

鋼管杭の打撃工法 施工管理要領

[Edition 1.0]

2019年7月

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会

鋼管杭の打撃工法

施工管理要領

【Edition 1.0】

2019年7月

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会

日本において構造物基礎として鋼管杭が広く用いられるようになって半世紀以上が経過したが、この間、社会環境の変化、構造物の大規模化、自然災害への対応などの世の中のニーズに応える形で新しい工法や設計・施工技術が開発され、大径・長尺化や高性能化への対応、多様な地盤条件・施工条件への対応、騒音・振動・排土等の環境負荷低減への対応等により、その使用範囲は格段に広がってきた。

現在では、多くの鋼管杭工法が出現し、設計法も整備され、より安心して安全な構造物の整備、建設コスト縮減、困難な施工条件の克服に多大な貢献を果たしていると考えられるが、それらの工法成熟の過程では施工上のトラブルの発生や基礎としての性能が不足する事態の発生なども少なからず経験し、関係者のたゆまぬ努力によって課題を1つ1つクリアしてきたものと考えられる。また、実績を積み重ねる中で多くの知見・ノウハウが加わり工法としての完成度も日々高まっている。

その一方で、新たな条件・環境への挑戦的な取り組みが繰り返される中で、設計や施工面でこれまでに経験の無い新たな課題やトラブルも発生しており、また、建設分野を取り巻く環境の変化も相まって、現場をよく知る技術者や熟練工が豊富な時代には当たり前であった基本的な事項においてもミスやそれに伴うトラブルが散見されるようになってきている。

昨今では、構造物の性能や耐久性について信頼性をベースとした計画・設計が行われるようになり、各種の設計基準類もそれに対応した形へと改訂が進められている。その中で、基礎構造物においては、施工の良否がその性能を大きく左右することから、特に施工信頼性の評価、確保が重要な課題として注目されるようになってきている。

以上のような状況から、鋼管杭・鋼矢板技術協会では、鋼管杭工法の技術伝承・普及、信頼性確保・向上を目的に、「施工」に焦点をあてた技術整備を実施してゆくことを企画した。

これまでに蓄積した技術、知見、ノウハウを取りまとめた施工要領等の技術資料を作成し、専門家・学識経験者等を委員に迎えて設置した施工専門委員会において審議いただき、その成果を「JASPP Technical-Library-施工-」シリーズとして発行してゆくことを計画している。

こうした活動が関係各位の一助となることを祈念する次第である。

2014年9月30日

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会
代表理事 岡原 美知夫

一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会 施工専門委員会

委員長 前 田 良 刀

委員 青 木 一 二 三

岡 原 美 知 夫

高 橋 邦 夫

中 谷 昌 一

七 澤 利 明

西 岡 英 俊

西 田 秀 明

吉 田 映

(2019年3月現在)

はじめに

鋼管杭の打撃工法は、昭和 30 年代後半から 40 年代にかけて急速に普及し、その後は騒音振動問題により国内での採用が減少しているものの、現在においても港湾分野や道路分野の沿岸部・山間部の一部で使用されています。その背景には、強度が高く板厚が小さいといった鋼管杭の材料が持つ特性と、施工が早く経済的で打撃時に杭を介して地盤の貫入抵抗が確認できるといった打撃工法が持つ特色とが相性よく発揮され、杭施工法としての合理性や経済性があるからにほかなりません。しかし打撃工法の施工管理、とりわけ打止め管理については、杭の大径化や長尺化、施工機械の大型化や高性能化が進む中、一部で研究が進められているものの、多くの現場では旧来からの施工管理が行われており課題を抱えているのも事実です。

鋼管杭・鋼矢板技術協会では、これまで「材料」や「構造」、「設計法」の規格・基準類の整備を主な業務として取り組んできました。しかし、施工された後の杭としての性能や品質を左右する施工の信頼性や透明性の向上を望む要請が強まったことを受け、協会内に杭工事会社を交えた施工管理普及委員会を新たに設置し、施工管理の方法に重点をおいた施工管理要領を作成することとしました。本施工管理要領では、平成 29 年の「道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編」の改定主旨や「杭基礎施工便覧」の記載内容を踏まえ、これらを補完するものとしてより具体的に詳述するとともに、打止め管理式（動的支持力式）の適切な活用方法を示しています。

本施工管理要領は、主に、杭工事を行う杭工事会社の現場管理者を対象者として作成していますが、基礎ぐい工事問題でも指摘されているように、杭工事の適正な施工管理や品質管理を行うためには杭工事会社だけではなく、発注者（工事監理者）や元請もそれぞれの役割や責任を果たす必要があります。そのため、本施工管理要領では、発注者（工事監理者）や元請が実施すべき事項についても言及し、施工専門委員会の有識者の方々にご審議いただいた上で完成させています。

今後、本施工管理要領が鋼管杭の打撃工法による杭打ち工事の計画・実施において「道路橋示方書」、「杭基礎設計・施工便覧」と併せて利用され、施工の信頼性向上、工事品質向上の一助となり、鋼管杭の打撃工法が持つ優位性がいかんなく発揮され社会に貢献されることを願う次第であります。

目 次

1. 総則.....	- 1 -
1. 1 目的.....	- 1 -
1. 2 適用範囲.....	- 2 -
1. 3 用語の解説.....	- 2 -
2. 打撃工法の概要.....	- 5 -
2. 1 施工手順.....	- 5 -
2. 2 施工機械.....	- 7 -
2. 2. 1 杭打ち機.....	- 7 -
2. 2. 2 ハンマ.....	- 8 -
2. 2. 3 キャップ・クッション.....	- 9 -
2. 2. 4 補助クレーン.....	- 10 -
2. 2. 5 ヤットコ.....	- 10 -
2. 3 鋼管杭及び附属品.....	- 10 -
2. 3. 1 鋼管杭.....	- 10 -
2. 3. 2 附属品.....	- 11 -
2. 3. 3 その他の附属品等.....	- 12 -
3. 施工計画.....	- 14 -
3. 1 施工計画の基本.....	- 14 -
3. 2 施工要領書（施工計画書）.....	- 14 -
3. 2. 1 工事概要・一般事項.....	- 15 -
3. 2. 2 計画工程表.....	- 15 -
3. 2. 3 工事組織・体制.....	- 15 -
3. 2. 4 現場確認・設計図書照査に関する注記事項等.....	- 15 -
3. 2. 5 施工機械・器具，仮設備.....	- 16 -
3. 2. 6 施工管理計画.....	- 16 -
3. 2. 7 試験杭の実施計画.....	- 16 -
3. 2. 8 施工記録.....	- 17 -
3. 2. 9 不具合発生時の対処方法.....	- 17 -
3. 2. 10 品質管理計画.....	- 17 -
3. 2. 11 安全衛生管理計画.....	- 17 -
3. 2. 12 騒音・振動対策.....	- 18 -
4. 施工.....	- 19 -
4. 1 事前準備.....	- 19 -
4. 2 準備工.....	- 19 -

4. 2. 1	杭打設順, 測量基準点の確認	- 19 -
4. 2. 2	障害物の撤去・防護	- 19 -
4. 2. 3	作業基盤の整備	- 19 -
4. 2. 4	施工機械の運搬・組立設置・点検, 鋼管の運搬	- 20 -
4. 2. 5	施工機械キャリブレーション	- 21 -
4. 3	鋼管の受け入れと保管	- 21 -
4. 3. 1	受け入れ検査	- 21 -
4. 3. 2	鋼管の保管・取り扱い	- 21 -
4. 4	杭の建込み・打設	- 22 -
4. 4. 1	施工機械の設置	- 23 -
4. 4. 2	杭の建込み	- 23 -
4. 4. 3	ハンマ打設	- 24 -
4. 5	現場接合	- 26 -
4. 5. 1	現場溶接継手	- 26 -
4. 5. 2	機械式継手	- 28 -
4. 6	特殊条件下における施工上の留意点	- 28 -
4. 6. 1	中間層の打抜き	- 28 -
4. 6. 2	岩盤に打止める杭	- 29 -
4. 6. 3	摩擦杭	- 29 -
5.	施工管理	- 30 -
5. 1	一般	- 30 -
5. 2	試験杭の実施	- 30 -
5. 2. 1	試験杭の目的と計画	- 30 -
5. 2. 2	試験杭での評価と報告	- 31 -
5. 3	施工管理項目と記録	- 32 -
5. 4	施工管理装置	- 33 -
5. 5	施工管理の留意点	- 35 -
5. 5. 1	杭の建込みの管理	- 35 -
5. 5. 2	打込み時の管理	- 35 -
5. 5. 3	打止め管理	- 36 -
5. 6	施工記録	- 39 -
6.	施工上の問題点と処置・対策	- 47 -
【付録A】	鋼管杭の規格値	- 50 -
【付録B】	事前打込み解析	- 52 -
【付録C】	打止め管理式	- 55 -
【付録D】	打止め管理式（宇都・冬木の式）の計算例	- 58 -

1. 総則

1. 1 目的

本施工管理要領は、鋼管杭基礎の施工法の一つである打撃工法の標準的な施工方法および施工管理方法を示し、安全、確実な基礎を築造することを目的として定めたものである。

杭基礎は地盤内に構築されるものであることから、施工後にその出来形や品質を直接確認することは一般に困難である。このため、施工プロセスを適切に管理しこれらを正しく記録することにより基礎の品質を担保する「プロセス保証」の色合いが強くなる。本施工管理要領では、品質を確保するために守るべき規定、留意すべき事項、実際の現場施工において適切な品質を実現するための要点等について施工の実態等を踏まえて詳細に記載した。

本施工管理要領を作成するにあたり参考にした主要な資料を以下に示す。

- 1) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編，平成29年11月
- 2) (公社) 日本道路協会：杭基礎設計便覧，平成27年3月
- 3) (公社) 日本道路協会：杭基礎施工便覧，平成27年3月
- 4) (公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物，平成24年1月
- 5) (公財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物 杭体設計の手引き，平成27年10月
- 6) (公社) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成30年5月
- 7) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭－その設計と施工－，平成21年4月
- 8) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭－施工と施工管理－，平成30年6月
- 9) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭・鋼管矢板標準製作仕様書，令和元年7月
- 10) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭基礎・鋼管矢板基礎の中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）施工管理要領＜標準版＞【EDITION 2.0】，平成29年3月
- 11) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法施工管理要領【EDITION 1.0】，平成29年3月
- 12) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管ソイルセメント杭工法施工管理要領【EDITION 1.0】，平成29年3月
- 13) (一社) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：道路橋における鋼管杭現場縦継ぎ溶接作業要領，平成24年3月
- 14) (一社) 日本建設機械化協会：移動式クレーン，杭打機等の支持地盤養生マニュアル（第2版），平成12年3月
- 15) 基礎ぐい工事問題に関する対策委員会：基礎ぐい工事問題に関する対策委員会 中間とりまとめ報告書，平成27年12月25日
- 16) (一社) 日本建設業連合会：既製コンクリート杭施工管理指針，平成28年3月
- 17) (社) 土質工学会：杭基礎のトラブルとその対策，平成4年4月
- 18) (公社) 地盤工学会：杭基礎のトラブルとその対策【第一回改訂版】，平成26年11月

1. 2 適用範囲

(1) 適用工法

本施工管理要領は、鋼管杭基礎の直杭または斜杭として施工される打撃工法（建て込み時バイプロハンマ工法併用含む）および中掘り杭工法最終打撃方式（打撃工程のみ）の施工管理について示したものである。

ただし、本施工管理要領の規定のみでは不十分な場合もあり、また、これらに従う施工が必ずしも適切でない場合もあり得る。このような場合には、設計の前提となっている事項との整合性に留意し、規定にもとづき設計・施工される下部構造と同等の安全度等を確保するように検討を行う必要がある。

(2) 適用条件

「道路橋示方書・同解説IV下部構造編」（以下「道示IV」）では、杭径1500mm程度までが支持力推定式の適用範囲であるとされている。ただし、この適用範囲が施工限界ということではなく、港湾分野においてはこれを超える施工実績も多数ある。それぞれの技術基準類での適用範囲外の杭を用いる場合には、鉛直載荷試験等で支持力特性等の確認が別途必要となる。

適用先端地盤は、粘性土、砂、砂れきおよび軟岩とする。

なお、発注者によって個別に定められた遵守すべき技術基準類がある場合については、その基準等に準拠するものとする。

1. 3 用語の解説

本施工管理要領に記載する杭の施工管理に関わる関係者は、平成28年3月国土交通省告示「基礎ぐい工事の適正な施工を確保するために講ずべき措置について」および（一社）日本建設業連合会の「既製コンクリート杭施工管理指針 平成28年3月」を参考に以下の通りとする。

1. 監督員
(工事監理者) 工事を設計図書と照合し、設計図書通りに施工されているかを確認する工事監理を行う者をいう。
2. 監理技術者 元請の建設業法における監理技術者をいう。また、工事において技術上の管理をつかさどり、施工に従事する者の技術上の指導監督を行う者をいう。
3. 杭担当技術者 監理技術者が指名した元請の杭工事の施工管理を行う者をいう。
4. 元請技術者 元請の監理技術者と杭担当技術者をいう。
5. 杭工事管理者 杭工事会社の建設業法における主任技術者であって、杭工事の施工管理に精通した技術者。建設業法上、主任技術者が非専任となる場合は、現場作業中に常駐する現場代理人を杭工事管理者とすることができる。この場合は施工要領書（施工計画書）に明記する。
6. 杭工事会社 下請として杭工事を行う会社をいう。

打撃工法の一般的な施工体制をもとに、上記用語の補足説明を図-1.1に示す。一般的に杭の施工は、工事を受注した元請から杭の施工法を熟知した杭工事会社に下請けとして外注

される。下請は、十分な知識と経験を有し杭工事の施工管理に精通した技術者を杭工事管理者として配置させなければならない。1次下請の杭工事管理者は、元請への報告の責務を負う。

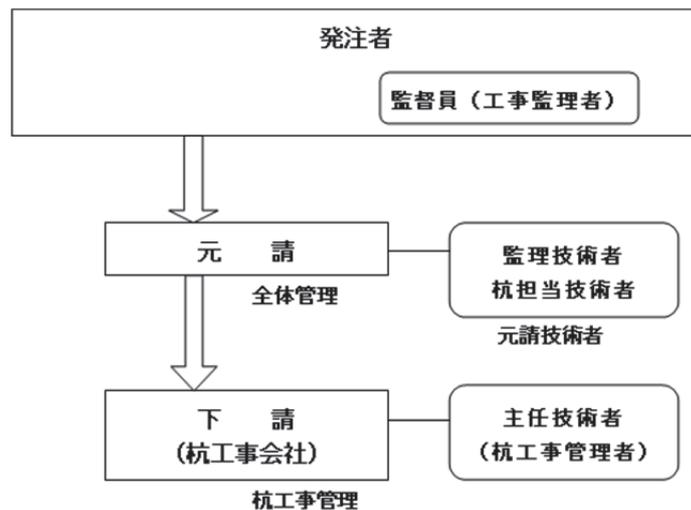


図-1.1 一般的な施工体制にもとづく用語解説図

本施工管理要領に記載する主な用語については、以下の通りである。

- ・ 試験杭

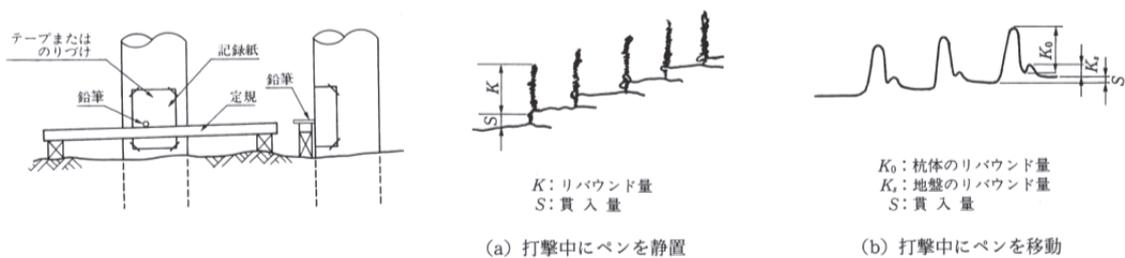
施工要領で計画した施工法や施工管理手法の妥当性確認や本杭での施工管理に必要な資料を得ることを目的に施工される杭。通常は、現場で最初に施工される杭を試験杭とする場合が多いが、支持層に起伏が想定される等、1本だけでは十分な情報が得られない場合は、試験杭が複数本となることもある。
- ・ 管理杭

施工要領書（施工計画書）作成時に、工事の規模や重要度等に応じて試験杭とは別に、重点的に管理、測定等を行うことを定めた杭。
- ・ 打止め管理式

杭の打止め判断に供する評価式のこと。従来からエネルギーの釣合い式や波動理論に基づく式等種々のものが動的支持力推定式として提案・利用されてきたが、設計で扱う杭の支持力を推定するには問題もあるため、本施工管理要領では「打止め管理式」と呼称している。
- ・ 貫入量

杭が1回の打撃で地盤に打ち込まれる正味の寸法。
（図-1.2参照）
打止め時では、5～10回の打ち込みに対する1回あたりの平均貫入量を指していることもある。

- ・リバウンド量 打撃力の伝播後に地盤変形の戻りと杭体の弾性圧縮の戻りによって生じる杭の変位（貫入）の戻り量。1回の打撃で瞬間的に生じた最大沈下量から貫入量を引いた値（図-1.2参照）。
- ・ヤットコ 最終杭天端高が施工基面より低い場合に、鋼管の杭頭部を所定の深さまで沈設させるための施工器具。



測定方法の例

左図測定方法による測定記録の例

図-1.2 貫入量・リバウンド量の定義

2. 打撃工法の概要

打撃工法は、油圧ハンマやドロップハンマなどにより鋼管杭の杭頭部を打撃して所定深度まで打ち込む工法である。現在のハンマは、油圧ハンマが主流となっている。杭打ち機のベースマシンは、3点支持式杭打ち機を使用するケースが多いが、クローラクレーンを使用したフライングハンマによる施工も増えつつある。

打撃工法は他の工法と比較して一般的に施工速度が速く経済的であること、杭の貫入量やリバウンド量等から支持層への貫入や先端の地盤抵抗が確認できること、施工時に土を排出しないこと等の利点を持つが、騒音・振動の発生が容易には避けられないため、採用にあたっては近隣地域の環境条件に十分配慮する必要がある。

2. 1 施工手順

打撃工法による施工はシンプルであり、鋼管の建込み、ハンマによる打撃、支持層到達の確認と打止めの3つの主要工程から成り立つ。継杭の場合は現場接合工程が、鋼管の天端が施工基面より低い場合はヤットコ施工工程がこれらに追加となる。図-2.1に打撃工法の標準的な施工フローを示す。

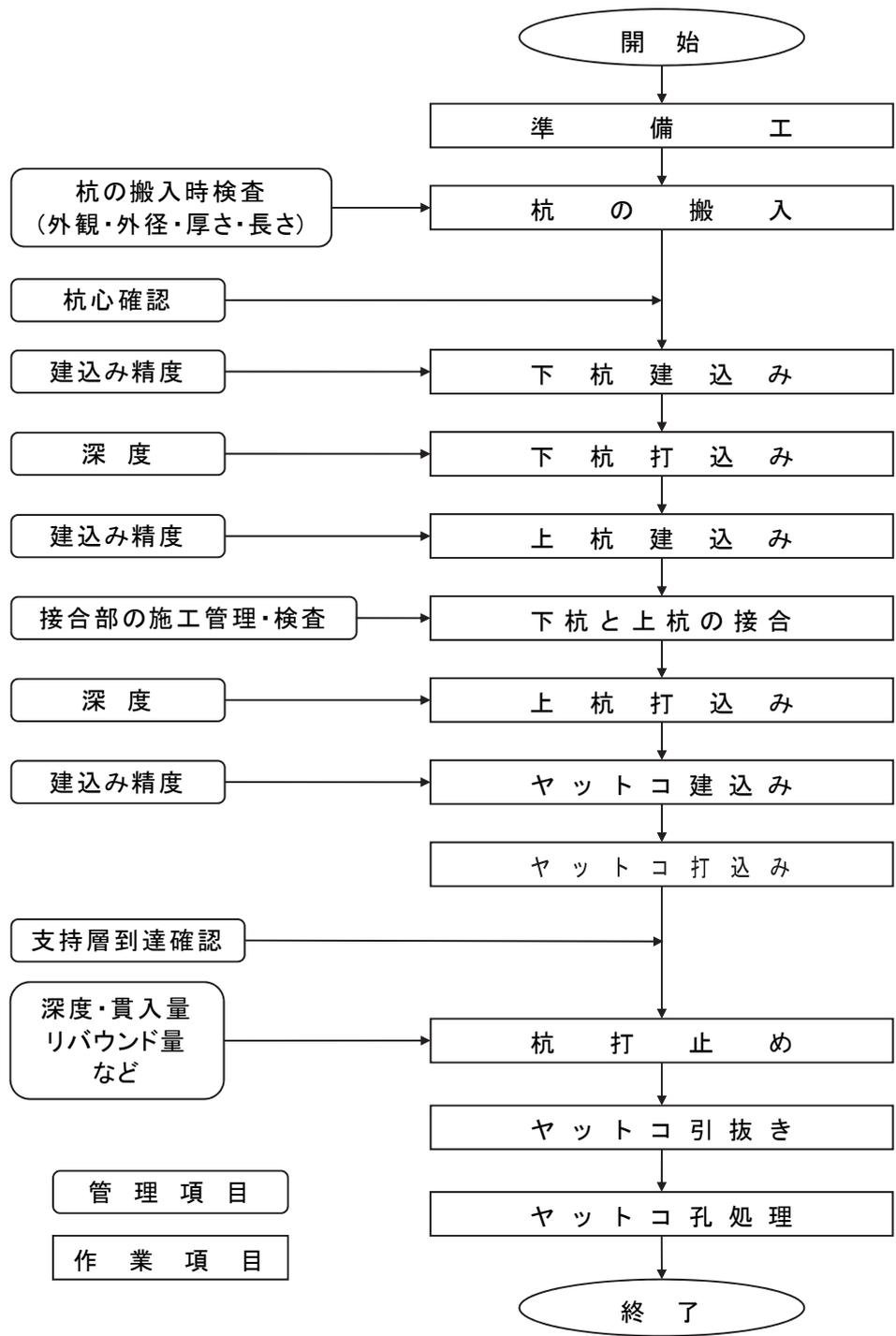


図-2.1 打撃工法の一般的な施工フロー

2. 2 施工機械

打撃工法に使用する主要な施工機械は、3点支持式杭打ち機、ハンマ、キャップ、クッション、ヤットコ、(施工管理装置)、などである。陸上施工での打撃工法の標準的な平面配置の例を図-2.2に示す。なお、河川や海などの水上工事の場合は、一般に施工用の仮設橋・構台を用いた栈橋施工、あるいは施工済みの杭に仮設桁を渡して構台を構成して逐次前進してゆく手延べ施工が行われる。

施工機械の選定にあたっては、杭径や打込み長、地盤の硬さや中間層の有無、また作業ヤードの広さ(組立・解体ヤードを含む)や運搬道路の幅員など、設計条件・地盤条件・施工条件などについて十分検討を行う必要がある。

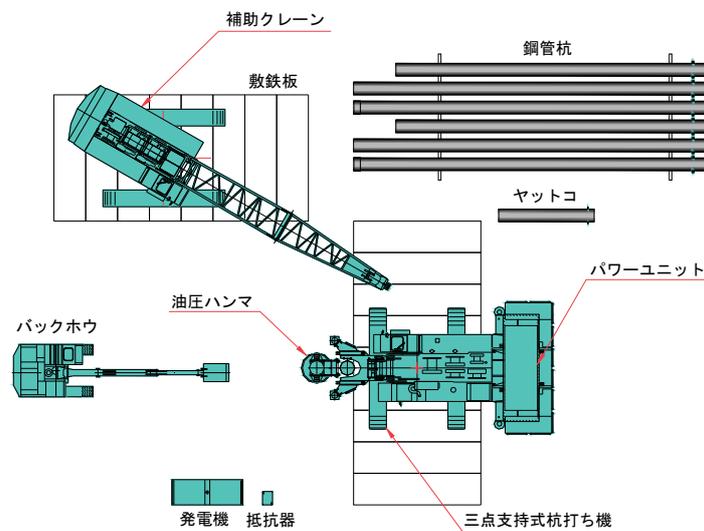


図-2.2 陸上施工での平面配置の例

2. 2. 1 杭打ち機

杭打ち機本体は、3点支持式杭打ち機を使用する場合やクローラクレーンを使用する場合があるので、施工基面の状況や油圧ハンマの重量、作業性、作業半径等を考慮して適切な能力のものを選定する。

(1) 3点支持式杭打ち機

油圧ハンマを杭打ち機のガイドパイプに抱かせ、懸垂させた状態で使用する。図-2.3に3点支持式杭打ち機の形状例を示す。

(2) クローラクレーン

油圧ハンマをクレーンのフックから直接吊って打設するフライングハンマ工法の場合に使用する。

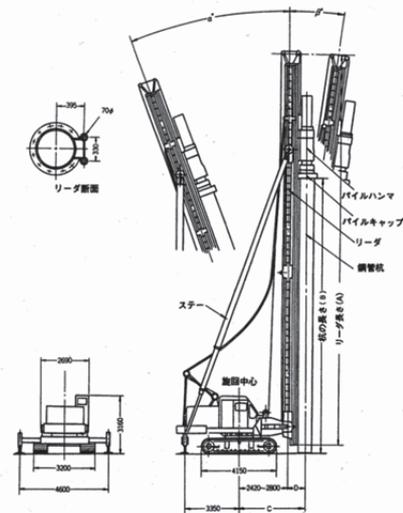


図-2.3 3点支持式杭打ち機の形状例

2. 2. 2 ハンマ

(1) 油圧ハンマ

油圧ハンマは、構造自体が防音構造であるとともに、打撃エネルギーを任意に調整できることから、杭打ち時の騒音を低くすることができ、また、ディーゼルハンマのように油煙の飛散もないため、低公害型ハンマとして現在の主流となっている。表-2.1に代表的な油圧ハンマの仕様表を、写真-2.1に油圧ハンマの写真を、図-2.5に油圧ハンマ選定表を示す。

近年では、大径長尺杭の採用が増えていることもあり、ハンマ効率の大きい海外製ハンマ（Sハンマ）の適用が日本でも増えている。

表-2.1 代表的な油圧ハンマの仕様表

ハンマ形式		S-90	S-150	S-200	S-280	S-500	NH-70	NH100-2	NH-150B	
作 動	最大打撃エネルギー	kNm	90.0	150.0	200.0	280.0	500.0	87.9	141.0	235.0
	最小打撃エネルギー	kNm	2.0	6.0	10.0	10.0	20.0	11.0	17.6	29.4
	最大打撃エネルギーでの打撃回数	回/分	50	44	45	45	45	30	27	20
質 量	ラム	t	4.5	7.5	10.0	13.6	25.0	7.0	10.0	15.0
	本体(アンビル・パイルスリーブ除く)	t	9.6	16.2	24.5	29.0	57.0	—	—	—
	本体(キャップ除く)	t	—	—	—	—	—	14.3	22.5	33.5
	総質量(参考値)	t	13.4	22.4	33.2	41.3	80.7	15.3	25.1	37.8
寸 法	外径	mm	640	712	915	915	1,220	1,250	1,350	1,900
	長さ(パイルスリーブの長さ除く)	mm	7,880	8,710	8,920	10,190	10,140	5,730	7,980	8,420

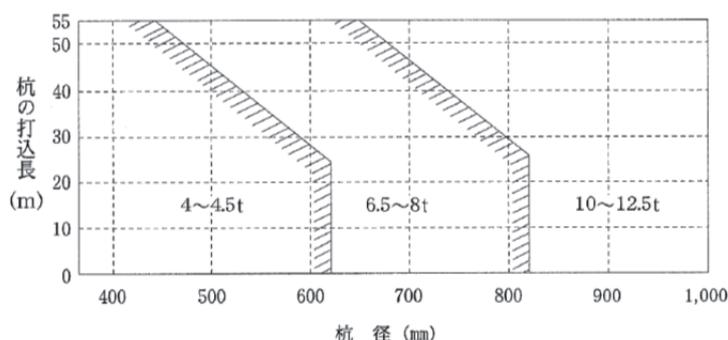


S-280



NH-150B

写真-2.1 油圧ハンマの写真



- (注) 1. 杭の打込長15m以上で下記の条件の場合には、1ランク大きい規格を用いる。
 ① N値30以上で層厚3m以上の砂、砂レキの中間層を打抜く場合。
 ② N値15以上で層厚3m以上の粘性土を打抜く場合。
 2. 杭の打込長(m)には、ヤットコ打込長(m)を含む。
 3. N値は、掘削層の加重平均とする。

【出典】平成30年度版 国土交通省土木工事積算基準

図-2.5 鋼管杭と油圧ハンマの組合せの例

(2) ドロップハンマ

ドロップハンマ（モンケン）は、中掘り杭工法の最終打撃方式に用いられることがある。ドロップハンマは、鋳鋼または鋳鉄製でその形状は重心が低く、下面は凹凸の無い平面で杭軸と直角にあたるものでなければならない。ハンマの重量は杭の重量以上、あるいは杭1mあたりの重量の10倍以上がよいとされている。杭頭に作用する打撃エネルギーはハンマの重量と落下高さとの積に比例する。したがって、ハンマの重量が異なっても落下高さを変えることにより同じ打撃エネルギーを得ることが可能であるものの、重量が小さいハンマで落下高さを大きくすると、杭頭に生じる打撃応力は大きくなり杭頭を損傷するおそれがある。逆にハンマの重量を大きくし、落下高さを小さくすれば打撃応力が小さく杭の損傷が少なくなり、かつ一打撃ごとの押込み持続時間が長くなり打込み効率を高めることができる。したがって、杭の打込みにあたり、適当な重量のハンマを使用してハンマの落下高さを2m程度以下で施工するのがよい。

2. 2. 3 キャップ・クッション

キャップはハンマと杭軸を一致させ、かつキャップ上部のクッションとともに杭の頭部を保護して、ハンマの打撃力を杭に均等に伝えるために用いられる。図-2.6に代表的なキャップ断面を示す。キャップの大きさが適当でないと偏打を助長するおそれがあることから、杭径にあったものを使用する必要がある。

NHハンマおよびドロップハンマで使用するクッションは、キャップ上部で打撃力を直接受けるもので、キャップに力を均等に伝え、打撃力の作用時間を長くして効果的な打撃を行うとともに、ハンマ本体の損傷を防止する役割がある。クッション材の材質としては堅い木材が使用されることが多い。クッション材は大きな打撃力を繰返し受けることにより、しだいに薄く硬くなってクッション効果が失われる。古いクッション材は、新しいクッション材に比べ杭頭の衝撃的な最大応力が13~53%増になるとの調査報告もある。また、損傷・変形が進むと偏打の原因となったり、打撃時に発煙したりするようになる。一方、Sハンマはアンビルを直接打撃して、アンビル下端が杭頭を直接打撃する構造となっている。クッションを使用しないためハンマ効率が大きいものの、騒音はクッションを使用するNHハンマやドロップハンマより大きくなる。

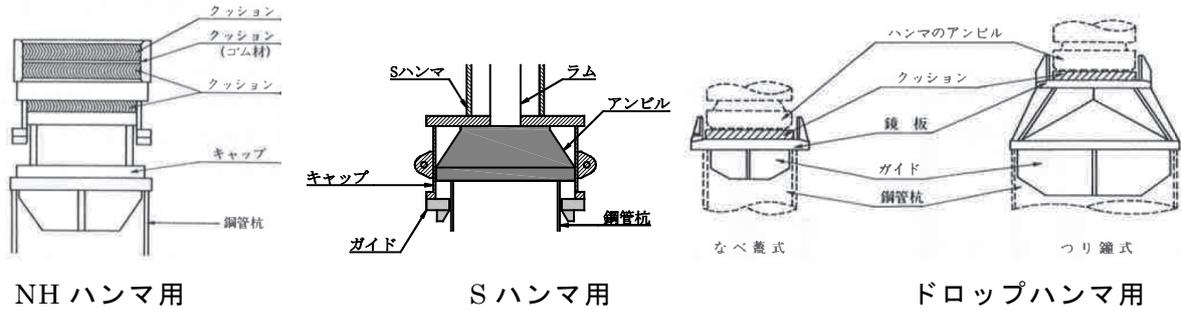


図-2.6 キャップの断面図

2. 2. 4 補助クレーン

補助クレーンとしては、クローラクレーンまたはラフテレーンクレーンを用いる。

鋼管杭や油圧ハンマの重量および作業性，作業半径等を考慮して適切な吊り能力のものを選定する。

2. 2. 5 ヤットコ

施工基面より低く杭頭を沈設する場合に使用する。図-2.7に打撃工法で使用するヤットコの例を示す。

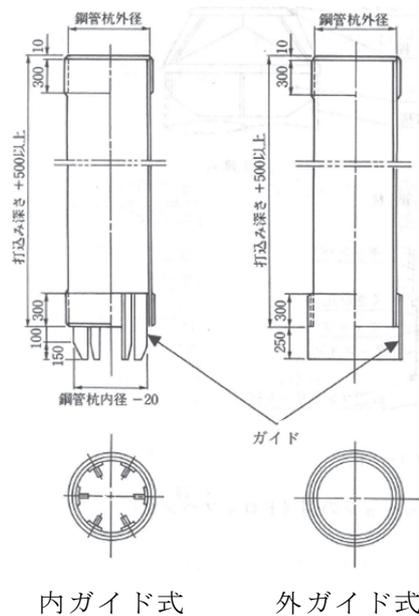


図-2.7 ヤットコの例

2. 3 鋼管杭及び附属品

2. 3. 1 鋼管杭

鋼管杭は JIS A 5525 (鋼管ぐい) の SKK400又はSKK490 を用いることを標準とする。その主な内容については【付録A】に採録したので参照されたい。

鋼管杭の各部板厚は圧縮，引張，曲げ，せん断等の設計上の作用とともに，輸送，建込，

打撃施工時に杭に生じる応力に対しても安全な厚さに設定する必要がある。打撃工法に用いる鋼管杭の外径と板厚の範囲は、道示Ⅳによれば一般に表－2.2を参考とするのがよいとされている。打撃応力は打撃エネルギーに関係するため、波動理論を利用した杭打ち解析によって適切なハンマと鋼管杭板厚を検討する場合もある。

表－2.2 打撃工法に用いる鋼管杭の外径と板厚の範囲

鋼管径(mm)	板厚の範囲(mm)
400	9～12
500	9～14
600～800	9～16
900～1,100	12～19
1,200～1,400	14～22
1,500～1,600	16～25
1,800～2,000	19～25

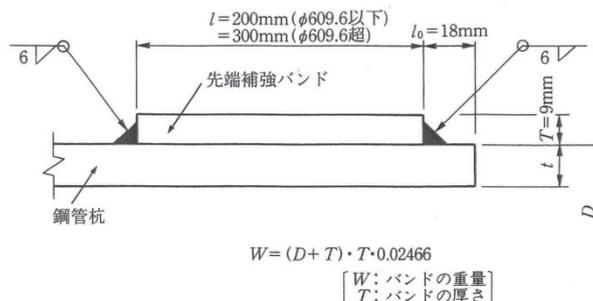
2. 3. 2 附属品

鋼管杭の附属品に関しては、「鋼管杭・鋼管矢板の附属品の標準化（2018年5月 鋼管杭・鋼矢板技術協会）」に準拠するものとする。

打撃工法に関連の深い附属品を以下に示す。

(1) 先端補強バンド

打撃時に先端部が破損するのを防止するため、図－2.8 に示す先端補強バンドを取り付けることを標準としている。また、先端補強バンドにより打設時の摩擦抵抗を減少させて打込み性が向上する一方、鉛直支持力に影響することもあると考えられるので、板厚は 9 mm 以下とするのがよい。



図－2.8 先端補強バンドの例

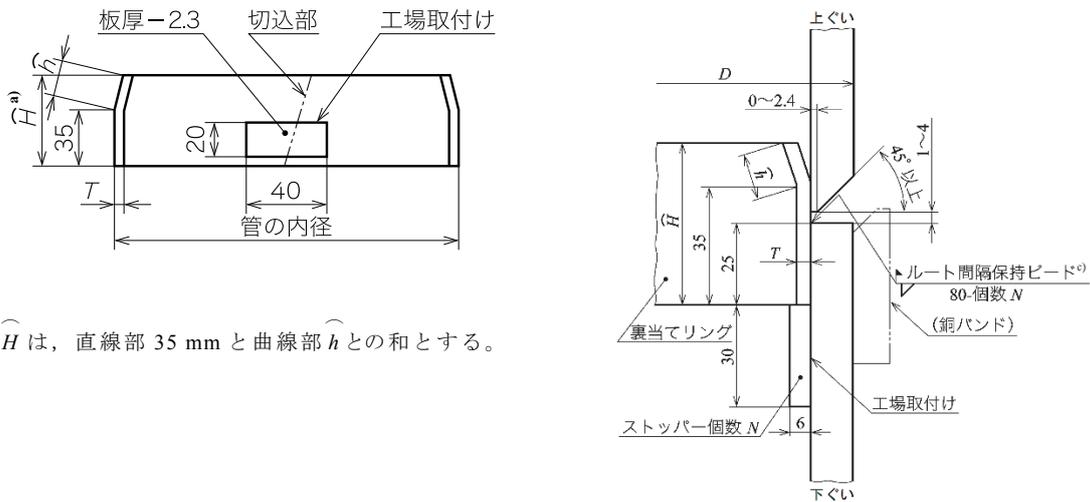
(2) 現場円周溶接継手（JASPP ジョイント）

現場縦継ぎ溶接部の構造は、JIS A 5525（鋼管ぐい）にも示されている図－2.9に示したもの（JASPP ジョイント）に標準化されており、特殊な杭を除いてこの継手を用いる。

(3) 吊金具

吊金具は、単管毎にその頭部付近に2個取り付けることを標準としている。その形状寸法については前掲の技術資料「附属品の標準化」を参照されたい。なお、特殊な吊り方や標準外の吊金具を使用する場合は、安全性について別途検討が必要である。海上工事等で長尺な

鋼管杭を用いる際には、杭胴部にも吊金具を取り付けることもある。



注^{a)} \widehat{H} は、直線部 35 mm と曲線部 \widehat{h} との和とする。

注^{c)} ルート間隔保持ビードに替えて、スペーサを用いてもよい。

裏当てリングの厚さ及び高さ

外径 D (mm)	T (mm)	\widehat{H} (mm)	\widehat{h} (mm)
1,016 以下	4.5	$\widehat{50}$	$\widehat{H} = \widehat{50}$ の場合 $\widehat{15}$
1,016 を超えるもの	6.0	$\widehat{70}$, $\widehat{50}^b)$	$\widehat{H} = \widehat{70}$ の場合 $\widehat{35}$
注 ^{b)} 中掘り工法を適用の場合は、 $\widehat{50}$ mm としている。			

ストップパ及びルート間隔保持ビードの個数

外径 D (mm)	N (個数)
609.6 以下	4
609.6 超え 1,016 以下	6
1,016 を超えるもの	8

図-2.9 現場縦継ぎ溶接部の継手構造

2.3.3 その他の附属品等

打撃工法の施工条件によって使用する附属品等を以下に示す。

(1) 杭先端十字リブ

大径鋼管杭の場合には、先端閉塞性を向上させるために、杭先端に図-2.10 に示すような十字リブを工場あるいは現場で取り付けることがある。十字リブの取付け長さは杭径の2倍以上とし、この部分を支持層内に打設することを推奨している。

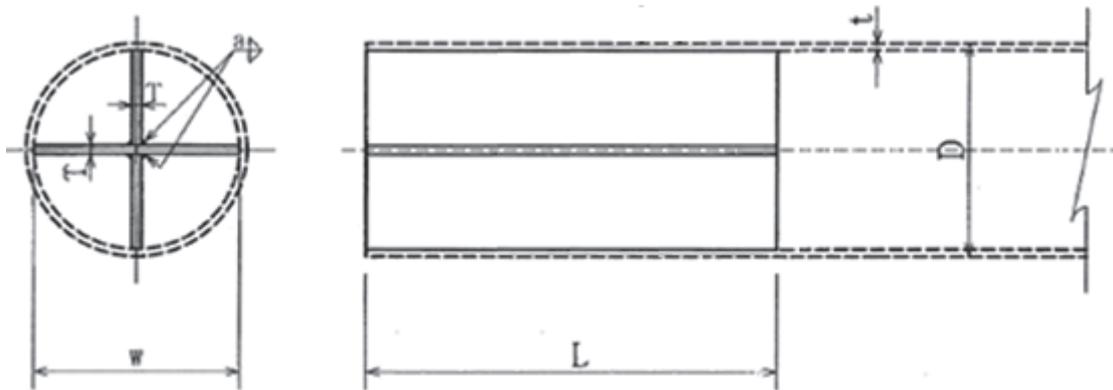


図-2.10 杭先端十字リブ

表-2.3 十字リブの標準寸法

厚さ T (mm)	12.0, 16.0, 19.0, 22.0
幅 w (mm)	$W = (D - 2t) - X$ D: 鋼管外径, t: 板厚, X: 調整代分
長さ L (mm)	2D 以上
溶接脚長 a (mm)	12

(2) 頭部補強バンド

鋼管杭の場合、頭部補強バンドは、既往の知見より有意な効果がなく場合によっては有害な効果を与えることもあるとされていることから、原則として取付けないものとする。

(3) 補強アングル

杭の座屈は、ハンマの入力エネルギーの過大によるもの、過剰打撃によるもの、偏打によるもの、局部応力によるものに分けられる。

座屈が進行している場合は座屈箇所をガス切断し、切断面を平坦に仕上げしてから図-2.11のようにアングルで補強すると効果がある。

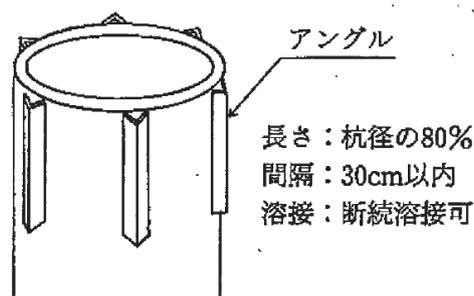


図-2.11 補強アングル

3. 施工計画

3.1 施工計画の基本

打撃工法の施工は、工事における安全・衛生の確保、環境への配慮、法令順守の基本条件のもとで、設計において前提とされた以下のような諸条件等が満たされるように留意して計画する必要がある。

- ・設計で想定された構造条件，地盤条件に施工で変化を及ぼさないこと
- ・支持力推定式を裏付ける適正な施工（規定された施工）を行うこと
- ・適正な材料の使用，基礎の信頼性を裏付ける施工管理がなされていること

これらが満足できない場合には設計に立ち戻って検討が必要となる。また規定された以外の施工法や材料の使用に関しては、規定されたものと同等以上の安全度等を有するように載荷試験等により別途確認することが必要である。

施工計画のための調査，仮設計画，運搬計画，工程計画，品質管理計画，安全管理計画，環境対策計画等の施工計画の内容や留意点については、たとえば「杭基礎施工便覧」に詳しく記載されているので、これらを参照するのがよい。なお、法令等については常に最新情報を確認する。

3.2 施工要領書（施工計画書）

建設業法第26条の3では、「主任技術者および監理技術者は、工事現場における建設工事を適正に実施するため、当該建設工事の施工計画の作成，工程管理，品質管理その他の技術上の管理および当該建設工事の施工に従事する者の技術上の指導監督の職務を誠実に行わなければならない。」とされている。元請技術者は、設計段階で要求されている所定の品質と機能を満足するような施工が行われることを確認できる施工要領書（施工計画書）を事前に作成しなければならない。杭工事管理者は、元請技術者が作成する施工要領書（施工計画書）が**3.1 施工計画の基本**の基本条件や諸条件を満足するように、専門的観点から助言・協力を行わなければならない。

打撃工法においては、一般的に以下の内容の施工要領書（施工計画書）を作成する。

＜施工要領書（施工計画書）に記載する主な事項＞

1. 工事概要・一般事項
2. 計画工程表
3. 工事組織・体制，現場組織表，役割分担
4. 現場位置，地盤条件，杭心位置，現場確認・設計図書照査による注記事項等
5. 主要資材
6. 施工機械・器具（指定機械，主要機械）
7. 仮設備配置図
8. 鋼管，施工機械の搬入計画
9. 施工方法および施工手順
10. 施工管理計画
11. 試験杭の実施計画

12. 施工記録項目，様式，提出時期等
13. 不具合発生時の対処方法
14. 品質管理計画，出来形管理計画
15. 安全衛生管理計画
16. 環境対策

施工要領書（施工計画書）の作成においては，以下のような点に留意する必要がある。

3. 2. 1 工事概要・一般事項

工事概要等の記載においては，採用する施工法がわかるように表記しなければならない。

適用図書類として設計図書以外に準拠する重要な基準類がある場合，あるいは設計図書の内容誤謬や現場との相違がある場合等は，その内容や処置等について記載しておく。

3. 2. 2 計画工程表

杭工事の工程表は，仮設備を含めた全体工程の一部として立案されるのが一般的である。このため，全体工事との関連を考慮し杭工事の施工工程を立案する必要がある。杭工事の施工工程の立案にあたっては，各作業工程における施工時間の計画を設定し，杭1本の施工に要す時間を把握した上で1日に施工できる本数を割り出し無理のない計画を立てる。数基の基礎を施工する場合にはその施工順序等を記入した平面図等も添付する。

3. 2. 3 工事組織・体制

工事の実施に際しては，建設業法に従って組織・体制の書類（施工体制台帳，施工体系図）を作成し，主任技術者（杭工事管理者）を配置する。打撃工法の施工には，施工機械の選定，施工の安全，品質の確保，工程管理等の専門知識や現場での経験，設計で杭に要求されている基本的事項への理解が必要であることから，杭工事会社が杭工事に必要な教育を行い，十分な知識と技量を備えていると責任を持って判断した技術者（目安として，主要な立場で3現場以上経験した者）を杭工事管理者として配置する必要がある。

また施工体系図や作業員名簿等の作成に際しては，管理者，責任者，指揮者等の役割分担や，個々の作業を実施するのに必要な資格要件，実施権限，担当等が分かるように記載する。

法令が資格を要求する作業はもとより，工事の品質を確保するうえで重要な作業については，有資格者や教育訓練を受けた者で当該作業の経験を有し，作業内容について十分に理解している者に実施させる必要がある。

3. 2. 4 現場確認・設計図書照査に関する注記事項等

工事着手に際して設計図書の照査，ならびに現場の確認を実施して設計図書の内容の妥当性，現場条件との相違等を把握することが必須とされる。

現場確認（踏査）を実施し，現場環境条件，基準点（KBM・多角点・幅杭・中心線測量点等），施工ヤード，搬入路，施工支障物・近接構造物，その他の危険箇所等をチェックし，現場確認記録（設計図書との相違があればその内容も記載）を作成し，これらを踏まえた施工要領書（施工計画書）を作成する。

地盤条件の確認においては，あらかじめ実施されている土質調査結果等の資料および近隣

の地盤の情報や施工実績等から、地盤の構成(土層・土質・層厚)や地下水の状況等を把握するとともに、施工性について検討する。設計図書で杭に期待している支持性能や支持層の想定深度分布を確認し、支持層の不陸が大きい等の特殊な地盤の場合は、必要に応じて地盤調査の追加を監督員(工事監理者)等と協議する。既設の基礎や転石等の地中障害の存在が明らかでない場合は、事前に監督員(工事監理者)等と協議を行い、障害物を回避して施工することを検討する。障害物を回避しての施工が難しい場合には、障害物の撤去について別途検討する。

国土交通省が策定している「設計図書の照査ガイドライン」では、橋梁下部工に関して施工条件(環境対策、搬入路、ヤード確保、近接構造物影響)、振動・騒音等への配慮の要否、支障物件、埋設物確認、設計図(座標値、図面間の整合性確認、使用材料等の確認、施工実施数量計算)等を請負者が確認することを求めている。同様に港湾・海洋工事については、設計図や使用材料関係の確認の他にも、施工条件(気象・海象、施工区域制約、施工時期制約、作業船係留施設、既設構造物や隣接工作物の確認、標識灯等安全上の配慮事項)、環境対策(騒音・振動・水質等の規制、海水汚濁防止対策等)、測量成果(深淺測量・基準点・水準点)、漁網設置状況・漁業への影響の確認、砲弾等の存在・磁気探査等爆発物に関する調査、等の確認が求められている。これらについてチェックリストを作る等、設計図書の照査を実施したことを示す記録と必要な情報を記載しておく。

3. 2. 5 施工機械・器具、仮設備

設計図書の記載事項及び前提とされた施工の諸条件等を把握したうえで、使用予定の施工機械・器具や仮設備について、その計画内容や現場における配置を明記する。

この際、検査や点検に合格しているものを使用することが必須であるので、検査表や点検記録等にも配慮する必要がある。

指定建設機械(排出ガス対策型、低騒音型、低振動型)を使用する場合は、その旨を明記するとともに、現場での稼働中の写真等でその使用実態が確認できるようにする。

3. 2. 6 施工管理計画

基礎構造については、地中部の出来形の直接検査が困難であり、また竣工後の維持・管理・補修等の実施も難しい面がある。したがって、所定の品質と機能を満足することが確認できることとともに、施工精度や材料強度等についてはその品質水準が確認できるような施工管理を心掛ける必要がある。

施工要領書(施工計画書)においては、施工管理の要点となる事項について、項目、管理方法、規格値や目標値等を具体的に記述する。あわせて、施工記録の内容・様式等についてもあらかじめ明確にしておく。監督員(工事監理者)や元請技術者が立会い確認を行う管理項目は明確にし、施工要領書(施工計画書)に反映する。また、施工体制上、杭工事管理者が複数名となる場合は、責任を持って施工管理項目を確認・記録する杭工事管理者を施工要領書(施工計画書)で明確にしておく。

3. 2. 7 試験杭の実施計画

試験杭の実施計画について、対象とする杭、実施時期、確認事項、結果の本杭施工への活用等を明確にしておくことが必要である。

具体的な試験杭の実施計画等については、5. 2. 1 試験杭の目的と計画に記載する。

3. 2. 8 施工記録

施工記録は作業日毎の記録のほかに、個々の杭の施工状況全体が容易に理解できる内容のものが望ましく、施工記録として管理すべき事項や書式、提出すべき記録、提出・報告時期、施工記録が取得できなかった場合の代替記録方法等について、施工要領書（施工計画書）で明確にしておく。

施工中に生じた特殊な状況とその対策や工事において行われた調査、試験の記録についても工事記録として保管する必要がある。

施工記録は、施工品質を担保する重要な資料であるため、工事完了後も一定期間保管する。また、施工記録は施工技術の発展や継承に資するものにもなるため、杭工事会社もデジタルデータ等で保管する。

3. 2. 9 不具合発生時の対処方法

施工要領書（施工計画書）作成段階から、地盤条件や施工環境などから想定される不具合を挙げ、監督員（工事監理者）や設計者とその対策を事前に決めておくことよい。万一施工中に想定から大きく外れる不具合が発生し、施工要領書（施工計画書）を変更する必要がある場合は、速やかに作業を中断し、杭工事管理者→元請の杭担当技術者→元請の監理技術者→監督員（工事監理者）、設計者→発注者と速やかに連絡し、対応方法について協議する。この連絡・協議ルートや協議結果を記録に残すことを施工要領書（施工計画書）に記載しておく。

3. 2. 10 品質管理計画

品質管理の内容・項目については、施工方法、施工管理方法とは別に整理するのがよい。この際、品質管理項目の一覧表等を作成し、品質記録の確保について明確にしておく。設計図書や特記仕様書に品質管理に関する特記事項が記載されている場合があるので、詳細に確認する。

検査や測定については、その頻度や数量を明確にするとともに、その実施者、確認者なども明確にしておくことよい。検査頻度とともに、予定される検査数を記載すれば記録などの照合・確認などが行いやすい。具体的な規格値や許容範囲の規定があるもの、自主管理値や目標値を設定するものは、その値も明記しておくのがよい。

3. 2. 11 安全衛生管理計画

安全衛生については、工事における安全確保についての留意事項、安全活動計画等について記載する。

この際、「労働安全衛生法」、「労働安全衛生規則」等の関係法規を遵守するとともに、現場の実態に即したものとなっていることが重要である。

「土木工事安全施工技術指針」に基礎工事における留意事項等が記載されているので参考にするとよい。

3. 2. 12 騒音・振動対策

打撃工法による杭打ち施工では、騒音・振動が発生するので、施工時には現場周辺環境の保全に留意し、事前に騒音・振動対策を十分検討する必要がある。油圧ハンマ打設作業中の騒音・振動の大きさは施工条件で大きく異なる。振動は振動源からおおむね20m 離れると振動規制法の基準値75dB 以下となるが、騒音は基準値85dB 以下になる距離が100m を超える場合がある。したがって、杭の打設位置にある程度近い距離に民家等がある場合は騒音対策を実施することがある。

騒音の発生場所は概ね油圧ハンマと鋼管杭が接触する打撃面であるが、油圧ハンマや鋼管杭に伝わった後に発生する騒音の大きさも無視できない。

最近では、油圧ハンマと鋼管杭を特殊な防音装置で覆い大きな遮音性能を発揮した事例（写真－3.1）や杭頭にかぶさる鞘管部のみを鋼管や吸音材を使用して防音装置を取り付けた事例がある。

海洋工事等では、杭施工時の水中騒音・水中振動による水生生物、底生生物への影響が問題となる場合もある。漁場形成状況、育種場・養殖場状況、漁労状況なども考慮して、対策や状況監視の検討などが必要である。



写真－3.1 防音装置の例

4. 施工

4. 1 事前準備

設計において前提とされた諸条件等を満たすよう施工を行うために、元請技術者は施工に着手する前に3. 2. 4 現場確認・設計図書照査に関する注記事項等に記載の設計図書や現場の確認ならびに以下のような準備を行い、杭工事管理者および杭工事に従事する者と共有する。

- ・設計図書ならびに各種適用基準の内容を把握し、設計図書の内容を照査する。
- ・特に、設計図書に記載の杭先端深度、支持層への根入れ深さ、鋼管の断面変化位置、高止まり時の設計支持力の余裕度等を確認する。
- ・ボーリング柱状図および土質調査報告書により、地層の構成と各層の特性、支持層深度、支持層傾斜等を確認する。
- ・作業ヤード、上空支障物、近接構造物、作業時間規制等の現場作業条件、住宅密集地や水源等の周辺環境条件を確認する。
- ・施工要領書（施工計画書）を作成し、監督員（工事監理者）等と確認・協議を行う。

4. 2 準備工

施工を円滑に進めるために、現地の状況を把握し、現場環境の整備（障害物の確認・処置、ヤードおよび施工基面の整備等）、施工機械・機器の運搬・組立設置・点検等を行い、必要に応じて対策を講じる。

施工に先立つ準備工としての注意事項を、陸上施工の場合を例に以下に示す。

4. 2. 1 杭打設順、測量基準点の確認

制約された作業ヤードの中で、効率的に杭が打設できる重機や資材の配置を検討し、ボーリング実施位置を考慮して試験杭を定め、これを考慮して杭打設順を決定する。

杭心測量の基準点を確認するとともに、打設深度確認のためレベルを設置する。

4. 2. 2 障害物の撤去・防護

施工が安全かつ円滑に行えるように、送電線や電話線等の地上障害物の有無の調査を十分に行い、必要な対策を講じておく。

また施工の前に既設の基礎や配管、転石・捨石等の地中障害物を撤去する方法としては、バックホウによる掘削、ケーシングとハンマグラブによる掘削やスクリーロードによる掘削等があるが、その実施に際しては掘削の方法や範囲(深度、径)等について監督員（工事監理者）等と十分に協議をする。特に鋼管杭径を超えるような大きな地中障害物の処置では、周面摩擦力等の設計上の影響評価が必要となる場合もある。

4. 2. 3 作業基盤の整備

作業基盤の良否は、杭の傾斜等の施工精度のみならず施工性や安全性に重大な影響を与える。また、近接構造物や地中埋設物に与える影響度にも関係する。作業基盤の整備にあたっては施工機械の機種、重量、接地圧、施工姿勢や周辺構造物・地中埋設物等との離隔等を含

めて総合的に判断する。

一般的には敷鉄板により重機足元の養生を行うが、地盤（表層，浅層）が非常に軟弱な場合は、重機の安定性および杭の施工精度（鉛直精度，水平精度）の確保のために、敷鉄板を追加することにより荷重を分散させることや、地盤改良や敷碎石等により地耐力を大きくする等の対策を取る必要がある。杭打ち機の重量からは平均接地圧100～200kN/m²程度であるが、施工荷重の偏心等を考慮すると400kN/m²を超えるような局部最大接地圧が発生する場合もある。想定する機械・作業姿勢等による最大接地圧に対して十分耐えられるようにあらかじめ作業基盤の整備を行う。作業基盤の養生については、「移動式クレーン，杭打ち機等の支持地盤養生マニュアル」等を参考にするとよい。

また、重機や鋼管の搬入路，重機の移動範囲等についても，特に斜面法肩等に注意して転倒事故等が起こらないように堅固に整備しておく。

4. 2. 4 施工機械の運搬・組立設置・点検，鋼管の運搬

施工機械，資材などの運搬にあたっては，搬入ルート，道路幅員，高さ制限，曲がり角等，事前に道路や交通の状況を十分調査する。

特に施工機械の運搬はトレーラーで行われることが多く，道路状況を把握した上で，綿密な運搬計画を立て，必要な許可を取得する。また鋼管の運搬長さは6～13m程度が一般的であるが，施工効率を上げるためにそれ以上の長さを運搬する場合には詳細に計画する必要がある。

施工機械や鋼管の運搬条件等については，「杭基礎施工便覧」等を参考にするとよい。

杭打ち機の組立・分解には図-4.1に示したように大きなスペースが必要となるので，作業ヤードに制約がある場合は組立・分解の実施タイミング等に留意する。

施工機械は，その機能を十分発揮し，安全・正確・迅速な作業ができるよう関係法令にもとづく検査を行わなければならない。施工着手時の点検とともに日常の始業点検等の自主検査を適宜行い施工機械の管理に努め，自主点検も含めて施工機械の点検実施の確認記録やチェックリスト等を作成し，記録を保管しておく。

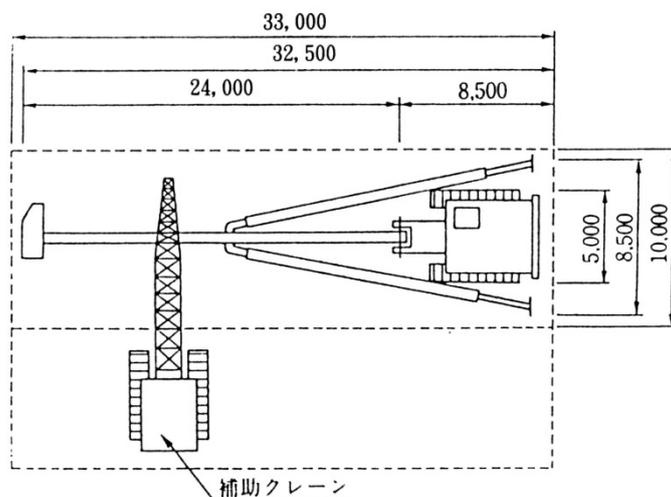


図-4.1 3点支持式杭打ち機の分解・組立時の作業ヤードの例

4. 2. 5 施工機械キャリブレーション

3点支持式杭打ち機による施工の場合、杭打ち機のオペレータ室に備えてあるリーダ傾斜計が正確であることを確認するため、杭打ち機のリーダ傾斜を0点にセットし、杭打ち機正面および直交側面の2方向からトランシット等により鉛直度を確認する。リーダの鉛直が取れていない場合は、トランシット等にて確認しながらリーダの傾斜を調整した後、0点リセットを行い較正する。

4. 3 鋼管の受け入れと保管

搬入された鋼管は、所要の品質を満たしていることを確認したうえで、損傷や変形が生じない方法で保管する。特に大径で板厚が小さい杭は、断面が変形しやすいので注意を要す。

4. 3. 1 受け入れ検査

現場に搬入された鋼管の外観、形状、寸法（外径、厚さ、長さ、付属品）が設計図書や製作要領書（製作承認図）に適合していることを確認する。また納品書等により種別、数量を確認する。

鋼管の品質については、検査証明書（ミルシート）での別途確認も行う。

受け入れ検査の実施状況は記録に残すとともに、検査証明書と併せて整理保管する。

受け入れた鋼管の品質上の欠陥や数量の食い違い等の不具合が発見された場合は、その処置も含めて記録に残すとともに監督員（工事監理者）等へ報告する。

4. 3. 2 鋼管の保管・取り扱い

鋼管は種類別に分類し、損傷や変形が生じない方法で保管する。

台木（角材やH鋼等）を使用する場合は、管端の変形防止の観点から受け位置を管端部から50cm程度は離すよう配慮するのがよい。

鋼管はなるべく平置きすることが望ましいが、やむを得ず段積みする場合は2段以内とし、荷崩れしないよう十分な安全対策を施さなければならない。段積みの高さは玉掛け時に高所作業とならない2m以下が目安となる。

鋼管を使用する順序や作業性等を考慮して、適切な位置に仮置きする。鋼管の仮置きを例を図-4.2に示す。

- ① トラックやトレーラーの上で荷崩れがおきない事を確認してから固縛用のワイヤロープを緩める。
- ② 鋼管の荷下ろしはクレーンにて行い、慎重に1本ずつ下ろす。
- ③ 鋼管はできるだけ水平な地盤に台木を支持点として並べる。
- ④ 台木は玉掛けに支障のない高さのものを使用し、転がり防止としてストッパーで完全に固定する。

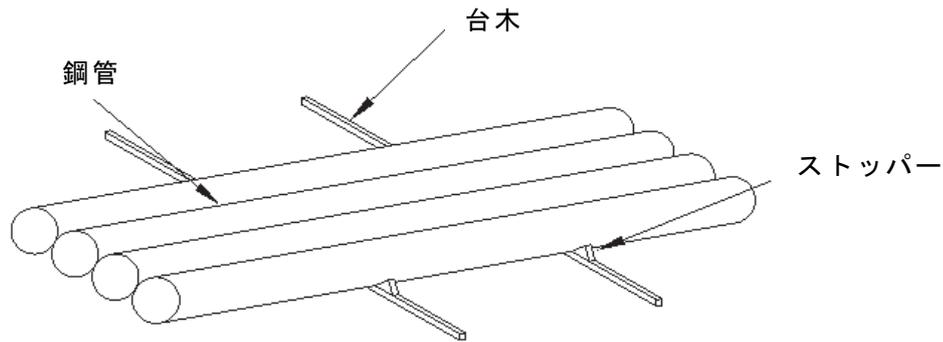


図-4.2 鋼管の仮置きの場合

4.4 杭の建込み・打設

ここでは主流の油圧ハンマを用いた施工について記載する。打撃工法には、油圧ハンマを3点支持式杭打ち機のガイドパイプに抱かせた状態で懸垂して使用するリーダ懸垂工法と、クローラクレーンのフックから直接吊って打設するフライングハンマ工法の2種類がある。

図-4.3、写真-4.1に示す通り、リーダ懸垂工法は、油圧ハンマが杭を偏打する危険性は減るが作業半径は小さくなる。一方、フライングハンマ工法は偏打の可能性が高まるが、作業半径が大きく取れるので栈橋（作業構台）上から杭打ち作業が可能である。また、フライングハンマ工法においては、打込み初期に、杭の建込み精度が安定する程度までパイプロハンマによる打設を行う。

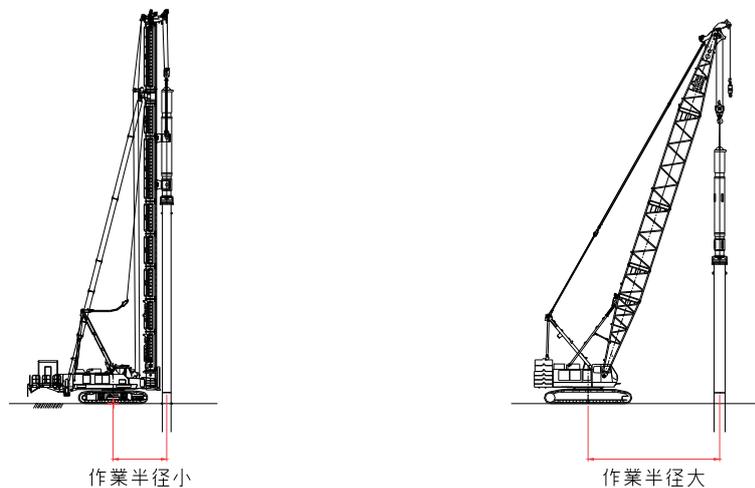


図-4.3 作業半径の比較（左：リーダ懸垂工法，右：フライングハンマ工法）



写真-4.1 左：リーダ懸垂工法，右：フライングハンマ工法

4. 4. 1 施工機械の設置

施工機械の設置は、杭心位置へ正確に行う。作業基盤の地耐力が小さい場合や造成地における擁壁近傍や傾斜地等で偏土圧が生じる場合は、機械を設置した地表面が沈下する（機械が傾く）場合もあるので、4. 2. 3 作業基盤の整備に示す対策を施すことが必要である。

（1）杭心だし

陸上工事では、逃げ心を離れた位置に堅固に設置する。また近接杭の施工によって杭心や逃げ心位置が移動することがあるため、必ず施工機械の設置前に再度杭心位置を確認する。

海上工事の場合には、2方向からのトランシットや GPS を用いて、基準杭の位置（杭心、斜杭傾斜）および各杭の杭心座標の設定を行う。

（2）杭打ち機の鉛直性の確認

杭の施工に先立ち、杭打ち機のリーダが鉛直（斜杭の場合は所定の角度）であることをリーダ傾斜計やトランシットまたは下げ振り等により確認する。施工中に傾斜の修正頻度が増加する場合には、作業基盤や構台の剛性を改善する等の対策を講じる必要がある。

4. 4. 2 杭の建込み

杭の建込みは、杭打ち機の安定性の確保や作業の安全性に十分な注意を払うとともに、所定の杭心位置へ正確に行う。

（1）油圧ハンマの懸垂

杭打ち機が3点支持式杭打ち機の場合は、油圧ハンマのガイドギブをガイドパイプに合わせて主巻ワイヤで巻き上げる。また、杭の長さとおよび油圧ハンマの長さおよび作業吊り余裕を加味したリーダ長さを選定するとともに、安定度およびクローラの最大接地圧を考慮しなければならない。

杭打ち機がクローラクレーンの場合は主フックで吊り上げる。吊り上げ能力とともに作業姿勢に見合ったブーム長さおよびクローラの最大接地圧の検討が必要となる。

栈橋（作業構台）上での作業においては、いずれの杭打ち機を用いる場合においても、栈橋（作業構台）の許容荷重との照合が必要となる。

(2) 杭の建込み

建込みに際しては、杭吊込み用ワイヤが吊り点からずれたり外れたりしないように確実に保持し、静かに杭先端を所定の位置に移動させる。また、杭を吊った状態で杭打ち機を自走させてはならない。海上工事では、吊り上げる杭が長尺になる場合が多いため、吊り上げ時に過度なしなりや損傷がないように注意する。

杭は、所定の杭心位置に正確に設置しなければならない。このため、陸上工事では、杭心位置には杭外周と同径の円を石灰等で描き、その円周に合わせて杭を建込む。また、直角2方向に逃げ心を設置し、逃げ心からの距離を計測して杭心位置の確認を行う。海上工事では、2方向からトランシットやGPSを用いて、杭心位置の確認を行う。

打設初期には、杭体の鉛直性を維持するために、直交2方向からトランシット等を用いて杭の鉛直度を確認しながら作業を進める。また、杭心ずれを少なくするために杭の振止めを杭打ち機リーダ下部に取り付ける方法もある。

4. 4. 3 ハンマ打設

ハンマで杭頭を打撃し、その打撃エネルギーで杭を地中の所定位置まで貫入させる。

(1) ハンマの選定

土質条件や杭の諸元などをもとに、打込みに適したハンマを選定する。油圧ハンマの場合、打撃エネルギーを任意に調整できるものが多いことから、小径杭の打込みにあたり、大径杭の施工も可能な大きなハンマを用いて、打撃エネルギーを下げて施工することもある。

ハンマの適用杭種や適用性を一義的に設定することは難しいが、過去の事例や図-2.5を目安に設定する。過去の事例や図-2.5にない場合は、事前の打込み解析により決定するとよい。あわせて打撃応力と杭体の座屈耐力の関係も検討しておくことよい。事前の打込み解析については、【付録B】を参照されたい。

ドロップハンマでは、ハンマの重量は杭の重量以上、あるいは杭1mあたりの重量の10倍を目安にする。

(2) 打込み時の杭体の打撃応力

打撃工法は施工時にハンマによる大きな打撃力が作用するため、特に杭頭部と杭先端部が破損することがある。破損例としては、杭頭部ではちょうちん座屈、杭先端部では固い支持地盤や中間層への無理な貫入による座屈などがある。破損の主な原因として過大な打撃力や過剰な打撃回数、偏心した打撃が考えられるが、特殊な地盤で杭体の破損のおそれがある場合には打撃応力の検討を行うのがよい。

杭の打込み時に杭体に発生する応力の算定方法には、波動理論に基づく方法、打撃エネルギーの平衡による方法などがあるが、ここでは波動理論に基づく方法について示す。

波動理論による方法の基本となる考え方は、Thomas Young によって導かれた式(4.1)に示す弾性棒の打撃応力を考察する場合の基本式によるものである。

$$\sigma = Ev/c = \sqrt{\gamma E/g} \cdot v = \sqrt{\rho E} \cdot v \quad \text{式 (4.1)}$$

σ : 打撃応力 (kN/m²) v : 変位速度 (m/s) E : 弾性棒のヤング係数 (kN/m²)

c : 弾性棒内の弾性波速度 (m/s) γ : 弾性棒の単位体積重量 (kN/m³)
 g : 重力加速度 (= 9.8m/s²) ρ : 弾性棒の密度 (t/m³)

式 (4.1) より、長い弾性棒に剛体が衝突した際の剛体の慣性力と弾性棒の抵抗力との釣り合いにより導かれた St.Venant の解を基本として、ハンマと杭先端の境界条件を考慮して一般化し、より実用的にした杭頭部における打撃応力の式 (式 (4.2)) が宇都、冬木らにより提案されている。

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp(-\gamma_p A_p / W_H \cdot C_p t) \quad \text{式 (4.2)}$$

$$\sigma_0 = E_p / C_p \cdot \sqrt{2gh}$$

A_p : 杭の断面積 (m²) W_H : ハンマ重量 (kN) γ_p : 杭の単位体積重量 (kN/m³)
 C_p : 杭体内の弾性波速度 = $\sqrt{E_p g / \gamma_p}$ (m/s) E_p : 杭のヤング係数 (kN/m²)
 t : ハンマ打撃後の経過時間 (s) h : ハンマの落下高さ (m)

式 (4.2) では、ハンマが衝突してから最大打撃応力が生じるまでの経過時間 t は、St.Venant の理論波形と実測値の比較検討より、実用上 0.002 秒がよいことが確認されている。本式は固体クッション仕様の油圧ハンマの杭頭打撃応力の算定に使用する。表-4.1 に鋼管の物理定数および弾性波速度を示す。

表-4.1 鋼管の物理定数等

項目	数値
単位体積重量 γ_p (kN/m ³)	77.0
ヤング係数 E_p (kN/m ²)	2.0×10^8
弾性波速度 C_p (m/s)	5.12×10^3

(3) 打込み順序

杭基礎を構成する杭は一般に群杭を形成するため、打込みに際しての打込み順序をあらかじめ決めておく必要がある。打撃工法では、打込みによる地盤の締固め効果によって打込み抵抗が増大するため、場合によっては貫入不能となったり、すでに打込んだ杭に移動、曲げなどの有害な変状が生じることがある。これら为了避免するためには、杭群の一方の隅から他方の隅へ打込んでいくか、杭群の中央部から周辺に向かって打ち進むのがよい。

また、既設構造物に近接して杭を打ち込む場合には、構造物の近くから離れる方向に打ち進むのがよい。

(4) ハンマ打設

打設初期には、杭の鉛直性を維持するために、最初は軽打にて打込みを行い、直交 2 方向からトランシット等を用いて杭の傾斜を確認しながら作業を進める。

斜杭を 3 点支持式杭打ち機で施工する場合はリーダで角度を設定し、クローラクレーンで施工する場合は定規材を設置することが一般的である。最近では、画像処理技術を用いた杭位置と傾斜の管理が行われることもある。

杭の傾斜とともに、打撃工法ではハンマと杭体の真直度やずれの有無が杭体の座屈に影響を与えるため、偏打の有無を確認する必要がある。

また、打込み途中で打込みを休止すると、時間の経過とともに地盤の回復などによって打込みが困難となり、より大きな打込み設備が必要となる場合もあることから、1本の杭の打込みは、連続して行うことを原則とする。

(5) ヤットコ施工

杭の計画天端高が施工基面より低い場合には、杭頭部にヤットコを建て込んで打ち下げる。

ヤットコによる施工長が長い場合、地盤によってはパイプロハンマを使用してヤットコを引き抜くこともある。ヤットコを引き抜いた後は、地盤に空洞が出来るため、転落防止と杭打ち機足場の養生を兼ねて速やかに埋戻す。

4. 5 現場接合

4. 5. 1 現場溶接継手

鋼管の現場縦継ぎ溶接（円周溶接）は、杭の諸性能に及ぼす影響が大きく、溶接条件、溶接作業および検査等に十分な注意を払い、有害な欠陥を生じないように確実に行わなければならない。

鋼管の現場縦継ぎ溶接の継手形状は、2. 4. 2 附属品に示したように標準化されている。また、現場縦継ぎ溶接は、セルフシールドアーク溶接法による半自動溶接を標準とする。なお、本項では現場縦継ぎ溶接の概要を記載するが、より詳細な情報は、鋼管杭・鋼矢板技術協会「道路橋における鋼管杭現場縦継ぎ溶接作業要領」、日本溶接協会規格 WES 7601「基礎杭打設時における溶接作業標準」を参照されたい。

(1) 溶接施工管理技術者

現場溶接に際しては、WES 7601に定められた試験に合格した溶接管理技術者のように溶接についての専門知識・経験や施工管理に関する十分な職務能力を有する者を溶接施工管理技術者として常置させる。

溶接施工管理技術者は、溶接に関する知識、経験をもとに適切な指導を行うほか、以下のような事項を実施する。

- ① 溶接工の選任
- ② 必要機器諸設備の点検や材料の適正保管方法の指示
- ③ 溶接施工に際しての安全管理
- ④ 溶接作業の開始と終了の指示
- ⑤ 溶接部の検査
- ⑥ 溶接部の欠陥の手直し方法の判断と指示、その後の対策（施工方法の改善等）
- ⑦ 記録の作成と報告

(2) 溶接工

溶接工は、JIS Z 3801（手溶接技術検定における試験方法および判定基準）、および JIS Z 3841（半自動溶接技術検定における試験方法および判定基準）に定められた試験に合格した者で、6か月以上溶接工事に従事した経験のある者とする。また、事前にその現場の溶接条件、溶接環境、溶接方法に応じ十分能力があると認められた者が従事しなければならない。さらに、WES 8106（基礎杭溶接技能者の資格認証基準）では上記の JIS Z3801、Z3841の資格保有者を対象に基礎杭の実際の溶接に即した技術検定を規定したものとなっている。「道示Ⅳ」では、WES 8106を既製杭の現場溶接の溶接条件や溶接作業に即した資格認証基準で、JIS 同等以上の検定試験と位置付け、この試験に合格した者を選定するのが望ましいとしている。

（３）溶接機および溶接材料

鋼管の現場縦継ぎ溶接に使用する溶接機や溶接材料は、設計図書に示された仕様や JIS 規格に規定された適切なもので、確実に品質が確保できるものを使用する。

セルフシールドアーク溶接法による半自動溶接では、一般に、フラックス入りセルフシールド溶接ワイヤを使用する。溶接材料が吸湿すると溶接欠陥が発生しやすくなることから、雨漏り、結露、吸湿等に対する配慮が必要である。溶接ワイヤは通気がよく湿気の少ない場所に保管するようにし、吸湿した場合は廃棄するか、乾燥装置等により乾燥させる。

溶接機は、JIS C 9300（アーク溶接機）の規格に適合したものとし、かつ、半自動溶接に適した十分な容量をもち、適正な電圧、電流を安定して供給しうるものとする。

（４）溶接作業

溶接作業は以下のような点に留意して行う。

- ① 上下の杭の目違いが前後左右でなるべく均等になるよう確認しながら杭軸線が同一線上にあるように修正し、溶接部の清掃を行う。
- ② 溶接作業にあたっては、適切な溶接電流および溶接電圧を選定し、適切な溶接速度と運棒により欠陥のない溶接を行う。
- ③ 降雨、積雪時で溶接部が濡れている時、または 10m/sec 以上の風が吹いているときは、溶接作業を中止する。ただし、溶接部が天候の影響を受けないよう処置を行う場合は元請技術者の承諾を受けて溶接を行うことが出来る。
- ④ 気温が+5℃以下の場合には、溶接を行ってはならない。ただし、気温が+5℃から-10℃で溶接部から 100mm 以内の部分すべてが+36℃程度（体温程度）以上に予熱されている場合には差しつかえない。

（５）検査

鋼管の現場縦継ぎ溶接部は、全箇所・溶接線全長について外部キズの検査を実施し、一定頻度で内部キズの検査を実施する。なお、外部キズの検査は、目視による外観検査と JIS Z 2343（非破壊試験－浸透探傷試験－）による浸透探傷試験、内部キズの検査は JIS Z 3104（鋼溶接継手の放射線透過試験方法）の放射線透過試験又は JIS Z 3060（鋼溶接部の超音波探傷試験方法）の超音波探傷試験を行うのが一般的である。特定の検査について規定や指示がある場合には、その指示に従うものとする。

外観検査（外部キズ）の主な検査項目は、溶接部の割れ、ピット、アンダーカット、オー

バーラップ、サイズ不足、溶け落ち等である。外観検査や浸透探傷試験は、その方法およびキズの分類や判定に一定の知識と経験を要することから、経験や資格を有する者が行うことが望ましい。

内部キズの検査は当該検査の資格と経験を有する者が行う。

(6) 補修

溶接欠陥が発見されたときは、グラインダ等で手入れする、あるいは必要に応じてガウジング等で欠陥部を完全に除去し再溶接等の補修を行う。補修部は再検査を行うとともに、補修内容および補修前後の状況を写真等で記録し、補修状況を確認できるようにしておく。

グラインダによる手入れでは鋼管板厚が許容値以下とならないように注意する。また、肉盛り溶接を行う場合は、ショートビードにならないように配慮し、なめらかに仕上げる。

なお、溶接欠陥の発生頻度が高い場合は、溶接条件の見直しや溶接工の技量の確認、自主検査の追加等の検討を行うのがよい。

4. 5. 2 機械式継手

鋼管杭を現場で接合する方法の一つに機械式継手がある。機械式継手は、あらかじめ杭の上下端部に工場で溶接取付けされた継手部材を現地で自重等により嵌合させる構造であり、溶接継手に比べて次のような特徴を有する。

- ① 気象条件（風、雨、気温等）の影響を受けにくく、品質が安定する。
- ② 施工時に特殊な技能者を必要とせず、品質が安定する。
- ③ 作業時間短縮が可能である。
- ④ 使用場所（可燃物近傍等）の制限が少ない。
- ⑤ 施工管理が容易で全数管理が可能である。
- ⑥ 板厚の異なる鋼管を接合する箇所にも使用可能である。

機械式継手は各構造により施工方法や施工管理方法が異なることから、各々の施工要領に従って施工することが必要である。

4. 6 特殊条件下における施工上の留意点

4. 6. 1 中間層の打抜き

鋼管杭の打撃工法での中間層の打抜きには一般には次の傾向がある。

- ① N 値50以上の砂質土層の場合、杭径の5倍程度までの層厚は打抜き可能な場合が多い。
- ② N 値30以上の粘性土の場合、杭径の3倍程度の層厚は打抜き可能な場合が多い。
- ③ 中間層の深度が20m前後であれば打抜き可能な場合が多いが、30mに近くなると不可能となることがある。
- ④ 砂質土層では粒径が一樣なほど打抜きは容易である。
- ⑤ 中間層の下層が軟弱な場合には、中間層が少々硬くとも打抜きが可能な場合が多い。
- ⑥ 打抜き不可能な場合は、中掘り杭工法・プレボーリング工法・ウォータージェット工法などの併用によって打抜きを可能にすることができる。ただし、この場合は周面摩擦力などの支持力特性に対する検討が別途必要となる。

以上のことは杭径・ハンマの大きさなどによって多少異なる。

4. 6. 2 岩盤に打止める杭

「道示Ⅳ」に「軟岩を支持層とする打込み鋼管杭の軸方向押込み力の推定方法（案）」が示されている。対象となる軟岩は、表－4.2のランク2, 3に示すものが目安とされており、支持岩盤内に少なくとも杭径以上根入れできる場合であり、支持岩盤上が軟弱粘性土地盤である場合や中掘り杭工法を併用する場合は適用外であるとされている。

ただし、硬岩への打込み貫入は一般的に困難であり、むやみにハンマ重量などを大きくしたり適正な打撃力を上回る過大な打撃力により打込んだりすることは、杭体に損傷を与えるおそれがあるので注意しなければならない。

表－4.2 支持層のボーリングコア性状

ランク	形状	硬 度	風化度
1	棒状	ハンマの強打でも容易に割れない	未風化で新鮮
2	短柱状	ハンマの強打で割れる	殆ど未風化 一部劣化
3	岩片状	ハンマで容易に割れる	全体にやや風化
4	砂れき状	ハンマでぼろぼろになる	殆ど完全に風化
5	土砂状	指圧で割れる	—

4. 6. 3 摩擦杭

「道示Ⅳ」では、摩擦杭基礎における打止めは、設計で定めた深度で行うことを原則とするとされている。打撃工法による摩擦杭を施工するにあたっては、所定の深度より打込み過ぎないように十分注意する必要がある。

5. 施工管理

5. 1 一般

杭基礎は、一般的に施工完了後の出来形等の測定データだけでは基礎の性能を把握・評価しきれないことから、所定の品質を確保するために、施工プロセスの管理が重要となる。

すなわち、周到な施工計画の元で、適切な材料ならびに施工機械を用いて、決められた施工方法で基礎が所要の出来形と支持性能を発揮できるように施工することである。同時に、施工した基礎が所要の性能を満たすものであると推定判断できるように、重要な施工プロセスにおける施工実態や情報を施工記録として残すことが求められる。このためには、基礎の品質に影響を及ぼす事項について、適切な施工管理を行わなければならない。

5. 2 試験杭の実施

「試験杭」を実施し、施工状況を把握しながら以降の施工管理に必要な施工データを収集する。「試験杭」の施工状況と地盤調査結果を対比して、本杭の施工に関する十分な情報が得られるように原則として地盤調査位置近傍において実施する。

なお、本杭と別に「試験杭」の施工を行うことを要求しているものではなく、一般には対象の基礎において最初に施工する杭を「試験杭」とすることが多い。

「試験杭」は、以下の項で記述する事項を踏まえて実施し、施工全体の中で有効に活用することが重要である。

5. 2. 1 試験杭の目的と計画

計画した施工法・施工管理手法の妥当性、設計条件と実現場との整合性等設計で考慮した諸条件が満たされることの確認等を行うことを目的に、あらかじめ試験杭の施工を実施する。

試験杭により得られた結果を本杭施工に反映させることが重要であり、結果によって、施工機械や施工工程の変更、計画時点で考慮できなかった対策や処置、杭長や杭工法の変更等が必要となることもある。補助工法の使用、杭工法や杭長等の変更は、基礎の設計とも関係するので監督員（工事監理者）や設計者等に確認を取りながら慎重な検討と協議を行う必要がある。

試験杭は、本杭の施工に関する十分な情報が得られるように、その位置と本数を決定しなければならない。

試験杭は寸法、種別等が本杭と同一のものを使用し、支持層深度等の不確実性を考慮して適切な長さの杭を用いる。別途準備した試験用の杭を試験杭とする特別な事情や特記が無い場合は、一般に本杭の中から試験杭を選定する。また、試験杭の主旨から、通常は当該工事において最初に施工する杭を試験杭とする。

試験杭の位置について「杭基礎施工便覧」では橋脚・橋台ごとに杭の配置、地層構成の状況等を考慮し、支持層の状態がわかるような位置を選ぶこととされている。既存情報と対比することを考慮して地盤調査位置に近いものを選ぶことを基本に、杭長の相違、支持層の不陸等配慮すべき事由を踏まえて代表として相応しいものを選定する。また、支持層の傾斜が大きい場合や施工条件（杭径など）が異なる場合で1本の試験杭だけでは施工管理のための情報が得られない時は、試験杭を追加するとよい。

さらに、最近の打撃工法では、試験杭において、打止め管理式の適用性を検証したり補正したりする目的で衝撃載荷試験を実施することにより、打止め管理の信頼性向上を図っている事例もある。

試験杭の施工は原則として、監督員（工事監理者）、元請技術者および基礎ぐい工事の施工体制に係る全ての下請の主任技術者（杭工事管理者）の立会いのもと実施し、施工管理項目を確認するものとする。

5. 2. 2 試験杭での評価と報告

試験杭では、支持層の状態等の設計で考慮した諸条件に関わる事項の評価、ならびに施工法および施工管理手法の妥当性の評価を慎重に行い、試験杭で得られた情報を本杭の施工法、施工管理手法に反映させることが重要である。

事前には評価・判断が困難で実際に施工してみなければ把握できない事項の評価は、試験杭の重要な目的であり成果である。試験杭の実施においては、以下のような項目について確認・評価し、本杭での施工方法および施工管理手法等を地盤状況のばらつき等も踏まえて関係者で良く協議し決定する。

- ・計画した施工機械での施工可否やその適性
（特に、適正なハンマ仕様やラム落下高さ（打撃エネルギー）の評価）
- ・施工機械，管理用計器類の作動状況
- ・支持層深度の把握，設計図書との相違の有無
- ・地盤性状，地中埋設物等の把握
- ・施工能率の把握，各作業工程における施工時間の把握，計画工程の妥当性
- ・溶接工の技量
- ・本杭施工時における管理指標

試験杭での標準的な測定項目と報告内容を表-5.1に示す。

試験杭は本杭施工の指標となるものであり、その基礎の施工状況を示す代表的な情報を与えるものである。試験杭の打込み条件（打撃エネルギーなど）や施工状況，施工データを勘案し，貫入量やリバウンド量，打撃回数，打止め管理式から求まる算定値などの個々の値やそれらの変化傾向を打止め管理指標として設定する。代表的な管理指標として，一般的には，打止め時一打あたりの貫入量が考えられるが，打止め時一打あたりの貫入量は，打撃エネルギーの影響を大きく受け，杭の外径や長さ，地盤の状況等によっても異なってくるため，施工・地盤条件や杭仕様ごとに打撃エネルギーと貫入量の関係性をよく確認しておくことが重要となる。

また，試験杭がどういう施工および施工管理のもとで行われたかがわかるように試験杭施工記録を詳細に整理しておく必要がある。

表-5.1 試験杭での標準的な測定項目と報告内容

項 目		報告内容
1. 施工準備	一般事項	施工年月日, 天候, 地盤条件, 杭仕様 (杭種, 寸法, 傾斜角度)
	施工機器 仕様	杭打ち機, ヤットコ (寸法, 形状), クッション, ハンマ (形式, 重量), 溶接機器
2. 打込み時	一般事項	施工方法および施工順序, 施工精度 (鉛直および平面的位置ずれ), 施工の際に発生した特殊な事項 (施工時地盤高や周辺地盤 の変状, 杭体の異常, 騒音や振動, 障害物など)
	施工記録	施工時間 (準備, 建込み, 溶接, 打込み), 打撃回数 (総打撃回数, m当たり打撃回数又は打撃回数当 り貫入量) ラム落下高又は打撃エネルギー 現場接合
3. 支持層到達確認お よび打止め	一般事項	杭頭高さ, 杭先端深度
	施工記録	施工時間 (打込み), ラム落下高又は打撃エネルギー*, 単位貫入量あたりの打撃回数, 総打撃回数, 貫入量*, リバウンド量*, 杭の根入れ深さ, 打止め管理式から求まる算定値* (総合的な判断をした場合は, その判断材料と理由など)
4. その他	作業面積, 頭上空間, 騒音, 振動, 河川の流速や水位の変動, 安全, 環境, 機器, 設備, 人員, 工程	

*本杭の施工管理を行う上で特に重要な項目であり, 相互の関係性を記録・評価する必要がある。

5. 3 施工管理項目と記録

施工品質を担保するために, 必要な施工管理を実施し, 検証可能な施工プロセスの記録を残す必要がある。

施工プロセスの記録は, 具体的な数値の実測照合等によって直接的に検証し得ない品質要因を, 所定のプロセスで施工が実施・管理されていることを確認することによって, 間接的に保証する趣旨のものである。

一般的には杭が「所要の出来形が得られ, 所要の支持性能が発揮できる」ように, 「適切な材料」と「適切な施工機械」を用いて「決められた施工方法」のとおりに行われることで, 適切な品質が確保できたとみなし得ると考えられる。

これらの観点から抽出・整理した打撃工法における標準的な施工管理項目を表-5.2に示す。なお, 工事分野ごとの技術基準や設計図書・仕様書等に記載がある場合は, それに従う必要がある。

杭工事管理者は, これらの施工管理項目について管理・記録を行う適切な担当者を配置させ, 確実に実行されていることを管理する。

試験杭の場合は, 原則として監督員 (工事監理者), 元請技術者および基礎ぐい工事の施工体制に係る全ての下請の主任技術者 (杭工事管理者) の立会いのもと主要な施工管理項目

(支持層到達の確認方法、打止め管理方法等)の確認を行う。本杭の場合は、あらかじめ管理杭を設けておくなどして、施工要領書(施工計画書)に記載された頻度で元請技術者も立会い、確認を行う。

日々の施工管理を確実に実施するため「施工管理チェックシート」を用いて、杭一本毎の施工管理記録を作成し、杭工事管理者は当日中(または翌朝)に元請技術者に提出し承認を受ける。

5. 4 施工管理装置

打撃工法では、貫入量やリバウンド量を手書きチャートによるペン書き法で計測(図-1.2 参照)するなど、施工管理に必要となる施工データをアナログで記録することが多いのが実状である。しかし、図-5.4 に示すような施工データを適切かつ合理的に得るためには、今後アナログでの施工管理に代わる、情報技術を活用した施工管理手法の確立が望まれる。

たとえば、IHC 社製の hidroリックハンマ(S ハンマ)など、ハンマコントローラーによって、ハンマエネルギーや打撃回数等の情報が自動的に取得できるようになっているものもある。打撃工法の利用が多い海外では、打撃回数等を自動的にカウントし記録する装置や、杭にひずみゲージや加速度センサーを取り付けて、打撃時の衝撃振動状況を測定分析する装置も一般的に使用されている。また、日本でも、高速度カメラにより貫入量・リバウンド量を計測する方法や、GNSS(Global Navigation Satellite System)/トータルステーションにより杭心・深度・傾斜を管理する方法などの開発が進みつつある。

表-5.2 打撃工法の標準的な施工管理項目と管理基準

打撃工法 標準的な施工管理項目と管理基準

区分	対象	管理項目	管理方法	管理基準	確認時期・頻度	記録	
						手動/自動	書式
準備工	用地	敷地条件及び搬入道路	仮設計画にて検証	-	着手前	-	-
	作業基盤	地耐力及び傾斜	地耐力の検討	-	着手前	-	-
杭材料	鋼管杭	材質・成分検査	ミルシート	JIS A 5525、設計図書による	出荷時	手動	材料メーカー書式による
		外観検査	目視	変形等有害な損傷がないこと	受入毎全数	手動*	発注者書式による
		形状寸法検査（外径・板厚・長さ等）	ノギス・検尺テープにより検測	JIS A 5525、設計図書による	受入毎全数		
施工機械・装置	キャップ、クッション	サイズ、損傷有無	スケール等による測定、目視確認	損傷・変形が無いこと	施工前	-	-
	ヤットコ	構造、長さ、数量	スケール等による測定、構造確認（目視）	所定の長さ、マーキング位置等	施工前	-	-
建込み・打込み	建込み、打設	位置	2方向逃げ心を設置し、検尺棒等で確認	杭芯とのズレ50mm以内	全数	手動	書式例3、4
		傾斜	トランシット又は傾斜計	1/100以内	全数	手動	書式例4
		偏打	杭・リーダ・ハンマが一直線であるか、横揺れしていないか	損傷・変形が無いこと	全数	-	書式例4
		ラム落下高さ（打撃エネルギー）	施工装置	杭材の強度から決まるラム落下高さ（打撃エネルギー）以下	全数	手動	書式例1
		1m当りの打撃回数	カウンタ	-	全数	手動	書式例1
	現場接合	接合手順及び検査	「道路橋における鋼管杭現場縦継ぎ溶接作業要領」、各機械式継手の施工マニュアル準拠	全数	手動	書式例2	
	支持層到達確認 打止め管理	ラム落下高さ（打撃エネルギー）	施工装置	試験杭で定めたラム落下高さ（打撃エネルギー）	全数	手動	書式例3、4
		1打当りの貫入量・リバウンド量	ペン書き法、高速カメラなど	試験杭で定めた管理指標	全数	手動	書式例3、4
		打撃回数・総打撃回数	カウンタ	試験杭から目安を設定	全数	手動	書式例3、4
		深度（根入れ深さ）	測量器	試験杭で定めた根入れ深さ	全数	手動	書式例3、4
打止め管理式による算定値		各種管理式による推定	試験杭から目安を設定	全数	手動	書式例4	
出来形	位置	測量器	杭芯とのズレ4/Dかつ100mm以内	全数	※調達元で実施		
	天端高さ	レベルにて視準	±50mm以内	全数			

試験杭および管理杭の立会い推奨項目		試験杭による判断項目と本杭への反映
工事監理者	元請	
-	-	環境の決定 ・作業に支障のない用地が確保されているか ・作業基盤の地耐力は適切か
-	-	
-	-	杭仕様の決定 ・種類、外径、板厚、長さ等の杭仕様は適切か
○	○	
-	-	使用機材の決定 ・施工機械の仕様は適切か
○	○	
-	-	標準施工方法の設定 ・施工機械の仕様・性能は適切か（特にハマ仕様、ラム落下高さ（打撃エネルギー）） ・計画で想定した施工能率は妥当か ・設計図書との相違はないか ・打止め管理方法は適切か ・所定の管理値を満足しているか
-	-	
○	○	
-	-	
-	-	
○	○	
○	○	
○	○	

5. 5 施工管理の留意点

5. 5. 1 杭の建込みの管理

施工精度は杭の建込み精度によって決まると言っても過言ではない。例えば、国土交通省の杭の出来形管理基準では傾斜は1/100以下、杭心ずれは杭径の1/4かつ100mm以下となっているが、さらに厳しい自主管理目標値を設定して施工管理することが一般的である。

杭心の精度については、逃げ心から杭心を計測し、杭心とのずれが目標値以内となっていることを確認する。

杭の傾斜については、地盤内に打設された杭の傾斜を実測することは難しいため、建込みの精度管理でこれを担保するのが通常である。杭の建込み管理を慎重に行ったうえで、打ち始め時や現場接合時等に傾斜実測値を記録したり、傾斜が管理値以内であることの証となる記録（レ点チェックの記録等）を残したり、傾斜確認状況の代表写真を残す等のプロセス管理手法を施工計画に定め、これに基づいて施工プロセスの記録を確保することが望まれる。

杭が地盤内に打設されると、その杭心位置や傾斜を修正することは困難である。したがって、下杭の建込み、特に下杭の打ち始めの精度管理は入念に行うのが良い。また、打設初期には傾斜が変化しやすいため、杭が地盤によって拘束されないうちに傾斜を再チェックすることが大切である。傾斜の修正を行う場合には、無理な建直しによって杭や地盤を傷めないように注意する。

参考として、ある現場における杭径500mm、杭長15.4～24.0mの打込み精度の実績を図-5.1、図-5.2に示す。

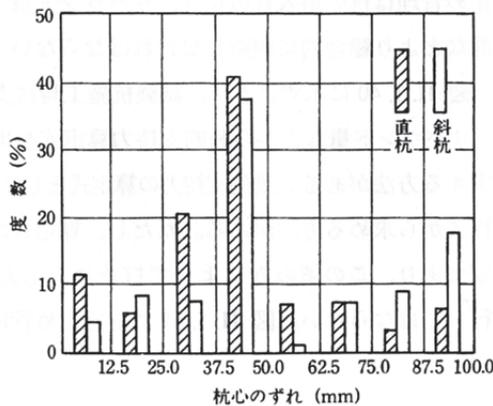


図-5.1 杭心の設計位置よりのずれ

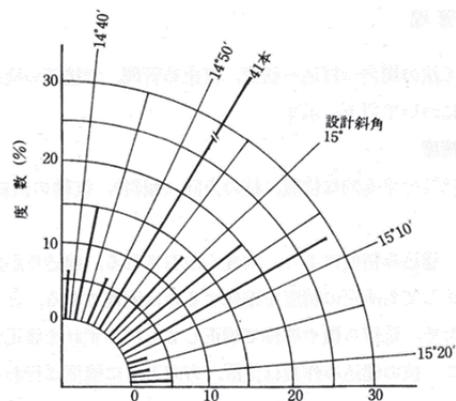


図-5.2 斜杭打込み角度のばらつき

5. 5. 2 打込み時の管理

(1) 打込み初期

杭の打込みは、最初は軽打にて打込みを行い、杭心の位置、傾斜を確認した後に本打ちに移る。杭はハンマを載せた時に自重で地中に大きく貫入する場合もあるので、徐々にハンマを預けるようにすると共に、杭心の位置がずれないようにゆっくりと打ち込む。油圧ハンマは打撃エネルギーを任意に調整することが出来るため、打ち始めには打撃エネルギーを低くして丁寧打ち、杭の鉛直度を正しく調整してから地盤状況に応じた強さの打撃を加える。

海上施工等においてバイブロハンマを用いて杭を建込む場合は、打撃用の油圧ハンマを

載せた時に杭の自沈が生じない程度の深度まで、継ぎ杭の場合は継ぎ杭位置までとするのが1つの目安となる。

また、3点支持式杭打ち機で角度の大きい斜杭を過大な速度で打ち込むと、ベースマシンの重心の移動が急激に起こり、転倒事故などの原因となることから、徐々にハンマを預けると共にゆっくり打ち込むことが重要である。なお、打込み初期（2～3m程度）において鉛直度に狂いが生じた場合には、キャップを外したときの戻りを考えて、打込み初期の傾斜の方向に引き起こして修正するか、または引抜ける場合は引抜いて打直しを行うようにする。打直しの場合、一度打込んだ方向に杭は傾斜しやすいので堅固な導材やパイロホルダーなどで所定の位置、角度に固定する。

（2）本打ち

打込み初期において杭の鉛直度を正しく調整した後に連続打撃を実施する。

打撃中は、貫入の状況に異常な変化がないか適宜確認を行う。異常が確認された場合は、杭先端の変形や埋設物の噛み込みの可能性があるため、それまでに打込んだ他の杭と杭内部の土の上がり方に違いがないか等を確認するとよい。

現場接合がある場合、作業性を考慮して杭頭が作業足場や作業基盤から50～100cmのところまで打ち止める。打込んだ杭については、杭頭に損傷変形などの異常がないか点検する。

5. 5. 3 打止め管理

打撃工法は、打撃時における杭体の抵抗挙動を現場で確認できる工法であることから、これまでは支持層到達の確認が十分に意識されず、打止め直前に測定された貫入量やリバウンド量を用いた打止め管理式の算定値から安易に打止め判断がなされてきたきらいがある。

しかし、打止め管理式で求められる算定値は、静的載荷試験で得られる支持力とは異なるものであり、地盤や杭径、杭長などの条件によっては大きな相違が生じる場合もある。そのため、打止め判断の絶対的な指標ではなく打止め管理方法の一つの目安として活用するよう従来から注意喚起がなされている。

また、打止め管理式が提案されて以降、杭の大径化や長尺化、あるいはハンマの性能向上が図られているが、このような新たな条件での打止め管理式の適用性については十分に検証されていないのが実状である。

このような背景を踏まえ、本施工管理要領では、打止め管理式に依存しすぎることなく、杭の根入れ深さ、打止め時一打あたりの貫入量やリバウンド量などと打撃エネルギーとの関係など、より多くの情報からをもとに打止め管理を行うこととしている。図-5.3に打止め管理の手順の例を示す。

本杭の打止めにあたっては、試験杭の施工によって定めた方法により支持層到達確認および打止め確認を行う。支持層内での打込みは、杭体を損傷させないように注意しながら行う必要がある。打止め確認の代表的な判断材料としては、①根入れ深さ、②打止め時一打あたりの貫入量およびリバウンド量、③打止め管理式から求まる算定値、などがあり、これらが試験杭と同程度であることを確認して打止める。試験杭と異なる場合は他の判断材料や設計条件を考慮して総合的判断を行う。それでも打止め判断が困難な場合は、関係者に報告のうえ、協議を行う。

以下に、打止め管理の主要な判断材料となる3点の留意事項を示す。

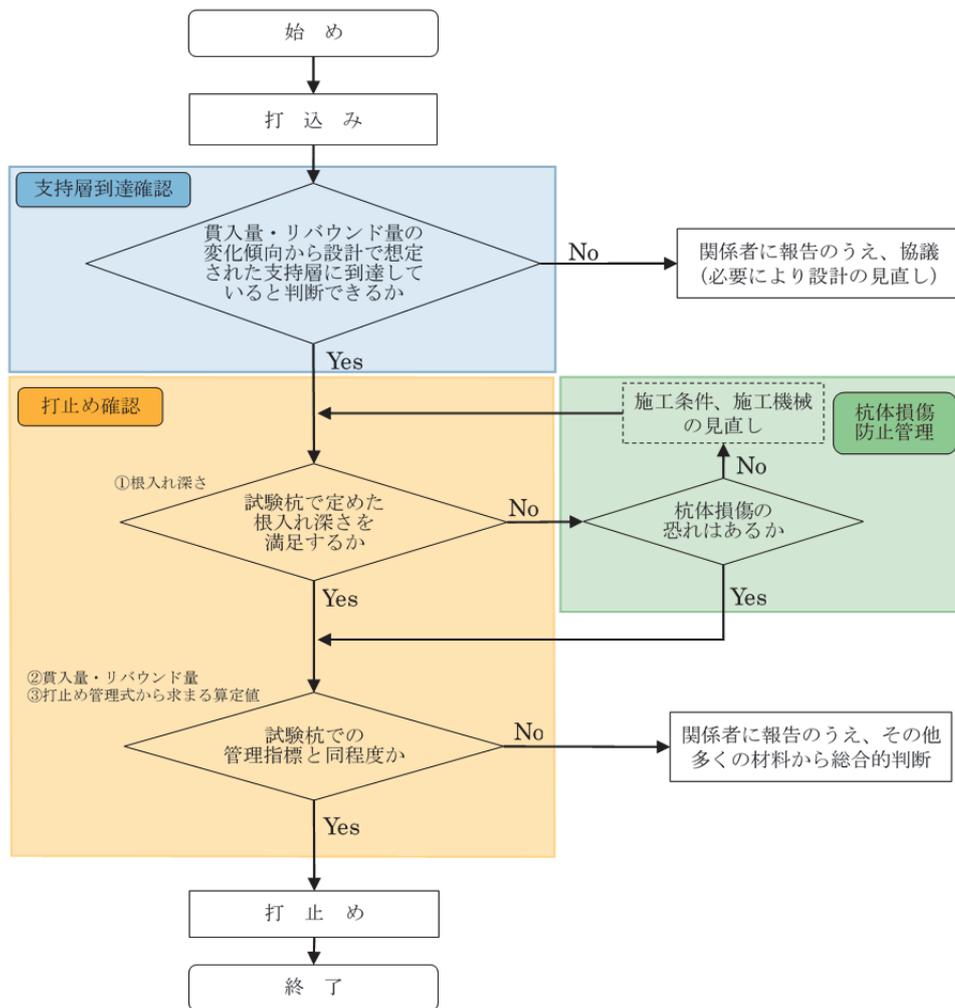


図-5.3 打止め管理手順例

(1) 杭の根入れ深さ

一般に、試験杭によって定めた杭の根入れ深さとなるが、本杭で根入れ深さを管理するためには、支持層に達したことを確認する必要がある。そのため、試験杭で把握した支持層近傍での一打あたり貫入量、打撃回数、打撃エネルギーの数値とそれらの変化傾向を、本杭での測定データと対比させることによって支持層に到達していることを確認したのち、試験杭で定めた根入れ深さまで打ち込む。

ただし、道示IVでは、「打止め時一打あたり貫入量は、杭の種類、長さ、形状、地盤の状況等により異なるため、一義的に定めることは不可能であるが、既往の資料等を参考にして、2~10mmを目安とする。」とされており、設計で想定された根入れ深さや試験杭で定めた根入れ深さを満足できないからといって、一打あたりの貫入量を2mm以下で打ち続けると、杭体の損傷につながるとともにハンマにも悪影響を及ぼすため注意する必要がある。このような場合は、試験杭における支持層内での打撃回数などその他多くの判断材料から総合的に打止め管理を行う。総打撃回数は、地盤と杭長によって様々であるが、おおよその目安として3,000回以下で管理するのがよい。ただし、杭の許容応力度（杭材料の応力度の制限値）以下の打込みでは、10,000回以上打撃した事例もあるので、試験杭で定めた打止め条件に達

しない場合は、試験杭や他の杭，当該杭の施工全体状況等をもとに、打込みを続けるべきかどうかを慎重に判断する必要がある。

一方、試験杭で定めた根入れ深さに到達しても、一打あたり貫入量が試験杭よりもある程度大きいことが確認された場合などは、貫入量やリバウンド量が一定値に収束しているかどうかや打止め管理式から求まる算定値など、その他多くの材料をもとに総合的に打止め管理を行う。

打止め管理の信頼性をより高めるための方法としては、支持層手前3D程度から貫入量およびリバウンド量，打撃エネルギーを一定区間ごと（例えば50cmごと）に測定し，これらの数値および変化傾向から支持層を確認し，試験杭で定めた根入れ深さを推定するといった方法もある。一般的に，打撃エネルギーを一定にして杭を打設した場合，支持層付近で見られる貫入量とリバウンド量の関係は，図-5.4に示すように，硬い層への根入れとともに貫入量が減少していくのに対して，リバウンド量は増加し，支持層内ではそれぞれ一定値に収束するといった傾向がある。このような現象を利用し，試験杭での数値やその変化傾向と本杭での施工データを比較することにより支持層到達および所定の根入れ深さを確認し，打止め判断を行う。ただし，これらの計測はアナログで行われることが多く，施工手間も要するため，合理的に計測できる情報処理技術の確立と活用が今後期待される。

なお，いずれの管理方法においても，設計上の支持層が地層境界ではなく地層の中間に設定される場合，例えばN値が徐々に大きくなる漸増地盤の場合や軟岩等で風化度合から支持層深度を設定している場合等では，打撃時における杭体の抵抗挙動の変化等が現れにくく，施工時情報からでは設計で想定している地盤との対比が難しいこともある。このような場合は，衝撃載荷試験を実施して，打止め管理式の推定精度を高める等の対応が考えられる。こうした打止め管理については，事前に十分協議して明確にしたうえで施工に臨む必要がある。

(2) 打止め時一打あたり貫入量およびリバウンド量と打撃エネルギーの関係

打止め時一打あたり貫入量およびリバウンド量は，杭の仕様や地盤の状況，施工条件等によって異なり，一義的に事前に定めることが困難であることから，土質柱状図近傍で実施する試験杭において打止め管理の目安を定め，本杭での測定データと対比させることにより打止め判断を行う。ただし，一打あたり貫入量は，打撃エネルギーによって大きく左右される指標であるため（一打あたり貫入量 \div （区間長 \div 区間長あたりの打撃回数）で表すことができるため，打撃回数も同様である），どのような打撃エネルギーによる数値かという関係性を試験杭で良く把握しておくことが重要である。

一方，リバウンド量は，打撃エネルギーを段階的に増加させていった場合，ある段階から貫入量に比べてその変化傾向が小さくなる（P55 図-C.1参照）。この変化量が小さくなった時の支持力は，その深度における地盤の塑性理論上の極限支持力を示している*とされて

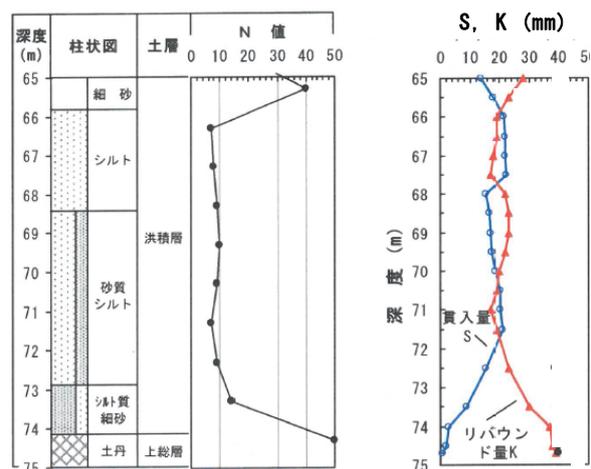


図-5.4 貫入量とリバウンド量の関係例*

* 篠田, 長谷, 冬木, 宇都: 打撃工法によって施工される鋼管杭の打止め管理手法について: 第41回地盤工学会発表会: 2006年7月

いる。

なお、本杭の支持層手前からの施工は、管理指標に影響を与えないように試験杭と同様の打込み条件（ラム落下高さなど）で打ち込むことが望ましい。しかしながら、試験杭の施工結果を受けて、より適切と考えられる打込み条件に改善することは合理的なことである。打込み条件が改善されることにより管理指標に影響が生じる場合には、2本目以降の杭を試験杭と位置付けて管理指標の修正・再評価を実施するとともに、こうした経緯を記録・報告することが必要である。

（3）打止め管理式から求まる算定値

打止め管理式は、支持層における一打あたりの貫入量やリバウンド量等から、エネルギーの釣合い式や波動方程式を用いて動的な抵抗力を算出するものである。これまでいくつかの打止め管理式が提案されているが、現在使用される機会が増えつつある大径杭や長尺杭、海外製ハンマなどへの適用性については十分に検証されていないのが実状であり、それぞれの特徴や実績等を考慮した上で適用を検討する必要がある。また、これらの管理式から求められる算定値と静的載荷試験から得られる支持力とは異なるものであるため、打止め管理の絶対的な指標としてではなく、一つの目安として用いる必要がある。つまり、試験杭での算定値と本杭での算定値が多少異なっていたり、設計支持力と多少差があったりしても、他の判断材料から明らかに打止まっていると考えられる場合には、杭体損傷防止に努め無理な打撃を継続することは避けた方がよい。他の判断材料を用いても疑義がある場合は、衝撃載荷試験で支持力を確認するなど、他の方法によって評価するのがよい。ただし、高止まり状態となる場合は、周面摩擦力が減少することに対する鉛直支持力照査や鋼管の板厚変化点の深度が変わることに対する杭体応力度照査等、杭への要求性能が満足されることを確認する必要がある。

打止め管理式については【付録C】を、打止め管理式（宇都・冬木の式）の計算例については【付録D】を参照されたい。

5. 6 施工記録

施工記録は施工管理の基本となるもので、施工を確実かつ円滑に実施していくうえで重要な事項である。本杭では、支持層確認から打止めまでに測定されるデータについて記録管理するのが一般的である。ただし、試験杭と杭仕様や杭長が異なる本杭については、試験杭と同様（表-5.1）に記録管理を行うのが良い。

また、施工記録は、工事終了後においては施工状況を担保する記録になるとともに、将来においては貴重な参考情報と位置づけられる。このため特殊な条件のもとでの施工時の施工条件や施工管理方法、あるいは、施工中に特別な問題点が発生した場合の原因や対策等についても記録しておくことが必要である。

さらに、施工記録は、単独の工事での品質確認やトラブル発生時の施工状況の確認のみならず、他現場での施工状況の参照、あるいは多数の現場の情報を用いての施工能率・品質レベル等の統計的な分析評価等にも供する重要な資料となる。したがって、確認、参照、比較・分析や施工データの蓄積がしやすいように、できる限り標準的な書式で取りまとめておくことを推奨する。

施工管理の標準化や施工データに基づく施工品質ばらつきの評価，管理指標の明確化によって，信頼性の向上と施工の合理化，さらには設計の合理化等につなげてゆくことが望まれており，個々の施工現場での取組みが重視される状況になってきていることを念頭に対応することが必要である。

(1) 標準的な施工記録項目と施工記録の書式例

打撃工法における標準的な施工記録項目は以下の通りである。

- ① 杭番号，杭打設番号
- ② 杭施工年月日
- ③ 杭径，板厚，杭長
- ④ 施工機械
- ⑤ 施工時間（開始時刻，終了時刻，作業時間）
- ⑥ 打撃エネルギー
- ⑦ 打止め時（または支持層手前から）の貫入量・リバウンド量およびその施工記録
- ⑧ 打撃回数
- ⑨ 打止め管理式による算定値
- ⑩ 根入れ深さ
- ⑪ 杭の天端高さ，杭心位置
- ⑫ 溶接記録
- ⑬ その他問題点，トラブル等の特記事項

打撃工法の施工記録の例を以下に示す。

- ・試験杭の施工記録 書式例－1
- ・現場縦継ぎ溶接の施工記録 書式例－2
- ・杭の施工記録一覧表 書式例－3

書式例については，必ずしもこの書式に限定されるものではないが，上記の①～⑬の事項ならびに表－5.2に示した施工管理項目に関する実施状況や結果が記録として残るようにする必要がある。

(2) 施工管理チェックシート

杭工事管理者は，施工要領書（施工計画書）作成時に取り決めた施工管理項目に対し，試験杭で確認・設定した管理基準や管理指標に従って本杭の施工ができたことを杭一本ごとに記録し，逐次，元請技術者に報告する必要がある。一方元請技術者は，杭工事管理者により適切な施工管理や品質管理が行われているかを管理したり，施工記録が適正であるかなどを確認したりしなければならず，元請技術者としてその管理・確認記録を残しておく必要がある。

これらは一般的に，先に示した施工記録を杭工事管理者が作成・提出することにより行われているが，物量的な問題や要員の問題から当日中に作成することが困難な場合も多く，杭工事完了後に杭工事管理者からまとめて報告される形式となりやすい。そこで，元請技術者と杭工事管理者の両者が日々の施工管理状況を確認・記録することを意図した，「施工管理チェックシート」を杭一本ごとに作成するものとする。施工管理チェックシートの例を書式

例-4に示す。

施工管理チェックシートによる管理項目は、支持層到達確認や貫入量・リバウンド量など杭の施工管理上、特に重要となるものや速やかに報告すべき事項、数値記録として残しにくい事項などを施工要領書（施工計画書）作成段階で元請技術者らと協議して取り決めておく。実施段階ではそれらを杭工事管理者がチェック・記入しながら施工し、その杭の施工が完了した当日中（または翌朝）に元請技術者に提出し承認を受ける。承認を受けたら、杭工事管理者は原紙のコピーを保管しておく。元請技術者は、提出された施工管理チェックシートの内容を確認し、施工プロセスに問題がないことを確認する。本杭の施工においては、試験杭の施工結果より定めた管理指標に沿った打止め管理が必要となるが、本杭の施工結果で試験杭にて定めた管理項目を満足しない項目が生じた場合には、工事関係者間で協議の上、状況に応じて設計照査や載荷試験の実施、追加土質調査試験の要否を含め、総合的に判断されることが重要であり、工事監理者、元請技術者、杭工事管理者間でよく協議し、協議内容や判断基準などの判定経緯も備考欄などへ記録を残すことが望ましい。

施工管理チェックシートは、このように施工管理記録を元請技術者と杭工事管理者が相互に確認しあうことで確実な施工管理と品質管理が担保されるので、施工記録紙等の施工データが紛失・破損した場合の代替記録としても活用できる。

（3）不具合発生時の記録

i) 施工上の不具合

施工中に不具合が発生した場合、杭工事管理者は施工要領書（施工計画書）作成時に取り決めた不具合発生時の対処方法に則り速やかに元請技術者に報告し、その処置や再発防止策等を関係者と協議を行い、その内容について記録整備する。協議事項記録例を書式例-5に示す。

ii) 施工データ取得上の不具合

打撃工法における貫入量やリバウンド量の測定は、杭体へ直接貼付けた記録紙に記入する方法で行うが、その作業は降雨・降雪等の影響を受けやすく、取得した記録紙を紛失・破損してしまう可能性もある。万一このような施工記録作成上の不具合が発生した場合は、i) 施工上の不具合と同様に、元請技術者に報告し協議記録を作成したうえで、あらかじめ取り決めた代替手法で記録を残す。

代替の記録方法としては、施工管理チェックシートの活用を基本とする。施工管理チェックシートに加えて、支持層施工時の施工記録紙の写真などを記録として残す場合は、のちに杭 No や施工深度が特定できるように記録を残しておくことよい。

代替記録手法やその内容については、施工要領書（施工計画書）作成時に監督員（工事監理者）、元請技術者、杭工事管理者で良く協議して取り決めておくことが重要である。

書式例-1 試験杭の施工記録

監督員(工事監理者)		元請技術者		杭工事管理者	
杭打込み記録					
工事名:					
打込み年月日: 天候:					
杭		下杭	上杭	合計	
杭外径×板厚(mm)		φ1200×13			
杭長さ(m)		12.5	12.5	25.0	
杭先端形状		開端, 補強無し			
施工年月日					
打込み区間(m)		0.4~11.7	~19.7	0.4~19.7	
自沈長さ(m)		0.4	----	0.4	
杭打機		M-40	M-40		
ハンマ一質量(kN)		245	245		
準備(時:分)		9:01	13:39	----	
建込み(〃)		9:21	13:48	----	
溶接(〃)		----	14:19	----	
打込み(〃)		10:13	17:23	----	
準備(時間:分)		0:20	0:09	0:29	
建込み(〃)		0:36	0:41	1:17	
溶接(〃)		----	0:57/1人	0:57	
打込み(〃)		0:26	0:45	1:11	
合計(〃)		1:21	2:32	3:54	
杭内部地盤高(m)		GL-1.90	GL-1.19	GL-1.95	
杭心のずれ X/Y (cm)		----	5.9/3.2	5.9/3.2	
打込み時地盤高(m)		AP+3.10	杭配置		
地下水位(m)		AP+2.20			
杭天端標高		AP+8.40	○		
杭先端標高		A.P.-16.60	○		
根入深さ(m)		5.70	○		
総打撃回数		2,243	⊗		
ラム落下高さ(cm)		280	○		
リバウンド(mm)		25	○		
1打あたり貫入量(mm)		2.4	○		
打止め管理式算定値		7534	----->		
土質およびN値					
標高(m)		AP+3.10			
深度(m)		0			
打撃回数					
1打あたり貫入量					
ラム落下高さ					
計2243		備考			
打止めの管理式: X=AEK/(e ₀ ・L ₁)					

書式例-2 現場継ぎ溶接の施工記録

工事監理者	元請技術者	杭工事管理者

記録者氏名:

工事名						
施工会社名						
鋼管杭(鋼管矢板)寸法 (規格 外径×厚さ×長さ)		SKK / SKY / 400 / 490 φ × t × L= m、本継				
番号(基礎、杭、継手)						
施 工 条 件	気象条件	日 時				
		天 候				
		気 温	℃	℃	℃	℃
		風 速	m/s以下	m/s以下	m/s以下	m/s以下
	継手条件	開先の目違い	mm	mm	mm	mm
		ルート間隔	mm	mm	mm	mm
	溶接条件	溶接方法	セルフシールドアーク溶接、 その他()			
		溶接機				
		溶接棒またはワイヤの種類・品名・径				
		電流・電圧	A、 V	A、 V	A、 V	A、 V
		溶接部温度(予熱時)	℃	℃	℃	℃
		溶接部清掃状況	良好 / 不良	良好 / 不良	良好 / 不良	良好 / 不良
		溶接パス数	パス	パス	パス	パス
	溶接作業	溶接技能者氏名				
		資格の種類・記号				
溶接時間		分	分	分	分	
検 査 結 果	外観検査	われ	有、無	有、無	有、無	有、無
		アンダーカット 0.5mm以下は許容	有、無	有、無	有、無	有、無
		オーバーラップ	有、無	有、無	有、無	有、無
		ピット	有、無	有、無	有、無	有、無
		備 考				
	非破壊検査	浸透探傷検査(PT)	無、合格、不合格	無、合格、不合格	無、合格、不合格	無、合格、不合格
		超音波探傷検査(UT)	無、合格、不合格	無、合格、不合格	無、合格、不合格	無、合格、不合格
		放射線透過検査(RT)	無、合格、不合格	無、合格、不合格	無、合格、不合格	無、合格、不合格
	備 考					
補修記録						

書式例-4 施工管理チェックシート

※杭1本毎に杭工事管理者が施工中に記録し、施工後速やかに元請技術者に提出する。

打撃工法 施工管理チェックシート

工事名称		監理員 (工事監理者)		元請技術者		杭工事管理者	
杭工事会社/杭工事管理者							
施工日/杭番号							
施工管理チェック項目	管理要点	確認	具体の値等	写真 有無	元請 立会 有無	計画 打込み・打止め管理	
1 杭材料	対象杭に間違いがないことを確認 変形・損傷・外觀異常がないことを確認	<input type="checkbox"/>				突頭	
2 施工機器の点検	使用機器の始業点検等を実施 杭打機、モンケン、クッション、ハンマ、ヤットコ等	<input type="checkbox"/>					
3 杭心管理	杭心、逃げ杭心位置の確認 杭建込み(管理値：偏心量50mm以内)	<input type="checkbox"/>					
	杭の傾斜管理 管理値：1/100以内	<input type="checkbox"/>				杭頭	
	偏打の有無：①「杭、リーダー、ハンマが横揺れしていないこと」 ②「リーダーの角度やキヤップの当たり具合は適切であること」 ③「クッション材が劣化していないこと」	<input type="checkbox"/>				m	
4 打込み管理	貫入量2mm以内で打ち続けられないようにすること 打撃エネルギー：ハンマ重量と落下高より計算する。St.venantの式で打撃芯力が鋼管の降伏耐力以下になるようにハンマ重量、落下高を設定する リバウンド量	<input type="checkbox"/>				m	
	総打撃回数：3,000回以内(目安)	<input type="checkbox"/>	回				
5 支持層到達確認	支持層到達と判断した理由： 支持層到達と判断される深度	<input type="checkbox"/>	実測値			m	
	打止め時ラム落下高さ (m) or 打止め時打撃エネルギー (kN・m)	<input type="checkbox"/>	m			m	
	打止め時貫入量 (mm)	<input type="checkbox"/>	mm			mm	
	打止め時リバウンド量 (mm)	<input type="checkbox"/>	mm			mm	
6 打止め管理	打止め管理式による算定値 打止めが適当と判断した理由：	<input type="checkbox"/>	試験杭で定めたマーク事項：			支持層 m	
	開先状態、目違い等の確認	<input type="checkbox"/>				m	
7 現場溶接管理	外部きず確認(外觀検査、浸透探傷検査) 有資格者による非破壊検査有無(内部きず確認等) 溶接補修、溶接補修記録の有無	<input type="checkbox"/>	UT・RT・PT 有・無			杭先端 m	
<備考・記事> ・使用した打止め管理式： ・工事関係者間による協議内容：							

書式例－5 不具合発生時の協議事項記録書

工事名		
設計者		
監督員(工事監理者)		
施工者	元請	
	杭工事	

協議日時	
不具合発生事象	
協議内容	
想定原因	
対処方法	
今後の対策 再発防止策	
その他	

確認者印	監理者所属	元請会社名		1次会社名	2次会社名
	監督員 (工事監理者)	監理技術者	杭担当技術者	杭工事管理者	杭工事管理者
確認日					

6. 施工上の問題点と処置・対策

打撃工法の施工上の問題点と対策の一覧を表-6.1に示す。

表-6.1 打撃工法の施工上の問題点と対策(1)

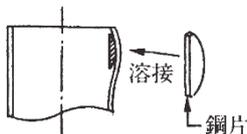
現象	原因	対策
1. 杭打ち機の転倒	・杭打ち機の選定ミス	・使用機械（ハンマ等），杭材料等の最大吊荷重から適正な杭打ち機を選定する。
	・地盤の支持力不足	・事前の地盤の支持力調査。必要に応じて敷鉄板の施工や地盤改良の実施。
2. クレーンの転倒	・ブーム角度と負荷荷重のミス ・容量以上の吊上げ	・ブーム角度と吊上げ容量の管理，表示。 ・安全管理項目の教育徹底。
	・地盤の支持力不足・傾斜	・事前の地盤の支持力調査。必要に応じて敷鉄板の施工や地盤改良の実施。
3. 杭頭部の破損	・ラムの落下高さが過大 ・ラム重量が過大	・ラムの重量および落下高さの再検討。 ・座屈の初期の段階ではリブで補強。 
	・杭径に対して，板厚が不足	・納品時の確認。 ・杭頭の補強。 設計時に完成後の応力だけでなく，打撃応力も検討。
	・杭や杭打ち機の傾斜による偏心打撃	・杭の建込み精度の確保。特に，打込み初期に注意。 ・杭打ち機の水平精度を保つため施工地盤を強化。（敷鉄板または地盤改良）
	・杭頭端面とキャップやヤットコのあたり面が不均一 ・クッション材の破損，疲労	・キャップ，クッション，ヤットコの整備。 ・適切な形状のものを用いる。 ・不良品は交換。
	・転石など障害物の存在 ・硬い層への貫入	・転石が浅い所に存在する場合は掘削して撤去する。 ・アースオーガなどを使用して転石を除去。 ・先端部の補強。
4. 杭先端部の破損		

表-6.1 打撃工法の施工上の問題点と対策(2)

現象	原因	対策
5. 貫入不能 (高止まり)	<ul style="list-style-type: none"> ・ラムの重量が不足 ・ラムの落下高さが不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・ラムの重量の増加。または、落下高さの増加。
	<ul style="list-style-type: none"> ・杭打ちによる地盤の締固め 	<ul style="list-style-type: none"> ・打込み順序を検討。 ・地盤を過大に緩めない範囲で杭径より小さい径の先行掘削。ただし、排土しない。
	<ul style="list-style-type: none"> ・打込み途中での中断による、周面摩擦力の回復 	<ul style="list-style-type: none"> ・適切な施工が行われるよう施工計画を作成。 ・ラム重量の増加、またはラム落下高さを増大させる。ただし、杭頭部の座屈に注意する。 ・摩擦が切れるまで、時間をかけて打撃。ただし、杭頭部の破損に注意。
	<ul style="list-style-type: none"> ・中間層の打抜き不可 	<ul style="list-style-type: none"> ・中掘り、プレボーリングなどの補助工法を併用。
6. 杭長不足	<ul style="list-style-type: none"> ・支持層深度が想定より深い 	<ul style="list-style-type: none"> ・継杭。 ・適切な地盤調査の実施。
	<ul style="list-style-type: none"> ・支持層深度が想定より浅い 	<ul style="list-style-type: none"> ・適切な地盤調査の実施。 ・打止め条件の確認。 ・支持力および杭体応力の確認。
7. 近接構造物の移動	<ul style="list-style-type: none"> ・杭打ちに伴う土の移動 	<ul style="list-style-type: none"> ・杭を近接構造物から遠ざかる方向へと打ち進む。
8. 杭の傾斜、杭心ずれ	<ul style="list-style-type: none"> ・鉛直度の確認不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・杭心位置、杭建込み時の鉛直度の測定頻度の増加。
	<ul style="list-style-type: none"> ・地耐力不足による重機自重による側方移動 	<ul style="list-style-type: none"> ・地耐力を確認した上で作業地盤を整備。 ・施工の影響を受けにくい場所への逃げ心の設置。
	<ul style="list-style-type: none"> ・施工重機の傾斜 	<ul style="list-style-type: none"> ・杭心位置、杭建込み時の鉛直度の測定頻度の増加。
9. 現場継ぎ溶接の欠陥 「鋼管杭現場縦継ぎ溶接作業要領」を参照	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接環境が不適切 	<ul style="list-style-type: none"> ・適切な環境のもとで溶接を行う（気温、降雨、風速等）。必要に応じて風防、雨除け等の対策を行う。
	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接条件が不適切 	<ul style="list-style-type: none"> ・適切な溶接条件で施工する（電流、電圧、運棒速度等）。
	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接ワイヤが吸湿している 	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接ワイヤの管理を適切に行う。吸湿した場合はワイヤの変形に注意して強制乾燥させる。
	<ul style="list-style-type: none"> ・開先の清掃・乾燥不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・さび、ほこり、水分等の除去・清掃を確実にを行う。
	<ul style="list-style-type: none"> ・裏当て金の設置、目違いの調整、ルートギャップの調整が不適切 	<ul style="list-style-type: none"> ・裏当て金の密着、所定の目違い、ルートギャップになるように調整する。
	<ul style="list-style-type: none"> ・溶接工の技量が劣る 	<ul style="list-style-type: none"> ・適切な資格と経験を有することを確認する。必要に応じて溶接技量の確認試験を行う。

表-6.1 打撃工法の施工上の問題点と対策(3)

現 象	原 因	対 策
10. 鋼管の変形・損傷	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管の仮置きで端面が変形 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管の保管時には、管端部を枕木等で受けない。少なくとも管端から50cm程度は離すようにする。
	<ul style="list-style-type: none"> ・吊上げ作業で管端部が変形 ・鋼管の建て起こし、移動時に端面を変形させる ・吊り治具を当てて現場溶接の開先部を傷つける 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼管の吊上げでは管端にハッカ等の治具を使用しない。やむを得ず使用する場合は、把持面積の広い治具を用いるなど変形に注意する。 ・鋼管の吊上げ時、杭打ち機への吊り込み時などに、鋼管管端を引きずらないように注意する。 ・シャックル・ハッカ等の吊り治具を管端に当てないように注意する。

【付録 A】 鋼管杭の規格値

鋼管杭は JIS A 5525 に規定されている。

ここでは、参考のために表-A.1 にその化学成分を、表-A.2 に機械的性質を、また表-A.3 には形状および寸法の許容差の規定について（一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会が整理したもの（「鋼管杭・鋼管矢板標準製作仕様書 令和元年7月」）を示す。

表-A.3 は工場製作での保証内容について記載したものであり、施工現場での測定項目や測定手法を規定する趣旨のものではない。

なお、JIS は改訂される場合もあるので、注意が必要である。

表-A.1 化学成分

単位 %

種類の記号	C	S i	M n	P	S
SKK400	0.25以下	—	—	0.040以下	0.040以下
SKK490	0.18以下	0.55以下	1.65以下	0.035以下	0.035以下

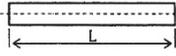
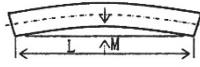
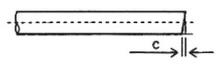
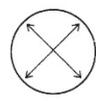
備考) 必要に応じて、この表に規定のない合金元素を添加しても良い。

表-A.2 機械的性質

種類の記号	母 材 部			アーク溶接部	電気抵抗溶接部
	引張強さ N/mm ²	降 伏 点 又は耐力 N/mm ²	伸 び % 5号試験片 管軸直角方向	引張強さ N/mm ²	へん平性 平板間の距離(H) (Dは管の外径)
SKK400	400以上	235以上	18以上	400以上	$\frac{2}{3} D$
SKK490	490以上	315以上	18以上	490以上	$\frac{2}{3} D$ *1

*1 JIS では7D/8の規定であるが、鋼管杭・鋼矢板技術協会の推奨仕様としてより厳しい2D/3での保証を標準としている。

表-A.3 形状および寸法の許容差（鋼管杭）

区 分		許 容 差	摘 要	記 録
外径 (D)	管端部	±0.5%	外径の許容差は、周長測定による。ただし、外径(D)と周長(∅)の換算は次の式によって計算する。 外径(D)=周長(∅)÷π ここに、π=3.1416とする。	実測値 (外径)
厚さ (t)	厚さ 16mm 未満	外径 500mm未満	+規定せず -0.6mm	実測値
		外径 500mm以上 800mm未満	+規定せず -0.7mm	
		外径 800mm以上 2000mm以下	+規定せず -0.8mm	
	厚さ 16mm 以上	外径 800mm未満	+規定せず -0.8mm	
		外径 800mm以上 2000mm以下	+規定せず -1.0mm	
長さ (L)		+規定せず 0 ※	 ※受渡当事者間の協定によって、 +規定せず、-50mmを適用してもよい	実測値
横曲がり (M)		長さ(L)の0.1%以下 ただし、長さ(L)が6m未満は 6mm 以下		合 否 (Good表示)
現場円周溶接部となる 端面の平面度 (h)		2mm 以下		合 否 (Good表示)
現場円周溶接部となる 端面の直角度 (c)		外径の0.5%以下 ただし、 最大4mm		合 否 (Good表示)
現場円周溶接部となる 端面の真円度 (OR) ※JIS 規定外の項目		1.0%以下	$OR=100 \times D_{45^\circ} - D_{135^\circ} / D_{nom}$  (Dnom は公称外径)	合 否 (Good表示)
現場円周溶接部の換算外径差 ※現場円周溶接を行う2本の 単管の管端における外径 (周長換算値) の差をいう		外径区分(mm)	許容差(mm)	合 否 (Good表示)
		700 未満	2 以下	
		700 以上 1016 以下	3 以下	
		1016 を超え 2000 以下	4 以下	

【付録B】事前打込み解析

杭の事前打込み解析（PDP：Pile Driving Prediction）は、ハンマ打撃時の杭の挙動と地盤抵抗をシミュレーションする解析方法であり、打撃工法の施工性を検討することができる。杭の事前打込み解析の特徴は下記の通りである。

- 打込み可能かどうかを予測できる
- 杭施工に最適なハンマを選定することができる
- 杭の肉厚・材質等の仕様を選定することができる
- 杭体応力（圧縮応力・引張応力）を予測できる
- 1打撃当たりの貫入量を予測できる
- 総打撃回数の予測ができる

杭の事前打込み解析の概要は、杭を弾性体、地盤の抵抗をバネ、スライダ（弾塑性）とダッシュポットでモデル化し、次元波動理論に基づいた波動伝搬モデルにより、杭頭にハンマの計算上の打撃力を受けた杭～地盤の挙動をシミュレーションする解析方法である。図-B.1にモデルの概要、図-B.2に解析フローを示す。

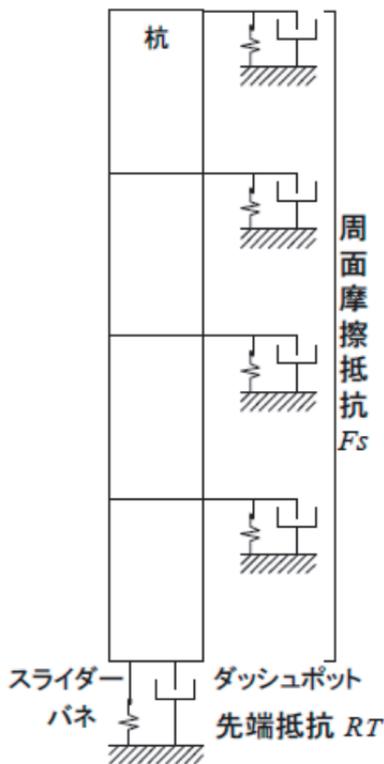


図-B.1 杭地盤系のモデル

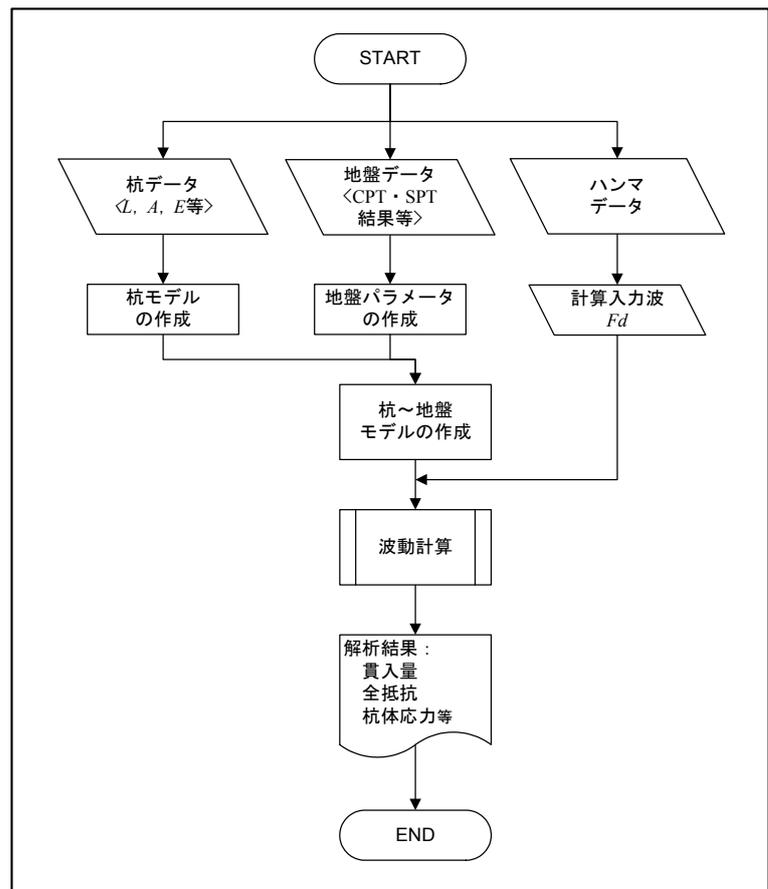


図-B.2 事前打込み解析フロー

設定した杭・地盤の一次元モデルに対して、ハンマモデルにより計算された打撃力を杭頭の境界条件として入力して、特性曲線法と呼ばれる波動伝播計算方法により、逐次杭体を伝播する波動を計算する。図-B.3 に波動伝播計算のモデル図を示し、解析に用いられる杭モデル・地盤モデル・ハンマデータについては下記の通りである。

○杭のモデル化

杭は一次元の弾性体としてモデル化され、波動伝播計算に必要なパラメータは、杭径・杭長・肉厚・断面積・杭材のヤング係数・密度である。

○地盤モデル

衝撃荷重を負荷された杭周辺の地盤モデルは、杭が大きな速度で地盤に貫入するため、変位に依存する静的抵抗力と速度や加速度に依存する動的抵抗力を考慮できる Smith モデルを使用している。

○ハンマデータ

ハンマはプログラムのライブラリから選択してハンマエネルギーとハンマ効率を設定し、ハンマの計算上の打撃力を与え、ハンマ打撃時の杭の挙動をシミュレーションする。

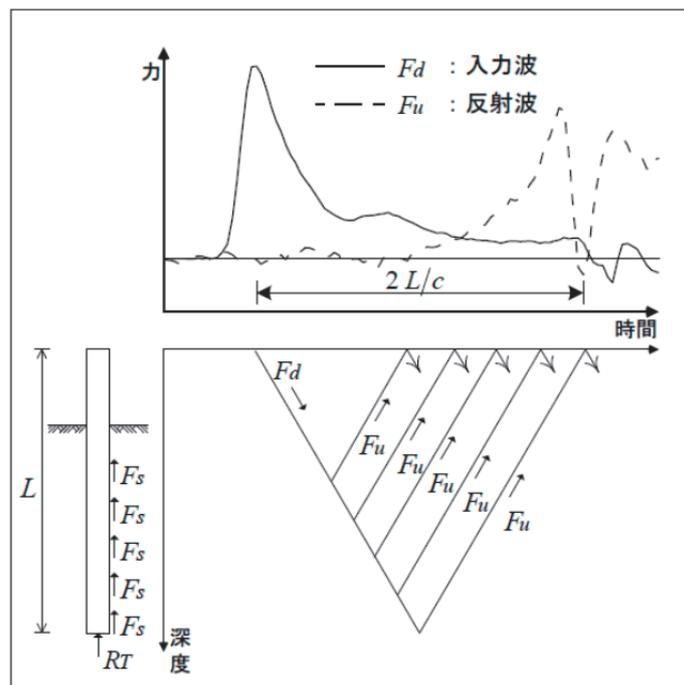
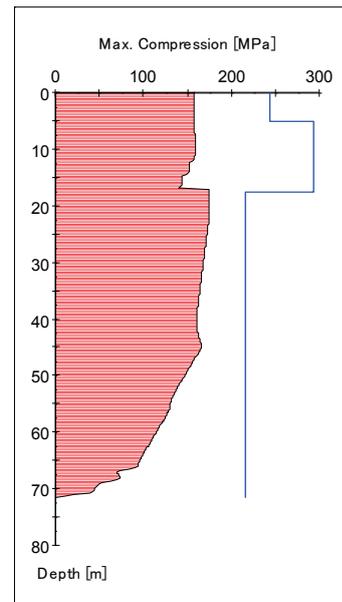
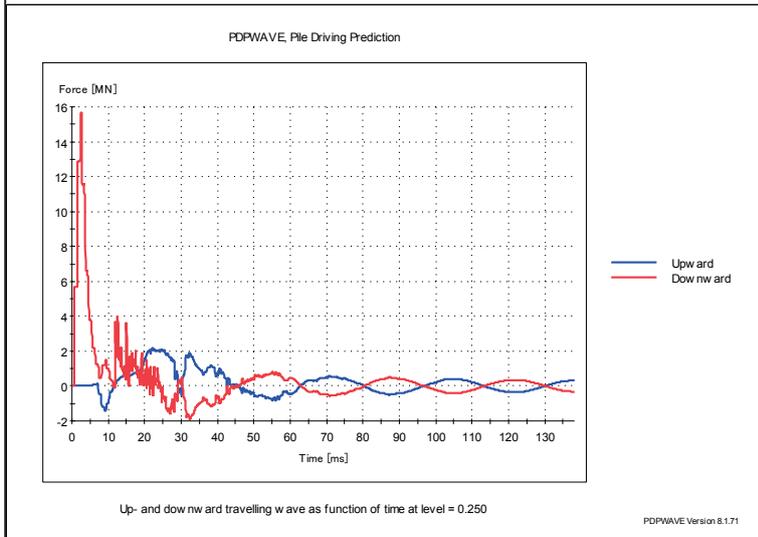


図-B.3 特性曲線法による波動伝播計算

解析結果例を図-B.4 に示す。

File	XX05050	Embedded length	64.00 m
Pile	D1600 x t20/16 x L71,500		
Hammer	IHC-S280		
Ram mass	13 ton		
Hammer efficiency	80%		
Drop height	1.1 m		
Input energy	140 kNm	Modeled static resistance	
Trasfered energy	112 kNm	Shaft	5546 kN
		Toe	1171 kN
		Total	6717 kN
Final set toe	4.6 mm	Mobilised static resistance	
		Shaft	5546 kN
Maximum compression stress	175 MPa	Toe	1171 kN
Location	22.3 m	Total	6717 kN
Pile head compression stress	158 Mpa		



D x t	D1600xt20	D1600xt16
Spec	490	400
Yield stress	315	235
Buckling stress	292.2	214.8
Eccentric stress	242.4	178.4

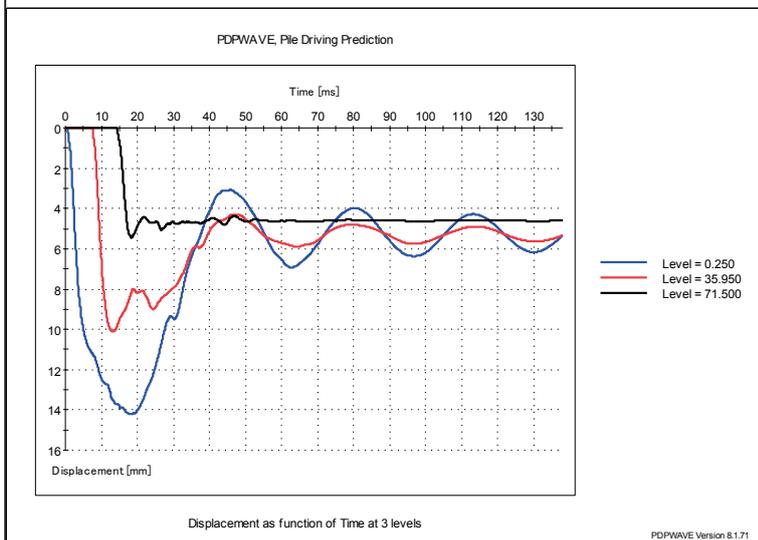


図-B.4 解析計算例

<参考文献>

- 1) Middendorp, P. : TNOWAVE MANUAL STRESS WAVE THEORY, 2003
- 2) 地盤工学会基準 杭の鉛直載荷試験方法基準・同解説(2002) 衝撃載荷試験基準 附録-7
- 3) シーズエンジニアリング技術資料 杭の事前打ち込み解析 (2005)

【付録C】打止め管理式

打止め管理式は、支持層における一打あたりの貫入量やリバウンド量等からエネルギーの釣合い式や波動方程式を用いて動的な抵抗力を推定する算定式である。土木分野では平成24年までの「道示IV」に掲載され、波動理論から導かれた「宇都・冬木の式」が、港湾分野や建築分野ではエネルギーの平衡式を用いた「Hileyの簡略式」や「旧建設省告示の式」（通称「5Sの式」）などが用いられている。しかし、打止め管理式から求められる値と静的載荷試験による支持力とは異なるものであるため、打止め管理の絶対的な指標としてではなく、一つの目安として用いる必要がある。

打止め管理のみに使用する目的から考えれば、「宇都・冬木の式」の安全率1/3を除外し第1項のみを打止め管理式として用いて、先端の貫入抵抗のみを評価する方法が勧められる。

<参考；宇都・冬木の式>

$$R_a = \frac{1}{3} \left(\frac{AEK}{e_0 l_1} + \frac{\bar{N} U l_2}{e_f} \right)$$

ここに、

R_a ：杭の許容支持力（kN） A ：杭の純断面積（ m^2 ） E ：杭のヤング係数（ kN/m^2 ）

l_1 ：動的先端支持力算定上の杭長で、表-C.1による（m）

l_2 ：地中に打込まれた杭の長さ（m）

l ：杭の先端からハンマ打撃位置までの長さ（m）

l_m ：杭の先端からリバウンド測定位置までの長さ（m）

U ：杭の周長（m） \bar{N} ：杭周面の平均 N 値 K ：リバウンド量（m）

e_o, e_f ：補正係数であり、表-C.2の値とする。ただし、 W_H/W_P はハンマと杭の重量比であり、ヤットコを使用する場合には W_P は杭とヤットコの重量の合算した値とする。

表-C.1 算定上の杭長

e_o の値	l_l の値
$e_o \geq 1$	l_m
$1 \geq e_o \geq l_m/l$	l_m/e_o
$e_o \leq l_m/l$	l

表-C.2 補正係数

杭種	施工方式	e_o	e_f
鋼管杭	打撃工法 (油圧ハンマ以外)	$1.5 W_H/W_P$	0.25
	中掘り最終打撃		
	打撃工法 (油圧ハンマ)	$(1.5 W_H/W_P)^{1/3}$	

杭全長にわたって、その材質や断面積が一様でなかったり、ヤットコを使用する場合には、下記の式によって補正する。

$$AE = \frac{l \cdot A_0 \cdot E_0}{l_0} \cdot \frac{1}{(1 + \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_i + \dots)}$$

ここに、

$$\beta_i = \frac{l_i}{A_i E_i} \bigg/ \frac{l_0}{A_0 E_0}$$

A_0, E_0, l_0 : 基準とした杭体部分の断面積 (m^2), ヤング係数 (kN/m^2)および長さ (m)

A_i, E_i, l_i : 杭体 i 番目部分の断面積 (m^2), ヤング係数 (kN/m^2) および長さ (m)

宇都・冬木の式を使用する場合は、以下の点に注意する必要がある。

(a) 貫入量とリバウンド量

宇都・冬木の式には一打あたりの貫入量が含まれていないので貫入量には無関係であるように思われるが、第一項の先端支持力は、下式の波動方程式において $S \equiv Ks$ とおき、さらに現場で観測されるリバウンド量は $K_s + K_0$ であることからこれを K とおいたときの近似式である。

$$R = \frac{AE(S + K_s + 2K_0)}{2l}$$

ここに、

S : 杭の貫入量

K_s : 先端地盤のリバウンド量

K_0 : 杭体の弾性によるリバウンド量

このように貫入量は考慮されているのである。

宇都・冬木の式の第一項が $S \equiv Ks$ とおいたときの近似式であるから、貫入量の方がリバウンド量よりかなり大きいときは $S \equiv Ks$ でないため、この式を使うことはできない。逆に貫入量が 2mm よりも小さくなったときも誤差が大きい。貫入量は 2mm 以上を目安とし、リバウンド量が図-C.1 に示すよう貫入量の増加度合いに対してリバウンド量の増加度合いが減少しだすラム落下高さ（打撃エネルギー）近傍で宇都・冬木の式を適用する必要がある。

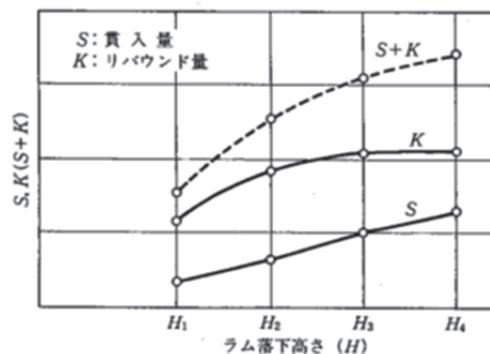


図-C.1 打止め時の貫入 リバウンド特性

一方、宇都・冬木の式が貫入量とリバウンド量の関係が $S \equiv Ks$ となる従来のハンマに適用されてきた近似式であるならば、貫入量とリバウンド量の関係が解明されていないハンマを用いる際には、先に示した波動方程式を用いて先端抵抗を推定することも考えられる。

その場合、リバウンド量は K_s と K_0 を各々測定する必要がある。これまでも本文 1.3 の

図-1.2(b)に示すような手動による測定方法があったが、 K_s と K_0 を精度良く分離することは難しかった。しかし、本文5.4にもあるように、現在では高速度カメラなどを用いた自動測定方法も実用化されはじめており、測定精度の向上が期待される。

(b)適用地盤

宇都・冬木の式の第2項の周面摩擦力は、事前調査による N 値のみから算出されるもので、貫入量やリバウンド量とは無関係であるため、杭の周面摩擦が卓越する地盤での適用は慎重に行う。なお、第2項による変動要因が大きいと考えられる場合には、第1項のみを用いて評価することもある。

宇都・冬木の式の計算例を、【付録D】に示す。

◆打止め管理式を用いる場合の注意事項

- ・打止め管理式に用いられる係数を载荷試験で補正した上で適用する方法もあるが、補正を行ったとしても個々の値にばらつきが生じることに留意する必要がある。補正係数の設定方法としては、打止め管理式の計算結果に1つの補正係数を乗じて载荷試験結果と整合させる方法がある。
- ・ヤットコを使用する場合、宇都・冬木の式では補正を行うが、Hileyの簡略式および旧建設省告示の式では明示されていない。
- ・打止め管理式は、国産ハンマを基準に作られたものであるため外国製のようなハンマ効率の異なるハンマを使用する場合は、既往の知見や载荷試験を通して係数補正を行うことが望ましい。ハンマ効率の測定例を図-C.2に示す。

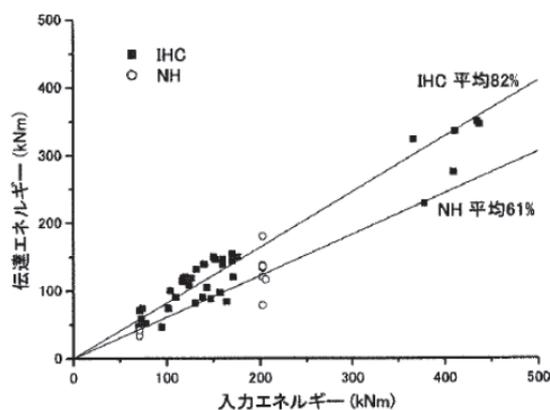


図-C.2 ハンマ効率の測定例

【付録D】打止め管理式（宇都・冬木の式）の計算例

ここでは、同一地盤条件における宇都・冬木の式の計算例として、ヤットコ無しの場合と有りの場合の2例を示す。

1. 計算例 1（φ800 mm，ヤットコ無し）（図-D.1）

鋼管杭の板厚が12 mmと9 mmで、ヤットコを使用しない場合。

杭重量

$$W_p = 2.28 \times 9.0 + 1.73 \times 29.0 = 70.7 \text{ kN}$$

ハンマ重量

$$W_H = 98.07 \text{ kN}$$

補正係数

$$e_0 = \left(1.5 \times \frac{98.07}{70.7}\right)^{\frac{1}{3}} = 1.277 \quad e_f = 0.25$$

基準とする杭を断面②とする。

$$A_0 = 0.02236 \text{ m}^2 \quad E_0 = 2.0 \times 10^8 \text{ kN/m}^2 \quad \ell_0 = 29.0 \text{ m}$$

$$\beta_1 = \frac{9.0}{0.02971 \times 2.0 \times 10^8} \bigg/ \frac{29.0}{0.02236 \times 2.0 \times 10^8} = 0.234$$

$$AE = \frac{38.0 \times 0.02236 \times 2.0 \times 10^8}{29.0} \times \frac{1}{1 + 0.234} = 4,748,673 \text{ kN}$$

杭長補正

$$e_0 = 1.277 \quad \ell_m = 36.5 \text{ m} \quad \ell = 38.0 \text{ m}$$

$$e_0 > 1 \text{ より} \quad \ell_1 = \ell_m = 36.5 \text{ m}$$

平均 N 値

$$\bar{N} = 14 \quad \ell_2 = 36.0 \text{ m}$$

杭の周長

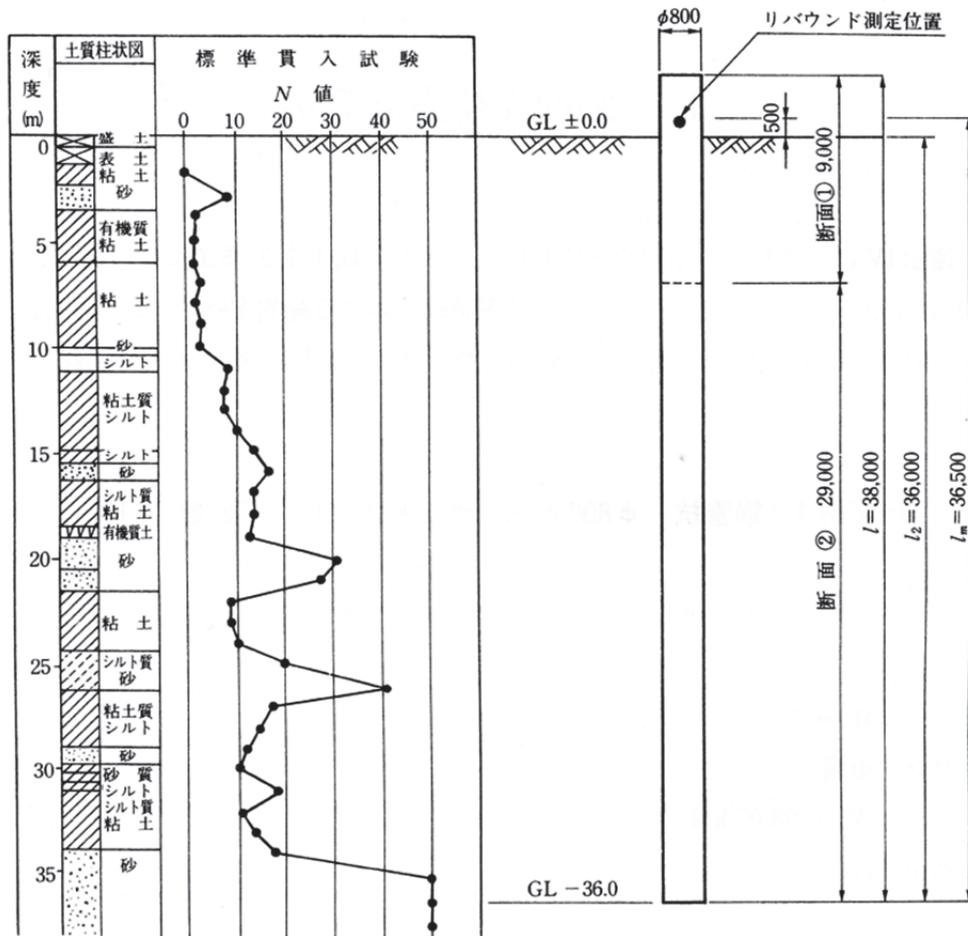
$$U = \pi D = 2.513 \text{ m}$$

リバウンド量

$$K = 0.026 \text{ m}$$

したがって、

$$R_a = \frac{1}{3} \times \left(\frac{4,748,673 \times 0.026}{1.277 \times 36.5} + \frac{14 \times 2.513 \times 36.0}{0.25} \right) \\ = \frac{1}{3} \times (2,649 + 5,066) = 2,572 \text{ kN}$$



杭断面諸元

杭種	断面 (mm)	長さ (mm)	断面積 (cm ²)	単位質量 (kg/m)	ヤング係数 (kN/m ²)
鋼管杭	① φ 800×12	9,000	297.1	233	2.0×10^8
	② φ 800×9	29,000	223.6	176	〃

杭施工条件

杭打設工法	打込み杭工法
杭打ち機	油圧ハンマ, ハンマ質量: 10 t
リバウンド量	$K=26.0$ mm

図-D.1 計算例 1

2. 計算例 2 (φ 800 mm, ヤットコ有り) (図-D.2)

鋼管杭の板厚が 12 mm と 9 mm で, ヤットコ (16 mm) を使用する場合。

杭重量

$$W_p = 2.28 \times 8.0 + 1.73 \times 24.0 + 3.03 \times 8.0 = 84.0 \text{ kN}$$

ハンマ重量

$$W_H = 98.07 \text{ kN}$$

補正係数

$$e_0 = \left(1.5 \times \frac{98.07}{84.0}\right)^{\frac{1}{3}} = 1.205 \quad e_f = 0.25$$

基準とする杭を断面②とする。

$$A_0 = 0.02236 \text{ m}^2 \quad E_0 = 2.0 \times 10^8 \text{ kN/m}^2 \quad \ell_0 = 29.0 \text{ m}$$

$$\beta_1 = \frac{8.0}{0.02971 \times 2.0 \times 10^8} \bigg/ \frac{24.0}{0.02236 \times 2.0 \times 10^8} = 0.251$$

$$\beta_2 = \frac{8.0}{0.03941 \times 2.0 \times 10^8} \bigg/ \frac{24.0}{0.02236 \times 2.0 \times 10^8} = 0.189$$

$$AE = \frac{40.0 \times 0.02236 \times 2.0 \times 10^8}{24.0} \times \frac{1}{1 + 0.251 + 0.189}$$

$$= 5,175,926 \text{ kN}$$

杭長補正

$$e_0 = 1.205 \quad \ell_m = 36.5 \text{ m} \quad \ell = 40.0 \text{ m}$$

$$e_0 > 1 \text{ より} \quad \ell_1 = \ell_m = 36.5 \text{ m}$$

平均 N 値

$$\bar{N} = 14 \quad \ell_2 = 32.0 \text{ m}$$

杭の周長

$$U = \pi D = 2.513 \text{ m}$$

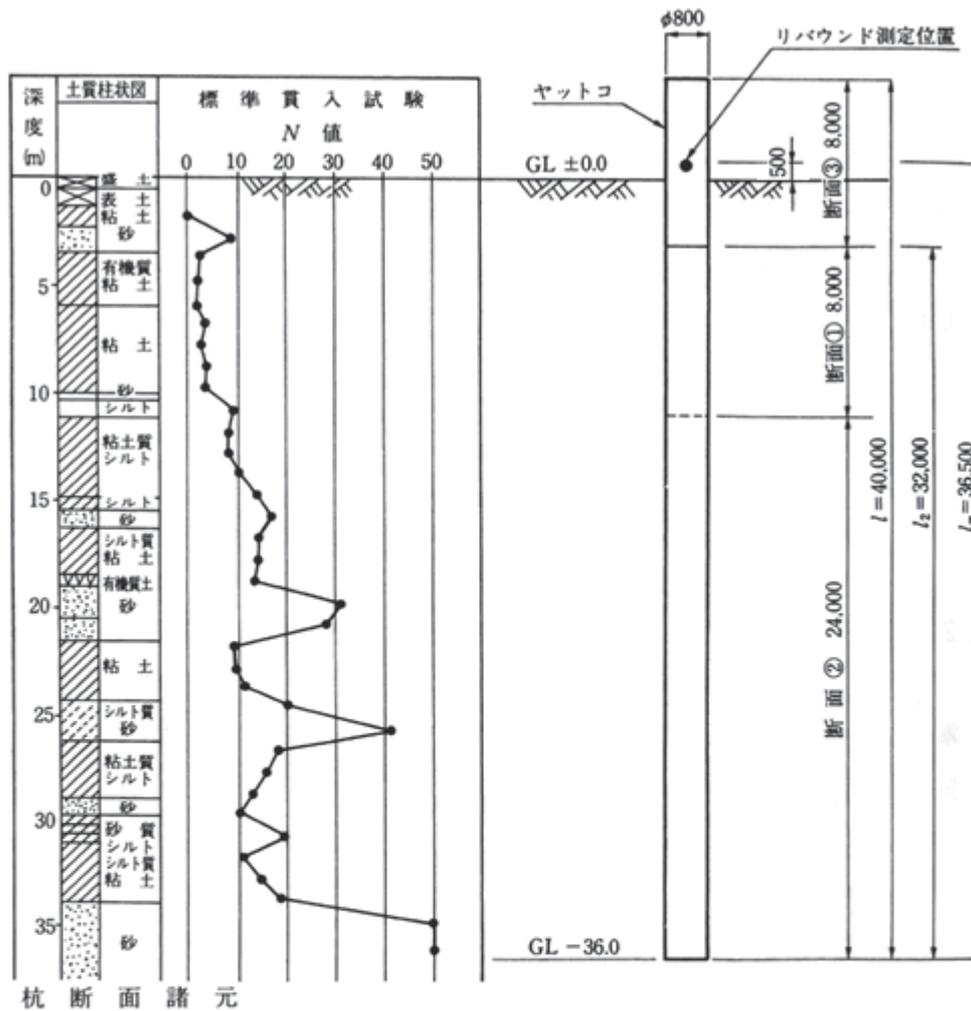
リバウンド量

$$K = 0.0225 \text{ m}$$

したがって,

$$R_a = \frac{1}{3} \times \left(\frac{5,175,926 \times 0.0225}{1.205 \times 36.5} + \frac{14 \times 2.513 \times 32.0}{0.25} \right)$$

$$= \frac{1}{3} \times (2,648 + 4,503) = 2,384 \text{ kN}$$



杭断面諸元

杭種	断面 (mm)	長さ (mm)	断面積 (cm ²)	単位質量 (kg/m)	ヤング係数 (kN/m ²)
鋼管杭	① φ 800×12	8,000	297.1	233	2.0×10 ⁸
	② φ 800×9	24,000	223.6	176	◇
	ヤットコ ③ φ 800×16	8,000	394.1	309	◇

杭施工条件

杭打設工法	打込み杭工法
杭打ち機	油圧ハンマ, ハンマ質量: 10t
リバウンド量	K=22.5mm

図-D.2 計算例2

鋼管杭の打撃工法
施工管理要領
【Edition 1.0】

施工管理普及委員会
施工管理要領検討チーム

チーム長	松井 良典		
委員	古田 慧	委員	南 貴士
委員	黒澤 辰昭	委員	東海林 智之
委員	後藤 宏輔	委員	水谷 太作
委員	江口 宏幸		

< 改訂履歴 >

【Edition 1.0】 : 2019年7月 新版発行

発行 一般社団法人 鋼管杭・鋼矢板技術協会
〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 3-2-10 鉄鋼会館 6階
☎ 03 (3669) 2437 (代表)
URL <http://www.jaspp.com/>

印刷 株式会社 ホクシン
〒211-0021 神奈川県川崎市中原区木月住吉町 22-3
