

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

流域水情模擬與預報模式精度與效能提升之研究--總計畫 暨子計畫:河道動床沖淤對防洪水位之影響(I) 研究成果報告(完整版)

計畫類別：整合型
計畫編號：NSC 100-2625-M-009-002-
執行期間：100年08月01日至101年07月31日
執行單位：國立交通大學土木工程學系（所）

計畫主持人：葉克家

公開資訊：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 101 年 10 月 30 日

中文摘要：本整合型計畫依據100年度國科會自然處永續學門「防災科技研究計畫課題重點說明」跨領域整合課題要旨，洪旱災害領域「3-4 改進水文水理模式預測精度與提昇模式演算效能」之研究課題，結合水文、水理、系統、勘災調查及防災應變等領域專長之學者專家，目標為建立流域整合型治理模擬與預報模式，包含降雨-逕流模式、水庫排洪操作模式、全流域河道水位與暴潮模式、河道局部水理與動床沖淤、淹水模擬等模式，銜接中央氣象局系集颱風定量降雨預報及各部會署之即時監測資料。利用模式計算及掌握流域之逕流量、水庫排洪量、洪水位、全流域河道水位、暴潮、溢堤處流量、淹水區域及局部河道水理及動床沖淤狀況，於平時進行減災方案研擬及颱風期間應變時的災害境況模擬預警，以達成完善的流域治理目標。

本總計畫除負責維持各子計畫間之聯繫與成果傳遞外，另負責研究子計畫：河道動床沖淤對防洪水位之影響，共分三年進行。本年度(第一年)工作項目主要蒐集近年水理、輸砂演算等相關文獻，並針對 CCHE1D 模式，進行理論研究及檢定驗證。此外，就曾文溪各控制點之實測流量、水位及底床等基本資料進行分析，瞭解臺灣河川除入流洪水量大小會影響洪水位高程外，底床劇烈沖淤變化亦會對洪水位產生升降變化。

中文關鍵詞：河道沖淤、動床模式、輸砂演算

英文摘要：Because of Taiwan's special location, floods, drought, earthquakes and other natural disasters frequently happen. Flood cause by typhoon is the most common disaster, therefore, it is required by using numerical models to simulate and evaluate rivers discharge, reservoir drainage capacities, water levels along the river, sea level, bank overflow, inundation area and both global and local hydraulic and river migration status. Using simulation results for making reduction program of overall planning of river basin management during ordinary days and preventing disasters during typhoons landing time are important issues of water related damage management. This research project in the first year mainly collects and compares recent computational theories of hydraulic and sediments transporting. After, this project starts calibrating and verifying river

sediments transporting numerical models. In the second year, this project starts combining rainfall-runoff predicting model and sediment transporting model' s boundary conditions, calibrating and validating models by using associated data, and using models to evaluate river moving beds effects on water levels and bank-break. In the third year, this project uses the combining model to simulate in situ cases, and analyses the models' efficiency and stability. In addition, we do scenario simulations to evaluate possible flooding areas. Finally, the simulated results are fed back target watershed to other sub-projects for constructing integrated model for the platform.

英文關鍵詞： deposition and erosion behavior、mobile-bed numerical modeling、sediment transport formulas

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ☒ 成果報告
☐ 期中進度報告

流域水情模擬與預報模式精度與效能提升之研究－總計畫

暨子計畫：河道動床沖淤對防洪水位之影響(I)

計畫類別：☐ 個別型計畫 ☒ 整合型計畫

計畫編號：NSC 100-2625-M-009-002-

執行期間：2011/08/01~2012/07/31

總計畫主持人：葉克家

子計畫主持人：葉克家

計畫參與人員：鍾仁凱、黃信富

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：☐ 精簡報告 ☒ 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐ 赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

☐ 涉及專利或其他智慧財產權，☐ 一年 ☐ 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學

中 華 民 國 101 年 10 月 31 日

目錄

目錄	I
表目錄	II
圖目錄	III
摘要	V
Abstract.....	VI
一、 研究目的	1
二、 總計畫與各子計畫間之分工合作架構	3
三、 文獻回顧	6
四、 模式理論概述	10
五、 研究區域概述	11
六、 本年度工作之研究方法	30
七、 結果與討論	39
八、 成果自評	39
九、 參考文獻	40

表目錄

表 1	CCHE1D 模式輸砂公式彙整表	12
表 2	曾文溪主流歷年河床質比較表	24
表 3	曾文溪主流河段檢討後建議河川治理規劃檢討之分析洪水量表	25
表 4	曾文溪主流防洪構造物一覽	26
表 5	曾文溪主流跨河構造物一覽	26
表 6	模擬河段曼寧 n 值之設定表	35

圖目錄

圖 1 各子計畫模式之整合示意圖	5
圖 2 921 地震後石岡壩破壞情形	8
圖 3 921 地震後大甲溪埤豐橋上游之河床隆起情形	8
圖 4 921 地震後大安溪蘭勢大橋河段之峽谷地貌	9
圖 5 濁水堤防於 921 地震後空拍畫面	9
圖 6 曾文溪流域概況圖	15
圖 7 曾文溪斷面 0~60 河段歷年平均河床高縱斷面圖	17
圖 8 曾文溪斷面 60~120 河段歷年平均河床高縱斷面圖	18
圖 9 曾文溪斷面 120~180 河段歷年平均河床高縱斷面圖	19
圖 10 曾文溪主流河道之勞哈金數 f_1 指標分布	21
圖 11 曾文溪主流河道之阿爾圖寧河寬穩定指標 K_1 分布	21
圖 12 民國 86 年 ~ 89 年與 92 年 ~ 94 年曾文溪斷面深槽變動比較 ...	22
圖 13 民國 92 年~94 年與 95 年曾文溪斷面深槽變動比較	22
圖 14 民國 95 年與 99 年曾文溪斷面深槽變動比較	22
圖 15 曾文溪歷年河床質粒徑分析圖	23
圖 16 納莉颱風曾文溪沿岸淹水範圍示意	28
圖 17 泰利、海棠颱風曾文溪沿岸淹水範圍示意	29
圖 18 莫拉克颱風曾文溪沿岸淹水範圍示意	29
圖 19 玉峰大橋水文站 921 地震前後懸浮載與流量關係	30
圖 20 彰雲大橋水文站 921 地震前後懸浮載與流量關係	31
圖 21 自強大橋水文站 921 地震前後懸浮載與流量關係	31
圖 22 2003 年沭陽站流量—水位關係比較圖	31
圖 23 民國 98~99 年曾文溪橋及二溪大橋站之流量—水位關係比較圖	33
圖 24 曾文溪上游玉豐大橋檢定驗證流量歷線	34
圖 25 玉豐大橋之流量—含砂量率定曲線	35

圖 26 曾文溪二溪大橋模擬水位與實測水位之比較.....	37
圖 27 曾文溪玉豐大橋至麻善大橋之底床檢定成果—SEDTRA 公式	38
圖 28 曾文溪玉豐大橋至麻善大橋之底床檢定成果—Wu et al.公式	38
圖 29 曾文溪玉豐大橋至麻善大橋之底床驗證成果.....	38

摘要

本整合型計畫依據 100 年度國科會自然處永續學門「防災科技研究計畫課題重點說明」跨領域整合課題要旨，洪旱災害領域「3-4 改進水文水理模式預測精度與提昇模式演算效能」之研究課題，結合水文、水理、系統、勘災調查及防災應變等領域專長之學者專家，目標為建立流域整合型治理模擬與預報模式，包含降雨-逕流模式、水庫排洪操作模式、全流域河道水位與暴潮模式、河道局部水理與動床沖淤、淹水模擬等模式，銜接中央氣象局系集颱風定量降雨預報及各部會署之即時監測資料。利用模式計算及掌握流域之逕流量、水庫排洪量、洪水位、全流域河道水位、暴潮、溢堤處流量、淹水區域及局部河道水理及動床沖淤狀況，於平時進行減災方案研擬及颱風期間應變時的災害境況模擬預警，以達成完善的流域治理目標。

本總計畫除負責維持各子計畫間之聯繫與成果傳遞外，另負責研究子計畫：河道動床沖淤對防洪水位之影響，共分三年進行。本年度(第一年)工作項目主要蒐集近年水理、輸砂演算等相關文獻，並針對 CCHE1D 模式，進行理論研究及檢定驗證。此外，就曾文溪各控制點之實測流量、水位及底床等基本資料進行分析，瞭解臺灣河川除入流洪水量大小會影響洪水位高程外，底床劇烈沖淤變化亦會對洪水位產生升降變化。

關鍵詞：河道沖淤、動床模式、輸砂演算

Abstract

Because of Taiwan's special location, floods, drought, earthquakes and other natural disasters frequently happen. Flood caused by typhoon is the most common disaster, therefore, it is required by using numerical models to simulate and evaluate rivers discharge, reservoir drainage capacities, water levels along the river, sea level, bank overflow, inundation area and both global and local hydraulic and river migration status. Using simulation results for making reduction program of overall planning of river basin management during ordinary days and preventing disasters during typhoons landing time are important issues of water related damage management.

This research project in the first year mainly collects and compares recent computational theories of hydraulic and sediments transporting. After, this project starts calibrating and verifying river sediments transporting numerical models. In the second year, this project starts combining rainfall-runoff predicting model and sediment transporting model's boundary conditions, calibrating and validating models by using associated data, and using models to evaluate river moving beds effects on water levels and bank-break. In the third year, this project uses the combining model to simulate in situ cases, and analyses the models' efficiency and stability. In addition, we do scenario simulations to evaluate possible flooding areas. Finally, the simulated results are fed back target watershed to other sub-projects for constructing integrated model for the platform.

一、 研究目的

由於臺灣地理位置特殊，每年遭受洪水、旱災及地震等天然災害侵襲之機率相當高，尤其是颱風災害之頻率更是頻繁。如 2008 年卡玫基(疏散 179 人及死傷 26 人、台中淹水)、鳳凰(疏散 1,303 人及死傷 2 人)、辛樂克(疏散 1,987 人及死傷 22 人、后豐大橋斷裂)與薔蜜(疏散 3,361 人及死傷 4 人)、2009 年莫拉克(疏散 24,775 人及死傷 769 人、屏東縣林邊鄉及曾文溪流域內台南縣市淹水)、2010 年凡那比(疏散 16,568 人及死傷 122 人、高雄縣市淹水)及梅姬(疏散 3,453 人及死傷 134 人、宜蘭縣市淹水)等。這些洪水災害除導致相當嚴重之經濟損失外，對於民眾生命安全更是一大威脅，為提升臺灣在國際上之經濟競爭力，保障民眾生活安全，國土災害防治一直是政府施政之重點議題，長久以來已投入大量的研發能量與治理經費進行水患治理。然而，水患之治理實為一相當複雜之分工過程：流域從河流源頭、上游、中游、下游至河口，事權跨越中央及地方各級政府主管機關(經濟部、環保署、農委會、內政部、財政部及各級地方政府)，各區段所衍生的問題互相關聯且交叉影響，其間如何有效整合政府業務功能、建置跨部會溝通平台，實為困難之處。此外，流域治理所需的模式十分廣泛，若能銜接中央氣象局的系集颱風定量降雨預報及各部會署的即時監測資料，並適時整合降雨-逕流模式、水庫排洪操作模式、水位定值與機率模式、全流域河道水位與暴潮模式、河道局部水理、河道動床沖淤及淹水模擬等模式，將可建立流域整合型治理模擬與預報模式，以達成完善的流域治理目標。因此，如何利用模式計算及掌握流域之逕流量、水庫排洪量、洪水位、全流域河道水位、暴潮、溢堤處流量、淹水區域及局部河道水理與動床沖淤等狀況，並於平時進行減災方案的研擬及颱風期間應變時的災害境況模擬預警，以期能從傳統水患治理提升至全方位之綜合治理，是本整合型計畫之主要目標。

本整合型計畫由五個計劃項目組成，如下：

1. 河道動床沖淤對防洪水位之影響
2. 整合驟雨衝擊與流量持續效應之水庫入流量即時系集預報
3. 水庫排洪最佳即時操作模式之研發
4. 河川洪水即時資料同化與暴潮預警模式
5. 二維淹水模式粗網格細化之精度與效能研究

而總計畫部分，本年度除負責各子計畫間之各項事務協調外，另負責子計畫：河道動床沖淤對防洪水位之影響，且分三年進行；目前已完成第一年度之工作。本年度之工作項目有：(1) 協調各子計畫間之各項事務、(2) 蒐集近年水理、輸砂演算相關文獻、(3) 河道動床模式之檢定驗證、(4) 河道控制點斷面變化與水位關係之初探。而未來第二、三年度之工作項目則分列如下：

第二年度：

- a. 二維淹水模式與動床模式之整合。
- b. 降雨-水位預報模式與河道動床模式邊界條件之整合。
- c. 研究區域案例之檢定驗證。
- d. 評估動床沖淤對洪水位及溢潰堤之影響。

第三年度：

- a. 整合情境模擬資料回饋給其它子計畫，建立整合模組。
- b. 現場案例之測試，測試模式演算之穩定性及演算速度。
- c. 評析不同模擬情境下研究區域可能發生災害之位置。
- d. 動床河道情況下對洪水位及溢潰堤之一般化影響評估。

臺灣河川之集水區因坡陡流急且地質脆弱，故常有坡面沖蝕、崩坍地及土石流潛勢溪流發生，導致流域來砂與河道輸砂量均相當可觀。流域產出之龐大土砂常直接堆積於河道，不但降低河道排洪排砂效率外，亦衍生出河道垂向及橫向穩定性不足等問題，對兩岸之防洪建造物產生威脅；鑑此，管理單位每隔數年便著手進行流域治理規劃報告，並透過

定床模式估算各重現期距下之洪水條件，提供防洪構造物設計之需。但據水利署災害統計資料顯示，臺灣河道仍不時有實際洪水位超越設計值、水理條件估算過於樂觀致使防洪建造物之設計強度不足等情事發生，造成此現象之主因除歸咎於極端水文事件發生頻率增加外，對於利用定床模式推算臺灣沖積型河川之水理條件，並作為工程設計之依據，有值得討論之空間。在臺灣特殊地質環境條件下，河床沖淤幅度大，以曾文溪於莫拉克颱風前後為例：河床沖淤變化範圍介於 -2.65 ~ 3.14 公尺，河道水理條件之估算若未考量河床起伏之影響，勢必無法反映實際水流流況；為瞭解河床起伏幅度對洪水位、流速等條件之影響程度，本研究於第一年度將先透過實測水文資料及數值模擬方式進行分析，提出利用定床模式演算沖積型河川之水理條件，其可能產生誤差範圍。

二、總計畫與各子計畫間之分工合作架構

本整合型計畫為整合氣象、水利、系統、勘災調查及防災應變等領域，針對流域示範區(曾文溪流域)進行「流域水情模擬與預報模式精度與效能提升之研究」建置完成的模擬與預報模式研發，依其資料蒐集及更新、逕流、水庫操作、洪水位、洪水與淹水災害、河道局部水理、河道動床沖淤等分析流程，擬定出逕流模式模擬、水庫排洪操作、全流域河道水位模式模擬、淹水模式模擬、河道局部水理模式模擬、河道動床沖淤模式模擬等部分之研究。此外，面對流域示範區之地理位置特殊而易受颱風洪水直襲之地區、農業區及重點都會區與涵蓋上下串聯、層次相關多項研究課題之防災整合型計畫，必須有一總計畫予以整合，負責居中協調與連絡事宜，並督促及掌控各子計畫之研究成果，以利於整合至災害應變決策輔助系統內，進而達到本整合型計畫之預期目標。

按照模式銜接模擬機制及輸出資料與防救災各階段應用的考量下，各子計畫之銜接茲說明如下：

(a).颱風侵台前的減災及整備階段：可以經由 QPESUMS 即時觀測

雨量進行流域流量的模擬(子計畫一)，優選最佳的水庫排洪方案(子計畫二)，整合暴潮分析結果計算出全流域各河道斷面的洪水位、流量及溢堤流量模擬(子計畫三)，與接收溢堤流量及雨量後再銜接至細部重點地區模擬淹水災害範圍及規模(子計畫四)、河道動床沖淤對防洪水位之影響(納於總計畫內)等境況模擬及進行流域整體的境況模擬分析，對流域整體可能造成的弱點進行補強，並對重大開發案評估其對於流域整體的影響及提出因應對策。

(b).颱風侵台期間的應變階段：經由中央氣象局的系集颱風定量降雨預測，掌握颱風時期流域內未來中、小尺度的降雨時間與空間變化，再針對流域特性進行水文研析建立逕流量與水庫入流量(子計畫一：整合驟雨衝擊與流量持續效應之水庫入流量即時系集預報)，經由水庫入流量並配合事前建立的排洪量、洪水位與潮位關聯機制，執行水庫排洪操作與洪水位模擬以即時優選出最佳的水庫排洪方案(子計畫二：水庫排洪最佳即時操作模式)，整合暴潮預警分析全流域各河道斷面的洪水位、流量變化及可能溢堤地點流量(子計畫三：全流域河道洪水即時資料同化與暴潮預警模式)，再將各模式之模擬結果(如洩洪量、洪水位及溢堤流量等)作為邊界條件進行細部的重點地區之淹水範圍規模分析(子計畫四：二維淹水模式粗網格細化之精度與效能研究)，和河道局部水理分析與動床沖淤(總計畫：流域水情模擬與預報模式精度與效能提升之研究)等境況模擬及分析，以利於防洪預警及操作的分析研判。

(c).颱風侵台後的復建階段：可配合勘災調查資料重新模擬颱風期間流域內災害發生境況，以進行詳細的致災原因分析，作為後續減災措施的依據。換言之，藉由流域整體觀點進行水文及水理模式的整合及改進，除提升模擬與預報模式之預測精度與效能外，亦期能提供水利主管單位精確與即時之水情資訊，解決颱風期間防洪操作及平時水資源管理之需求。

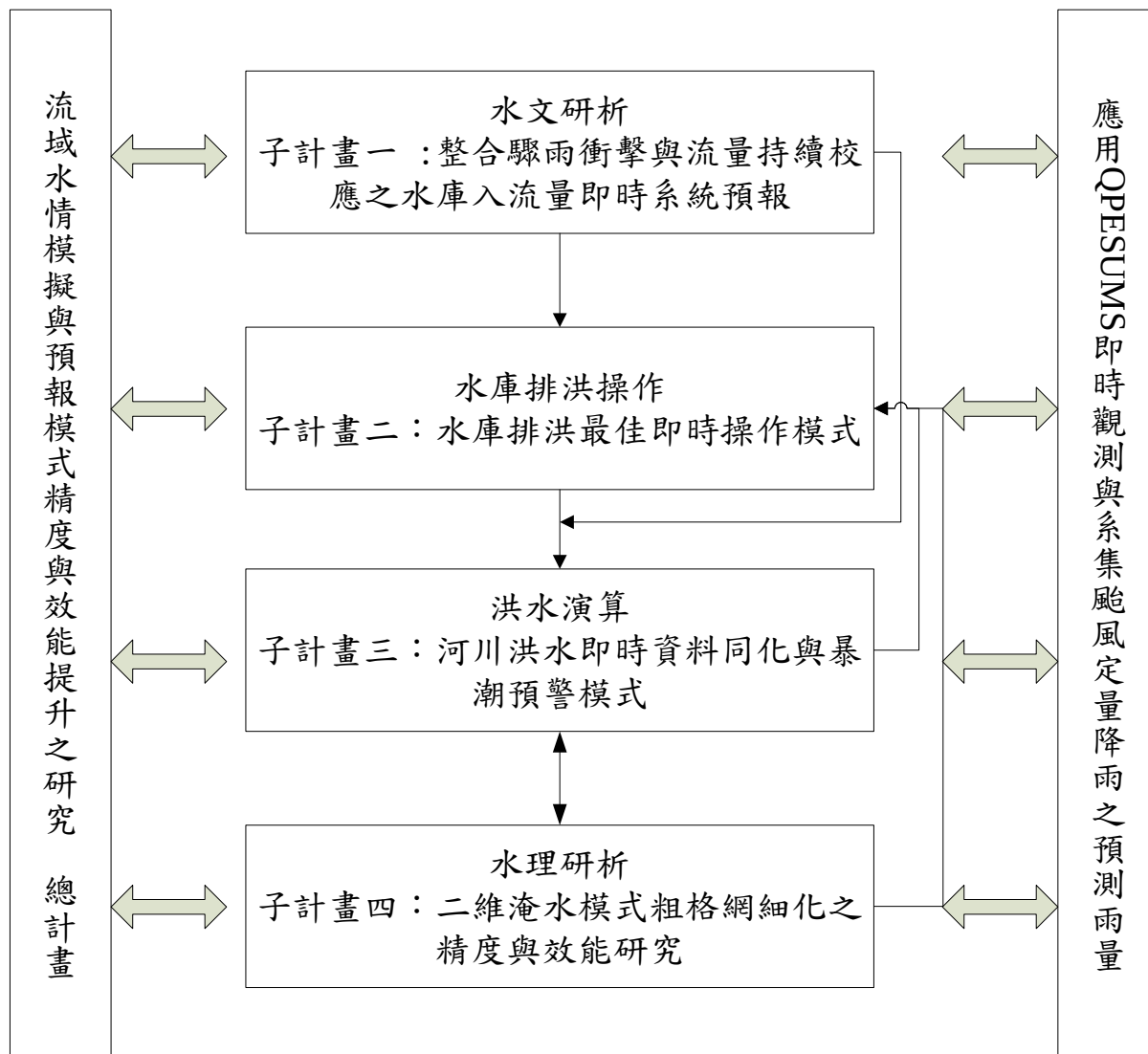


圖 1 各子計畫模式之整合示意圖

三、文獻回顧

計算洪水波於水體傳播之高度及速度，即稱為洪水演算；不過由於實際洪水波傳送與消散過程之機制甚為複雜，早期學者將洪水演算方法分為兩大形式：水文方法及水力方法。水文方法部分：係利用連續方程式表示水文系統儲蓄量之改變，美國陸軍工程師團 McCarthy 等在 1934-35 年間研究 Muskingum 水土保持區防洪計畫時，發展出 Muskingum 洪水演算法，為目前常用方法之一；該方法假設洪水來臨時，河川蓄水可分為稜形蓄水(Prism storage)及楔形蓄水(Wedge storage)，其中，稜形蓄水為平時定量流時河川之蓄水、楔形蓄水則為受洪水波影響時河川之蓄水。當洪水來臨時，楔形蓄水為正；退水時，楔形蓄水為負，藉此推求颱風期間洪水量等水理條件之變化。

水力方法部分則是透過淺水波方程式，推算颱風期間各控制點之水深、流速等參數。Jimenez & Chaudhry (1988)、Bhallamudi & Chaudry (1992) 及 Rahman & Chaudry (1997) 等利用有限差分法計算明渠流，並成功捕捉超亞臨界混合流場中震波的形成與傳遞；但 Garcia-Navarro et al. (1992)、LeVeque (1998)、Vukovic & Sopta (2002)、Crnjaric - Zic et al. (2004)、Noelle et al. (2007) 等學者發現前述研究之源項，如底床坡度等，若未妥善處理，可能遭遇流場無法守恆，導致模式無法收斂之困境。為確保計算範圍之質量守恆，許多學者便開始採用黎曼求解、well-balance 算則、WENO 算則及 Surface Gradient Method (SGM)算則等，求解明渠流場，而其成果相較於前人研究，確實提升數值模式處理實際複雜流況之能力與精確度。

除利用水文方法及水力方法進行洪水演算外，另有學者透過電機、資訊學門之類神經網路、遺傳演算法及遙測資訊系統，推算颱風期間洪水波於河道之運移過程，如：張等 (2001)以回饋式類神經網路推算控制點之河川流量，並發展水文推估模式、鍾 (2007) 利用類神經網路預測

河川水位，並實際應用於淡水河水系。透過該類演算法亦可計算現場洪水位之變化。

上述各類洪水演算方法發展至今已相當成熟，且已透過許多實驗室及現地案例進行驗證，其模擬結果皆符合現場流況之變化。但就學理而言，前述方法僅適用於河床變化緩慢且穩定之河川，若應用於底床沖淤劇烈之河川，其模式將有適用性問題產生。自民國 89 年起便陸續有學者開始探討河道劇烈沖淤對河道洪水位之影響，起源係因集集大地震後，大甲溪、大安溪及濁水溪等中央管河川之河床皆有局部程度不一之隆起或沉陷產生，進而導致地震前後之水文現象明顯不同，如圖 2～圖 5 所示；蔡(2000)以大甲溪石岡壩下游埤豐橋至河口河段為例，說明地震前後控制點之洪峰水位最大可差異 1.8 公尺，且局部河段之水面坡度亦與地震前之水面坡度差異甚大。隨後亦有王(2000)、鄧(2000)、陳(2000)及盧(2000)等，針對河床地質條件改變對洪水位之影響作詳盡論述。近年來臺灣因常遭遇強降雨及大型颱風(重現期距洪水 > 10 年)影響，河道沖淤幅度漸大，流路東蕩西馳，其對洪水位及河防安全之影響，全然不亞於地震改變河床地貌對水文條件之影響。故有必要針對臺灣沖淤較劇烈之河川，進行洪水位變化研究，以瞭解不同底床變化條件下，各河段洪水位之可能變動範圍。

以往相關研究多利用歷年河川大斷面資料，配合相同出、入流條件，求得地形變化對洪水位之影響，雖其評估過程符合學理，但因其結果係由既有河床變化幅度推估洪水位變動範圍，若未來遇及極端洪水事件，河床變化幅度超越歷史紀錄，將有機會發生洪水位變化超乎預期，進而導致溢堤等災害發生。鑑此，本研究認為利用動床模式配合歷年河川大斷面、含砂量及流量資料，研提數種不同情境，評估河床沖淤對洪水位變化之影響，應為考量周延之作法。



資料來源：中水局

圖 2 921 地震後石岡壩破壞情形



資料來源：水利署

圖 3 921 地震後大甲溪埤豐橋上游之河床隆起情形



資料來源：水利署

圖 4 921 地震後大安溪蘭勢大橋河段之峽谷地貌



資料來源：林呈 教授

圖 5 濁水堤防於 921 地震後空拍畫面

四、模式理論概述

本研究採用 CCHE1D 動床模式作為評估工具，該模式之特點係以質量守恆為基礎，引用水理條件及沉滓特性相關之經驗公式，來考量眾多輸砂影響因子，目前已成功應用於臺灣大安溪、濁水溪及高屏溪等河川之底床沖淤預測。CCHE1D 模式之計算架構可分為水理模組及輸砂模組，其中，水理模組係用以求解洪水波於河道傳遞之過程，而輸砂模組則用於模擬泥砂沉滓於河道之傳輸行為。以下就各模組之理論基礎分述如下：

1. 水理模組

水理模組係求解聖凡南(Saint-Venant)方程式，滿足流體為不可壓縮、靜水壓分佈、忽略風力、科氏力之假設，採用普利司蒙(Preissmann)四點隱式有限差分法離散控制方程式，並針對離散之控制方程式發展一套線性疊代法，利用雙掃法求解之，其一維水理控制方程式如下所示。

連續方程式：

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (2-1)$$

動量方程式：

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{Q}{A} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta Q^2}{2 A^2} \right) + g \frac{\partial h}{\partial x} + g(S_f - S_0) = 0 \quad (2-2)$$

式中， A =通水斷面積； Q =流量； q =單位寬度側入流量； t =時間； x =水平座標； g =重力加速度； h =水深； β =動量校正係數； S_f =摩擦坡降； S_0 =底床坡降。

另外，CCHE1D 提供擴散波模式(diffusion wave model)進行水理演算之選擇，若流體之慣性力很小，一般來說為水流福祿數小於 0.5 時，式(2-2)等號左邊之前兩項可忽略，動量控制方程式可改寫成：

$$\frac{\partial h}{\partial x} + (S_f - S_0) = 0 \quad (2-3)$$

上式即為擴散波模式，而當模擬案例接近均勻流流況時，即使水流福祿

數大於 0.5 亦可以採用，因式(2-2)等號左邊之前兩項可忽略。

2. 輸砂模組

CCHE1D 模式使用非平衡輸砂概念計算河川之非均勻泥砂傳輸，對於總載形式之非平衡、非均勻輸砂控制方程式表示如下：

$$\frac{\partial(AC_{tk})}{\partial t} + \frac{\partial Q_{tk}}{\partial x} + \frac{1}{L}(Q_{tk} - Q_{t^*k}) = q_{lk} \quad (2-4)$$

式中 A 為通水面積；C_{tk} 為總載情況下某種粒徑 k 之平均濃度；Q_{tk} 為實際總載輸砂率； $\frac{\partial Q_{tk}}{\partial x}$ 為總載輸砂量；L 為輸砂調適長度；q_{lk} 為岸壁或支流所額外增加之單位長度側向輸砂量。

其中，輸砂調適長度 L 可特徵化泥砂由非平衡到平衡之距離，對推移載而言，調適長度 L_b 為相對於床形之維度；對懸浮載而言，調適長度 $L_s = uh/\alpha\omega_{sk}$ ，式中 α 為調適係數，其中 α 可由 Armanini and de Silvio(1988)提出之方法計算，或當嚴重淤積時，可採 0.25，嚴重沖刷時，可採 1.0，輕微淤積與沖刷時，採 0.5，U 為水流平均流速，h 為水深， ω_{sk} 為泥砂沈降速度；對河床質載而言，調適長度可給定為 L_s 與 L_b 之最大值；對沖洗載而言，由於忽略其與底床間之交換，因此調適長度 L 可視為無限大。目前 CCHE 1D 模式輸砂量之計算可採用以下四種輸砂公式：(1) SEDTRA module (Garbrecht et al., 1995)、(2)Wu et al. formula (2000)、(3) modified Ackers-White formula (Proffitt & Sutherland, 1983) 及 (4) modified Engelund-Hansen formula (Wu and Vieira, 2002)，而各公式皆有其適用性與不同之優缺點，至於何種輸砂公式最能符合現場河道沖淤變化，尚需透過模式之檢定驗證方能確認。

五、研究區域概述

據「曾文溪河道沖刷成因調查監測及防治策略研究」，曾文溪流域自民國 19 年起，開始興建烏山頭、鏡面、曾文及南化等四座水庫，雖滿足都市區域之水資源需求，但其中、下游河道因砂石補充來源多被水庫攔截，導致河道有明顯沖刷現象產生，其中以曾斷 40～曾斷 58 (麻

表 1 CCHE1D 模式輸砂公式彙整表

公式名稱	輸砂公式	特點與說明
SEDTRA module (Garbrecht, Kuhnle and Alonson, 1995)	$C_{*t} = \sum_k p_k C_{*k}$ $d_{ek} = d_k \left(\frac{d_k}{d_m} \right)^{-x} ; x = 1.7/B ; B = \left(\frac{d_c}{d_f} \right)^{0.5} \sum p_m$	本模組依不同粒徑大小選擇三種輸砂公式來求取輸砂量，公式分別為 Laursen's(1958)、Yang's(1973)、Meyer-Peter and Mueller's(1948)。
Wu, Wang and Jia's(2000) Formula	$\frac{q_{bk}}{p_{bk} \sqrt{(\gamma_s / \gamma - 1) g d_k^3}} = 0.0053 \left[\left(\frac{n'}{n} \right)^{3/2} \frac{\tau_b}{\tau_{ck}} - 1 \right]^{2.2}$ $\frac{q_{sk}}{p_{bk} \sqrt{(\gamma_s / \gamma - 1) g d_k^3}} = 0.0000262 \left[\left(\frac{\tau}{\tau_{ck}} - 1 \right) \frac{U}{\omega_{sk}} \right]^{1.74}$ $\tau_{ck} = 0.03 \left(\frac{p_{hk}}{p_{ek}} \right)^{0.6} (\gamma_s - \gamma) d_k$ $p_{hk} = \sum_{j=1}^N p_{bj} \frac{d_j}{d_k + d_j} ; p_{ek} = \sum_{j=1}^N p_{bj} \frac{d_k}{d_k + d_j} ; \tau_b = \gamma R_b S ; R_b = (nU)^{3/2} / S^{3/4}$ $\omega_k = \sqrt{(13.95\nu / d_k)^2 + 1.09(\gamma_s / \gamma - 1) g d_k - 13.95\nu / d_k} \text{ (Zhang's formula)}$ $\nu = 1.792 \times 10^{-6} / (1.0 + 0.03368T + 0.000221T^2) ; d=0.01\text{mm}-10\text{mm}$	應用新發展的隱顯參數(hiding and exposure factor)來建立非均勻輸砂時的啟動門檻、推移載及懸浮載。

公式名稱	輸砂公式	特點與說明
Modified Ackers and White's Formula(Proffitt and Sutherland,1983)	$F_{gr,k} = \varepsilon_k \frac{U_*^n}{[(\gamma_s / \gamma - 1) g d_k]^{1/2}} \left[\frac{V}{\sqrt{32} \log(10h / d_k)} \right]^{1-n}$ $\varepsilon_k = \begin{cases} 1.30, & d_k / d_u > 3.7 \\ 0.53 \log(d_k / d_u) + 1.0, & 0.075 < d_k / d_u \leq 3.7 \\ 0.40, & d_k / d_u \leq 0.075 \end{cases}$ $G_{gr,k} = C \left(\frac{F_{gr,k}}{A} - 1 \right)^m$ $G_{gr,k} = \frac{C_k h}{p_{bk} d_k \gamma_s / \gamma} \left(\frac{U_*}{V} \right)^n$	應用 Bagnold 之水流功率概念推導而成；其中 n、A、m、C 是利用大量實驗室資料對應求出。
Modified Engelund and Hansen's 1967 Formula(with Wu et al's correction factor, 2000)	$f' \phi_k = 0.1 (\varepsilon_k \tau_{*k})^{5/2}$ $f' = \frac{2gSd}{U^2} ; \tau_{*k} = \tau_0 / [(\gamma_s / \gamma) d_k]$ $\phi_k = q_{t*k} / \left[p_{bk} \sqrt{(\gamma_s / \gamma - 1) g d_k^3} \right]$ $\varepsilon_k = \left(\frac{p_{ek}}{p_{hk}} \right)^{0.45}$	應用 Bagnold 之水流功率概念及相似性理論推導而成，並導入 Wu et al.(2000)之校正係數 ε_k 來調整隱顯作用在非均勻輸砂中之影響

善大橋下游)河段之下刷幅度為最，達 3.0 公尺以上。而近年曾文溪又因遭遇民國 98 年莫拉克颱風挾帶大量土砂進入河道之影響，不僅造成河床沖淤劇烈改變，並使流域內之各水庫嚴重淤積，為活化水庫庫容，目前規劃於水庫上游興建排砂隧道，將上游土砂直接引導至曾文溪中、下游河道，藉此減緩水庫淤積，而該工程雖可補充中、下游河道之砂源，減緩河道沖刷情形，但仍不可避免將可能於局部高淤積潛勢河段造成大規模淤積。由區域概述可瞭解曾文溪之河床沖淤變化，不論是從過去到現在或是現在到未來，都處於未達輸砂平衡之狀態，因此流域內除易產生沖刷災害外，洪峰水位也將因底床沖淤劇烈而難以預測，增加防洪工程之風險。因此本研究以曾文溪作為研究區域，探討河床劇烈沖淤對洪水水位變化之影響。以下詳列研究區域之基本資料供參。

1. 地理位置

曾文溪主流發源於阿里山脈之萬歲山麓(標高 2,609m)，為本省主要河川之一，西南走向，流經密枝、楠西、玉井至台南市山上區附近進入平原折向西流，經北岸麻豆鎮、西港鄉、七股區、南岸之善化區東勢寮、安定之蘇厝及台南市之安南區海寮青草崙等地入海，主流全長約 154km，流域面積約 1,176km²，河床平均坡降約為 1/200，如圖 6 所示。

2. 研究範圍之河道沖淤現況

本研究蒐集歷年大斷面資料進行河床沖淤變化分析，據分析結果可將河道沖淤變化分為三類，由下游往上游分別為河道沖刷(斷面號 0-60)、河道淤積(斷面號 60-120)及沖淤互現(斷面 120-178)。

(1) 沖刷河段(斷面號 0-60)：

本河段斷面號 0-60 之河道平均高程有逐年下降趨勢，西港大橋(斷面 39)以下尤為明顯。以河口 0 號斷面為例，由 83 年 0.33 公尺逐年下降至 92 年-0.01 公尺、95 年-0.17 公尺及 99 年-2.19 公尺，又以 95 至 99 年下降幅度最大，其主因應為上游各水庫攔阻部分上

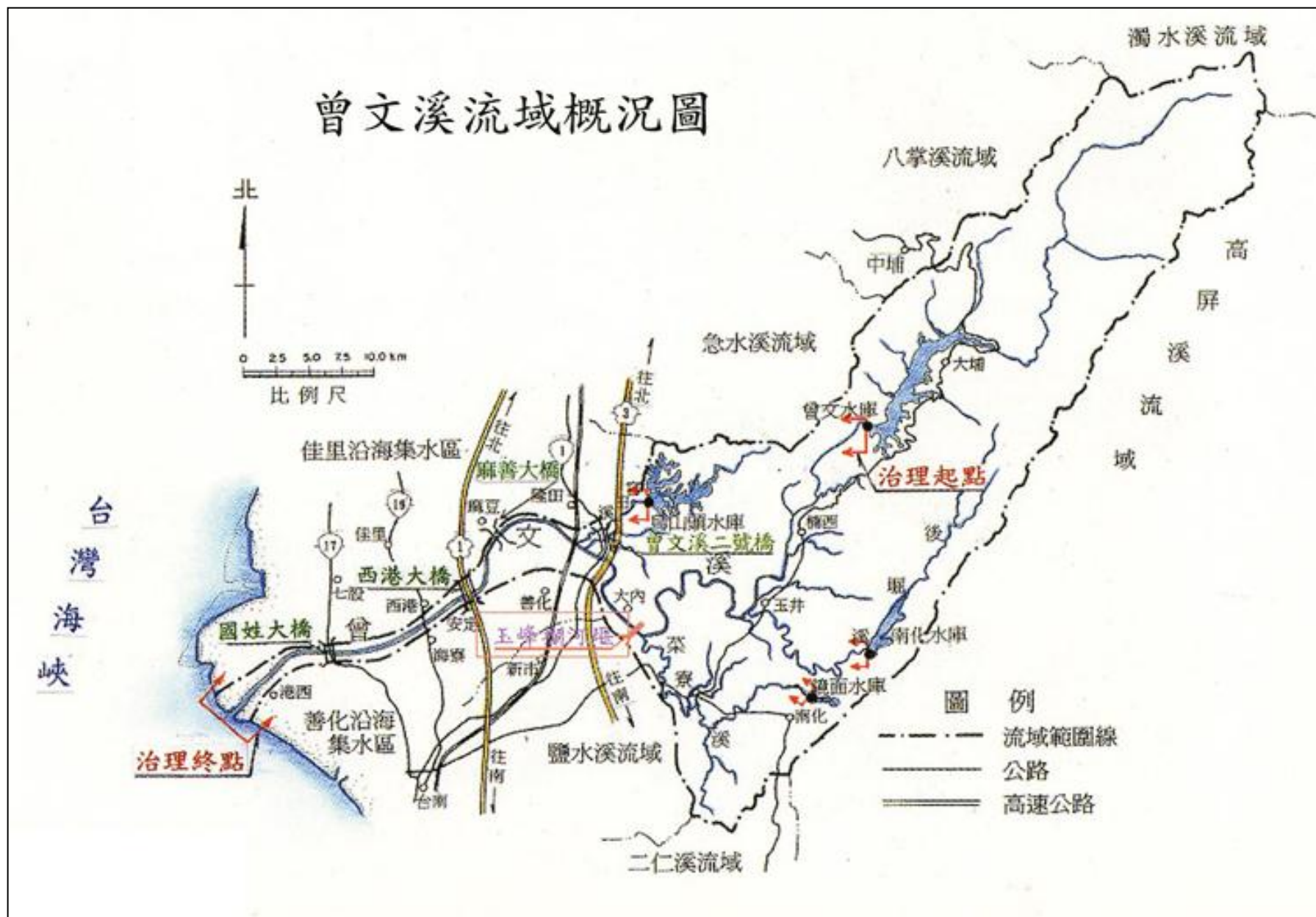


圖 6 曾文溪流域概況圖

游砂源進入下游河道，使下游河道成沖刷趨勢，如圖 7 所示。

(2) 淤積河段(斷面號 60-120)：

本河段斷面號 60-120 之河道平均高程有逐年增加趨勢，尤以斷面號 82 至二溪大橋(斷面號 100)附近最為明顯，其主因為本河段大致位於曾文溪河道陡緩交接處，地勢、流速趨緩，有助於泥沙落淤，故有淤積情形產生；而莫拉克颱風因帶來大量土砂進入河道，造成 99 年之底床平均高程增加幅度較往年為高，以斷面號 91 為例：由 83 年 10.86 公尺逐年增加至 92 年 12.26 公尺、95 年 12.16 公尺及 99 年 13.06 公尺，如圖 8 所示。

(3) 沖淤互現河段(斷面 120-178)：

本河段斷面號 120-178 之底床變化趨勢為沖淤互現，係因上游河道之河床質粒徑較大，泥砂往下游河道運移過程中，礫石及砂石會攔阻部分細顆粒砂土，使其落淤，故部分河道有淤積情形；而部分河道則因河寬較窄、流速快，使河道產生沖刷情形，如圖 9 所示。

3. 河道縱向及橫向穩定分析

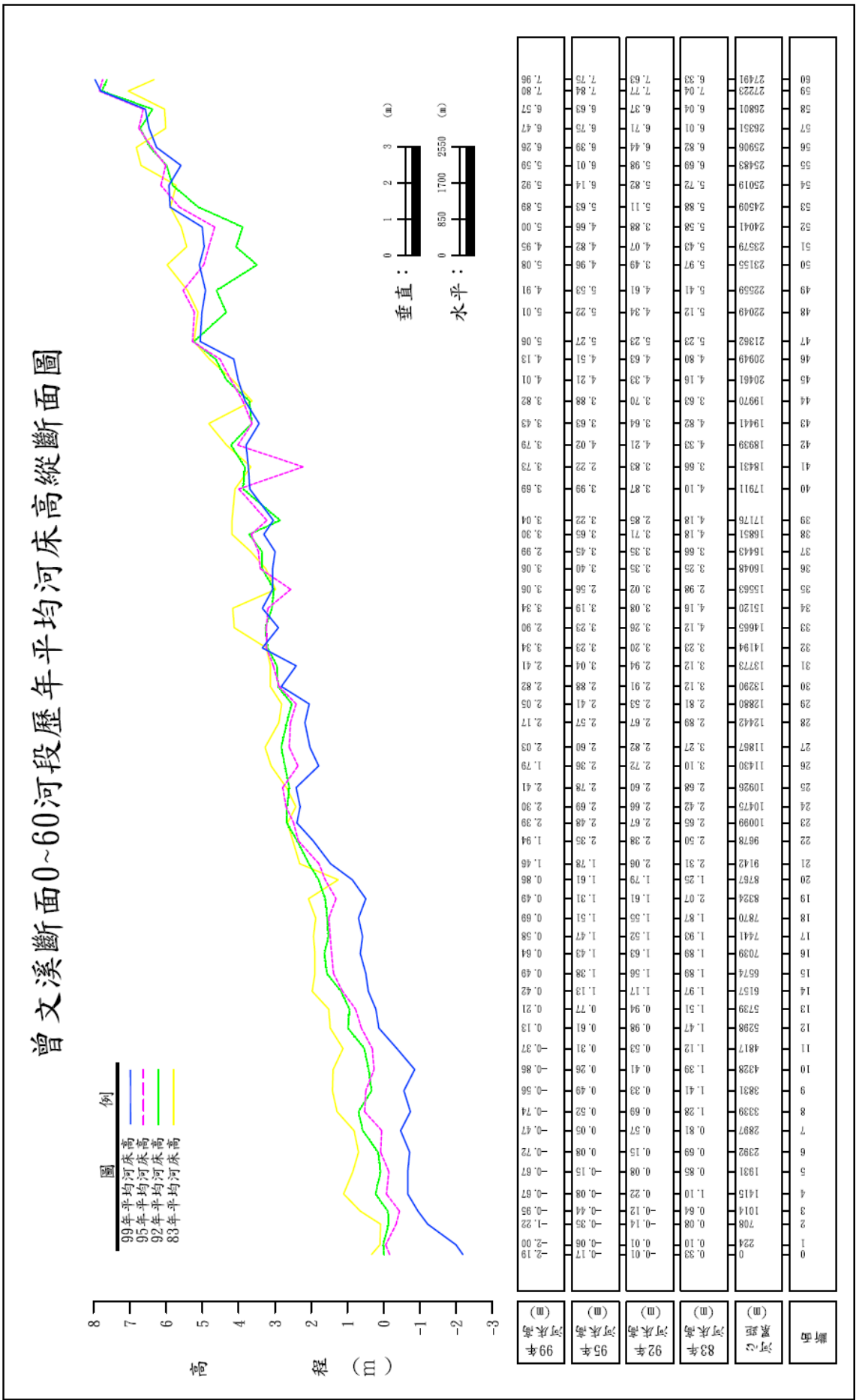
除透過歷年大斷面分析底床沖淤情形外，另利用勞哈金數(f_1)及阿爾圖寧河寬穩定指標(K_1)，針對研究區域進行河道縱向及橫向穩定分析，瞭解各河段之沖淤情形是否達穩定狀態。各指標之定義如下：

勞哈金數斷面縱向穩定指標(f_1)，其定義如下：

$$f_1 = \frac{D_m}{S_w} \quad (1)$$

式中， D_m = 床質平均粒徑(mm)； S_w = 水面比降(‰)。一般而言， f_1 越大表示河床越穩定。根據國外大量的現地資料顯示， f_1 介於 15~20 時，河流將發生泥砂沿河底週期性移動，主要是洪水期移動，平水期幾乎沒有泥砂運動；當 f_1 介於 2~5 時，河流整年都會經常發生推移載運動，枯水季節只是少量的推移載運動；若 $f_1 < 1$ ，河床泥砂比較細，經常發生

圖 7 曾文溪斷面 0 ~ 60 河段歷年平均河床高縱斷面圖



曾文溪斷面60~120河段歷年平均河床高縱斷面圖



断面	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
河心	27491	27786	28109	28537	29002	29443	30051	30251	30855	31317	31746	32170	32550	33010	33420	34178	34646	35115	35503	36254	36741	37242	37532	37967	38439	38798	39267	39874	40411	40969	41555	42196	42652	43236	43827	44082	44418	44896	45351	45947	46408	46998	47415	47850	48201	48545	48928	49637	49974	50242	50486	50957	51444	51877	52405	52801	53365	53865	54283	54594		
83年河床高	6.33	5.97	9.06	7.23	8.49	8.28	9.00	8.98	9.50	8.00	7.47	10.04	8.96	9.05	7.74	8.55	10.40	10.66	11.25	11.22	11.59	11.05	11.41	11.55	12.16	11.49	11.05	11.28	10.92	11.36	10.86	12.33	11.60	12.66	12.79	13.44	13.59	13.68	12.22	13.95	14.43	14.46	15.61	15.72	16.56	16.89	17.07	18.47	18.30	16.81	18.39	19.38	19.51	20.42	21.58	22.28	24.13	25.64	24.83			
92年河床高	7.63	6.87	6.42	6.28	7.25	7.47	7.01	7.41	7.94	8.87	9.01	7.84	8.29	8.25	8.04	9.93	11.19	11.26	11.15	11.38	11.54	10.92	9.85	10.18	11.40	10.68	11.61	12.41	11.32	12.37	12.26	13.23	14.02	13.97	15.06	14.44	15.31	14.94	15.23	15.95	14.75	16.45	13.00	17.19	17.92	20.36	18.54	18.47	20.81	21.11	21.94	20.00	19.88	19.12	24.48	26.46	23.58	23.31				
95年河床高	7.75	6.70	6.71	6.80	7.14	7.49	7.63	8.00	8.50	9.01	9.34	9.33	8.39	8.08	7.87	9.93	10.73	10.61	10.37	10.79	11.60	11.29	11.59	9.85	10.70	12.20	12.08	12.53	12.10	11.32	12.37	12.16	13.39	13.74	13.98	14.79	14.61	15.46	15.00	14.66	15.23	15.95	14.31	16.58	13.00	17.40	18.20	20.43	18.39	18.53	20.84	20.75	21.08	19.80	16.19	20.18	18.37	25.81	26.99	22.41	23.65	23.05
99年河床高	7.96	6.78	6.22	6.93	6.95	7.72	7.63	8.41	8.29	9.34	9.33	7.79	8.03	8.12	7.73	10.07	11.29	10.61	10.34	11.08	11.42	12.29	9.97	10.77	12.20	12.08	12.53	12.64	13.05	12.58	13.39	13.74	13.98	14.79	14.61	15.46	15.00	14.66	15.23	15.95	14.31	17.52	14.70	18.19	18.82	20.43	18.39	18.53	20.84	20.93	20.90	21.08	19.59	19.01	24.20	25.33	24.05	22.36	22.96			

曾文溪断面120~180河段歷年平均河床高縱断面圖

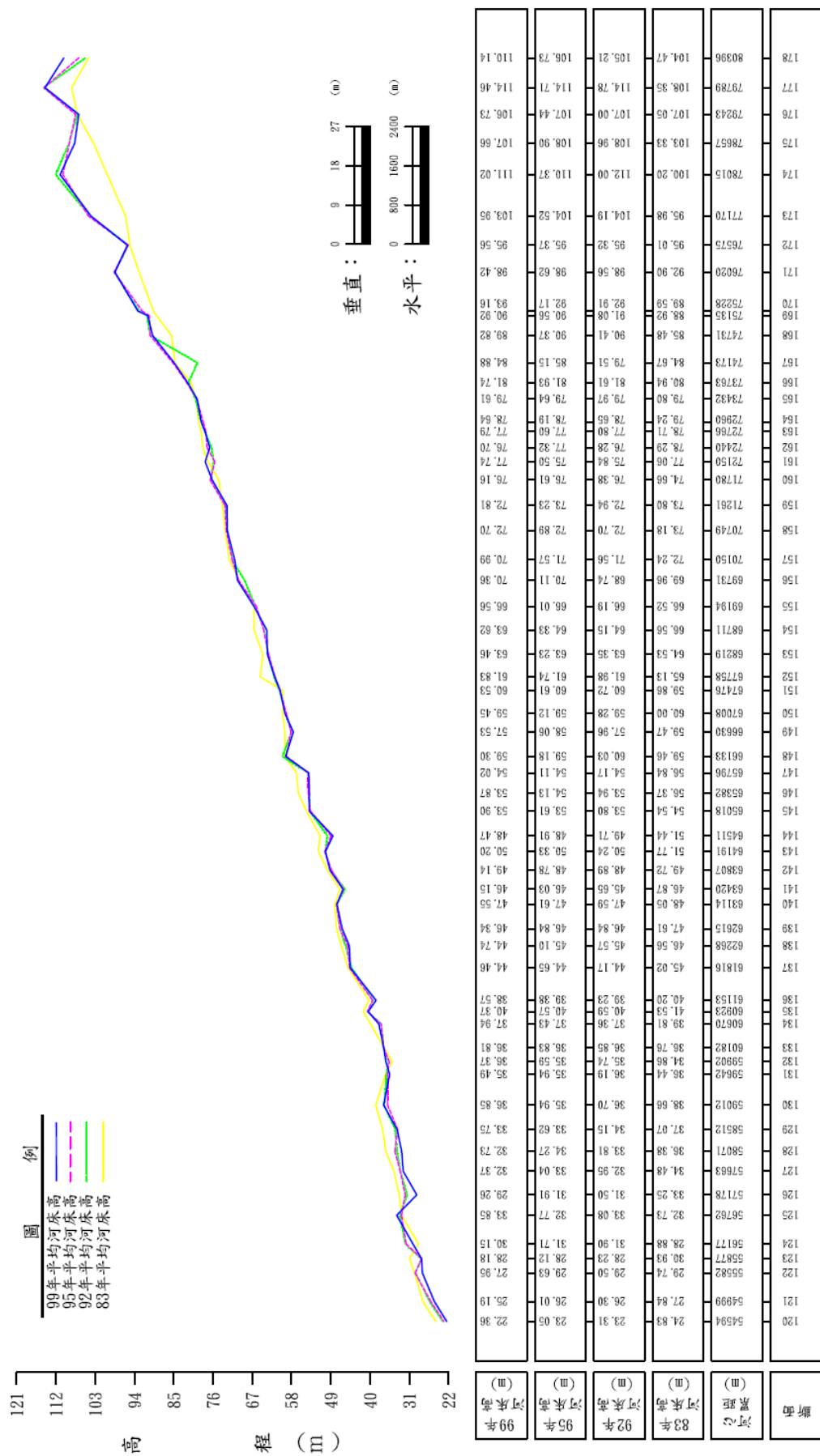


圖 9 曾文溪断面 120~180 河段歷年平均河床高縱断面圖

泥砂運動，河床的演變速度也較快。

阿爾圖寧河寬穩定指標(K_1)，其定義如下：

$$K_1 = \frac{W_b S^{0.2}}{Q_b^{0.5}} \quad (2)$$

式中， W_b =滿槽流量下之河寬(m)； S =坡降； Q_b =滿槽流量(cms)。 K_1 值越大表示河岸越不穩定，河床橫向穩定性越差。

玉豐大橋以下河段之勞哈金數 f_1 多小於 1.0，表示本河段除在颱風期間有底床沖淤行為外，於常流量條件下亦有泥砂運移行為，河道縱向變遷未達穩定；玉豐大橋以上河段之 f_1 指標則介 10.0 左右，意旨本河段之河床變化係由颱風事件所主導，常流量造成之沖淤影響幾可忽略，故河道縱向變遷較為穩定，如圖 10 所示。

橫向穩定指標方面，圖 11 顯示曾文溪玉豐大橋至麻善大橋河段之河道橫向變遷呈不穩定狀態，其阿爾圖寧河寬穩定指標 K_1 由 0.68 (玉豐大橋)增加至 6.9 (麻善大橋)，且透過河道槽偏量分析瞭解該區域內多有處主深槽迫近堤基之情事發生，亦可說明流路左右擺盪已有危及堤防安全之虞，如圖 12～圖 14 所示；而其餘河段之 K_1 值則多介 0.6～1.5 間，屬橫向穩定狀態。就分析結果論，曾文溪玉豐大橋至麻善大橋河段之縱向及橫向變遷仍處於未穩定狀態，而其餘河段則相對穩定。

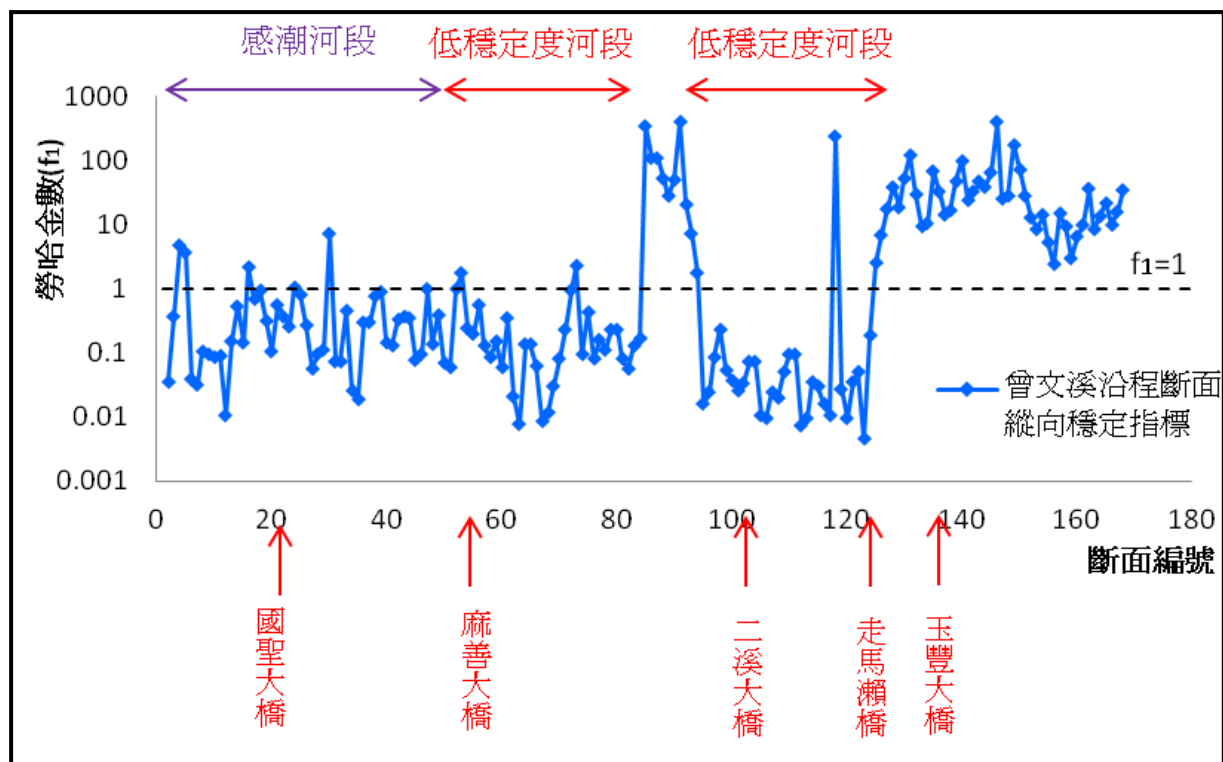


圖 10 曾文溪主流河道之勞哈金數 f_1 指標分布

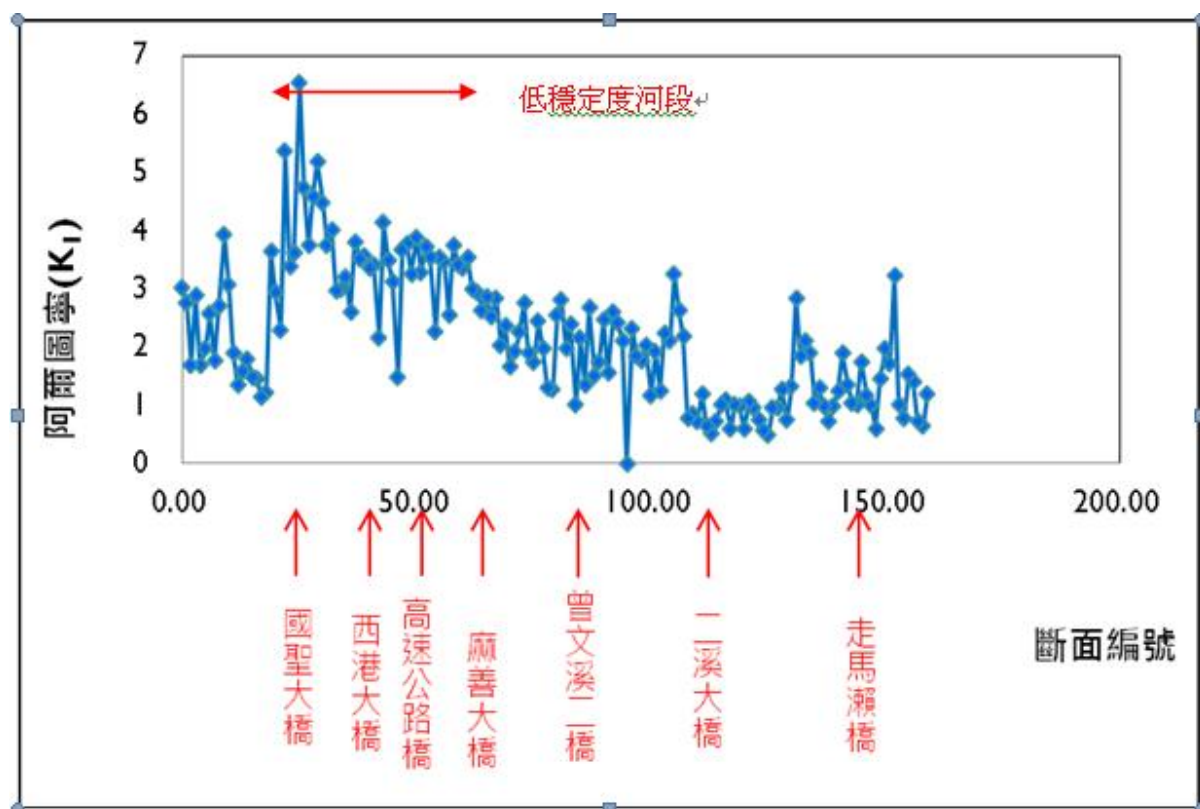


圖 11 曾文溪主流河道之阿爾圖寧河寬穩定指標 K_1 分布

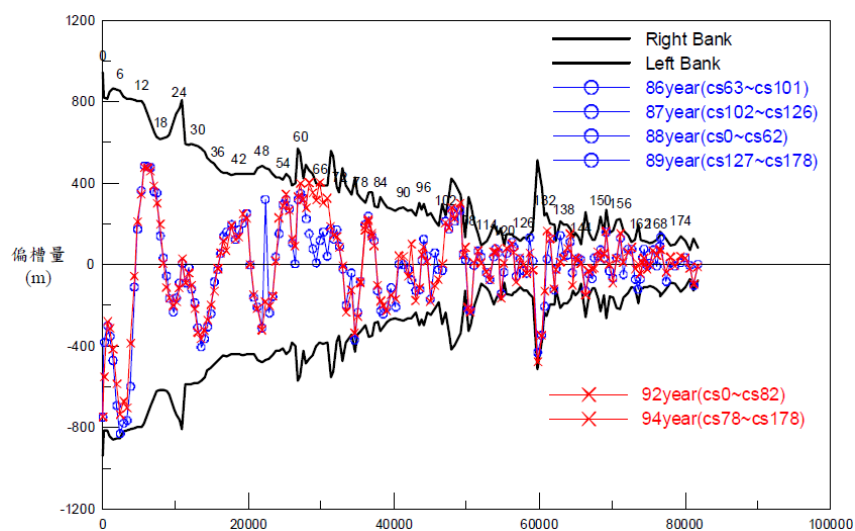


圖 12 民國 86 年 ~ 89 年與 92 年 ~ 94 年曾文溪斷面深槽變動比較

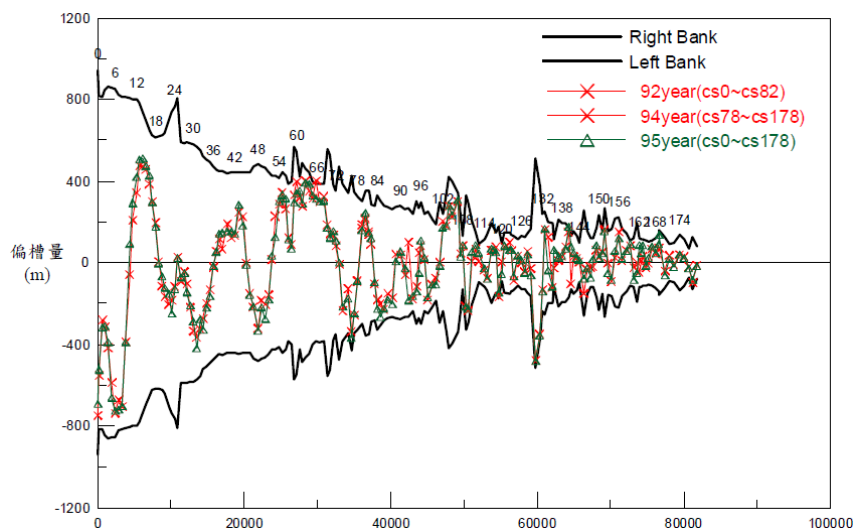


圖 13 民國 92 年~94 年與 95 年曾文溪斷面深槽變動比較

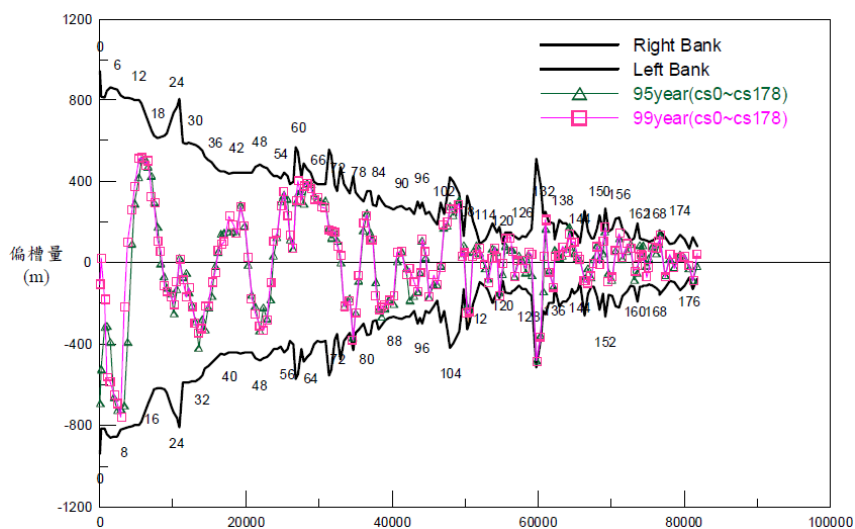


圖 14 民國 95 年與 99 年曾文溪斷面深槽變動比較

4. 河床質粒徑資料

已蒐集較完整河床質分析資料共有六個年份，即民國 63、79、90、94、96 及 100 年，如圖 15 及表 2 所示。實測資料顯示，民國 63 年曾文溪主流之河床質粒徑分布以菜寮溪匯流處(斷面 94)為分界，上游河段屬粗顆粒河床質，下游段屬泥砂河床質；至民國 90 年時，斷面 14 曾文 1 號橋(斷面 159)下游底床質已皆為泥砂係顆粒，其主因為民國 62 年底曾文水庫完工後，使上游粗顆粒砂石來源減少，造成下游河床質細化。

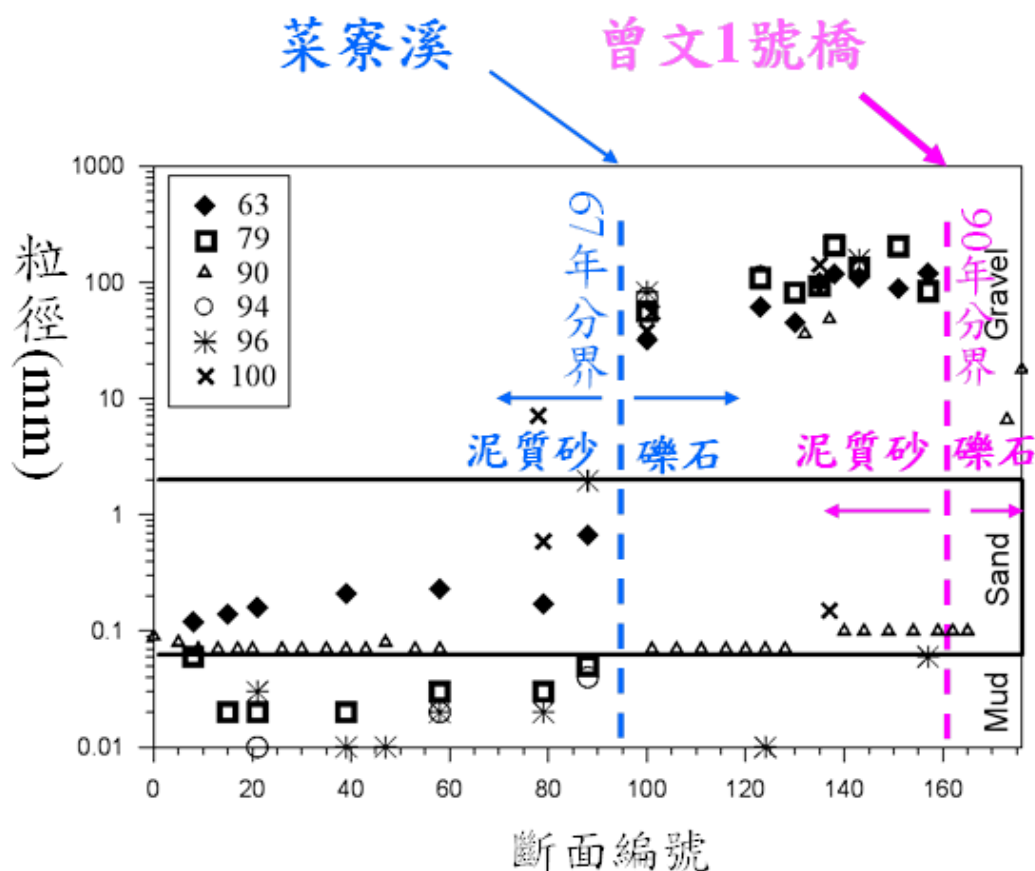


圖 15 曾文溪歷年河床質粒徑分析圖

5. 曾文溪主流河道之計畫流量

「曾文溪治理規劃檢討水文分析，2010」以無因次單位歷線法推算曾文溪主流各重現期距之計畫洪水量，如表 3 所示。就 100 年重現期距洪峰流量而言，民國 99 年分析洪峰流量推估值均較民國 83 年公告值為大，差異約在 40 % ~ 71 % 間；造成差異之主要成因係近十年曾文溪流

表 2 曾文溪主流歷年河床質比較表

斷面編號	平 均 粒 徑 $d_m(\text{mm})$					中 值 粒 徑 $d_{50}(\text{mm})$						
	63 年	79 年	90 年	94	96 年	100 年	63 年	79 年	90 年		96 年	100 年
0			0.09						0.09			
5			0.09						0.08			
8	0.13	0.09					0.12	0.06				
13			0.07						0.07			
15	0.15	0.04					0.14	0.02				
20			0.07						0.07			
21	0.16	0.02		0.02	0.024		0.16	0.02		0.01	0.027	
26			0.07						0.07			
30			0.07						0.07			
35			0.07						0.07			
39	0.27	0.03	0.07		0.015		0.21	0.02	0.07		0.012	
43			0.07						0.07			
47			0.07		0.011				0.08		0.012	
53			0.07						0.07			
78						38.55						7.1
79	0.3	0.04			0.018	11.81	0.17	0.03			0.021	0.59
88	27.3	0.17		0.06	25.9		0.67	0.05		0.04	1.964	
100	47.8	67.9		87.87	82.7	118.51	32.0	56.0		73.5	82.4	38.1
101			0.07			83.63			0.07			55
106			0.07						0.07			
111			0.07						0.07			
116			0.07						0.07			
120			0.07						0.07			
123	79.8	126.7		129.8			61.5	109.0		113		
124			0.07		0.019				0.07		0.009	
128			0.07						0.07			
130	68.6	87.8					45.0	82.0				
132			53.0						36.1			
135	124.9	103.4				235.94	100.0	93.0				141.94
137			68.9			1.13			48.2			0.149
138	129.6	194.0					118.0	208.0				
140			0.1						0.1			
143	129.2	151.0			120.6		110.0	135.0			156.0	
144			0.1						0.1			
149			0.1						0.1			
151	129.4	184.1					89.0	205.0				
154			0.1						0.1			
157	161.3	101.2			0.062		120.0	84.0			0.062	
159			0.1						0.1			
162			0.1						0.1			
165			0.1						0.1			
173			31.6						6.6			
176			45.8						17.7			

域內共發生七次超大颱風暴雨事件，如莫拉克颱風等，故使最新洪峰流量推估值有大幅上升情形發生。

表 3 曾文溪主流河段檢討後建議河川治理規劃檢討之分析洪水量表

單位：秒立方公尺

河 段	分析類別	1.11	2	5	10	20	25	50	100	200
曾文水庫後池堰至後堀溪合流前	民國 99 年公告值	830	2,510	4,100	5,150	6,160	6,480	7,470	8,450	9,420
	民國 83 年公告值		1,860	2,840	3,460	3,970		4,550	4,940	5,290
後堀溪至菜寮溪合流前	民國 99 年公告值	1,250	3,030	4,930	6,250	7,550	7,970	9,280	10,630	12,000
	民國 83 年公告值		2,560	3,910	4,760	5,460		6,260	6,800	7,270
菜寮溪至官田溪合流前	民國 99 年公告值	1,410	3,440	5,640	7,200	8,740	9,240	10,820	12,450	14,130
	民國 83 年公告值		3,020	4,610	5,620	6,450		7,390	8,030	8,590
官田溪至曾文溪口	民國 99 年公告值	1,460	3,540	5,830	7,470	9,130	9,680	11,410	13,200	15,090
	民國 83 年公告值		3,460	5,280	6,430	7,380		8,460	9,200	9,830

6. 水工構造物調查

曾文溪現有防洪結構物大致集中於中、下游，其中左岸現有長度為 39,952m，待建 15,578m；右岸現有 43,364m，待建為 8,200m。而待建部分集中在官田溪匯流之上游，如表 4 所示。曾文溪主流現有跨河橋樑共計 22 座，各橋樑之基本資料包括橋樑長度、寬度、樑底高程及橋墩數等，如表 5 所示。

表 4 曾文溪主流防洪構造物一覽

岸別	堤防名稱	工程內容		岸別	堤防名稱	工程內容	
		現有長度 (m)	待建長度 (m)			現有長度 (m)	待建長度 (m)
左岸	青草崙堤防	7,446	-	右岸	海埔堤防	6,634	-
	安順堤防	4,975	-		七股堤防	7,376	-
	海寮堤防	5,579	-		西港堤防	7,467	-
	安定堤防	6,500	-		麻豆堤防	4,898	-
	蘇厝堤防	4,260	450		總爺堤防	1,668	-
	善化堤防	5,350	-		寮部堤防	3,056	-
	六分寮堤防	750	-		西庄堤防	2,400	-
	東昌堤防	-	2,200		拔林堤防	-	400
	茄拔護岸	950	1,250		渡頭堤防	900	-
	山上堤防	1,500	600		新中堤防	-	1,500
	山上護岸	-	3,650		日新護岸	400	600
	玉峰堤防	2,156	1,394		石子瀨堤防	3,800	-
	二溪堤防	486	2,114		大內堤防	5,365	-
	二溪護岸	-	1,000		尖山堤防	-	1,700
	玉井堤防	-	850		豐里護岸	-	1,000
	玉井護岸	-	570		紹興護岸	-	1,100
	一橋左護	-	500		一橋右護岸	600	100
	曾文護岸	-	1,000		二橋右護岸	-	600
小計		39,952	15,578	小計		44,564	7,000

表 5 曾文溪主流跨河構造物一覽

斷面號	名 稱	橋長(m)	橋寬(m)	樑底高程(m)	橋墩寬(m)	橋墩數
21	國聖大橋	1,260.0	32.8	7.7	1.50	41
39	西港大橋	900.8	32.6	10.1	2.50	22
47	中山高橋	940.0	25.0	10.9	1.80	46
58	麻善大橋	960.0	21.7	13.0	2.50	15
65	高速鐵路橋	878.4	13.4	19.0	4.70	32
74	縱貫鐵路橋	715.0	9.2	15.2	1.10	35
78	曾文溪二橋	400.0	26.0	17.4	2.40	9
78	曾文溪橋	340.0	7.0	16.9	3.08	8
79	南二高橋	756.8	32.0	20.5	1.10	19
88	北勢洲橋	450.0	9.1	20.0	2.75	14
	大內橋 (北勢洲新橋)	800.0	15.0	21.0	2.75	10
100	二溪大橋	408.2	14.9	24.6	2.60	6
					4.5	2
112	大內八號橋	319.5	22.5	31.7	2.15	7
117	大內十號橋	319.6	22.5	33.6	2.15	7
124	走馬瀨橋	210.0	10.8	40.8	2.50	6
136	豐里橋	210.0	8.0	46.5	2.50	5
136	玉豐大橋	385.0	30.0	47.6	2.0	10
144	中正橋	196.5	5.8	59.9	2.00	2
					2.40	5
157	紹興吊橋	165.0	1.5	74.2	2.50	2
159	曾文一號橋	216.0	12.0	84.7	3.10	6
167	曾文二號橋	204.0	11.5	97.3	3.20	5
172	曾文三號橋	170.0	11.5	110.1	3.20	4
176	曾文五號橋	136.0	7.4	120.9	3.20	3

7. 近年洪災資料蒐集

(1) 民國90 年9 月17 日納莉颱風

納莉颱風造成曾文溪流域近年來最大災情，沿岸淹水鄉鎮自上游段包括大內鄉、山上區、官田鄉、麻豆鎮、善化區等五鄉鎮，各受災鄉鎮於納莉颱風之淹水損失情形嚴重，通報災害件數共4,755 件、淹水面積1,293 ha，損失金額高達2 億4 千萬元，各鄉鎮淹水情況如圖16所示。

(2) 民國94 年6 月豪雨

民國94 年6 月9 日至12 日連續幾天豪雨，其降雨型態急且驟，大內雨量站之時雨量高達90mm，導致外水位暴漲，內水無法順利排出而溢淹低窪地區，造成曾文溪流域大內鄉地區多處發生淹水，淹水深度平均約30~50cm 左右，總面積約66ha，主要因為地勢低窪區域排水路無法即時排洪。曾文溪右岸大內地區與支流菜寮溪左岸左鎮地區淹水。

(3) 民國94 年9 月1 日泰利颱風

泰利颱風前已發生612 豪雨及海棠颱風，加上泰利颱風降雨集中且驟，造成曾文溪沿岸部份鄉鎮淹水，由於曾文水庫適時調節洪峰流量為4,850cms(僅次於民國70 年93 水災之5,300cms)，抒解部分洪流，減輕水患，總淹水面積約3,110 ha，淹水深度約1~2m，如圖17所示。

(4) 民國97 年7 月17 日

曾文溪主流各控制點所分析之二日暴雨量，皆超過200 年重現期距。曾文溪上游水位高漲，致使菜寮溪排水洩洪受阻，緊接著造成左鎮區境內之玉峰村牛稠埔部落、光和村頂店部落、榮和村松子頂部落與省20 號道平和橋旁的頭前溪及菜寮地區淹水嚴重，淹水戶數達128 戶，淹水範圍約44公頃，另外，後旦溪、後堀溪護岸石籠沖毀，造成北寮村後堀溪新舊北寮橋淹水，連續豪大雨造成、密枝溪、灣丘溪、油車溪護岸及石籠沖毀，造成災情。

(5) 卡玫基颱風

此次颱風在曾文溪之降雨若以本次分析之平均二日降雨而言，超過

曾文溪公告之100 年重現期保護標準，且由於其降雨型態為短延時且集中，故其造成之洪峰流量已遠超過200 年重現期保護標準。此次颱風在曾文溪流域帶來超大豪雨，各控制點之洪峰流量皆超過200 年重現期之洪水量，造成曾文溪洪水位高漲，內水不易外排，而市區降雨量亦超過排水系統之排洪標準，故影響排洪，造成漫淹住宅、店家。

(6) 六、民國98 年8 月8 日莫拉克颱風

一日暴雨以曾文站8 月8 日之雨量1,089mm，日雨量超過200 年重現期距之一日暴雨量。曾文水庫洩洪及曾文溪堤防溢堤，導致洪水溢流各地。莫拉克颱風造成大內鄉、山上區、官田鄉、安定鄉、西港鄉、左鎮區、新市鄉、新化鎮、仁德鄉、歸仁鄉及台南市安南區等地區大面積淹水，淹水最深約達2 公尺，淹水面積高達27,409 公頃，如圖18所示。

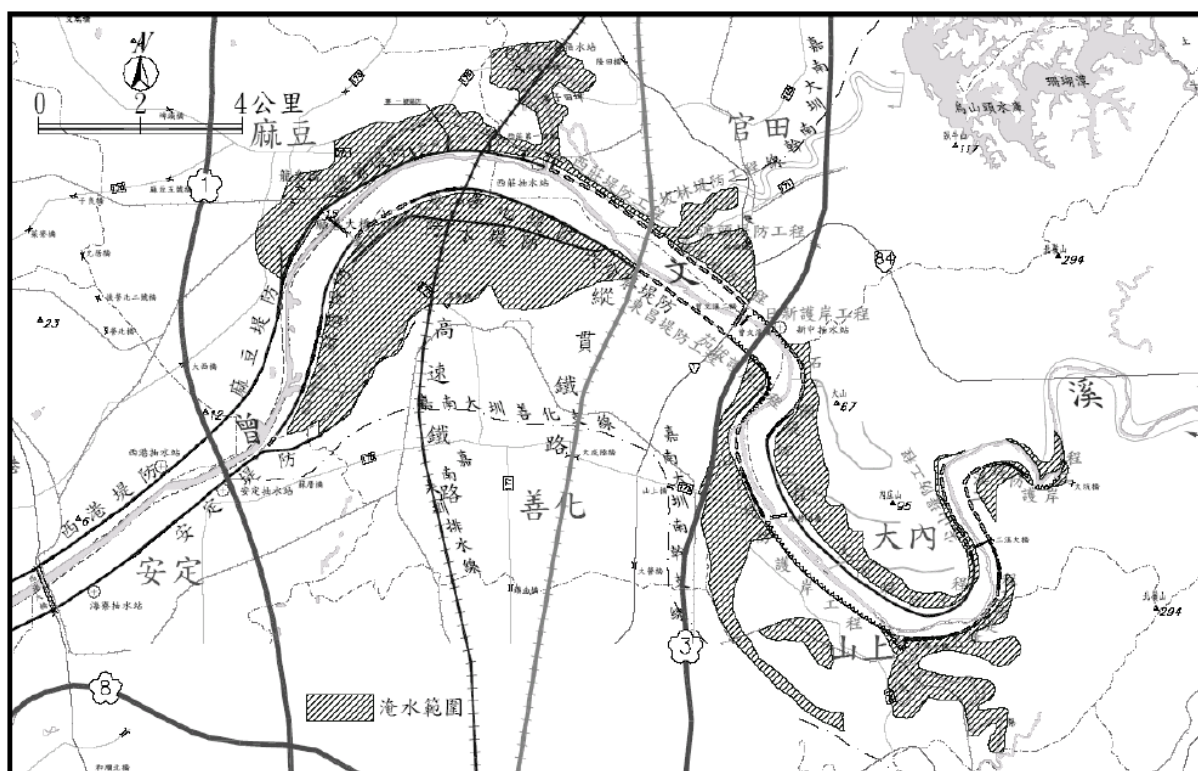


圖 16 納莉颱風曾文溪沿岸淹水範圍示意

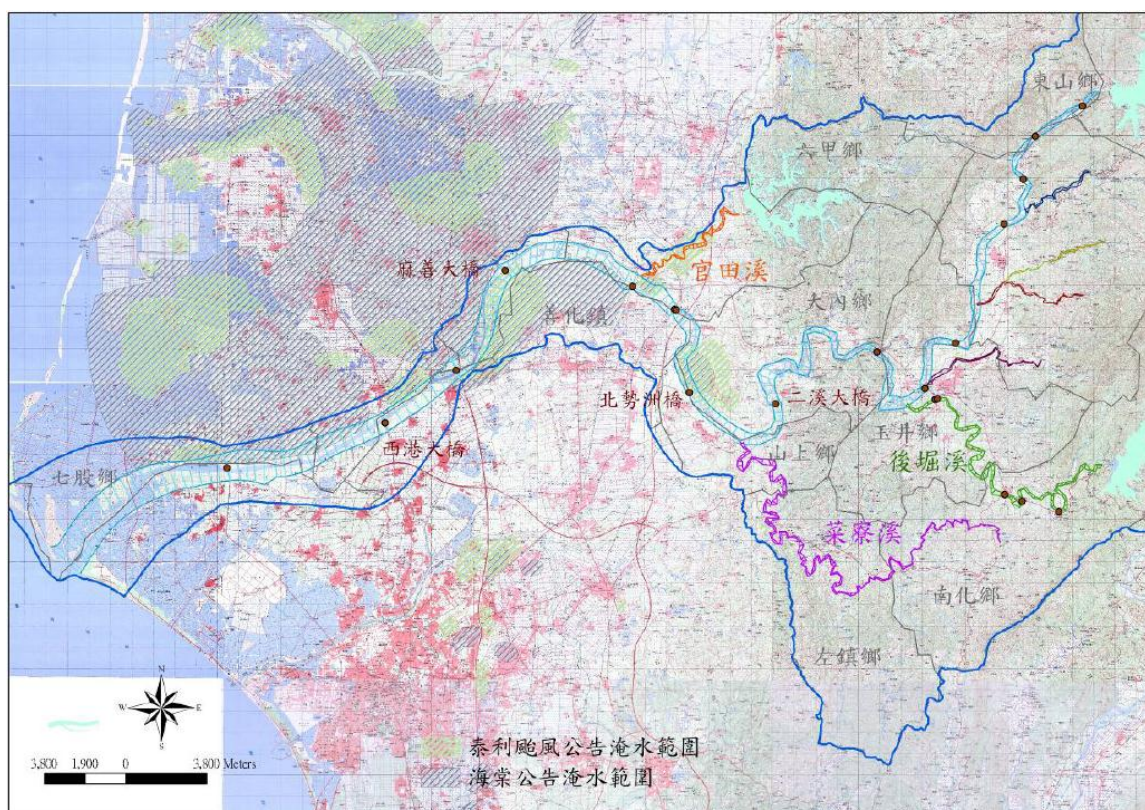


圖 17 泰利、海棠颱風曾文溪沿岸淹水範圍示意

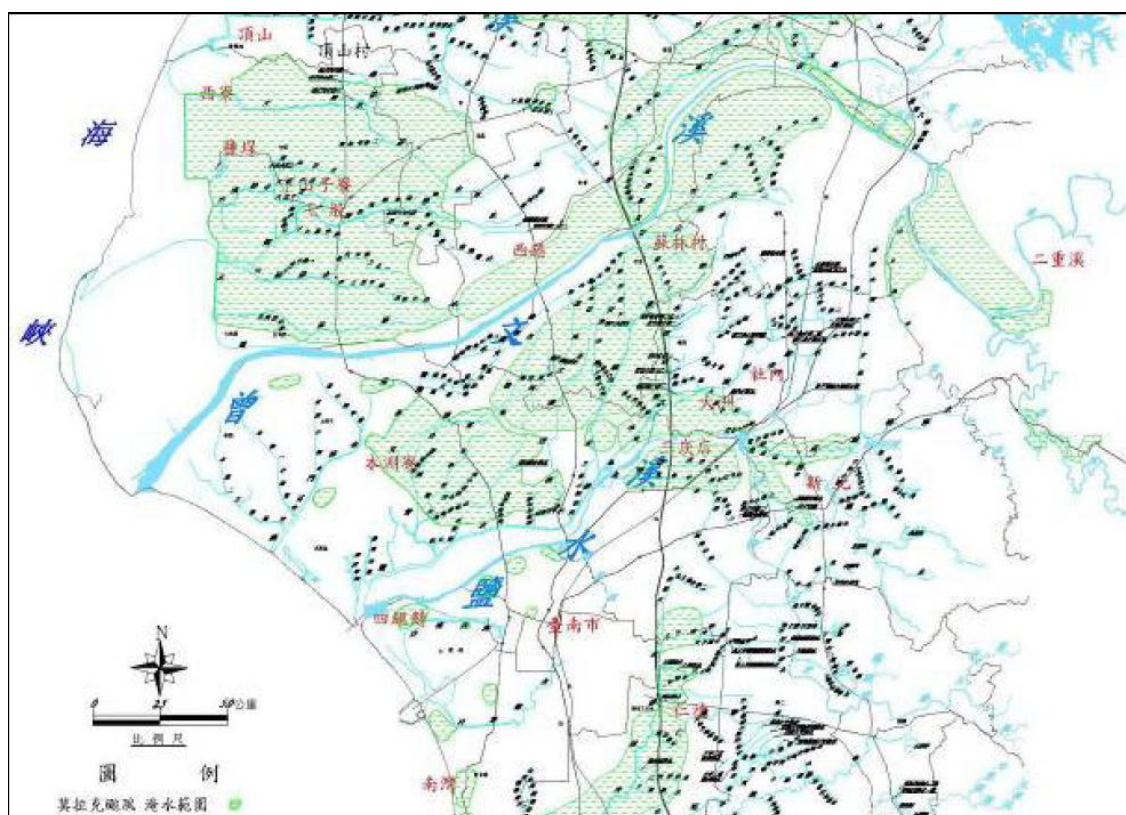


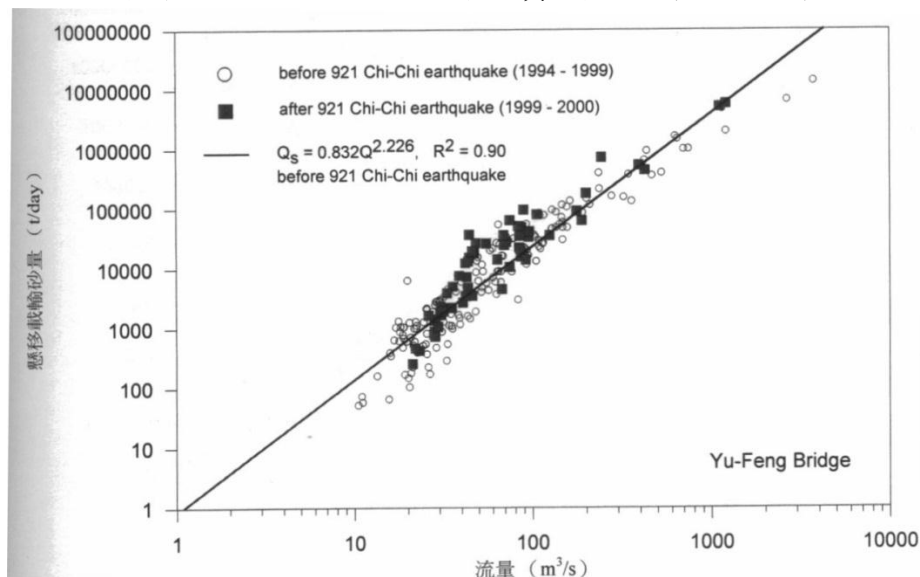
圖 18 莫拉克颱風曾文溪沿岸淹水範圍示意

六、本年度工作之研究方法

由研究區域概述可瞭解曾文溪玉豐大橋至麻善大橋河段之河床沖淤甚劇，因此本研究將以此範圍作為研究河段。為探討研究河段沖淤與洪水位變化之關係，以下依本年度之研究項目 (1)河道控制點斷面變化與水位關係之初探及 (2)模式檢定驗證，說明如下：

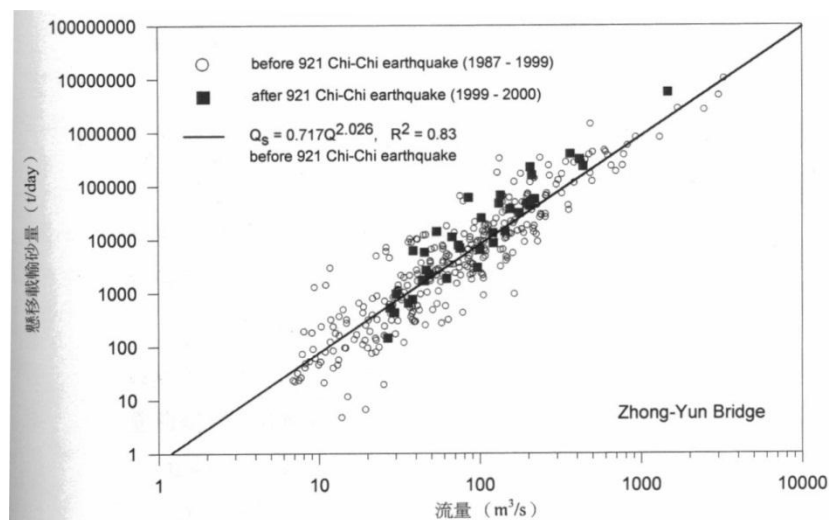
1. 河道控制點斷面變化與水位關係之初探

當流域集水區之水文、地文條件發生劇變時，除透過數值模式推算其改變幅度為，亦可透過水文率定曲線之改變進行探討。盧(2007)為瞭解 921 地震是否影響濁水溪下游河道之輸砂量，便針對濁水溪各控制點進行現場泥砂濃度及流量量測，並按其結果製作流量－懸浮載率定曲線，隨後再對照各控制點於 921 地震前之流量－懸浮載率定曲線，即可瞭解河道輸砂特性是否受到影響，如圖 19～圖 21 所示。屈(2007)也利用同樣概念，蒐集淮河流域沭陽控制點之歷年流量－水位率定曲線，用以評析淮河利用新沂河(人工開挖河道)進行分洪作業對下游河道之影響，其結果如圖 22 所示；圖中發現當新沂河於 2003 年開始進行分洪作業後，在同一水位條件下，分洪後之沭陽站實測流量較分洪前減少 10%左右。



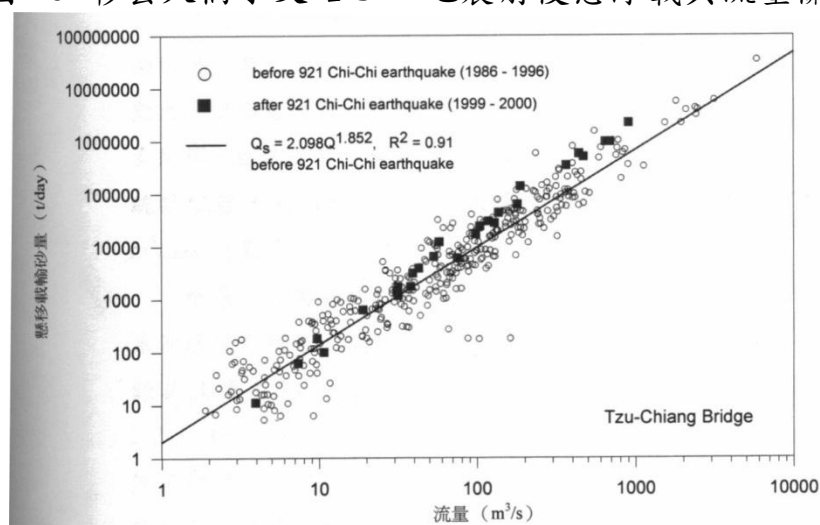
資料來源：盧昭堯，「921 地震後濁水溪下游輸砂關係之研究」，水利署建教報告，2007

圖 19 玉峰大橋水文站 921 地震前後懸浮載與流量關係



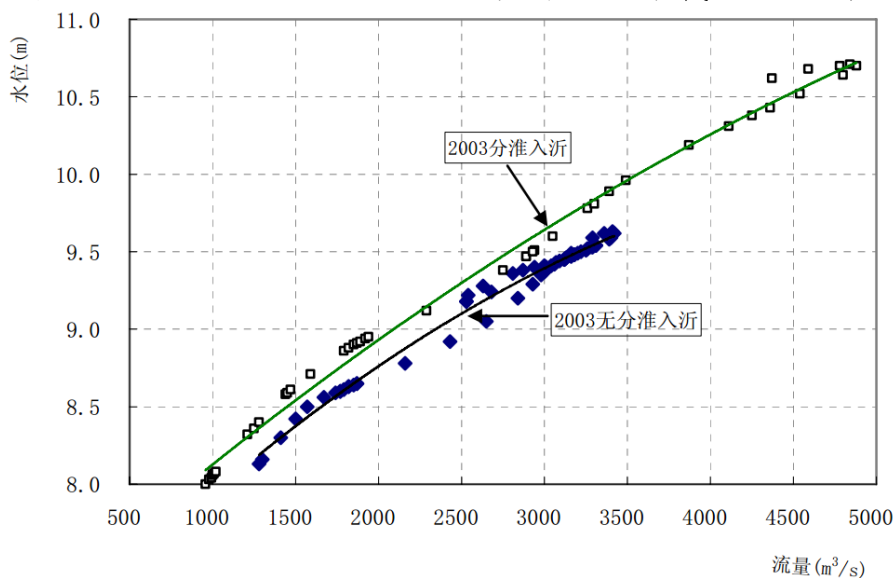
資料來源：盧昭堯，「921 地震後濁水溪下游輸砂關係之研究」，水利署建教報告，2007

圖 20 彰雲大橋水文站 921 地震前後懸浮載與流量關係



資料來源：盧昭堯，「921 地震後濁水溪下游輸砂關係之研究」，水利署建教報告，2007

圖 21 自強大橋水文站 921 地震前後懸浮載與流量關係



資料來源：屈璞，「沭陽站水位～流量關係及其影響因素分析」，第十一屆海峽兩岸水利科技交流研討會，長春 2007 年。

圖 22 2003 年沭陽站流量－水位關係比較圖

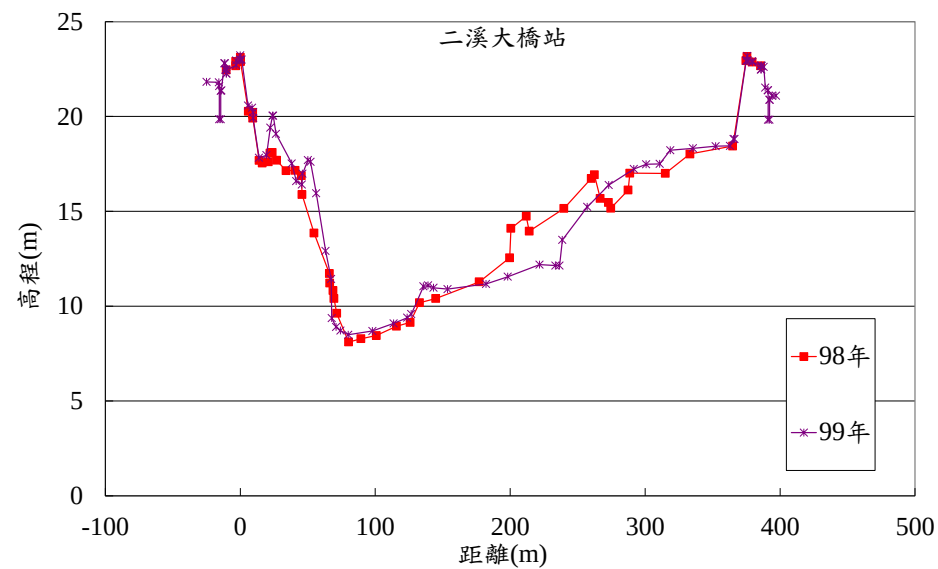
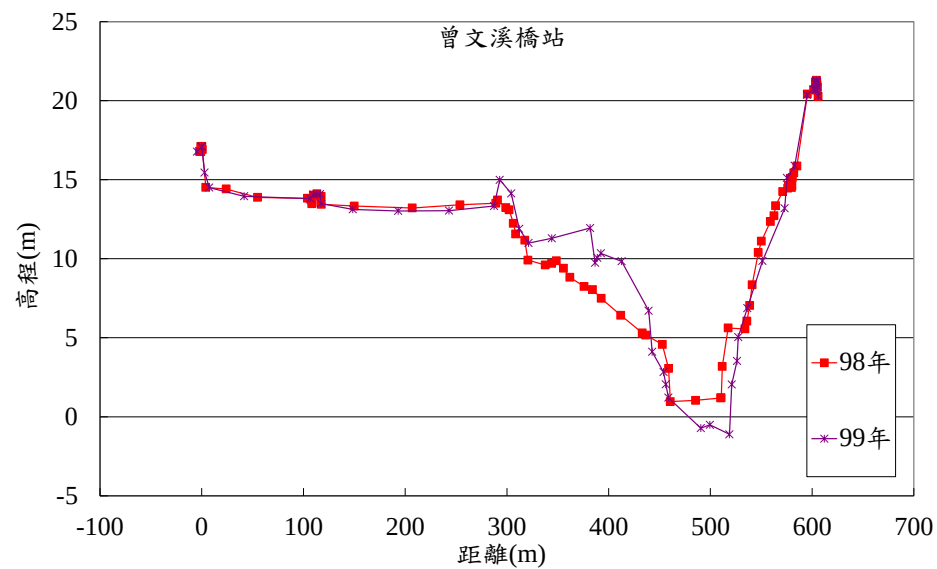
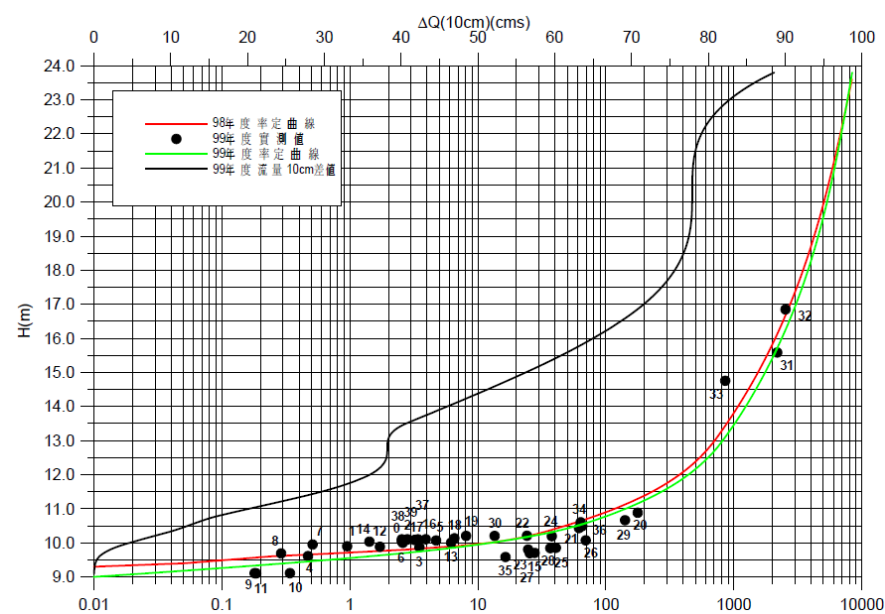
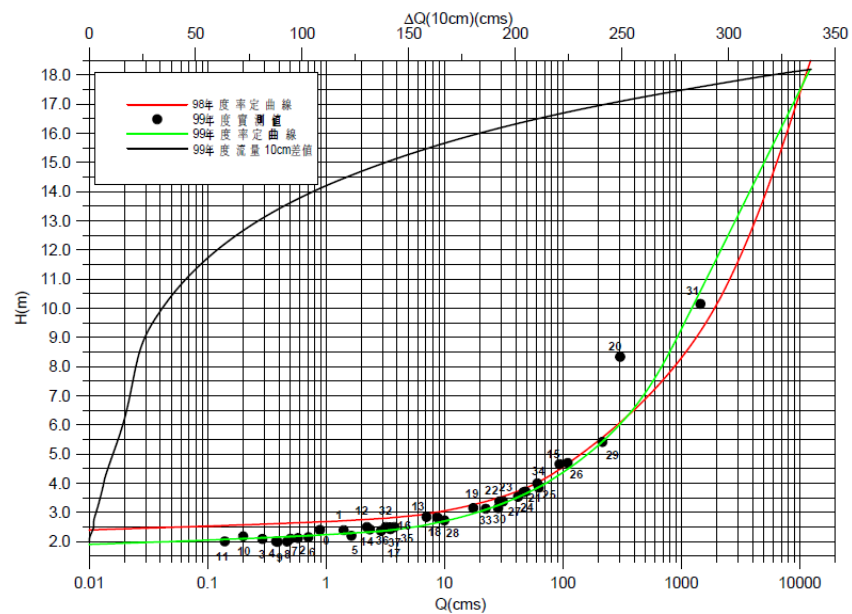
而本研究亦透過前人研究之概念，分析河道控制點斷面變化與水位升降之關係。圖 23 展示民國 98 年莫拉克颱風前後，曾文溪曾文溪橋站與二溪大橋站之流量－水位率定曲線，並輔以對應測站位置之斷面變化。首先，就曾文溪橋站而言，其斷面型態屬具洪水平原之不規則斷面，故冲刷行為好發於深槽，高灘則以淤積為主，如此斷面型態之改變，可推論於低流量條件下，因深水河槽刷深關係，水位應有下降趨勢，但當水位開始漫淹至高灘時，則因高灘淤積物有產生壅水效應之虞，水位將有上漲趨勢。另由曾文溪橋之流量－水位率定曲線，發現本控制點於莫拉克颱風前後之洪水位變化可分為三類：(1) 洪水量 200 cms 以下時，現況洪水位較莫拉克颱風前之洪水位為低，其下降幅度約 0.5 公尺；(2) 洪水量介 300 ~ 500 cms 間則為漸變區間，莫拉克前後之洪水位無明顯差異；(3) 洪水量介 600 cms ~ 9,000cms 間，現況洪水位較莫拉克颱風前之洪水位為高，且其水位增加幅度呈拋物線型；當洪水量介 600 cms ~ 3,000 cms 時，因高灘淤積物產生之壅水效應會隨著流量增加而增強，故其水位增加幅度呈逐步上升，當洪水量達 3,000 cms 時，莫拉克前後之水位差異可達 1.5 公尺左右，但再隨著洪水量、水深增加，如：洪水量於 4,000cms ~ 10,000 cms 間，壅水效應則逐步遞減，水位增加幅度轉為減小。對照斷面變化及流量－水位率定曲線之分析結果可瞭解，現場實際河道沖淤與水位變化之關係，並無法使用簡單線性關係加以描述，因其變化涉及到斷面沖淤位置之分布。而二溪大橋站之斷面因無明顯沖淤變化，故於莫拉克前後之流量－水位率定曲線並無明顯差異。

2. 模式檢定驗證

檢核模式水理及輸砂參數，能否準確模擬現場水位變化，並供後續評估使用。模擬條件概述如下：

(1) 初始底床

以民國 94 年大斷面資料作為初始底床，民國 95 年大斷面資料用以



資料來源：南水局

圖 23 民國 98~99 年曾文溪橋及二溪大橋站之流量－水位關係比較圖

檢定，民國 98 年大斷面資料用以驗證。

(2) 模擬颱洪事件

因考慮大洪水事件對底床有較大沖淤影響，故本研究以玉豐大橋流量大於 100cms 作為門檻值，選擇民國 94 年至民國 98 年間數場代表性颱洪包括海棠、馬莎、珊瑚、泰利、龍王、艾維尼、碧利斯、凱米等之實測流量值作為模示檢定之流量，共計 912 小時；聖帕、韋帕、柯羅莎、卡玫基、鳳凰、辛樂克等之實測流量作為驗證條件，共計 2088 小時，如圖 24 所示。

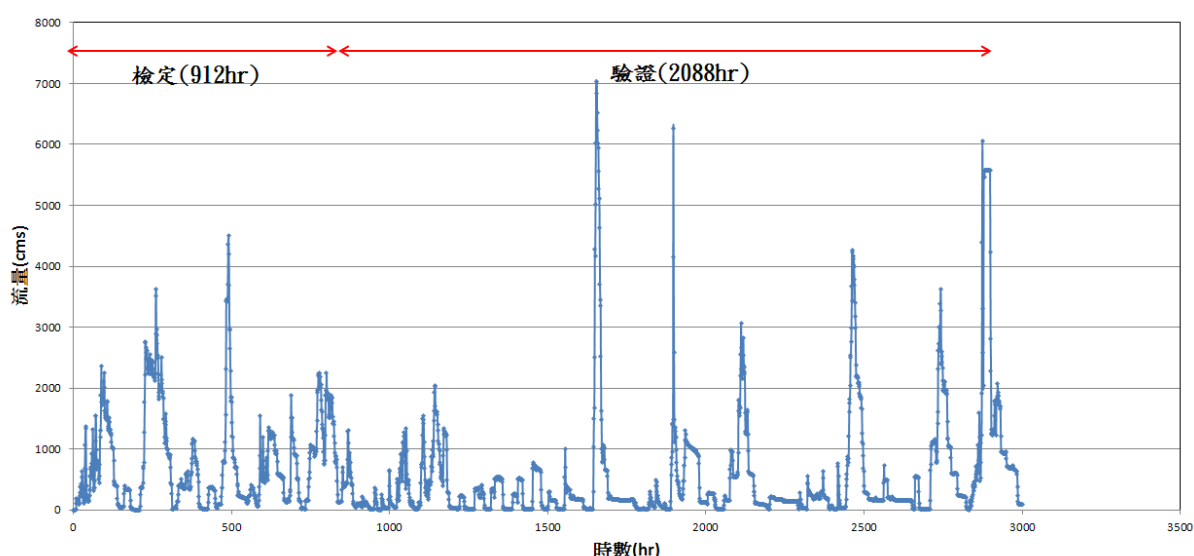


圖 24 曾文溪上游玉豐大橋檢定驗證流量歷線

(3) 入砂濃度

採用玉豐大橋之流量 (cms)－含砂量 (M.T. / day)率定曲線進行換算，如圖 25 所示。利用該率定曲線推得之水體含砂量屬泥砂總載，內含沖洗載、懸浮載及河床載；其中，當懸浮質粒徑小於 0.0625mm 即屬河川沖洗載，因河床沖洗載並不影響底床沖淤行為，故在模式輸入時，需先將沖洗載自泥沙總載扣除後，才得以進行計算。本研究先假設沖洗載含量佔總載之 80%，之後再依檢定驗證結果作調整。

(4) 河床質粒徑及河床糙度係數

河床質粒徑係採用民國 96 年實測資料進行設定，而河床糙度係數

則參照「曾文溪及鹽水溪河床變動與防洪分析研究，2007」進行設定，如表 6 所示。

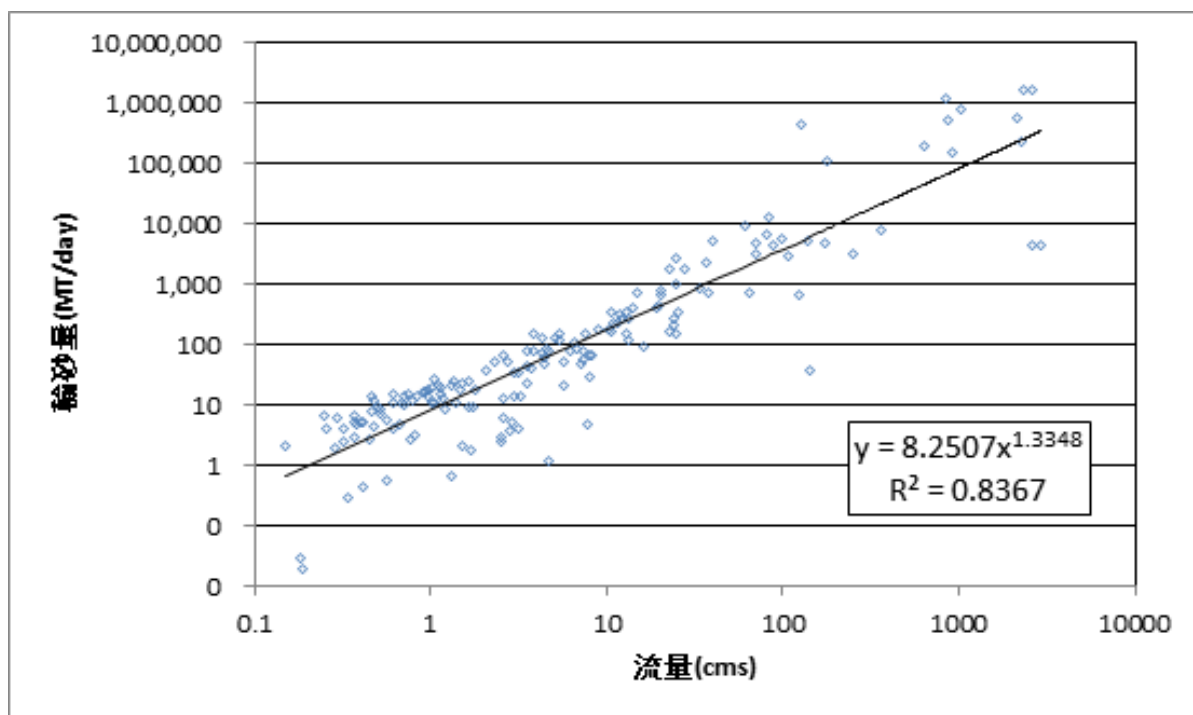


圖 25 玉豐大橋之流量－含砂量率定曲線

表 6 模擬河段曼寧 n 值之設定表

河 段	河床糙度係數
曾斷 10～曾斷 49	0.03
曾斷 50～曾斷 91	0.035
曾斷 92～曾斷 103	0.038
曾斷 104 以上	0.04

(5) 洪水位之檢定驗證結果

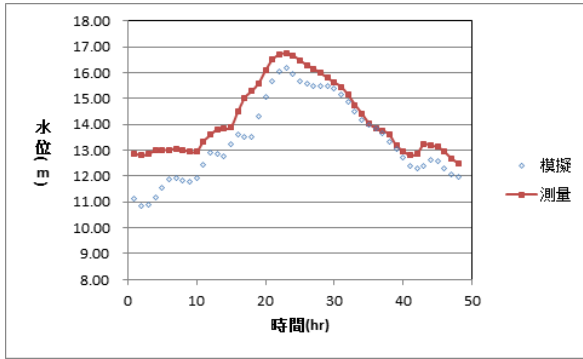
圖 26 為曾文溪二溪大橋模擬水位與實測水位之比較，其成果展示模式於二溪大橋之模擬水位能與實測水位相近，且兩者水位差皆小於 0.5 公尺，可說明模式設定之參數能符合現場流況。

(6) 底床沖淤之檢定驗證結果

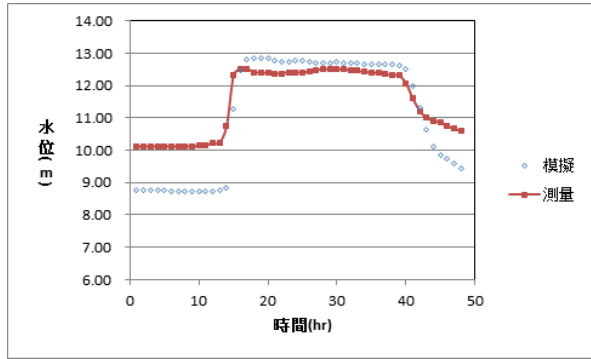
本研究在檢定過程中採用 Wu et al. 及 SEDTRA 兩種輸砂公式，進行底床沖淤模擬，其模擬結果如圖 27 及圖 28 所示。結果顯示兩輸砂公式雖均能反應出多數斷面之沖淤趨勢，但 SEDTRA 公式之敏感度較差，

沖淤變化幅度較小，且 Wu et al. 公式計算所得之沖淤結果與實測值較為相近，平均誤差為 0.24 公尺，小於 SEDTRA 公式之平均誤差 0.39 公尺，故就檢定結果而言，Wu et al. 公式較能反映現場沖淤情形。

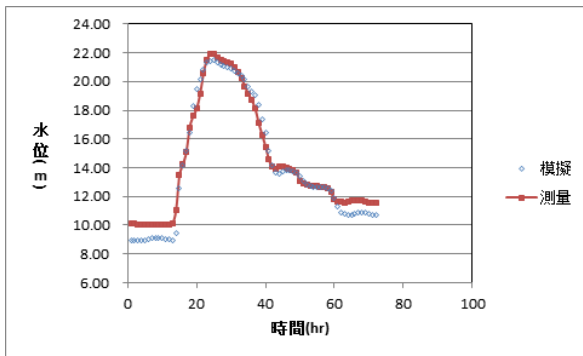
在驗證案例部分，採用 Wu et al. 公式進行驗證案例模擬，而模式參數則沿用檢定案例之成果，以檢核透過檢定得到之參數，是否足以代表本河段之泥砂運移行為。圖 29 為驗證案例之模擬成果，發現民國 94～98 年間，河道沖淤行為可明顯區分為淤積(曾斷 60～120)及沖刷(曾斷 0～60)，其成因承流域概述所言：曾斷 60～120 因位處河道陡緩交接處，故有淤積情形產生，而曾斷 0～60 則因水庫攔阻部分砂源進入下游河道，且即便有砂源進入下游河道，也多落淤於曾斷 60～120 河段，故其底床呈沖刷趨勢；而驗證成果皆可符合上述底床沖淤行為，表示現行採用之輸砂公式及其參數已具備可供應用之可靠度。



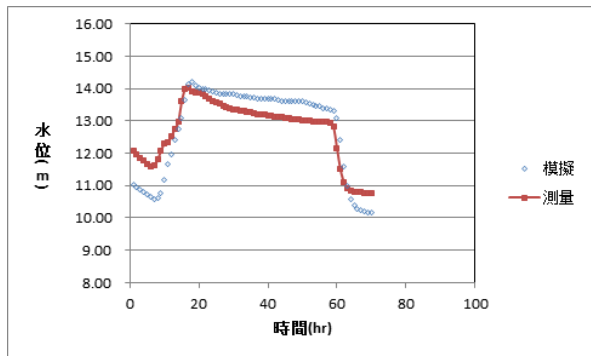
聖帕颱風



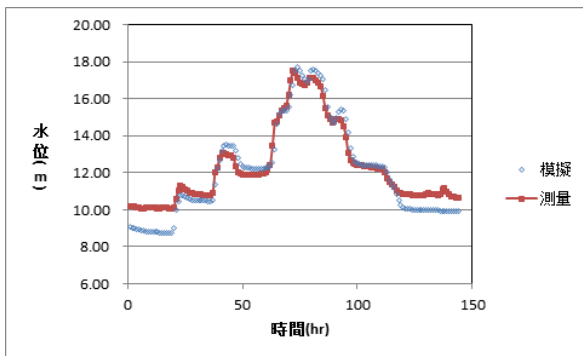
韋帕颱風



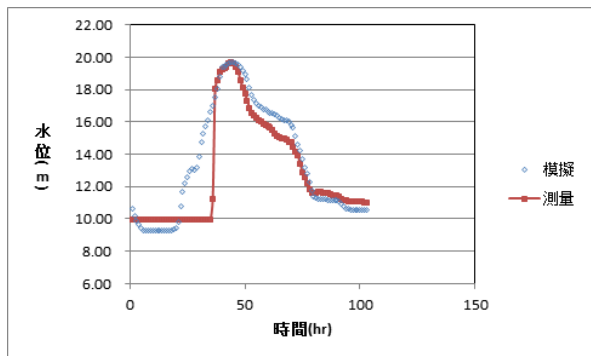
柯羅莎颱風



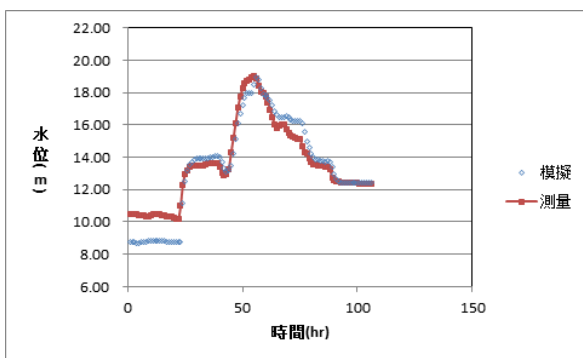
卡攞基颱風



鳳凰颱風



辛樂克颱風



薔蜜颱風

圖 26 曾文溪二溪大橋模擬水位與實測水位之比較

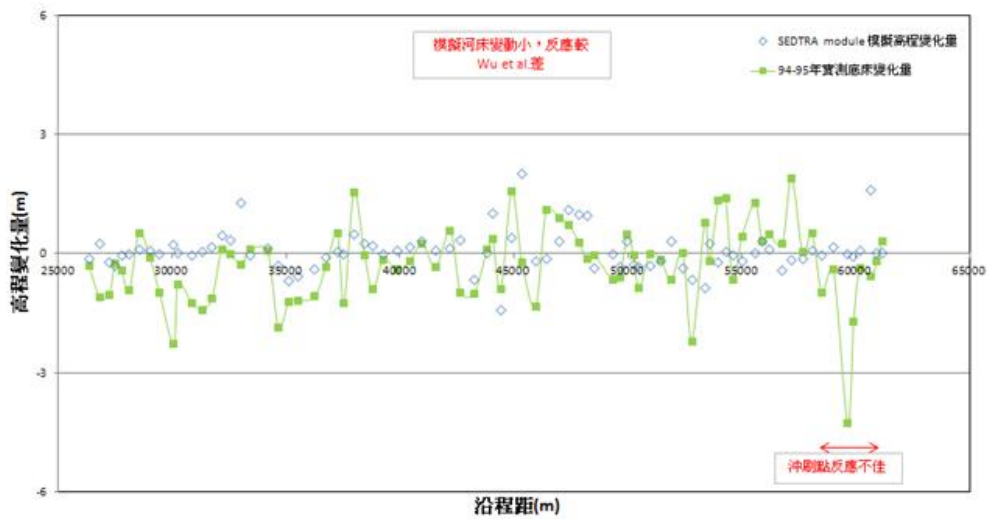


圖 27 曾文溪玉豐大橋至麻善大橋之底床檢定成果—SEDTRA 公式

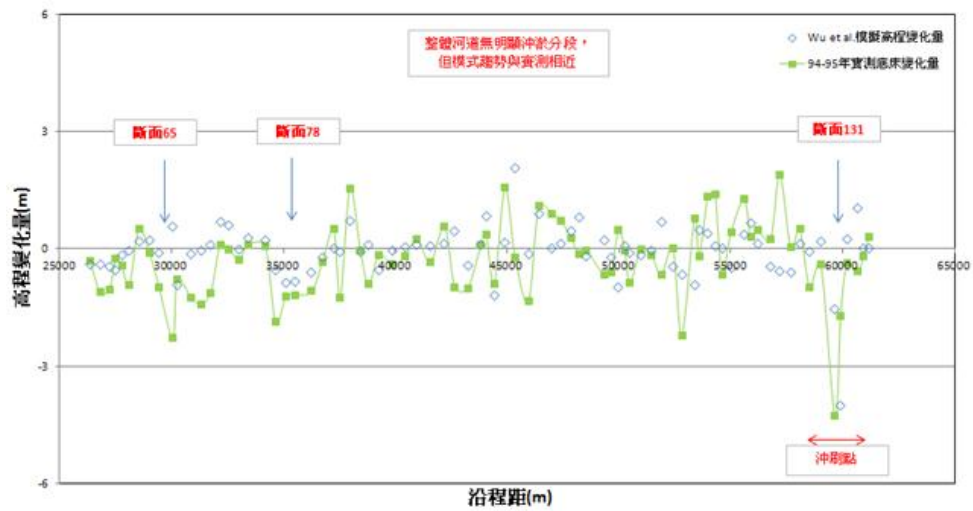


圖 28 曾文溪玉豐大橋至麻善大橋之底床檢定成果—Wu et al.公式

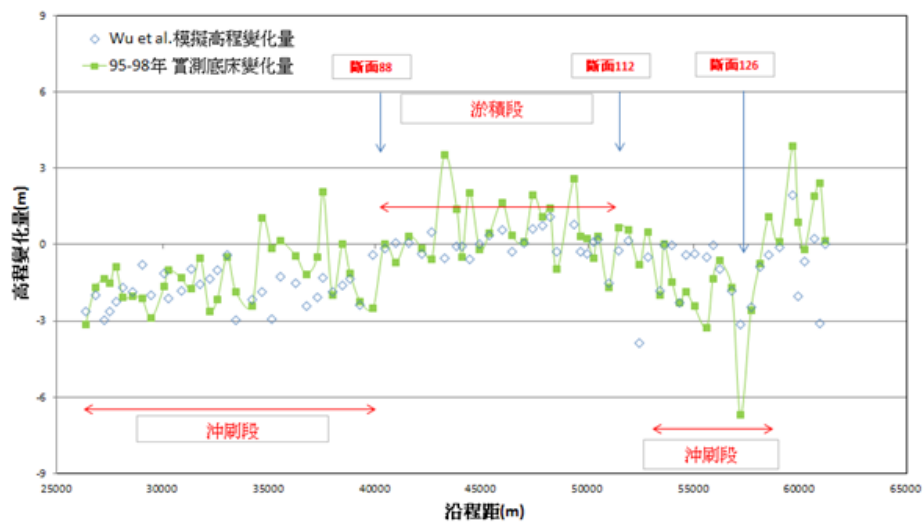


圖 29 曾文溪玉豐大橋至麻善大橋之底床驗證成果

七、結果與討論

本研究透過曾文溪各控制點於莫拉克颱風前後之流量－水位率定曲線及斷面沖淤變化，初步瞭解河道沖淤變化對洪水位之影響；結果顯示洪水位變化幅度不僅與河道沖淤深度有關，亦與斷面沖淤位置分布有關。以本年度研究案例－曾文溪橋而言，因其斷面型態屬具洪水平原之不規則斷面，故斷面沖淤變化明顯，河槽多為沖刷，高灘多為淤積，洪水位變化幅度最大可達 1.5 公尺；而相較於曾文溪橋斷面之劇烈變化，二溪大橋斷面之沖淤變化則相對趨緩，洪水位變化幅度則多在 0.3 公尺以下。

除利用基本資料進行分析外，另針對 CCHE1D 模式進行檢定驗證工作，據檢定結果之說明，Wu et al.公式計算所得之沖淤結果與實測值最為相近，平均誤差為 0.24 公尺；而其驗證結果亦能反映出曾文溪河床沖淤行為，故採用之輸砂公式及其參數可供後續模擬研究之用。

八、成果自評

本年度工作項目主要為：(1) 協調各子計畫間之各項事務、(2) 蒐集近年水理、輸砂演算相關文獻、(3) 河道動床模式之檢定驗證、(4) 河道控制點斷面變化與水位關係之初探；其中，第(2)、(3)、(4)項已透過文獻回顧、模式理論概述、研究區域概述及研究方法等章節，完成工作之要求。而第(1)項工作項目，本研究係將本年度之成果提供給予流域逕流量模式(子計畫一)、水庫排洪最佳操作模式(子計畫二)、河道斷面洪水與暴潮模式(子計畫三)及淹水模擬演算(子計畫四)，並說明利用定床洪水演算方法計算台灣沖積型河川之洪水位，確實具備不確定性，且依現場實測資料顯示其變化幅度最大可達 1.5 公尺以上，勢有必要於未來透過後續研究，詳實量化其影響。此外，總計畫除將提供成果給予其他子計畫參考外，亦協調各子計畫間之資料交換，確保各研究子題間之連接與協調。

九、參考文獻

1. LeVeque, R. J., (1998). "Balancing source terms and flux gradients in high-resolution Godunov methods: the quasi-steady wave propagation algorithm." J. Comput. Phys., 146, 346-365.
2. Bhallamudi, S.M. and Chaudry, M.H., (1992). "Computation of Flows in Open channel." Journal of Hydraulic Research, Vol. 30, No. 1, 77-93.
3. Jimenez, O. F. and Chaudhry, M.H., (1988). "Design of channels Constructions." Transaction ASCE, Vol. 144, No. 4, 377-395.
4. Rahman, M., and Chaudry, M. H., (1997). "Computation of flow in Open channel Transition." Journal of hydraulic research, Vol. 35, No.2, . 243-255.
5. Vukovic, S. and Sopta, L., (2002). "ENO and WENO schemes with the exact conservation property for one-dimensional shallow water equations." J. Comput. Phys., 179, 593-621.
6. Crnjaric-Zic, N., Vukovic, S., and Sopta, L., (2004). "Extension of ENO and WENO schemes to one-dimensional sediment transport equations." J. Comput. Fluids, 33, 31-56.
7. Noelle, S., Xing, Y., and Shu, C. (2007), "Hydro-order well-balanced finite volume WENO schemes for shallow water equation with moving water", J. Comput. Phys., 226(1), 29-58.
8. 蔡長泰、蔡智恆、白進中，「河床隆起變遷對洪水位影響之研究」，921 集集大地震週年紀念學術研討會，pp. 301-312，2000。
9. 王雄，葉純松，蘇炳勳，龔誠山，吳素禎，「九二一震災石岡壩緊急搶修方案評估」，第十一屆水利工程研討會論文集，pp.A-63~A-68，2000。
10. 鄧慰先，許銘熙，盧昭堯，黃宏斌，陳昶憲，「921 集集大地震水利設施震災調查」，第十一屆水利工程研討會論文集，pp.A-69~A-74，2000。
11. 陳正炎，陳順天，洪耀明，「石岡水壩 921 震災調查及處理方式探討」，

- 第十一屆水利工程研討會論文集，pp.A-83~A-88，2000。
12. 盧瑞興，張炎銘，「九二一集集大地震河川日水位變動分析」，第十一屆水利工程研討會論文集，pp.A-119~A-123，2000。
 13. 屈璞，「沅陽站水位～流量關係及其影響因素分析」，第十一屆海峽兩岸水利科技交流研討會，2007。
 14. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2007)，「美國國家計算水科學及工程中心河道變遷模式之引進及應用研究(1/3)」。
 15. 經濟部水利署水利規劃試驗所 (2007)，「921 地震後濁水溪下游輸砂關係之研究(2/2)」。

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/10/30

國科會補助計畫	計畫名稱：總計畫暨子計畫:河道動床沖淤對防洪水位之影響(I)	
	計畫主持人：葉克家	
	計畫編號：100-2625-M-009-002-	學門領域：永續發展研究-工程技術
無研發成果推廣資料		

100 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：葉克家			計畫編號：100-2625-M-009-002-				
計畫名稱：流域水情模擬與預報模式精度與效能提升之研究--總計畫暨子計畫：河道動床沖淤對防洪水位之影響(I)							
成果項目			量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）
			實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數(含實際已達成數)	本計畫實際貢獻百分比		
國內	論文著作	期刊論文	1	1	100%	篇	鍾仁凱、葉克家，「一維守恆加權基本不震盪法應用於明渠流模擬」，中國土木工程學刊，Vol. 23, No. 2, 151-161。
		研究報告/技術報告	1	1	100%		黃信富，「堰塞湖溢頂潰壩之試驗研究」，國立交通大學碩士論文，民國 101 年
		研討會論文	1	1	100%		Ren-Kai Jhong and Keh-Chia Yeh, 'Simulation for flows over mobile beds by using 1-D WENO scheme', The 11th International Conference on Fluid Control, Measurements, and Visualization ,Keelung Taiwan, December 5-9, 2011
		專書	0	0	100%		
		專利	申請中件數	0	0	100%	件
	已獲得件數		0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
	國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇
研究報告/技術報告			0	0	100%		
研討會論文			0	0	100%		
專書			0	0	100%	章/本	
專利		申請中件數	0	0	100%	件	

		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力 (外國籍)	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

其他成果 (無法以量化表達之 成果如辦理學術活 動、獲得獎項、重要 國際合作、研究成果 國際影響力及其他 協助產業技術發展 之具體效益事項 等，請以文字敘述填 列。)		無					
--	--	---	--	--	--	--	--

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科教處計畫加填項目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

☒達成目標

☐未達成目標（請說明，以 100 字為限）

☐實驗失敗

☐因故實驗中斷

☐其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文：☒已發表 ☐未發表之文稿 ☐撰寫中 ☐無

專利：☐已獲得 ☐申請中 ☒無

技轉：☐已技轉 ☐洽談中 ☒無

其他：（以 100 字為限）

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

本年度透過總計劃協調各子計畫之各項事務，可確實掌控整體工作進度，並符合工作項目之要求，未來於第二、三年度將協助各子計畫利用第一年度之既有成果，進行模式間之整合，以達本整合型計畫之目標：於平時進行減災方案之研擬及颱風期間應變時的災害境況模擬預警。

透過子計畫：河道動床沖淤對防洪水位之影響(I)之成果可瞭解臺灣河川除入流洪水量大小會影響洪水位高程外，底床劇烈沖淤變化亦會對洪水位產生升降變化，且其影響幅度全然不亞於地震改變河床地貌對水文條件之影響。此外，本研究之成果可提供給予管理單位或預報中心，使瞭解若利用定床水理模式進行洪水演算，其可能產生誤差為何，幫助提升颱風期間警戒工作之可靠度。