

難透過性材料の高精度な流体移動特性評価のための実験的検討

九州大学工学部 学生会員 〇一枝 俊豪 九州大学大学院 正会員 江崎 哲郎
九州大学大学院 正会員 三谷 泰浩 九州大学大学院 非会員 山下 貴士

1. はじめに

近年, CO₂の地中貯留や高レベル放射性廃棄物の地層処分といった地下深部の岩盤の隔離性, 密閉性を利用したプロジェクトが進められており, 地下深部における流体移動特性を高精度に評価することが必要不可欠となっている.

難透過性材料に適用性が高いとされる透水試験法としてトランジェントパルス法およびフローポンプ法があるが, 透水係数が 10^{-7} cm/s以下となるような極めて透水性の低い難透過性材料の高精度な流体移動特性(透水係数および比貯留率)を評価することは非常に難しく, 適切な試験条件下で透水試験を行わなければ高精度な流体移動特性を評価することはできない.

本研究では, 試験条件として試験体の特性に影響を及ぼさず, 値を任意に変化させることができる貯留槽の体積に着目し, 各貯留槽の体積に応じた装置の貯留性を求める実験を行う. そして, 貯留槽の体積を変化させることで最適な試験条件に設定し, トランジェントパルス法およびフローポンプ法を用いて, 試験条件の違いによる流体移動特性について実験的検討を行う.

2. 感度の定義

トランジェントパルス法およびフローポンプ法は上流と下流側の差圧の変化から流体移動特性を評価する試験法である. 透水係数の変化に対する差圧の変化の値は, 得られる透水係数の精度の目安となる. そこで, その差圧の変化を, 透水係数の感度として定義し, 差圧に対する透水係数の偏微分で表す. 透水係数の感度の絶対値が大きいほど, 透水係数の変化により差圧に与える影響が大きくなる. また, 差圧に対する比貯留率の感度についても同様に定義することができる.

透水係数および比貯留率はそのオーダーが問題となることが多いため, 各々のパラメータの対数に対する感度を求める. 透水係数および比貯留率の感度は, それぞれ以下の式で表される.

$$\frac{\partial H_d}{\partial(\ln K)} = K \frac{\partial H_d}{\partial K}, \quad \frac{\partial H_d}{\partial(\ln S_s)} = S_s \frac{\partial H_d}{\partial S_s} \quad (1)$$

ここで, H_d : 無次元差圧, K : 透水係数, S_s : 比貯留率である.

3. 適切な透水試験条件の理論的検討

一次元の多孔質媒体内の流体移動方程式を適切な初期条件および境界条件の下で解くことにより得られる透水試験の解析解¹⁾から透水係数と比貯留率の感度を求め整理すると, 上流側および下流側装置の貯留性と試験体の貯留性の比のみで表すことができる. 以下に, 貯留性の比として表される無次元パラメータ β および γ を示す.

$$\beta = \frac{S_s AL}{S_u}, \quad \gamma = \frac{S_d}{S_u} \quad (2)$$

ここで, A : 試験体断面積, L : 試験体長, S_u, S_d : 上流, 下流側装置の貯留性である.

この無次元パラメータを用いて, 難透過性材料に適用性が高いとされているトランジェントパルス法およびフローポンプ法の適切な試験条件を解析的に評価した結果, トランジェントパルス法から高精度に透水係数と比貯留率を評価するためには, β を可能な限り小さくし, γ を 0.1~1 とすること, つまり上流側装置の貯留性を試験体の貯留性に対して 1~10 倍にし, 下流側装置の貯留性を上流側よりも十分に小さくした条件で試験を行うことが望ましく, また, フローポンプ法では β を可能な限り大きくすること, つまり試験体の貯留性に対して上流側装置の貯留性を可能な限り小さくすることが望ましいことが明らかとなっている²⁾.

解析解の中に含まれる無次元パラメータ β および γ の値に影響を与える要素はいくつかあるが, 本研究では, 装置の貯留性に影響する貯留槽の体積に着目し実験を行う. また, 透水係数および比貯留率の感度は β と γ に依存するため, 貯留槽の体積の値が透水係数および比貯留率の感度に影響する. つまり, 貯留槽の体積を適切に設定することによって, 高精度な透水係数と比貯留率の評価が可能となる.

まず試験条件を設定するため, 不透水のステンレス製のダミー供試体を用いて一定流量の注入を行い, 圧力の上昇を測定し各貯留槽の体積に応じた装置の貯留性を求める. その結果から設定した試験条件と, 設定した試験条件に対する各試験法の透水係数および比貯留率の感度の値を Table 1 に示す. トランジェントパルス法では, S_u および S_d の計測結果から設定しうる条件内において, 透水係数および比貯留率の感度が Case 3 から Case 1 の順に比較的高くなる. また, フローポン

ブ法では、2つの感度がCase 1 からCase 3の順に比較的高くなる。

4. 感度の実験的検討

試験体に相浦砂岩(直径: 50 mm, 長さ: 100 mm)を用い, トランジェントパルス法およびフローポンプ法による透水試験を行う。貯留槽の体積以外の試験条件は, 拘束圧を 10 MPa, 間隙水圧を 0.5 MPa とする。そして, 各貯留槽の条件につき 4 回ずつ試験を行う。各試験法の透水係数および比貯留率の測定結果を Fig. 1 に示す。

トランジェントパルス法の測定結果より, 透水係数および比貯留率の感度が比較的高い Case 1 において Fig. 1 に示すように, 標準偏差が設定した試験条件の中で最も小さく, 両者を高精度に評価できている。同様に, フローポンプ法では, 透水係数および比貯留率の感度が比較的高い Case 3 において標準偏差の値が最も小さく, 両者を高精度に評価できている。

また, トランジェントパルス法で感度が比較的高い条件の Case 1 と, フローポンプ法で感度が比較的高い条件の Case 3 で評価された透水係数の差が最も小さくなっており, 感度が高い条件では2つの試験法から透水係数を高精度に評価できている。

特に, 高精度な流体移動特性の評価を行うためには, 流体移動特性の評価に大きく影響を及ぼす装置の貯留性を高精度に求めておくことが重要である。

5. まとめ

本研究では, 難透過性材料の流体移動特性を高精度に評価するため, 各貯留槽の体積に応じた装置の貯留性を求め, 貯留性の比として表される無次元パラメータから流体移動特性の感度の比較的高い試験条件を設定し, その実験的検討を行った。その結果, 感度が高い条件では, トランジェントパルス法およびフローポンプ法の両方で透水係数, 比貯留率のばらつきが少なくなり高精度に評価された。また, 感度の比較的高い条件において2つの試験法から評価される透水係数のばらつきが小さくなった。以上のように, 高精度な流体移動特性の評価を行うためには, 流体移動特性の評

価に大きな影響を及ぼす装置の貯留性を高精度に求めた上で, 適切な試験条件を設定することが重要である。

参考文献

- 1) Zhang *et al.*: Evaluation and Application of the Transient Pulse Technique for Determining the Hydraulic Properties of Low Permeability Rocks Part 1: Theoretical Evaluation, *Geotechnical Testing Journal* Vol. 23, No. 1, pp. 83-90, 2000.
- 2) 山下 貴士 ほか: 難透過性材料の適切な透水試験条件の検討, 日本岩盤工学シンポジウム論文集, No.28, pp.75-80, 2007.

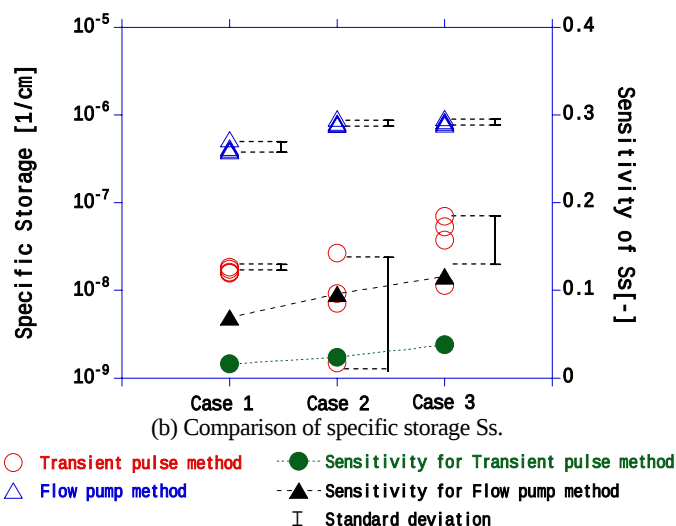
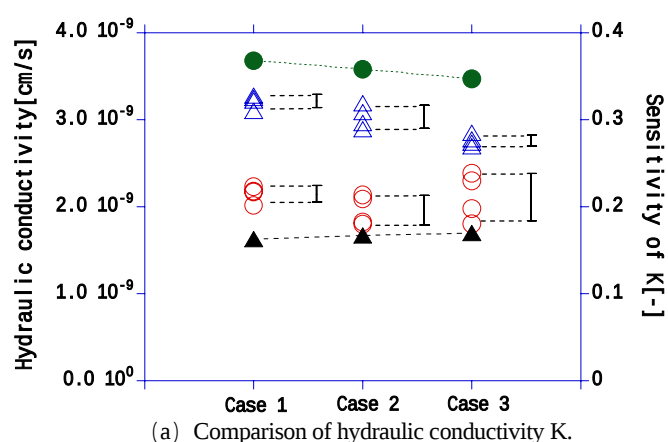


Fig. 1 Result of Hydraulic conductivity and Specific storage.

Table 1 Test conditions of sensitivity and values of sensitivity.

	Upper		Down		Sensitivity for T.P. method		Sensitivity for F.P. method	
	Vol. [ml]	S_u [cm ²]	Vol. [ml]	S_d [cm ²]	Sens. K [-]	Sens. S_s [-]	Sens. K [-]	Sens. S_s [-]
Case 1	100	3.13E-05	0.5	1.40E-05	0.368	0.038	0.163	0.069
Case 2	50	1.89E-05	50	1.50E-05	0.358	0.024	0.167	0.096
Case 3	0.5	1.35E-05	100	1.99E-05	0.347	0.016	0.170	0.116