

(Ⅱ-61)FEMによるマルチレベルモデルの勾配つき蛇行流への適用

日本建設コンサルタント(株) 正○張 敏燕
日本建設コンサルタント(株) 正 川崎 俊太
日本建設コンサルタント(株) 正 上原 七司

1. はじめに

土木分野において環境問題の解決のためには、自然現象と人工構造物の相互作用に関し詳細なる調査・検討が必要とされる⁽¹⁾。環境問題をより詳細に評価するためには、三次元モデルの開発が不可欠である⁽²⁾。

一方、近年、有限要素法(FEM)は領域の形状・境界条件に適合させやすいこと、非構造格子により局所的に細かい解析が容易であること等優れた点があり、流体力学の領域で十分有用であるとの認識が高まっている⁽³⁾。著者らはこれまで、FEMマルチレベルモデルにより、実河川における複雑な形状を有する地形や河川施設の流況解析をいくつか行なった⁽⁴⁾。

本研究は、水理実験用の勾配つき蛇行水路内の流況に関し、3Dマルチレベルモデルの適合性について検討したものである。

2. 解析方法

マルチレベルモデルは、3D流体モデルを鉛直方向に層区分した複数の層(レベル)内で鉛直積分し、各層内の平均量に関する流体の基礎方程式系を構成するものである。一般に、N層に層区分した際の第i層内の各状態量に関する方程式を以下に表わす。

$$\text{連続式:} \quad \rho_i \frac{\partial h_i}{\partial t} + \sum_{j=1}^N \frac{\partial q_{1j}}{\partial x_1} + \frac{\partial q_{2j}}{\partial x_2} = 0, \quad \rho_i v_{3i} = - \sum_{j=1}^N \left(\frac{\partial q_{1j}}{\partial x_1} + \frac{\partial q_{2j}}{\partial x_2} \right) \quad (1)$$

X1方向の運動式:

$$\frac{\partial q_{1i}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{q_{1i}^2}{\rho_i \Delta h_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{q_{1i} q_{2i}}{\rho_i \Delta h_i} \right) = - \rho_i g \Delta h_i \frac{\partial h_i}{\partial x_1} + v_H \frac{\partial^2 q_{1i}}{\partial x_1^2} + v_H \frac{\partial^2 q_{1i}}{\partial x_2^2} + \rho_i \tau_{1-1,i} - \rho_i \tau_{1-i+1} + v_{1i} \left(\frac{\partial q_{1i}}{\partial x_1} + \frac{\partial q_{2i}}{\partial x_2} \right) \quad (2)$$

X2方向の運動式:

$$\frac{\partial q_{2i}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{q_{1i} q_{2i}}{\rho_i \Delta h_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{q_{2i}^2}{\rho_i \Delta h_i} \right) = - \rho_i g \Delta h_i \frac{\partial h_i}{\partial x_2} + v_H \frac{\partial^2 q_{2i}}{\partial x_1^2} + v_H \frac{\partial^2 q_{2i}}{\partial x_2^2} + \rho_i \tau_{2-1,i} - \rho_i \tau_{2-i+1} + v_{2i} \left(\frac{\partial q_{1i}}{\partial x_1} + \frac{\partial q_{2i}}{\partial x_2} \right) \quad (3)$$

ここで、 q_j は単位幅当たりの流量(M^2/Sec)、 h_i は表面層水位(M)、 Δh は層の間隔、 v_H は渦動粘性係数(M^2/Sec)、 ρ は水の密度(Ton/M^3)、 τ_j はせん断応力、 v_j は流速(M/Sec)である。この内、 $j=1$ は X_1 方向、 $j=2$ は X_2 方向を表わす。

式(1)-(3)を重み残差法を用いて有限要素法により離散化を行なう。水位と各層の流量をRunge-Kutta-Gill法で時間積分を行なって求める。

3. 解析結果

上述したマルチレベルモデルの蛇行流への適合性を検討するため、玉井らの水理実験結果及び計算結果と⁽⁵⁾比較した。玉井らの実験水路は互いに反転する湾曲部を10個連続させて設置した(図1と表1に、湾曲部の単位形状と寸法を示す)もので、玉井らは、水位資料と流速資料⁽⁵⁾の検討結果、10個連続湾曲においては同一の湾曲位置において流れが等しいことが確認されたとし、得られた測定結果を湾曲の同位相断面で平均化し、計算モデルに反転する2個湾曲部を採用している。本研究は、玉井らの実験結果と計算結果と比べるため、玉井らの計算モデルと同様な反転する2個湾曲部を用いた。解析形状とメッシュを図2に示す。メッシュの分割は、流下方向には 3° (約0.031M)ずつ断面分割、横断方向には12等分割、鉛直方向には4分割、平面は三角形、全体は三角柱とし、節点数15,264/要素数10,400を用いた。また、水路床は蛇行帯中心軸方向に勾配をもつ平斜面上にあるものとした。境界条件は、上流端に一樣流速0.223M/Secを与え、河道の両側はスリップ、下流端は固定水位(+0.0M)とした。 v_H は0.005、底面摩擦係数は0.003一定にした。時間刻み幅は0.01Sec、時間ステップは3,000を設定した。

解析結果としては、まず、図3に、断面別の水位横断分布を示す。本解析の水位横断分布は 0° ではやや高く、

30°から90°では玉井らの実験結果及び計算結果とほぼ一致することがわかった。次に、図4と図5にそれぞれ、断面別の流下方向の流速と2次流の流速を示す。図4より、本解析の流下方向の流速分布は玉井らの実験結果及び計算結果と同様な分布形状を示したが、表面層の流速については底面層よりやや速い計算結果となった。図5より、本解析の2次流の流速分布は実験流速分布と若干ずれており、むしろ、計算流速分布により等しい結果となった。

4. おわりに

本研究では、FEMによるマルチレベルモデルの勾配つき蛇行流への解析を行なった。解析結果は玉井らの実験結果及び計算結果と比較すると、比較的よい結果を得ることがわかった。本手法は蛇行流の流れの予測に有効なものであると判断された。

参考文献

- (1) 松梨順三郎、環境流体汚染、森北出版社、PP.165-284, 1993.
- (2) B. H. Johnson, et al: ASCE J. of Hydraulic Eng. Vol.119, No.1, PP.2-20, 1993.
- (3) R. C. Berger, R. L. stockstill: ASCE J. of Hydraulic Eng. Vol.121, No.10, PP.710-716, 1995.
- (4) 張敏燕、川崎俊太、上原七司：河道の水理と河川の環境シンポジウム論文集、PP.101-107, 1995.
- (5) 池谷毅、玉井信行：土木学会論文報告集、Vol.342, PP.107-113, 1984.

表1 実験水路の寸法

水路中心軸の曲率半径	0.60 m
湾曲中心角	90°
湾曲間の直線流路長	0.30 m
水路幅	0.30 m
水深	0.030 m

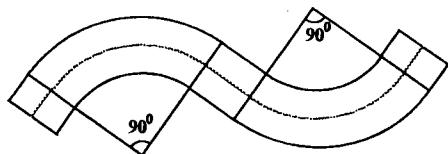


図1 湾曲部の単位形状図

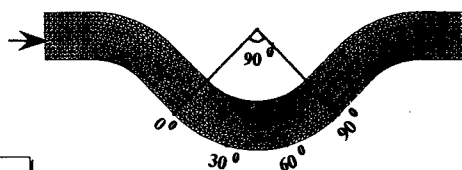


図2 解析のメッシュ図

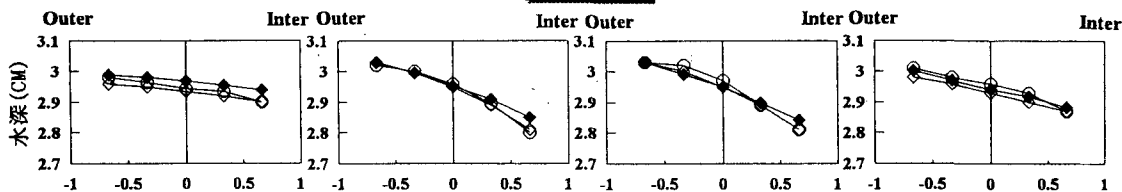
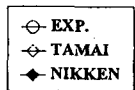


図3 断面別の水位分布図

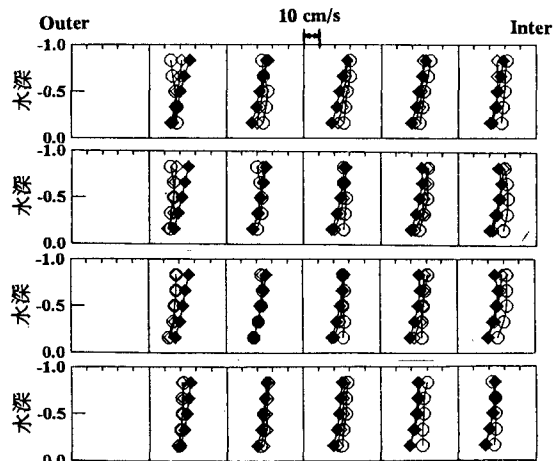


図4 断面別の流下方向の流速分布図

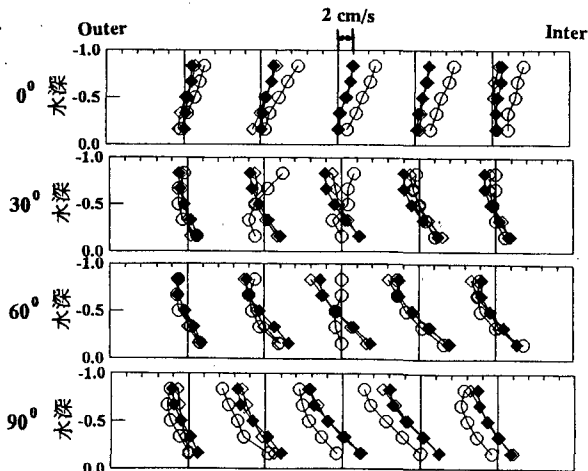


図5 断面別の2次流の流速分布図