

核種崩壊熱を考慮した様々なベントナイト混合土の強度特性に関する実験的検討

新潟大学 非会員 ○劉子濠 新潟大学 正会員 金澤伸一
 新潟大学 学生会員 飯田輝良 (株)西松建設 正会員 吉野修

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分の地層処分において、ガラス固化した廃棄物と岩盤との間を充填する緩衝材として、吸水膨潤性と難透水性を有する粘土鉱物であるベントナイトが選定されている。緩衝材に要求される性能のうち、オーバーパック支持性や応力緩衝性を評価する指標の1つとして、圧縮強度は重要な材料特性であり、力学試験等を通じてその把握が進められている。特に廃棄物定置後においては、ガラス固化体からの崩壊熱により緩衝材が高温環境に長期間晒されることや、熱により温められた地下水が侵入することが予想されることから、高温環境が緩衝材に及ぼす影響を把握する必要がある。しかしながら、熱を考慮した研究例は少なく、熱的作用を受けたベントナイト緩衝材の詳細な強度特性は明らかになっていない。また、地層処分に必要な緩衝材の量は埋め戻し材も含めると数百万トン以上に及ぶと見込まれており、人工バリア材料の合理的な選定や仕様設定に資する多様な選択肢を増やすために、複数のベントナイトを確保することが求められている。そこで、本研究では、産地や性状の異なる複数の国内産ベントナイト混合土を用いて温度・飽和度を考慮した一軸圧縮試験を行い、強度特性について実験的に検討した。

2. 温度変化を考慮した一軸圧縮試験

1) 試験試料

表-1 に本試験で使用した国内産ベントナイトの基本的性質を示す。試験試料はそれぞれ異なる鉱山で産出されたクニゲルV1 (クニミネ工業製, 以下 KV), 天竜ベントナイト (関ベン鉱業製, 以下 TG), 三川ベントナイト (ホージュン製, 以下 MG) の3種類を使用した。

2) 試験方法

① 供試体作製

表-2 に初期条件を示す。試料は、各国内産ベントナイトと珪砂5号を7:3の割合で配合した混合試料を使用した。初期含水比は、電子レンジ法(500W, 15分間加熱)を用いて測定し、所定の飽和度になるように霧吹き(イオン交換水)と電動攪拌機を用いて1分以上攪拌させながら調整を行った。飽和度を調整した後、鋼製モールドに5層に分けて試料を投入し、直径35mm, 高さ80mm, 乾燥密度1.5 (Mg/m³)となるように油圧ジャッキを用いて40MPa, 10分間静的に締固めを行い、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に一軸圧縮試験の様子を示す。

表-1 国内産ベントナイトの基本的性質

試料	クニゲルV1	天竜	三川
産地	山形県(月布鉱山)	新潟県(細越鉱山)	新潟県(三川鉱山)
型	Na	Na	Ca
土粒子密度 (Mg/m ³)	2.605	2.675	2.574
平均粒径(μm)	10.1	5.9	7.0
モンモリロナイト含有率(%)	55.0	73.0	55.0
Na/Ca比	5.74	3.81	0.35
膨潤力(ml/2g)	20	15.5	7.5

表-2 初期条件

乾燥密度 (Mg/m ³)	1.5
直径・高さ (mm)	35・80
初期飽和度 (%)	30,50,70,90
温度 (°C)	30,50,70,90

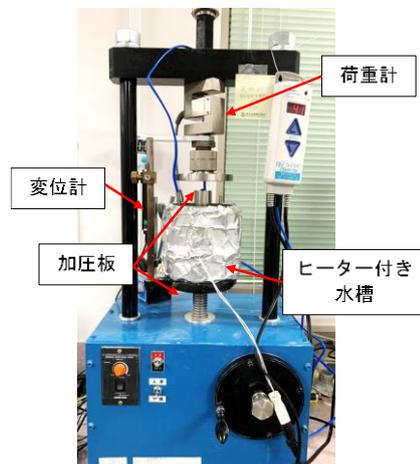


図-1 一軸圧縮試験の様子

3. 試験結果

図-2 に各種ベントナイト混合試料における温度 30°Cでの飽和度と最大圧縮強度の結果, 図-3 に初期飽和度 30%での温度と最大圧縮強度の結果を示す。

まず飽和度変化に着目する。いずれの試料も初期飽和度 50%をピークに圧縮強度が増加し, 飽和度が高くなるにつれて圧縮強度が低下していることが確認できる。試料ごとに比較すると, TG がいずれの初期飽和度においても圧縮強度が最も高くなった。飽和度の変化により強度特性に違いが生じた要因として不飽和土特有のサクシジョンの影響が考えられる。小高ら²⁾が行った不飽和圧縮ベントナイトのサクシジョンの計測によると, 飽和度の上昇に伴いサクシジョンが減少し, 高飽和度条件においてはサクシジョンがほぼ消失している。本研究においても, 高飽和度条件において圧縮強度が低下したことから, サクシジョンの消失に伴い圧縮強度が低下したと考えられる。また, 試料ごとでの圧縮強度に差が出た要因として, 過剰間隙水圧がモンモリロナイトの層間膨潤によって抑制されるためと考えている。

次に温度変化に着目すると, いずれの試料も温度上昇とともに圧縮強度が低下することが確認できる。試料ごとに比較すると TG が温度変化に伴う圧縮強度の低下量が最も大きくなった。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。ベントナイトは難透水性・難透気性であり, 熱により膨張した間隙水・間隙空気が外に排出されにくくなることから, 供試体内部で負荷が大きくなり, 微小な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³⁾がなされており, 間隙水の熱膨張は, モンモリロナイトの層間膨潤を促し, 供試体全体の膨張に伴う内部負荷の増大がクラック発生等の剛性低下に繋がりやすいと推察される。以上から, モンモリロナイト含有率が高い試料は, 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。一方で, 供試体表面では間隙水等の蒸発に伴う乾燥収縮によって生じたクラックの影響である可能性がある。クラックの発生メカニズムは異なるが, 供試体内部・表面の両方で剛性が低下し, 強度特性に影響を及ぼすと考えられる。

4. おわりに

本研究では, 温度制御が可能な一軸圧縮試験機を用いて飽和度・温度変化がベントナイト緩衝材の強度特性に及ぼす影響を検討した。その結果, モンモリロナイト含有率の違いによって, 強度特性が異なることが明らかになった。今後の展望として, 珪砂の混合率にも着目しながら, 継続的に試験を行い, データベースを構築していく。また, 非破壊で測定が可能な X 線 CT 測定を用いて, 供試体内部の状態変化とも比較することで, 詳細な力学特性を明らかにしていく。

5. 参考文献

- 1) 原子力発電環境整備機構:国内産ベントナイトおよびベントナイト混合土の基本特性データ, NUMO-TR-21-02, 2022.
- 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ジョンの関係, 第 51 回地盤工学研究発表会講演概要集, 2016.
- 3) 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 年度土木全国大会第 78 回年次学術講演会, CS13-031, pp.61-62, 2016.

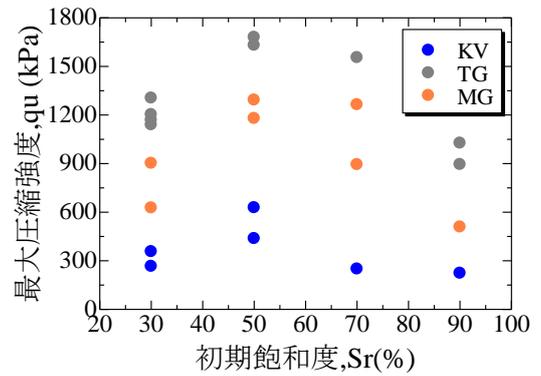


図-2 飽和度-圧縮強度の関係(温度 30°C)

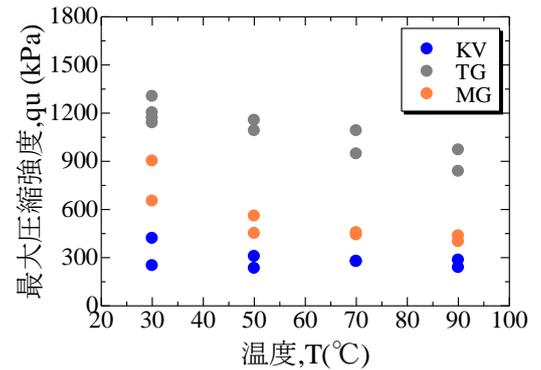


図-3 温度-圧縮強度の関係(飽和度 30%)