



亀裂交差部に沿った方向の透水特性の評価

鐵 桂一* 澤田 淳 内田 雅大

東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部

* 検査開発株式会社

Evaluation of Hydraulic Permeability along Fracture Intersection

Keiichi TETSU* Atsushi SAWADA Masahiro UCHIDA

Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works
* Inspection Development Company Ltd.

高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全性を評価するため、天然バリア内の核種移行解析が行われている。亀裂内の物質の移行評価においては、亀裂内の地下水流速とマトリクス拡散寄与面積が重要なパラメータとなる。亀裂交差部は、流速が速くマトリクス拡散寄与面積が小さい可能性があり、核種移行の遅延効果が低下することが懸念されている。本研究では、亀裂交差部の流速とマトリクス拡散寄与面積の把握を目的としている。

今回の報告ではY字状に交差した天然亀裂を持つ花崗岩を用い、亀裂交差部に沿った方向とそれ以外の亀裂部の透水試験を実施した。試験の結果、亀裂交差部に沿った方向の透水量係数が最も高く、地下水及び物質の重要な移行経路となる可能性が示された。

今後は亀裂交差部の三次元的な形状測定を行い、今回の試験結果と組み合わせて、亀裂交差部の流速及びマトリクス拡散寄与面積の評価を実施する予定である。

Nuclide migration analysis in natural barriers is being performed to evaluate the safety assessment for the geological disposal system of high level radioactive waste. Fluid velocity and fracture surface area from which nuclides can diffuse into the matrix are important parameters for radionuclide migration evaluation in fractures. Since a fracture intersection may have large flow velocity and small fracture surface area, retardation effects in natural barrier might be reduced. The purpose of this study is to understand the fluid velocity and fracture surface area along fracture intersections.

In this study, permeability tests in fracture intersection were conducted using granite with a natural Y type fracture intersection. The test results showed that the transmissivity along the fracture intersection was greater than that of the other parts of the fracture in the rock block, and indicated the possibility that fracture intersection act as an important pathway for the movement of groundwater and solute.

As a future study, geometrical structure along the fracture intersection will be investigated and fluid velocity in the fracture intersection and fracture surface area will be evaluated incorporating the results obtained from this study.

キーワード

高レベル放射性廃棄物, 地層処分, 天然バリア, 核種移行解析, マトリクス拡散寄与面積, 亀裂交差部, 天然亀裂, 花崗岩, 透水試験, 透水量係数

High Level Radioactive Waste, Geological Disposal System, Natural Barrier, Fracture Surface Area, Fracture Intersection, Natural Fracture, Granite, Nuclide Migration Analysis, Permeability Test, Transmissivity



鐵 桂一

システム解析グループ所属
地層処分における水理・物質移動に関する研究に従事



澤田 淳

システム解析グループ所属
副主任研究員
天然バリアの性能評価研究に従事



内田 雅大

システム解析グループリーダ
地層処分における水理・物質移動に関する研究に従事

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分の安全評価で実施される天然バリア中の核種移行解析においては、対象となる地質媒体の特性を適切に取り扱うことが重要となる。花崗岩などの亀裂性岩盤を対象とした場合の核種移行解析には、個々の亀裂を均質な平行平板や一次元チャンネルで近似したモデルが一般的に用いられる¹⁾²⁾。しかし実際には、巨視的には岩盤中の移行経路として亀裂ネットワークの不均質性が、微視的には亀裂表面形状、充填物、他の亀裂との相互作用（亀裂の分岐や交差等に起因する亀裂内空隙構造の不均質性）が、地下水の流れや核種の移行現象に影響を与えている。このため、現実にはこうした不均質性を持つ移行経路に対して一定開口幅を仮定する平行平板モデルや一次元チャンネルモデルで近似したモデルを適用することの妥当性や信頼性を確認するためには、亀裂ネットワークの不均質性、亀裂表面形状、充填物、他の亀裂との相互作用などが地下水の流れや核種の移行現象に与える影響を把握する必要がある。

亀裂性岩盤を対象とした地層処分の安全評価解析において、亀裂内チャンネル部（水みち）の流量とマトリクス拡散寄与面積（チャンネル部の表面積）が重要なパラメータとなる。チャンネルとは図1の緑色部分のように、亀裂内で選択的に水が流れる部分である。亀裂内の核種移行は、流速が遅いとマトリクス拡散の効果が大きくなることで遅延効果が期待でき、逆に流速が速くなるとマトリクス拡散の効果が小さくなり遅延効果が低下する。マトリクス拡散とは溶質が岩石のマトリクス部（基質部）へ拡散により移行することであり、チャンネルと接する亀裂の面積をマトリクス拡散

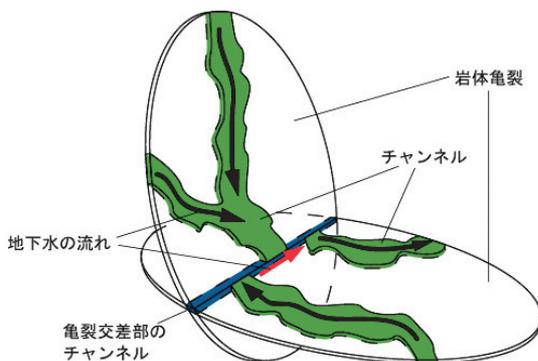


図1 亀裂交差部とチャンネル

寄与面積と呼ぶ。マトリクス拡散寄与面積が大きいほど、より多くの溶質がマトリクス部に移行しやすくなり、結果として核種移行の遅延効果が期待でき、逆にマトリクス拡散寄与面積が小さいと遅延効果が低下する。

チャンネル等での物質の流れにくさは、移行抵抗として表すことが出来る³⁾。移行抵抗は(1)式のように、マトリクス拡散寄与面積（チャンネルの幅 w とチャンネルの長さ L の積）に比例し、流量 Q に反比例する。そして移行抵抗が大きいとき、亀裂内の核種移行の遅延効果が期待できる。

$$\text{移行抵抗} = \frac{w \cdot L}{Q_y} \quad (1)$$

移行抵抗 (yr/m),

w : チャンネルの幅 (m)

L : チャンネルの長さ (m)

Q_y : チャンネル中の年間流量 (m^3/yr)

本研究で着目した亀裂の交差部は他の亀裂部に比べ透水性が高く、図1青色部のように亀裂交差部に沿った方向にチャンネルが発生している可能性がある。その場合、亀裂交差部のチャンネルは、平行平板で仮定した場合の亀裂や単一亀裂のチャンネルに比べ、マトリクス拡散寄与面積が小さいと考えられる。そして、流量に対してマトリクス拡散寄与面積が小さいため移行抵抗が小さくなり、核種移行の遅延効果が低下する事が懸念されている。

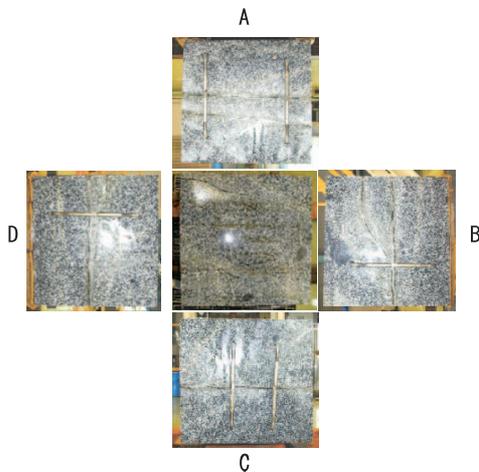
これらのことより本研究の目的は、亀裂交差部に沿った方向の透水特性（流量）の把握及び亀裂交差部の空隙形状（マトリクス拡散寄与面積）の把握とした。本研究では亀裂交差部に沿った方向とそれ以外の亀裂部で透水試験を行い、亀裂交差部が選択的な流路であることの確認をするとともに、亀裂交差部に沿った方向の透水特性を把握した。

2. 試験概要

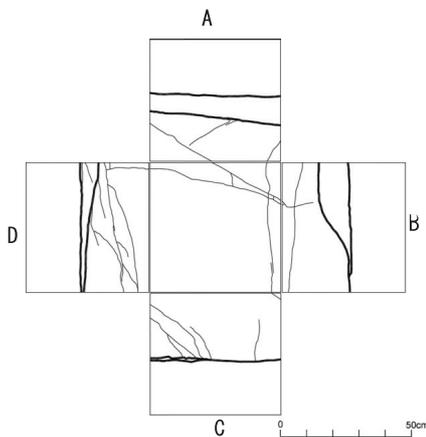
2.1 試験岩体と試験装置の概要

試験に用いた試験岩体は、岩手県釜石鉱山より採取されたY字状に交差した天然亀裂を含む花崗閃緑岩である。この亀裂は原位置で、透水性を有していることが確認されている⁴⁾。試験岩体は亀裂が開かないようにターンバックルと呼ばれる治具

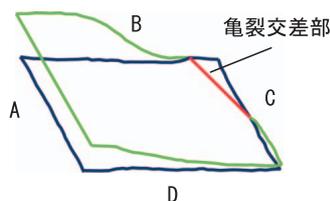
で固定して、縦0.5m×横0.5m×高さ0.47mに切断、整形した。この試験岩体に縦0.5m×横0.5m×高さ0.03mのステンレス鋼板を岩体に載せ、全体の大きさが0.5m角になるように調節した。試験岩体表面で観察される亀裂の様子を、図2(a)(b)に示す。図2(a)(b)の中央は試験岩体の上面であり、試験岩体の下面は、亀裂が存在しないため表記していない。また試験岩体の各側面をA、B、C、Dとした。亀裂の観察及び通水より、図2(a)(b)の岩体中央付近にある水平方向の亀裂(下部



(a) 試験岩体



(b) 亀裂展開図



(c) 亀裂構造

図2 試験岩体図

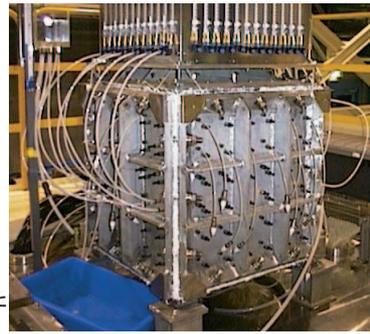
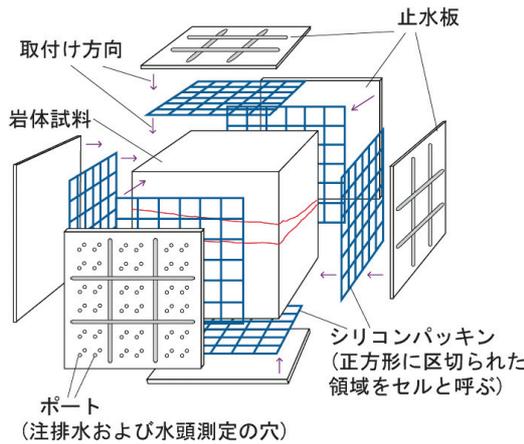
亀裂)と、そこから上方に分岐した亀裂(上部亀裂)が主要な亀裂であると判断し、この2枚の亀裂部を試験に使用した。主要な2枚の亀裂部の構造を図2(c)に示す。図2(c)において青色で示されているのが下部亀裂、緑色で示されているのが上部亀裂である。また亀裂交差部は、B面、C面それぞれの亀裂分岐点を通る線と推定し、図2(c)では赤色で示した。

岩体表面亀裂部の止水と注排水を行う領域(セル)に分割するため、図3のように試験岩体の各面に止水板を圧着した。止水板は止水エレメントと呼ばれるシリコンパッキンにより6×6個の独立したセル(1つのセルは約8cm角)に仕切られ、各セルごとに岩体亀裂部における注水及び排水が可能である。止水板取り付け後、岩体稜線部をシリコン系ポリマーシーリング剤(シリコンシーラント[®])で充填し、試験岩体全体の止水を行った。各注排水セルと亀裂の位置関係及び試験で使用したセルを図4に示す。図4において主要な亀裂は、赤色で示した箇所である。この主要な亀裂に注排水を行うセルを緑色で示した。セルには番号を割り当て、試験岩体側面の名称とセルの番号の組み合わせでセルの位置を表現する(例えば、C面の一番右側のセルはC24)。

亀裂部の透水性評価には、ダルシー則に基づく式から求まる透水量係数を用いる。本試験で使用した岩体は亀裂開口幅が大きく透水性が高いため、水を使用した場合、装置で制御可能な試験条件下(水頭差1cm程度)において亀裂内の流れが乱流になる可能性がある⁵⁾。流れが乱流である場合、測定した圧力、流量条件からダルシー則に基づく式より求めた透水量係数は、過小評価される可能性がある。このため、亀裂内部の流れを層流状態にする必要がある。

この試験岩体で層流状態を達成するため、水よりも粘性の高い高粘性流体を試験に使用した⁵⁾。高粘性流体は、水にメチルセルロース系の増粘剤(テルポリマー30L[®])を溶かして作製した。メチルセルロース系の増粘剤は、安全性、経済性、取り扱いやすさに優れた特徴がある。また、少量で高い粘性の流体を得られるため、液体の密度が水とほとんど変わらない利点がある。しかし、重合度、水溶性濃度が高くなると、わずかに非ニュートン性を示す。

今回の試験岩体については、およそ0.1wt%



(a) 止水板取付け状況1

(b) 止水板取付け状況2

図3 止水板取付け状況

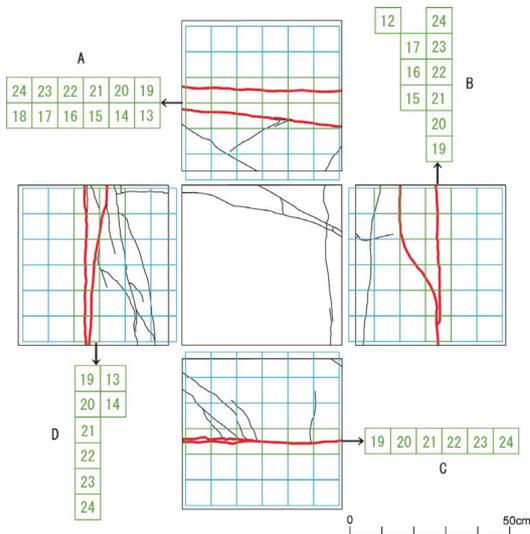


図4 注排水セルと亀裂の位置関係

用いた。注水及び排水のための堰と岩体側面のセルは、6 4 mm(外径6 mm 内径4 mm)チューブを用いて接続した。亀裂の透水性が高く注排水の水頭差が小さいため、岩体周囲亀裂部の水頭測定には、他の測定法に比べ測定精度が高いと考えられるマノメータを用いた。マノメータは、主要な亀裂部に沿ったセルと6 4 mmチューブを用いて接続した。流量の測定には、メスシリンダーまたは電子天秤を使用した。注水側の堰には、マイクロポンプを使用して高粘性流体を送液した。注水側、排水側とも、堰の高粘性流体はオーバーフローさせ、堰の水頭を一定に保った。排水側の堰は高さを固定し、注水側の堰を排水側の堰に対して段階的に上下させた。注水堰の上昇幅は、亀裂面全体を対象とした(1面注水,1面排水)透水

以上で亀裂内の流れが層流となることが分かっている⁷⁾。本研究では、0.2wt%濃度の高粘性流体を試験に使用した。本試験に使用した高粘性流体は増粘剤の濃度が極めて低いため、おおむねニュートン流体と見なす事が出来る。試験に用いた高粘性流体の粘性係数は、透水試験時の液温15~20()で $6.0 \times 10^{-3} \sim 7.0 \times 10^{-3}$ (kg/m·s)であり、同じ液温での水の粘性係数 $1.0 \times 10^{-3} \sim 1.1 \times 10^{-3}$ (kg/m·s)に比べ6~7倍大きい。

2.2 透水試験の概要

透水試験装置の概略図を図5に示す。透水性の高い主要な亀裂に適した流量を得るために、試験岩体への注水は堰の水頭差を利用した通水方法を

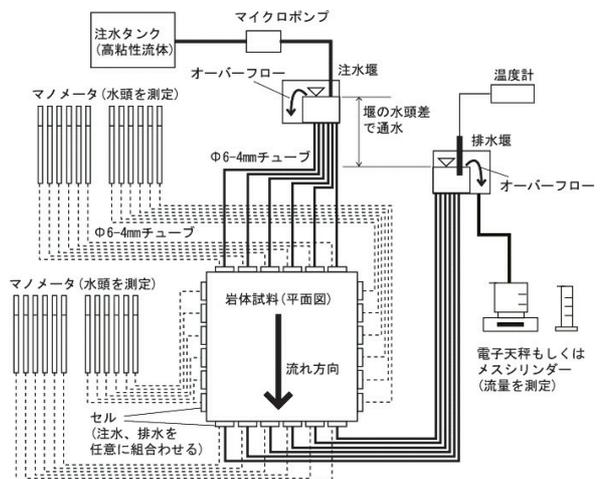


図5 透水試験装置概略図

試験で0～0.07m, 1セル対1セル(1注水口対1排水口)の透水試験で0～0.14mとした。排水流量が定常になった後, マノメータ水頭値, 排水側の流量, 排水の水温を測定した。試験岩体への注水は堰の水頭差で制御するが, 試験岩体の水頭差は注水側と排水側のマノメータの差で示される。なお透水試験は, 注水及び排水のチューブを任意に組み合わせ, 室温で実施した。

本研究では, 透水試験で測定した流量 Q と注排水側のマノメータの水頭差 h より, 透水特性の指標となる透水量係数を求めた。透水量係数はまず高粘性流体における透水量係数 T を求め, 高粘性流体と水の粘性係数の比より, 流体が水であるときの透水量係数 T_w に変換した⁸⁾。

ダルシー則に基づき, 水の粘性に換算した透水量係数 T_w を求める式を(2)式に示す。また三乗則より亀裂開口幅 b を求める式を(3)式に示す。

$$T_w = T \frac{\mu}{\mu_w} = \frac{Q}{w} \frac{\Delta h}{L} \cdot \frac{\mu}{\mu_w} \quad (2)$$

T_w : 水に換算した時の透水量係数 (m^2/s)

T : 透水量係数 (m^2/s)

μ_w : 水の粘性係数 ($kg/m \cdot s$)

μ : 粘性係数 ($kg/m \cdot s$), Q : 流量 (m^3/s)

h : 水頭差 (m), L : チャンネルの長さ (m)

w : チャンネルの幅 (m)

$$b = \sqrt[3]{T_w \frac{12\mu_w}{\rho_w g}} = \sqrt[3]{\frac{Q}{w} \frac{\Delta h}{L} \cdot \frac{12\mu}{\rho_w g}} \quad (3)$$

b : 亀裂開口幅 (m),

ρ_w : 水の密度 (kg/m^3),

g : 重力加速度 (m/s^2)

高粘性流体の粘性係数 μ は回転粘度計(山崎精機研究所製: YV6 S)により求めた値を用いた。また, 高粘性流体の密度は水の密度とほぼ同じであることから, $\rho_w = 1000 (kg/m^3)$ とした。チャンネルの幅 w (m)は注水に用いたセルの幅, チャンネルの長さ L (m)は注水セルの中心と排水セル中心間の距離と仮定している。

3. 透水試験の結果と考察

3.1 試験ケース

透水試験は, 下部亀裂, 上部亀裂それぞれ亀裂開口部全体を透水, 特定セル間を透水の2種類とし, 合計47ケース実施した。

3.2 透水試験結果

(1) 亀裂面全体を対象とした透水試験

亀裂面全体を対象とした透水試験により, 注水流量 Q (m^3/s)及び向かい合うセル間の水頭差 h (m)を測定し, 流量の平均と水頭差の比(Q/h)を求めた。その後(2)式, (3)式を用いて, 水の粘性に換算した平均透水量係数 T_w , 平均亀裂開口幅 b を求めた。亀裂面全体を対象とした透水試験における注排水セルの組み合わせ及び平均透水量係数 T_w , 平均亀裂開口幅 b を表1に示す。透水量係数及び亀裂開口幅 b の計算の際, チャンネルの長さ L (m), チャンネルの幅 w (m)を, 岩体の1辺の長さである0.5mと仮定した。また, 各ケースの水に換算した平均透水量係数を図6に示す。図6において矢印の向きは通水方向を示しており, 対面する水色のセル間に水頭差を与えている。また矢印の色は透水量係数の大きさを表して

表1 亀裂面全体を対象とした透水試験

ケース	注水セル	排水セル	水の粘性に換算した平均透水量係数 T_w (m^2/s)	平均亀裂開口幅 b (m)
1 1	A13~18	C19~24	0.7×10^{-4}	0.45×10^{-3}
1 2	C19~24	A13~18	0.7×10^{-4}	0.45×10^{-3}
1 3	A19~24	C19~24	2.9×10^{-4}	0.74×10^{-3}
1 4	C19~24	A19~24	3.2×10^{-4}	0.73×10^{-3}
1 5	C19~24	A13~18 A19~24	3.4×10^{-4}	0.77×10^{-3}
1 6	A13~18 A19~24	C19~24	3.2×10^{-4}	0.77×10^{-3}
1 7	D13, 14 D20~24	B12 B15~17 B19~21	1.6×10^{-4}	0.60×10^{-3}
1 8	B12 B15~17 B19~21	D13, 14 D20~24	1.6×10^{-4}	0.61×10^{-3}
1 9	D19~24	B19~24	1.5×10^{-4}	0.61×10^{-3}
1 10	B19~24	D19~24	1.6×10^{-4}	0.60×10^{-3}
1 11	D13, 14 D19~24	B12 B15~17 B19~24	1.7×10^{-4}	0.62×10^{-3}
1 12	B12 B15~17 B19~24	D13, 14 D19~24	1.6×10^{-4}	0.61×10^{-3}

(チャンネルの幅 $w = 0.5$ (m), チャンネルの長さ $L = 0.5$ (m)と仮定)

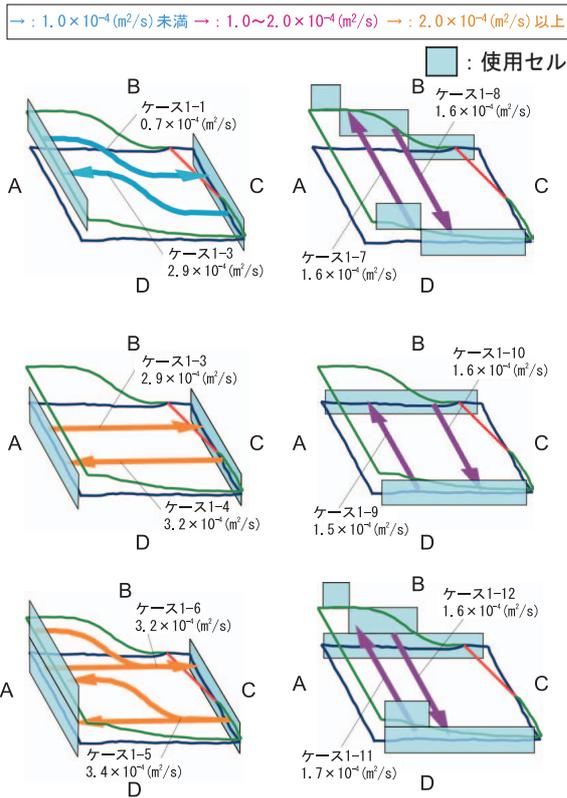


図6 水に換算した透水量係数(亀裂面全体)

おり、青色は 1.0×10^{-4} (m²/s) 未満、紫色は 1.0×10^{-4} (m²/s) ~ 2.0×10^{-4} (m²/s)、オレンジ色は 2.0×10^{-4} (m²/s) 以上である。

既往の室内試験及び原位置試験により得られた数十cm～数m以下のスケールの花崗岩における透水量係数は、 $10^{-10} \sim 10^{-6}$ m²/s オーダーに分布していると報告されている¹⁾。これに対し、今回の透水試験で求められた透水量係数は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ m²/s オーダーであり、これまでに報告された花崗岩の透水量係数に比べて大きな値を示す。これは原位置における応力と試験時における応力の差に起因する可能性がある。

表1及び図6より、試験に使用した岩体の特徴として、注水と排水の方向を逆にしても透水量係数がほぼ等しい事が分かった。また、上部亀裂面をA C方向に通水しているケース1 1, 1 2と下部亀裂面をA C方向に通水しているケース1 3, 1 4の透水量係数より、上部亀裂面よりも下部亀裂面で透水性が高いことが分かった。

上部亀裂面をA C方向に通水しているケース1 1, 1 2とB D方向に通水しているケース1 7, 1 8ではB D方向の透水量係数の方が大きい。

下部亀裂面をA C方向に通水しているケース1 3, 1 4とB D方向に通水しているケース1 9, 1 10では、A C方向の透水量係数が大きい。これより上部亀裂面、下部亀裂面とも透水異方性を示す事が分かった。

(2) 特定セル間を対象とした透水試験

特定セル間を対象とした透水試験として、対面するセル間(1セル対1セル間)の透水試験及び亀裂交差部及び亀裂交差部と同一流路長セル間(1セル対1セル間)の透水試験を行った。対面するセル間のケース2 1～2 18と、亀裂交差部と同一流路長のケース3 1～3 17とに分けて試験ケースを示す(表2)。

特定のセル間を対象とした透水試験により注水流量Q(m³/s)とセル間の水頭差h(m)を測定し、流量と水頭差の比(Q/h)を求めた。その後近似式の比(Q/h)より、水の粘性に換算した透水量係数T_w、亀裂開口幅bを求めた。特定セル間を対象とした透水試験における注排水セルの組み合わせ及び透水量係数T_w、亀裂開口幅bを表2に示す。透水量係数及び亀裂開口幅bの計算の際、チャンネルの長さL(m)は試験セル間の距離とし、チャンネルの幅w(m)は試験区間のセルの幅である0.083mと仮定した。しかし、実際の亀裂内では、チャンネルの幅がセルの幅と異なる可能性があるとともに、流れの蛇行等によりチャンネルが長くなる可能性が考えられるため、1セル対1セル間の透水試験の結果は、亀裂内部の透水性を比較するために用いた。各ケースの水に換算した透水量係数を図7に示す。図7において矢印の向きは通水方向を示しており、矢印間のセル(1セル対1セル)に水頭を与えている。また矢印の色は透水量係数の大きさを表しており、青色は 0.5×10^{-3} (m²/s) 未満、紫色は 0.5×10^{-3} (m²/s) ~ 1.5×10^{-3} (m²/s)、オレンジ色は 1.5×10^{-3} (m²/s) 以上である。

図7より、特定セル間を対象とした透水試験より得られた透水量係数(ケース2 1～2 18, 3 1～3 17)は、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ (m²/s) オーダーであり、亀裂面全体を対象とした透水量係数(ケース1 1～1 12)よりも、およそ1桁大きな値を示す。この結果から、1セル対1セル間の透水試験では、亀裂内でチャンネルの幅が、仮定した値(0.083m)よりも大きく広がっている可能性があるものと考えられる。

表2、図7より、注水と排水の方向が逆のケー

表2 1セル対1セル間の透水試験

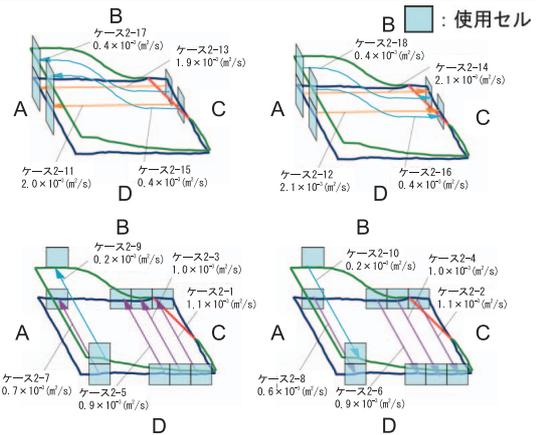
ケース	注水セル	排水セル	チャンネルの長さL(m)	水の粘性に換算した平均透水量係数T _v (m ² /s)	平均亀裂開口幅b(m)	
2 1	D24	B19	0.5	1.1 × 10 ⁻³	1.11 × 10 ⁻³	
2 2	B19	D24		1.0 × 10 ⁻³	1.09 × 10 ⁻³	
2 3	D23	B20		1.0 × 10 ⁻³	1.09 × 10 ⁻³	
2 4	B20	D23		1.0 × 10 ⁻³	1.08 × 10 ⁻³	
2 5	D22	B21		0.9 × 10 ⁻³	1.04 × 10 ⁻³	
2 6	B21	D22		0.9 × 10 ⁻³	1.03 × 10 ⁻³	
2 7	D19	B24		0.7 × 10 ⁻³	0.93 × 10 ⁻³	
2 8	B24	D19		0.6 × 10 ⁻³	0.94 × 10 ⁻³	
2 9	D13	B12		0.51	0.2 × 10 ⁻³	0.60 × 10 ⁻³
2 10	B12	D13			0.2 × 10 ⁻³	0.59 × 10 ⁻³
2 11	C22	A21	0.5	2.0 × 10 ⁻³	1.34 × 10 ⁻³	
2 12	A21	C22		2.1 × 10 ⁻³	1.39 × 10 ⁻³	
2 13	C24	A19		1.9 × 10 ⁻³	1.32 × 10 ⁻³	
2 14	A19	C24	0.51	2.1 × 10 ⁻³	1.39 × 10 ⁻³	
2 15	C22	A15		0.4 × 10 ⁻³	0.74 × 10 ⁻³	
2 16	A15	C22		0.4 × 10 ⁻³	0.76 × 10 ⁻³	
2 17	C24	A13		0.4 × 10 ⁻³	0.79 × 10 ⁻³	
2 18	A13	C24	0.29	0.4 × 10 ⁻³	0.80 × 10 ⁻³	
3 1	C21	B19		2.8 × 10 ⁻³	1.51 × 10 ⁻³	
3 2	B19	C21		2.3 × 10 ⁻³	1.43 × 10 ⁻³	
3 3	B21	A19		1.6 × 10 ⁻³	1.26 × 10 ⁻³	
3 4	A19	B21		2.0 × 10 ⁻³	1.38 × 10 ⁻³	
3 5	A22	B24		0.8 × 10 ⁻³	1.0 × 10 ⁻³	
3 6	B24	A22		0.7 × 10 ⁻³	0.97 × 10 ⁻³	
3 7	D22	A18	0.31	0.2 × 10 ⁻³	0.58 × 10 ⁻³	
3 8	A18	D22		0.1 × 10 ⁻³	0.58 × 10 ⁻³	
3 9	A16	B12		0.2 × 10 ⁻³	0.57 × 10 ⁻³	
3 10	B12	A16		0.1 × 10 ⁻³	0.54 × 10 ⁻³	
3 11	B16	C24		0.5 × 10 ⁻³	0.87 × 10 ⁻³	
3 12	C24	B16	0.29	0.6 × 10 ⁻³	0.86 × 10 ⁻³	
3 13	B22	C24		2.0 × 10 ⁻³	1.34 × 10 ⁻³	
3 14	C24	B22		2.3 × 10 ⁻³	1.37 × 10 ⁻³	
3 15	D24	C22		0.8 × 10 ⁻³	1.00 × 10 ⁻³	
3 16	C22	D24		0.8 × 10 ⁻³	1.00 × 10 ⁻³	
3 17	D22	A24	0.3 × 10 ⁻³	0.72 × 10 ⁻³		

(チャンネルの幅w = 0.083 (m) と仮定)

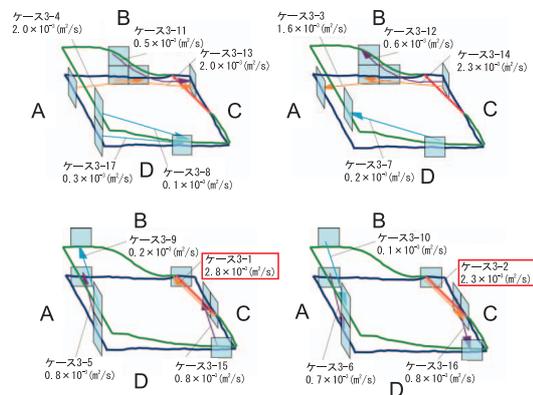
スで透水量係数がほぼ等しいことが分かる。このことから、注水と排水の方向を逆にしても流体のチャンネルの位置は変わらず、亀裂内のある限られた部分を選択的に流れているものと考えられる。

図7より、亀裂内で透水量係数が大きい場所はケース2 11~2 14, 3 1~3 4, 3 13, 3 14のセル間であり、下部亀裂のB面側に集中している。その中で最も透水量係数が大きい場所は、亀裂交差部に沿った方向のセル間(ケース3 1, 3 2)であった。このことから、亀裂交差部及びその近傍が、物質の重要な移行経路になっている可能性が高いと考えられる。

→ : 0.5 × 10⁻³ (m²/s) 未満 → : 0.5~1.5 × 10⁻³ (m²/s) → : 1.5 × 10⁻³ (m²/s) 以上



(a) 対面するセル間



(b) 亀裂交差部及び亀裂交差部と同一流路長

図7 水に換算した透水量係数(1セル対1セル)

4. おわりに

亀裂交差部に沿った方向の透水特性の把握を目的として、天然亀裂を持つ50cmスケールの比較的大きな花崗岩の試験岩体を用い、高粘性流体を用いた室内試験を行った。測定結果より、水に換算した透水量係数及び亀裂部の亀裂開口幅を計算し、亀裂交差部に沿った方向とそれ以外の方向について、亀裂内の透水性の違いを検討した。

透水試験の結果、亀裂内で透水量係数が大きい場所は、下部亀裂で流れ方向がA面 C面方向のセル間(表1: C24 B22間(ケース3 13, 3 14), A19 B21間(ケース3 3, 3 4), A19 C24間(ケース2 3, 2 4), A21 C22間(ケース2 11, 2 12))であり、下部亀裂のB面近傍に位置する。その中でも亀裂交差部に沿った方向のセル間(表2: C21 B19間(ケース3 1, 3 2))で透水量係数が最大になることが分かった。そして交差亀裂に沿った方向の透水量係数が他の亀裂部に比べ、最

大で1桁程度大きな値を示すことを実測した。

この実測結果より、亀裂交差部及びその近傍が、地下水及び物質の重要な移行経路となり得る可能性が高いと考えられる。

またすべてのケースにおいて、注水と排水の方向が逆でも透水量係数がほぼ等しいことから、通水方向を逆にしても、チャンネルの位置は同じで、亀裂内のある限られた部分を選択的に流れるものと考えられる。

今後は、亀裂交差部が高い透水特性を示す原因を検討するために、今回試験に用いた試験岩体を研削しつつ亀裂開口部の詳細な観察を行い、三次元的な開口幅分布、形状測定を行う。そして、本研究で取得した試験データと今後取得予定の亀裂開口幅データより、亀裂交差部のチャンネルの表面積（マトリクス拡散寄与面積）の評価を行い、亀裂開口部の形状が流体流れに与える影響を数値解析的に検討する予定である。

参考文献

1) 核燃料サイクル開発機構：“わが国における高レベ

ル放射性廃棄物地層処分技術的信頼性 地層処分研究開発第2次とりまとめ 総論レポート”，JNC TN1400 99 020, V51～V95(1999)

- 2) 核燃料サイクル開発機構：高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発 平成13年度報告，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 2002 003, (2002)。
- 3) Timo Vieno, Henrik Nordmen “ Safety assessment of spent fuel disposal in Hästholmen, Kivetty, Olkiluoto and Romuvaara TILA-99 ”, POSIVA 99-07(1999)
- 4) 吉野尚人, 内田雅大 “ 亀裂状媒体水理試験設備(LAB-ROCK)用試験岩体の切り出し・整形 ”, JNC TN8410 2001-015(2001)
- 5) 山田直之, 鐵桂一, 澤田淳 “ 実岩体を用いた透水試験 NETBLOCK 試験報告 ”, JNC TN8430 2001-003(2001)
- 6) 山口嘉一, 渋市秀雄, 松本徳久 “ 高粘性流体試験による高透水性岩盤の透水性評価 ”, 地下水学会誌, 第37巻第1号, p.31～46, ISSN 0913 4182(1995)
- 7) 鐵桂一, 澤田淳 “ 高粘性流体を用いた天然亀裂岩体の透水試験 NETBLOCK 試験報告 ”, JNC TN8430 2001 006(2001)
- 8) 鐵桂一, 澤田淳 “ 高粘性流体を用いた天然亀裂岩体の透水試験 2 NETBLOCK 試験報告 ”, JNC TN8430 2003 004(2003)