

シートパイルで補強された杭基礎の液状化抵抗特性に関する遠心模型実験

大林組 正会員 ○樋口 俊一 正会員 喜多 直之
 鉄道総研 正会員 西岡 英俊
 新日鐵住金 正会員 田中 隆太

1. はじめに

筆者らは支持層に達しない鋼矢板により基礎フーチングを取り囲んだ中間支持型シートパイル基礎と、同様の方法で杭基礎等を補強する方法を開発してその耐震性能を検証し、設計法を提案してきた^{1,2)}。また、適用範囲拡大のため、より性能を高めた先端支持型鋼矢板による杭基礎補強方法の開発を進めている³⁾。本報では、鋼矢板により補強された杭基礎の液状化抵抗特性に関する遠心模型実験の結果を報告する。

2. 実験概要

図1に遠心模型の概要を示す。長さ1.95m、深さ0.665m、奥行き0.6mのせん断土槽に、縮尺1/30の模型を作製した。地盤は表層、中間層及び支持層の3層で、全層厚は633mm【実物換算19m、以降【】内同様】とした。表層は厚さ333mm【10m】、うち300mm【9m】に液状化層を想定した相対密度 $Dr=70\%$ の砂層($R_{L20}=0.23$ 程度)である。中間層は密に締固めた粗い砂層(厚さ227mm【6.8m】)で液状化しない。支持層(厚さ73mm【2.2m】)はセメント改良土($q_u=500\text{kPa}$)である。構造物は上載荷重200tonの単線橋脚を想定し、断面寸法 $3\text{m}\times 1.5\text{m}$ ・高さ9mのRC製、フーチング平面寸法 $4.5\text{m}\times 4.5\text{m}$ ・高さ1.5m、杭基礎はPHC杭 $\phi 600\times 4$ 本をプロトタイプとした。構造物模型は鋼製とし、橋軸直角方向を曲げ剛性等価でモデル化した。杭は曲げ剛性を等価とした長さ600mm【18m】のステンレスパイプ($\phi 16\text{mm}$, $t=1$)で、杭頭を鋼製フーチングに 1.5ϕ 建込み、高強度グラウトで定着した。鋼矢板は長さ433mm【13m】で、中間層に100mm【3m】根入れし、断面はH25型を想定して曲げ剛性等価な $t=4.5\text{mm}$ の鋼板とした。このとき先端断面積が過大とならないように、先端部は $t=0.5\text{mm}$ に切削加工した。隅角部は閉合せず、鋼製フーチング側面にボルト接合した。フーチングは地盤に根入れしなかった。

鋼矢板補強の効果を比較できるように、模型地盤には補強の無い模型(以下、杭基礎)を同時に設置して加振試験を実施した。加振方法は、地震波および正弦波の入力加速度を徐々に増加させたステージ加振とした。

3. 初期剛性の違い(鋼矢板補強の効果)

以下の考察では、物理量を実物換算して議論することとする。

図2に模型の動的特性を把握するために実施した、ホワイトノイズ加振(0.2m/s^2 相当)により得られた地盤(AG0/ATN)および構造物-基礎連成系(AST, ANT/ATN)の伝達関数を示す。地盤の固有振動数は $f_g=2.3\text{Hz}$ 付近に表れているが、これは地盤の平均 $V_s=155\text{m/s}$ 相当である。構造物-基礎連成系の固有振動数は、杭基礎が $f_p=1.25\text{Hz}$ であるのに対し、鋼矢板補強した基礎(以下、SP補強基礎)では $f_{sp}=3.0\text{Hz}$ と剛性が向上する。

4. 地震時応答の特徴

ここでは地震波加振における模型の応答を考察する。地震波加振では、東日本大地震におけるk-net浦安の観測記録(CHB008NS)をシルト層上面まで引き戻した地震波を用いた(図3)。最大入力加速度 2m/s^2 相当では、表層 $GL=7.5\text{m}$ での過剰間隙水圧比の最大値が0.4、同 4m/s^2 相当では0.8程度に達した(図4)。

図5に最大入力加速度 4m/s^2 加振での各基礎橋脚天端の応答加速度時刻歴を示すが、杭基礎よりもSP補強基礎の最大応答加速度は3倍以上大きい。杭基礎では地盤の過剰間隙水圧が上昇した時刻120s以降では加速度振幅が増幅しないが、SP補強基礎ではある程度増幅している。図6に各基礎橋脚天端の応答変位時刻歴を示す。杭基礎では時刻120s以降で残留変位が生じ振動変位も大きくなるが、SP補強基礎では振動変位は小さく、残留変位もほとんど無い。

キーワード 遠心模型実験, 杭基礎, 液状化, 耐震補強, 鋼矢板

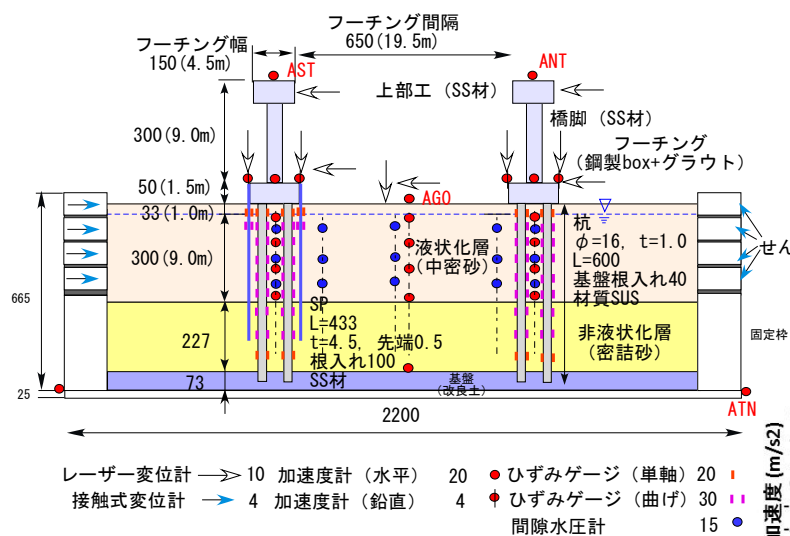
連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸4-640 (株)大林組技術研究所構造技術研究部 TEL 042-495-0947

5. 杭基礎の断面応答

図7に各基礎の左側(S)杭曲げひずみ最大値の深度分布を示す。杭基礎に対してSP補強基礎の曲げひずみが低減していることがわかる。図8に杭頭ひずみが最大となる時刻断面での曲げひずみ深度分布を整理した。杭基礎では右側(N)-左側(S)杭のひずみ分布はほぼ相似であるが、SP補強基礎では曲げ方向が反転するなど杭基礎とは杭の荷重分布が異なることが示唆される。

6. あとがき

以上で明らかとなった特性を踏まえつつ鋼矢板と杭の荷重分担などを分析し、設計法の構築を進める。



(a) 鋼矢板補強基礎模型 (b) 杭基礎模型

図1 遠心実験模型の概要

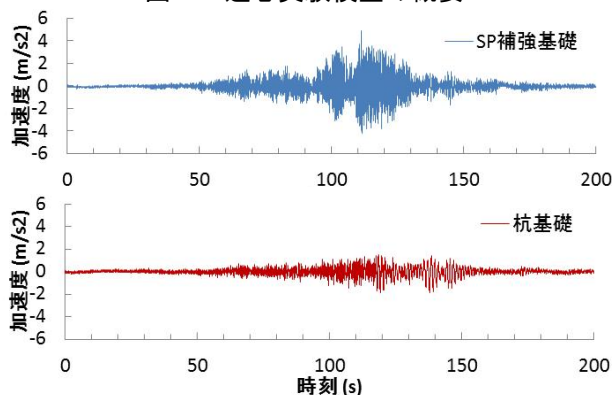


図5 各基礎上部工の応答加速度時刻歴 (4m/s²加振)

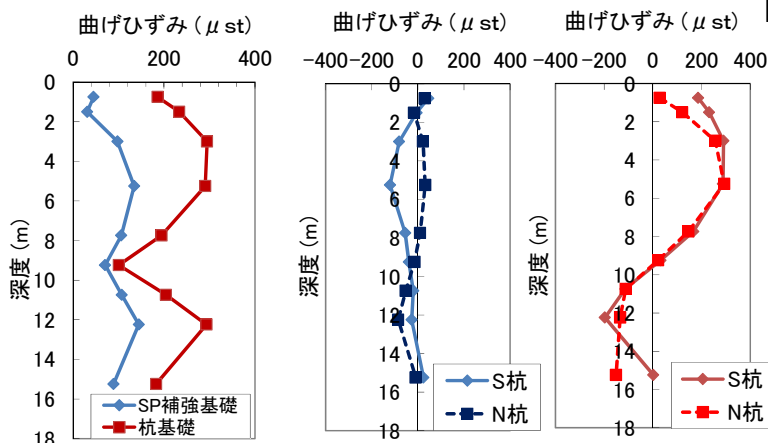


図7 杭最大曲げひずみ (a) SP補強 (b) 杭基礎

深度分布 (4m/s²加振) 図8 曲げひずみ深度分布 (杭頭最大時刻)

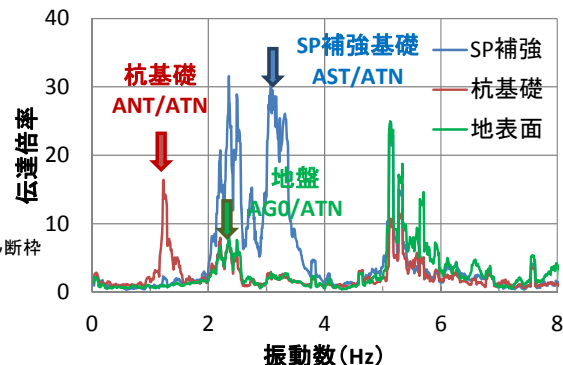


図2 地盤および構造物(連成系)の伝達関数

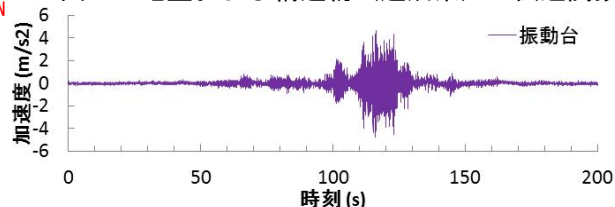


図3 入力加速度時刻歴 (振動台: 4m/s²加振)

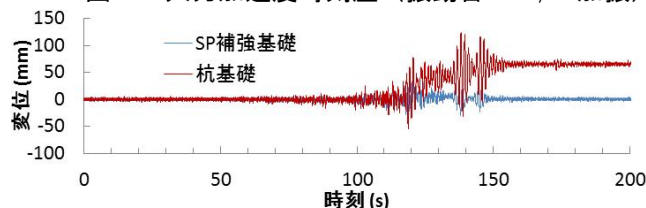


図4 過剰間隙水圧比の時刻歴 (4m/s²加振)

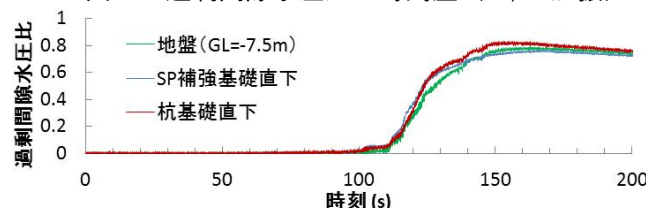


図6 各基礎上部工の応変位時刻歴 (4m/s²加振)

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物に適用するシートパイル基礎の設計・施工マニュアル, 2006
- 2) 鉄道総合技術研究所, 大林組: 既設鉄道構造物基礎の耐震補強設計マニュアル(案), 2011
- 3) 中山他: 圧入工法で打設した先端加工鋼矢板静的載荷試験, 第49回地盤工学研究発表会, 2014 (投稿中)