

水生植物が繁茂する閉鎖性水域における吹送流場の三次元数値解析

Three dimensional analysis of the Wind Induced Flow in the closed water body with the aquatic plants

○吉岡秀和* 濱上邦彦** 中武聖** 森健*** 平井康丸**

○YOSHIOKA Hidekazu*, HAMAGAMI Kunihiko**, NAKATAKE Syo**, MORI Ken*** and HIRAI Yasumaru**

1. はじめに 閉鎖性水域の水面に風応力が作用することで駆動される吹送流は、閉鎖性水域内の物質循環に大きな役割を果たす。一方、閉鎖性水域では水面に水生植物が繁茂しており、その存在が風的作用を妨げ、吹送流場の有する乱流構造に大きな影響を与えることが考えられる。とくに、植生付近では風応力の作用の不連続性に起因する流れ場の三次元的な変化が生じることが考えられる。このことから、水面における植生の存在により水域内の水質動態が変化し、水域内の水環境に多大な影響を与えることが示唆される。したがって、水面に植生による被覆を伴う閉鎖性水域における吹送流場の三次元性を解明することは工学的に見て重要である。そこで本研究では、水生植物の繁茂する矩形水域を対象としての三次元数値解析により、吹送流の乱流特性に関する検討を行った。

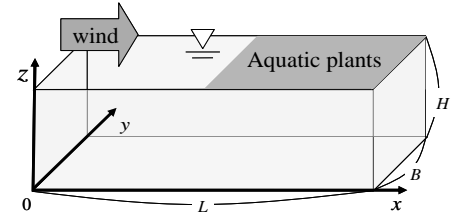


図1 モデル水域

2. 水域モデル 閉鎖性水域内の吹送流場は複雑な乱流場であり、乱れの分布も非等方的である。そこで、本研究ではレイノルズ応力項に木村ら(2000)の非線形型表現を加えた Shimada-Nagano 低レイノルズ数型 $k-\varepsilon$ 乱流モデル(1996)を適用する。このモデルでは、平均流速成分 u_i ($i=1\sim 3$)、乱れエネルギー k 、エネルギー散逸 ε に関する輸送方程式、および連続の式により流れ場を取り扱う。なお、基礎式の離散化には直交 staggered 格子を用い、各輸送方程式の解法に TDMA 法を、圧力解法には安定化双共役勾配法による SIMPLEC 法を適用した。また、水域を完全な矩形とし、水面は rigid-surface であるとした。このとき、風は x 軸の正の方向に一様に定常的に吹き続けるとし、水生植物部分は風応力の作用しない完全な壁面とした。

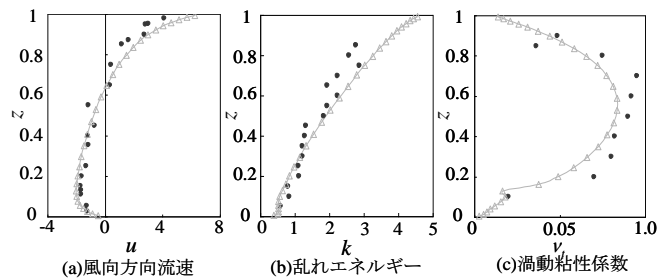


図2 Mori et al. (2000)との比較

3. 妥当性の検討 まず、本モデルの妥当性の検討を行う。妥当性の検討には Mori et al. (2000)による水理実験の結果を採用する。図1に、妥当性の検討に用いた水域形状を示す。ただし、水域長さ $L=5.0$ (m)、水域幅 $B=0.6$ (m)、水深 $H=0.3$ (m)、水の摩擦速度 $u_{*w}=2.04$ (cm/s)であり、水面以外の境界は壁面として扱い、水面には植生がないとした。図2(a)に水平平均流速 u の鉛直分布、図2(b)に乱れエネルギー k の鉛直分布、図2(c)に渦動粘性係数 ν_t の鉛直分布の計算結果を示す。なお、 u, k, ν_t, x, y および z は H および u_{*w} を用いて無次元化されている。図2(a)~(c)より、渦動粘性係数 ν_t の鉛直分布に関し、計算値は実験値を過小評価しているものの、両者はよく一致しているといえる。以上か

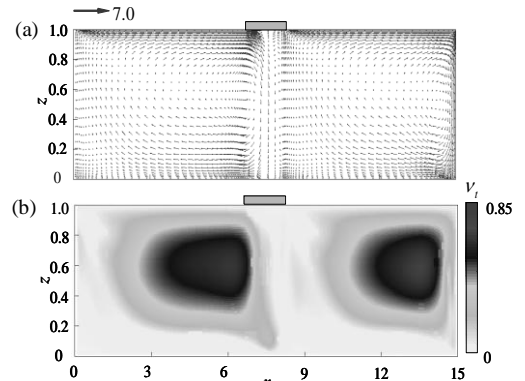


図3 (a)断面内流速ベクトル分布図 (b)断面内渦動粘性係数分布図 (中央部10%被覆)

*九州大学農学部, **九州大学大学院農学研究院, ***前九州大学大学院農学研究院教授

ら、本モデルを用いて三次元吹送流場における乱流構造の解析を行う。

4. 水槽スケールでの検討 ここでは、水面における水生植物の存在が吹送流場に与える影響に関する検討を行う。ただし、図1において $L=6.0(\text{m})$, $B=0.3(\text{m})$, $H=0.4(\text{m})$ となるような水域を想定し、水の摩擦速度 $u_{*w}=0.88(\text{cm/s})$ とした。図3は、水域中央部($x=0.45L \sim 0.55L$)に一樣に水生植物が繁茂する場合での $y=L/2$ における(a) x - z 断面内流速ベクトル分布、(b) x - z 断面内渦動粘性係数分布、および(c)水面付近の乱れエネルギー収支を示す。図3(a)より、風応力が水面にのみ作用することで水面下部に循環流が形成され、水生植物の影響により流れ場が分断されていることがわかる。また、図3(b)より、循環流の中心付近においては渦動粘性係数が極大値となっており、この部分で乱流輸送が大きくなる一方、植生下部においては渦動粘性係数が非常に小さく、乱流輸送が小さいことがわかる。さらに、図には示していないが植生と水面の境界部では乱れエネルギー輸送方程式の対流項、生成項、および散逸項が大きく変化していた。すなわち、この位置での運動量輸送は移流による輸送が卓越しているといえる。

5. 単一の植生周りにおける吹送流場 表1に計算条件を示す。ただし、 $Re_* = u_{*w} H / \nu$ はレイノルズ数、 ν は水の動粘性係数である。ただし、水域形状は図1において $L=B=4.0(\text{m})$, $H=0.2(\text{m})$ とした。また、水域の中心部である $0.4B \leq x, y \leq 0.6B$ の範囲に植生が存在するとした。なお、水域の側壁が植生付近の吹送流場に与える影響を小さくするため、側壁を Slip 条件とした条件下における数値計算を行った。図4は、Run3における(a) $y=L/2$ における x - z 断面内流速ベクトル分布、(b) $x=L/2$ における y - z 断面内流速ベクトル分布を示す。図4(a)より、側壁の影響をなくした場合には植生下部において流れが分断されず、風上側へ向かう流れが生じている。また、図4(b)より植生の側方に対をなす二次的な流れが存在することがわかる。これらより、植生域と水面域の境界付近では領域間に流体交換が生じていることが考えられる。そこで、無次元流体交換率 β を式(1)で定義し、レイノルズ数 Re_* との関係性を定量評価する。ここに、 D は注目する植生端辺長さ(m)、 V_n は注目する植生端辺に直交する流速成分(m/s)、および Ω は植生域と水面域の面積(m^2)である。図5に、植生の風上側、風下側、および側面における β と Re_* の関係性を示す。図5より、植生風上側及び風下側での β に関しては、 Re_* の増加に伴って減少することが推測できる。

6. まとめ 本研究の結果から、水面に水生植物が繁茂する場合には水域内における吹送流場の乱流構造が大きく変化し、とくに水面と水生植物の境界付近において乱れの構造の変化が顕著であることが示された。このことから、水面に存在する植生は閉鎖性水域内の物質循環に多大な影響を与え、閉鎖性水域における水環境を考える上で非常に重要であるといえる。

(参考文献)

木村一郎・細田尚(2000)水工学論文集, 44 : 599-604
 Shimada, M.and.Nagano, Y., A(1996) : Engineering Turbulence Modeling and Measurements, 3 : 111-120
 Ken Mori, Shiomi Shikasho and Kazuaki Hiramatsu (2000) : Wind-Induced Flow in a Closed Water Area with Discrete Wind Shear, Fisheries Engineering, 37 : 195-201

表1 計算条件

Run	$u_{*w}(\text{cm/s})$	Re_*
1	0.88	1760
2	1.12	2240
3	1.52	3040

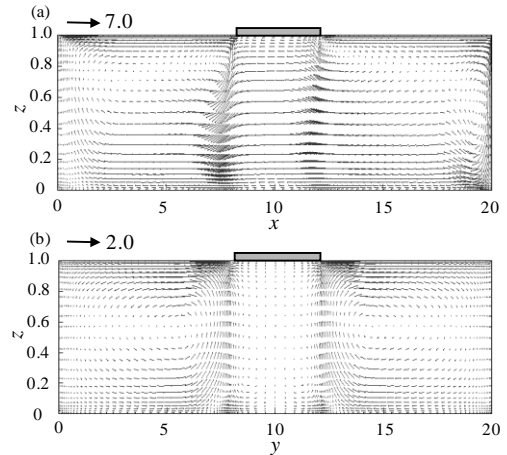


図4 断面内流速ベクトル分布図(Run3)

$$\beta = \frac{1}{u_{*w} \Omega} \int_{\Omega} |V_n| dS \quad (1)$$

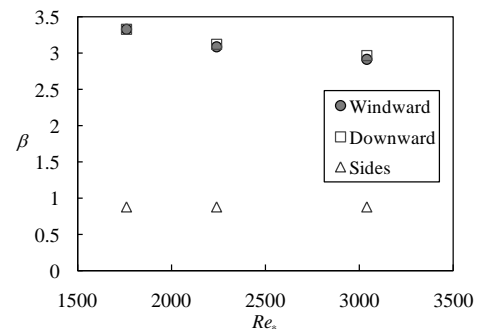


図5 無次元流体交換率