

# 液状化地盤における多層固化改良に関するオンライン地震応答実験（改良形式の比較）

山口大学 正会員 兵動 正幸，三浦 房紀，吉本 憲正  
 三井住友建設 正会員 高橋 直樹，山本 陽一  
 フジタ 正会員 岸下 崇裕  
 山口大学 学生会員 木村 真也

## 1. はじめに

著者らは地震時の地盤の軟化及び液状化を利用し，かつ地盤の沈下及び不同沈下を低減することを期待して，板状の固化改良体を液状化対象層内に多層配置する多層固化改良の振動台実験<sup>1)2)</sup>，およびオンライン地震応答実験<sup>3)</sup>を実施し，その改良効果について検討した．本文では，異なる改良形式に対して実施したオンライン地震応答実験から得られたそれぞれの改良形式における応答性状について比較する．

## 2. 実験・解析方法

オンライン地震応答実験はコンピュータによる応答計算と室内要素実験をオンラインで結合し，地震時における地盤の挙動を再現するものである<sup>4)</sup>．検討地盤は，図-1に示すように基盤上14mの水平成層地盤を想定し，これを7分割して一次元の質点系モデルで置き換えたものとした．このうち，GL-2m～GL-14m（L2～L7層）の復元力をオンライン実験により実測し，他の層の復元力は修正Ramberg-Osgoodモデルにより算定した．実験ケースは改良率および改良形式をパラメータとして表-1に示すように設定した．なお，実験に用いた試料は浜岡砂であり，供試体（地盤）の相対密度は50%である．水ガラス系の恒久グラウトによる固化改良体には28日間養生したものをを用いた（ $q_u=159\text{kPa}$ ）．入力波には1995年兵庫県南部地震の際にポートアイランドでアレー観測されたPI-79mNS成分（最大加速度570Gal）を用いた．

## 3. 実験結果および考察

### (1) 応力ひずみ関係および有効応力経路

図-2に多層固化改良のL3層およびL4層における応力ひずみ関係を示す．L3層は剛性の低下が進行して液状化に至り，ひずみが激増してせん断応力がほぼゼロに近づいている．これに対して改良層であるL4層は顕著な剛性の低下を示さず，またひずみの発達が小さいことが特徴的である．同一層の有効応力経路を図-3に示す．なお，図中砂の有効応力経路には，非排水の静的試験から求めた変相線 PTL も併せて示している．L3層は変相線 PTL を越えると同時に変形が急激に進行して液状化に至っている．一方，L4層は有効応力が減少するものの3割程度の減少に留まり，定常な状態となっている．

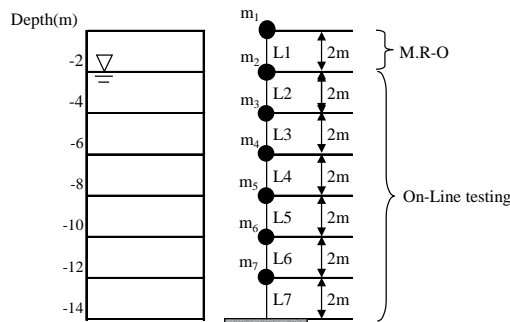


図-1 モデル図

表-1 実験ケース

層分割	実験ケース			
	無対策 改良率0%	多層固化改良 改良率50%	単層固化改良 改良率50%	全層固化改良 改良率100%
L1		無改良層	無改良層	無改良層
L2		改良層		
L3		無改良層	改良層	
L4	無改良層	改良層		改良層
L5		無改良層		
L6		改良層	無改良層	
L7		無改良層		

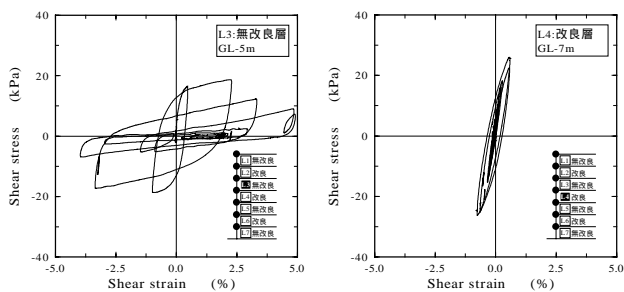


図-2 せん断応力 -せん断ひずみ 関係

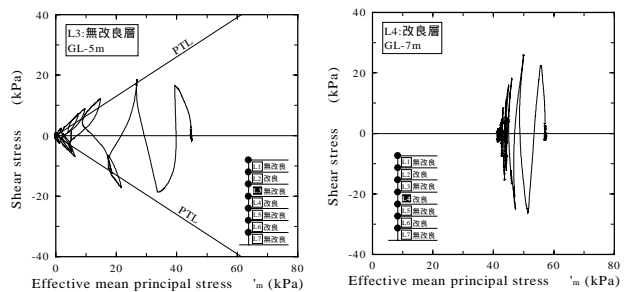


図-3 有効応力経路

キーワード オンライン，液状化，固化改良

連絡先 〒270-0132 千葉県流山市駒木 518 - 1 三井住友建設(株)技術研究所 TEL04-7140-5201

## (2) 加速度の時刻歴応答波形

図-4 に多層固化改良と単層固化改良の質点 m1 および質点 m2 における応答加速度の時刻歴を示す。単層固化改良の波形には多層固化改良と比較して短周期成分が認められ、減衰することなく応答していることがわかる。一方、多層固化改良の波形には長周期化が認められ、さらに8秒以降の減衰が著しい。これはL3層が液状化したことによりそれより上層への地震動の伝達が抑制されたためである。

## (3) 過剰間隙水圧比および最大応答加速度の深度分布

図-5 に過剰間隙水圧比  $u$ 、図-6 に最大応答加速度  $a_{max}$  の深度分布をそれぞれ示す。なお、過剰間隙水圧比  $u$  は平均有効主応力の減少分  $\sigma'_m$  を初期平均有効主応力  $\sigma'_{m0}$  で除して1から引いた値である。深部を除いた無改良層の過剰間隙水圧比は1.0となり、概ね液状化を生じた状態にあることが分かる。一方、改良層におけるそれはいずれのケースでも0.3程度であり、改良体は間隙水圧が発生しにくいことが明らかである。最大加速度の分布状況を見ると、無対策および多層固化改良における加速度は無改良層の軟化・液状化により上層に向かって減衰している。これに対して全層固化改良のそれは上層に向かって増幅し、地表面加速度は400Gal程度と大きくなっている。同様の増幅傾向は単層固化改良でも認められ、その地表面加速度は多層固化改良よりも大きくなっていることが認められる。これらのことから、部分的に地盤の軟化や液状化を許容する改良体配置とする多層固化改良は、全層固化改良や単層固化改良と比較して減震効果を発揮していることが明らかである。

## (4) 地表面応答の振動特性

図-7 に地表応答波の加速度応答スペクトルを示す。単層固化改良に関しては、固有周期1秒付近の応答が卓越しているのに加え、固有周期帯域が0.3~0.4秒付近のやや短周期側でも応答が大きくなるという全層固化改良と同様な傾向を示している。これに対して多層固化改良の応答は全ての周期帯域で単層固化改良よりも小さく、特に固有周期0.3~0.4秒付近における減衰が顕著となっていることが認められる。このことから、多層固化改良の減震効果は、特に固有周期帯域が1秒よりも短周期側の構造物において高くなることわかる。

## 4. まとめ

多層固化改良の改良効果を検証するために種々の改良率および改良形式でオンライン地震応答実験を実施した。その結果、多層固化改良は無改良層の軟化や液状化に伴う減衰効果により、同一改良率の単層固化改良と比較して減震効果を発揮することが確認された。

謝辞：本研究を実施するにあたり恒久グラウト協会より助言とグラウトの提供を頂きました。記して、ここに感謝の意を表します。

【参考文献】1)岸下他：液状化地盤における多層固化改良に関する研究（その1：振動台実験と考察），地盤工学研究発表会講演集，2003。2)山本他：液状化地盤における多層固化改良に関する研究（その2：改良率と改良効果について），地盤工学研究発表会講演集，2003。3)高橋他：液状化地盤における多層固化改良に関する研究（その3：オンライン地震応答実験による検証），地盤工学研究発表会講演集，2003。4)日下部伸，森尾敏，有本勝二：オンライン地震応答実験による2層系砂質地盤の液状化挙動，土質工学会論文報告集，Vol.30，No.3，pp.174-184，1990。

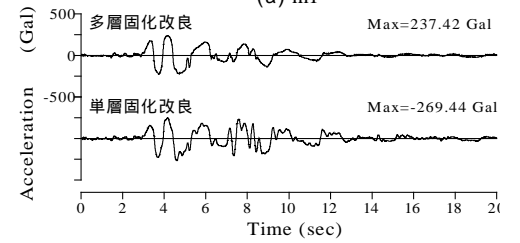
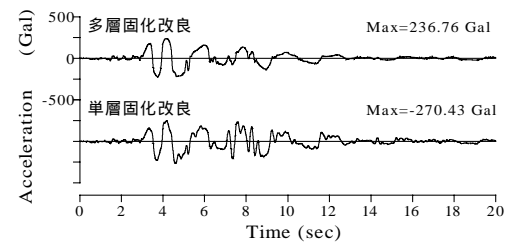


図-4 加速度の時刻歴

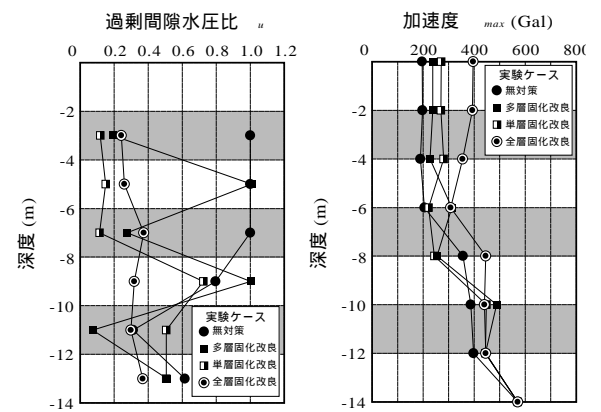


図-5 過剰間隙水圧比の深度分布 図-6 応答加速度の深度分布

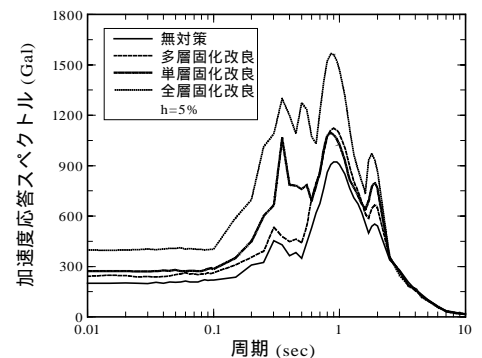


図-7 加速度応答スペクトル