

TRU 廃棄物処分におけるガス移行連成挙動評価手法の開発 (その 5)

—ガス移行挙動解析手法の高度化—

(株)地圏環境テクノロジー 正会員 ○田原 康博, 非会員 佐伯 亜由美
 (株)大林組 正会員 佐藤 伸, 正会員 鳥巢 セダ
 (公財)原環センター 正会員 古賀 和正, 正会員 大和田 仁

1. はじめに

放射性廃棄物処分場では、廃棄物に含まれる金属の還元腐食その他による水素などのガスの発生が想定される。これまでに多数の機関によって、人工バリアシステム (Engineered Barrier System, 以下, EBS) 中のガス移行挙動に関連した THMC 連成事象の現象理解やそれらのモデリング手法の高度化検討が進められており、解析に必要なデータやモデルが蓄積されてきている。経済産業省資源エネルギー庁は、TRU 廃棄物処分施設を対象とした EBS 中の長期ガス移行解析の高度化研究を進めており¹⁾²⁾、ガス発生・移行挙動を説明可能なモデル化手法の高度化や基礎データの蓄積・利用、データやモデルの不確実性を考慮したガス移行経路の可視化を目指している。

モデル化手法の高度化及び基礎データの蓄積・利用では、EBS 構成材料として考えられているベントナイトの既往検討で同定された 2 相流パラメータを用いて、従来とは異なるガス注入条件による室内ガス移行試験系の再現解析を行うことで、それらの適用性を検証した。さらに、廃棄体に含まれる鉄の腐食反応によって水素ガスが発生する機構を長期 THC 連成解析によって表現し、施設内の初期水分状態に着目したガス発生シミュレーション検討を実施した。ガス移行経路の可視化では、TRU 廃棄物処分施設を対象とした長期 3 次元ガス移行解析を行い、従来の 2 次元断面モデルによる結果との違いを考察した。

本稿では、これらのガス移行長期挙動解析の高度化に向けた取り組みの一部と現状の課題を示す。

2. ベントナイトの 2 相流パラメータの適用性検証

既往検討において飽和ベントナイト供試体 (乾燥密度 1.36Mg/m³, 100%クニゲル V1) を用いたガス注入試験系の再現解析が行われ、5 つの異なる 2 相流パラメータの組合せが同定されている (表-1)¹⁾。これらのガス注入試験は、段階昇圧によってベントナイト中で流路拡幅を発生させ、ガスを透気させるものであった。一方、本検討では流路拡幅が生じず水・ガス 2 相流れが主体となる低圧入条件下でのガス注入試験を対象とし (供試体 No.1, No.2), 同定された 5 つのパラメータを用いて予察解析を行うことによって、その適用性を検証した。ガス移行試験の詳細は既往報告書²⁾を参照されたい。予察解析には水・ガス 2 相流解析コード GETFLOWS を使用した。供試体からの累積押し出し水量を実測と計算で比較したものを図-1 に示す。2 つの供試体の実測排水量は、いずれも同定された 5 つの 2 相流パラメータを用いて解析された累積排水量の幅の中で概ね表現されており、異なるガス注入条件による試験データに対しても適用可能であることが示された。

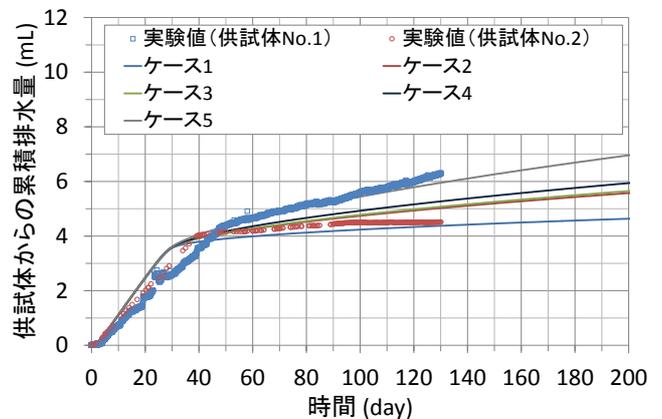


図-1 供試体からの累積押し出し水量の比較

表-1 既往検討で得られた 2 相流パラメータ (相対浸透率, 毛細管圧力を表現する構成式として van Genuchten モデルを使用)

ケース名	$S_{wr}(-)$	$S_{gr}(-)$	$n_w(-)$	$n_g(-)$	$P_0(MPa)$	$n_c(-)$	相対浸透率	毛細管圧力
ケース 1	0.3867	0.0	1.449	13.70	0.661	1.821	$k_{rp} = \sqrt{S_{pe}} (1 - (1 - S_{pe}^{1/m_p})^{m_p})^2$ $S_{pe} = \frac{S_p - S_{pr}}{1 - S_{wr} - S_{gr}}$ $m_p = 1 - 1/n_p$ $p = w, g \text{ (water phase, gas phase)}$	$P_c = P_0 (S_{we}^{-1/m_c} - 1)^{1/n_c}$ $S_{we} = \frac{S_w - S_{wr}}{1 - S_{wr} - S_{gr}}$ $m_c = 1 - 1/n_c$
ケース 2	0.2	0.0	2.884	2.451	0.336	3.709		
ケース 3	0.2	0.0	2.884	2.451	0.333	3.709		
ケース 4	0.2280	0.0	2.455	2.474	0.324	3.297		
ケース 5	0.3639	0.0	2.011	2.953	0.291	2.290		

キーワード: TRU 廃棄物, GETFLOWS, 2 相流パラメータ, THC 連成解析, ガス発生モデリング, 3 次元解析
 連絡先: 〒101-0063 東京都千代田区神田淡路町 2-1 NCO 神田淡路町 3F (株)地圏環境テクノロジー TEL:03-5297-3811

3. TRU 廃棄物処分施設を対象とした 3 次元ガス移行解析

典型的な TRU 廃棄物処分施設を 3 次元モデルによって表現し (図-2), 緩衝材での流路拡幅を考慮したガス移行解析を行った. 比較のために, 坑道縦断方向の廃棄体中央部付近における 2 次元断面モデルを作成し, 同一条件による解析も合わせて実施した. 解析コードには, 水・ガス 2 相流解析コード GETFLOWS を使用した. 廃棄体中心部におけるガス相圧力及び坑外への累積押し出し水量の時間変化を図-3 に示す. 廃棄体中心部におけるガス相圧力は, 2 次元モデルと 3 次元モデルではほぼ同じ結果を示している. 一方, 坑外への累積押し出し水量は 2 次元モデルと 3 次元モデルで, 流路拡幅による圧力低下が起こる約 30 年後以降, 徐々に差異が大きくなっている. これは, 廃棄体から発生したガスが, 図-2 手前の埋戻し層へ移行し, 岩盤へ透気することで, 2 次元断面による解析とは異なるガス移行経路になったためと解釈される. 主要なガス移行経路が 2 次元断面モデルで表現されない場合には, 計算された押し出し水量の取扱いに注意が必要であることが分かった.

4. 処分施設内の水分状態に着目したガス発生モデリング

地球化学解析と水・ガス 2 相流解析及び物質移行解析を組み合わせた解析コード TOUGHREACT を用いて, 廃棄体に含まれる鉄の腐食に伴うガス発生・移行のモデリング検討を実施した. 0. で用いた 2 次元断面モデルを用いて, 初期水分状態に着目した 2 つの検討を実施した. 処分施設内を完全に地下水で飽和させた初期飽和ケースと, 不飽和状態 (水飽和度: 廃棄体 50%, 緩衝材 65%, インバート 90%, 支保工 90%) を想定した初期不飽和ケースで計算された廃棄体からの水素ガス発生量の時間変化を図-4 に示す. 初期不飽和ケースでは, 初期段階において好気性腐食反応が起こり, 水分量も初期飽和ケースと比較して少なく, ガス発生量が小さい結果が得られている. しかし, 約 20 年後以降は, 好気性腐食反応による溶存酸素の消費と周囲岩盤からの再冠水による水分量の増加によって, 嫌気性腐食反応が支配的となり, 初期飽和ケースとほぼ同程度の発生量で推移する結果となった. 今後は, 他の金属・溶液組成での腐食反応や有機物分解, 放射線分解等の異なるガス発生機構を考慮したガス発生モデリングの高度化を行っていく予定である.

5. おわりに

TRU 廃棄物処分施設を対象とした EBS 中の長期的なガス移行解析の高度化研究の一環として, 既往検討の中で同定された 2 相流パラメータの適用性を確認し, 処分施設のモデル化を 2 次元と 3 次元によって行い, それらの解析結果の相違を示した. また, 施設内の初期水分状態に着目した THC 連成解析によるガス発生モデリングを行い, 水素ガス発生量の時間変化を示した. なお, 本報告は経済産業省資源エネルギー庁からの委託により行った平成 26 年度「地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発」の成果の一部である.

参考文献

- 1) 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 24 年度 地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処分技術 人工バリア長期性能評価技術開発 報告書 (第 2 分冊) ―ガス移行挙動の評価―(2013).
- 2) 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 26 年度 地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発 報告書 (第 5 分冊) ―ガス移行連成挙動評価手法の開発―(2015).

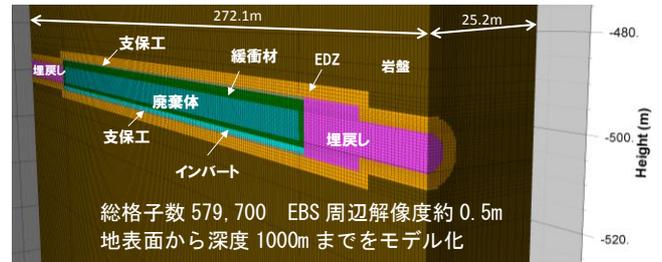


図-2 TRU 廃棄物処分施設を対象とした 3 次元モデル

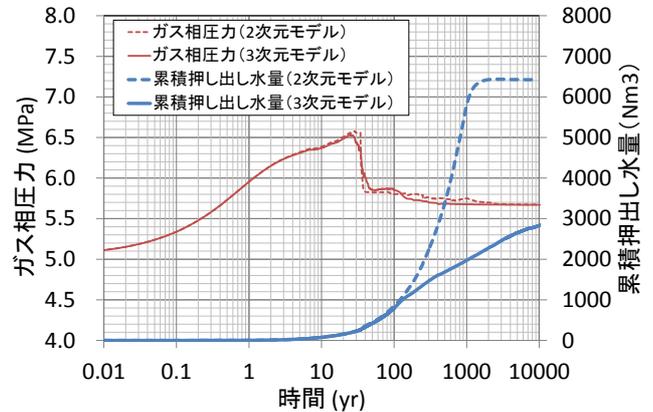


図-3 ガス相圧力と累積押し出し水量の時間変化

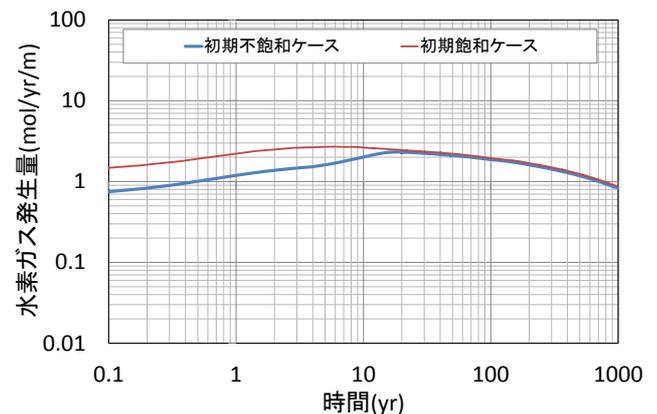


図-4 水素ガス発生量の時間変化