

大成建設機技術研究所 青木智幸(正) 里 優(正) 中尾健児(正)

1. 諸言

近年、地熱開発における水圧破碎や地下備蓄施設、あるいは放射性廃棄物の地層処分など、その設計において岩盤の透水性を具体的に評価する必要が生じてきた。また、これらの施設においては高地圧下の透水性が問題となり、さらに、空洞の掘削により空洞近傍の岩盤に偏差応力が加わり、微小破壊が生じて行く過程での透水性の変化や貯留性の変化が問題となってくる。

以上の様な問題に対するアプローチとして、まず、従来の定水位法を用いた場合の等方圧力と透水係数の変化について実験を行なった。次に、極めて短い時間で三軸応力下の岩石の貯留性及び透水性を調べる方法について検討し、二・三の知見を得たのでここに報告する。

2. 定水位法による等方圧力と透水性の変化

本実験で用いた岩石試料は島根県産の来待砂岩で、有効空隙率22.6%、吸水率11.4%、飽和一軸強度 142 kg/cm²である。供試体は直径 5cm、高さ10cmに整形し、純水中で減圧脱気して飽和させた。定水位法による透水係数は(1)式により求められる。

$$K = \frac{q \cdot L}{A \cdot \Delta h} \quad (1)$$

K: 透水係数 (cm/sec)
A: 試料の断面積 (cm²)
L: 試料の長さ (cm)

q: 単位時間当りの流量 (cc/sec)

Δh : 試料両端の圧力水頭差 (cm)

今回は Δh を5 kg/cm² (5000cm)一定とし、等方圧力を多段階に変化させたが、一試料当り連続3日間ほど透水させている。図-1に試験の概念図を、また図-2に実験結果を示す。今回は一般的なポーラスメタルを設けたものについて一本、また、試料両端の水の出入穴一ケのものについて2本の実験を行った。これは、せん断過程における透水性の変化を測定する場合を想定して試みたものであが、透水性が低く水の流れが遅いことや、試料端面の粒子による凹凸のために、ポーラスメタルを設けた場合と測定結果に大きな差異は見られなかった。実験結果を見ると、等方圧力を20~500kg/cm²まで変化させることにより透水係数は約 7×10^{-9} ~ 2×10^{-9} (cm/sec)まで徐々に小さくなるが、オーダーまでは変わらないことがわかる。この透水係数が小さくなる原因は、等方圧力によりクラックや空隙が閉じ、流路が小さくなって行くためと考えられる。

3. 透水性及び貯留性の迅速な測定法の検討

透水性の低い岩石の透水係数の測定法として、Brace¹⁾によるトランジュントパルス法が提案されている。

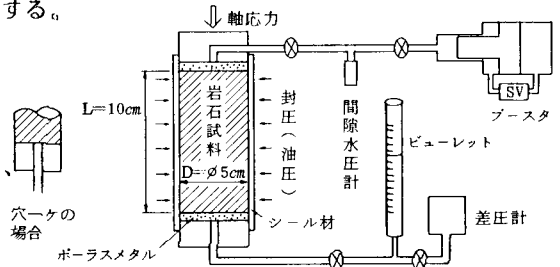


図-1 定水位法による透水試験の概念図

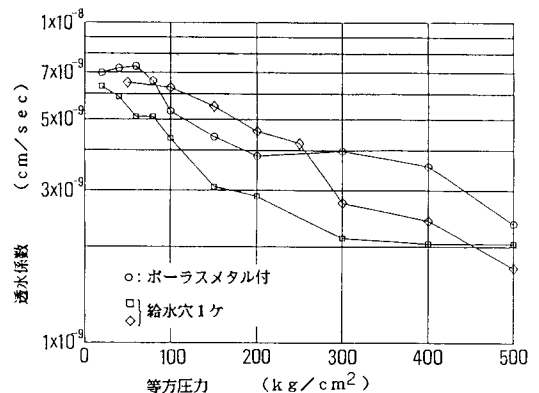


図-2 透水係数と等方圧力との関係(定水位法)

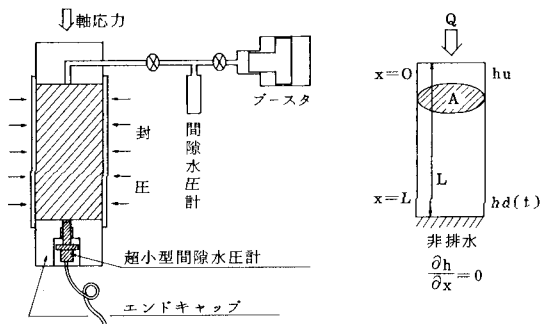


図-3 実験方法の概念図

この方法では、岩石中の水の貯留を無視しており、この仮定によるとパルス的な水圧を加えた際に岩石中の水圧分布は一瞬の内に定常になり直線的な分布をすることになるが、水、岩石及び粒子の体積弾性の差異によってはこの仮定が当てはまらない場合も考えられる。この欠点を補うために、Neuzilら²⁾は貯留を考慮したトランジェント法を提案したが、Neuzilら²⁾や奥野ら³⁾の測定結果を見ると水圧が収束するまでの途中の水圧変化と厳密解との一致の精度が悪い様である。この岩石中の水の貯留に関する議論を明確にするために、本報ではより単純な境界条件による、比貯留係数を積極的に評価した透水係数の測定法を試みた。

本試験法の概念図を図-3に示す。試料の下端には、直径4mmの超小型圧力センサーがエンドキャップに取付けられており、センサーと試料端面との距離は0.5mmである。これは非排水境界と考えられる。試料上端はプースタによりエンドキャップの穴1ヶから水圧が供給される。試験方法は、等方圧力を加えた後、プースタにより間隙水圧を加えて上下端の水圧が一定になった後(この圧力を0とする)、パルスの試料上端の水圧を上昇させてサーボコントロールにより一定に保ち、下端の水圧変化及びプースタの変位から上端の流入量変化を計測する。この場合の試料内の圧力分布は(1)式により表され、境界条件(2)(3)(4)及び初期条件(5)(6)のもとで解くと(7)式が得られる。また、(8)式の関係から試料に流入する流量Qは(9)式で与えられる。(7)(9)式の関係を図-4に示す。同図には、限られた条件ではあるが、測定結果をプロットしてある。図中の比貯留係数は(10)式により求めた。これを見ると、試料上端の流入量の変化も、試料下端の水圧変化も同じ K/S_s で与えられる理論曲線上に乗っており、測定精度の高いことを示している。この K/S_s に(10)式による S_s を乗ずることにより透水係数が求まるが、今回の場合定水位法から求めたものに比べて1オーダー

$$S_s \frac{\partial h}{\partial t} = K \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (x=L) \quad (2)$$

$$h(0, t) = h_u = \text{const.} \quad (x=0, t>0) \quad (3)$$

$$h(L, t) = h_d(t) \quad (4)$$

$$h(x, 0) = 0 \quad (0 \leq x \leq L) \quad (5)$$

$$h(x, \infty) = h_u \quad (0 \leq x \leq L) \quad (6)$$

$$\frac{h_d - h_u}{h_u} = \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ -\frac{2}{n\pi} (1 - \cos n\pi) \cdot \sin \frac{n\pi}{2} \cdot \exp \left[-\frac{n^2 \pi^2}{4L^2} \cdot \frac{K}{S_s} t \right] \right\} \quad (7)$$

$$\frac{dQ}{dt} = -KA \frac{\partial p}{\partial x} \Big|_{x=0} \quad (8)$$

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{4}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{1}{n^2} (1 - \cos n\pi) \cdot \left[1 - \exp \left\{ -\frac{n^2 \pi^2}{4L^2} \cdot \frac{K}{S_s} t \right\} \right] \right\} \quad (9)$$

$$S_s = Q_{\max} / (h_u \cdot A \cdot L) \quad (10)$$

h : 試料内の圧力水頭 (cm)

t : 経過時間 (sec)

S_s : 比貯留係数 (cm^3)

h_u : 試料上端の圧力水頭の増加量 (cm)

h_d : 試料下端の圧力水頭の増加量 (cm)

Q : 試料に流入する累積流量 (cc)

$Q_{\max}$: Qの収束値 (cc)

高い値となった。この原因については現在検

討中であるが、非常に短い時間で透水係数を評価することができ、比貯留係数を正確に求めることができることや、等方圧力や偏差応力(せん断過程)の付加による透水性や貯留性の変化を迅速に測定することができること等の利点が多いため、この測定法の可能性について実験・検討を進めて行く予定である。

参考文献:

- 1) Brace W. F. et. al.; J. Geophys. Res. 73, 2225-2236 (1968)
- 2) Neuzil C. E. et. al.; Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 18, 243-258 (1981)
- 3) 奥野, 他; 第18回岩盤力学シンポジウム講演論文集, 381-385 (1986)

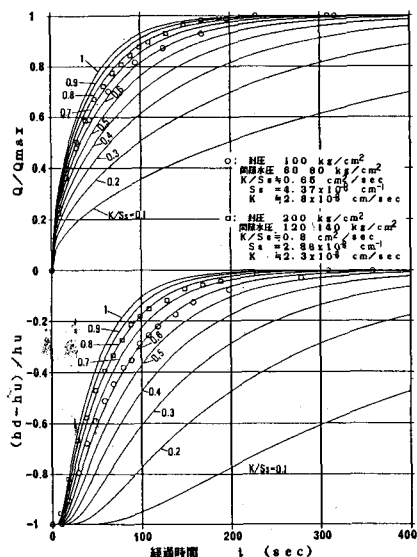


図-4 厳密解(7)(9)及び測定値