

地層処分におけるベントナイトオプションの検討 種類の異なるベントナイトの緩衝材への適用性について

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

1. はじめに

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。ベントナイトは工業用の原料として広く利用されており、地層処分による将来的な需要の増大は、ベントナイトの供給不足、品質の変化、価格の上昇など、処分事業に大きな影響を及ぼす事象として顕在化することが懸念される。このため、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。そこで、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のできる多様な選択肢を示すことを目的として、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、本研究で取得したベントナイトの試験データを用いて緩衝材の試行的な設計検討を実施し、それぞれのベントナイトの緩衝材への適用性について検討した結果を報告する。

2. 適用性検討の考え方

図-1 は、地層処分のセーフティケースとして取りまとめた包括技術報告書¹⁾において、緩衝材の材料であるベントナイトをクニゲル V1 として、縦置き・ブロック方式を対象に緩衝材単体の性能として満足すべき基本的な設計要件に対して必要な性能を発揮することのできる緩衝材の有効粘土密度と厚さの範囲をまとめた結果を示している。ここで、人工バリア設置時の岩盤と緩衝材の隙間 40 mm および緩衝材とオーバーパックスの隙間 20 mm を仮定している。また、隙間充填に必要な緩衝材の膨潤量はケイ砂混合率の影響を受けるため、ケイ砂混合率 $R_s = 0, 30, 50\%$ の時の関係を図に示している。地下水が海水相当の塩水の条件や初期に Na 型であったベントナイトが Ca 型化するような場合を考慮すると、複数の緩衝材の設計要件を満足する有効粘土密度の範囲は「自己シール性」と「自己修復性」が交わる密度を下限とする範囲で与えられ、次いで「低透水性」の設計要件を満足する有効粘土密度が下限となっている。したがって、検討対象のベントナイトについて、「低透水性」と「自己シール性」の設計要件を充足する密度を明らかにすることで、緩衝材への適用が可能かどうかの成立性を知ることができる。そこで、以下では「低透水性」と「自己シール性」について、関連する報告²⁾に示したそれぞれ透水膨潤圧試験結果、膨潤変形試験結果を用いて、包括的技術報告書で示した仕様や設計要件を充足する基準値と比較することにより、6 種類のベントナイトの緩衝材への適用性を評価する。

3. 緩衝材としての成立性

試験した 6 種類のベントナイトの透水係数と有効粘土密度の関係を図-2 に示す。ベントナイト A, B, C は Na 型, D, E, F は Ca 型である³⁾。各試験結果を包絡する図中の実線および破線は、それぞれイオン交換水と人工海水を用いた場合の透水係数と有効

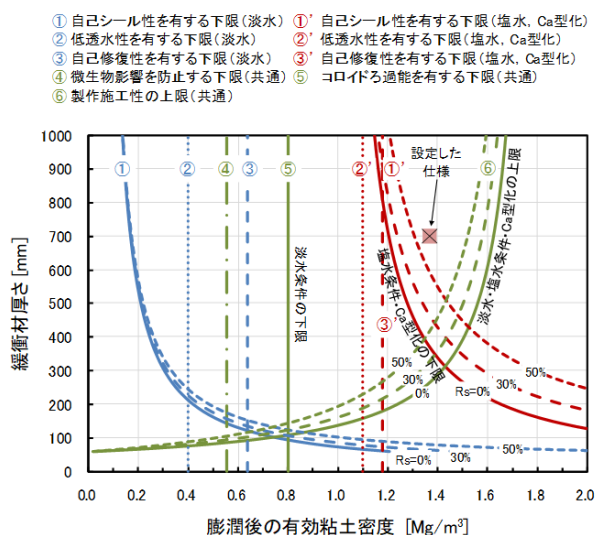


図-1 基本的な設計要件を満足する緩衝材の有効粘土密度と厚さの関係¹⁾ (縦置き・ブロック方式)

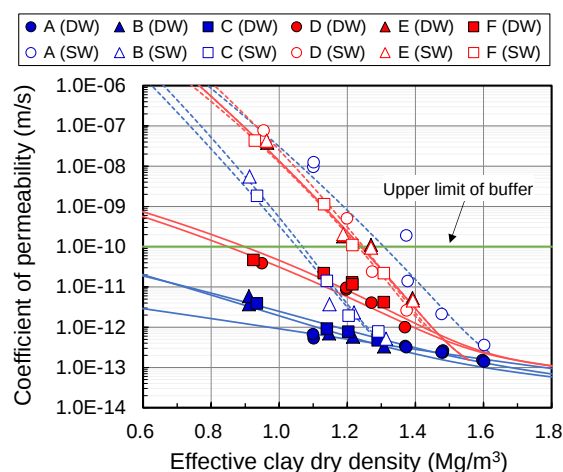


図-2 透水係数と有効粘土密度の関係

キーワード 放射性廃棄物処分, ベントナイト, 緩衝材, 低透水性, 自己シール性

連絡先 〒108-0014 東京都港区芝 4-1-23 三田 NN ビル 2F 原子力発電環境整備機構 技術部 TEL 03-6371-4004

粘土密度の関係をフィッティングした結果を示している。緑色の水平線は、低透水性の設計要件を充足することのできる緩衝材の透水係数の上限値 ($k=1.0 \times 10^{-10}$ m/s) を表示したものである。緩衝材の低透水性に対して成立するそれぞれのベントナイトの有効粘土密度であるが、イオン交換水の条件では Na 型のベントナイト A, B, C でいずれも 0.4 Mg/cm^3 以下となるが、Ca 型のベントナイトはこれら Na 型の場合よりも全体に高い。人工海水の条件では、ベントナイト B と C がやや低く、A を含めその他のベントナイトは $1.2 \sim 1.3 \text{ Mg/cm}^3$ 程度のやや高めの有効粘土密度になっている。

図-3 に 6 種類のベントナイトのベントナイト部分最大膨潤率と膨潤前の初期有効粘土密度との関係を示す。試験範囲において、ベントナイト部分最大膨潤率と有効粘土密度の間には比例増加の関係が認められることから、この関係を自己シール性の評価に用いる。包括的技術報告書と同様の人工バリア定置時の隙間が大きいケースとなる縦置き・ブロック方式を対象として、自己シール性の確保に必要な有効粘土密度と緩衝材厚さの関係を、ベントナイトにケイ砂を 30% 混合した場合について図-4 に示した。

以上の検討結果をまとめ、緩衝材の自己シール性と低透水性の確保に必要な有効粘土密度と緩衝材厚さの関係を図-5 に示す。図は性能面で厳しい側の評価になる人工海水の条件に対して示した。Na 型ベントナイトでは A, B, C の 3 種類のベントナイトのいずれもが、包括的技術報告書の仕様で設計要件を満足することができる。また、概ね緩衝材が 400 mm より厚い場合には、低透水性を満足する密度と厚さで緩衝材の仕様が決定されることを表している。この厚さに対して必要な密度は、これまでの製作性に係る実証試験や締固め試験の結果から製作が十分可能な密度であると推察されるので、いずれも緩衝材としての適用が可能なベントナイトであると考えられる。Ca 型のベントナイトではベントナイト F を除くベントナイト D と E が包括的技術報告書の仕様で設計要件を満足することができる。ベントナイト F の場合も有効粘土密度を高くすることで緩衝材への適用が可能となるが、その場合の密度は有効粘土密度にして 1.8 Mg/m^3 以上が必要であり、本研究の締固め試験結果³⁾やこれまでの Ca 型ベントナイトに対する試験施工の結果を考慮すれば、ベントナイト F の緩衝材への適用は困難であると考えられる。Ca 型のベントナイトでは低透水性よりも自己シール性の方が仕様を設定するうえで支配的な設計要件になっており、ベントナイト D と E の場合にも、包括的技術報告書に示した緩衝材仕様では設計要件に対する性能の余裕は少ないと言える。

4. まとめ

対象とした 6 種類のうち 5 種類のベントナイトが緩衝材に適用可能であること、Ca 型ベントナイトと比較して、Na 型ベントナイトの方が塩水条件の場合も含め設計の合理化につながる裕度を高めた設計が可能であることが確認された。

参考文献：1) NUMO（原子力発電環境整備機構）：付属書 4-15 緩衝材の基本的な設計要件に対する仕様の検討（高レベル放射性廃棄物処分場），包括的技術報告書，2020。2) 渡邊保貴ほか：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。

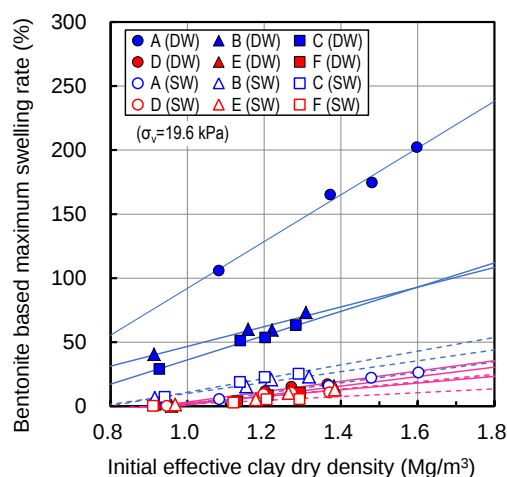


図-3 ベントナイト部分最大膨潤率と初期有効粘土密度の関係

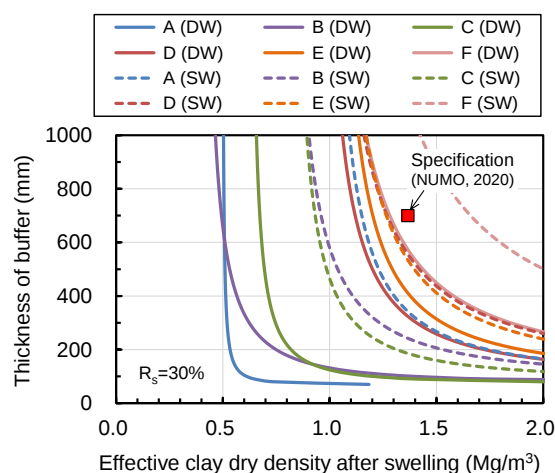


図-4 自己シール性の確保に必要な隙間充填後の緩衝材の有効粘土密度と厚さの関係 ($R_s=30\%$)

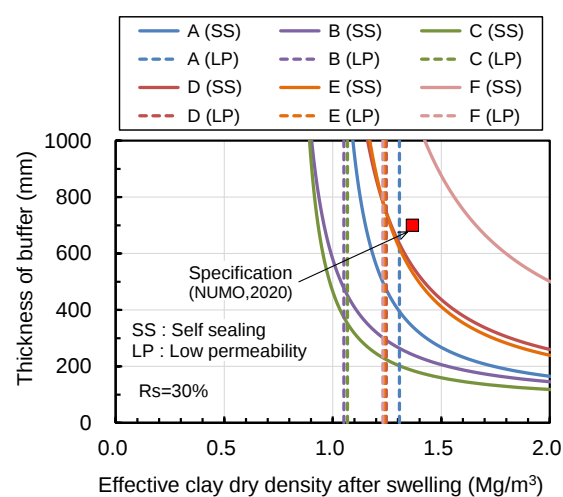


図-5 自己シール性と低透水性を満足する緩衝材の有効粘土密度と厚さの関係（塩水条件）