

温度履歴を付与した Na 型ベントナイトの水分拡散係数の測定

早稲田大学 学生会員 ○白河部 匠 正会員 小峯 秀雄
フェロー会員 後藤 茂 正会員 王 海龍
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の地層処分におけるベントナイト系緩衝材の機能低下に、高レベル放射性廃棄物からの崩壊熱による熱履歴の影響が懸念されている¹⁾。そこで、本研究では緩衝材の技術要件であるベントナイト系緩衝材による地下水の移行抑制性に及ぼす温度履歴の影響を評価する。本論文では、温度履歴を付与したベントナイトの水分拡散係数について、ベントナイトの体積拘束下の吸水量測定試験から測定を行った。

2. 使用した試料、温度履歴の付与方法および試験方法

本研究では、表 1 の基本的性質を有するクニミネ工業製のクニゲル V1 (以後、V1 と記す。) を用いて試験を行った。温度履歴を付与した V1 の吸水量を測定するため、図 1 のように試験を実施した。温度履歴の付与には大気圧環境に保持された乾燥炉を使用し、粉体状の V1 をステンレス製バットに入れ、期間および温度条件に設定した乾燥炉に静置した。温度履歴の条件は、温度を 60℃、110℃、130℃、160℃、200℃、250℃および 300℃、期間を 7 日間、30 日間、120 日間、365 日間および 730 日に設定した。これらの試料の含水比を図 1 のよう

表 1 本試験で使った試料

タイプ	Na 型
土粒子密度(Mg/m³)	2.76
液性限界(%)	504.8
塑性限界(%)	44.8
モンモリロナイト含有率(%)	54.4
陽イオン交換容量(meq/100g)	71.9
浸出 Na ⁺ イオン(meq/100g)	53.8
浸出 Ca ²⁺ イオン(meq/100g)	35.5
浸出 Mg ²⁺ イオン(meq/100g)	1.6
浸出 K イオン(meq/100g)	<1.0

に調整し、供試体 (直径：28mm、高さ：10mm) を作製した。作製した供試体の体積を拘束するため、供試体側方への変形をステンレス製リングにより拘束し、鉛直方向の変形をクランプノブで固定したピストンにより抑制したが、ベントナイトの膨潤により、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。試験終了時の変位から体積を補正し、補正乾燥密度 ρ_{d0} をもとめ、これを用いて整理を行った。この時の吸水量を 2 重管ビュレットによって測定し、吸水量の変化を小峯ら²⁾の提案した水分拡散係数 D の算出法に則り、ベントナイトの水分拡散係数を算出した。この算出法は、水分拡散係数を一定として扱うことで短期間の試験結果から試験結果に整合した水分拡散係数を算出することが可能なため、温度履歴による吸水挙動の変化を予測することができる。水分拡散係数は式(1)から算出し、詳細については小峯らの研究²⁾を参照されたい。ここで、 a ：単位時間の平方根当たりの吸水量 (mL/ $\sqrt{\text{min}}$)、 A ：供試体の断面積、 n'_e ：供試体の吸水に対する有効間隙体積率である。

$$D = \pi \left(\frac{a}{2An'_e} \right)^2$$

(1)

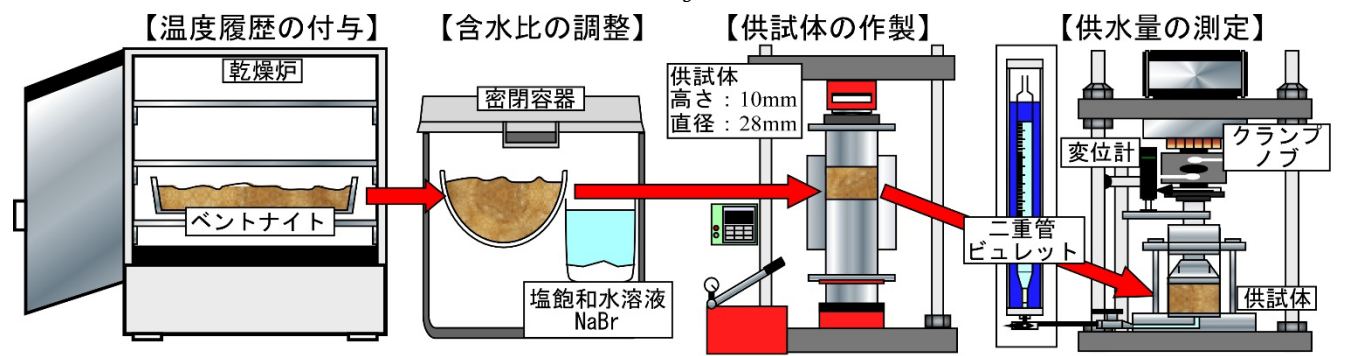


図 1 温度履歴を付与したベントナイトにおける体積拘束下の吸水量測定試験方法の概要

キーワード ベントナイト系緩衝材、水分拡散係数、熱的性質、崩壊熱

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

3. 体積拘束下の吸水量測定試験結果

図2は、測定した吸水量の経時変化および経過時間の平方根との関係の1例として、110℃、365日間の温度履歴を付与したV1のものである。また、各試験条件の名称を「試料名_温度履歴の温度(℃)_温度履歴の期間(day)_目標乾燥密度(Mg/m³)」と示す。吸水量の経時変化より、吸水開始から3000分程度は、急激に吸水し、その後、試験終了時まで緩やかに吸水される。経過時間の平方根で整理すると、吸水初期から1000分程度において、一次関数的に増加し、近似直線が得られる。これは、小峯らの研究成果²⁾とも整合しており、他条件の温度履歴でも、同様の結果が確認された。図3は、全条件および365日間の温度履歴を付与したV1の算出した水分拡散係数と補正乾燥密度の関係である。水分拡散係数は、高乾燥密度ほど増加し、本研究における温度履歴および乾燥密度の全条件において、 10^{-10} m²/s～ 10^{-9} m²/sの範囲であった。V1の水分拡散係数は、7日間の温度履歴では差異は確認されなかったが、30日間以上かつ200℃以上の温度履歴を付与することで、水分拡散係数は微増しており、乾燥密度が1.5 g/cm³のときに大きく増加する。この水分拡散係数の増加量は、温度履歴の期間を30日間から730日間に延長しても、おおむね変わらない。一方、図3の左図から、温度による影響を比較すると、温度履歴の温度が高い場合、乾燥密度が1.6 g/cm³のときでも、水分拡散係数が高くなることが確認された。120日間以下の温度履歴では、ばらつきが大きいと同様の結果が確認された。

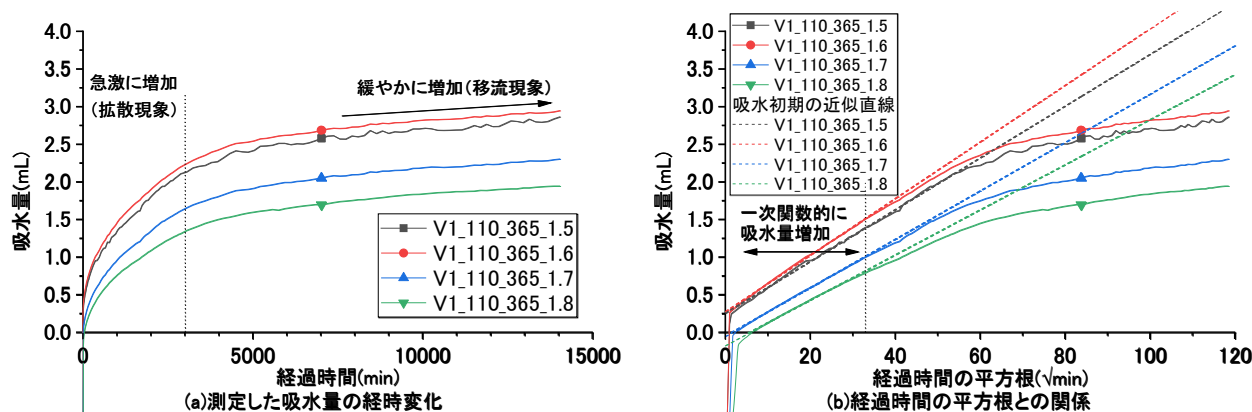


図2 測定した吸水量の経時変化(a)および経過時間の平方根との関係(b)の1例

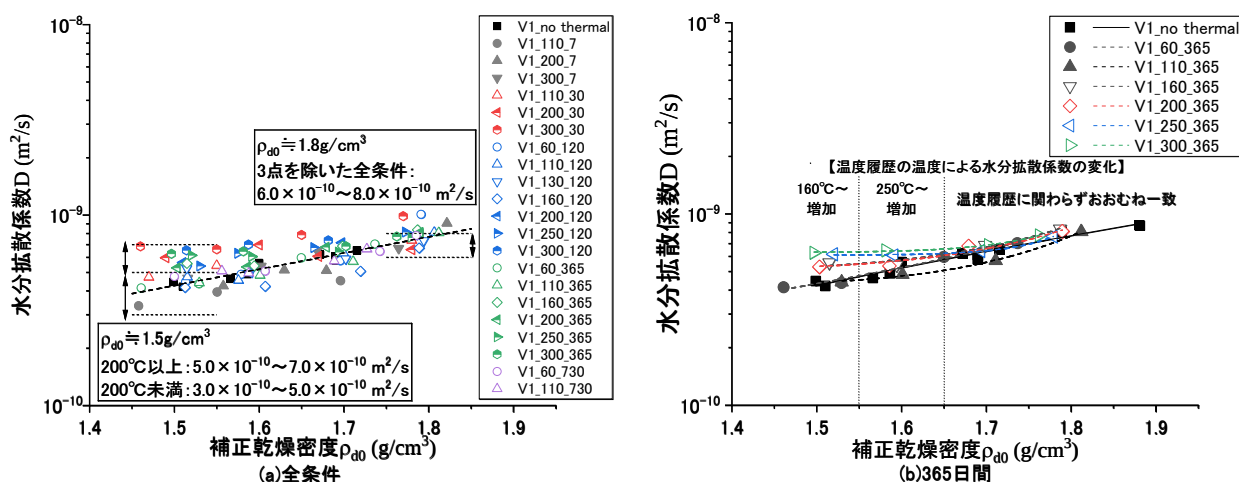


図3 (a)全条件および(b)365日間の温度履歴を付与したV1の算出した水分拡散係数と補正乾燥密度の関係

4. まとめ

V1の水分拡散係数は、低乾燥密度かつ200℃以上の温度履歴において増加するが、30日間から730日間に履歴時間を延長しても、増加量に変化しないことが分かった。

参考文献 1) Villar M.V., Lloret A.: Influence of temperature on the hydro-mechanical behaviour of a compacted bentonite, Applied Clay Science, Vol.26, pp.337-350, 2004 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.