チキソトロピー性能を有するサポナイト水の流動特性評価

早稲田大学　学生会員　○山﨑玉
早稲田大学　正会員　小峯秀雄　王海龍　伊藤大知

1．研究の目的

福島第一原子力発電所事故後の廃止措置において超重泥水などの土質系材料の活用が考案されている．著者らのグループでは，液体（ゾル）と半固体（ゲル）を遷移するチキソトロピー性能を保有する新しい材料として，サポナイト水を提案している[1]．図 1 および図 2 に合成サポナイト SA（クニミネ工業製・スメクトン SA）とサポナイト水の外観を示す．このような材料は廃炉作業において，図 3 に示すようなプール内の水をサポナイト水に置き換えることで地震発生時などに応力が加わらずゲル状態であることを想定すれば，亀裂等から汚染水や汚染物質の漏洩を妨げられる可能性がある．さらに充填時や取り出し時には一定の応力を加えることによってゾル状態での作業の効率化が期待できる．そこで本研究ではサポナイト水が保有するチキソトロピー性能を明らかにすることを目的に，フロー試験を用いた流動特性性能を評価した．

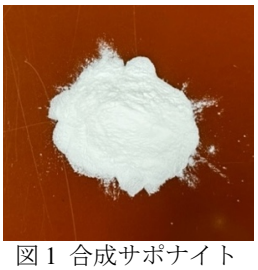
図 1 合成サポナイト SA の外観

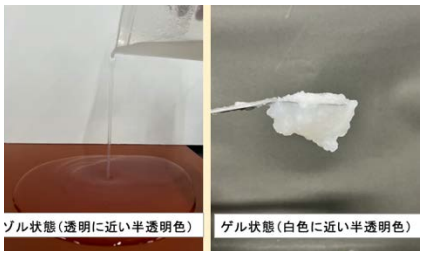

図 2 サポナイト水の外観

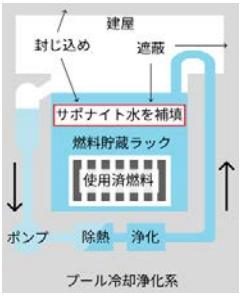

図 3 プール冷却浄化系[2]

2．サポナイト水の概要および実施したフロー試験の方法

図 4 にスメクタイトの構造を示す．サポナイトはスメクタイトに属し，八面体シートに入る陽イオンがマグネシウムイオンなどの二価の陽イオンであることから 3 八面体（trioctahedral）である[3]．サポナイトは膨潤性，陽イオン交換性，増粘性，チキソトロピー性等の多数の機能を有しており，これらの性能が廃止措置での活用が期待できる．図 5 にチキソトロピー現象の概念図を示す．チキソトロピー性は高せん断速度領域ではカードハウス構造が破壊され，粘度が低下する一方で，低せん断速度領域では層面・端面結合の立体的な会合構造が形成され，高い粘度になる[4]．なお，サポナイト水は攪拌機を用いて蒸留水と合成サポナイト SA を攪拌し作製した．以降合成サポナイト SA と蒸留水の質量比率でサポナイト水の配合を示す．

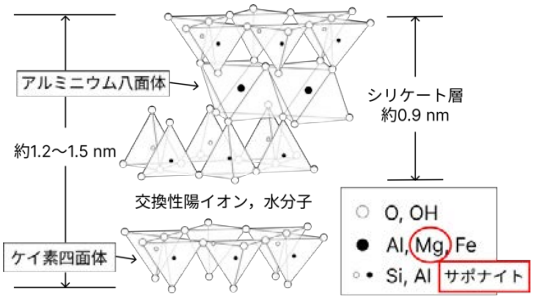

図 4　スメクタイトの構造[3]

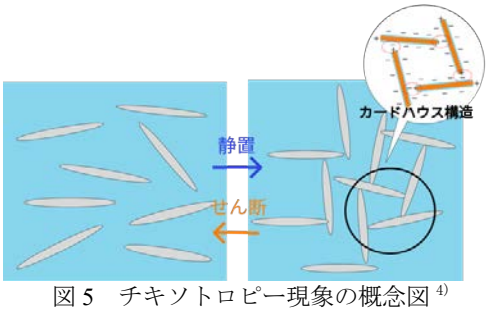

図 5　チキソトロピー現象の概念図[4]

本研究では，NEXCO 試験法 313-1999「エアミルク・エアモルタルの試験方法コンシステンシー試験方法シリンダー法」[5]を援用し，以下の手順で行った[6]．図 6，表 1 はフロー試験器具の寸法と試験条件を示す．ただし本試験ではサポナイト水のチキソトロピー性を考慮し，シリンダー充填後に 5 時間静置した試験ケースを追加した．

1) 試験用板を乾燥状態にし，水平を確保した．
2) 試験用板の中央に置いた，硬化プラスチック製のシリンダーまでサポナイト水を注いだ．
3) サポナイト水を入れてから，気泡や玉がなくなるようにヘラ等で撹拌し，表面が水平かつ上端に一致するようにヘラで余分な量を擦り切った．その後，1 分程度（または 5 時間）静置した．

表 1 フロー試験の条件

静置時間	5 時間	1 日	1 週間
質量比率	2.0%～3.0%	1.5%～4.0%	1.5%～3.0%

キーワード　サポナイト　チキソトロピー　流動特性　廃炉　フロー試験
連絡先　〒169-8555　東京都新宿区大久保 3-4-1　58 号館 203 号室　早稲田大学　地盤工学研究室　TEL03-5286-2940

© Japan Society of Civil Engineers

4) シリンダーを静かに鉛直方向上方に引き上げ，ヘラ等で容器に付着したサポナイト水は中央に落とした．

5) シリンダー引き上げ後，1 分間（5 時間）静置した後に最大と認められる 2 方向の径の平均値を求め，これをフロー値と呼ぶ．

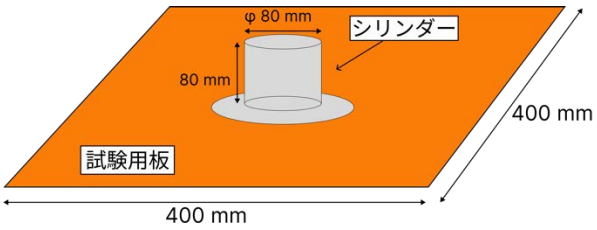

図 6 フロー試験器具の寸法 [5)]

3．サポナイト水のフロー試験による流動性評価結果

図 7 に質量比率と養生時間の異なるフロー試験の結果と養生時間とフロー値の関係を示す．質量比率 2.0%以下のサポナイト水は試験用板の寸法 400 mm を超えてしまったため，測定不可とした．1 日養生と 1 週間養生の同質量比率のサポナイト水を比較した際に，質量比率 2.0%ではフロー差が約 50 mm であったが，質量比率 3.0%では約 30 mm であることから，サポナイト質量比率の増加に伴い養生時間によるフロー差が小さくなり流動性変化が減少すると推察される．図 8 に質量比率の異なるサポナイト水のフロー形状の変化を示す．質量比率 2.2%以下のサポナイト水はゾルとしての挙動を示し，自立性は見られなかった．一方で質量比率 2.5%以上のサポナイト水はゲルの挙動を示し上部に自立性が認められ，特に質量比率 3.0%以上ではシリンダー径からのフローが僅かでありチキソトロピー性能が期待できないと推察された．またサポナイト質量増加に伴うフロー値の変化量が小さくなった．

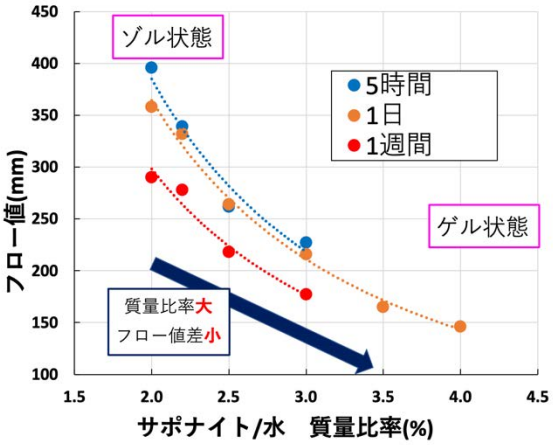

図 7 質量比率と養生時間の異なるフロー試験の結果

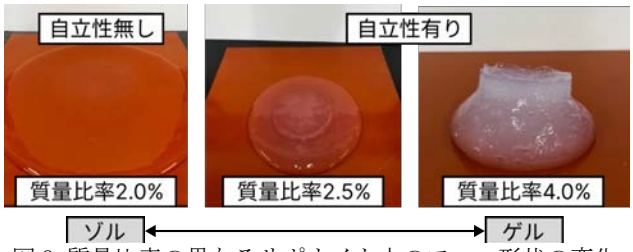

図 8 質量比率の異なるサポナイト水のフロー形状の変化

図 9 に充填後の静置有無が異なるフロー試験の結果を示す．自立性の有無には変化がなく質量比率 2.5%以上で自立性が認められた．また，静置時間無しのフロー値と静置時間有りのフロー値の差を比較した時に，質量比率 2.0%と質量比率 2.2%では 100 mm 程度の差があり，質量比率 2.5%では約 60 mm，質量比率 3.0%では約 30 mm のフロー差が確認された．このことからサポナイト質量比率の増加に伴いチキソトロピー性能発現（ゲル化）時間が早くなると考えられる．

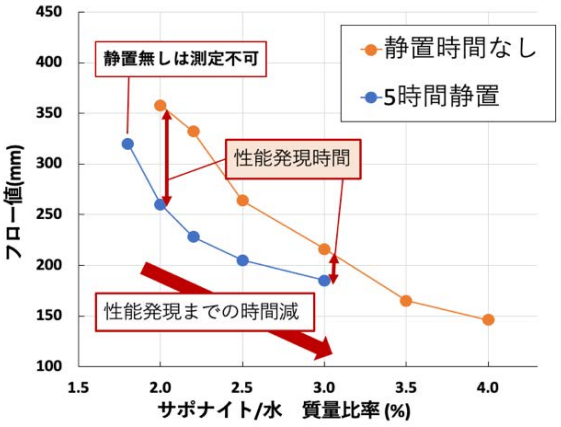

図 9 静置時間の異なるフロー試験の結果

4．結論

以上，サポナイト水のチキソトロピー性能評価のためフロー試験を用いて流動特性評価を行った．流動特性の観点から質量比率 2.5%前後がゾルゲル挙動の変化点であると認められ，ゾルとゲル両方の性能を持ち合わせる配合が質量比率 2.0%から 3.0%の間であると考えられる．なおサポナイト質量比率の増加の関係に従い養生時間や充填後の静置時間の違いによるフロー値の差が認められた．今後は実際の燃料プール内に近い環境下での実験方法を考案し，施工時の流動挙動について検討を行う．

【参考文献】1)山崎玉，小峯秀雄，王海龍，山田味佳，伊藤大知，根本大志，岩崎充希：高チキソトロピー性を保有するサポナイト水の性能評価，第19回地盤工学会関東支部発表会，2022．2)日本原子力文化財団　再処理と使用済燃料の中間貯蔵，https://www.jaero.or.jp/sogo/detail/cat-02-09.html，2023年1月13日アクセス．3)上原誠一郎：粘土の構造と化学組成，粘土化学，第40巻，第2号，pp. 100-111．4)クニミネ工業　クニピア・スメクトン，https://www.kunimine.co.jp/products/kunipia_sumecton.html，2023年1月18日アクセス．5)日本原子力文化財団　再処理と使用済燃料の中間貯蔵，https://www.jaero.or.jp/sogo/detail/cat-02-09.html，2023年1月13日アクセス．5)東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社：NEXCO 試験方法，第2版．高速道路総合技術研究所，2010．6)宮路将人，吉川絵麻，瀬川一義，小峰秀雄，後藤茂，氏家伸介，成島誠一：エアミルク・エアモルタルの試験法を用いた放射線遮蔽性能を有する超重泥水の流動性評価，第53回地盤工学研究発表会，2018.

© Japan Society of Civil Engineers