

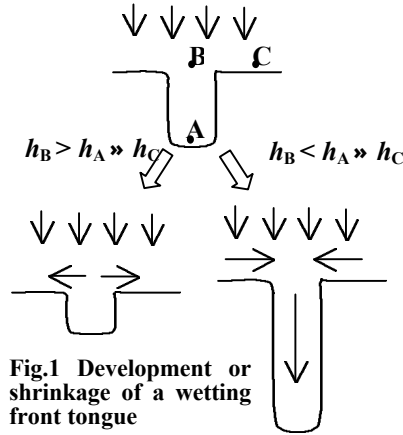
フィンガー流はなぜ生じるのか：1. 乾燥ガラスビーズへのフラックス制御一次元 降下浸潤における特異な水分分布

The mechanism of finger flow: 1. Unexpected water content profiles under flux limited one-dimensional downward infiltration into initially dry glass beads

藤巻晴行* 塩沢 昌**

Haruyuki Fujimaki, Sho Shiozawa

フィンガー流が生じる条件は、浸潤部の圧力勾配が上に向かって負になることであるが (Fig.1) 一般に乾燥土に近い方がより低圧なので、均一土中のフラックス一定浸潤では、この



状態は常識では考えられない。しかし、もし、乾燥媒体が「浸潤前線は大気圧に近い水圧でないと進行しない(水侵入圧の存在)」、または、フラックスに関わらず「浸潤前線は必ず飽和する」という特殊な物理性をもつならば、フィンガー流は必然となる。この仮説を確かめるために、細いカラムを用いてフィンガー発生を防ぎ、与えるフラックス (q_0) が飽和透水係数 (K_s) より小さい浸潤時の水分分布を得て解析した。**実験と結果** 0.2mm ガラスビーズを H_2O_2 処理し、体積含水率 = 0.02 (初期湿潤) に調整した試料と風乾試料を用いた。カラムは内径 0.9cm、高さ 2cm または 1cm アクリルリングを重ねて 1m にしたもので、外側から、長さ約 1m の 2 つの半円パイプで挟んで固定した。飽和透水係数は $K_s = 1.80 \times 10^{-1}$ cm/min で、 $q_0 = 0.15K_s$ および $q_0 = 0.005K_s$ の一定フラックスを表面に与え、浸潤前線が所定の深さに達した時点で、カラムを分解して炉乾燥して の分布を求めた。

初期湿潤時の水分分布 (Fig.3) はダルシー式から予想される普通の浸潤水分分布であるが、初期乾燥では (Fig.4) 浸潤前線が完全飽和で、上部では排水過程となって水分が減少す

る特異な水分分布となった。

水分分布の計算 一般に水移動はダルシー式と連続式に支配される：

$$q = -K(q) \frac{\partial h}{\partial z} + K(q) \quad (1)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} \quad (2)$$

(z : 深さ、 h : 圧力水頭、 $K(q)$: 不飽和透水係数、 t : 時間) しか、浸潤前線を越えて(1)式を適用すると Fig.4 の水分分布にはならない。代わりに、浸潤前線に移動する圧力境界(水侵入圧 h_{we})を設定し、次の境界条件とした。

$$\begin{cases} q = q_0 & , z = 0; t > 0 \\ h = h_{we} & , z = L(t); t > 0 \end{cases} \quad (3)$$

$L(t)$ は浸潤前線の位置で、前線の水収支式

$$\begin{cases} \frac{dL(t)}{dt} = \frac{q}{q_s} & , z = L(t); t > 0 \\ L(t) = 0 & , t = 0 \end{cases} \quad (4)$$

で決まる (q_s : 飽和の q)、 $K(q)$ 、 $q(h)$ には測定値 (Fig.2) を用い、 h_{we} を -0.2 cm ($q_0 = 0.15K_s$) と -2.0 cm ($q_0 = 0.005K_s$) として計算した水分分布と圧力分布が Fig.4 の実線である。

考察と結論 計算水分分布が実測をよく表すことから、浸潤前線の水圧が大気圧に近い圧力に維持され、これにより前線より上では $q_0 < K(q)$ となり(1)式より排水過程となってフィンガー流発生条件となることが確認された。この浸潤前線では理論的に、水分量も圧力も粒子レベルで完全に不連続であり、そのため不連続面において(1)式は成立しない。

* 筑波大学農林工学系 Institute of Agric. and Forest Engi., Univ. of Tsukuba フィンガー流, 浸潤, ダルシー式
** 東京大学農学生命科学研究 Graduate School of Agric. and Life Sciences, The Univ. of Tokyo

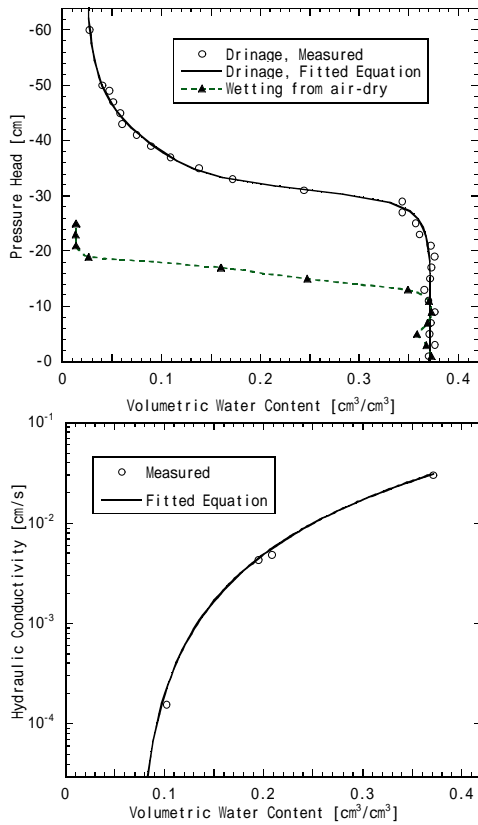


Fig.2 Water retention curves and hydraulic conductivity function

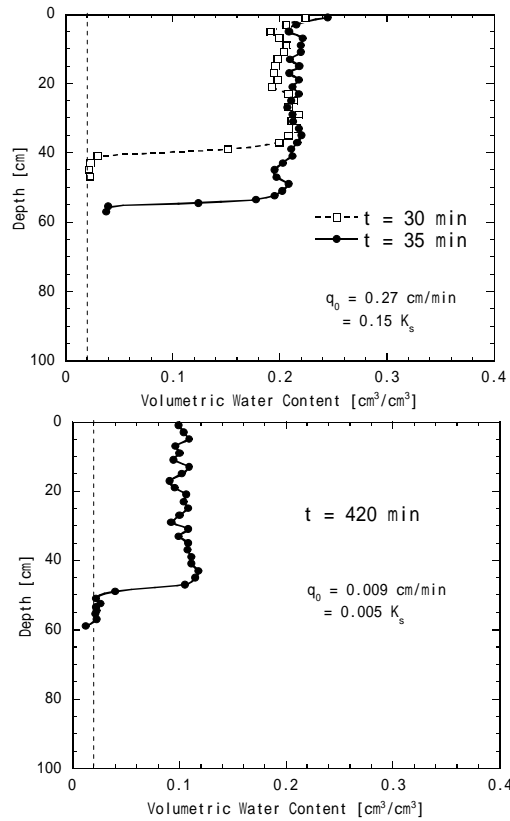


Fig.3 Infiltrating water content profiles for initially wet glass beads ($q = 0.02$).

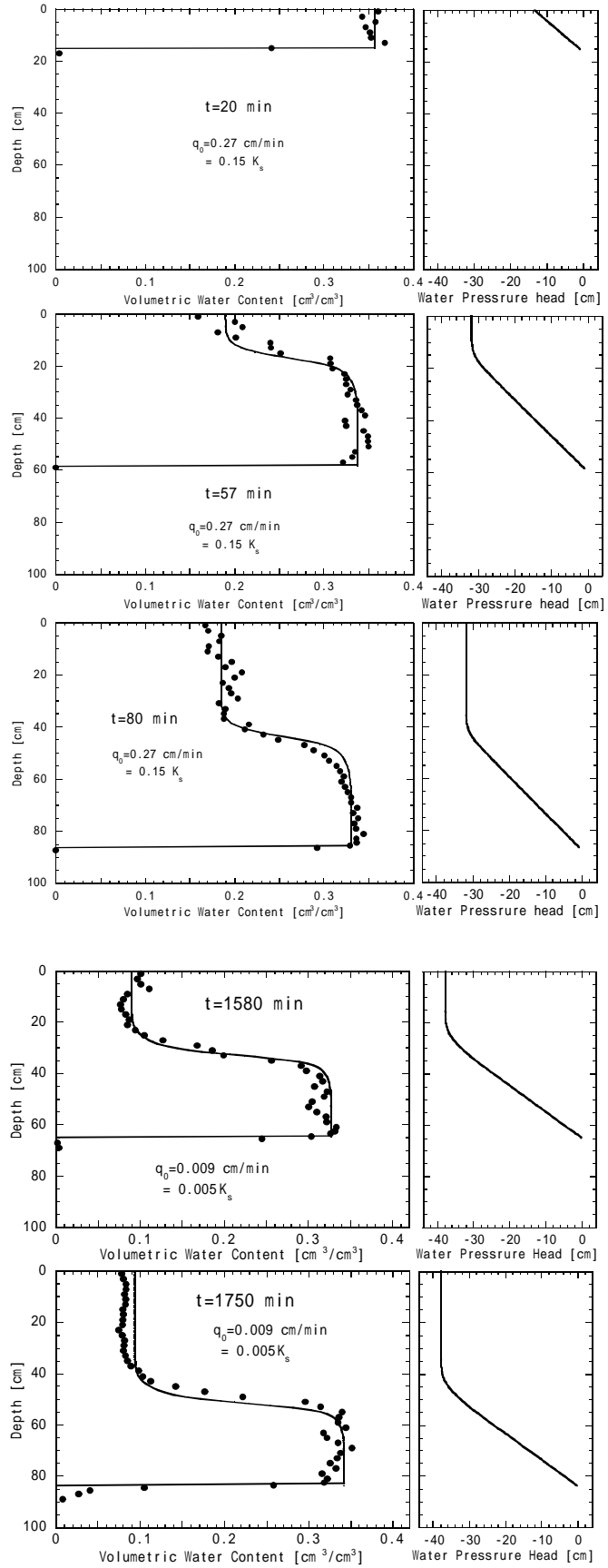


Fig.4 Infiltrating water content and water pressure profiles for initially dry glass beads. Plots are measured water content and solid curves are calculated profiles