

Ⅲ - A264

不連続亀裂浸透モデルを用いた岩盤内浸透現象の考察

岩手大学 正 小林 晃
佐田建設 牧野健児

1. はじめに

亀裂性岩盤中の浸透挙動はその亀裂場に大きく依存している。しかし、現状では、透水性亀裂の判別やその性状を現位置で調査することは非常に難しい。筆者らは亀裂性状を調査する手法の一つとして Barker¹⁾の単孔式透水試験の一般化理論からタイプカーブを作成し、本邦の岩盤の透水性次元を調査した²⁾。その結果を整理すると図-1 のように次元が増加すると透水係数も増加する傾向がみられた。本論では、そのような傾向を再現するためには亀裂性状にどのような特徴が備わっている必要があるのかを新しく開発した不連続亀裂浸透モデルを用いて検討した。

ここでは、始めに不連続亀裂浸透モデルの概要を紹介した後、それを用いたパラメトリックスタデーの結果を紹介する。

2. 不連続亀裂モデル

不連続亀裂モデルとしては FracMan や Napsac が現存するが、一般に使用することは難しい。そこで、筆者らはデローニー三角分割法³⁾を用いた不連続亀裂モデルの開発を行った。このようなコードの開発では、亀裂形状を円と仮定すると、亀裂同士の間差線や亀裂面上での間差線同士の交点を求めることは空間幾何の問題であり、さほど難しくはない。その後の各面上の交点を結んで有限要素を作成する過程がいくつものパターンがあり、面上を間欠・重複なしに要素に分割することが難しい。

ここでは、その面上の有限要素分割にデローニー三角分割法を用いて、不連続亀裂モデルの作成を行った。この手法はまず、節点を含む三角形を探索し、その三角形を三つの小三角形に分割していく、そして隣接三角形で作られる四角形の対角線長の比較により、より形のよい三角形に順次分割していく手法である。この作業を発生させた亀裂面ごとに繰り返すことにより、有限要素分割が可能となる。

本論で用いる手法ではまず、亀裂を発生させる直方体を規定する。その領域内に亀裂形状は円形で、円の中心座標はポアソン分布に従い、亀裂の方向は正規分布、そして亀裂幅、亀裂長さを対数正規分布と仮定して乱数を用いて亀裂を発生させる。入力データは亀裂長さ（直径）、亀裂幅、亀裂伏角、亀裂伏角方向の平均値と標準偏差、亀裂密度である。

3. 基本ケースの解析結果

以上のように亀裂の幾何学的情報（密度、方向、大きさ、亀裂幅）が独立した確率モデルで構成されるとして基本ケースによる解析を行う。解析領域は10m 立方であり、その全境界面で全水頭が10m という境界条件
亀裂性岩盤、浸透流、数値モデル、現場計測

〒020-8550 盛岡市上田 3-18-8 TEL/FAX 019-621-6194

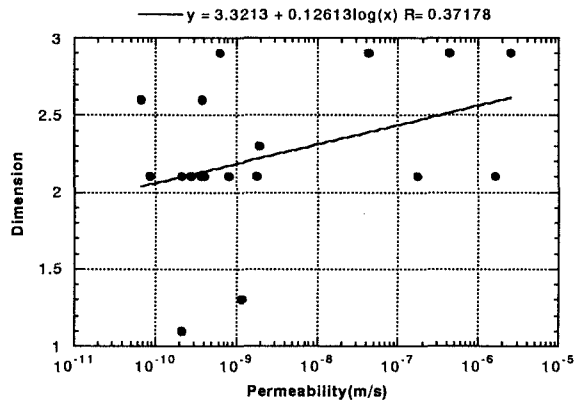


図-1 実測した次元と透水係数の関係

を用い、解析領域の中心節点を探し、その点に定量注入量 $10^{-4}\text{m}^3/\text{s}$ を設定し、非定常浸透流解析を行う。表-1 は基本ケースで用いた亀裂情報である。これは、図-1 の結果を得た地点の亀裂情報とほぼ同様のものである。解析結果は注入点の圧力～時間データとして整理し、これを Barker の一般化理論から作成したタイプカーブでフィッティングを行い、次元と透水係数を求める。

乱数の初期値を変えることにより、30 パターンの解析を行う。エルゴード仮定を考えると、これらの 30 パターンの結果は空間分布になるので、得られた次元と透水係数のプロットは図-1 の実測値と比較できる。図-2 に基本ケースでの解析結果を示す。次元が大きくなると透水係数が小さくなる傾向にあり、実測値とは異なっている。この傾向は長さ・亀裂幅・方向の分散を 2 倍および半分にしても同様の結果が得られた。

4. 亀裂幅と大きさの相関の検討

上述のように、亀裂幅と亀裂長が独立した確率場で存在すると仮定すると、実際の傾向とは異なったものとなった。そこで、次に亀裂幅と亀裂長に関係を持たしたモデルで同様の検討を行った。まず、亀裂幅が亀裂長さに比例して大きくなるケースでは亀裂幅 e と亀裂長さ L の関係を $e=5 \times 10^{-5}L(\text{m})$ と設定した。また、さらに大きな亀裂が大きな亀裂幅を持つように強調したケースとして $e=1.5 \times 10^{-4} \exp(2(L-L_m)/L_m)$ と設定した解析を行った。ここで L_m は平均亀裂長である。各亀裂の透水量係数は三乗則より求めている。検討の結果を図-3 に示す。この結果をみると、大きな亀裂の透水性がかなり高くないと実測したような傾向が現れないことがわかる。したがって、本論で調査した地点では、亀裂が大きくなるにつれ、指数関数的に亀裂幅が大きくなるような特徴を有していることが推定される。このような特徴を実際に測定して検証することは困難であるが、このようなモデルによる推定は亀裂特性の把握にとって重要な手法であろうと思われる。

表—1 基本ケースの入力データ

セット	1	2	3	4	5
亀裂密度(枚/m ³)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
平均亀裂長(m)	3	3	3	3	3
亀裂長の標準偏差(m)	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
平均亀裂幅(m)	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015	0.00015
亀裂幅の標準偏差(m)	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
平均伏し角(°)	70	90	60	15	60
平均伏し角方向(°)	320	250	180	180	350
伏し角と伏し角方向の標準偏差(°)	10	10	10	10	10

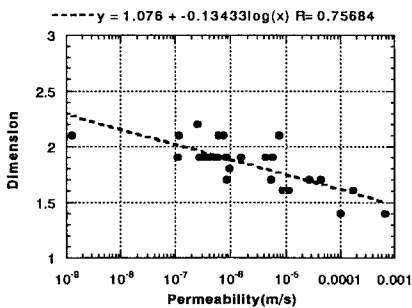


図-2 基本ケースの検討結果

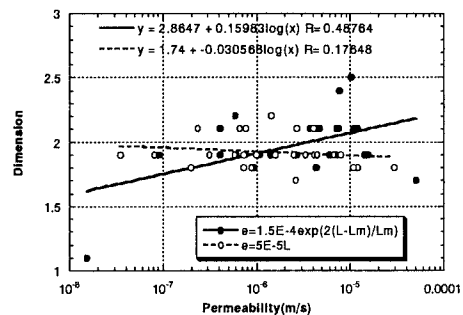


図-3 亀裂幅を亀裂長と相関を持たせた結果

参考文献：1) Barker, WRR24, 10pp.1796-1804, '88, 2) Kobayashi, et.al, S&F38, 4, pp.57-70, '98, 3) 谷口, FEM のための要素自動分割