

温度履歴を受けたベントナイトの膨潤変形特性に対する拘束圧の影響

茨城大学 学生会員 ○大橋 良哉, 正会員 小峯 秀雄
フェロー会員 安原 一哉, 正会員 村上 哲

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分において、オーバーパックと周辺岩盤との間の充填材料である緩衝材には、膨潤による自己シール性を有しているベントナイトの利用が有望視されている¹⁾。一方、上記廃棄物からは崩壊熱が発生し¹⁾、その影響をベントナイトが受け、緩衝材として要求される自己シール性の低下が懸念される。そこで本研究では、温度履歴を受けたベントナイトを用いて、鉛直圧 1000kPa および 500kPa 下で膨潤変形実験を行い、膨潤変形特性に及ぼす温度履歴の影響と拘束圧の影響とを実験的に調査した。

2. 使用したベントナイトと温度履歴条件

本研究では、Na 型ベントナイトである A(クニミネ工業・クニゲル V1)を用いて実験を行った。表-1 に使用したベントナイトの基本的性質を示す²⁾。

ベントナイトを粉末状のまま温度 90, 110, 130℃に設定した乾燥炉に、1 年間投入し温度履歴を与えた。乾燥炉の設定温度は、高レベル放射性廃棄物からの崩壊熱の影響により、緩衝材内部の最高温度が 65~165℃に達するという解析結果¹⁾を参考とした。温度履歴を受けたベントナイトは、乾燥炉から取り出し後に一定環境下(温度 22±3℃, 湿度 74±6%RH)で 2 週間以上放置し、その後実験に用いた。

3. 膨潤変形実験

膨潤変形実験とは、一定鉛直圧下でベントナイトが膨潤変形する際に発生する一次元変形量を計測する実験である。本研究では、鉛直圧 1000kPa および 500kPa 下で実験を行った。緩衝材が膨潤変形し処分孔壁面に接した状態で発生する圧力が 1000kPa 以上の時、有効な自己シール性が発揮されると考えられているため³⁾、上記鉛直圧下で実験を行った。また、供試体の拘束圧条件がベントナイトの膨潤変形特性へ与える影響を調査するために、鉛直圧 500kPa で実験を行った。図-1 に使用した実験装置の概要を示す。

実験には、上下二方向からの静的荷重によって締め付けた供試体を用いた。鉛直圧を載荷後、蒸留水を供給し実験を開始した。供試体から発生する一次元変形量は蒸留水を供給する直前から経時的に測定し、期間は 7 日間とした。実験終了後、供試体の含水比を測定し飽和度を算出したところ、いずれも 100%以上であった。測定した一次元膨潤変形量 ΔS は初期供試体高さ H_0 で除し、その値を百分率で表示しものを膨潤率 $\varepsilon_s (= \Delta S/H_0 \times 100)$ と定義した。さらに、膨潤率の経過時間曲線に対して双曲線で近似し、その漸近線から求めた値を最大膨潤率 ε_{smax} とし結果を整理した²⁾。

参考文献 2)によれば、鉛直圧 1000kPa 下で実験を行った結果、温度履歴を受けていない条件での最大膨潤率は 20.11%($\rho_{d0}=1.9\text{Mg/m}^3$)であり、温度履歴(温度 130℃, 加熱期間 1 年)を受けた条件での最大膨潤率は 19.61%($\rho_{d0}=1.9\text{Mg/m}^3$)であった。この結果より、上記の条件内で膨潤変形特性に対する温度履歴の影響は小さいことが確認された。一方、図-2 には鉛直圧 500kPa, 加熱期間 1 年の実験結果を示した。図より温度 90℃以上の条件で最大膨潤率が低下することが分かる。また、最大膨潤率の低下の度合いは、加熱温度に依らず同程度であった。以上より、1 年間の温度履歴を受けたベントナイト A は、鉛直圧 1000kPa, 温度 130℃以内の条件で温度履歴の影響は小さかつ

表-1 使用したベントナイト A の基本的性質

タイプ	Na型
土粒子密度(Mg/m^3)	2.79
モンモリロナイト含有率(%)	57
液性限界(%)	458.1
塑性限界(%)	23.7
塑性指数	434.4
陽イオン交換容量(meq/g)	1.166
交換性Na ⁺ イオン量(meq/g)	0.631
交換性Ca ²⁺ イオン量(meq/g)	0.464
交換性K ⁺ イオン量(meq/g)	0.03
交換性Mg ²⁺ イオン量(meq/g)	0.041

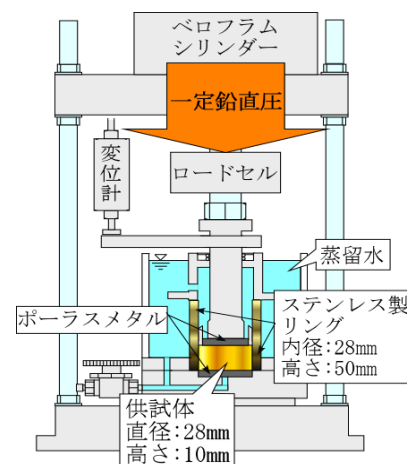


図-1 膨潤変形特性実験装置

キーワード ベントナイト, 温度履歴, 膨潤変形特性, 拘束圧

連絡先 茨城大学工学部都市システム工学科 〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1 TEL0294-38-517

たが、鉛直圧 500kPa、温度 90℃以上の条件で、膨潤変形特性が低下することが分かった。

4. モンモロロナイトの膨潤体積ひずみによる実験結果の評価

本章では、ベントナイトの膨潤を結晶レベルで評価できる、モンモロロナイトの膨潤体積ひずみ⁴⁾を用いて前章の実験結果を整理し評価した。以下に評価に使用した式を示す。

$$\varepsilon_{sv}^* = \left\{ e_0 + \frac{\varepsilon_{s\max}}{100} (e_0 + 1) \right\} \left\{ 1 + \left(\frac{100}{C_m} - 1 \right) \frac{\rho_m}{\rho_{nm}} + \left(\frac{100}{\alpha} - 1 \right) \frac{100}{C_m} \frac{\rho_m}{\rho_{sand}} \right\} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

$$e_0 = \frac{\rho_{solid}}{\rho_{d0}} - 1 \quad (2) \quad \rho_{solid} = \frac{\frac{100}{C_m} \frac{100}{\alpha} \rho_m}{1 + \left(\frac{100}{C_m} - 1 \right) \frac{\rho_m}{\rho_{nm}} + \left(\frac{100}{\alpha} - 1 \right) \frac{100}{C_m} \frac{\rho_m}{\rho_{sand}}} \quad (Mg/m^3) \quad (3)$$

ここに、 ε_{sv}^* :モンモロロナイトの膨潤体積ひずみ(%), e_0 :供試体の初期間隙比, $\varepsilon_{s\max}$:最大膨潤率(%), C_m :ベントナイトのモンモロロナイト含有率(%), ρ_m :ベントナイトに含まれるモンモロロナイトの土粒子密度(Mg/m^3), ρ_{nm} :ベントナイトに含まれるモンモロロナイト以外の土粒子密度(Mg/m^3), α :砂・ベントナイト混合材料のベントナイト配合率(%), ρ_{sand} :砂の土粒子密度(Mg/m^3), ρ_{solid} :ベントナイトの土粒子密度(Mg/m^3), ρ_{d0} :初期乾燥密度(Mg/m^3)

式中の C_m, ρ_{solid} は表-1 の値を用い、 $e_0, \varepsilon_{s\max}, \rho_{d0}$ は実験より得られた値を用いた。また、 ρ_m, ρ_{nm} は文献 4) を参考に $2.79 Mg/m^3$ とした。今回は砂を混合させた実験を行っていないため $\alpha=0\%$ とした。図-3 に鉛直圧 500kPa 下でのモンモロロナイトの膨潤体積ひずみと初期乾燥密度の関係を示す。図より、モンモロロナイトの膨潤体積ひずみは初期乾燥密度に関係なく、温度履歴の有無によって決定することが分かり、また、温度 90～130℃、加熱期間 1 年の温度履歴を受けることにより、モンモロロナイトの膨潤体積ひずみは 13～33% 低下することも分かる。一方、表-2 には鉛直圧 1000kPa と 500kPa 下でのモンモロロナイトの膨潤体積ひずみの平均値(ε_{sv-ave}^*)を示す。表より、膨潤変形実験を行う際にモンモロロナイトの膨潤体積ひずみが 135% と設定した場合、温度 130℃ 以下、加熱期間 1 年以内の条件で温度履歴の影響は小さく、モンモロロナイトの膨潤体積ひずみを 171% と設定した場合、温度 90℃ 以上、加熱期間 1 年以内の条件で 19～22% 低下することが分かる。

5. 結論

加熱期間 1 年の温度履歴を受けたベントナイトの膨潤変形特性は、鉛直圧 1000kPa、温度 130℃ の条件で温度履歴の影響は小さく、鉛直圧 500kPa、温度 90℃ 以上の条件で低下した。また、温度履歴を受けたベントナイトの膨潤変形実験を行う際に、モンモロロナイトの膨潤体積ひずみを 135% 以下に設定することで、温度履歴の影響を小さくすることが可能となる。

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次取りまとめ一分冊2地層処分の工学的技術,JNC TN1400 99-022,1999. 2)大橋良哉・小峯秀雄・安原一哉・村上哲：温度履歴を受けたベントナイトの膨潤変形特性とメチレンブルー吸着量の変化,第40回地盤工学研究発表講演集,2005(投稿中). 3)緒方信英・小崎明朗・植田浩義・朝野英一・高尾肇:高レベル放射性廃棄物処分の事業化技術—その4人工バリアの設計と製作,原子力バックエンド研究,Vol5,No.2,pp.103～121,1999. 4)小峯秀雄・緒方信英：放射性廃棄物処分のための砂・ベントナイト混合材料の膨潤特性とその評価方法 研究報告 U96029,電力中央研究所,pp.29～31,1997.

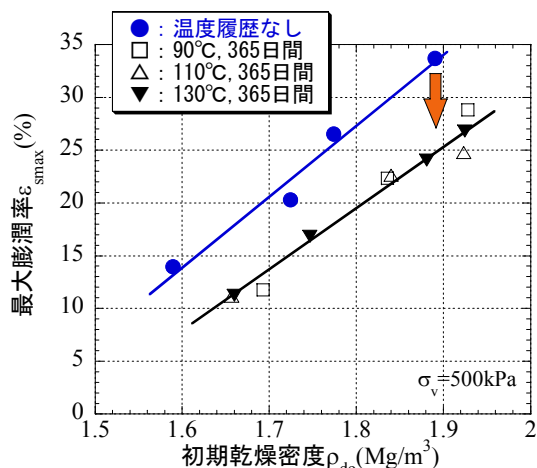


図-2 鉛直圧 500kPa 下での最大膨潤率と初期乾燥密度の関係

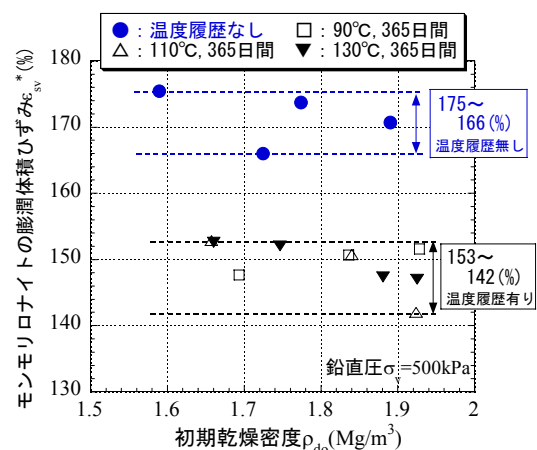


図-3 鉛直圧 500kPa 下でのモンモロロナイトの膨潤体積ひずみと初期乾燥密度の関係

表-2 各温度履歴・各鉛直圧下でのモンモロロナイトの膨潤体積ひずみの平均値

加熱温度 (°C)	加熱期間 (日)	鉛直圧 (kPa)	モンモロロナイトの膨潤体積ひずみの平均値 ε_{sv-ave}^* (%)
-	-	1000	135
130	365	1000	135
-	-	500	171
90	365	500	150
110	365	500	149
130	365	500	150