九九峰於集集大地震後續崩塌趨勢之研究 吳俊鋐⁽¹⁾ 陳樹群⁽²⁾

摘要

集集大地震於九九峰地區引發大規模邊坡崩塌,為瞭解九九峰地區於地震後續崩塌趨勢之 演變,本研究於九九峰地區進行五年之長期監測,經監測結果顯示:1、九九峰地區之降雨分 佈時空不均,7月至9月期間之集中型降雨乃為當地邊坡崩塌之主因;2、九九峰地區之土砂以 礫卵石居多,可佔80%以上,過往地震引發之崩塌土體所形成之崩積土錐已逐漸固結穩定;3、 經本研究五年現地量測及敏督利颱風期間邊坡崩塌案例顯示,九九峰地區之邊坡塊體崩塌趨勢 尚未穩定,邊坡植生復育情況良好,但僅成長五年之台灣蘆竹尚無法提供邊坡塊體穩定性;4、 目前九九峰地區不安定土砂分佈,主要以集水區河道土砂及邊坡塊體為主,過往地震引發之崩 塌堆積由於並不位於主要河道上,近幾年堆積土錐逐漸固結,該地區已形成安定土砂。

Analysis of the Slope Stability in Mt. Chiu-Chiu After ChiChi Earthquake

Chun-Hung Wu

Graduate Student, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University

Su-Chin Chen

Professor, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University

ABSTRACT

The study focuses on the landslide characteristic of the Mt. Chiu-Chiu in Nantou county which had been the most serious landslide disasters during ChiChi Earthquake in Taiwan. After 5 years monitoring, we make some conclusions : (1)The precipitation in Mt. Chiu-chiu is varied distribution in time and space. The main reason of the landslide in Mt. Chiu-Chiu is the heavy rainfall from July to September. (2) The main components of the soil in Mt. Chiu-Chiu are the gravel layers. The particle size distribution of the gravel are more than 80%. (3) After Typhoon Mindulle in July in 2004, we believe that the landslide trend in Mt. Chiu-Chiu hasn't been stable until now. The recovery of the vegetation in Mt. Chiu-Chiu has getting better, but the vegetation is too young to to settle the landslide. (4) The unsteady sediment in Mt.Chiu-Chiu now are the riverbed sediment and the possible landslide. The piled-up sediment which was slid during ChiChi earthquake is steady sediment now.

- (1) 中興大學水土保持學系研究生
- (2) 中興大學水土保持學系教授

一、緒言

集集大地震為台灣地區百年來僅見強烈 地震,由於地震引發斷層錯動,沿斷層線所 經之處發生地表隆起及溪流堰塞等地形地貌 變動,經農委會水土保持局利用衛星影像判 識,南投縣境內於集集大地震中共引發1,401 處崩塌地,且總崩塌面積達4,274 公頃,其中 又以南投縣草屯鎮烏溪沿岸九九峰地區及南 投縣國姓鄉南港溪上游支流韭菜湖溪流域的 九份二山地區破壞規模最為嚴重,九份二山 地區之崩塌乃屬邊坡塊體滑動之深層崩塌現 象,而九九峰地區之崩塌則屬於表層土壤大 量崩落之淺層崩塌現象。

九九峰地區總面積約為1,810公頃,集集 大地震則在九九峰地區引發約八百多公頃之 崩塌地(行政院農業委員會特有生物研究保 育中心,2003),其崩塌現象乃是邊坡植生於 一夕之間幾乎全震毀,茂密森林瞬間轉為光 秃山頭,整片山區猶如剝了一層表皮之崩塌 行為,此種因地震所引發之全區域且如此嚴 重之崩塌案例在台灣過往之崩塌案例實為相 當罕見,因此在地震後幾年之崩塌趨勢演變 及崩塌土砂之安定性都是相當值得探討之問 題。本研究針對九九峰地區進行長達五年之 長期監測研究,收集九九峰地區之氣象水文 資料、以衛星影像 NDVI 值評估歷年植生復 育成果及以現地測量及土砂採樣方式評估邊 坡土砂崩塌量及河道土砂安定性,探討九九 峰地區於集集大地震後之崩塌趨勢演變及土 砂安定性。

二、研究區域概述

南投縣九九峰地區位於台中縣霧峰鄉、

南投縣草屯鎮及南投縣國姓鄉之交界處,其 地理位置如圖 1 所示,九九峰山區內河川皆 為烏溪支流,以乾溪、仙洞指坑溪、油車坑 溪及田尾坑溪而分為四個子集水區,本研究 主要研究區域亦以此四子集水區為主,下述 便依地形、地質、氣象、植生及土地利用等 條件依序介紹該研究區域。



圖 1 九九峰地理位置圖 Figure 1. Location of Mt.Chiu-Chiu

九九峰地區大部分由陡峭邊坡所形成之 山峰,陳宏宇(1999)認為九九峰地區邊坡 的坡度介於50°至85°之間,且超過50%的邊 坡坡度為介於60°至70°之間,且主要邊坡類 型以凸直型與雙凸型兩種邊坡形狀為主,九 九峰地區四個子集水區之坡度分佈如圖2所 示。九九峰之形成乃因地殼變動、劇烈的造 山運動、快速侵蝕、堆積和風化作用等,形 成今日所見之火炎山特殊的地質地形景觀, 九九峰地區鄰近車籠埔斷層與雙冬斷層附 近,亦屬覆瓦斷層山塊西區,覆瓦斷層山塊 西區亦為921集集大地震中,引發邊坡崩塌 數量最多之區域。就地質條件而言,九九峰 之地層年代大多屬於約一百萬年前上新世至 更新世之地層,大部分地區皆屬頭群山層, 該區之頭嵙山層亦可分為三層,上層為約數 百公尺厚之塊狀礫岩層,中層為約一百公尺 厚之砂、黏土和礫石互層,下層則為約九百 公尺厚之砂岩和頁岩夾礫石薄層,九九峰地 區之土壤層以紅壤居多,僅在乾溪上游及仙 洞指坑溪下游處有少數石質土及崩積土分 佈,而九九峰地區之土壤層厚度大多在20公 分之內。九九峰地區之樂石層的透水性良 好,於乾燥季節時其礫石層緊密堅硬,於降 雨季節時則易受雨水侵蝕下切,造成許多尖 銳山峰與深溝,烏溪沿岸則有多處因溪水淘 空坡腳而造成崩塌,形成懸崖峭壁的雄壯景 觀之案例,圖 3 為九九峰地區之地質特性圖。

以氣候條件而言,本研究蒐集鄰近九九 峰地區之四個水文氣象站過往降雨資料,分 析九九峰地區之降雨特性,九九峰地區之年 平均降雨量為1,795.65mm,降雨時間分佈非 常不均勻,每年三月至九月累積降雨量佔全 年總降雨量之 88.4%至 91%,雨季旱季情況 差異明顯,九九峰地區之年降雨量雖少,但 於雨季期間仍有單日超過 130mm 之降雨記 錄,而此等集中降雨將是引發崩塌災害之主 要原因。

以九九峰地區植生條件而言,根據特有 生物研究保育中心(2003)之調查:九九峰 乃位在國有林埔里事業區第八到二十林班範 圍內,於集集大地震前乃為植生青翠蓊鬱之 區域,由於當地地形陡峭且地質特殊乾燥, 當地植生分佈乃在坡度較陡、稜線或坡腳處 下方會有木本植物出現,植生種類有山麻 黃、山鹽菁、白桕、牛乳榕、台灣櫸、青剛 櫟、及楠木類等先驅樹種,並混生台灣二葉















仙洞指坑溪 圖 2 九九峰地區坡度分佈圖 Figure 2. Slope Distribution in Mt.Chiu-Chiu



圖 3 九九峰地層特性分佈圖 Figure 3. Geology Character Distribution of Mt.Chiu-Chiu

松及楠木類等先驅樹種,並混生台灣二葉松 及台灣五葉松,但大部分之邊坡都以台灣蘆 竹為主。

三、材料與方法

集集大地震發生至今已五年有餘,由於 集集大地震於九九峰地區引發罕見之大規模 淺層崩塌之案例,因此地震後續數年之邊坡 崩塌趨勢及地震引發之土砂安定性探討皆為 值得深入探討之問題,本研究於九九峰地區 進行下列數項研究,以分析九九峰地區於地 震後之崩塌特性。

- 1、氣象及河川水文資料蒐集:九九峰地區過 往並無正式之氣象站紀錄,本研究為瞭解 九九峰區域之降雨情況,於乾溪子集水區 崩塌地量測區設置自記式雨量計及壓力 式水位計,並採用草屯氣象站及雙冬氣象 站之雨量資料,輔助分析九九峰崩塌區一 帶之降雨特性。
- 2、土壤粒徑分析:為分析集集大地震引發之 土砂後續輸送特性,本研究在九九峰地區 之河道、邊坡崩塌坡腳堆積處及邊坡崩塌 地進行土壤採樣分析;於過往地震引發崩 塌堆積於邊坡坡腳土砂堆積處之採樣,本 研究分別採取崩塌邊坡正下方、邊坡崩塌 堆積土錐中央及邊坡崩塌土錐堆積扇外 緣等三處位置進行採樣,主要探討地震引 發之崩塌土砂在堆積於坡腳後,崩塌堆積 土砂運移之特性;而於河道土砂及邊坡土 砂之採樣,則分別取河川上游、中游及下 游之河道及鄰近邊坡進行採樣,主要比較 邊坡土砂及河道土砂之粒徑差異,並探討 九九峰集水區之土砂輸送特性。而在土壤

採樣分析方法上,則利用 10 號篩(土壤 粒徑為 2.0mm 以上)及 200 號篩(土壤粒 徑為 0.08mm 以上)為界,將全部土樣分 成礫卵石、砂及粉黏土等三類,土體堆積 特性。

- 3、邊坡崩塌堆積量量測:為探討九九峰邊坡 於地震後之穩定性,本研究於九九峰地區 進行邊坡崩塌堆積量量測,於每次暴雨或 颱風事件後便進行量測,評估該崩塌堆積 處之崩塌體積及崩塌堆積面積變化量。量 測方法乃為針對邊坡崩塌堆積處劃定量 測區域,以電子全站式經緯儀(Electronic Total Station)進行人為量測。
- 4、敏督利颱風對九九峰地區之影響:敏督利 颱風於2004年6月底7月初登陸台灣,並 引進強烈之西南氣流,該颱風對中台灣地 區造成重大災害,本研究以敏督利颱風之 降雨量、河川流量及現地探勘之邊坡崩塌 及土石流現象,以評估九九峰地區於集集 大地震後之邊坡穩定性。

本研究根據上述四研究方向進行探討, 期能對九九峰棲地環境之長期變化做出完整 分析,研究流程圖如圖4,研究時程圖如圖5 所示。

四、結果與討論

(1) 降雨量分析

圖 6 為南投縣草屯氣象站、雙冬氣象站 及本研究設置自記式雨量記由 2000 年至 2004 年降雨組體圖,近5年降雨量可分為三 個時段段討論: 2000 至 2001 年之降雨量豐 沛,此兩年之年降雨量分別為 2142.2mm 及



圖 4 研究流程圖 Figure 4. The Research Flowchart



圖 5 研究時程圖 Figure 5. The Research Timetable





1916.6mm (本資料以本研究設置於乾溪流域 之氣象站資料為主),約較九九峰年降雨量多 出 6.7~19.3%,主因乃為夏季颱風所帶來之 豪雨,2001 年之桃芝颱風及納莉颱風分別帶 來 224.5mm 及 312.0mm 之降雨量;2002 年 至 2003 年降雨量甚少,主因乃為夏季颱風較 少且颱風期間未帶來豐沛雨量,此雨年之年 降雨量分別為 1211.5mm 及 1305.0mm,年降 雨量約較往年減少約 34.8%~41.3%;2004 年 之雨量豐沛,年降雨量為 2210mm,雨量都集 中於颱風所帶來之豐沛降雨量,6月底7月初 之敏督力颱風及 8 月下旬之艾莉颱風各帶來 將近 600mm 及 320mm 之降雨量。

九九峰地區降雨集中程度相當明顯,若 將每年4月至9月為雨季,其他月份為旱季, 則每年雨季之降雨量都可佔總降雨量之 80.2%以上,雨季旱季之降雨量差異現象依然 相當明顯。若探討單日降雨強度之分佈,九 九峰地區每年都會出現多次單日降雨量達暴 雨界定之情況(單日降雨量超過50mm,陳鐵 如,1995),出現時間都集中在7月至9月之 颱風季節期間。九九峰地區降雨量雖較少, 但由於其降雨其中且降雨強度大,對促發邊 坡崩塌行為發生仍具有一定之影響。

(2) 乾溪河川水位流量記錄

九九峰之河川洪枯流量差異過大,平日 無降雨期間,山區內河川呈現乾涸現象,僅 有在颱風或豪雨季節方有河川流量,本研究 選取九九峰地區最大之乾溪河川,以壓力式 水位計監測該河川之水位紀錄,並以現地量 測及河川水位紀錄比對,得出乾溪流域之河 川流量紀錄。乾溪流域在平日無降雨情況 下,河川流量保持在 0.07~0.09cms 左右,此 流量即為乾溪流域之基流量,當乾溪集水區 遇到數日暴雨或颱風侵襲時,乾溪河川水位 便有迅速攀升之現象,以2004年所量測之記 錄為例,2004年5月20至21日兩天降下 56mm 之雨量,河川最大流量立即升為 0.38CMS, 如 5 月 27 至 31 日間共降下 149.5mm 之雨量,也使河川最大流量升至 1.23CMS,而河川流量陡升最明顯的則為 6 月底7月初的敏督利颱風期間及8月底艾莉 颱風期間,敏督利颱風期間由7月2日至5 日間共降下 635.5mm 之雨量,本研究設置水 位計位置所量得之乾溪河川流量最高水位曾 達 3.5 公尺深,且最大流量亦曾出現 36.9CMS 之記錄,而8月底之艾莉颱風亦有類似情況 發生,由8月24日至8月25日間共降下了 276mm 之降雨量,也促使乾溪河川流量曾高 達 24.35cms, 圖 7 為乾溪河川於 2004 年之降 雨量與河川流量比對圖,可見乾溪集水區之 河川流量於豪雨事件時之匯流流量速率相當 快。

(3) 土壤粒徑分析

本研究在九九峰地區之河道、邊坡崩塌 堆積處及邊坡崩塌地進行土壤採樣分析,土 壤採樣分析結果如表1及表2所示,由分析 結果可以發現:

1、九九峰地區地層之礫卵石含量相當
多,礫卵石含量約佔 81.0~88.9%左右,而砂
之含量約在 15%左右,粉黏土之含量則在 2
%以下。

2、以邊坡崩塌土砂堆積處之採樣資料而
言,採樣位置越接近崩塌土砂堆積扇外緣,



圖 7 2004 年乾溪降雨量與河川流量 Figure 7. Rainfall Data and the Kan stream Discharge Data in 2004

礫卵石含量越增加,此現象可說明當邊坡崩 塌行為發生時,崩塌堆積土體乃是不具凝聚 力之散堆狀,粉黏土及砂顆粒較小,會往崩 塌堆積土體下層掉落,崩塌堆積土砂表層形 成礫卵石顆粒之堆積層,顆粒堆積間少有細 小顆粒物質填充,而該崩塌邊坡於地震過後 近幾年亦曾發生數次小規模土砂崩落現象, 這些崩落土砂直接落於於崩塌地正下緣處, 細顆粒土砂直接堆積於坡腳正下方,大顆粒 之礫卵石則會往堆積外緣滾動,此亦造成礫 卵石含量會隨者採樣位置越外緣而越多的現 象。

3、就九九峰山區河道之土砂分佈而言, 越往河道下游礫卵石之含量越少,綜合比對 表1及表2之資料,以礫卵石含量多寡為比 較,則可發現礫卵石含量多寡之順序為:邊 坡>崩塌地土砂堆積外緣>崩塌地土砂堆積 中央>崩塌地土砂堆積下方>河道,此順序 亦可說明九九峰地區於集集地震引發之土砂 輸送特性,地震引發之崩塌土砂堆積於邊坡 下方坡腳處時,其礫卵石粗顆粒運動現象乃 為滾動,動力來源則為因崩塌而造成礫卵石 由邊坡掉落至堆積處之動量,而砂及粉黏土 之細顆粒運動現象除了滾動外,尚有降雨所 引發之地表逕流而帶動細顆粒泥沙往下游移 動,但由於地震引發之邊坡崩塌堆積處並非 都位於主要河道上,因此就算豪雨事件發 生,亦未必有足夠大之流量可帶動崩塌堆積 土錐中之礫卵石之堆積,細顆粒之砂及粉黏 土等皆往下游河道輸送。

(4) 邊坡崩塌堆積量量測

本研究於乾溪子集水區選取三處九九峰 代表性邊坡進行邊坡崩塌堆積量量測,此代 表性之邊坡選擇則以前述九九峰代表性邊坡 為主,分別選取凸直型邊坡、雙凸型邊坡及 複合型邊坡各一處,於每次重大豪雨事件過 後便進行崩塌堆積體積及崩塌堆積面積量 測,瞭解該邊坡崩塌之崩塌趨勢演變,表 3 乃為三塊崩塌地11 次量測結果,由於本研究 乃採用人工現地量測,人為誤差及量測誤差 可能都會影響量測資料,因此在崩塌體積及 崩塌堆積範圍變化率探討上,±10%以內之數 據都視為無變化,圖 8 至圖 10 為本研究所選 取之崩塌地於地震後近幾年變化情況。

就表 3 之數據而言,可清楚發現 2002 年 之前的數據都呈現較大的變動,此因 1999 年 發生集集大地震, 2000 年及 2001 年雨量豐

Scullicit						
土壤分類		礫卵石	砂	粉黏土		
	邊坡下方	63.37%	35.83%	0.80%		
NO.1	土錐中央	73.30%	26.48%	0.21%		
	土錐外緣	77.28%	22.36%	0.37%		
NO.2	邊坡下方	55.53%	43.62%	0.85%		
	土錐中央	68.32%	31.19%	0.49%		
	土錐外緣	79.69%	19.50%	0.80%		
NO.3	邊坡下方	56.49%	43.45%	0.06%		
	土錐中央	70.55%	29.26%	0.19%		

表1 邊坡崩塌堆積處土壤採樣分析表 Table 1.Soil Sampling Data in the Landslide

表 2	九九峰河道土壤採樣分析表
Figure 2.	Soil Sampling Data in the Riverbed
	Sediment

土錐外緣 66.54% 32.56% 0.89%

土壤分類		礫卵石	砂	粉黏土
	中游邊坡	81.0%	18.9%	1.1%
	下游邊坡	88.5%	10.7%	0.8%
乾溪	中游河道	67.6%	29.8%	2.6%
	下游河道	53.0%	42.6%	4.4%
	中游邊坡	88.6%	10.1%	1.3%
田尾	下游邊坡	88.8%	10.0%	1.2%
坑溪	中游河道	66.2%	29.8%	4.0%
	下游河道	54.1%	40.0%	5.9%
	上游邊坡	85.2%	13.9%	0.9%
油車	下游邊坡	85.9%	12.6%	1.5%
坑溪	上游河道	70.6%	25.6%	3.8%
	下游河道	62.6%	32.1%	5.3%
仙洞指	上游邊坡	88.9%	10.3%	0.8%
坑溪	上游河道	57.1%	38.6%	4.3%

量测時間	1號崩塌地	2號崩塌地	3號崩塌地	1號崩塌地	2號崩塌地	3號崩塌地
	崩塌堆積體積變化率(%)			崩塌堆積面積變化率(%)		
2000/5/26	45.4	400.7	7.0		070	00.5
2000/7/4	15.1	462.7	7.0	- 0.8	87.0	29.5
2000/7/19	12.0	1.1	- 0.7	13.0	7.9	- 8.6
2000/1/10	14.0	39.0	- 32,2	2,3	6.9	- 18.6
2000/8/11	- 7.0	0.9	0.5	- 1.8	10.7	3.3
2001/3/21	22,7	32,3	26.9	- 2.0	45.6	38,3
2001/8/21	18.5	10.0	14.6	2.0	13.2	11.1
2001/9/24	1.4	- 6_9	- 8.5	- 3,2	- 2,4	- 2.8
2002/4/20		1.5	14.2		2.4	3.8
2002/1/26		4.8	12.3		2.1	3.5
2002/10/15			4.2			- 2.3
2003///9						
:003/10/28						-

表 3 崩塌地現地量測資料分析表 Table 3. Measurement Data in the Landslide Debris amassed piles



拍攝時間:2000/5/26



拍攝時間: 2002/10/15



拍攝時間:2004/5/21 圖 8 1號崩塌地變化(2000 至 2004 年) Figure 8. the Difference in the NO.1 Landslide Location From 2000 to 2004



拍攝時間: 2000/3/21



拍攝時間:2002/7/18



拍攝時間: 2004/5/21 圖 9 2號崩塌地變化(2000 至 2004 年) Figure 9. the Difference in the NO.2 Landslide Location From 2000 to 2004

沛情況下,地震後尚未穩定之邊坡土體容易 再度引發邊坡崩塌及土砂流動現象,因此出 現震後兩年間邊坡尚未穩定且持續崩塌之趨 勢;2002年及2003年則為降雨量偏少,兩年 短缺降雨讓邊坡植生逐漸復育,且崩塌堆積 土錐亦逐漸呈現固結現象,此兩現象都有助 於邊坡及崩塌土砂堆積土錐之穩定;2004年 則為降雨豐沛之年份,敏督利颱風及艾莉颱 風事件都帶來豐沛雨量,三塊崩塌地除有些



拍攝時間:2000/5/26



拍攝時間:2002/4/26



拍攝時間:2004/5/21 圖 10 3號崩塌地變化(2000 至 2004 年) Figure 10. the Difference in the NO.3 Landslide Location From 2000 to 2004

許上方邊坡崩塌土體增加外,過往崩塌形成

之堆積土錐都未見明顯變化,可知該崩塌堆 積土錐已趨穩定,但上方崩塌之邊坡則尚未 穩定;由於2004年敏督利颱風對九九峰地區 引發多處新崩塌地,本研究將在後述另外探 討敏督利颱風對九九峰邊坡之影響。

(5)2004 年敏督利颱風對九九峰地區之影響

敏督利颱風於 2004 年7月1日至2日期 間侵襲台灣,其所帶來之強烈西南氣流挾帶 暴雨重創中台灣(本文將敏督利颱風及後續 之西南氣流皆視為敏督利颱風對台灣之影 響,不再另外區別颱風影響及西南氣流影 響),表4則為九九峰地區於桃芝颱風、納莉 颱風及敏督利颱風降雨量比較表,由表中數 據可瞭解『對九九峰地區而言,敏督利颱風 所帶來之暴雨乃是 921 集集大地震後最強烈 之暴雨』,敏督利颱風正可探討九九峰地區於 地震後五年之邊坡穩定之土砂安定性。

就敏督利颱風期間之氣象水文條件而 言,乾溪流域河川流量於7月2日至7月5 日期間也幾乎都維持在20.0CMS以上,最大 河川流量為36.9CMS,河川流量4天降下將 近600mm之豪雨也使九九峰地區出現多處土

		草屯雨量站	雙冬雨量站	自記式雨量站
桃芝颱風	最大時降雨強度	66.0mm/hr	38.5 mm/hr	42.0mm/hr
(2001)	總累積降雨量	278.5mm	203.5mm	224.5mm
納莉颱風	最大時降雨強度	45.0mm/hr	12.5mm/hr	33.0mm/hr
(2001)	總累積降雨量	333.5mm	130.5mm	312.0mm
敏督利颱風	最大時降雨強度	91.0mm/hr	57.5 mm/hr	67.0 mm/hr
(2004)	總累積降雨量	597.0mm	585.5mm	594.5mm

表 4	九九峰地區。	支鄰近地區於	近五年嚴重風	迨風降雨情況比	2.較表
Table 4. Ra	ainfall data of '	Typhoon Tora	i, Typhoon N	ari and Typhoor	n Mindulle

砂災害。

由於敏督利颱風發生至今約半年,九九 峰地區於敏督利颱風後之航拍影像圖尚無法 取得,本研究以現地探勘方式,記錄九九峰 地區之新增土石流及邊坡崩塌情況,圖11為 九九峰乾溪流域下游壩體於颱風前後比對 圖,由圖中可清楚發現敏督利颱風所引發之 洪水流量,攜帶大量土砂往下游移動;圖12 則為乾溪流域下游壩體旁新增之土石流溝, 該處之二度分帶座標為(X, Y) = (228059,2654281),新增土石流溝寬度約為16公尺, 長度約為35公尺,該處原邊坡之土體被衝至 下方民眾之果園內,下方果園亦被沖毀大 半;圖13為乾溪河道旁發現多處新增之邊坡 崩塌,該位置之二度分帶座標為(X,Y)= (227662,2654857),新增之邊坡崩塌處坡 度約在70度以上,崩塌處崩塌痕跡明顯,邊 坡崩塌處之土體呈現相當鮮豔之土色,崩塌 邊坡上方仍有部分未掉落植生;圖14為本研 究三號崩塌地旁新增之土石流溝,該位置之 二度分帶座標為(X,Y)=(227243, 2655155),由過往空拍圖與敏督利颱風後之 現場拍攝照片比對,該子集水區出口原為茂 密植生處,完全看不到土石堆積現象,但於 敏督利颱風過後便發現有大量土石堆積於子 集水區出口,可推斷該條土石流溝於敏督利 颱風期間有相當大量之土砂運移現象;圖15 亦為新增之邊坡崩塌及土石流溝於颱風前後 之比對圖,該處之二度分帶座標(X,Y)= (226841,2655381),比對本研究今年5月 拍攝空拍圖,此處之邊坡崩塌及土石流溝都 為敏督利颱風所新增之土砂災害點,非為過 往舊崩塌地及土石流,此處新增之邊坡崩塌 點都在山脊線上,崩塌邊坡之坡度都在 60 度 以上,而新增之土石流溝土砂運移量相當 大,土石流寬約為 25 公尺,主要成分為礫石 及土砂,現場亦有相當多之漂流木堆積。



敏督利颱風前拍攝情況



敏督利颱風後拍攝情況

圖 11 乾溪下游壩體下方河道斷面於敏督利 颱風前後之比對照片 Figure 11. the Difference of the Riverbed Sediment after Typhoon Mindulle



圖 12 乾溪下游壩體旁新增土石流溝 Figure 12. New Debris Flow aside Kan Stream



圖 13 乾溪河道旁新增邊坡崩塌 Figure 13. New Shallow Slope Failure aside Kan Stream



2004年5月拍攝之空拍圖



敏督利颱風過後之現場拍攝 圖 14 敏督利颱風所引發之新增土石流溝 Figure 14. New Debris Flow aside Kan Stream

五、結論與建議

根據本研究於九九峰地區地震後近五年 之長期監測資料及探討,可做出下列幾點結 論: (1)集集大地震後至今五年降雨資料上, 2000年、2001年及2004年都為降雨量豐沛 的年份,2002年及2003年降雨量短缺,九九 峰地區降雨具有時空分佈不均特性,每年四 月至九月累積降雨量可達年降雨量之85%以上。

(2)於一般未降雨情況,乾溪河川流量約在 0.07~0.09CMS,當豪雨或集中型暴雨發生時,河道水位攀升速度相當快,敏督利颱風 期間曾量得乾溪河川流量高達 36.9CMS 之記錄。

(3)九九峰地區之土壤層以礫卵石含量居 多,含量可達 80%以上,過往地震引發之崩 塌堆積土錐中,礫卵石顆粒大多停留於原崩 塌土砂堆積處,而砂及粉黏土等細顆粒泥沙 則經表面逕流或河川流量帶往下游河道,原 崩塌土砂堆積土錐逐漸形成礫卵石堆積土 錐,此類土錐於近幾年植生復育及土錐固結 作用下,形成穩定之礫卵石堆積土錐,由於 這些堆積土堆皆未位於乾溪河道上,且其所 屬子集水區亦小,該堆積土錐在一般降雨情 況下,均不易再出現土砂流動之現象,於土 砂安定性探討上,此類堆積土錐應屬於安定 土砂類。

(4)九九峰地區邊坡於地震後處於不穩定之 情況,地震後前兩年雨量豐沛情況下更促使 邊坡崩塌行為不斷,而在後幾年降雨量偏少 且植生恢復情況下,邊坡不穩定現象似有改 善,2004年敏督利颱風期間仍可發現多處邊 坡崩塌及新增土石流溝,代表九九峰受地震 影響之邊坡塊體目前仍處於不穩定狀態。





2004年5月拍攝之空拍圖

敏督利颱風後新增之邊坡崩塌



敏督利颱風過後新增之土石流溝 圖 15 乾溪河道旁新增之土石流溝及邊坡崩塌 Figure 15. New Debris Flow and Shallow Slope Failure aside Kan Stream

(6)於集集地震後,九九峰地區大部分邊坡 之植生都有相當良好的復育,經本研究人員 現地探勘,當地之植生以台灣蘆竹為主,由 地震至今頂多成長五年尚未完全成為成樹情 況下,此類植生對邊坡穩定之功能尚待進一 步觀測,若以2004年敏督利颱風所造成多處 邊坡崩塌及土石流溝情況而言,則此類植生 對邊坡穩定之效果並未出現。 六、參考文獻

- 1、王瑞斌,2001,「南投九九峰卵礫石之排 列及其形狀對坡度的影響」,國立台灣大 學地質科學系研究所碩士論文。
- 2、行政院特有生物研究保育中心,2003,「九 九峰傳奇-生物解說導覽手冊」。
- 2、林慶偉、謝正倫、王文能,2001,「集集 地震對中部災區崩塌與土石流之影響」,

工業技術研究院網站 http://www.itri.org.tw/。

- 陳宏宇,1999,「九九峰的石頭」,行政院 農業委員會特有生物研究保育中心。
- 4、 陳鐵如、吳鐘玲, 1995, 『基礎氣象與農

業氣象學』, 淑馨出版社。

5、張伯宇,2003,「頭料山礫岩侵蝕形貌之 研究-以臺灣中部三處個案為例」,國立 台灣大學地理環境資源學研究所博士論 文。