

福島第一原子力発電所廃止措置および放射性廃棄物処分に資する地盤工学的技術開発の紹介

岩原将斗 山崎玉 渡邊康太郎（指導教員 小峯秀雄 王海龍 伊藤大知）

概要

福島第一原子力発電所の廃炉において放射性物質や汚染水の漏洩対策が求められる。そこで、早稲田大学では、高チキソトロピー性を有し、汚染水漏洩防止に資する土質系材料としてサポナイト水の研究を進めている。また、高レベル放射性廃棄物の地層処分事業では低透水性・遮水性を有するベントナイトの活用が検討されている。その一環としてベントナイトの膨潤圧特性と人工海水濃度に関する研究を行っている。

高チキソトロピー性を有するサポナイト水における特性評価

研究背景

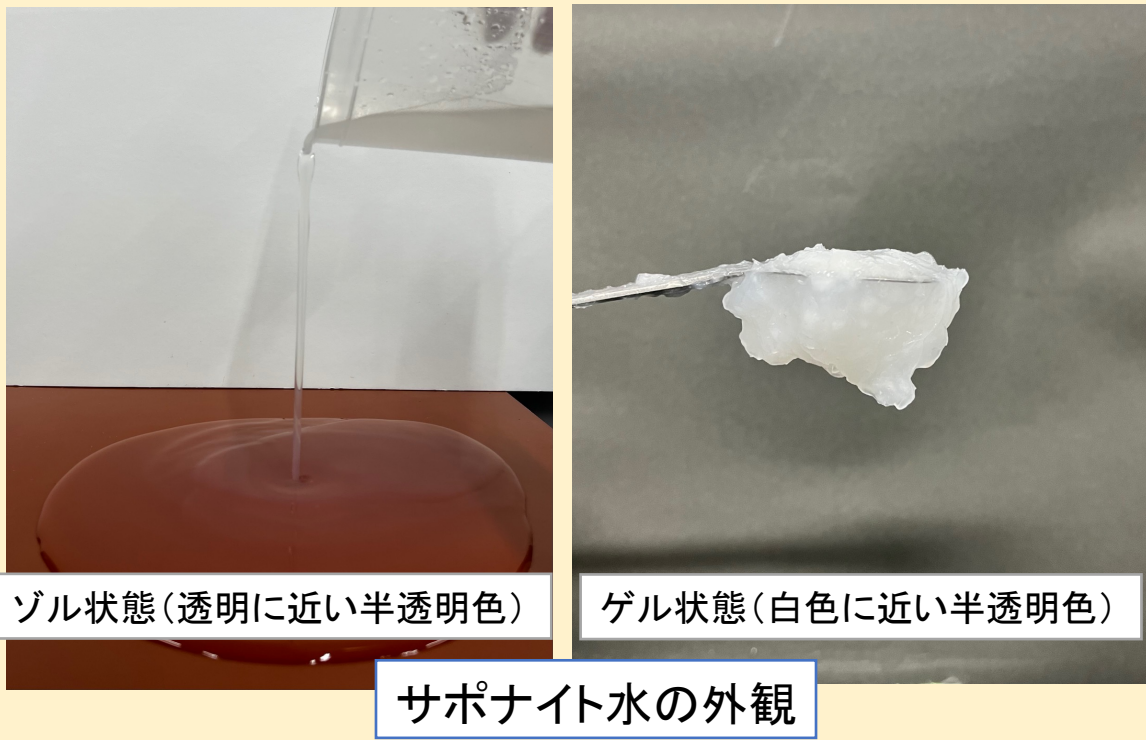
- 合成サポナイトSAはMgに富むスメクタイト族粘土鉱物であり、膨潤性、増粘性、チキソトロピー性、陽イオン交換性を有する。
- チキソトロピー性は、せん断力を加えることで粘性が低下しゾル化する一方で、静置することで粘性を取り戻しゲル化する性能である。
- この性能から、合成サポナイトSAを水に分散させたサポナイト水が、使用済燃料プールなどへの充填・取出しを容易にするとともに放射性物質や汚染水漏洩の抑止に役立つと考えられる。

実験方法

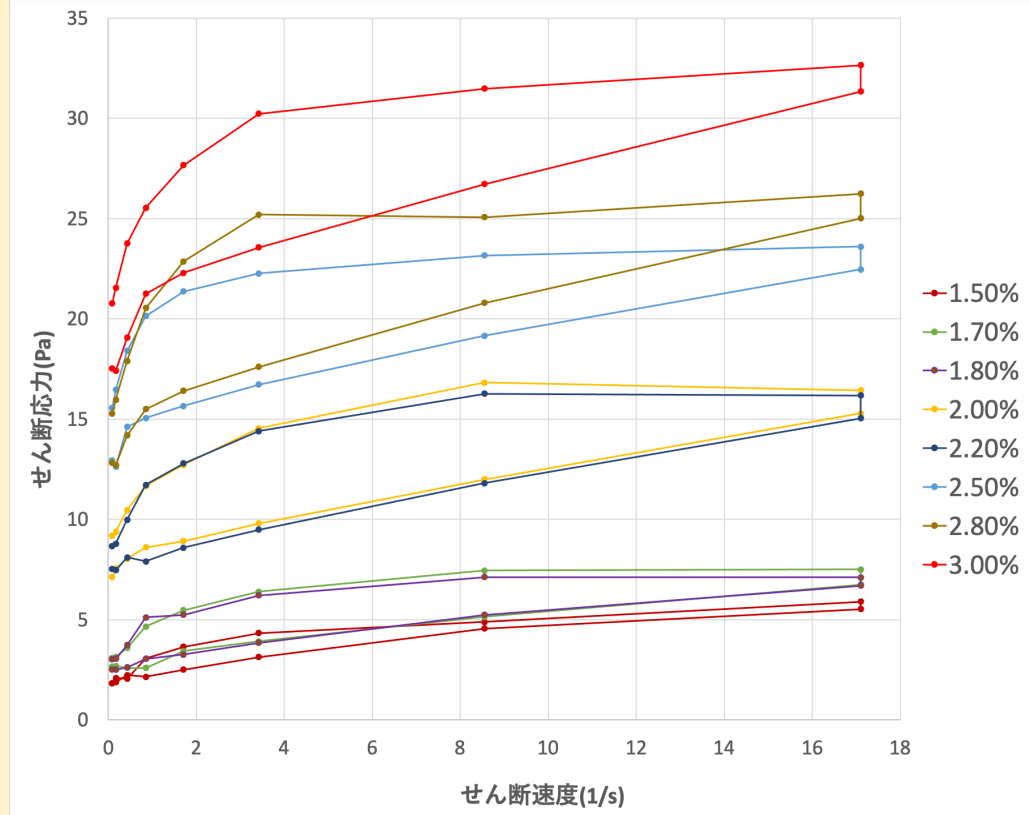
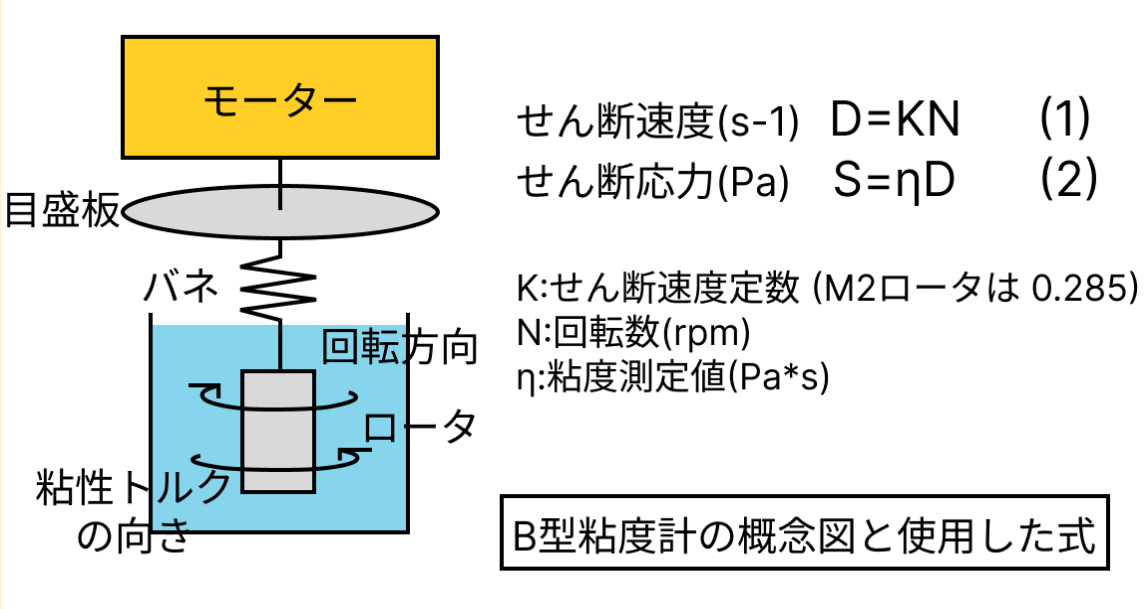
- 合成サポナイトSAを攪拌機を用いて水に分散させ4日養生させたものをB型粘度計(TVB-22・東機産業)にセットする。本試験ではロータはM2を用いた。
- ロータの回転数を増加させていき、最大回転数に達したら下降させこの際に生じたせん断応力の差を測定する。
- 流動曲線を示すために式(1)、式(2)を用いて結果を整理した。

実験結果・考察

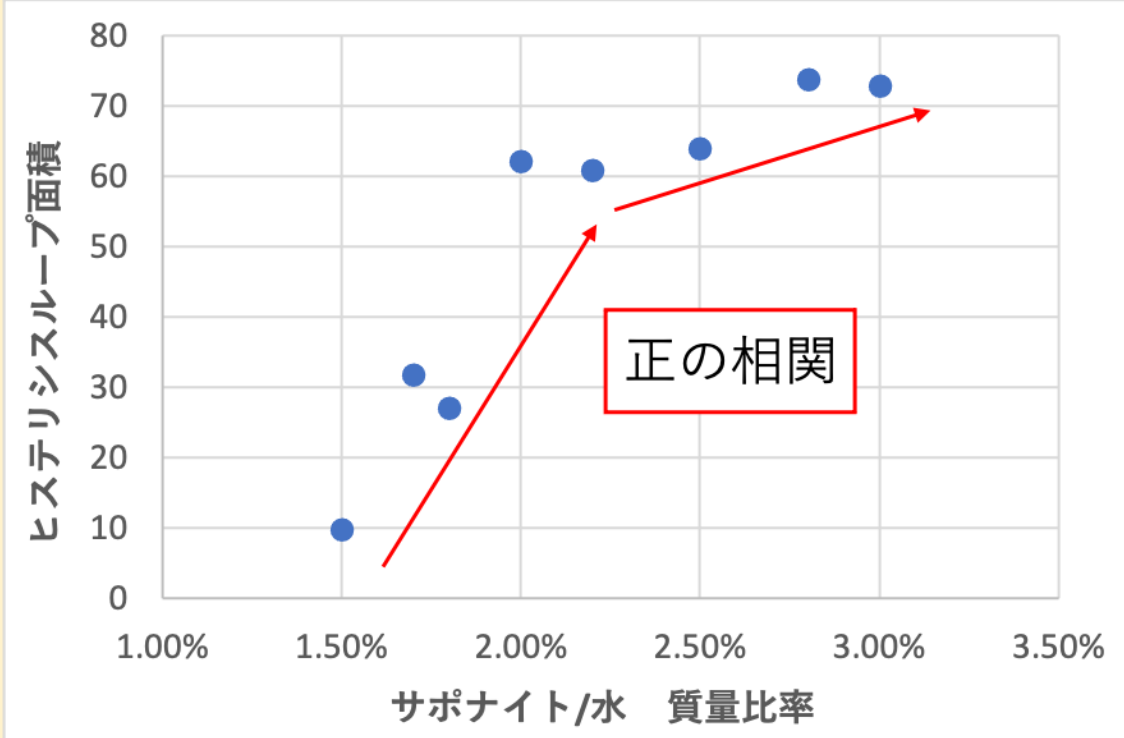
- 本試験で用いた質量比率 1.5 %以上のサポナイト水全てで、チキソトロピー性を示すヒステリシスループを描いた。質量比率の増加に伴いせん断応力(粘度)の増加が認められた。
- 質量比率とヒステリシスループ面積の関係に着目すると正の相関性があり、質量比率2.0 %以上でのヒステリシスループ面積の増加割合は緩やかになることが認められた。これによって合成サポナイトSAの増加によって粘度は増加するが、質量比率2.0 %以上でチキソトロピー性(ゲル→ゾル転移)が顕著になると考えられる。合成サポナイトSAをさらに増加させるとゾル状態にならずチキソトロピー性が発現しないため、負の相関性が見られると予想している。



サポナイト水の外観



せん断速度とせん断応力の関係



質量比率とヒステリシスループの関係

ベントナイトの膨潤圧に及ぼす非膨潤性材料の配合率の影響に関する研究

研究背景

- 高レベル放射性廃棄物の地層処分では、廃棄体周囲に膨潤性や低透水性に優れたベントナイト系材料を砂と混合して、緩衝材として用いることが有力である。
- 混合する材料の配合率や粒径によるベントナイトの膨潤特性への影響を詳細に把握する必要がある。本研究では、混合材として非膨潤性・化学的安定性の観点から高純度アルミナ微粉(WA微粉)を用いた。

実験方法

- WA微粉とベントナイト(クニゲルV1)を混合、静的締固めにて供試体を作製した。
- 膨潤圧試験装置にセットして給水を開始した。
- 30h経過後、取り出して膨潤圧を記録し、最終乾燥密度、有効モンモリロナイト密度を計算した。

計算方法

- 有効モンモリロナイト密度

有効モンモリロナイト密度とは随伴鉱物部分を除いたモンモリロナイトと間隙による乾燥密度であり、以下の式で求められる。

$$\rho_{\text{mon}} = m_{\text{mon}} / V$$

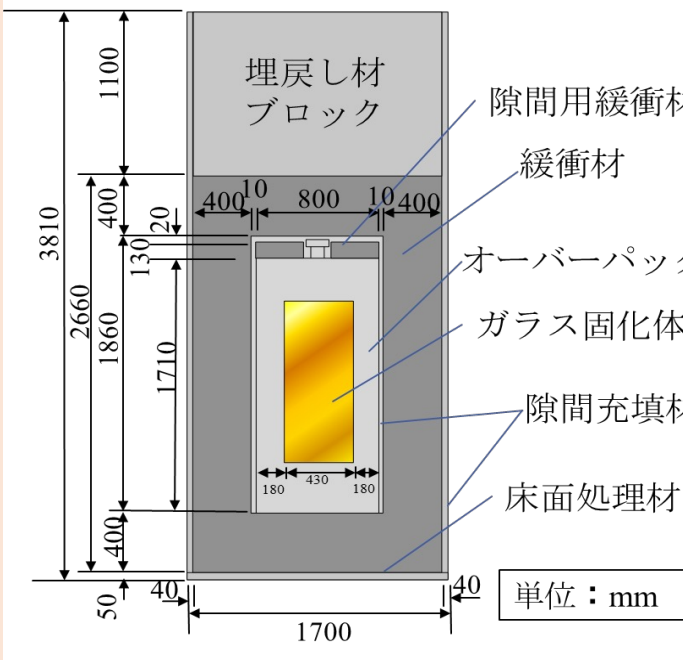
m_{mon} : 供試体中のモンモリロナイト質量(Mg)

V : モンモリロナイト体積(Mg)(モンモリロナイト以外の鉱物とWA微粉の体積を除いた供試体の体積)

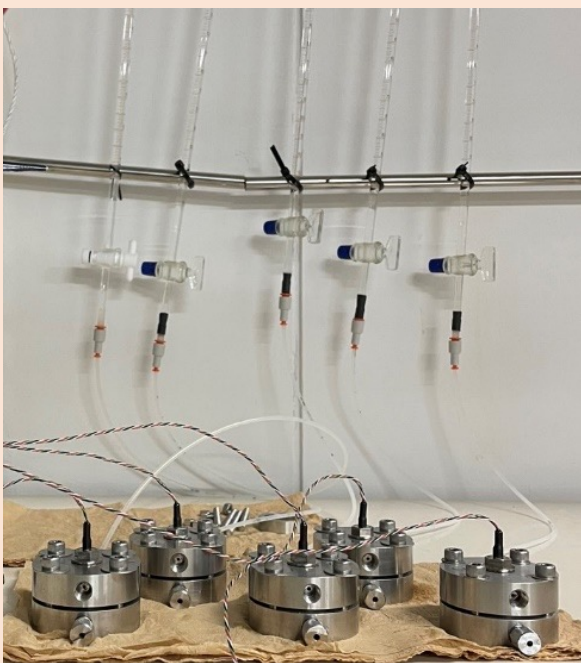
ベントナイトなどの粘土鉱物はモンモリロナイトという鉱物によって膨潤という作用が起こるので、有効モンモリロナイト密度を整理して混合供試体の評価を行った。

実験結果・考察

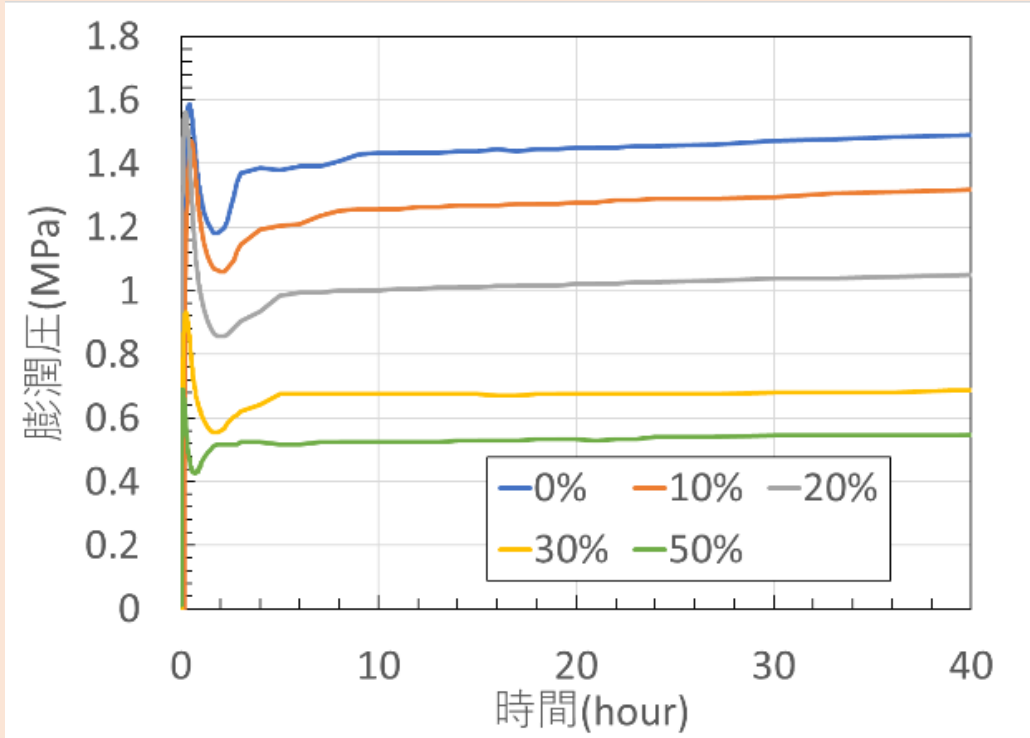
- 配合率を増加させると膨潤圧は小さくなっていった。
- 有効モンモリロナイト密度が高いほど平衡膨潤圧(30h経過後の膨潤圧)も高くなる→供試体体積当たりの膨潤する粒子の数が多くなるため。



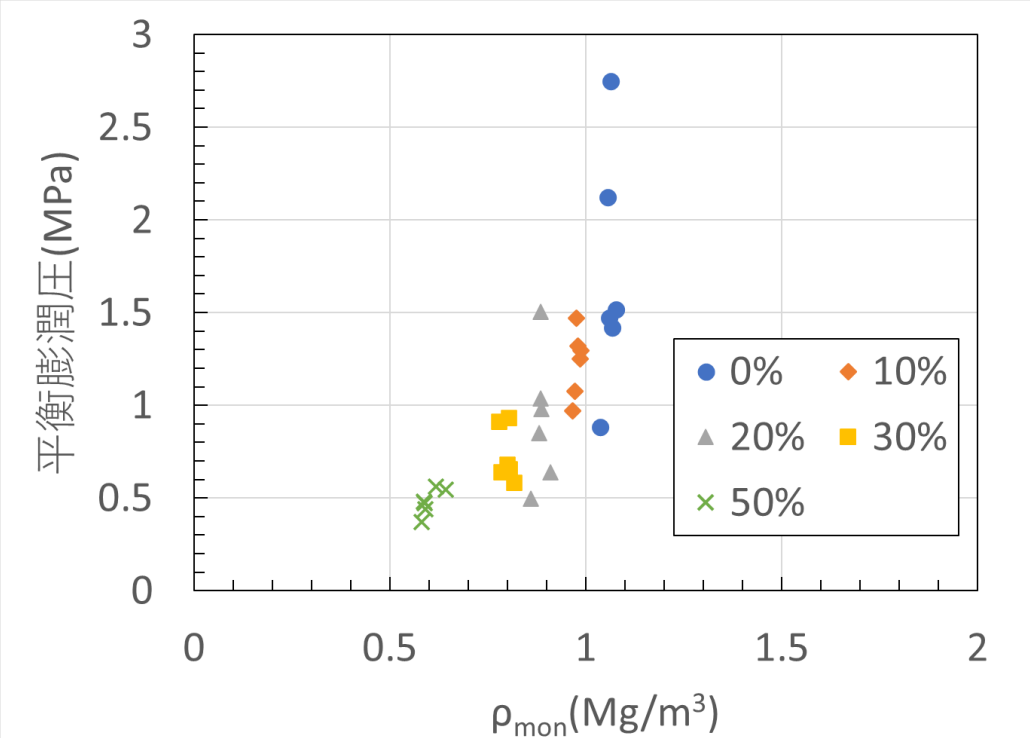
地層処分人工バリア概念図



膨潤圧試験概略図



混合供試体の膨潤圧経時変化



平衡膨潤圧と有効モンモリロナイト密度の関係

高レベル放射性廃棄物最終処分に資する各種ベントナイトにおける人工海水濃度の影響評価

研究背景

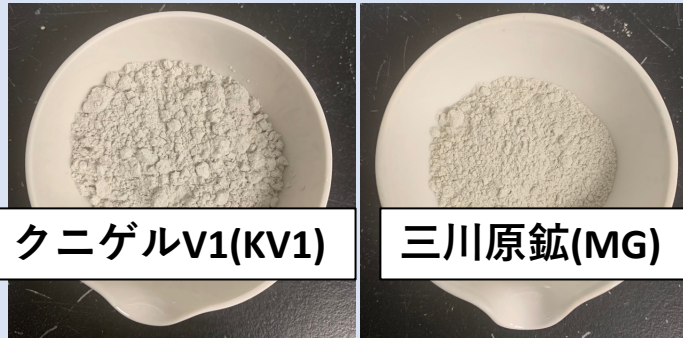
- 本研究ではベントナイトの膨潤性・水分移動特性に対する人工海水濃度の影響を調査した。

実験方法

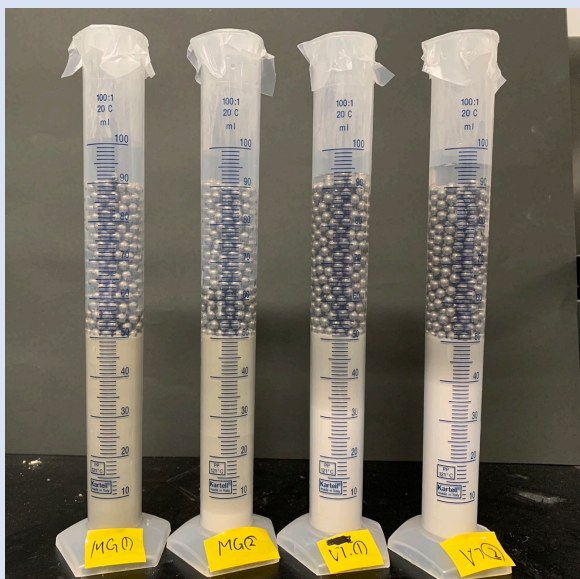
- 使用した試料はCa-Mg型ベントナイトである三川原鉱、Na型ベントナイトであるクニゲルV1の2種。供給した水溶液は蒸留水、濃度をそれぞれ25%, 50%, 75%および100%に調整した人工海水である。
- メスシリンダーにベントナイトを50ml目盛りまで5層に分けて突き固め、図のように実験装置を設置し、上から水溶液を供給し実験開始とする。その後1時間おきに V_a 、 V_b を読み取る。
- V_0 、 V_a 、 V_b から求められる浸潤速度、膨潤率を算出する。どちらも一定値に収束する傾向が見られたため、双曲線にて近似し、そこから求められる収束し、定常状態における定常浸潤速度、定常膨潤率にて整理を行った。

実験結果

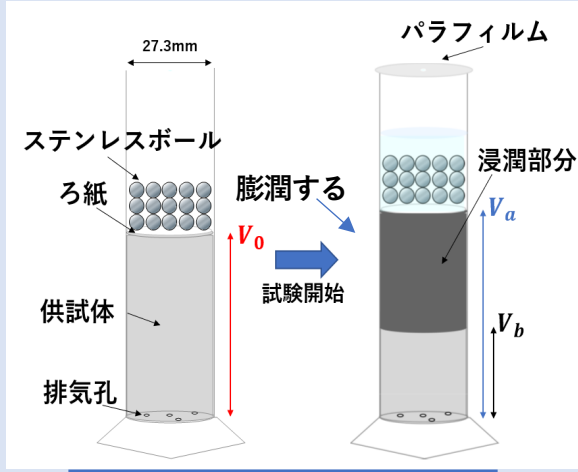
- Na型ベントナイトであるKV1では人工海水濃度を増加させると、定常浸潤速度に比較的大幅な増加が見られた。これは定常膨潤率の大幅な増加に伴い供試体内の間隙が広がったためと考えられる。



使用したベントナイト試料



実際の実験の様子

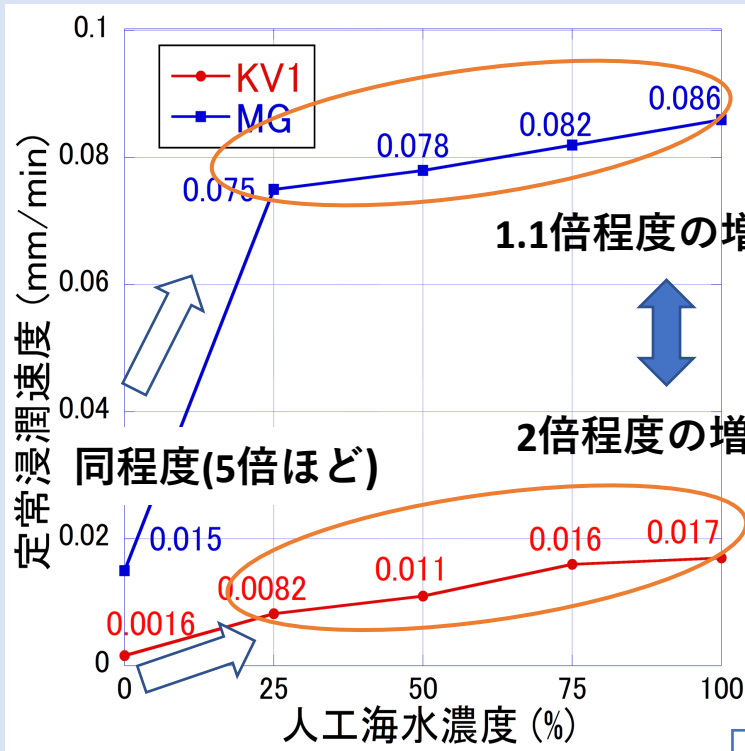


実験装置の概要図

- 一方、Ca-Mg型ベントナイトであるMGでは人工海水流入の影響は大きく受けるが、人工海水濃度の影響は受けにくいというCa型ベントナイトとは異なる傾向が見受けられた。この結果については現在、陽イオン交換の観点で考察を行っている。

$$\text{定常浸潤速度 } v_s = \frac{V_0 - V_b}{A \times t_s} \times 10 \text{ (mm/min)}$$

$$\text{定常膨潤率 } \varepsilon_s = \frac{V_a - V_0}{V_0 - V_b} \times 100 \text{ (\%)}$$



実験結果

