

中部大学工学部 正会員 杉井俊夫

中部大学工学部 学生○下村尚士 坂本幸一

1. はじめに

近年の頻発する豪雨による斜面崩壊や堤防決壊に対する原因の調査・検証だけでなく、事前の崩壊予測や災害の回避のためにも、浸透水挙動を把握することは重要であり、土の不飽和透水係数の評価は不可欠である。これまで不飽和透水試験はおもに室内で計測されてきたが、現場の環境にあったより精度よく再現できる原位置不飽和透水試験法の開発が望まれている。本報告では、これまでに不飽和透水係数を求める原位置試験を目的に提案した水分プロファイルモデル¹⁾を検証することを目的に、不飽和透水係数を求める段階で得られる水分拡散係数についてボルツマン変換との比較検討を行った結果を報告する。

2. 水分プロファイルモデルの概要

提案された水分プロファイルモデルは、室内および原位置で得られる土中水分の空間的・時系列的変化をシグモイド関数(式(1))を用いて、数値解析を行わずして浸透挙動を表現することができるものである。

$$\frac{\theta - \theta_{in}}{\theta_f - \theta_{in}} = \frac{1}{\exp(b_0 + b_1 t)} \quad (1)$$

$$b_0 = a_0 + a_1 z \quad (2)$$

ここにおいて、 θ : 体積含水率、 θ_{in} : 湿潤初期の体積含水率、 θ_f : 最終到達時の体積含水率、 t : 経過時間、 b_0 :

観測点深さごとのフィッティングパラメータ、 b_1 : 時間に関するフィッティングパラメータ(符号: 負)、 a_0, a_1 : 深さに関するパラメータ、 z : 深さである。深さ別に計測された水分変化から b_0 と b_1 をフィッティングにより求め、深さ別に異なる b_0 は式(2)のように深さの関数として回帰して求める。ここに、 b_1 は深さに寄らず一定になるため、推定パラメータは a_0, a_1, b_1 の3つとなり、時間と深さによって変化する体積含水率は、式(3) (図1) で表現することができる。

$$\theta = \theta(z, t) = \frac{\theta_f - \theta_{in}}{1 + \exp(a_0 + a_1 z + b_1 t)} + \theta_{in} \quad (3)$$

3. 水平浸透実験による不飽和透水試験

水分拡散係数を同じ実験から得るために、非定常不飽和透水試験の一つでもある水分拡散係数を求めるボルツマン変換法²⁾を実験装置(図-2)を使用し、実験を行った。試料には、豊浦砂を用い、ボルツマン変換法と水分プロファイルモデルを用いた方法により水分拡散係数の算出を行っている。

(1)ボルツマン変換法による水分拡散係数の算出

式(4)を用いて水分拡散係数を求めた。

$$D = -\frac{1}{2} \left(\frac{d\lambda_B}{d\theta} \right)_{\theta_x} \int_{\theta_x}^{\theta_f} \lambda_B d\theta \quad (4)$$

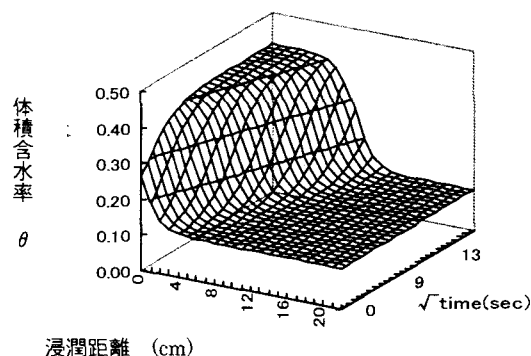


図1 水分プロファイルモデル

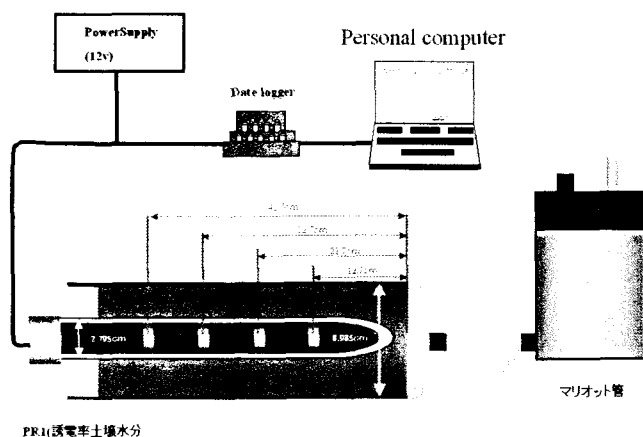


図2 水平浸透実験装置

ここに、 θ : 体積含水率、 λ_B : ボルツマン変数 ($\lambda_B = x / \sqrt{t}$ (ここにおける x は給水面からの距離)) この式中の $(d\lambda_B / d\theta)_{\theta_x}$ は図3における θ_x における接線勾配、 $\int_{\theta_x}^{\theta_f} \lambda_B d\theta$ は同図における網部の面積となる。

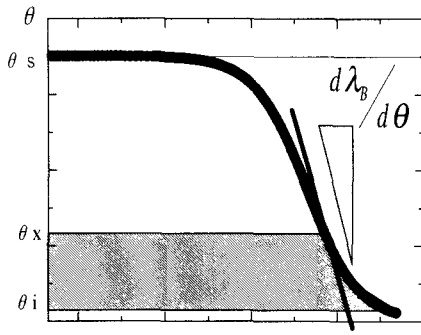


図3 θ - λB 曲線(吸水時)

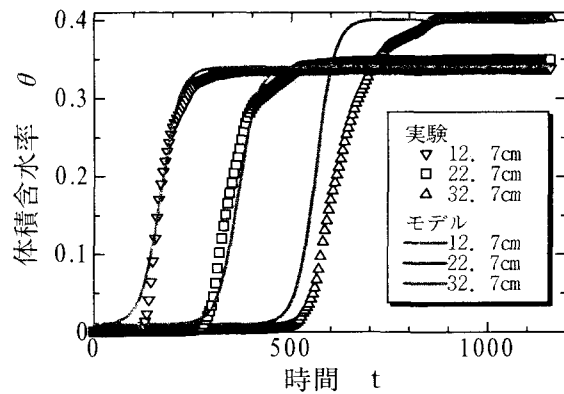


図4 水分量の経時変化とモデルのフィッティング結果

(2)水分プロファイルモデルによる水分拡散係数の算出

今回の得られた実験データと水分プロファイルモデルのフィッティング結果を比較したものを図4に示す。32.7cm では誤差が多いが浸潤により砂が若干流れ出し乾燥密度が減少したことによると考えられる。このことは飽和に近い最終体積含水率が他よりも大きいことから判断できる。ここから Klute の式(5)に式(4)を用いて不飽和透水係数を求めるが、今回はその過程で得られる水分拡散係数を式(5)に式(4)を代入して得られる式(6)により算出した。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) \quad (5)$$

$$D = - \frac{(\theta - \theta_{in})}{(\theta_f - \theta_{in})} \frac{b_1 (1 + \exp(a_0 + a_1 z + b_1 t))^2}{a_1^2 \exp(a_0 + a_1 z + b_1 t)} \quad (6)$$

ここで得た水分拡散係数Dと前節で述べたボルツマン変換法によって得られる水分拡散係数Dとを比較したものを図5、今回得られたパラメータを利用し得られた水分プロファイルモデルを図6にそれぞれ示す。

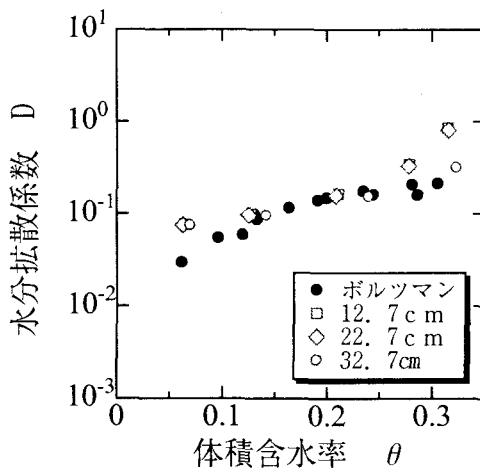


図5 θ -D 曲線の比較

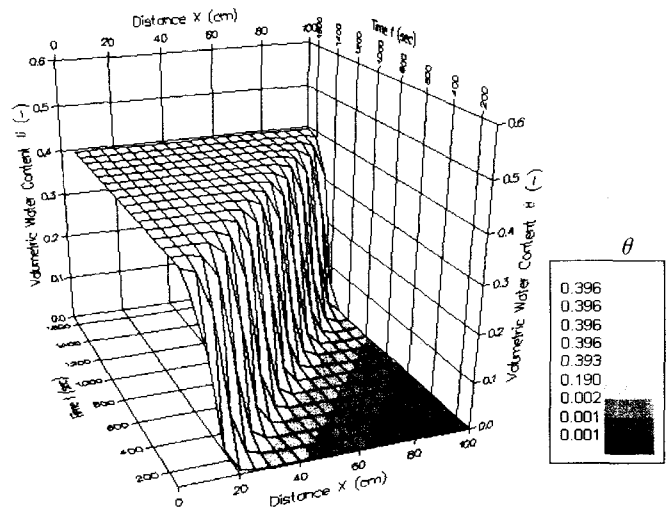


図6 水分プロファイルモデル

豊浦砂を用いた比較の結果、図5より、両者の水分拡散係数はほぼ一致する結果が得られていることがわかり、水分プロファイルモデルの適用性が得られることがわかった。

4. おわりに

他の土試料についても実験および数値実験を利用し検証を行うとともに、原位置による鉛直浸透実験を行い、水分プロファイルモデルによる解析をし、実際に適用できるか考察していく。

【参考文献】1) T. Sugii, Modeling of soil moisture profile during infiltration into vadose zone, Proc. of 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp.2449-2452, 2005. 2) 地盤工学会:「不飽和地盤の挙動と評価」, 地盤工学会, pp.63-65, 2004