

微粒子系注入材の目詰まりに関する検討

微粒子 浸透注入 目詰まり

日本工営(株) 中央研究所 (元東京都市大学大学院) 正 会 員

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(株) 正 会 員 佐々木隆光

佐藤工業(株) 正 会 員 永 尾 浩 一

○ 上村 健 太 郎

1. はじめに

微粒子系注入材は高強度・高耐久性を有することに加えて、近年の粒子粉碎技術¹⁾の発達により、浸透注入による地盤改良にも適用されるなど、その適用範囲が拡大している。微粒子系注入材の浸透注入では、土骨格の間隙における微粒子の捕捉によって目詰まりが発生し、一定圧力の注入条件では注入速度が著しく低下する。一方で、注入材の注入速度を一定に保つことで目詰まりが抑制され、一様な強度の改良体を作製できることも示されている²⁾。従って、微粒子の浸透特性を明らかにするために、微粒子系注入材の目詰まりの誘因を確認することが求められる。そこで本研究では、まず、注入材の物性、注入条件、試料によって変化する微粒子の浸透性を評価し、目詰まりの誘因について考察した。

2. 異なる注入条件、注入材を使用した一次元注入実験

2-1. 実験概要

実験に使用した注入材は、図1に示すシリカ(以下 Si_i)と水酸化カルシウム(CH)の混合物である。注入する注入材の条件を表1に示す。注入材の配合は既往の研究を参考とし、CH と Si_i の重量基準の配合比(以下 CH/Si_i)は 4/6 であり、水に対して混合する微粒子の重量濃度(以下 P/W)は 0.05 および 0.10 である。また、表1にはそれぞれの P/W における注入材の相対粘性 μ_r も示してある。一次元供試体を使用する砂は、**硅砂 6 号**($\rho_s=2.637$ [g/cm³], $e_{max}=1.083$, $e_{min}=0.673$)であり、直径 $\phi=5.0$ [mm] のアクリルモールド内に高さ $H=11.0$ [cm]、相対密度が 60 [%] になるように空中落下法で供試体を作製した。供試体作製後、表1に示す注入圧力で供試体下部から注入材を注入し、注入量と注入時間の関係で整理した。

2-1. 実験結果

図2に実験結果を示す。図中の破線は各ケースのプロットの近似線である。ただし、Case1-c については、注入初期のプロットのみを参考に近似線を引いた。注入材濃度の低い P/W=0.05 のケースでは、注入材の注入圧力に伴って注入速度が高くなり、注入圧力が低下しても注入速度が経時的に低下することはない。一方で、注入材濃度の高い (P/W=0.10) Case1-c, d では、注入圧力の低い Case1-c で目詰まりが顕著になり、注入速度が経時的に低下した。ただし、注入材濃度が高い場合でも、高い注入圧力で注入した Case1-d では注入速度の低下は発生しない。また、Case1-b, d の結果から、相対粘性 μ_r が 2 倍以上異なるにも関わらず、注入速度がほとんど変化しないことから、注入速度を維持できれば、粘性や注入材中の微粒子量に関わらず目詰まりの抑制が可能である。

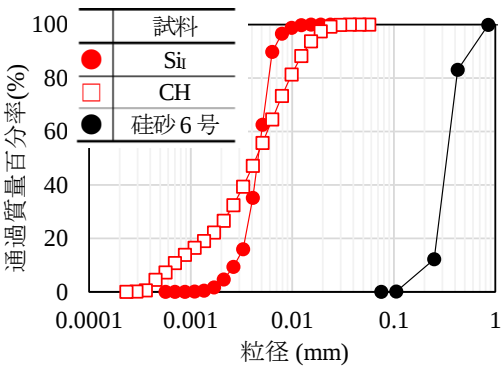


図1 注入材の粒径加積曲線

表1 注入材と注入圧力の条件

Case	配合		相対粘性 $\mu_r = \mu_g / \mu_w$	注入圧力 [kPa]
	CH/Si	P/W		
○ Case1-a	4/6	0.05	3.3	40
○ Case1-b	4/6	0.05	3.3	100
□ Case1-c	4/6	0.10	8.4	40
□ Case1-d	4/6	0.10	8.4	100

※ μ_g, μ_w : 注入材, 水の粘性(mPa・s)

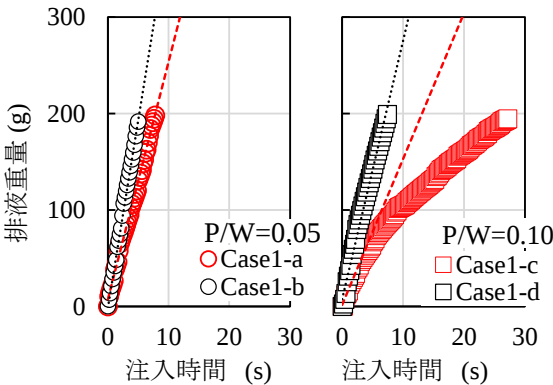


図2 注入材の粒径加積曲線

3. 異なる物性の試料を使用した一次元注入実験

2 章の結果から、注入材の粘性や注入材中の微粒子量に関わらず、注入材の注入速度が保てれば、微粒子の目詰まりを抑制できることを確認した。本実験では、試料の条件が微粒子の目詰まりにおよぼす影響を検討する。

3-1. 実験概要

実験に使用した微粒子は、図 3 に示すシリカ(以下 Si) の微粒子であり、P/W は 0.10、相対粘性 μ_r は 2.6 である。一次元供試体に使用する砂は、図 3 に示す 6 つの試料であり、直径 $\phi=5.0$ [cm]のアクリルモールド内に高さ $H=10.0$ [cm]、間隙比は $e=0.82$ 前後となるように空中落下法で供試体を作製した。それぞれの試料の物性と供試体の透水係数を表 2 に示す。注入材の注入圧力は 100 [kPa]であり、注入量と注入時間の関係で整理した。

3-2. 実験結果

図 4(a)~(c)に注入量を間隙体積で除した値と注入時間の関係を(a) 基準粒径 D_{15} , (b) 均等係数 U_c , (c) 透水係数 k ごとに整理した結果であり、表 2 の各物性の値が離れたケースごとに結果をまとめた。なお、図 4 の縦軸が 1 を超えれば間隙体積を 1 回分以上入れ替えるだけの注入材を注入できたことを示している。図 4(a)においてはすべてのケースで目詰まりが急激に発生し、注入速度がほぼ 0 になる。これは、試料の D_{15} が大きい Case2-a においても、微粒子の粒径が間隙の大きさに近かったためと考えられる。一方で、図 4(c)に示すように、 D_{15} が Case2-a よりも小さい場合でも、注入性が良いケースもある。

図 4(b)は、均等係数 U_c の小さい試料において微粒子の浸透性が高いことがわかる。均等係数 U_c が大きい試料では、様々な粒径の粒子が間隙を形成することから、粒径の小さい粒子で形成される間隙において、微粒子の目詰まりが発生すると考えられる。これにより、局所的な目詰まりが発生すると、浸透可能部分の面積が低下し、目詰まりが進行するとともに微粒子の浸透性は低下する。この結果は、均等係数 U_c が微粒子の浸透性に影響を与える重要な要因の一つであることを示している。

図 4(c)の結果から、透水係数 k が大きいほど注入速度が低下しにくいことが分かる。これは、透水係数 k が大きいケースほど土骨格の間隙が大きく、目詰まりが発生しにくいためである。

4. まとめ

注入材の注入速度を一定に保つことによって、微粒子の目詰まりを抑制することができる。また、この目詰まりは基準粒径 D_{15} だけでなく、均等係数 U_c , 透水係数 k によっても変化する。

[参考文献]

- 1) 齊藤進六：超微粒子ハンドブック，pp.866-867，フジ・テクノシステム，1990.,
- 2) 上村健太郎ほか：微粒子シリカと水酸化カルシウムを用いた注入材の強度評価について，土木学会論文集 III, Vol. 74, No. 2, pp.234-247, 2018.

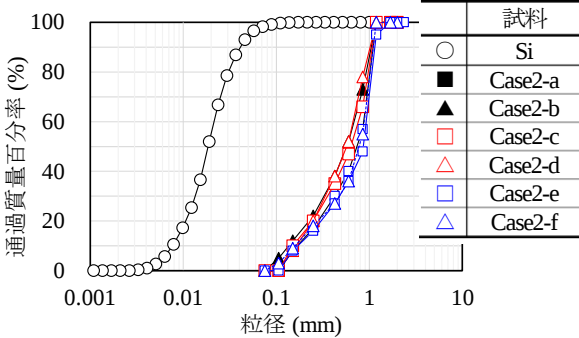


図 3 注入材の粒径加積曲線

表 2 試料の物性と供試体の透水係数

Case	基準粒径 D_{15} [mm]	均等係数 U_c	透水係数 k [cm/s]
■ Case2-a	0.228	5.07	7.78×10^{-2}
▲ Case2-b	0.180	5.06	7.91×10^{-2}
□ Case2-c	0.200	5.14	7.41×10^{-2}
△ Case2-d	0.208	4.06	7.35×10^{-2}
◇ Case1-e	0.238	5.35	1.11×10^{-1}
▽ Case1-f	0.217	5.51	1.02×10^{-1}

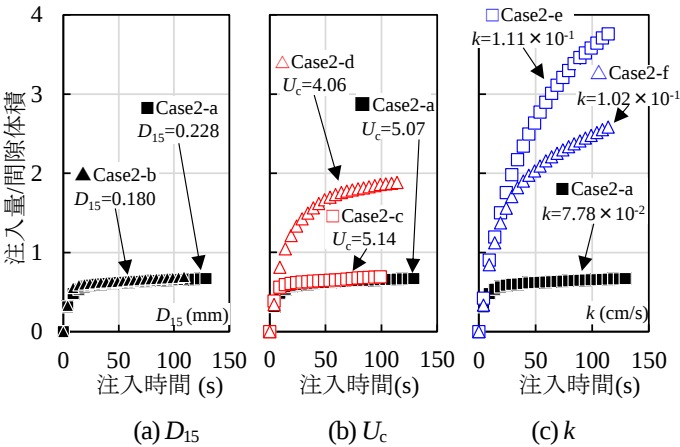


図 4 一次元注入実験結果