

德基水庫淤積模擬之研究

謝平城⁽¹⁾ 廖昌毅⁽²⁾ 梁家柱^{(3)*}

摘要

德基水庫為臺灣水力發電體系中相當重要的一站，本水庫除增進全國發電系統的效率外，另還有調節水量、灌溉、給水及休閒遊憩等經濟效益。但歷經數年使用，水庫常見問題逐漸浮現，本研究即以此為例進行探討。首先，收集水庫集水區各支流歷年淤積情形，並找出縱橫斷面之淤積量變化，探討其底床改變對水庫壽命之影響。本研究主要採用兩種模式模擬懸浮載的運移及底床高程的變化，其中 NETSTARS 模式主要用於模擬底床高程變化，其結果顯示淤積主要由主流上游開始向下游淤積，到民國 156 年時，約一半的庫區幾近淤滿。另外 CFX 11 模擬懸浮載移動過程所得到結果則顯示面對洪峰後所帶入庫區的大量懸浮載，水庫相關水工設施並無法有效排淤，且於庫底緩慢沉降，此現象值得水庫管理單位注意。

(**關鍵詞**：德基水庫、懸浮載、水庫淤砂、CFX11、NETSTARS)

Study on the Sedimentation Simulation for Deji Reservoir

Ping-Cheng Hsieh⁽¹⁾, Chang-I Liao⁽²⁾, Ka-Chu Leung^{(3)}*

Professor⁽¹⁾, Graduate student⁽²⁾, Doctoral Graduate student⁽³⁾, Department of Soil and Water Conservation, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

Abstract

Deji Reservoir is one of the important hydraulic power stations in Taiwan. It enhances the efficiency of power and offers irrigation, water supply and recreation. For many years, the reservoir has more management problems after operating. In this research, we discuss reservoir of sedimentation and simulate the sediment distribution after typhoon events. At first, reservoir-bed survey data must be collected for the analysis of sedimentation change to discuss the lift of reservoir. And then, two models NETSTARS and CFX11 are used to simulate suspended load and elevation change in riverbed. The result indicates half capacity of reservoir will have silted up in 2067. In addition, CFX 11 model displays more suspended load with flood peak and typhoon because the reservoir design do not discharge the bottom of silt. The administration should be cautious of this

(1) 國立中興大學水土保持學系教授

(2) 國立中興大學水土保持學系碩士班研究生

(3) 國立中興大學水土保持學系博士班研究生*通訊作者 E-mail : kachu87@hotmail.com

problem.

(key words: Deji reservoir, suspended load, reservoir silting, CFX11, NETSTARS)

前言

德基水庫位於大甲溪上游，集水區橫跨台中、宜蘭、花蓮、南投等四縣，管理單位為台灣電力公司。水庫興建於 1970 年，原有設計有效蓄水量為 18,300 萬立方公尺，滿水位水域面積為 5.45 平方公里，迴水區上迄梨山面積達 14 公里。其地層主要以第三紀亞變質泥質岩層並可略分為中新世廬山層和始新世新高層。水系主要來自大甲溪，源自於雪山與南湖大山之間並且有南湖溪、合歡溪、七家灣溪與佳陽溪等支流(陳樹群等，1999)。

德基水庫歷經三十多年的使用，加上因大壩建成後水壓增大造成邊坡穩定度下降，而使崩塌面積增加。期間淤砂量雖因防砂壩發揮功用使得淤積速率下降，但民國八十八年後，921 地震造成地層鬆動，加上近幾年數個較大降雨的颱風，使德基水庫淤積量快速增加，其中靠近主壩旁之必坦溪上游邊坡不穩定造成土砂不斷滑落，直接影響水庫結構安全(陳昶憲等，2007)。

本區主要淤積來源大致可略分為降雨、地質與土壤、地形因素、道路開闢、土地利用、地震、崩塌等因素影響。因地表土壤有崩積土、沖積土、紅壤、黃壤等，結構鬆散易碎，極易受雨水打擊而分離(建磊工程顧問有限公司，2007)，且每次颱風暴雨過後集水區即遭受異常沖蝕，大量表土隨雨水流至河谷。民國於 93 年七二水災後水保局之崩塌地調查結果，於德基水庫集水區範圍內之崩塌

地面積約為 837.04 公頃，大部份之崩塌地集中於雪山、大劍山、佳陽山、南湖大山及中央尖山等地勢陡峭處，此亦為庫區淤積之主要土砂來源，而德委會、水保局、林務局及公路局等單位亦在集水區內設置相關防砂工程，減少土砂崩落，成效顯著。除大顆粒土砂會流入庫區外，較小之沉泥、黏土、極細砂等細顆粒亦會隨著降雨流入庫區，但由於細顆粒之沖蝕多發生在土質鬆動區，在工程處理上難以全面控制，故亦成為德基水庫主要之淤積來源。

德基水庫主要淤積型態大致可分為四種類型，分別為三角洲淤積、錐體淤積、帶狀淤積及進水口周圍淤積(此類大多發生於離槽水庫)。其中台灣多數以高水位方式運轉之水庫大多呈三角洲淤積(連惠邦等，2005)；三角洲淤積之縱剖面分為尾部段、頂坡段、前坡段及壩前淤積段四個區段：尾部段位於庫區迴水尾端，入庫水流受壅水形響。流速降低，推移質先行淤落，泥砂顆粒分送現象明顯。頂坡段接自尾部段，水流呈較為均勻之流況，所挾泥砂以細顆粒為主，含砂濃度呈飽和狀態，淤落量不大。頂坡段以下為前坡段，因斷面變大，流速驟減，挾砂能力急劇降低，泥砂大量淤落，導致三角洲往前推進(建磊工程顧問有限公司，2007)。

沖洗載沉泥、黏土、極細砂等細粒沉滓，沖洗載運輸過程中基本上不會沉澱於河床，大多沉澱於湖泊、水庫及海域淤積之主要來源。依據沉滓顆粒在水流中之運動力學機制則可分底床載及懸浮載，兩者之合即為總沉

滓載，也等於沖洗載與底床載之和(白進忠，2003)。

在颱風豪雨時上游集水區挾帶大量泥砂之渾水進入蓄有清水的水庫，當水庫上游來砂為粉土及黏土時，因粒徑較小，形成異重流發生條件之一(賴進松等，2004)，加上與水庫清水兩者比重上之差異，渾水潛入清水下沿庫底向前運行此即為水庫異重流，而本篇報告將分別以 CFX11 研究異重流行進速度及 NETSTARS 探討底床長時間之變化過程對水庫造成影響以提供未來治理規劃決策之參考。

研究方法

樣區介紹

德基水庫於民國 62 年 12 月興建完成時，依推估之年淤積量為 214 萬 m^3 ，水庫壽命可達 113 年(建磊工程顧問有限公司，2007)。其間德委會每隔約 1~3 年測量德基庫容量，因此間隔中只能以平均數字來推判各年的淤積狀況，並依據歷年的測量結果將其匯整成圖 1。

水庫啟用初期由於水庫蓄水造成坡面所承受壓力增加以致穩定度下降，崩塌較多、淤積速度較快。民國 80 年間因水庫集水區治理及各防砂壩發揮效用，使得淤積速率減緩。但民國 88 年 921 地震後，大量的鬆動土石及泥砂淤積於河道，造成日後暴雨時淤積速度快速上升，如民國 93 年敏督利颱風等大型洪水事件，加上聖嬰現象導致全球氣候變遷劇烈(參考中央氣象局網站所提供之「颱風資料庫」)。

另外亦可由歷年測量的報告中得知支流容積量變化情形對庫區之影響，其中晉元溪容積下降速度最快，比 93 年度容積量將近減少了一半；佳陽溪次之，而庫區容積量從 93 年度至 96 年度減少了約 2,550 萬 m^3 ，利用各年度容積量相差得知其淤積量，進而推判泥砂生產之主要來源，相關資料請參見圖 2。

過去淤積情形

本研究比對歷年資料找出縱橫斷面之淤積量差異變化，從橫斷面圖中可以看出，庫區之淤積情形以 20~50m 不等距離處最大，其淤積深度大於 15m，而右岸則呈現沖刷的情形，相關橫斷面變化圖另詳圖 3 (綠色為 94 年斷面線，紅色為 95 年施測，紫色則是 96 年斷面線，圖右方為右岸)。另外在主深槽部分，則有 150~200m 寬的區域，其淤積深度約在 10~15m。

德基水庫排洪門因必坦溪大量土砂下移，直接影響原有排洪功能，故從 94 年開始至 97 年在排洪門附近及必坦溪口進行清淤工作(德基水庫水質管理網頁，2009)，依據大甲溪發電廠提供之資料可得知目前累積清淤量達到 1,704,537 m^3 ，詳見表 1。

德基水庫底床淤積年變化模擬

河川泥砂在運移過程概略可分為底床載及懸浮載，在底床淤積部份採用 NETSTARS 模式模擬；懸浮泥砂的移動情況則採用 CFX 模式 11.0 版來模擬。

底床載模擬

本研究對水庫底床載模擬變化採用 NETSTARS 模式模擬，該模式為台大土木系

李鴻源教授、謝慧民博士等人於民國85年開發完成為V1.0版，之後中興顧問社將模式包裝成SEC-HY11，輸入資料及輸出成果使用視窗介面完成。

本模式為二維沖淤模式可模擬主流、複雜河系、陡坡、緩坡、水躍、定量流及變量流之水理及相對應底床沖淤特性，藉由流管分配進行輸砂演算，可以反應底床橫斷面之不規則變化。

此模式在水理模擬部份分定量流模式、變量流模式與迴水演算三種演算法：

一、定量流模式(Steady-Energy)

係根據一維能量方程式配合節點連續關係差分求解，求得水位及流量值。

二、變量流模式(Unsteady-Momentum)

係根據de Saint Venant之一維渠道變量流連續及動量方程式，再配合節點連續關係差分求解，而求解水位及流量值時主要採用CHARIMA模式的水理理論及解法。

三、迴水演算

係採用GSTARS模式水理部份加入網路節點處理修改而成，具有處理陡坡及水躍的功能，其適用範圍較廣，可用來計算亞臨界流、超臨界流或兩者混合的流況(如水躍)。

因每段時間之流量並不固定，所以每次流管分配的邊界也會有所不同，如此即可模擬橫向底床沖淤變化。輸砂量的計算可分為直接計算總輸砂量及將懸浮載、底床載分開計算後再加總。高懸浮載的河川或不平衡輸砂現象明顯的區域更需使用後者來計算較能符合實際物理現象，本研究即採用懸浮、底

床載分開計算。

輸砂模擬以水理模擬所得的水位、流量配合流管理論分成多個流管，假設所分的每個流管在已知斷面輸水能力均相同，並分別計算輸砂量，再代入輸砂連續方程式中求解每個流管中平均底床沖淤情形。

NETSTARS 的學理及限制

NETSTARS具有分流管執行輸砂演算的功能。流管數目為使用者在輸入時即選定，在計算過程中流管數目應相同。NETSTARS在推移載計算方面，模式內有三個公式可利用，即Meyer-peter & Muller、Van Rijn及Schoklitsch三種，其中Meyer-peter & Muller有參數控制是否計算輸砂量，Van Rijn及Schoklitsch粒徑控制條件則在粒徑超過150mm及粒徑小於0.06mm的輸砂量時均可由起動條件控制，但所得結果誤差也較大。以上公式均為經由實驗或現場資料迴歸而得之經驗式，所以要視案例的粒徑來分組成來判斷選擇此類公式。同時因水力的篩選作用，在不同的時間粒徑組成均不同，因此本模式具有模擬篩選及護甲作用之功能。以下為本案所用到的水理、輸砂基本方程式：

水理計算公式：(能量方程式，有一般水面線及水躍處理數值方法，可以算出各斷面的水位及流量值)。

$$H = y_1 + \alpha_1 \frac{Q_1^2}{2gA_1^2} = y_2 + \alpha_2 \frac{Q_2^2}{2gA_2^2} + h_t \quad (1)$$

其中， h_t ：斷面總能量損失(L)。

H：斷面總能量(L)

y ：水位(L)；

Q ：流量(L^3 / T)；

A ：河道通水橫斷面積(L^2)；

α ：動量修正係數，在此設為1；

g ：重力加速度(L / T^2)；

輸砂計算公式：(輸砂連續方程式，簡單差分及搭配總輸砂量公式，可以算出各斷面的輸砂量及底床變化)

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + (1 - P) \frac{\partial A_d}{\partial t} = q_{sl} \quad (2)$$

A_d ：輸水管內單位長度底床泥砂淤積量
(L^3 / L)；

t ：時間(T)；

x ：沿水流方向之水平座標(L)；

P ：底床孔隙率；

Q_s ：總輸砂量($\frac{ML}{T^3}$)；

q_{sl} ：單位長度側入砂率($\frac{L^2}{T}$)。

在計算過程中濕周的區域乃是可能發生沖淤的範圍，因此在輸入資料時需控制每個斷面最低沖刷高程、寬度及最高淤積高程，以防止意外之沖刷(如底床人造水工結構物)。大部份河川上游邊界入砂量之實測資料甚少，以採用流量、輸砂量率定曲線為最多。下游邊界懸浮載濃度則由濃度梯度或濃度值來控制；下游邊界輸砂量則由輸砂公式計算求得，不需加以控制。模式需檢定的參數有河

道曼寧 n 值、流管數、 ΔT 、上游輸砂量率定曲線、可沖刷層厚度、輸砂公式等。

NETSTARS模式的假設及限制：(謝慧民，2004)

一、對河川蜿蜒橫斷面上因二次流作用造成之泥砂偏向分佈時不適用。

二、對河川垂直向之二次流無法模擬。

三、斷面浸水區假設為動床，所以在每個時距每個流管的浸水區內底床做均勻的沖淤變形，並藉由每個演算時距內重新計算流管邊界來反映不均勻的底床橫向變化。

四、由於總輸砂量公式只適用於輸砂平衡，但為反映懸浮質的運動，本模式將懸浮質運移行為從總輸砂量公式中分離出來，以較合乎懸浮載運動現象之對流擴散方程式來模擬，故可適用於不平衡河段之沖淤模擬。

五、糙度係數的表示可由資料檔輸入設定，也可用河川流量的函數計算代替，或由半經驗式計算求得，在缺乏資料時可先由公式計算其概略值再行檢定或修正。

六、若要求精度高而調小 ΔT 時，所有使用的邊界條件，程式會在歷線資料內自動做線性內插計算。

NETSTARS的計算流程詳見圖4，而本次研究採用96年最新測量地形作為底床沖淤模擬之演算原點，模擬範圍為量測斷面58至量測斷面1，如圖5所示，同時採用Lane、Einstein及Strickler所計算而得之曼寧 n 值(0.02-0.03)。上游入流之邊界條件如圖6，民國62年至96年，年平均淤砂量之入流條件，採用之流管數均為3，可沖刷厚度參數ALT

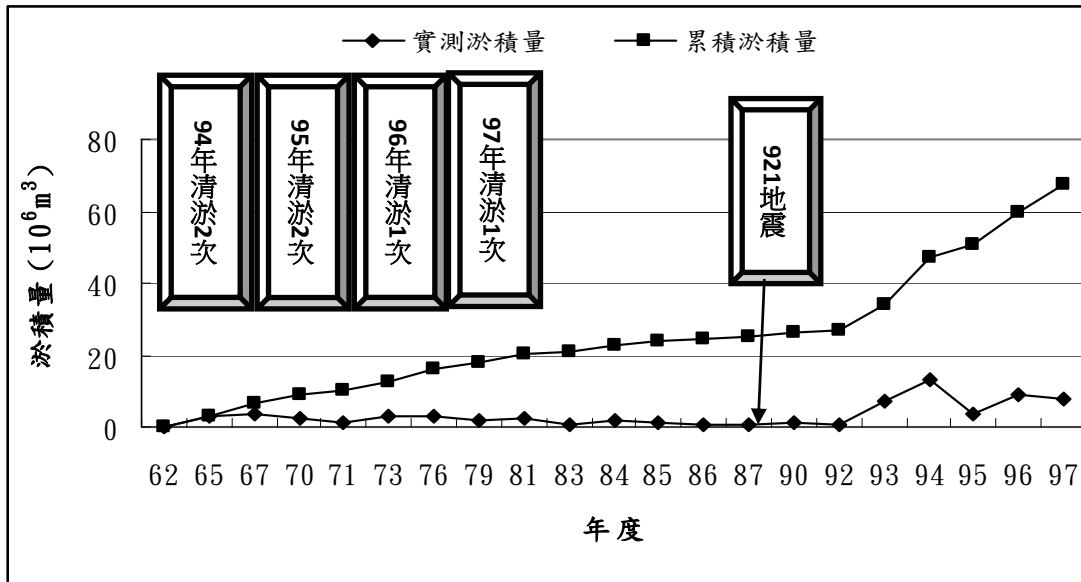


圖 1 德基水庫歷年淤積情形

Figure 1. The change of sedimentation for Deji Reservoir.

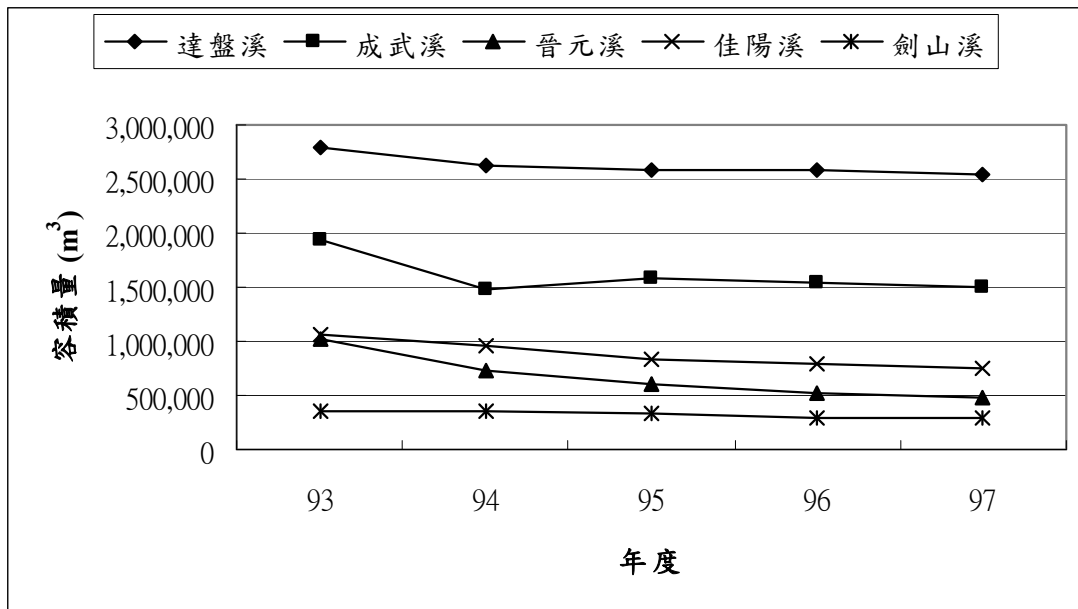
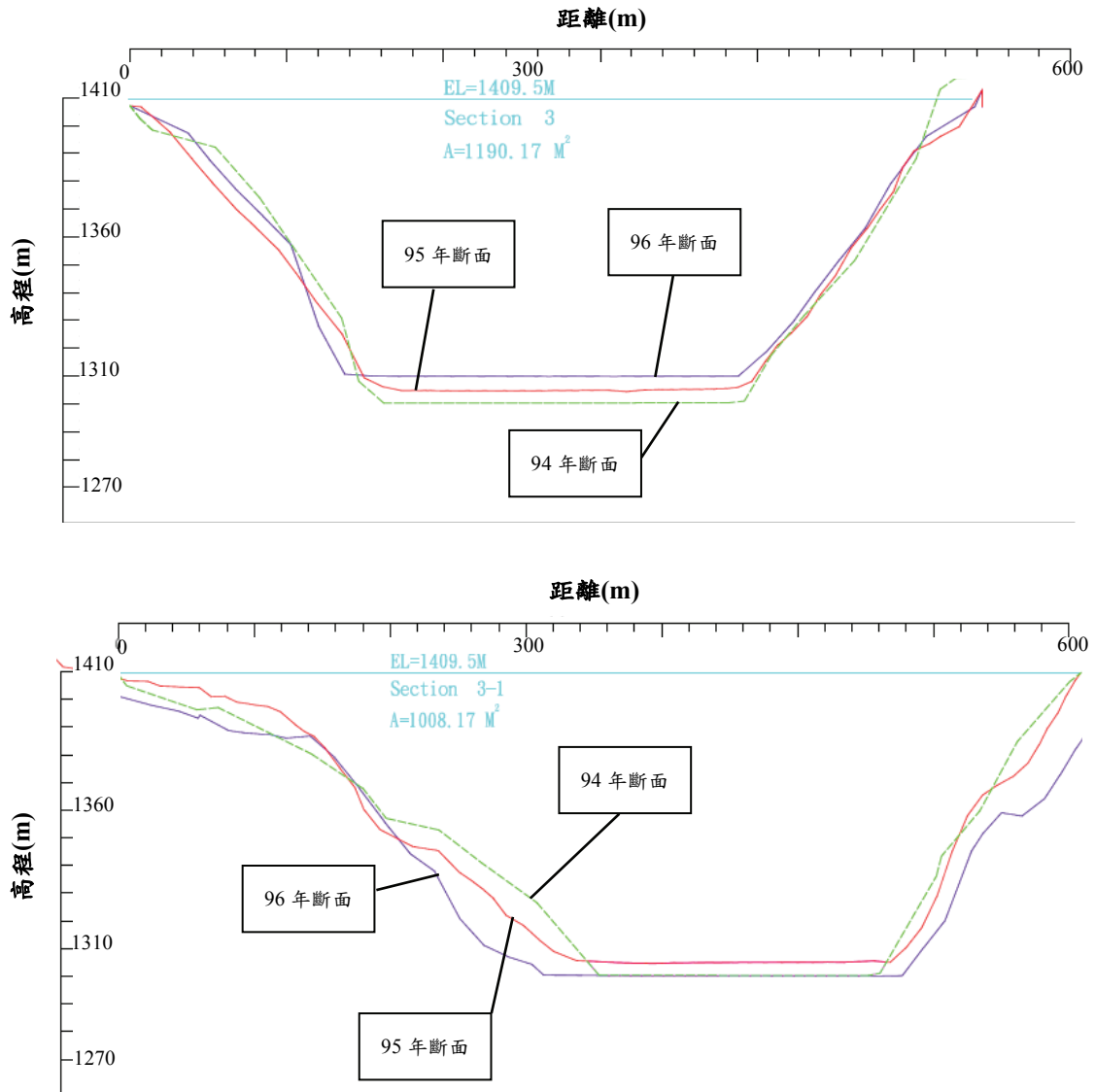


圖2 德基水庫支流容積變化情形

Figure 2. The capacity of each branch in recent years for Deji Reservoir.



來源：台灣電力公司電源開發處

圖3 德基水庫橫斷面3及3-1變化圖

Figure 3. Change of cross sections 3 and 3-1 for Deji reservoir.

給定 1~10 之間以計算可冲刷深度，演算時距 ΔT 為 1 小時，推移載使用 Meyer-Peter & Muller 公式，水理計算方式採用迴水演算。

若簡單地由 96 年剩餘容積除以民國 62 年至 96 年年平均淤砂量，可簡易求得水庫淤

滿剩餘年限約為 68.6 年，因此，總模擬時間採用 60 年(民國 96 年至民國 156 年)，以便推估未來庫區底床年變化情形。模式模擬前首先必須對選定之參數與輸砂公式所推估之淤積量是否符合進行驗證，由本案推估之淤砂量 3,260,866 m^3 /年可知，與原先設定淤積量

3,135,727 m³/年之誤差為 4%，可知所選定之參數值及輸砂公式可符合要求。

最後，依據所得之結果之檔案可依時間點分段後再使用 ArcView 軟體進行畫面展示，這時即可看出底床各區域深度改變，並且照此結果分析德基水庫淤積問題來源。

懸浮載模擬

基本上，由於水庫泥砂運移本身所含流體有液相體(水)與固相體(砂)，且此兩相體需考慮動量之間的交換(如砂的沉降速度受到水的影響)；由於泥砂運移濃度其中一相體(砂)是屬於固態相體(Solid Phase)，具有濃度及顆粒大小之條件，因此應視為延散相體(Disperse Phase)，故可採用連續延散(Continue Disperse Phase)的方式來進行模擬。相反地，若將泥砂運移本身水及砂視為一體，求解單相流體流況，並使用 Algebraic-Slip Model(ASM)的模擬概念，將對流擴散方程式用來求解含微小顆粒水流的流況，此種模式中微小顆粒本身的沉降時間遠小於整個水流的計算時間，假如分散項的體積分率非常小，是不需要利用動量方程式求解顆粒的運

動狀態，而僅需要考慮顆粒的終端速度來求解，因此計算上可縮短許多時間，所以本研究將採取此種方式進行德基水庫懸浮值泥砂運移之模擬，其連續方程式、動量方程式及對流擴散方程式如下所示。

$$\nabla \cdot (u_i) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(u_i) + \nabla \cdot \left(u_i \times u_j + \frac{p}{\rho} \delta_{ij} - \mu (\nabla u_i + (\nabla u_i)^T) \right) = \frac{\Delta \rho}{\rho} g_i \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(c) + \nabla \cdot (c(u_i - \omega)) - \Gamma \nabla c = 0 \quad (5)$$

u_i 、 u_j 為速度分量； p 為壓力；

$\rho = c\rho_s + (1-c)\rho_w$ ； c 為泥砂濃度(質量分率)； ρ_s 為砂子密度； ρ_w 為水的密度； δ_{ij} =

Kronecker Delta； μ 為黏滯度；

表 1 德基水庫歷年及累積清淤量

Table 1. Volume of disposed for reservoir silt.

工程項目	施工期間	清淤量(m ³)	累計清淤量(m ³)
94 年第一期清淤工程	94.05~94.08	109,220	109,220
94 年第二期清淤工程	94.11~94.12	88,607	197,827
95 年第一期清淤工程	95.02~95.06	158,634	356,461
95 年第二期清淤工程	95.07~95.11	226,087	582,548
96 年清淤工程	96.01~96.12	571,989	1,154,537
97 年清淤工程	97.01~97.12	550,000	1,704,537

來源: 台電大甲溪發電廠水保組

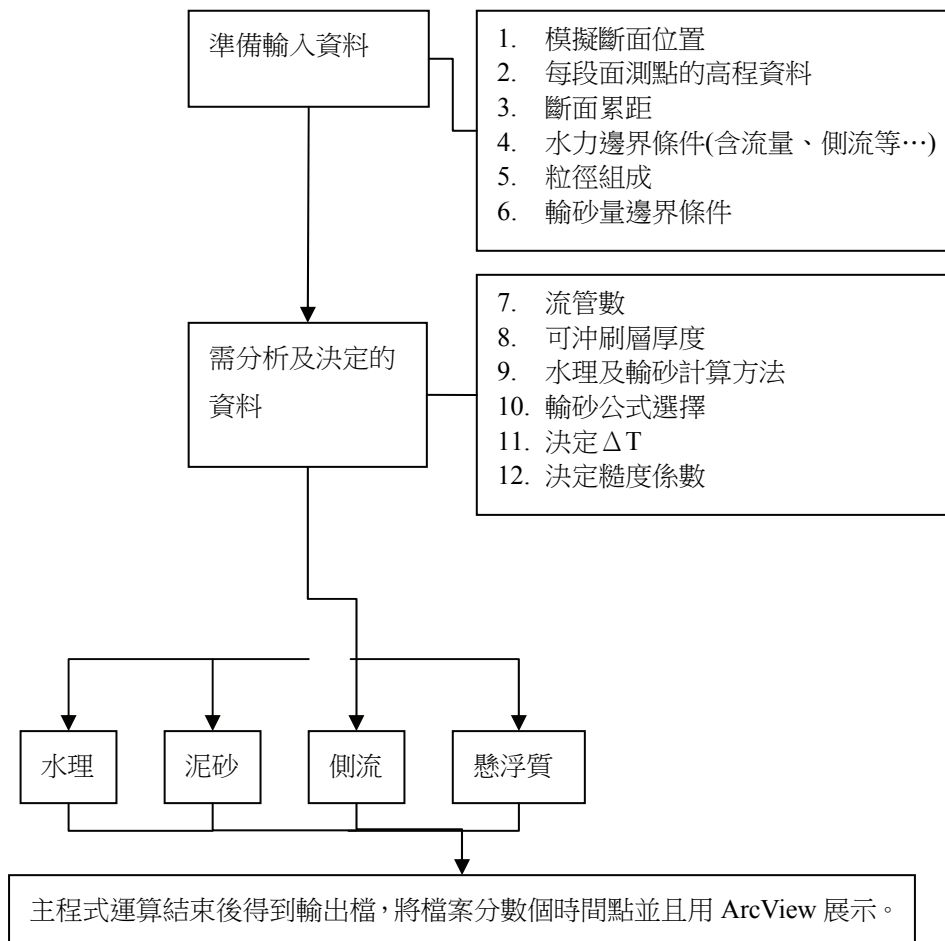


圖 4 NETSTARS 模式計算流程圖

Figure 4. Flow chart of NETSTARS

model $\Delta\rho = (\rho - \rho_w)$ 為密度差； g_i 為重力加速度；

ω 為沉降速度、 Γ 為擴散係數。

CFX 11 泥砂運移數值模式的模擬分析分

為三大部分，即前處理、中處理與後處理。前處理部份目前係採用 ICEN CFD 軟體作為建立幾何、格網之工具，建立幾何可利用座標方式、向量方式以及點、線、面及體方式建立模擬所需幾何，建構功能先由建構點、再由點建構成曲線、由數邊構成面以及

數面自動長成體，再利用區塊及網格曲線化的方式，依照不同區域格網的疏密進行切割與建立。建立面的部分則可設定各個面的屬性，包括出、入流的面、壓力面以及牆面等部分(如水庫之入流面、出水結構物及底床部分)，作為邊界條件或是控制面的設定。建立格網的方式，則有建立不均勻網格的功能，依據幾何形狀及流場的複雜度，在需要探討模擬的區域中建立較密的網格。檔案部分，則是為了 CFX 11 中處理進行模擬時，必須選定幾何檔案編號及參數設定檔編號用，

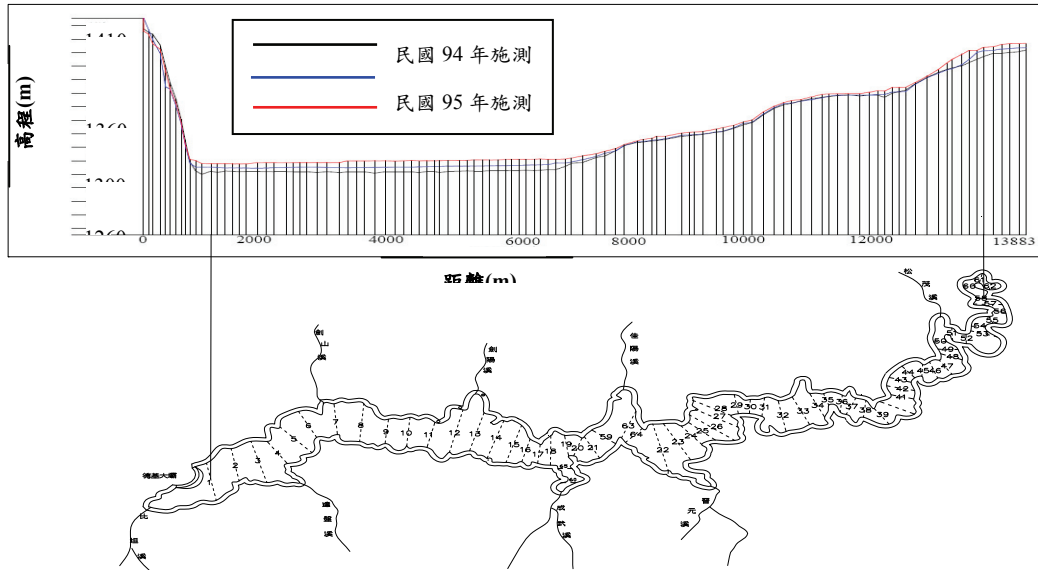


圖 5 德基水庫模擬範圍
Figure 5. District of Deji reservoir

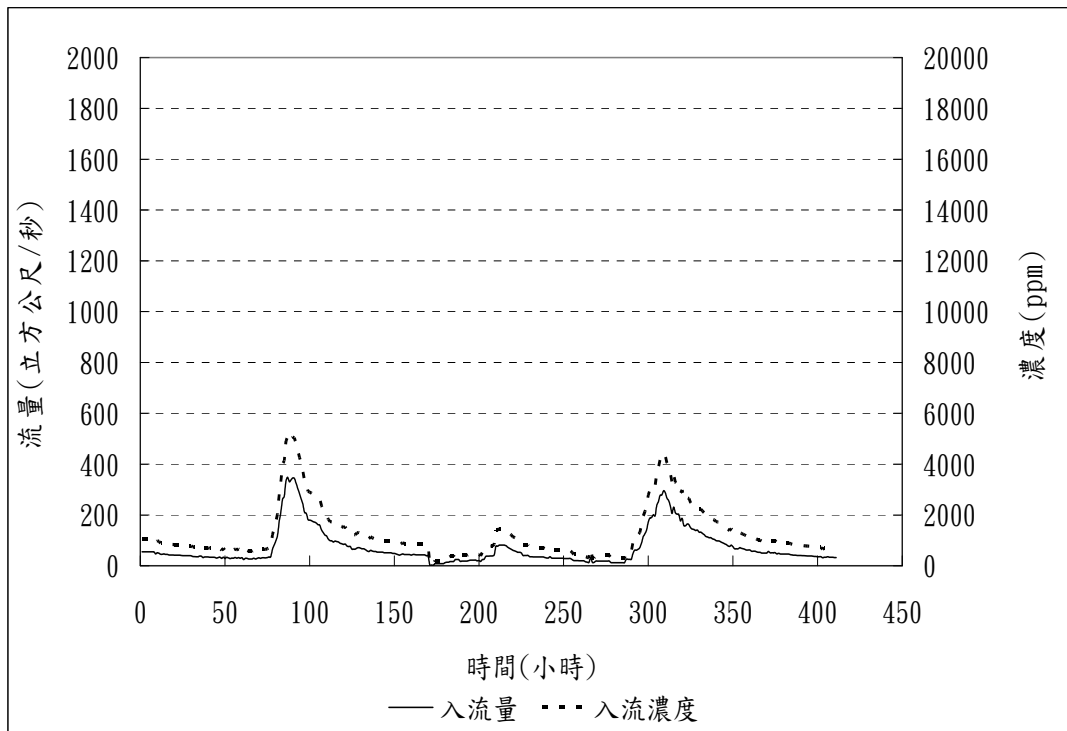


圖 6 民國 62 年至民國 96 年平均淤砂量之入流流量與濃度歷線
Figure 6. Average inflow and sedimentation hydrograph from 1973 to 2007

分別為*.geo的幾何檔案以及*.ccl的參數檔案，可以依據各模擬方案，由使用者自行給定檔名。中處理部份則為CFX 11參數及模式設定部份，包含邊界條件的給定(如上、下游邊界條件的給定)、假設條件的參數給定(如假設空氣為1大氣壓)、模式與算則的選定(如使用紊流模式或QUICK算則)以及模擬結束的收斂條件(如假設收斂數值為0.001或是疊代次數50000次)等，且可暫停輸出結果後再繼續的功能，讓使用者不需過久的等模擬演算整個後處理部份則提供多種流場可視化分析(包括向量圖、等值圖、流線圖等等)，可依據使用者的需要，製作流場、流速或是其他可視化資料的圖片檔或是影片檔。而且透過箭頭或顏色，色階以及影片方式的呈現，讓使用者對於模擬結果不管是點的資料呈現，或是線及面的資料呈現，均能淺顯易懂的進行分析研判。

因此，本研究利用 CFX11 進行德基水庫懸浮泥砂運移之模擬，模擬案例為民國 96 年 8 月 17 至 8 月 20 日聖帕颱風，其入流濃度歷線根據推導之入庫流量與泥砂關係式繪成入庫流量與濃度歷線如圖 7 所示，且設定滿庫水位為 1408m，每場颱風模擬總時間為 90 小時，輸出時間為每小時一次， ΔT 為 5 分鐘，模擬網格數 24030。

結果與討論

1. 依據本次模擬結果顯示淤積主要由主流最上游逐漸向下游淤滿(詳見圖8~11)，若未來不予清淤或於汛期時利用既有設施調水排砂，則本水庫至民國156年時，庫區將近一半的長度淤滿。

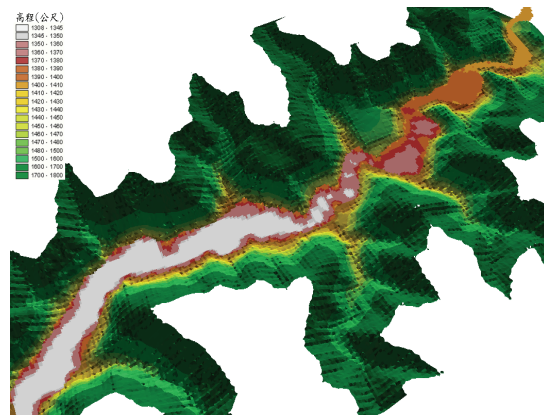


圖8 民國96年演算起始時之底床高程

Figure 8. Bed elevation in 2007

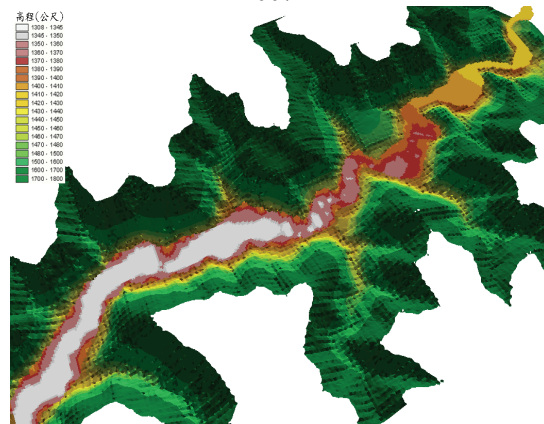


圖9 模擬民國106年底床高程

Figure 9. Bed elevation in 2017.

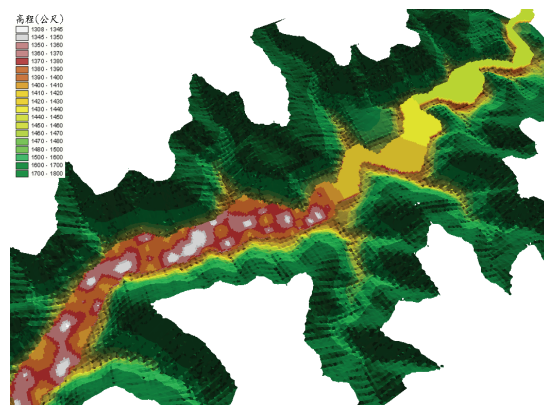


圖11 民國156年底床高程

Figure 11. Bed elevation in 2067.

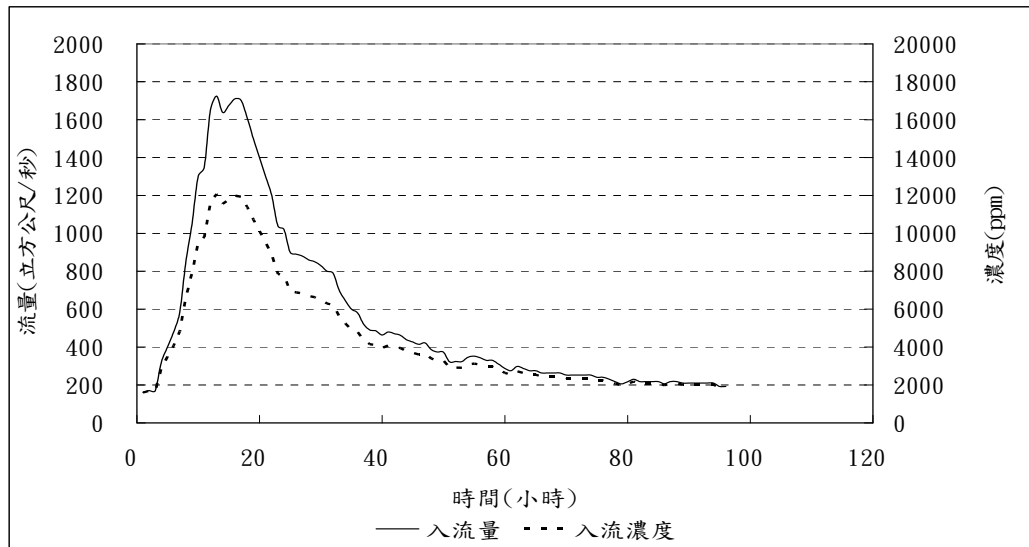


圖 7 聖帕颱風入流流量及泥砂濃度延時歷線

Figure 7. Inflow and sedimentation hydrograph at SEPAT typhoon.

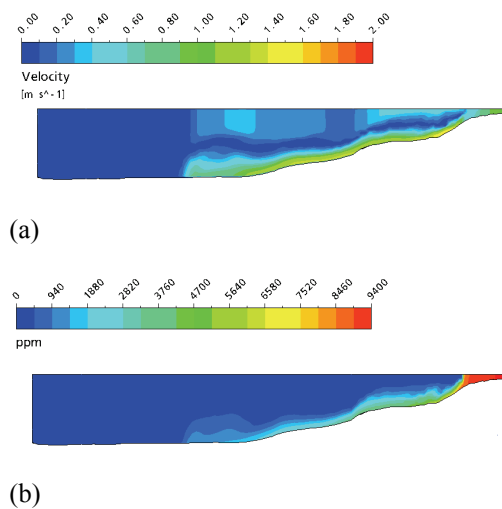


圖12 聖帕颱風， $t=10\text{hrs}$ ：(a)庫區內速度分佈
 (b)庫區內濃度分佈

Figure 12. SEPAT typhoon, $t=10\text{hrs}$; (a)velocity distribution and (b) density distribution in reservoir

2. 庫區內之側視流場及濃度變化分佈模擬結

果如圖12~15，分別選取颱風事件的第 $t=10\text{hrs}$ ， 20hrs ， 40hrs ， 80hrs 之速度與濃度分佈圖。由圖上可知入庫流量伴隨著大量泥砂進入，當上游從河道進入庫區後，因通水面積突增，故流速下降。

3. 當模擬時間為 20 小時，渾水到達壩體且開始沿壩體爬升，並逐漸影響水表面懸浮載濃度並逐漸影響到上游如圖 13，因此在撞擊壩體後至模擬結束期間庫區逐漸形成渾水水庫，從濃度分佈圖中可見到水庫開始進入泥砂沉降階段。

4 渾水流入 40 小時後，庫區內整體的流速已趨緩，而濁度較高之水也已經和原庫內之清水漸漸混合，導致整體庫區濃度提高。

5. 在模擬時間為80小時的時候，入庫流量漸漸回復至水庫平日正常之入庫流量，庫區流速趨近於零，但整個庫區仍充滿濁水(圖15)，表示懸浮固體仍未沉降或經由放流口排至下游河道。

6. 由民國106年的模擬結果看出，在區段完全淤滿前，會有些塊狀及點狀淤積，故可建議

管理單位採用本模擬比較未來實際測量底床情形，找出點狀淤積原因並且予以處理。

結論與建議

1. 在過程中前段至中段部份庫區深度亦發生改變，可能受水庫集水區支流影響，對於此淤積情形除繼續觀測外，亦可針對特定位治理。
2. 配合遙測、國土監控等方式對集水區內崩塌地做有效的了解且透過淤砂粒徑找出可能的土砂來源並對區內崩塌區位予以處理。
3. 渾水比重較重，在進入寬廣之庫區後下沉並沿底床向前運移至主壩前，但須注意到底床之平坦程度可影響異重流的流況，故可藉

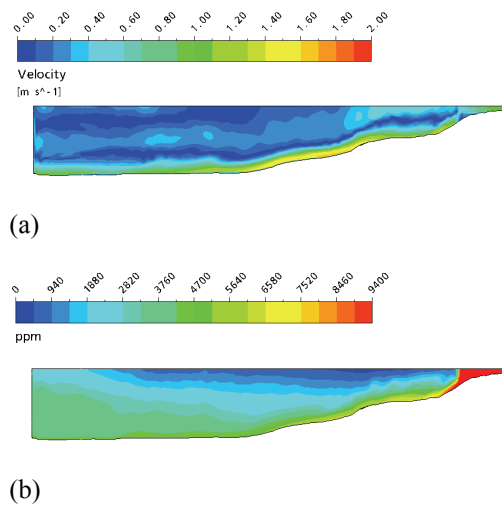


圖13 聖帕颱風， $t=20\text{hrs}$ ；(a)庫區內速度分佈
(b)庫區內濃度分佈

Figure 13. SEPAT typhoon, $t=20\text{hrs}$;
(a)velocity distribution and (b) density
distribution in reservoir.

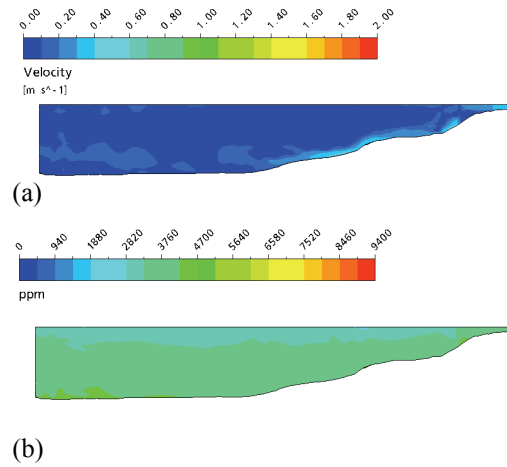


圖14 聖帕颱風， $t=40\text{hrs}$ ；(a)庫區內速度分佈
(b)庫區內濃度分佈

Figure 14. SEPAT typhoon, $t=40\text{hrs}$; (a)velocity
distribution and (b) density distribution in
reservoir.

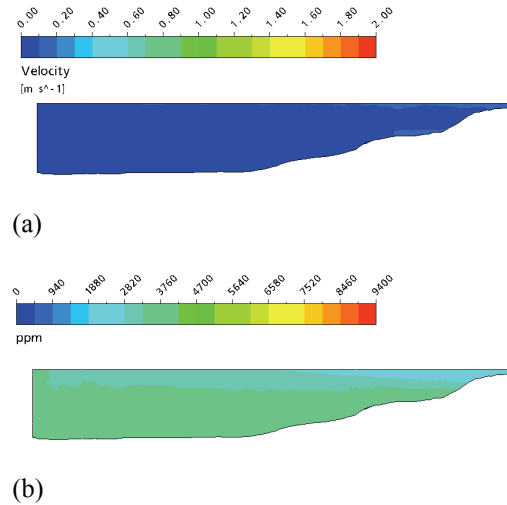


圖15 聖帕颱風， $t=80\text{hrs}$ ；(a)庫區內速度分佈
(b)庫區內濃度分佈

Figure 15. SEPAT typhoon, $t=80\text{hrs}$; (a)velocity
distribution and (b) density distribution in
reservoir4.

此特性研究如何阻滯、調整渾水流向並引導其排至庫區外。

5. 水庫淤砂造成其蓄水量減少，並且損害水庫應有之功能。一般而言，水庫泥砂之產生是受重力影響下的自然現象，當水庫淤積狀況嚴重且已影響到其原有設計庫容量及其原有蓄水功能時，必須考慮採取適當之方式清淤，減輕淤積現象以延長水庫使用壽命。

6. 欲增加水庫容積可藉由減少水庫集水區上游砂源、清除水庫淤砂及減少上游來砂落淤量等措施，以發揮其設計功能並達永續利用之目的。

7. 本次模擬主要採用的地形、邊界條件皆屬於目前現況輸入，再由其推估未來，由此做法僅能預估未來狀況無法加以改變，若之後實驗可在底床模型加入變化影響懸浮載流況，並觀測期流況改變，或增加防砂壩減少大粒徑土沙進入庫區速度。抑或是改變主壩水工構造物(如增加放流口)，調整不同位置放流口再執行此模式，以得知何種情形下達到「蓄清排渾」的效果，讓水庫在最高效率下使用並獲得最長的壽命。

8. 可進一步以河川為單位探討再洪峰來臨時大甲溪沿線水庫之排水排砂調節，以 CFX11 輸入沿線各水庫之地形等條件，研究當高濁度原水於德基排放時多長的時間後會造成下游石岡壩濁度上升，並且開啟閘門適度排淤，使大台中地區供水無慮。

9. 除以模式模擬外，各水庫管理單位應於洪峰來臨期間，建立渾水入流後庫區各點濃度改變的資料，配合模擬結果以供未來整治參考。

10. 透過水庫容積測量，建議同時取得各點的粒徑大小分佈，建立水庫各區的粒徑大小的資料庫。當計畫清淤時即可依據該資料庫選擇適當的清淤位置、工法。

誌謝

本文承蒙經濟部德基水庫集水區管理委員會之德基水庫集水區第六期治理計畫經費支持，使本文得以順利完成，作者在此表達謝意。

參考文獻

1. 中央氣象局網站，
<http://www.cwb.gov.tw/>(2009)，颱風資料庫。
2. 中華民國工程環境學會(2008)，德基水庫集水區第五期治理計畫，經濟部水利署。
3. 建磊工程顧問有限公司(2007)，德基水庫淤積土石清除對策可行性研究，經濟部德基水庫集水區管理委員會。
4. 白進忠(2003)，由懸浮載良測值推算底床載之研究，碩士論文，國立成功大學水利及海洋工程研究所。連惠邦，陳昶憲，蘇惠珍(2005)，水庫清淤之檢討與評估，經濟部水利署。
5. 陳樹群，沈學汶，何智武(1999)，水庫合理之入流水質及泥砂評估方法，經濟部水資源局。
6. 陳昶憲，葉昭憲，蘇惠珍(2007)，水庫清淤之檢討與評估(第二年)，經濟部水利署。
7. 德基水庫水質管理網頁，

http://hysearch.wra.gov.tw/wra_ext/tech/default.asp(2009)。

複雜何系沖淤模式 NETSTARS V2.0 使用者技術手冊，致遠管理學院資訊管理學系。

8. 賴進松，顏沛華，林永峻(2004)，水庫異重流與水庫減淤操作試驗研究，經濟部水利署。
9. 謝慧民，李鴻源，黃淑金，陳柏飛(2004)，

98年10月30日收件

98年11月10日修改

98年11月24日接受

水土保持學報 42(1) : 83-98 (2010)
Journal of Soil and Water Conservation, 42(1) : 83-98 (2010)