

開水路側岸部植生密度の変化が運動量輸送に及ぼす影響

農業工学研究所 正会員 ○中矢哲郎

東京工業大学 フェロー会員 池田駿介

東京工業大学 正会員 戸田祐嗣

1. はじめに

ヨシやマコモなどの抽水植物群が水路側岸に存在する流れ場には、大規模水平渦が発生し植生帯域への浮遊砂堆積を促進することが知られており、この効果を湿原やため池、水田への浮遊土砂やそれに混入する栄養塩の堆積を抑制することに応用する研究が望まれる。植生を現地に植栽する場合、流れを規定する重要なパラメータの一つは植生密度であるが、この植生密度を系統的に変化させた水理模型実験は十分に行われていない。よって本研究では植生密度と運動量輸送の関係を水理模型実験、数値計算により明らかにすることを目的とする。

2. 実験及び数値計算の概要

実験水路の概要、記号の定義を図-1に示す。単断面の直線水路片側に木製円柱を千鳥状に設置することで植生帯を有する開水路を表現した。流速は2成分アルゴン・レーザー流速計（TSI 社製）を用いて、流れが平衡に達したと判断される最上流端から7m付近の断面で横断方向に1点法により1cm間隔で測定を行った。実験条件は表-1に示すように植生密度を低密度から高密度に系統的に変化させた case1 から case3 を設定した。計算モデルとしては SDS&2DH モデル(subdepth-scale & 2-D horizontal)¹⁾を用いた。計算条件については表-2に示す通りである。

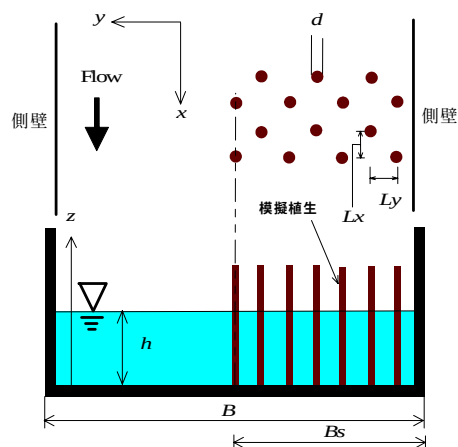


図-1 実験水路の概要と記号の定義

3. 結果と考察

(1) 水深平均流速の実験値と計算値の比較

図-2に横断方向の主流速分布の数値計算結果と実験結果の比較を示す。計算における時間平均値は擾乱発生後、大規模渦が流下方向に十分発達した計算開始後150秒から200秒の50秒間について平均した値を用いた。計算値(●)は植生帯から壁面にいたるまでの実験値(○)を正確に再現しており、広範囲の植生密度に対し本計算モデルは適用できることが明らかになった。

(2) 境界せん断応力と植生密度の関係

植生境界におけるレイノルズ応力を、ここでは境界せん断応力と呼ぶことにする。実験における境界せん断応力は100Hzでサンプリングした8192個の各瞬間流速と平均流速の差を x, y 方向について求め、その積の時間平均値として求めた。

計算の上での境界せん断応力は、大規模渦成分と、モデル化された水深スケール以下の乱れ成分を合計し算定した²⁾。植生密度毎に得られた無次元境界せん断応力値の計算値と実験値をプロットしたのが図-3である。植生密度が変化する場合においても本モデルは実験値を良く再現することがわかる。

表-1 実験条件

計算 ケース	水路床 勾配	水路幅 B (m)	平均水深 h (cm)	植生幅 B _v (m)	植生設置 間隔 L _x , L _y (m)	植生 直径 D (m)	植生密度 λ $D/(L_x \cdot L_y)$
case1	0.001	0.39	0.04	0.2	0.06	0.01	0.69
case2	0.001	0.39	0.04	0.2	0.03	0.01	2.78
case3	0.001	0.39	0.04	0.2	0.015	0.01	11.11

表-2 計算条件

植生設置 間隔 (m)	植生密度 λ $D/(L_x \cdot L_y)$	実験 ケース	計算領域 (cm)		計算格子幅 (cm)		時間 ステップ Δt	境界条件
			x方向	y方向	Δx	Δy		
0.008	39.06		400	39	1.0	1.0	0.0005	周期境界
0.015	11.11	case3	400	39	1.0	1.0	0.0005	周期境界
0.03	2.78	case2	400	39	1.0	1.0	0.0005	周期境界
0.041	1.49		400	39	1.0	1.0	0.0005	周期境界
0.06	0.69	case1	400	39	1.0	1.0	0.0005	周期境界
0.09	0.31		400	39	1.0	1.0	0.0005	周期境界
0.11	0.21		400	39	1.0	1.0	0.0005	周期境界
0.15	0.11		400	39	1.0	1.0	0.0005	周期境界
0.3	0.03		400	39	1.0	1.0	0.0005	周期境界

植生, レイノルズ応力, 大規模水平渦, SDS&2DH モデル

〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6 TEL.0298-38-7568 FAX.0298-38-7609

図より運動量交換がピークを示す密度は $\lambda=6\sim7$ であり実際の植生の密度として得られている値 $\lambda=0.78\sim1.552$ （100～200本/ m^2 ）よりかなり大きい値であることがわかった。

(3) 植生密度と境界せん断応力の関係の定式化

図-3の関係より池田ら³⁾と同様に植生密度と境界せん断応力の定式化を行う。主流速 u の横断方向の分布に関する解は植生領域内、外それぞれにおいて次式のように得られている。

$$u = u_{p\infty} J \left[J + (1-J) \exp(-\sqrt{(2/\nu)\eta}/J) \right] \quad (1)$$

$$u = u_{\infty} \left[1 - (1-J) \exp(\sqrt{(2/\nu)\eta}) \right] \quad (2)$$

ここに、 u_{∞} =植生群から十分離れた地点における水深平均流速、 $u_{p\infty}$ =植生群に十分入った地点における水深平均流速、 $J=1/(1+\chi)$ 、 $\chi=C_D h I / 2C_f$ 、 h =水深、 C_D =植生の抗力係数、 $C_f=(u_{* \infty}^2/u_{\infty}^2)$ 、 $u_{* \infty}$ =植生域から十分離れた地点における摩擦速度、 I =底面勾配、 $\nu=\varepsilon_y h / C_f u_{\infty} B^2$ 、 $\eta=y/B$ 、 ε_y =横断方向拡散係数、 B =植生も含めた水路幅、 y =植生境界を原点にとり植生域方向を負としたときの横断方向の距離である。横断方向のせん断応力 τ_y は次式で表す。

$$\tau_y = \rho \varepsilon_y \frac{du}{dy} \quad (3)$$

横断方向拡散係数 ε_y は自由乱流の仮説から以下の $u \cdot h$ に比例する形式が導ける。

$$\varepsilon_y = \gamma^2 (1-J)^2 (1+J)^4 u_{* \infty} h / 2C_f^{1.5} \quad (4)$$

比例定数 γ は今回の実験結果及び数値シミュレーションの結果より J の関数として次式のように一義的に定めた。

$$\gamma = 0.013 \exp[-\exp(-20J^2)] \quad (5)$$

(3)式に(1)又は(2)式と(4)、(5)式を代入し植生境界におけるせん断力 $\tau_{y=0}$ を求めると次式のようにになる。

$$\tau_{y=0} = \frac{\gamma(1-J^2)^2}{C_f} \rho u_{* \infty}^2 \quad (6)$$

(6)式をプロットしたのが図-3の黒小点で表示したものである。低密度から高密度にわたり広い範囲で実験結果、数値計算結果を良く再現していることがわかる。

謝辞

本研究は筆頭者が独立行政法人農業工学研究所国内留学制度により東京工業大学に嘱任中になされた。お世話頂いた同大学の教職員、学生の方々、農業工学研究所河海工水理研究室、丹治肇室長、桐主任研究官に記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 灘岡和夫、八木宏：浅い水域の乱流場に関する数値計算モデルの開発と沿岸流場への適用，土木学会論文集，No.473/II-24，pp.25-34.1993
- 2) 池田駿介、杉本高、吉池智明：不透水制群を有する流れの水理特性に関する研究，土木学会論文集，No.656/II-52，pp.145-155.2000
- 3) 池田駿介、太田賢一、長谷川洋：側岸部植生帯が流れ及び粒子態物質の輸送に及ぼす影響，土木学会論文集，No.447/II-19，pp.47-54.1992.

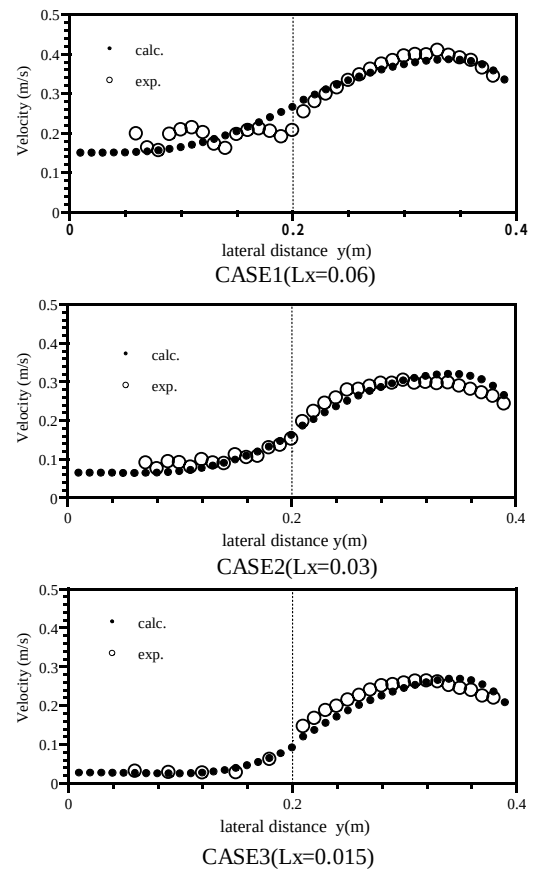


図-2 横断方向の時間・水深平均主流速分布

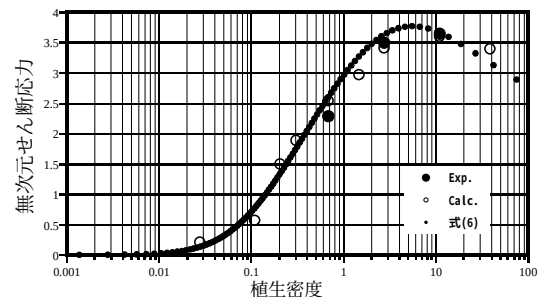


図-3 境界せん断応力と植生密度の関係