

杭基礎構造物の振動実験における加振レベルと地盤の非線形特性

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○本山 紘希
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 西村 隆義
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 室野 剛隆

1. はじめに

杭基礎構造物において、地震時の杭と地盤の動的相互作用については、観測事例が少なく、未解明な点が多い。これに対し、実験によるアプローチの一つとして、鉄道総合技術研究所の振動台およびせん断土層を用いた、杭基礎構造物の振動実験が行われている¹⁾。ここでは、その実験の再現解析を行うことで、杭と地盤の相互作用について、その非線形特性の把握を試みた。

2. 実験の概要

再現解析を行う実験ケースについて、実験の概要図を図1に示す。せん断土層は、幅 3m、奥行き 1.1m、高さ 3m であり、12 段のせん断フレームで構成されている。模型地盤は土層の下面から、バラスト層が 200mm、碎石層が 400mm、砂層（珪砂 6 号）が 2200mm となっている。砂層は相対密度 60% で作成した。杭基礎模型は、鋼管杭（平面寸法 100mm×50mm、厚さ 2.3mm、長さ 2800mm）を、加振直角方向に杭間隔 270mm で配置したものとなっており、バラスト層の上面から設置した。構造物としては、フーチング相当の位置に、5kN のウェイトを載せている。

実験は、加振レベルを徐々に大きくしながら、不規則波による加振を行った。このうちここで再現解析に用いるのは、最大加速度のレベルが 50gal のものと 300gal の 2 ケースである。

3. 解析モデル

上述した実験模型に対して、フレーム解析を行うため、図2のように節点および要素を設けた。

自由地盤ばねおよび相互作用ばねには、HD モデル（双曲線モデル）を用いている。バラストおよび碎石層は、砂層に比べて十分剛なばねとなるように設定した。また、鋼管杭は、線形なばね要素としてモデル化し、一要素 100mm となるように節点を配置した。

4. 非線形特性の設定

まず、自由地盤ばねの設定を行う。ここでは、実験結果の再現を目的とし、次の手順でばねの設定を行った。

①三軸圧縮試験の結果よりせん断弾性係数 G を決定し、自由地盤ばね（せん断ばね K_s ）を土層の断面から決める（ $K_s = G \times b h / l$ （ b : 土層幅（=3m）、 h : 土層奥行き（=1.1m）、 l : せん断ばね長さ（=0.1m））。この時、土層は 5 つに分割し、各層の平均的なせん断弾性係数から各層の K_{si} （ i : 1~5）を決定した（図3）。②材料試験のばら付きを考慮し、試験結果を再現するため、用いるばね値は $K_s' = \beta K_s$ を用いる。 β の決定においては、

キーワード 杭基礎、動的相互作用、地盤の非線形性

連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 耐震構造 TEL 042-573-7394

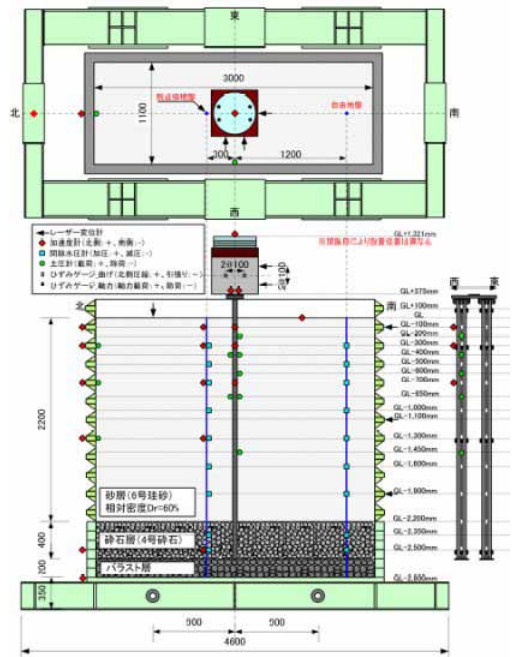


図1. 実験概要図

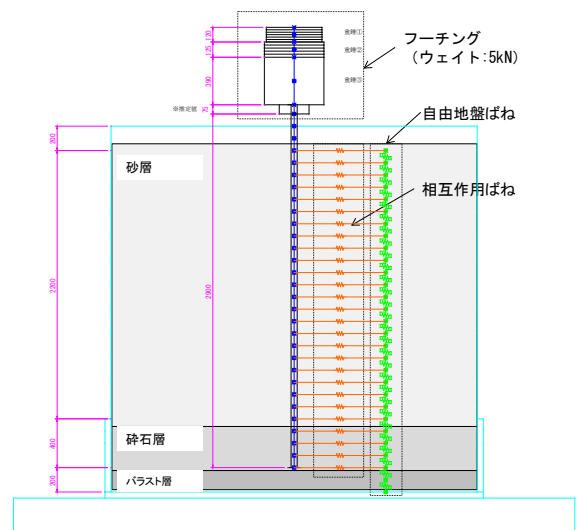


図2. 解析モデル図

固有値解析を行い、実験における固有周波数と一致するばね値を与える β として決定した。ちなみに、実験では自由地盤の固有周波数が 10.5Hz 程度となっており、得られたばね値で固有周波数が再現できることを確認した。

次に、相互作用ばねを設定する。① $E=2 \times (1+\rho)G$ (ρ : ポアソン比 (=0.33)) よりヤング率を決定し、鉄道構造物等設計標準(基礎構造物)を参考に、相互作用ばね (K_h) を算定する ($K_h=0.6 \times \alpha E D^{-3/4} \times D \Delta l$ (α : E の補正係数 (=1.0), D : 杭の直径, Δl : ばね値を算定する範囲の杭の長さ))。自由地盤ばねと同様に、土層は 5 つに分割して各層の K_{hi} を決定した(図 3)。③相互作用ばねに用いた算定式は、経験式であることから実験と整合を取るために用いるばね値は $K_h'=\gamma K_h$ とした。 γ の決定においては、微小な振動(地盤が塑性化していない状態。本検討では 50gal 加振時)において、構造物の応答を適切に再現できるものとした。④相互作用ばねでは、加振レベルによるサイトの非線形性²⁾を考慮する必要がある。これを考慮する係数を ν とし、再現解析に用いるばね値は $K_h''=\nu_{acc} K_h'$ ($\nu_{50gal}=1.0$) とした。

5. 再現解析

上述のように非線形性を考慮したばね値を設定し、動的解析を行った。動的解析の入力には、実験においてせん断土層基部に取り付けた加速度計で計測された加速度応答を、土層底面への入力として用いた。

構造物天端の応答加速度を実験値に合わせた結果を図 4・5 に示す。それぞれ入力レベルが 50gal 程度と 300gal 程度となっている。300gal 加振時の相互作用ばねの決定においてサイトの非線形性を表す係数を、 $\nu_{300gal}=0.33$ として用いた。各ケースで、適切に実験結果が再現されている。これより、300gal 加振時では、地盤のせん断変形による塑性化により、相互作用ばねの剛性が 3 分の 1 程度になっていることが分かる。

6. まとめ

せん断土層を用いた杭基礎構造物の振動実験において、適切に非線形性を考慮し、地盤ばねを設定することで、数値解析により、構造物の応答を再現することができた。非線形性を考慮する際には、土層のせん断変形による非線形性としてサイトの非線形性を適切に考慮する必要があり、本事例では、300gal 加振時には、入力が小さい時に比べて、相互作用ばねの剛性が 3 分の 1 程度となることが分かった。

7. 参考文献

- 1) 手嶋正和, 西岡英俊, 佐名川太亮, 澤田亮, 神田政幸, 豊岡亮洋, 室野剛隆: 地盤と杭基礎の動的相互作用に着目した大型せん断土槽による模型振動実験, 第 13 回日本地震工学シンポジウム, 2010
- 2) 室野剛隆, 小長井一男: 土の非線形性を考慮した群杭基礎の動的相互作用の新たな表現方法, 土木学会地震工学論文集, 2003

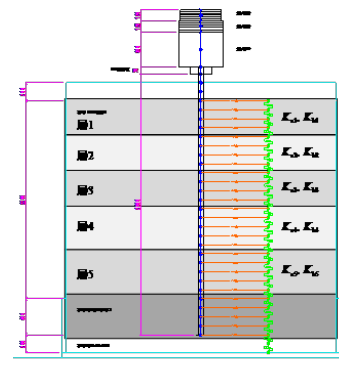


図 3. ばね値の設定の際の土層の分割

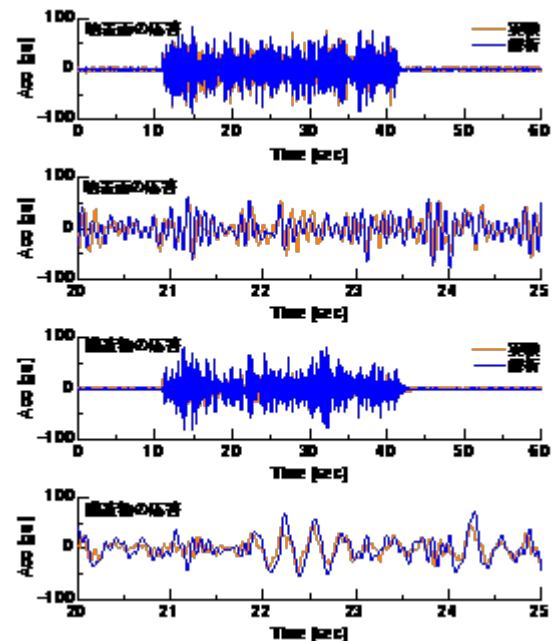


図 4. 50gal 加振時の地盤・構造物の応答

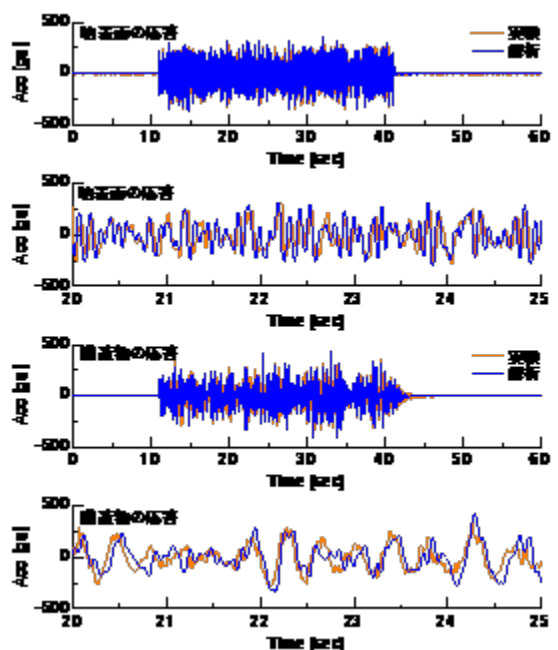


図 5. 300gal 加振時の地盤・構造物の応答