

III-A 311 クラックテンソルによる花崗岩の透水性の評価

埼玉大学大学院（現 東京電力）正会員 ○ 山崎雅直  
 大林組 技術研究所 正会員 鈴木健一郎  
 埼玉大学 工学部 正会員 小田匡寛

1.はじめに 花崗岩には、微小な割れ目（マイクロクラック）が存在し、そのネットワークにより透水性が確保されている。本報告は、花崗岩を用いて、三次元のクラックテンソルから透水テンソルを推定し、この推定結果と実測結果と比較する事によって、推定精度を検討したものである。

2. 試料と推定方法

供試体は、直径50mm、高さ100mmの円柱に整形し、90°Cの温水中に0, 180, 1030, 2000日間養生した。1000日を超える養生で、供試体中のマイクロクラックは成長し、そのため、透水係数にも著しい変化の起こる事が知られている(Suzuki, et al., 1995)。この花崗岩供試体の三次元のクラックテンソル $F_{ij}$ ,  $P_{ij}$ を、レプリカフィルムに写し取ったマイクロクラックから次の要領で決定した。

(1) レプリカ法(鈴木, 高橋, 1994)により、互いに直交する三断面上のマイクロクラックを写し取り(Fig. 1)、そのトレース長さ $l$ を計測する。Fig. 2のトレース長さ分布データより、その一次、二次のモーメント $\langle l \rangle$ ,  $\langle l^2 \rangle$ を計算する。

(2) 各断面上に、10° 毎計18方向の測線を張る。測線毎に、単位長さ当りのクラックとの交点数 $m(\mathbf{q})$ をカウントする。Fig. 3は、交点数 $m(\mathbf{q})$ を方向 $\mathbf{q}$ 毎に極座標表示したものである。交点数 $m(\mathbf{q})$ は、普通、測線の方向 $\mathbf{q}$ (単位ベクトル)によって変わるが、その変化は、マイクロクラックの単位法線ベクトル $\mathbf{n}$ の分布(密度関数 $E(\mathbf{n})$ )や、また、 $E(\mathbf{n})$ から計算される二階のテンソル $N_{ij} (= \int_{\Omega} n_i n_j E(\mathbf{n}) d\Omega)$ に関係しているはずである。事実、Kanatani(1985)は、それらの関係を厳密に定式化し、その計算法を示した。Kanataniの関係式を使い、2000日養生したものを一例として示せば、 $N_{ij}$ ,  $E(\mathbf{n})$

は次のように表される。

$$N_{ij} = \frac{2}{15} D_{ij} + \frac{1}{3} \delta_{ij} = \begin{pmatrix} 0.38 & -0.03 & 0.04 \\ & 0.17 & -0.02 \\ \text{symm.} & & 0.45 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$E(\mathbf{n}) = \frac{1}{4\pi} (1 + D_{ij} n_i n_j) \quad (2)$$

この場合、Fig. 3の $m(\mathbf{q})$ が方向 $\mathbf{q}$ によらないでほぼ一定値である事からも分かるように、 $N_{ij}$ は、ほぼ等方なテンソルとなっている。

(3) 先に述べたように、 $m(\mathbf{q})$ は、測線の方向 $\mathbf{q}$ に依存している。しかし、 $m(\mathbf{q})$ を方向に関する補正係数 $\langle \mathbf{n} \cdot \mathbf{q} \rangle (= \int_{\Omega} \mathbf{n} \cdot \mathbf{q} E(\mathbf{n}) d\Omega)$ で割れば、方向 $\mathbf{q}$ によらない一定値になり、単位体積当りのクラックの総面積を得る。 $E(\mathbf{n})$ として(2)式を使い、補正係数を計算する。

(4) (1)~(3)の結果より、次のようにクラックテンソル $F_{ij}$ を計算する。2000日養生したものについての計算結果も合わせて示す。

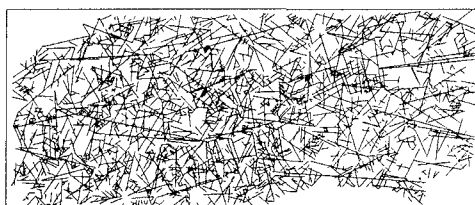


Fig. 1 トレースマップ(2000日養生)

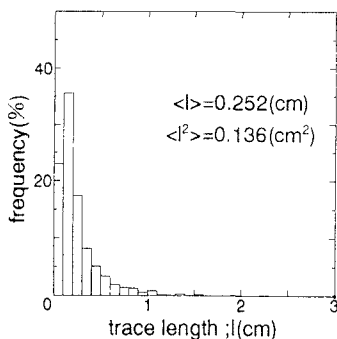


Fig. 2 トレース長さの分布

$$F_{ij} = \frac{3\pi \langle l^2 \rangle}{8 \langle l \rangle \langle |\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}| \rangle} m(\mathbf{q}) N_{ij} = \begin{pmatrix} 4.45 & -0.35 & 0.47 \\ & 1.99 & -0.23 \\ \text{symm.} & & 5.27 \end{pmatrix}$$

(5) 切断面を十分磨き、鉱物顕微鏡を使って、マイクロクラックの開口幅  $l$  を計測する (Fig. 4)。(1)~(3)の結果とFig. 4の開口幅分布データから、クラックテンソル  $P_{ij}$  が次のように計算される。

$$P_{ij} = \frac{m(\mathbf{q})}{\langle |\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}| \rangle} \langle l^3 \rangle N_{ij} = \begin{pmatrix} 11.4 & -0.90 & -1.20 \\ & 5.11 & -0.60 \\ \text{symm.} & & 13.5 \end{pmatrix} \times 10^{-15} (m^2)$$

このクラックテンソル  $P_{ij}$  から、透水テンソル  $k_{ij}$  は次式で表される。

$$k_{ij} = \frac{\lambda}{12} (P_0 \delta_{ij} - P_{ij}) \quad (3)$$

$\lambda$  は、クラックの連結性に依存した1より小さいスカラー量であるが、完全に連結しているものとすれば1に等しい。今、 $\lambda=1$ を仮定すると、2000日養生の花崗岩の透水テンソルは次のようになる。

$$k_{ij} = \begin{pmatrix} 1.55 & 0.08 & -0.10 \\ & 2.08 & 0.05 \\ \text{symm.} & & 1.38 \end{pmatrix} \times 10^{-15} (m^2)$$

### 3. 考察

Fig. 5に透水係数の実測値と推定値を共に示す。それによると、養生日数が1000日を越えると、透水係数の実測値と推定値は共に約2オーダー上昇している。また、4ケースのいずれも推定値は、クラック間が完全に連結していると仮定した為に、実測値より若干大きくなっているものの、ほぼ妥当な値を与えている。

### 4. まとめ

1) 花崗岩の透水性は、 $F_0$ と $\lambda$ の関係について若干の検討が必要であるものの、三次元のクラックテンソルを決定する事により評価可能である。2) この方法を実岩盤で適用するには、十分な調査領域と調査方法を考慮する必要がある。

参考文献 1) Kanatani, K.; Measurement of crack distribution in a rock mass from observation of its surfaces, soil and foundations, Vol. 25, No. 1, 77-83, Mar. 1985

2) Suzuki, K. et al; Material property changes in granitic rock during long-term immersion in hot water, Engineering Geology 40(1995)29-39

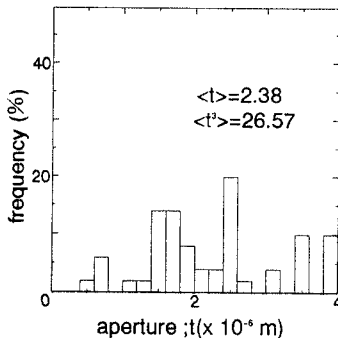


Fig. 4 開口幅の分布

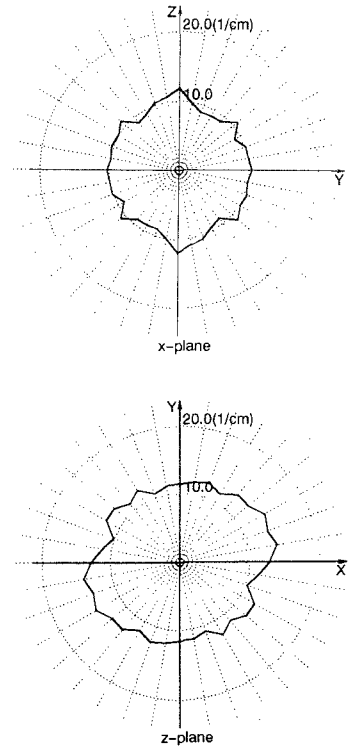


Fig. 3  $m(\mathbf{q})$ の分布

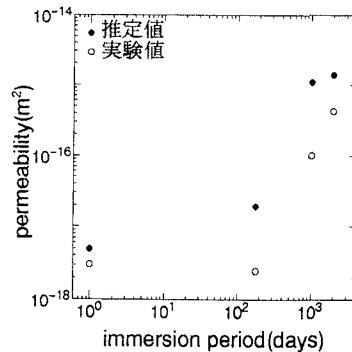


Fig. 5 養生日数と透水係数