

熱の影響によるベントナイトのモンモリロナイト含有率と強度の関係

福島工業高等専門学校 学生会員 ○鈴木 梨恵
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 学生会員 柳井 正樹
西松建設株式会社技術研究所 正会員 石山 宏二

1. 目的

原子力発電により発生した使用済み核燃料の再処理に伴い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¹⁾。地層処分とは、ガラス固化体、炭素鋼製オーバーパック、ベントナイト緩衝材からなる人工バリアと、地下深くの安定した岩盤からなる天然バリアを組み合わせた多重バリアシステムによって超長期にわたって放射性物質を人間環境から隔離し、閉じ込める処分方法である。廃棄体と岩盤との間に充填する緩衝材の主原料はベントナイトであり、著しい吸水膨潤性と低透水性を有する。しかしながら、核種崩壊熱による温度履歴を考慮したベントナイト緩衝材の力学特性に関する詳細は十分に把握されていない。そこで本研究では、ベントナイトと珪砂を配合した供試体（温度履歴の有・無）において、温度を変化させた条件で一軸圧縮試験を行い、結果を比較することでベントナイト緩衝材の温度による強度特性を把握した。

2. 試験方法

2-1. 一軸圧縮試験

供試体に圧縮試験用器具を取り付け、一軸圧縮試験を行い、応力-ひずみ関係を求めた。載荷速度は 0.4mm/min 一定とした。試験機には、高圧載荷、温度変化に対応できる機構を備えた容量 10kN の電動スクリュージャッキ方式のものを採用した。図-1 に試験機の概略図を示す。表-1 に試験条件を示す。

表-1 試験条件

試料	珪砂配合率	飽和度	乾燥密度	温度履歴	破壊時の温度
珪砂8号	30%	30%	1.6Mg/m3	200度	30度
					60度
					90度

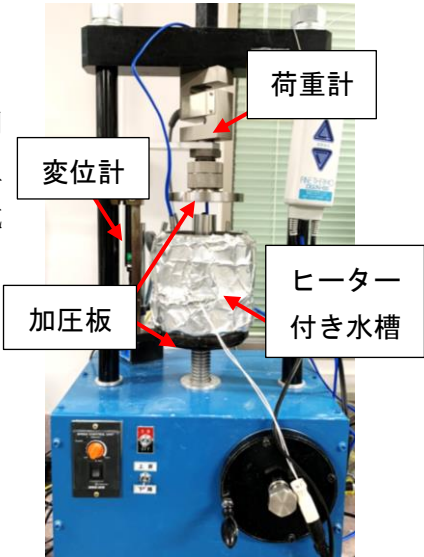


図-1 一軸圧縮試験機

2-2. 試験手順

表-2 に試料条件を示す。以下に、試験手順を示す

- ①珪砂 8 号とベントナイトを 3:7 の比率で混合した試料をステンレス製バットに入れ、200℃に設定した炉乾燥に投入し温度履歴を与えた。
②霧吹きとハンドミキサーを用いて含水比調整を行った。含水比の測定は電子レンジ法を用いた。
③油圧ジャッキを用いた静的締固めにより、直径 35mm、高さ 80mm の円柱供試体を作製した。
④供試体をヒーター付き水槽に入れ、温水によって供試体に熱を与えた。その際、水との接触を避けるため、供試体にゴムスリーブを取り付けた。
⑤供試体を水槽に入れたまま、載荷速度 0.4mm/min で一軸圧縮試験を行った。
⑥一軸圧縮試験後の試料を用いてメチレンブルー吸着量測定試験を行った。

表-2 試料条件

試料	密度 ρ_s (Mg/m ³)	粒径(mm)
クニゲルVI	2.606	~0.05
珪砂8号	2.702	0.08~0.2

キーワード ベントナイト、珪砂、一軸強度、モンモリロナイト含有率

連絡先 〒970-8034 福島県いわき市平上荒川長尾 30 福島工業高等専門学校都市システム工学科金澤研究室
T E L 0246-46-0827

3. 試験結果および考察

図-2 に温度履歴の有・無による供試体の応力-ひずみ曲線の変化を示す。温度履歴を与えていない試料の最大圧縮応力度は1180kN/m²、1300kN/m²であり、温度履歴を与えた試料は980kN/m²であった。温度履歴を与えた試料の最大圧縮強度は、与えていない試料に比べて、200～320kN/m² 減少していることがみてとれる。表-3 より、200℃の温度を与えた試料のモンモリロナイト含有率は6.1～9.2%低下している。一般的にモンモリロナイト含有率の低下により、膨潤特性が減少するとされている²⁾。竹ヶ原ら³⁾は、一軸圧縮強度の増加は、モンモリロナイト含有量が多いほど膨潤性が向上するため、同じ密度の供試体を作製するのに必要なエネルギーが大きくなり強度が上昇するとしている。一方で本研究においては、乾燥密度が一定になるよう供試体を作製したため、モンモリロナイト含有率の減少により作製時の締固めエネルギーが減少し、強度が減少したと考えられる。

図-3 に温度を変化させた一軸圧縮試験の結果を示す。温度履歴の有無によらず、いずれも温度が上昇すると最大圧縮応力が減少していることがみてとれる。温度上昇による圧縮強度低下の原因として、供試体の熱膨張によって生じるクラックの影響が考えられる。一般的にベントナイトは透気性が非常に低いとされている。熱の影響により生じる内部の間隙空気や間隙水の蒸発によって、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ある。マイクロクラックが入ることによって、剛性が低下するため、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、温度の上昇に伴い圧縮強度が低下したと考えられる。

4. まとめ

今後は膨潤試験を行い、温度履歴の有・無による膨潤特性を把握する。またベントナイト・珪砂混合緩衝材の力学特性の把握に資するデータベースを構築し、データの精度を上げていきたい。同様に、メチレンブルー吸着量測定試験を行うことでデータベースを構築する。

5. 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-総論レポート, JNC TN1400 99-020, IV-3
2) 堀内悠, 高木哲一(地圏資源環境研究部門 鉱物資源研究グループ) : 産総研におけるベントナイトとメチレンブルー吸着量測定方法, 地質調査総合センター研究資料集, no.555(2012)
3) 竹ヶ原竜大 増田良一(原子力環境整備促進・資金管理センター) : ベントナイト・砂混合材料の力学試験及び力学的安定性検討, 土木学会第 58 回年次学術講演会(平成 15 年 9 月)

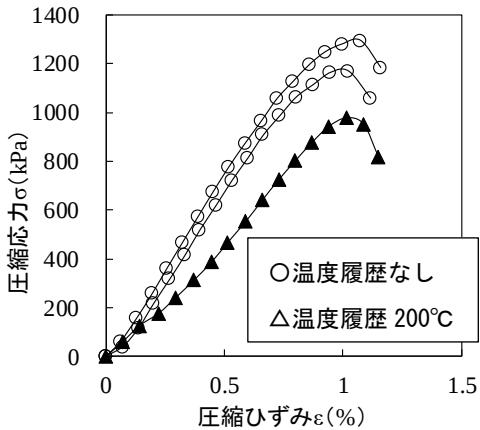


図-2 最大圧縮応力-圧縮ひずみの結果

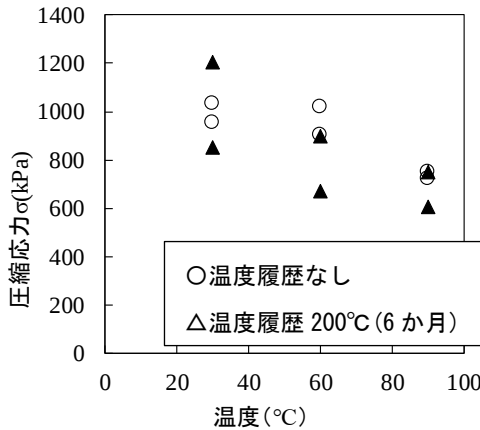


図-3 最大圧縮応力と温度の関係

表-3 メチレンブルー吸着量測定試験の結果

珪砂配合率 (%)	温度履歴 (°C)	期間	一軸圧縮試験 水槽温度(°C)	MB溶液 消費量(ml)	MB吸着量 (mmol/100g)	モンモリロナイト 含有率(%)
30	なし	なし	なし	28	56	57.1
30	なし	なし	なし	29.5	59	60.2
30	200	3か月	なし	25	50	51.0
30	200	6か月	30	25	50	51.0
30	200	6か月	90	25	50	51.0