

シリカと水酸化カルシウムを混合した懸濁型注入材の ポゾラン反応に伴う基礎物性の変化

東京都市大学 学生会員

○上村健太郎

東京都市大学 正 会 員

末 政 直 晃, 伊 藤 和 也

強化土エンジニアリング 正 会 員

佐々木隆光

佐藤工業 正 会 員

永 尾 浩 一

1. はじめに

懸濁型注入材は溶液型注入材と比較して高い強度が期待できることから、重要構造物直下における地盤改良や高水圧環境下における止水対策などに用いられている¹⁾。また、近年では微粒子の粉碎技術²⁾の発達により、粒径の小さな砂や細粒分質の砂に対しても浸透注入が可能³⁾となり、微粒子を用いた注入材の適用範囲が拡大している。このような懸濁型注入材には、一般にセメント系の材料が用いられるが、地盤条件によっては六価クロムが溶出する可能性が指摘⁴⁾されている。

そのため、本研究では六価クロムの溶出源のないシリカ(以下 Si)と水酸化カルシウム(以下 CH)を混合した、非セメント系の微粒子系注入材を提案する。Si と CH をスラリー状に混合することによって生成されるケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)は難溶性化合物であり、長期耐久性を有することが知られている⁵⁾。しかし、混合直後の C-S-H の生成に伴う粘性や粒径の変化など基礎的な物理特性は不明である。そこで、本報告では Si と CH を混合した注入材において、音叉型振動式粘度計(A&D 製 SV-10)およびレーザー回折式粒径分布測定装置(島津製作所製 SALD-3100)を用いて、養生に伴う粘性と粒径の変化を確認した。

2. 使用した注入材について

本実験に用いた注入材は、非晶質の Si と微粒子化した CH である。

写真 1(a), (b) それぞれに走査型電子顕微鏡(以下 SEM: 日立ハイテクノロジー製 SU3500)により撮影した, Si, CH を示す。Si は概ね球状の粒子であるが, CH の形状は不定形で結晶構造の粒子である。また, 写真-1(c)は Si と CH を混合したスラリーを 3 日間養生した後, 低温で炉乾燥させた絶乾試料を観察した結果である。写真から顆粒状 C-S-H が生成され, 固結体を形成しているとともに, CH には表面が溶解した Si が付着していることが視認できる。また, 図-1 にレーザー回折式粒径分布測定装置(島津製作所製 SAL D-3100)により測定した微粒子の粒径分布を示す。なお, 粒径分布測定に用いた試料は, 超音波により分散させながら測定した。図-1 より, Si と CH の D_{50} 粒径は同程度であることが確認できる。

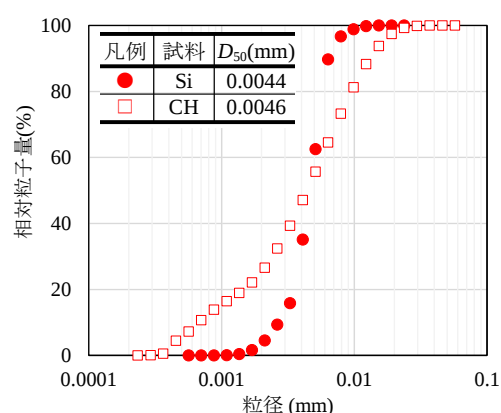
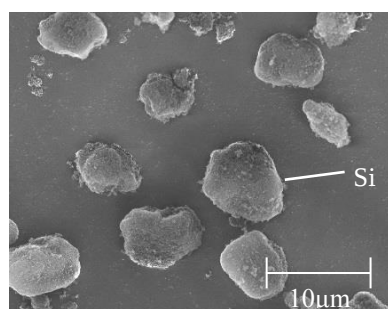
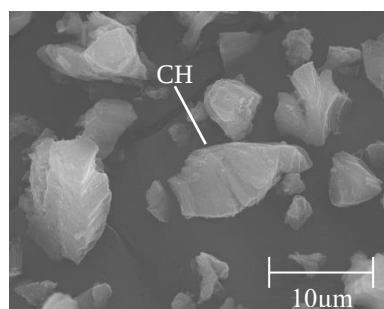


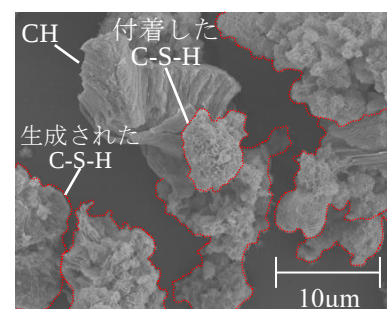
図-1 粒径分布測定結果



(a) SiO_2



(b) Ca(OH)_2



(c) C-S-H

写真-1 微粒子の SEM 写真(倍率 3000 倍)

キーワード ケイ酸カルシウム水和物 粘性 粒径

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL03-5707-0104 Email: g1691702@tcu.ac.jp

3. 養生に伴う物性の変化

3-1. 実験概要

濃度測定および粒径分析に用いた試料は、添加した CH と Si が重量比(以下 CH/Si)で 1/1, となるように調整した注入材であり, この際の CH と Si のモル比は 0.81 である. なお, 粘性の変化は粉体水比(以下 P/W)に大きく影響されることから, P/W が 0.10 および 0.05 である試料も用いた. 粘性の測定には, 音叉型振動式粘度計を使用し, 経時的な粘性の変化を確認した. また, 粘性変化には, スターラーで常に攪拌混合しながら湿潤養生した試料と静置状態で湿潤養生した試料を用いた. なお, 静置するケースでは固結および沈殿によって, 粘性係数が著しく大きくなると予測されるため, 50mPa・s を上回った時点で計測を打ち切った.

経時的な粒径分布の変化は, レーザー回折式粒径分布測定装置を用いて測定した. 測定時間は 0h, 6h, 12h, 72h であり, 6h 以降はスターラーによる攪拌を停止し, 静置状態の注入材を測定した. ここで, 72h の注入材については, 固結していたため薬匙で十分に解きほぐした後, 測定器に試料を投入した. また, 粒径測定直前に, 超音波ホモジナイザーを作動させることで, 凝集している試料を分散および解砕した.

3-2. 実験結果

図-2 に測定開始から 180min までの粘性測定結果を示す. 図から, いずれの P/W においても, 混合攪拌しながら養生したケースでは粘性の変化がほとんどない. 一方で, 静置状態で湿潤養生したケースでは, 測定開始直後から粘性が上昇している. これは, 微粒子の沈殿および C-S-H の生成に伴った注入材の固結によるものと考えられる. また, 静置状態における粘性変化は, P/W が 0.10 である試料の方が大きい. このことから, 濃度のコントロールによって, 固結時間の調整が可能であることが示唆される.

図-3 に粒径分析結果を示す. なお, 図中の赤いプロットは, 主剤である Si および CH の粒径分布である. 図-3 から, 混合直後および 6h の粒径分布結果は, Si のみの測定結果と一致する. しかし, 混合直後である 0h の粒径曲線においても, CH の粒径分布が計測されていない. これは, レーザーの多重拡散を避けるために, 測定試料を蒸留水で希釈したことに起因する. 一方, 養生期間が 12h で攪拌をやめた場合, C-S-H が成長して粒径が大きくなる. また, 薬匙での解きほぐしの不十分さを考慮していないが, 72h 養生した固結体の粒径が最も大きい. このことから, P/W が 0.10 の注入材については, 攪拌をやめた養生期間 6h 以降にホモジナイザーを用いても解砕されにくい C-S-H が形成され, 固結物が養生に伴って成長する. このことは, 攪拌することによって C-S-H の凝集が低減するとともに, 静置後しばらく経つと解砕が困難な C-S-H が生成され, 浸透性が得にくくなることを示唆している.

4. まとめ

注入材の粘性変化は, P/W と養生の状態に依存し, P/W によって固結までの時間を調整できると考えられる. また, 粒径分析の結果から, 6h 以降に測定した結果においては, 超音波で解砕できない C-S-H が生成され浸透性が得にくくなることが示唆される.

参考文献

- 1) 米山一幸, 杉山博一, 奥野哲夫, 西琢郎: 岩盤亀裂中のセメントグラウト材の浸透挙動予測手法に関する基礎的研究, 地盤工学ジャーナル, Vol.10, pp.545-557, 2015.
- 2) 斉藤進六: 超微粒子ハンドブック, pp.866-867, フジ・テクノシステム, 1990.
- 3) 吉田了三, 磯田英典, 福山誠, 渡辺将之: 超微粒子セメントの細砂地盤への浸透性向上に関する考察, 太平洋セメント研究報告, No.169, pp.62-69, 2015.
- 5) 恒岡伸幸: セメント改良土からの六価クロムの溶出とその周辺地盤での挙動に関する研究, 京都大学博士論文, pp.7-29, 2004.
- 6) 古澤靖彦: カルシウムの溶出によるコンクリート劣化とモデル化に関する研究動向, コンクリート工学, Vol.35, No.12, pp.29-32, 1997.

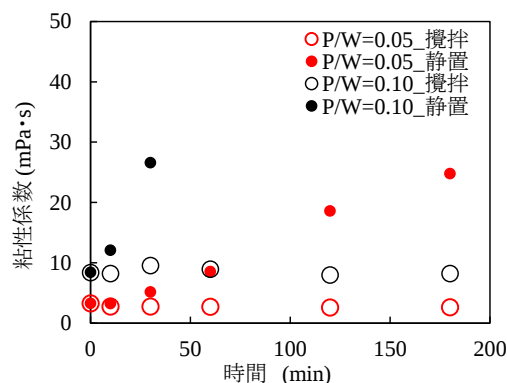


図-2 粘性係数の測定結果

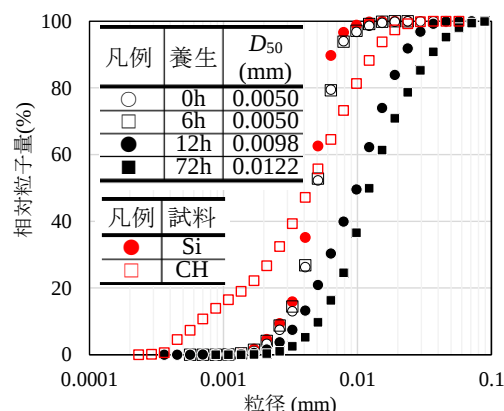


図-3 粒径分析の結果