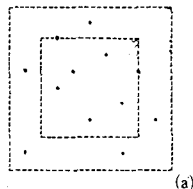


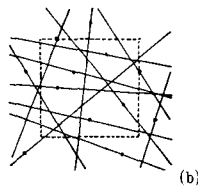
神戸大学工学部 正員 川谷 健

神戸大学工学部 学生員 ○ 北村 明彦

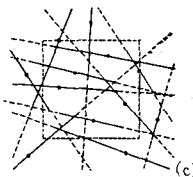
1. はじめに 岩盤でのトンネルやダムなどの工事、また地下資源の開発や石油の地下備蓄などにあって、岩盤浸透流の把握は重要である。ところが、砂や粘土などの多孔性物質中の浸透流に対する研究に比べると、岩盤浸透流に対する研究は必ずしも十分になされているとはいえない。本研究では、岩盤内の流れが岩盤の亀裂を径路としていることに注目し、個々の亀裂における水の流れの集合体として岩盤浸透流をとうえる。岩盤の亀裂系を、或る分布形をもつ二次元亀裂としてモデル化し、岩盤浸透流の数値シミュレーションを行う。



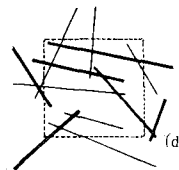
(a)



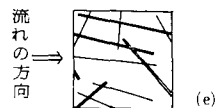
(b)



(c)



(d)



(e)

図-1 亀裂系モデルの作成

2. 亀裂系モデルの作成

二次元亀裂系モデルの作成要領を次に示す。

- 亀裂本数分の点を一様乱数を用いて一定の範囲内に均一に分布させる(図-1(a)).
- 方向の分布には正規乱数を用い、先に発生させた点を通る無限長の亀裂を発生させる(図-1(b)).
- 長さの分布には指数正規乱数を用い、先に分布させた点を中点とする有限長の亀裂にする(図-1(c)).
- 指数正規乱数を用いて、亀裂に開口幅を与える(図-1(d)).
- この亀裂系を長方形の枠で区切り、この部分について浸透流のシミュレーションを行う(図-1(e)).

3. 岩盤浸透流の数値シミュレーション

モデル内の任意の亀裂交点に注目し

た連続の式は次のようになる。

$$\sum_{j=1}^n \frac{K_j \cdot b_j}{L_j} (h_i - h_j) = 0 \quad \text{----- (1)}$$

ここに、 j は亀裂交点 i に隣接する亀裂交点または亀裂と境界線との交点、 n はその個数、 L_j は交点 i - j 間の距離、 K_j , b_j は交点 i , j を通る亀裂の透水係数及び開口幅、 h は水頭値である(図-2)。

全亀裂交点についてのこの式を連立させて解くことによって、全亀裂交点の水頭値を求め、浸透流を把握する。

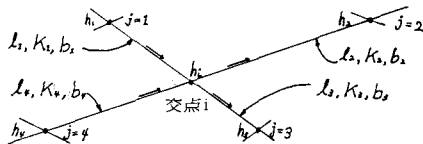


図-2 亀裂交点と隣接交点

4. 岩盤浸透流の一般的性質

岩盤の透水性は、浸透流の径路となる亀裂数、及び径路を構成する亀裂自体の透水性によると考えられる。しかし、これらは岩盤によって異なり、岩盤の透水性を一般化し等価な透水係数を用いて表わすことは困難である。本研究では、亀裂系モデルの亀裂の長さ・方向・開口幅の分布状態及び亀裂数の違いによる浸透量の違いを調べることによって、亀裂特性と岩盤の透水性との関係を検討する。岩盤亀裂系モデルの一例を図-3に示す。この図の長方形ABCDがシミュレーションのための試験片で、AB・CD面にそれぞれ一定な水頭値を与え、BC・DA面は不透水性境界とする。

亀裂数の増加に伴う亀裂交点数及び流量の変化を調べた結果を図-4に示す。岩盤の透水性は、全般的には亀裂

数とともに増加し、また亀裂交点数との関係が深いと言える。しかし、流量の変動は大きく、亀裂数と透水性との定量的関係を求めることは困難である。

亀裂方向の平均と標準偏差の違いによる透水性の変化を調べた結果を図-5に示す。横軸は動水勾配の方向と亀裂の平均方向とのなす角である。亀裂方向による透水性は、亀裂の平均方向と動水勾配の方向との関係、それに標準偏差による亀裂どうしの結合付きの二つの要因によって左右され、動水勾配方向の流路の径路の数とともに透水性も増加すると言える。

亀裂開口幅と透水性の関係では、平均開口幅の増加に伴い透水性も増加することが判った。また、図-6に示すように、開口幅の分散が増加するに伴い透水性の変動は大きくなる。

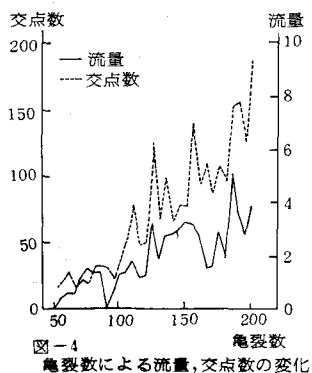


図-4 亀裂数による流量、交点数の変化

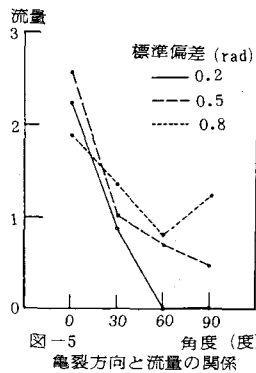


図-5 亀裂方向と流量の関係

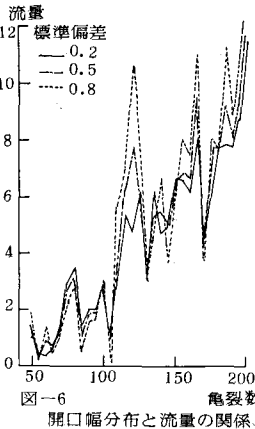


図-6 開口幅分布と流量の関係

さらに、亀裂長の平均と分散の違いによる透水性の違いについて調べた。その結果は、岩盤の透水性は亀裂長とともに増加するが、分散による変化は少ない。

岩盤浸透流を多孔性物質中の浸透流のように扱うことは難しいが、多くのモデルについてシミュレーションを行うことによってその一般的性質を把握することは可能であると思われる。

5. 亀裂系モデルの応用例 岩盤上に建設される重力式ダムにおいて、岩盤亀裂内の浸透水がダム底面に及ぼす揚圧力を軽減する方法としてカーテングラウト工がある。このカーテングラウト工のダム揚圧力軽減効果について、亀裂系モデルを用いて検討する。解析モデルを図-7に示す。岩盤上の堤体底面は幅10、奥行20とし、グラウト柱は堤体の上流端部分に中心間隔1で不透水層に達するように設ける。この場合のグラウト柱による堤体上流端の締切り率と揚圧力との関係を調べた結果を図-8に示す。なお、揚圧力は亀裂交点における水圧の平均で評価し、締切りの無い場合の値との百分率で表す。締切り率を90%まで高めても揚圧力の軽減は13%程度しか達成されず、グラウト柱間に未止水の亀裂が残っている場合、止水壁による揚圧力軽減効果はほとんど期待できないといえる。

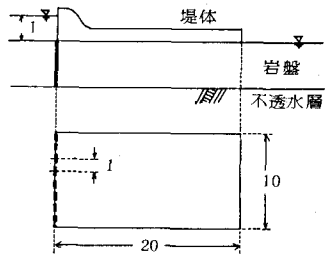


図-7 解析モデル

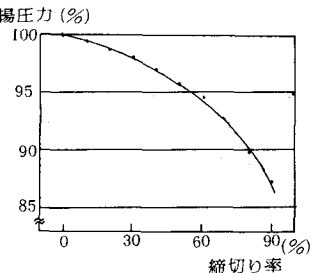


図-8 揚圧力と締切り率の関係

参考文献 1) J.C.S.Long, J.S.Remer, C.R.Wilson, P.A.Witherspoon: Porous Media Equivalents for Networks of Discontinuous Fractures