

# 巴陵壩潰壩後對於石門水庫上游集水區河相變遷及沖淤演變影響模擬

梁惠儀\* 林伯勳\*\* 吳毓華\*\*\* 卡艾瑋\*\*\*\* 冀樹勇\*\*\*\*\*

## 摘要

為攔阻上游土砂進入石門水庫，延長水庫壽命，政府單位陸續於大漢溪主流河床上設置多座攔砂壩，其中巴陵壩在民國 96 年韋帕颱風過境後，壩基被淘空，造成近三分之二的壩體遭受沖毀，也成為國內首座潰壞的大型攔砂壩。巴陵壩潰壩後，原被攔阻土砂運往下游，造成幾乎已經淤滿之榮華壩排砂作業更加頻繁，致使下游左翼牆及消能池底板加速磨損，此時河道仍堆積大量的土砂，故於汛期間每逢颱風豪雨所引致高濁度問題備受關注。鑑此，本研究蒐集石門水庫集水區大漢溪主河道上游自潰壩後之歷史河道斷面測量成果及水文站資訊，針對三光溪河道沖淤變化進行追蹤，並利用一維河川縱斷面數值動力模式程式，模擬巴陵壩潰壩後未來 5~20 年後河床可能沖淤高程及河道變遷狀況，藉此探討巴陵壩潰壩後上游集水區河道變遷及未來演變。

關鍵字：石門水庫、巴陵壩、河道變遷

## 一、前言

民國 96 年 9 月 15 日於沖繩島附近形成的熱帶低氣壓，於翌日增強為強烈熱帶風暴，並於 9 月 17 日增強為中度颱風韋帕，9 月 18 日傍晚掠過臺灣以北，根據中央氣象局提供的資料，僅有零星災害發生，但連日豪雨卻進一步淘刷巴陵壩下方基礎，最後導致壩體毀損。潰壩後，巴陵壩下游河道則產生大量土砂堆積，導致河床高度抬升、河道變寬或是水工結構物遭遇掩埋等狀況；上游河道則侵蝕下切加劇。不論是侵蝕或堆積，皆影響原水濁度，地基下陷則會提高水土保持的

困難度，水土保持問題無法解決又會衍生如骨牌效應般的生態環境保育問題。一連串的效應皆歸咎於潰壩後的河道沖淤變化，簡昭群等人（2010）曾協助北區水資源局研究潰壩原因與後續處理並進行相關調查工作，發現上下游河道高程變化劇烈，建議需持續針對上下游河道泥砂與邊坡之監測；此外，梁惠儀等人（2010）針對石門水庫集水區建立颱風豪雨事件之土砂產量推估模式，藉此評估颱風豪雨事件對下游水庫之淤積潛勢。水保局（2010、2011<sup>a</sup>、2011<sup>b</sup>）曾利用大漢溪流域之主流歷次河道斷面測量資料疊合比較，結果顯示大漢溪主河道整體仍呈現均勻下刷

\* 中興工程顧問社防災科技研究中心前助理研究員  
\*\* 中興工程顧問社防災科技研究中心環境資源監測組組長  
\*\*\* 台灣大學土木工程學系博士生  
\*\*\*\* 台灣大學土木工程學系教授  
\*\*\*\*\* 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

情形，且自潰壩後上游土方仍持續運往義興壩更下游處，至今未達均夷，其中又以三光溪河道下刷情形最為顯著。

鑑此，本研究彙整歷年巴陵壩上游集水區河道断面測量成果，並利用工作断面法計算歷次河道沖淤變化量，再利用一維河川縱断面數值動力模式程式，模擬潰壩後河床未來沖淤高程及河道變遷狀況，藉此研擬上游集水區保育治理相關因應之治理對策。

## 二、問題評析

### (一) 研究區域概述

石門水庫集水區面積約為 763.53km<sup>2</sup>；地形地勢陡峭，由北至南迅速抬升，海拔自 135m 轉變至 3,500m；集水區坡度分級主要落於五級坡與六級坡之間。集水區水系發源自雪山山脈，以大漢溪為主流；由於受到海拔高度影響，各地氣溫變化較大，全年氣溫溫差約在 12°C ~ 26°C 間；年平均降雨量約為 2,389.5mm，多集中在夏季。大漢溪上游兩條主要支流，分別是玉峰溪及三光溪，匯流口下游為原巴陵壩舊址，地理位置如圖 1 所示，巴陵防砂壩位於桃園縣復興鄉大漢溪與三光溪匯流處下游約 1.5km 處；民國 96 年 9 月 18 日韋帕颱風過境，巴陵壩在颱風過境期間發生潰壩，導致巴陵壩右側潰倒、左側壩體殘留長度約 25m、中間寬度約 50m 之壩體倒塌流失，成為後續上游集水區河相變遷及沖淤演變影響關鍵之一。

### (二) 潰壩後上游集水區河相變遷

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。根據水利署民國 92 年發行之石門水庫營運四十年特刊收錄之照片及描述內容，顯示民國 92 年巴陵壩已淤滿，但壩體結構與鄰近之邊坡及河道情況良好，詳見圖 2 (a)；民國 94 年巴陵壩下游左岸邊坡發生嚴重崩塌，導致鄰近交通中斷，甚至造成大量土砂淤積及河床劇烈變化，如圖 2 (b) 所示；圖 2 (c) 為民國 96 年韋帕颱風後巴陵壩潰壩之樣貌，潰壩發生致使長年累積於上游之土砂被帶進大漢溪，嚴重影響石門水庫庫容量，加上位於大漢溪河道上主要之大型防砂壩目前皆處於淤滿，使得河道沖淤問題日趨嚴重。此外，石門水庫入庫土砂量除來自於河道本身堆積材料外，

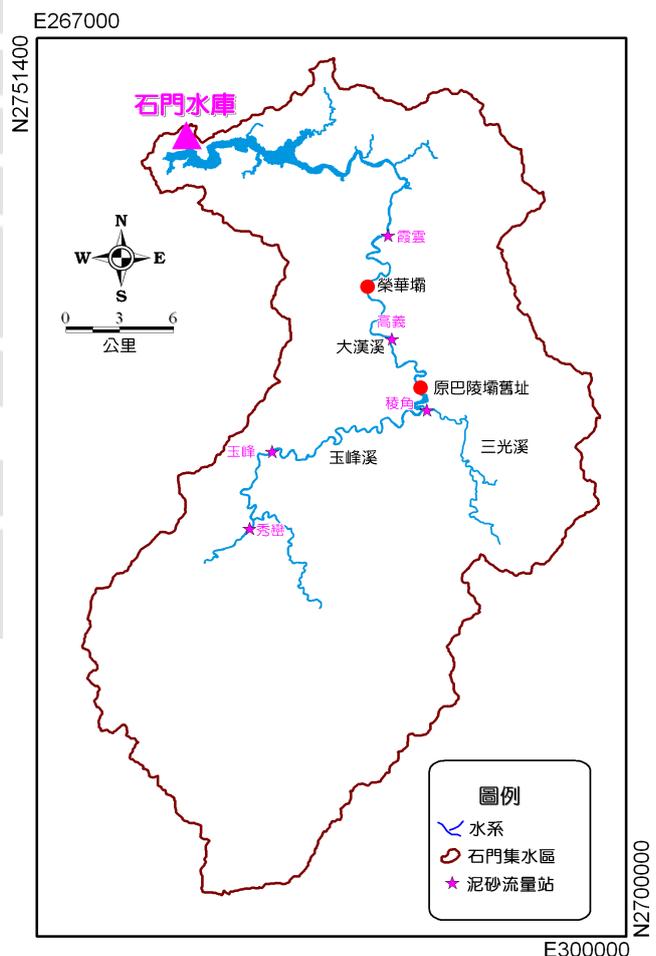


圖 1 研究區域範圍圖

其他大多數來自上游集水區坡地崩塌且集中於極端降雨事件，經河道運送進入水庫。

近期水保局（2009、2010）曾於玉峰溪及三光溪匯流口乙處明顯沙洲進行地面高精度高程施測作業（施測成果如圖 3 所示），藉此瞭解匯流口土砂沖淤情形；經調查結果可知，上游段河道淤積嚴重，巴陵壩附近玉峰溪及三光溪匯流口與雪霧鬧道路及大漢溪交會處施測點沖刷劇烈，其中玉峰溪及三光溪匯流口之沙洲高程部分土方明顯受到刷深，直到下游義興溪與大漢溪匯流口才恢復淤積現象，而大量豪雨沖蝕原巴陵壩舊址附

近淤高的河床，直至沖刷土砂遞移至下游河道及造成水庫內淤積，詳見圖 3 現地虛擬影像。接著，水保局（2011<sup>a</sup>）曾針對玉峰溪及三光溪河道進行斷面測量，並利用工作斷面法計算各期測量區域土方沖淤量，根據分析及測量成果可知，由於水保局過去針對玉峰溪沿岸支流投入許多整治工程，且歷經多次颱風豪雨事件考驗後，惟接近原巴陵壩舊址附近河道仍呈現下刷狀態（如圖 4 所示），尤以三光溪整體河床呈現嚴重下切，顯見三光溪河床土砂變動較大（如圖 5 所示），上游土砂持續往下游運送，顯示河床運動未達沖淤平衡。



(a) 民國 92 年 5 月巴陵壩

(b) 民國 94 年 8 月巴陵壩

(c) 民國 96 年 9 月巴陵壩潰壩後

圖 2 巴陵壩歷年照片

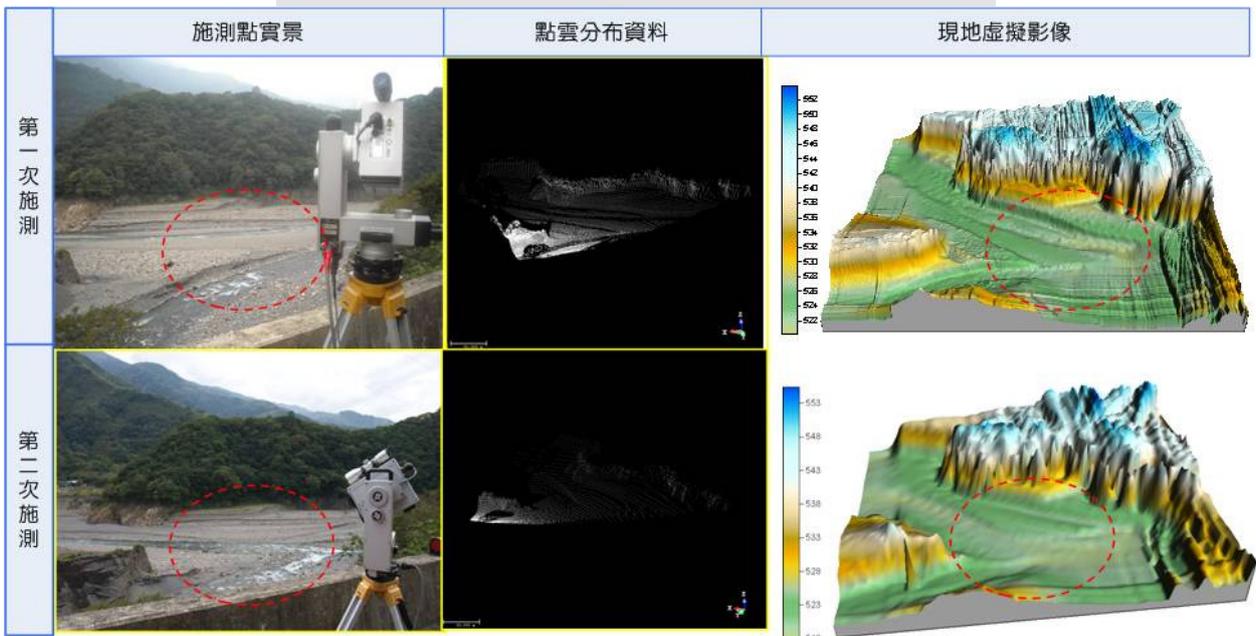


圖 3 玉峰溪及三光溪匯流口地面高精度高程施測現況及虛擬影像（摘自：水保局，2010）

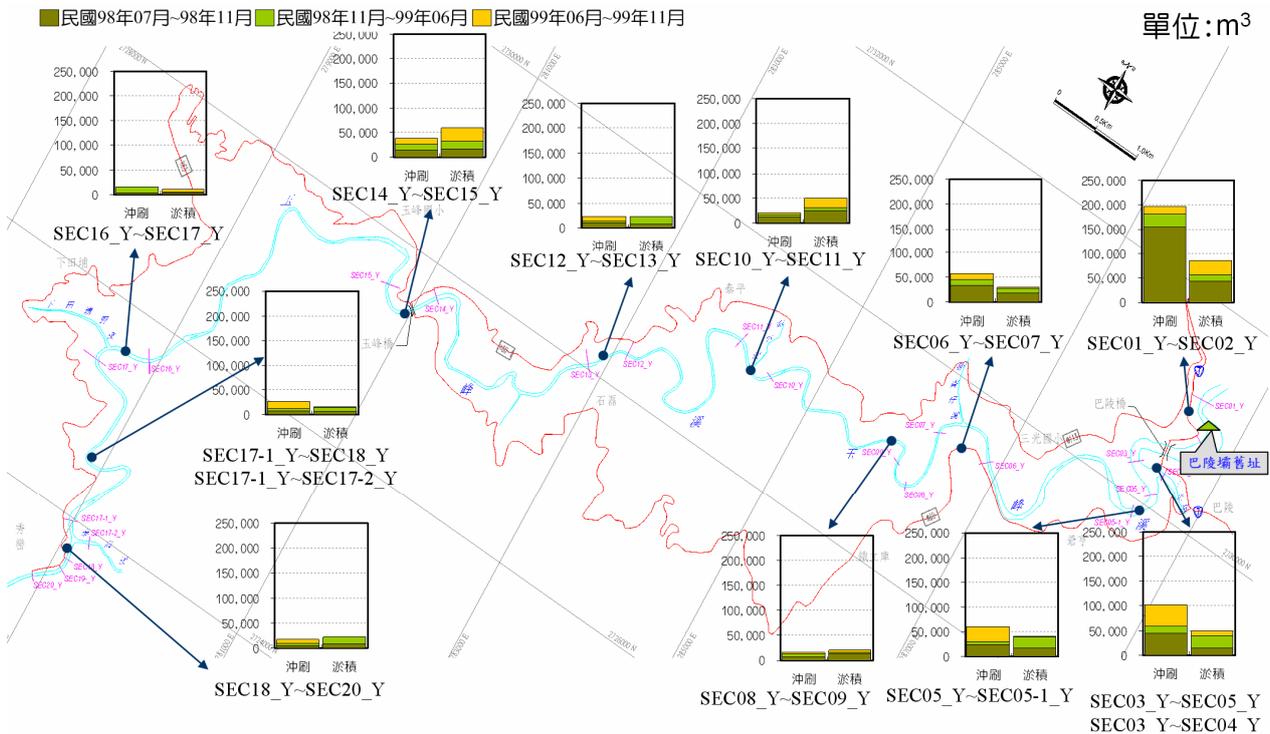


圖 4 玉峰溪歷次河道斷面測量成果圖 (摘自: 水保局, 2011<sup>a</sup>)

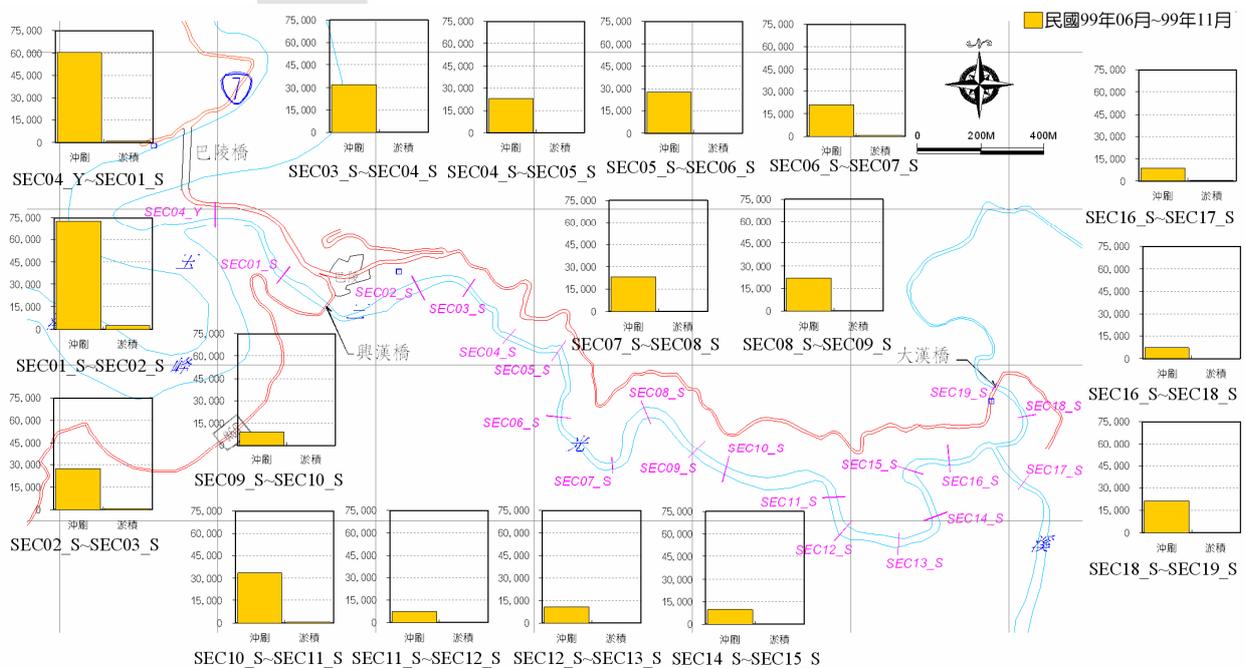


圖 5 三光溪歷次河道斷面測量成果圖 (摘自: 水保局, 2011<sup>a</sup>)

### (三) 對下游水庫濁度變化之影響

石門水庫於民國 85 年賀伯颱風，原水濁度飆增至 1 萬 NTU，造成桃園地區停水 9 天，隨後，每逢颱風豪雨事件，上游常發生土砂災害使得水庫原水濁度提昇，屢屢造成重大停水事件。民國 93 年艾利颱風挾帶豪雨，累積降雨高達 1,600mm，造成原水濁度飆高至 7~12 萬 NTU，停水高達兩週，使得水庫土砂淤積量增加 2,788 萬 m<sup>3</sup>，造成水庫總蓄水容量減少 9%，而庫容僅剩 73%。民國 94 年石門水庫分別歷經海棠與馬莎颱風，其中馬莎颱風所夾帶之豪雨，造成大量土砂產出，再次提高水庫原水濁度值，使淨水廠抽水站無法處理供水。比較近 10 年石門水庫集水區內之降雨有明顯增強之趨勢，如圖 6 所示；尤以民國 93 年艾利颱風後，其年平均降雨更明顯大於台灣年平均降雨量，且約為世界平均值 973mm 之 2.47 倍，顯見近年氣候變遷所引致極端水文事件，易造成高濁度現象發生。民國 97 年辛樂克颱風侵襲全台，並於排砂道測得其原水濁度，最高達至 1 萬 2 千多 NTU，水利署啟動緊急供水系統進行表面取水達到不分區供水之目的；圖 7 及圖 8 分別為石門水庫歷年淤積量變化趨勢及歷年主要颱風累積雨量與停水事件關係圖，顯見每逢颱風或豪雨造成原水濁度飆昇、水庫淤積量遽增，遂導致停水議題；此外，由圖 8 可見，自韋帕颱風後，即使是相較於艾利颱風平均降雨量較低之颱風事件，仍會影響下游水庫庫區濁度升高。

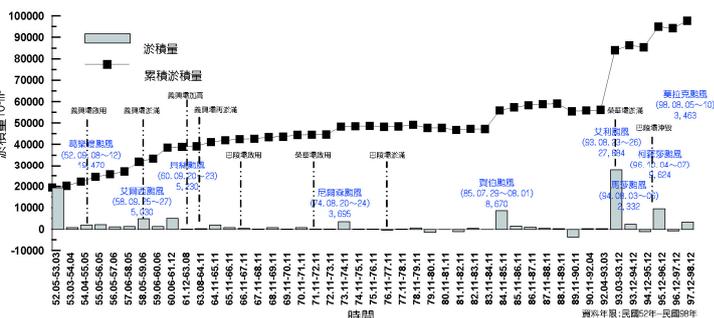


圖 7 石門水庫歷年淤積量變化趨勢

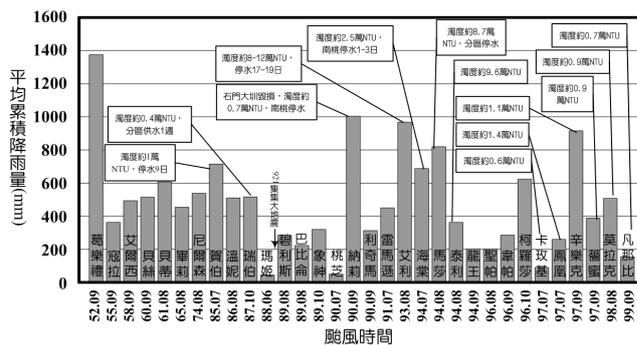


圖 8 石門水庫歷年主要颱風累積雨量與停水事件

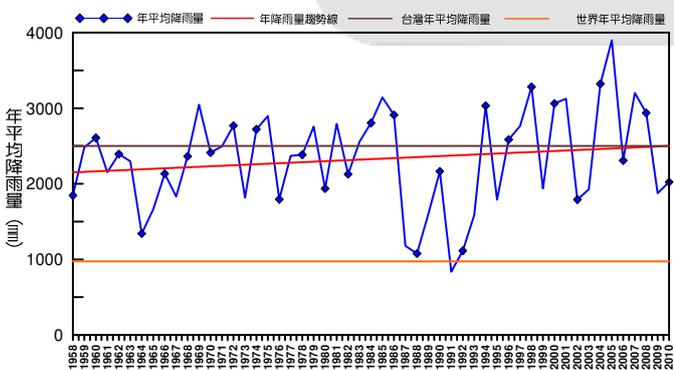


圖 6 石門水庫歷年年平均降雨量及降雨趨勢圖

## 三、石門水庫上游集水區河相變遷及沖淤演變模擬

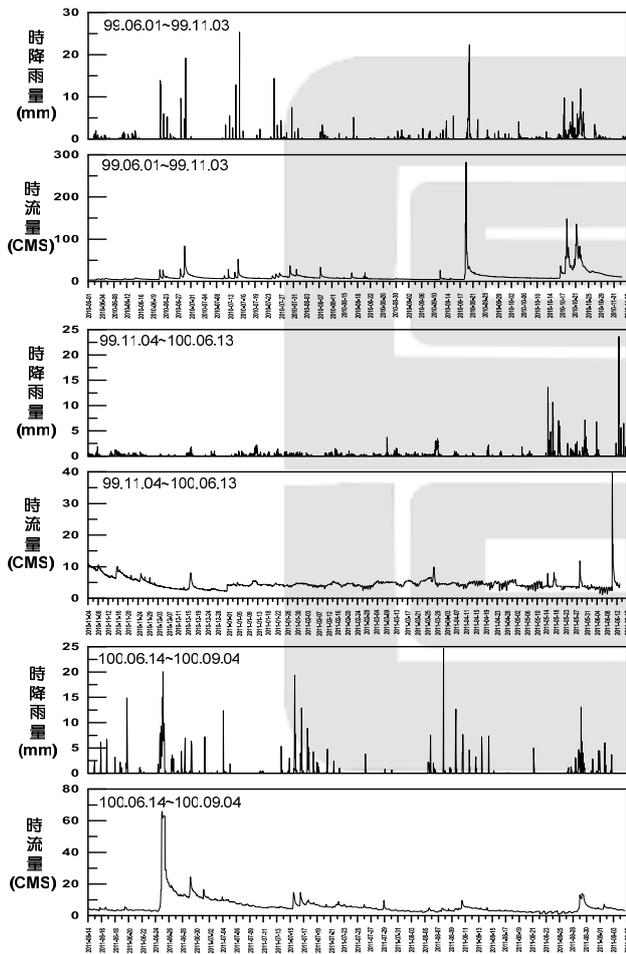
基於上述，為探討巴陵壩潰壩後上游三光溪河床近期是否持續沖刷下切以及推演未來沖淤趨勢，故本文利用蒐集石門水庫上游集水區既有河道斷面測量資料及歷年水文站紀錄值，用以追蹤探究三光溪河相變化；接著，利用藉由 MH-CAPART 一維河川縱斷面數值動力模式，模擬潰壩後巴陵壩潰壩後石門水庫上游集水區河床高程沖淤變化，並與既有河道斷面測量資料比較驗證，確定其可信度，再據以推演未來 5~20 年後河床可能沖淤高程及河道變遷狀況。以下就 (1) 資料蒐集、(2) 三光溪河道變遷、(3) 巴陵壩潰壩後上游河道沖淤演變模擬等三部分，分析探討如下：

### (一) 資料蒐集

本研究蒐集三光溪歷史河道斷面資料，相關資訊如表 1 所示；並蒐集水利署民國 99 年到 100 年間嘎啦賀、巴陵及池端等雨量站之時雨量紀錄，並分析彙製雨量及流量歷線圖，如圖 9 所示。

表 1 歷史河道断面測量資料蒐集表

資料單位	調查時間	量測範圍	流域
水保局	民國 98 年 07 月	原巴陵壩舊址下游 100m	玉峰溪
	民國 98 年 10 月	至白石溪與泰崗溪匯流口上游 0.8km	
	民國 99 年 06 月	延續民國 98 年 10 月調查範圍；另增加三光溪與塔曼溪匯流口上游約 0.3 km	玉峰溪
	民國 99 年 11 月		三光溪
	民國 100 年 06 月	三光溪與玉峰溪匯流口上游 0.1km 至三光溪與塔曼溪匯流口上游約 0.3 km	三光溪
	民國 100 年 09 月		
水利署	民國 96 年 12 月	原巴陵壩舊址上下游 5km	大漢溪
	民國 97 年 06 月		
	民國 97 年 12 月	原巴陵壩舊址上游 5km 至義興壩下游 1km	
	民國 98 年 08 月		
	民國 98 年 11 月		
	民國 99 年 09 月		
民國 99 年 12 月			



註 1：時降雨資訊為利用北水局嘎啦賀、巴陵及池端時雨量資料權重計算結果  
 註 2：流量係以水利署（2011）稜角站水位流量率定公式計算推估

圖 9 三光溪各期河道断面測量降雨及流量變化圖

(二) 三光溪河道變遷

為追蹤三光溪河道沖淤變化是否已達穩定或仍受巴陵壩潰壩對於上游河床高程調整影響，本研究彙整民國 99 年至 100 年共計 4 期三光溪河道断面調查，如表 1；同時，根據各期調查期間歷經颱風事件，如表 2；而各期河床河道寬度、河床断面高程、土方沖淤量及橫断面變化，如圖 11 及圖 12 所示；以下分就「河道高程變化與土方沖淤量」及「累積流量與河床沖淤量之關係」兩項課題，進行分析討論。

表 2 調查期間歷經颱風事件一覽表

期數	調查期間	歷經颱風事件
第 1 期	民國 99.06 ~ 99.11	凡那比颱風、梅姬颱風
第 2 期	民國 100.11~100.06	-
第 3 期	民國 100.06~100.09	米雷颱風

註：表中颱風事件累積降雨空間分布如圖 10 所示。

1. 河道高程變化與土方沖淤量

(1) 民國 99.06~99.11 調查期間

民國 99.06~99.11 調查期間歷經凡那比及梅姬等兩場颱風事件，於三光集水區分別降下 144.2mm 及 156.2mm 降雨量，使三光溪具較高流量，其中凡那比颱風流量將近 300cms；而梅姬颱風挾帶大量豪雨，造成河道流量瞬間劇增，直接影響河相變化，使河床高程下降且河階地皆抬昇，整體平均下刷約 0.67m；尤以興漢橋上游約 850m 之断面（SEC05\_S）變化最嚴重，下切約 1.1m；整體淨沖刷土方約 452,789m<sup>3</sup>，又以距玉峰溪及三光溪匯流口上游約 300m 至 500m 間兩断面（SEC02\_S 及 SEC03\_S）沖刷最為嚴重，如圖 10 所示。

(2) 民國 99.11~100.06 調查期間

民國 99.11~100.06 調查期間屬枯水期，無明顯降雨且流量穩定，但於梅雨季節時始有數場降雨事件，使三光溪流量改變，影響河相變化。整體河床高程變化，除距玉峰及三光溪匯流口上游約 100m 之断面（SEC04\_Y）略為下降，其餘断面皆為昇高情形，整體平均抬昇約 0.35m；尤以興漢橋上游約 700m 處断面（SEC04\_S）高程變化最大，抬昇約 1.0m；除玉峰及三光溪匯流口上游約 300m 断面（SEC02\_S），及興漢橋上游約

1,700m至2,250m間斷面(SEC10\_S、SEC11\_S)有輕微沖刷,其餘屬淤積現象;整體河道屬微量淤積情形,淨淤積土方量約48,327m<sup>3</sup>,如圖10所示。

(3) 民國100.06~100.09 調查期間

民國100.06~100.09 調查期間屬豐水期,河道沖刷堆積互現,調查期間三光溪受米雷颱風事件影響,整體河道寬度變化不大,但距玉峰及三光溪匯流口上游約400、1,700及3,200m斷面(SEC01\_S、SEC06\_S、SEC13\_S)有擴張現象,分別擴張約5.35、5.21及2.27m。三光溪整

體河床高程呈輕微下刷現象,除距玉峰及三光溪匯流口上游約2,500m處斷面(SEC10\_S)明顯下降約0.52m;距匯流口上游約3,500m處斷面(SEC15\_S)明顯抬昇約0.39m,其餘斷面高程無明顯變化,但下游玉峰及三光溪匯流口仍有沖刷情形(斷面SEC04\_Y及SEC01\_S),沖刷土方量約為7,505m<sup>3</sup>;堆積段則集中於上游靠近三光及塔曼溪匯流口(距玉峰及三光溪匯流口上游約3,300m至3,600m斷面SEC14\_S至SEC16\_S),淤積土方量約為671m<sup>3</sup>。

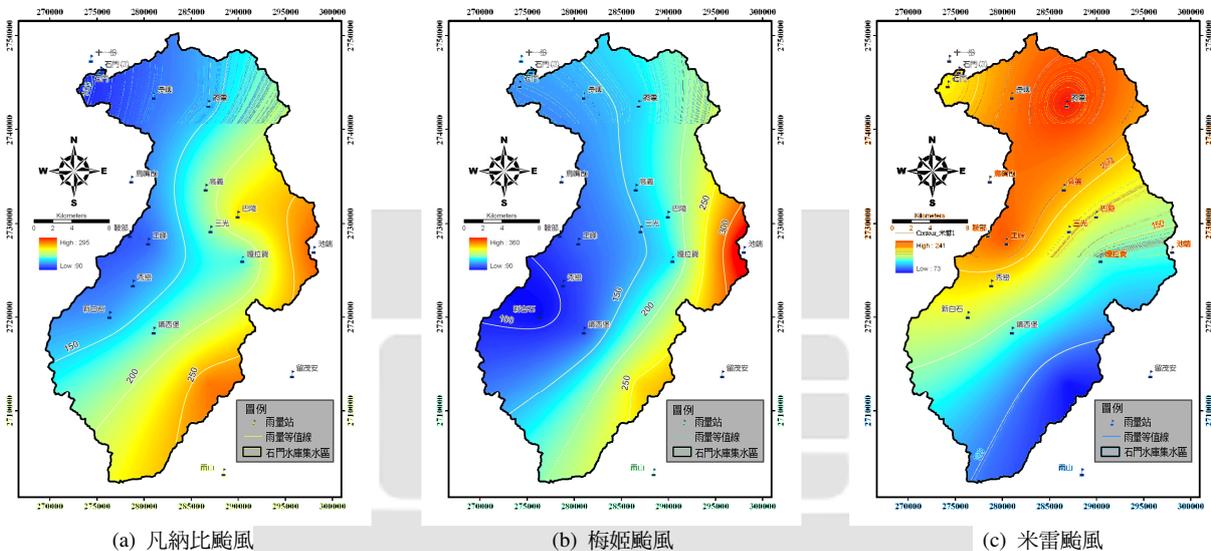


圖10 三光溪三期調查期間歷經颱風事件降雨分布圖

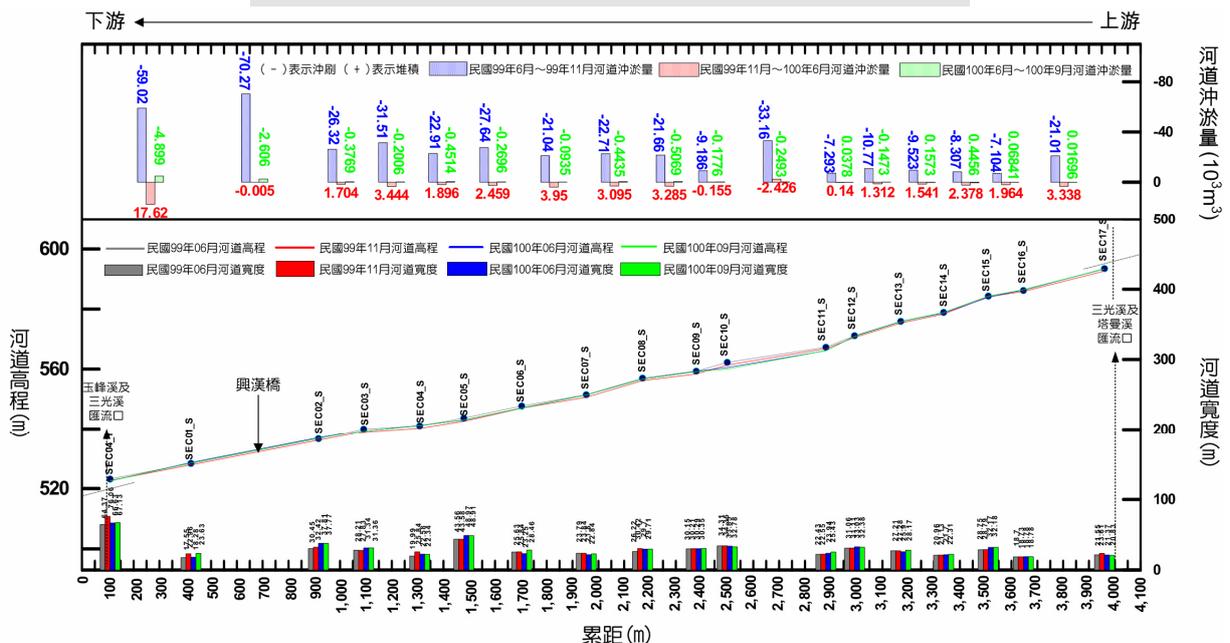


圖11 三光溪各期河道斷面測量成果圖

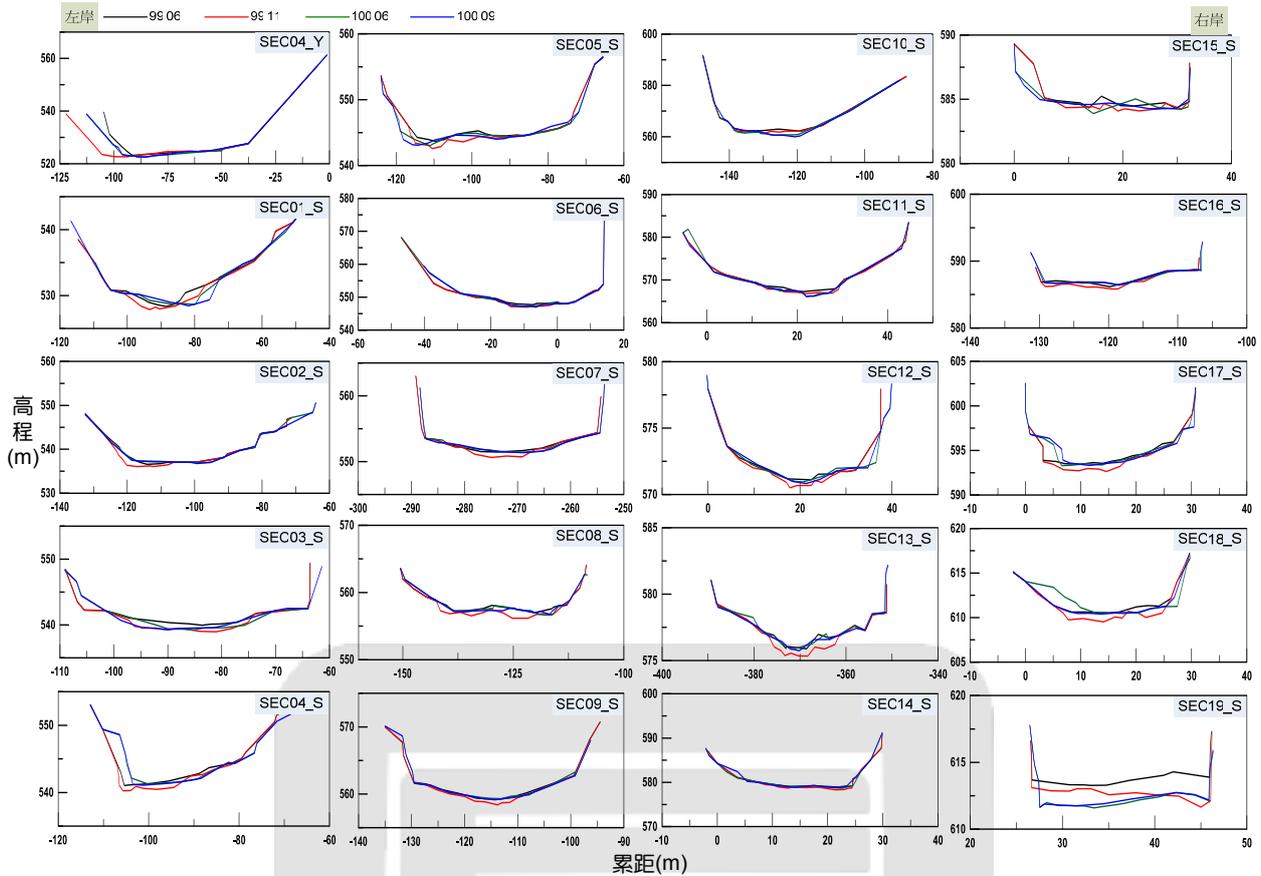


圖 12 三光溪各期河道橫斷面變化圖

2. 累積流量與河床沖淤量之關係

為進一步瞭解颱風事件期間累積流量與各調查河段沖淤量關係，進而釐清累積流量高低與沖淤潛勢影響，故先針對調查期間歷經所有颱風事件，繪製降雨空間分布如圖 11 所示，由圖顯見歷次颱風降雨逐漸往三光溪移動及降雨集中趨勢；然後，根據水利署（2006）「區域排水整治及環境營造規劃參考手冊」採用利用比面積法推估各調查河段斷面以上所代表累積流量，如下。

$$Q_1 = \left( \frac{A_1}{A_2} \right)^n \times Q_2 \quad (1)$$

式中， $Q_1$  為計算點之累積流量 ( $m^3$ )； $Q_2$  為已知點之累積流量 ( $m^3$ )； $A_1$  為計算點之集水面積； $A_2$  為已知點之集水面積； $n$  為迴歸係數，本文令  $n=1$ ，故以線性比例計算之。

根據前述分析方式，以稜角站流量資料計算，並繪製探討各次調查期間之累積流量與各調

查河段沖淤量之關係，如圖 13 所示；由圖可知若累積流量達至 40,000cms 以上，且尖峰流量接近 300cms 時，三光溪河道較易發生明顯沖刷現象（如民國 100.06 ~ 100.09 調查期間），此結果與水利署（2007）所觀察之現象相符，即颱風或豪雨事件會致使高流量（300cms）發生；相對的，若累積流量未達 40,000cms，則影響三光溪河道沖淤量變化並不顯著。

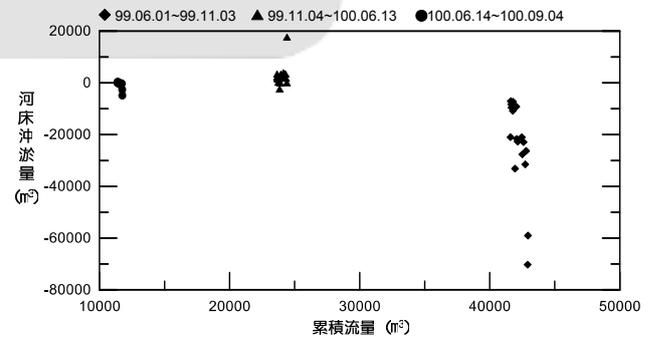


圖 13 三光溪各期河道斷面累積流量及河床沖淤量之關係圖

### (三) 巴陵壩潰壩後上游河道沖淤演變模擬

本研究除利用實際歷史河道斷面測量資料，針對三光溪河道沖淤變化進行探討外；另利用一維河川縱斷面數值動力模式程式 MH-CAPART，模擬巴陵壩潰壩後未來 5~20 年後河床可能沖淤高程及河道變遷狀況。MH-CAPART 為臺灣大學土木系卡艾璋教授所發展之一維河川縱斷面數值動力模式程式，模式主要控制方程式如下：

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial J}{\partial x} = -E \quad (2)$$

式中， $B$ ：研究範圍河道的有效寬度 (m)； $z$ ：河道中各橫斷面最大水深連線點 (中線) 的高程 (m)； $t$ ：時間 (Day)； $J$ ：底床載通量 ( $km^2 \cdot m/s$ )； $x$ ：從最下游邊界沿著中線往上游的距離 (km)； $E$ ：底床載轉變成懸浮載的夾帶率 ( $m^2/s$ )。

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夾帶至下游、底床載傳輸速率等運動機制，分析程序如圖 14 所示，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)。茲將數值模擬主要計算方程說明如下：

#### 1. 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：

$$J(x,t) = KQ(t) \max \left\{ -\frac{\partial z_w}{\partial x} - S_{\min}, 0 \right\} \quad (3)$$

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)。

#### 2. 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計算，其中時間參數為擬時間參數 ( $\tau$ , Pseudo-time Variable)，公式如下：

$$\tau(t) = V(t) = \int_0^t Q(t') dt' \quad (4)$$

上式可藉由有限差分法推導一維河川縱斷面數值動力模式控制方程式，用以分析處理河道動態沖淤及依時性河相變化等課題。

為確定模式的適用性、準確性和效率性，本研究先以 NETSTARS 與 MH-CAPART 兩項數值模式，模擬巴陵壩潰壩後至同年 12 月底為止之河床變化，其模擬成果如圖 15 所示，由圖可見，兩者分析趨勢一致，但因 NETSTARS 係利用輸砂公式計算輸砂量後再代入輸砂連續方程式求解河床變化，僅能解決一般輸砂行為；而潰壩之泥砂行為非一般狀況，無法表現出潰壩後短時間內河道狀況，故潰壩後約 500 小時才能開始模擬，因此，於某些河段的模擬值與實際測量值差異大，故本研究採用以作為河道沖淤預測數值模擬工具。

由於河床沖淤模擬過程中流量資料為河床沖淤模擬之重要參數，需有完整模擬期間資料，得以有效模擬河道沖淤演變；本研究流量補遺方式採 Lee *et al.* (2006) 以石門水庫玉峰集水區歷年水文站之日水位紀錄所建立之率定曲線計算之，推估參見 (5) 式；此外，未來 5~20 年流量數據係採用民國 96-98 年間之平均流量計算之，如圖 16 所示。

$$Q = 62.77 \times (H - 684.5)^{2.141} \quad (5)$$

式中， $Q$ ：流量 (cms)； $H$ ：水位紀錄 (m)。

本研究透過蒐集河道斷面資料進行比較驗證，再將率定完成分析參數，模擬大漢溪主流之榮華壩至上游玉峰溪與泰崗溪、白石溪匯流口 (接近於秀巒水文站)，河道全長共計 25km，

模擬巴陵壩潰壩後上游集水區河床未來 5~20 年後河床可能沖淤高程及河道變遷狀況，如圖 17 及表 3 所示。茲將觀察結果條列如下：

1. 經分析模擬可知，未來 5 年內榮華壩至白石溪與泰崗溪匯流口間河床，最大抬升高度約計 2.74m；而未來 10 年內河床最大抬升高度則達至 4.7m；未來 20 年內河床仍將抬升，最大至 7.3m，於榮華壩與巴陵壩舊址之間堆積逐漸明顯，且須考量集水區環境仍會持續不斷的遭受許多突發的水文事件，及其他支流供砂等影響，故上下游河床仍未達沖淤平衡及河相仍持續劇烈變化。
2. 距榮華壩上游 10~13.69km 之河段區域（如圖 17 II 區），約接近三光溪及玉峰溪匯流口，其河川侵蝕下切最為明顯；該區河段範圍內未來 10 年後持續下刷 1.72m，而未來 20 年後則轉呈土砂堆積狀況，其最大堆積深度約 2.09m。
3. 距榮華壩上游 13.69~15.91km 之河段區域（如圖 17 III 區），未來 20 年內為土砂堆積區域，最大堆積高程約達 1.65m。
4. 距榮華壩上游 15.91~20.17km 之河段區為土砂侵蝕堆積平衡區（如圖 17 IV 區），自巴陵壩潰壩後迄今下刷至 0.5m，而未來 20 年內則將堆積至 0.7m。

表 3 榮華壩上游河段未來河床高程變化表

期數	年份	距榮華壩上游河段區域			
		I	II	III	IV
		0~10 km	10~13.7 km	13.7~15.9 km	15.9~20.2 km
1	民國 97 年 12 月	+2.98m	- 9.74m	+1.47m	- 1.18m
2	民國 100 年 12 月	+2.18m	- 0.57m	+0.42m	- 0.50m
3	未來 5 年	+2.74m	- 0.58m	+0.42m	+0.23m
4	未來 10 年	+1.96m	- 0.57m	+0.42m	+0.22m
5	未來 20 年	+2.60m	+2.09m	+0.41m	+0.24m

註：表中高程變化係為前後期模擬成果相互比對之變化。

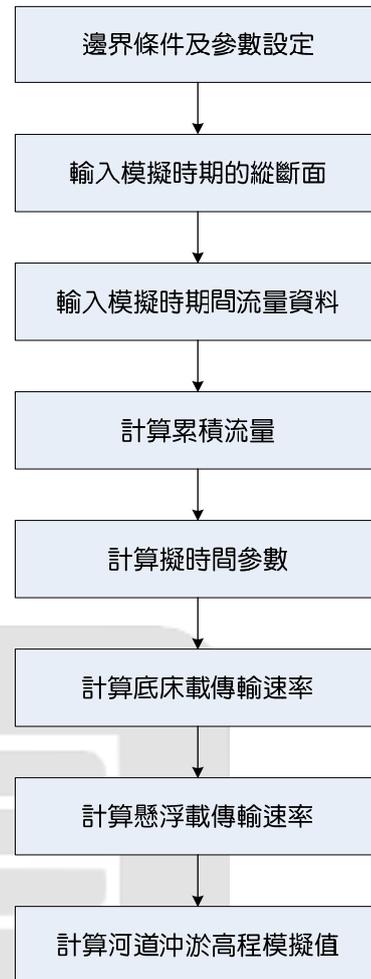


圖 14 MH-CAPART 模式分析模擬流程图

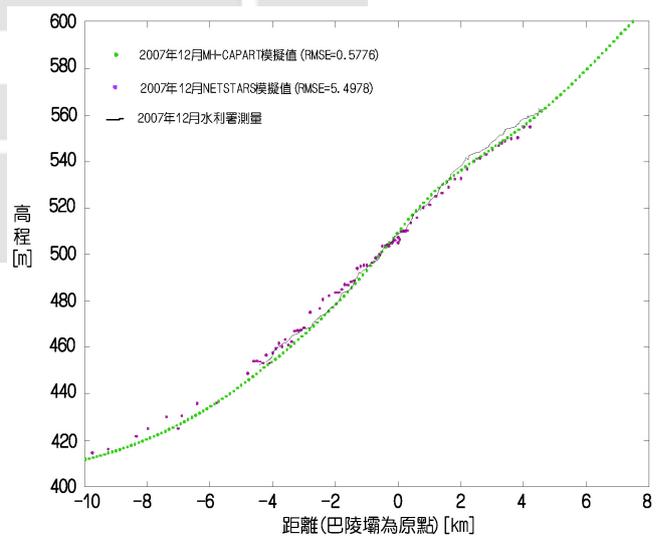


圖 15 MH-CAPART 與 NETSTARS 河床沖淤模擬成果圖

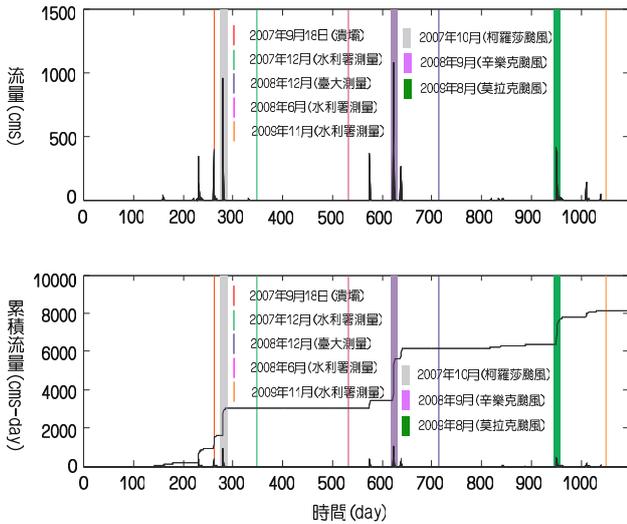


圖 16 玉峰水文站民國 96~98 年流日水位推估  
流量與累積流量

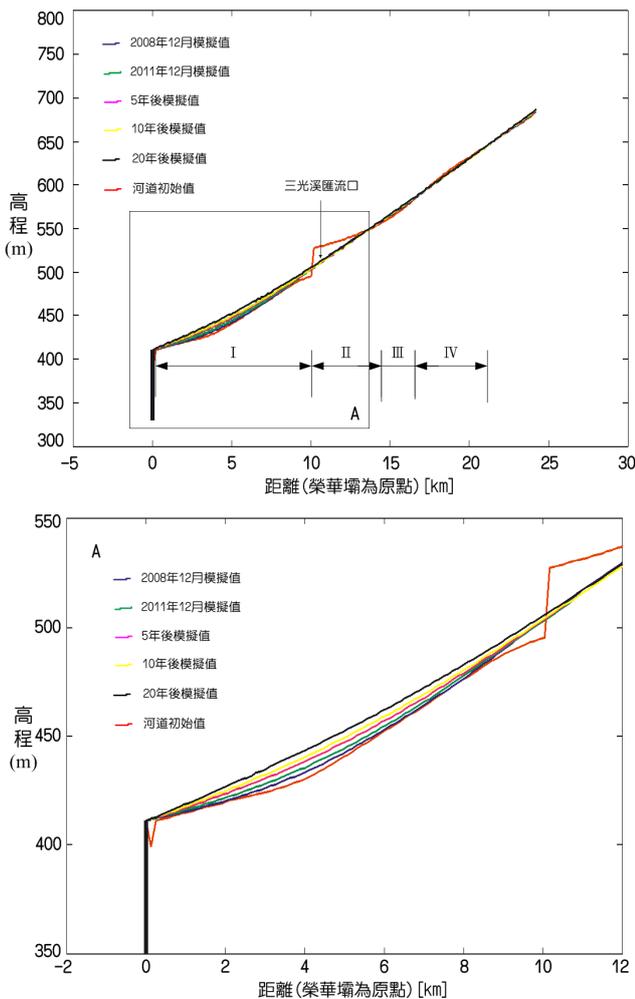


圖 17 巴陵壩潰壩後大漢溪未來 5~20 年後河床  
可能沖淤高程模擬圖

#### 四、結論與建議

民國 96 年巴陵壩潰壩後確實改變原始河道平衡，造成上下游河床坡度瞬時變陡，隨後，歷經多場颱風事件侵襲，加速河道土砂向下游運移及整體河床坡度、河相改變，其中又以三光溪沖淤最為明顯；經由各期河道断面分析結果發現，民國 99 年至 100 年間，三光溪仍有大量土方運往下游，且經現地勘察玉峰溪及三光溪匯流口河階地皆明顯抬升，且河床有多處深潭導致河床流速變化劇大；另一方面，於豐水季節與遭逢較大之颱風或豪雨事件時，沖刷情形明顯，且河床土方的沖淤變化量也會較大；而枯水季節河床沖淤變化明顯變少，且易發生輕微堆積情形。

另一方面，為瞭解未來上游集水區河道高程變遷及沖淤潛勢，透過一維河川縱断面數值動力模式分析驗證可知，該項數值模式分析結果具有一定可靠性；再者，經分析結果發現，巴陵壩潰壩後確實改變原始河道平衡，造成上下游河床坡度瞬時變陡，隨後，歷經多場颱風事件侵襲，加速河道土砂向下游運移及整體河床坡度改變；根據模擬未來河道變化之結果可知，若無重大異常水文事件及其他外力影響，未來 20 年內榮華壩與巴陵壩舊址之間堆積狀況明顯，河床將抬升最大至 7.3m；再者，河床沖蝕基準面將重新調整，逐漸往上游延伸且呈現淤積，堆積高程離下游愈近則愈多，最高可達 2.09m；故未來集水區仍會持續不斷的遭受突發水文事件及其他支流供砂等影響，故上下游河床仍未達平衡。

為有效管理集水區各支流河道補注河道應有之土砂容許流出量，並不致影響河川高程變動，以維持均夷條件之基本流況，故本文建議未來相關單位應評估集水區支流河道補注主流河道應有之土砂容許流出量及擬定河道防淤減淤治理方案，並以全流域治理為考量，從中設立短中長程治理策略及目標，以有效減少入庫土砂量，進而確保上游水土保持，達至保土蓄水最終目標。

## 謝 誌

感謝行政院農業委員會水土保持局，提供計畫（編號 SWCB 100-102）經費補助，作者謹申謝忱。

## 參考文獻

簡昭群、陳本康、陳鶴修、陳佳奇（2010）巴陵防砂壩災損原因調查及壩址後續處置計畫成果簡介，第十四屆海峽兩岸水利科技交流研討會論文集，第 B40-48 頁

梁惠儀、林伯勳、冀樹勇、黃文洲、尹孝元（2010）莫拉克颱風事件引致集水區崩塌後水庫淤積潛勢評估，第十四屆海峽兩岸水利科技交流研討會論文集，台北，第 B-1-B-8 頁

行政院農業委員會水土保持局（2010）石門水庫集水區豪雨誘發土砂災害之變化歷程與機制探討

行政院農業委員會水土保持局（2011a）石門水庫集水區土砂災害歷程分析

行政院農業委員會水土保持局（2011b）石門水庫集水區土砂歷程調查及災害評估

經濟部水利署北區水資源局（2003）石門水庫營運四十年特刊

行政院農業委員會水土保持局（2009）石門水庫集水區高精度地形量測及地形貌變化歷程之研究

經濟部水利署（2008a）巴陵壩上下游河道斷面測量作業成果報告書

經濟部水利署（2008b）石門水庫上游主流攔砂壩淤積測量巴陵壩測量成果報告書

經濟部水利署（2009a）巴陵壩上下游河道淤積砂石下移測量作業測量報告（第一次）

經濟部水利署（2009b）巴陵壩上下游河道淤積砂石下移測量作業測量報告（第二次）

經濟部水利署（2009c）巴陵壩上下游河道淤積砂石下移測量作業測量報告（第三次）

經濟部水利署（2010a）99 年巴陵壩上下游河道淤積砂石下移測量作業測量報告（第一次）

經濟部水利署（2010b）99 年巴陵壩上下游河道淤積砂石下移測量作業測量報告（第二次）

經濟部水利署（2007）石門水庫集水區崩塌與庫區淤積風險評估研究（2/3）

經濟部水利署（2011）石門水庫上游集水區流量與含砂量量測及水文資料數化庫建立

Capart, H., J. P. C. Hsu, S. Y. J. Lai and M. L. Hsieh (2010) Formation and Decay of a Tributary-Dammed Lake, Laonong River, Taiwan, *Water Resources Research*, 46, W11522

Capart, H., B. Spinewine, D. L. Young, Y. Zech, G. R. Brooks, M. Leclerc, 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 Hypopycnal Deltas Over Bedrock, *Geophysical Research Letters*, 36, L08402

Lee, H. Y., Y. T., Lin, and Y. J. Chiu (2006) Quantitative Estimation of Reservoir Sedimentation from Three Typhoon Events, *Journal of Hydraulic Engineering*, 11, pp. 362-370

## 更正啟事

本刊第 118 期刊載之「應用放射性核種評估土壤沖蝕方法」乙文，作者姓名「邱昱嘉」誤植為「邱昱家」，特此更正！