

曾文水庫集水區崩塌地調查與規模頻率分析

李馨慈 陳時祖 魏秀珍 余騰鐸* 王建力

國立成功大學 資源工程系

*國立成功大學 地球科學系

摘要

曾文水庫位於嘉義縣、台南縣與高雄縣交接處，為嘉義縣大埔鄉曾文溪主流上游，總容量達 7 億立方公尺，為全省容量最大之水庫。水庫集水區之崩塌情況對於水庫之利用非常重要，故本研究利用民國 92 及 93 年之航空照片製成曾文水庫集水區內之崩塌地資料庫，並對境內崩塌地之規模與頻率進行研究，以期了解集水區內崩塌地之碎形特性。本次調查之集水區面積為 48384.08 公頃，集水區範圍內之崩塌地共有 452 處崩塌地，總崩塌面積 1170 公頃。依據前人研究所得之規模與頻率之關係式，可得本研究調查之崩塌地規模與頻率之關係曲線，面積大於 10^{-3} km^2 至 1 km^2 呈乘冪現象，其曲線坡度(即碎形維度值)=1.4。了解區域內山崩規模與頻率的關係有助於山崩危害度模式之建立。

關鍵字：山崩、曾文水庫、崩塌地、碎形。

一、前言

水庫集水區內發生的山崩現象，往往會影響水庫本身的壽命，而曾文水庫又因受地形、地質、土壤、氣候、人文與土地利用等因素影響，極易發生崩塌，崩塌所產生的泥沙經由洪水輸送至水庫，使得水庫淤積大量泥沙。過去南區水資源局曾先後分期實施各項集水區治理調查工作，並委託農林航空測量所先後於民國 1980 年、1986 年、1992 年及 1996 年進行本地區之航測調查工作，以了解集水區現況、土地利用、崩塌地發展及溪流沖蝕等變化，且近年來氣候異常，颱風豪雨不斷，如 2001 年納莉颱風、2004 年敏督利颱風及艾莉颱風皆為曾文水庫集水區帶來豐沛雨量，而挾帶流入水庫泥砂量亦相當可觀。

本研究收集最新航測照片(民國 92 及 93 年)建立曾文水庫最新數值地形圖，利用製作數值地形圖之航空照片觀察其立體影像來製作較細分類之山崩目錄圖，並做各項統計以與 1997 年農林航測所編印之報告作比較。

二、研究區域概述

曾文水庫大壩位於台南縣與嘉義縣的交界處，水庫集水面積為 483 平方公里，行政區隸屬嘉義縣阿里山鄉、大埔鄉、番路鄉與高雄縣三民鄉(如圖 1)。

集水區位於台灣西南部曾文溪上游，地質分區屬於西部麓山帶地質區，集水區內之地層以第三世紀中新世紀及上新世紀為主，階地堆積零星分布於河岸兩側。由水山以下至大埔間之高山區，主要為由年代較老而堅硬之中新世地層所構成。區內之構造線相當密集，主要斷層由上游至下游有西北之達邦斷層、瀨頭斷層，南北向之茶山斷層、大埔斷層及馬頭山斷層等等。

本集水區降雨多集中在夏季，自四月開始增加，至九月達到最高，而十月至翌年三月為乾燥季節，降雨量小於潛在蒸發散量；氣候型態屬於亞熱帶重濕氣候。[1]



圖 1 曾文水庫集水區行政區界與水系道路略圖

三、崩塌地調查

3.1 資料收集

本研究所使用之航照影像來源為行政院農業委員會林務局農林航空測量所最新一期航空像片掃瞄檔，航拍像片比例尺約1/18000；掃瞄解析度為21 μ m或14 μ m。利用此航空像片，通常可在立體狀況下觀察，因此可觀察到地貌及地表植生之許多細節；崩塌地，尤其是小崩塌地，被誤判之狀況會減少很多。

3.2 判釋準則

判釋崩塌地時最易誤判的是佈滿人工種植低矮植物的人工開發地與已長出低矮植物的新生(active)崩塌地。本研究是以邊界，尤其是下方邊界，的整齊程度以及坡面之平整程度，加上整塊地的形狀、坡度以及有否道路通過等等條件來判斷。將地貌看來像是崩塌地但地面上已長滿樹的崩塌地列為休止(dormant)崩塌地，但這種狀況不多。又有些地區在航空照片上可明顯地觀察到地層之層向(attitude)時，也可註明其為順向坡、逆向坡或為側向坡。



圖 2 立體編修模組

3.3 判釋方法

判釋崩塌地時利用全數值立體編修模組來進行，如圖2所示，左邊操作螢幕為APEX軟體之執行介面，右邊立體觀測螢幕則為兩張影像組合之立體圖。由於此項設備配合使用者所戴的立體眼鏡，可以很清楚的看出立體地形，所以在判釋崩塌地的精確度上，比一般直接由平面影像判釋精確許多。尤其是有許多新生崩塌地已經長草而非完全裸

露地，在平面判釋時很容易誤判為一般的草生地。以圖3為例，(a)為編號第282號崩塌地在航照正射影像所顯示的樣子，很容易誤判為一般的草生地；(b)則是以數值地形模擬在立體觀測螢幕上所看到之立體地形，很明顯可以依照地形來判斷此為已長草之崩塌地。

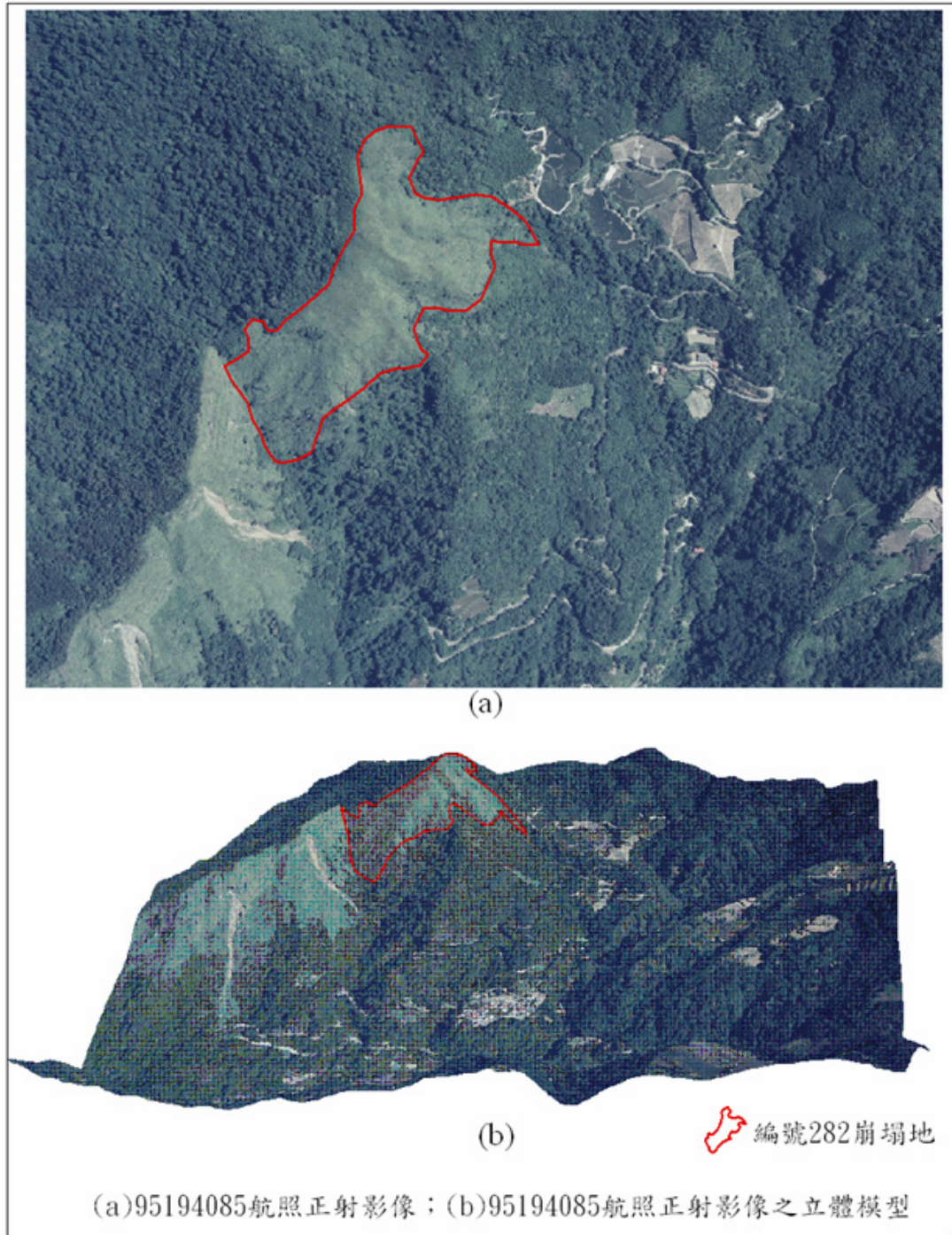


圖 3 編號 267 崩塌地影像示意圖

在立體觀測圖上大約圈選出崩塌地位置之後，為了可以正確描繪出崩塌地水平投影的實際範圍，故需於正射影像上描繪出實際範圍。可將大約圈選的位置與正射影像作套疊，再由正射影像圈選崩塌地實際範圍以計算崩塌地的水平投影面積，並依照崩塌地之型態分類、與地形之關係及植生狀況一併登入於崩塌地之屬性資料庫。

3.4 調查結果與統計分析

本次調查之集水區面積為48384.08公頃，比林務局[2]調查之48938.20少14.12公頃。這是因為在定義集水區邊界時，本計劃是以自動化分的結果作為集水區邊界，作法上與林務局略有差異。調查曾文水庫集水區範圍內之崩塌地共有452處崩塌地，較林務局[2]年調查之結果增加78處崩塌，崩塌面積1170公頃則增加了1024.35公頃之多，本研究所建立之數值地形與崩塌地調查結果如圖4。

崩塌地處數或面積增加的原因，部份是由於有新崩塌地產生，部份是由於本計劃與林務局之判釋準則不同所造成。

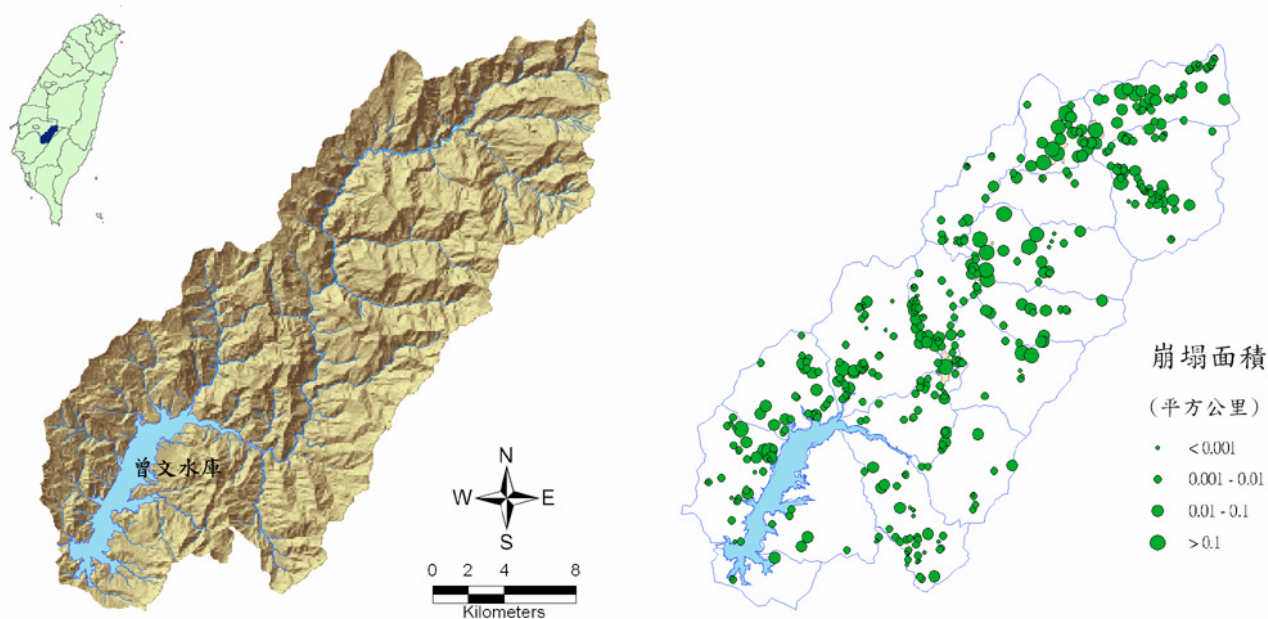


圖 4 曾文水庫數值地形與崩塌地面積分佈

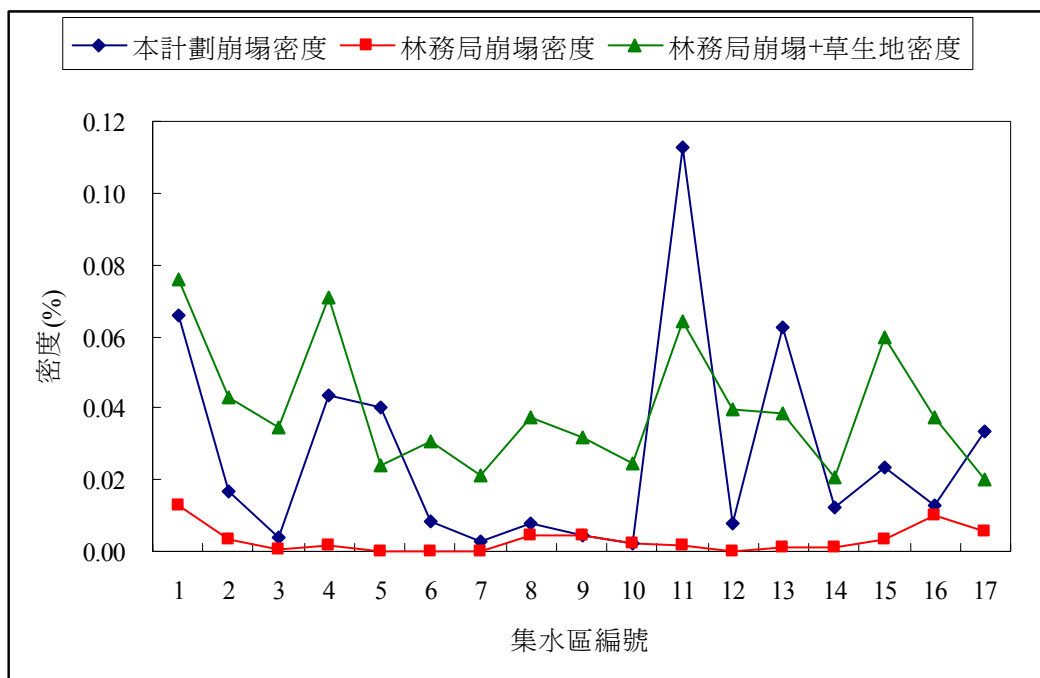


圖 5、本計畫判釋所得各大子集水區的崩塌地密度與林務局(1997)判釋結果比較圖

為了更詳細了解本計畫與林務局[2]調查之差異，將全區依照其劃分之 17 個子集水區進行統計與整理如圖 5。由圖表可看出本計畫所判釋出之崩塌地密度在大部份子集水區是介於林務局(1997)判釋所得之崩塌地密度與崩塌地加上草生地密度之間，這是由於部份林務局[2]所判釋的草生地在在本計畫是被判釋為已長草之初生崩塌地之故。至於有 4 個大子集水區，本計畫所判釋出之崩塌地密度大於林務局[2]判釋所得之崩塌地加上草生地之密度，則有可能是由於崩塌地面積增加較多之故。

四、規模頻率分析

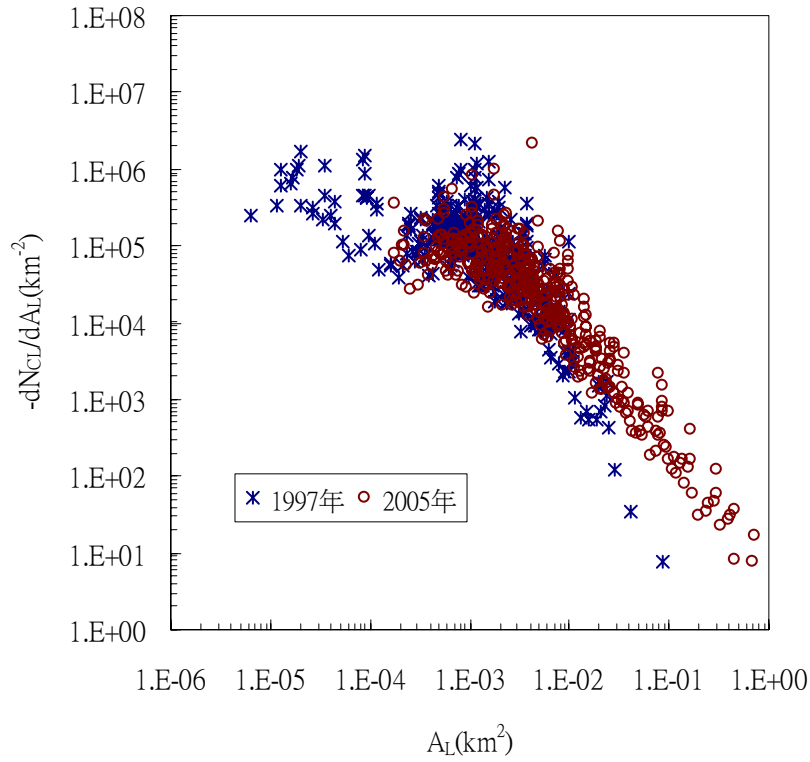
根據許多(例如[2-6])的研究顯示，山崩的規模與頻率關係符合乘冪(碎形)定律，其關係式可用下式表示：

$$N_{CL} = aA_L^{-b} \quad (1)$$

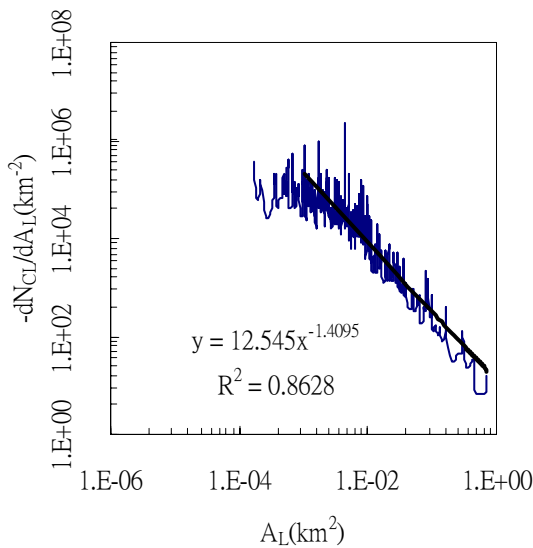
其中， a 、 b 為常數， A_L 為山崩規模 N_{CL} 為大於或等於 A_L 之山崩累加個數。Bak[7]提出此乘冪行為是自組織臨界性(self-organized criticality)的結果，而自組織臨界性最著名的例子即為沙錐模型。模型中的所提的是非累積分佈，而其模擬結果以公式 2 表示時可得到 β 近似於 1。為了可以直接比較沙錐模型與真實山崩，許多研究亦將山崩規模與頻率的關係，轉換為非累積統計(例如[8-10])。首先由 $N_{CL}(A_L)$ 開始，我們定義非累積分佈即為累積分佈的斜率取負值 $-dN_{CL}/dA_L$ 。

$$-\frac{dN_{CL}}{dA_L} = a' A_L^{-\beta} \quad (2)$$

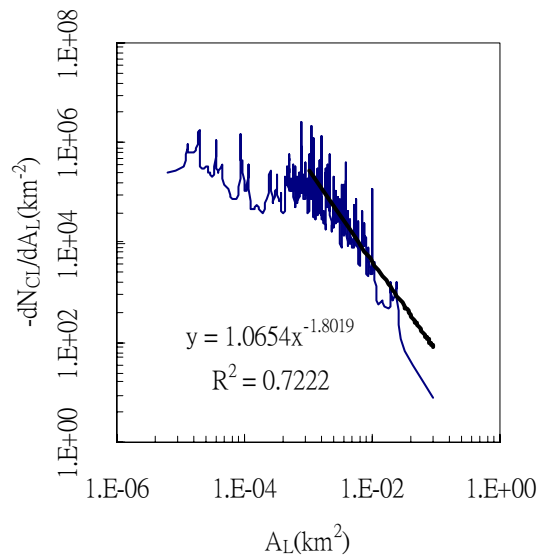
其中， a' 、 β 為常數。



(a)



(b)



(c)

圖 6 山崩規模與頻率關係曲線

比較本次調查之曾文水庫集水區之崩塌地與 1997 年林務局調查之崩塌地，其崩塌規模與頻率累積發生頻率分佈方面皆符合乘冪現象(如圖 6-a)，本研究調查之 452 處崩塌可求得公式

(2)之 $a' = 12.54$ ， $\beta = 1.4$ (如圖 6-b)，乘冪線段的範圍為 $10^{-3}\text{km}^2 < A_L < 1\text{km}^2$ ；而林務局調查之 374 處崩塌地可求得公式(2)之 $a' = 1.06$ ， $\beta = 1.8$ (如圖 6-c)，乘冪線段的範圍為 $10^{-3}\text{m}^2 < A_L < 10^{-1}\text{km}^2$ 。

其中， β 即為規模頻率關係曲線之坡度值，由於此關係為乘冪現象，故我們亦可稱此坡度值為碎形維度值。此碎形維度值將與該區域之地質、地形、氣候、地震活動、植生覆蓋等等因素有關[11]。以曾文水庫集水區為例，不論是 2006 年或過去 1997 年所分析出之碎形維度皆在 1~2 之間，具有某程度上的意義，但還需要再蒐集更多時的山崩目錄圖才可做進一步的研究。

另外亦有學者指出，多時的山崩規模與頻率的關係可建立其機率分布，有助於山崩風險評估模式[12]，使得山崩危害度的分析，除了找出可能山崩的地點，並可推估其發生的機率以及可能發生的規模大小。

五、結論與建議

1. 本次調查之集水區面積為 48384.08 公頃，集水區範圍內之崩塌地共有 452 處崩塌地，總崩塌面積 1170 公頃。
2. 本研究調查之崩塌地規模與頻率之關係曲線，面積大於 10^{-3}km^2 至 1km^2 呈乘冪現象，其曲線坡度(即碎形維度值)=1.4。
3. 了解區域內山崩規模與頻率的關係有助於山崩危害度模式之建立。
4. 建議可收集曾文水庫集水區歷年之山崩目錄圖，配合山崩機率模式，可建立山崩預測危害度分析。

參考文獻

- [1]. 林務局，「曾文水庫集水區航測調查報告」(1997)
- [2]. Whitehouse, I.E., GrifRths, G.A., "Frequency and hazard of large rock avalanches in the Central Southern Alps, New Zealand", *Geology*, Vol.11, pp.331-334(1983).
- [3]. Pelletier, J.D., Malamud, B.D., Blodgett, T., Turcotte, D.L., "Scale-invariance of soil moisture variability and its implications for the frequency-size distribution of landslides". *Engineering Geology*, Vol. 48, pp.255-268(1997).
- [4]. Hungr, O., Evans, S.G., Hazzard, J., 1999. "Magnitude and frequency of rock falls and rock slides along the main transportation corridors of southwestern British Columbia", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 36, 224-238.

-
- [5]. 林孟龍、林俊全，「曾文水庫集水區山崩之規模與頻率分布關係之探討」，國立臺灣大學地理學系地理學報，26，pp.13-23（1999）。
- [6]. Dai, F.C., and C.F. Lee, “Frequency-volume relation and prediction of rainfall-induced landslides”, *Engineering Geology*, 59, 253-266 (2001).
- [7]. Bak, P., Tang, C., Wiesenfeld, K., “Self-organized criticality”, *Phys. Rev., A*, Vol.38, pp.364-374 (1998).
- [8]. 李馨慈、王建力，「台灣地區山崩規模與發生頻率之關係」，第二屆資源工程研討會論文集，台南(2005)。
- [9]. Hergarten, S., Neugebauer, H.J., “Self-organized criticality in a landslide model”, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.25, pp.801-804 (1998).
- [10]. Hergarten, S., Neugebauer, H.J., “Self-organized criticality in two-variable models”, *Phys. Rev. E*, Vol. 61, pp.2382-2385 (2005).
- [11]. Brardinoni F, Church M, “Representing the landslide magnitude-frequency relation: Capilano River Basin, British Columbia”, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol.29(1), pp.115-124 (2004).
- [12]. Guzzetti F, Malamud BD, Turcotte DL, Reichenbach P, “Power-law correlations of landslide areas in central Italy”. *Earth Planet Sci Lett*, Vol. 195, pp.169-183 (2002).

