

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

Simulation of Bridge Scour under Unsteady Flow with
Nonuniform Sediment

(III). Experiments and Verification of Simulation

計畫編號：NSC 88-2211-E-002-054

執行期限：87 年 8 月 1 日至 88 年 7 月 31 日

計畫主持人：顏清連 國立台灣大學土木系 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，關於應用三維流場數值模式來模擬流場及其沖刷，已獲得合理之成果，但為將研究成果落實於工程實務上之應用，本研究則進一步進行沖刷模式之簡化工作，並加強模式模擬能力。具體而言，本三年計畫第一年的研究重點在於基本模式之改良，並進行二場數值試驗，以探討均勻沈澱變量流尖峰流量之大小對床形變化之影響；第二年研究內容則是針對非均勻沈澱床質模式進行改良，並以準變量流的方式，進行非均勻沈澱變量流之沖刷模擬。研究工作至此，本研究已建立變量流非均勻沈澱橋墩沖刷數值模式，而模式則亟待進行更完整的檢定與驗證。

為進一步提升沖刷模式的可信度(包括流場模式與床形模式)，本年度(第三年)分別採用 Graf(1998)之三維平床流場量測資料與 Dey(1995)之三維沖刷坑流場量測資料對流場模式進行更進一步的驗證；在床形模式方面，為獲得較完整之床形演變資料，本研究先針對定流量均勻沈澱進行二場試驗量測工作(試驗條件分別為 $u_* / u_{*c} = 0.9$ 與 $u_* / u_{*c} = 0.65$)，而每一場試驗均包括四個不同時段之沖刷坑床形量測與鼻頭點的沖刷歷線，然後再以此試驗資料對床形模式進行較詳盡的檢定及驗證。

從模擬結果分析可知，流場模式對於平床流場具有較佳的模擬能力；而床形模式之檢定與驗證結果則尚稱良好。

關鍵詞：橋墩、沖刷、下向流、底床剪力、

非均勻沈澱、變量流、試驗量測

Abstract

The principal investigator has conducted a series of study on bridge scour and developed comprehensive three-dimensional (3D) numerical models that can simulate flow field and scour evolution around bridge pier reasonably well. In order to enhance practical application of the simulation models, simplification of models are done in the present study. In the 1st year of this 3-year project, the flow and scour models were improved and employed to investigate the effects of unsteady flow characteristics. In the 2nd year, research efforts had been emphasized on scour simulation with nonuniform sediment. With quasi-steady approach, scour simulations under unsteady flow condition with nonuniform sediment were conducted by employing the improved models.

To test the applicability of the morphological model (including 3D flow model and scour model), it is necessary to calibrate and verify the models with comprehensive data. Hence, in the 3rd year, the flow fields with flatbed and with scour hole measured by Graf (1998) and Dey (1995), respectively, are adopted to further verify the 3D flow model. For scour model, two experiments ($u_* / u_{*c} = 0.9$ and $u_* / u_{*c} = 0.65$) are carried out under steady flow with uniform sediment to obtain data for the scour evolution at pier nose as well as scour hole elevations at four different time stages. Then these experimental data are used to calibrate and verify the scour model.

From the results of numerical simulations,

the 3D flow model can simulate flow field well, and the verification of scour model is quite reasonable.

Keywords: Pier, Scour, Downflow, Bed Shear, Nonuniform Sediment, Unsteady Flow, Experimental Measure

二、計畫緣由與目的

本研究計畫係接續主持人八十七年度執行之「非均勻沈澱變量流之橋墩冲刷模擬研究(二):非均勻沈澱之冲刷模擬」(NSC 87-2218-E-002-045),屬三年研究計畫之第三年研究工作。頭二年研究工作,已建立變量流非均勻沈澱之橋墩冲刷數值模式,為進一步提升模式的可信度,必須以較完整的試驗資料來驗證本模式,因此本年度的研究目的是先針對定量流流況下,均勻沈澱與非均勻沈澱之橋墩冲刷過程進行試驗量測工作,然後將量測結果用以驗證本模式;而關於變量流流況下,均勻沈澱與非均勻沈澱之試驗量測工作,則於下一年度之後續研究計畫(NSC 89-2211-E-002-048)中進行,如此可使試驗資料更加完備,可提供本模式進行更詳盡的檢定與驗證。

三、結果與討論

1. 三維流場之模擬驗證

a. 平床三維流場

本研究採用 Graf(1998)之平床流場量測資料驗證流場模式,其試驗條件如下:上游流速 $u_o = 0.67 \text{ m/s}$; 上游水深 $h = 0.185 \text{ m}$; 橋墩直徑 $D = 0.22 \text{ m}$ 。本研究採用 $60 \times 47 \times 27$ 之非均勻格網配置與大渦模擬參數 $C_s = 0.14$ 進行模擬,其模擬結果如圖 1 所示。圖 1 為圓柱上游沿對稱面主流方向及水深方向速度剖面之比較。整體而言,模擬之 $u(z)$ 速度及 $w(z)$ 速度均與量測值趨勢相當一致。由於在墩前,下向流的冲刷效應十分顯著,良好地模擬墩前下向流強度($w(z)$ 在水深方向的最大速度),有助提升床形模擬的精確度。

b. 冲刷坑三維流場

本研究採用 Dey(1995)之冲刷坑流場量測資料,進一步驗證流場模式在複雜床形下之模擬能力,其試驗條件如下:上游流速 $u_o = 0.261 \text{ m/s}$; 上游水深 $h = 0.05 \text{ m}$; 橋墩直徑 $D = 0.076 \text{ m}$; 冲刷坑之床形佈置如圖 2 所示。本研究採用 $84 \times 67 \times 14$ 之非均勻格網配置與大渦模擬參數 $C_s = 0.017$ 進行模擬,其模擬結果如圖 3 所示。由圖中分析比較,模擬之 $u(z)$ 速度及 $w(z)$ 速度雖然與量測值之趨勢一致,但愈接近橋墩的速度分佈,模擬值則明顯偏大。由於大渦模擬參數 C_s 值代表小尺度渦旋對主流與大尺度渦旋之影響,物理意義上具有消能的作用,而在本研究中所採用的 C_s 值則比一般常用範圍($C_s = 0.094 \sim 0.2$)為低,故模擬之流速分佈比量測值大。本研究曾嘗試採用較大之 C_s 值進行模擬,但在模擬過程則發生數值發散的現象而無法獲得模擬結果,其原因可能是冲刷坑內的水深較大,使該方向的網格間距變寬,而造成數值計算的精度降低以導致發散;因此要獲得較佳的模擬結果,則應進一步探討格網佈置及 C_s 值對流場的影響與其彼此之間的關係,而這一部份的研究工作則尚在進行中。

2. 底床局部冲刷之試驗量測

本研究針對定量流均勻沈澱之局部冲刷進行二場試驗量測工作,試驗條件分別為 $u_* / u_{*c} = 0.9$ 與 $u_* / u_{*c} = 0.65$ (相同之沈澱粒徑 $d_o = 1 \text{ mm}$ 、上游水深 $h = 0.2 \text{ m}$ 與橋墩直徑 $D = 0.1 \text{ m}$)。二場試驗均量測四個不同時段的冲刷坑床形,並利用小型攝影機置於橋墩內紀錄鼻頭點的冲刷歷程與沿橋墩表面 $0^\circ \sim 108^\circ$ 間床形隨時間的變化(如圖 4 所示, $u_* / u_{*c} = 0.9$)。而試驗量測結果則提供床形模式進行完整之檢定與驗證。另外,由圖 4 之沿橋墩表面床形變化歷程可看出,橋墩周圍之最大冲刷深度在冲刷初期是發生在橋墩兩側,但約 4~8 分鐘內,其位置即逐漸移向墩前鼻頭點,由此可見下向流之冲刷效應在橋墩局部冲刷過程中扮演著十分重要的角色。

3. 床形模式之檢定與驗證

根據上述之流場試驗條件，模式採用 $76 \times 39 \times 21$ 之非均勻格網配置與大渦模擬參數 $C_s = 0.1$ 進行流場模擬，以獲得二場試驗之底床剪力分佈與下向流強度分佈。本研究採用 $u_* / u_{*c} = 0.9$ 之試驗結果進行床形模式的參數檢定，然後在相同的參數下，以 $u_* / u_{*c} = 0.65$ 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歷程模擬結果之比較（其中沖刷坑形狀參數 $\eta = 0.95$ ；下向流參數 $C_1 = 2.43$ ）。由圖中可看出，在 $u_* / u_{*c} = 0.65$ 的水流條件下，模擬之鼻頭點沖刷深度在沖刷初期略大於量測值，但在 4 小時後模擬值則與量測值十分接近，模擬結果尚稱良好。另外，圖 6 為二場試驗在第 6 小時之沖刷坑床形模擬結果的比較。由圖中可看出，在橋墩上游與兩側的沖刷深度與範圍，模擬結果與試驗量測值均十分接近，僅在橋墩下游附近有較大的差異。整體而言，床形模式之驗證結果尚稱合理。

四、計畫成果自評

本研究依本年度之計畫內容，已完成二場定量流均勻沈澱之試驗量測工作，並根據量測結果對床形模式進行嚴謹的檢定與驗證。此外，本研究亦另尋得三維平床流場與沖刷坑流場之量測資料，並且已針對流場模式進行更進一步的驗證。然而，由於試驗量測工作需要大量的人力與物力配合，故本研究在試驗進度方面略有落後，對於定量流非均勻沈澱之試驗量測工作與其模式之檢定驗證，則一併在後續研究計畫(NSC 89-2211-E-002-048)中說明。

五、參考文獻

- 1.顏清連、曾明性、賴進松.(1996) “變量流橋墩沖刷之模擬” 行政院國家科學委員會專題研究計畫報告(NSC 85-2211-E-002-051)。
- 2.顏清連、曾明性、賴進松.(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.顏清連、曾明性、賴進松.(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)。
- 4.Dey, S. (1994). “Bed shear in evolving scour around a circular pier.” Proc., 9th Congr. of Asian and Pacific Div. of IAHR, Singapore, Vol.2, 360-367.
- 5.Ettema, R. (1980). “Scour at bridge piers.” Rept. No.216, Univ. of Auckland, Auckland, New Zealand.
- 6.Graf, W.H. and Yulistiyanto, B. (1998). “Experiments of flow around a cylinder; the velocity and vorticity fields.” J. of Hydr. Research, 36(4), 637-653.
- 7.Song, C. and Yuan, M. (1988). “A weakly compressible flow model and rapid convergence method.” J. Fluids Engrg., ASME, 110, 441-445.
- 8.van Rijn, L. C. (1986). “Sediment transport, part 1: bed load transport.” J. Hydr. Engrg., ASCE, 112(6), 433-455.

六、附圖與附表

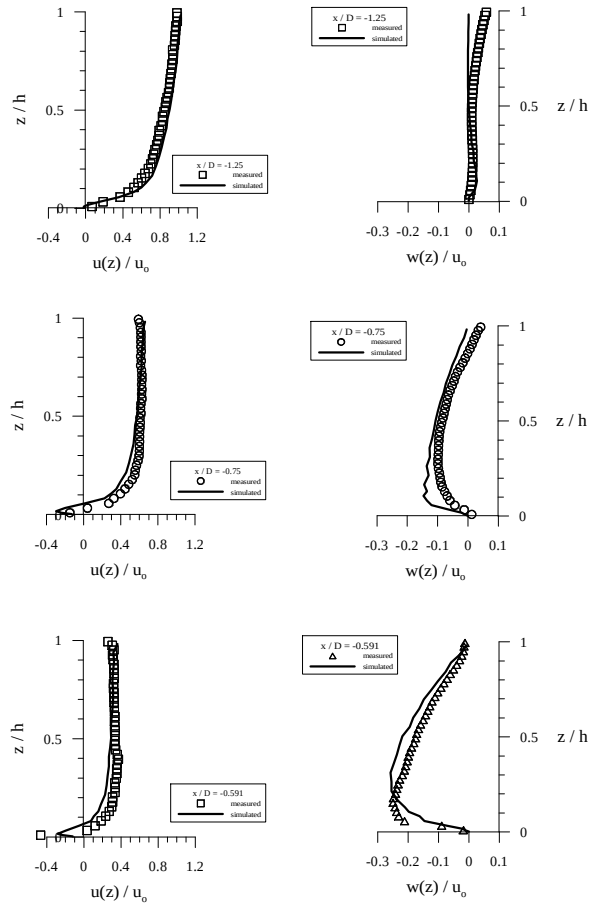


圖 1 圓柱上游對稱面主流方向及垂直方向速度剖面之比較

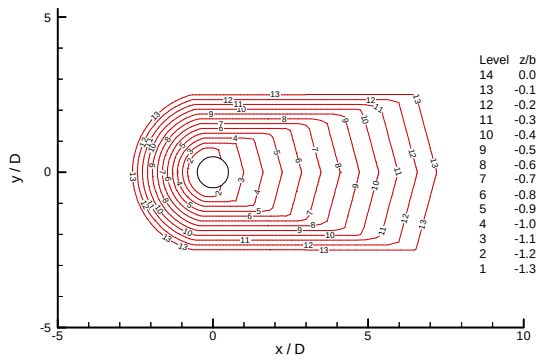


圖 2 沖刷坑之床形佈置

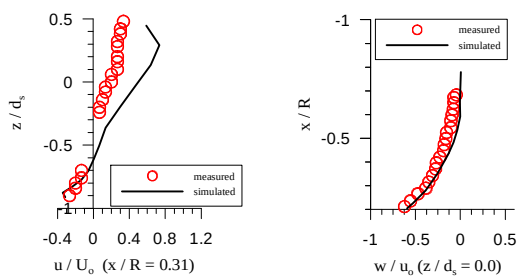


圖 3 圓柱上游對稱面主流方向與垂直方向速度剖面之比較(R 為沖刷坑之半徑)

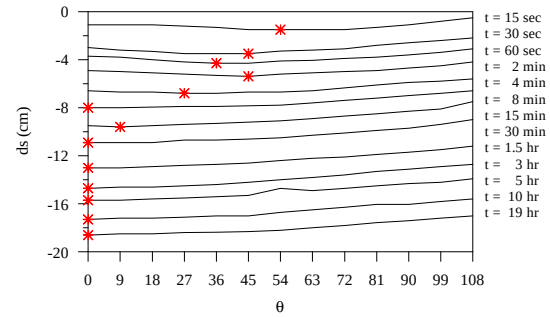


圖 4 沿橋墩表面間 $0^{\circ} \sim 108^{\circ}$ 床形隨時間的變化 (墩前鼻點處為 0° ，* 號代表沖刷最深處)

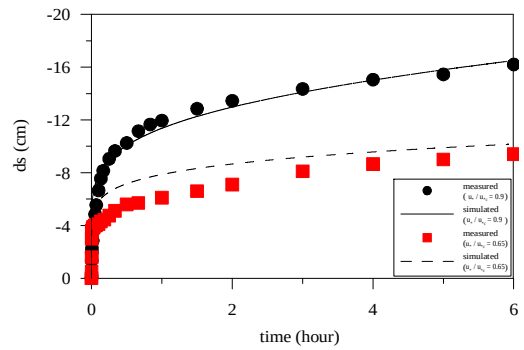
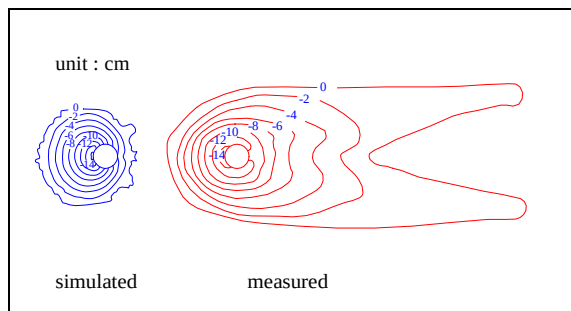
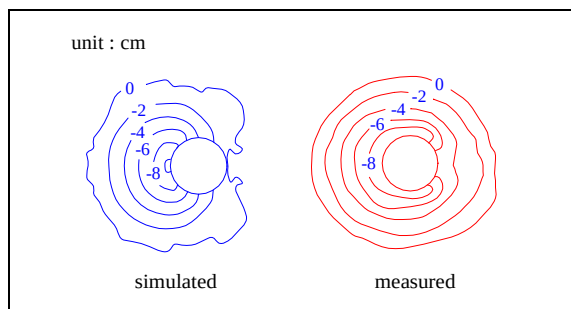


圖 5 墩前鼻頭點沖刷深度隨時間變化模擬結果之比較



(a) $u_* / u_{*c} = 0.9$



(b) $u_* / u_{*c} = 0.65$

圖 6 冲刷坑床形模擬結果之比較