

## 地震応答を利用した群杭基礎の大変形領域における 水平動的ばね特性の評価

埼玉大学 正会員 ○齊藤 正人  
 埼玉大学 非会員 横田 怜哉  
 埼玉大学 非会員 岡本 宙  
 埼玉大学 正会員 Goit Shekhar Chandra

### 1. 目的

長年の研究により、構造物の地震時応答は地上構造物を支える基礎構造物の動的ばね特性、いわゆるインピーダンス特性に依存することが知られている。そのため、既設構造物の損傷や破壊の現象を高精度に予測する上で、基礎天端位置における動的ばね特性を把握することは極めて重要である。杭基礎のインピーダンス関数には、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明らかにされている。また、こうした特性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杭頭調和加振による模型実験によって明らかにされている<sup>1)</sup>。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、最終的には静的骨格曲線の割線剛性に収束することが近年の Shrestha らの研究によって解明されている。しかし、群杭基礎のインピーダンス関数のこうした振動数依存性と振幅依存性が、連成系の地震動作用時においても現れることを検証した研究は極めて少ない。

そこで本研究では、並進 1 自由度系を支持する群杭構造物を対象に、観測地震動を模擬した振動台加振実験を行い周辺地盤、フーチングと構造物の地震応答を計測し、その応答値から群杭基礎の杭頭位置におけるインピーダンス関数を推定した。その結果、インピーダンス関数は振動数依存性と振幅依存性を示すとともに、杭頭調和加振実験に類似した特性を示すことが明らかとなった。

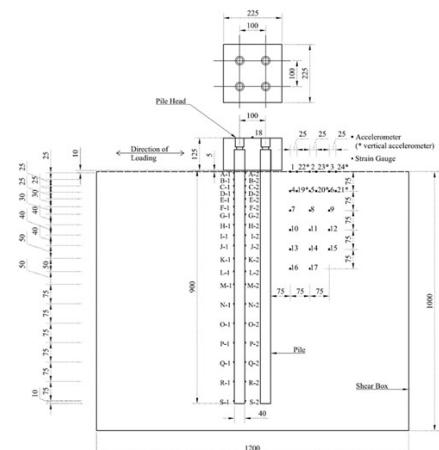


図1 杭実験模型諸元



写真1 振動試験装置

### 2. 実験方法

本研究では、図1に示す群杭基礎(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(POM製フーチング)で結合し、フーチング上に機械式バネと鋼製プレートをお持ちいた1自由度系(固有振動数12.5Hz)を設置した(写真1)。地盤材料は乾燥砂(岐阜砂)を用いており(層厚1000mm, Dr=77.5%), 別途実施した地盤材料のみの基礎加振実験からは、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。上記システム全体を振動台に設置し、S1からL5の7段階に振幅

表-1 地表面の応答加速度の最大値

実験ケース	Elce (m/s <sup>2</sup> )	Kobe (m/s <sup>2</sup> )	Ojiya (m/s <sup>2</sup> )	White (m/s <sup>2</sup> )
S1	0.948	1.483	1.195	0.618
S2	2.348	2.431	2.472	1.277
L1	3.996	4.326	5.191	2.225
L2	10.094	9.806	12.566	4.285
L3	21.342	21.053	21.053	7.993
L4	31.600	37.974	44.559	9.381
L5	44.198	34.186	45.461	15.514

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 埼玉大学理工学研究科 TEL048-858-3560

調整した4種類の地震動波形(表1)を入力して,地表面,フーチング,上部構造物の水平加速度応答を記録した。

### 3. 実験と解析結果

図2(点で示す値)には実験によって得られた地表面に対する上部構造物(左)と地表面に対するフーチング(右)の伝達関数を示す。伝達関数は計測で得られた各ケースの応答波形からパワースペクトルとクロススペクトルを求めて各振動数で平均化し,比を取ったものである。図より,加振振幅の増加に伴う非線形性の影響により,伝達関数のピークは低振動数側に移動し,応答増幅率も低下する傾向が確認できる。

図3には水平インピーダンス関数の推定値(実線)と Shrestha らによる 50gal 杭頭調和加振時(小振幅時)のインピーダンス関数を示す(点)。水平インピーダンス関数の推定では,弾性ばねと粘性減衰の並列機構(Voigtモデル)に連結したフーチング質量と上部構造物を2自由度系でモデル化し,図2で得られた伝達関数を再現できる最適なばね値と減衰係数を Trust Region 法を用いて各振動数で評価している。図2の実線は同手法によりフィッティングした際の結果を示しており,高い精度で伝達関数を再現している。遮断振動数となる 20Hz 近傍以下において,推定されたインピーダンス関数は入力レベルの小さいケース(S1)では静的剛性を維持しながらも質量効果により剛性項が低減する様子が見られる。また,減衰項は遮断振動数以下であることから逸散減衰は生じておらず小さな値を示している。入力レベルの増加に伴い(L2, L5),静的剛性の値は大きく低減する傾向が確認できる。遮断振動数以降の振動数では剛性項と減衰項の局所的な増加が確認でき,振幅の増加に伴い値が小さくなる傾向が見られる。遮断振動数自体も地盤の非線形性の影響によって低振動数側にシフトしている。こうした特性は Shrestha らによる杭頭水平載荷試験で得られた傾向と極めて類似している。

### 4. 結論と今後の展望

本研究により,群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と振幅依存性は,連成系の地震作用時においても現れることが確認された。今後,推定精度の向上に努めたい。

#### 参考文献

1) Shrestha, N.R., Saitoh, M., Saha, A.K., Goit, C.S., 2020. Frequency- and intensity-dependent impedance functions of laterally loaded single piles in cohesionless soil. *Soils Found.* 61 (1), 129–143.

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP21H01414 の助成を受けたものです。

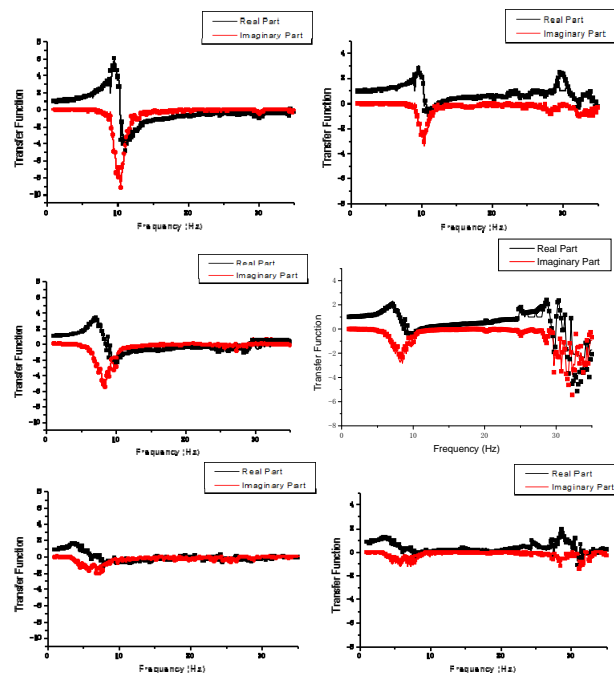


図2 地表面-上部構造物(左),地表面-フーチング(右)における伝達関数(上からS1, L2, L5)

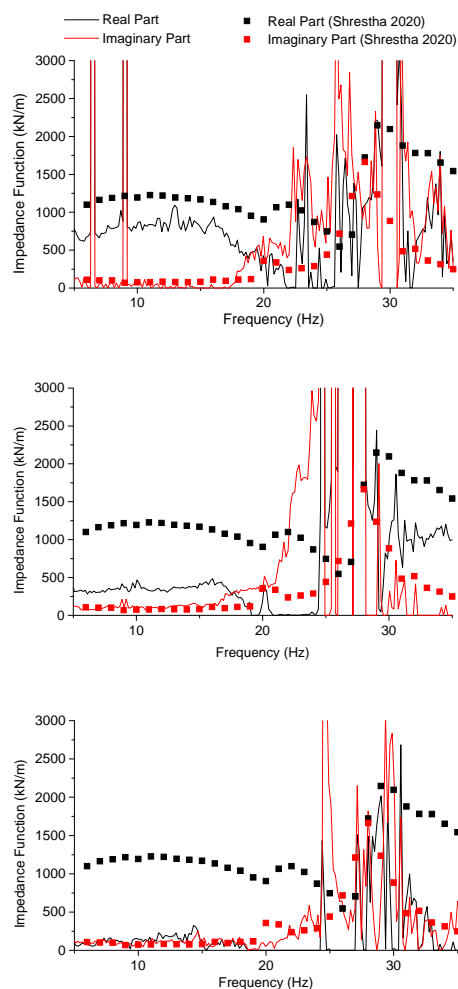


図3 群杭基礎の杭頭インピーダンス特性(上からS1, L2, L5)