

II-95

一般曲線座標系を用いた洪水流の平面二次元数値解析

日本工営株式会社 羽田野琢磨

日本工営株式会社 金 海生

1 はじめに

一般曲線座標系、集中格子を用いた洪水流の平面二次元数値解析手法について示し、同手法を用いて実河川における洪水流の数値解析を行った結果について述べる。

2 基礎方程式

任意の境界形状をもつ流れ場を解析できるように、デカルト座標系における二次元浅水方程式を一般曲線座標に変換したものを基礎方程式として用いる。この場合、連続式と運動方程式は、 x, y 方向の水深平均流速および水位を未知数として、次のように表示できる。

$$\text{連続式} \quad \frac{1}{J} \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial hU}{\partial \xi} + \frac{\partial hV}{\partial \eta} = 0$$

$$\begin{aligned} \text{運動方程式} \quad & \frac{h}{J} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \xi} \left\{ hUu - \frac{h\nu_x}{J} \left(q_{11} \frac{\partial u}{\partial \xi} + q_{12} \frac{\partial u}{\partial \eta} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial \eta} \left\{ hVu - \frac{h\nu_x}{J} \left(q_{22} \frac{\partial u}{\partial \eta} + q_{12} \frac{\partial u}{\partial \xi} \right) \right\} \\ & = u \left(\frac{\partial hU}{\partial \xi} + \frac{\partial hV}{\partial \eta} \right) - \frac{gh}{J} \left(\xi_x \frac{\partial H}{\partial \xi} + \eta_x \frac{\partial H}{\partial \eta} \right) - \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{Jh^{1/3}} - \frac{C_D \lambda h u \sqrt{u^2 + v^2}}{2J} \end{aligned} \quad (x \text{ 方向})$$

$$\begin{aligned} & \frac{h}{J} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial \xi} \left\{ hUv - \frac{h\nu_y}{J} \left(q_{11} \frac{\partial v}{\partial \xi} + q_{12} \frac{\partial v}{\partial \eta} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial \eta} \left\{ hVv - \frac{h\nu_y}{J} \left(q_{22} \frac{\partial v}{\partial \eta} + q_{12} \frac{\partial v}{\partial \xi} \right) \right\} \\ & = v \left(\frac{\partial hU}{\partial \xi} + \frac{\partial hV}{\partial \eta} \right) - \frac{gh}{J} \left(\xi_y \frac{\partial H}{\partial \xi} + \eta_y \frac{\partial H}{\partial \eta} \right) - \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{Jh^{1/3}} - \frac{C_D \lambda h v \sqrt{u^2 + v^2}}{2J} \end{aligned} \quad (y \text{ 方向})$$

ここに、 g ：重力加速度、 H ：水位、 h ：水深、 u, v ： x, y 方向の水深平均流速、 ν_x ：渦動粘性係数（ $= \alpha u_\tau h$ ）、 n ：粗度係数、 C_D ：樹木の抗力係数、 λ ：密度度である。また、 U, V ：反変速度、 J 、 ξ_x 、 q_{11} 等は座標変換に関する諸量である。

3 数値計算法

集中格子、有限体積法に基づいて数値計算を行う。時間積分には陰形式の時間分割法、空間微分には、移流項に一次の風上法、その他に中心差分を用いる。

集中格子を用いる場合チェスボード状の振動解をいかに防ぐかが問題となるが、ここでは、連続式に代入する反変速度の表現を工夫してこれに対処する。すなわち、まず、運動方程式の離散化方程式を用いて、 $n\Delta t$ 時刻の流れ場から中間的な流速 $u^{n+1/2}, v^{n+1/2}$ を求め、コントロールボリューム

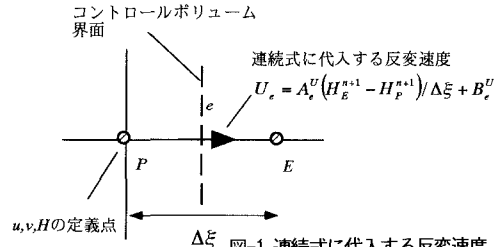


図-1 連続式に代入する反変速度

ム界面における反変速度を $U_e = A_e^v (H_e^{n+1} - H_p^{n+1}) / \Delta \xi + B_e^v$ （図-1）のように計算した後、これを代入した連続式を解いて $(n+1)\Delta t$ における水位 H^{n+1} を求める。 A_e^v 、 B_e^v は算術平均から求めるが、 $(\partial H / \partial \xi)_e$ は界面を挟んだ二点の水位差より求めるため、連続式が振動した水面形を受け入れることはない。次に、上記の方法で求めた H^{n+1} を運動方程式に代入し u^{n+1}, v^{n+1} を求める。

4 適用事例

上記の数値計算法を用いて、実河川における洪水流の平面二次元解析を行った結果について示す。

キーワード：平面二次元流解析、一般曲線座標系、集中格子

連絡先：〒300-1259 茨城県稲敷郡茎崎町稲荷原 2304 Tel.0298-71-2039 E-mail:a4865@n-koei.co.jp

解析では、図-2 に示す堤防線形に沿った境界適合格子を用い、各格子点に河床高、粗度係数を与えた。粗度係数の値は、低水路については河床材料、高水敷については植生等の被覆状況に基づき設定した。さらに、樹木群と重なる格子点には、これらの形状抵抗を表す係数、 $C_d (=0.8)$ 、 $\lambda (=0.05)$ を与えた。

境界条件としては、上流端で流量時系列、下流端で水位時系列を与えた。

図-3 に、解析により得られた流量ピーク前 5hr、ピーク前 2hr および流量ピーク時における流速ベクトルを示した。

流量が少ない時は、低水路内のみの流れであるが、流量の増加に伴い高水敷に水が乗り、流量ピーク時にはほぼ堤防満杯の流れとなっている。解析結果は、河床高等の影響を受け、平面的に変化する洪水流の様子を概ね再現できているものと思われる。

また、高水敷と低水路の境目に繁茂する樹木群の周辺では、局所的に流速が遅くなっていることが分かる。

5 おわりに

今後の課題としては、実測データ等との比較により解析精度の検証を行うとともに、実河川における適用事例を増やし、河道計画等の実務に役立てて行きたいと考える。

参考文献

- 1) Jain Ye ・ J.A.McCorquodale : Depth-Averaged Hydrodynamic Model in Curvilinear Collocated Grid, ASCE, pp.380-388, MAY 1997
- 2) 江頭進治・金海生・芦田和男：砂州フラッシュに関する数値モデルおよび河口処理への適用, 日本の河口, 1998.

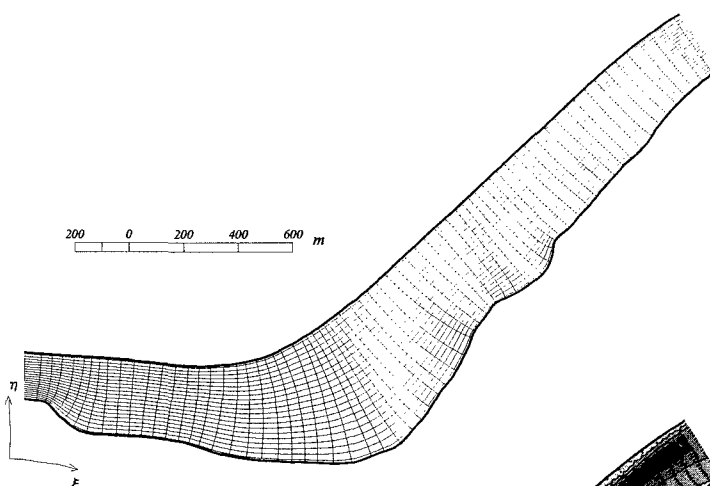


図-2 解析に用いた格子網

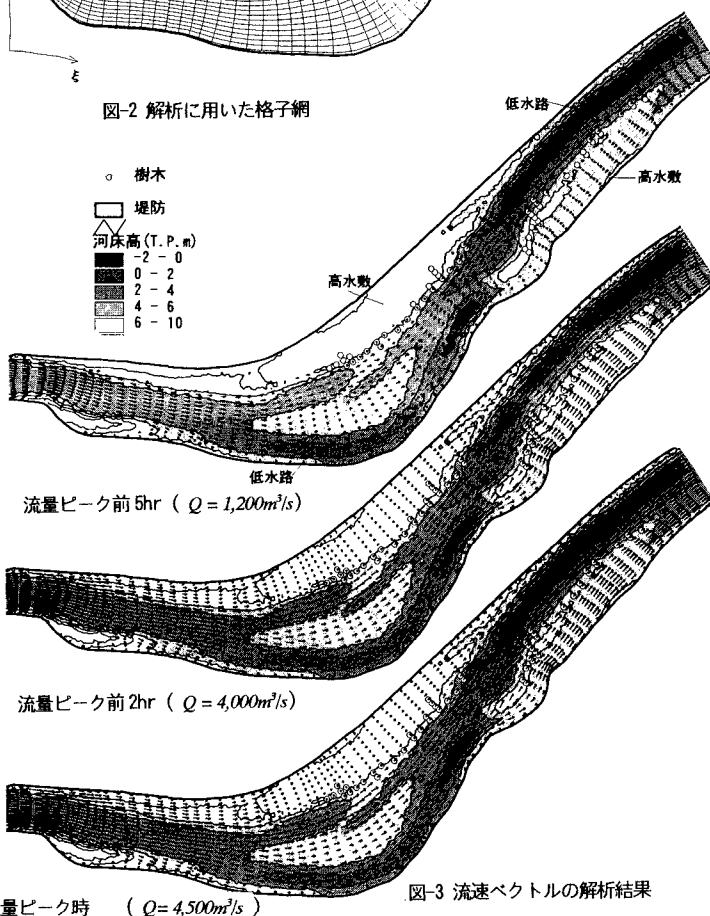


図-3 流速ベクトルの解析結果