

## 液状化対策に用いる微粒子系注入材の養生日数に伴う強度特性

東京都市大学 学生会員 ○馬上 拓也

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

強化土エンジニアリング株式会社 正会員 佐々木 隆光

佐藤工業株式会社 正会員 永尾 浩一

## 1. 社会背景

地震によって引き起こされる液状化現象は社会基盤や戸建て住宅に大きな被害を与える。近年では 2011 年の東北地方太平洋沖地震において大規模な液状化が発生し、社会問題となった。このような背景から、安価で施工性の良い液状化対策の必要性が高まっており、様々な議論が行われているが、有効な工法は未だに開発されていない。狭隘な土地に対して適用可能な液状化対策工法としては、薬液注入工法が挙げられる。液状化対策としての薬液注入工法には溶液型注入材が用いられることが一般的であるが、注入材の希釈や垂れ下がり現象などが要因となり、十分な改良体が形成できない場合がある。そこで、本研究では懸濁型注入材に着目した。懸濁型注入材は、高耐久性であるが溶液型注入材と比較して浸透性について不利とされてきた<sup>2)</sup>。しかし、近年の粉碎技術の発達から、細砂領域においても浸透可能な微粒子が開発され、適用範囲が拡大している。現在までに開発された微粒子系注入材は、様々な例<sup>3)</sup>があるが、本研究では、微粒子シリカ(以下 Si)と微粒子水酸化カルシウム(以下 CH)を混合した注入材について検討する。CH と Si を混合した注入材は、ポゾラン反応によりアルカリ雰囲気下でケイ酸カルシウム水和物(以下 C-S-H)を形成しながら凝集、固化すると考えられる。本報告では、選定した配合について、浸透注入法により供試体を作製し養生に伴う改良体の一軸圧縮強度の変化を確認した。

## 2. 構成材料と配合選定法

CH と Si の混合物の最適配合を選定するために CH と Si の配合比(以下 CH/Si 比)および粉体水比(以下 P/W 比)を変えた供試体を作製し、一軸圧縮試験を行った。なお、それぞれの注入材における配合比は重量比であり、粉体量 P は混合した二つの微粒子の総重量である。本実験に用いた CH と Si の粒度分布を図 1 に示す。微粒子の 50% 粒径  $D_{50}$  は、それぞれ Si で  $5.7\mu\text{m}$ 、CH で  $10.0\mu\text{m}$  である。

## 3. 配合選定試験

配合の選定を CH/Si 比を変化させた試験、P/W 比を変化させた試験から検討した。CH/Si 比を変化させた試験では  $P/W=0.10$  とした。供試体に用いた試料は珪砂 6 号であり、供試体は相対密度 60% となるように高さ 10cm、直径 5cm のプラスチックモールド内で注入材と砂を混合させ、作製した。所定期間養生後、プラスチックモールドか

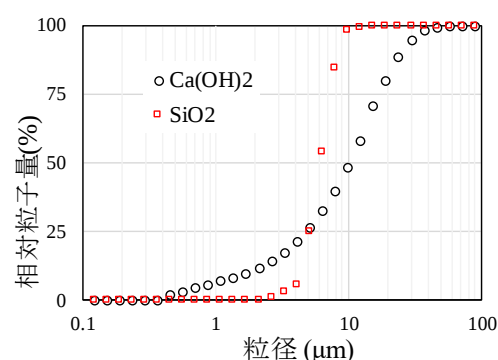


図 1 微粒子の粒度分布

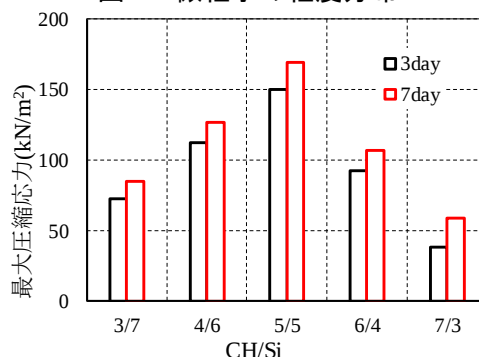


図 2 CH/Si 比変化試験結果

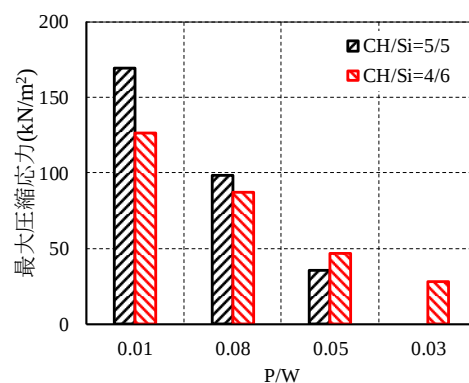


図 3 P/W 比変化試験結果

キーワード 薬液注入工法, 懸濁型注入材, 液状化対策

〒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: g1418085@tcu.ac.jp

ら脱型し、一軸圧縮試験を行った。それぞれの試験結果を図2、図3に示す。図2からCH/Si比が4/6、5/5のとき強度発現性が良いことがわかる。図3から濃度を低下させることによって一軸圧縮強度が一様に低下することが確認された。また、CH/Si比5/5の配合の方がP/W比の低下に伴う強度低下が著しいことがわかる。これは、CH/Si比が4/6より5/5の方がSiの量が少なく、P/Wの低下に伴いC-S-Hの生成量が減少し、強度低下を招いたと考えられる。したがって今後はCH/Si比が4/6の注入材について検討する。また、P/W比は0.10、0.05の2種類とした。

## 5. 養生に伴う強度変化

### 5-1. 実験概要

液状化対策には恒久性が求められることから、養生に伴う強度変化を確認する必要がある。本実験では浸透注入法により供試体を作製し、所定期間養生後、脱型し一軸圧縮試験を行った。供試体には珪砂6号を用い、相対密度60%に調整した供試体に対して、注入材を浸透注入させることによって作製した。なお、注入圧力は40kPa、100kPaでそれぞれ注入した。供試体は所定期間養生した後、モールドから脱型し、供試体高さが10.0cmとなるように整形し、一軸圧縮試験を行った。

### 5-2. 実験結果

図4に注入圧力40kPaの試験結果を、図5に注入圧力100kPaの試験結果をそれぞれ示す。図より、P/W=0.10の場合、注入圧力100kPaの方が注入圧力40kPaの場合に比べ、最大圧縮応力が高いことが確認された。また、P/W=0.05の低い濃度の場合、注入圧力による強度のばらつきはあまり見られなかった。これは、高い濃度では微粒子が目詰まりを起こし改良体に弱部ができてしまったためであると考えられる。しかし図6に示すように、注入圧力40kPaで作成した供試体は、上部が弱部となっているが、注入圧力100kPaで作成した供試体の破壊形状は樽型となっており、注入圧力を調整することにより弱部ができてしまう問題を改善することが確認できた。また図より、養生3dayで80%以上の強度が発現し、7dayにかけて微増する傾向にある。7dayと14dayの強度にあまり変化は見られないが、その後の強度は増加傾向にある。ただし、C-S-Hは未反応のSiおよびCHの量に伴って、反応が進行することから、より長期的な反応を確認する必要がある。

## 6. まとめ

選定した配合の注入材を用いて、養生に伴う強度変化を確認した。半年間の養生の結果、3日で強度の80%以上の圧縮強度に達することがわかり、その後は大きな強度変化は起きないが、強度は増加傾向にあることが確認された。

### 《参考文献》

- 1) 林ら：溶液型薬液注入工法の施工管理方法に起因する改良土の強度低下メカニズム，土木学会論文集C，Vol.70，No.4，pp.387～394，2014
- 2) 米倉，島田：薬液注入の長期耐久性と恒久グラウト本設注入工法の設計施工，近代科学社，pp7-25，2016
- 3) 中川ら：超微粒子水酸化カルシウム—球状シリカ系スラリーの分散と反応性，Cement Science and Concrete Technology，No.4/6，pp.65-70，2013

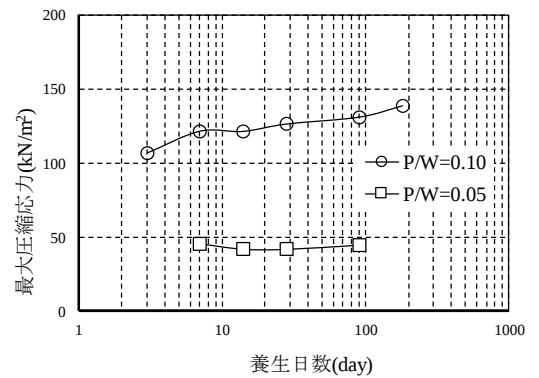


図4 養生に伴う強度変化(40kPa)

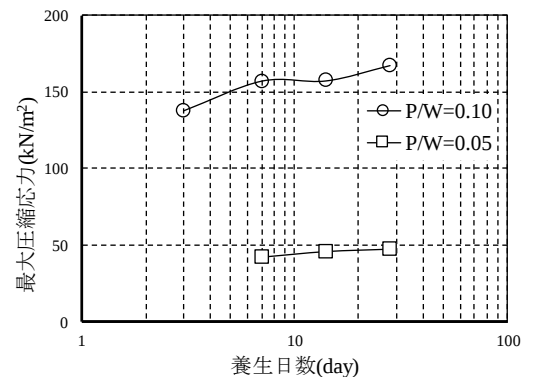
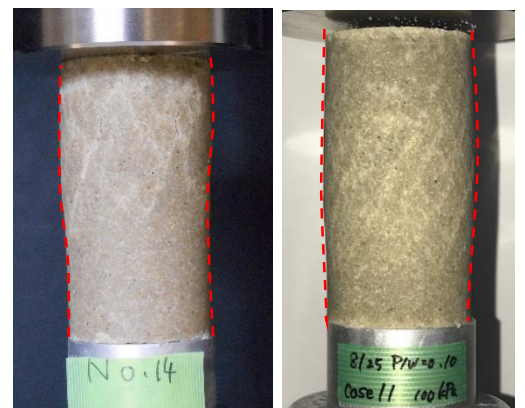


図5 養生に伴う強度変化(100kPa)



a) 40kPa, P/W=0.10 b) 100kPa, P/W=0.10

図6 注入圧力の違いによる破壊形状