

# 數值分析軟體檢核沉砂池水理設計成果

林 軒 宇

中興工程顧問股份有限公司計畫主任

## 摘 要

為利於水資源或水力發電工程之營運管理，沉砂池為沉降取水含砂量之常用工程措施，一般沉砂池之規劃(或設計)往往採經驗公式進行尺寸之訂定，並據以辦理後續工程布置之用。本研究嘗試以二維水理與輸砂數值模式為工具，可進一步作為沉砂池細部水理之檢討使用，並評估含砂粒逕於池內沉降之區位，有利於沉砂池規劃或設計工作之精進或後續營運管理參考之用。

### 一、前言

水資源或水力發電工程，多自河道引水，經輸水路送至淨水廠或水力電廠，由於天然河道水源多含砂，若引入之水源含砂量過高，恐將有原水處理成本增加、輸水路淤積、發電機組磨損等問題，故於水資源或水力發電工程規劃設計階段，於取水口處或於輸水路適當位置設置沉砂池，為常採用於減少水流含砂量之工程措施。

沉砂池之水理設計理念係於沉砂池內，藉由通水寬度(或水深)增加、減低輸水單寬流量與流速，藉此讓一定規模之含砂粒徑沉降於沉砂池內，故於沉砂池末端銜接輸水路處，可取得經去除目標百分比含砂量之乾淨水流，因此沉砂池之水理設計為沉砂池設施布置之重點。

因此本文擬以海外顧問公司設計之沉砂池為研究案例，先藉由一般水理計算之方法，探討沉砂池設計尺寸之合宜性，並嘗試以數值模擬軟體進一步探討沉砂池內之水理流況，藉以提出一般水理計算公式恐未能直接反應之問題，並提出後續布置優化之改善建議，期本文能供後續相關工程人員於沉砂池規劃設計之參考。

## 二、沉砂池需求探討與水理設計流程

### 1. 沉砂池需求

由於各水資源工程之用水標的與自然環境有所不同，故面對之取水水源則有不同之沉砂目標，一般以沉砂池之處理粒徑為其設計基準所訂定，一般農業灌溉需求之取水可接受之含砂粒徑略高，通常可以 0.3mm 為基準；而一般公共給水或工業取水則有較高標準，通常則取 0.1~0.2mm 為其處理目標；另 0.1mm 以下之粒徑，通常則非屬沉砂池物理沉降條件下能處理之粒徑，則需另外採化學水質處理方式因應，非屬本文探討之沉砂池設計考量標的。

除處理粒徑外，處理濁度則為另一沉砂池設計之考量，一般公共給水取水濁度多以 NTU 為單位，而一般河川輸砂慣用之探討單位則為含砂濃度(ppm)為單位，然而兩者單位屬同一次方，許等人(2007)研究石門水庫濁度與濃度之關係，濃度約為濁度值乘上 1.19，且由採樣資料可見兩單位為高度正相關( $R^2=0.87$ )。由於各淨水廠水質處理設施有別，可處理之濁度亦有所不同，以臺北自來水事業處之原水取水 SOP 即敘明：「原水濁度 6,000NTU 以下，正常取水；介於 6,000~12,000NTU 之間，減量取水；12,000NTU 以上，停止取水」。故探究沉砂池需求時亦須釐清後續輸水路可容許之濁度/濃度限制條件為何。

### 2. 水理設計流程

水理設計分析流程如圖 1 所示，主要項目說明如下：

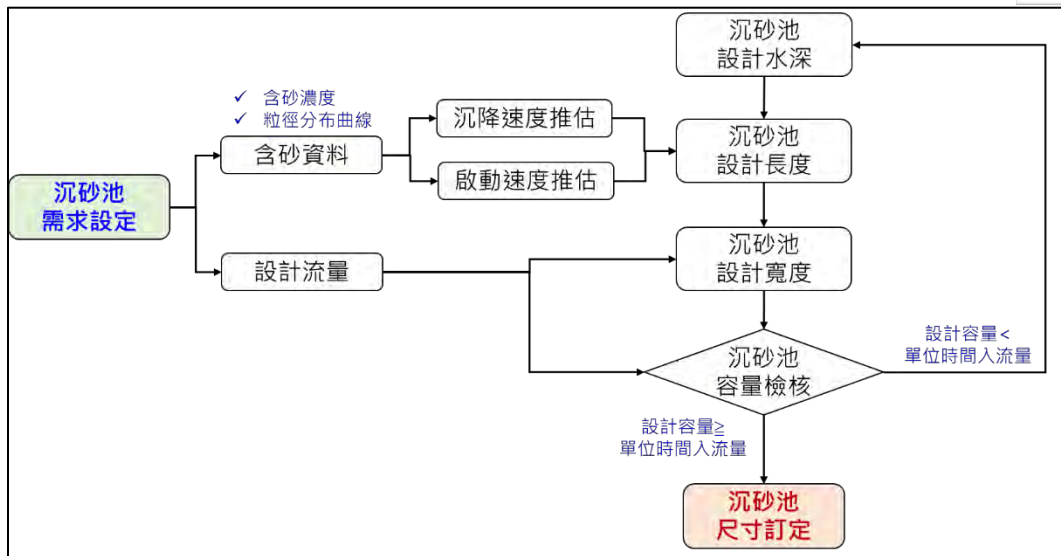


圖 1 水理設計流程圖

- (1) 含砂資料：依據選定之沉降粒徑尺寸與粒徑分布曲線，可得知大於該一粒徑之百分比，即可用於估算泥砂可去除率。另由含砂濃度則可推估單位時間下沉砂池淤積體積，可作為後續沉砂池清淤或排砂之參考。
- (2) 設計流量：依據取水量目標設定，若需取水操作時一併排砂則需加計排砂設計流量。
- (3) 沉降速度( $V_z$ )推估：依據目標粒徑尺寸，推估粒徑之沉降速度，如圖2所示。

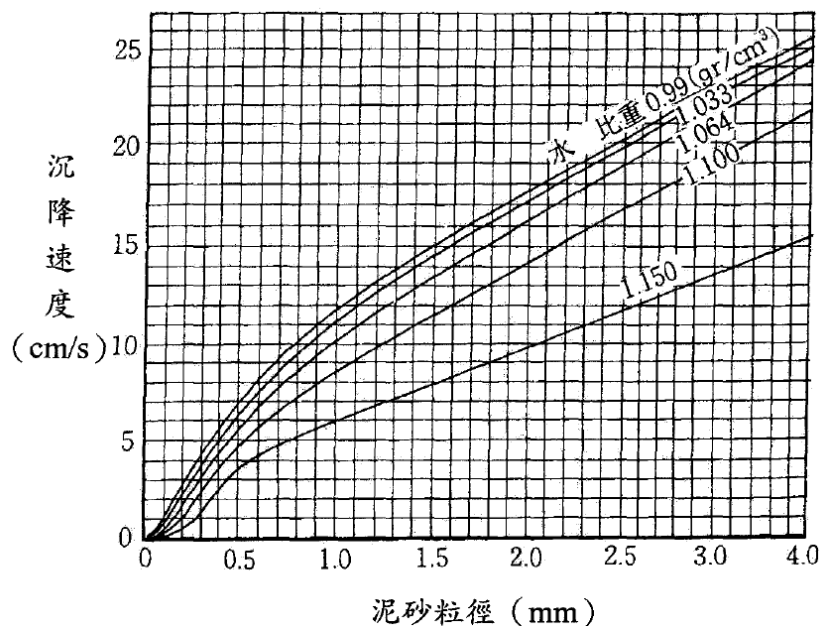


圖 2 泥砂粒徑與沉降速度關係圖(日本農林水產省，1988)

- (4) 啟動流速( $V_x$ )推估：一般沉砂池內流速建議小於0.25m/s以下，另可依據沉降粒徑尺寸估算啟動流速，公式如下：

$$V_x = a \times \sqrt{D}, a = 51 \text{ for } D < 0.1$$

$$a = 44 \text{ for } 0.1 \leq D < 1.0$$

$$a = 36 \text{ for } 1.0 \leq D$$

其中， $V_x$  為啟動流速(cm/s)； $D$  為粒徑尺寸(mm)

- (5) 沉砂池長度( $L$ )估算：沉砂池長度需大於粒徑沉降過程之移動距離，公式如下：

$$L = V_x \times \frac{h}{V_z}$$

其中， $h$  為沉砂池水深(m)

- (6) 沉砂池寬度( $B$ )估算：沉砂池寬度則可依據設計流量與前述設計條件估算，公式如下：

$$L = V_x \times \frac{h}{V_z}$$

其中， $Q$  為設計流量(cms)； $V_x$  為啟動流速(m/s)；

### 三、研究案例

#### 1. 案例簡介

茲以國外顧問公司之沉砂池設計為研究案例，該一計畫係設置矮堰引河川水源進行川流式水力發電，由於引水處河道狹窄，且兩岸為陡峭之山壁，取水口處無腹地設置沉砂池，故於第一段輸水路末段另尋可施做之位置設置沉砂池。

故整體水路系統示意圖如圖 3 所示，沉砂池係設置於兩段輸水路間，沉砂池上游以渡槽與引水渠道相接，沉砂池下游則匯入倒虹吸工繼續往輸水路 B 輸送至水力電廠。沉砂池布置之平面圖與縱面圖則如圖 4 所示。

#### 2. 水理計算檢核

- (1) 含砂資料：本計畫選取0.2mm為沉降粒徑，對照採樣資料大於該一粒徑之土砂

約85%。

- (2) 設計流量：取滿載發電流量21.42cms為設計流量。
- (3) 沉降速度( $V_z$ )推估：由圖2，可查圖沉降速度約2.8cm/s。
- (4) 啟動流速( $V_x$ )推估：由公式可得，啟動流速約20cm/s。
- (5) 沉砂池長度(L)估算：本沉砂池設計水深6.7m，由公式可得，沉砂池長度約48m( $=20 \times 6.7 / 2.8$ )，本沉砂池設計長度為70m，大於所需長度，OK。
- (6) 沉砂池寬度(B)估算：由公式可得，沉砂池寬度約16m( $=21.42 / 0.2 / 6.7$ )，本沉砂池設計寬度為26m，大於所需寬度，OK。

依本計畫之含砂資料、設計流量，採常見之水理計算公式檢核本沉砂池之設計成果，其沉砂池設計尺寸(深度、長度、寬度)大於檢算公式估算之尺寸，因此尚符一般認知之沉砂池水力需求。為進一步確認其沉砂池內水力分布情形，本研究進一步採數值分析軟體模擬沉砂池內水力情形，以檢核各項設計條件是否仍符合該一需求。

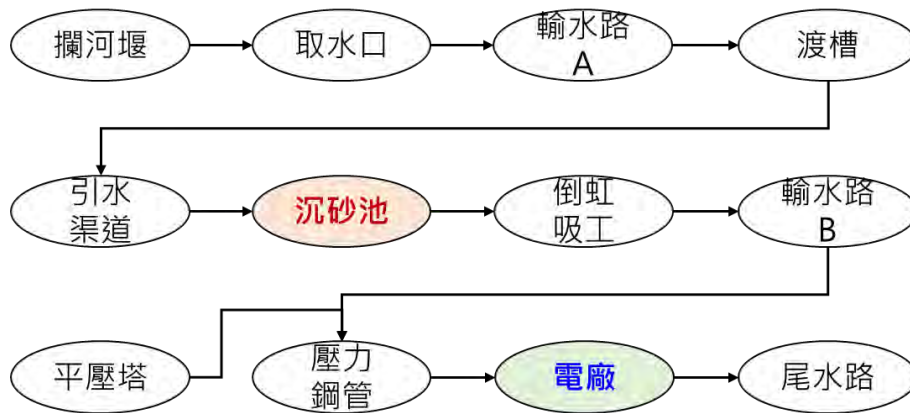
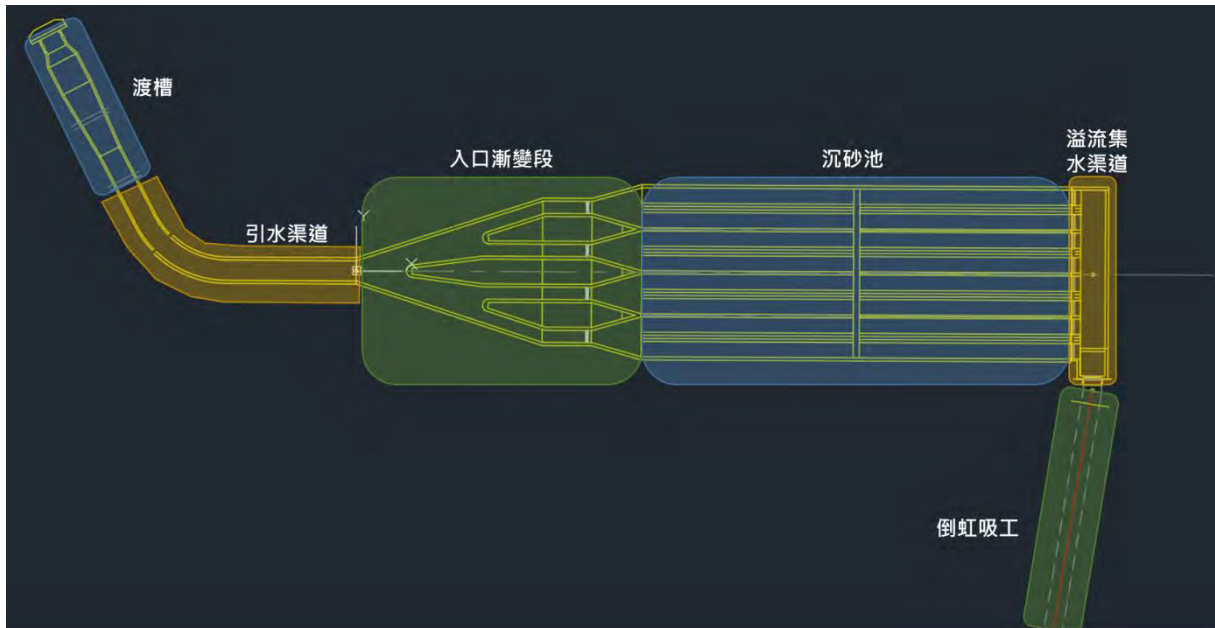
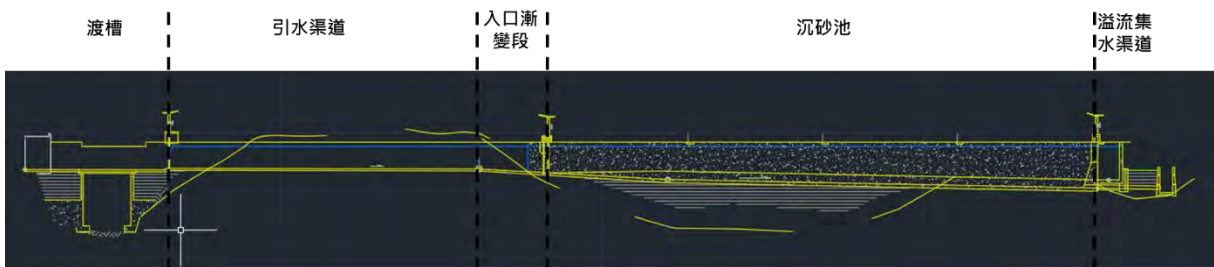


圖 3 輸水路系統示意圖



(a) 平面圖



(b) 縱面圖

圖 4 沉砂池布置圖

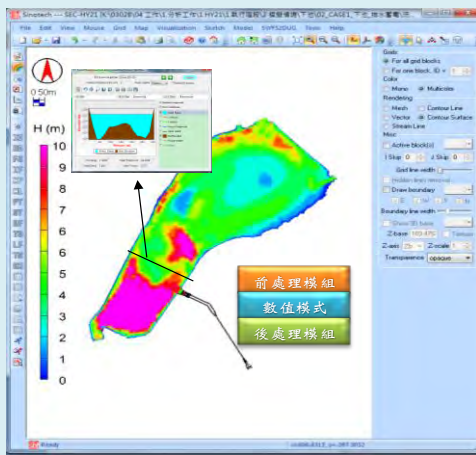
#### 四、數值分析軟體

##### 1. 模式簡介

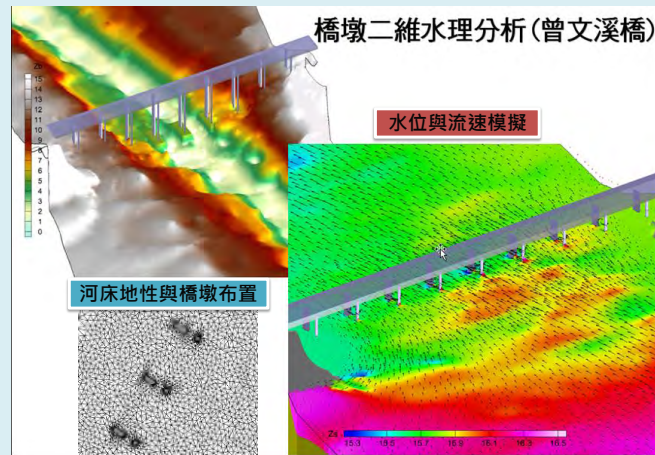
本研究採中興工程顧問社研發之泛用型二維地表水分析軟體 SEC-HY21，採用二維淺水波方程組作為控制方程式。SEC-HY21 可模擬輸砂演算，模式中提供多達10種河床質載及12種河床載公式，具有推移載或總載傳輸(Bed load or bed material load transport)、懸浮載傳輸(Suspended load transport)以及推

移載及懸浮載分開計算方式(Bed load and suspended load separately)之選項。SEC-HY21 歷經長期驗證，累積眾多應用實例，包含於水利署、水保局、運研所與台灣電力公司等政府單位與民間單位相關計畫中，皆有良好之成果及評價。

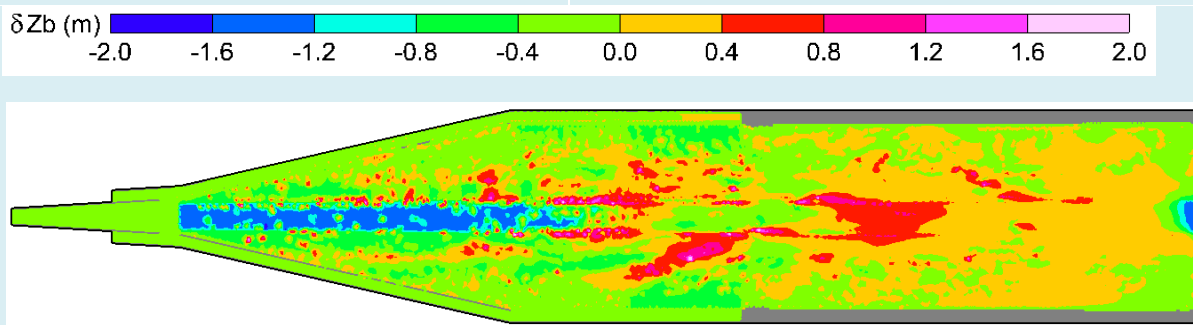
SEC-HY21 包含三個模組：前處理模組可建立網格、底床數據、輸入與輸出視覺化設定；通用二維水理模組包含定床水理模組、污染質傳輸模組、輸砂與動床模組、土石流動與沖淤模組；後處理模組包含輸出數據分析、電腦繪圖、流場視覺化等，其操作界面及水理輸砂分析案例如圖 5 所示。



(a) SEC-HY21 圖形操作介面



(b) SEC-HY21 水理分析案例



(c) SEC-HY21 應用於石門水庫阿姆坪沖淤池沖刷模擬

圖 5 模式操作及水理輸砂分析案例示意圖

## 2. 模式設定

- (1) 網格建置：依據設計平面圖建置分析範圍、設計縱面圖設置高程，本研究建置之二維數值網格建置成果如圖6所示，採非結構化網格、網格尺寸以面積不大於0.4m<sup>2</sup>設定，總網格數12,141。
- (2) 邊界條件：上游邊界依設計流量21.42cms輸入；下游邊界則取倒虹吸工入流前之設計水位EL.524.19m輸入。
- (3) 含砂條件：入流含砂濃度依採樣資料採150ppm輸入；含砂粒徑則簡化為單一粒徑，採0.2mm。
- (4) 模擬時間：採86,400秒。

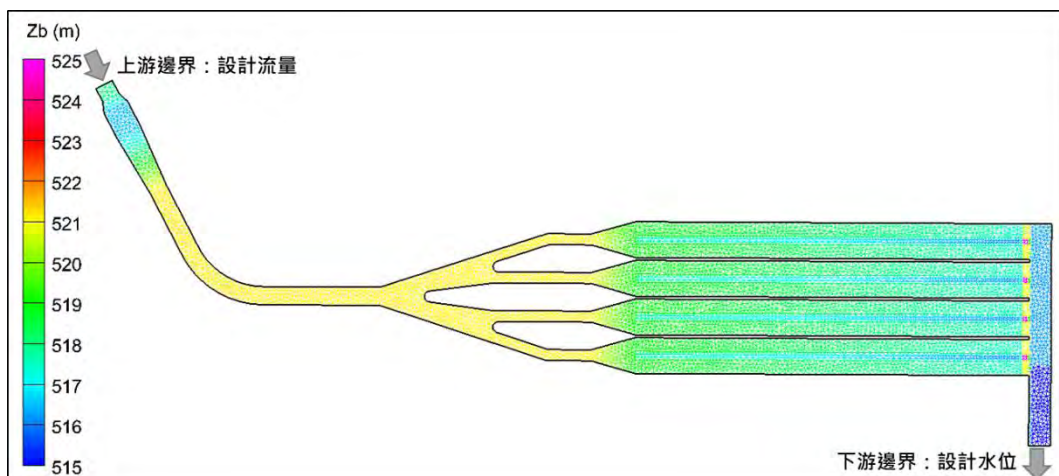


圖 6 二維數值網格建置成果

## 3. 分析結果

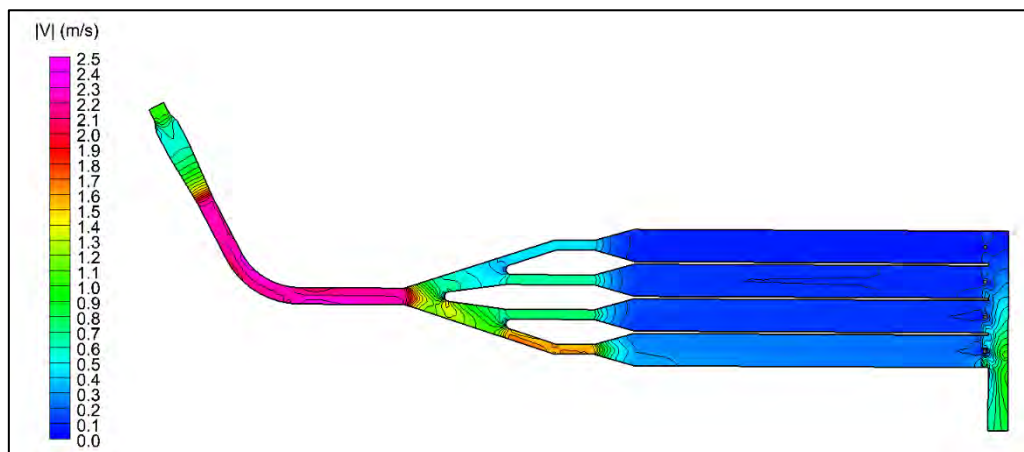
二維分析之流速與水位分布圖如圖 7 所示，由模擬結果可見於沉砂池內流速以最右邊一道流速明顯大於其他三道，未如預期之各道沉砂池流速相近，流量亦以最右邊一道為最大，流量達 9cms，佔設計流量之四成。

進一步檢視原因係因下游邊界之設計水位(EL.524.19m)遠高於沉砂池末端溢流堰高程(EL.521.00m)，故於溢流堰處非堰流跌落集水渠道，未產生一控制斷面，反而受到下游倒虹吸工入口水位回水影響，且集水渠道輸水方向與沉砂池

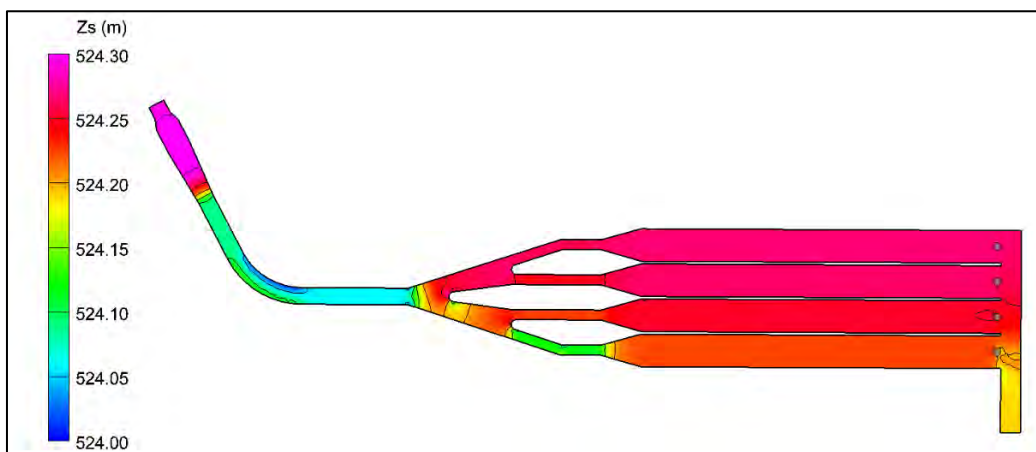


流路方向垂直，故於沉砂池內水理分布以最端路徑為能量坡降最低之流路，故水流集中於與下游輸水路最近之右側沉砂渠道。

沉砂池含砂濃度與淤積分布分布圖如圖 8 所示，由含砂濃度可見於沉砂池上游渠段(渡槽、引水渠道、漸變段)，因流速均大於泥砂啟動流速，故於上游渠段未有泥砂沉降落淤，故含砂濃度均維持於 150ppm。而水流流入沉砂池後、隨寬度、水深增加，流速減緩，故含砂粒徑隨之沉降，故於左側之三道沉砂渠道末端，含砂濃度已趨近於 0，顯示可達沉砂之效果。惟右側之沉砂渠道受流量與流速較高，於末端含砂濃度約 10ppm，故仍有一定比例之泥砂輸送至下游水路，沉砂效果未達預期。整體來看，沉砂池內落淤之土砂量約  $13\text{m}^3$ ，相當於一日輸水路來砂量( $277\text{m}^3$ )的  $4.7\%(=13/277)$ ，因此沉砂池之設置仍有其功效。

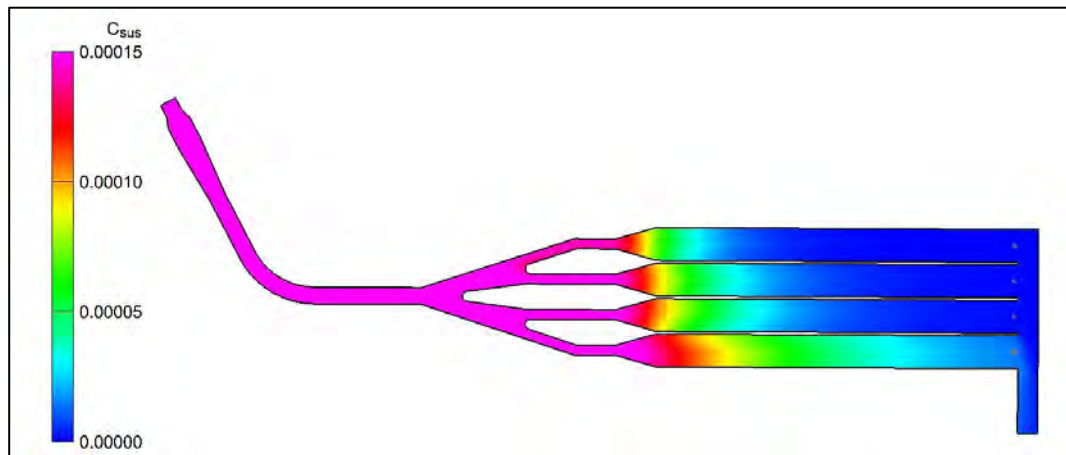


(a) 流速

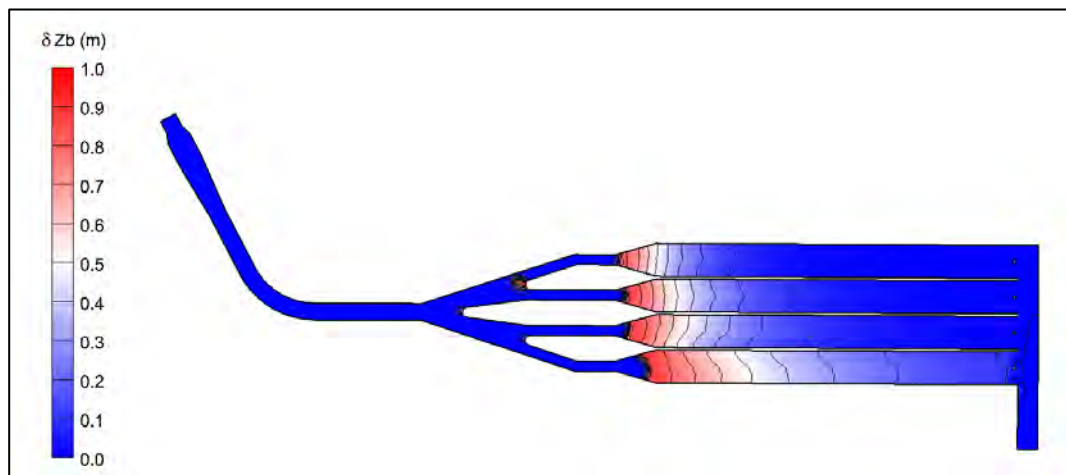


(b) 水位

圖 7 沉砂池水理(流速與水位)分布圖



(a) 含砂濃度



(b) 淤積深度

圖 8 沉砂池輸砂(含砂濃度與淤積)分布圖

#### 4. 優化建議

本研究案例以數值分析軟體進行二維水理與輸砂模擬，針對以下各議題提供可能優化之建議，分述如下：

- (1) 水理控制條件：由於研究案例之沉砂池末端溢流堰高程，似未考量與集水渠道設計水位之銜接，溢流堰之設置形同一潛堰，導致於該處未產生堰流控制斷面，故水流集中於鄰近倒虹吸工之右岸沉砂渠道，流速亦高於原預期各道流量平均分配下之流速，導致含砂量落淤亦集中於右道，雖一日之

模擬尚不致使得多數含砂淤積翻過末端溢流堰，但長時間下將會使右道沉砂池隨淤積物累積而底床抬高，進而導致該道設計水深減少、流速進一步提升、沉降效率更為降低，故此一水理設計應有所調整，使得沉砂流量與流速更為平均，提升沉砂池之整體因砂功能。

- (2) 水路整體檢討：惟水理之控制非單一設施局部調整即可，舉例來說在倒虹吸工入口前水位不變的前提下，若要確保沉砂池末端為堰流控制，則需抬高溢流堰高程，然而沉砂池內設計水深增加將導致沉砂路徑增長，沉砂池長度則需相應加長，因此沉砂池上游之渠道亦需重新調整布置，故水路應整體重新檢討，確保各段輸水路可同時滿足水理需求與工程布設之可行性。

## 五、結語

本研究以實務工程之案例為標的，分別嘗試採水理計算與二維數值分析軟體於沉砂池工程布置檢討，針對研究之成果有以下想法：

- (1) 水理計算之適用性：水理計算公式係基於物理特性、水工試驗等條件訂定可用於估算之計算公式或圖表，可做為工程布置時之參考依據，惟使用者往往未能瞭解計算公式或圖表使用上之限制條件，故設計成果恐未如預期之成效。以本研究案例，主要之水理關鍵即沉砂池末段溢流堰處未成為流況之控制斷面，故導致流量、流速分配未如預期。因此若工程師能有良好之水理觀念，則相關水理計算公式仍有其適用性。
- (2) 數值分析軟體優劣：採數值軟體進行案例分析時，可進一步檢視整體水路水理流況，往往會發現原未預期之現象發生；另輸砂評估部分，傳統水理計算公式僅能做到定性之評估，例如判斷砂的落淤與否，然而淤積之量體，隨時間變化之淤積型態等則恐未能採一般計算公式估算，因此數值分析軟體為一有效輔助工程設計之工具。惟數值軟體建置與模擬相較計算公式耗時，因此若未能有專業知識為基準進行布置，而逕行採數值軟體進行分析(或試誤)則恐過於耗時、無法滿足一般設計工作之時程需求。水理計算與數值分析軟體之優劣比較如下：

項目	水理計算	數值分析
功用	設施布置參考基準	設施細部模擬與檢核
水理分析	各別設施估算 定量流分析	全域計算 定量或變量流分析皆可
輸砂分析	定性	定量(但仍有其不確定性)
效率	快	耗時
使用難易	易(但須配合使用者專業判斷)	中(操作上手需經驗)

(3) 未來研究課題：針對本研究案例數值分析，未來仍有部分課題可進一步測試，以探討更多實務操作可能面對之課題，分述如下。

- A. 含砂粒徑：本研究採單一粒徑進行數值模擬，未來可配合懸浮值採樣成果，依其粒徑大小與比例設定之，例如區分為細粒徑、中粒徑、粗粒徑三組砂探討，可瞭解各砂粒運移與落淤之情形。
- B. 底床變化：本研究係針對設計圖面給定設施高程，然而隨取水操作與沉砂變化，沉砂池池底高程將隨之抬升，因此可針對取水操作若干時間後底床之可能淤積高程修正底床，已檢視泥砂落淤於沉砂池後，因砂效用變化情形。
- C. 排砂閘門效用評估：沉砂池內設有排砂溝，並於下游處以排砂閘門與排砂道相連，未來可進一步針對池內淤積物進行排砂模擬，可做為未來排砂操作規則訂定之參考。

## 六、參考文獻

1. 朱鏡清，(2009)，「進水口及沉砂池之設計」，水利會訊，第 12 期，第 1-27 頁。
2. 許盈松、蔡俊鋒、魏綺瑪、黃宏莆，(2007)，「水庫泥沙濁度與濃度率定關係研究—以石門水庫為例」，第 53 卷(1)，第 62-71 頁。
3. 日本農林水產省，(1988)，「土地改良事業計畫設計基準-設計頭首工」。
4. Helmut Lauterjung, Gangolf Schmidt, (1989), Planning of Water intake structures for irrigation or hydropower, ISBN 3-528-02042-3.

投稿 112.05.01  
校稿 112.05.11  
定稿 112.05.19