

Ⅲ-87

室内定流量注水試験による比貯留係数の算定法

岡山大学環境理工学部 正会員 西垣 誠
清水建設(株) 正会員○中島 正暁
岡山大学大学院 学生員 矢野耕一郎

1. はじめに

近年、建設工事に関わる地下水挙動の予測に非定常状態を取り扱うことが多くなっている。非定常解析では透水係数と貯留係数が重要なパラメータとなる。一般に被圧帯水層の貯留係数は比貯留係数(S_s)と帯水層厚(D)の積で表され、比貯留係数の定義式は次式で表される。

$$S_s = \frac{n}{\rho} \frac{d\rho}{d\phi} + \frac{dn}{d\phi} \quad (1)$$

ここで、 n :間隙率、 ρ :間隙流体の密度、 ϕ :圧力水頭である。都市部においては大型地下構造物の建設に伴う地下水位低下によって間隙内に多くの空気が含まれた被圧帯水層が形成されている可能性がある。このような被圧帯水層では間隙内の空気の影響により、式(1)において間隙流体の圧縮率の項の値が大きくなり、比貯留係数の値は間隙内の空気量に支配される。したがって、実際の揚水試験で求められる比貯留係数の値の物理的な位置づけが必要となる。そこで本研究では室内においてOlsenら¹⁾による三軸セルを用いた手法、西垣ら²⁾によるモールドを用いた手法の定流量注水試験の検討を行うとともに、飽和度が変化した際のその値の変化を検討する。

2. 比貯留係数の理論式

多孔質体の体積要素内に蓄えられる水の量の、流体圧力に対する変化率から、比貯留係数と飽和度の関係は次式で表される。

$$S_s = S_r \left[\frac{n(1-S_r)}{\rho_w S_r + \rho_a(1-S_r)} \frac{d\rho}{d\phi} + \frac{dn}{d\phi} \right] \quad (2)$$

ここで、 S_r :飽和度、 ρ_w :水の密度、 ρ_a :空気の密度である。式(2)において ρ_w 、 ρ_a の値を代入し、Boyle-Charlesの法則を用いると、次式のように比貯留係数は飽和度と間隙率の圧縮率で表される。

$$S_s = \frac{n(1-S_r)}{1.0 \times 10^{-3}} \frac{dn}{d\phi} + S_r \quad (3)$$

3. 定流量注水試験装置および試料

図-1.(a),(b)にモールドおよび三軸セルを用いた定流量実験装置の全体図を示す。試料は比重2.64のまさ土を $\gamma_s=1.80(\text{g/cm}^3)$ に締固めて用いた。また、飽和度は供試体にBack pressureを加えて飽和度を高めた。

4. Olsenらの手法の検討

理論式は圧力水頭の増加に伴う変形は生じない境界条件で導かれている。モールドを用いた手法ではこの条件を満足するが、三軸セルを用いた手法では供試体周囲の境界条件が自由条件で、理論式の境界条件と一致しない。そこで、有限要素法による応力

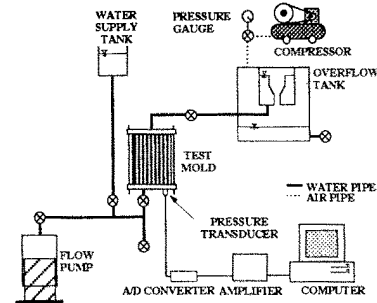


図-1. (a) モールドを用いた定流量注水試験装置

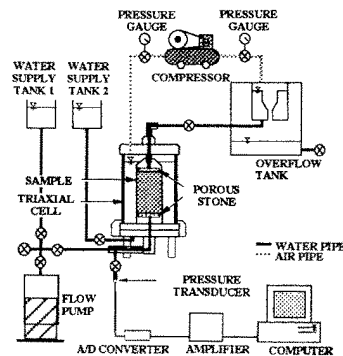


図-1. (b) 三軸セルを用いた定流量注水試験装置

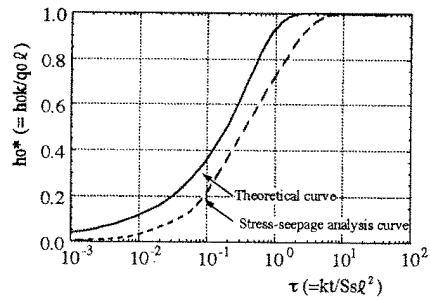


図-2 理論解と標準曲線

一浸透解析を行い、この解析結果から標準曲線を作成した。これより得られた標準曲線と理論解を図-2に示す。図-2中において、 $h_o(t)$: 供試体注水点での水頭値、 q_o : 一定注水流量、 k : 透水係数、 l : 供試体長、 t : 計測時間である。これより応力一浸透解析による標準曲線の方が、ある h_o^* において τ の値が大きくなるため、三軸セルを用いた手法に理論解による曲線を用いて比貯留係数の算定を行うと大きな値が算定される。したがって三軸セルを用いる手法では、この応力一浸透解析による標準曲線を用いる必要がある。

5. 算定結果

透水係数について、定流量注水試験と変水位透水試験で得られた値を図-3に示す。定流量注水試験で得られた透水係数の値は変水位透水試験で得られた値より大きな値が算定され、変水位透水試験よりも層流状態で透水試験が行えたことが分かる。また、得られた値は両方ともほぼ等しい値が算定された。

比貯留係数と飽和度の関係を、図-4. (a), (b)に示す。比貯留係数は式(3)による理論値と比較した。式(3)より、飽和度100(%)のときには比貯留係数は間隙の圧縮率($dn/d\phi$)と等しくなる。そこで、飽和度が100(%)の供試体に対して非圧密非排水圧縮試験(UU試験)を行い、得られた E_{s0} から比貯留係数を算定した。この結果を表-1に示す。UU試験で得られた比貯留係数の値は、定流量注水試験によって得られた値とほぼ等しい値が算定された。また、モールドおよび三軸セルを用いる手法とも飽和度全般的に比貯留係数の値は理論値とほぼ等しい値が算定された。よってこの応力一浸透解析による標準曲線の妥当性が言える。したがって、三軸セルを用いた手法では定流量注水によって供試体の浸透方向に膨張が生じるため、比貯留係数の算定には今回のように応力一浸透解析から作成した標準曲線を用いねばならず、理論解を用いて比貯留係数の算定を行うと真値よりも大きな値が算定される。したがって、実験手法としてはモールドによる定流量注水試験の方が、手順及び実験装置も簡便かつ有効であると言える。

表-1 非圧密非排水圧縮試験結果

$(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ (MPa)	0.711	0.707
ε_{s0} (%)	4.20	3.77
E_{s0} (MPa)	8.4584	9.3695
S_s (cm^{-1})	1.39×10^{-6}	1.26×10^{-6}
S_s (cm^{-1}) 定流量試験	1.83×10^{-6}	1.59×10^{-6}

《参考文献》

- 1) Morin R.H. and Olsen H.W.: Theoretical analysis of transient pressure response from a constant flow rate hydraulic conductivity test. Water Resour. Res., Vol. 23, No. 8, pp1461-1470, 1987.
- 2) 西垣 誠、菅野雄一：室内透水試験による比貯留係数の測定、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集、Ⅲ-515, pp1084-1085, 1993.

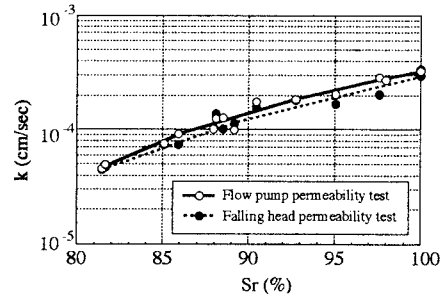


図-3 定流量注水試験結果と変水位透水試験結果の比較

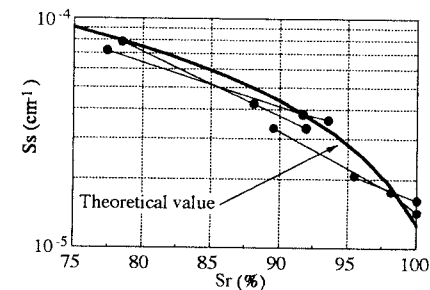


図-4. (a) 飽和度と比貯留係数の関係；
(モールドタイプ)

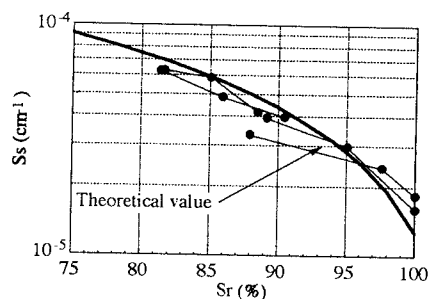


図-4. (b) 飽和度と比貯留係数の関係；
(三軸セルタイプ)