

熱を考慮した各種ベントナイトの強度特性に関する実験的検討

新潟大学 学生会員 ○飯田 輝良
 新潟大学 正会員 金澤 伸一
 新潟大学 学正会員 鈴木 梨恵
 新潟大学 学正会員 中島 颯人
 西松建設(株) 正会員 吉野 修

1. 目的

高レベル放射性廃棄物の地層処分では、廃棄物と岩盤との間を充填する緩衝材として、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。原子力発電環境整備機構(NUMO)の事業計画のもと、国内産だけでなく海外産の6種類のベントナイトが緩衝材候補として選定されている。緩衝材の主な仕様項目は、使用する材料、珪砂混合率、含水比などが挙げられ、仕様設計につながる基礎的なデータベースの構築のためには、試料ごとの仕様項目の把握が必要である。しかしながら、現在では、一部の国内産ベントナイト以外の試験は限られた条件に留まっており、詳細な力学的特性が十分に把握できていない。また、埋設直後にはガラス固化体自体からの崩壊熱により緩衝材が高温に晒されることが予想される。そこで本研究では、数種類のベントナイトにおいて、ベントナイト100%及び珪砂を混合した試料を用いて供試体に温度・飽和度変化を与え一軸圧縮試験を行い、比較することにより強度特性を実験的に検討した。

2. 試験方法

表-1 初期条件

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(アメリカ産、ボルクレイ・ジャパン)、クニゲルV1(国内産、クニミネ工業)の3種類を用いて、供試体作製には鋼製モールドを使用した。供試体はベントナイト100%と珪砂5号を30%の割合で配合した混合試料を使用した。以下に試験方法を示す。

| | ボルクレイ (中国産) | ボルクレイ (アメリカ産) | クニゲルV1 (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, 40, 50, 60, 70, 80, 90 | | |
| 温度 | 30度, 90度 | | |
| 土粒子密度 (Mg/m ³) | 2.60 | 2.60 | 2.61 |
| モンモリロナイト 含有率(%) | 71.0 | 81.4 | 55.0 |
| 液性限界(%) | 550-700 | 600-800 | 490 |
| 塑性限界(%) | 30-40 | 40-50 | 26 |
| 塑性指数 | 550-650 | 550-750 | 464 |

① 供試体作製

含水比の測定は、電子レンジ法(500W, 15分間加熱)を用いて測定し、含水比の調整は霧吹き(イオン交換水)

と電動攪拌機を用いて所定の飽和度となるように調整を行った。飽和度を調整した後、鋼製モールドに投入し、油圧ジャッキを用いて40MPa、10分間静的に締固めを行い、直径35mm、高さ80mmの供試体を作製した。

② 一軸圧縮試験

供試体と水との接触を防ぐために、供試体にゴムスリーブを装着し、圧縮補助器具を取り付けた。所定の温度に設定したヒーター付き水槽の中に入れて20分間熱を与えた。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。図-1に一軸圧縮試験の状況を示す。



図-1 一軸圧縮試験の状況

キーワード 高レベル放射性廃棄物, ベントナイト, 一軸圧縮試験, モンモリロナイト

連絡先 〒950-2102 新潟県新潟市西区2の町8050番地 新潟大学工学部工学科地盤環境工学研究室

TEL 025-262-7479

3. 試験結果(温度 30°C, 90°C) および考察

図-2, 図-3 にベントナイト 100%の試料における結果と, 図-4, 図-5 に各種ベントナイト混合試料における結果を示す. 飽和度変化に着目すると, クニゲル V1 では配合率によらず, 一定の飽和度上昇に伴い圧縮強度が上昇し, 高飽和度条件では圧縮強度の低下が顕著であり, 飽和度に依存性がある. 一方, ボルクレイは両試料とも配合率によらず, 高飽和度条件において, 圧縮強度の低下が鈍化し, 不飽和から飽和に遷移しても一定の圧縮強度を保っていることが図から見てとれる. これらの要因としてモンモリロナイト含有率の違いによる粘結力の違いが挙げられる. モンモリロナイトは, 水分を加えると結晶層間に水分を取り込み膨潤・ゲル化し, ゲル化したモンモリロナイトを加圧すると結晶層面の結合力が増し, 粘結作用を発揮するとされている¹⁾. 圧縮強度が低下する要因として, サクシヨンの消失により強度が徐々に低下する不飽和土特有の性質による影響が大きいことが推測されるが, ボルクレイは両試料ともモンモリロナイト含有率が高い試料であり, 高い飽和度において粘結作用が発揮され, サクシヨン消失による圧縮強度の低下を抑制したと考えられる.

温度変化に着目すると, いずれの試料も温度 30°C から 90°C に上昇すると最大圧縮強度が減少し, ベントナイト 100%の試料のほうが各種ベントナイト混合試料よりも熱による強度低下の差が大きい結果となった. これらの要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. 熱の影響により生じる内部の間隙空気の影響によって, 供試体の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. また, 温度が高いほどベントナイトの膨潤量は増加する研究報告²⁾がなされており, モンモリロナイトが高温の影響を受けると供試体内部の間隙水を吸水し, 試料全体が膨張したことで供試体の剛性が低下したと考えられる. 配合率の違いにより, ベントナイト 100%の試料ではモンモリロナイトの高温作用の影響をより受けやすくなり, 圧縮強度の低下が大きくなったと考えられる.

4. まとめ

今後はモンモリロナイト含有率の異なるベントナイトの種類を増やして試験を行い, 型の違いにより強度特性が異なる影響因子を検討していく. また, 継続的に試験を行うことで, ベントナイト緩衝材の設計基準につながるデータベースを構築する.

参考文献

- 1) 日本粘土学会: 粘土ハンドブック第二版, III 応用編 3.12 埴物用粘土, pp.957~971, 1987.
- 2) 佐藤文啓, 金澤伸一, 林久資, 高山裕介, 石山宏二: 温度変化を考慮したベントナイト緩衝材の膨潤量の計測について, 平成 28 年度土木学会全国大会, 第 70 回年次学術講演会, CS13-031, pp.61-62, 2016.

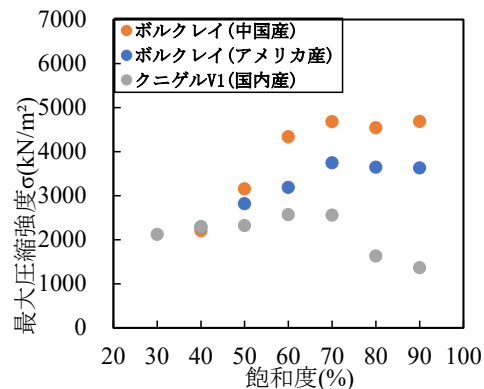


図-2 ベントナイト 100%試料 (30°C)

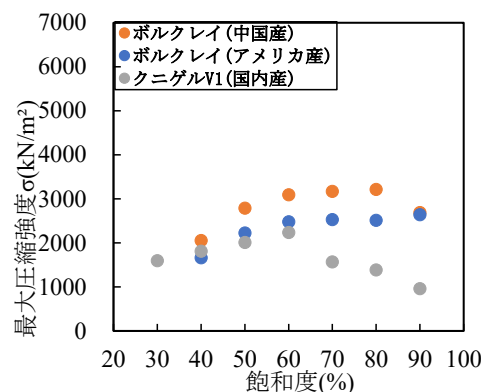


図-3 ベントナイト 100%試料 (90°C)

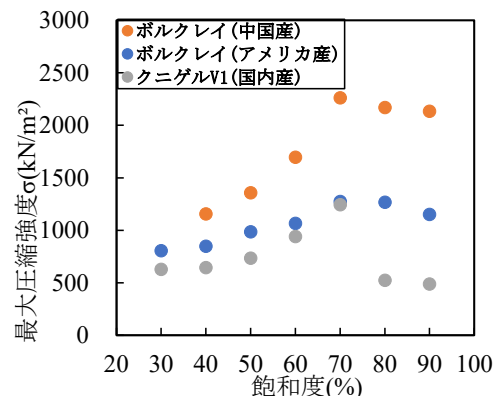


図-4 各種ベントナイト混合試料 (30°C)

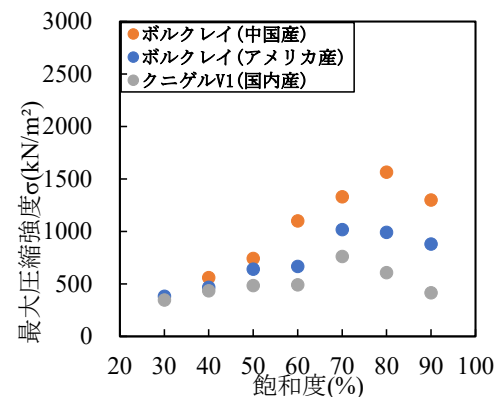


図-5 各種ベントナイト混合試料 (90°C)