

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計畫：水庫洩洪劇烈沖刷河床對洪水位影響計算模式之研 發 (2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC93-2625-Z-009-001-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立交通大學土木工程學系(所)

計畫主持人：葉克家

計畫參與人員：林恩添、廖仲達

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 5 月 31 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

水庫洩洪劇烈沖刷河床對洪水位影響計算模式之研發

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 93 - 2625 - Z - 009 - 001

執行期間：93年 8月 1日至 94年 7月 31日

計畫主持人：蔡長泰

共同主持人：葉克家

計畫參與人員：林恩添、廖仲達

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：國立交通大學土木工程學系

中 華 民 國 94 年 5 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

水庫洩洪劇烈沖刷河床對洪水位影響計算模式之研發(2/3)

計畫編號：NSC 93-2625-Z-009-001

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

總計畫主持人：蔡長泰

子計畫主持人：葉克家

計畫參與人員：林恩添、廖仲達

一、摘要

天然河道常為主深水槽及其相鄰之洪水平原所構成之複式河槽，在洪水時期，兩側高灘地遭淹沒，水流之流況相當複雜，如同時考量河床之變動，則流況將更形複雜。台灣河川斷面亦多屬複式斷面，如何讓水庫洩洪造成河床劇烈沖淤之洪水安全通過所設計之流路，以確保沿岸居民生命財產於無虞，實屬刻不容緩之研究課題。

本計畫分三年進行，第二年(本年度)主要之工作為持續探討主深槽與高灘地間泥砂交換之機制，並選擇適當之機制加入原二維動床數值模式以擴充其功能，同時選取數個具有代表性之動床實驗案例進行模擬測試，比較複式河槽定床與動床下水位之差異性，以及斷面形狀(高灘地寬度)、底床變動等對水位之影響。

經由模擬結果發現，複式斷面主槽與高灘地間之交換機制影響著底床之變化，進而也影響著水位的變化。當深槽底床與高灘地淤高時，水位隨之壅高；沖刷時，水位隨之下降。

關鍵詞：複式斷面、洪水位壅高、EFA 模式

Abstract

The cross section of a natural river is usually composed of a deep main channel and adjacent shallow floodplains. During flood season, the floodplains would be inundated, and the flow condition in the compound channel is very complex especially under the consideration of

sediment transport on the mobile bed. In Taiwan, many rivers are composed of compound section, so the assurance of the reservoir-emitted flood can safely pass through the designed channel to keep the property and safety of residents is a demanding research topic.

The objective of the 2nd-year study is to find a suitable sediment transfer relation between deep main channel and adjacent shallow floodplains. Then, programming this suitable relation in the EFA model and choosing some representative laboratory data as simulating case to check the accuracy of the model. Comparing the variation of water level with mobile and immobile bed, and evaluating the change of floodplain's width and variation of bed elevation on the change of the water level are executed in this year.

The simulated results show that the interaction mechanism between the main channel and the floodplains affects the change of the bed elevations as well as the variation of water stages. Water stage increases when the deposition of main channel and floodplains occur due to upstream incoming overloading of sediments. On the other hand, water stage decreases accompanied by the scour of main channel and floodplains due to upstream incoming under-loading of sediments.

Keywords: compound channel, flood stage block-up, EFA model

二、緣由與目的

豪雨洪水雖可能氾濫淹水成災，但也帶來寶貴之水資源儲蓄利用。故總計畫之

目標為建立河系多水庫洩洪操作之相關計算模式及展示系統，構成水庫洩洪防淹決策支援系統，以減免豪雨期間水庫洩洪及河系洪水對中下游洪氾淹水之損失，進而儲蓄洪水以供利用。

天然河道常為主深水槽及其相鄰之洪水平原所構成之複式河槽，水流之流況相當複雜，尤其本省河川之中下游河道多屬複式斷面，平時中低水時期僅於主深水槽中有水流動，但是在洪水時期，兩側高灘地亦遭淹沒。Knight 等(1983、1987)、Wormleaton 及 Merrett(1990)指出當洪水平原之水深較低時，主深水槽及洪水平原兩者間極大之流速差異將使得主深水槽與洪水平原之交界面產生較強之剪力層以及明顯之動量交換。洪水平原除可提供水流蓄存之空間外，亦可作為其流動之通道。

複式斷面之水理乃屬三維之複雜流場，就簡化之二維數值演算而言，洪水漲退過程中，水位將通過主深水槽與高灘地之交界，此牽涉乾濕點計算之技巧與可能發生數值不穩定現象。如進一步考慮泥砂輸運及河床變遷行為，則將使問題更形複雜。本研究欲探討主深水槽及洪水平原間流量及輸砂量交換機制，及其對床形與洪水位之影響，因此須研發水平二維動床模式。

本年度計畫之目的主要有列幾點：

1. 持續蒐集主深槽與高灘地間泥砂交換機制之文獻，且對於主槽與高灘地交界流場及輸砂數值計算之不穩定加以探究解決。
2. 選擇適當之交換機制加入原二維動床數值模式以擴充其功能。
3. 選取數個具有代表性之動床實驗室案例進行模擬測試。
4. 比較複式河槽定床與動床下水位之差異性，以及斷面形狀(高灘地寬度)、底床變動等對水位之影響。

三、研究方法

本研究採用顯式有限解析法(explicit finite analytic)進行控制方程式之離散化。在移流項所控制之淺水波流場，EFA 法有其推導容易及精度良好之優點，且此法在計算流力方面之應用已證明成果相當不錯。本研究將所發展之模式曾應用至多種

定床流場之模擬，並引用試驗資料來加以驗證，模擬結果頗令人滿意。

本研究以有限解析法模式為基礎，以無黏性沉滓為對象，將懸浮載與河床載分開計算並考慮其間交互作用之機制，以及非均勻沉滓河床之篩分與護甲機制。先探討洪水對砂質河床主槽之沖刷機制，繼而將模式擴充至洪水對砂質高灘地之淤積機制，使其兼具洪水對砂質河床主槽沖刷與高灘地淤積之計算能力，最後則將探討複式斷面河道劇烈淤積對洪水位壅高之影響，各階段建置完成，皆將以實驗資料進行率定驗證，並應用於曾文溪曾文水庫洩洪之研究。

四、控制方程式

求解之控制方程式可分為水理與輸砂兩部份，水理之控制方程式包含了連續與動量方程式；輸砂之控制方程式包含了某一粒徑之懸浮載、河床載質量守衡方程式，及整體河床輸砂之質量守衡方程式，其表示形式分別如下[2]：

水理方程式：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + p_r \frac{\partial Z_b}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial(h + Z_b)}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial(\tau_{xx}h)}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{xy}h)}{\partial y} \right] \quad (2)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial(h + Z_b)}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial(\tau_{xy}h)}{\partial x} + \frac{\partial(\tau_{yy}h)}{\partial y} \right] \quad (3)$$

輸砂方程式：

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} = -\frac{1}{\rho h} \frac{\partial(Q_1 h)}{\partial x} - \frac{1}{\rho h} \frac{\partial(Q_2 h)}{\partial y} + \frac{S}{\rho h} \quad (4)$$

$$\rho_s(1-p_r) \frac{\partial(\beta E_m)}{\partial t} + \frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + S - S_f = 0 \quad (5)$$

$$\rho_s(1-p_r) \frac{\partial Z_b}{\partial t} + \sum_{i=1}^k \left[\frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y} + S \right] = 0 \quad (6)$$

上述諸式中，h=水深；u,v=x及y方向水深平均之流速； p_r =河床交換層內之孔隙率； Z_b =河床高程；g=重力加速度； τ_{bx} , τ_{by} =x

及y方向之底床剪應力； ρ_s =水及沈澱之密度； c =水深平均之懸浮質濃度； S =沈澱交換速率； β =某一顆粒之組成百分比； E_m =交換層厚度； q_{bx}, q_{by} =x及y之河床載通量； S_f =交換層底部之源項； k =代表不粒徑之數目； τ_{xy} =水深平均有效剪應力(effective stress)之分量，可表為

$$\tau_{xy} = \frac{1}{h} \int_{z_b}^{z_b+h} -\rho \bar{u}' \bar{v}' dz \quad (7)$$

上式中， $-\rho \bar{u}' \bar{v}'$ 為雷諾剪應力。另 Q_1 及 Q_2 為

$$Q_i = q_i + \frac{1}{h} \int_{z_b}^{z_b+h} \rho(\tilde{c} - c)(\tilde{u}_i - u_i) dz \quad i=1,2 \quad (8)$$

上式中， q_i =i方向某一粒徑懸浮質之擴散通量； \tilde{c} =懸浮質濃度； \tilde{u}_i =i方向之流速。

五、數值方法

本模式採用顯式有限解析(explicit finite analytic)法求解水流動量方程式。該法係由 Dai(1994) 提出用於求解 Navier-Stokes 方程式[1]，而本研究將其應用在具自由水面之二維渠流上。其原理為將動量方程式之移流項保留在等式左邊，而擴散項及源項移至等式右邊，並視為已知；然後藉由特性法之觀念，決定擾動波傳播之方向，而據以推得待求格點上於該時刻之未知變量(u 及 v)與其周圍相關格點前一時刻已知變量之關係式。其後藉助連續方程式求解水深(h)，並來回疊代直至收斂為止。根據 Dai(1994)之分析，本方法在空間上為二階精確，而時間上為一階精確。由於係顯式法，故時間增量(Δt)由 Courant Condition 來決定。

在輸砂方程式之數值求解方面，先將(4)式以特徵曲線法予以離散化，然後與經有限差分法離散化之(5)及(6)式同時求解。上述式子，經線性化後，利用 Newton-Raphson 法疊代求得變數之增量

$$Z_b, \quad c_i, \quad \beta_i, \quad i=1, 2, \dots, k.$$

六、模擬案例與參數設定

模擬案例採自 Suryanarayana (1969)之水槽動床實驗[5]，研採均質粒徑淤積案例 run21、均質粒徑沖刷案例 run24。以下茲就模式演算設定參數分述如後。

1. 渠道幾何資料

模擬渠道為一複式斷面試驗水槽，長 18.3 公尺，斷面如圖 1 所示，主深槽寬 0.5 公尺、深 0.02 公尺，兩側各延伸 0.15 公尺。渠道上游處裝置一加砂器，下游末端裝置一沉澱收集器，渠道沿程每隔 0.305 公尺佈一底床高程量測點，每 1.525 公尺佈一水面線量測點。數值模擬之渠道長為 15.25 公尺，計算格點採用(51×9)格網點。各斷面之底床高程係以實驗起始時間所量測之底床高程作為初始底床高程。

2. 床質粒徑資料

均質粒徑案例部分，其底床粒徑均採 $D_{50}=0.45\text{mm}$ 。

3. 粗糙係數

曼寧 n 值以數值試驗率定之，均質案例之曼寧 n 值研採 0.017。

4. 上游入砂濃度

淤積案例中之上游入砂濃度，經換算可得 run21 為 409ppm。沖刷案例的部分則皆為清水沖刷，上游入砂濃度為 0ppm。

5. 孔隙率

孔隙率係根據淤積案例中，假設所有上游入砂皆落淤於渠道中，估算入砂體積與實際落淤於渠道體積之比值，再以 1.0 扣除此比值，即為孔隙率。沖刷案例由於缺乏淤積鋒面可供推算，乃採估計值為 0.3。

6. 指標層厚度

此次率定案例採用 1mm 時，模擬結果最佳。

7. 各案例流量及下游水深資料

Run21 上游入流量為 0.0236cms/m，下游水深 0.2565m；Run24 上游入流量為 0.0194cms/m，下游水深 0.249m。

七、模擬結果分析

1. 均質淤積案例 (run21)

run21 淤積案例模擬結果如圖 2 所示, 初始底床高程斜率大致保持一水平坡度, 僅入流處沿程 2 公尺內為沖刷狀態; 初始水面線大致亦為水平狀態, 但呈現些許遞減趨勢。

模擬 1 小時後可發現沿程 1 公尺處有明顯之淤積現象產生, 淤高約 0.046 公尺, 沿程 3 公尺後其底床高程變化大致保持和原始底床相同, 變化不大; 水位方面, 由於前段底床的淤積, 可發現水面線在淤積段是呈現上升又下降的型態, 這是由於泥砂淤積在主深槽與高灘地所致, 明顯和定床時有所不同, 後段之水面線變化由於底床並無明顯沖淤, 因此和初始水面線幾乎相同。

從立體圖來看, 河道之初始底床如圖 3 所示, 1 小時後之模擬結果則如圖 4 所示。由上圖可清楚的看出整個河道的淤積型態, 模擬前後的底床比較圖則整理如圖 5 所示。

接著改變高灘地的寬度為 $y=0.3\text{m}$ 、 $y=0.4\text{m}$, 分析高灘地寬度是否影響底床及水位的高程變化, 結果如圖 6、7 所示。在此淤積案例中, 可發現增加高灘地寬度時, 底床淤積的範圍往下游方向有些許增加; 而水位方面, 則無明顯改變, 這是由於淤積的高度並無明顯增加而是範圍往下游延伸, 因此對於水位抬高的作用並不顯著。

2. 均質沖刷案例 (run24)

run24 沖刷案例模擬結果如圖 8 所示, 初始底床高程除沿程 2 公尺內為水平, 後段約以 0.006 的斜率遞減; 初始水面方面則大致保持與底床坡降平行。

模擬 1 小時後於沿程 1 公尺內有明顯之沖刷現象產生, 後段之底床高程沖淤無明顯變化; 水位方面, 由於前段之沖刷較大, 因此水位明顯下降, 沖刷段後之水位也明顯較原始水

位低。

再從立體圖來看, 河道之初始底床如圖 9 所示, 模擬 1 小時後如圖 10 所示, 從立體圖的角度可很清楚的看出整個河道的沖刷型態, 模擬前後的底床比較圖如圖 11 所示。

同樣試著改變高灘地的寬度為 $y=0.3\text{m}$ 、 $y=0.4\text{m}$, 結果如圖 12、13, 可發現隨著高灘地寬度的增加, 沖刷的程度與範圍皆明顯變大, 水位方面反而無明顯變化, 可顯示高灘地之寬度並不直接影響水位變化的關係, 而跟底床高程變化較為相關。

八、結論

1. 經由實驗室案例模擬後發現, 複式斷面主槽與高灘地間之交換機制影響著底床之變化, 進而也影響著水位的變化, 主深槽底床與高灘地淤高時, 水位隨之壅高; 沖刷時, 水位隨之下降。
2. 高灘地的寬度對於底床之淤積與沖刷程度有著相關性存在, 高灘地越寬, 淤積與沖刷的程度越明顯; 但對於水位而言, 高灘地的寬度則並不具有絕對的影響性。

九、參考文獻

- [1] Dai, W. (1994). "Numerical solutions of unsteady Navier-Stokes equations using explicit finite analytic Scheme." Ph.D. Thesis, the Univ. of Iowa, Iowa City, Iowa.
- [2] Hsu, C. T., Yeh, K. C., and Yang, J. C. (2000). "Depth-averaged 2-D curvilinear explicit finite analytic model for open-channel flows." Inter. J. for Numerical Methods in Fluids, 33, 175-202.
- [3] Knight, D. W., and Demetriou, J. D. (1983). "Flood-plain and main channel flow iteration." J. Hydr. Engrg., ASCE, 109(8), 1073-1092.
- [4] Knight, D. W. and Sellin, R. H. J. (1987). "The SERC flood channel facility." J. Instin. Water aand Envir. Mgmt., 1(2), 198-204.
- [5] Suryanarayana, B. (1969), "Mechanics of Degradation and Aggradation in a Laboratory Flume", thesis presented to Colorado State University, at Fort Collins, Colorado, in 1969.
- [6] Wormleaton, P. R., and Merrett, D. (1990). "An improved method of calculation of steady uniform flow in prismatic main/flood channel plain section." J. Hydr. Res., 28, 157-174.

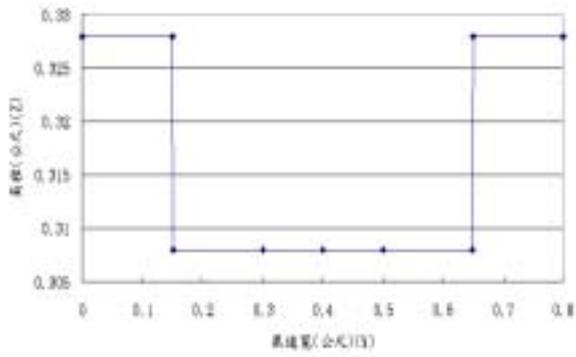


圖 1 複式斷面圖

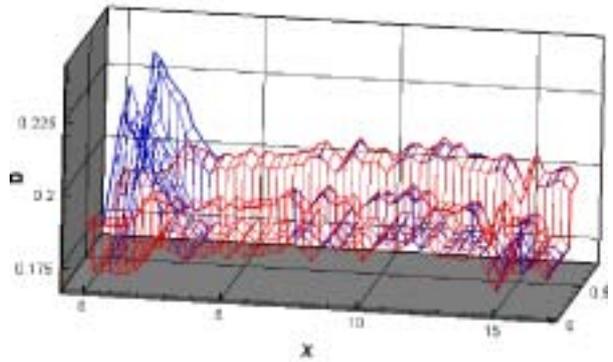


圖 5 run21 淤積案例初始與模擬底床比較

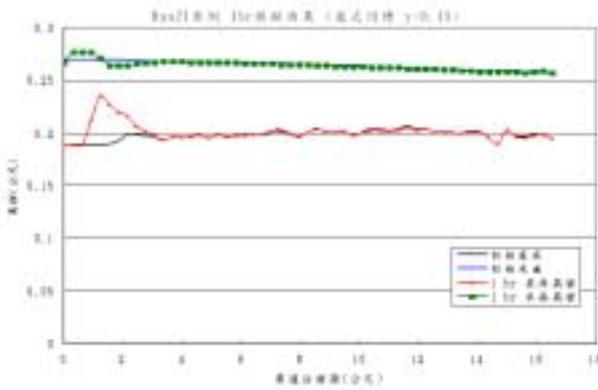


圖 2 run21 淤積案例模擬結果 (y=0.15)

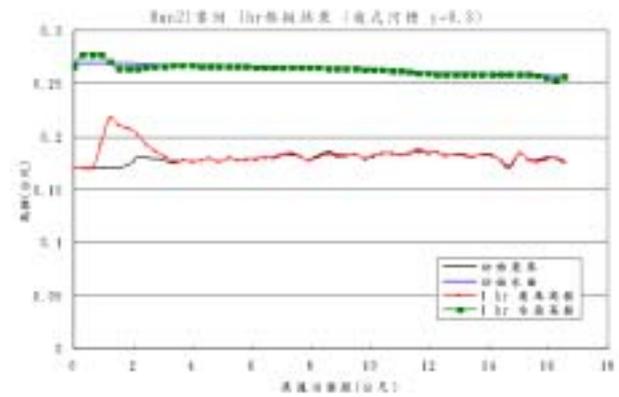


圖 6 run21 淤積案例模擬結果 (y=0.3)

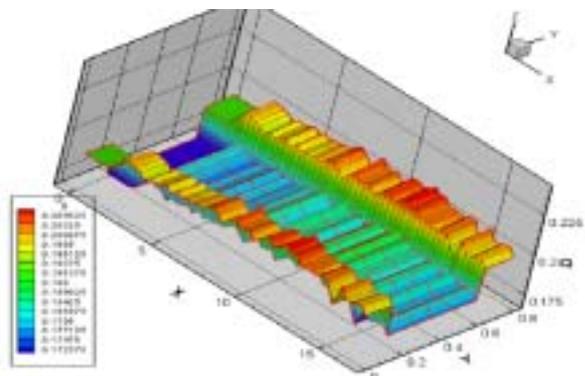


圖 3 run21 淤積案例初始底床

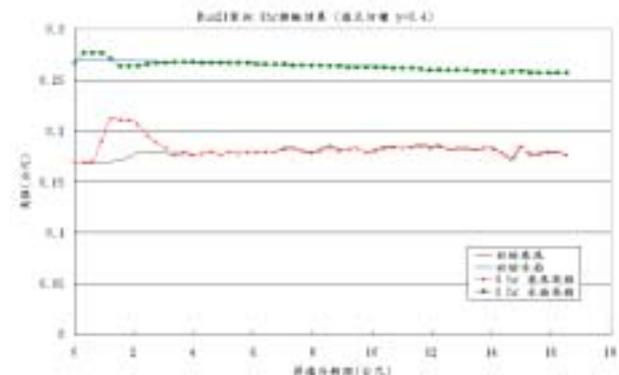


圖 7 run21 淤積案例模擬結果 (y=0.4)

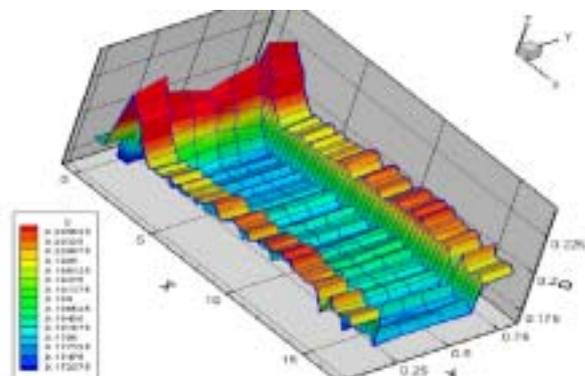


圖 4 run21 淤積案例模擬 1hr 底床

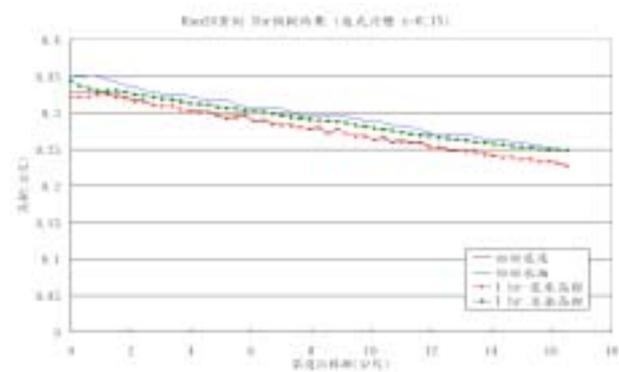


圖 8 run24 沖刷案例模擬結果 (y=0.15)

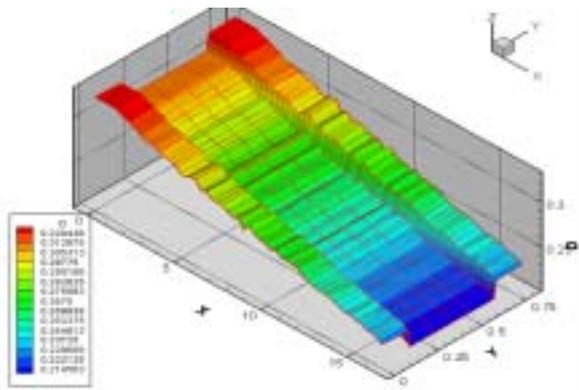


圖 9 run24 沖刷案例初始底床

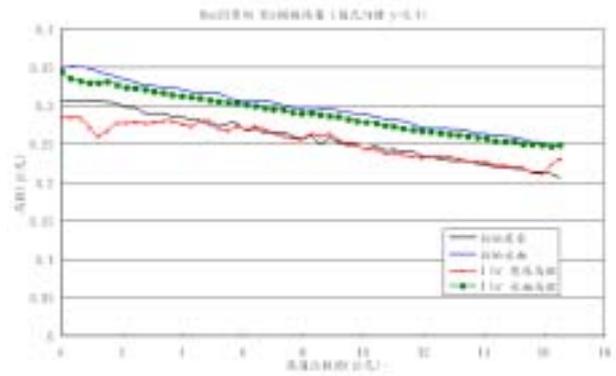


圖 13 run24 沖刷案例模擬結果 (y=0.4)

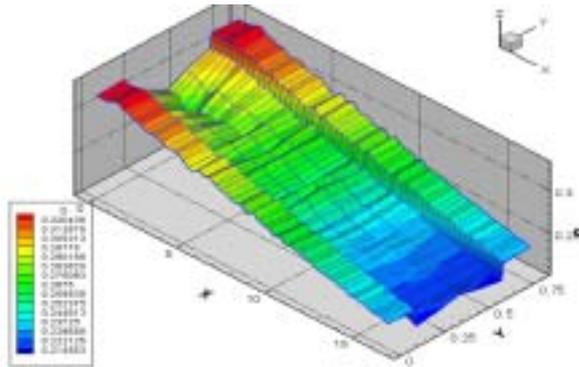


圖 10 run24 沖刷案例初始底床

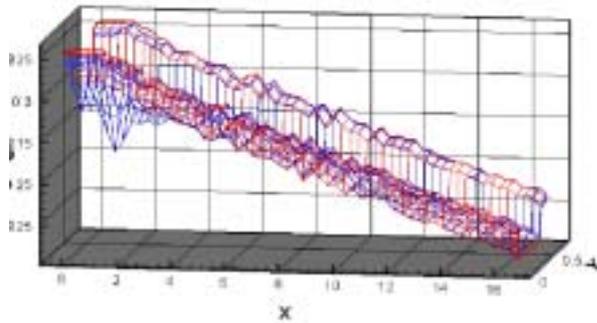


圖 11 run24 沖刷案例初始與模擬底床比較

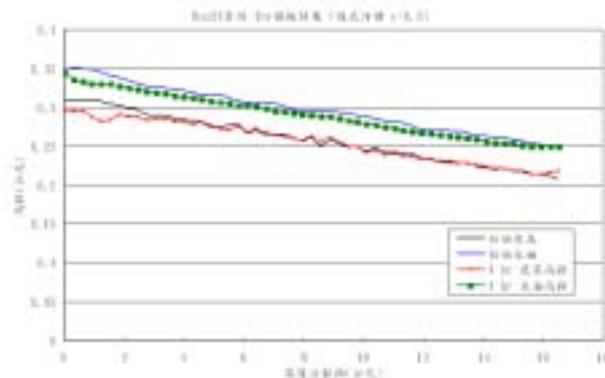


圖 12 run24 沖刷案例模擬結果 (y=0.3)