

19 品質管理

打込み鋼管杭の実用的打ち止め管理に関する研究

(一社) 北海道土木施工管理技士会

株式会社砂子組

監理技術者

廣上 伸 二〇

現場代理人

名和 紀 貴

執行役員副社長

佐藤 昌 志

1. はじめに

本工事は、千歳川河川整備計画に基づく江別太遊水地事業のうち、西13号橋の下部工、盛土工、水路移設工を行う。

工事概要

- (1) 工 事 名：石狩川改修補償工事の内 江別太遊水地西13号橋下部工外工事
- (2) 発 注 者：北海道開発局札幌開発建設部
- (3) 工事場所：北海道江別市
- (4) 工 期：平成29年3月～平成29年12月

2. 現場における問題点

本工事は西13号橋下部工は、約30mのφ600打ち込み鋼管杭により支持されるものであったが、当初支持層とした砂混じり礫層の層厚不足が指摘され、約10mの追加延長となり、高止まりが懸念された。鋼管杭の杭の打ち止め管理に関しては、実際上道路橋示方書下部工編を用いることが多い。そこでは弾性波動論に基づいた動的先端極限支持力と動的に低減した杭周面摩擦力を含む動的 support 算定式から動的 support 力を評価し、その値が設計上の静的許容 support 力を上回ることが打ち止め管理の指標となっている（日本道路協会：道路橋示方書・同解説（IV下部構造編），2012）。しかしながら動的 support 力はあくまで打ち止め管理の指標の一つであり、通常は現場で記録した打込み履歴等から支持層への到達度などを推定し総合的に判断して打ち止め管理を行っているのが現状である（日本道路協会：杭基礎施工便覧, 2015.）。

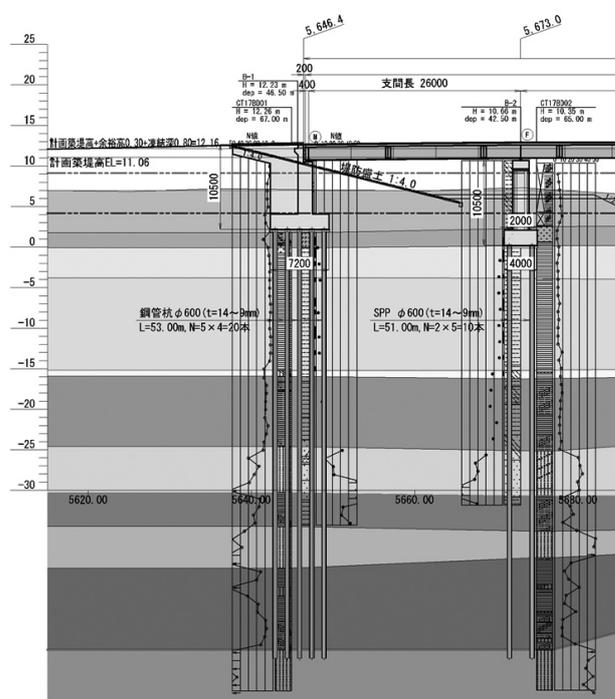


図-1 柱状図

動的 support 力が打ち止め管理の指標の一つに留まるのは、それが管理目的である静的 support 力を直接反映したものではないことあげられる。そのため近年では、衝撃載荷試験の動的データマッチングやCASE法でリアルタイムに処理し、波動論に基づいて静的 support 力を推定する方法も採用されている（小嶋英治：杭の衝撃載荷試験におけるCASE法の検討，日本建築学会大会学術講演集（東北），pp.407-408, 2009）。しかしながら具体的な計算のために地盤情報を反映したパラメータ取得が必要となり、いずれの手法も現場への適用にはリアルタイム解析に特化した測定システム

と解析システム、および熟練した人員が必要で通常の現場技術者が運用できる範囲を越えていると思われる（小嶋英治：衝撃载荷試験の波形マッチングに差分解析を用いた場合の入力波の検討，日本建築学会大会学術講演集（東海），pp. 561-562, 2003.）。

3. 工夫・改善点と適用結果

工学的には、地盤N値，ランマーの打撃回数，各打撃毎の打撃力波形や杭頭変位等の最低限の情報で簡易に静的支持力評価が可能になれば、より実用的と考えられる。本論文は、 $\phi 600\text{mm}$ ，全長44.5mの鋼管杭の打込み過程で計測した、杭頭の衝撃加速度および杭全長に渡る歪みデータによって、杭頭部の挙動のみによる簡易な静的支持力評価を、実証的に検証することを試みた。なお、打込み杭の打撃過程における杭全長、特に杭端の歪み計測は、著者等の知る限りでは見当たらない。

(1) 計測概要

図-2に、打込み実験に用いた鋼管杭の形状寸法，歪みゲージ（ゲージ長2mm）の取付位置を示す。測定方向は軸方向。位置は図中のL1~U間で対向位置に2点取り付け、防水処理材で覆った。図-3の延長ケーブルはETFE4Cシールド付を用い、歪みゲージも含めてアルミテープで杭体に定着させ、打込み時の周辺地盤の抵抗から保護した。図-2には図示していないが、杭頭に容量1000Gの歪みゲージ式加速度計を取り付け、鋼管を溶接して連結する場合には、そのたびに移設を繰り返した。

取り付け位置は連結位置から下方500mmで、図-4のA-2位置となる。加速度計応答の最大周波数は7kHz，サンプリング周波数は10kHzである。歪みゲージは打込み深度の増加と共に断線等により順次測定不能となったので、本論文では対向位置2点と加速度計の全データが揃っている打込み延長が0～35.5mの範囲の結果を用いる。対向位置2点の測定値を平均して用いる。

本実験に用いた打撃ハンマーは、日本車両製NH100-2，油圧ハンマーの質量10ton，最大スト

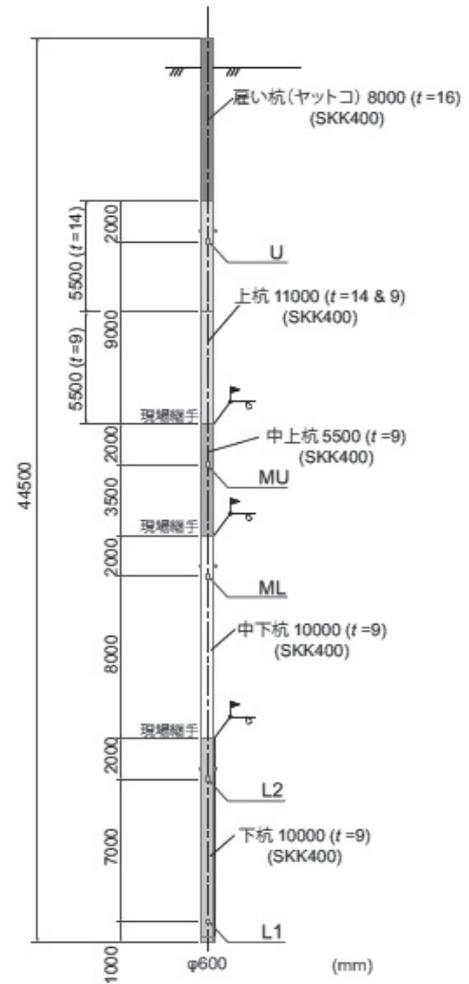


図-2 歪みゲージ設置位置



図-3 加速度計，歪みゲージ設置状況

ロークが自由落下相当で1.44m，最大打撃エネルギーは141kJである。

杭頭加速度は打込み延長が30m以上で300G以

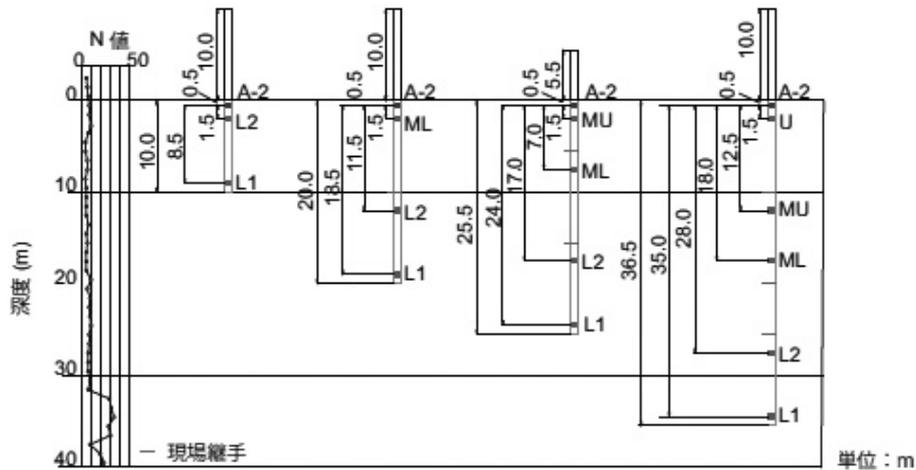


図-4 打ち込み状況

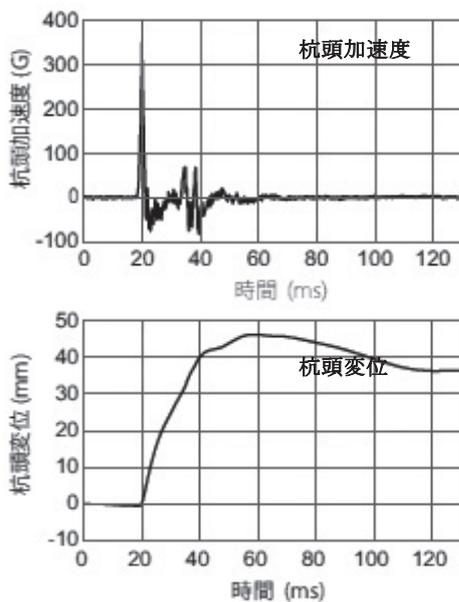


図-5 1 打撃の杭頭加速度, 変位

上を示しており、地盤N値が急激に大きくなる34～35.5mでは400～550G程度の値を示していた。

また、打ち込み延長が34m以上の範囲では、地盤N値の急激な増加に伴い打撃力も増大し、杭頭加速度波形は鋭角な形状を示し、衝撃荷重載荷時に類似した波形を示した。少なくとも地盤N値が十分大きく支持層に達したと考えられる打ち込み延長では、各深度の歪みピーク値のタイムラグから弾性波動理論に従った衝撃波形伝播を確認した。

(2) 換算静的支持力

図-5の杭頭加速度は、ランマー1打撃によって生じる杭頭の加速度波形の例を示す。同図の杭頭変位は加速度を2階数値積分する事で算出した。数値積分では打撃終了後も杭頭速度は0

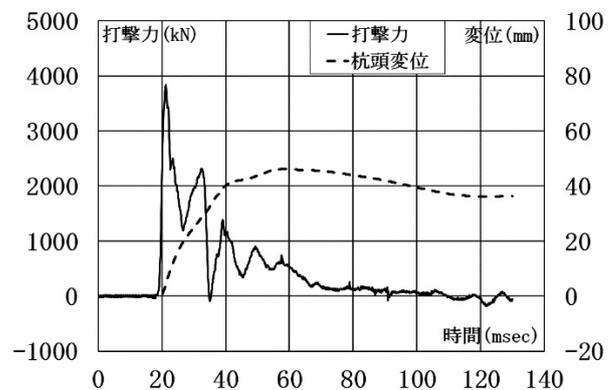


図-6 1 打撃のランマー打撃力と杭頭変位

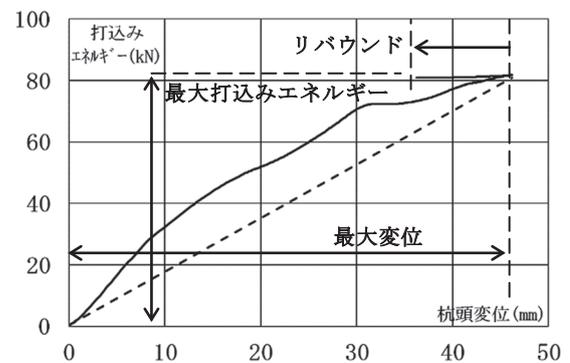


図-7 1 打撃の打ち込みエネルギー

にならないので、加速度時刻歴から打撃開始後、約110msで静止するとして基線補正を行った。図-6は、打ち込み延長30m時点のもので、ランマー打撃力は杭頭直近の歪み測定値に杭断面積と弾性係数をかけて求めた。同杭頭変位は前述の方法である。

図-7は図-6から推定した、打撃過程で消費されるエネルギー履歴となる。1打撃全体の打ち込みエネルギーは打撃力-杭頭変位曲線(同図の実線)の面積として積算される。ここで設計に容易

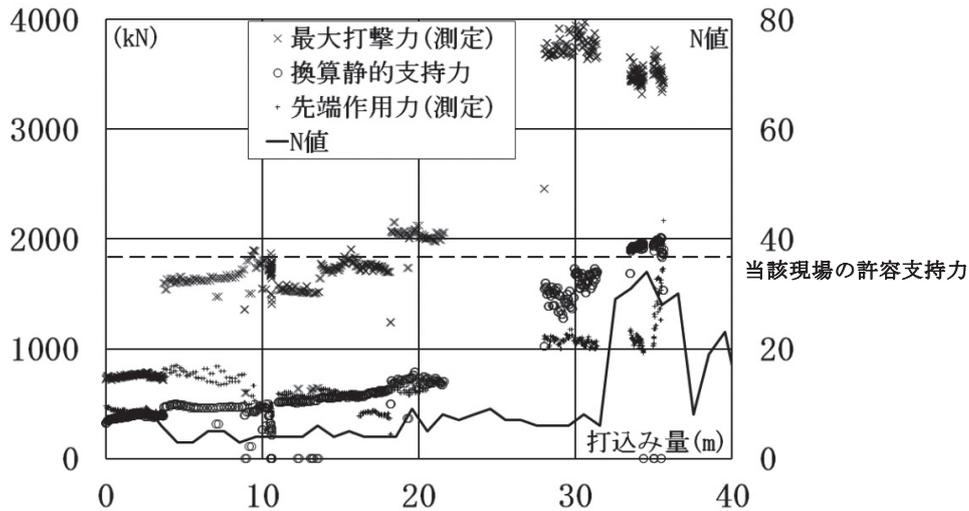


図-8 推定値と実測データの比較

に適用しうる工学近似として換算静的支持力を定義する。衝撃的な打撃力を打撃過程で準静的に一定とすれば、その値は図-7の最大杭頭変位に対応する最大打込みエネルギーの増加率となる（同図点線の傾き）。同図で試算すると、 $81.4 \text{ (kJ)} / 46.2 \text{ (mm)} = 1762 \text{ kN}$ の換算静的支持力となる。これは図-6の最大打撃力3831kNの46%であり、ランマー打撃衝撃力の主要部をほぼ捉えていると考えられる。両者の差は後述するように、周面摩擦力による低減と解釈する事ができる。

(3) 許容設計支持力，各種測定値との比較

図-8に打込み深度ごとの実測波形454波から得られた最大打撃力，換算静的支持力，杭先端作用力を地盤N値と合わせて示す。杭先端作用力は杭端から1000mm上方のL1ゲージの測定値に、杭断面積と弾性係数をかけたものである。

打込みの初期段階である打込み量5m未満を除き、支持層到達以前の5～20mの範囲では、換算静的支持力は最大打撃力の25%程度であり、杭先端作用力と概ね一致する傾向にある。

支持層に到達し始めた30mから、ほぼ支持層に到達したと考えられる35mの範囲では、換算静的支持力は最大打撃力の40～50%に達し、特に地盤N値のピークである35m付近では、当該現場の許容支持力とほぼ一致している。杭先端作用力が換算静的支持力を下回るのは、周面摩擦力の影響と考えれば、打込み量のより小さい5～20 mの範

囲で両者が概ね一致する事にも整合する。

なお図中の計測結果に多少ばらつきが発生しているが、これはN値の分布のみならず、鋼管溶接時に打撃を中断することによる鋼管周面摩擦力の増大等も影響しているものと思われる。

4. おわりに

本研究では、鋼管杭の打ち止め管理と共に杭先端部の静的支持力評価を行うことを目的に、杭頭での衝撃的な打込み加速度および、杭全長に渡る歪み計測、特に杭頭の歪み計測値に基づき検討を行った。

- 1) 杭頭の加速度波形から算定した杭頭変位と、杭頭部の歪み計測による打撃力から評価可能な打込みエネルギーの関係から得られる最大換算静的支持力は、設計における許容支持力にほぼ対応する。
- 2) 杭頭の衝撃的な最大打撃力は道示・下部工編の動的先端支持力1)に対応するものと推察されるが、杭先端部が支持層に達した場合には、ほぼ設計における許容支持力の1.9倍程度の値を示す。
- 3) 従って、杭頭の衝撃的な最大打撃力値をもって打ち止め管理が可能であると同時に、安全率を2として杭先端の静的支持力が評価可能になるものと推察される。