

ベントナイト供試体の透水挙動モデル構築に関する実験的研究 —その3: プレハイドレーション効果—

伊藤 歩夢^{*1}・千々松 正和^{*1}

締め固めたベントナイトの透水係数は、間隙率の大きさに対して一般的な土質材料の透水係数と比較すると非常に小さい。また、浸透水の水質によっても透水係数は大きく異なるが、浸透水の粘性の違いだけでは透水性の違いを評価できない。本研究の目的は、ベントナイトの浸潤・浸透挙動メカニズムを解明し、数値解析に適用可能なモデルを構築することにある。本研究ではNa型及びCa型のベントナイトに対する物性値の取得を行った。またNa型ベントナイトの有効間隙率の解析と透水試験の結果を用いてプレハイドレーション効果の評価を行った。

キーワード：ベントナイト、透水係数、浸潤挙動、X線回折、有効間隙率、プレハイドレーション

1. はじめに

ベントナイトは単体または砂礫との混合土として、放射性廃棄物の処分施設でのバリア材としての利用が検討されている。ベントナイト及びベントナイト混合土を用いて構築したバリア層には、長期間にわたって地下水の浸入を抑制するとともに、周辺環境への放射性物質の流出を遅延させるといった機能が期待されている。

室内試験で得られるバリア層の透水係数は、ベントナイトの土粒子密度及び圧縮成型した時の供試体の乾燥密度から算出される間隙率から推定される値に比べるとかなり小さい。また、試験水がイオン交換水の場合と海水等のイオン強度の高い溶液の場合とでは透水係数は大きく異なるため、試験水の粘性の違いだけでは、その透水性を評価することはできない。

ベントナイトの主要鉱物であるモンモリロナイトは層状構造をしており、周囲の水を層間に取り込み体積が膨張する性質を持つ。ベントナイトでは膨潤と呼ばれるこの性質により、飽和状態においてモンモリロナイトが通水経路となりうる間隙を埋めるため、土構造物全体の透水係数が低下する現象が生じるものと考えられる。その際のベントナイトによる間隙の閉鎖挙動は、非常に微小な領域で生じており、電子顕微鏡等による直接観察は非常に難しい。また、モンモリロナイトの膨潤特性は浸潤水の性質にも影響を受ける。このように、締め固めたベントナイトでは透水性を評価する際に考慮すべきパラメータが非常に多く、複雑である。そのため、ベントナイト中の水の浸潤挙動を正確に再現したモデルの検討事例は少ない。

本研究の目的は、様々な水質条件下でのベントナイトの透水挙動を定量化し、数値解析に適用し得る浸潤・浸透挙動モデルを構築することである。モデル化によりバリア層の長期にわたる性能評価が可能となれば、安全性を重視する放射性廃棄物の処分事業に与える影響は非常に大きい。

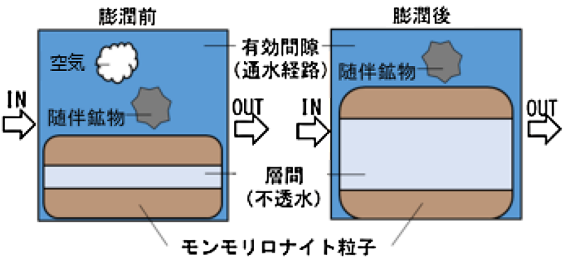
前報¹⁾²⁾では、Na型ベントナイトを対象に層間距離及び透水係数の測定と透水試験後の水質分析を行い、以下のような知見を得た。1) 初期飽和時における浸潤水の水質がベントナイトの透水係数に影響を及ぼす。2) イオン交換水飽和試料ではモンモリロナイトが3分子層〜無限膨潤し、人工海水飽和試料では3分子層膨潤する。3) 透水試験前後で試験水の水質を測定した結果、人工海水を通水させた試料において、モンモリロナイトの層間陽イオン交換を起因とするNaイオンの増加を観察した。4) 低密度条件 (1.00Mg/m^3) と高密度条件 (1.37Mg/m^3) での浸潤挙動に伴う層間距離のデータの取得と有効間隙率の解析を行い、浸潤・浸透挙動モデルの妥当性を確認した。

本論文では、まずNa型ベントナイトのイオン交換水条件と人工海水条件に加えて、イオン交換水で飽和させた後に人工海水を浸潤させた条件での透水試験結果と有効間隙率の解析結果について記載した。次にCa型ベントナイトを用いた試験結果も併せて記載した。最後にこれらの結果より透水挙動モデルについて考察するとともに、これを今後高度化していくにあたっての課題をまとめた。

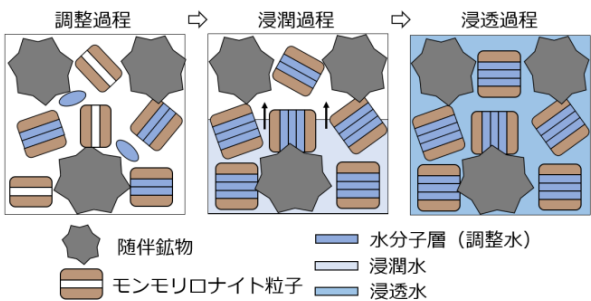
*1 原子力部

2. 物性値の取得方法

本研究では図－1に示すように、モンモリロナイトが膨潤することによってベントナイト中の間隙が減少し、透水係数が低下するというモデルを仮定した。XRD によ



図－1 間隙の考え方



図－2 試験水の考え方

表－1 試験条件

条件名	調整水	浸潤水	浸透水	乾燥密度 (Mg/m ³)	設定 含水比 (%)	XRD	透水試験
Na-DW①	DW	DW	DW	1.37	10.0	○	○
Na-DWSW①	DW	DW	SW	1.37	10.0	○	○
Na-SW①	DW	SW	SW	1.37	10.0	○	○
Na-DW②	DW	DW	DW	1.00	10.0	○	○
Na-DWSW②	DW	DW	SW	1.00	10.0	○	○
Na-SW②	DW	SW	SW	1.00	10.0	○	○
Ca-DW②	DW	DW	DW	1.00	14.9	○	○
Ca-DWSW②	DW	DW	SW	1.00	14.9	-	○
Ca-SW②	DW	SW	SW	1.00	14.9	○	○

DW:イオン交換水、SW:人工海水

表－2 XRD 測定条件

項目	測定条件
管球	MoK α
スキャンステップ	0.025°
スキャン速度	0.1deg/min
スリット幅	5mm
発散スリット	1/4°
散乱スリット	1/2°
受光幅	0.3mm

るモンモリロナイトの層間距離の測定値から有効間隙率を解析し、透水試験の結果と比較することにより、ベントナイトの透水挙動を評価することを試みた。

供試体の間隙はモンモリロナイトの層間と有効間隙で構成されているとし、透水試験において水は有効間隙のみを流れるものとする。有効間隙とは、図－1における随伴鉱物とモンモリロナイト以外の青色部分と定義する。

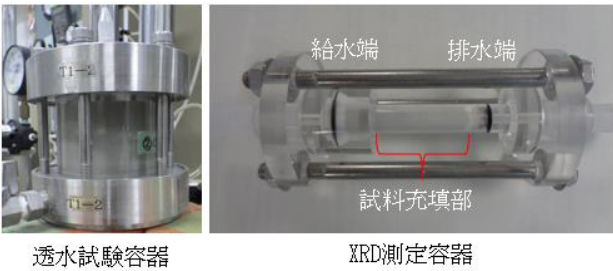
試験水は、図－2に示すように供試体の含水比調整に用いる調整水、不飽和状態から飽和状態になるまで通水する浸潤水、飽和状態において通水を行う浸透水の3種類を区別する。地下水環境は、放射性廃棄物の地層処分事業で考えられる淡水と塩水を想定し、イオン交換水(Deionized waterで浸潤・浸透(以下、DW)、人工海水(Artificial seawater)で浸潤・浸透(以下、SW)及びイオン交換水で浸潤後に人工海水で浸透(以下、DWSW)の3つの試験水条件で試験を行った。

2.1 XRD 測定

供試体条件を表－1に示す。条件名のNa及びCaは、月布産Na型ベントナイトと宮城産Ca型ベントナイトを用いた試料であることを示す。モンモリロナイトの層間距離は、Ca-DWSW②を除く8供試体でX線回折(XRD)を実施し、XRDピークの最大値の5点平均値を代表値として採用した。なお、人工海水は市販の試薬(富田製薬株式会社製マリンアートSF-1)を用いて作製した。

(1) 供試体作製条件

供試体は試験容器に入れて、そのまま動的締固めをすることにより作製した。地層処分事業で検討されているバリア材の配合は、ベントナイト:70%、珪砂:30%であり、乾燥密度は1.6Mg/m³で有効粘土密度に換算すると1.37Mg/m³である。今回は珪砂との混合を行わず、ベントナイト単体とした。Na型ベントナイトを用いた試験では、有効粘土乾燥密度を高密度条件1.37Mg/m³(①)及び低密度条件1.00Mg/m³(②)とした。Ca型ベントナ



図－3 試験容器

イトを用いた試験では、有効粘土乾燥密度を 1.00Mg/m^3 (②) とした。

供試体サイズは、XRD で測定ができるように直径 11mm 及び長さ 51mm とし、ポリカーボネイトを用いて試験容器を作製した。XRD 測定試験容器を図－3 に示す。試験容器の両端は通水できるように孔を設けた。

(2) 測定条件

各試験水条件で飽和させた供試体に対して XRD 測定を行った。また、層間距離から層間に含まれる水分子の層数を推定した。測定には X 線回折装置（リガク製 RINT Ultima III）を用いた。測定条件を表－2 に示す。測定は給水端から排水端にかけて 5mm 間隔で複数回行った。

2.2 透水試験

透水試験には、XRD 測定と同様に Na 型及び Ca 型のベントナイトを用いた。透水試験は低透水性材料の透水試験方法（JGS 0312-2018）に従った。試験水には、供試体の含水比調整に用いる調整水、不飽和状態から飽和状態になるまで通水する浸潤水、飽和状態において通水を行う浸透水の 3 種類を区別して用いた。

供試体の作製要領は 2.1 (1) と同じである。寸法は直径 60mm とし、高さは XRD 測定試験容器の長手方向の長さに合わせて 50mm とした。Na 型ベントナイトを用いた試験では、有効粘土乾燥密度を高密度条件の 1.37Mg/m^3 (①) 及び低密度条件の 1.00Mg/m^3 (②)、Ca 型ベントナイトを用いた試験では、低密度条件の 1.00Mg/m^3 (②) とした。

3. 測定結果

3.1 XRD 測定結果

Na 型ベントナイト及び Ca 型ベントナイトの XRD 測定結果を図－5、図－4 に示す。また、モンモリロナイトの層間距離の代表値を表－3 に示す。以下にベントナイトの型と乾燥密度条件毎に測定結果をまとめる。

(1) Na 型ベントナイト高密度条件

DW、DWSW 及び SW の 3 条件における層間距離は、それぞれ 22Å ・ 21.5Å ・ 21Å となった。層間距離の大小関係は $DW > DWSW > SW$ となり、SW 条件では他の条件よりも膨潤変形量が小さい。DW 条件と DWSW 条件において、測定位置によるピーク位置の差はほとんどなく、供試体内の層間距離の分布は一樣であった。一方、SW 条件では排水側に近いほど層間距離が狭く、ピーク強度が小さ

表－3 XRD 測定による層間距離 (Å)

密度条件 試験条件	① 1.37Mg/m^3	② 1.00Mg/m^3
Na-DW	22.0	23.0
Na-DWSW	21.5	20.8
Na-SW	21.0	21.0
Ca-DW	-	21.4
Ca-SW	-	21.4

表－4 透水試験結果

密度条件 試験条件	① 1.37Mg/m^3	② 1.00Mg/m^3
Na-DW	$5.09\text{E-}12$	$5.66\text{E-}12$
Na-DWSW	$1.87\text{E-}12$	$2.09\text{E-}11$
Na-SW	$2.00\text{E-}11$	$1.97\text{E-}09$
Ca-DW	-	$2.36\text{E-}11$
Ca-DWSW	-	$2.03\text{E-}11$
Ca-SW	-	$3.02\text{E-}11$

くなる傾向が見られた。

(2) Na 型ベントナイト低密度条件

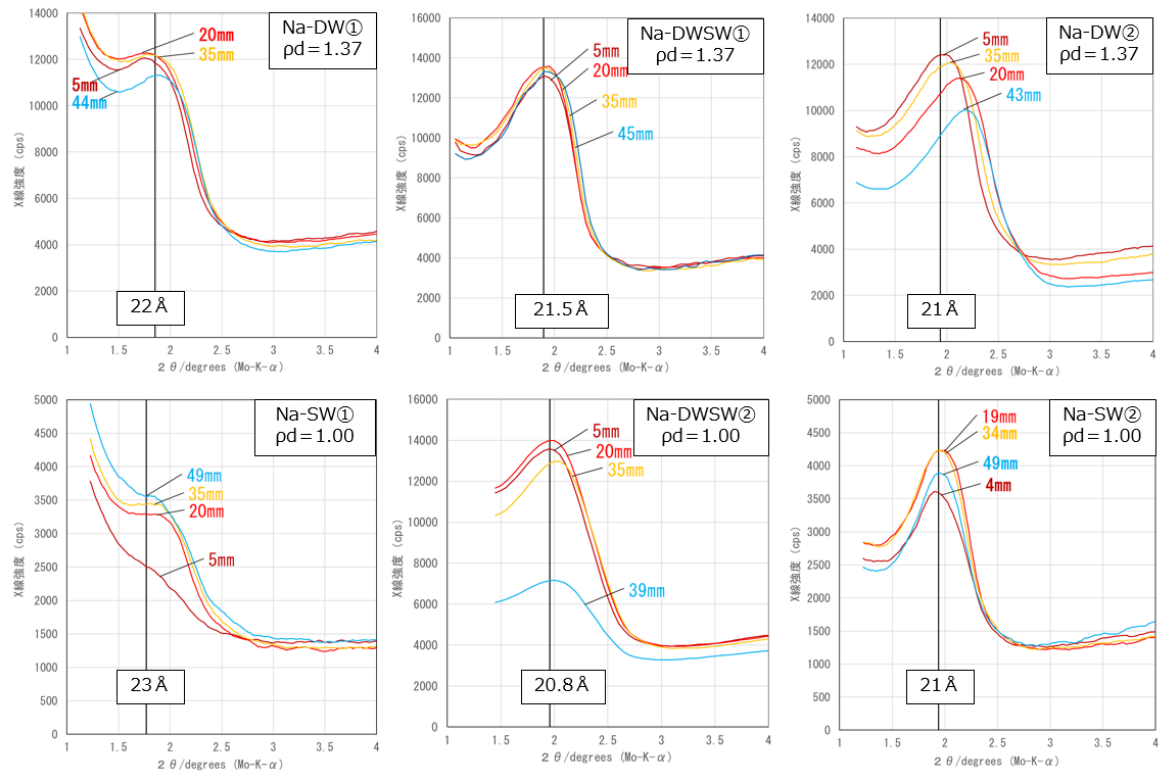
(1) と同じ 3 条件における層間距離はそれぞれ、 23Å ・ 20.8Å ・ 21Å となった。層間距離の大小関係は $DW > SW > DWSW$ となり、DWSW 条件が最も膨潤変形量が小さい。これは Na 型ベントナイト高密度条件の傾向と異なる。DW 条件では給水端から 5mm の位置で低角側にピークが観察され無限膨潤状態となっている。3 条件全てで測定位置によるピーク位置の差はほとんどなく、供試体内の層間距離の分布は一樣であった。

(3) Ca 型ベントナイト低密度条件

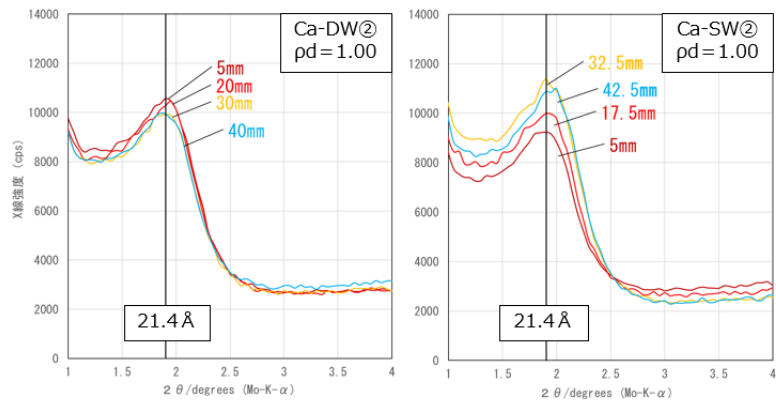
DW 及び SW の 2 条件における層間距離はそれぞれ、 21.4Å ・ 21.4Å となった。DW 条件・SW 条件で層間距離に差がなく、膨潤変形量は同程度である。2 条件で測定位置によるピーク位置の差はほとんどなく、供試体内の層間距離の分布は一樣であった。

3.2 透水試験結果

各試験水条件及び乾燥密度条件による透水試験結果を表－4 に示す。以下にベントナイトの型と乾燥密度条件毎に結果をまとめる。



図－5 XRD 測定結果 (Na 型ベントナイト)



図－4 XRD 測定結果 (Ca 型ベントナイト)

(1)Na 型ベントナイト高密度条件

DW 及び DWSW 条件では透水係数が 10^{-12} (m/s) のオーダーとなっており、SW 条件の透水係数に比べ 1 オーダー小さい。透水係数の大小関係は $SW \gg DW > (\approx) DWSW$ となっている。

(2)Na 型ベントナイト低密度条件

DW 及び DWSW 条件では透水係数がそれぞれ 10^{-12} (m/s) と 10^{-11} (m/s) のオーダーとなっており、SW 条件の透水係数に比べ 2～3 オーダー小さい。透水係数の大小関係は高密度条件と変わらず $SW \gg DWSW > (\approx) DW$ であるが、その差は低密度条件の方が大きい。

(3)Ca 型ベントナイト低密度条件

DW、DWSW 及び SW 条件では透水係数はほとんど変わらず、いずれも 10^{-11} (m/s) のオーダーとなった。

4. 有効間隙率

4.1 解析方法

Na 型ベントナイトの XRD 測定の結果をもとに、有効間隙の体積が全体積に占める割合（以下、有効間隙率）を解析した。解析に用いたパラメータは表－5 に示した。ここに、 ρ_{solid} ：ベントナイト系材料中固相の土粒子の密度 (Mg/m^3)、 ρ_{nm} ：ベントナイト中のモンモリロナイト

表－5 解析に用いたパラメータ

ベントナイト	ρ_{solid} (Mg/m ³)	ρ_{nm} (Mg/m ³)	ρ_0 (Mg/m ³)	C_m (%)	α (%)
KV1 (Na 型)	2.716	2.81	1.37, 1.00	52.9	100

以外の土粒子の密度 (Mg/m³), ρ_0 : ベントナイト系材料の初期乾燥密度 (Mg/m³), C_m : ベントナイトのモンモリロナイト含有率 (%), α : ベントナイト配合率 (%) である。

また, 図－1 を定量化するため, ベントナイトの構成物質を図－6 のように, V_1 : モンモリロナイトの乾燥体積, V_2 : モンモリロナイトの層間に存在する水の体積, V_3 : ベントナイト中の随伴鉱物の体積, V_4 : モンモリロナイトの層間以外に存在する水の体積, V_5 : 供試体中の空隙の体積とする。

ベントナイト中の空隙は, V_2 , V_4 及び V_5 で構成され, 透水試験において水は有効空隙 V_4 及び V_5 中を流れるものとする。 V_1 と V_3 は飽和状態に関わらず一定で, V_2 と V_4 は飽和状態により変化するものとする。また, 供試体中の水は V_2 に優先的に入るものとし, V_2 に入りきらない分は V_4 及び V_5 に存在するものとする。 V_5 は不飽和状態において正の値を示し, 飽和状態では 0 とする。

以上の前提において, 供試体中の各体積割合の算定式を式 (1) ～ (5) のように設定した。

$$\phi_1 = \frac{\rho_0}{\rho_{solid}} \times C_m \quad (1)$$

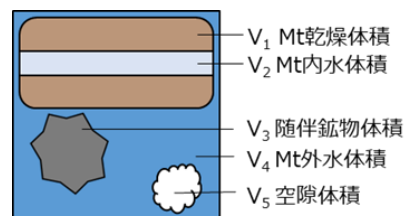
$$\phi_2 = \begin{cases} \rho_0 \times \omega \times 100, & \rho_{wall} = \rho_{wm} \\ \rho_{em} \times w_m \times 100, & \rho_{wall} > \rho_{wm} \end{cases} \quad (2)$$

$$\phi_3 = \phi_{solid} \times (100 - C_m) \quad (3)$$

$$\phi_4 = \begin{cases} 0, & \rho_{wall} = \rho_{wm} \\ (\rho_0 \times \omega - \rho_{em} \times w_m) \times 100, & \rho_{wall} > \rho_{wm} \end{cases} \quad (4)$$

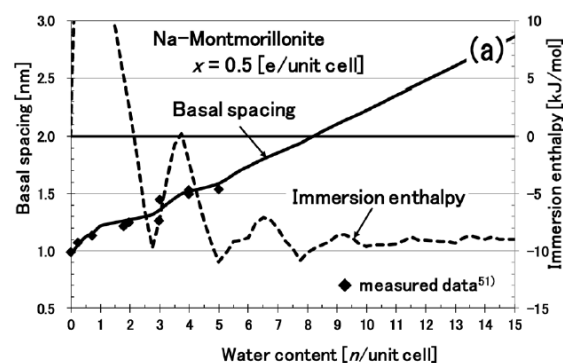
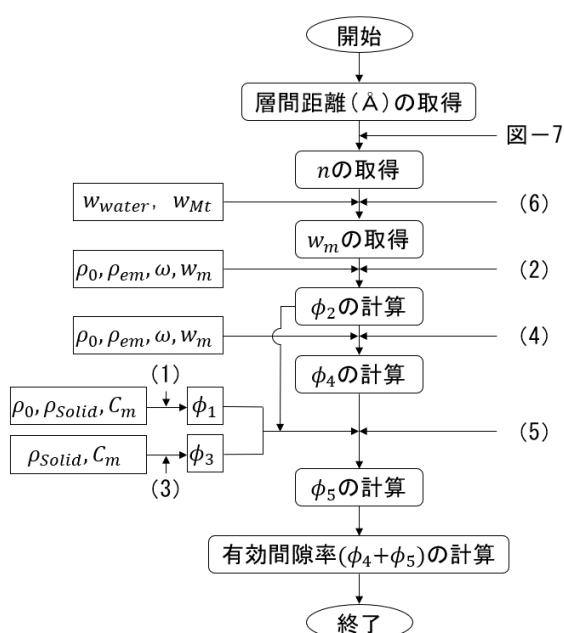
$$\phi_5 = 1 - (\phi_1 + \phi_2 + \phi_3 + \phi_4) \quad (5)$$

ここに, ϕ_1 : モンモリロナイトの乾燥体積割合 (%), ϕ_2 : モンモリロナイトの層間に存在する水の体積割合 (%), ϕ_3 : ベントナイト中の随伴鉱物の体積割合 (%), ϕ_4 : モンモリロナイトの層間以外に存在する水の体積割合 (%), ϕ_5 : 供試体中の空隙の体積割合 (%), ω : 供試体の含水比 (%), ρ_{em} : 有効モンモリロナイト密度 (Mg/m³), w_m : 単位質量当たりのモンモリロナイトの保持水分量 (g/g), ρ_{wall} : 供試体内に存在する単位体積当たりの水分量 (Mg/m³), ρ_{wm} : モンモリロナイト層間に存在する単位体積当たりの水分量 (Mg/m³) である。式 (2) の w_m の算出には, 図－7 に示す四辻ら³⁾の分子動力学シミュレー



Mt…モンモリロナイト

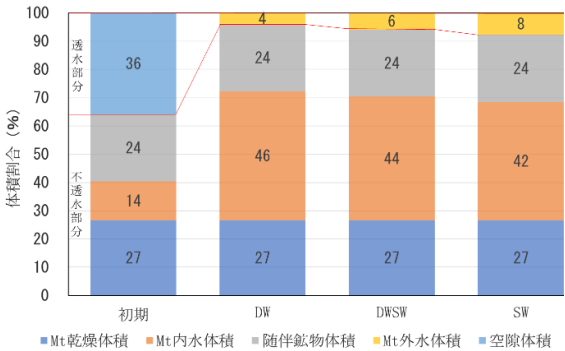
図－6 ベントナイトの構成物質モデル

図－7 単位格子当たりの Na 型モンモリロナイトの含水量と層間距離の関係³⁾

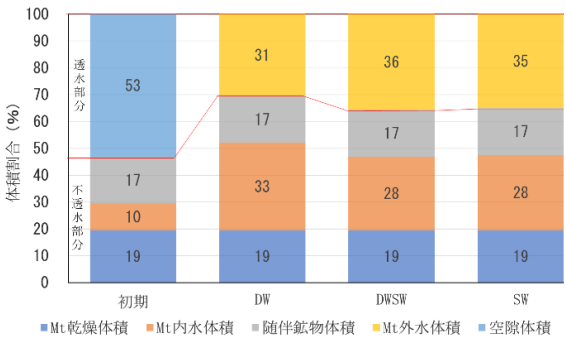
図－8 解析のフローチャート

表－6 モンモリロナイトの保持水分量 w_m (g/g)

試験条件	密度条件	
	①	②
	1.37Mg/m ³	1.00Mg/m ³
Na-DW	0.48	0.51
Na-DWSW	0.46	0.43
Na-SW	0.44	0.44



図－9 有効間隙率 (Na 型ベントナイト 1.37Mg/m³)



図－10 有効間隙率 (Na 型ベントナイト 1.00Mg/m³)

ションの解析結果を用いた。つまり、XRD 測定により得られた層間距離 (Basal spacing) を図－7 の関係図を用いて単位格子当たりの Na 型モンモリロナイトの含水量 (n/unit cell) に変換した。そして式 (6) を用いて単位格子当たりの Na 型モンモリロナイトの含水量 (n/unit cell) を単位質量当たり (g/g) に変換した。

$$w_m = \frac{w_{water}}{w_{Mt}} \times n \quad (6)$$

ここに、 w_{water} : 水のモル質量 (mol/g), w_{Mt} : モンモリロナイトのモル質量 (mol/g), n : 水の単位質量 (n/unit cell) である。図－8 には解析のフローチャートを示す。

4.2 解析結果

表－6 は、表－3 のデータを式 (6) より w_m に変換したものである。表－5 及び表－6 の値を式 (1) ～ (5) に代入し、 $\phi_1 \sim \phi_5$ 及び有効間隙率 ($\phi_4 + \phi_5$) を求めた。その結果を図－9 及び図－10 に示す。これらの図は初期状態の空隙体積 (水色) を介して供試体中に浸透した水が、飽和に伴って Mt 内水体積 (橙色) と Mt 外水体積 (黄色) に分かれることを示している。

(1) 高密度条件 (①)

有効間隙率は初期状態で 36% である (図－9)。飽和によるモンモリロナイト (Mt) の膨潤後は、DW 条件・DWSW 条件・SW 条件で有効間隙率がそれぞれ 4%・6%・8% まで減少している。

(2) 低密度条件 (②)

有効間隙率は初期状態で 53% である (図－10)。飽和によるモンモリロナイトの膨潤後は、DW、DWSW 及び SW 条件における有効間隙率がそれぞれ 31%・36%・35% まで減少している。

5. 考察

XRD 及び透水試験の測定結果、有効間隙率の解析結果よりベントナイト中の有効間隙率と透水係数の関係について、以下に考察する。

(1) 乾燥密度の観点

Na 型ベントナイトにおいて実施した高密度及び低密度条件の結果を比較すると、通水前後での有効間隙率の変化や異なる試験水条件での透水係数の差が密度条件において大きくなる傾向が観察された。通水前後での有効間隙率の変化においては、低密度条件の方が高密度条件に比べて初期状態での有効間隙率体積割合が約 1.5 倍大きいため、ベントナイトの膨潤による間隙の閉塞によって有効間隙率の変化が顕著であった。これらのことから、異なる試験水条件での透水係数は、初期状態での有効間隙率が大きいことが、高密度条件との差異につながったと考えられる。また、初期状態での有効間隙率が大きいと、試験水と供試体中のモンモリロナイトとが接触する表面積が大きく、特に SW 条件ではイオン強度の高い人工海水がベントナイトの膨潤変形を抑制したのではないかと考えられる。先行研究⁴⁾においても、人工海水を用いた Na 型ベントナイトの透水試験が行われており、人

工海水の影響でベントナイトの膨潤量が抑制されることが報告されている。

(2) ベントナイトの層間陽イオンの観点

低密度条件において実施した Na 型及び Ca 型ベントナイトの結果を比較すると、DW 条件において Na 型ベントナイトの方が低い透水係数となった。一方、SW 条件では Ca 型ベントナイトの方が低い透水係数となった。これは前述した人工海水の影響により、Na 型ベントナイトの層間陽イオンが Ca に置換し、ベントナイトの膨潤量の抑制が起きたためであると考えられる。この傾向は DW 条件と SW 条件の層間距離の差からも説明できる。DWSW 条件では、Na 型ベントナイトにおける人工海水の影響は限定的で透水係数は SW 条件ほど高くならなかった。一方で Ca 型ベントナイトでは、DWSW 条件の透水係数は DW 条件と SW 条件と変わらなかった。この結果から Na 型ベントナイトの透水係数は、Ca 型ベントナイトに比べて浸潤水の種類による影響を強く受けることが分かった。

透水試験において水は有効間隙のみを流れるものと考ええると、異なる試験水条件でも層間距離が同じであれば、有効間隙率も等しくなり、その間隙を流れる水の透水係数も等しくなると考えられる。Ca 型ベントナイトでは、DW 条件と SW 条件で層間距離も透水係数も差はほとんどなかった。このことは本モデルの考え方と整合する結果となった。

(3) プレハイドレーションの観点

先行研究⁵⁾⁶⁾では、陽イオン濃度が高い間隙水（本研究では SW）がベントナイトに浸潤する前に、雨水や地下水などの陽イオン濃度の低い間隙水（本研究では DW）にて飽和されている現象をプレハイドレーションと定義しており、プレハイドレーション後であれば陽イオン濃度が高い間隙水が浸潤しても透水性の増加が大幅に抑制できることやベントナイトの沈降体積が増加することなどが報告されている。

本研究における DWSW 条件はプレハイドレーションを想定した試験条件である。Na 型ベントナイトでは、高密度と低密度の両条件で透水係数の大小関係は $SW \gg DWSW > (\approx) DW$ であり、DWSW 条件はプレハイドレーション効果により、人工海水影響による透水性の増加が抑制された結果となった。高密度条件の有効間隙率を示した図-9では、DW 条件で最も有効間隙率が小さく、SW 条件で最も大きくなっている。DWSW 条件ではその中間値

となっており、一部ベントナイトが Ca 型化するものの供試体全体としての有効間隙率は SW 条件よりも低くなっている。XRD と透水試験の結果から、高密度条件でのプレハイドレーションは人工海水の影響による層間陽イオンの Ca 型化と透水性の増加の抑制が可能であると考えられる。低密度条件の有効間隙率を示した図-10では、DWSW 条件で最も有効間隙率が大きくなった。しかしながら透水係数は人工海水の方が高い結果となった。透水試験の結果から高密度条件と同様にプレハイドレーションの効果はみられるものの、有効間隙率の大きさから透水係数の傾向を説明することは本データのみでは難しい。そのため試験データを拡充し、有効間隙率解析の高度化や適用可能な密度範囲の検討が必要である。

6. まとめ

6.1 成果

本研究では前報¹⁾²⁾で実施した Na 型ベントナイトの試験水条件（DW, SW）に加えて DWSW 条件を追加し、モンモリロナイトの浸潤挙動に伴う層間距離と透水係数のデータを取得した。また Ca 型ベントナイトについても新たに層間距離と透水係数のデータを取得した。XRD 測定で得られた層間距離から有効間隙率を算出する解析フローを DWSW 条件に適用し、解析によって得られた有効間隙率と実験で取得した透水係数を比較することでモンモリロナイトの膨潤メカニズムを説明することを試みた。本研究の成果は以下のようにまとめられる。

- ・ モンモリロナイトの膨潤により有効間隙率が減少し、透水係数が小さくなるという当初想定していたメカニズム（透水挙動モデル）が、試験水やベントナイトの種類の違いによる各試験結果からほぼ妥当であることが確認された。
- ・ Na 型ベントナイトの高密度条件において、プレハイドレーション効果による人工海水の影響による層間陽イオンの Ca 型化の抑制を XRD により観察した。また、透水係数の増加の抑制効果を透水試験により確認した。

6.2 今後の課題

供試体の乾燥密度条件によっては、有効間隙率の大きさから透水係数の傾向を説明することができなかった。これについては、要因を追求していく必要があるが、これを含めた今後の課題を以下に挙げる。

- ・ 層間距離から有効間隙率を算定する式 (1) ~ (5) を高次の式にする等の改良を行う。
- ・ 今回は有効間隙を通水するモデルを考えたが、層間を通るモデル要素も合わせて検討する。
- ・ 供試体内での密度の不均一に伴うモンモリロナイトの層間距離のばらつきを考慮できる解析モデルを検討する。
- ・ Na 型ベントナイトで実施した有効間隙率解析のフローやパラメータを改良し、Ca 型ベントナイトでも使用可能か検討を行う。

謝辞

本研究の実験と解析を行うにあたり、東京科学大学の河村雄行教授、クニミネ工業株式会社の諸留章二氏にご協力いただきました。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 伊藤歩夢, 千々松正和: ベントナイトの透水挙動モデル構築に関する実験的研究, 安藤ハザマ研究年報, Vol. 8, P. 11, 2020.
- 2) 伊藤歩夢, 千々松正和: ベントナイト供試体の透水挙動モデル構築に関する実験的研究 その2: 有効間隙率評価, 安藤ハザマ研究年報, Vol. 9, P. 14, 2021
- 3) 四辻健治, 舘幸男, 河村雄行, 有馬立身, 佐久間博: 分子動力学法によるモンモリロナイト層間中の水とイオンの物性評価—拡散モデルへの反映—, 粘土科学, 第 58 巻, 第 1 号, pp. 8-25, 2019.
- 4) 長谷川琢磨: ベントナイトの透水・浸潤特性への海水影響, 電力中央研究所研究報告, N0400, 2004.
- 5) 本島貴之, 木ノ村幸士, 金子岳夫, 河原忠弘, 庭瀬一仁, 伊藤裕紀: ベントナイト透水特性に対する間隙水水質の影響に関する一考察, 土木学会第 65 回年次学術講演会, CS7-024, 2009.
- 6) 和田信一郎, 磯さち恵, 本島孝之, 森裕樹: モンモリロナイトの水中沈降体積に対するプレハイドレーションの影響, A13, 第 63 回粘土科学討論会講演要旨集, 2019.

Experimental study on the construction of a permeability model of bentonite - Part3:Pre-hydration effect -

Ayumu ITO, Masakazu CHIJIMATSU

The permeability coefficient of compacted bentonite is very small compared to that of general soil. In addition, the above coefficient greatly differs depending on the quality of the test water, and cannot be evaluated only by the difference in viscosity. The purpose of this study is to elucidate the mechanism of infiltration and penetration of bentonite and to build the behavior model applicable to a numerical analysis. Through this study, we obtained physical property values for Na-type and Ca-type bentonite. We also evaluated the pre-hydration effect using the analysis of the effective porosity of Na-type bentonite and the results of a water permeability test.
