

NaCl を添加したベントナイトグラウトの流動特性

電力中央研究所 正会員 小早川博亮
電力中央研究所 正会員 伊藤 洋

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物処分（以下では、HLW 処分と呼ぶ）事業における処分施設周辺の掘削影響領域（EDZ）や弱層、あるいは破砕帯の透水性の改良工法として、グラウチングは有効な対策工の一つである。材料としては、実績等からセメント系材料が有力である、セメントから流出するカルシウムイオンなどが緩衝材や岩盤の特性に化学的な影響を及ぼすことが懸念されており、セメントに代わる材料として、粘土を用いたグラウチング技術の開発も望まれている。

本報告では、HLW 処分事業におけるグラウチングに対し、粘土系の材料の一つであるベントナイトのなかでも、膨潤性が高く透水性の低い Na 型のベントナイトを対象として、それに NaCl を添加したベントナイトグラウトの材料としての適用条件のうち、流動特性について検討を行った結果を報告する。

2. 実験条件と手順

(1) 実験条件

実験にはクニゲル V1 をを用い、NaCl を添加したものとしないものの 2 通りで実験を行った。NaCl を加えないものは、ベントナイトとイオン交換水の配合を重量比（(水) / (ベントナイト)）以下では W/B とする）で 6 から 20 の範囲で粘性を計測した。また、NaCl を加えた実験は W/B を 1 から 6 の範囲で、NaCl は水との重量比（(水) / (NaCl)）以下では W/N とする）で 10 から 200 の範囲で添加した。以上の配合の設定範囲は、粘性計測のための装置の制約によるが、この範囲は、従来のダム基礎グラウトなどで用いられている材料の粘性が計測できる範囲とほぼ同等である。

(2) 実験手順

正確に計量したベントナイトと、イオン交換水もしくは NaCl 溶液を準備する。十分に拡散するまで攪拌し、24 時間以上密閉、静置し、十分に膨潤させたものを計測に用いた。粘性の計測は B 型回転粘度計を用い、スピンドルの回転数 (RPM) とスピンドルにかかるトルク (T) を計測し、せん断速度 (D)、せん断応力 (τ) さらに、見かけ粘性 (η) を求めた。実験では試料を満たしたサンプルカップに回転粘度計を浸し、スピンドルの回転数を 0.1(rpm) から 60(rpm) に上昇させる過程と、その後 60(rpm) から 0.1(rpm) へ下降させる過程で計測を行った。

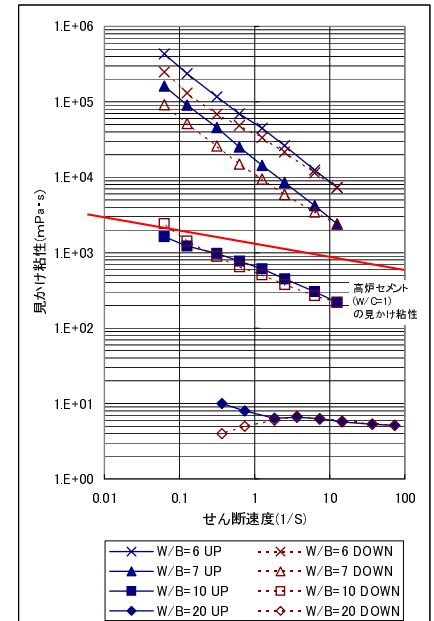
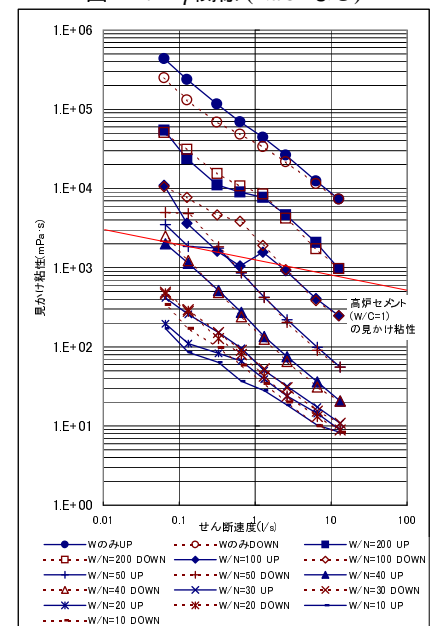
3. 実験結果

(1) NaCl を添加しない懸濁液の流動特性

NaCl を添加しない場合のせん断速度と見かけ粘性の関係を図 1 に示す。図より、ベントナイト懸濁液の特徴として① せん断速度が増加すると見かけ粘性が低下するシア・シンニング (Shear thinning) 現象が認められること、② 図中 UP・DOWN と表示したせん断速度の上昇・下降の各過程において (以下の図でも UP・DOWN は同義)、流動曲線が異なるヒステリシスが認められることが挙げられる。

(2) NaCl を添加した懸濁液の流動特性

W/B=6 の場合に、NaCl を添加した時のせん断速度と見かけ粘性の関係を図 2 に示す。図から、NaCl を添加したベントナイト懸濁液の特徴は、NaCl 濃度に係わらずシア・シンニングが現れていること、流動曲線のヒステリシスが現れていることが挙げられる。また、W/B=1,2 の場合の測定結果も同様の傾向が認められている¹⁾。

図-1 τ - η 関係 (NaCl なし)図-2 τ - η 関係 (W/B=6, NaCl 添加)

以上より、今回実験の対象とした W/B が 1 から 6 の範囲では、NaCl を加えることによって見かけ粘性が低下し、NaCl の量によらずシア・シンニングが認められる。これは、NaCl は粘性を低下させる作用があるが、懸濁液の構造は変化しないことを示していると考えられる。また、いずれの配合、NaCl 濃度においてもヒステリシスが認められ、せん断速度の上昇・下降の過程で粒子間の結合の状態が変化していることが考えられる。

4. 考察

従来のダム基礎岩盤のグラウチングで用いられてきたセメントは、水とセメントの質量比 (W/C) で 1 から 10 の範囲で用いられることが多く²⁾、セメントミルクの濃度がある程度以上になると粘性が急激に増大するため、必要な範囲まで到達しないことがある。よって、通常用いられる範囲で最も高濃度であるグラウトは、岩盤に注入する場合の粘性の上限値と考えることもできる。

図 1 には、ダム基礎グラウチングで用いられているセメントミルクの粘性の上限をプロットしている。図より、W/B=10 以上の低濃度のベントナイト懸濁液ではセメントミルクよりも見かけ粘性が小さく注入可能であるが、それよりも高濃度の場合、特に低せん断速度域での見かけ粘性が上限と仮定したセメントの 10~100 倍であり、ダム基礎で用いられている方法ではダム基礎で対象とする割れ目頻度や開口状況の岩盤への注入は困難であることがわかる。

一方、ワイオミング産の Na 型ベントナイトの間隙比と透水係数の関係を検討した例³⁾に、今回検討したクニゲル V1 の W/B と間隙比の関係をプロットしたものを図 3 に示す。ここでは、2つのベントナイトの透水性と間隙比・W/B の関係は等しいと仮定した。図 3 より、健岩部の平均的な透水係数 (10^{-7} cm/sec オーダー)⁴⁾を確保するためには、少なくとも間隙比を 30 よりも小さくする必要があり、これを満たすベントナイトの配合は W/B=10 より小さいものに相当する。つまり、粘性特性の条件を満たす W/B=10 以上のベントナイト懸濁液では、所定の透水係数を確保できないことがわかる。そこで、透水性を確保可能な W/B = 6 について、高炉セメントの関係をプロットした図 2 をみると、高炉セメントの見かけ粘性よりも小さくするためには、W/N=40 以下に NaCl を添加する必要があることがわかる。以上のことから、粘土グラウトに要求される透水性と注入可能な粘性の観点から、NaCl の添加量ごとに、粘土グラウトが成立する範囲が存在すると考えられる。

そこで、(1)NaCl を添加しない場合と (2)W/N=10 の割合で添加した場合について、せん断速度ごとの見かけ粘性と W/B との関係を図 4 に示す。図の横軸の透水係数と W/B の関係は、図 3 の透水係数と間隙比の関係 (変水位透水試験の場合) 及び間隙比と W/B の関係から求めたものである。NaCl を添加しない場合は、今回の配合では透水性を満たしかつ、粘性を満たす懸濁液は無いものの、W/N=10 の場合には、 $2 \leq W/B \leq 6$ であれば透水性および粘性の観点からは粘土グラウトが成立する可能性があることが判る。

参考文献

- 1) 小早川博亮, 伊藤洋 (2005): ベントナイトグラウチングの放射性廃棄物への適用における成立条件の検討, 電力中央研究所研究報告 N05006
- 2) 財団法人国土技術センター (編) (2003): グ라우チング技術指針・同解説, 大成出版社.
- 3) T.C. Kenny, W.A. van Veen, M.A. Swallow, and M.A. Sungaila(1992): Hydraulic conductivity of compacted bentonite-sand mixtures, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.29, pp. 364-374.
- 4) 核燃料サイクル開発機構 (1999): わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分技術的信頼性 - 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ -, 総論レポート, JNC TN1400 99-020, 1999.

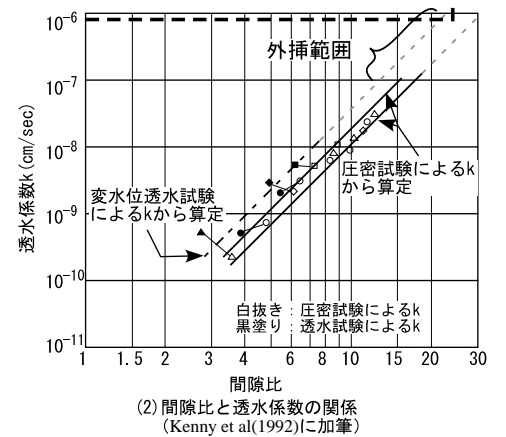
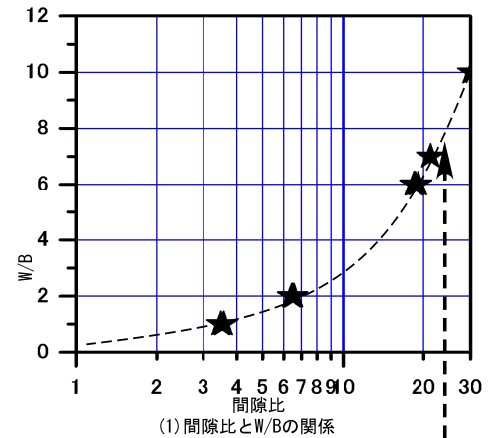


図-3 間隙比と透水係数・乾燥密度の関係⁽³⁾に加筆

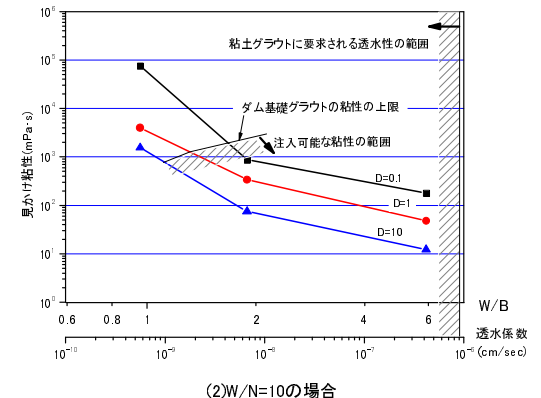
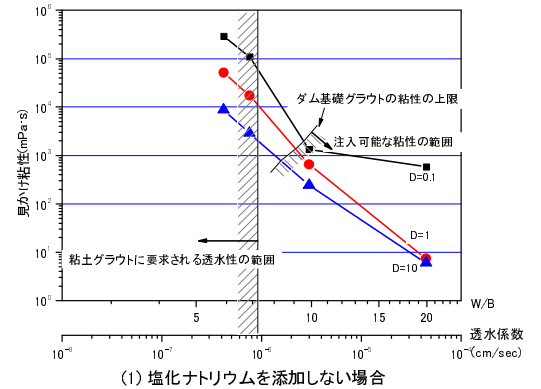


図-4 粘土グラウトの成立する範囲