

セメント系固化材による表層改良と改良杭を併用した 液状化対策工法の検証（その1）—遠心実験—

(株)大林組 正会員 ○加藤一紀 正会員 永井秀樹
正会員 永禮大 正会員 樋口俊一

1. はじめに

臨海部産業施設等の埋立地盤上には工業用配管等の線状構造物が数多く設置されている。こうした地域で地震時に液状化が発生した場合、不等沈下によって配管等の輸送・供給機能が喪失する恐れがある。

線状構造物への液状化対策の一例として、サンドコンパクションパイル工法等の締固め工法があげられる。しかしながら同工法は、改良効果を確保するために管軸直角方向に一定の幅をもって地盤改良する必要があり、対策を計画する際に工事スペースの確保や経済性の面で課題となっている。

そこで改良範囲を縮減し、かつ線状構造物の沈下を抑止する工法として、図1に示すような構造物（埋設管等）の自重を受けるセメント表層改良と、その下部に管軸方向に一定の間隔をあけて支持層まで到達するセメント改良杭を打設する方法を提案する。

本報では、本液状化対策工法を用いた場合の線状構造物の鉛直・水平方向の挙動を、遠心載荷装置を用いた模型実験に基づき検証する。

2. 対策工法と遠心力模型実験の概要

図2(a)にせん断土槽（内寸 1950mm×600mm×665mm）に作製した模型地盤と計測器設置位置を示す。遠心加速度は 50G とし、図中、括弧内の数値は実物換算した寸法を示す。

模型地盤は地表面より上部非液状化層（岐阜珪砂 7号： $G_s=2.645$, $e_{max}=1.234$, $e_{min}=0.73$, $Dr=55\%$ ）、液状化層（岐阜珪砂 7号： $Dr=59\%$ ）、下部非液状化層（岐阜珪砂 4号： $G_s=2.64$, $e_{max}=1.047$, $e_{min}=0.692$, $Dr=100\%$ ）、支持層（ソイルセメント： $q_u=1000\text{kN/m}^2$ ）で作製した。

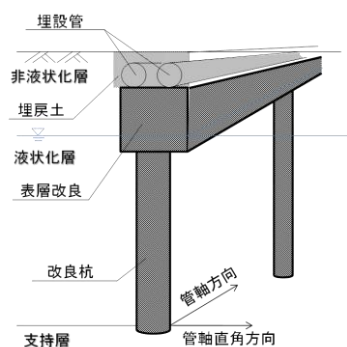
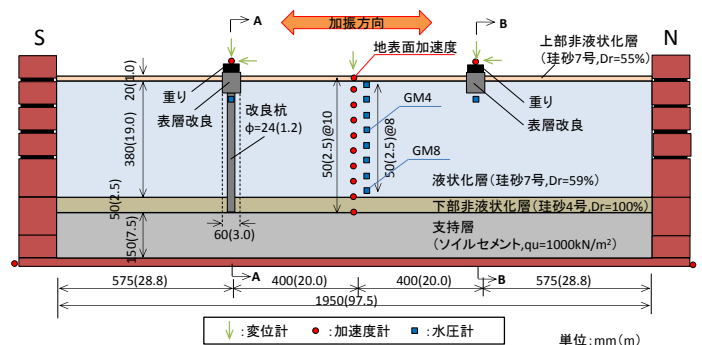


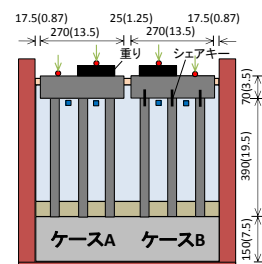
図1 対策工法の概念図

間隙流体は $50\text{mPa} \cdot \text{s}$ のメトロース水溶液を用いた。表層改良上部および地盤内に、加速度計、水圧計、変位計を設置した。ここで後述する表層改良上部の水平変位は、せん断土槽の層間変位を計測することで、土槽底版との相対変位で表示している。

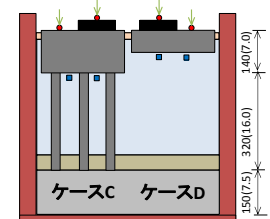
図2(b)、(c)に示すように、土槽内には4ケースの断面を作製し、同じ加振条件で変位・加速度応答を比較できるように配置した。ケースA（基本ケース）は、改良深さ 70mm の表層改良を杭長 390mm の改良杭が支持している。ケースBは、改良杭と表層改良の間に鋼棒（直径 3mm、長さ：60mm）がシェアキーとして入っている。ケースCは表層改良と改良杭の長さを変え、それぞれ改良深さ 140mm、杭長 320mm としている。ケースDは、改良杭がなく表層改良のみとしている。各ケースの表層改良上部片側には線状構造物の自重を模擬した鋼鉄製の重り（1.15kg、 $P=120\text{kN/m}^2$ 相当）が搭載されており、シェアキーで表層改良と接続されている。表層改良および改良杭はソイルセメント（ $q_u=1000\text{kN/m}^2$ ）で作製した。地震波は兵庫県南部地震のポートアイランド基盤 NS 成分波を、加速度振幅を調整して入力した。



(a) 側面図



(b) A-A断面（ケースA、B）



(c) B-B断面（ケースC、D）

図2 模型地盤と計測器設置位置

キーワード 液状化、地盤改良、遠心模型実験

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組技術研究所構造技術研究部 TEL042-495-1264

3. 線状構造物の鉛直・水平方向の挙動

図3、4(a)～(e)に目標加速度 200gal と 500gal で入力した場合の、振動台と地表面加速度、表層改良上部（重り側）の加速度応答、自由地盤の過剰間隙水圧比、表層改良上部（重り側）の鉛直変位、および水平変位の時刻歴を示す。ここで図中の値は、各加振前を初期値とした増分値を実物換算して示している。

- ・図3(a)、(b)より、表層改良上部における最大応答加速度は、ケース C、D、B、A の順に大きく、いずれも応答加速度が入力加速度よりも大きい。一方、図4(a)、(b)では、応答加速度は入力加速度よりも小さく、ケース C、B、A、D の順に大きい。ここで各ケースの応答加速度の大小は、次のように解釈できる。ケース D は地盤の液状化度合い（図3(c)、図4(c)）が応答加速度に影響を与えている。ケース A、B、C は支持層より改良杭を伝って加速度が伝播されるため、表層改良と改良杭がシェアキーで接続されているケース B と、改良範囲が深く表層改良体の質量が大きいケース C で、応答加速度が大きくなっている。500gal の場合ではいずれのケースも表層改良上部の応答加速度が、入力加速度よりも小さくなっている。これは地表面の加速度波形との類似性から上部非液状化層と一体となって振動しているためと考えられる。
- ・図3(d)、図4(d)より、ケース A、B、C では入力加速度の大きさに関係なく表層改良上部の鉛

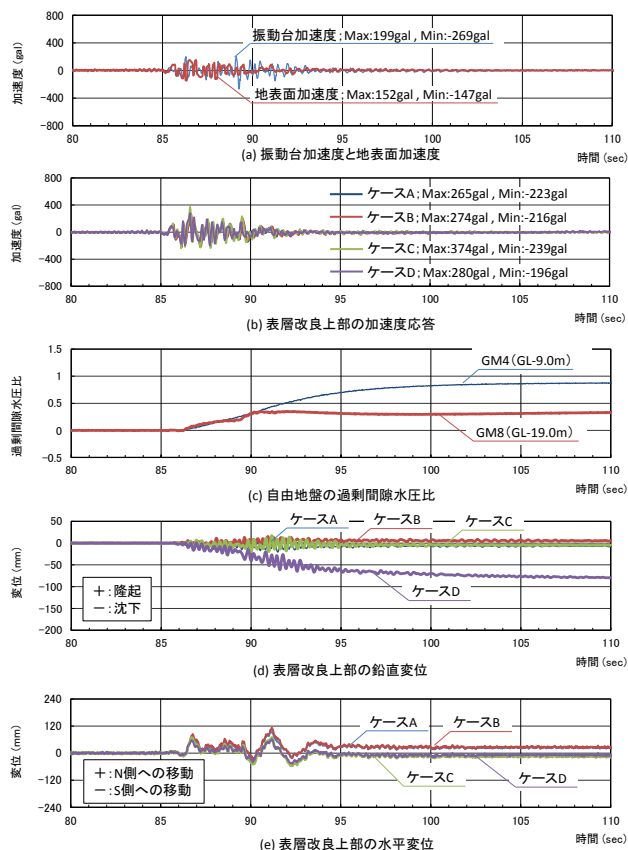


図3 目標 200gal 加振時の入力波形と応答

直変位はほとんどみられない。一方ケース D では、自由地盤の過剰間隙水圧の上昇に伴って鉛直変位が増大しており、200gal と比較して 500gal の方が鉛直変位は大きい。これは液状化度合いの差によるものと考えられる。

- ・図3(e)より、200gal の場合ではケース間で残留変位の有無に差が見られる。これはケース C では、改良深さが深く非液状化層や液状化層上端が表層改良の水平変位に対して抵抗となったこと、ケース D では、杭による加速度の伝達がないことが要因として考えられる。一方、500gal（図4(e)）では、いずれのケースでも残留変位が見られ水平変位に差は見られなかった。

4. まとめ

遠心载荷装置を用いた模型実験より、以下のことがわかった。

- ・表層改良を支持するようにその下部に改良杭を打設することで、構造物の鉛直変位を抑制することができる。
- ・表層改良と改良杭をシェアキーで接続する場合や、表層改良の改良深さが深い場合では、200gal 程度の加速度に対して応答加速度が大きくなる傾向にあるが、液状化地盤が全層にわたって液状化する場合にはその傾向は小さく入力加速度よりも応答は小さくなる。
- ・表層改良のみの場合と改良杭を併用した場合では、構造物の残留水平変位の差は小さく、変位量も数 cm 程度に収まっている。

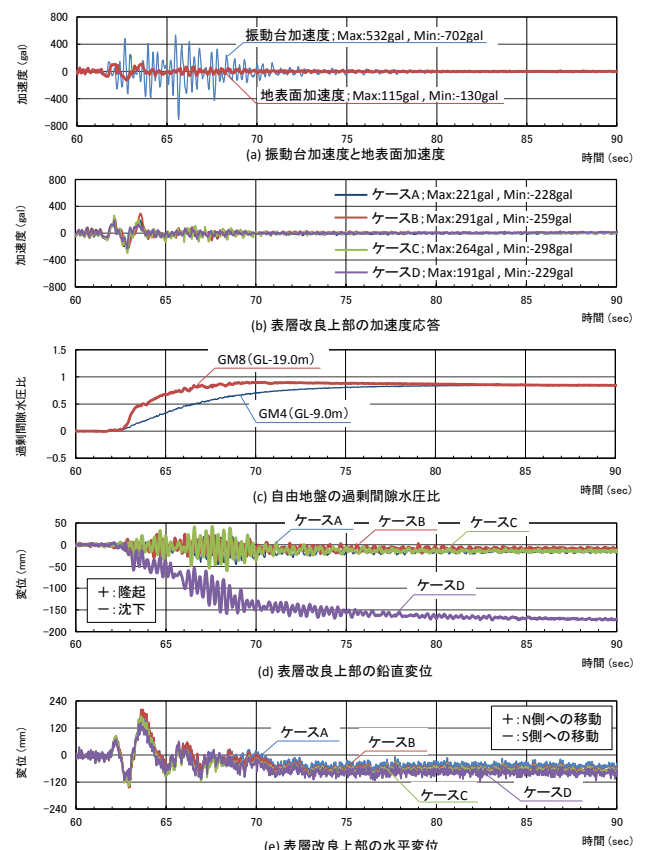


図4 目標 500gal 加振時の入力波形と応答