

(Ⅱ - 21) FEMによるマルチレベルモデルの河道内洪水流への適用

日本建設コンサルタント(株) 正会員 〇張 敏燕
日本建設コンサルタント(株) 正会員 川崎 俊太
日本建設コンサルタント(株) 正会員 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。従来の技術では、この相互作用に関し、1D・2Dモデルで対応してきたが、より細かなところが必要で、経験にたよる部分が多く存在することより、個人的な誤差が生じるという弱点がみられた。したがって、環境問題をより詳細に評価する⁽¹⁾ためには、3Dモデルの開発が不可欠である^{(2),(3)}。

3Dモデルには小規模な研究室レベルでの解析コードは既に多く開発されていたが、自然の河川や海岸に適用するには、計算機の能力及び現地観測成果の質において大きな壁が存在するという実態があった。しかしながら、近年のコンピュータの発達によって大規模な流体力学解析が可能になり設計をより合理化する努力は大変有用なことから考えられる。ここに、3D流体モデルによる現地適用を試みることにした。

本研究では、FEMによるマルチレベルモデルを用いて3D流体解析コードを開発した。このコードを用いて実河川(0KM-8KM)河道に洪水流が流下する時の状況をシミュレートし、このモデルの実用性を検討した。

2. 解析方法

マルチレベルモデルは、3D流体モデルを深さ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。

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

X_1 方向の運動式:

$$\frac{\partial q_{1i}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{q_{1i}^2}{\rho_i \Delta h_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{q_{1i} q_{2i}}{\rho_i \Delta h_i} \right) = -\rho_i g \Delta h_i \frac{\partial h_i}{\partial x_1} + v_{H1} \frac{\partial^2 q_{1i}}{\partial x_1^2} + v_{H2} \frac{\partial^2 q_{1i}}{\partial x_2^2} + \rho_i \tau_1^{i-1i} - \rho_i \tau_1^{i+1} + v_{1i} \left(\frac{\partial q_{1i}}{\partial x_1} + \frac{\partial q_{2i}}{\partial x_2} \right) \quad (2)$$

X_2 方向の運動式:

$$\frac{\partial q_{2i}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{q_{1i} q_{2i}}{\rho_i \Delta h_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{q_{2i}^2}{\rho_i \Delta h_i} \right) = -\rho_i g \Delta h_i \frac{\partial h_i}{\partial x_2} + v_{H1} \frac{\partial^2 q_{2i}}{\partial x_1^2} + v_{H2} \frac{\partial^2 q_{2i}}{\partial x_2^2} + \rho_i \tau_2^{i-1i} - \rho_i \tau_2^{i+1} + v_{2i} \left(\frac{\partial q_{1i}}{\partial x_1} + \frac{\partial q_{2i}}{\partial x_2} \right) \quad (3)$$

ここで、 q_j は単位幅当たりの流量(M^2/Sec)、 h_i は表面層の水位(M)、 Δh は層の間隔、 v_H は渦動粘性係数、 ρ は水の密度(M^3/Sec)、 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実用性を検討するため、実河川河道の形状を例として計算した。メッシュの分割は、縦断方向には定期横断測量断面(約200Mピッチ)を4分割、横断方向には堤間を40分割(約50Mピッチ)、深さ方向には1.5Mピッチ、平面は三角形、全体は三角柱、最大10層とした。メッシュとしては、節点数40,320/要素数48,503を用いた。また、河底は凸凹であるので、横断面上の計算用要素は河床の形状とその断面の流水断面面積により決まる。境界条件は、上流端に総流量19,000Ton/Secを与え、河道の両側はノースリップ、下流端は海面の水位(+3.5M)とした。時間刻み幅は2.0Sec、時間ステップは5,000を設定した。

まず、マルチレベルモデルの信頼性を検証するため、この得られた結果と1D不等流モデル、2D一層モデルを用いた解析結果と比較した。図1に1D、2D及び3Dモデルにおける水位縦断分布を示す。解析結果から物理定数の設定を考慮すればほぼ一致することがわかった。また、2Dモデルと3Dモデルの表面層の流速分布をそれぞれ図2と図3に示す。両図より、上流から下流までの流れは同様な傾向をもっているが、3Dモデルの場合には1KMの前後の流れに乱れがみられる。これは水面下に砂州が存在する影響により生じたものと考えられる。

次に、1KMでの横断水位と横断面内の流速分布及び横断面に垂直な等値流速分布をそれぞれ図4と図5に示す。図4より、上層と下層で逆方向の流向が認められ、二次流が生じる場所が存在していることがわかる。図5より、深さの違いによる流速への影響が観察できる。

4. おわりに

本研究では、FEMによるマルチレベルモデルを用いて3D流体解析コードを開発し、若干の試算結果を報告した。今後、射流取り扱い可能モデル、メッシュの再設立モデル等への改良を進め、河川や海岸に対する流体問題に有効な解析手段にするため検討を続けたい。

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, etal: ASCE J. of Hydraulic Eng. Vol.119, No.1, PP.2-20, 1993.
- (3) J. J. Connor, etal: 流体解析への有限要素法の応用、サイエンス社、PP.193-209, 1988.

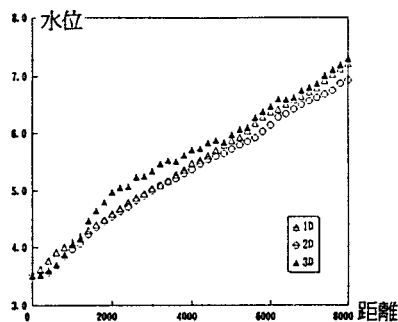


図1 1D・2D・3Dにおける縦断水位

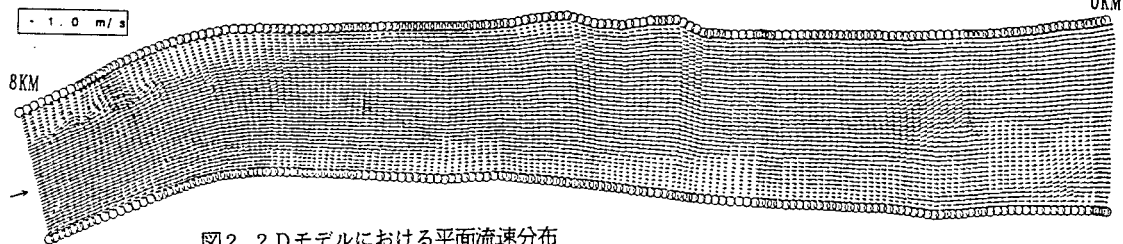


図2 2Dモデルにおける平面流速分布

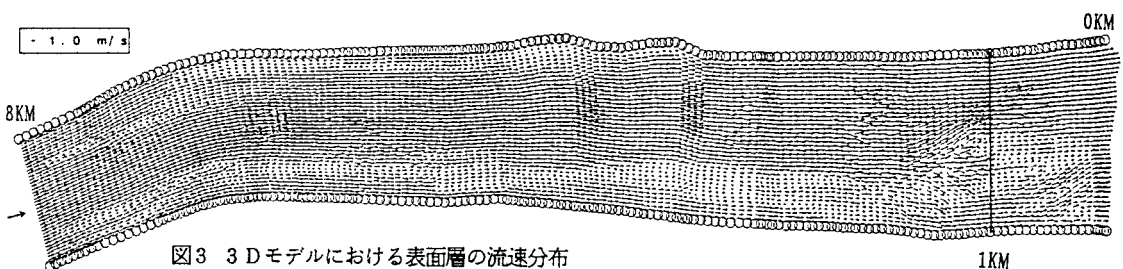


図3 3Dモデルにおける表面層の流速分布

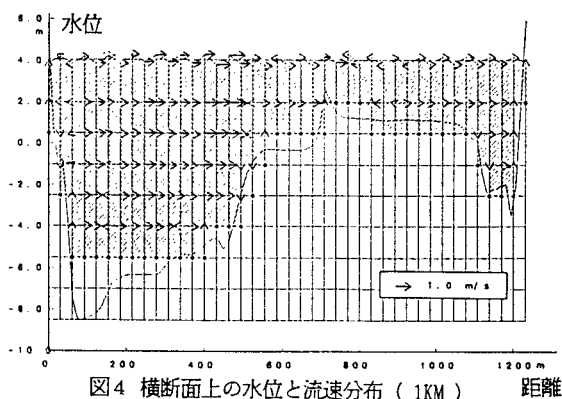


図4 横断面上の水位と流速分布 (1KM)

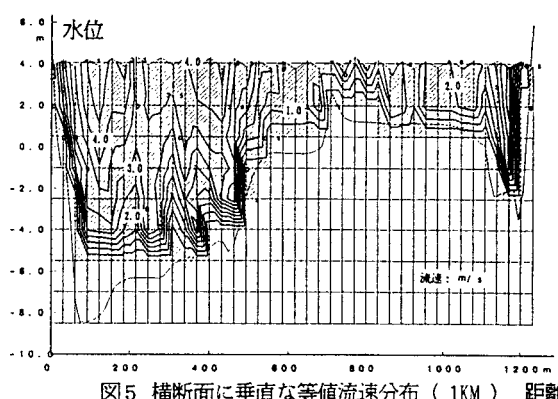


図5 横断面に垂直な等値流速分布 (1KM)