

放射性廃棄物処分におけるボーリング孔閉塞に用いる材料選定のための基礎的調査

(一財) 電力中央研究所

正会員 ○渡邊 保貴

1. 研究の背景と目的

放射性廃棄物処分における安全性向上のためには、調査実施済みのボーリング孔が将来的に卓越した水みちとならないように埋戻す必要がある。ボーリング孔の埋戻しは頻繁に行われている作業ではあるが、放射性廃棄物処分の場合、大深度になる可能性があること、評価期間が長期化することに伴って埋戻された孔の長期安定性が求められることが予想される。放射性廃棄物処分野では、国外では、我が国より先行してボーリング孔の閉塞技術の開発が進められてきており、材料選定や充填方法などについて、原位置試験などにより検討されてきている^{例えば 1), 2)}。しかし、諸外国においても前述した深度や長期安定性については、未だ解決されていない課題であると考えられる。

本研究では、我が国の環境条件を考慮して、ボーリング孔閉塞技術の確立に資する検討を、特に長期安定性の観点から進めている。本報告では、ボーリング孔の閉塞に用いる材料の選定に向けて基礎的調査として実施した膨潤・透水試験の結果について述べる。

2. 試料

諸外国の知見を参考にすると、止水性を求める上ではベントナイト系材料を使用することが多いようである。そこで、本研究においても粒状ベントナイト（クニミネ工業製）を使用した。一粒の寸法は、およそ長径 10.2 mm、短径 6.5 mm であった。粒の表面に撥水等のためのコーティングはされていないものを使用した。

セメント系材料との併用を考慮すると、ベントナイト系材料はアルカリ性の環境に曝され、長期的には鉱物溶解などが生じることが予想される。そこで、モンモリロナイトと比べて高 pH 側で溶解速度の小さいサポナイト³⁾を使用した。本研究で用いたサポナイトは化学合成物質（クニミネ工業製）である。なお、モンモリロナイトは 2 八面体型スメクタイトであり、サポナイトは 3 八面体型スメクタイトである。

3. 試験方法

ボーリング孔閉塞用の材料に求められる性能としては低透水性であると考えられる。そして、低透水性を維持するためには、その材料が孔内で物理的・化学的に安定している必要があると考えられる。そこで、孔閉塞材料の選定に向けた基礎的調査として、膨潤圧試験および透水試験を実施した。本研究で用いた試験装置は、荷重計が内蔵されているため、鉛直圧や膨潤圧を測定しながら透水試験を行うことが可能である。図-1 に示すように、粒状ベントナイトを供試体リングに充填した。直径 60 mm、高さ 20 mm の供試体リングに、103~104 個の粒状ベントナイトを充填し、この時の乾燥密度は約 1.12 Mg/m³、間隙率は約 58.5 % であった。供試体下部からイオン交換水を通水した。サポナイトとケイ砂を乾燥質量比 3 : 7 となるように混合し、含水比 9.85 % の状態で、乾燥密度 1.6 Mg/m³ に締固めた。



図-1 粒状ベントナイトを供試体リングに充填した時の様子

4. 試験結果

粒状ベントナイトの鉛直圧ならびに透水係数の経時変化を図-2 に示す。透水係数は、供試体高さを 20 mm、飽和と仮定して算出した。背圧を高めることで膨潤は進行し、平衡膨潤圧としては 168~191 kPa となった。透水係数は、通水開始直後は $10^{-7} \sim 10^{-8}$ m/s 相当であり、飽和度が高まり、膨潤圧がほ

ば一定になった状態では、透水係数 $10^{-11} \sim 10^{-12}$ m/s となった。高い水圧に対しては、間隙水圧が増大することを誘因として止水性に変化が生じるとの先行事例¹⁾があったが、本研究においては、平衡膨潤圧の 1.3~1.6 倍に相当する透水圧では、動水勾配によらず透水係数はほぼ一定であった。

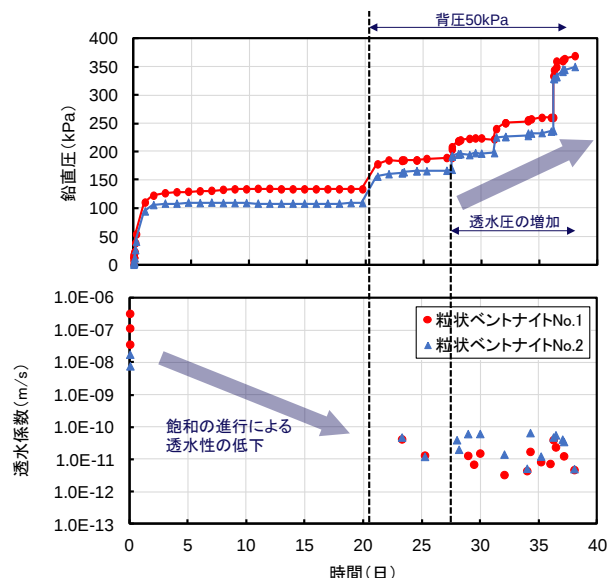
粒状ベントナイトを用いた試験後の供試体の状態を図-3に示す。粒状ベントナイトが配列していた様子(図中破線部)は視認できたが、隙間は見られず、膨潤により隙間は概ね充填されていたことが確認された。流入側(供試体下部)は含水比 56~58 %と高く、飽和度に換算すると 108~112 %相当であった。一方、流出側(供試体中・上部)では、含水比が 48~52 %と低く、飽和度にすると 91~99 %相当であった。不飽和帯を含む供試体ではあったと考えられるが、飽和が進むことで透水性は低くなることを考慮すると、国外の事例で一つの目標¹⁾とされていた透水係数 $10^{-11} \sim 10^{-12}$ m/s 以下の水準は達成できる材料仕様であったと考えられる。

本研究で得られた透水係数を既往のデータ^{4), 5)}と比較すると、本研究で得た値はやや高めではあるが、データのばらつきを考慮すると、密度指標とのほぼ一義的な関係として説明できることが確かめられた。本研究では、膨潤圧に対し十分な反力が確保された容器内で試験を行ったことを考慮すると、粒状ベントナイトが膨潤した後の体積を精度よく把握できれば、過去に蓄積されてきた透水係数~有効モンモリロナイト密度の関係等を用いて、止水性の評価を行うことができる。サポナイトを使用した試験については、膨潤性が高く(約 1 MPa)、透水性も低い(10^{-13} m/s オーダー)ことが確認されたが、モンモリロナイトとは粘土鉱物学的な特徴が異なることから、ベントナイト系材料との比較などは引き続き検討する必要がある。

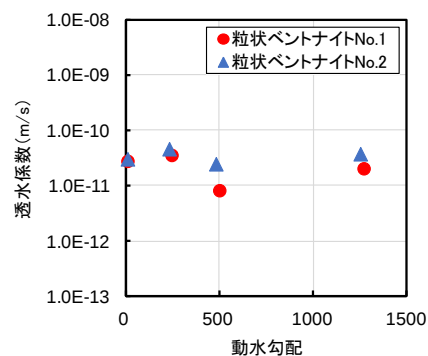
5. まとめ

本報告では、今後の検討を進めるにあたり、膨潤性粘土の基本的な特性として、膨潤圧と透水係数を把握した。今後、環境条件を考慮した試験データの拡充や、ボーリング孔内の水中充填を想定した検討を行う必要がある。

参考文献 1) Nagra: Technical Report, NTB 07-01, 2008. 2) SKB: Technical Report, R-11-20, 2011. 3) 横山他: 電力中央研究所研究報告, N07020, 2008. 4) 長谷川: 電力中央研究所研究報告, N04005, 2004. 5) 棚井他: JAEA-Research, 2010-025, 2010.

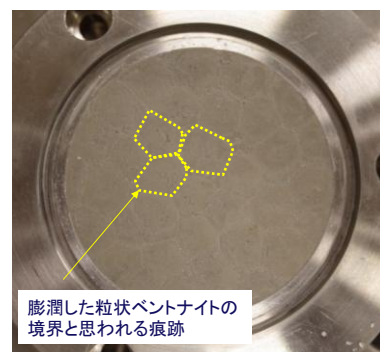


(a) 透水係数および鉛直圧の経時変化

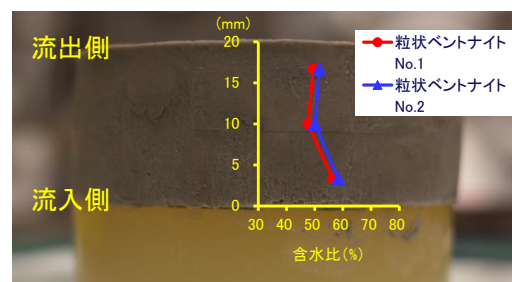


(b) 透水係数と動水勾配の関係

図-2 粒状ベントナイトの膨潤・透水試験の結果



(a) 供試体上部



(b) 含水比分布

図-3 試験後の供試体