

ベントナイトの種類と飽和度を考慮した強度試験

新潟大学 非会員 ○森川 陽色
新潟大学 正会員 金澤 伸一
新潟大学 非会員 山本 雄輝
西松建設(株) 正会員 吉野 修

1. 研究背景・目的

高レベル放射性廃棄物の処分方法として地層処分が選定されている。地層処分に必要とされるベントナイト緩衝材の量は、埋め戻し材も含めて、百万トン以上と見込まれている。これにより、ベントナイトへの需要が集中すると見込まれることから、長期にわたり品質を満足させるベントナイトの安定供給が求められる。そのため、複数のベントナイトが緩衝材として検討されている。緩衝材は、処分期間中において崩壊熱の影響を受けることから設計において温度の影響を考慮することが求められる。現在、原子力発電環境整備機構(NUMO)の事業計画¹⁾のもと、6種類のベントナイトが候補として挙げられている。しかし、一部の国内産ベントナイト以外の試験は限られており、温度を考慮した強度試験例が少ないことが課題として挙げられる。そのため、ベントナイト緩衝材の詳細な力学的特性が十分に把握されていない。

そこで本研究では、緩衝材設計要件の一つであるオーバーパック支持性と核種崩壊熱(100°C程度)により緩衝材が高温の影響を受けることが予想されることから、各種ベントナイト供試体に温度、飽和度変化を与え一軸圧縮試験を行い、強度特性を実験的に検討した。

2. 初期条件・試験方法

表-1 に初期条件を示す。試料はボルクレイ(中国産, ボルクレイ・ジャパン), ボルクレイ(米国産, ボルクレイ・ジャパン), クニピア F(国内産, クニミネ工業)の3種類を用いて、供試体作製には鋼鉄製モールドを使用した。以下に試験方法を示す。

表-1 初期条件

	ボルクレイ (米国産)	ボルクレイ (中国産)	クニピアF (国内産)
供試体直径・高さ(mm)	35・80		
乾燥密度(Mg/m ³)	1.6		
飽和度(%)	30,50,70,90		
温度	30		
土粒子密度(Mg/m ³)	2.60	2.60	2.692
モンモリロナイト含有率(%)	81.4	71.0	98-99
液性限界(%)	600-800	550-700	993
塑性限界(%)	40-50	30-40	42
塑性指数(-)	550-750	550-650	951

① 供試体作製

供試体は各種ベントナイトと珪砂5号を7:3の割合で配合した混合試料を用いた。含水比の測定は電子レンジ法(500W, 15分)を用いて初期含水比を測定した。その後、霧吹き(イオン交換水)と電動攪拌機を用いて所定の飽和度(30%, 50%, 70%, 90%)となるように調整を行った。供試体作製は、試料を10層に分け静的締固めを行い、10分間、油圧ジャッキで圧縮成型した。締固め圧力は40MPaとし、直径35mm、高さ80mmの供試体を作製した。

② 一軸圧縮試験

供試体作製後、供試体と水との接触を防ぐために遮水シート(ゴムスリーブ)を装着し、圧縮補助器具を取り付けた。あらかじめ所定の温度に設定したヒータ付き水槽の中に供試体を入れ、20分間、所定の温度を与えた。その後、継続的に熱を与えながら載荷速度0.4mm/minで一軸圧縮試験を行った。

キーワード ベントナイト, 地層処分

連絡先 〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050 新潟大学工学部 地盤環境研究室 TEL025-262-7479

3. 試験結果

図-1 に温度 30°Cでの各飽和度による一軸圧縮強度の結果を示す。飽和度変化によって、それぞれの試料で異なる強度傾向を示す結果が得られた。また、いずれの試料においても、飽和度の上昇に伴い最大圧縮強度は上昇することが確認された。クニピア F、ボルクレイ(中国産)に関しては飽和度上昇により強度のピーク値を迎えたのち、圧縮強度は減少することが確認された。一方で、ボルクレイ(米国産)においては圧縮強度の減少が見られなかった。特に、強度の上昇傾向を見ると、クニピア Fは著しく強度上昇するのに対し、ボルクレイ(中国産)、ボルクレイ(米国産)は緩やかに強度が上昇していた。また、ピーク値からの強度の減少に関しては、クニピア F、ボルクレイ(中国産)ともに同様な強度減少の勾配が見られた。各試料における最大圧縮強度に関しては、すべての飽和度においてクニピア Fが最も高い値となり、ボルクレイ(米国産)が最も低い値となった。

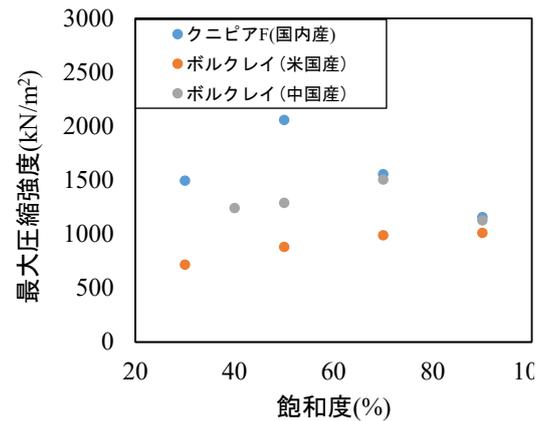


図-1 一軸圧縮試験結果

4. 考察

全ての試料において、飽和度上昇に伴い強度が変化する結果となった。これは、不飽和土特有のサクシオン(間隙空気圧と間隙水圧の差)に依るものと考えられ、一般的に、サクシオンは土粒子間で発揮される。一軸圧縮試験のような拘束圧がない場合においては、サクシオンが拘束圧として作用し、有効応力に起因すると考えられる。飽和度の上昇に伴う圧縮強度の増加に関しては、本試験においても同様の傾向が見られた。飽和度が上昇することで、サクシオンによる土粒子間の見かけの粘着力が大きくなり、圧縮強度が上昇したと考えられる³⁾。

一方で、クニピア F、ボルクレイ(中国産)における強度のピーク値を迎えた後の強度減少に関しては、小高ら²⁾が行った不飽和圧縮ベントナイトのサクシオンの計測によると、飽和度の上昇に伴いサクシオンが消失するとされている。飽和度が高くなることで、土粒子間の粘着力が発揮されない可能性がある。ベントナイトは、極端に、水の吸水性が高いことから、不飽和ベントナイト供試体の力学特性における飽和度とサクシオンには密接な関係があると考えられる。よって、本試験では間隙内の間隙水の割合が高くなることで、サクシオンすなわち見かけの粘着力が低下するため、高飽和度条件において圧縮強度が低下したと考えられる。

5. 終わりに

本試験から、ベントナイトはサクシオンの影響を強く受けていることが分かった。今後の展望としては温度を20°C刻みで90°C(50°C, 70°C, 90°C)まで試験を行い、圧縮強度の傾向を検討していく。また、データ数を増やして精度を高め、ベントナイト緩衝材の強度に関するデータベース(指標)を作成していくとともに、強度特性の影響因子を検討する。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構(JAEA):我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第2次取りまとめ-分冊2 地層処分の工学的技術, JNC TN1400 99-020,1999
- 2) 小高猛司・崔瑛・竹内啓介:不飽和圧縮ベントナイトの力学的特性とサクシオンの関係, 第51回地盤工学研究発表会講演概要集, pp. 2177-2178. 2016
- 3) 市川希, 金澤伸一, 林久資, 石山宏二:地層処分施設内における温度, 飽和度変化を考慮したベントナイト緩衝材の力学的挙動に関する研究, 第52回地盤工学研究発表会講演概要集, 地盤工学会, D-08,pp.2047-2048,2017