

PEM方式を適用したTRU等廃棄物の人工バリア設計（その3）

株式会社大林組 正会員 ○志村 友行, 佐藤 伸, 森岩 寛稀, 高松 亮佑
原子力発電環境整備機構 正会員 鈴木 寛, 山本 陽一, 後藤 考裕, 高橋 拓麻

1. はじめに

原子力発電環境整備機構（以下、NUMO）では、操業の効率性や回収の容易性を考慮して、PEM方式 [Prefabricated Engineered Barrier System Module：地上施設で廃棄体を人工バリアと一体化したモジュールを地下施設に搬送し、定置する技術（以下、PEM）] をTRU等廃棄物の処分に適用するための技術開発（以下、TRU-PEM）を進めている。本シリーズ講演では^{1), 2)}, TRU-PEMを対象とした、処分容器の腐食膨張に伴う人工バリアの応力解析（以下、腐食膨張解析）および再冠水過程の熱-水連成解析を用いて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、TRU-PEMを対象とし、熱-水連成解析により、緩衝材の再冠水挙動について検討した結果を報告する。

2. 検討概要

本検討では、既報で報告した条件を基に地表面から深度1,000 mまでをモデル化（図-1 参照）し、解析コードGETFLOWSを用いて検討した。坑道内の緩衝材および埋め戻し材の仕様は既報と同様の仕様とし、熱-水連成解析で用いる熱物性および二相流物性等の材料パラメータは既往の研究成果に基づいて設定した。例えば、緩衝材の二相流物性については、藤崎ら³⁾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図-2、図-3に示す。熱特性に関する材料パラメータは、谷口ら⁴⁾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出した。また、廃棄体の発熱量は、包括的技術報告書⁵⁾を参照し、グループ2廃棄体に対応する廃棄体発熱量を用いた。本再冠水解析における水理境界条件について、モデル上面および底面は間隙水圧・間隙空気圧固定境界、側面は不浸透境界とした。また、温度境界は、地表面温度を15℃とし、底面温度45℃の温度固定境界とした。側面の温度境界はPEM容器の連続性を考慮し、断熱境界とした。解析時間は緩衝材の再冠水時間を目的としたため、10,000年までとした。

3. 検討結果

表-1に坑道中心の緩衝材の再冠水時間を示し、図-4に飽和度の経時変化、図-5に温度の経時変化、図-6に間隙空気圧の経時変化を示す。なお、解析結果の出力点は図-1に示す出力点とした。

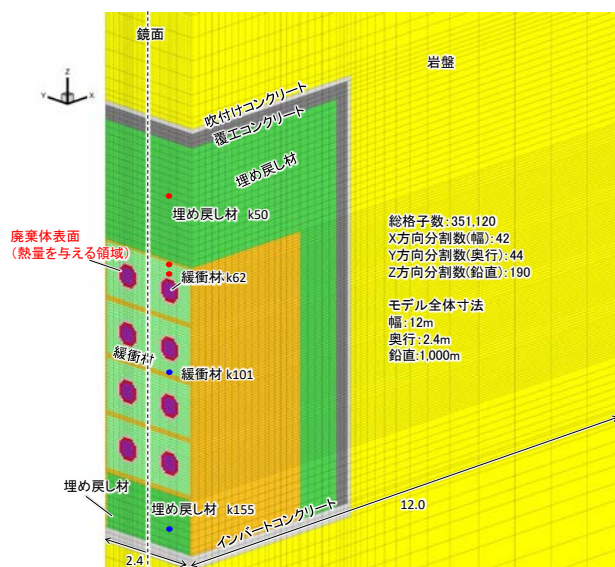


図-1 解析モデルの概要図

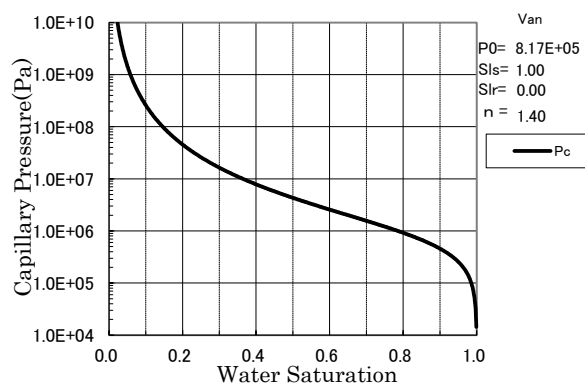


図-2 解析に用いた水分特性曲線

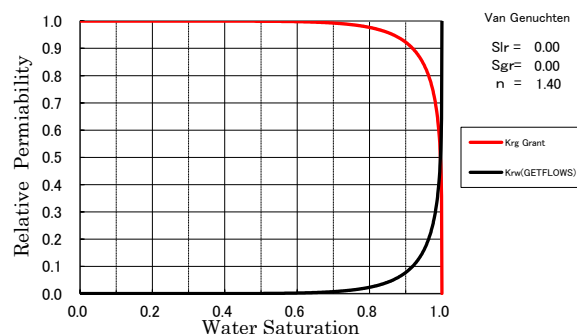


図-3 解析に用いた相対浸透率

キーワード 放射性廃棄物処分, TRU-PEM, 熱・流体連成解析

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 TEL 03-5769-1307

図-4 に示した温度の経時変化から、グループ 2 廃棄物の発熱量より、ピーク時の温度は 44℃程度となり、初期温度 30℃（深度 500m 相当）から 14℃程度の上昇であることが分かった．また、3,000 年経過以降に温度の低下傾向がみられたが、10,000 年経過段階でも温度は深度 500 m 相当の温度（30℃）に至らない結果となった．

表-1 および図-5 から埋め戻し材は再冠水開始後 10 年後に概ね飽和に達する。緩衝材の飽和度に関して、廃棄体の発熱量の影響が考えられるが、緩衝材の最高温度は、緩衝材の中心位置で 44℃程度であるため、緩衝材の飽和度はほとんど低下することなく、飽和は進展する結果となった．緩衝材の中心部に水が浸潤し始めるのは 100 年経過後となり、緩衝材全体が飽和に達するのは 2,450 年程度となる．

図-6 から、坑道内の間隙空気圧は 300 年経過段階で深度 500m 相当の 5 MPa 程度に達するが、その後、5MPa 程度で推移することから、PEM 容器の許容応力に影響を与えるほどの間隙空気圧の発生はないと考えられる．ただし、廃棄体の発熱量が大きくなった場合には坑道内の間隙空気圧が大きくなることが考えられるため、別途検討が必要である．

4. おわりに

TRU-PEM を対象とし、緩衝材の再冠水時間に着目して、TH 連成解析を実施した．検討の結果、緩衝材全体が飽和に至るまでに約 2,450 年かかる結果となった．廃棄体の発熱量により、緩衝材の温度は 44℃程度まで上昇するが、廃棄体の発熱量が緩衝材の飽和度に影響を与えるほど大きな影響はない結果となった．地下水の再冠水および温度による影響によって、間隙空気圧の上昇も考えられるが、本解析では間隙空気圧は 5MPa 程度で推移したため、PEM 容器の構造に有意な影響を与えることはない．ただし、廃棄体の発熱量が大きくなった場合には、間隙空気圧の増加が考えられるため、別途検討が必要であると考えられる．

参考文献

1) 鈴木ほか（2023）：PEM 方式を適用した TRU 等廃棄物の人工バリア設計（その 1），土木学会第 78 回年次学術講演会講演概要集. 2) 佐藤ほか（2023）：PEM 方式を適用した TRU 等廃棄物の人工バリア設計（その 2），土木学会第 78 回年次学術講演会講演概要集. 3) 藤崎ほか（2008）：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. 4) 谷口ほか（1999）：熱的特性の緩衝材仕様に対する影響（研究報告），JNC TN8400 99-052. 5) NUMO（2021）：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－，付属書 2-3，NUMO-SC20-SR2-3

表-1 再冠水時間

部材	飽和度 (%)	時間 (年)
緩衝材 (上部)	95	19.0
	98	20.0
	100	21.8
緩衝材 (中央)	95	1,146.3
	98	1,500.0
	100	2,453.6
埋め戻し材 (上部)	95	6.2
	98	7.8
	100	10.6
埋め戻し材 (下部)	95	1.5
	98	1.9
	100	2.7

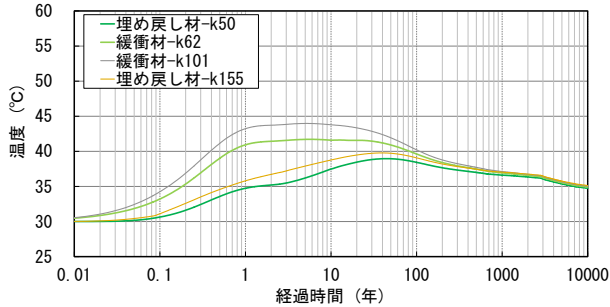


図-4 温度の経時変化

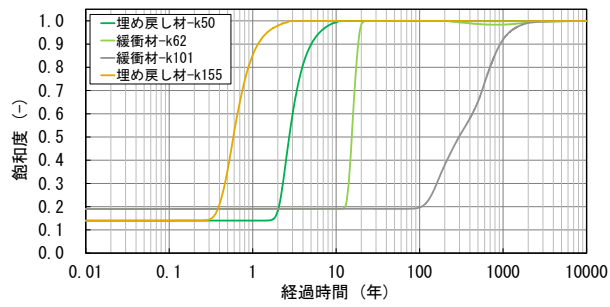


図-5 飽和度の経時変化

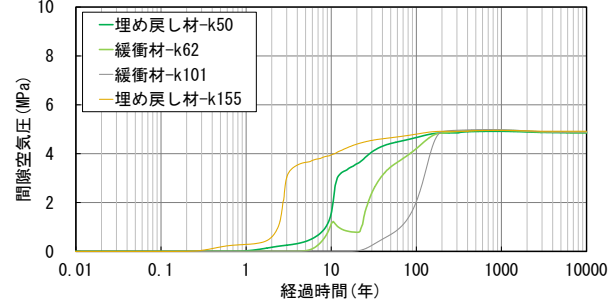


図-6 間隙空気圧の経時変化