

II-240

植生を伴う流れ場の遷移過程に関する研究

建設省 正員 佐藤寿延
群馬大学工学部 正員 清水義彦
京都大学工学部 正員 中川博次

金沢大学大学院 学生員 北村忠紀
京都大学工学部 正員 村上正吾

1. はじめに 著者らは植生を有する流れ場において、十分発達した流れ場での検討を行ってきたが^{1), 2), 3)}, 実河川では植生域はしばしば偏在し、非植生域から植生域、あるいは植生域から非植生域での流れの構造も把握することが必要と考えられる。本研究においては非植生域から植生域にかけての流れの遷移過程を実験と数値計算によって検討した。

2. 実験方法 図1に流れ場の概念図(x; 流下方向の座標でx=0が植生粗度による粗度変化点)を示す。実験は模擬植生(rigidなもので流れに対して変形しない)を正方形格子状(ケースAは植生高さk=4.1cm, 径D=0.1cm, 1cm間隔の格子, ケースBはk=4.6cm, D=0.15cm, 2cm間隔格子)に水路全断面にわたって敷きつめて行った。水路下流端での堰を調節し、粗度変化点から3~4m下流ではほぼ等流になるよう設定している。植生層の上の表面流および植生層内流れをケースAはhot-film流速計で、ケースBはプロペラ流速計で計測した。

3. k-ε乱流モデルにもとづく形状抵抗を導入した流れの数値計算と実測値との比較 植生粗度による形状抵抗を考慮した開水路流れの基礎式に、乱流のクロージャーモデルとして k-εモデルを採用し定式化すると以下のように書ける³⁾。

平均流の輸送方程式

$$\frac{\partial U^2}{\partial x} + \frac{\partial UV}{\partial y} = gI_0 - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial x} - F_x + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ 2\Gamma \frac{\partial U}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \Gamma \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right\} \quad (1)$$

$$\frac{\partial UV}{\partial x} + \frac{\partial V^2}{\partial y} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial y} - F_y + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \Gamma \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ 2\Gamma \frac{\partial V}{\partial y} \right\} \quad (2)$$

乱れエネルギー(k)の輸送方程式

$$U \frac{\partial k}{\partial x} + V \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} + \nu \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right\} + P_k - \varepsilon + C_{fk}(F_x U + F_y V) \quad (3)$$

逸散率(ε)の輸送方程式

$$U \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} + V \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} + \nu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} + \nu \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right\} + \frac{\varepsilon}{k} \{ C_1 P_k - C_2 \varepsilon + C_{fd}(F_x U + F_y V) \} \quad (4)$$

$$P_k = \nu_t \left\{ 2 \left(\left(\frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right) + \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 \right\}, \quad \Gamma = \nu + \nu_t \quad (5)$$

連続式

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0 \quad (6)$$

ここに、U, V: 平均流の流下(x)・鉛直(y)方向速度成分, I₀: エネルギー勾配, P': 静水圧からの偏差分, F_x, F_yは粗度によるx, y方向の形状抵抗であり, Aを流体の単位体積あたりに占める粗度要素のしゃへい面積, C_{Dx}, C_{Dy}をそれぞれの形状抵抗係数として次式で与える。

$$F_x = (1/2)C_{Dx}AU\sqrt{(U^2+V^2)}, \quad F_y = (1/2)C_{Dy}AV\sqrt{(U^2+V^2)} \quad (7)$$

また、ν_tは乱流渦動粘性係数でLaunderらによりν_t=C_μ·k²/ε

として与えられる。さらに、形状抵抗項に関わるパラメータのうちC_{Dx}=1.0(円柱の抗力係数に等しい)、C_{Dy}=0とし植生域

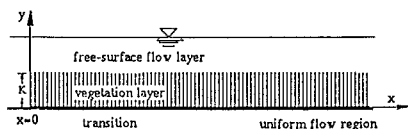


図-1 定義図

での各格子点には形状抵抗に関わるパラメータに上述の値を設定し、非植生域では0として計算する。なお $k-\varepsilon$ 方程式中の形状抵抗項にかかるパラメータの値 C_{fk} 、 C_{fd} は植生を伴う平衡乱流場での検討³⁾から $C_{fk}=0.07$ 、 $C_{fd}=0.16$ 程度で植生粗度流れを水理条件にかかわらず表現できることがわかった。数値計算の詳細は文献(3)と同様である。図2,3に平均流速分布及びレイノルズ応力分布の実測値(x印)を計算値(点線)を示す。実測値を見ると、粗度変化部直後では植生層境界面近傍において平均流速分布にくびれが生じ、負のレイノルズ応力分布が形成される。 $k-\varepsilon$ モデルにもとづく計算ではこの領域の特性は再現されていないものの、他の実測値との対応は良い。とくに、植生層上の流れ（表面流）を規定する植生層境界面近傍において平均流速分布にくびれが生じ、負のレイノルズ応力分布が形成される。 $k-\varepsilon$ モデルにもとづく計算ではこの領域の特性は再現されていないものの、他の実測値との対応は良い。とくに、植生層上の流れ（表面流）を規定する植生層境界面近傍において平均流速分布にくびれが生じ、負のレイノルズ応力分布が形成される。

4. あとがき

ここでは、植生を伴う流れ場の遷移過程を提案した数値計算法から記述できることを示したが、今後はこのような場での土砂輸送についても検討したいと考えている。

参考文献

- 1) 中川, 辻本, 清水: 植生を伴う開水路流れの構造に関する研究, 水工学論文集第34巻, 1990.
- 2) 清水, 辻本, 中川, 北村: 直立性植生を有する流れ場に関する実験的研究, 投稿中.
- 3) 清水, 辻本, 北村: 植生に覆われた砂床上流れの浮遊砂濃度分布, 水工学論文集第35巻, 1991

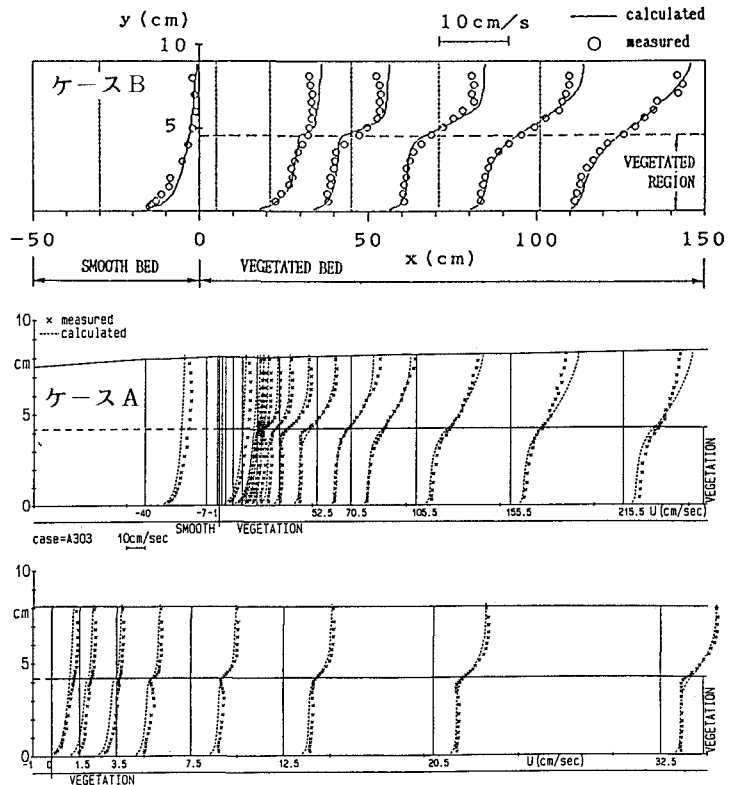


図-2 平均流速分布

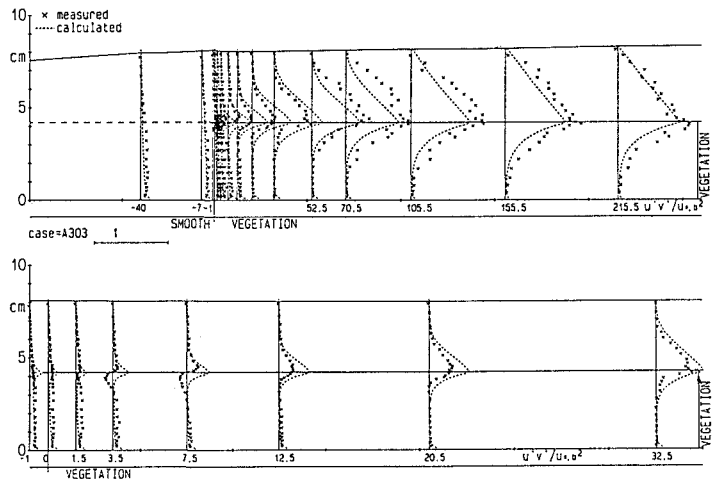


図-3 レイノルズ応力分布