

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

三維水理模式應用於網路型河川之研究(一) Application Study of 3D Hydraulic Model to Network River(I)

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 90 - 2211 - E - 009 - 016 -

執行期間： 90年 01月 01日至 90年 07月 31日

計畫主持人：葉克家教授 國立交通大學土木系

共同主持人：沈澄宇博士 國家高速電腦中心

連和政博士 國家高速電腦中心

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：國立交通大學土木系

中 華 民 國 90年 10月 31日

三維水理模式應用於網路型河川之研究

Application Study of 3D Hydraulic Model to Network River

計畫編號：NSC 90-2211-E-009-016

執行期限：90年1月1日至90年7月31日

主持人：葉克家教授 國立交通大學土木工程系

共同主持人：沈澄宇博士 國家高速電腦中心

連和政博士 國家高速電腦中心

計畫參與人員：李家和 交大土木工程系碩士生

林恩添 交大土木工程系博士生

一、中文摘要

過去水力計算之流場模擬大都以一維度或二維度的觀點為出發點來簡化三維度的控制方程式，以降低計算機之 CPU 負荷量及縮短模擬時間。然而當水流流經複雜之天然水道或人工結構物如溢洪道、攔河堰、取水工等複雜幾何形狀，將使流場形成具亂流、非穩態以及複雜三維效應之流場，使得發展三維數值模式之重要性日益加增。

近年來隨著計算機之執行速度與記憶容量大幅提昇，加上網路技術之進步，建立了高效能計算之環境，使得大尺度河川三維模式之發展成為下一代河川數值模式發展之主流。國家高速電腦中心透過國際合作與美國愛荷華大學水力研究 (IIHR) 共同進行「高速計算於水資源工程之應用」研究，為期三年，並由 IIHR 提供一套正發展中之三維度河川水流 RIVER3D 模式，為了完成 RIVER3D 模式之建置、修改、測試與應用，以提昇台灣地區河川水理模擬及預測能力，故有本計畫之提出。

本計畫分三年進行，其最終目的為網路河川三維模式之應用與發展。第一年為 RIVER3D 模式之建置與測試，係以假設的流場案例建立標準化的工作程序（含前、後處理之建立）與檢驗模擬結果之精度。第二年為網路河川三維模式之發展，係利用多區塊格網分割之技巧，將 RIVER3D 模

式應用於具有主支流交會之網路型河川結構中。第三年為淡水河流域實例模擬，並配合虛擬實境之技術，充分展示立體三維空間之研究成果。

關鍵詞：三維數值模式、多區塊格網、網路型河川系統、虛擬實境

Abstract

In past, the hydraulic computations for simulating flow field are usually based on one- or two- dimensional models. Practically, these models can lower the loading and cost of computer and short the simulation time. But when water flows through natural water bodies or man-made structure such as spillway, weir, and intake structure, the flow with turbulent, unsteady, and highly three-dimensional flow structure will be developed. Therefore the importance of developing three-dimensional model is day by day growing up.

With the advance of run-time speed and memory storage of calculators and network technology, the environment of high-performance computing had been constructed in these years. This environment will make the development of three-dimensional flow model with large scale to be a mainstream of developing

computational hydraulics in the next generation. As a result, the National Center for High-Performance Computing (NCHC) proposed three-year international collaboration with the Iowa Institute of Hydraulic Research (IIHR) at The University of Iowa, which is concerned with the study of 「High-Performance Computing in Water Resources Engineering.」 In order to complete the setup, modification, test and application of RIVER3D model and promote the prediction ability of water flow model in Taiwan, it is necessary to propose this study.

The goal of the proposal will be completed in three years. The purpose of this study is aimed at the development and application of RIVER3D model for the channel-network system in Taiwan. The task in the first year is to set up and test RIVER3D model. Some assumed flow cases are used to make the standard procedure for the pre- and post-processor and to verify the accuracy of numerical solution.. The task in the second year is that the multi-block approach will be applied to the numerical simulation of channel-network system using three-dimensional flow model. Consequently, the RIVER3D model can be applied to the channel-network system including the problem of junctions. The target of the third year is to calibrate and apply RIVER3D model to Tan-Suei river and to show the computed results in the three-dimensional space with virtual reality technique and equipment supported by NCHC.

Keywords: Three Dimensional Numerical Model, Multi-block Mesh, Channel-network System, Virtual Reality

二、緣由與目的

以往水力計算之流場模擬大都以一維度或二維度的觀點為出發點來簡化三維度的控制方程式。當河道斷面形狀之寬深比值 (width-to-depth ratio) 很大情形下，水

流速度在平面方向 (x, y 軸) 變化之級數遠大垂直方向 (z 軸) 變化之級數，因此忽略水深方向之流速剖面變化假設為一均勻流，可將複雜之三維控制方程式簡化為平面二維方程式 (plain two-dimensional equations)，此一簡化也廣被水利工程師接受用來求解他們所關心的問題 (Kuipers and Vreugdenhil, 1973; Ponce and Yabusaki, 1981; Molls and Chaudhry, 1995; Ye and McCorquodale, 1997)。但當河川水流進入水庫區內河道斷面形狀之寬深比值變小，或水流流至河口受到感潮河段之影響，垂直方向之流速變化相當顯著，平面二維控制方程式已不適用，因此發展垂直二維模式 (vertical two-dimensional model) (Festa and Hansen, 1976; Wang and Kravitz, 1980; Kuo et al., 1990) 可以正確描述流速、濃度等物理變數在垂直方向之變化。上述之二維數值模式在適當的假設條件下，可以降低計算機之 CPU 負荷量及縮短模擬時間且得到不錯的求解精度，但對於複雜的三維流場結構則無法描述之。

近年來由於計算機之計算效能之提昇，已有能力進行複雜的三維流場之數值模擬。當水流流經複雜之天然水道或人工結構物如溢洪道、攔河堰、取水工等複雜幾何形狀，將使流場形成具亂流、非穩態以及複雜三維效應之流場。在三維數值模式之發展，首先應用於簡單河道斷面直線渠道有 Rastogi and Rodi (1978); Naot and Rodi (1982); Alfrink and van Rijn (1983); Krishnappan and Lau (1986); Gibson and Rodi (1989) 和 Cokljat and Younis (1995)。而應用於彎曲河道之演算有 Leschziner and Rodi (1979); Demuren and Rodi (1986); Meselhe et al. (1995)。之後應用於天然河道中具人工結構物有 Demuren (1993); Olsen and Stokseth (1995); Constantinescu and Patel (1998) 和 Neary et al. (1999)。在國內的相關研究則有曾(1994)，張(1997)。

綜觀國內外有關河川三維數值模式之發展，國外之研究已能應用至天然河道，而國內之研究則尚屬萌芽階段，有待進一步的努力。國家高速電腦中心有鑑於大尺度河川三維模式之發展將成為下一代河川數值模式發展之主流，因此透過國際合作與美國愛荷華大學水力研究 (IIHR) 共同進行「高速計算於水資源工程之應用」研究 (相關內容詳附件)，為期三年，並由 IIHR 提供一套正發展中之三維度河川水流 RIVER3D 模式，本計畫擬結合國家高速電腦中心之設備及研究人力完成 RIVER3D 模式之建置、修改、測試與應用，並以網路型河川結構為研究對象，輔以多區塊格網分割之技巧 (Lai and Przekwas, 1996)，以提昇台灣地區河川水理模擬及預測能力。

此外，由於三維流場模擬之資料輸出量相當龐大，以往分析模擬結果之工具僅能以平面圖表方式進行探討，近來因虛擬實境技術之發展，可以三度立體空間之方式分析流場而能充分了解複雜流場之結構變化，以加強物理觀念之解析，因此，本計畫將與國家高速電腦中心密切合作進行資料輸出與虛擬實境之結合。

三、結果與討論

(1) RIVER3D 前、後處理

由於網際網路 (Internet) 已蓬勃發展，透過網際網路的連線，使得使用者能夠經由瀏覽器 (Browser) 查詢或瀏覽遠端的資料，因此，本研究計畫結合了高速計算及網際網路的優點，以三層架構 (Three-tiered Architecture) 系統開發了以網路版使用者圖形介面 Web-based GUI，如圖 1 所示。圖 1 的輸入介面網頁設計可分成三個框架 (frame)，最左邊的框架為模式輸入導引列，可導引使用者依序建置模式所需的輸入條件。中間的框架為模擬物件的 3D 影像圖，透過人性化的操作介面，可任意操控物件如旋轉、放大、縮小等功能。最右邊的框架則可輸入模式所需的參數設定。

由於河川三維模式的計算量相當大，

為了避免使用者煩悶的等待，本研究計畫也開發了數值收斂精度監控網頁，將控制方程式中流速變數 U 、 V 、 W 的收斂精度值與疊代次數，繪成收斂精度變化曲線圖，並顯示於 Client 端的瀏覽器中如圖 2 所示。如此一來，也可讓使用者快速掌握模式是呈現收斂趨勢還是處於發散情況，倘若模式的收斂精度值是呈現發散中，使用者可立即下達停止運算的指令，以避免浪費多餘的計算量。

雖然目前 Web-based GUI 尚未具有在網頁中展示模擬結果的功能，但 U2RNAS 模式會將模擬結果存成 TECPLOT 的格式，因此，若使用者已經安裝 TECPLOT 軟體，則使用者可透過網頁直接下載模擬結果檔，並選擇直接開啟檔案的選項，則 TECPLOT 軟體會自行啟動，同時也會自動讀入模擬結果資料，使用者即可透過 TECPLOT 軟體的指令，迅速完成流場速度向量圖的繪製如圖 3 所示。

(2) 水躍模擬

假設一渠道幾何條件長 8.0m，寬 0.5m，高 4.0m，渠道坡度為 0.001。邊界條件，入流速度為 5.5m/s，入流水深 1.0m，而水躍理論值下游水躍水深 2.03m 且水躍長度為 7.13m。本研究計畫採用商業版軟體 Star-CD 進行數值模擬，模擬結果下游水位為 2.2m 水躍長度為約 7.4m，與理論值相較，極為接近，如圖 4 所示。

四、計畫自評

本計畫第一年預期完成之工作項目有：

1. 基本資料之蒐集與整理。
2. RIVER3D 模式之測試、修改、檢定與驗證。
3. RIVER3D 前、後處理標準化工作流程之建立。
4. 報告撰寫。

第一年之研究報告內容完全符合預期完成之工作。

本研究之貢獻在學術研究方面，RIVER3D 為美國愛荷華大學水力研究

(IIHR) 所發展之大尺度三維河川水流模式，透過國際合作之學術交流，在現有基礎下，有助於提昇研發本土河川三維模式之能力與擴充RIVER3D之功能，就數值模式之應用發展而言，應為頗先進之成果。在工程實務上之貢獻，本計畫經由大尺度河川三維模式RIVER3D之建置、測試與應用，有助於提昇台灣地區河川水理之數值計算能力至三維實際流場，並藉助虛擬實境之技術，可提供水利機關無論在河川管理或既有水工結構物及橋樑之安全評估上更豐富之視覺化資料，作為支援決策重要之參考依據。

五、參考文獻

- [1] Alfrink, B.J., and van Rijn, L.C. (1983), "Two-equation turbulence model for flow in trenches," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 109(7), pp.941-958.
- [2] Cokljat, D., and Younis, B.A. (1995), "secondary-order closure study of open-channel flows," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 121(2), pp.94-107.
- [3] Constantinescu, G.S., and Patel, V.C. (1998), "Numerical model for simulation of pump-intake flow and vortices," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 124(2), pp.123-134.
- [4] Demuren, A.O. (1993), "A numerical model for flow in meandering channels with natural bed topography," *Water Resour. Res.*, 29(4), pp.1269-1277.
- [5] Demuren, A.O., and Rodi, W. (1986), "Calculation of flow and pollutant dispersion in meandering channels," *J. Fluid Mech.*, 172(1), pp.63-92.
- [6] Festa, J.F., and Hansen, D.V. (1976), "A two-dimensional numerical model of estuarine circulation: the effects of alternating depth and river discharge," *Estuarine and Coastal Marine Science*, 4(3), pp.309-323.
- [7] Gibson, M.M., and Rodi, W. (1989), "Simulation of free-surface effects on turbulence with a Reynolds Stress model," *J. Hydr. Res., IAHR*, 27, pp.233-244.
- [8] Issa, R.I. (1985), "Solution of the implicitly discretized fluid flow equations by operator-splitting," *J. Compt. Phys.*, Vol. 62, pp.40-65.
- [9] Krishnappan, B.G., and Lau, Y.L. (1986), "Turbulence modeling of flood plain flows," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 112(4), pp.251-266.
- [10] Kuipers, J. and Vreugdenhill, C.B. (1973), "Calculations of two-dimensional horizontal flow," Rep. SI63, Part I, Delf Hydraulics Lab., Delf, The Netherlands.
- [11] Kuo, A.Y., Byrne, R.J., Hyer, P.V., Ruzecki, E.P., and Burbaker, J.M. (1990), "Practical application of theory for tidal intrusion fronts," *J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engrg. ASCE*, 116(3), pp.341-361.
- [12] Lai, Y.G., and Patel, V.C. (1999), "CFD Simulation and Assessment of Draft Tube Flow," Turbine99 – ERCOFTAC Workshop on Draft Tube Flow, Porjus Hydropower Center, Sweden, 20-23 June.
- [13] Lai, Y.G., and Przekwas, A.J. (1994), "A finite-volume method for simulation of fluid flow with moving boundaries," *International Journal of Computational Fluid Dynamics*, Vol. 2, pp.19-40.
- [14] Lai, Y.G., and Przekwas, A.J. (1996), "A multigrid algorithm for a multi-block pressure-based flow and heat transfer solver," *Numerical Heat Transfer, Part B, Vol. 30*, pp.239-254.
- [15] Lai, Y.G., So, R.M.C., and Przekwas, A.J. (1995), "Turbulent transonic flow simulation using a pressure-based method," *International Journal of Engineering Sciences*, Vol. 33, No. 4, pp.469-483.
- [16] Leschziner, M.A., and Rodi, W. (1979), "Calculation of strongly curved open channel flow," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 105(10), pp.1297-1314.
- [17] Meselhe, E.A., Sotiropoulos, F., and Patel, V.C. (1995), "Three-dimensional numerical model for open-channels," *Proc., Int. Conf. On Hydropower, Hydropower 95, ASCE*, pp.2100-2120.
- [18] Molls, T., and Chaudhry, M.H. (1995), "Depth-averaged open-channel flow model," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, Vol. 121, No. 6, pp. 453-465.
- [19] Neary, V.S., Sotiropoulos, F., and Odgaard, A.J. (1999), "Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 125(2), pp.126-140.
- [20] Noat, D., and Rodi, W. (1982), "Calculation of secondary currents in channel flow," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 108(8), pp.948-968.
- [21] Olsen, N.R.B., and Stokseth, S. (1995), "Three-dimensional numerical modeling of water flow in a river with large bed roughness," *J. Hydr. Res., IAHR*, 33, pp.571-581.
- [22] Ponce, V.M., and Yabusaki, S.B. (1981), "Modeling circulation in depth-averaged flow,"

J. Hydr. Div., ASCE, Vol. 107, No. 11, pp. 1501-1518.

- [23] Roastogi, A., and Rodi, W. (1978), "Predictions of heat and mass transfer in open channels," J. Hydr. Engrg., ASCE, 104(3), pp.397-420.
- [24] Wang, D., and Kravitz, D.W. (1980), "A semi-implicit two-dimensional model of estuarine circulation," J. Physical Oceanography, 10(3), pp.441-454.
- [25] Ye, J., and McCorquodale, J. A. (1997), "Depth-averaged hydrodynamic model in curvilinear collocated grid," J. Hydr. Engrg., ASCE, Vol. 123, No. 5, pp. 380-388.
- [26] 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。
- [27] 張向寬 (1997), "河川彎道床形與水理之模擬研究", 國立台灣大學土木工程研究所碩士論文。

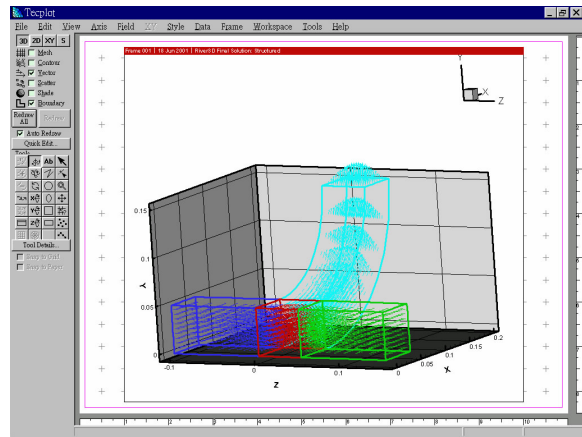


圖 3 流場速度向量圖(後處理)

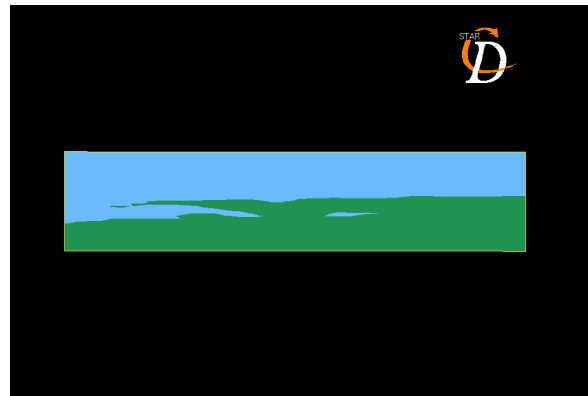


圖 4 RIVER3D 輸入介面網頁設計

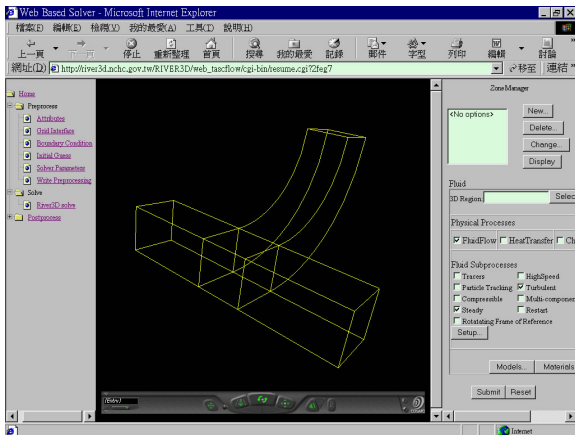


圖 1 RIVER3D 輸入介面網頁設計

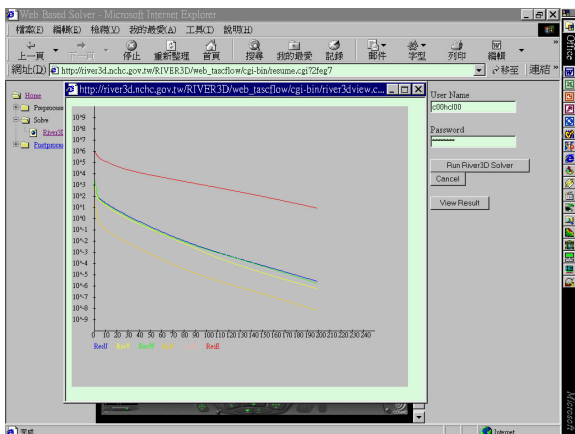


圖 2 收斂精度曲線變化監控網頁