

## 原位置不飽和透水試験装置の開発

中部大学工学部 正会員 杉井 俊夫  
 中部大学工学部 学生 佐々 郁哉

### 1. はじめに

不飽和地盤における浸透挙動に起因した地盤工学的な諸問題を解決するためには、土の保水性や透水性を支配する不飽和土の浸透特性の評価が重要である。不飽和土の浸透特性は、水分特性曲線（体積含水率と圧力水頭の関係）および体積含水率または圧力水頭の間数として表示した不飽和透水係数と定義されている<sup>1)</sup>。現在、これらの不飽和浸透特性値を原位置透水試験により算定する方法は確立されていないため、本研究では、不飽和地盤の透水係数を簡便に測定する原位置透水試験装置を提案している。本報では、この原位置透水試験によって計測される観測データの適切な位置の設定について検討を行ったものである。

### 2. 原位置透水試験装置と試験原理

#### 2.1 試験装置の概要

透水試験装置は図-1 に示すように圧力水頭を一定に保ったまま水の浸透をさせることができるマリOTTタンク方式を採用した。この装置は、不飽和地盤に5cm 貫入させた直径15cm のアクリルパイプ、水を一定量貯めてから放出することのできるように設置した水抜き栓と塩ビパイプ、塩ビパイプと地盤の間には水を流したとき土が乱れないように砂利を一面に用意し、水が斜面に浸透したときの負圧を計測するためのテンシオメーターを塩ビパイプの中央部分に設置させる。また、水を供給するためのバルブ、アクリルパイプと塩ビ円板で作製したタンクから構成される。本試験装置を用いて、ある地盤深さで負圧を測定する浸透能試験を実施し、観測地点における負圧の観測データを用いて逆解析により不飽和浸透特性パラメータを推定する。

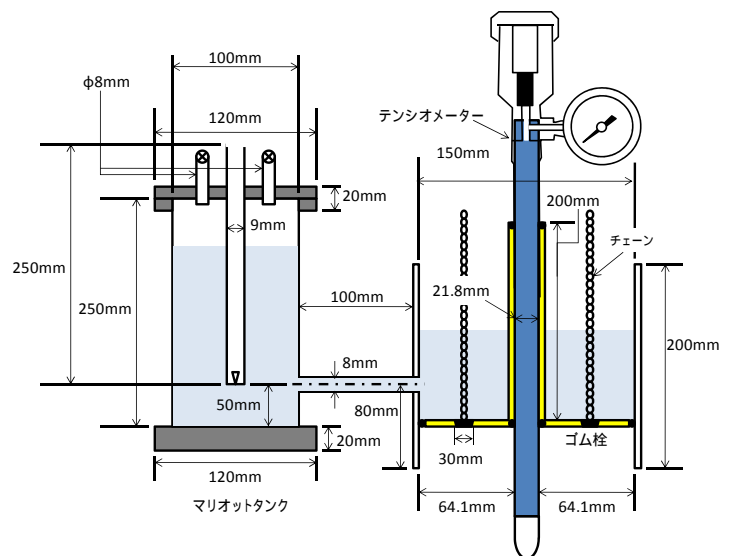


図-1 原位置透水試験装置

#### 2.2 試験原理

試験原理は、次節で説明する定水位による浸透能試験を実施し、地盤の圧力水頭の観測データをもとに飽和不飽和浸透流解析による逆解析から不飽和浸透特性の関数モデルのパラメータを推定する方法をとっており、観測点も少なく簡便な方法になっている。原位置透水試験によって計測された圧力水頭データを用いて初期仮定した不飽和浸透特性パラメータを用いて不飽和浸透流解析を実施し、出力される圧力水頭と入力した圧力水頭との誤差を小さくなるように、パラメータを修正しながら繰り返し計算を行う。不飽和浸透特性の関数モデルとしては、式(1)、(2)に示す van Genuchten モデル<sup>2)</sup>を用いた。

$$S_e = \frac{s - r}{s - r} = \left\{ \frac{1}{1 + |h|^n} \right\}^m \quad (1)$$

$$k = k_s S_e^{0.5} \left\{ 1 - \left( 1 - S_e^{1/m} \right)^m \right\}^2 \quad (2)$$

ここに  $S_e$  : 有効飽和土、 $\theta$  : 体積含水率、 $\theta_r$  : 残留体積含水率、 $\theta_s$  : 飽和体積含水率、 $h$  : 圧力水頭、 $k$  : 不飽和透水係数、 $k_s$  : 飽和透水係数、 $\alpha, n$  : 水分特性曲線の形状を支配する土に固有のパラメータ、 $n > 1, m = (1 - 1/n)$  である。

### 3. 圧力水頭を観測する適切な深さの決定

#### 3.1 数値実験による決定方法

今回は、圧力水頭観測点を1点のみとするために、原位置透水試験のテンシオメーターでの最適な観測点を決定する必要がある。圧力水頭の観測点深さを求める方法を図2に示した。今回、不飽和浸透特性パラメータが既知であり、室内でも検証実験が行えるよう豊浦砂を用いて数値実験を用いることとした。既知のパラメータを入力値として順解析による数値実験を行い、4つの観測点深さ(図-3)圧力水頭の観測データを求める。地盤モデルは、実際の原位置透水試験条件を考慮して図-3中の記号において、 $a=7.5\text{cm}$ 、 $h=5\text{cm}$ 、 $Z=50\text{cm}$ 、 $X=30\text{cm}$ と設定した。観測された深さごとに、データを用いて逆解析を行ってパラメータを推定し、既知である順解析の入力パラメータに一番近い値を算出できる観測点を決定する。

#### 3.2 適切な観測点深さの決定

順解析での入力値である浸透パラメータを基準として、それぞれの観測点での圧力水頭で推定された不飽和浸透パラメータの比を示す(表-1)。結果の比較を示す図-4より、最小含水量である  $r$  の精度が観測地点深さで大きく変わることがわかる。また、今回の豊浦砂では5cmのものが適切であることがわかった。この理由として浅過ぎるとすぐに飽和付近まで水分が増加する、また深いと水分が飽和まで達していないことなどから、観測点での水分量の変化が広い範囲で得られていないためと考えられる。また、土質によって深さは変わるものと考えられ、予め一般的な土質に対して観測点深さを数値実験で求めておき、原位置でその深さに設定することが望ましいと考えられる。

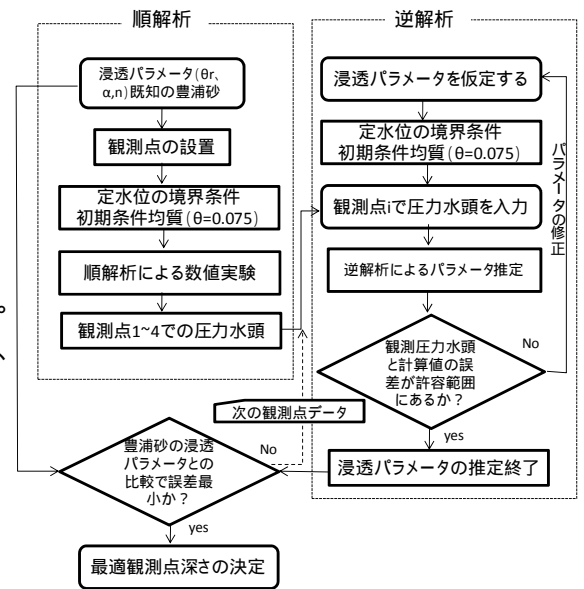


図-2 最適観測点の決定フローチャート

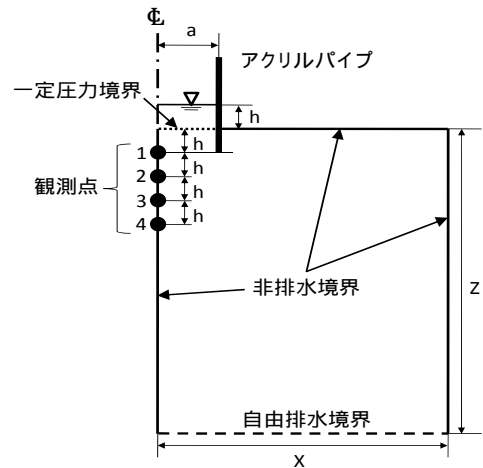


図-3 原位置透水試験の数値解析モデル

表-1 観測地点の違いによる真の値との比較

順解析時の入力パラメータ	$r = 0.300$	$\theta = 0.1100$	$n = 2.7870$
逆解析時の使用した観測点(深さ)	逆解析時による推定パラメータ $r$	$r_{(n)}/r$	逆解析時による推定パラメータ $n$
観測点1 (5cm)	$r_{(1)}$ 0.0318	1.060	$n_{(1)}$ 2.7755
観測点2 (10cm)	$r_{(2)}$ 0.0272	0.907	$n_{(2)}$ 2.7815
観測点3 (15cm)	$r_{(3)}$ 0.0463	1.543	$n_{(3)}$ 2.7222
観測点4 (20cm)	$r_{(4)}$ 0.0497	1.657	$n_{(4)}$ 2.7291

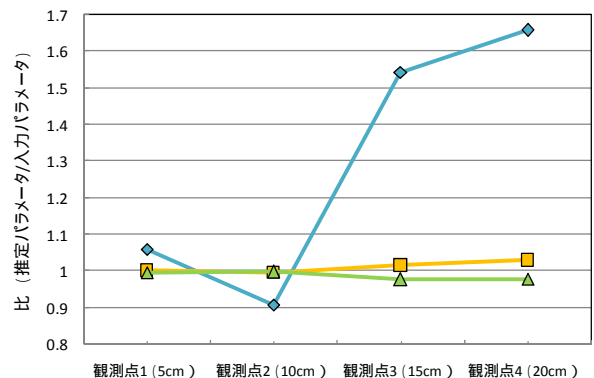


図-4 観測点の違いによる推定パラメータとの誤差

### 4. おわりに

豊浦砂において原位置試験を行う上で、テンシオメーターによる観測点深さを決めることができた。初期水分量が変わっても均等であれば、土質によって観測される水分量の変化範囲が広がる深さが適切であると予測される。検証試験の結果は発表時に報告する。

【参考文献】 1) 地盤工学会：不飽和地盤の挙動と評価 pp.35-44,2004. 2) van Genuchten, M. Th.: A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils, Soil Sci. Am. J., Vol.44, pp.892-878, 1980. 3) D.Rassm, J.Simunek & van Genuchten：HYDRUS-2D による土中の不飽和流れの計算 5.1, 2004