地理學報　第三十八期：1-16 (2004)
JOURNAL OF GEOGRAPHICAL SCIENCE (38) : 1-16 (2004)

南投縣九九峰土石流發生區之地形特徵

The Geomorphic Characteristics of Debris Flows in the Ninety-Nine Peaks Area, Nantou

呂岡侃*　　徐美玲**

Kong-Kang Lu　　Mei-Ling Hsu

Abstract

Conglomerate formations are broadly distributed in the populated western foothills of Taiwan. Since conglomerates are subject to debris flows, many disasters have taken place in areas covered by this type of geologic formations. This study aims to deduce the geomorphic thresholds for debris flows from data derived from field investigation and aerial photograph analysis of the Dry Creek and the Tien-wei-keng Creek watershed in the Ninety-Nine Peaks area in Nantou. The debris flows took place in the study area were classified into two categories according to their size and location. One is the slope-type debris flows, the other is the valley-type debris flows. The geomorphic characteristics of the former were compared with those of the other two most commonly seen slope movements, i.e. debris slides and debris avalanches, while valleys with debris flow deposition in their valley mouths are compared with those without.

This study shows that the slope-type debris flows always took place on converged convex slopes. They usually had a bowl-shaped appearance, with a

* 國立臺灣大學地理環境資源學系碩士

M. S., Department of Geography, National Taiwan University.

** 國立臺灣大學地理環境資源學系副教授

Associate Professor, Department of Geography, National Taiwan University.

constriction of 4 to 6 meters wide below the sliding area. The main axis length, the depth of the slide and the size of both the sliding area and its watershed of slope-typed debris flows are all significantly greater than those of the other two types of slope movements. It is discovered that when the contributing area of a landslide exceeds 1,000 square meters and is larger than 2 to 6 times of the sliding area, debris flows are very likely to take place. The watershed size and the total area of landslides contained within the watershed where valley-type debris flows took place are significantly larger than those without such phenomena. Valley-type debris flows tend to occur in watersheds that are larger than 15,000 square meters with 20% of its area occupied by landslides.

Keywords: the Ninety-Nine Peaks, conglomerate formation, debris flow, geomorphic characteristics, threshold.

摘　要

第四紀礫石層為臺灣地區最容易發生土石流的地層之一，此種地層廣泛分佈在西部山麓和平地接壤的丘陵或臺地等聚落或人口密集之處，一旦發生土石流經常導致重大災情，因此值得深入研究。本研究選定南投縣九九峰礫石層區的乾溪、田尾坑溪兩個集水區進行研究。將研究區的土石流依其規模大小及發生區位分成邊坡型和山谷型兩種型態，然後利用野外調查，輔以室內航空照片判識和地形圖的比對，針對邊坡型土石流與其他邊坡崩塌型態在地形特徵上的差異進行比較，另就所有山谷依土石流災害發生的有無加以區分，分析可能影響這土石流發生的地形因素。

野外觀測發現邊坡型土石流大多發生在具有內聚凸坡坡形的邊坡上，其崩塌處下方通常會出現 4 至 6 公尺寬的隘口。資料分析結果顯示，邊坡型土石流的崩塌區的主軸長度、崩塌深度、崩塌面積和集水面積均較岩屑滑崩和岩屑滑落為大，且發生邊坡型土石流的邊坡集水區面積均達 1,000 平方公尺，且為崩塌面積的 2 到 6 倍。而發生土石流的山谷集水區面積與崩塌面積佔集水區面積的比率皆較未發生土石流的山谷為大，並以崩塌面積佔集水區面積的比值的差異最為顯著，其次為集水區面積，最後才是坡度。研究結果顯示以 15,000 平方公尺的集水區面積和崩塌面積佔集水區面積 20% 為閾值時，可以有效評估山谷型土石流的潛在危險性。

關鍵字：九九峰、礫石層區、土石流、地形特徵、地形閾值

前　言

近年來土石流所導致的災害頻傳，引起社會大眾的關注，政府並挹注大量經費興建各類防制設施，但成效卻極其有限。許多專家學者也傾力投入研究，企圖掌握土石流的相關特性，以提出有效的土石流防制措施。然現有土石流預測模式仍無法達到預期的準確度，綜觀其因，實乃與環境資料掌握的不足密切相關，因此有必要針對不同環境特性分佈區進行仔細的研究，累積相關的土石流特性資料，

以提高土石流預警系統的有效性。

礫石層乃臺灣地區最容易發生土石流的地層之一 (游繁結，1993)，此種地層廣泛分佈在西部山麓和平地接壤等聚落或人口密集之處，一旦發生土石流，經常會造成重大災情，因此特別值得深入研究。1999 年的集集大地震在南投縣九九峰礫石層區引發眾多大、小規模的崩山，大量的岩屑崩落物質並導致其後雨季多場嚴重的土石流，造成當地居民生命和財產的重大損失。初步踏勘發現，當地崩塌地雖多，但並非均發展成土石流，由於此區地質相當均勻，擬經由仔細的觀察研究，歸納並辨識其他可能促成土石流的環境條件。

研究區概述

臺灣中部的南投九九峰地區，主要位在埔里事業區第八到二十林班範圍內，行政區分屬南投縣草屯鎮、國姓鄉及臺中縣霧峰鄉和太平市，總面積約為 12 平方公里。主要包括乾溪、田尾坑溪、油車坑溪、土南坑溪和仙洞指坑溪等 5 條野溪流域。其中以乾溪的集水區面積最大，不但具有代表性而且易達性也高，因此選定乾溪及相鄰的田尾坑溪流域 (圖 1) 作為本研究的主要範圍。

研究區地勢北高南低，標高約在 200 至 700 公尺之間，乾溪和田尾坑溪分別自西北向東南匯入烏溪，兩個流域的面積分別為 4.35 平方公里和 1.25 平方公里。研究區乃以頭嵙山層上部的火炎山礫石層為主要的地質組成，該層厚約達 1,000 公尺，乃以塊狀礫岩為主，其間夾有薄層砂岩，礫石的形狀為圓形至次圓形，直徑大小在數公分到 1 公尺間。膠結物質淘選度不佳，大多為細砂，間或含有鈣質或鐵質的膠結 (何春蓀，1997)。由於礫石層的膠結非常緊密堅實，因此形成崎嶇陡峭的光禿孤峰，深具觀賞、科學研究及環境教育解說之價值，目前本區已被規劃為「九九峰自然保護區」。

研究區的降雨量主要集中在 6 到 8 月之間，以颱風豪雨和午後雷雨為主，單場雨量可達 200 公釐以上，其餘各月平均雨量約僅 40 公釐。乾季時，溪谷遍佈著礫石，雨季則潛伏土石流動的危機。

研究對象的界定

本研究以土石流災害防治為著眼點，因此根據區內主要人為設施分佈區的災害形式進行研究對象的初步分類。初步踏勘發現此區土地利用多分佈在寬度 10 公尺以上的谷地 (下文稱主要谷地)，因此根據土石流發生的型態，將影響到此等河谷土石災害分為兩類：一為邊坡崩塌物質經雨水帶動所形成的小規模土石流 (下文稱邊坡型土石流)，另一為由主河谷兩側小支流沖出的土石流 (下文稱山谷型土石流)。兩者在野外可由下列特性加以分辨：

1. 邊坡型土石流：主要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型態的堆積體平緩，且主軸較長 (圖 2)。

2. 山谷型土石流：發生於主要谷地兩側的支流山谷中，以防災的觀點而言，只有當土石流到達主要谷地才會造成重大災害，因此以谷口處土石堆積扇的有無作為判斷該支流是否發生土石流的準則 (圖 3)。

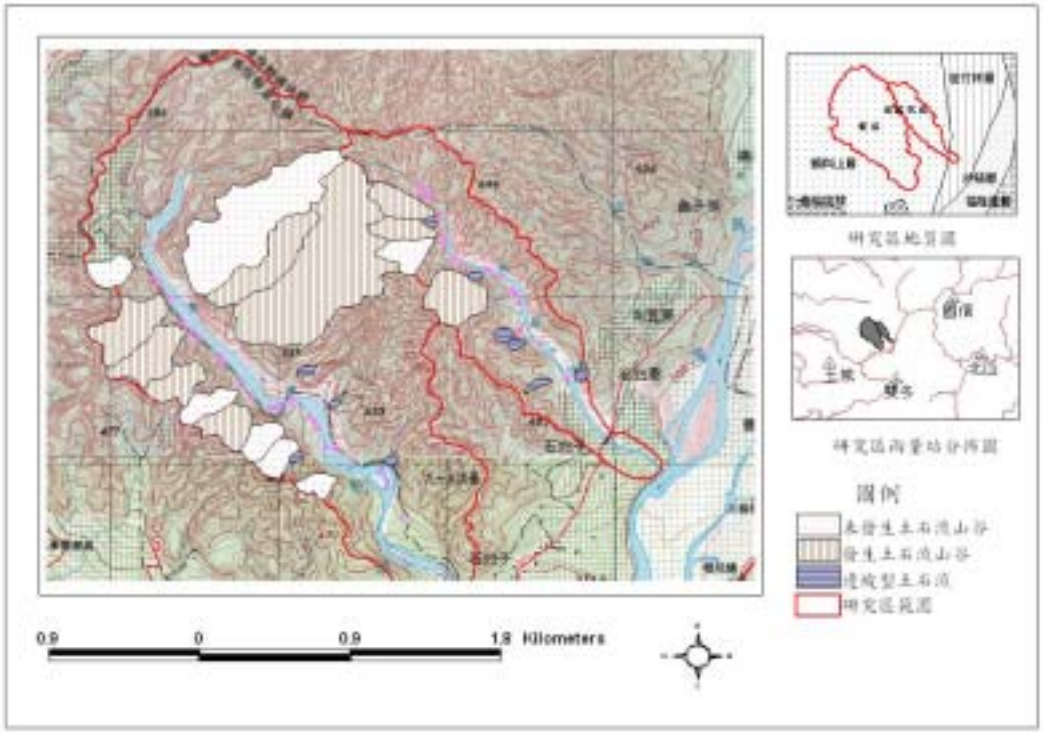


圖 1　研究區地理位置圖

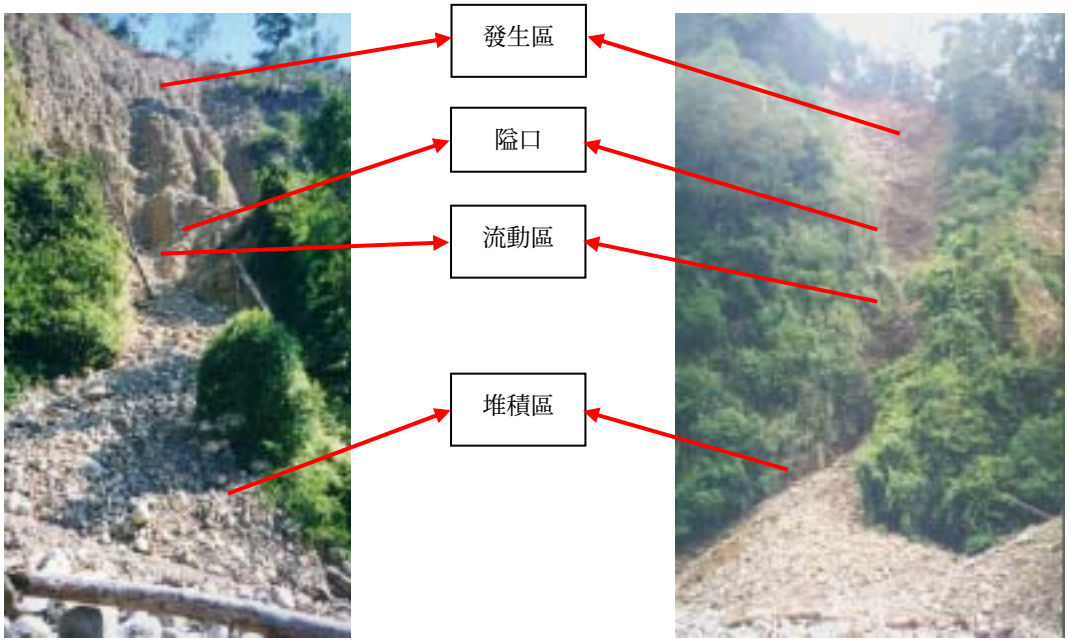


圖 2　邊坡型土石流

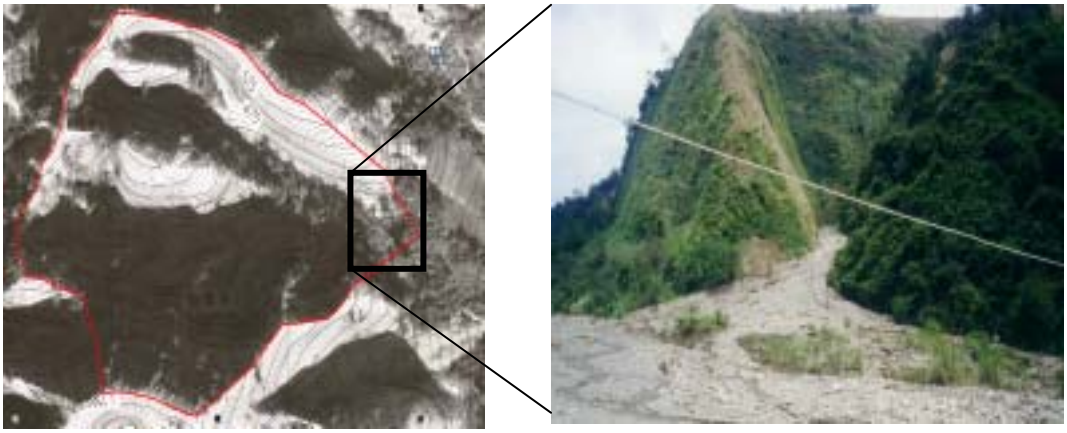


圖 3　山谷型土石流

由於區內的氣候和地質因素相差不大，局部地形特性便成為決定區內邊坡運動的關鍵因子，因此本研究乃側重於土石流相關地形因子的辨識。

研究方法

針對前述兩類土石流，分別研擬野外觀測項目與室內航空照片和 DEM 的分析重點。就邊坡土石流而言，重在凸顯其發生區的地形特徵與本區其他邊坡運動，如落石、岩屑滑崩、岩屑滑落等的差異。初步踏勘後，擬定野外主要的觀察項目包括：各崩塌地的形狀、在邊坡上的發生區位、該邊坡的坡形，以及發生區下方的隘口特徵，另外並仔細量測各崩塌地發生區、流動區及堆積區的長、寬、高、坡度以及面積等，量測方法整理如表 1 所示。

野外量測時所採用的調查儀器主要為「雷射測距儀 (Laser Rangefinder)」，此儀器乃利用發射和接收反射回來的雷射光束以量測距離，並可記錄觀測點的方位角、俯仰角和水平角等。由於不需親自到達觀測點進行距離測量，因此可克服傳統量測工具 (如水準儀、平板儀等) 測量可及性低或具有潛在危險之處 (如崖坡頂、崖坡下等) 的困難。

至於山谷型土石流，由於規模太大，野外調查著重在谷口堆積區的地形量測，及支流河谷中崩塌區的觀察。谷口上游的相關地形參數則取自室內地形圖、相片基本圖以及航空照片的分析。分析時主要採用 921 地震後拍攝的第五版五千分之一相片基本圖，以利取得地震引發的新崩塌地資料。由於附近雨量測站資料顯示地震後至隔年 1 月間皆無明顯降雨，因此該版相片基本圖中的新崩塌地應為地震所產生。

數化時首先掃瞄五千分之一相片基本圖，然後以 Imagine 軟體將其轉成具有經緯度座標的數位地圖，另外利用自農航所購得的地震及土石流發生前後的航空照片，判識各支流集水區內的崩塌地，轉繪在相片基本圖上，再藉由 ArcView 軟體將各支流集水區邊界及崩塌地數化在數位地圖上，然後計算各支流山谷的集水區面積、平均河谷坡度、區內崩塌地面積及主要河谷長度等參數，詳細量測方法可見表 2。

表 1　邊坡型土石流參數的測量

量測參數	量測方法	推估目標
崩塌區長寬比	利用雷射測距儀測量崩塌區外緣轉折點，回實驗室轉成數化檔，再估算其長度與寬度的比值。	水流的匯集方式
崩塌區坡度	利用上述資料估計堆積區坡度。	崩塌區的滑動潛勢
崩塌深度	指崩塌後的坡面與原坡面間的垂直距離。在野外觀測時以崩塌地邊緣未崩落的部分與崩塌地最深點代表。	推估崩塌量
崩塌高度	利用上述資料推算崩塌區冠部與坡腳的高度差。	潛在位能
崩塌面積	數化崩塌區的水平投影面積。	推估崩塌量
集水面積	利用 ArcView 軟體推估崩塌地的集水區面積。	集水量
集水面積與崩塌面積之比	集水區面積與崩塌區面積的比值。	單位崩塌面積所得的水量
流動區長度	利用五千分之一相片基本圖量測介於崩塌區與堆積區之間的長度。	土石容納量及搬運至下邊坡的距離
堆積區長寬比	利用雷射測距儀測量堆積區外緣轉折點，回實驗室轉成數化檔，再估算長度與寬度之比。	堆積型態
堆積區長度	利用上述資料估計堆積區頂端至最末端的長度。	堆積的最大長度
堆積區面積	數化土石堆積扇的水平投影面積。	潛在災害的範圍
堆積坡度	野外量測堆積區頂端至最末端的坡度。	土石堆積的坡度

表 2　山谷型土石流參數的測量

量測參數	量測方法	推估目標
主河道長	五千分之一相片基本圖中寬度大於 10 公尺以上的河道，其最高點與最低點間的距離。	土石容納量及搬運至谷口的距離
形狀係數	集水面積與主流長平方的比值。	集水的情況
水系密度	五千分之一相片基本圖上集水區內所有河道的總長度與集水區面積的比值。	集流的速度
主流坡度	五千分之一相片基本圖中主河道的平均坡度。	土石流的移動潛勢
集水面積	利用五千分之一相片基本圖及 ArcView 軟體數化集水區邊界，再以該軟體估計集水區面積。	集水量
崩塌面積	利用航照判釋轉繪至地形圖，數化後，再利用 ArcView 軟體估計崩塌面積。	崩塌量
堆積區長度	野外測量堆積區頂端往下至最末端的長度。	堆積型態
堆積面積	利用航照數化堆積區，再利用 ArcView 軟體估計堆積面積。	潛在災害的範圍
堆積坡度	野外測量估計堆積區頂端往下至最末端的坡度。	土石堆積的坡度

最後利用簡單的統計及 t 檢定，歸納邊坡型土石流與其他崩塌類型間主要的地形特徵差異，以及山谷型土石流發生山谷的主要地形特徵，研究流程如圖 4 所示。

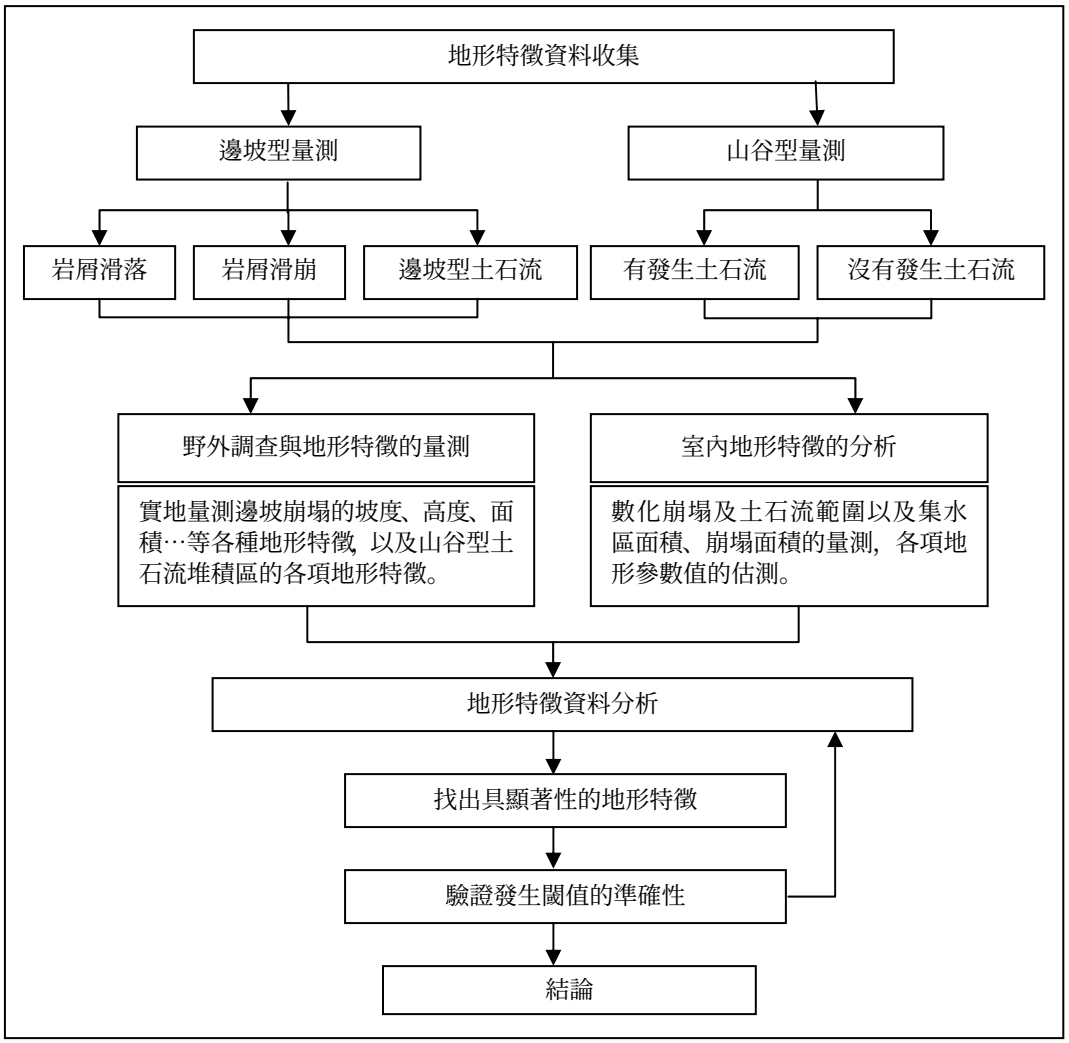


圖 4　研究流程圖

研究結果

(一) 邊坡型土石流的地形特徵

本研究共調查岩屑滑崩 15 個，岩屑滑落 23 個，邊坡型土石流 11 個，調查發現邊坡型土石流主要發生在內聚凸坡型的邊坡上，其崩塌區通常呈碗狀，並在下方出現一道 4 至 6 公尺寬的隘口 (表 3)。且經由野外調查結果可歸納出其具有以下的地形特徵：

1. 崩塌區的形狀趨於橢圓狀，長寬比平均為 1.5。
2. 崩塌地的坡度集中於 50 至 80 度左右，平均 64 度。
3. 崩塌深度主要分佈於 3 至 16 公尺，平均約 8 公尺。
4. 崩塌高度分佈於 40 至 65 公尺，平均為 53 公尺。
5. 崩塌面積主要分布於 1,250 至 1,500 平方公尺。
6. 集水面積皆在 1,000 平方公尺以上，以 1,000 至 2,000 平方公尺最多。
7. 單位崩塌面積之集水面積為 2 至 6 平方公尺。
8. 流動區的平均長度為 20 公尺、平均寬度 5 公尺，坡度約 30 度。
9. 堆積區的長寬比平均為 2，表示流動時形狀為狹長狀。
10. 堆積的平均長度為 35 公尺、平均寬度 20 公尺，坡度約 25 度。
11. 堆積面積約 300 平方公尺，堆積體積平均 2,500 立方公尺。

其中邊坡型土石流崩塌區的主軸長度、崩塌深度、崩塌面積和集水面積均較岩屑滑崩和岩屑滑落大，並具有統計顯著性。資料顯示，發生崩塌的邊坡，若其集水區面積達 1,000 平方公尺，且為崩塌面積的 2 到 6 倍時，比較可能發生邊坡型土石流 (圖 5、6)，因此可以集水區面積和集水區面積與崩塌面積比例來作為土石流發生閾值。

表 3　各類崩塌形態比較表

觀察參數 / 崩塌形態	崩塌形狀	崩塌位置	隘口有無	邊坡坡形
岩屑滑落	橫平面狀	1. 坡面及坡底 2. 全邊坡	無	 平行禿坡
岩屑滑崩	碗狀	坡頂	有 (2 至 4 公尺)	 內聚禿坡
邊坡型土石流	碗狀	全邊坡	有 (4 至 6 公尺)	 內聚禿坡

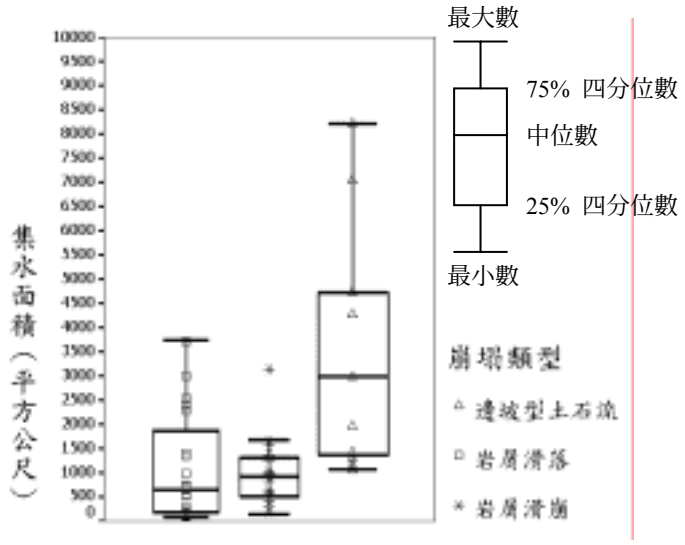


圖 5　各崩塌類型集水區面積比較

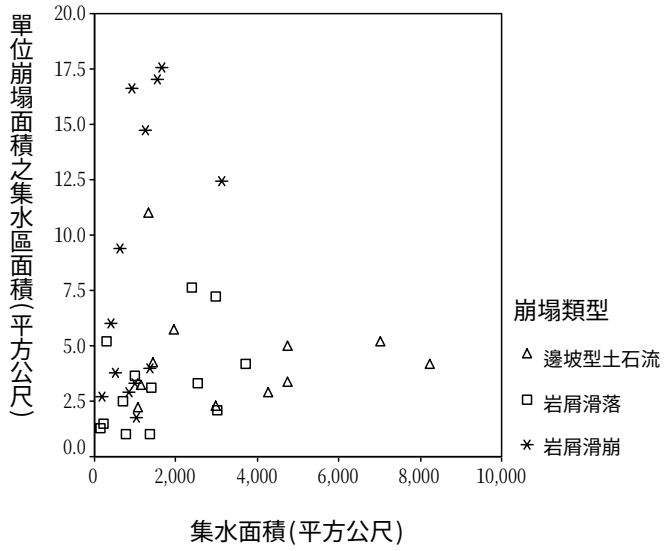


圖 6　各崩塌類型集水區面積與崩塌面積比值

(二) 山谷型土石流的地形特徵

由於山谷型土石流的規模較大也較難調查，因此除乾溪和田尾坑曾經發生土石流的 9 個山谷外，另選擇 7 個未發生土石流的山谷進行調查。研究顯示此區發生山谷型土石流的河谷具有以下的地形特徵：

1. 主河道長多分佈於 200 至 400 公尺。
2. 形狀係數略集中於 0.35 至 0.45 之間。

3. 水系密度分佈於 1 至 11。
4. 主流坡度則多分佈於 15 度以上。
5. 集水面積多在 20,000 平方公尺以上。
6. 集水區內發生崩塌的面積皆在 5,000 平方公尺以上，佔集水區面積的 20% 以上。
7. 形成的堆積區長度平均為 20 公尺，堆積坡度則與長度略成正相關，主要介於 8 至 15 度間。
8. 平均堆積面積為 2,000 平方公尺。

研究發現，發生土石流的山谷與未發生者在集水區面積、區內崩塌地面積比以及河谷坡度三項地形參數的差異均呈現統計顯著性 (t 檢定，$\alpha=0.05$)，其中以崩塌地面積佔集水區面積的比值最具統計顯著性，其次為集水區面積，最後才是坡度。發生土石流山谷的集水區面積以及區內崩塌地面積比率皆較未發生者為大。初步歸納當山谷的集水面積在 20,000 平方公尺以上 (圖 7)，且區內崩塌地面積達 20% 以上時 (圖 8)，該山谷發生土石流的可能性極高。

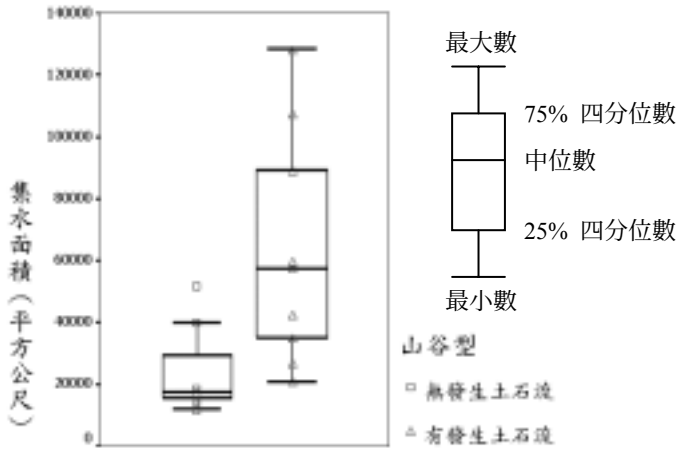


圖 7　有無土石流山谷集水區面積比較

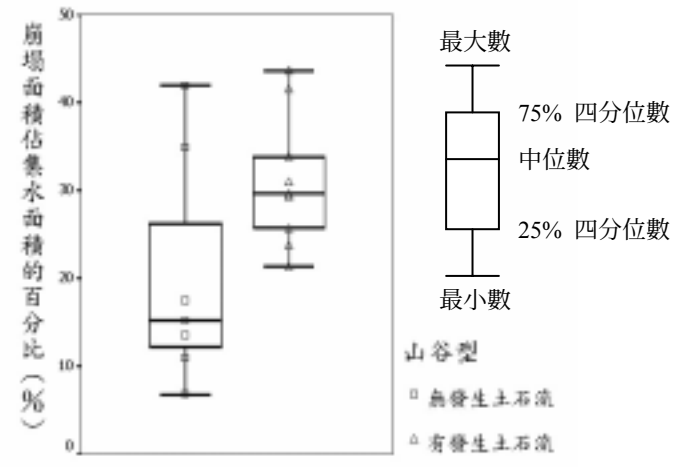


圖 8　有無土石流山谷崩塌面積與集水區面積之比值

(三) 地形閾值的檢證

將上述歸納所得具顯著性的地形參數值，當作發生邊坡型土石流與山谷型土石流的地形閾值，選擇緊鄰田尾坑溪的油車坑溪集水區進行檢測 (圖 9)。結果發現，油車坑的邊坡型土石流發生區的集水面積皆符合上述條件，即至少在 1,000 平方公尺以上，且為該邊坡崩塌面積的 2 至 6 倍，顯示此等閾值確實具有判別力。而油車坑溪集水區內凡是集水區面積達 20,000 平方公尺，且區內崩塌面積比例達 20% 以上者，皆如預期而實際發生土石流 (表 4)，但是另有 3 個山谷面積雖未達 20,000 平方公尺的閾值，卻發生土石流。檢視此三個集水區的其他地形參數，發現該等集水區區內的崩塌面積比例高達 30% 以上，但若再檢查其他小面積的集水區，發現當面積小於 15,000 平方公尺時，即使區內崩塌面積比例高達 40% 也未發生土石流。因此將山谷型土石流的集水區面積閾值修正為 15,000 平方公尺。

討　論

(一) 邊坡型土石流的地形特徵

邊坡型土石流是礫石層區有別於其他地區較常發生的土石流型態，資料顯示邊坡型土石流常發生

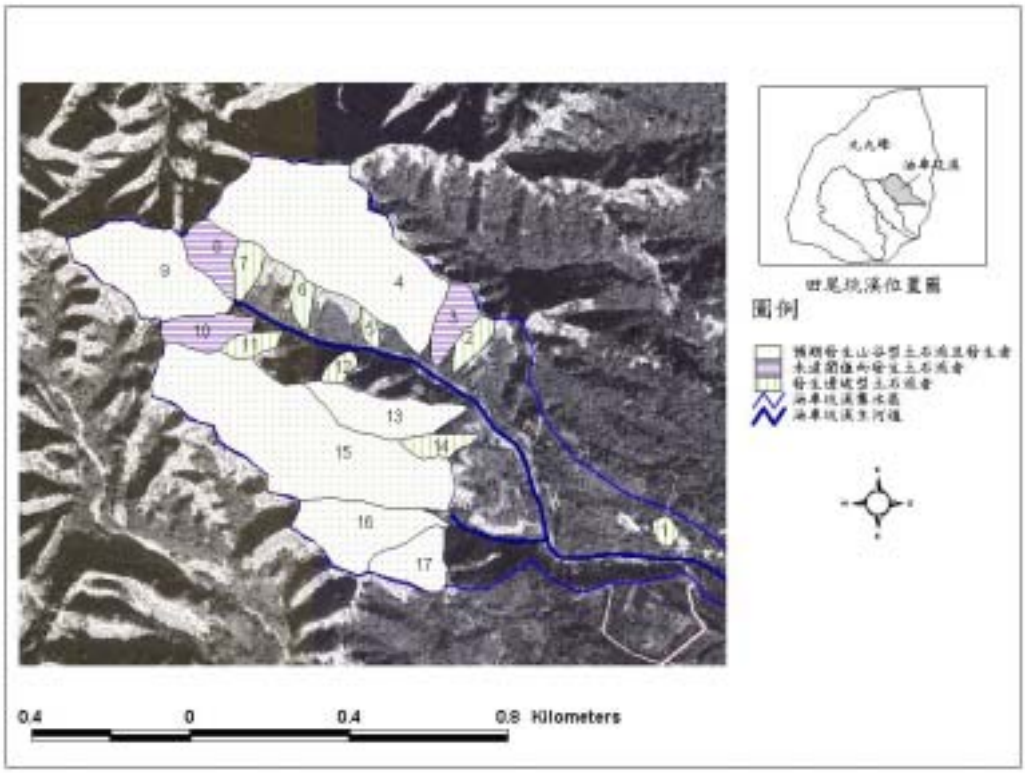


圖 9　油車坑溪研究集水區

表 4　油車坑溪集水區地形閾值檢證結果

編號	集水面積 (平方公尺)	崩塌面積 (平方公尺)	崩塌面積佔集水區面積百分比(%)	平均坡度 (度)	地形閾值	觀察結果
1	138,257	59,506	43	19	符合	有發生
2	60,350	14,832	25	19	符合	有發生
3	31,534	26,405	84	19	符合	有發生
4	20,382	6,774	33	31	符合	有發生
5	41,124	10,787	26	18	符合	有發生
6	147,316	58,570	40	17	符合	有發生
7	10,315	135	1	38	不符合	沒發生
8	21,251	2,805	13	25	不符合	沒發生
9	15,053	4,510	30	34	不符合	有發生
10	16,503	5,291	32	26	不符合	有發生
11	16,031	8,786	55	27	不符合	有發生

坡的邊坡坡型，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。崩塌物質首先集中於邊坡凹陷處，接著被水流沖刷而流動，其在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。這種反覆的土石積累和沖刷的過程，逐漸將隘口擴大，逐漸減少邊坡上積存的土石容量，降低後續土石流的規模。

(二) 山谷型土石流的地形特徵

發生山谷型土石流的山谷與未發生者在集水區面積、崩塌面積、及主河道坡度三項地形特徵值上具有顯著的統計差異，本研究亦證實利用此等因子推測土石流的有效性。唯本區發生土石流山谷的集水區面積主要集中於 20,000 至 60,000 平方公尺，遠小於謝正倫調查所得臺灣其他地區發生土石流溪谷的集水區面積 (表 5)。此可能與九九峰地區於九二一地震時大量崩山，提供大量崩積土石有關，然此推論仍待進一步調查和驗證。

本區發生土石流的河谷主河道坡度與其他地區的觀測值相當 (表 5)。不過本區未發生土石流山谷的主河道坡度似乎有大於發生土石流山谷的河道坡度的傾向 (圖 10)，初步推斷，可能源於前者山谷集流面積較小，大量堆積物質未能有效被搬運所致。就發生土石流的山谷而言，集水區面積大於 50,000 平方公尺者的主河道坡度幾乎都維持在 15 度左右，但是當集水區面積小於 50,000 平方公尺時，主河道坡度與集水區面積略呈負相關 (圖 11)，並可以線性迴歸式表示 (圖 12)：

$$\text{坡度 (度)} = -0.0004 \times \text{集水面積 (平方公尺)} + 35.37$$

除了一個河谷在其崩塌面積未達集水面積的 20% 的情況下發生土石流外，其餘發生土石流的山

谷，其集水區內的崩塌面積均佔 20% 以上 (圖 13)。審視該未達崩塌面積比率閾值而發生土石流的河谷，發現其集水區形狀較狹長，兩側崩塌物質比較能夠有效地到達主河道，可能因而提高主河道的土石供應量。

表 5 九九峰地區與其餘地區地形特徵比較

地　區	集水區面積 (平方公尺)	主河道平均坡度 (度)	資料來源
九九峰	20,000-60,000	15-25	自行調查
花東地區	100,000-1,200,000	10-25	謝正倫等 (1992)
蘭陽地區	100,000-1,500,000	10-25	張東炯等 (1996)
中部地區	100,000-1,700,000	10-25	張東炯等 (1997)

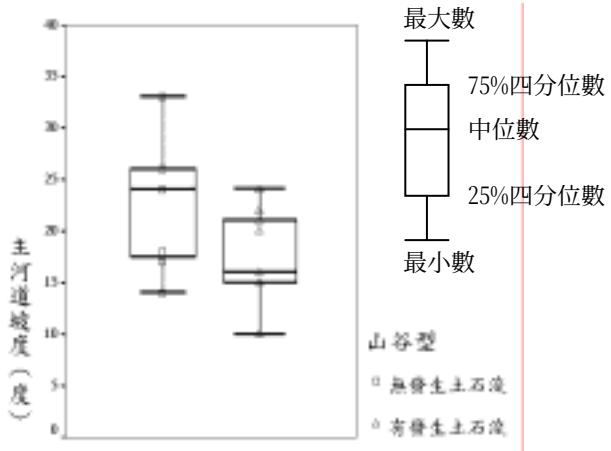


圖 10　有無發生土石流山谷主河道坡度比較

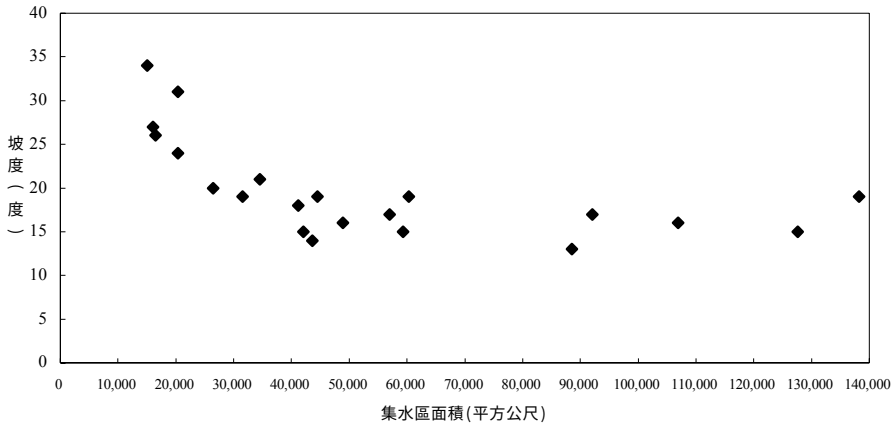


圖 11　發生土石流山谷的坡度與集水區面積關係

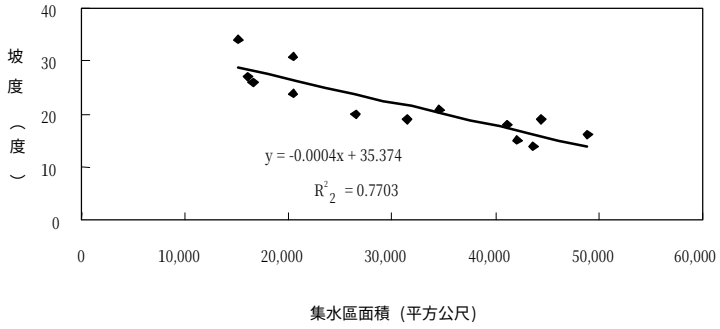


圖 12　集水面積小於 50,000 平方公尺的土石流發生山谷河道坡度與集水區面積的關係

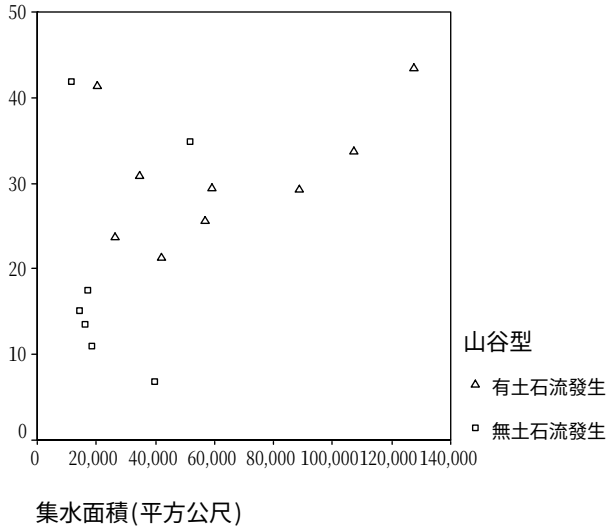


圖 13　研究區支流河谷的崩塌面積比例與集水面積的關係

(三) 地形閾值的比較

本研究歸納九九峰礫石層地區土石流發生區的地形特徵閾值如下：

1. 邊坡型土石流：具有 1,000 平方公尺以上集水面積的碗狀內聚凸坡，集水區面積並達崩塌面積的 2 到 6 倍，崩塌區下方有 4 到 6 公尺寬的隘口。

2. 山谷型土石流：集水區面積在 15,000 平方公尺以上，且山谷內崩塌面積佔集水區面積的 20% 以上。

初步證實此等地形特徵閾值可做為評估當地土石流發生與否的檢核條件。謝正倫等人根據花東地區土石流的調查資料，提出河床坡度在 10 度以上且集水面積大於 50,000 平方公尺為發生土石流的條件，1998 年後修正為河床坡度在 15 度以上且集水面積大於 100,000 平方公尺者 (謝正倫等，1992；謝正倫與江志浩，1992；謝正倫與陳禮仁，1993；張東炯與謝正倫，1996；1997；施邦築與謝正倫，1998)。

而蔡元芳等 (2000) 則認為 30,000 平方公尺即可能發生土石流，因此本區發生土石流的集水區面積閾值顯然小於前述兩位學者在其他地區的觀察資料，再次顯示評估土石流災害時納入區域特色的重要性。

由於所依據的地形特徵資料可輕易由地形圖、航空照片中獲取，因此應是研判潛在土石流危險區極為良好的評估參數，可作為礫岩區土石流災害防治的重要參考。

結論與建議

本研究的主要結論包括：

1. 邊坡型土石流是礫石層區有別於其他地區較常發生的土石流型態，其最常發生在坡度界於 60 到 70 度的內聚凸坡型邊坡上。崩塌形狀多呈碗狀，且崩塌區下方多有 4 到 6 公尺寬的隘口。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屑滑崩。

2. 邊坡土石流的地形特徵閾值為：集水區面積達 1,000 平方公尺以上，且為崩塌面積的 2 到 6 倍。可據以有效評估本區潛在邊坡土石流。

3. 山谷型土石流的地形特徵閾值為：集水區面積達 15,000 平方公尺，且崩塌面積達 20% 以上。可用以有效判定山谷型土石流的發生可能性。

4. 影響山谷發生土石流的地形特徵中以崩塌面積佔集水區面積的比值最為重要，其次為集水區面積，然後才是坡度。本區發生土石流的山谷，其主河道坡度與其他地區觀測值相當，但小於本區未發生土石流的山谷。但集水區面積閾值小於謝正倫等人提議做為臺灣地區研判土石流危險溪流的閾值。顯見土石流潛在危險溪流的判定必須將區域特色納入考量。

5. 就發生土石流的山谷而言，當集水面積在 50,000 平方公尺以上時，主流河道坡度約在 15 度左右；集水面積小於 50,000 平方公尺者，其主流坡度與集水面積成負相關：

$$\text{坡度 (度)} = -0.0004 \times \text{集水面積 (平方公尺)} + 35.37$$

後續研究的建議：

1. 研究過程中雖曾嘗試利用 DEM 資料推估崩塌量，但因所得 DEM 資料經度不佳而作罷，日後應利用航空照片自行生產較高精度的 DEM，進一步分析崩塌量與土石流的關係。

2. 繼續進行其他土石流發生區地形特徵值的研究，檢驗本研究歸納所得地形特徵閾值的通用性。

3. 進一步研究山谷崩塌物的累積與土石流移動過程。

4. 調查蒐集發生土石流的確切時間和相關降雨資料，以建立降雨和土石流災害的關係。

引用文獻

何春蓀 (1997) **臺灣地質概論**，經濟部中央地質調查所。

張東炯、謝正倫 (1996) 東部蘭陽地區土石流現場調查與分析，**中華水土保持學報**，27 (2) : 139-150。

張東炯、謝正倫 (1997) 中部地區土石流現場調查與分析，**農業工程學報**，43 (3) : 31-46。

游繁結 (1993) **礫石層崩積土之土石流發生機制之研究**，防災科技研究報告 82-24 號。

蔡元芳、謝正倫、臧運忠、黃信融、吳銘志 (2000) 土石流危險溪流調查與危險等級判定，**第二屆全國治山防洪研討會論文集**，109-123。

謝正倫、江志浩、陳禮仁 (1992) 花東兩縣土石流調查與分析，**中華水土保持學報**，23 (2) : 109-122。
謝正倫、江志浩 (1992) 土石流危險溪流判定方法之研究，**第六屆水利工程研討會論文集**。
謝正倫、陳禮仁 (1993) 土石流潛在溪流之危險度評估方法，**中華水土保持學報**，24 (1) : 13-19。
施邦築、謝正倫 (1998) 土石流特定水土保持區之判釋，**土木技術**，1(1): 202-211。

92 年 4 月 3 日 收稿
92 年 10 月 13 日 修正
92 年 11 月 1 日 接受