

# Philip の浸潤モデルにおける吸水度 $S$ と定数 $A$ について Sorptivity $S$ and constant $A$ for the Philip infiltration model

○取出伸夫 渡辺晋生  
Nobuo Toride and Kunio Watanabe

**はじめに** Philip は、不飽和水分移動のリチャーズ式の数学的解法に基づく浸潤研究において、水平浸潤と垂直浸潤の浸潤フラックスや垂直浸潤の前線の進行速度など、多くの関係式を導出している (Jury and Horton, 2006). しかし、非線形方程式であるリチャーズ式の解法は難解であり、数学的な理解不足が、物理的な背景を理解しきれない要因となっている. HYDRUS-1D に代表される不飽和水分・溶質移動汎用プログラムは、リチャーズ式の非線形性に対する長年の研究成果を取り込みながら改良されており、得られる数値解の安定性と信頼性が高い. そうした汎用プログラムが利用できる現在、Philip らの研究を振り返りながら、数値実験により浸潤現象について改めて整理する意義は大きいと考えた. そこで、異なる初期・境界条件に対する浸潤の数値実験に対して、地表面の浸潤フラックスを与える Philip の浸潤モデルの吸水度  $S$  と定数  $A$  を決定し、浸潤形態の考察を行った.

**浸潤モデル** Philip の浸潤モデルでは、初期水分量  $\theta_i$  の鉛直な土に対して境界水分量  $\theta_0$  を与えたとき、積算浸潤水量  $I$  を時間の平方根  $t^{1/2}$  の無限級数で与えるが、最初の 2 項で近似すると、

$$I = St^{1/2} + At \quad (1)$$

ここで、 $S$  は吸水度、 $A$  は定数である. このとき、地表面フラックス  $q_0$  は次式で与えられる.

$$q_0 = \frac{dI}{dt} = \frac{S}{2t^{1/2}} + A \quad (2)$$

また、重力の働かない水平浸潤では、上式において  $A = 0$  とした  $I$  と  $q_0$  で表される.

**数値実験** 鉛直 1 次元非定常水分流れのリチャーズ式は、

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(h) \left( \frac{\partial h}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial K(h)}{\partial z} \quad (3)$$

ここで  $\theta$  は体積含水率、 $h$  は土中水の圧力水頭、 $K(h)$  は不飽和透水係数、 $z$  は上向き正の位置である. 長さ 100 cm の van Genuchten モデルの砂質ローム、シルトの土層を対象とした. 土への水の浸潤は、初期体積含水率  $\theta_i$  (初期圧力  $h_i$ )、地表面境界に体積含水率  $\theta_0$  (初期圧力  $h_0$ ) 一定、下端境界は自由排水条件で表される様々な初期境界条件を与えて、HYDRUS-1D を用いて計算を行った. また、(3)式の右辺第 2 項の重力項を無視したリチャーズ式に対して、同じ初期境界条件を与えて、水平な土層にも同様の計算を行った. そして、様々な条件の水平、鉛直浸潤の積算浸潤水量  $I$  を用いて  $S$  と  $A$  を決定した. まず、初期水分量  $\theta_i$  と境界水分量  $\theta_0$  を与えた水平浸潤の積算浸潤水量  $I$  を  $t^{1/2}$  に対してプロットし、その勾配から  $S$  の値を定めた. さらに、同じ初期境界条件を与えた鉛直浸潤の  $I$  に対してし、水平浸潤で定めた  $S$  値を用いた (1) 式の  $A$  をエクセルのソルバーを用い最適化して決定した.

**結果と考察** Fig. 1 は砂質ローム、Fig. 2 はシルトについて、異なる境界条件の  $S$  と  $A$  の値を初期水分量  $\theta_i$  の関数として示す. Fig. 3 は、 $S/A$  値と初期水分量  $\theta_i$  の関係である.  $S$  と  $A$  の値は、それぞれ地表面フラックス  $q_0$  の圧力勾配成分と重力成分の大きさを与えるため、 $S/A$  値は、圧力勾配成分と重力成分の相対的な大きさを与える土の性質である.  $S/A$  値が大きい場合には圧力勾配成分、 $S/A$  値が小さい場合には重力成分が卓越する浸潤である. 同じ境界条件に対しては、初期水分量  $\theta_i$  が小さいほど  $S/A$  値は大きい. これは、

乾いた土ほど圧力勾配成分が重力成分に対してより大きくなるためである。砂質ロームの多くの

条件の浸潤においては重力成分が卓越するのに対し、シルトでは圧力勾配成分が卓越する。

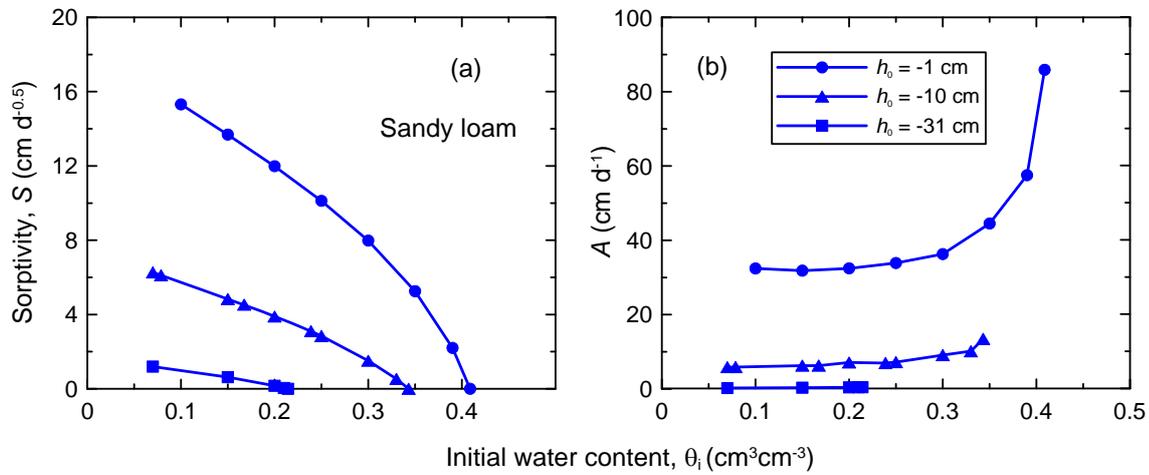


図1 異なる境界条件に対する砂質ロームの(a)吸水量  $S$  と(b)定数  $A$  の初期水分量  $\theta_i$  との関係  
Fig. 1 Philip infiltration model for Sandy loam for different BCs as a function of  $\theta_i$  (a) sorptivity  $S$ , (b) constant  $A$ .

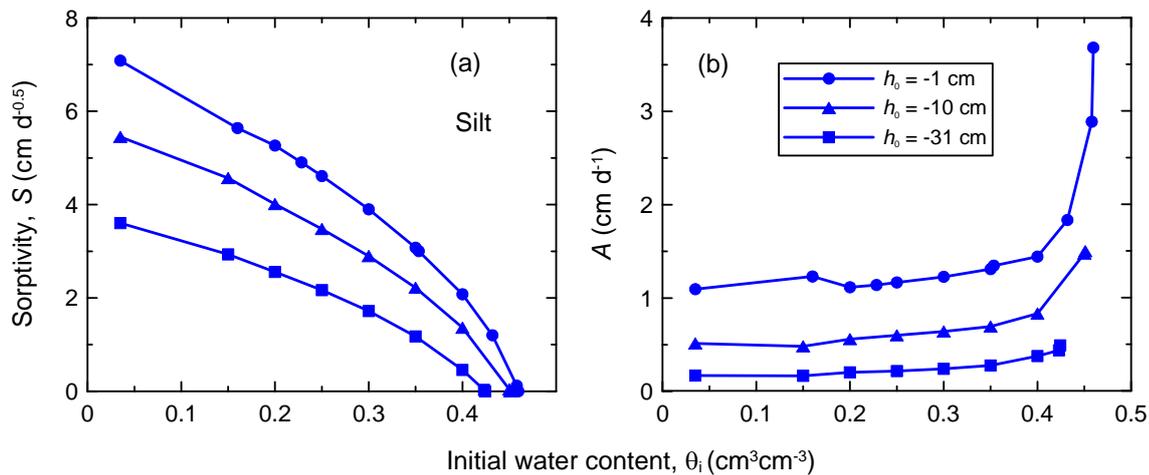


図2 異なる境界条件に対するシルトの(a)吸水量  $S$  と(b)定数  $A$  の初期水分量  $\theta_i$  との関係  
Fig. 2 Philip infiltration model for Silt for different BCs as a function of  $\theta_i$  (a) sorptivity  $S$ , (b) constant  $A$ .

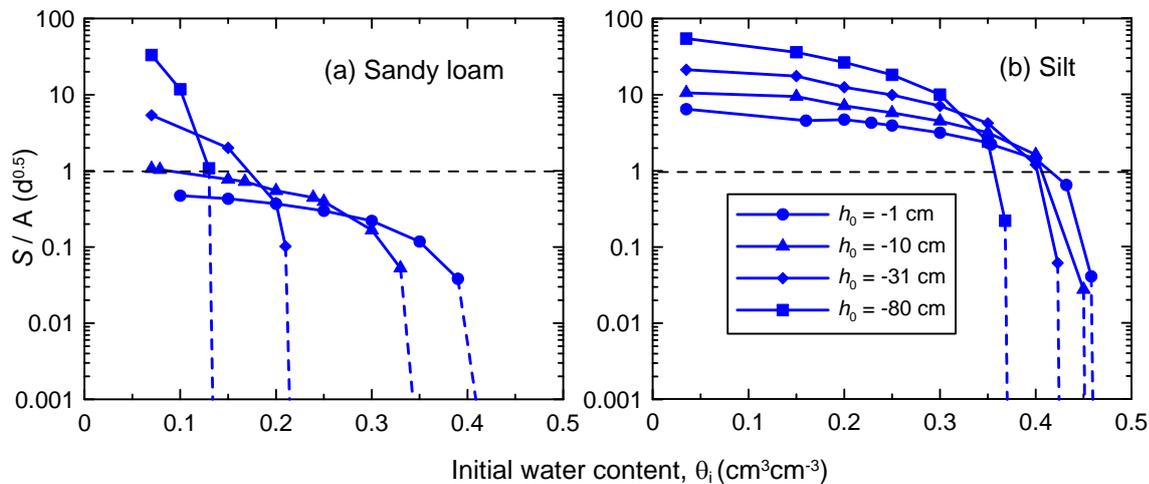


図3 異なる境界条件に対する  $S/A$  値の初期水分量  $\theta_i$  との関係 (a) 砂質ローム, (b)シルト  
Fig. 3  $S/A$  values of the Philip infiltration model for different BCs as a function of  $\theta_i$  (a) sandy loam, (b) silt.