

関西大学工学部

明治コンサルタント（株）

関西大学大学院

関西大学工学部

正会員 楠見 晴重

正会員○井上 宏

学生会員 金田 俊哉

正会員 西田 一彦

1. まえがき

亀裂壁面における凹凸は透水特性に影響を与えているが、この凹凸の形状と透水特性との関係については、十分明らかにされていない。本研究では、レーザー変位計を用いて岩石亀裂面形状を3次的に計測し、その形状を定量的に解析するとともに、拘束圧下での亀裂閉塞量と透水特性、およびその透水特性に与える亀裂面形状の影響について検討した。

2. 実験方法および供試体

本実験に用いた岩石は花崗岩、細粒砂岩、および石墨片岩である。供試体は高さ100mm、直径50mmの円柱状に整形し、花崗岩および細粒砂岩については圧裂試験によって亀裂面を作成した。また、石墨片岩については片理面に沿って剝離させ亀裂面を作成した。なお、供試体は透水方向をX軸、直径方向をY軸、さらに亀裂の凹凸高さ方向をZ軸とした。亀裂形状は、非接触型レーザー変位計によって1×1mmの格子状に計測を行った。室内透水試験は、拘束圧を10～30kgf/cm²まで5kgf/cm²ごとの5段階に作用させ、各段階ごとの透水量を測定するとともに、亀裂閉塞量の計測をカンチレバー式直径変位計とひずみゲージによって行った。

3. 亀裂表面形状評価

表-1は、3次元計測より求めた供試体亀裂表面の代表的な形状評価値である。この表において、上段および下段は供試体両壁面を示す。供試体はK：花崗岩、S：細粒砂岩、H：石墨片岩とする。表中の表面積増加率およびJRC値は、次式によって求めた¹⁾。

$$(\text{表面積増加率}) \quad \Delta S = S_r / S_f - 1 \quad (1)$$

ここで S_r は凹凸形状によって増加した表面積、 S_f は亀裂の計測領域における平滑面積である。

$$(\text{JRC値}) \quad JRC = 64.22(ZZ) - 2.31 \quad (2)$$

$$ZZ = \sqrt{\frac{1}{L_x} \int_{x=0}^{x=L_x} \left(\frac{dZ}{dX} \right)^2 dX} \quad (3)$$

ここで、 L_x は供試体軸方向の長さ、 dX は測定間隔、 dZ は凹凸高さである。また、凹凸高さ平均とは計測データの最小値を基準とし、そこから各座標におけるそれぞれの値を平均したもので、凹凸の粗さ状態を示す。合成凹凸高さとは、両亀裂壁面の同一座標における凹凸高さを重ね合わせるにより求められ、亀裂の開口状態を表すと考えられる。この表より、表面積増加率は花崗岩が比較的大きな値を示していることがわかる。それに比べ細粒砂岩や石墨片岩においては、小さくなっていることがわかる。これは、岩石の結晶構造や粒径などが影響しているものと思われる。JRC値は、X軸およびY軸方向において相違がみられる。しかし、亀裂の作成方法による異方性などの影響はここでは確認されなかった。

4. 透水特性と亀裂面形状

図-1は、岩種ごと

表-1 亀裂形状評価値

供試体名	表面積増加率	JRC	JRC	凹凸高さ	凹凸高さ	合成凹凸	合成凹凸
		X軸平均	Y軸平均	平均(mm)	標準偏差	高さ(mm)	標準偏差
K 3	0.0683	12.436	17.623	3.920	1.939	6.470	2.129
	0.0627	11.773	16.635	6.483	2.013		
S 2	0.0281	6.548	10.528	3.274	1.443	2.792	0.394
	0.0194	6.792	6.557	3.745	1.640		
H 2	0.0300	10.180	7.562	4.228	1.583	2.317	0.656
	0.0444	12.421	10.505	4.080	1.634		

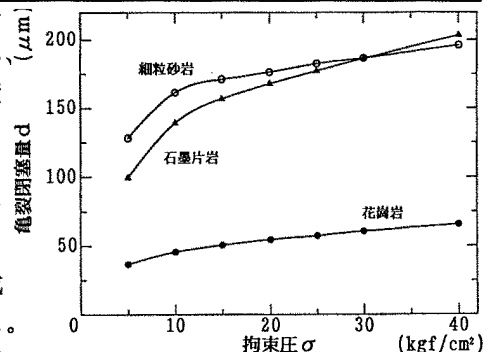


図-1 拘束圧と亀裂閉塞量の関係

の代表的供試体における拘束圧と亀裂閉塞量の関係を示したものである。この図より、拘束圧の比較的低い領域において、亀裂の閉塞が大きく進行していることがわかる。これらの関係は、次式の双曲線関数によって近似することができる。

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta d}{c-b \cdot \Delta d} \quad (4)$$

ここで、 σ は拘束圧の変化量、 d は亀裂閉塞の変位量、 c, b は定数である。この関係式より、亀裂の最大閉塞量 d_{MAX} は $d_{MAX}=c/b$ によって求められる。図-2は、亀裂開口幅と単位水頭当たり流量の関係を示したものである。これらは線形的な関係であることが認められる。この関係を次式のような直線式に回帰させた。

$$\frac{Q}{\Delta h} = a_{AQ} + b_{AQ} \cdot a \quad (5)$$

ここで、 a_{AQ}, b_{AQ} は定数、 a は亀裂開口幅を示す。定数 a_{AQ} は、凹凸の重なりによる閉塞不可能な亀裂開口部を流れる流量を表すと考えられる。これらは亀裂開口部の大きさおよび亀裂部の粗さなどによって影響される。ここで、定数 a_{AQ} に関係する亀裂の形状状態を次式によって提案する。

$$\rho = \frac{Z_{MEAN}}{Z^*_{MEAN} \cdot \Delta S} \quad (6)$$

ここで、 Z_{MEAN} は凹凸高さの平均、 Z^*_{MEAN} は合成凹凸高さの平均を示す。 ΔS は面積増加率を示す。ここで示される ρ は、凹凸の粗さ、開口部の大きさを含めた亀裂状態を定量的に示すことができる。図-3は、定数 a_{AQ} と ρ の関係を示したものである。ここで、細粒砂岩を除く岩石において、 ρ の増加とともに定数 a_{AQ} も増加する傾向にある。細粒砂岩は、拘束圧による凹凸変形などの影響によりばらついたものと思われる。図-4は、定数 b_{AQ} と凹凸高さの標準偏差の関係を示したものである。標準偏差の増加とともに定数 b_{AQ} も増加する傾向にある。

5. まとめ

亀裂面形状は、構造的要因などによって変化することがわかった。拘束圧と亀裂閉塞量は、亀裂形状を用いて表現できることがわかった。比較的低い拘束圧の領域では、亀裂開口幅と単位水頭当たり流量において線形的な関係がみられた。

参考文献

- 1) Xianbin Yu and B. Vayssade: joint profiles an roughness parameter, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. abstr., Vol. 28, No. 4, pp. 333-336, 1991.

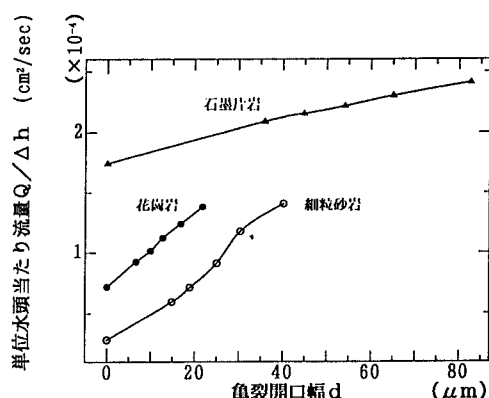


図-2 亀裂開口幅と単位水頭当たり流量の関係

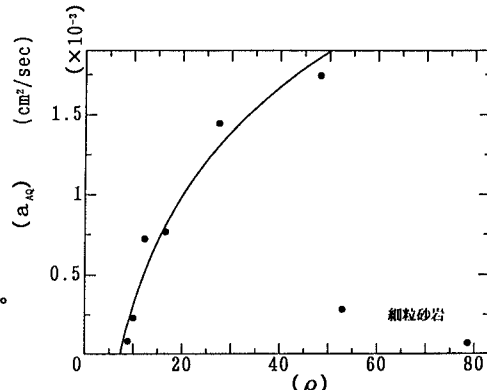


図-3 ρ と a_{AQ} の関係

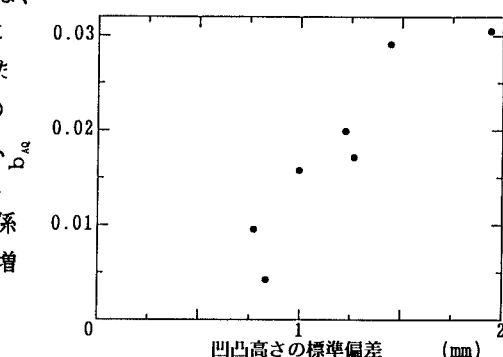


図-4 凹凸高さの標準偏差と b_{AQ} の関係