

地層処分におけるベントナイトオプションの検討
人工海水条件におけるベントナイト混合土の圧密挙動と保水特性

安藤ハザマ 正会員 ○伊藤歩夢, 千々松正和, 山田淳夫
原子力発電環境整備機構 正会員 山本陽一, 後藤考裕
電力中央研究所 非会員 横山信吾, 正会員 渡邊保貴

1. 目的

地層処分で必要とするベントナイトの量は緩衝材として数十万トン、埋め戻し材として百万トン以上に及ぶことが見込まれている。そのため、地層処分に求められる安全性と性能の確保を前提として、調達性と経済合理性を有するベントナイトを複数確保できることの見通しを得ておく必要がある。本研究では、人工バリア材料の合理的な選定や仕様設定に資することを目的として、産地等が異なる複数のベントナイトの特性データを取得し、地層処分への技術的な成立性を確認するための検討を実施する。ここでは、2種類のベントナイトに関して、イオン交換水と人工海水を用いて圧密挙動および保水特性を調べた結果を報告する。

2. 試料

本研究で使用したベントナイトは、主となる交換性陽イオン種から Na 型と分類されるベントナイト B, Ca 型と分類されるベントナイト D の 2 種類である。それぞれの基本物性値を表-1 に示す。そのほかの物理的・化学的性質については関連する報告¹⁾²⁾を参照されたい。後述する圧密試験および保水性試験では、各ベントナイトとケイ砂（三河珪砂 6 号）を混合したものを使用した。ベントナイト混合率は、30%, 50%, 100%とし、た。試験用水としてはイオン交換水（DW）および人工海水（SW）を使用した。人工海水はマリンアート SF-1 を用いて作製した。

表-1 ベントナイトの基本特性

ベントナイト	B	D
土粒子の密度 (Mg/m ³)	2.675	2.574
液性限界 (%)	238.9	93.6
塑性限界 (%)	39.8	30.3
メチレンブルー吸着量(mmol/100g)	104	74
モンモリロナイト含有率(%) ³⁾	65	41
膨潤力 (ml/2g)	15.0	7.0

3. 試験方法

各試験の試験仕様を表-2 に示す。圧密試験および加圧板法による保水性試験については、締固め試験の結果³⁾から締固め度 95%（混合率 100%の場合は締固め度 100%）を供試体の乾燥密度とした。人工海水条件の試験では、絶乾させた試料に対して人工海水を用いて加水調整を行い、試験用水にも人工海水を用いた。圧密試験では、静的締固めにより作製した供試体を試験に使用した。吸水過程で得られた膨潤圧 p をもとに載荷圧力を決定した。荷重増加分比 $\Delta p/p=1$ で 3 段階の載荷をした後、荷重減分比 $\Delta p/p=1/2$ で 5 段階の除荷を行った。圧密収束の判定には 3t 法と浅岡法⁴⁾を併用した。なお、浅岡法は変形の収束の判定に 1 週間以上要する場合に適用した。保水性試験では、蒸気圧法、サイクロメータ法（露点法：WP4C、冷却鏡法：PSYPRO）、加圧板法を実施した。蒸気圧法、サイクロメータ法では、粉末状の試料を測定に用いた。加圧板法の供試体は、直径 100 mm、高さ 30 mm とし、動的締固めにより作製した。人工海水条件の加圧板法は混合率 30%の試料にのみ実施した。

表-2 試験仕様

試験方法		試験用水	混合率 (%)	供試体条件
圧密試験		DW	30, 50, 100	φ60mm×H10mm φ40mm×H10mm(高圧時)
		SW		
保水性試験	蒸気圧法	DW	30, 50, 100	粉末
	サイクロメータ法	DW	30, 50, 100	粉末
		SW		
	加圧板法	DW	30, 50, 100	φ100mm×H30mm
		SW	30	

キーワード：放射性廃棄物、ベントナイト、圧密試験、保水性試験、海水条件

連絡先 〒305-082 茨城県つくば市荻間 515-1 TEL: 029-858-8810 E-mail: ito.ayumu@ad-hzm.co.jp

4. 試験結果と考察

圧密試験結果の代表としてベントナイト混合率 100% の試験ケースで得られた e - $\log p$ 曲線の縦軸を第1段階の荷重直前の間隙比 e_0 で正規化した e' - $\log p$ 曲線を図-1に示す。イオン交換水条件では、Ca 型のベントナイト D に比べ、Na 型のベントナイト B の方が荷重時と除荷時の両方で変形量が大きくなった。人工海水条件では、ベントナイト B とベントナイト D の変形挙動に有意な差は見られなかった。これは、ベントナイト B の層間に存在する Na イオンが人工海水に含まれる Ca イオンや Mg イオンと陽イオン交換することで、圧密挙動が Ca 型のベントナイトに近づいたためである

と考えられる。除荷時の挙動に着目すると、ベントナイト B では人工海水条件の方がイオン交換水条件よりも変形量が小さくなるのに対し、ベントナイト D では、両条件で変形量に差が出なかった。もともと層間に Ca イオンが多いベントナイト D では、人工海水による陽イオン交換の影響が小さいため、圧密挙動にも影響がほとんど現れなかったと考えられる。人工海水による圧密挙動を評価する際には、ベントナイトの抽出陽イオンの組成と量（割合）が重要な因子になると考えられる。

保水性試験の結果を代表してベントナイト混合率 30% の試料の水分特性曲線を図-2 に示す。露点法と冷却鏡法では試験用水がイオン交換水の場合と人工海水の場合で水分特性曲線の高含水比領域において明確な差が表れた。図中に示す -2.23MPa の実線は、人工海水の水分ポテンシャルを冷却鏡法で測定した際の値である。この値を人工海水調整試料の水分ポテンシャル値が下回ることにはなかった。一方、加圧板法の場合は、試験用水がイオン交換水の場合と人工海水の場合で水分ポテンシャルの値に優位な差は観察されなかった。一般に露点法とサイクロメータ法は、化学ポテンシャル（浸透ポテンシャルとマトリックスポテンシャルの和）の測定ができ、加圧板法はマトリックスポテンシャルの測定ができるといわれている。このことから人工海水は、マトリックスポテンシャルに及ぼす影響は小さいが、浸透ポテンシャルに及ぼす影響は大きいことが示唆された。伊藤ほか⁹⁾では、ベントナイト混合土の水分ポテンシャルは、ベントナイトの種類に依らず、ベントナイト混合率やモンモリロナイト含有率に影響を受けることが報告されている。人工海水で調整した試料の場合も同様に、ベントナイト混合土の水分ポテンシャルは、ベントナイト混合率やモンモリロナイト含有率に影響を受けることがわかった。

参考文献 1) 渡邊保貴ほか：第 75 回土木学会年次学術講演会，2020。 2) 新橋美里ほか：第 75 回土木学会年次学術講演会，2020。
3) 山本陽一ほか：第 74 回土木学会年次学術講演会，2019。 4) Asaoka : SOILS AND FOUNDATIONS, vol.18, pp.87-101, 1978。 5) 伊藤歩夢ほか：第 74 回土木学会年次学術講演会，2019。

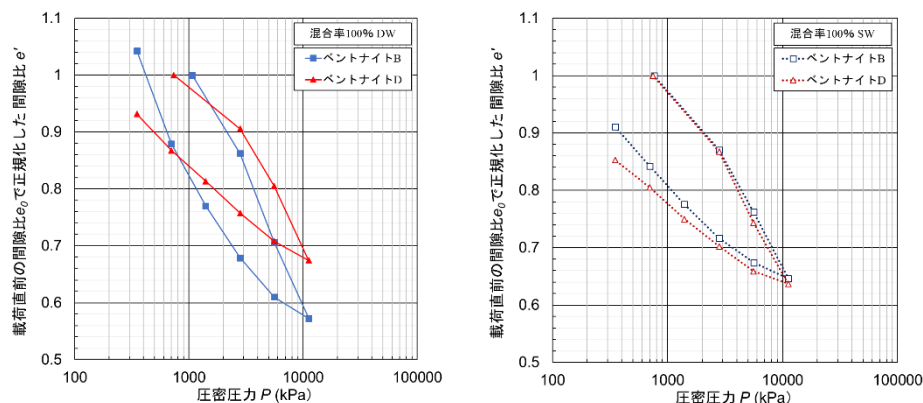


図-1 e' - $\log p$ 曲線（左：イオン交換水条件，右：人工海水条件）

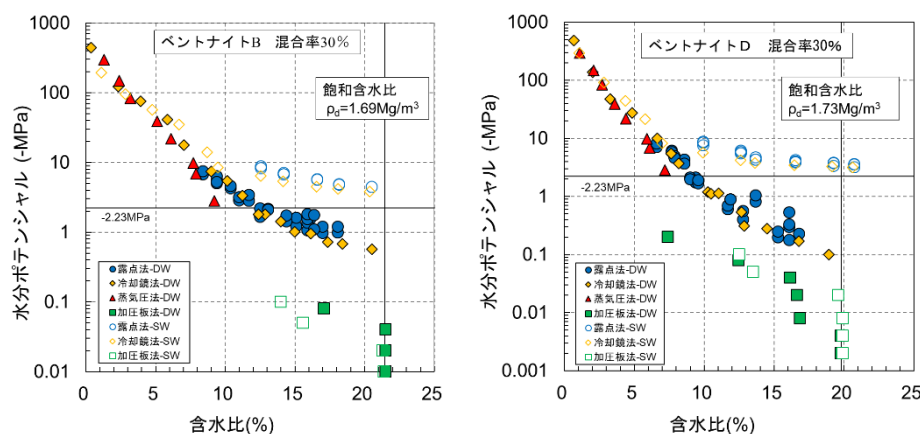


図-2 水分特性曲線（左：ベントナイト B，右：ベントナイト D）