

III-173

弾性波探査による岩盤透水性の評価手法について

大成建設(株) 正員 岩野 政浩
同 上 正員 下茂 道人
同 上 正員 亀村 勝美
埼玉大学 正員 小田 匡寛

1. はじめに

現位置岩盤の透水特性を把握するため様々な調査・試験方法が考案されているが、透水性の分布特性(異方性)を調査するためには大規模・長期間の原位置試験を必要とするのが現状であり、これを補う簡易手法が開発されれば、その利用価値は大きいと考えられる。

一方、岩盤調査法として普及している弾性波探査手法に着目し、弾性波速度分布より節理の分布特性を推定する手法が既に提案されており、節理分布と透水特性の密接な関係を考慮すれば、弾性波探査手法は岩盤透水性の評価にも適用可能なことは想像に難くない。本研究では、図-1に示すような弾性波速度、節理、透水性の各分布間の関係に対する一連の研究成果を基に、弾性波速度分布より透水性を推定する手法を提案する。

2. 解析手法

弾性波速度分布から節理の密度関数、及び透水テンソルを推定する方法を考案し以下に示す。本報告は二次元場で考えると、図2に示すように全ての節理を法線方向 θ 、長さ r の線素でモデル化し、弾性波が交差したときに時間遅れ t が生じると仮定する。次に ϕ 方向の弾性波の走査線を置いた場合、単位面積あたりの節理数を ρ 、節理の密度関数を $E(\theta, r, t)$ とすると、この走査線に生じる単位長さあたりの時間遅れ関数は、

$$L(\phi) = \int t \cdot r \cdot \rho \cdot |\cos(\phi - \theta)| \cdot E(\theta, r, t) d\theta dr dt \quad (1)$$

と表現できる。この場合、弾性波の時間遅れの加算性を仮定している。

$$\text{さらに、} T(\theta) = \int t \cdot r \cdot \rho \cdot E(\theta, r, t) dr dt \quad (2)$$

$$\text{より、} L(\phi) = \int |\cos(\phi - \theta)| \cdot T(\theta) d\theta \quad (3)$$

というBUFFON変換が成立する。計測した弾性波速度の分布より、フーリエ級数を用いて $L(\phi)$ を近似し、展開係数の比較により式(3)の逆変換を行い $T(\theta)$ を決定する。この $T(\theta)$ より二次のテンソル量を構成し、タイムラグテンソル T_{ij} ($i, j=1, 2$)と定義する。また二次の透水テンソル K_{ij} は、 $K_{ij} = \rho \cdot \lambda \cdot \int r w^3 (\delta_{ij} - n_i n_j) E(\theta, r, w) d\theta dr dw$ (4) 図-2 節理と走査線(模式図)

$$K_{ij} = \beta \cdot H_{ij}^{kl} \cdot T_{kl} \quad (5)$$

$$\beta = \int r w^3 E dr dw / \int r t E dr dt$$

$$H_{ij}^{kl} = \pi/8 \cdot (3 \delta_{ij} \delta_{kl} - \delta_{ik} \delta_{jl} - \delta_{il} \delta_{jk})$$

ここで w : 節理の開口幅 (cm), λ : $\lambda = \frac{\rho_w \cdot g}{12 \mu}$
 ρ_w : 水の密度 (g/cm^3), g : 重力加速度 (cm/sec^2)
 μ : 水の動粘性係数 (cm^2/sec)

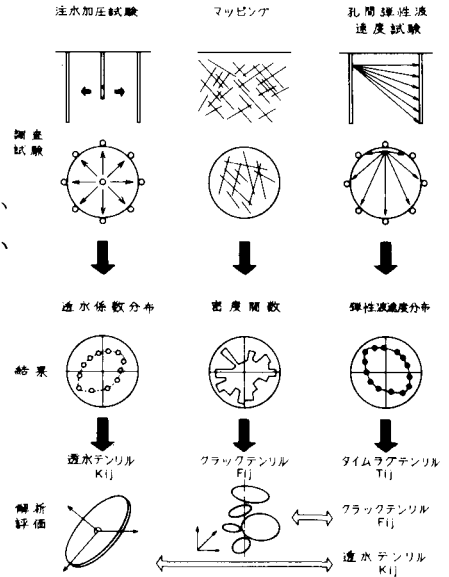


図-1 調査・評価の相関関係

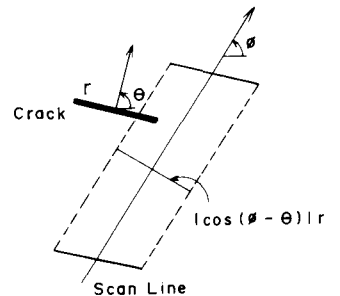


図-2 節理と走査線(模式図)

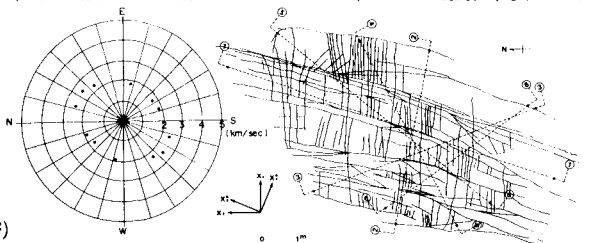


図-3 実岩盤の節理分布と弾性波速度分布

3. 透水テンソルの算出

図-3は小田らが実施した花崗岩の露頭におけるマッピングによる節理分布と弾性波速度試験の結果である。本報告では、弾性波速度分布を用いて本手法により求めた透水テンソルと、マッピングデータより数値解析的に求めたテンソルとを比較する事で考案を進めた。式(5)の適用にあたっては、テンソルの主値の比、及び主軸方向の算定を目的とし、この場合、節理における弾性波の時間遅れ t の分布、開口幅 w の分布が不明なため、 t, w は一定、 $\beta = 1.5 \times 10^{-3} \times w^3$ と仮定した。数値解析による透水テンソルの算定には、以下の二つの節理系を用いた。

- a) 図-3に示す実際の節理分布を忠実に反映したモデル
- b) マッピングによって得られた、節理の幾何学的特徴を表わす統計量（密度、長さ・方向の分布）と等価な節理群を一辺10mの正方形領域に発生させたモデル

ここで、実際の節理の方向分布からみて二つのグループに分けて節理を取り扱うものとした。これら二つのグループの長さ・方向分布は、マッピングデータより図-4に示すような分布を示しており、これと等価な密度関数として長さ分布には指数分布、方向分布には正規分布を適用した。図-5に人工節理系の一例を示す。解析方法は、境界条件として同図に示すように側方境界に線形圧力勾配を与え、領域を回転させながら各方向の透水係数を求めた。さらに同様な計算を10種の異なる節理系で計算し、それらの平均値として、透水テンソルを算定した。

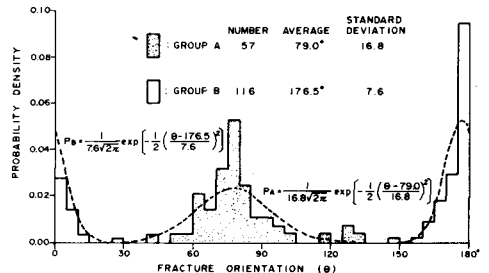
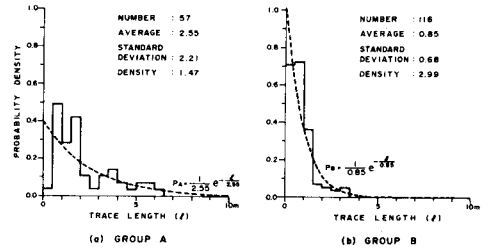


図-4 節理分布の統計的処理

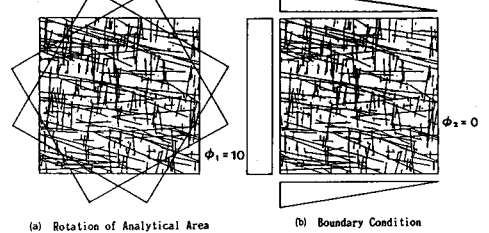


図-5 人工節理分布と解析条件

4. 解析結果

弾性波を用いた本解析手法の結果と二つのモデルによる解析結果を図-6に示す。この図より、透水テンソルの主値の比、形状は全ての場合で概ね一致しているものの主軸の方向には若干の差異がみられる。これは、マッピングの精度、開口幅の分布の設定、人工節理系の発生手法などに起因すると考えられる。

しかしながら、走査線が6方向と少ない事実、露頭の表面が、凸凹に富んでいた事実を考慮すると、本手法の実岩盤への適用性が示唆された。

5. おわりに

弾性波探査を用いた本評価手法の利点は、弾性波探査が操作性に優れ、データが客観性・均質性を有していると考えられる他、少ない注水試験データを用いて異方性を考慮した透水性の評価が可能な事である。一方、解決すべき問題点も多く含んでおり、今後、原位置・室内でのデータの蓄積を計ると共に、原位置での計測手法を含め、性能向上のための総合的な研究を進めていく予定である。

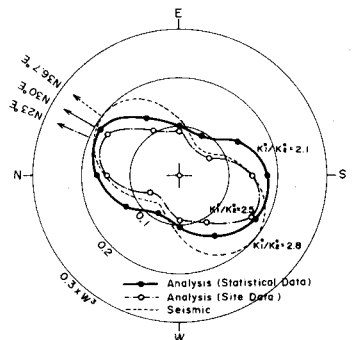


図-6 透水テンソルの比較

<参考文献> 1. 岩野, 他 (1987): 弾性波速度分布とクラックテンソル, 第22回土質工学研究発表会

2. 里, 他 (1985): 岩盤の不連続面に関する一評価方法, 第17回岩盤力学シンポジウム 3. 小田, 他 (1986): 弾性波速度とクラックテンソル, 第18回岩盤力学シンポジウム 4. Long (1983): Ph.D. Thesis, U.C. Berkeley