

II-97 逆解析による岩盤亀裂系の透水性の評価

神戸大学工学部 正 員 川谷 健
住友金属工業 正 員 斎藤 雅彦
神戸大学大学院 学生員 藤多 真也

1. はじめに

トンネルや大規模な地下空間はしばしば岩盤に掘削される。そのとき地下水の湧出量や湧出地点は岩盤亀裂系の構造に支配されるので、安全施工のためにも亀裂系の地下水の賦存状態や流動状況を把握しておくことが重要である。その一手段として、ボーリング孔内の水位や湧水圧の計測データを利用して逆解析を行うことが考えられる。浸透流の数値解析に一般的に用いられる手法では、浸透流の場は多孔質媒体であるとして取り扱われる。したがって、このような手法によって逆解析を行うと、実際には岩盤亀裂系内の浸透流であっても、結果的には亀裂系の場を多孔質体の場として評価することになる。

本研究では、2次元の岩盤亀裂系モデルをとりあげ、岩盤亀裂系の透水性を多孔質媒体のそれとして評価することの有用性と妥当性について検討した。

2. 逆解析手法および岩盤亀裂系のモデル化

逆解析は制約付きシンプレックス法を用いて行う¹⁾。この方法は、最適モデルパラメータの探索過程で、目的関数のモデルパラメータによる微分を必要とせず、それだけ目的関数最小化のための定式化が簡単である。またパラメータの初期設定に関わらず、目的関数が極小値の影響を受けることが少なく、最小値に収束する可能性が高いという利点もある。

2次元亀裂系の数値モデルは、Longらが示した方法²⁾によってつくる。図-1に、岩盤亀裂系の発生域と試験片を示す。亀裂の中点の分布領域は 40×25 (無次元)、試験片は中央の 20×10 である。亀裂の方向は、図中の θ が正規分布であるとして規定する。個々の亀裂の透水係数は、亀裂内の流れが平滑な平行板間の層流であるとし、開口幅から算定する。亀裂交点における水頭は、亀裂交点における流入・流出量を考慮し、境界条件を導入して算定する³⁾。

3. 逆解析による透水係数の算定結果

逆解析の対象とした亀裂系モデルは、亀裂数が100本、亀裂の方向が平均値 0 rad で標準偏差 0.5 rad の正規分布、亀裂長が平均値 5 で下限値 4 の指数分布、開口幅が平均値 1 で下限値 0.5 の指数分布、である。境界条件は、上流端の水頭が 1、下流端の水頭が 0、である。亀裂系モデルは、用いる乱数を変えて、統計的性質が同じものを3通りつくった。図-2に、亀裂系モデルと逆解析のための有限要素分割 (数字をつけた●印は水頭の観測点) の1例を示す。

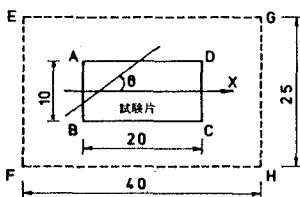


図-1 岩盤亀裂系の発生域と試験片

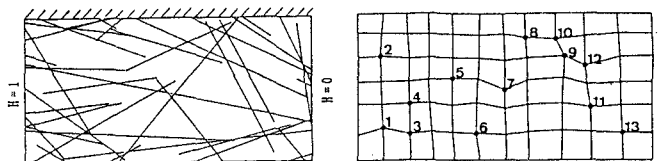


図-2 亀裂系モデルと逆解析の有限要素分割

図-3は、流れ場を主流に直交する3領域に分割して、各領域の相対的な透水係数（3領域のうち最大の透水係数を1とする）を求めた結果である。亀裂系の統計的性質は同じであるのに、透水係数が最大になる領域の位置や、領域間の透水係数に大きな違いがある。図-4は、流れ場を上下・左右の4領域に分けた場合である。この場合、上述の3領域に分割した場合と比較して、各領域間で透水係数の推定値のばらつきが大きくなっている。図-5は、4領域に分割したときの水頭分布と流束分布である。流束分布は、亀裂系で主として浸透流に貢献している亀裂の配列を大まかに再現しているように見える。図-6は、流れ場を上中下・左右の6領域に分割した場合の水頭分布と流束分布である。この結果では、もとの亀裂系には上・下流端をつなぐ亀裂がないところにもかかわらず、そこに大きな流束が在るようになっている。

K=1	K=0.62	K=0.71
K=1	K=0.45	K=1
K=0.31	K=0.18	K=0.06

K=1	K=0.05
K=0.13	K=0.07

K=0.45	K=0.24
K=0.0	K=1

K=0.0	K=0.66
K=1	K=0.13

図-4 透水係数（相対値）の推定結果

図-3 透水係数（相対値）の推定結果

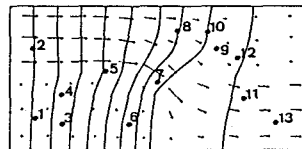
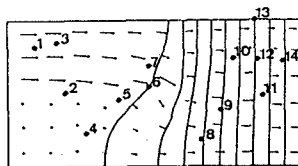
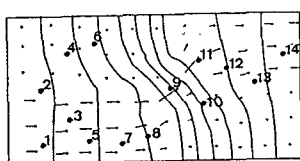


図-5 4領域に分割したときの水頭分布と流束分布

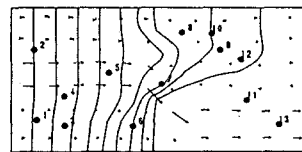
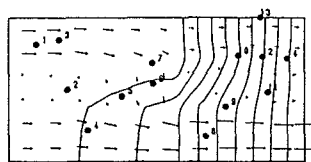
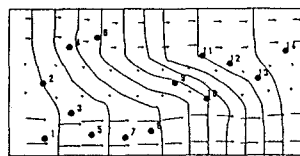


図-6 流れ場を6領域に分割した場合の水頭分布と流束分布

亀裂系における水頭の分布は、ここに取り上げたような単純な境界条件の流れ場であり、また亀裂系の統計的性質が同じであっても、亀裂系の構造によって大きく異なる。したがって、逆解析に採用する水頭のデータにはばらつきが大きく、逆解析結果もそれぞれ違ったものとなる。少なくとも、亀裂密度が小さいときには、逆解析によって岩盤亀裂系の透水性を多孔質媒体のそれとして評価することは妥当でないと考えられる。以上の結果を踏まえ、亀裂数を増し、また亀裂の方向の標準偏差を小さくして上・下流端をつなぐ亀裂が増えるようにして、亀裂密度と水頭分布の関係を調べた。すなわち、亀裂数を150本、200本とし、亀裂方向の標準偏差を0.25 radとした場合について、亀裂交点における水頭値のばらつきを調べた。その結果、ばらつきは極めて大きく、これらを用いて逆解析を行っても透水係数の推定値や流束分布に大きなばらつきが生じると判断した。

〔参考文献〕1) Woodbury, et al, WRR 23(8), pp.1586-1606, WRR 24(3), pp.356-372, 1987.

2) Long et al, WRR 18(3), pp.645-658, 1982. 3) 川谷ほか, 水講論文集(29), pp.869-874, 1985.