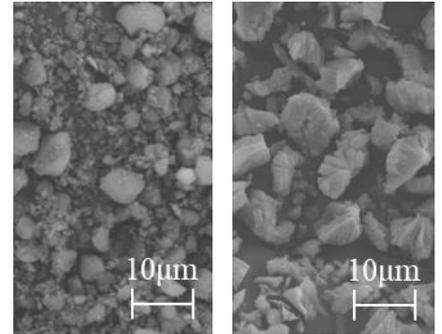


## シリカと水酸化カルシウムを混合した懸濁型注入材の 砂地盤に対する浸透性および強度特性の検討

東京都市大学大学院 学○蓮 沼 佑 晃 学 上村健太郎  
 強化土エンジニアリング(株) 正 佐々木隆光  
 佐藤工業(株) 正 永尾浩一  
 東京都市大学 正 末政直晃

### 1. はじめに

著者らは、住宅地のような狭隘な場所においても良好な施工性を有する薬液注入工法の機構に着目し、注入材としてシリカ(以下 Si)と水酸化カルシウム(以下 CH)を混合した超微粒子系注入材によって地盤の固化改良を検討している。この注入材は Si と CH がポゾラン反応により難溶性化合物であるケイ酸カルシウム水和物(C-S-H)を生成し硬化すると考えられる<sup>1)</sup>。写真1に走査型電子顕微鏡(日立ハイテクノロジー製 SU3500)により撮影した Si と CH の画像、写真2に 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状態の試料の画像を示す。写真2より微粒子混合後は、霜のような形状の物質が生成されることが確認でき、この物質の生成に伴い微粒子の凝集・固化が進行すると考えられる。



(a) SiO<sub>2</sub> (b) Ca(OH)<sub>2</sub>  
写真1 微粒子のSEM画像

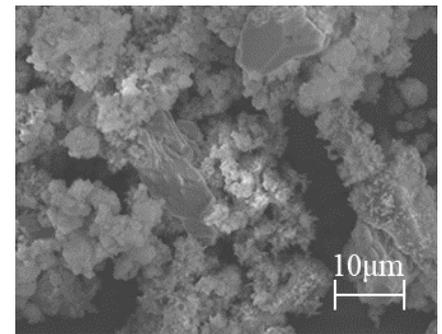


写真2 注入材の固化の様子

本稿では前述した超微粒子系注入材を用いて、100cm の長尺供試体への一次元注入実験を行い、長尺改良体の一軸圧縮試験を実施した。これらの実験により、改良体の浸透距離における強度分布を確認し、地盤内での微粒子の蓄積傾向などを考察した。

### 2. 長尺供試体における一次元注入実験および一軸圧縮試験

#### 2-1. 実験概要

図-1 に注入装置概略図、図-2 に注入材に使用した微粒子と試料砂の粒径加積曲線、表-1 に供試体作製条件、表-2 に実験条件を示す。試料には硅砂6号を用い、供試体は高さ 100.0cm、直径 5.0cm の分割式円筒モールドに空中落下法で相対密度が  $D_r=60\%$  になるように作製した。なお、供試体の注入部および排出部では透水性が大きく変化するため、細砂を除去した硅砂2号をそれぞれ 2cm 程度詰めることで端部での目詰まりを抑制した。供試体作製後、CO<sub>2</sub> を透気し、脱気水を浸透させることによって完全に飽和させた。また、実験に使用する注入材は、別実験にて強度発現が良好であった CH と Si の重量比(以下 CH/Si)が 4/6、粉体/水比(以下 P/W)は重量比で 0.10、0.07 の 2 パターンを検討し、注入圧力は case1, 2, 3 それぞれ 100kPa, 150kPa, 150kPa で定圧注入を行った。なおこのときの CH と Si のモル比は 0.54 である。注入材は沈殿による凝集や水を加えた際にだまが生じる可能性があるためハンドミキサーを用いて十分に攪拌した後に注入した。注入終了後、常温で7日間養生した後、ワイヤーソーを用いて 10cm ごとに供試体を切り出して浸透距離ごとの一軸圧縮強度を求めた。

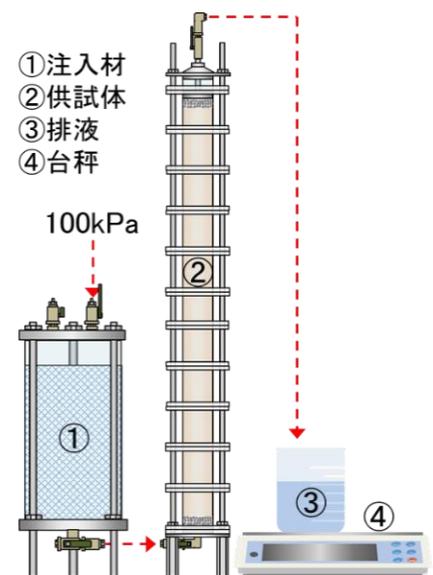


図-1 注入装置概略図

キーワード ケイ酸カルシウム水和物 浸透性 強度分布

〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL : 03-5707-0104 (代) E-mail : g1681722@tcu.ac.jp

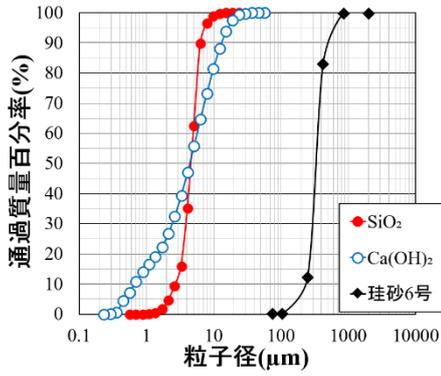


図-2 粒径加積曲線

表-1 供試体作製条件

試料砂	珪砂6号
直径(cm)	5.0
高さ(cm)	100.0
相対密度 $D_r$ (%)	60%
間隙体積( $cm^3$ )	894.7

表-2 実験条件

	case1	case2	case3
CH/Si	4/6		
P/W	0.10	0.07	
注入圧力(kPa)	100	150	
養生(日)	7		

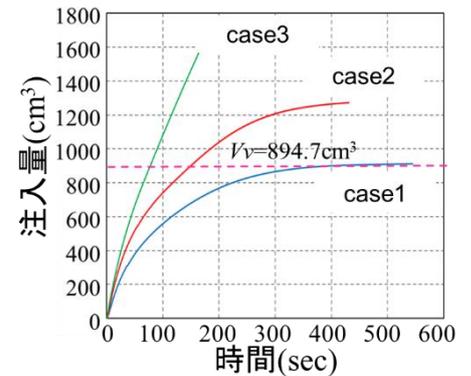


図-3 注入時間と注入量

2-2. 実験結果と考察

図-3 に注入時間と注入量の関係、図-4 に浸透距離と一軸圧縮強度の関係、図-5 に浸透距離と強度比の関係を示す。強度比  $\sigma/\sigma'$  は、 $\sigma$  が長尺供試体の強度、 $\sigma'$  は別実験で今回と同条件で作製した高さ 10cm の改良体の強度であり、それぞれの  $\sigma$  は P/W=0.10 で 154.1kN/m<sup>2</sup>、P/W=7% で 87.6kN/m<sup>2</sup> であった。これらは間隙体積の 2 倍の注入材を透液して作製した理想的な改良体の強度である。

図-3 より case1, 2 において注入量の増加により注入量が頭打ちになる傾向が見られた。これは微粒子が、注入開始直後から注入量の増加、注入速度の低下

によって徐々に供試体内に蓄積し目詰まりが発生したためと推測される。一方で、注入材の濃度が低い case3 では目詰まりが生じにくく十分な注入量を確保することができた。

図-4 より浸透距離が長くなるにつれて徐々に一軸圧縮強度が低下した。既往の研究においても浸透距離が長くなるにつれて間隙中の注入材濃度が低下する傾向が見られたことから、想定通りの結果となった<sup>2)</sup>。特にこの傾向は土粒子の濾過作用に起因すると考えられ、溶液型の強度分布と比較すると、懸濁液型の方が注入口付近から排出口付近での強度差がより顕著に現れた<sup>(例えば 3),4)</sup>。また、図-5 から比較すると注入材の濃度が低い case3 においては、全体的に強度比が 1.0 付近に分布しており浸透距離が大きい部分においても効率よく改良されることが示唆された。

3. まとめ

今回は長尺供試体における一次元注入実験および一軸圧縮試験を実施した。その結果、土粒子の濾過作用により微粒子の目詰まりが生じ、浸透距離による強度差が顕著に現れることが示唆された。また、注入材の濃度が低いケースにおいて浸透距離の大きい部分での改良効率が良好であることが示唆された。そのため、地盤を均一に改良するためには注入材の濃度を低めに設定することで注入口付近での目詰まりを抑制し、浸透距離の大きい部分においても微粒子を蓄積させることが必要である。

参考文献

1) 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 2) 蓮沼佑晃, 上村健太郎, 末政直晃, 佐々木隆光, 永尾浩一:微粒子を混合したマイクロバブル水注入工法に関する研究, 地盤工学会関東支部発表会 CD-ROM, Vol.13th Page.ROMBUNNO.ZAIRYO1-7, 2016 3) 宮入布幸, 安部利亮, 末政直晃, 佐々木隆光:マイクロバブルと薬液を用いた新しい液状化対策工法, 地盤工学会関東支部発表会発表講演集, Vol.7th pp.343-344, 2010 4) 滝浦駿介, 末政直晃, 吉野広汰, 佐々木隆光: 薬液改良体に注入速度と浸透距離が及ぼす影響の把握, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.70th Page.ROMBUNNO.III-372, 2015

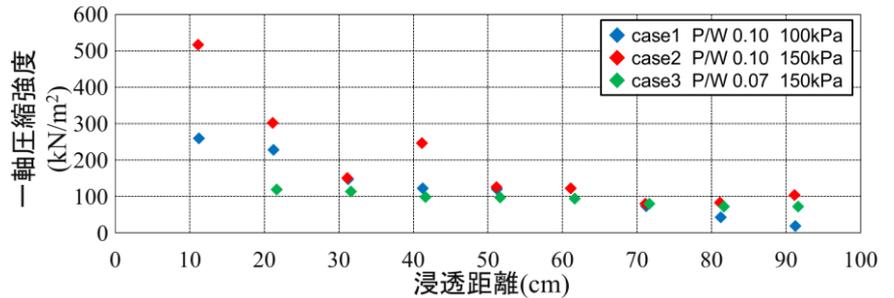


図-4 浸透距離と一軸圧縮強度の関係

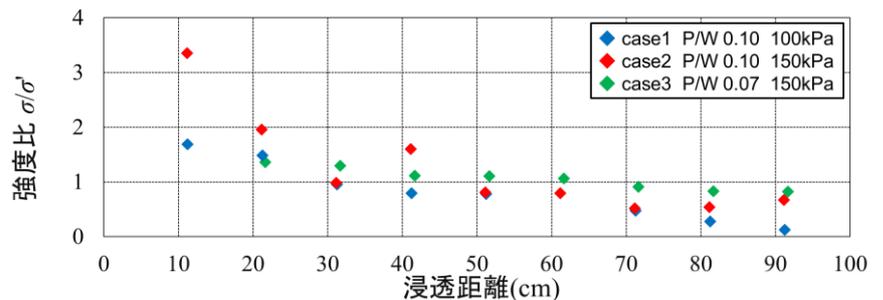


図-5 浸透距離と強度比の関係