

東京大学生産技術研究所 正員 虫明 功臣
 東京大学生産技術研究所 正員 岡 泰道
 東京大学大学院 学正員 〇石川比呂志

1. はじめに

筆者らは不飽和帯内の吸引圧を測定する手段の一つであるテンシオメータを用い、自然・都市化両試験流域における長期の現地観測により、表層不飽和帯水分の挙動について検討してきた。さらに、不飽和帯土壌の物理的特性に着目した数値計算を進めている。本稿では、土壌特性を示す指標であり、かつ数値計算の前提となる水分特性曲線および不飽和透水係数-含水率（あるいは吸引圧）の関係を室内試験結果から定式化した。さらにこれらの関係を考慮に入れた数値計算を行い、自然林地表層での降雨中の浸透、降雨後の蒸発散過程を把握し、現地観測値との対応をみる。

2. 吸引圧 (ψ) - 含水率 (θ) 関係

ψ - θ 関係、いわゆる水分特性曲線は現地土壌の小試料による室内試験で決定したものを用いた。この関係を以下の二通りの方法により計算に組み込んだ。

(1) ψ と θ は両対数紙上で直線的になっている場合が多いので次式で近似する。

$$\theta/\theta_0 = (\psi/\psi_{or})^{-1/b} \quad (\psi \leq \psi_{or}), \quad \theta/\theta_0 = 1 \quad (\psi > \psi_{or}) \quad \text{--- (1)}$$

ここに、 θ_0 は飽和含水率、 ψ_{or} は空気侵入値、 b は定数である。ただし上式は広範囲の吸引圧値にわたって一律に適用するには無理があるようである。

(2) 数値計算で必要となる比水分容量 $d\theta/d\psi$ を水分特性曲線から直接求める。ここでは試験値を基にした、多区間の線形近似とした。区間の境は pF 値で 0, 0.5, 1.0, 1.3, 1.5, 1.8, 2.0, 2.3, 2.5, 2.8, 3.0 である。

3. 不飽和透水係数 (K) - 吸引圧 (ψ) 関係

K - ψ 関係は以下のような二通りの方法で定式化した。

(1) ψ - θ 関係として(1)式を仮定した場合にCampbellの理論から導かれる次式を用いる。

$$K/K_0 = (\psi_{or}/\psi)^{2+2/b} \quad (\psi \leq \psi_{or}), \quad K/K_0 = 1 \quad (\psi > \psi_{or}) \quad \text{--- (2)}$$

ここに、 K_0 は飽和透水係数、 ψ_{or} , b は(1)式と同じである。 K_0 (cm/sec), ψ_{or} (cm), b の値はそれぞれ、深度10cm以浅で 1×10^{-2} , -5, 6、深度10~50cmで 1×10^{-3} , -10, 9、深度50cm以深で 1×10^{-4} , -20, 25とした。

(2) 水分特性曲線上で、対象とする水分域の水分量を m 等分し、間隙としては円形断面を仮想することにより得られる次のJacksonの式を用いる。

$$K_i/K_0 = (\theta_i/\theta_0)^p [\Sigma (2j+1-2i)\psi_j^2] / [\Sigma (2j-1)\psi_j^2] \quad \text{--- (3)}$$

ここに、 θ_i は K_i に対応する含水率で、 p は定数である。 $m=50$ 、 K_0 は(1)と同じとした。次に、現地の小試料を用いた室内試験結果に基づき、関東ロームに対する p を調べた結果を図1(a)~(c)に示す。深層のものほど p が大きくなる傾向があり、平均的には $p=5$ 程度であることがわかる。 $p=5$ としたときの長池流域に対する(3)式の適用結果を図2に示す。計算では(1)と同様に三層に分け、 p をそれぞれ 3, 5, 7とした。なお図1, 2には比較のためCampbellの式に基づく結果も示してある。

4. 不飽和帯水分の挙動に関する数値シミュレーション

4.1 計算方法：ポテンシャル理論に基づくRichardsの式を有限要素法により離散化した。メッシュ分割は地表面に近い浅層ほど密にした。初期条件は各深度のテンシオメー

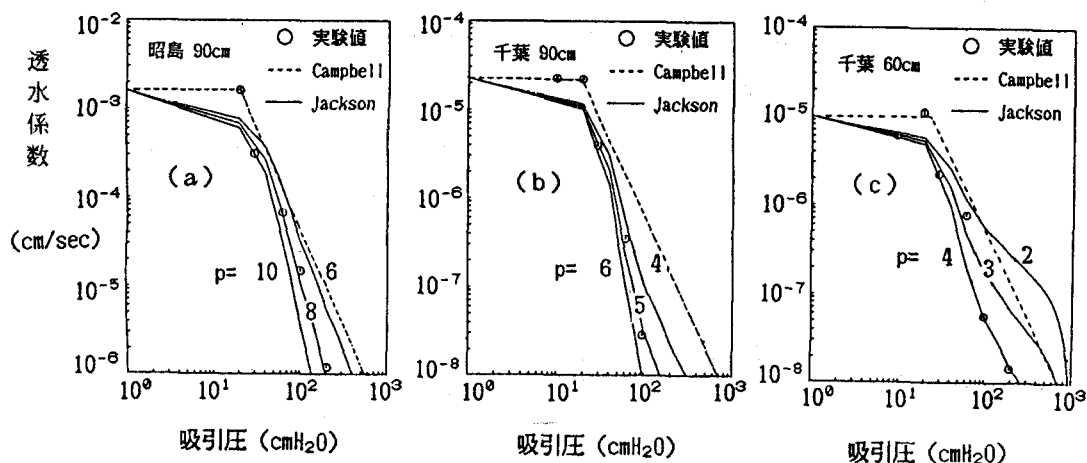


図1 不飽和透水係数(K)と吸引圧(ψ)の関係
(理論値と実験値との比較)

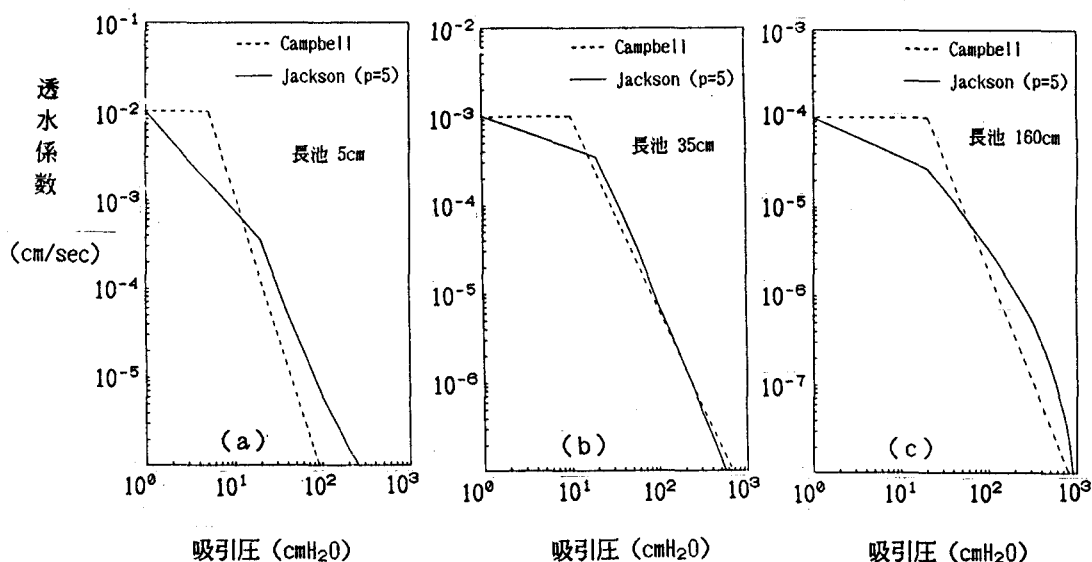


図2 不飽和透水係数(K)と吸引圧(ψ)の関係
(長池流域)

タ記録を用いた。境界条件は側面が不透水層、下面が地下水面である。上面の地表面については、降雨後の解析においては、深度5cmのテンシオメータ記録から得られた、吸引圧の回復状況を示す次式を用いた。

$$\log(\psi/\psi_0) = a t^{1/2} \quad \text{----- (4)}$$

ここに、 ψ_0 は降雨終了直後の吸引圧値、 t は時間、 a は定数である。上式が自然林地土壌について適合すること、および他地区のデータに対する適合度、係数 a の特性については別の講演で述べる。また、降雨時の地表の境界条件としては実際の降雨強度をフラックスとして与えた。

4.2 不飽和帯水分の挙動： 数値シミュレーションの結果および実測値の比較・考察については講演時に述べる。