

溪頭地區激發土石流災害臨界降雨量之研究

張振生^[1] 魏聰輝^{[1]*} 賴彥任^[1] 陳信雄^[2]

摘 要 本研究蒐集溪頭地區 1987 年至 2007 年止，歷次颱風及梅雨大於 200mm 之大豪雨事件，對照溪頭試驗集水區量水堰留存之水位紀錄，分析激發土石流災害時，量水堰逕流峰流量，以洪峰之發生時間，推算激發土石流之累計雨量、降雨時數等統計值。結果顯示 1999 年九二一震災前，激發土石流之累計雨量達 602.0 mm、降雨時數為 23.6 小時，逕流峰流量為 21.52 m³s⁻¹。震災後，累計雨量僅 278.2 mm、降雨時數為 8.8 小時，即已激發土石流災害。隨時間之進程，九二一震災所產生的土石料源經多次大豪雨之搬移而減少或漸趨穩定，至 2007 年激發土石流之累計雨量已提高為 308.0 mm、洪峰流量為 15.05 m³s⁻¹。

關鍵詞：土石流災害、臨界雨量、溪頭地區。

Rainfall Threshold Value of Debris Flow Disaster in the Sitou Region

Cheng-Sheng Chang^[1] Tsong-Huei Wey^{[1]*} Yen-Jen Lai^[1] Hsin-Hsiung Chen^[2]

ABSTRACT This study analyzed the hyetograph of debris flow using runoff data recorded at Sitou experimental watershed weir, and the torrential rain of over 200 mm occurring during typhoons and monsoon cyclones from 1987 to 2007 in the Sitou region of central Taiwan. The runoff peak time was analyzed to estimate the disaster triggering time, cumulated rainfall thresholds, and total rainfall times. The results showed with the cumulated rainfall threshold of 602.0 mm, rainfall time of 23.6 hours, and runoff of 21.52 m³s⁻¹, the debris flow would be triggered before the great earthquake on September, 21, 1999 (921 earthquake). After 921 earthquake, the cumulated rainfall threshold changed to 278.2 mm, and rainfall time of 8.5 hours. With time, the sediment yield from the 921 earthquake disaster decreased and gradually stabilized due to the removal by numerous meteoric rainstorm events. In 2007, the rainfall thresholds that could trigger debris flow was elevated to 308.0 mm and runoff had changed to 15.05 m³s⁻¹.

Key Words: Debris flow disaster, rainfall threshold value, Sitou region.

一、前 言

溪頭自然教育園區（原為溪頭森林遊樂區）為臺灣地區最早成立之森林遊樂區，因環境優美、森林蓊

鬱，又以其便利之交通網絡，每年均吸引一百萬人次之遊客，為南投地區帶來可觀的經濟利益。然而，溪頭地區位處鳳凰山山脈與內樹皮山山脈所圍繞形成的谷地；山坡地則具有坡度陡峭、地質脆弱和水流湍急

[1] 國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處

Experimental Forest of National Taiwan University, Chushan Township, Nantou Hsien 55750, Taiwan R.O.C.

[2] 國立臺灣大學森林環境暨資源學系

Department of Forestry and Resource Conservation, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan R.O.C.

*Corresponding Author. E-mail address: thomas@exfo.ntu.edu.tw

等不利於土體安定的地面條件，坡地災害遂成爲溪頭地區無可避免的宿命；自 1999 年九二一大地震，造成南投縣境內山區大面積崩塌，尤其是較爲陡峭之稜線山脈，因震災造成所有山頭裸露，崩落土石堆積於野溪源頭，爲誘發土石流危害三大機制—料源、雨量、陡坡，提供了最重要而豐富之鬆散土石料源。陡坡加上豐富的料源，九二一震災實已爲南投地區埋下坡地災害之種子。

經驗顯示中臺灣在九二一大地震後，每遇豪雨，甚至一般性的降雨，都能引發規模不一的土石崩塌和土石流等坡地災害，尤其 2001 年桃芝颱風及 2004 年敏督利颱風過境，致使中部各縣市地區發生嚴重之土石流、堤防潰決、橋樑沖毀、路基流失及居民房舍遭土石掩埋等，造成當地民眾生命、財產及重大公共工程之嚴重傷害及損失。溪頭地區，雖然由上級政府撥付經費協助災後整治重建，但短期內因地質結構仍不穩定；此外，溪頭地區所處的鹿谷鄉內湖村，由行政院農業委員會所公告之土石流潛勢區域亦多達九處之譜，居鹿谷鄉之冠，欲於短期內以硬體措施對所有危險溪流進行整治，財力及人力上存有實質困難，因此發展成本較爲低廉，且功能涵蓋範圍較廣之預警系統，作爲防災的先期措施，冀使危險區域之遊樂區管理單位及附近居民可有較充分的時間應變，使坡地災害減至最輕，以技術面而言是較易達成的。

王隆昌（2005）曾針對溪頭地區之土石流特性深入研究，其蒐集了溪頭地區桃芝、納莉颱風災後航空照片、5 × 5 m DEM 等資料，進行溪流型土石流、坡地型土石流航照判釋，並利用地理資訊系統空間分析功能，求取溪流長度、溪流平均坡度、河高寬比、集水區面積、形狀係數等地形參數資料。由分析結果發現，溪頭地區之土石流災害屬坡地型土石流，具有溪流長度短、坡度陡峭、不具明顯溪溝地形，集水區面積小且形貌呈狹長狀。另由發生潛感因子分析得知，坡地型土石流源頭崩塌地的發育，受到九二一地震後續效應的影響。這些崩塌的土砂材料於適當的地形坡度、坡面運動距離、降雨條件下，開始沿著坡面運動，並使土砂材料與水充分混合，形成坡地型土石流（王隆昌，2005）。

溪頭地區已具備一套因應坡地災害預警而運作之遊客疏散作業準則，但是土石流災害預警和颱風警報之發布，同樣存有一定程度的不確定性；然而，相關單位卻於短期間內將土石流警戒累積雨量基準值由 2003 年的 160 mm（水土水持局，2003），2004

年調整爲 250 mm（水土水持局，2005），至 2006 年之公告，全部已調整爲 350 mm，調整幅度達 190 mm，調幅是否允當，有必要重新檢視，以作爲管理單位釐定政策之參考。本研究蒐集歷次土石流災害期間之大暴雨紀錄，以歷次暴雨後所拍攝照片、研判是否激發土石流危害；另參照溪頭試驗量水堰水位紀錄，推估土砂災害發生之臨界降雨量，重新檢視溪頭地區土砂災害警戒標準值之適切性。

二、研究材料與方法

1. 試驗區環境概述

溪頭地區爲臺灣大學實驗林管理處所經營管理之國有林班地，劃分爲第一～第六等六個林班，由溪頭營林區管轄；行政區域則隸屬於南投縣鹿谷鄉。地理位置位於濁水溪支流——北勢溪上游，距離竹山鎮東方約 22 公里。溪頭營林區轄區範圍自第四林班界起算，南北長約 10 公里，東西寬度由北而南漸次開展，約在 2 至 4.6 公里之間，總面積計 2,514 公頃。

溪頭地區爲一略成畚箕形谷地之獨立地形區，由兩主要山脈構成，其一爲本區的最高山峰——嶺頭山，海拔高度 2,025 公尺，位於本區南端，自其向北延伸，經鳳凰山（海拔高度 1,696 公尺）至麒麟潭（原名大水堀）之東爲止的鳳凰山山脈，其脊稜即爲本區之東界，有數座連峰，氣勢雄偉。自鳳凰山脈北段有三條小稜線向西北延伸，形成中央盆地之北界，其北側爲本區內之內湖階地。另一條山脈爲自嶺頭山向西偏北延伸之內樹皮山脈，踞本區之南界（張石角，1992）。

本研究之研究對象—溪頭試驗集水區，位於臺灣大學實驗林管理處溪頭營林區第三林班天然林，集水區面積 61.80 ha、形狀係數 0.80、海拔高度介於 1,430~1,975 m 之間、主流長度 860 m，溪床礫石堆積；整個集水區地形陡峻，平均坡度達 86%。地質多屬第三紀崩積層，主要由板岩、砂岩及其互層所構成，岩層走向爲東北、東北東，傾角 40°。土壤則屬黃色崩積土（棕色森林土），質地爲砂質、黏質壤土含礫石（陳信雄、陳明杰，1986；楊蔚宇，1997）。溪頭試驗集水區地形因素詳如表 1。鹿谷鄉內湖村九條（南投 DF139~南投 DF147）土石流潛勢溪流、試驗集水區量水堰相關位置詳如圖 1。

表 1 溪頭試驗集水區地文因素

Table 1 The physiographic elements of Sitou experimental watershed.

項目	數值
面積(ha)	61.8
周長(m)	3,030
主溪流長度(m)	860
平均寬度(m)	718.6
型狀係數	84
密集度	0.92
平均坡度(%)	86
平均方位	N30°W
平均海拔高(m)	1,695

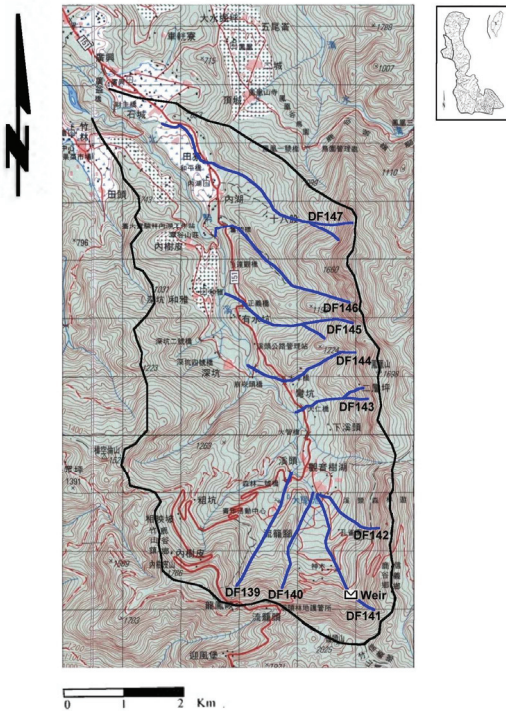


圖 1 鹿谷鄉北勢溪內湖村河段集水區地形圖

Fig.1 The topographic map of Beishih Crack Watershed on Neihu Village, Lugu Township, Central Taiwan

2. 發生土石流案例雨量紀錄與分析

行政院農業委員會水土保持局（以下簡稱水保局）公告南投縣鹿谷鄉之土石流潛勢溪流共 14 條（詳見表 2、表 3）。鹿谷鄉土石流潛勢溪流警戒基準值之公告係自震災後才開始施行，公告伊始，因被劃歸為災後重建區，因此公告警戒基準值為 160 mm（水土保持局，2003），其後逐年調整，至 2006 年之公告，全

部已調整為 350 mm（詳見表 3）。警戒基準之參考雨量站為鳳凰遙測氣象站及大鞍遙測雨量站，唯鳳凰站與大鞍站等兩處測站分屬清水溝溪集水區及加走寮溪集水區，由臺灣地區降雨空間分布變異顯著的特性，應以同一集水區系作為分析之依據，方可反映當地之實態；因此，本研究蒐集溪頭氣象站（1990 年設立農業氣象自動觀測系統）、溪頭量水堰（1987 年設立）等兩處測站，從 1987 年設置自記式雨量計起之雨量紀錄，選取侵襲颱風及最大日雨量大於 200 mm 大豪雨事件之樣本，俟降雨結束後，觀察量水堰靜水池之淤積狀態，研判該次大豪雨事件是否激發土石流。各次大豪雨事件相關資料詳列如表 4。雨場之研判，則以降雨前、後 4 小時均無雨量紀錄為切割依據。

表 2 南投縣鹿谷鄉內湖村土石流潛勢溪流詳細資料列表

Table 2 The potential debris flow torrent on Neihu Village, Lugu Township, Nantou Hsien, Central Taiwan

編號	潛勢	村里	溪流名稱	地標
南投 DF139	高	內湖村	北勢溪支流	森林二號橋
南投 DF140	高	內湖村	北勢溪支流	員林客運 汽車站
南投 DF141	高	內湖村	北勢溪支流	員林客運 汽車站
南投 DF142	高	內湖村	北勢溪支流	明山飯店
南投 DF143	高	內湖村	延平溪支流	大仁橋
南投 DF144	高	內湖村	延平溪支流	大孝橋
南投 DF145	高	內湖村	延平溪支流	正義橋
南投 DF146	高	內湖村	延平溪支流	奮鬥橋
南投 DF147	高	內湖村	溪頭	和平橋， 開山廟

資料來源：水土保持局土石流防災資訊網(2010)，
<http://fema.swcb.gov.tw>。

3. 量水堰流量

上游森林集水區溪流流量之測定，可於溪流水路之垂直方向興築量水堰，藉由流水自堰口上方溢流產生不同水位變化，再以水位—流量率定曲線，間接推算逕流流量或土石流流量（陳信雄，2006）。溪頭試驗集水區為一面積僅 61.80 ha 的小型集水區，於 1987 年設置量水堰，採三角型堰口；囿於經費，以回歸週期 100 年最大日雨量為設計基準，推算最大逕流

量為 $21.0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ，據之計算得到理想的量水堰口的尺寸分別為： $H=2.60 \text{ m}$ ， $B_1=B_2=1.40 \text{ m}$ ， $h=1.20 \text{ m}$ ；堰口角度 θ 為 90° （陳信雄、陳明杰，1986）。三角形堰口計算流量的公式為（陳信雄，2006）：

表 3 南投縣鹿谷鄉土石流潛勢溪流警戒基準值

Table 3 Rainfall Threshold Value of Debris Flow Disaster on Lugu Township, Nantou Hsien, Central Taiwan

座落行政區	潛勢溪流數	參考雨量站 1	參考雨量站 2	警戒基準值
鹿谷鄉內湖村	9	鳳凰	大鞍	350
鹿谷鄉永隆村	1	鳳凰	大鞍	350
鹿谷鄉竹林村	1	鳳凰	大鞍	350
鹿谷鄉和雅村	5	鳳凰	大鞍	350
鹿谷鄉初鄉村	1	鳳凰	大鞍	350
合計	17 條			

資料來源：水土保持局土石流防災資訊網(2010)，<http://fema.swcb.gov.tw>。

$$Q = \frac{8}{15} C \sqrt{2g} H^{\frac{5}{2}} \quad (1)$$

公式(1)中：

Q：逕流（或土石流）流量， m^3s^{-1} 。

C：流量係數。

g：重力加速度， 9.8 ms^{-2} 。

H：逕流水位離堰口之高度（水位高），m。

流量係數 C，可應用下列經驗公式求算（陳信雄，2006）：

$$C = 0.565 + \frac{0.008}{\sqrt{H}} \quad (2)$$

本研究選取自 1987 年設置量水堰起，迄 2007 年為止，日雨量大於 200 mm 之大豪雨事件以及此期間襲臺颱風事件雨量紀錄、水位紀錄與事件發生後之照片，推判是否發生土石流災害；根據留存的紀錄，統計分析 1996 年賀伯颱風、2001 年桃芝颱風、2006 年六九水災及 2007 年柯羅莎颱風等四件土石流事件之洪峰流量及發生時間，進而推判該四件事件激發土石流災害之發生時間、激發土石流災害之累積雨量。

三、結果與討論

1. 激發土石流災害之降雨事件

根據交通部中央氣象局網站所公告，於 2004 年 11 月 25 日修訂之「大雨」及「豪雨」之定義，24 小時累積雨量達 200 毫米以上稱之為大豪雨 (torrential rain)（中央氣象局，2009）。本研究遂蒐集溪頭地區 1987（設置量水堰之年份）~2007 年最大日雨量（每日 0:01~24:00 累計值）大於 200 mm 達到大豪雨之事件，經統計共達 15 次；其發生日期與時間、最大日雨量（每日 0:01~24:00 累計值）、最大 24 小時雨量（24 小時內累計最大值）、最大時雨量、總雨量及降雨時數等資料詳列如表 4。15 次大豪雨事件中，激發土石流之降雨氣象事件分別為 1988 年八一四水災、1989 年莎拉颱風、1990 年楊希颱風、1996 年賀伯颱風、2001 年桃芝颱風、2006 年六九水災及 2007 年柯羅莎颱風等，共計 7 次，唯僅剩 1996 年以後之資料留存可供分析；各次事件所激發土石流危害堆積情形、及部份災後重建情形，詳如照片 1~11。



照片 1 1988 年八一四大豪雨事件侵襲期間溪頭量水堰遭土石流入侵堆積

拍攝日期：1988 年 8 月 15 日 拍攝人：魏聰輝

Pic.1 The debris flow heap on Sitou experimental weir after torrential rain event in August 14 1988



照片 2 1988 年八一四水災災後之溪頭量水堰

拍攝日期：1989 年 2 月 1 日 拍攝人：魏聰輝

Pic.2 The reconstructed Sitou experimental weir after torrential rain event in August 14 1988



照片 3 1989 年莎拉颱風（九一二水災）侵襲期間溪頭量水堰遭土石流入侵堆積

拍攝日期：1989 年 9 月 13 日 拍攝人：魏聰輝

Pic.3 The debris flow heap on Sitou experimental weir after Sarah typhoon in September 12 1989



照片 6 1996 年賀伯颱風侵襲期間溪頭量水堰遭土石流入侵堆積

拍攝日期：1996 年 8 月 4 日 拍攝人：魏聰輝

Pic.6 The debris flow heap on Sitou experimental weir after Herb typhoon in July 31 1996



照片 4 1990 年楊希颱風侵襲期間溪頭量水堰遭土石流入侵堆積

拍攝日期：1990 年 9 月 2 日 拍攝人：魏聰輝

Pic.4 The debris flow heap on Sitou experimental weir after Yancy typhoon in August 19 1990



照片 7 2001 年桃芝颱風侵襲期間溪頭量水堰遭土石流入侵堆積

拍攝日期：2001 年 8 月 4 日 拍攝人：魏聰輝

Pic.7 The debris flow heap on Sitou experimental weir after Toraji typhoon in July 30 2001



照片 5 1990 年楊希颱風災修後之溪頭量水堰

拍攝日期：1991 年 2 月 1 日 拍攝人：魏聰輝

Pic.5 The reconstructed Sitou experimental weir after Yancy typhoon, reconstructed in February 1 1991



照片 8 2001 年桃芝颱風侵襲期間溪頭氣象站觀測坪遭土石流入侵堆積

拍攝日期：2001 年 8 月 4 日 拍攝人：張振生

Pic.8 The debris flow heap on Sitou Agro-meteorological Observatory after Toraji typhoon in July 30 2001



照片 9 2001 年桃芝颱風災後之溪頭量水堰

拍攝日期：2003 年 9 月 22 日 拍攝人：張振生

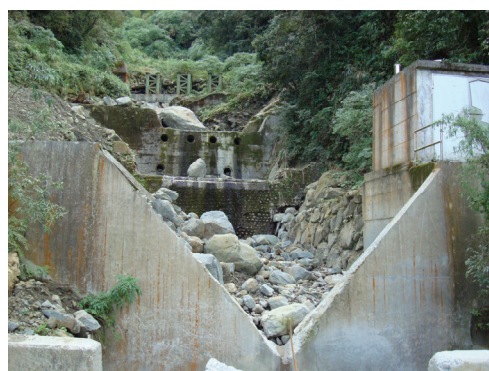
Pic.9 The reconstructed Sitou experimental weir after Toraji typhoon, reconstructed in September 22 2003



照片 10 2006 年六九大豪雨事件（六九水災）侵襲期間溪頭量水堰遭土石流入侵堆積

拍攝日期：2006 年 6 月 14 日 拍攝人：魏聰輝

Pic.10 The debris flow heap on Sitou experimental weir after torrential rain event in June 9 2006



照片 11 2007 年柯羅莎颱風侵襲期間溪頭量水堰遭土石流入侵堆積

拍攝日期：2008 年 1 月 20 日 拍攝人：魏聰輝

Pic.11 The debris flow heap on Sitou experimental weir after Krosa typhoon in October 6 2007

由表 4 之統計資料顯示，激發土石流的大豪雨事件，集水區所承受的最大日雨量除莎拉颱風為 445.5 mm，其餘亦均大於 450 mm；最大 24 小時雨量均大於 450 mm。此外，兩種統計介量值均相當接近於總雨量；僅六九水災之最大 24 小時雨量與總雨量差距較大，該次降雨類型為梅雨季節常見之雷雨胞所狹帶之豪雨，惟最大日雨量與最大 24 小時雨量相同，均已達到 471.5 mm。

以降雨強度而言，時雨量大於 50 mm 為一需重視的統計介量，發生土石流危害之事件中，除六九水災只有一小時大於 50 mm，其餘各次之事件均有兩次以上之時雨量大於 50 mm。其餘如 1992 年寶莉颱風、1994 年道格颱風、1998 年奧托颱風、2004 年敏督利颱風、2004 年艾利颱風、2005 年海棠颱風、2005 年泰利颱風與 2007 年碧利斯颱風等各次事件，均因侵襲期間內，最大時雨量未達 50 mm，或已達 50 mm（例如道格颱風及敏督利颱風），但因高強度降雨時段分散，以致未激發土石流危害。

1996 年賀伯颱風所挾帶的豐沛雨量，締造了溪頭地區（甚至是轄區內所有氣象站）的降雨紀錄，其中最大時雨量 110.0 mm，最大 24 小時雨量 1,099.0 mm（1986 年 7 月 31 日 12:00~8 月 1 日 11:00），最大日雨量 655.5 mm（1986 年 8 月 1 日），超越溪頭地區 50 年機率年日雨量，總雨量達 1,257.5 mm，其中 7 月 31 日 23:00~8 月 1 日 06:00 連續 8 小時降雨量超過 50 mm；有 2 個小時甚至超過 100 mm，高強度且長延時之集中降雨，致所有溪流不及宣洩，逕流合併土石崩塌形成土石流，是造成賀伯颱風災害的最主要原因。

2001 年桃芝颱風所挾帶的豐沛雨量，在北勢溪集水區，締造多項的降雨紀錄；臺大實驗林設置於溪頭地區所有觀測儀器，均因土石流危害而中斷，僅剩溪頭氣象站觀測坪遭土石流入侵堆置（2001 年 7 月 30 日 6:50）前之紀錄可資應用（詳見照片 13）；另外，中央氣象局設置於溪頭天文臺的遙測雨量站仍維持觀測功能，但該站因植被之遮蔽，觀測數值有待確認；因此，2001 年 7 月 31 日 7:00 以後之時雨量觀測值，係應用鄰近之鳳凰遙測雨量站之資料施行正比法補遺。颱風侵襲期間，最大時雨量 107.4 mm，最大 24 小時雨量（2001 年 7 月 30 日 24:00~7 月 31 日 23:00）與總雨量同為 614.7 mm，最大日雨量 600.5 mm（2001 年 7 月 31 日）；7 月 31 日 06:00~9:00 連續 4 小時及 11:00 共 5 小時之降雨量超過 50 mm，

其中 4 個小時 (07:00~10:00) 均超過 80 mm。

2006 年六九水災係 15 次大豪雨事件中，唯一屬於梅雨降雨類型；2006 年 5 月下旬至 6 月中旬，梅雨鋒面徘徊臺灣上空，滯留鋒面影響期間常伴隨雷雨，並有出現局部性大雨或豪雨，以 6 月 9 日及 10 日最為顯著。本次大豪雨事件總雨量為 791.0 mm，最大 24 小時雨量 (2006 年 6 月 9 日 01:00~6 月 9 日 24:00) 與最大日雨量 (2006 年 6 月 9 日) 同為 471.5 mm；降雨時數達 74 小時。2006 年 6 月 9 日 5:00~13:00 共 9 小時之累積雨量達 294.0 mm，集中而高強度降雨之現象，為本類降雨型態在溪頭地區少見之記錄。

2007 年柯羅莎颱風是當年 10 月最主要的降水系統，颱風侵襲期間，以阿里山為本次颱風為大豪雨集中地區；颱風侵襲期間總雨量為 672.5 mm，最大 24 小時雨量 636.5 mm (2007 年 10 月 6 日 8:00~10 月 7 日 7:00)、最大日雨量 (2007 年 10 月 6 日) 為 516.5 mm。

2004 年敏督利颱風是一個比較特殊的事件，颱風侵襲期間總雨量為 861.0 mm，最大 24 小時雨量 500.0 mm (2004 年 7 月 2 日 8:00~7 月 3 日 7:00)、最大日雨量 (2004 年 7 月 3 日) 為 331.0

mm。時雨量大於 50 mm 之時數達 2 小時，其統計介量均已達到溪頭地區發生土石流之統計值，卻未發生土石流危害，可以認為係自桃芝颱風後，共投資高達三億新台幣之經費實施整治工程，自整治工程完竣後，敏督利颱風為首次遭逢之大豪雨事件，發揮防治之效果，因此並未傳出重大災情。另一原因為高強度降雨並未集中發生，雖然時雨量大於 50 mm 之時數達 2 小時，但分別發生於 7 月 3 日 2:00 及 7 月 4 日 9:00，最大 24 小時雨量雖然達到 500.0 mm，但僅 7 月 3 日 2:00 時雨量為 50.0 mm，其餘時段之時雨量均小於或等於 35 mm，圖 3 為敏督利颱風侵襲期間之降雨延時與逕流歷線圖，顯示了降雨較為分散的情形。

2. 量水堰逕流歷線

溪頭試驗集水區量水堰雖設立於 1987 年，然而留存可供分析之流量紀錄，僅剩賀伯、敏督利、柯羅莎等三次颱風及六九水災等共四次大豪雨事件之樣本，因此應用公式(1)計算逕流量，同時蒐集雨量紀錄，統計其對應之時雨量，另累計時雨量，並據之繪製降雨延時、累計雨量延時與逕流歷線相關圖如圖 2~5。

表 4 溪頭地區大豪雨事件一覽表 (1987-2007)

Table 4 The detail list of torrential rain events from 1987 to 2007 on Sitou Region, Lugu Township, Nantou Hsien, Central Taiwan

事件	日期	降雨型態	最大日雨量 (mm)	日期	最大 24 小時雨量 (mm)	最大時雨量 (mm)	總雨量 (mm)	降雨時數	激發土石流	>50mm 時數	觀測紀錄留存
八一四	1988/8/13~14	熱帶氣旋	480.5	1988/8/14	494.0	54.5	537.5	32	■	2	
莎拉	1989/9/11~13	颱風	445.5	1989/9/13	674.0	65.5	801.5	55	■	3	
楊希	1990/8/18~22	颱風	618.0	1990/8/19	689.5	71.0	866.0	75	■	3	
寶莉	1992/8/29~31	颱風	267.5	1992/8/30	332.5	39.0	386.0	44		0	
道格	1994/8/7~9	颱風	333.5	1994/8/8	379.0	50.0	544.0	43		1	
賀伯	1996/7/31~8/1	颱風	655.5	1996/8/31	1,099.0	110.0	1,257.5	41	■	8	●
奧托	1998/8/4~5	颱風	274.0	1998/8/4	287.5	81.0	289.0	22		2	●
桃芝	2001/7/29~30	颱風	600.5	2001/7/30	614.7	107.4	614.7	20	■	5	*
敏督利	2004/7/2~4	颱風	331.0	2004/7/2	500.0	56.0	861.0	58		2	●
艾利	2004/8/23~25	颱風	317.5	2004/8/24	370.5	48.0	636.0	49		0	●
海棠	2005/7/17~20	颱風	344.0	2005/7/19	347.0	36.0	632.0	75		0	●
泰利	2005/8/31~9/1	颱風	296.0	2005/9/1	355.0	43.5	381.5	32		0	●
六九	2006/6/8~11	梅雨	471.5	2006/6/9	471.5	54.0	791.0	74	■	1	●
碧利斯	2006/7/13~15	颱風	250.5	2006/7/14	328.5	28.5	482.0	56		0	●
柯羅莎	2007/10/6~7	颱風	516.5	2007/10/6	636.5	55.5	672.5	38	■	2	●

■：該次大豪雨事件激發土石流災害；

●：該次大豪雨事件之降雨量、水位資料仍留存可供判讀；

*：溪頭地區所有觀測儀器均因土石流災害而中斷，2001 年 7 月 31 日 07:00 以後雨量資料，應用鄰近之鳳凰遙測雨量站之資料施行正比法補遺。

賀伯颱風之流量雖留存可資應用，但紀錄停留在 1996 年 7 月 31 日 23:40（詳見照片 12），可據以推判該時間點為土石流入侵堆置；據之分別統計、分析及繪製累積雨量與逕流量歷線如圖 2。

桃芝颱風侵襲期間，溪頭地區所有觀測儀器，均因土石流災害而中斷，量水堰儀器房及觀測儀器亦於本次危害遭沖失，溪頭氣象站觀測坪遭土石流入侵堆置而摧毀，僅剩氣象站儀器房之紀錄可資應用，根據留存之紀錄（詳見照片 13），觀測資料於 2001 年 7 月 30 日 6:50 中斷，推判即為氣象站觀測坪遭土石流入侵堆置之時間點。據之統計繪製降雨延時與累計雨量歷線如圖 6。

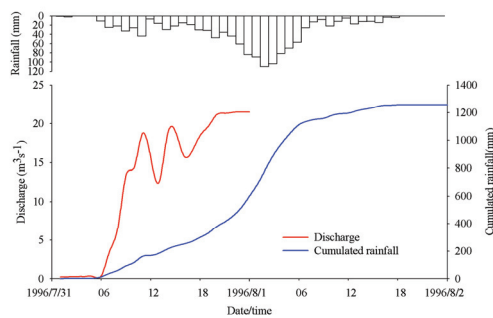


圖 2 賀伯颱風侵襲期間之降雨延時、累計雨量與逕流歷線

Fig.2 The hourly rainfall, cumulated rainfall and runoff hyetograph during Herb typhoon impact period

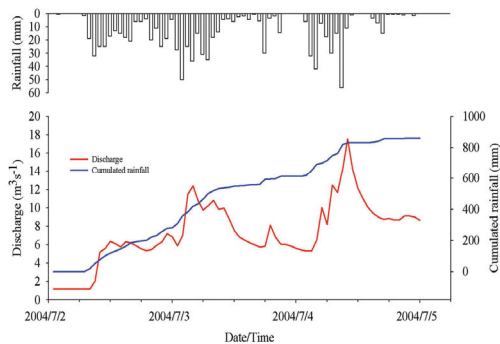


圖 3 敏督利颱風侵襲期間之降雨延時、累計雨量與逕流歷線

Fig.3 The hourly rainfall, cumulated rainfall and runoff hyetograph during Mindulle typhoon impact period

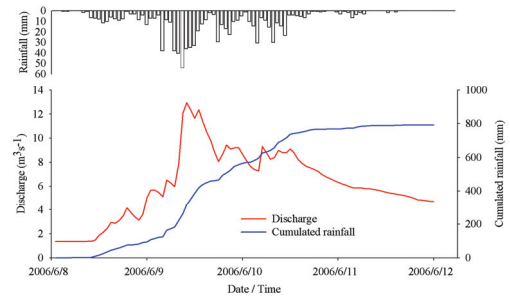


圖 4 六九大豪雨事件（六九水災）侵襲期間之降雨延時、累計雨量與逕流歷線

Fig.4 The hourly rainfall, cumulated rainfall and runoff hyetograph during torrential rain event impact period in June 9 2006

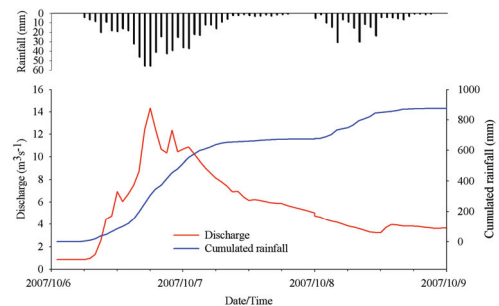


圖 5 柯羅莎颱風侵襲期間之降雨延時、累計雨量與逕流歷線

Fig.5 The hourly rainfall, cumulated rainfall and runoff hyetograph during Krosa typhoon impact period

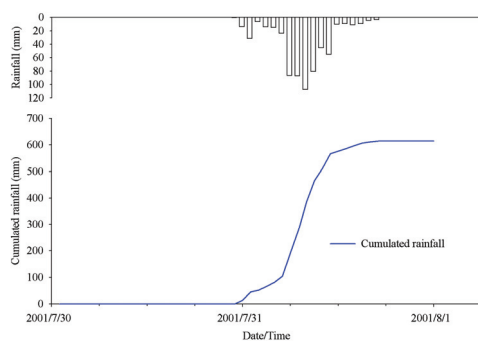


圖 6 桃芝颱風侵襲期間之降雨延時與累計雨量
Fig.6 The hourly rainfall and cumulated rainfall hyetograph during Toraji typhoon impact period

六九水災及柯羅莎颱風侵襲期間，難於推判土石流確切入侵堆置之時間點，遂假設於逕流量峰值之時間點，由峰值時間點，反推激發土石流危害之累計臨界雨量。

表 5 為激發土石流危害之臨界雨量、降雨時數與逕流量統計值；賀伯颱風之洪峰值為 $21.52 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ 、臨界雨量為 602.0 mm ，此一洪峰流量略大於 1986 年最大逕流量之推算值 $21.0 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ （陳信雄、陳明杰，1986）。桃芝颱風激發土石流危害之臨界雨量為 278.2 mm ；六九水災之洪峰值為 $13.65 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ 、臨界雨量為 262.0 mm ；柯羅莎颱風之洪峰值為 $15.05 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ 、臨界雨量為 308.0 mm 。

3. 九二一地震對於土石流災害之影響

以下引用裝設於溪頭試驗集水區量水堰水位紀錄，於賀伯颱風侵襲期間，所觀測得到的水位資料，以及溪頭氣象站，在桃芝颱風侵襲期間，所觀測得到的降雨量資料，分析地震對於土石流災害的影響。

(1) 致災時間提早

觀察溪頭量水堰水位觀測紀錄，九二一震災前的賀伯颱風，水位觀測於 1996 年 8 月 1 日 23:40 記錄中斷（詳見照片 12），推判係因土石入侵堆積於靜水池所造成；對照雨量紀錄，降雨係始自 7 月 31 日 01:00，據此推算，8 月 1 日 00:00~8 月 1 日 23:40 連續 23.6 小時之降雨，方激發土石流。桃芝颱風則可由溪頭氣象站觀測坪遭土石流堆積，致使記錄於 2001 年 7 月 31 日 6:50 中斷時間點（詳見照片 13）而加以推判，降雨始自 7 月 29 日 23:00，亦即 7 月 30 日 23:00~7 月 31 日 06:50 連續 8.5 小時降雨，即已激發土石流。推算兩項紀錄之降雨時間，震災後激發形成土石流的時間提早 15.1 小時。

(2) 致災雨量降低

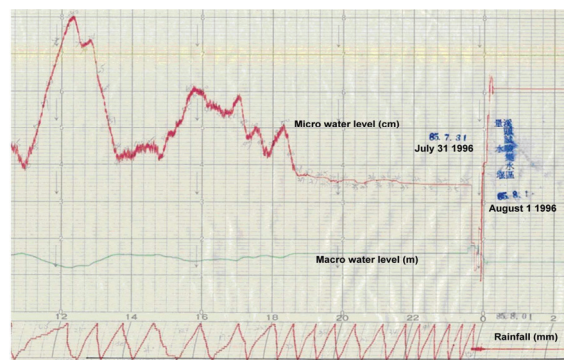
統計賀伯颱風侵襲期間，溪頭量水堰 1996 年 7 月 31 日 01:00~7 月 31 日 23:40 等計 23.6 小時之時雨量值，降雨量合計為 602.0 mm ；桃芝颱風侵襲期間，溪頭氣象站 2001 年 7 月 29 日 23:00~7 月 30 日 06:50 等計 8.8 小時之時雨量值，降雨量合計為 278.0 mm ，兩相比較下，激發形成土石流的降雨量，地震後較地震前減少 324 mm 。

4. 激發土石流事件之臨界降雨量提高之探討

經過多次的大豪雨事件對於土石料源之搬移，激發土石流之累計雨量已逐漸提高，至 2007 年 10 月 6 日柯羅莎颱風，激發土石流之累計雨量已提高為 308 mm 、洪峰流量為 $15.05 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ 。考其原因，可以認為係九二一地震所引發的崩落土砂堆積於上游河道，致使地震後的降雨事件僅需堆積土砂與逕流匯合即可發生土石流；歷經幾次大豪雨，原崩落且堆積於河段之土砂逐漸運移至下游，殘留於集水區上游之土砂逐漸減少，激發土石流之累計雨量遂需提高。

四、結 論

蒐集溪頭地區自 1987 年設立自記式雨量計起，至 2007 年為止，歷次颱風侵襲及最大日雨量大於 200 mm 共計 15 場次之大豪雨事件，對照溪頭試驗集水區量水堰留存之水位紀錄，分析激發土石流危害時量水堰逕流峰流量，以洪峰之發生時間，推算激發土石流之累計雨量、降雨時數等統計值。結果顯示九二一震災前，激發土石流之洪峰流量為 $21.52 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ 、累計雨量達 602.0 mm 、降雨時數為 23.6 小時。震災後，累計雨量僅 278.2 mm 、降雨時數為 8.8 小時，即已激發土石流危害。隨時間之進程，土石料源經多次大豪雨所引發洪水之搬移而減少或逐漸穩定，激發土石流之累計雨量已提高為 308 mm 、洪峰流量為 $15.05 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ 。



照片 12 1996 年賀伯颱風侵襲期間溪頭量水堰水位降雨量紀錄，紀錄停止於 1996 年 7 月 31 日 23:40

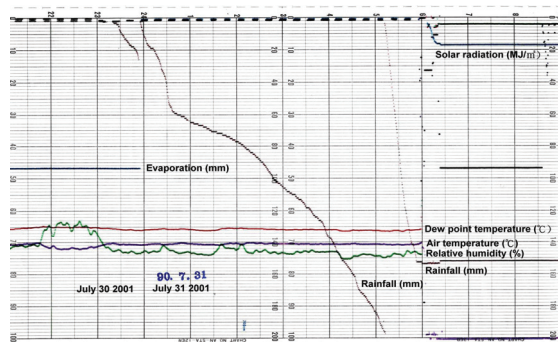
Pic.12 The record of rainfall and discharge level on Sitou experimental weir during Herb typhoon impact period, record ceased at 23:40 July 31 1996

表 5 激發土石流危害之臨界雨量、降雨時數與逕流量

Table 5 The debris flow disaster triggered rainfall threshold value, rainfall hours and runoff

事件	逕流峰流量 (m^3s^{-1})	累計雨量 (mm)	發生時間	激發土石流 之降雨時數
1996 年賀伯颱風	21.52	602.0	1996/7/31 23:40	23.6
2001 年桃芝颱風		278.2*	2001/7/30 6:50	8.8
2006 年六九水災	13.65	262.0	2006/6/9 9:10	27.2
2007 年柯羅莎颱風	15.05	308.0	2007/10/6 18:10	13.2

*：2001 年 7 月 31 日 07:00 以後雨量資料，應用鳳凰遙測雨量站之資料施行正比法補遺。



照片 13 2001 年桃芝颱風侵襲期間溪頭氣象站六種氣象要素紀錄，紀錄停止於 2001 年 7 月 31 日 6:50

Pic.13 The record of 6 meteorological elements on Sitou Agro-meteorological Observatory during Toraji typhoon impact period, record ceased at 6:50 July 31 2001

<http://fema.swcb.gov.tw>。

王隆昌 (2005)，「溪頭地區坡地型土石流地形及發生特性研究」，國立成功大學地球科學研究所碩士論文，pp.96。

中央氣象局 (2009)，「交通部中央氣象局 93 年 11 月 25 日修訂之『大雨』及『豪雨』定義」，<http://www.cwb.gov.tw/V6/observe/rainfall/define.htm>

張石角 (1992)，「臺大實驗林溪頭森林遊樂區環境地質之調查研究」，中華民國環境地質學會，pp.17。

陳信雄 (2006)，「森林水文學」，明文書局，臺灣臺北，pp.523。

陳信雄、陳明杰 (1986)，「森林對防洪與水資源保育效益之研究 (一)」，國科會專題研究計畫成果報告 NSC74-0409-B002-46，pp.48。

楊蔚宇 (1997)，「溪頭森林集水區伏流水之研究」，國立臺灣大學森林學研究所博士論文，pp.145。

五、引用文獻

水土保持局 (2003)，「92 年土石流年報」，<http://fema.swcb.gov.tw/School/school-annualreport.asp>。

水土保持局 (2005)，「94 年土石流年報」，<http://fema.swcb.gov.tw/School/school-annualreport.asp>。

水土保持局 (2010)，「水土保持局土石流防災資訊」，

2010 年 2 月 27 日 收稿

2010 年 7 月 8 日 修正

2010 年 11 月 27 日 接受

(本文開放討論至 2011 年 9 月 30 日)