

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

凝聚性沉滓水庫之排砂策略研究(三)

A Study on Cohesive Sediment Sluicing Strategy for Reservoir(III)

計畫類別： 個別型計畫 C 整合型計畫

計畫編號：NSC89 - 2211 - E - 009 - 031

執行期間：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

計畫主持人：楊錦釧 教授

共同主持人：黃良雄 教授

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

執行單位：國立交通大學土木工程學系

中 華 民 國 89 年 10 月 30 日

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(三)

A Study on Cohesive Sediment Sluicing Strategy for Reservoir(III)

計畫編號：NSC 89-2211-E-009-031

執行期限：88年08月01日至89年07月31日

主持人：楊錦釧 教授 國立交通大學土木工程學系

共同主持人：黃良雄 教授 國立台灣大學土木工程學系

計畫參與人員：謝德勇 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。本研究分三年依序進行，本年度之預定進度係完成凝聚性沉滓傳輸模式測試應用工作。

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 sediment transport process. The main purpose of this project is to evaluate some empirical sediment transport formulas and develop

numerical models applicable to study the deposition and desilting processes of cohesive sediment in reservoir. This project is not only responsible for integrating several sub-projects which are funded by National Science Council and also holds the responsibility of execution of one sub-project considered as part of the group project. This project aims at developing a numerical model which is capable of simulating transport phenomena of cohesive sediment during deposition and sluicing in the reservoir.

The project will be executed in three years. The main goal in this year is to develop and test the applicability of the cohesive sediment model.

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滓範疇，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滓具有之凝聚結合力性質，使其與其它顆粒產生碰撞而結合，或因重力效應而沈滓，或因底床剪應力效應分解而懸浮。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，針對凝聚性沉滓之特性研究，探討凝聚性沉滓在水庫內之淤積、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，研究時程分三年進行，其主要目的乃擬整合國內與本計畫相關領域的學者，針對凝聚性沉滓之特性分析，探討凝聚性沉滓之沉降特性與流變關係，進而率定台灣地區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，清淤方法之選擇、排砂操作策略及水庫排砂對下游河道之影響，本研究將分別加以研析與探討。

三、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。本計畫在本年度 8 月 28 日假水利處水利試驗所水工試驗組召開討論會，邀集各子計畫主持人與專家學者共同參與，以討論本計畫之研究成果。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、水庫沉滓沉降行為之研究	李鴻源
二、水庫凝聚性沉滓之流變關係研究	謝正倫
三、水庫內凝聚性沉滓淤積行為之模擬	楊錦釧
四、水庫清淤與水資源利用之互動關係	周乃昉
五、微粒懸浮沉滓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、水庫排放凝聚性沉滓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：
(成果請參閱各子計畫之成果報告)

執行情形	成果
一 本研究提出三種不同求解水庫沉滓沉降速度之方法，可提	三篇研討會論

	供水庫沉滓沉降速度之參考，與計劃目的相符。	文
二	本研究除對阿公店水庫淤泥之流變特性進行分析外，並將其結果與其它凝聚性沉滓之流變特性進行分析與討論，研究成果與預期進度相符。。	整理中
三	本年度的完成凝聚性沉滓傳輸模式測試應用工作，成果與第三年度之進度相符。	如參考文獻[2]
四	本年度已如預期進度完成檢討水庫清淤方法 阿公店水庫清淤策略組合分析及水庫清淤與水資源調配檢討。	整理中
五	本年度以實驗與數值模式來模擬探討異重流經孔口的排放行為，研究成果與預期進度相符。	一篇期刊論文
六	本年度進行上游加砂時洩降排砂之試驗，考慮水庫凝聚性淤泥在不同壓密程度下對洩降冲刷效果之影響，所得之數據將作為擴散模式及變量流動床模式檢定驗證之用，研究成果與預期進度相符。	整理中
七	本年度完成無黏性及凝聚性沉滓動床模式之測試與實例模擬工作，研究成果與預期進度相符。	整理中

四、本計畫(子計畫三)執行情形與成果

目前國內許多地區河川、水庫的沉滓多屬凝聚性沉滓的範疇，但能適切描述凝聚性沉滓運移行為的模式並不普遍。考量本計畫發展的數值模式在實際應用面的貢獻價值，茲將本年度的研究成果敘述如下。

4.1 控制方程式

水流連續方程式

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

水流動量方程式

$$\frac{D\vec{v}}{Dt} + (\vec{v} \cdot \nabla)\vec{v} = \frac{1}{\rho} \vec{F} - \frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{1}{\rho} \nabla \cdot \tau \quad (2)$$

某粒徑懸浮載之質量守恆方程式

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \nabla \cdot (C\vec{v}) = -\frac{1}{\rho_s} \nabla \cdot \vec{q} \quad (3)$$

某粒徑於作用層內之質量守恆方程式

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

整體河床輸砂之質量守恆方程式

$$\rho_s(1-p) \frac{\partial z_b}{\partial t} + \sum (\nabla \cdot \vec{q}_b + S) = 0 \quad (5)$$

上式諸式中， \vec{v} ：速度向量； t ：時間； \vec{F} ：徹體力； P ：壓力； τ ：剪應力張量； C ：懸浮質濃度； $\nabla \cdot \vec{q}$ ：包含擴散通量及重力作用下之通量； ρ_s ：泥砂密度； s ：某一粒徑之百分比； E_m ：作用層厚度； $\nabla \cdot \vec{q}_b$ ：某一粒徑之河床載通量； S ：懸浮載源； S_f ：作用層源； z_b ：河床高程； p ：孔隙率。(1)-(5)式中所使用的輔助方程式請參閱本研究第二年之成果報告。

4.2 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)，延散步驟求解動量方程式中移流項及剪應力項，並應用控制體積法離散化控制方程式，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 方法求解水深變量與流速變量。輸砂控制方程則採用非結合演算方法，利用控制體積法差分後，再利用 ADI 方法求解。

4.3 結果與討論

本部份測試分析將著重於在輸砂沉澱具有凝聚性沉澱的情況下，利用非凝聚性沉澱模式與凝聚性沉澱模式模擬結果的差異，以說明發展凝聚性沉澱模式的必要性。根據資料顯示，阿公店水庫集水區土壤 80% 為具凝聚性特性的粉土與黏土，所以本研究採用阿公店水庫的兩個主要支流，濁水溪與旺萊溪河道作為模擬的對象，以探討上游入砂能到達下游排洪道出口的入庫泥砂到達率分析。

濁水溪與旺萊溪幾何區域請參考本研究第一年報告所示。上游總日入流量分別採用 188,000 m³、600,000 m³、900,000 m³、4,320,000 m³、7,776,000 m³ 五種入流案例(其中濁水溪佔總入流量 47%，旺萊溪佔 53%)。兩河道下游邊界條件設定為模擬流量的正

常水深，曼寧摩擦係數採用 0.03。集水區的沉澱主要可分為細砂（代表粒徑 0.172 mm）、粉土（代表粒徑 0.02738 mm）、黏土（代表粒徑 0.003873 mm），其所佔的比例分別為 17.5%、14.5%、68%。含砂濃度則是以民國 65 年至 70 年間的總淤積量除以總入流量所得的平均濃度為基礎，依據阿公店水庫管理局 87 年之現場量測資料，按比例分配至濁水溪與旺萊溪(現場量得濁水溪與旺萊溪表層水流含砂濃度約為 10:1)。凝聚性沉澱模式中，臨界沉降剪應力(critical shear stresses for deposition) τ_{cd} 採用 Krone(1962)之建議值為 $\tau_{cd} = 0.06$ N/m²；臨界沖刷剪應力(critical shear stresses for erosion) τ_{ce} 採用 Teisson(1991)對長時間壓密(consolidation)凝聚性沉澱的建議值為 $\tau_{ce} = 1.1089$ N/m²。根據經濟部南區水資源局(1999)的研究顯示，日總入流量小於 900,000 m³ 時，所有的細砂沉澱均會落淤於河道中，為更具體觀察凝聚性沉澱的運移行為，所以本研究在日總入流量小於 900,000 m³ 的案例時，僅採用具有凝聚性的粉土與黏土。

表 1、2 為非凝聚性沉澱與凝聚性沉澱模式之模擬結果，比對兩模式泥砂到達率的模擬結果，在濁水溪部分差異較小，但在旺萊溪部分則會有很大差異，其主要的的原因在於其沉澱傳輸機制的不同。非凝聚沉澱的沈澱機制是以沉澱的沉降速度(即水流剪應力)控制，所以任何顆粒大小的沉澱因重力效應一定具有沉降速度，即一定會產生落淤。凝聚性沉澱的沈澱機制是以臨界沉降剪應力控制，當水流強度小於此臨界剪應力時才會有落淤發生，大於此臨界剪應力就不會發生落淤。因為凝聚性沉澱的粒徑均相當小，所以當以非凝聚性沉澱模式模擬凝聚性沉澱之淤積行為時，其沉降速度會非常小，雖然還是會有落淤發生，但因沉降速度很小（沉澱粒徑很小）的關係，使落淤量不會太大。而在以凝聚性沉澱模式模擬時，除非水在接近靜止的情況下，否則水流條件幾乎都會大於臨界沉降剪應力，即不會有太多落淤發生。所以在淤積案例中，以非凝聚性沉澱模式計算的泥砂到達率會比凝聚性沉澱模式低估現象，但兩種模式模擬的結果差異

實際上並不會太大。濁水溪河道均為底床淤積或接近平衡（不沖不淤）的情況，由模擬結果可驗證上述的結論。

非凝聚沉澱的沖刷機制是以沉澱的起跳速度和水流剪力控制，所以底床沉澱顆粒粒徑愈小，使底床沉澱起跳所需的水流力量就愈小，即較容易造成沖刷現象。凝聚性沉澱的沖刷機制是以臨界沖刷剪應力控制，當水流強度大於此臨界剪應力時會造成底床沖刷。因為凝聚性沉澱的粒徑均相當小，所以當以非凝聚性沉澱模式模擬凝聚性沉澱底床之沖刷時，沉澱很容易就被水流沖刷帶起而懸浮，其沖刷量將會相當大。因凝聚性沉澱具有壓密特性，使沉澱落淤於底床愈久，因壓密作用而使臨界沖刷剪應力愈大，愈不利造成底床沖刷，所以當以凝聚性沉澱模式模擬時，沖刷現象將會受到限制。所以在沖刷案例中，以非凝聚性沉澱模式計算的泥砂到達率會比凝聚性沉澱模式有高估的現象，此高估差異並會隨著入流量變大（水流剪應力變大）而加劇，且但兩種模式模擬的結果差異實際上會蠻大的。旺萊溪河道模擬案例中，因其河寬較小，使河道之流速加劇，水流剪應力變大而造成底床沖刷的現象，由模擬結果可驗證上述的結論。

表 1 較小入流入庫泥砂能到達溢洪管比率表

溪名	模 式	到 達 率	日流量(10 ³ m ³)		
			188	600	900
濁水溪	非 凝 聚 性	黏土坩土沉澱	82.15%	94.46%	96.63%
		總到達率	67.77%	77.93%	79.72%
	凝 聚 性	黏土坩土沉澱	96.97%	99.39%	99.73%
		總到達率	80.00%	82.00%	82.27%
旺萊溪	非 凝 聚 性	黏土坩土沉澱	116.00%	127.36%	160.40%
		總到達率	95.46%	105.07%	132.33%
	凝 聚 性	黏土坩土沉澱	97.00%	100.22%	102.22%
		總到達率	80.42%	82.68%	84.33%

表 2 較大入流入庫泥砂能到達溢洪管比率表

溪 名	模 式	日 流 量(m ³)	
		4,320,000	7,776,000
濁水溪	非凝聚性沉澱	74.01%	83.51%
	凝聚性沉澱	74.78%	84.02%
旺萊溪	非凝聚性沉澱	145.51%	174.17%
	凝聚性沉澱	79.00%	88.34%

五、計畫成果自評

本計畫及各子計畫第三年之報告內容均能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澱之性質，包含子計畫一及子計畫二，探討凝聚性沉澱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澱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關念，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，其排放凝聚性沉澱對下游河道之影響進行評估，如子計畫七。如此可將凝聚性沉澱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，水利處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。本研究將配合水利處之工程進行，在進行基礎研究之同時，並應水利處工程規劃之需，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] Krone, R. B. (1962), "Flume studies of the transport of sediment in estuarial processes", Final Rep., Hydr. Engrg. Lab. And Sanit. Engrg. Res. Lab., Univ. of California, Berkeley.
- [2] Hsieh, T.Y., Hsu, C.T., Lien, H.C., and Yang, J.C. (2000), "Use of A 2-D Flow Model for Assessing Flood-Control Plans", ICHD2000, pp. 863-868.
- [3] Teisson, C.(1991), "Cohesive Suspended Sediment Transport: Feasibility and Limitations of Numerical Modeling", Journal of Hydraulic Research, ASCE, Vol. 29, No. 6, pp. 755-769