

岩の流体移動特性に関する高精度評価技術の開発

九州大学工学部 学生員○平城 直子 九州大学大学院 正会員 江崎 哲郎
九州大学大学院 学生員 水原 道法 地質調査所環境地質部 張 銘

1. はじめに

岩盤の遮蔽性・隔離性を活用した地下施設（各種地下貯蔵や廃棄物の地層処分等）の設計及び安全性評価を行なう際には、天然バリアとして使用される岩盤材料中の流体移動特性を正確に評価することが不可欠である。しかしこの様な岩の流体移動特性に関する研究や実施例は少なく、透気試験法に関してはその基準となる試験法も確立されていないのが現状である。

これまでに透水試験法に関しては、各種室内試験法の難透水性地盤材料への適用性を検証してきており、フローポンプ法及びトランジェントパルス法の有効性を確認している¹⁾。また、透気試験法については高精度試験法の提案を目指し、圧力制御法及び流量制御法に関する研究を進めている²⁾。

本研究では、様々な試験条件下で比較的低い透気係数を評価できる圧力制御法の試験装置を開発し、花崗岩を対象に透気実験を行う。また、同様の試験体に対しトランジェントパルス法による透水実験を行い、その結果と透気実験により得られた結果を比較し圧力制御法の信頼性を検証する。

2. 透気特性の評価法について

透気試験法には基本的に流量制御及び圧力制御による二種類の方法がある³⁾。圧力制御法は供試体の一端に一定のガス圧を加え、他端から流出するガスの流出量を計測することにより透気係数を求めるものである。一方、流量制御法は供試体の一端に一定流量でガスを注入し、これに起因して発生する供試体両端間の差圧を計測することにより透気係数を調べるものである。気体は液体と比べ熱伝導率が2オーダー以上大きいため、高精度な透気係数の測定には供試体を通ずる気体の温度を正確に制御、計測しなくてはならない。本研究では、試験中の気体の温度を比較的容易に制御、計測でき、試験も比較的短時間で行うことができる圧力制御法を使用した。圧縮性を考慮した等温条件下における定圧透気試験の基本方程式及び解を以下に示す⁴⁾。

$$\frac{\partial^2 p^2}{\partial z^2} - \frac{2\lambda\mu_g}{K} \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad (1) \quad K = \frac{2Q_g\mu_g p_a}{A} \frac{l}{p_0^2 - p_1^2} \quad (2)$$

ここで、 p :絶対圧力(Pa) z :気体注入側の供試体端面からの軸方向の距離(m) λ :供試体の間隙率(%) μ_g :ガスの粘度(Pa·s) K :透気係数(m²) t :時間(s) Q :大気圧状態における流出量(m³/s) p_a :大気圧(Pa) A :供試体の断面積(m²) l :供試体の長さ(m) p_0, p_1 : $z=0$ (ガス流入側) 及び $z=l$ (ガス流出側) における絶対圧力(Pa)

3. 実験概要

(1) 実験装置

本研究で用いた透水・透気試験装置の概要をFig.1に示す。大別すると供試体をセットする三軸試験容器、拘束圧発生装置（シリンジポンプC）、温度センサー、透気試験のためのコンプレッサー、ガス圧制御装置及びガス流出量計測チューブ、透水試験のためのシリンジポンプA、B、貯留槽及びデータ収録・監視装置から構成される。透気試験・透水試験において、試験中の温度を一定に保ち、また正確に制御するために全ての装置は恒温室内に置かれる。シリンジポンプは6.9kPaの精度で圧力を制御することができる。また、透気試験においてガス圧力制御装置は0.07Paの精度を持つものを使用し、

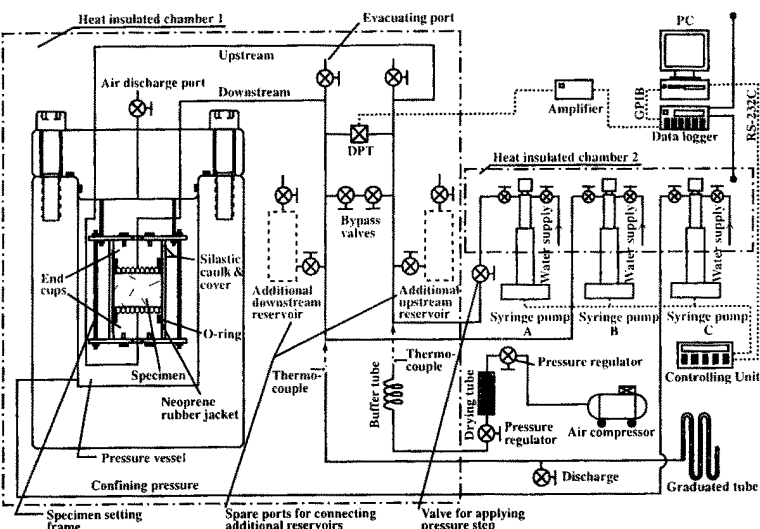


Fig.1 Schematic of the water/gas permeability test system for rocks.

さらにガスの流出量を正確に計測するためにガス流出量計測チューブは高精度水準器を用い、水平に設置される。

(2) 供試体

実験に用いた供試体は稲田花崗岩であり、透気試験において流量の計測を容易にするために以前の研究²⁾に比べ断面積の大きな、直径 100mm、高さ 25mm のものを用いた。また、その異方性を考慮して、供試体の軸方向が Grain plane 及び Hardway plane に垂直となるものの二種類の供試体を用いた。透気試験においては 105℃ で 24 時間以上乾燥させたものを用いた。

(3) 実験手順

透気試験の実験条件を Table 1 に示す。透気試験では供試体をゴムスリーブで被覆し、三軸試験容器にセットする。拘束圧を約 1MPa から 700MPa まで段階的に加え、各段階において供試体の一端に 100kPa、150kPa、200kPa の圧力で気体を注入し他端からの流出量をガス流出量計測チューブのマノメーターの移動によって計測した。透気係数は定常状態の差圧及びガス流量を用い式(2)より算出した。

4. 結果及び考察

Fig.2 に試験中の流入、流出ガスの温度と供試体のガス流入側端部における圧力の計測結果の一例を示す。この結果より、流入、流出ガスの温度は試験中を通しほぼ等しく一定に保たれており、流入端におけるガス圧は試験中を通して一定に制御されていると判断できる。

Fig.3 に同一供試体で流入端におけるガス圧の異なる試験結果の一例を示す。理論的には、気体流が層流であるならばガス圧が変化しても透気係数は変化しない。しかし実験結果より、等しい拘束圧条件下では、ガス圧の増加に伴い透気係数はわずかに減少する。これは乱流による影響を受けたためと考えられる。

Fig.4 に 2 通りの供試体条件下で得られた拘束圧と透気係数の関係を示す。ここで各拘束圧条件における透気係数は最も低いガス圧条件下で得られた値である。また、同じ場所から採取した稲田花崗岩のトランジェントパルス試験の結果も同図に記載する。これより、拘束圧の増加に伴って透気及び透水係数は単調に減少する傾向が認められる。これは供試体内の空隙が圧縮され、流体の移動経路が収縮されたためと考えられる。また、圧力制御による透気試験はトランジェントパルス法による透水試験とはほぼ等しい結果が得られることがわかる。

5. 結論

開発した試験装置により、試験中の流入、流出ガスを高精度に制御、計測することが可能となった。定常状態における差圧及びガス流出量も正確に計測することが可能である。また、トランジェントパルス透水試験法との比較実験から、開発した試験装置により比較的精度良く透気実験が行なえることが実証された。

参考文献

- 1) 高橋 学・張 銘・江崎哲郎・坂井健太郎：応用地質，第 39 巻，第 3 号，pp.315-pp.321，1998。
- 2) 水原道法・江崎哲郎・竹田幹郎・張 銘・高橋 学：土木学会西部支部概要集，III-121，pp.576-577，1999。
- 3) Eischens, G. and Swanson, A.: Geotechnical Testing Journal, Vol.19, No.2, pp232-238, 1996。

Table 1 Conditions for the gas permeability test

Test No.	Direction	Confining pressure (MPa)	Entrance pressure (kPa)
Gas-G	Perpendicular to grain plane	1,2,3,4,5,10,20,30,40,50,60,70	100,150,200
Gas-H	Perpendicular to hardway plane	1,2,3,4,5,10,20,30,40,50,60,70	100,150,200

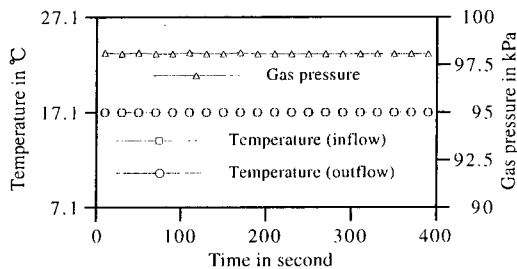


Fig.2 Gas pressure and temperature

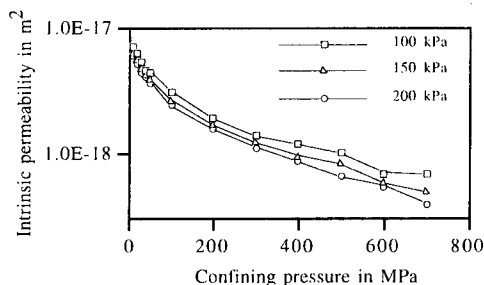


Fig.3 Gas permeability with various confining pressure

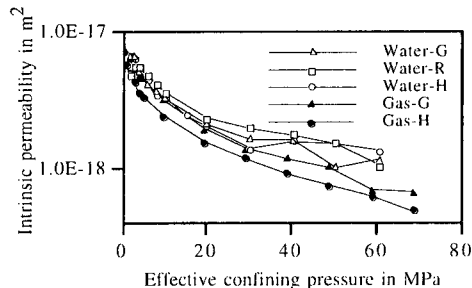


Fig.4 Comparison between the gas and water permeabilities of Inada granite