

2 成層湛水降下浸潤における浸潤前線の不安定化に関する研究

Unstable wetting front characteristics during ponding infiltration into fine-over-coarse soil layer

長 裕幸*・井上 光弘**
Hiroyuki Cho*・Inoue Mitsuhiro**

1. はじめに

浸潤の不安定化は、浸潤前線の擾乱を拡大し、選択流の発生を引き起こすことによって、均等な浸潤形態を阻害し、灌漑計画を組み立てる上での障害になるばかりでなく、肥料や汚染物質等の溶液成分を土壤に吸着させることなく速い速度で地下水面にまで輸送し、地下水汚染を発生させる原因の一つとなる。初期乾燥した土壤に対して、灌漑時に発生する代表的な浸潤の不安定化要因として、(1)飽和透水係数より小さな散水フラックスの継続的な地表面への供給、(2)表層が細粒土、下層が粗粒土の2成層土への湛水降下浸潤、(3)短期的な灌水後の水分の再分配時に生じる浸潤等があり、これらは土壤物理学の教科書にも取り上げられている。著者等は(1)の浸潤形態に対し、動的な水侵入圧と Green-Ampt 型の浸潤モデルを用いて土中内における圧力の時空間的な変化を解析的に表し、実測値との適合を確かめた。本論では、その応用編として(2)の下層土への浸潤について、鉛直1次元の実験を行い、現象の確認とその考え方について考察を行った。

2. 2 層浸潤モデル

上層土が細粒土、下層土が粗粒土で上層土の地表面が一定の湛水深で湛水している場合における、1次元鉛直浸透を考える。ここで、 H_0 は湛水深、 l は上層土厚、 K_t は上層土の透水係数、 K_b は下層土の透水係数、 $h_i(t)$ は上下層境界面における圧力、 h_{we} は浸潤前線における動的な水分侵入圧、 $L(t)$ 上下土層境界面から発達する浸潤前線の厚さ、 θ_{we} は浸潤前線直上部における体積水分量、 θ_0 は下層土の初期水分量とする。

今、浸潤前線が2成層の境界面に到達し、境界面の圧力が下層土の水分侵入圧 h_{we} に達し、下層土への水分の侵入が始まった時点をも $t = t_i$ とすると、下向きの水分フラックスを q_i は以下の式で与えられる。ここで、下層土への水分の侵入は、Green-Ampt型の浸潤形態をとると仮定し、浸潤層内の水分量は θ_{we} で一定とし、上層、下層とも飽和透水係数で近似させる。

$$\text{上層: } q_i(t) = -K_t \left[\frac{h_i(t) - H_0}{l} - 1 \right] \quad (1) \quad \text{下層: } q_i(t) = -K_b \left[\frac{h_{we} - h_i(t)}{L(t)} - 1 \right] \quad (2)$$

また、質量保存則として次式が成立する。

$$q_i(t) = v\theta = \frac{dL}{dt}(\theta_{we} - \theta_0) \quad (3)$$

(1)、(2)式より $q_i(t)$ を $L(t)$ の関数形で表し、(3)式に代入して積分を行えば、 $h_i(t)$ を決定する

* 佐賀大学 (Saga Univ.), ** 鳥取大学乾燥地研究センター (Tottori Univ.), 浸潤, 浸潤前線, 水侵入圧, 選択流, テンシオメータ, 水分移動

ことができる。

3. 実験装置及び方法

実験装置の概要を Fig. 1 に示す。まず、下層土の供試土壌を直径 2 cm、長さ 30 cm、厚さ 1 mm のアクリル製パイプに所定の乾燥密度でできるだけ均一になるように詰め、次に上層土を 5cm の厚さになるよう詰めた。上層土の飽和透水係数を考慮してマイクロチューブポンプにより給水を行い、湛水深が一定になるように、水面付近に設置した排水孔より常時余剰水を排水した。圧力は、地表から 1cm、3cm、5cm、7cm、9cm の深さに設置した、直径 1mm、長さ 1cm のマイクロテンシオメータを通して圧力トランスデューサによって測定し、データロガーに記録した。上層土として、黄土（シルト土）、マサ土、ガラスビーズ（粒径 $50\mu\text{m}$ 以下）、下層土としてマサ土、砂丘砂、ガラスビーズ（粒径 $150\mu\text{m}$ ）を使用した。

4. 実験結果及び考察

Fig. 2~4 に実験結果を示すが、Fig. 2 に示した、粒径の異なるガラスビーズによる 2 成層の場合のみ、空間的な圧力の逆転が観測された。下層土が砂の場合、時間的な負の圧力勾配は生じたが、空間的な圧力の逆転は生じなかった。これは、単層土において散水により同程度の浸潤フラックスを表面に与えた場合、同じ砂丘砂での場合、空間的、時間的に負の圧力勾配が生じた結果と異なっていた。また、境界面における圧力の時間的な変化も非常に小さく、水分侵入圧の値も相対的に低いという結果が得られた。これは、2 成層下におけるキャピラリーバリアの影響ではないかと考える。

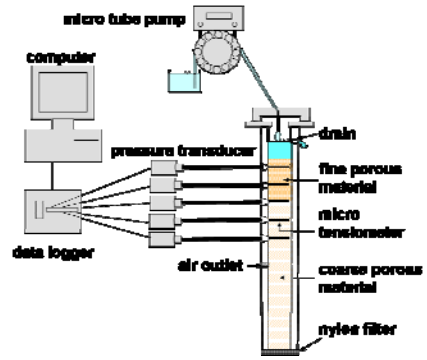


Fig.1 Experimental set-up

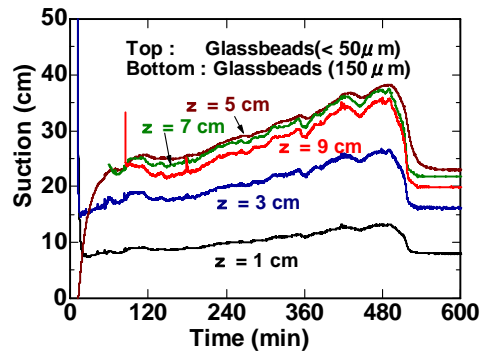


Fig.2 Suction head measurement with time.

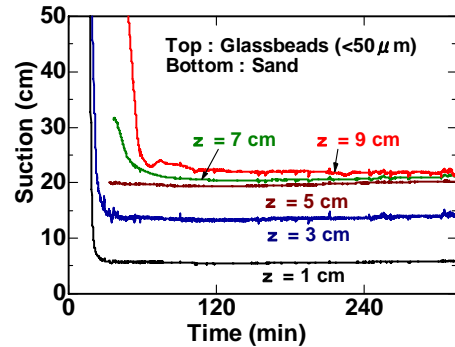


Fig.3 Suction head measurement with time.

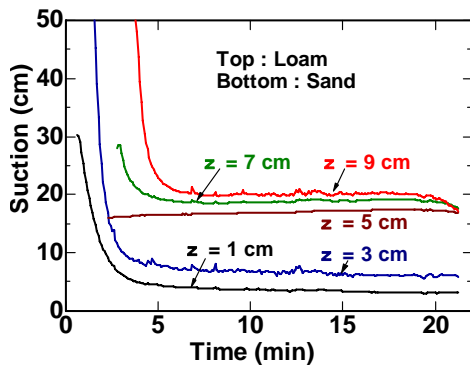


Fig.4 Suction head measurement with time.

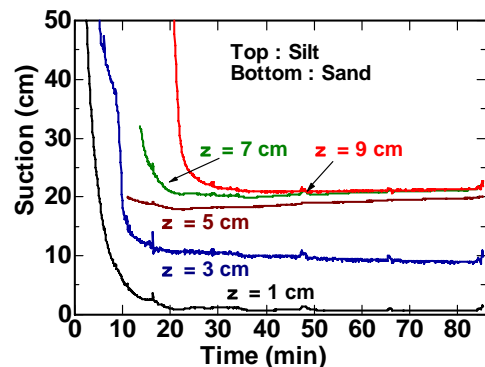


Fig.5 Suction head measurement with time.