

汎用水田への降雨に対する地表排水のシミュレーション

Simulations concerning Surface Drainage at Rainfall to Multi-purpose Paddy Fields

○鈴木翔* 牧山正男**

SUZUKI Sho* and MAKIYAMA Masao**

1. 研究の目的

昨年度の発表¹⁾²⁾では、既往の研究³⁾⁴⁾⁵⁾を参考に、時間変化を考慮しない水田からの地表排水モデルを開発し、田面残留水量を削減するための各種工夫に関して、その効果の傾向を把握した。

今年度は、岩渕ら⁶⁾を参考に田面残留水量や地表排水速度の時間変化を表現できる地表排水プログラムを開発し、汎用水田への降雨に対する地表排水のシミュレーションを行ったので、その結果を報告する。

本稿では、プログラムの概要と結果の一例を示す。

2. シミュレーションの方法 (Fig.1)

- ①コンピュータ内に任意の幅でメッシュに区切った模擬的な田面を作成する³⁾⁴⁾。
- ②時間を進行させ ($t_n = t_{n-1} + dt$)、田面に降雨を与える。この処理は、時間 dt に降る雨量を計算し、全てのメッシュの水深 h にその値を加えることとした。
- ③メッシュ (k, l) において、 x 方向の流速 $V_x(k, l)$ および y 方向の流速 $V_y(k, l)$ を運動方程式で求める (例として、 x 方向の運動方程式を式1に示す)。

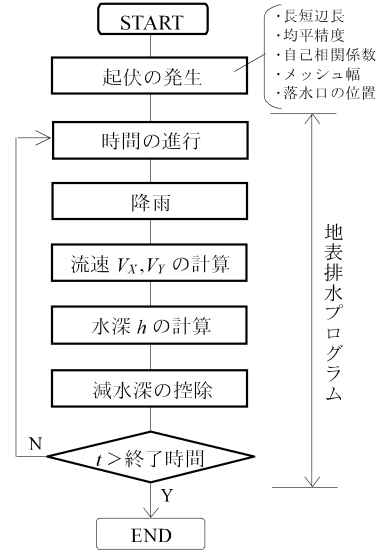


Fig.1 本研究のアルゴリズム Algorithm in this study

$$\begin{aligned}
 {}_{t_n}V_x(k,l) = & -\frac{{}_{t_{n-1}}V_x(k,l)}{g \cdot dt} + \frac{dh}{dx} + i_x + \frac{n^2 \sqrt{{}_{t_{n-1}}V_x^2(k,l) + {}_{t_{n-1}}V_y^2(k,l)}}{2 \cdot h^{4/3}} \times {}_{t_{n-1}}V_x(k,l) \\
 & \frac{1}{g \cdot dt} + \frac{n^2 \sqrt{{}_{t_{n-1}}V_x^2(k,l) + {}_{t_{n-1}}V_y^2(k,l)}}{2 \cdot h^{4/3}} \quad (x \text{ 方向}) \quad \dots \text{式1}
 \end{aligned}$$

ここで、 V : 流速 ($m \cdot s^{-1}$)、 k, l : メッシュ番号、 g : 重力加速度 ($m \cdot s^{-2}$)、 t : 時間 (s)、 h : 水深 (m)、 x : x 方向のメッシュ幅 (m)、 i_x : x 方向の標高の勾配、 n : マニングの粗度係数とする。

- ④こうして求めた流速 (${}_{t_n}V_x(k, l)$, ${}_{t_n}V_y(k, l)$)を用いて、時刻 t_n における各メッシュの水深 h を連続方程式 (式2) で計算する。

$$\begin{aligned}
 {}_{t_n}h_{k,l} = & {}_{t_{n-1}}h_{k,l} + \frac{1}{dy} ({}_{t_n}V_y(k,l+1) \times {}_{t_{n-1}}h_{k,l+1} - {}_{t_n}V_y(k,l-1) \times {}_{t_{n-1}}h_{k,l-1}) \\
 & + \frac{1}{dx} ({}_{t_n}V_x(k+1,l) \times {}_{t_{n-1}}h_{k+1,l} - {}_{t_n}V_x(k-1,l) \times {}_{t_{n-1}}h_{k-1,l}) \quad \dots \text{式2}
 \end{aligned}$$

- ⑤水深があるメッシュを対象に、時間 dt 分の減水深 (水田全体で均一) を各メッシュの水深 h から差し引く。

- ⑥この②～⑤の作業を、 t_n が計算終了時間 t_{end} に達するまで繰り返す。

*東京農工大学大学院連合農学研究科 United Graduate School of Agricultural Science, Tokyo Univ. of Agri. and Tech.

**茨城大学農学部 College of Agri., Ibaraki Univ. キーワード: 地表排水, 田面残留水, シミュレーション

Table 1 パラメータおよび計算条件
Parameters and settings in this simulation

パラメータ	値
水田面積	100m × 50m (50a)
落水口位置	排水路側の短辺中央
自己相関係数	長辺方向に 0.85, 短辺方向に 0.30 ³⁾
均平精度	± 3.5cm
日降雨量	45mm (Fig.2 参照)
日減水深	20mm
粗度係数 n	0.03 ⁶⁾
メッシュ幅	2.5m×2.5m
計算間隔 dt	0.5s
使用言語	Excel VBA

3. シミュレーションの結果と考察

シミュレーションに当たっては、Table 1 のパラメータと計算条件を用い、Fig.2 のような降雨を与えた。本稿では、解析結果の例として、傾斜の有無による地表排水の変化を示す (Fig.3)。ここでは、ある起伏を有する水田について、1/2500 の傾斜をつけたときとつけなかったときとで比較する。なお、傾斜は落水口側の短辺が低くなるようにつけた。

単位面積あたりの平均残留水量は、水田に傾斜をつけることによって、解析開始から24時間経過までで平均4割ほど減少した。また、地表排水速度は、一番強く雨が降った9時間時点で最大値を取り、傾斜なしの水田では7.6mm h⁻¹、傾斜ありの水田では9.9mm h⁻¹と単位時間あたりの地表排水速度が3割ほど上昇した。このときの各水田の残留水深の等高線 (Fig.4) を見ると、傾斜なしの水田では、水深の深い箇所が水田全体にちらばっているが、傾斜ありの水田では、落水口付近に残留水が集中している。すなわち、水田に傾斜をつけることによって、残留水は落水口の近傍に集中している。したがって、落水口付近に短辺と平行な明渠を設置するなどの工夫を行うことによって、排水がより促進できると考えられる。

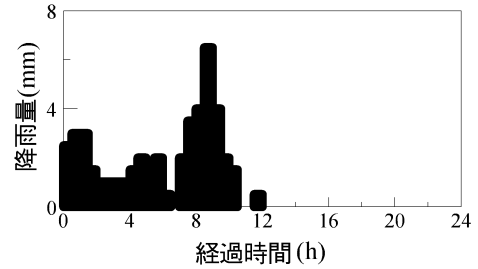


Fig.2 本解析で用いた降雨データ
(茨城大学農学部 FS センターより)
The rainfall data in this simulation

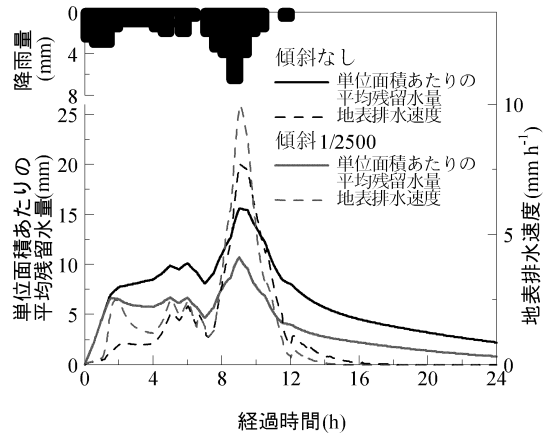


Fig.3 降雨に対する傾斜と地表排水の関係
The relation between slope and surface drainage at the rainfall

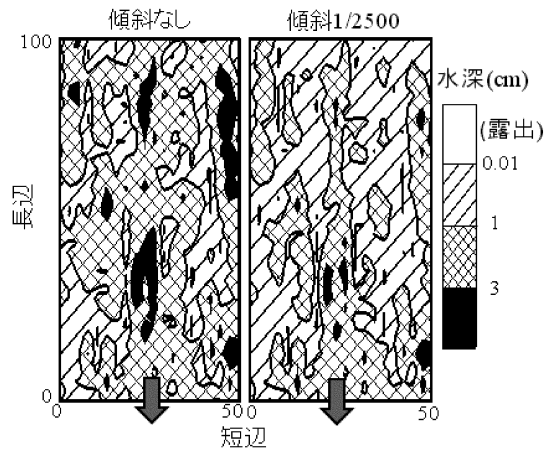


Fig.4 9時間経過時点における残留水深
Contour map of remain water depth

文献：1) 鈴木ら(2010):農業農村工学会大会講演、2) 鈴木ら(2010):農業農村工学会関東支部大会講演、3) 丸山(1975): 土壌の物理性32、4) 内田ら(1984):農土論集114、5) 山路ら(1981):農土論集94、6) 岩瀬ら(2001):農土論集212