

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 山崩及土石流之地質材料在台灣中部地區之特性

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2116-M-002-009-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學地質科學系暨研究所

計畫主持人：陳宏宇

計畫參與人員：游家敏、莊善傑

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 22 日

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 山崩及土石流之地質材料在台灣中部地區之特性

計畫類別：  個別型計畫           整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2116 - M - 002 - 009 -

執行期間：92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：陳宏宇

計畫參與人員：游家敏、莊善傑

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：  精簡報告       完整報告

執行單位：台灣大學地質科學系

中 華 民 國 九 十 三 年 十 月 三 十 一 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 山崩及土石流之地質材料在台灣中部地區之特性

計畫編號：NSC92-2116-M-002-009

執行期限：92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：陳宏宇 計畫參與人員：游家敏、莊善傑

執行機構及單位名稱：台灣大學地質科學系

### 一、中文摘要

本研究計畫主要是針對中部幾條溝谷地區的地質材料的強度特性，不連續面的延伸分布，以及溝谷兩側坡體的穩定性進行探討。在第一年的工作中，主要是以中部大甲溪流現場調查為重點。調查溝谷上、中、下游的地質材料確實的分布，不連續面的組數及位態，以及分析坡體潛在性破壞模狀，並對比計畫中地層及構造的關係。其目的希望從溝谷地區上、中、下游的地質材料強度，來對比不連續面分布在本研究地區的影響，同時從坡體的穩定性分析中，也可以瞭解溝谷堆積物的真正來源及堆積物的搬運機制。

**關鍵詞：**地質材料、不連續面、坡體破壞

### Abstract

The purpose of this research is to comprehend the characteristics of geomaterials, the discontinuities distribution and slope stability on both sidewalls of the gully from central parts of Taiwan. The aim on the first year study was to do the site investigation. It included the distribution of the geomaterial, various sets of discontinuities and its orientation, potential geometry models on slope failure on all the study areas.

The research programme tries to pick up the all geomaterial sample from the originated area, flow area and deposited area

and find out their engineering properties. This data could compare the influence of the discontinuities distribution and transported

**Keywords:** Geomaterial, Discontinuity, Slope failure

### 二、前言

一般從板塊聚合之台灣島上的特殊山嶺地形的研究中可以反映，造山運動、侵蝕率以及氣候環境等相互間之特殊關係。板塊的聚合常常引發島內頻繁的地震活動，其聚合速率由東南往西北延伸，約 80 mm/yr，地表之垂直上升速率介於 5 至 7 mm/yr 之間。地層的受壓變形，加上地震震動之地表加速度（peak ground acceleration, PGA）的影響，常在山嶺間造成山崩及落石等地質災害。

從過去 30 年來的資料（1970 年至 1999 年）顯示，台灣本島每年平均會遭受到 4 個左右颱風的侵襲，平均年雨量約為 2512 mm。豐沛的雨量滲入地面下，不僅會弱化地質材料的強度，也會在地層間形成龐大的水壓力，對於坡體的穩定性有相當負面的影響，也即大量的降雨，較容易在山嶺間產生山崩及落石的坡體破壞。

從各不同年度之颱風前後的衛星影像分析資料顯示，屬於中部陳有蘭溪集水區區域範圍內，在 1996 年賀伯颱風期間，大約造成  $0.4 \times 10^6$  平方公尺的山崩面積，在 2001 年桃芝颱風期間，則大約造成  $1.3 \times 10^6$  平方公尺的山崩面積（Lin et al., 2004）。此結果顯示，921 地震後坡體上之地質材料

比地震前較為鬆散，所以 921 地震後的颱風（桃芝颱風）所引起的崩坍量，會較 921 地震前的颱風（賀伯颱風）引起的崩坍量來的多。

本研究工作以陳有蘭溪及大甲河流域沿線之山崩及土石流的地質材料特性調查為主。

### 三、地層分布

分布於陳有蘭溪流域內上游之地層主要為新第三紀早中新世至中中新世之和社層（南港層）與南莊層及第四紀沖積層（Liu,1971；張郁生,1984；張寶堂,1984；林慶偉,1996），其地層包括了和社層、南莊層以及第四紀沈積物。

和社層主要出露於陳有蘭溪流域之上游，以及出水溪流域之中下游，整合位於南莊層之下，主要由暗灰色至暗黑色緻密的頁岩所組成，偶夾灰色至暗灰色砂岩細粒砂岩薄層，砂岩層厚度多分布在 10 30 公分，局部可達數公尺；頁岩中除了有砂岩夾層的地方外，通常層面不易辨認。

南莊層出露於出水溪流域之中上游，主要由淺灰色砂岩與灰色頁岩之互層所組成。砂岩成分以石英顆粒為主，顆粒大小在 0.1mm 左右，為中粒至細粒，膠結物以黏土礦物和矽酸鹽類為主，砂岩層較厚所佔比例也較高，砂岩層厚度從十數公分至十數公尺不等；頁岩呈暗灰色至黑色，岩層緻密，層理不易辨認。

另外在陳有蘭溪區域內之第四紀沈積物主要有沖積層、崩積層、河階堆積層及現代沖積層（張郁生,1984；林慶偉,1996）。這些堆積物大多分佈在溝谷兩側及主河道與和社溪交匯處，其來源為兩側山區山崩碎屑堆積而成，其組成為未固結之塊石、砂及黏土，碎屑物顆粒大小不等，以次角狀至次圓狀為主（Liu,1971）。

中部地區大甲溪沿線流域上游從梨山以西，包括佳陽、德基、青山、谷關、松

鶴，及白冷地區等中央山脈西斜面，以及雪山山脈之部份範圍，為古第三紀地層所組成，由東向西之地層分布，依序為水長流層、佳陽層、達見砂岩及白冷層；中游從白冷以下，包括和平、天冷、大茅埔、東勢，及石岡地區等雪山山脈，以及未變質碎屑沉積物為主的西部麓山帶的部分範圍，為新第三紀地層所組成，由東向西之地層分布，依序為國姓層、關刀山層、錦水層及卓蘭層；下游從石岡以西，則進入了大台中平原，主要為第四紀地層所組成，包括頭嵙山層、紅土礫石層及沖積層。

### 四、露頭量測

由現場露頭量測資料顯示，中部地區岩層因為受到板塊擠壓，地層抬升的影響，其位態的分布較廣。大抵上，大甲溪流域地層面為北偏西 30° 至北偏東 70° 之走向，傾角從 30° 至 90° 向北或向南的傾向分布皆有之。因此，除了斷層及褶皺的分布外，向斜及背斜的地質構造在大甲溪流域兩岸延伸各處，也為本區域地質環境特色之一。

區域內不連續面相當發達，多組不連續面位態包括了：(1)北偏東 70° 至 80°，向南傾斜 50° 至 70°；(2)北偏東 60° 至 80°，向北傾斜 40° 至 60°；(3)北偏西 10° 至 50°，向南傾斜 40° 至 80°；以及(4)北偏西 30° 至 60°，向北傾斜 60° 至 80°。

由於大甲溪北岸（右岸）之坡面位態大抵上為北偏東走向，向南傾斜，大甲溪南岸（左岸）之坡面位態為北偏東走向，向北傾斜。因此，本區域很明顯的可以發現，大甲溪之北岸（右岸）多組不連續面與坡面構織成具有順向坡之潛在幾何模狀，而大甲溪南岸（左岸）之不連續面與坡面則構織成具有楔形坡及翻覆坡之潛在幾何模狀。

陳有蘭溪沿線所量測 9 個岩坡露頭之不連續面位態分布，其中 S1 及 S6 為位於

河道北岸岩坡，其餘均分布在河道南岸岩坡。地層走向大致為北偏東走向，傾向朝南，節理間距在下游處多分佈在 50 公分以下，越往上游，砂岩層厚較厚，同時節理間距亦較大，這些由節理及層面等不連續面與坡面相交織，在沿線形成具有潛在性楔型坡及順向坡之幾何破壞模式，為河床土石來源之一。

從野外所觀察上述邊坡破壞範圍及規模上可發現，屬於順向破壞之邊坡具有較大的崩塌面積，延伸長度在 100 200 公尺間；屬於楔型坡破壞之邊坡，崩塌規模及範圍均較小，延伸長度通常不超過 50 公尺。本區之節理的分佈與層面之關係大致具有垂直正交情形，岩層被切割成豆腐塊狀，加上水流流向與層面近乎同向，因此溝谷兩側屬於岩坡露頭的岩層容易受水流沖刷侵蝕而崩塌，同時也造成上方邊坡的不穩定。根據謝有忠(1999)對本研究區之岩體進行岩體品質評分得知，RMR 值在 33 64 之間，屬於中等至劣的等級，顯示岩體較為破碎不完整。

## 五、岩石強度

台灣地區岩石種類繁多，岩石抗壓強度的變化較大。大抵上，西南部泥岩地區抗壓強度較低，一般為低於 0.1 MPa 以下（表一），中部沈積岩地區為介於 4 至 35 MPa 之間，北部火成岩地區為介於 3 至 31 MPa 之間，北部沈積岩地區為介於 26 至 122 MPa 之間，東部變質岩地區為介於 18 至 70 MPa 之間，東部變質岩區為介於 11 至 99 MPa 之間。也即整個台灣地區岩石強度的分佈，大抵為介於 0.1 至 122 MPa 之間，在岩石強度的分類上，為屬於從弱岩至強岩的分佈。

在地理位置上，岩石的強度分布，則大抵是由西向東，以及南向北的延伸方式，有逐漸增加的趨勢。在岩石強度分佈相對較大的地區，可能發生落石及山崩的

機率較小，相對於提供山嶺集水區內之溝谷或河流的沉積物也會相對的減少，其侵蝕率也會相對的降低。反之，在岩石強度分布相對較小的地區，其侵蝕率則相對的會隨著提高。

大甲溪沿線各不同地層的岩石主要包括了硬頁岩、板岩、變質砂岩、石英砂岩，以及砂岩夾硬頁岩等幾種。大抵上，本區域岩石的單壓強度中，硬頁岩為介於 105 至 760 kg/cm<sup>2</sup> 之間，為屬於弱岩（50-250 kg/cm<sup>2</sup>）至強岩（500-1000 kg/cm<sup>2</sup>）之間的分類；板岩為介於 60 至 150 kg/cm<sup>2</sup>，為屬於弱岩的分類；變質砂岩為介於 360 至 2600 kg/cm<sup>2</sup> 之間，為屬於中強岩（250-500 kg/cm<sup>2</sup>）至極強岩（≥ 2500 kg/cm<sup>2</sup>）之間的分類；石英砂岩為介於 270 至 2200 kg/cm<sup>2</sup> 之間，為屬於中強岩至甚強岩（1000-2500 kg/cm<sup>2</sup>）的分類；砂岩夾硬頁岩為介於 110 至 710 kg/cm<sup>2</sup> 之間，為屬於弱岩至強岩之間的分類。這些結果顯示，整個流域集水區內岩石強度的差異性相當大，相對的，對於坡體穩定性的負面影響也很大。

## 六、山崩判釋

集集地震之後在中部地區所進行的野外調查、航空照片以及衛星影像觀察，發現總數約 20,000 個土壤和基岩山崩，其總面積達 150 平方公里的區域，由 20 公尺解析度的 SPOT 衛星影像來繪製山崩。而大部分的山坡破壞是發生在最大垂直地表加速度 0.2g 之等高線內約 3000 平方公里（Lin et al., 2000）。沿著車籠埔斷層約 20 公里以內，到山崩擾動的面積超過了 2%。

桃芝颱風之後，總面積 500 平方公里內由 SPOT 影像繪製出約 30000 多個山崩。集集地震誘發的山崩有 56%在桃芝颱風期間再度活動，然而有 80%的桃芝山崩在地震期間是還尚未破壞的。並且，桃芝颱風期間受擾動的地表面積比例隨著接近車籠埔斷層而有增加的趨勢。在陳有蘭溪

流域的集水區內，賀伯颱風有 289 個山崩被繪製出，集集地震後有 584 個山崩被繪出，桃芝颱風後則有 1903 個山崩被繪製出。大部分地震誘發的山崩仍然停留在山坡上，只有 8%的山崩夾帶著沈積物被運送到河流。相對的，13%桃芝颱風誘發的山崩和 24%賀伯颱風誘發的山崩則夾帶著沈積物進到河流的系統中 (Dadson et al., 2004)。

## 七、討論

地震發生時的能量釋放，會產生地表的震動，進而在坡體間觸發山崩、落石等地質災害。地表的震動及地表加速度，也會隨著距離震央或斷層之增加而減少。也即距離震央越近，地表之加速度越大；反之，地表加速度則較小。這些因地震所產生之山崩及落石等地質材料，多雜亂地分佈於山嶺集水區間之坡腰或坡腳上。鬆散之地質材料容易受下雨或震動等外力作用的影響，並順著山坡地的傾斜角度，再產生第二次的位移破壞。

1999 年的 921 地震，在中部山嶺地區所引發超過 2 萬個崩塌地，面積超過 110 平方公里的山崩現象，便是其中最好的例子。根據 921 地震前後衛星影像比較的結果發現，中部地區在地震前已有的崩塌面積約為  $7.5 \times 10^6$  平方公尺，地震後則增加至  $20.8 \times 10^6$  平方公尺，換句話說，921 地震期間中部山嶺地區共增加了約  $13.3 \times 10^6$  平方公尺的崩塌面積 (Lin et al., 2004)。由以上的結果可以發現，大地震對於集水區內山嶺的崩塌影響似乎要比颱風的影響來得大 (圖一)。

另外，從 921 地震後的現場調查及各項的統計資料也發現，在距離車籠埔斷層 20 公里以內地區，其崩塌面積約佔總崩塌面積之 2.5%。當距離超過 40 公里之後，其崩塌面積則降低至 0.5%。由此可知，地震誘發山崩的面積有隨著距離斷層線越遠

而有下降的趨勢。這個現象在諸多學者的研究中 (Keefe, 2000)，似乎也得到了相同的例證 (圖二)。

陳有蘭溪上游之出水溪在賀伯颱風後所流失之總土方量估計約有  $1572650\text{m}^3$ ，其中 53%來自發生部，37%來自流動部。在破壞型態上，將近 73%為河床堆積物破壞所提供，其餘為來自溝谷兩側邊坡破壞。因此，本研究區所發生的土石流災害，在破壞類型上屬於溝谷堆積物崩塌型。

## 八、結論

大抵上，島內的侵蝕率，在 921 地震前，平均約為 3.9 mm/yr，在 921 地震後，侵蝕率則增加至 2 倍以上，此結果直接的反映了山嶺集水區的岩性、降雨及地形起伏間的關係，也同時反映了島內侵蝕作用，與活躍的板塊碰撞及特殊之氣候環境彼此間之關連性。

由於岩層受地質構造影響，溝谷兩側邊坡之不連續面相當發達，其中層面位態的分布為介於  $N10^\circ E - 50^\circ E$ ，向南傾斜  $30^\circ - 80^\circ$ ，而節理面的發育沿線變化大，且與層面之大致具有垂直正交情形。因此，中部地區位於溝谷兩側坡體受到不連續面的影響，多處形成各種潛在性順向坡及楔型坡破壞模式，並成為河床堆積土石之主要來源。

## 九、致謝

感謝本計畫在研究進行期間，蒙行政院國家科學委員會提供經費贊助，特此致謝。

## 九、參考文獻

林慶偉(1996)南投縣和社地區崩塌地形發育之地質影響因子，土工技術，第57期，第5-16頁。

張郁生(1984)台灣嘉義 - 玉山 - 水里公路沿線之地質，經濟部中央地質調查所特刊，第三號，第75-89頁。

張寶堂(1984)南投縣東埔溫泉區地質，經濟部中央地質調查所特刊，第三號，第91-102頁。

謝有忠(1999)陳有蘭溪流域土石流發育之地質控制，國立成功大學地球科學研究所，碩士論文，120頁。

Dadson, S. J., Havius, N., Chen, H., Dade, W. B., Lin, J. C., Hsu, M. L., Lin, C. W., Horng, M. J., Chen, T. C., Milliman, J., and Stark, C. (2004) Earthquake-triggered increase in sediment delivery from an active mountain belt, *Geology*, Vol. 32, No.8, 733-736.

Keefer, D. K. (2000) Statistical analysis of an earthquake-induced landslide distribution - the 1989 Loma Prieta, California event, *Engineering Geology*, 231-249.

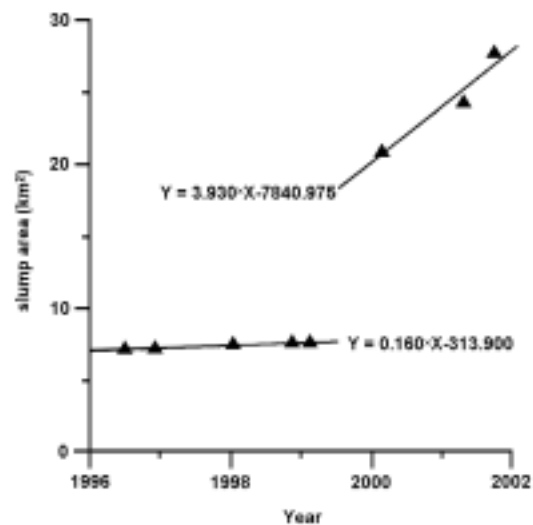
Lin C. W., Shieh, C. L., Yuan, B. D., Shieh, Y. C., Liu, S. H., and Lee, S. Y. (2004) Impact of Chi-Chi earthquake on the occurrence of landslides and debris flows : example from the Chenyulan River watershed, Nantou, Taiwan, *Engineering Geology*, Vol. 71, 49-61.

Liu, C. C. (1971) Geology of the Hoshe Anticline, Nantou, Taiwan, *Petroleum Geology of Taiwan*, No.9, p.107-121.

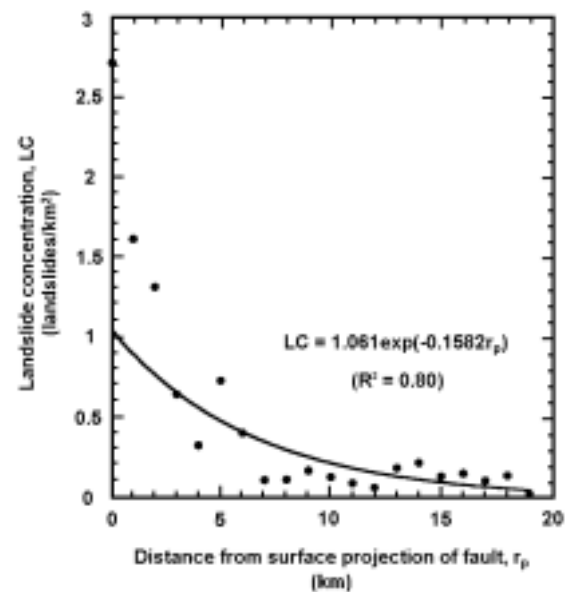
Liu, C. S., Lundberg, N., Reed, D. L. & Huang, Y. L. (1993) Morphological and seismic characteristic of the Kaoping submarine canyon. *Marine Geology* 111, 93-108.

表一 台灣各地區岩石強度

地區	岩性	強度 (Mpa)
西南部	泥岩	<0.1
中部	沈積岩	4 35
北部	火成岩	3 31
北部	沈積岩	26 122
東北部	變質岩	18 70
東部	變質岩	11 99



圖一 921 地震造成中部地區近三年來崩塌面積的增加 (摘錄自 Lin et al., 2004)



圖二 崩塌量與斷層距離的關係 (摘錄自 Keefer, 2000)