

Ⅲ-61

地下岩盤試験場の水理特性に関する研究（その1）
—岩盤亀裂調査による等価透水係数テンソルの推定—

(株)大林組 正会員 鈴木 健一郎 丹生屋 純夫
同 上 正会員 並木 和人 玉野 達

1. はじめに

岩盤の透水係数を同定する原位置試験の一つにクロスホール透水試験がある¹⁾。大林組神岡岩盤試験場²⁾において、クロスホール透水試験を実施し、その適用性を検討した³⁾。本報告は、試験位置の選定と透水係数の予測を行う目的で実施した亀裂調査結果と亀裂の室内透水試験結果について述べるものである。試験位置の選定に関しては、試験サイトの岩盤が多孔質媒体として近似することの妥当性を9 m x 6 mの領域に対して実施した亀裂調査結果に基づきREVの概念および亀裂の連結性から検討した。透水係数の予測に関しては、試験サイト近傍より採取した天然の亀裂の透水試験から算出した三乗則開口幅とマイクロスコープにより採取した表面に現われた見掛けの開口幅を用いて、クラックテンソルによる等価透水係数テンソルを求めることを行った。以下にその概要を述べる。

2. 亀裂調査およびサンプリング方法

亀裂調査は、試験候補サイトの床面を清掃した後、1m x 1mの格子に区切った合計54個の正方形内において実施した。各格子内で亀裂をスケッチし、それらの代表的な方向を計測し、さらにマイクロスコープにより見掛けの開口幅を算定するための50倍拡大画像データを取り込んだ。全領域における亀裂マップはスケッチを合成することにより作成した。このマップより亀裂の長さを調べた。

透水試験用の天然亀裂のサンプリングは、亀裂調査実施サイト近傍の壁面に現われた亀裂を対象とした。まず、電動カッターにより亀裂周囲に深さ10cm程度の井型の切り込みを入れ、そこに、たがねを打ち込むことによって岩盤と分離した。試料は亀裂面で分離しないように固定し、試験室に運び試験実施まで水侵させた。サンプリングによる亀裂の状態の乱れは最小におさえられたと考える。

3. 亀裂試験結果および室内透水試験結果

作成された亀裂マップを図-1に示す。この領域における亀裂の方向分布を図-2に、2次元のトレース長さの分布を図-3に示す。亀裂のトレース長さの平均は0.5mであった。このマップ内に直径1mの円領域をセットし、そこにおける2次元のクラックテンソルを54領域についてそれぞれ計算した。第一不変量である F_0 の分布を図-4に示す。この図より $\pi/4m^2$ の領域においては不連続面分布の不均質性が示された。等価な多孔質媒体として近似するためには分布の均質性の仮定が成立することが必要条件となる。そこで亀裂分布の意味から原位置透水試験の最小領域を設定するために領域の寸法を変化させてクラックテンソルを決定した。その結果2次元でおよそ3.4m程度の

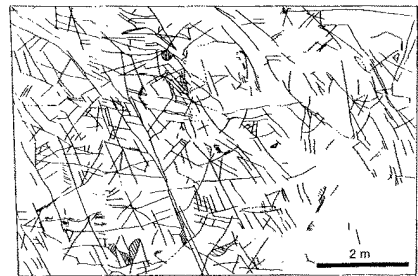


図-1 亀裂のトレースマップ

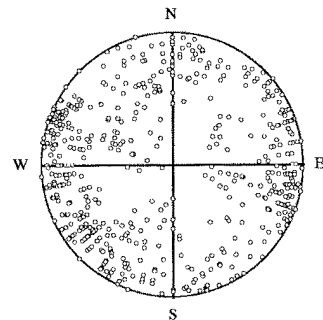


図-2 亀裂の方向分布（極投影）

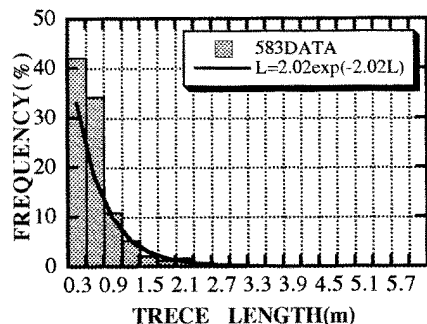


図-3 亀裂のトレース長さの頻度分布

領域（平均トレース長さの6～8倍）を考え、3辺をそれぞれ2.87, 3.43, 4.26mとする三角形配置の注入・観測ボーリング孔とした。またこの時、亀裂の交差数は図-5に示すような頻度分布で、1本の亀裂に対して平均4.0本が交わる結果となり、連結性の意味からも多孔質媒体として近似し得ると考えた。亀裂密度については、亀裂マップ上で、N-S方向走査線、E-W方向走査線および3本のボーリングデータより亀裂の平均的な方向と各走査線の交わる角度で補正することによりそれぞれ7.0, 7.4, 10.0を得た。

透水係数を推定するために必要な開口幅に関する情報は、地表面および孔壁に現れた亀裂の観察と透水試験により得た。図-6にマイクロスコープで計測した亀裂の開口幅の頻度分布を示す。亀裂の画像から0.2mm目盛で読み取られた平均開口幅は0.78mmである。BTVにより捉えられた開口亀裂は1mmであった。室内透水試験は三軸セル型の透水試験装置を用い、周圧を変化させて流出量と時間を計測し、水理学的開口幅（三乗則開口幅）を求めた。図-7に3試料の水理学的開口幅と周圧との関係を示す。これより周圧の小さな領域での水理学的開口幅は60μmから20μm程度で、見掛けの開口幅とは1から2オーダーの違いがあることが示された。

室内透水試験より得られた水理学的な開口幅(20μm)が全ての亀裂に割り当てられると仮定して、床面に現われた亀裂に関する情報から透水係数テンソルを求めると次式となる。X,Y,Z軸はそれぞれE,N,鉛直上向きである。

$$k_y = \begin{pmatrix} 2.10 & 0.04 & -0.16 \\ 0.04 & 3.01 & 0.04 \\ -0.16 & 0.04 & 3.63 \end{pmatrix} \times 10^{-7} (m/sec)$$

4. おわりに

クロスホール透水試験を実施するに当たり、岩盤の多孔質媒体としてのモデル化の必要条件としてサイトの亀裂分布からREVと連結性について検討した。亀裂分布の意味からはその妥当性が示され、実施地点を決定した。透水係数を推定するに当たり、開口幅を観察と室内試験より求めたが、室内試験より求めた水理学的開口幅を用いた推定透水係数が試験結果を反映するものとなった。異方性に異方性に関してはさらに検討する必要がある。

参考文献

- 1) Hsieh et al. ; Field determination of the three dimensional hydraulic conductivity tensor of anisotropic media 1. theory, 2. Methodology and application to fractured rocks, W. R. R. Vol. 21, No. 11, pp. 1655-1676, 1985
- 2) 土原ほか；地下岩盤試験場におけるき裂特性評価（その1）き裂分布特性と岩盤分類の相関性について、第48回土木学会年次学術講演会, pp. 1370-1371, 1993
- 3) 須藤ほか；地下岩盤試験場の水理特性に関する研究（その2）原位置岩盤のクロスホール透水試験結果について、第50回土木学会年次学術講演会, 1995

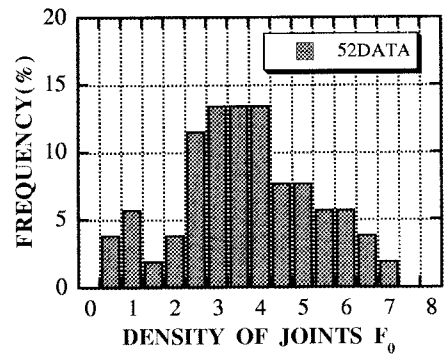


図-4 F_0 の頻度分布

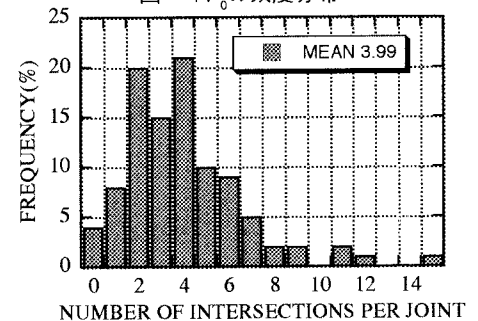


図-5 交差亀裂数の頻度分布

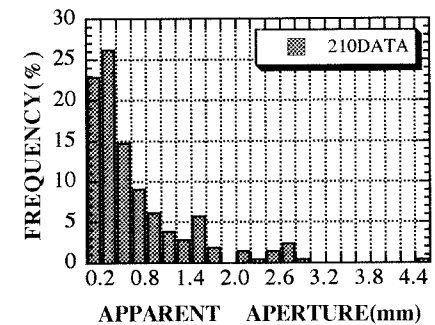


図-6 マイクロスコープによる亀裂開口幅の頻度分布

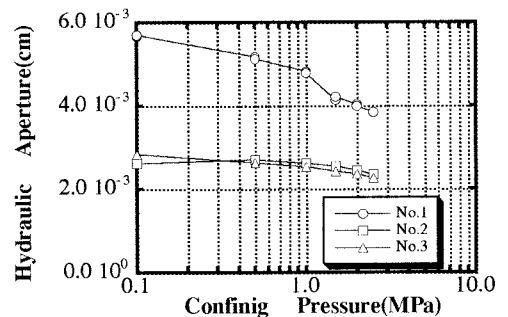


図-7 水理学的開口幅の周圧による変化