

II-306

高水敷に植生粗度を伴う流れの数値計算

群馬大学大学院 学生員 早坂 文香
 群馬大学大学院 学生員 青木 律子
 群馬大学工学部 正 員 清水 義彦
 群馬大学工学部 正 員 小葉竹重機

1. はじめに

高水敷にある植生群は種々の分布形態をもっている。なかでも、植生が低水路河岸沿いに繁茂している状況はよく見かけられるし、高水敷いっばいに繁茂していることもある。一方、植生の伐採の仕方によっては、まばらに点在している場合もある。高水敷の植生群が、その分布の特徴によって、洪水時の流れの構造にどの程度の影響を及ぼすかを知っておくことは、例えば、高水敷整備や河川公園などにおいて水理学的に適切な植栽を行なう上で必要である。

本研究は、こうした問題を把握する手始めとして、(a) 高水敷いっばいに植生群がある場合(case FV2)、(b) 植生が低水路河岸沿いにある場合(case FV3)、(c) 植生が高水敷側河岸にある場合(case FV4)の3つについて、植生粗度を考慮した流れの3次元数値計算を試みたものである。なお、今回の計算では、いずれの場合も高水敷上の植生は水没していない状況で行なっている。

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。その詳細については、文献1)、2)を参照されたい。流れの基礎式を記述すると、式(1)～(7)のようになる。

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} (Uk) + \frac{\partial}{\partial y} \left[Vk - \left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[Wk - \left(v + \frac{v_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right] \\ = P_k + C_{fk} (F_x U + F_z W) - \epsilon \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} (U\epsilon) + \frac{\partial}{\partial y} \left[V\epsilon - \left(v + \frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[W\epsilon - \left(v + \frac{v_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial z} \right] \\ = \frac{\epsilon}{k} \left\{ C_{\epsilon 1} [P_k + C_{fk} (F_x U + F_z W)] - C_{\epsilon 1} \epsilon \right\} \end{aligned} \quad (6)$$

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

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_z : 植生による形状抵抗のx-, z-座標成分 ($F_x = 1/2 C_{dx} \lambda U \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}$, $F_z = 1/2 C_{dz} \lambda W \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}$, C_{dx} , C_{dz} : 植生の形状抵抗係数、 λ : 植生の密生度)、 C_{fk} , C_{fe} : 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

計算モデルについては、すでに水路半断面に植生がある場合について、かぶり水深がない場合²⁾とある場合³⁾の双方について、実験による計測値と対応させ、その妥当性を確認した。しかし、高水敷上に植生がある場合のモデルの有効性については、計測値との対応を確認していない。ここでは、高水敷上いっばいに植生がある場合について1ケースのみ水理実験を行なったので、その計測結果と比較してみる。実験では、水路幅40cmの直線水路内に高さ4.5cm、幅20cmの高水敷を設け、その上に径0.18cmの円柱棒を2cm格子状に植えつけて模擬植生とした(植生縦断区間長は10m)。十分発達した断面での流速をL.D.A.を用いて2成分計測を行なった(x, y 方向の流速のみ計測)。図1に、水深平均の主流速分布について計測値と計算値の比較を示す。計測値の方が高水敷接合部付近の流速差が顕著となり、計算値はこれを正確に表現できないが、概ね対応はよいものと判断する。ただし、モデルパラメーターは水路半断面植生の場合と同様な値を用いており^{2), 3)}、さらに、計測結果を収集してその設定やモデルの診断を行なう必要がある。図2に主流速等値線、図3に水深平均($\langle U \rangle$ で表す)の主流速(U)、 $-\overline{uw}$ の横断分布を示した。計算条件は図1での実験に合わせて同一流量、同一水深とした。高水敷全面植生であるcase FV2が横断流速差とともに、 $\langle -\overline{uw} \rangle$ の断面最大値が他のケースに比べ最も大きく、植生なしのケースの計算も行なって高水敷植生による運動量横断混合の見積りを行なう必要がある。case FV3, FV4はともに同一規模の植生が低水路河岸と高水敷河岸にある場合であるが、case FV3から、わずかな植生が低水路河岸に存在することによっても高水敷全面植生に匹敵するほどの運動量横断混合が期待される。

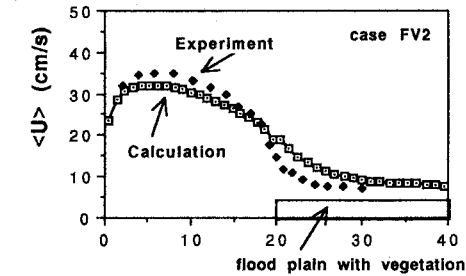


図1 水深平均主流速の計測値と計算値の対応

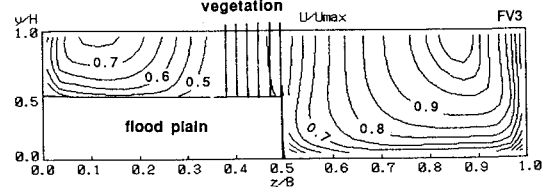
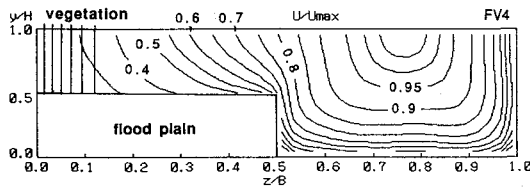
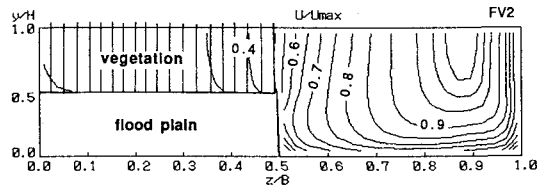


図2 主流速等値線

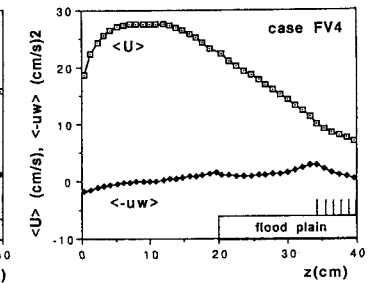
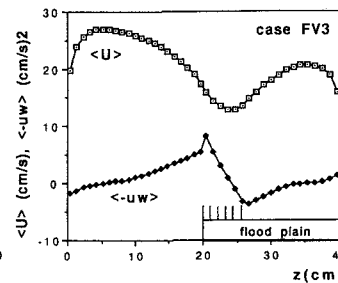
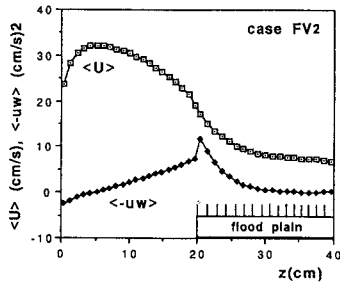


図3 水深平均の主流速、 $-\overline{uw}$ の横断分布

4. あとがき

計算モデルの有効性を確かめるために、水理実験や適当な野外水路を見つけて計測データの収集に努めたい。また、植生の分布状況による流れ構造の違いをうまく表現できる整理方法を考える必要がある。

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) 小山・清水・江崎:土木学会第48回年次講演会概要集.