

# 散水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 non-ponding infiltration

長 裕幸\*

Hiroyuki Cho\*

### 1. はじめに

強度に乾燥した土壌に対し、継続的な降雨や散水灌漑等により水分が供給される際、浸潤前線が不安定化し、均等な浸潤形態が得られなくなる事例が、過去、圃場において多く報告されてきた。このような不安定な浸潤は、フィンガー流などの選択流の発生を引き起こし、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壌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っている。通常不安定な浸潤では、浸潤前線の降下と共に土中内の圧力は増加していくが、不安定化した浸潤では圧力の減少が生じる。この現象については、H.Cho et al. (2005)により理論的に明らかにされた。本研究では、簡単な実験装置を用いて実験を行い、彼らの理論式を適用し、浸潤前線の不安定化と逆圧力勾配との関係について考察を行った。

### 2. 理論式

H.Cho et al. (2005)等は、次式で浸潤層内の圧力分布を表した。

$$h(z,t) = \frac{q_0}{\theta_{we} - \theta_0} \left( \frac{q_0}{K_{we}} - 1 \right) t + \left( 1 - \frac{q_0}{K_{we}} \right) z + h_{we} \quad (1)$$

ここで、 $h$ は浸潤前線上部の湿潤層内の圧力、 $q_0$ は土壌表面に与えられた水分フラックス、 $\theta_{we}$ は浸潤前線での水分量、 $\theta_0$ は土壌内の初期水分量で一般に $\theta_s$  (飽和水分量)と近似できる。 $K_{we}$ は浸潤前線における透水係数で、飽和透水係数 $K_s$ に近似できる。 $h_{we}$ は水侵入圧で、水分が容易に土壌間隙に侵入できる圧力であるが、静的な場合と動的な場合では大きさが異なる。(1)式より土中における圧力の時間的な変化は、次式

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{q_0}{\theta_{we} - \theta_0} \left( \frac{q_0}{K_{we}} - 1 \right) \quad (2)$$

で与えられ、湿潤層内のどの点においても一定である。

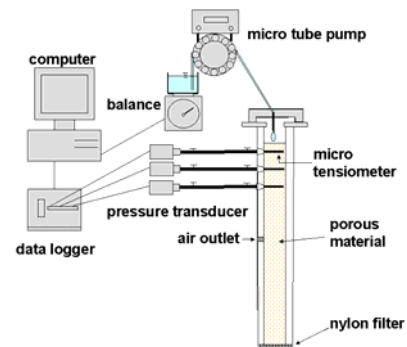


Fig. 1 Schematic figure of experimental set-up

Table 1  $q_0$ ,  $K_s$  and  $\theta_s$  value for each experiment

Run	Soil	$q_0$ (cm)	$K_s$ (cm s <sup>-1</sup> )	$\theta_s$	$q_0/K_s$
1	Sand	$2.27 \times 10^{-3}$	$2.28 \times 10^{-2}$	0.40	0.100
2	Sand	$4.59 \times 10^{-3}$	$2.28 \times 10^{-2}$	0.40	0.201
3	Sand	$6.96 \times 10^{-3}$	$2.28 \times 10^{-2}$	0.40	0.305
4	Sand	$9.08 \times 10^{-3}$	$2.28 \times 10^{-2}$	0.40	0.398
5	Sand	$1.05 \times 10^{-2}$	$2.28 \times 10^{-2}$	0.40	0.461
6	Sand	$1.23 \times 10^{-2}$	$2.28 \times 10^{-2}$	0.40	0.539
7	Sand	$1.56 \times 10^{-2}$	$2.28 \times 10^{-2}$	0.40	0.684
8	Sand	$1.87 \times 10^{-2}$	$2.28 \times 10^{-2}$	0.40	0.820
9	Sand	$2.06 \times 10^{-2}$	$2.28 \times 10^{-2}$	0.40	0.904
10	Sand	$2.23 \times 10^{-2}$	$2.28 \times 10^{-2}$	0.40	0.978
11	Kuroboku	$1.59 \times 10^{-5}$	$2.64 \times 10^{-3}$	0.71	0.006
12	Kuroboku	$8.53 \times 10^{-5}$	$2.64 \times 10^{-3}$	0.71	0.032
13	Kuroboku	$5.57 \times 10^{-4}$	$2.64 \times 10^{-3}$	0.71	0.211
14	Loam	$1.59 \times 10^{-5}$	$4.48 \times 10^{-4}$	0.42	0.035
15	Loam	$2.59 \times 10^{-5}$	$4.48 \times 10^{-4}$	0.42	0.058
16	Loam	$8.53 \times 10^{-5}$	$4.48 \times 10^{-4}$	0.42	0.190
17	Loam	$1.49 \times 10^{-4}$	$4.48 \times 10^{-4}$	0.42	0.333
18	Silt	$2.59 \times 10^{-5}$	$2.10 \times 10^{-4}$	0.45	0.123
19	Silt	$7.25 \times 10^{-5}$	$2.10 \times 10^{-4}$	0.45	0.345
20	Silt	$8.53 \times 10^{-5}$	$2.10 \times 10^{-4}$	0.45	0.406
21	Silt	$1.49 \times 10^{-4}$	$2.10 \times 10^{-4}$	0.45	0.710

\* 佐賀大学 (Saga 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

### 3. 実験装置及び方法

実験装置の概要をFig. 1に示す。まず、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固定した。散水は マイクロチューブポンプを使用して、供試土壌の飽和透水係数を考慮して、 $q_0 = 2.06 \times 10^{-2} \text{ cm/s} \sim 1.59 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$  のフラックスを土壌表面に供給した。圧力は、地表から 1cm, 3cm, 5cm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。実験に用いた、土壌、飽和透水係数、飽和水分量及び供給フラックス等をTable 1に示す。

### 4. 実験結果及び考察

本研究では、各土壌について  $q_0 < K_s$  の条件を満足するフラックスの値を変化させることにより、初期乾燥した条件下における地表からの浸潤過程で生じる圧力の時間的な変化を測定したものであり、その様子は当然、土性により異なることが予想される。

Fig.2~4にマサ土（九大圃場）、シルト質土（中国黄土）、クロボク土（久住）における結果の1例を示す。各土壌について圧力変化の様子が異なるが、マサ土については、わずかながら圧力の逆転がみられ、微小な圧力の減少が観測された。Fig. 5, 6に、鳥取砂丘砂での結果の1例を示すが、圧力の減少が顕著であり、勾配を計算するのに十分な精度が得られた。そこで(1)式において実測値における圧力の最大値を  $h_{we}$  として計算した結果を破線で示す。次に砂丘砂の10回の実験で得られた

$\partial h / \partial t$  の値と(2)式を比較した結果を Fig. 7に示すが、 $\theta_{we} - \theta_0 = 0.35$  程度で(2)式と適合していることが分かった。for  $q_0 = 1.87 \times 10^{-2} \text{ cm s}^{-1}$ 。

**参考文献** Cho, H., G. H. de Rooij and M. Inoue: The pressure head regime in the induction zone during unstable nonponding infiltration: theory and experiments, Vadose Zone Journal, 4, 908-914 (2005)

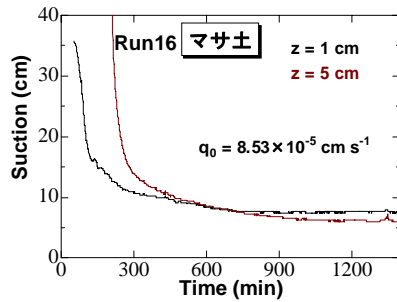


Fig.2 Suction head measurement with time for Loam soil (Masa, Japan).

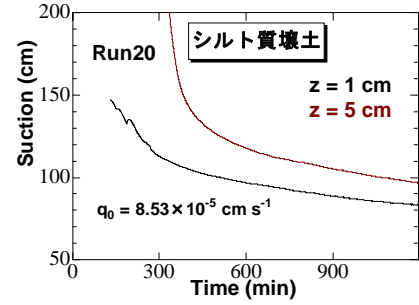


Fig.3 Suction head measurement with time for Silt soil (Yellow River Basin in China).

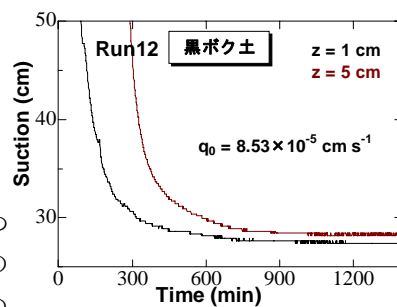


Fig.4 Suction head measurement with time for Volcanic ash clay soil (Kuroboku, Japan)

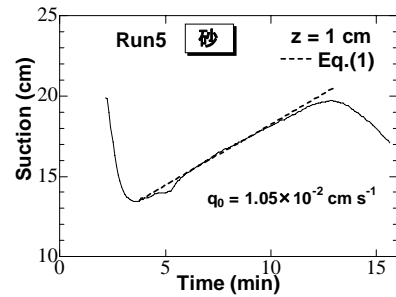


Fig.5 Suction head measurement with time for Tottori Dune sand, Japan and suction trends by Eq.(1).

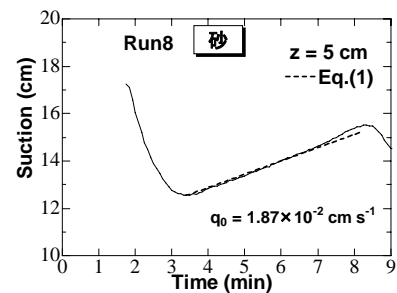


Fig.6 Suction head measurement with time for Tottori Dune sand,

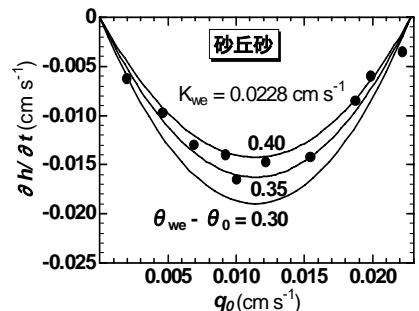


Fig.7 Pressure gradients vs.  $q_0$  relationship estimated by Eq.(2) and observed values (●).