

人工海水を用いた Na 型ベントナイトの自己シール性に関する研究

電力中央研究所 正会員 ○吉川 絵麻, 正会員 渡邊 保貴, 非会員 横山信吾
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

放射性廃棄物の地層処分において使用が検討される緩衝材には、地下水の動きを抑制する低透水性や、周辺岩盤および各バリア材との隙間を充填する自己シール性¹⁾などの設計要件への適合が求められる。このような緩衝材の設計要件に対する性能を確保する観点から、締め固めた時に低い透水係数と高い膨潤率が期待できる Na 型ベントナイトの使用が検討されてきた。わが国の様々な地下水環境を想定すると、緩衝材の性能に及ぼす塩水系地下水の影響を理解することは重要である。Na 型ベントナイトは、供給液のイオン濃度の増加に伴い透水係数が高くなり、最大膨潤率が減少することが知られている^{2), 3), 4)}。そのため、海水などの塩水系の水質条件においても、自己シール性や隙間の充填後に性能が保持されることを調べる必要がある。本研究では、代表的な緩衝材の仕様^{1), 5)}を想定して、Na 型ベントナイトの自己シール性と充填後の性能を調べるため、イオン交換水および人工海水を用いて、供試体側方に設けた隙間の充填時の鉛直圧と側方圧を測定するとともに、透水係数を測定した。また試験後の供試体について、含水比やモンモリロナイト含有率の分布を調べた。

2. 試料および試験装置

本研究では、試料として Na 型ベントナイトであるクニゲル V1 を用いた。圧縮成型供試体の寸法は、直径 57 mm、高さ 20 mm であり、初期乾燥密度は 1.6 Mg/m^3 である。透水-膨潤圧試験装置における供試体リングの内径は 60 mm とし、中心に供試体を設置した際、側方に 1.5 mm の隙間を設けた(図 1)。試験条件は、緩衝材の設計例^{1), 5)}を参考に、本試験の初期供試体と隙間の体積比を 11%、隙間充填後の平均乾燥密度(有効粘土密度)を約 1.4 Mg/m^3 と設定した。通水液として、イオン交換水および人工海水(マリンアート SF-1, Na : 9860 mg/L, Ca : 402 mg/L, K : 346 mg/L, Mg : 1165 mg/L, SO_4 : 2596 mg/L, Cl : 17594 mg/L)を使用した。供試体の下方から通水を行い、鉛直圧および側方 3 点から側方圧(A, B, C)を測定した。各圧力がほぼ一定の値に到達した後(平衡状態)、流入側において透水圧(イオン交換水 : 400 kPa, 人工

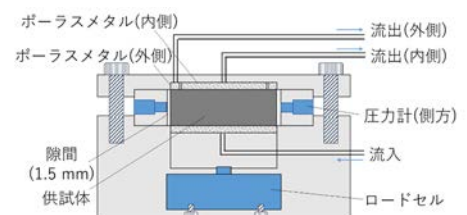


図 1 透水-膨潤圧試験装置の概念図

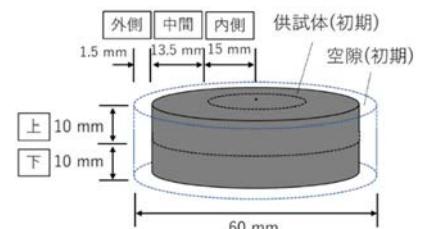


図 2 試験後の供試体の分割位置

海水 : 50 kPa) を作用させ、透水係数を測定した。流出側のポラスメタルは、半径 24 mm の位置で内側と外側に分割されており、それぞれの流出経路を設けることで、供試体内側と外側の流量を測定した。試験後の供試体は、図 2 の通り 6 つに分割し、その一部を用いて含水比を測定した。また残りの供試体は、アルコールにより洗浄した後、メチレンブルー吸着量(JIS Z 2451: 2019)および浸出陽イオン(SFSA 法)を測定した。

3. 透水-膨潤圧試験の結果と考察

図 3 は、透水-膨潤圧試験の結果である。試験結果のうち、各圧力が平衡状態に達した後から、透水試験を実施するまでの期間のデータは省略している。イオン交換水を用いた場合、通水開始直後に鉛直圧が最大 700 kPa のピークを示した。側方圧は、最大 630~680 kPa を示した後、平衡状態に至るまで緩やかに低下した。イオン交換水において、平衡状態に至った後の鉛直圧および側方圧は、450~550 kPa であった。人工海水を用いた場合、鉛直圧は最大 518 kPa を示した後、平衡状態において約 400 kPa となった。側方圧は、ゆるやかに増加し、平衡状態で 250~350 kPa を示した。いずれの試験においても、側方で一定の圧力が計測されたことから、隙間はクニゲル V1 の膨潤により充填されたと考えられる。

キーワード ベントナイト, 自己シール性, 透水係数 連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫 1646 一般財団法人 電力中央研究所 地球工学研究所 バックエンド研究センター TEL 070-1640-5254

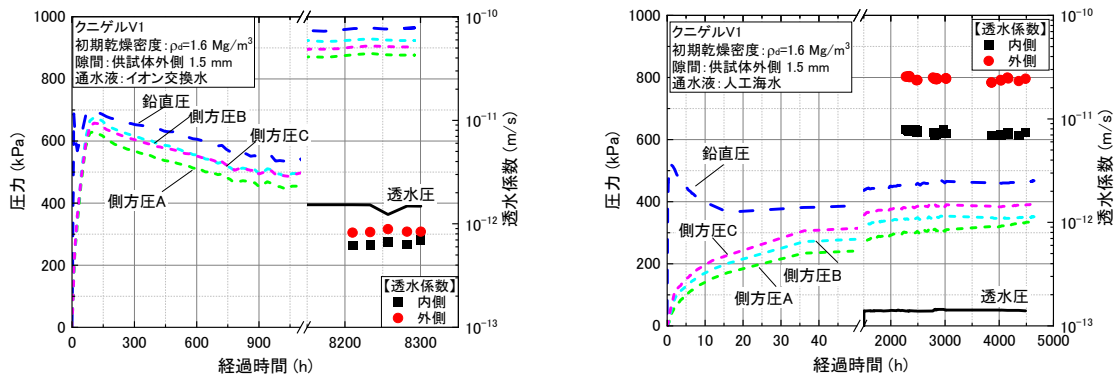


図3 透水-膨潤圧試験の結果(左：イオン交換水，右：人工海水)

イオン交換水を用いた場合の供試体の内側と外側の透水係数は約 7.0×10^{-13} m/s であり、ほとんど差は生じなかった。一方、人工海水における透水係数は、供試体の外側において内側よりも1オーダーほど高い値を示した。

ベントナイト系材料の透水性には、乾燥密度とモンモリロナイト含有率から計算される有効モンモリロナイト乾燥密度や、交換性陽イオンの組成が影響するとされている^{3), 6)}。本試験においてはモンモリロナイト含有率(図4)や浸出陽イオン量(図5)の分布に顕著な差はなかったことから、供試体の内外の透水性に寄与するパラメータは、主に乾燥密度であると考えられる。図6は、試験後の供試体の含水比分布である。試験後の供試体について、供試体全体を等価と見なして実測値から算出した空隙比と含水比から、飽和度 S_r は102~103%であった。いずれの試験においても、外側の含水比が高いことから、隙間の充填箇所では乾燥密度が小さかったと推定される。

人工海水を用いた場合、イオン交換水と比較し

て、供試体の内外において透水係数の差が顕著に現れた。これは、内側と比較して乾燥密度が小さいと推定される外側では、透水性に対する塩影響が生じやすかったと考えられる²⁾。また、供試体外側における流量の増加には、イオン交換水と比較して側方圧が小さいことが影響していた可能性もある。

4. まとめ

本研究では、透水-膨潤圧試験を行いクニゲルV1の自己シール性を調べることで、次の結論を得た。1)イオン交換水と人工海水のどちらにおいても乾燥密度の不均一性は残ったと推定されるものの、クニゲルV1は膨潤し、隙間が充填された。すなわち自己シール性が示された。2) 隙間が充填され、圧力が平衡状態となった後の透水係数は、イオン交換水を用いた場合、供試体の外側と供試体の内側における差はほとんどないが、人工海水では充填箇所の供試体外側の透水係数が大きくなる傾向を示した。しかし、人工海水のケースにおいても透水係数は 1.0×10^{-10} m/s 以下であり、拡散支配の十分性を考慮した場合の緩衝材の低透水性の設計要件¹⁾を満足していることが示された。

参考文献 1) 原子力発電環境整備機構：包括的技術報告書、NUMO-TR-20-03, 2021. 2)田中幸久ら：電力中央研究所報告、N04007, 2004. 3) 長谷川琢磨：電力中央研究所報告、N04005, 2004. 4) 小峯秀雄ら：土木学会論文集C(地圏工学), Vol. 67, No. 2, 276-287, 2011. 5) 核燃料サイクル開発機構：地層処分研究開発第2次取りまとめ, 1999. 6) Komine, H.: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 134, Issue 4, 2008.

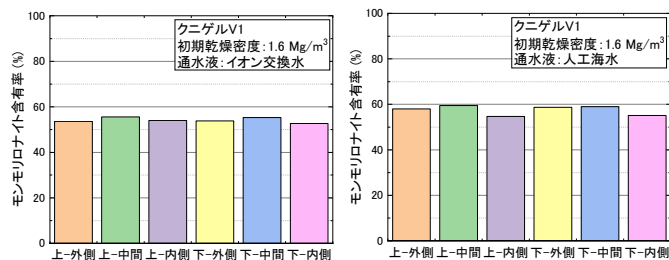


図4 試験後の供試体のモンモリロナイト含有率

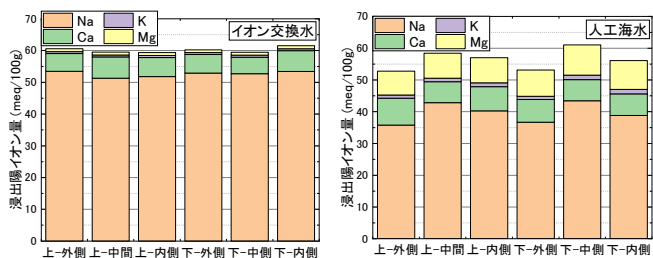


図5 試験後の供試体の浸出陽イオン量の分布

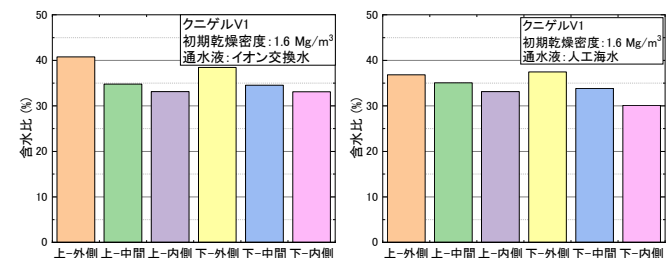


図6 透水-膨潤圧試験後の供試体の含水比分布