

新たな CPG 工法の施工過程における地盤挙動 - 概要および圧入について -

復建調査設計（株）
（国研）港湾空港技術研究所
（国研）港湾空港技術研究所
三信建設工業（株）

正会員 ○高田 圭太
正会員 佐々 真志
正会員 山崎 浩之
正会員 竹之内寛至

1. はじめに

静的圧入締固め工法（以下、CPG 工法）¹⁾は注入管より低流動性のモルタルを地盤に静的に圧入して地盤の密度を増大させる液状化対策工法の一つである。CPG 工法は既設構造物の直下や近傍での適応が可能であるが、従来のボトムアップ方式（以下、従来施工）では施工に伴う地盤隆起が問題となる場合があり、その抑制が課題であった。これまで著者らは、小型模型実験および実大規模の現場実証実験を実施し、従来施工よりも隆起抑制効果ならびに液状化対策効果の高い新たな CPG 工法であるアップダウン施工（以下、U/D 施工）の開発を進めてきた^{2) 3) 4)}。これまで行ってきた模型実験から、U/D 施工による隆起抑制メカニズムは、改良体の拡張と関係していることが推定されている。しかし、地中で起こる現象であるため、直接検証することが困難であった。本研究では、透明地盤を用いた実験によりモルタル改良体の造成過程および周辺地盤の挙動を直接観察した結果から、U/D 施工による隆起抑制メカニズムについて考察する。なお、本報では実験の概要とモルタル圧入時の周辺地盤の挙動を中心に述べる。注入管の上下運動に伴う改良体および周辺地盤の挙動については、文献 5)ならびに文献 6)を参照されたい。

2. 実験概要

図-1 に実験で用いた土槽の概要図を、表-1 に実験仕様を示す。また、表-2 には透明地盤材料として使用した石英ガラスおよび流動パラフィンの物性をそれぞれ示した。

実験では図-1 に示すアクリル製の小型の角型土槽（幅：150 mm×高さ：400 mm×奥行：150 mm）を使用し、下位に液状化層、上位に非液状化層を構成した。下位の液状化層では、圧入状況および周辺地盤の挙動についての目視観察と解析を行うため、石英ガラスおよび流動パラフィンを用いた透明地盤を使用した。石英ガラスの粒径は可視化が行いやすい 0.5～2.0 mm を使用した。石英ガラスと流動パラフィンの屈折率を合わせるため、2 種類の流動パラフィンを混合して使用した。土層は水中落下方式で作製し、初期相対密度は 40%とした。土層中には周辺地盤の挙動をみるために、トレーサー粒子を改良体の両脇に水平方向：9mm 間隔、鉛直方向：30mm 間隔で配置した。この模型地盤の中央に表-1 に示す仕様で 1 本の改良体を造成した。なお、圧入には外径：φ24 mm、内径：φ6 mm の注入管を使用した。

圧入中の土槽は約 1m の距離からビデオカメラ（3840×2160 画素）で撮影して、撮影した動画から、連番の静止画を作製し、解析ソフト FtrPIV を用いて改良体および周辺地盤の挙動を計測した。その際、周辺地盤の挙動はトレーサー粒子の 1 秒毎の物理座標値として整理した。

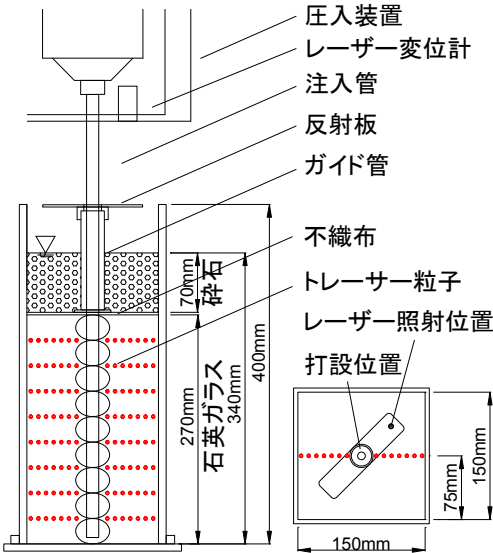


図-1 土槽概要図

表-1 実験仕様

土槽サイズ	150mm×150mm×400mm
地盤材料	石英ガラス
初期 Dr (%)	40
初期地盤高 (mm)	270
施工法	アップダウン施工
注入管 (mm)	φ 24 (内径 φ 60mm)
改良長 (mm)	270
圧入量 (cm ³)	612
圧入本数 (本)	1 本
ステップ数	9 ステップ
1 ステップ高さ (mm)	30

表-2 模型地盤材料の物性

石英ガラス		流動パラフィン	
粒径 (D ₅₀ mm)	1.176	密度 (g/cm ³)	0.838 (40)
土粒子密度 (ρ _s g/cm ³)	2.21	流動点 (°C)	-12.5
最小密度 (ρ _{dmax} g/cm ³)	1.103	動粘度 (mm ² /s)	9.620 (40)
最大密度 (ρ _{dmin} g/cm ³)	1.266	屈折率 (パラフィン A)	1.460 (20)
最小間隙比 (e _{max})	0.737	屈折率 (パラフィン B)	1.440 (20)
最大間隙比 (e _{min})	0.944	※()内は温度	
屈折率	1.4583		

キーワード：静的圧入締固め，透明地盤，隆起抑制

連絡先：〒101-0032 東京都千代田区岩本町 3-8-15 復建調査設計（株）東京支社 TEL 03-5835-2631 FAX 03-5835-2632



写真-1 圧入時のモルタル改良体の拡径状況

3. 実験結果 - 圧入時の周辺地盤の挙動 -

写真-1 に示すように、透明地盤を用いたことで、地盤中に圧入したモルタル改良体の拡径状況を詳細に把握することができた。図-2 には1～3st 目の改良体の圧入終了時点におけるトレーサー粒子の移動方向と移動量をベクトルで示した。図は土槽を横から見た右半を示しており、土槽の左端、改良区間の上端を原点とした物理座標で示している。この図から、圧入した改良体付近の地盤は、改良体が拡径する方向に移動し、その移動量は改良体に近いほど大きく、ある程度遠ざかると急激に小さくなる。一方で、改良体より上の地盤はほぼ鉛直方向にのみ移動しており、その移動量は圧入深度から離れた土層上部ほど小さい。このような周辺地盤の挙動は、施工による隆起量の事前予測に用いられている空洞拡張理論を応用した予測法⁷⁾と整合的である。

4. まとめ

本報告では、透明地盤を用いた実験によりモルタル圧入時の周辺地盤の挙動を直接観察した。その結果、以下のことが確認された。

- ・ 圧入深度付近の地盤の移動方向は水平方向成分を含む。一方で、改良体より上の地盤には水平方向への移動はほとんどみられず、鉛直方向に一樣に隆起する。
- ・ 圧入深度から離れた土層上部ほど、移動量は小さい。

<参考文献>

- 1) 沿岸技術研究センター：「液状化対策としての静的圧入締固め工法技術マニュアル—コンパクショングラウチング工法—」，2013。
- 2) 竹之内他：隆起抑制効果と液状化対策効果が向上した新たなCPG 工法の開発，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol. 72, No. 2, I_372—I_377, 2016。
- 3) 竹之内他：隆起抑制型 CPG 工法の開発と現場実証実験による検証，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol. 73, No. 2, I_282—I287, 2017。
- 4) 竹之内他：新たな CPG 工法の隆起抑制メカニズムと施工能率向上の検討，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol. 74, No. 2, I_886—I891, 2018。
- 5) 諸橋他：新たな CPG 工法の施工過程における地盤挙動—改良体の挙動，土木学会第 74 回年次学術講演会，2019(投稿中)。
- 6) 足立他：新たな CPG 工法の施工過程における地盤挙動—周辺地盤の挙動，土木学会第 74 回年次学術講演会，2019(投稿中)。
- 7) 山崎他：締固め工法施工時の地盤隆起量の予測法，土木学会論文集 C, Vol. 65, No. 4, 1039—1044, 2009。

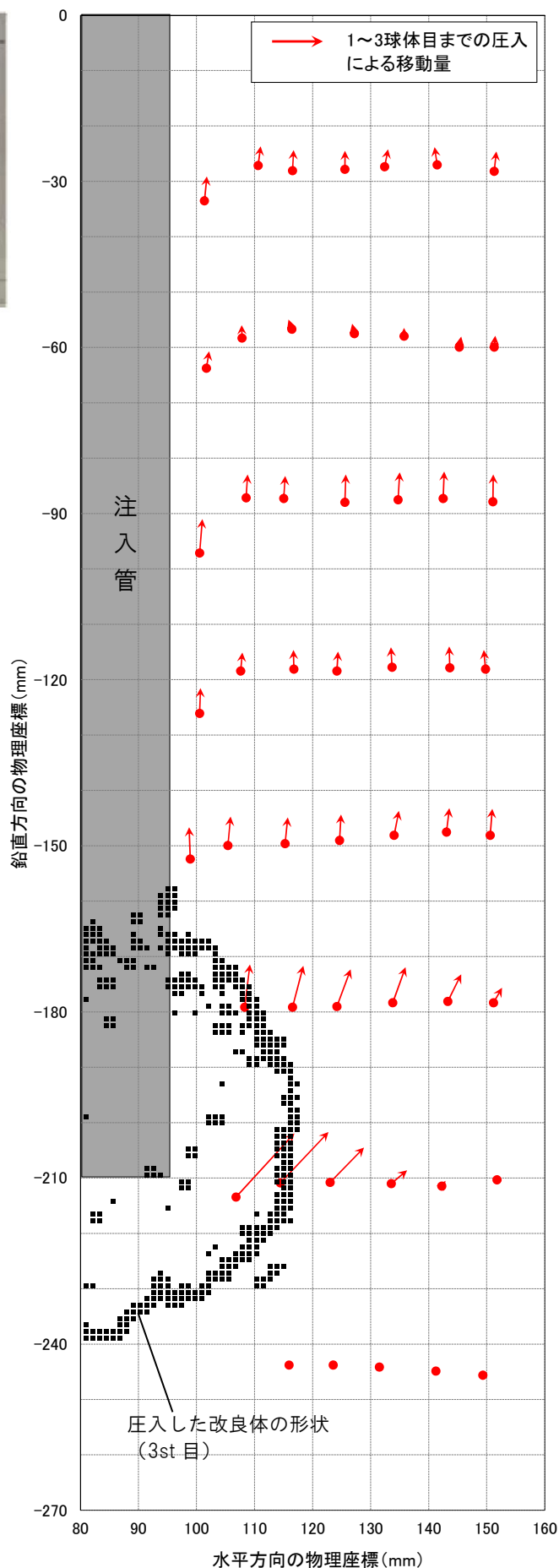


図-2 圧入時の周辺地盤の挙動
(トレーサー粒子移動量のベクトル図)