

III-428 単一亀裂内浸透流チャンネルリングに関する研究

大成建設(株)技術研究所 正会員 今村 聡

1. はじめに

近年、放射性廃棄物処分、高圧空気貯留等の高度な地下空間利用に伴い、亀裂内浸透流の性状を精度良く把握することが重要になってきた。従来、単一亀裂内浸透流は、平行板モデル¹⁾が多く使用されてきたが、高応力下の開口幅の小さい亀裂および粗度の大きな天然の亀裂においては、それでは不十分なことが立証されてきた²⁾。本研究では、N.G.W.COOKらによって提案されたメタルインジェクション法³⁾を用いて得られた写真を、画像解析処理し亀裂内の開口幅の分布・形状の統計学的性質について考察している。

2. 実験方法

今回の実験で使用されたコアは、スウェーデンのストリッパ鉱山で採取されたものであり、天然の亀裂がコア中心軸と直交するように、注意深く採取されたものである。実験用のコアを選ぶ際には、噛み合わせがあまり良くない亀裂(サンプル1)と良い亀裂(サンプル2)の2つを使用した。コアの直径は110mm、高さは190mmである。単一亀裂内の浸透流を評価する際に必要と思われる以下に挙げた試験を行った。

- ① 亀裂の変形試験
- ② 亀裂の透水試験
- ③ メタルインジェクション試験

メタルインジェクション試験は、約80°Cで溶解するウッズメタルの特性を利用し、それを約100°Cに温めた亀裂間に注入、硬化後分離しその浸透経路を探ろうとするものである。その浸透経路を定量評価するためには、画像処理装置を用い、得られた亀裂内のウッズメタルの分布を512×512にメッシュ分割しその輝度で定量化した。またウッズメタルは、亀裂の上面・下面の両方に接着しているので、その両面の画像の整合にあたっては、画像の回転・拡大等の画像処理機能を用いた後、微妙な部分においては、数値計算で最適化した。

3. 実験結果

図-2に、変形試験の結果を示す。サンプル2の方は、低応力下で急激に変位が増大し、それ以降は一定値に落ち着いている。サンプル1の方は、変位は徐々に増大してゆき軸圧80MPaでもまだ一定値に落ち着いてい

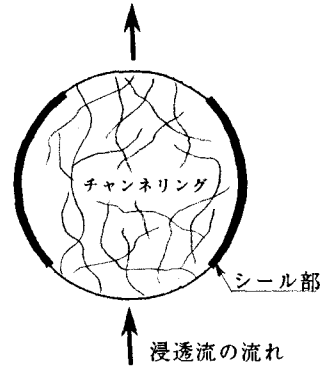


図-1 透水試験

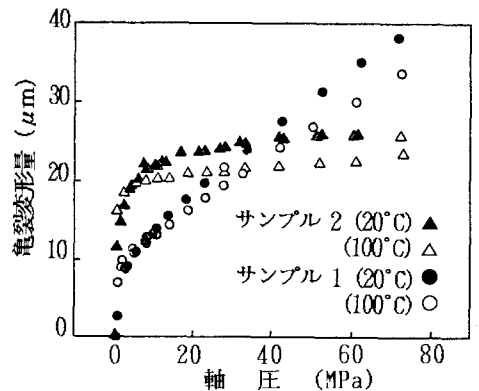


図-2 亀裂の変形試験結果

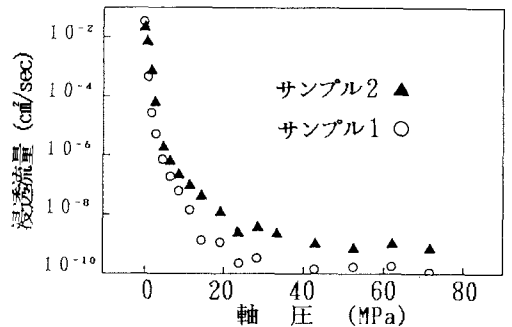


図-3 亀裂の透水試験結果

い。噛み合ったジョイントと噛み合わないジョイントの典型的な傾向を示している。

図-3には、透水試験の結果を示している。この結果で注目すべきは、定性的には変形試験の定性的傾向が大きく異なるにも関わらず、透水試験の結果はおおきな差異を示していない。また流量の絶対値も、サンプル1の開口幅がサンプル2より大きいと考えられるにも関わらず、サンプル1の方が小さい。これは明らかに天然の亀裂内の浸透流は、平行板モデルのような開口幅の関数で必ずしも表現できないことを示している。

サンプル1 (P=10MPa)

サンプル2 (P=10MPa)

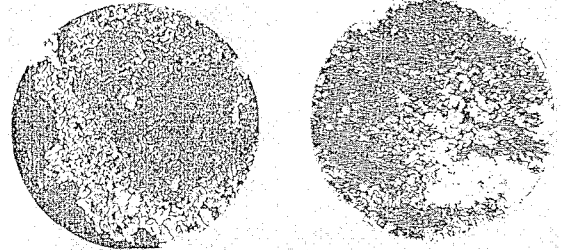


図-4 メタルインジェクション試験結果

図-4には、軸圧10MPaのときのメタルインジェクション試験から得られたサンプル1と2の画像を示している。この図は黒色部が間隙部を表し、白色部が接触部を示しているが、この図を比較すれば、サンプル2には浸透流路を塞ぐような形で接触部が集中しており、これが前述した透水試験の結果の原因となったものと考えられる。

4. 浸透流路分布の特性

浸透流路分布の特性を明らかにするために、分布のセミバリオグラムとフラクタル次元を算定した。因みにセミバリオグラム $\gamma(x, h)$ は、地盤統計学(Geostatistics)の分野で用いられているもので、次式で与えられる。

$$\gamma(x, h) = E\{[Z(x) - Z(x+h)]^2\}$$

ここに、 $Z(x)$ は接触分布(0か1)、 h は距離ベクトルである。

図-5に、算定されたセミバリオグラムを示した。0から立ち上がり一定値になるまでの距離をレンジと呼び、相関長さを表わしている。またその一定値はシルと呼び、その分布が本来もっている分散を表している。応力が増加するにつれ、レンジ、シルとも増加するのがわかる。また、図-6には、分布をShierpinski Carpetと見なした時のフラクタル次元を示した。これも応力依存性を良く表わしている。今後は、これらの特性をもつ亀裂内形状を地盤統計学、フラクタル幾何学の手法を用いて発生させ、チャンネリング現象の把握に役立てたい。

<謝辞> この研究の遂行にあたっては、カリフォルニア大学 N.G.W.Cook 教授およびローレンスパークレー研究所 L.Myer 研究員に貴重な御指導、御助力を頂いたことを、感謝する。

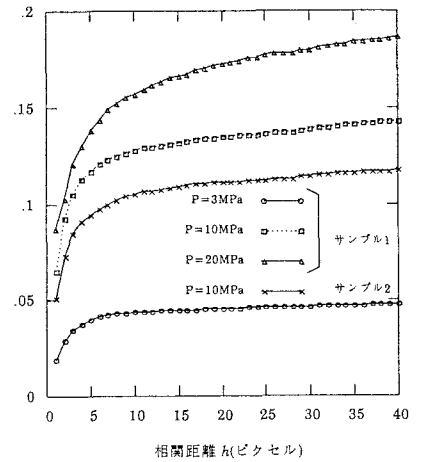


図-5 接触分布のセミバリオグラム

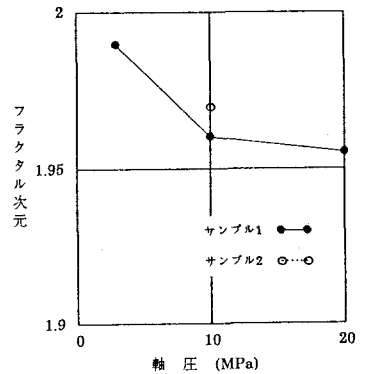


図-6 フラクタル次元の応力依存性

<参考文献> 1) Witherspoon, P.A.ら (1980) Validity of cubic law for fluid in a deformable rock fracture, Water Resources Res.16, 1016-1024 2) Tsang, Y.W. (1984) The Effect of tortuosity on fluid flow through a single fracture, Water Resources Res.,20,1209-1215 3) L.J.Pyrak-Nolte ら (1987) Hydraulic and mechanical properties of natural fractures in low permeability rock, I.S.R.M. Proceedings, Volume 1, 225-