

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3) PEM 容器の透過性の相違による緩衝材の再冠水挙動

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

1. 目的

原子力発電環境整備機構(以降, 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⁾²⁾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容器の透過性の相違による緩衝材の再冠水挙動について報告する.

2. 検討概要

本検討では, 既報²⁾で報告した解析モデル(図-1参照), 解析コード(CODE_BRIGHT³⁾)を用いて検討した. 適用する材料構成モデルは, 既報²⁾と同様に緩衝材および埋め戻し部をBarcelona Basicモデル⁴⁾, その他は線形弾性体とした. THM連成解析で用いる熱物性, 気液混合二相流物性および力学物性等の材料パラメータは既往の検討に基づいて設定した. 例えば, 力学物性のうち, ベントナイト系材料については, 高山ら⁵⁾が実施した室内試験結果を引用し, 弾塑性パラメータは山本ら⁶⁾の検討を参照した. 気液混合二相流物性については, 藤崎ら⁷⁾の検討を参照した. 本検討に用いた水分特性曲線, および相対浸透率をそれぞれ図-2, 図-3に示す. 熱に関するパラメータについては, 谷口ら⁸⁾の試験結果から得られた熱伝導率算出式を用いて, 本検討仕様の熱伝導率を算定した. また, ガラス固化体の発熱量は既報¹⁾²⁾で報告したガラス固化体定置まで50年地上で貯蔵した際に発生するガラス固化体の発熱量を用いた. 本検討では, 再冠水時の緩衝材の飽和挙動へのPEM容器の有孔率の影響を確認するために, PEM容器の透過性をパラメータとした検討を実施した. ここに, PEM容器の有孔率としては既報²⁾で示した有孔率11%(Case1)および有孔率1%(Case2)としたケースの2ケース設定し, 検討を実施した. なお, PEM容器の透過性については, 既報¹⁾にて報告したとおり, 開孔部に埋め戻し材が充満すると仮定して, PEM容器の間隙率, 絶対浸透率をPEM容器の有孔率を基に面積比で設定した. 表-1に本検討で用いた絶対浸透率を示す. その他, 解析ステップ, 水理・温度境界条件は既報²⁾と同様の設定とした.

3. 検討結果

表-2に埋め戻し材部および緩衝材部の飽和に要する時間を示し, 各ケースにおける飽和度と温度の経時変化を図-4に示す. なお, 解析結果抽出点は緩衝材の内側・中央・外側(図-1参照)とした. 表-2より, 緩衝材が飽和に至るまでの時間はPEM容器の有孔率の大きいCase1の方が早い結果となった. 一方で, 埋め戻し材はPEM容器の有孔率が小さいCase2の方が早く飽和する結果となった. Case2は, PEM容器の有孔率が小さく低透水性のため, 緩衝材への地下水の浸透が妨げられ, 埋め戻し材の飽和が早く進んだと考えられる.

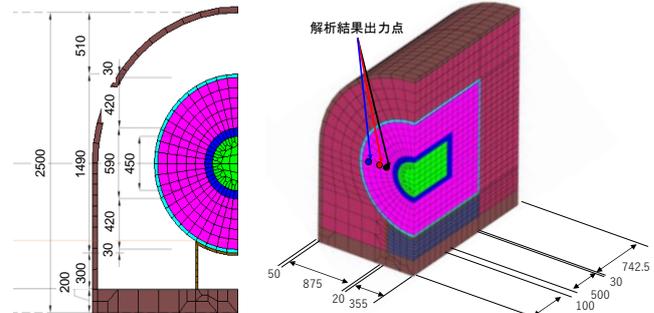


図-1 解析モデルの概要図

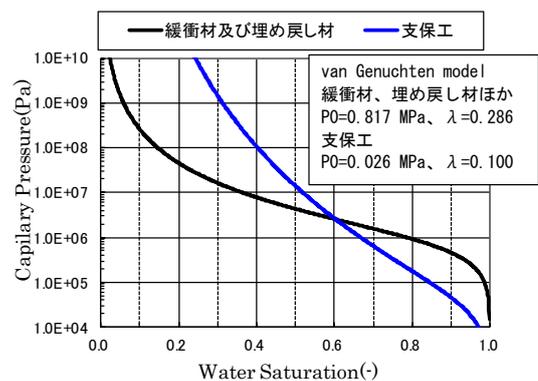


図-2 解析に用いた水分特性曲線

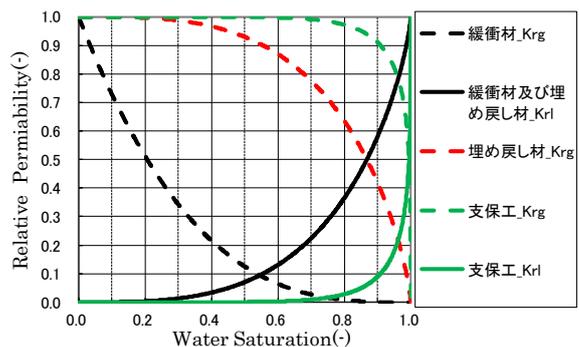


図-3 解析に用いた相対浸透率

表-1 解析に用いた絶対浸透率

部材	絶対浸透率 K (m ²)
緩衝材	2.44×10^{-20}
埋め戻し材	1.18×10^{-19}
PEM容器: 有孔率 11%	1.30×10^{-20}
PEM容器: 有孔率 1%	1.18×10^{-21}
支保工	9.32×10^{-18}

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 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 (株)大林組原子力本部原子力環境技術部

図-5に各ケースにおける相対湿度および温度の経時変化を示す。

相対湿度は次式により、サクシオンに基づいて、算出した結果である。

$$\theta_g^w = (\theta_g^w)_0 \exp \left[\frac{-(P_g - P_l)M_w}{R(273.15 + T)\rho_w} \right]$$

$$RH = \frac{\theta_g^w}{(\theta_g^w)_0} \cdot 100$$

ここで、 $(\theta_g^w)_0$ は飽和状態における空気相中の水蒸気濃度、 M_w は水のモル質量[kg/mol]、 R は気体定数[J/(kg・K)]、 P_g は間隙空気圧[MPa]、 P_l は間隙水圧[MPa]、 ρ_w は水の密度[kg/m³]を示す。Case1とCase2では、ガラス固化体の発熱温度は一緒であるがガラス固化体のピーク温度時における飽和度、相対湿度の経時変化が異なる結果となった。Case2では、PEM容器の低透水性によって、緩衝材に地下水が浸透しにくい状態であるため、緩衝材の間隙水が蒸発しやすく、間隙空気圧が上昇する。よって、マトリックサクシオンが減少しにくいいため、Case1に比べ、相対湿度は上昇しにくいと考えられる。

図-6に間隙比および平均有効応力の経時変化を示す。Case2では緩衝材の飽和がCase1に比べ遅延するため、膨潤応力の発現が遅く、それが平均有効応力の発達の遅いとして表れている。また、飽和に至るまでの過渡的な期間において、Case2ではCase1より緩衝材の内側で間隙空気圧が上昇するため、間隙比も一旦は大きくなるが飽和時には大きな違いがないことがわかる。以上より、PEM容器の透過性の相違によって、飽和に至る過渡的な過程においては、緩衝材の密度分布に一時的に影響が生じるが飽和時の密度には有意な影響は及ぼさないことが分かった。

4. 結論

横置き・PEM方式による処分方式を対象とし、PEM容器の透過性が与える影響を把握するためTHM連成解析を実施した。検討の結果、PEM容器の透過性が低い場合、緩衝材の飽和が遅延することで、ガラス固化体の発熱に伴い緩衝材内側から水蒸気が発生しやすくなり、それにより間隙空気圧も上昇するため、間隙比と有効応力に影響を及ぼす。結論として、PEM容器の透過性の相違は、緩衝材の飽和時間、飽和に至る過渡的な過程においては、緩衝材の密度分布に一時的に影響を及ぼすことが分かった。ただし、PEM容器の透過性の相違によらず緩衝材の偏膨潤は見られなかった。

参考文献

- 1) 鈴木ら：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,土木学会第75回年次学術講演会公演概要集,2020.
- 2) 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過程評価（その2）ガラス固化体の発熱量の相違による緩衝材の再冠水挙動,土木学会第75回年次学術講演会公演概要集,2020.
- 3) UPC: CODE_BRIGHT User's Guide 2018.
- 4) E. E. Alonso, et. al.: A Constitutive model for partially saturated soils, Geotechnique, 40, No.3, 1990.
- 5) 高山ら：緩衝材の長期圧密挙動に関する検討（その3）クニゲル[®]V1とカオリナイトの基本特性の比較,土木学会第74回年次学術講演会講演概要集, 2019.
- 6) 山本ら：サクシオン制御試験に基づくベントナイト系人工バリアの不飽和力学特性と保水特性,土木学会論文集C(地圏工学), 2019年75巻3号, p. 257-272, 2019.
- 7) 藤崎ら：熱-水-応力連成試験設備(COUPLE)を用いた室内試験結果に基づく熱-水連成モデルの信頼性確認, JAEA-Research 2008-020, 2008.
- 8) 谷口ら：熱的特性の緩衝材仕様に対する影響(研究報告), JNC TN8400 99-052, 1999.

表-2 飽和までの時間

部材	飽和度 (%)	時間 (年)	
		Case 1	Case 2
埋め戻し材	95	14.8	11.0
	98	16.6	12.1
緩衝材	95	77.1	584.8
	98	96.3	694.3

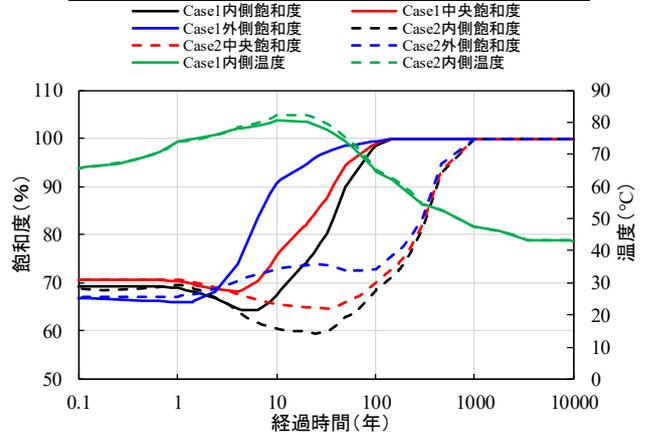


図-4 飽和度および温度の経時変化

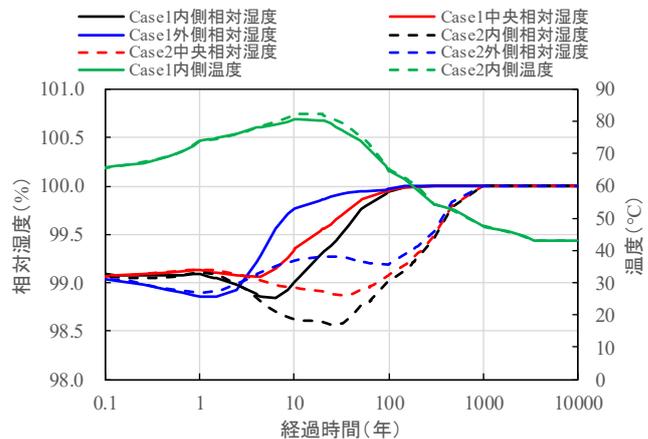


図-5 相対湿度および温度の経時変化

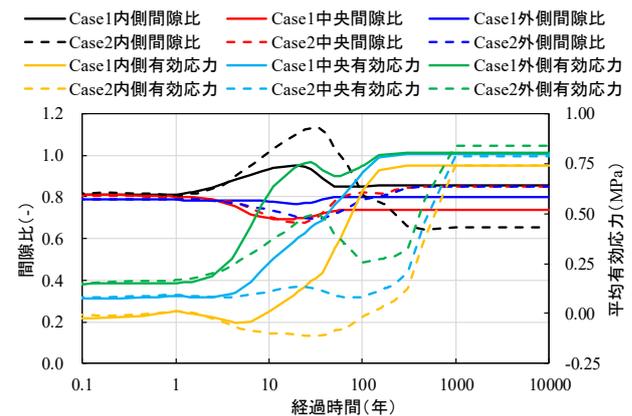


図-6 間隙比および平均有効応力の経時変化