
**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（5） -
臺灣北部大屯山火山地質岩區
期末報告書**

**Prediction Model On Hillslope Type Debris
Flows For Village-Side Hillslope And
Village Hazard Potential Evaluation –
Igneous Rock Geology in North Taiwan**

執行單位：國立屏東科技大學

執行期間：109 年 02 月 06 日至 109 年 12 月 31 日

計畫主持人：陳天健 教授

中華民國 109 年 11 月

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（5）-臺灣北部大屯山火山地質岩區

摘要

臺灣土砂災害類型多樣，其中土石流潛勢溪流及大規模崩塌均多已有所掌控，惟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提供合宜之管理參考。而於現今氣候變遷狀況下，許多聚落周緣之山坡地可能演化產生坡面型土石流，極易形成小災害但高危害度及大災損的高風險災害型態。依原民會統計，原住民聚落即達 746 處 (2019)，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內，常產生安全無虞之假象。為提供早期發現山坡地危險聚落，以助於劇烈天氣時之防災預警。本研究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，建置火山地質岩區之坡面型土石流地形判釋模式。本判釋模式應用於臺灣北部大屯山火山岩地質區之 5 處聚落進行評估，而後再進而訂定出土石流潛勢分級模式。研究成果顯示，研究聚落區共計 14 處坡面型土石流事件，正確捕捉數量為 11 處，捕捉率達 86%，整體捕捉率則為 95%。整體而言，火山岩區之判釋模式結果尚稱不錯。

潛勢分級方法方面，本計畫針對聚落周緣之山坡地現地查核，以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 14 處土石流案例，其中 12 處位於中、高潛勢，比例為 86%。而另聚落坡面型土石流潛勢評

估結果顯示，臺灣北部大屯山火山地質區中以 B 區(大屯里聚落)、C 區(重和里聚落)及 F 區(水源里聚落)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：火成岩、坡面型土石流、分析單元、判釋模式、潛勢分級

目次

摘要	I
目次	III
表次	V
圖次	VI
第一章 前言	1
第二章 計畫項目及時程進度	3
第一節 本年度計畫工作項目	3
第二節 工作進度	3
第三章 相關文獻	5
第一節 坡面型土石流定義與分類	5
第二節 坡面型土石流與岩屑崩滑之差異	8
第三節 坡面型土石流特性	10
第四節 坡面型土石流之判釋地形特徵	12
第五節 分析單元定義	13
第四章 研究區域及方法	17
第一節 研究區域	17
第二節 研究方法及流程	18
第五章 研究成果	24
第一節 研究區地質概況	24
第二節 聚落周邊坡面型土石流現地查核	28
第三節 聚落周緣山坡之坡面分析單元劃分	42
一、崩塌坡面分析單元劃分方法及程序	42
二、研究區崩塌坡面分析單元圈繪成果	45
第四節 建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫	47

一、坡面型土石流分析資料庫	47
二、分析模式因子	49
第五節 大屯山火山岩區坡面型土石流判釋模式	66
一、精進坡面型土石流判釋模式	66
二、坡面型土石流判釋模式驗證	71
三、研究區坡面型土石流判釋成果	73
第六節 大屯山火山岩區坡面型土石流地形潛勢分析模式	81
一、潛勢分級分界指標訂定	81
二、5 處聚落坡面型土石流潛勢評估成果	82
三、聚落潛勢分級成果討論	87
四、各聚落潛勢分級成果討論	89
第六章 結論	92
參考文獻	94
附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形	99
附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形	104

表次

表 2-1 計畫工作進度表	4
表 3-1 崩塌與坡面流動之判釋基準(游繁結，2005).....	8
表 3-2 各類崩塌形態比較表(呂岡侃與徐美玲，2004).....	10
表 5-1 山區聚落涵蓋範圍	24
表 5-2 區別分析之各因子使用代號表	49
表 5-3 皮爾森相關係數分析結果	66
表 5-4 皮爾森相關係數分析結果(續).....	67
表 5-5 皮爾森高相關性因子表	67
表 5-6 區別分析結果.....	69
表 5-7 七因子相關性檢定結果	69
表 5-8 坡面型土石流與崩塌之驗證點位	72
表 5-9 驗證區區別分析結果	72
表 5-10 大屯山火山岩區分析單元判釋成果及捕捉率	80
表 5-11 各區潛勢成果案例統計	89

圖次

圖 3-1 邊坡型(左)與山谷型(中)溪床型(右)(吳素慧，1997).....	6
圖 3-2 九種基本坡型(PARSONS, 1988).....	9
圖 3-3 集水區範圍示意圖(底圖來源:GOOGLE EARTH)	13
圖 3-4 臺北市南港區崩塌分析單元劃定圖(歐陽希，2008)	14
圖 3-5 斜坡縱斷面之遷移點示意圖 (GILES AND FRANKLIN, 1998)	15
圖 3-6 以一級河集水區為例之斜坡單元示意圖 (簡瑋延，2011)	16
圖 4-1 研究聚落位置.....	17
圖 4-2 研究流程圖.....	19
圖 5-1 研究區地質概況圖	25
圖 5-2 新北市淡水區樹興里(A 區).....	25
圖 5-3 臺北市北投區大屯里(B 區).....	26
圖 5-4 新北市金山區重和里(C 區).....	26
圖 5-5 臺北市北投區湖田里(E 區).....	27
圖 5-7 A 研究區內坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況.....	32
圖 5-8 B 研究區內坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況.....	35
圖 5-9 C 研究區內坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況.....	37
圖 5-10 E 研究區內坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況	39
圖 5-11 F 研究區內坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況	41
圖 5-12 崩塌坡面分析單元圈劃流程圖	43
圖 5-13 災前 DEM	44
圖 5-14 600 格/1.5 公頃	44
圖 5-15 200 格/0.5 公頃	44
圖 5-16 坡面分析單元	44
圖 5-17 A 區分析單元圈畫成果圖	45

圖 5-18 B 區分析單元圈畫成果圖	45
圖 5-19 C 區分析單元圈畫成果圖	46
圖 5-20 E 區分析單元圈畫成果圖	46
圖 5-21 F 區分析單元圈畫成果圖	46
圖 5-22 坡面型土石流 HDF 及 NDF 事件分布圖	48
圖 5-23 發生區圈畫示意圖(陳柏龍 2013)	50
圖 5-24 分析單元高程差與隘口 (Ho 之位置) 高程差之示意圖	51
圖 5-25 流動段長度示意圖	52
圖 5-26 集水區形狀，狹長形(左)及寬圓形(右)(何明憲，2003)	54
圖 5-27 溪谷地形之定義(日本國土技術政策總和研究所，2007)	55
圖 5-28 集水區面積分佈情況	57
圖 5-29 有效集水指標分佈情況	58
圖 5-30 流動段長度分佈情況	59
圖 5-31 集水區形狀係數分佈情況	60
圖 5-32 發生區形狀係數分佈情況	60
圖 5-33 形狀係數比分佈情況	61
圖 5-34 隘口深寬比分佈情況	62
圖 5-35 流動段深寬比分佈情況	62
圖 5-36 發生區深寬比分佈情況	63
圖 5-37 集水區平均坡度分佈情況	64
圖 5-38 發生區平均坡度分佈情況	64
圖 5-40 坡面型土石流與崩塌之區別函數分佈圖	70
圖 5-41 土石流發生三大條件之特性因子影響率	71
圖 5-42 HDF 與 NDF 之驗證點位與母體之區別函數分佈圖	73
圖 5-43 A 邊坡單元判釋結果(樹興里聚落)	74
圖 5-44 B 邊坡單元判釋結果(大屯里聚落)	75
圖 5-45 C 邊坡單元判釋結果(重和里聚落)	76
圖 5-46 E 邊坡單元判釋結果(湖田里聚落)	77

圖 5-47 F 邊坡單元判釋結果(水源里聚落).....	78
圖 5-48 分界指標 0 與 1 之潛勢分級結果	81
圖 5-49 A 集水區潛勢分析結果	82
圖 5-50 B 集水區潛勢分析結果.....	83
圖 5-51 C 集水區潛勢分析結果	84
圖 5-52 E 集水區潛勢分析結果.....	85
圖 5-53 F 集水區潛勢分析結果.....	86
圖 5-54 聚落(5 處)周緣坡地分析單元潛勢分析結果.....	87
圖 5-55 實際發生坡面型土石流案例之潛勢分級結果	88
圖 5-56 判釋模式分析後捕捉到之坡面型土石流案例潛勢分級結果	89
圖 5-57 研究區 5 處聚落判釋結果統計圖	91
圖 5-58 研究區 5 處聚落判釋結果百分比統計圖	91

第一章 前言

臺灣全島現今(109 年)土石流潛勢溪流計 1726 條，依據 109 年水土保持局土石流防災資訊網提供之「土石流潛勢溪流基本資料」，依類型:溪流型為 1662 條，坡面型為 62 條，另有侵蝕溝 2 條。溪流型土石流為主要型態，其以位於河道的為主，其危害區位相當明確，主要位於河道、河岸及出口三區位。而坡面型土石流，以有效集水區大於 1.5 公頃以上之溝壑為主，其規模較小，多出現於山坡或河岸地形，惟僅 62 處納入土石流潛勢溪流防災管理。

臺北市及新北市位於大屯山火山群周邊，為全國人口最為密集之區域，亦是產經高度發展區域。然近年全球氣候變遷，強降雨長延時之降雨事件逐漸增加，此種降雨型態易致生坡面型土石流，加劇土石流災害之威脅。如 2000 年 9 月 5 日陽明山地區豪雨，時雨量超過 100mm，造成北投及淡水地區多處邊坡發生坡面型土石流災害，二名居民遭沖失或掩埋，數十戶房屋遭損毀或掩埋。2000 年秋天颱風象神及 2001 年納莉颱風亦造成新北市金山區重和里坡面型土石流，聚落遭泥流掩埋等重大土砂災害。國外方面，如 2012 年 7 月 11 日日本地區豪雨，九州阿蘇市一之宮町坂梨地區 6 人遭坡面型土石流埋沒，十數間民房遭沖毀或掩埋。2014 年 8 月廣島豪雨致使數聚落周邊山溝發生多起坡面型土石流，造成 73 人傷亡。前述再再顯示出火山地質區之坡面型土石流災害有相當高之發生潛勢。

臺灣北部大屯山區分布於大臺北地區之東北角，有上百聚落分佈於山坡地區其間，同時山腳緊鄰都會市區。於現今氣候變遷狀況下，坡地聚落若出現坡面型土石流，因其緊鄰聚落或將直接衝擊社區，將形成小規模災害但高危害及災損的高風險災害狀況。

坡面型土石流常位於坡面且無明顯地形特徵，在未發生前一般不易警覺。且若前述土石流潛勢區域尚未判釋圈畫，納入土石流潛勢溪流或大規模崩塌影響範圍區管理，可能致使居民產生安全無虞之假象。因此，聚落周緣山坡若事前能區分出可能崩塌或坡面型土石流的位置及潛勢，即可提高災害管理效能，保障居民安全。

本計畫以臺灣北部大屯山火山地區研究區，採用地形特性觀念，預期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。研究區選定大屯山火山地質區內臺北市及新北市 5 處山區聚落，包括：新北市淡水區樹興里、水源里、金山區重和里、及臺北市北投區大屯里、湖田里等，進行室內與現地調查及判釋模式與潛勢評估方法研發。

第二章 計畫項目及時程進度

第一節 本年度計畫工作項目

本計畫首先進行崩塌及坡面型土石流分析單元方法與發生區位判釋模式研究。先期收集實際災害案例，圈劃分析單元，產製 19 項特性因子，建置成分析資料庫，再進一步研擬最佳判釋模式及潛勢分級方法；最後，再完成 5 處聚落鄰近山坡之判釋及潛勢分級評估。

基於達成計畫目標，本年度研究工作項目如下：

1. 臺灣北部大屯山火山地形、地質及遙測圖資建置
2. 研究區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
4. 建立北部大屯山火山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 109 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 計畫工作進度表

工作項目	月次	109 年											
		2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
1. 臺灣北部大屯山火山地形、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													
4. 建立北部大屯山火山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													
進度累積百分比(%)		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	

第三章 相關文獻

就地形區位觀點，土石流可分為溪流型(Channelized debris flow)與坡面型(Unchannelized / Hillslope 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劇烈天氣事件或大地震後降雨(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

臺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，本研究採發生區位觀點，沿用 Jomelli 等人 (2007)稱之為坡面型土石流(Hill Slope Debris Flow, HDF)。此外，另有部份研究依土砂運動型態，稱之為流體化崩塌(Fluidized Landslide Slope)。

就發生區位而言，坡面型土石流源頭常位於小溝壑地形，常為溪流型土石流流動段兩側邊坡上，與崩塌與地滑之發生區位較為類似，成為溪流型土石流料源之一。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。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。

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，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)

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。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(2005)等人，將火災山區域邊坡土體運動方式，除表土沖蝕外，分為崩塌與坡面流動（流體化崩塌，Fluidized Landslide Slope）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)等人針對火災山區域研究中，除表土沖蝕外，崩塌與坡面流動兩種型態(其詳細內容如上節(1)、(2)所述)，這兩種型態之判釋基準如表 3-1 所示。

表3-1 崩塌與坡面流動之判釋基準(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

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)，顯示火災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。

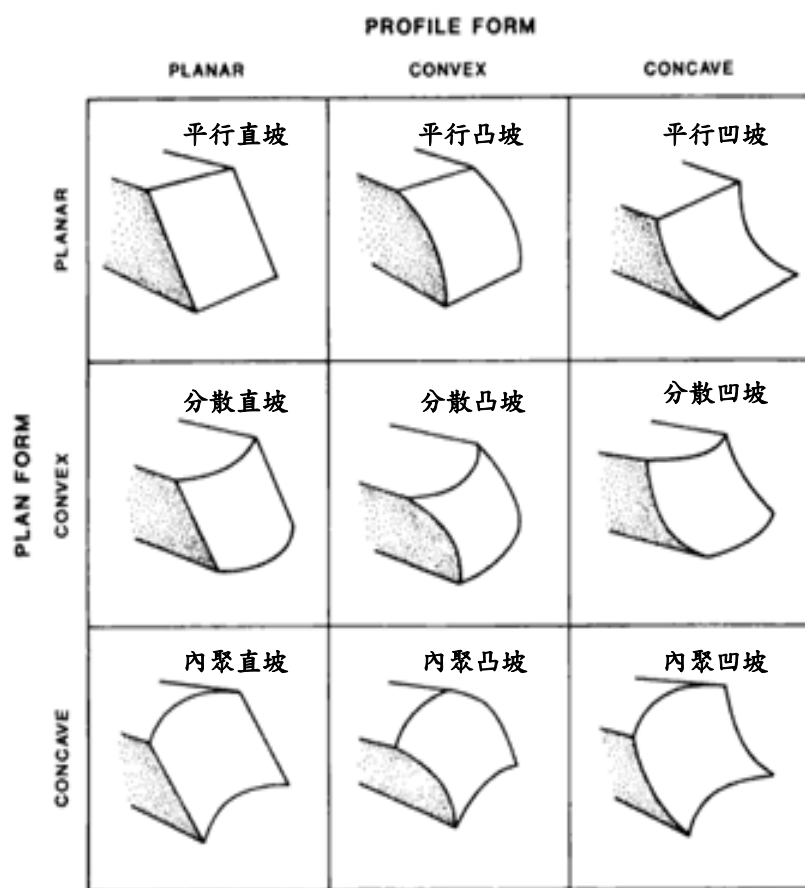


圖 3-2 九種基本坡型(Parsons, 1988)

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	 平行壳坡
岩屑滑崩	碗狀	坡頂	有 (2至4公尺)	 內聚壳坡
邊坡型土石流	碗狀	全邊坡	有 (4至6公尺)	 內聚壳坡

第三節 坡面型土石流特性

本研究引述王振宇(2012) 綜整文獻中坡面型土石流之地形產狀及材料特徵如下：

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，且事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地形特徵

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徵如下：

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) 發生於溝壑或坡面地形，且不具明顯溪谷
- (2) 災前崩塌源頭地形為凸坡或平直坡
- (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。上述 12 項特徵經與坡面型土石流實例比對，均具有高符合率。

第五節 分析單元定義

一、集水區定義及劃分

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。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。

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)

集水區劃定，為採地理資訊系統(GIS)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視數值地形模型資料之解析度及設定參數而有所變異。

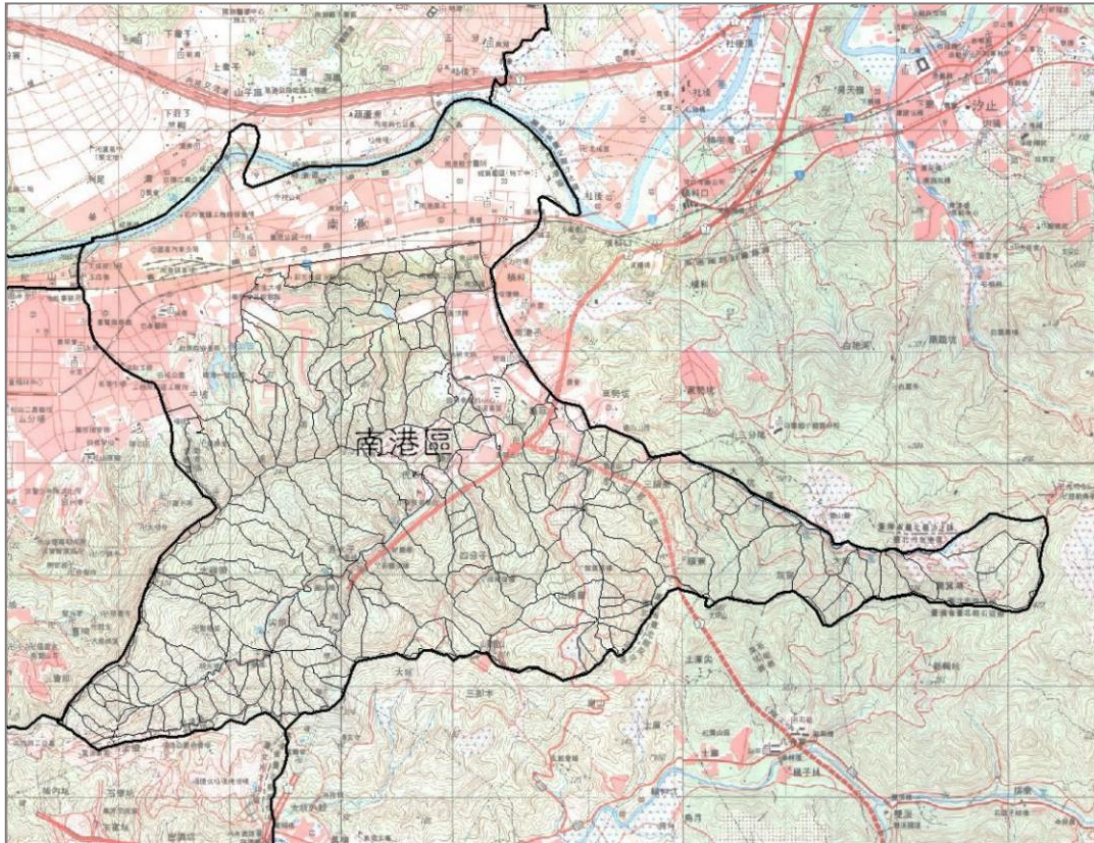


圖 3-4 臺北市南港區崩塌分析單元劃定圖(歐陽希，2008)

陳天健等人(2016) 提出一坡面型土石流地形判釋方法，其採以次集水區觀念劃分出坡面型土石流分析單元，成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，以遷移點 (knick point) 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，圖中有三個遷移點，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。

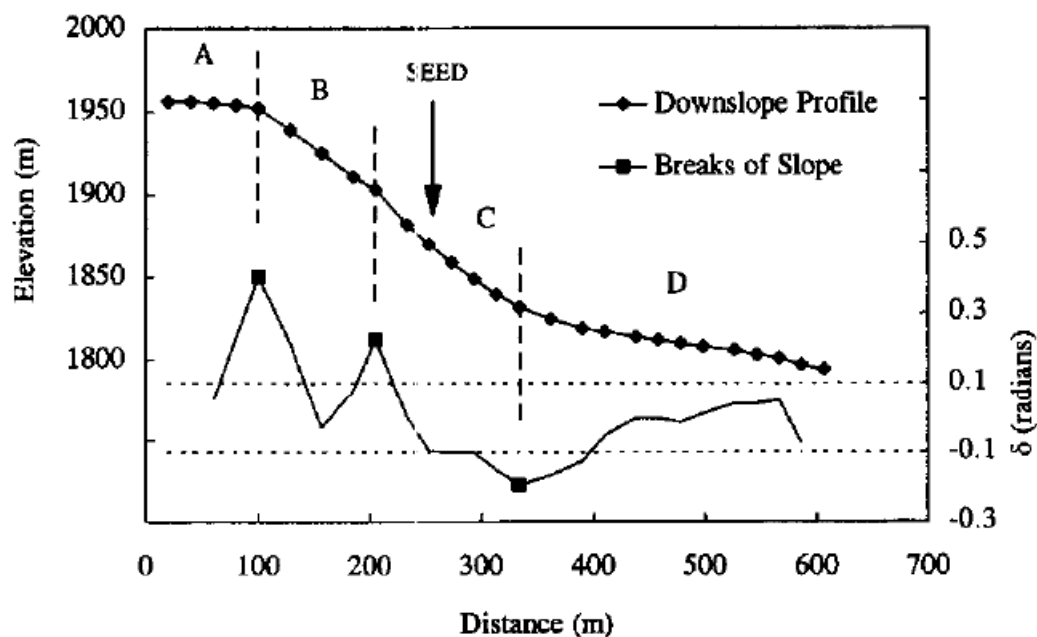


圖 3-5 斜坡縱斷面之遷移點示意圖 (Giles and Franklin, 1998)

(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。

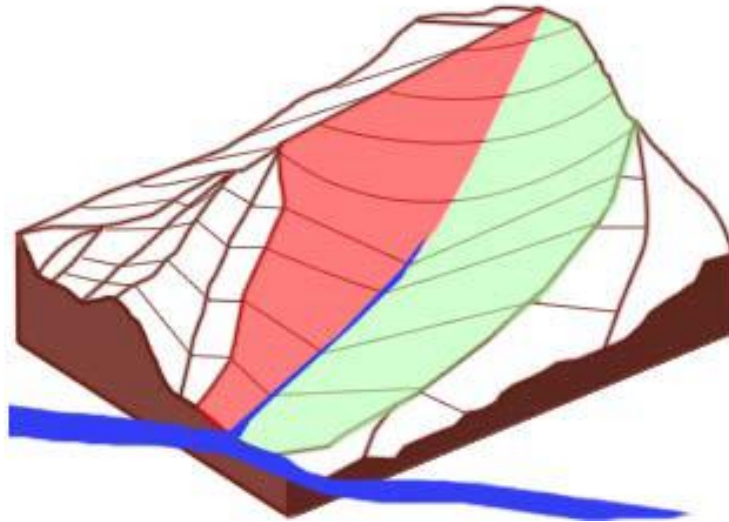


圖 3-6 以一級河集水區為例之斜坡單元示意圖 (簡瑋延, 2011)

第四章 研究區域及方法

第一節 研究區域

本計畫研究區域主要為北部大屯山火山地質區內，臺北市及新北市 5 處山區聚落，包括：新北市淡水區樹興里、水源里、金山區重和里及臺北市北投區大屯里、湖田里等，如圖 4-1 所示。本研究選用曾有災害歷史，以提供判釋模式及潛勢成果之驗核，進行分析模式研發。



第二節 研究方法及流程

坡面型土石流之特性，其多出現於大地震震後降雨或劇烈天氣事件(如 1999 年集集地震、2004 年敏督利與 2009 年莫拉克颱風等)，其區位主要位於邊坡之溝壑或坡面，起初小規模之崩塌，土砂匯流地表逕流後形成坡面型土石流向下方輸送，造成之災害規模及影響區均較單純崩塌為大，主要危害空間集中於銜接坡面處或溝壑出口。

本研究團隊綜合地形特性研究成果顯示：坡面型土石流發育前即已具有初期沖蝕地形，多發生於山坡小溝壑之坡面單元，集水區較溪流型土石流小，料源來自小規模崩塌地匯聚地表逕流，沿重力方向或溝壑流動；在流動過程中有劇烈槽化作用，遭侵蝕之材料更加大土石流規模。

本年度計畫研究流程，如圖 4-2 所示。

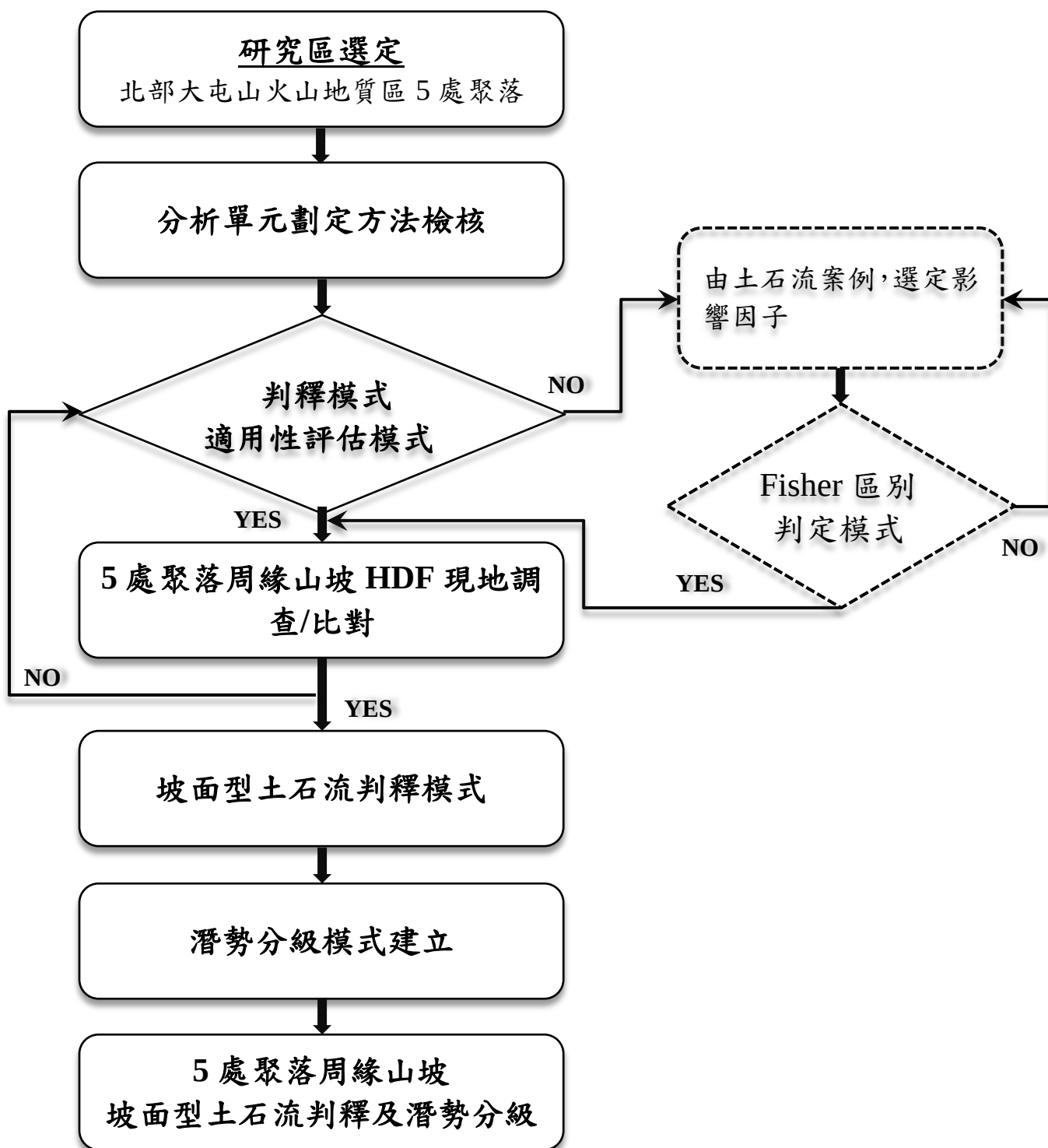


圖 4-2 研究流程圖

以下簡要說明本年度各項工作：

一、臺灣北部大屯山火山地形、地質及遙測圖資建置

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）及近年 LiDAR（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、研究區坡面型土石流與淺層崩塌事件與相關文獻蒐集及彙整

本研究蒐集火成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，亦根據水保局重大土砂災例之災害類型判定崩塌或土石流者為依據，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、產狀材料等調查與修補

除收集現有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。

四、建立北部大屯山火山地質區坡面型土石流判釋模式

本項工作包括：

(一) 大屯山火山地質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。聚落周緣山坡地，同時具有一般崩塌及坡面型土石流兩種土砂運移型態。

坡面分析單元劃分方法之良窳，影響崩塌坡面與坡面型土石流地形判釋之效率，因此本研究深入研究大屯山火山地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 5X5m DEM 劃定該案例所在集水區範圍，初步產生邊坡分析單元之範圍，坡面型土石流以 HDF 表示，僅具崩塌坡面建置以 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，針對大屯山火山群地區聚落周緣之山坡逐一劃定分析單元。

(二) 判釋分析因子選取

本研究續以前期發展的技術，進行崩塌單元與坡面型土石流單元之地文、水文、崩塌等因子資料產製，同時建置成統計分析資料庫。本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、地形形狀等共 19 項資料，以作為判釋模式之分析因子。潛勢因子如下：

■集水區面積(WA)

■集水區坡面平均坡度(HASw)

- 集水區平均寬度(W)
- 發生區坡面平均寬度(HASI)
- 發生區形狀係數(FI)
- 發生區平均寬度(WI)
- 發生區起伏比(TRI)
- 發生區深寬比(HARI)
- 崩塌潛感面積(LSA)
- 流動段長度(Lf')
- 流動段高程差(DHT)
- 流動段平均坡度(HART)
- 流動段深寬比(AST)
- 流動段起伏比(TRT)
- 有效集水指標(EWAI)
- 崩塌潛感面積比(RLSA)
- 形狀係數比(FR)
- 坡面平均坡度比(HASR)
- 隘口高程比(DHPR)

(三) 建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫

本研究進一步針對 5 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。因子定義及分析成果將於後章詳述。

(四) 建立坡面型土石流判釋模式

本研究團隊嘗試考慮地形、集水區、水文等各項特性，

彙整大屯山火山岩區坡面型土石流及崩塌發生之歷史案例，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。

分析工具採用費雪(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。

五、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

本研究應用前項研發之坡面型土石流判釋模式，針對火成岩區 5 處研究聚落進行土石流案例捕捉率測試。分析成果再回饋修訂模式，最後，獲得聚落周緣之坡面型土石流地形區位(空間分布)預測模式。

六、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 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 之間為中潛勢區，區別函值大於 1 為高潛勢區。本年度以 5 個聚落作為驗證樣本群，擬訂更適切之分級模式，最後獲得坡面型土石流潛勢分級。

第五章 研究成果

第一節 研究區地質概況

本計畫研究區域為臺灣北部大屯山火山地質區為主，其地質概況如圖 5-1 所示。大屯火山群分佈於陽明山國家公園內，是臺灣主要的火山分佈區，地質構造多屬安山岩；外型特殊的錐狀或鐘狀火山體，及火山口、火口湖，構成本區獨特的地質地形景觀。噴氣孔與溫泉是大屯火山區常見的火山地形產物，主要分佈於北投至金山間的「金山斷層」周邊；它們的形成，在於地表水下滲地底，被地下熱源加熱後，再由地殼裂隙冒出地面，形成火山活動的特殊景觀；區內的大、小油坑、馬槽、大磺嘴等地，都可見到強烈的噴氣孔活動。大屯火山群的火山噴發產物包括：厚層熔岩流、灰落堆積物、火山碎屑流和火山泥流等。

本年度研究區擇定臺北市及新北市等 5 處山區聚落，分別為新北市淡水區樹興里、水源里、金山區重和里及臺北市北投區大屯里、湖田里 (如圖 5-2 至圖 5-6)，進行模式研發。其 5 區集水區周緣聚落涵蓋範圍彙整如表 5-1 所示。

表5-1 山區聚落涵蓋範圍

聚落位址	涵蓋社區範圍
A 區 新北市淡水區樹興里	■ 樹興里 1 鄰白石腳社區 ■ 樹興里 3 鄰箕箕湖社區 ■ 樹興里 5~8 鄰興福寮社區
B 區 臺北市北投區大屯里	■ 大屯里 6、9 鄰社區
C 區 新北市金山區重和里	■ 12 鄰六股林口社區 ■ 13 鄰磺溪頭社區
E 區 臺北市北投區湖田里	■ 湖田里 5、7 鄰竹子湖
F 區 新北市淡水區水源里	■ 水源里 4~7 鄰南勢埔社區 ■ 水源里 15~17 鄰山子頂社區

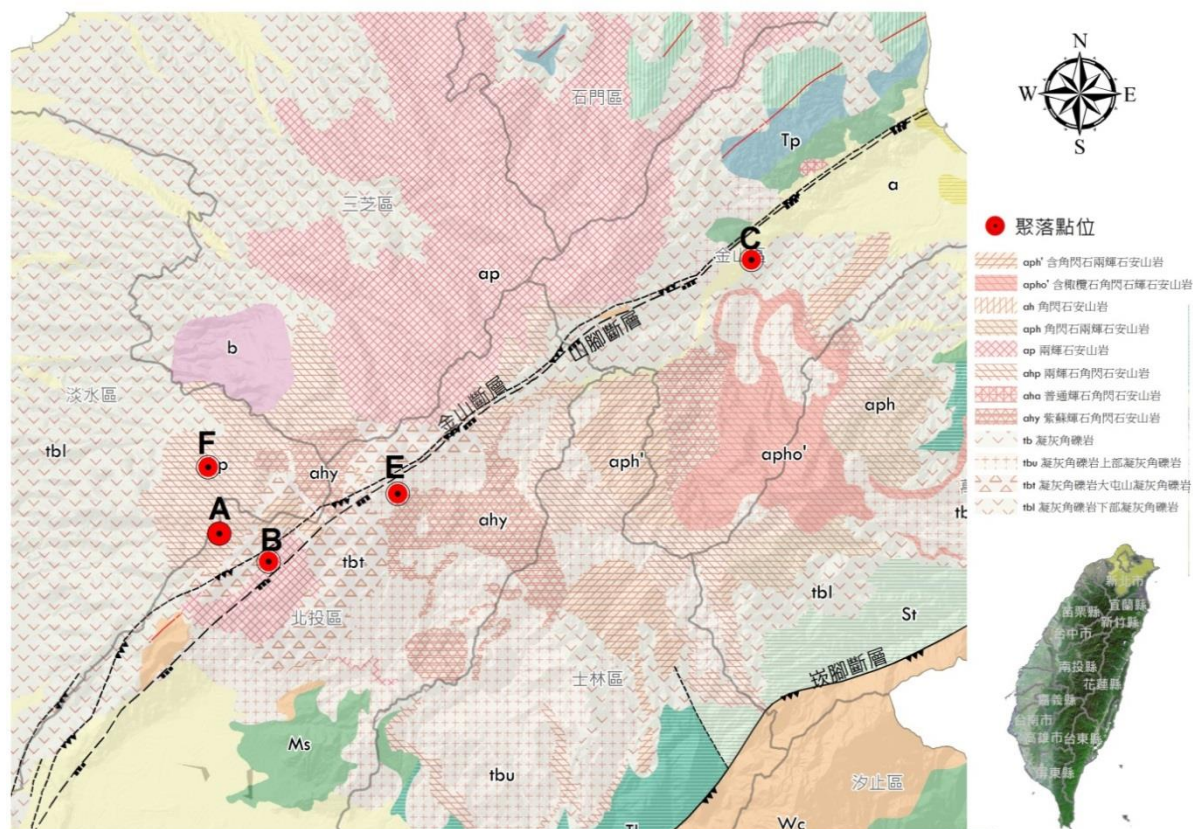


圖 5-1 研究區地質概況圖

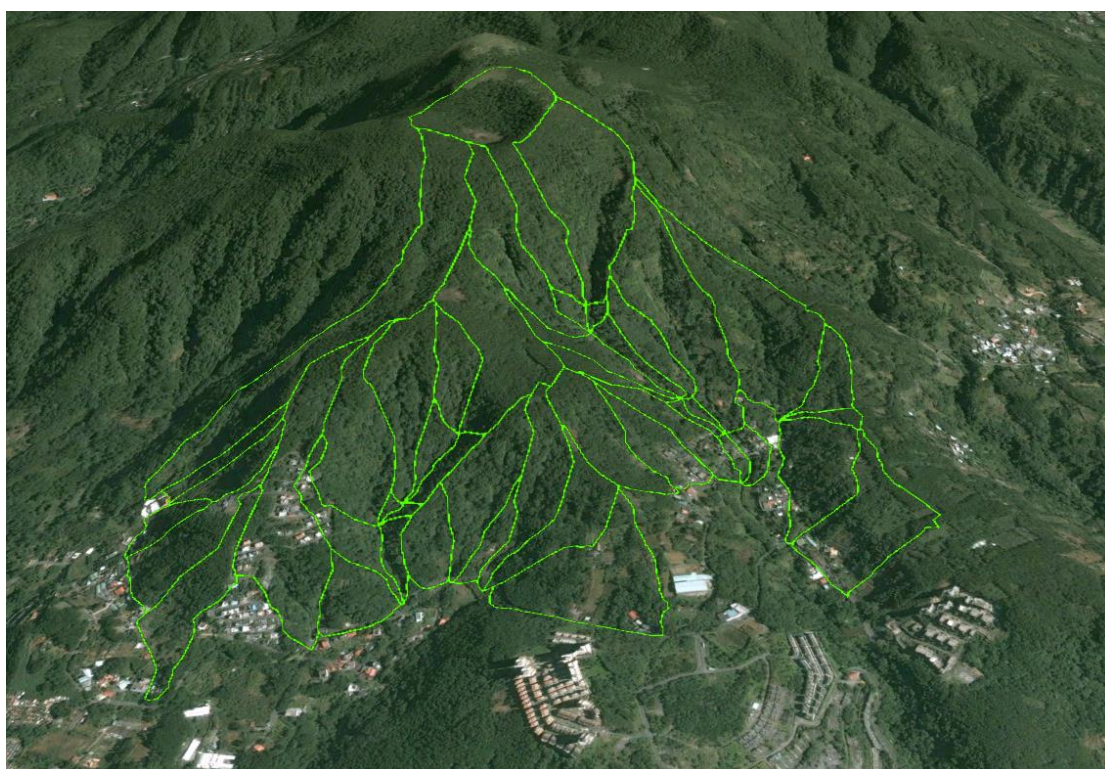


圖 5-2 新北市淡水區樹興里(A 區)

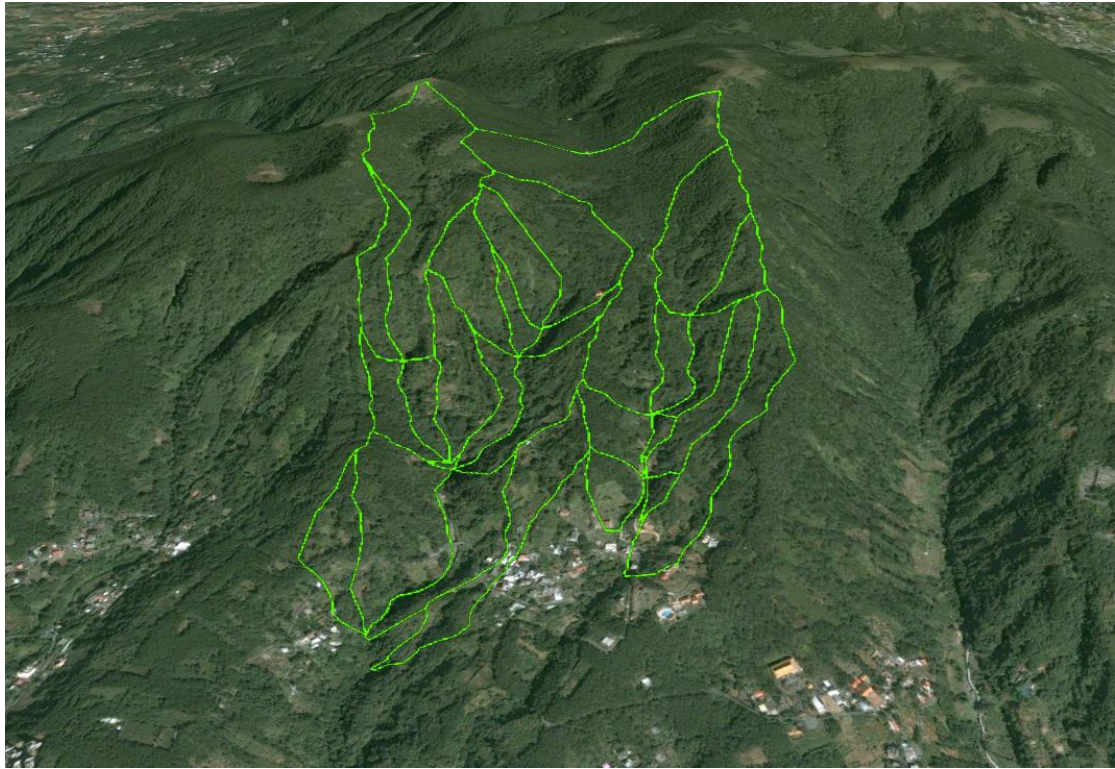


圖 5-3 臺北市北投區大屯里(B 區)

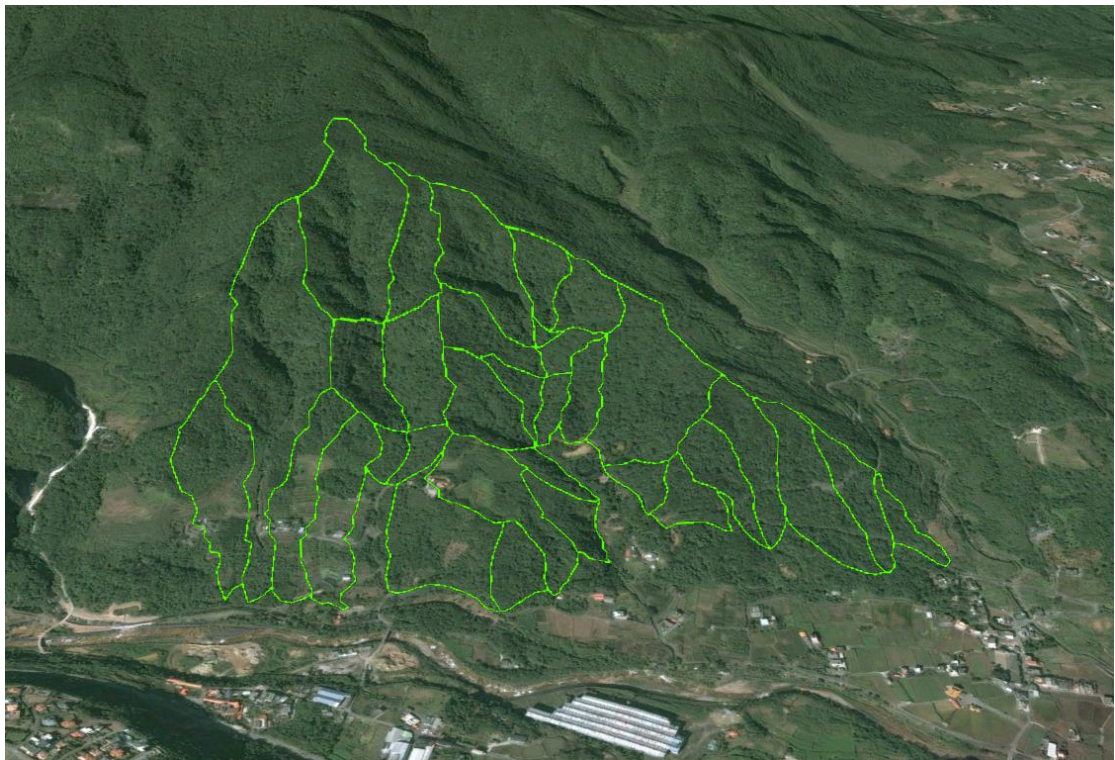


圖 5-4 新北市金山區重和里(C 區)

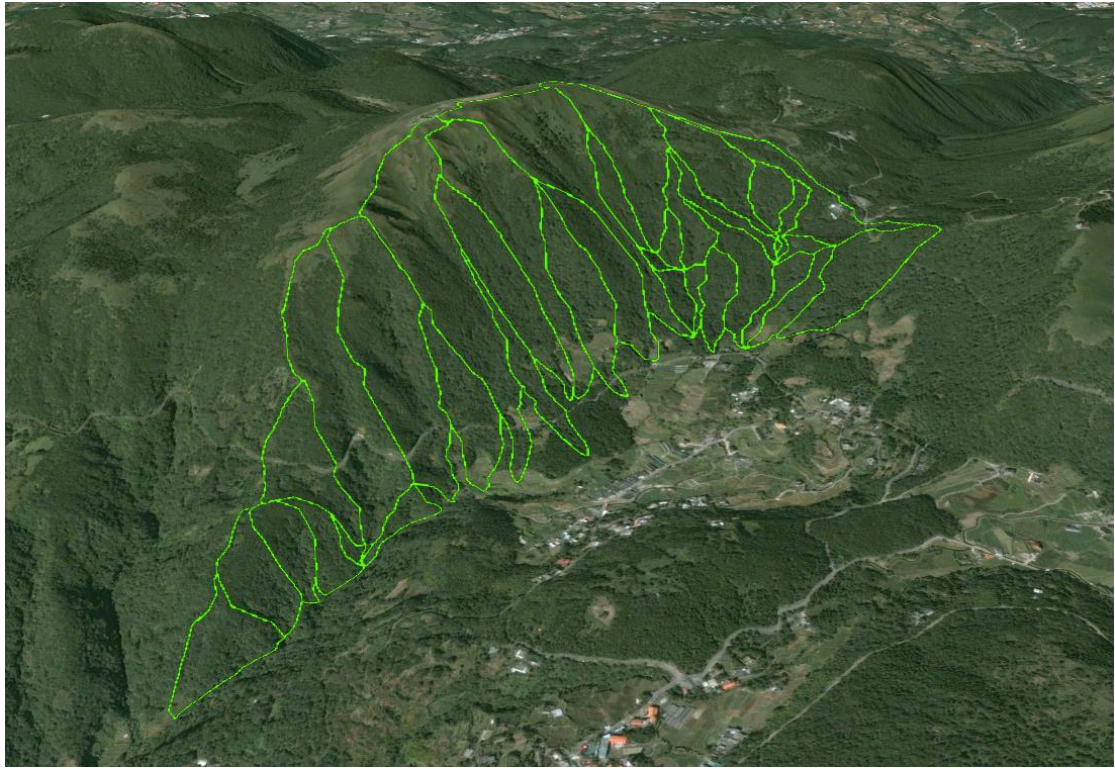


圖 5-5 臺北市北投區湖田里(E 區)

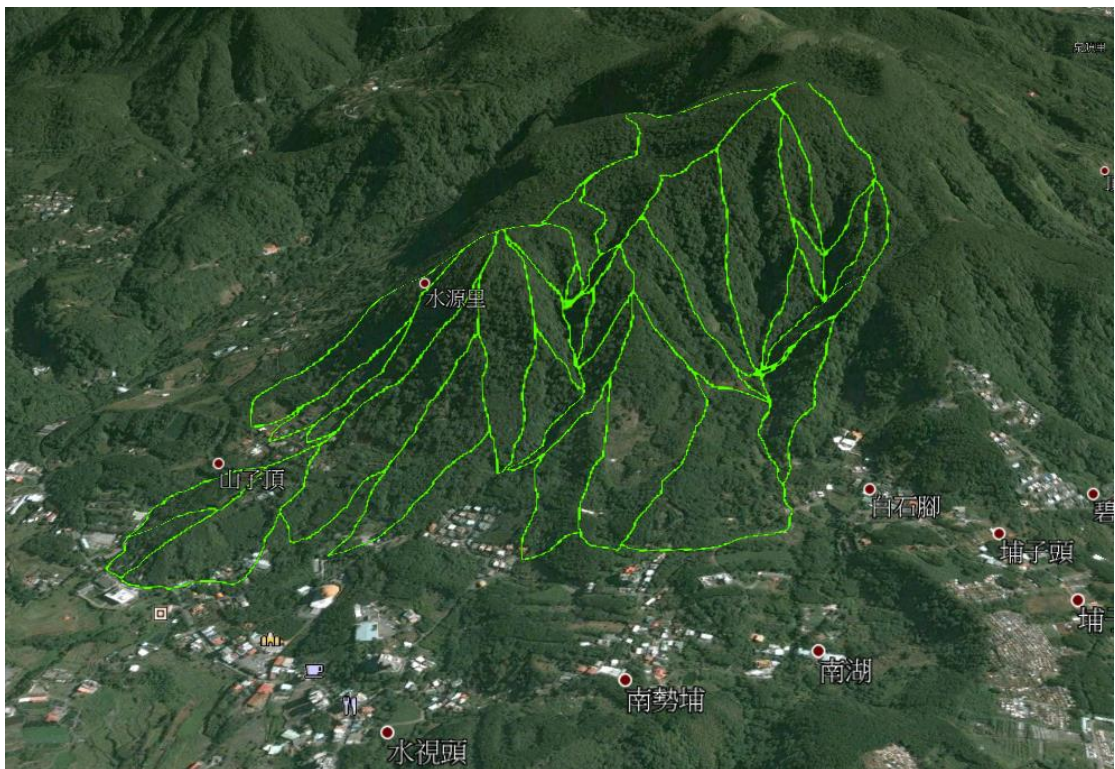


圖 5-6 新北市淡水區水源里(F 區)

第二節 聚落周邊坡面型土石流現地查核

本研究完成大屯山火山岩區 5 處聚落周邊山坡坡面型土石流現地查核。針對各聚落周邊山坡坡面型土石流現地實地勘查狀況，分別如圖 5-7 至圖 5-11 所示。

1. 針對 A 區- 新北市淡水區樹興里聚落周邊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，分別依據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 6 處，現地照片及其河道現況、土石堆積情況如圖 5-7 所示。

編號 A-01





編號 A-03



河道已有整治，目前雜草叢生，不易沿河道往內，現地查核於下游出口處仍依稀可見舊土石流堆積

編號 A-14



編號 A-14 非土石流堆積，乃為崩塌材料堆積

編號 A-13



編號 A-16



編號 A-18



圖 5-7 A 研究區內坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況

2. 針對 B 區-新北市淡水區大屯里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 3 處，現地照片及其河道現況、土石堆積情況如圖 5-8 所示。

編號 B-03



編號 B-08



舊土石流材料堆積



河道內土石流材料堆積分布

編號 B-09



圖 5-8 B 研究區內坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況

3. C 區-新北市金山區重和里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 1 處，該河道已有整治工程，其現地照片及河道土石堆積情況如圖 5-9 所示。

編號 C-12





圖 5-9 C 研究區內坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況

4. E 區-臺北市北投區湖田里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 2 處，現地照片及河道現況、土石堆積情況如圖 5-10 所示。

編號 E-05





編號 E-17



圖 5-10 E 研究區內坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況

5. F 區-新北市淡水區水源里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 2 處，現地照片及其河道現況、土石堆積情況如圖 5-11 所示。

編號 F-13



編號 F-14



圖 5-11 F 研究區內坡面型土石流河道及土石流材料搬運堆積現況

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 5 處聚落周緣之山坡分析單元，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 5-12 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 5-13 至圖 5-15 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 5-16)。

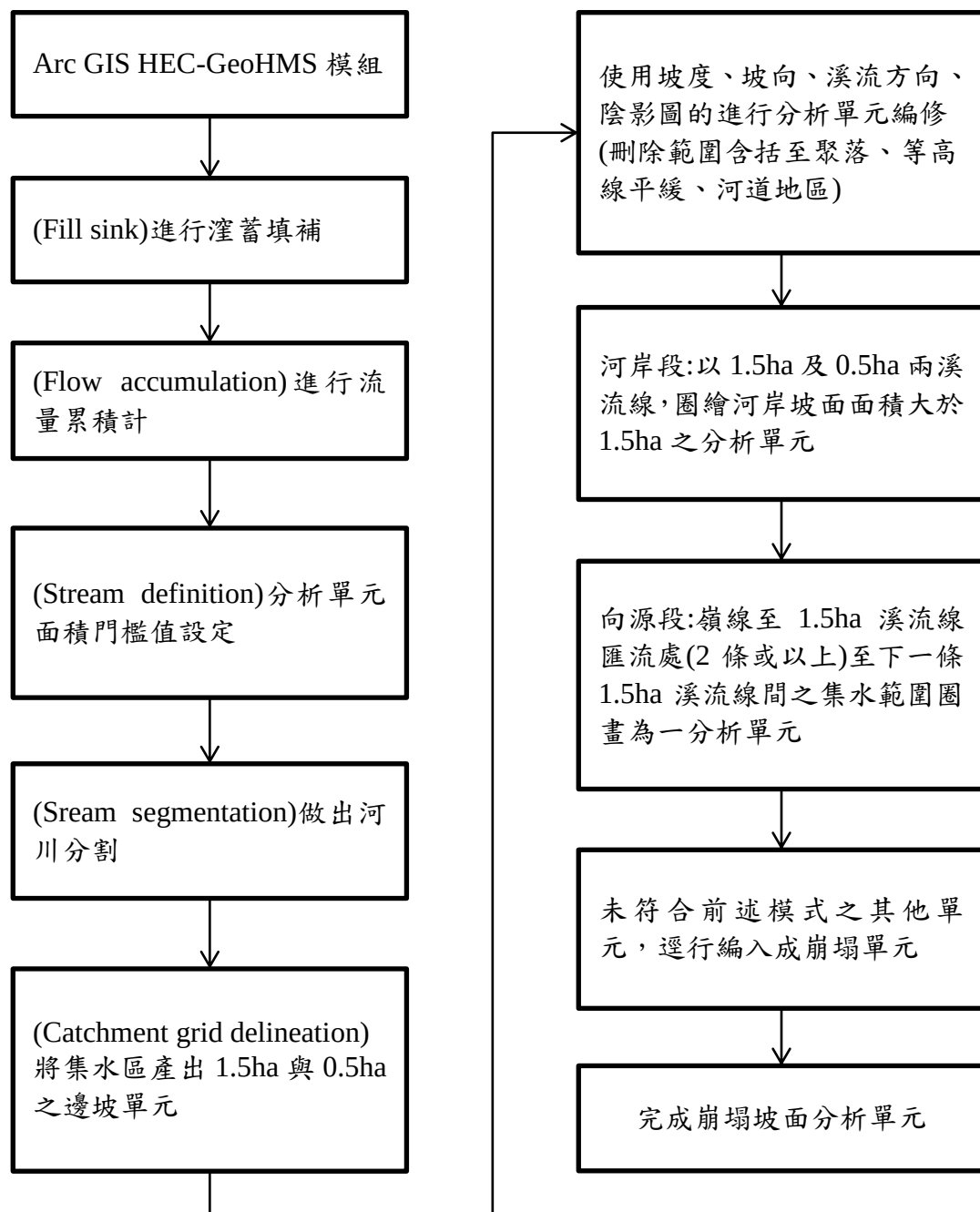


圖 5-12 崩塌坡面分析單元圈劃流程圖

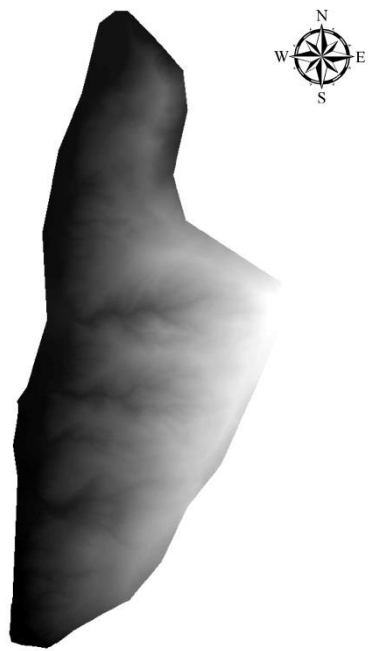


圖 5-13 災前 DEM

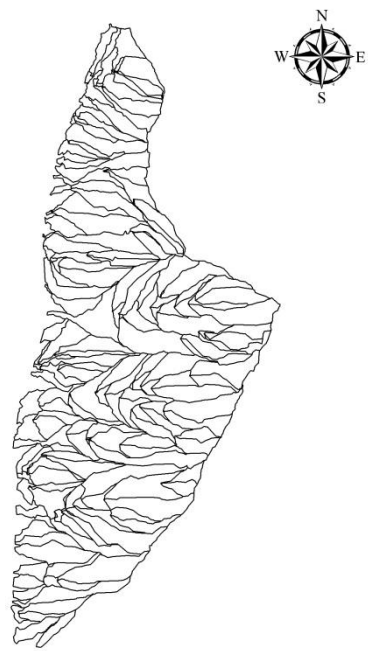


圖 5-14 600 格/1.5 公頃

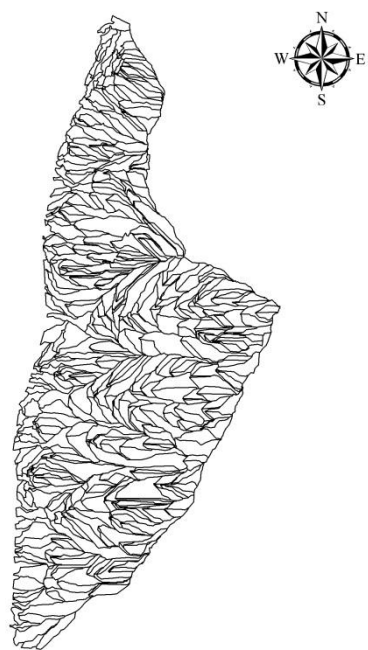


圖 5-15 200 格/0.5 公頃

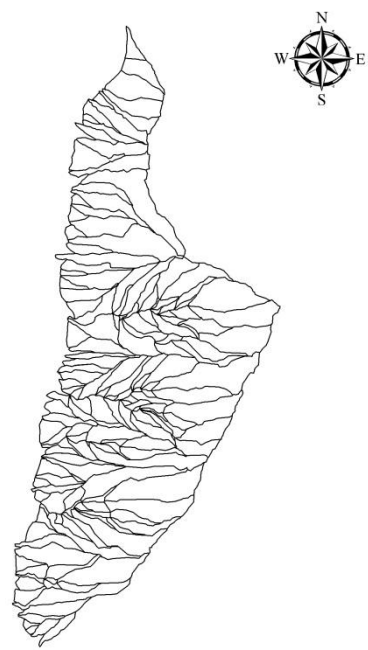


圖 5-16 坡面分析單元

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大屯山火山地質岩區各聚落位址之分析單元劃分，已完成 5 聚落之圈繪，成果如圖 5-17 至圖 5-21 所示。

其中，發生坡面型土石流案例之分析單元，於 A 區(新北市淡水區樹興里)18 處、B 區(臺北市北投區大屯里)12 處、C 區(新北市金山區重和里)12 處、E 區(臺北市北投區湖田里)21 處、F 區(新北市淡水區水源里)17 處，獲得分析單元數目共計為 80 筆。

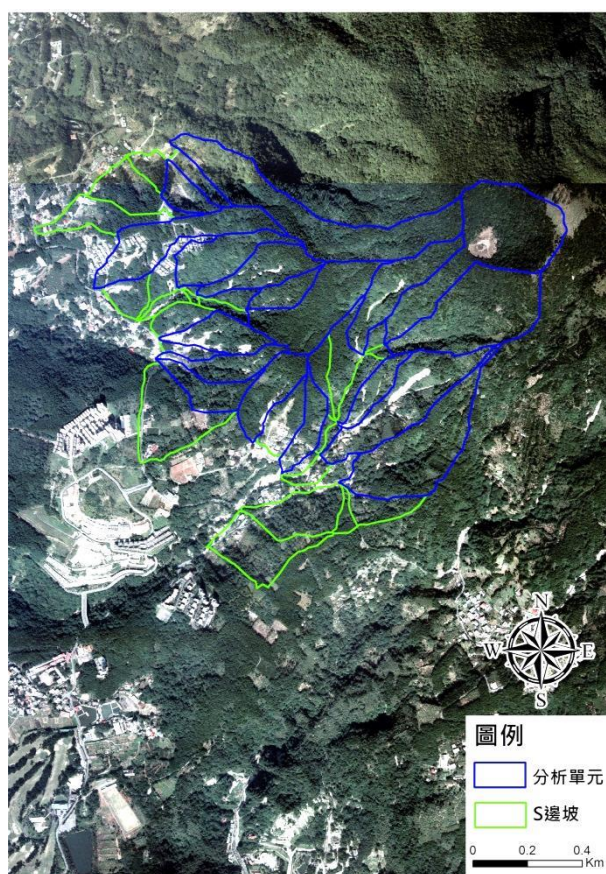


圖 5-17 A 區分析單元圈畫成果圖

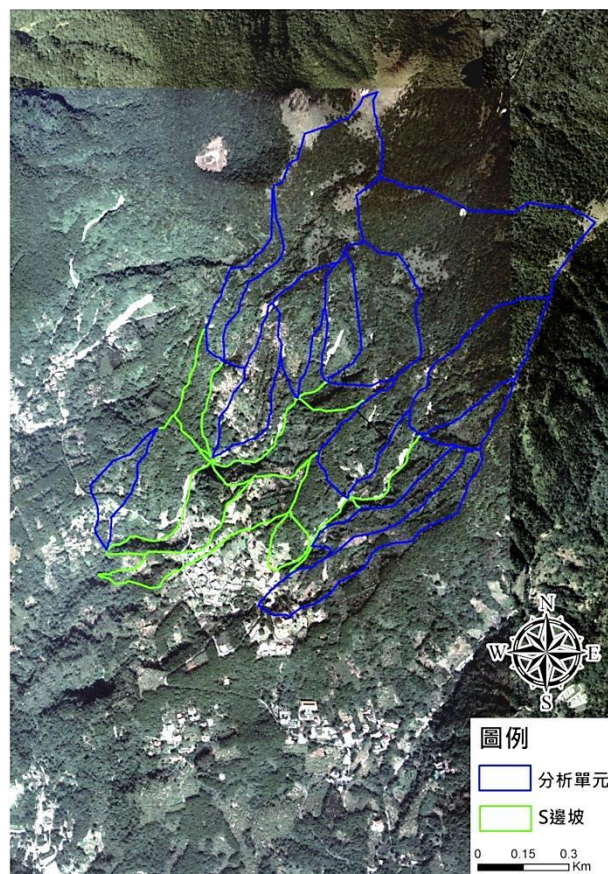


圖 5-18 B 區分析單元圈畫成果圖

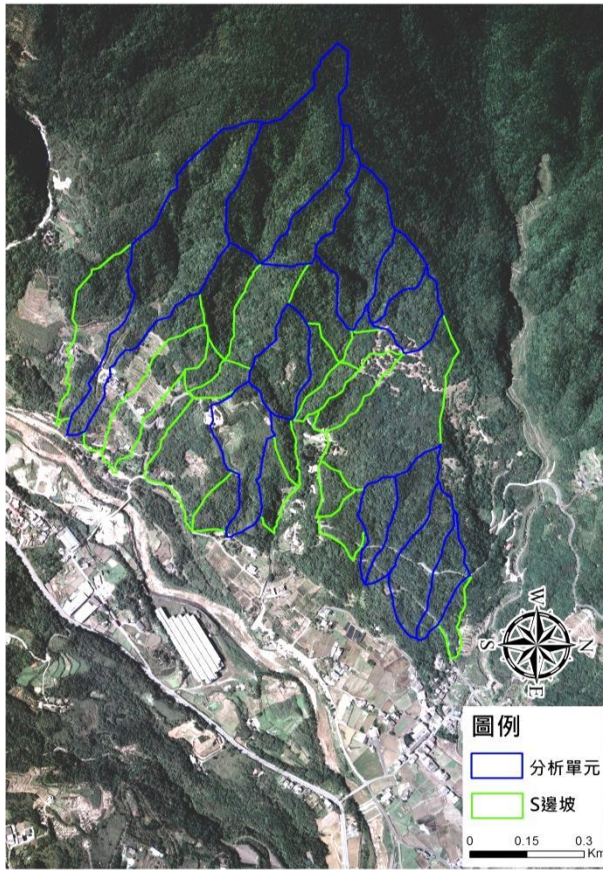


圖 5-19 C 區分析單元圈畫成果圖

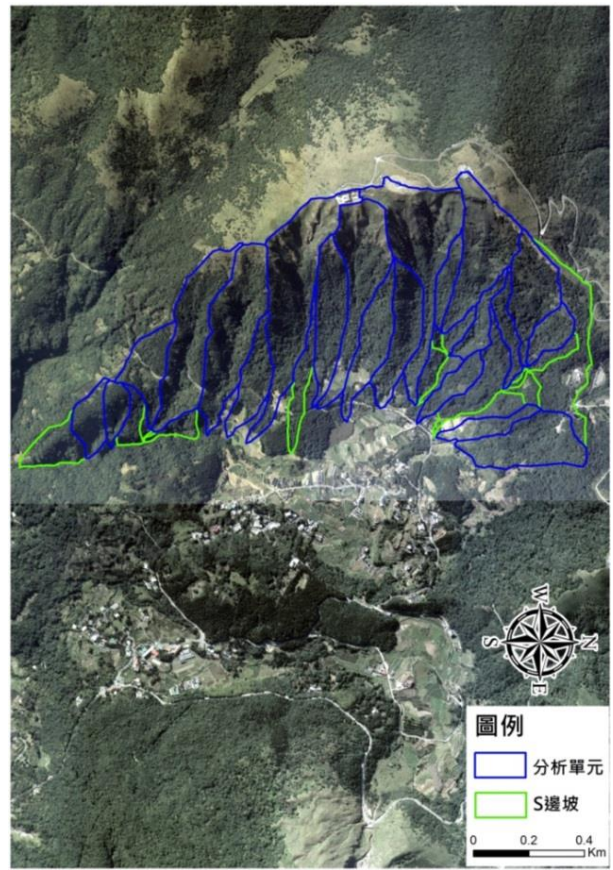


圖 5-20 E 區分析單元圈畫成果圖

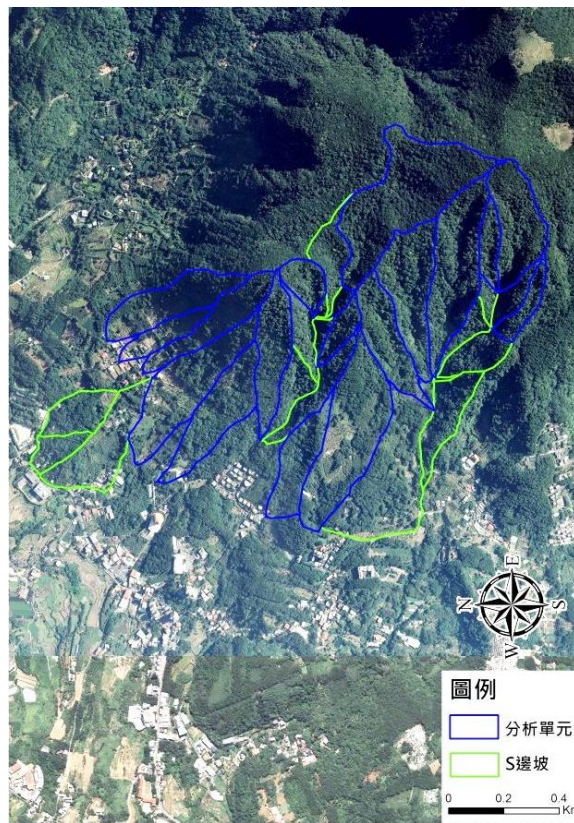


圖 5-21 F 區分析單元圈畫成果圖

第四節 建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫

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

一、坡面型土石流分析資料庫

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土石流分析單元資料各 42 處、驗證區資料各 5 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 5-22。

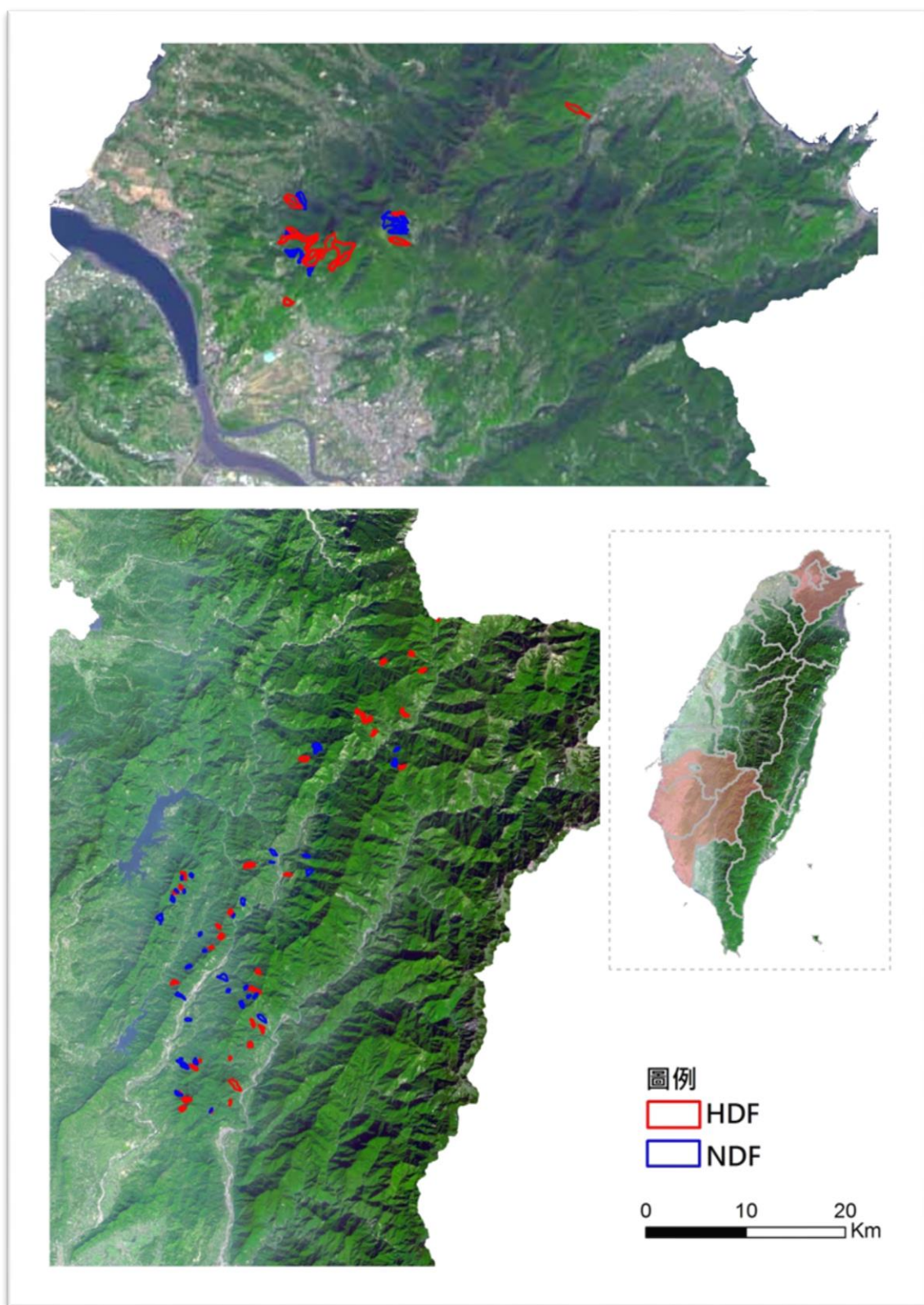


圖 5-22 坡面型土石流 HDF 及 NDF 事件分布圖

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，選用 19 項較適用於坡面型土石流之地文因子，因子如表 5-2 所示。下節說明較重要因子之定義及產製方法。

表5-2 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	WI
有效集水指標	EWAI	發生段深寬比	HARI
形狀係數比	FR	發生區坡面平均坡度	HASI
集水區平均寬度	W	發生區起伏比	TRI
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	DHT
崩塌潛感面積比	RLSA	流動段平均坡度	AST
集水區坡面平均坡度	HASW	流動段起伏比*	TRT
發生區坡面平均坡度比	HASR	流動段深寬比	HART
發生區形狀係數	FI		

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 5-23 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閾值以 0.005km^2 時，與現況吻合度最高。



圖 5-23 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 5.1:

$$EWAI = \frac{EWA}{WA} \quad \text{式 5.1}$$

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 。

$$\Delta H_w = h_t - h_d \quad \text{式 5.2}$$

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 5-24 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)。

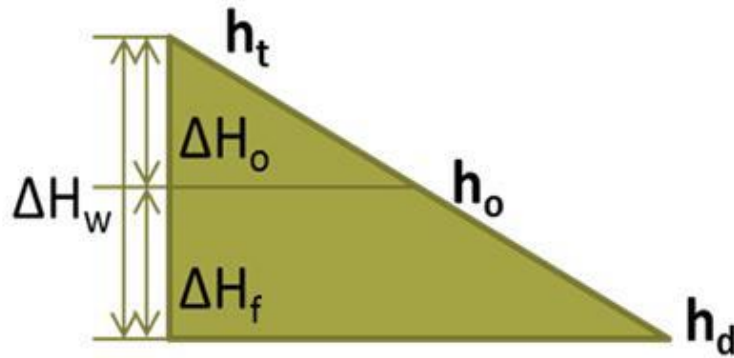


圖 5-24 分析單元高程差與隘口（ H_o 之位置）高程差之示意圖

以隘口高程差除以集水區高程差，可得隘口高程比 (式 5.3)，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)。

$$\text{隘口高程比} = \frac{\Delta H_o}{\Delta H_w} \quad \text{式 5.3}$$

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 5-25 所示。本文利

用式 5.4 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(°)。

$$L_f' = \frac{L_f}{\cos\theta_f} \quad \text{式 5.4}$$

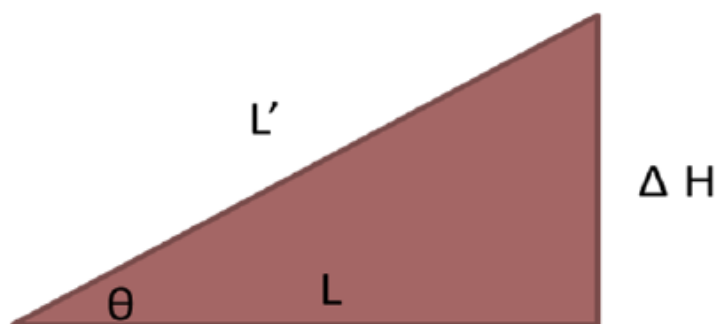


圖 5-25 流動段長度示意圖

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 5.5 取得發生區長度 L_o' (m)。

$$L_o' = L_w' - L_f' \quad \text{式 5.}$$

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：

$$\text{流動段平均坡度} = \theta_f = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta H_f}{L_f}\right) \quad \text{式 5.6}$$

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 5-26 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 5.7 計算集水區形狀係數 F_w 。

$$F_w = \frac{WA}{L_w'^2} \quad \text{式 5.7}$$

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。

$$F_o = \frac{EWA}{L_o'^2} \quad \text{式 5.8}$$

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 5.8 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：

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

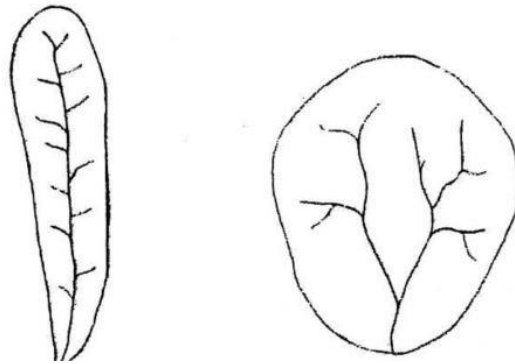


圖 5-26 集水區形狀，狹長形(左)及寬圓形(右)(何明憲，2003)

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(Lw')後，即可代入式 5.9 計算集水區平均寬度。

$$W_o = \frac{WA}{L_w}, \quad \text{式 5.9}$$

發生區平均寬度(Wo)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：

$$W_o = \frac{EWA}{L_o}, \quad \text{式 5.10}$$

式中，L_o'發生區長度(可由式 5.5 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(HARI)及流動段深寬比(HART)，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 5-27)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 5.11 計算深寬比。

$$HAR = \frac{b}{a} \quad \text{式 5.11}$$

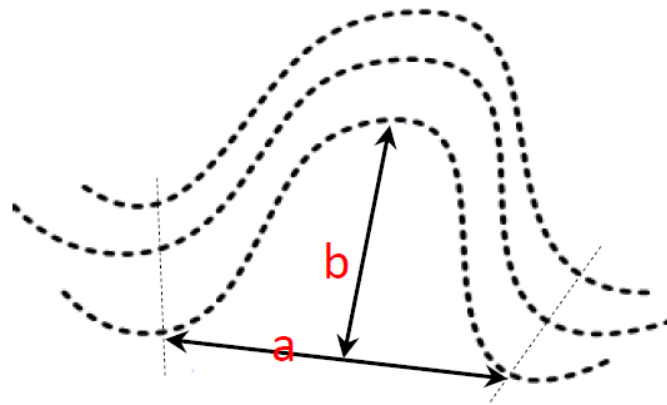


圖 5-27 溪谷地形之定義(日本國土技術政策總和研究所，2007)

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(TRI)、流動段起伏比(TRT)及集水區起伏比(TRW)，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 5.12 計算起伏比。

$$TR_i = \frac{\Delta H}{\text{集水區之水平距離}} \quad \text{式 5.12}$$

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：

$$RLSA = \frac{LSA}{WA} \times AAA\% \quad \text{式 5.13}$$

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

13. 集水區分析單元面積、有效集水指標

如圖 5-28 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，HDF 與 NDF 之集水面積並無明顯的分界，但隨著集水面積的增加，NDF 之案例數也有隨之減少的趨勢，且 HDF 與 NDF 之集水面積皆小於 30 公頃，佔總數百分比為 98%。

如圖 5-29 所示，有效集水指標即發生區面積與集水區面積之比值，有效集水指標越大，則代表發生區所佔的比例越大，流動段也相對較短。HDF 之有效集水指標以小於 0.6 為主，佔總案例數之 85.7%，NDF 之有效集水指標則以大於 0.5 為主，佔總案例數之 80.9%。其原因為 NDF 因發生區崩塌面積較大，雖分佈相近，但仍以 HDF 發生小規模土石流案例較多，推估在有效集水指標 0.4~0.6 之間時較容易發生小規模土石流。

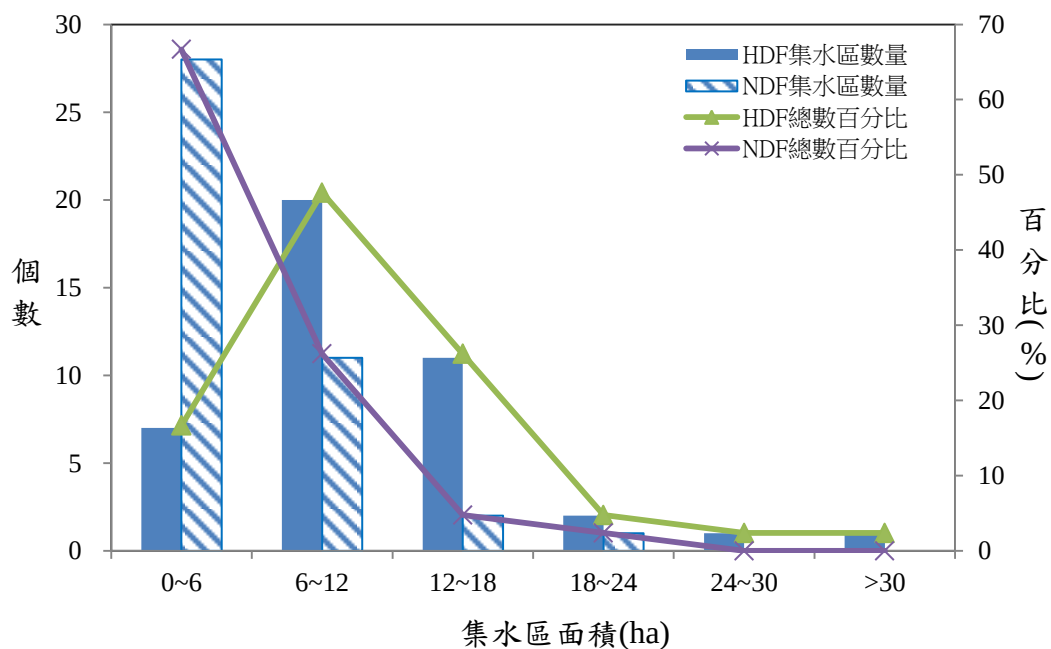


圖 5-28 集水區面積分佈情況

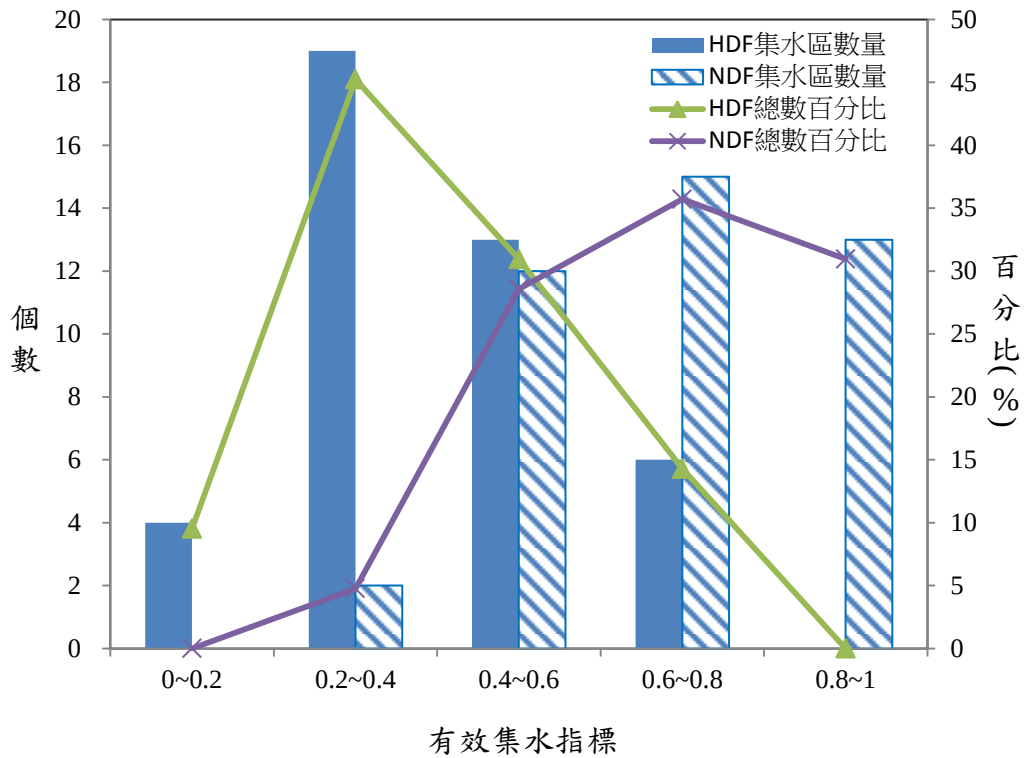


圖 5-29 有效集水指標分佈情況

14. 流動段長度

流動段長度會影響溪流尖峰流量、集流時間及地表逕流，流動段長度分佈如圖 5-30 所示，HDF 及 NDF 流動段長度兩者皆小於 1000 公尺，HDF 主要分佈於 200~400 公尺佔 69%；NDF 在 200 公尺以下佔 76%，兩者進行比較，顯示 HDF 流動段長度較長，NDF 流動距離較短形成土石流機率較小。

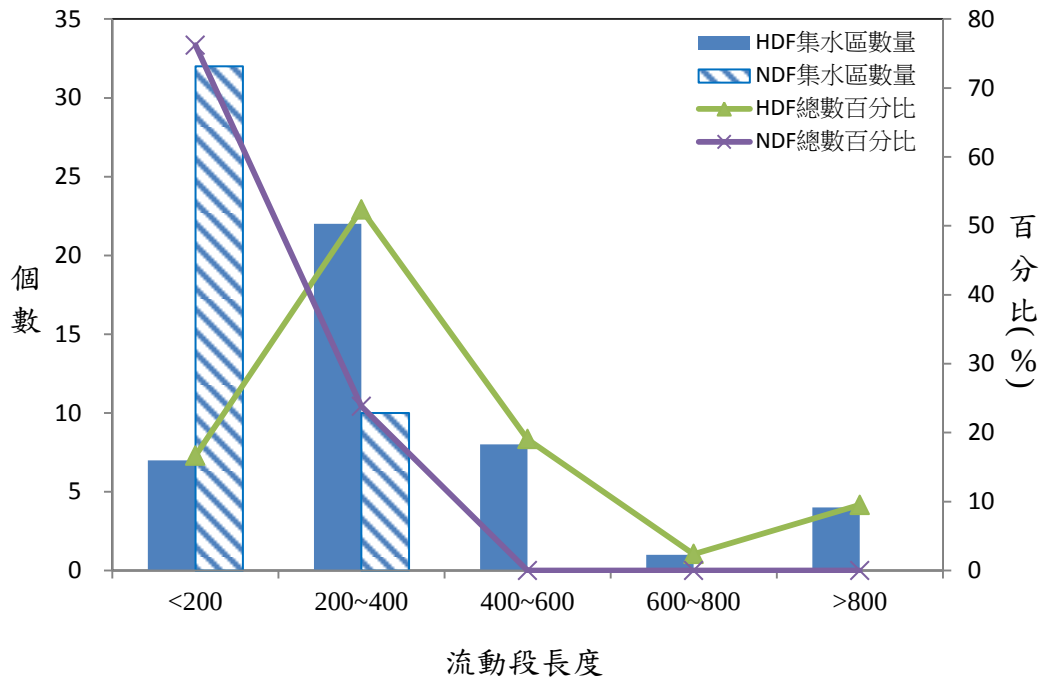


圖 5-30 流動段長度分佈情況

15. 形狀係數及形狀係數比

集水區形狀係數及發生區形狀係數分佈如圖 5-31 及 5-32 所示，HDF 集水區形狀係數主要集中於 0~0.4，佔總筆數 76.2%，NDF 集水區形狀係數及發生區形狀係數分佈略大於 HDF；表示 HDF 及 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 5-33 所示，本研究選定 HDF 與 NDF 選定發隘口方法為地形上之束縮段，HDF 之形狀比分佈較廣，而 NDF 則主要集中在 1~1.5，佔總筆數之 83.3%，呼應前述集水區形狀係數與發生區形狀係數分佈趨勢。

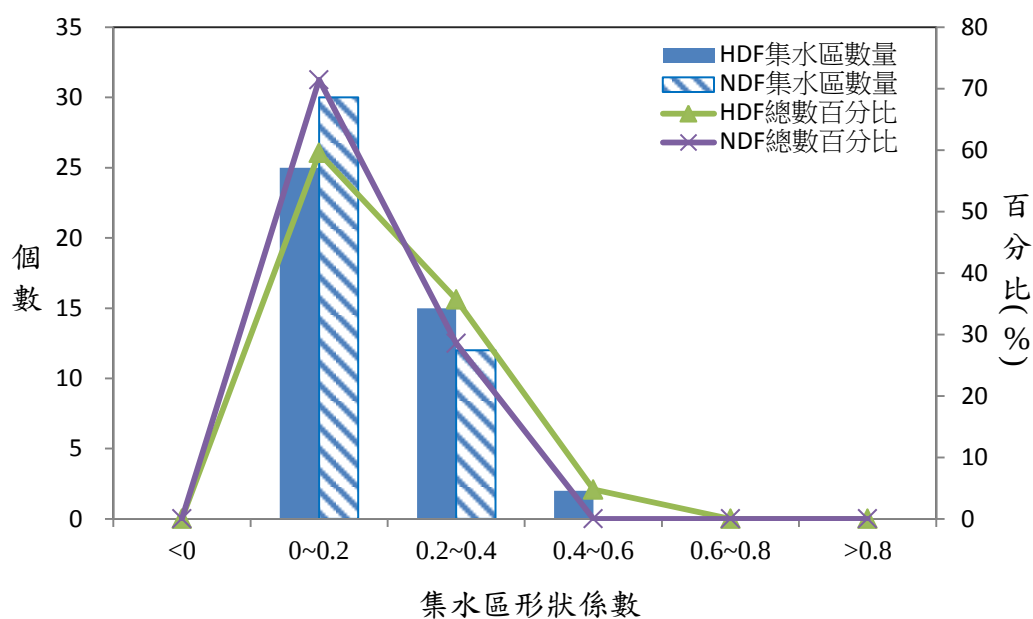


圖 5-31 集水區形狀係數分佈情況

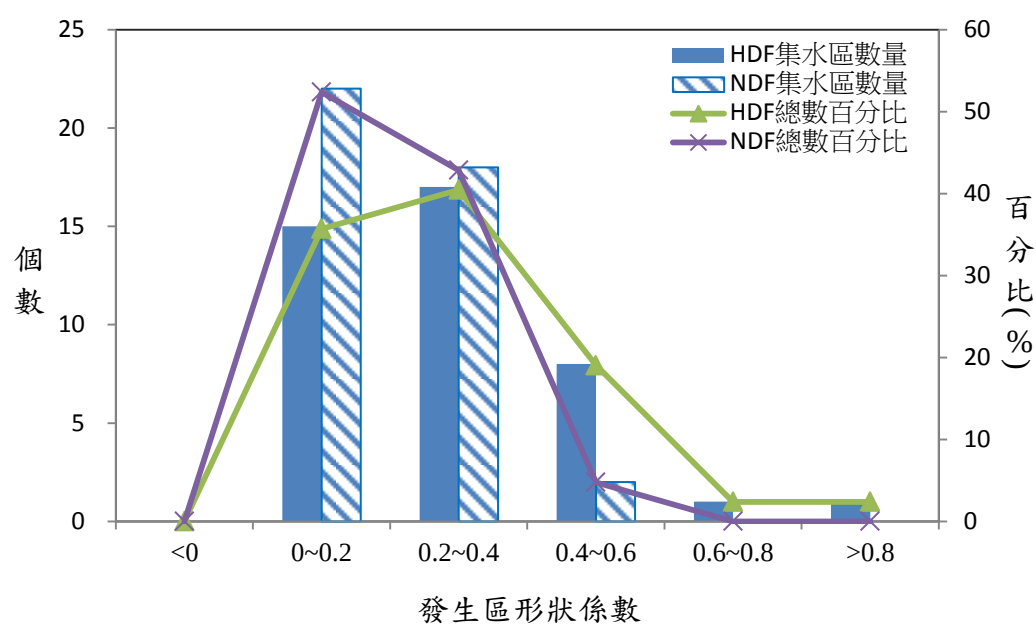


圖 5-32 發生區形狀係數分佈情況

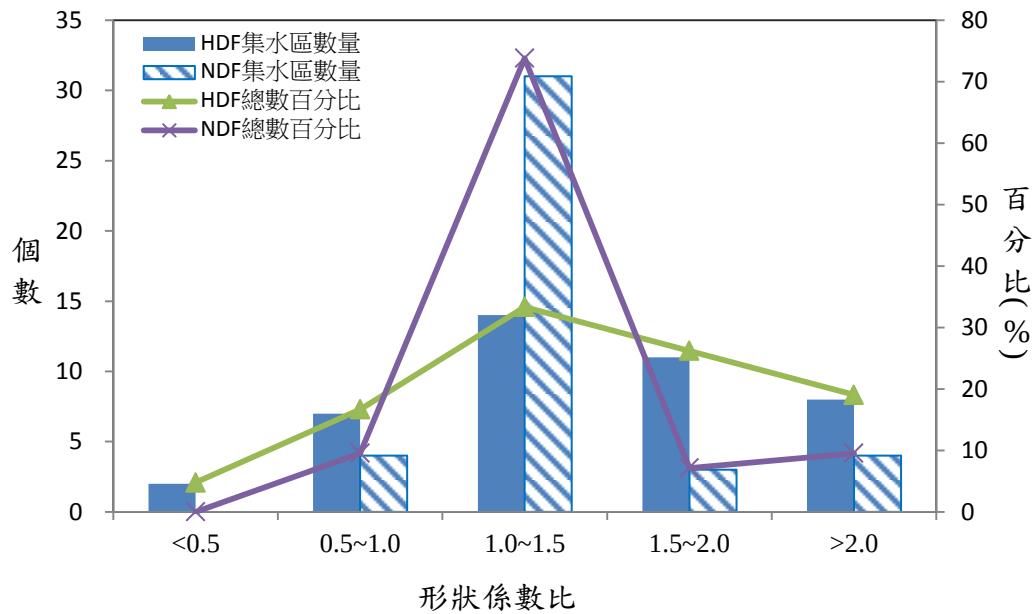


圖 5-33 形狀係數比分佈情況

16. 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 5-34 所示，HDF 及 NDF 之隘口深寬比主要分佈於 0~0.2 之間，佔總筆數之 52.4%，而 NDF 之發生區深寬比則略小於 HDF。

流動段深寬比分佈如圖 5-35 所示，NDF 流動段深寬比主要分佈於 0.2~0.5，佔總筆數 61.9%，NDF 之流動段深寬比主要集中在 0.4 以下，佔總筆數之 54.8%，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 5-36 示，HDF 及 NDF 在 0~0.4 有集中之趨勢，分別佔 92.9%及 95.2%，兩者皆為寬緩凹

地開放之匯水坡面地形，與 Brunsden(1979)描述相符。

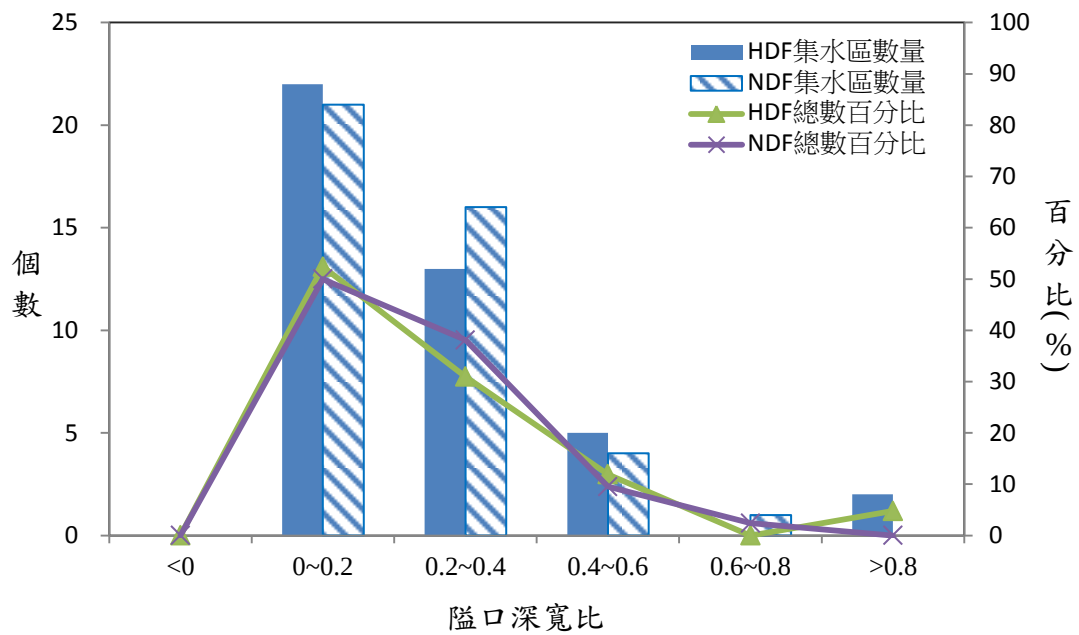


圖 5-34 隘口深寬比分佈情況

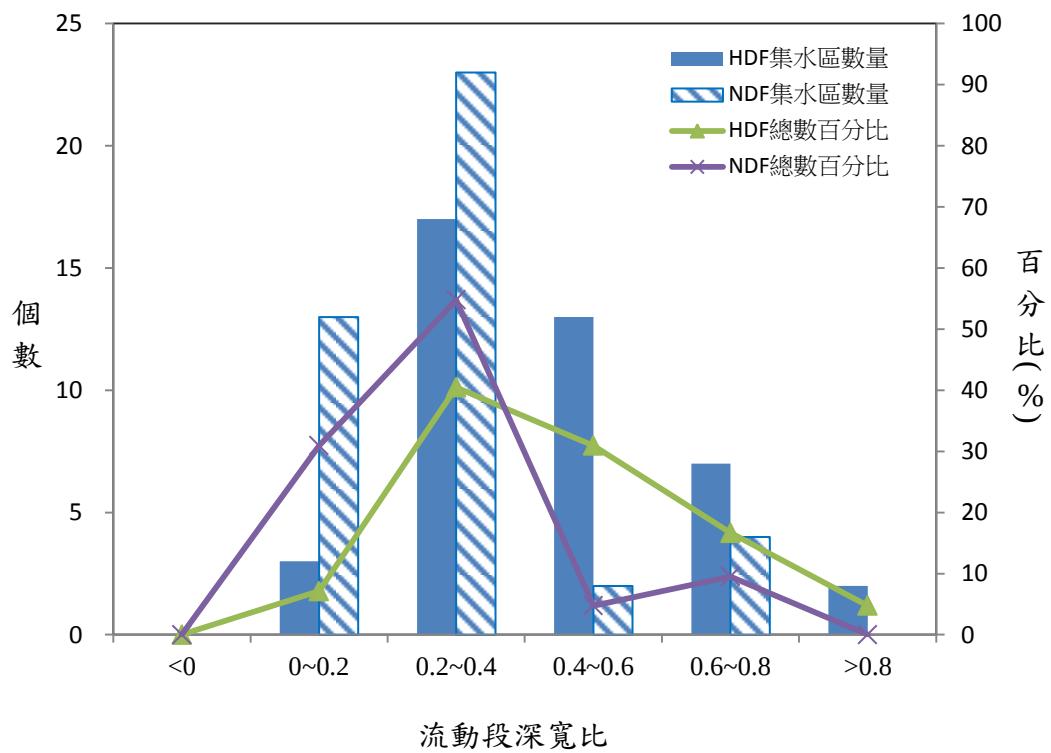


圖 5-35 流動段深寬比分佈情況

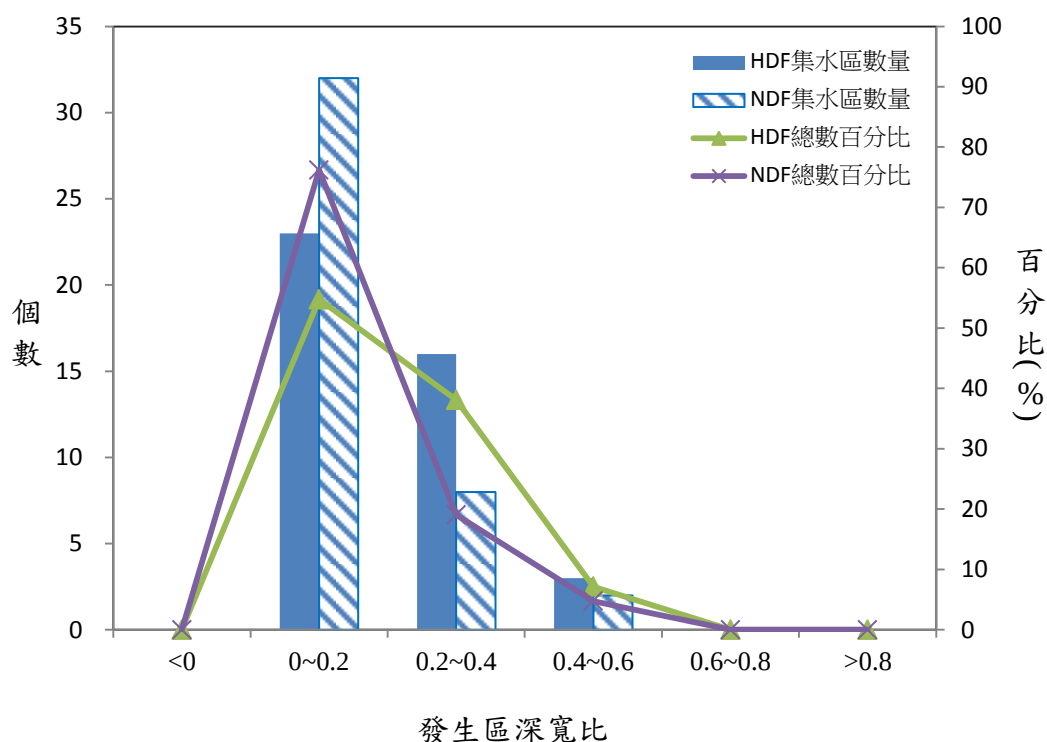


圖 5-36 發生區深寬比分佈情況

17. 集水區平均坡度、發生區平均坡度、坡面平均坡度比

集水區平均坡度分佈如圖 5-37 所示，HDF 及 NDF 之集水區坡面平均坡度並無明顯不同，但皆集中於 20~40 度之間，占總筆數的 85.7%。

發生區平均坡度分佈如圖 5-38 所示，發生區平均坡度 HDF 主要集中分佈於 35~40 度之間，佔總筆數 83.3%，趨勢小於 NDF。

坡面平均坡度比如圖 5-39 所示，坡面平均坡度比 HDF、NDF 兩者皆集中於 0.8-1.0，略符合於前述流動段平均坡度明顯下切之情況。

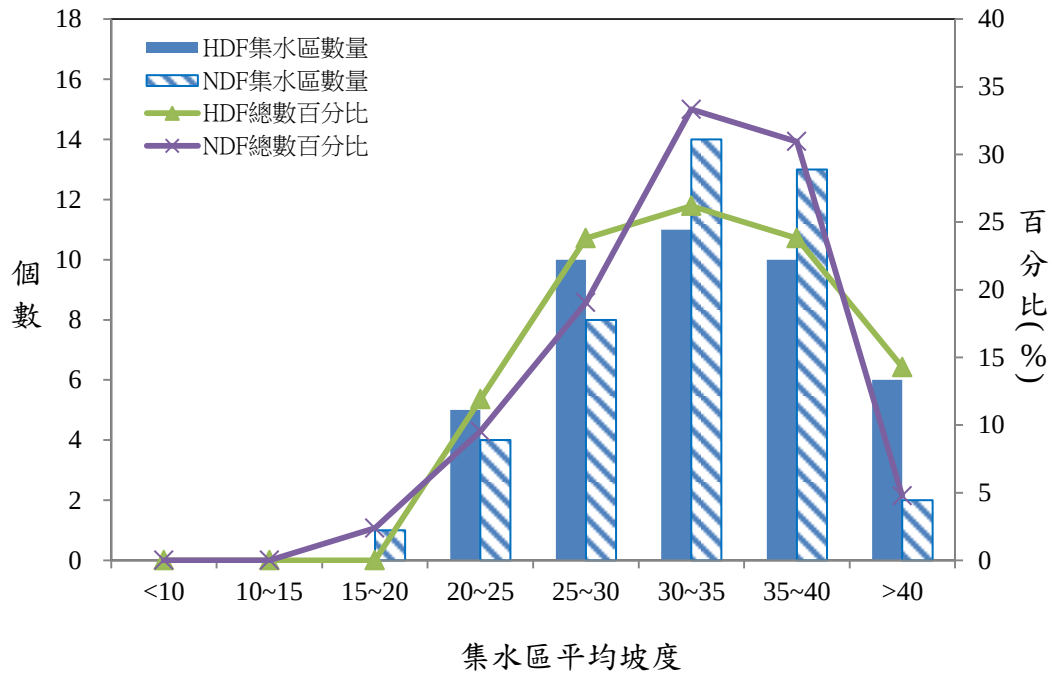


圖 5-37 集水區平均坡度分佈情況

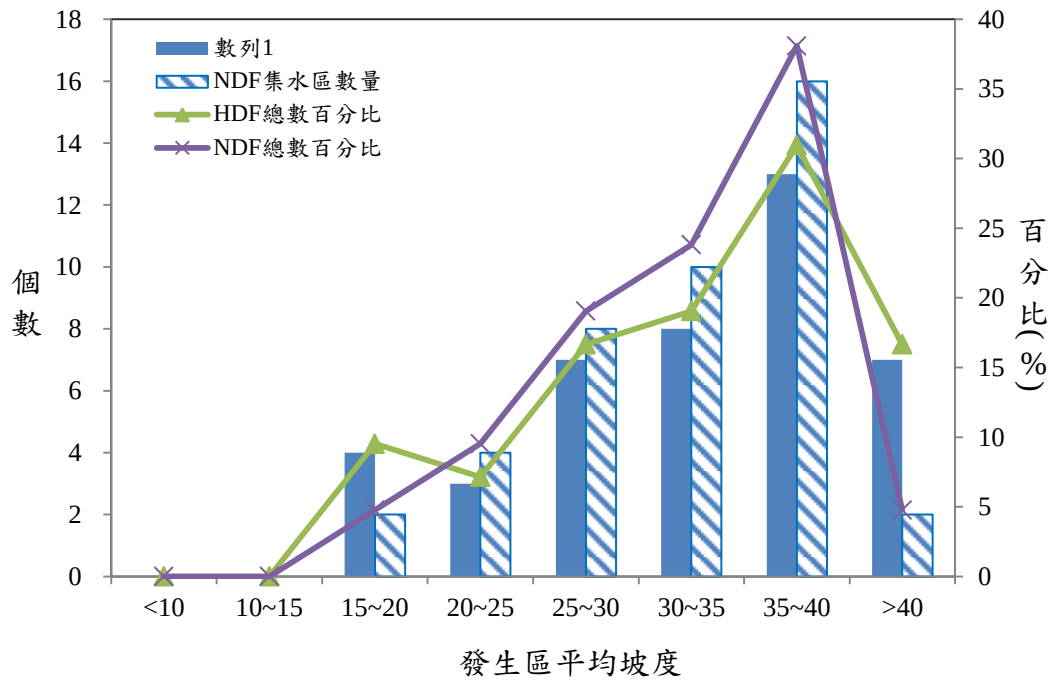


圖 5-38 發生區平均坡度分佈情況

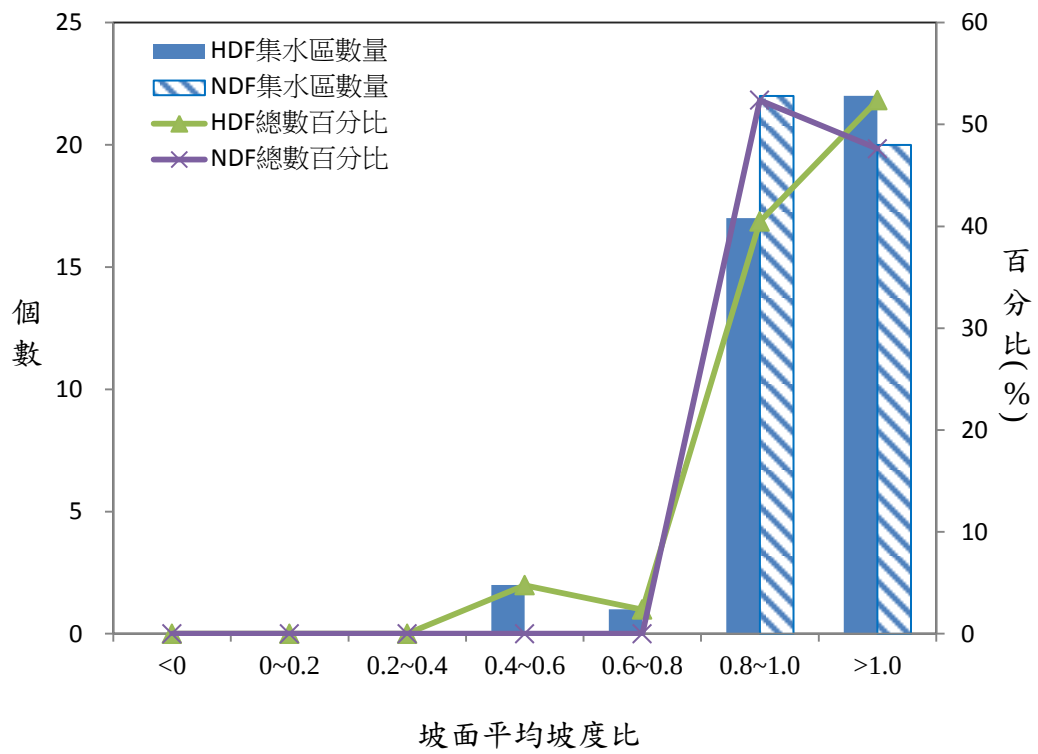


圖 5-39 坡面平均坡度比分佈情況

第五節 大屯山火山岩區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。彙總前節所得之最佳特性因子，共7項因子，進一步建立坡面型土石流判釋模式。坡面型土石流判釋模式。坡面型土石流判釋模式。最後再圈選出 10 個實際案例驗證式效力。

一、精進坡面型土石流判釋模式

本研究因子採用皮爾森相關係數分析作為高相關性之篩選(如表 5-3、表 5-4)，接續於 19 項分析因子當中剔除高相關性者如表 5-5 所示。

表5-3 皮爾森相關係數分析結果

	WA	HASW	W	HASI	FI	WI	TRI	HARI	LSA	LF
WA	1	-.018	.838	-.018	.264	.624	-.096	.183	.693	.703
HASW	-.018	1	.038	.846	-.085	-.113	.786	.275	-.137	-.071
W	.838	.038	1	.058	.418	.567	.058	.348	.601	.353
HASI	-.018	.846	.058	1	-.133	-.103	.850	.129	-.050	-.146
FI	.264	-.085	.418	-.133	1	.785	-.047	.390	.204	.111
WI	.624	-.113	.567	-.103	.785	1	-.138	.226	.611	.322
TRI	-.096	.786	.058	.850	-.047	-.138	1	.069	-.116	-.242
HARI	.183	.275	.348	.129	.390	.226	.069	1	.052	.075
LSA	.693	-.137	.601	-.050	.204	.611	-.116	.052	1	.277
LF	.703	-.071	.353	-.146	.111	.322	-.242	.075	.277	1
DHT	.601	.130	.297	-.023	.045	.199	-.155	.136	.125	.927
AST	-.171	.618	-.125	.442	-.131	-.205	.315	.143	-.260	-.107
HART	.265	.158	.323	.112	.216	.147	.130	.230	.095	.237
TRT	-.169	.616	-.121	.443	-.131	-.208	.315	.138	-.263	-.105
EWAI	-.377	-.114	-.372	-.070	.064	.135	-.072	-.115	.044	-.596
RLSA	-.174	-.113	-.188	-.004	-.150	.036	-.057	-.242	.477	-.374
FR	.169	-.141	-.079	-.171	.618	.642	-.222	.025	.119	.413
HASR	-.022	-.107	.046	.432	-.090	-.014	.276	-.178	.128	-.175
DHPR	-.380	-.006	-.196	.167	-.180	-.122	.281	-.182	.066	-.794

表5-4 皮爾森相關係數分析結果(續)

	DHT	AST	HART	TRT	EWAI	RLSA	FR	HASR	DHPR
WA	.601	-.171	.265	-.169	-.377	-.174	.169	-.022	-.380
HASW	.130	.618	.158	.616	-.114	-.113	-.141	-.107	-.006
W	.297	-.125	.323	-.121	-.372	-.188	-.079	.046	-.196
HASI	-.023	.442	.112	.443	-.070	-.004	-.171	.432	.167
FI	.045	-.131	.216	-.131	.064	-.150	.618	-.090	-.180
WI	.199	-.205	.147	-.208	.135	.036	.642	-.014	-.122
TRI	-.155	.315	.130	.315	-.072	-.057	-.222	.276	.281
HARI	.136	.143	.230	.138	-.115	-.242	.025	-.178	-.182
LSA	.125	-.260	.095	-.263	.044	.477	.119	.128	.066
LF	.927	-.107	.237	-.105	-.596	-.374	.413	-.175	-.794
DHT	1	.219	.178	.221	-.610	-.444	.322	-.287	-.873
AST	.219	1	-.146	.999	-.026	-.071	-.160	-.242	-.214
HART	.178	-.146	1	-.144	-.388	-.268	.059	-.031	-.269
TRT	.221	.999	-.144	1	-.031	-.073	-.164	-.237	-.218
EWAI	-.610	-.026	-.388	-.031	1	.545	.066	.058	.710
RLSA	-.444	-.071	-.268	-.073	.545	1	-.058	.184	.541
FR	.322	-.160	.059	-.164	.066	-.058	1	-.101	-.358
HASR	-.287	-.242	-.031	-.237	.058	.184	-.101	1	.340
DHPR	-.873	-.214	-.269	-.218	.710	.541	-.358	.340	1

表5-5 皮爾森高相關性因子表

因子	相關性
集水區面積(WA) / 集水區平均寬度 W	0.838
集水區坡面平均坡度(HASW) / 發生區坡面平均坡度(HASI)	0.846
發生區坡面平均坡度(HASI) / 發生區起伏比(TRI)	0.850
流動段高程差(DHT) / 流動段長度(LF)	0.927
流動段高程差(DHT) / 隘口高程比(DHPR)	-0.873
流動段平均坡度(AST) / 流動段起伏比(TRT)	0.999

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。區別分析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。

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，最後可獲得標準化之七項因子模式，正判率最佳組合達 89.3%。此七項因子之區別函數如下：

$$y=0.074X_1+0.359X_2+0.117X_3+0.364X_4+0.162X_5-0.614X_6+0.163X_7$$

式 5.14

其中， y 為區別函數。 X_1 集水區坡面平均坡度(HASW)、 X_2 集水區平均寬度(W)、 X_3 發生區深寬比(HARI)、 X_4 流動段長度(L_f)、 X_5 流動段深寬比(HART)、 X_6 有效集水指標(EWAI)、 X_7 形狀係數比(FR)。

當因子之係數為負值時，此因子與區別分析之線性函數成反比，即：有效集水指標與判定模式呈負相關；反之則與判定模式呈正相關，此類因子有：集水區坡面平均坡度、集水區平均寬度、發生區深寬比、流動段長度及流動段深寬比。

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 5-6 所示，整體正判率為 89.3%。其中各項影響因子經相關性檢定(表 5-7)後，為低度相關，代表各項因子彼此之間不會互相影響為獨立因子。

表5-6 區別分析結果

結果呈現	原始	預測		總和
	類別	HDF	NDF	
個數	HDF	39	3	42
	NDF	6	36	42
百分比(%)	HDF	92.9	7.1	100
	NDF	14.3	85.7	100
整體正判率 = $(39+36)/(42+42) \times 100\% = 89.3\%$				

表5-7 七因子相關性檢定結果

相關矩陣	HASW	W	HARI	LF	HART	EWAI	FR
HASW	1.000	-.007	.258	-.158	.134	-.072	-.156
W	-.007	1.000	.278	.100	.171	-.095	-.164
HARI	.258	.278	1.000	-.076	.165	.045	-.005
LF	-.158	.100	-.076	1.000	.010	-.345	.417
HART	.134	.171	.165	.010	1.000	-.196	.006
EWAI	-.072	-.095	.045	-.345	-.196	1.000	.204
FR	-.156	-.164	-.005	.417	.006	.204	1.000

圖 5-40 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值區間於 -1.20~3.38 之間；而崩塌之函數值分佈於-2.88~1.42 之間。

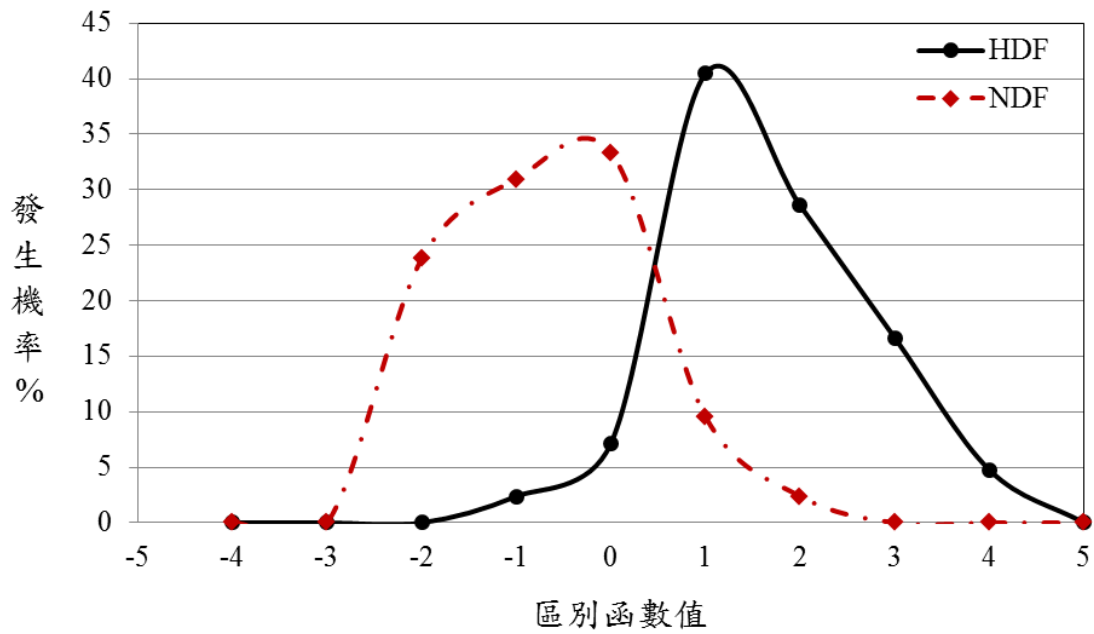


圖 5-40 坡面型土石流與崩塌之區別函數分佈圖

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 5-41 所示，地形因子(HASW、HARI、LF、HART)、水文因子(EWAI、FR)，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。

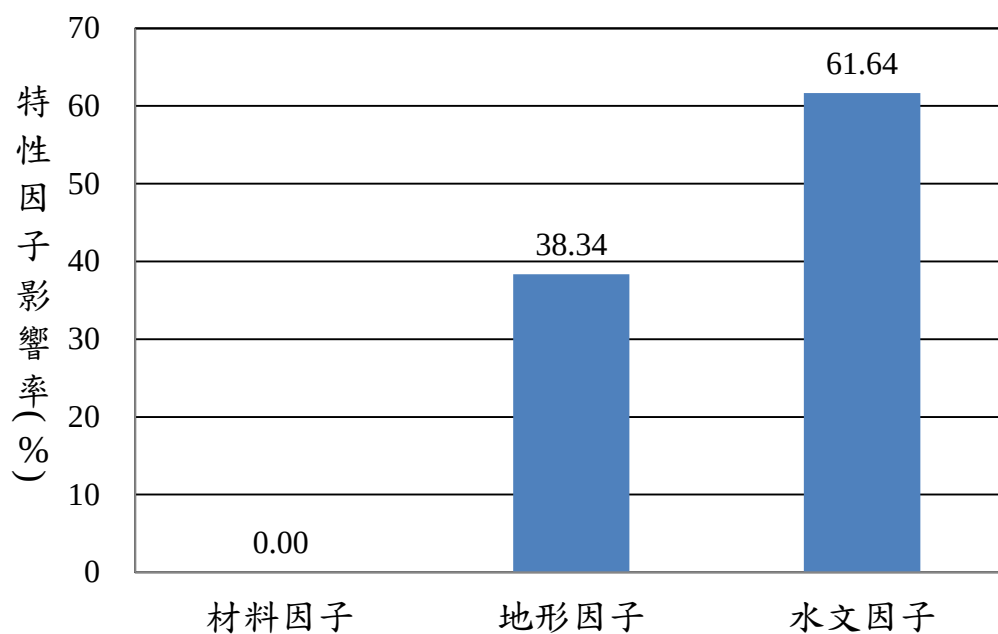


圖 5-41 土石流發生三大條件之特性因子影響率

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火山地質區內之坡面型土石流與崩塌單元各 5 筆資料，點位分佈如表 5-8 所示。

表5-8 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
HDF01	淡水區	樹興里	NDF01	北投區	湖田里
HDF02	北投區	大屯里	NDF02	北投區	湖田里
HDF03	金山區	重和里	NDF03	淡水區	水源里
HDF04	淡水區	水源里	NDF04	淡水區	水源里
HDF05	淡水區	水源里	NDF05	淡水區	水源里

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(集水區坡面平均坡度、集水區平均寬度、發生區深寬比、流動段深寬比、有效集水指標、形狀係數比)，代入式 5.1，得到驗證結果，如表 5-9 所示，並可由圖 5-42 看出判別情況良好，計算各點位驗證所得到之區別函數 y 值。統計後其驗證率為 90%，由此可知，此坡面型土石流判釋模式可有效判別出北部大屯山火山岩區之可能發生坡面型土石流之區域。

表5-9 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	4	1	10
	NDF	0	5	10
百分比(%)	HDF	80	20	100
	NDF	0	100	100
整體正判率 = $(4+5)/(5+5) \times 100\% = 90\%$				

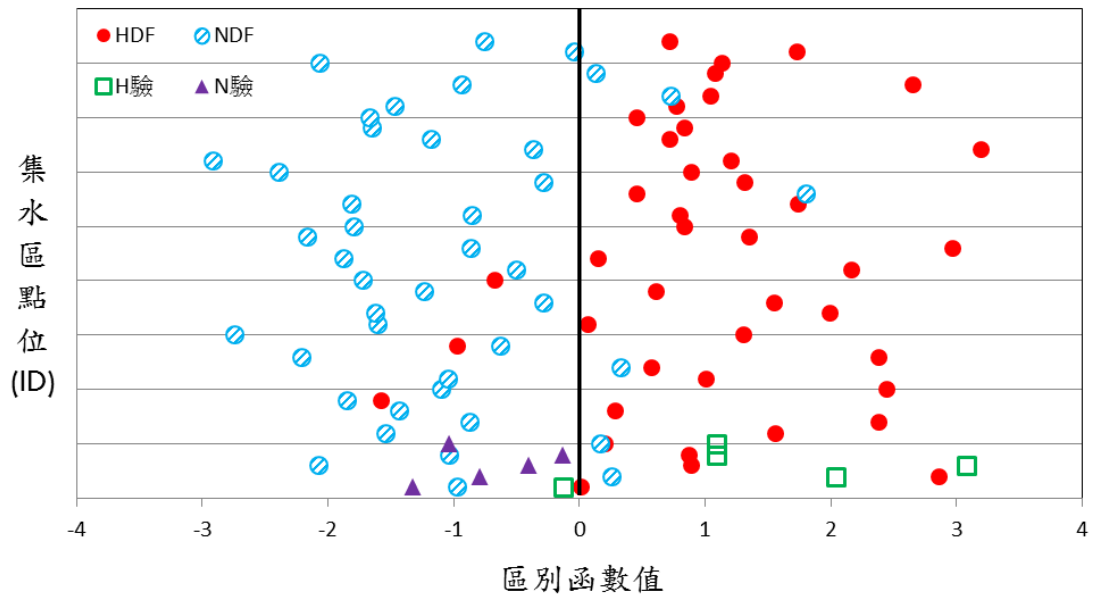


圖 5-42 HDF 與 NDF 之驗證點位與母體之區別函數分佈圖

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大屯山火山群地質區研究區聚落周緣坡面單元判釋分析。圖 5-43 至圖 5-47 為火山地質岩區 5 處聚落判釋結果。另配合現地調查成果所確認之土石流及崩塌案例，計算坡面型土石流判釋模式之捕捉率。

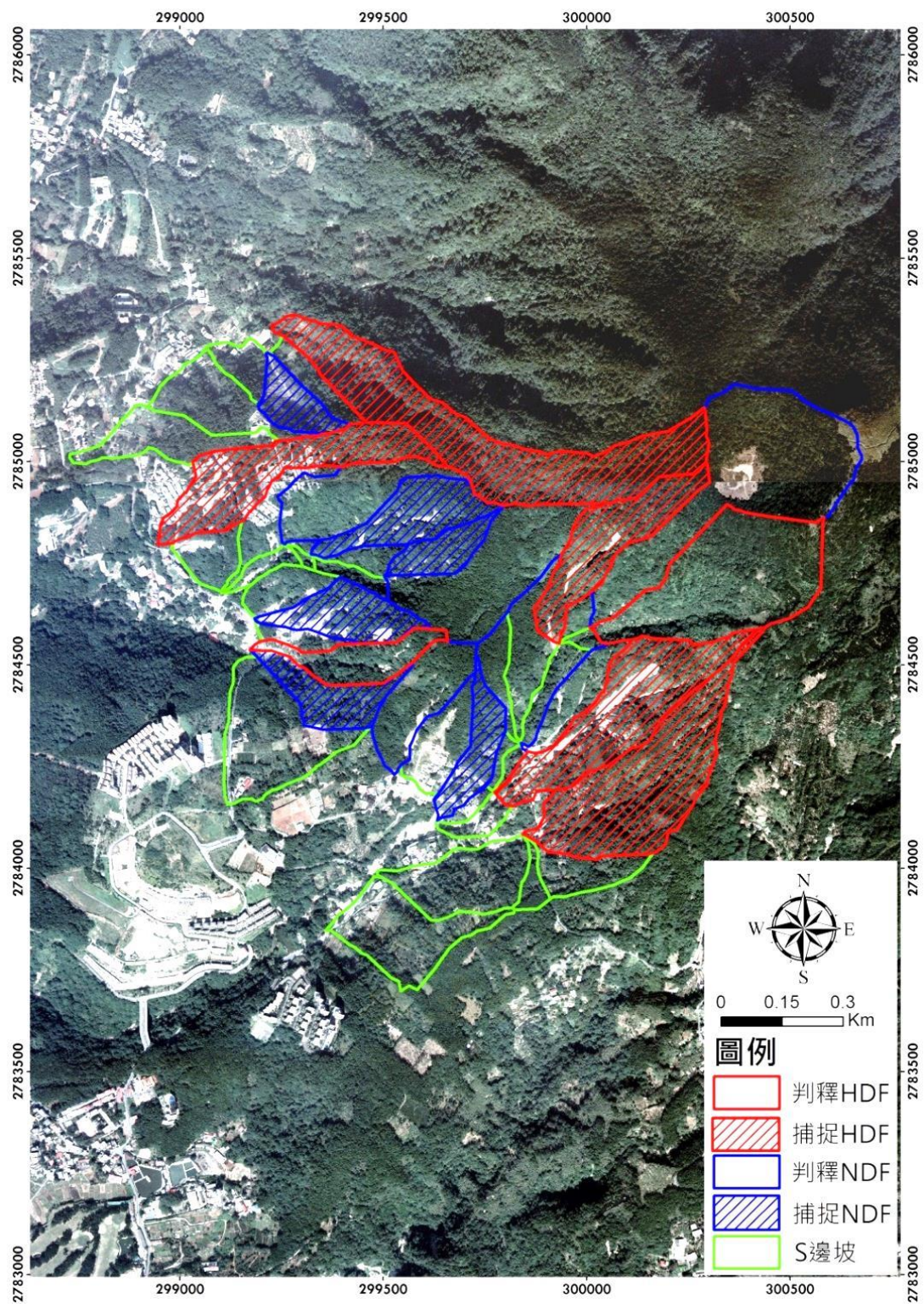


圖 5-43 A 邊坡單元判釋結果(樹興里聚落)

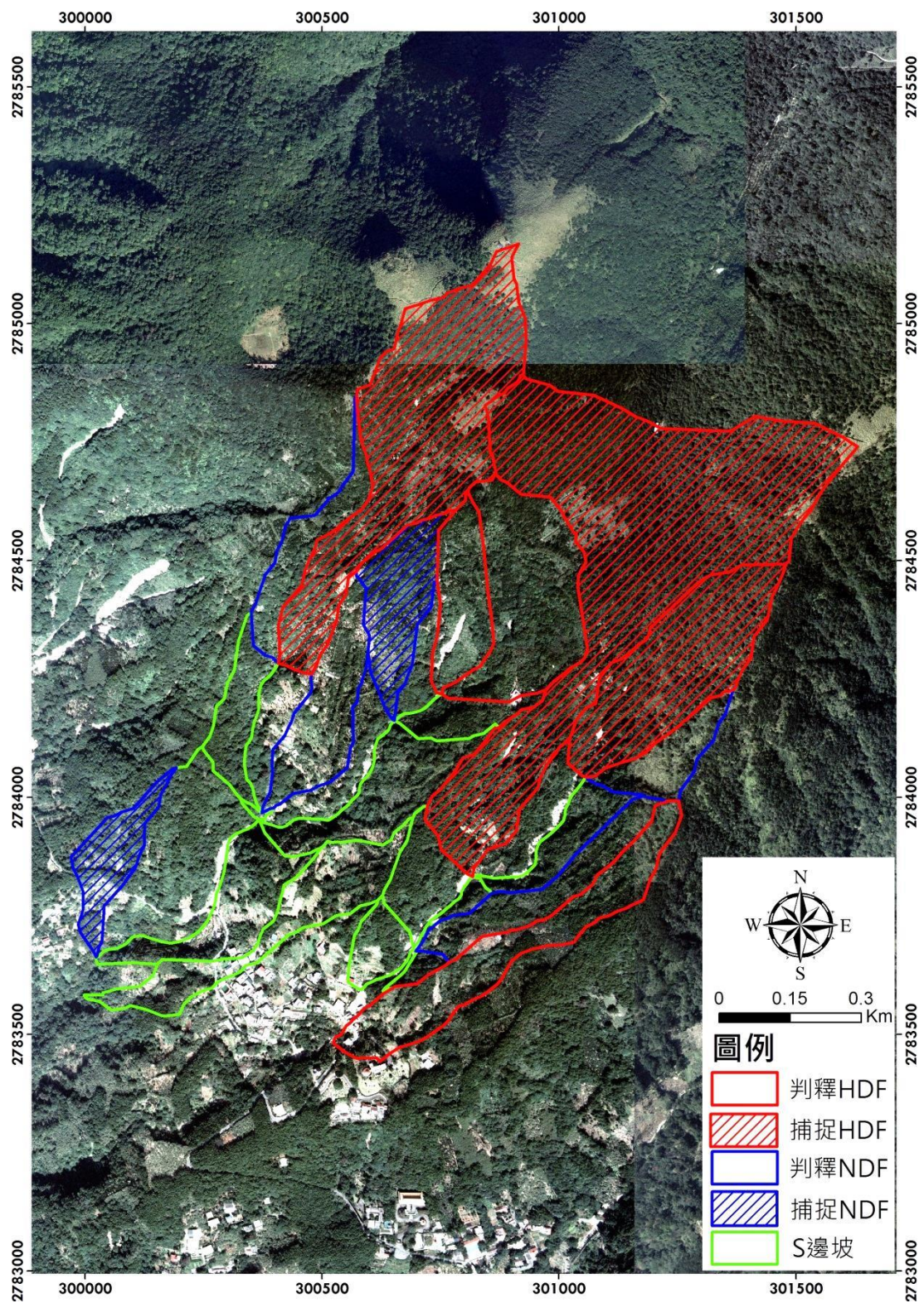


圖 5-44 B 邊坡單元判釋結果(大屯里聚落)

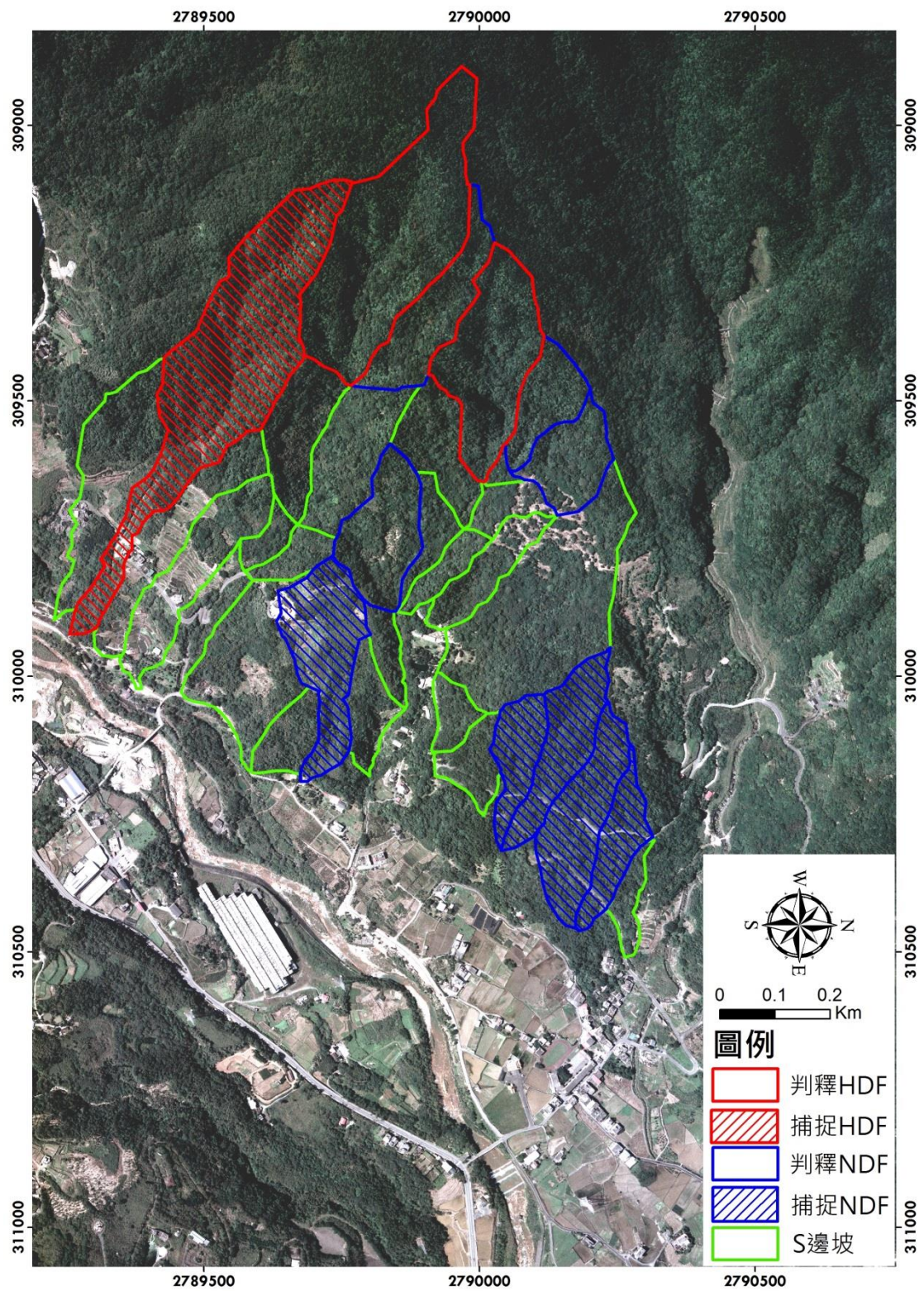


圖 5-45 C 邊坡單元判釋結果(重和里聚落)

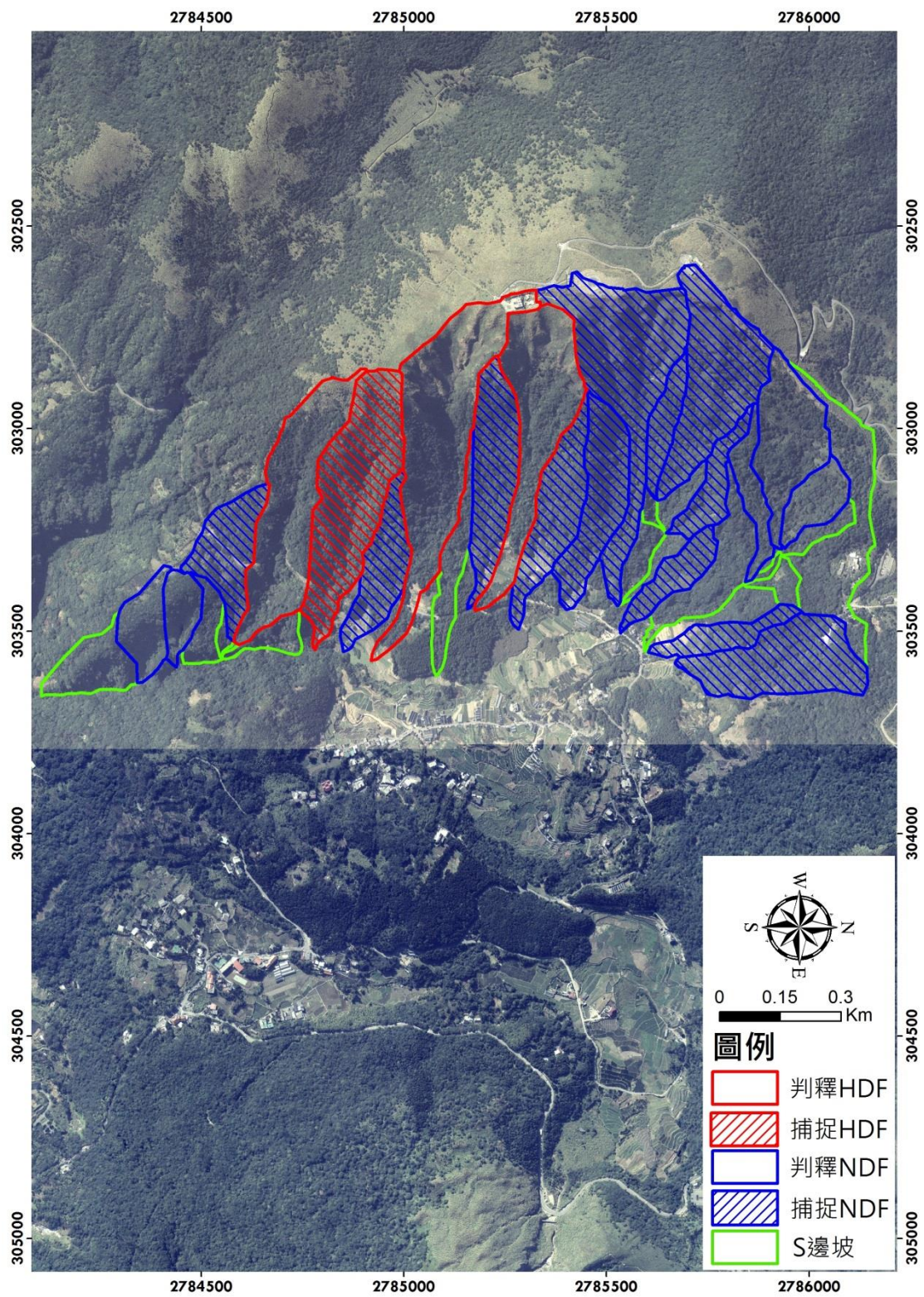


圖 5-46 E 邊坡單元判釋結果(湖田里聚落)

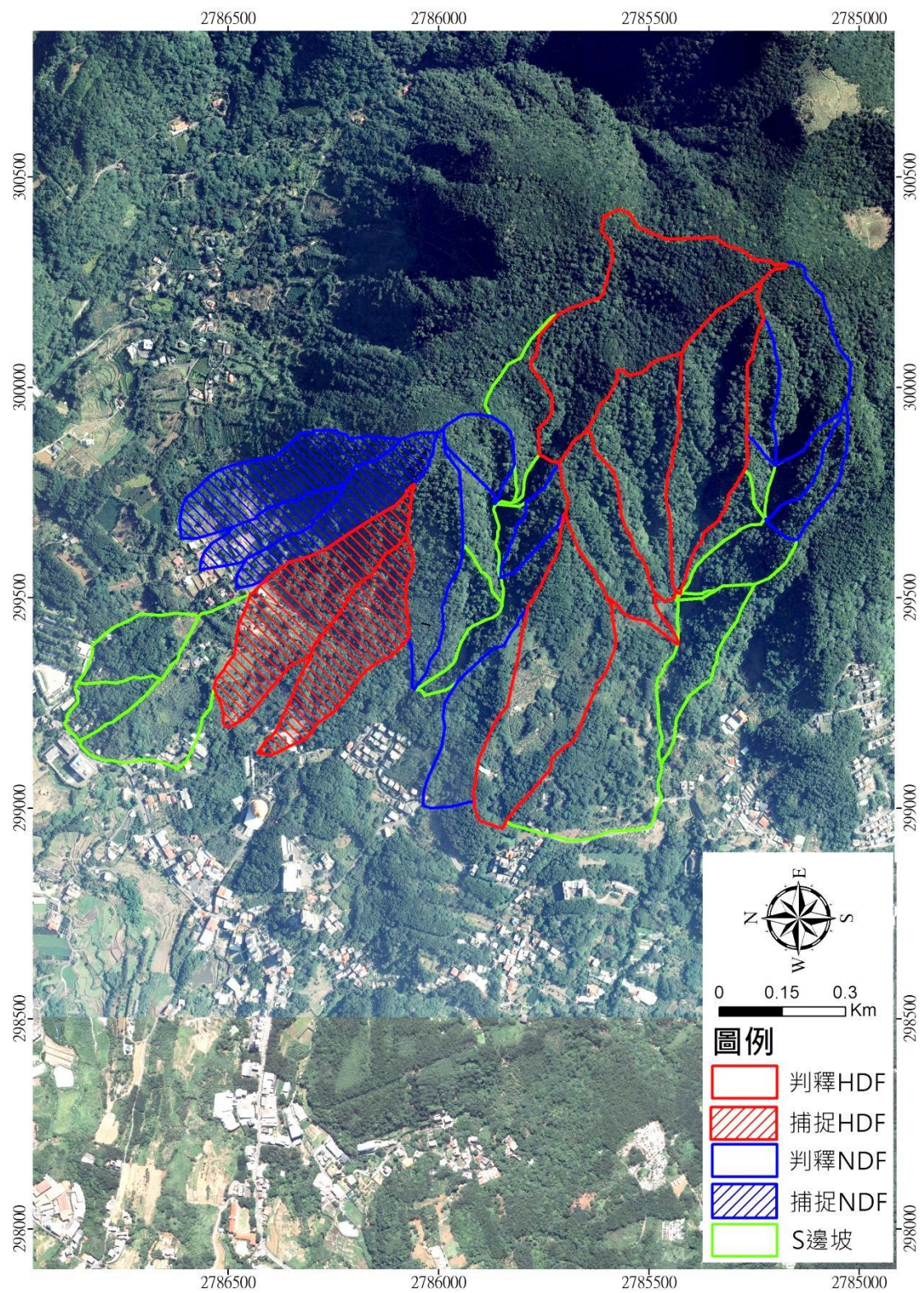


圖 5-47 F 邊坡單元判釋結果(水源里聚落)

A 樹興里聚落邊坡單元判釋結果（圖 5-43），判釋坡面型土石流 7 筆，實際發生 6 筆，捕捉 5 筆；判釋崩塌單元 11 筆，實際發生 6 筆，捕捉 6 筆，整體捕捉率 94%。

B 大屯里聚落邊坡單元判釋結果（圖 5-44），判釋坡面型土石流 6 筆，實際發生 3 筆，捕捉 3 筆；判釋崩塌單元 6 筆，實際發生 2 筆，捕捉 2 筆，整體捕捉率 100%。

C 大屯里聚落邊坡單元判釋結果（圖 5-45），判釋坡面型土石流 3 筆，實際發生 1 筆，捕捉 1 筆；判釋崩塌單元 9 筆，實際發生 5 筆，捕捉 5 筆，整體捕捉率 100%。

E 湖田里聚落邊坡單元判釋結果（圖 5-46），判釋坡面型土石流 4 筆，實際發生 2 筆，捕捉 1 筆；判釋崩塌單元 7 筆，實際發生 12 筆，捕捉 12 筆，整體捕捉率 93%。

F 大屯里聚落邊坡單元判釋結果（圖 5-47），判釋坡面型土石流 5 筆，實際發生 2 筆，捕捉 2 筆；判釋崩塌單元 12 筆，實際發生 4 筆，捕捉 4 筆，整體捕捉率 100%。

目前共計 14 處坡面型土石流單元，正確捕捉數量為 11 處，整體捕捉率約為 95%，土石流捕捉率則為 86%。分析單元判釋成果及捕捉率彙整如表 5-10 所示。

表5-10 大屯山火山岩區分析單元判釋成果及捕捉率

109 年										
研究區編號	A (樹興里聚落)		B (大屯里聚落)		C (重和里聚落)		E (湖田里聚落)		F (水源里聚落)	
類型	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF	HDF	NDF
判釋結果	7	11	6	6	3	9	4	17	5	12
實際發生	6	6	3	2	1	5	2	12	2	4
捕捉	5	6	3	2	1	5	1	12	2	4
整體捕捉率	94%		100%		100%		93%		100%	
HDF 事件捕捉率	83%		100%		100%		50%		100%	
總計										
類型							HDF		NDF	
判釋結果							25		55	
實際發生							14		30	
捕捉							11		30	
整體捕捉率							95%			
HDF 事件捕捉率							86%			

第六節 大屯山火山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

本研究針對北部大屯山火山地質岩區，進行坡面型土石流發生潛勢方法研究。坡面型土石流潛勢分級之方法，為將函數值分佈曲線累積百分比分成三部份，其分別為低、中與高潛勢。潛勢分級採以分析資料庫之 84 條溪流樣本之費雪區別函數值，作為分級指標。

火成岩區潛勢分級結果如圖 5-48 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，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 之間為中潛勢區，區別函數值大於 1 為高潛勢區。

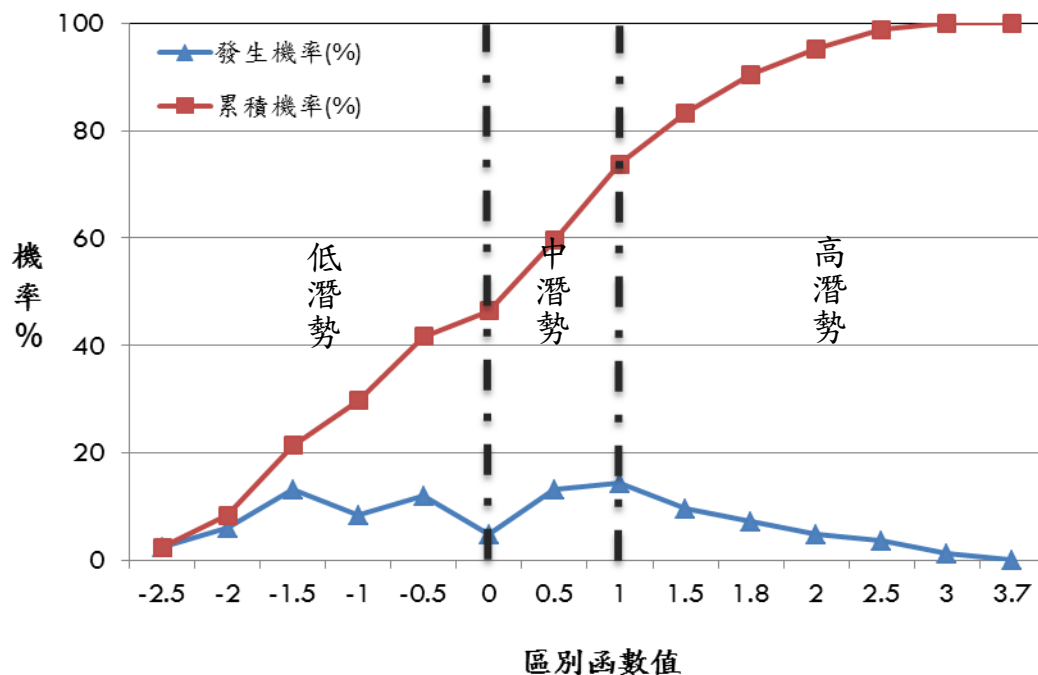


圖 5-48 分界指標 0 與 1 之潛勢分級結果

二、5 處聚落坡面型土石流潛勢評估成果

本年度研究區潛勢分析結果分別如圖 5-49 至圖 5-53 所示。

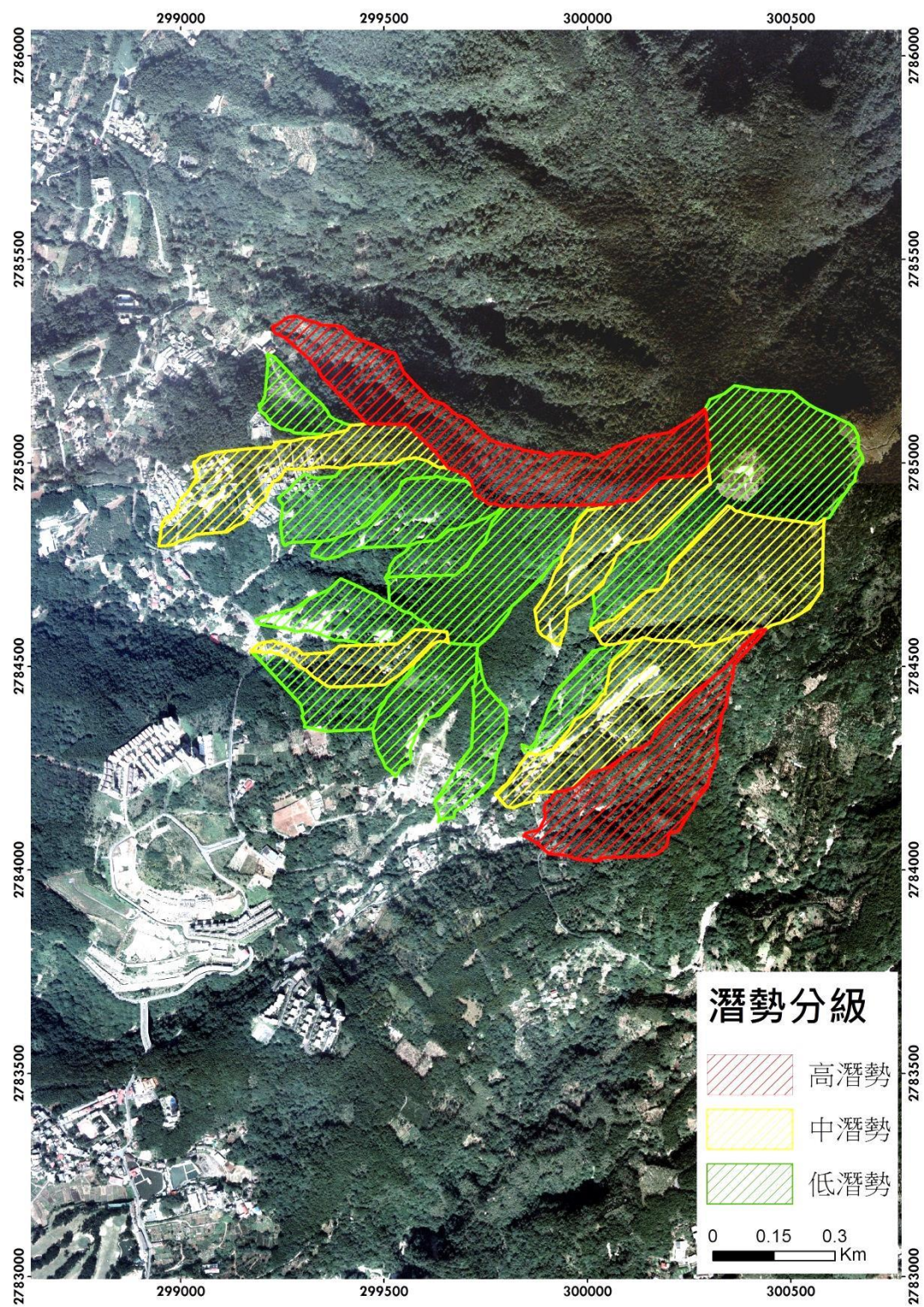


圖 5-49 A 集水區潛勢分析結果

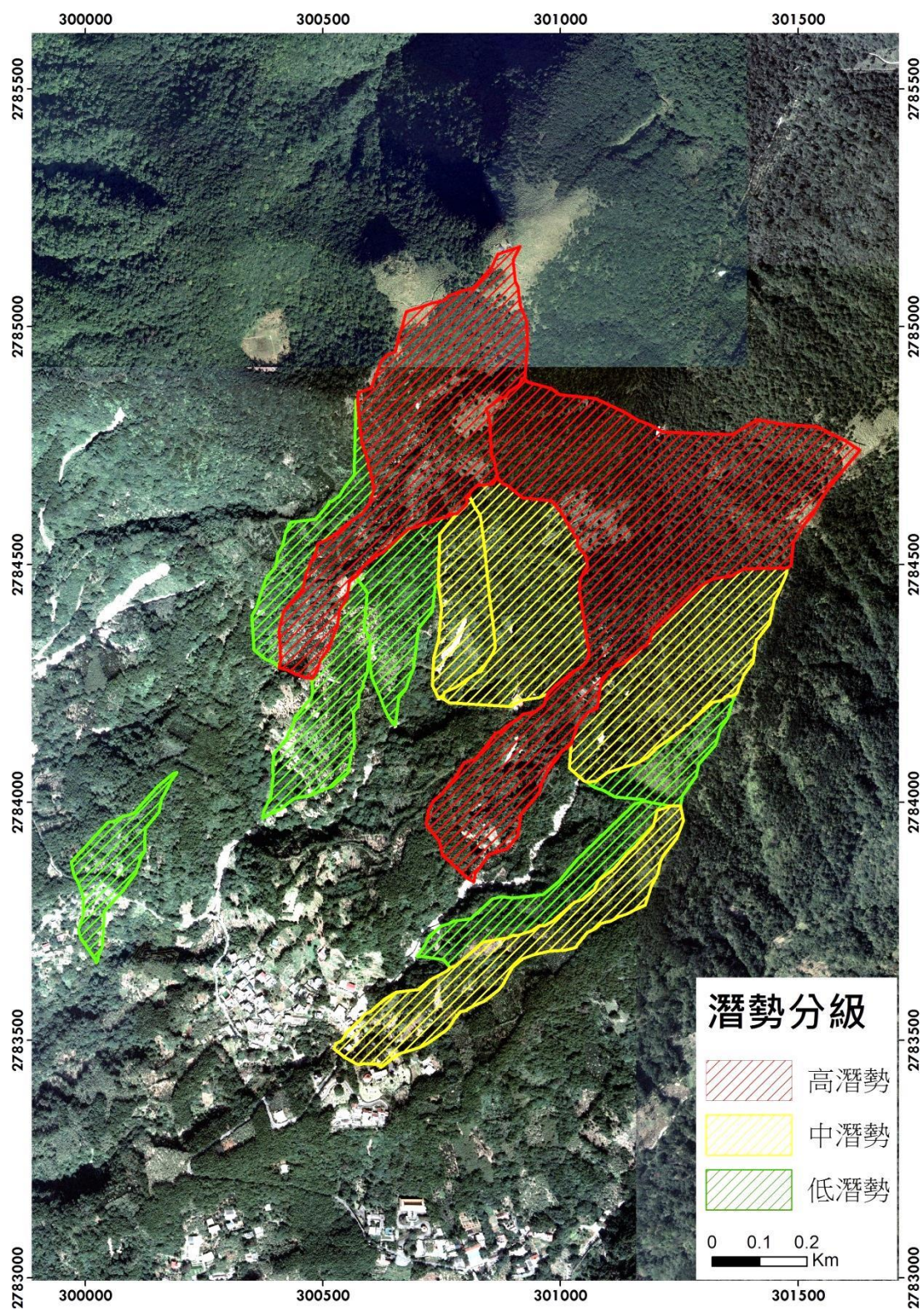


圖 5-50 B 集水區潛勢分析結果

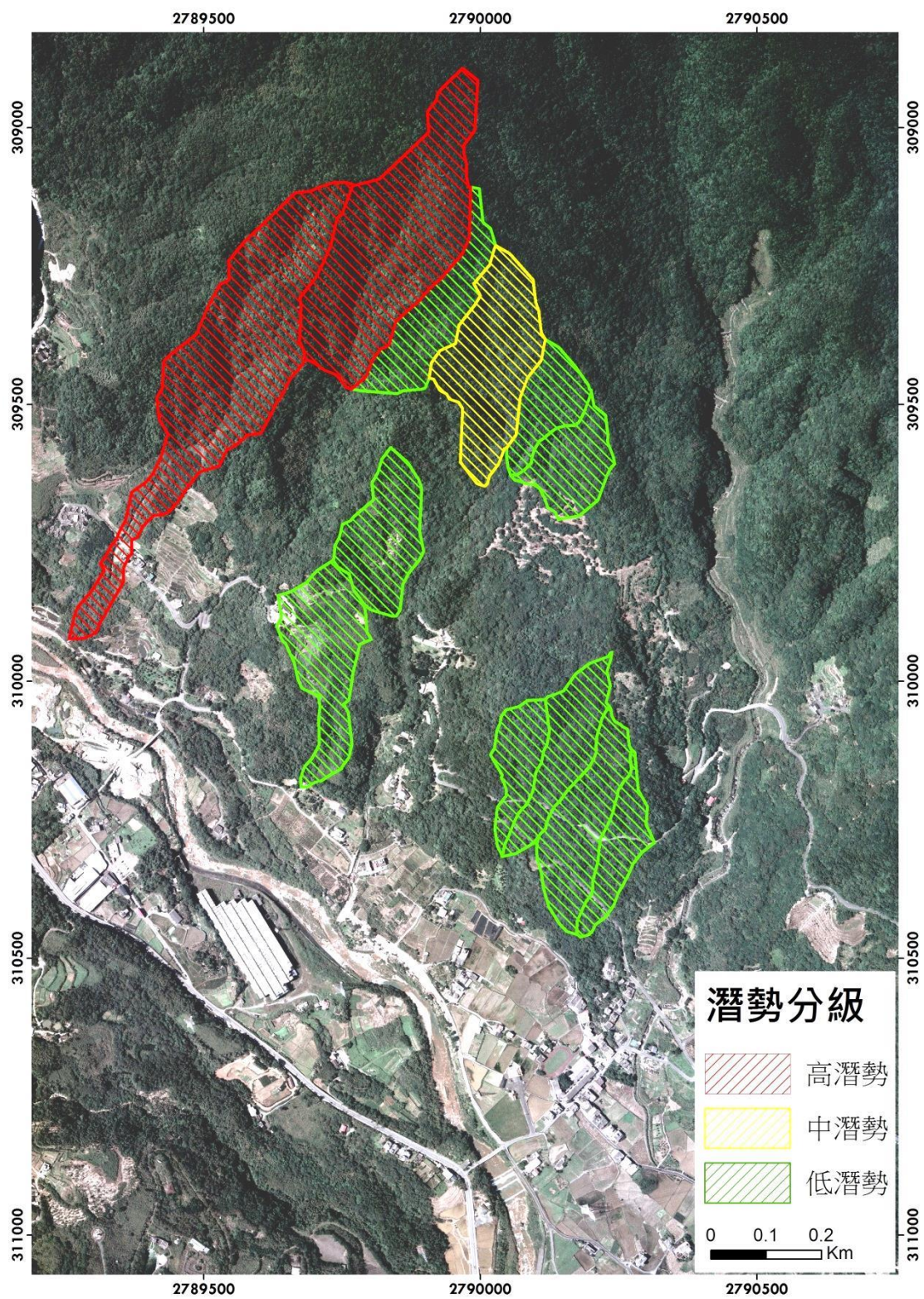


圖 5-51 C 集水區潛勢分析結果

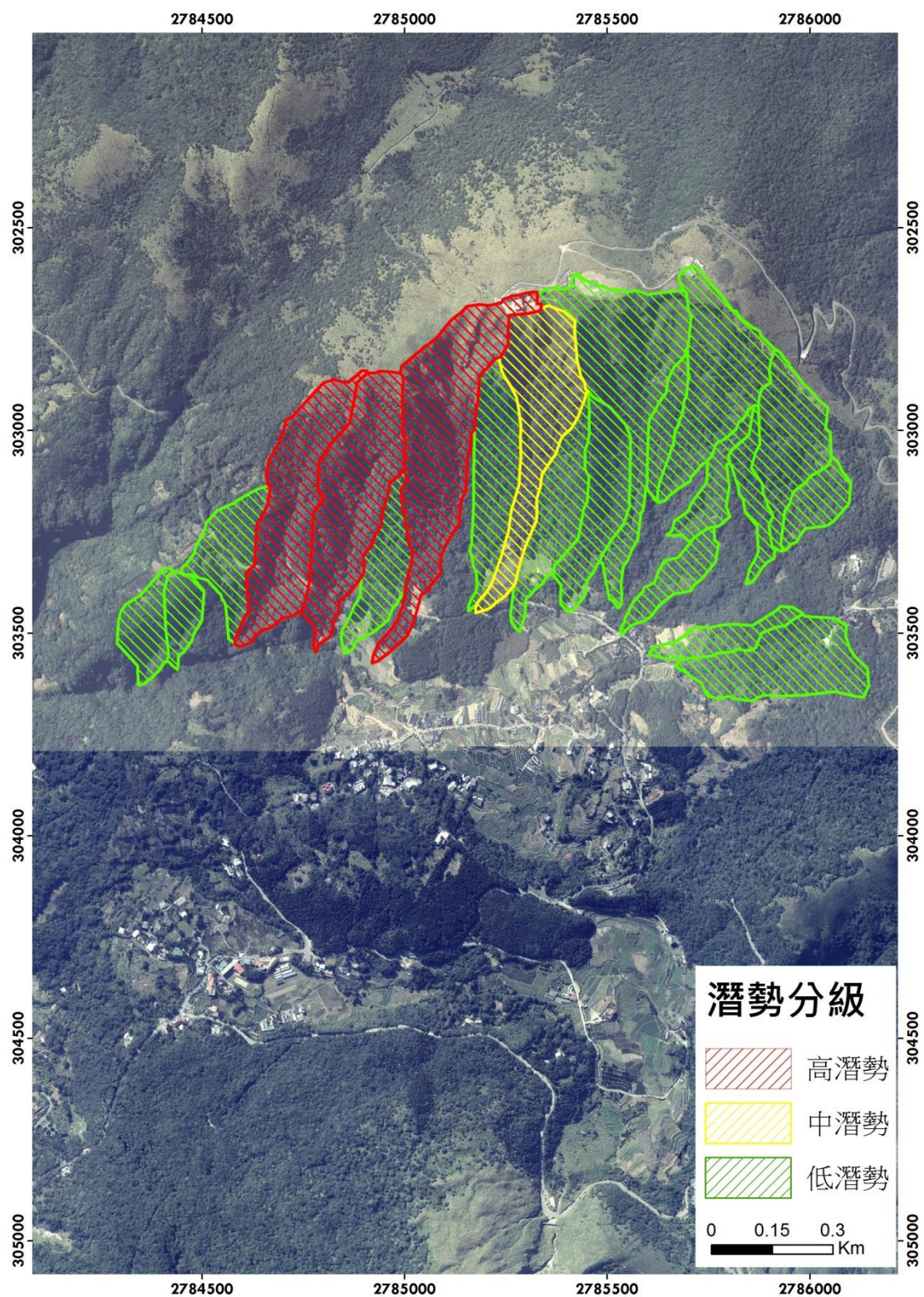


圖 5-52 E 集水區潛勢分析結果

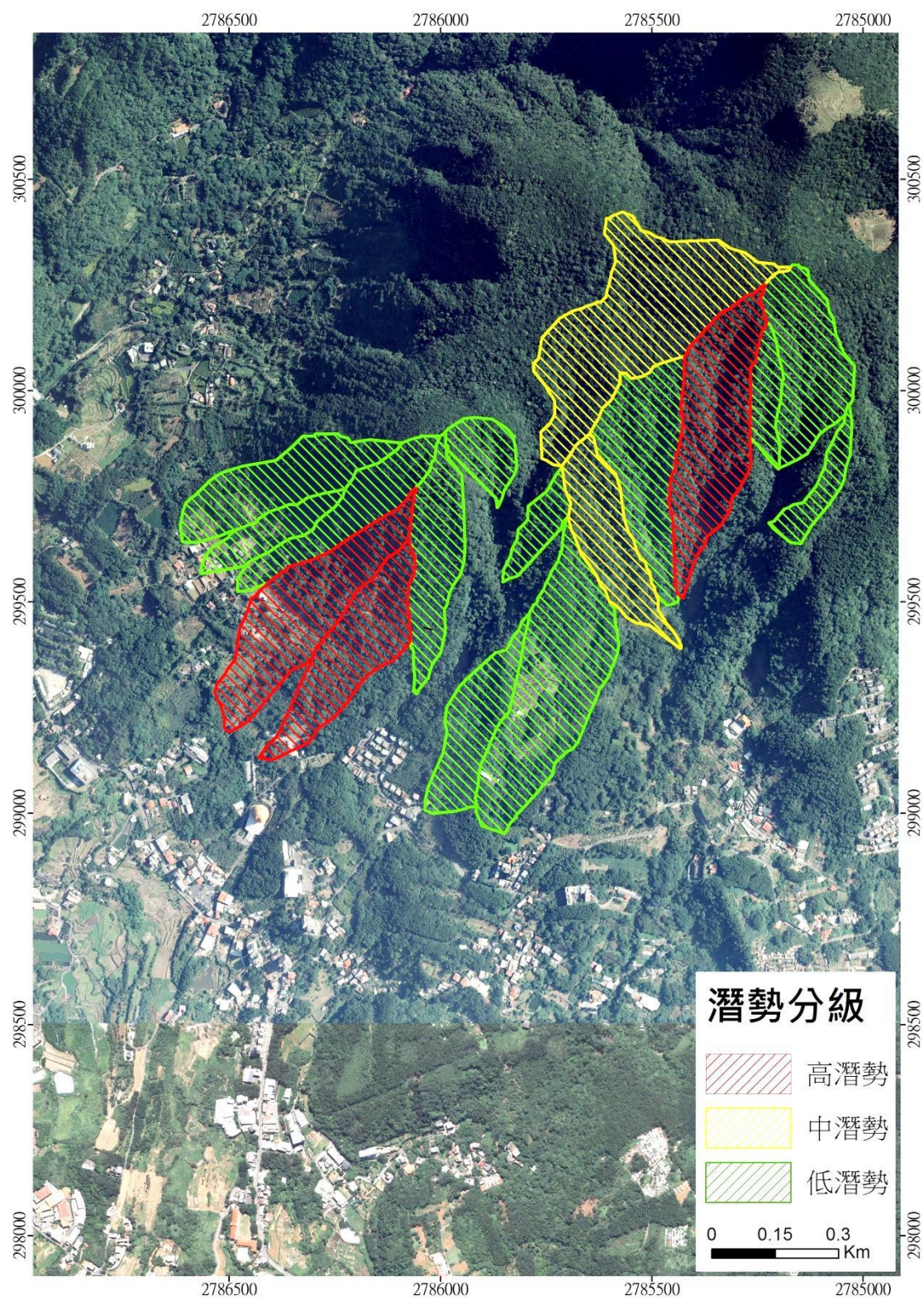


圖 5-53 F 集水區潛勢分析結果

三、聚落潛勢分級成果討論

所有聚落(5 處)周緣坡地分析單元潛勢分析結果統計如圖 5-54 所示。判釋為坡面型土石流單元有 25 筆及崩塌坡面(NDF)單元有 55 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。

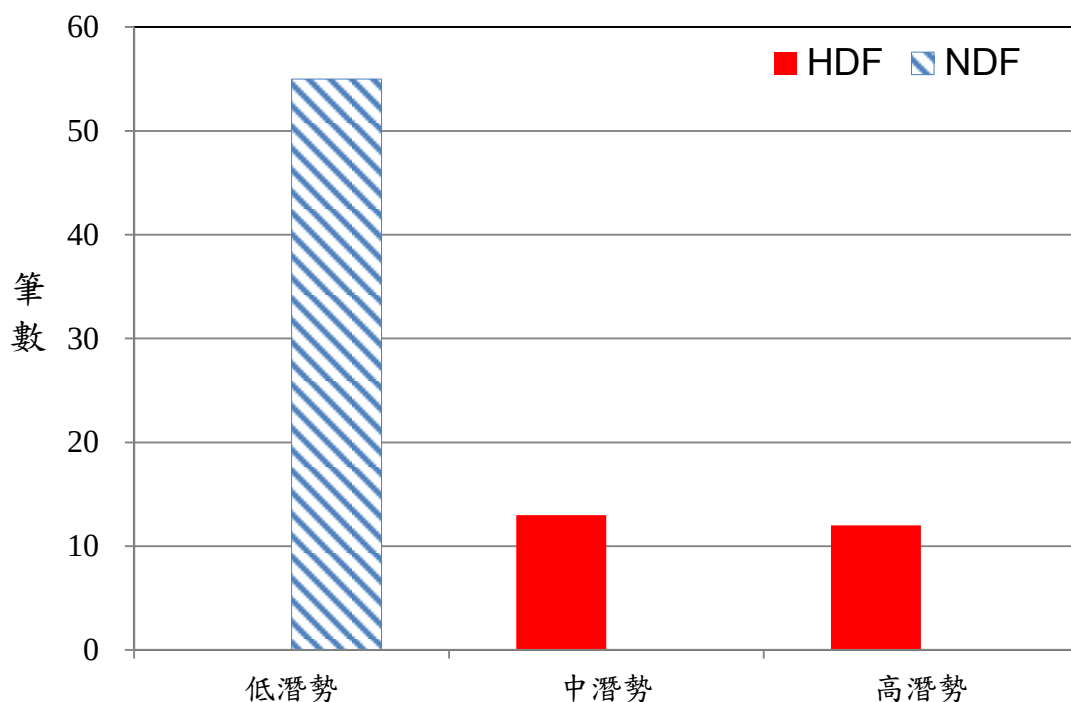


圖 5-54 聚落(5 處)周緣坡地分析單元潛勢分析結果

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 5-55 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，大屯山火山岩 5 處聚落之土石流案例中，12 處位於中、高潛勢，比例為 86%。

其次，經捕捉到之坡面型土石流單元之潛勢狀況，分級結果如圖 5-56 所示。圖中顯示土石流案例發生潛勢位於中、高等級。其中，火成岩區共計 12 處土石流案例，其中 4 處位於中潛勢其比例約為 33%，8 處位於高潛勢其比例約為 67%。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。

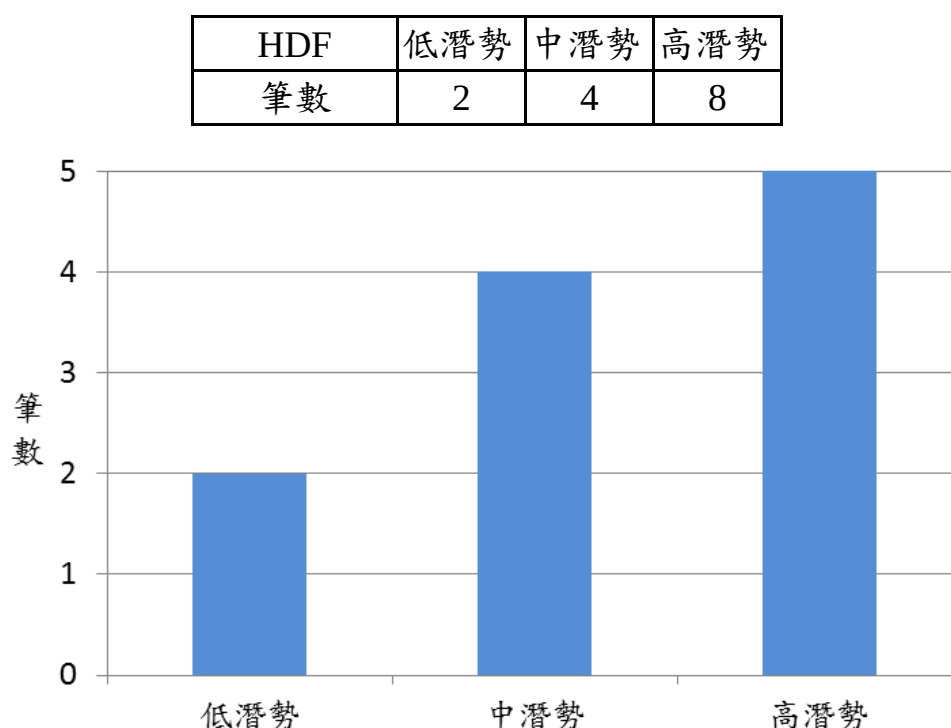


圖 5-55 實際發生坡面型土石流案例之潛勢分級結果

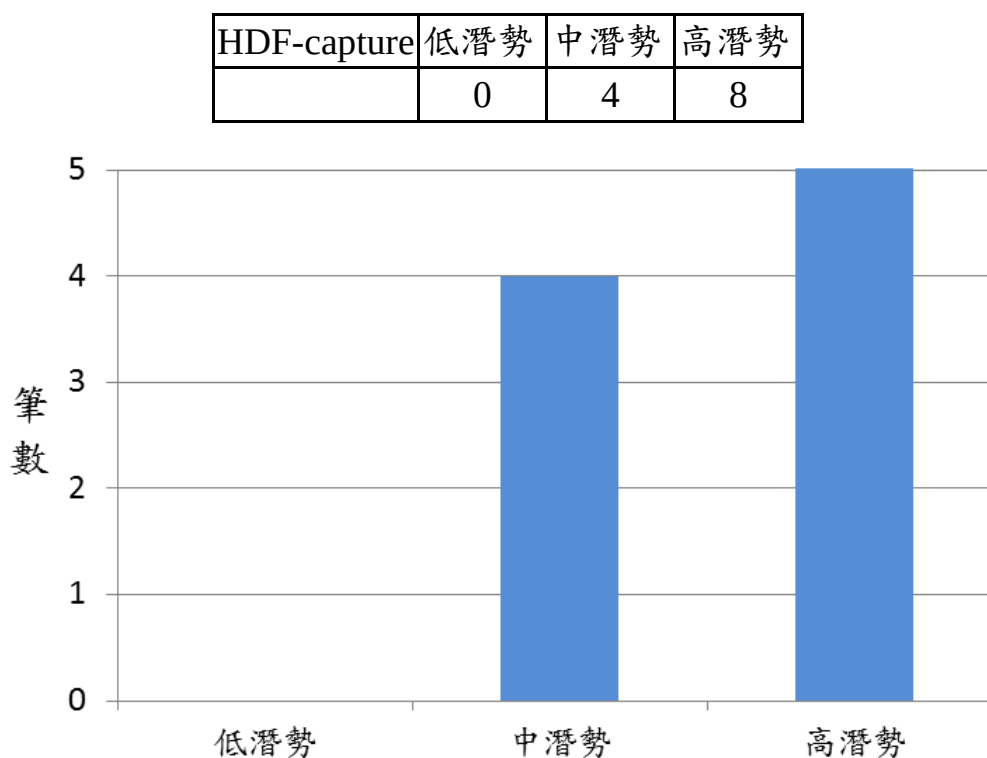


圖 5-56 判釋模式分析後捕捉到之坡面型土石流案例潛勢分級結果

四、各聚落潛勢分級成果討論

綜合整理成果統計如表 5-11 所示；火山地質區各區判釋結果統計圖 5-57 所示，各區判釋結果百分比統計如圖 5-58 所示。

表5-11各區潛勢成果案例統計

	低潛勢	中潛勢	高潛勢
A	11 筆	5 筆	2 筆
B	6 筆	4 筆	2 筆
C	9 筆	1 筆	2 筆
E	17 筆	1 筆	3 筆
F	12 筆	2 筆	3 筆

5 處聚落分析成果顯示，低潛勢中 A 區有 11 筆、B 區有 6 筆、C 區有 9 筆、E 區有 17 筆、F 區有 12 筆；其中，A 區佔 61%、B 區佔 50%、C 區 75%、E 區 81%、F 區 71%。

中潛勢中 A 區有 5 筆、B 區有 4 筆、C 區有 9 筆、E 區有 17 筆、F 區有 12 筆；其中，A 區佔 28%、B 區佔 33%、C 區 8%、E 區 5%、F 區 12%。。

高潛勢中 A 區有 2 筆、B 區有 2 筆、C 區有 2 筆、E 區有 3 筆、F 區有 3 筆；其中，A 區佔 11%、B 區佔 17%、C 區 17%、E 區 14%、F 區 18%。

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。目前大屯山火山群地質區 5 處聚落內發生坡面型土石流單元中共計 14 處，落於低、中、高潛勢分別為 3、4、7 處。整體而言，位於火成岩區中筆數以 E 區潛勢較多，而就百分比來看以 B、C 及 F 區潛勢較高，故火成岩中 B 區(大屯里聚落)、C 區(重和里聚落)及 F 區(水源里聚落)危險性較高。

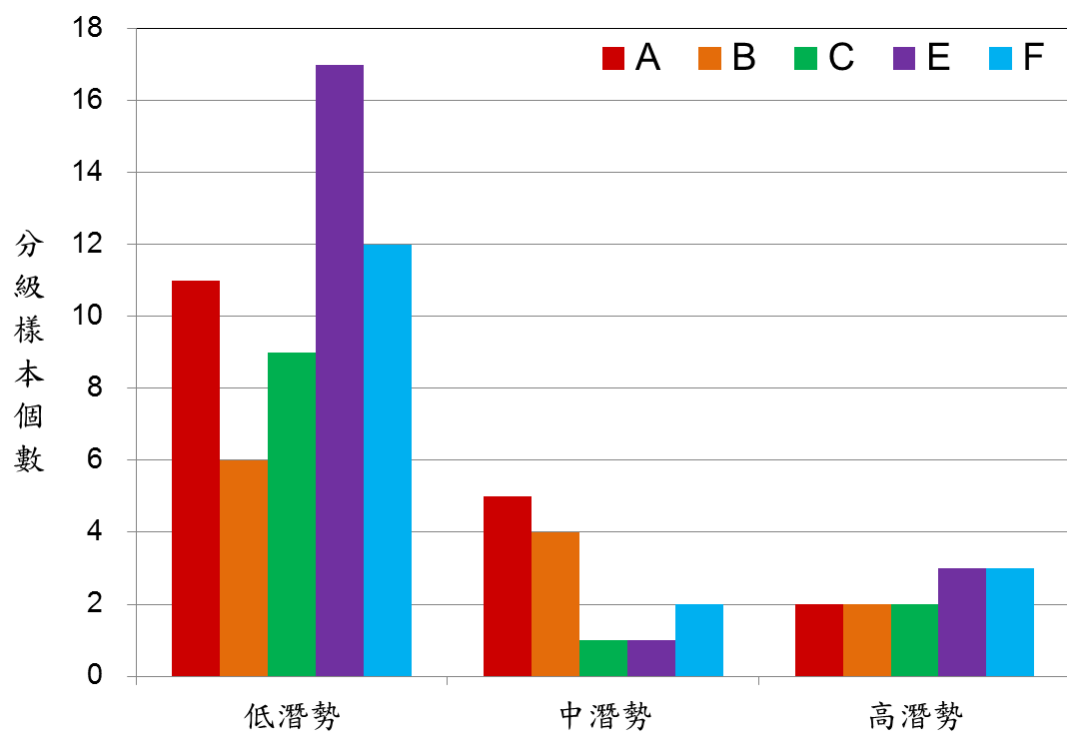


圖 5-57 研究區 5 處聚落判釋結果統計圖

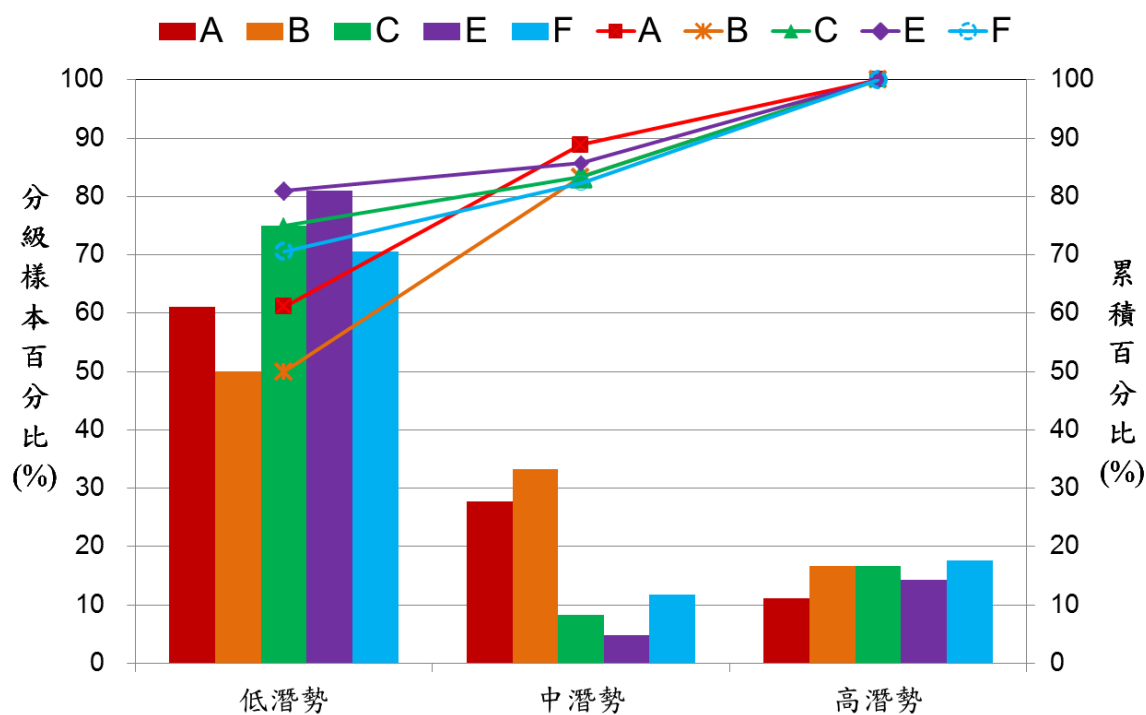


圖 5-58 研究區 5 處聚落判釋結果百分比統計圖

第六章 結論

1. 本計畫針對臺灣北部大屯山火山地質區聚落周緣之坡面型土石流判釋及潛勢評估方法精進研發。選定火成岩地質區 5 處山區聚落，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. 本研究收集坡面型土石流案例 58 筆，崩塌事件 57 筆。採隨機選出 47 筆之坡面型土石流事件作為分析及驗證樣本。其中，再配合 47 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 42 筆、驗證案例各 5 處。
3. 本研究完成 5 處聚落研究區之坡面型土石流現地查核，調查成果回饋於判釋模式之驗證作業。
4. 火成岩區之坡面型土石流判釋模式，正判率達 89.3%，土石流驗證 90%，成效良好。模式應用至 5 處研究區時，亦可達到良好之捕捉率，顯示本判釋模式可達實用需求。
5. 本年度臺灣北部大屯山火山地質區之聚落周緣坡面型土石流 (HDF 及 NDF) 之捕捉率達 95%，而 HDF 事件捕捉率達 86%。
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，12 處土石流實際案例，其中 4 處位於中潛勢其比例約為 33%，8 處位於高潛勢其比例約為 67%。
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，成果與實際狀況相

符，顯示本計畫已獲得不錯之研究成果。

8. 綜整 5 處聚落研究成果，臺灣北部大屯山火山地質區中以 B 區(大屯里聚落)、C 區(重和里聚落)及 F 區(水源里聚落)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. 鍾明修，坡面型土石流判釋模式與溪流型土石流潛勢評估方法-以中南部第三紀沉積岩為例，碩士論文，國立屏東科技大學，水土保持研究所，屏東，2020。
2. 陳天健，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，農業委員會水土保持局研究報告，2019。
3. 陳天健，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，農業委員會水土保持局研究報告，2018。
4. 陳天健，建立聚落周緣山坡坡面型土石流判釋模式及潛勢評估方法-中南東部沈積岩及變質岩區，農業委員會水土保持局研究報告，2017。
5. 陳天健，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，2016。
6. 羅元勳，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，2017。
7. 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。
8. 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。
9. 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。
10. 何明憲，臺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。
11. 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。

12. 李錫堤，山崩及土石流災害分析的方法學回顧與展望，臺灣公共工程學刊 第五卷 第一期，第1-29頁，2009。
13. 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。
14. 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。
15. 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。
16. 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，第124-134頁，2002。
17. 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。
18. 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。
19. 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。
20. 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。
21. 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。
22. 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。

23. 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。
24. 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。
25. 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。
26. 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)
27. 陳晉琪、李明熹、臧運忠、張師鐸、呂家豪、陳欣玫，臺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。
28. 陳晉琪、謝正倫、林慶偉，臺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。
29. 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。
30. 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。
31. 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。
32. 謝育樺，南投地區土石流發生潛勢分析，國立臺灣大學土木工程學研究所碩士論文，2007。
33. 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。

34. 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.
35. Brunsden, D., In process in *geomorphology*, Edward Arnold Ltd., London, pp. 130-186, 1979.
36. 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.
37. 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.
38. Evans, S. G., "Landslides and surficial deposits in urban area of British Columbia." *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.19, pp.269-288, 1982.
39. 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.
40. Iverson, R. M., Reid, R. G., LaHusen, M. E., Debris flow mobilization from landslides, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, Vol. 25, pp.85-138, 1997.
41. Jakob, M., and Hungr, O., *Debris-flow hazards and related phenomena* : Springer, Berlin, New York, 170 p, 2005.
42. 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.
43. 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.
44. 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.
 45. 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.
 46. 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)
 47. Thomas Glade, “Linking debris-flow hazard assessments with geomorphology , ” *Geomorphology* , Vol. 66, No.1-4, pp.189-213, 2005.
 48. Takahashi T , Debris flows. *Annu Rev Fluid Mech* Vol.13, pp.57-77, 1981.
 49. 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	本計畫為連續性計劃之第五年，作為創新計畫，宜強調創新何在？	臺灣地質複雜，包括七大地質區，除岩性及地形各有不同外，其產生坡面型土石流之地形特徵及產狀亦不相同，且山區聚落所在之區位亦不同。因此，本案逐一發展適合各地質區山區聚落之判釋及潛勢評估分析技術，以供後續全島使用
二	變坡點（breaks of slope）一詞宜回歸學術用語“遷移點（knick point）	已修正。
三	各項地文因子或參數應配合圖示說明，以利瞭解。	謝謝指導。將配合內文改進。
四	判釋模式各因子總共達 7 項，且各因子間可能有交感效應存在，宜探討之。另各因子之量值較大者，將造成支配模式之顯著效應，而無法與相對比率之因子配合比較，應考量	判釋模式目前配合現調結果進行研擬。所有因子將進行標準化之後，方進行區別模式擬定。

	各因子選用之妥當性。	
五	計畫中 P.21 所採用的 18 項潛勢因子與同頁「建置地文、水文、災害等特性因子分析資料庫」中的 7 項因子，尚有其中一項－流動區深寬比（HART）未涵蓋於上述 18 項因子內。	撰寫錯誤，已修正
六	另由本計畫採後項 7 種因子之初步分析結果得知，坡面型土石流的捕捉率正判率高達 87.5%，因此，若能廣泛採用到 18（或稱 19 項因子，因為缺少上述的 HART），其捕捉正判率之結果亦令人期待。	謝謝委員肯定。
七	建議本計畫於此期間將 P.25 之 5 處北部大屯火成岩之研究聚落立與水保局決定挑選出，以利於期中報告階段見其部分之分析成果。	聚落之選定，目前以水保局現行 1726 潛勢溪流之部落為主。另為判釋模式之驗證需要，亦選曾發生坡面型土石流之火山岩地區。現階段進度以判釋模式研發為主，最終聚落部分將於期中報告與水保局確認。
八	本研究所劃分之分析單元將	本研究設定最小及水面積

	「侵蝕基準以上的整個斜坡系統」該單元是否有面積限制？	需大於 1.5 公頃，於本研究團隊目前所蒐集之數百坡面型案例，最小集水面積為 1.8 公頃，因此本研究以 1.5 公頃為最低限。
九	P21 頁所列因子為 18 項，P25 「…由前述 19 項因子…」，請確認因子數量。	已修正 19 因子。
十	P26 頁：所欲完成之 5 處山區聚落，其挑選原則為何？	主要考慮曾有災害歷史，來提供判釋模式及潛勢成果之驗核。另盡量選取水保局 1726 潛勢溪流之影響聚落。
十一	前期所完成之判釋模式之因子多達 7 個，在實務應用上稍嫌複雜，本年度是否考慮簡化判釋模式？	謝謝指導。本計畫亦盡量朝向簡化因子而努力。然本計畫要求不論正判率、驗證率、及捕捉率(盲測)，均須達 80%，方具有實務應用性。目前以此決定模式之組成因子。
十二	除計畫所提 5 處聚落，是否有其他符合條件之聚落可供選擇及參考？	目前以曾發生案例之 5 聚落為主，陸續進行現勘時，若有適當的聚落，將再記錄。
十三	P.3 第 3 行，…，「在」進一步…應為「再」。	已修正。

十四	報告中十分用心蒐集了許多文獻，其中對於土石流之分類、土石流與崩塌及岩屑崩滑之差異、坡面分析單元之不同定義等，建議可列表比較。	謝謝建議。本文將再思考適當的說明方式。
十五	工作項目 5、6 之預定完成時間皆為 12 月底，若有機會提早完成，對於局內會計年度作業會有很大幫助。	配合水保局辦理。
十六	P.6 第 2 段第 2 行，…崩塌產生之物質之崩塌物…，請確認。	謝謝指正，以修正為「土石料源為停積於斜坡之鬆散物質及崩塌產生之物質」。
十七	P.7 第 1 段及第 2 段之文獻列舉，建議照提出先後順序排列。 (高橋保等(1983)、游繁結(1990)將發生於……連惠邦、林柏壽、薛組淇(2000)將崩落型土石流……游繁結(2005)等人…)	已修正先後順序排列。
十八	P.8 第二節(1)與(2)之描述與 P.7 重複書寫，建議留一處即可。	已修正內容。
十九	P.12 之最後 1 行，最後 1 句語意不清，請檢查。	謝謝指正。文字修訂為「上述 12 項特徵經與坡面型土

		石流實例比對，均具有高符合率。」
二十	P.14 第 2 段第 2 行，…以次集水區觀念劃分坡面型土石流分析單元，是否可簡單描述次集水區之定義及舉例說明？	次集水區為相對於全集水區的概念。本研究選取區域(如一條野溪)，再由該野溪集水區中，切分較小之溝壑作為分析單元，此溝壑分析稱之次(級)集水區。
二十一	P.19 第二項內容提及『…根據水保局「重大土砂災例現勘及報告彙編」所判定…』，因不同年度之合約名稱會略有差異，建議改為『…根據水保局對重大土砂災例之災害類型判定結果…』。	已修正。
二十二	P.20 除收集現「生」土石流災害…，是否誤植，請確認。	謝謝指正。文字修訂為「收集現有土石流災害案例…」，
二十三	P.20 四(一) …聚落「周」緣…因此本研究將「再」深入…錯別字請修正。	已修正錯別字。
二十四	P.25 …初步由前述 19 項因子…，但 P.21 所列因子僅 18 項，請確認。	已修正 19 因子。

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	P24，區別函數” y” 代表何等意義，宜有說明。	謝謝委員指導。詳第五章第五節 P68 說明。
二	P25，區別函數指標如何界定？宜有說明。	謝謝委員指導。詳第五章第六節說明。
三	P24，區別函數對土石流形成之可能雨水集中及逕流匯集流路之地文因子是否可有效呈現，宜有探討。（相對於 P.46 之 EWAI 是否可呈現其物理特性？）	謝謝委員指導。 1.判別模式主要表現出大屯山火成岩區內崩塌及土石流兩者地形上之相對差異。相關因子分析補充於圖 5-28 至圖 5-39，敬請參閱。 2.EWAI (有效集水指標)，有效集水指標為模式中代表匯水能力之影響因子，定義為 $EWAI = \frac{EWA}{WA}$ 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。
四	分析模式因子有 19 項之多，除說明其定義之外，應探討其物理意義及各因子之獨立性。	謝謝委員指導。 1. 19 項判別因子之定義詳述於第五章第四節說明。 2. 因子獨立性分析則請詳第五章第五節說明。
五	第一章前言：「台灣現今(109 年)土石流潛勢溪流計 1726 條，分為溪流型土石流與坡地型土石流潛勢溪流」。唯目前納入土石流潛勢溪流者，均屬溪流型土石流。前言所述易造成誤解；且與第 2 頁第 1 段所述「…且尚未納入土石流潛勢溪流…」矛盾。	謝謝委員指導。本計畫為依據 109 年水土保持局土石流防災資訊網取得「土石流潛勢溪流」基本資料，1726 條潛勢溪流中，其中依類型：溪流型 1662 條，坡面型 62 條，侵蝕溝 2 條。
六	P8：第二節引用學者之分類，以坡地流動為例，所認定之定義是否等同於坡地型土石流？建議於章節中再予釐清	謝謝委員指導。 1. 「坡面型」土石流採發生區位觀點，稱之為坡面型土石流(Hill Slope Debris Flow，HDF)。另依土砂運動型態，稱之為流體化崩塌(Fluidized Landslide Slope)。(內容如第二章第一節)。

		2.補充加註：游繁結(2005)等人，....與坡面流動(流體化崩塌，Fluidized Landslide Slope)
七	P23：(6)崩塌潛感面積如何決定？又不同地質件是否有所不同？	謝謝委員指導。 請詳第四章第二節第三點崩塌潛感面積說明。原有統計係以全台山區範圍崩塌圖資。未來將再精進研究。
八	文字修正： (1) P18：潛勢分『及』 (2) P55：HDF『集』NDF； 分『佈』	謝謝委員指正。已修正錯別字。