

令和 2 年 6 月 17 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14764

研究課題名(和文)パイロハンマを用いた杭施工時の支持層確認手法に関する研究

研究課題名(英文)Study on casting finish control method for pile driving using vibratory hammer

研究代表者

下村 修一 (SHIMOMURA, Shuichi)

日本大学・生産工学部・准教授

研究者番号：50443726

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究ではパイロハンマ工法による杭打設時の支持層管理手法の高度化を目的として模型実験、現場施工実験並びに現場施工データの収集分析を行った。その結果、杭の施工時における押し込み力の大きさは支持層確認指標に影響を及ぼし、押し込み力が小さい場合には支持層の硬さを過大評価する危険性があること、この傾向は杭のサイズが大きく、地盤が硬質であるほど顕著になることを明らかにした。この成果を支持層管理手法に反映することで、支持層確認精度の向上に寄与することが可能である。また、限られた条件の模型実験ではあるが支持層確認指標を用いて杭の支持力を推定できる可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

建物に使用されている杭が支持層へ確実に貫入されていないことにより、建物の安全性が懸念され、建物の解体にまで至るなどのトラブルがあったことは記憶に新しい。この問題の原因は種々あるが、その一つとして杭施工時の支持層確認手法が十分に確立できていないことが挙げられる。本研究では杭の施工方法のひとつであるパイロハンマ工法を対象に支持層確認指標の特性を模型実験並びに現場施工実験により分析し、支持層確認の高度化に資する知見を得た。

研究成果の概要(英文)：In this study, we conducted model tests, field tests, and collection and analysis of field construction data for the purpose of improving the casting finish control method for steel pile driven by the vibratory hammer method. As a result, the magnitude of the crowd force during the pile driving affects the casting finish control index, and if the crowd force is weak, there is a risk of overestimating the hardness of the bearing strata. It was clarified that this tendency becomes more remarkable as the size of the pile is larger and the ground is harder. By reflecting this result in the casting finish control method, it is possible to contribute to the improvement of the bearing strata confirmation accuracy. In addition, although these are model tests under limited conditions, there is a possibility to estimate the bearing capacity of piles using the casting finish control index.

研究分野：地盤工学

キーワード：杭 支持層確認 パイロハンマ H形鋼

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、建物の基礎に用いられる杭は大径化、高支持力化が急速に進み、1柱1本杭が主流となっている。このことは合理性を追求してきた結果である一方で冗長性が失われているとも言える。杭の長さは、設計時に限られた地盤調査データから杭の支持層深度を工学的に判断して設定されており、最終的に杭の施工段階における支持層確認で支持力を担保することとなる。そのため、支持層確認精度の良し悪しが杭の支持力性能に直結する。

杭の施工段階での支持層確認手法(埋込み杭工法における積分電流値など)については種々提案されている。現場実測データを用いた検証は必ずしも多くはないものの、地盤条件によっては既存の支持層確認手法では十分に支持層を確認することが困難な場合があることが確認されている。そのため、支持層管理手法に応じた各種地盤条件への適用性を把握することが重要である。

杭打設の一手法としてパイプロハンマ工法がある。パイプロハンマ工法ではパイプロハンマの油圧や杭打設速度の変化、動的支持力管理式などで支持層確認をする手法が用いられてきた。パイプロハンマ工法は古くから使用されているが、埋込み杭の積分電流値のように施工中に連続して施工データを取り込み分析した上、地盤調査データと比較検証した事例はほとんど見当たらない。一方、パイプロハンマ工法と標準貫入試験は共に繰返しの打撃により杭またはロッドを地盤に打込んでおり、地盤へエネルギーを与えるメカニズムが類似している。すなわち、パイプロハンマ工法を用いた杭打設時に生じるエネルギーを評価すれば従来の支持層確認手法よりも合理的と考えられる。

このような背景のもと、申請者は施工記録をデジタルデータとして連続収録可能な施工管理装置を有する施工機による杭の施工記録を収集する機会を得ると共に、支持層確認指標を提案し、その検証を進めてきた。その結果、杭施工中の提案指標の変動が地盤調査により得られた地盤の硬さを示すN値の変動と相関性が高く、杭施工中の提案指標の変動から支持層を確認できる可能性が高いことを確認してきた。一方で、杭の鉛直支持力を提案指標から直接評価できればより高度な支持層確認指標となるが、検証データは得られていない。

2. 研究の目的

申請者は杭打設時の杭が地盤に与えるエネルギーとしてパイプロハンマの起振力を累積した累積打撃力を指標とする支持層確認手法を提案した。提案指標の検証は支持層確認の可能性を第1の目的とし、実際の施工データを用いて進めてきたため、施工した杭の鉛直支持力との関係は明らかではなかった。そこで、本研究では鉛直支持力と累積打撃力の関係に関する知見を得ることで申請者が提案した支持層確認指標を用いた支持層確認手法の高度化を目指すことを目的としている。

3. 研究の方法

これまでの研究で得てきた現場検証データは地盤や杭仕様などの施工条件が現場毎に異なり、それらが提案指標に及ぼす影響は十分に精査できていない。具体的には同程度の硬さの地盤への杭の貫入では杭やパイプロハンマの質量、パイプロハンマの押し込み力により累積打撃力は異なることが予想されるが、これらの条件は現場により異なり、その影響程度を検討するには十分なデータが蓄積出来ていなかった。しかしながら、実際の現場で押し込み力をパラメータとしたデータを収集することは現実的ではなく、地盤のばらつきも結果に影響を及ぼす。そこで本研究では累積打撃力と鉛直支持力の関係について、押し込み力の違いが累積打撃力に及ぼす影響も含めて検討するためにまずは模型杭を用いた加圧土槽実験を実施した。さらに、この実験により押し込み力が累積打撃力に影響を及ぼすことが認められたことから、現場施工実験の機会を設けた。具体的には実大杭を使用して押し込み力や杭仕様の違いが累積打撃力に及ぼす影響を検討し、加圧土槽実験で得られた知見との比較を行った。さらに、現場施工データを引き続き収集し、支持層確認手法の適用性を分析した。

(1)加圧土槽を用いた模型実験による累積打撃力と地盤強度及び杭重量の関係の検討

砂地盤を対象に加圧土槽を用いた模型杭の施工実験及び鉛直載荷試験を実施した。杭の支持力は地盤の硬軟の影響を受ける。砂地盤の硬軟は地盤中の応力状態が大きく影響するが、加圧土槽は模型地盤を加圧することで地盤中の応力状態を模擬することが可能である。模型地盤は上載圧10kPa、25kPa、50kPa、いずれも相対密度80%とした、3種類の条件とした。模型杭にはH形鋼(20mm×20mm×3mm×3mm、貫入長さ250mm)を用い、杭頭部に設けたピストンバイブレータにより杭を模型地盤に貫入させた。実際の施工では杭長により杭の重量が変わること、施工機により振動だけではなく押し込み力がかかる。模型実験では、杭に錘を載せることによりこれらを模擬した。杭体には加速度計を設け、貫入深度は非接触型変位計で計測した。バイブレータの起振力はバイブレータに圧力計を取り付け、圧力と起振力の関係から評価した。累積打撃力はこの起振力を累積して評価し、杭重量の影響を検討した。

(2)模型実験における累積打撃力と鉛直支持力の関係の検討

(1)で行った杭の施工実験完了後に杭頭部に静的な押し込み力を加えて鉛直支持力性能を確認した。この鉛直支持力と施工実験で得られた累積打撃力の関係を分析し、累積打撃力から直接鉛直支持力を推定する手法の可能性を検討した。

(3)現場施工実験による累積打撃力と地盤強度及び押し込み力の関係の検討

(1)、(2)で累積打撃力の評価に押し込み力が大きな影響を及ぼし、この影響程度を把握することが累積打撃力から鉛直支持力を評価する上で重要であることが認められた。しかしながら、得られた知見は比較的均質な地盤条件、縮小模型で得られていることから、実大規模で累積打撃力に及ぼす押し込み力の検証を行った。対象とする地盤は埋土、粘性土、砂質土で構成されており、深度 23m から N 値が 50 を超える支持層が出現する。実験では H 形鋼杭 (H400 と H300 の 2 種類) を用い、支持層に 1m 貫入させた。杭の打設には伸縮型リーダーを有する油圧可変式高周波パイプロ杭打機を用い、押し込み力を大小 2 ケースとした。本施工機は施工時に杭の貫入深度や偏心質量の回転周波数などを連続的に計測、収録でき、これらのデータから累積打撃力の時刻歴と深度との関係を求めた。この条件下で累積打撃力に及ぼす杭重量及び押し込み力の影響を検討した。

(4)現場施工データに基づく支持層確認指標の適用性の検討

支持層確認では杭先端地盤の硬さを評価することが必要である。累積打撃力はパイプロハンマの起振力から求めているため、杭先端地盤に及ぼすエネルギーではない。振動貫入によって杭と周面地盤間の摩擦力は一時的に切れているものの、土質や地層構成によっては杭周地盤の影響が大きくなる可能性がある。しかしながら、様々な地盤条件が想定されるため、それらの地盤条件を全て網羅した実験を行ってその影響程度を分析することは難しい。そのため、実際の施工で得られた記録を継続的に収集し、提案指標の適用性を確認することが有益である。これまで軟弱層が厚く堆積する地盤、中間に硬質層を挟む地盤など 7 現場のデータを分析してきた。本研究では新たに 3 現場でデータを収集し、既存の 7 現場のデータと合わせて分析した。

4. 研究成果

(1)模型実験に基づく累積打撃力と地盤強度及び杭重量の関係

深度が深くなるに連れて杭の打設速度の低下、累積打撃力の増大が認められ、杭周面摩擦の影響が顕著となる。累積打撃力は上載圧に比例して大きくなる傾向を示し、地盤が硬いほど累積打撃力が大きくなる現場実測データの分析で得られた知見と同様の結果が得られることを確認した。累積打撃力に対する杭自重の違いの影響は、地盤の抵抗が小さい浅い深度や低い上載圧では見られなかった。一方、地盤の抵抗が大きくなる深い深度や高い上載圧では、杭自重が軽い条件では累積打撃力が大きくなることが確認された。

この結果は、ある程度以上の押し込み力をかければ同程度の硬さの地盤では累積打撃力に大きな違いはなく、累積打撃力が支持層確認指標として適用性が高いことを示唆している。一方で押し込み力が小さい施工の場合には累積打撃力が大きくなり、地盤の硬さを過大評価する危険性があることを示している。

(2)模型実験に基づく累積打撃力と鉛直支持力の関係

鉛直載荷試験の結果、同じ上載圧の条件では最大杭頭荷重に大きな差は認められなかった。杭自重が軽いケースを除き、累積打撃力と最大杭頭荷重の関係は累積打撃力の増加に対して最大杭頭荷重は曲線的に増加し、両者には相関性が確認できた。杭自重が軽いケースは同じ硬さの地盤でも他のケースより大きな累積打撃力を必要としており、鉛直支持力が過大評価されることが確認された。なお、同じ上載圧の条件では、累積打撃力が大きいと若干ではあるが最大杭頭荷重が大きくなる傾向が認められているが、累積打撃力の違いに比べてその違いは明らかに小さい。杭の貫入に伴い、フランジ間に砂粒子が詰まり、鉛直載荷試験では杭の抵抗面積が杭断面積ではなく、部分的に杭の閉塞断面となっている可能性がある。累積打撃力が大きいほどその閉塞程度が大きくなり、鉛直支持力にやや違いが表れたと考えられる。

この結果は累積打撃力と上載圧の関係と同様にある程度の押し込み力が加えられていれば、累積打撃力から支持力の評価ができる可能性があること、また、押し込み力が小さい場合には鉛直支持力を過大評価する危険性があることを示唆している。(1)の知見も踏まえ、このことから累積打撃力から鉛直支持力を評価する上で、押し込み力が累積打撃力に及ぼす影響を明らかにすることが必要であると言える。

(3)現場施工実験に基づく累積打撃力と地盤強度及び押し込み力の検討

これまでの現場施工データによる検証結果と同様に、N 値の小さい地盤では累積打撃力は小さく、N 値の大きい地盤では累積打撃力は大きくなり、大きな傾向として累積打撃力と N 値には相関性が認められた。同一の杭サイズで押し込み力の影響を見ると、押し込み力が小さい杭は押し込み力が大きい杭に比べて累積打撃力は大きく、模型実験と同様の傾向が認められる。この傾向はサイズの大きい H400 で顕著となる。同一の押し込み力で杭サイズの影響を見ると杭サイズの大きい H400 の方が累積打撃力は大きく、押し込み力が小さい方がこの傾向は顕著に表れている。また、N 値が小さい地盤では杭サイズ、押し込み力の大小による累積打撃力の違いはなく、模型実験で上載圧の低いケースと同様に、比較的軟弱な地盤では累積打撃力は杭重量や押し込み力に依存しないことを示唆している。

以上の結果から、杭サイズが大きいほど杭先端面積や杭周面積が大きくなり同一地盤では累

積打撃力が大きくなることは容易に想像されるが、これには押し込み力の影響も要因として含まれていることが明らかとなった。また、模型実験で認められた土粒子の詰まりによる閉塞の影響は累積打撃力の大小だけでなく杭サイズにより異なることが想像される。累積打撃力から鉛直支持力を推定するにはこれらの影響を考慮した検討が必要となる。

(4)現場施工データに基づく支持層確認指標の適用性

今回収集した施工条件においてもこれまでの現場施工データと同様に現場ごとに深度方向の累積打撃力と N 値の変化には相関性がある。しかしながら全現場データで両者の関係を見た場合、累積打撃力と N 値の関係には大きなばらつきがあり、施工条件による影響が認められる。また、押し込み力の影響を分析に足るデータ数は得られなかったため、引き続きデータを収集し提案手法の精度向上に取り組む必要がある。

(5)上記(1)～(4)に基づく支持層管理手法の高度化と今後の展望

当初の目的である累積打撃力と鉛直支持力の関係については、限られた条件下の模型実験レベルであるが両者の相関性を示唆する結果が得られた。さらに、累積打撃力に及ぼす押し込み力の影響については模型実験のみならず実大レベルでの知見が得られた。本研究で対象としたバイプロハンマ工法では、実際の施工管理として、押し込み力や起振力などの制御方法に関する基準は必ずしも明確ではない。しかしながら、地盤が硬いほど、杭断面積が大きいほど押し込み力の影響は顕著となることが本研究で明らかとなった。このことから、支持層管理手法として押し込み力の制御方法の基準を組み込むことで支持層確認精度の高度化が図れると言える。

現在は現場毎に本施工前に N 値と支持層確認指標の関係を求め、これを目安に他の杭の支持層確認をすることが標準である。今後の展望として、本研究で獲得したデータを引き続き収集するとともに、起振力の大小が累積打撃力に及ぼす影響も明らかとし、これらの知見に基づき現場施工データから、地盤種別毎に N 値と支持層確認指標を整理することで支持層確認指標と N 値の関係の構築を進める。また、今回の現場施工実験では杭の施工完了後に衝撃載荷試験を実施したものの当該地盤の支持力を確認するには十分な衝撃力を与えることが困難であったが、模型実験では累積打撃力と鉛直支持力にある程度の相関が認められた。今後は実大杭の鉛直支持力データを蓄積し、鉛直支持力の推定の可能性を引き続き検討していく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 神谷奎吾、下村修一、緒方智之
2. 発表標題 バイブロハンマ工法によるH形鋼杭打設時の支持層確認に関する模型実験 累積打撃力に関する杭自重の影響及び鉛直支持力との関係
3. 学会等名 2018年度 日本建築学会関東支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shuichi Shimomura, Masaki Nakai
2. 発表標題 Casting finish control of steel piles driven by the vibratory hammer method
3. 学会等名 The 27th International Ocean and Polar Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 神谷奎吾、下村修一、緒方智之
2. 発表標題 バイブロハンマ工法によるH形鋼杭打設時の支持層確認に関する模型実験 加圧土槽を用いた実験手法の基礎検討
3. 学会等名 2017年度 日本建築学会関東支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下村修一
2. 発表標題 バイブロハンマ工法によるH形鋼杭打設時の支持層確認 現場実測データに基づく検討
3. 学会等名 2017年度 日本建築学会関東支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 下村修一
2. 発表標題 パイプロハンマ工法によるH鋼杭打設時の支持層確認手法に関する研究-加圧土槽を用いた模型実験-
3. 学会等名 第54回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoyuki OGATA、Shuichi SHIMOMURA、Keigo KAMIYA
2. 発表標題 Model Test on Casting Finish Control Method for Steel Piles Driven by the Vibratory Hammer Method
3. 学会等名 The 29th International Ocean and Polar Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>パイプロハンマを用いたH形鋼杭打設時の支持層確認に関する研究(下村研究室ホームページ) http://shimolab.tasdg.info/researches/vibratory/</p>

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考