

稲株を考慮した田面水の2次元流れ解析に関する研究

Analysis of Two-dimensional Flow of Paddy Water Considering the Rice Plant

菅原義規* 久保成隆** ○瀨瀨光** 木村匡臣** 飯田俊彰**

SUGAWARA Yoshinori KUBO Naritaka ○KOUKETSU Hikaru KIMURA Masaomi IIDA Toshiaki

1. はじめに

田面水の2次元流れ解析は、水田内の水温分布予測モデル作成や、水田内での肥料や小動物の動態解析を行う場合に必須である。しかし、すべての稲株を計算格子で表現すると、格子数が非常に多くなり、計算コストが膨大となるため、稲株のモデル化には簡便な方法が求められている。尾崎ら(2007)は、田面水の2次元流れ解析を行い、水田内の水温予測モデルを作成したが計算上、稲株は省略されかつ、その十分な根拠は示されていない。また、小澤ら(2011)などにより、河道内の植生をマンニングの粗度係数で表現する手法が提案されているが、これを水田内の稲株に適用可能かは不明である。

そこで本研究では、田面水の2次元流れ解析の中から、稲株を格子で表現する解析方法に近い結果が得られる簡便なモデルを探すことを目的とした。

2. 方法

本研究では、解析方法の異なる以下の4つのモデルを作成し、Fig. 1に示す4(m)四方の水田を解析対象として比較を行った。

(I) 稲格子モデル(稲株を格子で表現)

($\Delta x = \Delta y = 0.02$, $\Delta t = 0.004$, $n = 0.05$)

(II) 代掻き水田モデル(稲株を省略)

($\Delta x = \Delta y = 0.04$, $\Delta t = 0.008$, $n = 0.05$)

(III) 粗度係数近似モデル(稲株を粗度係数で表現)

($\Delta x = \Delta y = 0.04$, $\Delta t = 0.008$, $n = 0.098, 0.13, 0.15, 0.20, 0.25$)

(IV) ポテンシャルモデル(ポテンシャル流を仮定)

($\Delta x = \Delta y = 0.04$)

ここで、 Δx , Δy は格子幅(m)、 Δt は時間ステップ(s)、 n はマンニングの粗度係数である。

(I)稲格子モデルは、計算コストは非常に大きいものの、稲株のある水田での現実の流れに最も近い流れを再現するモデルと考えられ、これを模範モデルとして扱った。(II)~(IV)を簡略モデルの候補とし、これらの出力結果を模範モデルの出力結果と比較した。(II)は、稲株の存在を無視して水田が代掻き直後の状態であるとした、大幅な簡略化モデルである。(III)は、小澤ら(2011)を踏まえ、稲株の存在を粗度係数の増大のみで表現しようと試みたモデルである。(IV)は、稲株が存在する時の流れをポテンシャル流として簡略化することを試みたモデルである。(I)~(III)のモデルでは、Fig. 1に示す初期条件、境界条件を与え、以下の運動方程式

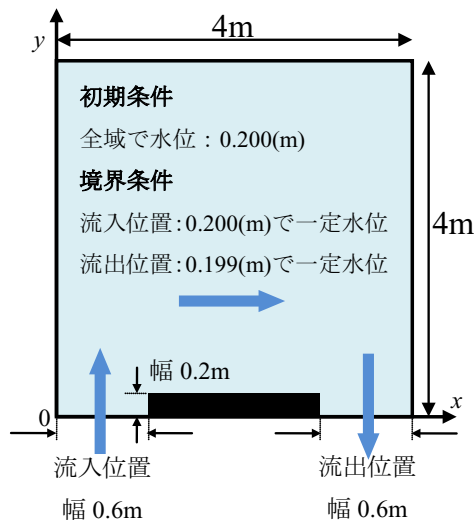


Fig. 1: 解析対象

Analysis object

* 日本総合システム株式会社 NSS Inc.

** 東京大学農学生命科学研究科 Graduate School of Agricultural and Life Sciences, Univ. of Tokyo

キーワード: 数値流体力学, 水田灌漑, マンニングの粗度係数

および連続式を、Two-step Lax-Wendroff法を用いて定常になるまで計算した。

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(u^2 h + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(vuh)}{\partial y} = -ghI_{fx} \quad (1)$$

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(v^2 h + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(vuh)}{\partial x} = -ghI_{fy} \quad (2)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ここで、 u は x 方向の流速(m/s)、 v は y 方向の流速(m/s)、 h は水深(m)、 g は重力加速度(m/s²)、 I_f は摩擦勾配である。

(IV)のモデルでは、次のラプラス方程式を緩和法で計算した。

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (4)$$

ここで、 ϕ は速度ポテンシャルである。

3. 結果

(II)代掻き水田モデルの流速分布図(Fig. 2)では、大きな渦が発生しており、(I)稲格子モデルとは異なる流れとなった。

(I)、(III)、(IV)のモデルでは、解析結果を定量的に評価するため、Fig. 3に示す $x=2$ (m)の検査断面を通過する x 軸方向の流量を、 y 軸の正の方向に累加していき、水田への流入流量で除した無次元累加流量曲線で比較を行った。比較結果IをFig. 4に示す。(III)粗度係数近似モデル、(IV)ポテンシャルモデルとともに、(I)稲格子モデルとは異なるものとなった。(III)粗度係数近似モデルの粗度係数を大きくした場合の比較結果II(Fig.)では、粗度係数の与え方次第で、(I)稲格子モデルの結果を再現できることがわかった。

4. 今後の課題

今後は、実際の圃場での大きなサイズの水田を想定した解析や格子幅を変更することで(I)稲格子モデルの稲株をより詳細に表現するなどが考えられる。

5. 参考文献

尾崎彰則・森健・平井康丸：水稻の生長を考慮した水平2次元モデルによる水田水温の予測、農業農村工学会全国大会講演要旨集，pp.328-329，2007。
小澤宏二・高橋眞彦・小林祐也：治水と環境の両側面に配慮した河道内樹木群の伐採・保全に関する水理的評価、応用生態工学会研究発表会講演集，Vol.14，pp221-224，2010。

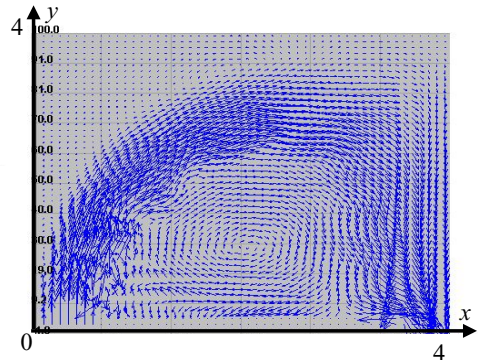


Fig. 2: 代掻き水田モデル流速分布図

Flow velocity distribution of puddling paddy field model

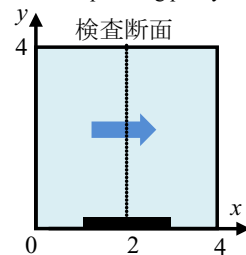


Fig. 3: 検査断面

Cross-section for examination

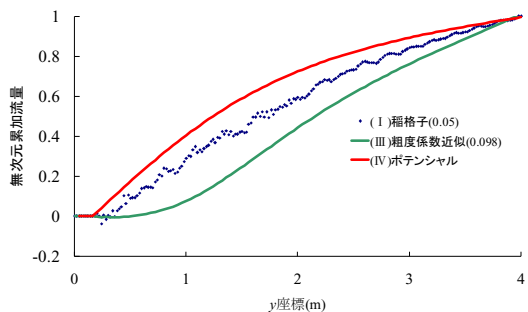


Fig. 4: 無次元累加流量の比較結果 I

Comparison result of dimensionless cumulative flow rate I

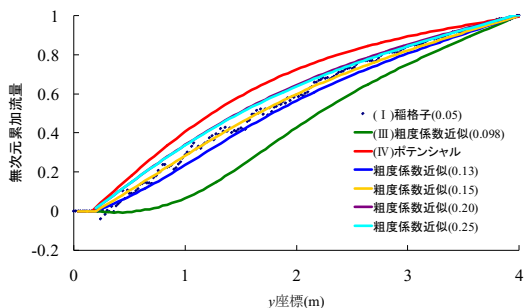


Fig. : 無次元累加流量の比較結果 II

Comparison result of dimensionless cumulative flow rate II