

ジオテキスタイルを用いた簡易側方流動対策に関する 振動台模型実験

佐藤雄太*・田村祥一**・立花大地***・鈴木久美子****
金子賢治*****・間昭徳*****・鶴山昇*****・熊谷浩二*****

Shaking Table Tests of Simple Measures Method for Liquefaction-Induced Lateral Spreading

Yuuta SATOH*, Shyouichi TAMURA**, Taichi TACHIBANA***, Kumiko SUZUKI****,
Kenji KANEKO*****, Akinori HAZAMA*****, Noboru TURUYAMA*****
and Kouji KUMAGAI*****

Abstract

Various reinforcement methods as a technique for decreasing the liquefaction damage have been proposed. However, most of them are large scale and very expensive such as soil improvement techniques and drain methods. Then simple and low-cost method are required. In this study, we carry out a series of simple shaking table tests to examine the effectivity of a new method by using the geotextile for decreasing the liquefaction damage. The method controls the liquefaction-induced lateral spreading of sands under the structures.

Keywords : Various reinforcement methods, geotextile, liquefaction, shaking table tests

1. はじめに

我が国は多くの諸外国と異なり、地震が多発する地域であり、その被害について対策案が

種々考えられている。この被害の中で地下水位の高い、港湾地域で発生する液状化被害については、さまざまな対策工が構築されている。これらの工法の多くは、固化工法、地盤置換工法、排水工法など大規模かつコストが大きい工法が主流である^{1) - 6)}。一方、現在各建築法令が改訂されているなか、比較的重要度の低い既存の建築・土木構造物に対しては、より安価で簡易な液状化被害を低減する工法が求められている。

本研究では液状化被害を低減する比較的簡易な工法として、耐久性、強度特性、施工性にすぐれたジオテキスタイル（ジオグリッド）を使用した構造物直下の液状化地盤の側方流動を抑

平成 21 年 12 月 14 日受理

* 大学院工学研究科土木工学専攻博士前期課程・1年

** 環境建設工学科・4年

*** 大学院工学研究科土木工学専攻博士前期課程・2年

**** 大学院工学研究科土木工学専攻研究員

***** 大学院工学研究科土木工学専攻・准教授

***** 三菱樹脂株式会社

***** 三菱化学エンジニアリング株式会社

***** 大学院工学研究科土木工学専攻・教授

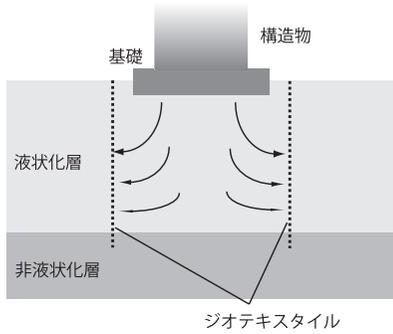


図1 ジオテキスタイルを用いた側方流動対策の概念図

制する新しい工法について検討する。本工法
 の概念を図-1に示す。構造物直下の地盤をジオ
 テキスタイルを縦方向に使うことで、液
 状化時の構造物直下の地盤の側方流動の軽減を
 図る。なお、本工法の目的は完全に液状化を防
 ぐことを目指しているのではなく、中規模の地
 震により液状化が発生した場合にも上部の構造
 物の完全な崩壊を防ぐことである。本論文では、
 このような簡易な側方流動対策工法について振
 動台模型実験を実施して、その低減効果につい
 て基礎的な検討結果について報告する。

2 振動台模型実験の概要

2.1 実験の概要

本論文では、ジオテキスタイルを縦方向に

表1 振動台の仕様

駆動方式	電気-油圧式
駆動方向	水平・垂直2方向同時
最大加振力	水平 ± 10kN 垂直 ± 20kN
最大速度	水平 ± 50cm/s 垂直 ± 50m/s
最大加速度	水平 ± 10cm/s ² 垂直 ± 10cm/s ²
加振周波数範囲	0.1~25Hz
振動台可動部	1200mm × 1200mm

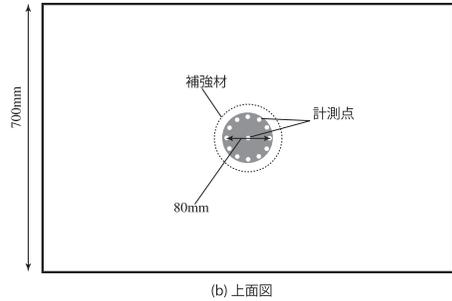
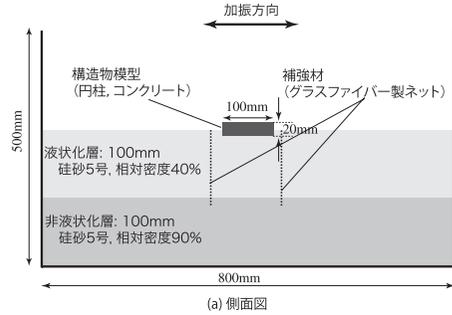


図2 振動台模型実験に用いた模型

使った簡易側方流動対策の有効性を確認するた
 めに、振動台を用いた模型液状化実験を実施し
 て定性的な検討を行う。本研究で使用した振
 動台の仕様を表-1に示す。実験に用いた振
 動台は水平・垂直の2方向の加振が可能であ
 るが本研究では水平方向加振のみとした。振動
 台のサイズは1200mm × 1200mmであり、こ
 の振動台上にアルミ製土槽（幅800mm × 奥行き
 700mm × 深さ500mm）を剛結し内部に模型を
 作製した。

表2 実験に用いた試料の基本的性質

試料名	ケイ砂5号
土粒子の密度 (g/cm ³)	2.603
均等係数	2.29
曲率係数	1.21
最小密度 (g/cm ³)	1.321
最大密度 (g/cm ³)	1.624

模型の概要を図-2に示す。硅砂5号を相対密度90%に調整し、非液状化層を土層底面から100mmまで作製した。また、液状化層には相対密度40%に調整した硅砂5号を使用し、非液状化層の上部に100mm作製した。下部の非液状化層の飽和度を100%、液状化層の飽和度は85%とした。硅砂5号の基本的性質を表-2に示す。模型地盤は、まず、非液状化層を相対密度90%になるように5層に分けて突き固めて作製し、飽和度を100%に調整した。次に、液状化層を5層に分けて相対密度40%となるように作製した後、飽和度85%となる分量の水を投入した。補強材を設置する際にも同様に地盤模型を作製し、5層に分けて補強材を立ち上げながら作製した。地盤模型作成後、構造物模型を所定の位置に設置した。なお、構造物模型は10mm根入れすることとした。加振前の模型の様子を図-3に示す。

本研究では、構造物は港湾地域に見られるオイル・タンクを想定し、直径10m、接地圧力 50kN/m^2 と設定した。模型実験の縮尺を1/100とし、構造物の模型として高さ20mm×直径100mmのコンクリート製の円柱を用いた。この構造物の模型の質量は400gであり、接地圧力は 0.5kN/m^2 となる。構造物模型は土層の中心に接地した。ジオテキスタイル模型はグラスファイバー製ネット（目合 $18\text{mm} \times 16\text{mm}$ ）を使用した。グラスファイバー製ネットの引張り強度は 2.1kN/m である。入力波形は、振幅

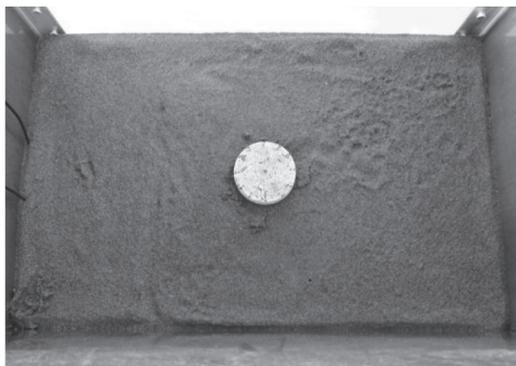
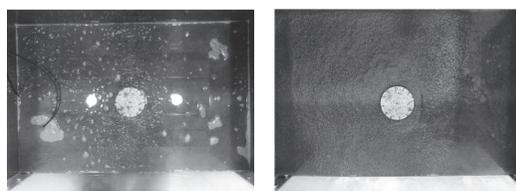


図3 加振前の様子



加振後（ケース0） 加振後（ケース3）

図4 加振後の様子

4mm、周波数5Hz、最大加速度 395Gal の正弦波を用いて、10秒間加振した。

加振前後にレーザー変位計により所定の高さから構造物中心の距離を測定し、構造物中心の沈下量を算定した。また、加振終了後に図-2(b)に示すような円柱の円周に沿った12点の距離を測定して、構造物の傾斜を計測した。本来であれば、加振中の間隙水圧や変位等を計測する必要があるが、加振中の変位の計測等は非常に難しいことと本実験においては本工法の効果を簡単に検証することが目的であるため、簡単に計測可能な加振前後の変位のみを計測対象とした。

2.2 実験ケース

実施した実験ケースを表-3、図-5に示す。ケース0は補強材をしない無補強のケースである。ケース1,2は、ジオテキスタイルをモデル化した補強材1枚を構造物模型の周囲に配置した場合であり、構造物と補強材の距離をそれぞれ10mm,25mmとした場合である。また、ケース3は内側の補強材をケース2と同様の場所に設置し、さらにその外側に2枚目の補強材を設置することで補強材を2重にした場合である。また、ケース4は構造物直下にマットレス工法

表3 実験ケース

ケース名	補強方法	構造物と補強材の距離
ケース0	無補強	-
ケース1	補強材1枚	10mm
ケース2	補強材1枚	25mm
ケース3	補強材2枚(2重)	10mm
ケース4	マットレス工法	-

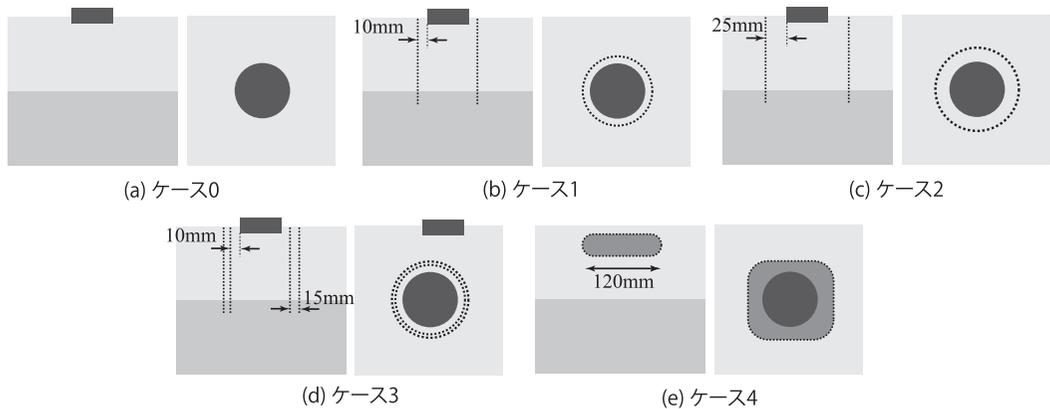


図5 各ケースの補強方法

を設置した場合であり、参考のために実施した。マットレス状構造物は、2.0mm 以上、4.75mm 以下に調整した碎石を中詰め材として用いて、その周囲をケース1～3で用いた補強材で囲んで作成した。

3 振動台模型実験の結果

各ケースの振動試験終了後の構造物模型の沈下量を図-6に示す。全く対策をしない無補強のケース0と比較して、補強材を縦方向に使い構造物直下の地盤を囲んだケース1については、沈下量が低下しており、ケース0の場合の2/3程度である。これは、ジオテキスタイルを用いることで構造物直下の地盤が液状化時に側方へ流動することが妨げられることで、沈下量が抑制されていると考えられる。しかしながら、

構造物から50mm程度離して設置したケース2の場合にはほとんど効果がみられず、ケース0とほぼ同様の沈下量となっている。構造物から適切な距離の地盤内に補強材を設置する必要があることがわかる。また、補強材を2重に用いたケース3の場合には、ケース1よりもさらに沈下量が低減されていて、ケース0の半分程度となっている。ケース1のような効果に加えて2枚の補強材間の砂が壁のような働きを考えると考えられる。参考のために実施したケース4のマットレス工法については、若干沈下を抑制する効果が見られる。構造物による荷重を分散するためであると考えられるが、補強材を縦方向に差し込んだケース1やケース3程ではない。図-4にケース0とケース3の場合の加振後の様子を示す。ケース0の場合には水が地表面全体に浮き上がっている。これに対して、構造物周囲の地盤をジオテキスタイルにより二重に取り囲んだケース3の場合には構造物近傍にはほとんど水が見られない。補強領域より外側には水が排出されてきており、周囲の地盤が液状化後に沈下しているにも関わらず、補強材の中の地盤は比較的沈下量が小さいことがわかる。

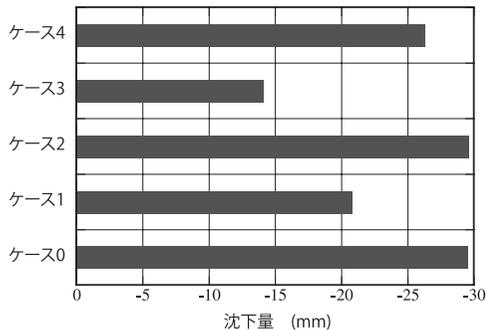


図6 各ケースの加振後の構造物沈下量

次に、振動試験終了後の各ケースの構造物の傾斜を図-7に示す。液状化による上部構造物の傾きを抑制することは、液状化被害低減のために沈下と共に非常に重要である。ケース0と

比較して補強材を用いたケース1の場合には傾斜角が2/3程度に低減されており，ジオテキスタイルを使用することで沈下と同様に上部構造物の傾斜抑制にも効果が発揮されることがわかる。ただし，2重に補強材を挿入したケース3の場合にはケース0よりも大きな傾斜となっており，沈下を非常に抑制できるものの構造物が大きく傾く結果となった。これについては，模型実験では補強材料の剛性が低く自立しない等の理由で均一に補強材が設置されていないことが原因と考えられるが，今後も検討する必要がある。また，参考のために実施したケース4のマットレス工法についても傾斜が大きい結果となった。

なお，ケース1～3において実験後のジオテキスタイルは全て樽型をしており，鉛直方向真ん中付近が膨らんでいた。構造物直下の地盤が水平方向に移動しようとするのを，完全にでは無いものの拘束していたと考えられる。また，水平方向には等方になるように円形に補強しているが，ケース2では一部分の大きな変位が観察され，補強材設置の際の多少の非均一さが結果に大きく影響する可能性もある。

以上の結果より，ジオテキスタイルを補強材として構造物周辺の液状化地盤を囲むように挿入することで，構造物直下の地盤の側方への流動を抑制し液状化被害低減につながる可能性があることがわかった。これは，剛性の小さなジオテキスタイルが周辺地盤とのインターロッキング

作用を發揮することやジオテキスタイル周辺の補強領域が仮想的な連続壁のような役割を發揮するものと推測される。

4 おわりに

本研究では，ジオテキスタイルを用いた側方流動対策の可能性について，簡単な振動台模型実験を行って確認した。その結果，ジオテキスタイルを用いた対策工法が，液状化時の構造物の沈下抑制に効果があり，被害低減に対して効果的な可能性があることが確認された。その補強メカニズムとしては，剛性の小さなジオテキスタイルが周辺地盤とのインターロッキング作用を發揮することやジオテキスタイル周辺の補強領域が仮想的な連続壁のような役割を發揮するものと推測される。

しかしながら，補強材の剛性とその効果の違いや地震動の波形の影響，他の工法との併用など種々の問題について今後検討する必要がある。また，間隙水圧等の詳細なデータの計測を行って補強のメカニズムについての詳細な考察が課題である。本研究で対象としている対策工法は，他の液状化対策工法と比較しても非常に安価にできると推測され，今後詳細な検討を継続したい。

参考文献

- (1) 高橋直樹・岸下崇裕・山本陽一・兵動正幸・三浦房紀・吉本憲正：液状化対策としての多層固化改良に関する振動台実験，土木学会論文集，Vol.62（2），pp.502 - 518,2006.
- (2) 今村眞一郎・平野孝行・萩原敏行・高橋章浩・竹村次朗：注入固化工法を用いた既設タンク基礎地盤の液状化対策効果に関する遠心模型実験，土木学会論文集，764,pp.101 - 120,2004.
- (3) 田中宏征・日下裕貴・安田進・飯田毅：鋼矢板締切りによる地中構造物の液状化

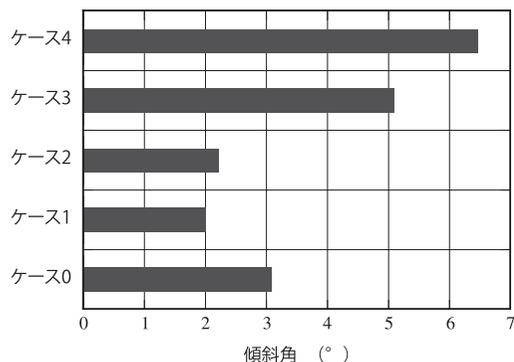


図7 各ケースの加振後の構造物傾斜角

- 対策に関する実験的研究, 土木学会論文集, 792, pp.87 - 102, 2002.
- (4) 浜田信彦・後藤茂・真野英之・大西有三: 遮水壁を用いた地中構造物の液状化時浮き上がり対策効果の定量化, 土木学会論文集, 62 (1), pp.12 - 21, 2006.
- (5) 田中智宏・安田進・石井隆志: 対策杭を用いた液状化時の護岸背後地盤の流動被害低減に関する研究, 土木学会論文集, 62 (3), pp.593 - 604, 2006.
- (6) 佐藤友美, 前田健一, 林宏一, 村田芳信, 高原利幸: 液状化対策地盤の巨視的動的応答特性とその調査法に関する検討, 材料, Vol.54, No.11, pp.1141 - 1146, 2005.