

石門水庫上游玉峰集水區支流土砂 流出量對於河道穩定分析及探討

林伯勳* 何幸娟** 陳俊愷** 冀樹勇***

摘要

本文透過 MH-CAPART 一維河川縱斷面數值動力模式，以石門水庫集水區上游玉峰溪至泰崗溪、白石溪匯流口河道為分析範圍，將支流土砂流出量影響納入分析；同時，配合歷年辦理各項監測及調查、遙測技術應用於集水區地形地貌變遷分析等成果，探討土砂容許流出量對於河道穩定性影響，研擬未來短、中、長期石門水庫上游集水區保育治理策略及建議，輔以有效實施全流域整體性防災工作。

關鍵字：石門水庫、土砂流出量、河道穩定性、保育治理

一、前言

臺灣山區野溪蜿蜒且流路湍急，加上極端水文事件頻仍及人為開發，易使原有河床河流及輸砂能力改變，造成上下游河床沖淤演變劇烈，加速大量土砂往下運移，對於下游保全對象及水庫庫容造成莫大威脅。河川流量豐枯變化、河床質特性、泥砂運移特性等，控制河川平面型態與河床形狀，構成不同的河相，因此各河川具有不同的物理特性；由於河川沖淤及流路變化是一種長期持續性現象，尚有短期及長期的影響因素；短期因素包括河川採砂石、偶發性重大山崩、地滑與颱風豪雨事件及人為構造物影響等，長期因素包括集水區地質、水土保持、土地利用及河川坡度和長期水文狀況等（水利署，2007）。若以人類活動時間尺度而言，探究短期河道是否達至穩定性，至少需以 5 年為 1 個評估週期，始可確實瞭解近期其穩定狀態，並依評估結果進行規劃治

理（Schumm, 1963；Lane, 1957；Rosgen, 1996；水利署，2007）。一個集水區，可用生產、輸送等觀點加以區隔土砂運動，其過程係上游集水區土砂量會隨水力傳送至下游堆積，河道輸砂特性又可反應出集水區泥砂產量、河川輸砂能力、河床質組成及其沖淤平衡狀況。欲瞭解河道沖淤變化需先掌握河道沖淤的時間、數量、分布等；一般而言，以實際監測數據配合相關水理模式演算，推估深度、面積、體積不同時期變化量（何幸娟等人，2012、2013），以模擬土砂生產環境變異情況（舒彩文和談廣鳴，2009；水土保持局，2012）。由於水力長期作用下，河段將可能形成並維持著某一程度之水力幾何形態，呈現其穩定性，故吾人應朝河相變化（如水深、河寬、坡降）與河床材料特性（如粒徑組成、輸砂質比例）以及來水來砂（如流量、含砂量等）等多重方面，從中思考及評量其穩定性（顏順益，2009）。

* 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研究員

*** 中興工程顧問社大地工程研究中心、防災科技研究中心主任

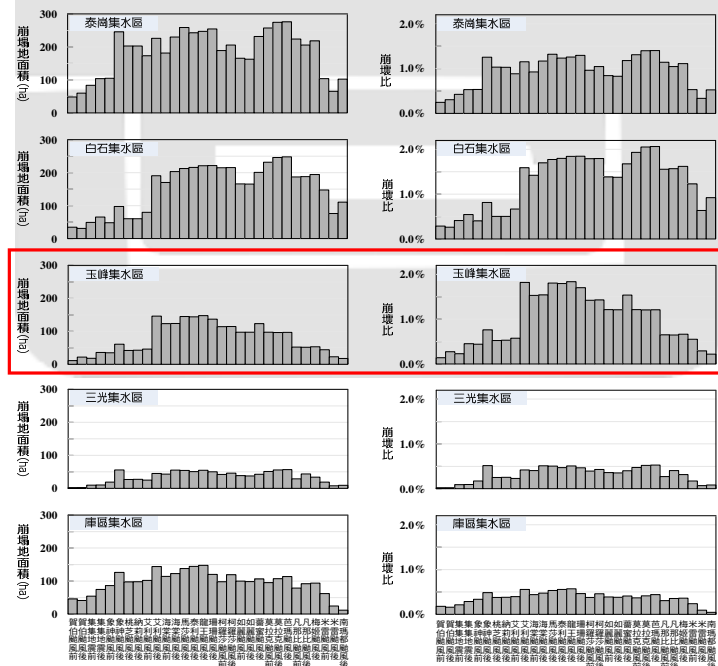
自民國 85 年賀伯颱風後，石門水庫集水區陸續歷經象神、艾利、海棠、馬莎、泰利、龍王等颱風事件，皆造成規模不等的道路坍方；連日豪雨更造成上游邊坡崩塌，土砂被沖刷至中下游，部分路基流失以及溪床土石淤積，原巴陵壩下游河床已被嚴重淘刷，民國 96 年 9 月的韋帕颱風，再進一步淘刷造成巴陵壩基礎產生問題，基礎淘空後造成壩體毀損，使得上游地區大量泥沙流入庫區，為近年最嚴重災情之一。水土保持局（2011）曾透過一維河川縱斷面數值動力模式，進行河床沖蝕面模擬分析，預測巴陵壩潰壩後，其下游榮華壩至上游玉峰溪與泰崗溪、白石溪匯流口河道 5 至 20 年後沖淤及變遷情形；結果顯示，巴陵壩上下游河道仍處於不穩定的狀態。惟該計畫於分析時並未考量支流集水區供砂補注對主流河道高程變動影響，導致河道下切高程估算結果，略偏保守。

基此，為考量上游玉峰集水區土砂平衡環境，本文以上游玉峰溪至泰崗溪、白石溪匯流口河道為分析範圍，將支流影響納入分析；同時，延續水土保持局（2011）利用 MH-CAPART 一維河川縱斷面數值動力模式進行模擬，探討艾利颱風災害治理後近 5 年內河道縱剖面高程變化

量，若當河道高程變動值小於 2m 區塊，則視河道區段於該期時間尺度達至相對穩定情況，對下游水庫庫容衝擊性低，其評估方法及調查依據，參見水土保持局（2010）「南部地區災後水土保持策略規劃」。此外，亦配合歷年辦理各項重要治理區域監測及調查、遙測技術應用於集水區地形地貌變遷分析等成果，探討集水區經整治後土砂流出量（即單場事件或長時性支流對主流供砂量，或支流集水區土砂產出量）（張三郎，1996；游繁結等人，2002；陳樹群，2004）對主流河床沖淤變化影響，研擬未來短、中、長期上游集水區保育治理策略及建議。

二、玉峰集水區重要支流

水土保持局（2011）曾針對石門水庫集水區內，庫區、玉峰、三光、白石及泰崗等五大集水區進行崩塌歷程探討，如圖 1 所示；圖中顯示於民國 93 年艾利颱風後玉峰及白石集水區崩壞比驟升，造成許多不穩定料源運移至下游；玉峰集水區內自然環境山勢陡峻，加上地質條件不佳，故容易形成崩塌，而崩塌裸露坡面之土壤易受到暴雨沖刷產生沖蝕溝，且集中於溪流兩岸及道路



（摘自水土保持局，2011）

圖 1 石門水庫五大集水區崩塌統計圖

坡腳，成為集水區重要土砂來源。民國 95 年「石門水庫及其集水區整治特別條例」執行後，水土保持局旋將玉峰集水區列為重要治理區域，其中又以砂崙仔溪、泰平溪、抬耀 2 號野溪、抬耀溪、石磊溪、下文光溪及下田埔野溪等七子集水區（地理位置如圖 2 及圖 3 所示），於艾利颱風後受創最為嚴重且於災後投入保育治理工程密度最高。鑑此，本計畫著重探討玉峰集水區河道穩定性與治理前後之關連性，並以石門水庫集水區上游玉峰溪至泰崗溪、白石溪匯流口河道為分析範圍，且著重分析上述七條支流之土砂流出量對主流河床沖淤變化影響。

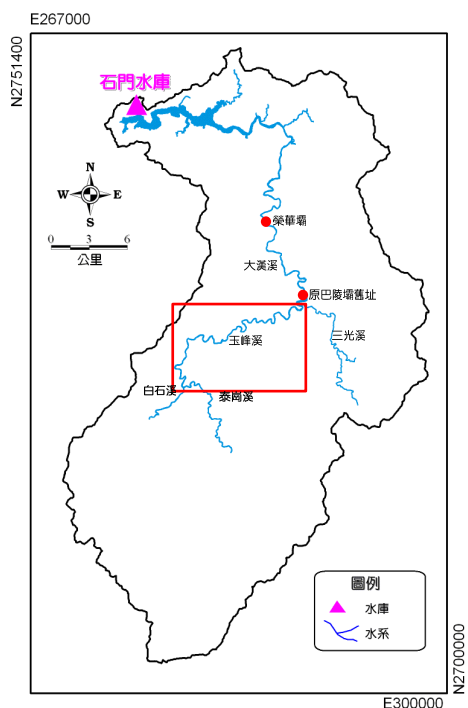


圖 2 石門水庫集水區水系圖

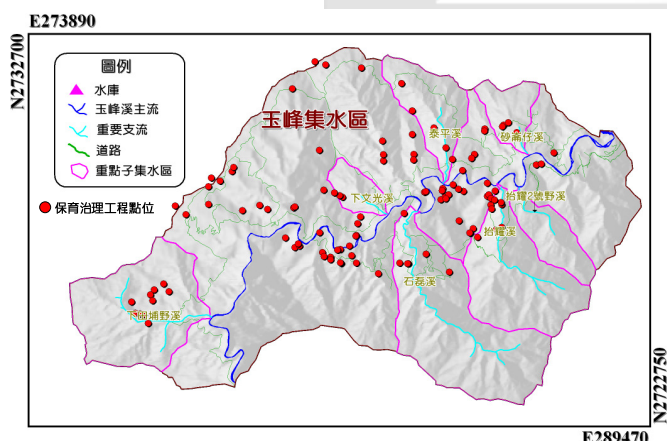


圖 3 石門水庫上游玉峰集水區重要支流分布圖

三、資料蒐集及建置

為達前述目標，用以分析石門水庫上游玉峰集水區支流土砂流出量對於河道穩定性，故需蒐集石門水庫集水區水文流量、河道斷面測量以及遙測影像之崩場地判釋成果等相關資料，作為利用 MH-CAPART 一維河川縱斷面數值動力模式進行模擬時輸入參數及驗證成果使用。有關彙整歷年河道斷面測量資料蒐集成果，整理列於表 1。此外，流量資料為河床沖淤模擬過程重要參數；而石門水庫集水區水位站中，以玉峰站歷年流量與水位迴歸曲線為例，配合民國 96 年至 101 年日水位資料，以及水利署公告水位與流量率定曲線，其流量歷線之建置結果如圖 4 所示。

$$Q = a \times (H - H')^b \quad (1)$$

式中 Q 為流量 (cms)； a 、 b 為係數； H 為水位紀錄 (m)； H' 為基準水位 (m)。

表 1 河道斷面測量資料蒐集成果

執行單位	執行時間	量測範圍	測量範圍
水利署	2007 年 12 月	原巴陵壩舊址上下游 5km	大漢溪
	2008 年 06 月	原巴陵壩舊址上下游 5km	
	2008 年 12 月	原巴陵壩舊址上游 5km 至義興壩下游 1km	
	2009 年 08 月	原巴陵壩舊址上游 5km 至義興壩下游 1km	
	2009 年 11 月	原巴陵壩舊址上游 5km 至義興壩下游 1km	
	2010 年 09 月	原巴陵壩舊址上游 5km 至義興壩下游 1km	
水保局	2009 年 07 月	原巴陵壩舊址下游 100m 至白石溪與泰崗溪匯流口上游 0.8km	玉峰溪
	2009 年 10 月	原巴陵壩舊址下游 100m 至白石溪與泰崗溪匯流口上游 0.8km	玉峰溪、三光溪
	2010 年 06 月	原巴陵壩舊址下游 100m 至白石溪與泰崗溪匯流口上游約 0.8 km，及三光溪與塔曼溪匯流口上游約 0.3 km	玉峰溪、三光溪
	2010 年 11 月	三光溪及玉峰溪匯流口上游約 150m 至三光溪與塔曼溪匯流口上游約 150m	三光溪
	2011 年 06 月	三光溪及玉峰溪匯流口上游約 150m 至三光溪與塔曼溪匯流口上游約 150m	三光溪
	2011 年 09 月	三光溪及玉峰溪匯流口上游約 150m 至三光溪與塔曼溪匯流口上游約 150m	三光溪
水利署	2012 年 09 月	原巴陵壩舊址下游 100m 至白石溪與泰崗溪匯流口上游約 0.8 km，及三光溪與塔曼溪匯流口上游約 0.3 km	玉峰溪、三光溪

註：參考資料詳見水土保持局（2012）。

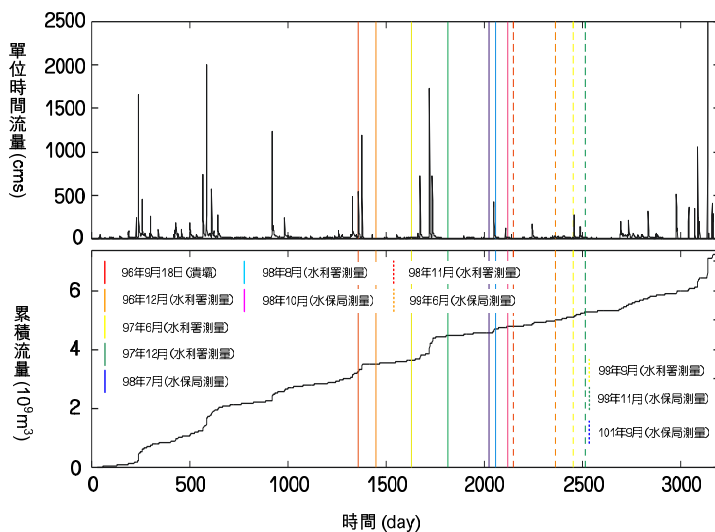


圖 4 玉峰水文站民國 96~101 年日水位推估流量歷線

四、支流土砂流出量評估

河川輸砂特性反應集水區泥砂產量、河川輸砂能力、河床質組成及其沖淤平衡狀況，河川依其輸砂特性可區分為懸移載、混合載與推移載，其含量多寡與坡度、流速有關（水土保持局，2011）。對於河道土砂變化量之計算可分為河道輸砂經驗式與集水區土砂收支分析兩種。常用之河道輸砂經驗式有黃宏斌和何智武（1992）所建立之何黃公式，及 Schoklitsch 公式；然集水區土砂產量機制甚為複雜，以採河道輸砂經驗式計算時，須有大量現場調查數據進行率定與驗證，且僅適用於有長流水之主河道，較不適用分析支流集水區土砂流出狀況。為整合集水區土砂生產、土砂遞移以及土砂堆積等河道運移過程，以透過土砂收支（Sediment Budget）概念進行土砂生產及流出分析，探討集水區土砂生產與河道沖淤行為，集水區土砂收支分析係為結合集水區內土砂產量以及土砂運移演算之整合概念（如圖 5 所示）。產砂模組中各子集水區內土砂生產來源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最後匯集於下游子集水區出口處，即構成子集水區基本產砂機制；水土保持局（2010）曾針對莫拉克颱風事件以及各重現期進行土砂平衡模式建

置，視石門水庫集水區為封閉系統，運用各子集水區作為基本單位，由上游至下游先行統計各子集水區之土砂總產量，再以水利署 5 座水文站作為土砂平衡推估模式中之河道輸砂控制點，藉以建構石門水庫集水區瞬時（單場暴雨事件）或長期（各重現期下）之土砂平衡模式，供以作為水庫防淤整治規劃依據。

鑑此，本文採用水土保持局（2011）支流土砂產量推估方式，計算支流於單場事件及長時情況下對主流供砂量體，計算如下：

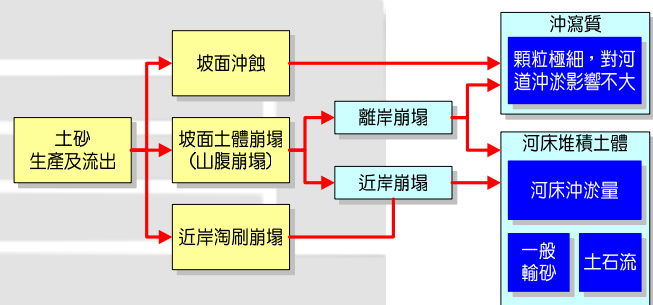
$$V_{WSFS} = V_{ER} + V_{LS} \times SDR \quad (2)$$

式中 V_{WSFS} ：集水區土砂流出量（ m^3 ）；

V_{ER} ：坡面土壤沖蝕量（ m^3 ）；

V_{LS} ：坡面崩塌土砂生產量（ m^3 ）；

SDR ：土砂遞移率。



（重繪自：水土保持局，2008）

圖 5 集水區土砂收支示意圖

有關上述公式中坡面崩塌土砂生產量及坡面土壤沖蝕量之推估方式，詳見如后。

（一）坡面崩塌土砂生產量（ V_{LS} ）

集水區坡面崩塌土砂生產量推估，如下：

$$V_{LS} = \sum_{i=1}^n a_i \times h_i \quad (3)$$

式中 V_{LS} ：集水區坡面崩塌土砂生產量（ m^3 ）；

a_i ：第 i 個新增崩塌地面積（ m^2 ）；

h_i ：第 i 個崩塌平均深度（ m ）。

（二）坡面土壤沖蝕量（ V_{ER} ）

集水區土壤沖蝕量，暫不考量河道影響範圍；且坡面沖蝕遞移率參考 Wischmeier and Smith（1978），保守假設為 1.0，其推估如下：

$$V_{ER} = y \times \left(A - \sum_{i=1}^n a_i \right) \quad (4)$$

式中 V_{ER} ：集水區土壤沖蝕量 (m^3)；
 A ：集水區面積 (m^2)；
 y ：土壤沖蝕深度 (mm)。

當完成蒐集不同河床高程及建置依時性河川水文流況後，則需進一步計算評估各支流於某一對應颱風豪雨事件所引致之土砂流出量，始可進行前述河床穩定性影響課題分析。根據歷年於石門水庫集水區發生重大災害事件衛星影像崩塌地判釋成果（詳見水土保持局，2012），配合重大

災害事件期間平均累積降雨量計算代入前述公式分別計算各支流所產生坡面土砂量（含崩塌生產量以及土壤沖蝕量），再以主流匯流口作為土砂產出控制點，將坡面土砂落入河道體積量乘上河道遞移率，以代表各場重大颱風事件集水區土砂產量。進行分析時，以民國 95 年工程進駐時間作為治理前後時間分界點，故可分成「治理前」以及「治理後」颱風事件引致土砂產量變動。有關颱風引致石門水庫集水區七條重要支流土砂產量化分析結果，共計十場事件，繪製如圖 6 所示，由圖中顯示颱風事件影響各支流土砂產量甚鉅及主控變化，重要觀察結果歸納如下：

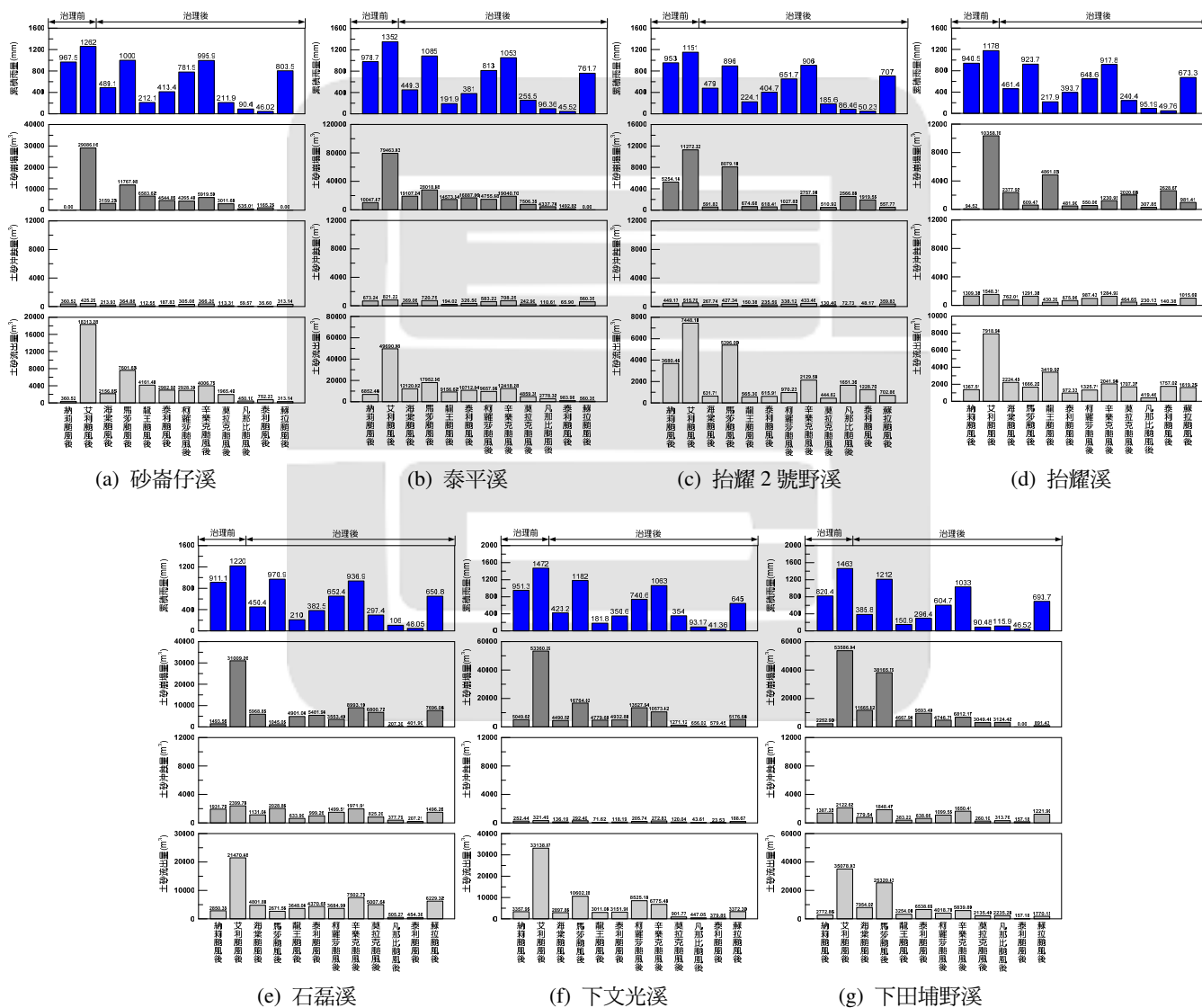


圖 6 颱風引致石門水庫集水區七條重要支流土砂產量變動圖

1. 無論治理前後颱風事件支流集水區土砂產量，皆以泰平溪集水區最大，推估係因該集水區新增崩塌規模相較其他集水區為鉅之故。
2. 針對颱風事件對於各支流集水區而言，大致上累積降雨量與集水區土砂產量呈正相關，即事件所累積降雨量愈大，則引致土砂產量愈大；治理前以艾利颱風事件最大，治理後則為辛樂克颱風事件最大；另歷次颱風事件造成降雨量空間分布差異，亦是影響集水區土砂產量多寡變化關鍵。
3. 為釐清治理前後玉峰集水區內七個支流集水區治理前後之等效雨量事件坡面土砂產量（含崩塌及沖蝕）與保育治理關係，故針對治理前後選擇兩場等效颱風事件（亦即累積降雨接近且工程進駐後）進行對偶比較；治理前挑選「艾利颱風」，而治理後挑選「辛樂克颱風」。圖7顯示治理後支流集水區坡面崩塌土砂產量皆低於治理前，尤以抬耀溪及下田埔野溪集水區最為顯著，可見保育治理確有成效。值得注意的是，該兩場颱風事件而言，則各支流集水區坡面土砂產量係以崩塌量主控，而經治理後崩塌量皆呈縮減之現象。

五、上游河道穩定性分析探討

國內學者常利用現地測量、室內實驗或是數值模擬進行河道沖淤問題的研究（許銘熙和陳春宏，2001；Lee *et al.*, 2006；連惠邦，2007），其中 MH-CAPART 為臺大卡艾瑋教授自行研發之一維河川縱斷面數值動力模式，曾成功模擬 88 風災前後荖濃溪的河床變動並與實測數據相互驗證，其比較結果相似（Capart *et al.*, 2010）。鑑此，為考量計算快速、方便操作、參數易獲得以及輸入資料簡易等因素，本文延續水保局（2011）分析方法，將整體土砂環境分為「支流有供砂」及「支流無供砂」等兩種條件，採用 MH-CAPART 一維河川縱斷面數值動力模式模擬石門水庫集水區玉峰溪主河道受到單場降雨事件或長期行支流供砂影響後河道之沖淤情形，進以探討河道穩定性。MH-CAPART 一維河川縱斷面數值動力模式，其程式發展沿革及案例模擬參閱 Capart *et al.*（2007）、Hsu and Capart（2008）、Lai and Capart（2009）及 Capart *et al.*（2010）。

（一）MH-CAPART 一維河川縱斷面數值動力模式

MH-CAPART 為一維河川縱斷面數值動力模式，分析主要考量底床載運移與上游細顆粒沉積物被挾帶至下游、底床載傳輸速率等運動機制，各項控制方程式依說明如下：

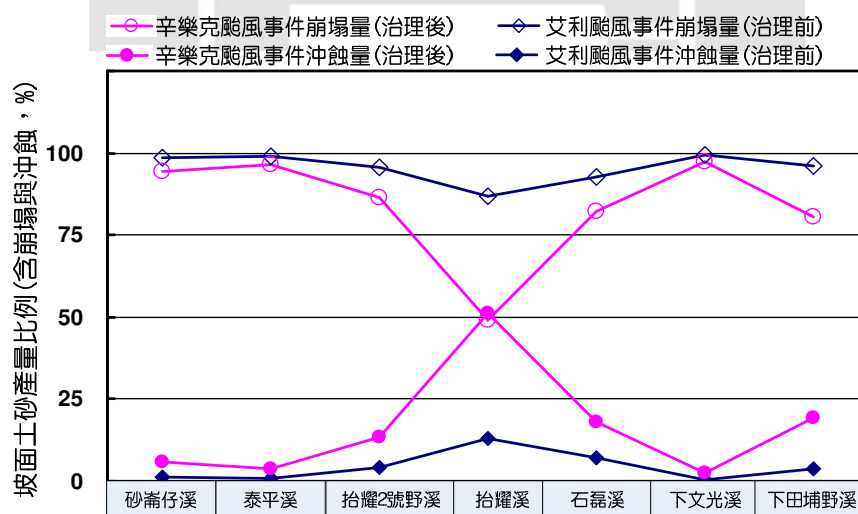


圖7 支流集水區治理前後不同降雨事件坡面土砂產量比較圖

1. 主要控制方程

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial J}{\partial x} = I(t) \delta(x) \quad (5)$$

式中 B ：研究範圍河道的有效寬度 (m)；
 z ：河道深槽線高程 (m)； t ：時間 (Day)；
 J ：底床載傳輸速率 (無單位)； x ：從最下游邊界沿著中線往上游的距離 (m)； $\delta(x)$ ：單位脈衝函數； $I(t)$ ：表示支流土砂進入主流土砂體積量。

2. 流況定義

根據 Hsu and Capart (2008) 將河流區分為兩類：第一類為活水 (Running Water)，假設水面與底床平行；第二類為靜水 (Standing Water)，近似水平迴水曲線，且符合以下條件：

$$a. \text{ 活水時： } z_w - z_s = h_0, \frac{\partial z_w}{\partial x} < 0 \quad (6)$$

$$b. \text{ 靜水時： } z_w - z_s > h_0, \frac{\partial z_w}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

式中 z_w 表示水位； z_s 為主流河床抬升高度； h_0 為正常水深 (Normal Depth)

3. 底床載傳輸速率

底床載傳輸速率，採用 Hsu and Capart (2008) 所建議傳輸公式，如下：

$$J(x, t) = KQ(t) \max \left\{ -\frac{\partial z_w}{\partial x} - S_{\min}, 0 \right\} \quad (8)$$

式中 $J \propto Q \times S$ ； J ：底床載傳輸速率 ($km^2 \cdot m/s$)； S ：坡度 (%)； K ：控制底床載傳輸速率的係數 (km^2/m^2)； $S_{\min}$ ：產生河道輸砂之所需最小坡度 (%)； $Q(t)$ ：流量 (cms)。

4. 時間參數

為考量模式結果率定和計算過程簡便，將流量與併入時間參數納入流量 $Q(t)$ 計算，其中時間參數為擬時間參數 (τ , Pseudo-Time Variable)，公式如下：

$$\tau(t) = V(t) = \int_0^t Q(t') dt' \quad (9)$$

上式可採用有限差分法推導控制方程式，用

以分析河道動態沖淤及探討依時性河相變化等課題。

(二) 探討重點

集水區整體規劃管理，首重在維持河道的安定性，其安定性意旨容許河道高程維持在容許範圍內的變動。河道容許變動量的規劃理念，兼顧水土保持與生態保育的共同目標。當野溪達到均夷時，其上游來砂量及下移之輸砂量即達到平衡狀態，故河道穩定度可視為整治之績效指標。水土保持局 (2010) 「南部地區災後水土保持策略規劃」曾針對莫拉克颱風災區嚴重淤積河段進行比較探討，發現當河道高程變動值小於 2m 區塊，河道致災潛勢達到相對穩定狀態，稱為「河道穩定河段」；反之，若河道高程變動值大於 2m 區塊，稱為「河道不穩定河段」。鑑此，本計畫以玉峰集水區為分析範圍（起點為白石溪與泰崗溪匯流口，終點為玉峰溪與三光溪匯流口），並考量境內重要七條支流供砂對主流沖淤高程變化；依前述所提 MH-CAPART 一維河川縱斷面數值模式分析流程（如圖 8），先與歷次量測成果完成比較驗證工作，再逐一輸入分析及相關邊界計算河床變動歷程，討論石門水庫集水區治理前後重大颱風事件引致支流供砂對主流沖淤高程及河道穩定性影響。

對於石門水庫集水區治理前後分析事件選取，於治理前挑選「艾利颱風」，而治理後係以「辛樂克颱風」作為分析事件，相互比較兩場事件分析成果，瞭解治理前後河床變化差異；此兩場事件背景概述如下：

1. 艾利颱風：為民國 95 年「石門水庫及其集水區整治特別條例」實施前（即表為災害治理前）最大土砂災害事件，水庫淤積嚴重及庫容劇減，惟當時巴陵壩尚未潰壩，仍有調節主河道坡降功能。
2. 辛樂克颱風：為民國 95 年「石門水庫及其集水區整治特別條例」實施後（即表為災害治理後）累積雨量較大颱風事件，且上游山坡地保育治理工程已陸續竣工，惟當時仍造成下游庫區原水濁度飆升；另巴陵壩因受民國 96 年韋帕颱風影響致使潰壩，無調節河道坡度功能。

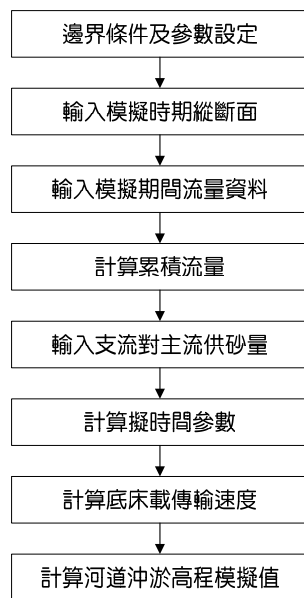
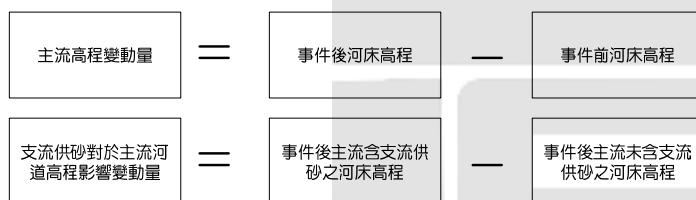


圖 8 分析流程圖

此外，分析時考量「主流含支流供砂」以及「主流未含支流供砂」等兩種情境，模擬上述兩場事件後玉峰溪主流河床沖淤高程歷程，將事件前後河床高程相減求取該場降雨事件所造成「主流河道高程變動量」；計算「支流供砂對於主流河道高程變動量」，瞭解支流供砂對於河道穩定性及高程影響程度，其定義如下：



(三) 支流供砂對主流沖淤高程影響分析成果

基於上述，本文茲將玉峰溪河道歷經治理前後艾利颱風及辛樂克颱風等事件支流供砂對主流沖淤高程影響分析成果，歸納重點如下：

1. 治理前艾利颱風事件，無論有無支流供砂影響，玉峰溪河道高程距原巴陵壩舊址上游約 7km 內河床變動量呈現淤積（如圖 9），屬於堆積區段，且距原巴陵壩舊址上游約 3 至 6km 處高程變動量超過 2m，屬於溪床不穩定河段，本區域涵蓋有砂崙仔野溪、抬耀 2 號野溪、抬耀溪等三個支流集水區；距原巴陵壩舊

址上游 7km 至 12km 內河道，以及 15km 以上河床變動量呈現下刷情況，但下刷高程變動量並未大於 2m，涵蓋泰平溪、石磊溪、下文光溪、下田埔野溪等支流集水區，屬於溪床穩定河段。另泰平溪、石磊溪、下文光溪等三集水區同時供砂對主流河道高程變動量影響較多，造成玉峰溪河床高程堆積變動量介於 0.4m 至 0.6m 之間，如圖 9（c）。

2. 治理後辛樂克颱風事件，無論有無支流供砂影響，玉峰溪河道高程距原巴陵壩舊址上游約 4km 內河床變動量，受到巴陵壩潰壩影響，河床變動由淤積轉為沖刷區段（如圖 10（b）），涵蓋砂崙仔野溪支流集水區；距原巴陵壩舊址上游 4km 至 17km 內河道，河床變動量由沖淤互現轉為淤積區段，涵蓋抬耀 2 號野溪、抬耀溪、泰平溪、石磊溪、下文光溪等支流集水區；惟治理後，玉峰溪河道雖仍有沖淤互現情況，但整體河段高程變動皆小於 2m，皆屬於溪床穩定河段。另支流供砂對於主流河道高程變動量，同樣地以泰平溪、石磊溪、下文光溪等集水區同時供砂對於主流河道高程變動量影響較多，但造成玉峰溪河床高程堆積量小於 0.2m，如圖 10（c）。

3. 透過兩次事件主流河道高程變動量分析顯示，治理前玉峰溪整體河床淤積高度最高約達 3.0m，下刷深度最多約為 1.5m，接近於玉峰溪匯流口多屬於溪床不穩定河段；治理後，玉峰溪整體河床淤積高度最高約達 0.5m，僅為治理前 1/6 倍，屬穩定河段；另受到巴陵壩潰壩影響，玉峰溪距原巴陵壩舊址上游 9km 內河床下刷深度最多約為 1.4m。

4. 為瞭解各支流集水區單一供砂治理前後對於主流河道高程變動量，分析繪製如圖 11 至 12；由圖可知，治理前以泰平溪、下田埔野溪、下文光溪等三子集水區供砂量對主流河道高程影響程度較大，高程影響範圍介於 0.3 至 0.5m；治理後則以泰平溪、石磊溪、下文光溪等子集水區較高，惟高程影響變動範圍僅約 0.1m，影響不大。

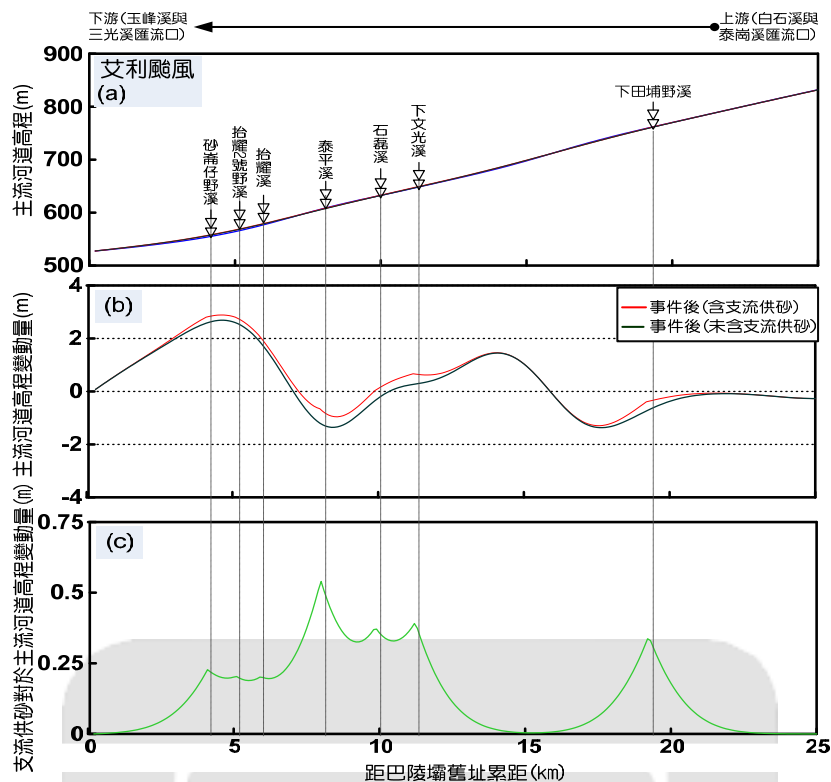


圖 9 艾利颱風影響下玉峰溪受支流供砂引致高程變動量圖

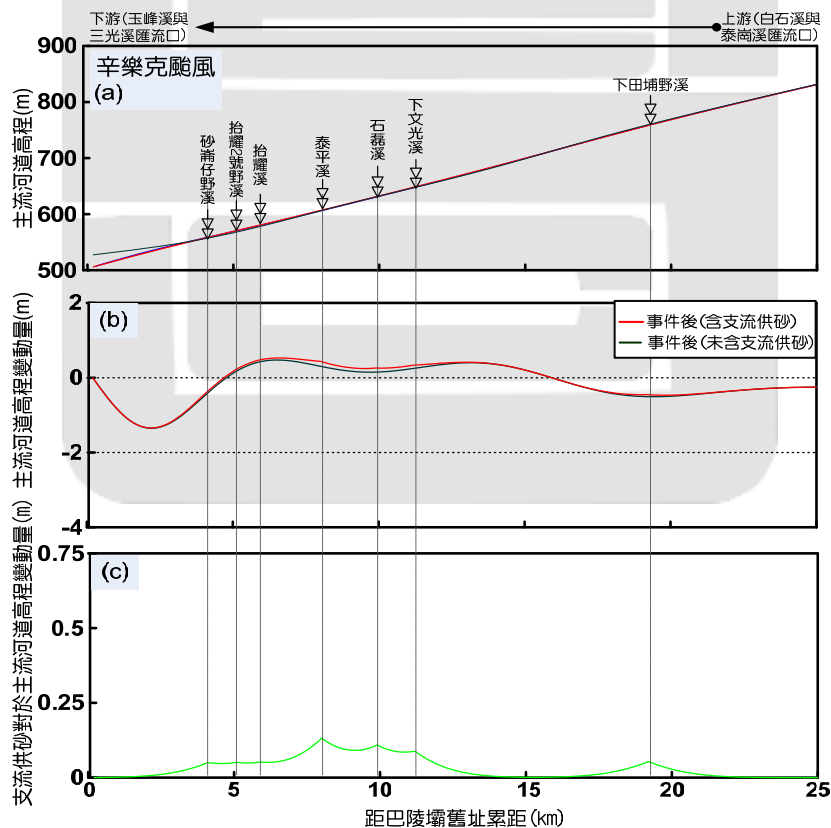


圖 10 辛樂克颱風影響下玉峰溪受支流供砂引致高程變動量圖

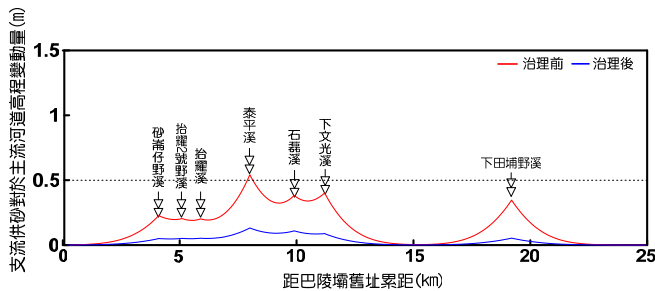


圖 11 治理前後不同降雨事件支流供砂對玉峰溪河道高程變動比較圖

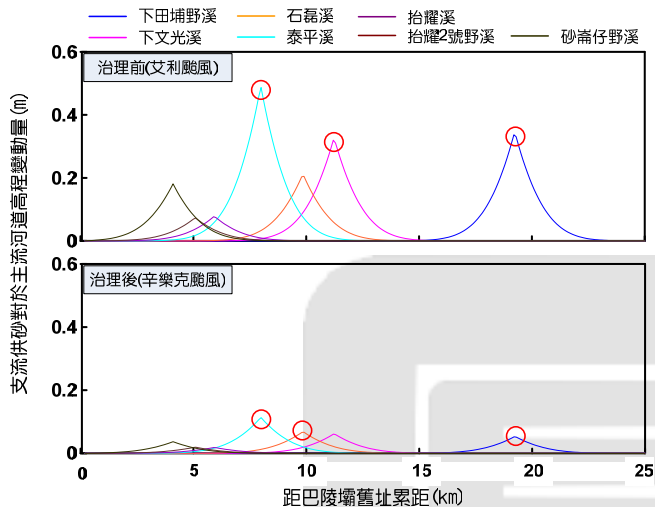


圖 12 治理前後單一支流供砂對於主流河道高程變動量圖

(四) 未來環境預測

為瞭解未來環境變化是否將導致河床呈現持續不穩定或趨於相對穩定，藉由前述建置 MH-CAPART 一維河川動力模式以及率定參數，推估玉峰集水區受單場極端水文事件影響及未來 5 年（民國 101 年至 106 年）境況條件下河川變動情形，藉以研擬未來短、中、長期上游集水區保育治理策略及建議。

1. 單場極端水文事件河道沖淤變化

假定石門水庫集水區於未來某一年內發生一次性極端水文事件，故令該事件與民國 93 年艾利颱風事件引致水文背景條件相同（亦即造成河川水文流量歷線一致）；另土砂產量部分，考量石門水庫集水區經保育治理且工程已竣工，故該極端水文事件土砂產量則假定為治理後水文條件與艾利颱風事件相近之辛樂克颱風引致土砂產

量，作為供給主流之砂量輸入值，模擬水文事件影響下之主流河道沖淤影響。圖 13 為單場極端水文事件之河道沖淤變化分析成果圖；由圖可知，顯示受到近期集水區保育治理影響，玉峰溪河道高程於巴陵壩舊址以上 25km 河段內皆無淤積河段，且整體河道皆呈現下刷情況；尤以拾耀溪、拾耀 2 號野溪、砂崙仔溪等三處主流匯流口之溪床冲刷變動最為顯著，最大可能高程變動量約為 0.7m。

2. 未來 5 年內河道沖淤變化

假定石門水庫集水區於未來 5 年內皆未發生異常水文事件，故令主河道驅動流量係採近 10 年玉峰水文站年平均流量，並以巴陵壩潰後高程資料作為基礎地形；另支流供砂量部分，年平均土砂生產量係以石門水庫集水區近 10 年重大土砂災害事件之土砂產量平均值。圖 13 為未來 5 年內河道沖淤變化預測成果圖，圖中顯示，若支流無供砂情況下則因受到巴陵壩潰壩影響，玉峰溪主流河道高程於未來 5 年有持續下刷現象，溪床不穩定河段位於距巴陵壩舊址上游約 10km 內，反之，若支流持續供砂情況下，玉峰溪下游河道高程於未來 5 年則無顯著變動趨勢，玉峰溪主流河道距巴陵壩舊址上游約 25km 內皆屬溪床穩定河段。可見未來支流持續供砂可適時防治主流河道持續下刷，降低河道土砂運移，有效舒緩主河道高程異常變動，並穩定河床變動。

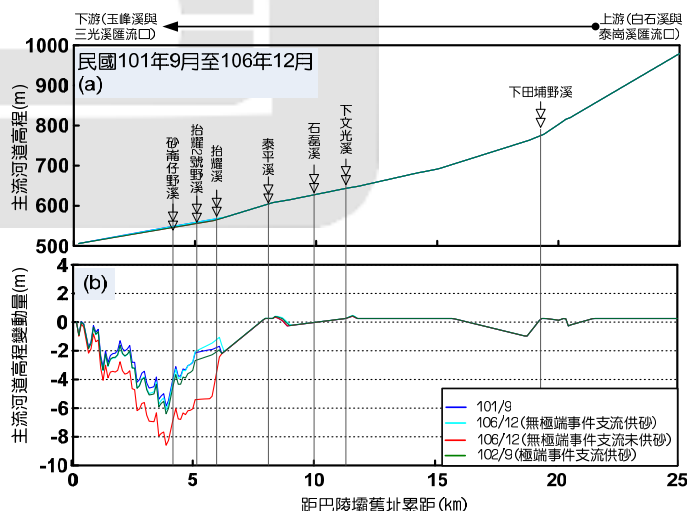


圖 13 單場極端水文事件及未來 5 年內玉峰溪河道高程變動量圖

六、結論與建議

綜以上述，現階段石門水庫集水區內玉峰溪集水區工程治理已完臻，未來建議除零星新增崩塌地治理及例行性野溪清疏工作，現有保育治理措施暫無需擴大需求，後續應朝非工程方向執行及加強管理，各項期程執行方向如下：

(一) 短期策略

建議每年於重大颱風豪雨事件或 5 年為 1 次週期，持續監測玉峰溪匯流口至其以上 9km 範圍內河道高程變動，尤其是位於抬耀溪、抬耀 2 號野溪、砂崙仔溪等三處匯流口，宜觀察河道是否呈現河床高程變動狀況，以利即時進行河道治理工作。

(二) 中期策略

強化防災教育宣導，加強土地利用管理規劃水土保持特定區。

(三) 長期策略

以集水區治山防災之觀點，研提長期策略，採全流域水、砂綜合治理為主，除研提重大颱風事件引致土砂災害發生之危機處理及管理措施機制，並於境內設定及劃分土砂潛勢區域；最後，依集水區特性、配合上位政策、管理單位調查資源，再作綜合考量，並有效擬定上游防砂、中游防淤以及下游防洪等多元策略，以降低可能發生災害之規模及落實防災整備工作。

謝 誌

感謝行政院農委會水土保持局提供計畫經費補助；同時，特別感謝於執行過程中臺灣大學卡艾瑋教授團隊協助程式執行與技術問題諮詢，作者深表謝忱。

參考文獻

- 經濟部水利署 (2007) 水利工程技術規範－河川治理篇 (草案)
- Rosgen, D. (1996) Applied River Morphology, Media Companies

- Lane, E. W. (1957) A Study of the Shape of Channels Formed by Natural Streams Flowing in Erodible Material, M. R. D. Sediment Series No. 9, U.S. Army Engineering Division, Missouri River, Corps of Engineers
- Schumm (1963) The Sinuosity of Alluvial Rivers on the Great Plains, Geol. Soc. America Bull., 74, pp. 1089-1100
- 何幸娟、林伯勳、張玉堦、冀樹勇、簡以達、蔡明發 (2012) 由深度面積體積等物理量評估曾文水庫集水區莫拉克颱風後龍蛟溪土砂治理成效，2012 年中華水土保持學會年會及學術研討會論文集，台中
- 何幸娟、林伯勳、張玉堦、冀樹勇、簡以達、蔡明發、費立沅 (2013) 莫拉克颱風後曾文水庫集水區山坡地範圍保育治理成效評估，中興工程，第 118 期，第 21-30 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
- 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
- 顏順益 (2009) 筏子溪河床穩定分析之研究，逢甲大學水利工程與資源保育學系，碩士論文，台中
- 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 (2008) 集水區整體調查規劃參考手冊
- 張三郎 (1996) 治山防洪計畫之展望，坡地防災研討會論文集
- 游繁結、周天穎、葉昭憲、林文賜 (2002) 地理資訊系統於集水區防砂整治率估算之應用，中華水土保持學報，第 33 卷，第 1 期，第 1-9 頁
- 陳樹群 (2004) 水庫集水區土砂評量與整治率評估模式，中華水土保持學報，第 35 卷，第 1 期，第 53-67 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
- 許銘熙、陳春宏 (2001) 平滑斜坡渠道之二維潰壩分析，中國土木水利工程學刊，第 13 卷，第 2 期，第 405-414 頁
- Lee, H. Y., Lin, Y.T., and Y. J. Chiu (2006) Quantitative Estimation of Reservoir Sedimentation from Three Typhoon Events, Journal of Hydraulic Engineering, 11, pp. 362-370
- 連惠邦 (2007) 濁水溪兩岸支流土石流匯入之危險河段調查河防安全評析及治理工法研究，經濟部水利署第四河川局
- Capart, H., Hsu, J. P. C., Lai, S. Y. J. and M. L. Hsieh (2010) Formation and Decay of a Tributary-Dammed Lake, Laonong River, Taiwan, Water Resources Research, 46, W11522

Capart, H., Spinewine B., Young, D. L., Zech Y., Brooks G. R., Leclerc, M. and Y. Secretan (2007) The 1996 Lake Ha! Ha! Breakout Flood, Quebec: Test Data for Geomorphic Flood Routing Methods, Journal of Hydraulic Research, 45, pp. 97-109

Hsu, J. P. C. and H. Capart (2008) Onset and Growth of Tributary-Dammed Lakes, Water Resources Research, 44, W11201

Lai, S. Y. J. and H. Capart (2009) Reservoir Infill by Hyperpycnal Deltas Over Bedrock, Geophysical Research Letters, 36, L08402

行政院農業委員會水土保持局 (2010) 南部地區災後水土保持策略規劃



財團法人中興工程顧問社歷年之研發成果，已開發下列電腦程式，對相關工程問題之掌握與分析精度之提升，有很大助益。若有需要，歡迎洽購。

聯絡電話：(02) 8791-9198 轉 473 馬小姐

E-MAIL：pony@sinotech.org.tw

網址：<http://www.sinotech.org.tw>

序號	程式名稱	版次
1	泛用型非線性靜動態平面結構分析程式	V1.0
2	深開挖土層參數回饋分析 (DEXC-OPT) 深開挖土層參數回饋分析 (RUIP)	V1.0
3	進出港操船模擬分析程式	V1.0
4	預力混凝土中空矩形斷面橋墩重力應變關係分析程式	V1.0
5	單目標多座水庫系統運轉程式 (ORES)	V1.0
6	區域流量延時曲線分析程式	V1.0
7	台灣地區水庫資訊系統	V1.0
8	台灣電子地圖網站	V1.0
9	岩盤隧道施工資料自動化處理	V1.0
10	預力預鑄混凝土橋柱分析	V1.0
11	非線性混凝土結構分析系統	V1.0
12	加長型單肋板補強梁柱接頭設計輔助程式	V1.0
13	區域水資源系統即時操作模式建立	V1.0
14	結合 ETABS 之位移法耐震性能設計及評析程式	V2.0
15	混凝土非破壞檢測儀 (Sino-NDT-IE) 之改良	V1.0
16	SinoPad 中興現地調查系統	V1.0
17	隧道支撐設計整合系統	V2005 1.0
18	二維污染值傳輸、輸砂及颱風暴潮模式發展 (註)	V2.5
19	柔性加勁檔土牆之設計參數與數值分析方法研究	V1.0
20	台灣地區大眾捷運安全管理系統之建立 (一)	V1.0
21	RFID 設施巡檢系統、RFID 設備盤點系統、RFID 主動式監測系統	V1.0
22	隧道 (1) 輸進資料、(2) 地質資料、(3) 監測資料等處理系統及 (4) 隧道施工資料查詢系統	V2.0

(註)：序號 18 之程式現階段僅開放政府機關申購。