

8. 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実大施工実験

Construction Experiment of Liquefaction Countermeasure Method Reinforced by Plastic-Board-Drains.

溝口 義弘* 浅田 毅*²

要 旨

プラスチックボードドレーンを用いた液状化対策工法（RPD 工法）の実大施工実験を行い、施工性能、周辺環境への影響、および改良効果を調べた。実大施工実験の結果、グラベルドレーン工法に比べて施工性能は向上していること、騒音と振動ともに規制基準値以下で周辺環境への影響が少ないことが分かった。また、改良地盤は無対策地盤に比べて過剰間隙水圧の発生が抑制されていることが分かった。

キーワード：プラスチックボードドレーン／実大施工実験／施工速度／騒音／振動

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 60%～70%程度、南海地震では 50%～60%程度と言われており¹⁾、それらの地震が起これば、兵庫県南部地震以上の液状化被害が発生するものと懸念される。また、社会の構造改革にともない、経済が発展し都市再生の動きが活発化することで、地盤の液状化が発生しやすい沿岸部に広がる工場跡地、埋立地等の利用が進められ、ますます地盤の液状化対策が重要な課題となってくる。

地盤の液状化対策には、地盤密度の増大、過剰間隙水圧の抑制・消散、固結、せん断変形の抑制、過剰間隙水圧の遮断などを目的とする工法が既に多く開発され、数多くの実施例が報告されている。しかし、締固めによる密度増大工法では、改良効果への信頼性は比較的高いが、施工時の振動・騒音、締固め時の周辺地盤の変形が無視出来ないため、周辺環境への影響、既設構造物での近接工事、市街地での施工等では採用し難い。現在、低振動・小口径の締固め工法も開発されているが、打設深度に課題を残す。一方、排水工法では、一般的には碎石（グラベルドレーン工法）が用いられてきたが、最近ではプラスチック系のドレーン材も使用されてきている。排水工法は締固め工法と比較して、振動・騒音も少ない施工が可能であり、周辺環境への影響が少ないが、液状化対象層が厚いと排水効果が低下したり、地震後にある程度の沈下が生じる可能性があるなどの課題が挙げられる。

筆者らは、プラスチックボードドレーン（以下、PBD とする）の排水効果と地盤の変形抑制効果を兼ね備えた工法として RPD 工法を開発した。RPD 工法は、PBD の

先端をアンカーで非液状化層に定着し、PBD の頭部をジオグリッドと固定治具で連結する工法である。これまで RPD 工法を適用した地盤の室内振動台実験（重力場・遠心場）を行い、地盤の液状化強度が増加することを確認し、改良効果を評価する設計法を提案してきた^{2)～6)}。

今回、実地盤での実大施工実験を行い、RPD 工法の施工性能と周辺環境への影響を調べた。また、事前調査で確認された液状化砂層の無処理地盤と PBD を打設した改良地盤に、H 鋼を地盤中に打ち込みバイブロ起振機で振動を加え、地盤に過剰間隙水圧を強制的に発生させて、地盤の間隙水圧と加速度を計測し、地盤の改良効果を調べた。本報は、それらの実大施工実験の結果について報告する。

2. RPD 工法

2.1 RPD 工法の概要

RPD 工法は、図-1 に示すように、PBD の排水効果に加え、地盤を PBD とジオグリッドとで囲まれた領域に分割し、領域内の土粒子の移動を抑えることで地盤の変形を抑制し、液状化強度を高めるものである。その結果、地盤が液状化することを防ぐことができる。

PBD とジオグリッドおよびアンカーの仕様を表-1 に、PBD とジオグリッドおよびアンカーを写真-1 に示す。PBD は、幅 200 mm×厚さ 10 mm でプラスチック製の骨格にドレーン用フィルターを融着させたものである。ジオグリッドは、8 mm メッシュの高強力ポリエステル繊維製である。アンカーは PBD を非液状化層に定着させるものである。固定治具は角材を用いてビスで PBD に固定する。

* 技術研究所環境・生産研究グループ *² 技術室安全・環境管理部

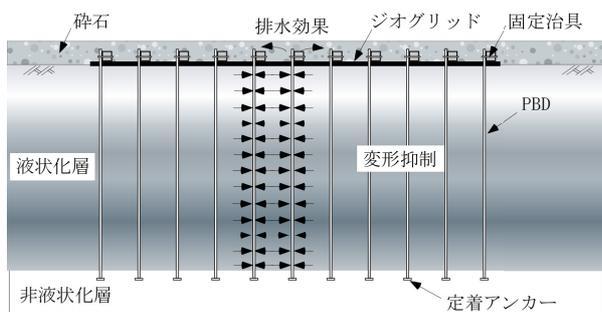
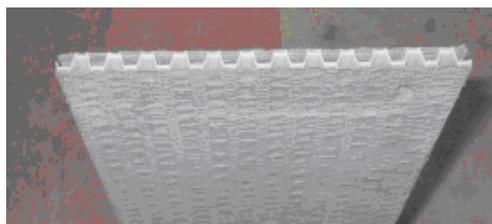


図-1 RPD 工法の模式図

表-1 PBD とジオグリッドとアンカーの仕様

| 材料 | 材質 | | 寸法 |
|--------|-------------|-------------------|----------|
| PBD | 芯材 | ポリエチレン樹脂 | 厚さ：200mm |
| | フィルター | ポリエステル系 特殊合成繊維 | 幅：10mm |
| ジオグリッド | 高強力ポリエステル繊維 | | — |
| アンカー | SS400 | | — |



(1) PBD



(2) ジオグリッド



(3) アンカー

写真-1 PBD とジオグリッドとアンカー

2.2 施工手順

RPD 工法の施工手順を図-2 に示す。

①打設準備

ロール状の PBD をケーシングの上方から下端まで通す。また、施工ブロック内で、PBD の打設位置をマーキングする。

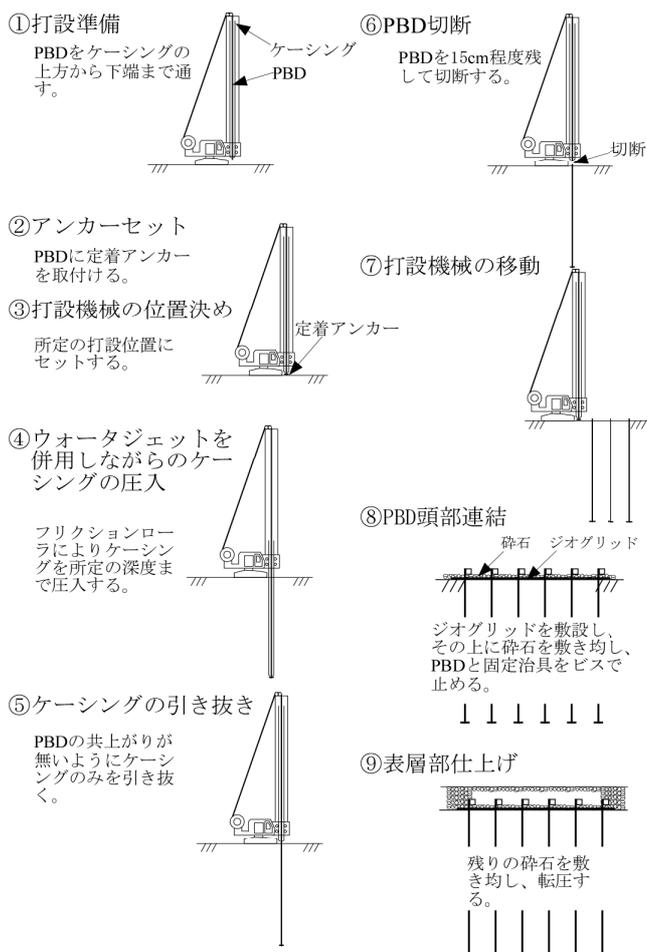


図-2 RPD 工法の施工順序

②アンカーセット

ケーシング下端の PBD に定着アンカーを取付ける。

③打設機械の位置決め

打設機械を移動し、所定の打設位置にセットする。

④ケーシングの圧入

フリクションローラによりケーシングを所定の深度まで圧入する。圧入時、ウォータージェットを併用する。

⑤ケーシングの引き抜き

所定深度に達したら、PBD の共上りが無いように注意しながらケーシングのみを引き抜き、PBD を非液状化層に定着させる。

⑥PBD の切断

地表面に出た PBD を 15cm 程度残して切断し、PBD 頭部に土砂混入防止用ネットを取り付ける。

⑦打設機械の移動

作業②～⑥を繰り返す。

⑧PBD 頭部連結

ジオグリッドの所定の位置に切り込みを入れ、ジオグリッドを敷設しながら、PBD を通す。ジオグリッドの上

に砕石を 10cm 敷き均し転圧を行う。その後、PBD の位置に固定用角材を配置し、PBD と固定用角材をビスで止める。

⑨表層部仕上げ

残り砕石を 20cm 敷き均し、転圧を行う。

3. 実大施工実験の概要

3.1 実大施工実験の内容

実大施工実験は、表-2 に示すように施工性能と改良効果を調べる。無対策地盤を A 区域、打設間隔 60cm の改良域を B 区域、打設間隔 100cm の改良域を C 区域とする。図-3 に平面図と断面図、図-4 に土質柱状図を示す。改良対象深度は GL-5600mm~GL-7750mm の砂層で、PBD の打設深度は GL-8000mm 以深である。なお、表層(埋土・砂礫)は当初、ケーシングが貫入不能のため、掘り起こして埋戻しを行った後に施工した。

表-2 実大施工実験の目的と内容

| 確認項目 | 内容 |
|------|-----------------------------------|
| 施工性能 | PBD の打設深度と打設時間の計測 施工時の騒音と振動の計測 |
| 改良効果 | 起振による地盤内の加速度と過剰間隙水圧の計測 |

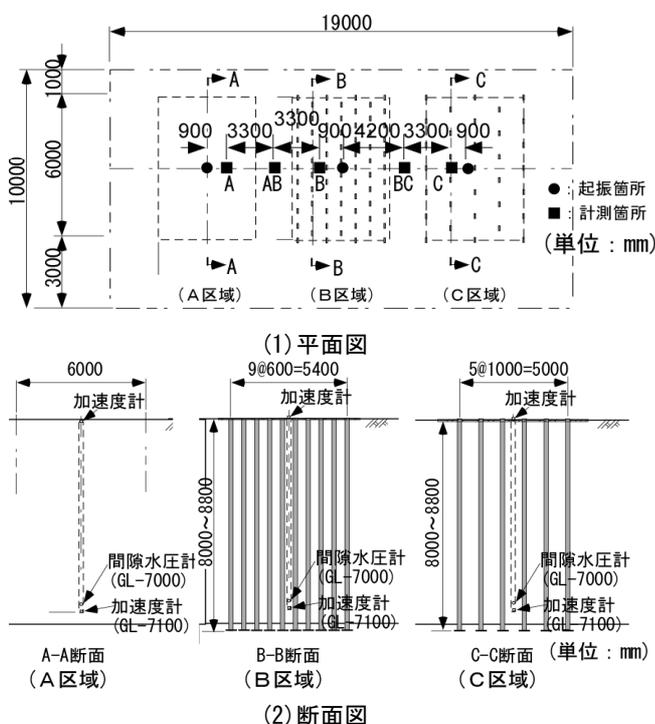


図-3 実大施工実験の平面図・断面図

3.2 実大施工実験の方法

(1) 実大施工実験の手順

実大施工実験は、以下の順序で行った。

- ① 事前に地盤のボーリング調査を行い、地盤の性状を確認する。
- ② 所定の深度に加速度計および間隙水圧計を設置する。
- ③ B 区域では PBD を非液状化層まで 60cm ピッチで、C 区域では PBD を非液状化層まで 100 cm ピッチで千鳥配置に打設する。
- ④ PBD の打設が完了すると、ジオグリッドを全面敷設し固定用角材を介して PBD 頭部と連結し、表層に砕石を敷設し、表層部仕上げを行う。
- ⑤ 地盤を起振させながら、改良効果を調べる。

(2) 打設性能の計測

PBD 1 本ごとに打設深度・打設時間を計測し、打設可能な地盤性状・打設速度を調べた。また、図-3 に示す改良区域ごとに①打設準備から⑨表層部仕上げまでの一連の施工時間を計測した。

(3) 施工時の騒音と振動の計測

表-3 に示す条件で、PBD 打設時の騒音および振動を計測し、振動規制法と騒音規制法の基準値と比較しながら、周辺への影響について調べた。

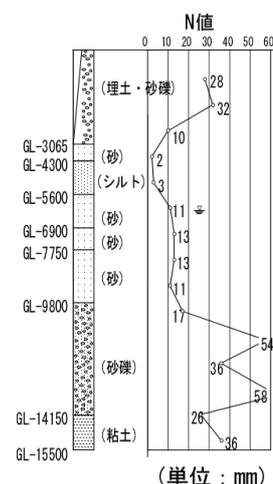


図-4 実大施工実験の土質柱状図

表-3 騒音・振動の計測条件

| 計測項目 | 計測装置 | 計測位置 |
|------|--------------------------|-------------------------------------|
| 騒音 | 普通騒音計 (RION 製,NA-29) | 打設機械からの距離 1.5, 3, 5, 10, 20, 35m |
| 振動 | 振動レベル計 (RION 製,VM-52) | |

(4) 起振による改良効果の計測

地盤は図-5に示す方法で起振させた。起振に用いたパイプロ起振機の仕様を表-4に示す。

起振時の計測項目は、地盤の加速度と間隙水圧および表面沈下量である。計測計器の設置位置は図-3に示す。計測計器の仕様を表-5に示す。表-6に間隙水圧計の初期値を示す。間隙水圧計の初期値を水位に換算すると約2m程度である。

計測手順は、改良区域ごとに以下の手順で行った。

- ① H鋼を地下水位のGL-5.5mまで貫入させる間、地盤の加速度と間隙水圧を計測する。その後、間隙水圧が一定値に収束するまで放置する。
- ② H鋼をGL-5.5mからGL-7.5mまで貫入させる間、地盤の加速度と間隙水圧を計測する。

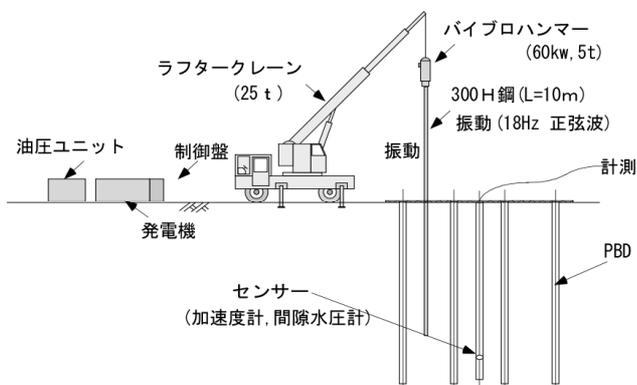


図-5 パイプロ起振機による地盤の起振

表-4 パイプロ起振機の仕様

| | |
|----------|------------------|
| 機種 | FM2-80 |
| 周波数(振動数) | 18.3Hz (1100cpm) |
| 起振力 | 477.6kN |

表-5 計測計器の仕様

| 計測器 | 計測位置 | 形式 | 容量 |
|-------|---------|-----------------|--------------------|
| 加速度計 | GL-7.1m | ひずみ型 ARF-10A | 10m/s ² |
| 間隙水圧計 | GL-7.0m | ひずみ型 KPA-200KPA | 200kPa |

表-6 間隙水圧計の初期値

| 計測地点 | 設置深さ(m) | 初期値(kPa) | 水位換算(m) |
|------|---------|----------|---------|
| A | GL-6.9 | 21.6 | 2.20 |
| AB | GL-6.9 | 20.3 | 2.07 |
| B | GL-6.9 | 19.8 | 2.02 |
| BC | GL-6.9 | 21.5 | 2.19 |
| C | GL-6.9 | 21.4 | 2.18 |

4. 実大施工実験の結果

4.1 打設性能の計測結果

C区域のPBD打設完了後の状況を写真-2に示す。PBDは千鳥配置で所定の位置に打設することができた。また、PBDの打設管理を行う自動記録装置から読み取った全てのPBDの打設深さの分布を図-6に示す。PBDの打設深さは、GL-8.0m~8.8mの範囲に分布し、計画通りに打設することができ、N値15程度の地盤にも貫入できることが分かった。

実験で計測した1日当たりの打設延長より、図-7に示す地盤モデルを一例に、RPD工法とGD(グラベルドレーン)工法の単位面積当たりの施工能力を比較する。それぞれの工法の設計法に準じて、打設間隔を求め、100m²当たりの想定される施工日数を表-7に示す。RPD工法の施工日数4.8日に対して、GD工法の施工日数10.7日となり、RPD工法の方が、施工期間を短縮できることが分かった。



写真-2 PBD打設完了後の状況

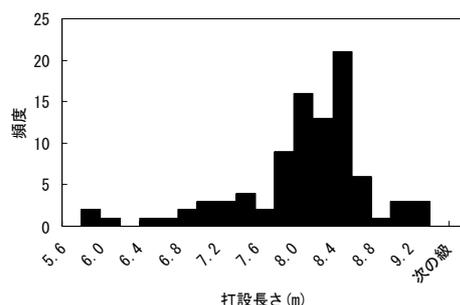


図-6 全てのPBDの打設深さの分布

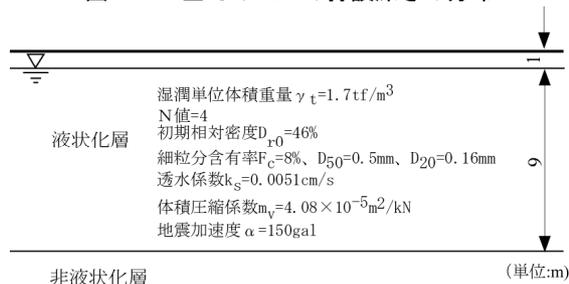


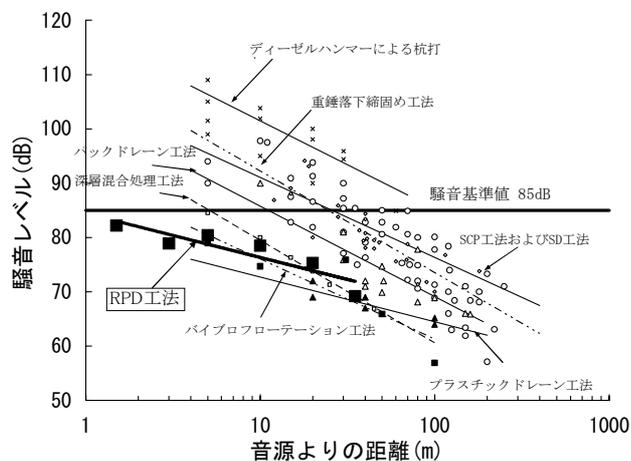
図-7 地盤モデル

表-7 100m²当たりの施工日数

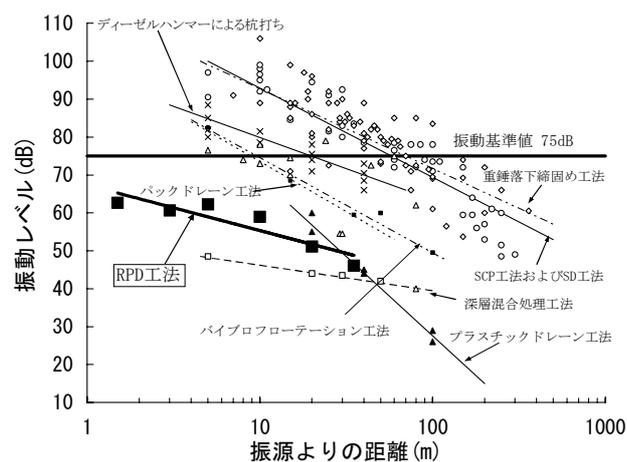
| | 打設間隔 (cm) | 打設本数 (本/100m ²) | 施工日 数(日) |
|--------|--------------|--------------------------------|-------------|
| RPD 工法 | 75 | 178 | 4.8 |
| GD 工法 | 70 | 204 | 10.7 |

4.2 施工時の騒音と振動の計測結果

測定した騒音値と振動値を文献7)の騒音および振動と距離減衰の関係に加筆したものを図-8に示す。騒音と振動ともに距離が離れるにしたがって低下している。また、特定建設作業に伴って発生する騒音と振動の規制に関する基準と比較すると、騒音と振動ともに規制基準以下であることが分かった。



(1) 騒音と距離減衰の関係



(2) 振動と距離減衰の関係

図-8 RPD工法の騒音・振動レベル

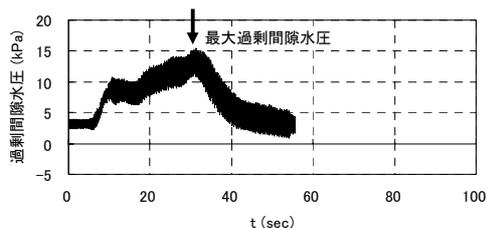
4.3 起振による改良効果の結果

(1) 加速度と過剰間隙水圧の変化

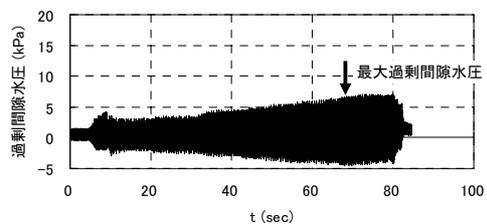
H鋼をGL-5.5mまで貫入させる間の過剰間隙水圧は、図を省略するが、ほとんど発生していない。

H鋼をGL-5.5mからGL-7.5mまで貫入させる間の過剰間隙水圧の経時変化を図-9に示す。起振によって地盤が液化化するまでには至らなかったが、過剰間隙水圧の挙動に違いが見られる。PBDを打設した地盤は無対策地盤に比べると過剰間隙水圧の発生が少ない。打設間隔60cmのB区域の方が過剰間隙水圧の発生が最も抑制されていることが分かった。

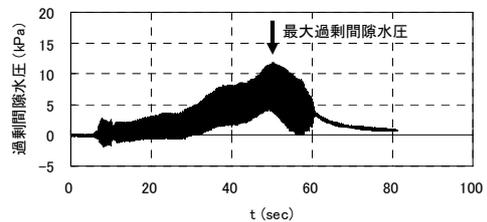
H鋼をGL-5.5mからGL-7.5mまで貫入させる間の加速度の経時変化を図-10に示す。図中の矢印は過剰間隙水圧が最大に達した時を示す。その時の加速度はA、B、C区域の順に、167gal、428gal、151galである。打設間隔60cmのB区域は改良効果により加速度が大きな値を示していると考えられる。



(1) A区域 (無対策地盤)

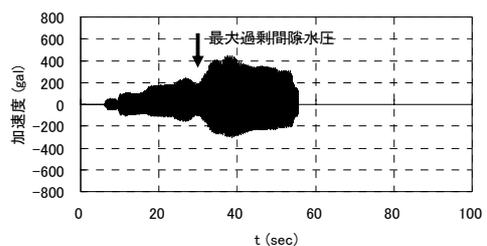


(2) B区域 (打設間隔60cm)

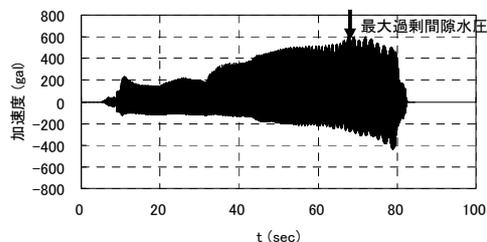


(3) C区域 (打設間隔100cm)

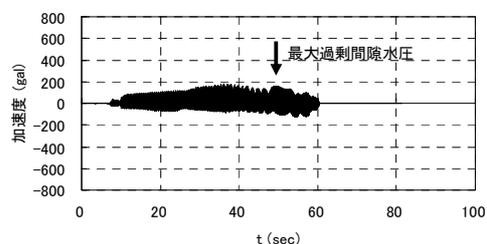
図-9 過剰間隙水圧の経時変化(H鋼の位置GL-5.5m~7.5m)



(1)A区域 (無対策地盤)



(2)B区域 (打設間隔 60cm)



(3)C区域 (打設間隔 100cm)

図-10 加速度の経時変化 (H鋼の位置 GL-5.5m~7.5m)

(2)表面沈下量

起振前後の地盤表面の沈下量を表-8に示す。起振の結果、加速度 151gal~428gal 程度でも全てのケースで沈下はほとんど見られなかった。

表-8 起振前後の表面沈下量

| 起振位置からの距離 (m) | A区域 (mm) | B区域 (mm) | C区域 (mm) |
|---------------|----------|----------|----------|
| 2 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | 0 | 0 | 1 |

5. まとめ

RPD 工法の実大施工実験を行い、施工性能と周辺環境への影響、および地盤を起振させた実地盤における改良効果について調べた。

実大施工実験の結果から、以下のような結論が得られた。

- ① PBD は所定の位置に打設することができた。PBD の打設深さは、GL-8.0m~GL-8.8m であり、地盤の N 値が 15 程度でも貫入可能である。
- ② 100m² 当たりの施工日数は、GD 工法に比べて少なく、施工期間を短縮することができた。

- ③ 圧入方式で PBD を打設するため、騒音と振動は打設機の機械音とエンジン部の振動に起因するが、規制基準以下であった。
- ④ バイブロを用いた起振実験により打設間隔 60cm の地盤が過剰間隙水圧の発生が最も抑制されており、改良効果を確認できた。
- ⑤ バイブロを用いた起振実験では沈下はほとんど発生しなかった。

これまでの室内振動台実験や実大施工実験の結果から、RPD 工法の有効性が確認できた。今後、数多くの現場に適用し、RPD 工法の普及を図っていきたい。

[謝辞]

最後に当工法を共同で開発した株式会社不動テトラの東祥二氏、錦城護謨株式会社の野村忠明氏、川鍋修氏、井口実氏、三成昌也氏に感謝の意を表します。

[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、2009.
- 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化化特性、第11回日本地震工学シンポジウム、pp.721~726、2002.11.
- 3) 溝口義弘、浅田毅：PBD 群による盛土の変形抑制効果について、浅沼組技術研究所報、No.18、pp.51~56、2006.
- 4) 溝口義弘、浅田毅：PBD 群による人孔の浮上り防止効果について、浅沼組技術研究所報、No.19、pp.65~68、2007.
- 5) 溝口義弘：PBD 群敷設地盤の振動台実験-1 G場と遠心場の比較、浅沼組技術研究報告、No.20、pp.37~42、2008.
- 6) プラスチックボードドレーン群工法の改良効果の評価方法、浅沼組技術研究所報、No.17、pp.63~70、2005.
- 7) (社)土質工学会：軟弱地盤対策工法-調査・設計から施工まで-、pp.27~29、1988.