

不飽和浸透試験における間隙水圧挙動に関する考察

岡山大学工学部 正会員 河野伊一郎
 岡山大学工学部 正会員 西 垣 誠
 岡山大学工学部 正会員 竹下 祐二
 岡山大学大学院 学生員 ○ 小野 忠正

1. はじめに

著者らは、不飽和浸透特性の非定常算定法として不飽和浸透特性を関数モデルを用いて表現し、それらに含まれる未知定数を鉛直一次元不飽和浸透試験にて得られる非定常データを用いて、数値解析的に同定する方法を提案している¹⁾。しかし、間隙水圧の非定常データを用いて同定を行う場合、間隙水圧の低下速度の減少・間隙水圧の回復といった数値解析では現れない現象のため、入力データとなり得ない。そこで、本文では鉛直一次元不飽和浸透試験において、間隙空気圧の挙動を計測し、間隙空気圧が間隙水圧の挙動に及ぼす影響の考察を行い、不飽和浸透特性の非定常算定法に用いるデータとしての妥当性について検討した結果を報告する。

2. 鉛直一次元不飽和浸透試験

実験装置を図-1に示す。この装置は外径60mm、内径50mm、高さ30mmの亚克力製カラムを28個積み重ね、連結部分に真空グリスを塗り、透明ビニールテープでシールしたものである。また、試料には豊浦標準砂を用い、乾燥密度 1.54g/cm^3 、飽和体積含水率0.42なる土柱を作成し、排水過程の試験を行い、そのときの間隙水圧と間隙空気圧の経時変化の計測を行った。なお、飽和土柱の透水係数は変水位透水試験より求め、 $k_s = 2.05 \times 10^{-2}\text{cm/s}$ であった。

(1) 間隙空気圧の測定方法

間隙空気圧を測定するために、圧力変換器の先端に透気性かつ撥水性を有する以下の2つのフィルター材を用いた。

① グラスフィルター (日本理化学器械製 グラスフィルター 185-0304)

② メンブランフィルター (7ドバンテック東洋製 PTFEタイプ T300A 孔径 3ミクロン) (ただし、①はその上に防水スプレー (成分: ふっ素樹脂 0.3%, トリクロロエタン 99%) を使用、②は非常に薄い膜なので、多孔質媒体にて裏側より支持した。) 間隙空気圧計は図-2に示す。

(2) 間隙空気圧を消散させる方法

間隙空気圧を消散させるために用いたカラムを図-3に示す。Type-aは直径5mmの穴を片側に7個開け、その穴を覆うように内側からメンブランフィルターを耐水性を有する接着剤で接着した。一方、Type-bでは直径2mmの透明ビニールチューブを取り付け、チューブ内に試料が流入しないようにカラムとの接触部にステンレスメッシュを取り付けた。

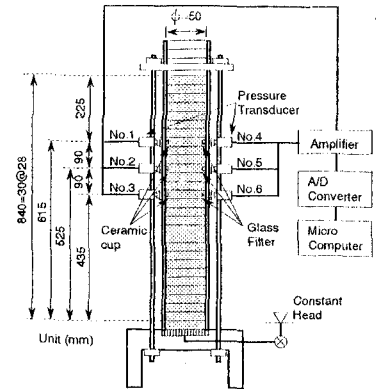


図-1 鉛直一次元不飽和浸透試験装置

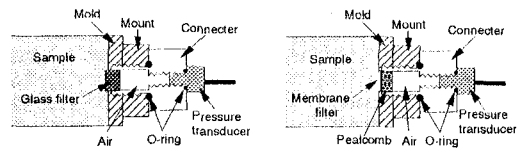


図-2 間隙空気圧計

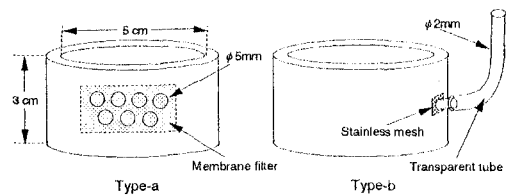


図-3 間隙空気圧消散カラム

3. 不飽和浸透特性の関数モデル

関数モデルとして式(1)～(3)に示すvan Genuchtenの提案したモデル (VGモデルと記す) を用いた。

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \{1 + |\alpha \phi|^n\}^{-m} \quad (1) \quad C(\theta) = \alpha(n-1)(\theta_s - \theta_r) Se^{1/m} (1 - Se^{1/m})^m \quad (2)$$

$$k(\theta) = k_s \cdot Se^{1/2} \{1 - (1 - Se^{1/m})^m\}^2 \quad (3)$$

ここに $m=1-1/n$, $n>1$, Se :有効飽和度, θ :体積含水率, θ_r :最小含水量, θ_s :飽和体積含水率, k_s :飽和透水係数, α, n :水分特性曲線の形状より決定されるパラメータ, $C(\theta)$:比水分容量, $k(\theta)$:不飽和透水係数

このモデルは5つの独立したパラメータ ($k_s, \alpha, n, \theta_s, \theta_r$) によって構成されるが、ここではその内 k_s, θ_s, θ_r に対しては直情報を与えて既知量とし、同定すべきパラメータを α, n の2個とする。これらの値は、非定常不飽和浸透試験を有限要素解析にてシミュレートし、間接法による逆解析手法により算定される。

4. 結果と考察

図-4に間隙水圧と間隙空気圧の測定結果(定水位面より61.5cmの点)を示す。間隙空気圧には負の圧が計測されており、ある程度時間が過ぎてゼロに戻る。間隙空気圧が影響しているのであれば、間隙空気圧の発生しているところのデータを用いることは難しく、そこで間隙空気圧の影響を補正 ($U_a=0$) したサクション ($-(U_a - U_w)$) をデータとして用いることが考えられる。

次に、間隙空気圧を消散させた場合と消散させなかった場合との比較を図-5に示す。図中の実線は、消散させた場合のデータを用いて同定したものであり、破線は消散させなかった場合のデータ(10秒～1000秒)を用いて同定した結果である。同定されたVGモデルより得られる水分特性曲線は図-6の実線、及び破線である。図中にはpF試験の土柱法による結果をもプロットしてある。図中の実線の方が土柱法の結果によく一致している。間隙空気圧を消散させなかった場合の間隙水圧のデータを用いた場合、誤った水分特性曲線を推定する可能性がある。そのため間隙水圧データの選定によって同定されるVGモデルが異なると思われる。これらの結果より、間隙空気圧を消散させた場合の間隙水圧のデータを用いることで、試料の水分特性曲線を十分な精度で同定することができ、より精度良い不飽和浸透特性の算定を行うことができると考えられる。

《参考文献》1)河野 他:(1989): pF試験における土柱法に関する一考察、土木学会第44回年次学術講演会。

2) van Genuchten, M. Th. (1980): "A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils.", Soil Sci. Am. J., Vol. 144, pp. 892-898.

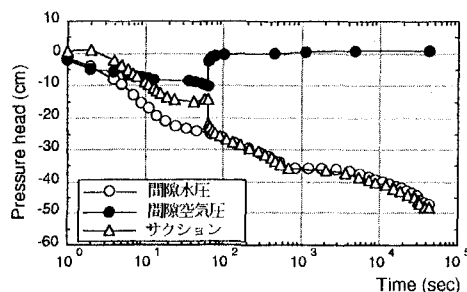


図-4 間隙空気圧測定結果

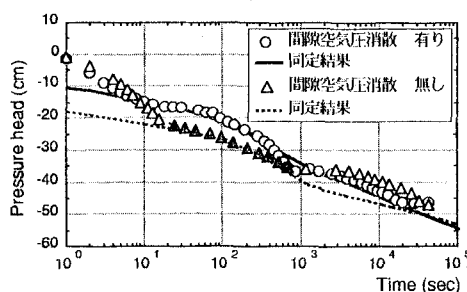


図-5 間隙水圧の経時変化

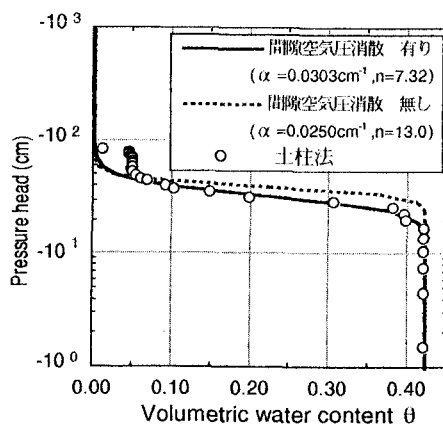


図-6 水分特性曲線