

静的圧入締固め工法の繰返し圧入による振動台実験

三信建設工業(株)

(独)港湾空港技術研究所

みらい建設工業(株)

みらいジオテック(株)

復建調査設計(株)

九州大学大学院工学研究院

正会員

正会員

正会員

正会員

フェロー会員

○ 原田 良信

山崎 浩之

足立 雅樹

森河 由紀弘

山田 和弘

善 功企

1. はじめに

著者らは、これまでに静的圧入締固め工法 (CPG 工法) による地盤の締固めについて、模型実験や実施工で使用する機械を用いた実験を行ってきた。その中で、注入材に載荷と除荷を繰返ししながら圧入する方法 (以下「繰返し圧入」という) を行うことで、地盤の締固めの効率が向上し、地盤の隆起が抑制され、密度増加が期待できることを確認した^{1) 2)}。しかし、この繰返し圧入により改良した地盤が、地震動により発生する液状化に対して、どのような挙動を示すかは未確認であった。そこで、振動台装置と小型の圧入装置を用い、繰返し圧入による改良地盤の隆起抑制効果と、液状化に対する効果を確認したので報告する。

2. 実験概要

図-1 に振動台装置の概要図を示す。振動台装置は高さ 550mm、幅 850mm、奥行き 360mm の振動箱を有している。この振動箱内に砕石により厚さ 150mm の基盤層を設け、その上に相馬硅砂 6 号 ($\rho_s=2.656\text{g}/\text{cm}^3$, $e_{max}=1.266$, $e_{min}=0.746$) により層厚 400mm、初期相対密度 30% の地盤を作製した。地盤作製は水中落下法により層厚 50mm ごとに行った。水位は GL-50mm に調整した。

図-2 に圧入装置の模式図を示す。圧入装置は、作製した地盤内に 1/10 の縮尺に相当する固結体を打設できるものである。実験に用いた圧入管の内径は約 5mm で、固結体と同様に 1/10 の縮尺に相当する。

注入材は、骨材、固化材および水で構成され、実施工で使用する材料と同様である。

表-1 に実験ケースと実験条件を示す。改良配置は、図-1 に示す通り打設本数 13 本とした。1 本あたりの圧入量を変化させることで、改良率 a_s を設定した。圧入量は圧入用油圧シリンダの変位量から算出している。表-2 に通常圧入、繰返し圧入の圧入手順示す。通常圧入と繰返し圧入は、手順 3 の工程に大きな違いがある。

加振の入力波は、5Hz の正弦波を 20 波とした。入力加速度は段階ごとに 50Gal ずつ大きくし 300Gal まで行った。各段階の加振終了後、地盤内の過剰間隙水圧が消散するまで放置した。

地表面の高さは、レーザ変位計により測定した。圧入圧力は、圧入シリンダ内に設置した圧力計により計測した。地盤内 GL-125mm、-200mm、-275mm の 3 深度に加速度計、間隙水圧計および土圧計を設置し測定を行った。

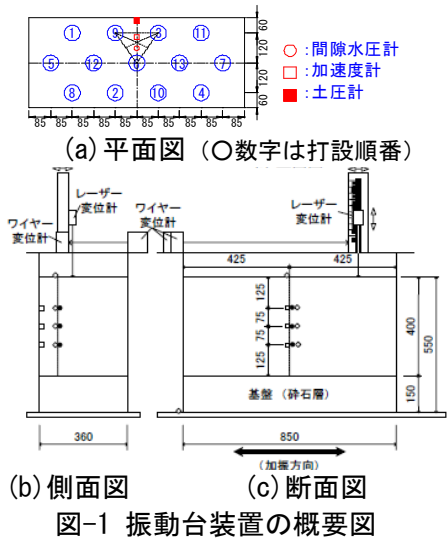


図-1 振動台装置の概要図

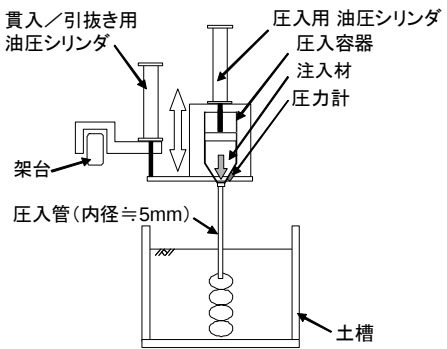


図-2 圧入装置の模式図

表-1 実験ケースと実験条件

Case	改良率 a_s (%)	圧入方法	初期相対密度 Dr_0 (%)
1	5	通常	30
2	10	通常	30
3	5	繰返し	30
4	0	未改良	30

キーワード：静的締固め、液状化、除荷、脈動、繰返し圧入

連絡先：〒111-0052 東京都台東区柳橋 2-19-16 三信建設工業(株) 技術開発本部 TEL03-5825-3707

表-2 通常圧入、繰返し圧入の圧入手順

手順	通常圧入	繰返し圧入
1	圧入容器に注入材を投入し、エア抜きを行う	
2	貫入／引抜き用の油圧シリンダにより、圧入管を地盤中に 380mm 貫入する。	
3	圧入用の油圧シリンダにより注入材料を圧入する。	圧入用の油圧シリンダにより注入材料を圧入する。 1 ステップ分の圧入量の半分ごとに、圧入用の油圧シリンダを一瞬引上げ除荷する。
4	1 ステップ分の圧入が完了した後、貫入／引抜き用の油圧シリンダにより圧入管を 33mm 引上げる。	
5	3～4 の作業を繰返し、1 本当りの長さ 330mm (10 ステップ分) の固結体を造成する。	

3. 実験結果

図-3 に 1 本の圧入における圧入量と圧入圧力の関係を示す。これより通常圧入は、1 ステップ注入後に圧入管を引上げるため、圧入圧力が約 300kPa まで減少しているが、大きな脈動とはなっていない。これに対し繰返し圧入は、除荷を行くことで圧入圧力が瞬時に約 50kPa まで下がり、大きな脈動が起きていることがわかる。また、既往の繰返し圧入実験と同様に、圧入量の増加に伴う圧入圧力の増加はほとんど見られなかった²⁾。これより繰返し圧入が再現できたと考えられる。

図-4 に打設本数と地盤変位の関係を示す。改良率 $a_s=5\%$ および 10% の通常圧入は、打設本数の増加とともに隆起量も大きくなる傾向である。これに対し、改良率 $a_s=5\%$ の繰返し圧入は、打設本数の初期段階では沈下傾向となり、後期段階は隆起に転じ、最終的には改良前と同程度となった。これより、繰返し圧入を行うことで、通常圧入に比べ地盤の隆起を抑制することがわかった。

図-5 に換算加速度と地盤深度の関係を示す。ここで、換算加速度は入力加速度の 1 波を 2.5Gal とし、過剰間隙水圧比が 1.0 付近に達した時点(液状化したと判断する)の波数から換算したものである³⁾。未改良地盤は、換算加速度が 50～100Gal で液状化したのに対し、改良率 $a_s=5\%$ の通常圧入は、120～150Gal で液状化が発生し、改良率 $a_s=10\%$ の通常圧入は、160～200Gal で液状化した。これより改良率を大きくすることにより液状化を抑制することがわかる。改良率 $a_s=5\%$ の繰返し圧入は約 170Gal で液状化し、改良率 $a_s=10\%$ の通常圧入と同程度となった。繰返し圧入を行うことで、同じ改良率の通常圧入に比べ液状化の発生を抑制することがわかった。

4. まとめ

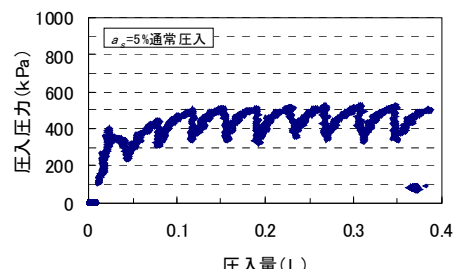
繰返し圧入による改良地盤の隆起抑制効果と、液状化に対する効果を確認するため振動台実験を行い、以下の結果が得られた。

1. 圧入圧力を除荷することにより、繰返し圧入が再現できた。
2. 繰返し圧入は、通常圧入に比べ地盤の隆起を抑制することができる。
3. 繰返し圧入は、通常圧入に比べ液状化の発生を抑制することができる。

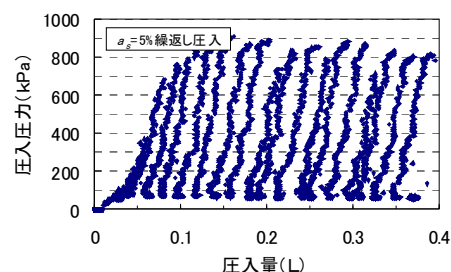
今後は、実験により得られた結果を実施に反映させたい。

参考文献

1) 新坂, 善, 山崎, 足立, 藤井, 菊池: 低流動性材料を用いた静的圧入締固め工法による K 値増加に関する一考察, 第 6 回地盤改良シンポジウム論文集, pp.139-144, 2004. 2) 例えば, 原田, 善, 山崎, 藤井, 高橋: 静的圧入締固め工法の隆起抑制に関する実験(その 1)-中型土槽実験-, 第 41 回地盤工学研究発表会, pp.985-986, 2006. 3) 原田, 善, 山崎, 足立, 藤井: 静的圧入締固めに関する注入実験(その 3)-振動台実験-, 第 42 回地盤工学研究発表会, pp.861-862, 2007.



(a) 通常圧入 (11 本目)



(b) 繰返し圧入 (11 本目)

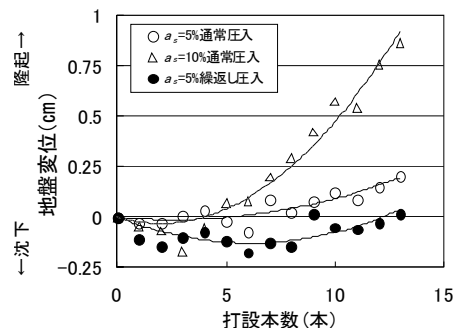
図-3 1 本の圧入における
圧入量と圧入圧力の関係

図-4 打設本数と地盤変位の関係

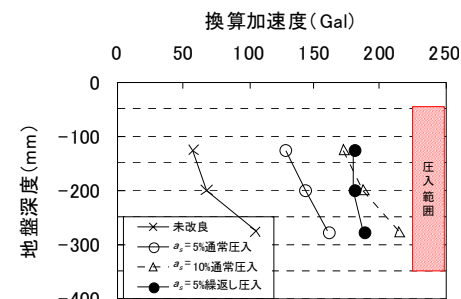


図-5 換算加速度と地盤深度の関係