

緑化用保水資材グリーンロールの水分移動特性の評価

土壤圈循環学研究室 522361 水野心暖
(指導教員:坂井 勝)

1. はじめに

近年、屋上緑化の推進に伴い、人工資材の活用が進んでいる。本研究ではそのうち、岩石を繊維状にしたロックウールを主原料とし、高い間隙率を持つことから保水資材として利用されるグリーンロール（GR）に着目した。GRは4cm程度の厚さで、土壤培地と下部の排水マットと併用し、点滴灌水で栽培に使われる（図1）。GRを使った栽培において効率的な水管理を行うためには、GR中の水分移動プロセスの把握が有効である。ロックウールは吸水過程と排水過程で水分特性曲線が異なるヒステリシスが顕著に表れることが指摘されており、GRの水分移動特性を明らかにする必要がある。

そこで本研究では、室内実験によりGRの水分特性曲線におけるヒステリシス特性を定量的に評価した。そして、得られた水分移動特性を適用した二次元水分移動シミュレーションを実施し、ヒステリシスが水分移動に与える影響を明らかにした。

2. 方法

2-1. 室内実験

図2に実験装置を示す。内径10cm、高さ4cmのアクリルリングに乾燥密度0.22g/cm³のGRを充填した。試料下端を多孔質フィルターを介しマリオット管および三角フラスコへ接続した。減圧器を使用することで負圧を制御し、排水過程および吸水過程の水分特性曲線を連続的に測定した。マリオット管で試料下端から給水しGRを毛管飽和させ、初期状態とした。排水過程では、試料下端の圧力を0～-65cmまで段階的に変化させた。その後、マリオット管の高さを調整し-15cmから0cmまで段階的に負圧を小さくし、吸水過程とした。各段階におけるGR中の圧力水頭をテンシオメータで、重量変化を電子天秤で測定しデータロガーCR300で2分間隔で保存した。吸水終了後に試料を炉乾燥し、試料の重量変化から各段階のGRの体積含水率を求めた。

実験により得られた排水過程と吸水過程の実測値それぞれにvan Genuchtenモデルを適合して、水分特性曲線および不飽和透水係数を求めた。

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = (1 + |\alpha h|^n)^{-m}$$

$$K(S_e) = K_s S_e^\ell [1 - (1 - S_e^{1/m})^m]^2$$

ここで θ_r [cm³/cm³]は残留体積含水率、 θ_s [cm³/cm³]は飽和体積含水率、 S_e [-]は有効飽和度、 α (排水過程)、 α_w (吸水過程)[/cm]、 n [-]は水分保持曲線の形を決めるパラメーター、 K_s [cm/day]は飽和透水係数、 ℓ は間隙結合係数であり、ここでは0.5とした。

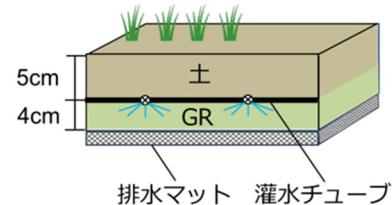


図1 GR使用方法

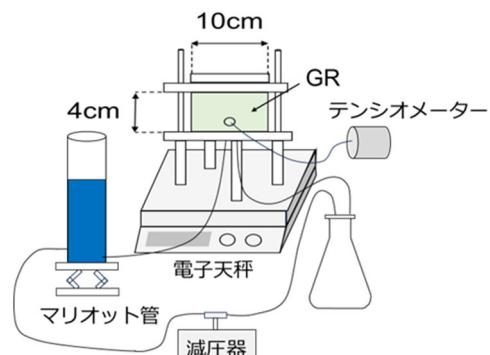


図2 実験装置

2-2. 数値計算

2 次元不飽和水分移動予測プログラム

HYDRUS-2D を用いて、厚さ 4 cm、長さ 18 cm の GR における点滴灌水時の水分移動を予測した。境界条件は灌水半径を 0.2 cm として、 $74.2 \text{ cm}^3/\text{min}$ のフラックスを与えた。下端は排水マットによる大気開放を表すため浸出面条件とし、側面は流れなし(No Flux)とした。乾燥が進み圧力水頭が $h = -40 \text{ cm}$ (体積含水率 $\theta = 0.1$) となった時点で灌水を行うことを想定し、計算を行った。排水過程から吸水過程に切り替わる際のヒステリシスモデルには Lenhard & Parker (1991) モデルを用いた。

3. 結果と考察

図 3 に GR の水分特性曲線を示す。排水過程では飽和時の $\theta = 0.68$ から $h = -20 \text{ cm}$ 付近で急激に水分低下し $h = -70 \text{ cm}$ で $\theta = 0$ を示した。吸水過程では $h = -9 \text{ cm}$ 程度まではほとんど吸水が進まず $h > -6 \text{ cm}$ で急激に吸水が進んだ。適合した VG モデルのパラメーターを表 1 に、推定した透水係数 K と圧力の関係を図 4 に示す。空気侵入圧の逆数を示す α が排水過程では $\alpha = 0.047$ 、吸水過程では $\alpha_w = 0.382$ となり、 $h = -40 \text{ cm}$ で排水過程では $K = 49 \text{ cm/day}$ 吸水過程では $K = 1.5 \times 10^{-7} \text{ cm/day}$ と約 10^8 倍の大きな差となる。これより GR の水分特性曲線に顕著なヒステリシスがあることが示された。

図 5 に θ の計算結果を示す。水平方向を x 軸、鉛直方向を z 軸とすると、ヒステリシスを考慮しない場合、灌水開始 3 分後には水平方向に約 12 cm の浸潤が確認された。一方、ヒステリシスを考慮した場合、水平方向の浸潤は約 6 cm に抑制され、灌水点直下への流れが卓越した。その後、下端に沿って側方へ広がり、上昇する動きを示した。ヒステリシスを考慮しない場合、灌水点下 2 cm の位置において $K = 2.4 \times 10^3 \text{ cm/day}$ 、下向き水分フラックス $q_z = 4.1 \times 10^3 \text{ cm/day}$ となり、灌水点右側 9 cm の位置において $K = 1.9 \times 10^2 \text{ cm/day}$ 右向き水分フラックス $q_x = 2.3 \times 10^2 \text{ cm/day}$ であった。一方ヒステリシスを考慮した場合灌水点下は $K = 1.0 \times 10^4 \text{ cm/day}$ 、 $q_z = 9.3 \times 10^3 \text{ cm/day}$ 、灌水点右側は $K = 86 \text{ cm/day}$ 、 $q_x = 40 \text{ cm/day}$ であった。これは、灌水により吸水過程へ切り替わっても θ が増加しにくく(図 3)、 K が低い値に維持される(図 4)、ヒステリシスの影響を反映している。そのため、水平方向の水の流れが抑制され、重力の影響を受ける鉛直方向の流れが支配的になったと言える。

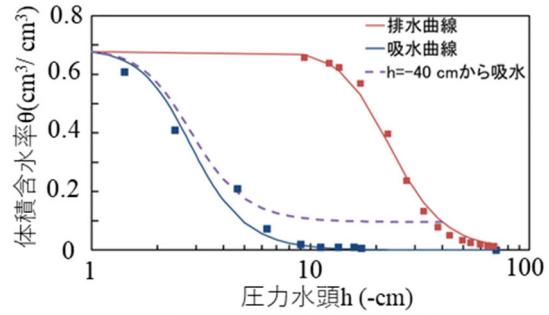


図3 GRの水分特性曲線

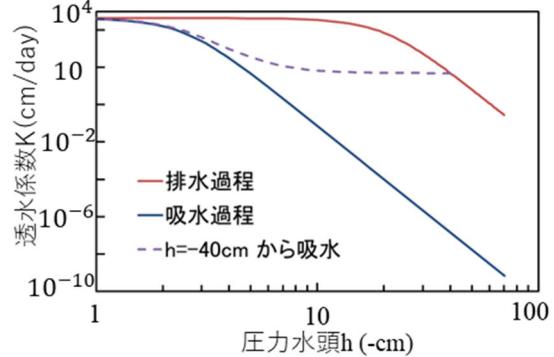


図4 GRの透水係数

表1 VGモデルパラメーター

θ_r	θ_s	α	αW	n	$K_s [\text{cm day}^{-1}]$
0	0.687	0.047	0.382	3.99	43734

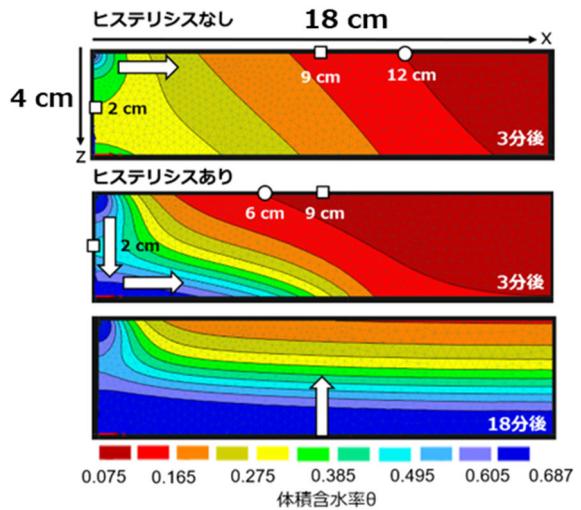


図5 数値シミュレーション結果