

単杭基礎の水平動的ばねの 大変形時における収束特性の実験的評価

埼玉大学 正会員 ○齊藤 正人

埼玉大学 非会員 Shrestha Raj Naba

埼玉大学 学生会員 Saha Kumer Alok

埼玉大学 正会員 Goit Shekhar Chandra

1. 目的

杭基礎の杭頭位置における水平インピーダンス関数（動的ばね）には、加振振動数によって動的剛性項（インピーダンス関数の実部）と減衰項（虚部）が変化する振動数依存性が現れることが、これまで多くの理論的、解析的また実験的な研究により明らかにされている。一般に、杭基礎の振動数依存性の要因としては、1) 周辺地盤が杭体と同位相で振動することによる付加質量の効果、2) 遮断振動数以降の振動数領域における波動生成と逸散現象による効果などが挙げられる。こうした基礎の挙動は、比較的大きな加振振幅条件下においても生じることが本著者らによる一連の実験的研究によって明らかにされている¹⁾。加振振幅の増加に伴う周辺地盤の非線形性や基礎と地盤の境界部における滑りや剥離の非線形性の影響によって、インピーダンス関数は振動数依存性を残しながらその値を変化させる傾向を示す。しかしながら、そうした振動数依存性の変化がいかなる法則に従っているのか、とりわけ基礎の降伏過程とどのような関係を有するのか一切解明されていない。

そこで本研究では、乾燥砂に埋設される単杭基礎を対象にせん断土槽を用いた杭頭水平載荷実験を実施した。杭基礎の杭頭位置における静的載荷試験と、系の降伏領域を含む、既往の研究¹⁾よりも更に大振幅での正弦波加振による動的載荷試験から復元力特性ならびにインピーダンス特性を計測した。その結果、動的ばね特性は加振振動数によらず骨格曲線から求まる割線剛性に収束する特性を示すことが明らかとなった。

2. 実験方法

本研究では、図1に示す単杭基礎（POM製、杭径40mm、杭長900mm、鉛直杭）をせん断土槽に埋設した。杭先端は自由、杭頭は固定用ブロックで結合し、水平位置に配したアクチュエータ（10kN加振装置・埼玉大学所有）の先端を当該ブロックに固定した（写真1）。載荷実験はおよそ6Hz

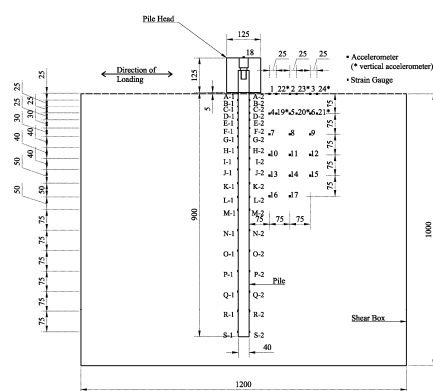


図1 杭実験模型諸元

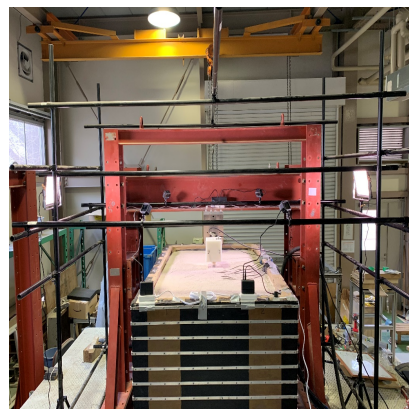


写真1 杭頭載荷試験装置

～35Hz まで 1Hz 毎に定常加振を与え、インピーダンス特性が安定した段階で計測を行った。加振振幅は $0.5\text{--}5.0\text{mm/s}^2$ の範囲とし、これらに加えて選択的に加振装置の出力最大変位を別途与えた加振実験を実施した（6Hz:5mm, 15Hz:2.5mm, 20Hz:2mm, 25Hz:1.5mm, 30Hz:1mm）。地盤材料は乾燥砂（岐阜砂）を用いており（層厚1000mm, $D_r=77.5\%$ ）、別途実施した地盤材料のみの基盤加振実験からは、微小変形レベルでの表層地盤の卓越振動数はおよそ23Hzであった。

キーワード 動的相互作用, インピーダンス特性, 振動数依存性, 非線形性, 杭基礎

連絡先 〒338-8570 さいたま市桜区下大久保 255 埼玉大学大学レジリエント社会研究センター TEL048-858-3560

3. 実験結果

図2, 図3には動的載荷試験によって得られた水平インピーダンス関数, 杭頭水平静的載荷試験の結果をそれぞれ示す. 実験結果によれば, 低振動数領域から表層地盤の卓越振動数 (23Hz 近傍) において剛性項の低下が見られる. また卓越振動数よりも高い振動数領域では剛性項の増加が確認できる. 載荷振幅の増加に伴い低振動数領域での著しい剛性低下とともに卓越振動数の低下が生じている. 最大載荷振幅を入力したケースでは, 幅広い振動数領域で一定の値 ($0.8 \times 10^4 \text{ kN/m}$ 程度) に収束する傾向が現れている. 減衰項は低振動数領域で一定の値を保持し, 卓越振動数以上の領域での増加が確認できる. 載荷振幅の増加に伴い減衰のピークは低振動数側に移動し, 加振振幅が最大レベルになるとピークは残存するものの, 全体として振動数依存性は緩やかな増加傾向となる.

同じ変位量に対する動的剛性項と静的に得られた骨格曲線の割線剛性との比較を図4に示す. 図4左図によれば, 動的剛性項は変位増加に伴い骨格曲線の割線剛性に漸近することがわかる. つまり, 系の降伏過程の進行に応じて動的剛性項の振動数依存性が弱まる傾向を同図は示している. 図4右図に示すように, 同様の性質は振動数領域でのインピーダンス関数の割線剛性との比が1に漸近することからも理解できる.

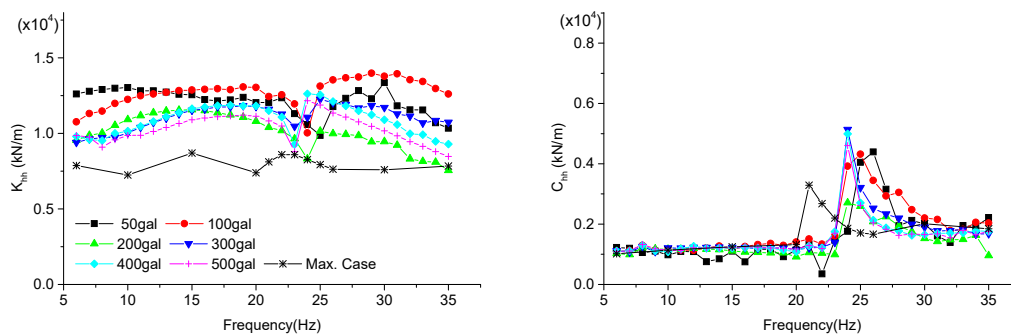


図2 加振レベルを変化させた場合の単杭基礎の杭頭インピーダンス特性 (単位 kN/mm)

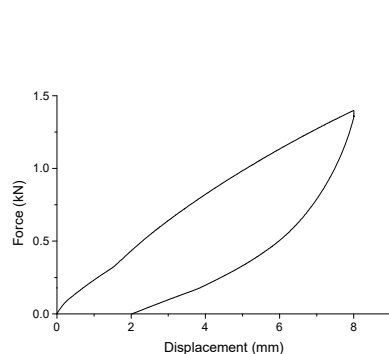


図3 静的載荷試験結果

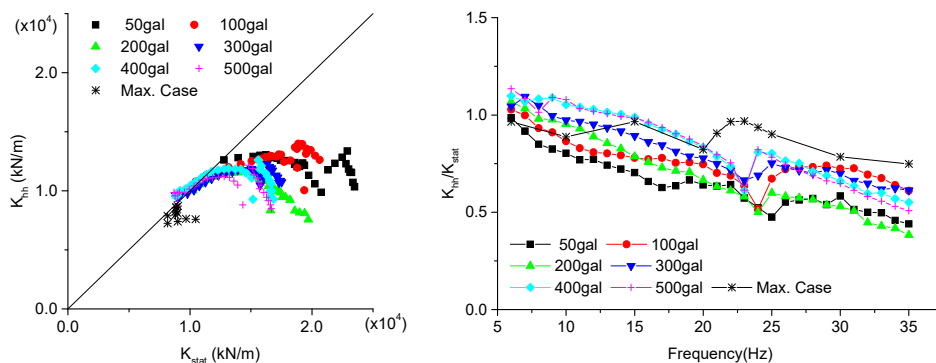


図4 動的剛性項と割線剛性との比較 (左: その1, 右: その2)

4. 結論

本研究により, 単杭基礎の水平インピーダンス特性に現れる振動数依存性は, 杭の降伏過程の進行に伴い骨格曲線の割線剛性に収束する性質を示すことを実験的に明らかにした. 現在, 群杭基礎に対しても同様の実験を進めており, その結果については別の機会に報告したい.

参考文献

1) C.Goit, M.Saitoh, G.Mylonakis, H.Kawakami, H.Oikawa, Model tests on horizontal pile-to-pile interaction incorporating local non-linearity and resonance effects, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 48, 2013, Pages 175-192

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP18H01517 の助成を受けたものです.