
花東變質岩區聚落周緣坡地之坡面型土石
流區位預測及潛勢評估方法

**Prediction Model On Hillslope Type Debris
Flows For Village-Side Hillslope And
Village Hazard Potential Evaluation -
Metamorphic Geology Of Hualien And
Taitung Counties**

執行單位：國立屏東科技大學

執行期間：108 年 02 月 20 日至 108 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 108 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)

花東變質岩區聚落周緣坡地之坡面型土石流區位預測 及潛勢評估方法

摘要

近年全球氣候變遷顯著，劇烈天氣頻繁且加上地震災害不斷，山區山坡地愈來愈常出現坡面型土石流災害。由於台灣山區聚落社區多緊鄰山坡地，故而坡面型土石流易造成小規模災害但高危害度的狀況。依原民會統計，原住民聚落即達 731 處(2016)，但大部分聚落因未被劃入土石流潛勢溪流或大規模崩塌影響範圍區，而常產生安全無虞之假象。為提供早期發現坡地危險聚落，以助於劇烈天氣時之防災預警。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，以供防災作業參酌。

本計畫應用坡面單元概念，配合費雪區別分析方法，發展出廣域變質岩地質區之坡面型土石流地形判釋模式。本判釋模式應用於花東變質岩(片岩)地質區之 8 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，研究聚落區共計 19 處坡面型土石流事件，正確捕捉數量為 15 處，捕捉率達 79%，整體捕捉率則為 85%。整體而言，變質岩區之判釋模式結果尚稱不錯。

潛勢分級方法方面，本計畫完成坡面型土石流潛勢分級方法。同時針對研究聚落周緣山坡地一一現地查核，確認土石流案例及供潛勢分析核對。成果顯示發生土石流案例之潛勢多屬於中、高潛勢等級。聚落周邊獲得共計 19 處土石流案例，其中 15 處位於中、高潛勢，比例為 79%。而另聚落坡面型土石流潛勢評估結果顯示，變質岩區中以 B09 區(大興聚落)及 B10 區(銅門聚落)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，顯示本計畫已獲取不錯之研究成果。

關鍵字：變質岩地質區、坡面型土石流、分析單元、判釋模式、潛勢分級

Prediction Model On Hillslope Type Debris Flows For Village-Side Hillslope And Village Hazard Potential Evaluation - Metamorphic Geology Of Hualien And Taitung Counties

Abstract

Serious earthquakes by tectonic movement and extreme weather conditions induced by the 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 documented 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 to the residents, if those villages have not zoned in impact area of potential debris flow torrent or large-scale landslide. Based on this, to developing recognition and occurrence potential models of HDF to provide a reference for villages is helpful to the prevention and early warning of debris flow disaster from the damage of severe weather condition.

This project uses the slope unit concept to establish HDF recognition models with Fisher's discriminant method in metamorphic geology area. The model is applied to 8 villages in metamorphic rock (schist) areas in Hualien and Taitung areas, and then establishes the HDF potential model. The research results show that a total of 19 HDF in the metamorphic rock area. 15 HDF have been caught by modelling, the capture rate is about 79% and the overall catching rate of HDF and shallow landslide unit is also 85%. In overall, the results of the recognition model in the metamorphic rock is show good applicability.

The HDF potential assessment method was developed and situation of HDF events based on the field investigation. 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 19 HDFs in metamorphic rock area, of which 15 HDFs are in medium and high potential with a ratio of 79%. Last, the results of the assessment of HDF potential of villages show that, in the metamorphic area, B09 (Daxing settlement) and B10 (Tomong village) are highly dangerous. Comparising the results of the potential analysis and the trend of HDF events show that the project has achieved good research results.

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

目次

摘要	I
Abstract	III
目次	III
表次	V
圖次	VII
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	2-2
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 分析單元定義	3-9
第六節 費雪區別分析模式	3-12
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	4-2
第三節 聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分	4-7
第四節 模式因子產製方法	4-9
第五章 研究成果	5-1
第一節 研究區地質概況	5-1
第二節 5 處聚落周邊坡面型土石流現地查核	5-2

第三節 聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分	5-9
第四節 建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫	5-11
一、坡面型土石流資料庫	5-11
第五節 花東變質岩區崩塌/坡面型土石流判釋模式	5-12
一、精進崩塌/坡面型土石流判釋模式	5-12
二、坡面型土石流判釋模式驗證	5-16
三、坡面型土石流之特性	5-18
四、聚落周緣山坡地坡面型土石流判釋成果	5-27
第六節 花東變質岩區坡面型土石流地形潛勢分析模式	5-32
一、潛勢分級分界指標訂定	5-32
二、8 處聚落坡面型土石流潛勢分級	5-33
三、聚落潛勢分級成果討論	5-41
四、各聚落潛勢分級成果討論	5-44
第六章 結論與建議	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-5
附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附錄-7

表次

表 2-1 計畫工作進度預定表	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 4-1 區別分析之各因子使用代號表	4-10
表 5-4 區別分析結果.....	5-14
表 5-5 坡面型土石流與崩塌之驗證點位	5-16
表 5-6 驗證區區別分析結果	5-17
表 5-7 花東變質岩區分析單元判釋成果及捕捉率	5-31
表 5-8 各區潛勢成果案例統計	5-44

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 集水區範圍示意圖(底圖來源:GOOGLE EARTH)	3-9
圖 3-4 台北市南港區崩塌分析單元劃定圖(歐陽希，2008).....	3-10
圖 3-5 斜坡縱斷面之變坡點示意圖 (GILES AND FRANKLIN, 1998) .	3-11
圖 3-6 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 研究區聚落位置.....	4-1
圖 4-2 研究流程圖.....	4-2
圖 4-3 崩塌坡面分析單元圈劃流程圖	4-8
圖 4-4 災前 DEM.....	4-8
圖 4-5 600 格/1.5 公頃	4-8
圖 4-6 200 格/0.5 公頃	4-9
圖 4-7 坡面分析單元.....	4-9
圖 4-8 發生區圈畫示意圖(陳柏龍 2013)	4-11
圖 4-9 分析單元高程差與隘口 (H_0 之位置) 高程差之示意圖	4-12
圖 4-10 流動段長度示意圖	4-13
圖 4-11 集水區形狀，狹長形(左)及寬圓形(右)(何明憲，2003).....	4-15
圖 4-12 溪谷地形之定義(日本國土技術政策總和研究所，2007).....	4-16
圖 5-1 臺東縣海端鄉初來村(C01 初來聚落).....	5-1
圖 5-6 C01 研究區內坡面型土石流中下游土石堆積現況	5-2
圖 5-7 C02 研究區內坡面型土石流河道土石堆積現況5-錯誤! 尚未定義書籤。	
圖 5-8 C03 研究區內坡面型土石流河道土石堆積現況	5-6
圖 5-9 C04 研究區內坡面型土石流河道土石堆積現況	5-7
圖 5-10 C05 研究區內坡面型土石流河道土石堆積現況	5-8
圖 5-11 C01 區(初來聚落)分析單元圈畫成果圖.....	5-9
圖 5-12 C02 區(水源地聚落)分析單元圈畫成果圖	5-9

圖 5-13 C03 區(見晴聚落)分析單元圈畫成果圖	5-10
圖 5-14 C04(和中聚落)區分析單元圈畫成果圖	5-10
圖 5-15 C05(中平聚落)區分析單元圈畫成果圖	5-10
圖 5-16 坡面型土石流及崩塌事件所在位置	5-11
圖 5-17 坡面型土石流與崩塌之區別函數分佈圖	5-15
圖 5-18 土石流發生三大條件之特性因子影響率	5-15
圖 5-19 HDF 與 NDF 之驗證點位與母體之區別函數分佈圖	5-17
圖 5-21 有效集水區指標分佈情況	5-19
圖 5-22 流動段長度分佈情況	5-20
圖 5-23 集水區形狀係數分佈情況	5-21
圖 5-24 發生區形狀係數分佈情況	5-21
圖 5-25 形狀係數係數比分佈情況	5-22
圖 5-26 隘口深寬比分佈情況	5-23
圖 5-27 流動段深寬比分佈情況	5-23
圖 5-28 發生區深寬比分佈情況	5-24
圖 5-29 集水區平均坡度分佈情況	5-25
圖 5-30 發生區平均坡度分佈情況	5-25
圖 5-31 坡面平均坡度比分佈情況	5-26
圖 5-32 C01 邊坡單元判釋結果(初來聚落)	5-27
圖 5-33 C02 邊坡單元判釋結果(水源地聚落)	5-27
圖 5-34 C03 邊坡單元判釋結果(見晴聚落)	5-28
圖 5-35 C04 邊坡單元判釋結果(和中聚落)	5-28
圖 5-36 C05 邊坡單元判釋結果(中平聚落)	5-28
圖 5-37 B08 邊坡單元判釋結果(馬遠聚落)	5-28
圖 5-38 B09 邊坡單元判釋結果(大興聚落)	5-29
圖 5-39 B10 邊坡單元判釋結果(銅門聚落)	5-29
圖 5-40 分界指標 0 與-1.25 之潛勢分級結果	5-32
圖 5-41 集水區 C01 之潛勢分析結果	5-33

圖 5-42 集水區 C02 之潛勢分析結果.....	5-34
圖 5-43 集水區 C03 之潛勢分析結果.....	5-35
圖 5-44 集水區 C04 之潛勢分析結果.....	5-36
圖 5-45 集水區 C05 之潛勢分析結果.....	5-37
圖 5-46 集水區 B08 之潛勢分析結果.....	5-38
圖 5-47 集水區 B09 之潛勢分析結果.....	5-39
圖 5-48 集水區 B10 之潛勢分析結果.....	5-40
圖 5-49 全部聚落坡面型土石流及崩塌判釋單元之潛勢分級結果....	5-41
圖 5-50 實際發生坡面型土石流案例之潛勢分級結果	5-42
圖 5-51 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	5-43
圖 5-52 研究區 8 處聚落判釋結果統計圖	5-45
圖 5-53 研究區 8 處聚落判釋結果百分比統計圖	5-45

第一章 前言

臺灣東部土石流災害頻繁，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。2016 年 9 月莫蘭蒂颱風來襲，臺東大武鄉大竹村愛國蒲聚落及臺東延平鄉紅葉村更是遭受重大土砂災害。我國全島土砂災害類型多樣，現今已超過 153 處大規模崩塌，土石流潛勢溪流計 1725 條(2019)，大型的土砂災害及影響範圍，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，於極端降雨狀況下，山坡更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）。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，惟因此種土石流常位於坡面且無明顯河道地形特徵，在未發生前聚落居民一般不易警覺。尤其山區聚落，更因坡面型土石流緊鄰聚落社區，極易形成小災害但高危害度及大災損的高風險災害狀況。

實際上，本島花東地區之聚落常緊鄰山坡或位於河谷階地，惟許多聚落大多注意於土石流潛勢溪流或大規模崩塌地影響範圍，而忽略鄰近山坡之可能災害，繼而疏於防範災害。基於此，若能事前預判出聚落周緣山坡，其坡面型土石流之潛在區域，標定出可能發生的位置及潛勢，即可大幅提高土石流災害管理效能，保障居民安全。

今年度本計畫以花東廣域變質岩區(大南澳片岩)為研究區，進行花東地區適用之坡面型土石流/崩塌地之地形區位預測模式研究。本研究收集 90 年 7 月桃芝颱風及 101 年 8 月蘇拉颱風等之災害報告、

現地調查及遙測影像等資料，獲取坡面型土石流案例作為判釋模式分析樣本，依據地緣及地質等等因子，發展山區聚落周緣山坡—坡面型土石流之好發空間分布預測技術，且進一步擬訂聚落災害潛勢分級。同時亦完成變質岩區 5 處聚落周緣山坡坡面型土石流現地查核，以供判釋及潛勢模式之驗核。本研究結果將可提供山區聚落周緣山坡之潛勢評估，標定高危險地區，以助因應極端氣候之防災預警。

第二章 計畫項目及時程進度

第一節 本年度計畫工作項目

本年度以花東地區變質岩區研究區，建立聚落周緣山坡坡面型土石流之地形區位預測模式，同時進一步完成聚落之坡面型土石流潛勢評估方法，以提供防災治理單位之防災預警參據應用。本計畫擇定花東變質岩區花蓮縣秀林鄉和中、萬榮鄉見晴、鳳林鎮、台東縣海端鄉等5處山區聚落，主要考慮曾有災害歷史，以提供判釋模式及潛勢成果之驗核。另再結合前期3處已調查之聚落(花蓮縣萬榮鄉馬遠村、光復鄉大興村、秀林鄉銅門聚落等)，進行分析模式研發。

研究區域以花東廣域變質岩地質區為主，預計選定之聚落涵蓋大南澳片岩、九曲大理岩、開南片麻岩、畢祿山層等地質區，建立聚落坡面型土石流區位預測模式及潛勢評估。基於達成計畫目標，本年度研究工作項目規劃如下：

1. 花東變質岩區地形、地質及遙測圖資建置。
2. 研究區集水區之坡面型土石流與淺層崩塌事件與相關文獻蒐集及彙整。
3. 研究區集水區內坡面型土石流微地形、產狀材料等調查與修補(配合 UAV 調查及應用 UAV 技術修補研究區高精度數位地形 DEM)。
4. 建立花東變質岩區之坡面型土石流判釋模式。
5. 發展聚落周緣之坡面型土石流地形區位(空間分布)預測模式。
6. 應用預測模式結合活動潛能，研發山區聚落坡面型土石流潛勢評估方法。

第二節 工作進度

本計畫預定民國 108 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。

表2-1 計畫工作進度預定表

工作項目	月次	108 年											
		2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
1. 花東變質岩區地形、地質及遙測圖資建置													
2. 研究區集水區之坡面型土石流與淺層崩塌事件與相關文獻蒐集及彙整													
3. 研究區聚落周邊坡面型土石流微地形、產狀材料等調查(配合 UAV 應用)													
4. 期中報告													
5. 建立花東變質岩區坡面型土石流/崩塌判釋模式													
6. 發展聚落周緣之坡面型土石流地形區位(空間分布)預測模式													
7. 應用預測模式結合活動潛能，研發山區聚落坡面型土石流潛勢評估方法													
預定進度累積百分比(%)		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，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(Hill Slope Debris Flow, HDF)。另有部份研究亦稱之為流體化崩塌(Fluidized Landslide Slope)之一種。

就發生區位而言，坡面型土石流源頭常位於凸坡或平直坡地形，經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，衝出隘口，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。

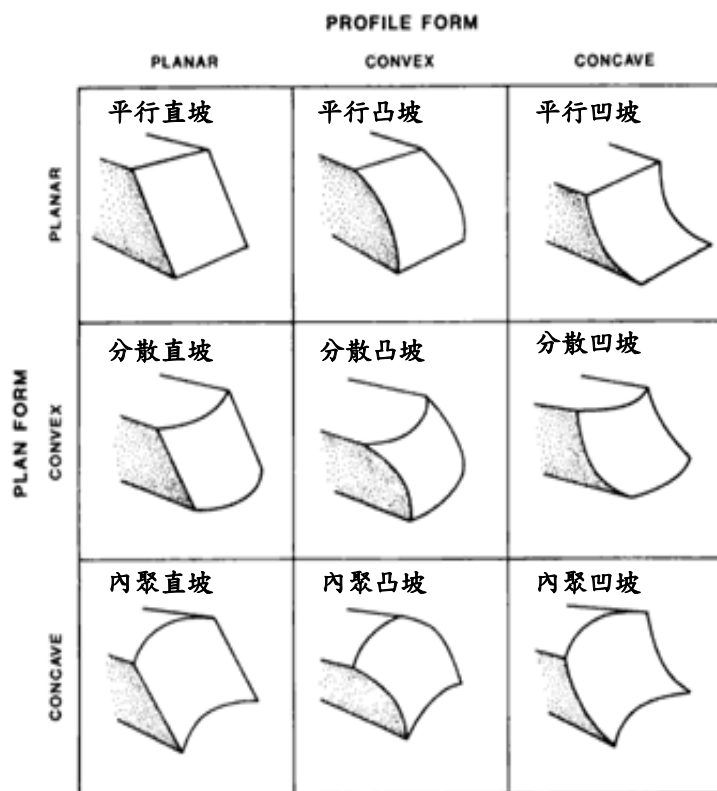


圖 3-2 九種基本坡型(Parsons, 1988)

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(Brunsdén, 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或邊坡蝕溝上，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模式 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 3-3 集水區範圍示意圖(底圖來源:google earth)

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。

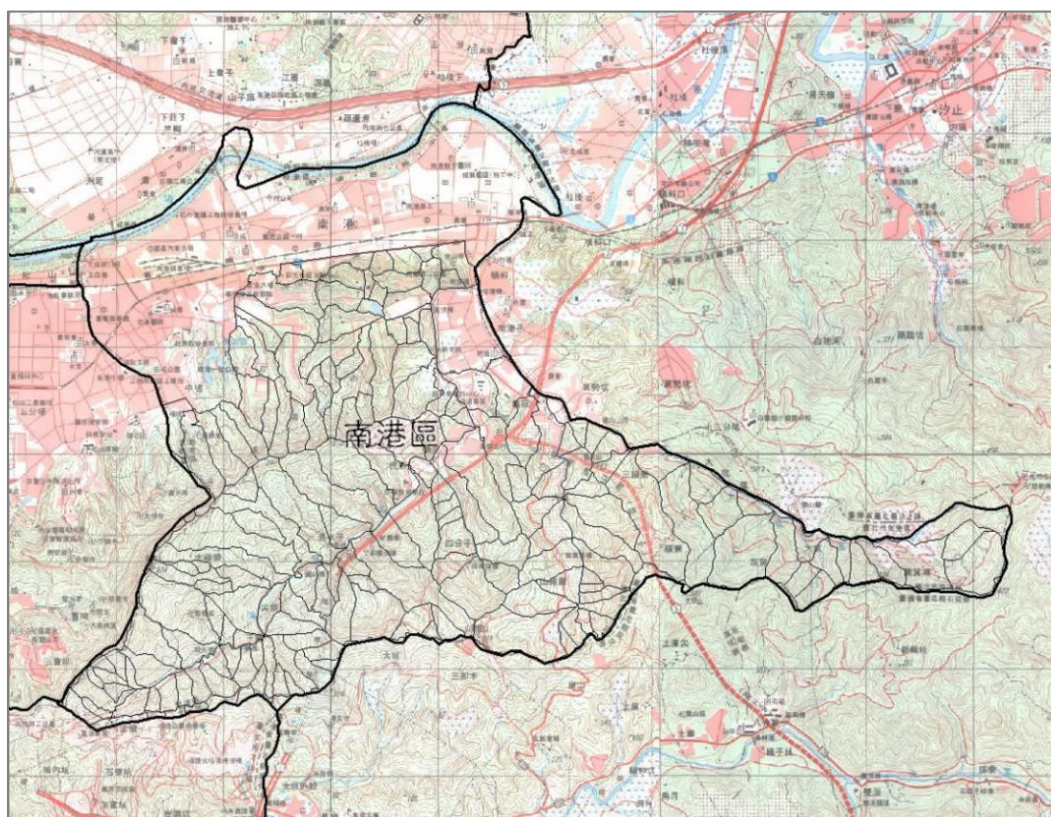


圖 3-4 台北市南港區崩塌分析單元劃定圖(歐陽希，2008)

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 3-5，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。

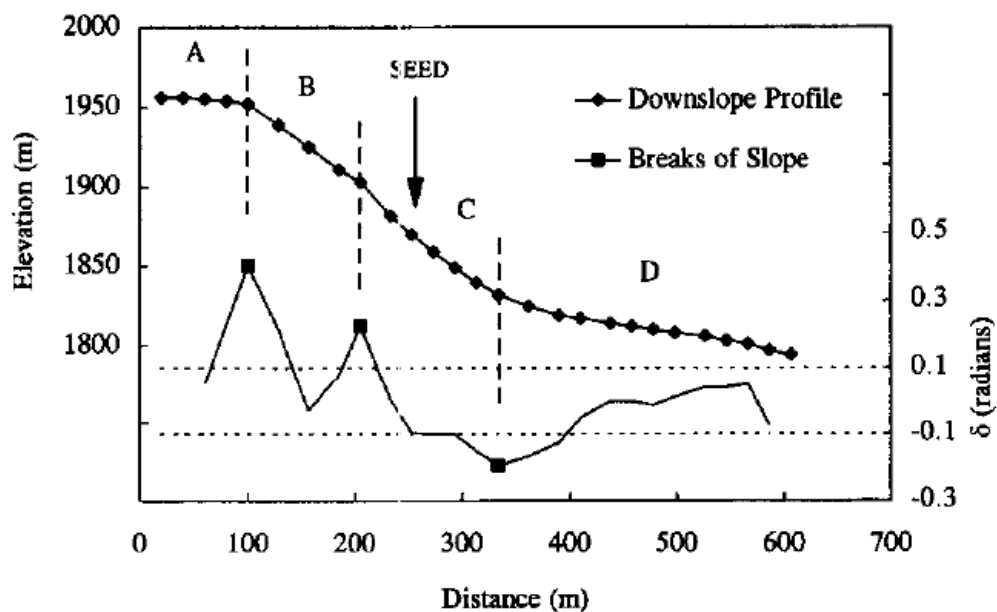


圖 3-5 斜坡縱斷面之變坡點示意圖（Giles and Franklin, 1998）

(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。

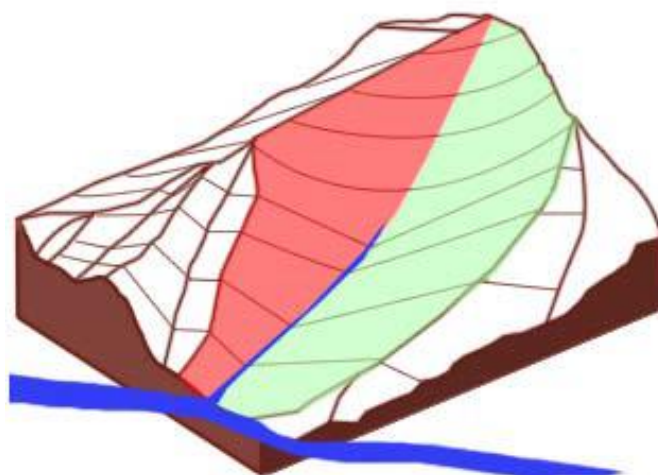


圖 3-6 以一級河集水區為例之斜坡單元示意圖（簡瑋延，2011）

第六節 費雪區別分析模式

1. 區別分析原理與假設

區別分析(Discriminant Analysis, DA)，或稱判別分析、鑑別分析，為參數式多變量統計，Fisher (1936) 所創。區別分析是一種劃分群體之技術，事先將已知類別的觀察值，選取具有分類效果的樣本，利用類別變數(grouping variable)當反應變數，多個計量的區別變數(discriminant variable)當解釋變數，建立區別函數(discriminant function)。

進行區別分析資料處理時，必須有一個類別變數和數個量化變數，類別變數為原先以分類好之群組，如發生土石流之資料群與未發生土石流之資料群，計量變數則為預測變數，如土石流發生之影響因子等量化變數。

(1) 在進行區別分析都要先考量到三種假定

A. 區別變數絕對不能是其他區別變數的的線性組合

- B. 各類組間的組內變異數應該都是相等的
- C. 各組的區別變數之間有多變量資料的常態

(2) 區別分析主要的數據指標有：

- A. 未標準化(標準)之判別係數
- B. 區別分數與機率
- C. 結構係數與典型相關係數
- D. 特徵值以及Wilks-Lambda統計量

區別分析主要目的在於找出一組預測變數的線性組合，且此線性組合最能區別個群組之間之差異(如圖 3-7 所示)。其基本公式如下：

$$y=a_0+a_1x_1+a_2x_2+a_3x_3+\dots+a_ix_i \quad (\text{式 3-1})$$

式 3-1 中 y 為區別函數值， a 為相對應之區別函數係數， x 為區別變數，而區別分析基本假設條件如下：

- (1) 需有兩個或兩個以上事先定義之群組
- (2) 每群組至少有兩個觀察樣本
- (3) 區別變數<(總樣本數量-2)
- (4) 區別變數是區間尺度
- (5) 任一區別變數不可為其它區別變數的線性組合，避免線性相依
- (6) 每一群體的共變數矩陣必須大致相等
- (7) 各群組變數具有多變量常態分佈

區別分析不只停留在描述各類組間變異上的關係，還能夠對未知所屬之類組加以區別分類，故本研究之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。為避免複共線性會有不利分類的影響，採逐步估算法 (step-wise estimation)，逐漸加入新的變數，將不適合的剔除直到模式合理為止。

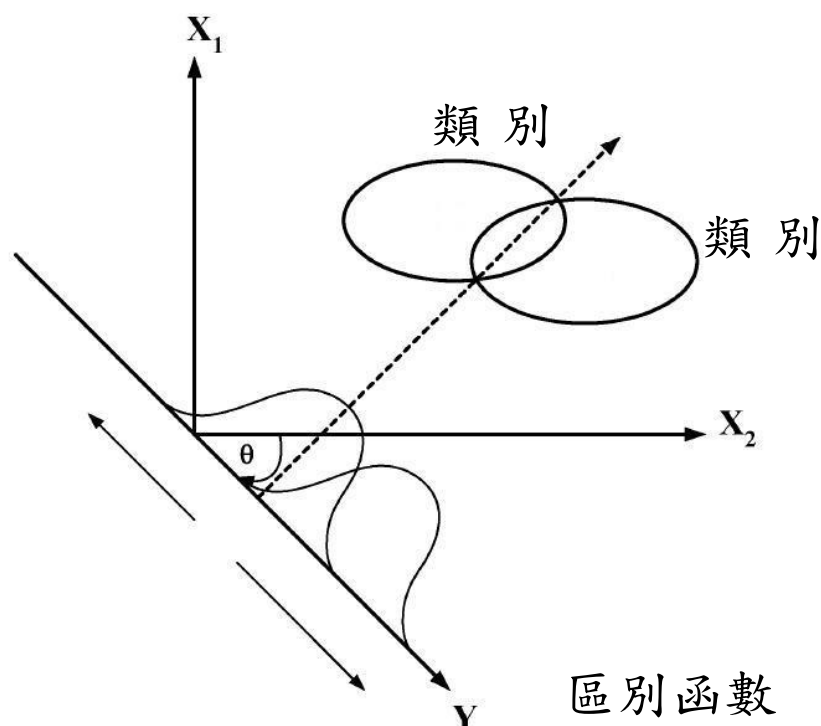


圖 3-7 區別分析變數與類別關係示意圖

2. 因子標準化方法

本研究主要針對影響土石流發生之地文因子進行區別分析，希冀能找出判別能力較好之影響因子，但各影響因子之單位有所不同，例如流動段長度分佈區間在 10 公尺到 1000 公尺之間，但形狀係數分佈區間則在 0 到 1 之間，區間內變數之變化相當兩極，此結果可能會影響區別分析對於因子影響力之判定。為了消除不同尺度所造成的影響，在進行區別分析之前先將影響因子進行標準化，而標準化後資料分佈也能較接近為常態分佈滿足區別分析之假設，其標準化公式如下：

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \quad (\text{式 3-2})$$

X =需要標準化的原始數據

μ =母體平均數

σ =為母體標準差

第四章 研究區域及方法

第一節 研究區域

本計畫研究區域為花東廣域變質岩區為主，並選定 5 處聚落涵蓋大南澳片岩、九曲大理岩、開南片麻岩、畢祿山層等地質區。分別為花蓮縣秀林鄉和中、萬榮鄉見晴、鳳林鎮、台東縣海端鄉等 5 處山區聚落，主要考慮曾有災害歷史，以提供判釋模式及潛勢成果之驗核。另再結合前期之 3 處已調查之聚落，進行分析模式研發。

前期已建置花東變質岩 3 處，分別為花蓮縣萬榮鄉馬遠村(馬遠聚落)、花蓮縣光復鄉大興村(大興聚落)及花蓮縣秀林鄉銅門村(銅門聚落)等 3 處聚落，如圖 4-1 所示。

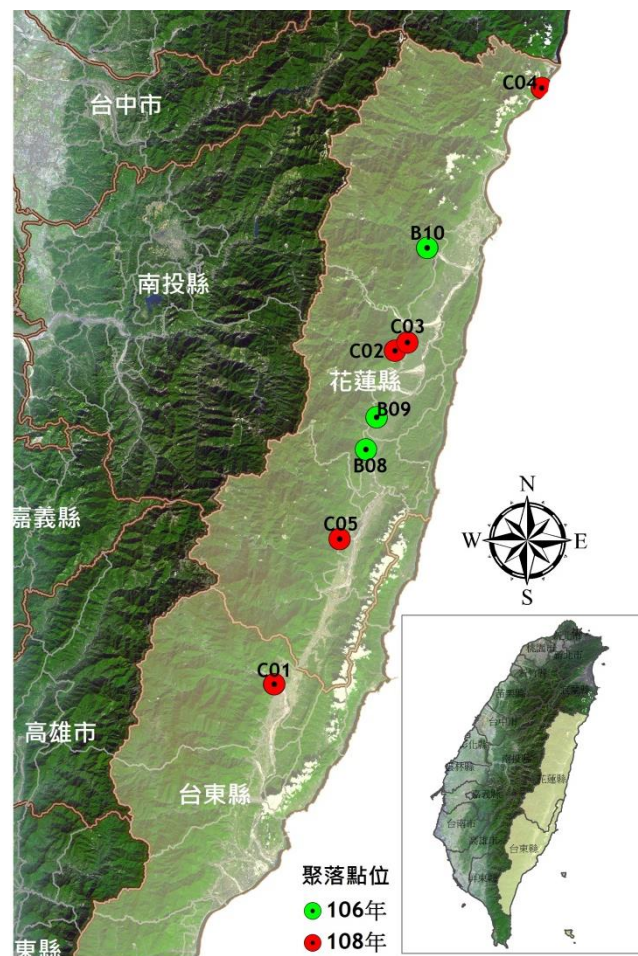


圖 4-1 研究區聚落位置

第二節 研究流程及方法

本年度計畫研究流程，如圖 4-2 所示。

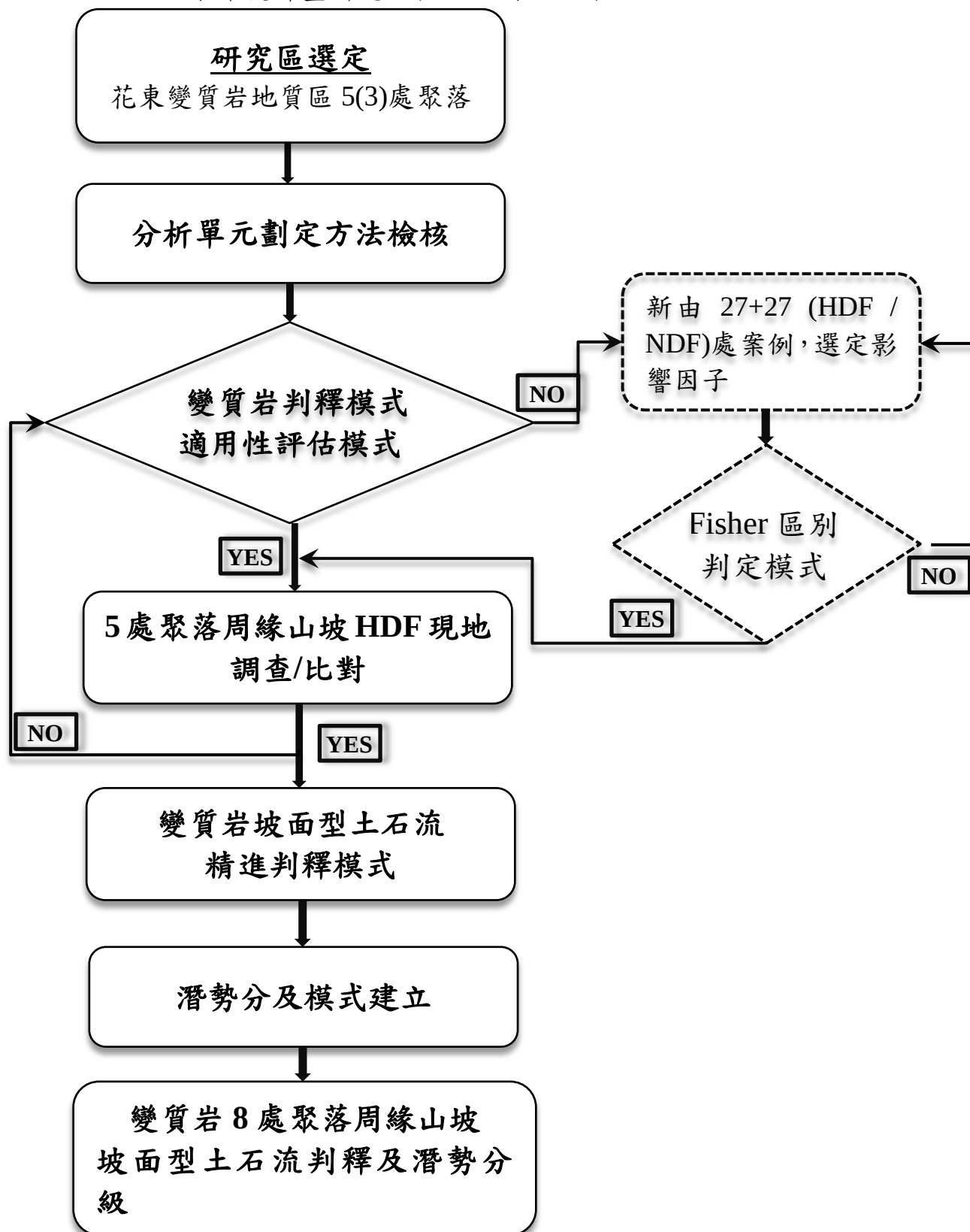


圖 4-2 研究流程圖

以下簡要說明各項工作：

一、花東變質岩區地形、地質及遙測圖資建置：

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。

二、研究區集水區之坡面型土石流與淺層崩塌事件與相關文獻蒐集及彙整：

本研究蒐集變質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。同時本計畫亦收集與綜整相關之研究文獻，以策進研究成果。

三、研究區聚落周邊坡面型土石流微地形、產狀材料等調查(配合 UAV 應用)：

除收集現生土石流災害案例做為模式分析資料庫外，本研究亦進行聚落周緣山坡地野外工程地質調查，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。其次，若花東

地區研究區 5*5 DEM 品質欠佳，因此則將應用 UAV 技術修補研究區高精度數位地型(DEM)。

四、建立花東變質岩區坡面型土石流/崩塌判釋模式:

1. 變質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 5 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變質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，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，針對變質岩區聚落週緣之山坡逐一劃定分析單元。

2. 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。經考慮後潛勢因子規劃如下：

■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(Wo)
- 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)

3. 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，經多方嘗試後獲得 7 項因子之判釋模式，其因子分別為：集水區平均寬度(W)、發生區坡面平均坡度(HASo)、發生區形狀係數(Fo)、發生區平均寬度(Wo)、發生區深寬比(HARo)、流動段深寬比(HARf)、坡面平均坡度比(HASR)。本研究進一步針對 5 處聚落鄰近山坡之進行分析單元，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。

4. 建立坡面型土石流/崩塌判釋模式

本研究團隊於前期研究中，曾嘗試考慮地形、集水區、水文等各項特性，選用 7 項因子作為指標，擬定其 7 項因子之區別函數為：

$$y = -3.213X_1 + 0.219X_2 + 3.193X_3 - 5.679X_4 - 2.119X_5 + 1.624X_6 - 0.004X_7 - 5.662$$

其中， y 為區別函數， X_1 為崩塌潛感面積比(RLSA)、 X_2 為形狀係數比(FFR)、 X_3 為發生區形狀係數(FO)、 X_4 為流動段深寬比(HARF)、 X_5 為流動段長度(LF)、 X_6 為集水區坡面平均坡度(HASW)。

本年度研究分為二階段工作，首先蒐集花東變質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，應用至變質岩 5 處研究聚落進行土石流案例捕捉率測試，由分析成果再修訂模式，以完成花東變質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。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。

5. 發展聚落周緣之坡面型土石流地形區位(空間分布)預測模式

如前項所述，本研究針對擬定之坡面型土石流判釋模式。應應用至變質岩 8 處研究聚落(今年 5 處加前期 3 處)進行土石流案例捕捉率測試，由分析成果再修訂模式，最後獲取聚落周緣之坡面型土石流地形區位(空間分布)預測模式。

6. 應用預測模式結合活動潛能，研發山區聚落坡面型土石流潛勢評估方法

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-1.25 為分界，當區別函數值大於 0 時屬於低潛勢區，區別函數值落於 0 到-1.25 之間為中潛勢區，區別函數值小於-1.25 為高潛勢區。本年度將再以 5 個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。

第三節 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 5×5m 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 5 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 4-3 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 4-4 至圖 4-7 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 4-7)。

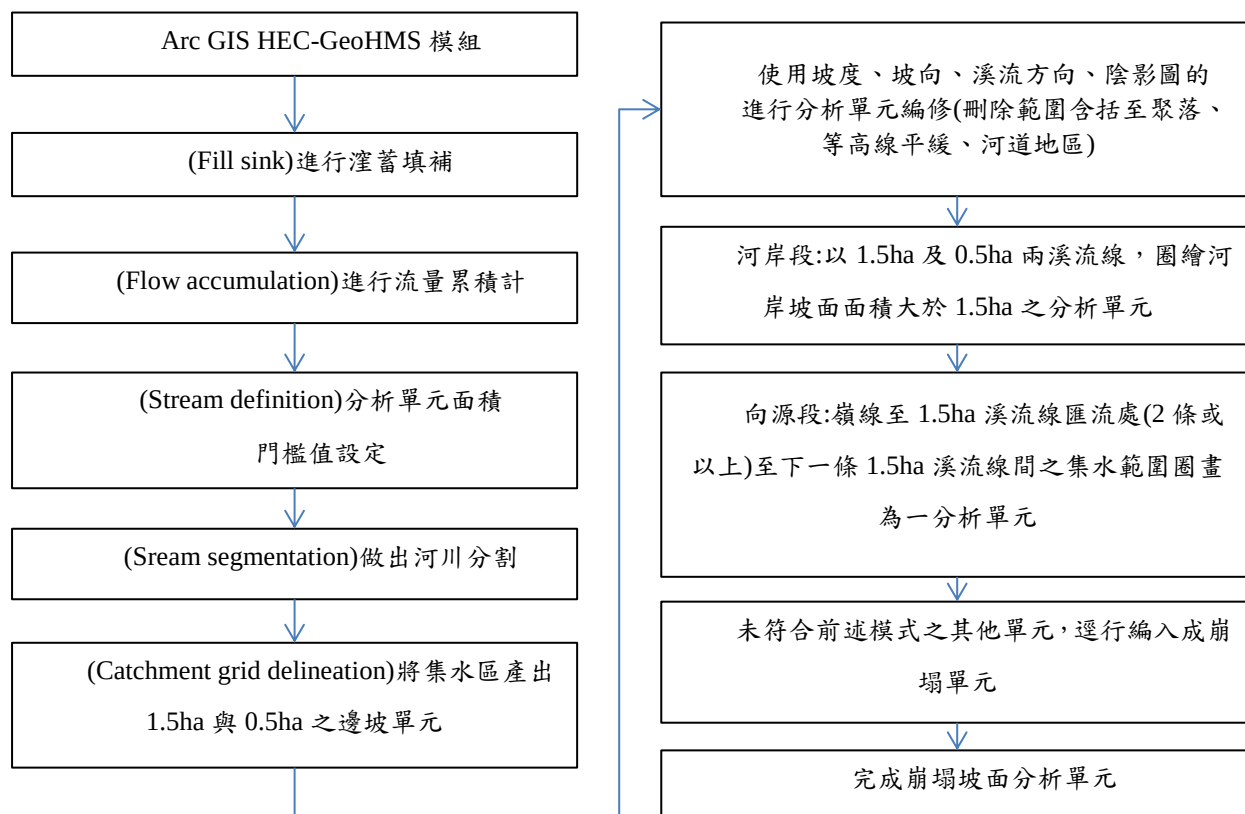


圖 4-3 崩塌坡面分析單元圈劃流程圖

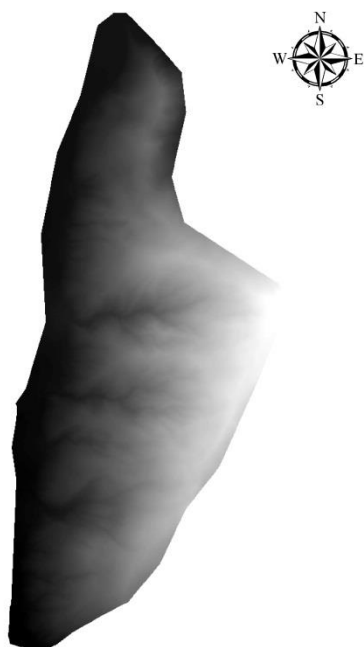


圖 4-4 災前 DEM

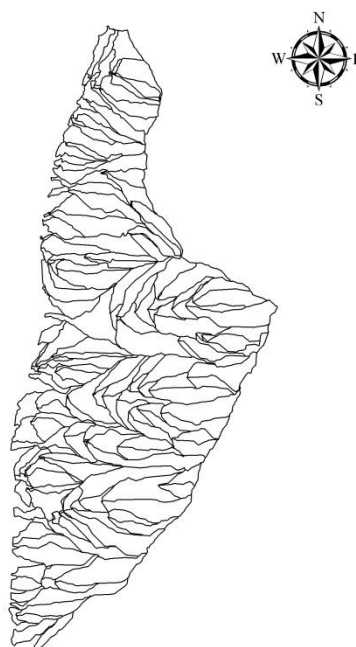


圖 4-5 600 格/1.5 公頃

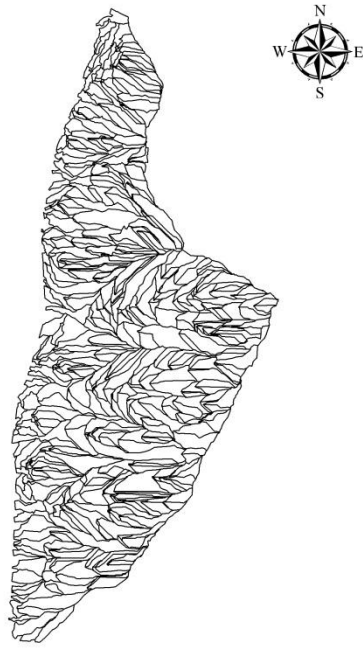


圖 4-6 200 格/0.5 公頃

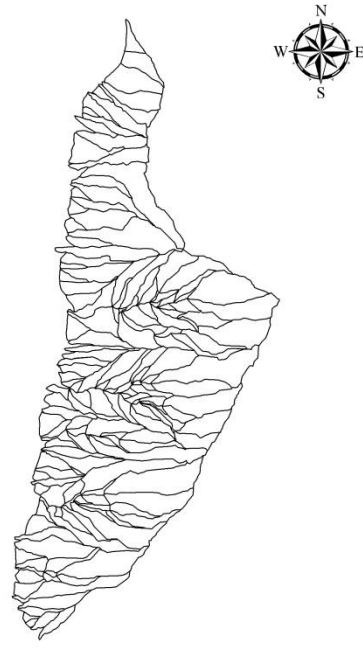


圖 4-7 坡面分析單元

第四節 模式因子產製方法

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 4-8 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 4-8 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:

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

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 。

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

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 4-9 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)。

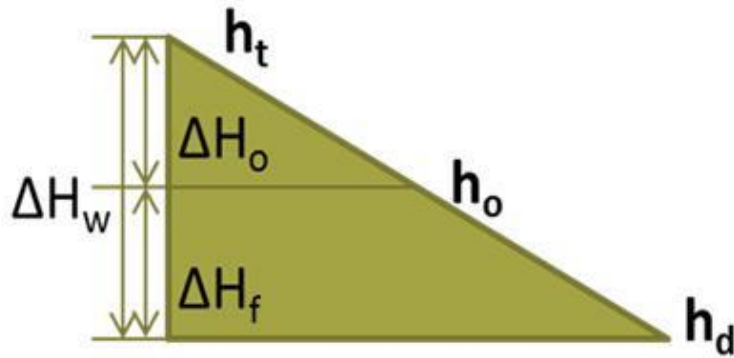


圖 4-9 分析單元高程差與隘口（ H_o 之位置）高程差之示意圖

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)。

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

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 4-10 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($^\circ$)。

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

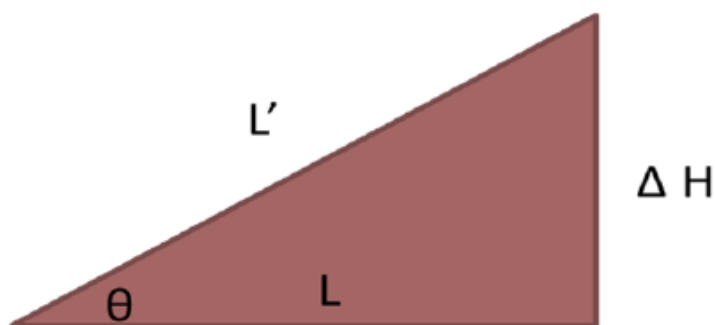


圖 4-10 流動段長度示意圖

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)。

$$L_o' = L_w' - L_f' \quad \text{式 4.5}$$

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：

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

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 4-11 所示。本研究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 。

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

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。

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

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：

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

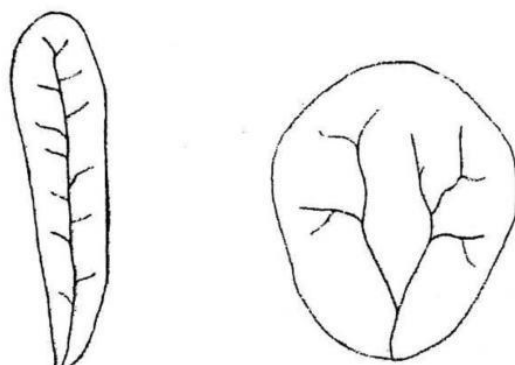


圖 4-11 集水區形狀，狹長形(左)及寬圓形(右)(何明憲，2003)

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。

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

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：

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

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 4-12)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。

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

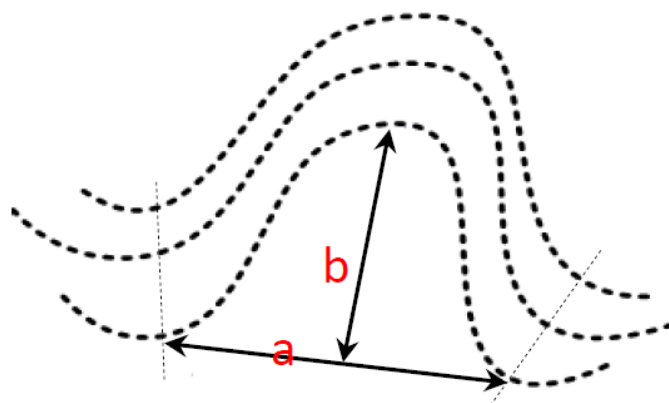


圖 4-12 溪谷地形之定義(日本國土技術政策總和研究所，2007)

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。

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

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：

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

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。

第五章 研究成果

第一節 研究區地質概況

本計畫研究區域為花東廣域變質岩區為主，並選定 5 處聚落(圖 5-1 至圖 5-5)涵蓋大南澳片岩、九曲大理岩、開南片麻岩、畢祿山層等地質區。前期已建置 3 處聚落，分別為花蓮縣萬榮鄉馬遠村、光復鄉大興村及秀林鄉銅門聚落。

本年度花東研究區，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沉積岩與火山岩，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，分別為從泥質沉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，以及由砂質沉積岩變質而成的砂質片岩。

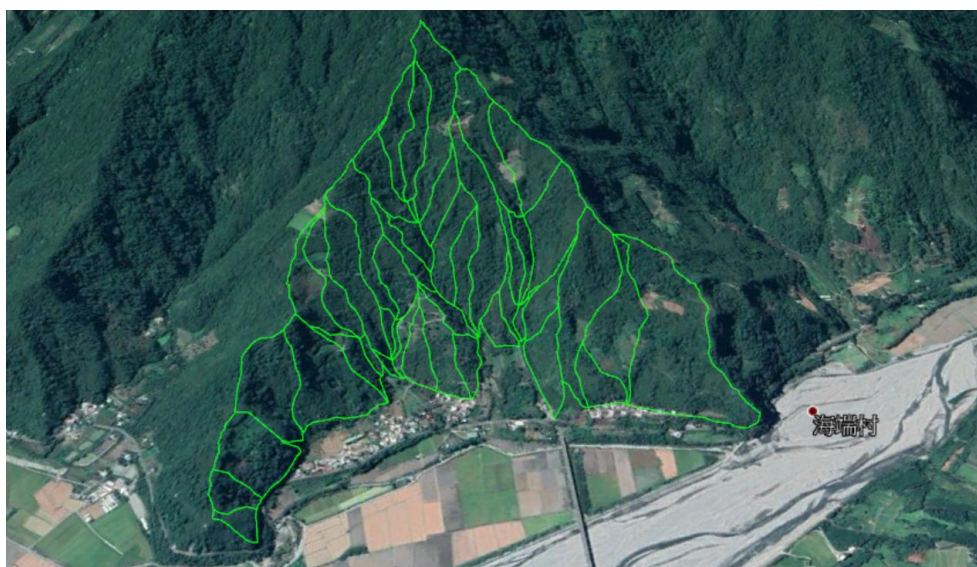


圖 5-1 臺東縣海端鄉初來村(C01 初來聚落)

第二節 5 處聚落周邊坡面型土石流現地查核

本研究進行 5 處聚落周緣坡面型土石流現地查核。針對各聚落周緣坡地實地勘查，成果分別如圖 5-6 至圖 5-10 所示。

1. C01 區-台東縣海端鄉初來村(初來聚落)，判釋作業考慮坡面型土石流地點，交通可及性及安全性考量之實際勘查。勘查時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，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 1 處，現地照片分別如圖 5-6 所示。

編號 C01-05



圖 5-6 C01 研究區內坡面型土石流中下游土石堆積現況

2. C02 區-花蓮縣鳳林鎮鳳義里(水源地聚落)，聚落周緣邊坡判釋為坡面型土石流之溪流，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，確認發生土石流之依據；經現地勘查實際發生坡面型土石流有 4 處，現地照片分別如圖 5-7 所示。

編號 C02-01



編號 C02-08



編號 C02-14



編號 C02-45



圖 5-7 C02 研究區內坡面型土石流河道土石堆積現況

3. C03 區-花蓮縣萬榮鄉見晴村(見晴聚落)，聚落周緣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 3 處，如圖 5-8 所示。

編號 C03-03



編號 C03-09



編號 C03-09



編號 C03-24



圖 5-8 C03 研究區內坡面型土石流河道土石堆積現況

4. C04 區-花蓮縣秀林鄉和平村(和中聚落)，聚落周緣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，如圖 5-9 所示。

編號 C04-16



編號 C04-38



圖 5-9 C04 研究區內坡面型土石流河道土石堆積現況

5. C05 區-花蓮縣卓溪鄉太平村(中平聚落)，聚落周緣之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 0 處，未發生坡面型土石流有 2 處，如圖 5-10 所示。

編號 C05-12



C05-12 研究區內中游及下游河道現況

編號 C05-13



圖 5-10 C05 研究區內坡面型土石流河道土石堆積現況

第三節 聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分

本研究依前章劃分程序，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 5 處聚落週緣之山坡分析單元，以供後續判釋分析應用。

依據上節程序，進行本研究區變質岩區 5 聚落之分析單元圈繪，成果如圖 5-11 至圖 5-15 所示。其中，發生坡面型土石流案例之分析單元(圖中紅色單元)，於變質岩區之於變質岩區之 C01 區 14 處，C02 區 44 處，C03 區 27 處，C04 區 41 處，C05 區 27 處，共計為 153 筆實際發生坡面型土石流事件。

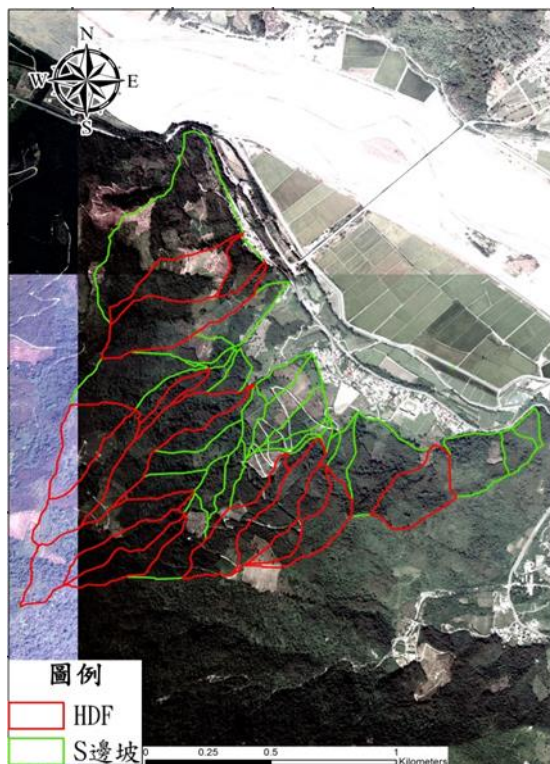


圖 5-11 C01 區(初來聚落)分析單元圈畫成果圖

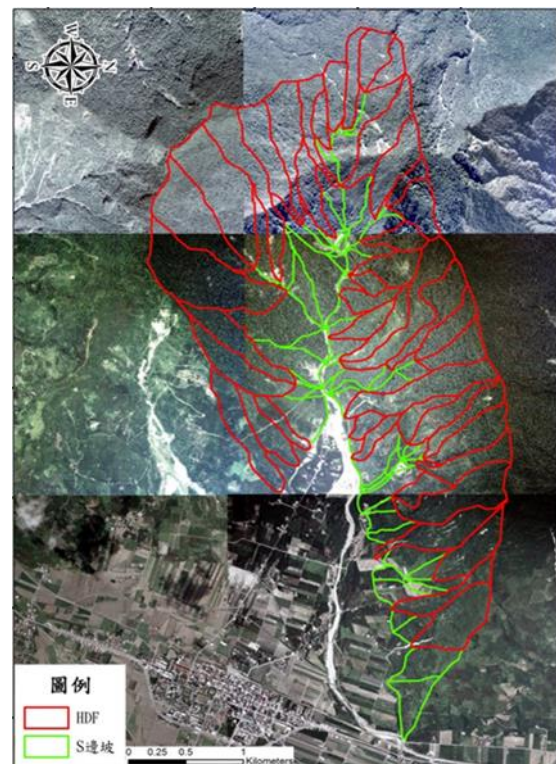


圖 5-12 C02 區(水源地聚落)分析單元圈畫成果圖



圖 5-13 C03 區(見晴聚落)分析單元圈畫成果圖

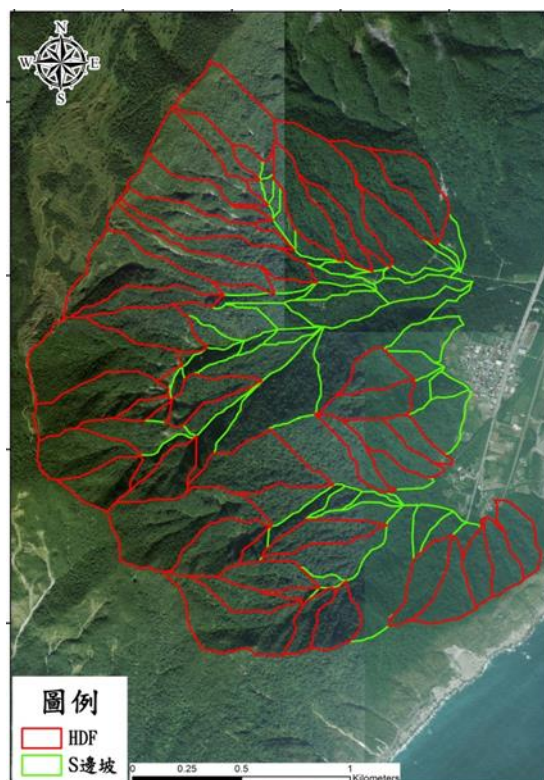


圖 5-14 C04(和中聚落)區分析單元圈畫成果圖

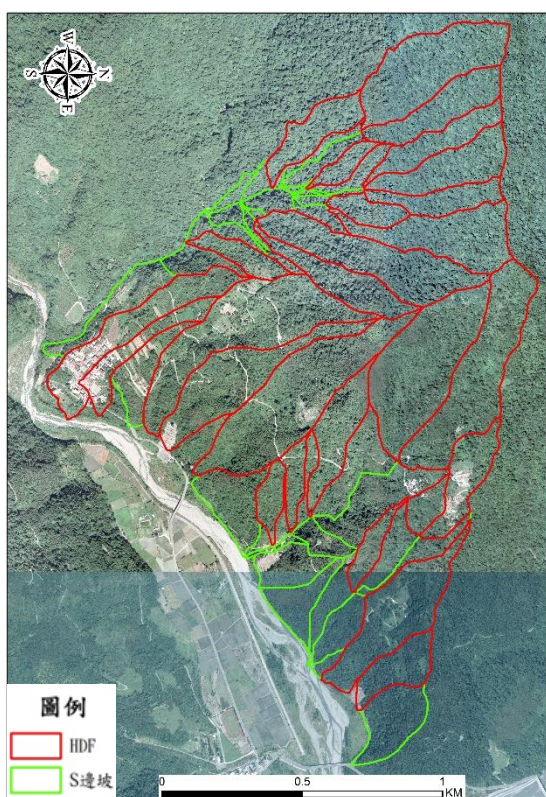


圖 5-15 C05(中平聚落)區分析單元圈畫成果圖

第四節 建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫

本研究進行坡面型土石流單元與崩塌單元之地文、水文、崩塌等因子資料產製，建置成統計分析資料庫，並進一步新擬定最佳之坡面型土石流判釋模式。

一、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 17 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 5-16。

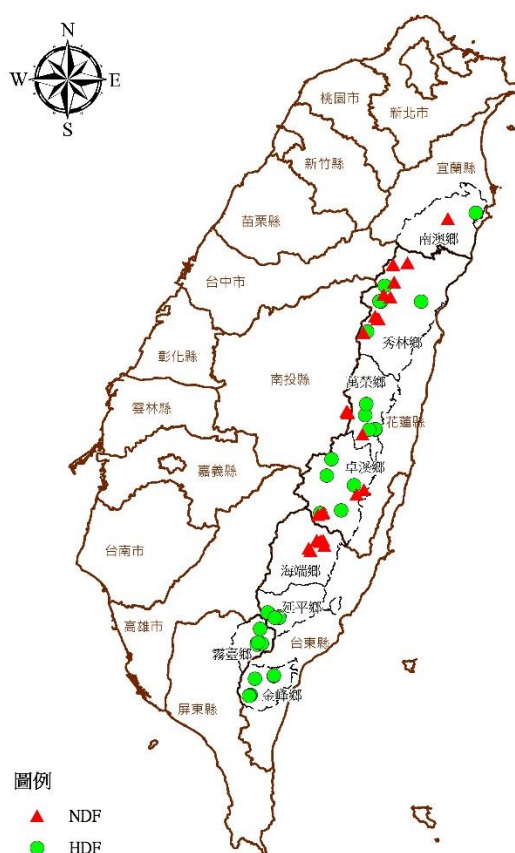


圖 5-16 坡面型土石流及崩塌事件所在位置

第五節 花東變質岩區崩塌/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。彙總前節樣本資料取得之最佳特性因子，建立坡面型土石流判釋模式。最後再進行 20 個實際案例驗證模式之效力。

一、精進崩塌/坡面型土石流判釋模式

本研究因子部分採用皮爾森相關係數分析作為高相關性之篩選(如表 5-1、表 5-2)，接續於 19 項分析因子當中替除高相關性者如表 5-3 所示。

表 5-1 皮爾森相關係數分析結果

	WA(Ha)	AGW	AW	AGI	FFI	AWI	CGI	DRI	LSA(Ha)
WA(Ha)	1	-.320	.275	-.295	-.311	.572	-.305	-.149	.806
AGW	-.320	1	-.221	.973	.168	-.128	.941	.164	-.312
AW	.275	-.221	1	-.140	-.097	.672	-.165	-.098	.302
AGI	-.295	.973	-.140	1	.159	-.050	.972	.160	-.290
FFI	-.311	.168	-.097	.159	1	.115	.155	.593	-.366
AWI	.572	-.128	.672	-.050	.115	1	-.100	.050	.526
CGI	-.305	.941	-.165	.972	.155	-.100	1	.084	-.264
DRI	-.149	.164	-.098	.160	.593	.050	.084	1	-.151
LSA(Ha)	.806	-.312	.302	-.290	-.366	.526	-.264	-.151	1
LT	.689	-.278	-.258	-.313	-.238	.051	-.301	-.117	.406
EDT	.442	.160	-.374	.088	-.196	-.118	.085	-.107	.190
CST	-.308	.896	-.159	.846	.120	-.120	.826	.069	-.240
DRT	-.137	.140	-.031	.080	.246	-.008	.083	.174	-.234
CGT	-.313	.901	-.179	.848	.127	-.137	.830	.080	-.248
EWAI	-.077	-.075	.587	.005	-.333	.442	-.052	-.128	.186
RLSA	.169	-.117	.199	-.110	-.266	.239	-.075	-.011	.694
FFR	.019	.064	-.648	.036	.515	-.197	.044	.428*	-.147
GRIR	.117	-.053	.312	.168	-.009	.370	.196	-.031	.119
EDPR	.069	-.098	.620	.011	-.446	.441	-.010	-.182	.272

表 5-2 皮爾森相關係數分析結果(續)

	LT	EDT	CST	DRT	CGT	EWAI	RLSA	FFR	GRIR	EDPR
WA(Ha)	.689	.442	-.308	-.137	-.313	-.077	.169	.019	.117	.069
AGW	-.278	.160	.896	.140	.901	-.075	-.117	.064	-.053	-.098
AW	-.258	-.374	-.159	-.031	-.179	.587	.199	-.648	.312	.620
AGI	-.313	.088	.846	.080	.848	.005	-.110	.036	.168	.011
FFI	-.238	-.196	.120	.246	.127	-.333	-.266	.515	-.009	-.446
AWI	.051	-.118	-.120	-.008	-.137	.442	.239	-.197	.370	.441
CGI	-.301	.085	.826	.083	.830	-.052	-.075	.044	.196	-.010
DRI	-.117	-.107	.069	.174	.080	-.128	-.011	.428	-.031	-.182
LSA(Ha)	.406	.190	-.240	-.234	-.248	.186	.694	-.147	.119	.272
LT	1	.858	-.205	-.029	-.197	-.490	-.075	.346	-.175	-.483
EDT	.858	1	.266	.087	.278	-.534	-.122	.366	-.335	-.601
CST	-.205	.266	1	.017	.999	-.011	-.016	.008	-.192	-.165
DRT	-.029	.087	.017	1	.037	-.321	-.183	.132	-.193	-.210
CGT	-.197	.278	.999	.037	1	-.032	-.023	.022	-.208	-.185
EWAI	-.490	-.534	-.011	-.321	-.032	1	.434	-.667	.343	.876
RLSA	-.075	-.122	-.016	-.183	-.023	.434	1	-.261	.067	.401
FFR	.346	.366	.008	.132	.022	-.667	-.261	1	-.100	-.695
GRIR	-.175	-.335	-.192	-.193	-.208	.343	.067	-.100	1	.496
EDPR	-.483	-.601	-.165	-.210	-.185	.876	.401	-.695	.496	1

表 5-3 皮爾森高相關性因子表

因子	相關性	因子	相關性
WA(Ha)/ LSA(Ha)	0.806	AGI/ CGI	0.972
AGW/ AGI	0.973	AGI/CST	0.846
AGW/ CGI	0.941	AGI/ CGT	0.848
AGW/CST	0.896	CGI/ CST	0.826
AGW/CGT	0.901	CGI/ CGT	0.830
LT/EDT	0.858	CGT/ CST	0.999
		EWAI /EDPR	0.876

指標因子之選定原則，採用符合統計理論原理之具獨立性因子，選用經費雪區別分析法，分析樣本正判率及驗證率達 80%以上之因子組合，作為判釋模式之指標。

本研究由前述 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，正判率最佳組合達 88.2%。此七項因子之標準化區別函數如下：

$$y=1.144X_1+0.993X_2+0.049X_3-0.622X_4-0.353X_5-0.57X_6-0.478X_7$$

式 5.1

其中， X_1 集水區平均寬度(W)， X_2 為發生區坡面平均坡度(HASO)， X_3 發生區形狀係數(FO)， X_4 發生區平均寬度(WO)， X_5 發生區深寬比(HARO)， X_6 流動段深寬比(HARF)， X_7 坡面平均坡度比(HASR)。

若區別函數值 y 小於 0，判定為坡面型土石流；當區別函數值 y 大於 0，則判定為未發生土石流。區別分析之判定結果如表 5-4 所示，整體正判率為 88.2%。

表5-4 區別分析結果

結果呈現	原始	預測		總和
	類別	HDF	NDF	
個數	HDF	14	3	17
	NDF	1	16	17
百分比(%)	HDF	82.4	17.6	100
	NDF	5.9	94.1	100
整體正判率 = (14+16)/(17+17)×100%=88.2%				

圖 5-17 為發生坡面型土石流及崩塌區別函數之分佈情況， x 軸為區別函數值， y 軸分別為資料數。坡面型土石流之函數值分佈於 -2.85~1.71 之間；而崩塌之函數值分佈於 -0.01~2.32 之間

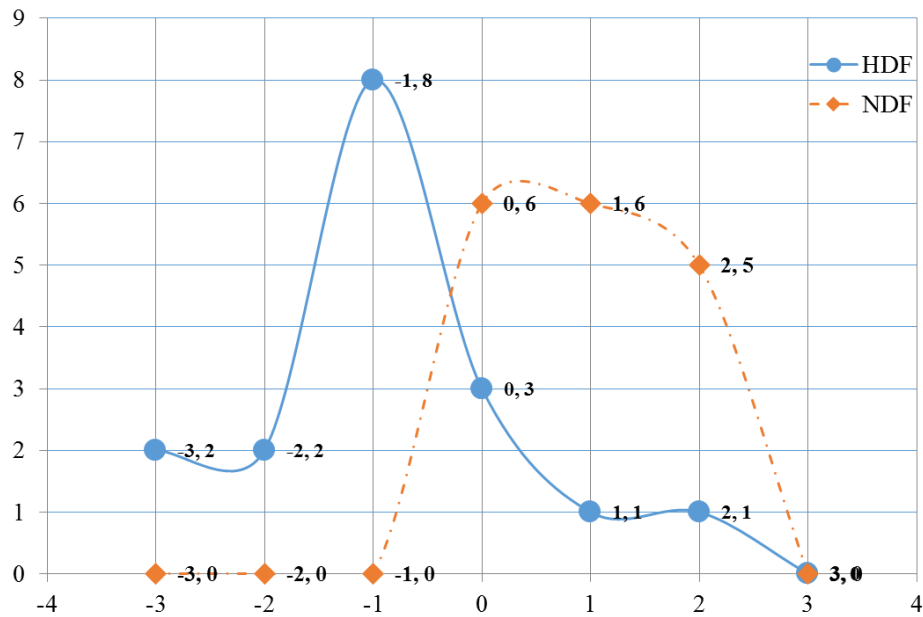


圖 5-17 坡面型土石流與崩塌之區別函數分佈圖

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 5-18 所示，材料因子(HASR)、地形因子(HASO、HARO、HARF)、水文因子(FO、WO、W)。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。

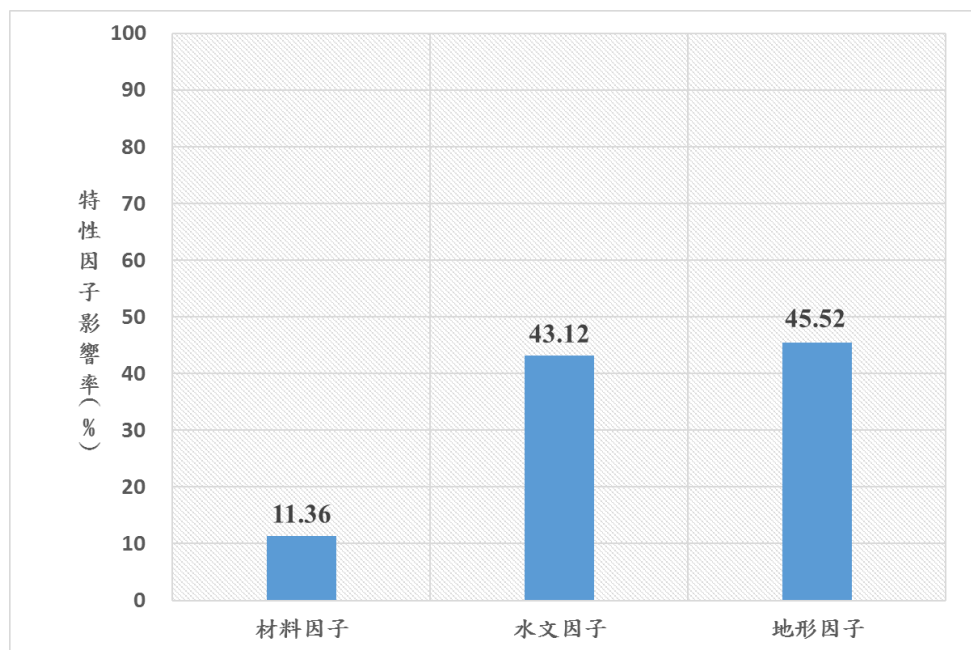


圖 5-18 土石流發生三大條件之特性因子影響率

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變質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 5-5 示。

表5-5 坡面型土石流與崩塌之驗證點位

HDF 驗證	鄉鎮	村里	NDF 驗證	鄉鎮	村里
H03	卑南鄉	溫泉村	N04	海端鄉	霧鹿村
H04	霧臺鄉	阿禮村	N06	延平鄉	永康村
H08	延平鄉	紅葉村	N13	卓溪鄉	古風村
HDF20	秀林鄉	富世村	N15	卓溪鄉	古風村
HDF27	萬榮鄉	明利村	N16	卓溪鄉	古風村
B08-01	萬榮鄉	馬遠村	N17	卓溪鄉	古風村
B09-27	光復鄉	大興村	NDF15	秀林鄉	富世村
B10-31	秀林鄉	銅門村	NDF18	秀林鄉	銅門村
C03-24	萬榮鄉	見晴村	NDF19	秀林鄉	銅門村
C03-29	萬榮鄉	見晴村	C03-26	萬榮鄉	見晴村

本報告依前節之特性因子產製方法，產製 10 筆驗證點位之 7 項區別因子資料(集水區平均寬度、發生區坡面平均坡度、發生區形狀係數、發生區平均寬度、發生區深寬比、流動段深寬比、坡面平均坡度比)，代入式 5.1，得到驗證結果，如表 5-6 所示，並可由圖 5-19 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

85%，由此可知，此坡面型土石流潛勢判定模式可有效判別出花東變質岩區(片岩)坡面之可能發生坡面型土石流之機率。

表5-6 驗證區區別分析結果

結果呈現	原始	預測		總和
	類別	HDF	NDF	
個數	HDF	7	3	10
	NDF	0	10	10
百分比(%)	HDF	70	40	100
	NDF	0	100	100

整體驗證率 = $(7+10)/(10+10) \times 100\% = 85\%$

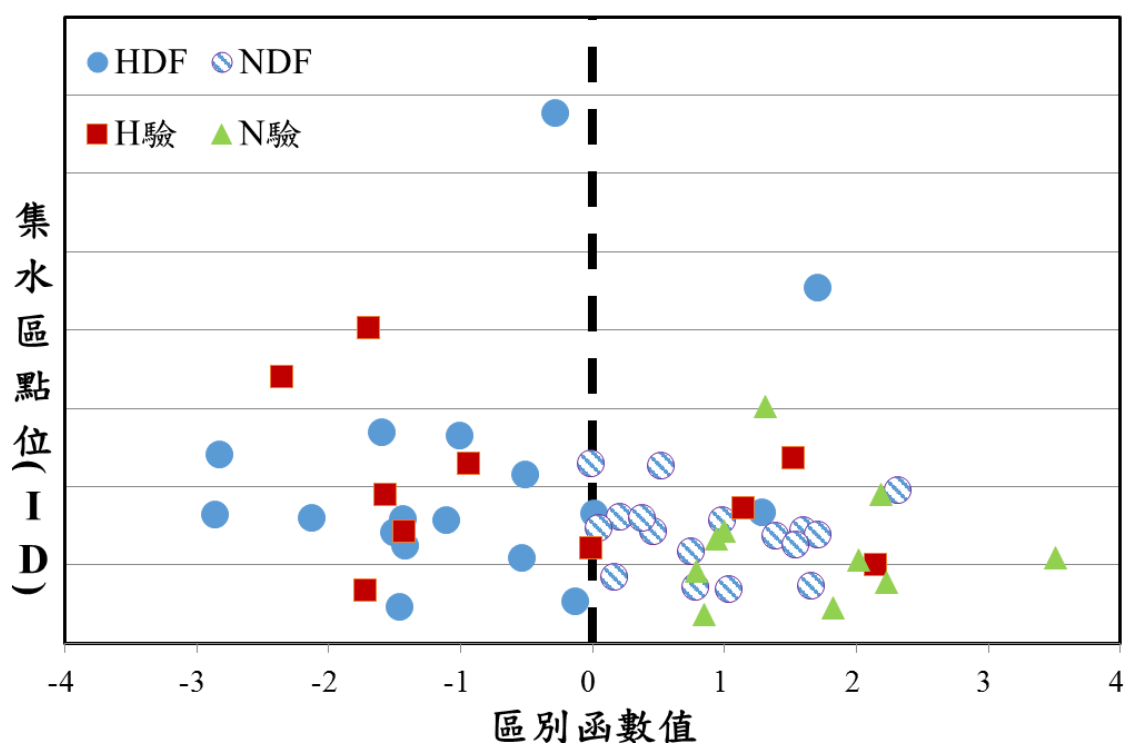


圖 5-19 HDF 與 NDF 之驗證點位與母體之區別函數分佈圖

三、坡面型土石流之特性

1. 集水區分析單元面積、有效集水區指標

如圖 5-20 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 95%。

如圖 5-21 所示，可以發現兩種類型之集水區面積大小分布相近，多分佈於 0.4-0.8 公頃之間，其中 NDF 較集中於 0.6-0.8 之間，其原因為 NDF 因發生區崩塌面積較大，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 0.4-0.6 之間時較容易發生小規模土石流。

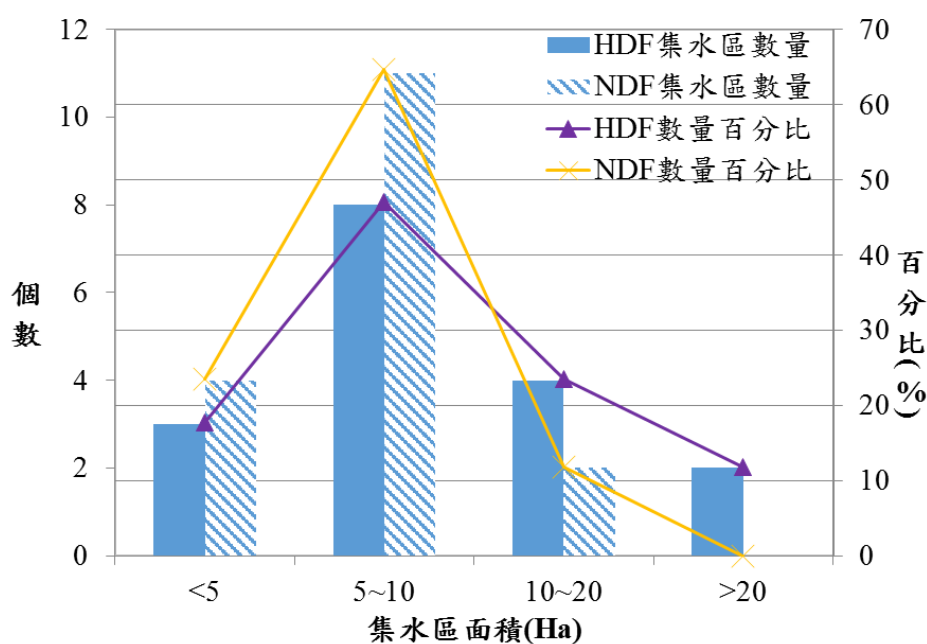


圖 5-20 集水區面積分佈情況

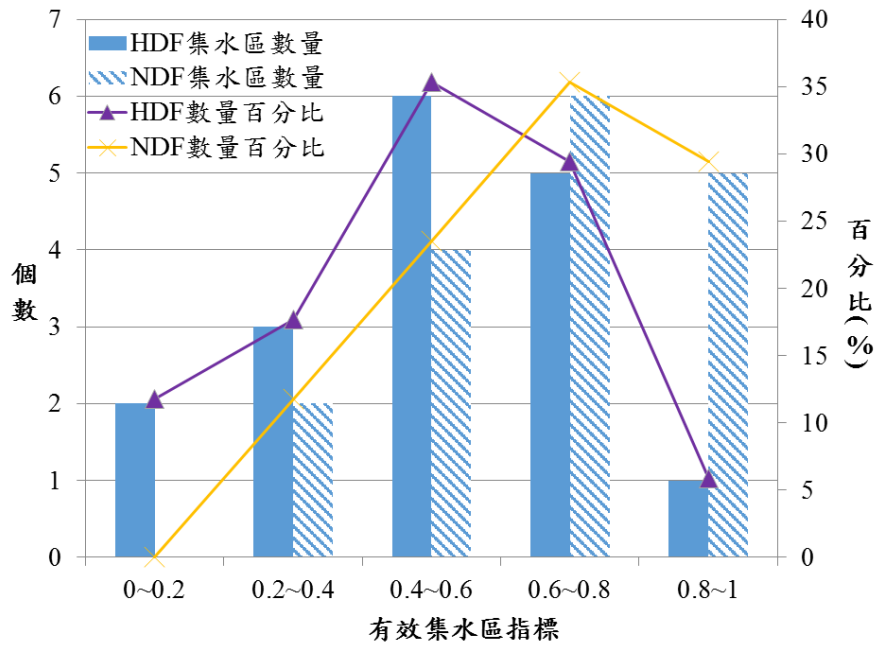


圖 5-21 有效集水區指標分佈情況

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 5-22 所示，DF 及 NDF 流動段長度兩者大部分小於 1000 公尺，DF 主要分佈於 200-600 公尺佔 73.7%；NDF 在 400 公尺以下佔 79%，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。

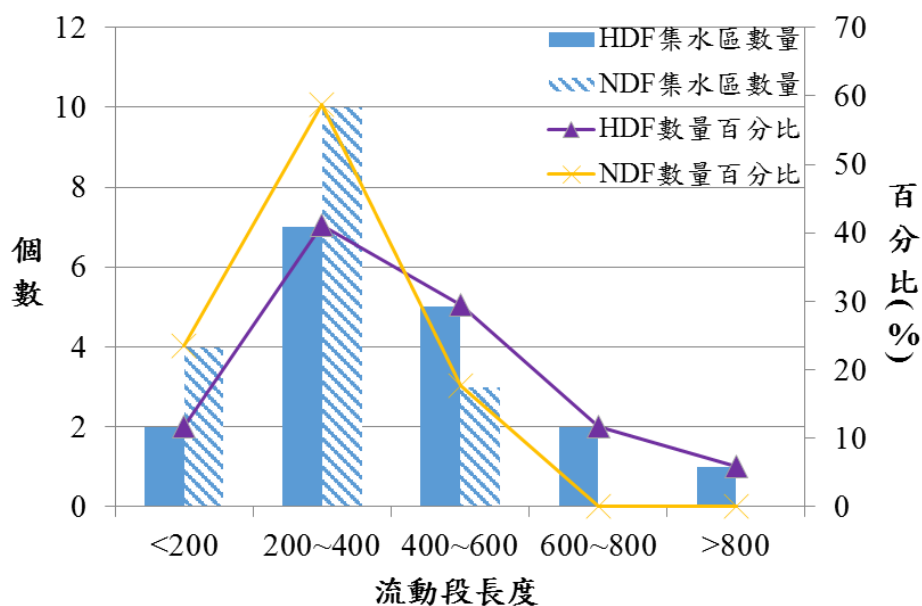


圖 5-22 流動段長度分佈情況

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 5-23 及 5-24 所示，DF 集水區形狀係數主要集中於 0-0.2，佔總筆數 100%，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 5-25 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。

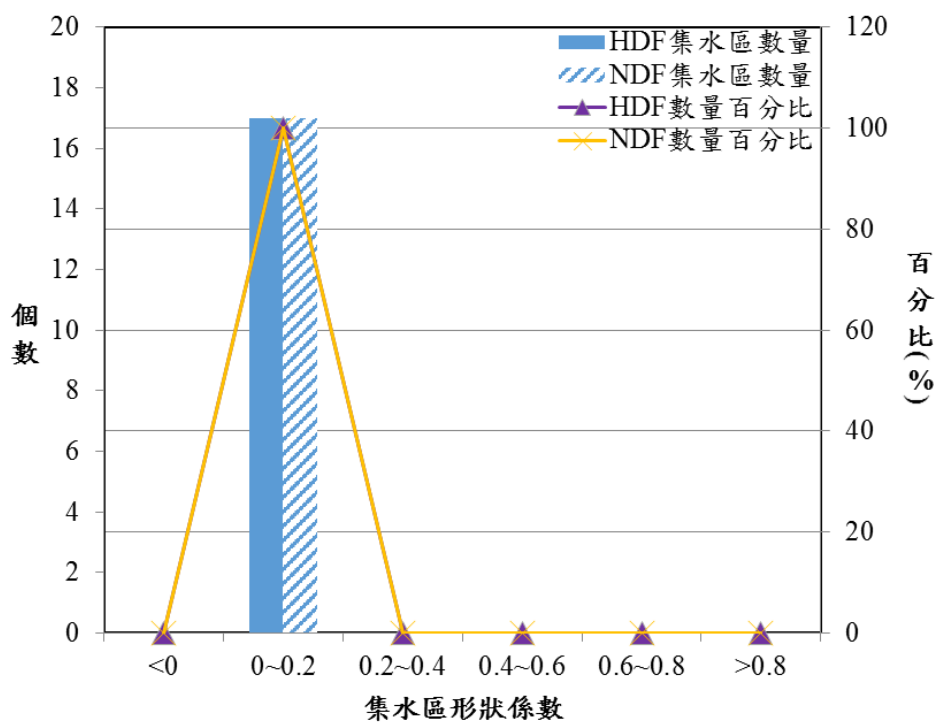


圖 5-23 集水區形狀係數分佈情況

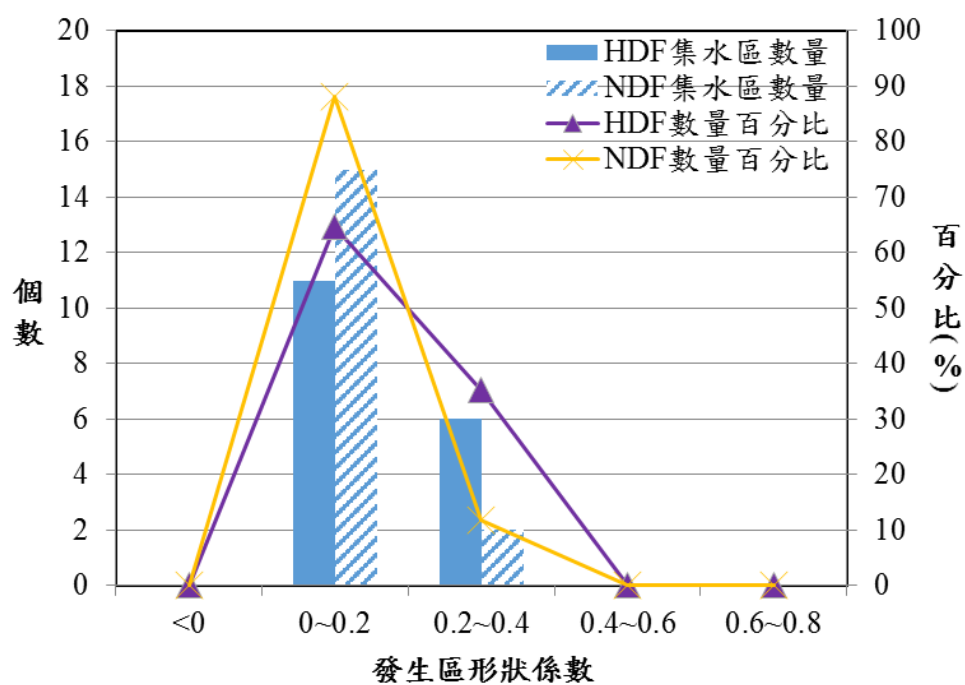


圖 5-24 發生區形狀係數分佈情況

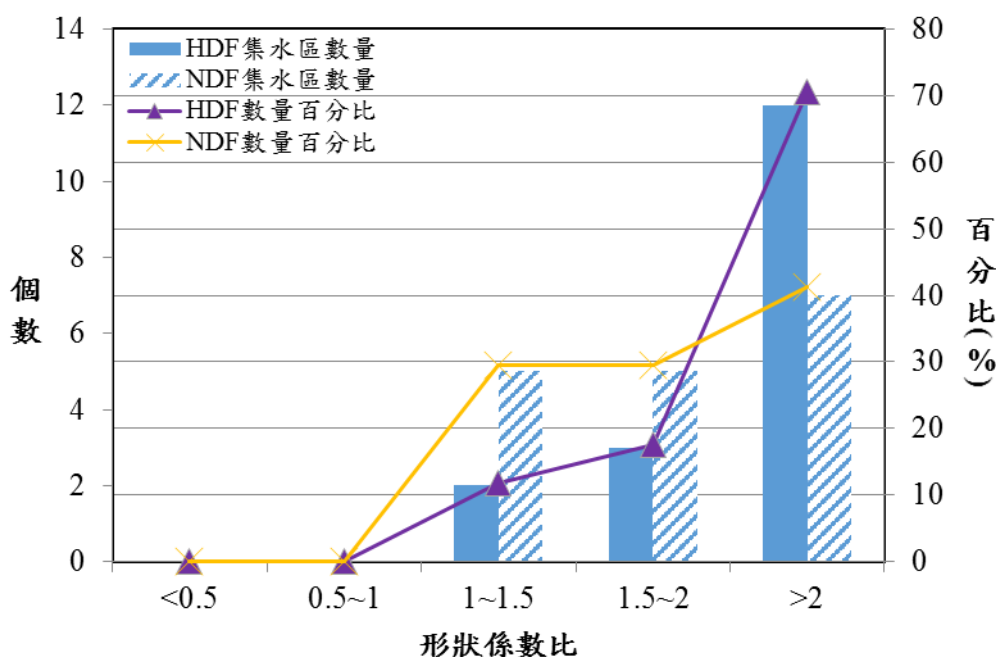


圖 5-25 形狀係數係數比分佈情況

4. 隘口深寬比、流動段深寬比、發生區深寬比

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 5-26 所示，DF 及 NDF 之隘口深寬比主要分佈於 0-0.6 之間，其中 HDF 集中於 0-0.2 之間，佔總筆數 63.2%。

流動段深寬比分佈如圖 5-27 所示，NDF 流動段深寬比主要分佈於 0-0.2，佔總筆數 79%，DF 則分佈於 0-0.4 之間，兩者皆隨著流動段深寬比數字變大而縮減。

發生區深寬比分佈如圖 5-28 示，DF 及 NDF 在 0-0.2 有集中之趨勢，分別佔 73.7%及 89.5%，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。

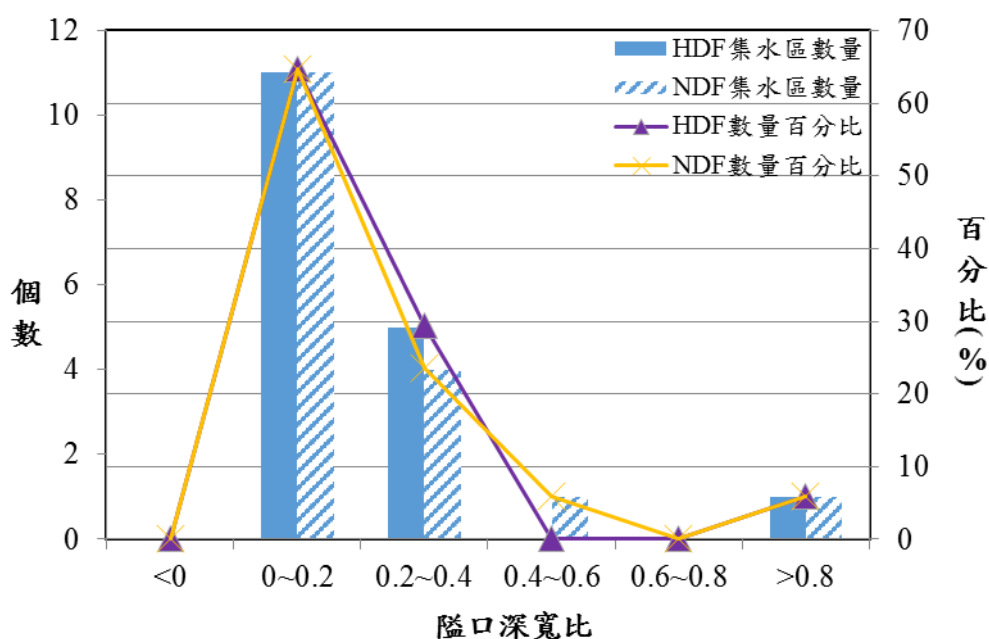


圖 5-26 隘口深寬比分佈情況

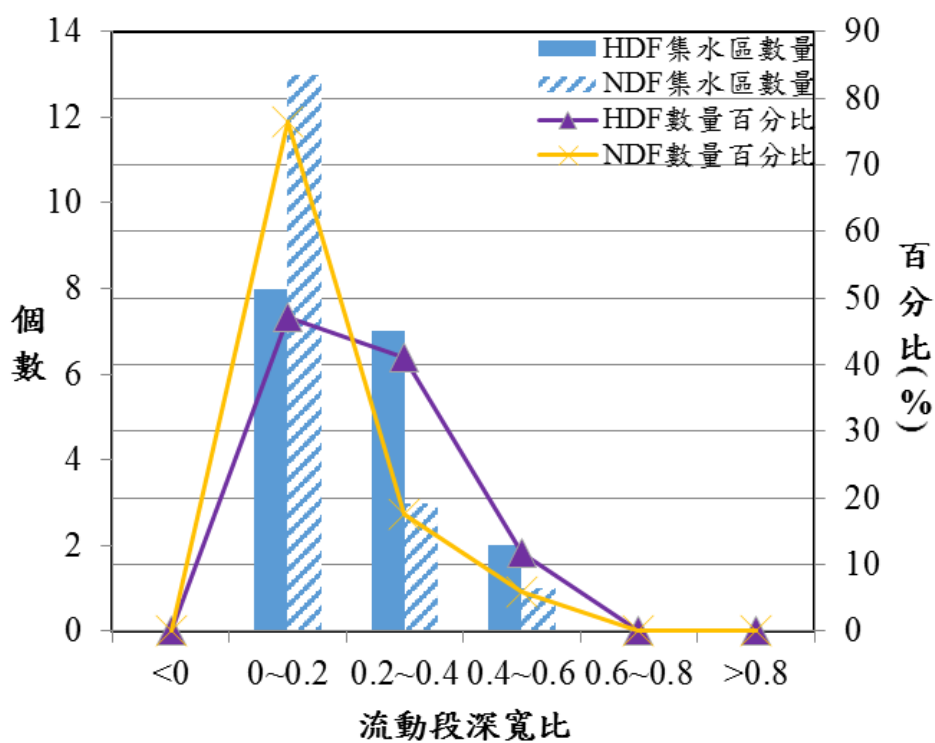


圖 5-27 流動段深寬比分佈情況

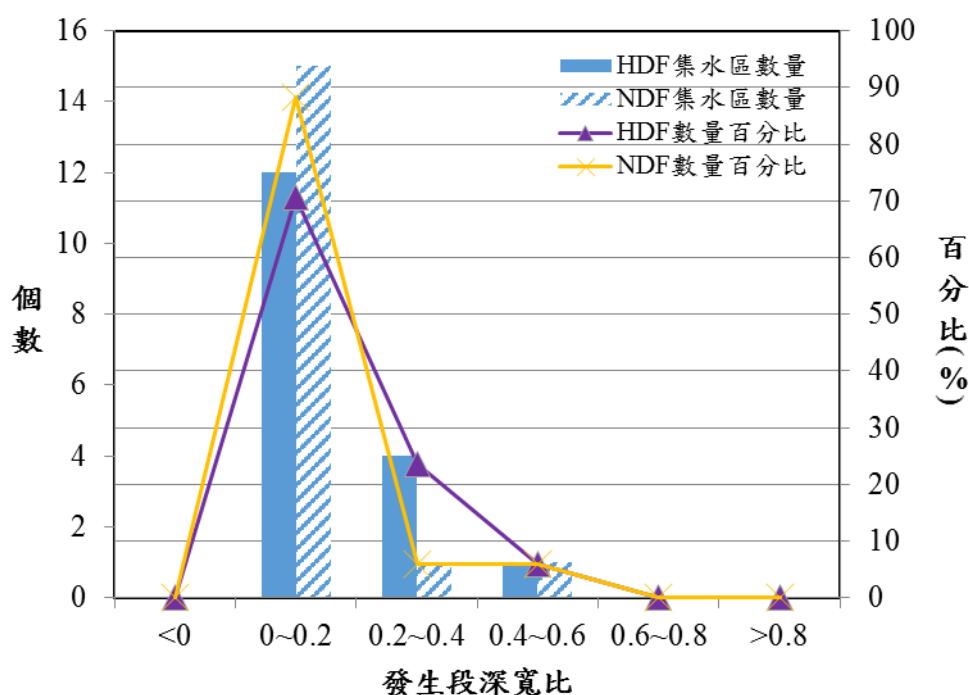


圖 5-28 發生區深寬比分佈情況

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 5-29 所示，集水區平均坡度 DF 主要集中在分佈於 20-35 度之間，佔總筆數 73.7%，NDF 整體分佈多於 40 度之間，整體趨勢落於 DF 之上。

發生區平均坡度分佈如圖 5-30 所示，發生區平均坡度 DF 主要集中在分佈於 20-35 度之間，佔總筆數 84.2%，趨勢小於 NDF。

坡面平均坡度比如圖 5-31 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。

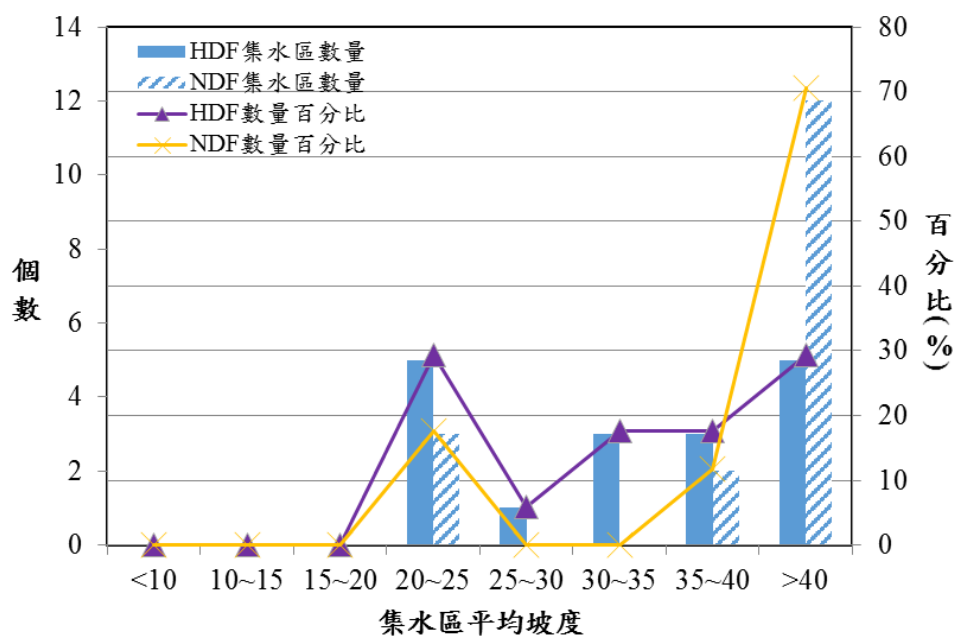


圖 5-29 集水區平均坡度分佈情況

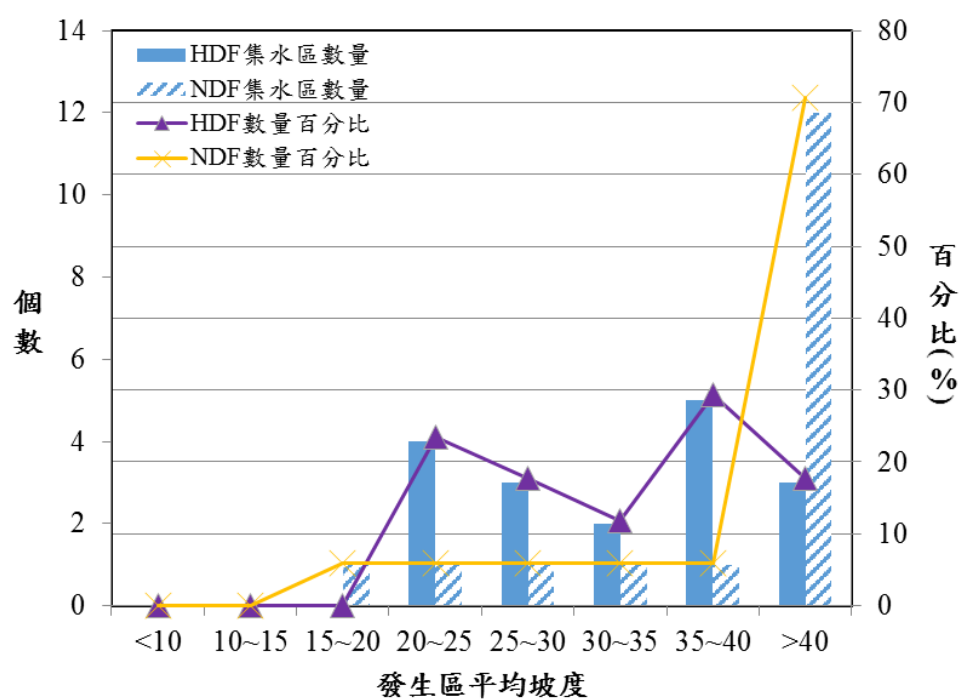


圖 5-30 發生區平均坡度分佈情況

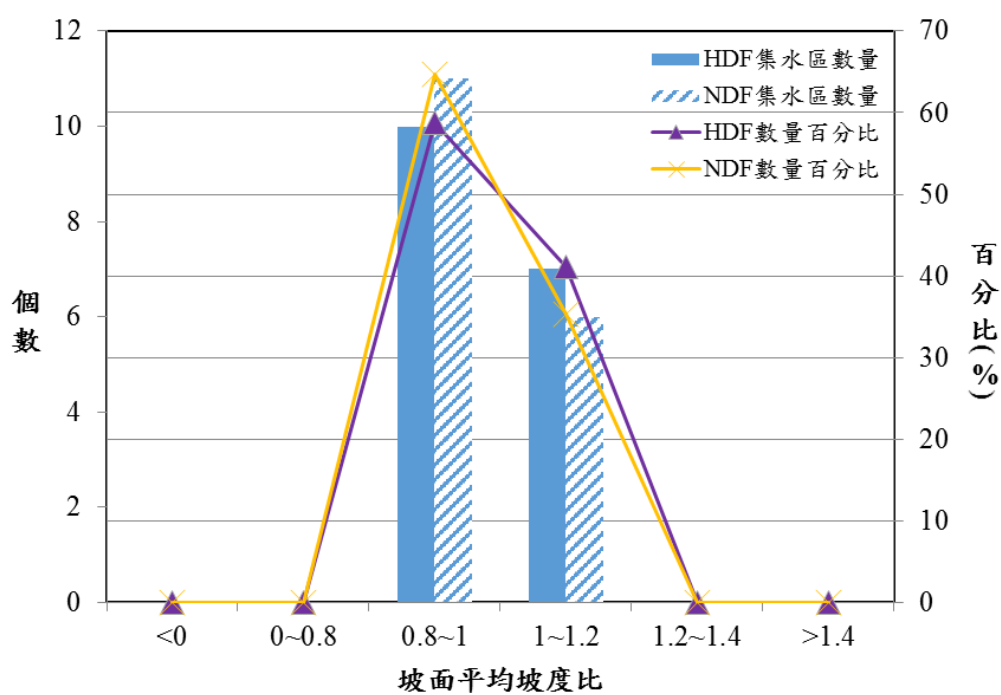
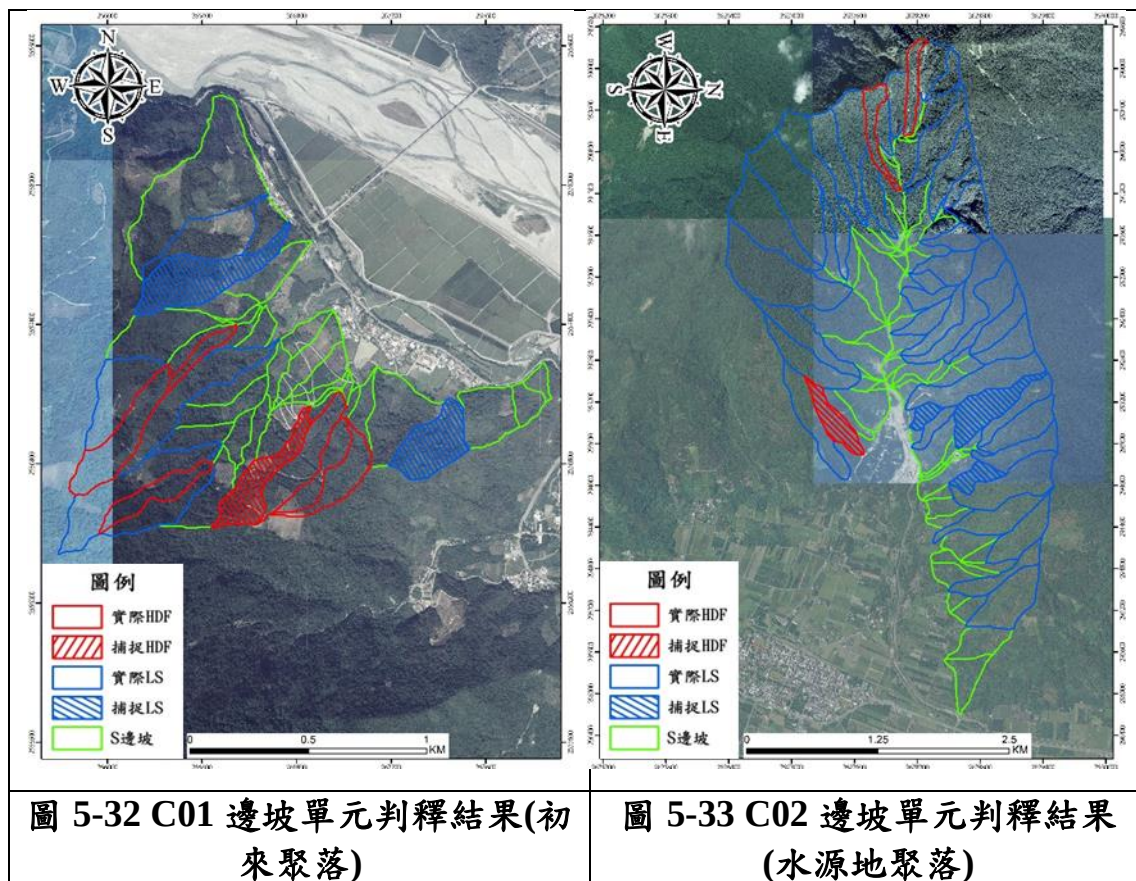


圖 5-31 坡面平均坡度比分佈情況

四、聚落周緣山坡地坡面型土石流判釋成果

本節進一步應用前節判釋模式，進行花東變質岩區研究區聚落周緣坡面單元判釋分析。圖 5-32 至圖 5-39 為變質岩區 5 處聚落判釋結果。



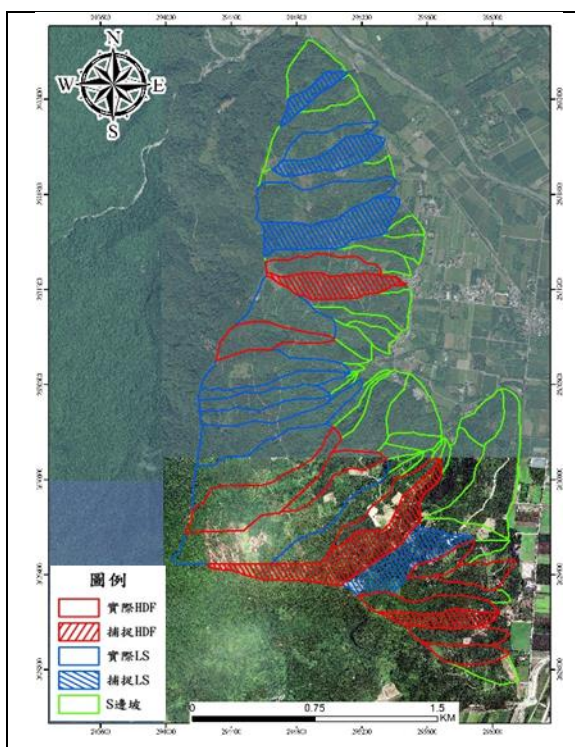


圖 5-34 C03 邊坡單元判釋結果(見晴聚落)

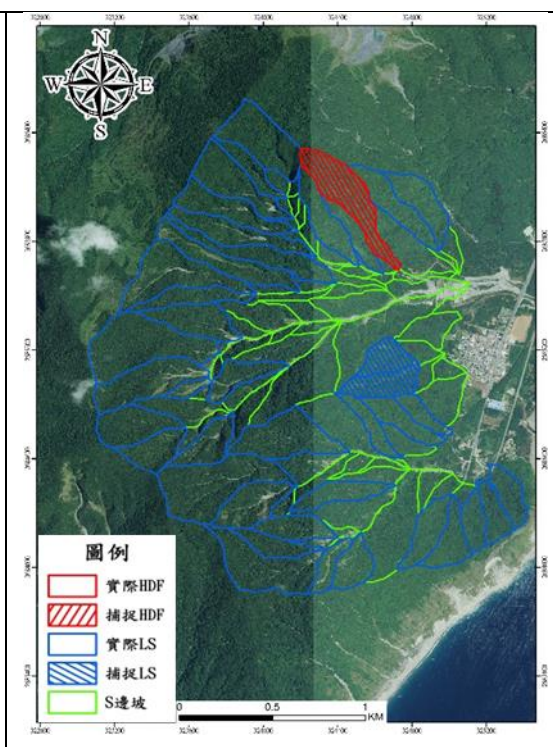


圖 5-35 C04 邊坡單元判釋結果(和中聚落)

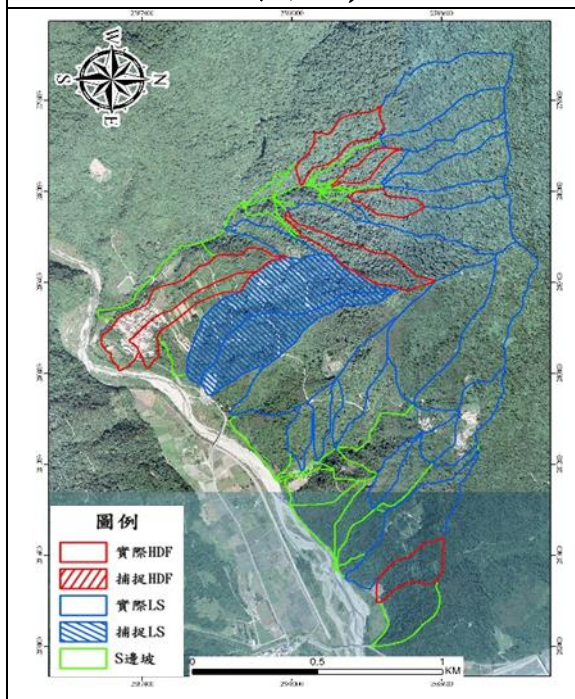


圖 5-36 C05 邊坡單元判釋結果(中平聚落)

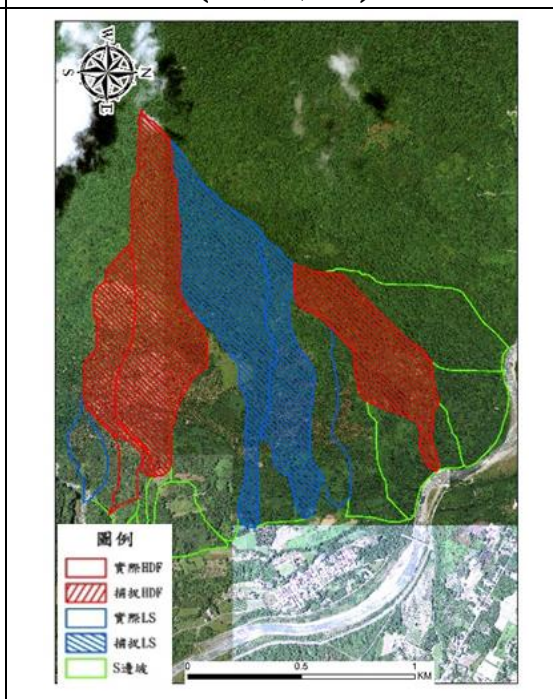
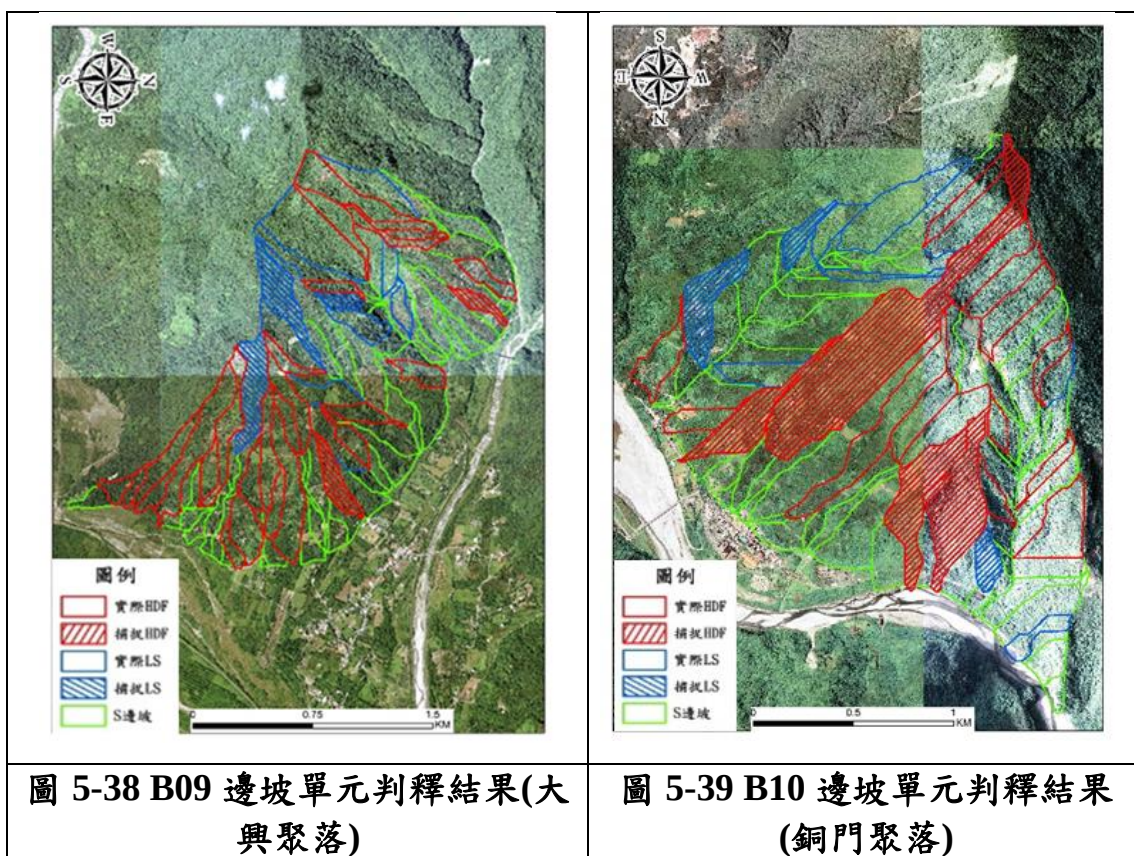


圖 5-37 B08 邊坡單元判釋結果(馬遠聚落)



C01 初來聚落邊坡單元判釋結果（圖 5-32），判釋坡面型土石流 7 筆，實際發生 1 筆，捕捉 1 筆；判釋崩塌單元 7 筆，實際發生 2 筆，捕捉 2 筆，整體捕捉率 100%。

C02 水源地聚落邊坡單元判釋結果（圖 5-33），判釋坡面型土石流 3 筆，實際發生 4 筆，捕捉 1 筆；判釋崩塌單元 41 筆，實際發生 3 筆，捕捉 3 筆，整體捕捉率 77%。

C03 見晴聚落邊坡單元判釋結果（圖 5-34），判釋坡面型土石流 13 筆，實際發生 3 筆，捕捉 3 筆；判釋崩塌單元 14 筆，實際發生 9 筆，捕捉 4 筆，整體捕捉率 58%。

C04 和中聚落邊坡單元判釋結果（圖 5-35），判釋坡面型土石流 1 筆，實際發生 2 筆，捕捉 1 筆；判釋崩塌單元 41 筆，實際發生 2

筆，捕捉 2 筆，整體捕捉率 75%。

C05 中平聚落邊坡單元判釋結果（圖 5-36），判釋坡面型土石流 7 筆，實際發生 0 筆；判釋崩塌單元 20 筆，實際發生 2 筆，捕捉 2 筆，整體捕捉率 100%。

前期(106 年)之 3 處聚落分別是萬榮鄉馬遠村、光復鄉大興村、銅門鄉銅門村之判釋成果如圖 5-37 至圖 5-39。

B08 馬遠聚落邊坡單元判釋結果（圖 5-37），判釋坡面型土石流 4 筆，實際發生 3 筆，捕捉 3 筆；判釋崩塌單元 4 筆，實際發生 2 筆，捕捉 2 筆，整體捕捉率 100%。

B09 大興聚落邊坡單元判釋結果（圖 5-38），判釋坡面型土石流 28 筆，實際發生 2 筆，捕捉 2 筆；判釋崩塌單元 12 筆，實際發生 7 筆，捕捉 3 筆，整體捕捉率 79%。

B10 銅門聚落邊坡單元判釋結果（圖 5-39），判釋坡面型土石流 19 筆，實際發生 4 筆，捕捉 4 筆；判釋崩塌單元實際 10 筆，發生 3 筆，捕捉 3 筆，整體捕捉率 100%。

表 5-6 綜整前述成果。整體共計 230 處分析單元數量，正確捕捉數量為 86 處，整體捕捉率約為 85%，土石流捕捉率則為 79%。整體而言，整體捕捉率以及土石流捕捉率皆以達到實用。

表5-7 花東變質岩區分析單元判釋成果及捕捉率

106 年										
研究區編號	B08 (馬遠聚落)		B09 (大興聚落)		B10 (銅門聚落)					
類型	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF				
實際發生	3	3	2	17	4	11				
捕捉	3	3	2	13	4	11				
整體捕捉率	100%		79%		100%					
HDF 事件捕捉率	100%		100%		100%					
108 年										
研究區編號	C01 (初來聚落)		C02 (水源地聚落)		C03 (見晴聚落)		C04 (和中聚落)		C05 (中平聚落)	
類型	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF
實際發生	1	8	4	9	3	9	2	2	0	8
捕捉	1	8	1	9	3	4	1	2	0	8
整體捕捉率	100%		77%		58%		75%		100%	
HDF 事件捕捉率	100%		25%		100%		50%		-	
總計										
類型							HDF		NDF	
實際發生							19		67	
捕捉							15		58	
整體捕捉率							85 %			
HDF 事件捕捉率							79 %			

第六節 花東變質岩區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

本研究針對花東變質岩，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 34 條溪流樣本之費雪區別函數值，以變質岩-片岩地質區，作為分級指標。

變質岩區潛勢分級結果如圖 5-40 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-1.25，當區別函數值大於 0 時屬於低潛勢區，區別函數值落於 0 到-1.25 之間為中潛勢區，區別函數值小於-1.25 為高潛勢區。

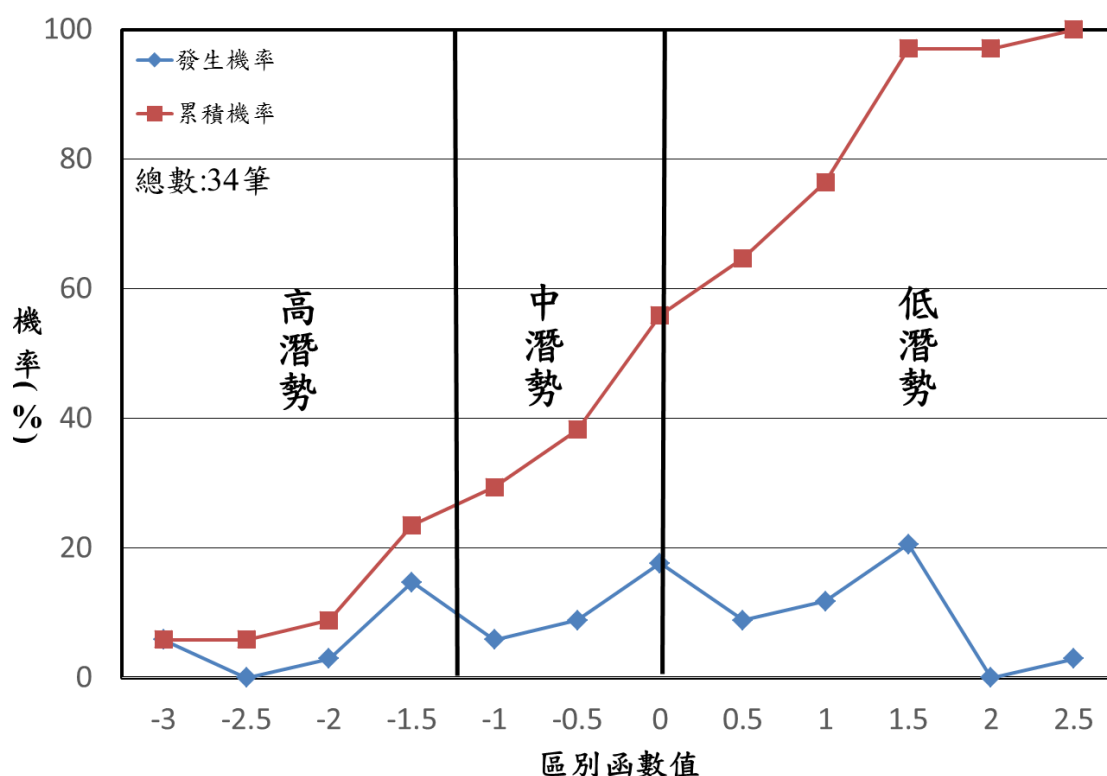


圖 5-40 分界指標 0 與-1.25 之潛勢分級結果

二、8 處聚落坡面型土石流潛勢分級

本年度研究區之 108 年潛勢分析結果分別如圖 5-41 至圖 5-45 所示；前期(106 年)潛勢分析結果則分別如圖 5-46 至圖 5-48 所示。

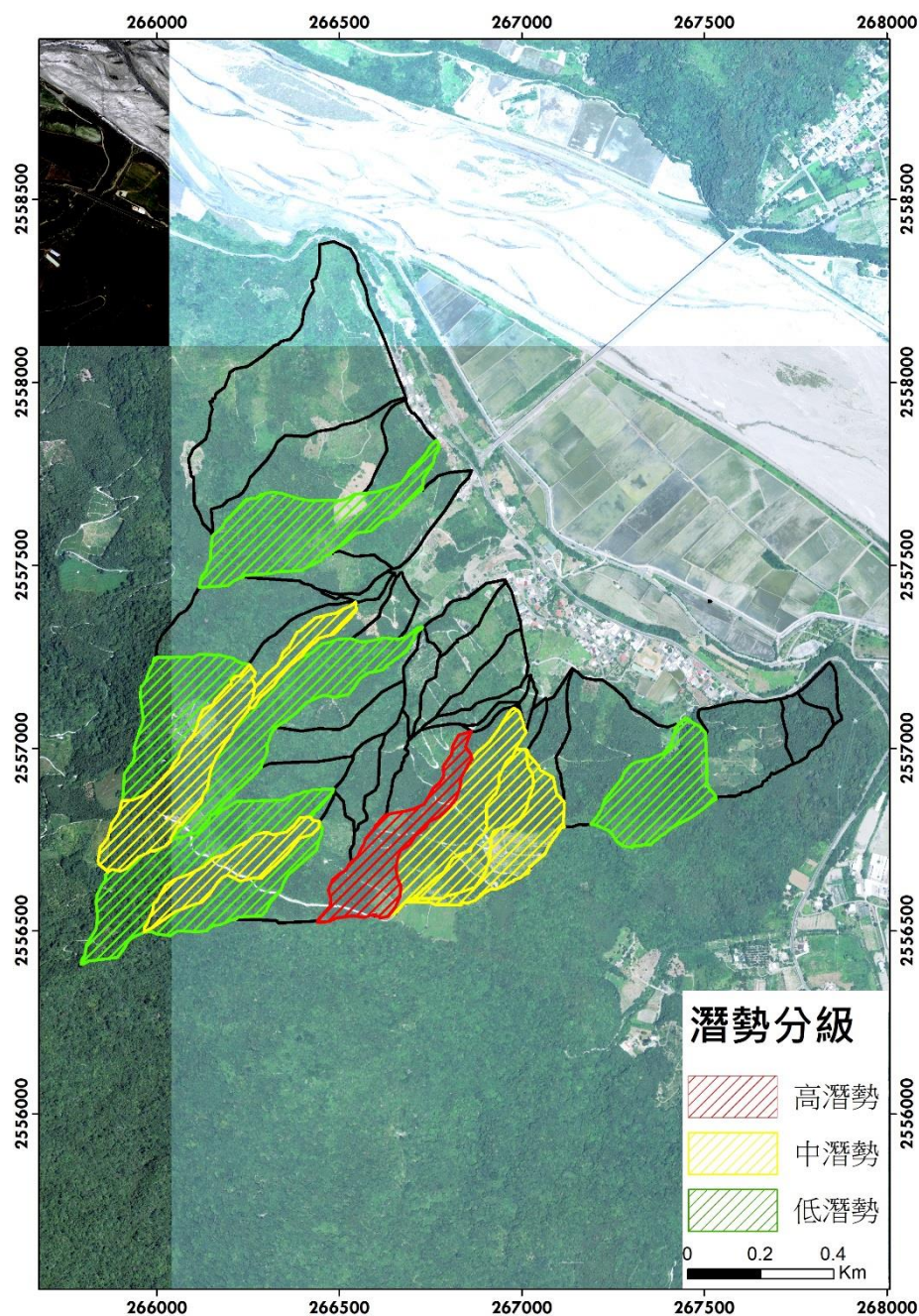


圖 5-41 集水區 C01 之潛勢分析結果

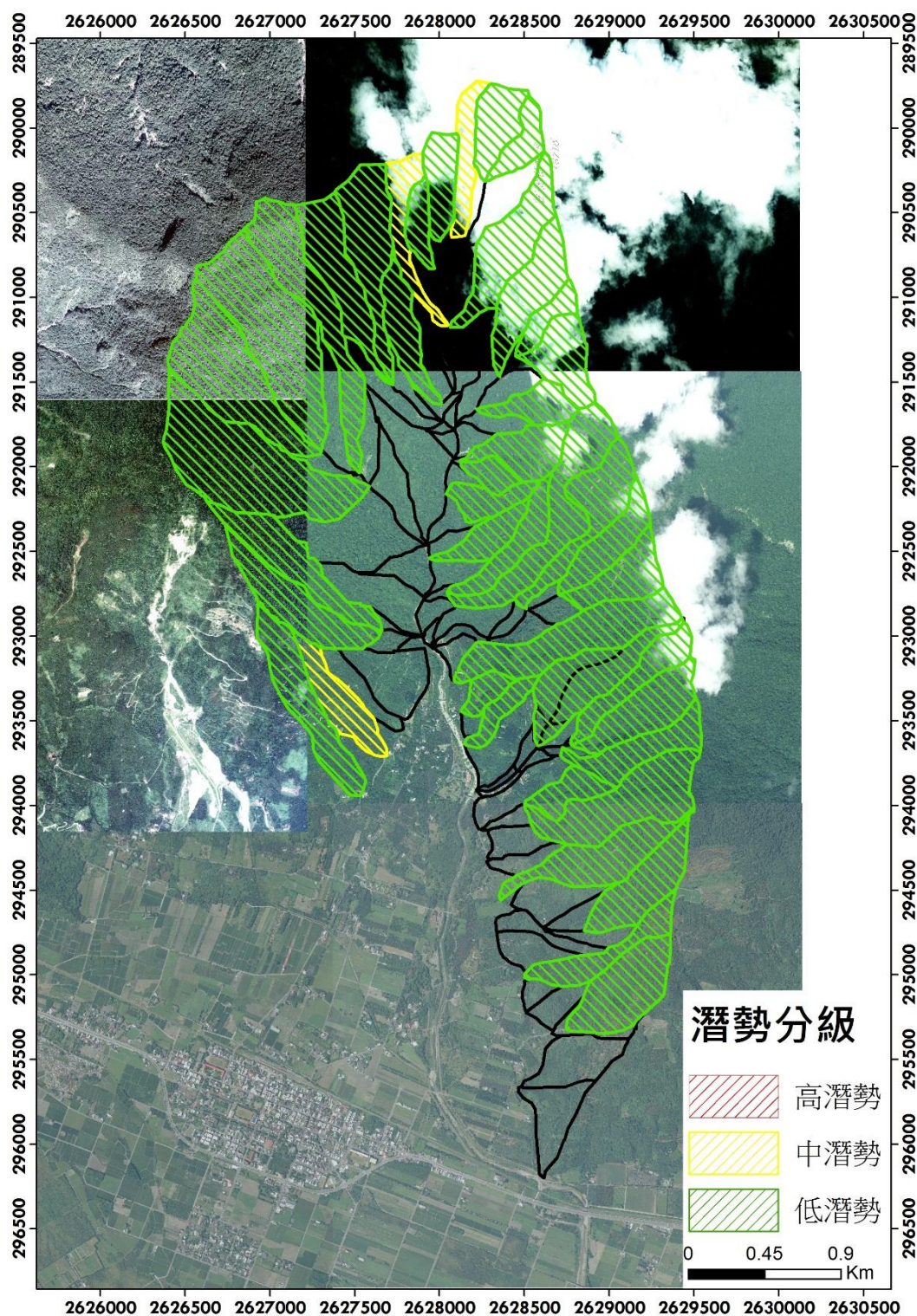


圖 5-42 集水區 C02 之潛勢分析結果

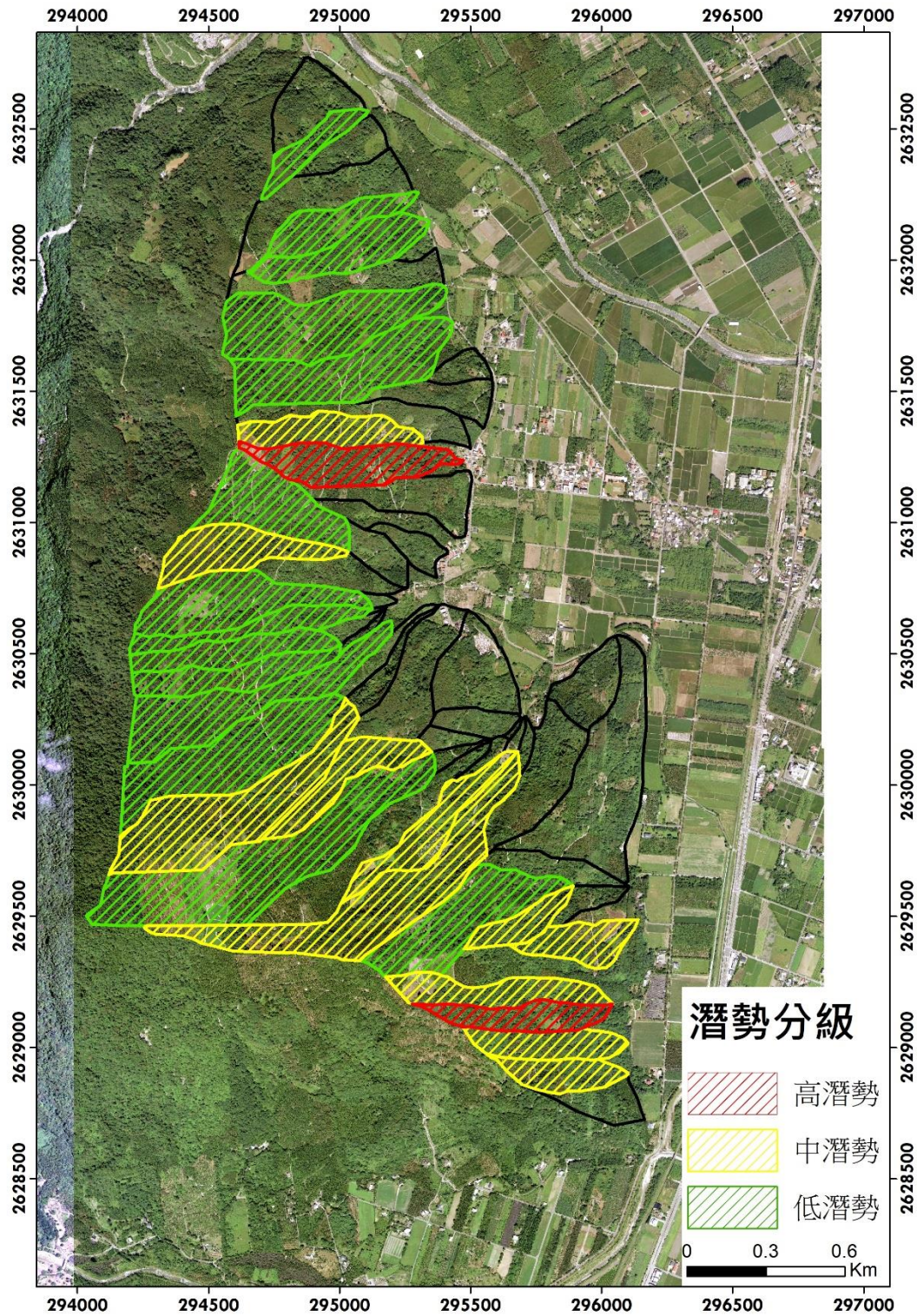


圖 5-43 集水區 C03 之潛勢分析結果

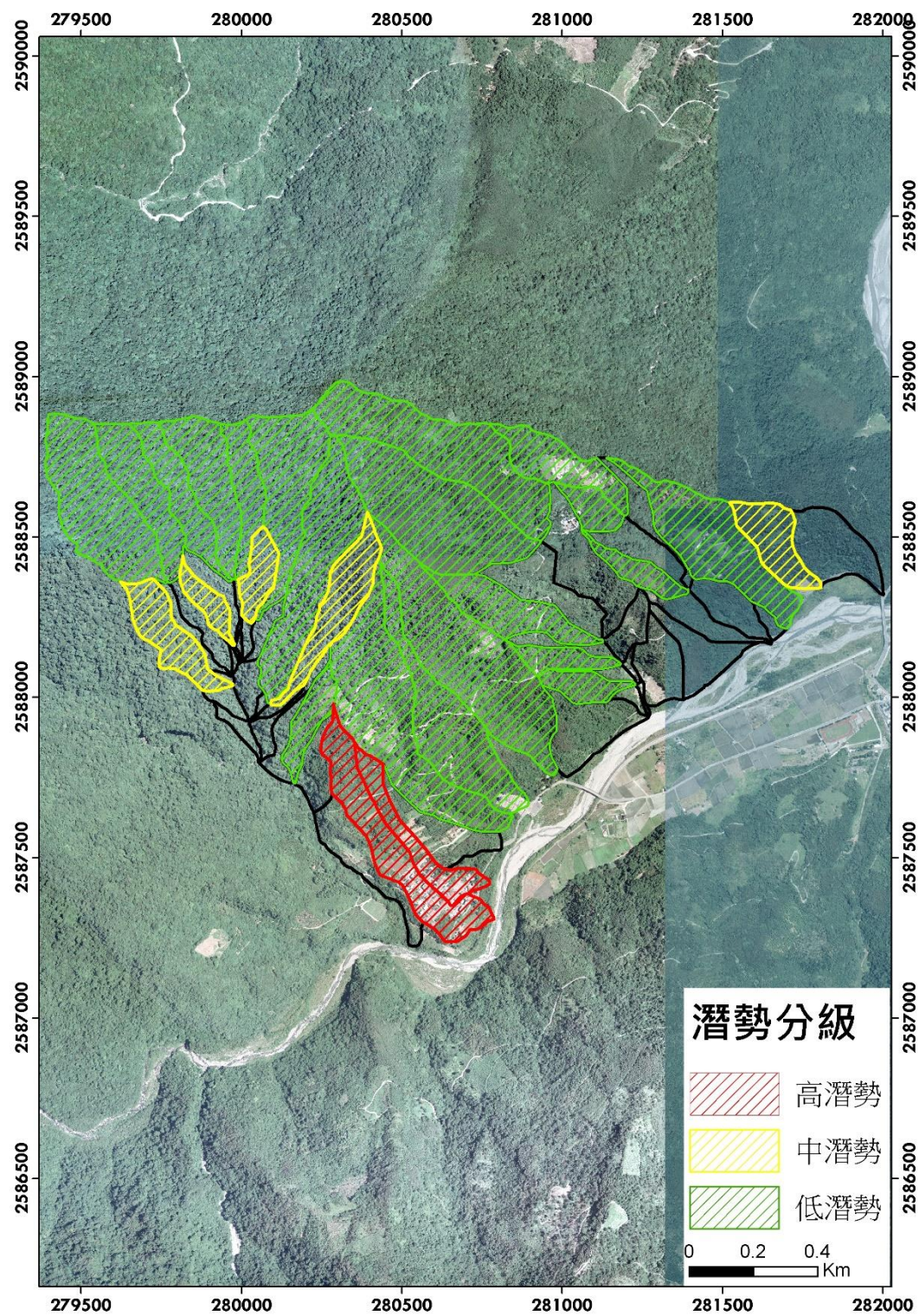


圖 5-44 集水區 C04 之潛勢分析結果

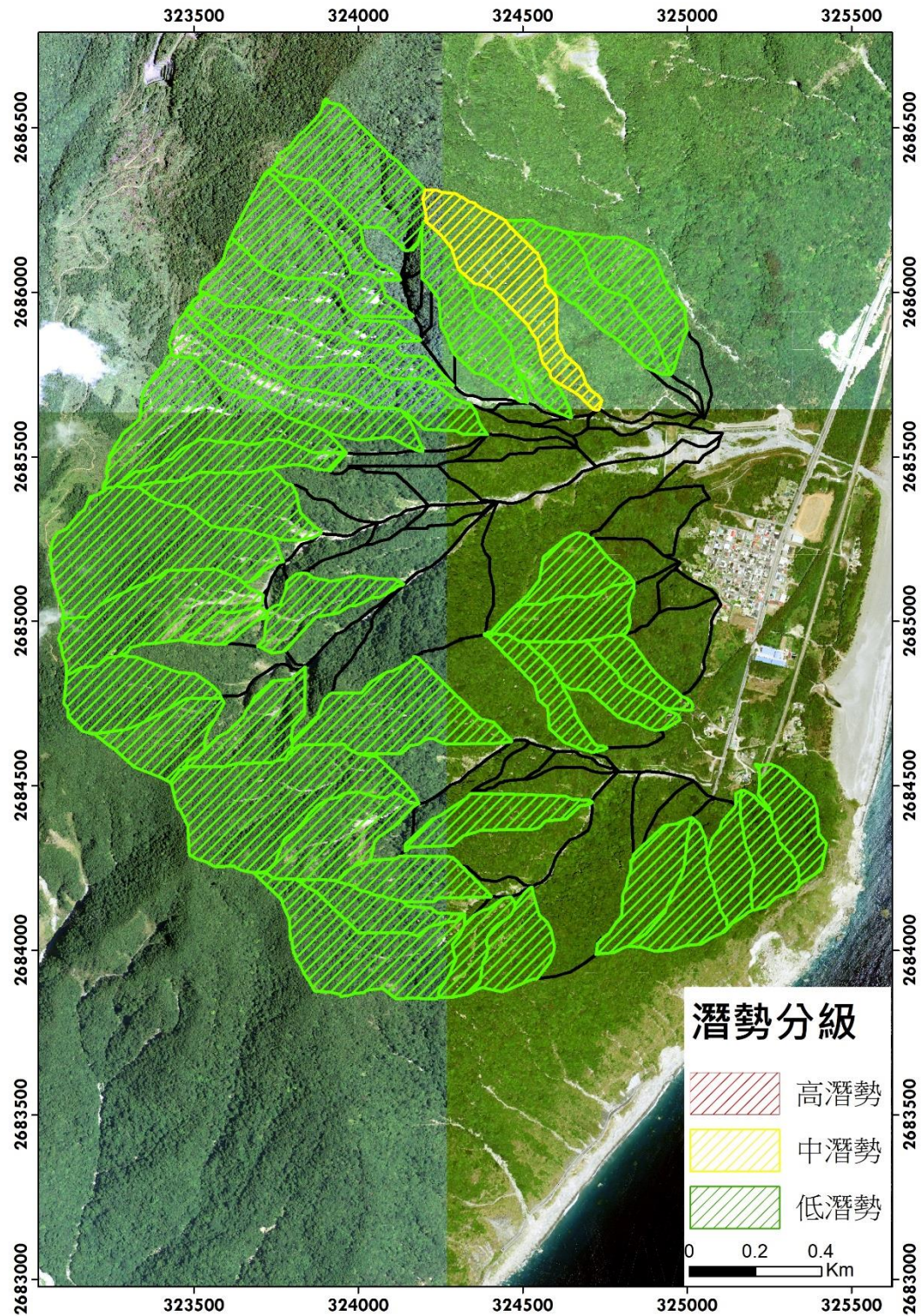


圖 5-45 集水區 C05 之潛勢分析結果

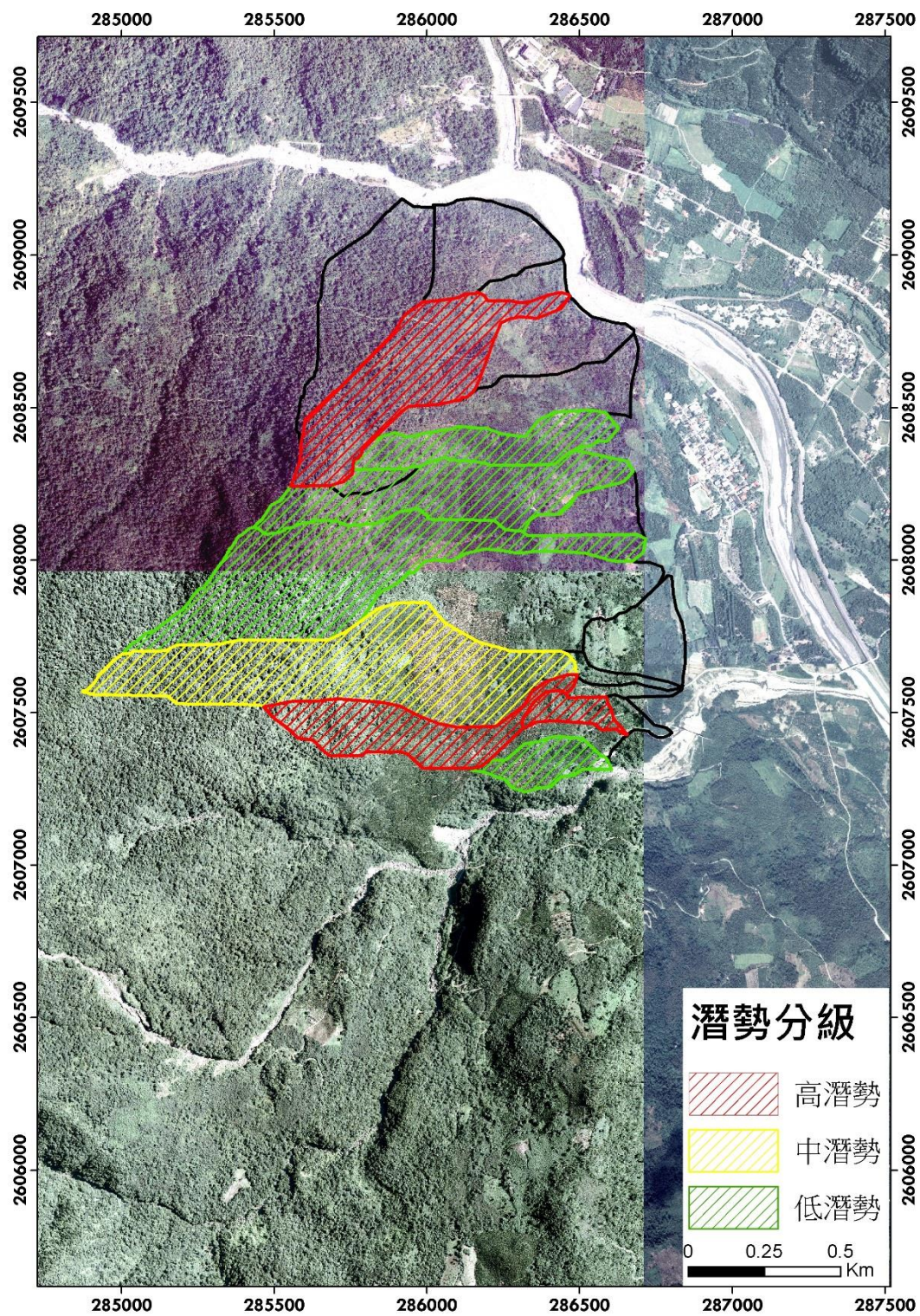


圖 5-46 集水區 B08 之潛勢分析結果

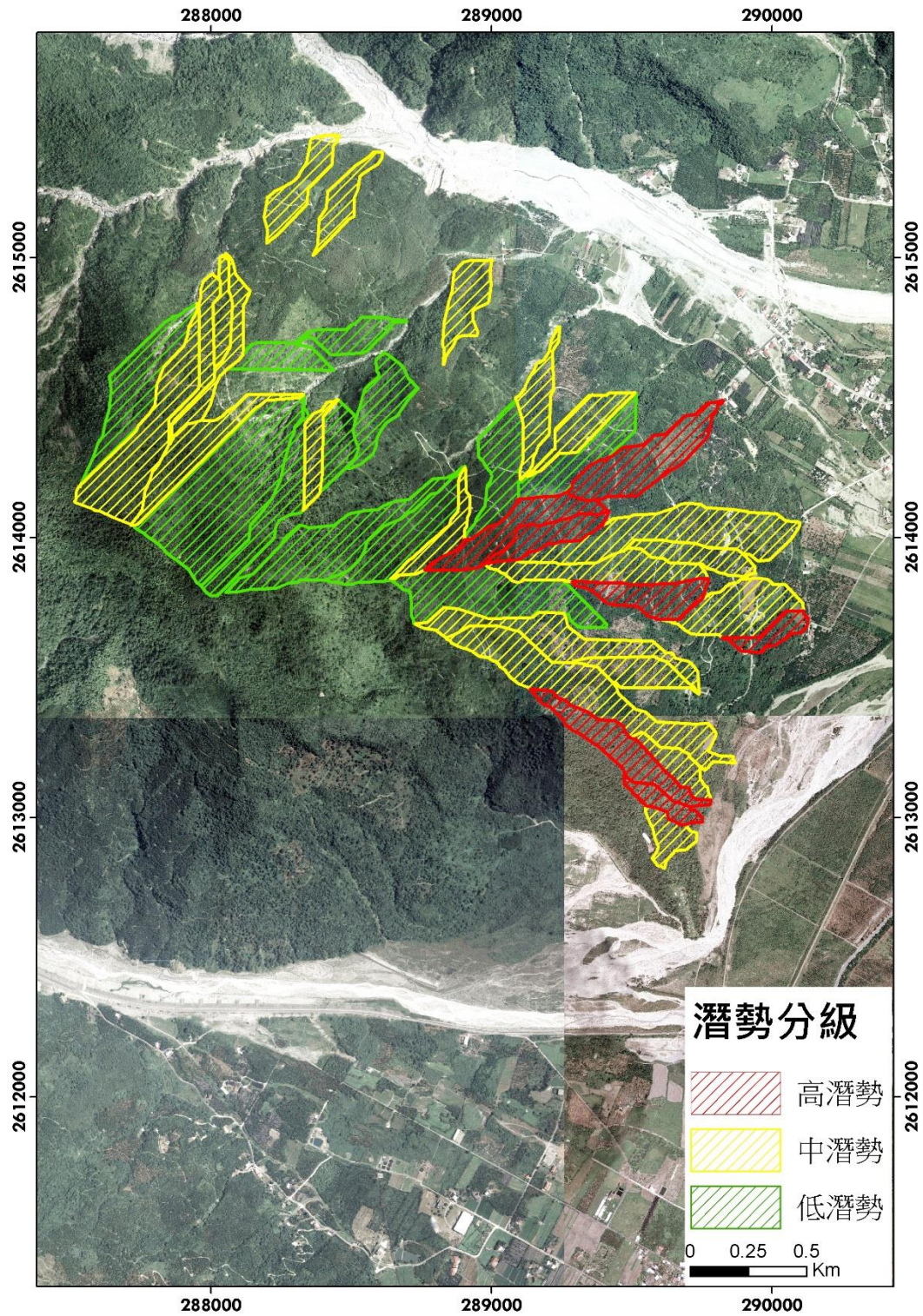


圖 5-47 集水區 B09 之潛勢分析結果

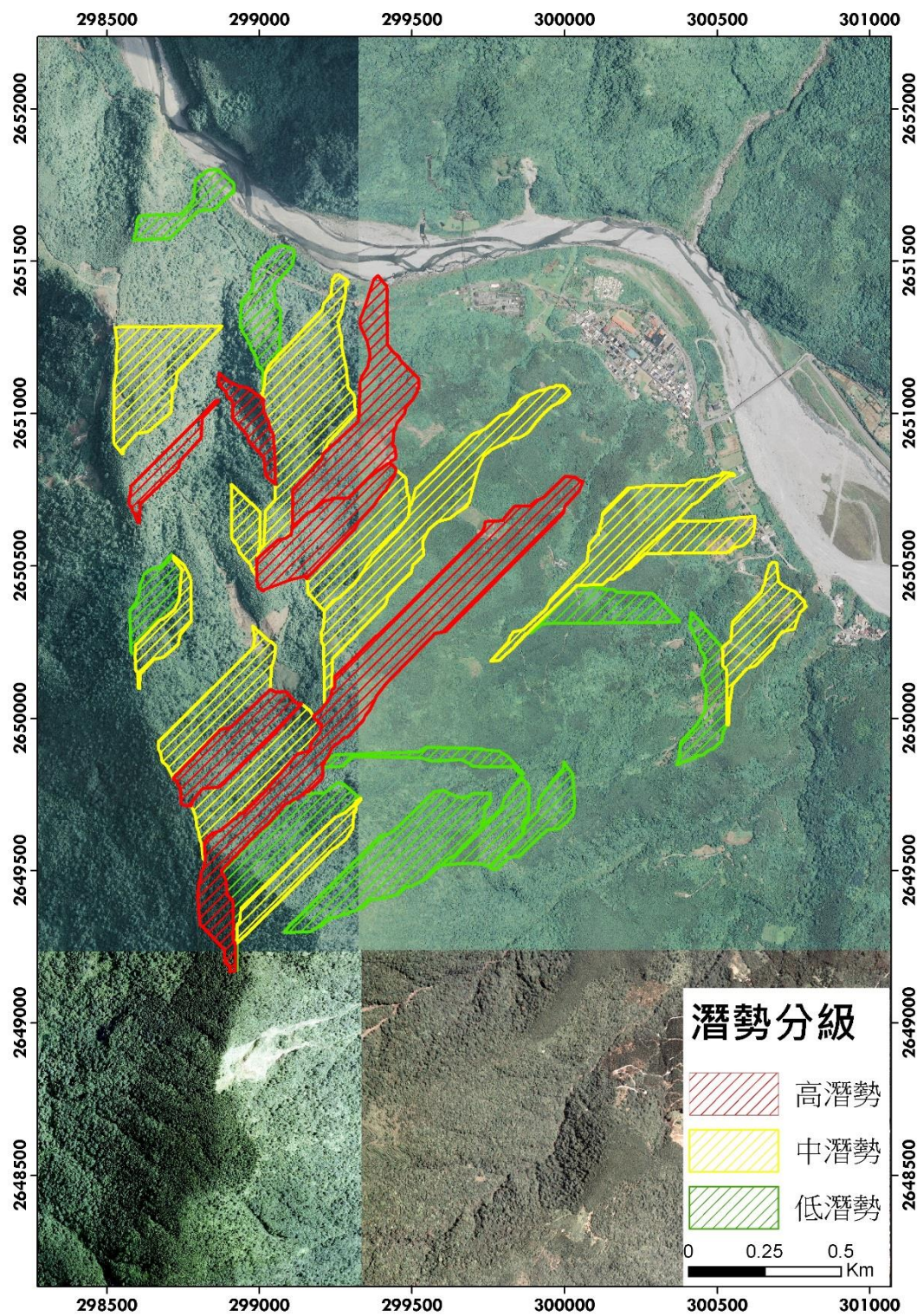


圖 5-48 集水區 B10 之潛勢分析結果

三、聚落潛勢分級成果討論

所有聚落(8 處)周邊山坡地分析單元潛勢分析結果統計如圖 5-49 所示。判釋為坡面型土石流單元有 81 筆及崩塌坡面(NDF)單元有 148 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，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，而崩塌單元也幾乎落在低潛勢。此成果顯示其潛勢分級結果符合物理模型概念。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。

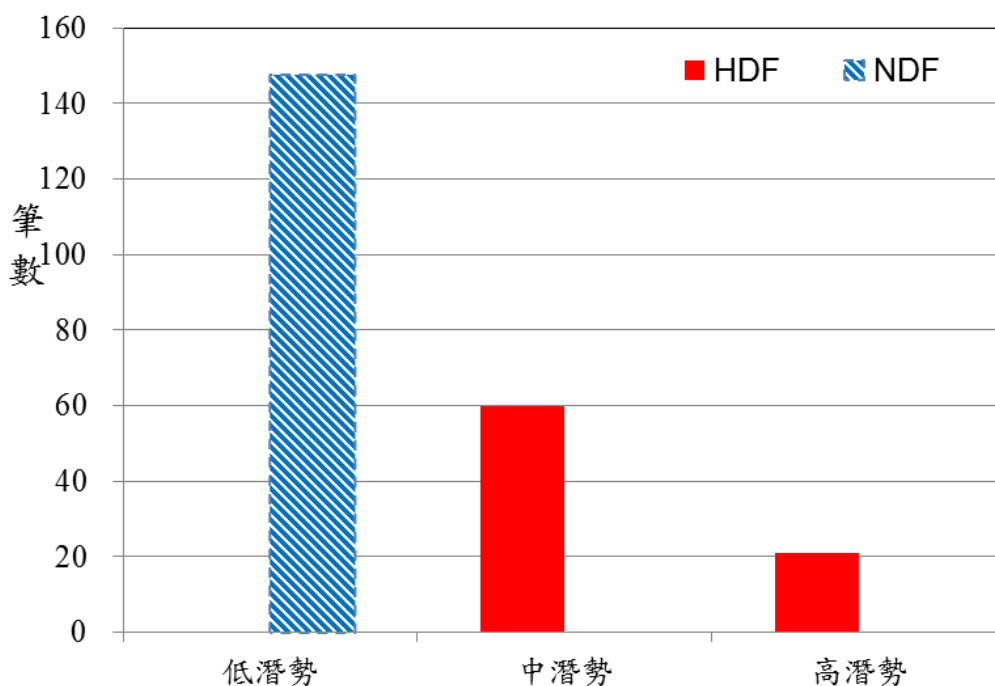


圖 5-49 全部聚落坡面型土石流及崩塌判釋單元之潛勢分級結果

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 5-50 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，變質岩區 19 處土石流案例中，15 處位於中、高潛勢，比例為 79%。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 5-51 所示。圖中顯示土石流案例發生潛勢位於中、高等級。其中，變質岩區共計 15 處土石流案例，其中 7 處位於中潛勢其比例約為 47%，8 處位於中潛勢其比例約為 53%。另針對本年度研究區成果討論，本年度 5 處研究區位於中潛勢及高潛勢兩者比例相當。

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
108 年	4	7	8

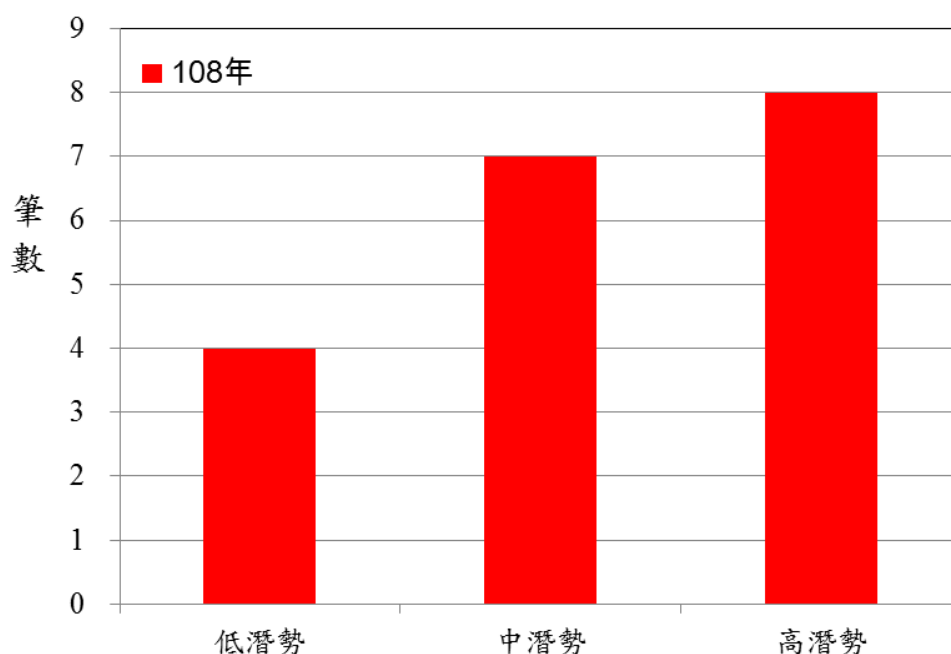


圖 5-50 實際發生坡面型土石流案例之潛勢分級結果

HDF-capture	低潛勢	中潛勢	高潛勢
108 年	0	7	8

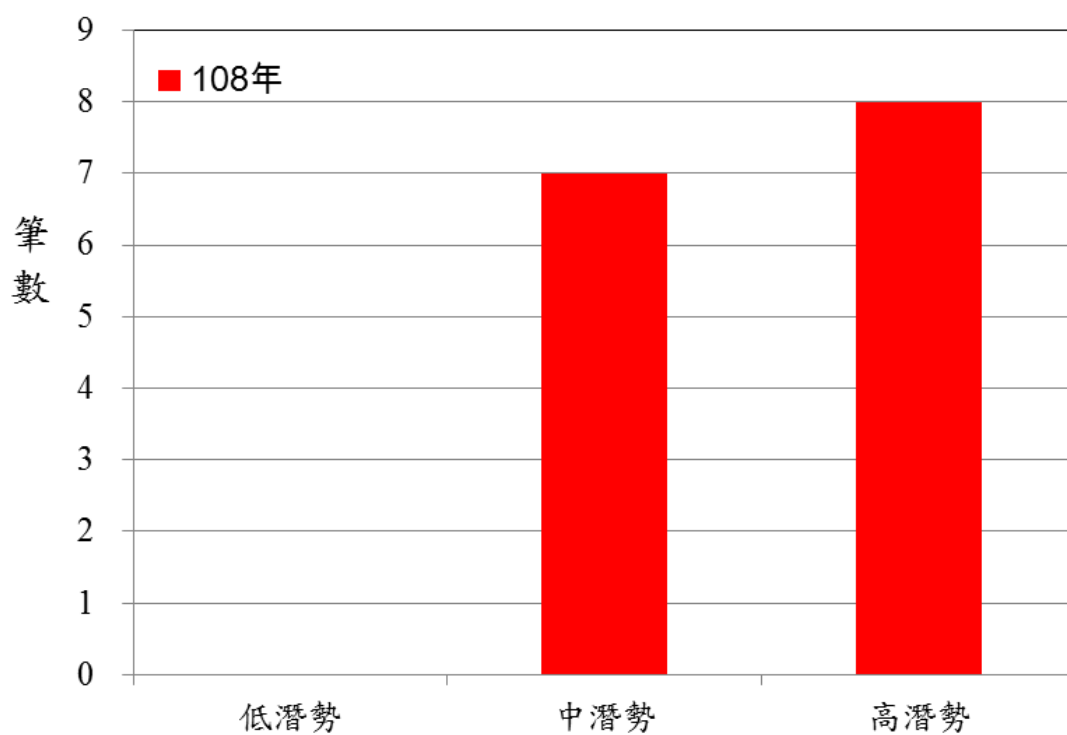


圖 5-51 判釋模式分析後捕抓到之坡面型土石流案例潛勢分級結果

四、各聚落潛勢分級成果討論

綜合整理成果統計如表 5-7 所示；變質岩區各區判釋結果統計圖 5-52 所示，而變質岩區各區判釋結果百分比統計圖 5-63 所示。

表5-8 各區潛勢成果案例統計

	低潛勢	中潛勢	高潛勢
C01	7 筆	6 筆	1 筆
C02	41 筆	3 筆	0 筆
C03	14 筆	11 筆	2 筆
C04	40 筆	1 筆	0 筆
C05	20 筆	5 筆	2 筆
B08	4 筆	1 筆	3 筆
B09	12 筆	21 筆	7 筆
B10	10 筆	12 筆	6 筆

8 處聚落分析成果顯示，低潛勢中 C01 區有 7 筆、C02 區有 41 筆、C03 區有 14 筆、C04 區有 40 筆、C05 區有 20 筆、B08 區有 4 筆、B09 區有 12 筆、B10 區有 10 筆；其中，C01 區佔 50%、C02 區佔 93%、C03 區 52%、C04 區 98%、C05 區 74%、B08 區 50%、B09 區 30%、B10 區 36%。。

中潛勢中 C01 區有 6 筆、C02 區有 3 筆、C03 區有 11 筆、C04 區有 1 筆、C05 區有 5 筆、B08 區有 1 筆、B09 區有 21 筆、B10 區有 12 筆。；其中，C01 區佔 43%、C02 區佔 7%、C03 區 41%、C04 區 2%、C05 區 19%、B08 區 13%、B09 區 53%、B10 區 43%。

高潛勢中 C01 區有 1 筆、C02 區有 0 筆、C03 區有 2 筆、C04 區有 0 筆、C05 區有 2 筆、B08 區有 3 筆、B09 區有 7 筆、B10 區有 6 筆。其中，C01 區佔 7%、C02 區佔 0%、C03 區 7%、C04 區 0%、C05

區 7%、B08 區 38%、B09 區 18%、B10 區 21%。

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 8 區聚落內發生坡面型土石流單元中共計 19 處，落於低、中、高潛勢分別為 4、7、8 處。整體而言，位於變質岩區中筆數以 B09 區潛勢較多，而就百分比來看以 B08 及 B10 區潛勢較高，故變質岩中 B09 區(大興聚落)及 B10 區(銅門聚落)危險性較高。

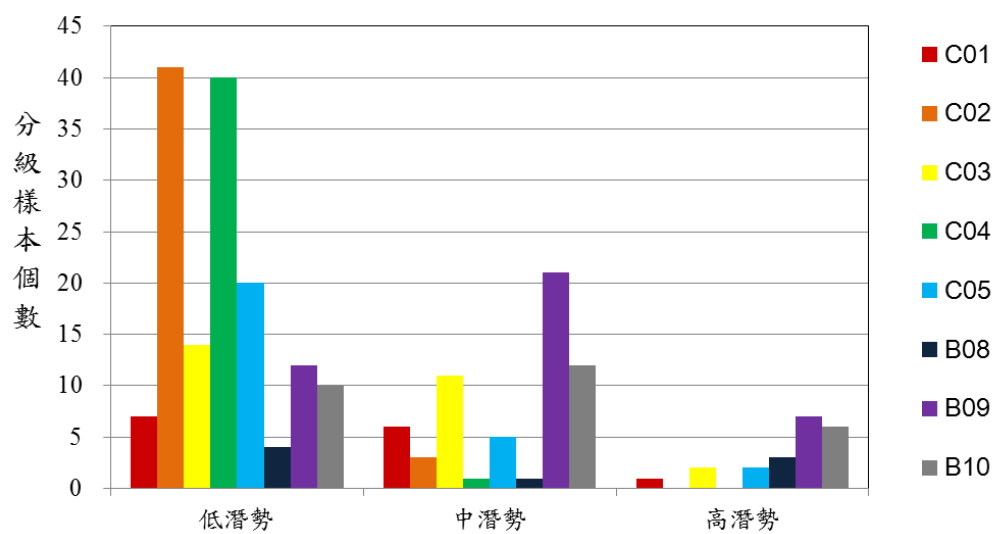


圖 5-52 研究區 8 處聚落判釋結果統計圖

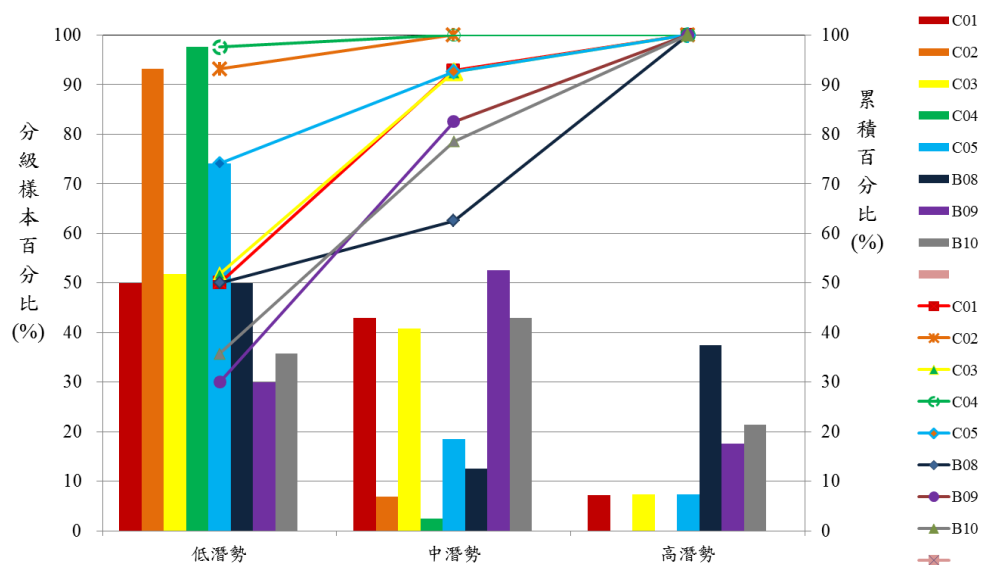


圖 5-53 研究區 8 處聚落判釋結果百分比統計圖

第六章 結論與建議

綜整本研究成果，結論如下：

1. 本計畫針對台灣東部變質岩區聚落周緣之坡面型土石流判釋及潛勢評估方法，再精進研發。本計畫擇定花東變質岩區 5 處山區聚落，同時整合前期已建置之 3 處山區聚落資料，共計 8 處聚落。發展聚落周緣坡地之坡面型土石流判釋模式及潛勢評估方法。
2. 本研究收集花東地區坡面型土石流案例 31 筆，崩塌事件 30 筆。採隨機選出 27 筆之坡面型土石流事件作為分析及驗證樣本。其中，再配合 27 處崩塌案件，建立樣本資料庫包括崩塌及坡面型土石流案例各 17 筆、驗證案例各 10 處。
3. 本研究完成 5 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驗證作業。
4. 變質岩區之坡面型土石流判釋模式，正判率達 88.2%，土石流驗證 85.0%，成效良好。模式應用至 8 處研究區時，亦可達到良好之捕捉率，初步可達實用需求。
5. 本年度花東變質岩區之聚落周緣坡面型土石流(HDF 及 NDF)之捕捉率達 85%，而 HDF 事件捕捉率達 79%。
6. 分析實際土石流案例之潛勢，其發生潛勢多位於中、高潛勢，19 處土石流實際案例中，15 處位於中、高潛勢，比例為 79%。
7. 本計畫完成潛勢分級方法。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 100%。而崩塌單元也多位於低潛勢，比例也達 100%，總體而言，成果與物理模型概念相符，顯示本計畫已獲得不錯之研究成果。
8. 綜整 8 處聚落研究成果，變質岩中以 B09 區(大興聚落)及 B10 區(銅

門聚落)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。

參考文獻

1. 陳天健，2017，「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-中南東部沉積岩及變質岩區」，農業委員會水土保持局研究報告。
2. 羅元勳，2017，考慮集水區內小規模土石流潛能之溪流型土石流潛勢溪流評估模式，碩士論文，國立屏東科技大學，水土保持研究所，屏東。
3. 陳天健，2016，「劇烈天氣下聚落周緣山坡坡面型土石流易發生區位及潛勢評估方法」，農業委員會水土保持局研究報告。
4. 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。
5. 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。
6. 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。
7. 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。
8. 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。
9. 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。
10. 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。
11. 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。
12. 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。
 13. 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。
 14. 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。
 15. 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。
 16. 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。
 17. 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。
 18. 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。
 19. 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。
 20. 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。
 21. 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。
 22. 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。
23. 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)
 24. 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。
 25. 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。
 26. 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。
 27. 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。
 28. 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。
 29. 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。
 30. 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。
 31. 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.
 32. Brunsden, D., In process in geomorphology, Edward Arnold Ltd.,

- London, pp. 130-186, 1979.
33. Cruden, D. M., and D. J. Varnes, Landslide types and 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.
 34. 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.
 35. Evans, S. G., “Landslides and surficial deposits in urban area of British Columbia.” Canadian Geotechnical Journal, Vol.19, pp.269-288, 1982.
 36. Hungr, O., Morgan, G. C., Kellerhals, R., “Quantitative analysis of debris torrent hazards for design of remedial measures,” Canadian Geotechnical Journal, Vol. 21, No.4, pp. 663-677, 1984.
 37. Iverson, R. M., Reid, R. G., La Huse, M. E., Debris flow mobilization from landslides, Annu. Rev. Earth Planet. Sci., Vol. 25, pp.85-138, 1997.
 38. Jakob, M., and Hungr, O., Debris-flow hazards and related phenomena : Springer, Berlin, New York, 170 p, 2005.
 39. 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.
 40. 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.
 41. 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.
42. 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.
43. 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)
44. Thomas Glade, “Linking debris-flow hazard assessments with geomorphology , ” Geomorphology , Vol. 66, No.1-4, pp.189-213, 2005.
45. Takahashi T , Debris flows. Annu Rev Fluid Mech Vol.13, pp.57-77, 1981.
46. Yang Z.Y., Chen T.C.*, Lin C.W., and Lin S.C., (2016),“Rainfall landslide in Sedimentary and Sub-Metamorphic Rock - an example inKaoping 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	P.12 勿以”準則”稱之，以區分法規命令與一般用語之層級。	本報告均改用為「模式」一詞取代準則。
二	以不同片岩岩性區分試壓，有何目的?何以不以岩屑崩積之物性判別之。	謝謝指導。本研究為以地形發育特徵作為判釋因子。前期研究發現，岩性因子其顯現不同的崩塌及地形特徵，因此本研究以岩性性質發展適宜的判釋模式。再者，目前國內岩屑或崩積層之分布資料缺乏，因此無法納入分析資料庫。
三	本案有何地文學之理論依據?	本研究為以地形侵蝕發育之觀念，尋求適當的地形特徵作為判釋因子。
四	工作項目中使用 UAV 拍攝因已有一些進度，是否有什麼要注意的可提出，尤其要研判微地形，而現地有高差，拍攝方式如何?可再詳述。	謝謝寶貴建議。本研究應用 UAV 有二用途: 1.補充人員無法到達區域之調查。2.若修補品質不佳之 5m DEM。目前之研究發現分析單元之圈畫作

		業，確實開發或受道路影響而出現問題，本研究觀察現地 UAV 影像，進行分析單元修訂。而微地形修補作業，目前尚未實施。
五	既有 12 個因子要應用到花東變質岩區是否會沿用之前的 6 個因子的結果？若調整，是係數或因子？可再詳述研究。	本研究應用前期模式進行測試，惟其正判率尚未達實用階段。因此本研究重新由 29 處案例重新擬定判釋模式。詳細請詳報告內容。
六	雖然是以花東的變質岩為主的地區，但區域間地質差異仍很大，由地形因子的研究分區討論是有必要的。	謝謝委員指導。確實如委員所岩，地質差異甚大，地形特性也很大不同。
七	本計畫雖第三年成果，盼與前兩年計畫能妥適連結，建立出全方位「坡面型土石流之潛勢評估方法」。	謝謝委員指導。此亦是我們努力之目標
八	地文因子的規劃甚多(19 項)，其執行面宜建立出統整之格式，並精進於未來的土石流判釋模式中。	謝謝委員建議。
九	分析工具預採 Fisher 模式，其方法的優、缺點宜多加著墨，另未來是否可擴充三年之	謝謝委員建議。

	研究成果，成為一小型的數據資料，供後續有興趣者擷取資料。	
十	目前坡面型土石流辨識出之潛勢區，和現行地調所山崩地滑地質敏感區或過去公開之岩屑崩滑區域有何異同點。	地調所所公布的岩屑崩滑區，係基於遙測影像既有發生的岩屑搬運現象為底圖圈畫而得。本案坡面型係發展判釋潛在可能發生的坡面型土石流之技術。
十一	現勘過程中，建議仔細觀察坡面型土石流之堆積物特性，是否有一般土石流堆積物之特性(如大小顆粒混雜、無淘選...)。	謝謝委員指導。本研究聚落現地查核，均於現場找到確有土石流堆積物特性之材料堆積，方列為實際發生案例。
十二	報告 P12 判釋準則多為定性描述，至現場不易研判，建議考慮建立現地易進行量化判別的指標。	謝謝指導。目前本研究進行量化判釋模式建立，尚未進行前述之量化指標研究。
十三	本計畫坡面型土石流屬於 USGS Landslide handbook 中哪一類 Landslide?	美國對土石流之分類較簡略，坡面型土石流在 USGS 的分類應屬於 debris flow 或 debris avalanche。
十四	P23 頁有關坡面型土石流潛勢分析模式，指標訂定之原則為何？請於計畫書內補充敘	謝謝委員建議。目前潛勢分析模式尚在擬訂中，後續期末報告將於該章節將補充其訂定

	明。	原則。
十五	前期似已完成板岩、沉積岩區之崩塌判釋模式，建議與前期之研究成果進行差異之比較，以利瞭解不同地質材料之模式差別。	謝謝委員建議。
十六	建議將 5 處山區聚落與地質環境結合，以圖面方式將聚落地點標示出來。	謝謝委員建議。請詳圖 4-1。
十七	指標以 0.5 與 1.8 為分界，建議增加說明。	謝謝委員建議。目前潛勢分析模式尚在擬訂中，後續期末報告將於該章節將補充其訂定說明。

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	本計畫是在一個主計畫，即臺灣地區坡面型土石流區位預測及潛勢評估方法(或模式)的架構之下。由於花東地區具有豐富的變質岩，因此，本年度之計畫，以花東變質岩聚落周緣坡地為主要研究地區。本計畫之前期研究已有相當完備之研究方法及豐碩之研究成果。整個研究流程按部就班、循序漸進、穩紮穩打，非常值得肯定。	謝謝委員肯定。
二	花東變質岩區聚落周緣坡地之坡面型土石流區位預測及潛勢評估，應有其學理分析方法(或模式)。等期中之後，資料齊全，在期末報告時，請補強這一部分。	謝謝委員建議。已將費雪區別分析原理及假設補充於文獻回顧。
三	本研究只做坡面型土石流區位預測及潛勢評估，並未做其發生機制之臨界降雨(或雨量	謝謝委員建議。考慮本計畫時程限制，未來若有機會將在朝該方向努力。

	警戒值)，建議未來可朝此方面努力。	
四	19 項因子經獨立性顯著檢定之過程，建議於報告書中評述，以利檢視最後所得七項因子模式之合理性。	謝謝委員建議。相關內容補充於第 5.5 節。
五	本案採用 Fisher 模式之原因為何？何不採用其他多變量分析模式，建議補充說明。	謝謝委員建議。本團隊發展坡面型土石流判釋模式多年，目前以 Fisher 區別分析所建立之判釋模式，應用性相當良好，因此繼續沿用。
六	模式實用於聚落周緣研究區時，坡面型土石流事件捕捉率出現極差的原因為何？	期中報告時為採用初步判釋模式。經期末判釋模式再精進後，目前土石流事件捕捉率以提高至 79%，總體(含土石流/崩塌事件)捕捉率達 85%。

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	目前判別式可將崩塌及坡面型予以良好區隔，但在坡單元之建立方式與判別成果之影響及對於非分析測試單元之預測性加以討論。	謝謝委員意見。惟囿於期程關係，若有機會於下期將可針對二建議進行探討。
二	區別函數 $y > 0$ 為未發生土石流與結論論述 $y > 0$ 屬低潛勢區似乎前後不一致，請再檢視。	謝謝委員意見。報告內容已修訂，區別函數值 y 小於 0，判定為坡面型土石流；當區別函數值 y 大於 0，則判定為未發生土石流。
三	坡面型土石流、淺層崩塌及土石流之異同點為何？實務上應如何判別？	謝謝委員意見。請詳見文獻回顧第一節及第二節說明。
四	坡面型土石流圈繪出之範圍，是否和地調所岩屑崩滑及山崩地滑地質敏感區有重疊？另與現行土石流潛勢溪流比較結果為何？	坡面型土石流所圈繪主要為溝壑及坡面地形，而地調所所圈繪者則為現生的岩屑崩滑及地滑，兩者會圈重疊之狀況；現行土石流潛勢溪流主要以全溪流為範圍，坡面型土石流則是以河岸及溝壑為範圍。

五	坡面型土石流能否與淺層崩塌差異性討論與區隔。	謝謝委員意見。本計畫研究建立坡面型土石流與淺層崩塌之區別模式。
六	以 5*5m DEM 分析坡面，可能一些地形因子無法掌握，建議以可用目前 1*1m DEM 來分析。	謝謝委員建議。
七	目前分析區域是針對土石流已經發生的區域，則正判率意義比較不大，建議應對其它的坡面來分析，來找未來可能發生坡面型土石流的位置，在未來防災應用上比較有幫助。	謝謝委員意見。本研究先採用發生案例建立坡面型土石流與崩塌之判別模式。而後再應用此判釋模式針對聚落周緣坡地進行盲測，結果再經現地調查確認模式之捕捉率。
八	本計畫之坡面型土石流區位預測及潛勢評估方法係先蒐集 27 案例，產製 19 項特定因子，再篩選出最後七項因子模式後決定標準化判釋公式，判釋公式已將集水區實度、坡度、形狀係數等考量。針對集水區材料因子是否亦已納入考量，依據計畫研究成效，如該地區如有不一樣地質特性條件因子，是否適用？	謝謝委員意見。不同地質，期坡面型土石流及崩塌特性，確實亦有不同。本計畫前年度已針對台灣之板岩、沉積岩等地質區，研擬出判別模式及潛勢分級方法。分別考量地質岩性性質。