

地盤固化体を用いた杭基礎耐震補強工法の補強体設置位置の影響

豊橋技術科学大学	学生会員
ハザマ	正会員
豊橋技術科学大学	正会員

佐藤正明、箕野健一郎
足立有史、浦野和彦
河邑 眞、細野康代

1. はじめに

近い将来発生が予測されている、東海・東南海地震等の地震の揺れや、液状化・流動による杭基礎の被害が予測される。それにより杭基礎の耐震対策の見直しが行われ、耐震性、コスト、工期、周辺環境などの面から有効とされる地盤固化工法が開発され、これまでに杭間隔の与える影響や、地盤物性値の検討などの研究が行われている。そこで本研究では、杭基礎構造物の基礎的な地震時挙動を明らかにするため、せん断土槽を用いた乾燥砂地盤における 1g 場での振動台実験を実施し、補強前後での杭基礎構造物の挙動を詳細に観察した。また補強体位置および厚さの影響を 3 次元 FEM 静的解析により比較した。

2. 実験概要

実験に用いた杭基礎模型を図-1、実験模型を図-2に示す。杭基礎模型は直径 19.1mm、肉厚 1.2mm、杭長 600mmの鋼管杭であり、杭配置は 4 本の群杭で、杭頭は構造物とボルト固定、杭下端も底盤に溶接により固定されている。フーチングは剛な構造物でその重量は 94.5Nである。実験時地盤は珪砂 5 号($\rho_s=2.633\text{g/cm}^3$ 、 $e_{\max}=0.678$ 、 $e_{\min}=0.573$)を用いて空中落下法により作成した。相対密度は 50%を目標に、5cmずつ管理し作製し、そのばらつきは $\pm 1\%$ の範囲におさまった。補強形式は、ブロック状補強体でその詳細を図-2に示す。ブロック状補強体は、寸法は $230\text{mm} \times 230\text{mm} \times 60\text{mm}$ の型枠に石膏を流し込み作製した。設置位置は地表面からの深さ $H=150\text{mm}, 200\text{mm}$ の 2 ケースとした(図-2)。これに無補強時 1 ケースを加え計 3 ケースの実験を行った。実験に用いた入力波は正弦波で、周波数は 5Hz、加振時間は 12 秒とした。また、振幅は各ケースとも予備加振を 50Galとし本加振を 200 Gal、340 Galの合計 3 回の加振を行った(ただし、 $H=150\text{mm}$ は 350 Gal)入力加速度波形を図-3に示す(350Gal)。計測項目は、振動台および構造物モデル加速度、地盤内の加速度、杭のひずみおよび土圧、構造物モデルおよび土槽側面の変位である(図-2)。

3. 実験結果

350Gal 加振時における杭頭変位時刻歴、杭頭加速度時刻歴、P1、P2 における土圧時刻歴をそれぞれ図-4～図-7 に示す。また杭頭変位が最大値に達した時間における曲げモーメント分布を図-8 に示す。

まず杭頭変位時刻歴において、ブロック状補強体を設置した場合、無補強時と比較して 2 割程度変位を抑制していることが分かった。また設置位置の違いに関しては、上部に設置した場合に、より変位の抑制効果が見られた。また図-8 より、変位および杭頭曲げモーメントを抑制する一方で、補強体付近での曲げモーメントが大きくなっている。これは補強体の拘束効果と地盤反力の影響によるものだと考えられる。

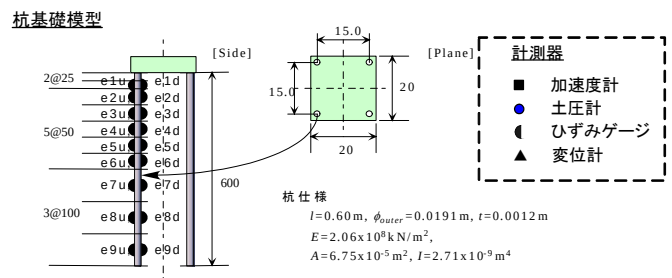


圖-1 杭基礎模型

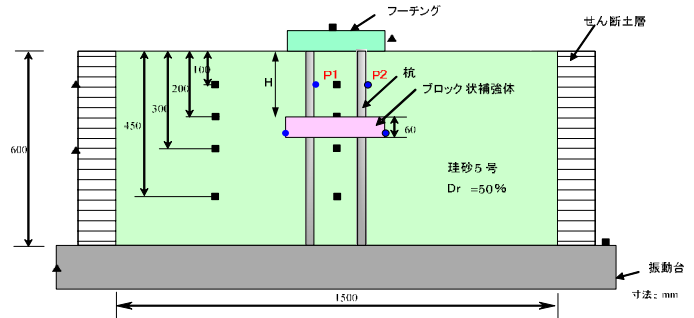


図-2 実験模型図

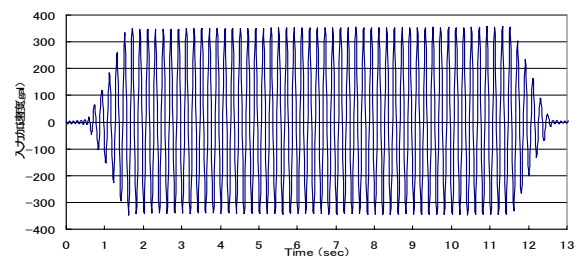


図-3 入力加速度

補強体設置位置による比較では補強体を上部に設置した方が全体的に曲げモーメントが大きくなった。

次に、杭頭加速度応答時刻歴に関しては、無補強時、補強時ともに時間に伴ってわずかであるが大きくなる傾向が見られた。また、補強体を上部に設置した場合に加速度は小さくなる傾向が見られた。

杭に作用する水平土圧は、補強体を設置した場合、無補強時と比較して P1、P2 とともに約 3 割大きくなっていることが分かる。また設置位置の違いに関して

キーワード：杭・耐震補強・振動台実験・3次元 FEM 解析

〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘 1-1

〒305-0822 茨城県つくば市荻間 515-1

TEL : 0532-44-1324 FAX : 0532-44-6831

TEL : 029-858-8813 FAX : 029-858-8819

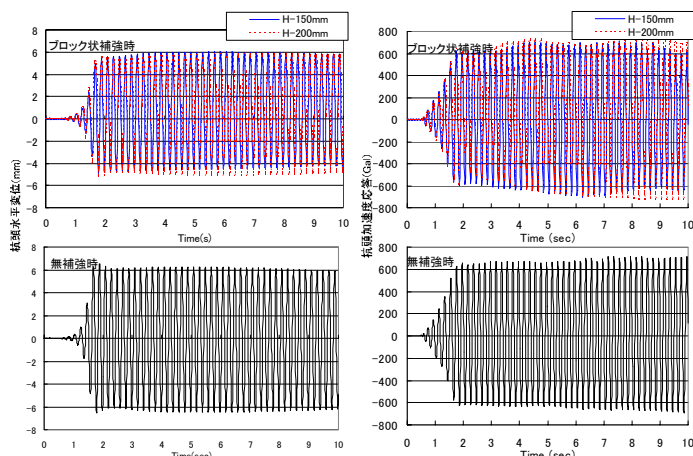


図-4 杭頭変位時刻歴

図-5 杭頭加速度応答時刻歴

は、ブロック状補強体を地盤上部に設置すると P2 の土圧が大きくなり、中間部に設置すると P1 での土圧が大きくなる傾向が見られた。これは補強体を設置することで杭の剛性が増加するため杭挙動が変化する。そのため杭に作用する土圧分布に違いが生じたものと考えられる。

また動的挙動との比較を目的に静的水平荷重を杭頭に作用させた場合の数値解析を行った。解析モデルを図-10 に示す。各寸法は図に示す通りで、境界条件は底面、側面を固定としている。また、実験に用いた杭の上下端の結合度が不完全であったため、杭要素の上下端に薄層の要素(要素幅 0.2cm)を設置し、その要素のヤング率を調整することで、実験時の杭の上下端の結合状態を再現した。载荷荷重は、フーチング部分に 25N を 28 ステップで合計 700N の载荷を行った。解析パターンは補強体設置位置を杭上部、中間部に分類し、補強体厚さを 4cm、8cm に分類し解析を行った。3 次元 FEM 静的解析結果における曲げモーメント分布図を図-9 に示す。動的载荷、静的载荷ともに補強体付近で曲げモーメントが集中している傾向が見られた。また杭下端では静的载荷では曲げモーメントが小さくなっているのに対して動的载荷時では大きくなっている。これは動的载荷と静的载荷の地盤外力の違いによるものだと考えられる。設置位置の違いでは、動的载荷では上部に設置するほど曲げモーメントが大きくなっているのに対して、静的载荷時では上部に設置するほど補強体上側での曲げモーメントが低減し、補強体下側では増加する傾向が見られた。今回の検討条件では、効率的に曲げモーメントを低減できる設置位置として、地盤外力が卓越する場合に比べ杭頭荷重が卓越する場合は杭上部、かつ地盤面に近すぎない位置が好ましいといえる。

4. まとめ

地盤固化体を用いた杭基礎の耐震補強工法における補強体設置位置の影響に関して、振動台実験および数値解析により検討を行った。その結果、杭に作用する外力条件に応じて最適な補強設置位置が異なることがわかった。

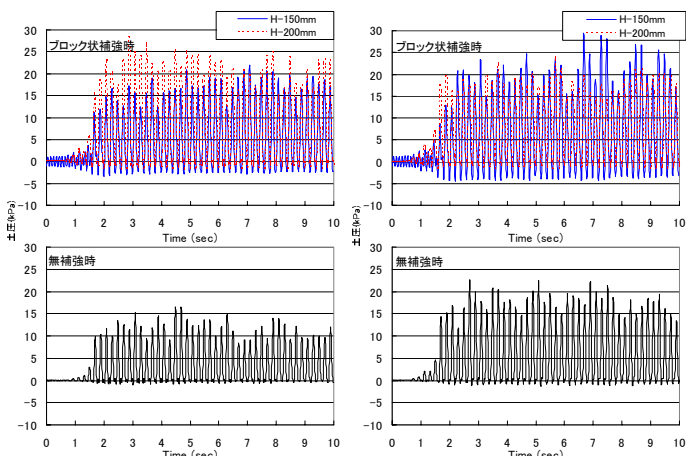


図-6 土圧時刻歴(P1)

図-7 土圧時刻歴(P2)

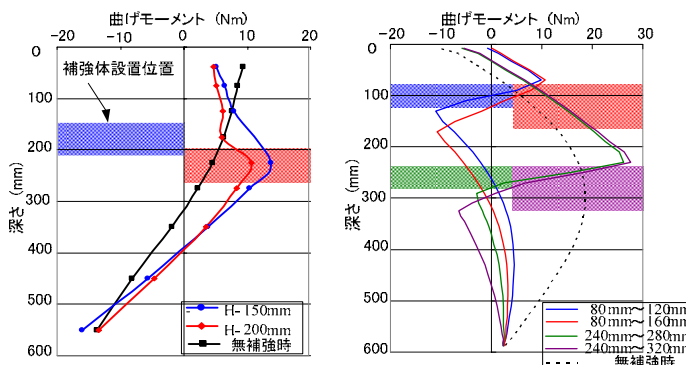
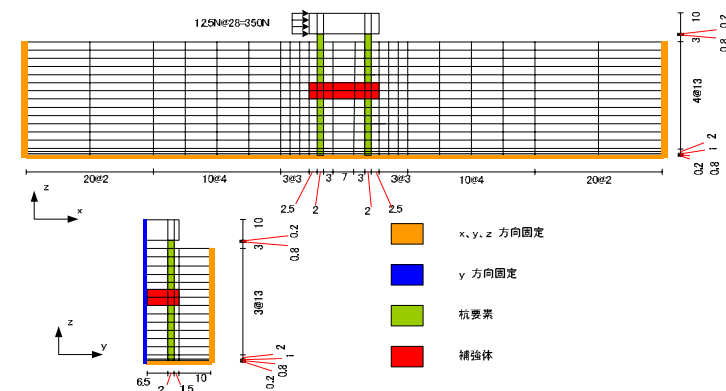
図-8 曲げモーメント分布図
(振動台実験結果)図-9 曲げモーメント分布図
(静的载荷における解析結果)

図-10 3次元 FEM 解析モデル

今後の課題としては、補強体設置位置の違いにより杭に与える影響を、3次元 FEM を用いた動的解析を行い、詳細に検証するとともに、補強体厚さの違いにより杭に与える影響について検討する予定である。

【参考文献】

- 1) 足立, 浦野, 竹之下, 丹澤, 河邑: 地盤固化工法を用いた杭基礎の耐震補強工法の実大実験, 土木学会論文集 Cvol.63No.3, 752-762, 2007.
- 2) 箕野, 足立, 浦野, 河邑, 細野: 地盤固化体を用いた杭基礎耐震補強工法の模型振動台実験, 第43回地盤工学研究発表会, 2008(投稿中).