

水制を伴う河道の二次元浅水流計算モデル

徳島大学大学院 学生員 白原 康史
 徳島大学大学院 学生員 高橋 賢司
 徳島大学工学部 正会員 岡部 健士

1. はじめに 従来水制は、堤防に対する流水の衝突を防ぎ、河川水路の水深および、川幅を保持するといった目的で施工されてきた。一方近年では、多自然型川づくりにおける、多様な流れ場の創造を目的として施工される例がよく見られる。いずれの場合においても、河道の流況の予測は必要不可欠である。本研究では、2次流の影響を反映させた抵抗項および、水平渦粘性項を考慮した2次元浅水流計算モデルを構築し、これらを考慮しない計算モデルとの比較を、水制周辺に生じる剥離渦に注目して行った。

2. 数値計算法

2.1 基礎方程式 本研究の数値計算に用いた基礎方程式を式(1)~(3)に示す。ここに、 x, y :平面座標、 u, v : x, y 方向の流速、 M, N : x, y 方向の流量フラックス、 H :水位、 h :水深、 t :時間、 ρ :水密度、 g :重力加速度、 τ_{bx}, τ_{by} : x, y 方向のせん断力、 $\tau_{xx}, \tau_{yy}, \tau_{yx}, \tau_{xy}$:乱流応力である。抵抗項に関しては、河床近傍の流速を水深平均流速の曲率より予測¹⁾し、乱流の速度分布である対数則へ代入する。対数則より得られた壁面摩擦速度から、壁面せん断力を求めた。そして、壁面せん断力の x, y 方向成分を、それぞれ式(2),(3)の抵抗項として評価した。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} Mu + \frac{\partial}{\partial y} Mv = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\tau_{xx}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\tau_{yx}}{\rho} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} Nu + \frac{\partial}{\partial y} Nv = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\tau_{xy}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\tau_{yy}}{\rho} \right) \quad (3)$$

$$\frac{\tau_{xx}}{\rho} = \nu_t \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{2}{3} k \quad (4-a) \quad \nu_t = \alpha h \sqrt{u^2 + v^2} \quad (5)$$

$$\frac{\tau_{yy}}{\rho} = \nu_t \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{2}{3} k \quad (4-b) \quad k = \beta (u^2 + v^2) \quad (6)$$

$$\frac{\tau_{xy}}{\rho} = \frac{\tau_{yx}}{\rho} = \nu_t \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (4-c) \quad \tau_{x \text{ or } y} / \rho = gn^2 (u \text{ or } v) \sqrt{u^2 + v^2} / h^{1/3} \quad (7)$$

式(2),(3)において水平渦粘性項は、それぞれ式(4-a)~(4-c)のように表される。ここに、 ν_t :渦動粘性係数、 k :乱流エネルギーである。 ν_t, k は本来ならば別のクロージャーモデルにより求めるべきだが、本モデルでは簡易的に、 α, β を係数として式(5),(6)のように表すものとする。基礎式の離散化では、スタガードメッシュを用い、空間微分項を1次精度の風上差分で近似し、時間はLeap Frog法で進行させた。

2.2 計算例 長さ360m、川幅26m、河床勾配1/500、マニングの粗度係数 $n=0.03$ の固定床・直線・矩形河道に右岸側から垂直に10mの水制群を等間隔で設定した場合を想定した。流量は、初期で $0m^3/s$ としてタイムステップと共に直線的に増加させ、 $30m^3/s$ に達した時点で固定した。また、計算格子は長方形格子とし、格子間隔 $\Delta x, \Delta y$ をそれぞれ4m, 2mとした。なお、今回のモデルでは、式(5),(6)の α, β を共に1.0と設定した。計算ケースは、本モデルの基礎方程式を用いたものをcase-A、水平粘性項を考慮せず、また抵抗項をマニング式($n=0.03$)より式(7)のように与えたものをcase-Bとした。さらに、水制長と水制間距離との比が1:2, 1:3, 1:4, 1:8となるように水制を設置した場合をcase-A, Bにおいてそれぞれ4ケース行った。

3. 結果と考察 計算結果より得られた水深平均流速ベクトル図を図-1-1~図-1-8に示す。なお、計算結果は河道延長中の60m~240m区間のものを抜粋して示している。本モデルを用いたcase-Aの計算結果は、剥離渦がcase-Bに比べ明確に表現されている。これより2次元浅水流方程式を用いた数値計算においても、水平渦粘性項、2次流を考慮することで、剥離渦をより明確に表現することが可能であるといえる。今後は実験により、実際の水制に伴う剥離渦の形態と本モデルの計算結果とを比較し、本モデルの有効性を検討したいと考えている。

参考文献: 1) Englund, F. Jour. of Hy. Div. ASCE, vol.100, No. HY11 1974

キーワード: 水制流れ, 二次元浅水流, 数値計算

連絡先: 〒770-8506 徳島市南常三島2-1 徳島大学工学部建設工学科 電話 088-656-7329 Fax 088-656-7329

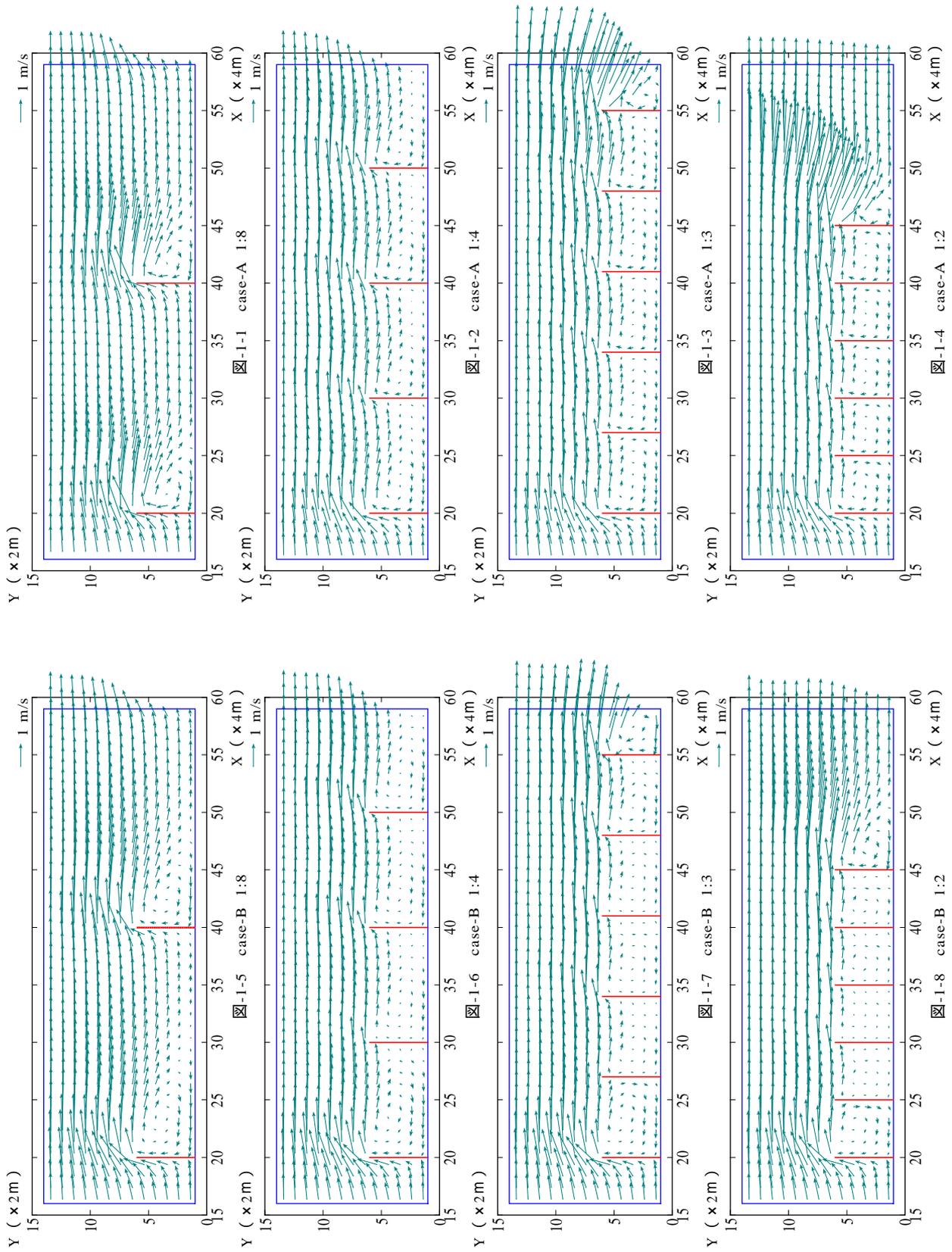


図 - 1 ケース別の水深平均ベクトル図