

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

中橫公路崩山災害研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2116-M-002-033-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學地理環境資源學系暨研究所

計畫主持人：林俊全

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 94 年 10 月 28 日

中橫公路崩山災害研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 93 - 2116 - M-002 - 033 -

執行期間：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

計畫主持人：林俊全

共同主持人：

計畫參與人員：

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

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：

中 華 民 國 94 年 10 月 25 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

中橫公路崩山災害研究

計畫編號：NSC 93 - 2116 - M-002 - 033 -

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：林俊全 執行機構及單位名稱：台大地理環境資源學系

一、 中文摘要

台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的聚合帶上，地震與構造運動頻繁，地表上升速率高，加上高颱風、豪雨和降雨量，地表的地形作用劇烈，塊體運動（mass movement）經常發生，對於社會與經濟方面有許多影響。1999年的九二一大地震在台灣中部地區形成許多大規模的新崩場地，這些崩場地成為地表地形作用之一，原本穩定的地區成為亞穩定或不穩定狀態，在之後的桃芝颱風及敏督利颱風降雨的影響下，成為非常不穩定的地區之一，崩場地持續發育。

事實上，中部橫貫公路西段，從谷關至德基水庫路段，在九二一地震之中遭受嚴重損害，這是受到地震所產生的塊體運動而形成的邊坡不穩定現象。原本的路基在許多路段已經完全消失，大量崩積物沿著邊坡滑落至河谷，進入大甲溪成為河川搬運的物質，崩場地也隨著時間而演育。

因此本研究希望以地形學的角度來分析中橫公路西段沿線的邊坡崩塌現象，試圖瞭解地形因子在崩塌中所扮演的角色。從航照和衛星影像，說明了發生山崩的地區在地震之後的豪雨事件裡大量增加。另外，分析懸移質沈積物資料，顯示沈積物已經穩定地隨著時間增加。因此，從地震後沈積物量的增加以及之後隨著時間穩定的減少的模式看似乎過與簡化，應該一併討論最初和隨後事件複雜反應的模式。

關鍵詞：數值地形模型、崩場地演育、中橫公路

Abstract :

It is well-established that landslides are extensively triggered as a result of large seismic events in upland areas. These landslides are known to release sediments into the fluvial system, although there is contradictory evidence about how quickly this makes its way into the main channels. Some authors have postulated that sediment moves through the drainage system as a 'slug', whilst others have noticed only limited impact as material remains stored in the drainage basin. What has almost never been addressed is the continued evolution of the landslides themselves after the seismic event, and their continued role in releasing slope materials. This paper examines the Tachia River basin in western Taiwan, which was extensively affected by landslides during the 1999 Chi-Chi earthquake. Using vertical cartographic aerial photographs and satellite images, this study demonstrates that the area affected by landslides increased substantially after the main earthquake as a result of high intensity rainfall events. Analysis of suspended sediment data from downstream of the area affected by landslides, show that sediment concentration steadily increases with time, in the period after the initialization of slope movements. A simple model in which sediment production increases immediately after the earthquake and then steadily reduces through time appears to be over

simplistic, and should be replaced by a model that incorporates complex responses to the initial and subsequent events.

Keywords : DTM、Landslides evolution、Central Cross Island Highway.

二、緣由與目的

山崩在造山帶地區是很重要的一部份，它使得邊坡上破碎、鬆動的物質帶入河流當中。大部分山崩是在許多豪雨或長時間降雨的情況下發生的，而且有很多文獻證明山崩是在雨季或颱風時所發生的。地震也是造成山崩的主因之一，大地震所產生劇烈的搖晃，使得離震央 100 公里遠的地區都有可能山崩的發生(Keefer 1984)。邊坡的土石因地震或豪雨而滑落至河谷中，然後隨著河流被帶到相關的水系之中。

動態的環境常常是受到突然或是在短時間的抬升、地震作用的狀態，而且必須考慮在時間及空間上相互影響。舉例來說，現在所觀察的現象可能是受到地震或者是颱風所造成的結果，目前是很難去定義的這種現象是由何種事件所造成的，所以只能假設地震使得坡面上的物質分離，而之後的降雨事件將物質帶入河流當中。

本研究調查規模 7.6 的大地震發生後以及颱風所帶來的豪雨事件之間造成的山崩現象，研究區域涵蓋在 921 集集大地震所造成大規模山崩的中央山脈集水區內。從研究結果顯示颱風所造成的山崩事件比地震時更加嚴重，而且沈積物進入河川系統的模式也有很大的改變。

台灣位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊的交界處，菲律賓海板塊每年約 7 公分的速率往西北西方向碰撞，台灣是造山帶上很特殊的區域，即使實測抬升的速率很小，但相較其他區域來得快。如 Peng *et al.* (1977)測量台灣北部的上升速率約每年 2 公釐，Konishi

et al. (1968)測量中央山脈的上升速率約為每年 1.8-4.8 公釐。

台灣的氣候位於熱帶及副熱帶之間，夏天的溫差很大，在 6-11 月常常受到颱風的影響，台灣每年平均有 3.8 個颱風，在颱風經過的 48-72 小時內帶來了超過 500 公釐的雨量，如 1996 年賀伯颱風在台灣中部阿里山地區 24 小時內降了 1748.9 公釐的雨量，瞬時降雨量為 100 公釐。

台灣的地震現象是很好的例子，即使它複雜的構造體系並不完全被瞭解。台灣相對於其他國家經歷了較多次的大地震，最引人注目的是於 1999 年所產生的集集大地震，在 1999 年 9 月 21 日凌晨 1 點 47 分，造成了南北向 86 公里長的地表破裂，這個向東傾的逆衝斷層位於中央山脈的西邊，地震規模 7.6。這次事件造成 2405 人死亡，估計經濟損失約 300 億美金。本研究區大甲溪河谷位於地震破裂帶約 30 公里處，是因地震搖晃所造成損害的證據。

三、初步研究成果

本研究區位於台灣中部大甲河流域，這個河谷有一條穿越台灣中央山脈連接東部及西部的中部橫貫公路(圖1)，1960年它是一個重要的公共建設。在公路開通後，大甲河流域興建重要的水利設施如德基水庫。本研究的主要區域約5公里寬的區域，西側位於公路路標約41K處，東側為德基壩，如圖2所示。這個區域曾經因九二一大地震造成大規模的損害，迄今已經超過五年，中橫公路仍然沒有開通的可能。

大甲河流域位於中央山脈西部的河谷，地質是由第三紀的砂岩及板岩所組成(圖3)，含有部分石灰岩帶。這些岩塊是廣泛破裂帶所構成，具有高密度的裂面及節理。坡角約在40-80度之間，海拔最高的點位於將近3250公尺。

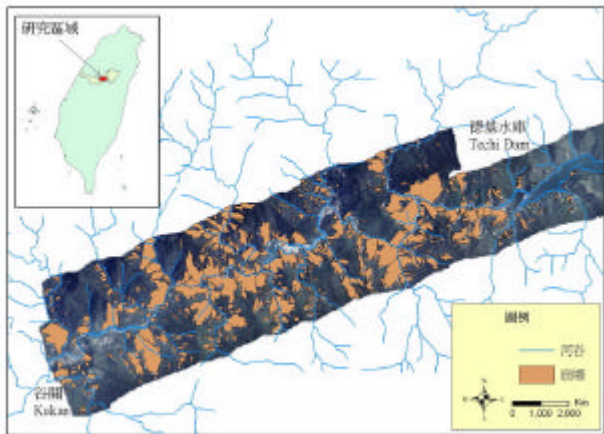


圖1 研究區域位置及崩塌地分佈圖

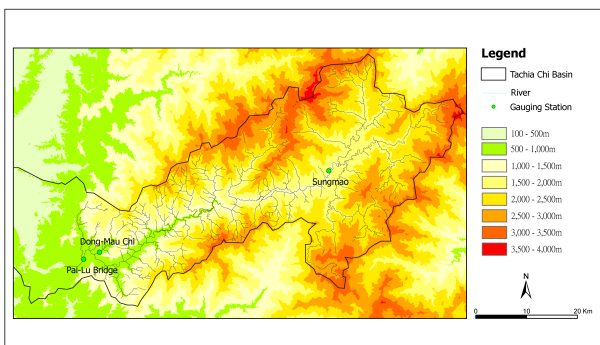


圖2 大甲溪流域高程分色圖及水文站位置圖

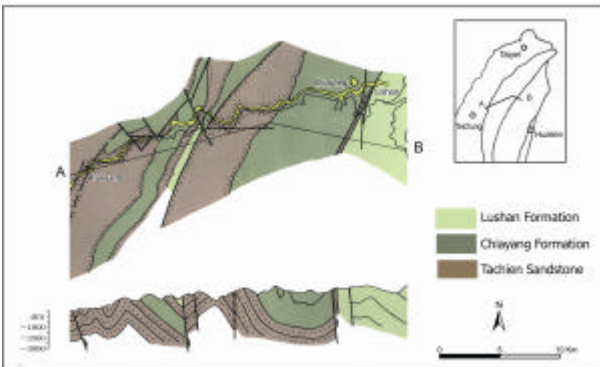


圖3 大甲溪流域地質圖

圖4為SPOT衛星影像，影像拍攝時間為1999年4月與2000年1月，圖5為比例尺17500的航空照片，拍攝時間為2001年6月及2004年7月，以及圖6為25000分之一的地形圖，在1986年修訂版中記錄一個大崩塌地。這些處理過的影像資料紀錄著地震發生前後山崩發生的比例。



圖4 九二一地震前SPOT衛星影像。（拍攝時間：1999年4月，資料來源：中央大學太空與遙測中心）

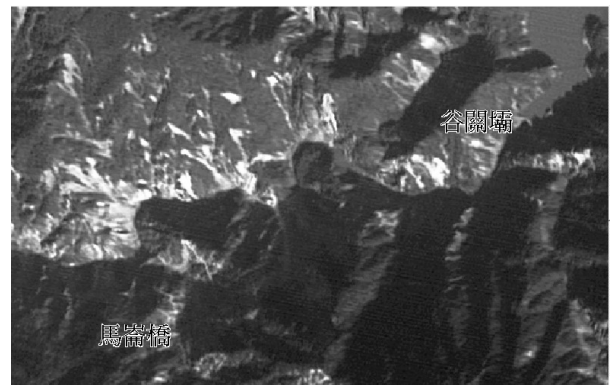


圖5 大甲溪流域拍攝於不同時期的影像資料。上部：地震後SPOT影像，拍攝時間1999年9月27；中間：豪雨後航照，拍攝時間2001年9月27；下部：豪雨後航照，拍攝時間2004年7月。

年6月；下部：敏督利颱風後航照，拍攝時間2004年7月。

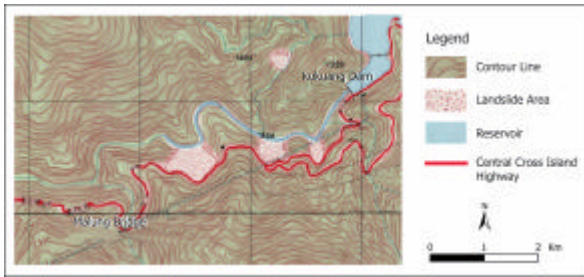


圖6 谷關地區1986年經建版地形圖。

觀察在大甲溪主流中3個水文站的懸移質沈積物之間的關係，其中松茂站位於大甲溪的上游，東卯溪及白鹿橋水文站位於大甲溪的下游（圖2及圖8）。

從921地震前的SPOT衛星影像以及地形圖的資料，可以看到圖中記錄有4個崩塌地，有三個位於大甲溪南邊的公路下方，SOPT影像是位於南邊河谷的陰影處。從這個結果來看，山崩並不能夠完全被判釋出來。但從SPOT衛星影像證實了位於河流北邊山崩的存在及分佈的範圍，並注意一些位河流的北邊其他較大的山崩，尤其是靠近西側的地方。大部分的區域為稠密的森林區。

1999年SPOT影像在拍攝在地震前幾個月，而且降雨量相當地低，但這些資料是可以用來比較地震前後的差異性。

從SPOT衛星影像的判釋資料與地形圖來比較，顯示在921集集大地震後在台灣地區造成了超過21000處山崩，包括在德基及谷關間的650個山崩，地震後的航照拍攝於乾燥的季節，圖中顯示在這個區域有廣泛的山崩被觸發。在影像的南方河谷陰影處是暗的，雖然有些新的崩塌地可能沒有判釋到，然而在北邊可清楚看到許多新的崩塌地生成。從影像判釋的資料可以知道有許多位於陡峭山壁區域的山崩發生了改變。這個現象與Dadson等人所觀察的現象相同，有很大比例的邊坡滑動是在稜線上產生的，這種是由地震所觸發的山崩事件。在這地方發生如此多的山崩，

而且比台灣其他地區更為密集，這種現象有一種可能的解釋 (Murphy et al. 2002; Sepulveda et al. 2004)，地震波與坡度高程是相互的影響，受到地震波所控制，導致在邊坡上產生共振效應，增加在山頂的地表加速度，因此觸發山崩的產生。

由高解析度的航空照片可以清楚看到此區域的山崩相當密集，航照拍攝時間為2000年7月，在之前在此區已經受到大量的降雨影響（圖4）。這張影像的資料顯示高密度的山崩現象，與2000年1月的SOPT影響比較起來有相當大的差異，這種現象主要是因為這是兩種不同解析度的遙感資料。觀察個別的山崩的分佈及型態，事實上並沒有很大的改變。

本研究區在2000年經歷兩次豪雨的事件，主要是因為有颱風經過，在8月21日至23日期間，碧利斯(BILIS)颱風在阿里山地區兩天內帶來了269公釐的降雨量，2001年7月29日至30日兩天桃芝颱風帶來了365公釐的雨量。在2001年間有3次豪雨事件超過200公釐的雨量。之後又有四個颱風影響這個區域，這些豪雨事件如圖7所示。

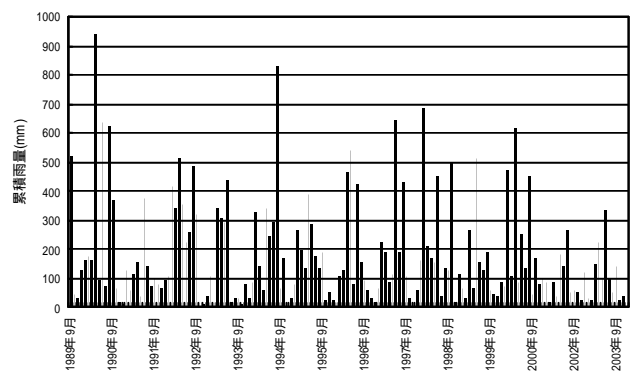


圖7 大甲溪松茂水文站降雨量統計圖。

在豪雨發生時，山崩已經發生改變，主要是形成崖坡後退或是側向延伸的現象。在許多案例中，都是岩屑向下邊坡滑落及延伸，而且有許多新的崩塌地產生，這可能是由於地震使得邊坡上的岩塊更為破碎所造成。而隨後的降雨更增加了邊坡的破壞作用。

這種由地震所觸發的大規模山崩並不代表這是最大的山崩活動的事件，事實上，地震後所接著而來的颱風使得岩屑滑動及觸發新的山崩，是引發更大規模的山崩的主要原因。

本研究大甲溪河谷沈積物的資料進行定量的分析。在研究區下游白鹿橋水文站，水文站每5天記錄一筆懸移質沈積物的資料，利用懸移質沈積物資料可用來分析地震前後沈積物運送動態的變化。圖8、圖9、圖10顯示地震前後河川沈積物濃度與流量圖，分析集水區內沈積物搬運特性之改變。圖8中上游松茂水文站在地震前後沉積物的量並沒有明顯的增加，下游白鹿橋水文站的資料確有明顯的增加，在流量為100 (m³/s) 時河川懸移質濃度由地震前的每公升75公克大幅提昇至750公克。

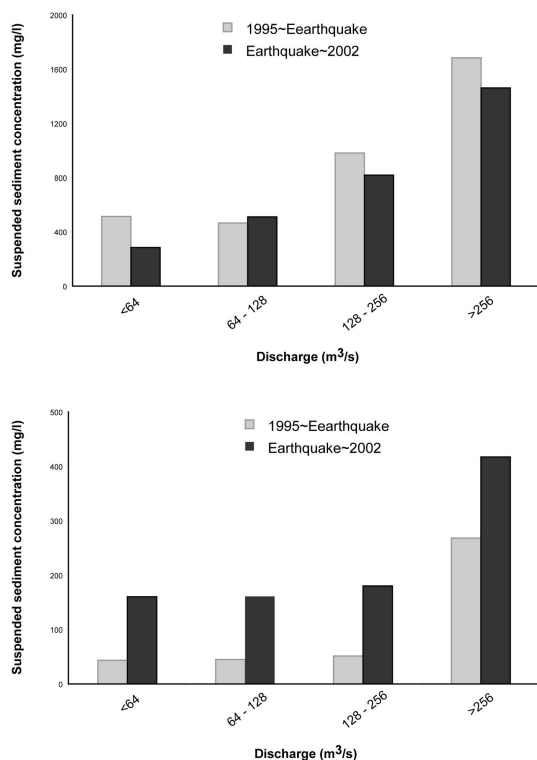


圖8 地震後及桃芝颱風後集水區上游松茂水文站（上圖）及下游白鹿橋水文站（下圖）沈積物濃度變化量。

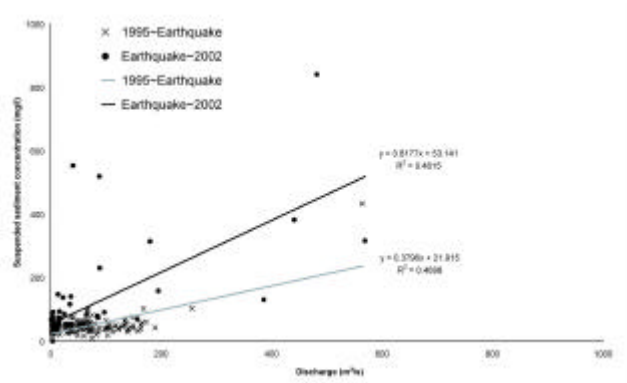


圖9 白鹿橋水文站地震前後流量與懸移質沈積物的變化關係圖。

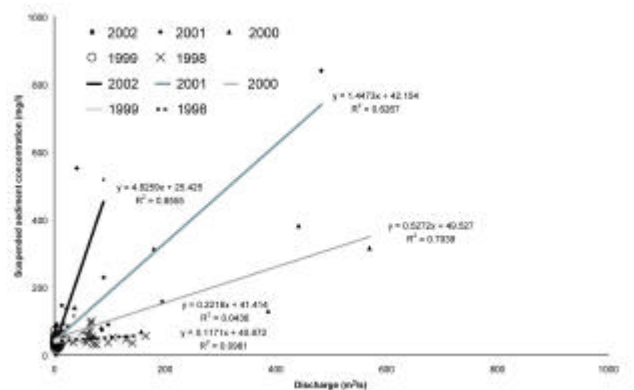


圖10 白鹿橋水文站歷年流量與懸移質沈積物變化。

四、討論

Pearce 與 Watson (1986) 認為在地震活動頻繁的山區，由地震所引發崩山所形成的碎屑是區域內沈積物供應的主要來源與機制。然而，本研究也發現這些崩坍碎屑會逐漸進入河道系統，最後被搬出集水區。因此該研究提出模型說明此現象，也就是地震會先釋放碎屑物質，而後地形系統會對此產生反應，最終將沈積物搬出集水區而達到更穩定的狀態。

Kefer (1984) 認為崩塌的產生只是沈積物由邊坡到河道乃至於離開河川系統的第一階段，但目前上少有文獻探討這種作用。一般認為地震是在空間與時間上不連續的地形作用，在地震發生時同時會釋放許多沈積物（碎屑物質），之後的風化與侵蝕會使這

些物質崩解，等待下一個更大的地形作用事件。在地震後沈積物會逐漸被搬出集水區，崩塌的痕跡也會隨著時間演進而產生新植被而「癒合」。

本研究發現在地震後河川搬運沈積物的效率有明顯提升，在集集大地震前原本大甲溪流域是屬於沈積物供應限制的狀況，集集大地震增加沈積物的供應量，也將原本的沈積物平衡改變，轉移為搬運限制。

由地震前後河川沈積物濃度與流量圖就可分析集水區內沈積物搬運特性之改變，流量為 100 (m³/s) 時河川懸移質濃度由地震前的每公升 75 公克大幅提昇至 750 公克。

地震引發崩山的程度受到當時地下水狀況而定 (Rodriguez et al. 1999)，發生集集大地震的 1999 年是相當乾燥的一年，因此地震引發崩山的程度受到相對地限制。此外，地震也不應視為單一事件，其後的餘震也會形成嚴重的衝擊。以集集地震為例，之後又發生了多次規模 6.3 以上的餘震，這些餘震也大到足以引發許多崩山。

而崩塌對於沈積物搬運的影響也可以透過集水區內不同測站之比較而獲得。在大甲溪較上游的松茂測站由於遠離地震影響，所以沒有明顯的崩塌產生，河川懸移質濃度因此也沒有明顯變化，而較下游的測站則顯示河川懸移質濃度有明顯的地震前後差異。這更顯示由地震所引發崩塌對於河川搬運的影響與衝擊。

地震所引發崩塌產生的碎屑物質在短期間內會遠超過河川搬運能量，在集集大地震後，崩塌碎屑物質堆積在邊坡與河道中，等待下一次颱風豪雨搬運。

Dadson et al. (2004) 曾對濁水溪進行研究，發現地震後六個月河川懸移質濃度產生明顯下降，這與本研究的結果有所差異，這可能是由於分析方法的不同與集水區崩塌特性的差異所導致，還需要進一步的研究方能

有結論。

五、結論

本研究結果顯示在地震發生一段時間後，大甲溪沈積物生產量依然持續增加，這是由於颱風與豪雨所產生的結果，相類似的狀況在紐西蘭也曾發生 (Keefer, 1984)，這可能是由於兩者的環境條件類似所產生。

本研究只針對河川懸移質濃度的變化進行，並未考慮推移質與溶解質。在颱風與豪雨的狀況下，推移質應該與懸移質有相類似的反應。由調查結果顯示集集大地震後大甲溪河道在德基水庫以下發生明顯的埋積現象，有些河段甚至埋積超過30公尺以上，這是由於大量崩塌碎屑物質進入河道所產生的結果，大規模的崩塌對下游數十公里的河道產生影響，也使得由颱風與豪雨所形成的洪水被限縮在較小的河道中流動，即使在河川流量沒有明顯增加的情形下也會造成嚴重的災害。

六、研究者自評

利用航空照片及衛星影像能快速判釋山區山崩的定位及範圍，然而衛星影像的解析度較航空照片差，因此在判釋的正確性較航照差。在航照或衛星影像上由於受到地形的影響，會在影像上產生陰影區，容易造成山崩判釋數量上的誤差。同時有些坡度較陡的山崩，也較不容易判釋出來。

山崩是由複雜的地質、地形、氣候及構造運動所產生的結果，而且隨著時間會產生不同的變化，我們往往只能從現象來推論可能的原因。本研究嘗試以不同的時間及事件下來觀察山崩特性，比較颱風及地震作用下所產生不同的山崩現象，並觀察對集水區的影響。從本研究的結果確實能比較出不同事件的差異性，相信對將來山崩研究上能提供很好的參考。

七、參考文獻

1. Central Weather Bureau, 2004, Historical

- typhoon data: <http://www.cwb.gov.tw/V4/typhoon/history/typhoon-history.htm> (April 2004).
2. Dadson, S. J., Hovius, N., Chen, H., W., Dade, B., Hsieh, M. L., Willett, S.D. Hu, J.H., Horng, M.J., Chen, M.J., Stark, C.P., Lague, D. & Lin, J.C., 2003, Links between erosion, runoff variability, and seismicity in the Taiwan orogen, *Nature*, 426, 648 – 651.
 3. Dadson, S.J., Hovius, H., Chen, H., Dade, W.B., Lin, J.C., Hsu, M.L., Lin, C.W., Horng, M.J., Chen, T.J. and Milliman, J., 2004, Earthquake-triggered increase in sediment delivery from an active mountain belt, *Geology*, 32(8):733-736.
 4. Fuller, C. W., Willett, S. D., Hovius, N. & Slingerland, R., 2003, Erosion rates for Taiwan mountain basins: New determinations from suspended sediment records and a stochastic model of their temporal variation. *J. Geol.* 111, 71–87.
 5. Hovius, N., Stark, C., Chu, H.T. and Lin, J.C., 2000, Supply and removal of sediment in a landslide-dominated mountain belt: Central Range, Taiwan. *The Journal of Geology*, 180, 73-89.
 6. Konishi, K., Omura, A. and Kimura, T., 1968, ²³⁴U-²³⁰Th dating of some late Quaternary coralline limestones from southern Taiwan (Formosa). *Geology and Palaeontology of Southeast Asia*, 5, 211-224.
 7. Keefer, D.K., 1984, Landslides caused by earthquakes. *Bulletin of the Geological Society of America*, 95, 406-421.
 8. Liu, P.M., Hsieh, M.L. and Shyu, B.H., 2004, An overview of coastal development in a Young Mountain Belt-Taiwan. *Quaternary International*, 115-116, 39-45.
 9. Murphy, W., Petley, D.N. Bommer, J., and Mankelov, J.W., 2002,. Geotechnical and seismological uncertainty in the assessment of slope stability during earthquakes. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 35, 71-78.
 10. Pearce, A.J. and Watson, A., 1986, Effects of earthquake induced landslides on sediment budget and transport over a 50-year period. *Geology* 14: 52-55.
 11. Peng, T.H., Li, Y.H. and Wu, F.T., 1977, Tectonic uplift rates of the Taiwan Island since the early Holocene. *Memoir of the Geological Society of China*, 2, 57-69.
 12. Rodriguez, C.E., Bommer, J.J. and Chandler, R.J., 1999, earthquake induced landslides 1980-1997. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 18, 235-346.
 13. Sepulveda, S.A., Murphy, W., Petley, D.N., 2004, The role of topographic amplification on the generation of earthquake-induced rock slope failures. In: Lacerda, W.A., Ehrlich, M., Fontoura, S.A.B. & Sayao, S.F. (eds.). *Landslides: Evaluation and Stabilization*. Balkema, Vol.1, pp.311-315.
 14. Soil and Water Bureau, 2002, Report of survey and management of landslide caused by 921 Chi-Chi earthquake, 1/112-112/112,
 15. Willett, S. D., Fisher, D., Fuller, C., Yeh, E. C. & Lu, C. Y., 2003, Erosion rates and orogenic wedge kinematics in Taiwan inferred from apatite fission track thermochronometry. *Geology* 31,

945–948.