

種々の条件を考慮したベントナイト緩衝材の力学特性に関する実験的検討

福島工業高等専門学校 学生会員 ○武藤 尚樹
福島工業高等専門学校 正会員 金澤 伸一
山口大学大学院 正会員 林 久資
福島工業高等専門学校 学生会員 星 達也
西松建設(株) 技術研究所 正会員 石山 宏二

1. はじめに

原子力発電に使用する核燃料を再生利用する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に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材料としてベントナイトが使用される。なお、緩衝材には主に経済性や熱伝導性、透気性などの観点から、ベントナイトに珪砂を混合する方策とされているが、その仕様などの詳細は未だ決定していない。

処分施設内では、ガラス固化体の発熱によって緩衝材が高温状態に晒されることが予想される。そこで、本研究では、ベントナイト緩衝材の温度変化を考慮した力学特性を明らかにするために、ベントナイト供試体に温度変化を与えて一軸圧縮試験を行った。さらに、一般的な粘土鉱物であるカオリンを用いて同様の実験を行うことで、試験結果がベントナイト特有のものであるか検討した。また、適切な緩衝材の仕様設計に向けて、珪砂配合率および珪砂の粒径を考慮した一軸圧縮試験を行った。

2. 試験方法

本研究では、ベントナイト供試体およびカオリン供試体の温度を変化させた一軸圧縮試験と、ベントナイト供試体の珪砂配合率（重量比）および珪砂の粒径を変化させた一軸圧縮試験を行った。

表-1 試料の物性

試料	$\rho_w(\text{g/cm}^3)$	モンモリロナイト含有率(%)	粒径(mm)
クニゲルV1	2.79	57	~0.06
珪砂3号	2.691	—	1.2~2.4
珪砂5号	2.62	—	0.8~0.3
珪砂8号	2.702	—	0.08~0.2

表-2 試験条件

温度変化を考慮した実験				
試料	飽和度	乾燥密度	温度	
ベントナイト	30%	1.6Mg/m ³	30~90℃	
カオリン				
珪砂配合率および粒径を考慮した実験				
試料	珪砂配合率	飽和度	乾燥密度	温度
珪砂3号	0%,20%, 30%,40%	30%	1.6Mg/m ³	30℃
珪砂5号				
珪砂8号				

試験手順を以下に示す。

- ① 試料の含水比調整を行った。含水比測定には、電子レンジ法（500W,15 分間）を用いた。
- ② 油圧ジャッキを用いた静的締固めによって直径 35mm,高さ 80mm の円柱供試体を作製した。
- ③ 水との接触を避けるため、供試体に遮水シートを取り付け、温度一定に保った水槽内で 24 時間養生することで供試体に温度変化を与えた。
- ④ 载荷速度 0.4mm/min で一軸圧縮試験を行った。

3. 温度変化を考慮した試験結果

図-1、図-2 に温度変化を考慮した実験結果を示す。

結果より、ベントナイト供試体は温度の上昇に伴い強度、弾性係数が減少する傾向があることがみと取れる。温度の上昇による強度の減少の原因として、温度の上昇に伴うサクシ

ョンの減少が挙げられる。一般的に、不飽和状態の粘性土ではサクションが見かけの粘着力を発揮するため、サクションの増加に伴い変形・強度特性が向上する。Villar ら¹⁾によると、ベントナイト供試体は温度の上昇に伴いサクションが減少する結果が得られている。これらのことから、温度上昇に伴うサクシ

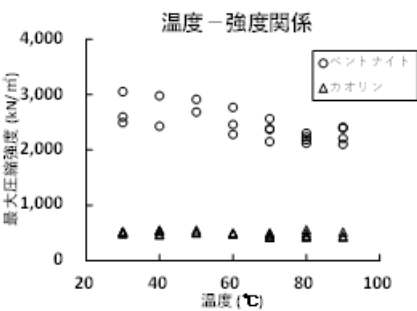


図-1 温度-強度関係

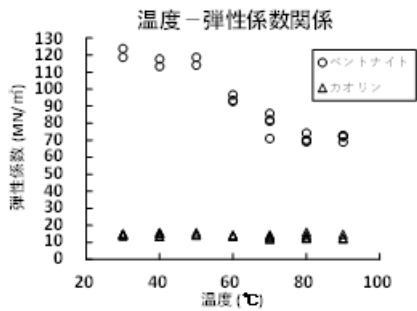


図-2 温度-弾性係数関係

少が、強度減少の原因の一つになっていると考えられる。また、強度の減少の原因として、間隙空気、間隙水の熱膨張や、表面の乾燥収縮によって表面または内部に微小なクラックが入り、剛性の低下が生じている可能性が示唆される。

一般的な粘土鉱物との比較として用いたカオリン供試体の結果をみると、温度変化に伴う強度、弾性係数の変化はほとんどみられなかった。カオリンとベントナイトの透水係数を比較すると、ベントナイトの透水係数²⁾はカオリンに比べおよそ 10^{-6} 倍である。透気係数も同様に、カオリンと比較するとベントナイトの透気係数は極めて小さい。これらのことから、一般的な粘土鉱物であるカオリンは、ベントナイトと比べ透気・透水性が高いため、間隙の水や空気の熱膨張や収縮によるクラックが発生しにくいと考えられる。そのため、温度変化による強度減少が生じなかったと考えられる。また、久常ら³⁾によると、ベントナイト、カオリン各試料の粒子表面の粘性および摩擦力は、温度条件に依存して変化することが報告されている。これらのことから、温度変化による強度変化については、今後、土粒子表面の微視的な構造についても着目する必要があると考える。

4. 珪砂配合率を考慮した試験結果

図-3 に珪砂配合率を変化させて行った試験結果を示す。結果より、珪砂配合率の増加に伴い、強度が減少

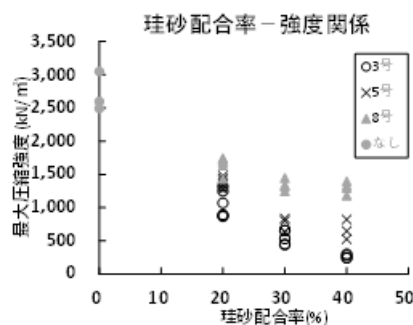


図-3 珪砂配合率-強度関係

少することがみて取れる。弾性係数についても同様の傾向がみられた。珪砂配合率が低い条件では、ベントナイト粒子間の粘着力が支配的に強度に影響するが、珪砂配合率が高くなると、珪砂粒子同士の接触点が多くなり、珪砂によって土骨格構造が形成され、粗粒分が力学特性に与える影響が大きくなると考えられる。また、増田ら⁴⁾によると、モンモリロナイト含有率が高いほど締固め性が悪く、珪砂配合率を増加することで成形圧力が低減できることがわかっている。珪砂配合率が増加するほど、供試体のモンモリロナイト含有率は低下し、締固めエネルギーは小さくなり、強度は減少する。

これらのことから、珪砂配合率が増加するほど、供試体の締固めに高圧を要するモンモリロナイト含有率が低下し、強度が減少したと考えられる。

5. 珪砂の粒径を考慮した試験結果

図-4 に珪砂の粒径を変化させて行った試験結果を示す。結果より、配合する珪砂の粒径が小さくなるほど強

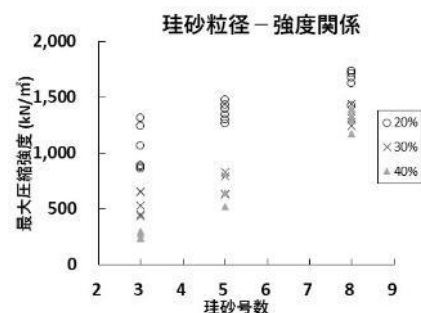


図-4 珪砂粒径-強度関係

度が増加する傾向にあることがみて取れる。粒径が小さいほど混合試料の粒度がより均等になるため強度が増加したと考えられる。また、粒径の大きい砂粒子は、粒子の破碎が生じやすいため、粒径の小さい条件と比較して強度が減少したと考えられる。

6. まとめ

温度変化を考慮した試験より、ベントナイトの力学特性には温度依存性があり、一般的な粘土と比較すると温度変化による強度の変化が顕著であった。

珪砂の配合率、粒径を考慮した試験から、モンモリロナイト含有率が高く、配合する珪砂の粒径が小さいほど強度特性が向上することがわかった。強度特性には珪砂の粒径のみならず粒子の形状、試料の均等係数なども影響すると考えられる。今後、種々の条件で試験を行うことで、緩衝材の仕様設計に役立てたいと考える。

参考文献

- 1) Villar, M.V. and Gómez -Espina, R.: Retention curves of two bentonites at high temperature, *Experimental Unsaturated Soil Mech.*, pp. 267-274, 2007.
- 2) 日本原子力開発機構: 緩衝材基本特性データベース, <https://bufferdb.jaea.go.jp/bmdb/>
- 3) 久常雄大・大河原正文・三田地利之, 原子間力顕微鏡による粘土の摩擦力測定: 第 51 回粘土科学討論会講演要旨集, pp.128-129, 2007.
- 4) 増田良一・雨宮清・千々松正和・足立格一郎・小峯秀雄: ベントナイトを用いた緩衝材の材料仕様と締固め特性の関係, *土木学会論文集 No.772/III-68*, pp.157-171, 2004.