中華水土保持學報, 43(4): 293-301 (2012)
Journal of Chinese Soil and Water Conservation, 43 (4)*:293-301* (2012)

旗山溪集水區長期降雨特性改變與崩塌分佈關係

陳樹群[1]　諸予涵[2]　吳俊鋐[3]*

摘　　要　旗山溪集水區近 50 年平均年降雨量增加 3%至 30%，降雨集中夏秋趨勢明顯。集水區崩塌誘發因素可分為三類，包含地震、降雨及河川淘刷；地震誘發崩塌除造成近山脊處崩塌外，本研究推測也造成下邊坡土體鬆動及造成土體不穩定。由 2001 年至 2009 年數據分析，集集地震對旗山溪集水區之崩塌誘發影響可能減弱；降雨及河川流量造成的崩塌，則可由 2001 年至 2008 年崩塌數據說明：豪雨集中間接促使集水區下邊坡崩塌大量增加。
關鍵詞：旗山溪、降雨特性長期變遷、長期崩塌分佈、集集地震、莫拉克颱風。

The Long Term Rainfall Trend and Landslide Distribution in Chishan River Watershed

Su-Chin Chen[1]　Yu-Hang Chu[2]　Chun-Hung Wu[3]*

ABSTRACT　The mean annual rainfall has increased 3-30% in the comparison of the rainfall records from 1961 to 1970 and from 2001 to 2008. The inducing factors for the landslide in Chishan river watershed include earthquake events, rainfall events, and the flood. The inducing influences of earthquake events to the landslide appear not only on on the steep up-hillslope, but also on the mild down-hillslope. The inducing influence of Chichi earthquake to the landslide in Chishan river watershed seems to be decreasing with progress of time, and the apparent inducing influence to the landslide on the down-hillslope due to the river scour during the heavy rainfall events can be found based on the landslide distribution from 2001 to 2008.
Key Words : Chishan river watershed, rainfall characteristic, landslide distribution, Chichi earthquake, Typhoon Morakot.

一、前　　言

2009 年莫拉克颱風 (Typhoon Morakot) 引發西南台灣重大災害，受害最嚴重的高屏溪流域崩塌比 (總崩塌面積除以總流域面積) 約達 5.5%，四個主要子集水區 (包含旗山溪、荖濃溪、濁口溪及隘寮溪等) 之崩塌比皆超過 6.5% (Wu et al., 2011)。高屏溪引發如此嚴重土砂災害主因，乃因莫拉克颱風帶來超過降雨頻率年超過 200 年以上之暴雨，尤其 48 小時累計降雨量更接近世界降雨記錄 (陳樹群及吳俊鋐，2009)。

部分研究 (鍾育櫻，2005; Lin et al., 2006; 陳志豪，2009) 認為台灣近 10 年之崩塌或土石流等土砂災害，應跟 1999 年集集地震 (M_L =7.3) 有關；Lin et al. (2006) 以濁水溪流域在 1996 至 2001 年間崩塌分佈，探討集集地震對地震後之降雨誘發崩塌影響，並認為集集地震對後續崩塌之主要影響在於地震廣泛地擾動地層，且該研究以 1996 年賀伯颱風 (Typhoon Herb，集集地震前) 及 2001 年桃芝颱風 (Typhoon Toraji，集集地震後) 之崩塌數據進行比較，發現雖 1996 年賀伯颱風降雨量超過 2001 年桃芝颱風，但 2001 年桃芝颱風後崩塌總面積卻為 1996 年賀伯颱風崩塌面積之五倍，且崩塌發生坡度由 1996 年賀伯颱風集中於 20 至

國立中興大學水土保持學系
Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, R.O.C.
* Corresponding Author. E-mail : chwu@mail.nchu.edu.tw

30 度間，轉為 2001 年桃芝颱風集中於 40 至 50 度間。鍾育櫻 (2005) 也以陳有蘭溪流域之降雨型崩塌地進行比較，認為集集地層對山坡地區有削弱岩層強度的效應。陳志豪 (2009) 則以荖濃溪崩塌案例為例，認為集集地震對荖濃溪流域崩塌發生之影響時間約在5至6年間，且以地震震動最大水平加速度 (PGA) 在 150gal 以上區域為集集地震對後續崩塌誘發影響主要區域。

降雨特性改變對崩塌誘發影響近年也有研究 (Crozier, 2010) 提及。以台灣降雨特性改變之研究而言，Liu et al. (2002) 及 Shiu et al. (2009) 都認為台灣降雨特性逐漸具有降雨時數(或天數)減少、降雨強度增加之特徵，若以 1961 至 2005 年降雨資料進行分析，降雨強度介於 30 至 40mm/hr 之降雨增加約 200%，且在颱風期間，降雨強度介於 10 至 50mm/hr 之降雨增加約 100% (Liu et al., 2008; Shiu et al., 2009)。國際也有多篇文獻 (Emanuel, 2005; Webster et al., 2005) 提及近年颱風特性的轉變，分析結果都顯示：根據過往 30 年氣象資料，北大西洋和西北太平洋所產生之颱風 (或稱颶風) 在生命期和強度增加約 50%，且強度最強的第四級及第五級颶風個數明顯增加；彭思顯等 (2009) 也針對由 1961 至 2008 年台灣颱風資料進行分析，發現 2001 至 2008 年颱風累計次數已達 1961 至 1970 年颱風總個數之 217%，且從 1991 至 2000 年代後，每年平均颱風次數已經超過 5 次；以 2001 至 2008 年分析數據而言，每年 5.7 次颱風案例便包含 1.4 次輕度颱風及 3.5 次中度颱風；在長期比較上，中度颱風個數增加情況明顯，2001 至 2008 年之中度颱風累積個數已為 1961 至 1970 年之 338%。因氣候改變而造成崩塌誘發影響者，Crozier et al. (2010) 以紐西蘭崩塌案例進行分析，分析結果認為年崩塌發生次數(崩塌發生年頻率倒數)與平均年降雨量呈正相關，以一個具有平均降雨量 1,000mm 的集水區而言，總降雨量增加 8%，便會促使該集水區在 100 年內發生崩塌的次數由原本的 16 次提升至 20 次。

位於高雄市旗山溪集水區是 2009 年莫拉克颱風崩塌重災區，小林崩塌也位於此集水區內，旗山溪集水區近年也一直是多場颱風帶來最大豪雨集中區 (以甲仙雨量站降雨資料為例，2006 年至今出現過 6 次 3 天雨量接近或超過 600mm，2008 年卡玫基颱風 (Typhoon Kalmaegi) 3 天累積降雨達 1,018 mm，2009 年莫拉克颱風 5 天累積降雨 2,412 mm)，逐漸轉為集中且強度更大的降雨是否對此集水區產生崩塌誘發影響，值得深入探討；另外，旗山溪集水區崩塌案例是否受集集地震影響也為值得論述之議題，本研究以旗山溪集水區為主要研究區域，以長期降雨資料及崩塌分佈來論述上述各崩塌誘發因素 (地震及降雨) 對旗山溪集水區崩塌之影響。

二、研究區域概述

旗山溪 (又名楠梓仙溪) 集水區 (圖 1) 位於高雄市甲仙區、那瑪夏區、桃源區及嘉義縣阿里山鄉，中上游河川兩岸屬於河階地縱谷地形，河道蜿蜒遷徙不定，直至下游與荖濃溪於高雄縣嶺口處匯合入高屏溪。主流長度約 117 km，於甲仙以上之旗山溪上游集水區面積約 432.6 km^2，坡度小於 40%以下者佔總集水區之 24.8%，坡度 40%至 55%以上者佔 20.6%，坡度大於 55%以上者佔 54.6%，屬於坡度較陡集水區。根據二十五萬分之一台灣地質圖及高屏溪流域地質圖：集水區地層由三峽群 (由頁岩和細粒砂岩組成)、廬山層 (由硬頁岩、板岩及千枚岩和砂岩互層所組成)、沖積層 (由粘土、坋土、砂和礫石所組成)、瑞芳群 (由頁岩和泥質砂岩所組成)、台地堆積層 (主要成分為未經膠結之礫石、土、砂) 及新高層 (由深灰色板岩、千枚岩、薄層到中層石英岩及不規則礫岩層組成) 等 (何春

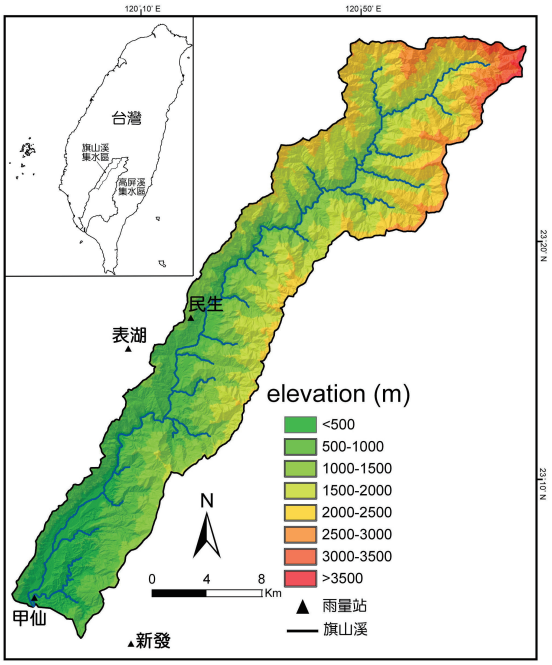

圖 1 旗山溪集水區高程分佈圖

Fig.1 The elevation distribution in Chishan river watershed

蓀，1986)；旗山溪最上游地區 (位於高雄縣那瑪夏鄉與南投縣信義鄉交界處) 以南莊層 (砂岩、深灰色頁岩及砂岩與頁岩薄葉互層) 與南港層 (相當地層，以火成岩為主) 為主，而從上游至甲仙一帶，則以長枝坑層(青色或青灰色細粒砂岩或泥質砂岩與黑色頁岩所形成之帶狀戶層為主)及紅花子層 (由兩種岩性所組成，一為厚層粉砂岩，另一為粉砂岩與細砂岩之巨厚互層) 為主，部分地區則屬於三民頁岩 (主要分佈在上游，以深灰色緻密頁岩為主，間夾灰色鈣質薄層粉砂岩，下部則夾有薄透鏡狀炭質頁岩或煤層)、鹽水坑頁岩 (以巨厚、塊狀之頁岩為主) 及糖恩山砂岩 (可分為下部砂岩段、中部砂岩段及上部粉砂岩段；下部砂岩段為以平行紋理之厚層細砂岩，夾薄至中層之細砂岩及粉砂質頁岩互層；中部砂岩段為塊狀頁岩；上部粉砂岩段為粉砂岩細砂岩互層) 為主。

旗山溪集水區屬於亞熱帶海洋季風氣候，集水區內歷年平均氣溫約為攝氏 24.2℃，以 7 月份平均約 28.0℃ 為最高月份。集水區平均年雨量約 2,211 至 3,080mm，90%年雨量集中於 5 月至 10 月豐水期，各月份降雨量以 8 月最多。

在河川懸浮質數據上，高屏溪集水區乃為台灣最大之水系集水區，年平均逕流量約為 84.6 億立方公尺，年懸浮質流量約為 3.6×10^7 MT/yr 也為在台灣各河川集水區中排名第二高 (Liu et al., 2002)，年平均產砂量約為 5.9 kg/m^2/yr，此值也約為世界山區河川平均值 (3.0 kg/m^2/yr) 之兩倍 (Milliman and Syvitski, 1992; Hung and Hung, 2003)。由此可見高屏溪為具有高程度崩塌或土壤沖蝕現象之集水區。

.

三、研究方法

本文研究方向以長期降雨趨勢變遷及長期崩塌分佈分析，分析方法如下分述。

1. 降雨資料分析：本研究蒐集全台灣歷年各雨量站資料，各時期所採用之雨量站站數都在 634 處以上；估算各站每十年年降雨量平均值，再以原始克力金法將各站平均降雨量推估該十年平均降雨量空間分佈。有全台灣各十年之年平均降雨量分佈後，再切出旗山溪集水區之降雨分佈。各十年間降雨量平均值增減率，則以「後十年平均降雨量與前十年平均降雨量之差值，除以前十年平均降雨量」而得。
2. 崩塌地分佈分析：本研究共採用六期崩塌地圖層進行分析，包含 1985 年台灣地區山坡地崩塌地分佈圖 (由農業委員會委託航空測量及遙感探測學會所編製，此期僅有數據但未有分佈圖層)、1995 年台灣地區像片基本圖 (由內政部委託林務局農林航空測量所編製，解析度 10 m)、2001 年集集地震後崩塌地圖層 (工業技術研究院所繪製 (王文能等，2000)，利用衛星影像判釋，解析度 6.25m)、2002 年桃芝颱風後崩塌地圖層 (工業技術研究院所繪製 (王文能等，2002)，利用衛星影像判釋，解析度 6.25m)、2004 年敏督利颱風 (Typhoon Mindulle) 後崩塌地圖層 (工業技術研究院所繪製 (王文能等，2004)，利用衛星影像判釋，解析度 2.5m)及 2009 年莫拉克颱風後崩塌地圖層 (由經濟部中央地質調查所編製，利用衛星影像判釋，解析度 2.5m)。

本研究利用崩塌地地形位置影響法 (topographic site effect method, Meunier et al., 2008) 分析崩塌地誘發因素，設定參數如圖 2，崩塌地最上緣至邊坡最上緣距離設為 a，崩塌地趾部至河道 (邊坡最下緣) 的距離設為 b，全邊坡長度則設為 d，以 a/d 及 b/d 分別為 x 軸及 y 軸，配合崩塌地的面積將每塊崩塌地繪於圖上，即可找出該集水區崩塌地分佈特性。

崩塌地穩定性之探討則採用套疊分析，套疊兩時期崩塌地分佈圖，前期與後期總崩塌區域分別稱為舊崩塌地及新崩塌地面積，而兩期重疊區域則稱為重複崩塌面積，則可求出再崩比 (重複崩塌地面積除以舊崩塌地面積) 及新崩比 (新崩塌地面積扣除重複崩塌地面積，除以新崩塌地面積)。並以再崩比及新崩比分別為 x 軸及 y 軸，將各期崩塌地數據點繪於上，便可瞭解崩塌地分佈趨勢。

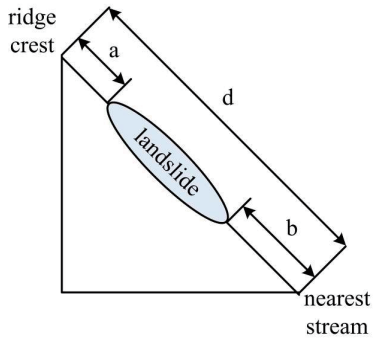

圖 2 崩塌地位置示意圖

Fig.2 The location of the landslide in the hillslope

四、分析與討論

1. 長期降雨趨勢變遷

圖 3 為旗山溪集水區由 1961 至 2008 年間年降雨量平均值分佈圖；由 1961 至 1970 年代起，每十年之年平均降雨量有增加趨勢，除 1991 至 2000 年代年降雨量有微量減少；2001 至 2008 年為過往 50 年間年平均降雨量最大之年代，若與 1991 至 2000 年代相比，則 2001 至 2008 年平均年降雨增加幅度約 21%至 34%；若以 2001 至 2008 年年平均降雨量與 1961 至 1970 年相比，增加幅度約為 3%至 30%。

本研究分析集水區內雨量站 (包含甲仙、新發、表湖及民生，如圖 1) 降雨記錄，由 1961 至 2008 年月降雨量分析結果，每年雨季 (5 月至 10 月) 總降雨量約佔 84%至 89%；圖 4 則以具有 50 年資料的甲仙雨量站進行每十年月降雨量分佈分析，發現各年代在雨季期間 (5 月至 10 月) 之月降雨量逐漸提升，1961 至 1970 年月降雨量標準偏差為 231mm，至 2001 至 2008 年則為 314mm，且發生莫拉克颱風的 2009 年單年月降雨量標準偏差則為 638mm，可明顯發現月降雨量集中於雨季情況顯著；若以 1961 至 1970 年代與 2001 至 2008 年代進行比較，春季雨量減少趨勢及夏秋兩季雨量增加趨勢明顯，此現象可由秋颱次數逐漸增多 (彭思顯等，2009) 現象解釋。

2009 年月降雨量分佈跟其他年代有較大差異，以甲仙雨量站說明：於 2001 至 2008 年，平均年降雨量為 3,374mm，2009 年 8 月莫拉克颱風則在五天降下 2,142mm 降雨量 (佔該年降雨量 63.4%)，顯示降雨集中特性；甲仙雨量站由 1961 至 2009 年單月降雨量超過 1,000mm 之次數分別為：1961 至 1970 年 2 次、1971 至 1980 年 8 次、1981 至 1990 年 6 次、1991 至 2000 年 1 次及 2001 至 2009 年間共發生 12 次，此類強降雨在 2001 至 2009 年間發生月份都在 6 月至 9 月間，且有 10 次為該月份具有颱風事件，剩餘 2 次則為豪雨事件。

2. 崩塌地分佈分析

各時期崩塌地分佈及數據如表 1 及圖 5，若以 2001 年為分界，崩塌個數、總面積或崩塌比都有明顯成長。在 2001 至 2004 年，崩塌個數有增加，但崩塌面積跟崩塌比無太大變化，但到 2009 年卻出現非常明顯的增長，若以 2004 年崩塌數據與 2009 年崩塌數據相比，不論崩塌個數、崩塌面積或崩塌比等都出現超過 3.6 倍以上增幅。

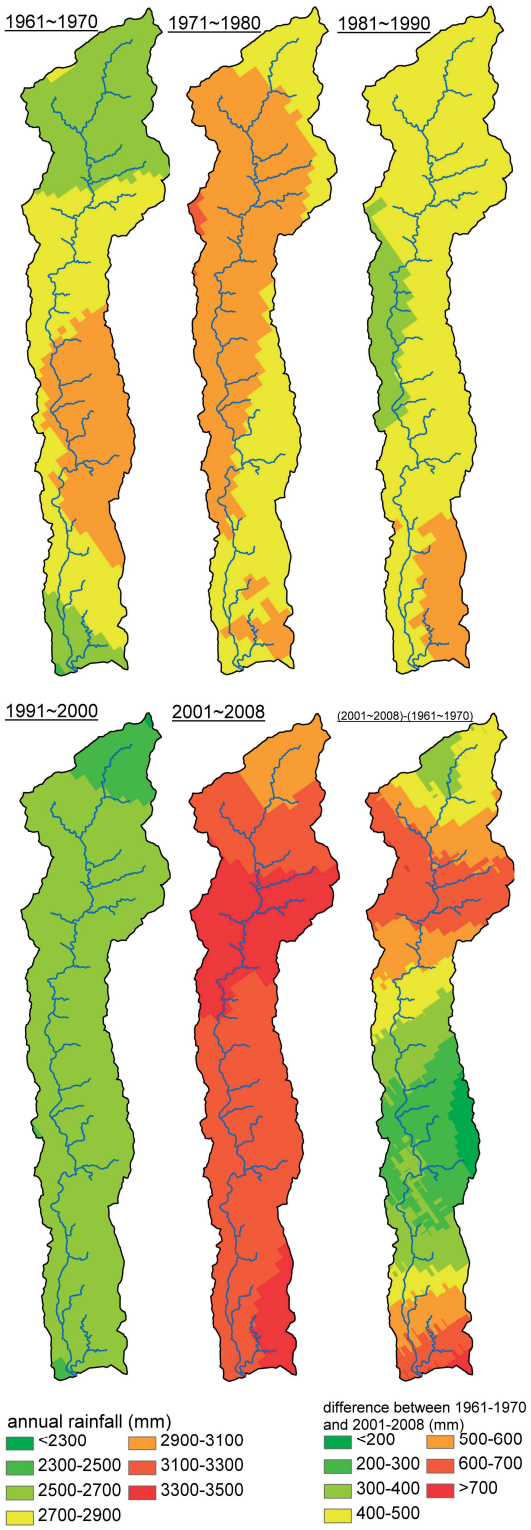

圖 3 旗山溪流域年降雨量分佈圖

Fig.3 The annual rainfall distribution from 1961-2008 in Chishan river watershed

本研究認為崩塌數據在 2001 年後快速成長與航拍技術及儀器更新、集集地震影響及近年降雨特性改變等原因相關；航拍技術及儀器更新主要影響崩塌判釋解析度，可由表 1 中 2001 年至 2004 年的數據發現：崩塌個數增加，崩塌面積或崩塌比並未明顯增加。而 1999 年集集地震造成的影響，則可由表 1 的 1985、1995、2001 及 2002 年份崩塌數據進行分析，發現崩塌個數、崩塌面積及崩塌比都在 2001 年後有明顯成長。為釐清崩塌數據成長與地震或降雨相關，本研究以甲仙雨量站長期日降雨資料進行分析，採用 1984 至 1985 年、1994 至 1995 年及 2000 至 2002 年等三個時段之日降雨量，分析結果如表 2 所示：2000 至 2002 年間之豪雨次數、單日降雨及三日累積降雨都大於 1984 至 1985 年及 1994 至 1995 年，此也間接證實 2001 年後的崩塌數據成長，與地震及降雨兩者所造成的影響都相關。

2003 年至 2004 年及 2008 年至 2009 年之降雨數據更明顯倍增，隨著集集地震發生時間逐漸拉遠，且集中降雨情況越趨明顯 (如 2008 年至 2009 年在單日最大降雨或三日最大累積降雨數據所示)，本研究認為旗山溪集水區在 2003 至 2004 年後之崩塌受降雨影響較集集地震影響大。

Meunier et al. (2008) 利用崩塌地地形位置影響法分析不同地區之崩塌地地形位置特性，該研究認為：地震誘發之崩塌案例通常都會集中在邊坡靠山脊處，因此在崩塌地地形位置影響圖上會偏左上半部 (a/d≦0.5 及 b/d≧0.5)；而降雨引發崩塌案例則會明顯發現受

表 1 旗山溪集水區各期崩塌地數據

Table 1 The statistical data of landslide distribution in Chishan river watershed

年份	1985	1995	2001	2002	2004	2009
崩塌地個數	10	58	443	776	623	2285
崩塌地總面積 (ha)	77	238	751	697	698	3316
崩塌比 (%)	0.2	0.5	1.5	1.4	1.4	6.8

表 2 甲仙雨量站於 1984-1985 年、1994-1995 年、2000-2002 年、2003-2004 年及 2008-2009 年豪雨發生統計

Table 2 The records of heavy rainfall occurrence of Jiashian rainfall station during 1984-1985, 1994-1995, 2000-2002, 2003-2004, and 2008-2009

年代	1984-1985	1994-1995	2000-2002	2003-2004	2008-2009
日降雨達豪雨標準之次數	5	6	10	4	10
單日最大降雨 (mm/date)	347.5	253	371	345	1040
三日最大累積降雨 (mm/date)	496	404	535	813	1915

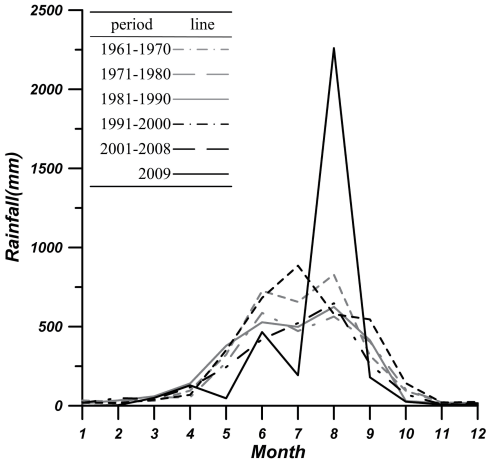

圖 4 甲仙雨量站日降雨量分佈圖

Fig.4 The monthly rainfall distribution of Jiashina rainfall station from 1961-2008

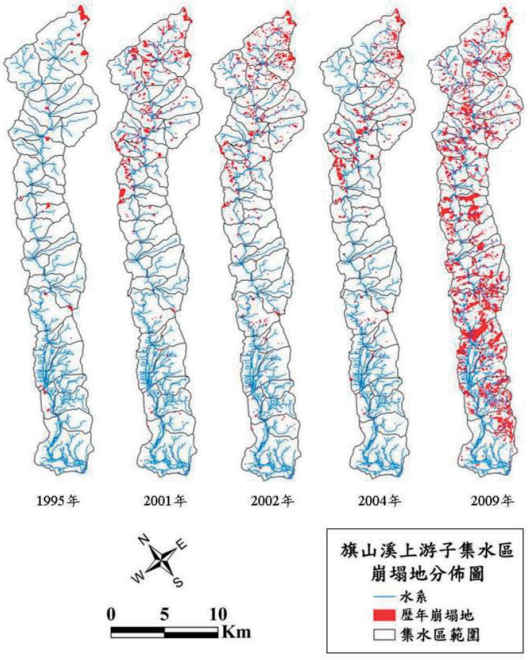

圖 5 旗山溪集水區崩塌地分佈圖

Fig.5 The landslide distribution in the Chishan river watershed

河岸淘刷所引發之崩塌明顯增多，即會在崩塌地地形位置影響圖上會偏右下半部 (b/d≦0.5 及 a/d≧0.5)。王文能等 (2000) 也曾根據台灣崩塌案例之分析提出近似論點，其認為地震崩塌地常為小規模或表層崩塌，邊坡坡度常超過 60°，而降雨型崩塌無須陡峭邊坡坡度。

根據旗山溪多期崩塌 (圖 6) 可發現兩點差異：一則由 1995 年至 2009 年，崩塌點由稀疏轉為密集，且小面積崩塌案例居多，大面積崩塌崩塌案例偏少 (但此點的原因也可能如上述的崩塌判釋圖資解析度增高所導致)；二則由 2001 年起，在上邊坡及下邊坡崩塌面積逐漸增加，若以 2001 年後各年代下邊坡崩塌面積與 1995 年數據比較，下邊坡崩塌面積增加趨勢顯著。各期崩塌地位於上邊坡及下邊坡之比例如表 3，以 1995 年崩塌面積分佈而言，上邊坡崩塌面積佔總崩塌面積之 66.3%，若以 Meunier et al. (2008) 及王文能等 (2000) 提出論點，則可認為該年代因降雨引發下邊坡淘刷而形成之崩塌案例不多，在總崩塌案例中所佔比率也不高；下邊坡崩塌面積在 2001 年開始增加，但在 2001 年至 2004 年間仍維持下邊坡崩塌面積在 170 至 220 ha 之間，但到 2009 年下邊坡崩塌面積暴增為 656 ha，若同以 1995 年為基準進行比較，則當 2009 年上邊坡崩塌面積增為約 2 倍時，下邊坡崩塌面積卻增為 38 倍；本研究分析 1993 年至 1995 年甲仙站降雨資料，最大單日降雨量僅為 176mm (甲仙站，1993 年 5 月 26 日)，最大三日累積雨量則為 389mm (甲仙站，1994 年 8 月 8 日至 10 日)，如此可凸顯 2009 年莫拉克颱風帶來高強度長延時暴雨形成洪水淘刷對下邊坡崩塌促發之影響。

為什麼在 1999 年集集地震過後，2001 年桃芝颱風未造成上邊坡數據增加 (相較於 1995 年)?可能為降雨型態差異造成影響，2001 年桃芝颱風在甲仙雨量站降雨為短延時降雨 (12 小時降 255mm)，其餘各年代在甲仙雨量站皆為長延時降雨 (2002 年 8 月 5 至 6 日兩日累積降雨為 314mm、2004 年敏督利颱風三日累積降雨為 813mm 及 2009 年莫拉克颱風三日累積降雨 1915mm)，表 3 之上邊坡崩塌數據也呈現倍增現象，也可驗證此敘述。

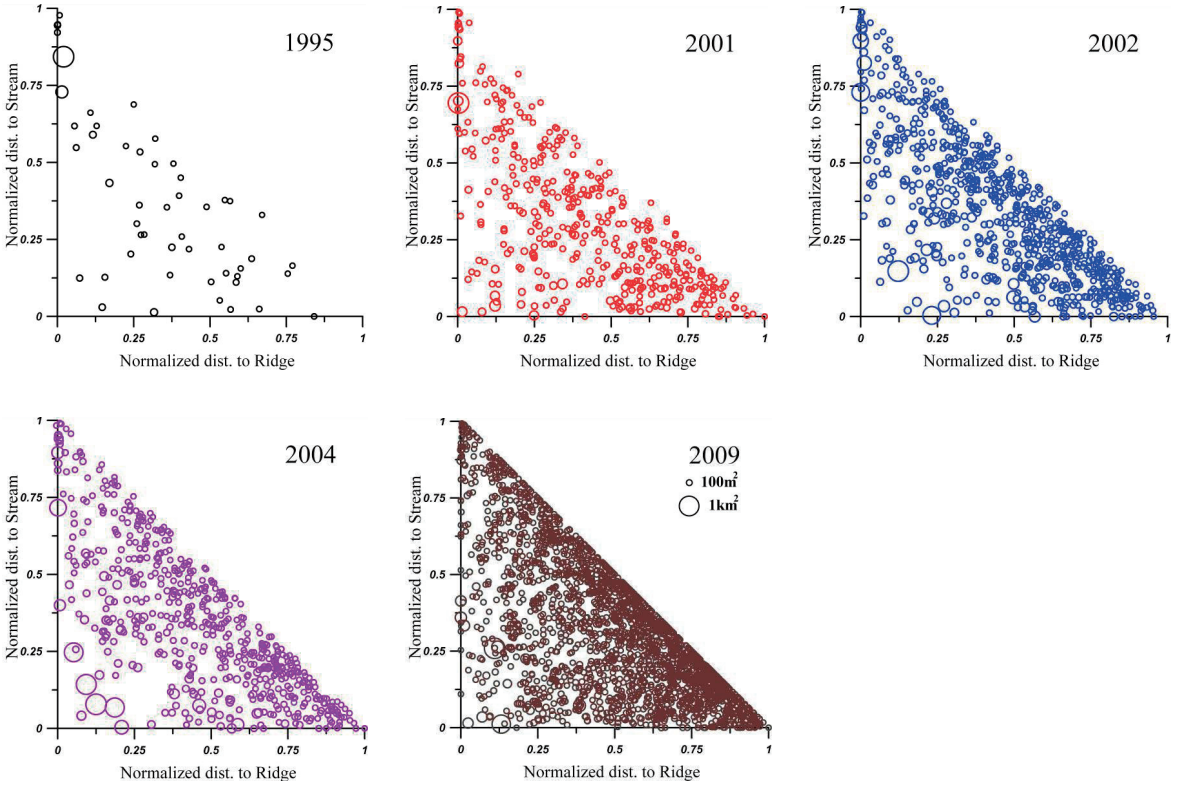

圖 6 旗山溪各時期崩塌分佈圖 (利用崩塌地地形位置影響法所繪製)

Fig.6 The location of the landslides with respect to the ridge crest and stream in the Chishan river watershed

比對表 2 之多期雨量資料及前述各年代發生月降雨量超過 1,000mm 之次數資料，本研究對於各年代下邊坡崩塌總面積之增加提出兩點說明：一則集集地震對邊坡崩塌之影響應分成兩方面說明，一方面為在地震晃動後，坡度陡峭之上邊坡土體無法承受搖晃而崩落，另一方面，本研究推論地震搖晃對下邊坡土體一樣產生影響，但下邊坡土體因坡度較為平緩，因此地震搖晃未必能促使該土體崩落，但卻已使該土體鬆動，而在後續豪雨事件所匯集的河川大流量沖刷下而產生崩塌，本研究認為此點可推論為什麼 1994 年至 1995 年與 2000 年至 2002 之單日最大降雨與三日最大累積降雨差異不大，但下邊坡崩塌面積卻差異甚大。二則由 2000 年後月降雨量超過 1,000mm 之次數達 12 次，均達其他各年代月降雨量超過 1,000mm 次數 1.5 倍以上，說明因豪雨次數增多，河川洪水流量在雨季頻頻淘刷下邊坡土體，終造成下邊坡崩塌現象。2009 年之下邊坡崩塌面積達 650 ha 以上數據，更可代表歷年多次豪雨及 2009 年莫拉克颱風所帶來超過 200 年頻率之降雨，多次洪水淘刷終導致靠近河岸之下邊坡大量崩塌，此現象也可從圖 5 之 2009 年崩塌分佈跟水系分佈相近之關係看出。

圖 7 為旗山溪各期崩塌以前後期比較方式所繪製之再崩比與新崩比關係圖；其中再崩比值代表一個崩塌點脆弱度，而此脆弱度可能是原本地質、地貌及前次崩塌後之人為維護有關，集水區再崩比高可被認為原崩塌區域不易復原，也顯示崩塌地在前次崩塌後並未進行良好的人為工程或植生維護；新崩塌比高則顯示集水區地質地貌易於誘發崩塌。為更細緻瞭解旗山溪集水區之再崩與新崩關係，本研究將旗山溪集水區分成 39 處子集水區進行再崩比與新崩比之探討，此 39 處子集水區之面積約介於 4.3 至 0.5 km^2 間，劃分子集水區再進行崩塌比探討方式，更能細緻探討再崩與新崩分佈位置，及說明研究區域上中下游在崩塌誘發因素上之問題。

在圖 7 中，除 1985 年與 1995 年無法比較外 (1985 年份崩塌僅有統計數據，並沒有崩塌圖層)，其餘各年份分析圖如圖 7；以 1995 年至 2001 年資料而言，由於 1995 年有崩塌之子集水區較少，方導致此圖之子集水區點位較少，再者在此圖 10 個子集水區資料中，有 8 個子集水區新崩比超過 0.5，也代表相較於 1995 年，2001 年之崩塌誘發的力量較大，而本研究綜合前述則認為 1999 年集集地震及 2001 年桃芝颱風是此年度崩塌新增多的主因；而在 2001 年至 2002 年之資料顯示，

表 3 各期崩塌地位於上邊坡及下邊坡之面積及比率

Table 3 The total landslide area and occupied percentage in the up-hillslope and down-hillslope

年份	1995	2001	2002	2004	2009
上邊坡	157.7/66.3	119.2/15.9	198.1/28.4	253.3/36.7	306.3/9.3
下邊坡	17.1/7.2	192.2/25.6	217.5/31.2	177.2/25.7	656.4/19.9

備註：每一格所顯示數據為崩塌面積 (ha)/崩塌面積佔崩塌總面積比率 (%)

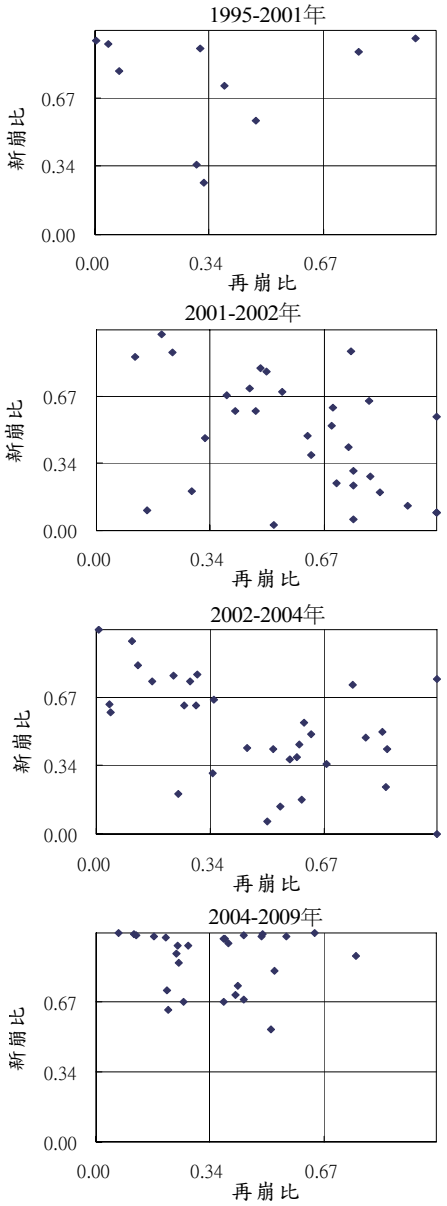

圖 7 旗山溪集水區各期崩塌再崩比與新崩比關係圖

Fig.7 The re-occurrence landslide ratio and new landslide ratio in Chishan river watershed

32 個資料點位上有 21 個資料點之再崩比超過 0.5，本研究認為此與此兩年度之間隔僅一年及人為工程未能即時維護相關；而在 2002 年至 2004 年資料點分佈偏左上 (新崩比超過 0.5 且再崩比小於 0.5) 及右下 (再崩比超過 0.5 且新崩比小於 0.5)，全圖 33 各案例點中，便各有 13 個位於左上及 14 個位於右下，此情況說明「相較於 2002 年崩塌案例，2004 年之崩塌新崩多且再崩也多」；在 2004 年至 2009 年資料點分佈，則明顯偏重於新崩比高的區域，全部案例點之新崩比皆超過 0.5。

引進前述對再崩比及新崩比之論述於圖 7 之討論，若以圖 7 談各期崩塌誘發力量強弱，則必須針對崩塌誘發力量給予更清楚的說明，崩塌誘發力量除地震及降雨兩者外，還必須包含集集地震促發崩塌之長期影響，此類長期影響可被認為地層破碎、地層強度降低及土體不穩定等因素；以此方式來說明為什麼 1994 年至 1995 年之集中降雨情況並未與 2001 年至 2002 年降雨情況差異太大，但卻在 1995 年至 2001 年新崩比有 80%超過 0.5 之原因，除降雨量外，集集地震的瞬間搖晃及長期降低地層強度等影響也無法忽略；而在 2002 年至 2004 年出現新崩多且再崩也多的情況，本研究則認為 2004 年敏督利颱風連日豪雨，造成 2004 年單日豪雨最大值小於 2000 年至 2002 年，但卻在三日累積最大豪雨上超出 2000 年至 2002 年約 300 mm，連日豪雨說明此年份新崩多的崩塌分佈，而再崩多則可歸咎於集集地震對集水區長期影響；以 2004 年至 2009 年之新崩比皆超過 0.5 之分佈，全部 27 個案例點僅有 5 個案例點具有新崩比及再崩比都超過 0.5 的情形，莫拉克颱風帶來超過 200 年頻率的豪雨可清楚說明全部案例之新崩比超過 0.5 情況，而僅 5 個案例點具有再崩比超過 0.5 之數據，本研究推測可被認為集集地震對旗山溪集水區之長期影響逐漸降低有關，但此推測需要更多集水區之分析資料方得以驗證。

五、結　　論

本研究主要探討高雄市旗山溪集水區長期降雨及崩塌演變趨勢，在長期降雨趨勢方面，本研究對 1961 年至 2008 年降雨量資料進行了分析，其結論可歸納為四點：(1) 旗山溪集水區之年降雨量有逐漸增加趨勢，僅在 1991 年至 2000 年代有微量減少；(2) 2001 至 2008 年為過往 50 年間平均降雨量最大的年代，約較 196 1 年至 1970 年年平均降雨量增加 3%至 30%；(3) 以旗山溪集水區內之甲仙雨量戰月降雨量分佈而言，月降雨長期分佈有逐漸集中現象，以 2001 至 2008 年代相較於 1961 至 1970 年代，夏季及秋季雨量皆有增加，秋季雨量增加可被認為是秋颱次數增多所導致；(4) 本研究以月降雨量超過 1,000 mm 之次數來評估降雨集中程度，則甲仙雨量站在 2000 至 2009 年間共發生 12 次，較其他年代都超過至少 1.5 倍以上。

而在崩塌長期分佈趨勢分析上，本研究也可歸納為：(1) 旗山溪集水區於 2000 年後之崩塌分佈跟 1999 年集集地震及豪雨兩因素相關，1999 年集集地震對旗山溪邊坡崩塌之影響除地震時瞬間搖晃而產生的近山脊處崩塌外，也必須考量地震降低集水區地層強度或造成土體不穩定，而在爾後豪雨事件中引發大量下邊坡崩塌；(2) 旗山溪集水區在 2001 至 2002 年的崩塌分佈受降雨及地震影響，但隨者距離地震時間漸遠，集集地震對旗山溪集水區之崩塌影響逐漸降低，至 2004 年後之崩塌分佈則主因豪雨影響，例如 2009 年莫拉克颱風事件帶來超過 200 年頻率之降雨事件則為一明顯案例。以旗山溪集水區崩塌而言，集集地震對集水區邊坡促發崩塌之影響可能正在降低，近年之崩塌案例則因豪雨集中或降雨強度過大有關。

參考文獻

[1] 王文能、尹承遠、陳志清、李木青 (2000)，「九二一地震崩塌地的分佈與特性」，第二屆海峽兩岸山地災害與環境保育學術研討會論文集，中華水土保持學會編印，台中，台灣，223-233。(Wang, W.N., Yin, C.Y., Chen, Z.Q., and Li, M.Q. (2000). The distribution and characteristic of landslides caused by Chi-Chi earthquake in 1999. Researches on Mountain Disasters and Environmental Protection across Taiwan Strait, across Taiwan Strait, Chinese Soil and Water Conservation Society, Taichung, Taiwan, 223-233. (in Chinese))

[2] 王文能、尹承遠、吳尚志、吳仁明 (2002)，「崩塌地調查與後續演變趨勢觀測」，行政院農業委員會水土保持局。(Wang, W.N., Yin, C.Y., Wu, S.Z., and Wu, R.M. (2002). *The field investigation and trend analysis of landslides*. Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan. (in Chinese))

[3] 王文能、尹承遠、吳尚志、吳仁明 (2004)，「以 SPOT 影像進行崩塌地調查與變動分析」，行政院

農業委員會水土保持局。(Wang, W.N., Yin, C.Y., Wu, S.Z., and Wu, R.M. (2004). *The investigation and trend analysis of landslides by using SPOT images*. Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan. (in Chinese))

[4] 何春蓀 (1986)，「台灣地質概論-台灣地質圖說明書」，經濟部中央地質調查所。(Ho, C.S. (1986). "*An introduction to the geology of Taiwan*." Central Geological Survey, MOEA. (in Chinese))

[5] 陳樹群、吳俊鋐 (2009)，「莫拉克颱風引致小林村堰塞湖之形成與潰決歷程」，中華水土保持學報，40(4)，375-390。(Chen, S.C., and Wu, C.H. (2009). "The formation and failure of Typhoon Morakot-triggered landslide dam in Siaolin Village." *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 40 (4), 375-390. (in Chinese))

[6] 陳志豪 (2009)，「集集地震後荖濃溪流域崩塌發生特性分析」，成功大學地球科學系碩士論文。(Chen, C.H. (2009). *A study of the occurrence of landslides after the Chi-Chi earthquake in the Lao-Nong River watershed*. Master Thesis, Dept. of Earth Sciences, National Cheng Kung University. (in Chinese))

[7] 彭思顯、陳樹群、劉紹臣、吳俊鋐、蔡義誌 (2009)，「全球暖化下之水土保持策略」，行政院農業委員會水土保持局。(Peng, S.H., Chen, S.C., Liu, S.C., Wu, C.H., and Tsai, Y.Z. (2009). *The strategies of Soil and water conservation for global warming*. Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Executive Yuan. (in Chinese))

[8] 鍾育櫻 (2005)，「921 集集大地震前後降雨型崩塌地特徵之比較」，臺灣大學地理環境資源學研究所碩士論文。(Chung, Y.Y. (2005) *Comparison on the characteristics of rainfall-induced landslides before and after the Chi-Chi earthquake*. Master Thesis, Dept. of Geography, National Taiwan University. (in Chinese))

[9] Crozier, M.J. (2010). "Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review." *Geomorphology*, 124, 260-267.

[10] Emanuel, K.A. (2005). "Increasing destructiveness of tropical cyclones over the past 30 years." *Nature*, 436, 686-688.

[11] Hung, J.J., and Hung, P.Y. (2003). "Carbon and nutrient dynamics in a hypertrophic lagoon in southwestern Taiwan." *Journal of Marine Systems*, 42, 97-114.

[12] Lin, C.W., Liu, S.H., Lee, S.Y., and Liu, C.C. (2006). "Impacts of the Chi-Chi earthquake on subsequent rainfall-induced landslides in central Taiwan." *Engineering Geology*, 86, 87-101.

[13] Liu, J.T., Liu, K.J., and Huang, J.C., (2002). "The effect of a submarine canyon on the river sediment dispersal and inner shelf sediment movements in southern Taiwan." *Marine Geology*, 181, 357-386.

[14] Liu, S.C., Shiu, C.J., Chen, J.P., and Fu, C.B. (2008). "Changes of precipitation intensity in East Asia." *Symposium of Climate Changes in Taiwan*, Taipei.

[15] Milliman, J.D., and Syvitski, J.P.M. (1992). "Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers." *Journal of Geology*, 100, 525-544.

[16] Meunier, P., Hovius, N., and Haines, J.A. (2008). "Topographic site effects and the location of earthquake induced landslides." *Earth and Planetary Science Letters*, 275, 221-232.

[17] Shiu, C.J., Liu, S.C., and Chen, J.P. (2009). "Diurnally asymmetric trends of temperature, humidity, and precipitation in Taiwan." *J. Climate*, 22, 5635-649.

[18] Webster, P.J., Holland, G.J., Curry, J.A., and Chang, H.R. (2005). "Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment." *Science,* 309, 1844-1846.

[19] Wu, C.H., Chen, S.C., and Chou, H.T. (2011) "Geomorphologic Characteristics of Catastrophic Landslides during Typhoon Morakot in the Kaoping Watershed, Taiwan." *Engineering Geology*, 123, 13-21.

2011 年 03 月 01 日　收稿
2011 年 07 月 29 日　修正
2012 年 03 月 02 日　接受

(本文開放討論至 2013 年 6 月 30 日)