

液状化地盤においてシートパイル補強した杭基礎の解析モデル

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

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、ある程度の液状化が想定される地盤においても杭基礎補強へ適用の検討を進めている³⁾。本報では、遠心模型実験の結果をターゲットとした数値解析モデルの検討結果を報告する。

2. 遠心模型実験結果の概要

遠心模型実験は縮尺 1/30 の模型を用い、表層、中間層及び支持層の 3 層地盤（実物換算 19m、以降同様）において、上載荷重 200ton の単線橋脚（断面寸法 3m×1.5m・高さ 9m の RC 製）、フーチング平面寸法 4.5m×4.5m・高さ 1.5m、杭基礎は PHC 杭 φ600×4 本を想定して実施した。実験の結果、以下の知見が得られた。

- ① 構造物-基礎連成系の伝達関数分析より、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 $f_{sp}=3.0\text{Hz}$ と剛性が向上することがわかった。
- ② 最大入力加速度 4m/s^2 の地震波を入力した加振実験では地盤が液状化状態に達したが、杭基礎では残留変位が生じたのに対して SP 補強基礎では残留変位が小さく、既設杭の曲げ応力を低減できることがわかった。

3. 解析方法

本検討で用いた有効応力解析プログラム O-EFFECT⁴⁾は、土と間隙水の連成効果を評価した飽和多孔質体の Biot の多次元圧密方程式を基礎式としており、地盤の液状化から過剰間隙水圧の消散に伴う再圧密沈下を厳密かつ連続的に評価することができる。図 1 に解析モデルの概要を示す。地盤、フーチングおよび上部構造物は 4 節点ソリッド要素で、杭および鋼矢板は梁要素でモデル化した。表 1 に基本的な地盤定数を示す。土の構成モデルは、松岡が提案した 2 次元応力下の構成モデルを応用して 3 次元応力下の問題に適用できるように拡張したモデルである。液状化地盤の解析パラメータは既往の要素試験結果をターゲットとした液状化強度曲線のフィッティングより設定した（図 2）。鋼矢板を根入れする非液状化層（支持層）は非線形挙動のみを考慮し、基盤層は線形とした。解析では最大加速度 4m/s^2 の地震波（図 3）を入力した。

4. 検討パラメータ

本検討では、2 次元モデルによる鋼矢板と地盤および杭と地盤の相互作用において適切な地盤反力の設定条件を検討するため、地盤奥行きをパラメータとした。基本モデルは構造物モデルに対してフーチング幅 (4.5m) 分の地盤の奥行きを設定した。これに対して杭径の 2 倍相当 (2m) を考慮するモデルを設定した。

5. 検討結果

図 4 に基本モデルにおける地盤中の過剰間隙水圧比の分布（青 0.0→赤 1.0）を示すが、鋼矢板で囲まれた領域も実験と同様に液状化している。図 5、図 6 に解析結果の一例として上部工水平変位および杭頭付近の曲げひずみ時刻歴を示すが、SP 補強基礎では変位、ひずみの振幅や残留方向が実験値と整合している。図 7 に各基礎左側の杭の曲げひずみ最大値の深度分布を示す。分布形状および杭の変形モードが実験値と適合していることがわかる。杭基礎に対して SP 補強基礎の杭の曲げひずみは低減したが、その程度は実験値ほど顕著ではない。また地盤奥行き幅を 2m とした場合（凡例 Ca1_2m）には、液状化層内において基本ケースよりもひずみ分布が実験値に適合することとなった。これは、SP 補強基礎では側面も鋼矢板で取り囲んでいるため、液状化層内で相対的に杭に作用する地盤反力が低減するからと考えられる。

キーワード 杭基礎, 液状化, 鋼矢板, 有効応力解析

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

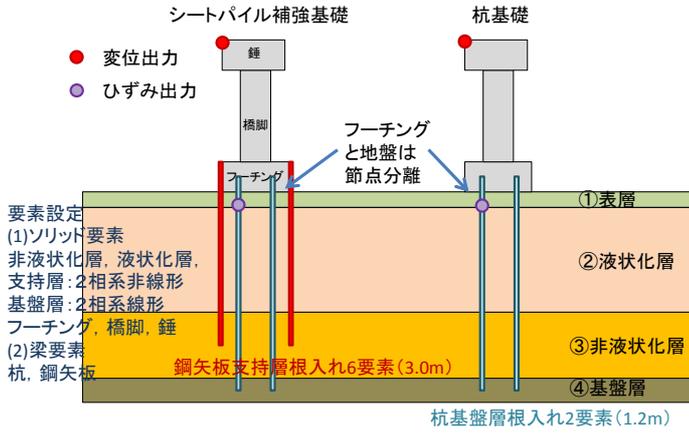


図1 解析モデル概要

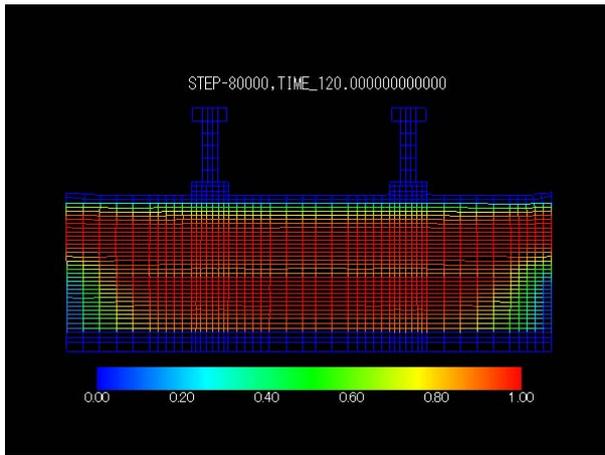


図4 地盤の過剰間隙水圧比 (時刻120s)

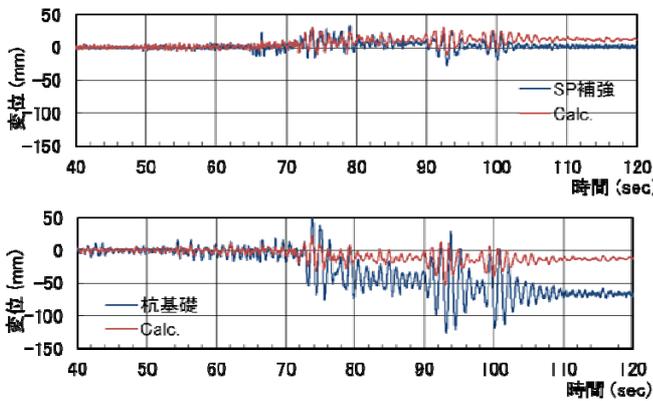


図5 上部工水平変位時刻の比較 (基本ケース)

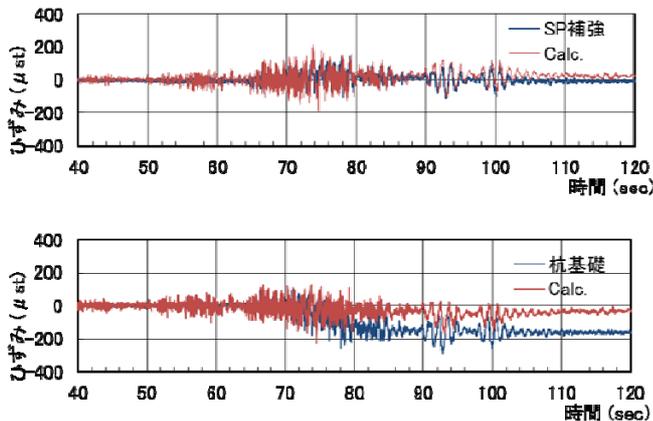


図6 杭曲げひずみ時刻歴の比較 (基本ケース)

表1 基本的な地盤定数

地層	①表層	②液状化層	③非液状化層	④基盤層
標高 (m)	GL 0.0~ GL -1.0	GL -1.0~ GL -10.0	GL -10.0~ GL -16.8	GL -16.8~ GL -19.0
密度 (kN/m ³)	14	19	19	20
Vs (m/s)	100	175	225	400
内部摩擦角 φ (°)	40	40	40	-
液状化強度 R _{L20}	-	0.35	-	-
透水係数 k (m/s)	-	7×10 ⁻⁵	-	-

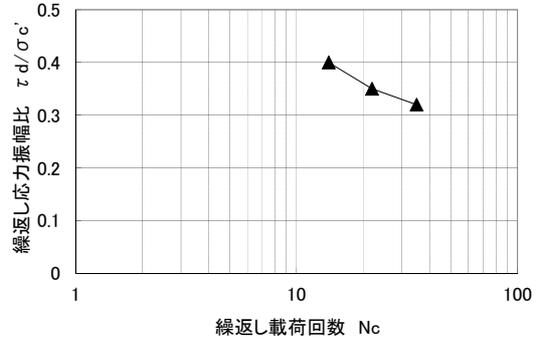


図2 液状化要素シミュレーション結果

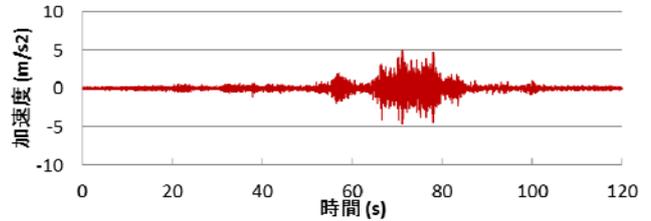


図3 解析用入力地震動時刻歴

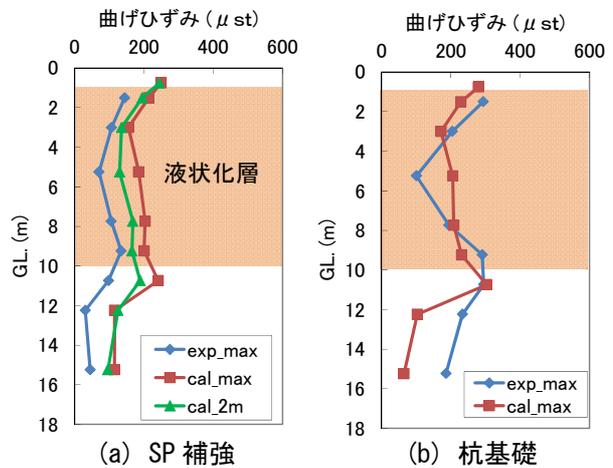


図7 最大曲げひずみ深度分布の比較

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) 樋口他: 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, 第69回土木学会年次学術講演会, 2014. 4) 伊藤: 動的有効応力解析プログラム「EFFECT」(その1) -基礎理論と地盤構成モデル-, 大林組技術研究所報, No. 51, 1995.