

埋め戻し材ブロックに関する静的締固め試験

大成建設株式会社 正会員○白瀬 光泰 正会員 小野 誠
 日揮株式会社 正会員 高尾 肇 非会員 山崎 一敏
 (公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター 非会員 川久保 政洋 正会員 八木 啓介

1. はじめに

地層処分における坑道の埋め戻し材には、坑道内が卓越した地下水の流動経路にならないように低透水性を確保することが要求されており、地質環境モデルの母岩の中で最も低い透水係数 (2.0×10^{-9} m/s) 以下となる埋め戻し材の仕様例 (密度および配合) が設定されている¹⁾。埋め戻し材にはベントナイトと掘削土の混合土が考えられており、主な施工方法としては転圧工法や吹付け工法が検討されている。一方、北欧の地層処分では、掘削土を混ぜずにベントナイトを圧縮成型して製作する埋め戻し材ブロックの利用が検討されている²⁾。埋め戻し材ブロックは、地上施設で製作できることから安定した品質を確保することができ、他の工法に比べて施工管理が簡略化できるなどのメリットが想定される。また、複数の施工技術を準備しておくことにより、サイト選定段階の複数の地質環境を対象として実施される処分場設計に対して、柔軟な対応が可能になると考えられる。ただし、ベントナイトと掘削土を混合したブロックを埋め戻し材として利用する場合には、ブロック成型可能なベントナイトの混合率及び掘削土の最大粒径などの製作条件を確認しておく必要がある。

本稿では、埋め戻し材の施工技術オプションの一つとなり得るブロック工法を対象として、埋め戻し材ブロックの製作条件 (ベントナイト混合率、碎石砕砂の混合割合、成型圧力) を把握するために実施した静的締固め試験の結果について報告する。なお、本検討では埋め戻し材の透水係数の目標値を 1×10^{-9} m/s 以下と設定し、これを満足する有効粘土密度として 0.8 Mg/m^3 以上を目標とした。

2. 静的締固め試験

1) 使用材料

使用した材料の仕様を表 1 に示す。ベントナイトは Na 型ベントナイト (クニゲル V1) を用い、模擬掘削土として玄武岩のコンクリート用碎石 2005 及び粒径 5 mm 以下の砕砂を用いた。ベントナイト混合率が 15% のケースでは、碎石砕砂の混合割合を 4 種類 (碎石砕砂混合材①～④)、30% のケースでは、碎石砕砂の混合割合を 2 種類 (碎石砕砂混合材①、④) とした。使用材料の土質試験結果を表 2 及び図 1 に示す。

2) 試験方法

静的締固め試験の試験仕様を表 3 に示す。内径 $\phi 100$ mm、高さ 180 mm の鋼製モールドを製作し、最大荷重 1,000 kN の圧縮強さ試験機を用いて、片押し方式により静的締固め試験 (成型圧力は 5, 10, 20, 30, 40 MPa の 5 条件) を実施した (図 2)。

3) 試験結果

試験結果の一例としてベントナイト混合率 15% 及び 30% における碎石砕砂混合材④ (乾燥質量比の混合割合として 碎石 : 砕砂 = 6 : 4) の場合の締固め曲線を図 3 に示す。ま

表 1 静的締固め試験 材料仕様

項目	仕様
使用材料	ベントナイト Na 型ベントナイト (クニゲル V1)
	模擬掘削土 (玄武岩) ・碎石 ^{※1} と砕砂 ^{※2} の混合材 4 種類 乾燥質量比の混合割合として、 碎石砕砂混合材① 碎石 : 砕砂 = 0 : 10 碎石砕砂混合材② 碎石 : 砕砂 = 2 : 8 碎石砕砂混合材③ 碎石 : 砕砂 = 4 : 6 碎石砕砂混合材④ 碎石 : 砕砂 = 6 : 4 ※1 碎石 : コンクリート用碎石 2005 ※2 砕砂 : 粒径 5mm 以下
ベントナイト混合率	15, 30%
設定含水比	5, 7, 9, 11, 13, 15%

表 2 使用材料の土粒子密度および自然含水比

	ベントナイト (クニゲル V1)	碎石	砕砂
土粒子の密度 (Mg/m^3)	2.747	2.803	2.803
含水比 (%)	11.5	1.1	2.6

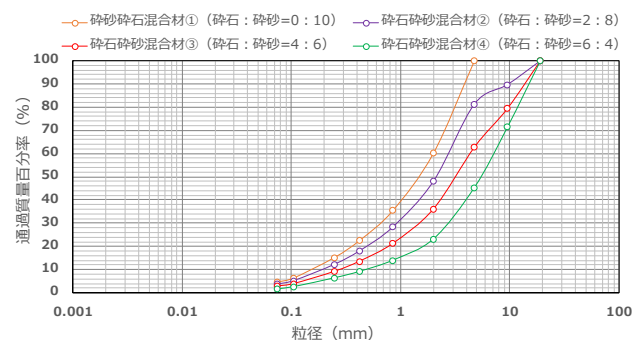


図 1 使用材料の粒度分布

キーワード：放射性廃棄物処分、ベントナイト混合土、ブロック、有効粘土密度、透水係数

連絡先：〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設 (株)、TEL : 03-5381-5315、E-mail : shirase@ce.aisei.co.jp

た、ベントナイト混合率 15%における碎石砕砂の混合割合と有効粘土密度（各試験ケースの最大乾燥密度より算出）の関係を図4に示す。ベントナイト混合率 15%のケース（碎石砕砂混合材①～④）では乾燥密度の範囲が約 1.95～2.30 Mg/m³，有効粘土密度の範囲が約 0.70～1.15 Mg/m³，ベントナイト混合率 30%（碎石砕砂混合材①，④）のケースでは、乾燥密度の範囲が約 1.80～2.25 Mg/m³，有効粘土密度の範囲が約 1.00～1.55 Mg/m³となった。塩水条件における有効粘土密度と透水係数の関係¹⁾から、埋め戻し材ブロック単体で達成可能と考えられる透水係数は、ベントナイト混合率が 15%では約 $6 \times 10^{-11} \sim 2 \times 10^{-9}$ m/s，30%では約 $2 \times 10^{-12} \sim 2 \times 10^{-10}$ m/s と推定された。

また、図4から、5～40 MPaのいずれの成型圧力においても碎石砕砂の混合割合を 4 : 6 としたケースで、有効粘土密度の値が最も大きくなったが、模擬掘削土の碎石砕砂の混合割合が有効粘土密度に及ぼす影響は小さかった。なお、圧縮成型後の供試体の外観の観察結果から、碎石の混合割合の増加にともない、最適含水比よりも低含水比側では角欠けや表面の凹凸が生じやすくなる傾向が見られた。

以上の結果から、ベントナイト混合率 30%以下の場合、含水比を最適含水比から高含水比側に設定することで、角欠けや表面の凸凹が少ない埋め戻し材ブロックを製作できる見通しが得られた。

3. まとめ

ベントナイト混合率 15%、30%という貧配合のベントナイト混合土を対象として、埋め戻し材ブロックの製作が可能となる条件を把握することを目的に静的締固め試験を実施した。その結果、含水比を最適含水比から高含水比側に設定することで目標とした有効粘土密度 0.8 Mg/m³（ベントナイト混合率 15%の場合は乾燥密度 2.04 Mg/m³，30%の場合は乾燥密度 1.60 Mg/m³）を満足し且つ、角欠けや表面の凸凹が少ない埋め戻し材ブロックが製作できる見通しが得られた。なお、本報告は、経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業「令和2年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業（地層処分施設閉鎖技術確証試験）」の成果の一部である。

参考文献

- 1) 原子力発電環境整備機構：包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現，NUMO-TR-20-03，2021。
- 2) Posiva and SKB, Safety functions, performance targets and technical design requirements for a KBS-3V repository, Posiva SKB Report 01, 2017。

表3 静的締固め試験の試験仕様

項目	仕様	
供試体寸法	直径	100 mm
	高さ	仕上がり時（所定の成型圧力載荷時）の乾燥密度に依存
材料投入量	1,300 g	
成型圧力	5, 10, 20, 30, 40 MPa	
圧縮保持時間	1 分	
圧縮速度	10 mm/s 以下、但し手動調整	

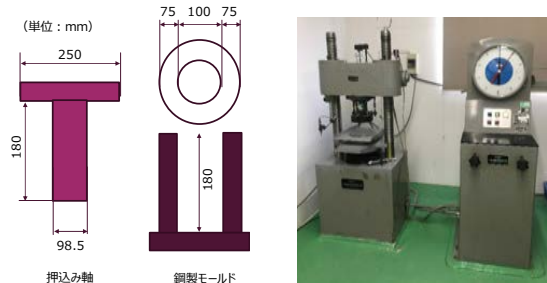
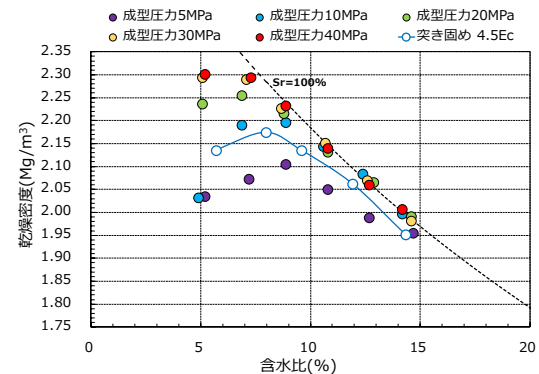
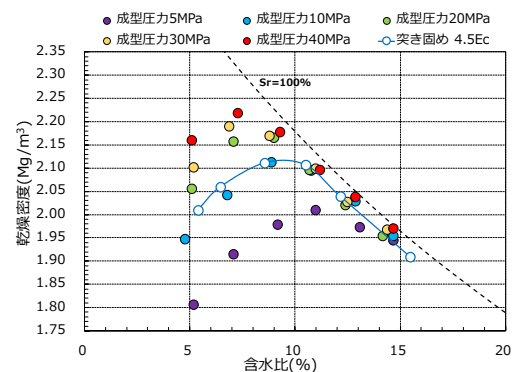


図2 製作した鋼製モールド(左), 圧縮強さ試験機(右)



(a) ベントナイト混合率 15%、碎石砕砂=6 : 4



(b) ベントナイト混合率 30%、碎石砕砂=6 : 4
図3 静的締固め試験結果（締固め曲線）の一例

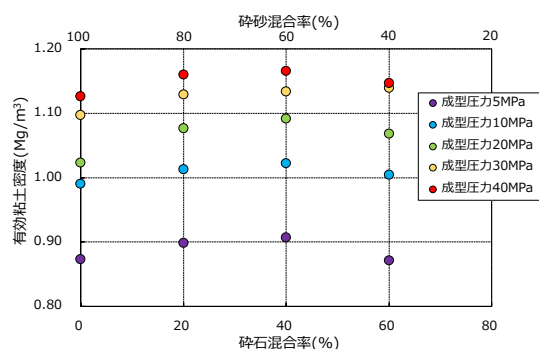


図4 ベントナイト混合率 15%における碎石砕砂の混合割合と有効粘土密度の関係