

斜杭基礎を有する軟弱地盤上橋脚に対するシートパイルを用いた耐震補強の振動台実験(解析)

東海旅客鉄道(株)	フェロー	関 雅樹	正会員	吉田 幸司
	正会員	岩田 秀治	正会員	阿知波秀彦
東京大学	正会員	小長井一男		
(株)大林組	正会員	○武田 篤史	フェロー	松田 隆

1. はじめに

斜杭基礎を有する軟弱地盤上橋脚を対象として、シートパイルを用いた補強工法を考案した。本研究では、実構造物の耐震性能評価や耐震補強設計に資することを目的とし、振動台実験¹⁾のシミュレートを行い、その適用性を評価した。

2. 振動台実験概要

せん断土槽内の模型地盤に橋脚模型を設置し、振動台にて一方向加振を行った。長さの縮尺スケールは 1/20 とした。地盤模型は市販粘土と珪酸ソーダを混ぜ合わせて作製し、 $V_s=25\sim30\text{m/s}$ であった。構造物模型は鋼製で弾性域内である。実験ケースはシートパイル補強ありと補強なしとした。入力地震動は鉄道耐震標準²⁾L2 地震動スペクトル II を用い、加速度は最大 380gal に、時間軸は地盤の伝達関数と地震波のスペクトルについてピークが一致するように、それぞれ調節した。

3. FEM 解析モデル

3.1 モデル全体

図-1 に解析モデルを示す。解析対象範囲はせん断土槽内とし、せん断土槽を模擬するため両側に自由地盤要素を設け側方粘性境界に相当するダンパーで接合している。底面は固定とし、実験で計測された振動台上の加速度記録を入力した。模型地盤は平面ひずみ要素、フーチングおよび側面シートパイルは平面応力要素、橋脚、斜杭、および前背面シートパイルは梁要素とした。

減衰はレーリー減衰とし、実験時のホワイトノイズ加振で得られた固有振動数 1.75Hz および 5.5Hz に対して、18%とした。なお、この減衰には、地盤の非線形性による等価減衰も含んでいる。

3.2 地盤のモデル化

地盤の構成則には実験により得られた $\tau-\gamma$ 関係を用いた等価剛性を用いた。地盤材料は一様であるが、拘束圧およびひずみレベルの影響を考慮し、振動毎の深度 500mm ごとにせん断弾性定数を求めた。図-2 に、深度 1.5m~2.0m における実験で得られた $\tau-\gamma$ 関係と解析に用いた等価剛性を示す。

3.3 地盤バネのモデル化

構造物要素の節点と地盤要素の節点を共有させた場合、奥行き方向全体の地盤が構造物と相互に作用してしまうため、地盤の影響が過度に評価される。そこで、構造物と地盤は全て異なる節点とし、地盤バネにより接合した。考慮する地盤バネは、1) 杭と直交方向に作用する杭の前面バネ、2) 杭軸方向に作用する杭の周面摩擦バネ、3) 杭軸方向に作用する杭の先端バネ、4) 前背面シートパイルの前面バネ、5) 鉛直方向に作用する前背面シートパイルの周面摩擦バネ、6) 平面内の全方向に同じバネ定数で作用する側面シートパイルの摩擦バネ、の 6 種類とし、すべて弾性バネとした。

バネ定数は、鉄道構造物等設計標準耐震設計²⁾に示されるものを基本とした。地盤の変形係数 E_0 について

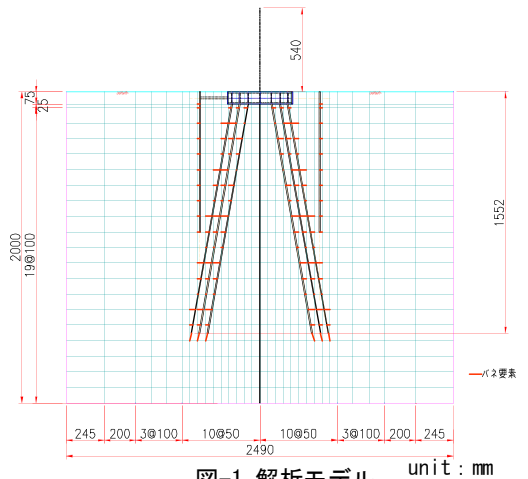
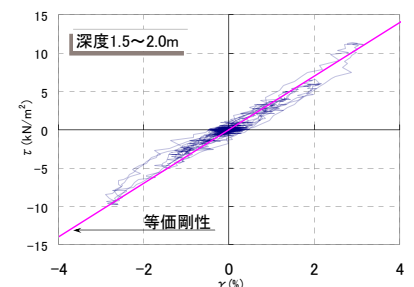


図-1 解析モデル

unit: mm

図-2 $\tau-\gamma$ 関係と等価剛性

キーワード 動的 FEM 解析, 斜杭, 軟弱地盤, 耐震補強

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 TEL 042-495-1090

は、実験時の常時微動計測より求めたヤング係数を用いた。 E_0 の算定方法に対する補正係数 α は、地盤ひずみが2~4%と通常の想定を大きく超えているため、PS 検層による場合の0.4倍とした。杭の大きさによる影響を表す項については、実験に用いた杭が小さく適用範囲外

であるため、平板載荷試験の基準値 $=0.3\text{m}$ とした。シートパイルに関するバネは、鉄道標準の中で想定していないため、鋼管矢板井筒基礎に対するバネ定数を用いた。シートパイルの内側に関しては、実験においてシートパイル内外の土圧が同程度であったため、外側と同様にモデル化した。よって、シートパイルの前背面のバネは、正負両方向に同じ剛性で働くバネとし、摩擦バネについては、内外面の面積を有効としている。

3. 解析結果

図-3 に、地表面の応答変位に関して、実験値と解析値の比較を示す。等価剛性を用いているため、解析値の固有周期が若干長くなっているものの、解析値と実験値は概ね一致しており、構造物との相互作用を考慮するうえで十分な地盤モデルであることがわかる。

図-4、図-5 に杭頭曲げモーメントがピークとなる時間断面の杭曲げモーメント分布を示す。分布形状は両ケースともに、実験結果をよく再現できている。値については、補強なしの杭頭で4割程度、補強ありの最大モーメント部で3割程度大きくなっている。これは、地盤バネの評価において杭サイズやひずみレベルが適用範囲外であること、同じ試験体で加振を繰り返していること、特殊な地盤材料を用いていること等が原因と思われる。

図-6、図-7 にフーチング回転の時刻歴を示す。地盤のみの振動に関して固有周期ずれていることを考慮すると、振幅、位相とも十分な精度で再現できている。

図-8 に前背面シートパイルの曲げモーメント分布を、深度0.5m位置で最大となる時間断面について示す。反曲点位置はほぼ実験値と等しいが、反曲点より深い位置でのモーメントが小さく出ている。これは、実験においては、前背面シートパイルの中央で計測しているが、解析では奥行き全体の平均値で算定されるためと思われる。

4. おわりに

斜杭基礎を有する軟弱地盤上橋脚について、振動台実験を2次元FEM解析により、シミュレートを試みた。その結果、全体の挙動は十分実用的な精度でシミュレートできるが、局所的な応力等は改善の余地があることがわかった。今後、解析モデルに改良を加え、補強の設計法および補強の必要性等を検討する予定である。

参考文献 1)阿知波ら：斜杭基礎を有する軟弱地盤上橋脚の地震時挙動と耐震補強（その1）、第52回年次学術講演会講演概要集、2007.9. 2)鉄道総合技術研究所 編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計、丸善、1999.10

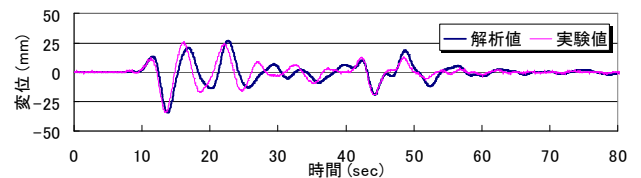


図-3 地表面変位(補強あり)

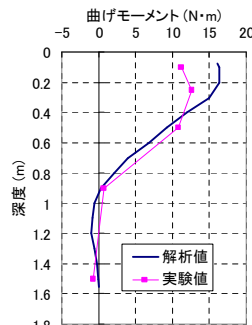


図-4 杭の曲げモーメント分布
(補強なし)

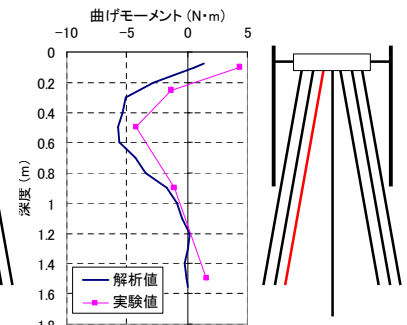


図-5 杭の曲げモーメント分布
(補強あり)

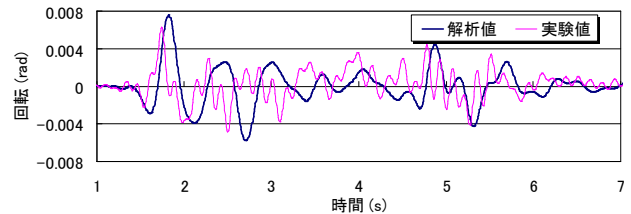


図-6 フーチングの回転(補強なし)

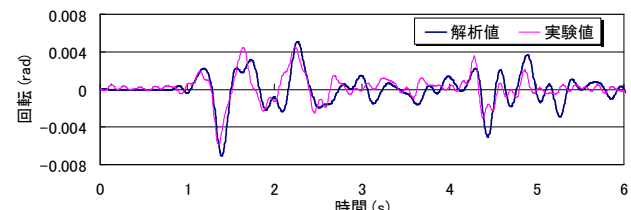


図-7 フーチングの回転(補強あり)

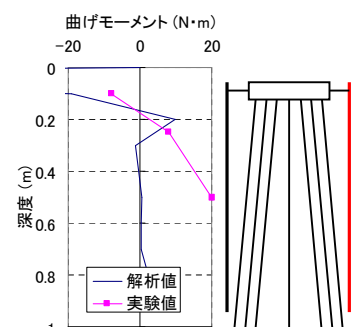


図-8 前背面シートパイルの
曲げモーメント分布