

III-344 三次元亀裂系モデルによる岩盤浸透流の研究

神戸大学工学部 正 員 川谷 健
横河橋梁 北村 明彦
神戸大学大学院 学生員 安田 敏夫

1. はじめに 岩盤亀裂系における浸透流量のシュミレーションの多く¹⁾²⁾は、二次元モデルを用いて行われてきた。本研究は、岩盤亀裂系を三次元亀裂群としたモデルを提案し、これを用いて浸透流量と亀裂特性（亀裂数など）の関係を調べるとともに、二次元モデルにより算定した浸透流量との比較を行なった。

2. 亀裂系の三次元モデルと浸透流の解析手法 Longら³⁾が示した二次元のモデル化の方法を拡張し、以下の手順で、三次元モデルを作成する。(1). 亀裂の個数と同じ数の点を一様乱数を用いて一定空間内に均一に分布させる。(2). 亀裂の方向は図1のように法線ベクトルで表す。法線ベクトルの向きは、座標系との角度 θ および ϕ （以下、方位角と呼ぶ）で指定する。方位角の分布は正規分布とする。(3). 亀裂は円盤状とし、その半径 r と開口幅 b の分布は共に指数分布とする。(4). 浸透流の解析には、この亀裂系モデルから直方体の試験片をとりだす。

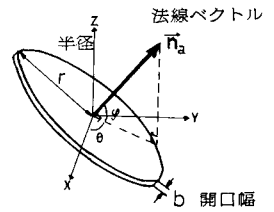


図1 亀裂

この亀裂系の浸透流の解析に、FEMやFDMなどの数値解析手法を直接的に適用することは、事実上不可能である。いま個々の亀裂に注目すると、そこでの流れは亀裂交線（2つの亀裂の交わる部分）群から、他の亀裂交線群への二次元流である（図2参照）。この二次元流れを、各々の亀裂交線に沿って、その水頭の代表値として、交線の中点における水頭値を用いて、次のように表わす。

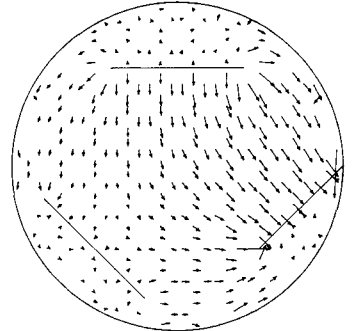


図2 亀裂内の流速分布

$$Q_{ij} = T_{ij} \frac{h_i - h_j}{S_{ij}} \quad (1)$$

ここに、 Q_{ij} は交線 i と交線 j の間の流量、 h_i と h_j はそれぞれの交線の中点における水頭値、 S_{ij} は交線 i と j の中点間の距離である。また、 T_{ij} は交線 i と j の間の透水量係数に相当する係数である。係数 T_{ij} は、亀裂の開口幅 b であるとき、基本的には $(gb^3/12\nu) \cdot b$ で与えられる。（ここに、 ν ；水の動粘性係数、 g ；重力加速度）しかし、 T_{ij} の値は亀裂交線の長さやそれらの相対的な位置関係によっても違ってくる。したがって、まず1つの亀裂面をとりあげ、以下の項目について、係数 T_{ij} がどのように変わるかを、有限要素法を用いた解析で検討し、それぞれの場合における T_{ij} の補正係数を算出した。(a). 亀裂交線長 (b). 亀裂交線間(中点)の距離 (c). 亀裂交線方向 (d). 亀裂交線の端部の位置 (e). 同一亀裂に三本以上の亀裂交線がある場合 (f). 亀裂交線がまじわっている場合。

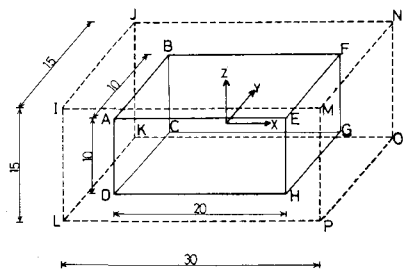


図3 三次元亀裂系モデルの試験片

表1 亀裂特性の分布条件

特性量	分布形	平均値	標準偏差
半径	指数分布	3.5m	1.5m
開口幅	"	0.5mm	0.4mm
方位角 θ	正規分布	90°	30°
方位角 ϕ	"	90°	30°

交線の中点における水頭は、 $\sum_{j=1}^N Q_{ij} = 0$ ($i=1 \sim N, j=1 \sim N, N$ 、亀裂交線の総数、 N ；交線 i に隣接する交線の総数) なる連立方程式を解いて求める。

3. 岩盤浸透流の数値シミュレーション まず図3に示す $15 \times 15 \times 30 \text{ m}$ の空間内に、前述の手順で、亀裂を発生させ、その中央から $10 \times 10 \times 20 \text{ m}$ の直方体を切り出し、浸透解析の試験片とする。亀裂の個数は100個から240個まで20個ずつ増加させた。そして、各々の亀裂個数に対して、亀裂の位置および特性を決定するための乱数を5ケース発生させた。亀裂特性の分布条件を表1に示す。境界条件として、上流面(ABCD面)と下流面(EFGH面)の水頭差は1mとし、その他の面は不透水性とする。

流量と亀裂数の関係を図4に示す。浸透流量は、亀裂特性により大きく変るものの、亀裂数が増すと増加する傾向がみられる。

つぎに、三次元亀裂系モデルを二次元モデルで近似して、浸透流量を算定することについて考える。三次元亀裂系モデルは上述の解析に用いたのと同様の試験片とする。まず、この試験片をX-Z平面に平行に $Y = -4.5 \text{ m}$ から 4.5 m まで1m間隔で切断し、各々の切断面に現われる亀裂群をそれぞれ1つの二次元亀裂系モデルとみなす。こうして得られた10個の二次元モデルの各々について、単位厚さ当りの浸透流量を算定し、その合計をもとの三次元試験片の流量とする。

図5に三次元モデルでの浸透流量(Q_3)と二次元モデルでの浸透流量(Q_2)の比較を示す。この図で、 m_y は方位角 φ の平均値(図6参照)である。亀裂数は200個で、亀裂特性の分布条件は表2に示すとおり

である。亀裂の平均方向が切断面と平行(すなわち、 $m_y = 90^\circ$)のとき、二次元モデルと三次元モデルの浸透流量はほぼ等しい。一方、亀裂の平均方向が切断面と垂直(すなわち、 $m_y = 0^\circ$)のとき、二次元モデルではほとんど流量が生じない。 $m_y = 30^\circ$ 、 $m_y = 60^\circ$ のときは、三次元モデルに対する二次元モデルの浸透流量の割合は、 30° のとき約15%、 60° のとき約60%である。

4. おわりに 本研究では、三次元亀裂系モデルを提案し、それを用いて岩盤浸透流と亀裂特性との関係を調べた。浸透流量は、亀裂数とともに増加する傾向が見られ、これは二次元モデルを用いて得られた結果¹⁾と同様である。つぎに、三次元亀裂系モデルで表現した浸透流を、二次元亀裂系モデルで近似した。その結果、近似のしかたによっては、亀裂系の三次元的な特性が二次元モデルには反映されず、二つのモデルから算定される浸透流量に大きな差が生じることが明らかになった。

参考文献

- 1) Long, et al.: Porous Media Equivalents for Network of Discontinuous Fracture, WRR, 18(3), 1982
- 2) 川谷ら: 数値モデルによる岩盤亀裂浸透流の研究, 第29回水理講演会論文集, 1986

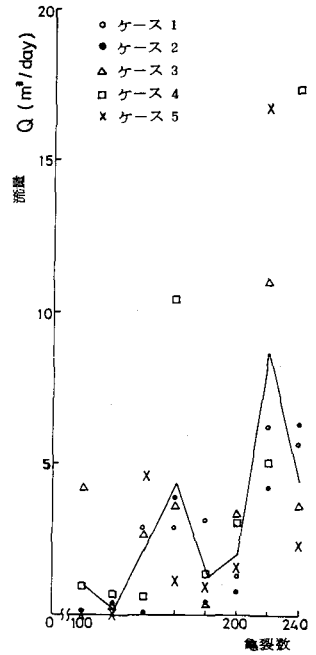


図4 流量と亀裂数の関係

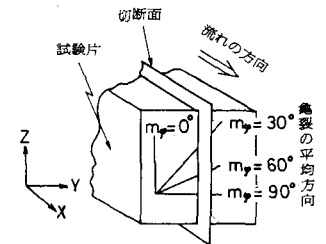


図6 切断面と亀裂の平均方向

表2 亀裂特性の分布条件

特性量	分布形	平均値	標準偏差
半径 r	指数分布	3.5 m	1.5 m
開口幅 b	"	0.5 mm	0.4 mm
方位角 θ	正規分布	90°	30°
方位角 φ	"	$0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$	30°