

バイブロハンマを用いた H 形鋼杭打設時の支持層確認に関する模型実験

日大生産工(院) ○神谷 奎吾 日大生産工 下村 修一
日大生産工(院) 緒方 智之

1 はじめに

仮設構造物である構台の支持杭打設の一手法としてバイブロハンマ工法がある。バイブロハンマ工法では支持層確認を油圧や打設速度の変化、動的支持力管理式などで確認する手法が用いられてきた¹⁾が、この手法は瞬間的な値の変化を確認しているに過ぎない。一方、バイブロハンマ工法と標準貫入試験は両者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、バイブ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。

このような背景から、著者らは地盤への貫入に必要なエネルギーを表す指標として、バイブロハンマの起振力を累積した累積打撃力を用いた支持層確認手法を提案した²⁾。さらに、施工時のバイブロハンマの偏心質量回転数や貫入速度などを連続的に計測可能な施工機械を用いた工法で、複数の現場施工記録を収集してN値の深度分布と比較することで提案手法の有効性を検討してきた。しかしながら、同程度の硬さの地盤への杭の貫入は累積打撃力が同じでも、杭やバイブロハンマの質量、バイブロハンマの押込み力に影響を受けると考えられるが、その影響程度を検証するにはデータが十分に得られていなかった。また、累積打撃力をN値との比較だけではなく、直接鉛直支持力と相関づけられればより有効な支持層確認手法になると考えられるが、累積打撃力と鉛直支持力の関係は明らかではない。

そこで、本研究では加圧土槽内にバイブロハンマ工法を模擬して模型杭を打設した後、鉛直載荷試験を実施した。これにより累積打撃力と杭自重及び鉛直支持力の関係を検討した。

2 実験概要

2.1 模型杭

図 1 に模型杭の概要を示す。模型杭は全長 950mm で、杭先端から 300mm の範囲を H 形鋼(20×20×3×3)、それより上部は密実の角形

(20×20)で、材質は SUS304 である。本実験では、施工機による押込み力や杭自重の影響を検討するため、杭体に錘を付加することでこれらを模擬した。そのため、杭先端から上方 700mm に錘を載せる台を溶接してある。杭は 84N、錘は 1 枚当たり 56N で台にボルトで固定することで杭重量を変更することが可能である。

2.2 実験条件及び実験装置

表 1 に実験条件を示す。本研究では杭重量及び地盤の上載圧を変えた計 5 ケースの実験を行った。

表 2 及び写真 1 に、本実験で使用したバイブレータの仕様と杭打設中の状況を示す。本実験では既製のピストンバイブレータを使用した。このバイブレータはエアコンプレッサーからの供給圧力を制御することで振動数と起振力を変えることが可能である。このバイブレータを模

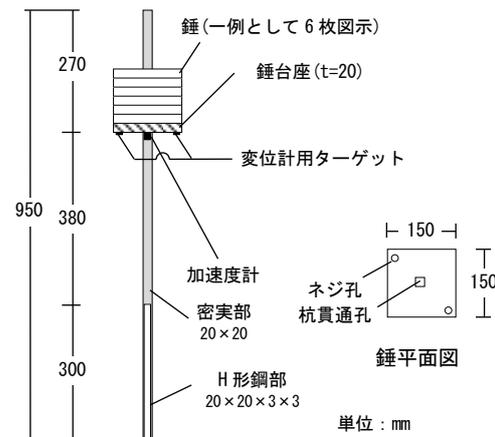


図 1 模型杭の概要

表 1 実験条件

ケース	杭の錘枚数[枚]	上載圧[kPa]	相対密度[%]
1	6	10	85
2	2	25	83
3	4	25	79
4	6	25	82
5	6	50	78

表 2 バイブレータの仕様

振動数[Hz]	起振力[N]	使用圧力[MPa]	質量[kg]
51~73	347~921	0.2~0.6	1.47

Model Experiment on Confirmation of Support Layer at H-Shaped Pile Driving with Vibro-Hammer

Keigo KAMIYA, Shuichi SHIMOMURA and Tomoyuki OGATA

型杭の頭部にネジで固定した。

図 2 に加圧土槽実験装置及び鉛直載荷試験装置の概要を示す。加圧土槽は内径 798.4mm、高さ 890mm でエアバッグを介して加圧盤により上載圧を載荷できる。土槽内側にテフロンシート、グリース、ゴムメンブレンを貼り、土槽側面の摩擦を極力除去した。

模型地盤は豊浦標準砂を用い、サンドレイナーを用いて空中落下法で作製した。サンドレイナーは蛇腹のホースの先端に、塩ビ管内にφ3mmの孔を等間隔で設けたアクリル板と金網(線径 0.5mm、網目 2.5mm)を内蔵させたノズルを取り付けた。

杭打設中は杭体の加速度、鉛直変位及びバイブレータの圧力を計測した。また、鉛直載荷試験中は杭頭荷重と杭頭変位を計測した。

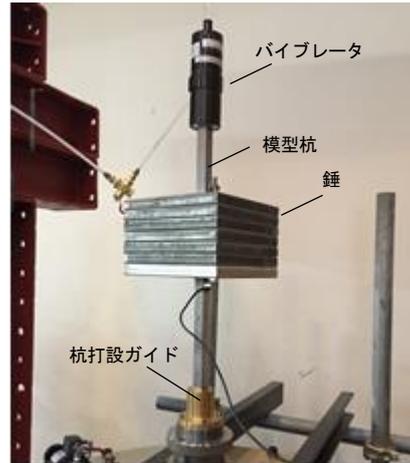


写真 1 杭打設状況例

2.3 実験手順

実験手順を以下に示す。

- ①加圧土槽内に高さ890mmまで模型地盤を作製する。
- ②加圧盤を載せ、空気投入口から空気を入れて所定の上載圧をかけ、地盤の沈下が収束するのを確認する。
- ③模型杭を模型地盤に設置する。この際、杭自重による杭貫入量を計測する。また、杭打設ガイドを設置し、杭の鉛直性を確保する。
- ④模型杭に加速度計及び非接触型変位計を設置した後、バイブレータを作動させて模型杭を貫入させる。
- ⑤模型杭先端が土槽底面から 620mm に到達後、バイブレータを停止させ、杭の打設を完了する。
- ⑥バイブレータ及び杭打設ガイドを取り外し、杭頭部にロードセル、接触型変位計、電動ジャッキをセットして電動ジャッキで 0.9mm/分の載荷速度で錘を載せたまま鉛直載荷試験を行う。
- ⑦杭頭変位 10mm に到達後、0.9mm/分の速度で除荷する。

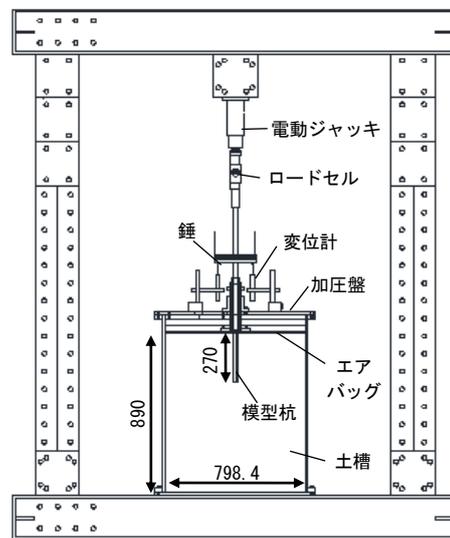


図 2 加圧土槽実験装置

3 実験結果

3.1 杭打設

図3に杭の加速度時刻歴、鉛直変位時刻歴及び累積打撃力の深度分布の一例(ケース4)を示す。なお、累積打撃力は実験で得られた各振動の鉛直下向き最大の加速度に杭質量(杭+錘+バイブレータ)を乗じて得られる打撃力及び同時刻のバイブレータの圧力からバイブレータのカタログ値を参考に算出した起振力を、深さ5mm間隔で累積した値とする。

図3より、加速度は上載圧が同じ条件では錘枚数が多いほど、小さくなっているが、錘枚数が同

じ条件であれば大きな差は見られない。鉛直変位時刻歴を見ると、錘枚数が同じ条件であれば上載圧が低いほど、上載圧が同じ条件であれば錘枚数が多いほど貫入速度は速い。累積打撃力は加速度から求めた値よりも起振力から求めた値の方が小さいが、深度が深くなるにつれて徐々に累積打撃力が大きくなる傾向は同じである。これは、杭体加速度は杭頭のみ応答であるため、この値を代表値として累積打撃力を求めたことから、起振力から求めた累積打撃力に比べて大きな値を示したと考えられる。よって、以後の検討ではバイブレータの圧力から求めた起振力で算出した累積打撃力で検討する。

3.2 累積打撃力と上載圧の関係

錘6枚の条件について、図4a)に起振力から求めた累積打撃力と杭先端深度との関係を示す。また、図4b)に図4a)の累積打撃力の内、杭先端の深度がバイブロ貫入の最終杭先端深度である土槽底面上620mmの地点から上方160mm間の累積打撃力を深度方向に累積し、貫入深度160mmで除し

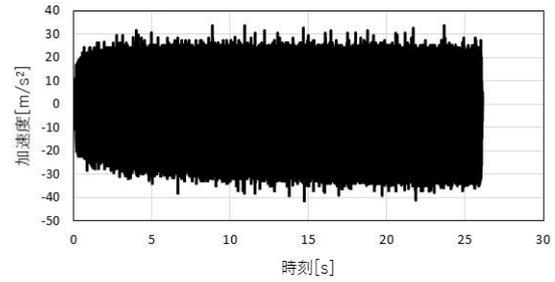
て1mm当たりの打撃力に換算した累積打撃力（以下、単位累積打撃力）と上載圧の関係を示す。図4a)から、貫入深度に関係なく、上載圧が高い、すなわち地盤が硬いほど累積打撃力も大きくなる傾向がある。図4b)から、杭自重が同じであれば単位累積打撃力は上載圧が高いほど、大きくなる傾向が見られた。なお、この結果は現場実測データの分析結果²⁾と整合している。

3.3 累積打撃力と杭自重の関係

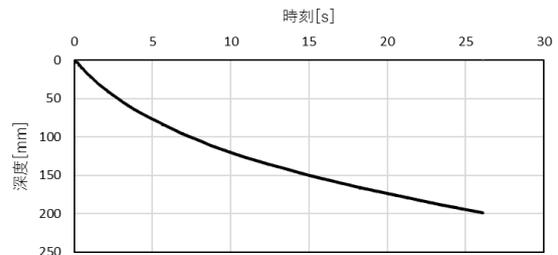
上載圧25kPaの条件について、図5a)には起振力から求めた累積打撃力と杭先端深度との関係を、図5b)には図4b)と同様の方法で図5a)を用いて算出した単位累積打撃力と錘枚数の関係について示す。図5a)から、錘枚数が少ないと深い深度では累積打撃力が大きいことがわかる。また、図5b)から、上載圧が同じ条件下では、錘4枚と錘6枚では大きな差は見られないが、錘2枚では急激に単位累積打撃力が大きくなっている。このことは、効率的に貫入できる杭自重の最低値が存在することを示唆していると考えられる。

3.4 鉛直載荷試験

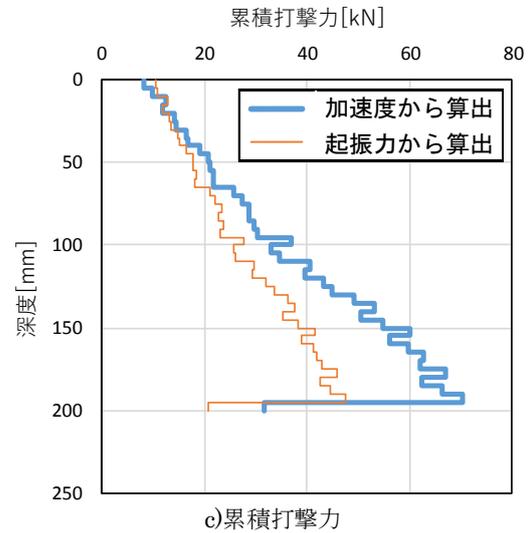
図6に錘6枚の鉛直載荷試験結果を示す。杭頭荷重は上載圧が25kPaと50kPaのケースでは錘の枚数によらず杭頭変位が3mm程度で最大値を示し、その後はやや減少した後一定値を示している。これは、最大荷重前は打設によりH形鋼に砂が詰まり、H形鋼の閉塞断面で杭先端地盤を押ししていたが、最大荷重後にはH形鋼内側で砂との摩擦が切れてH形鋼断面のみで押ししていたためと考えられる。一方、上載圧10kPaでは杭頭変位が3mm程度で杭頭荷重が最大値を示したまま、その後の杭頭変位の増加に対して杭頭荷重は一定であった。これは、杭打設時の累積打撃力が小



a) 加速度時刻歴

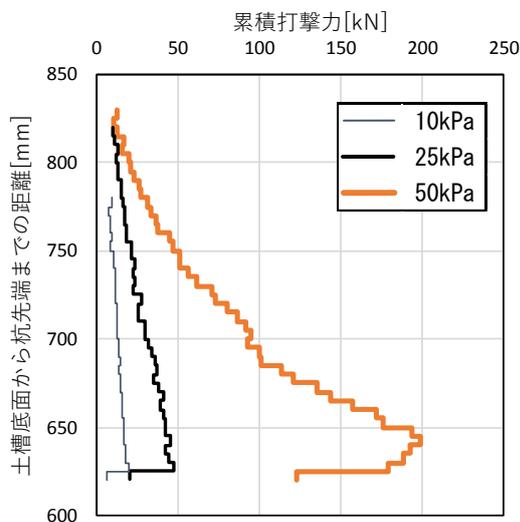


b) 鉛直変位時刻歴

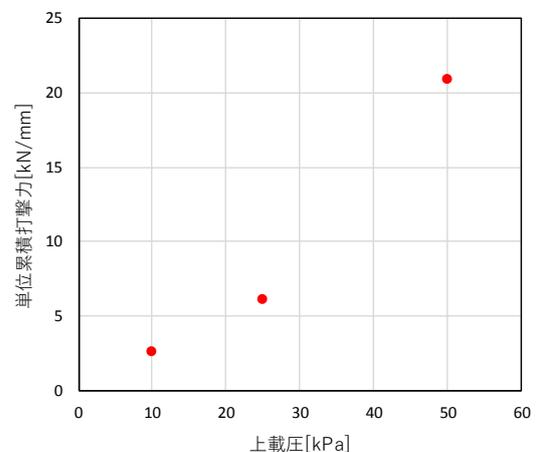


c) 累積打撃力

図3 打設データの一例（ケース4）

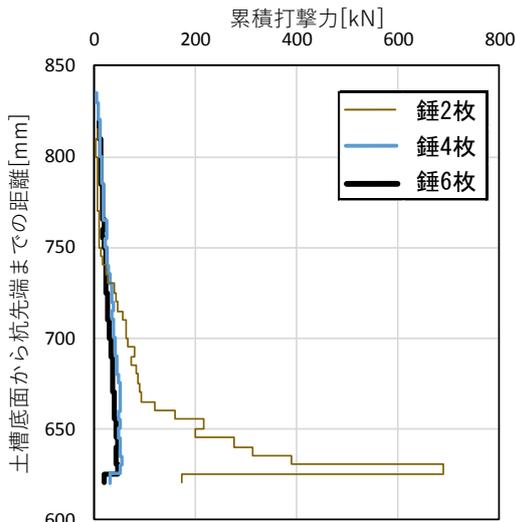


a) 累積打撃力と杭先端深度

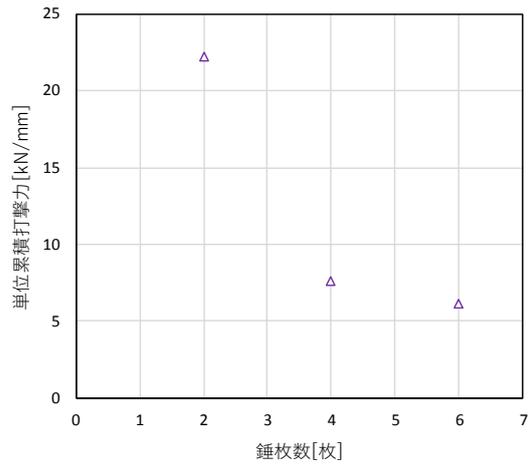


b) 上載圧と単位累積打撃力の関係

図4 錘6枚の条件の累積打撃力



a) 累積打撃力と杭先端深度



b) 杭自重と単位累積打撃力の関係

図5 上載圧 25kPa の累積打撃力

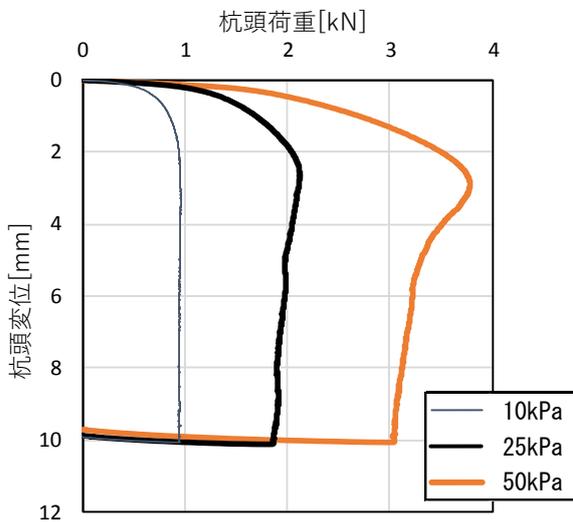


図6 鉛直載荷試験結果の一例 (錘6枚)

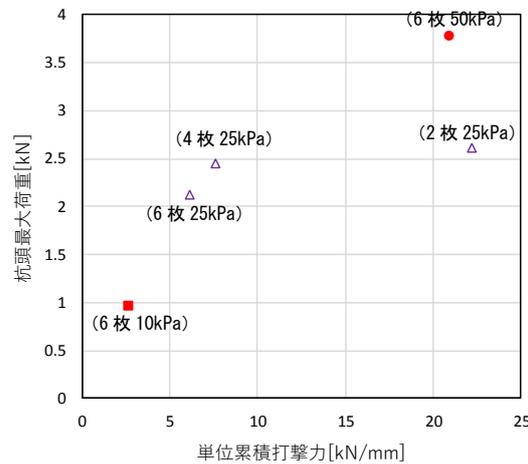


図7 杭頭最大荷重と単位累積打撃力

さく、H形鋼内が砂により閉塞しておらず、初めからH形鋼断面のみで押していたためと考えられる。

図7に最大杭頭荷重と単位累積打撃力との関係を示す。上載圧が同じ条件では、最大杭頭荷重にはいずれも大差はなく、杭自重による違いは見られないことから、累積打撃力から鉛直支持力を評価することは困難である。一方、杭自重が同じ条件では、上載圧の違いが鮮明に表れ、累積打撃力と鉛直支持力には相関性があり、累積打撃力から鉛直支持力評価が行える可能性があることがわかる。

4 おわりに

本実験の結果、効率的に貫入可能な杭自重の最低値が存在し、その条件下では累積打撃力から鉛直支持力評価が行える可能性があることがわかった。しかし、本実験ではバイプロハンマの起振

力をほぼ一定に制御しているため、今後は、起振力の影響についても検討する予定である。

謝辞

本研究はJSPS科研費 JP17K14764の助成を受けたものである。また、載荷試験装置の一部は丸藤シートパイル殿に提供頂きました。ここに記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) バイプロハンマ工法技術研究協会：バイプロハンマ設計施工便覧, pp.82-94, 2010.1
- 2) 下村：バイプ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, 第88回日本建築学会関東支部研究報告集, pp.245-248, 2018.3