

Dual-permeability モデルによる高畝内の土壌水分動態解析 Simulating water flow dynamics in raised-bed soil by dual-permeability model

宮本輝仁¹・岩田幸良¹・柳井洋介²・亀山幸司¹

¹農研機構農村工学研究部門・²農研機構野菜花き研究部門

要旨(Abstract) :

高畝内の土壌水分動態は表層付近で選択流が発生しやすいため、Dual-permeability モデルを用いて土壌水分動態の再現を試みた。その結果、ドリップチューブ真下で生じる選択流が再現でき、高畝内の土壌水分動態の解明に有効であることを確認した。

キーワード：土壌水分，選択流，モデル化，高畝，点滴灌漑

Key words: soil moisture, preferential flow, modeling, high ridge, drip irrigation

1. はじめに

アスパラガスの新しい栽培方法として枠板式高畝栽培が提案されている。この栽培法では雨よけ栽培を行うため、適切な灌漑が必要になる。通常の畝以上に盛り立てられた畝内の土壌水分動態は表層付近で選択流が発生していることを示唆する観測結果を得た(岩田ら, 2023)。そこで、選択流を含む土壌水分・溶質移動の解析に用いられるDual-permeabilityモデルを用いて土壌水分動態の再現を試みたので、その結果を報告する。

2. 方法

(1) Dual-permeability モデル

Dual-permeability モデルは粗間隙や亀裂などの間隙構造が発達した土壌中の土壌水分移動の解析に用いられる。このモデルでは、土層を水フラックスの小さい領域(マトリックス部分)と水フラックスの大きい領域(亀裂部分)にわけ、それぞれの領域に対してRichards式適用する。Dual-permeability モデルによる2次元の水移動式は次のようになる。

$$\frac{\partial \theta_f(h_f)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[K_f(h_f) \left(K_{ij,f}^A \frac{\partial h_f}{\partial x_j} + K_{iz,f}^A \right) \right] - S_f(h_f) - \frac{\Gamma_w}{w}$$

$$\frac{\partial \theta_m(h_m)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[K_m(h_m) \left(K_{ij,m}^A \frac{\partial h_m}{\partial x_j} + K_{iz,m}^A \right) \right] - S_m(h_m) - \frac{\Gamma_w}{1-w}$$

ここで、下付き文字 f と m はそれぞれ亀裂とマトリックス部分を指す。 w は亀裂の体積割合、 θ は体積含水率、 h は圧力水頭、 S は吸込み項、 x_i ($i=1,2$) は空間座標、 t は時間、 Γ_w は亀裂とマトリックス間の水分移動速度、 K_{ij}^A は無次元の異方性テンソル \mathbf{K}^A の成分、 K は不飽和透水係数である。また、 Γ_w は領域間の圧力水頭差に比例すると仮定される。

$$\Gamma_w = \alpha_w(h_f - h_m)$$

Dual-permeability モデルでは、 θ_f と θ_m はそれぞれ亀裂とマトリックス部分の体積含水率であり、土層全体に対する亀裂とマトリックス部分の体積含水率、 θ_F 、 θ_M と異なることに注意する必要がある。

$$\theta = \theta_F + \theta_M = w\theta_f + (1-w)\theta_m$$

(2) 現地観測の概要

農研機構野菜花き研究部門(茨城県つくば市)の試験圃場内に枠板式高畝を設置し、2021年3月より現地観測を開始した。間口4.5mの雨よけハウス内に2列の高畝が設置されて、中央部に1.5m幅の通路がある。高畝の形状は高さ60cm、上底50cm、下底100cmで、通路側は垂直、反対側は傾斜した台形断面をしている。畝

の長さは 18 m である。土壌は黒ボク土で、畝頂から 20 cm までの深さとそれ以深で物理性が異なる成層状態であった。アスパラガスの地下茎は深さ 20 cm 付近を中心に分布していた。

枠板式高畝の畝頂に通路側, 中央, 傾斜側の 3 地点にプロファイルプローブ (SoilVUE, Campbell Scientific) を設置し, 畝頂から 6 深度 (5, 10, 20, 30, 40, 50cm) の体積含水率を, また, ドリップチューブへの給水量を流量計を用いて 15 分間隔で測定した。

(3) 計算条件

計算期間は 2021/5/1~5/31 までとした。高畝を表層 20cm までとそれ以深の 2 層に分け, 表層に Dual-permeability モデル, 下層は Single-permeability モデルを適用した。土壌水分移動は Mualem-van Genuchten モデルを用いた。Dual-permeability モデルパラメータは, HYDRUS(2D/3D) ver.5.02 中のデフォルト値を用いた。

上部境界は大気境界とし, 蒸発量 (1 mm/日) を与えた。ドリップチューブの部分は変動境界とし, 単位長さ当たりの給水量を与えた。側方は不透水境界を与え, 下部境界は自由排水境界とした。高畝内に根の吸水項を設け, 深さ 20 cm 付近で吸水量が最大となるような分布とし, 蒸散量を与えた。なお, 蒸発散量は MeteoCrop DB (Kuwagata et al., 2011) より気象官署 (館野) の気象観測データから FAO Penman-Monteith の改良版で計算した値を用いた。

初期条件は高畝内の圧力水頭が全層で -30 cm として計算した。

3. 結果と考察

Single-permeability モデルの計算値は観測値から大きく乖離したが, Dual-permeability モデルを適用することにより, ドリップチューブ真下で選択流が生じることが再現できることを確認した (Fig. 1)。このモデルを使うことで高畝内の水移動が表現できる可能性がある。

また, 土層内の圧力水頭分布を見ると, 土層内で生じている選択流や通路側に土壌水分が移動しやすいこと等がわかる (Fig. 2)。

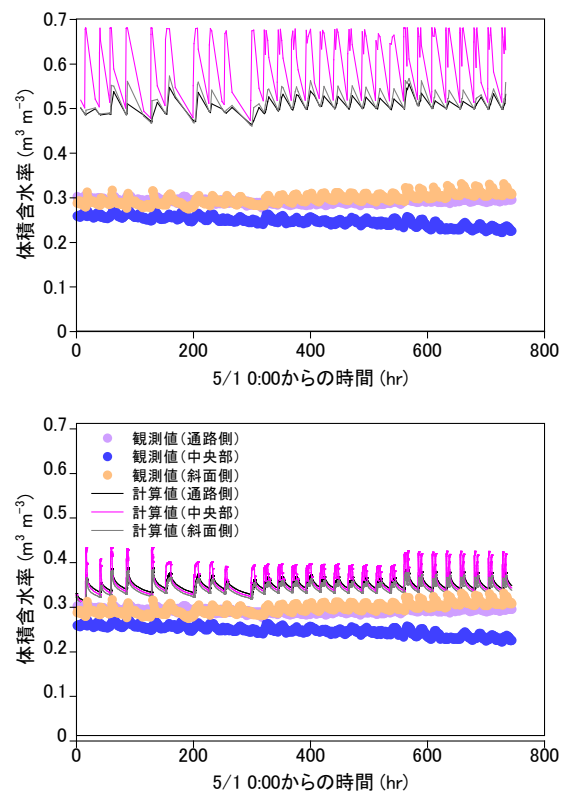


Fig. 1 Single-permeability モデル (上) と Dual-permeability モデル (下) での計算例 (深さ 5cm)

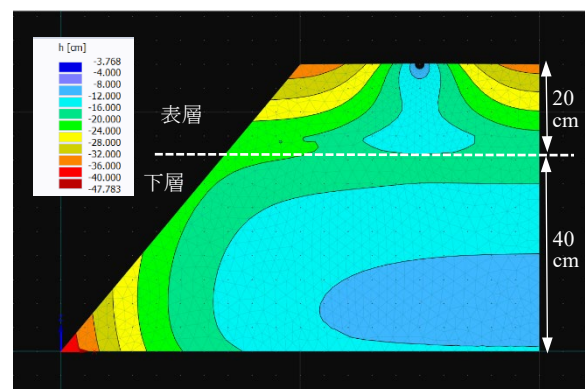


Fig. 2 Dual-permeability モデルで計算された亀裂部の圧力水頭分布

謝辞: 本研究は生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」(JPJ007097) の支援を受けて実施した。

引用文献: 岩田ら(2023), 農業農村工学会講演要旨集, 243-244. Kuwagata et al.(2011), J. Agric. Meteorol., 67(4), 297-306.