

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設における 回収可能性維持による処分坑道の力学的影響評価について

清水建設(株) 正○郷家光男, 正 多田浩幸, 正 白石知成, 正 戸栗智仁
(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター 非 石井智子, 非 蓮井昭則
非 今井政孝, 正 高本尚彦

1. はじめに 原子力環境整備促進・資金管理センターは、高レベル放射性廃棄物の地層処分における回収可能性の維持に関して、閉鎖前の作業環境の安全性や閉鎖後の長期的安全性に与える影響等を検討している。本研究は、回収可能性を維持した場合の影響に対する評価技術を整備することを目的として、処分坑道への力学的影響の評価方法を検討したものである。

2. 力学的影響の解析的評価方法 回収可能性を維持した場合の影響を定量的に評価するためには、ニアフィールドの熱・水理・力学・化学の各現象の時間依存性、相互影響、回収可能性維持の状態を考慮する必要がある。各現象の相互影響を考慮する場合には、連成解析による評価が必要であるが、本研究では、安全性に対する影響低減技術を定量的に検討することも視野に入れたために、各影響に対して個々の解析を実施するとともに、影響毎に物性変化を引き渡す方法を用いることにした。

力学的影響評価では、回収可能性維持期間中の周辺岩盤の長期的変形による坑道安定性を評価することにした。そして、坑道安定性に影響を与える要因として、岩盤のクリープ変形、支保工を構成するセメント系材料の溶脱による劣化、埋戻し材・緩衝材の飽和に伴う力学特性の変化を抽出し、これらの現象を考慮することにした。

3. 解析条件 処分坑道の仕様については、Yamamotoら¹⁾の設計例の参考値に基づいて設定した。処分深度は深成岩では1,000m、新第三紀堆積岩では500mとした。

岩盤の物性値は、第2次取りまとめ²⁾のHRとSR-Cより設定した。また、岩盤のクリープ変形を表すために、構成則にはコンプライアンス可変型モデル³⁾を用いた。

本研究で考慮した事象と経時変化の概念を図-1に示す。周辺岩盤のクリープ変形は、処分坑道の構築直後から始まり、それが継続するものとした。支保工の劣化は、設置直後から始まるものとした。支保工の吹付けコンクリートの溶脱については、既往の研究⁴⁾を参考にして溶脱速度を $t=0.5\text{mm/y}$ と設定した。この結果、厚さ200mmの吹付けコンクリートの場合、 $200/0.5=400$ 年で溶脱が完了することになる。溶脱完了後の吹付けコンクリートのヤング率については、既往の研究⁴⁾と同様に、初期ヤン

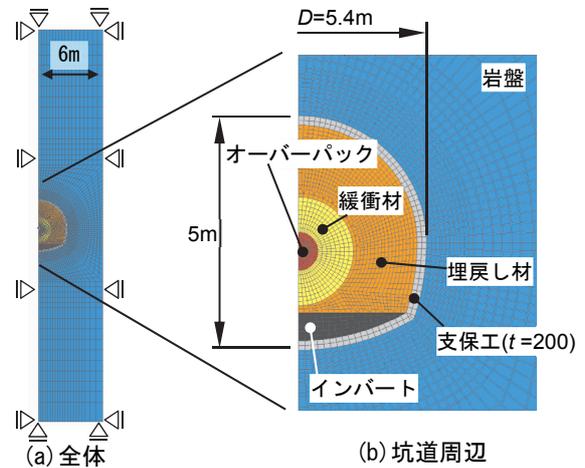


図-2 解析モデル

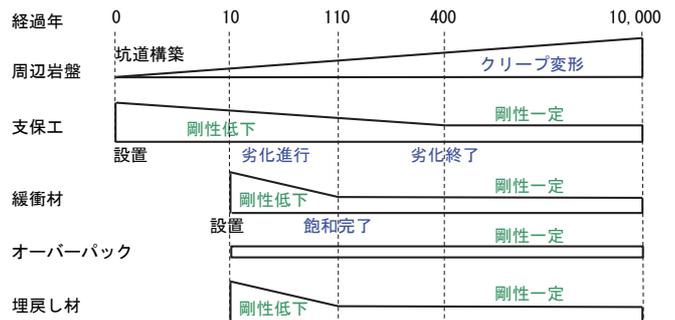


図-1 事象と経年変化の概念

グ率の1/10になるものとした。

緩衝材、オーバーバック、埋戻し材は、処分坑道構築後10年時に同時に設置するものとした。設置直後から緩衝材と埋戻し材の再冠水が始まり、100年間で飽和が完了するものとした。飽和に伴う力学特性の変化については、飽和が完了するまで、ヤング率が一律低下することで表した。

解析ケースとしては、岩盤条件、坑道断面(縦置き方式、横置き方式)、回収可能性維持の状態オプションを組合せて設定した。新第三紀堆積岩・横置き方式の場合の解析モデルを図-2に示す。

4. 解析結果と坑道安定性の保持期間の検討 紙面の都合上、全ケースの解析結果は示せないため、ここでは、「新第三紀堆積岩・横置き方式・処分坑道まで埋戻し」のケースにおける処分坑道周辺岩盤の最大せん断ひずみの分布を図-3に示す。

キーワード：高レベル放射性廃棄物、回収可能性、坑道安定性、クリープ

連絡先：〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目16-1 Tel.: 03-3561-3919 Fax.: 03-3561-8673

この結果を基に周辺岩盤の長期安定性の評価について検討した。坑道構築時の評価基準として、文献⁵⁾を参考に、最大せん断ひずみが限界せん断ひずみの平均を超過する領域が坑道掘削径 D の20%以下であることと、文献^{6), 7)}から、新第三紀堆積岩の限界せん断ひずみの平均を0.57%と設定した。この構築時の評価基準を念頭に図-3を見ると、坑道構築時は評価基準を満たしているが、側部において1年後までに、 $\gamma_{max}=0.57\%$ 超過領域が坑道掘削径 D の20%の領域を超えていることが分かった。ただし、坑道構築時の評価基準は安全裕度を見込んだものであると考えられることから、この数値を基に長期安定性を評価することは適切でないと考えた。そこで、長期安定性の限界値としては、限界ひずみの上限の1.34%^{6), 7)}を設定した。図-3より、 $\gamma_{max}=1.34\%$ 超過領域が坑道掘削径 D の20%を超えるのは、1,000年後から1万年後の間となることが分かった。しかしながら、1,000年後の時点では、 $\gamma_{max}=1.34\%$ 超過領域は坑道の肩部と側部に発生していて、坑道掘削径 D の20%の境界まで達していた。特に肩部はヤング率の低下が著しかったことから、肩部の周辺岩盤が最初に不安定化する箇所であると考えた。そこで、壁面近傍で最大せん断ひずみが1.34%を超える肩部の要素に着目して、安定性の保持期間を検討した。この着目要素の最大せん断ひずみの経時変化を図-4に示す。この図より、周辺岩盤の最大せん断ひずみで評価した場合の坑道安定性の保持期間は252年と評価された。

次に、支保工応力度による長期安定性の評価について検討した。吹付けコンクリートについては、断面形状の変化点を考慮して、天端、肩部、側部、脚部、底部の五箇所の要素に着目した。吹付けコンクリートの応力度の経時変化を図-5に示す。吹付けコンクリートの応力度の評価基準は、設計基準強度が400年後、初期値の1/100になると仮定し、線形補間による強度低下を考慮した値とした。図-5によると、応力が集中しやすい脚部を除くと、坑道構築後140年後に肩部で最初に評価基準を超えた。この結果から、支保工応力度で評価した場合の坑道安定性の保持期間は140年と評価された。

6. おわりに 本研究では、回収可能性維持期間中の坑道の安定性に影響を与える要因を考慮した解析手法、および一般的に使用されている評価基準に基づいた坑道安定性の評価方法を検討した。なお、安定性の保持期間の評価例も示したが、これは解析条件等により大きく変わることには注意を要する。今後の課題としては、支保工、緩衝材および埋戻し材の構成モデルや物性値の設定方法等が挙げられる。

本研究は、経済産業省からの委託研究「平成28年度地層処分技術調査等事業 可逆性・回収可能性調査・技術

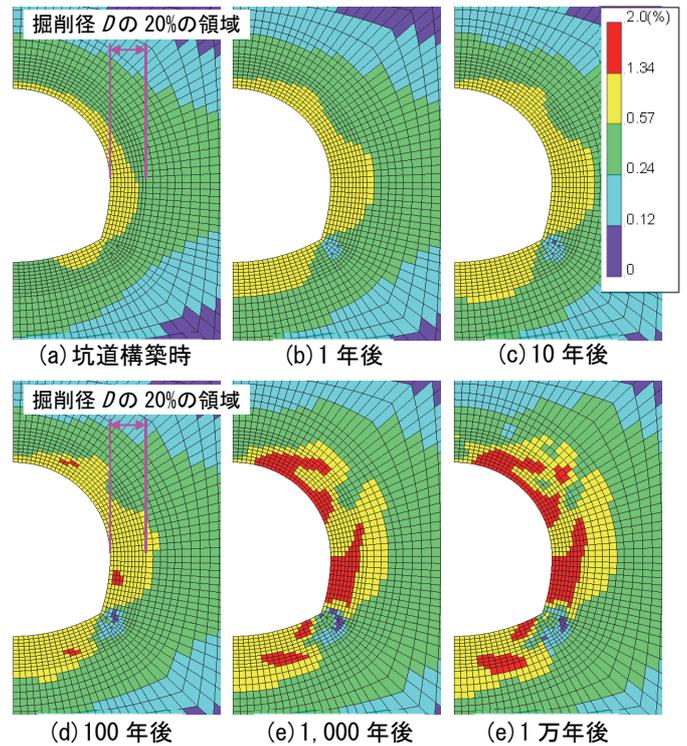


図-3 周辺岩盤の最大せん断ひずみの分布



図-4 着目要素における最大せん断ひずみの経時変化

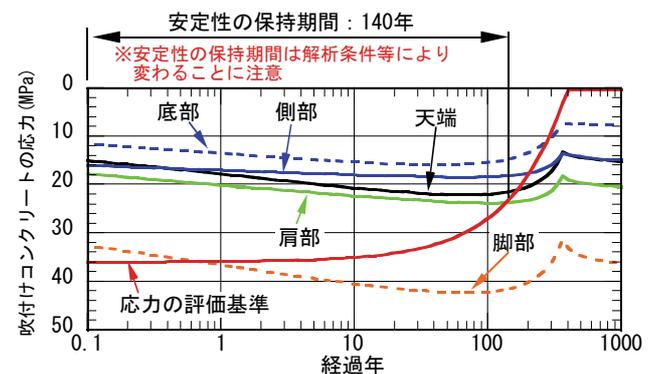


図-5 吹付けコンクリート応力の経時変化

高度開発」の成果の一部である。

参考文献 1) Yamamoto, Y. et al.: Repository Design in Safety Case Development, Proceedings of the 16th International High-Level Radioactive Waste Management Conference, 2017. 2) 核燃料サイクル開発機構: わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—分冊2 地層処分の工学技術, JNC TN1400 99-022, 1999. 3) 大久保, 金: 資源と素材, Vol.109, No.3, pp.209-214, 1993. 4) 山本ら: 土木学会第63回年次学術講演会講演概要集, CS05-47, pp261-262, 2008. 5) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構: 山岳トンネル設計施工標準・同解説, 2008. 6) 櫻井, 足立: 都市トンネルにおける NATM, 鹿島出版会, 1988. 7) 櫻井ら: 土木学会論文集, No.493/III-27, pp.185-188, 1994.