

II-43 植生群を考慮した河道部流れ場の数値解析

東北工業大学 学生員 ○菅原景一

東北工業大学 正員 阿部至雄・相原昭洋・向山貴史

1. はじめに

植生の透過性を利用した植生ワンドや植生水制を有する河道部を対象にその流れ場を評価するシステムを検討してきた^{1),2)}。本報告は植生群を有する流れ場へ $k-\varepsilon$ 乱流モデルを適用し、実験で得られた植生群抵抗係数を本解析モデルに導入して植生群を有する流れ場を再現した。次いで、上流側植生帯の密集度（抵抗係数）を変化させることによって生じる植生群域内平均流速の予測を行った。

2. 数値解析の概要

数値解析の基礎方程式：平面せん断流れが卓越する流れ場が対象なので2次元計算を実施した。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(U_i \Phi - \Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right) = S \quad (1)$$

ここに、 Φ ：流体の水理量 (U, W, k, ε)、 Γ ：拡散係数である。この輸送方程式に含まれる拡散係数と定数項を表1に示した。なお、連続方程式に対して $\Phi = 1$ である。

流れ場のモデル：解析領域は流れ方向に植生群の上流1mから下流1mまでの2.4m、水路幅方向に0.6m、河床勾配1/1000とし、水路左岸河床に植生群 ($l=0.12$ m, $b=0.05$ m, $\alpha=0^\circ$, $b_1=0$, $s=0.3$ m) を配置した（図1参照）。

数値解析の実際：計算条件は、実験条件を考慮して表2に示したように設定した。格子サイズは 0.5×0.5 cm (格子数 480×120) とした。なお、水面変動の影響を考慮せず、層流計算と乱流計算の2段階に分けて実施した。

表2 計算条件

Case	d	植生群抵抗係数 $C_D \lambda$ (m^{-1})	$Q \times 10^{-3}$ (m^3/s)	H (m)	K/H	Fr
D1	0.95	69.7	6.70	0.048	1.9	0.5
D2	0.88	187.0	6.70	0.048	1.9	0.5
D3	0.84	254.0	6.70	0.048	1.9	0.5
D4	0.80	321.2	6.70	0.048	1.9	0.5

3. 解析及び考察

植生群抵抗係数の評価：一般に、植生群の抵抗を検討する際、植生群内の各植生を独立した円柱とみなしそれぞれに抗力係数 C_D を仮定し、植生の面積密度 λ を求め、その積として評価していた³⁾。しかし、実際の植生には枝葉があり、樹高も様々であるため単純に円柱群に置き換えるのは現実的な仮定ではない。そこで、 C_D と λ を分離せず、それらを一体化した植生群抵抗係数 $C_D \lambda$ を導入し、植生群の密集度（空隙率 d ）との関係から評価を行った。ここで、植生群の空隙率 d を $d = V_d/V$ (V_d : 水中植生群の空隙部体積, V : 水中植生群の支配する体積) で定義し、植生群の面積密度を

表1 基礎方程式

Equations	Φ	Γ	S
continuity equation	1	0	0
U-equation	U	$D + D_t$	$-gI + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ (u+v) \frac{\partial U}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ (u+v) \frac{\partial W}{\partial z} \right\} + \frac{f}{H} U \sqrt{U^2 + W^2} + \frac{K}{H} F_x$
W-equation	W	$D + D_t$	$\frac{\partial}{\partial x} \left\{ (u+v) \frac{\partial U}{\partial x} \right\} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ (u+v) \frac{\partial W}{\partial z} \right\} + \frac{f}{H} W \sqrt{U^2 + W^2} + \frac{K}{H} F_z$
k-equation	k	$\frac{U}{\sigma k}$	$G + G_k(F_x U + F_z W) - \varepsilon$
ε -equation	ε	$\frac{U}{\sigma \varepsilon}$	$\frac{\varepsilon}{k} [C_k(G + G_k(F_x U + F_z W)) - C_{\varepsilon} \varepsilon]$

$$F_x = \frac{1}{2} C_D \lambda U \sqrt{U^2 + W^2}, F_z = \frac{1}{2} C_D \lambda W \sqrt{U^2 + W^2}$$

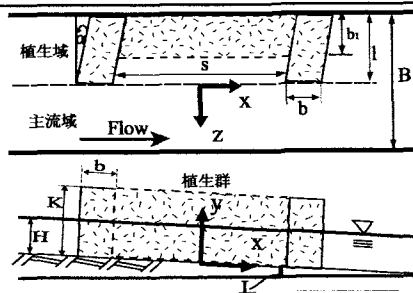
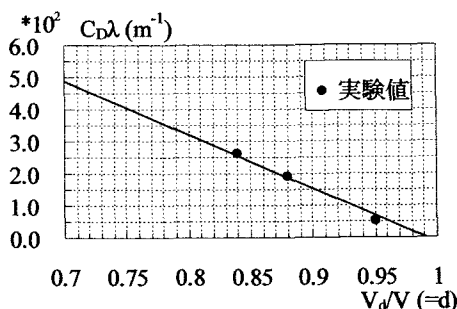


図1 流れ場の模式図


 図2 $C_D \lambda$ と d の関係

$$\lambda = \sum_{i=1}^N \frac{b_i \ell_{yi}}{b_i \ell_{yi} \ell_x} \quad (N: \text{植生の数}, b_i: \text{各植生の換算}$$

幅, ℓ_{yi} : 各植生の換算高, ℓ_x : 各植生の支配する流れ方向幅, A_v : 水中植生群の流れ方向の遮蔽面積)で定義する。 ρ を水の密度、 u_v を植生群内の浸透流速とすると、植生群の抵抗力は $D_v = (C_D \lambda) u_v^2 \rho V / 2$ である。ここで V_w : 流れの水容積、 i_0 : 河床勾配とすると流下方向の流体力は $F_x = \rho V_w g i_0$ なので、植生群内の河床に働く摩擦力は小さいとして $C_D \lambda$ を式(2)より求めた。

$$C_D \lambda = 2g i_0 / u_v^2 = 2g i_c / u_v^2 \quad (2)$$

図2に植生の空隙率(密集度) d と植生群抵抗係数 $C_D \lambda$ の関係を示した。

流れ場の予測: 図2の関係から求めた植生群抵抗係数 $C_D \lambda$ を修正 $k-\epsilon$ 乱流モデルに適用して流れ場の再現計算を行った。図3に植生群密集度 $d = 0.95$ ($C_D \lambda = 69.7$) の時の主流方向平均流速の横断分布を既往の計測結果と共に示した。同図によれば数値解析によって得られた平均流速は計測結果と概ね一致しており、本解析モデルを用いて植生群を有する平均流れ場を再現し得ることを示すものである。

図4に植生群の密集度(空隙率 d) と主流域の流速に対する水制域の流速比 U_g/U_m の関係を示した。植生を水制として利用した透過型の水制では空隙率が0.84程度になると水制本来の機能の一つである減速効果の観点から不透過型の水制機能に近づく事が報告されている²⁾が、植生群を有する河道部においても空隙率によって植生域内の流速を制御・予測し得ることが分る。

流れ場の制御: 下流側の植生群の密集度(空隙率 d) を0.95と固定し、上流側の植生群の密集度を変化させたときに生じる植生群周辺の流れ場の変化を予測した。図5に植生群周辺の流下方向流速の横断分布を植生群密集度をパラメータとして示した。同図5(a)は上流側植生群の背後の流速分布を示したものである。同図より植生群背後の流速は空隙率の減少に伴って減少する傾向にあり、植生群の空隙率が $d=0.95$ ($C_D \lambda = 69.7$) の場合には $0.55u_0$ (u_0 : 主流域平均流速)、 $d=0.70$ ($C_D \lambda = 488.7$) では $(0.1 \sim 0.2) u_0$ に減少している。また、同図5(b)によれば、密集度による流速の違いは殆どみられず、上流側植生群の密集度が下流側植生群背後の流れ場に影響を及ぼさないことが知れる。

4. おわりに

植生群抵抗係数として $C_D \lambda$ を導入し、植生群密集度 d との関係から求めた $C_D \lambda$ を用いて植生群を有する流れ場の再現計算を行った。その結果、本解析モデルで平均流れ場を再現することができた。また、植生群域内の流れ場に影響を与えるのは上流側の植生群であり、その密集度を変化させることによって植生群域内の流速を制御し得ることを示せた。

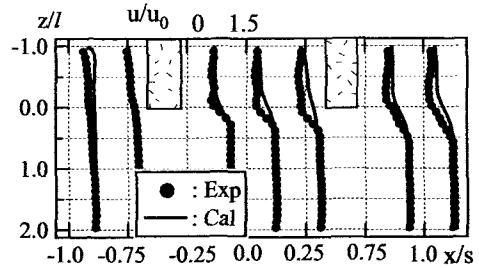


図3 主流方向平均流速分布
($d = 0.95$, $C_D \lambda = 69.7 \text{ m}^{-1}$)

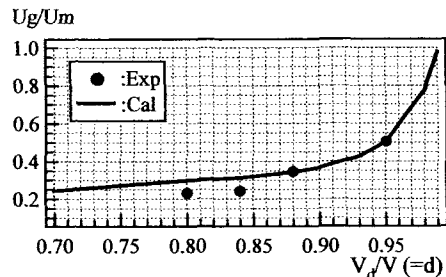
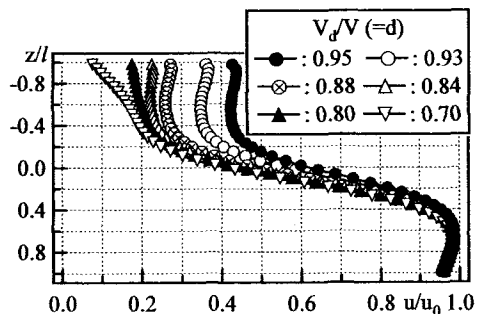
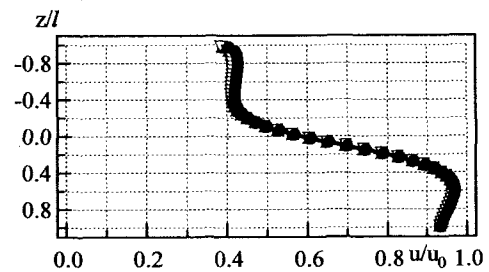


図4 流速比と植生群密集度の関係 ($x/s=0.0$)



(a) 上流側植生群背後 ($x/s = -0.25$)



(b) 下流側植生群背後 ($x/s = 0.75$)

図5 植生域主流速の予測

参考文献

- 1) 福岡捷二・藤田光一 (1990): 洪水流に及ぼす河道内樹木の影響, 土木研究所報告第180号-3.
- 2) Sugawara, K., Abe T., Aihara, A. and Takahashi, T. (2002): A study on hydraulic characteristics of vegetative groins. *Proc. of the 13th IAHR-APD Congr.*, S'pore, Vol. 1, pp 109-114.
- 3) 有田正光・池田裕一・中井正則・中村由行・道奥康治・村上和男(1998): 水圏の環境, 東京電機大学出版局.