

# 室内試験による比貯留係数の計測法

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

数値解析による非定常解析は、地下水の状態を経時的に把握することが可能であり、その有効性も高く評価されている。この数値解析によるシミュレーションにおいて、比貯留係数は、必須な入力パラメータであり、解析結果の是非を左右する要因でもある。

本研究では西垣、菅野ら<sup>1)</sup>によって提案されたモールドを用いた周囲拘束条件下での定流量注水試験及びOlsenら<sup>2)</sup>によって提案された三軸セルを用いた周囲自由条件下での定流量試験により、比貯留係数の測定を試み、飽和度と比貯留係数の関係を示す。また、非圧密非排水三軸圧縮試験(UU試験)を行い、力学的に比貯留係数を求め、これらの比較、検討を行った。

## 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。

$$Ss = Sr \left[ \frac{n(1-Sr)}{\rho_w Sr + \rho_a(1-Sr)} \frac{d\rho_a}{d\phi} + \frac{dn}{d\phi} \right] \quad (1)$$

ここで、 $Sr$ :飽和度、 $\rho_w$ :水の密度、 $\rho_a$ :空気密度である。式(1)において $\rho_w$ 、 $\rho_a$ 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。

$$Ss = \frac{n(1-Sr)}{1.0 \times 10^{-3}} + Sr \frac{dn}{d\phi} \quad (2)$$

## 3. 定流量注水試験装置および試料

図-1に三軸セルを用いた実験装置の全体図を示す。試料は比重2.64のまさ土を $\gamma_s=1.80(g/cm^3)$ に締固めて用いた。また、飽和度は供試体の下流部に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-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曲線を図-2に示す。図-2中において、 $h_0(t)$ :供試体注水点での水頭値、 $q_0$ :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-浸透解析による標準曲線の方が、ある $h_0^*$ において $\tau$ の値が大きくなるため、三軸セルを用いた試験結果に理論解による曲線を用いると大きな比貯留係数が算定される。よって、

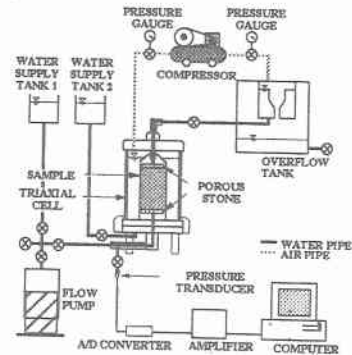


図-1 三軸セルを用いた定流量注水試験装置

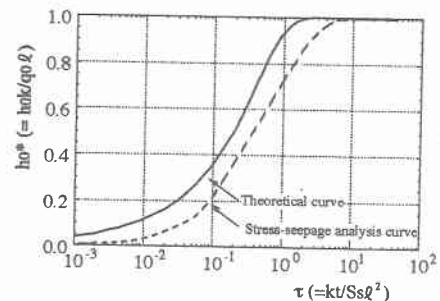


図-2 理論曲線と標準曲線

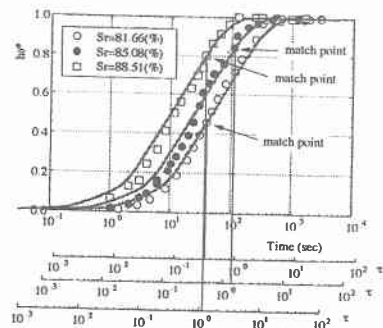


図-3 マッチング例(三軸セル)

モールドを用いた手法では理論曲線を用い、三軸セルを用いた手法では応力-浸透解析による標準曲線を用いて、実験データと片対数法（両対数法）によりマッチングを行い、比貯留係数を算定した。その一例を図-3に示す。

### 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-4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とほぼ同じ値が算定され、共に層流状態で試験が行えたことが分かる。

比貯留係数と飽和度の関係を、図-5. (a), (b)に示す。比貯留係数は式(2)による理論値も図中に併記した。式(2)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 $E_{so}$ 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、定流量注水試験で得られた比貯留係数の値とほぼ等しい値が算定された。また、モールド及び三軸セルを用いた手法とも、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-浸透解析により作成した標準曲線の妥当性が言える。したがって、三軸セルを用いる手法では、定流量注水によって供試体の注水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-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、応力-浸透解析による標準曲線の作成も不必要で、手順及び実験装置も簡便であるため有効であると言える。

表-1 非圧密非排水三軸圧縮試験結果

|                                     |                       |                       |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ (MPa) | 0.711                 | 0.707                 |
| $\varepsilon_{so}$ (%)              | 4.20                  | 3.77                  |
| $E_{so}$ (MPa)                      | 8.4584                | 9.3695                |
| $S_s$ ( $cm^{-1}$ )                 | $1.39 \times 10^{-5}$ | $1.26 \times 10^{-5}$ |
| $S_s$ ( $cm^{-1}$ ) 定流量試験           | $1.83 \times 10^{-5}$ | $1.59 \times 10^{-5}$ |

### 《参考文献》

- 1) 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.
- 2) 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.

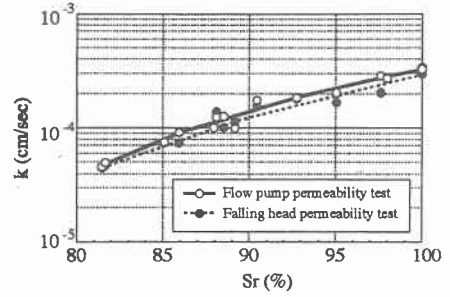


図-4 定流量注水試験結果と変水位透水試験結果の比較

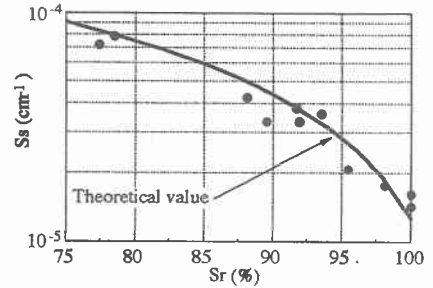


図-5. (a) 飽和度と比貯留係数の関係；  
(モールドタイプ)

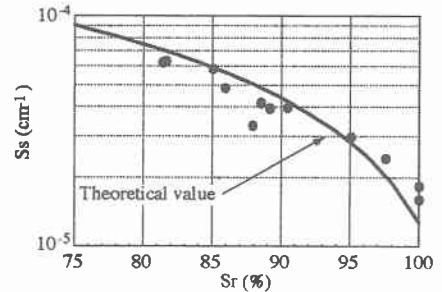


図-5. (b) 飽和度と比貯留係数の関係；  
(三軸セルタイプ)