

III-426

揚水試験による不飽和浸透特性の算定法（第二報）

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 田村 和久

1. はじめに

現在、不飽和土の浸透特性（水分特性曲線、不飽和透水係数）を原位置にて計測することは、きわめて困難であるため、確固たる原位置試験法は確立されていない。そのため不飽和浸透特性を他の土の物性値より推定しようとする研究が行われている。筆者らは、van Genuchten の提案している不飽和浸透特性の推定式を用いた逆解析手法により、不圧帯水層において実施された揚水試験結果から不飽和浸透特性を推定する手法を提案している¹⁾。本文では、この手法を定圧揚水試験の室内モデル実験結果に適用し、瞬時水分計測法による不飽和浸透特性の測定結果との比較によって、この手法の適用性を吟味した結果について述べる。

2. 不圧帯水層における揚水試験結果から不飽和浸透特性の推定手法

不圧帯水層における揚水試験結果は、不飽和領域と飽和領域を網羅した次式によりシミュレートできる。

$$(C(\psi) + \alpha Ss) \frac{\partial \psi}{\partial t} = k(\psi) \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} k(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ k(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial z} + k(\psi) \right\} \quad (1)$$

ここに、

$\alpha = 0$: 不飽和領域、 $= 1$: 飽和領域、 $k(\psi)$: 透水係数、 Ss : 比貯留係数、

$C(\psi)$: 比水分容量、 ψ : 圧力水頭

不飽和浸透特性の推定式として、van Genuchtenは(2)式で定義される有効飽和度(Se)を負の圧力水頭の関数として(3)式を提案し、比水分容量、および不飽和透水係数の推定式として、それぞれ(4)、(5)式を提案している²⁾。

$$Se = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (2) \quad Se = \{1 + |\alpha \psi|^n\}^{-m} \quad (3)$$

$$C(\psi) = \alpha(n-1)(\theta_s - \theta_r) Se^{1/m} (1 - Se^{1/m})^m \quad (4)$$

$$k(\psi) = k_s \cdot Se^{1/2} \{1 - (1 - Se^{1/m})^m\}^2 \quad (5)$$

ここに、 $m = 1 - 1/n$ 、 $n > 1$ 、 θ_s : 飽和体積含水率、 θ_r : 最小含水量である。係数 α 、 n は、水分特性曲線の形状に影響するパラメータであり、 α は間隙径の大きさに、 n は間隙構造の特性に関係する。ここで用いた手法は、不圧帯水層における揚水試験結果を(1)、(3)～(5)式を用いた非線型最小二乗法による逆解析法によって解析し、形状係数 α 、 n の値を求めることによって、不飽和浸透特性の推定を行うものである。非線型最小二乗法の解法として、修正Marquardt法を使用した。

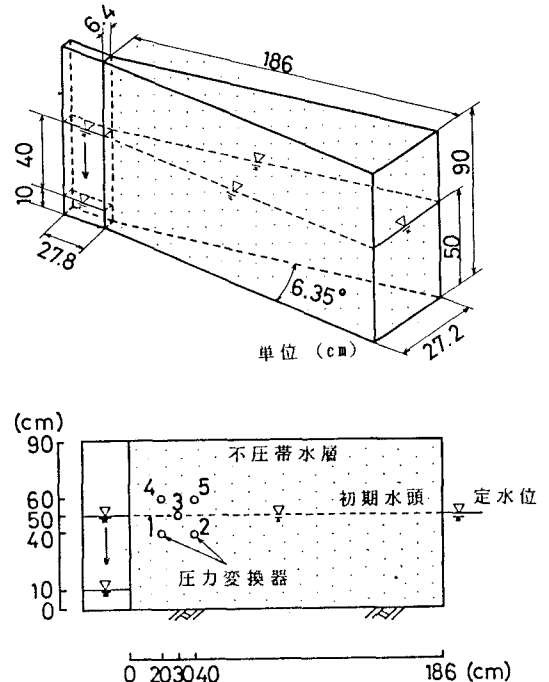


図-1 実験用土槽説明図

3. 定圧揚水試験の室内モデル実験

図-1に示す軸対称形状（扇形）の土槽に標準砂を水中落下にて締固め、乾燥密度 $\gamma_d=1.56 \text{ g/cm}^3$ 、間隙比 $e=0.7$ 、飽和体積含水率 $\theta_s=0.41$ の均質な不圧帯水層モデルを作成した。試料の飽和透水係数は定水位透水試験より $k_s=2.32 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ であった。実験は揚水井戸内の水位を瞬時に 50cm から 10cm に低下させ、その時の水位挙動を拡散型小型圧力変換器（計測範囲 $\pm 0.3 \text{ kgf/cm}^2$ 、ヒステリシス $\pm 0.02\% F_s$ ）にて計測した。計測点 No. 1, No. 4の間隙水圧挙動を図-2に示す。

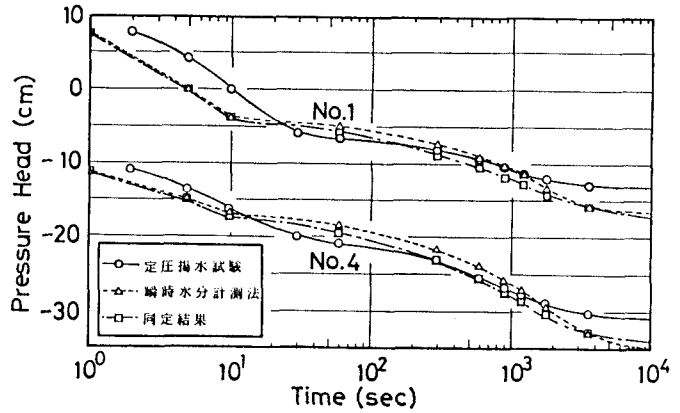


図-2 間隙水圧の経時変化図

4. 瞬時水分計測法による不飽和浸透特性の測定

瞬時水分計測法（Instantaneous Profile Method）は、鉛直一次元の土柱内に浸透流を発生させ、体積含水率と圧力水頭の経時変化を計測することにより不飽和浸透特性を求める手法である。ここでは、体積含水率の測定に中性子水分計を用い、定圧揚水実験に用いた標準砂の不飽和浸透特性を測定した。得られた水分特性曲線を最小含水量 $\theta_r=0.0$ として(3)式により解析して形状係数 α 、 n を求めたところ $\alpha=0.022$ 、 $n=14.86$ を得た。その結果を図-3, 4に示す。

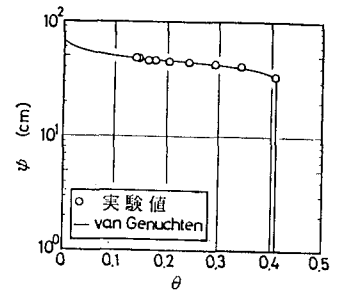


図-3 水分特性曲線

5. 不飽和浸透特性の推定結果

飽和透水係数を既知（ $k_s=2.32 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ ）、比貯留係数を $S_s=0.0$ として、定圧揚水試験の室内モデル実験結果を逆解析手法により解析した結果を表-1に示す。その結果、瞬時水分計測法にて得られた α 、 n の値とほぼ等しい値を得た。

表-1 不飽和浸透特性 推定結果

解析既知条件				初期推定値		計算 回数	最大 残差 平方値	推定結果	
$k_s \text{ (cm/s)}$	$S_s \text{ (1/cm)}$	θ_r	θ_s	$\alpha \text{ (1/cm)}$	n			$\alpha \text{ (1/cm)}$	n
2.32×10^{-2}	0.0	0.0	0.41	0.01	7.0	2	5.94	0.0248	18.34

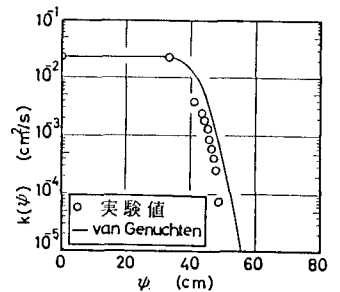


図-4 圧力水頭と透水係数の関係

6. おわりに

van Genuchten の提案している不飽和浸透特性の推定式を用いた逆解析手法を定圧揚水試験の室内モデル実験結果に適用し、推定された不飽和浸透特性を瞬時水分計測法による結果と比較した結果、ほぼ等しい値を得た。今後は、最適な水頭計測点の考察等、実際の地盤に対する適用を進めていく予定である。

《参考文献》 1)河野・西垣・竹下・田村(1988):揚水試験による不飽和浸透特性の算定法（第一報），「第23回土質工学研究発表会」． 2) van Genuchten, M. Th. (1980): A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Sci. Am. J., Vol.144, pp.892-898.