

PEM システムの基本形の検討（その 4 閉鎖後長期安全性に関する検討）

原子力発電環境整備機構 正会員 鈴木 寛 窪田 茂 黒澤 進 後藤 考裕
(株) クインテッサジャパン 正会員 ○ 川崎 大介 高瀬 博康
清水建設 (株) 正会員 戸栗 智仁

1. 目的

PEM 方式の採用にあたっては、操業技術としての成立性だけではなく、閉鎖後長期の安全性が確保されることも確認する必要がある。そこで、ガラス固化体からの発熱を考慮して、温度 70℃ の条件で、化学影響シミュレーションを実施し、コンクリート支保（普通ポルトランドセメント使用）や PEM 容器（炭素鋼）などの残置物が緩衝材などの人工バリアの性能に与える影響範囲について検討した。また、仮想的に人工バリアの性能が低下した場合を設定して、3 次元不均質場における水理解析および核種移行解析を実施し、PEM 方式を採用した場合の閉鎖後長期の安全性について検討した。

2. 化学影響シミュレーション

鉄-ベントナイト相互作用およびセメント-ベントナイト相互作用を含む緩衝材変質によって、人工バリアの止水性が低下する可能性が懸念される。鉄-ベントナイト-セメント相互作用については、緩衝材の厚い場合の過去の研究では、緩衝材空隙の閉塞により構成要素間の物質移動が減少し、止水性が保持されることがわかっている。しかし、PEM の設計案には緩衝材厚の薄いものも含まれるため、この場合の地球化学的な安定性を評価する必要がある。本検討では、THMC 連成可能な汎用解析ソフトウェア QPAC を用いて、設計案に即した PEM モデル体系での鉄およびセメントとベントナイトの相互作用による人工バリアの変質解析を行った。

その結果、コンクリート支保による緩衝材の溶解のような著しい影響は埋め戻し材の表面の数 cm 程度の限定的な範囲にとどまること、また、PEM 容器による影響範囲は数 mm 程度であるという結果が得られた。隙間埋め戻し材は高い密度で締め固められているため、低透水性の機能は維持される。また、これらの反応に伴い、①PEM 容器-緩衝材界面、②隙間埋め戻し材-PEM 容器界面、③支保-隙間埋め戻し材界面の空隙が二次鉱物の沈殿により閉塞するため、反応は、数十年（①、②の界面）および数百年（③の界面）以降は進展しないという結果が得られた。以上のように、解析に基づけば、残置物の化学影響範囲は限定的であることが分かった。また、さらなる対策として、緩衝材の主たる材料であるベントナイト材料を適切に利用すること、緩衝材の温度が極端に高温にならないように離隔距離を設定すること、コンクリート支保に低 pH セメントを採用することなどにより、影響を低減できる見通しが得られている。

3. 3 次元不均質場における水理解析および核種移行解析

化学影響シミュレーションで示したよりも、残置物と緩衝材間の化学的相互作用がより広範囲で生じた場合の影響について水理解析と核種移行解析を実施し、長期性能に対する影響と、基本形の間での影響の違いについて確認した。緩衝材および隙間埋め戻し材の表面近傍（厚さ 20cm の層）における止水性の低下を想定して、3 次元不均質場における水理解析および核種移行解析を解析コード Partridge を用いて実施した。高レベル放射性廃棄物の安全性評価において、最大線量を支配的に左右する Cs-135 の人工バリアからの移行率を、各基本間候補について比較した。止水性の低下を想定しない結果と比較して、移行率に顕著な差は見られず、ベントナイト変質による影響を見込んでも人工バリアの性能が確保されることがわかった。異な

キーワード 高レベル放射性廃棄物, PEM システム, 閉鎖後長期安全性, 核種移行解析, 残置物
連絡先 〒108-0014 東京都港区芝 4 丁目 1 番 23 号 三田 NN ビル 12 階 原子力発電環境整備機構 TEL 03-6371-4004

る基本形の間の比較の結果（図 1 参照），それぞれのオプションで移行率の立ち上がり方は異なるものの，最大移行率に顕著な差は見られなかった．

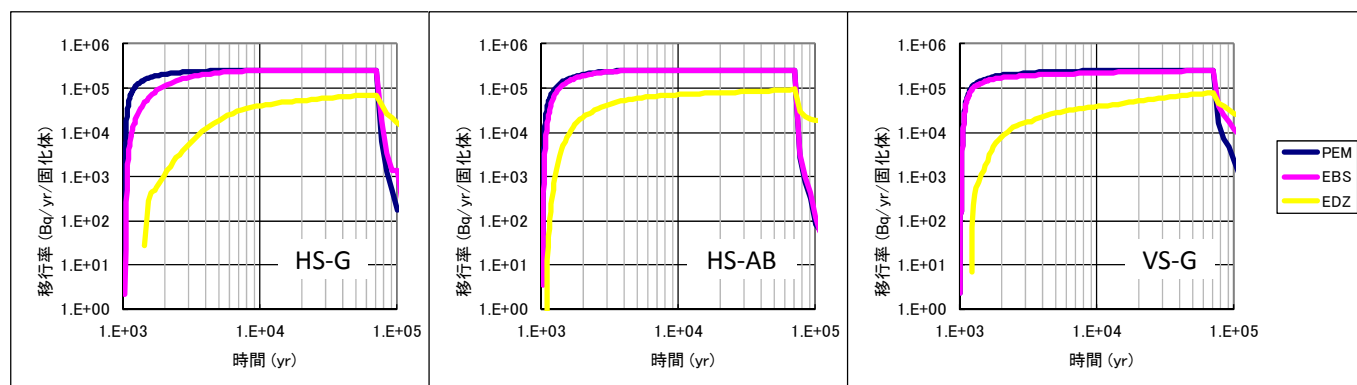


図 1 核種移行率 (Cs-135) のオプション間の比較

(ベントナイト (緩衝材・埋め戻し材) 表面の変質により透水性が上昇した場合)

4. 閉鎖後長期健全性の影響低減対策

化学影響解析により，コンクリート支保や PEM 容器の影響が小さい可能性を示したが，さらに影響を低減するためには，工学的な影響低減対策も重要である．そこで，残置物の影響低減対策を表 1 にまとめる．セメント系材料の影響低減対策には，低 pH セメントなどの代替材料や，セメント使用量を低減させることが可能と考えられる．PEM 容器については，影響は顕著でないため，さらなる影響低減対策は必要ないが，ベントナイト材料として，ノントロナイト系（3 価の Fe の含有量が多い粘土）を避けることで，確実に影響を低減できる¹⁾．

また，化学影響以外にも，パイピングやエロージョン現象への対策も必要とされている²⁾．例えば，坑道内の湧水量の抑制対策としてのグラウトや，隙間埋め戻し材への人工注水による早期の隙間の閉塞が影響低減対策として考えられる．

表 1 残置物と影響低減対策

残置物	リファレンス材料	代替材料
支保，台座，インバート等	普通セメント	低 pH セメント 鋼製セグメント等
グラウト	普通セメント	低 pH セメント系あるいは 溶液系グラウト
排水溝	普通セメント	低 pH セメント
力学プラグ	普通セメント	低 pH セメント

5. まとめ

化学影響解析から，70℃の高温条件においても，残置物との相互作用により，人工バリアおよび隙間埋め戻し材が著しい影響を受けることはないことが示唆された．また，より広い範囲で性能低下が発生したことを想定して，核種移行への影響を確認したが，性能低下の影響は顕著ではなく，かつ，基本形の候補の間でも，結果に差はなかった．さらに，影響が否定できない現象への影響低減対策をまとめた．

参考文献

- 1) Lantenois, S. et. al. (2005): Experimental study of smectite interaction with metal Fe at low temperature: 1. Smectite destabilization, Clays and Clay Minerals, v. 53, pp. 597-612.
- 2) SKB : Deep repository-engineered barrier system Piping and Erosion in tunnel backfill, SKB R-06-72, 2008.