

湍流渠槽之輸砂量模式研究(3/3)

計畫類別： 個別型計畫     整合型計畫

計畫編號：NSC 90 - 2313 - B - 002 - 348

執行期間： 90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

計畫主持人：黃宏斌

計畫參與人員：李偉哲 林雲暉 楊凱鈞 黃彥文 蘇立明 胡聖賢

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：國立台灣大學生物環境系統工程學系

中華民國 九十一 年 十 月 日



# 國科會專題研究計畫成果報告

NSC Project Reports

計畫編號：NSC 90-2313-B-002-348

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：黃宏斌 國立台灣大學生物環境系統工程學系

計畫參與人員：李偉哲 林雲晥 楊凱鈞 黃彥文 蘇立明 胡聖賢

國立台

灣大學生物環境系統工程學系

---

## 一、中文摘要

本研究藉由因次分析和渠槽試驗推導非均勻粒徑輸砂量模式。根據本研究渠槽試驗資料，迴歸求得之模式如下：

1. 臨界流量模式：

$$q_c = 6.176 \times 10^{-8} D_g^{1.18} S^{-1.64}$$

2. 推移質沈澱運移模式：

$$\frac{q_s}{q} = 38.092 D_g^{-0.458} S^{3.56} \left(\frac{h}{D_s}\right)^{2.4}$$

**關鍵詞：**非均勻粒徑、輸砂量模式、渠槽試驗

**Abstract:**

This study, associated with dimensional analysis and flume experiment, derive non-uniform sediment discharge model. In accordance with the experimental data, the model is got by regression analysis and as following:

1. The critical discharge model:

$$q_c = 6.176 \times 10^{-8} D_g^{1.18} S^{-1.64}$$

2. The sediment discharge model:

$$\frac{q_s}{q} = 38.092 D_g^{-0.458} S^{3.56} \left(\frac{h}{D_s}\right)^{2.4}$$

**Keywords:** Non-uniform, Sediment discharge model, Flume experiment

## 二、緣由與目的

台灣上游集水區因為特殊之地形和地質因素，常有大量泥砂下移造成災害，為防止這些泥砂肇災，工程人員常在河道上規劃設計防砂壩、潛壩或整流工程等水土保持措施。然而這些工程設計之前都需要先瞭解上游泥沙來源和河道之輸砂量，所以，輸砂量之估算在水土保持工程設計上，便益形重要。

目前國內除水土保持技術規範所列出之何黃氏公式外，一般工程設計所使用輸砂模式，多以國外學者專家所推導者，但由於國外輸砂模式主要應用於緩坡、細顆粒之常流河川，是否仍然適用於台灣陡坡、粗顆粒之上游野溪則有待進一步之探討。因此，本研究即針對非均勻粒徑，從事湍流渠槽試驗，結合現有試驗資料，推導本土化非均勻粒徑輸砂量模式。

## 三、前人研究

河道或渠槽之推移質沈澱運移估算模式甚多，其中較著名者有

Dubois(1879)、Meyer-Peter & Muller (1948)、Einstein(1950)、Schoklitsch(1962)等，現略述如下：

### 1.Meyer-Peter & Muller (1948)

$$\frac{q_s}{\sqrt{g(\dots_s / \dots - 1)D_m^3}} = 8\left[\left(\frac{K_s}{K_r}\right)^{1.5} \tau_* - \tau_{*c}\right]^{1.5} \quad (1)$$

其中， $K_s/K_r$ ：砂波阻力修正因子； $\tau_* = \tau / [(\chi_s - \chi)D_m]$ ：無維度剪應力； $\tau_{*c} = 0.047$ ：無維度臨界剪應力。當非均勻床砂以均勻推移質方式處理時，建議代表粒徑採用  $D_m$ 。該模式以坡度 0.004~0.023、顆粒 0.4~30mm 之試驗資料所建立。

### 2.Einstein(1950)

$$1 - \frac{1}{\sqrt{\zeta}} \int_{-B_* \zeta^{-1} / y_0}^{B_* \zeta^{-1} / y_0} e^{-t^2} dt = \frac{A_* W}{1 + A_* W} \quad (2)$$

其中， $\zeta = q_s / \sqrt{g(\dots_s / \dots - 1)D_{35}^3}$ ：Einstein 無維度輸砂強度參數； $W = (\chi_s - \chi)D_{35} / \tau = 1 / \tau_*$ ：Einstein 無維度水流參數； $y_0 = \text{fit}(\text{Re}_*)$ ：上舉力脈動變異係數；綜合參數  $A_* = \text{fit}(\text{flow}, D)$ 、 $B_* = \text{fit}(\text{flow}, D)$ 。

### 3.Schoklitsch(1950)

$$q_s = \frac{2500}{\chi_s} S^{1.5} (q - q_c) \quad (3)$$

$$q_c = 0.26 \left(\frac{\chi_s - \chi}{\chi}\right)^{5/3} \frac{D^{1.5}}{S^{7/6}}$$

其中， $q_c$  = 臨界流量。他採用 Gilbert(1941)部分水槽試驗資料以及自行收集之資料，粒徑範圍為 0.3~0.7mm，推導出單寬流量之輸砂公式，其後並陸續修改其輸砂公式及臨界流量公式成為此一以  $D_{50}$  為混合粒徑代表粒徑之版本。

### 4.何智武(1983)

$$q_s = 6.75 \times 10^{-4} (q - q_c) D_g^{1.41} S^{0.43} D_g^{0.26} \quad (4a)$$

$$\frac{q_c}{\sqrt{g(\dots_s / \dots - 1)D^3}} = -119.82 D_g^{-0.5} \log S - 343.99 D_g^{-0.74} \quad (4b)$$

其中， $D_g = D / [\epsilon^2 / g(\dots_s / \dots - 1)]^{1/3}$ ：無維度粒徑參數。該模式以均勻粒徑 2.2、

3.6、6、10 及 15mm，採用坡度 0.002、0.0033、0.005、0.01、0.02、0.0333、0.05、0.07 及 0.10，進行臨界流量試驗，並配合其試驗資料推導出推移質模式。

#### 5.Smart(1984)

$$W = 4 \left[ \left( \frac{D_{90}}{D_{30}} \right)^{0.2} S^{0.6} \frac{U}{u_*} \tau_*^{0.5} (\tau_* - \tau_{*c}) \right] \quad (5)$$

其中， $\tau_{*c} = \tau_{*cr} \cos \alpha \left( 1 - \frac{\tan \alpha}{\tan S} \right)$ ， $\tau_{*cr}$ ：Shield Diagram 臨界剪應力。 $\alpha = \tan^{-1} S$ ；

$\beta = 33^\circ$ ，淹沒之河床安息角； $W = q_s / \sqrt{g(\dots_s / \dots - 1) D_m^3}$ ； $\tau_* = \tau / [(\alpha_s - \alpha) D_m]$ 。

Smart 認為 Meyer-Peter & Muller (1984) 推移質公式在坡度超過 0.03 時很明顯低估，於是以坡度高達 0.20 之渠槽試驗結果配合 Meyer-Peter & Muller (1984) 部分資料，迴歸得此一考慮阻力及粒徑分佈影響之公式，以  $D_m$  為混合粒徑代表粒徑。該模式之試驗資料範圍：坡度為 0.01~0.20，粒徑為 2.0~10.5mm。

#### 6.陳耀彬 (1990)

$$q_s = 2.685 \times 10^{-4} (q - q_c)^{1.373} S^{0.43 D_g^{0.26} - 1.49} \left( \frac{h}{D} \right)^{-(4.3 \times 10^{-4} D_g^{1.10} + 1.429)} \times D_g^{1.5} \quad (6a)$$

$$\frac{q_c}{\sqrt{g(\dots_s / \dots - 1) D^3}} = -97.05 D_g^{-0.5} \log S - 278.63 D_g^{-0.74} \quad (6b)$$

陳耀彬以非均勻礫石渠槽試驗結果修正何智武模式建立此模式，且依理論修正何智武之臨界流量公式。一般而言，在同樣條件下取  $D_m$  為非均勻粒徑之代表粒徑。該模式之試驗資料範圍：坡度為 0.015~0.106，粒徑為 14.6mm。

#### 7.黃宏斌 (1992)

以何智武於 1983 年所完成之試驗資料為基礎，重新分析探討，並求得簡化之臨界流量與推移質運移模式：

$$q_c = 1.259 \times 10^{-7} D_g^{1.56} S^{-1.0} \quad (7a)$$

$$q_s = 0.4383 S^{1.41} (q - q_c) \quad (7b)$$

其中， $q_c$ =臨界流量(cms/m)； $D_g$ =無維度粒徑參數(= $D / [ \tau_*^2 / (\dots_s / \dots - 1) g ]^{1/3}$ )；

$S$ =坡度； $q_s$ =推移質輸砂量(cms/m)； $q$ =流量(cms/m)。

經過驗證比較後，該研究所得模式除了較蕭克立胥模式更吻合試驗資料外，

該研究模式之型態不僅比原先之模式簡單、易於比較，對資料點之吻合程度亦較理想。

8. 李振耀 (1993)

$$q_s = 0.636(q - q_c)^{0.88} S^{1.66} f^{1.23} \quad (8a)$$

$$\frac{q_c}{\sqrt{g(\dots_s / \dots - 1)D^3}} = -119.82D_g^{-0.5} \log S - 343.99D_g^{-0.74} \quad (8b)$$

李振耀為探討非均勻級配之粒徑分佈因子對輸砂率影響，由渠槽試驗結果，配合何智武(1983)均勻粒徑及陳耀彬(1990)非均勻粒料之資料，取  $D_{50}$  當代表粒徑，並使用何智武之臨界流量公式，迴歸分析得此模式，惟其所使用資料範圍仍不夠廣泛，因此無法確定粒徑分佈因子對推移率之影響，且其輸砂經驗公式，當  $f=0$  時，即粒徑分佈為均勻粒徑時， $q_s=0$ ，並不合理。該模式之試驗資料範圍：坡度為 0.03~0.09，粒徑為 15.8~16.5mm。

9. 蘇自強 (1995)

$$q_s = 1.13(q - q_c)S^{1.55} f^{0.84} \quad (9a)$$

$$\frac{q_c}{\sqrt{g(\dots_s / \dots - 1)D_m^3}} = 0.225S^{-1.04} \quad (9b)$$

蘇自強綜合自行完成之水槽試驗結果及國內所蒐集到之水槽試驗資料，以  $D_m$  為混合礫石代表粒徑，經迴歸分析，推導其輸砂公式及臨界流量公式。但其輸砂公式，與李振耀一樣，當  $f=0$  時，即粒徑分佈為均勻粒徑時， $q_s=0$ ，並不合理。該模式試驗資料範圍：坡度為 0.02~0.08，粒徑為 8.2~9.3mm。

#### 四、研究方法

與沈滓移動有關之物理量為， $\dots$ ：流體質量密度； $\dots_s$ ：沈滓質量密度； $h$ ：水深； $g$ ：重力加速度； $D_s$ ：沈滓代表粒徑； $S$ ：能量坡降； $\nu$ ：流體動黏滯度； $f$ ：粒徑分布標準偏差。今以單寬推移質沈滓運移量( $q_s$ )為應變數，其他各物理量為自變數，可表示為下列函數關係數：

$$q_s = f(\dots, \dots_s, g, D_s, h, \nu, S, f) \quad (10)$$

根據柏金漢(Buckingham)  $f$  定理進行維度分析，並取  $\dots, D_s, g$  為基本物理量，其他為輪變數，可得下列六組無維度參數群：

$$f_1 = \frac{q_s}{\sqrt{gD_s^3}}; f_2 = \frac{\dots_s}{\dots}; f_3 = \frac{h}{D_s}; f_4 = \frac{\epsilon^2}{gD_s^3}; f_5 = S; f_6 = t \quad (11)$$

經過合併整理後，無維度參數函數式可為：

$$\frac{q_s}{q} = f\left(\frac{\dots_s}{\dots}, \frac{h}{D_s}, D_g, S\right) \quad (12)$$

其中， $D_s = D_{50} + rt$ ； $D_g = D/[\epsilon^2 / g(\dots_s / \dots - 1)]^{1/3}$

## 五、渠槽試驗

本研究之試驗渠槽位於臺大安康水工模型試驗場，為一循環式鋼製試驗渠槽。渠槽本身包含試驗段、頭水箱、尾水箱和沈砂池等四部分，試驗段長 10 公尺，寬 60 公分，高 80 公分。流量由步進馬達控制，最大單寬流量為 0.24 cms/m。坡度亦由步進馬達控制，坡度最大可達 0.20(精度 1 公釐)。

本研究使用之試驗材料為市售之七釐石及三分石，並將其做四種混合，表 1 為七釐石、三分石和四種混合之基本資料，圖 1 則為混合 4 之粒徑分佈曲線。

表 1 試驗材料之基本資料

試驗材料	D <sub>50</sub> (m)	D <sub>g</sub>	ó
七釐石	0.0027	69	1.06
三分石	0.0090	228	1.52
混合 1	0.0052	132	2.24
混合 2	0.0040	102	1.94
混合 3	0.0038	97	2.00
混合 4	0.0085	214	2.32



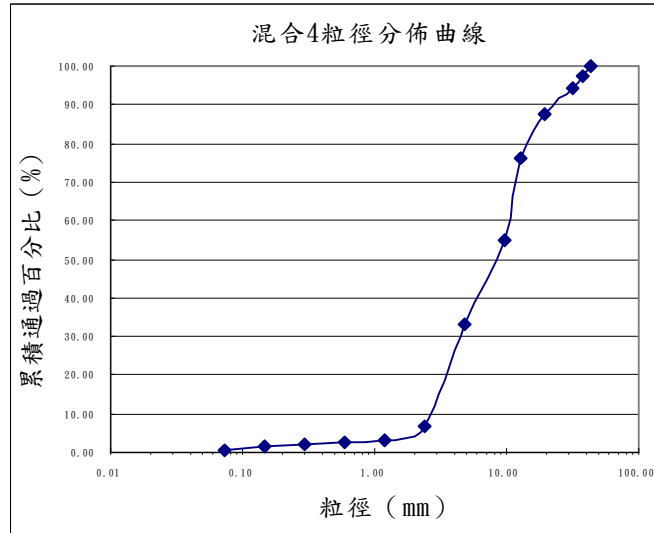


圖 1 混合 4 粒徑分佈曲線

本試驗中，沈澱是否起動由雅林(Yalin)之無維度沈澱啟動參數  $E_c$  為依據。本研究以  $E_c=10^{-8}$  為計算依據，觀測時間為 180 至 300 秒，觀測斷面積為 5.28 平方公尺，由此決定起動之沈澱個數。

$$E_c = \frac{N}{\Omega t} \sqrt{\frac{\dots D^5}{\chi_s}} \quad (13)$$

其中， $\Omega$ ：觀測斷面積； $t$ ：時間區段； $\dots$ ：水質量密度； $\bar{\alpha}_s$ ：沈澱體積密度； $N$ ：沈澱移動個數。 $D$ ：沈澱粒徑長度。

本研究採用 0.01、0.02、0.03 和 0.05 四種坡度，針對每一組混合粒徑和坡度，每一坡度選取四種流量進行試驗，當加砂量等於輸砂量時，即達平衡要求，記錄當時之流量、水位、坡度和輸砂量。對最大及最小流量重複試驗，以確定數據可靠性，如試驗中初步分析不合理時。則重複施做。流量範圍為 0.006 ~ 0.098 cms/m。

## 六、結果與討論

### 1. 臨界流量試驗：

首先，以目測觀測法，渠槽粒徑由不動到開始起動之流量被指定為臨界流量，則四種坡度下試驗所得共計 12 組單位渠寬臨界流量試驗值。由試驗結果知，同一粒徑之坡度越大時，臨界流量越小。另外，粒徑越大者，在同一坡度條件下，其臨界流量越大。

當水流逐漸加強超過一定限度後，河床泥砂開始脫離靜止狀態而開始移動，決定這一臨界狀況之水流條件稱為泥砂起動條件。為了使泥砂起動之判別有一定量之標準，本研究根據 Yalin 之泥砂起動判別標準，當無維度沉澱起動參數  $E_c =$

$10^{-8}$  時，亦即每秒鐘經過觀測斷面積之沉滓移動個數為 200 時，判定試驗渠槽泥砂起動之臨界流量。對  $E_c=10^{-8}$  時之輸砂量  $q_s$  取自然對數，得  $\ln q_s = -13$ 。將試驗結果之單寬輸砂量與單寬流量取自然對數作圖發現，推估值均較試驗值小，而且對同一粒徑，坡度越陡差異越大。由此可知，目測法確實不容易掌握實際之起動狀況。

將實驗數據代入無維度參數函數式，經由迴歸分析，可得下列臨界流量模式：

$$q_c = 5.057 \times 10^{-8} D_g^{1.18} S^{-1.64} \left(\frac{h}{D_s}\right)^{0.062} \quad (14a)$$

$$R^2 = 0.92$$

上式中  $h/D_s$  參數之指數值相對較小。為簡化模式形式，可改寫為下式：

$$q_c = 6.176 \times 10^{-8} D_g^{1.18} S^{-1.64} \quad (14b)$$

其中，嘗試過以不同混合粒料作迴歸分析，發現粒徑分布之標準偏差值對模式結果之影響不大，因此， $D_s = D_{50}$ 。

## 2. 推移質沈滓運移量模式

由於本研究使用單一材料，因此， $\dots_s / \dots$  為常數 2.65。所以  $q_s$  可為  $h/D_s$ 、 $D_g$  與  $S$  之函數，依據本研究 48 組試驗數據得：

$$\frac{q_s}{q} = 38.092 D_g^{-0.458} S^{3.56} \left(\frac{h}{D_s}\right)^{2.4} \quad (15)$$

$$R^2 = 0.84$$

圖2則為單位流量輸砂量對坡度之相關圖。

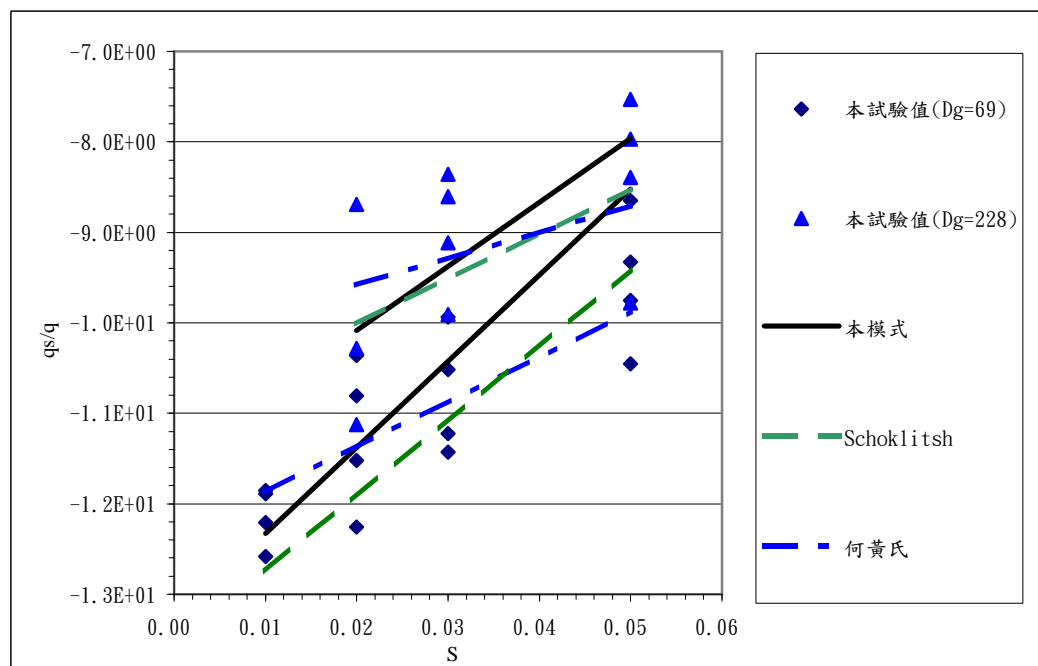


圖 2 單位流量輸砂量對坡度之相關圖

## 七、結論

在本研究之試驗範圍（坡度：0.01~0.05；流量：0.06~0.098 cms/m；水深：0.0185~0.1095m； $D_{50}$ ：0.0027~0.0090m）下，根據本研究渠槽試驗結果，可迴歸求得以下二式：

1. 臨界流量模式：

$$q_c = 6.176 \times 10^{-8} D_g^{1.18} S^{-1.64}$$

2. 推移質沈澱運移模式：

$$\frac{q_s}{q} = 38.092 D_g^{-0.458} S^{3.56} \left(\frac{h}{D_s}\right)^{2.4}$$

## 參考文獻

1. Graf, W.H., Hydraulics of Sediment Transport, 1971。
2. Simons, D.B. and Senturk, F., Sediment Transport Technology, 1977。
3. 何智武，湍流渠槽沈澱運移特性之研究，國立台灣大學土木工程學研究所博士論文，1983。
4. 何智武、黃宏斌，台灣上游湍流河道之輸砂模式研究，中華水土保持學報，第 14 卷，第 12 期，pp.95-106，1983 年 12 月。
5. 黃宏斌，陡坡水槽之輸砂量模式研究，台灣水利，第 41 卷，第 40 期，pp.44-51，1992 年 3 月。
6. 黃宏斌，上游泥砂來源與河道沖淤之關係探討，八十二年度農業工程研討會，pp.217-231，1993 年 12 月。
7. 許浩堯、黃宏斌，上游河道之沖淤演算研究，中華水土保持學報，第 26 卷，第 4 期，pp.293-301，1995 年 12 月。
8. 邱智穎、黃宏斌，彎道泥砂沖淤之試驗研究，台灣水利，第 43 卷，第 41 期，pp.27-36，1995 年 9 月。
9. 蘇自強，混合礫石渠槽輸砂率研究，國立中興大學土木工程學研究所碩士論文，1995。