

膨潤性能を有するカオリン粘土の吸水挙動に関する実験

福島工業高等専門学校	学生会員	○柳井 正樹
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	武藤 尚樹
福島工業高等専門学校	学生会員	市川 希
西松建設(株)技術研究所	正会員	石山 宏二

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の処分方法として地層処分が選定されている。地層処分では、放射性物質の遮蔽のために、膨潤性と難透水性を有するベントナイトが緩衝材として用いられる。しかしながら、処分期間中、緩衝材は廃棄体が発する崩壊熱や、地下水との接触による吸水膨潤などが相互に作用する。また既往の研究において、温度の高い条件ほど膨潤圧や上昇する傾向があると報告されている¹⁾。そこで本研究では、既往の研究で得られた結果が、ベントナイト特有の性質であるかを知るために一般的な粘土鉱物であるカオリンで作製した供試体と、ベントナイトと珪砂を混合した試料で作製した供試体に、同じ温度変化を与えて膨潤圧試験を行い、比較検討した。

2. 試験方法・実験装置

2-1. 試験条件

試験に用いた試料は、自然含水比状態のカオリン（カオリンクレーNo.5）単体と自然含水比状態のベントナイト（クニゲル V1）と珪砂 8 号を 7 : 3 の割合で混合した試料を用いた。カオリンの土粒子密度は $2.75(\text{Mg}/\text{m}^3)$ でありクニゲル V1 の土粒子密度は $2.63(\text{Mg}/\text{m}^3)$ であった。温度ごとの試験条件についてまとめたものを表-1 に示す。まずモールド内に試料を投入し、供試体直径 28mm、高さ 10mm、目標乾燥密度 $1.6(\text{Mg}/\text{m}^3)$ となるよう上部から油圧ジャッキを用いて静的に締め固めることで作製した。締め固め圧力は 8MPa 程度で、締め固め時の加圧保持時間は 10 分とした。

2-2. 試験手順

図-1 に膨潤圧試験機の概要を示す。膨潤圧の測定はロードセルにより行った。作製した供試体をモールドごとにペダスタルに移し、上下のペダスタルをねじで固定した後、試験機の天板にピストンを下ろし、クランプノブにより固定した。この時点での鉛直圧をロードセルにより測定し、試験開始時の鉛直圧とした。その後、目標の温度まで温めたイオン交換水を水槽内に入れ、測定を開始した。給水は供試体の下端のみから行った。水温は温水循環装置または熱電対・ヒーターによって制御し、水面からの水の蒸発量を抑えるために水面に蒸発防止材(pp 球)を浮かべた。また、試験中に供試体の拘束が維持できているのか確認するため、供試体上部に変位計を設置し試験中の変位量を測定した。変位計は最小で 0.001mm まで測定可能なものを用いた。試験期間は膨潤圧が平衡状態に到達すると考えられている 1 週間から 2 週間程度とした。

表-1 初期条件

供試体	カオリン		ベントナイト：珪砂		
水質	イオン交換水				
試験温度(℃)	60	90	30	60	90
初期間隙比	0.72		0.65		
含水比(%)	0.538	0.765	9.20	8.44	6.95
飽和度(%)	2.057	2.925	37.47	34.38	28.75

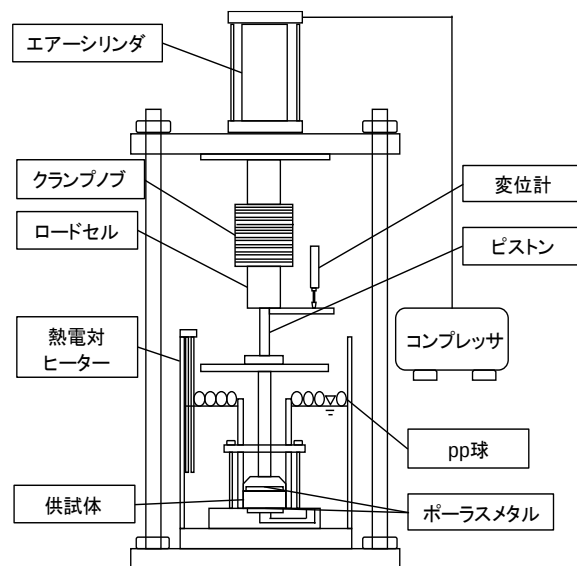


図-1 膨潤圧試験機概要

キーワード：高レベル放射性廃棄物、地層処分、ベントナイト、カオリン、膨潤圧

連絡先：〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30 福島工業高等専門学校 TEL0246-46-8027

3. 実験結果

図-2に温度ごとの最大膨潤圧を示す。

カオリン供試体と、ベントナイト供試体は、どちらも温度の上昇に伴い、膨潤圧は上昇することが確認された。この結果は田邊ら¹⁾が行った、ベントナイト供試体に温度変化を与えた膨潤圧試験においても同様の結果が得られている。ベントナイト供試体において温度の上昇に伴って膨潤圧が上昇する原因として、拡散電気二重層の拡大、また温度上昇に伴う浸透圧と水和反応の上昇が考えられる。ベントナイトの膨潤はベントナイト中のモンモリロナイト結晶層間の陽イオンと間隙水との間に生じた浸透圧が間隙水を層間に流入させ、陽イオンと水和することで起こる。一般的に温度が上昇すると、浸透圧は溶液のモル濃度と絶対温度に比例して増加し、水和反応も増加するため、膨潤圧が上昇したと考えられる。カオリン供試体において、温度の上昇に伴って膨潤圧が上昇する原因として、透水係数 k_w が関係していると考えられる。透水係数の式を(1)に示す。

$$k_w = \left(\frac{\mu_{w0}}{\mu_w} \right) \frac{\rho_g K_w}{\mu_{w0}} \dots (1) \quad k_w : \text{透水係数}, \rho_g : \text{水の密度}(1.00\text{g/cm}^3),$$

μ_{w0} : 粘性係数(60℃), μ_w : 温度による粘性係数, K_w : 絶対浸透率, となり, 60℃を基準の温度として, 30℃~90℃の透水係数について計算した結果, 60℃と90℃の透水係数には, 約1.5倍の差があった。このことから, 温度が上昇することで水の粘性が下がり, 透水性が上昇する。それにより供試体中に水が流入しやすくなり, 結果, 温度の高い条件下での供試体全体での膨潤圧が上昇したと考えられる。

図-3に温度ごとの平衡膨潤圧, 図-4に膨潤圧の経時変化, 図-5にカオリンの50時間の膨潤圧の変化を示す。ベントナイト供試体, カオリン供試体どちらも60℃, 90℃の平衡膨潤圧, 膨潤圧が大きくなることが確認された。また, 60℃, 90℃のカオリン供試体の平衡膨潤圧が, 最大膨潤圧と比べて差が生じなかった。それに加え, 図-5では温度変化により初期の立ち上がりには差ができていたが, 50時間後には膨潤圧の値が同程度となっている。この原因として, 前述のとおり, 温度の上昇により透水係数が上昇することで, 高い温度ほど供試体内部に水が入りやすくなることで初期の膨潤圧の発現に差が生じたと考える。また, 図-6のカオリンの含水比関係を見ると, 各温度での含水比が同程度であるため, 膨潤圧の発現後, 50時間後に同程度になったと考える。

4. まとめ

本試験の結果, 温度が上昇するとベントナイト供試体同様, カオリン供試体の膨潤圧も上昇することが確認することができた。しかしながら, 試験数が少ないため今後も引き続き試験を行い, カオリンとベントナイトの膨潤挙動の関係性について把握を行う。

参考文献

- 1) 田邊亮, 足立格一郎, 山元茂弘, 西本亨, 関根智之, 長瀬忠: ベントナイト・珪砂混合試料の高温環境での膨潤特性に関する研究, 土木学会第58回年次学術講演会公演概要集 CS7-0.32.

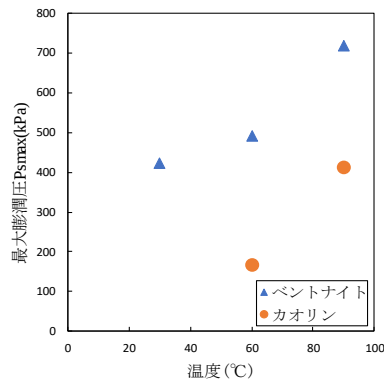


図-2 温度-最大膨潤圧関係

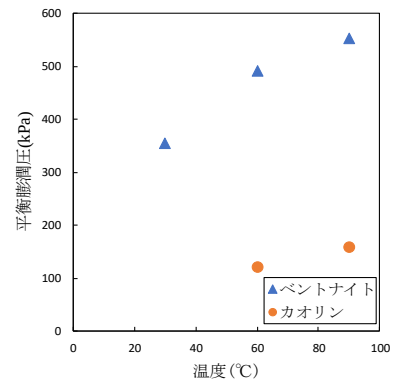


図-3 温度-平衡膨潤圧関係

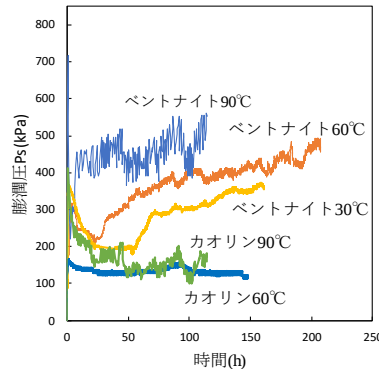


図-4 膨潤圧の経時変化

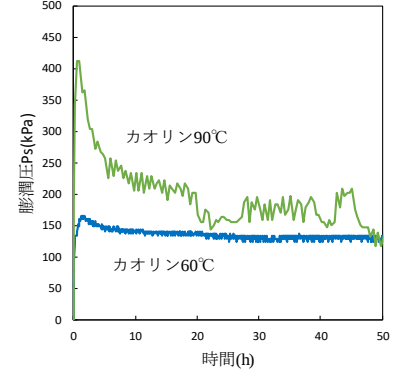


図-5 膨潤圧の経時変化

(カオリン 50 時間)

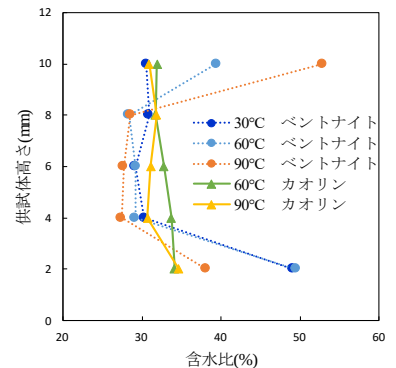


図-6 含水比-供試体高さ関係