

締固めた粉体状ベントナイトの水分移動特性に及ぼす 200℃以上の温度履歴の影響調査

早稲田大学 学生会員 ○白河部 匠
 早稲田大学 正会員 小峯 秀雄
 早稲田大学 学生会員 伊藤 大知
 大林組 正会員 山本 修一

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物におけるベントナイト系緩衝材は、廃棄体の崩壊熱により温度履歴を受けながら、あるいは、受けた後に地下水により飽和するため、ベントナイト系緩衝材の水分移動特性や膨潤特性に及ぼす温度履歴の影響を把握する必要がある。また、緩衝材の温度が 100℃以下になるよう定置することが定められていることから、既往の研究の温度履歴条件は 100℃前後¹⁾であった。しかし、使用済み燃料の直接処分の可能性を考慮すれば 100℃以上の温度履歴の影響も調査する必要がある。筆者は、100℃から 200℃の温度履歴を与えたベントナイトにおいても研究を行っているが、本研究では 200℃と 300℃の温度履歴に着目して調査を行った。加えて、緩衝材の定置時は不飽和状態であり、不飽和状態での水分移動特性を調査する必要がある。そこで、200℃以上の温度履歴を与えたベントナイトを締固めて供試体を作製し、これらの吸水量を測定することで水分拡散係数を算出し、水分移動特性に及ぼす温度履歴の影響を調査した。

2. 使用したベントナイトの基本的性質およびベントナイトへの温度履歴の付与方法

本研究ではベントナイト A (クニミネ工業製, クニゲル V1) を使用し、表 1 に基本的性質を示した。本研究ではベントナイト A に対して、所定の温度および期間に設定した乾燥炉を用いて温度履歴を与えた。温度履歴の条件は、期間を 7 日間とし、温度は 110℃, 200℃および 300℃の 3 つである。その後、温度履歴を与えたベントナイト A は、自然含水比である 8%程度まで含水比を回復させた後、静的締固め機を用いて乾燥密度 1.4 g/cm²~2.0 g/cm³の供試体を作製した。

表 1 ベントナイト A の基本的性質

タイプ	Na 型ベントナイト
土粒子密度(g/cm ³)	2.76
液性限界(%)	504.8
塑性限界(%)	44.8
塑性指数	460.0
モンモリロナイト含有率(%)	54.4

3. 膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験²⁾の試験概要

膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験で用いる装置を図 1 に示す。供試体の寸法は、直径 28 mm, 高さ 10 mm であり、下部吸水口より吸水を開始した。供試体の吸水量は、二重管ビュレットの減少量を目視と差圧計により測定を行った。本試験では、膨潤特性試験容器のステンレス製リングにより、側方への変形は拘束され、鉛直方向の変形はクランプノブで固定したピストンにより抑制したが、供試体の膨潤圧により、微小な変形が確認されるため、変位計(最大容量: 25 mm, 最小目盛り: 0.002 mm)を用いて供試体の変位を測定した。

4. 温度履歴を与えたベントナイトの水分拡散係数の比較

小峯ら²⁾による研究の算出法に則り、試験で取得したデータを用いて、温度履歴を与えたベントナイトの水分拡散係数を算出した。ビュレット管内の水の減少量 Q_0 は、吸水開始時における試験容器底板への流入量も含まれているため、供試体への吸水量 Q はこの分を差し引いて補正した。

そこで、締固めたベントナイトの一次元の浸潤を拡散現象とみなす場合、吸水量は経過時間の平方根の一次関数と

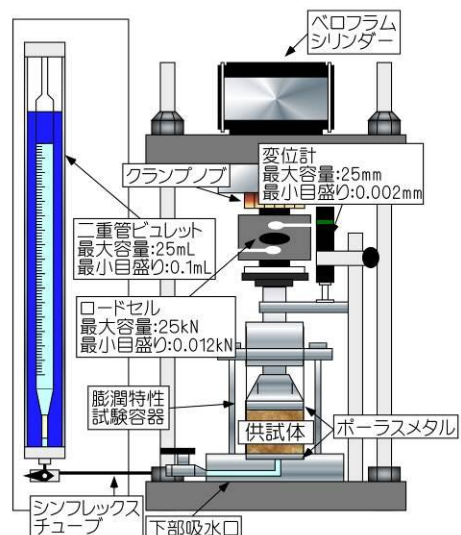


図 1 膨潤圧発生に伴う吸水量測定装置の概念図

キーワード ベントナイト, 温度履歴, 吸水特性

連絡先 〒165-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 58-203 早稲田大学理工学術院 TEL 03-5286-2940

して表すことができ、式(1)で近似する。また、水分拡散係数 D は式(2)で算出する。ここで、 A : 供試体の断面積、 n'_e : 飽和状態の体積含水率と初期状態の体積含水率の差である。

$$Q_0 = a\sqrt{t} + b \quad (1) \quad D = \pi \left(\frac{a}{2An'_e} \right)^2 \quad (2)$$

膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験により得られた温度履歴なしのベントナイトの吸水量 Q を、経過時間の平方根で整理したものを図2に示す。図2より、乾燥密度の増加に伴い、一定時間内における吸水量の増加が小さくなっている。また、温度履歴なしのベントナイトの吸水量測定試験終了後の含水比を測定し、供試体の飽和度を測定した結果を表2に示す。これより、試験後の飽和度は100%を超えていた。以上、温度履歴なしのベントナイトの測定結果の傾向は小峯らの研究²⁾においても確認されており、再現性があるものとする。そこで温度履歴の影響を調査するため、温度履歴を与えたベントナイトの吸水量測定試験の実験結果を整理し、式(1)で示す一次関数の傾きを求め、式(2)による水分拡散係数を算出した。更に、乾燥密度が同等で温度履歴の異なる供試体の試験結果の比較を行った。一例として、図3に乾燥密度1.85 g/cm³程度のベントナイト供試体の経過時間の平方根と差圧計による吸水量 Q の関係を示す。温度履歴なしのベントナイトの吸水量は、初期勾配から外れるのが早いことが分かるが、これは供試体の乾燥密度の変動による可能性が高い。これについては、温度履歴の条件を増やし、再現性の確認を行い、温度履歴による吸水挙動の影響を更に調査する必要がある。次に、図4は式(2)を用いて算出した吸水初期の水分拡散係数 D を乾燥密度 ρ_d との関係で整理したものである。この図より、温度履歴の有無に関わらず、水分拡散係数は $3.0 \times 10^{-9} \sim 5.0 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ に集中していることが確認できる。図3、図4に示す試験結果から、現段階では、本研究で設定した温度履歴条件の範囲では、水分移動特性に及ぼす影響は小さいと考えられる。

5. 結論

本研究では、膨潤圧発生に伴う吸水量測定試験を実施し、ベントナイトの水分拡散係数を算出することで、温度履歴の影響を調査した。その結果、本研究で実施した温度履歴の条件では、水分拡散係数に大きな影響がないことが分かった。今後の展開としては、今回7日間の温度履歴を与えたベントナイトを用いたが、より長期間の温度履歴を与えたベントナイトを用いた調査が必要であると考えている。

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 (地圏工学), Vol. 63, No. 3, pp.731-741, 2007.08. 2) 小峯秀雄, 小山田拓郎, 尾崎匠. 磯さち恵: 締固めた粉体状ベントナイト各種の水分移動特性と膨潤圧挙動に関する考察, 土木学会論文集C (地圏工学), Vol.74, No.1, pp.63-75, 2018.

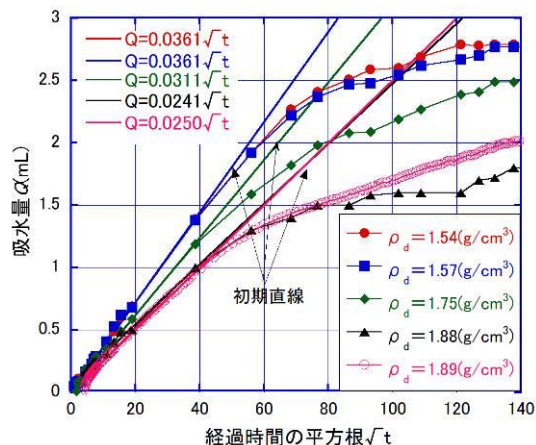


図2 温度履歴なしのベントナイトの経過時間の平方根と吸水量の関係

表2 試験終了後の含水比および飽和度

乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	含水比 w (%)	飽和度 S_d (%)
1.54	33.2	102.1
1.57	28.2	103.0
1.75	25.9	118.9
1.88	22.6	132.8
1.89	20.0	109.3

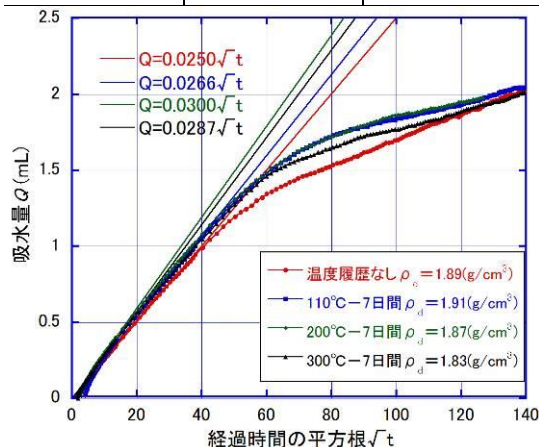


図3 乾燥密度1.85 g/cm³程度のベントナイトにおける経過時間の平方根と差圧計による吸水量の関係

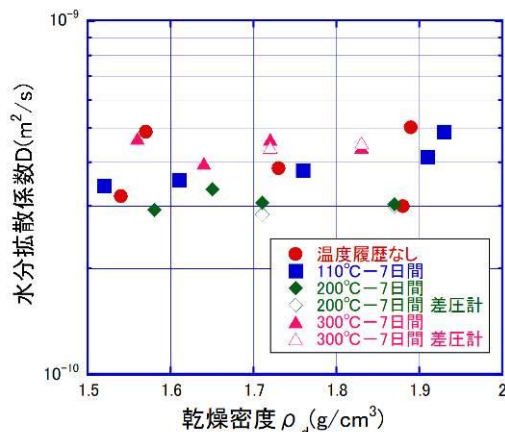


図4 水分拡散係数と乾燥密度の関係