

砂質地盤におけるパイルドラフト基礎の鉛直振動荷重による水土連成変形特性に関する

実験的研究

名古屋工業大学 学生会員
 名古屋工業大学 学生会員
 名古屋工業大学 正会員

○岩下舞菜美
 橋爪悠太郎
 張 鋒

1. 研究背景

現在、土木構造物の設計法は使用規定型から性能規定型へと移行しつつあり、設計法の移行を受け、設計の自由度拡大の可能性が広がるなか、パイルドラフト基礎が近年注目を浴びている。

海外ではパイルドラフト基礎を鉄道軌道に適用した事例があるが²⁾、列車の振動より基礎が沈下する被害が報告されている。そこで、パイルドラフト基礎とその周辺地盤について、鉛直振動荷重を受けるときの力学挙動を把握する必要がある。

本研究は鉄道供用時における振動荷重を模擬した鉛直荷重をパイルドラフト基礎に与えた際の基礎の沈下特性、および杭とラフトの荷重分担の把握を目的とし、豊浦砂を用いた中密な不飽和地盤を作成し、列車荷重を想定した鉛直振動を受けるパイルドラフト基礎の1g場模型実験を実施した。

2. 実験概要

2.1 小型振動装置

本実験に用いた小型振動装置を写真1に示す。本装置は、空気圧制御によって鉛直振動荷重をパイルドラフト模型に与える構造である。

2.2 構造物模型

本実験に用いたパイルドラフト模型を写真2に示す。この模型は縮尺が $S=1/50$ 、アルミ製の杭模型と鋼材のラフト部がネジで固定された構造である。

2.3 実験ケース

本実験の実験ケースを表1に示す。地盤状態については、Case1, 2, 3 全てのケースにおいて地下水位がG.L.-0.1mの不飽和地盤である。基礎模型に与える振動荷重は、図1に示すように中心荷重300N、両振幅300Nの正弦波であり、加振時間は10秒間である。加振前後は静的荷重300Nを基礎模型に作用させ、計測時間は加振前後1秒間を含めた12秒間である。周波数については、既往の研究²⁾より実地盤に影響を与えた最大の振動周波数が6Hzであることをもとに、模型実験の相似則を考慮し100Hz、200Hz、400Hzの周波数に設定した。また鉄道による振動モデルを想定し、全ケースに振動荷重を6回ずつ断続的に与えた。表1にはモデル地盤の相対密度も示している。

2.4 実験手順概要

本実験の実験概要図を図2に示す。まず土層と水槽をホースで繋ぎ、通水時に均等に水が浸透するよう土槽底部に高さ1.5cm程度の砂利を敷く。アングルを用いて基礎模型を吊るし、砂利の上から含水比5%に調整した豊浦砂を角材を用いて締固める。締固めは高さ及び質量管理により行い、1層50mm程度、合計10層分繰り返す。地盤作製完了後、大気圧通水法により飽和地盤を作成した。その後、計画水位まで水位を下げる方法で不飽和地盤を作製した。通水完了後、写真3のように鋼材を用いて小型振動装置を基礎模型上部に固定し、所定の振動数で基礎模型に加振する。連続して加振する際には、加振後10分程度放置した後次の加振を実施した。

2.5 計測機器設置場所

本実験の計測機器設置場所を図3に示す。荷重計はラフト中央部に1か所、変位計はラフトの対称となる位置に2か所ずつ設置した。ひずみゲージは図4に示すように9本杭のうち4本に設置した。ひずみゲージの設置位置については、図5に示すようにA, B杭には深度5点、C, D杭には深度2点に設置し計測を行った。小型振動装置および計測機器の設置が完了した模型の状態を写真3に示す。



写真1
小型振動装置



写真2
パイルドラフト基礎模型

表1 実験ケース

ケース名	Case1	Case2	Case3
地下水位(m)	G.L.-0.1	G.L.-0.1	G.L.-0.1
周波数(Hz)	100	200	400
相対密度(%)	77.2	77.3	77.2

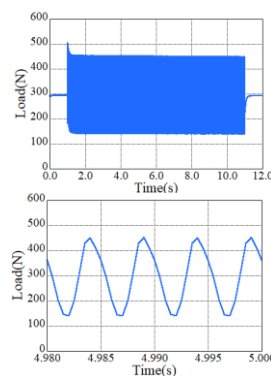


図1: 荷重時刻歴
上図(全体図)
下図(拡大図)

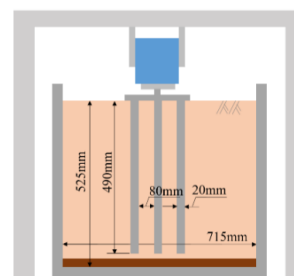


図2: 実験概要図



写真3
振動機設置完了図

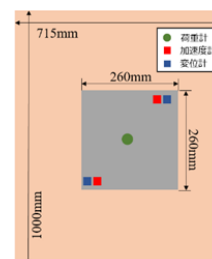


図3
計測機器設置場所

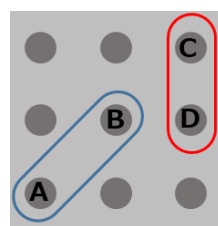


図4
ひずみゲージ設置杭

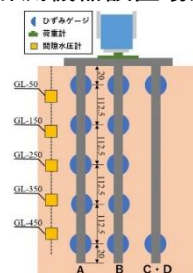


図5
ひずみゲージ設置箇所

3. 実験結果

3.1 沈下量

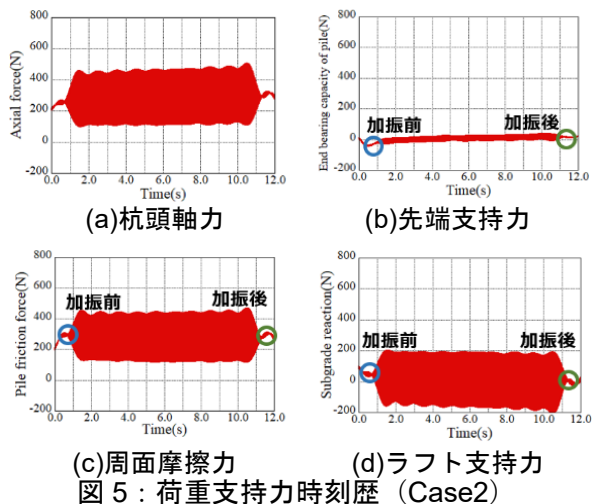
表 2 に各実験ケースの最終沈下量を示す。1 回目の加振における最終沈下量は、Case1 (100Hz) > Case3 (400Hz) > Case2 (200Hz) の順に大きい。既往の研究³⁾では、地盤-模型一体系の固有振動数に近い振動周波数で加振を行った場合に、共振が発生し沈下量が最も大きくなることを示唆している。しかしこの結果からは、Case1 と Case3 の最終沈下量に大きな違いがなく、共振が沈下量に与えた影響が顕著ではないため、さらなる検討が必要と考えられる。

表 2 最終沈下量(mm)

加振回数	Case1	Case2	Case3
1	-1.077	-0.028	-0.760
2	-0.144	-0.018	-0.243
3	-0.120	-0.018	-0.090
4	-0.134	-0.027	-0.206
5	-0.052	-0.068	-0.119
6	-0.044	0.013	-0.070

3.2 共振の影響についての考察

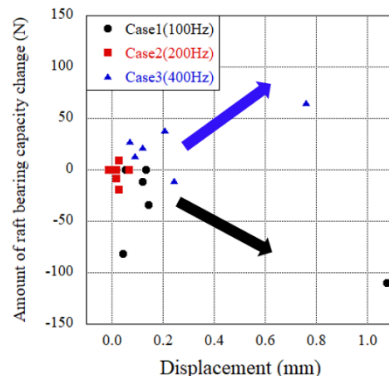
図 5 に 4 本の杭に設置したひずみゲージから測定されたデータをもとに、ラフトの対称性を考慮して 9 本分の杭の計測値に換算した Case2 (加振 1 回目) の杭頭軸力、先端支持力、周面摩擦力、ラフトの支持力時刻歴を一例として示す。周面摩擦力は、「杭頭軸力=先端支持力+周面摩擦力」、ラフトの支持力は「載荷荷重=ラフトの支持力+杭頭軸力」の計算式により算出した。図 5 (d) で示すラフト支持力の加振前後の変化量をもとに、共振の可能性について検討を進める。



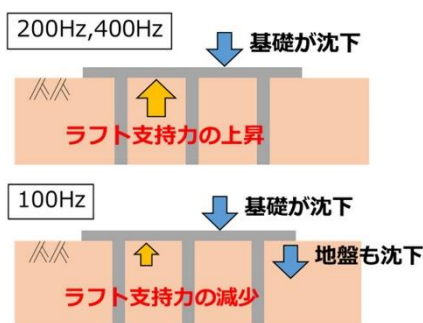
地盤-模型一体系で共振が発生すると、基礎のみならず、地盤そのものも沈下する可能性がある。図 6 は加振による基礎の沈下量とラフトの荷重分担の変化量の関係について各ケースの加振 6 回分の結果を示したものであり、横軸はラフトの最終沈下量、縦軸は図 5 (d) で示したラフト支持力の加振前後の変化量を示している。このグラフから、Case2 (200Hz) と Case3 (400Hz) の実験ケースでは沈下量が大きいほど、ラフト支持力は概ね増加する傾向があることが確認できる。一方で、Case1 (100Hz) は加振による沈下量が大きいほどラフトの荷重分担は概ね減少する傾向がある。200Hz および 400Hz のケースについては、図 7 に示すように加振により基礎のみが沈下し、ラフトと地盤がより密に接地する状態となることでラフト支持力が増加したと推測される。一方で 100Hz のケースについては、加振により基礎に加えてモデル地盤も沈下したことで、ラフトの地盤への接地が緩くなり、ラフト支持力が減少する結果となったと考

えられる。

以上の検討より、地盤-模型一体系の固有振動数が 100Hz 付近に存在し、Case1 において地盤-模型一体系で共振が発生したことにより、模型のみならず地盤も大きく沈下した可能性が示唆された。



沈下量 - ラフト荷重分担変化量関係



沈下に伴うラフト支持力の変化のイメージ

4. まとめ

4.1 結論

本実験では、鉛直振動荷重を受けるパイルドラフト基礎の沈下特性に着目し、不飽和地盤での 1G 場模型実験を実施した。得られた知見を以下に示す。

- パイルドラフト基礎の沈下量について、基礎模型に与える鉛直振動荷重の周波数の違いが沈下量に与える影響は見受けられなかった。
- 地盤-模型一体系における固有振動数が 100Hz 付近に存在し、与えた鉛直振動荷重の周波数が近いケースにおいて共振が発生したことにより、模型のみならず地盤も大きく沈下した可能性が示唆された。

4.2 今後の課題

今後の課題・展望を以下に示す。

- 共振の可能性をより明確にするため、簡易的な打撃試験を実施し、基礎-模型地盤一体系の固有振動数を把握する。
- 加振回数を重ねることによるパイルドラフトの沈下挙動の傾向について考察する。

5. 参考文献

- 1) 国土交通省：土木・建築にかかる設計の基本，2002
- 2) Gu, L., Ye, G., Bao, X., Zhang, F. : Mechanical Behavior of a Piled-Raft Foundation for a High-Speed Railway Subjected to Train Loading, International Symposium on Systematic Approaches to Environmental Sustainability in Transportation, 2015, 7
- 3) 千野ら：鉛直振動荷重を受けるパイルドラフト基礎の水土連成変形特性に関する研究(その 1), 第 55 回地盤工学研究発表会, 21-9-3-03, 2020