

TRU 処分坑道の人工バリア設計における長期力学挙動評価

鹿島建設(株) 正会員 ○羽根 幸司 佐原 史浩 佐々木 敏幸 守屋 桂 京川 裕之
原子力発電環境整備機構 正会員 山本 陽一 藤崎 淳 後藤 考裕

1. はじめに

原子力発電環境整備機構では、我が国において想定される複数の地質環境を対象に、地層処分システムの地下施設の設計に関わる検討を実施している。地下施設のうち TRU 廃棄物の処分坑道断面は、力学的安定性、熱的制約、操業方法などの諸条件を考慮して設定される。また、その断面を構成する緩衝材、充填材等の人工バリアはそれぞれ設計要件を満足する必要がある。本検討では、これらを考慮して設定された TRU 処分坑道の断面に対して力学解析を実施して長期の応力・変形挙動を評価し、人工バリアの安全機能が維持されるか検討した。本報では深成岩を母岩とする廃棄体グループ2の処分坑道(図-1)を対象としたケースについて紹介する。

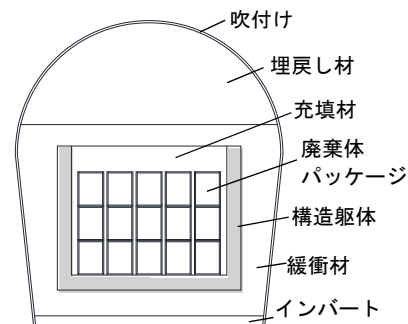


図-1 TRU 処分坑道断面
(グループ2)

2. 長期力学挙動解析の解析条件

日本原子力研究機構が開発した「TRU 廃棄物地層処分施設力学挙動解析コード」(以下、MACBECE)の2014年版により TRU 処分坑道断面の閉鎖後の長期力学挙動解析を実施した。MACBECEでは、人工バリア材料の長期的な化学変遷の影響を考慮して力学挙動評価ができるよう、入力パラメータとして「化学変遷指標」(ベントナイト系材料の交換性 Na 率, スメクタイト密度および間隙水の当量イオン濃度, セメント系材料のカルシウム溶脱率および空隙率)の経時変化を取り込み反映できるようにコード化されている。MACBECEは、力学モデルとしてセメント系材料にはカルシウム成分の溶出に伴う強度・剛性の低下を考慮した非線形弾性モデル、ベントナイト系材料には粘土系材料の構成則である関口・太田モデル¹⁾²⁾³⁾や EC モデル⁴⁾⁵⁾⁶⁾にベントナイトの膨潤特性を考慮した弾粘塑性モデル、岩盤には大久保モデル⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾が採用されており、また、金属材料の腐食膨張も考慮可能である。さらに、MACBECEには化学変遷に伴って変化するベントナイト系およびセメント系材料の透水係数の評価式¹¹⁾が実装されている。本検討では、こうした MACBECE の機能を活用して解析を実施した。

図-2 に処分坑道周辺の解析モデルを示す。解析モデルは対称性を考慮して半断面とし、廃棄体パッケージ(鋼製容器および内部充填材)、パッケージ間の充填材、RC 構造躯体(鉄筋は1本毎にモデル化)、緩衝材、埋戻し材、支保工、インバートおよび岩盤

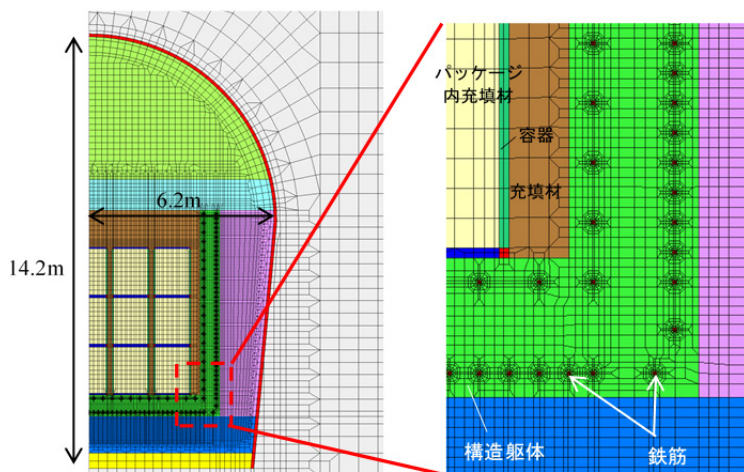


図-2 処分坑道近傍の解析モデル

表-1 ベントナイト系材料の仕様

	緩衝材	埋戻し材
混合率	ベントナイト 70%, ケイ砂 30%	ベントナイト 15%, ケイ砂 85%

表-2 セメント系材料の仕様

	構造躯体 インバート	支保工	充填材
材料	コンクリート (W/C=55%)	コンクリート (W/C=45%)	モルタル (W/C=55%)
骨材率	70%	67%	54%
間隙率	19%	13%	19%
真密度	2.63 g/cm ³	2.62 g/cm ³	2.58 g/cm ³

キーワード 放射性廃棄物地層処分, TRU, 人工バリア, 変遷, 安全機能

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株) 土木設計本部 TEL 03-6229-6724

を考慮した。岩盤のモデル化範囲は掘削径の約3倍とし、境界条件はモデル全周をローラー支持とした。初期応力設定のため自重解析を実施し、坑道掘削後の施工手順を考慮した解析ステップを設定して坑道埋戻し・再冠水後10万年までを評価期間とした。人工バリア材料の仕様を表-1および表-2に示す。解析物性値のうち、力学パラメータは既往の検討¹²⁾を参考に設定し、化学変遷指標については、別途実施された地球化学解析の結果(例:図-3)に基づき設定した。金属系材料の腐食速度は既往検討の知見¹³⁾を参照して0.02($\mu\text{m}/\text{y}$)と設定した。

3. 解析結果

解析結果の例として、緩衝材の変形図および透水係数分布を図-4に示す。断面全体の変形モードは、廃棄体パッケージ容器の膨張に起因する構造躯体の変形が支配的であり、これにより緩衝材は圧縮され、10万年後において側部で36mm、底部で16mm、上部で11mm厚さが減少する結果となった。上部埋戻し材については、10万年後において緩衝材との境界で局所的に引張応力が発生するが、全体に隙間が生じるような影響はないと考えられる。また、緩衝材の透水係数については10万年後において最大で約3オーダー透水係数が上昇する結果となった。

4. 安全機能の確認

上記長期力学挙動評価結果に基づき、10万年後の処分坑道断面の変形および透水係数を考慮した2次元定常地下水流動解析を実施した。解析から求められた緩衝材中の最大流速を用いてペクレ数を算定し、その値が1より十分小さいことから、長期間にわたって拡散場が維持される見通しを得た。

5. まとめ

深成岩に対して設定されたTRU廃棄物のグループ2の処分坑道断面に対し、解析コードMACBECEを用いて長期力学挙動解析を実施した結果、坑道全体に大きな変形は生じず上部埋戻し材に隙間が広がるような影響はないなどの見通しを得た。また、力学解析に基づく地下水流動評価の結果、人工バリアの安全機能(ニアフィールドの拡散場)は長期間にわたって維持される見通しを得た。今後は、異なる地質環境条件における地下施設に対して同様な検討を実施し工学的成立性を確認していく予定である。

参考文献

- 1) 奥津ほか(2002): ニアフィールド水理場の長期的変遷評価システム構築に関する研究, JNC TJ8400 2002-031
- 2) Sekiguchi, H. and Ohta, H. (1977): Induced anisotropy and time dependency of clay, In Proc. Specialty Session 9 International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, Vol.1, pp.229-239
- 3) 奥津ほか(2003): ニアフィールド水理場の長期的変遷評価システム構築に関する研究II, JNC TJ8400 2003-049
- 4) 大野進太郎(2006): 非線形コントラクタンシー表現関数に基づく地盤材料の弾塑性構成モデル, 東京工業大学 博士学位論文
- 5) 大野進太郎, 飯塚敦, 太田秀樹(2006): 非線形コントラクタンシー表現式を用いた土の弾塑性構成モデル, 応用力学論文集, 土木学会, Vol.9, pp.407-414
- 6) Ohno, S., et al., (2007): Analysis of embankment by nonlinear contractancy description, Proc. of the 13th Asian Regional Conference of Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Kolkata, India, pp.1097-1100
- 7) 大久保誠介(1992): コンプライアンス可変型構成方程式の解析的検討, 資源・素材学会誌, 108, pp.601-606
- 8) 大久保ほか(1987): 一軸圧縮応力下における時間依存性挙動, 日本鉱業会誌, 103, pp.177-181
- 9) 趙頭ほか(1995): 強度のばらつきを考慮した一軸引張試験の計算機シミュレーション, 資源と素材, Vol.111, pp.907-912
- 10) 宮野前ほか(2005): 岩盤の時間依存性挙動と施工過程を考慮した掘削解析手法の提案, 土木学会, 土木学会論文集, No.791/V1-67, pp.97-109
- 11) 奥津ほか(2005): ニアフィールド水理場の長期的変遷評価システム構築に関する研究IV, JNC TJ8400 2005-012
- 12) 例えば核燃料サイクル開発機構(2004): 緩衝材長期力学挙動評価モデルの検討, JNC TN8400 2003-034
- 13) 西村ほか(2003): 地層処分場における金属腐食に伴う水素ガス発生量評価

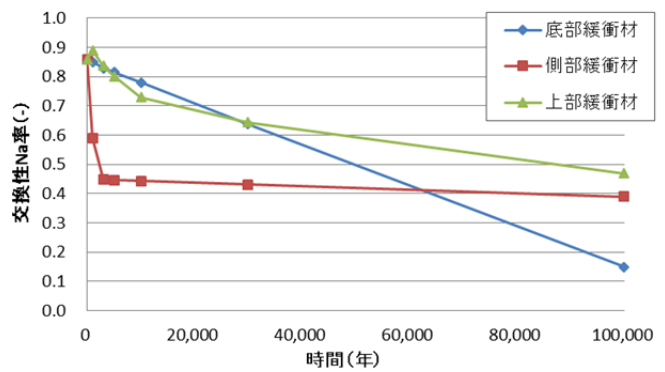


図-3 緩衝材の交換性Na率の経時変化

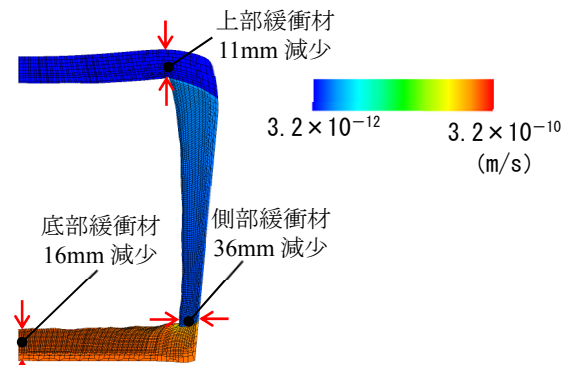


図-4 ベントナイト系材料の10万年後の変形図(変形倍率16倍)および透水係数分布