

難透過性岩盤を対象とした透水・透気試験システムの開発

九州大学工学部 学生会員 ○ 秦 将之 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 藤吉 秀彰

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などその隔離性、密閉性などの地下の特性を利用した地下開発が数多く計画されている。隔離性を評価するために難透過性岩盤の流体移動特性を高精度に求めることは必要不可欠である。しかしながら、非常に小さな透過性を高精度かつ適切な条件下で評価する技術は、まだ確立されていない。

本研究では、地下深部における高い拘束圧や偏差応力条件下で 10^{-7} cm/s 以下の透水係数を精度よく測定できる透水・透気試験システムを新たに開発してその適用性を確認する。

2. 新しい透水・透気試験システムの改良点

今回、開発した試験システムは張ら¹⁾が開発したものにさらに改良を加えたものである。張らの試験システムでは等方圧縮応力状態で透水・透気試験を実施でき 10^{-7} cm/s 以下の透水係数まで計測することが可能である。

また透水・透気試験システムにおいて温度の正確な計測・制御は必要不可欠である。具体的には温度が正確に制御・計測できなければ、透水・透気試験において以下の点が問題となる。

- ・ トランジェントパルス法、フローポンプ法において容器と水との膨張率及び圧縮率は異なるため温度変化により容器中の水圧が変動する。そのため、計測項目である差圧に誤差が生じる。
- ・ 透気試験を行う場合、気体は液体と比べ粘性が2オーダー以上も大きいため、わずかな温度変化が正確な透気特性計測に影響を及ぼす。

平城ら³⁾は過去に張らと同一の試験システムの作製を行い高精度な計測に成功した。しかし、常に恒温状態を維持することが困難であり、温度変化の比較的小さな時間帯を選んで実験を行う必要があった。そこで、正確な温度の計測・制御のために装置および恒温室の改良を行う。

さらに、装置の高度化のために以下の点についても改良を加える。

- ・ 透過特性が応力に依存することはよく知られており、原位置の状況を再現した高精度な計測を行うには、その応力条件を適切に制御して試験を行うことが望ましい。そこで任意の偏差応力下でも試験を行えるようにする。
- ・ 非定常状態における流体移動は、透水係数だけではなく貯留係数にも支配される。貯留係数は岩石の弾性係数などによって定義されるため²⁾、応力の変化にともなう試験時の変形量を把握することは重要となる。そこで、試験体に発生するひずみを正確に測定できるようにする。

前者については拘束圧発生装置および圧力容器の改良を行う。後者についてはひずみを測定できるよう圧力容器および計測システムを改良する。

3. 試験装置の概要

開発した試験装置の概略図を Fig.1 に示す。

圧力容器は大深度地下における高圧の拘束圧まで再現可能にするため設計耐用圧 100MPa である。

試験時の拘束圧発生装置として、シリンジポンプC、Dを用いる。軸圧は、三軸試験容器の底部のピストンをシリンジポンプCを用いて上下させることによって载荷する。側圧はシリンジポンプDを用いて油圧により载荷する。透気試験用の注入圧力の制御には、シリンジポンプA、Bとコンプレッサーを用いることによ

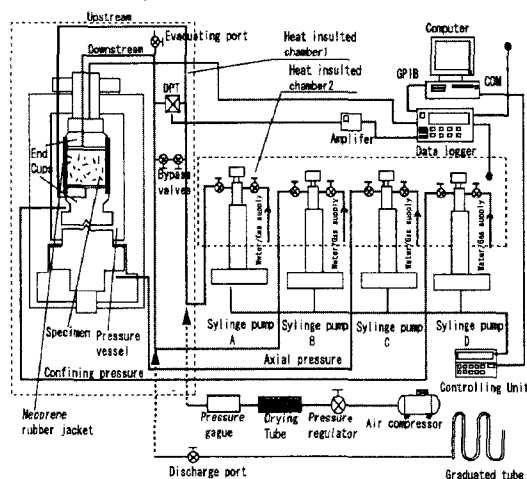


Fig.1 Schematic view of test system.

り、注入圧を 0.980~980 kPa の範囲内で任意に制御することができる。透気試験時には、注入するガスの湿気を取り除くために、シリカゲルを用いたガス乾燥装置を通過させたガスを試験には使用する。

流入・流出ガスおよび水の温度と環境温度の監視センサーには $\pm 0.1^\circ\text{C}$ の精度で計測できる白金測温抵抗体を用いる。また試験室の温度変化の原因としては、外気温の変化によるものと計測機器等の発生する熱によるものが考えられる。そこで全ての装置を恒温室内に設置し、静水圧型三軸容器、シリンジポンプ(操作部以外)は断熱材で覆い、壁と床にも断熱材を用いる。

さらに試験中の試験体の変形を計測するために試験体の側面に直角 90° 方向でそれぞれ縦・横方向にひずみゲージを貼付し、ペダスタルとともにゴムスリーブで覆う。ひずみゲージのリード線を出すため、ゴムスリーブの2箇所穴を開け、その上から硬化剤を塗って穴を塞ぐ。またリード線は銅線を介して計測・記録装置に接続される。銅線は三軸試験容器の蓋を貫通させ、側圧用の油が漏れてこないようシールする。ゴムスリーブの接点、ひずみゲージ用に開けた穴および試験体と上流・下流側をつなぐボルトの上からもさらにシリコンを塗布し、十分乾かした後に三軸容器に設置する。

圧力、温度およびシリンジポンプの流量の出力はデータロガーを経由し GPIB インターフェイスより同一コンピュータに転送される。この計測システムにより必要な計測物理量を任意の時間間隔で記録できる。

4. 試験装置の適用性の確認

Fig.2 に出力された体積ひずみと透水係数の関係の一例を示す。この図に示すように体積ひずみが増加するとともに透水係数が小さくなる傾向を確認した。

次に新しく開発した試験装置で固有浸透率を計測し 10^{-7}cm/s 以下の透水係数が算出できることを確認するために、圧力制御法による透気試験を実施する。試験は試験体の一端にガス圧を加え他端から流出するガスの流出量を計測チューブ内のマノメータオイルの動きから計測する。応力条件は側圧をそれぞれ 1, 5, 10, 20MPa で軸差応力を 5MPa ずつ 30MPa まで多段階的に増加させる。Fig.3 に圧力制御法による透気試験を行い、得られた固有浸透率から透水係数を求めた結果として、偏差応力の違いによる透水係数の変化を示す。このとき試験中の温度変化は上流側、下流側とも

に $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 以内に制御でき、試験体上端部における圧力も完全に制御することができた。また圧力制御法によって計測された固有浸透率から算出された透水係数は、拘束圧が増加するに従って減少した。これは軸圧を載荷すると試験体の内部空隙が圧縮されガスの経路が狭まるため透過性が低下したためだと考えられる。

5. まとめ

新たに開発した装置では高精度に温度を制御・計測でき、軸差応力を試験体に与えた条件下で試験体上端部の圧力も一定に保つことができた。また透過試験と同時にひずみを計測し、体積ひずみが増加するとともに透水係数が小さくなることを示した。さらに実際に多段階に拘束圧・軸差応力を変化させて試験を行い、 10^{-7}cm/s 以下の透水係数を高精度に計測できることを確認した。

参考文献

- 1) 張 銘他：透水性岩盤材料を対象とした高精度汎用室内透水試験システムの開発、応用地質、第 43 巻、第 2 号、pp.83-91, 2002.
- 2) 徳永明祥：貯留係数に関する一、二の議論、応用地質、第 39 巻、第 5 号、pp.475-479, 1998.
- 3) 平城直子他：岩の流体移動特性に関する高精度評価技術の開発、土木学会西部支部研究発表会講演概要集、pp.454-455, 2000.

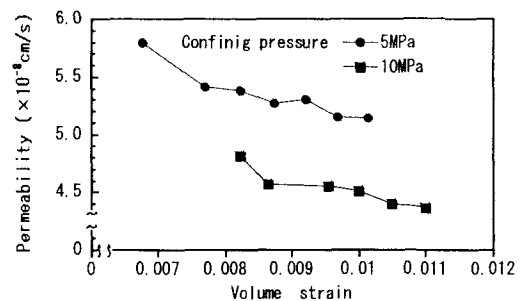


Fig.2 Permeability related to volume strain.

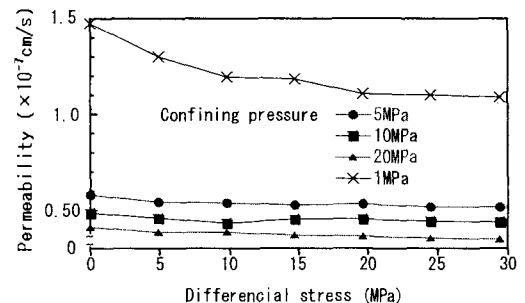


Fig.3 Permeability variation with confining pressure.