

III-442

岩盤の物質移行特性の異方性に関する実験的研究

大成建設(株)技術研究所 下茂道人、井尻裕二、飯星茂

1. はじめに

近年、汚染物質に対する地下水環境の保全、放射性廃棄物処分における安全性評価等に関連して、地下水の流れによる溶解物質の移行現象に関する研究が進められている。地盤中の物質移行の予測を行う際には、透水係数、拡散係数、有効空隙率などの物性を原位置で測定する必要がある。従来、これらの物性は、等方的な量として捉えられる事が多かったが、最近では、複数のボーリング孔を用いたいわゆるクロスホール試験により、その異方性を評価する試みもなされている。筆者らは、原位置試験結果の評価手法に関する知見を得るために、これらの試験を原位置に比べて明確な境界条件のもとで行える岩盤ブロック試験機を開発し、クロスホール透水試験およびトレーサー試験を実施した。本報では、これらの室内試験によって得られた岩盤の物質移行特性の異方性に関する知見について述べる。

2. 試験方法

図-1に岩盤ブロック試験機の概要を示す。本試験機は、30cm角の岩盤のブロックを圧力セル内におさめ、最大5MPaの間隙水圧と二軸方向からの载荷(フラットジャッキ、最大18MPa)が行える。ブロック試料の中央には、図-2に示すように、注水またはトレーサーの注入を行うためのボーリング孔(φ1.1cm×30cm)が貫通している。注水孔から半径5cm離して8本の観測孔(φ0.7cm×17.5cm、先端5cm開放)が設けられている。このようなボーリング配置のもとで、同一試料(白河凝灰岩、かさ比重2.05、空隙率0.23)を用いて、クロスホール透水試験、クロスホールトレーサー試験を実施した。前者については、既に報告しているので¹⁾、ここではトレーサー試験の内容について述べる。トレーサー試験では、中央のボーリング孔内の中央11cmの区間を、メカニカルパッカーで隔離し、注入区間とした。注入区間内の水をトレーサーで置き換えたのち、一定流量($q=2.85\text{cm}^3/\text{min}$)でトレーサー(KBr)を注入した。試験開始直後より、観測孔に流入する水をチューブポンプにより採取した。サンプリング間隔は、1回の採取量が約0.5ccとなるように、各孔毎に設定した。採取したトレーサー濃度は、ポテンシオメータ法により分析した。载荷荷重は、 $\sigma_x = \sigma_y = 3\text{MPa}$ であり、間隙水圧は、透水試験時において2MPa、トレーサー試験は、大気圧下で実施した。尚、別途実施した試験結果によると、同試料の透水性は、応力0-18MPa、水圧0-5MPaの範囲で有意な変化を示さなかった。

3. 試験結果

図-3に、8つのサンプリング孔におけるトレーサーの濃度変化(Breakthrough Curve)を示す。各観測孔は、注入孔

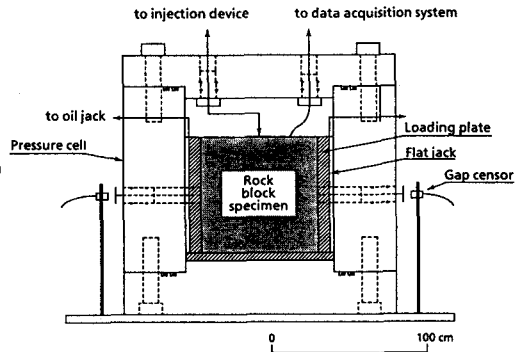


図-1 岩盤ブロック試験機(二軸システム)

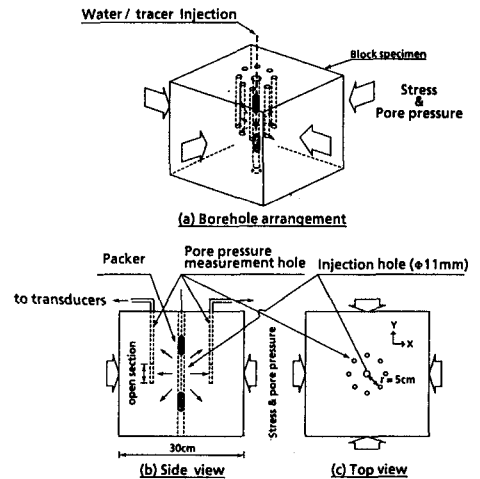


図-2 クロスホールトレーサー試験の概要

から等しい距離に配置されているにもかかわらず、孔毎に異なる濃度変化を示した。これは、同試料の物質移行特性に異方性がある事を示唆するものである。表-1に、下記の一次元移流拡散方程式の理論解²⁾とのデータフィッティングにより得られた各方向の物質移行パラメータを示す。

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left[\frac{1 - \frac{t}{t_r}}{\sqrt{4 \frac{D_1 t}{v x t_r}}} \right] + e^{-\frac{v x}{D_1}} \operatorname{erfc} \left[\frac{1 + \frac{t}{t_r}}{\sqrt{4 \frac{D_1 t}{v x t_r}}} \right] \right] \quad (1)$$

ここに、 C_0 、 C は注入および採取した水のトレーサー濃度(ppm)、 t_r は平均滞留時間(s)、 D_1 は縦方向拡散係数(cm^2/s)、 v は空隙内実流速(cm/s)、 x は注水孔から観測孔までの距離(cm)である。また、有効空隙率(n_e)は、 $n_e = q_0 t_r / V_r$ により求めた。ここに、 q_0 は各観測孔の流量(cm^3/s)、 V_r は注水孔と各サンプリング孔の間の体積で、注水孔を中心とする半径5cm、高さ11cmの円筒上の体積を1/8して求めた。また、図-4に、各方向の、 t_r 、 $\sqrt{q_0}$ 、 n_e 、 D_1/vx の値をプロットした。 $\sqrt{q_0}$ は、図-5に示した透水テンソルとの比較のために示した。

4. 考察およびまとめ

上記の試験結果についての考察を以下にまとめる。

1) クロスホールトレーサー試験により、岩盤の物質移行特性の異方性を評価する事ができる。

2) トレーサーの滞留時間は、透水性の異方性に大きく左右される。すなわち、最大主透水係数の方向において、トレーサーの滞留時間は最小となる。このことから、岩盤の透水係数の異方性を測定する事は、汚染物質の岩盤内移行の予測にとっても重要な意味を持つ事が示された。

3) 有効空隙率は、1孔(0.21)を除いて、0.08~0.11の値を示した。本試料の全空隙率が0.23である事から、その約半分が連続した空隙である事が示された。

4) 無次元縦方向分散係数(D_1/vx)は、透水テンソルにみられるような、明瞭な異方性を示さなかった。すなわち、今回用いたような多孔質の試料では、縦方向分散係数は、実流速 v にほぼ比例する事が分かった。

以上の知見は、原位置トレーサー試験結果の評価を行う上で有用であると思われる。今後は、キ裂を有する試料についても同様な試験を実施する予定である。

「参考文献」

- 1) 下茂、飯星：新しい岩盤ブロック試験機を用いた岩盤の透水性測定技術の研究、第22回岩盤力学に関するシンポジウム、1990。
- 2) Ogata, A & R. Banks : A solution of the differential equation of longitudinal dispersion in Porous Media. U.S. Geological Survey Paper 411-A, Washington, 1961.

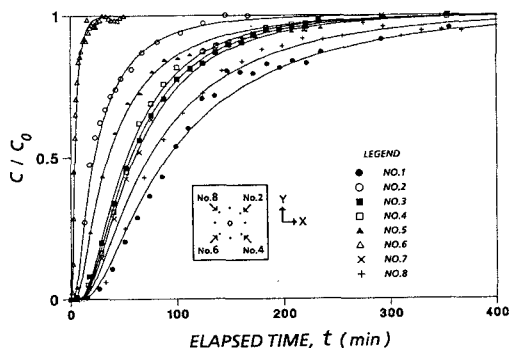


図-3 観測孔におけるトレーサー濃度の変化

表-1 物質移行パラメータ

hole no.	1	2	3	4	5	6	7	8
t_r (min)	130	35	75	70	55	5.5	80	105
D_1/vx	.45	.60	.35	.35	.60	.40	.35	.45
n_e (%)	.21	.11	.11	.11	.12	.08	.10	.10
q_0 1) $\times 10^{-1} \text{cc}/\text{min}$	1.45	2.86	1.36	1.35	1.90	12.6	1.16	0.86

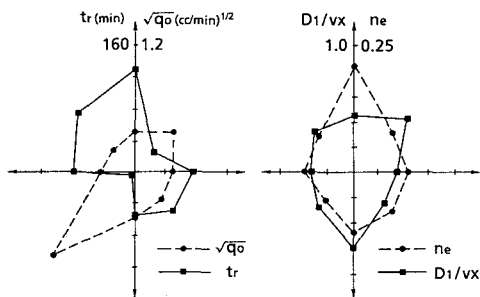


図-4 各方向の物質移行特性

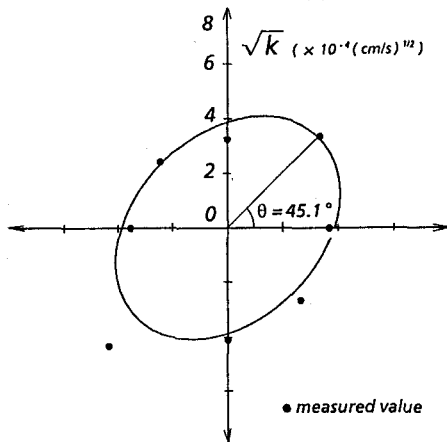


図-5 透水テンソル¹⁾(クロスホール透水試験)