

# 長尺打込み鋼管杭の支持力特性

The Supporting Force Property of Long Driven Steel Pipe Pile

(株)砂子組	○正員	名和 紀貴 (Noritaka Nawa)
(株)砂子組	正員	廣上 伸二 (Sinji Hirogami)
(株)砂子組	正員	近藤 里史 (Satoshi Kondo)
北海道開発局	非会員	山中 誠也 (Seiya Yamanaka)
(株)砂子組	正員	長谷川 雅樹 (Masaki Hasegawa)
(株)砂子組	正員	田尻 太郎 (Taro Tajiri)

## 1. はじめに

打撃杭の打ち止め管理は通常、1) 一打撃当りの貫入量とリバウンド量から動的支持力を算定し、支持層への到達度などを総合的に判断して行われる<sup>1)2)</sup>。また近年では、2) 杭頭における衝撃載荷試験の動的データ処理に基づくシグナルマッチングや CASE 法による、リアルタイムな打ち止め管理を行う方法も提案されている<sup>3)4)5)</sup>。上記の方法はいずれも、一次元波動理論に基づく杭体上での衝撃力伝播解析を基礎としているが、1)の動的支持力はいくまで打ち止め管理の目安の一つである。一方 2)の方法は、リアルタイム解析により静的支持力を推定するものであるが、適用にはかなり特殊なシステムと専門業者等が必要と考えられる<sup>6)</sup>。

本論文では、φ600、全長 44.5 m の鋼管杭の打ち込み過程（日本車両 NH100-2、10t）で行った、杭頭付近の加速度測定と杭体各点の歪み計測によって得たデータに基づき、2)と同じく杭頭の加速度と歪み測定結果だけから、より簡易な方法で静的支持力の推定を試みたものである。

## 2. 計測概要

図-1 に歪みゲージ位置を示す。測定方向は軸方向である。歪みゲージは図-1 の L1~U で対向位置に 2 点配置し、定着を兼ねた防水処理材で覆った。延長ケーブル (ETFE4C シールド付) は、歪みゲージも含めてアルミテープで杭体に定着させ、打ち込み時の地盤抵抗から保護した。図示していないが杭頭には加速度計 (歪みゲージ式、1000G) も配置し、現場継手ごとに移設を繰り返した。設置位置は現場継手位置から下方 500 mm、記号は A-2 である。測定サンプリングは 10 kHz で、全データ量は 707 MB になる。

打ち込み深度の増加とともに歪みゲージは順次断線等により測定不能となっていったが、ここでは対向位置 2 点と加速度計の全データが揃った、ほぼヤットコ直前までの打ち込み延長が 0~35.5 m の結果を用いる。

データ処理においては、対向位置 2 点の測定値を平均し、ランマー打撃時の波形 454 波を 130 msec の長さで抽出した。なお加速度計には圧電式も併用していたが、ランマー打撃力の増加とともにノイズが卓越したデータとなったため、加速度計は歪みゲージ式の 1 点のみの結果である。

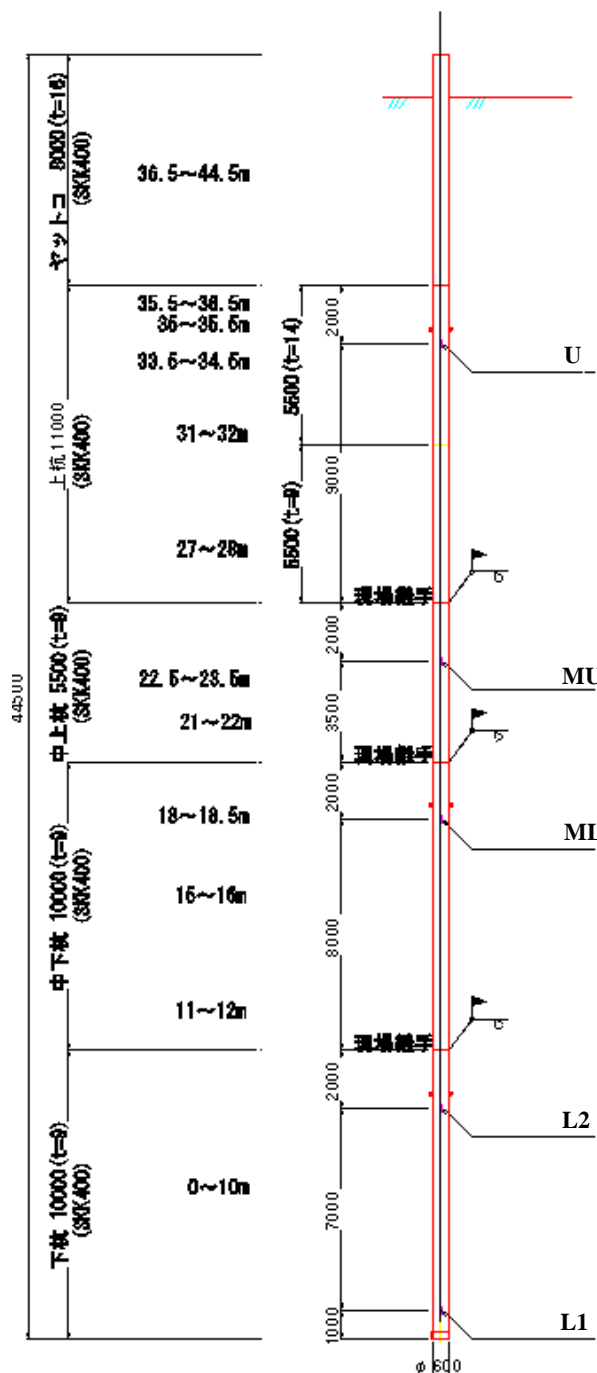


図-1 歪みゲージ設置位置

### 3. 杭体変位

杭体変位は現場継手の下方 500 mm に取り付けられた加速度計のデータによる (図-2)。加速度の2回数値積分を、杭体の全体変位とみなした (図-4)。数値積分にあたっては抽出した 130 msec の衝撃波形の終端で速度 0 とする基線補正を、抽出波形ごとに行っている (図-3)。

図-4 に示す、1 打撃ごとの変位を打撃回数のグラフとして積算したものが図-5 である。図中の青線はボーリング調査による地盤 N 値で、打込み深度が 30 m を越えると打込み効率が悪くなり、ほぼ N 値の大きさと対応する形となっている。

図-5 の打込み量 22~28 m の不連続は、打撃衝撃による加速度計の脱落である。他の小さな不連続はデータ不良による。基線補正の精度は、現場実測による打込み量と比較して十分と判断した。

### 4. 打込み仕事

図-6 に 1 打撃の打撃力と、それに伴う杭体変位を示す。打撃力は、杭頭付近にある加速度計直下の現場継手から 2000 mm 位置の歪み測定値に、杭断面積をかけた値である。1 打撃の打込みの仕事は [打撃力] × [変位] を変位で積分し図-7 となる。1 打撃ごとの打込み仕事を打込み量のグラフとして積算したものが図-8 である。打込みに消費したエネルギー変化も、ほぼ N 値の大きさに対応して打込み効率が悪くなるのは、図-4 と同様である。データ欠損も図-4 と同じ理由による。

### 5. 有効打撃力

静的支持力を推定するために、有効打撃力を定義する。図-7 に示した赤ラインの傾きは、1 打撃の打込み仕事を 1 打撃の最大貫入量でわった値であるが、これを有効打撃力と呼ぶ。1 打撃の貫入に要した平均的な打撃力と考えられる。

### 6. 静的支持力の推定

基本仮定は以下である。杭体はランマー打撃開始直後は杭頭付近のみ運動し、ランマー打撃力が杭の静的支持力を越えた時点で、ほぼ杭体全体が運動を開始する。

図-9 は、図-7 の打込み仕事のグラフに対応する模式図である。

先の仮定を認めれば、図-9 の S 点がランマー打撃力が杭の静的支持力を越えた時点だとして、S 点以前に使われた打込み仕事は杭頭付近のみの運動に対するもので、これは全体の打込み仕事量に対して十分小さいと考えられるため、S 点以後の貫入のために使われた仕事は、ほぼ杭全体の運動に使われた仕事と仮定できる。

そこで S 点以後の打込みに要した有効打撃力は、5. で求めた杭全体の貫入に要した有効打撃力に等しいとみなして、S 点を決定した。

具体的には、1 打撃に関する図-9 のデータは、時刻も含めて杭頭の加速度計と歪みゲージから全て得られたものなので、図中の E 点から打込み仕事を表す曲線へ引いた直線 L の傾きは、収録データから計算可能である。図中の赤矢印に示したように、1 打撃の終了時から逆順に

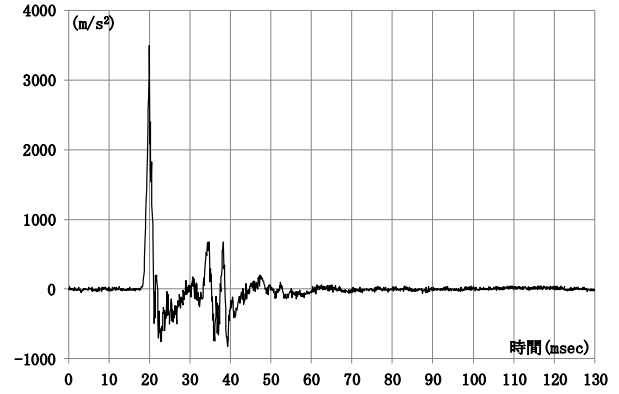


図-2 一打撃の杭頭加速度波形

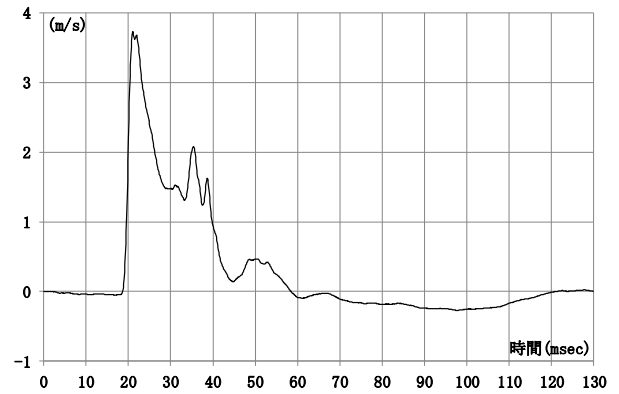


図-3 一打撃の杭頭速度波形

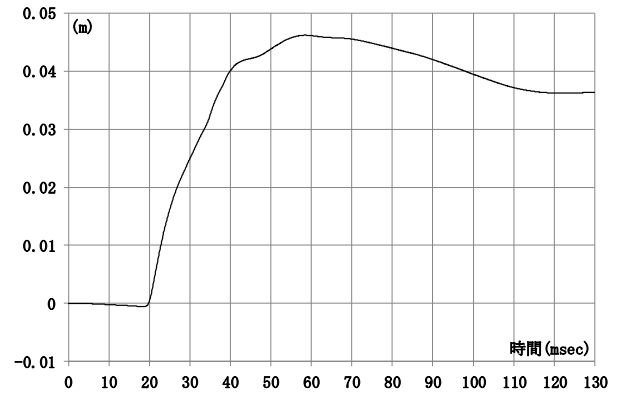


図-4 一打撃の杭頭変位波形

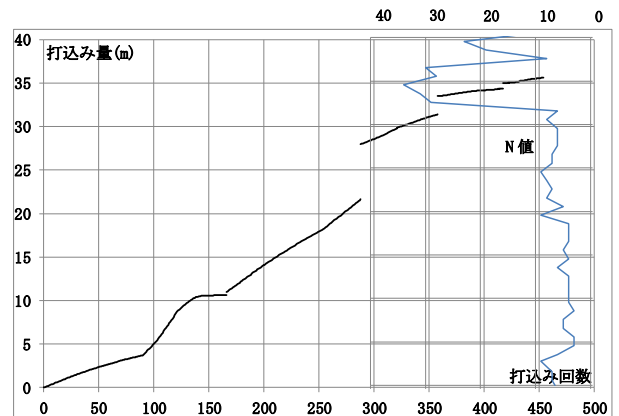


図-5 打込み量

データをたどり、L の傾きが有効打撃力に等しくなった時刻が S 点である。この時刻を、図-10 の杭頭の歪みゲージから得られた打撃力の時系列に戻せば、杭の静的支持力に等しいランマー打撃力が得られると考えた。

ただしデータ上 S 点が図-10 の黄色のハッチ部に入り、打撃力が負となった場合は 0 とする。また S 点が図-10 の最大打撃力以降となった場合は、少なくとも最大打撃力までは杭全体が運動しなかったと考え、推定する静的支持力は最大打撃力に等しいとした。

このようにして推定した静的支持力は、静的先端支持力と静的周辺摩擦力の両方の寄与を含むと考えられる。

### 7. 杭先端への作用力の測定値

杭先端への作用力は、杭先端から 1000 mm の位置にある、図-1 の L1 ゲージの値を用いた。1 打撃ごとの測定されたピーク歪み値×杭断面積を、杭先端への作用力の実測値とした。

### 8. 測定値、推定値の比較

図-11 に抽出波形 454 波から得た、最大打撃力（測定）、有効打撃力（測定）、静的支持力（推定）、杭先端作用力（測定）の値を、地盤 N 値と合わせて打込み深度のグラフとして示す。

各打撃の最大打撃力は、N 値に応じて大きくなり（オペレータ判断）妥当な結果と思われる。

有効打撃力は、相対的に N 値の小さい深度 10~20 m の範囲ではほぼ横這いであり、N 値が急激に大きくなる深度 30 m 以上では増加傾向にあるが、最大打撃力の増加ほど大きいものではない。従って有効打撃力は、ランマー打撃力よりも地盤状態（N 値）を反映して決まると考えられ、妥当な結果と思われる。

推定静的支持力にも同様な傾向が見られるが、5~10 m の範囲では、ほぼ 0 である。この原因であるが、0~5 m の範囲で最大打撃力と静的支持力は近い値であり、その範囲よりも低い N 値を持つ 5~10 m でランマー打撃力

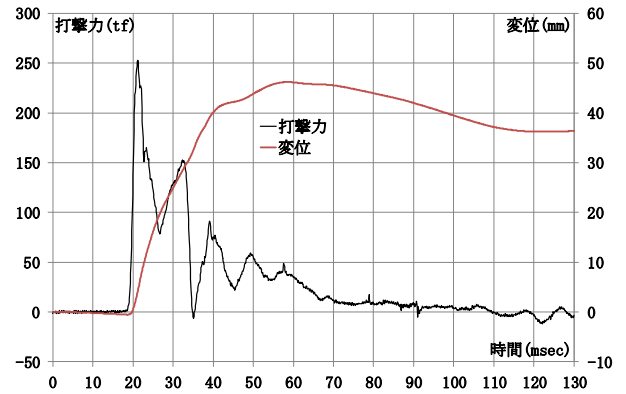


図-6 一打撃のランマー打撃力と杭変位

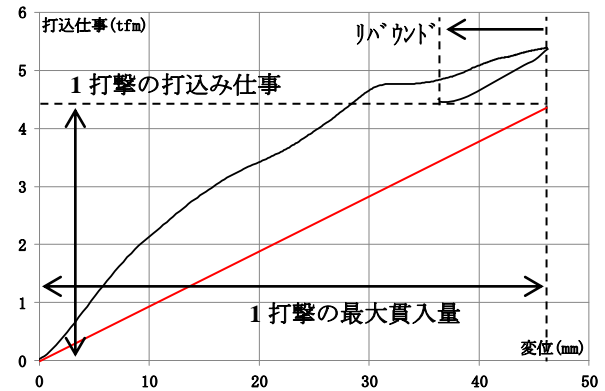


図-7 一打撃の打込み仕事

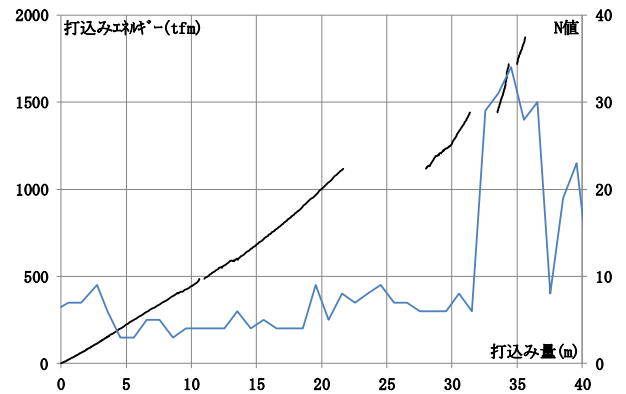


図-8 打込みエネルギー

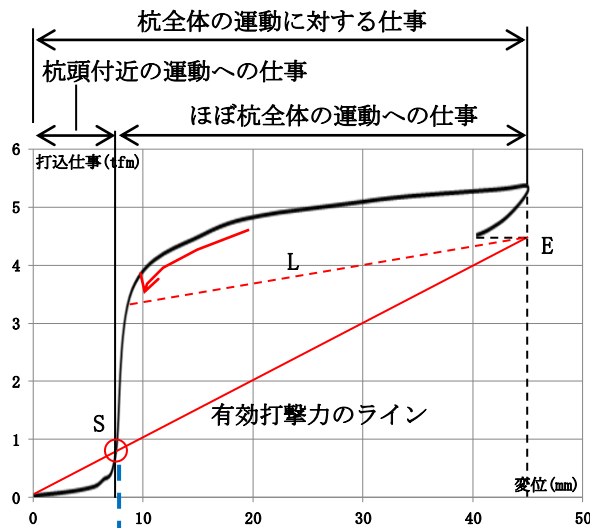


図-9 一打撃の打込み仕事の模式図

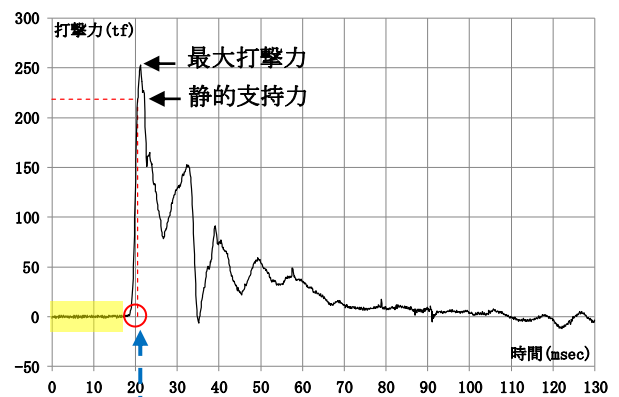


図-10 一打撃の推定静的支持力と最大打撃力

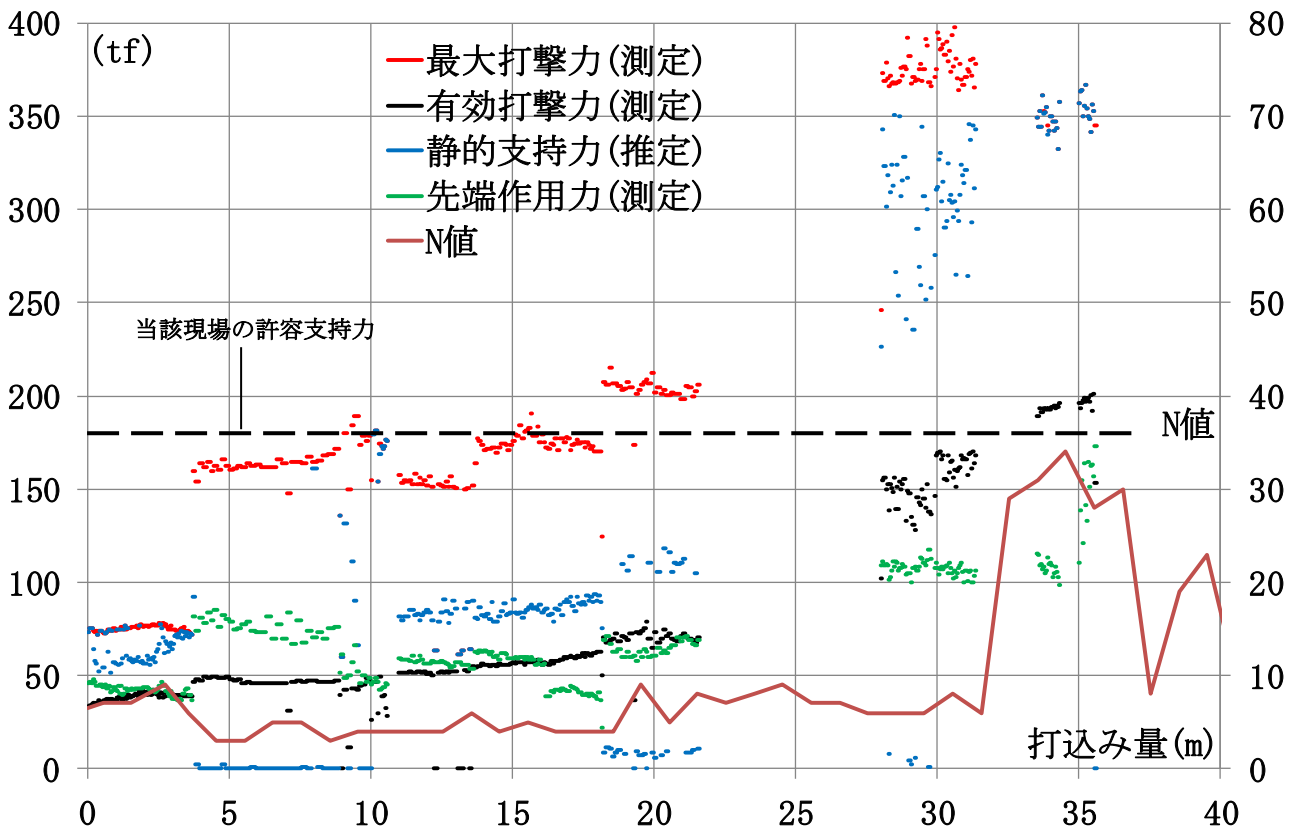


図-11 最大打撃力，有効打撃力，推定静的的支持力，先端作用力，地盤N値

を増加させたため地盤が容易に打ち抜かれ、推定静的的支持力が 0 になったと考える事は可能である。18～22 m の範囲ではばらつきが大きい、これは柱状図の精度の問題と考える事は可能である。28～32 m の範囲も同様であるが、最大打撃力が増加しても地盤N値を反映して推定値は決まる傾向にある。ほぼ支持層に達した 35 m 付近では、最大打撃力と推定静的的支持力は概ね一致する。

このとき加速度から算定した 1 打撃当りの貫入量は平均 20 mm，最小 5 mm であり、道示・下部工編の打ち止め条件範囲なので、最大打撃力と静的的支持力がほぼ一致するのは妥当と思われる。またこの時のリバウンド量も 20 mm 程度であった。

先端作用力（測定による支持力）と有効打撃力は現状で動的なものか静的なものかは不明であるが、0～20 m の範囲で両者は一致する傾向にある。有効打撃力は先端支持と周辺摩擦両方の寄与があると考えられるが、この範囲では先端支持の影響が大きいと考えられる。30 m 以上では有効打撃力の方が大きく、N 値による周辺摩擦の影響が現れたと考えられる。

今後の課題として、比較的簡易に適用できる今回の方法を、シグナルマッチングや CASE 法、および静的荷重試験によって検証する事があげられる。

## 9. まとめ

ランマー打撃時に杭頭で測定した加速度と歪みデータを比較的簡易な方法で処理する事によって、静的的支持力と先端支持力を推定できる可能性はあると思われる。また両者が妥当なものであれば、その差として周辺摩擦力

も推定できる事になる。

## 参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説IV. 下部工編，pp. 554～557，日本道路協会，平成 24 年。
- 2) 杭基礎施工便覧，pp. 126～132，日本道路協会，平成 27 年。
- 3) 杭基礎設計便覧，pp. 128～136，日本道路協会，平成 27 年。
- 4) 杭の衝撃荷重試験における CASE 法の検討，小嶋英治，日本建築学会大会学術講演集（東北），2009 年。
- 5) 衝撃荷重試験の波形マッチングに差分法を用いる場合の入力波の検討，小嶋英治，日本建築学会大会学術講演集（東海），2003 年。
- 6) [http://www.fugro.co.jp/pdf/pda\\_tec.pdf](http://www.fugro.co.jp/pdf/pda_tec.pdf).