

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 凝聚性沉滓水庫之排砂策略研究

### A Study on Cohesive Sediment Sluicing Strategy for Reservoir

計畫編號：NSC 87-2211-E-009-038

執行期限：86年08月01日至87年07月31日

主持人：楊錦釧 教授

研究助理：謝德勇

E-mail：jcyang@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

鑑於台灣之水庫淤積情況均甚為嚴重，且其沉滓多為凝聚性沉滓之分佈，在現有輸砂理論及模式均無法適切研析及模擬其運移之歷程下，實無法對其影響作出定性及定量之評估。本整合型計畫主要目的乃擬藉著凝聚性沉滓之相關特性之分析，率定凝聚性沉滓之輸送經驗參數，並同時發展數值模式，針對凝聚性沉滓在水庫內之淤積、運移行為、排砂操作策略及水庫排砂其對下游河道之影響，本研究群組將分別加以研析(詳細內容請參閱各子計畫之成果報告)。本計劃除負責此整合型計畫之聯絡與整合之工作，同時負責執行子計畫三，該子計畫之主要目的乃擬發展一二維深度平均數值模式，用以模擬水庫內凝聚性沉滓之沉淤及排砂歷程時之傳輸行為。本研究將分三年依序進行，本年度的之預定進度係完成水理模式之建構與測試。

關鍵詞：凝聚性沉滓、水庫、排砂、模式

#### Abstract

Due to the fact that the soil surrounding the watershed of reservoirs in Taiwan is composed by cohesive sediment, there exists no sediment transport theories and models available to properly simulate the procedure of the transportation in Taiwan. The main purpose of this project is to rate out some empirical sediment transport formulas and develop numerical models applicable to reservoirs by the analysis of the characteristic of cohesive soil. This project not only takes on the job of integration and communication but also holds the responsibility of execution of one subprogram. This subprogram aims at developing a numerical model which is capable of simulating transportation phenomena of cohesive sediment during depositing and sluicing in the reservoir.

The project will be executed in three years. The main goal in the first year is to develop and test the flow model in depth-averaged approach.

**Keywords:** Cohesive sediment, Reservoir, Sluicing, Model

## 二、緣由與目的

台灣地區地形陡峭、地形脆弱、土質鬆軟、河短流急，造成山洪自上游挾帶大量土石流泥砂奔馳而下，淤積於水庫，造成水庫在蓄水的同時也兼蓄砂，就台灣地區而言，目前所有水庫每年之淤積總量相當於一座明德水庫之計劃有效容量。而探究台灣水庫集水區內土壤質地多屬凝聚性沉澱範疇，其物理現象較粗顆粒土壤之輸砂更為複雜。其主要原因在於凝聚性沉澱具有之凝聚結合力性質，使其與其它顆粒產生碰撞而結合，或因重力效應而沈澱，或因底床剪應力效應分解而懸浮[2,5,7]。在如此持續之動態過程中，很難再用以往粗顆粒輸砂方程式來適切描述此物理現象。為具體解決台灣水庫所遭遇之問題，針對凝聚性沉澱之特性研究，探討凝聚性沉澱在水庫內之淤積、輸送行為及水庫清淤排放之策略研究，乃為當前最重要之課題之一。

本整合型計畫共包含七個子計畫，預定分三年進行，其主要目的乃擬整合國內與本計畫相關領域的學者，針對凝聚性沉澱之特性分析，探討凝聚性沉澱之沉降特性與流變關係，進而率定台灣地區凝聚性沉澱之輸送經驗參數，並同時發展數值模式，針對凝聚性沉澱在水庫內之淤積、運移行為，清淤方法之選擇、排砂操作策略及水庫排砂其對下游河道之影響，本研究將分別加以研析與探討。

### 三、整合計畫之各子計畫執行情形與成果

整合型計畫之主要工作乃負責協調溝通使各子計畫能充份瞭解彼此之進度與成果，使其最後之總成果得以彰顯。本計畫乃於執行期間邀集各子計畫主持人與專家學者召開討論會，以釐定本計畫之研究方向，並架設 WWW 網站，以隨時提供相關人員資訊交流與成果互享之需。茲將各子計畫之名稱與主持人分述如下：

計 畫 名 稱	主持人
一、水庫沉澱沉降行為之研究	李鴻源
二、水庫凝聚性沉澱之流變關係研究	謝正倫
三、水庫內凝聚性沉澱淤積行為之模擬	楊錦釗
四、水庫清淤與水資源利用之互動關係	周乃昉
五、微粒懸浮沉澱之孔口排放行為模擬	許少華
六、水庫洩降排砂機制之研究	賴進松
七、水庫排放凝聚性沉澱對下游河道之影響研究	葉克家

各子計畫執行情形與成果分述如下：

	執 行 情 形	成 果
一	本年度完成單一球體在靜止水中之沉降試驗，並導出兩種求終端速度之方法，研究成果與進度相符。	整理中
二	本年度完成土樣採集、水平式旋轉流變試驗水槽與毛管式流變計之基本理論推導，並得到流變特性之初步成果，研究	整理中

	成果與進度相符	
三	本年度完成二維深度平均水理模式之建立與測試工作、並彙整探討凝聚性沉滓之特性，研究成果與進度相符。	如參考文獻[6]
四	本年度完成資料搜集與建檔工作、建立區域水量調配分析模式，並得初步成果。	整理中
五	本年度分別利用數值分析與水槽試驗分析渾水水庫高度、濃度、入流量與出流量之相關性，研究成果與進度相符。	整理中
六	本年度進行洩降排砂水工試驗之準備工作，利用阿公店水庫淤泥進行試驗研究其冲刷起動之機制，並建立模擬洩降排砂之擴散模式，研究成果與進度相符。	整理中
七	本年度完成二維水理與非凝聚性沉滓數值模式，並考慮懸浮載與河床載交換之機制，成果與進度相符。	整理中

#### 四、子計畫三執行情形與成果

##### 4.1 水理模式

###### 4.1.1 控制方程式

假設流體性質為不可壓縮性流體，則水流連續及動量方程式可分別表示為：

(a) 水流連續方程式

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

(b) 水流動量方程式

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = \frac{1}{\rho} \vec{F} - \frac{1}{\rho} \nabla P + \frac{1}{\rho} \nabla \cdot \tau \quad (2)$$

上式諸式中， $\vec{v}$ ：速度向量； $\rho$ ：流體密度； $t$ ：時間； $F$ ：微體力； $P$ ：壓力； $\tau$ ：剪應力張量。

將三維度之 Navier-Stokes 方程式(1)、(2)在正交曲線座標系統展開後，分別進行時間平均與深度平均步驟後，即可得正交曲線座標、二維深度平均控制方程式。

###### 4.1.2 數值方法

水理模式之數值演算步驟，採用雙階分割操作趨近法(two-step split-operator approach)[5]，將動量方程式分割成延散步驟和傳播步驟二個步驟：

###### 延散步驟

$$\left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}\right)^d = -(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} + \frac{1}{\rho} \nabla \cdot \tau \quad (3)$$

###### 傳播步驟

$$\left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}\right)^p - \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}\right)^d = -\frac{1}{\rho} \nabla P \quad (4)$$

首先，延散步驟求解動量方程式中移流項及剪應力項，並應用控制體積(control volume)法離散化控制方程式，利用隱式法(implicit scheme)求解流速場之中間值(provisional value)；其次，傳播步驟同時求解動量方程之壓力項和連續方程式，應用 ADI (alternating direction implicit)方法求解水深變量與流速變量。

###### 4.1.3 結果與討論

###### 4.1.3.1 變量流案例

為測試模式變量流之功能，設定一矩形渠道長 100 km，渠寬 100 m，河床坡度 0.0001，曼寧係數 0.0187，單位寬度入流量  $q$  可以下式表示

$$q = 1.5 + 0.25[1 - \cos(2\pi/T)] \quad (5)$$

為觀測流量、水深隨空間及時間變化之情形，在沿渠道主流方向每隔 20 km 設一參考點，觀察洪峰變化情形。流量及水深模擬結果如圖 1、2 所示。由圖中可看出蓄水效應影響而導致洪峰衰剪之歷程，沿著往下游方向，洪水波峰到達時間變得較長且波峰變得較小，其結果相當合理。

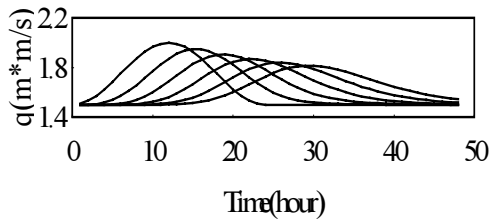


圖 1 變量流案例流量歷線圖

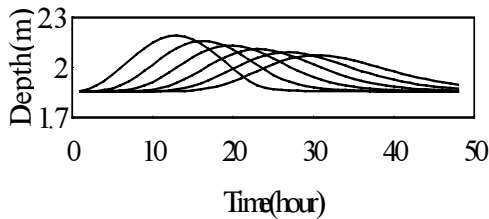


圖 2 變量流案例水位歷線圖

#### 4.1.3.2 阿公店水庫案例

阿公店水庫位於高雄縣燕巢鄉，水庫壩址建於旺萊溪與濁水溪匯合處，係以防洪為主，兼具灌溉及公共用水之多目標水庫。今選定模擬時間為66年7月1日至7月20日共20天之模擬時間，水理參數與入流邊界條件則依據水利局82年之規劃報告與水庫管理局歷年實測之資料。圖3為水理模擬之結果，可看出濁水溪入口(座標為0處)之流速較旺萊溪入口處大，此乃因為濁水溪入口處之渠寬較窄且水深較淺，而旺萊溪入口已接近水庫主要蓄水區域，渠寬變大且水深較大之原因。而從細部流場的

觀察上，亦可看出模式的合理性，如在水平座標-500處，偏離主流的地方流速有變緩的趨勢；在水平座標-1000處，因主流方向改變，在偏離主流附近會產生迴流的合理現象。

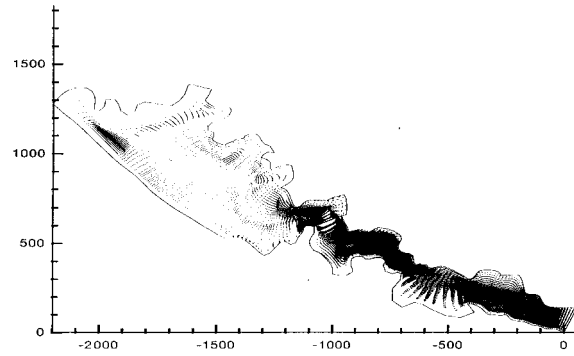


圖 3 阿公店水庫水理模擬流速分佈圖

#### 4.2 凝聚性沉澱之探討

凝聚性沉澱之物理現象較粗顆粒沉澱之輸砂更為複雜，其主要原因在於凝聚性沉澱具有之凝聚結合力性質，使其與其它顆粒產生碰撞而結合，或因重力效應而沈澱，或因底床剪應力效應分解而懸浮，造成凝聚性沉澱之粒徑隨流況而改變，與一般非凝聚性沉澱之固定粒徑有很大的不同。未來凝聚性沉澱之研究方向，主要為參考前人之研究成果，期望將凝聚性沉澱之移流輸送、沉澱現象、沖蝕行為及土壤壓密過程[1,3,4]，均納入數值模式中，使模式能具體模擬凝聚性沉澱之輸砂歷程。

#### 五、計畫成果自評

本計畫及各子計畫第一年之報告內容完全符合預期完成之工作。整合計畫主持人能確實掌握計畫之方向與進度，堪稱成效良好。

本計畫在學術研究上之貢獻為，從基本的特性分析來分析凝聚性沉滓之性質，包含子計畫一及子計畫二，探討凝聚性沉滓之沉降行為與流變關係。再整合上述研究分析水庫庫區與下游河道之問題，利用數值模式探討凝聚性沉滓在水庫中之運移及沖淤之歷程，如子計畫三。接著針對水庫操作之觀念，分析水資源利用問題，如子計畫四，並分析水庫排砂之機制，如子計畫五及子計畫六。最後針對水庫排砂後，其排放凝聚性沉滓對下游河道之影響進行評估，如子計畫七。如此可將凝聚性沉滓在運移入水庫後至排放至河口一系列的問題整合起來，提供一功能齊全之分析工具。

在工程實務之貢獻為，水利局阿公店水庫更新改善工程已經核定在案，改善工程約需五年光景。就學術之觀點而言，這是一難得的機會，以學理之研究成果作為阿公店水庫改善工程後盾，並得以藉實作之數據驗證理論之正確性。本研究將配合水利局之工程進行，在進行基礎研究之同時，並應水利局工程規劃之需，適時提供較簡化及實務面之分析結果。如此可促進學術界與工程界的交流，拉近學術界與工程界之落差。

## 六、參考文獻

- [1] Ariathurai, R., and Arulanandan, K., (1986), "Erosion rates of cohesive soils", J. Hydr. Div., ASCE, 104(2), 279-283..
- [2] 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.
- [3] Gailani, J., Ziegler, C.K., and Lick, W. (1991), "Transport of suspended solids in the Lower Fox

- River", J. Great Lakes Res., 17(4), 479-494.
- [4] Lee, K., and Sills, G.C.(1981) ,"The consolidation of a soil stratum, including self-weight effects and large strains", Num. and Analyt. Meth. in Geomech., 5, 105-428.
- [5] Mehta, A,J et al. (1989), "Cohesive sediment transport. I: process description." J. of Hydraulic Engineering., ASCE, 115(8), 1076-1093.
- [6] T.Y. Hsieh, and J.C. Yang, (1997) "A comprehensive unsteady depth-averaged model with orthogonal curvilinear coordinate system.", Hydrosoft'98, 23-33.
- [7] Ziegler, C.K., and Nisbet, B.S., (1996) "Long-term simulation of fine-grained sediment transport in large reservoir.", J. of Hydraulic Engineering, ASCE, 121(11), 773-781.