

## 様々な熱の影響によるベントナイトの膨潤特性

豊橋技術科学大学 学生会員 ○松田 弘毅  
 新潟大学 正会員 金澤 伸一  
 株式会社大林組 正会員 柳井 正樹  
 西松建設株式会社 正会員 吉野 修

### 1. はじめに

ベントナイト系緩衝材は、処分期間中に岩盤中の地下水の浸透や、廃棄体の崩壊熱、地熱など、様々な影響を受けることが考えられる。その中で崩壊熱により緩衝材が長期間高温環境に曝されることで、温度履歴の発生や局所的に温められた地下水による冠水などの、熱を考慮した実験の報告例があまり上がっていない。そこで本研究では、温度履歴（廃棄体の発熱により高温環境に曝されること）と温度変化（崩壊熱などにより温められた地下水の冠水）を考慮した膨潤圧試験を行うことにより、ベントナイトの特性の把握を行う。さらに、温度履歴ごとに試料のモンモリロナイト含有率を測定・比較することにより、膨潤特性への影響を把握した。

### 2. 実験方法

#### 2-1. 実験条件

実験には、履歴を与えていない試料を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。また、履歴を与えた試料は含水比調整を行ったのち使用した。さらに本実験では、供試体を作製する前に温度履歴を与えることとした。表-1に、温度履歴ごとの実験条件を示す。クニゲル V1 の土粒子密度は  $2.630(\text{Mg}/\text{m}^3)$ 、珪砂の土粒子密度は  $2.702(\text{Mg}/\text{m}^3)$ であった。温度履歴の条件は  $90^\circ\text{C}$ を 12 ヶ月と  $200^\circ\text{C}$ を 3 ヶ月与えて実験を行った。各温度履歴の設定理由は以下の通りである。 $90^\circ\text{C}$ は、最終処分時の緩衝材内の制限温度を  $100^\circ\text{C}$ 以下で処分するとされているためである。また  $200^\circ\text{C}$ は、緩衝材内の温度が局所的に  $100^\circ\text{C}$ 以上となる可能性があるためオプションとして採用した。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  $8\text{MPa}$  程度で、締め固め時の加圧保持時間は 10 分とした。

表-1 実験条件

供試体	ベントナイト：珪砂		
水質	イオン交換水		
温度履歴( $^\circ\text{C}$ )	履歴なし	200	90
期間(日)	-	90	365
初期含水比(%)	6.020	5.556	4.932
試験温度( $^\circ\text{C}$ )	30,60,90		
間隙比	0.647		
モンモリロナイト含有率(%)	56	52	39

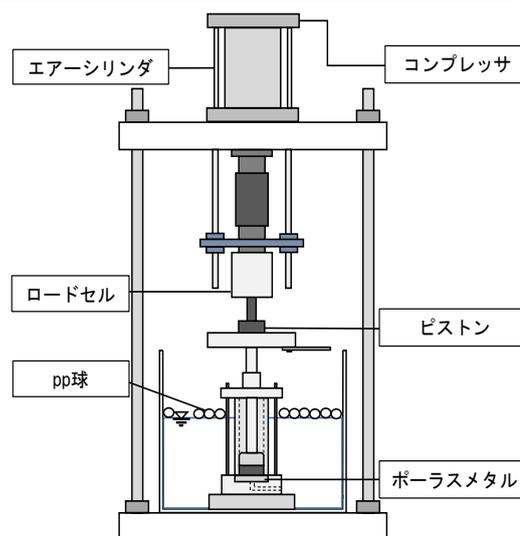


図-1 膨潤圧測定装置

#### 2-2. 実験手順

図-1に膨潤圧試験機の概要を示す。膨潤圧測定はロードセルを用いて、ピストンを天板に下ろし、鉛直方向の変形を拘束するために固定した。この時の鉛直圧を初期鉛直圧とし、約  $50\text{N}$ とした。その後、目標温度に設定したイオン交換水を水槽内に供給し測定を開始した。下面のみからの給水で膨潤圧実験を行った。温度管理は温水循環装置によって制御した。またデータの測定間隔は 3 分間とし、期間は膨潤圧が平衡状態に到達する 1 週間程度とした。

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、温度変化

連絡先：〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1 豊橋技術科学大学 TEL0532-47-0111

### 3. 実験結果・考察

図-2に、各条件の最大膨潤圧を示し、図-3に、各条件の平衡膨潤圧を示す。また図-4に、温度履歴なしの経時変化を示す。結果より、温度履歴を与えていない供試体は、温度履歴を与えた供試体より膨潤圧が高くなることを確認された。温度履歴を与えた供試体の膨潤圧の値が低下した要因として、温度履歴を受けたことによるベントナイト中のモンモリロナイト含有率の低下が考えられる。

次に、温度-最大膨潤圧関係のグラフから温度上昇に伴い最大膨潤圧が増加することが確認できる。この要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 ( $1/\kappa$ ) が定義されているが、 $\kappa$  は絶対温度に依存するため、温度上昇により絶対温度が上昇すると  $\kappa$  は減少しデバイ距離は増加する。電気二重層を持つ粒子同士が接近すると、粒子間には電気二重層が重なり合うことにより斥力が生じるため、デバイ距離の増加に伴い斥力が大きくなり、膨潤圧が増加したと考えられる。

温度-平衡膨潤圧関係のグラフからは、平衡膨潤圧は同一の温度履歴条件の場合、30・60°Cの時ほぼ一定であり、90°Cの時に膨潤圧が上昇することがわかった。このような傾向になる要因として水和反応の促進が考えられる。ベントナイトの水和反応はモンモリロナイト層間の陽イオンに水分子が付加することで起こる。温度が上昇することで水和反応が促進され、90°Cの時に平衡膨潤圧が上昇したと考えられる。

経時変化から、温度履歴の有無に関わらず給水直後に膨潤圧が急激に上昇しピークに達した後、減少する傾向であった。その後、再び上昇し、ほぼ平衡状態に至ることが確認できた。また30°Cでは、給水開始から約6時間後にピークを迎えるが、60°C、90°Cでは約0.6~0.9時間後にピークを迎えた。このような傾向は温度履歴を与えた場合においても同様に確認された。吸水直後、急激に膨潤圧が上昇した要因として、温度上昇に伴う浸透圧が考えられる。浸透圧を表す式としてファンツホッフの法則を式(1)に示す。

$$\Pi = \frac{n}{v} RT \quad (1)$$

ここに、 $\Pi$  :

浸透圧,  $n$  : 溶液の物質量,  $v$  : 溶液の体積,  $T$  : 絶対温度,  $R$  : 気体定数  $8.31 \times 10^3$  である。ファンツホッフの法則では浸透圧は絶対温度と溶液のモル濃度に比例するため、温度上昇に伴い絶対温度が増加したと考慮される。浸透圧が増加すると、モンモリロナイト層間に水が入りやすくなるため、温度が高いものほど初期膨潤圧のピークを迎える時間が早くなったと考えた。

### 4. まとめ

本研究より得た知見を以下に示す。

- ・温度履歴を与えた供試体は膨潤圧が低くなる。
- ・温度上昇に伴い最大膨潤圧が増加する。
- ・平衡膨潤圧は30・60°Cの時ほぼ一定であり、90°Cの時に膨潤圧が上昇する。
- ・温度履歴200°Cを3ヶ月の供試体は、温度履歴90°Cを12ヶ月の供試体より膨潤圧が高くなる。

今後は、温度履歴の期間を統一させ、同様に実験を行うことにより、温度履歴と温度変化を考慮した膨潤特性の把握を行う。

### 5. 参考文献

- 1) 小峯秀雄, 大橋良哉, 安原一哉, 村上哲: ベントナイトの膨潤圧・膨潤変形特性に及ぼす温度履歴の影響とその要因, 土木学会論文集 C Vol.63 No.3, 731-741, 2007. 8

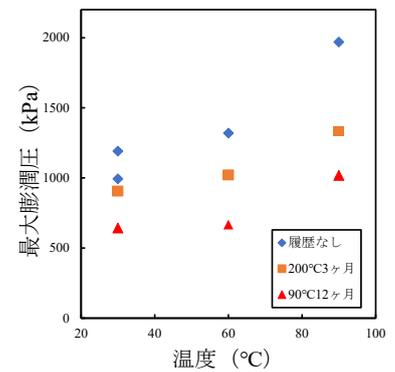


図-2 温度-最大膨潤圧関係

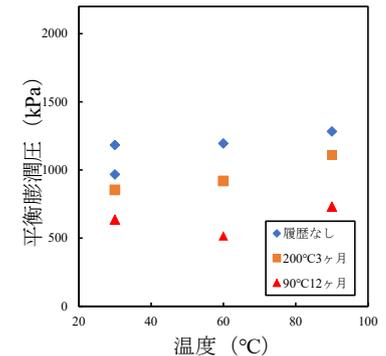


図-3 温度-平衡膨潤圧関係

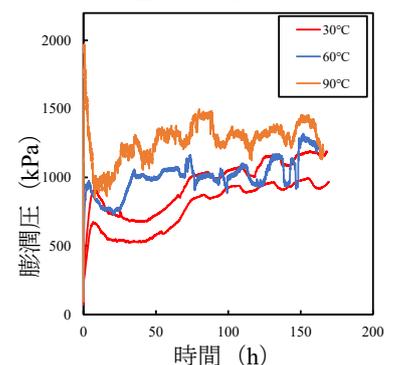


図-4 履歴なしの経時変化