

## 温度変化を考慮したベントナイト緩衝材の膨潤圧特性

|              |      |       |
|--------------|------|-------|
| 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   | 正会員  | 金澤 伸一 |
| 山口大学大学院      | 正会員  | 林 久資  |
| 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時に用いられるベントナイト緩衝材には、自身の低透水性、膨潤特性などから処分期間中の地下水の抑制、廃棄体周辺の水みちのシール機能、廃棄体の安定定置など様々な機能が要求されている。そのため、各種性能の把握を目的にこれまで数多くの試験が行われてきた。しかしながら一方で、廃棄体が発する熱の影響を考慮した環境下での試験は少ない。本研究では、供試体周辺の温度と給水する試験水の温度を 30℃、50℃、60℃、90℃とそれぞれ一定に保った条件下での膨潤圧を測定することで、温度と膨潤圧の関係についての把握を行った。

## 2. 試験試料・実験装置

## 2-1. 試験条件

試験に用いた試料は、自然含水比状態のベントナイト(クニゲル V1)と東北珪砂 8 号を 7:3 の割合で混合した珪砂混合体である。クニゲル V1 の土粒子密度は 2.60(Mg/m<sup>3</sup>)であった。本試験では、二回に分けて試験を行っており、一回目(30℃、90℃)と二回目(50℃、60℃)の各試験条件についてまとめたものを表 1 に示す。供試体は直径 28mm、高さ 10mm であり、まずモールド内に試料を投入し、目標乾燥密度が 1.6(Mg/m<sup>3</sup>)になるように上部から油圧ジャッキを用いて静的に締固めることで作製した。なお、締固め時の加圧保持時間は 10 分とし、締固め圧力は 10kPa 程度であった。

表 1 試験条件

| 水質        | イオン交換水 |       |
|-----------|--------|-------|
| 試験温度 (°C) | 30,90  | 50,60 |
| 初期間隙比     | 0.61   |       |
| 含水比 (%)   | 7.94   | 6.53  |
| 飽和度 (%)   | 33.41  | 27.45 |

## 2-2. 試験手順

図 1 に、膨潤圧試験機の概要を示す。主な構成は反力フレーム、ロードセル、変位計、熱電対、ヒーター、水槽、コンプレッサである。ピストンはコンプレッサからの圧縮空気により最大で 1tf の荷重を載荷することが可能である。試験は、締め固めた供試体をモールドごと試験機のペダスタルに移し、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±1℃の範囲で維持されるように熱電対とヒーターによって制御し、水面からの試験水の蒸発量を抑えるために水面に蒸発防止材(pp 球)を

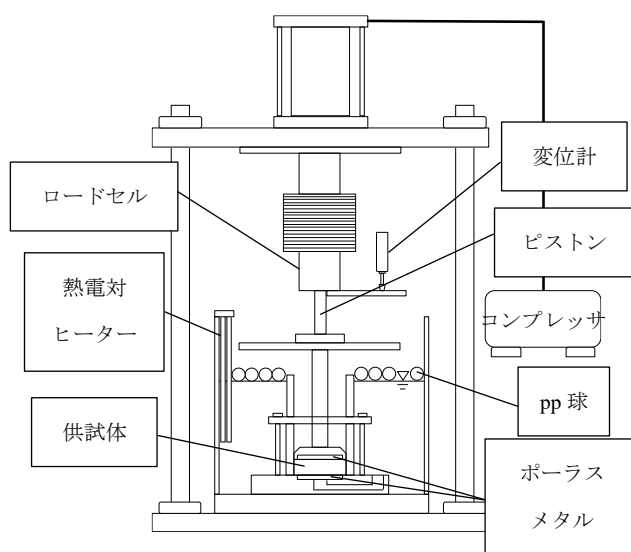


図 1 膨潤圧試験機概略図

キーワード：地層処分、高レベル放射性廃棄物、ベントナイト、温度  
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

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を確認するため、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。

### 3. 試験結果

図 2 に温度ごとの最大膨潤圧を示す。温度が上昇すると供試体の膨潤圧は上昇することが確認された。この結果は、田邊ら<sup>1)</sup>が行った温度環境下での膨潤圧試験においても同様の結果が得られている。

温度の上昇に伴って膨潤圧が上昇する原因として、まず初めに、温度上昇に伴う浸透圧と水和反応の上昇である。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。

次に、拡散電気二重層の拡大である。拡散電気二重層は、式(1)で表され、粒子同士の反発・収縮関係を表すデバイ距離(1/κ)を決定する。

$$\kappa = \sqrt{\frac{2e^2 n_0 z^2}{\varepsilon_r \varepsilon_0 k T}} \quad (1)$$

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、 $\varepsilon_r$ ：比誘電率、 $\varepsilon_0$ ：真空の誘電率、 $k$ ：ボルツマン定数、 $T$ ：絶対温度である。これらの各項の中で温度の項のみに変化が起きているとすると、温度が上昇するとデバイ距離は増加し粒子同士が反発しやすくなる。

最後に、透水性の変化である。温度が高くなるほど水の粘性は低下するため、透水性が上昇したことで供試体中に水が流入しやすなり、結果温度の高い条件下での供試体の方が供試体全体で膨潤が起きやすくなっていたと考えられる。以上の三つの要因が、膨潤圧の変化に影響を及ぼしていたと考えられる。

図 4 に、温度ごとの膨潤圧の経時変化を示す。30℃は試験開始から 9 時間後に平衡状態に至り、50℃は 2 時間後に一度最大膨潤圧を示した後、徐々に低下していく。60℃、90℃は 1 時間後に膨潤圧が低下し、再び増加した後、60℃は 10 時間後、90℃は 8 時間後にそれぞれ平衡状態に至る。また、平衡状態での 60℃と 90℃の最大膨潤圧の差は小さい。このことから膨潤圧がある一定の温度を超えると温度をそれ以上上昇させても変わらない可能性があると考えられる。60℃、90℃の膨潤圧が 30℃、50℃に比べて時間をかけて最大膨潤圧を発揮した理由としては、急激な吸水による膨潤により、供試体内部で安定した構造を形成しにくいためであったからであると考えられる。

### 4. まとめ

本試験の結果、温度が上昇すると膨潤圧も上昇し、膨潤圧が最大となる温度の閾値が存在する可能性があることがわかった。しかしながら、温度ごとに最大膨潤圧を発揮するまでの時間と膨潤圧の発生の挙動が異なるため、今後も試験を続け、さらに長期間の膨潤特性についても把握を行う。

#### 【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・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

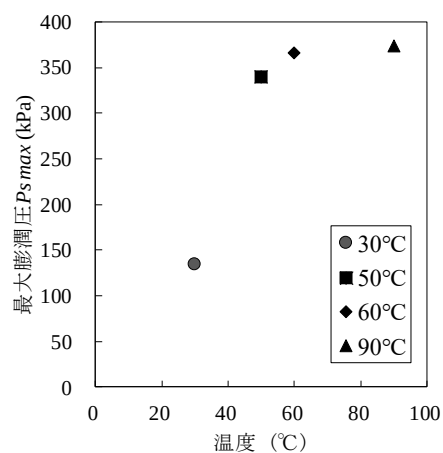


図 2 温度-最大膨潤圧関係

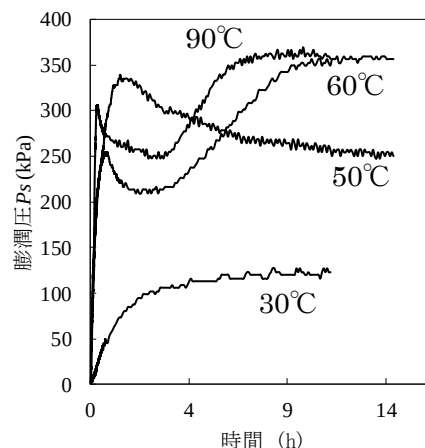


図 4 膨潤圧の経時変化