

花崗岩に存在する割れ目を対象とした単孔トレーサー試験と評価解析

(一財)電力中央研究所 正会員 ○野原 慎太郎
 同 正会員 長谷川 琢磨
 同 正会員 田中 靖治

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分における安全評価では天然バリアの物質移行特性を評価することが重要であり、原位置で評価する試験技術の開発が必要である。特にトレーサー試験は直接物質移行特性を評価できる試験手法であり、我が国以外でも研究が進められている¹⁾。但し、その大半は孔間トレーサー試験であり、単孔トレーサー試験に関する試験データは少ない。また、我が国のように複雑な地質環境で行った試験例はほとんどなく、局所的に試験区間を選定できる試験装置の開発や、割れ目内充填鉱物の物質移行特性に関するデータ取得などが必要である。単孔トレーサー試験は、1本のボーリング孔のみで試験を行うため、孔間トレーサー試験に比べて試験コストを抑えることができる。また、注入孔と揚水孔が同じであるためトレーサーを回収しやすく、比較的簡便に試験を行うことができるという利点もある。著者らは単孔トレーサー試験の技術開発を目的に、日本原子力研究開発機構が建設した瑞浪超深地層研究所の深度500m研究アクセス南坑道に掘削されたボーリング孔15MI52号孔に存在する割れ目を試験対象とし、2016年に単孔トレーサー試験を実施した。本稿ではその試験概要と評価解析結果について報告する。

2. 試験手順・試験条件

単孔トレーサー試験の試験手順を以下に記載する。

- 1) 定常場形成のため地下水を一定流量で注入する。
- 2) 一定時間経過後、トレーサーを注入する。
- 3) チェイサーとして地下水を注入する。
- 4) 一定流量で揚水を行う

試験条件を表1に示す。トレーサー注入量を約1L、チェイサー注入量を約0.5Lとし、注入流量がほぼ等しくし、揚水流量については、114, 60, 24mL/minと

3種類設定し、破過曲線の形状が変わるようにして試験を行った。16S52T2, 16S52T3については揚水時間を120分とし、16S52T4については揚水時間を180分とした。また、非収着性トレーサーとしては、ウラン、アミノG酸、重水素(以下、 δD)を、収着性トレーサーとしてはルビジウム(以下、 Rb^+)、バリウム(以下、 Ba^{2+})を用いた。各試験条件の回収率を表1に示す。16S52T2, 16S52T3については、揚水開始から120分時点の非収着性トレーサーの回収率は90%以上となっており、バックグラウンド地下水流れの影響が小さいことが確認された。また、16S52T4の揚水開始から120分時点の非収着性トレーサーの回収率は60%程度であったが、これは揚水流量が他よりも小さいためである。180分時点でも濃度は下がりきっていないことから、揚水時間を長くすれば回収率は更に高くなると予測される。

3. 試験結果

表1に示した試験条件の試験結果を図1に示す。いずれの結果も濃度が極端に低くならず有意な破過曲線を取得することができた。非収着性トレーサーについては、いずれの破過曲線もほぼ一致し、岩盤マトリクスへの拡散は生じていないと推測される。但し、16S52T4については蛍光染料の濃度が δD をやや下回っているが、これは蛍光染料の濃度減衰に起因すると考えられ、拡散の影響とは考えにくい。

キーワード 単孔トレーサー試験, 割れ目, 物質移行特性, 収着

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子1646 (一財)電力中央研究所 TEL04-7182-1181

表1 試験条件

| 試験条件名 | | 16S52T2 | 16S52T3 | 16S52T4 | |
|---------|-------------|---------|---------|---------|-------|
| 試験条件 | 注水流量(流量計平均) | mL/min | 83.00 | 93.19 | 99.85 |
| | 揚水流量(流量計平均) | mL/min | 114.30 | 60.23 | 23.76 |
| | トレーサー注入時間 | min | 10.0 | 10.0 | 10.0 |
| | チェイサー注入時間 | min | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| | トレーサー量 | L | 0.830 | 0.932 | 0.999 |
| | チェイサー量 | L | 0.415 | 0.466 | 0.499 |
| 120分回収率 | ウラン | - | 93.5% | 96.3% | 63.1% |
| | アミノG酸 | - | 94.1% | 96.9% | 62.5% |
| | 重水素 | - | 97.5% | 96.1% | 64.9% |
| | ルビジウム | - | 88.0% | 80.9% | 49.4% |
| | バリウム | - | 88.5% | 77.7% | 42.1% |

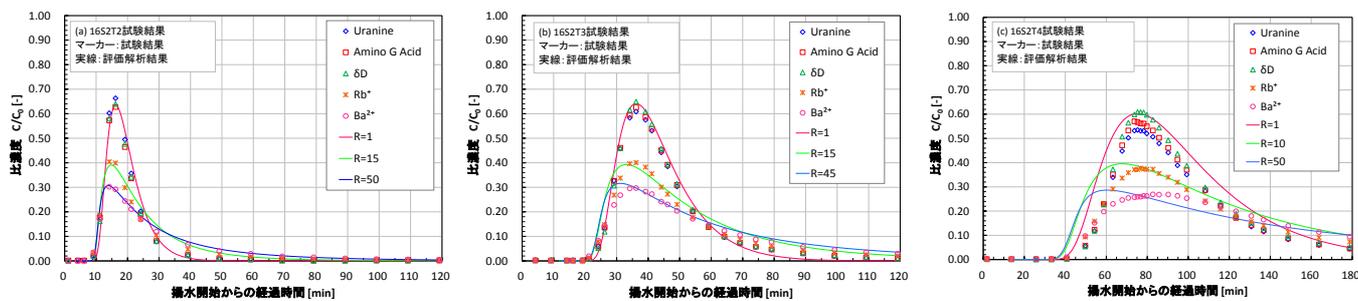


図1 試験結果と評価解析結果

収着性トレーサーについては、非収着性トレーサーよりもピーク濃度が低く、Rb⁺と Ba²⁺の破過曲線も異なっており、トレーサーの種類による収着挙動の違いが結果に表れていると考えられる。

4. 評価解析

評価解析で用いた解析モデルを図2に示す。今回はマトリクスへの拡散を考慮せず、割れ目のみをモデル化した解析モデルを用い、集中定数、遅延係数について評価する。なお、回収率の結果からバックグラウンド地下水流れの影響はほとんど無いと考えられたため、バックグラウンド地下水流れは考慮していない。ここで、集中定数は次式で定義される²⁾。

$$\tau = \phi b \alpha_L^2 / V_{inj} \quad (1)$$

τ : 集中定数, b : 割れ目幅, V_{inj} : 注入量, α_L : 縦分散長, ϕ : 間隙率

まず始めに集中定数を $1.0 \times 10^{-4} \sim 3.0 \times 10^{-3}$ の間で10通り変化させた解析を行い、非収着性トレーサーの破過曲線(今回は δD)に最も近い結果となる集中定数を求める。次に得られた集中定数を用い、遅延係数を変数とし1~200の間で28通り変化させた解析を行い、Rb⁺と Ba²⁺の破過曲線に最も近くなる遅延係数を求める。

評価解析を行った結果を図1に併せて示す。集中定数は、16S52T2が 8.0×10^{-4} 、16S52T3が 8.0×10^{-4} 、16S52T4が 1.2×10^{-4} と評価された。16S52T2、16S52T3については良好に再現できたが、16S52T4については再現性がやや低下した。これらの集中定数を用いて収着性トレーサーの評価解析を行った結果、Rb⁺の遅延係数が10~15、Ba²⁺の遅延係数が45~50と評価され、試験条件が異なってもほぼ等しい遅延係数を評価できた。しかし、解析では遅延係数が大きくなるほどピーク時間が早くなるのに対し、試験結果では非収着性トレーサーと収着性トレーサーのピーク時間がほぼ一致しており、この傾向を解析で再現できなかった。この原因については検討中であるが、評価に用いている線形収着ではなく、時間依存型の収着となっている可能性がある。これらについては解析モデルを見直して検討する予定である。

5. まとめ

花崗岩に存在する割れ目を対象とし単孔トレーサー試験を実施した。試験の結果、濃度が極端に低くなることなく有意な破過曲線を得ることができた。評価解析を行った結果、非収着性トレーサーについては概ね良好に再現できたが、収着性トレーサーについてはピーク時間の再現性が悪かったことから、解析モデルを見直す予定である。なお、本稿の内容は経済産業省資源エネルギー庁より(一財)電力中央研究所が平成28年度に受託した「岩盤中地下水移行評価確証技術開発」の成果の一部である。また、本研究は日本原子力研究開発機構との共同研究として実施したものである。

参考文献

1) Nordqvist, R. ほか(2008): Evaluation and modelling of SWIW tests performed within the SKB site characterization programme, SKB Report R-08-104.
 2) 野原ほか(2016): バックグラウンド地下水流れを考慮した単孔トレーサー試験の評価法に関する検討, 土木学会論文集C, Vol.72, No.3, pp.224-238.

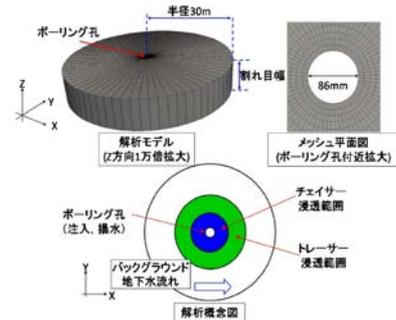


図2 解析モデル