

以地形分析法進行土石流地質敏感區之劃設

許志豪^[1*] 曹鼎志^[2] 鍾佩蓉^[1] 黃春銘^[1] 邱宇翔^[1] 紀宗吉^[3]

摘要 地質法於 99 年 12 月 8 日公布，並自 100 年 12 月 1 日施行，依據地質敏感區劃定變更及廢止辦法，土石流地質敏感區為現階段需劃設地質敏感區中的一類。本研究包含室內分析判釋與現地調查複核，進行土石流地質敏感區之合理劃定。於室內分析判釋中，使用 GIS 工具、遙測影像以及數值地形分析，依據劃設原則判釋出土石流之源頭、通道、堆積區(扇狀地)之區位，並完成室內分析作業以及土石流地質敏感區範圍之初步劃定。現地調查複核以集水區環境地質特性、土石崩塌料源、土石流流動區溪床特性、土石流溢流點位置、土石流堆積區及周圍易直接受影響之地區特性、災害歷史、治理工程等為調查對象，並比對室內初步劃定之結果。

關鍵詞：土石流、地質敏感區、地形分析。

Debris Flow Geological Sensitive Area Zoning by Topographic Analysis

Chih-Hao Hsu^[1*] Ting-Chi Tsao^[2] Pei-Jung Chung^[1] Chuen-Ming Huang^[1]
Yu-Hsiang Chiu^[1] Chung-Chi Chi^[3]

ABSTRACT Geological Act had regulated that debris flow is one type of the geological sensitive areas that should be mapped, this study proposed a flow-chart, which include preliminary zoning and adjustments on the field, to conduct the task. GIS tools, remote sensing images, digital elevation model analysis were utilized for identifying initiation zone, transition zone, and deposition zone in a debris flow system. Field investigation then focuses on gathering the information of catchment, landslide area, hazard history, and engineering works, the preliminary zone is also verified and modified according to topographical characteristics in the field.

Key Words: debris flow, geological sensitive area, topographic analysis.

一、前言

地質法於民國 99 年 12 月 8 日公布，並自民國 100 年 12 月 1 日實施，其目的為健全地質調查制度，有效管理國土地質資料，建立國土環境變遷及土地資源管理之基本地質資訊，特制定地質法。依地質法中第 5 條規定，中央主管機關應將具有特殊地質景觀、地質環境或有發生地質災害之虞之地區，公告為地質敏感區。此外，依第 6 條規定，各目的事業主管機關應將地質敏感區相關資料，納入土地利用計畫、土地開發審查、災害防治、環境保育及資源開發之參據，且依據第 8 條規定，土地開發行為基地有全部或一部位於地質敏感區內者，應於申請土地開發前，進行基地地質調查及地質安全評估。故公告為地質敏感區始為達到健全相關資料，並可供納入參考依據，若欲於公告範圍內進行土地開發等行為，則需進一步進行相關調查及評估。

-
- [1] 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心助理研究員 (* 通訊作者 E-mail: ansonhsu@sinotech.org.tw)
Assistant Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC., Taipei 110, Taiwan
- [2] 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心正工程師兼組長
Senior Engineer and Group Leader, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC., Taipei 110, Taiwan
- [3] 經濟部中央地質調查所環境與工程地質組科長
Section Chief, Environmental & Engineering Geology Division, Central Geological Survey, Taipei 235, Taiwan

依據地質敏感區劃定變更及廢止辦法第 2 條，土石流地質敏感區為現階段需劃設地質敏感區中的一類，此外，依同辦法第 7 條，曾經發生土石流或有明顯土石流發生條件之地區，及其周圍易直接受影響之地區，得劃定為土石流地質敏感區。

二、文獻回顧

在推求土石流沖出之範圍時，常使用方法包括有經驗公式、數值模擬以及地形分析等三種方法。

土石流的沖出範圍與土石流流出土方量有關，且集水區面積愈大時土石流流出土方量愈大，而土石流影響範圍之經驗公式劃設方法係採取室內快速劃設扇狀地，首先決定扇狀地頂點即土石流溢流點，由溢流點開始向下游方向劃設出一扇狀區域，決定扇狀地之最大擴展角度（105°）之開口方向，並採取池谷浩公式（1980）計算土石流淤積長度，如(1)式所示，於計算淤積長度前，可依謝正倫（2000）之研究，利用(2)式進行台灣地區之土砂流出量計算。

$$\text{Log}(L) = 0.42 \times \text{Log}(V \times \tan \theta_d) + 0.935 \quad (1)$$

$$V = 70,992 \times A^{0.61} \quad (2)$$

式中， L 為淤積長度[m]； A 為集水區之總面積[km²]； θ_d 為下游坡度； V 為土砂流出量[m³]。

於土石流衝出範圍推求時，仍可能與地形坡度、集水區崩塌分布情況、降雨以及河床現況等皆有非常大之關係，故僅透過經驗公式推求土石流沖出之範圍是簡單且快速之方式，但與現地實際情形差距較大，且不確定性較高。

在數值模擬方面，常見採用流體概念來推估土石流堆積範圍（謝正倫、許睿心，1993），常見之土石流數值模擬程式，包括 FLO-2D 及土石流運移模式 Debris-2D（劉格非、李欣輯，2005）。針對土石流堆積區模擬，主要包含輸入資料處理、模擬運算及輸出資料處理等步驟，可分為：

(1) 設定 DEM 數值地形

(2) 設定等值曼寧係數(N 值)

等值曼寧係數與集水區植生、整體溪流河道狀況相關，可參考數值模擬程式手冊設定之。

(3) 設定土石流堆積材料及發生時間

土石流體積濃度之設定值藉由現地調查與記錄，並透過 Takahashi（1977）所推導之土石流平衡濃度公式求得。

(4) 估計土石流之流量

根據集水區崩塌地分布情形估計土石流之流量，若集水區內無既有崩塌地，即僅採重現期距 50、100 年之最大一日暴雨量作為災害規模設定（應用水文設計手冊，2001）；若集水區內有崩塌地存在，則將崩塌量體加入災害規模設定。

(5) 設定層流阻滯係數(K 值)等過程，

依土石流影響範圍之地表植生分布情形為參考設定層流阻滯係數值。以 FLO-2D 操作手冊為例。

數值模擬可考量現地地形及集水區環境調整參數，使得模擬結果較符合現地情況，但分析過程中仍存在假設與簡化，可能造成與實際情況不符合。

在地形分析方面，土石流常具備重複發生之特性，發生過土石流的溪流，其集水區內其他支流源頭崩塌並再次引致土石流之機率相對較高，土石流周而復始地自源頭演育、通道運輸、進而於下游堆積，形成不同的地形變化，其各支流間交替發生以及同一地點重複發生的機會相當高（潘國樑等人，2011）。根據地調所（2009）及費立沅等人（2012）表示，藉微地形變化之觀察來推估未來可能的堆積範圍，較為符合現地調查結果，故本研究亦採用地形分析觀察之方法，進行土石流地質敏感區之劃設。

三、研究區域與研究方法

本研究以農委會水保局公開之土石流潛勢溪流埔里鎮麒麟里南坑野溪作為研究對象。麒麟里位於埔里鎮東南方之南坑地區，屬於東埔溪之支流，主要聯絡道路為投 69 鄉道及投 71 鄉道，根據水保局資料得知於民國 97 年 7 月卡玫基颱風期間，因卡玫基颱風帶來之豪(大)雨，使得溪水挾帶之大量土石淤滿河道並溢淹兩岸，導致投 71 鄉道中斷，此外沿途房舍受洪水土砂影響，且房舍毀損及土砂侵入，其災害照片如圖 1、圖 2 所示。麒麟里南坑野溪土石流潛勢溪流符合地質敏感區劃定變更及廢止辦法第 7 條之曾經發生土石流或有明顯土石流發生條件。

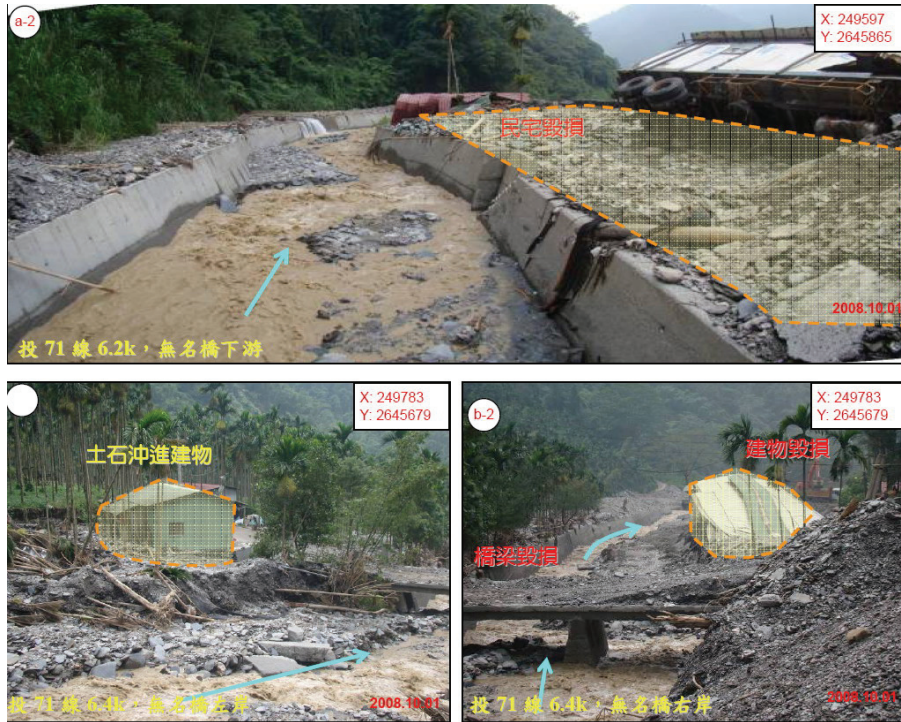


圖 1 南坑野溪卡玫基颱風災害照片(摘錄自水保局 97 年重大土石災區即時現勘與整治對策研擬)

Fig.1 The debris flow hazard photos of Nanken torrent during Typhoon Kalmaegi (from SWCB, 2008)



圖 2 南坑野溪卡玫基颱風災害照片(摘錄自東森新聞網站 <http://www.nownews.com/>)

Fig.2 The debris flow hazard photos of Nanken torrent during Typhoon Kalmaegi (from <http://www.nownews.com/>)

由於土石流係以土石塊體土砂運動為主。惟土石流因所含固體土砂顆粒與水體充分混合，而以流動方式行進，與一般山崩、落石、地滑等運動方式，不論在運動的連續性、含水量或速度上均有顯著之差別，而可自成另一種塊體運動類型（水土保持手冊，2005）。

土石流系統由上而下可分為源頭(發源)、通道(流動)及堆積(扇狀地)三個區段，一般而言，土石流源頭為土石流材料最主要來源，具有山崩等地質不穩定之現象，屬於山崩與地滑地質敏感區劃設範圍，故本研究劃定土石流地質敏感區之範圍，僅針對土石流通道兩側以及下游堆積區進行劃設(地調所，2009)，故若經判斷屬於源頭之河段則毋須劃設土石流地質敏感區範圍，本研究採用地形分析來進行土石流地質敏感區劃定作業，其流程如圖 3 所示，主要包含基本資料蒐集與整理、室內劃設作業及現地調查評估作業，本研究主要以室內劃設作業為主，其室內劃設作業流程如圖 4 所示，分述如下。

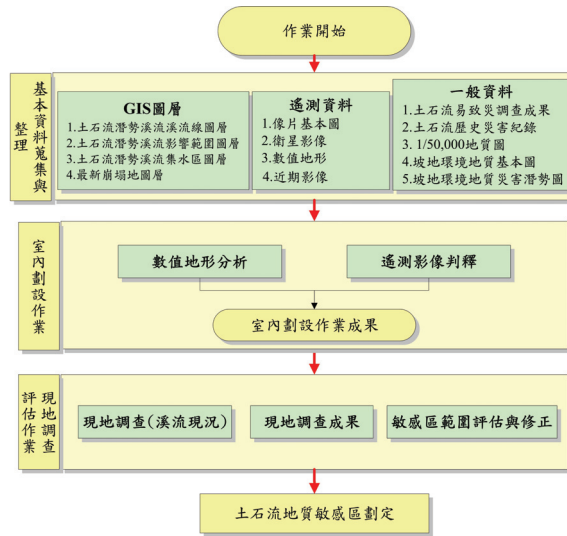


圖 3 本研究流程圖

Fig.3 The flow chart of this study

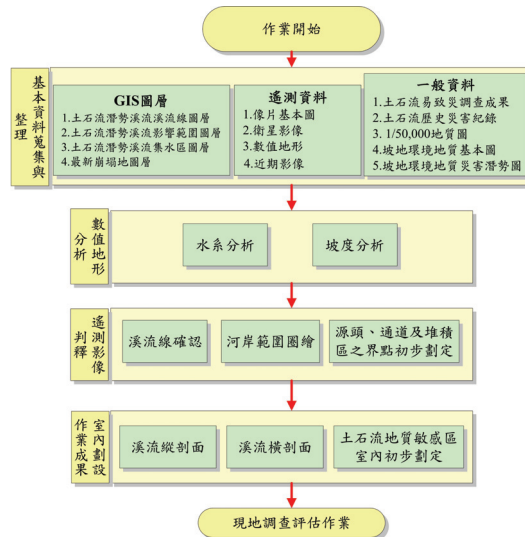


圖 4 室內劃設作業流程圖

Fig.4 The analysis flow chart of this study

1. 基本資料蒐集與整理

本研究以農委會水保局公開土石流潛勢溪流麒麟里南坑野溪為研究對象，需透過土石流相關圖層及遙測影像，搭配 GIS 工具進行室內劃設作業，用以初步劃定土石流地質敏感區，可供爾後調查人員進行現地檢核及修正，故需先針對研究區域完成基本資料蒐集與整理，主要包含以下三類：GIS 圖層、遙測資料以及一般資料，分述如下。

(1) GIS 圖層

- ① 土石流潛勢溪流溪流線圖層：蒐集農委會最新公開之土石流潛勢溪流溪流線圖層，若非農委會公開土石流潛勢溪流則無。
- ② 土石流潛勢溪流影響範圍圖層：蒐集農委會最新公開之土石流潛勢溪流影響範圍圖層，主要依據池谷浩公式（1980）進行劃設，再依地形地貌進行編修，最後透過現地調查確認，其中包含土石流歷史災害資料，可提供作為土石流地質敏感區劃定之參考依據，若非屬水保局公開之土石流潛勢溪流，則無。
- ③ 土石流潛勢溪流集水區圖層：蒐集農委會水保局之土石流潛勢溪流集水區圖層，其主要提供瞭解該溪流集水區範圍，並可與崩塌地及遙測資料搭配，了解溪流集水區狀況，若非屬農委會公開之土石流潛勢溪流，則以數值地形產製之等高線進行圈繪。
- ④ 最新崩塌地圖層：蒐集最新崩塌地圖層可瞭解集水區之崩塌地分布狀況及可能之土石來源。

(2) 遙測資料

- ① 像片基本圖：蒐集林務局農林航空測量所出版之像片基本圖，於套疊土石流地質敏感區成果圖資時，可提供相關地物資訊，便於瞭解土石流地質敏感區之位置及範圍。
- ② 衛星影像：蒐集最新 SPOT 5 衛星影像，可達 2.5 公尺空間解析度，因拍攝頻率較為密集且取得容易，有助於了解溪流現況。
- ③ 數值地形：數值地形資料為評估土石流地質敏感區之重要基礎資料，其解析度要求為 5 公尺 × 5 公尺網格數值地形，並以可取得最新版本為主，本研究以內政部 93 年 5 公尺網格數值地形進行操作。
- ④ 近期影像：蒐集研究區域內最新之航空照片，以最近一次事件(地震、颱風或豪雨等事件)後之航空照片為主，可用以協助室內評估判釋土石流之源頭、通道及堆積區，補足衛星影像之不足之處。

(3) 一般資料

- ① 土石流易致災調查成果：蒐集水保局歷年來土石流潛勢溪流易致災調查成果，有助於瞭解麒麟里南坑野溪發展演育。
- ② 土石流歷史災害紀錄：蒐集土石流歷史災害紀錄，可參考水保局歷年來土石流易致災調查成果，亦可至「行政院農業委員會水土保持局土石流防災資訊網 (<http://246.swcb.gov.tw>)」查詢，可瞭解土石流曾經致災之範圍及規模，有助於土石流地質敏感區之劃定。
- ③ 地質圖：蒐集經濟部中央地質調查所出版之五萬分之一流域地質圖幅，可作為現地調查比對參考(惟研究區域無五萬分之一流域地質圖時，得以二十五萬分之一台灣地質圖代替)。
- ④ 坡地環境地質基本圖：蒐集經濟部中央地質調查所出版之二萬五千分之一坡地環境地質基本圖，可作為現地調查比對參考。
- ⑤ 坡地環境地質災害潛勢圖：蒐集經濟部中央地質調查所出版之二萬五千分之一坡地環境地質災害潛勢圖，可作為現地調查比對參考。

2. 數值地形分析

(1)水系分析：使用 ArcGIS 軟體中空間分析模組自動產生水系網。首先選用前揭蒐集之研究區域 5 公尺 x 5 公尺網格之數值地形，藉由讀取各網格數值地形資料產生水流方向，進而產出水系網，如圖 5、圖 6 所示 (ArcGIS manual)。如圖 6 所示，利用數值地形產出之水系網其支流為數眾多，可於 ArcGIS 軟體中設定門檻值來減少水系網之支流數目，本研究建議以 5 公頃作為篩選之門檻值，經篩選後之水系網可供後續分析使用，以農委會公開之土石流潛勢溪流麒麟里南坑野溪為例，其水系分析結果如圖 7 所示。

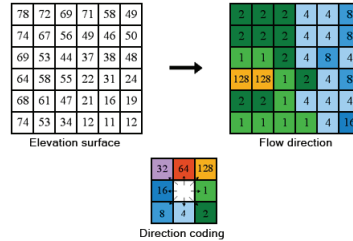


圖 5 決定水流方向示意圖

Fig.5 The flow direction matrix analysis

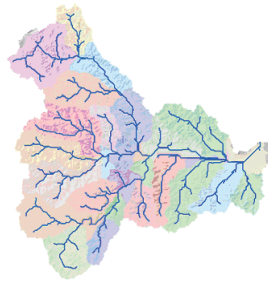


圖 6 產生水系網示意圖

Fig.6 The stream network

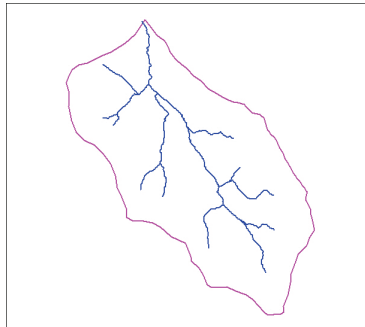


圖 7 麒麟里南坑野溪水系分析結果

Fig.7 The stream network of Nanken torrent

(2)坡度分析：本研究劃定土石流地質敏感區時，僅針對土石流通道兩側以及下游堆積區進行劃設，且根據地調所 (2009) 報告得知，溪流源頭多發生在坡度 15 度以上之區域 (不列入土石流地質敏感區範圍內)、扇狀地(堆積區)主要多發生在坡度 6 度以下之區域，而介於 6~15 度之間則以土石通道為主。故於坡度分析時，可透過 GIS 軟體中坡度分析模組來進行運算，其係

以 3×3 網格計算網格中心之平均坡度值，如圖 8 所示，於求取 Z5 網格中心之平均坡度值需利用鄰近之 9 個網格來計算，其立體示意圖如圖 9 所示，透過上述計算過程可獲得最完整且精細之各網格中心之平均坡度值，進而產製各河段溪床坡度，可清楚標示不同之溪床坡度值，用以判斷，源頭與通道之界點 1（約 15 度），以及通道與堆積區之界點 2（約 6 度），以農委會公開之土石流潛勢溪流麒麟里南坑野溪為例，其坡度分析結果如圖 10 所示。

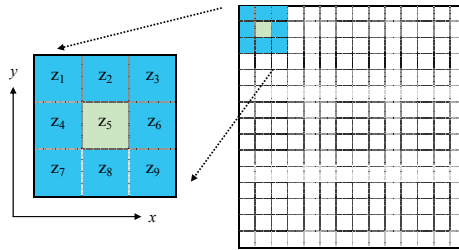


圖 8 3×3 網格資料格式平面示意圖(林淑媛，2003)
Fig.8 The 3×3 format grid data (Lin, 2003)

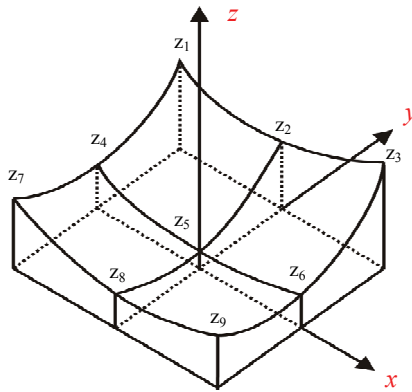


圖 9 3×3 網格資料格式立體示意圖(林淑媛，2003)
Fig.9 The 3×3 format three-dimension grid data (Lin, 2003)

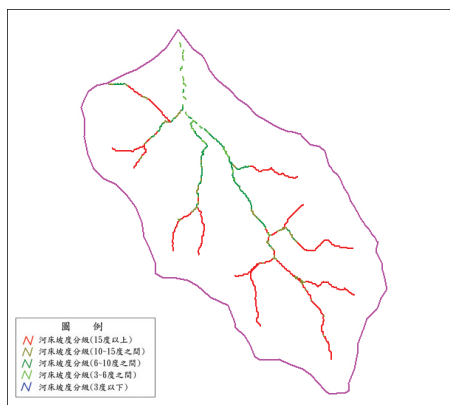


圖 10 南坑野溪坡度分析結果
Fig.10 The slope analysis of Nanken torrent

3. 遙測影像判釋

- (1)溪流線確認：利用產製之水系網（圖 7），經與最新遙測影像判釋確認後，調整溪流之節點使其與影像符合，如圖 11 所示。
- (2)河岸範圍圈繪：土石流地質敏感區係以河道外緣可能受土石流災害之虞地區進行劃定，故進行劃設作業前須先針對上節確認之溪流線進行河岸範圍進行圈繪，本研究中河岸範圍，於具有整治工程之河段，係指兩岸工程之邊界，可依循（護岸）之頂端進行圈繪；於未具有整治工程河段（多位於窄深之 V 字型河段），係指河床土石分布與兩岸坡面之邊界，則依循影像上河岸邊緣明顯顏色差異處、或河床堆積土石邊緣進行圈繪，但需注意勿將河岸崩塌地視為河道一部分，於主流需圈繪至源頭，支流圈繪至溪床坡度達 15 度即可，其結果如圖 12 所示。
- (3)源頭、通道及堆積區之界點初步劃定：於坡度分析過程中，已特別標示出溪床坡度 6 度及 15 度附近之河段範圍，配合使用遙測影像或地形特徵，著重於 6 度附近範圍及 15 度附近範圍之河段進行判釋，選取最可能之界點位置，以麒麟里南坑野溪為例，將界點 1 由 6 度位置調整至溪流出谷口位置（坡度約為 8.5 度）；界點 2 符合溪流匯水窪地出口處之袋口位置，故毋須調整，可參考潘國樑等人（2011）及黃健政、紀宗吉（2006）整理之土石流之地形及影像特徵進行，其結果如圖 13 所示，可明確定義出溪流源頭、通道及堆積區。

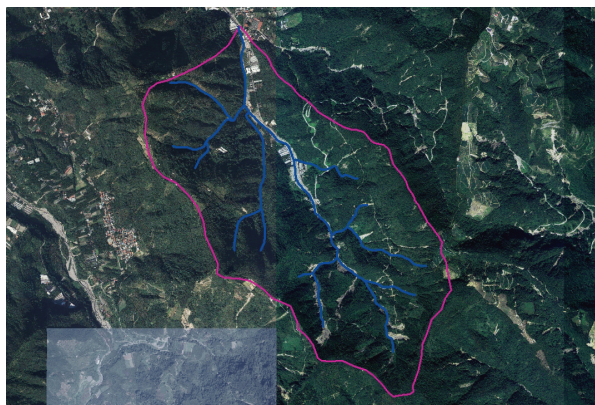


圖 11 南坑野溪溪流線

Fig.11 The stream line of Nanken torrent



圖 12 南坑野溪河岸範圍

Fig.12 The channel boundary of Nanken torrent

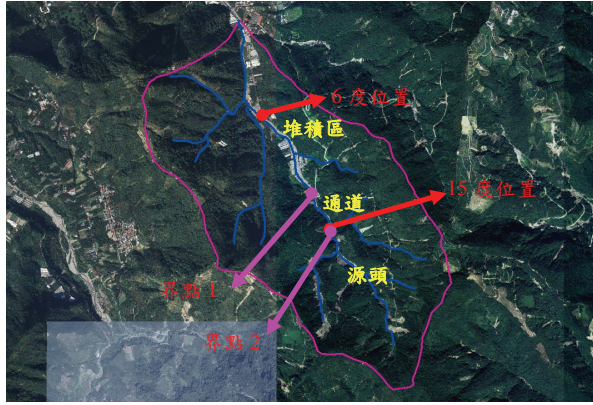


圖 13 南坑野溪界點初步劃定

Fig.13 The topographic boundaries of Nanken torrent

4. 室內劃設作業成果

- (1) 溪流縱剖面：利用確認後之溪流線及數值地形產製溪流縱剖面，如圖 14 所示，橫軸為距溪流線下游出口處之距離、縱軸為高程，可作為現地調查參考。
- (2) 溪流橫剖面：利用確認後之溪流線，以至少每 50 公尺（視溪流曲度調整）為距，劃設一垂直於溪流線之橫剖面，以分析土石流地質敏感區兩側範圍，且以橫剖面與土石流地質敏感區兩側範圍之交點作為轉折點坐標。若屬於通道之河段，則垂直於溪流線之橫剖面需延伸至高於溪流線地形等高線 15 公尺處為佳（以土石流流動深度 10 公尺為考量）；若屬於堆積區之河段，則需延伸至兩側河谷山麓，如圖 15 所示。
- (3) 土石流地質敏感區室內初步劃定
 - ① 通道：依據地調所（2009）研究成果，通道若屬於河道陡深之 U 型或 V 型溪谷，以土石流流深高於渠底 10 公尺高度為準則，向兩側推估其流動影響範圍；若屬於溪谷中具備寬廣之河階地形，則同時以土石流流深高於渠底 10 公尺高度及兩側河岸外緣各自最大 30 公尺為準則，通道兩側影響範圍係指原河岸範圍加上左右兩側各自延伸之範圍，如圖 16 所示。
 - ② 堆積區：根據數值地形針對土石流堆積區之劃設，採用溢流點（通道與堆積區之界點 1）向下游劃設出一個扇狀區域，往下延伸至坡度 2 度處，但僅適用於具有明顯扇狀地形之區域，如圖 17 所示（地調所，2009），若溪流下游兩側仍受山勢圍繞則可能形成帶狀(舌狀)之堆積，可參考潘國樑等人（2011）及黃健政、紀宗吉（2006）整理之土石流之地形及影像特徵進行土石流地質敏感區堆積區劃設，或可利用數值地形及網格坡度圖協助判釋堆積區之兩側及前緣，如圖 18 所示。
 - ③ 麒麟里南坑野溪通道及堆積區劃設如圖 19，若坡度大於 15 度之支流或主流河段，則視為源頭毋須劃設，麒麟里南坑野溪之土石流地質敏感區如圖 20 所示。

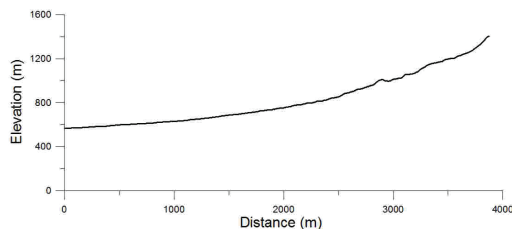


圖 14 南坑野溪縱剖面示意圖

Fig.14 The longitudinal section of Nanken torrent

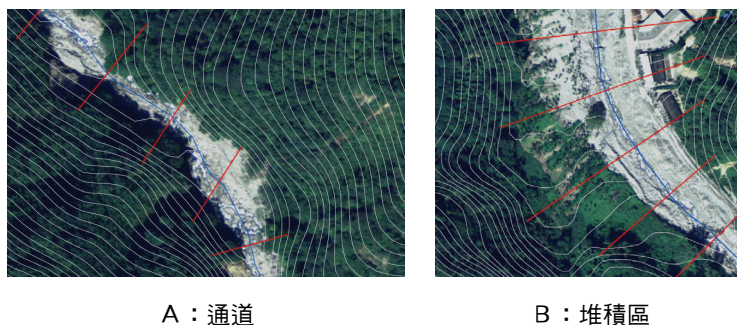


圖 15 麒麟里南坑野溪橫剖面示意圖

Fig.15 The cross section of Nanken torrent

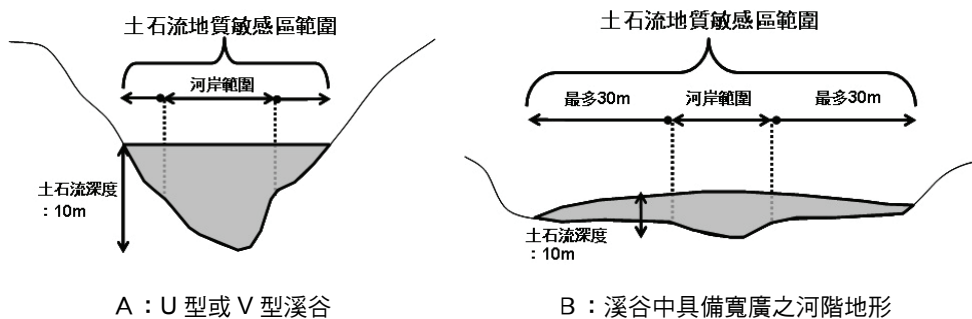


圖 16 通道兩側影響範圍示意圖

Fig.16 The cross section of transportation zone

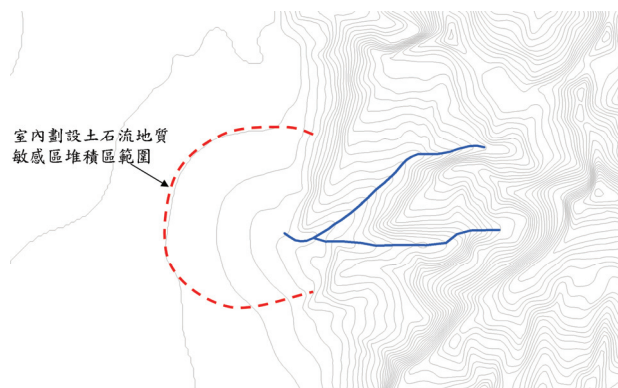


圖 17 土石流地質敏感區堆積區數值地形判釋示意圖

Fig.17 The deposition zone of debris flow geological sensitive area digital elevation

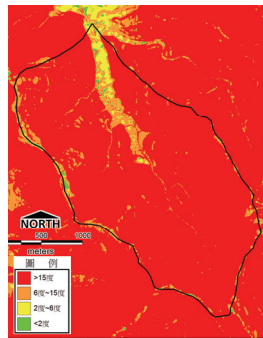
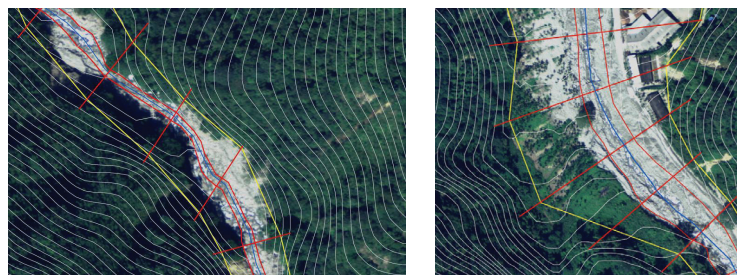


圖 18 南坑野溪網格坡度圖判釋成果

Fig.18 The grid slope analysis of Nanken torrent



A：通道

B：堆積區

圖 19 南坑野溪通道及堆積區土石流地質敏感區劃設示意圖

Fig.19 The transportation and deposition zone of debris flow geological sensitive area of Nanken torrent

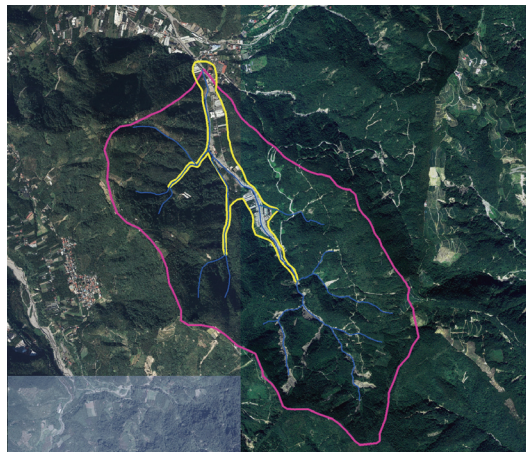


圖 20 南坑野溪土石流地質敏感區劃設示意圖

Fig.20 The debris flow geological sensitive area of Nanken torrent

四、結論與建議

1. 結論

本研究地形分析方法可於室內有效地進行土石流地質敏感區劃設，其劃設速度優於數值模擬方法，且因採用溪流數值地形，故劃設範圍較符合現地狀況，因此結果較經驗公式合理。透過數值地形及遙測影像判釋，有助於進行土石流系統源頭、通道及堆積區之界點判定，並可依據室內劃設作業準則進行劃定，以南投縣埔里鎮麒麟里南坑野溪土石流潛勢溪流為例，其最終土石流地質敏感區劃設面積約為 38.76 公頃，約占全集水區面積 7.24%。

2. 建議

採用地形分析進行土石流地質敏感區劃設，其劃設結果受控於所使用之數值地形，然而地形的起伏隨時間變化，加上數值地形、影像拍攝與現地狀況存在時間上的落差，亦可能因為工程整治、災害事件或人為開發，使得室內劃設作業成果仍可能與現地狀況存在部分差異，故需建議透過現地調查，提供證據進行檢核及查驗，進而針對土石流地質敏感區範圍進行適度的調整及修正。

五、致 謝

本研究使用之 5 公尺 × 5 公尺網格之數值地形乃由地調所提供，謹此致謝。

參考文獻

1. 行政院（2010），「地質法」。
2. 池谷浩（1980），「土石流災害調查法」，日本山海堂。
3. 行政院農業委員會水土保持局（2005），「水土保持手冊」。
4. 潘國樑、沈哲緯、鄭錦桐、冀樹勇（2011），「遙測影像判釋手冊-實務操作工具書」，財團法人中興工程顧問社編印，236 頁，臺北。
5. 林淑媛（2003），「地震誘發山崩之因子探討-以集集地震為例」，國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
6. 台灣大學生物環境系統工程學系（2001），「應用水文設計手冊」，經濟部水利署台北辦公區。
7. 經濟部中央地質調查所（2009），「土石流地質敏感區劃設之先期規劃研究(2/2)」成果報告，經濟部中央地質調查所。
8. 行政院農業委員會水土保持局（2008），「97 年重大土石災區即時現勘與整治對策研擬」成果報告，行政院農業委員會水土保持局。
9. 黃健政、紀宗吉（2006），「土石流判釋-遙測影像之應用：以南投縣鹿谷鄉北勢溪為例」，地工技術，110:15-24。
10. 謝正倫（2000），「土石流危險溪流調查與危險等級判定」，第二屆全國治山防災研討會論文集，109-124，台中霧峰。
11. 謝正倫、許睿心（1993），「土石流流動與淤積之數值模擬」，中國土木水利工程學刊，5(2):109-123。
12. 劉格非、李欣輯（2006），「土石流直接災損評估之研究」，中華水土保持學報，37(2):143-155。
13. 費立沅、紀宗吉、吳文隆、楊智堯（2012），「土石流扇狀地危險度分析案例探討」，中華技術，93:124-135。
14. 「東森新聞網站(<http://www.nownews.com/>)」。
15. 「行政院農業委員會水土保持局土石流防災資訊網(<http://246.swcb.gov.tw>)」。
16. 「ArcGIS 使用手冊」。
17. 「FLO-2D 使用手冊」。
18. Takahashi, T.(1977), "A Mechanism of Occurrence of Mud-Debris flow and Their Characteristics in Motion," Annuals, Disaster Prevention Res. Inst., Kyoto University, No. 20B-2, pp. 405-435.

參考文獻(英文)

1. Executive Yuan (2010), Geological Act.
2. Hiroshi Ikeya (1980), "Debris flow hazard investigation method".
3. Soil and Water Conservation Bureau (2005), "Handbook of soil and water conservation".
4. Kuo-Liang Pan, Che-Wei Shen, Chin-Tung Cheng, Shu-Yeong Chi (2011), "Remote sensing interpretation handbook", Sinotech Engineering Consultants, INC., 236p, Taipei.
5. Su-Yuan Lin (2003), "Geomorphologic-Geologic Homogeneous Area Subdivision and Landslide Susceptibility Factor", Master thesis of Graduate Institute of Applied Geology, National Central University.
6. Department of Bioenvironmental Systemes Engineering (2001), "Handbook for hydrological design", Water Resources Agency, Ministry of Economic Affairs.
7. CECI Engineering Consultants, INC. (2009), "Preliminary study of debris flow geological sensitive area zoning (2/2)", Central Geological Survey, MOEA.
8. Sinotech Engineering Consultants, Ltd. (2008), "Investigation and mitigation strategy of sediment related disasters during 2008", Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture.
9. Chien-Cheng Huang and Chung-Chi Chi (2006), "THE APPLICATION OF REMOTE SENSING IMAGERY ON THE INTERPRETATION OF DEBRIS FLOW – A CASE STUDY ON BEI-SHIH RIVER, NANTOU", Sino-Geotechnics, 110:15-24.
10. Chjeng-Lun Shieh (2000), "Debris flow dangerous torrent investigation and hazard classification", 2nd National watershed conservation and disaster mitigation conference, pp.109-204, Taichung.
11. Chjeng-Lun Shieh and Rui-Xin Xu (1993), "Numerical study on movement and deposition of the debris flow", Journal of the Chinese Institute of Civil & Hydraulic Engineering, 5(2): 109-123.
12. Ko-Fei Liu and Hsin-Chi Li (2006), "The Study of the Direct Damage Estimation of Debris Flow", Journal of Chinese Soil and Water Conservation 37(2):143-155.
13. Li-Yuan Fei, Chung-Chi Chi, Wen-Lung Wu and Chi-Yao Yang (2012), "Case study of debris flow deposition fan hazard assessment and analysis", CECI Engineering Technology 93:124-135.
14. EBC News (<http://www.nownews.com/>)
15. Debris flow disaster prevention information (<http://246.swcb.gov.tw>)
16. ArcGIS User manual.
17. FLO-2D User manual.
18. Takahashi, T.(1977), "A Mechanism of Occurrence of Mud-Debris flow and Their Characteristics in Motion," Annuals, Disaster Prevention Res. Inst., Kyoto University, No. 20B-2, pp. 405-435.