

沉積岩區溪流型土石流判釋模式與潛勢分級方法—基於集水區內坡面型土石流地形特性

陳天健* 黃婉禎 許毓珊

摘要 災害調查研究發現溪流集水區若發生一或數個坡面型土石流，其終導致主河道形成溪流型土石流現象。基於此，本研究應用微地形分析觀念與多變量統計方法，選用近年臺灣西部沉積岩地區曾經及未發生溪流型土石流之溪流共 32 條，應用沉積岩坡面型土石流判釋模式，逐一判釋出集水區內具坡面型土石流發生潛勢之單元。再進一步研訂溪流內土石流單元之總和地形因子，應用多變量統計分析，建立新型溪流型土石流判釋模式與潛勢分級方法。成果顯示新判釋模式及潛勢分級方法，經比對真實案例，其判釋模式正判率達 84.4%，且曾發生溪流型土石流案例位於中高潛勢者達 87.5%。顯現判釋模式與潛勢分級方法，均具有優良之實務應用效力，可應用於既有或尚未納管新溪流土石流潛勢評估之參考，提升災害管理能力增進環境永續發展。

關鍵詞：溪流型土石流、坡面型土石流、判釋模式、潛勢分級、災害管理、環境永續發展

A Terrain-Based Model for Identifying and Assessing the Potential of Channelized Debris-Flow Streams in Sedimentary Rock Areas

Tien-Chien, Chen* Wan-Chen, Huang Yu-Shan, Hsu

ABSTRACT In this study, microgeomorphological and multivariate statistical analyses were performed to investigate 32 streams in the sedimentary rock areas of western Taiwan, including 16 streams where channelized debris flows have occurred in recent years. A hillslope debris flow model was used to identify potential debris flow units for each sub-watershed of 32 streams. An aggregated topographic indices for each watershed were then defined. Multivariate analysis was conducted to develop a new identification model and a potential assessment method for channelized debris flows. The proposed identification model achieved an accuracy of 84.4% when tested against real-life cases. Approximately 87.5% of streams with previous channelized debris flows were classified as having medium to high hazard potential. These results highlight the identification model and hazard zonation method as excellent practical tools for evaluating the hazard potential of both existing and newly identified streams prone to debris flows.

Key Words: Channelized Debris Flow, Hillslope Debris Flow, Identification Model, Hazard Potential Model, Disaster Management, Environmental Sustainability

一、前言及文獻回顧

臺灣位於歐亞及菲律賓板塊會聚邊緣，地質脆弱、地震頻繁，加上極端天氣短延時強降雨之降雨型態，致使土石流事件頻仍。而西部沉積岩地質地區，為我國民生及產業發展重要地帶，但亦為土石流災害等土砂災害之好發區域，災害威脅國家發展及人民安全甚鉅。因此建立更具描述能力的土石流災害判釋及潛勢評估模式，可精進災害管理效力，增進西部地區永續發展之環境。

溪流型土石流 (channelized debris flow, CDF) 致災規模通常遠大坡面型土石流 (hillslope debris flow, HDF)。於研究

團隊綜整多年溪流土石流災害調查發現，大多數的溪流型土石流事件之集水區內多先於出現坡面型土石流狀況 (圖 1)，坡面型土石流位於上游溝壑或坡面單元，形成後順流而下，下刷河岸與溪床鬆軟土石，進而形成溪流型土石流 (陳天健及吳嘉俊，2009)。因此，就啟動機制而言，溪流型土石流之發生，與其集水區內坡面型土石流活動息息相關，若掌握集水區內坡面型土石流趨勢，則更能適當預測溪流型土石流之發生潛勢。

經多年調查及研究，研究團隊首創應用微地形分析觀念，建立了可判識潛在坡面型土石流發生空間區位之判釋模式 (陳天健等，2016；Shu et al.；陳天健及陳思好，2019)，

所建立的坡面型土石流判釋模式，成果與真實案例比對，最佳正判率達 85-90%，驗證率均達 90-94%，坡面型土石流案例捕抓率達 85% 以上。前述案例數超過 100 處以上，範圍擴及中部及南部山區，顯示研究成果具實務應用性。而後，研究團隊進一步基於集水區內坡面型土石流單元之地形特性，建立野溪之溪流型土石流潛勢評估模式，本模式採用單因子指標，包括：集水區內坡面型土石流之分析單元總面積、發生區總面積及隘口高程比等三方法。然單指標法成果仍可能受溪流大小而出現較大誤差。

為精進野溪之溪流型土石流潛勢評估模式，本研究進一步多變量統計方法，選取近年臺灣西部沉積岩地區之曾發生及未發生溪流型土石流事件溪流共 32 條溪流，採用本研究團隊已完成之坡面型土石流判釋模式，判釋各溪流集水區內具坡面型土石流潛勢單元。而後，研訂集水區內上述單元之總和地形因子，再應用多變量統計分析，建立新型溪流型土石流判釋模式與潛勢分級方法。

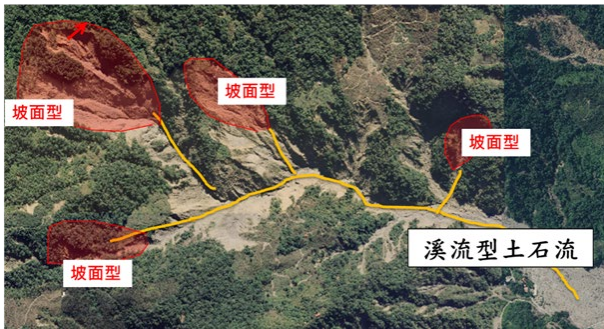


圖 1 溪流型土石流事件集水區上游之坡面型土石流圖 (陳天健與陳思好, 2019)

Fig.1 Hillslope Debris Flows in the Upstream Watershed of a Channelized Debris Flow Event (Chen & Chen, 2019)

1. 相關文獻回顧

許多學者對土石流進行了廣泛研究。土石流分為河道型與坡面型兩種 (Jakob et al., 2005)。主要的土石流類型有兩種：起源於坡面的土石流 (稱為坡面土石流) 及發生在大型溝谷中的土石流 (稱之為溪流型土石流) (Glade, 2005; Hungr et al., 2001)。

(1) 坡面型土石流 (hillslope debris flow or debris avalanche)

就地貌學而言，坡面型土石流是衍生型態的土砂運移行為，其通常是先於坡度約於 20 至 45 度間坡面發生淺層崩塌，崩塌後混入地表逕流或水分，而後再轉變成為流體化土砂 (Iverson, 1997; Hürlimann et al., 2003; Iverson and Reid, 1997)。崩塌之厚度多數為 0.5 至 2 公尺 (Hürlimann et al., 2003)。水土保持手冊 (2017) 指出，坡面型土石流發育在山坡的中、上部有一定集水條件的凹型坡面，在暴雨的激發下，凹型坡面內的土體飽水後突然起動，沿著基岩表面向下快速運動而轉化為土石流。此類型土石流固體物質僅僅來

自坡面，流量不大，其發生和運動過程皆沿著坡面或蝕溝進行，發生段和流動段不易區分，且因坡度陡，流速快，來勢猛，土石多為一次性搬運，稜角均較明顯，往往只要幾分鐘的時間就可以造成巨大損失，而土石多堆積在坡腳或蝕溝出口，堆積範圍與坡面坡度相關。如圖 2a 所示。

(2) 溪流型土石流 (channelized debris flow)

溪流型土石流的發生、運動和堆積過程皆在一條發育較為完整的溪谷內進行，具有較為完整的發生段、流動段及淤積段，固體物質主要來自溪床質及兩岸邊坡崩塌，如圖 2b 所示。於 1/25,000 地形圖上具有明顯溪谷地形，且可看出土石流之發生段、流動段及淤積段者；此類型土石流流路較長，集水區面積較大，堆積物前端之礫石呈規則性的排列。(水土保持手冊, 2017)



(a)



(b)

圖 2 土石流類型示意圖，(a) 坡面型土石流 (中國四川)。(b) 溪流型土石流 (南投信義神木村出水溪)

Fig.2 Schematic Diagram of Debris Flow Types: (a) Hillslope Debris Flow (Sichuan, China), (b) Channelized Debris Flow (Chushui Stream, Shenmu Village, Xinyi, Nantou)

(3) 坡面型土石流判釋模式

崩塌潛勢的權重評估與風險分級方法, 學理上可分為定性與定量分析, 其可採用直接或間接方法進行計量 (Guzzetti et al., 1999)。國內外現有土石流潛勢評估方法, 主要依賴地貌與水文之統計模型或機器學習 (AI、類神經網絡) 等方法。目前結合地理資訊系統 (GIS) 配合單變量與多變量統計分析, 此其已可有效應用於土石流的發生潛勢評估 (Guzzetti et al., 1999; Carrara et al., 1995)。

坡面型土石流發育在山坡的中、上部有一定集水條件的凹型坡面。本研究團隊採用地形單元劃分方法, 配合 Shu et al. (2016) 的 HDF 識別模型, 針對沉積岩區, 開發了可區分坡面上具凹型匯水地形 (潛在土石流區, HDF) 與平面坡面 (潛在淺層滑動區, SL) 地形單元的判釋方法 (陳天健與陳思好, 2019; 鍾明修, 2020)。

鍾明修 (2020) 針對臺灣西部沉積岩區, 選取近年區坡面型土石流與崩塌事件各 32 處共 64 筆案例, 做為樣本建立判釋模式。產製樣本案例之地形因子, 檢測因子相關性, 再利用費雪區別分析獲得正判率最佳之因子組合, 建立沉積岩地區坡面型土石流判釋模式, 其公式如下:

· 正規化公式: $y=0.12X_1-0.581X_2+0.011X_3+0.509X_4+0.051X_5-0.461X_6+0.186X_7$ 式 1

· 非正規化式:

$y=0.021X_1-0.013X_2+0.093X_3+0.004X_4+0.238X_5-9.1X_6+0.316X_7-2.868$ 式 2

其中, X₁ 為集水區坡面平均坡度 (AGW)、X₂ 為集水區平均寬度 (AW)、X₃ 為發生區深寬比 (DRI)、X₄ 為流動段長度 (LT)、X₅ 為流動區深寬比 (DRT)、X₆ 為崩塌潛感面積比 (RLSA)、X₇ 為形狀係數比 (FFR)。y 為區別函數, 當 y>0 時, 判為坡面型土石流, 反之則為崩塌。成果顯示樣本區正判率達 87.5%。為驗證模式適用性, 其另選用 35 處坡面型土石流及 49 處崩塌案例進行驗證, 分析成果顯示整體捕捉率為 82.1%, 證實模式之適用性佳。

二、研究案例及研究方法

1. 研究區及案例說明

本文之溪流案例分布於西部沉積岩地區, 包括曾發生及未發生溪流型土石流事件之溪流共 32 條溪流。分布流域包括: 烏溪、濁水溪、曾文溪、高屏溪, 如圖 3 所示。溪流案例主要位於三峽群沉積岩地質區。研究溪流案例名稱如表 1 所示, DF 代表曾發生土石流溪流, NDF 代表未發生土石流溪流。

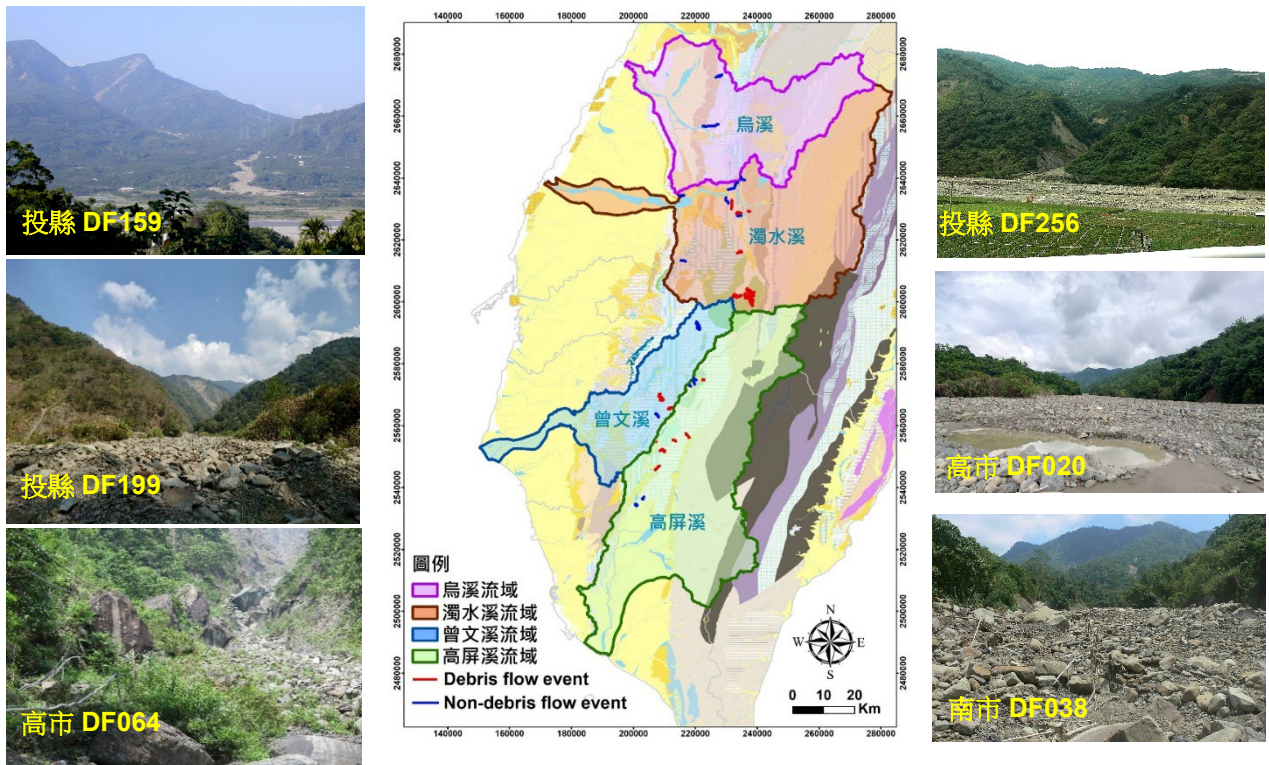


圖 3 研究區溪流流域與地質及研究案例分布圖。流域由北而南包括為烏溪、濁水溪、曾文溪、高屏溪。圖中紅色短線為曾發生土石流溪流位置, 藍色為未發生土石流溪流位置, 案例主要位於三峽群沉積岩地質區。

Fig.3 Distribution Map of Stream Watersheds, Geological Features, and Study Cases in the Research Area

表 1 研究區之 32 條案例溪流位置

Table 1 Locations of 32 Case Study Streams in the Research Area.

DF	鄉鎮	村里	NDF	鄉鎮	村里
高市DF004	那瑪夏區	達卡努瓦里	高市DF086	那瑪夏區	瑪雅里
高市DF094	甲仙區	和安里	高市DF065	那瑪夏區	達卡努瓦里
投縣DF170	水里鄉	新山村	投縣DF260	竹山鎮	桶頭里
南市DF043	南化區	關山里	高市DF040	美濃區	福安里
高市DF095	甲仙區	西安里	南市DF041	南化區	關山里
高市DF023	杉林區	集來里	彰縣DF004	二水鄉	倡和村
投縣DF162	水里鄉	興隆村	高市DF085	那瑪夏區	達卡努瓦里
高市DF064	桃源區	建山里	投縣DF163	水里鄉	興隆村
南市DF038	南化區	關山里	中市DF089	太平區	大興里
投縣DF159	水里鄉	玉峰村	高市DF096	美濃區	中圳里
投縣DF226	信義鄉	神木村	投縣DF153	水里鄉	車埕村
高市DF020	甲仙區	東安里	烏乾坑溪	水里鄉	興隆村
投縣DF199	信義鄉	神木村	投縣DF232	鹿谷鄉	瑞田村
投縣DF200	信義鄉	神木村	中市DF086	霧峰區	萬豐里
投縣DF256	水里鄉	興隆村	嘉縣DF075	阿里山鄉	樂野村
投縣DF234	信義鄉	自強村	投縣DF127	集集鎮	廣明里

2. 案例流域概況

烏溪主流全長 119 公里，流域面積 2025 平方公里，位於臺灣中西部，北鄰大甲溪，南鄰濁水溪。流域平均標高 651 公尺。烏溪主流和支流交匯處，多形成沖積扇。烏溪地層主要有廬山層、佳陽層、粗坑層、南莊層、桂竹林層、卓蘭層，並且有雙冬斷層、車籠埔斷層經過。

濁水溪主流全長 187 公里，流域面積 3157 平方公里，為全臺最長之河川，位於臺灣中部，發源於中央山脈合歡山主峰與東峰之間，流經南投縣、嘉義縣、雲林縣及彰化縣。濁水溪出露地層主要有泥、砂、礫石之沖積層與頭崙山層及卓蘭層，並且有車籠埔斷層、初鄉斷層及雙冬斷層經過。

曾文溪主流全長 138 公里，流域面積 1176 平方公里，位於臺灣南部，發源於阿里山山脈，流經嘉義縣、高雄市及臺南市。曾文溪出露地層主要有由砂岩及頁岩組成之桂竹林層，及由泥岩、砂岩及頁岩組成之卓蘭層，並且有旗山斷層、新化斷層、六甲斷層與觸口斷層。

高屏溪主流全長 171 公里，流域面積 3257 平方公里，位於臺灣南部，主要支流有荖濃溪（含濁口溪）、旗山溪（含美濃溪、口隘溪）及隘寮溪。發源於中央山脈玉山附近，流經高雄市與屏東縣。高屏溪流域內出露地層以土壠灣斷層以及潮州斷層概略可劃分為兩大區塊，斷層以西出露地層則屬西部麓山帶之沉積岩地層，包括南港層、南莊層、桂竹林層、古亭坑層與頭崙山層之相當地層，岩性以砂岩、粉砂岩、頁岩與泥岩為主，另在河谷兩側常見全新世之階地堆積層分布，沖積平原區則堆積有大量的現代沖積層。斷層以東出露板岩為主之變質岩層。

3. 研究方法說明

本研究首先針對 32 條溪流案例溪流之集水區，應用小集水區地形單元劃分方法，針對溪流全部子集水區，進行坡面型土石流 (HDF) 分析單元圈繪，接著產製特性因子。然後再應用沉積岩區坡面型土石流地形判釋模式，逐一判釋出溪流集水區內具 HDF 潛勢單元。

而後，再以全溪流集水區為單位，研訂集水區內 HDF 單

元之總和地形因子，再應用費雪區別進行因子分析，獲取正判率最佳之總和地形因子組合，建立新型溪流型土石流判釋模式。最後，再建立溪流型土石流潛勢分級方法，且評估各案例溪流之溪流型土石流潛勢。

(1) 研究區域基本圖資庫

本文使用之相關圖資，包括：研究團隊之野外地形及產狀調查記錄、內政部第三版 1/25,000 地形圖 (2024 版)、流域地質圖幅 (地質資料整合查詢圖台，地質調查及礦業管理中心)、衛星影像及航空照片 (巨量空間資訊系統 (Big Geospatial Information System，農村發展及水土保持署)、以及災前數值高程模型 (5 m DEM，內政部)等。

(2) 地形特性因子產製方法

本節簡要說明溪流案例集水區中各項地形特性因子產製方法。以下說明因子之定義，因子產製方法細節請參考陳天健與陳思好 (2019)。

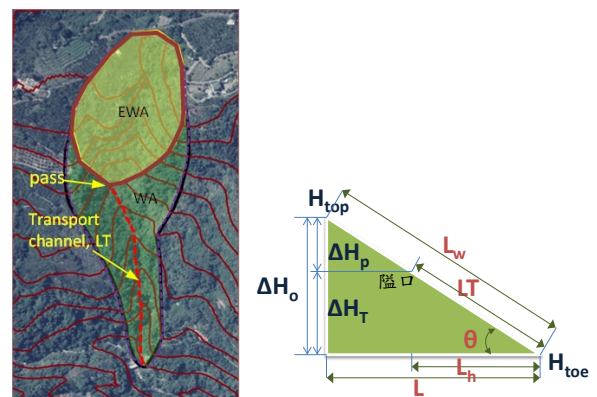


圖 4 坡面型土石流之地形單元及分析因子示意圖 (陳天健與陳思好,2019)

Fig.4 Schematic Diagram of Geomorphic Units and Characteristic Factors for Hillslope Debris Flows. (Chen & Chen, 2019)

① 集水區面積 (WA) 及發生區面積 (EWA)

集水區如圖 4 所示, 其集水區面積為分析單元之溢流點以上範圍, 集水區面積愈大其匯集之流量愈多。發生區面積為集水區上游區域由嶺線而下, 地形開始束縮成一流路之隘口以上之集水面積, 亦稱之為有效集水面積。

② 集水區平均寬度 (AW)

利用 ArcGIS 產製分析單元集水區面積 (WA) 與分析單元集水區之全長 (L') 後, 代入下列公式計算集水區平均寬度。

$$AW = WA / L' \quad \text{式 3}$$

③ 流動段長度 (LT)

流動段長度定義為河道真實長度斜距 LT, 然於航照影像之河道長度為正射投影長度 (L_F), 如圖 5 所示。本文利用下式求其較真實之流動段長度。其中, LT 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 (°)。

$$LT = L_F / \cos \theta_F \quad \text{式 4}$$

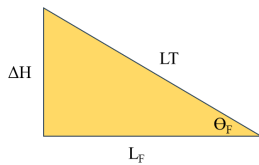


圖 5 流動段長度示意圖

Fig.5 Schematic Diagram of Length of the Transport Segment

④ 隘口高程比 (EDPR)、流動段高程差與流動段起伏比 (CGT)

隘口高程比為以隘口高程差除以集水區高程差而得。流動段高程差為隘口與出口之高程差。流動段起伏比為以發生、流動段之高程差除以水平距離而得。

⑤ 集水區坡面平均坡度 (AGW) 與發生區坡面平均坡度 (AGI)

集水區坡面平均坡度為利用 GIS 之坡度分析模組, 計算出集水區數值高程模型之坡面平均坡度。而發生區坡面平均坡度為計算出發生區範圍內之坡面平均坡度。

⑥ 發生區深寬比 (DRI) 流動段深寬比 (DRT)

本文將集水區分為兩個區位, 求取發生區深寬比 (DRI) 及流動段河道深寬比 (DRT), 以進一步探討集水區橫剖面地形演化情形。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 (圖 6, 箭頭為水流方向), 溪谷地形之定義, 取發生區與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, 代入下式計算深寬比 DR。

$$DR = b / a \quad \text{式 5}$$

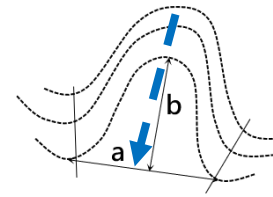


圖 6 深寬比示意圖 (虛線為 1/25,000 比例尺之等高線)(日本國土技術政策總和研究所, 2007)

Fig.6 Schematic Diagram of Depth-to-Width Ratio (Dashed Lines Represent 1:25,000 Scale Contour Lines) (National Institute for Land and Infrastructure Management, Japan, 2007)

⑦ 集水區形狀係數 (F) 與形狀係數比 (FFR)

形狀係數所代表的意義為集水區之形狀性質。形狀係數較大, 集水區外觀成寬圓形。本文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') 取代主要河道長度 (L), 利用 GIS 產製之集水區面積 (WA) 與集水區之全長後, 代入下列公式計算集水區形狀係數 F。

$$F = WA / L'^2 \quad \text{式 6}$$

發生區形狀係數 (FFI) 與集水區形狀係數概念相似, 公式修改如下式:

$$FFI = EWA / L_o'^2 \quad \text{式 7}$$

式中, L_{o'} 為發生區長度 (隘口沿谷線至發生區頂端之斜距), EWA 為發生區面積。本研究進一步定義形狀係數比 FFR, 以呈現發生區形狀比例狀況, 其為集水全區與發生區形狀係數比值, 計算如下:

$$FFR = F / FFI \quad \text{式 8}$$

⑧ 崩塌潛感面積 (LSA) 與崩塌潛感面積比 (RLSA)

本研究使用 GIS 之坡度分析模組, 計算發生區內坡面之坡度, 再依據陳柏龍 (2013) 定義之發生區內崩塌潛感坡度 30~35 度之面積, 作為崩塌潛感面積 (LSA)。

崩塌潛感面積比為發生區內之崩塌潛感面積佔全集水區面積 (WA) 之多少百分比, 其公式如下:

$$RLSA = (LSA / WA) \times 100\% \quad \text{式 9}$$

(3) 溪流集水區內地形分析單元圈繪程序

溪流集水區為由許多支流、河道、蝕溝、河岸邊坡所構成。本文應用微地形概念, 採用災前 5x5 m DEM 數位地形, 配合水文模組逐一圈繪前述地形成為各個獨立分析單元。再進行分析單元溪流線編修及發生區的圈劃, 而後產製各項地形因子。微地形分析單元劃分程序如圖 7 所示。

本文分別選 1.5 ha 及 0.5 ha 作為 HDF 集水區與溪流線之門檻面積, 產製出分析單元及溪流線, 再佐以流向圖判定匯水方向及出口。圖 8 為本研究彙整 40 處坡面型土石流案例資料, 圖中顯示土石流集水區面積主要集中於 4 至 50 公頃, 資料中顯示最大達 69 公頃, 最小則為 1.6 公頃。因此本研究選以面積 1.5 公

頃以上之集水區作為分析單元。其次，本研究應用 GIS 產製分析單元之溪流線，進以圈繪坡面型土石流案例之發生區，經比對實際地形後，溪流線閾值以 0.5 ha 所獲之吻合度最高，因此採用 0.5 ha 作為溪流線之門

檻面積。最後，若圈畫出的地形單元無統一匯水出口時，則判定其為潛在崩塌單元，直接剔除不再進行後續分析程序。圖 9 為投縣 DF189 及高市 DF054 二溪流編修後之 HDF 分析單元 (紅色區域) 分布圖。

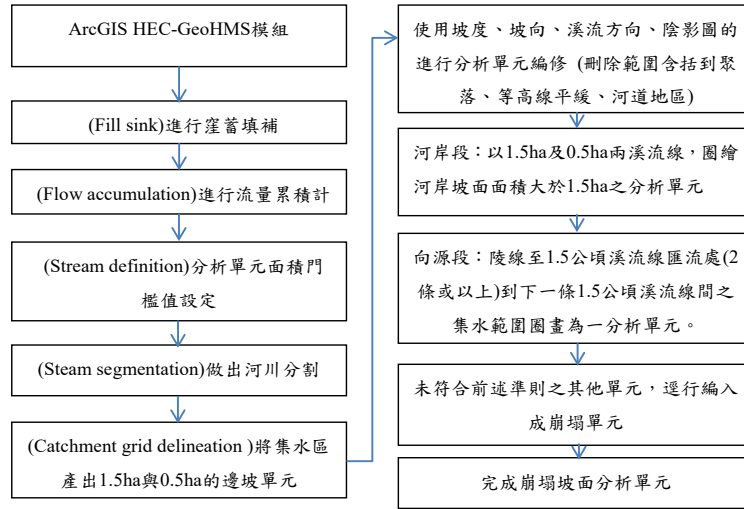


圖 7 坡面型土石流分析單元劃分流程圖

Fig.7 Flowchart for Delineating Analytical Units of Hillslope Debris Flows

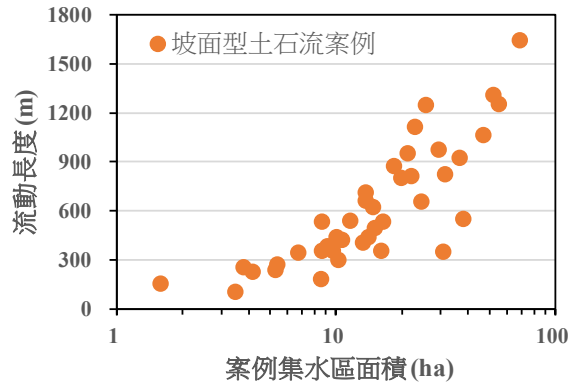


圖 8 40 處坡面型土石流案例集水區面積與流動長度分布圖

Fig.8 Distribution of Area and Length of Watersheds in 40 Hillslope Debris Flows

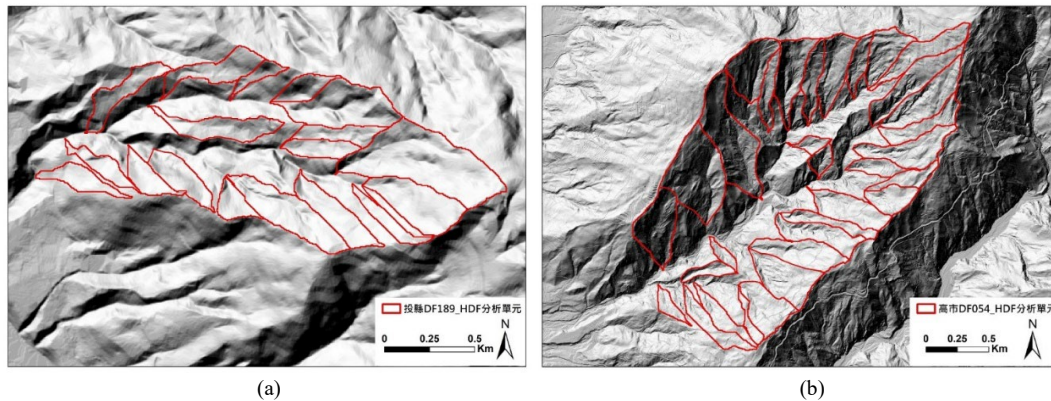


圖 9 (a) 投縣 DF189(陳有蘭溪) 及 (b) 高市 DF054(高屏溪) 溪流分析單元圈畫成果

Fig.9 The delineation result, (a) Nantou DF189 torrent, (b)Kaohsiung DF054 torrent

(4) 溪流集水區 HDF 總和地形特性因子產製方法

本文首先針對曾發生及未發生溪流型土石流之各 16 條溪流集水區, 產製出所有微地形分析單元, 再應用前節之沉積岩地區坡面型土石流判釋模式 (式 1 及式 2), 辨識出 HDF 單元 (具發生潛勢單元)。圖 10 範例為投縣 DF153 溪流集水區內 HDF 單元之分布圖, 圖中黃線為全溪流集水區, 綠線為集水區內經辨識為 HDF 之分析單元, 紅線則為 HDF 之發生區 (source) 範圍。當完成所有 HDF 分析單元辨識後, 再以一溪流集水區為單位, 以 HDF 單元的地形性質為標的, 進一步研訂溪流總和地形特性因子 (the aggregated topographic indices)。

為呈現溪流集水區整體特性, 本文研訂共計 28 個集水區 HDF 總和地形指標 (表 2)。HDF 總和地形特性指標, 包括: 溪流集水區內之 HDF 單元面積及長度相關因子之總和、平均、及最大值; 與坡度、比例相關因子之平均及最大值。

溪流 HDF 總和地形特性因子計算方法, 簡要說明如表 3 所示。項目包括: 發生區面積 (EWA_{HDF_X})、發生區坡度 (AGI_{HDF_X})、流動段長度 (LT_{HDF_X})、流動段深寬比 (DRT_{HDF_X})、流動段起伏比 (CGT_{HDF_X})、崩塌潛感面積比 ($RLSA_{HDF_X}$)、隘口高程比 ($EDPR_{HDF_X}$)。

上述代號之下標 X 分別表示為總和、平均、或最大值代號。其中, HDF 單元內坡度及比例相關因子之平均值計算方法, 均將坡度或比例因子先乘以單元面積加權後, 進行加總, 再除以總面積。

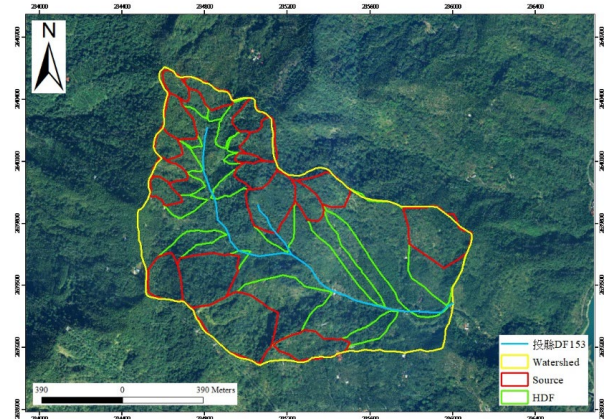


圖 10 投縣 DF153 溪流集水區內 HDF 單元分布圖, 綠線為溪流集水區內之 HDF 單元, 紅線為 HDF 之發生區範圍

Fig.10 Distribution Map of HDF Units within the DF153 Stream Watershed in Nantou County. Green lines represent HDF units within the watershed, while red lines indicate the initiation zones of HDF

表 2 集水區總和地形指標因子

Table 2 28 aggregated topographic indices for the study

總和地形指標因子	總和	平均	最大值
集水區面積 (WA_{HDF})	✓		✓
發生區面積 (EWA_{HDF})	✓		✓
崩塌潛感面積 (LSA_{HDF})	✓	✓	✓
集水區坡度 (AGW_{HDF})		✓	
發生區坡度 (AGI_{HDF})		✓	
流動段坡度 (CST_{HDF})		✓	
發生區深寬比 (DRI_{HDF})		✓	
流動段深寬比 (DRT_{HDF})		✓	✓
發生區起伏比 (CGI_{HDF})		✓	
流動段起伏比 (CGT_{HDF})		✓	
發生區形狀係數 (FFI_{HDF})		✓	
流動段長度 (LT_{HDF})	✓	✓	✓
流動段高程差 (EDT_{HDF})	✓	✓	✓
有效集水指標 ($EWAI_{HDF}$)		✓	
隘口高程比 ($EDPR_{HDF}$)		✓	
崩塌潛感面積比 ($RLSA_{HDF}$)		✓	
坡面平均坡度比 ($GRIR_{HDF}$)		✓	
河道險峻值 (MR_{HDF})		✓	
河道險峻值 ($MR^{0.5}_{HDF}$)		✓	

表 3 各溪流之總和地形特性因子計算方法

Table 3 Methods for calculating the aggregated topographic indices for each stream

總和地形特性因子	計算說明
總和發生區面積 (EWA _{HDF_ACC})	溪流集水區內所有HDF單元之發生區面積之總和。
平均發生區坡度 (AGI _{HDF_AVG})	各HDF單元之發生區坡度因子乘以發生區面積後加總，再除以總和發生區面積。
總和流動段長度 (LT _{HDF_ACC})	溪流集水區內所有HDF單元流動段長度之總和。
平均流動段深寬比 (DRT _{HDF_AVG})	各HDF單元之流動段深寬比因子進行加總，再除以HDF單元個數。
平均流動段起伏比 (CGT _{HDF_AVG})	各HDF單元之流動段起伏比因子進行加總後，再除以HDF單元個數。
平均崩塌潛感面積比 (RLSA _{HDF_AVG})	各HDF單元之崩塌潛感面積比因子乘以集水區面積後加總，再除以總和集水區面積。
平均隘口高程比 (EDPR _{HDF_AVG})	各HDF單元之隘口高程比因子乘以集水區面積後加總，再除以總和集水區面積。

三、結果與討論

1. 溪流集水區內地形分析單元圈繪及判釋成果

本文就 32 條溪流內次集水區逐一劃定出分析單元。經劃分程序後，最終獲得分析單元共計 332 處，劃分成果請參見附錄一。而後再將所獲取之分析單元，依坡面型土石流判釋模式 (式 1) 進行判定。若判為坡面型土石流者以 HDF 表示，為崩塌者則以 NDF 表示；其他之 S 邊坡單元，則直接剔除無需分析。

囿於篇幅，僅呈現圖 11 至圖 16 為六流域案例溪流集水區內土石流單元圈繪及判釋成果之範例，圖中紅藍色區域為地形分析單元，紅色範圍是判釋為坡面型土石流 (HDF) 之分析單元判釋成果，藍色範圍則是判釋為非坡面型土石流 (NDF) 之分析單元判釋成果。其中，廊子溪 (中市 DF089) 位於烏溪流域，愛玉子溪 (投縣 DF226)、牛稠坑溪 (投縣 DF234)、白不仔溪 (投縣 DF256) 位於烏濁水溪流域，嘉縣 DF075 位於曾文溪流域，高市 DF065 位於高屏溪流域。

為驗證坡面型土石流判釋模式之實用性，本文比對既有土石流調查資料庫，針對前 32 條土石流溪流集水區中，曾發生坡面土石流事件之單元，進行盲測。結果顯示濁水溪流域，事件捕捉率 88.9%；曾文溪流域其捕捉率 87.5%。高屏溪流域其捕捉率 85.7%；全區總數共 58 處土石流事件，模式捕捉 51 處，捕抓率達 88%。成果顯示此判釋模式具有相當優良之應用性。

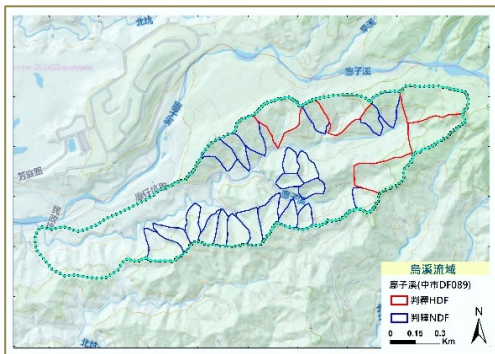


圖 11 廊子溪 (中市 DF089) 坡面型土石流單元判釋結果
Fig.11 Interpretation results of HDF units in Wugang Hang river (Taichung DF089)

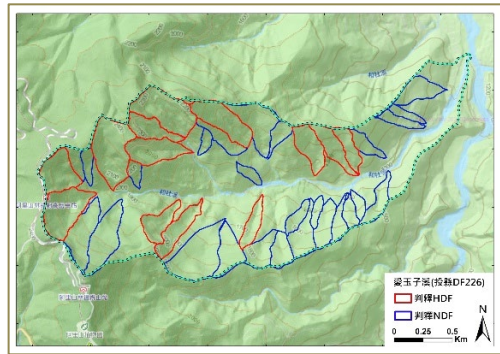


圖 12 愛玉子溪 (投縣 DF226) 坡面型土石流單元判釋結果
Fig.12 Interpretation results of HDF units in Aiyuzi river (Nantou DF226)

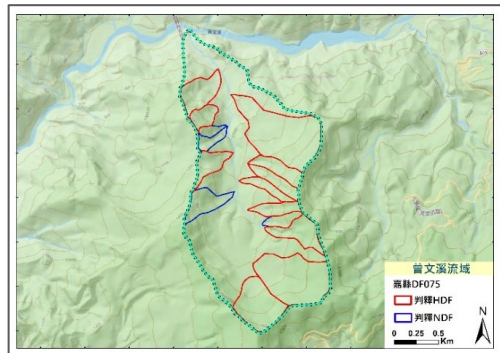


圖 13 嘉縣 DF075 坡面型土石流單元判釋結果
Fig.13 Interpretation results of HDF units in Chiayi DF075

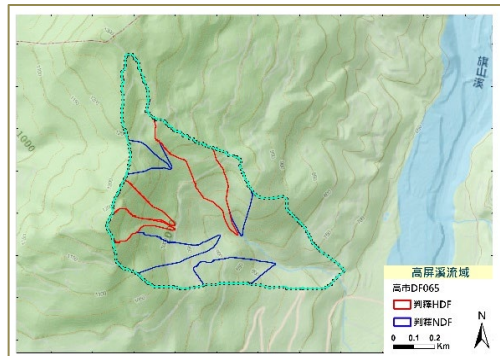


圖 14 高市 DF065 坡面型土石流單元判釋結果
Fig.14 Interpretation results of HDF units in Kaohsiung DF065 torrent

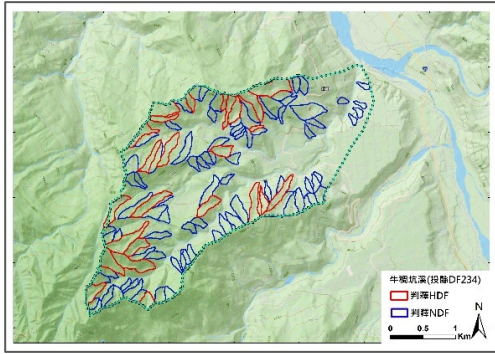


圖 15 牛稠坑溪 (投縣 DF234) 坡面型土石流單元判釋結果

Fig.15 Interpretation results of HDF units in Niuchou Hang river (Nantou DF234)

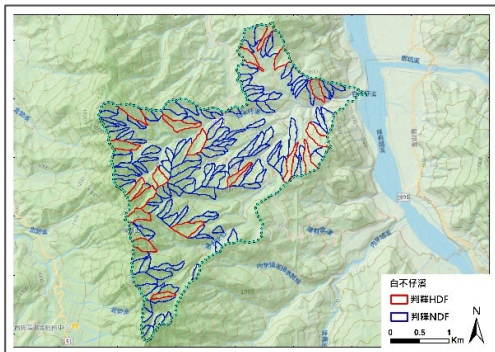


圖 16 白不仔溪 (投縣 DF256) 坡面型土石流單元判釋結果

Fig.16 Interpretation results of HDF units in Baibu Tsai river

2. 土石流溪流集水區內 HDF 地形總和因子特性分析

本節綜合分析 32 處溪流集水區內 HDF 單元之總和地形特性因子之狀況。

- (1) 總和發生區面積 (EWA_{HDF_ACC}) 與平均發生區坡度 (AGI_{HDF_AVG})

圖 17 為案例平均發生區坡度與總和發生區面積分布圖，藍色點為曾發生之溪流型土石流，橘色點為未發生之溪流型土石流。圖中顯示曾發生溪流型土石流之總和發生區面積，分布在面積 6-61 公頃，且 75% 大於 25 公頃；而未發生者則分布於 2-96 公頃間，75% 小於 25 公頃。曾發生溪流型土石流之總和發生區面積有較大之趨勢。

平均發生區坡度方面，曾發生案例之坡度較集中於 23-46 度間，而未發生者則分布於 17-42 度間。曾發生土石流案例集水區之平均坡面坡度有較高之趨勢。

- (2) 總和發生區面積 (EWA_{HDF_ACC}) 與平均崩塌潛感面積比 ($RLSA_{HDF_AVG}$)

圖 18 為案例平均崩塌潛感面積比與總和發生區面積分布圖。圖中顯示平均崩塌潛感面積比分布在面積 0.04-0.14 間，主要集中於 0.04-0.12 間；而未發生

者則分布於 0.03-0.16 間，主要集中於 0.03-0.09 間。顯示曾發生土石流溪流之平均崩塌潛感面積比有較大之趨勢。

- (3) 總和流動段長度 (LT_{HDF_ACC}) 與平均流動段起伏比 (CGT_{HDF_AVG})

圖 19 為案例平均流動段起伏比與總和流動段長度分布圖。圖中顯示曾發生土石流溪流之平均流動段起伏比分布於 0.24-0.59 間；而未發生者則分布於 0.14-0.53 間，顯示曾發生土石流溪流之平均流動段起伏比有較大之趨勢。而總和流動段長度方面則主要分布於 2500-9000 m 間；而未發生者則主要小於 4000 m。曾發生土石流溪流之總和流動段長度有較長之趨勢。

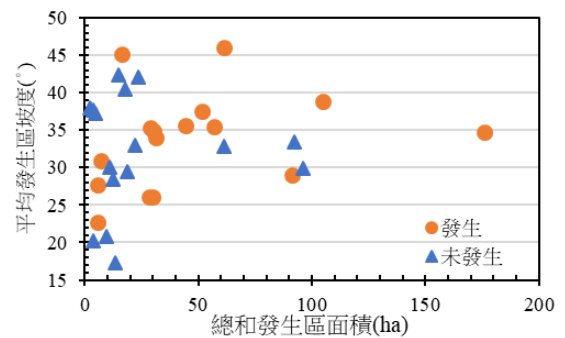


圖 17 平均發生區坡度與總和發生區面積分布圖
Fig.17 Distribution Map of AGI_{HDF_AVG} and EWA_{HDF_ACC}

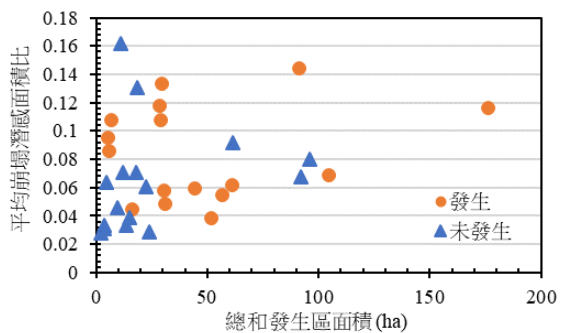


圖 18 平均崩塌潛感面積比與總和發生區面積分布圖
Fig.18 Distribution Map of $RLSA_{HDF_AVG}$ and EWA_{HDF_ACC}

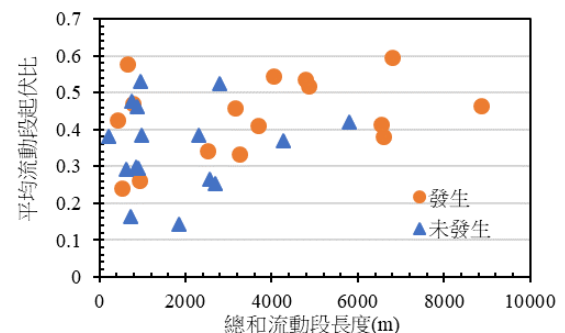


圖 19 平均流動段起伏比與總和流動段長度分布圖
Fig.19 Distribution Map of CGT_{HDF_AVG} and LT_{HDF_ACC}

(4) 平均流動段深寬比 (DRT_{HDF_AVG}) 與平均隘口高程比 (EDPR_{HDF_AVG})

圖 20 為案例平均隘口高程比與平均流動段深寬比分布圖。圖中顯示曾發生土石流溪流之平均流動段深寬比分布較集中於 0.25-1.0 之間；而未發生者則分布於 0.08-0.99 間，二者未有明顯差異。而平均隘口高程比方面，曾發生土石流溪流者則主要分布於 0.46-0.8 間；而未發生者則分布於 0.3-0.81 間，主要集中於 0.46-0.8 間。二者性質相近。

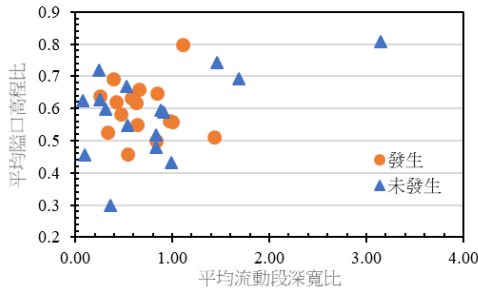


圖 20 平均隘口高程比與平均流動段深寬比分布圖

Fig.20 Distribution Map of EDPR_{HDF_AVG} and DRT_{HDF_AVG}

四、溪流型土石流溪流判釋模式與發生潛勢分級方法

本節進行主成分分析，選取和地形特性因子(指標)最佳之組合因子，最後建立溪流發生溪流型土石流之判釋模式及發生潛勢分級方法。

1. 因子獨立性分析

本文首先針對 28 項 HDF 總和地形特性因子之獨立性關係，進行皮爾森卡方獨立性檢定 (Pearson's chi-square test of independence)，並同時計算各因子與土石流潛勢溪流類別之皮爾森相關係數 (Pearson's correlation coefficient)，以評估各總和地形因子與土石流發生潛勢之關聯程度。變數篩選方面，本文設定相關係數臨界值為 |r| = 0.6，主要選取具中低度以下相關且通過獨立性檢定之因子，作為後續模式建構之候選變數。

其後，為同時考量多變量地形條件對土石流溪流與非土

石流溪流之區別能力，採用費雪線性區別分析 (Fisher's Linear Discriminant Analysis, LDA) 建立區別函數，並評估各總和地形因子組合之判識效果與分類正確率，進而建立土石流溪流判識模型。

本文針對 28 項總和地形特性因子之皮爾森相關性分析彙整於附錄二。檢測成果顯示集水區面積；發生面積、崩塌潛感面積等因子多具高相關性；全集水區、發生區、與河道之坡度因子也呈現高度相關；流動段高段差與何流動段長度因子亦為高相關性。排除高相關性因子後，其中主要 7 因子之皮爾森相關性分析如表 4。在皮爾森相關係數都屬於中、低相關性，皆為互相獨立之因子，且在區別模式有良好成效。

2. 溪流型土石流溪流判釋模式

本文以四流域之曾發生及未發生之溪流型土石流各 16 處，總共 32 處為樣本，產製坡面型土石流總和因子資料庫，再應用費雪區別分析法(Fisher's Linear Discriminant Analysis, LDA)逐一篩選因子，建立區別函數，並評估各總和地形因子組合之判識效果與分類正確率，求得正判率最佳之組合。本文獲取最佳組合之 7 項因子區別函數公式如下：

· 正規化公式：

$$y = -0.798X_1 - 0.61X_2 + 1.103X_3 + 0.441X_4 + 1.264X_5 + 0.608X_6 + 0.424X_7 \tag{式 11}$$

· 非正規化式：

$$y = -0.021X_1 - 0.086X_2 + 0.001X_3 + 1.569X_4 + 11.32X_5 + 16.928X_6 + 3.872X_7 - 6.482 \tag{式 12}$$

其中，y 為費雪函數、X₁ 為發生區面積 (EWA_{HDF_ACC})、X₂ 為發生區坡面平均坡度 (AGI_{HDF_AVG})、X₃ 為流動段長度 (LT_{HDF_ACC})、X₄ 為流動段深寬比 (DRT_{HDF_AVG})、X₅ 為流動段起伏比 (CGT_{HDF_AVG})、X₆ 為崩塌潛感面積比 (RLSA_{HDF_AVG})、X₇ 為隘口高程比 (EDPR_{HDF_AVG})。若區別函數值 y 大於 0，判定為土石流溪流；當區別函數值 y 小於 0，則判定為非土石流溪流。溪流型土石流判釋模式之正判率如表 5 所示。正判率達 84.4%。

圖 21 為曾發生及未發生溪流型土石流溪流之區別函數分佈情況。x 軸為區別函數值，y 軸分別為資料數佔全樣本之百分比(機率)。曾發生樣本之函數值主要分佈於-1.3~3 之間，但主要樣本多小於 0。而未發生者之函數值分佈於-3~0.9 之間，但主要主要樣本多小於 0。成果顯示本判釋模式之描述效力優良。

表 4 七因子皮爾森相關係數分析結果

Table 4 Pearson Correlation Coefficient Analysis Results for Seven Factors.

Factor	EWA _{HDF_ACC}	AGI _{HDF_AVG}	LT _{HDF_ACC}	DRT _{HDF_AVG}	CGT _{HDF_AVG}	RLSA _{HDF_AVG}	EDPR _{HDF_AVG}
EWA _{HDF_ACC}	1.000	0.153	0.659	0.027	0.286	0.185	0.212
AGI _{HDF_AVG}	0.153	1.000	0.243	0.142	0.590	-0.314	0.023
LT _{HDF_ACC}	0.659	0.243	1.000	0.037	0.233	-0.171	-0.117
DRT _{HDF_AVG}	0.027	0.142	0.037	1.000	-0.506	-0.226	0.315
CGT _{HDF_AVG}	0.286	0.590	0.233	-0.506	1.000	-0.108	-0.301
RLSA _{HDF_AVG}	0.185	-0.314	-0.171	-0.226	-0.108	1.000	0.324
EDPR _{HDF_AVG}	0.212	0.023	-0.117	0.315	-0.301	0.324	1.000

表 5 區別分析結果

Table 5 Discriminant Analysis Results

結果呈現	原始	預測		總和
	類別	未發生	曾發生	
個數	未發生	14	2	16
	曾發生	3	13	16
百分比%	未發生	87.5	12.5	100
	曾發生	18.8	81.3	100

整體正判率=(14+13)/(16+16)×100%=84.4%

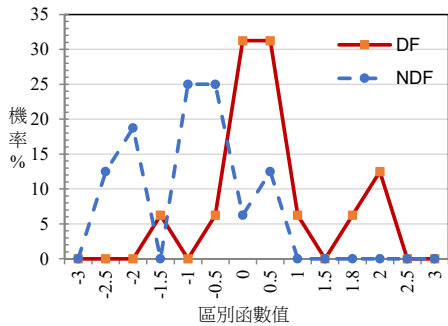


圖 21 曾發生與未發生溪流型土石流案例之區別函數分佈圖

Fig.21 Distribution Diagram of Discriminant Function for DF and NDF samples

3. 溪流型土石流發生潛勢分級方法

本文進一步應用費雪函數建立溪流型土石流發生潛勢分級方法。首先，選取所有樣本之費雪函數值依序排列，再由其分佈曲線累積百分比，分成三個潛勢區間。其中，以函數值=0(累積機率为46.8%)、函數值=0.61(累積機率为75%)為分界指標。當函數值0以下為低潛勢，函數值落於0-0.606之間為中潛勢，函數值≥0.606為高潛勢。分析所得之潛勢分級指標，如圖22所示。32處溪流之分級結果如表6所示，

高潛勢溪流者有7條、中潛勢者10條、低潛勢者為15條。

其中，曾發生溪流型土石流之溪流位於高潛勢者占50%，中潛勢者占37.5%，合計位於中高者達87.5%。而未發生溪流型土石流者位於低潛勢者達40.6%。顯示本潛勢分級方法可適用於溪流評估溪流型土石流發生潛能。

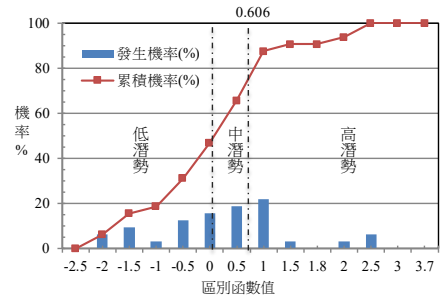


圖 22 潛勢分級指標分佈圖。費雪函數值 0 以下為低潛勢點位，落於 0-0.606 之間為中潛勢點位，而 ≥ 0.606 者為高潛勢點位

Fig.22 Distribution Diagram of Hazard Potential. Fisher's Function Values Below 0 Indicate Low-Potential, Values Between 0 and 0.606 Indicate Medium-Potential, and Values ≥ 0.606 Indicate High-Potential

表 6 溪流樣本之發生潛勢分級成果

Table 6 Hazard Zonation Classification Results for Stream Samples.

曾發生案案例(DF)	鄉鎮	村里	潛勢	未發生案案例 (NDF)	鄉鎮	村里	潛勢
高市DF004	那瑪夏區	達卡努瓦里	中	高市DF086	那瑪夏區	瑪雅里	低
高市DF094	甲仙區	和安里	高	高市DF065	那瑪夏區	達卡努瓦里	低
投縣DF170	水里鄉	新山村	中	投縣DF260	竹山鎮	桶頭里	低
南市DF043	南化區	關山里	低	高市DF040	美濃區	福安里	低
高市DF095	甲仙區	西安里	低	南市DF041	南化區	關山里	低
高市DF023	杉林區	集來里	高	彰縣DF004	二水鄉	倡和村	低
投縣DF162	水里鄉	興隆村	中	高市DF085	那瑪夏區	達卡努瓦里	低
高市DF064	桃源區	建山里	高	投縣DF163	水里鄉	興隆村	低
南市DF038	南化區	關山里	中	中市DF089	太平區	大興里	低
投縣DF159	水里鄉	玉峰村	中	高市DF096	美濃區	中圳里	高
投縣DF226	信義鄉	神木村	高	投縣DF153	水里鄉	車埕村	低
高市DF020	甲仙區	東安里	高	烏乾坑溪	水里鄉	興隆村	中
投縣DF199	信義鄉	神木村	高	投縣DF232	鹿谷鄉	瑞田村	低
投縣DF200	信義鄉	神木村	中	中市DF086	霧峰區	萬豐里	低
投縣DF256	水里鄉	興隆村	高	嘉縣DF075	阿里山鄉	樂野村	低
投縣DF234	信義鄉	自強村	高	投縣DF127	集集鎮	廣明里	中

五、結 論

本研究基於集水區內坡面型土石流單元地形特性因子，應用多變量分析方法，以四大流域之 32 條土石流樣本，發展溪流型土石流溪流判釋模式，且研訂溪流型土石流發生潛勢分級方法。研究結論如下：

1. 本文建立沉積岩地質區之溪流型土石流判釋模式。其最佳效力因子組合，分別為總和發生區面積 (EW-AHDF_ACC)、平均發生區坡面坡度 (AGIHDF_AVG)、總和流動段長度 (LTHDF_ACC)、平均流動段深寬比 (DRTHDF_AVG)、平均流動段起伏比 (CGTHDF_AVG)、平均崩塌潛感面積比 (RLSAHDF_AVG)、平均隘口高程比 (EDPRHDF_AVG)。判釋模式整體正判率為 84.4%。
2. 溪流型土石流潛勢分級方法，以取費雪函數值 0 及雪數函數值 0.606 為分界指標。費雪函數值 0 以下為低潛勢，費雪函數大於值 0.85 為高潛勢，兩者之間為中潛勢點位。依此模式即可決定溪流型土石流發生潛勢。比對曾發生溪流型土石流案例，合計位於中高潛勢者達 87.5%。
3. 分析總和地形特性因子之狀況，顯示曾發生溪流型土石流之總和發生區面積、總和流動段長度、平均坡面坡度、平均崩塌潛感面積比、及平均流動段起伏比等因子，均有較大於未發生溪流因子之趨勢。此地形特性現象值得進一步探討。
4. 經比對真實案例，本文採用數位地型，配合水文分析所發展之坡面型土石流分析單元圈繪方法，可有效圈繪出坡面型土石流分析單元。經測試後顯示其實用性良好。
5. 本文針對已建立之坡面型土石流判釋模式實用性，進行盲測。比對研究區 32 條溪流中曾發生坡面型土石流之 58 處事件，經模式判釋結果捕捉 51 處，捕抓率達 88%。成果顯示此判釋模式具有相當優良之應用性。
6. 本文應用微地形分析觀念與多變量統計方法，考慮溪流之坡面型土石流地型特性，訂定溪流集水區內上述單元之總和地形因子指標，完成新型溪流型土石流判釋模式與潛勢分級方法。成果顯示本潛勢分級方法可適用於溪流評估溪流型土石流發生潛能。
7. 新型溪流型土石流判釋模式與發生潛勢分級方法具有優良之實務應用效力，可應用於既有或未來新生土石流溪流之判定與潛勢評估。惟目前仍適用於沉積岩地質區，其他地質區尚待後續研究。

致 謝

本研究承蒙農業部農村發展 (SWCB-107-139) 及水土保持署與國家科學及技術委員會經費補助 (NSTC 114-2625-M-020-001)，使得研究能順利完成，謹此誌謝。

參考文獻

- [1] 水土保持手冊 (2017)，農村發展與水土保持署。(Manual of soil and water conservation (2017). Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation).
- [2] 日本國土技術政策總和研究所 (2007)，砂防基本計畫策定指針 (土石流·流木対策編) 解說。(National Institute for land and infrastructure management (2007). Manual of technical standard for establishing SABO master plan for debris flow and driftwood, Japan. (in Japanese))
- [3] 經濟部地質調查及礦業管理中心，地質資料整合查詢圖台，<https://geomap.gsmma.gov.tw>。(Geological Data Integrated Query Service Platform, <https://geomap.gsmma.gov.tw>, Geological Survey and Mining Management Agency, MOEA)
- [4] 陳天健、吳嘉俊 (2009)，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。(Chen, T.C., and Wu, C.C. (2009). Reconnaissance on Slope Failure in Hillland Village Induced by Typhoon Morakot. The National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR). (in Chinese))
- [5] 陳天健、陳思妤 (2019)，「基於坡面型土石流潛能之溪流型土石流潛勢評估模式-板岩地區」，中華水土保持學報, 50(3), 89-101. (Chen, T.C., and Chen, S.Y. (2019). "Occurrence potential assessment model of debris flow torrents based on hillslope type debris flow index in the watershed in slate region." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 50(3), 89-101.)
- [6] 陳柏龍 (2013)，「坡面型土石流潛勢分析與堆積特性」，國立屏東科技大學水土保持研究所碩士論文。(Chen, B.L. (2013). *Potential analysis and deposition characteristics of hillslope debris flows*, Master Thesis, National Pingtung University of Science and Technology, Taiwan, ROC. (in Chinese with English abstract))
- [7] 農業部農村發展及水土保持署，巨量空間資訊系統，<https://gis.ardswc.gov.tw/>。(Big Geospatial Information System, <https://gis.ardswc.gov.tw/>，Agency of Rural Development and Soil and Water Conservation, MOA)
- [8] 鍾明修 (2020)，「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」，國立屏東科技大學水土保持系碩士論文。(Chung, M.H. (2020). *The Recognition of Hillslope Type Debris Flows And Assessment of Debris Flow Torrents for Sedimentary Terrain in Central and Southern Taiwan*, Master Thesis, National Pingtung university of science and technology, Taiwan, ROC. (in Chinese with English abstract))
- [9] Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., and Reichenbach, P. (1995). "GIS technology in mapping landslide hazard." *In Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*; Carrara, A., Guzzetti F., Eds.; Kluwer: Dordrecht, The Netherlands, 135-175.
- [10] Glade, T. (2005). "Linking debris-flow hazard assessments with geomorphology." *Geomorphology*, 66, 189-213.

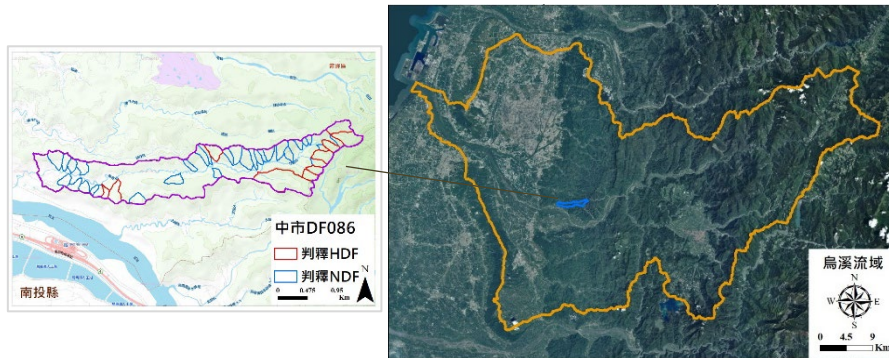
- [11] Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., and Reichenbach, P. (1999). "Landslide hazard evaluation: A review of current techniques and their application in a multi-scale study, central Italy." *Geomorphology*, 31, 181-216.
- [12] Horton, H.E. (1932). "Drainage-basin Characteristics." *American Geophysical Union*, 13, 35-61.
- [13] Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M., and Hutchinson, J.N. (2001). "A review of the classification of landslides of the flow type." *Environmental and Engineering Geoscience*, VII, 221-238.
- [14] Hürlimann, M., Rickenmann, D., and Graph, C. (2003). "Field and monitoring data of debris-flow events in the Swiss Alps." *Canadian Geotechnical Journal*, 40, 161-175.
- [15] Iverson, R.M. (1997). "The physics of debris flows." *Reviews of Geophysics*, 35, 245-296.
<https://doi.org/10.1029/97RG00426>.
- [16] Iverson, R.M., Reid, M.E., and LaHusen, R.G. (1997). "Debris-flow mobilization from landslides." *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 25, 85-138.
- [17] Jakob, M., and Hungr, O. (2005). Chapter 2: Classification and Terminology. In *Debris-Flow Hazards and Related Phenomena*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany.
- [18] Shu, H.M., Chen, T.C., Yang, W.C., and Luo, Y.X. (2016). "Interpretation and Analysis of Potential Fluidized Landslide Slope," *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 47(2), 101-110. ISSN 0046-5828.

2025 年 01 月 07 日 收稿

2026 年 01 月 14 日 修正

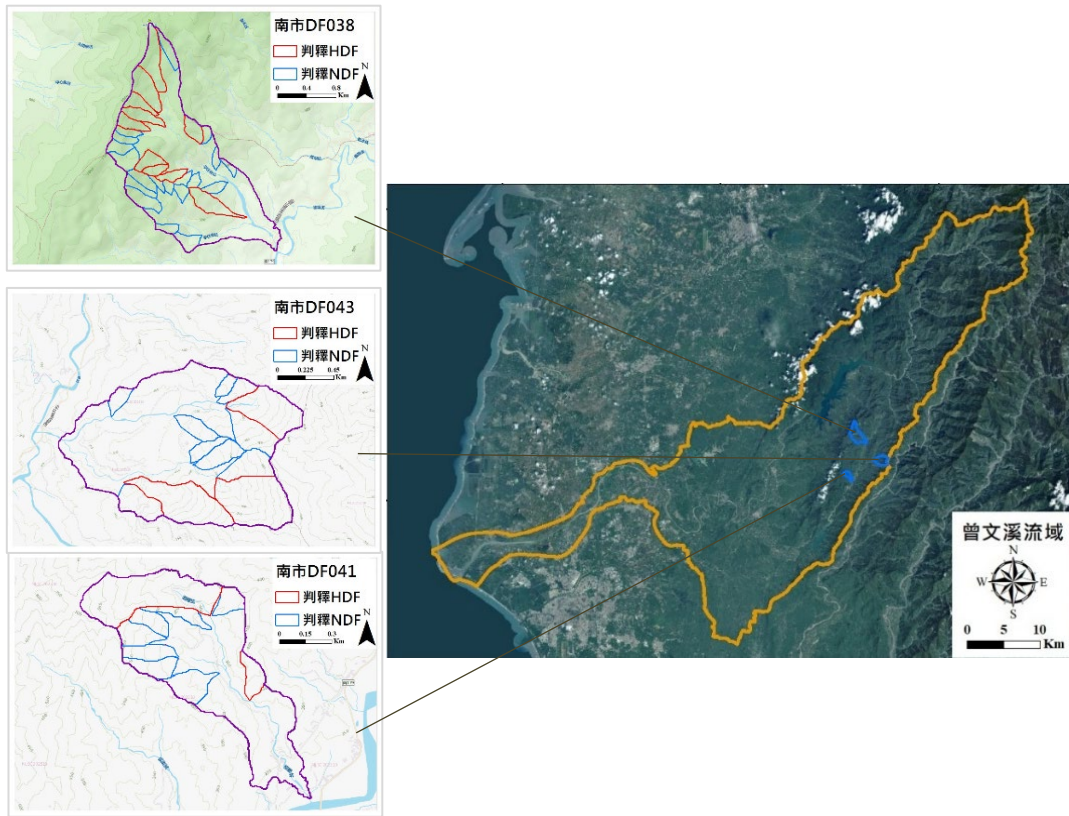
2026 年 02 月 13 日 接受

附錄一 溪流集水區內 HDF 單元圈繪及判釋成果



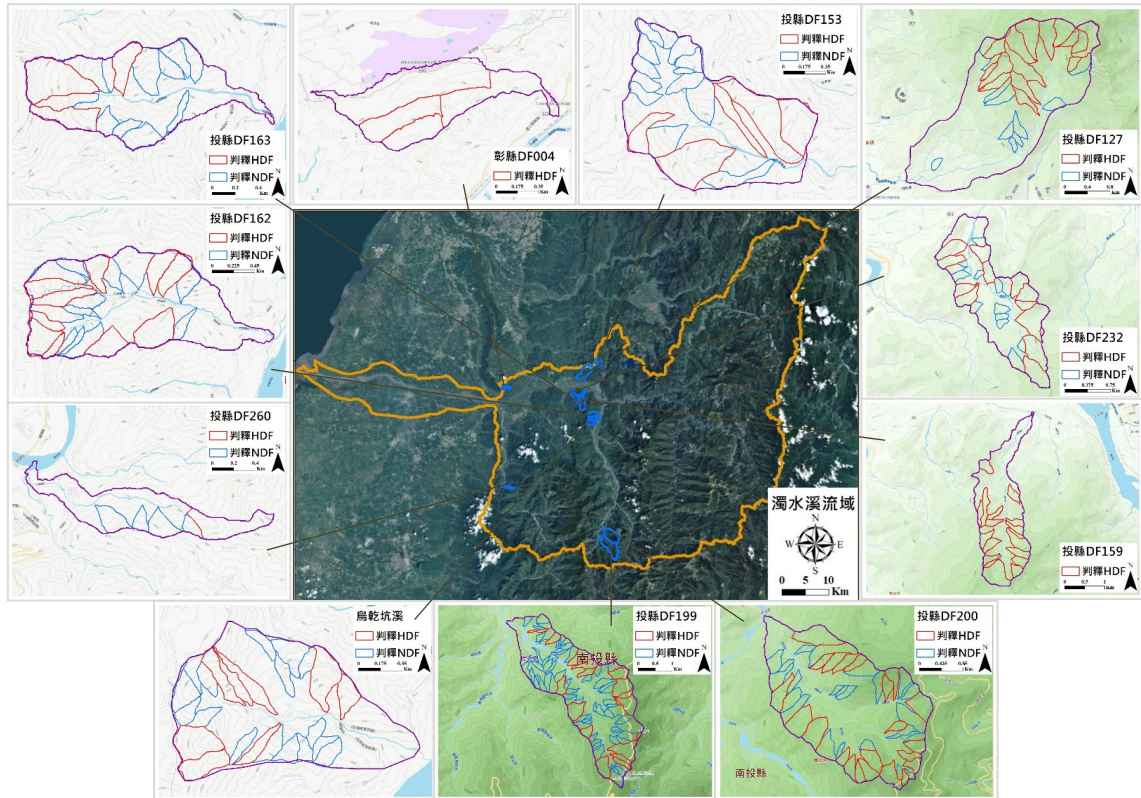
附圖 1 烏河流域內之坡面型土石流單元判釋結果

Fig.1 Interpretation results of HDF units in the Wu river basi



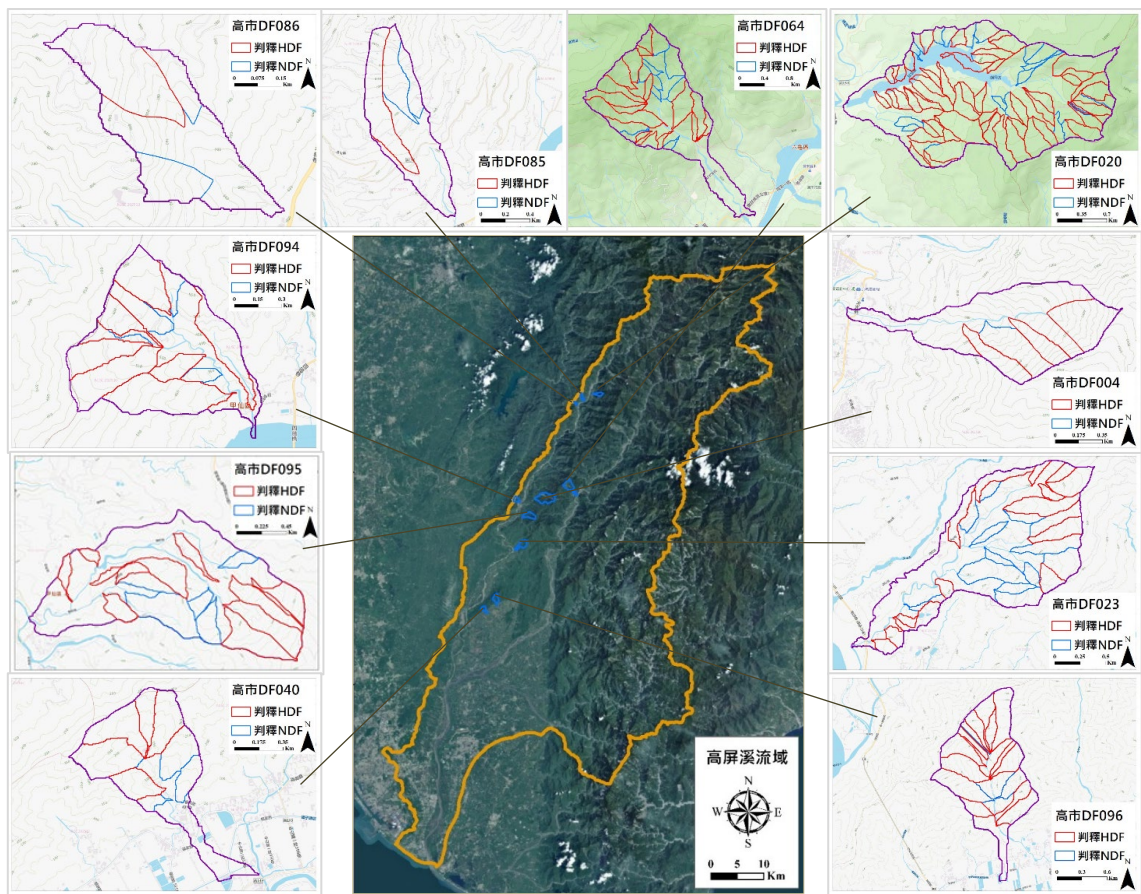
附圖 2 曾文河流域內之坡面型土石流單元判釋結果

Fig.2 Interpretation results of HDF units in the Zengwen river basin



附圖 3 濁水溪流域內之坡面型土石流單元判釋結果

Fig.3 Interpretation results of HDF units in the Jhuoshuei river basin



附圖 4 高屏溪流域內之坡面型土石流單元判釋結果

Fig.4 Interpretation results of HDF units in the Gaoping river basin

附錄二 相關係數分析結果資料表

Factor	EWA _{HDF_ACC}	AGI _{HDF_AVG}	LT _{HDF_ACC}	DRT _{HDF_AVG}	CGT _{HDF_AVG}	RLSA _{HDF_AVG}	EDPR _{HDF_AVG}
WA _{HDF_ACC}	0.932	0.244	0.868	0.014	0.340	0.063	0.110
WA _{HDF_MAX}	0.589	0.014	0.365	0.158	-0.038	-0.085	0.005
AGW _{HDF_AVG}	0.254	0.962	0.328	0.093	0.666	-0.241	0.037
EWA _{HDF_ACC}	1	0.181	0.695	-0.033	0.361	0.248	0.217
EWA _{HDF_MAX}	0.803	0.078	0.303	-0.047	0.198	0.265	0.318
AGI _{HDF_AVG}	0.181	1	0.270	0.114	0.591	-0.269	0.029
FFI _{HDF_AVG}	0.722	0.201	0.867	0.145	0.132	0.078	0.173
CGI _{HDF_AVG}	0.249	0.875	0.229	-0.130	0.718	-0.014	0.102
DRI _{HDF_AVG}	-0.007	0.106	0.101	0.723	-0.458	-0.315	0.108
LSA _{HDF_ACC}	0.971	0.085	0.650	-0.079	0.337	0.403	0.212
LSA _{HDF_AVG}	0.461	-0.161	-0.018	-0.020	0.000	0.626	0.312
LSA _{HDF_MAX}	0.825	0.034	0.385	-0.110	0.259	0.468	0.245
LT _{HDF_ACC}	0.695	0.270	1	-0.046	0.343	-0.045	-0.087
LT _{HDF_AVG}	-0.149	-0.099	-0.034	-0.096	0.010	-0.379	-0.724
LT _{HDF_MAX}	0.118	-0.080	0.288	-0.043	-0.014	-0.200	-0.581
EDT _{HDF_ACC}	0.734	0.358	0.962	-0.133	0.522	-0.036	-0.082
EDT _{HDF_AVG}	0.074	0.392	0.140	-0.365	0.657	-0.304	-0.674
EDT _{HDF_MAX}	0.442	0.400	0.514	-0.419	0.736	-0.083	-0.531
CST _{HDF_AVG}	0.343	0.556	0.377	-0.494	0.953	-0.125	-0.239
DRT _{HDF_AVG}	-0.033	0.114	-0.046	1	-0.534	-0.266	0.298
DRT _{HDF_MAX}	0.109	0.115	0.182	0.902	-0.444	-0.169	0.376
CGT _{HDF_AVG}	0.361	0.591	0.343	-0.534	1	-0.002	-0.263
EWAI _{HDF_AVG}	0.399	-0.155	-0.059	-0.311	0.113	0.659	0.688
RLSA _{HDF_AVG}	0.248	-0.269	-0.045	-0.266	-0.002	1	0.325
GRIR _{HDF_AVG}	-0.110	0.274	-0.106	0.173	-0.239	0.055	0.300
EDPR _{HDF_AVG}	0.217	0.029	-0.087	0.298	-0.263	0.325	1
MR _{HDF_AVG}	0.167	0.678	0.233	-0.516	0.912	-0.057	-0.210
MR(^0.5) _{HDF_AVG}	0.207	0.703	0.261	-0.500	0.921	-0.080	-0.196