

# 小型振動台模型による内部拘束型大型土のうの 液状化被害の低減効果について

門間 俊之<sup>1</sup>・嶋田 宏<sup>2</sup>・野本 太<sup>3</sup>・門田 浩一<sup>4</sup>  
宮下 健一郎<sup>5</sup>・神波 泰夫<sup>6</sup>・若井 明彦<sup>7</sup>・田中 成季<sup>8</sup>

<sup>1</sup>パシフィックコンサルタンツ株式会社 港湾部 (〒206-8550 東京都多摩市関戸一丁目7番地5)  
E-mail:toshiyuki.monma@ss.pacific.co.jp

<sup>2</sup>正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 港湾部 (〒206-8550 東京都多摩市関戸一丁目7番地5)  
E-mail:hiroshi.shimada@os.pacific.co.jp

<sup>3</sup>メトリー技術株式会社 (〒347-0056 埼玉県加須市土手二丁目14番37号)  
E-mail:info@metry.jp

<sup>4</sup>パシフィックコンサルタンツ株式会社 地盤技術部 (〒206-8550 東京都多摩市関戸一丁目7番地5)  
E-mail: hirokazu.kadota@os.pacific.co.jp

<sup>5</sup>パシフィックコンサルタンツ株式会社 港湾部 (〒206-8550 東京都多摩市関戸一丁目7番地5)  
E-mail: kenichirou.miyashita@os.pacific.co.jp

<sup>6</sup>パシフィックコンサルタンツ株式会社 国際事業本部 (〒206-8550 東京都多摩市関戸一丁目7番地5)  
E-mail: yasuo.kannami@ss.pacific.co.jp

<sup>7</sup>群馬大学理工学研究院 環境創生部門 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町 1-5-1)  
E-mail:t\_wakai@gunma-u.ac.jp

<sup>8</sup>群馬大学理工学研究院 環境創生部門 (〒376-8515 群馬県桐生市天神町1-5-1)  
E-mail: shige@geotech.ce.gunma-u.ac.jp

大型特殊土のうは、箱状の袋に砂・砕石などを投入し、一点吊りによる袋の張力と躯体内の拘束バンドにより、内部の土粒子を拘束・固化し、軟弱地盤上でも形状保持可能な透水性の高い土のうである。大型特殊土のうは液状化地盤及び、歩行困難な軟弱地盤に対し、民間住宅・県道・民間宅地開発などの陸上部での比較的小規模な構造物の使用実績によりその効果が確認されつつある。しかしながら大型特殊土のうの持つ、液状化被害の抑制効果や軟弱地盤抑制効果に対するメカニズムは不明確なことから、1/10縮尺での小型模型振動実験により、液状化対策効果について検証を行った。検証の結果、液状化地盤に対して透水性の高い大型特殊土のうの基礎部直下では、底部の凹型形状特性と地盤形状に追従する柔軟性により過剰間隙水圧を包み込み沈下を抑制するとともに、表面加速度もコンクリート基礎に対して低減しており、大型特殊土のうは、液状化による被害軽減に対して一定の効果を発揮していることを確認した。

**Key Words :** liquefaction, sandbags, shaking table test, earthquake, soil improvement

## 1. 研究目的

本研究は、内部拘束型大型土のう（以下：大型特殊土のう）（写真-1）を用いた表層地盤の補強による液状化対策効果を明らかにすることを目的とし、1/10縮尺での小型模型振動実験により、液状化時の沈下量の低減効果についての検証を行った。表層部の地盤補強の効果については、地表より3m程度の範囲まで非液状化層にすれば、一戸建ての宅地等における液状化被害の可能性は低いとされている<sup>1)</sup>。よって、大型特殊土のうによる液状化対策効果を期待する対象物は、沿岸埋立地のコンテナヤード等の軽量の構造物とした。

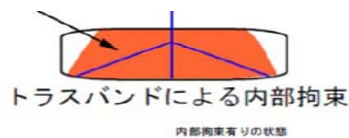


写真-1 大型特殊土のう

## 2. 実験内容

本実験で使用した振動台及び実験土槽は図-1に示すとおりである。模型縮尺は1/10とし、試料は日光珪砂6号Dr60%を用いた。日光珪砂6号の粒径加積曲線を図-2に、液状化特性を図-3に示す。実験検討CASEは表-1に示すように原地盤、コンクリート基礎、大型特殊土のう設置の3CASEについて正弦波(200gal, 300gal, 400gal, 各5Hz, 20秒加震)、東日本大震災(k-net岩沼波形)、兵庫県南部地震(神戸気象観測所)の計5波形での液状化実験を行った。東日本大震災と兵庫県南部地震の波形は、模型縮尺に対する相似則を考慮し、時間を調整している(表-2)。模型配置図を図-4~6に、地震波を図-7~11に示す。コンクリート基礎(写真-2)及び大型特殊土のう基礎(写真-3)の上には、コンクリートブロックを載荷している(写真-4)。各模型の規格を表-3に示す。実験の計測は、深度別(5cm, 10cm, 15cm)の水圧、沈下量、加速度を行った。各計測器の配置を図-12に示す。

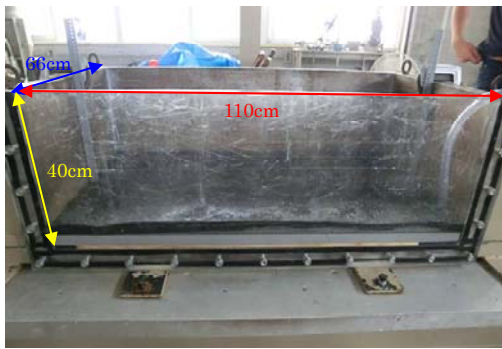


図-1 実験土槽

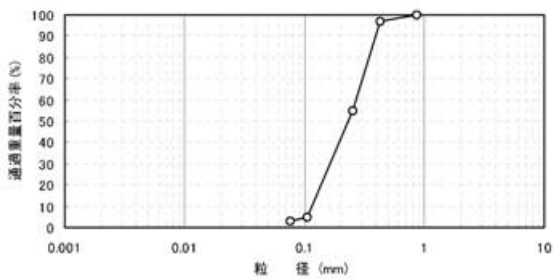


図-2 粒径加積曲線(日光珪砂6号)

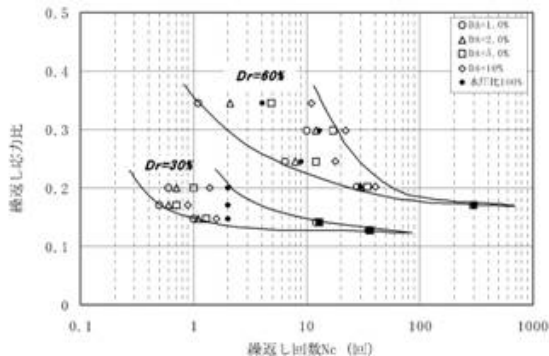


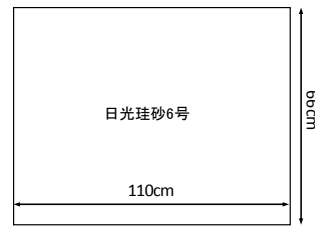
図-3 液状化特性(日光珪砂6号)

表-1 実験検討CASE

実験数			
地震波	CASE-1 原地盤	CASE-2 コンクリート基礎	CASE-3 大型特殊土のう設置
正弦波(200gal)	○	○	○
正弦波(300gal)	○	○	○
正弦波(400gal)	○	○	○
東日本大震災波形	○	○	○
兵庫県南部地震波形	○	○	○

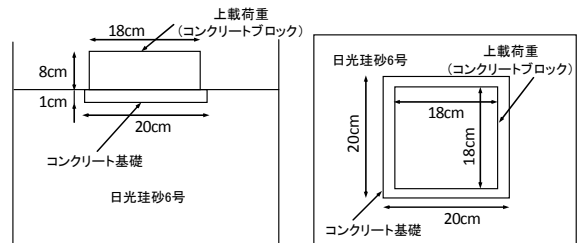
表-2 縮小模型に対する相似則(縮尺1/λ=1/10)  
(Iai(1988)提案<sup>2)</sup>の1g場における相似側より)

パラメータ	実物/模型	縮尺比
長さ	λ	10.00
速度	λ <sup>0.75</sup>	5.62
加速度	1.00	1.00



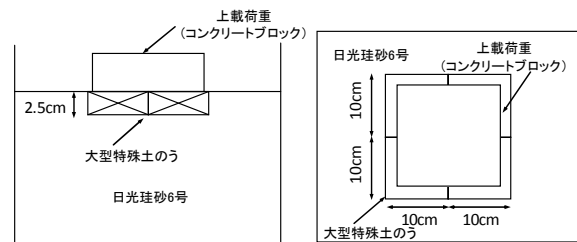
断面図 平面図(上面図)

図-4 模型配置図(Case-1 原地盤)



断面図 平面図(上面図)

図-5 模型配置図(Case-2 コンクリート基礎)



断面図 平面図(上面図)

図-6 模型配置図(Case-3 大型特殊土のう設置)

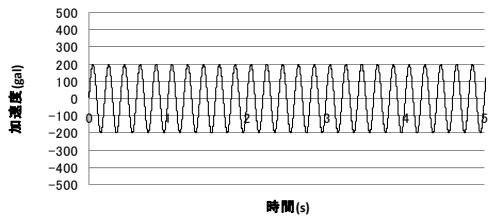


図-7 正弦波 (200gal,5Hz,20秒加震) (0~5秒抜粋)

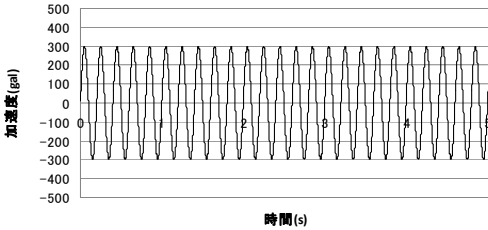


図-8 正弦波 (300gal,5Hz,20秒加震) (0~5秒抜粋)

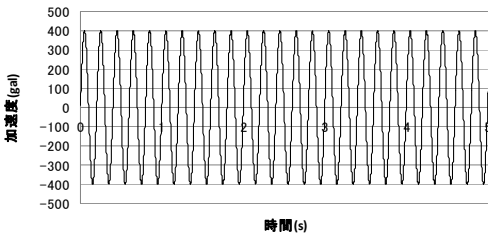


図-9 正弦波 (400gal,5Hz,20秒加震) (0~5秒抜粋)

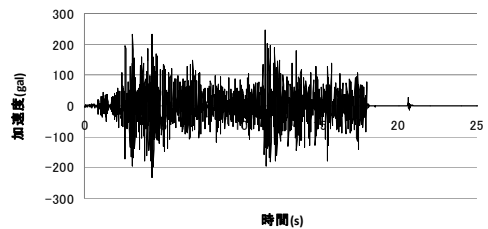


図-10 東日本大震災波形 (k-net 岩沼波形)

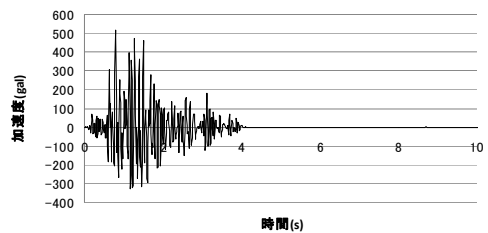


図-11 兵庫県南部地震波形

表-3 実験模型規格

	大型土囊 (1/10模型)	コンクリート基礎模型	上載ブロック
寸法	10cm×10cm×2.5cm	20cm×20cm×1.0cm	18cm×18cm×8.0cm
重量	0.4kg	1.0kg	6.0kg
中詰材	部材	碎石	—
	粒径	3mm~5mm	—
材質	ポリプロピレン	—	—
透水係数	$5 \times 10^{-4}$ (cm/sec)	—	—

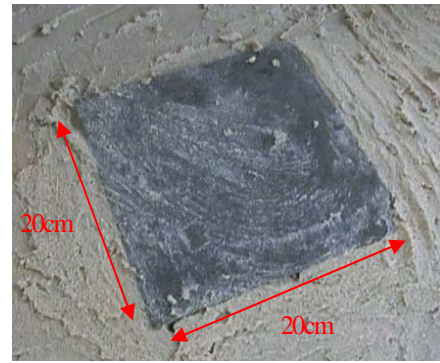


写真-2 コンクリート基礎

寸法	10cm×10cm×2.5cm	
重量	0.4kg	
中詰材	部材	碎石
	粒径	3mm~5mm
材質	ポリプロピレン	
透水係数	$5 \times 10^{-4}$ (cm/sec)	

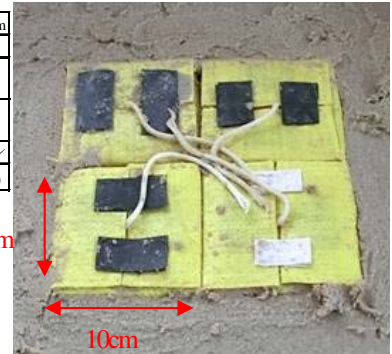
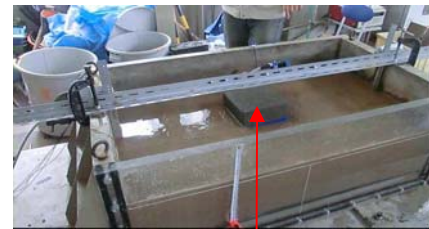
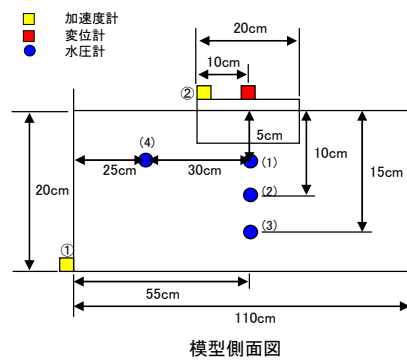


写真-3 大型特殊土のう基礎 (4組)

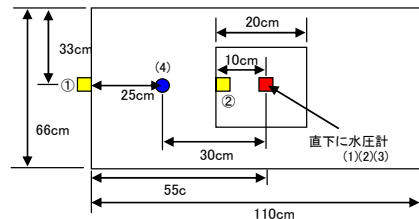


コンクリートブロック : 18×18×8cm  
(実物大の 18kN/m<sup>2</sup>に相当)

写真-4 载荷用コンクリートブロック



模型側面図



模型上面図

図-12 各計測器の配置図

### 3. 実験結果

計測結果の内、実験結果の違いが最も顕著に現れた正弦波 (300gal) の結果を示す。計測結果より、過剰間隙水圧比は深度 5cm 地点で、原地盤が 1.22 と大きな値であったのに対し、コンクリート基礎と大型特殊土のう基礎は 0.95 であった。深度 10cm 地点では、原地盤で 0.55, コンクリート基礎で 0.51, 大型特殊土のう基礎で 0.47 であり、大型特殊土のう基礎が低い値を示した。深度 15cm 地点では、原地盤で 0.27, コンクリート基礎で 0.31, 大型特殊土のう基礎で 0.26 であり、深度 10cm 地点と同様に大型特殊土のう基礎が低い値を示した (図-13~17)。過剰間隙水圧は、深度 5cm 地点では、原地盤で  $0.68 \text{ kN/m}^2$ , コンクリート基礎で  $0.65 \text{ kN/m}^2$ , 大型特殊土のう基礎で  $0.65 \text{ kN/m}^2$ , 深度 10cm 地点では、原地盤で  $0.61 \text{ kN/m}^2$ , コンクリート基礎で  $0.62 \text{ kN/m}^2$ , 大型特殊土のう基礎で  $0.58 \text{ kN/m}^2$ , 深度 15cm 地点では、原地盤で  $0.46 \text{ kN/m}^2$ , コンクリート基礎で  $0.53 \text{ kN/m}^2$ , 大型特殊土のう基礎で  $0.46 \text{ kN/m}^2$  とどの地点においても大型特殊土のう基礎が他に比べて低い値を示した (図-18~20)。また、振動停止直後の過剰間隙水圧の上昇はいずれのケースにおいても大型特殊土のうの下面が小さな値を示している。これは地表面に設置した大型特殊土のうの基礎が透水層としての役割を果たし、地盤の深い位置にある過剰間隙水が地表面へ向かって移動していることや、振動の低減効果による急激な間隙水圧の上昇を抑えていると想定される。

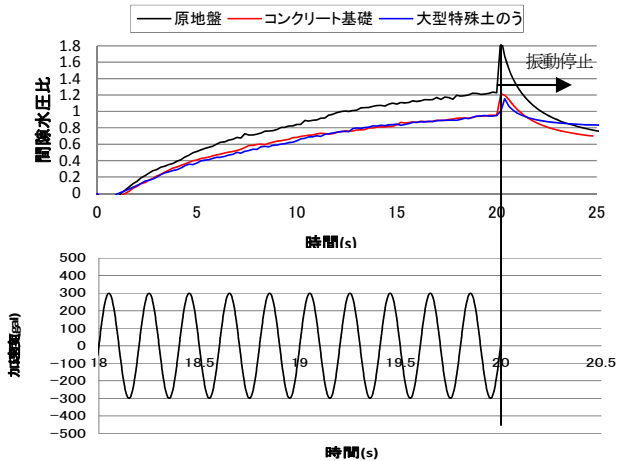


図-13 過剰間隙水圧比：正弦波300gal 深さ5cm地点

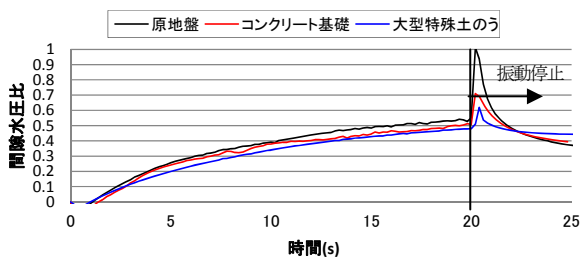


図-14 過剰間隙水圧比：正弦波300gal 深さ10cm地点

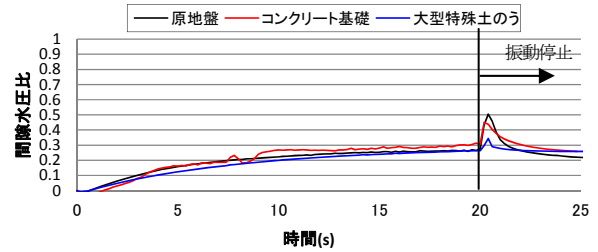


図-15 過剰間隙水圧比：正弦波300gal 深さ15cm地点

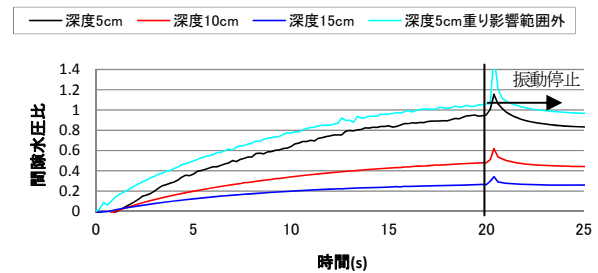


図-17 深度別の過剰間隙水圧比：大型特殊土のう 正弦波300gal

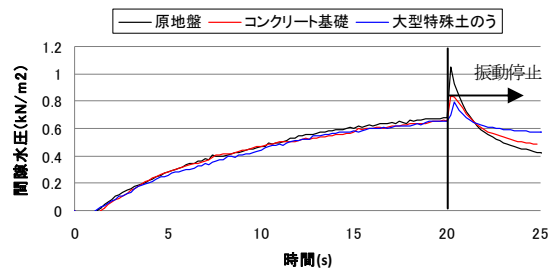


図-18 過剰間隙水圧：正弦波300gal 深さ5cm地点

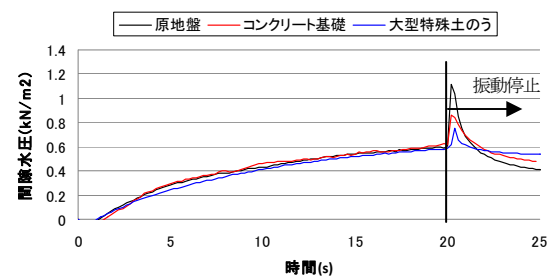


図-19 過剰間隙水圧：正弦波300gal 深さ10cm地点

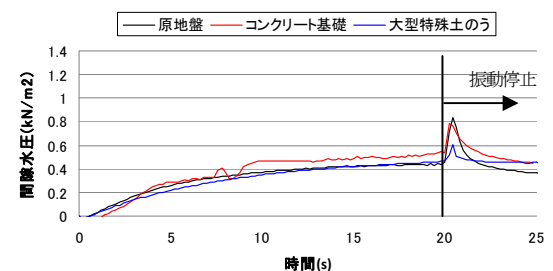


図-20 過剰間隙水圧：正弦波300gal 深さ15cm地点

沈下量は図-22に示すように、大型特殊土のう基礎が1.15cmであるのに比べ、コンクリート基礎は4.60cmと約4倍であり、原地盤の沈下量（砂が締まった状態）は特殊大型土のうとほぼ同様の値であった。コンクリート基礎は、液状化により基礎底面の有効応力が失われることにより偏心し、地盤にせん断破壊を生じさせ沈下しているのに対して、大型特殊土のう基礎は、基礎底面の有効応力が失われても偏心せず沈下していない。これは大型特殊土のうが、写真-6に示すように凹型の基礎であり、過剰間隙水圧上昇時においても、写真-5に示すコンクリート基礎に比べて接地圧が均等に作用し、地盤支持力との釣り合い状態を維持することができたためと考えられる。

また大型特殊土のうは振動を吸収し、地表面加速度が低減することも確認した（図-24～25参照）。なお、過剰間隙水圧比の計測結果について、20秒地点で急激な増加を示しているが、これは実験装置が20秒地点で振動状態から静止状態に切り替わった際に、水圧計が慣性力を受け異常値を示したためである。

#### 4. 考察

東北大震災後に、船橋市の住宅地では再度、液状化被害が発生したが、大型特殊土のうを用いて基礎を修復した住宅は無被害であったと報告されている<sup>3,4)</sup>。今回の試験においても、液状化した地盤における沈下抑制効果が確認された〔図-22参照〕。この理由としては、大型特殊土のう下面の凹型の形状と透水性により、接地圧が均等化され、過剰間隙水圧が徐々に排水されたことによる効果と想定される。さらに大型特殊土のうの地盤形状に追従する柔軟性と内部の土粒子の摩擦による振動低減効果<sup>※3)</sup>が発揮されたことによると考えられる。液状化被害の低減効果は安定を維持しやすい下面の凹型形状、地表面での排水効果及び振動加速度の低減によることが今回の模型実験で確認することができた。このことから沿岸部の埋立地のコンテナヤードや工業団地の地表面付近での液状化対策工法の一つとして、大型特殊土のうの活用が期待される。また、粘性地盤の軟弱地盤の地表面へ大型特殊土のうを設置することによる地盤支持力の増加や、圧密沈下抑制の効果についても現在、ミャンマーのデルタ地帯（エーヤワディ管区；N値0層 5m厚）における載荷盛土試験を実証試験中である（写真-5）。

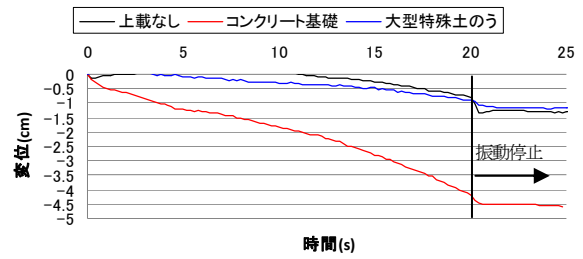


図-22 各CASEの沈下量：正弦波300gal



写真-5 コンクリート基礎模型の実験後の沈下状況



写真-6 大型特殊土のう基礎模型の実験後の状況

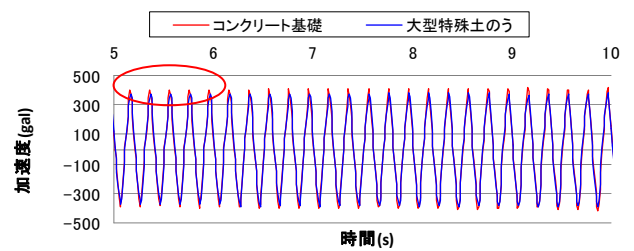


図-24 地表面加速度：正弦波300gal（5～10秒抜粋）

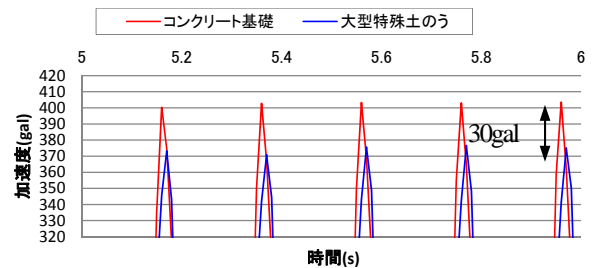


図-25 地表面加速度：正弦波300gal（5～6秒抜粋）

参考文献

- 1) 国土交通省：宅地の液状化被害可能性判定に係る技術指針, pp.3, 2013.
- 2) Iai,S.,Ichiu,K.,Liu,H.and Morita,T. : EFECTIVE STRESS ANALYSIS OF PORT STRUCTURES ,Special issue of Soils and Foundations,pp.97-114,1998.
- 3) 岡田進：高規格格土のう【D・Box工法】「工法概要・特性と地盤補強工法としての適用事例」, 全国地質調査業協会連合会関東地質調査業協会技術ニュース, VoL.83, pp.14-22, 2013.
- 4) 松岡元, 野本太：D・BOX工法による超軟弱地盤対策および環境振動対策, ジオシンセティックス論文集, VoL.24, pp.143-150, 2009.



2013年12月8日撮影 干潮時

写真-5 ミャンマー国エーヤワディ管区における大型特殊土のう設置状況及び設置後の載荷試験〔沈下測定〕状況

LIQUEFACTION SUFFERING REDUCTION EFFECT  
OF INTERNAL CONSTRAINED LARGE-SCALE UNIQUE  
AND BOX-SHAPED SAND BAG  
(LARGE-SCALE UNIQUE AND BOX-SHAPED SAND BAG :  
A SMALL SHAKING TABLE MODEL)

Toshiyuki MONMA, Hiroshi SHIMADA, Hutoshi NOMOTO, Hirokazu KADOTA  
Kenichirou MIYASHITA, Yasuo KANNAMI, Akihiko WAKAI and Shigeki TANAKA

The large-scale unique and box-shaped sand-bag (the soil box) with permeable material such as gravel or sand can hold its shape even on the soft ground. The strong internal friction is occurred by one-point lifting and binding force with truss-band inside the soil box, and it causes stabilization and solidification of the soil particles, sand/ gravel, in the soil box. Effectiveness of the soil box to the countermeasure against liquefaction and soft ground that have been identified through its successful achievements with relatively small buildings on land; such as private housing, prefectural road, and private residential development. However, the mechanism of liquefaction control and soft ground control of the soil box has not been clear yet. Thus, we conducted small-scale vibration test, with 1/10 scale for liquefaction examination, to identify the mechanism. As the result, we found that the soil box foundation wrapped in excess pore water pressure and kept the bearing capacity just under the foundation, and also the soil box reduced the ground acceleration of the soil box foundation on the liquefaction ground.