飽和ベントナイトのガス移行試験とガス経路の可視化の検討

（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター　　正会員　○林 秀郎、朝野英一
（株）大林組　　正会員　高橋真一、志村友行、田島孝敏
東洋エンジニアリング（株）　　廣田　謙

１．はじめに

放射性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（ベントナイト材料）に対する基礎的なデータの取得・拡充が重要である。ガス移行挙動に関する研究は、種々の機関において実施されており、Graham ら [1]は、ベントナイト材料の破過現象問題に対し初期含水比を変えた供試体を用いてガス移行試験を行い、供試体含水比が破過圧に及ぼす影響が大きいことを示した。棚井 [2]は、一連のガス移行試験成果をデータベースとして公開している。また、田中ら [3]は、比較的長期間のガス注入試験を進め、破過の進行過程とその部位について考察している。一方で、破過時の透気経路等の観察は、棚井ら [4]によるＸ線 CT スキャナー観察のほかは、あまり例がなく詳細に把握されていない。

上記のような観点から、本検討では，飽和促進した供試体を用いて飽和からガス注入に至る試験を行い、ガス移行特性を調べるとともに、ガス移行経路の可視化に対する試みとして、破過後に着色用微粉末を注入した。

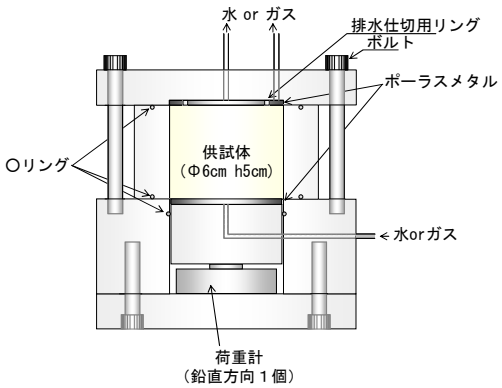

図-1　カラム試験体概要

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、供試体モールド、上部載荷版で構成される。供試体寸法は、φ60mm×h50mm で、給水とガス注入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様にロードセルが設置されている。上部載荷板は中央部のφ49mm の位置に仕切りリングを設けて、排水、排気量を供試体外周部と内周部で分離計測可能とした。

表-1　供試体条件

項　目	仕　様
供試体の大きさ	φ60mm×高さ 50mm
材　料	ベントナイト（クニゲル V1）
密　度	乾燥密度 ρ_d=1.36Mg/m^3
初期含水比	32.4%（飽和度 90%相当）

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つとなっているので、本試験では飽和時間の短縮を図るため、初期飽和度を 90%に調整した供試体を製作した [5]。供試体は 5 層に分けて静的圧縮整形（圧縮速度 1mm/min）し、各層 0.55MN/m^2 程度の載荷応力で所定密度に達した。

３．試験結果

図-2 は、飽和膨潤過程の注水圧、注水量の変化である。この時の注水量は、供試体飽和に必要な注水量に加えて、排水側(上部)ポーラスメタルの間隙量の合計と等しかった。この結果から、今回の供試体の飽和時期は飽和膨潤試験結果 [5]と同様に注水量が定常化した時期とほぼ等しいと考えられる。供試体下部で計測された膨潤圧は、0.5MN/m^2 で、既往の研究 [5]と同様の結果を示した。

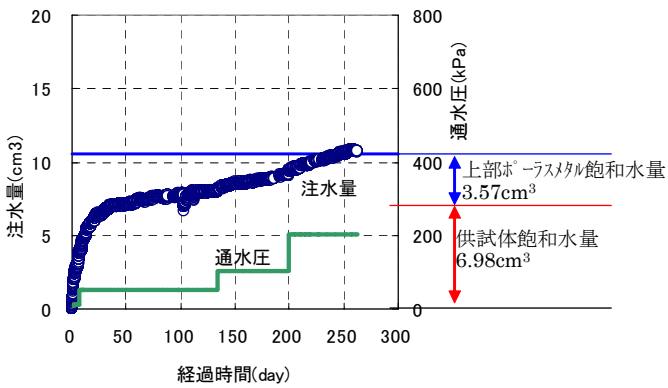

図-2　飽和過程における注水量変化

キーワード　TRU 廃棄物処分施設、ベントナイト、飽和膨潤、ガス移行特性、自己シール性、可視化
連絡先　〒104-0052 東京都中央区月島 1-5-7　公益財団法人　原子力環境整備促進・資金管理センター（略称 原環センター）　TEL 03-3534-4543

図-3 は、飽和確認後、背圧 0.1 MPa、ガス圧上昇速度 0.1MPa／2 日として行ったガス注入過程(N_2 ガス)の有効ガス圧の経時変化である。ガス注入開始から 46 日目、有効ガス圧 2.4MPa にて破過が発生した。破過に伴い有効ガス浸透率が急激に 10^7 倍程度に増加する現象が確認できた。

図-4 は、ガス注入過程の排水量の変化である。破過直前まで供試体中央部、側部とも集水面積比（内側：外側＝2:1）に準じた排水量が確認でき、ガス移行が均等に進行していたことが予想される。

図-5 は破過後にガス供給停止し、6 時間後に再度ガス圧を上昇させた試験の結果で、有効ガス圧約 0.6MPa で再度破過が発生した。この結果は、ベントナイトの自己シール性による現象と考えられる。

図-6 は破過後、ガス透気経路固定を目的として 24 時間ガス注入（圧縮空気利用）を継続しガス経路の乾燥促進を行った後の供試体状況である。乾燥促進時間の長さにより、ガス注入側では全面に乾燥クラックが発生し、下流側でも一部、乾燥クラックが発生していた。供試体の解体調査に先立ち、ガス透気経路可視化を目的として、粒径が 10μm 以下で比較的小さく取り扱いが容易で、かつ安全性が高い食紅を圧縮空気とともに供試体内に注入した。

図-7 は解体調査後の供試体中央付近の状況である。供試体中央部分では乾燥クラック以外に一部ヘアクラック状態で可視化材料が進入した痕跡を確認することができた。現時点においては、乾燥促進による供試体全体のクラック進展の影響は明確に分離できないものの、供試体ガス注入側から中央付近までの着色部は、ガス注入によりクラックが進展した状況の痕跡の一部と考えられる。

このようなガス移行経路の可視化は、ガス移行挙動の理解に向けて有用な知見を提供するものであり，今後、適切な乾燥促進時間の検討、可視化材料の検討および材料注入方法の改良等を行い、より多くのデータの蓄積・検証を行う予定である。

本報告は経済産業省からの委託による「地層処分技術調査等　人工バリア長期性能評価技術開発」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，電力中央研究所研究報告　No7005，2008
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) 林ら：ベントナイトの初期含水比が飽和膨潤特性に及ぼす影響、第64 回土木学会年次学術講演会、2009

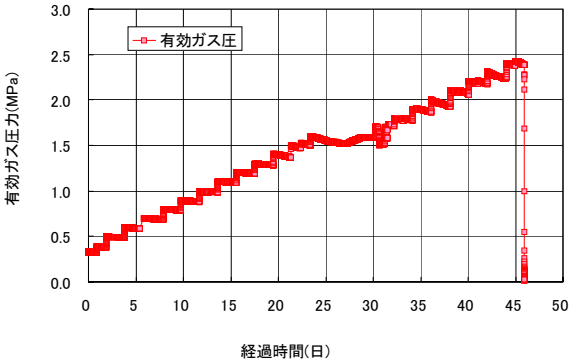

図-3　ガス移行過程有効ガス圧

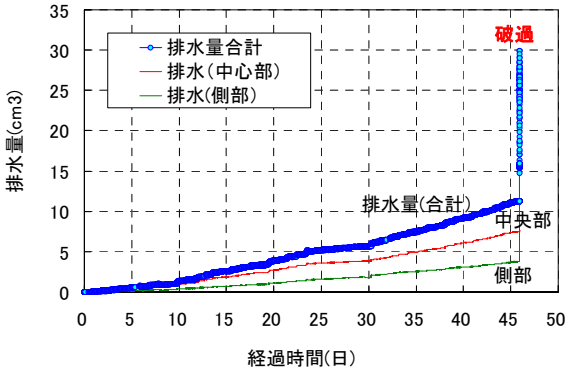

図-4　ガス移行過程　(排水量変化)

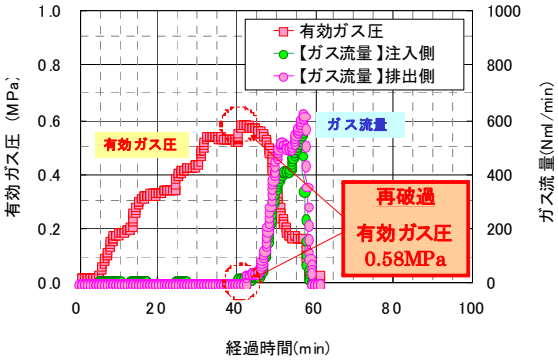

図-5　破過後供試体の再ガス移行過程

図-6　試験後の供試体表面
(左側:注入側　右側:排出側)

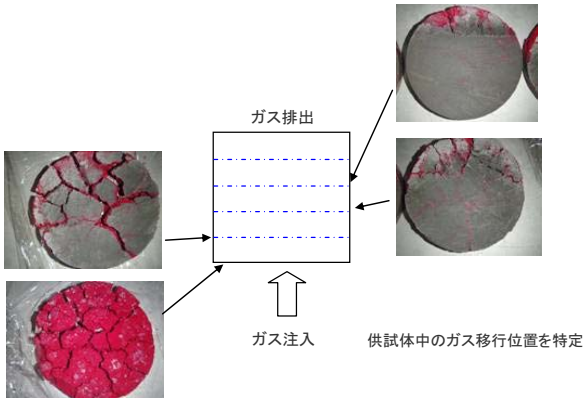

図-7　可視化着色後の供試体断面