

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

水庫沈滓沉降行為之研究(三)

計畫類別： 個別型計畫 ✓ 整合型計畫

計畫編號：NSC89 - 2211 - E - 002 - 051

執行期間：88 年 08 月 01 日至 89 年 07 月 31 日

計畫主持人：李 鴻 源

共同主持人：楊 錦 釧

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：

中 華 民 國 89 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

水庫沉滓沉降行為之研究(三)

Investigations of Sedimentation Process in a Reservoir (III)

計畫編號：NSC 89-2211-E-002-051

執行期限：88年8月01日至89年7月31日

主持人：李鴻源

國立台灣大學水工試驗所

共同主持人：楊錦釧

國立交通大學土木工程研究所

計畫參與人員：林永峻

國立台灣大學水工試驗所

一、中文摘要

本研究主要針對黏性沉滓的沉降速度，提出三種不同的方法求解其沉降速度。三種方法均需現場資料，做為參數的率定。另外在單一圓球的三維沉降行為之研究在本研究中也提出一報告。包括單一顆粒自由沉降的阻力係數、螺旋運動、與其後尾流的三維流場顯影照片。

關鍵詞：自由沉降、沉降速度、阻力係數、黏性沉滓

Abstract

This research proposed three different methods to estimate the velocity of cohesive sediment. All of the three methods need field data to verification parameters used in the formula. In addition, behaviors of a 3-D single spherical particle were presented in this report. Drag coefficient, spiral-motion behavior and visualization wake of a freely falling particle were also included.

Keywords: Freely Falling, Fall Velocity, Drag Coefficient, Cohesive Sediment

二、緣由與目的

沉滓的沉降速度為推估水庫的使用壽命的重要參數，本研究提出了三種不同的方法求解沉滓沉降速度，三種方法均利用到現場的參數，參數的使用量各不相同，以最簡單的 power law, $u=a \cdot d^b$ 為例，僅需

要顆粒的粒徑(d)為參數，但其中的 a 與 b 為利用實驗所求得的係數值，u 為此種粒徑(d)的沉降速度，不同的土壤其值並不相同，故需採取現地土樣方可求得適用值。本研究提出了三種不同的方法求得沉滓的沉降速度，使用者可依現地的土壤資料選用適用的公式求取沉滓的沉降速度，或先選用一種方法，再至現地採取土樣，求得所需的參數。

此外本研究也針對單一圓球顆粒的沉降行為做一系列的實驗，求得其自由沉降的阻力係數，並發現在雷諾數(Reynolds number, Re)大於 2000 時，顆粒會產生螺旋運動，其行為也將在此報告中呈現。本報告分成兩部份，第一部份為三種求解沉滓的方法，第二部份為單一圓球顆粒沉降行為的成果。

三、求解沉滓的方法

方法(一)

Krone(1962)針對 San Francisco Bay 泥砂求得絮凝的重量濃度表示式為：

$$C(y,t) = \left(C(y,0)^{1-n(G)} + [n(G)-1] \cdot B(G) \frac{1}{y} (t-t_0) \right)^{1/(1-n(G))} \quad (1)$$

$$G = \sqrt{\frac{u \tau_b}{\gamma y}} \quad (2)$$

$$B(G) = \exp(-4.2076 + 0.1465G), n(G) = 1.11075 + 0.0386G \quad (3)$$

其中

y = 水深(water depth)

u = 深度平均水流速度(mean velocity)

τ_b = 底床剪應力(bed shear stress)

C(y,t) = 絮凝在y之重量濃度(suspended sediment concentration)

γ = (absolute viscosity of the suspension)

配合 McLaughlin(1959)的泥砂連續率

$$\frac{\partial C(t)}{\partial t} + \frac{\partial(u(y,t)C(y,t))}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

本研究提出一新的沉降速度公式

$$u(h,t) = -\frac{1}{C(h,t)} \frac{\partial}{\partial t} \int_0^h C(y,t) dy \quad (5)$$

$u(h,t)$ = 絮凝在水深 h (從底床算起) 之沉降速度
若已知上列參數則可利用數值積分得在水深 h 之沉滓沉降速度。

注意:

由於(3)式是針對 San Francisco Bay 泥砂實驗資料所做之迴歸式，故在使用上需注意。

方法(二)

Adachi&Tanaka(1997)，利用日本的土壤(鋁(aluminum)和高嶺土(kaolinite)所構成)作實驗之迴歸式如(6)式所示，其基本假設為 w_f 之形式與 Stokes 範圍的圓球剛體形式相同

$$w_f = 4.946 D_p^{1.379}, 0.015(mm) < D_p < 0.2(mm) \quad (6)$$

其中

w_f = 單一絮凝之沉降速度

D_p = 與絮凝(floc)投影面積(projection)同等面積圓球之直徑

或

$$w_f = 0.768 D_m^{1.149}, 0.05(mm) < D_m < 1(mm) \quad (7)$$

或

$$w_f = 0.969 D_e^{1.150}, 0.05(mm) < D_e < 1(mm) \quad (8)$$

D_e = 垂直沉降方向上投影之 Feret 直徑

以上(6)、(7)、(8)三式以(6)與實驗值最接近

而 Wu&Lee(1998)，利用台灣的內壠麵包工廠內的廢水處理廠之土樣(Neili Bread Plant, Taoyuan, Taiwan)

其研究結果如下

$$w_f = 1.17 D^{0.99} \quad (9)$$

$D(m)$ = 絮凝之直徑， $150(-m) < D < 10000(-m)$

方法(三)

Neale et al. (1973) 對一圓球之絮凝提出下式

$$w_f = \sqrt{\frac{3 \dots_w \Omega C_D}{4g(\dots_p - \dots_w) d_f} \cdot \frac{1}{1-e}} \quad (10)$$

其中

C_D = 同體積剛球阻力係數(drag coefficient)

d_f = 絮凝之直徑(diameter of floc)

e = 孔隙率(porosity of floc)

g = 重力加速度(gravitational acceleration)

\dots_w = 水的密度(density of water)

\dots_p = 主要顆粒的密度(density of primary particle)

Ω = 絮凝阻力與同體積剛球阻力之比

$$\text{而 } \dots_p = \frac{1 + W_B}{1 / \dots_s + W_B / \dots_w} \quad (11)$$

其中 W_B = 每單位乾土重之周圍水重

$$\Omega = \frac{2S^2(1 - (\tanh S) / S)}{2S^2 + 3\{1 - (\tanh S) / S\}} \quad (12)$$

$$S = \frac{d_f}{2\sqrt{k}}, k = \text{floc permeability} \quad (13)$$

表一 透水性係數方程式

Model	Primary particle shape	Permeability function
Brinkman	Sphere	(14)式
Carman-Kozeny	Sphere	(15)式
Happel (cell model)	Sphere	(16)式
Happel	Fibrous	(17)式
Davis	Fibrous	(18)式
Iberall	Fibrous	(19)式

$$k = \frac{d_p^2}{72} \times \left[3 + \frac{4}{1-e} - 3\sqrt{\frac{8}{1-e} - 3} \right] \quad (14)$$

$$k = \frac{e^3}{180 / d_p^2 (1-e)^2} \quad (15)$$

$$k = \frac{d_p^2}{18(1-e)} \times 3 \frac{3 - 4.5(1-e) + 4.5(1-e)^{5/3} - 3(1-e)^2}{3 + 2(1-e)^{5/3}} \quad (16)$$

$$k = \frac{d_p^2}{32(1-e)} \times \left[-\ln(1-e) + \frac{(1-e)^2 - 1}{(1-e)^2 + 1} \right] \quad (17)$$

$$k = \frac{d_p^2}{4} \times \frac{1}{16(1-e)^{3/2} (1 + 56(1-e)^3)} \quad (18)$$

$$k = \frac{3}{16} \times \frac{e d_p}{1-e} \times \frac{2 - \ln(d_p \dots_w w_i / e \hat{e}_w)}{2 - \ln(d_p \dots_w w_i / e \hat{e}_w)} \quad (19)$$

w_i = internal flow velocity

\hat{e} = kinematic viscosity of water

而 C_D 值的推估，可以利用下列的方式求得，Lee(李鴻源) et al(1998)

$$C_d = \frac{24}{Re}(1 + 0.1952 Re^{0.647}) + \frac{1.2582}{4241 Re^{-0.7728}} \quad (20)$$

800 < Re < 10000

或 Masliyah & Polikar (1980)

$$C_d = \frac{24\Omega}{Re} [1 + 0.1315 Re^{(0.82 - 0.05 \log_{10} Re)}], \text{ for } 0.1 < Re < 7, 15 < s < 33$$

..... (21)

$$C_d = \frac{24\Omega}{Re} [1 + 0.0853 Re^{(1.093 - 0.105 \log_{10} Re)}], \text{ for } 7 < Re < 120, 15 < s < 33$$

..... (22)

四、單一圓球顆粒的研究成果

本研究採用自行研發的三維動態影像數位化系統，實驗配置圖如圖一所示，鑑於前人所作的研究中，在量測二、三維沉降實驗資料值時，常引入許多人為的誤差，如位置的量測、利用鏡子做反射、計時的準確度等，都直接影響了實驗結果。本研究利用自行研發的三維動態影像數位化系統這些誤差將可在較佳的儀器設備下減低。

使用的35種不同的顆粒，d(粒徑)=3.97mm~15.88mm，(密度)=1.009~7.85(g/cm³)，Re=10²~10⁴。其C_d-Re如圖二所示。當Re>2000時，有三維的螺旋運動產生如圖三所示，而Str-Re如圖四所示，長軸與短軸如表二所示。

在橫向運動的觀察中發現，當Re>2000時，軌跡為一具有長軸與一短軸之橢圓，其無因次側向位移長軸(L)在0.015~3.93之間，無因次側向位移短軸(S)在0.039~0.94之間。同一種顆粒中L與S最大相差11倍。Str接近一定值0.056187，同時密度比(Dr)愈小的顆粒其L愈大，如圖五所示。

本研究並以流場顯影的方法，證實橫向運動的來源確為球體後之尾流所造成，在Re < 2000時球體後尾流為不定時脫出的罩狀物尾流，如圖六所示，而在Re > 2000時，球體後尾流為一高頻脫出之尾流，但有週期性，如圖七所示。

五、計劃成果自評

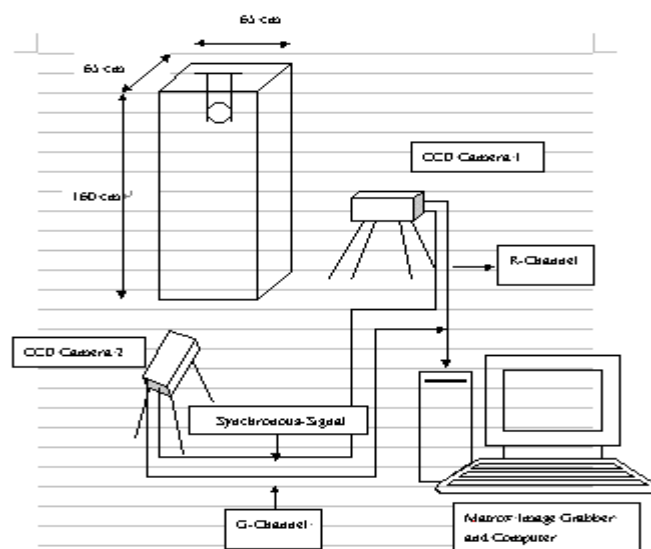
本研究提出了三種求得沉滓沉降速度的方法，可提供相關單位作為推估水庫沉滓沉降速度之用，而單一顆粒圓球的研究成果對非黏性顆粒沉降速度的推估很有幫助，與計畫的目的相符，並已國內發表會議論文一篇，並將於未來陸續投稿國際期刊。

誌謝

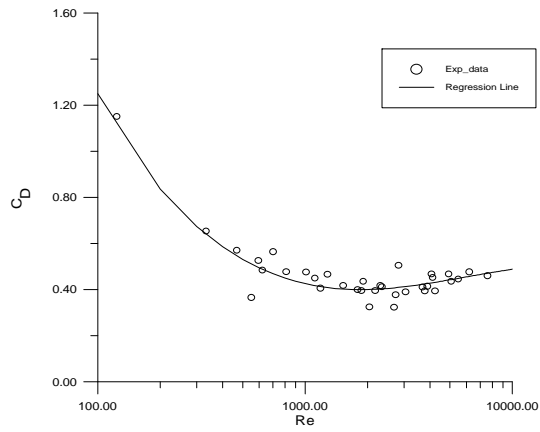
感謝國科會編號NSC-89-2211-E-002-051計劃資金提供。

六、參考文獻

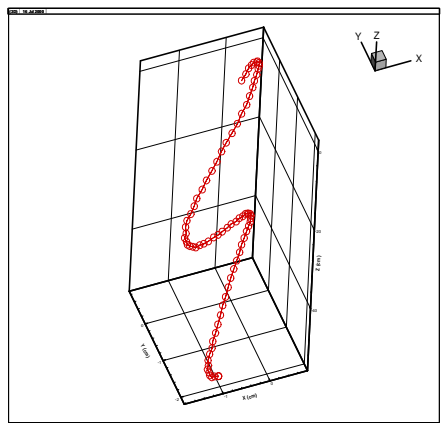
- [1]. 李鴻源 林永峻 “單一圓球顆粒三維沉降行為之研究”，第十一屆水利工程研討會(即將出版)，民國89年7月
- [2]. D.J.Lee, G.W.Chen, Y.C.Liao, and C.C.Hsieh, (1996) “On The Free-Settling Test Estimating Activated Sludge Floc Density”, Water Research, Vol. 30, No. 3, 541-550
- [3]. Hong-Yuan Lee, Yong-Jun Lin, Chia-hei Lin (1998), “Experimental Study on Drag Coefficient of Freely Falling Sphere” ISFMTM 98, Tainan, Taiwan, 449-457
- [4]. MacLaughlin, R.T.Jr., (1959) “The Settling Properties of Suspensions”, Journal of Hydraulic Division., Proceedings, American Soc. Civil Engr., Vol. 85, HY12, 9-41
- [5]. Parmeshwar L. Srestha, Gerald T. Orlob, (1996) “Multiphase Distribution of Cohesive Sediment and Heavy Metals in Estuarine Systems”, Journal of Environmental Engineering, Vol. 122, Issue 8, 730-740
- [6]. R.M.Wu, D.J.Lee, (1998) “Hydrodynamic Drag Force Exerted on A Moving Floc and Its Implication To Free-Setting Tests”, Water Research, Vol. 32, No. 3, 760-768
- [7]. Yasuhisa Adachi, Yoshikazu Tanaka, (1997), “Settling Velocity of An Aluminum-Kaoline Floc”, Water Research, Vol. 31, No. 3, 449-454



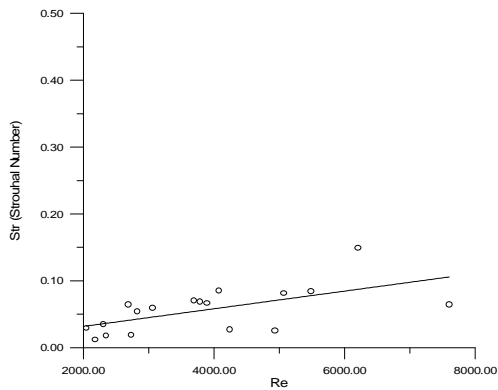
圖一 實驗配置圖



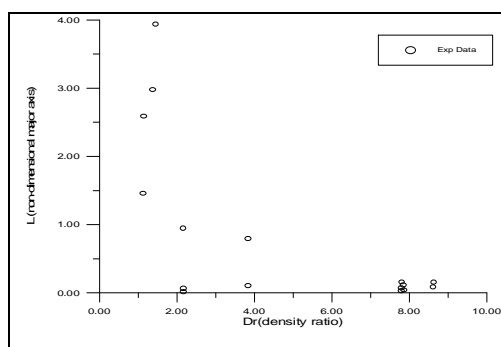
圖二 C_D - Re 關係圖



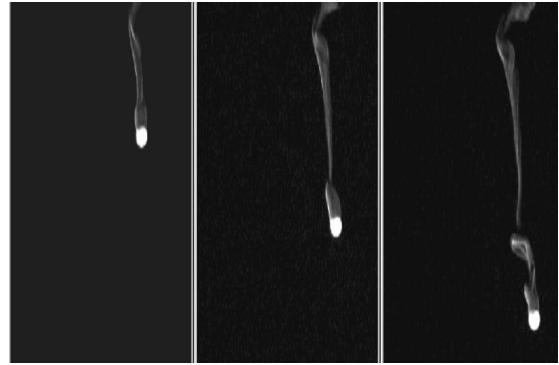
圖三 螺旋運動圖



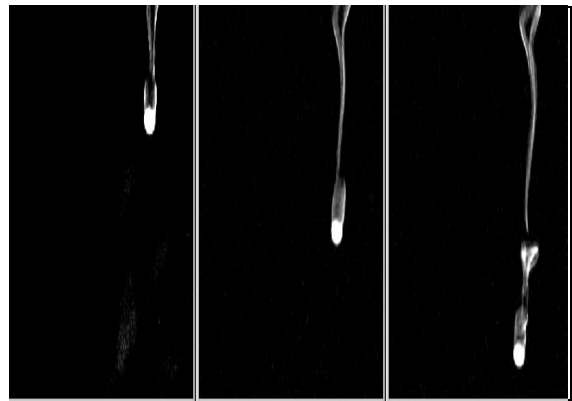
圖四 Re - Str 關係圖



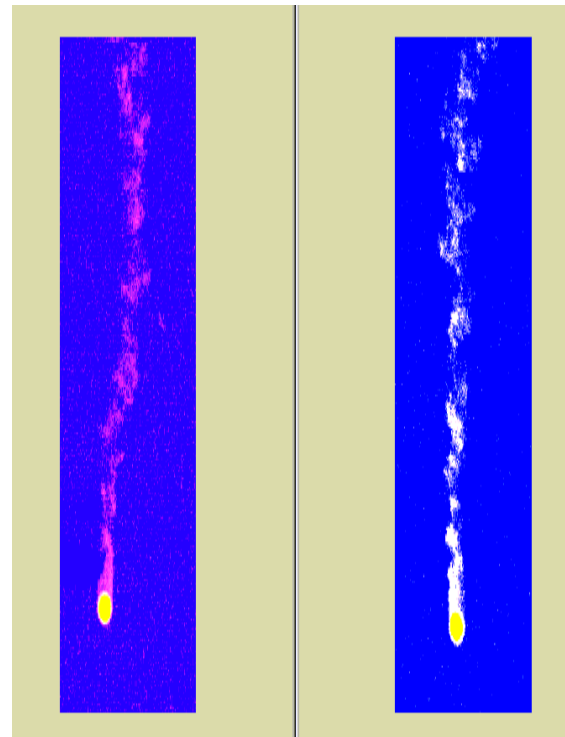
圖五 Dr - L 關係圖



圖六-(a) $Re=380$ 之尾流圖，在 $t=0$ 、 $12/30$ 、 $24/30$ (sec)， X - Z 平面



圖六-(b) $Re=380$ 之尾流圖，在 $t=0$ 、 $12/30$ 、 $24/30$ (sec)， Y - Z 平面



圖七 球後之尾流($Re=2382$)，左- (X - Z 平面面)，右- (Y - Z 平面)。