

### 液状化抑止のための微粒子注入工法の検討

東京都市大学 学生会員 ○原 奨馬 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

日本では巨大地震の影響で軟弱地盤上の宅地においても液状化現象の発生が危惧されている。図-1 に液状化対策工法における施工面積と対策費用の関係を示す<sup>1)</sup>。現在様々な液状化対策工法があるが、住宅密集地などには小型機械で施工可能である注入系工法が主に採用される。図中の赤枠で示すように、さらなる低コスト工法を実現するため、本研究では微粒子注入工法を検討している。本工法は、砂間隙に微粒子を注入することで間隙水から微粒子注入材に置換し、微粒子が固化することにより土粒子同士の結びつきを強化し、改良地盤全体の強度増加を図る工法である。既往の研究<sup>2)</sup>では、鉄鋼生成時の副産物である高炉スラグを主とした微粒子を適切な配合で混合することで、液状化対策に必要な強度を十分に得られることが分かっている。本報告では長尺供試体への微粒子注入実験を実施し、浸透特性について検討した。

#### 2. 実験概要

既往の研究<sup>2)</sup>では水粉体比 3~15%の石膏：高炉スラグ微粉末：酸化マグネシウム=1:9:1 を用いた配合で液状化対策に求められる強度が得られている。一方で、本配合を用いた一次元注入実験の結果において、注入材の濃度が高くなると目詰まりが生じ、浸透性や改良強度に影響を与えることが確認されている。特に長尺供試体の場合、注入口付近で目詰まりを生じてしまい未浸透部ができてしまうことが問題とされている。そこで本実験では本配合の注入材濃度を低く設定して長尺供試体に対する一次元注入実験を試み、注入水圧の変化および供試体の浸透範囲を調べた。表-1 に配合量、図-2 に実験概要図を示す。長尺供試体の寸法は内径 5cm、高さが 100cm とし、試料は珪砂 6 号( $e_{max}=1.083$ ,  $e_{min}=0.673$ ,  $\rho_s=2.637g/cm^3$ )を用い、相対密度は  $Dr=60%$  とした。

なお長尺供試体作製は、密度を均質に保つため高さ 10cm のモールドを 10 回に分けて木槌で締め固めた後、モールドをつなぎ合わせることで作製した。また、供試体の上下には珪砂 6 号と同じ相対密度の珪砂 2 号をフィルター層として入れ、各層の上下に金網を設置することで供試体の形状が崩れることを防止した。供試体作製後、脱気水で飽和させた。注入には約 1.67mL/s の一定速度で注入が可能なモーノポンプを用いた。注入は、供試体下部か

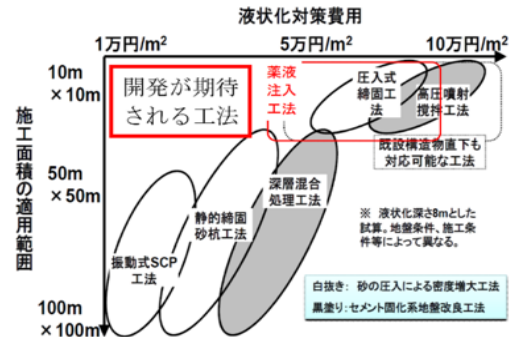


図-1 地盤改良における施工面積と対策費用の関係の模式図<sup>1)</sup>

表-1 配合量

水粉体比	2%		
注入材密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.013		
配合	CaSO <sub>4</sub>	BS	MgO
配合比	1	9	1
配合量(g)	6	54	6
密度(g/cm <sup>3</sup> )	2.33	2.91	3.58

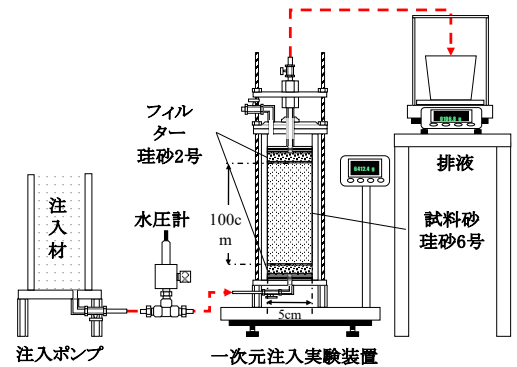


図-2 実験概要図

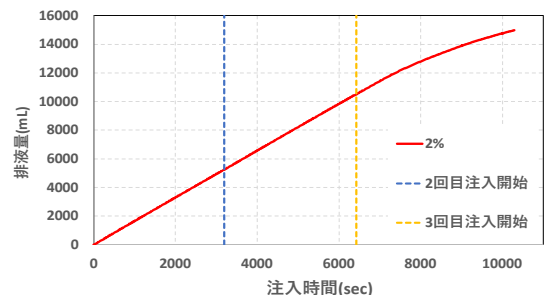


図-3 排液量の時間変化

キーワード 液状化現象, 微粒子注入, 一次元注入実験

ら注入し上部から排水した。注入による一次元注入実験装置の質量変化と排液量の測定を行うため、それぞれに秤を設置し、注入圧力を測定するため、注入ポンプと一次元注入実験装置の間には水圧計を設置した。

なお、長時間にわたる注入実験では、注入配管内にて微粒子が沈殿し注入を妨げることが懸念されるため、本実験では表-1の注入材を3回に分けて作製し、注入量が5500mL毎にインターバルを設け、注入配管内に沈殿した微粒子を取り除いた条件にて注入した。これらの実験に加えて、実験終了直前の排液の濃度計測や、実験から2週間後にはモールドから脱型し、供試体への浸透範囲を変色状況より観察した。

**3. 実験結果及び考察**

図-3に排液量、図-4に注入水圧の経時変化を示す。図中の青色と黄色点線は、2回目と3回目の注入開始時である。排液量は、2回目までは注入が一定量常に排出されていることから、目詰まりを生じることなく注入が継続できていることが確認される。しかし、3回目注入以降は約7,000sec経過後から徐々に注入量が減少していることが分かる。グラフの傾きが変化する前後の0~1,000secと9,000~10,000secの傾きを求めた結果、それぞれ1.66mL/s、0.87mL/sとなり、開始時に比べて注入速度が約1/2に減少していることが確認された。一方、注入圧の最大値は、1,2,3回目それぞれ約37kPa、約177kPa、約402kPaとなった。図-5に脱型後の供試体の様子、図-6に各浸透距離における断面写真を示す。図より浸透距離が約90cmまでは浸透が確認されたが、約90cm以降では変色が見られず、脱型の際に崩れてしまったことから未浸透であると考えられる。図-7に実験直後と脱型後の注入口付近の様子を示す。本実験では3回目注入の途中で急激に注入水圧が上昇してしまい、約400kPaを越えた際に図に示すような割裂が確認されたため注入をすぐに停止した。しかし、脱型後には割裂部分が目立たないように固化していることが認められた。また、実験終了直前に採取した排液から質量パーセント濃度を計測した結果、約0.15%であったため、目視では排液が白濁していることは確認できなかったものの、少量の微粒子が含まれていたと想定される。

**4. まとめ**

本実験より注入濃度を低くした場合でも、長尺供試体の全てに浸透させる前に目詰まりを生じた。広範囲に注入材を浸透させるためには、割裂を生じさせるほどの圧力が必要となるほか、注入速度を上昇させることにより目詰まりを解消することで、低濃度でも浸透距離を伸ばすことが可能になると考えられる。

**<参考文献>**

1) 浦安市液状化対策技術検討委員会：平成23年度浦安市液状化対策技術検討調査報告書，公益社団法人地盤工学会・公益社団法人土木学会・一般社団法人日本建築学会，第2編，p.81，平成24年度3月  
 2) 田代 侑，微粒子注入工法の実用化に向けた注入材の検討及び浸透特性の把握，東京都市大学大学院修士論文，第2章 p.9-29 2022

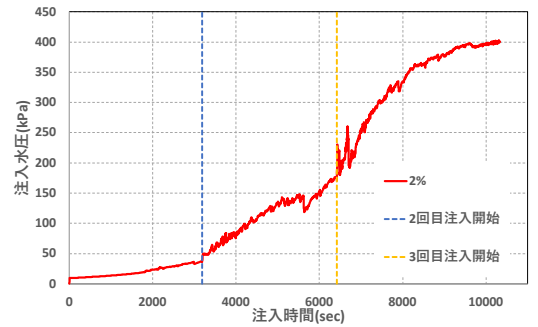


図-4 注入水圧の時間変化

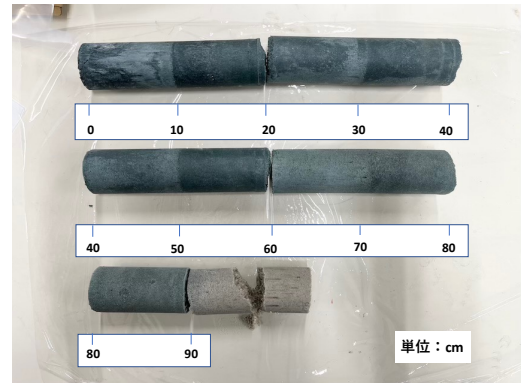


図-5 脱型後の供試体の様子

浸透距離(cm)	20	40	60
断面写真			
浸透距離(cm)	80	90	
断面写真			

図-6 各浸透距離における断面写真

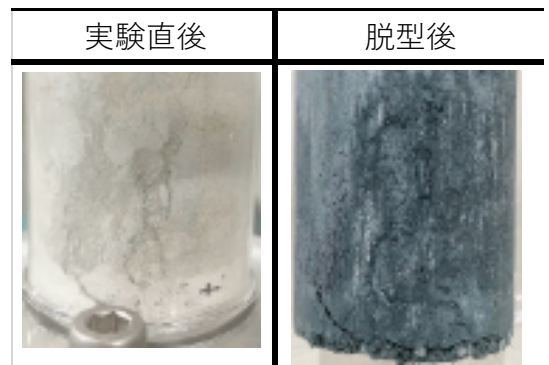


図-7 割裂部位の変化