

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

台灣山脈剝蝕過程、現今侵蝕堆積作用與長時間沈積物總
量收支估算--子計畫三：侵蝕作用與地質材料間之關係
(1/3)

期中進度報告(精簡版)

計畫類別：整合型

計畫編號：NSC 95-2627-M-002-007-

執行期間：95年08月01日至96年08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

處理方式：期中報告不提供公開查詢

中華民國 96年05月18日

摘要

本研究以大甲溪流域、濁水溪流域、大漢溪流域集水區在 1996 年賀伯颱風、1999 年 921 地震、2001 年桃芝颱風，以及 2004 年敏督利颱風等 4 個災害事件為研究範圍。利用 4 個事件前後的 SPOT 衛星影像、航空照片以及 GIS 軟體來判釋山崩。並藉著 25 年來流量與輸砂量的實測紀錄，來探討本研究區在地震後之山崩與地質環境之相對應關係。

從崩塌判釋的結果發現，地層因受到 921 地震破壞的影響，加大了山崩的延伸範圍，在後續豪雨事件中，發生再崩塌的機率相當高。若將 921 地震前後之雨量、流量與輸砂量相互比較，可以發現賀伯颱風之降雨量與總逕流量為桃芝颱風的 1.8 倍，但是輸砂量卻遠不及桃芝颱風的一半，921 地震後單位輸砂量大於地震前，且流量越大，單位輸砂量比值也呈倍數方式增加。

關鍵詞：輸砂量、山崩、921 地震

Abstract

This study focused on the effect of four events including typhoon Herb in 1996, Chi-Chi earthquake in 1999, typhoon Toraji in 2001, typhoon Mindulle in 2004 along the catchments of Tachia River, Chenyulan River and Taken River. We use SPOT images and air photos to map landslides and analyzed the landslides with GIS program. The field data of suspended sediment load was conducted to estimate the annual sediment discharge and comparison of the unit sediment discharge before and after Chi-Chi earthquake. Form the result, we found landslide induced by Chi-Chi earthquake was reacted more easily in consequently torrential rain events, and the unit sediment discharge after Chi-Chi earthquake is greater than that before Chi-Chi earthquake.

Keyword: Sediment discharge, Landslide, Chi-Chi earthquake

一、前言

台灣島為屬於亞熱帶季風型氣候，平均每年有 4 個颱風，年降雨量 2500 mm/yr (Shieh, 2000)，其中約有 79%集中在每年的五月到十月，導致台灣島上山崩及土石流等自然災害頻繁。山崩及土石流均屬於地質材料受水及地震等外營力作用，造成塊體受重力影響而產生沿坡體表面向下運動的現象，在大地侵蝕作用中佔了絕大部分，當崩塌材料進入河道後開始被河水運輸，成為河流中的輸砂量。台灣為位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的聚合碰撞帶上，活躍的造山運動雖然造成台灣島每年有 4 mm 的抬升速率，但是在地質災害的作用下，台灣島每年亦有 3 至 6 mm 的侵蝕速率(Dadson et al., 2003)。山崩及土石流的崩塌材料在進入河道後，會藉著河流的搬運作用輸送至下游的河口，河流輸砂的特性則會反應了上游集水區沉積物供應的狀況，Dadson et al. (2004)的研究更進一步說明了輸砂量與上游集水區的侵蝕作用有相當密切的關係。

二、研究目的

從 921 地震後 4 年間的河流輸砂量研究結果發現，受到地震重創的台灣中部地區，在地震過後的河流泥砂濃度已經增加 2 至 4 倍，表示原本堆積在溪溝或停留在坡體上之崩塌土石，在後續颱風降雨的帶動下進入了河道，而這些被搬運到下游處的土石則可以視為地震與颱風事件所造成的侵蝕量，亦即河流輸砂量的變化可以反應上游集水區所受到的侵蝕狀況。

本研究收集了 3 個流域內完整的輸砂濃度及流量監測資料，探討這些資料是否可以反應出集水區內沉積物提供的狀況，以及是否可與集水區內山崩作用之間有相互的關聯性。

三、文獻探討

在前人研究中(Geil et al., 1988； Chen et al., 2000； Sklar and Dietrich, 2001)，地質材料強度、不連續面分布、地震作用、降雨條件、地形及水文等，都可能是影響山崩及土石流發生的自然因子。地質條件包括了岩石強度及不連續面分布等 2 方面。Li (1975)利用台灣的水文測站資料，首度提出台灣中央山脈區域的侵蝕量，自上新世以來，其平均侵蝕率不斷的上升，至少高達 1365 mg/cm²yr，可能是全世界侵蝕率最高的區域。Hwang (1982)從台灣 49 個集水區的輸砂特性中發現，物理剝蝕率達 3526 mm/1000 years，此輸砂率與集水區周遭之地質環境有關。Kao & Liu (2001)估計蘭陽溪之年輸砂量為 0.05 至 37 百萬噸/年，並且認為率定曲線法(rating curve method)較適合於估計台灣地區河流的懸浮沉積物的量。Dadson et al. (2003)利用經濟部水利署在各主要河流的水文測站資料來估計河流懸浮沉積物，以研究臺灣島的侵蝕率，並計算出台灣目前每年有 384 百萬噸的沉積物會被輸送進入海洋。Dadson (2004)認為現今常用的 6 種輸砂量的估計方法中，以月權重平均法(MWA)最適合用於估計年平均輸砂量，而暴雨事件期間則常因實測資料的不足，改以率定曲線法較適合用於估計

輸砂量。

四、研究方法

輸砂量計算方面，本研究使用之水文監測資料來自於經濟部水利署之水文測站。月權重平均法的估算，需以採用現地河流水文量測資料為基本的根據，其公式為：(Dadson, 2004)

$$E_{\text{MON}} = \frac{1}{12} \sum_i^{12} \left(\frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} Q_{sij} \right)$$

其中， E_{MON} 為月權重平均河流輸砂量 (ton/day)， m_i 為每月含砂量實測次數， Q_{sij} 為每一次河流含砂量的實測值 (ton/day)。因此每年之總輸砂量為：

$$E = 365E_{\text{MON}} \text{ (t)}$$

為了計算暴雨期間沒有實測值而無法進行估計的河流輸砂量，必須改用率定曲線法，利用現地每小時流量監測值，換算成輸砂濃度，來求得暴雨期間的輸砂量。本研究使用率定曲線法中的無參數率定曲線法(SM)來估算暴雨期間河流的輸砂量，暴雨事件是以 1996 年至 2004 年內的賀伯颱風、桃芝颱風、敏督利颱風以及艾莉颱風等 4 次颱風為主，來進行輸砂量的估計。

崩塌地數化資料主要是利用 1996 年 6 至 2004 年 7 月，共 10 張 SPOT 衛星影像，以影像分類法進行各颱風事件前後新舊崩塌地的自動判釋工作，並藉由航照正射影像及事件前後崩塌圖層比對，以消除不再活動之舊有崩塌地被重複判釋所造成的誤差，更進一步釐清各颱風事件所產生的新崩塌地。其中，本研究定義新生率是指新發生的山崩面積佔總山崩面積的比例，重現率是指舊有的崩塌地再度產生崩塌活動的面積佔總山崩面積的比例。其計算公式分別如下所示：

$$\text{新生率(\%)} = \frac{\text{事件後新發生的山崩面積}}{\text{事件後總山崩面積}} \times 100\% = \left(1 - \frac{\text{事件後再活動山崩的面積}}{\text{事件後總山崩面積}} \right) \times 100\%$$

$$\text{重現率(\%)} = \frac{\text{事件後再活動山崩的面積}}{\text{事件前的舊山崩面積}} \times 100\%$$

五、結果與結論

統計 3 個集水區在各山崩事件的重現率及新生率之結果顯示，在大甲溪流域，921 地震誘發的山崩新生率為 88%，遠高於賀伯颱風的 64%，而桃芝與敏督利颱風的山崩新生率分別為 47% 與 49%。此意義顯示 921 地震未發生崩塌地區之地質材料，可能已經受到地震的影響而弱化，降低造成崩塌所需的門檻。另外，在山崩的重現率方面，賀伯颱風、921 地震、桃芝與敏督利颱風後的山崩重現率分別為 47%、51%、59% 與 66%。陳有蘭溪流域內則山崩面積不斷增加，各地層之崩塌率亦不斷上升。在山崩的重現率方面，賀伯颱風後山崩的重現率達 94%，但在 921 地震後，山崩的重現率則逐漸下降，桃芝颱風後山崩

的重現率下降為 65%，敏督利颱風後山崩的重現率下降至 41%。在山崩的新生率方面，賀伯颱風後山崩的新生率為 39%，921 地震後山崩的新生率上升至 70%，其後的桃芝颱風及敏督利颱風之山崩的新生率則分別為 66%及 69%。北部的大漢河流域的新生率則以賀伯颱風的 94%為最高，而重現率以桃芝颱風的 11%為最高。

1972 至 1999 年陳有蘭河流域的年平均輸砂量為 2.9 百萬噸/年，而 2000 至 2004 年的年平均輸砂量為 37.8 百萬噸/年，顯示 921 地震後本研究區之年平均輸砂量上升了 13 倍。本研究亦利用 1994 年至 2003 年間的在大甲溪流域內所有輸砂量的觀測紀錄，建立地震前與地震後之流量與輸砂量的率定曲線，來比較此地震前後單位輸砂量比值之差異。估算的公式如下所示。

$$Q_{s(921\text{地震前})} = k_1 Q_w^{b_1}$$

$$Q_{s(921\text{地震後})} = k_2 Q_w^{b_2}$$

$$\Delta k = \frac{Q_{s(921\text{地震後})}}{Q_{s(921\text{地震前})}}$$

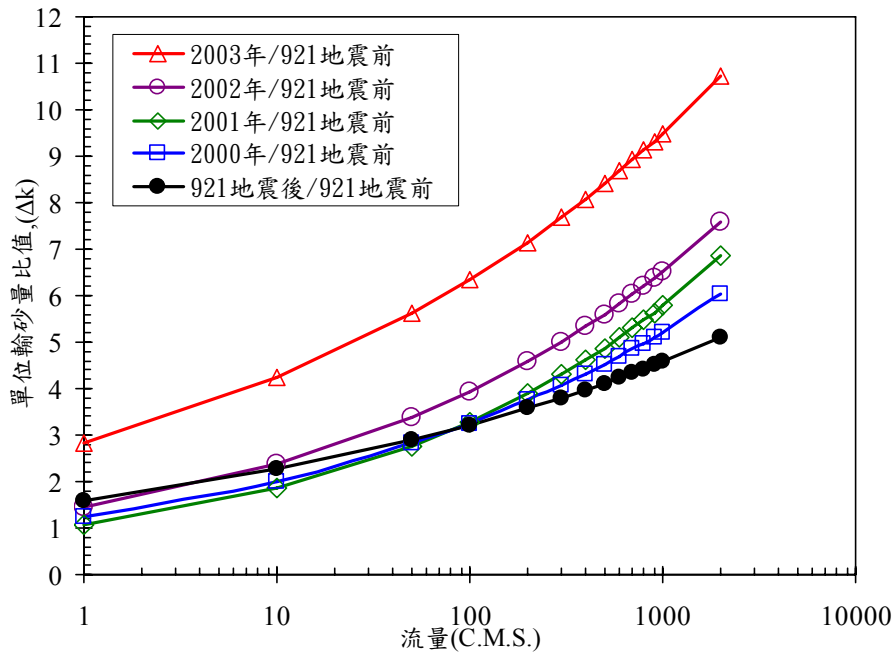
其中 Q_s 為輸砂量(t/day)， Q_w 為流量(C.M.S.)， k_1 、 b_1 為 921 地震前之率定曲線關係式中的係數， k_2 、 b_2 為 921 地震後之率定曲線關係式中的係數， Δk 為 921 地震前後之單位輸砂量比值；當 $\Delta k > 1$ ，表示 921 地震後的單位輸砂量上升， $\Delta k < 1$ ，則表示下降。從單位輸砂量比值(Δk)均大於 1 的估算結果顯示，在高流量大於 100 C.M.S.時，地震後之單位輸砂量為地震前的 4 倍以上。另外從單位輸砂量的比值與流量的對應中發現，兩者之關係在 921 地震後有逐年升高的趨勢，也即 921 地震後之單位輸砂量遠大於地震前，且流量越大，單位輸砂量比值(Δk)也呈現倍數的增加。為了解 921 地震前後的暴雨事件在輸砂量上的變化，本研究在大甲溪流域分別以 921 地震前的賀伯颱風，以及地震後的桃芝颱風期間所實測之每小時流量，利用率定曲線法進行輸砂量估算。賀伯颱風與桃芝颱風期間的降雨量分別為 667 mm 與 369 mm，逕流量分別為 196 與 107 百萬立方公尺，每小時最大流量分別為 1,980 C.M.S.與 1,780 C.M.S.，流量高於 1,000 C.M.S.的時間分別為 20 與 7 小時，每小時的最大輸砂量分別為 520 噸與 3,128 噸，總輸砂量分別為 12,809 噸與 34,497 噸，賀伯颱風的總降雨量與總逕流量約為桃芝颱風的 1.8 倍，在最高流量與高流量的歷時方面也都是比桃芝颱風還大，但其每小時的最大輸砂量紀錄只有桃芝颱風的 1/6，總輸砂量更不及桃芝颱風的一半此結果表示，在 921 地震的影響下，山崩的數量與面積急劇增加至賀伯颱風的 4 倍，崩塌的地質材料在桃芝颱風降雨的驅動下，往下游的河道移動，提供河流中更多可以搬運的泥砂，亦即地震後的河流單位輸砂量上升，表示在同樣的流量狀況下，河流所能搬運的輸砂量提高了。北部地區的大漢溪流域從 1980 年至 2002 年之間的年平均輸砂量則為 13.7 百萬噸，年度輸砂量的

大小主要仍受到颱風事件所控制，高降雨量會造成高流量以及地表高沖刷能量，而河川的流量越高，搬運土砂的能力也越強，所以颱風期間為主要輸砂量的來源。相同地，為了解降雨量對輸砂量的影響，本研究從 1985 至 2004 年期的 18 個颱風事件，進行陳有蘭流域內降雨量與輸砂量的比較結果發現，颱風期間的輸砂量與最大日降雨量及累積降雨量均呈一相關性高的正相關，其意義顯示，高累積降雨量可能造成河流的高流量及地表逕流的高沖刷能量，而造成較高的輸砂量，且 18 個颱風事件之輸砂量平均佔年輸砂量的 23%，亦表示暴雨期間產生之輸砂量為年度輸砂量的主要來源。

參考文獻

- Chen, H. (2000) The Geomorphological Comparison of two Debris Flow and their Triggering Mechanism, *Bull. Engineering Geology Environment*, 58, No.4, 297-308.
- Dadson, S.J., Hovius, N., Chen, H., Dade, W.B., Hsieh, M.L., Willett, S.D., Hu, J.C., Horng, M.J., Chen, M.C., Stark, C.P., Lague, D., and Lin, J.C. (2003) Links between erosion, runoff variability and seismicity in the Taiwan orogen: *Nature*, 426, 648–651.
- Dadson, S.J. (2004), Erosion of an active mountain belt. Ph.D. Thesis, Department of Earth Sciences, University of Cambridge. 40-66, 107-129.
- Dadson, S.J., Hovius, N., Chen, H., Dade, W.B., Lin, J.C., Hsu, M.L., Lin, C.W., Horng, M.J., Chen, C.T., Milliman, J., Stark, C.P. (2004) Earthquake-triggered increase in sediment delivery from an active mountain belt, *Geology*, 32, no.8, 733-736.
- Geli, L., Bard, P.Y., and Jullien, B. (1988) The effect of topography on earthquake ground motion: A review and new results: *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78, 42-63.
- Hwang, C.E. (1982) Suspended Sediment of Taiwan Rivers and their geomorphological significance, *Bulletin of Nation Taiwan Normal University*, 27, 649-677.
- Kao, S.J. and Liu, K.K. (2001) Estimating of suspended load by using the historical hydrometric record from the Lanyang-Hsi watershed, *TAO*, 12, no.2, 401-414.
- Li, Y.H. (1975) Denudation of Taiwan island since the Pliocene epoch, *Geology*, 4, 105-107.
- Shieh, S. L. (2000) Users' Guide for Typhoon Forecasting in the Taiwan Area (VIII), Central Weather Bureau, Taipei.
- Sklar, L.S. and Dietrich, W.E. (2001) Sediment and rock strength controls on river incision into bedrock, *Geological Society of America*, 29, no.12, 1087-1090.

圖一、921 地震前後大甲河流域內的單位輸砂量比值



圖二、陳有蘭溪流域內子集水區之崩塌率、新生率及重現率

