

# 苗栗火炎山崩場地變遷對土石流發生之研究

吳仁明

大華技術學院通識教育中心助理教授

趙家民

南華大學環境管理所助理教授

## 摘要

苗栗火炎山地區為礫石層地層發育之丘陵地，長期溪谷的源頭侵蝕作用，在上游之邊坡形成崩場地，而崩落的礫石停積於邊坡趾部與堆積於溪谷源頭中，為豪雨發生時產生土石流之材料來源。加上溪谷之側蝕作用，形成兩岸陡峭之邊坡，並直接將土石崩落至溪谷中，豪雨來臨時以土石流型態搬運至下游堆積，更因其堆積規模之龐大，及不斷發生土石流，造成下方道路與房舍不斷遭掩埋，致使道路改由隧道方式通過堆積土石區。

本研究擬藉理論分析、像片基本圖判釋、現地調查與 GIS 處理等方法，以苗栗縣火炎山為案例，進行邊坡礫石層形成崩塌或坡面型土石流，再於下游形成標準型土石流過程之變遷分析，以期掌握影響土石流發生、流動、堆積過程之因子。研究結果顯示崩塌面積、坡型、坡度、流深、降雨量及強度等因子，是本區土石流發生的主要原因，也是引發崩場地變遷的重要因子。

關鍵字：礫石層、土石流、崩塌、坡面型土石流

---

通訊作者：吳仁明

電子信箱：jmwu@thit.edu.tw

通訊作者：趙家民

電子信箱：cmchao@mail.nhu.edu.tw

## 一、緒論

在礫石層地層發育之溪谷，長期侵蝕作用在上游邊坡形成崩塌後退現象，而崩落的礫石停積於邊坡趾部與堆積於溪谷源頭中，為豪雨來臨時產生土石流之材料來源。加上溪谷兩岸之側蝕，亦形成陡峭之邊坡，並將土石崩落至溪谷中，隨逕流以土石流或其他流態搬運至下游堆積；而下游堆積區除了具巨礫集中於前端部、自然堤等土石流流動經過之特徵以外，更可因其堆積規模之龐大，而形成有助於土石流發生之地形環境，使得礫石層之邊坡發育不斷重複發生崩塌、土石流等土砂災害，豪雨來臨時，以土石流型態搬運至下游堆積，更因其堆積規模之龐大，造成下方道路與房舍不斷遭掩埋，終至道路改由隧道方式通過堆積土石區。

本研究擬藉理論分析、像片基本圖判釋、現地調查與試驗分析等方法，以苗栗縣火炎山為研究案例，進行邊坡崩塌轉換為土石流過程之分析，若能更明確瞭解發生條件，根據其特性施以適當的防治工法或對其發生機制加以抑制，將可使其災害程度降至最低。

關於土石流發生的環境，遠藤(1958)歸納如下：

1. 豪雨之際，溪谷兩側斜面發生崩塌，此崩落至溪床且正在運動之土砂礫與大量地表水混合，形成流體化而沿溪谷流下。
2. 溪谷兩側崩落土砂一時形成天然壩體，當天然壩含水量增加，導致發生滲流或上游貯水越過壩頂，而使土體崩壞形成土石流。
3. 大量地表逕流對溪谷兩岸或溪床上土砂礫作用，使水與土砂礫混合一體而流下。

故可知土石流係土體破壞後所產生之流體化現象，而導致此破壞行為之原因，不外係堆積土體沿斜面之推移力大於抵抗力，亦即土體內之土砂礫等粒子間因水之充填，導致土砂發生移動之現象。

## 二、研究方法

本研究蒐集火炎山地區地形、地質，植生、水文及災害歷史等資料，利用像片基本圖判釋土砂災害之範圍，並以不同時期的像片基本圖分析土砂災害變化及地形變遷，再於現場調查時作確認，並分析邊坡與溝谷之微地形變化。

本研究針對土砂運動型態分為崩塌、坡面型土石流與標準型土石流三種，分別量測流路長度、高度、寬度、面積、坡度。分析底圖採用林務局五千分之一像片基本圖電子檔，再藉由 Mapinfo 地理資訊平台比對前後期像片基本圖後，所繪出的各期崩塌、坡面型土石流與標準型土石流面積、長度、高差、平均坡度、集水面積等線或面狀資料，建立於地理資訊平台圖檔內。

## 2.1 土砂型態調查

本區邊坡土體運動方式，除崩塌外，應可分為坡面型與標準型土石流等三種型態，其中崩塌與坡面型土石流發生於邊坡，標準型土石流發生於溝谷，同位於邊坡之崩塌與坡面型土石流型態判釋基準如表 1 所示。

### 1. 崩塌

係指邊坡斜面上土體崩落之現象，其崩落之行爲包括落石、塌陷、崩滑等運動型態，而運動之特徵爲土、石、岩塊等土體間非呈連續體之運動，亦即運動土體內部之土、石、岩塊等粒子之間有不連續之空間存在，此等不連續之空間亦未充斥水或泥漿等流體，故其運動至緩坡處停積之範圍較小。

### 2. 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流動之行爲。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爲，在像片基本圖上可能不具明顯之溝谷，作為流動之渠道，但在實地上仍可顯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之外，更可形成流動之流路。此外，發生區與流動區並無明顯之界面，但可由崩落物質受水流帶動並堆積而成扇狀地形作為判釋依據，且與崩塌之堆積形態相比較，其坡度較為平緩且堆積扇的主軸長度較長，與一般崩場所形成的崖錐堆積有所不同。

### 3. 標準型土石流

係指一般常見之土石流，主要發生於暴雨時，溪床中與溪谷兩側鬆散物質與水混合，因重力作用而迅速流動之行爲。溪溝上游源頭有崩塌發育，中游呈現明顯溝谷地形，為土石流動區，下游於谷口下方，土石停積產生扇狀堆積。

表 1 崩塌與坡面型土石流之判釋基準

類型 特性	崩塌	坡面型土石流
發生位置	邊坡斜面	崩塌斜面或沖蝕溝
堆積型式	崖錐	舌狀或扇狀堆積
停積範圍	小於 2 倍崩塌高	大於 2 倍崩塌高
堆積形狀	縱軸不一定大於橫軸	縱軸大於橫軸
植株	傾倒之林木尚附著枝葉	林木樹幹表皮充分磨損，幾乎無枝葉附著
堆積區粒徑 分布	堆積表面之土石無明顯之篩分現象	堆積表面之前緣有較粗大之石、礫材料，有明顯之篩分現象

## 2.2 像片基本圖數化分析

利用 Mapinfo 地理資訊平台，以五千分之一像片基本圖作為底圖，將不同之土砂型態災害之範圍進行圈繪，並量測崩塌區、坡面型土石流區、標準型土石流區、集水區、形狀係數、平均坡度等地形參數。

數化後的像片基本圖可依以下方法讀取參數：

- 1.崩塌區：圈繪崩塌之範圍，並利用 Mapinfo 地理資訊平台讀取面積、長度、高程差等資料。
- 2.坡面型土石流區：圈繪坡面土石流之範圍，並利用 Mapinfo 地理資訊平台讀取面積、長度、高程差等資料。
- 3.標準型土石流區：圈繪標準型土石流之範圍，並利用 Mapinfo 地理資訊平台讀取面積、長度、高程差等資料。
- 4.集水區：圈繪各坑溝之集水區範圍，讀取集水區面積及坑溝長度。
- 5.形狀係數：形狀係數以  $A/L^2$  來表示， $A$  為面積， $L$  為長度，分別求取各圈繪區之形狀係數。
- 6.平均坡度：平均坡度以  $H/L$  來表示， $H$  為高差， $L$  為長度，分別求取各圈繪區之形狀係數。

### 三、研究結果

火炎山隸屬苗栗縣三義鄉及苑里鎮之行政區內，如圖 1 所示。為林務局新竹林區管理處大安溪事業區第三林班，面積為 253.28ha，在地質上屬第四紀的臺地堆積。本區岩層主要由厚層礫石組成，間夾薄層砂岩，地質脆弱，由於風化、侵蝕作用不斷，地形切割得支離破碎，形成尖銳山峰與峽谷的組合，且深谷裡滿佈卵石堆積的景象。



圖 1 火炎山地區位置圖

火炎山地勢北高南低、東高西低。調查區高程介於 100m~600m 間，平均高程為 332m，其高程分佈如圖 2 所示。且坡度陡峭，除沖積扇以外，均在五級坡以上為多，如圖 3 所示。由文獻得知火炎山屬於第四紀的頭料山層、紅土台地堆積層、台地堆積層以及現代沖積層，圖 4 為其地層之地質分布。

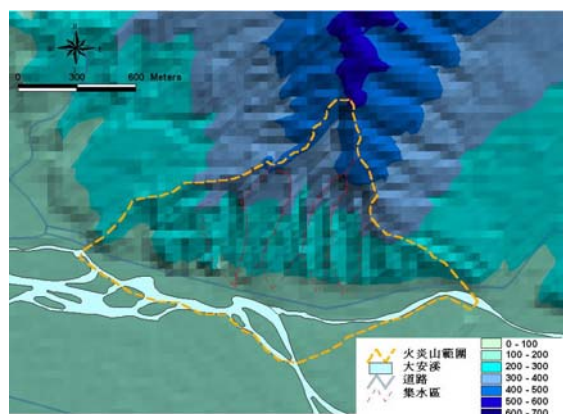


圖 2 火炎山地區高程分佈圖

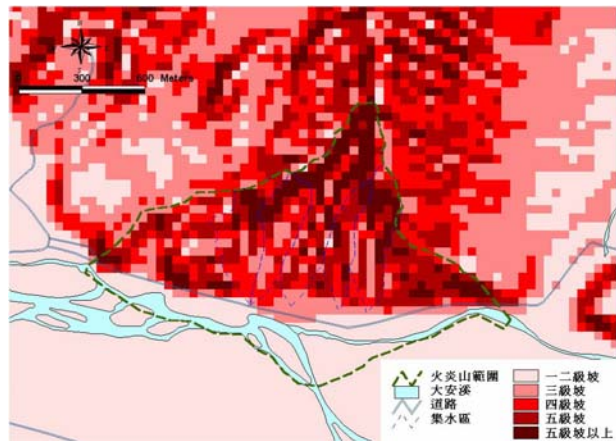


圖 3 火炎山地區坡度圖

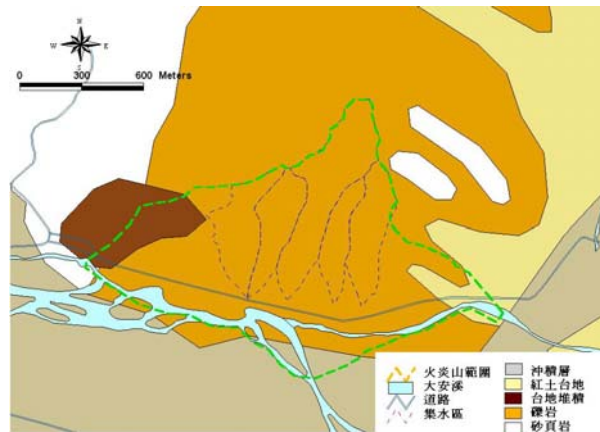


圖 4 火炎山地區地質圖

將民國 82 年之像片基本圖依崩塌、坡面型土石流、標準型土石流等不同類型作判釋，結果如圖 5 所示，再判釋 93 年之像片基本圖，結果如圖 6。經比較 82 年與 93 年災害範圍後，顯示本區災害範圍大幅增加如圖 7 所示。

根據現場踏勘及像片基本圖像片之比對，火炎山全區可分為 5 條沖蝕溝，呈南北向並行排列，該區溪谷上游長期形成礫石層後退崩塌現象，造成崩落的礫石停積於邊坡趾部，或堆積於溪谷中，為豪雨來臨時水與土石混合產生土石流之材料來源。



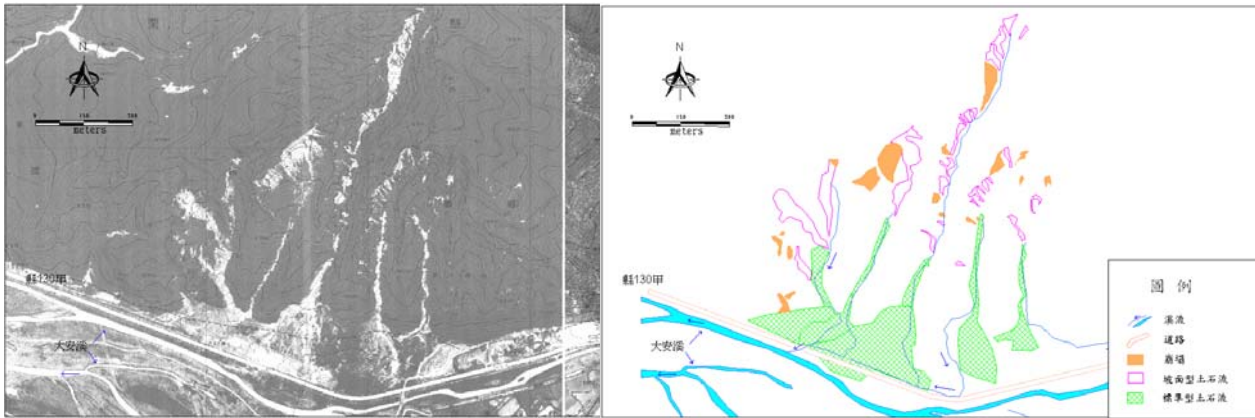


圖 5 火炎山地區 82 年版像片基本圖與判釋結果

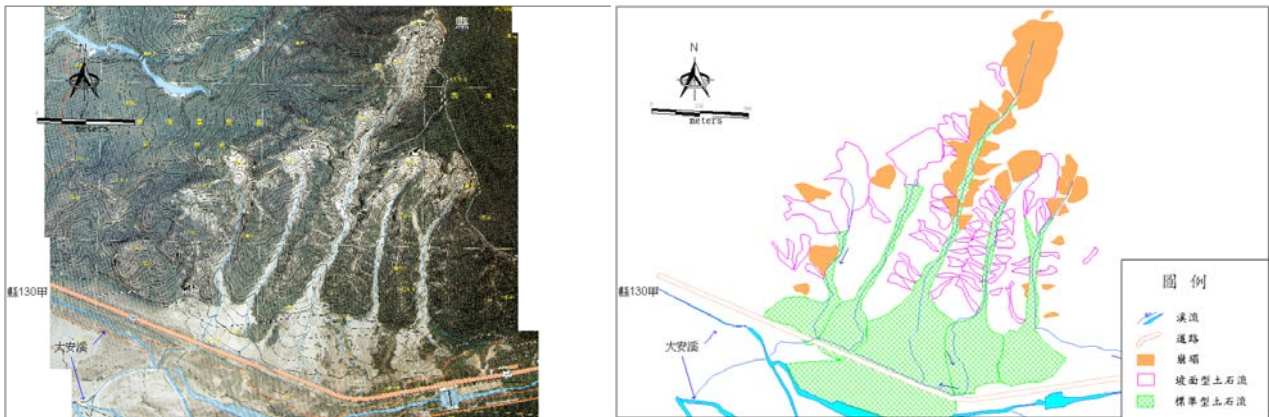


圖 6 火炎山地區 93 年版像片基本圖與判釋結果

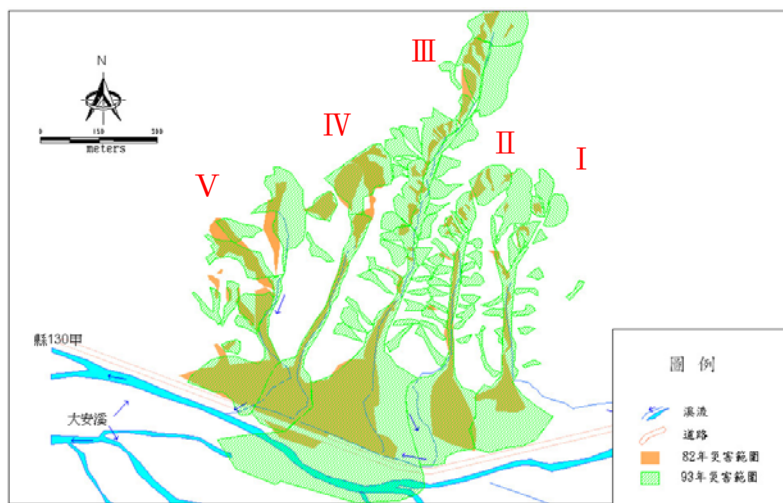


圖 7 火炎山地區 82~93 年間災害範圍變化圖

根據鄭村益(1992)、林俊全(1992)對火炎山地區歷年調查災害資料，與 82 年與 93 年像片基本圖災害面積，整理於表 2 所示。

表 2 火炎山地區歷年災害範圍變化表

日期 (民國)	坑溝編號 面積(ha) 類型	I	II	III	IV	V	全區
		66 年	不分類	1.80	3.77	5.68	5.78
71 年	不分類	1.29	1.98	3.76	4.43	4.14	15.60
81 年	不分類	1.67	2.62	7.44	3.15	3.05	17.93
82 年	崩塌	0.07	0.22	0.48	0.87	0.34	1.98
	坡面型土石流	0.14	0.22	0.92	0.86	1.60	3.75
	標準型土石流	0.91	2.11	5.43	1.40	1.99	11.83
	合計	1.11	2.56	6.83	3.13	3.93	17.55
93 年	崩塌	1.24	1.06	6.36	1.03	1.65	11.33
	坡面型土石流	1.72	1.76	2.40	1.91	3.02	10.82
	標準型土石流	3.63	4.04	13.52	2.98	2.39	26.57
	合計	6.59	6.87	22.28	5.92	7.07	48.72

註：1.1977~1992 資料：依據鄭村益(1992)調查結果

2.1993 資料：民國 82 年像片基本圖判釋

3.2004 資料：民國 93 年像片基本圖判釋

由民國 66~82 年資料來看，本區土砂災害面積變化不大，除了 III 號坑溝外，面積並有減少之趨勢，係土砂之崩塌之速率慢於植生之復舊速率，導致面積縮小。於民國 82~93 年，源頭區之崩塌及溝谷中游兩側坡面型土石流大幅增加，造成下游之標準型土石流亦多次發生，並逐年擴大影響範圍。

本區發生成標準型土石流的原因，主要是豪雨所帶來的超大逕流，由本區近十年已發生災害事件，配合蒐集最大時雨量、累積雨量、致災時間、原因、災害規模等，列於表 3。民國 82~93 期間，尤以 82 年、89~90 年間、93 年間的颱風或豪雨，造成崩塌與土石流面積明顯增加，將整個火炎山溪床面抬高了 10m，下游縣 130 甲道路遭土石淹沒 12m 高，連較穩定的 I、II 坑溝，也因土石流下移，造成營造公司工地房屋遭掩埋，且縣 130 甲道路掩埋深度一年比一



年增加，沖刷之土石將大安溪向內移 100m 以上。

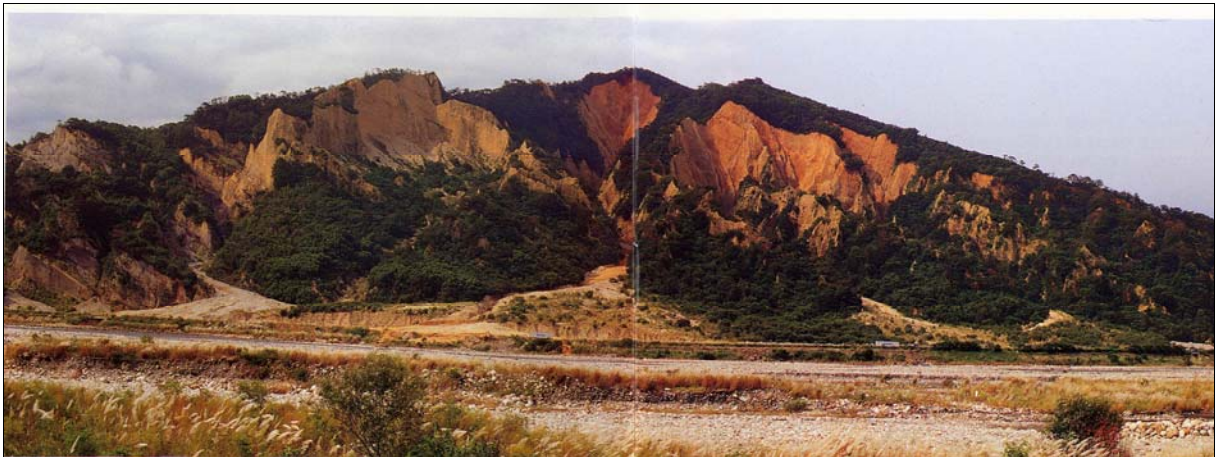
由 81 年 30min 降雨量為 31mm，本區僅少部分沖刷現象(林俊全,1993)，至 93 年 8 月 25 日艾莉颱風本區最大時降雨量為 26.5mm/hr，已造成歷年最嚴重的災情來看，921 地震後之鬆散破碎土石，已使發生土石流之臨界降雨條件明顯降低。

表 3 火炎山地區歷年發生土石流災害統計

日期	最大時雨量 (mm/hr)	降雨量 (mm)	災害原因	災情
81.8.15	31 (30min)	208		僅少部分沖刷
82.6.2	93 (30min)	649	豪雨	Ⅲ坑溝發生土石流，現場觀測儀器遭沖毀
89.4.28~29		117.5	豪雨	土石堆積 4m 高，掩埋道路 100m 長
89.7.23-24	54	177.5	碧利斯颱風	土石堆積 3m 高，掩埋道路 80m 長
89.8.29-30		139.5	巴比倫颱風	土石堆積 3m 高，掩埋道路 100m 長
90.7.30	67	388	桃芝颱風	土石堆積 3m 高，掩埋道路 100m 長
90.9.16~18	43	717.5	納莉颱風	土石堆積 5m 高，掩埋道路 600m 長
93.7.2~3	37	198	敏督利颱風	土石堆積 5m 高，掩埋道路 600m 長，道路被迫採用隧道方式通過
93.8.11~12	19.5	81	蘭寧颱風	土石堆積 9m 高，掩埋道路 800m 長，Ⅰ、Ⅲ坑溝發生土石流，並進入營造公司工地
93.8.25~26	26.5	230	艾莉颱風	Ⅰ~Ⅲ坑溝發生土石流，土石堆積 9m 高，掩埋道路 800m 長
93.9 以後	公路局於受災道路興建明隧道，自此土石流由明隧道上方經過，對道路本身不再引發災害			

觀察本區土砂移動情形除以像片基本圖判釋了解其面積變化外，利用相同地點實施定點拍攝，亦是簡易有效判釋方法。照片 1~7 顯示由 83~95 年不同時期拍攝之研究區各坑溝崩塌與遷移之變化，其中民國 93 年是本區產生地表形貌最大改變之一年。93 年 5 月除源頭崩崖外，當時邊坡植生已多處覆蓋，甚至扇狀地下緣大安溪沿岸，有部分植物生長；7 月敏督莉颱風後，坑溝Ⅲ~Ⅴ扇狀地明顯擴大，下游並擴展到大安溪；8 月艾莉颱風過後，所有坑溝扇狀地擴大至大安溪

床，原溪床地受土石堆積平均增高 5m，迫使大安溪溪水向內偏移 50m。



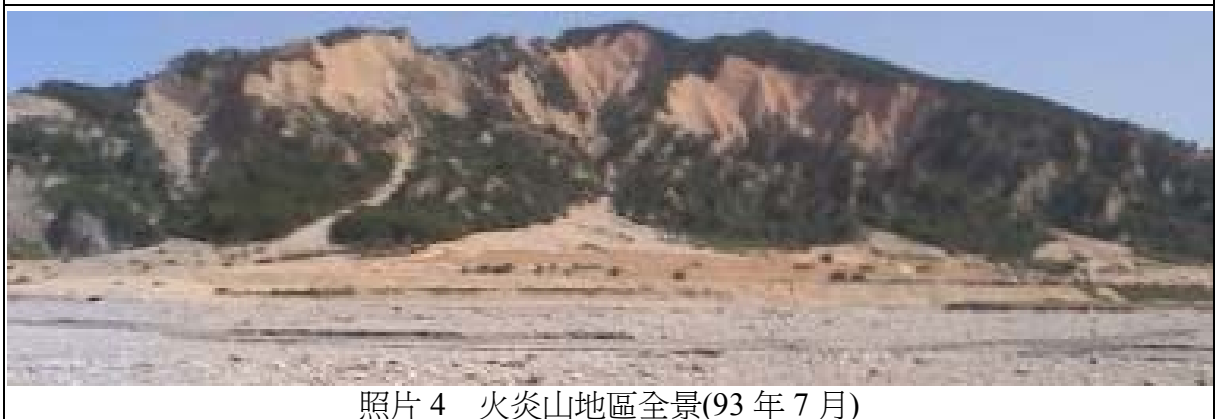
照片 1 火炎山地區全景(張徽正，83 年 8 月)



照片 2 火炎山地區全景(張徽正，91 年 11 月)



照片 3 火炎山地區全景(93 年 5 月)



照片 4 火炎山地區全景(93 年 7 月)





照片 5 火炎山地區全景(93 年 8 月)



照片 6 火炎山地區全景(94 年 12 月)



照片 7 火炎山地區全景(95 年 10 月)

#### 四、討論

本區經調查結果共有5處屬於標準型土石流，54處屬坡面型土石流，30處屬崩場地，列如表4所示。坡面型土石流數量明顯多於崩場地，而單位面積略小於崩塌的原因，可能因為礫石層內溪谷兩側多凹狀地形坡面，在地形上易匯集雨水產生沿坡面之流動現象，因此容易發生坡面型土石流；再則崩塌多位於溪谷源頭，常為大面積之陡崖區，因此面積會大於分布於溝谷兩側凹谷之坡面型土石流。

表 4 火炎山地區土砂災害統計

災害類型	發生個數(處)	發生面積(ha)	單位面積(ha/處)
崩塌	30	11.33	0.38
坡面型土石流	54	10.82	0.20
標準型土石流	5	26.57	5.31

#### 4.1 邊坡土砂災害調查

本區土砂災害類型根據現場調查可概分為三種型式，即(I)崩塌，(II)流動與(III)切蝕，其破壞之示意圖詳見圖8所示，其中流動現象導致坡面型土石流發生，而切蝕現象存在中、上游溝谷兩側，若與溝谷內的堆積土、石、水相伴混合後，就形成標準型土石流。

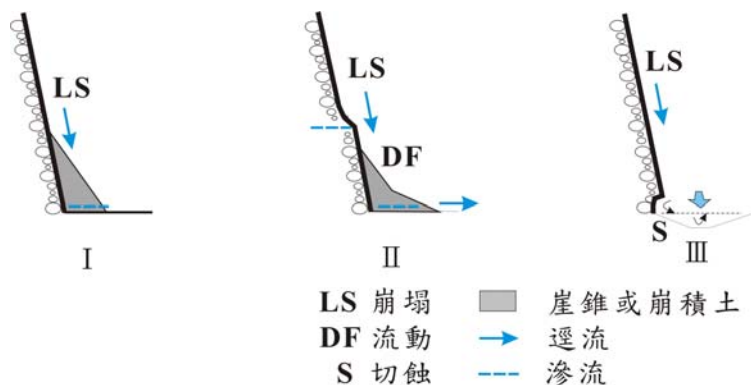


圖 8 火炎山地區土砂災害發生示意圖



崩塌



坡面型土石流





標準型土石流

照片 8 火炎山地區土砂災害類型

經野外調查火炎山第I~V坑溝邊坡破壞共84處，屬於崩塌有30處，多位於源頭區陡崖處。判定為坡面型土石流有54處，多位於溪谷兩側之凹谷內。

為探討坡面型土石流生成之地形特性，將邊坡型態根據Parsons (1988) 分類分為九種基本坡形如圖9所示。將各調查之邊坡破壞地區依Parsons之分類歸

納如表5所示。由表5顯示本區邊坡破壞坡型最多為內聚凸坡與平行直坡。其中崩塌以平行直坡為主，一般直坡為陡崖地形，易造成崩塌。流動發生在內聚凸坡，內聚凸坡有利於逕流集中產生侵蝕，並維持流動坡度條件，使崩塌土體得以短距離形成土石流。由現場資料統計，內聚凸坡坡型，崩塌長寬比在1~2，且坡度在30°以下時，發生坡面型土石流的機會極高。

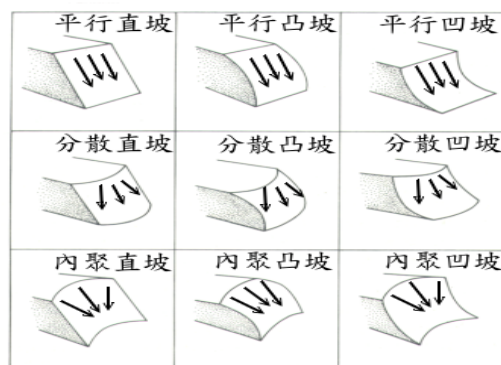


圖9 九種基本坡形 (Parsons, 1988)

區內84處發生邊坡破壞之平均坡度介於25~65°，源頭區幾近為90°，表5顯示產生崩積土體之平均坡度較產生流動之沖積土體為陡，並維持31°的陡坡，但由於崩積土體結構破碎鬆散，不穩定之陡坡土體將再引發崩塌。另外，流動之堆積區位於邊坡坡趾，坡度為15°，但邊坡坡趾緊鄰溝谷，勢必成為下次豪雨時之土石料源。

表 5 崩塌與坡面型土石流地形分析

類型	平行直坡(處)	平行凸坡(處)	內聚直坡(處)	內聚凸坡(處)	內聚凹坡(處)	長寬比 ( $L_s/B_s$ )	長高比 ( $L_s/H_s$ )	平均坡度(°)	
								崩塌區	堆積區
崩塌	22	2	0	6	0	0.5~2.5	2.15	41.86	31.06
坡面型土石流	3	0	15	30	6	1.8~9.3	4.20	29.58	14.58
合計	25	2	15	36	6	2.15	2.66	38.79	26.94

#### 4.2 溪谷土砂災害調查

本區依侵蝕溪谷分布共可分為5個子集水區，歷年來已發生多次標準型土石流，將地形參數，包括溝谷長度、集水區面積、形狀係數、崩塌面積、堆積面積、平均坡度等特徵值，進行調查列於表6。

表6顯示本區五條標準型土石流的地形特徵如下：

1. 溝谷長度分佈於 450m~992m，集水面積介於 6.04~18.11ha，雖較台灣標準型土石流平均值為小，但上游邊坡之崩塌率為 31~48%，土砂來源量大，因此在低降雨的條件下，仍有發生土石流的可能。
2. 集水區形狀係數分佈於 0.18~0.48 之間，為狹長之集水地形，易匯集洪流。
3. 平均坡度均在 13~16°以上，土石容易繼續向下游流動。

表 6 火炎山地區各坑溝之地形特徵

溪溝 地形參數	I	II	III	IV	V
集水面積(ha)	9.48	6.04	18.11	8.38	9.74
形狀係數	0.38	0.22	0.18	0.26	0.48
溝谷長度(m)	496.9	520.2	991.7	563.6	450.5
料源區坡度(°)	36.3	51.3	35.5	43.5	30.5
流動區坡度(°)	15.4	12.5	15.1	16.1	13.6
堆積區坡度(°)	9.5	9.0	7.4	7.1	7.8
崩塌面積(ha)	2.96	2.83	8.76	2.94	4.67
崩塌率(%)	31.19	46.77	48.34	35.06	47.97
堆積面積(ha)	3.63	4.04	13.52	2.98	2.39
堆積/崩塌面積比	1.23	1.43	1.54	1.01	0.51

為調查歷年來溝谷形成土石流之過程，進行第Ⅲ坑之現場觀察，列述如下：

1. 發生區溝谷源頭為一坡面近乎垂直之崩塌裸露地，仍在繼續蝕切之中，兩側坡度陡峭在 60°以上，並有蝕溝化育為縱坡約 27°之 V 型谷，坑溝寬度約 20m，坡高達 50m 以上，河床質粒徑約在 15~20mm，如照片 9 所示。溝壁有深約 3m 之切割痕跡，顯示溝頭向源侵蝕後崖錐之崩積土在搬運過程中受劇烈的切割作用，故其土石流發生型態可能係因坡面崩落之材料受流水推移力作用所形成，且上方持續有土石崩落現象。
2. 流動區呈 V 型斷面，為溝谷中上游，兩側溝面坡度約 40~50°，溝面上方崩崖坡度在 50°以上，坡高約 30m，坑溝寬度 30~50m，如照片 10 所示，

坑溝平均縱坡 15.4°，河床質礫石粒徑大多為 20~25mm。由流動區溪床堆積土體剖面如照片 10 所示，顯示堆積於溪溝旁的顆粒分層有規律的排列，第一層粒徑分布顯示粗顆粒分布於上層，越往下顆粒越細，到了第二層又是由粗顆粒分布開始，此分布容易使土石流持續流動，因水流容易入滲至細顆粒層，當逕流高超過土體底部時，容易一次將第一層集體搬運形成土石流。

3. 堆積區坑溝明顯增寬為 50m~200m，平均縱坡降為 9.5°，大部分粒徑為 25~30mm，礫石堆普遍存在於谷口下方，高度超過 3.5m，寬度約 4m，長



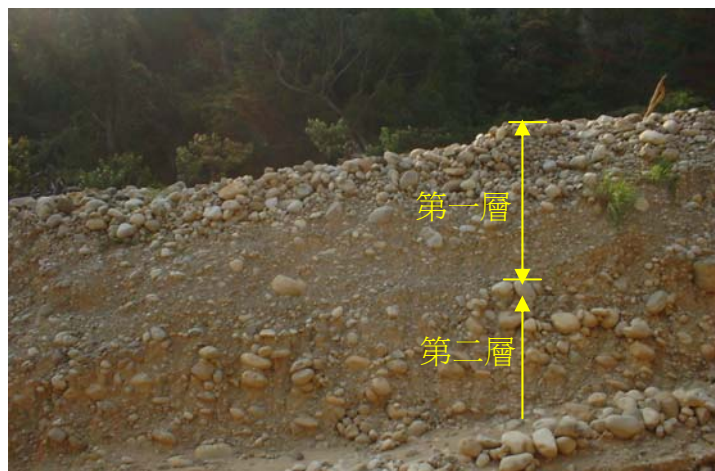
度約 30m，最大粒徑達 1m，如照片 11 所示。



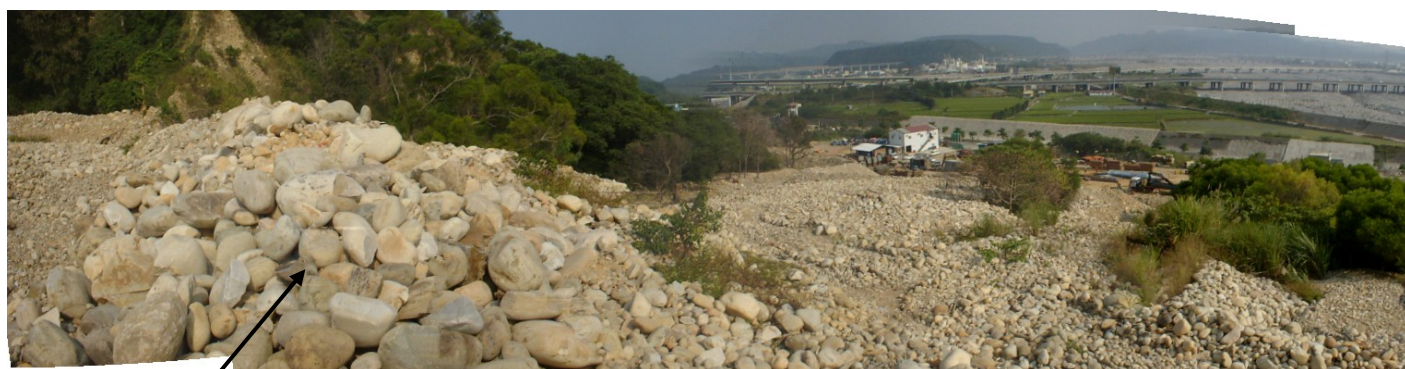
照片10 火炎山地區第Ⅲ坑發生區(93年10月)



照片11 火炎山地區第Ⅲ坑輸送區



照片 12 火炎山地區河床堆積土體剖面



礫石堆

照片13 火炎山地區土石流堆積區

#### 4.3 坡面型土石流發生之臨界坡度條件

現地進行採樣後，土砂分析結果顯示溪谷堆積土砂之性質為  $\phi=37^\circ$ ， $\gamma_{sat}=2.64\text{g/cm}^3$ ， $n_p=0.46$ ，則其 $\theta$ (溪床坡度)與 $H/h$ (堆積層厚度與逕流深度比值)之關係如圖10所示。

游繁結(1987)推導之土石流發生之臨界坡度，推導逕流水深與土石流發生深度，以期掌握土石流發生時之水文條件。

$$T = \gamma_{sat} H \sin \theta + (1 - n) \gamma_w h \sin \theta \quad (1)$$

$$R = (\gamma_{sat} H - n \gamma_w h) \cos \theta \tan \phi \quad (2)$$

式中 $T$ ：推移力， $R$ ：抵抗力， $\gamma_{sat}$ ：飽和土砂之單位體積重， $\gamma_w$ ：水之單位體積重， $H$ ：堆積層厚度， $h$ ：水位(由堆積底部量起)， $\theta$ ：溪床坡度( $^\circ$ )，

$\phi$ ：土砂之摩擦角， $n_p$ ：孔隙率

欲使堆積土砂發生流動，則推移力必需大於抵抗力，在臨界條件時

$$F_s = R/T = 1 :$$

$$\frac{\tan \phi}{\tan \theta} = 1 + \frac{\gamma_w}{\gamma_{sat} (H/h - n \gamma_w)} \quad (3)$$

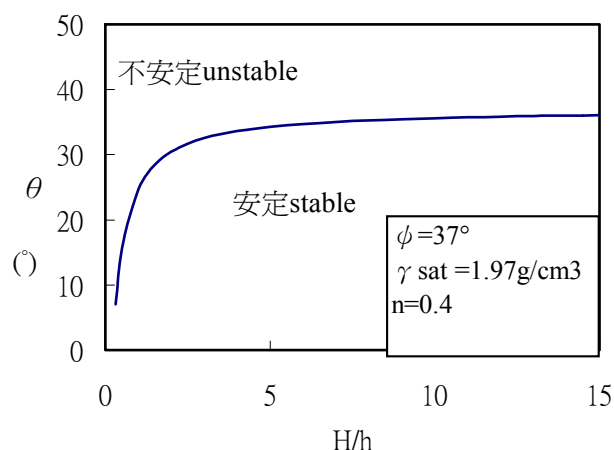


圖 10 火炎山地區坡面型土石流發生之臨界坡度

由圖10可知，坡度(圖形之水平漸近線) 在 $H/h > 5$ 時很趨近於試區土砂之內摩擦角，邊坡安定條件此時以內摩擦角來控制；當水深增加時， $H/h$ 變小，此時影響邊坡穩定的條件隨水深增加，臨界坡度變小，最後在 $10^\circ$ 以上的邊坡，就可能變得不安定而引發土石流，因此採(3)式所提之土石流發生理論來分析火炎山坡面型土石流發生之臨界坡度應屬合理，且坡面穩定與逕流水深有著密切的關係。

## 五、結論

1. 本區坡面土石流發生於內聚凸坡，顯示此種地形有利於上方地表逕流的集中，造成地表侵蝕。同時凸坡有利於崩塌土體在較陡之坡度下，沿坡面滑動形成較佳之流動環境，而得以使崩塌土體形成短距離之土石流現象出現。崩塌以平行直坡為主，一般直坡為陡崖地形，易造成崩塌。
2. 在  $H/h$ (土石流深度與逕流深度比值)  $> 5$  時，邊坡坡度很趨近於土砂之內摩擦角值，邊坡安定條件此時以內摩擦角來控制；當水深增加時， $H/h$  變小，此時影響邊坡穩定的條件隨水深增加，臨界坡度變小，最後在  $10^\circ$ 以上邊坡就可能變得不安定而引發土石流。
3. 依本區土砂之特性，在坡度達  $37^\circ$ 臨界值，或最大時雨量達  $35\text{mm/hr}$ ，當連續降雨時，極有可能因邊坡崩塌而造成土石流。

## 參考文獻

1. 遠藤隆一(1958),「砂防工學」,共立出版社,p.61。
2. 吳仁明、鄭凱文、游繁結(2004),「崩塌型土石流生成環境案例調查」,第十四屆水利工程研討會,第 E123~E128 頁。
3. 鄭村益(1993),「三義火炎山自然保留區崩塌地變遷之研究」,國立中興大學水土保持學研究所碩士論文,第 30~35 頁。
4. 林俊全(1994),「礫岩邊坡沖蝕觀測之研究—以台灣中西部火炎山地區為例」,台大地理學報(17),p47-64。
5. 游繁結(1993),「礫石層崩積土之土石流發生機制之研究」,行政院國家科學委員會防災科技研究報告,NSC-82-0404-P005-040B,第 8-15 頁。
6. 鄭凱文(2004),「火炎山土石流地形特徵之研究」,國立中興大學水土保持研究所碩士論文。
7. 高銘健、林啓文(1994),「五萬分之一大甲圖幅」,中央地質調查所。
8. 高橋保(1977),土石流發生流動之相關研究,京大防災研究年報,20 號 B-2, p405~435。
9. 游繁結(1987),「土石流之基礎研究( I ) 土石流發生機制之研究」,中華水土保持學報,18(2):p28~40。
10. Parsons A.J.(1988) Hillslope Form, London and New York, Routledge。

## **Study on Occurrences of Debris flow Induced by Landslide Change in Hoyan Mountain**

**Jen-Ming Wu**

Assistant Professor, Center of General Education, Ta Hwa Institute of  
Technology

**Chia-Min Chao**

Assistant Professor, Institute of Environmental Management, Nan Hua  
University

### **Abstract**

The Miaoli Hoyan Mountain area was grown with hilly land, contained conglomerate formation in geology. The long-term corrosive was naturally access in ravine source area, caused the slopeland to form the landslides in the upstream and the fallen earth to form slopeland, and became colluviums at hill toe and alluviums in ravine. When torrential rain happened, the accumulation were the origin of debris flow. Additionally, the side ravine erosion formed lateral steep slope land, the erosion earth was directly falling to the ravine when the torrential rain approached, the downriver deposited by the debris flow transporting. Because it's scale of deposition to be huge, continue occurrence caused the road and the building to unceasingly suffer buries. The road path forcedly changed passes by the tunnel way to across the deposition area of debris flow.

This research in order to realize the characteristics of occurrence of debris flow, used the method according to theoretical analysis, the aero-photo map judgment, field investigation and GIS processing, took the Miaoli Hoyan Mountain area as the case study location, analyses the process from slopeland at conglomerate formation to the landslides and slope-type debris flow, and the process from the landslides and slope-type debris flow of slopeland to debris flow in valley. This results were shown that the landslide area, slope shape, gradient of slope, runoff depth, rainfall depth and intensity were the mainly factor which inflected occurrence of debris flow, also were the important factor that lead to topography change in Hoyan Mountain area.

**Keywords:** conglomerate formation , debris flow, landslide, slope-type debris flow