

## 亀裂を有する岩石中のマトリクス拡散を考慮したトレーサー試験方法の開発

大成建設(株)	正会員	下茂 道人
大成建設(株)	正会員	○熊本 創
核燃料サイクル開発機構	正会員	畑中 耕一郎
核燃料サイクル開発機構	正会員	内田 雅大

## 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分サイトの性能評価にあたっては、天然バリアを構成する岩盤中における物質移行特性を適切に評価することが重要である。一般に、単一亀裂を有する岩石中の物質移行特性は、亀裂内での移流・分散による移行と、亀裂から岩石基質中への拡散（マトリクス拡散）および亀裂表面や岩石基質内での鉱物粒子表面への吸着等による遅延効果を考慮した1次元平行平板モデルで表現される。

筆者らは、既存の透過拡散法による拡散試験手法に移流発生機構を設けることで、上記の各特性を室内で精度良く測定することができる新しいトレーサー試験手法を開発し、単一亀裂を有する軟岩試料を用いた実験により、その有用性を確認した。本報では、本試験方法の特徴および適用性について述べる。

## 2. 試験方法

トレーサー試験は、トレーサー物質を含む溶液を試料に通水し、排出される溶液中のトレーサー濃度の経時変化（破過曲線）を測定し、これを理論曲線にフィッティングすることで、試料の物質移行特性を把握する試験である。

従来の研究<sup>1)</sup>においては、単一亀裂を有する岩石コア試料を対象としたトレーサー試験手法として、図-1 に示すような配管系を介した試験方法が一般的に広く用いられている。しかし、このような試験法では、配管内をトレーサー溶液が移動する際に、既に分散現象が発生している恐れがあり、これにより試験精度

の信頼性を著しく損なう可能性が考えられる。また、特に低流量条件下で試験を行う場合には、配管内のトレーサー滞留時間をできるだけ短縮するために、図-1 中に示すように、試験装置の排出側にフラッシング機構を設ける場合もある。しかし、これもフラッシングによる希釈の影響により測定誤差を増大させる可能性が考えられる。

そこで、本研究では、トレーサー試験の測定精度の向上を目的として、図-2 に示すようなセル型の新しいトレーサー試験装置を開発した。

本装置は円柱状のコア試料をトレーサー用セル（注入側）と測定用セル（排出側）の2つのセルで挟み、トレーサーセルより一定流量でトレーサー溶液を注入し、測定セル側の溶液濃度の経時変化を測定するものである。本装置は溶液濃度測定部と試料の間に配管系を有していないため、配管内分散が生じず、かつ配管

による時間遅れの無い破過曲線が得られる。また、トレーサー注入用に極微小流量を定流量で送液可能なシリンジポンプ（最小流量 $0.5\mu\text{l}/\text{min}$ ）を用いることにより、マトリクス拡散を考慮した低流速条件下の試験が可能である。測定セル側の濃度測定はイオンメーターによる連続測定を行うとともにサンプリングによる分析が可能のように、

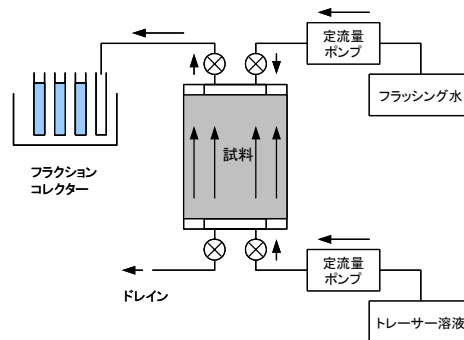


図-1 トレーサー試験方法(従来の方法)

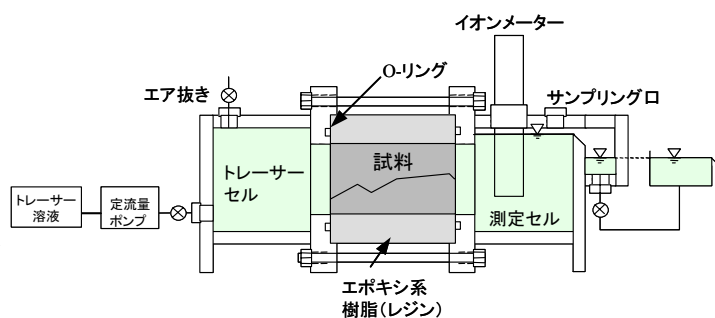


図-2 セル型トレーサー試験装置概要

キーワード トレーサー試験, 岩石, 亀裂, 室内試験, マトリクス拡散

連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター土木技術研究所 TEL 045-814-7237

測定セル側の上部にサンプリング口を設けている。また、測定セル内の濃度を均一にするため、試験中は常時マグネチックスターラーによる攪拌を行っている。

3. 適用性の検討

本試験手法の適用性の検討として、マトリクス拡散の生じないアクリル製の平行平板亀裂を有する試料と、自然亀裂を有する新第三紀堆積岩コア試料（核燃料サイクル開発機構幌延深地層研究センターHDB-4孔より採取：稚内層泥岩）を用いたトレーサー試験を実施した。試料は図-3に示すような形状、寸法で作成した。また、試験条件として、注入するトレーサー溶液には非吸着性のヨウ化カリウム水溶液を用い、濃度はヨウ化物イオン濃度で 500 (mg/L) とした。トレーサー注入流量は 0.001 (cc/min) とした (表-1)。試験結果を図-4、5に示す。これらの図から分かるように、アクリル試料に比べて岩石試料の試験結果は、マトリクス拡散による遅延効果の影響を受け、測定濃度の経時変化が下方に湾曲しながら上昇している。同図中に解析結果を示す。解析は、浸透流解析ならびに移流分散、拡散、吸着、放射性崩壊を考慮した物質移行解析が可能な3次元解析コード (FRAC3DVS)<sup>2)</sup>を用いて行った。解析では、トレーサー試験と同じ条件より得られた破過曲線を試験結果とフィッティングすることにより、亀裂部の物質移行開口幅および分散係数 (分散長) を求めた。解析条件および結果を表-2、3に示す。水理開口幅は定流量透水試験法で、マトリクスの透水係数はトランジェントパルス法で、マトリクスの拡散係数は透過拡散法で、空隙率は物理試験でそれぞれ別途測定した。物質移行開口幅は曲線の傾きに、分散長は曲線の立ち上りの部分に影響するので、両者は独立して決定することができる。図-4、5に示すように、アクリル試料ではマトリクス拡散を無視した亀裂内移流分散モデルで、岩石試料ではマトリクス拡散を考慮したモデルで解析結果と測定結果の良好一致が見られた。以上より、本手法は亀裂内の移流およびマトリクス拡散を考慮したトレーサー試験手法としての適用性を有することを確認した。

4. まとめ

亀裂を有する岩石試料の物質移行特性を低流量条件下で精度良く測定するための新しい試験法を開発し、その適用性を確認した。今後は、さらに異なる岩種の試料についての試験データの蓄積およびより大きな寸法の試料への適用性の拡張を図る予定である。

参考文献

1) Ivars Neretniks et al.: "Tracer Movement in a Single Fissure in Granitic Rock: Some Experimental Results and Their Interpretation, Water Resour. Res., 18(4), 1982. 2) Therrien, R., E.A. Sudicky: "Three-dimensional analysis of variably flow and solute transport in discretely-fractured porous media", J. Contaminant Hydrology, 23, 1996.

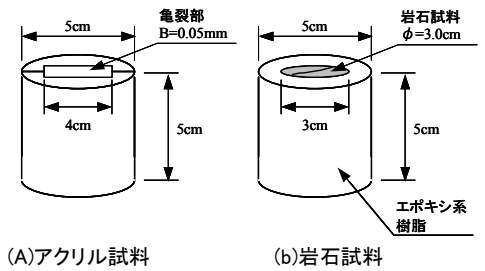


図-3 試験試料

表-1 トレーサー試験条件

試験条件	
トレーサーセル側	ヨウ化カリウム水溶液 ・濃度: 500 (mg/L) ・注入流量 q=0.001 (cc/min)
測定セル側	脱イオン水 ・イオンメーターにより測定

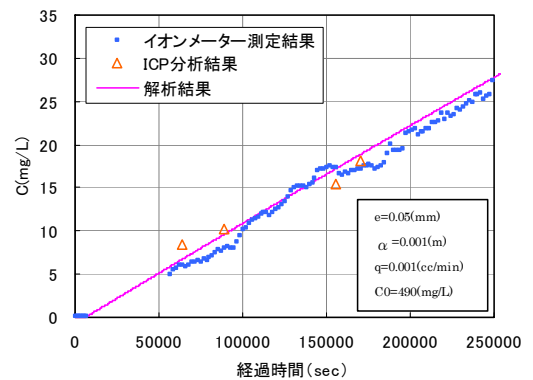


図-4 トレーサー試験結果(アクリル試料)

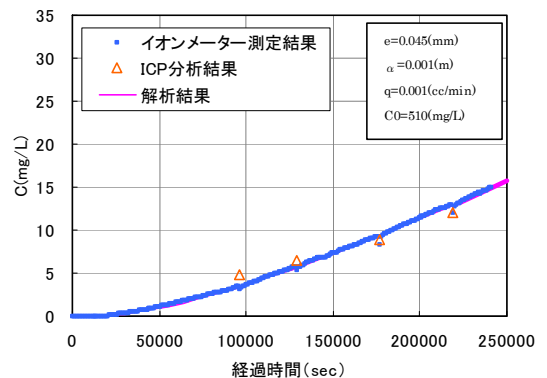


図-5 トレーサー試験結果(岩石試料)

表-2 解析条件一覧

試験ケース	注入流量 (cc/min)	水理開口幅 (mm)	マトリクス部 透水係数 (m/s)	マトリクス部 拡散係数 (m <sup>2</sup> /s)	マトリクス部 有効空隙率 (%)
ダミー試料	0.001	0.050	0.00	0.00	0.00
岩石試料	0.001	0.045	5.00E-12	2.50E-11	0.35

表-3 解析結果一覧

試験ケース	物質移行開口幅 (mm)	縦方向分散長 (m)
ダミー試料	0.050	0.001
岩石試料	0.045	0.001