

関西大学工学部 正会員 楠見 晴重
関西大学大学院 学生員○井上 宏
(株)奥村組 平野 佳彦
関西大学工学部 正会員 西田 一彦

1. まえがき

岩盤亀裂面形状とその透水特性に関する研究は、従来より多くの報告がなされている¹⁾。単一亀裂面を有する岩盤内の透水特性は、その亀裂周辺の応力による開口幅の閉合量に大きく依存し、指数関数的に変化することが知られている²⁾。しかし、亀裂内の透水特性と亀裂面の形状との関係は明らかにされていない。

本研究では、岩石亀裂面形状を2次的に計測し、それによる新たな形状評価係数を用いて岩石亀裂面の形状を評価するとともに、この評価値と単一亀裂の透水特性との関係について検討を行った。

2. 亀裂面形状評価

岩石供試体は、円柱状(直径50mm、高さ100mm)に整形した大島花崗岩を用い、供試体亀裂面の作成は、せん断試験、圧裂試験、およびソーカットによって行った。凹凸の計測は、レーザー変位計により1mm×1mmの格子状に読み取る2次元計測を実施した。亀裂面の形状は、新たに提案した形状評価の係数(R)によって評価した。これを形状評価係数と呼び、図-1はその概要を示す亀裂面上の各計測点とその周囲8点の関係を示している。そして、その1点を取りだしたのが図-2である。ここで、計測点を中心にその隣接する他の測点をN0.1~8とし、方向(θ)を図のように与える。図-3は、図-2を立体的に表現したもので、図に示すa(θ)によって傾斜角が求められる。この亀裂面形状を表す係数は、各測点ごとに取りだした8点からなる要素の傾斜角を、スプライン曲線によって360°に展開させて、各方向別に計算される。形状評価係数は次式によって表される。

$$R(\theta) = \frac{1}{2} \{ Z(\theta) + Z(\theta + \pi) \} \quad 0 \leq \theta \leq \pi \quad (2.1)$$

ただし

$$Z(\theta) = Z(\theta + \pi) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n a(\theta)^2} \quad (2.2)$$

ここで、a(θ) : θ方向の凹凸の傾斜角(rad)、n : 測定点の個数である。(Rave)、(μ)は次式によって表す。

$$Rave = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi R(\theta) d\theta \quad (2.3)$$

$$\mu = \frac{\sigma}{Rave} \quad (2.4)$$

ここに、σ : R(θ)の標準偏差である。表-1に、この計測を行

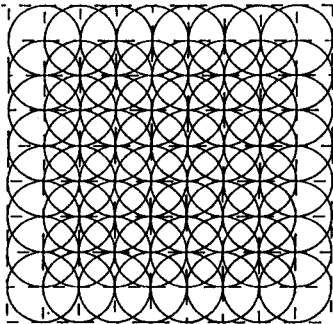


図-1 計測面上の8点要素の集合

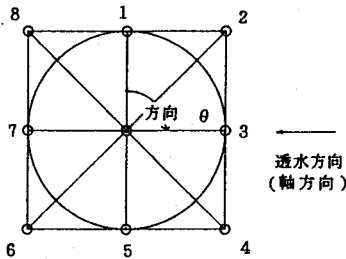


図-2 1計測点を囲む8点要素

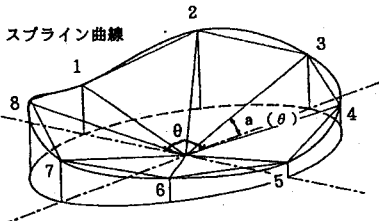


図-3 スプライン曲線を使った傾斜モデル

った5種類の岩石の亀裂面形状評価の結果を示す。この表より、(Rave)は亀裂面の作成方法には影響されず、供試体によってばらつきがある。しかし、 $R(\theta)$ の最大値(Rmax)と最小値(Rmin)の方向には特徴が見られる。(Rmax)と(Rmin)を与える方向(θ)をそれぞれ($\theta 1$)、($\theta 2$)とすると、せん断試験で亀裂面を作成した方は、($\theta 1$) $\approx 60^\circ$ 、($\theta 2$) $\approx 0^\circ$ となることが認められる。圧裂試験では、($\theta 1$) $\approx 30^\circ$ 、($\theta 2$) $\approx 90^\circ$ となっている。

表-1 亀裂面形状の評価

供試体 NO.	亀裂面作成	R($\theta 1$) min.	$\theta 1$ ($^\circ$)	R($\theta 2$) max	$\theta 2$ ($^\circ$)	Rave	μ 値
1	せん断試験	0.143	65	0.193	5	0.165	0.101
2	せん断試験	0.174	64	0.225	5	0.196	0.084
3	圧裂試験	0.159	36	0.182	90	0.168	0.039
4	圧裂試験	0.153	33	0.192	90	0.169	0.068
5	圧裂試験	0.161	33	0.193	90	0.173	0.055

3. 亀裂面形状と透水特性

室内透水試験は、拘束圧を10～50kgf/cm²までの5段階に、透水圧を3.0, 4.5, 6.0kgf/cm²の3段階に変化させて行った。図-4は、拘束圧と透水係数の関係を示している。この図から、拘束圧の増加にしたがって、透水係数の減少していく割合が小さくなっていることが分かる。拘束圧が比較的大きい状態下では、岩石亀裂面の閉塞の状況が亀裂面の形状に影響されるので、こうした傾向になるものと思われる。したがって、この亀裂面形状が最も影響している拘束圧が50kgf/cm²のときの透水係数(k_{50})を、拘束圧*i* kgf/cm²下での透水係数(k_i)から差し引くことによって亀裂面形状と透水の関係が理解できるものと思われる。すなわち、 $k' = k_i - k_{50}$ とする。図-5は、透水係数(k_{50})と(Rmax-Rmin)の関係を表している。(Rmax-Rmin)の値が大きくなると、方向による亀裂面傾斜の差が著しくなる。この図を見ると、(Rmax-Rmin)が大きくなるにつれて、透水係数が減少していることが分かる。図-6は、透水係数(k')と形状評価係数の最小値(R)minとの関係を示したものである。この図より、拘束圧による透水係数の変化が、形状評価係数の最小値(Rmin)に関係しているものと思われる。

4. まとめ

新たに示した、形状評価係数(R)は、亀裂面の方向性示す指標として有効であると思われる。この形状評価係数(R)を考慮することによって、単一亀裂面の透水特性を表現できることが明らかにされた。しかし、実際の岩盤ではこのような平面的な亀裂面の評価は困難であり、今後これらの点に関し更に詳細な検討を行う予定である。

参考文献

1) 例えば、Louis.C:A study of ground water flow in jointed rock and its influence on the stability of rock masses, Imperial College Rock Mech. Res. Rep. No. 10, Sept., pp. 1-90, 1969.
2) Nelson R. a. et al, Experimental study of fracture permeability in porous rock, A. A. P. G. Bull., vol. 61, pp. 227-236, 1977.

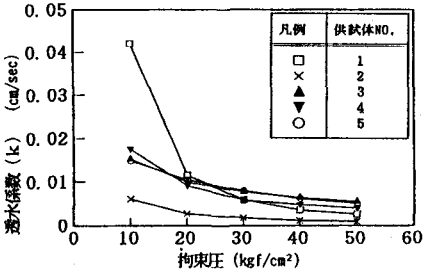


図-4 拘束圧と透水係数の関係

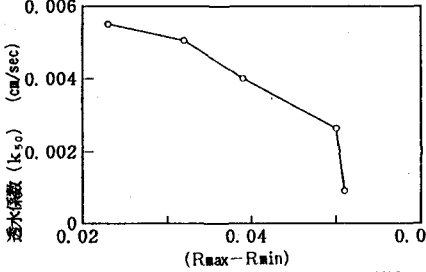


図-5 (Rmax-Rmin)と透水係数(k_{50})の関係

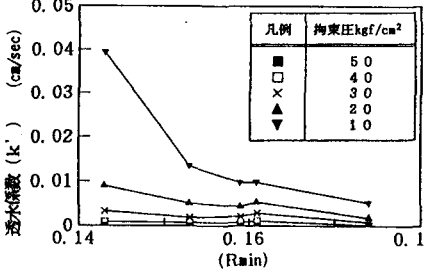


図-6 (Rmin)と透水係数(k')の関係