

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

水庫排放凝聚性沉澱對下游河道之影響研究(I)

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

計畫編號：NSC 87-2211-E-009-036

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：葉克家 教授

研究助理：許至璵

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，其最終目的係要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澱在河道上運移之情形。就本年度之預定進度而言，係針對無黏性沉澱之運移為模擬對象，將懸浮載與河床載之輸運形式分開，並考慮兩者之間的交互作用、與非均勻質載所造成的篩分與護甲現象。本研究執行至今，已將水理定床模式擴充至無黏性沉澱動床模式，將繼續執行模式之檢定與驗證。

關鍵詞：黏性沉澱、水庫排砂、有限解析法、動床模式、調適格點產生法、流變模式

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 the first year, considering only the cohesionless sediment, the sediment transporting is simulating in the suspended-load and bed-load modes, with the correlation between them and the sorting and armoring mechanisms being considered. Up the this time, the original model has been extended to

the mobile-bed model, excelling the schedule, and tests on the model will carry on.

Keywords: Cohesive sediment, reservoir desilting, finite analytic method, mobile-bed simulation, adaptive grid generation method, rheological model

二、緣由與目的

台灣河川坡陡流急，兼以暴雨集中，對水資源之利用極為不利。為應付長時期枯水季之用水需求，興建水庫以攔洪濟枯，遂為必要之手段。然而，由於台灣地質脆弱，水土保持不良，且又暴雨集中於極短時間內降下，造成大量之砂石沿流而下而沈淤於水庫區內。因此，高含砂量入庫水流造成台灣水庫壽命不長之主要原因。根據研究顯示，台灣目前有淤積測量資料之水庫有 46 座，根據民國 85 年施測之結果，淤積量以超過 20%，顯見水庫淤積問題之嚴重。為求水庫之永續經營，水庫容量之維持與恢復乃當務之急。

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澱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。前者係藉由機械將水庫之泥沙清除，如這些清除之淤泥又放回水庫下游河道內，則洪水通過時之

泥沙運移及河床變動情形，亦為本計畫所欲探討者。就後者水力清淤而言，無論藉由空庫排砂或異重流排砂，這些排放出含高濃度泥砂水流對下游河道之影響，亦需加以評估。

根據上述，水庫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。

水庫排放之泥砂具有二大特性：高濃度及含有黏性。當水流含泥砂濃度過高時，其力學性質將迥異於一般低濃度之輸砂行為，而進入所謂非牛頓流體之範疇，隨之而來須考慮的有：滯度之改變、沉滓沈降速度之改變、流速剖面之改變等。黏性沉滓之特性遠比非黏性沉滓複雜，後者可由粒徑級配予以決定，但前者受化學成分影響，並與周遭之水體、生物環境有絕對之關係，因此除需考慮其物理性質外，亦應考慮其生化性質。有關黏性沉滓物理、化學及運移特性之探討文獻並非很多，可參考者有 Burbank et al.(1990), Mehta et al.(1989), Teisson(1991), Teisson et al.(1993), Lau(1994), Kitamura(1995)等，這些文獻所探討者不外黏性沉滓之沈降速度、壓密、流變行為、沖刷及淤積等特性。

水庫排放之泥砂大多以懸浮載方式運移，因此針對本計畫須要，模式分別就懸浮載與河床載計算其質量守恆。另外，就天然河川而言，利用貼壁座標系統(body-fitted coordinate system)可簡化邊界之處理，同時可配合數值格點產生法產生較佳之格點，進而增加數值解之精度

(Johnson & Thompson, 1986)。當河道斷面形狀變化較複雜時，產生之格點常無法維持正交性。因此，本計畫採用非正交貼壁座標系統數值模式，以提高數值解之精度。

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：

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

$$\rho \frac{\partial \bar{v}}{\partial t} = \rho g - \nabla P + \mu \nabla^2 \bar{v} \quad (2)$$

上二式中， \bar{v} =速度向量； ρ =流體密度； g =重力加速度； P =壓力； μ =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，本研究所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澱動床模式

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：

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

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

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

上三式中， c = 某一代表粒徑懸浮質之濃度； \bar{q}_s = 懸浮質之通量(flux)； ρ_s = 沉澱密度； p = 孔隙率； β = 作用層內某粒徑沉澱之百分比； E_m = 作用層厚度； \bar{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 = 非均勻沉澱之代表粒徑數。為求解上述三式，尚需一些補助方程式，如有關決定 \bar{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 \bar{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

本模式採用河床載及懸浮載分離計算之觀念建立輸砂子模式，為充分瞭解懸浮載源 S 於沈澱懸浮交換機制上所扮演之角色，及水體中懸浮質濃度 C 之變化，在此假設一 90 度彎曲渠道，上下兩端皆與直線渠道相連接，其幾何條件為：上游直線道長 12 公尺、彎道內其中心線之半徑為 110 公尺、下游直線道長則為 20 公尺、全程皆為 20 公尺之定寬渠道、且底床之初始坡度在縱向與側向皆為零。底床磨擦蔡西係數為 $60\text{m}^{1/2}/\text{sec}$ 。彎道內具有二次流的存在，水體流況較直線渠道複雜許多，而其與砂粒沉澱間的相互作用亦更行複雜。由於渠寬與半徑的比例約為 0.2，尚具有急彎的特性，因此彎道內的主流最大流速仍偏向在凸岸附近，且在水流出彎道後，最大流速即迅速偏向凹岸。

水流及沉澱條件為：上游單位寬度入流量 4.5cms/m 、下游固定水位 4.5 公尺、底床由兩種粒徑組成分別為 0.05 及 0.3mm，而其初始組成比例分別為 0.3 及 0.7。上游入砂量僅包含第一種粒徑為 1000ppm，總模擬時間為半小時，記錄凹岸及凸岸離側邊邊界各約 2 公尺位置之流況。

由於彎道內二次流的存在，使得凹岸附近有一向下沖刷的動量，且在接近底床後轉向凸岸移動，因此河床載通量受此影響而向凸岸移動，故在凸岸的底床高程會較凹岸為高(圖 1)。圖 2 為渠道沿程凸岸及凹岸之懸浮質濃度變化情形，第一種粒徑的懸浮質濃度由上游端入砂濃度 1000ppm 逐漸向下游遞減，可看出此案例為一淤積案例。此外，由於渠道具有急彎的特性，因此在彎道內動量的傳輸係由凹岸傳向凸岸，致使凸岸懸浮質濃度大於凹岸。圖 3 則為第一種粒徑之懸浮載源。

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. 二維無黏性沉澱有限解析法模式之建立
3. 模式測試、檢定與驗證
4. 報告撰寫

第一年之研究報告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，發展出無黏性及有黏性沈澱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，大多停留在粗淺之定性敘述階段。本研究發展之模式經多方面之測試與實例模擬，其實用性增加，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。

六、參考文獻

- [1] Burban, P.Y. et al.(1990), "Settling speeds of flocs in fresh water and seawater." J. of Geophysical Research, 95 (C 10), 18, 213-18, 220.
- [2] Dai, W. (1994), "Numerical solutions of unsteady Navier-Stokes equations using explicit finite analytic scheme." Ph.D. Thesis, Univ. of Iowa, Iowa City, Iowa.
- [3] Johnson, B.H., and Thompson, J.F. (1986), "Discussion of a depth-dependent adaptive grid generator for use in computational hydraulics." Proc. of Inter. Conference in Numerical Grid Generation in CFD, West Germany.
- [4] Kitamura, Y. (1995), "Erosion and transport processes of cohesive sediment in dam reservoirs." J. of Hydroscience and Hydraulic Engrg., 13(1), 47-61.
- [5] Lau, Y.L. (1994), "Temperature effect on settling velocity and deposition of cohesive sediments." J of Hydraulic Research, 32(1), 41-51.
- [6] Mehta, A.J. et al. (1989), "Cohesive sediment transport. I: process description." J. of Hydraulic E., ASCE, 115(8), 1076-1093.
- [7] Teisson, C. (1991), "Cohesive suspended sediment transport: feasibility and limitations of

numerical modeling." J. of Hydraulic Research, 29(6), 755-769.

- [8] Teisson, C. et al. (1993), "Cohesive sediment transport processes." Coastal Engrg., 21, 129-162.

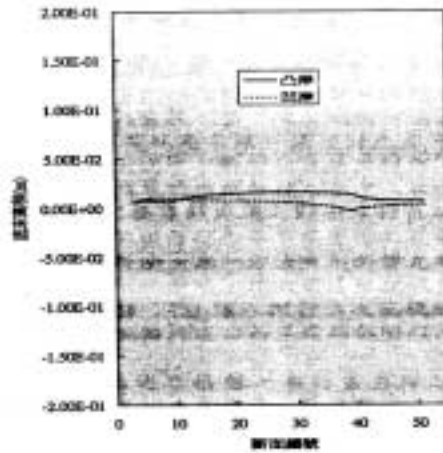


圖 1、渠道沿程凸岸及凹岸之底床高程變化

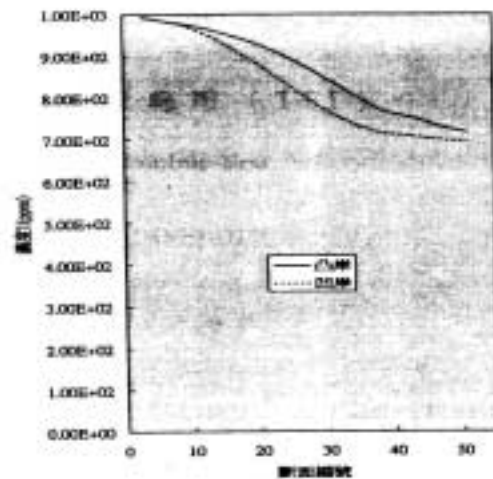


圖 2、渠道沿程凸岸及凹岸粒徑 1 之懸浮濃度

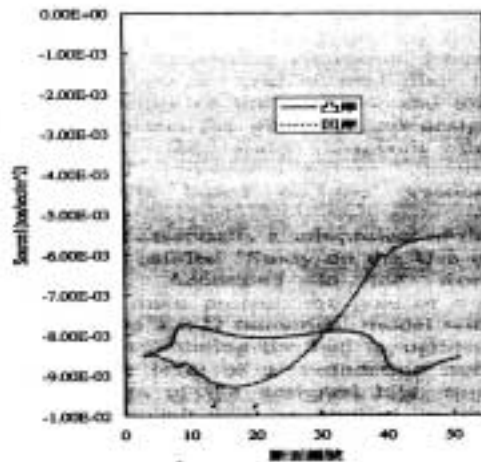


圖 3、渠道沿程凸岸及凹岸粒徑 1 之懸浮載源

