

TRU 廃棄物処分システムにおけるガス移行長期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, 正会員 多田 和広, 正会員 森 康二
 (株)大林組 正会員 佐藤 伸, 正会員 志村 友行, 正会員 山本 修一
 (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員 大和田 仁, 正会員 並木 和人

1. はじめに

人工バリアシステム（Engineered Barrier System, 以下、EBS）中のガス移行挙動は、EBS 内の圧力、温度、変位等の状態に応じて、間隙水中への溶解・拡散や自由ガスの生成・移行、選択的流れ、更には水相・ガス相間の相互干渉がもはや生じないフラクチャリングの発生を伴う等の多様な移行形態として特徴付けられる。すなわち、EBS 内の温度変化やベントナイト材料の膨潤・収縮変形、二次鉱物の生成による空隙構造の変化等を含めた THMC 連成現象としてのモデル化の視点が不可欠と考えられる。

原子力環境整備促進・資金管理センターでは、TRU 廃棄物処分システムを対象とし、EBS 中のガス移行挙動解析手法の高度化研究を進めており、これまでにベントナイト系材料を対象として、①ガス移行機構の解明、②THMC 連成事象を含む長期挙動変遷の予測手法の確立、③ガス移行解析のための基礎データの蓄積・利用を目指している。本稿では、これらのガス移行長期挙動解析手法の高度化に向けたこれまでの取り組みと現状の課題を示す。

2. ベントナイト系材料中のガス移行機構の解明

条件の異なる多数のベントナイト供試体を用いた室内飽和浸潤・ガス注入試験が実施された¹⁾²⁾³⁾試験系のモデル化と実測データを再現する逆解析を通じて、ベントナイト中のガス移行機構の解明ならびにモデルパラメータの同定を実施した。対象としたベントナイト試料はクニゲル V1, Mx-80, Avonlea である。試験系の再現解析は、通常の水・ガス 2 相流モデルにベントナイトの流路拡幅を表現する構成モデルを組み込んだ圧力依存透過特性モデルおよび力学連成モデルを用いて行った（図 1）¹⁾。

試験系の逆解析の結果、水の浸潤過程ではガス相の流れは比較的高いモビリティ（易動性）を示し、媒体がほぼ飽和した状態であっても速やかに供試体外へ排出される機構が同定された。ガス注入による排水過程では、一般的な水・ガス 2 相置換挙動が生じるが（この移行モードが存在しない場合もある）、ガス圧がある圧力閾値（水圧と膨潤圧の和）を超過した部位で流路拡幅が起こり、一時的に空隙やモビリティが増大する機構が同定された。これらの同定された 2 相流パラメータは、浸潤と排水の両過程で異なるものとなり、ベントナイト内の水分状態の変化によって生じる膨潤・収縮変形等の力学的要因に強く起因するヒステリシスを有するものと解釈された。

この解釈に基づき、実際の処分環境で想定される再冠水過程（浸潤過程）とガス発生・移行過程（排水過程）を区別することなく解析可能なモデル（膨潤・収縮を考慮した 2 相流モデル）を開発し、実験データとの比較を重ねて適用性を確認した²⁾。今後は、水分状態と関連付けた水理パラメータ（浸透率や 2 相流曲線）の動的変化と実現象との対応付け、また、セメント系材料などの他の EBS 構成材料への拡張を含めたガス移行挙動の実態解明が必要である。

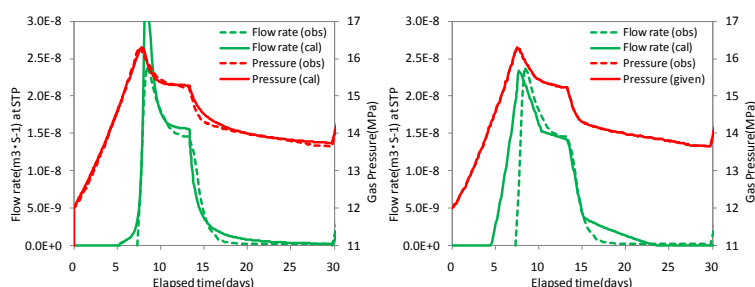


図 1 ガス注入試験データの再現解析結果¹⁾

3. THMC 連成事象を含む長期挙動変遷の予測手法の確立

EBS 中のガス移行解析に重要な影響を与え得る連成システムの素過程を明らかにするため、典型的な TRU 廃棄物処分システムを対象として THMC 連成解析を実施した。その結果、媒体内の温度上昇は、水蒸気生成・凝縮、移

キーワード TRU 廃棄物, ガス移行, 再現解析, THMC 連成, データライブラリ

連絡先 〒101-0052 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

動により、内部の水分状態を変化させ、ガス移行挙動に大きく影響を与える重要因子であることが分かった。また、上述のとおり、水分状態の変化によって生じる膨潤・収縮変形（力学連成現象）は、有効間隙率や2相流パラメータを変化させ、ガス移行解析で考慮すべきヒステリシスとの関連性が重要となる。さらに、ガス移行解析で用いるガス発生速度の感度は他の要因に対して極端に大きい。金属材料の腐食、微生物分解等の複数のガス発生要因を含め、ガス発生機構のモデル化との連携が重要となる。なお、緩衝材の代表的な変質現象の1つであるCa型化は、主要なガス発生・移行時期からかなり遅れて媒体へ影響が表れるため、本検討の範囲内では有意な影響は認められなかった。

これらの検討を踏まえ、ガス移行パラメータの感度解析とモンテカルロシミュレーションによる不確実性評価を行い、重要な評価指標となる施設内の最大ガス圧や岩盤への累積押し出し水量とEBS状態設定との関係を分析した（図2）³⁾。上述のとおり、今後の長期挙動変遷の予測精度向上には、媒体変形と2相流れを関連付ける構成モデルの開発・適用性検証および微生物活動の影響を考慮する等、水素ガス発生機構のモデル化が必要である。

4. ガス移行解析のための基礎データの蓄積・利用

EBS中のガス移行挙動の現象理解や長期連成事象の影響把握は研究途上であり、最新の知見を速やかにモデリングに反映し、効果的な試行錯誤を重ねて行くことが不可欠である。そこで、研究の進展とともに品質が保証された構成モデル、パラメータを登録・蓄積・利用できる仕組みとして、ガス移行データライブラリを構築した⁴⁾。データライブラリは図3に示す5つの構成要素からなる。ユーザマニュアルやサンプル問題も準備した。これまでに、主要なEBS構成材料（廃棄体、セメント系、緩衝材、岩盤）を対象とし、絶対浸透率や2相流パラメータ等を5項目に分類したデータ群139件を収録し、その内訳は、基本物性データ35件、毛細管圧力35件、水相の相対浸透率35件、ガス相の相対浸透率21件、ベントナイトの流路拡幅を表現する構成モデルパラメータ13件となる。今後は実運用による適用例の充実が必要である。

5. おわりに

TRU廃棄物処分システムにおける長期的なガス移行挙動解析の高度化研究を実施し、現段階での到達点と課題をまとめた。なお、本報告は経済産業省から公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターが受託した「平成24年度TRU廃棄物処分技術：人工バリア長期性能評価技術開発—ガス移行挙動の評価—」の成果の一部である。

参考文献

- 1) Yasuhiro Tawara. et al., 2010. A VALIDATION STUDY FOR THE GAS MIGRATION MODELLING OF THE COMPACTED BENTONITE USING EXISTING EXPERIMENT DATA, 4th International Meeting of Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement Abstracts P/GAS/10, pp.543-544.
- 2) Yasuhiro Tawara. et al., 2010. LONG-TERM GAS MIGRATION MODELLING IN COMPACTED BENTONITE USING SWELLING/SHRINKAGE-DEPENDENT TWO PHASE FLOW PARAMETERS, 5th International Meeting of Clays in Natural & Engineered Barriers for Radioactive Waste Confinement Abstracts GPTP/9, pp.712-713.
- 3) 田原康博ら, 2011. TRU廃棄物処分システムにおけるガス移行長期挙動解析モデルの高度化, 土木学会第66回年次学術講演会講演概要集, CS3-054.
- 4) 田原康博ら, 2012. ガス移行データライブラリの開発, 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, CS13-028.

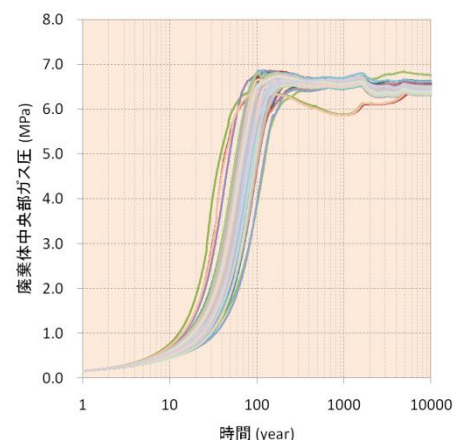


図2 モンテカルロシミュレーション結果³⁾
(廃棄体中央部ガス圧の時間変化)

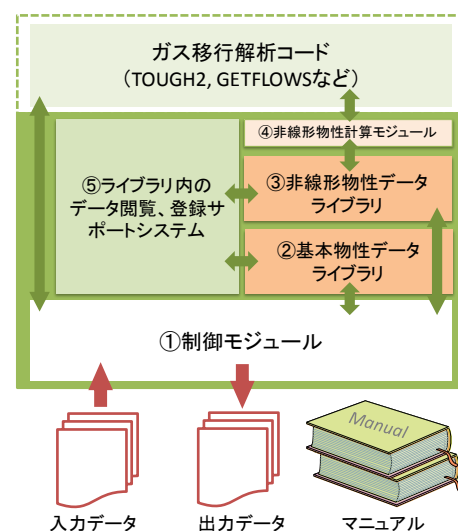


図3 ガス移行データライブラリの基本構成⁴⁾