

II-83

現地土壌特性の評価に基づく数値シミュレーションの再現性

—— 自然林地における表層不飽和帯水分の挙動 ——

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 〇岡 泰道

東京大学生産技術研究所 正員 小池 雅洋

1. はじめに

本研究では土壌の小試料を用いた室内試験により、現地土壌特性を定量化する。さらにこれらの特性値を考慮にいれて自然林地表層の不飽和帯和帯水分の挙動に関する数値シミュレーションを行い、テンシオメータによる観測値と比較することにより再現性を検討する。

2. 数値計算の方法 : 基本式としてはポテンシャル理論に基づくRichardsの浸透方程式を用い、有限要素法により計算を行う。数値解析上のパラメータは以下のように設定した。

(a) $\psi-\theta$ 関係 : 水分特性曲線は現地土壌サンプルを用いた吸引法等の室内試験で決定した。自然林地表層は非常にポーラスで間隙に富むため、水分が容易に移動できる範囲(pF3.0程度以下)での曲線の傾きが小さくなっているうえにヒステリシスもみられる。一方、深層では曲線の傾きが大きく、またヒステリシスはほとんど無視できる程度である。ここでは比水分容量 $d\theta/d\psi$ を水分特性曲線から多区間の線形近似により直接求める方法を用いた。ただし、ヒステリシスを持つ表層の水分特性曲線については室内試験によるメインループは用いず、現地の既往最大・最小値に基づく走査曲線(図1)をメインループとし、脱水曲線と吸水曲線の平均値を用いた。

(b) $K-\psi$ 関係 : 水分特性曲線をそのまま用いて $K-\psi$ 関係を決定できる次のJacksonの式を用いた¹⁾。

$$K_i/K_0 = (\theta_i/\theta_0)^p \left\{ \sum_{j=1}^m (2j+1-2i)\psi_j^{-2} \right\} / \left\{ \sum_{j=1}^m (2j-1)\psi_j^{-2} \right\} \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 θ_i は飽和含水率、 K_i は飽和透水係数、 p は定数である。現地の小試料を用いた室内不飽和透水係数試験結果に基づき、関東ロームに対する p を調べた結果を図2に示す。ここでは $m=100$ としている。定数 p は千葉・昭島の例からもわかるように、土壌構造が密であるほど大きくなる。長池試験流域の関東ロームは千葉・昭島の中間的な性質をもっており、後述のシミュレーション結果でもそれが確認された。土層は四層に区分し、境界を深度10,35,100cmにとった。 p の値は浅い方から4,6,8とした。

飽和透水係数 K_0 はテンシオメータ埋設地点付近のボーリングによるサンプルを用いた変水位透水試験結果から決定した。試験結果にばらつきがあるため、ここでは深度方向の K_0 の分布を図3に示すような幅で考え、 K_0 の最大および最小値を用いた計算により検討した。

3 降雨後の蒸発散機構の解析

(a) 計算条件 : 対象領域のテンシオメータ埋設地点は尾根部にあるため、鉛直浸透として取り扱った。幅は20cm、深さは地下水面まで10mである。深度方向のメッシュ幅は、地表面~10cmが1cm、10cm~1mが20cmとし、2m以深は粗くした。テンシオメータ埋設深度は5~300cmの14深度である。初期条件は降雨終了後の各深度のテンシオメータ記録を用いた。境界条件は下面が地下水面とした。また、降雨後の地表面の境界条件は以下のように決めた。地表面に近い深度5cmの吸引圧 ψ ($\psi < 0$)の無降雨期の減少速度は時間とともに遅くなるが、長池試験流域のテンシオメータ記録を調べた結果、 $\log|\psi|$ と $t^{1/2}$ の間に直線関係がみられたので、次式を用いて各時刻ごとの地表面の境界条件を規定した。

$$\log(\psi/\psi_0) = a \cdot t^{1/2} \quad \text{----- (16)}$$

ここに、 ψ_0 は降雨終了後、計算開始時点での吸引圧値、 a は定数である。

(b) 降雨後の水理ポテンシャルプロファイルの経日変化 : 長池試験流域のテンシオメータ記録から得られた無降雨期のポテンシャル・プロファイルの経日変化を図4に、シミュレーション結果を図5に示す。(a)は

K_{θ} の最大値、(b)は最小値を用いた結果をそれぞれ示している。係数aの値は0.51で比較的乾燥しやすい時期のものである。実測値は両者の中間的な性質を示しており、プロファイルの定性的な変化傾向はよく再現されていると考えられる。

なお、降雨時のプロファイルの変化についても同様な結果が得られている。

4 まとめ：（1）Jacksonの方法は、室内実験で求めた $\psi-\theta$ 関係から直接 $K-\psi$ 関係が求められるうえ、土壌の特性をそのまま組込めるという利点を持つ。（2）Richardsの浸透方程式の数値シミュレーションに、小試料(100cc)の室内試験でもとめた $\psi-\theta$ 関係および $K-\psi$ 関係を組込むことにより、不飽和帯水分に関する現地観測値を比較的良く再現できることがわかった。

引用文献 Jackson, R.D. (1972): On the Calculation of Hydraulic Conductivity, Soil Sci. Soc. Am. Proc., Vol.36, No.2, pp.380-382.

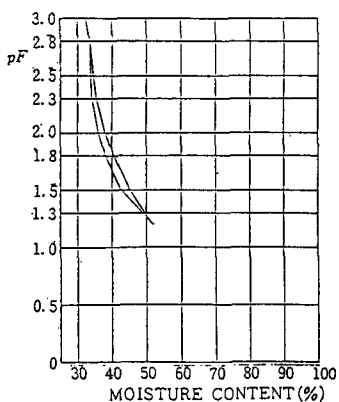


図1 水分特性曲線（深度5cm）

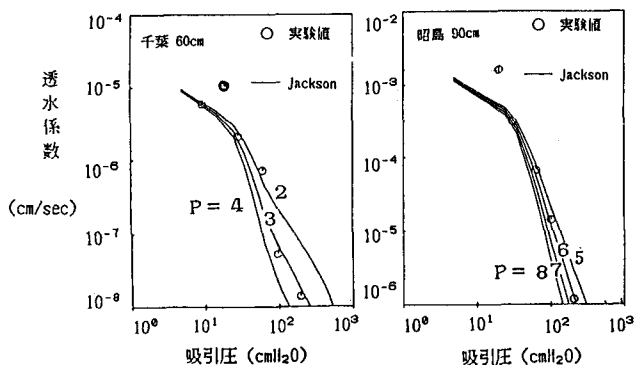


図2 不飽和透水係数と吸引圧の関係

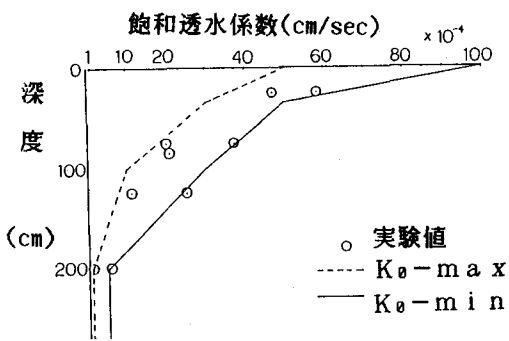


図3 深度方向の飽和透水係数の分布

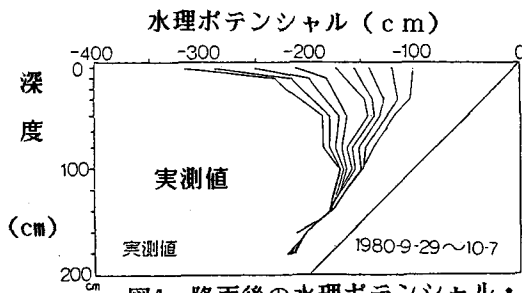


図4 降雨後の水理ポテンシャル・プロファイルの経日変化

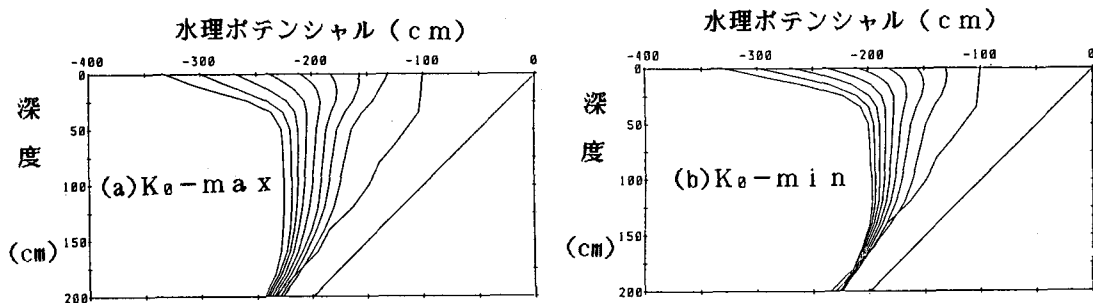


図5 降雨後の水理ポテンシャル・プロファイルの経日変化（計算値）