

岩を対象とした新しい透気試験法に関する研究

九州大学 学生員○竹田幹郎 正 員 江崎哲郎
学生員 坂井健太郎
地質調査所 正 員 張 銘 高橋 学

1. 緒言

近年、LPGの地下貯蔵やCAES等のような地下空間利用が注目されている。これらの施設の設計及び安全性評価を行うには、地下における岩盤の気体に対する隔離性能を高精度に評価することが必要不可欠である。しかし、その代表的な手法である透気試験法についてはその基準がまだ確立されておらず、実験例も少ないのが現状である。そこで本研究では地圧条件を再現できる三軸容器を用いた透気試験装置を設計・製作し、それを用いて拘束圧、透気圧、及び飽和度などが岩の透気特性に及ぼす影響を明らかにするとともに高精度の試験法の提案を目指す。

2. 室内透気試験法について

透気試験法には基本的に流量制御及び圧力制御による2種類の方法がある。圧力制御法は試験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量を計測する事により透気係数を求めるものである。一方、流量制御法は試験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試験体両端間の差圧を計測することにより透気特性を調べるものである¹⁾。前者の試験装置が比較的簡単であるため本研究では基礎的段階としてこの試験法を用いる。

3. 定圧透気試験の解析理論

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²⁾。

$$\frac{\partial^2 p^2}{\partial z^2} - \frac{2\lambda\mu_g}{K} \frac{\partial p}{\partial t} = 0 \quad \cdots (1)$$

$$K = \frac{2Q_g\mu_g p_a}{A} \frac{l}{p_0^2 - p_i^2} \quad \cdots (2)$$

ここで、p: 絶対圧力(Pa) z: ガス注入側の試験体端面からの軸方向の距離(m) λ: 試験体の間隙率(%) μ_g: ガスの粘度(Pa・s) K: 透気係数(m²) t: 時間(s) Q_g: 大気圧状態における流出量(m³/s) p_a: 大気圧(Pa) A: 試験体の断面積(m²) l: 試験体の長さ(m) p₀, p_i: 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)

4. 実験概要

実験装置 本研究で試作した実験装置の概要をFig.1に示す。大別すると、周圧型の三軸圧縮容器、コンプレッサ、ガス圧制御装置、拘束圧発生装置、流量計測用目盛り付チューブ、及び計測記録装置などから構成されている。
試験体及び実験条件 本研究に用いた試験体は直径50mm、高さ25mmに整形した円柱形白浜砂岩である。また、今回行った試験条件をTable 1に示す。なお、試験体の飽和度は2通りあり、乾燥炉によって105℃で24時間以上乾燥させたものと試験室内で1週間以上自然乾燥したものである。Table.1に示したものは実験直前に計測した試験体の飽和度である。

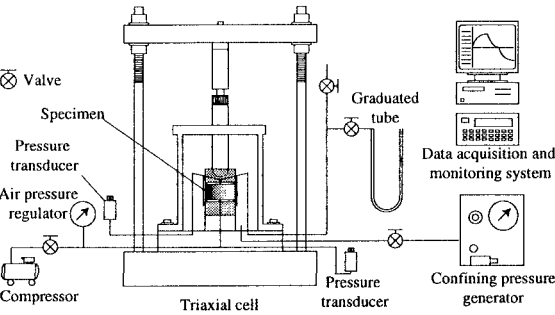


Fig.1 Schematic of gas permeability test system.

Table 1 Conditions for the gas permeability test.

Degree of saturation (%)	Confining pressure (kgf/cm ²)	Gas permeating pressure (kgf/cm ²)				
0 (Dry)	10	0.25	0.50	0.75	1.00	
	20	0.25	0.50	0.75	1.00	
	30	0.25	0.50	0.75	1.00	
5	10	0.25	0.50	0.75	1.00	
	20	0.25	0.50	0.75	1.00	
	30	0.25	0.50	0.75	1.00	

実験手順 実験はまず所定の飽和度に設定した試験体をゴムスリーブで被覆し、三軸圧縮容器にセットする。次に10kgf/cm²の拘束圧を加え、試験体の一端にガス圧を加え他端からのガス流出量をチューブ内のマンノメータオイルの移動によって計測する。ガス圧は0.25kgf/cm²から1.00kgf/cm²まで0.25kgf/cm²ずつ段階的に増加させ、各段階において明確な定常状態を確認するとともに、流量の計測精度を向上させるため計測を十分な時間で行う。

5. 結果及び考察

Fig.2にガス流出量の経時的な変化の一例を示す。ガス流出量はいずれの場合でも約50秒以内で定常状態に達していると判断できるが、その計測値はガス圧の増加に伴いばらつきが大きくなる傾向にある。これはガス流出量計測用チューブの径が小さく、マンノメータオイルの速い移動速度を正確に読みとることが難しくなったためであると考えられる。

Fig.3に3つの拘束圧条件下で得られたガス圧及び透気係数の関係を示す。この図に示すように、今回の試験条件下で得られた透気係数の範囲は1.91E-17～4.00E-17 (m²)であった。等しい拘束圧条件下では、ガス圧の増加に伴い、透気係数は単調に減少することが認められた。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、この結果では設定ガス圧が高くなるとともに乱流の影響が顕著になり、透気係数が過小に評価されたと考えられる。また、試験体の飽和度の5%の増加に伴い透気係数が大きく減少する傾向が認められた。これは、不飽和状態での透気係数が水分の存在に極めて敏感であることを示している。

拘束圧が透気係数に及ぼす影響を分析するために、ガス圧が一定の条件下で整理した結果をFig.4に示す。この図より、等しいガス圧条件下では、透気係数は拘束圧の増加に伴い、単調に減少することが認められた。これは拘束圧の増加に伴い試験体内の空隙が閉塞され、透気経路が収縮されたためであると考えられる。

6. 結言

本研究では三軸圧縮容器を用いた定圧透気試験装置を試作した。それをを用い拘束圧、透気圧及び飽和度が白浜砂岩の透気特性に及ぼす影響を明らかにするため基礎的な試験を行った。この研究において設定した拘束圧、透気圧及び飽和度のそれぞれの増加によって透気係数が大きく減少する傾向にあることが認められた。

今後は高い拘束圧に耐えられる試験装置を開発し、それをを用い更なる高い拘束圧条件下での透気試験を行う。また、広い飽和度条件下でも試験を行い飽和度が岩の透気特性に及ぼす影響を定量的に評価する。更にガス圧の変化領域を広く設定し、気体の層流及び乱流の発生条件について更なる詳細な検討を行う。

これらの系統的な研究より岩における気体の移行メカニズムを明らかにするとともに透気試験に影響を与える主要因を考慮した解析理論を確立する予定である。

7. 参考文献

- 1) Eischens, G. et al: Geotechnical Testing Journal Vol. 19, No. 2 1996, pp.232-238
- 2) Bloomfield, J.P. et al: Quarterly Journal of Engineering Geology Vol. 28, pp.143-150

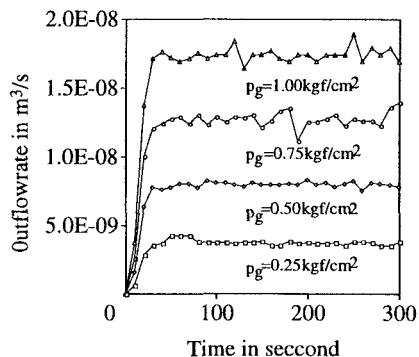


Fig.2 Outflowrate versus time curves.

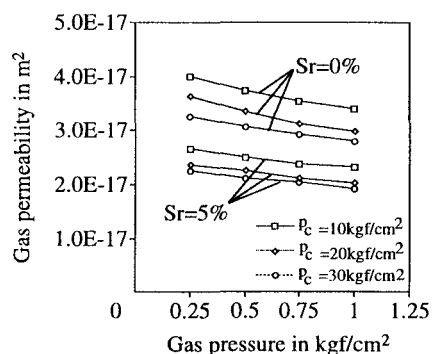


Fig.3 Gas permeability at various conditions.

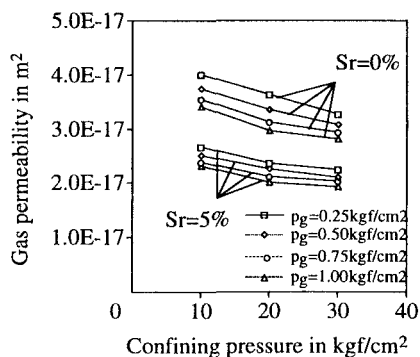


Fig.4 Gas permeability variation with confining pressure.