

高レベル放射性廃棄物の PEM を対象とした閉鎖後の再冠水過程評価 (その 1) PEM 容器の構造と再冠水挙動評価の解析条件

原子力発電環境整備機構 正会員 ○鈴木 寛, 後藤 考裕
株式会社大林組 正会員 山本 修一, 志村 友行, 佐藤 伸, 森岩 寛稀

1. はじめに

原子力発電環境整備機構（以下、NUMO）は、高レベル放射性廃棄物の操業技術の一つとして、横置き・PEM方式の開発に取り組んでいる。この操業技術は、人工バリア（ガラス固化体を封入したオーバーパックおよび緩衝材）を地上施設で鋼製容器（以下、PEM 容器）内に一体化（以下、PEM、Prefabricated EBS module の略）した後、地下施設に搬入して処分坑道に定置するものである。本シリーズ講演¹⁾では、横置き・PEM方式の開発のうち、PEM 容器の構造と処分場閉鎖後の再冠水過程を評価した結果について報告する。本稿では、PEM 容器の構造と再冠水挙動評価の解析条件について報告する。

2. PEM 容器検討の概要

PEM 容器に対しては、地下施設への搬入・定置の際に著しく変形し、分解することがないように構造健全性を確保すること、緩衝材が均一に膨潤して、施工時の隙間を閉塞し、低透水性、コロイドろ過能、物理的緩衝性等の所要の機能を発揮するのを妨げないようにするために、処分場の閉鎖後に速やかに地下水が PEM 容器内に浸潤すること、および操業期間中の結露、滴水により、PEM 容器内に水が浸潤し、計画外の緩衝材の膨潤を防止することを要件としている。これらの要件に対して、包括的技術報告書³⁾においては、無孔型としていたが、地下水の浸水経路が限定的であるため、不均一に膨潤する可能性があった。そこで本検討では、地下水の浸透が均一になるように、有孔型の PEM 容器を検討した。PEM 容器の有孔率の設定においては海外の事例⁴⁾を参考とするとともに、PEM のハンドリング時に必要となる剛性を考慮して、有孔率を最大 11%とし、比較のため 1%のケースも設定した(表-1)。

有孔型 PEM 容器とする場合、地下施設で搬送、定置する際に、坑道内の環境によっては結露や滴水などが発生し、容器の穿孔から内部に水が浸透し、緩衝材が PEM 容器外に膨出する懸念がある。そこで、容器の内側と緩衝材の間に緩衝材の膨出防止のため、耐熱性を有するフィルター層を設置することとした。フィルター層としては、金属メッシュ、多孔質金属板、グラスクロス（グラスファイバーを布状に織り込んだもの）について検討し、加工の容易性、安価に調達できるといった理由からグラスクロスの利用を想定した。

3. 解析条件の設定

NUMO では、包括的技術報告書に示した PEM の設計例に加え、PEM を軽量化した場合の安全性や工学的成立性等に対する影響を把握するために、安全機能を維持しつつ、人工バリアの仕様を変えた PEM についても検討している。人工バリアの仕様を変更すると、PEM 内の温度分布や地下水の浸透率などが変化するため、これらの条件を対象に再冠水過程の評価を実施した。解析領域内の構成要素は、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材、PEM 容器、処分坑道埋め戻し材、鋼製台座、処分坑道支保、母岩とした。ガラス固化体は放射性物質の壊変に伴い発熱しており、発熱量は製造後の貯蔵期間により変わるため、解析では貯蔵期間を 30 年または 50 年間に設定してガラス固化体の発熱量を設定し解析モデルに与えた⁵⁾。解析で前提としたオーバーパックおよび緩衝材の寸法仕様は図-1 に示した通りである。母岩の熱特性、水理特性、力学特性は、深成岩類および新第三紀堆積岩類⁶⁾を対象とし、岩種による結果の違いを比較するために、どちらの岩種でも地下施設設置深度は 500 m に設定した。坑道形状は、母岩の力学特性の違いにより異なり、深成岩類は幌型構造、新第三紀堆積岩類は三芯円構造を想定した(図-1)。

解析モデルは、地表面からオーバーパックを含む人工バリアまでを含む領域の熱-水連成現象を解析するファーフールドモデル（以下、FFM）と、処分坑道壁面を境界として、熱、水に加え、緩衝材の膨潤に伴う力学現象についても詳細に連成解析するためにニアフィールドモデル（以下、NFM）を構築して解析を実施した。FFM では、温度境界条件の効果を予察解析で確認したうえで、深度 1,000 m までを解析領域とした。モデル化の一例を図-1 に

キーワード 熱・流体・応力連成、有効応力解析法、放射性廃棄物処分、PEM

連絡先 〒108-0014 東京都港区芝 4 丁目 1 番 23 号三田 NN ビル 2 階 原子力発電環境整備機構

示す。FFMでは、母岩も含めた熱影響を把握するためTH連成解析を実施し、FFMにおける熱、流体（液相、気相）の境界条件をNFMに引き継ぎTHM連成解析を実施した。解析領域内の構成要素は、ガラス固化体、オーバーパック、緩衝材、PEM容器、処分坑道埋め戻し材、鋼製台座、処分坑道支保、母岩（FFMのみモデル化）とした。表-1にPEM容器の透過性を考慮した際のパラメータの設定について示す。PEM容器の透過性については、容器の開孔部に埋め戻し材が充満すると仮定して、PEM容器の有効率を基に面積比で設定した。PEM容器の剛性については、開孔による断面欠損を考慮し、有効断面に比例させてヤング係数を低下させた。その他の解析条件の設定については、関連報告¹⁾²⁾を参照願いたい。

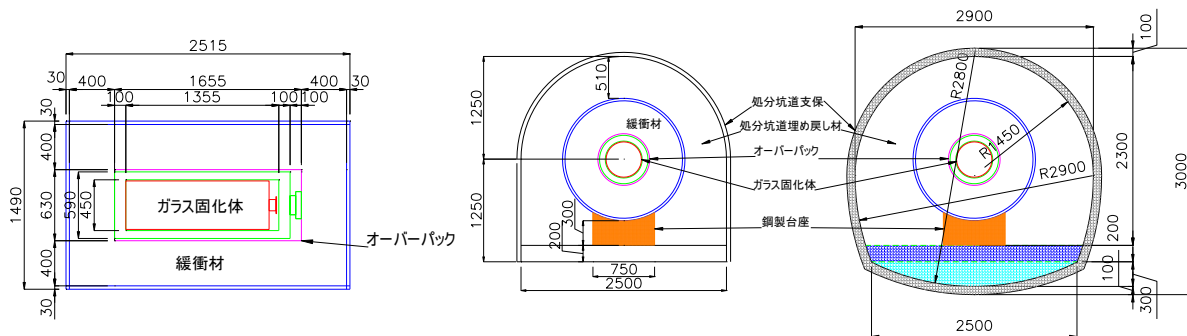


図-1 解析モデル仕様（左図：オーバーパックおよび緩衝材寸法，中央：幌型構造，右図：三芯円構造）

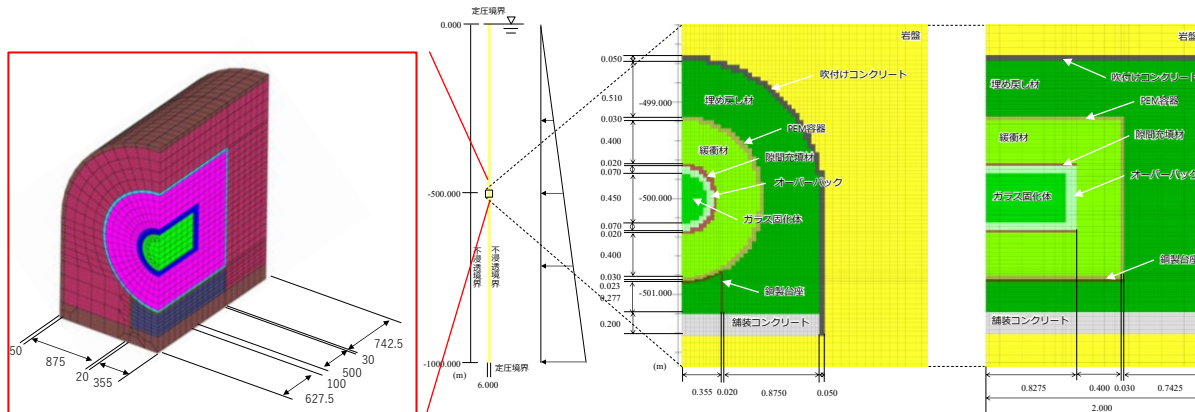


図-2 解析モデル一例（深成岩類を対象，左図：ニアフィールドモデル，右図：ファーフィールドモデル）

表-1 PEM容器に関する解析パラメータの設定

パラメータ		有効率 11 %	有効率 1 %
透過性	PEM 容器の透過性 (K_b : 埋め戻し材の絶対浸透率)	全方向 : $0.11K_b$	全方向 : $0.01K_b$
剛性	引張力に対する有孔断面控除による低減後剛性 (全断面有効を 1 とする)	0.375	1.00
熱伝導率・比熱	伝導面積の削減による伝導率の割合 (低減無しを 1.00 とする)	0.89	1.00

4. おわりに

本稿ではシリーズ講演¹⁾²⁾で報告する PEM の再冠水過程の評価に必要な解析の前提条件の設定について示した。これらの解析条件のうち、ガラス固化体の発熱量、PEM 容器の透過性が再冠水過程に影響を及ぼすが、いずれの場合においても、有孔型 PEM 容器としたことで緩衝材の再冠水は均一に進行することが分かった。今後、この解析結果を PEM の詳細な設計に反映する予定である。

参考文献

- 1) 佐藤ら：高レベル放射性廃棄物の PEM を対象とした閉鎖後の再冠水仮定評価 (その 2)，土木学会第 75 回年次学術講演会公演概要集，2021。
- 2) 森岩ら：高レベル放射性廃棄物の PEM を対象とした閉鎖後の再冠水仮定評価 (その 3)，土木学会第 75 回年次学術講演会公演概要集，2021。
- 3) Autio, J et al (2008) : KBS-3H Design Description 2007, SKB R-08-44. 4) 原子力発電環境整備機構：付属書 4-19 PEM 容器の設計，包括的技術報告：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—，NUMO-TR-20-03. 5) 原子力発電環境整備機構：包括的技術報告：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—，NUMO-TR-20-03，付属書 2-3 処分場の設計・安全評価における廃棄体特性の設定. 6) 原子力発電環境整備機構：包括的技術報告：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—，NUMO-TR-20-03，付属書 4-2 設計で使用した地質環境特性の設定値。