

PBD群による盛土の変形抑制効果について

Mitigation Effect of Dike Deformation during Soil Liquefaction by Plastic Board Drains

溝口 義弘* 浅田 毅*

要 旨

液状化しやすい地盤上に構築されている盛土を対象にして、法尻付近にPBD（プラスチックボードドレーン）群を打設することによる盛土の変形抑制効果を確認するために振動台実験を行った。その結果、両法尻のPBD群をジオグリッドで連結することで盛土の崩壊を防止できることが分かった。

キーワード：振動台実験／液状化／盛土／プラスチックボードドレーン

1. はじめに

道路盛土や河川堤防のような盛土構造物の被害事例から、被災形態として、(1)盛土本体のみにクラックや崩壊などの変状が見られる形態と、(2)盛土基礎地盤も含めて盛土全体に変状が見られる形態とに大きく分けることができる。(1)は、主に盛土自体の強度不足などの原因により安定性が損なわれたことにより発生するものであるが、(2)は、基礎地盤の液状化に起因している場合が多く、そのために、盛土および基礎地盤全体の安定性を確保することを目的に、液状化対策工が施される。

盛土構造物の液状化対策工を設計するにあたって、対象とする構造物によって改良範囲が異なる。新設盛土構造物を対象にする場合は、盛土直下の基礎地盤全域を改良することができるが、既設盛土構造物を対象にする場合は、構造機能に及ぼす影響、施工条件の制約などにより盛土の法尻付近のみを改良することが一般的である¹⁾。今後防災の観点から、既設盛土構造物を対象にする液状化対策工が多くなっていくものと考えられる。

筆者らは、これまでPBD群工法を適用した水平地盤を対象に振動台実験を行い、PBDとジオグリッドによる拘束効果とPBDの排水効果によって生じる液状化強度増加効果を検証してきた²⁾。しかし、既設の盛土や堤防を対象にする場合、限られた範囲で改良を行い、液状化対策効果を発揮する必要がある。

本実験では、PBD群打設による盛土の変形抑制効果を確認することを目的に、液状化危険度が高い地盤に既設盛土が構築されている場合を想定した模型地盤の振動台実験を実施し、盛土および基礎地盤の挙動について検討を行った。本報は、その実験結果について報告するものである。

2. 振動台実験

2.1 実験装置の概要

振動台実験装置は空気圧浮上式の振動台上³⁾に単純せん断土槽を設置し、その中に模型地盤を作製して、加振用メガトルクモーターで加振するものである。単純せん断土槽はローラー付きアルミフレームを積層した長さ1.5m、幅0.7m、高さ0.7mのもので、内側に止水のためにゴムメンブレンを張っている。

2.2 模型地盤の作製

模型地盤の概要を図一1に示す。模型地盤は基礎地盤と盛土からなり、基礎地盤と盛土の高さはそれぞれ40cm、10cmで、盛土の法面勾配は1：1である。基礎地盤は盛土法尻部にPBDを敷設した改良域、盛土を築造した直下部、それら以外の平らな領域の平面部で構成されている。地下水位は基礎地盤の表面である。

基礎地盤の作製は、改良域に設置するPBD下端部を固定金具でせん断土槽底面に固定し、相対密度が50%の飽和砂地盤になるように、水中落下法を用いて土槽内に試料を投入する。間隙水圧計、加速度計を所定の位置に設置して、基礎地盤を仕上げる。その後、ジオグリッドを敷設し、PBD上端部と連結する。盛土は法面部に碎石を詰めた布袋を設置し、相対密度が100%になるように締めながら築堤する。

実験ケースを図一2と表一1に示す。実験は、PBDを敷設しないケース(1)（以下、無処理とする）、改良域にPBD群を敷設し、両PBD群をジオグリッドで全面連結したケース(2)（以下、全面連結とする）、両PBD群をジオグリッドで一部連結したケース(3)（以下、一部連結とする）、両PBD群をジオグリッドで連結しないケース(4)（以下、非連結とする）、盛土底面にジオグリッドを敷設

*土木研究グループ

したケース(5) (以下、ジオグリッドとする) の5 ケースについて行った。PBD群の配置は千鳥配置である。

実験に用いた試料は、重量比が1 : 1となるように珪砂6号と7号を混合したもので、粒度分布を図-3に示す。その混合珪砂は、埋立地の液状化対策ハンドブック⁴⁾の液状化判定に用いられている粒径加積曲線に照らし合わせ、「特に液状化の可能性あり」の範囲に属する。

実験に用いたPBDは、実施工で使用されているものを幅30mm、厚さ4mmに加工し、フィルターと芯材が一体となり剛性を持っている。ケース(2)、(3)、(5)に用いたジオグリッドの形状を図-4に示す。引張強さ98kN/m、伸度25%以下、目合い4mmのものである。

模型地盤の作製後に行った簡易なコーン貫入試験で得られたコーン指数の深度分布を図-5に示す。コーン指数は深さとともに直線的に大きくなっており、均質な基礎地盤であることが分かる。また、表-1に示すように初期相対密度が小さいほど、コーン指数は小さい。

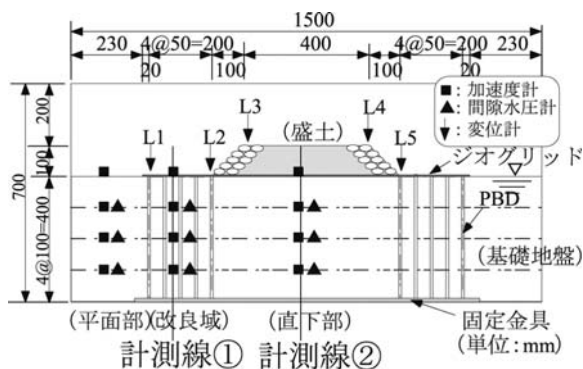


図-1 模型地盤の概要

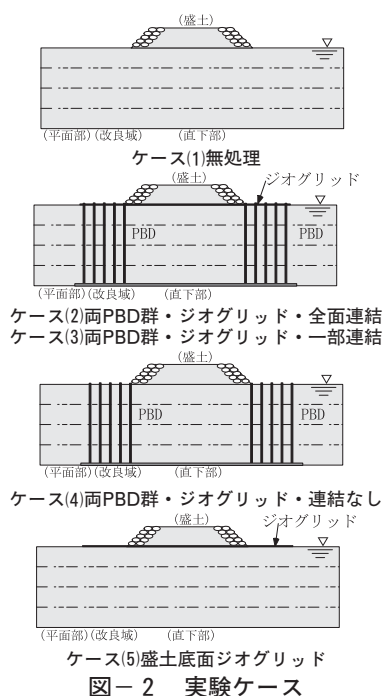


図-2 実験ケース

2.3 計測方法

加振実験は、単純せん断土槽を長手方向に周波数2Hzの正弦波を20波載荷する方式で、加振加速度は基礎地盤

表-1 実験ケース

ケース	改良域	ジオグリッド	初期相対密度 (%)
1	なし	なし	52.1
2	PBD群	あり (全面連結)	45.5
3	PBD群	あり (一部連結)	52.2
4	PBD群	なし	46.2
5	なし	あり	51.0

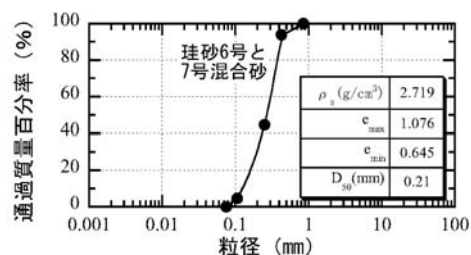


図-3 混合珪砂 (6号と7号) の粒度分布

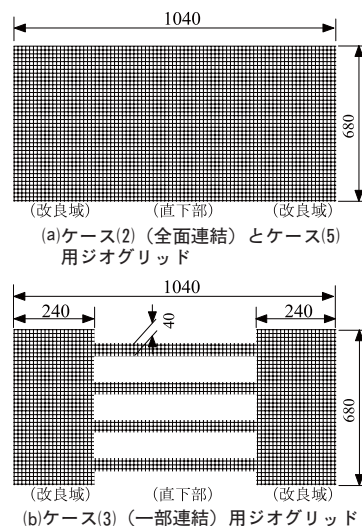


図-4 ジョグリッドの形状

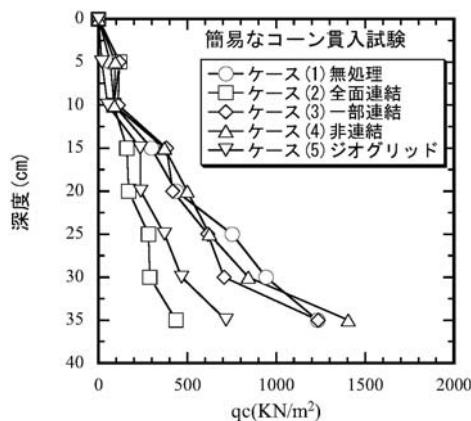


図-5 コーン指数の深度分布

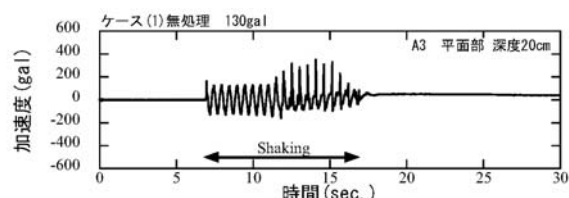
が液状化するまで50gal、70gal、100gal、130gal、150gal、180galと段階的に増加させた。

計測項目は、(1)地盤の加速度、(2)地盤の間隙水圧、(3)地表面変位、(4)加振前後の地盤形状である。

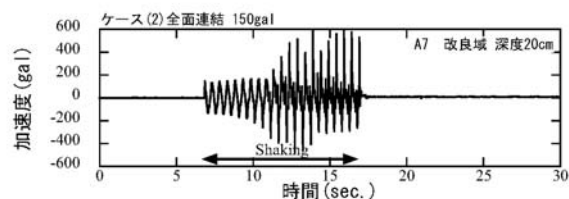
3. 実験結果

3.1 基礎地盤の加速度

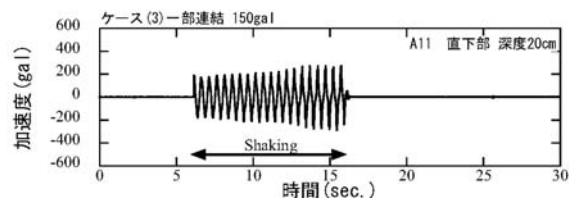
基礎地盤が液状化した時の加速度の経時変化を図－6に示す。全てのケースで、基礎地盤が液状化すると加速度波形の振幅が一様でなくなる。ケースによって液状化加速度が異なる。ケース(1)は、加速度130galで基礎地盤が液状化し、盛土は崩壊した。ケース(2)、(3)は、加速度150galで基礎地盤が液状化した。盛土表面には亀裂も



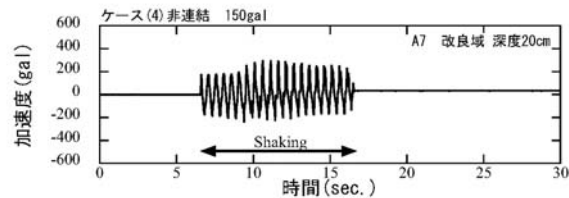
(a)無処理ケース(1) (130gal)



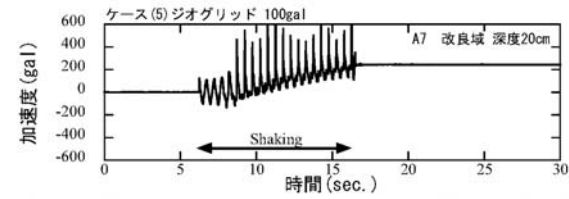
(b)全面連結ケース(2) (150gal)



(c)一部連結ケース(3) (150gal)



(d)非連結ケース(4) (150gal)



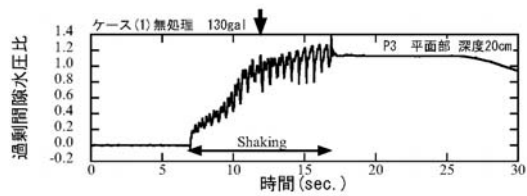
(e)ジオグリッドケース(5) (100gal)

図－6 加速度の経時変化

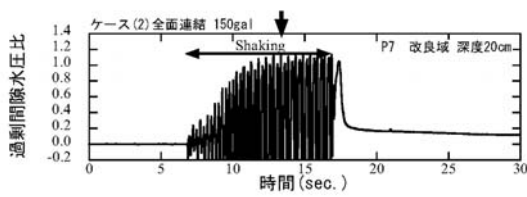
生じず、加速度250galまで盛土形状を維持しながら鉛直方向に沈下した。ケース(4)は、加速度150galで基礎地盤が液状化し、盛土は崩壊した。ケース(5)は、加速度100galで基礎地盤が液状化し、盛土は崩壊した。ケース(5)は、ケース(1)に比べてコーン指数が小さいため、ケース(1)よりも小さな加速度で液状化したものと考えられる。

3.2 基礎地盤の過剰間隙水圧比

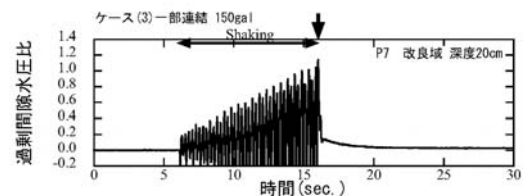
深さ20cmにおける改良域の過剰間隙水圧比の経時変化を図－7に示す。ケース(1)、(5)は、加振中、過剰間隙水圧は上昇し、過剰間隙水圧比が1.0に達して液状化している。平面部と直下部の過剰間隙水圧もケース(1)、(5)と同様の傾向を示し、基礎地盤全体が液状化している。



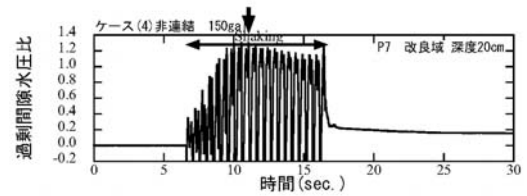
(a)無処理ケース(1) (130gal)



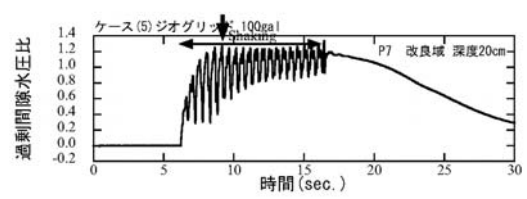
(b)全面連結ケース(2) (150gal)



(c)一部連結ケース(3) (150gal)



(d)非連結ケース(4) (150gal)



(e)ジオグリッドケース(5) (100gal)

図－7 過剰間隙水圧比の経時変化

一方、PBDを敷設したケース(2)、(3)、(4)は、加振中、過剰間隙水圧の上昇と下降を繰り返しながら、下降時に負の間隙水圧が生じている。これはPBDで囲まれた領域において有効応力の低下が抑制され、せん断抵抗が増加しているものと考えられる。平面部と直下部の過剰間隙水圧の挙動は、ケース(1)と同じような上昇傾向が見られ、改良域と非改良域では異なる挙動を示す。また、加振終了後の過剰間隙水圧の消散は、ケース(1)、(5)に比べて非常に早い。

3.3 基礎地盤と盛土の変形

加振加速度ごとの改良域（計測線①、図-1参照）と直下部（計測線②）の相対変位の深度分布を図-8に示す。改良域と直下部の水平変位は地盤内に設置した各加速度波形を2回積分して求めた⁵⁾。全てのケースで基礎地盤が液状化するまで、ほとんど水平変位は生じないが、基礎地盤が液状化する（図中の白抜きプロット）と、水平変位が増大しケースによって変形形状が異なる。ケース(1)は、深さにかかわらずほぼ同量の変形をしている。ケース(2)、(3)は、両PBD群をジオグリッドで連結しているため、表層部の変形は抑制され、深度10～20cm付近で変形が最も大きくなっている。ケース(2)は、ケース(3)に比べてコーン指数が小さいため変形量が大きくなったものと考えられる。ケース(4)は、両PBD群を連結していないため、表層部が最も変形しやすくなっている。ケース(5)は、ジオグリッドの影響により表層の変形は抑制されているが、変形量は他のケースに比べて大きい。

次に、基礎地盤が液状化した時の法尻L2と法肩L3（図-1参照）の変位の経時変化を図-9に、加振前と加振後の地盤表面の変形を図-10に示す。全てのケースで加振すると法尻部は隆起し、法肩部は沈下し続け、加振が終了すると変形はほぼ落ち着く。ケース(1)、(4)、(5)では、沈下量と隆起量の差が5～10cm程度となり、盛土が全面的に崩壊していることが分かる（文献⁶⁾によるとV型破壊に対応する）。一方、ケース(2)、(3)では、法肩の沈下量と法尻の隆起量は小さく、盛土が全体的に沈下していることが分かる（IV型破壊に対応する）。

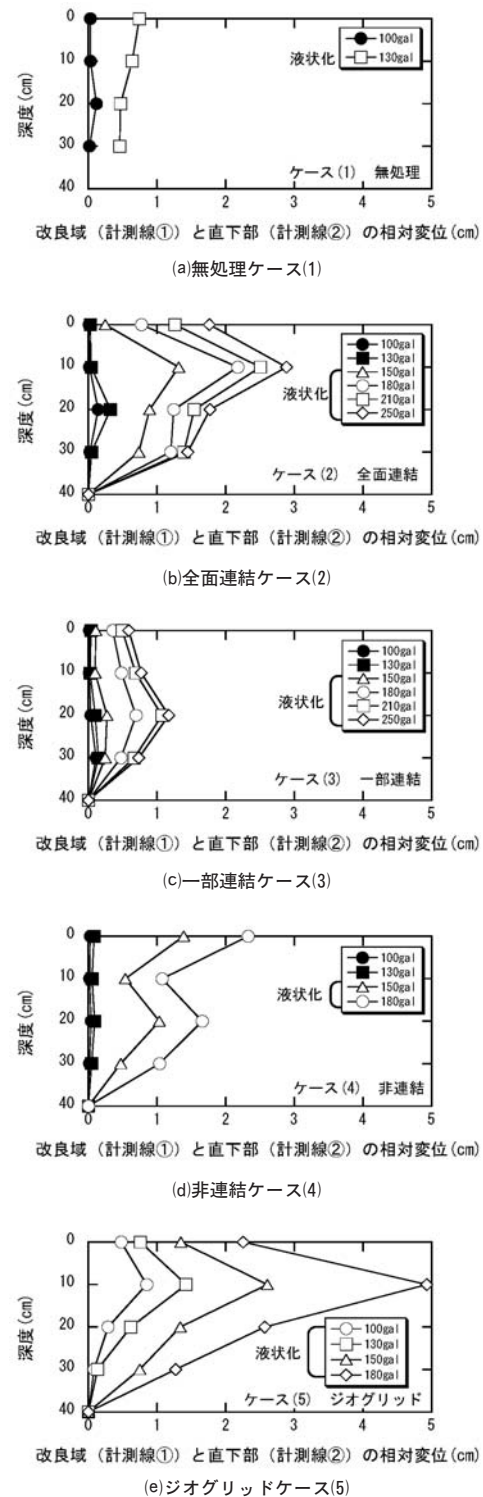
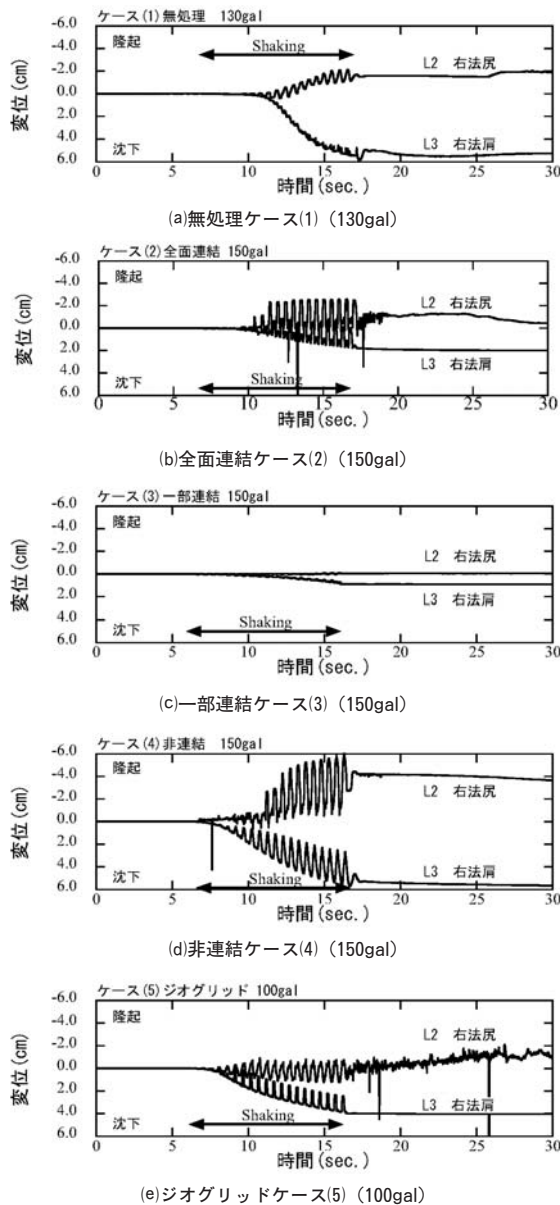


図-8 改良域と直下部の相対変位の深度分布



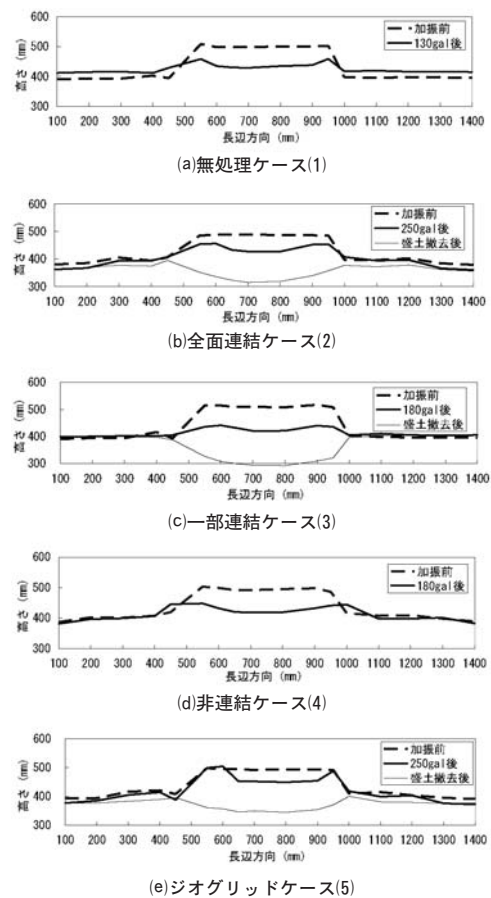
図－9 法尻L2と法肩L3の変位の経時変化

3.4 盛土の沈下要因

石原ら⁷⁾は、一連の液状化地盤上の盛土の動的遠心模型実験から、盛土の沈下量の支配的要因は、図－11に示すように(1)盛土のせん断変形(ストレッチング)による天端沈下(S1)、(2)側方流動による沈下(S2)、(3)直下地盤の体積圧縮による沈下(S3)に分けられると述べている。盛土の沈下量の推定式は、式(1)のように盛土の法尻間の距離の変化 d_l (盛土底面の水平ひずみ)、側方流動面積 A_L 、直下地盤の体積圧縮量 ε_v で評価している。

$$S_c = C_1 \left(\frac{2A_L}{B} + \varepsilon_v H_L \right) + C_2 \frac{2d_l H_E}{B} \quad (1)$$

なお、 C_1, C_2 は定数、 B は盛土幅、 H_L は液状化層厚、 H_E は盛土高さを表す。



図－10 地盤の変形形状

本実験では、ストレッチング量 d_l と側方流動面積 A_L の上底の変位を別々に計測できなかったため、加速度波形から求めた水平変位をもとにS1とS2を合わせた沈下量を推定した。推定値と実測値と比較したものを図－12に示す。推定値(○印)と実測値(●印)は加振中の最大変位が生じた時刻の値で、実測値は変位計L3とL4の平均値である。

全てのケースで基礎地盤が液状化するまで、盛土はほとんど沈下しないが、液状化すると沈下し始める。

ケース(2)、(3)の実測値は、地盤全体が液状化しても他のケースの実測値に比べて小さい。特に、ケース(2)は推定値とほぼ一致している。盛土体は相対密度100%で締固めているため、ストレッチングは小さくなるものとするれば、実測値には側方流動による沈下(S2)が大部分を占めているものと考えられる。したがって、両PBD群をジオグリッドで連結することにより、盛土のせん断変形と直下部の体積圧縮は低減されるものと考えられる。

ケース(4)の実測値は、推定値よりも大きくなり、盛土法尻部が広がりやすく、盛土体によって直下部の体積圧縮が生じたためと考えられる。例えば、体積圧縮による

沈下 (S3) が基礎地盤層厚の5%の沈下を生じると仮定すると、 $S3 \approx 2.0\text{cm}$ となり、ケース(4)の推定値 ($S1 + S2 + S3$) は実測値とほぼ同じ値を示す。

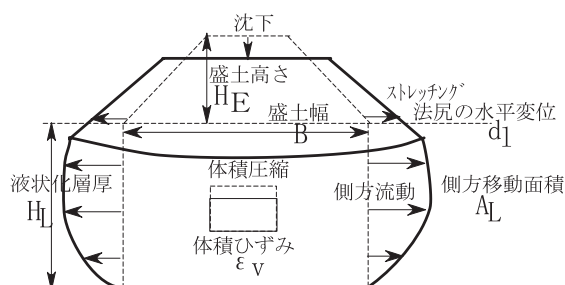
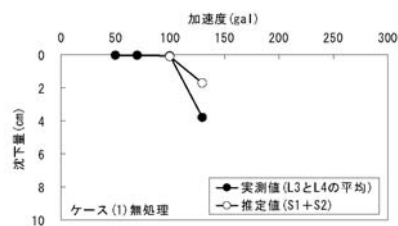
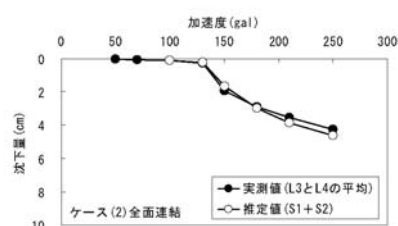


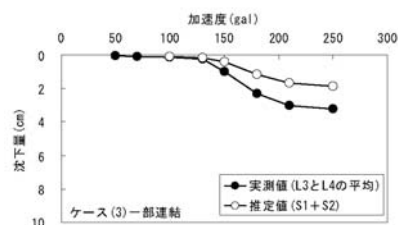
図-11 盛土の沈下要因



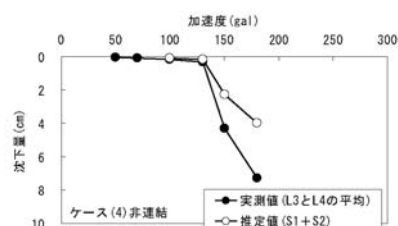
(a) 無処理ケース(1)



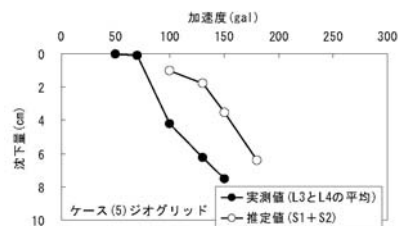
(b) 全面連結ケース(2)



(c) 一部連結ケース(3)



(d) 非連結ケース(4)



(e) ジオグリッドケース(5)

図-12 盛土の沈下

4. まとめ

本実験で実施した盛土の振動台実験から、以下のことが分かった。

- ① 無処理のケースは、加速度130galで地盤全体が液状化し、盛土は崩壊し平面部全体が隆起した。
- ② 両PBD群をジオグリッドで連結したケースは、加速度150galで基礎地盤が液状化したが、盛土は亀裂も発生せず、加速度250galでも盛土形状を保って鉛直方向に沈下した。
- ③ 基礎地盤が液状化しても、法尻部の両PBD群を連結することにより、盛土法尻部の水平変位と直下部の体積圧縮を抑制することができ、盛土部の崩壊を防止できる。

今後、施工性・経済性を考慮しながらPBD群の配列方法、両PBD群の連結方法等について検討を行ってきたい。

最後に、この研究を行うにあたり御指導頂いた神戸大学都市安全研究センター田中泰雄教授、共同で実験を行った錦城護謨 (株)、日本海工 (株)、不動建設 (株) の方々に感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 建設省土木研究所：液状化対策工法設計・施工マニュアル (案) と液状化対策工法設計・施工マニュアル (案) にもとづく試設計例、1999.
- 2) 溝口義弘、浅田毅、田中泰雄他：プラスチックボードドレーン敷設地盤の液状化特性、第11回日本地震工学シンポジウム、pp.721～726、2002.11.
- 3) 田中泰雄、古石賢、溝口敬人、有村貴紀：空気圧浮上式振動台の構築と液状化実験、第38回地盤工学研究発表会、pp.1973～1974、2003.
- 4) 沿岸開発技術研究センター：埋立地の液状化対策ハンドブック (改訂版)、1997.
- 5) 日本建築学会：地震動と地盤—地盤震動シンポジウム10年の歩み—、pp.205～224、1983.
- 6) 野沢：新幹線盛土構造物の耐震強化に関する研究、鉄道技術研究報告、No.1304、1986.
- 7) 石原雅規他：地震時変形を考慮した河川堤防の液状化対策工設計法、土木技術資料、pp.48～53、2004.