

様々な条件によるベントナイト緩衝材の強度特性

株式会社 大林組 正会員 ○柳井 正樹
 新潟大学 正会員 金澤 伸一
 福島工業高等専門学校 学生会員 鈴木 梨恵
 西松建設(株)技術研究所 正会員 吉野 修

1. はじめに

核燃料サイクルの過程で発生する高レベル放射性廃棄物の処分方法として、地下 300m 以深への地層処分が選定されている。地層処分において、廃棄物と岩盤との間を充填する緩衝材の主原料には著しい吸水膨潤性と難透水性を有するベントナイトが使用される。その緩衝材には施工性や経済性の観点から、第二次取りまとめ 1)によるとベントナイトと珪砂を混合することが選定されているが、試験事例は限られた条件にとどまっており、詳細な仕様の決定に向けて、これまで様々な力学試験が実施されている。また、処分期間中ベントナイト緩衝材には放射性物質の各種崩壊熱による高温状態や、地下水の再冠水による飽和度の上昇などの影響が相互に作用する。そこで本研究では、地層処分施設におけるベントナイト緩衝材の力学特性を解明することを目的としてベントナイトと珪砂の混合試料で作製した供試体に温度・飽和度・珪砂粒径に変化を与え一軸圧縮試験を行った。

2. 試験方法

本研究では、ベントナイト緩衝材の温度・飽和度・珪砂粒径の変化を考慮した力学特性を把握するため、温度・飽和度・珪砂粒径のパラメータの組み合わせに変化を与えて一軸圧縮試験を行った。各パラメータは、初期条件として乾燥密度は 1.6Mg/m^3 に設定した。温度は 30°C 、 90°C 、飽和度は 30%、50%、70%、90%、珪砂配合率はベントナイト（クニゲル V1）と珪砂 5 号・8 号に珪砂配合率を 30% の割合で組み合わせに変化を与えた。表 1 に初期条件を示す。以下に試験手順を示す。また各種試験の様子について写真 1 に示す。

① 含水比調整及び供試体作製

クニゲル V1 と珪砂 5 号(粒径 $0.3\sim 0.8\text{mm}$)、8 号(粒径 $0.012\sim 0.024\text{mm}$)を 7:3 の割合で混合したベントナイト珪砂混合試料を作製した。その後、飽和度が 30%、50%、70%、90%、になるように混合試料の含水比調整を行った。含水

比調整の様子について写真 1①に示す。含水比の測定の際は、電子レンジ法(500W, 15 分間)を用いた。含水比調整後、試料をモールドに投入し、突き固め棒で五層に分けて突き固めを行う。その後、油圧ジャッキを用いて、10 分間、40MPa で加圧し、直径 35mm、高さ 80mm の円柱供試体を圧縮成形した。

② 温度変化および一軸圧縮試験

作製した供試体と水が接触するのを防ぐため、供試体にゴムスリーブを取り付けた。次に、一軸圧縮試験機本体に、温度を一定に保つことができる水槽容器を設置し、圧縮補助器具を付けた供試体を設定した温度(30°C 、 90°C)に達するように、25 分間水槽容器に設置する。その後、継続的に熱を与えながら一軸圧縮試験を行う。ここで、養

キーワード：高レベル放射性廃棄物、地層処分、ベントナイト

連絡先：〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟

株式会社 大林組 TEL03-5769-1017

表 1 初期条件

供試体直径・高さ(mm)	35・80	
乾燥密度(Mg/m^3)	1.6	
温度($^\circ\text{C}$)	30,50,70,90	
飽和度(%)	30,50,70,90	
モンモリロナイト含有率(%)	51	
土粒子密度 (Mg/m^3)	クニゲル V1	2.610
	珪砂 5 号	2.620
	珪砂 8 号	2.702



① 飽和度調整の様子 ② 一軸圧縮試験の様子

写真 1 試験の様子

生時間については事前に設定温度に達することを確認している。なお一軸圧縮試験については載荷速度荷 0.4mm/min で行った。試験後、供試体の含水比を炉乾燥法により測定した。

3. 試験結果および考察

3.1 飽和度変化を考慮した試験結果

図1に、ベントナイトと珪砂5号で作製した供試体の飽和度・温度の変化を考慮した一軸圧縮試験の結果を示す。また、図2にベントナイトと珪砂8号で作製した供試体の飽和度・温度の変化を考慮した一軸圧縮試験の結果を示す。図1、図2より、飽和度の上昇に伴い、最大圧縮強度が緩やかに増加し、飽和度70%付近でピーク強度を示し、その後減少していく傾向が確認できた。飽和度の上昇に伴いこのような傾向が確認できた要因として、サクシオンが影響していると考えられる。サクシオンとは、間隙空気圧と間隙水圧の差によって表され、一般に、サクシオンによって土粒子間に発揮される付着力(見かけの粘着力)が大きいほど、不飽和土の強度・変形特性は向上するとされている。また、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、ベントナイト供試体の飽和度の上昇に伴いサクシオンが減少し、高飽和度条件においてはサクシオンがほぼ消失している。このことから、飽和度が高い条件では、そもそも間隙に占める水の割合が高く、土粒子表面のメニスカスが形成されないため、サクシオンによる土粒子間の剛性を高める圧縮力が作用していないと考えられる。ピーク強度後の飽和度の上昇に伴う圧縮強度の減少は、飽和度の上昇に伴うサクシオンによる見かけの粘着力の減少に起因すると考えられる。本実験においても、飽和度が70%付近においてピーク強度を示し、飽和度90%で圧縮強度の減少した要因としてサクシオンの消失による見かけの粘着力の減少によるものだと考えられる。

3.2 温度変化を考慮した試験結果

図1、図2より、温度の上昇に伴い最大圧縮強度は明らかに減少している傾向が確認できた。温度の上昇に伴い、上記の影響が発生した要因は、供試体体積の膨張であると考えられる。供試体の体積膨張については、ベントナイトの低透水・透気性により、熱によって膨張した間隙水・間隙空気が外に排出されにくかったことが可能性として挙げられる。

4. まとめ

本実験ではベントナイト緩衝材の粒径・温度・飽和度に、ベントナイト供試体の熱・地下水の影響による力学特性の関係を明らかにすることを目的とした。今回得られた知見は以下の通りである。

- ① 飽和度の増加に伴い、最大圧縮強度が緩やかに増加し、飽和度70%付近でピーク強度を示し、その後減少していく傾向が確認できた。
- ② 温度の上昇に伴い、最大圧縮強度が線形的に減少していくことから、珪砂混合ベントナイト供試体には温度依存性がある。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構: 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次とりまとめ, JNC TN1400 99-022, pp.IV-157- IV-194, 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, 2016.

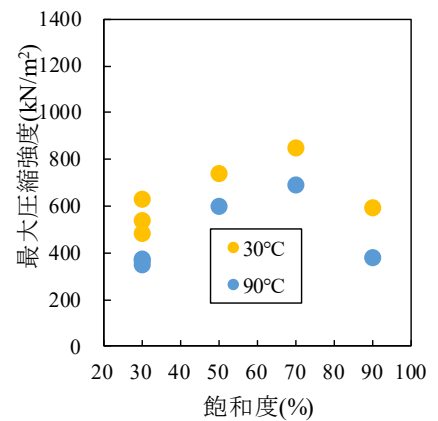


図1 一軸圧縮試験結果(珪砂5号)

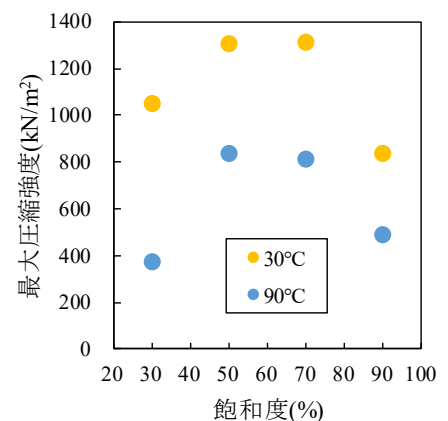


図2 一軸圧縮試験結果(珪砂8号)