

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 2) — 圧縮飽和ベントナイトの低注入圧条件によるガス移行試験と特性評価 —

(株)大林組 技術研究所 正会員 ○高橋真一, 西村政展
(公財)原環センター 正会員 古賀和正, 大和田 仁

1. 目的

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。TRU 廃棄物処分施設内で発生する可能性があるガスの移行挙動の評価には、既往研究成果に基づくガス移行現象の理解とともに、想定される人工バリア材料（ベントナイト、有効粘土密度 1.36Mg/m^3 ）に対する基礎的なデータの取得・拡充が重要である。

著者らはこれまで、既往研究^{1), 2), 3), 4)}と同様に注入圧を一定速度で昇圧させる試験条件でガス移行試験を行い、既往の検討⁵⁾で構築したガス影響シナリオの「変動シナリオ」で想定するようなベントナイトの破過挙動の把握、寸法効果などの検討⁶⁾を進めてきた。それに対して本研究では、「基本シナリオ」で想定するような飽和供試体の膨潤圧以下（ガスの大破過に至らない条件下）でのガス注入試験によって気液二相流特性データ（ガス有効浸透率等）を取得し、大破過を伴わない二相流挙動が主体となるベントナイトのガス移行特性を評価した。

2. 試験方法

図-1 にカラム試験体の概要を示す。カラム試験体容器は下部載荷板、供試体リング、上部載荷板で構成される。供試体寸法は、 $\phi 60\text{mm} \times h 25\text{mm}$ で、水とガスの供給は供試体下部より行った。下部載荷板には供試体の膨潤圧を計測できるように荷重計を設置している。上部載荷板は中央部の $\phi 49\text{mm}$ の位置に仕切りリングを設けて、排水、排気量を供試体中央と外周で分離計測可能とした。

表-1 に供試体の条件を示す。供試体の飽和には比較的長時間を要し、試験データの拡充における制約条件の1つとなることから、本試験では飽和時間の短縮を図るため、初期飽和度 90%に調整した供試体⁶⁾を製作した。供試体は 2 層に分けて静的圧縮整形（圧縮速度 1mm/min ）し、各層 0.4MN/m^2 程度の荷重応力で所定密度に達し供試体準備を完了した。なお一連の試験は室温 25°C の恒温恒湿室内で進めた。

3. 試験結果

図-2 に注水圧と膨潤圧の経時変化を示す。膨潤圧は、供試体底面に設置した荷重計で計測値から注水圧を減じて求めている。飽和に必要な水量を注水した 42 日目に排水側（排水側ポーラスメタルの上面）で排水確認し、計算上の注水量で供試体からの排水状況が一致した。また排水確認後は排水側の経路を一旦水で満たして注水量と排水量を計測した結果、各々等しく推移することを確認した。以上の 2 点より供試体内の飽和状況を確認し、99 日目に注水を完了した。飽和終了時の膨潤圧は 387kN/m^2 で、既往の結果と同様の結果を示した。なお、試験後半の膨潤圧の増加傾向は気圧の経時変化に対応しており、平衡状態になっていると考えられる。

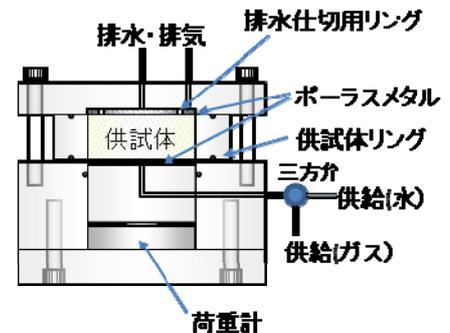


図-1 カラム試験体概要

表-1 供試体条件

項目	仕様
供試体の大きさ	$\phi 60\text{mm} \times$ 高さ 50mm
材料	ベントナイト（クニゲル V1）
密度	乾燥密度 $\rho_d = 1.36\text{Mg/m}^3$
初期含水比	32.4%（飽和度 90%相当）

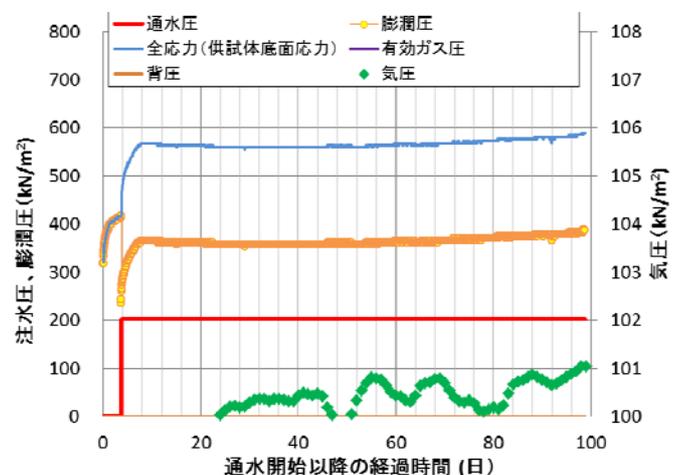


図-2 膨潤圧の経時変化

キーワード TRU 廃棄物処分, ベントナイト, ガス移行, 低注入圧
連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 TEL 042-495-0927

図-3 は、ガス注入開始後の排水量と供試体底面応力からガス注入圧を差し引いた有効な底面応力の経時変化を示した。ガス注入開始後 40 日目で排水量の勾配が大きく減少している。供試体の飽和およびガス注入は一部同じ経路を利用するため、ガス注入に切り替え後も図-1 で示した切り替え用の三方弁から供試体底面までの配管体積約 4cm³ の水が供試体内に浸透するまでの間は飽和過程と同じ状況となり、同水量が浸透した後にガスが供試体内に移行し始めることになる。試験結果より、排水量が約 4cm³ を超えた時点で排水速度が減少し、その供試体としての透水係数 $k=3 \times 10^{-13} \text{m/s}$ が $k=1 \times 10^{-14} \text{m/s}$ 程度まで減少することを確認した。その後約 0.5cm³ が飽和浸透流から気液二相流に変化することで、処分システムで想定されるものと同様なメカニズムで供試体内の間隙水押し出し現象が生じたものと考えられる。底面の有効応力についても排水量が減少した同じ時期にも 0.30MPa から 0.15MPa に減少する挙動が計測されている。ガス注入は 144 日で終了して供試体の解体調査を行った。

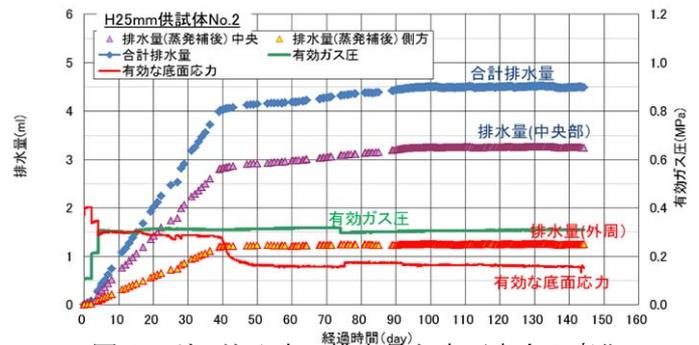


図-3 ガス注入中の排水量と底面応力の変化

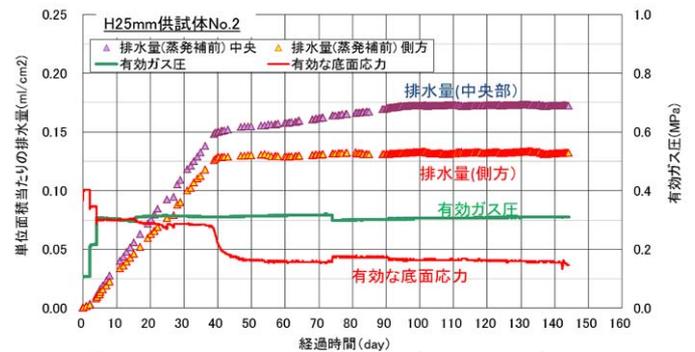


図-4 ガス注入中の単位面積当たりの排水量

図-4 は、中央部、側部ごとの面積当たりの排水量の経時変化である。中央部、側部とも同じタイミングで排水勾配が減じており、供試体内でほぼ均等に浸透流が発生し、懸念された供試体側面界面部分の排水や排気が発生していないことが確認できる。

写真-1 は、ガス注入終了後に供試体を解体している状況である。供試体は高さ方向に 7 分割、同じ面内で中央部 1 ブロック、側面 2 ブロックの計 3 ブロックに分割し、各々厚さ、重量と含水比を計測した。図-5 は乾燥密度の深度分布である。供試体上面に向かって若干乾燥密度が増加する傾向がみられる。これまでの試験結果でも同様の傾向が見られたように、飽和過程とガス注入過程で供試体下面より圧力を载荷することで、下流側ほど合力が大きく加わりその結果密度差が生じているものと考えられるが、試験条件(飽和過程 0.2MPa, ガス注入過程 0.3MPa)が、供試体条件(作製応力, 膨潤圧)に比べ小さくガス注入に伴う圧密進行は抑制されその結果供試体内の密度差が小さいと考えられる。図-6 は飽和度の深度分布である。排水量(ガス注入量)が小さい外周部では飽和度の変化が少ないものの、供試体中央部では供試体底面から 1.2 cm 程度の範囲では最大 5% 程度飽和度が低下し、ガス移行範囲が確認できる。



写真-1 供試体の解体状況

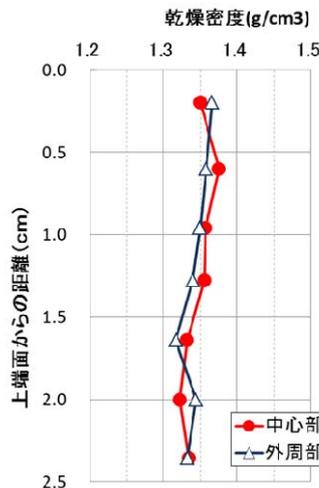


図-5 乾燥密度の分布

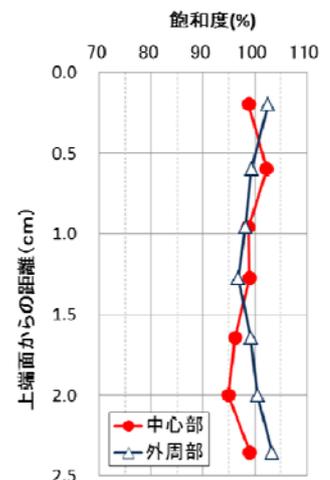


図-6 飽和度の分布

4. おわりに

破過を生じさせない条件下で二相流挙動のガス移行試験を再現し、今後の解析に必要なパラメータ取得のためのデータ蓄積を行うことができた。今後もガス移行時間などの試験条件を変えたデータ充実が望まれる。なお、本報告は経済産業省資源エネルギー庁からの委託で行った平成 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)Graham,J.,etal: A capilarity-adverctive model for gas break-through in clays, Engineering Geology 64(2002).
 2)棚井：緩衝材中ガス移行試験データベース, JAEA-Data/Code(2009).
 3)田中ら：飽和した高密度ベントナイトのガス移行メカニズムとそのモデル化, 電中研報告 No.7005(2008).
 4)棚井ら：圧縮ベントナイトの水素ガス移行特性評価, PNC TN8410(1996).
 5)河村他：TRU 廃棄物処分に関わるシナリオ構築に関する研究(その 1)(その 2), 土木学会第 68 回年次学術講演会(2013).
 6)並木ら：飽和ベントナイトのガス移行試験と寸法効果の検討, 土木学会第 66 回年次学術講演会(2011).