

# 變量流橋墩沖刷模式之試驗驗證與應用

## Experimental Verification and Application of Simulation Model for Bridge Scour under Unsteady Flow

計畫編號：NSC 89-2211-E-002-048

NSC 89-2211-E-002-139

執行期限：88年8月1日至90年7月31日

計畫主持人：顏清連 國立台灣大學土木工程系 教授

### 一、中文摘要

本研究計畫主持人於過去數年致力橋墩沖刷研究，關於應用三維數值模式來模擬橋墩周圍之流場及沖刷，已獲得合理之成果。為進一步提升模式的可信度，本研究針對變量流非均勻沈澱之橋墩沖刷進行試驗量測工作，然後以此試驗結果對模式進行檢定及驗證。從模擬結果分析可知，模式可合理模擬墩前之沖刷深度與沈澱級配隨時間的變化。

繼而，本研究針對台灣河川水文及沈澱的特性，利用模式來探討一系列參數(變量流參數  $P$ 、無因次沈澱粒徑  $d_o/D$  及其級配標準偏差值  $\sigma_g$ )對沖刷深度之影響，並建立其迴歸關係式，使研究成果能落實於工程設計上之推廣使用。

關鍵詞：橋墩、沖刷、非均勻沈澱、變量流、試驗量測

### Abstract

The principal investigator has conducted a series of studies on bridge scour and developed three-dimensional numerical models that can simulate flow field and scour evolution around bridge piers reasonably well. In order to validate the models, it is necessary to calibrate and verify the models with comprehensively experimental data. Hence the scour experiments with uniform and non-uniform sediments under steady and unsteady flow conditions have been carried out to obtain data for calibration and verification of the models. From the results of simulation, it is shown that

the models can simulate the evolutions of scour depth and sediment gradation at the pier nose reasonably well.

Then, a systematic study on the influences of the unsteady flow parameter  $P$ , dimensionless sediment size  $d_o/D$  and sediment gradation parameter  $\sigma_g$  has been carried out to investigate the relationship with the scour depth. The range of each parameter is chosen according to the field situation in Taiwan's streams. For practical applications, the results of simulation have been analyzed to establish regression relations.

Keywords: Pier, Scour, Non-uniform Sediment, Unsteady Flow, Experimental Measure

### 二、計畫緣由與目的

本研究計畫係接續主持人八十八年度執行之“非均勻沈澱變量流之橋墩沖刷模擬研究(三).試驗與模擬驗證”(NSC 88-2211-E-002-054)，為二年期之研究計畫。本研究的目的主要是先獲得充分的試驗量測資料來對沖刷模式進行完整的檢定與驗證，而後利用模式來作各種參數對沖刷深度影響的一系列探討，以落實工程設計上之應用。

### 三、結果與討論

#### 1. 試驗量測結果

試驗條件如表一所示，圖1為定量流之墩前鼻頭點沖刷深度隨時間變化。由圖1中之Runs S2、S3與S4比較可知，非均勻沈澱之護甲效應十分明顯，其中RunS4這

組，由於沈澱粒徑級配標準偏差值較大，在水力篩選過程中，會有較多粗顆粒停留在底床表層，護甲層較早形成，故其沖刷深度較低於其他二組。圖 2 為變量流之墩前鼻頭點沖刷深度隨時間變化。由圖中可知，最大沖刷深度主要是發生在尖峰流量時段，而在流量減退過程中，沖刷深度幾乎維持不變。

為探討非均勻沈澱之護甲作用，分別在沖刷平衡時對Runs S3、S4與S7~S10底床表面沈澱採樣，以0.5公分為一層，共取6層分別進行篩分析。圖3為墩前表層沈澱之幾何平均粒徑  $d_g (= \sqrt{d_{15.9} \cdot d_{84.1}})$  隨深度的變化。由圖中可知，沈澱之幾何平均粒徑會隨深度增加而趨近於起始沈澱粒徑，其中幾何平均粒徑大於起始沈澱粒徑之深度可視為混合層厚度，利用量測之混合層厚度進行迴歸分析，其迴歸式表示如下：

$$T_m = 1.8d_o\sigma_g^{2.4} \quad (1)$$

其中  $T_m$  為混合層厚度； $d_o$  為起始沈澱粒徑； $\sigma_g$  為起始沈澱粒徑級配標準偏差值。

在變量流橋墩沖刷過程中，流速與流量歷線延時的變化均會對沖刷深度造成影響，圖 4 為無因次超額沖刷深度  $(d_{sp} - d_{so})/D$  隨變量流參數  $P = (V_p - V_o)t_d/D$  的變化。其中  $d_{sp}$  為變量流條件下之最大沖刷深度； $d_{so}$  為在相同延時以及流量為基流量時之最大沖刷深度； $D$  為橋墩直徑； $V_p$  為尖峰流量時之平均流速； $V_o$  為基流量時之平均流速； $t_d$  為延時。由圖中可知，變量流參數愈大，則超額沖刷深度愈大。

## 2. 模式之檢定與驗證

在定量流沖刷條件下，採用Run S2 與Run S4之試驗結果進行模式的參數檢定，然後用相同的參數，以Run S3 之試驗結果進行驗證。圖 5 為墩前鼻頭點沖刷深度隨時間變化模擬結果之比較。圖 6 為墩前鼻頭點沈澱幾何中值粒徑隨時間變化模擬結果之比較。由圖中可看出，模擬之鼻頭點沖刷深度和沈澱中值粒徑均與量測值相當

接近，兩者相當吻合。在變量流沖刷條件下，採用Run U1與Run U9之試驗結果進行模式的參數檢定，然後用相同的參數，以Run U6之試驗結果進行驗證。試驗與模擬用之流量歷線如圖7所示。圖8為墩前鼻頭點沖刷深度隨時間變化模擬結果之比較。由圖中可看出，模擬之沖刷深度與量測值相當接近，模式驗證結果可認為合理。

## 3. 模式之應用

台灣河川水文與沈澱的特性因地區而異，表二為摘錄台灣省水利處各河川整治計畫報告(李等,1997)所得之本省河川特性統計資料，包含北、中、南與東部等30條河川的基本資料。本研究依據表二中濁水溪的相關資料來選定變量流參數  $P$ 、無因次沈澱粒徑  $d_o/D$  及其級配標準偏差值  $\sigma_g$  等參數值的範圍以進行數值試驗，數值試驗之條件與結果如表三所示，其中流量歷線之設定如圖9所示。

根據表三數值試驗之模擬結果，利用多變數迴歸分析建立最大沖刷深度與各參數之關係式如下：

$$\frac{d_{sp}}{D} = 0.0186 \left( \frac{P}{10^4} \right)^{2.721} \left( \frac{d_o \cdot 10^3}{D} \right)^{-1.064} \sigma_g^{-0.768} \quad (2)$$

其中  $d_{sp}$  為變量流條件下之最大沖刷深度。根據上式中各參數指數值的大小，可知變量流參數  $P$  為影響沖刷深度的最大因素。

## 四、計畫成果自評

本研究依計畫內容，完成變量流非均勻沈澱之橋墩沖刷試驗量測工作，並根據量測結果對模式進行檢定與驗證。此外，根據蒐集之台灣主要河川的水文與沈澱特性，選定適當的變量流參數  $P$ 、無因次沈澱粒徑  $d_o/D$  及其級配標準偏差值  $\sigma_g$  的範圍，有系統的進行數值試驗，探討各參數對沖淤變化的影響，並建立沖刷深度與參數之迴歸關係式。根據以上的研究成果，本研究已達到原計畫的預定目標。

## 五、參考文獻

1. 曾明性, (1994), “橋墩周圍流場與底床沖刷之模擬研究” 國立台灣大學土木工程學研究所博士論文。
2. 顏清連、曾明性、賴進松、張文鎰, (1997), “非均勻沈澱變量流之橋墩沖刷模擬研究 (一).基本模式之改良” 國立台灣大學水工試驗所研究報告第二七七號 (NSC-86-2621-E-002-021)。
3. 李鴻源、賴進松, (1997), “跨河結構物施設規範之研議” 國立台灣大學水工試驗所研究報告第二六一號。
4. 張文鎰, (1998), “橋墩沖刷模式之改良與驗證” 國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。
5. 顏清連、曾明性、賴進松、張文鎰, (1998), “非均勻沈澱變量流之橋墩沖刷模擬研究 (二).非均勻沈澱之沖刷模擬” 國立台灣大學水工試驗所研究報告第三一〇號 (NSC-87-2218-E-002-045)。
6. 顏清連、賴進松、張文鎰、李家齊, (1999), “非均勻沈澱變量流之橋墩沖刷模擬研究 (三).試驗與模擬驗證” 國立台灣大學水工試驗所研究報告第三四二號 (NSC-88-2218-E-002-054)。
7. Ettema, R., (1980), “Scour at bridge piers.” Rept. No.216, Univ. of Auckland, Auckland, New Zealand.
8. Kothyari, U. C., (1989), “Scour around bridge piers.” Ph.D. Thesis, Univ. of Roorkee, Roorkee, India.

## 六、附表、附圖與附照

表一、模型試驗條件

Run	D (m)	$d_o$ (mm)	$\sigma_g$	H (cm/s)	V (cm/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	$t_d$ (hr)
S1	10	1.00	1.2	20.0	39.0	0.078	19
S2	10	1.00	1.2	20.0	28.0	0.056	19
S3	10	1.00	2.0	20.0	28.0	0.056	19
S4	10	1.00	3.0	20.0	28.0	0.056	19
S5	10	0.71	1.2	30.0	35.5	0.107	7
S6	10	0.71	1.2	15.0	22.7	0.034	7
S7	10	0.71	2.0	30.0	35.5	0.107	7

表一(續)

Run	D (m)	$d_o$ (mm)	$\sigma_g$	H (cm/s)	V (cm/s)	Q (m <sup>3</sup> /s)	$t_d$ (hr)
S8	10	0.71	2.0	15.0	22.7	0.034	7
S9	10	0.71	3.0	30.0	35.5	0.107	7
S10	10	0.71	3.0	15.0	22.7	0.034	7
U1	10	0.71	1.2	15.0~30.0	22.7~35.5	0.034~0.107	7
U2	10	0.71	1.2	15.0~25.0	22.7~33.1	0.034~0.083	7
U3	10	0.71	1.2	15.0~20.0	22.7~29.2	0.034~0.058	7
U4	10	0.71	1.2	15.0~30.0	22.7~35.5	0.034~0.107	7
U5	10	0.71	1.2	15.0~30.0	22.7~35.5	0.034~0.107	7
U6	10	0.71	2.0	15.0~30.0	22.7~35.5	0.034~0.107	7
U7	10	0.71	2.0	15.0~25.0	22.7~33.1	0.034~0.083	7
U8	10	0.71	2.0	15.0~20.0	22.7~29.2	0.034~0.058	7
U9	10	0.71	3.0	15.0~30.0	22.7~35.5	0.034~0.107	7
U10	10	0.71	3.0	15.0~25.0	22.7~33.1	0.034~0.083	7
U11	10	0.71	3.0	15.0~20.0	22.7~29.2	0.034~0.058	7

表二、台灣河川特性統計

河川名稱	等級	設計流量 (m <sup>3</sup> /s)	$d_{50}$ (mm)	類別	設計河寬 (m)
大漢溪	主要	9600	34~116	礫石	540
鳳山溪	次要	2400	0.25~127	砂礫石	250
社子溪	次要	553	76	礫石	140
福興溪	普通	450	0.22~88	砂礫石	50~120
三峽河	主要	2730	20~44	礫石	165~320
老街溪	次要	590	0.5~76	砂礫石	90
頭前溪	主要	11200	0.22	砂	700
鹽港溪	普通	472	0.14~0.18	砂	60
南澳溪	次要	3580	19~185	礫石	400~570
濁水溪	主要	24000	0.56~100.64	砂礫石	3620~1027
大甲溪	主要	10300	54~167	礫石	395~1510
後龍溪	主要	5300	140	礫石	120~330
大安溪	主要	13840	82~190	礫石	565~1023
中港溪	次要	5380	0.37~31	砂礫石	400
貓羅溪	次要	4540	52~116	礫石	350
西湖溪	次要	1000	0.37~102	砂礫石	150
新虎尾溪	主要	600	0.32~0.45	砂	130
曾文溪	次要	9200	0.016~0.056	砂	800~1600
枋山溪	次要	2140	17~38	礫石	200~325
林邊溪	普通	3530	3.82~7	礫石	849~1491
率芒溪	次要	1300	22~33	礫石	200
朴子溪	主要	2960	0.02~0.16	砂	400
四重溪	次要	1900	8.6~59	礫石	80~180
二仁溪	主要	3240	0.13~0.27	砂	250
八掌溪	主要	3580	0.09~0.25	砂	600~700
花蓮溪	主要	16600	20~38	礫石	1000
和平溪	次要	9900	14~65	礫石	746~1140
吉安溪	次要	590	9.31~39	礫石	55~60
卑南溪	主要	17400	20~48	礫石	650~1200
秀姑巒溪	主要	17600	2.7~16	礫石	400~700

表三、數值試驗之條件與結果

Run	$P$	$d_o / D$	$\sigma_g$	$d_{sp} / D$
T <sub>111</sub> ~T <sub>113</sub>	$11.34 \times 10^4$	$2.5 \times 10^{-3}$	1.2, 2.4, 4.8	4.52, 2.25, 1.08
T <sub>121</sub> ~T <sub>123</sub>	$11.34 \times 10^4$	$5 \times 10^{-3}$	1.2, 2.4, 4.8	2.16, 1.67, 0.69
T <sub>131</sub> ~T <sub>133</sub>	$11.34 \times 10^4$	$10 \times 10^{-3}$	1.2, 2.4, 4.8	1.13, 0.64, 0.36
T <sub>211</sub> ~T <sub>213</sub>	$8.51 \times 10^4$	$2.5 \times 10^{-3}$	1.2, 2.4, 4.8	2.07, 1.53, 0.83
T <sub>221</sub> ~T <sub>223</sub>	$8.51 \times 10^4$	$5 \times 10^{-3}$	1.2, 2.4, 4.8	1.02, 0.58, 0.34
T <sub>231</sub> ~T <sub>233</sub>	$8.51 \times 10^4$	$10 \times 10^{-3}$	1.2, 2.4, 4.8	0.44, 0.26, 0.18
T <sub>311</sub> ~T <sub>313</sub>	$5.67 \times 10^4$	$2.5 \times 10^{-3}$	1.2, 2.4, 4.8	0.63, 0.37, 0.23
T <sub>321</sub> ~T <sub>323</sub>	$5.67 \times 10^4$	$5 \times 10^{-3}$	1.2, 2.4, 4.8	0.35, 0.22, 0.14
T <sub>331</sub> ~T <sub>333</sub>	$5.67 \times 10^4$	$10 \times 10^{-3}$	1.2, 2.4, 4.8	0.14, 0.08, 0.04

註： $P = (V_p - V_o)t_d / D$ ， $V_o = 0.1V_p$ ， $t_d = 35 \text{ hr}$ ， $D = 2 \text{ m}$ ， $H = 5 \text{ m}$ 。

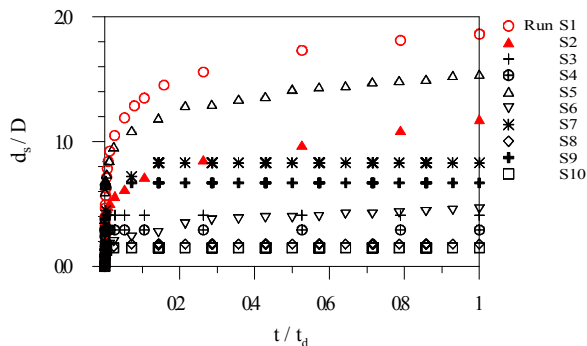
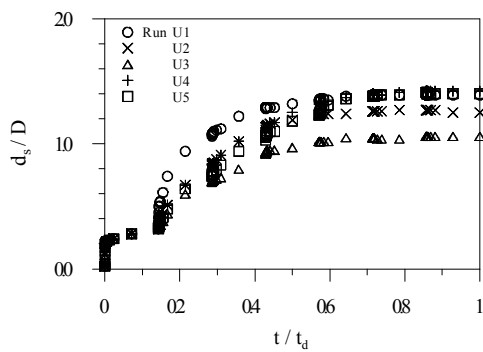
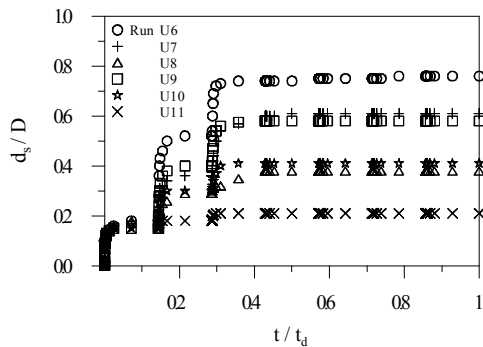


圖 1 定量流墩前鼻頭點沖刷深度之演進



(a) Uniform sediments



(b) Non-uniform sediments

圖 2 變量流墩前鼻頭點沖刷深度之演進

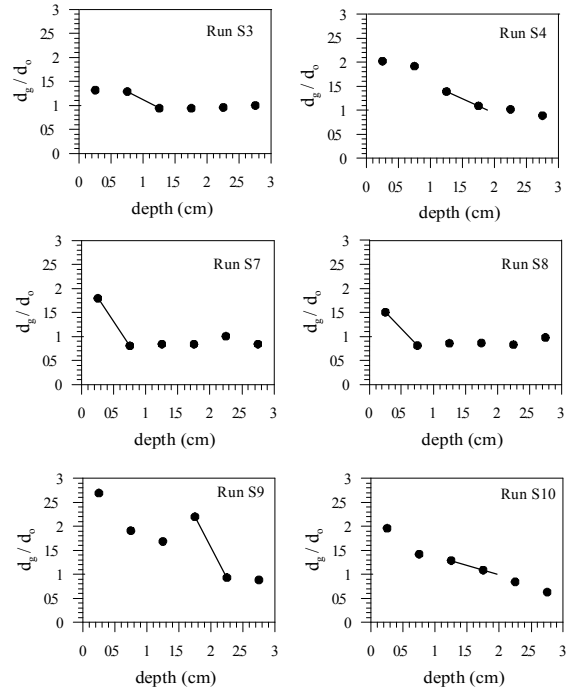


圖 3 墩前表層沈澱之幾何平均粒徑變化

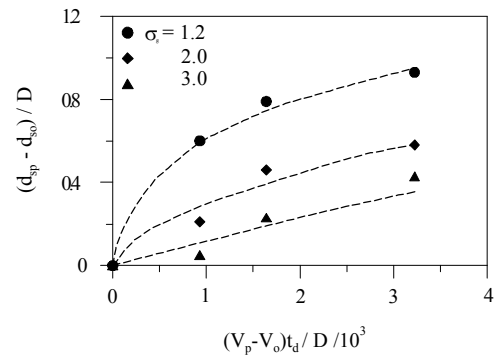


圖 4 超額沖刷深度與變量流參數之關係

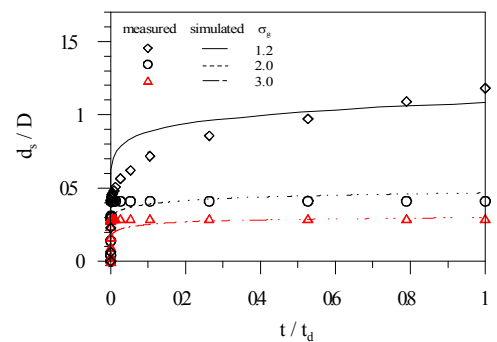


圖 5 模擬與實測量流墩前鼻頭點沖刷深度之比較

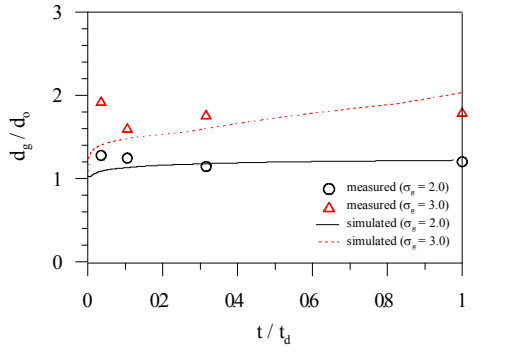


圖 6 模擬與實測量流墩前鼻頭點沈滓中值之比較

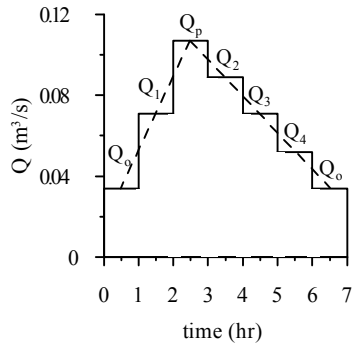


圖 7 試驗與模擬用之流量歷線

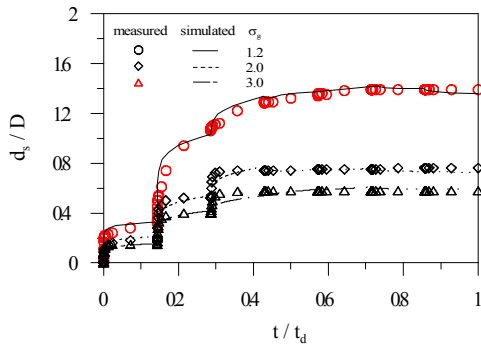


圖 8 模擬與實測變量流墩前鼻頭點沖刷深度之比較

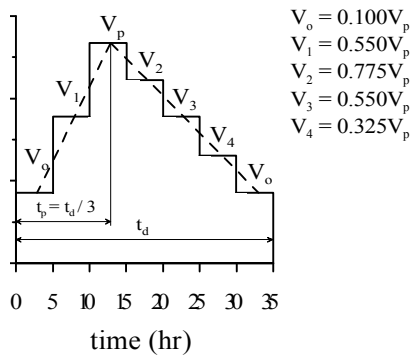
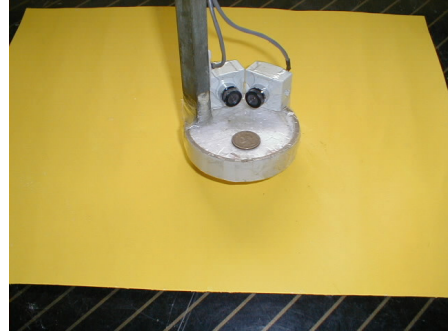
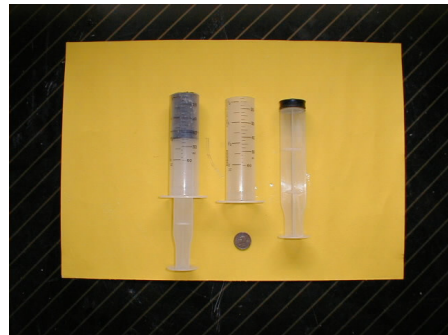


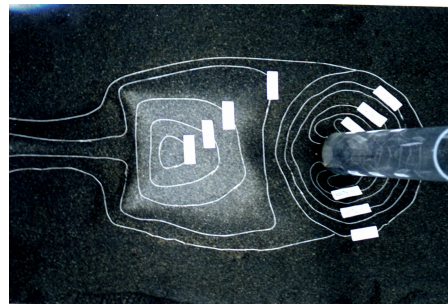
圖 9 流量歷線的流速分佈



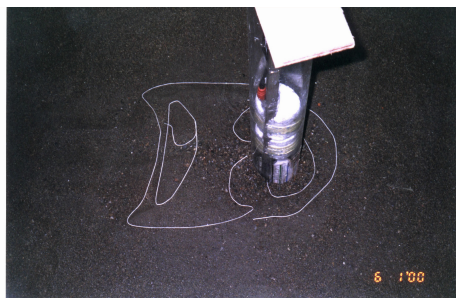
照 1 觀測沖刷用之微小型攝影機



照 2 橋墩周圍表層沈滓採樣工具



照 3 均勻沈滓之沖刷坑床形  
(Run S2,  $t = 2$  hr)



照 4 非均勻沈滓之沖刷坑床形  
(Run S3,  $t = 40$  min)