

堆積岩を対象とした原位置孔間トレーサー試験による物質移行特性の把握 Characterization of mass transport based on in-situ crosshole tracer tests in a sedimentary rock

横田 秀晴^{1*}, 山本 陽一¹, 田中 真悟¹

YOKOTA, Hideharu^{1*}, YAMAMOTO, Youichi¹, TANAKA, Shingo¹

¹ 日本原子力研究開発機構

¹ Japan Atomic Energy Agency

高レベル放射性廃棄物の地層処分システムの性能評価においては、天然バリアとなる母岩の物質移行特性を適切に把握することが重要となる。そのためには、トレーサー物質等を利用した原位置における物質移行試験を実施し、試験対象母岩中での移流・分散や拡散現象に寄与する各種パラメータを取得する必要がある。

日本原子力研究開発機構が北海道北部の幌延地域で実施している幌延深地層研究計画においては、地下施設（以下、幌延 URL）の建設が進められており、2012年1月現在で換気立坑が345m、東立坑が310m、西立坑が47m程度の深度まで掘削され、それらを繋ぐ水平坑道が深度140mと250mに展開されている。本研究では、堆積岩を対象とした原位置孔間トレーサー試験における試験装置の適用性確認と試験手法の確立を目的に、深度250mの地下坑道において、原位置での孔間トレーサー試験を実施した。

試験実施場所は250m換気側第1ボーリング横坑である。坑道壁面観察等の地質情報に基づく事前の検討により、坑道スケールにおいては、比較的大きな連続性をもつせん断性割れ目から派生するスプレークラック等の引張割れ目が主要な物質移行経路や水みちとなっていると考えられることから、それらを貫くように横坑の底盤からN45°E方向かつ水平から60°下向きに、本試験に用いるボーリング孔（孔径106mm、孔長30m程度、計3孔を正三角柱状に配置、孔間距離1m）を掘削した。掘削の後、コア観察、物理検層、流体検層、単孔式および孔間水理試験を実施し、トレーサー試験の対象とする割れ目の選定を行った。調査の結果、透水量係数で $10^{-8} \sim 10^{-6} \text{m}^2/\text{sec}$ の割れ目を抽出し、原位置孔間トレーサー試験を実施した。

トレーサー試験では、非吸着性トレーサーとしてウラン・重水素、吸着性トレーサーとして塩素・ヨウ素・臭素等の陰イオン、ナトリウム・セシウム・ストロンチウム等の陽イオン、ユーロビウム等の希土類元素を用いた。なお、全て安定同位体を用いた。試験装置はロッドとパッカーで構成され、試験区間長は15cmである。また、注水・揚水それぞれの試験区間（原位置）にフローセルを備え、孔外部から光ファイバを介した蛍光分析を行うことで、ウランの原位置オンライン分析を可能としている。トレーサー試験は孔間ダイポール試験として実施し、ウランのオンライン分析と並行してフラクションコレクターによる採水を行い、ウランは蛍光分析装置、重水素は吸光度計、その他のトレーサーはICP-MSもしくはイオンクロマトグラフ装置による分析を行った。

ダイポール比1:1（注入流量60mL/min.、揚水流量60mL/min.）でのトレーサー試験を繰り返し実施した結果、ウランにおいては回収率20~25%程度（最大52%程度）、ピーク出現時間はオンライン分析でトレーサー注入開始から800~900秒後、揚水分析で1400~1500秒後、トレーサー濃度の立ち上がり開始時間はオンライン分析で約550秒後、揚水分析で約1000秒後となった。ダイポール比を変えたrunを実施しても回収率の大きな改善が認められなかったことから、注入区間と揚水区間の位置関係がバックグラウンドの流れに対して直交~斜交していたと推測される。また、重水素の分析結果においては、ウランと重水素のピーク出現時間がほぼ一致し、本試験条件においてはウランが非吸着性トレーサーとして機能していることが明らかとなった。一方で、ウランの注入濃度10ppmに対して、揚水側で検出されたピーク濃度はオンライン分析では0.01~0.02ppm程度、揚水分析で0.2~0.4ppm程度となり、10倍程度の乖離が認められた。オンライン分析によるピーク濃度値を揚水分析値に合わせて補正した際の破過曲線の形状はほぼ一致することから、地下水中の懸濁物質やメタンガスを溶存する地下水から発生したマイクロバブル等に起因する散乱によりフローセルからの光を100%検出できていない可能性が考えられるが、揚水分析用の試料中にも懸濁物質が含まれることから、フローセル内を通過する地下水中のマイクロバブルに起因する現象と推察される。

本研究における原位置孔間トレーサー試験では、非吸着性トレーサーであるウランと重水素の分析結果から、試験装置の適用性と試験の成立性が確認された。また、遊離ガス対策を含めた試験装置設置方法が有効であることが確認され、原位置トレーサー試験実施手法の確立に寄与できた。現在、吸着性トレーサーの分析を実施中であり、その結果を合わせて解析を行うことで物質移行特性の評価を行う予定である。本研究により得られた成果は幌延 URL で掘削予定の深度350m水平坑道で実施する原位置トレーサー試験に反映する。