

III-A 269

土柱法による砂質土の貯留係数と透水係数の連続測定法

東海大学大学院 学生員 ○川添 英生
東海大学工学部 正会員 本間 重雄

1. はじめに

地下水解析で用いられる地下パラメータとして透水係数と貯留係数が重要である。透水係数については室内および原位置試験により求める種々の方法が確立されている。貯留係数については、被圧帯水層からの揚水理論（Theis法、Jacob法）に基づいて求める一般的な方法の他、土の圧縮率や体積圧縮係数から逆算する方法などがとられるが、室内試験により直接その値を求める方法は確立されていない。粘性土を対象とした室内試験法として、水平一次元の定水位あるいは定量注入試験より透水係数と比貯留係数を求める方法が（西垣^{1）}）によって報告されているが、流入量の正確な測定が不可避とされている。本報告では、貯留係数の本来の定義に沿った鉛直土柱からの排水過程における間隙水圧変化から砂質土の比貯留係数と透水係数を連続的に精度よく求める新たな方法を提案する。また提案法に基づいて得られた数種の均一砂および混合砂に対する測定結果を報告する。

2. 理論

図-1に示すような飽和鉛直土柱の排水過程における土中の過剰間隙水圧変化は次式で示される。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$\text{ここに } \kappa = \frac{K}{S_s} \quad \left(\begin{array}{l} K: \text{透水係数} \\ S_s: \text{比貯留係数} \end{array} \right)$$

土柱の上下端における境界条件、 $(u(0,t)=0, u(H,t)=0)$ および初期条件（初期静水圧分布）に対する式（1）の理論解（Fourier級数解）は次式で与えられる^{2）}。

$$u\left(\frac{z}{H}, T_v\right) = \frac{2u_0}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{n} \left\{ \sin \frac{n\pi z}{H} \exp(-n^2\pi^2 T_v) \right\} \quad (2)$$

ここに、時間係数 $T_v = \frac{Kt}{H^2}$

式(2)の計算結果は図-2に示すとおりとなり、土中の間隙水圧は排水開始とともに消散して行き、 $t = \infty$ (定常)で土柱内の動水勾配は一定 ($i = P_0 / \rho_w g H + 1$)となる。したがって、土中の1点、ここでは間隙圧変化が最も明瞭に現われると考えられる下端から $H/5$ ($Z/H = 0.8$)の位置における間隙水圧変化を、 T_v のスケールを変えて描いた理論曲線

(図-3)と重ね合せれば、式(1)の $\kappa (=K/S_s)$ の値が求められる。カーブフィッティング時の時間係数を $T_v = 0.05$ に選べば $\kappa = 0.05H^2/t_{0.05}$ 、 $T_v = 0.1$ に選べば $\kappa = 0.1H^2/t_{0.1}$ により K/S_s の値が求められる。時間が十分に経過し、測定点の間隙水圧が0 (定常)となったとき、排水流量 q を測定すれば $K = V_s / i = q/A$ より試料の透水係数 K が得られ、 $S_s = K/\kappa$ により比貯留係数 S_s が算出される。また、 $S_s = \rho_w g (\alpha + n\beta)$ または $m_v = S_s / \rho_w g$ により地下水位低下による土の圧縮率 α および体積圧縮係数 m_v の値も算出

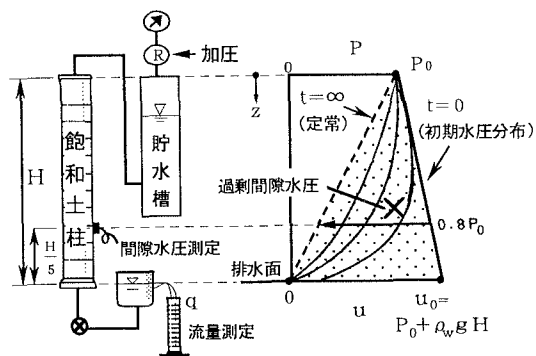


図-1 土柱法による定水位透水試験

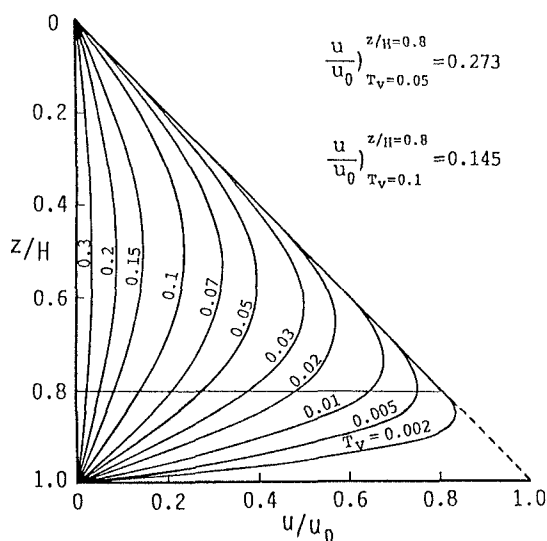


図-2 過剰間隙水圧の変化

し得る（ n :間隙率, β :水の圧縮率 ($4.4 \times 10^{-4} \text{ 1/MPa}$)）。

3. 実験

表-1に示す9種類の均一砂ならびに混合砂を用いた提案法に基づく室内実験を行った。実験は長さ1m、内径30mmのアクリル管に試料を充填し、透水試験法で用いられる吸引脱気法により供試体を完全に飽和させた後、まずパイプ下端より20cm (H/5)の位置に設置した間隙水圧計の調整を行う。標準砂および均一砂に対しては、パイプ上端の加圧力を0 (大気圧)とし、混合砂および砂混じりロームに対しては $P_0=0.04\sim 0.09 \text{ Pa}$ の加圧力を加えた。したがって、前者の最終動水勾配は $i=1$ 、後者の動水勾配は $i=5\sim 10$ となる。次に、この状態で下端バルブを瞬間的に解放し、0.3~数秒間隔で測定点の間隙水圧および排水量の変化を測定した。測定結果を図-3に示した方法で整理し、 κ および K を求め、比貯留係数 S_s および圧縮率 α ならびに

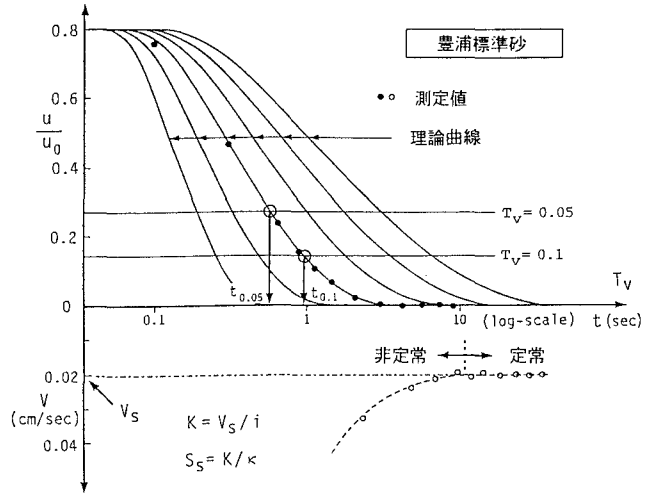


図-3 理論曲線との重ね合せ

体積圧縮係数 m_v を計算した。得られた結果はいずれも現場揚水試験で得られる帯水層定数（透水係数 $K=3 \times 10^{-3} \sim 5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{sec}$,比貯留係数 $S_s=5 \times 10^{-2} \sim 5 \times 10^{-4} \text{ 1/m}$ ）と照らしてほぼ妥当な値を示しているものと思われる。表-1によれば均一粒径砂では粒径が小さくなるにつれ κ および K が減少しているが、 κ に比べ K の減少率が大きいため S_s ならびに α 、 m_v は若干ではあるが粒径が小さくなるにつれ減少する傾向を示している。また、混合砂では75 μm 以下の含有率の増加に伴い κ および K は規則的に減少しており、 S_s および α 、 m_v の変化はそれほど大きくない。これらのことから、砂質土の粒度分布特性と両値の間には一定の相関関係があるものと思われる。

提案法によれば、土の透水係数と比貯留係数が極めて簡単な試験によって非定常および定常過程を通じて連続的に求められ、従来の定水位透水試験と組み合わせられた形で実施し得る。また、試験法自体が鉛直土柱排水による間隙水圧の消散を再現したものであるため、貯留係数の本来の定義に沿った土の圧縮率が求められ、地下水位低下工法の設計や揚水による地盤沈下の解析等に測定値が利用できるものと思われる。今後の課題として試料の充填方法や密度の相異による S_s ならびに α 、 m_v の値への影響を検討していきたい。

表-1 測定結果

試料		諸元	n	P_0 (MPa)	$t_{0.10}$ (sec)	κ (m^2/sec)	K (cm/sec)	S_s (1/m)	α, m_v (1/MPa) { cm^2/kgf }
豊浦標準砂			0.40	0	0.98	1.02×10^{-1}	2.02×10^{-2}	1.98×10^{-3}	0.20 { 1.98×10^{-2} }
千葉産 陸砂	均一砂	粒径 2.0~0.85mm	0.55	0	0.27	3.70×10^{-1}	2.40×10^{-1}	6.48×10^{-3}	0.66 { 6.48×10^{-2} }
		" 0.85~0.40	0.49	0	0.76	1.32×10^{-1}	5.20×10^{-2}	3.95×10^{-3}	0.40 { 3.95×10^{-2} }
		" 0.40~0.25	0.45	0	3.20	2.38×10^{-2}	1.20×10^{-2}	3.84×10^{-3}	0.40 { 3.84×10^{-2} }
		" 0.25~0.105	0.46	0	5.02	1.99×10^{-2}	6.70×10^{-3}	3.36×10^{-3}	0.34 { 3.36×10^{-2} }
	混合砂	75 μm 含有率 10%	0.47	0.04	18	5.56×10^{-3}	1.30×10^{-3}	2.34×10^{-3}	0.24 { 2.34×10^{-2} }
		" 20%	0.41	0.06	26	3.85×10^{-3}	6.79×10^{-4}	1.77×10^{-3}	0.18 { 1.77×10^{-2} }
	" 30%	0.42	0.09	40	2.50×10^{-3}	4.52×10^{-4}	1.81×10^{-3}	0.19 { 1.81×10^{-2} }	
砂混じりローム			0.60	0.09	36	2.78×10^{-3}	1.98×10^{-4}	7.13×10^{-4}	0.07 { 7.12×10^{-3} }

参考文献 : 1) 西垣 誠, 室内試験による比貯留係数の測定法, 第28回土質工学研究発表会, 1993, PP. 2213-2214. 2) Boyce, DiPrima, Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems, 3rd ed., Wiley, 1976, PP. 452-479. 3) 川添 英生、本間 重雄, 鉛直土柱排水による土の貯留係数の決定法, 第23回土木学会関東支部技術発表会, 1996, PP.480-481