

植生がわんど内流れに及ぼす影響に関する研究

名古屋工業大学大学院 学生員 ○阪巻 実佳 名古屋市 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、多自然型川づくりや生態系保全の重要性が認識されはじめ、河川の生態系に良好な環境を提供する場として「わんど」が注目されている。わんどは河道の中に存在する止水域であり、主流部に比べて流れが緩やかであることなどから、他と異なる空間を創造することが可能である。わんどの水域や水辺に作られる各種の植物群落は、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、植生が繁茂することによって、わんど内への流入が弱まり、水交換が阻害されることが考えられる。本研究では、わんど内の植生が流れに及ぼす影響について、実験と数値計算によって検討した。

2. 実験条件

実験水路は、長さ4m、幅30cm、勾配1/2000の亚克力製長方形断面水路を用い、水路右岸を亚克力板により遮蔽し、一区間のみ開放区を設けることでわんどとした。わんどの形状は開口幅15cm、奥行き10cmとし、アスペクト比（開口幅/奥行き）を1.5とした。流量は2l/s、水深はわんど域の主流部で4cmとなるように調節した。植生模型としてわんど内部に直径0.3cm、長さ6cmの木棒を0.9cm間隔で配置した。実験ケースを図1に示す。流速計測にはPIV可視化装置を用い、高速ビデオカメラを用いて1/120sで撮影された可視化画像を、相互相関法により画像解析し、約16秒間の流速ベクトルデータを取得した。

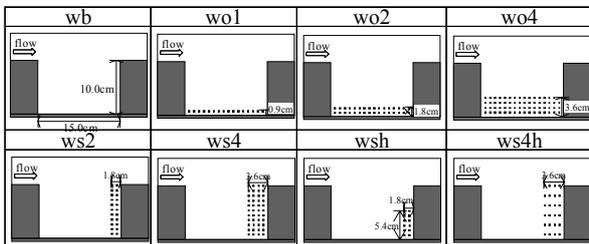


図1 実験ケース

表1 モデル関数

	D	E	f _μ	f ₁	f ₂
標準型	0	0	1.0	1.0	1.0
Launder-Sharma	2ν _t $\left(\frac{\partial\sqrt{k}}{\partial y}\right)^2$	2ν _t $\left(\frac{\partial^2 U}{\partial y^2}\right)^2$	$\exp\left[\frac{-3.4}{(1+Rt/50)^2}\right]$	1.0	1-0.3exp(-Rt ²)

3. 数値解析の手法

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以下の通りである。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Uh}{\partial x} + \frac{\partial Vh}{\partial y} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial UU}{\partial x} + \frac{\partial UV}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{\tau_{xx}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{\tau_{xy}}{\rho} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} \tag{2}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial UV}{\partial x} + \frac{\partial VV}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \frac{\tau_{xy}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial y} \frac{\tau_{yy}}{\rho} - \frac{\tau_{by}}{\rho} \tag{3}$$

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。

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

$$\nu_t = C_\mu f_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{5}$$

ここに、C_μ、f_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。低レイノルズk-εモデルの輸送方程式は次のようである¹⁾。

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial Uk}{\partial x} + \frac{\partial Vk}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right) + G - (\varepsilon + D) + P_{kv} \tag{6}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial U\varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial V\varepsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + c_1 f_1 \frac{\varepsilon}{k} G - c_2 f_2 \frac{\varepsilon^2}{k} + E + P_{\varepsilon v} \tag{7}$$

$$\varepsilon = \varepsilon - 2\nu \left(\frac{\partial \sqrt{k}}{\partial y} \right)^2 \tag{8}$$

ここに、Gは乱れエネルギー発生率であり、D、E、f₁、f₂はモデル関数、c₁、c₂、σ_k、σ_εは係数でありモデルによって異なる。ここでは標準型とLaunder-Sharmaの低レイノルズモデルを用い、表1のように与えた。またc₁、c₂、σ_k、σ_εは標準値を与えた。P_{kv}、P_{εv}は水深平均に伴う付加生成項である。運動方程式の離散化には有限体積法を、移流項にはハイブリッド法を用い、時間項には完全陰解法を用いている。計算格子は開口部と壁面近傍を細かくした不等間隔格子系(最小格子幅1mm)を用いた。

4. 実験結果と考察

植生の繁茂する位置がわんど内の流れに及ぼす影響について検討する。図2に、wb、wo4、ws4の各ケースについてPIV計測による時間平均流速ベクトルを示す。わんど内に何も設置していないケースwbでは、わんど壁面に沿うような時計回りの大きな循環流が形成される。

キーワード：わんど、植生、PIV、数値計算

連絡先：〒466-8555 名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学工学部社会開発工学科 Tel.052-735-5490

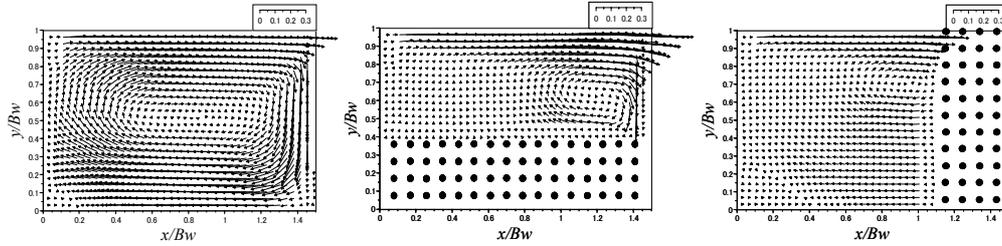


図2 PIV計測による流速ベクトル（左から wb,wo4,ws4）

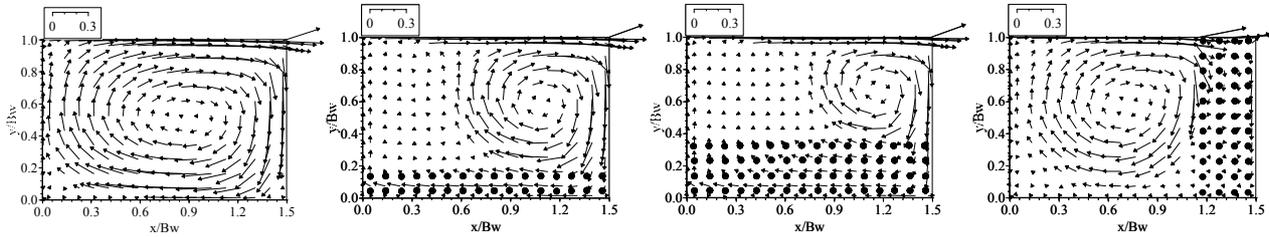


図4 低レイノルズ k-ε モデルによる流速ベクトル(wb)

図5 低レイノルズ k-ε モデルによる流速ベクトル（左から wo2,wo4,ws4）

この流れはわんどにより急拡大した主流域の流れがわんど下流部の壁面に衝突することを発端としたものである。わんど奥部に植生を配置したケース wo4 では、わんど内に入り込んだ流れが植生によって減速されることで上流側まで到達せず、規模が縮小し下流側に移動した循環流となっている。上流側の流れは弱く、周期的に主流部へ流れ出る方向へ少しずつ動いている様子が高速ビデオカメラの映像によって確認された。上流側ではこのようにして緩やかに水交換がなされるものと考えられる。次に、わんど下流側に植生を配置したケース ws4 では、開口部付近の植生内に入り込んだ流れがそのまま植生奥部で押し出されるようにして開口部へと向かう様子が見られた。下流側開口部付近に小さな循環流が形成されているが、全体的にわんど内の流れは非常に弱いものである。わんど下流部に植生が存在する場合は、下流部の壁に衝突する直前に植生によって減速されるため、わんど内への流入が少なくなり循環流も小さくなるものと考えられる。

5. 計算結果と実験結果の比較検討

数値計算の手法として、標準型 k-ε モデルで 3mm 等間隔格子を用いる従来の方法と低レイノルズ k-ε モデルで不等間隔格子を用いる方法で、わんど内流れの再現性の比較を行った。図3にケース wb 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。計算値は両者とも過大評価となっているが、低レイノルズ k-ε モデルでは壁面近くが減速されており、全体的にも標準型より実験値に近くなっている。図4に低レイノルズ k-ε モデルによるケース wb の流速ベクトルを示す。循環流の形状は実験値とよく一致している。本計算では植生モデルを格子を遮蔽することによって表現しているため、各遮蔽格子の壁面効果を的確に再現することが必要とされる。したがって壁面の影響をより精度よく表現できる低レイノルズ k-ε モデルを用いた数値計算を行った。図5にケース wo2, wo4, ws4 における低レイノルズ k-ε モデルを用いた数値解析結果を示す。わんど奥に植生があるケースでは植生によってわんど上流へ向かう流れが抑制され、植生幅の増大に伴い循環流の奥行きが狭められて下流側の狭い領域のみに発生する特性が予測されている。ケース ws4 では計算値は植生域外の、特にわんど上流部の横断流速が大きく現れ、実験と異なる印象を与えている。計算値はわんど内の循環流を過大に再現している。この点については今後モデルを改善する必要がある。

6. おわりに

わんど内に繁茂する植生がわんど内流れに及ぼす影響を、PIVによる流速計測と数値解析により検討した結果、わんど内に繁茂する植生の影響が大きいことが明らかになった。特に下流側の岸に帯状に植生が繁茂した場合には、わんど内の水交換が大きく阻害されることが示された。

<参考文献>

1) 数値流体力学編集委員会編：乱流解析, p.38-47, 1995.

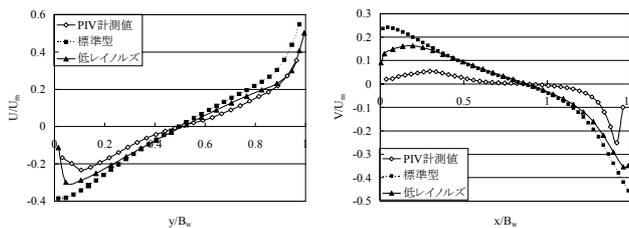


図3 流速分布の比較（左：横断分布，右：縦断分布）