

岩質材料の浸透率計測のための簡易透気試験装置の開発

研究者代表 理工学研究科 M2 土井 昭仁

研究の目的

岩盤開発において、人工的な擾乱によるところの多い岩盤の崩壊といった災害を防止するためには、掘削の進行に伴う変位、応力および間隙水圧などの変化は岩盤挙動を予測するうえで非常に重要である。また、間隙水圧分布は物質の浸透性に関係する。ところが、岩石のコアを用い室内で透水係数を求める試験は非常に難しい。本研究では岩盤、すなわち岩質材料の浸透率に着目した。天然の岩盤や人工の材料の透水性や透気性が比較的簡単に得られるための、固体の浸透率を求める簡易透気試験装置を試作して実用化することを目的としている。

研究成果

透水性や透気性は固体の浸透率および固体に浸透させる流体の静粘性係数とで決まるので、何らかの方法で浸透率を測定すればそれがわかる。水の粘性は比較的大きいが、空気の粘性は小さいので、圧力勾配が小さくても浸透速度は比較的大きくなる。そこで、圧縮空気を利用して得られる円筒供試体内外の気圧差に基づく透気試験を行うことによって固体の浸透率を求める装置を試作し、これを用いて実際に、石灰岩の透気試験を以下の手順により行った。また、実験装置と供試体の図も以下に示す。

- ① 石灰岩の岩塊からボーリングマシンにより内径3.09cm、外径4.45cm、長さ4.915cmの円筒供試体を作成する。
- ② 供試体を透気試験のための圧力セル内に設置する。
- ③ 供試体の外側と内側から同じ圧力をかける。
- ④ 外側の圧力 (P_1) を内側の圧力 (P_2) よりも大きくかけたあと系を閉じる。そのあとの供試体内挙動の遷移を観察する。
- ⑤ 観察結果から供試体内の浸透率を求める。

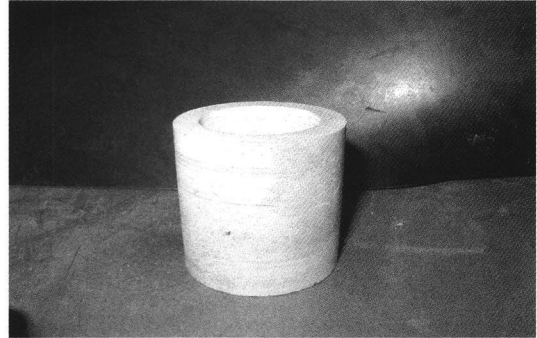


図1 供試体

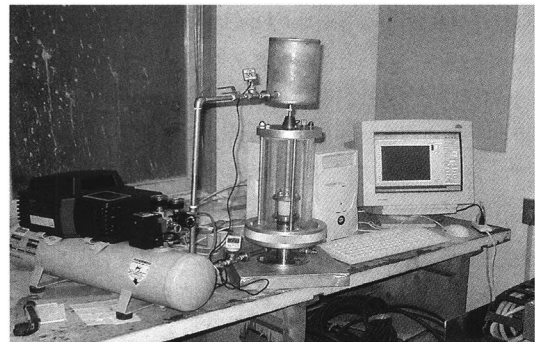


図2 実験装置概観図

この実験を行うことにより得られた圧力-時間曲線を以下に示す。ここでは実験を行ったうちの1つを示す。

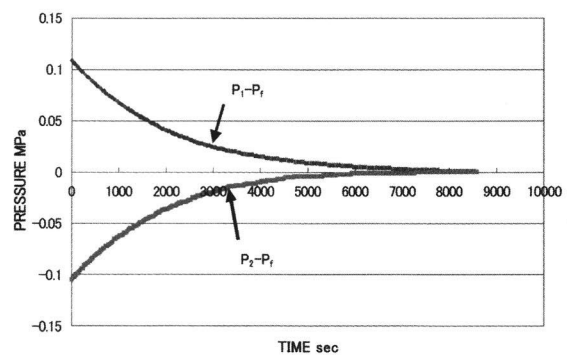


図3 実験により得られた圧力-時間曲線

得られた圧力-時間曲線より次式により透水係数を求めた。

$$(P_1 - P_2) = \Delta P V_2 (V_1 + V_2)^{-1} e^{-\alpha t} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{kA}{\mu \beta L} \frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2}$$

ただし、 k ：浸透率 (m^2)

β ：圧縮率 (Pa^{-1})

μ_a ：空気の静粘性係数 ($Pa \cdot s$)

A ：供試体の断面積 (m^2)

L ：供試体の高さ (m)

V_1 ：供試体外側の体積 (m^3)

V_2 ：供試体内側の体積 (m^3)

P_f ：十分に大きな時間が経過して定常状態となったあとの供試体内外の圧力

$P_f = P_2$ の値 (Pa)

t_e ： ΔP を生じさせたあとの経過時間 (s)

ΔP ：実験開始時の供試体内外の圧力差

$P_1 - P_2$ (Pa)

また、空気の静粘性係数は次式により成り立つ。

$$\mu_a = 1.821 \{1 + 0.00276(\Theta - 15)\} \times 10^{-6} \quad (2)$$

ただし、 Θ ：室温 ($^{\circ}C$)

(1) 式に関係するパラメータの値を表1に示す

表1 用いた物性値

岩種	石灰岩
$A (m^2)$	5.821×10^{-3}
$L (m)$	4.450×10^{-2}
$V_1 (m^3)$	2.897×10^{-3}
$V_2 (m^3)$	2.897×10^{-3}
$\Theta (^{\circ}C)$	9.8
$\mu_a (Pa \cdot s)$	1.832×10^{-5}
$\beta (Pa^{-1})$	1.28×10^{-11}
$P_f (Pa)$	0.227×10^6
$t_e (s)$	8580
$\Delta P (Pa)$	0.214×10^6
$P_1 (Pa)$	0.336×10^6
$P_2 (Pa)$	0.122×10^6

式(1)、(2)より得られた浸透率 k は表2のようになった。

表2 得られた浸透率 k (単位 m^2)

$k_{\text{実験1}}$	4.285×10^{-20}
$k_{\text{実験2}}$	3.376×10^{-21}

得られた浸透率 k より水の静粘性係数を用いることによって透水係数を求めた。表3に求めた透水係数を示す。

表3 得られた透水係数 K 単位 (cm/sec)

$K_{\text{実験1}}$	3.212×10^{-11}
$K_{\text{実験2}}$	2.531×10^{-12}

得られた透水係数を検証するために文献2に記載されている石灰岩の透水係数 $7 \times 10^{-10} \sim 1.2 \times 10^{-7} (cm/sec)$ と比較するとかなり小さめになっていることがわかった。

産業技術への貢献

現状において、円柱形状の岩石を用いて室内で実験を行って透水係数を求めているが、この試験は難しく、規格化は行われていない。また、原位置における透水試験としてルジオン試験がよく知られているが、その高価な試験費用のため容易には実施できない。この透気試験システムの開発により岩質材料の浸透率を簡易に、かつ安価に測定することが可能となる。

また、浸透率を求めておけば、透水係数や透気係数も得られるので、今回は石灰岩についてのみ実験を行ったが、その他の対象とする個体としては岩石だけでなく、耐火煉瓦や種々の建材など、岩質材料の透気性を簡単に計測できることとなり、無機材料や建築の分野の産業に貢献することができる。

参考文献

- 1) W.F.BRACE, J.B.WALSH, AND W.T.FRANGOS :
Permeability of Granite under High Pressure
- 2) 水田義明：演習 岩盤開発設計
- 3) 水田義明：地下環境制御とエキスパートシステム

グループメンバー

氏名	所属	職 (学年)
土井 昭仁	理工・社会建設	M2
岸野 健治	工・社会建設	B4

連絡先

電話 0836-85-9355 (ダイヤルイン)

E-mail: b4457@stu.cc.yamaguchi-u.ac.jp