

杭配置の違いによる液状化抑制効果に関する振動台実験

東京電機大学 正会員 ○石川 敬祐
 三谷セキサン 正会員 北浦 光章
 東京電機大学 名誉会員 安田 進

1. はじめに

地盤の液状化対策として、液状化層を固結させる深層混合処理工法がある。この改良形式には、ブロック式、格子式、壁式、杭式があり、液状化層のせん断変形を抑制する改良形式として主に格子式が用いられている。この改良形式では、広範囲な領域を対策する際に施工面やコストが高くなるといった課題がある。一方、杭式は他の改良形式に比べて液状化対策効果は低いと考えられてきた。しかし、田中ら¹⁾や高橋ら²⁾により、改良体を杭式に配置する方法でも地震時のせん断変形を抑制でき液状化対策として有効であるとの報告もある。著者らは、液状化地盤中に設ける支持杭に対する液状化対策として、施工性を考慮して支持杭の周囲に杭式改良を集中的に配置することで地震時のせん断変形を抑制できるのではないかと考えている。そこで本報では、支持杭の周囲に杭式に配置した対策杭の配置間隔や配置形状を変えた 1G 振動台実験を行い、それらの液状化抑制の効果を検討した。

2. 実験概要

実験には、せん断土槽（幅 1,200 mm×高さ 1,000 mm×奥行 800 mm）を用いた。図 1 は、対策杭の配置間隔を 2D、配置形状を矩形とした際の模型及び計測器の配置例である。模型の縮尺は、1/25 とした。模型地盤には、豊浦砂（ $\rho_s=2.659 \text{ Mg/m}^3$, $e_{\max}=0.993$, $e_{\min}=0.613$ ）を用いて、液状化層と非液状化層の二層地盤とした。液状化層は、実地盤で層厚 16 m 相当の緩い砂地盤を想定し、相対密度 $D_r=36\%$ とした。その下層には、非液状化層として相対密度 $D_r=90\%$ を設けた。液状化層と非液状化層の層境界には吸出し防止マット（厚さ 10 mm）を敷設している。これは、加振条件を変化させて繰返し振動台実験を行う際に液状化層の再作製を効率よく行うためである。液状化層の密度管理は、地表面から高水圧噴射ノズルを液状化層中に貫入することで地盤を攪拌し、緩い状態の液状化層を層厚管理で再作製している³⁾。地下水位は地表面とした。杭模型は、主杭や対策杭ともに外径 $D=50 \text{ mm}$ の塩ビ管とし、杭先端は非液状化層に貫入している。また、杭頭部は主杭と周囲の対策杭をボルト及びナットにて連結している。計測器は、図 1 に示すように加速度計（A1~A8）、間隙水圧計（P1~P5）をそれぞれ同一深度に配置し、自由地盤中（A/P1~3）と杭間内（A4~7, P4~5）に配置した。加振条件は、正弦波（2 Hz, 20 s）とし、振動台の台加速度を 50, 60, 70, 90 cm/s^2 に段階的に変化させた。対策杭の配置間隔は外径の 2 倍（2D）及び 3 倍（3D）とし、配置形状は矩形と円形の全 4 ケースとした。対策杭の配置形状の模式図を図 2 に示す。

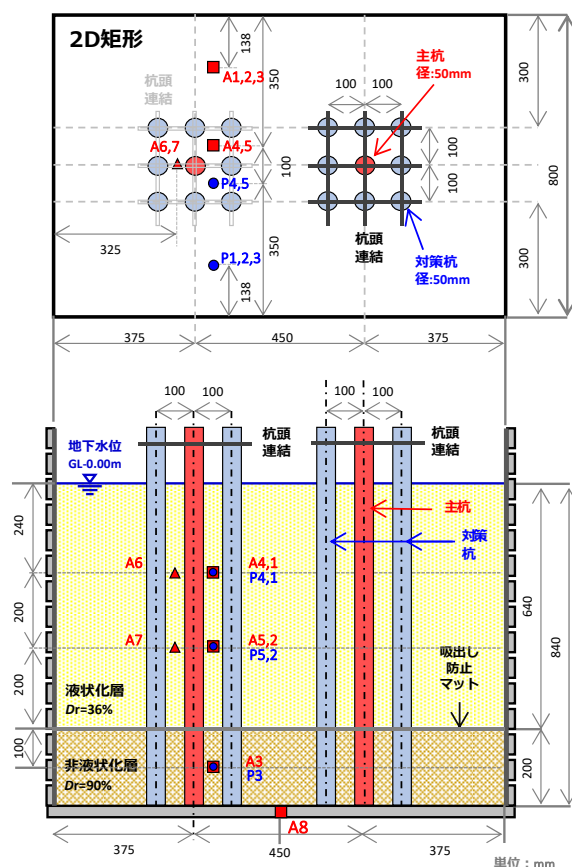


図 1 2D 矩形配置の模型及び計器配置例

キーワード 振動台実験, 液状化対策, 杭, 配置間隔
 連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂
 東京電機大学理工学部 TEL070-7667-9475

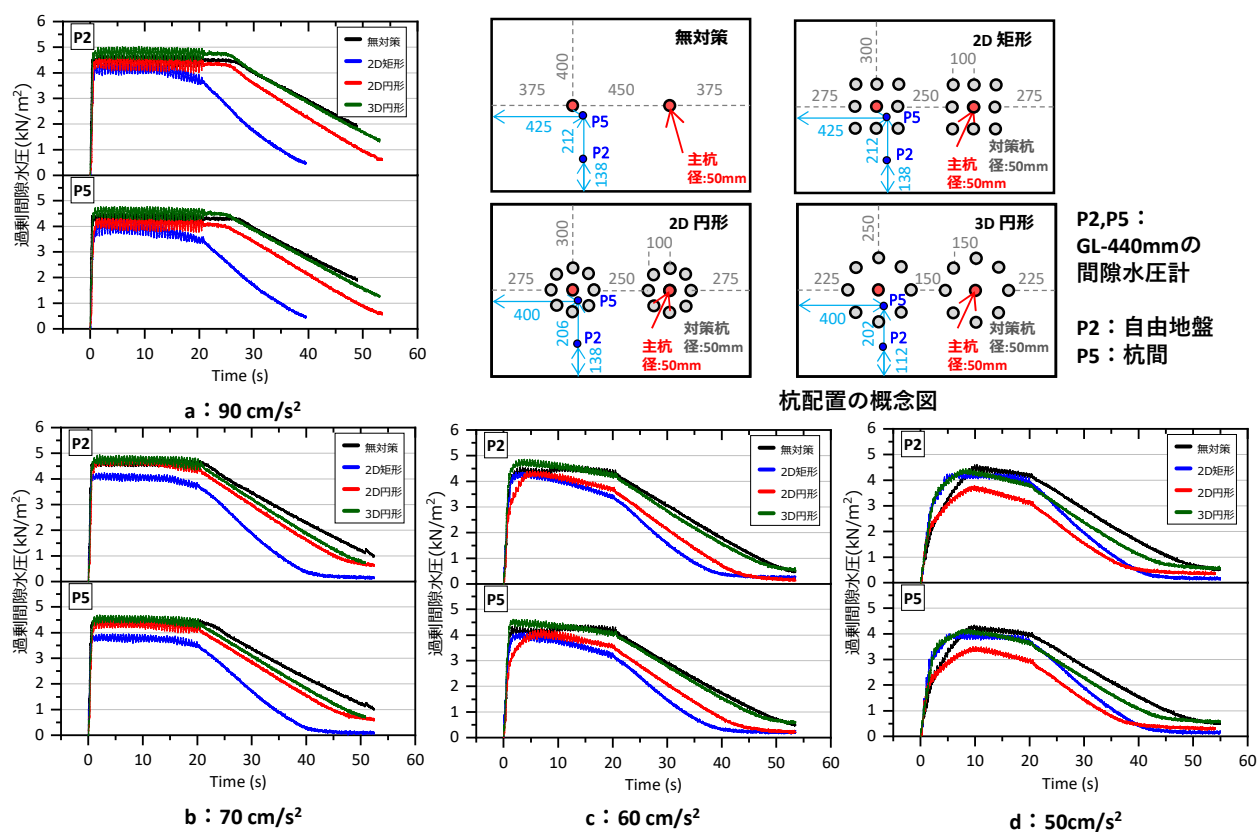


図 2 杭配置の違いによる深度-440mm の過剰間隙水圧の時刻歴図

3. 実験結果

図 2 は、杭配置の違いによる深度-460mm の杭間および自由地盤の過剰間隙水圧の時刻歴を台加速度毎に比較したものである。台加速度が $70 \sim 90 \text{ cm/s}^2$ では、自由地盤中の間隙水圧計(P2)は加振直後から頭打ちとなっており、同深度において有効上載圧相当までの過剰間隙水圧を生じており、有効応力を消失した液状化状態となっている。対策杭間の間隙水圧計(P5)も同様な挙動を示しているが自由地盤に比べて若干小さい挙動であった。なお 2D 矩形配置は他のデータに比べて計測位置が浅かったため小さい値となっている。台加速度 60 cm/s^2 では、過剰間隙水圧の挙動に対策杭の配置間隔や配置形状の違いが表れている。無対策では加振直後から加振終了まで過剰間隙水圧は有効上載圧相当で一定となる。一方、3D 円形は無対策と同様な挙動に見えるが加振直後にピークに達し、加振中に過剰間隙水圧が減少している。対策杭間の配置間隔を 2D に狭めるとその傾向はより明瞭となり、2D 矩形と 2D 円形配置の自由地盤中の過剰間隙水圧の最大値は有効上載圧に達しているが、対策杭間の過剰間隙水圧の最大値は有効上載圧に至らずに加振中に過剰間隙水圧が消散していることがわかる。加えて 2D 円形配置では加振直後の過剰間隙水圧の上昇が抑制されていることがわかり、対策杭によって主杭周囲の地盤のせん断変形が抑制されていると考えられる。台加速度 50 cm/s^2 では、対策杭の配置間隔や配置形状の違いがより明瞭となる。無対策では液状化状態に至っているが、対策杭を施すことで杭間地盤の液状化が抑制されることがわかる。

4. まとめ

1G 振動台実験より、主杭の周囲に対策杭を配置することで液状化を抑制できることを確認した。2D 円形配置が最も高い抑制効果を示した。従って、対策杭の配置は矩形配置よりも円形配置が望ましく、対策杭の配置間隔を狭めることでより高い抑制効果が得られる。振動台実験は東京電機大学の檜崎夕輝氏、佐々木結惟氏の両名にご協力いただいた。末筆ながら深甚なる謝意を表します。

参考文献 1)田中智宏, 安田進, 村沢譲, 小西武, 内山純一: 杭式深層混合処理工法による液状化対策効果, 土木学会地震工学論文集, Vol.27, No.210, 2003. 2)高橋直樹, 山本陽一, 黒川幸彦: 液状化対策としての杭式深層混合処理工法に関する振動台実験, 三井住友建設技術開発センター報告, 第 7 号, pp.57-63, 2009. 3)安田進, 丹羽俊輔: 細粒分を含む模型地盤のジェットによる再利用方法, 土木学会第 59 回年次学術講演会, No.3-219, pp.437-438, 2004.