

温度変化によるベントナイトの膨潤特性を考慮した基礎実験

福島工業高等専門学校 学生会員 ○小林 千莉
 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 市川 希
 福島工業高等専門学校 学生会員 武藤 尚樹
 西松建設（株）技術研究所 正会員 石山 宏二

1. 研究背景および目的

高レベル放射性廃棄物の地層処分で用いられるベントナイト系緩衝材には、ベントナイト特有の膨潤性や低透水性から、廃棄体周辺の水みちや間隙の充填、処分期間中の放射性物質の移動や地下水の侵入抑制が期待されている。一方で、処分場においては廃棄体の崩壊熱や地熱により緩衝材が高温環境下に曝されることが考えられるため、ベントナイトの膨潤特性に及ぼす温度の影響を把握する必要がある。本研究では、ベントナイト緩衝材の供試体周辺と給水する試験水の温度を 30℃、60℃、90℃とそれぞれ一定に保った試験条件下で膨潤圧を測定することにより、温度と膨潤圧の関係について把握をした。

2. 試料および試験方法

2-1. 試料

試験には、自然含水比状態のベントナイト(クニゲル V1)と珪砂(8号珪砂)を 7:3 の割合で混合した試料を用いた。クニゲル V1 の土粒子密度は 2.79Mg/m³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。試験水にはイオン交換水を用いた。供試体は直径 28mm、高さ 10mm であり、モールド内に試料を投入し、初期乾燥密度が 1.60Mg/m³となるように上部から油圧ジャッキを用いて静的締固めを行うことにより成形した。なお、締固め圧力は 8MPa 程度で、加圧時間は 10 分間とした。

表-1 試験条件

試験温度(℃)	30	60	90
含水比(%)	9.20	8.44	6.95
間隙比	0.65		
飽和度(%)	37.47	34.38	28.75
モンモリロナイト含有率(%)	47		

2-2. 試験方法

図-1 に本試験で使用した実験装置の概要を示す。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試験機のペDESTALに移し、上下のペDESTALをねじで固定した後、ピストンを天板に下ろし、クランプノブにより固定した。この時点での鉛直圧を試験開始時の鉛直圧とし、目標の温度まで温めたイオン交換水を供給し、測定を開始した。給水は供試体の下面のみから行った。水温は温水循環装置または熱電対・ヒーターにより制御し、水面からの試験水の蒸発を抑えるために蒸発防止材(pp球)を使用した。また、試験中の拘束が十分であることを確認するために変位計（最小目盛：0.001mm）を設置した。試験期間は膨潤圧が平衡状態に到達すると考えられる 1 週間から 2 週間程度とした。

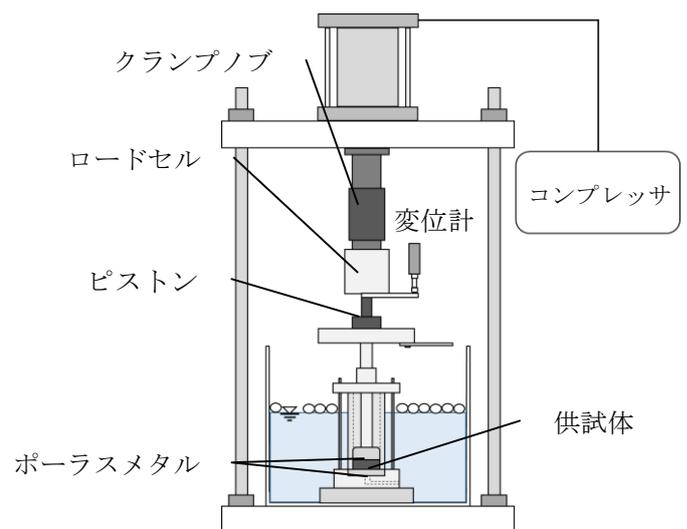


図-1 膨潤圧試験機の概要

キーワード ベントナイト，膨潤特性

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 TEL 0246-46-0827

3. 試験結果

図-2 に温度ごとの最大膨潤圧を示す。温度上昇に伴い最大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⁾が行った膨潤圧試験においても同様の傾向が得られている。温度上昇に伴い最大膨潤圧が増加する原因として、拡散電気二重層の拡大が挙げられる。電気二重層の厚さを表すパラメータとしてデバイ距離 ($1/\kappa$) が定義されており、式 (1) で表される。

$$\kappa = \sqrt{\frac{2e^2 n_0 z^2}{\epsilon_r \epsilon_0 k T}} \quad (1)$$

ここで、 e ：電気素量、 n_0 ：イオンのモル濃度、 z ：イオンの価数、 ϵ_r ：比誘電率、 ϵ_0 ：真空の誘電率、 k ：ボルツマン定数、 T ：絶対温度である。温度上昇により絶対温度が上昇すると、デバイ距離は増加し斥力が大きくなるため膨潤圧は増加したと考えられる。

図-3 に温度ごとの平衡膨潤圧を示す。30℃と比較して、60℃、90℃の平衡膨潤圧が大きくなることが確認された。この結果から温度が上昇するごとに平衡膨潤圧は増加する傾向にあるが、ある一定の温度を超えると平衡膨潤圧が変わらなくなる閾値があることが考えられる。

図-4 に温度ごとの膨潤圧の経時変化を示す。給水開始から膨潤圧が急激に増加したのち減少し、その後、再び増加し平衡状態に至ることが確認された。その時、膨潤初期にはピークが見られた。また 30℃では、給水開始から約 7 時間後に一度膨潤圧が減少し始めているが、60℃、90℃では約 0.3 時間後に一度膨潤圧が減少し始めている。温度上昇に伴い初期膨潤圧の傾きが大きくなる原因として、温度上昇に伴う浸透圧の増加と水の熱膨張であると考えられる。ベントナイトはモンモリロナイト結晶層間の間隙水とその周辺の間隙水とのイオン濃度差による浸透圧により膨潤するため、浸透圧は絶対温度に比例し、温度上昇に伴い膨潤圧が増加したと考えられる。また、水は温度の上昇に伴い水分子の運動が激しくなるため、膨潤圧が増加したと考えられる。

4. まとめ

本試験の結果、温度の上昇とともに最大膨潤圧が増加し、初期膨潤圧の傾きも大きくなることが確認された。しかしながら、膨潤圧の経時変化の挙動が不均一であることや試験数が少ないため、今後も試験を続け温度変化を考慮した膨潤特性の把握を行う。

参考文献

- 1) 田邊亮, 足立格一郎, 山本茂弘, 関根智之, 長瀬忠：ベントナイト・ケイ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 回年次学術講演会講演概要集 CS7-032
- 2) 市川希, 金澤伸一, 林久資, 武藤尚樹, 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圧特性, 土木学会第 73 回年次学術講演会, 土木学会, pp. 33-34, 2018. 8

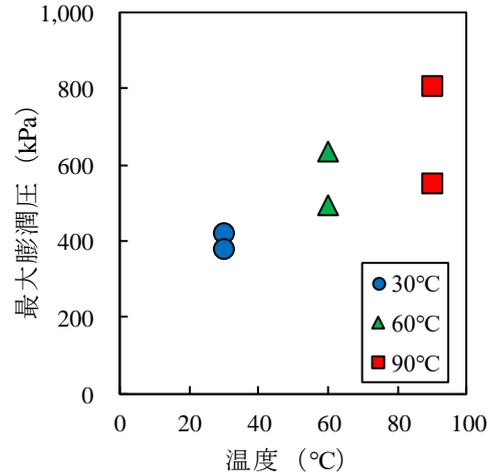


図-2 温度-最大膨潤圧関係

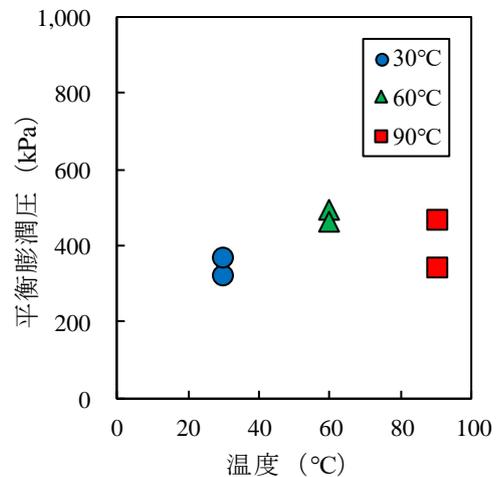


図-3 温度-平衡膨潤圧関係

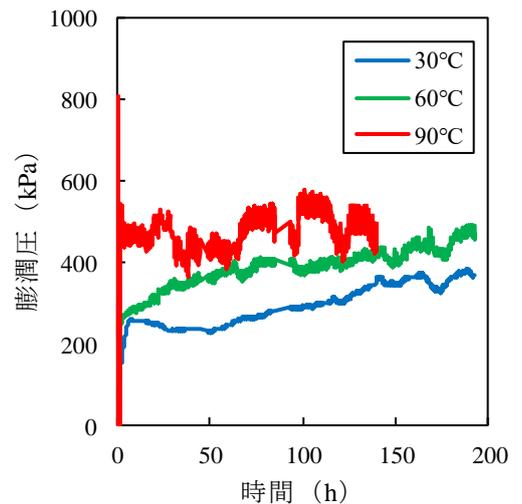


図-4 膨潤圧の経時変化