

関西大学工学部 正会員 楠見晴重
関西大学大学院 学生員 ○金田俊哉
関西大学工学部 正会員 西田一彦

1.はじめに 岩盤亀裂の透水特性に関する研究は数多く行われており、その多くは封圧下によるものである。多孔質でインタクトな岩石については、三軸応力下での透水特性について研究されているが、単一亀裂を含む岩石ではほとんど行われていない。本研究では、三軸応力下で透水試験を行い、透水性とその応力状態、変形、亀裂形状との関係を考察し、三軸応力下における単一亀裂の透水性を明らかにするとともに封圧下の透水特性との比較検討を行った。

2.実験方法 実験には、稲田花崗岩を用い、高さ10cm、直径5cmの円柱状に整形し、圧裂試験によって亀裂を作成した。室内透水試験は高圧三軸試験機を改良したものを使用した。図-1は試験時の応力状態を示し、拘束圧を10kgf/cm²ずつ最大30kgf/cm²までとし、各拘束圧の下で軸応力を50kgf/cm²ずつ最大300kgf/cm²まで載荷した。その際の透水量は、全試験において0.5kgf/cm²とする。また、カンチレバー型変位計により亀裂に垂直な方向の変位を計測している。亀裂形状を評価するために、レーザー変位計を用いて、各亀裂面について1mm間隔の格子状で約5000点について測定を行い、そのデータより得たJRC値²⁾を用いている。なお、供試体は亀裂形状の異なる4種類を用い、表1にそれらのJRC値を示す。ここで、JRC(X)は透水方向、JRC(Y)はそれに直角な方向のものであり、また、a、bとは、亀裂の両面を表している。

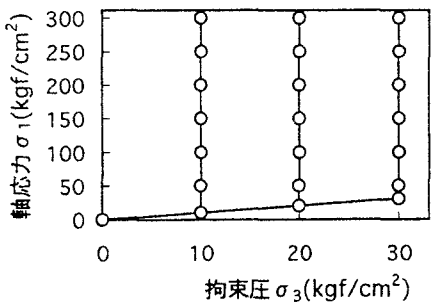


図-1 試験時の応力状態

表-1 各供試体のJRC値

供試体	JRC 値		JRC値の差	
	JRC(X)	JRC(Y)	JRC(X) _{diff}	JRC(Y) _{diff}
G1	a 12.8	9.8	2.2	1.2
	b 15.0	11.0		
G2	a 13.3	11.1	1.2	0.4
	b 14.5	11.5		
G3	a 13.3	10.5	0.2	0.6
	b 13.5	9.9		
G4	a 12.4	10.0	1.5	0.7
	b 13.9	10.7		

3.実験結果 Elia²⁾は、流量Qと亀裂の変位から得られた力学的開口幅Eの間に式(1)のような関係があるとしている。ここで、係数Fはjoint condition factorと呼ばれるものである。式(2)は流体力学において理想化された流量と開口幅の関係を示している。式(2)において流量より求める開口幅を水理学的開口幅eとする。式(1)、式(2)より、eとEとは式(3)のように表すことができる。図-2は、G1供試体の亀裂変位dと水理学的開口幅eとの関係を示している。亀裂変位dは、式(4)に示すように、測定された直径変位Dより横方向の岩石基質部の変位を引いたものである。亀裂変位dが増加すると水理学的開口幅eは減少する傾向がみられる。この関係を直線近似し、近似式より水理学的開口幅eが0となる亀裂変位dを求め、それを初期開口幅E₀と定義する。この初期開口幅E₀より亀裂変位dを引くことによって、力学的開口幅Eが式(5)より決定される。

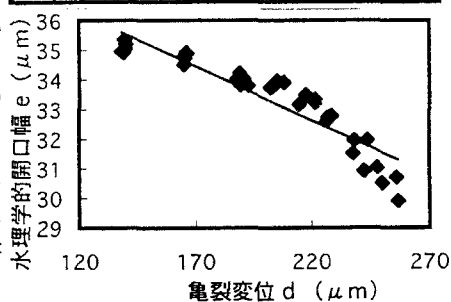


図-2 水理学的開口幅 e と亀裂変位 d 関係 (G1)

$$Q = \frac{1}{F} \frac{g}{12\nu_w} E^3 J \cdots (1) \quad e = fE, \quad f = \sqrt[3]{\frac{1}{F}} \cdots (3)$$
$$Q = \frac{wg}{12\nu_w} e^3 J \cdots (2) \quad d = D - \varepsilon_R \times L \cdots (4)$$
$$E = E_0 - d \cdots (5)$$

ここに、w：亀裂幅(mm)、g：重力加速度(m/s²)、 ν_w ：動粘性係数(m²/s)、J：動水勾配、f：補正係数

Harushige KUSUMI, Toshiya KANEDA and kazuhiko NISHIDA

図-3 は、式(3)の両辺の対数を取り、 $\log(E)$ と $\log(Q/J)$ の関係を示したものである。G1 供試体では、 $\log(E)$ の増加に伴い $\log(Q/J)$ は増加している。G2 供試体では、拘束圧の変化に伴う $\log(E)$ の増加に対しては、 $\log(Q/J)$ は増加しているが、軸応力の増加に対する $\log(Q/J)$ の変化には減少傾向がみられる。図中の直線は Q/J と E との近似直線であり、次式となる。

$$\log(Q/J) = A + B \log(E) \quad \cdots (6)$$

係数BはG1、G2では3.00、3.01である。G1 供試体では、流量は、開口幅の三乗に比例している、いわゆる三乗則が成り立っている。しかし、G2 供試体では、一定の軸応力下では三乗則が成り立っているが、軸応力の変化に対しては、三乗則は成り立っていないと考えられる。

図-4 は、軸応力と流量の関係を示したものであり、G2 供試体では、流量に対して軸応力の影響が大きいことがわかる。図-5 は、軸応力が流量に及ぼす影響を図-4の近似直線の傾き α 、各供試体の $JRC(Y)_{dif}$ との関係を示したものである。 $JRC(Y)_{dif}$ とは、透水方向に直角方向の両端面のJRC値の差であり、 $JRC(Y)_{dif}$ が大きくなるほど軸応力の影響が減少することがわかる。すなわち、供試体の亀裂の組み合わせ程度が低い程、亀裂の透水性に及ぼす軸応力の影響は小さくなることが認められた。

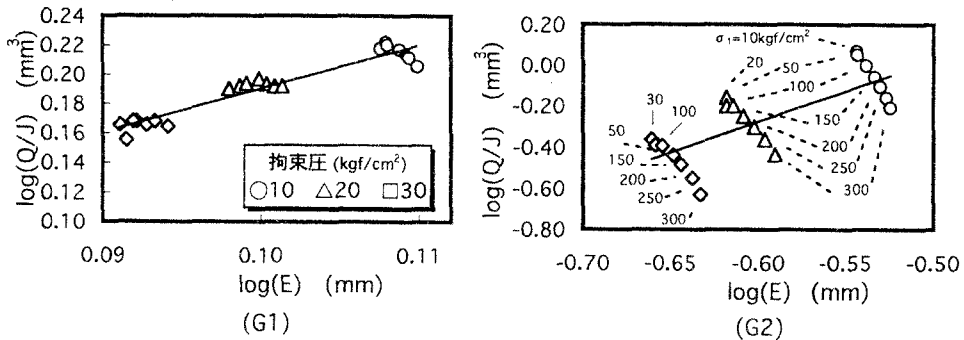


図-3 $\log(E)$ と $\log(Q/J)$ の関係

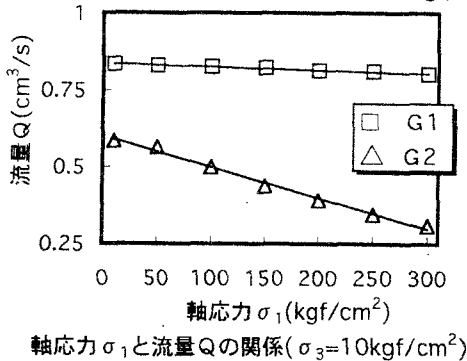


図-4

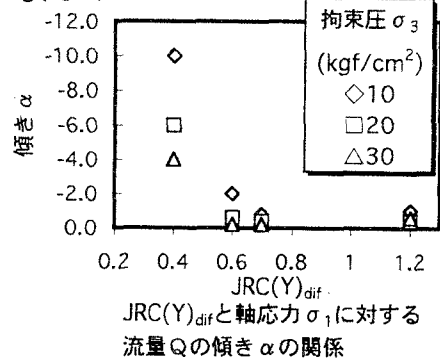


図-5

4. 結論 三軸応力下では、一定軸応力下における拘束圧の変化にともなう開口幅と流量の関係には、三乗則が成り立つ。しかし一定拘束圧下で軸応力の影響を受けた場合、流量と開口幅の関係には三乗則は成り立たない。

三軸応力下で流量に対する軸応力の影響をみた場合、透水方向に対して直角方向のJRC値の両端面の差が大きくなるほど軸応力が流量におよぼす影響が小さくなると考えられる。

参考文献

- 1) Xianbin Yu et al. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr, Vol28, NO.4pp.333-336, 1991.
- 2) Elliot G.M. et al. Hydromechanical behaviour of joints in the Carrmenellis granite. Proc.Int.Symp.on Fundamental of Rock joints, pp. 290-298, 1985.