

静的繰返し圧注入による砂地盤の締固めについて

九州大学工学部 学 ○上田平智恵 九州大学大学院 正 善 功企
九州大学大学院 正 陳 光斉 九州大学大学院 正 笠間 清伸

1. はじめに

現在、砂地盤の液状化対策として用いられている密度増大工法に、静的締固め杭工法、コンパクショングラウチング(CPG)等の工法がある。これらは静的な締固めであるため、従来液状化対策として用いられていたサンドコンパクション(SCP)工法と比較すると、騒音や振動が低減される利点を持つ。さらに、静的に地盤中に杭状の改良体を形成し、杭側面からの圧力により地盤の締固めを行うため、「密度の増大」、「拘束圧の増加」等の改良効果が得られ、実施工においても十分な N 値および液状化強度の増加があると報告され¹⁾、著者らの研究グループが行った模型実験によっても、これら2つの効果は確かめられている²⁾。著者らは、これら2つの効果に加えて、砂杭打設時の繰返しせん断応力による体積圧縮³⁾に起因した締固め効果があると考えている。そこで、本文では、繰返しによる締固め効果を評価するために、振幅と上載圧をパラメータとして、静的締固め工法を再現した模型実験を行い、静的繰返しによる砂地盤の締固め効果について検証する。

2. 実験方法

実験装置の概略図を図-1に示す。実験装置は、地盤中の所定の深度の一要素と仮定し、地盤上部から鉛直方向の圧力(以下、上載圧)を載荷するものとする。実験は以下の手順に従って行った。

- ① 実験装置に、初期直径 $\Phi 20\text{mm}$ のゴム製の円筒膨張杭を設置する。ただし、円筒状に膨張するように、筒状のシートで覆い変形の抑制を行う。
- ② 豊浦珪砂を用いて、空中落下法で相対密度 45%の地盤を作製する。その際、深さ 100mm 地点に土圧計、変位計を設置する。
- ③ 地盤上部から中蓋を介して、エアバックにより上載圧を載荷する。
- ④ 空気圧により、繰返し圧を円筒膨張杭に作用させる。

測定項目は、杭内部の空気圧(以下、注入圧)と円筒中心から円筒表面、4cm、7cm、10cm 地点の水平土圧および変位、地盤上面の鉛直応力とした。繰返し圧は、周期 15s で $\sin$ 波形とし、上載圧 30kPa で注入圧の最小値を 0kPa とし、両振幅を 50、100、150kPa および 200kPa と変化させた。ただし、振幅が 150kPa のものについては上載圧 30、60kPa のものを追加して実験を行った。

3. 実験結果および考察

図-2は上載圧 30kPa の場合の注入圧の振幅と円筒半径の増加量の比の関係を示したものである。図中には一定圧力で注入した結果も示す。また、横軸は、変化後の円筒半径 R_u を初期半径 R_i で割ることで正規化している。いずれの振幅においても、円筒半径方向の変位量からみた繰返し効果が現れており、繰返し回数の増加に伴い R_u/R_i も増加する。また、注入圧の振幅が大きくなると R_u/R_i は大きくなる傾向にある。次に、繰返しによる締固め効果を評価するために、図-3に繰返し時の $(R_u/R_i)_{\text{繰返し}}$ を定圧時の $(R_u/R_i)_{\text{定圧}}$ で割った値を、注入圧の振幅に対して示した。繰返し回数 10 回では、40 回の半分程度の効果がでており、このこ

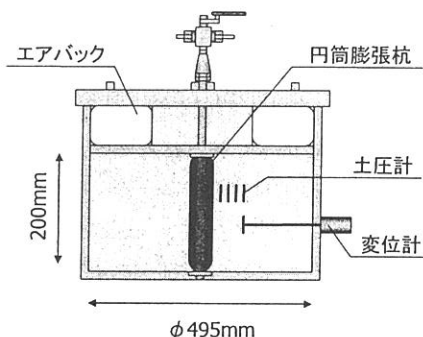
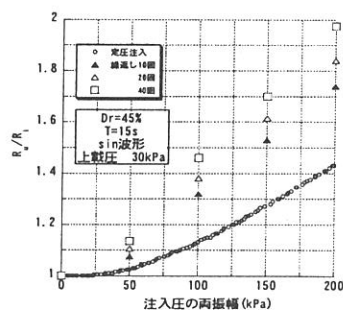


図-1 実験装置

図-2 振幅と R_u/R_i の関係

とから、繰返し回数の増加に伴って、1 回あたりの締固め効果は小さく成る傾向にあるといえる。図 - 3 より、 $(R_u/R_i)_{\text{繰返し}}/(R_u/R_i)_{\text{定圧}}$ の最大値が両振幅 180~200kPa 付近で生じることが確認できる。これは地盤の破壊の影響であり、破壊後は $(R_u/R_i)_{\text{定圧}}$ は増加傾向にあり、 $(R_u/R_i)_{\text{繰返し}}$ は減少傾向にあるために、結果として $(R_u/R_i)_{\text{繰返し}}/(R_u/R_i)_{\text{定圧}}$ は減少すると考えられる。

繰返しによる締固めが生じる範囲を評価するために、図 - 4 に、40 回繰返した後の円筒中心からの距離と初期半径と変位後の半径の比 r/r_0 の関係を示した。4cm、7cm 地点の r/r_0 と比較して、円筒付近の膨張量が突出して大きいということが確認できる。また、中心からの距離が離れるに従って r/r_0 減少し続け、図 - 4 より 10cm 地点ではほぼゼロに等しい。よって 10cm 地点より外側の地盤には、密度変化はほとんど生じてないと考えられる。

各地点の繰返しの効果を調べるために、図 - 5 に両振幅 150kPa について、中心からの距離と r/r_0 の関係を示した。繰返し回数の増加に伴い r/r_0 も増加し、繰返しによる締固め効果が確認できる。繰返しの効果は回数に比例して増加するのではなく、回数の増加に伴い 1 回あたりの効果は減少する傾向があり、いずれの地点においても、繰返し 10 回までに大きな効果が現れており、10 回を超えると徐々に繰返しの効果が小さくなる。

図 - 6 は密度増加を評価するために、円筒中心からの距離と平均体積ひずみ Δ の関係を示したものである。図 - 4 を累乗関数で近似し、その近似曲線より r 方向と θ 方向の体積ひずみを計算し、その合計を Δ とした。図 - 4 の関係と同様に中心付近の体積ひずみが突出して大きく、中心から離れるに従って小さくなるという傾向が見られる。

4. 結論

- ①定圧注入よりも繰返し圧注入の方が周辺地盤の密度増加が期待される。
- ②注入圧の両振幅が増加するに従って締固め効果は増加する。
- ③繰返し回数が増加すると、ある波数以降、繰返し 1 回当たりの締固め効果は小さくなる傾向がある。
- ④中心付近で最も大きな密度変化が見られ、中心から離れるに従って密度変化も小さくなる。

【参考文献】

- 1)山田隆、野津光夫；非振動式締固め砂杭工法による締砂地盤の固め効果、第 31 回地盤工学研究発表会概要集、pp.49-50,1996.
- 2)坂本一信；静的締固め杭工法による砂地盤の改良メカニズム、九州大学修士論文,2002.
- 3)永瀬英正、安田進、豊嶋賢治、橋本貴裕；風船の繰返し膨張圧を用いた粘性土の圧密促進工法に関する模型実験、土木学会代 48 回年次学術講演会、pp570-571,1994.

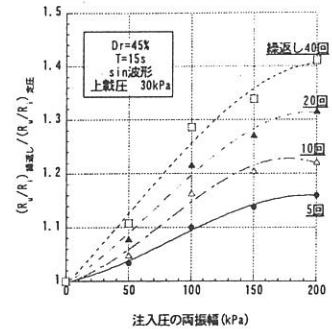


図 - 3 振幅と $(R_u/R_i)_{\text{繰返し}}/(R_u/R_i)_{\text{定圧}}$ の関係

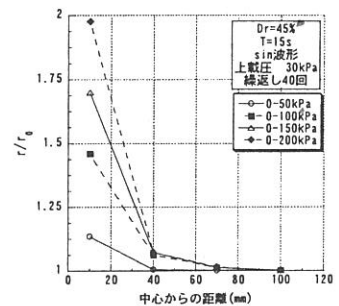


図 - 4 中心からの距離と r/r_0 の関係

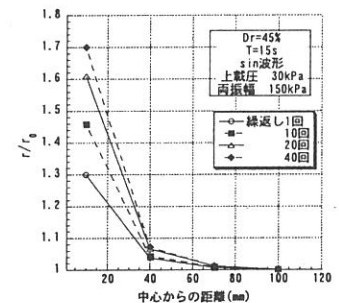


図 - 5 中心からの距離と繰返しの関係

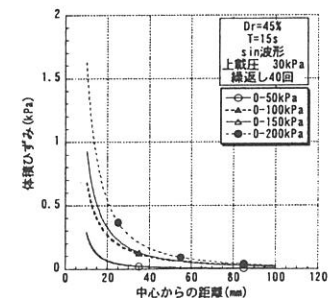


図 - 6 平均体積ひずみ