

II-307

水路横断面に植生帯をもつ流れ場の数値計算

群馬大学大学院 学生員 小山 真史
 群馬大学工学部 正 員 清水 義彦
 群馬大学工学部 正 員 江崎 一博

1. はじめに

河岸に植生帯が存在し、それが流れの中に埋没するような状況での流れ構造を把握することも、洪水時における植生の水理を明確にする上で必要な課題と考えられる。本研究では、水路横断面内の半分の路床が植生で覆われ、これが流下方向に一樣に続き、かつ植生の上にもかぶり水深がある状況を想定して、植生の形状抵抗を考慮した流れの数値計算を行ない、水理実験による計測結果との対応を求めたものである。

2. 数値計算の方法

流れの数値計算では、植生粗度を含む差分格子内で空間平均されたレイノルズ方程式を用いることによって、植生による形状抵抗を考慮した数値計算モデルを用いる^{1), 2)}。乱流モデルとして、Launder-Yingモデルを用いて基礎式を記述すると、式(1)～(9)のようになる。

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (U^2) + \frac{\partial}{\partial y} (VU - \nu \frac{\partial U}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (WU - \nu \frac{\partial U}{\partial z}) = g \sin \theta - \frac{d}{dx} \left(\frac{P}{\rho} \right) - F_x \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} (UV) + \frac{\partial}{\partial y} (V^2 - \nu \frac{\partial V}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (WV - \nu \frac{\partial V}{\partial z}) \\ = g \cos \theta - \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{P''}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_{yy}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\tau_{yz}}{\rho} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} (UW) + \frac{\partial}{\partial y} (VW - \nu \frac{\partial W}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (W^2 - \nu \frac{\partial W}{\partial z}) \\ = - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{P''}{\rho} \right) - F_z + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_{yz}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\tau_{zz}}{\rho} \right) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} (Uk) + \frac{\partial}{\partial y} \left[vk - \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[wk - \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right] \\ = P_k + C_{dk} (F_x U + F_z W) - \varepsilon \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} (U\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial y} \left[v\varepsilon - \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[w\varepsilon - \left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right] \\ = \frac{\varepsilon}{k} \left\{ C_{\varepsilon 1} [P_k + C_{dk} (F_x U + F_z W)] - C_{\varepsilon 2} \varepsilon \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

$$P_k = \nu_t \left[\left(\frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 \right] ; \quad \nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} ; \quad \Gamma = \nu + \nu_t \quad (7)$$

$$F_x = \frac{1}{2} C_{dx} \lambda U \sqrt{U^2 + V^2 + W^2} ; \quad F_z = \frac{1}{2} C_{dz} \lambda W \sqrt{U^2 + V^2 + W^2} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\tau_{xy}}{\rho} = \nu_t \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) ; \quad \frac{\tau_{zx}}{\rho} = \nu_t \left(\frac{\partial U}{\partial z} + \frac{\partial W}{\partial x} \right) ; \\ \frac{\tau_{yz}}{\rho} = C' \nu_t \frac{k}{\varepsilon} \left(\frac{\partial U}{\partial y} \right) \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right) ; \quad \frac{\tau_{yy}}{\rho} = C' \nu_t \frac{k}{\varepsilon} \left(\frac{\partial U}{\partial y} \right)^2 - C'' k ; \quad \frac{\tau_{zz}}{\rho} = C' \nu_t \frac{k}{\varepsilon} \left(\frac{\partial U}{\partial z} \right)^2 - C'' k \end{aligned} \quad (9)$$

ここに、(x, y, z) : 縦断、鉛直、横断方向座標、(U, V, W) : 時間平均流速のx-, y-, z-座標成分、K, ε : 乱れエネルギーとその逸散率、P, P'' : 平均圧力と断面平均値からの偏差圧力分、ρ : 流体の密度、g : 重力加速度、θ : 水路床勾配、ν : 動粘性係数、ν_t : 渦動粘性係数、F_x, F_y : 植生による形状抵抗のx-, z-座標成分、C_{dx}, C_{dz} : 植生の形状抵抗係数、λ : 植生の密生度、C_{fk}, C_{fε} : 形状抵抗に関わる係数、C' , C_k : L-Yモデル定数である。

3. 計算結果と計測結果の対応

模擬植生粗度を用いた水理実験の概要については、文献3)を参照されたい。図1に主流速の水深平均値($\langle U \rangle$)、図2に横断流速差に起因するレイノルズ応力の水深平均値($\langle -\overline{uw} \rangle$)の計測値と計算値の対応を示す。数値計算モデル定数は形状抵抗に関するパラメーターも含めて一定値とした。ただし、実験結果より、2次流構造が抽出されなかったため、L-Yモデル定数 C' はゼロとしている。図1、2より、主流速分布、 $-\overline{uw}$ の分布の再現性はほぼ良好といえる。しかし、厳密には、実験値の主流速横断分布の方が大きな流速勾配を有している。図3は、(a)が路床近傍のレイノルズ応力値($-\overline{uw}(y=0)$)、(b)が非植生域で路床近傍のレイノルズ応力値($-\overline{uw}(y=0)$)、植生域で植生頂部のレイノルズ応力値($-\overline{uw}(y=k)$, k :植生高さ)の計測値と計算値を比較したものである。計算によるそれらの見積りも良好で、Bed shearの推定にも計算モデルの適用性が認められる。

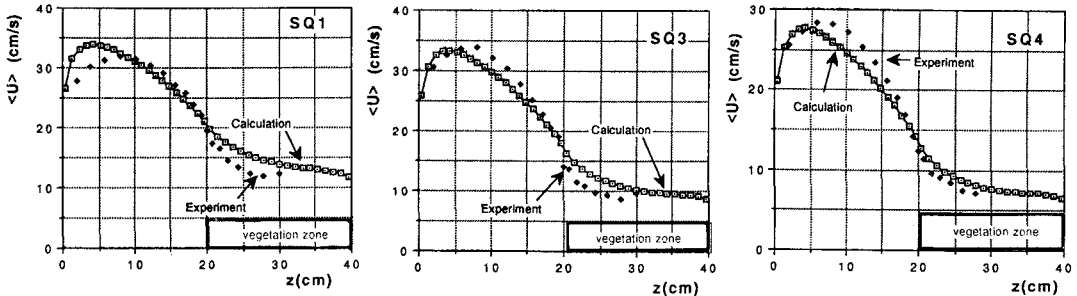


図1 水深平均の主流速横断分布

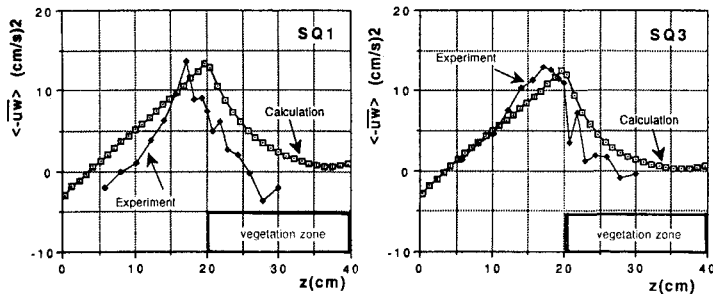


図2 水深平均の $-\overline{uw}$ の横断分布

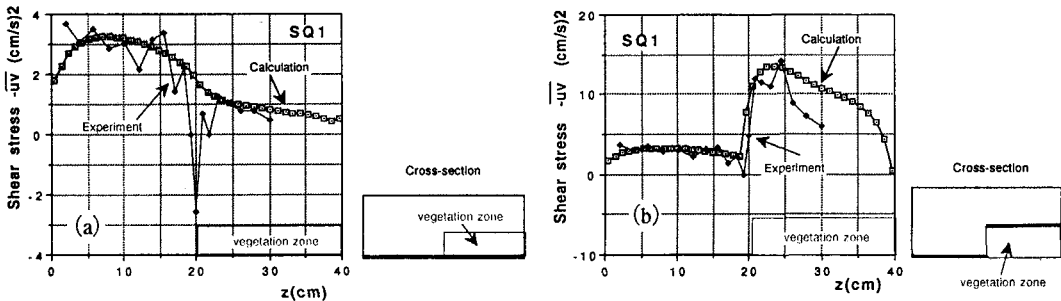


図3 Boundary shear stress($-\overline{uw}(y \neq 0)$)の見積り

4. あとがき

計算モデルの有効性を限られた水理実験結果の対応のもとに示したが、今後さらに計測結果を収集し、モデルの適用性やその限界を明確にしていきたい。また、こうした場への乱流モデルの適用についても問題点、改良点を見つけていきたいと考えている。

- 参考文献 1) 清水・辻本・中川：土木学会論文集No.447/II-19, pp.35-44.
 2) 清水・辻本・中川：水工学論文集第36巻, pp.265-272.
 3) 荒川・清水・稲葉：土木学会第48回年次講演会概要集