

清水建設(株) 大崎研究室 正会員 ○ 奥野哲夫
清水建設(株) 技術研究所 斎藤 章

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設では、百年以上にもわたる周辺岩盤の浸透流を予測することが必要とされている。このような長期間の浸透問題では、透水性が低いと考えられている岩質材料内の浸透流も問題となってくる。

このような透水性の低い岩石を対象とした室内透水試験では、トランジェント法(変水位法)が極めて有効な方法であることが報告されている¹⁾。著者らも2種類のトランジェント法について検討を加えた結果、透水性の低い岩石で極めて短時間に測定が行え、目詰まり現象を生じる可能性も少ないことがわかった²⁾。今回はさらに透水性の低い岩石を対象として、トランジェント法(Braceらの方法)による透水試験を実施し、岩種による違いと拘束圧の影響を調べたので報告する。

2. 試験方法

トランジェント法を透水性の低い岩石に最初に用いたのはBraceら¹⁾である。この方法は変水位法に属する方法であり、その試験方法の概要は次に示すものである。

図-1に示すように試料両端に体積 V_1, V_2 が既知である圧力容器を設置し、初期状態で各圧力容器内の圧力 P_1, P_2 および試料の間隙水圧 P_p を等しく設定する。時間 $t=0$ において圧力パルス ΔP を V_1 に与えると、時間の経過と共に試料内の動水勾配が変化し圧力伝播が生じる。最終的に P_1 と P_2 が共に P_f に収束するが、この間の圧力と時間の関係から次式を用いて透水係数を求める。

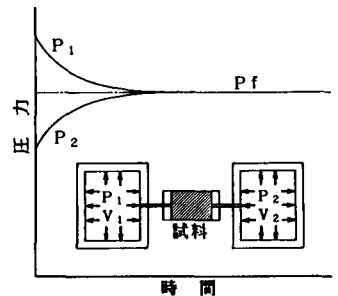


図-1 トランジェント法の概念図

$$P_1 - P_f = \Delta P \frac{V_2}{V_1 + V_2} \exp(-\alpha t)$$

$$\alpha = \frac{KA}{\mu \beta L} \frac{V_1 + V_2}{V_1 V_2}$$

P_1, V_1 : 圧力パルスを与える容器の圧力(kgf/cm²), 体積(cc)

V_2 : 圧力パルスを与えない容器の体積(cc)

P_f : 圧力の収束値(kgf/cm²), ΔP : 圧力パルス(kgf/cm²)

t : 時間(sec),

K : 透水係数(darcy)

μ : 流体の粘性係数(cp),

β : 流体の圧縮率(cm²/kgf)

A : 試料の断面積(cm²),

L : 試料の長さ(cm)

この式は間隙率が十分小さい岩石モデルから求められたもので、測定結果を $P_1 - P_f$ の対数と時間 t の関係でプロットし、その直線の傾き α から透水係数が求められる。

次に試験手順を示すが、試験装置については文献²⁾を参照されたい。試料は三城目安山岩、小松安山岩、稲田花崗岩の3種類を用い、各岩種とも同一の岩石ブロックから同じ方向にコアを抜き、直径約5cm、長さ約10cmに整形したのち含水飽和状態とした。表-1に各岩種の基本的な物理・力学特性を示す。まずゴムスリーブで覆った試料を三軸室にセットし、拘束圧(表-2の条件①)を加える。その直後初期間隙水圧(表-2の条件①)を試料両端に加え試料内部の間隙水圧が一定になるのを待つ。間隙水圧が一定になったのを確認し、一方の貯留槽(圧力容器)に圧力パルスを与え試験を開始する。なお圧力パルスは初期間隙水圧に5 kgf/cm²加えるものとし、使用した水はイオン交換水を脱気したものである。試験が終了した後、同一の試料を表-2に示す各圧力条件に段階的に昇圧し、各条件下で同様に透水試験を実施し拘束圧の影響を調べた。

表-1 岩石試料の物理・力学特性

岩種	密度 (kgf/cm ³)	有効間隙率 (%)	一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (kgf/cm ²)
三城目安山岩	2.14	15.8	806	1.34×10^5
小松安山岩	2.59	5.85	2500	2.05×10^5
稲田花崗岩	2.68	0.82	2040	3.17×10^5

3. 試験結果と考察

試験より得られた測定結果の内、小松安山岩の貯留槽の圧力と時間の関係を図-2に示す。この図より、圧力パルスを与えた後の貯留槽の圧力が時間の経過に伴って平衡状態に達していくのがわかり、他の岩種についても時間的な差はあるが類似した結果が得られている。この結果からP1-Pfの対数と時間の関係をプロットしたものを図-3に示す。図中の直線は、P1-Pfの対数と時間の関係を直線近似したもので、ここではP1-Pfの測定値が初期値(2.5 kgf/cm²)の1/2に低下するまでの値を用いて近似した。この図からP1-Pfが十分小さくなるまで直線関係にあり、Braceらの用いた仮定1)が十分満たされていることがわかる。

以上の直線の傾きから求めた岩石の透水係数と拘束圧の関係を、図-4に示す。この結果から、三城目安山岩、小松安山岩、稲田花崗岩は、それぞれ10⁻⁷、10⁻⁹、10⁻¹⁰cm/secのオーダーの透水係数を示し、2種類の安山岩では拘束圧(有効応力)の影響は少ないことがわかる。また花崗岩では拘束圧の増加に伴ってわずかながら透水係数が低下する傾向が見られる。一般的に花崗岩質岩石にはアスペクト比の小さな(扁平な)クラックが多数存在するため、拘束圧(有効応力)や軸応力の変化が岩石の透水係数に大きく影響すると言われており1)3)、これはそのためと考えられる。

今回の試験とは別に定水位法で求めた三城目安山岩の値とトランジェント法の値はほぼ一致していた。また、各岩種とも試験結果の再現性から考えて、ここで求められた透水係数は妥当な結果と考えられる。

4. 結論

以上の試験結果から次の結論が得られる。

- ① トランジェント法を用いた室内透水試験により、三城目安山岩、小松安山岩、稲田花崗岩の透水係数が、それぞれ10⁻⁷、10⁻⁹、10⁻¹⁰cm/secのオーダーで測定できた。これより、トランジェント法は透水係数の小さな試料に対して有効な方法であることが確認できた。
- ② 有効応力 120 kgf/cm²以下では、三城目安山岩と小松安山岩の透水係数は、拘束圧の影響をほとんど受けない。

参考文献

- 1) Brace W. F. et al., Permeability of granite under high pressure., J. Geophys. Res. 73, 2225-2236, (1968)
- 2) 奥野, 斎藤, 透水性の低い岩石の室内透水試験方法, 第18回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, 381-385, (1986)
- 3) 佐藤, 渡辺, 岩盤の透水性に与える種々のcrack性状の影響, 埼玉大学工学部地盤水理実験施設年報, Vol. 4, 104-118, (1978)

表-2 試験条件

条件	拘束圧 (kgf/cm ²)	初期間隙水圧 (kgf/cm ²)
①	50	20
②	100	40
③	150	60
④	200	80

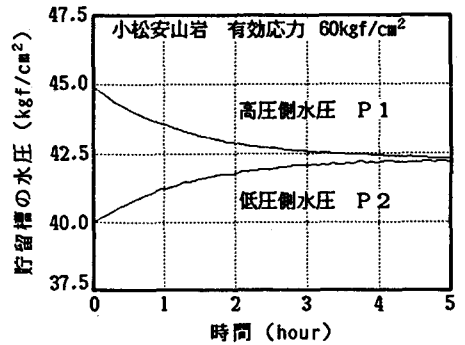


図-2 トランジェント法の測定結果

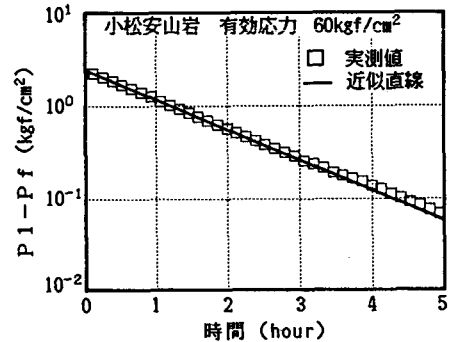


図-3 P1-Pfの対数と時間の関係

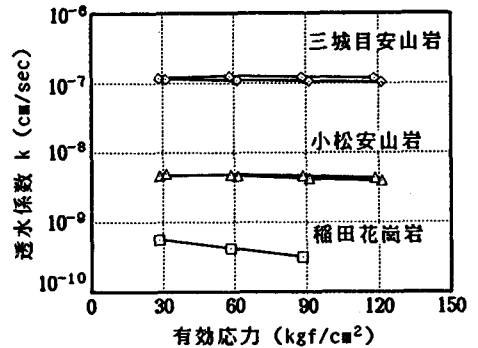


図-4 各岩石の透水係数と拘束圧の関係