

プラスチックボードドレーンを用いた液状化対策工法の動的遠心模型実験

溝口義弘* 井口 実** 堀内晴生***

1. はじめに

地震の活動期に入ったと言われる昨今、今後30年間に地震が発生する確率は、東南海地震では70%程度、南海地震では60%程度と言われており¹⁾、震災への備え、特に液状化災害に対する減災・防災のニーズはますます要求されるようになってきている。

平成16年頃より、液状化対策工法としてプラスチックボードドレーン（以下、PBDとする）を用いた対策工法が提案された。この液状化対策工法は、PBDの排水効果と地盤の変形を抑える効果を兼ね備え、地盤の液状化の発生を抑制するもので、狭隘な作業スペースでの近接施工が可能で、掘削残土が発生しないなどの特長がある。

本稿では、PBDを用いた液状化対策工法の概要と、液状化地盤の改良効果を確認するために実施した動的遠心模型実験について紹介する。

2. PBDを用いた液状化対策工法の概要

PBDを用いた液状化対策工法（以下、本工法とする）は、図-1に示すように、PBDの先端をアンカーで非液状化層に定着し、PBD頭部を地表近くに敷設したジオグリッドと連結した液状化対策工法である。PBDの寸法は幅200mm×厚さ10mmで、打設間隔は60cm～100cmの千鳥配置を基本とする。使用材料の仕様を表-1に示す。

PBDは目詰まりと劣化がしにくく半永久的に高い透水性を有した材料で、地震時に発生する過剰間隙水圧を速やかに消散する排水効果を持っている。また、PBD頭部をジオグリッドで連結することによって、地盤がPBDとジオグリッドとで囲まれた小さなブロックを形成し、ブロック内の土粒子の移動を抑えることで、地盤変形の抑制効果を有している。それらの効果によって地盤の液状化強度が高められ、液状化対策として有効に機能する。

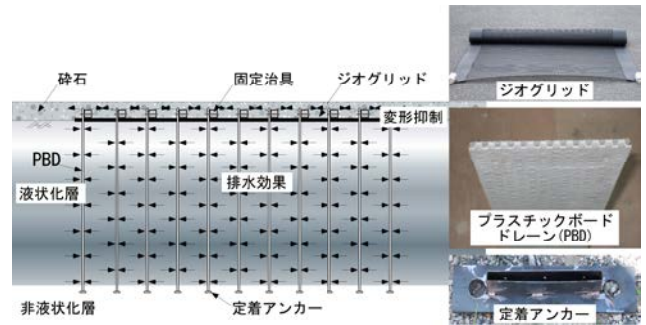


図-1 PBDを用いた液状化対策工法の概要

表-1 使用材料の仕様

PBD	芯材：ポリエチレン樹脂 フィルター：ポリエステル系特殊合成繊維
ジオグリッド	高張力ポリエステル繊維製のネット型シート
定着アンカー	SS400

3. 動的遠心模型実験

3.1 動的遠心模型実験の目的

本工法が、液状化地盤に対して過剰間隙水圧の消散効果と地盤変形の抑制効果があるかどうかを確認するために、動的遠心模型実験を実施した。

3.2 動的遠心模型実験の概要

実験に用いた模型地盤と計測計器の配置の一例を図-2に示す。遠心加速度は25Gである。

模型地盤は、PBDを所定位置に設置した状態で初期相対密度が50%になるように水中落下法を用いて7号珪砂（ $D_{50}=0.18\text{mm}$, $e_{\max}=1.145$, $e_{\min}=0.666$ ）を投入して作製した。地盤高さは37.5cm（実大換算9.4m）である。

模型に用いたPBDは剛性と通水量に関する相似則²⁾を、ジオグリッドは剛性に関する相似則を満足するように模型を作製した。

実験ケースを表-2に示す。PBDの打設間隔は3.2cm, 4.0cm（実大換算80cm, 100cm）の2種類である。表中のPBD径比 a/b は、図-3に示すように、PBDの排水領域と同じ面積に置換えた等価円半径 b に対するPBDの周長が等しい円に置換えた等価円半径 a の比で、従来の排水工法の設計に用いられているくい径比³⁾と同じ指標である。

計測項目は、地盤内の加速度と間隙水圧、地中

Shaking Table Tests on Centrifugal Force Field of Ground Reinforced by Liquefaction Countermeasure Method Using Plastic-Board-Drains

の変位測定のための土層底面に固定したりん青銅と張力測定のためのジオグリッドのひずみである。

加振方法は、実大換算1.5Hzの正弦波を20波、加振加速度100galから250galまで50galずつの段階方式を採用した。以下の物理量は実大換算で表す。

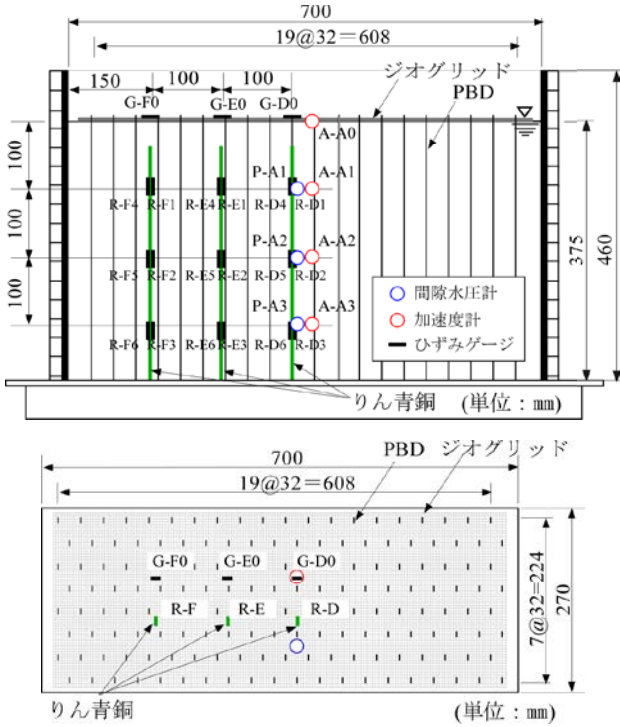


図-2 模型地盤と計測計器の配置 (打設間隔80cm、ケース1)

表-2 実験ケース

ケース	PBDの打設間隔	PBD径比a/b	初期相対密度
1	3.2cm(80cm)	0.151	48.5%
2	4.0cm(100cm)	0.121	55.0%

※PBDの打設間隔の()内は実大寸法を表す。

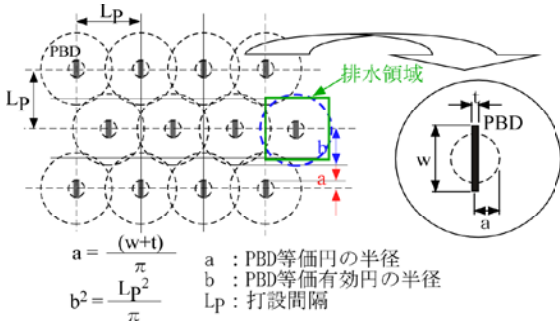


図-3 PBD径比の模式図

3.3 動的遠心模型実験の結果

(1) 地盤の過剰間隙水圧

加振加速度150galの時の過剰間隙水圧比 (GL-7.5m) の経時変化の一例を図-4に示す。なお、過剰間隙水圧比は過剰間隙水圧を初期有効上載圧

で除した値である。

ケース1の場合、加振後1.5秒で過剰間隙水圧は最大0.3程度に達し、その後消散している。一方、ケース2の場合、加振後4秒で過剰間隙水圧は最大0.6程度に達し、その後消散している。PBDの打設間隔が小さいケース1のほうが過剰間隙水圧の消散速度は早い。

加振加速度毎の最大過剰間隙水圧比 (GL-2.5m, -7.5m) の変化を図-5に示す。地盤深さが浅い位置ほど最大過剰間隙水圧比は大きな値を示し、加振加速度が大きくなるほど最大過剰間隙水圧比は大きくなる。また、PBDの打設間隔が小さいほど過剰間隙水圧の発生は抑制されている。

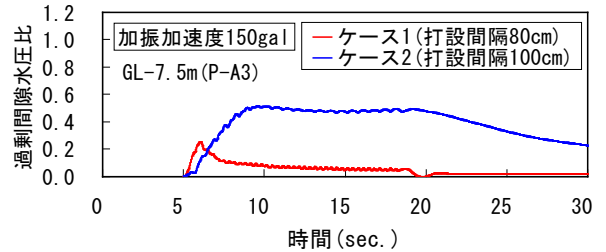


図-4 過剰間隙水圧比の経時変化

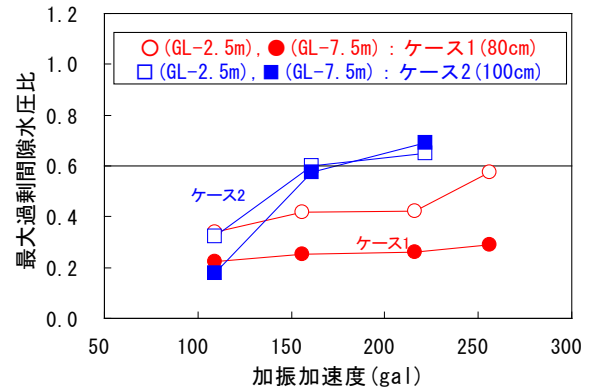


図-5 加振加速度と最大過剰間隙水圧比の関係

(2) 地盤のせん断ひずみ

加振加速度150galの時の地盤のせん断ひずみ γ_1 の経時変化の一例を図-6に、加振加速度毎の地盤の最大せん断ひずみ γ_1 と γ_3 の変化を図-7に示す。なお、GL-0.0m~-2.5mの地盤のせん断ひずみ γ_1 は加速度波形(A-A0,A-A1)を2回積分して求めた2測点の相対水平変位を加速度計の鉛直距離で除した値である。GL-5.0m~-7.5mの地盤のせん断ひずみ γ_3 も γ_1 と同様に加速度波形(A-A2, A-A3)から求めた値である。

地盤深さが浅い位置ほど地盤のせん断ひずみは大きな値を示し、加振加速度が大きくなるほど地盤のせん断ひずみは大きくなる。また、PBDの打設間隔が小さいほどせん断ひずみは小さく地盤

土研センター

の変形が抑制されていることが分かる。

次に、加振加速度150gal、200galの時のりん青銅のひずみから推定した地盤のせん断ひずみ(GL-2.5m)の経時変化の一例を図-8に示す。なお、下端部を固定したりん青銅が地盤と一体となって動くものとし、せん断ひずみは下端部のひずみから順にりん青銅のたわみ角、水平変位を算出し、水平変位をひずみゲージ間の距離で除した値である。

両ケースともりん青銅の設置位置に係わらず、せん断ひずみはほぼ同じ値を示し、位相のずれが少ないことから、改良域内では地盤が一様に動いているものと考えられる。

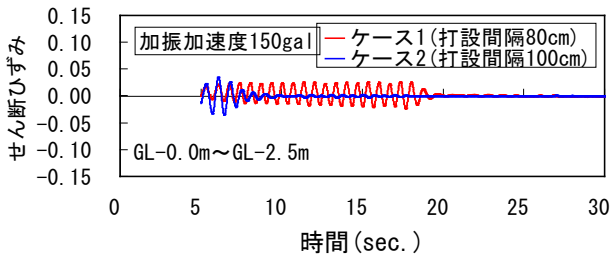


図-6 せん断ひずみの経時変化

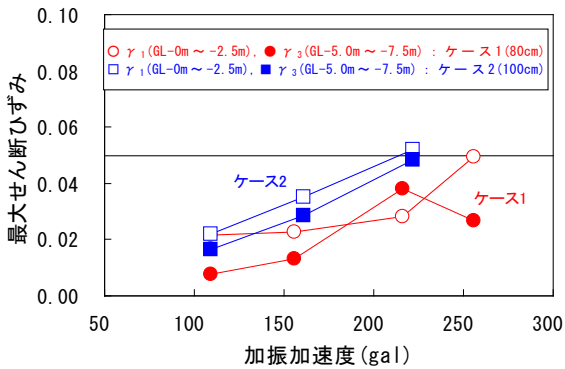
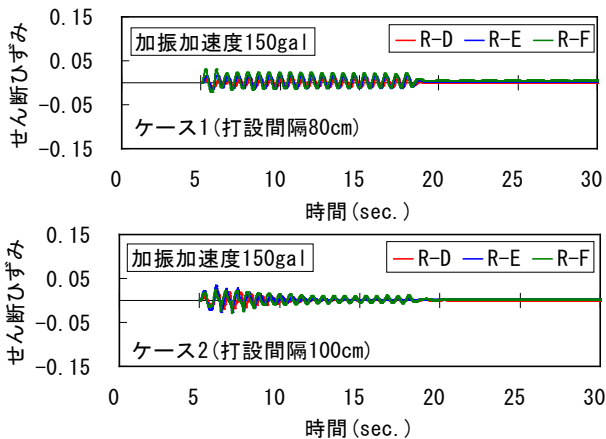
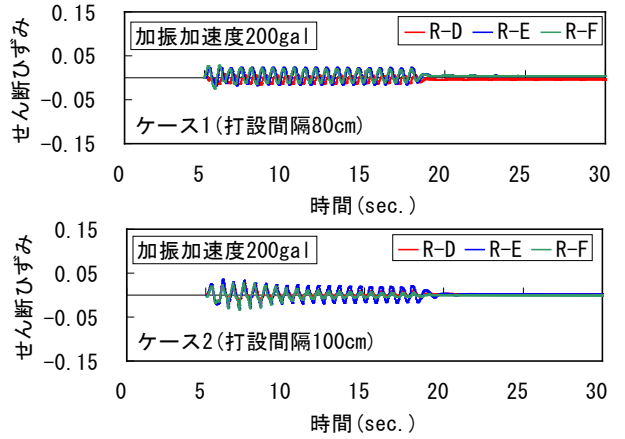


図-7 加振加速度と最大せん断ひずみの関係



(1)加振加速度150gal

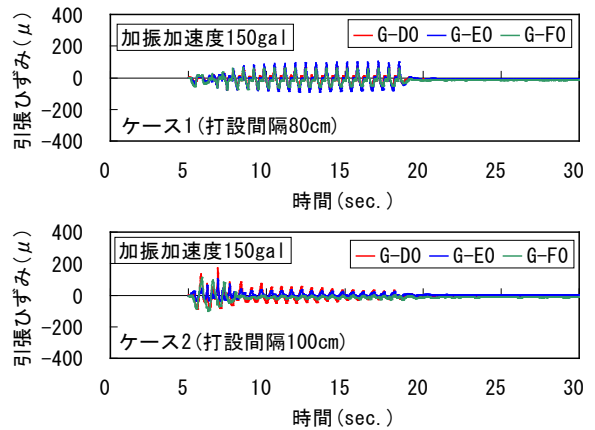


(2)加振加速度200gal

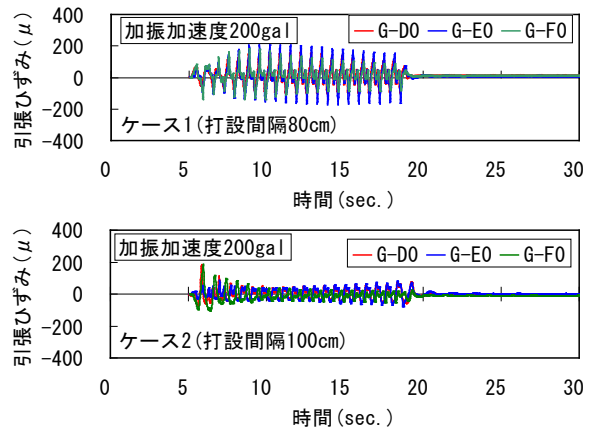
図-8 りん青銅のひずみから推定した地盤のせん断ひずみの経時変化

(3) ジオグリッドの引張ひずみ

加振加速度150gal、200galの時のジオグリッドの引張ひずみ(G-D0,G-E0,G-F0)の経時変化の一例を図-9に示す。両ケースともに3箇所のひずみ量はほぼ同じ値を示し、ジオグリッドには張力が発生しており、PBDとジオグリッドによる地盤変形の拘束効果が確認できる。



(1)加振加速度150gal



(2)加振加速度200gal

図-9 ジオグリッドの引張ひずみの経時変化

(4) 液状化強度とPBD径比の関係

PBD径比 a/b と液状化強度 R_p の関係を図-10に示す。なお、液状化強度 R_p は、地盤内に設置した加速度記録から求めたせん断応力を有効上載圧で除したせん断応力比から求めた値である。

PBD径比 a/b が大きくなるほど液状化強度 R_p は大きくなり、また、以前に実施した振動台実験の既往データ⁴⁾ とほぼ同じ直線上に位置していることが分かる。

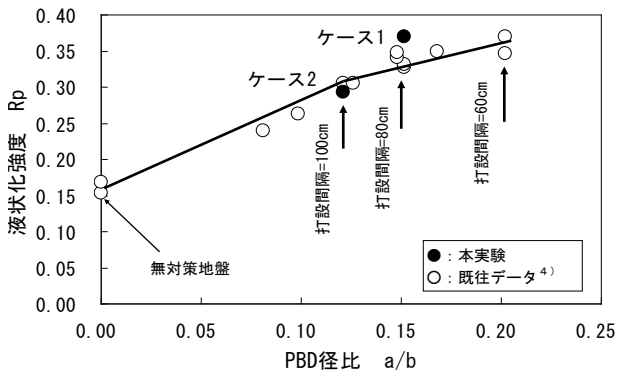


図-10 PBD径比と液状化強度の関係

4. まとめ

PBDを用いた液状化対策工法による液状化地盤の改良効果を確認するため、模型地盤の動的遠心模型実験を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) PBDの排水効果により過剰間隙水圧の発生が抑制され、PBDの打設間隔が小さいほど過剰間隙水圧の発生は小さくなる。
- (2) PBDとジオグリッドにより地盤の変形が抑制され、PBDの打設間隔が小さいほど地盤の変形は小さい。

- (3) りん青銅のひずみから推定した地盤のせん断ひずみは改良域内ではほぼ同じ値を示し、改良地盤が一様に変形している。
- (4) ジオグリッドには張力が発生し、地盤はPBDとジオグリッドで拘束されている。
- (5) PBDの打設間隔が小さいほど地盤の液状化強度は大きくなる。

PBDを用い、PBD頭部をジオグリッドで連結する液状化対策工法「R P D工法」は、民間3社(株)浅沼組、(株)不動テトラ、錦城護謨(株)で開発された工法で、本実験は、建設技術審査証明対象技術として性能確認の一環として実施された。

本R P D工法は、建設技術審査証明対象技術として性能確認(地盤の改良効果、耐久性、施工性、周辺環境への影響)されたことにより、適用が広がることを期待している。

謝 辞

本実験にご協力いただきました関係各者様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 地盤調査研究推進本部：長期評価による地震発生確率値の更新について、ホームページ、2011。
- 2) 岡村末対、竹村次朗、上野勝利：講座 遠心模型実験－実験技術と実務への適用－ 2.遠心模型の相似則、実験技術－利点と限界、土と基礎、Vol.52、No.10、pp.37～44、2004。
- 3) 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)、1999。
- 4) 溝口義弘：PBD群敷設地盤の振動台実験－1G場と遠心場の比較－、浅沼組技術研究報告、No.20、pp.37～42、2008.11。

溝口義弘*



株式会社浅沼組技術研究所
環境・生産研究グループ
課長
Yoshihiro MIZOGUCHI

井口 実**



錦城護謨株式会社土木事業
本部 工事部工事課 主任
Minoru INOKUCHI

堀内晴生***



財団法人土木研究センター
技術研究所地盤・施工研究
部 次長
Haruki HORIUUCHI