

II-82

亀裂性岩盤モデルにおける巨視的分散特性について

室蘭工業大学 正員 藤 間 聡
室蘭工業大学 学生員 井 形 淳

1. はじめに

亀裂性岩盤における物質分散の問題は、放射性廃棄物の地中処分や石油地下備蓄の計画及び実施に伴い関心を集めている。亀裂性岩盤の透水性については水理学的に等価な多孔質媒体に置換して特性を解析するモデル化が一般的である¹⁾。しかし、亀裂分布の性状が流体流動に及ぼす影響は極めて大きく、このモデル化は必ずしも適切とは言い難い。本報は原位置における比較的粗な状態にある亀裂の分布性状を十分に反映しうるモデルを構築し、それに基づき岩盤内の分散特性を検討するものである。

2. 岩盤亀裂のモデル化

実岩盤では、断層のような長大な割れ目から微細な割れ目までスケールの異なる亀裂が存在するが、ここでは、長大なものを除き微細な亀裂のみを解析対象とする。原位置における亀裂の分布性状を調べるため写真-1に示す北海道登別市の海食崖露頭面において高さ10m、幅12mの範囲をカメラで撮影し、191×245mmに引き伸ばした写真上で実寸法1m間隔で縦12本、横10本のスキャンラインを設定した。これらのスキャンラインで捕捉された半亀裂長(セミ・トレース長)を写し込まれているスケール(測量ポール)から実長に変換してその分布性状を求めた。ここで、半亀裂長 l とは亀裂の一端からスキャンラインとの交点までの長さを示す。図-1は総数816本の半亀裂長を0.1mの階級で分けたヒストグラムであり、最小二乗法で求めた回帰曲線を併せて掲げている。この結果、半亀裂長分布は次式で示される指数関数で表される。

$$f(l) = 19.2 \exp(-1.9l) \quad (1)$$

調査した原位置露頭面の亀裂長が指数関数に従うことは、短い亀裂が多く存在し、長い亀裂が少ないことに起因する²⁾。なお、本報では示していないが、亀裂間隔の分布も指数分布に従うことを把握している。

岩盤亀裂のモデル化は、亀裂系を相互に異なる方向と交点を有し、かつ長さや開口幅に分布をもつ平行間隙で構成されるネットワークで表し、平行間隙を亀裂の分布性状に応じて解析領域に配置する方法を用いた。亀裂の発生方法は10×10mの対象領域を縦横0.1m間隔の格子網で全域を分割し、モンテカルロ法を用いて亀裂中点を任意の格子点へ割り当て、(1)式を満足する亀裂長を格子に沿って与えた。図-2は相互に直交する縦100本、横120本の亀裂を発生させて得られた亀裂モデルを示す。発生した亀裂の中には一端が閉じて不連続なものや他の亀裂と接続しない孤立した亀裂が存在する。このような亀裂を取り除き図-3に示すように死水域が存在しないように亀裂ネットワークに修正を加えたのち分散シミュレーションに供した。

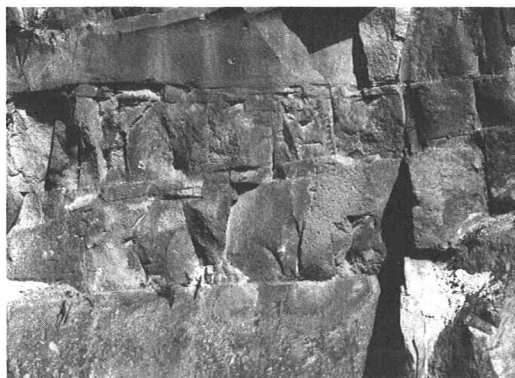


写真-1. 原位置岩盤亀裂

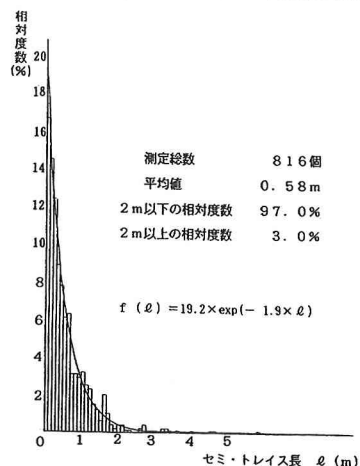


図-1. 岩盤亀裂長のヒストグラム

3. 岩盤内の分散シミュレーション

岩盤の分散現象は亀裂及び亀裂交点の配置の異方性によってその特性が規定される。この分散は各亀裂の速度変動に基づく分散より規模が大きい。この亀裂交点の配置特性に基づく分散を、ここでは巨視的分散と定義する。分散解析に先立ち、図-3で示す上流側のA点と下流側のB及びC点に一定水頭を与え、定常状態における亀裂交点での水頭値を有限要素法を用いて求めた。有限要素は4節点線形要素を用い、要素数が252、節点数が496である。平行間隙内の流動がDarcy則に従うと仮定すると、透水係数は次式で与えられる。

$$K = \rho g b^2 / 12\mu \quad (2)$$

ここに、 K は亀裂の透水係数、 ρ は流体密度、 μ は流体の粘性係数、 g は重力加速度、 b は亀裂の開口幅をそれぞれ表す。

開口幅の測定に関しては、一つの亀裂においても測定位置により開口幅が異なり、測定値に不確実性が含まれるため、本報では平均0.10mm、標準偏差0.05mmの正規乱数を発生させて、各亀裂の開口幅とした。この開口幅を(2)式に代入して各亀裂の透水係数を決定した。

岩盤内の巨視的分散は亀裂交点の配置に基づく物質の移動距離の違いによって生ずる。この特性を考慮して本報ではモンテカルロ法を用いたラグランジェ的手法によりシミュレーションを行った。定常流れの場に総数1000個のトレーサ粒子を放出源Aから1個ずつ放出し、一定時間毎にトレーサ粒子の位置を追跡する。トレーサ粒子が亀裂交点に達した時、流量で重みをつけた確率で流下亀裂を決定する。トレーサ粒子1000個についての所定時間後の空間分布を図-4、5に示す。図-4は主流方向(x方向)のトレーサ粒子の空間分布を示したものであり、図-5は主流に直角方向(y方向)のトレーサ粒子の空間分布である。両図からトレーサ粒子の流動が限られた少数の亀裂に集中するため多峰型の複雑な分布を呈している。この結果、亀裂性岩盤における分散は多孔質媒体内の分散と異なり、分散係数は単純に分散時間または流下距離の関数形で求めることができないことが確認された。

4. むすび

岩盤亀裂系の統計的手法によるモデル化とモンテカルロ法による岩盤内の分散解析例を示した。解析結果から岩盤内の分散は亀裂系の幾何性状に大きく支配されることが確認された。亀裂の透水性を規定する開口幅は応力に依存するため、今後は浸透解析と応力との連成について検討を加えて研究を進める所存である。

終わりに、本研究の遂行に当たり、計算、図表作成で佐藤聖嗣君(株式会社日本製鋼所)の協力を得たことを付記し感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Sager, B. and A. Runchal, Permeability of Fractured Rock: Effect of Fracture Size and Data Uncertainties, Warer Resour. Res., 18(2) pp. 266-274, 1982.
- 2) Priest, S. D. and J. A. Hudson, Estimation of Discontinuity Spacing and Trace Length Using Scanline Surveys, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 14, pp. 133-137, 1977.

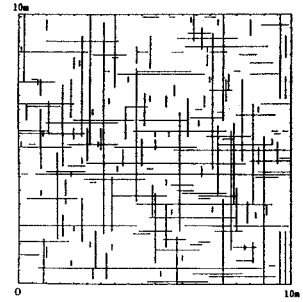


図-2 岩盤亀裂モデル

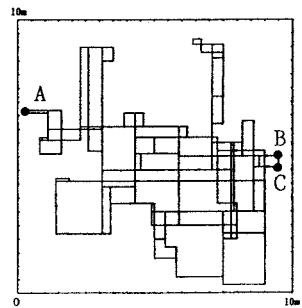


図-3 修正岩盤亀裂モデル

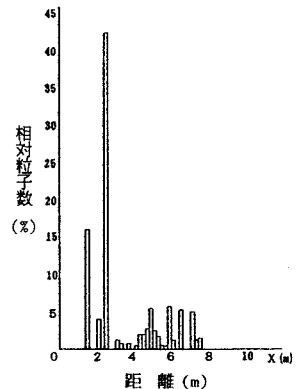


図-4 x方向濃度粒子分布

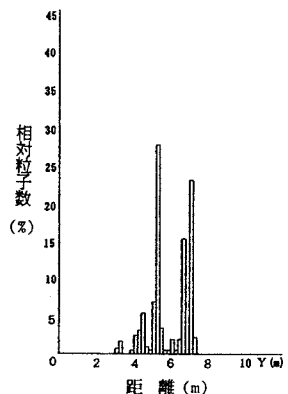


図-5 y方向濃度粒子分布