

以不同思維探討旗山溪土砂災害之清疏問題

周湘儀⁽¹⁾ 吳孟修⁽²⁾

摘 要

2009年侵襲台灣之莫拉克颱風，其長延時及高強度之暴雨造成旗山溪集水區上游多處崩坍，大量土砂進入河道，使政府須編列經費辦理野溪清疏之工作，惟清疏後之河道易因颱風豪雨事件而再度淤積，故土砂災害後野溪清疏之議題仍有討論空間。為此，本研究篩選颱風前、後降雨量相近之暴雨事件，並比較其水文歷線變化，結果顯示淤積土砂可增加地下水貯存並遲滯洪峰。由實地調查發現，未清疏河段因淤積土砂導致流量歷線延長，可增加入滲補助下游流量之現象。上述結果反映未清疏河段可有效涵養水源，如同非拘限含水層，扮演著水資源涵養之重要角色，此為因應氣候變遷下大自然為吾人所做之最佳調適策略，故土砂災害後河道內淤積土砂清疏之必要性有待重新思考。

(**關鍵詞**：旗山溪、伏流水、清疏)

A different perspective on the dredging of the Chishan River after debris disaster

Shiang-Yi Chou⁽¹⁾ *Meng-Shiou Wu*⁽²⁾

Graduate Student⁽¹⁾ Ph.D. Student⁽²⁾ Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taiwan

ABSTRACT

Typhoon Morakot with long duration and high intensity rainfall caused several landslides at the upstream watershed of Chishan River in Taiwan. The central and local governments have spent lots of budgets for dredging due to debris deposited on the river channel. However, the dredged sites are easily refilled by the recurrent debris following the next heavy rainfall events. The issue which involved river dredging for the debris disaster areas is still disputable. The storm events with

(1)國立中興大學水土保持學系碩士生(通訊作者e-mail：chouprepare@gmail.com)

(2)國立中興大學水土保持學系博士生

similar rainfall amount occurred on the pre- and post-Typhoon Morakot were selected in this study. Rainfall hyetograph and runoff hydrograph of Chishan River from both events were compared. It shows that the debris in the river could enhance subsurface storage and result in a decrease discharge. In the dry season, field investigations show that water resources stored in the creeks without dredging could become seepage to recharge the downstream discharge. The results showed that the creeks without dredging could be served as an unconfined aquifer layer and playing important roles in water storage. For the viewpoint of water resource cultivation, the phenomenon of original creeks deposited by the debris might be a way of adaptation strategy made by the nature in response to climate change. Hence, the necessity of dredging in the creek channel after debris disaster should be reconsidered in a specific watershed.

(Keywords : Chishan River, interflow, river dredging)

前言

台灣地處東南亞屬海島型氣候，年降雨量約 2,510 mm，但豐(5 月至 10 月)與枯(11 月至次年 4 月)水期降雨量具有顯著差異(游保杉等，2006)，每年 5~10 月之降雨即佔全年降雨 78%(水利署，2009)，降雨時空分布原已極為不均，又因受到全球氣候變遷影響，短期氣候變異加劇與極端氣候頻率增加，更造成台灣地區氣候與水文現象有極端化之趨勢，暴雨與乾旱更加頻繁(經濟部，2012)。因氣候變遷所造成降雨與氣溫之變化，更進而影響河川流量以及地下水補注量(童慶斌、譚仲哲，2008)。

於 2009 年侵襲台灣造成嚴重災情的莫拉克颱風即為氣候變遷下極端氣候事件的典型例子，長延時及高強度之暴雨造成台灣多處大範圍淹水及大規模土石崩坍等嚴重災情，由崩塌面積估算風災後坡面土方生產量為 12 億立方公尺，其中 8 億立方公尺之土方停留在坡面上，其餘 4 億立方公尺之土

方進入河道中(游繁結、陳聯光，2010)。位於台灣南部之旗山溪也因莫拉克颱風挾帶之暴雨影響，導致集水區內土砂崩塌量高達 7,624 萬立方公尺，河道總輸出土砂量 1,262 萬立方公尺，未輸出土砂量約為 6,362 萬立方公尺(張永誠等，2012)。大量崩坍的土砂進入旗山溪後，造成旗山溪沿線河道寬度增加，其中斷面 92(近甲仙大橋)河道增加達 392 公尺(張家豪，2012)，甚或填平河道形成即消即生型(完全潰決型)堰塞湖(陳樹群、許中立，2009)。

因莫拉克颱風造成短時間內大量土砂進入旗山溪河道導致河道嚴重淤積，以致颱風前後之河川型態改變，此改變對於旗山溪之流量影響值得探討，故本研究以旗山溪集水區為研究樣區，討論莫拉克前後暴雨事件及枯水期之雨量及流量間對應關係，配合現場照片論述因風災崩坍導致河道淤積對集水區枯水期流量影響及效用。

研究流程

本研究之流程如圖 1 所示。

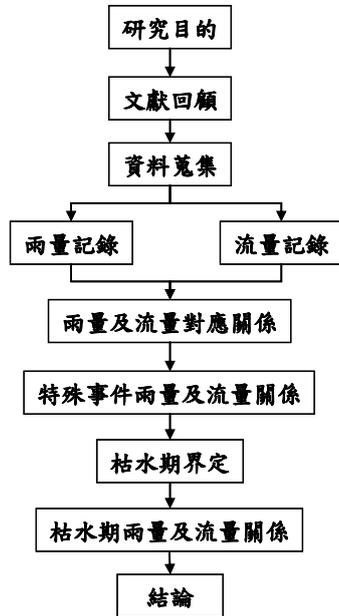


圖 1、研究流程

Figure 1 Flow chart of this study

材料與方法

1. 樣區概述

旗山溪又稱楠梓仙溪位於台灣本島南部，為高屏溪重要支流之一，發源於中央山脈玉山西南麓之西山(標高 3,952 公尺)，北隔濁水河流域上游，西接曾文溪上游與二仁河流域，東鄰高屏溪支流荖濃溪集水區，南接高屏溪主流及左營沿海集水區，集水區高山聳立，懸崖峭壁，溪流湍急，西南流 55 公里至小林，平均坡降達 1：15，再南流 10 公里至甲仙後溪道漸寬，坡降約 1：100，復西南流至旗山進入平原，標高約 45 公尺，坡降約 1：1,000，河道蜿蜒，遷徙不定，流經那瑪夏區、甲仙區、杉林區、旗山區，至嶺口與來自東方之荖濃溪合流後，改稱「高

屏溪」，全長約 129 公里，流域面積 842 平方公里，其主要支流包括口隘溪及美濃溪，流域概況詳如圖 2。



圖 2、研究樣區

Figure 2 Location of study area

2. 研究材料

本研究採用經濟部水利署「水文資訊網整合性服務系統」登錄之雨量及流量記錄為研究材料，而測站除在研究樣區內，亦須符合觀測期程跨越莫拉克颱風前後之條件，篩選結果，雨量站有「甲仙 2」、「美濃 2」及「旗山 4」等三處，流量站僅「杉林大橋 2」符合，而「杉林大橋 2」之起測日為 2008 年 7 月 1 日，故後續探討莫拉克颱風前後雨量及流量關係時，颱風前之相關數據係採用 2008 年 7 月至 2009 年 8 月之雨量及流量記錄。

(1) 樣區雨量記錄

採用「甲仙 2」、「美濃 2」及「旗山 4」

等三處雨量測站之觀測記錄，測站基本資料及採用資料類型如表 1，各雨量測站位置如圖 3。

表 1、雨量測站基本資料

Table 1 Rainfall stations information

雨量測站名稱	測站編號	測站位置 (97 座標)	觀測年數
甲仙 2	01P66	X 207800	1951-2013
	0	Y 2553591	
美濃 2	01P77	X 202871	1958-2013
	0	Y 2532466	
旗山 4	00P47	X 196863	1961-2013
	0	Y 2530997	



圖 3、雨量及流量測站位置

Figure 3 Location of rainfall and flow stations

(2)樣區流量記錄

採用「杉林大橋 2」流量測站 2008 年 7 月~2013 年 12 月之流量記錄，測站基本資料及採用記錄如表 2，測站位置如圖 3 所示。

表 2、流量測站基本資料

Table 2 Discharge stations information

項目	內容
杉林大橋 2	1730H058
測站位置 (TWD97_TM2)	X 203952.6524 Y 2543278.2984
採用記錄期間	2008.07~2013.12
採用紀錄類型	日平均流量 月平均流量

3.研究方法

(1)水文歷線圖

水文歷線圖(hydrograph and hyetograph)為流量歷線圖(hydrograph)與雨量歷線圖(hyetograph)之綜合表現。流量歷線圖顯示河川流量與時間關係之曲線，雨量歷線圖則顯示降雨量強度與時間的分佈狀況，兩者相配合則可以觀察出一集水區之水文特徵，故常用於探討一集水區之水文循環特性研究(陸象豫等；1995)。本研究蒐集旗山溪集水區於莫拉克颱風前後之雨量及流量記錄，依記錄繪製水文歷線，選擇颱風前後降雨量接近之暴雨事件並比對其流量歷線變化，探討河道淤積對於流量歷線之影響。

(2)現場調查

本研究依據前人研究配合雨量記錄界定旗山溪枯水期，分析颱風前後集水區枯水期之流量變化，研究颱風後淤積土砂蓄存雨水形成伏流水，於枯水期補助河道流量，最後藉由現場調查之照片論述淤積土砂貯流並形成伏流水之情形。

結果與討論

1. 由暴雨事件探討河道淤積對流量之影響

為評估風災前後河道淤積對流量之影響，本研究首先針對風災前後暴雨事件所產生之流量歷線變化進行探討，由於三處雨量測站中僅「甲仙 2」位於「杉林大橋 2」流量測站之上游(圖 3)，因此僅分析兩站 2008 年 7 月 1 日至 2010 年 12 月 31 日之日雨量及流量關係(圖 4)。本研究採氣象局之雨量分級定義中，24 小時累積雨量達 350 毫米以上所稱之超大豪雨(extremely torrential rain)為暴雨事件，由圖 4 可知，風災前後之 2008 年 8 月 17 日及 2010 年 9 月 19 日之降雨事件累積降雨量較為接近且均達超大豪雨標準，故繪製上述 2 事件之雨量及流量關係如圖 5。

由圖 5 可知，莫拉克颱風後旗山溪集水區洪峰流量時間並無遲滯，但流量歷線延長。此現象係因莫拉克颱風造成大量崩坍土砂在短時間內進入河道中，使河川型態改變，而停留在坡面上之土方，因後續降雨事件流

入河道中，持續提供輸砂來源，得以長期地影響河相特性。上述河川型態及河相特性改變，Parker(1976)指出河床載(Bed load)因水流之不穩定性而在流路中淤積，將造成流路出現分歧。此分歧之流路交匯後，受到交匯口下游處之水砂之交互影響，導致泥砂傾向於交匯處落淤，進而形成沙洲並使流路再次分離。Ashworth(1996)以此水砂互動的方式為基礎，即可構成多流路多岐的辮狀河川(Ashmore, 1991; Ashmore et al. 1992)，故莫拉克風災後，因崩塌及潰壩為河道所帶來的大量土砂，超過水流輸砂之能力負荷，故使河道淤砂量增大，辮狀河川的橫向不穩定性更明顯(陳樹群、安軒霏，2010)。因辮狀具有河川流量變動大、洪峰漲退快速之特性(錢寧等，1965、1987；Knighton, 1984)，加上土砂崩坍造成坡地裸露進而導致水源涵養能力降低，故降雨後即產生洪峰。另因淤積之土砂顆粒與水流間之摩擦力及水流於土砂孔隙間之流線增長均造成流速減緩，致使入滲時間延長，水流入滲粗砂、礫石等孔隙形成伏流水，故而流量歷線延長。

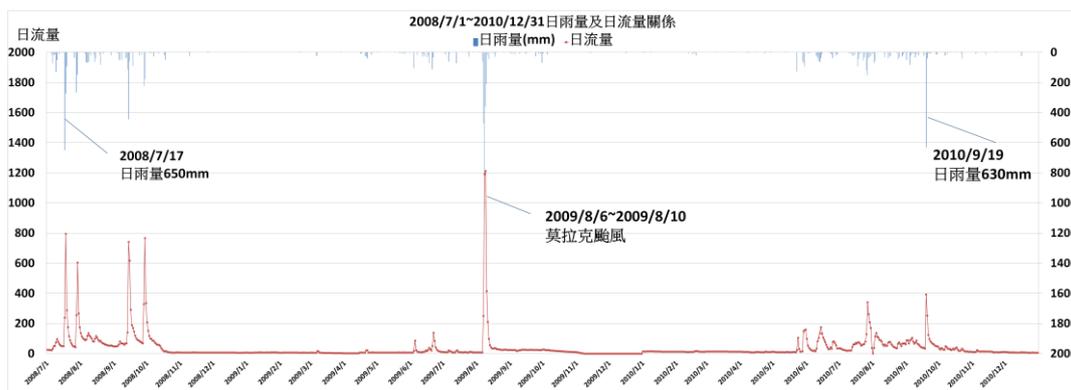


圖 4、2008 年 7 至 2010 年 12 月之日降雨量及流量歷線
Figure 4 Daily rainfall and hydrograph from 2008/07/01 to 2010/12/31

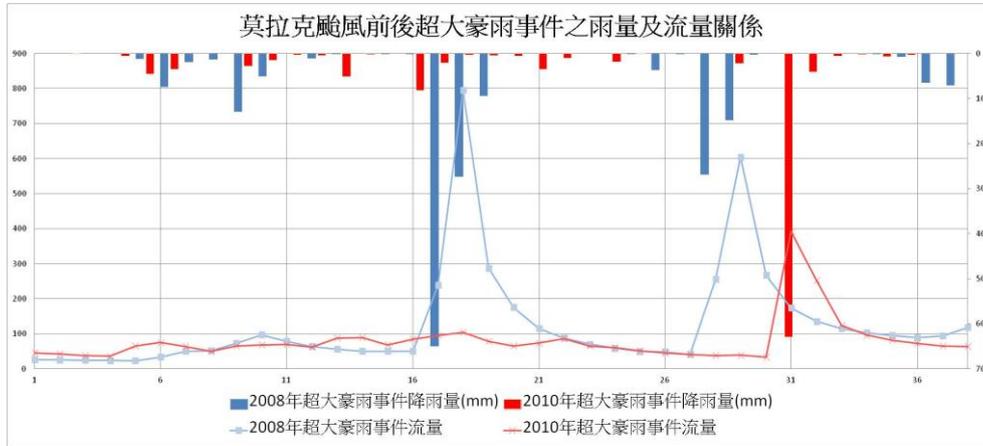


圖 5、莫拉克颱風前後暴雨事件之降雨量及流量歷線

Figure 5 Rainfall and hydrograph of two extreme rainfall events (before and after Typhoon Morakot)

2. 由枯水期探討河道淤積對流量之影響

災後河道淤積易使雨季時，逕流受展寬之河道而流速降低，增加河道之入滲能力形成伏流水，然冬旱季流量降低，雨季時儲存河道之伏流水將可有效補助，在此假設之前提下，本研究先針對旗山溪集水區之枯水期進行界定，再探討風災前後河道淤積對旱季低流量之影響。

(1) 枯水期界定

南部地區枯水期(乾季)之時間分布範圍，蔣丙然(1954)按照柯本氣候分類法，依據各地平均氣溫及平均雨量，將台灣分為六個氣候區，高雄、屏東地區為西南部熱帶冬季寡雨氣候，其特性為夏雨冬乾，其中 5 月至 9 月為雨季，10 月至翌年 4 月為乾季。陳正祥(1957)則按照桑士偉氣候分類法，依據年雨量、乾雨季、溼度、雲量、日照、蒸發等氣候特徵，將台灣劃分為八個氣候區，台中盆地、嘉南平原至屏東平原為西南區/熱帶潤濕氣候 (BA)，氣候特性為年雨量少於 1,500 公

釐。夏雨冬乾，其中 5 月至 9 月為雨季，10 月至翌年 4 月為乾季。上述為早期對枯水期之定義，然因全球氣候變遷之影響，台灣氣候分布亦有所改變，經參考有關氣候變遷對水資源運用之文獻，對於枯水期定義為每年 11 月至次年 4 月(淡江大學水資源管理與政策研究中心，2011；國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心，2012；鄭克聲等，2012)，因連續數個月雨量低於 100 mm 就會造成乾旱(汪中和，2009)，故本研究由每年 10 月至次年 4 月為中篩選連續降雨量低於 100mm 之時段為枯水期。

依上述篩選原則，統計「甲仙 2」、「美濃 2」及「旗山 4」等三處雨量測站長達 50 年以上之月平均雨量資料(表 1、3 及圖 6)，可界定旗山溪流域之枯水期為每年 10 月至次年 4 月。

表 3、各雨量測站之平均月雨量

Table 3 Average monthly rainfall

	甲仙 2	美濃 2	旗山 4
1 月	19.74	17.65	15.21
2 月	29.11	27.17	22.45
3 月	43.17	41.32	34.85
4 月	102.95	83.83	67.04
5 月	319.52	309.39	235.85
6 月	576.05	546.77	474.18
7 月	587.91	568.92	481.37
8 月	703.74	705.48	587.05
9 月	370.6	399.52	293.42
10 月	84.08	88.91	53.39
11 月	23.55	19.79	18.31
12 月	16.23	13.34	12.61

單位：mm

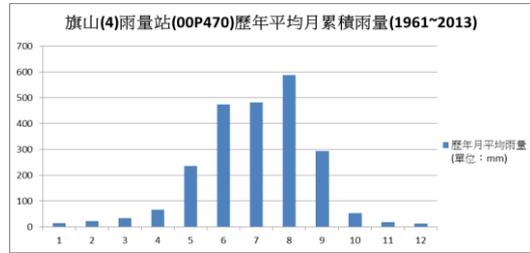
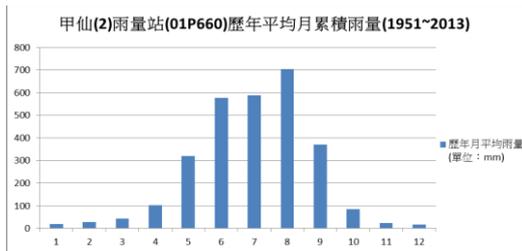


圖 6、各雨量測站平均月雨量分佈圖

Figure 6 Distribution of average monthly rainfall

(2) 枯水期雨量及流量關係

將「甲仙 2」雨量測站之「月雨量」及「杉林大橋 2」流量測站之「月平均流量」於 2008 年 7 至 2013 年 12 月枯水期(10 月至次年 4 月)進行分析, 找出風災後月雨量小於風災前之月份, 而月平均流量則大於風災前者, 並以粗體字標註(表 4、5)。經交叉比對雨量及流量發現(表 6), 10 月~12 月之月平均流量均為小於風災前, 其原因乃 10~12 月份受雨季過後之流量影響較大, 然 3、4 月(枯水期末)之月雨量低於颱風前之 7 個月次中, 共有 6 個月次之月平均流量大於風災前, 且依記錄顯示, 流量可達風災前之 6 倍。此現象主要係因莫拉克颱風造成大量崩坍土砂進入旗山溪, 造成河道展寬, 水流速度減緩而入滲量增加, 入滲之水體於崩坍之粗砂、礫石間形成伏流水蓄存於河道中, 待至枯水期補注河道流量, 故流量多於風災前。

表 4、2008 至 2013 年枯水期「月雨量」統計

Table 4 Monthly rainfall in dry season from 2008 to 2013

	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月
2008.10~2009.04	115.00	41.00	1.00	0.00	4.00	50.00	129.00
2009.10~2010.04	26.00	8.00	7.00	7.00	60.00	3.00	26.00
2010.10~2011.04	106.00	32.00	26.00	19.00	11.00	13.00	25.00
2011.10~2012.04	63.00	175.00	25.00	12.00	54.00	8.00	95.00
2012.10~2013.04	36.00	90.00	43.00	5.00	1.00	27.00	184.00

表 5、2008 至 2013 年枯水期「月平均流量」記錄

Table 5 Monthly average flow in dry season from 2008 to 2013

	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月
2008.10~2009.04	46.08	7.01	6.46	7.2	6.51	5.37	5.75
2009.10~2010.04	17.19	1.21	0	13.83	12.82	13.73	10.78
2010.10~2011.04	26.21	12.59	7.47	4.94	4.04	14.45	12.9
2011.10~2012.04	43.36	57.95	26.83	34.45	29.37	31.01	36.78
2012.10~2013.04	7.16	6.59	5.59	4.75	3.25	2.4	7.6

表 6、月雨量低於風災前且月平均流量高於風災前之月次統計

Table 6 Number of month which Monthly rainfall lower and Monthly average flow higher after Typhoon Morakot

	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月
月次	0	1	0	2	0	3	3

3. 災後河道淤積對水資源保育之功效

河川伏流水具有清澈無污染、開發用地小、取水設備建置費用低、對自然生態衝擊小等特點，如能開發河川上游伏流水，應用地下水觀測網所得資料分析，並與地面水聯合運用，可為解決台灣地區水資源及用水問題之絕佳方案(李昭順、劉振宇，2012)。經統計台灣南部適合取用伏流水之位置共有 17 處，其中有 3 處位於旗山溪流域，分別為甲仙溪河段、寶龍河段及杉林河段(李昭順，

2010)。颱風豪雨造成之崩坍，混雜有砂、泥、黏土、岩石、礫石等多種材料，惟粗砂、礫石等透水性佳之粗粒料係伏流水生成之要件。故風災後崩塌土砂堆積於河道中雖會影響河川通洪能力導致洪氾，然其粗砂、礫石提供伏流水生成，可解決水資源不足之問題。另枯水期挹注於河川中之伏流水，同時能維持河川基流量避免斷流，具有生態穩定及保育之功效。

4.未清疏河道潛藏大量伏流水之實例

比對旗山溪河道於莫拉克颱風前後變化及伏流水湧出情形如圖 7~10，圖 7 為颱風前河道，河川流路明顯，水流順暢，圖 8 為颱風後同一河道受到崩坍土石淤積之情形，以圖中吊橋為參考點，可知土砂淤積範圍涵蓋整個河谷且其厚度達 15~20 公尺，原有行水路已不復存在，惟於河道淤積土砂未疏濬之情形下，可看出為颱風後河道內淤積土砂下伏流水湧出之情形，由重車行駛所產生之車轍及坑洞處皆注滿伏流水之結果，可推估在厚達 15~20 公尺且大幅展寬之河道土砂下方之伏流水高程已接近地表且蘊藏量甚大。如能採用適當設備及工法即可取用淤積土砂下方大量清澈無污染之伏流水，提供水資源調節運用及自然生態保育。



圖 7 莫拉克颱風前之河床
Figure 7 Chishan River before Typhoon
Morakot



圖 8、莫拉克颱風之河床
Figure 8 Chishan River after Typhoon Morakot



圖 9、車轍內注滿伏流水
Figure 9 Rut filled with subsurface flow



圖 10、坑洞內注滿伏流水
Figure 10 Interflow pond in depression storage

結論

本研究藉由莫拉克颱風中遭受大量土砂崩坍之旗山溪為例，研究旗山溪流域於莫拉克颱風前後之暴雨事件與歷年枯水期之雨量及流量對應關係，可歸納出莫拉克颱風導致大量土砂崩坍堆積於旗山溪河道中，雖影響河川通洪能力，然其造成河道展寬及水流特性之改變，於豐水期降雨時能延長流量歷線，增加水流入滲時間及入滲量，蓄存豐水期之雨水於河道土砂之間，而入滲水體於堆積之粗砂與礫石之間形成伏流水，於枯水期補助河道流量。藉由颱風後河道淤積土砂之豐水期蓄存雨水，待至枯水期補助河川流量之機制，可調節水資源運用，並維持河川流量達到生態保育功效。

參考文獻

- 游保杉、謝龍生、連宛淪(2006)，「台灣南部地區長期雨量變動與乾旱特性變化趨勢」，災害防救電子報 14(1)：1-6。
- 經濟部水利署(2009)，台灣地區水資源開發綱領計畫，http://hysearch.wra.gov.tw/wra_ext/WaterInfo/wrproj/main/main.htm。
- 經濟部(2012)，氣候變遷下台灣地區地下水資源補注之影響評估。
- 童慶斌、譚仲哲(2008)，「氣候變遷對台北地下水補注之衝擊」，農業工程學報 54(1)：1-15。
- 游繁結、陳聯光(2010)，「八八水災坡地災害探討」，土木水利，37(1)：32-40。
- 張永誠、何世華、林昭遠(2012)，「旗山溪莫拉克颱風土砂災害河段清疏區位優選之研究」，水土保持學報 44(4)：407-420。
- 張家豪(2012)，「旗山溪河道幾何及水理特性變遷之研究」。
- 陳樹群、許中立(2009)，「莫拉克颱風形成之堰塞湖及危險度評估」，土工技術 122：79-156。
- 陸象豫、黃良鑫、魏新洵(1995)，「水文歷線分析及繪製電腦程式」，林業試驗所研究報告季刊 10(1)：51-58。
- 李昭順、劉振宇(2012)，「台灣西部河川上游經濟穩定的伏流水開發」，台灣水利 60(1)：29-36。
- 李昭順(2010)，「疏解臺灣南部缺水問題的淺見—取用河川上游伏流水」，地質專輯 29(2)：46-48。
- 經濟部水利署，「水文資訊網整合性服務系統」，<http://gweb.wra.gov.tw/hyis/>。
- 陳樹群、安軒霏(2012)，「荖濃溪與旗山溪河相對河防構造物之影響」。
- 錢寧、周文浩(1965)，「黃河下游河床演變」，科學出版社。
- 錢寧、張仁、周志德(1987)，「河床演變學」，科學出版社。
- 蔣丙然(1954)，「台灣氣候誌」，台灣研究叢刊。

17. 陳正祥(1957),「氣候的分類與分區」,台大實驗林林業叢刊第七號。
18. 淡江大學水資源管理與政策研究中心(2011),「因應異常氣候情勢水資源政策之檢討與調整研究」:74,經濟部水利署研究報告。
19. 國立臺灣大學氣候天氣災害研究中心(2012),「氣候變遷下台灣地區地下水資源補注之影響評估」:50,經濟部水利署研究報告。
20. 鄭克聲、林國峰、陳明仁、吳宜珍、王筠絮、張家銓、陳宜欣(2012),「氣候變遷水文情境評估研究(1/2)」,經濟部水利署研究報告。
21. 汪中和(2009),「從莫拉克談氣候暖化」,中央研究院週報第1246期:6-9。
22. Parker G.P. (1976), "On the cause and characteristic scales of meandering and braiding in rivers," *Journal of fluid mechanics*, 76: 457-480.
23. Ashmore P.E. (1991), "How do gravel bed rivers braid?" *Canadian journal of earth sciences*, 28: 326-341.
24. Ashmore P.E., Ferguson R.I., Prestegard K.L., Ashworth P.J., Paola C. (1992), "Secondary flow anabranch confluences in a braided, gravel-bed stream," *Earth Surface Processes and Landforms*, 17: 299-311.
25. Knighton, D., (1984), *Fluvial Forms and Processes*.

103年05月19日收稿

103年05月20日修改

103年06月05日接受

水土保持學報 47 (1): 1247–1258 (2015)

Journal of Soil and Water Conservation, 47 (1): 1247–1258 (2015)