡地潛感分析。
十一	坡面型土石流在未發生前，如	本研究採用發生潛能的概念，

	何判斷其活動性及潛勢等級？	建立評估模式，而後再以實際案例驗證評估模式之效力。進而擬定潛勢分級方法。不過研究中尚未針對土石流滑動性進行評估。
十二	106 年已有部分沉積岩地質區成果，與 107 年的研究，除地區不同外，其他有何不同？（因定義為精進為題目），請說明之。	106 年研究區分別包括板岩區、東部片岩區，及部分西部沉積岩區。上期所針對沉積岩區之初步研定坡面型土石流出判釋模式尚有改進空間。本期則進一步精進，提升判釋模式之實用性。
十三	本案坡面型土石流蒐集很多文獻，並臚列其判釋方法，未來如何與崩塌河道型土石流區隔，請說明。	謝謝指導。於研究團隊曾研究分為溪流型及坡面型土石流之差異，兩者地形有明顯差異容易區分，相關成果已補充文獻回顧一章。本研究則主要針對坡面型土石流與崩塌單元之判區分判釋。
十四	對地形之演進，是否有可能於一坡面，從崩塌擴大至坡面型土石流，再擴大至河道型土石流。	謝謝指導。委員所提示者，即是本研究之地質概念模式。本研究之方法與程序，即基於此一概念而逐步發展所得。

附錄二、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	本計畫內容十分豐富，且分析成果已達一定解釋量。	謝謝委員肯定。
二	2.自然界之現象往往較不易以多變量分析（ANOVA）找出完整迴歸，建議計畫亦可採用 Physical Model 方式，或採可使用自然對數之 empirical model 分析，或許可產製更佳之成果。	謝謝提供寶貴建議，目前以多變量分析（ANOVA）為工具，尚可獲致良好的成果。經由新發展之模式，顯示其效力良好。
三	圖目錄之字形宜修改一致。	已修正，謝謝委員指正。
四	P.77 有關集水區分析單元面積部分「如圖 4-30 所示，與尖峰流量成正比的..，占總數百分比為 81.8%」，請再檢視對應之圖說是否正確。	已修正，謝謝委員指正。
五	以 7 項因子建立坡面型土石流判釋模式整體證判率 80%值得肯定，惟在土石流捕捉率成效不一，特性因子對判釋結果之影響值得探討。	謝謝委員建議，經研究團隊持續努力下，目前成果顯示山區聚落之坡面土石流捕抓率已達 85%以上。

附錄三、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	目前的研究係針對沉積岩地質區進行坡面型土石流判釋，如該地區非屬單一特性地質條件是否仍可進行判釋？	本模式著重於預測坡面型土石流之發生潛勢，因此若集水區出現多種地質狀況時，則建議以發生區所在地質區為準。
二	能否說明與前版分析判釋力提升的因子（如納入了其餘地文因子），並說明目前版本可能造成誤判的情形。	1. 於 106 年度，本研究完成沉積岩區之判釋模式，捕捉率僅達 77%。 2.今年度 HDF 事件捕捉率為 89%;重評 106 年度 10 處聚落時，其整體捕捉率達 98%，而 HDF 事件捕捉率為 86%。本年度研發之新模式大幅提升判釋之效力。
三	前年度之坡面型模式於今年精進後，其模型若於前年度之 10 處調查是否會有判釋結果影響？	於去年度之判釋模式，捕捉率僅達 77%。今年度新模式重評 106 年度 10 處聚落，其整體捕捉率達 98%,而 HDF 事件捕捉率提高至 86%。
四	針對計畫進行多處聚落崩塌之土石流現勘，現勘資料除計畫使用外，宜可回饋業務單位	謝謝委員建議，成果將全力配合水保局各單位需求。

	地區劃定之相關建議。	
五	土石流判釋成果之正判率分析，以人工現地調查進行，未來如何推廣至更多區域之研究？	人工進行現地調查，主要為驗證及查核模式之效力，判釋模式完成後，未來即可直接用於評估各地之坡面型土石流潛在空間區位，及聚落之潛勢狀況。
六	依據本計畫研究成效，未來如何預防坡面崩塌？	坡面崩塌之分析技術已發展多年，工程師可以其目的選用多種分析軟體評估坡面崩塌之穩定性及量體。
七	坡面切割為子集水區方式，分別土石流和崩塌兩種模式，再分為潛勢高中低，除了七項因子外，是否仍有其他因子可能影響判斷之結果？	研究團隊最初曾收集超過 30 項特性因子，包括地質、地形、水文、土壤、植被、土砂材料性質等等，經多年分析後得出此七項因子適用性最佳。
八	土石流，坡面型土石流及淺層崩塌之明確定義及區隔為何？	請詳見本報告第二章之定義說明。
九	建議嘗試使用 Melto Ratio 進行分析或許有不同之結果。	謝謝委員建議，後續將持續進行研究。
十	相較於現行較為關注的溪流型土石流潛勢判釋，本方法提出對於坡面型土之判釋建議，值得繼續研究。	謝謝委員肯定。

十一	本研究將土石流再細分為河道型及坡面型土石流，可進一步了解土石流特性，惟若在本局土石流防災係利用雨量做為預警，恐難以分不同警戒值應用。	謝謝委員指導。預警作業之操作應朝最簡單易懂方式，以供普羅民眾了解與遵循，目前雨量指標是民眾最熟悉可接受的指標。本計畫目前尚未就此議題討論。未來若有機會，將在深入研究。