

各種ベントナイトの強度特性に及ぼす温度の影響に関する実験的研究

新潟大学 学生会員 飯田輝良 新潟大学 学生会員 ○劉子濠 新潟大学 正会員 金澤伸一
新潟大学 学生会員 市川希 新潟大学 学生会員 市川希 新潟大学 正会員 吉野修

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分において、緩衝材には吸水膨潤性と難透水性を有するベントナイトが用いられ、オーバーパックの支持や岩盤クリープに伴う応力の緩衝といった機能が期待されている¹⁾。定置後の緩衝材は、廃棄体の崩壊熱を受けながら地下水の浸潤により不飽和状態から徐々に再冠水していくため、その力学特性は温度と飽和度の両方の影響を受けると考えられる。既往研究²⁾では、クニゲル V1 混合土を対象に初期飽和度 30% の条件で一軸圧縮試験を行い、温度上昇に伴い最大圧縮応力が低下することが報告されている。しかし、ベントナイトの種類や飽和度が異なる場合に、温度依存性がどのように変化するかは十分に検討されていない。また、地層処分に必要な緩衝材の量は数百万トン以上に及ぶと見込まれており、複数産地のベントナイトについて材料特性の違いを把握することが求められている³⁾。そこで本研究では、産地や性状の異なる 3 種類の国内産ベントナイト混合土を統一した条件で比較し、初期飽和度 30%、50%、90% における強度の温度依存性の違いを検討した。

2. 温度変化を考慮した一軸圧縮試験

1) 試験試料

本研究では、産地および性状の異なる国内産ベントナイトとして、クニゲル V1（以下 KV）、天竜ベントナイト（以下 TG）、三川ベントナイト（以下 MG）の 3 種類を選定した。それぞれ異なる鉱山で産出されたものである。各試料の基本的性質を表-1 に示す。

2) 試験方法

① 供試体作製

試験条件は表-2 に示すとおりである。各ベントナイトに珪砂 5 号を 7:3 の割合で加えた混合土を試料とし、電動攪拌機で攪拌しながらイオン交換水を霧吹きで噴霧することで、所定の初期飽和度となるよう含水比を調整した。なお、含水比の測定には電子レンジ法 (500W, 15 分間加熱) を用いた。調整した試料は鋼製モールド内に 5 層に分けて投入し、油圧ジャッキにより 40MPa の荷重を 10 分間与えて静的に締め固め、乾燥密度 1.5Mg/m^3 、直径 35mm、高さ 80mm の供試体とした。

② 一軸圧縮試験

供試体はゴムスリーブで覆い、圧縮補助器具に固定した状態でヒーター付き水槽に設置した。所定の水温で 20 分間加熱した後、 0.4mm/min で載荷した。試験は各条件につき 2 本ずつ行い、ピークが明瞭でない場合は最大圧縮応力を最大圧縮強度とした。なお、供試体内部の温度および加熱中の含水状態の変化は確認できておらず、今後の検討課題である。試験装置を図-1 に示す。

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 (%)	30,50,90
温度 ($^{\circ}\text{C}$)	30,50,70,90

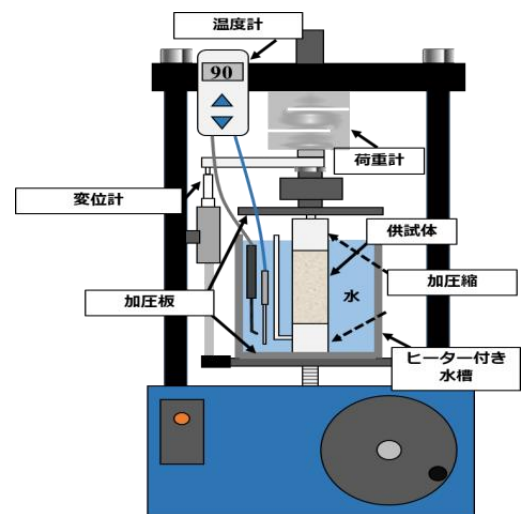


図-1 一軸圧縮試験の様子

3. 試験結果

図-2～図-4 に、初期飽和度 30%, 50%, 90%における温度と最大圧縮強度の関係を示す。圧縮強度は各条件 2 本の平均値を用い、30℃に対する 90℃の強度低下率を求めた。強度は概ね TG, MG, KV の順に高かった。初期飽和度 30%での MG の平均強度は約 790kPa から約 450kPa へ約 44%低下し、その低下量は同一条件での 2 本の差（最大約 280kPa）を上回った。一方, KV と TG の変化は 2 本の差と同程度であった。初期飽和度 50%では, KV で約 49%, TG で約 29%, MG で約 19%の低下が見られ、特に KV と TG で比較的大きな強度低下が認められた。これらの結果から、強度の温度依存性はベントナイトの種類と初期飽和度によって異なる可能性が示された。一方、初期飽和度 90%では、いずれの試料も顕著な強度低下は見られず、平均強度の変化は同一条件での 2 本の差（最大約 210kPa）と同程度であった。そのため、温度による変化と試験のばらつきを区別することは難しく、温度依存性の評価には追加の検討が必要である。

試料間で温度依存性が異なった要因として、Na/Ca 比やモンモリロナイト含有率などの材料特性の違いが考えられる。既往研究²⁾では、強度低下の要因として微小クラックによる剛性低下が推察されており、温度上昇に伴う膨潤量の増加⁴⁾も影響した可能性がある。ただし、間隙圧や内部構造は直接計測しておらず、推察にとどまる。

4. おわりに

本研究では、3 種類の国内産ベントナイト混合土を対象に、初期飽和度と温度を変化させた一軸圧縮試験を行った。その結果、初期飽和度 30%では MG, 50%では KV および TG に比較的大きな強度低下が認められ、強度の温度依存性はベントナイトの種類と初期飽和度によって異なる可能性が示された。一方、初期飽和度 90%では顕著な強度低下は見られず、温度依存性の評価にはさらなる検討が必要である。今後は試験数の追加や供試体内部温度の計測、X 線 CT による内部構造の観察を行う予定である。

5. 参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構：わ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—, JNC TN1400 99-020, 1999.
- 2) Suzuki, R., Kanazawa, S., Yanai, M. and Yoshino, O.: Experiment regarding montmorillonite content and strength properties in bentonite under the influence of heat, International Journal of GEOMATE, Vol.20, No.82, pp.22-27, 2021.
- 3) 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.
- 4) 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, 土木学会第 71 回年次学術講演会講演概要集, CS13-031, pp.61-62, 2016.

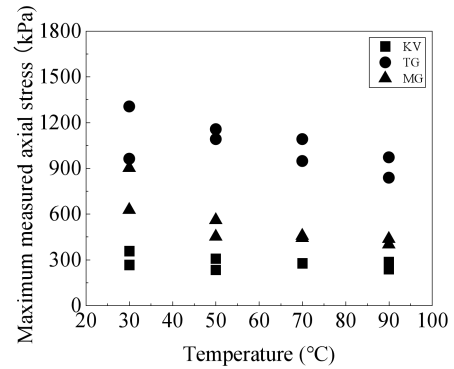


図-2 温度-圧縮強度の関係(飽和度 30%)

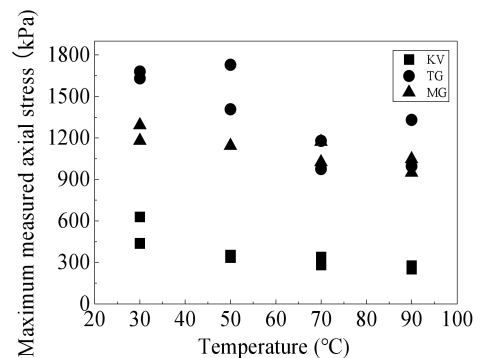


図-3 温度-圧縮強度の関係(飽和度 50%)

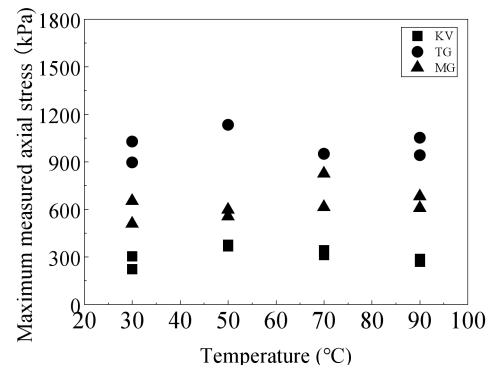


図-4 温度-圧縮強度の関係(飽和度 90%)