

Ⅲ-A255

トレーサー試験におけるき裂分布特性の影響について

(株)大林組 鈴木健一郎 並木 和人
須藤 賢 玉井 昭雄

1. はじめに

岩盤中の地下水の流れに伴う物質移行特性についての知見を得ることを目的として、神岡地下実験場においてトレーサー試験を実施した¹⁾。岩盤中の地下水での分散特性についてはき裂内の実流速が問題となるため多くの研究が不連続体モデルをベースにした数値実験によって把握することが行われている²⁾。媒質の平均的な移動量や分散長を等価な分散テンソルにより予測しようとする時、き裂密度が小さい場合だけでなくき裂分布が異方的である場合にも水頭分布の不均質の影響が顕著となるという知見も得られている³⁾。試験サイトでのき裂の分布特性、き裂の水理学的特性については、き裂調査と室内透水試験により既に把握されている⁴⁾。この報告では、分散テンソルをき裂に関するデータから推定し、トレーサー試験より得られた破過特性と比較した結果について述べる。

2. トレーサーの移流分散におけるき裂の影響評価

試験サイトのき裂系の幾何学的特性はクラックテンソルにより表-1のように表現される。実流速を考えるためには間隙率 ϕ を考慮して

$$\langle v_i \rangle \cdot \frac{1}{\phi} \langle \langle v_i \rangle \rangle = \frac{1}{12} \frac{\langle w^3 \rangle}{\langle w \rangle} (\delta_{ij} - N_{ij}) J_j = \frac{1}{2} w_0^2 (\delta_{ij} - N_{ij}) J_j$$

となる。ここで、 δ_{ij} はクロネッカーデルタ、 N_{ij} はき裂の法線ベクトルのテンソル積である。 w_0 はき裂の平均開口幅で、指数分布を仮定した。また、分散テンソルは次式で与えられる³⁾。

$$D_{ij} = D_{ij}^{(w)} + D_{ij}^{(l)}$$

$$D_{ij}^{(w)} = \frac{1}{12} \left(\frac{\alpha}{\nu} \right) \frac{\langle \ell \rangle w_0^2}{2\gamma} (N_{ij} - N_{ik} N_{kj}) J_k J_i$$

$$D_{ij}^{(l)} = \frac{1}{12} \left(\frac{\alpha}{\nu} \right) \frac{\langle \ell \rangle w_0^2}{2\gamma} \frac{\langle \ell \rangle}{J_i J_j}$$

ここで、 $D_{ij}^{(w)}$ はき裂の幾何学性に関する項、 $D_{ij}^{(l)}$ は動水勾配の不均質分布を表わす項である。 α は重力加速度(9.8m/sec²)、 ν は動粘性係数(1.2×10⁻⁶m²/sec)、 $\langle \ell \rangle$ はき裂内を通過して交わったき裂へ到達するまでの平均距離、 N_{ij} はき裂の4階の方向テンソル、 J_i は動

水勾配で、 $\gamma = \{(\delta_{ij} - 2N_{ij} + N_{ik} N_{kj}) J_k J_j\}^{1/2}$ である。

また、 $\frac{\langle \ell \rangle}{J_i J_j} = \frac{\langle \ell \rangle}{J_i J_j} = g(\lambda)(a_i p_j + a_j p_i) J^2$ である。

ここで a_i はクラックテンソルの異方性の最小主軸方向の単位ベクトル、 p_i は平均動水勾配の方向を表わす単位ベクトル、 J は動水勾配の大きさ、 $g(\lambda)$ は連結性に関するパラメータである。これらのパラメータから分散テンソルを求めるに当り、き裂の開口幅の設定が問題となる。そこで、トレーサー試験結果の評価に当り開口幅をパラメータとして近似することを試みた。

3. トレーサー試験結果の考察

トレーサー試験において破過が得られた2ケースのデータの1次元近似を行った。この時、座標系は注入孔と観測孔を結ぶ軸を x_1 軸、 x_1 軸に直交する面内に水平な x_2 軸とそれぞれに直交する x_3 軸とし、連結性を与えるパラメータは0.2を、 $\langle \ell \rangle$ はき裂密度を考慮し、8.7cmを仮定してき裂情報と合わせて分散テンソルを求めた。すなわち、分散テンソルの11成分(縦分散係数)の値と実流速を開口幅のみをパラメーターとして破過曲線を十分近似するように決定した。(ただし、トレーサーの注入濃度 C_0 が観測孔では希釈されているので、観測最大濃度 $C_{\max}$ の注入濃度に対する比を希釈率とした。)ケース1の場合は、破過曲線のピークが得られたとするとうまく曲線を近似できないため、ピークには到達していないとして開口幅を変化させて近似した。また、ケース2ではピークが存在し、完全に破過したとしてピーク値の25%と75%の値から2次方程式 $v_1^2 t^2 - (2ut + 0.91D_{11})t + l^2 = 0$ の根として得られる流速と分散係数の値に合うよう開口幅を決めた。ケース2は注入孔をH-2②(中心深度-6.25m)、観測孔(揚水有)をH-1②(中心深度-4.25m)とした場合(有効水頭差30m)で、実流速および分散テンソルは表-1に示すようになる。それぞれの近似曲線を図-1と図-2に示す。これらの結果より、①ケース1は注水のみ、ケース2では注水+揚水であるため、トレーサーの注入濃度に対する希釈がケース2の方が大きい。②破

キーワード：トレーサー試験、き裂、分散

過曲線から実流速を推定するための開口幅 w_k と分散を推定するための開口幅 w_d は w_d の方が大きい値となり、それはケース1でも同様であった。③②において求めた開口幅 w_k による透水係数は事前に実施された孔間透水試験で得られた値と大きく異なり、分散テンソル推定に用いる開口幅は三乗則開口幅の1/10程度となる。これを解釈するには連結性パラメータが仮定した値より小さいものであると考える方法と母岩の間隙も考慮する必要があるとする方法がある。サイトの岩盤に存在する、連結性は確認されていない間隙率10%の効力が連続するものであると仮定すると破過曲線の1次元近似により得られた実流速に近い値となる。

次に横方向分散係数（分散テンソルの22および33成分）について検討した。観測孔で観察される最大濃度の注入濃度に対する比を分散テンソルの22成分と33成分（横分散係数）により求め、近似結果との比較を行った。点源を仮定した場合の観測孔での希釈率を求めると、き裂特性から推定された希釈率は1次元近似結果よりやや小さめの値となった（表-1）。文献5に示されるトレーサー試験後の比抵抗トモグラフィ結果では、上下幅2m程度の塩分濃度の増加（比抵抗値の減少）が認められた。横分散係数から予測される値（1.25m）は計測結果と比べてやや小さめの値となる。

4. 課題

き裂調査をもとに岩盤の分散特性を推定し、それらの値についてトレーサー試験結果の1次元近似より得られる分散特性と比抵抗トモグラフィ結果との比較を行った。その結果、透水係数を推定する場合の開口幅の考え方と分散係数を推定する場合のそれとの違い、岩石中へのトレーサーの拡散の影響などの評価が今後の課題となると考える。

【参考文献】

- 1) 須藤ほか 神岡岩盤試験場におけるトレーサー試験について 第28回岩盤力学に関するシンポジウム、pp289-292, 1997
- 2) 例えば、下茂ほか 岩盤き裂系内の物質移行に関する数値解析的研究 第18回岩盤力学に関するシンポジウム、pp391-395 3) Oda et.al. The effect of crack geometry on hydrodynamic dispersion in cracked media, SOILS AND FOUNDATIONS, Vol. 36, No. 2, 69-80, 1996 4) 鈴木ほか 地下岩盤試験場の水理特性に関する検討（その1）岩盤亀裂調査による等価透水テンソルの推定、第50回土木学会年次学術講演会、1995 5) 並木ほか 比抵抗トモグラフィによる塩水トレーサー検出に関する予備的考察、第52回土木学会年次学術講演会

表-1 き裂の幾何学的特性と近似結果

き裂幾何学特性	
$R_0^{(3)}$	9.73
異方性の程度	0.44
N_{ij}	$\begin{pmatrix} 0.52 & 0.00 & 0.04 \\ & 0.31 & 0.00 \\ & & 0.17 \end{pmatrix}$
ケース2近似結果	
実流速 $1.78 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$	開口幅 w_k $1.17 \times 10^{-6} \text{ m}$
分散テンソル	$\begin{pmatrix} 1.88 & 2.21 & 1.44 \\ & 2.94 & 2.13 \\ & & 1.79 \end{pmatrix} \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{sec}$
開口幅 w_d	$4.24 \times 10^{-6} \text{ m}$
希釈率 $\frac{C_{\max}}{C_0}$	ケース1：0.173（0.09予測値） ケース2：0.046（0.01予測値）

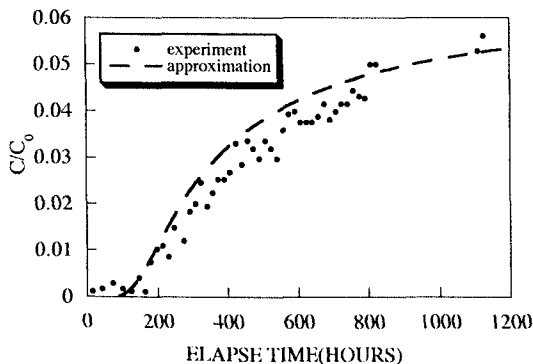


図-1 破過曲線と1次元近似（ケース1）

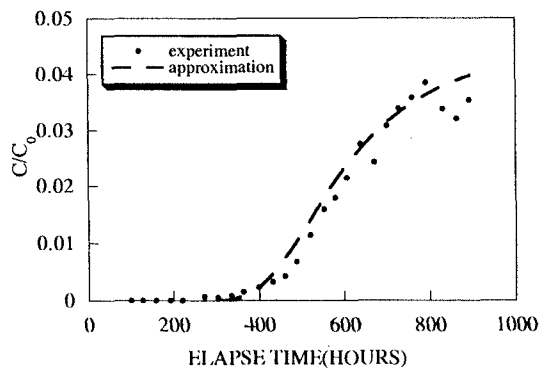


図-2 破過曲線と1次元近似（ケース2）