

難透水性岩を対象とした透水試験法について

九州大学工学部 正 員 江崎哲郎

九州大学工学部 学生員 張 銘

九州大学工学部 学生員 竹下昭博

九州大学工学部 学生員○坂井健太郎

1. 緒言

近年、石油、液化天然ガス等のエネルギー施設や高レベル放射性廃棄物の処分施設等の、岩盤の隔離性を利用した構造物を建設する際に、岩盤の力学的性質と同時に、岩盤の透水特性を正確に把握することが施設の設計のみならず、特に施設の機能の長期的な評価や環境の見地からみても必要不可欠となっている。しかし、対象となる岩盤の透水係数は極めて小さいため、通常の透水試験法による計測が非常に困難となり、また、その結果の信頼性にも疑問がある。本研究では、難透水性岩盤材料を対象とし、各種既存透水試験方法を比較・検討し、低動水勾配かつ短時間で透水試験を行える試験方法を提案する。そして、難透水性花崗岩供試体を用いた実験結果より、提案した透水試験法の実用性及び有効性を検証する。

2. 透水試験法の選定

室内透水試験の一つとして、三軸容器を用いた高压の定水位法があるが、この方法にはいくつかの問題点がある。まず、岩盤にかかる原位置での動水勾配と比較して、著しく大きな動水勾配のもとでの試験となるため、試験体中の水の流れが乱流状態となることがあげられる。次に、ごく微量な流量を測定しなければならないため、計測精度の問題が生じる。更に、低い動水勾配のもとで試験を行うと流量がいつそう小さくなるため、試験に、より長時間を要することとなり、それにともなう種々の誤差が生じやすいことである。また、 10^{-12} (m/s) 程度の透水係数まで測定が可能とされるトランジェントパルス法があるが、この方法は試験体の空隙と透水加压容器の容量の関係が適当でないと精度が劣る。更に、試験体に急激に高い動水勾配を与えなければならないという問題もある。

本研究では、難透水性材料を対象として著者らが開発を進めてきたり、低い動水勾配のもとで比較的短時間で透水係数を計測できる、フローポンプ法を使用し、実験装置の試作及び難透水性岩の花崗岩の透水試験を試みる。

3. フローポンプ透水試験法

フローポンプ透水試験法は、シリンダーのピストン速度を超低速で制御できるアクチュエーターによって、供試体の一端に微量な一定の流量（単位時間当たり一定の流出量）を注入（または吸引）し、これに起因して生じる供試体の両端の水頭差を高精度の差圧計で測定し、ダルシーの

法則を用い、供試体の断面積、高さとその水頭差の値より、透水係数を求めるものである。

フローポンプ法の利点を挙げると以下の通りである。

- 1) 直接に流量を計測する必要がなく、計測が迅速に行えるので、温度変化による影響を最小限にできる。
- 2) 動水勾配が小さい状態で試験が行えるため乱流が発生しにくく、実際の地下水流に近い状態での透水係数の計測ができる。
- 3) 定水位法や変水位法では、難透水性の場合透水試験を開始してから定常に至るまでかなりの時間を要するが、フローポンプ法では比較的短時間で定常状態となる。
- 4) フローポンプ法では、供試体両端部の差圧を高性能差圧計を用いて出力し、連続的にモニターできるため、非定常と定常時の圧力差を明確に区別できる。
- 5) 非定常の解析理論の確立により、更に低い動水勾配及び短時間で透水係数を求められる。

4. 実験概要

(1) 供試体

本研究で使用した供試体は、地質構造の安定した地域にあって低透水性であり、しかも広範囲に分布し既に多くの測定実績を有する稲田花崗岩（有効間隙率約0.6%）を、円柱形で $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ に整形したものである。又、あらかじめ飽和状態にするため供試体を水浸減圧容器に入れ、真空ポンプで12時間脱気した。

(2) 実験装置

本研究で試作した実験装置をFig.1に示す。大別すると、周圧型の三軸圧縮容器、フローポンプ透水試験装置、周圧発生装置、蓄圧容器、計測記録装置などである。

(3) 実験手順

供試体をゴムスリーブで被覆し、シリコンゴムで上塗りする。乾燥させた後、三軸圧縮容器にセットし周圧を加える。

本来フローポンプ試験法では、まず周圧で拘束された試験体の底部に連結されたフローポンプから一定流量で水を注入させ（Upward flow）、差圧が一定になるのを待ってフローポンプを停止する（Zero flow）。更に差圧が一定に至れば、フローポンプによって注入過程と同じ流量で水を吸引し（Downward flow）、各過程で試験体の全長に生

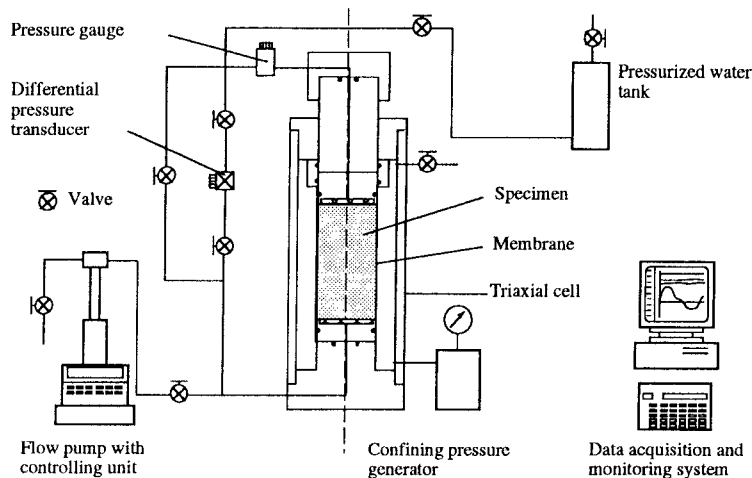


Fig. 1 Schematic of permeability test system for extremely low permeability rocks with constant flow-pump

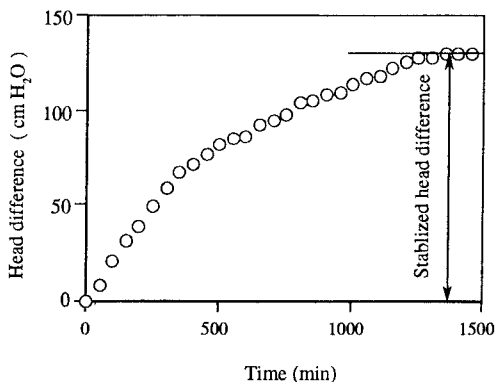


Fig. 2 The time-dependent variation of the induced head-difference for Inada-granite

じる水頭差を一定の時間間隔で自動的に監視・計測する。しかし、注入と吸引の過程での透水係数はほぼ等しいことから、計測時間を短縮するため、今回は注入過程のみで透水係数を算出する。

5. 結果および考察

Fig.2に実験結果を示す。実験条件は周圧が10MPa、供試体に注入した流量が0.00001 (ml/min)である。水頭差が一定に至るまでに要する時間とその水頭差は、およそ1400分と129.8cmH₂Oであり、透水係数は 6.54×10^{-12} (m/s)となった。この結果より、フローポンプ透水試験法が、透水係数の 10^{-12} (m/s)のオーダーの材料の透水性を低動水

勾配 (< 15) かつ比較的短時間で計測できることが確認された。

6. 結言

本研究では、自然岩盤材料の隔離性を利用した将来の地下空間の有効利用や、核廃棄物の処分の際、各種施設の長期的安全設計に必要となる難透水性岩盤材料の透水性を評価するため、フローポンプ法を使用し、実験装置の試作及び花崗岩を用いた透水試験を行い、その実用性を示した。現在更に理論的検証、およびトランジェントパルス法との比較を進めている。

今後は、花崗岩の異方性や難透水性不連続面を持つ岩盤、また、原位置の岩盤における間隙水圧を考慮した花崗岩の透水性の評価を行う予定である。

謝辞

本研究に関し御協力を頂いた地質調査所の高橋学氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) M. Zhang et al : Permeability Variation of Bentonite-Sand Mixture due to Shear Strain, Scientific Basis for Nuclear Waste Management XVIII, Materials Research Society Symposium Proceeding, Vol.353, pp.261-268.
- 2) M. Zhang et al : Rigorous Theoretical Analysis of a Flow Pump Permeability Test, Geotech. Testing Journal, 投稿中
- 3) 高橋学他：稲田花崗岩の透水係数に及ぼす封圧、間隙水圧の影響について、応用地質、vol.31,no.3,pp.1-10