

地層処分施設内における温度・密度変化を考慮したベントナイト緩衝材の力学特性

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
福島工業高等専門学校	正会員	林 久資
福島工業高等専門学校	学生会員	市川 希
西松建設(株) 技術研究所	正会員	石山 宏二

1. はじめに

これまで我が国では、他国に依存しないエネルギー保有の観点から原子力発電が重要視されてきた。原子力発電所の稼働に伴い発生する使用済み燃料のうち約9割以上は再利用可能であるが、その一方で、高レベル放射性廃棄物の生成は避けられない。東日本大震災を受けて、近年、放射性廃棄物の処分方法の確立が急務となっており、我が国では高レベル放射性廃液をガラス固化させ、地下300m以深の安定した岩盤に埋設する地層処分によって処分することが国策として決定されている。しかしながら、我が国の地層処分事業は世界と比べ遅れをとっていることから、地層処分の研究を進め、技術を確認することが再重要課題となっている。地層処分は、ガラス固化体を鋼製のオーバーパックに封入後、周囲を緩衝材で覆う人工バリアと、地下300m以深の安定した岩盤(天然バリア)からなる多重バリアシステムで、超長期にわたって放射性物質の移動を抑え、人間の生活環境から隔離する方法である。緩衝材の主原料には、難透水性や著しい吸水膨潤性により地下水と放射性物質の移動を抑制する効果が期待されることなどから、ベントナイトが使用されている。現在に至るまで、緩衝材の性能について多くの研究がなされてきたが、温度変化を考慮した研究は例を見ない。そこで、本研究では、緩衝材の主原料であるベントナイトの温度・密度変化を考慮した力学挙動を解明することを目的とする。

2. 試験方法

本研究では、室内実験によって温度・密度変化を考慮したベントナイトの力学挙動を明らかにするため、供試体の温度、密度のパラメータの組み合わせを変化させ一軸圧縮試験を行う。以下に、実験手順を示す。

- ① Na型ベントナイトと珪砂5号を7:3の割合で混合した試料を作製する。
- ② 直径35mm、高さ80mmの円柱供試体を作製する。
- ③ 供試体を遮水シートで包み、温度一定に保った水槽内で1日かけて養生し、所定の温度にする。
- ④ 供試体の寸法、質量を測定する。
- ⑤ 一軸圧縮試験¹⁾を行う。
- ⑥ データ整理(応力-ひずみ曲線を求める)

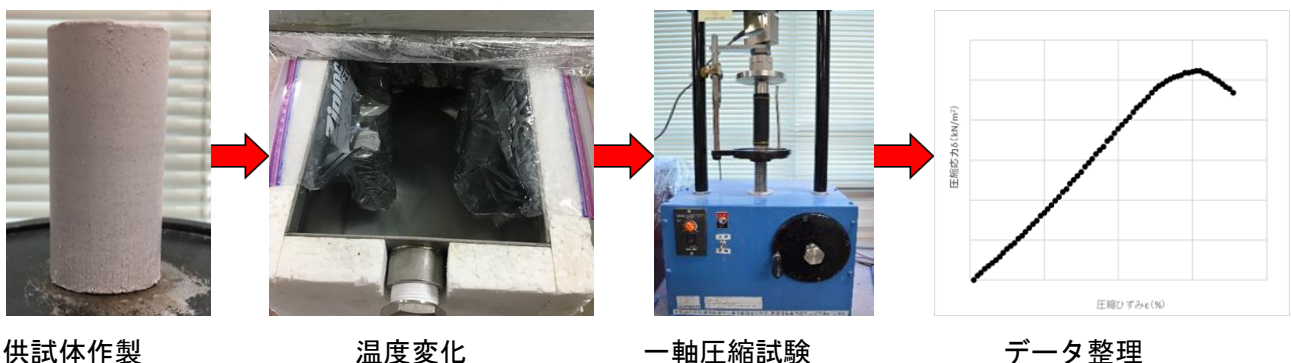


図-1 実験フロー

キーワード 地層処分, 高レベル放射性廃棄物, ベントナイト

連絡先 〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾30番地 福島工業高等専門学校 TEL 0246-46-0827

3. 試験結果および考察

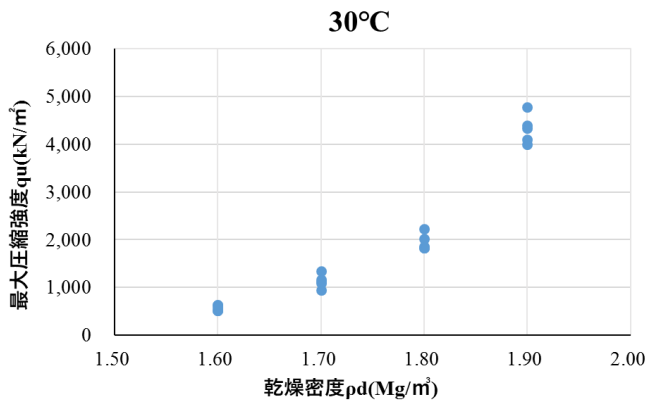


図-2 密度変化を与えた試験結果(30°C)

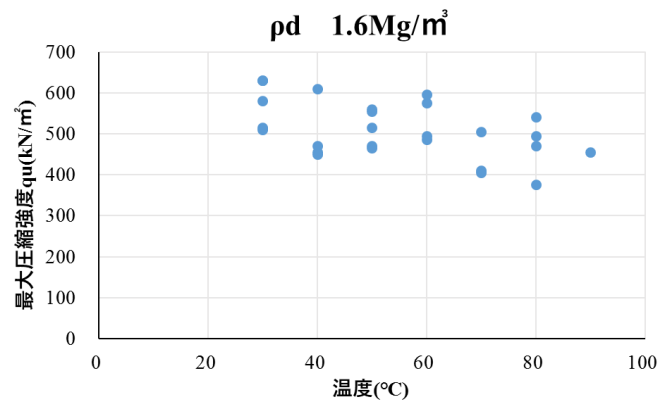


図-3 温度変化を与えた試験結果(1.6Mg/m³)

図-2, 図-3 に, 試験結果の一例を示す. 結果より, 乾燥密度の上昇に伴い圧縮強度が増加すること, 温度の上昇に伴い圧縮強度が低下する傾向があることがみて取れる. さらに, 乾燥密度の上昇に伴う弾性係数の上昇, 温度の上昇に伴う弾性係数の低下も示された. また, 乾燥密度を $1.6\text{Mg/m}^3 \sim 1.9\text{Mg/m}^3$ (0.1Mg/m^3 刻み), 温度を $30^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$ (10°C 刻み) に変化させて行った他の試験結果においても同様の傾向がみられた.

供試体作製段階の内部の応力状態は, 中心部は最も密であるため強度が高く, 端部に近づくにつれ密度が低く, 強度が低くなる分布になっていると考えられる. 乾燥密度が高くなるほど, 間隙比が減少し, より高い締め固め効果が得られるため, 均一に締め固められる. そのため, 図-2 のように乾燥密度の上昇に伴い圧縮強度が増加したと考えられる. さらに, 乾燥密度 1.6Mg/m^3 と 1.9Mg/m^3 の試験結果を比較すると, 最大圧縮強度に 6 ~ 7 倍の差があったことから, 圧縮強度が乾燥密度に強く依存することが分かった.

温度の上昇による圧縮強度の低下の原因として, 供試体の熱膨張と収縮により生じるクラックの影響が挙げられる. 供試体養生時に生じる内部の間隙空気や水の蒸発, 養生後の表面の温度低下による収縮によって, 表面あるいは内部にマイクロクラックが発生している可能性が示唆される. これによって, 供試体の剛性が低くなり, 圧縮時にクラックが入りやすくなるために, 圧縮強度が低下したと考えられる. 温度が高いほどこの影響は大きくなるため, 図-3 のように温度の上昇に伴い圧縮強度が低下したと考えられる.

また, 既往の研究によると, ベントナイトは含水比が高くなると, 供試体の破壊形態が脆性破壊から延性破壊へ移行し, 圧縮強度が低下することがわかっている²⁾. このことから, ベントナイトの圧縮強度には含水比依存性があることがわかる. そのため, 処分施設内におけるベントナイトの力学特性の把握には, 乾燥密度, 温度, 飽和度を三軸的にみた強度特性の把握が必要であるといえる.

4. まとめ

本研究の成果と既往の研究から, ベントナイトの強度特性には, 乾燥密度依存性, 温度依存性, 含水比依存性があることがわかった. このことから, 今後の課題として, 継続して試験を行いデータの高精度化を図るとともに, 本研究の成果と, 本研究と並行して行われている温度・飽和度変化を考慮したベントナイト緩衝材の力学挙動に関する研究の成果を合わせて整理, 検討することで, ベントナイトの力学特性を乾燥密度, 温度, 飽和度変化の三軸的に評価することが挙げられる. また, SEM を用いて供試体細部を観察し, 乾燥密度・温度・飽和度変化による供試体表面および内部の変化やマイクロクラックを観察する.

参考文献

- 1) 公益社団法人地盤工学会, 土質試験基本と手引き第二回改訂版, pp.151-157, 2011.
- 2) 高治一彦, 鈴木英明, 緩衝材の静的力学特性, JNC TN8400 99-041, pp.9-20, 1999