

止水プラグの設計に関する数値解析的検討

日本原子力研究開発機構 正会員 松井 裕哉
 (株)大林組 正会員 ○田中 達也
 正会員 戸谷 成寿
 奥木さくら
 (株)イーエムジー 橋本 秀爾

1. 概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分場に設置される可能性のある止水プラグには、掘削により地下坑道周辺岩盤中に形成される掘削損傷領域（EDZ: Excavation Damaged Zone）を介し大規模断層のような地上まで直結する物質移動経路を想定した場合の移動速度の遅延性能が求められる。しかし、そのような機能を満足するための合理的な設計手法は現状では確立されていない。このため、プラグの合理的な設計手法の構築に資することを目的とし、我が国の一般的な地質環境を想定して、プラグの幾何学的形状等が物質移動に与える影響を把握するための感度解析を実施した。なお、本報告は、「平成31年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業地層処分施設閉鎖技術確証試験」の成果の一部であり、詳細は文献1)を参照されたい。

2. 検討内容

解析モデルの概要を図1に示す。モデルは2次元鉛直断面とした。解析領域には、岩盤、断層、地下坑道と坑道周辺のEDZ及び坑道閉鎖後の埋戻し材をモデル化した。ジェネリックな検討を行うやため、硬岩系岩盤、軟岩系岩盤それぞれに対し各構成要素の物性値は、表1のようにNUMOの包括的技術報告書レビュー版¹⁾に示された値を用いた。地下水流動場は、NUMOの包括的技術報告書レビュー版²⁾に基づき、上流側から断層方向に向かう一方向の動水勾配5%の境界条件を設定した。

さらに、本検討では設計手法の構築に資するため、モデル構成要素の幾何学的条件を以下のように変動させ定常状態の飽和浸透流解析を実施した。解析ケースは全112ケース設定し、解析コードはConnect Flowを用いた。

- EDZ幅：1 m, 0.5 m
- プラグ近傍EDZの連結性：非連結，全て連結，一部連結
- プラグの厚さ：1 m, 2 m
- プラグと断層の離間距離：5 m, 10 m, 15 m
- プラグの形状：矩形型，ソロバン型
- プラグの切り欠き深さ：0.5 m, 1 m

プラグの止水効果を評価するため粒子追跡線解析では、坑道上側EDZ内に複数個の粒子を配置し、浸透流解析により求めたダルシー流速場を用いてパーティクルトラッキングにより粒子の移行状況を評価した。具体的には、上流側端面のEDZから粒子が断層に到達するまでの時間をケース毎に算定し、各解析ケースで得られた粒子到達時間を、プラグがない条件での解析結果から得られた到達時間で除して正規化することでプラグの幾何学的条件等が遅延効果に及ぼす影響を定性的に評価した。

キーワード 地層処分，掘削影響領域，止水プラグ，数値解析

連絡先 〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進432番地2 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 TEL:01632-5-2022

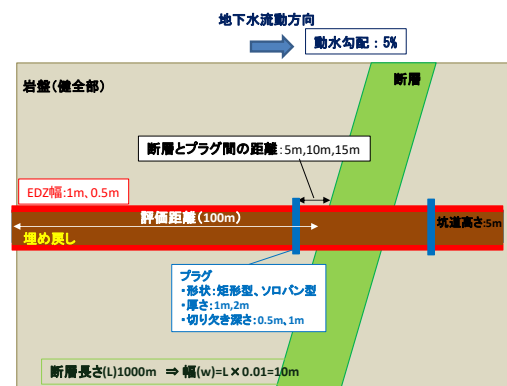


図1 解析モデル概要

表1 解析物性値の例
(硬岩系岩盤)

	透水係数 (m/s)	有効空隙率 (%)
岩盤	2.7×10^{-8}	0.8
断層	1.6×10^{-6} (断層平行方向)	10
	1.3×10^{-9} (断層直交方向)	
EDZ	2.7×10^{-6}	0.8
プラグ	1.0×10^{-10}	13
埋め戻し材	2.7×10^{-7}	30

3. 検討結果

感度解析により得られた知見を以下に示す。

- プラグを設置することによりプラグ近傍の地下水流動が上向きの流れを形成し、EDZ 幅が小さい条件の方が EDZ を移行する物質が岩盤中に早く移行するため、断層に到達するまでの時間が長くなる。
- 図 2 のように、プラグ沿いに EDZ が存在する条件（プラグ近傍 EDZ 連結）では、坑道近傍の EDZ を移行する物質がそのままプラグ沿いの EDZ を移行するため遅延効果は無い。また、プラグ周辺に EDZ が存在しない場合（プラグ近傍 EDZ なし）では、物質の遅延硬化は最も期待できるが、プラグ周辺に EDZ が形成されても一部に遮水効果がある場合（プラグ近傍 EDZ 一部連結）は、ある程度の遅延効果が期待できる。これは、坑道近傍の EDZ を移行してきた粒子が、プラグ近傍の EDZ の一部に遮水効果があることで、一旦岩盤中に移行してからプラグ近傍の EDZ へ移動し、さらに坑道近傍の EDZ へ移行するためである。
- プラグが厚い条件の方が概ね移行時間が長くなるが、坑道に近いほど差は小さくなる。これは、プラグを設置することにより上向きの地下水流動場が形成され、プラグが厚い条件の方が、岩盤に近い物質がより早く岩盤中に移行するためである。
- プラグと断層の離間距離が大きい場合、物質が岩盤中へより早く移行するため遅延効果が期待できる。
- 矩形型プラグは、ソロバン型プラグに比べると EDZ 中を移行する物質がより早く岩盤中に移行するため移行時間が長くなる。ソロバン型プラグでは、プラグ設置位置近くで EDZ 内に物質が移行するため遅延効果が相対的に小さい。また、矩形型プラグではプラグと断層の離間距離が大きいほど移行時間が長い、ソロバン型プラグでは、上記の理由により離間距離による差がほとんどない（図 3）。
- 矩形型プラグでは、硬岩系、軟岩系岩盤とも切り欠き深さが深い方が、物質が EDZ から岩盤中に早く移行するため移行時間が長くなる。ソロバン型プラグでは、硬岩系岩盤で切り欠き深さが長い条件の方が、物質が EDZ から岩盤中に早く移行するため移行時間が長くなったが、軟岩系岩盤では切り欠き深さに関係なくプラグによる物質の遅延効果は小さかった。

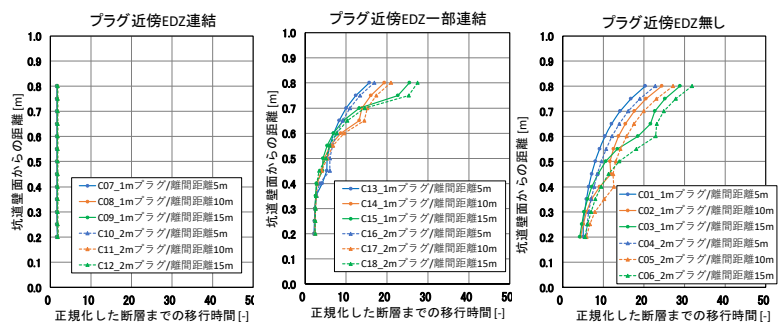


図 2 正規化した移行時間の例（硬岩系岩盤）

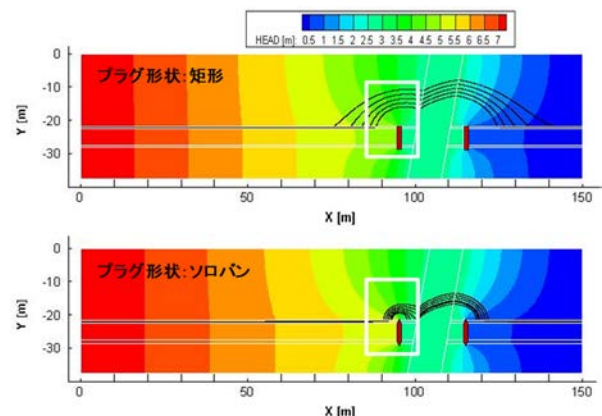


図 3 粒子追跡線解析結果の例（白枠はプラグ位置）

4. まとめ

水平一方向の地下水流動場を想定した場合、止水プラグの要求性能である物質移動の遅延効果に関して相対的に影響が大きいのは、プラグ近傍の EDZ の連結性とプラグの形状であり、設計の考慮事項として優先度が高いことがわかった。また、止水プラグの形状については、その効果を保持しつつ、対象物からの離隔距離を変化させられる矩形形状が好ましいと考えられる。

参考文献

- 1) 資源エネルギー庁(2019)：平成 31 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業地層処分施設閉鎖技術確証試験報告書，pp. 147～191
- 2) NUMO (2018)：包括的技術報告書：わが国における安全な地層処分の実現—適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—（レビュー版） NUMO-TR-18-03