

わんど内流れ構造に及ぼす植生の影響について

名古屋工業大学

○阪巻実佳

名古屋工業大学大学院 学生員 久田陽史

名古屋工業大学大学院 学生員 田本典秀

名古屋工業大学 正会員 富永晃宏

1. はじめに

近年の多自然型川づくりの動きの中で、河川の生態系に良好な環境を提供する場として期待される「わんど」の水域や水辺には、水深・水質・土質・乾湿などの違いに応じて各種の植物群落が作られる。これらの植物は、水生生物や魚類の餌となる他、魚類の産卵の場や稚仔魚の隠れ家となるなど、多様な生物の生息、生育環境の基礎となるものである。一方で、実際の現地観測からわんど内とその周辺の植生がわんどへの流入に有意な影響を与えていることが確認された。適切な水交換が維持されるよう、植生の管理を行うことが重要である。本研究ではわんど内部の植生が流れに及ぼす影響に着目し、植生を簡易的にメッシュで遮蔽する手法を用い、植生がわんど内流れに与える影響を数値的に検討した。

2. 数値解析方法

本研究で用いた水深平均の連続式および開水路浅水流方程式は次の通りである。

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

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial U U}{\partial x} + \frac{\partial U V}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\tau_{xx}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_{xy}}{\rho} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \quad (2)$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial U V}{\partial x} + \frac{\partial V V}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\tau_{xy}}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\tau_{yy}}{\rho} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho} \quad (3)$$

ここに h は水深、 U 、 V はそれぞれ主流、横断方向水深平均流速、 τ_{bx} 、 τ_{by} は底面せん断応力である。水深平均レイノルズ応力 τ_{xx} 、 τ_{xy} 、 τ_{yy} は渦動粘性係数 ν_t を用いて次式で表される。

$$\tau_{xx} = \rho \nu_t \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial x} \right) - \frac{2}{3} k, \tau_{xy} = \rho \nu_t \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right), \tau_{yy} = \rho \nu_t \left(\frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial y} \right) - \frac{2}{3} k \quad (4)$$

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (5)$$

ここに、 C_μ はモデル定数、 k は乱れエネルギー、 ε は乱れエネルギーの逸散率である。 k - ε モデルの輸送方程式は次のようである。

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial U k}{\partial x} + \frac{\partial V k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + G + P_{kv} - \varepsilon \quad (6)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial U \varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial V \varepsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + c_1 \frac{\varepsilon}{k} G + P_{k\varepsilon} - c_2 \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

ここに、 G は乱れエネルギー発生率であり、 c_1 、 c_2 、 σ_k 、 σ_ε は係数であり標準値を与えた¹⁾。 P_{kv} 、 $P_{k\varepsilon}$ は水深平均による分散効果を表し、次式で与えられる。

$$P_{kv} = c_k \frac{U_*^2}{h}, P_{k\varepsilon} = c_\varepsilon \frac{U_*^4}{h^2} \quad (8)$$

$$c_k = \frac{1}{\sqrt{c_f}}, c_\varepsilon = c_{\varepsilon f} \frac{c_2}{c_f^{3/4}} \sqrt{c_\mu}, c_f = \frac{gn^2}{h^{1/3}} \quad (9)$$

U_* は摩擦速度、 n はマンニングの粗度係数、 $c_{\varepsilon f}$ は係数で3.6とした¹⁾。運動方程式の離散化には有限体積法を用い、ハイブリッド法を採用し時間項には完全陰解法を用いている。計算格子間隔は水路全体を3mmの等間隔格子としている。数値解析水理条件を表-1に、植生配置条件を図-2にそれぞれ示す。

4. 計算結果と実験との比較

比較に用いた実験は文献2)に示したものと同様であり、水路幅60cm、わんど開口部長45cm、奥行30cmであり、流量4l/s、水深は6cmである。今回は開口部に3cm間隔で直径5mmの杭粗度を配置したケースと比較した。図-2、3にwb、wt3のケースにおけるわんどの中心を通る断面での主流方向流速分布と横断方向流速分布を示す。主流方向流速分布、横断方向流速分布ともに実験値を良好に再現しているといえる。

表-1 数値解析の水理条件

Q(cm ³ /s)	h(m)	F _r	Re	U _m (cm/s)
2*10 ³	4	0.4	10000	25

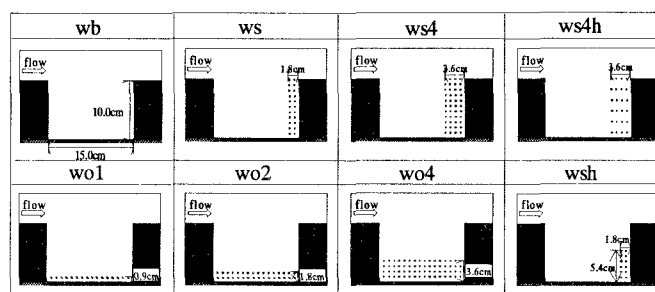


図-2 数値解析の植生配置条件

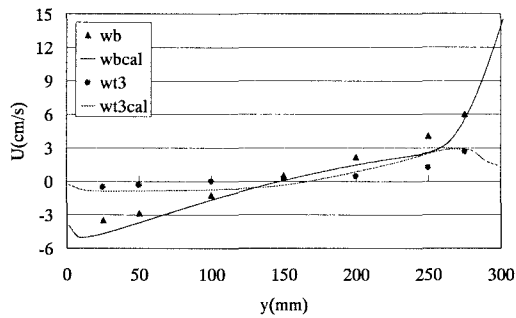


図-2 主流方向流速分布の比較

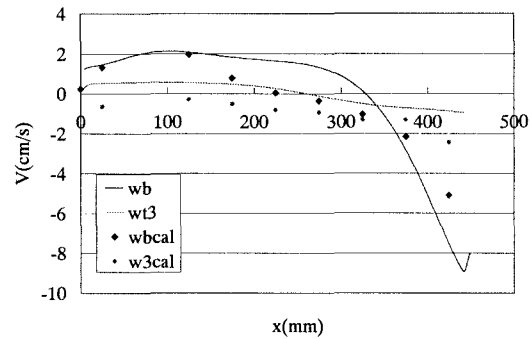


図-3 横断方向流速分布の比較

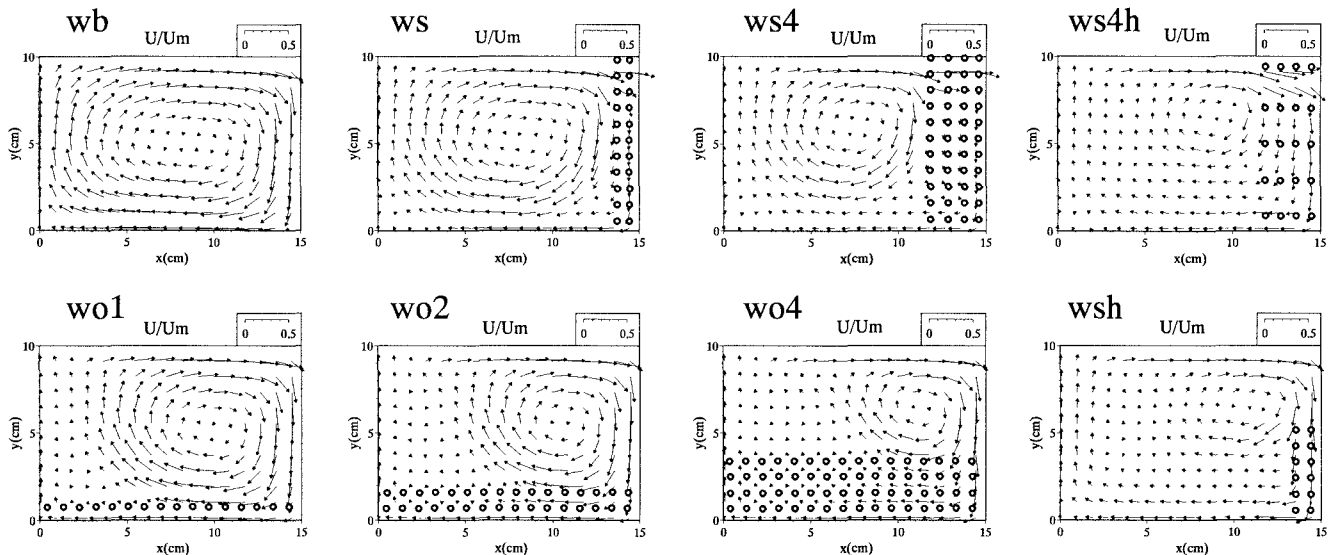


図-4 各種植生配置条件における流速ベクトル

ため、さまざまに植生を配置させたケースについて検討を行うこととする。

5. わんど内の植生の影響に関する考察

植生の繁茂する範囲と位置、密度の違いがわんど内の流れに及ぼす影響についてそれぞれ検討する。各ケースについて時間平均流速ベクトルを図-4に示す。わんど内の下流側の岸に帯状に植生がある場合、循環流は弱められ、wsとws4を比較すると植生の繁茂する範囲が広くなるにつれて循環流が小さくなり、壁面沿いの流れが弱くなることがわかる。また、ws4とws4hの比較から、密度が疎になるほど透過性が高まり植生部へ向かう流れが誘引され、わんど内の流れが弱められることがわかる。密度が高い場合には植生部への流入量が少なくなり、植生が壁面に近い役割をするものと考えられる。次に、植生をわんど下流奥のみとしたwshでは、渦の中心が開口部下流側に移動してwsよりも循環渦の規模が小さくなるとともに、壁面沿いの流速が比較的速い領域と、中心付近の流れが遅い領域との区分が確認される。wo1、

wo2、wo4のケースについてみると、わんど奥部に植生が繁茂することにより循環渦の中心が下流側に移動し、わんど上流部の流れが弱められている。植生繁茂領域が大きくなるにつれ、循環渦は規模が縮小している。

6. おわりに

植生がわんど内流れに及ぼす影響を植生を簡易的にメッシュで遮蔽する手法を用いた数値解析により検討した。わんど奥部に存在する植生と繁茂する植生の密度の違いによる影響が大きいことが数値解析により示唆された。今後はPIVによる流速計測をすることで、数値解析結果の妥当性を検討するとともに、植生がわんど内流れに及ぼす影響についてさらに検討をしていきたい。

＜参考文献＞

- 1) Rodi, W., Pavlovic, R.N. & Srivatsa, S.K.: Prediction of Flow and Pollutant Spreading in Rivers, Transport Models for Inland and Coastal Waters, Academic Press, pp.63-111, 1981.
- 2) 久田陽史・富永晃宏：人工わんどの水交換機構に関する数値的検討，第57回年講，Ⅱ，pp.453-454, 2002