

# 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(二) Application Study of 3D Hydraulic Model to Network River( II )

計畫類別： 個別型計畫          整合型計畫

計畫編號：NSC 90 - 2211 - E - 009 - 064 -

執行期間： 90年 08月 01日至 91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      91年 10月 31日

# 三維水理模式應用於網路型河川之研究 (二)

## Application Study of 3D Hydraulic Model to Network River ( II )

計畫編號：NSC 90-2211-E-009-064

執行期限：90 年 8 月 1 日至 91 年 7 月 31 日

主持人：葉克家教授 國立交通大學土木工程

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 交大土木工程碩士生

林恩添 交大土木工程博士生

### 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所 (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 U2RANS 模式。為了完成 U2RANS 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 U2RANS 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 U2RANS 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 the past, most of the hydraulic computations for simulating flow field are based on one- or two- dimensional models. Practically, these models can lower the loading and cost of computer and reduce the simulation time. But when water flows through natural water bodies or man-made structures such as spillway, weir, and intake structure, the flow with turbulent, unsteady, and highly three-dimensional flow structure will be developed. Therefore, the development of three-dimensional model becomes more important.

With the advances of software and hardware of computer and network technology, the computing environment based on high-performance computing has been constructed in recent years. This environment will make the development of three-dimensional flow model with large scale to become a mainstream of developing computational hydraulics in the next generation. Therefore, the National Center for High-Performance Computing (NCHC) proposed a 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 promote the prediction ability of water flow model in Taiwan, it is necessary to propose this study to complete the setup, modification, test and application of U2RANS model.

The goal of the proposal will be completed within three years. The purpose of this study is aimed at the development and application of U2RANS model for the channel-network system in Taiwan. The task in the first year is to set up and test U2RANS model. Some flow cases are used to setup the standard procedure for the pre- and post-processor and to verify the accuracy of the 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 3D flow model. Consequently, the U2RANS 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 U2RANS 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, 為期三年, 並由 IIHR 提供一套正發展中之三維度河川水流 U2RANS 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 U2RANS 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) U2RANS 圖形使用者介面

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圖形使用者圖形介面(Web-based GUI)。這三層架構包含了：Client端、Middle-ware端及Server端。其中Client端的應用程式是由許多網頁(Web Page)組成，主要的任務是提供友善的使用者圖形介面，將使用者輸入模式的參數或流體特性等資料送給Middle-ware端，以及接收Middle-ware端所的服務回應。而Middle-ware端的應用程式包括了許多的PHP程式，主要的任務為接受與回應Client端的請求，並向Server端發出執行河川三維模式的請求。最後，Server端主要任務為執行河川三維模式的運算，以及將模擬結果送到Middle-ware端。

延續去年的研究成果，今年(第二年)更大幅提昇網頁功能，以JAVA語言撰寫互動性更高的人機介面，如圖1所示。在圖形展示方面，去年採用VRML格式，但今年則改採JAVA 3D格式，以增加滑鼠與模擬物件之間的互動性。同時，今年在Server端增加以MySQL語言開發的資料庫，以方便儲存及管理使用者的案例設定，而且當網頁功能持續擴充時，也可減少維護檔案管理的工作量。

#### (2) 水躍模擬

Gharangik and Chaudhry (1991)水躍模型試驗，渠道長 $L=9\text{m}$ ，寬度 $B=0.04\text{m}$ ，上游福祿數 $Fr=2.9$ 及水深 $D=0.055\text{m}$ ，下游控制水深 $Y=0.195\text{m}$ 。

本研究計畫採用商業版三維流體力學軟體Star-CD進行數值模擬，其數值模擬結果與模型試驗結果的比較如圖2所示，其中模型試驗的水躍發生位置介於渠道長度 $1.4\text{m} \sim 1.6\text{m}$ ；S1(曼寧值 $n=0.0114$ )案例模擬的水躍位置介於渠道長度 $3.6\text{m} \sim 3.8\text{m}$ ；S2(曼寧值 $n=0.0135$ )案例模擬的水躍位置則介於渠道長度 $2.2\text{m} \sim 2.4\text{m}$ 。因底床的摩擦力越高時，能量消散速率相對較快，使得亞臨界流況提早發生，所以水躍發生的位置會因曼寧值增加而越靠近上游。

#### (3) 分流模擬

假設一平床渠道長 $5\text{m}$ ，寬度 $1\text{m}$ ，下接一分流陡坡渠道長 $5\text{m}$ ，坡度 $0.2$ ，其中一分流渠寬為 $0.3\text{m}$ ，另一分流渠寬為 $0.7\text{m}$ 。上游流速 $2\text{m/s}$ ，水深為 $0.5\text{m}$ ，因此總入流量為 $1.0\text{CMS}$ 。

分流數值模擬結果如圖3所示，當流場模擬達到穩定階段後，檢驗各分流渠道的分流量分別為 $0.3\text{CMS}$ 與 $0.7\text{CMS}$ ，與理論值相當吻合。

### 四、計畫自評

本研究之貢獻在學術研究方面，U2RANS為美國愛荷華大學水力研究(IHR)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U2RANS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U2RANS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。

本研究計畫不但開發河川三維模式網路版圖形使用者圖形介面，以增加三維模式應用時人機介面的親和力，更以水躍及分流等案例，初步驗證三維模式於河川水力計算的應用性。因此，本研究計畫第二年之研究成果報告內容完全符合預期完成

之工作。

## 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] Gharangik, A.M., and Chaudhry, M.H. (1991), "Numerical simulation of hydraulic jump," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 117(9), pp.1195-1211.
- [8] 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.
- [9] Issa, R.I. (1985), "Solution of the implicitly discretized fluid flow equations by operator-splitting," *J. Compt. Phys.*, Vol. 62, pp.40-65.
- [10] Krishnappan, B.G., and Lau, Y.L. (1986), "Turbulence modeling of flood plain flows," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 112(4), pp.251-266.
- [11] Kuipers, J. and Vreugdenhill, C.B. (1973), "Calculations of two-dimensional horizontal flow," Rep. SI63, Part I, Delf Hydraulics Lab., Delf, The Netherlands.
- [12] Kuo, A.Y., Byrne, R.J., Hyer, P.V., Ruzicki, 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] Leschziner, M.A., and Rodi, W. (1979), "Calculation of strongly curved open channel flow," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 105(10), pp.1297-1314.
- [18] 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.
- [19] Molls, T., and Chaudhry, M.H. (1995), "Depth-averaged open-channel flow model," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, Vol. 121, No. 6, pp. 453-465.
- [20] 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.
- [21] Noat, D., and Rodi, W. (1982), "Calculation of secondary currents in channel flow," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 108(8), pp.948-968.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Roastogi, A., and Rodi, W. (1978), "Predictions of heat and mass transfer in open channels," *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 104(3), pp.397-420.
- [25] Wang, D., and Kravitz, D.W. (1980), "A semi-implicit two-dimensional model of estuarine circulation," *J. Physical Oceanography*, 10(3), pp.441-454.
- [26] 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.

- [27] 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。
- [28] 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。

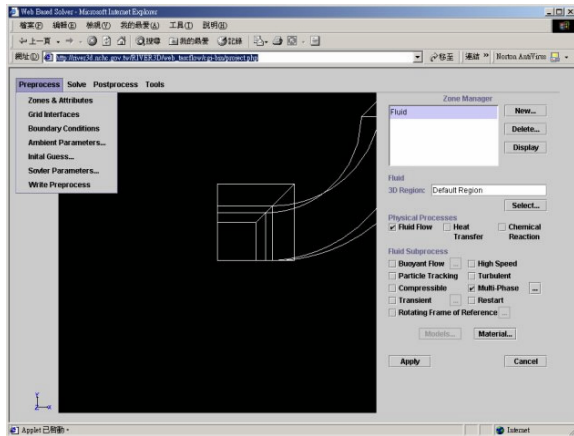


圖 1 U2RANS 輸入介面網頁設計

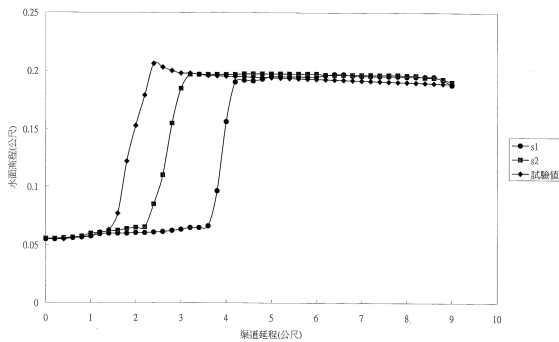


圖 2 水躍數值模擬與試驗結果之比較圖

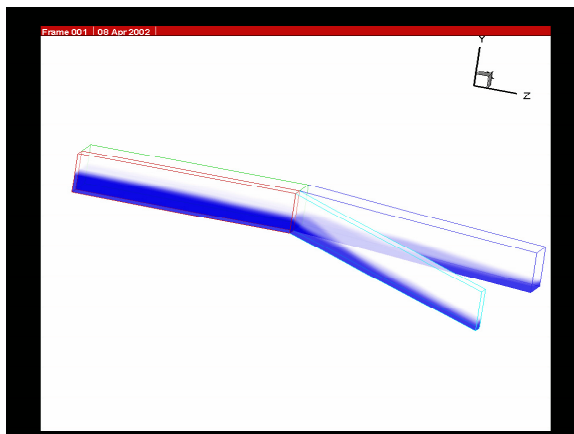


圖 3 分流數值模擬水深變化圖