

水生植物による水面被覆が閉鎖性水域の吹送流場に及ぼす影響 Effect of Covering at Water Surface on Wind Current in a Closed Water Body

○濱上 邦彦* 藤原 正幸* 中武 聖** 森 健***

HAMAGAMI Kunihiko, FUJIHARA Masayuki, NAKATAKE Sho, MORI Ken

1. はじめに

水質問題の生じやすい閉鎖性水域における水質浄化の一手法として、水生植物により栄養塩類を吸収し系外へ排出する手法が提案されており、省エネルギーで持続可能な環境調和型技術として注目されている。しかし一方で、水面における水生植物の繁茂は、水域内流動の駆動力となる風や熱の作用に影響を及ぼし、閉鎖性水域の貧酸素化をもたらす大きな要因のひとつとなる。したがって、植物を用いた水質浄化を適切に行うためには、その栄養塩吸収能を評価するほかに、その存在が閉鎖性水域の流動に及ぼす影響を評価することが重要であると言える。

そこで本研究は、水生植物の被覆による水域内流動への影響を考慮した水質予測モデルを構築するための一環として、吹送流場における水面被覆の影響を検討することを目的とし、閉鎖性水域を模擬した風洞実験水槽を用いて被覆を伴う水域内の流速分布に関する検討を行った。さらに、流れ場に及ぼす被覆の影響を詳細に検討するための、風波を再現する数値モデルの開発を行った。

2. 実験概要

Fig.1 に実験装置の概要図を示す。各被覆形態において3種類の風(wind1,2,3)を作用させた。ここに、wind1, 2, 3 は、被覆のない場合における吹送距離 $F=3m$ での風速がそれぞれ 3.8(m/s), 5.2(m/s), 6.8(m/s)となる。風洞部における風速分布を熱線風速計により、風波を抵抗線式波高計により計測した。また、水域内の縦断面流速分布を可視化により計測した。可視化においてはナイロン粒子を混合した水にレーザーシート光を照射して、ビデオ

カメラにより撮影を行い、得られた画像から PIV 解析を行った。水面被覆による影響としては、水面でのせん断応力の遮断および水面波の発達の阻害が大きいと考え、実験においてはこれらを表現するために厚さ5mmの発泡スチロール板を被覆体として用いた。

3. 実験結果と考察

Fig.2 に各被覆形態の水平流速 u 、鉛直流速 v の分布を示す。一様被覆の場合、被覆直前の地点において、鉛直流速が負の値をとり、被覆直前の流れが下方に向くことを示している。さらに被覆直後において、水平流速の値が小さくなり、流れが被覆によって分断されることがわかる。側岸被覆および中央被覆においては、水域内に循環流が形成されている。被覆が存在しない領域が存在するために、流れが分断されることがないと考えられる。しかしながら、被覆なしの場合と比べて若干小さくなっている。以上の結果より、水域において一様に被覆した場合には循環流の形成が阻害され、また非一様に被覆した場合には、循環流は形成されるが、その規模に影響を与えることがわかった。このような被覆の存在が流れ場に影響を及ぼす大きな要因として考えられるのは、風波の発達の阻害である。より詳細な検討を行うため、風波を再現する数値モデルの開発を行った。

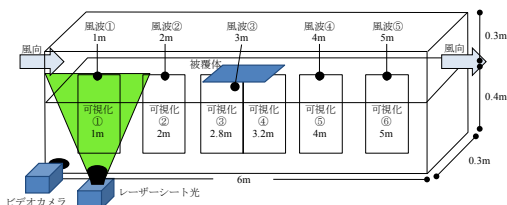


Fig.1 実験概要図

*愛媛大学農学部 Faculty of Agriculture, Ehime University, **九州大学大学院生物資源環境科学府 Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University, ***前九州大学大学院農学研究院教授 Former Professor of Faculty of Agriculture, Kyushu University,

キーワード: 吹送流, 水生植物, 風波, CIP

4. 数値モデルの概要

本研究では、LES モデリングに伴うフィルタリング操作が施された以下の基礎方程式を用いる。

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} (2(\nu + \nu_e) \bar{D}_{ij}) - g \delta_{i2} \quad (2)$$

$$\bar{D}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

ここに、添え字 i, j ($=1, 2, 3$) はそれぞれ (x, y, z) 軸方向を示し、上付きの $\bar{\quad}$ は GS 成分での値を示している。また、 \bar{D}_{ij} は歪みテンソルである。 \bar{P} は以下のように定義される。

$$\bar{P} = \bar{p} + \frac{1}{3} \rho \tau_{ii} \quad (4)$$

ここに、 $\tau_{ij} = \overline{u_i u_j} - \bar{u}_i \bar{u}_j$ は SGS のレイノルズ応力である。SGS 渦動粘性係数 ν_e は、乱流エネルギーの SGS 成分 k の輸送方程式に対して局所平衡を仮定することにより、次のようにモデル化される。

$$\nu_e = (C_{smg} \Delta)^2 |\bar{D}| \quad (5)$$

ここに、 C_{smg} はスマゴリンスキー定数である。また、数値モデリングとしては CIP 法をベースとした C-CUP 法を用いており、圧力に関しては連続の式より求めたポアソン方程式を SOR 法を用いて解いた。また、自由表面である気液界面を明確に区別するために、密度関数を導入した。

5. 風波の再現シミュレーション

本数値モデルを用いて風洞水槽における吹送流場の再現計算を行った。Fig.3 は計算条件および送風開始後 10 秒における水面形状を示している。送風後まもなく風の作用により水面に風波が発達していることがわかる。このときの水域断面内の流速分布は Fig.4 のようになる。水面付近において吹き寄せられた流体が風下端において潜りこむことにより、水域内に循環流が形成されることが確認された。以上の結果より、本モデルが風波の形成を良好に再現しうることがわかった。今後は同モデルにおいて水面被覆を伴う流れ場を計算し、実験結果との比較を行う予定である。

6. おわりに

実験水槽を用いて吹送流に及ぼす水面被覆の影響について検討を行った。さらに水面被覆を伴う

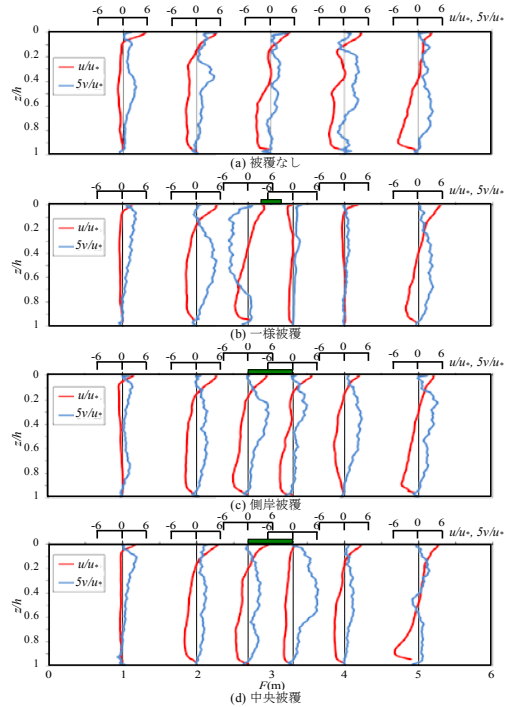


Fig.2 各被覆形態における流速分布

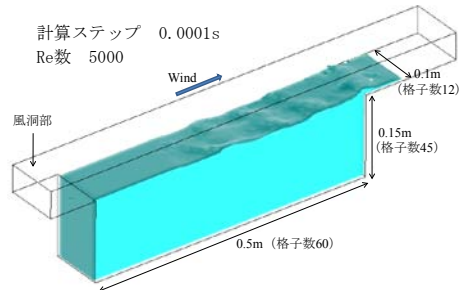


Fig.3 計算条件および風波の水面形状

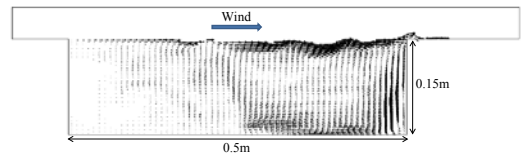


Fig.4 水域中央断面での流速ベクトル分布

水域内の流動予測モデルの開発のために風波の再現計算を行った。今後は同モデルを用いて水面被覆を伴う流れ場を検討する予定である。

参考文献：山下晋，肖鋒，青木尊之，高橋桂子 (2010) : CIP 有限体積法による風波シミュレーション，ながれ 29, pp.277-286.