

液状化対策工法の効果を検証する現場実験の試み

液状化対策 過剰間隙水圧 沈下

建築研究所	国際会員	新井 洋
ベターリビング	正会員	久世 直哉
竹中工務店技術研究所	正会員	田屋 裕司
大阪大学	正会員	柏 尚稔

1. はじめに

液状化対策工法の効果の検証は、大地震の発生を待たず、施工前後の現場試験により行われることが望ましい。稀少な事例として、八嶋ら¹⁾は、高性能排水材を用いた間隙水圧消散工法を対象に、10t ラフタクレーンを用いた H 型鋼の打設・引抜により発生する過剰間隙水圧を計測することで、工法の効果を検証する現場実験を行っている。これを参考に、本稿では、ベターリビングの建設技術審査証明事業（住宅等関連技術）証明技術から締固め系液状化対策工法²⁾を対象とし、小型の地中起振源（バイブレータ）により発生する過剰間隙水圧やバイブレータの沈下量を計測することで、同様の現場実験を試みた。

2. 実験対象の改良地盤の概要

現場実験は、対象工法の技術審査²⁾において試験施工が行われた茨城県神栖市筒井の敷地で行った。図 1 に、試験施工における締固め改良杭の平面配置（改良率 10%、20%）を示す。各改良率エリアでは、改良前後に、標準貫入試験や物理試験など地盤調査が行われている（図 1, 2）。図 2 より、液状化の可能性が高い地層は、地下水位（深さ 1m 程度）から深さ 3m 程度までの埋土（砂）と考えられ、この地層の標準貫入試験 N 値が改良前後で増大している。とくに、改良率 10% エリアの深さ 2.3m 付近において N 値の増大が顕著で、これは、施工時の局所的な締固めによると想像される。なお、図 2 の地下水位は、実験日の測定結果で、改良率 10% エリアの値（深さ 0.6m 程度）は降雪雨のため一時的に上昇したものと推察される。

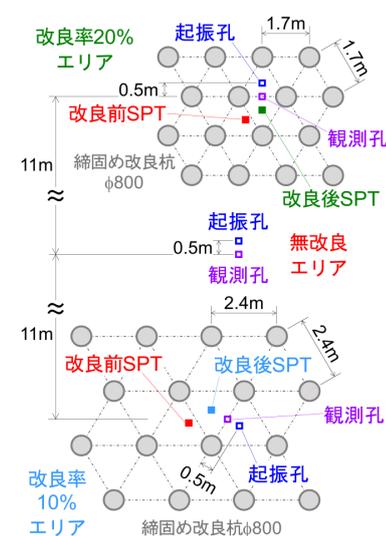


図1 締固め改良杭の平面配置と改良前後の地盤調査位置および実験の観測孔と起振孔の位置

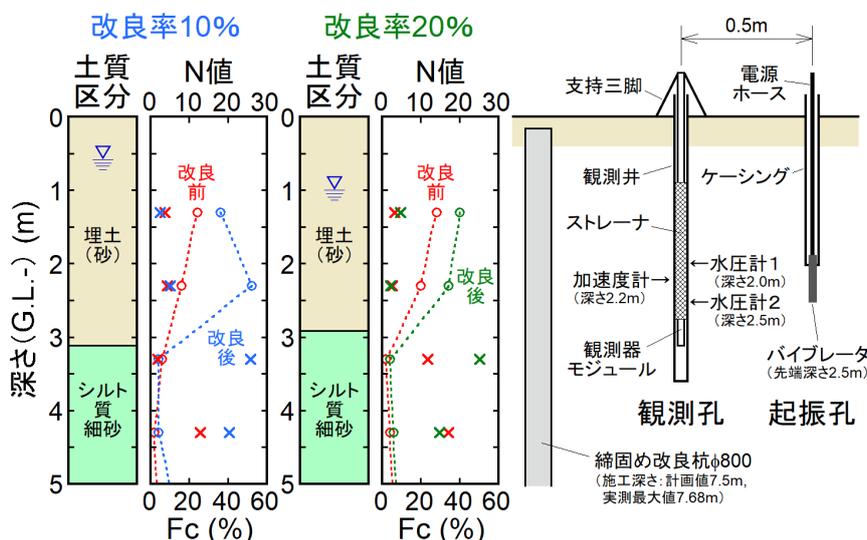


図2 改良前後の地盤調査による土質柱状図と標準貫入試験 N 値および細粒分含有率 F_c の深さ方向分布ならびに実験の観測孔と起振孔の概要

3. 実験の概要

図 1, 2 に示すように、無改良エリアと改良率 10%、20% エリアにおいて、それぞれ観測孔と起振孔（芯間 0.5m）を設置して実験を行った。いずれの孔も自走可能な小型の油圧式パイブドリルを用いて掘削した。液状化対策効果を検証する実験の深さは、液状化の可能性が高い地層の深い部分で N 値データがある 2.3m 付近とした。観測孔には、深さ 2.0m と 2.5m に水圧計を 1 台ずつ、深さ 2.2m に加速度計（3 成分）を 1 台、それぞれ設置した。起振孔には、バイブレータ（周波数 200Hz、振動部の径 61mm × 長さ 415mm、重量 17.5kg：写真 1）を先端の深さ 2.5m となるよう埋設した。水圧計と加速度計は動的データロガーに接続し、間隙水圧と加速度の時刻歴をサンプリング周波数 100Hz で 10 分間計測した。この際、計測開始までに間隙水圧が静水圧で安定していることを確認の上、計測開始の 10 秒後から 60 秒後までバイブレータを起振した。この 10 分間の計測を 1 回の実験として、十分に時間を空けて計 3 回の実験を行った。また、電源ホースに付けたマークの移動量からバイブレータの累積沈下量を測定した。



写真 1 実験で使用した小型の地中起振源（バイブレータ）

A Field Trial to Examine Effects of Remedial Measures against Soil Liquefaction

Hiroshi Arai (BRI), Naoya Kuze (CBL), Yuji Taya (Takenaka R&D Inst.) and Hisatoshi Kashiwa (Osaka Univ.)

4. 実験の結果

図3に、無改良エリアと改良率10%、20%エリアの実験1回目でも得られた深さ2.0mの過剰間隙水圧の時刻歴を、改良率10%エリアの加速度（水平起振孔直交方向、深さ2.2m）の時刻歴と並べて示す。静水圧は計測開始から8秒間の平均値とした。図3より、いずれのエリアでも、加速度（パイプレータによる地盤振動）の発生とともに過剰間隙水圧が上昇し、消散へと移行している。無改良エリアでは、過剰間隙水圧の最大値は1.2kPa程度であり、消散まで9分以上を要した。一方、改良率20%エリアでは、過剰間隙水圧の最大値は0.4kPa程度であり、消散まで4分程度であった。改良率10%エリアでは、過剰間隙水圧の発生量は極めて小さかった。深さ2.5mの水圧計でも同様の結果が得られた。

図4に、無改良エリアと改良率10%、20%エリアの実験1回目でも得られた過剰間隙水圧比（深さ2.0m、2.5m）の最大値と改良後のN値（深さ2.3m）の関係を示す。過剰間隙水圧比の算定では、地盤の単位体積重量を 18kN/m^3 と仮定した。また、無改良エリアのN値は、改良率10%、20%エリアの改良前N値の平均とした。図4より、最大過剰間隙水圧比は、無改良エリアでも0.05程度と小さいが、改良後のN値が大きいほど小さくなる傾向が明瞭に見られる。

図5、6に、無改良エリアと改良率10%、20%エリアの3回の実験で得られた過剰間隙水圧（深さ2.0m、2.5m）と水平加速度（深さ2.2m）の最大値を、それぞれ示す。図5より、最大過剰間隙水圧の改良率による差異が明瞭に見られるのは実験1回目のみで、起振回数が増えるほど最大過剰間隙水圧は格段に小さくなる。一方で、図6より、最大水平加速度の改良率による差異は実験3回とも比較的明瞭で、起振回数が増えるほど最大水平加速度は徐々に大きくなる。また、図2、4から、改良後のN値が大きいほど最大水平加速度（とくに起振孔直交方向）が大きくなる傾向が見られる。

以上の結果は、今後の分析が必要な部分も残されていると思われるが、小型の地中起振源（パイプレータ）により発生する僅かな過剰間隙水圧や加速度の計測から、液状化対策効果の大小を検証できる可能性を示している。さらに検討のため、図7に、無改良エリアと改良率10%、20%エリアの3回の実験で得られたパイプレータの累積沈下量を示す。図7より、沈下量の改良率による差異が明瞭に見られるのは実験1回目のみであるが、図3-6と異なり、改良率が大きいほど沈下量が小さくなる傾向が明瞭に見られる。その原因の考察には今後の分析を必要とするが、パイプレータの沈下量によっても対策効果の大小を検証できる可能性が示唆される。

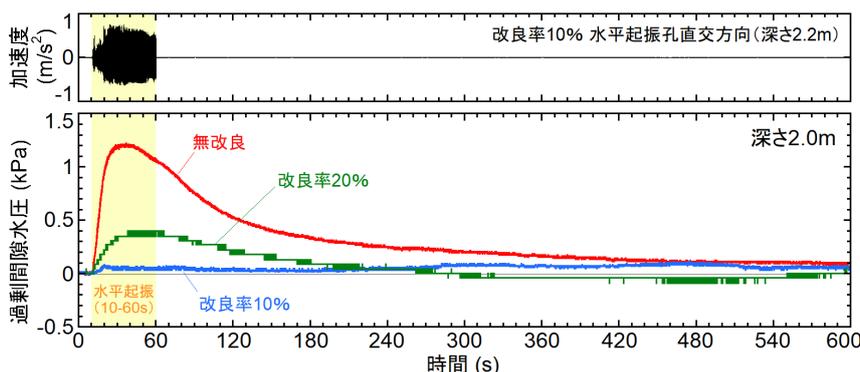


図3 実験1回目の過剰間隙水圧（深さ2.0m）と改良率10%エリアの水平起振孔直交方向の加速度（深さ2.2m）の時刻歴

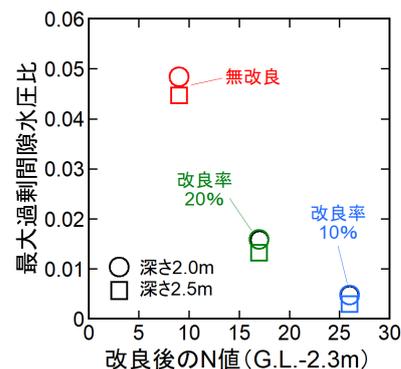


図4 実験1回目の過剰間隙水圧比の最大値と改良後のN値の関係

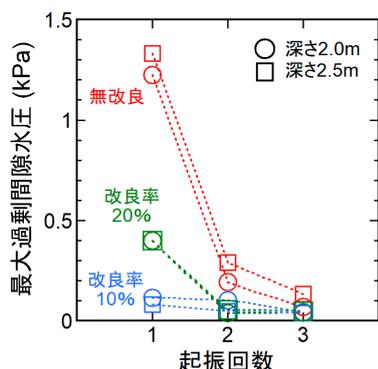


図5 実験1-3回目の過剰間隙水圧の最大値

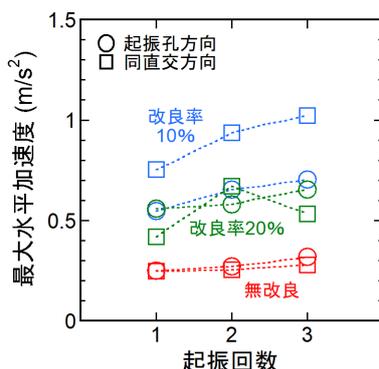


図6 実験1-3回目の水平加速度の最大値

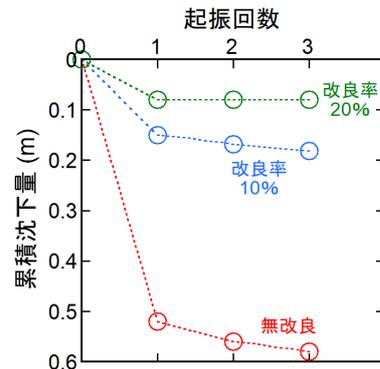


図7 パイプレータの累積沈下量

5. まとめ

締固め系液状化対策工法²⁾を対象として、小型の地中起振源（パイプレータ）により発生する過剰間隙水圧やパイプレータの沈下量を計測することで、工法の効果を検証する現場実験の可能性を示した。今後、実験データの分析を進めるとともに、種々の工法について実験事例を蓄積し、具体的な検証の指標に繋げたい。

謝辞：大成建設株式会社、三信建設工業株式会社、大成ロテック株式会社、成和リニューアルワークス株式会社の4社様には、現場実験の敷地使用に係る便宜を図っていただいた。また、試験施工の情報と地盤調査データを提供いただいた。記して謝意を示す。

<参考文献> 1) 八嶋ほか：第53回地盤工学研究発表会、1895-1896、2018。 2) ベターリピング：BL審査証明-057、TS-improver（締固め系液状化対策工法）、<https://www.cbl.or.jp/tbt/gijutsu/file/gaiyou057.pdf>（2024年4月1日閲覧）