

点滴灌水における土中水分移動の数値計算と現場水分データへの適用

土壌圏循環学研究室 520364 宮原啓太

(指導教員:坂井 勝)

1. はじめに

畑地の点滴灌水の自動灌水システムにおいて、土壌水分・圧力センサーの測定値に基づき灌水タイミングを決定する手法の開発が進められている。その際、土性による土壌水分の広がりの違いを考慮して、センサーの最適な埋設位置を検討する必要がある。

土中水分移動のシミュレーションは、このような土性の違いを検討する上で有用である。一方、点滴灌水の土中水分・圧力変化を再現するためには、灌水フラックスや灌水領域といった境界条件、土の保水性や透水性などの水分移動特性が必要である。特に、営農中の畑に適用するためには、センサーで測定した水分・圧力変化という限られたデータから、土壌の水分移動特性を予測しなければならない。

そこで本研究では、地表面からの点滴灌水の土中水分移動をシミュレーションする際の灌水フラックスや灌水半径という境界条件を検討し、現場観測データに適用することを目的とした。

2. 計算方法

2-1. 点滴灌水の境界条件の検討

数値計算には土中水分移動予測プログラム HYDRUS-2D を用いた。半径 50 cm、高さ 50 cm の円筒領域で計算するために、軸対象領域を設定した。

境界条件は、上端の一部・両端は No Flux、下端は自由排水とし、上端に灌水フラックスと灌水半径を与えた(図 1)。ここで灌水フラックス(cm/hour)は既知の灌水流量(cm³/hour)を灌水領域の面積(cm²)で除すことで求まる。適切な灌水半径を検討するために、Silt、Loam、Sandy Loam の異なる土性に対して灌水半径 1~32 cm を与え、それにとまう灌水フラックスを与えた。この時、灌水流量は 1000 cm³/hour、灌水時間は 1 hour とした。

2-2. 現場水分データへの適用

営農中の畑において土壌センサーで測定された土壌水分・圧力変化を対象とした。土壌水分・圧力センサーは、灌水点の直下 15 cm 深に設置されている。灌水条件は、灌水流量 1000 cm³/hour で灌水時間 8 分である。土壌の保水性と透水性が不明であるため、圧力と水分量の関係から水分特性曲線を推定し、Durner モデルから不飽和透水係数を推定した。この時、飽和透水係数を 4.16、9.6、41.6 cm/hour として計算を行った。計算は 50 × 50 cm の軸対象領域で行い、灌水部中心の 15 cm 深に観測点を設けた。

3. 結果と考察

境界条件の検討について、灌水半径 1 cm と 16 cm で計算した Loam の水分分布と圧力分布を図 2 に示す。表示領域は縦 25 cm × 横 40 cm である。灌水半径 1 cm の場合の灌水フラックスは、318 cm/hour と飽和透水係数に対して非常に大きい値であった。そのため、灌水点付近の圧力は 227 cm と、2 m 程の湛水を示す非現実的に大きな正圧となった。それに対して、灌水フラックスが 1.24 cm/hour となる灌水半径 16 cm の場合、

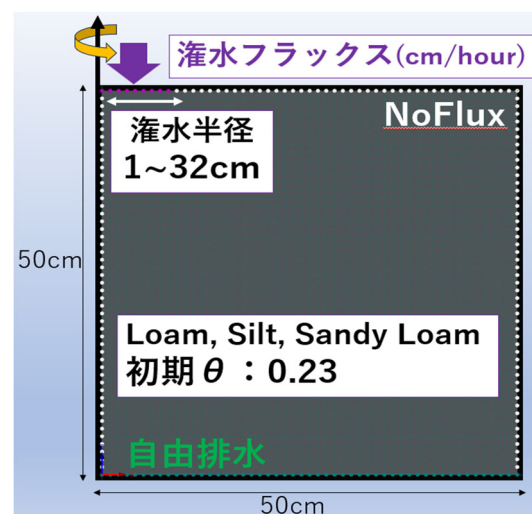


図 1 HYDRUS2D で与える境界条件

灌水点付近の圧力は-2.3 cm と、正圧をとまわずに浸潤した。この計算は地表面で水が広がって浸潤している状態を示していると言える。地表面付近で圧力勾配 0 の飽和浸潤を仮定すると、ダルシー則から灌水フラックスは飽和透水係数となる。

点滴灌水をシミュレーションするために、できるだけ小さい灌水半径を設定することを踏まえると、灌水流量/飽和透水係数で表される灌水領域から灌水半径を定義できると考えた。この方法で灌水半径を決めると、Sandy Loam は 8 cm、Loam は 16 cm、Silt は 32 cm となった(図 3)。

現場の実測データをもとに作成した水分特性曲線を図 4 に示す。この時、圧力センサーの原理上、圧力-10 cm 以上の浸潤領域は正しく測定できないため、最大の水分量を飽和体積含水率と仮定して繋いだ。得られた水分特性曲線と異なる飽和透水係数で計算した水分分布を図 5 に示す。飽和透水係数 4.16、9.6、41.6 cm/hour から求めた灌水半径は 6、3、1 cm であり、表示領域は縦 25 cm×横 20 cm である。また、15 cm 深の観測点の水分変化と圧力変化を、実測値とともに図 6 に示す。灌水終了時 8 分時点では、15 cm 深に到達しておらず、その後も実測データの体積含水率 0.36 と比べると 0.25 と少ない。そこで、灌水直下に局所的な水の流れが生じると仮定し、透水係数 4.16 cm/hour の結果に対して 15 cm 深×幅 1 cm の範囲のみの透水係数を 41.6 cm/hour に変えて計算すると、図 5 右のような水分分布となり、実測データと同様な水分上昇が計算できた(図 6)。

現場では選択的な浸透などの不均一な水の流れが生じている可能性があり、数値計算を適用して水分移動の普遍的な推定手法を導くためには、さらに多くの事例に対して検討を重ねる必要がある。

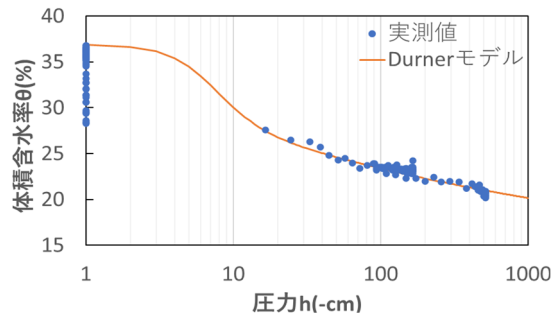


図 4 実測データと水分特性曲線

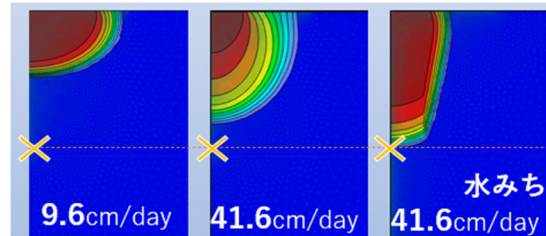


図 5 透水係数ごとの水分分布(灌水終了時点)

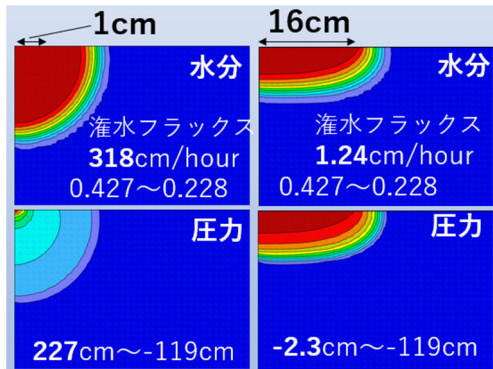


図 2 水分分布と圧力分布(灌水終了時の図)

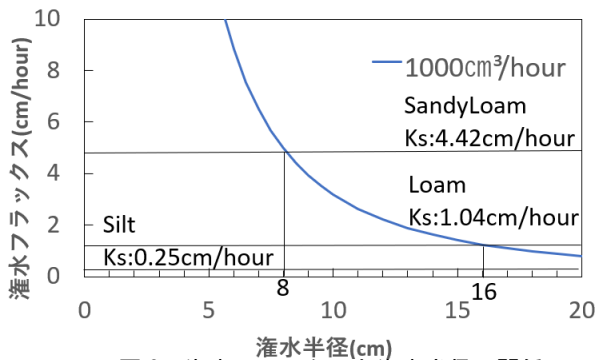


図 3 灌水フラックスと灌水半径の関係

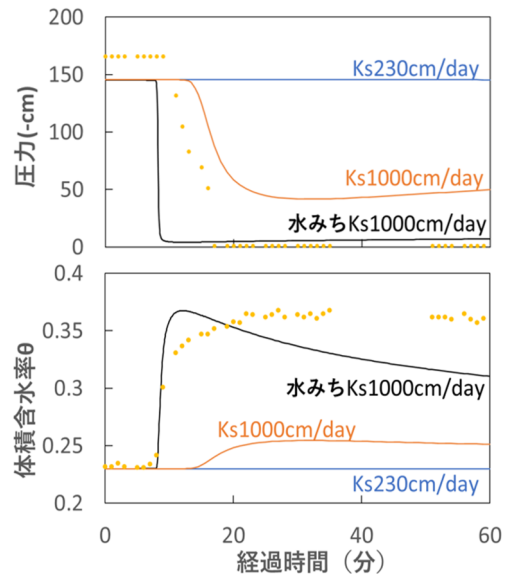


図 6 観測点での体積含水率と圧力の時間推移