

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

水庫排放凝聚性沉滓對下游河道之影響研究(III)

A Study on the Influence of the Cohesive Sediment Released from Reservoir on Downstream River (III)

計畫編號：NSC 87-2211-E-009-036

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

主持人：葉克家 教授

研究助理：許至璉

E-mail：kcyeh@cc.nctu.edu.tw

執行機構：國立交通大學土木工程學系

一、中文摘要

本計畫分三年進行，其最終目的係發展二維顯式有限解析法動床模式，模擬無黏性或有黏性沉滓在河道上運移之情形。就本年度之預定進度而言，係以此模式模擬阿公店水庫下游河道沖淤變化之實例模擬。模擬結果顯示，本模式於河川實例應用上為一客觀、適切之工具。

關鍵詞：黏性沉滓、有限解析法、動床模式、非均勻質載

Abstract

This project will be executed in three years. The final target is to develop a 2-D explicit finite analytic mobile-bed numerical model for simulating cohesionless or cohesive sediment transporting in the river. As to this year, applying this developed model to simulate the channel morphology downstream the A-kon-dian Dam. The results show that this model has a good applicability.

Keywords: Cohesive sediment, finite analytic method, mobile-bed simulation, non-uniform sediment

二、緣由與目的

由於台灣地質脆弱，高含砂量入庫水流成為台灣水庫壽命不長之主要原因。減少水庫淤積以維持庫容及延長水庫壽命之方法不外為減少沈滓之入流及水庫淤積清除。就水庫淤積而言，可分為機械清淤（mechanical desilting）與水力清淤（hydraulic desilting）兩種。不論以何種形式排放其淤積之泥砂，將對下游河道帶來直接之影響。由於水庫迴水區甚長，能流至並淤在大壩前之沉滓一般均為細顆粒者，如砂、泥、與黏土。當水庫排放此類具凝聚性或黏性之沉滓時，由於濃度極高，一般牛頓流體之假設可能不再適用，亦即其運移行為不同於非黏性沉滓者。再者，在河道內往下運移時，由於河道變寬，河床坡降減緩，這些細小沉滓將有機會沈淤在河床上，亦將影響河道原有之生態環境。因此，從河道沖淤平衡與否，以及與其有關生態環境之衝擊情形觀之，在進行水庫清淤之同時，必須考量及評估下淤河道所受之影響。

根據「阿公店水庫更新改善工程先期作業計畫」研究報告[1]，水庫更新改善後，其年排砂效率約71%，下游河道因而產生之年淤積量，經初步推估為每年淤5.5公分。本研究即針對此一成果，藉由二維度非均勻質變量流動床數值模式，在考慮水庫沉滓有及無黏性特性下，進行水庫不同排砂濃度對下游河道沖淤之短及長期影響之模擬，除進一步驗證先期研究成果之

適切性外，亦可驗證此數值模式於一般天然河川之適用性。此處針對水庫更新改善前後對下游河道影響作一評估研究。

三、控制方程式

1、顯式有限解析法定床水理模式

模式之建立係由水理模式開始而後發展至動床模式，水理計算之精確度當然會絕對的影響動床模擬的正確性，因此先就水理模式之部份進行介紹。

A.控制方程式

假設流體為不可壓縮且黏滯度固定不變，水流之連續及動量方程式分別為：

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \frac{d\vec{v}}{dt} = \rho g - \nabla P + \sim \nabla^2 \vec{v} \quad (2)$$

上二式中， \vec{v} =速度向量； ρ =流體密度； g =重力加速度； P =壓力； \sim =流體動力滯度。上二式經深度積分後，可得平面二維水深平均控制方程式。當進行深度積分時，必需對水流沿深度方向之流速剖面進行假設，本研究採用之主流與側向流速剖面分別為指數律及直線變化之剖面。原為三維度之 Navier-Stokes 方程式(1)、(2)，經過張量運算、時間平均及水深平均等步驟，即可得到二維水深平均控制方程式。

B.格網點之建立與座標系統之選用

適當之格網點必需要具有接近正交、平滑與變化平緩等性質。根據所採用的方程式型式，可分類為偏微分方程格點產生法、兩類，可分類為橢圓型(elliptic)、拋物線型(parabolic)、雙曲線型(hyperbolic)與代數式(Aalgebraic)格點產生法四種。不同之產生法有其不同的特性，因此針對不同的幾何特性須採用不同的方法來產生較適當之格點。本研究即結合了上述各種格點產生法，對於不同河道幾何建立適切的格點。

如前所述，數值模擬之計算過程係在非正交曲線座標系統下進行，此乃因為利用數值所建立之格網點並不能保證所有計算點與其鄰近之點皆處於正交，尤其在河道幾何非常複雜的情況下，要求正交可能

導致格網重疊或翻轉等不合理的情形。考慮此點因素以及理論之完整性，因此本研究採用非正交曲線座標系統。

C.顯式有限解析法

本研究採用顯式有限解析法(EFA)進行控制方程式之離散化。在移流項(convection term)所控制之淺水波流場，EFA 法有其推禱容易及精度良好之優點。根據 Dai(1994)之研究，EFA 法在時間上為一階精確，而在空間上為二階精確之數值方法。

2、顯式有限解析法無黏性沉滓動床模式

A.控制方程式

輸砂控制方程式將河道輸砂通量分離為非均勻之懸浮載與河床載兩部份，且為求得底床高程變量、底床粒徑百分組成變量、及水體含砂濃度變量等變數，模式同時求解某一粒徑之懸浮載質量守衡方程式、及整體河床輸砂之質量守衡方程式等三條控制方程式，分別表示如下：

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \nabla \cdot (c\vec{v}) = -\frac{1}{\rho} \nabla \cdot \vec{q}_s + \bar{S} \quad (3)$$

$$\rho_s(1-p) \frac{\partial (SE_m)}{\partial t} + \nabla \cdot \vec{q}_b + S - S_f = 0 \quad (4)$$

$$\rho_s(1-p) \frac{\partial Z_b}{\partial t} + \sum_{i=1}^n (\nabla \cdot \vec{q}_b + S) = 0 \quad (5)$$

上三式中， c =某一代表粒徑懸浮質之濃度； \vec{q}_s =懸浮質之通量(flux)； ρ_s =沉滓密度； p =孔隙率； S =作用層內某粒徑沉滓之百分比； E_m =作用層厚度； \vec{q}_b =河床載通量； S =懸浮載資源項(source term)； S_f =作用層底部資源項； Z_b =底床高程； n =非均勻沉滓之代表粒徑數。為求解上述三式，尚需一些補助方程式，如有關決定 \vec{q}_b 、 E_m 、 S 及 S_f 之公式。另外，當河床在沖刷時，為考慮護甲效應，則 \vec{q}_b 及 S 項須做適當之處理。由於整個計算過程係在非正交曲線座標系統之下進行，因此式(3)、(4)和(5)亦需轉換至非正交曲線座標系統。

四、結果與討論

模式發展至今，業已具備解決諸如超、亞臨界流況並存之問題、變量流所致之乾床問題、以及紊流流況之考量。動床模式亦可模擬非均勻無黏性或有黏性沉滓。此外，為考慮懸浮載與河床載不同之運移機制，故將兩者予以分開計算，並考慮沉滓在渠道底床附近發生沉積與再懸浮之情形，因此模式引入懸浮載與河床載間之交換機制，藉以推估水體中各懸浮沉滓之濃度變化，以及河床上床質粒徑之組成。

有關阿公店水庫現地資料蒐集與整理[2] [3] [4] 排淤現場及模型試驗勘查，以及模式之進一步測試、驗證及敏感度分析均已於數值實例模擬前完成。

所採之模擬案例則分別就水庫在短期單一洪水事件排放無黏性沉滓及長期防淤操作下排淤條件[5]、[6]，就水庫排砂濃度分別為零(更新改善前) 29,700ppm(水庫年平均排砂濃度)[7] 及 41,000ppm(水庫年平均進砂濃度)進行阿公店溪河道之沖淤模擬。模擬結果顯示，水庫在短期之單一洪水事件排淤後，不論5年或100年頻率洪水，下游河道呈輕微之沖刷狀態，而以清水放流之平均刷深3.3公分為最大。在長期(根據民國76年至86年之水文紀錄)防淤操作方面，假設水庫歷年之放流量係由一連串不同頻率洪水所構成，如為更新改善前之清水放流，則下游河道發生輕微沖刷，且迅速達到平衡狀態；如為更新改善後之防淤操作，在水庫排淤濃度為29,700ppm時，下游河道每年平均約淤高1公分，當排淤濃度為41,000ppm時，則年平均約淤高2公分，此二淤積量約較先期研究之推估淤高值5.5公分為低。

本研究之長期防淤操作模擬結果與先期研究之結果趨勢一致，亦即阿公店溪河道呈淤積態勢，唯本計畫所得之淤積更為緩和，因此對河道平衡之影響不大，鑑於阿公店溪中下游已完成評估，應暫無設置低水河槽以增加輸砂能力之必要。日後更新改善計畫施工期間或防淤操作過程中，如發現局部地區之淤積量足以影響河防安

全時，則須適時予以清除。此外，由於水庫排淤之沉滓粒徑細小，大部分均能運移至河口，有助於河口砂源之補充及海岸之穩定，但對河川及河口生態，以及河口附近海岸地形之變遷，如認為有必要探討時，建議另成立計畫評估之。由於阿公店溪係屬普通河川，流域內諸多水文條件(包括水庫排砂道之流量與含砂量資料)欠缺，日後阿公店水庫更新改善完成後，其功能與重要性提高，為求水資源永續利用與河川長期平衡之維持，建議設站觀測，以提供未來後續工程所需之基本資料。

五、計畫成果自評

本年度預期完成之工作項目計有：

- 1.基本資料之蒐集與整理
- 2.模式進一步測試、驗證及敏感度分析
- 3.阿公店水庫排淤現場及模型試驗勘查
- 4.阿公店水庫排淤實例模擬
- 5.報告撰寫

執行進度內容完全符合預期完成之工作。

本研究在學術研究上之貢獻為，利用顯式有限解析法，配合非正交座標系統及具正交特性之調適格點產生法，發展出無黏性及黏性沈滓之二維動床數值模式，為首創之作。就二維動床數值模式研發而言，本研究提供了一功能齊全之先進模式。

在工程實務上之貢獻為，河道沖淤之研究為河川治理不可或缺之基本資料，然而目前水利機關在進行河道治理規劃時，對此問題之探討，大多停留在定性敘述階段。本研究發展之模式為水庫排淤及河川治理工程提供一經濟而可行之數值分析工具。

就模式未來發展而言，仍具有多樣之長程擴充方向，諸如護甲效應、礫石或黏性河床之沖淤、彎道之二次流效應及河床與水工結構物間相互作用之局部三維流場之模擬等。

五、參考文獻

- [1] 台灣省水利局，「阿公店水庫更新改善工程先期作業計畫 總報告」，民國 82 年 6 月。
- [2] 台灣省水利局，「阿公店溪防洪調查報告」，民國 70 年 6 月。
- [3] 台灣省水利局，「阿公店溪治理規劃報告」，民國 74 年 2 月。
- [4] 台灣省水利局，「阿公店溪(上游段)治理規劃報告」，民國 85 年 3 月。
- [5] 台灣省政府，「阿公店水庫更新工程計畫書」，民國 85 年 5 月。
- [6] 高雄市政府捷運工程局籌備處，「高雄都會區大眾捷運系統洪水水位之研究」，民國 83 年 9 月。
- [7] 台灣省水利局，「阿公店水庫更新改善計畫水庫排砂與運轉操作規劃研擬」，民國 82 年 6 月。

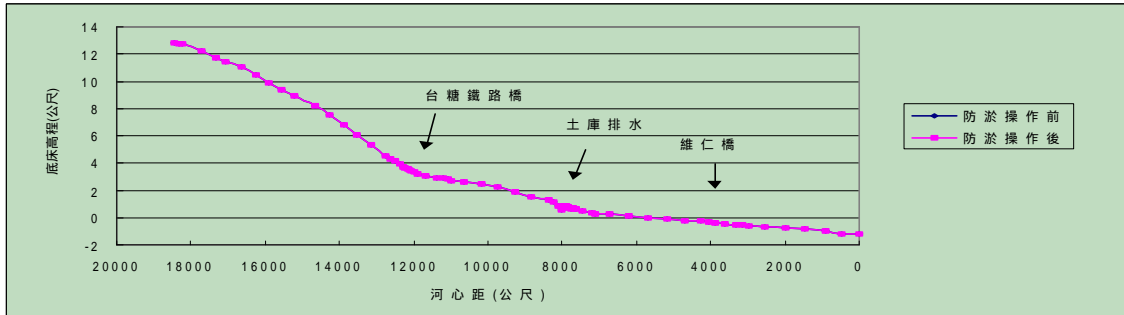


圖 1 第 11 年底床高程變化情形 (改善前_11 年)

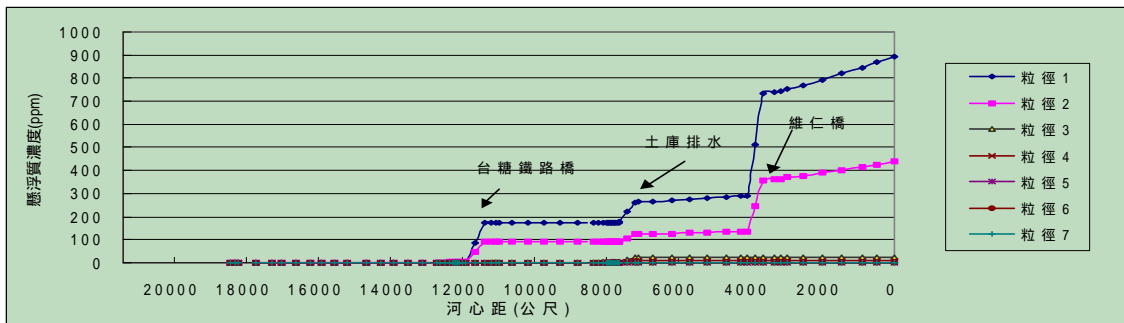


圖 2 第 11 年底床高程變化情形 (改善前_11 年)

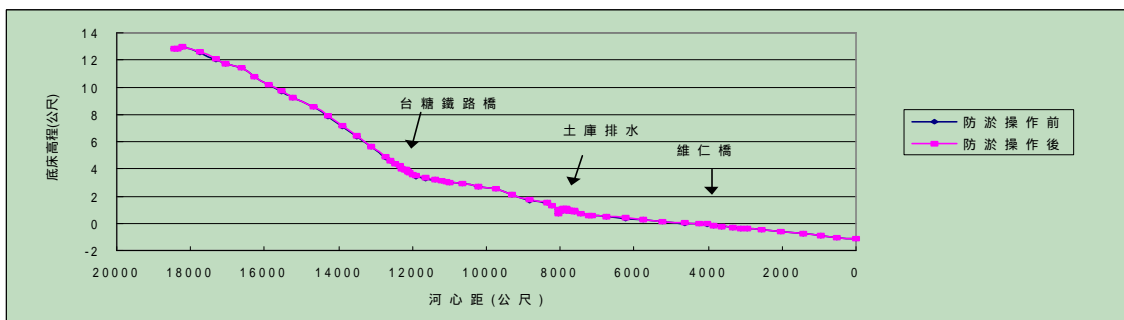


圖 3 第 11 年底床高程變化情形 (改善後_11 年)

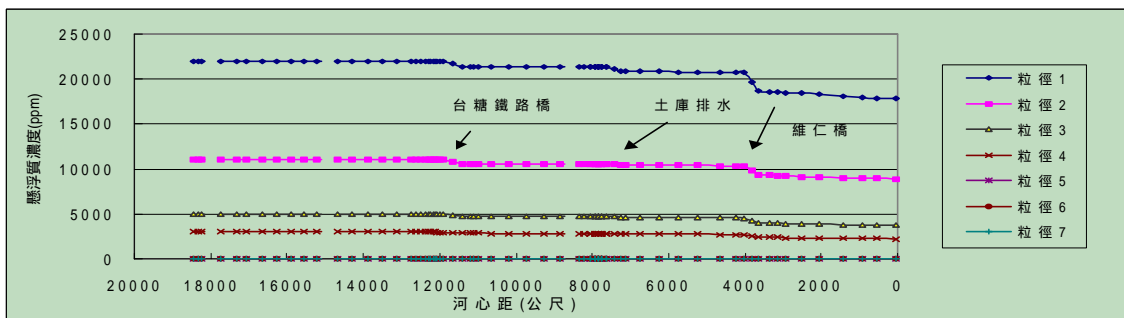


圖 4 第 11 年底床高程變化情形 (改善後_11 年)

