地理學報　第四十八期：43-65 (2007)
JOURNAL OF GEOGRAPHICAL SCIENCE (48) : 43-65 (2007)

曾文溪流域豪大雨事件的流量及輸沙量

The Discharge and Sediment Load of Heavy Rainfall Events in the Tsengwen River Basin, Southern Taiwan

陳翰霖* 張瑞津**

Han-Lin Chen Jui-Chin Chang

Abstract

Based on historical data, the Tsengwen River has experienced four times channel avulsion over last three hundred years due to abundant sediment supply caused by heavy rainfall events. The channel morphology is controlled by the huge volume of water and sediments. This paper attempts to analyze the proportion of precipitation, discharge and sediment induced by the heavy rainfall events to the annual amount. The data of precipitation and discharge collected from Central Weather Bureau and Water Resource Agency respectively over last 45 years (1959-2004). The amount of sediment load was estimated by the rating curve method.

The result shows that heavy rainfall events (≧50 mm/day), which occurred only 11 days per year on average accounted for about 49% (1,303 mm/yr) of precipitation, 40% (435×10^6 m^3/yr) of runoff and 68% (8.1×10^6 MT/yr) of sediment load to total annual amount. The heavy rainfall occurred in the "Mei-yu" (stationary front) and typhoon season from May to September. The frequency of disastrously torrential rain (≧200mm) in mountainous areas, 1.5 days per year, is higher than 1 day in hilly areas. The highest daily amount of discharge 4,070 CMS and maximum peak of discharge

* 慈濟技術學院通識教育中心助理教授，通訊作者 (e-mail: hanlin@tccn.edu.tw)
Assistant Professor, Tzu Chi College of Technology, Corresponding Author.

** 國立臺灣師範大學地理學系兼任教授
Professor, Department of Geography, National Taiwan Normal University.

7,820 CMS have been recorded for Typhoon Agnes, 1981. And the highest daily sediment was larger than 20 million tons induced by Typhoon Herb in 1996, which occupied 70% of total sediment, mainly supplied mainly from the tributary Tsailiao River, due to the easily eroded silt. This study highlights that the heavy rainfall events have vital influence on the discharge and sediment load in the Tsengwen River.

Keywords: heavy rainfall, discharge, sediment load, Tsengwen River.

摘　要

曾文溪流域豪大雨造成主流下游近三百多年來多次河流改道及洪水災害，影響當地居民生活。本研究蒐集 1959 至 2004 年的雨量及流量資料，分析豪大雨（單日雨量≧50 mm）對河流流量及輸沙量的影響。研究成果得知，曾文溪上游豪大雨頻率平均每年 11 日佔全年平均雨量 49% (1,303 mm)；後崛溪流域豪大雨頻率平均每年 16 日佔全年平均雨量 60% (1,757 mm)；菜寮溪流域豪大雨頻率平均每年 13 日佔全年平均雨量 52% (1,249 mm)。豪大雨事件集中於五至九月份，日數佔全年 95%，主要由颱風及梅雨滯留鋒所引發。山地區發生災難性的大豪雨事件（≧200 mm）頻率均較丘陵區高，前者約 1.5 day/yr，累積雨量佔全年約 20%；後者約 1 day/yr，佔全年平均雨量約 10%。

流量分析顯示豪大雨造成下游流量暴增，豪大雨逕流量佔年平均逕流量比例，主流下游約 40% (4.3 億 m^3)、後崛溪約 45% (1.4 億 m^3)、菜寮溪約 52% (1.0 億 m^3)。1981 年艾妮絲颱風引致豪大雨事件，造成主流下游最大瞬時流量曾高達 7,820 CMS。輸沙量推估顯示豪大雨輸沙量佔年平均輸沙量比例，主流下游約 68% (806 萬噸)、後崛溪約 70% (102 萬噸)、菜寮溪約 81% (691 萬噸)，五月至九月期間佔全年比例高達 99%。曾文溪主流上游雖有曾文水庫攔沙，但因水庫下游支流菜寮溪輸沙量佔總量 70%，水庫雖可蓄洪攔砂，但颱風期間水沙放流以及壩下菜寮溪的高輸沙量，均是主流下游輸沙量依然偏高的原因。若加計水庫豪大雨淤積量，則主流下游、後崛溪、菜寮溪的豪大雨輸沙比例將分別提升為 72%、80%、88%。豪大雨事件對不同地質區造成的輸沙量影響有所不同，菜寮溪流域多泥岩地質區，故豪大雨輸沙量佔全年平均比例較高，充分證明豪大雨對泥岩地質區的影響十分顯著。

關鍵字：豪大雨、流量、輸沙量、曾文溪

緒　論

自十七世紀末以來，臺灣西南部海岸平原即以洲潟海岸地形著稱，其後歷經近四百年演變，河流帶來大量輸沙並造成內海水域逐漸淤積，河道多次氾濫改道，海岸平原地形環境產生明顯變遷，影響當地居民生活至鉅，其中以曾文溪的河道地形變遷影響最大。根據歷史文獻資料顯示，明末清初時期，曾文溪主流河道過麻豆後，轉向西北經佳里由溫汪溪（現將軍溪）河道注入臺灣海峽。但因道光三年（1823）七月大風雨，曾文溪挾帶大量水沙改道流入臺江內海，泥沙驟漲俱成陸埔，並導致內海港道逐

漸淤積荒廢 [1]，其後曾文溪再因洪水而改道的記載共計有四次 (張瑞津等，1996)。另外，臺灣西南部海岸平原主要河流如八掌溪、急水溪、鹽水溪、二仁溪等河流，三百多年來也分別發生過 1 至 5 次的大規模改道 (張瑞津等，1997)，透過文獻資料可知，豪大雨事件引發臺灣西南部河流流量暴漲及輸沙量大增，是造成地形變遷及其災害的主要原因。

即便是二十世紀末許多水利設施陸續完成後迄今，歷次豪大雨事件仍然對曾文溪下游地區造成嚴重的災害，如 1981 年 9 月 3 日艾妮絲颱風 (Agnes) 引進強盛西南氣流，致使河川水位暴漲，嘉南地區積水嚴重並造成 35 人傷亡、房屋全倒 97 間、半倒 78 間，災民達 11,412 人 (中央氣象局，1983)，曾文溪下游西港大橋測得最大瞬時流量達 7,820 CMS。若能深入了解曾文溪流域的豪大雨規模及其發生頻率的特性，將有助於河流地形演育的研究與區域防災規劃的參考。

有關豪大雨事件對環境影響的相關研究，劉長齡等 (1985) 曾就臺灣西南部泥岩地區進行坡地沖蝕逕流與地下水的研究，得知豪大雨的砂土坡地破壞主要由地下水滲流及逕流沖刷所造成。陳泰然 (1988) 研究 1960 至 1984 年間梅雨季豪雨事件的空間特性，得知臺灣梅雨季豪大雨日數以阿里山最多，而阿里山至臺南間呈東北－西南向的區域則是發生頻率最高的主軸。陳泰然 (1994)、陳泰然與林宗嵩 (1997) 探討臺灣地區梅雨季豪雨的發生機制，認為梅雨鋒面帶來的豪雨是災變天氣的主要原因，豪雨頻率以高山區最高，地形效應扮演重要的角色。陳泰然與王重傑 (2004) 利用地面降雨資料，分析 1993 至 1998 年 5 至 6 月中央山脈以西各地區豪大雨出現機率、降雨機率及降雨強度的氣候特徵，發現中央山脈西側迎風面受西南氣流增強及山區地形抬升，導致豪大雨量、降雨強度均顯著增強。陳正改 (1995) 統計 1961 至 1991 年間臺灣地區豪雨造成的農業災害，平均每年發生 3.3 次，造成平均每年農業損失 9.2 億新臺幣 (折合 1991 年實質貨幣)，而其中五、六月份的梅雨季佔全年豪雨總災害金額 54%。陳正改 (1997) 探討 1996 年賀伯颱風期間臺灣各地降雨的時空分布特性及其歷程，得知阿里山區是最大的豪雨中心，測得連續 24 小時累積雨量 1,749 mm 創下臺灣歷史紀錄，兩日累積雨量 1,987 mm 約為平均年雨量 4,107 mm 的一半。颱風環流雨帶加上氣流輻合、地形抬升，造成降雨強度高、降雨延時長、累積雨量多的超大豪雨。劉昭民等 (1999) 歸納臺灣地區豪雨產生的天氣因素，得知造成豪雨的原因主要有六項：(1) 春季冷鋒過境；(2) 五、六月梅雨鋒面南下；(3) 颱風本身的豪雨；(4) 颱風北上引進強盛西南氣流；(5) 夏季臺灣附近海面上低氣壓引進強盛西南氣流；(6) 熱帶氣旋與極地冷高壓共伴環流所產生的豪雨。其中除了第一類發生於春季，第六類發生於秋末冬初外，二至五類均發生於五至九月份。曾建貴等 (2002) 統計賀伯颱風豪雨，造成 536 人死傷，1,383 棟房屋毀損，1,315 處山崩及十億美元以上的財產損失。林孟龍與林俊全 (2003) 分析蘭陽溪上游懸移質的生產特性，颱風期間雖然只佔抽樣數的 6.5%，但是期間所輸送的懸移質高達 60%。陳翰霖與張瑞津 (2003) 分析曾文水庫興建前後對河流流量的影響，得知水庫興建確實造成下游每年日平均流量大於 400 CMS 的日數由 7.4 日降為 5 日，洪患規模及頻率均大幅降低；同時也認為豪大雨事件造成曾文溪各年逕流量及輸沙量暴增的現象。

然而，有關豪大雨事件的規模、規律性，及其對河流地形環境的長期影響為何，則是過去研究較少提及的。因此本研究採用文獻分析、野外實察、統計分析等方法，參考中央氣象局及經濟部水利署相關測站的歷年雨量及流量資料，並推估曾文溪主支流下游歷年日輸沙量的變化，以深入探討豪大雨事件長期對河流流量及輸沙量的影響。

研究區概況

曾文溪是臺灣南部第二大河，主流全長 138 km (圖 1)，流域面積 1,177 km^2，河源標高 2,440 m，主流平均坡降 1:57，谷口以上的山地區坡降則達 1:26，坡陡流急。上游集水區地質岩性以中新世及上新世砂岩為主並夾有少數頁岩，且茶山以上多斷層、褶皺及節理，故坡面較不穩定容易崩塌 (張石角，1971)，每遇豪大雨事件往往造成河道水沙俱漲，輸出大量砂土；主要支流菜寮溪因流經易受侵蝕的古亭坑層泥岩區，也造成河流含沙量偏高。根據經濟部水利署水文年報資料顯示曾文溪下游歷年平均輸沙量高達 3,100 萬噸，居臺灣第三位，比輸沙量 26,346 MT/km^2/yr 亦高居全臺第二位。長期輸沙的結果，造成曾文溪下游平原近三百多年來向西堆積進夷。

曾文溪流域位於臺灣梅雨季發生最高的主軸 (陳泰然，1988)。豪大雨事件往往帶來突發性的洪水及輸沙量劇增，也造成清朝以來曾文溪主流下游四次的重要改道，直到 1930 年代河堤興築後，河道才未再發生大幅變遷 (張瑞津等，1996)。根據《水文年報》(經濟部水利署，1959-2004) 及曾文水庫營運維護概況報告相關資料顯示，曾文溪主流上游曾文水庫集水區各氣象站的年平均降雨量為 2,915 mm；主要支流後崛溪流域年平均降雨量則為 2,959 mm，推估曾文溪年平均逕流量約為 23.6 億 m^3，是



圖 1　研究區位置圖

Fig. 1. Location map of study area, Tsengwen River Basin.

臺灣西南部主要水源之一 (經濟部南區水資源局，2000)。但因約有 90% 降雨集中於四月至九月的夏秋兩季，故降水集中常引發洪患災害；而每年十月至隔年三月乾季卻又往往出現供水不足的窘境。

為充分運用曾文溪水資源季節調度，分別於 1930、1973、1994、1980 年興建完成烏山頭水庫、曾文水庫、南化水庫及鏡面水庫，蓄水提供嘉南平原灌溉、民生及工業用途，並兼具防洪功能。其中，除了曾文水庫興建於曾文溪主流外，烏山頭水庫位於官田溪上游，是為引取曾文溪水源的離槽水庫；南化水庫則位於支流後崛溪上，除引用後崛溪水外，也自甲仙附近越域引取旗山溪水源。

研究方法與資料處理

(一) 雨量

為進行豪大雨事件的雨量分析，本研究考量統計資料客觀性，並參考中央氣象局的資料格式 [2]，定義文中「日雨量」為每日 0 時至 24 時之累積雨量，其單日累積雨量達到 50 mm 以上者為「大雨」；達 130 mm 以上者為「豪雨」；達 200 mm 以上者為「大豪雨」；達 350 mm 以上者為「超大豪雨」。因此內文討論之雨量資料並非是連續 24 小時之跨日累積雨量，此為研究現有雨量資料格式之特性及侷限。

另外，曾文溪流域雨量資料受限於缺乏長期測站，故本研究以相鄰雨量測站資料相接續，並以回歸分析法推估補遺後進行分析。資料來源及處理步驟如下：

1. 主流上游雨量 1959 至 1983 年取達邦站作基礎，1984 年起因無達邦雨量資料，故參考馬頭山雨量資料。

2. 1959 至 2004 年期間若再有遺缺者，則參考小公田站雨量資料。

3. 採用線性迴歸分析法分別求取馬頭山站、小公田站與達邦站間的日雨量迴歸方程式 (表 1)。

4. 根據迴歸方程式推估達邦日雨量值進行資料校正補遺，以利後續研究分析。

5. 後崛溪流域取西阿里關測站 1972 至 2004 年日雨量資料為基礎，期間若有遺缺資料者，參考曾文或關山站，同步驟 3.至 4.方法進行補遺。

6. 菜寮溪流域 1972 至 1991 年及 2001 至 2004 年取南化站為基礎，1992 至 2000 年則參考左鎮站進行補遺。

(二) 流量

本研究為進行流量分析，引用水利署歷年《**水文年報**》的日平均流量資料進行分析，其歷年日流量資料係由每年約 20 至 30 次的水位流量實測資料，建立各年水位流量率定曲線後，根據各日水位資料推估各日平均流量。各水文測站資料年份期間如下：曾文溪的西港大橋 1960 至 1981 年，麻善大橋 1982 至 1999 年，新中 2000 至 2004 年；菜寮溪的左鎮 1971 至 2004 年；後崛溪的玉田 1959 至 2004 年。其中西港大橋、麻善大橋及新中等站均為曾文溪主流下游最近河口之測站，且集水面積相當，資料年份相接續，故本研究為便利資料分析處理均以西港稱之。惟新中位於官田溪匯流口上游的曾文溪主流上，平日官田溪上游因有烏山頭水庫引水注入嘉南大圳灌溉平原農田，故官田溪入注曾文溪主流

之流量甚少，故平日流量差異不大，但是在豪大雨期間官田溪或烏山頭水庫放流水極可能造成曾文溪

表 1　曾文溪流域各雨量站校正回歸方程式

Table 1. Calibrated regression equation of rainfall in Tsengwen River Basin.

流域	回歸方程式	相關係數	樣本數	F 檢定值	站名 (資料期間)
主流上游	Pd=0.769×Pm+1.227	0.817	4,732	7492.5**	Pd：達邦日雨量 (1959-1983)
	Pd=0.839×Ps+0.510	0.824	4,748	10034.4**	Pm：馬頭山日雨量 (1984-2004)
					Ps：小公田日雨量 (輔助補遺 1959-2004)
後崛溪	Px=0.92×Pk+0.481	0.945	7,428	22098.4**	Px：西阿里關日雨量 (1972- 2004)
	Px=0.836×Pt+1.595	0.768	7,121	5098.9**	Pk：關山日雨量 (輔助補遺 1972-2004)
					Pt：曾文日雨量 (輔助補遺 1972-2004)
菜寮溪	Pn=0.858×Pj+1.372	0.845	5,416	13474.7**	Pn：南化日雨量 (1972-1991、2001-2004)
					Pj：左鎮日雨量 (輔助補遺 1972-2004)

** 達 $p<0.01$ 顯著水準。

下游流量增加，為新中站無法包含計測之流量；又依據經濟部水利署《臺灣重要河川資料冊》(經濟部水利署，2000) 顯示各頻率年洪峰流量官田溪約為主流新中站附近的 0.07 倍，因此，2000 年以後新中站的曾文溪流量值統一乘以 1.07 以概估包含官田溪的流量。

考量水文洪峰的形成與消退均有連續遞延的現象，故日流量資料若有缺遺者，則以前後期日流量平均值內插填入，以利後續統計分析。同時，本研究考量現有長期流量資料格式精細度僅至日平均流量，並無長期逐時流量資料可供分析。為了解豪大雨事件對流量所造成的影響，故選取豪大雨日後三日內的最高日流量作為該場豪大雨事件日雨量影響的對應日流量，進行後續其他分析 (楊萬全，1993)。因現有長期流量資料僅能取至以日為單位，若將來有更詳細的資料可分析至時流量變化，則對水文長期研究將更有助益。

(三) 輸沙量

本研究引用歷年《水文年報》中的推估日懸移質輸沙量 (MT/day) 與日流量 (CMS) 的資料，採用率定曲線法 (rating curve method) (Crawford, 1991; Ferguson, 1987)，推估曾文溪主流下游及其支流後崛溪及菜寮溪的歷年輸沙量。懸移質輸沙量係由含沙量 (sediment concentration) 取樣推估而得，取樣工具係採用美國標準儀器 DH-48 及 DH-58 型水平式含沙量取樣器，於河流中取樣後帶回室內測得含沙量濃度 (ppm)，以當時流量 (CMS) 乘以含沙量再乘以 86,400 秒，就是取樣推估的當日懸移質輸沙量。再以當年度各次取樣的流量及推估懸移質輸沙量資料求出各年流量輸沙量率定曲線，代入各日平均流量以推估各日懸移質輸沙量 (陳翰霖與張瑞津，2003)。此方法亦為目前國內水利單位所使用且公認為較可行的推估方法，因此，本研究採用此法作為推估之依據。又根據經濟部水利署 (經濟部

水資源統一規劃委員會，1985) 在河床實地取樣分析後，以蕭克立胥 (Schocklitsch) 公式推估臺灣西南部地區推移質輸沙量約為懸移質的 3.5% 至 50.6%，平均值約為 15%，則曾文溪推估總輸沙量與懸移質輸沙量的關係約為：

推估總輸沙量=懸移質輸沙量×1.15

另外，受限於官田溪並未有懸移質取樣資料，故無法推估各年輸沙量，故 2000 年以後新中站的曾文溪輸沙量推估結果可能稍低於原有的麻善大橋及西港大橋站輸沙量值，此亦為現有研究資料的限制。

降雨量特徵

根據各測站的雨量觀測資料可知，曾文溪主流上游平均年雨量為 2,743 mm，支流後崛溪流域年平均雨量 2,916 mm，菜寮溪流域則為 2,392 mm，其中 1959、1972、1977、1979、1990 年雨量偏高，山區年降雨量平均超過 3,500 mm；1964、1971、1980、1993、1995 等年雨量較低均在 1,800 mm 以下。主流上游 1959 至 2004 年間豪大雨總日數共 493 天，單日雨量甚至可超過 500 mm，遠高於歷年平均日雨量 7.3 mm 及濕季 (4 月至 9 月) 平均雨量 12.7 mm。乾季 (10 月至 3 月) 平均日雨量僅 1.8 mm (圖 2)，對照颱風侵襲日期顯示颱風並非豪大雨形成的唯一原因。

為了解年中降雨序列分布情形，本研究描繪豐水年、一般年及枯水年的全年日雨量序列圖以供對

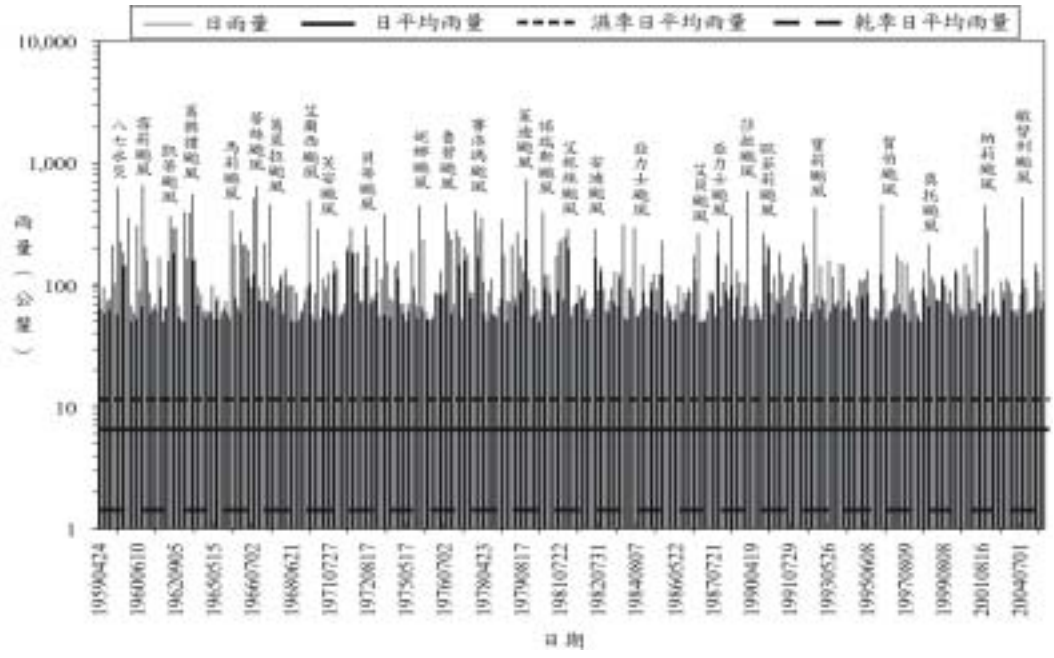


圖 2　曾文溪主流上游歷年豪大雨日雨量及濕季、乾季平均日雨量對照圖

Fig. 2. Average daily rainfall of heavy rainfall events, wet and dry season in upper course of Tsengwen River Basin.

照，其劃分基準以年雨量百分等級 90 以上者 (>3,667 mm) 為豐水年，百分等級 10 以下者 (<1,774 mm) 為枯水年，介於兩者之間者為一般年。分析結果得知，1959、1972、1977、1979 等年均為豐水年，其日平均雨量在濕季約 20.0 mm，乾季約 1.7 mm；1971、1980、1993、1995 等年為枯水年，其日平均雨量濕季約僅 7.9 mm，乾季則約 1.2 mm，顯示本區不僅濕季與乾季的雨量差異極大，豐水年、枯水年及一般年的年中降雨分布亦有極大差異 (圖 3)。各月平均雨量分析也顯示，年降雨量約 90% 集中於每年五月至九月份，尤其每年六月及七月所佔比例均近 20%，八月份平均比例最高約佔全年降雨量 25%。十月至次年三月的半年間雨量約僅 10%，顯示季節性變化很大 (圖 4)。

根據歷年各測站單日降雨量資料，本研究統計每年平均發生豪大雨的頻率 (day/yr)、各等級豪大雨累計雨量，以及累計豪大雨量佔全年平均雨量的比例。分析結果得知，主流上游歷年豪大雨頻率約僅 10.7 day/yr，合計豪大雨量約佔全年平均雨量 49%；後崛溪流域豪大雨頻率約 15.5 day/yr，合計雨量佔年平均雨量達 60%；菜寮溪流域豪大雨頻率每年 12.7 day/yr，合計雨量約達 52% (表 2)。

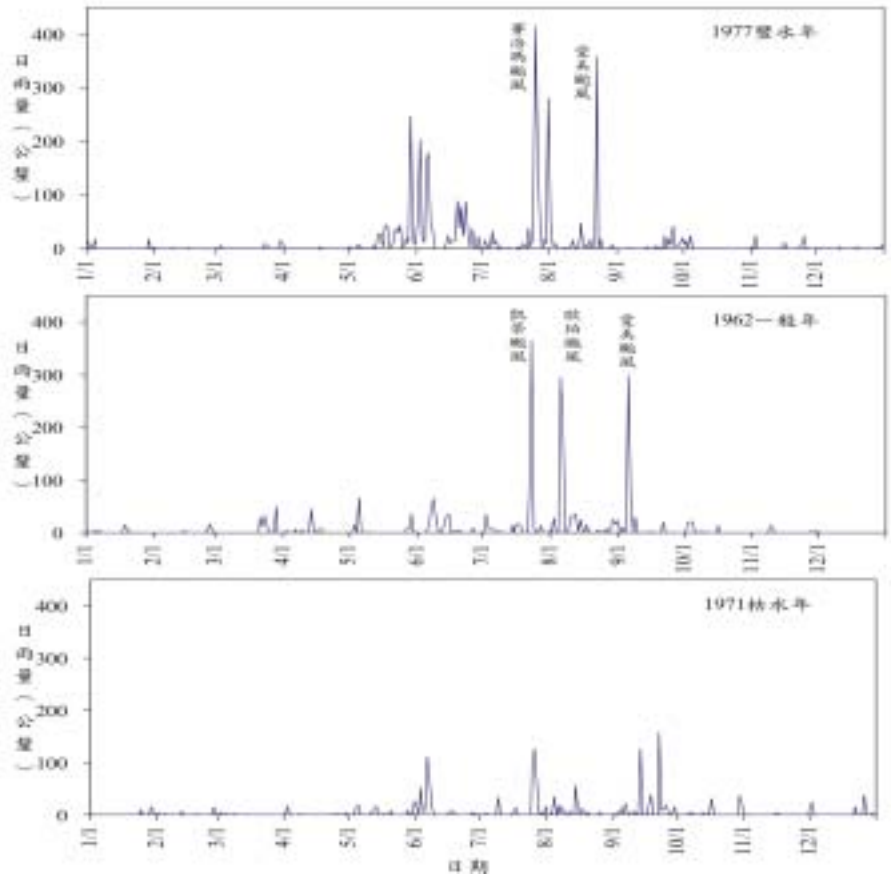


圖 3　豐水年及枯水年的日雨量對照圖

Fig. 3. Daily rainfall of wet and dry year.

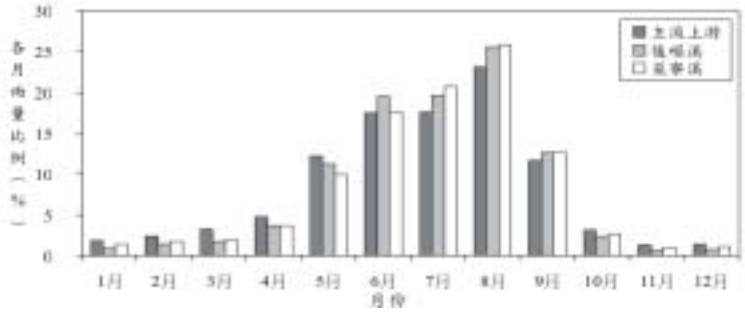


圖 4　各月平均雨量佔全年比例圖

Fig. 4. The percentage of average monthly rainfall.

表 2　曾文溪流域歷年豪大雨日平均發生頻率及累計雨量比例

Table 2. Average frequency and accumulative rainfall of heavy rainfall event in Tsengwen River Basin.

流域	主流上游			後崛溪			菜寮溪		
項目	頻率 (day/yr)	累積雨量 (mm/yr)	佔全年比例 (%)	頻率 (day/yr)	累積雨量 (mm/yr)	佔全年比例 (%)	頻率 (day/yr)	累積雨量 (mm/yr)	佔全年比例 (%)
大雨	8.0	603	22.5	11.8	898	30.8	10.2	767	32.0
豪雨	1.3	203	7.6	1.8	282	9.7	1.6	255	10.7
大豪雨	0.9	237	8.9	1.5	405	13.9	0.8	193	8.0
超大豪雨	0.5	260	9.7	0.4	172	5.9	0.1	39	1.6
合計	10.7	1,303	48.7	15.5	1,757	60.2	12.7	1,249	52.3

資料來源：本研究統計。

若再以各等級豪大雨觀之，超大豪雨的發生頻率主流上游為 0.5 day/yr，累計雨量佔全年 9.7%；後崛溪及菜寮溪流域的超大豪雨頻率則分別為 0.4 day/yr 及 0.1 day/yr，各佔全年雨量比例分別為 6%及 1%。大雨等級雖不致造成重大災害，但其頻率達 8 day/yr，平均累積雨量約為豪大雨量的 1/2，顯示大雨對河流環境的影響仍值得注意。

達大豪雨規模以上等級 (≧200 mm) 的發生頻率，主流上游與後崛溪分別為 1.4 day/yr 及 1.9 day/yr，累積雨量佔全年均達 18%；丘陵區的菜寮溪流域約僅 0.9 day/yr，佔全年雨量比例 9.6%，顯示山區大豪雨以上等級日數及累計雨量比例明顯多於丘陵區。根據各月資料分析顯示，六月及八月豪大雨發生日數比例各佔全年約達 25%，且五月至九月豪大雨發生日數累計佔全年 96% (圖 5)，顯示豪大雨事件高度集中於夏、秋之間。

根據歷年各流域雨量測站的日雨量資料分析得知，日平均雨量主流上游為 7.3 mm，後崛溪流域為 7.9 mm，菜寮溪流域為 6.6 mm，變異係數 (coefficient of variation) 依序為 3.79、3.72 及 3.36，顯示主流上游山區單日豪大雨量的變化程度高於丘陵區。歷史紀錄單日最大降雨量主流上游為 746 mm，後崛溪流域為 585 mm，菜寮溪流域為 466 mm，山區超大豪雨事件之極端雨量顯著高於丘陵區的菜寮溪流域 (表 3)，顯示山區地形抬升影響降雨量較高。歷年單日最大雨量，主流上游普遍介於 200 mm 至 600 mm 之間，後崛溪流域普遍介於 200 mm 至 500 mm 之間，菜寮溪流域則介於 150 mm 至 350 mm 之間 (圖 6)。

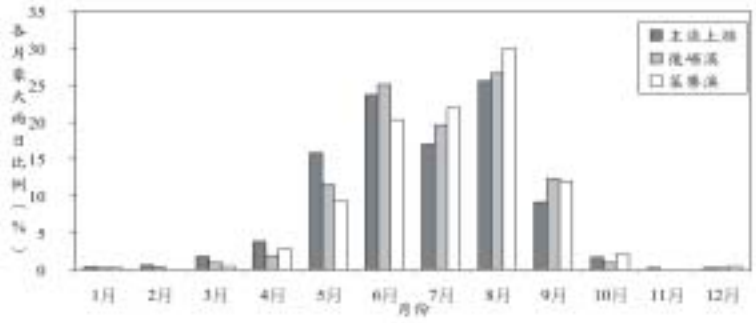


圖 5　各月平均豪大雨日數比例圖

Fig. 5. The percentage of monthly heavy rainfall days.

表 3　曾文溪流域歷年日雨量特徵統計表

Table 3. Statistical data of daily rainfall in Tsengwen River Basin.　雨量單位：mm

雨量站	最大值	平均值	變異係數	p75	P90	P99	P99.9	樣本數
主流上游達邦	746	7.3	3.79	3.00	17.18	104.54	403.25	16,803
後崛溪西阿里關	585	7.9	3.72	2.00	20.05	129.96	339.90	12,053
菜寮溪南化	466	6.6	3.36	1.50	16.39	106.90	257.29	12,053

說明：變異係數＝標準差÷平均數。

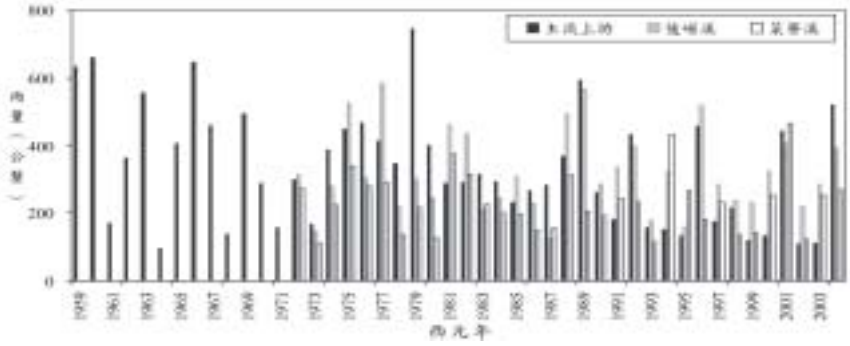


圖 6　歷年最大單日雨量圖

Fig. 6. Maximum daily rainfall record of each year from 1959 to 2004.

根據歷年最大單日降雨量資料顯示，1979 年 8 月 24 日茱迪颱風外圍環流造成主流上游最高單日降雨量 746 mm，超過達邦單日暴雨 30 年再現頻率雨量值 (臺灣省水利局，1989)。其餘如 1960、1966 年的單日最大降雨量分別為 661 mm 及 647 mm，也都超過達邦 15 年再現頻率雨量值。2001 年 9 月 18 日納莉颱風期間菜寮溪南化站單日降雨量高達 466 mm，幾乎達到該站 50 年再現頻率雨量值，1981 年最大單日降雨量 374 mm 也超過 10 年再現頻率雨量值 [3]。

豪大雨對流量的影響

本研究分析結果顯示曾文溪下游年平均逕流量為 10.87 億 m^3，最大年逕流量近 30 億 m^3，最小年逕流量 1.6 億 m^3，變異係數 0.58，顯示各年逕流量差異頗大。菜寮溪及後崛溪的年逕流量差異程度也頗大，變異係數分別為 0.45 及 0.49 (表 4)。其中西港站 1972、1977、1990 年的全年逕流量估計均超過 20 億 m^3 以上，對照氣象資料顯示似乎與颱風環流及梅雨鋒面的集中降雨有關；1980、1993、1995 年逕流量則相對較少，均不及 4 億 m^3。雨量與逕流量的多寡大致吻合，但因曾文水庫及南化水庫啟用後的蓄水截流，造成近年曾文溪及後崛溪逕流量明顯減少 (圖 7)。研究顯示，曾文水庫及烏山頭水庫東口引水平均每年 7.13 億 m^3/yr，南化水庫扣減旗山溪越域引水量後的年平均取水量為 1.22 億 m^3/yr，若將各年取水量還原後，則河流年逕流量反而微幅增加 (陳翰霖與張瑞津，2003)。

表 4　曾文溪主支流下游歷年逕流量特性分析統計表

Table 4. Statistical data of runoff in lower course of Tsengwen River Basin.　逕流量單位：10^6 m^3

站　名	平均值	最大值	最小值	變異係數	資料期間
曾文溪西港	1,087	2,974	161	0.58	1960-2004
後崛溪玉田	285	636	42	0.49	1959-2004
菜寮溪左鎮	182	364	41	0.45	1972-2004

說明：變異係數＝標準差÷平均數。

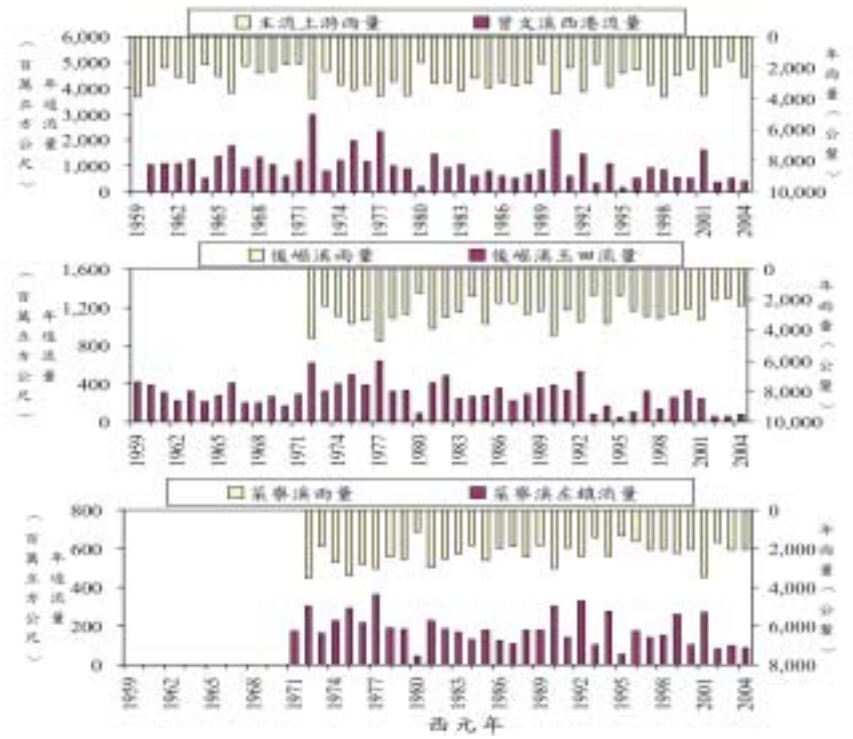


圖 7　曾文溪主支流下游歷年逕流量圖

Fig. 7. Annual runoff and rainfall from 1959 to 2004.

根據歷年各月份逕流量統計發現，每年五月至九月份因為豪大雨較為頻繁，故期間逕流量佔全年比例接近 95%，其中尤以颱風環流雨量影響最大的八月份比例最高達 34%，六月、七月及九月份所佔比例平均值也都各約 20%，顯示豪大雨事件造成每年六至九月份流量豐沛 (圖 8)。

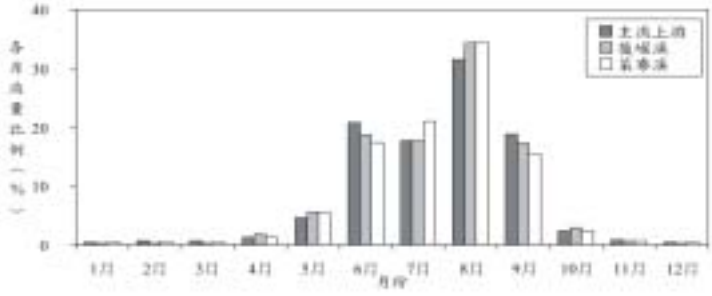


圖 8　曾文溪主支流下游歷年各月平均流量比例圖

Fig. 8. The percentage of average monthly discharge in lower course of Tsengwen River Basin.

另外，根據年中日流量變化比較亦可知豪大雨所造成的洪水流量極為突出。以曾文溪主流下游為例，1972、1977、1990 年等雨量較多的年份日平均流量可超過 2,000 CMS，而 1980、1995 年等雨量較少的年份，其最高日平均流量則罕有超過 500 CMS。對照曾文溪主流下游歷年單日平均流量超過 1,500 CMS 的豪大雨事件，發現洪水流量主要為颱風及其環流的豪大雨量所造成 (圖 9)

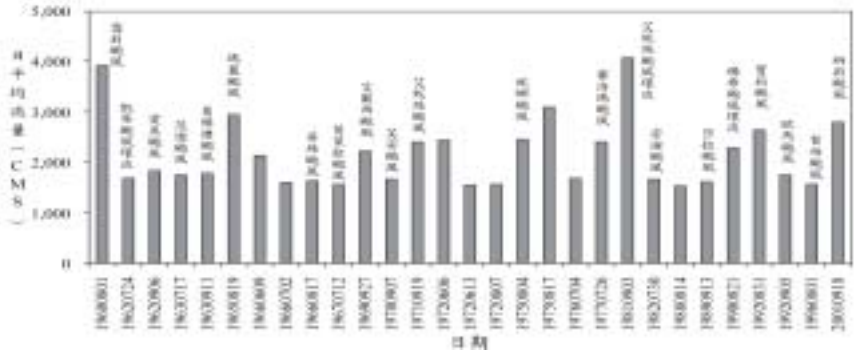


圖 9　曾文溪西港站歷年單日平均流量超過 1,500 CMS 的日期及其對應颱風

Fig.9. The date of average daily discharge above 1,500 CMS and its related typhoon at Hsikang station.

豪大雨影響所及，河流洪枯水量差異甚大，歷史資料顯示曾文溪日平均最高流量發生於 1981 年 9 月 3 日，艾妮絲颱風引進西南氣流造成曾文溪下游西港站平均日流量創下歷史紀錄達到 4,070 CMS，最大瞬時流量達 7,820 CMS；菜寮溪則於 1994 年 8 月 4 日颱風侵臺期間達到 613 CMS；後崛溪則於 2000 年 8 月 23 日碧莉斯颱風侵臺期間達到 2,190 CMS，並創下歷史最大瞬時流量 9,230 CMS。相反地，乾季時各站流量最小值均為 0，主流下游流量≦0.01 CMS 的頻率約為 16.7 day/yr，後崛溪 22.8 day/yr，顯示主支流河川洪枯水量差異均頗懸殊 (表 5)。

表 5　曾文溪主支流下游歷年的日平均流量特性統計表

Table 5. Statistical data of average daily discharge in lower course of Tsengwen River Basin.

站　　名	平均值	最大值	下四分位數	上四分位數	四分位差	變異係數	最大瞬時流量	≦0.01 頻率	樣本數
曾文溪西港	32.1	4,070.0	0.6	13.3	12.7	4.40	7,820	16.7	16,487
後崛溪玉田	8.9	2,190.0	0.1	4.5	4.4	4.38	9,230	22.8	16,838
菜寮溪左鎮	5.8	1,030.0	0.1	1.8	1.7	4.62	1,030	3.0	12,419

說明：流量單位為 CMS；頻率單位為 day/yr。

上游豪大雨降落地面後影響河川流量明顯上升，但因雨量與下游流量站間有遞延的現象，故單日流量高峰往往並非全然出現在上游豪大雨當日。受限於歷年逐時流量資料無法完全取得，故本研究統計歷年豪大雨日起三日內的最大日流量作為豪大雨日的對應日流量，統計豪大雨累計逕流量佔全年的比例，並藉以推估豪大雨量所造成的流量影響。分析結果顯示，曾文溪西港、後崛溪玉田、菜寮溪左鎮歷年豪大雨累計逕流量分別為 4.3 億 m^3、1.4 億 m^3、1.0 億 m^3，約各佔該流域全年逕流量分別約達 40%、45% 及 52% (表 6)。

表 6　豪大雨的逕流量比例表

Table 6. The percentage of total runoff at heavy rainfall events.

測　站	曾文溪西港		後崛溪玉田		菜寮溪左鎮	
項　目	逕流量 (10^6 m^3/yr)	佔全年比例 (%)	逕流量 (10^6 m^3/yr)	佔全年比例 (%)	逕流量 (10^6 m^3/yr)	佔全年比例 (%)
大雨	197.5	20.7	69.8	23.8	62.2	33.0
豪雨	82.2	6.5	25.5	8.2	23.4	11.2
大豪雨	79.9	5.9	31.2	9.9	13.4	7.4
超大豪雨	75.2	6.9	8.8	2.6	1.4	0.6
合計	434.9	40.0	135.3	44.5	100.4	52.1

資料來源：本研究統計。

豪大雨對輸沙量的影響

為了解曾文溪下游輸沙量受豪大雨事件的影響狀況，本文採用率定曲線法 (Crawford, 1991; Ferguson, 1987)，選取曾文溪、菜寮溪及後崛溪最下游的西港、左鎮與玉田等測站為代表，引用歷年水文年報中的推估日懸移質輸沙量 (MT/day) 與日流量 (CMS) 的資料，推估曾文溪主流下游及其重要支流後崛溪及菜寮溪的懸移質輸沙量。總輸沙量的推估則參考經濟部水利署 (經濟部水資源統一規劃委員會，1985) 的研究成果，其關係式為：推估總輸沙量=推估懸移質輸沙量×1.15。

根據上述方法求得曾文溪主流下游歷年平均年輸沙量為 1,048 萬噸，後崛溪 126 萬噸，菜寮溪為 783 萬噸。其中，菜寮溪在賀伯颱風侵臺的 1996 年創下年輸沙量 3638 萬噸的最高記錄，並造成曾文

溪主流中游及菜寮溪河床堆積。根據曾文水庫淤積測量報告顯示 (經濟部南區水資源局，2001)，大多數的淤積量都來自於颱風豪大雨事件，若將水庫淤積量全數還原進入下游河道，則西港河段年平均輸沙量可達 1,516 萬噸 (陳翰霖與張瑞津，2003)。

1966、1977、1990、1996 各年的偏高輸沙量均與曾文溪流域的豪大雨事件引發較大的流量有關，故年輸沙量均超過二千萬噸以上。1964、1980、1995、2002 各年則因雨量偏低流量較小，故造成曾文溪下游輸沙量普遍低於二百萬噸以下，年輸沙量最少值曾文溪僅有 25 萬噸，菜寮溪 19 萬噸，後崛溪甚至只有 2 萬噸，各年輸沙量差異極大 (表 7)。對照歷年輸沙量的高低與年雨量增減並不全然吻合，主要乃因輸沙量多寡不僅受豪大雨量的影響，其他如各單場豪大雨量、降水強度及延時，流域內的地質、地形與各時期的土地利用型態、人工開發及交通建設程度等要素，均可能造成不同時期輸沙量產出的巨幅差異。如 1996 年雖然年雨量並未特別突出，但因年中賀伯颱風降水集中等原因，導致曾文溪流域輸沙量劇增，當年曾文水庫因此大幅淤積超過三千萬噸。菜寮溪流域內又因涵蓋大範圍泥岩地質區，故當年輸沙量超過三千萬噸亦創歷史紀錄 (圖 10)。

根據歷年各月輸沙量統計發現，每年因為豪大雨事件多集中於五至九月份，故期間輸沙量佔全年比例達 99%，而其中尤以颱風環流雨量影響最大的八月份比例最高達 44%，六、七兩月所佔比例也分別接近 20%，顯示每年六至九月份因豪大雨事件造成輸沙量較多，十月至次年三月間則幾乎全無輸沙 (圖 11)。

根據本研究推估逐日輸沙量後分析得知，曾文溪、菜寮溪及後崛溪的單日最小輸沙量均受流量過小而低於 0.01 噸，但豪大雨日輸沙量則極為突出。其中 1996 年賀伯颱風造成曾文溪下游單日輸沙量曾達 2,246 萬噸，菜寮溪當日最高輸沙量亦達 2,024 萬噸，約佔當年全年輸沙量的 56%；後崛溪日平均輸沙量雖僅 3 千噸，但最高日輸沙量也有 371 萬噸。乾季日輸沙量≦0.01 噸的發生頻率曾文溪及後崛溪均超過 20 day/yr，顯示曾文溪流域單日輸沙量差異頗大 (表 8)。變異係數分析顯示，菜寮溪及後崛溪均比曾文溪主流 13.07 大，顯示支流的日輸沙量變異程度大於主流。又根據主流下游歷年輸沙量推估成果顯示，豪大雨事件造成單日輸沙量超過 250 萬噸的影響原因主要仍以颱風為主 (圖 12)。

為了解單日豪大雨對河流輸沙的影響，並考量上游豪大雨事件對河川流量明顯上升的遞延現象，故取豪大雨日起三日內最大日輸沙量作為豪大雨日的對應日輸沙量，統計得知豪大雨影響下游累計輸沙量佔全年比例，曾文溪主流下游的西港為 68%，支流後崛溪及菜寮溪分別約為 70% 及 81% (表 9)，顯示曾文溪流域受豪大雨事件影響造成巨幅輸沙的現象十分顯著。菜寮溪豪大雨輸沙量佔全年平均輸沙量比例偏高，主要充分反映泥岩及頁岩區的地質脆弱特性。

表 7　曾文溪主支流歷年輸沙量特性統計表

Table 7. Statistical data of sediment load from 1959 to 2004 in Tsengwen River Basin.　單位：10^6 噸

站名	平均值	最大值	最小值	變異係數	資料期間
曾文溪西港	10.48	35.76	0.25	1.00	1960-2004
後崛溪玉田	1.26	4.57	0.02	0.95	1959-2004
菜寮溪左鎮	7.83	36.38	0.19	1.16	1972-2004

說明：變異係數＝標準差÷平均數。

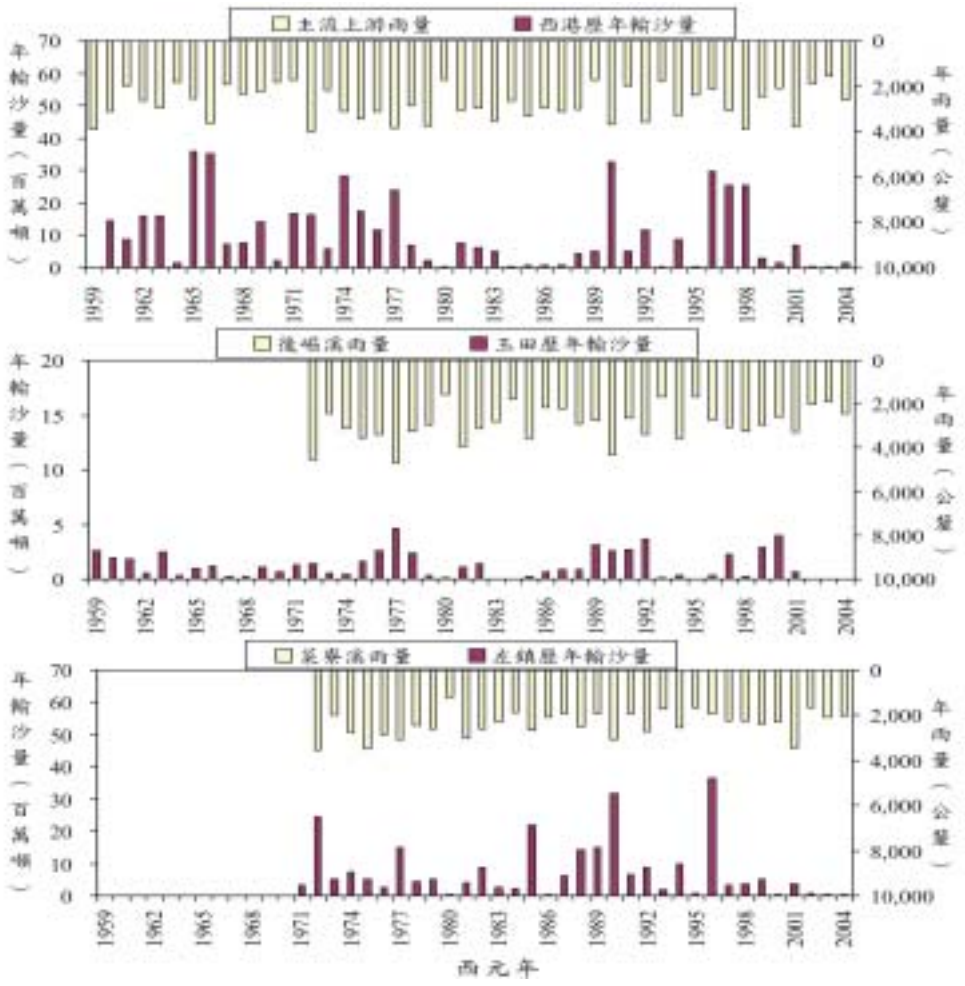


圖 10　曾文溪主支流歷年推估輸沙量圖

Fig.10. Estimated sediment load and rainfall from 1959 to 2004 in Tsengwen River Basin.

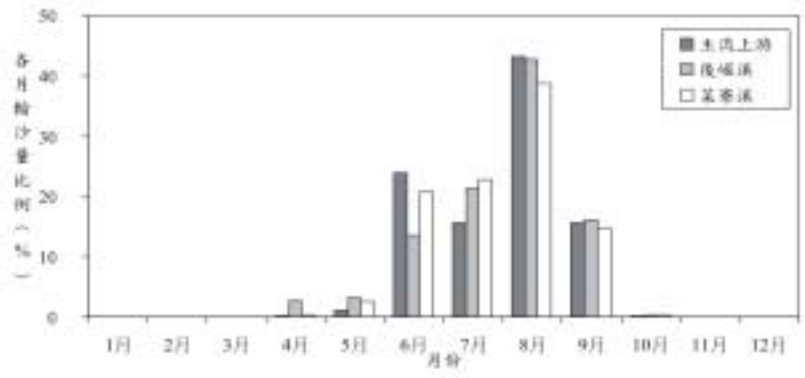


圖 11　曾文溪主支流下游歷年各月平均輸沙量比例圖

Fig. 11. The percentage of average monthly sediment load in Tsengwen River Basin.

表 8　曾文溪主支流歷年日輸沙量特性統計表

Table 8. Statistical data of daily sediment load from 1959 to 2004 in Tsengwen River Basin.

站名	平均值	最大值	≦0.01 頻率	下四分位數	上四分位數	四分位差	變異係數	樣本數
曾文溪西港	28,734	22.46×10^6	22.1	1.4	392.3	390.8	13.07	16,487
後崛溪玉田	3,360	3.71×10^6	31.8	0.2	99.1	98.9	14.17	16,458
菜寮溪左鎮	21,035	20.24×10^6	6.4	0.5	85.2	84.7	15.58	12,437

說明：輸沙量單位為噸 (NT)，頻率單位為 day/yr。

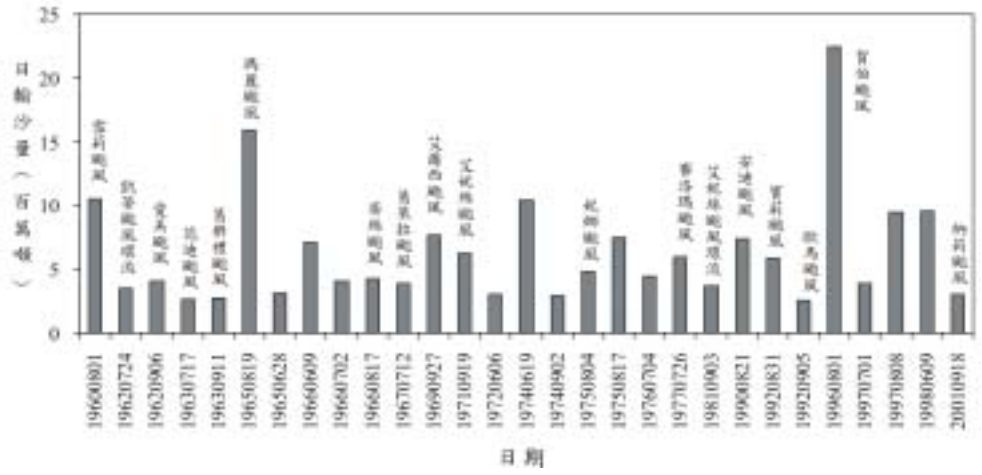


圖 12　曾文溪西港站單日輸沙量超過五百萬噸的發生日期與對應颱風

Fig. 12. The date of daily sediment load above 5million tons and its related typhoon at Hsikang station.

表 9　豪大雨的輸沙量比例表

Table 9. The percentage of total sediment load at heavy rainfall events.

測站	曾文溪西港		後崛溪玉田		菜寮溪左鎮	
項目	輸沙量 (10^6 噸/yr)	佔全年比例 (%)	輸沙量 (10^6 噸/yr)	佔全年比例 (%)	輸沙量 (10^6 噸/yr)	佔全年比例 (%)
大雨	2.54	28.7	0.42	29.6	3.45	42.2
豪雨	1.65	11.4	0.21	13.7	2.61	19.1
大豪雨	1.36	11.0	0.26	18.1	0.77	15.5
超大豪雨	2.50	17.0	0.13	8.1	0.08	0.2
合計	8.06	68.1	1.02	69.5	6.91	80.8

資料來源：本研究統計。

討　論

(一) 豪大雨事件的雨量與流量關係

1. 歷時雨量及流量的分析

本文以歷年資料探討豪大雨對河流的長期影響，但是以較短的尺度來看，豪大雨事件發生歷時往往僅有數小時至數日之間，豪大雨事件的雨量及流量歷時關係亦值得了解。為分析雨量與流量的歷時關係，本研究以 1996 年 7 月 31 日至 8 月 4 日間的賀伯颱風及其環流降雨期間，曾文溪流域各測站的時雨量及時流量資料，比對颱風發生前後的雨量、流量歷時曲線，觀察單場豪大雨事件的發生歷程。

分析結果顯示最大時雨量發生時間，山區的阿里山及馬頭山測站雨量高峰出現於 8 月 1 日 1 時，次高峰出現於同日 4 至 5 時；丘陵區的曾文、楠西、環湖、北寮等測站雨量最高峰均出現在 8 月 3 日 16 時，次高峰分別出現在 7 月 31 日 8 時至隔天上午 11 時之間；近平原區的大內站最大時雨量出現於 8 月 1 日 11 時，雨量次高峰分別出現於 8 月 3 日 16 時及 24 時。從各測站的時雨量空間分布狀況可知，颱風侵臺初期 (7 月 31 日至 8 月 1 日間) 豪雨主要發生於山區，到了 8 月 3 日時，颱風環流引發豪大雨則發生於丘陵區。陳正改 (1997) 分析造成賀伯颱風初期山區超大豪雨的原因主要為颱風環流雨帶加上氣流幅合、地形抬升，造成降雨強度高、降雨延時長、累積雨量多的超大豪雨，但是後期則因颱風北去引進西南氣流造成丘陵區發生豪大雨，證實豪大雨事件確實因為地形及大氣環境特徵的不同而存在空間差異性。

佐以曾文溪最下游的麻善大橋站時流量分析顯示，尖峰流量出現在 8 月 1 日 13 至 14 時，推估流量為 2,010 CMS；次高峰流量則出現在 3 日 24 時。相對於主流上游的阿里山及馬頭山站雨量最高峰發生於同日凌晨 1 時，兩者大致差距 12 小時；丘陵區 8 月 3 日 16 時的豪大雨量高峰，也造成了 8 月 3 日 24 時麻善大橋的次高峰流量 1,140 CMS，顯示丘陵區的豪大雨量高峰與下游流量尖峰的時間差距約 8 小時 (表 10、圖 13)。

表 10　1996 年賀伯颱風期間曾文溪流域時雨量及時流量尖峰對照表

Table 10. Hourly rainfall and peak discharge during typhoon Herb, 1996.

	雨量測站	雨量最高峰時間	流量測站	流量最高峰時間
山地區	阿里山	8 月 1 日 1 時	麻善大橋	8 月 1 日 13 至 14 時
	馬頭山	8 月 1 日 1 時		
丘陵區	曾文	8 月 3 日 16 時	麻善大橋	8 月 3 日 24 時
	楠西	8 月 3 日 16 時		
	環湖	8 月 3 日 16 時		
	北寮	8 月 3 日 16 時		

資料來源：本研究分析。

然而，本研究分析其他豪大雨事件的上游時雨量高峰及下游時流量尖峰間的關係，發現各場豪大雨與尖峰流量發生的時間差距並不一致，顯示豪大雨發生後以地表逕流等形式向下游流動，極有可能受到當時流域內降水強度及延時、地質、地形、土地利用類型及河道形態等其他因素的影響，造成下游各測站尖峰流量發生的時間有所不同 (Bull *et al.*, 1999)。有關豪大雨事件的雨量與流量之歷時關係仍需要更多詳細的水文資料方能釐清。

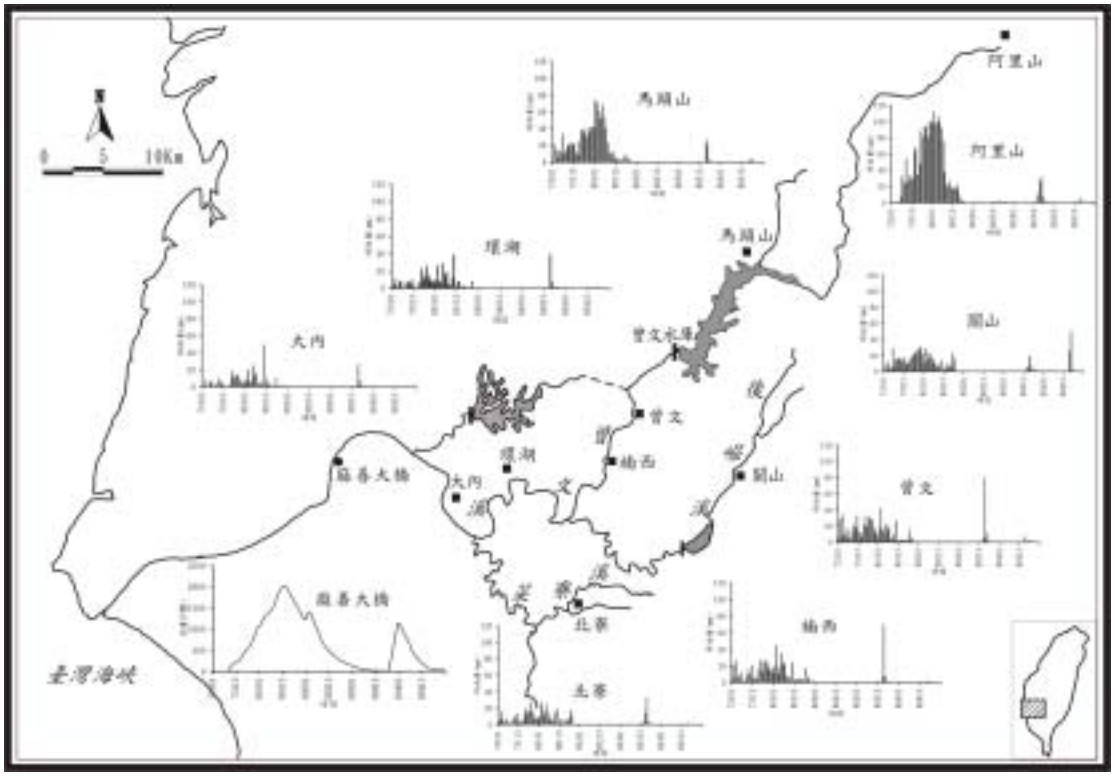


圖 13　賀伯颱風期間曾文溪主要水文測站的時雨量及時流量歷時資料圖

Fig. 13. Hourly rainfall and discharge of major gauge stations during typhoon Herb, 1996.

2. 水庫對豪大雨流量的影響

以長期觀點而言，主流上游豪大雨匯集於曾文水庫中，受庫區水量調節影響甚大，故下游發生流量尖峰的遞延時間未必每次事件均相同。研究顯示，1973 年曾文水庫啟用蓄水後，主流下游平均年逕流量減少近 3 億噸 (約 25%)，且歷年平均日流量由 39 CMS 降為 29 CMS；各月最大日流量平均值亦由 328 CMS 降為 210 CMS；日流量大於或等於 400 CMS 的日數由每年 7.4 日降為 5 日，且小於 0.3 CMS 的枯水位流量日數由每年 86 日降為 49 天，均顯示水庫蓄水確實降低河流的洪患及乾旱的規模與頻率 (陳翰霖與張瑞津，2003)。

但是因為曾文水庫集水面積僅佔全流域面積 41%，即使加計南化水庫及鏡面水庫後的集水面積也僅佔全流域面積 49%，故雨量較多的年份如 1972、1977 及 1990 年，主流下游的年逕流量仍可超過 23 億 m^3，顯示豪大雨事件對曾文溪下游仍存在相當程度的影響。另外，颱風期間或豪大雨事件時的水庫

調節溢流，也往往直接讓豪大雨流量直接進入下游影響下游流量暴增。

為了解各年豪大雨逕流進入水庫中的蓄積量，本文以水庫進水率推估各年的豪大雨流量。根據歷年曾文水庫集水區年平均雨量推估年平均降水量約 13.2 億 m^3，但是水庫實際年平均進水量約僅 10.4 億 m^3 (經濟部南區水資源局，2000)，降雨量與實際進水量的關係得知水庫平均進水率約為 78.3%。經前述統計得知曾文水庫興建後歷年上游平均豪大雨量為 1,247.2 mm，依 78.3%進水率換算求得平均年豪大雨進水量應為 4.7 億 m^3，再扣減原本豪大雨期間就已放流進入下游河道的溢流量 1.5 億 m^3 後，得知水庫豪大雨蓄積水量約 3.2 億 m^3/yr。其關係式如下：

曾文水庫豪大雨蓄積量=年豪大雨量×集水面積×水庫進水率－溢流量

然而，根據水庫興建前 1960 至 1972 年曾文溪近河口處的西港站與近壩底的照興站之年流量資料相關分析得知，即使無水庫蓄水，這些豪大雨流量亦無法完全進入下游的西港河段，兩者間的年流量呈現顯著線性相關，經檢定達 $p<0.001$ 非常顯著水準 (圖 14)。照興站距離曾文水庫壩下僅 4 km (圖 1)，故以豪大雨蓄積量 3.2 億 m^3 代入圖 14 方程式中，則可估得平均年豪大雨逕流量約有 1.1 億 m^3 未進入下游。設若這些豪大雨量在無水庫攔截下直接流入主流下游，則豪大雨逕流量將由 3.7 億 m^3 提升至 4.8 億 m^3。換言之，1973 年曾文水庫完工啟用後若無水庫蓄洪，則豪大雨影響逕流量佔下游流量比例將由現況約 41% 提升至 47%，略高於水庫興建前主流下游的豪大雨逕流量比例。

以相同方法推估南化水庫豪大雨逕流量約有 707 萬 m^3 蓄積於庫中，但因無建壩前的鄰近流量站，故無法推知豪大雨流量的蓄積量對西港河段的影響。鏡面水庫集水面積僅 2.73 km^2 影響極微且因資料不完整，故未列入推估。若將來資料更臻完善後可再加入計算，則豪大雨事件對下游流量的影響比例將更精確。

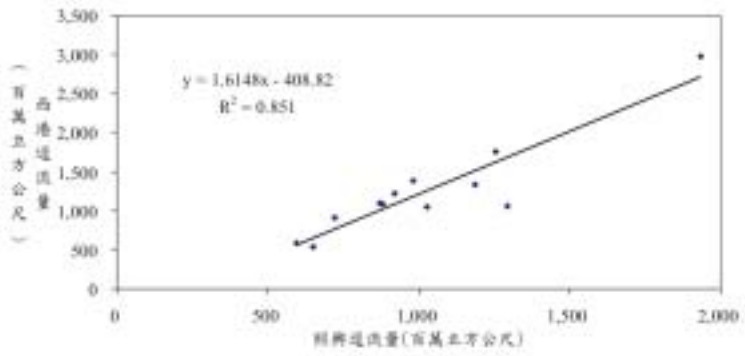


圖 14　西港站與照興站年流量關係圖

Fig. 14. Relationship of annual discharge between Hsikang station and Chaohsing station.

(二) 豪大雨對輸沙量的影響

1. 豪大雨輸沙量的流域差異

根據歷年豪大雨的平均雨量及平均逕流量、平均輸沙量的分析顯示，曾文溪主流上游及後崛溪、

菜寮溪流域的豪大雨量分別約佔全年 49%、60%、52%；並造成豪大雨流量佔全年近 40%、45%、52%，以及該流域全年輸沙量的 68%、70% 及 81% (表 11)，顯示曾文溪流域豪大雨事件造成下游輸沙量暴增的現象十分明顯。其中，菜寮溪流域豪大雨比例雖僅約 52%，但是逕流量比例及輸沙量比例均比主流上游及後崛溪高，深受地質環境所影響。

表 11　曾文溪歷年平均豪大雨量與下游逕流量、輸沙量比例表

Table 11. The percentage of average rainfall, runoff and sediment load during heavy rainfall events in Tsengwen River Basin.

溪　名	豪大雨量 (mm)	佔全年比例 (%)	逕流量 (10^6m^3)	佔全年比例 (%)	輸沙量 (10^6 噸)	佔全年比例 (%)
曾文溪主流	1,303	48.7	434.9	40.0	8.06	68.1
後崛溪	1,757	60.2	135.3	44.5	1.02	69.5
菜寮溪	1,249	52.3	100.4	52.1	6.91	80.8

資料來源：本研究統計。

劉長齡等 (1985) 曾經針對南化丘陵區內的泥岩地質進行坡地沖蝕研究，得知降雨初期的破壞以逕流沖刷為主；延時較長的降雨後，地下水位抬升及滲流均加速大量土沙崩壞。顯示菜寮溪流域的豪大雨雖然以大雨及豪雨等級為主 (佔全年平均雨量 43%)，大豪雨以上頻率雖僅 0.8 日，但是仍能造成下游巨量輸沙，充分反映出泥岩地質區的高輸沙量特性。菜寮溪自曾文溪左側匯入主流，長期大量的輸沙並造成匯流口附近的主流左岸河床明顯持續淤積 (圖 15)。

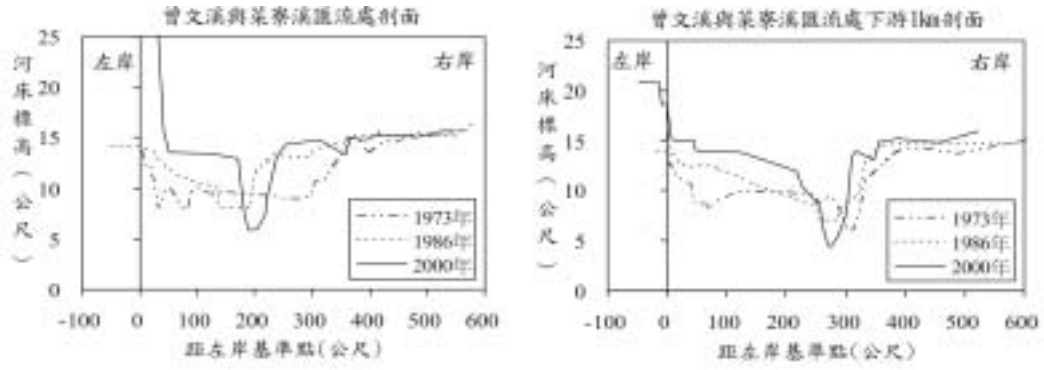


圖 15　曾文溪主流與菜寮溪匯流處附近河床剖面圖

Fig. 15. Cross section of Tsengwen River near the conjunction with Tsailiao River.

2. 水庫對豪大雨輸沙量的影響

根據研究得知 (經濟部水資源局，2001) 各水庫測量年平均淤積量，估計曾文水庫 442 萬噸、南化水庫 140 萬噸、鏡面水庫 1 萬噸，蓄水攔砂的影響十分明顯。然而，根據建庫後主流下游的輸沙量資料分析得知，1974、1977、1990、1996、1997、1998 等年輸沙量均超過 2,500 萬噸。造成曾文水庫

興建後主流下游的流量及輸沙量仍能居高不下的原因，除了颱風期間豪大雨事件水庫放流外 (經濟部南區水資源局，2000)，下游主要支流提供的流量及輸沙量也佔有相當地位，其中尤以流域內南化丘陵區的泥岩質輸沙最為重要。

根據各主支流水庫興建後的豪大雨輸沙量比例得知，曾文溪主流、後崛溪、菜寮溪分別為 67%、71%、80%，假設無水庫攔砂則庫中淤積量應該會進入下游河道。但是此數據似乎也透露出一個訊息：如果無水庫攔砂，則現有水庫淤積的輸沙量可能在豪大雨期間進入下游河道，其增加數量在曾文溪主流、後崛溪、菜寮溪分別約為 296 萬噸/yr、99 萬噸/yr、0.8 萬噸/yr。若將此推估值加入現有豪大雨輸沙量中，則曾文溪主流、後崛溪、菜寮溪下游的豪大雨輸沙量分別可達約 948 萬噸/yr、192 萬噸/yr、670 萬噸/yr，輸沙量基數擴大後，主流、後崛溪、菜寮溪的豪大雨輸沙量佔全年平均比例將可能分別提升為 72%、80%、88%。

結　論

曾文溪主流下游近三百多年來至少發生四次重大改道，歷史資料顯示豪大雨事件是造成歷次河道地形變遷的主要原因。本研究蒐集 1959 至 2004 年的雨量及流量資料，分析豪大雨 (單日雨量≧50 mm，包括大雨、豪雨、大豪雨、超大豪雨) 對河流流量的影響；並以率定曲線法推估歷年曾文溪主支流下游輸沙量的變化。

研究成果得知，曾文溪上游豪大雨頻率平均每年 11 日，累積佔全年平均雨量 49% (1,303 mm)；後崛溪流域豪大雨頻率平均每年 16 日，累積佔全年平均雨量 60% (1,757 mm)；菜寮溪流域豪大雨頻率平均每年 13 日，累積佔全年平均雨量 52% (1,249 mm)。豪大雨事件主要集中於五至九月份，發生日數佔全年比例達 95%，由颱風及梅雨 (滯留鋒) 所引發。山地區歷年單日最大雨量介於 200 mm 至 600 mm 之間，丘陵區則介於 150 mm 至 350 mm 之間，顯示山區豪大雨量明顯大於丘陵區。統計各等級豪大雨資料得知，大雨發生頻率佔平均豪大雨日近 3/4，其累積雨量佔所有豪大雨量近 1/2。山地區發生災難性的大豪雨及超大豪雨之頻率均較丘陵區高，前者約 1.5 day/yr，佔全年平均雨量近 20%；後者約 1 day/yr，佔全年平均雨量近 10%。

流量分析顯示，豪大雨造成下游流量暴增，各等級豪大雨逕流量，主流下游約佔年平均逕流量 40% (4.3 億 m^3)；後崛溪約佔年平均逕流量 45% (1.4 億 m^3)；菜寮溪約佔年平均逕流量 52% (1.0 億 m^3)，若加入水庫蓄積量後，則豪大雨流量的比例將可能更高。主流下游豐水年日平均流量可超過 2,000 CMS，枯水年日平均流量則罕有超過 500 CMS 者。1981 年艾妮絲颱風引致豪大雨，造成主流下游最大瞬時流量高達 7,820 CMS。分析造成單日平均流量超過 1,500 CMS 的事件主要原因多以颱風為主。

輸沙量推估顯示，豪大雨輸沙量暴增，主流下游約佔年平均輸沙量 68% (806 萬噸)；後崛溪約佔年平均輸沙量 70% (102 萬噸)；菜寮溪約佔年平均輸沙量 88% (691 萬噸)。且豪大雨事件影響五月至九月期間佔全年輸沙量比例高達 99%，並造成年輸沙量可超過三千萬噸以上。豪大雨事件造成單日輸沙量暴增，如賀伯颱風期間菜寮溪流域曾經創下單日二千萬噸以上的紀錄。若加計曾文水庫、南化水庫、鏡面水庫所淤積的豪大雨推估輸沙量，則主流下游、後崛溪、菜寮溪的豪大雨輸沙量將分別提升為 72%、80%、88%。

豪大雨事件對不同地質區造成的輸沙量影響有所不同，菜寮溪流域多泥岩地質，故豪大雨輸沙量佔全年平均比例接近 90%，充分反映豪大雨事件對泥岩地質區的影響十分顯著。

謝　辭

本研究為國科會經費補助編號 NSC-91-2116-M-277-001 研究計劃之部分成果。感謝第六河川局、花蓮氣象站陳世嵐主任提供資料及寶貴意見，謹此一併致謝。

註　解

1. 《東槎紀略》卷一「籌建鹿耳門砲臺記」載：「道光三年七月大風雨，鹿耳門內海沙驟長，變為陸地。四年三月總兵觀喜、署道方傳穟、署府鄧傳安上議，建砲臺于鹿耳門，其略曰：『臺灣孤懸海外，屏障四省，郡城根本重地，……號稱天險者，蓋外洋至此，波濤浩瀚，不見口門，水底沙線橫互，舟行一經擱淺，立時破碎。其中港門深僅丈餘，非插標乘潮，不可出入。此險之在外者也，口內出水沙線二道，橫互南北，為其內戶。南線又名北線尾，大船入口更易。小船循此線內東南行二十里，過安平鎮，為入郡咽喉。更東十里，然後達郡。北線又名海翁隙，其內可泊大船。自此至岸，亦二十餘里，為郡北之洲仔尾及嘉義縣地，水深浪湧，舟不能近，無由登陸。此險之在內者也。……今則海道變遷，鹿耳門內形勢大異。上年七月風雨，海沙驟長。當時但覺軍工廠一帶沙淤，廠中戰艦不能出入，乃十月以後，北至嘉義之曾文，南至郡城之小門外四十餘里。東至洲仔尾海岸，西至鹿耳門內十五、六里，彌漫浩瀚之區，忽已水涸沙高，變為陸埔，漸有民人搭蓋草寮，居然魚市。自埔上西望鹿耳門，不過咫尺。……現際春水潮大，水裁尺許，秋冬之後，可以撩衣而涉。」(姚瑩，1829)。
2. 中央氣象局定義大雨及豪雨等級如下：連續 24 小時累積雨量超過 50 mm，且其中一小時超過 15 mm 者為「大雨」(heavy rain)；連續 24 小時累積雨量超過 130 mm，且其中一小時超過 15 mm 者為「豪雨」(extremely heavy rain)；若 24 小時累積雨量達 200 mm 以上者為「大豪雨」(torrential rain)；24 小時累積雨量達 350 mm 以上者為「超大豪雨」(extremely torrential rain)。
3. 根據臺灣省水利局 (1989) 臺灣水文資料電腦檔應用之研究顯示，最大單日暴雨頻率年之求取方法均以雙對數常態分布法 (Two Lognormal Distribution) 為最適分布。

引用文獻

中央氣象局 (1983) 民國七十年颱風調查報告，臺北市：中央氣象局。

臺灣省水利局 (1989) 臺灣水文資料電腦檔應用之研究，行政院農業委員會補助，臺北市：臺灣省水利局。

林孟龍、林俊全 (2003) 颱風對於蘭陽溪上游集水區懸移質生產特性的影響，地理學報，33: 39-53。

姚瑩 (1996) [1829] 東槎紀略，南投：臺灣省文獻委員會重印。

張石角 (1971) 曾文溪上游崩塌地之地質學研究 (上)，礦業技術，9 (3): 7-15。

張瑞津、石再添、陳翰霖 (1996) 臺灣西南部臺南海岸平原地形變遷之研究，**地理研究報告**，26: 19-56。

張瑞津、石再添、陳翰霖 (1997) 臺灣西南部嘉南海岸平原河道變遷之研究，**地理研究報告**，27: 105-133。

陳正改 (1995) 臺灣地區氣象災害之分析，**臺北師院學報**，8: 195-222。

陳正改 (1997) 賀伯颱風豪雨研究，**臺北師院學報**，10: 215-256。

陳泰然 (1988) 臺灣梅雨季豪雨之時空分布特徵，**大氣科學**，16: 151-162。

陳泰然 (1994) 臺灣梅雨季之豪雨研究，**大氣科學**，22 (4): 455-477。

陳泰然、王重傑 (2004) 梅雨季臺灣中部地區伴隨中尺度低壓豪 (大) 雨與定量降水之中尺度氣候研究，**大氣科學**，32 (2): 117-140。

陳泰然、林宗嵩 (1997) 梅雨季臺灣中南部地區豪大雨之氣候特徵研究，**大氣科學**，25 (3): 289-306。

陳翰霖、張瑞津 (2003) 曾文水庫對流量及輸沙量的影響，**地理研究報告**，39: 37-54。

曾建貴、沈介文、王亞男 (2002) 賀伯風災豪雨所引發災害之特性，**臺大實驗林研究報告**，16 (2): 123-134。

楊萬全 (1993) **水文學**，臺北市：臺灣師範大學地理系所，364-365。

經濟部水利署 (1959-2004) **水文年報**，http://gweb.wra.gov.tw/wrhygis/ [2007.6.26]。

經濟部水利署 (2000) **臺灣重要河川資料冊**，http://www.wra.gov.tw/lp.asp?CtNode=4802&CtUnit=429&BaseDSD=7 [2007.6.26]。

經濟部水資源局 (2001) **中小型水庫集水區治理成效及土砂整治率評估計畫**，國立中興大學水土保持學系執行，4-25。

經濟部水資源統一規劃委員會 (1985) **臺灣河川輸沙量推估研究**，經濟部 74 年度研究發展專題。

經濟部南區水資源局 (2000) **曾文水庫八十八年營運與維護概況報告**，南水曾叢字第四號。

經濟部南區水資源局 (2001) **曾文水庫八十九年淤積測量報告**。

劉長齡、曾高生、許榮庭 (1985) **臺灣西南部泥岩坡地沖蝕逕流與地下水之研究**，行政院國家科學委員會防災科技研究報告 74-11 號。

劉昭民、蔡正德、蔡嘉成 (1999) 強盛西南氣流引發臺灣豪雨之研究，**航空氣象**，12: 62-76。

Bull, L. J., Kirkby, M. J., Shannon, J. and Hooke, J. M. (1999) The impact of rainstorms on floods in ephemeral channels in southeast Spain, *Catena*, 38: 191-209.

Crawford, C. G. (1991) Estimation of suspended-sediment rating curves and mean suspended-sediment loads, *Journal of Hydrology*, 129: 331-348.

Ferguson, R. I. (1987) Accuracy and precision of methods for estimating river loads, *Earth Surface Processes and Landforms*, 12: 95-104.

2006 年 12 月 1 日　收稿

2007 年 5 月 3 日　修正

2007 年 6 月 21 日　接受