財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS,INC.

中興工程・第122期・2014年1月・PP. 23-33
http://www.sinotech.org.tw/journal/

應用監測與遙測影像探討河道沖淤變化影響

何幸娟*　林伯勳**　張玉彝***　冀樹勇****

摘　要

本文旨在結合監測數據搭配遙測資料，探討民國 95 年『石門水庫及其集水區整治特別條例』啟動後，第 1 階段工程與非工程手段之土地利用管理等治理策略影響下，所發揮的土砂減量或抑制效應，對主流河道沖淤變化影響。分析顯示，於不同重現期洪峰流量下，大漢溪庫區入流點前河段之沖淤型態，在治理前後有沖淤互換情況；治理後本河段於 50 年、100 年、200 年重現期洪峰流量影響下，主河道土砂沖淤皆呈現淤積情況，顯示第 1 階段以崩塌裸露地治理，及設置防砂設施等災後立即治理工程完竣後，已可讓土砂停淤於庫區入流點前，抑止土砂往庫區運移，發揮階段性治理成效；惟相關單位仍需嚴防此處淤積土砂於汛期間隨洪水事件瞬間往下游帶送，危害河道或溪流沿線保全對象。建議須定期辦理河道變動監測工作，以達滾動檢討河道土砂相關治理作業，有效降低水庫淤積潛勢，期使石門水庫能永續發展。

關鍵字：石門水庫、河道沖淤、土砂收支、整治成效

一、前　言

自民國 85 年賀伯颱風後，石門水庫集水區陸續歷經艾利、海棠、馬莎、泰利、龍王等颱風事件，皆造成規模不等的道路坍方；連日豪雨更造成上游邊坡崩塌，土砂經由外力帶離原堆放區域，部分路基流失以及溪床土石淤積，原巴陵壩下游河床被嚴重淘刷；民國 96 年 9 月的韋帕颱風，更進一步淘刷巴陵壩基礎致使壩體毀損；巴陵壩潰壩後改變石門水庫集水區主流河道土砂沖淤情況，原堆積於壩體後方土砂開始運往下游，使得下游河道產生大量土砂堆積、河床高度抬升、河道變寬、或是水工結構物遭遇掩埋情況；上游河道則侵蝕下切加劇。不論是侵蝕或堆積，當土砂量體進入河道成為河道沖淤材料後，終將影響河道原本行水路徑、河床高度、庫容淤積量、水庫正常供水系統。為有效達到避免水患的目標，實有必要同時考量水、砂的作用及影響，針對上游集水區之土砂生產、運移、堆積等現況進行全面性調查與綜合評估（李鎮鍵等，2008）。

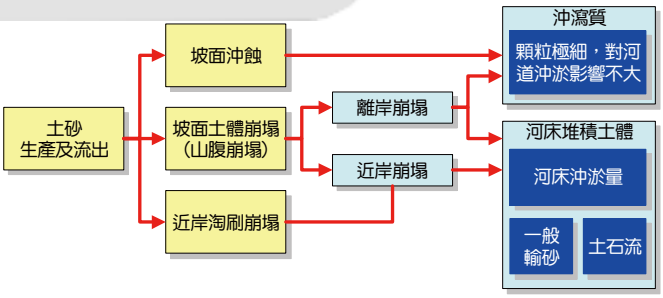
*　中興工程顧問社防災科技研究中心副研究員
**　中興工程顧問社防災科技研究中心環境資源監測組組長
***　中興工程顧問社防災科技研究中心副經理
****　中興工程顧問社大地工程研究中心、防災科技研究中心經理

中興工程・第122期・2014年1月・PP. 23-33
http://www.sinotech.org.tw/journal/

影響河道輸砂量多寡主因包含有土砂生產量體變化以及河道輸砂能力（Fuller *et al*., 2003）。集水區土砂生產係指坡面及河道土砂經各種外力作用而搬離原有位置之總量，包括坡面沖蝕（坡面土壤流失量）、崩塌（包含接近河岸及遠離河岸崩塌）及河道輸砂量（含土石流）等；土砂料源經由水流搬運匯集於下游子集水區出口處後，即構成子集水區基本產砂機制（如圖 1）。其中，坡面沖蝕量多寡受制於地表狀況、土壤性質、坡度緩急、地質條件、降雨強度大小、逕流速度等不同內在條件與外在營力影響，常以土壤流失經驗公式或統計迴歸方式進行估算（陳樹群等人，1998、2009；林俐玲，2008、謝正倫，2008；許振崑等人，2009；梁惠儀等人，2010；林伯勳等人，2010；何幸娟等人，2012）。崩塌量體估算可利用傳統地形測量至現地量測堆積面積及高程，以估算現場崩塌地堆積體積，但傳統地形測量過於耗費人力且耗時，無法提供即時數據；水土保持技術規範（2003）第二章第五節「泥砂生產調查」之第 38 條規定：「崩塌量調查方法，應由實測或部分配合推估實施之。新增崩塌地得利用實際勘查或利用航照圖判斷，亦得利用衛星影像分析，以進行崩塌量之調查」。故可藉由不同時間歷史衛星影像判釋之崩塌地，將所獲得總崩塌面積乘上平均崩塌土壤厚度或利用數學積分計算，獲得單場或特定時期之崩塌量（陳信雄，1995；Khazai and Sitar, 2000；陳樹群，2006；蕭震洋等，2009；何幸娟等，2010、2012）。

前述崩塌及沖蝕等生產土砂匯入河道後，即沿河道向下游輸送；水砂運移過程會造成不同河段沖刷或淤積之河床變動（謝正倫，2009）。一般來說，河道輸砂變化量計算可分為「輸砂經驗式」與「土砂收支分析」兩種（舒彩文和談廣鳴，2009；水保局，2012；何幸娟等，2013）。常用之輸砂經驗式有何黃公式（黃宏斌和何智武，1992）及 Schoklitsch 公式（Schoklitsch, 1934）等兩種。然採用輸砂經驗式計算時，須有大量現場調查數據進行率定與驗證，且僅適用於有常流水之主河道，較不適用分析支流集水區。在水土保持工程實務應用上，為整合集水區土砂生產、土砂遞移以及土砂堆積等河道土砂輸送過程，可透過土砂收支（Sedimant Budget）分析概念，探討河道沖淤行為；集水區土砂收支分析係結合集水區土砂生產與土砂運移演算之整合概念。吳健民（1978）曾以葛樂禮颱風事件進行石門水庫地區土砂收支估算，惟其僅初步運用霞雲水文站作為土砂運移控制點進行收支模式建置，尚未周延考量集水區上下游土砂運移狀況。水利署（2006）以濁水溪為例，利用河床沖淤量測、灌溉渠道土砂估算以及水文站分析等評估土砂收支，惟在產砂模組中其並未考慮上游崩塌量。欲建立可靠度佳且合理之土砂收支模式，需透過長期監測與有效水文資料建立，才能確切說明集水區土砂收支過程，分析河道沖淤行為及運移歷程，供以作為水庫防淤整治規劃參考。

鑒此，本文係運用石門水庫集水區之遙測影像以及主河道上水文站監測資料，從土砂生產、河道輸砂等土砂收支觀點，探討石門水庫第 1 階段整治計畫啟動後（民國 95 至 98 年期間），在工程以及非工程手段之土地利用管理等治理策略影響下，所發揮土砂減量或抑制效應對主流河道沖淤變化影響。



（重繪自 水保局，2008）

圖 1　集水區土砂收支示意圖

中興工程．第122期．2014年1月．PP. 23-33
http://www.sinotech.org.tw/journal/

二、石門水庫及其集水區整治計畫

『石門水庫及其集水區整治特別條例』整治規劃重點主要係以災害治理、水土保持監測與管理、山坡地與生態環境資源保育為策略，並以降低原水濁度、水庫延壽及提高整治率為目標。整治計畫共分兩階段進行，第 1 階段施行期間為民國 95 年至 98 年（原為民國 95 年至 97 年，於民國 97 年 8 月通過第 1 階段修訂，將第 1 階段展延並修正為民國 95 年至 98 年），其工程執行上主要以崩塌裸露地治理及設置防砂設施為主，目標為防治 1,050 萬 m^3 土砂量，提升整體集水區整治率達 54%；第 2 階段施行期間為民國 98 年至 100 年，工程執行上主要以植生復育為主，預期防治 828 萬 m^3 土砂量，提升集水區整治率達 62%。綜整石門水庫集水區整治計畫啟動迄今相關保育治理規劃案執行內容發現，第 1 階段石門水庫集水區整治計畫中，上游集水區以集水區保育治理為主，共可分「土地使用管理、環境生態」、「防災監測」、「水庫集水區保育」、「保育防災教育宣導」等工作項目，其主要目的為減少計畫區內洪災損失及土壤流失，保護農田、房舍、道路及人民生命財產安全；第 2 階段主要著重於植生復育成效及土砂成因探討，並以環境生態保育為主要工作。

民國 99 年期間，水利署歷經多次會議討論與專家訪談後，再依據各機關單位治理權責及管理屬性，研擬石門水庫集水區永續經營藍圖，共有四大策略目標，包含（1）水量穩定：達到上游集水區水量涵養，庫區水量維持，供水區水量充足的穩定目標；（2）水質良好：庫區與集水區河川達到乙類水質標準的目標；（3）水患無災：集水區與庫區土砂和洪水災害減至最低，達到災害零死亡的目標；（4）生態保育：達到棲地營造、物種多樣化與指標物種數量增加之目標。此藍圖確實展現出石門水庫永續發展重要方針、經營理念以及未來發展方向，並供以後續其他水庫集水區經營治理參考。

三、治理前後集水區整治工程與河道輸砂變化

(一) 集水區整治工程

石門水庫集水區坡面土砂主要可分為逕流沖蝕、崩塌、不穩定邊坡等，前述三項砂源最終皆會落入河道，成為主河道長期堆積之沉積物；故欲達降低原水濁度及延長水庫使用年限等保育治理目標，抑制集水區上游坡地裸露區域之崩塌與表土沖蝕亦為工程整治重點之一。基於上述，水保局、桃園縣政府、新竹縣政府等相關主管機關於「石門水庫整治計畫」執行期間（民國 95 年至 98 年）共辦理 224 件山坡地保育治理工程（如圖 2），且目前皆已完竣。依據前述已竣工治理工程資料顯示，山坡地保育治理工程已處理 155.2ha 崩塌地，總計可抑制 1,989 萬 m^3 崩塌土砂下移至主流河道（水保局，2012），有效減少入庫土砂量，達整治計畫預期目標。

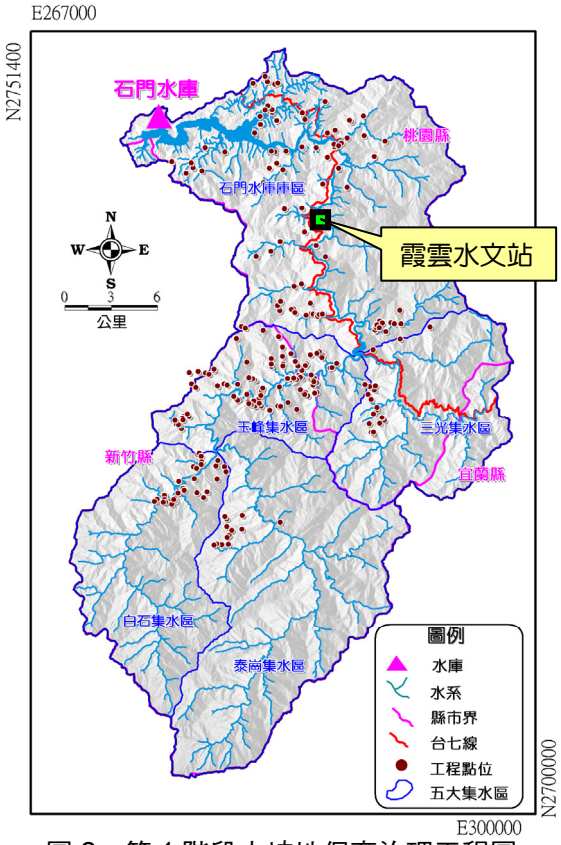


圖 2　第 1 階段山坡地保育治理工程圖

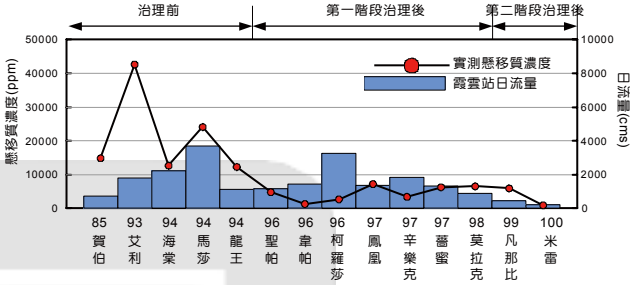
中興工程・第122期・2014年1月・PP. 23-33
http://www.sinotech.org.tw/journal/

(二) 河道輸砂變化

集水區土砂遞移過程與下游河道防砂設施具有直接關聯；防砂設施除可直接攔阻土砂外，隨壩體攔蓄空間逐漸淤滿，進而調整河道坡度趨緩，遂改變整體輸砂能力，達到降低或維持一定土砂遞移效果。水保局（2012）考量集水區土砂生產受天然颱風事件及人為治理造成集水區土砂生產環境及輸送行為變化影響，以石門水庫集水區內最下游之霞雲水文站實測資料為例（分析年份為民國 51 年至 100 年），分年期分析治理前後觀測流量與懸移質濃度資料比較，說明石門水庫集水區經整治後減緩土砂遞移成效。

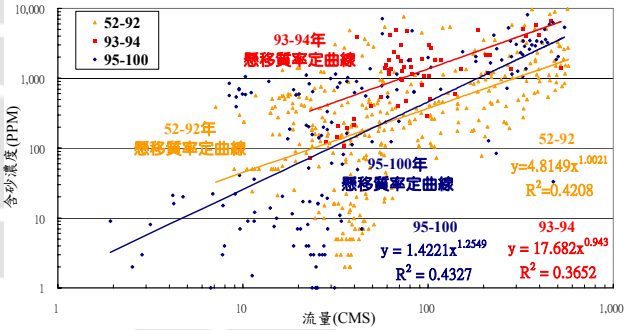
1. 艾利颱風（民國 93 年）至整治計畫辦理前（民國 94 年）：治理前集水區受多場密集豪雨事件影響，如艾利颱風、瑪莎颱風、海棠颱風等，集水區崩塌地面積大規模增加；於中低流量下含砂濃度遞增，霞雲站輸砂量僅次於民國 52 年葛樂禮颱風事件，顯示集水區既有防砂設施已無法控制遞增崩塌所產生土砂量，故為有效抑制集水區土砂生產量，辦理主河道防砂設施及集水區水土保持設施有其必要性與急迫性。
2. 整治計畫期間（民國 95 年至 100 年）：集水區受多場密集豪雨事件影響，如柯羅莎颱風、辛樂克颱風等，高流量下含砂濃度仍大致與前期含砂濃度相同，但中低流量下霞雲站含砂濃度約為前期 1/10，顯示整體保育工程已有效發揮抑制土砂生產及減少土砂輸送之功能。

此外，為加強闡述集水區保育治理工作抑制河道含砂濃度成效，亦分析整治計畫執行前後霞雲站歷次颱洪事件流量與含砂濃度（水保局，2012），如圖 3 所示，由圖 3 發現，整治前霞雲站紀錄含砂水流之含砂濃度變化介於 12,650ppm 至 42,658ppm 間；整治後含砂濃度降低至 1,316ppm 至 7,198ppm 間，顯示颱洪事件雖造成日流量超出工程設計標準，但集水區保育治理工程已持續發揮原設計功效，減緩入庫土砂抑制水質濁度升高。若扣除颱洪事件實測資料，以霞雲站民國 52 年至 100 年實測懸移質-流量資料進行率定曲線分析（如圖 4），發現集水區含砂濃度在治理工程執行前後明顯呈現下降趨勢，相較於民國 52 至 92 年之率定曲線差異不大，顯示集水區上游地區進行各項坡地水土保持處理措施成效良好，坡面植生復育佳，細顆粒土砂流出少，河道含砂濃度降低，整體集水區輸砂狀況逐漸恢復至艾利颱風發生前之狀態。



（重繪自 水保局，2012）

圖 3 霞雲水文站颱洪事件流量與含砂濃度分析圖



（摘自 水保局，2012）

圖 4 整治計畫執行前後霞雲站含砂濃度變化圖

四、石門水庫集水區整治計畫前後河道沖淤變化

藉由前述觀察，當集水區土砂產量匯入主流順沿河道向下游輸送過程中，造成河段沖淤變動，且過程中會受到治理期間，工程陸續進駐後與非工程手段之土地利用開發限制所發揮土砂減量或抑制效應，故本計畫探討焦點在於利用土砂生產、河道輸砂等土砂收支概念，推估石門水庫

集水區河道沖淤變化。本文土砂收支計算單元係將某一河段內土砂運移過程，簡化成以河段上、下游作為土砂運移之控制邊界點，再利用兩已知之「支流土砂產量」與「主河道控制點土砂產量」推估此河段內平均土砂沖淤量體，如式（1）所示。

$$C_{i-1} = A_i - A_{i-1} + \sum B_i \quad \text{.....} \quad (1)$$

上式中 A_i 為主流河道控制點輸砂量；B_i 為支流土砂產量；C_{i-1} 為河段平均土砂沖淤量體。

基此，本文以石門水庫集水區為分析範圍，並以民國 93 年艾利颱風後崩塌裸露地面積較大且為重要治理區域之義興溪、匹亞溪、寶里苦溪、秀錦溪、延老溪、蘇樂溪、卡拉溪、萱源溪、把加灣山溪、新興溪、砂崙仔溪、抬耀 2 號野溪、泰平溪、下文光溪、下田埔野溪、泰崗 1 號溪、泰崗 2 號溪、葛樂喜溪等 18 個支流集水區為石門水庫集水區內主要產砂區域，並為供應主河道土砂量之基本單元。再以石門水庫集水區內主流上 5 個水文站及庫區入流點作為土砂收支分析中主流河道輸砂控制點（如圖 5），藉以建構石門水庫集水區於整治前後不同重現期下長期土砂收支分析方式；瞭解石門水庫集水區受人為治理影響下，上、下游河段土砂沖淤狀況。以下針對前述提及土砂產量、控制點輸砂量、入流點輸砂量等課題，依序述明其計算方法；接著依此分析法配合監測資料與遙測影像計算相關土砂產量與輸砂量；最後，探討整治前後河道沖淤變化分析結果。

(一) 土砂產量

土砂生產為一自然現象，但若土壤沖蝕量或坡面崩塌量因豪雨誘發及地表逕流帶入河道，或經其他介質流入下游進入水庫內，造成水庫濁度及淤積量升高，將影響水庫供水能力（王晉倫，2010）；因此如何有效調節集水區土砂量運移進入庫容係為石門水庫集水區整治計畫重要課題之一。集水區土砂產量因其機制甚為複雜，目前各家學說大致上皆採用經驗式加以評估（林昭遠，2006）；土砂產量考量方式包含崩塌量、土壤沖蝕量以及土砂遞移率等三種參數，計算式可簡化如下。

$$V_{WSFS} = V_{ER} + V_{LS} \times SDR \quad \text{.....} \quad (2)$$

式中 V_{WSFS}：集水區坡面土砂流出量（m^3）；

V_{ER}：集水區土壤沖蝕量（m^3）；

V_{LS}：集水區坡面土砂崩塌生產量（m^3）。

SDR：土砂遞移率。

其中，本文以 18 子集水區作為石門水庫內主要產砂區域。各支流年平均土砂總產量參考前述文獻推估方式，以年平均新增崩塌土砂量與年平均土壤沖蝕量總和代表；其中為保守估算，考量各重現期洪峰流量下最大可能河道沖淤變化，故遞移率採用 1.0。

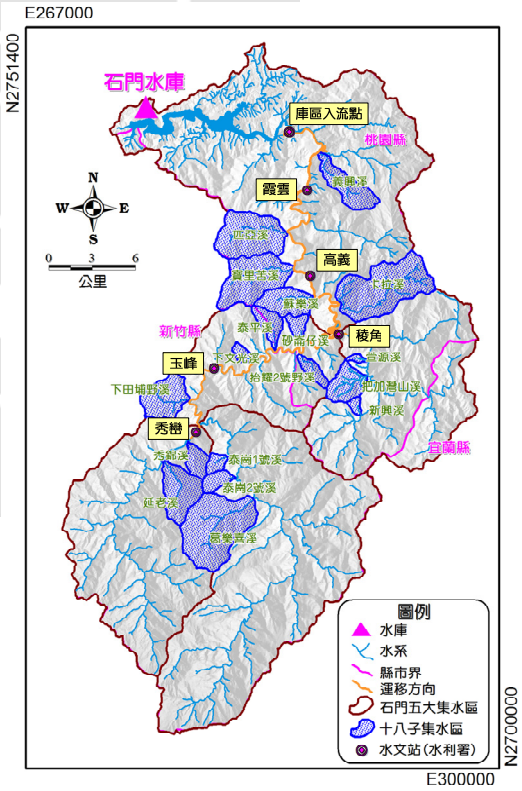


圖 5　石門水庫集水區境內水文站及山坡地重要治理區域分布圖

中興工程・第122期・2014年1月・PP. 23-33
http://www.sinotech.org.tw/journal/

(二) 控制點輸砂量

當土砂匯入主流後，依其運移運動機制不同，可分為沖瀉載（Wash Load）及床砂載（Bed Material Load），如圖 6 所示（錢寧、萬兆惠，1983）。其中，本文係探討床砂載之沖淤變化；床砂載包含推移質與懸移質等兩類；推移質屬於較粗顆粒，其運動方式係與底床維持一斷斷續續接觸之關係。懸移質屬於較細顆粒，在往下游輸運過程中多懸浮於水體內，與底床接觸之時間較短。水利署（2006）、水保局（2009）等相關研究報告指出，推移質輸砂量約佔懸移質輸砂量 40%。另懸移質輸砂量可以流量與含砂濃度率定式推估；再利用推移質輸砂量佔懸移質輸砂量比例關係推求控制點輸砂量。

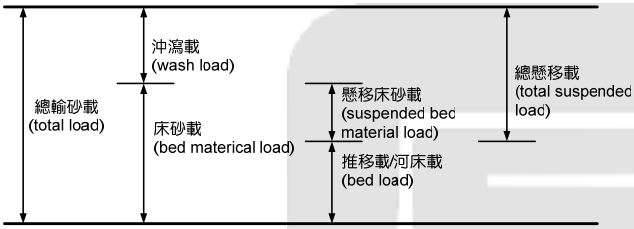


圖 6　河川輸砂組成分類示意圖

因此，本文以水利署玉峰、稜角、秀巒、高義及霞雲等 5 處流量站歷年實測資料，建立含砂濃度與流量迴歸式，再估算不同重現期流量下主河道控制點懸移質輸砂量；最後，透過式（3）轉換為總輸砂量。

$$Q_T = Q_s + Q_b = 1.4 \times Q_s \quad \text{.....} \quad (3)$$

上式中，Q_T 為控制點輸砂量；Q_s 為懸移質輸砂量；Q_b 為推移質輸砂量。

(三) 入流點輸砂量

由於『石門水庫及其集水區整治特別條例』整治規劃主要目標在於降低原水濁度及水庫延壽，因此治理工程是否能有效抑制主河道上土砂運移進入庫區係為觀察重點。故本文土砂收支分析以庫區入流點作為主流河道輸砂控制點最終點。另因水庫庫容新增淤積量飆升時間點多與誘發大規模土砂災害之水文事件有關（何幸娟等，2013；水利署，2007）；參考水利署歷年石門水庫新增淤積量監測資料，再搭配該年度主要誘發庫容淤積之降雨事件平均雨量（且事件發生時間點與庫容淤積量監測時間最近），以非線性迴歸方式建立淤積量簡易推估公式（如式（4）與圖 7），供以估算庫區淤積量。

$$V_s = 0.000172 \times RI^{2.634} \quad \text{.....} \quad (4)$$
$$R^2 = 0.63；n=14；58 \leqq RI \leqq 1{,}375$$

式中，V_s 為水庫新增淤積量（$10^3 m^3$）；RI 為集水區單場事件累積降雨量（mm）。

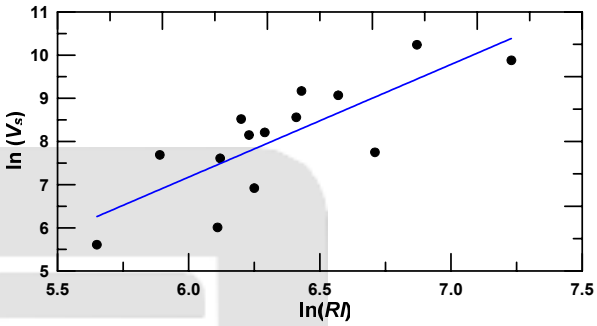


圖 7　石門水庫歷年淤積量與累積降雨量關係圖

(四) 整治計畫前後土砂產量與輸砂量計算

抑制集水區土砂生產以及降低泥砂入庫係為集水區治理工作重要環節之一。因本文係探討第 1 階段工程以及非工程手段之土地利用管理等治理策略影響下，所發揮土砂減量或抑制效應對於主流河道沖淤變化影響，分析時程上以第 1 階段整治前後作為時間分界點；在考量資料完整度與蒐集情況後，將分析時程定義如下，據以推估整治前後集水區土砂產量與控制點輸砂量；

a. 整治前：民國 93 年 1 月至 94 年 12 月
b. 整治後：民國 95 年 1 月至 98 年 12 月

本文透過整治前後共 10 場事件衛星影像（如圖 8），以人工數化及遙測判釋技術，建置石門水庫集水區主要產砂區域（18 子集水區）於土砂災害事件後新增崩塌地面積（如圖 9），再搭配庫區土壤厚度與坡度迴歸經驗式（水保局，2011），估算整治前後歷年颱風事件引致年平均新增崩塌土砂量體；其中治理前誘發土砂災害事

件係採艾利颱風後、海棠颱風後、瑪莎颱風後、泰利颱風後、龍王颱風後、珊珊颱風後等 6 場颱風事件；治理後係採柯羅莎颱風、如麗颱風、薔蜜颱風、莫拉克颱風等，共 4 場。另年平均土壤沖蝕量係以通用土壤流失公式（USLE）推估各子集水區年平均土壤沖蝕量。彙整各支流整治工程進駐前、後土砂產量，如表 1 所示。整治前後，主流上各土砂收支控制點輸砂量迴歸式，與不同重現期洪峰流量下輸砂量計算成果，彙整如表 2 與表 3 所示。

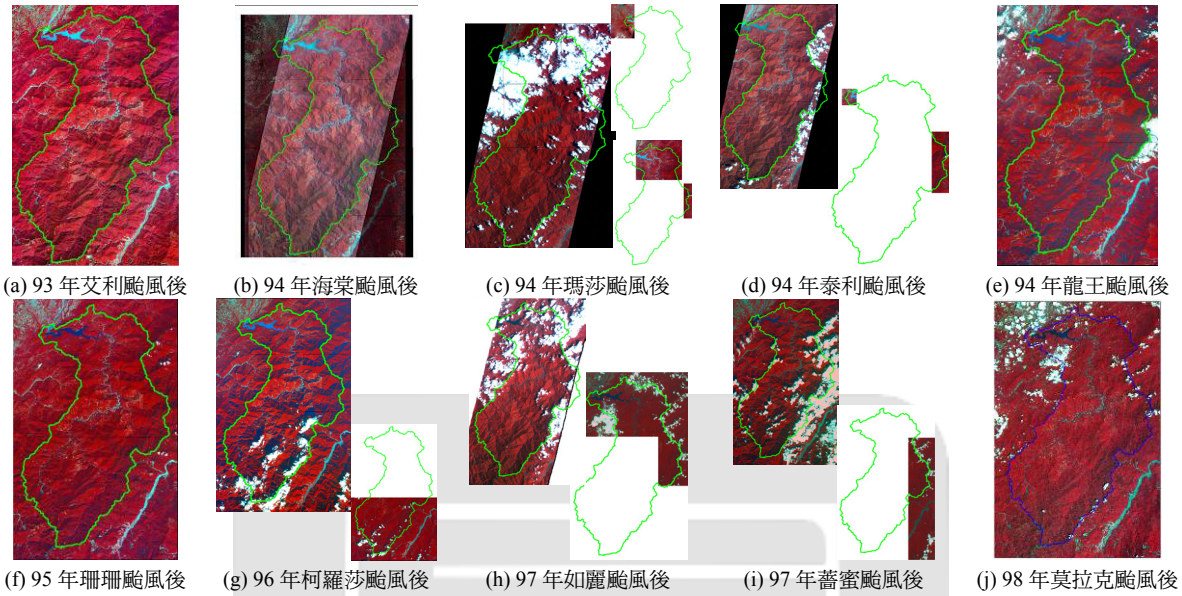

(a) 93 年艾利颱風後
(b) 94 年海棠颱風後
(c) 94 年瑪莎颱風後
(d) 94 年泰利颱風後
(e) 94 年龍王颱風後
(f) 95 年珊珊颱風後
(g) 96 年柯羅莎颱風後
(h) 97 年如麗颱風後
(i) 97 年薔蜜颱風後
(j) 98 年莫拉克颱風後

圖 8　歷史重大災害事件遙測影像（摘自 水保局，2012）

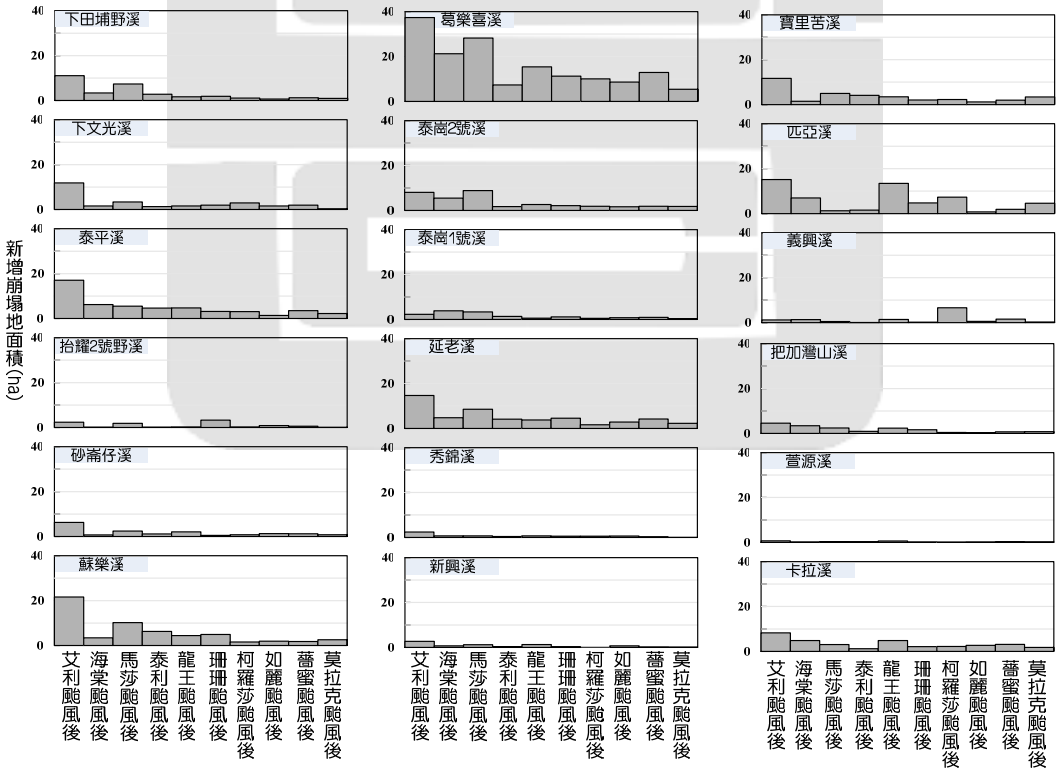


圖 9　第 1 階段整治前後歷次颱風事件主要產砂區域新增崩塌地面積圖

中興工程・第122期・2014年1月・PP. 23-33
http://www.sinotech.org.tw/journal/

表 1　整治前後土砂產量彙整表

集水區	年平均新增崩塌土砂量(10^4m^3)		年平均土壤沖蝕量(10^4m^3)	年平均土砂總產量(10^4m^3)	
	A	B	C	D1=A＋C	D2=B＋C
	93 年至 94 年	95 年至 98 年	93 年至 98 年	93 年至 94 年	95 年至 98 年
葛樂喜溪	31.66	9.11	16.45	48.12	25.57
泰崗 2 號溪	7.22	1.90	15.27	22.48	17.17
泰崗 1 號溪	2.99	0.65	5.49	8.48	6.14
下田埔野溪	7.73	1.25	5.09	12.82	6.34
下文光溪	6.58	1.34	1.79	8.38	3.13
泰平溪	12.67	2.60	3.43	16.10	6.03
抬耀 2 號野溪	1.50	0.80	3.03	4.52	3.83
砂崙仔溪	4.09	1.11	2.56	6.65	3.67
新興溪	1.58	0.21	1.24	2.82	1.45
把加灣山溪	3.29	0.44	11.37	14.66	11.80
萱源溪	0.49	0.07	0.99	1.48	1.06
卡拉溪	7.27	2.02	27.91	35.17	29.93
蘇樂溪	13.84	2.25	10.91	24.75	13.16
延老溪	10.73	2.76	11.30	22.03	14.06
秀錦溪	1.56	0.41	8.00	9.56	8.41
寶里苦溪	7.44	1.41	9.30	16.74	10.71
匹亞溪	12.31	4.18	14.77	27.09	18.96
義興溪	1.16	2.74	7.03	8.19	9.77

表 2　控制點土砂產量相關資訊彙整表

水文站	含砂濃度與流量迴歸式		重現期流量(cms)						
	93 年至 94 年	95 年至 98 年	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
霞雲	$Cv=87.089\times Q^{0.6091}$	$Cv=1.8263\times Q^{1.1702}$	235	569	880	1,384	1,847	2,389	3,021
高義	$Cv=33.266\times Q^{0.8252}$	$Cv=164.31\times Q^{0.715}$	1,135	2,047	2,651	3,413	3,979	4,541	5,100
稜角	$Cv=194.03\times Q^{0.7945}$	$Cv=4.6334\times Q^{1.1199}$	205	552	986	1,722	2,378	3,105	3,897
玉峰	$Cv=42.043\times Q^{0.8665}$	$Cv=2.8785\times Q^{1.171}$	1,653	3,122	4,094	5,322	6,233	7,138	8,039
秀巒	$Cv=224.49\times Q^{0.796}$	$Cv=3.2271\times Q^{1.3995}$	1,874	3,588	4,874	6,589	7,904	9,236	10,586

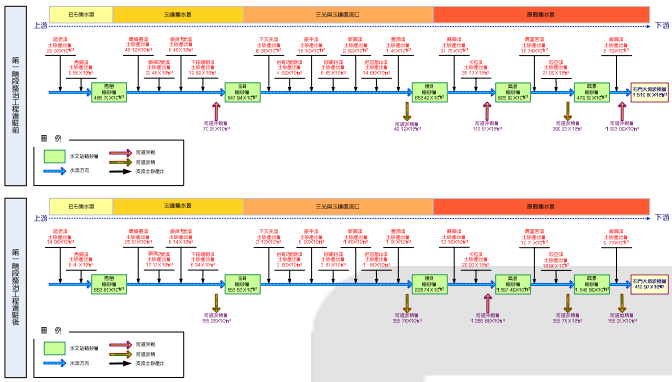
表 3　整治前、後控制點土砂產量相關資訊彙整表

水文站		期程	控制點各重現期下平均輸砂量(10^4m^3)						
			2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	200 年
霞雲	整治前	93 年至 94 年	47.30	134.55	220.28	357.82	479.52	616.11	767.40
	整治後	95 年至 98 年	68.03	278.68	541.83	1,042.33	1,546.99	2,169.19	2,916.86
高義	整治前	93 年至 94 年	73.27	233.75	383.41	618.96	825.92	1,057.66	1,314.01
	整治後	95 年至 98 年	159.93	475.71	757.30	1,187.71	1,557.49	1,964.94	2,409.41
稜角	整治前	93 年至 94 年	8.03	47.49	134.75	366.40	653.42	1,055.10	1,586.20
	整治後	95 年至 98 年	1.21	10.04	34.81	114.75	228.74	405.04	658.63
玉峰	整治前	93 年至 94 年	62.37	187.40	303.56	486.64	647.94	829.00	1,029.83
	整治後	95 年至 98 年	36.37	130.77	229.15	396.76	553.53	737.26	948.86
秀巒	整治前	93 年至 94 年	12.01	58.72	128.25	289.30	485.79	771.70	1,176.17
	整治後	95 年至 98 年	4.66	38.84	110.30	327.03	653.61	1,213.00	2,130.01

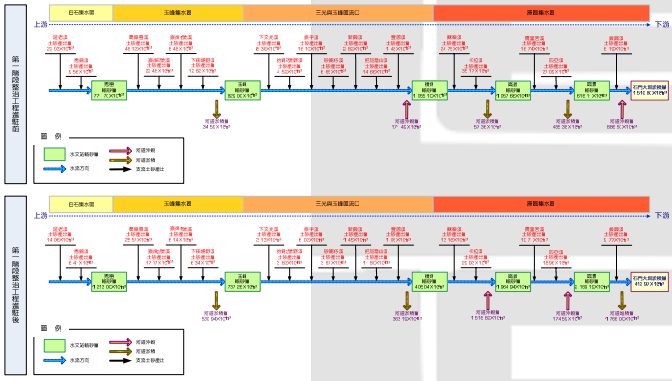
財團法人中興工程顧問社
SINOTECH ENGINEERING CONSULTANTS,INC.
中興工程．第122期．2014年1月．PP. 23-33
http://www.sinotech.org.tw/journal/

(五) 整治前後河道沖淤變化

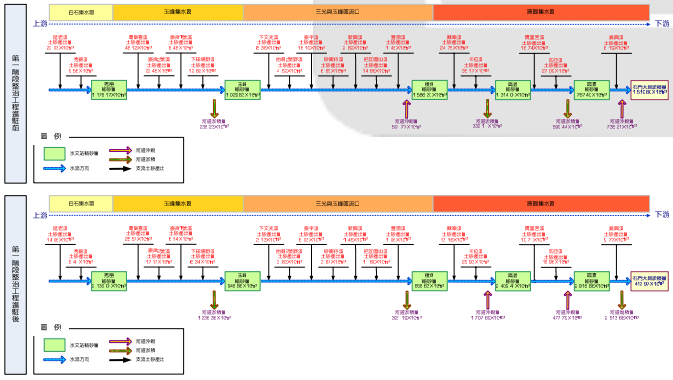
依前述各事件所引致不同支流集水區之土砂量及配合流量站輸砂量計算結果，再透過土砂收支計算（如式 1），即可探討各河段間於不同重現期下整治前後河床沖淤變化以及對下游水庫淤積影響。圖 10 分別為第 1 階段整治前、後石門水庫集水區內不同重現期下洪峰流量下河道沖淤變化分析圖，依序評析如下。



（a）50 年重現期洪峰流量下河道沖淤變化分析圖



（b）100 年重現期洪峰流量下河道沖淤變化分析圖



（c）200 年重現期洪峰流量下河道沖淤變化分析圖

圖 10　石門水庫集水區整治工程進駐前、後不同重現期下河道沖淤變化分析圖

1. 秀巒至玉峰水文站（玉峰集水區）

由圖 10 可知，秀巒至玉峰水文站區間河道在整治工程進駐前後，於 50 年重現期洪峰流量下，本區段河道有沖淤行為互換現象。於整治前本區段河道屬沖刷現象，但整治後本區段河道沖淤型態屬於淤積，可見本區域內整治工程已可有效預防土砂隨高流量水流往下游帶送，未影響下游庫容以及供水系統。惟後續仍須嚴防此處淤積土砂於颱洪期間隨洪水事件瞬間往下游運移。

2. 玉峰至稜角水文站（玉峰集水區）

當玉峰至稜角水文站區間河道受 50 年重現期洪峰流量影響下，主河道淤積量體以整治後較高；於 100 年以及 200 年重現期洪峰流量影響下，整治前河道原屬於沖刷，但整治後卻轉為淤積，顯見整治過後本區域河道上淤積土砂將有增加趨勢。另外，因該段僅有乙座玉峰壩，建議應適時辦理清淤恢復壩體防砂效能，避免潰壩事件再現，造成土砂溢流，危害玉峰壩以下集水區保全對象。

3. 稜角至高義水文站（三光與玉峰集水區匯流口，屬庫區集水區）

由圖 10 可知於不同重現期下，玉峰集水區中下游區域河道以沖刷主控，於整治前沖刷土砂量介於 5.32 至 192.63 萬 m^3；集水區整治過後，於不同重現期洪峰流量影響下，河道沖刷量體介於 115.64 至 1,707.69 萬 m^3。由此可見，自巴陵壩潰壩後，本區段河道仍未達平衡狀態，建議相關單位辦理本區段河川治理規劃，以有效減緩河道持續下切運動。

4. 高義至霞雲水文站（庫區集水區）

高義至霞雲水文站河道區間於 50 年重現期以下之洪峰流量影響時，河道沖淤型態皆屬淤積。於 100 年重現期影響下，河道沖淤作用已轉為沖刷運動。為避免本區段內之榮華壩以及義興

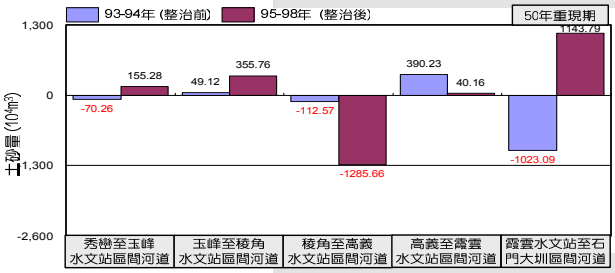
中興工程・第122期・2014年1月・PP. 23-33
http://www.sinotech.org.tw/journal/

壩之囚砂量過多造成河道溢流，危害集水區下游沿線保全對象，故此建議相關單位應適時辦理河道疏濬，減低水庫淤積風險。

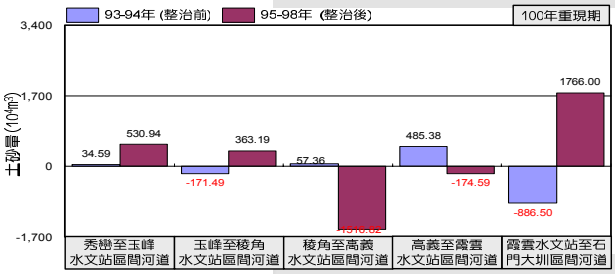
5. 霞雲水文站至石門大圳（庫區集水區）

於 50 年、100 年以及 200 年等重現期下，本區段河道在整治前、後沖淤互換。由於本區已屬地勢較平緩區域，河道兩岸開發情況較上游地區更為明顯，因此，若河道中淤積量過大導致溢流情況發生，將直接影響河道兩岸保全對象。由於本區域已接近水庫蓄水區域，故建議相關單位應加強河川治理，以延續水庫使用年限以及避免高濁度事件發生，產生民生供水危機。

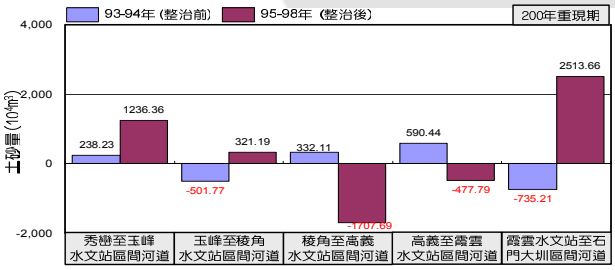
另透過整治前、後不同重現期下之河道收支分析量體圖（如圖 11）可知，在 50 年、100 年以及 200 年重現期洪峰流量影響下，玉峰至稜角水文站區間河道（屬玉峰溪）之平均淤積量以整治過後較高，其淤積量介於 225.31 至 363.19 萬 m^3，此項觀察顯示於 95 年整治工程進駐後，上游支流集水區之土砂產出量未往下游運移，仍堆積於上游河道內，未影響庫容縮減以及民生供水系統；惟後續仍須嚴防此處淤積土砂於颱洪期間隨洪水事件瞬間往下游運移。另於高義至稜角水文站區間河道，自巴稜壩潰壩後其河道呈現持續沖刷現象，代表區段河道至今仍未達均夷狀態，本現象與水保局（2010、2011、2012）等河道斷面測量成果相符，故建議相關單位進行本區段整治時，可依據不同設計流量進行整治工程規劃，以有效減低河道下切運動。



（a）50 年重現期



（b）100 年重現期



（c）200 年重現期

圖 11　整治前、後不同重現期下之主河道土砂收支分析量體圖

五、結論與建議

由分析成果顯示，治理後本河段受不同重現期洪峰流量影響下，主河道土砂沖淤皆呈現淤積情況，顯示第 1 階段崩塌裸露地治理，及設置防砂設施等災後立即治理工程完竣後，已可讓土砂停淤於庫區入流點前，抑止土砂往庫容運移，發揮階段性治理成效；惟相關單位仍需嚴防此處淤積土砂於防汛期間隨洪水事件瞬間往下游帶送，危害集水區下游沿線保全對象。另由於巴陵壩潰壩後對其上游河道影響甚鉅，且現階段河道仍未達平衡，故建議相關單位應持續監測颱洪期河道變動情況，以達滾動檢討河道土砂相關治理作業，有效達至集水區減災避災以及水庫永續發展，確保水庫正常供水。

鑑此，由土砂收支觀點配合監測數據與遙測資料，雖無法得知土砂動態變化，但可利用有限資料簡化評估河道沖淤變化，快速求得集水區生產土砂與河道運移量相對關係，提供相關單位進行水利工程設計參考。惟因本文主要係針對水文頻率活動推估河道可能沖淤變化；未來可再針對特定颱風豪雨事件之水文條件，再依所提評析方

式進行評估，並於重要沖淤變異處設立監測控制點，如河道斷面及泥砂濃度等，同時配合遙測影像加以驗證，以增加土砂收支分析結果可靠性。

參考文獻

Fuller, C. W., Willett, S. D., Hovius, N., and Slingerland, R.（2003）Erosion Rates for Taiwan Mountain Basins: New Determinations from Suspended Sediment Records and a Stochastic Model of Their Temporal Variation, The Journal of Geology, Vol. 111, pp. 71-87

Khazai, B. and Sitar, N.（2000）Assessment of Seismic Slope Stability Using GIS Modeling, Geographic Information Sciences, Vol. 6（2）, pp. 121-128

Schoklitsch, A.（1934）Geschiebetrieb und die Geschiebe-fracht, Wasserkraftunt Wasserwirtscht, Jgg. 39, Heft4

李鎮鍵、蔡元融、謝正倫、邱禎龍（2008）濁水溪侵蝕及堆積評估模式，流域地質與坡地災害研討會，台灣台北。

林伯勳、何幸娟、陳建宏、冀樹勇、施美琴、尹孝元（2010）神木集水區降雨引致土壤沖蝕量調查與監測，第十九屆水利工程研討會，國立雲林科技大學，台北，第 M9-M15 頁

林俐玲（2008）土壤沖蝕指數估算公式之研究，中華水土保持學報，第 39 卷，第 4 期，第 355-366 頁

林昭遠、陳昱豪、林家榮（2006）集水區泥砂產量推估之研究，水土保持學報，第 38 卷，第 2 期，第 207-218 頁

梁惠儀、許振崑、林伯勳、鄭錦桐、冀樹勇（2010）極端暴雨事件於石門水庫集水區土壤沖蝕量估算及探討，中興工程，第 106 期，第 5-15 頁

何幸娟、林伯勳、冀樹勇、鍾啟榮、邱世宜（2012）石門水庫集水區崩塌時空變遷與保育治理成效探討，水保技術，第七卷，第三期，第 174-188 頁

何幸娟、林伯勳、冀樹勇、引孝元、施美琴、羅文俊（2012）神木集水區土壤沖蝕特性，中華水土保持學報，第 43 卷，第 3 期，第 275-283 頁

何幸娟、林伯勳、張玉莽、冀樹勇、簡以達、蔡明發（2013）以河道監測調查結合遙測影像評估莫拉克颱風事件後曾文水庫集水區河道沖淤演變，第 13 屆大地工程研討會，雲林

何幸娟、林伯勳、尹一帆、冀樹勇、施美琴、尹孝元（2010）應用遙測技術結合空載 LiDAR 探討神木地區莫拉克颱風引致土砂災害及產量評估，水保技術第 5 卷，第 4 期，第 191-203 頁

黃宏斌、何智武（1992）台灣東北部上游集水區泥砂來源與河道沖淤之研究（二），80 年度水土保持及集水區經營研究計畫成果彙編，林業特刊，第 40 號，第 239-284 頁

錢寧、萬兆惠（1983）泥砂運動力學，科學出版社

謝正倫（2008）水庫濁水現象之研究-子計劃一水庫集水區細微土砂來源之空間分布特性之分析，國科會研究成果報告，計畫編號 NSC 95-2625-Z-006-003

謝正倫、蔡元融、林彥均、陳俞旭、邱禎龍（2009）應用動床演算於流域土砂收支模式之研究，2009 年流域地質與坡地災害研討會論文集

蕭震洋、謝寶珊、高丞瑋、林伯勳、鄭錦桐（2009）石門水庫集水區不同時期崩塌地變遷分析與探討，中國地球物理學會與中華民國地質學會 98 年年會暨學術研討會

許振崑、林伯勳、鄭錦桐、高丞瑋、冀樹勇、黃文洲、尹孝元（2009）結合 3S 技術於石門水庫集水區不同植生坡面沖蝕量調查，水保技術，第 4 卷，第 3 期，第 191-203 頁

陳信雄（1995）崩塌地調查與分析。

陳樹群、簡如宏、馮智偉、巫仲明（1998）本土化土壤沖蝕指標模式之建立，中華水土保持學，第 29 卷，第 3 期，第 233-247 頁

陳樹群、吳俊毅、吳岳霖、王士豪（2009）GIS 圖層及修正因子建置台灣通用土壤流失公式（TUSLE）-以石門水庫集水區為例，中華水土保持學報，第 40 卷，第 2 期，第 185-197 頁

舒彩文、談廣鳴（2009）河道沖淤量計算研究與發展，泥沙研究，第 4 期，第 68-73 頁

水資會（1967）石門水庫計劃資料整理與研究

行政院農業委員會水土保持局（2003）水土保持技術規範

行政院農業委員會水土保持局（2008）集水區整體調查規劃參考手冊

行政院農業委員會水土保持局（2009）石門水庫集水區整治計畫執行成效與預期效益評估暨協商平台建立

行政院農業委員會水土保持局（2011）石門水庫集水區土砂歷程調查及災害評估

行政院農業委員會水土保持局（2011）石門水庫集水區豪雨誘發土砂災害變化歷程與機制探討

行政院農業委員會水土保持局（2012）石門水庫集水區保育治理後續追蹤與評估

行政院農業委員會水土保持局（2012）石門水庫集水區保育治理後續追蹤與評估-集水區保育治理執行成效總檢討報告

經濟部水利署（2006）水庫集水區崩塌地潛勢分析及崩塌土方量估算之研究（3/3）

經濟部水利署（2007）石門水庫集水區崩塌淤積風險評估研究 2/3

吳建民（1978）台灣地區河川輸砂量之推估公式 ，集水區及河川之經理研討會論文集，國立臺灣大學水資源研究小組，第 184-206 頁

王晉倫（2010）泰平溪集水區臨溪崩塌空間分布及土砂量之研究，國立中興大學水土保持學系研究所，博士論文