

## 人工海水を用いた Na 型ペントナイトの透気試験と透気前後における飽和透水係数の測定

電力中央研究所 正会員 ○渡邊 保貴, 非会員 横山信吾, 正会員 新橋美里  
原子力発電環境整備機構 正会員 山本陽一, 正会員 後藤孝裕

## 1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分においては、放射線により水分が分解され、水素ガスが発生する可能性がある。廃棄体側で発生した水素ガスが緩衝材を通過することにより亀裂が生じる場合、これを閉塞できること（自己修復性）が緩衝材には求められる<sup>1)</sup>。緩衝材の候補材料であるペントナイト（クニゲル V1）を用いて実施された透気試験によれば、透気後にイオン交換水で再飽和した供試体の透水係数は透気前の飽和透水係数とほぼ同等もしくは若干小さめであり<sup>2)</sup>、自己修復性があることが示されている。様々な地下水環境を想定すると、海水条件における自己修復性について検討しておくことも重要である。本研究では、人工海水を用いて透気試験を行い、透気前後における飽和透水係数の変化を調べた。

## 2. 試料および試験方法

本研究では、Na 型ペントナイトであるクニゲル V1 とケイ砂を乾燥質量比で 7:3 に混合したものを使用した。供試体の寸法は直径 60 mm、高さ 20 mm であり、含水比を 15% に調整した後、静的締固めにより乾燥密度  $1.6 \text{ Mg/m}^3$  の供試体を作製した。透気試験装置の概略を図 1 に示す。供試体上側には、図 2 に示すように供試体の内側と外側で分割された多孔板（ステンレス製）を用い、供試体と試料リングの境界近傍の流量を区別して測定した。

人工海水（マリンアート SF-1）を用いて供試体を飽和させた後、荷重計により平衡膨潤圧を測定すると共に、平衡膨潤圧より小さい透水压を作用させることで透水係数を測定した。その後、背圧を 300 kPa として、昇圧時にはヘリウムガスを供試体下部から 10 kPa/30 min の速度で加圧した。ガス圧を高めてゆき、溶液とガスの流量をそれぞれ計測した。ガス流量が著しく上昇した時点（50 NmL/min）でガス流量を 1~10 NmL/min に下げ、透気を継続した。これにより気みちが拡張し、次第にガス流量が増すことになり、ガス圧 100~200 kPa 程度で 50 NmL/min になることを目安に透気を終了した（所要時間 10~20 日）。2 体の供試体についてここまでの操作をほぼ同様に行い、一方はこの時点で解体し（図 3 参照）、含水比分布を測定した。もう一方については、人工海水で再飽和し、透水係数を測定した。供試体の内側と外側の流量を用いて求めた透水係数より、多孔板の断面積を用いて等価透水係数を計算した。

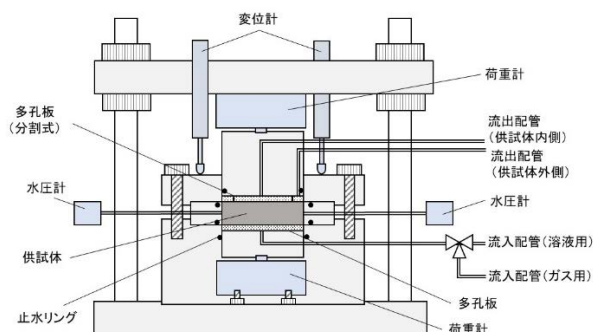


図 1 透気試験装置の概略

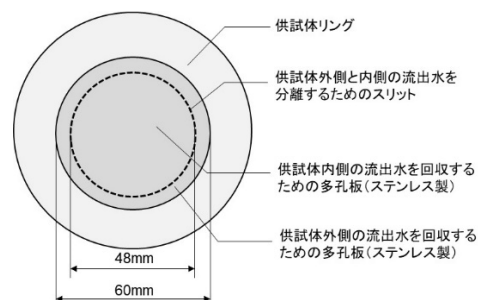


図 2 分割式多孔板

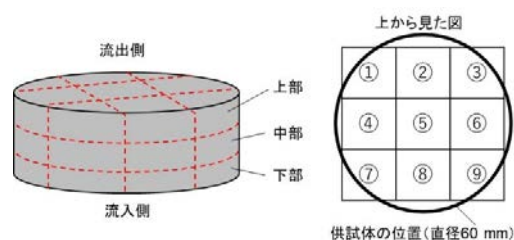


図 3 含水比の測定箇所

なお、透気の前後で供試体の飽和度が十分に高まったことの確認は、片面給水状態で加圧した時の給水量と圧力増分からボイルーシャルルの法則により空気量を計算することで推定される飽和度<sup>3)</sup>が99%以上であることとした。また、本研究では、ガス圧と背圧の差分を有効ガス圧、流出側配管において最初に気泡が確認された時の有効ガス圧を破過圧と定義した。

### 3. 透気試験の結果と考察

各有効ガス圧における累積排気量と経過時間の関係を図4に示す。有効ガス圧350kPaにおいて供試体の内側で破過が生じ、その後、400kPaにおいて供試体の外側で破過が生じた。累積排気量は徐々に増えてゆき、有効ガス圧510kPaではガス流量が50NmL/minに達した。もう一体の供試体についても同様の傾向が認められた。図5は、破過圧と平衡膨潤圧の関係である。平衡膨潤圧は下部荷重計より上部荷重計の測定値の方が60~70kPaほど高かった。先に気泡が確認された供試体内側に対する破過圧は、平衡膨潤圧に対しておよそ+50%~-20%の範囲であった。

透気前後における供試体の飽和透水係数を図6に示す。透気前と比べて、透気後の供試体では透水係数が約2倍になった。そして、供試体の内側より外側の方が透水係数は大きかった。等価透水係数としては $4.5 \times 10^{-11}$  m/sであった。透気後供試体の含水比を表1に示す。供試体の下部は他と比べて含水比が1%ほど高い傾向であった。また、各層において算術平均値より小さい含水比となった部位に着目すると、⑨については低含水比の部位が供試体の高さ方向に連続していた。

概ね平衡膨潤圧以上の有効ガス圧により供試体全面で透気が進行し、特に⑨や⑤とその隣接箇所では、間隙水が排出され気みちが多く形成された可能性がある。気みち形成後に透気が継続されると、気みち近傍の間隙水が乾燥することで塩が析出し、再飽和時に塩濃度が局所的に高まることが予想される。こうした間隙水組成の変化が一因となり、人工海水を用いた場合には、透気後、再飽和しても気みちだった部分が透気前の状態に戻らなかったことが考えられる。今後は、透気後(再飽和後)の透水工程において、流出水量およびその水質の変化にも着目し、上述した透水性変化のメカニズムを調べる必要がある。

参考文献 1) 原子力発電環境整備機構(2021) 包括的技術報告書, NUMO-TR-20-03. 2) 田中幸久, 廣永道彦(2014) 電力中央研究所総合報告, N23. 3) 河野伊一郎, 西垣誠(1982) 土質工学会論文報告集, Vol.22, No.4, pp.181-190.

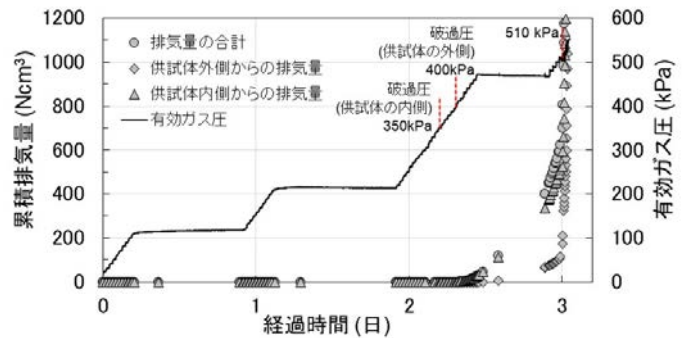


図4 透気試験の結果

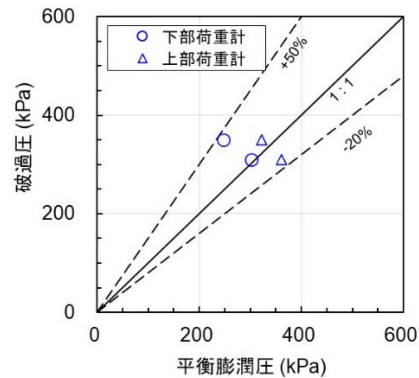


図5 供試体内側に対する破過圧と平衡膨潤圧の関係

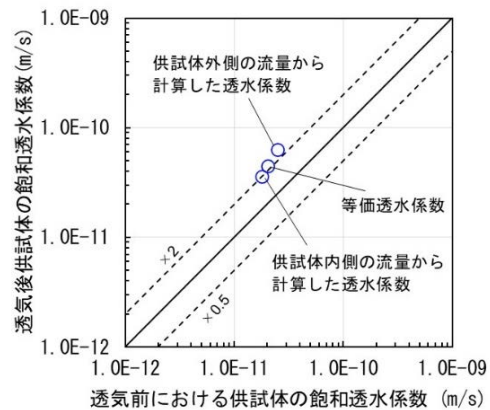


図6 透気前後における供試体の飽和透水係数

表1 透気後供試体の含水比 (単位: %)

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	平均
上部	23.0	23.3	22.8	23.5	23.0	23.0	23.1	22.7	22.7	23.0
中部	23.1	23.1	22.7	23.9	22.9	23.3	23.4	23.2	22.5	23.1
下部	24.5	24.4	24.1	24.8	23.2	23.7	24.9	24.4	23.3	24.1

※色付きセル: 各層において平均値よりも小さい値 ※飽和時の含水比は26.3%