
第5編 施 工

第 5 編 施 工

第5編 施 工	1
5.1 施工計画	1
5.1.1 施工体制	1
5.1.2 施工計画一般	3
5.1.3 環境対策	5
5.2 施工準備	7
5.2.1 杭の手配	7
5.2.2 杭打ち機械の手配	8
5.2.3 仮設計画	9
5.2.4 要員計画	12
5.2.5 障害物の除去、近接構造物の養生など	13
5.3 試験杭	15
5.3.1 試験杭の目的と計画	15
5.3.2 試験杭の実施	15
5.3.3 試験杭での評価と報告	15
5.4 施工機械	20
5.4.1 主な施工機械設備	20
5.4.2 施工機械の安定度と接地圧	21
5.4.3 ヤットコ	27
5.5 騒音と振動	29
5.5.1 公害問題と法規制	29
5.5.2 騒音	31
5.5.3 振動	34
5.5.4 騒音・振動対策	37
5.5.5 参考資料等	40
5.6 中掘り杭工法の施工および施工管理	42
5.6.1 一般	42
5.6.2 施工方法	50
5.6.3 施工管理	55

5.7 鋼管ソイルセメント杭工法の施工および施工管理	61
5.7.1 一般.....	61
5.7.2 施工法.....	69
5.7.3 施工管理.....	73
5.8 回転杭工法の施工および施工管理	83
5.8.1 一般.....	83
5.8.2 施工法.....	88
5.8.3 施工管理.....	91
5.9 打撃工法の施工および施工管理	98
5.9.1 一般.....	98
5.9.2 施工手順.....	106
5.9.3 施工管理.....	117
5.9.4 施工精度の確保.....	123
5.10 バイブロハンマ工法の施工および施工管理	127
5.10.1 一般.....	127
5.10.2 施工手順.....	139
5.10.3 施工管理.....	145
5.10.4 施工精度の確保.....	146
5.10.5 応用施工技術.....	146

第5編 施 工

5.1 施工計画

杭基礎の施工は、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ること

これらの条件が満足できない場合には、設計に立ち戻っての再検討が必要となる。

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様に所要の信頼性をもって支持性能が発揮できることを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、工程計画（仮設計画、輸送計画等も含む）、品質管理計画、安全衛生計画、環境対策等の施工計画の内容や留意点については、たとえば（公社）日本道路協会「杭基礎施工便覧（令和2年度改訂版）」（令和2年）（以下、「杭基礎施工便覧」という）^{5.1-1)}に詳しく記載されているので参照するのがよい。なお、法令等については常に最新情報を確認することが望まれる。

5.1.1 施工体制

一般的に、鋼管杭工法の施工は、発注者から工事を受注した元請の全体管理のもとで行われる。施工現場における一般的な施工体制を図5.1.1に示す。

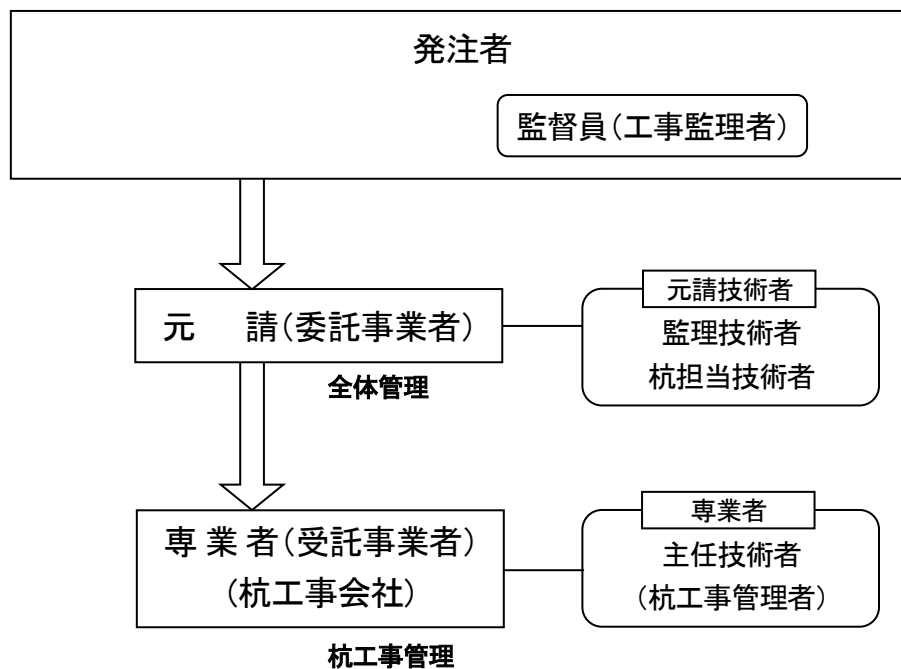


図 5.1.1 鋼管杭工法の一般的な施工体制（出典 5.1-①に加筆・修正）

図5.1.1における杭工事に携わる関係者の用語は、以下の通りである。

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
(主任技術者) 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。なお、基礎施工士の資格を取得している技術者であることが望ましい。
6. 杭工事会社 鋼管杭工法の杭工事を直接行う会社。公的認証を取得している鋼管杭工法については、公的認証を取得している会社または公的認証取得会社から実施許諾や認定などを受けて杭工事を行う会社をいう。

杭工事会社は、十分な知識と経験を有するとともに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しなければならない。杭工事会社が複数となる場合は、それぞれに杭工事管理者を配置し、各杭工事管理者の役割を明確にする。1次下請の杭工事管理者は、元請への報告の責務を負う。

監督員(工事監理者)は、地盤条件・施工上の留意事項・施工要領書(施工計画書)等を事前に把握し、設計図書通りに工事が実施されているかを確認しなければならない。

元請技術者は、現場条件に即した施工要領書(施工計画書)を作成し、監督員(工事監理者)に対し作成した施工要領書(施工計画書)を提出し、その内容について説明しなければならない。

杭工事会社の杭工事管理者は、設計図書や施工要領に適合した杭工事を適切に実施するため、元請技術者の施工要領書(施工計画書)作成への協力、工程管理、品質管理の職務を誠実に行わなければならない。

また、杭工事管理者は、元請技術者から提供される情報(設計図書などに記載された地盤条件、施工方法、工期等、基礎杭工事の施工に関する事項)について確認し、その情報を杭の施工を行う関係者と共有しなければならない。

下記の項目に対する責務については、(一社)鋼管杭・鋼矢板技術協会「鋼管杭—施工と施工管理—(改訂第3版)」(2022年)(通称「青本」:以下、「鋼管杭—施工と施工管理—」という) [5.1-2](#)などを参考にするとよい。

- (1) 施工計画
- (2) 工程管理
- (3) 品質管理
- (4) 施工計画の周知徹底
- (5) 報告義務(杭工事管理者)と確認の義務(元請技術者)

5.1.2 施工計画一般

1. 一般

施工計画の目的は、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、元請が作成する基本計画の方針に則り、所定の機能を満足する構造物を工期内に経済的、かつ安全に施工することにある。そのためには各種基準・指針等を十分理解したうえで、設計条件の把握、事前調査の実施、およびそれらに基づいた施工要領書（施工計画書）の作成が必要である。施工計画のフローを図5.1.2に示す。各種の調査を行うにあたって、その調査項目を表5.1.1に示す。

特に計画地点の環境条件（地形、地質、気象、海象など）は、工法、施工順序、施工機械、工期などの計画に密接な関係があるので、これらの要因を十分に検討し、次にその調査結果および工期や設計上の諸条件によって総合的な施工条件を明確にしたうえで、資材、仮設などの個々の計画に移る。

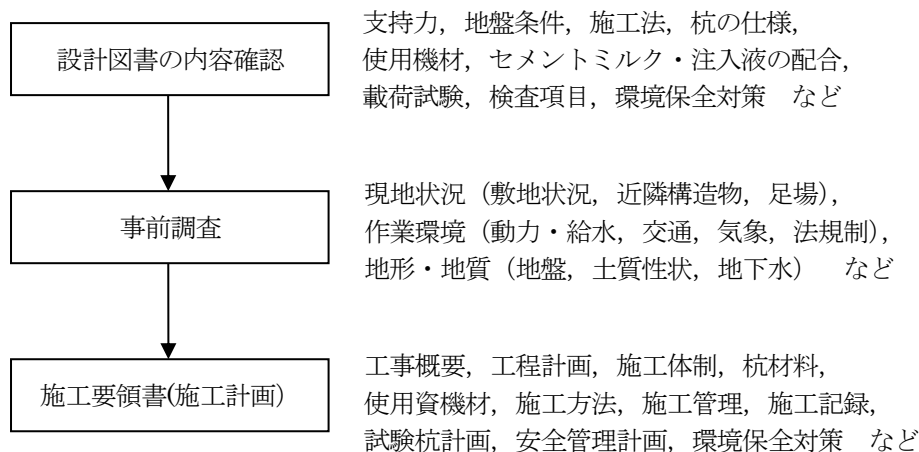


図 5.1.2 施工計画のフロー（出典 5.1-②）

表 5.1.1 調査項目

調査事項	調査項目	調査内容
現地調査	気象・海象	稼働日数 雨、雪、風、台風の影響 波高および波向 潮位差、潮流、流向
	交通	資機材運搬路（ルート、幅員および舗装状況） 工所用道路の必要性 道路の規制 船舶の航行、作業船の避難
	市場	資材の現地価格と納入日数
	動力設備	幹支線の電力容量と電柱番号 工所用送電線の距離
	通信	電話引込み回線数とその距離 郵便の配達状況 諸監督官庁（警察署、消防署など）への連絡方法
	給水設備	水道本管の位置と引込み可能位置とその距離
	排水方法	汚水の処理条件 排水施設の状況 自治体の条例など
作業環境調査	工事用地	工事用地の境界と面積 借地の有無
	障害物	地下埋設物の有無と処理条件 上空架線状況
	近接	近接家屋の有無と種類（騒音、振動障害も考慮する）
	施工場所	足場の必要性 地盤改良の必要性
既存の資料収集	土質調査	ボーリングによる土質諸定数の調査
	工事資料	近隣で行われた杭打ち工事の杭長や能率 その他工事に関すること

例えば、工期に制約がある場合には1日当たり打込み本数が決まるので、打込み設備、および付帯設備などが初めから決まってしまう、経済性は二次的な問題として扱わざるを得ない場合がある。このように相反する要因のバランスを考慮しながら、設計で要求している支持力、精度、部材性状をもつ杭基礎の実現を図り、施工計画を立てなければならない。

2. 杭施工法の分類

杭の施工法は一般的に既製杭工法、場所打ち杭工法に区分でき、さらにそれは図5.1.3のように分類できる。鋼管杭工法の概要については第1編 概要の1.2.3 杭の施工法による分類に記載されているので併せて参照されたい。



図 5.1.3 杭の施工法による分類

3. 施工方法の選定

杭の施工法の選定については、4.1.1 設計に関する基本事項でも示したが、ここでは各工法で一般的に使用されている杭長の範囲の参考値を表5.1.2に示す。この表は、実績の中からよく使われている範囲を示しており、実際にはこの範囲を超えるものもある。なお、鋼管杭は比較的硬い中間層を打ち抜くことができると共に、60mを超える長尺杭として使用されることも多い。

杭基礎にも多くの種類があり、それぞれ特長を持っている上に、構造物の種類により異なる設計・施工基準に従っている。工法の選定はこれらの条件と、場所により複雑に変化する敷地、地盤、地下水に関する条件および環境などを考えて行わなければならない。なお一般的な選定方法として表4.1.4 基礎形式の選定図表を示してあるので参照されたい。

表 5.1.2 一般的に使用されている杭長 [5.1-3](#)

		杭 長 (m)					
		10	20	30	40	50	60
打込み杭工法	鋼管杭						
	PHC 杭						
埋込み杭工法	中掘り PHC 杭						
	中掘り鋼管杭						
	鋼管ソイルセメント杭						
回転杭工法	鋼管杭						
場所打ち杭工法	オールケーシング工法						
	リバース工法						
	アースドリル工法						

5.1.3 環境対策

杭基礎工事を実施する際に考慮すべき環境対策には、(一社)日本建設業連合会他「建設工事公害防止対策の手引き(第11回改訂版)」(2021年) [5.1-4](#) によると、以下のような項目がある。なお騒音対策と振動対策については [5.5 騒音と振動](#) に詳細に記述した。

① 騒音対策

工事中の騒音が周辺住民に与える影響を考慮して、発生する騒音を最小限に抑えるため、防音設備の設置や作業時間の制限を行う。

② 振動対策

杭打ち工事により発生する振動が周囲の建物やインフラ等に影響を与えないよう、振動を抑える工法や機材を使用する。

③ 排土処理

工事に発生する排土を適切に処理し、土壌汚染を防ぐための対策を講じる。

④ 水質保護

工事現場からの排水が周辺の地下水や河川の水質に悪影響を与えないよう、排水処理設備を設置する等の適切な管理を行う。

⑤ 大気汚染防止

工事に発生する粉塵や排気ガスを抑えるため、散水や防塵ネットの設置、低排出ガス機材の使用を心掛ける。

⑥ 廃棄物管理

工事に発生する廃棄物を適切に分別・処理し、リサイクル可能な資源を最大限活用する。

⑦ 地域住民とのコミュニケーション

工事の進捗状況や環境対策について、必要に応じて地域住民に説明し、意見や要望を反映させることで、地域との良好な関係を築く。

参考文献

- 5.1-1) 日本道路協会：杭基礎施工便覧（令和2年度改訂版），2020年9月
- 5.1-2) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），2022年1月
- 5.1-3) 建設物価調査会：国土交通省土木工事積算基準 令和7年度版，2025年5月
- 5.1-4) 日本建設業連合会 公衆災害対策委員会，環境公害対策部会，建設三団体 安全対策協議会：建設工事公害防止対策の手引き（第11回改訂版），日本建設業連合会，2021年11月

出典

- 5.1-① 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 3.0]，p3 図-1.1，2021年3月
- 5.1-② 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），p168 図-3.2.1，2022年1月

5.2 施工準備

5.2.1 杭の手配

1. 杭の発注

杭の発注にあたっては、設計図書、仕様書に基づき、杭の形状・寸法、数量などを鋼管杭製造者（鋼管杭メーカー）に指示する。最低限必要な指示項目を表5.2.1に示す。さらに必要に応じて、特別な製作仕様書（図面添付）によって指示することもある。

表 5.2.1 鋼管杭の注文例

項目	〇〇工事基礎杭					
規格	JIS A 5525 (鋼管ぐい)					
材質	SKK400					
寸法・数量	杭種	種別	寸法 (mm)			本数
			外径	厚さ	長さ	
	1	上杭	500	9	6,000	132
		中杭	500	9	12,000	132
		下杭	500	9	12,000	132
	2	上杭	600	12	10,000	240
中杭		600	12	12,000	240	
下杭		600	12	12,000	240	
杭頭部	補強バンドなし					
杭先端部	各杭に補強バンド 1PL-9×200付					
現場円周溶接部	半自動溶接用 (JASPP ジョイント)					
附属品	吊金具、ズレ止め、補強バンド、杭先端支圧材 (中掘り杭工法)					
検査	検査は製造工場で行い、検査証明書を提出すること。					
製造法	特に指定しない。					
受渡し条件	現場車上 (O/T) 渡し、または工場渡し					
用途	橋脚、橋台基礎杭					

2. 運搬

鋼管杭は、工程計画表によって現場入荷時期・数量を定め、これに間に合うようあらかじめ手配しておく必要がある。鋼管杭の納入方法は一般に、①工事現場内の置き場でのトラック車上渡し、②最寄り港着岸本船（台船）乗り渡しの2ケースがある。保管場所はなるべく打込み現場に近い場所を選定する方が、杭打機での引込みが可能となり便利である。

鋼管杭はその輸送に際して種々の制限があり、特に道路運搬の場合は運搬経路の交通規制（通行規制区域、橋梁の荷重制限、搬入路の幅員や高さ制限等）をはじめ、交差点や曲がり角の旋回可能幅員等、事前に道路や交通の状況を十分調査して輸送計画を作成する。また、長尺杭の運搬にあたっては所轄警察に届け出て事前に許可を受ける必要がある。海上輸送の場合は、船舶の航行・係留制限、積卸し場および積卸し設備の状況、海象などを調査しておかなければならない。

SL杭や重防食鋼管杭などの塗覆装杭については、塗覆装面に損傷を与えやすいので、運搬中に台車の金属部分やロープと直接接触しないように、保護することが必要である。機械式継手付き鋼管についても同様に、継手部が接触しないような配慮が必要である。表5.2.2に輸送手段と輸送可能長を示す。

表 5.2.2 輸送手段と輸送可能長さの目安

区分	輸送手段	輸送可能長さの目安	備考
陸上	10tトラック	10m程度	全長12m超えは「特殊車両通行許可」が必要
	セミトレーラ	13m程度	「特殊車両通行許可」が必要
	ポールトレーラ	18m程度	「特殊車両通行許可」が必要
	主な台船サイズ		
海上（湾外）	45m×12m, 50m×18m, 60m×20m 65m×22m, 70m×22m, 75m×26m など		
海上（湾内）	20m×8m, 24m×9m, 36m×12m 40m×15m など		

3. 杭の仮置き

杭を現場内に仮置きする場合は、次の点に注意する必要がある。

- ① クレーンによる荷卸ろしは、規格に合ったワイヤロープを用いる。また、狭い現場では案内ロープを用いる。
- ② 杭は杭打機の近くで水平な地盤にできる限り一段に並べて保管する。杭の接触傷防止や玉掛け作業が容易なように角材等を枕材とし、杭間に若干の隙間をとるように並べ、ストッパー等で固定するのがよい。
- ③ 杭打機への吊込み作業が容易なように、できれば杭頭を引込み方向に向けて仮置きする。
- ④ 枕材は玉掛けが行い易い高さ（10cm程度以上）のものを使用する。
- ⑤ 環境条件や施工までの仮置き期間等も勘案して、必要に応じて管内への雨水や塵埃の浸入防止、飛来塩分対策、継手部分の防錆等の変状防止措置を行う。
- ⑥ SL杭、重防食鋼管杭などの塗覆装杭は塗覆装面に損傷を与えないように、杭どうしが直接接触しないようにするとともに、枕材は塗覆箇所を避けたところに置いてその上に杭を並べる。
- ⑦ SL杭は被覆材料がアスファルトであるため、長期盛夏の直射日光をうけると軟化して垂れ下がり、アスファルト層が薄くなった箇所では、必要な厚さを満足しないことがある。したがって、打込み作業の工程に合わせて、メーカーと納入日時を協議し、仮置き期間をできるだけ短くすることが望ましい。SL杭の取扱いは（一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会「SLぐい製品仕様書 改訂第9版」（2026年）（以下、「SLぐい製品仕様書」という）[5.2-2](#)を参照されたい。

5.2.2 杭打ち機械の手配

元請建設業者は杭打ち専門業者と交渉・契約し、打込み工事開始の時期に間に合うよう機械の手配、搬入の詳細を決める。

杭打ち工事に用いる機械は工法によって異なる。主な器具は[5.4.1 主な施工機械設備](#)に示す通りで、この中から工事に適する容量のものを選定して工事現場に搬入する。

5.2.3 仮設計画

仮設計画は杭打ち工事のみでなく、他の作業との関連性を考慮して検討する。以下に、仮設計画上の運搬路、足場などの仮設備についての留意点を示す。

1. 機材運搬路

施工機材の運搬にあたっては、搬入ルート、道路幅員、高さ制限、曲がり角など事前に道路や交通の状況を十分調査する。また、使用する道路の各種規制状況や学童の通学路となっているか否かをあわせて調査し、通学路となっている場合は、その時間帯の機材の搬入・搬出は避けるようにしなければならない。

特に施工機材の運搬はトレーラで行われることが多く、一般に特殊車両通行許可が必要となるため、道路状況を把握したうえで綿密な運搬計画を立て、必要な許可を取得する。

現場敷地が狭隘な場合には、一度に多くの機材を搬入せずに、補助クレーンおよび杭打機の組立後に順次各種機材を搬入するなどの計画を立てることが必要である。

搬入路上に橋がある場合は、橋の幅員、高さを調査するとともに通行可能重量も確認しなければならない。

一般道路などが通行不可能な場合はその状況によって、仮設道路を築造する必要がある。仮設道路の築造方法としては、盛土、切土、整地、栈橋、道板、土の置換えなどが考えられるが、重量物の運搬に耐えられるものでなければならない。運搬路の勾配は、杭打機の搬入・組立て、移動、解体、資材の運搬、保管などに支障ないように決める。現場の状況からやむを得ない場合でも、勾配は15度を目安とする。また、仮設道路は鋼管杭、打込み機などの長大物を運搬するための十分な幅員、旋回箇所、迂回箇所を必要とする。

運搬路が水上である場合には、以下の諸点に注意を払わねばならない。

(1) 岸壁工事など接岸部が工事現場の場合

係船岸工事（ドルフィン、岸壁）などに直接鋼管杭を使用するか、その付帯工事などの施工をする場合はあらかじめ当該地の水深、バース長、航路幅等を調査し、それに見合う船舶を用意する。一般に、各港湾の岸壁、ドルフィンなどの水深、接岸可能長さは、船会社が調査しているので船会社に相談するとよい。

(2) 岸壁に一時仮置きした後に工事現場まで運搬する場合

港によっては、航路、接岸・係留ルールや岸壁、背後ヤードの利用が非常に錯綜している場合があり、水切り（船から荷物を陸揚げすること）後どの程度（日数あるいは数量）仮置きできるか調査しておく必要がある。特に、鋼管杭のような長尺物はスペースをかなり広く必要とするため、どのような方法で引取るかを事前に打合わせしておくことが大切である。一般に陸上輸送より海上輸送の方が経済的である。しかし、反面輸送時間が長くかかる欠点がある。

2. 作業基盤（地盤）

作業基盤（地盤）は、杭打機およびクローラクレーンなど大型の施工機材が走行や杭打ち作業をするため、必ず水平に仕上げるのが重要である。作業基盤の良否は、杭の傾斜などの施工精度や杭心ずれ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十分留意し、施工機材の機種、重量、施工姿勢や周辺構造物・地中埋設物などとの離隔を含めて総合的に判断する。

地盤（表層、浅層）が軟弱な場合は、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、敷鉄板の使用や地盤改良などの対策を取る必要がある。

一般的な3点支持式杭打機の重量からは平均接地圧100～200kN/m²程度であるが、施工荷重の偏心などを考慮すると400kN/m²を超えるような大きな局部最大接地荷重が発生する場合もある。想定する機械・作業姿勢などによる接地荷重に対して十分耐えられるようあらかじめ作業基盤の整備を行う。3点支持式杭打機とクレーンの安定と接地圧の計算例を[5.4.2 施工機械の安定度と接地圧](#)に示した。

また、重機や杭の搬入路、重機の移動範囲についても、特に斜面法肩などに注意して転倒事故が起こらないように堅固に整備しておく必要がある。

河川内や港湾など水上での施工では、栈橋や構台、築島を仮設するか台船によって施工することが一般的である。これらの計画にあたっては、施工機械や設備機器の配置、天候や波浪、水流に対する安定性および台船の曳船についても考慮する必要がある。また、基礎本体の施工とは別に、栈橋の杭の施工や台船搬入される鋼管杭や資機材の吊り揚げなどでクレーンの大きさや吊り姿勢、重機の上載位置が決まることあるので注意を要する。

陸上および水上の杭打ち作業における施工基盤をまとめると、次のものが考えられる。

- ① 陸上…原地盤、地表面の改良（地盤改良、盛土、敷砂利、覆工板、敷鉄板など）、栈橋
- ② 水上…盛土・築島、栈橋・構台、船舶（起重機船、杭打船、台船等）、自己昇降式作業台（SEP）

(1) 陸上の施工基盤

陸上において次のような場合は、栈橋足場を使用する。

- ① 河川、湖沼の陸上部分、水田などの軟弱地盤上で施工する場合
- ② 掘削・床掘・根切りした地盤の上方を施工基面として施工する場合
- ③ 障害物を越えて機材を搬入する場合

(2) 水上の施工基盤

水上における杭打ち作業の足場として、どのような形式を選ぶかを検討するための条件は、次の通りである。

- ① 自然条件（地形、水深、流速、地質など）
- ② 施工条件（機械、工期、作業範囲など）
- ③ 外的条件（管理者、利用者の要求、航路、流水断面、漁業権など）

水域での施工においては、仮設栈橋・構台の施工や築島等に関しても、水質汚濁防止や水生生物保護の観点からの検討と対策に十分留意しなければならない。

1) 栈橋・構台

水深の浅い場所での杭打ちは、船打ちとせずに仮設栈橋・構台による場合が多い。栈橋・構台を利用すれば杭打ち作業は陸上と同様になり、工期の短縮、工事費の低減を図ることができる。一般に、仮設栈橋・構台は鋼製がほとんどであり、杭打ち以外の他の工種も考えて最大荷重によって設計する必要がある。また、杭打ち時、揺れないようにブレース、桁などによって補強する。栈橋の幅員は、工事規模によるが、一般に打込み機械の幅に1mを加えた幅が最低限必要であり、旋回箇所においては十分なスペースをとるべきである。栈橋の天端は工事期間中に予測される最高水位に対し、1m程度の余裕をみる必要がある。[図5.2.1](#)に仮設栈橋の例を示す。

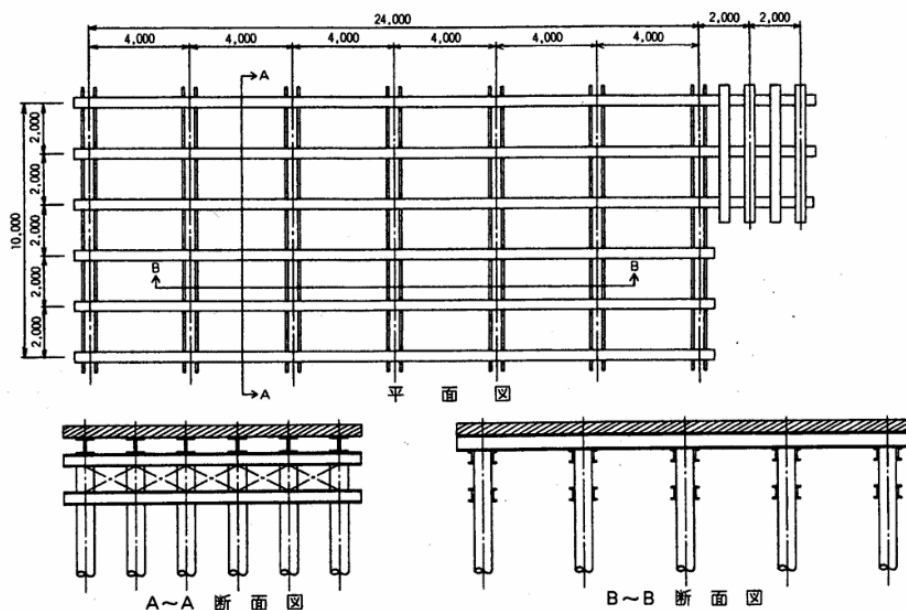


図 5.2.1 仮設栈橋の構造例

2) 築島

築島によって施工基盤を構築する場合は、周辺部が水流などによって崩れないように注意する必要がある。築島は形状によって島式と半島式に分類することができる。

築島の場合の天端高も工事期間中に予想される最高水位に対し、栈橋と同様 1m 程度の余裕をみる必要がある。海上築島の場合は、航路幅および水深の確保、標識の設置など船舶の安全に対して配慮する。

3. 電力・用水

鋼管杭の施工は、電気を動力とする各種機器を使用する。その主なものには、アースオーガ、グラウトポンプ、溶接機などがある。電力は、受電設備によることもあるが、一般には発電機によって得る。何れの場合にも使用する機器に対し十分な容量を有するものでなければならない。一般に用いられているオーガ駆動装置の出力と発電機容量を [表 5.2.3](#) に、現場溶接継手に必要な発動発電機を [表 5.2.4](#) に示す。

表 5.2.3 オーガ駆動装置の出力と発電機容量 (出典：[5.2-①](#)に加筆)

形式	出力		発電機
	HP	kW	
D-60	60 HP	45 kW	180 kVA
D-80	80 HP	60 kW	240 kVA
D-100	100 HP	75 kW	300 kVA
D-120	120 HP	90 kW	360 kVA
D-150	150 HP	112 kW	450 kVA
D-200	200 HP	150 kW	600 kVA

表 5.2.4 現場溶接継手に必要な発動発電機

溶接の種別	台数	容量	発動発電機
半自動アーク溶接	電気溶接機 1 台	100/125KVA	1 台
	電気溶接機 2 台	125/150KVA	1 台
手溶接	エンジンウェルダー溶接機 1 台	15/18KVA	—

掘削時の注水および根固め液などに水を使用する場合には、給水設備を設けなければならない。施工に必要な給水量は工事規模（施工機械の数量）、施工法、施工長さなどによって異なるが、施工機械 1 基当たり口径 20mm 以上の水道を用意するのが一般的である。また、給水量が不足する場合や、小口径の水道によって給水する場合は、水槽（容量 10～30m³）を用意して、施工に十分な量を貯水しておく必要がある。

水質は水道水であれば支障ないが、河川、湖、沼などの水を用いる場合や地下水を用いる場合は、事前の水質調査によって、油、pH、塩類、有機物など注入液の品質に悪影響を及ぼす物質を含んでいないかを確認することが重要である。

また、水道の仮配管ができない場合や、河川などの水を利用できない場合には、タンクローリー等で、水を運び現場に保管する。

5.2.4 要員計画

1. 杭打ち作業人員

杭打ち工事を実施するための組織や人員配置については、関連工事（全体工事）とのバランスを考慮して計画する必要がある。杭打ち工事が単独で実施される場合でも、作業の分担とその責任者を明示しなければならない。

特に、法令で規制されている作業（クレーン運転、足場組立、玉掛け、溶接、安全・衛生管理、電気配線など）については、有資格者を配置し、工事の安全と品質確保を図らなければならない。

一般的な杭打ち作業の配置人員例を[表 5.2.5](#)に示す。

表 5.2.5 要員配置表例

世話役	鳶工	モルタルプラント工	普通工	溶接工	杭打機運転手	クレーン運転手
1	1～2	1～2 ^{注1)}	1	1～2 ^{注2)}	1	1

注：1) 工法によっては変動する。例えば打込み・回転杭工法ではモルタルプラント工（特殊作業員）は不要となる。

2) 溶接機 2 台とした場合、溶接工 2 名を計上

2. 安全対策

杭施工にあたっては、直接作業に従事する者の他、第三者の安全を守るよう慎重に計画を立てる必要がある。したがって、法令によって規制されている職種には、その資格をもつ作業員を配置し、責任の所在を明らかにすることが大切である。

また、計画の段階では安全に対し次のような配慮が必要である。

- ① 工事着手前の調査は、十分かつ的確に行う。
- ② 設計と施工の関連性を十分に把握して施工計画を作成する。
- ③ 発注者は、適正な工期を算出する。無理な工期は事故の原因となる。
- ④ 発注者、元請および下請との相互の連絡を緊密にする。

5.2.5 障害物の除去、近接構造物の養生など

杭打ち工事に着手する前に地中障害物を除去しなければならない場合がある。様々な地中障害があるが、ここでは代表的な障害物の除去作業として既設杭の撤去の例を示す。

1. 全周回転掘削機とハンマグラブによる既設杭の撤去

全周回転掘削機により障害物の縁切り（小割）を行い、ハンマグラブにより障害物を撤去する。

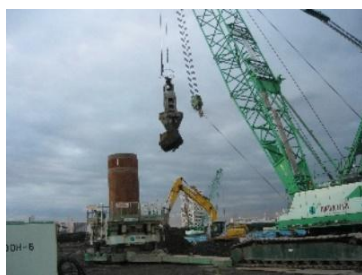


写真 5.2.1 RC 構造物の撤去



写真 5.2.2 RC 杭の撤去

2. オーガケーシングと多滑車による既設杭の撤去

オーガによりケーシングを回転圧入して杭周面の摩擦を低減し、杭頭を多滑車により吊り上げる。ケーシングから注水することが多い。



写真 5.2.3 PHC 杭の撤去

3. バイブロハンマとウォータージェットによる既設杭の撤去

鋼矢板の先端に取り付けた短鋼管からジェット水を噴射し、周面摩擦を切ってクレーンで吊上げる。



写真 5. 2. 4 PC 杭の撤去

参考文献

- 5. 2-1) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），2022年1月
- 5. 2-2) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：SLぐい製品仕様書 改訂第9版，2026年1月

出典

- 5. 2-① コンクリートポールパイル協会：既製コンクリート杭の施工管理，p227 表-2. 3. 11，2019年6月

5.3 試験杭

5.3.1 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、慎重な検討と協議を行い、監督員（工事監理者）や設計者等に確認を取る必要がある。

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ない場合は、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（公社）日本道路協会「杭基礎設計便覧（令和2年度改訂版）」（令和2年）（以下、「杭基礎設計便覧」という）[5.3-1](#)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ボーリング地点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（杭径等）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。

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すべ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。

5.3.2 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、施工全体の中で有効に活用することが重要である。

5.3.3 試験杭での評価と報告

試験杭では、設計で考慮した諸条件（支持層の状態等）に関わる事項の評価や施工法・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指標等を地盤状況のばらつきなども踏まえて関係者で良く協議して決定する必要がある。

- ・計画した施工機械での施工可否
- ・施工機械、管理用計器類の動作確認
- ・標準的な施工オペレーション（ハンマエネルギー、オーガトルク、押込み力や沈設速度）
- ・地盤性状、地中埋設物等の把握
- ・支持層の把握、設計図書との相違の有無
- ・支持層到達の判断方法、判断指標
- ・杭打ち止めの判断方法、判断指標
- ・排土量、排水量等
- ・施工能率、各作業工程における施工時間、計画工程の妥当性
- ・溶接者の技量
- ・セメントミルクの配合条件、注入量等の妥当性（中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法）
- ・拡大掘削する場合の拡翼確認（中掘り杭工法）
- ・杭先端根固めの施工要領書の妥当性（中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法）

【支持層確認について】

中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法および回転杭工法における支持層確認は、支持層付近で掘削速度（あるいは貫入速度）を極力一定に保ち、掘削抵抗値（オーガ駆動電流値、積分電流値または回転抵抗値）の変化を、また、打撃工法では打撃エネルギーを極力一定に保ち、打撃した際の貫入量やリバウンド量等の変化をあらかじめ調査している土質柱状図と対比して行う。その際の施工記録に基づき、本杭施工時の支持層判定に用いる管理指標を定める。ただし、掘削抵抗値の変化の度合いは、土質条件、杭の大型化やこれに伴う施工機械の掘削能力の向上などにより、必ずしも明確に確認できない場合もある。このような場合には、例えば、掘削時の音や振動の変化、オーガヘッドの先端部に付着している掘削土と土質柱状図を照合するなど、総合的な観点から本杭施工における管理方法を定める。詳細な支持層確認方法については、各工法の「**施工および施工管理**」を参照されたい。

【所定深度での杭の保持時間について】

中掘り杭工法および鋼管ソイルセメント杭工法では、鋼管の設置後すぐには想定する先端や周面の抵抗が期待できないため、自重により所定の設置位置以深に沈下する場合がある。このため、試験杭において鋼管が安定するまで所定の位置で保持し、安定に必要な保持時間を確認して本杭施工での目安とする。

試験杭は本杭施工の指標となるものであるとともに、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ため、試験杭がどのような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。

各工法における標準的な評価項目と報告内容を[表 5.3.1](#)～[表 5.3.4](#)に示す。

表 5.3.1 中掘り杭工法における試験杭での評価項目と報告内容 [5.3-2](#)

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、形状など）	
	施工機械 共通	杭打機、ヤットコ（寸法、形状）、圧入装置、掘削ヘッド、スパイラルオーガ、掘削・排土機器、溶接機器	
	最終打撃 追加機械	クローラクレーン（フライングハンマ方式）、ハンマ（形式、重量）、クッション	
	コンクリート打設 追加機械	ダウンザホールハンマ（スパイラルオーガで掘削できない場合）、ハンマグラブ、洗浄・孔底処理装置、トレミー管	
2. 掘削・沈設	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（周辺地盤の変状、杭体の異常、騒音や振動、障害物など）、施工時地盤高、地下水位	
	施工記録	施工時間（準備、建込み、溶接、掘削・沈設、根固め、スパイラルオーガの引き上げ）掘削深度、掘削抵抗値（オーガ駆動電流値および積分電流値）、排出土の状況、支持層深度（設計値および実測値）、支持層到達の管理指標、現場溶接	
3. 先端処理 工程 支持層到達確認 および打止め	一般事項	鋼管頭部高さ、杭先端深度、根入れ長さ、拡翼確認	
	施 工 記 録	セメントミルク 噴出攪拌	セメントミルクの配合と強度、セメントミルクの注入切り替え時間、噴出攪拌条件（注入高さ、注入時間、施工速度、噴出量、噴出圧）、施工時間、杭の自沈に対する保持時間
		最終打撃	施工時間（打込み）、ラム落下高さ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、打止め管理式から決まる算定値（総合的な判断をした場合は判断材料と理由など）
コンクリート 打設	コンクリートの配合と強度、作業時間（管内洗浄、コンクリート打設）、トレミー管位置、コンクリート打設量・打設高さ）、コンクリート割増率		
4. その他	作業面積、頭上空間、掘削土の処理、給排水、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		

表 5.3.2 鋼管ソイルセメント杭工法における試験杭での評価項目と報告内容 [5.3-3\)](#)

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、杭径、鋼管径、杭長、掘削長など）
	施工機器仕様	杭打機、掘削攪拌装置、掘削攪拌ヘッド、ヤットコ（寸法、形状）、溶接機器
2. 掘削・沈設	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（周辺地盤の変状、杭体の異常、騒音や振動、障害物など）、施工時地盤高、地下水位
	施工記録	施工時間（準備、建込み、溶接、杭一般固化部掘削攪拌）、掘削抵抗値（オーガ駆動電流値および積分電流値）、杭一般固化部セメントミルクの配合と杭一般固化部ソイルセメントの強度、支持層深度、掘削攪拌条件（施工速度・注入量）、現場縦継ぎ溶接
3. 先端処理工程	一般事項	ソイルセメント天端高さ、ソイルセメント先端深度、鋼管頭部高さ、杭先端深度
	施工記録	杭先端固化部セメントミルクの配合と強度、セメントミルクの注入切り替え時間、掘削抵抗値（オーガ駆動電流値および積分電流値）、掘削攪拌条件（施工速度、注入量）、施工時間（掘削攪拌、注入）、鋼管の自沈に対する保持時間
4. その他	作業面積、頭上空間、掘削残土の処理、給排水、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	

表 5.3.3 回転杭工法における試験杭での評価項目と報告内容 [5.3-4\)](#)

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、鋼管径、羽根径、杭長）
	施工機器仕様	杭打機（最大回転トルク）、ヤットコ（寸法、形状）、溶接機器
2. 貫入時	一般事項	施工方法及び施工順序、施工精度（鉛直及び平面的位置ずれ）、施工の際に発生した特殊な事項（周辺地盤の変状、杭体の異常、騒音や振動、障害物など）、施工時地盤高
	施工記録	施工時間（準備、建込み、溶接、回転貫入）、掘削深度、支持層深度、トルク値、1回転あたりの貫入量、押込み力、現場縦継ぎ溶接
3. 打止め	一般事項	鋼管頭部高さ、打ち止め深度、支持層への根入れ長
	施工記録	貫入抵抗値（トルク値、貫入量、押込み力等）、支持層への根入れ長
4. その他	作業面積、頭上空間、掘削残土の処理、給排水、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	

表 5.3.4 打撃工法における試験杭での評価項目と報告内容 [5.3-5](#)

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、1 m 当り打撃回数または打撃回数当り貫入量）、ラム落下高または打撃エネルギー、現場縦継ぎ溶接
3. 支持層到達 確認および 打止め	一般事項	鋼管頭部高さ、杭先端深度
	施工記録	施工時間（打込み）、ラム落下高または打撃エネルギー*、単位貫入量当り打撃回数、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うえ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。

参考文献

- 5.3-1) 日本道路協会：杭基礎設計便覧（令和2年度改訂版），2020年9月
- 5.3-2) 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 3.0]，2021年3月
- 5.3-3) 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 2.0]，2021年3月
- 5.3-4) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，2021年3月
- 5.3-5) 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

5.4 施工機械

5.4.1 主な施工機械設備

打撃工法、バイプロハンマ工法、中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法、回転杭工法に用いる主要機械設備を表5.4.1に示すが、詳細は各工法の「施工および施工管理」を参照されたい。

表 5.4.1 鋼管杭工法と主要施工機械設備

施工方法 施工機械・設備		打込み杭工法		埋込み杭工法				回転杭工法	
		打撃工法	バイプロハンマ工法	中掘り杭工法			鋼管ソイルセメント杭工法	杭頭回転方式	胴体回転方式
				最終打撃方式	セメントミルク噴出攪拌方式	コンクリート打設方式			
杭打機	クローラ式杭打機 (3点支持式杭打機)	○	△	○	○	○	○	○	
	クローラクレーン	○	○						
	全周回転機								○
	杭打船	△	△						
補助 クレーン	ラフテレーン/クローラ	○	○	○	○	○	○	○	○
	バックホウ	○	○	○	○	○	○	○	○
ハンマ	油圧ハンマ	○		○					
	ドロップハンマ								
	バイプロハンマ		○						
掘削 圧入機	オーガ駆動装置			○	○	○		○	
	スパイラルオーガ			○	○	○			
	鋼管ソイルセメント杭用掘削 攪拌機						○		
機械設備	電力設備、溶接設備	○	○	○	○	○	○	○	○
	バッチャープラント				○	○	○		
	管内土掘削機および杭先端ス ライム処理機器					○			
補助設備	キャップ、クッション	○		○					
	ヤットコ	○	△	○	○	○	○	○	○
	専用チャック		○						
	チャッキングプレート		△						
	ウォータージェットカッター		△						

注) ○：主に使用、△：条件に応じて使用

5.4.2 施工機械の安定度と接地圧

1. 3点支持式杭打機

この内容については「鋼管杭—施工と施工管理—」[5.4-1](#))に詳細が記載されているので、ここでは概略の記述とする。

計算については、機種および作業装置を指定してメーカーに依頼するのが一般的である。

(1) 安定度

安定度とは、機械の重心と転倒支点を結ぶ直線が、施工機械全体の重心を通る鉛直線となす角度をもって表される。

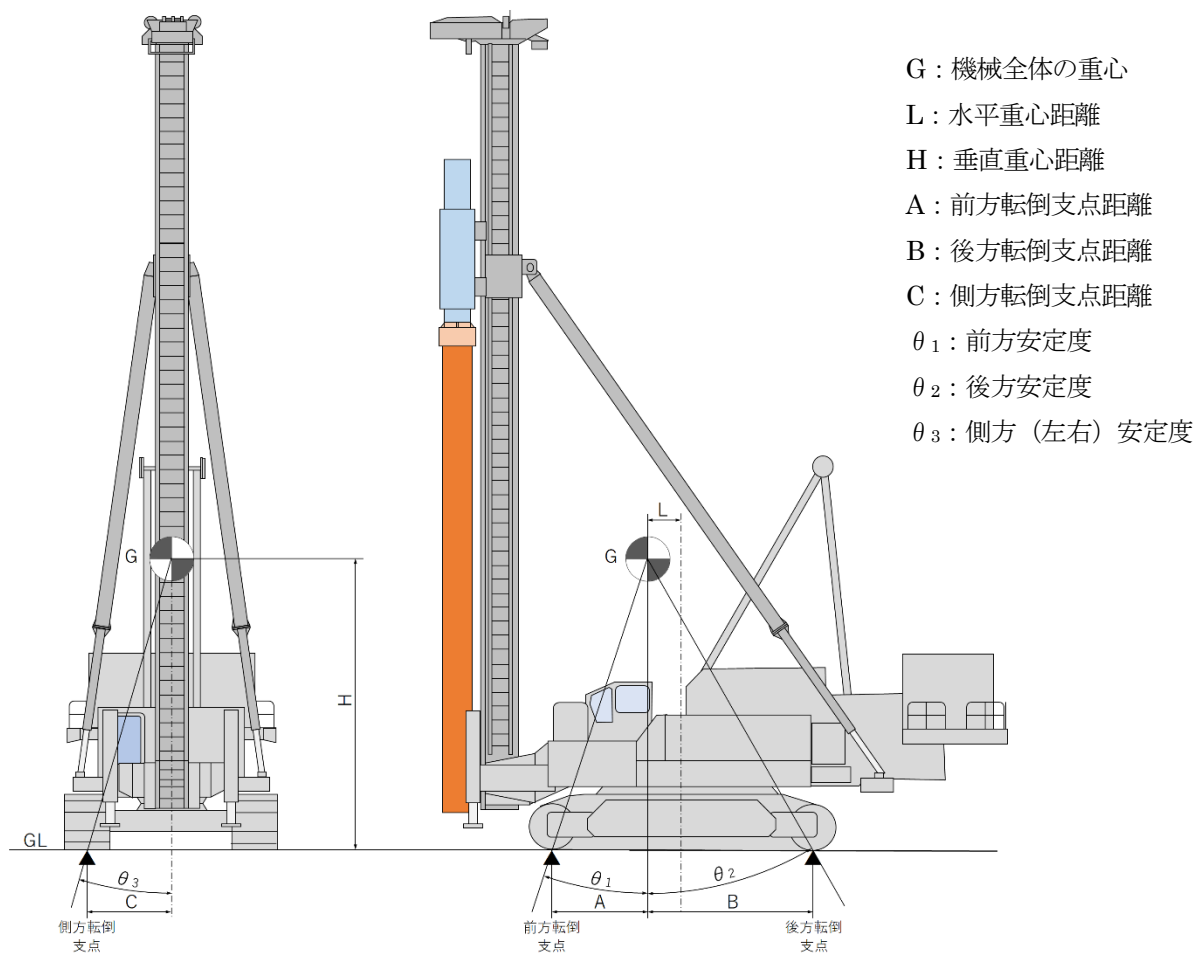


図 5.4.1 3点支持式杭打機の安定度 [5.4-2](#)

表 5.4.2 3点支持式杭打機の安定度の計算例（日本車輛製造(株)による）

(1) 施工条件

工法名 仕様	①油圧ハンマ打込み工法	②油圧ハンマ打込み工法	③中掘り工法
本体	DH808-170M	DH608-120M	DH658-135M
カウンタウエイト	9.5t+架台(2.5t) +P-750L(10.4t)	8.0t+架台(1.6t) +P-220(4.2t)	10.9t+架台(2.6t) +NES400(5.5t)
リーダ ブラケット	M110D L=33.0m 3.4M	M90D II (B) L=24.0m 3.0M(B)#90	M95D L=30.0m 3.0M
ハンマ	油圧ハンマS-280 質量35.9t キャップ他8.8t	油圧ハンマS-90 質量14.3t キャップ他4.2t	—
中掘り装置	—	—	オーガD-150HP 6.6t 中掘装置(ホッパー仕様) 16.7t スクリュー4.5t
ハンマガイドパイプ と杭中心との距離	0.975m	0.800m	0.800m
杭の種類	鋼管矢板 杭径1600mm 長さ17.0m 質量(考慮不要)	鋼管杭 杭径600mm 長さ13.0m 質量(考慮不要)	鋼管杭 杭径750mm 長さ16.0m 質量(3.4t)
直杭、斜杭の別	直杭	斜杭(+10°:後傾時)	直杭

(2) 計算結果

工法名 施工状態 検討項目	①油圧ハンマ打込み工法		②油圧ハンマ打込み工法		③中掘り工法		
	旋回作業時 パイル無し	走行時 パイル無し	旋回作業時 パイル無し	走行時 パイル無し	旋回作業時 パイル有り	旋回作業時 パイル無し	走行時 パイル無し
	—	—	—	—	スクリュー有り	スクリュー無し	スクリュー無し
	ハンマ:上部	ハンマ:下部	ハンマ:上部	ハンマ:下部	オーガ:上部	オーガ:上部	オーガ:下部
総重量	172.7t	172.7t	107.1t	107.1t	131.9t	124.0t	124.0t
リーダ傾斜角度	0.0°	0.0°	10.0°	10.0°	0.0°	0.0°	0.0°
ハンマの高さ	21.9m	4.9m	17.0m	4.0m	—	—	—
オーガの高さ	—	—	—	—	25.8m	25.8m	9.8m
安定度(前方)	6.0°	10.6°	18.2°	22.2°	7.5°	9.2°	14.4°
安定度(後方)	16.3°	27.5°	13.4°	24.3°	17.4°	15.9°	24.3°
安定度(側方)	11.3°	19.5°	15.8°	23.3°	12.5°	12.6°	19.5°
安定度の判定	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

(3) 安定性の判断基準

安定性の判定は、安定度が、旋回作業時5度以上、走行時9度(条件付で7度)以上<機械メーカー社内基準>により判定をした。
判定がNOの場合は作業不可となるので、作業条件の再検討をしなければならない。

(2) 接地圧

接地圧は機械総重量、重心の位置、足回りのサイズにより算出される。

<平均接地圧の求め方>

$$\bar{\sigma} = W / nLB \quad (\text{kN/m}^2) \tag{5.4.1}$$

- $\bar{\sigma}$: 平均接地圧 (kN/m²)
- W : 重機全重量 (kN)
- n : 履帯数 (=2)
- L : 履帯長さ (m)
- B : 履帯幅 (m)

【実接地圧の求め方】

・左右方向の分布

本体上回りの方向とクローラの前後方向が同じでない場合は、機械の重心位置が本体下回りの中心上でないところにある。図5.4.2に示すように、機械の重量 M 、重心位置の偏心量 t 、右側クローラの反力 F_R および左側クローラ反力 F_L は次式で表される。

$$F_R = \frac{M}{S} \left(\frac{S}{2} - t \right)$$

$$F_L = \frac{M}{S} \left(\frac{S}{2} + t \right)$$

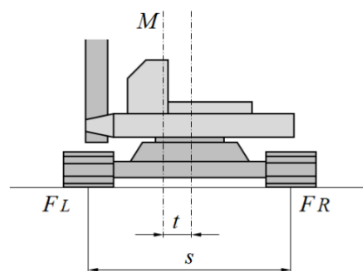


図 5.4.2 クローラの反力

・前後方向の分布

図5.4.3に示すように、重心位置の偏心量 r 、タンブラ間距離 L およびシュー幅 w とし、接地反力の分布が一次関数であると仮定すると、右クローラ前端的の接地圧 P_{RF} 、後端の設置圧 P_{RB} 、左クローラ前端的の接地圧 P_{LF} 、後端の接地圧 P_{LB} は次式で表される。

$$P_{RF} = \frac{F_R(L + 6r)}{WL^2}$$

$$P_{RB} = \frac{F_R(L - 6r)}{WL^2}$$

$$P_{LF} = \frac{F_L(L + 6r)}{WL^2}$$

$$P_{LB} = \frac{F_L(L - 6r)}{WL^2}$$

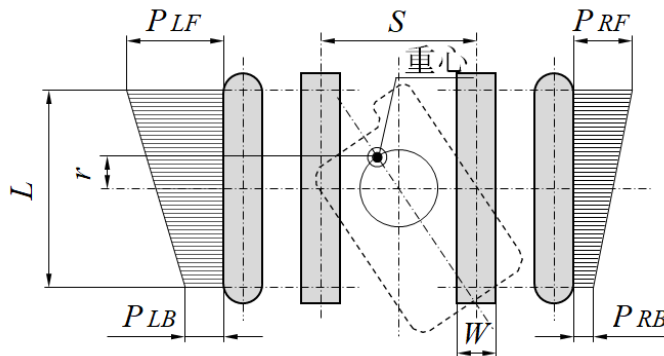


図 5.4.3 クローラの接地圧分布①

ただし、 $r > \frac{L}{6}$ の場合には、図5.4.4に示す三角形分布となり、 P_{RF} と P_{LF} は次式で表される。

$$P_{RF} = \frac{4F_R}{3W(L - 2r)}$$

$$P_{LF} = \frac{4F_L}{3W(L - 2r)}$$

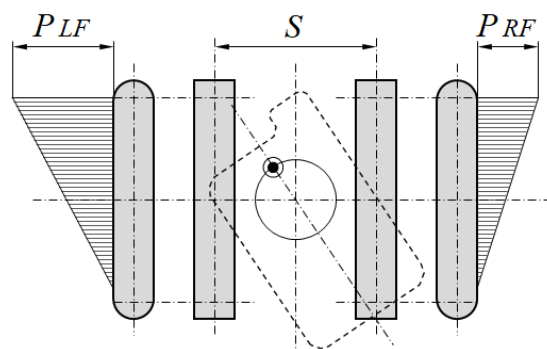


図 5.4.4 クローラの接地圧分布②

表 5.4.3 3点支持式杭打機の接地圧の計算例（日本車輛製造(株)による）

(1) 施工条件

工法名	①油圧ハンマ打込み工法	②油圧ハンマ打込み工法	③中掘り工法
仕様			
本体	DH808-170M	DH608-120M	DH658-135M
カウンタウエイト	9.5t+架台(2.5t) +P-750L(10.4t)	8.0t+架台(1.6t) +P-220(4.2t)	10.9t+架台(2.6t) +NES400(5.5t)
リーダー ブラケット	M110D L=33.0m 3.4M	M90D II (B) L=24.0m 3.0M(B)#90	M95D L=30.0m 3.0M
ハンマ	油圧ハンマS-280 質量35.9t キャップ他8.8t	油圧ハンマS-90 質量14.3t キャップ他4.2t	—
中掘り装置	—	—	オーガD-150HP 6.6t 中掘装置(ホッパー仕様) 16.7t スクリュー4.5t
ハンマガイドパイプ と杭中心との距離	0.975m	0.800m	0.800m
杭の種類	鋼管矢板 杭径1600mm 長さ17.0m 質量(考慮不要)	鋼管杭 杭径600mm 長さ13.0m 質量(考慮不要)	鋼管杭 杭径750mm 長さ16.0m 質量(3.4t)
直杭、斜杭の別	直杭	斜杭(+10° : 後傾時)	直杭

(2) 計算結果

工法名	①油圧ハンマ打込み工法		②油圧ハンマ打込み工法		③中掘り工法	
施工状態	旋回作業時 パイル有り		旋回作業時 パイル有り		旋回作業時 パイル有り	
検討項目	—		—		オーガ・ホッパー・スクリュー有り	
総重量	172.7t		107.1t		131.9t	
左右クローラ間距離	400mm		3700mm		3800mm	
前後タンブラ間距離	5245mm		4900mm		4900mm	
シュー幅	960mm		800mm		800mm	
上廻りと下廻りの角度	最大接地圧発生角度33°		最大接地圧発生角度28°		最大接地圧発生角度32°	
0° (上廻りが走行方向)	接地長		接地長		接地長	
	5053mm		4900mm		4900mm	
	最大接地圧	前方	最大接地圧	前方	最大接地圧	前方
		後方		後方		後方
最大接地圧発生角度	接地長		接地長		接地長	
	5245mm		4900mm		4900mm	
	最大接地圧	右前	最大接地圧	右前	最大接地圧	右前
		右後		右後		右後
		左前		左前		左前
		左後		左後		左後
	接地長		接地長		接地長	
5245mm		4900mm		4900mm		
90° (上廻りが横向き)	最大接地圧	右側	最大接地圧	右側	最大接地圧	
		左側		左側		

2. クローラクレーンの接地圧

クローラクレーンの接地圧計算は、基本的には3点支持式杭打機と同様となる。使用するクレーンの機種が決まれば、メーカーの Web サイトにアクセスし、必要事項を入力すると計算結果を入手することができる。入力と計算結果の例を以下に示す。

表 5.4.4 クローラクレーンの接地圧の計算例（コベルコ建機(株)による）

SL4500J-350 標準 接地圧計算
 (日本建設機械化協会方式)

クレーン姿勢 主ブーム+補助シーブ 主フック吊り
 ブーム長さ 42.0m(137.8ft)
 主フック種別 120 t フック
 補フック種別 14 t フック
 カウンターウエイト 120t
 作業半径 30m
 吊り荷重 30ton (フック重量含まず)
 旋回角度 最大
 クレーン総重量 314.4 ton (吊り荷重含まず)

* 赤枠は荷重分布図を示します。
 * L1・L2は左右のクローラで荷重を押え付けている長さを示します。

旋回角度	A (ton/m ²)	B (ton/m ²)	L1 (m)	C (ton/m ²)	D (ton/m ²)	L2 (m)
前後 (0°)	35.04	0	8.06	35.04	0	8.06
斜め (32°)	40.3	0	8.96	22.77	0	8.96
側方 (90°)	23.14	23.14	9.31	7.22	7.22	9.31

5.4.3 ヤットコ

1. 使用方法

ヤットコは、杭打ち作業で、杭頭を地表面以下、水面以下に打込む場合に使用する。繰り返し使用するものであり、その仕様は杭の外径と打止めレベルに応じて決定される。

フライングハンマ工法での使用方法を [図5.4.5](#) に示す。3点支持式杭打機を使用する場合は補助クレーンを使用してヤットコを引き抜く。ヤットコが長くて素抜きできない場合は無理をせずパイプロハンマを使用してヤットコの周面摩擦を切ってから引き抜くとよい。

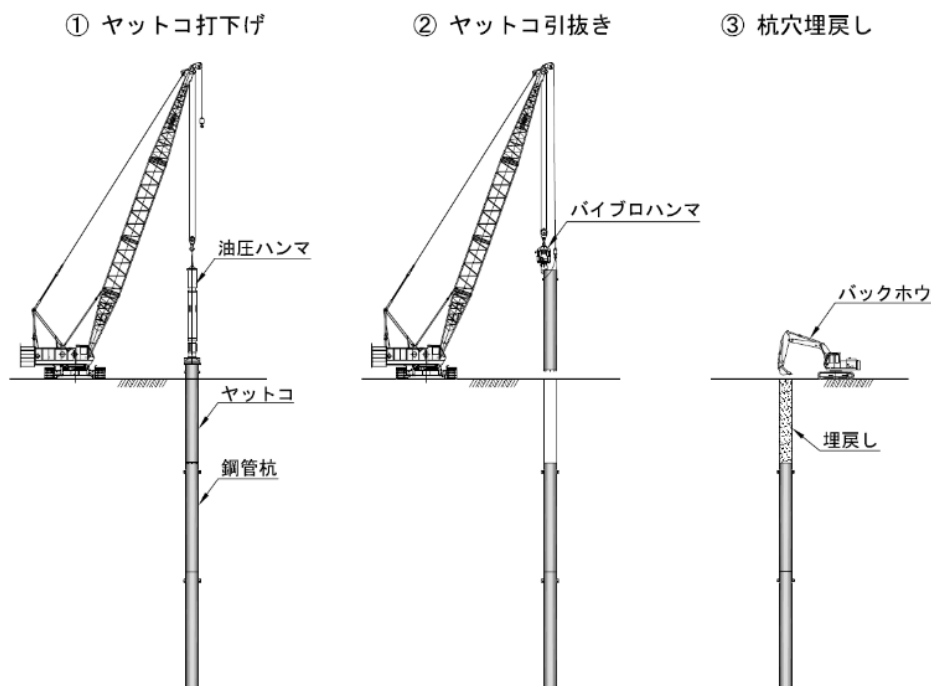


図 5.4.5 ヤットコの使い方

2. 長さ

ヤットコの必要長さは、土木、建築とも杭施工後の根切り深さから決まるため、現場により適切な長さのものを使用するが、場合によっては 10m を超える事例もある。なお、ヤットコを抜いた跡は [写真5.4.1](#) のように穴があくので転落事故をおこさないように、直ちに埋戻す。仮蓋での対応は孔壁崩壊が発生しない場合に限られ、仮蓋には十分な強度とずれ止めが必要となる。



写真 5.4.1 ヤットコを抜いた穴

3. ヤットコの形状

ヤットコの寸法形状などには基準規格がないが、鋼管杭と同等以上の強度と板厚を有す鋼管杭が用いられることが多い。ガイドの形式は、内ガイド式と外ガイド式の2通りがあり、ガイドの形状は爪型と巻パイプ型がある。中掘り杭の場合は、内ガイド式にするとガイドがオーガスクリューに当たる可能性が高いので外ガイド式が多い。ただし、外ガイド式は鋼管杭や鋼管矢板の定規材と干渉する可能性があること及び提灯座屈が生じた場合はヤットコを鋼管杭から引き離すことが困難となるので注意を要す。従って、外ガイド式巻パイプ型は中掘り杭工法や既製コンクリート杭工法で用いられることが多い。ガイドの長さは長ければリバウンド等により杭頭から外れる可能性は小さくなるが、多少のズレや傾きにより外れなくなることもあるので、一般的には200~500mm程度のものが多く用いられている。

ヤットコの製作にあたっては、ガイドに鋼管杭との間にセット余裕を見込むために、ヤットコの軸心と鋼管杭の軸心に多少の偏心が生ずる可能性があるが、この場合でもヤットコ端面は杭端面の全面に接触する広さを持つ構造とすることが杭頭破損を防止するために必要となる。また、傷や溶接ビードの突起があると杭頭座屈の原因となるため、杭端部と接触する面は平滑に仕上げる必要がある。

図5.4.6にヤットコの概略図を示す。なお、ヤットコの詳細に関しては各工法の章において紹介する。

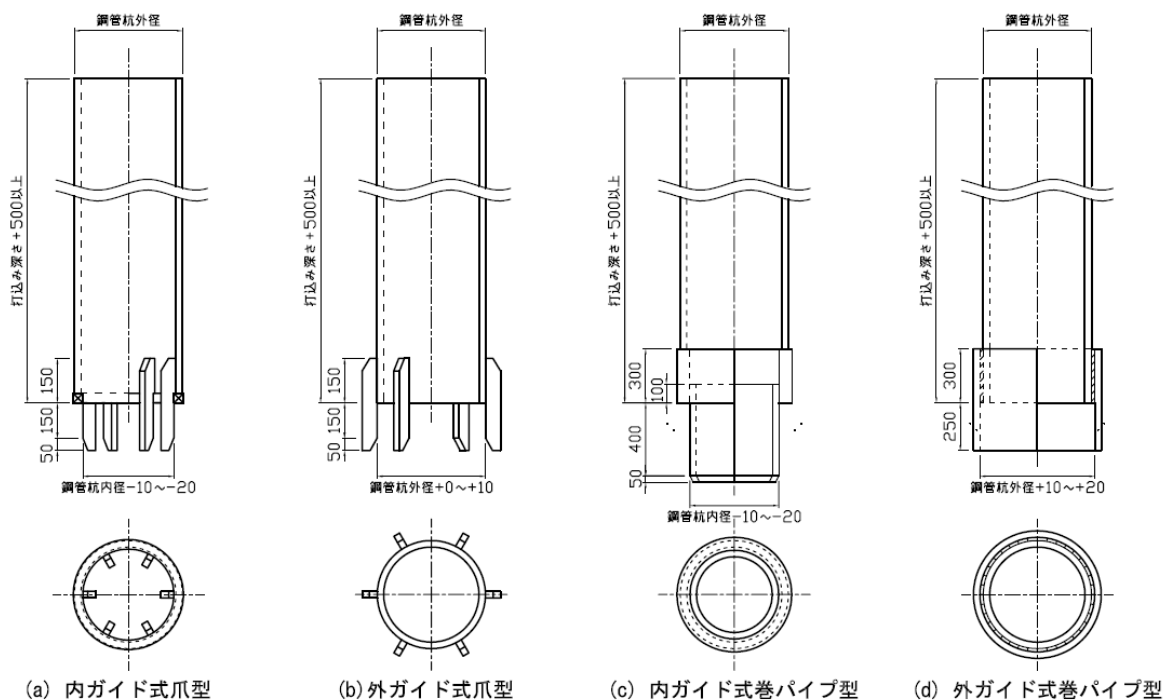


図 5.4.6 ヤットコの概略図

参考文献

- 5.4-1) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），2022年1月
- 5.4-2) 日本建設機械施工協会，日本規格協会：日本産業規格 JIS A 8509-1 基礎工事機械—安全—第1部：杭打機の要求事項，2022年12月

5.5 騒音と振動

5.5.1 公害問題と法規制

建設工事にもなつて発生する公害は「工事公害」と呼ばれ、建設工事の着工から竣工までの期間に行われる作業によって、周辺地域の人々の健康または生活環境にかかわる被害が生ずることをいう。工事公害の代表的なものは、大気汚染（土ぼこり、粉じん等）、水質汚濁（水質汚染等）、土壌汚染、騒音、振動、地盤沈下、悪臭等であるが、大局的に観れば、廃棄物の不法投棄、交通問題、商店の売上げ減、その他地域住民に不安感を抱かせるものなども工事公害の一つと考えられる。

わが国における基礎工事関係の公害対策工法は、昭和 42 年の公害対策基本法（昭和 42 年法律第 132 号）の制定以降、急速に発展した。これは工事の大規模化や機械化が進み、騒音、振動、油飛散等の工事公害の影響が次第に大きくなってきたことなどによって、住民の生活環境保護に対する認識が高まったためである。

このような社会情勢の変化から、騒音・振動の法的規制が必要となり、昭和 43 年には騒音規制法（昭和 43 年法律第 98 号）、昭和 51 年には振動規制法（昭和 51 年法律第 64 号）が制定された。

杭打ち工事（特定建設作業）に関する規制・基準について、特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準（昭和 46 年厚生省・建設省告示 1 号^{5.5-1)}、平成 27 年環境省告示第 66 号^{5.5-2)}（改正）および、振動規制法施行規則（昭和 51 年総理府令第 58 号^{5.5-3)}、令和 3 年改正）、振動規制法の施行について（昭和 51 年環大特 154 号^{5.5-4)}、平成 5 年改正）の内容を表 5.5.1 に抜粋して示す。

表 5.5.1 法による特定建設作業の騒音・振動の規制基準

項目	規制内容	
騒音レベル	特定建設作業の騒音が、特定建設作業を行う場所の敷地境界線において、85dB を超える大きさのものでないこと。	
振動レベル	特定建設作業の振動が、特定建設作業を行う場所の敷地境界線において、75dB を超える大きさのものでないこと。	
作業時間	1号区域	午後 7 時から翌日午前 7 時までの時間に発生するものでないこと
	2号区域	午後 10 時から翌日午前 6 時までの時間に発生するものでないこと
1 日当たりの作業時間	1号区域	1 日 10 時間を超えて行われる作業で発生するものでないこと
	2号区域	1 日 14 時間を超えて行われる作業で発生するものでないこと
同一場所における作業日数	連続 6 日を超えて行われる特定建設作業によって発生するものでないこと	
作業日	日曜日その他の休日に行われる特定建設作業に伴って発生するものでないこと 道路占有許可等に関しての許可条件、法に則した協議により同意を得た場合はこの限りではない	

1号区域 騒音規制法第三条第一項の規定により指定された地域のうち、次のいずれかに該当する区域として都道府県知事（市の区域内の区域については、市長）が指定した区域

- イ 良好な住居の環境を保全するため、特に静穏の保持を必要とする区域であること。
- ロ 住居の用に供されているため、静穏の保持を必要とする区域であること。
- ハ 住居の用に併せて商業、工業等の用に供されている区域であつて、相当数の住居が集合しているため、振動の発生を防止する必要がある区域であること。

二 学校教育法に規定する学校、児童福祉法に規定する保育所、医療法に規定する病院および診療所のうち患者を入院させるための施設を有するもの、図書館法に規定する図書館、老人福祉法に規定する特別養護老人ホーム並びに就学前の子どもに関する教育、保育等の総合的な提供の推進に関する法律に規定する幼保連携型認定こども園の敷地の周囲おおむね80mの区域内であること。

2号区域 騒音規制法第三条第一項の規定により指定された地域のうち、1号区域以外の区域

※都市計画法による用途地域との関係は、第1種・第2種低層住居専用地域、第1種・第2種中高層住居専用地域、第1種・第2種住居地域、準住居地域、近隣商業地域、商業地域、準工業地域、および用途地域として定められていない地域および工業地域のうち学校・病院等の周囲おおむね80m以内の区域は1号区域、用途地域として定められていない地域および工業地域のうち学校・病院等の周囲おおむね80m以外の区域が2号区域となる。

工事にともなって発生する騒音・振動が生活環境の障害となるかどうかは施工現場の周辺状況により大きく左右される。事前調査に基づき、場合によっては必要な対策を講じなければならない。基本的に実施すべき事項は、次のようなものと考えられる。

- ① 杭工事の計画（設計）段階から、施工現場および現場周辺の状況などを適宜調査する。（表5.5.2参照）。
- ② 現場周辺の状況の調査結果から、法規制や環境条件に伴う環境対策の必要性を検討する。
- ③ 対策が必要と認められる場合には、施工法、作業時間帯、作業工程、防止施設等の必要項目・必要事項について具体的に検討する。
- ④ 工事の実施にあたっては、地域住民に対し、必要に応じて工事の目的・内容などを事前に説明するとともに、実施する工事に対して理解と協力を得られるように努める。特に、騒音・振動が問題になる工事に対しては、工事実施中においても適宜測定を実施する。

なお、騒音・振動については自治体の条例などにより法律よりも更に厳しく規制されている場合があるので、十分に注意する必要がある。

表 5.5.2 周辺状況の調査内容（騒音・振動関係） [5.5-5](#)

環 境 条 件	<ul style="list-style-type: none"> ・用途地域（都市計画法に基づく区域区分） ・家屋の密集度 ・生活時間帯 ・公共施設の有無 学校、保育所、病院、診療所、図書館、特別養護老人ホーム等 ・支障物の有無 埋設物（電力、通信、ガス、上下水道、排水路、用水路等） 障害物（送電線、通信線、索道、鉄塔、電柱、やぐら等） 文化財 ・周辺建物の業務内容 精密機械、電子機器の使用等
地 域 条 件	<ul style="list-style-type: none"> ・周辺の地形や地質 高低差、地表勾配、断層、落石、地すべり、強度、地下水位等

5.5.2 騒音

1. 騒音の大きさの表わし方

ある場所の音圧を、最小可聴値と考えられる $2 \times 10^{-5} \text{Pa}$ (パスカル) を基準値として、デシベルで表わしたものを「音圧レベル」という。単位は dB (デシベル) を用いる。

計器で測定して音圧レベルを dB で表わすことができるが、計器での測定音圧の大小と、人間がうるさいと感じる感じ方には違いがある。そこで、人にはうるさいと感じる周波数帯は割増し評価し、うるさいと感じないところは割引きする。すなわち人の聴覚に合わせて補正することで体感に近い騒音評価が行える。音圧レベルに対し、聴感補正 (現在は、A 補正【一般環境騒音等の評価に広く用いられる】、C 補正【衝撃騒音等、特殊な騒音の評価に用いられる】) の 2 種が主に使用されている) を行ったものが騒音レベルであり、これは JIS C 1509 電気音響—サウンドレベルメータ (騒音計) [5.5-6](#) に定める指示騒音計で測定して得られる dB (dB(A)、dB(C)) である。(JIS Z 8731 環境騒音の表示・測定方法 [5.5-7](#))

2. 騒音公害

騒音とは、「望ましくない音」の総称であって、ない方がよい音を言う。このように人の感覚によるところに、騒音問題の難しさがある。

杭打ち作業の騒音と日常生活の中での騒音の比較を [表 5.5.3](#) に示す。これから、騒音規制法の規制規準である 85dB は表でみるように平均的な街頭の騒音よりも大きく、地下鉄電車内よりは小さいという程度のものであることがわかる。

また、「低騒音工法」とか「無騒音式」などと命名している工法や機械の騒音は 30m 離れたところで、70~75dB であり、平均的な街頭の騒音であることがわかる。

表 5.5.3 騒音の比較 [5.5-8](#)

杭打ち工法 (30m地点での比較)	騒音レベル (dB)	場所
	130	
	120	航空機のエンジン近く
	110	工場サイレンの近く
ディーゼルハンマ	100	列車通過時の高架下、自動車の警笛
	90	地下鉄車内、機械作業場
油圧ハンマ	80	交差点、マーケット
パイプロハンマ	70	騒がしい事務所、銀行のロビー
埋込み杭工法、回転杭工法	60	普通の会話、都市周辺住宅地
	50	映画館の観客のざわめき
	40	市内の深夜、図書館内
	30	郊外の深夜、ささやき声

3. 基礎工事の騒音

近年、工事現場周辺の環境保全に対する要求の強まりにより、例えば打撃工法においては施工性、経済性に優れるディーゼルハンマはほとんど使用されなくなり、低騒音低振動工法が採用されるようになった。

種々の杭工法の騒音レベルを図5.5.4に示す。

(単位：縦軸 dB、横軸 m)

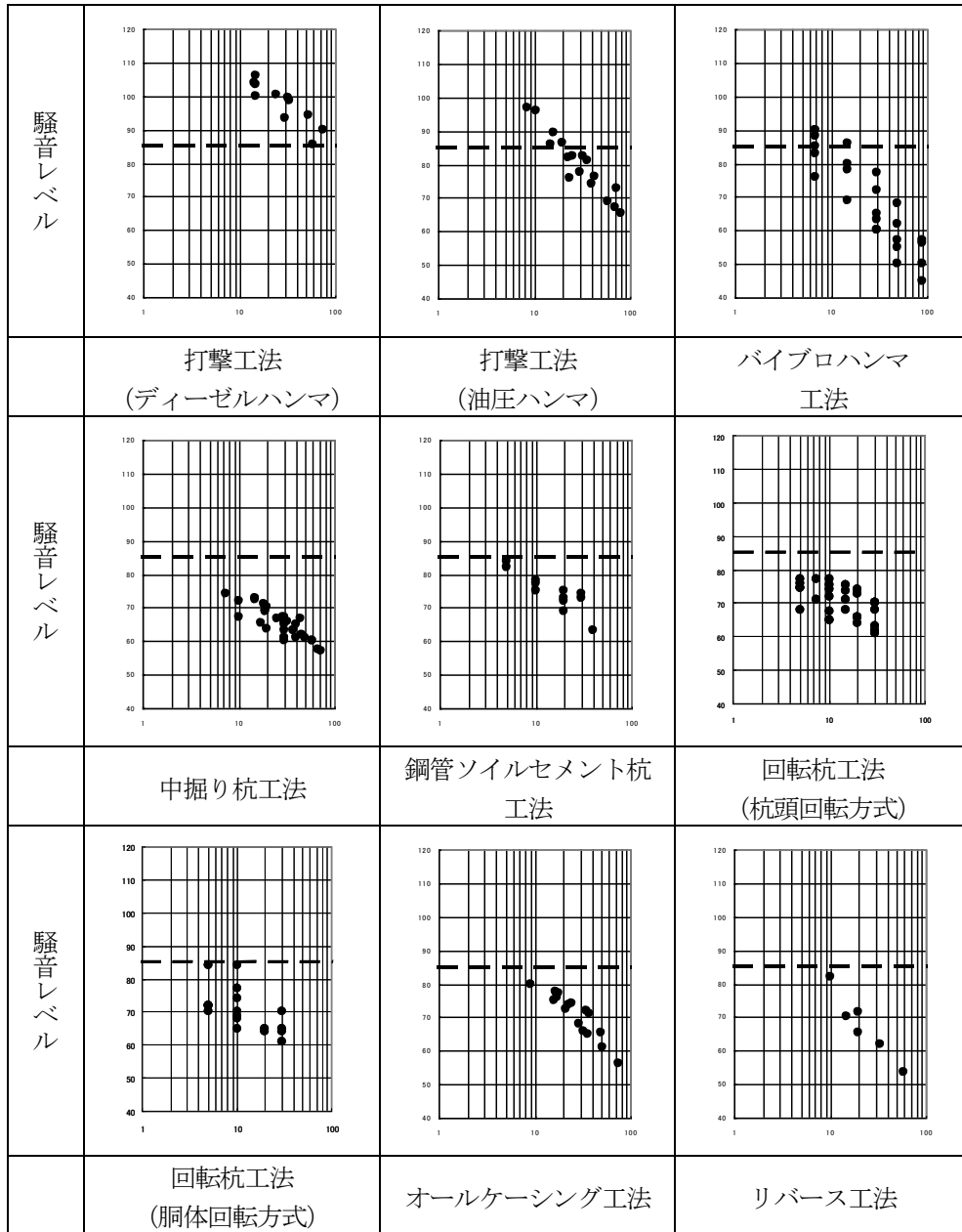


図 5.5.4 基礎工事用機械の騒音レベル

(1) 打撃工法 (油圧ハンマ)

打撃工法としてディーゼルハンマにかわり主流となった油圧ハンマは、ラムを油圧シリンダで持ち上げて、油圧を開放して自由落下あるいは強制落下させてアンビルを打撃するものである。爆発音がない、ラムの落下高が低い、防音カバーなどの対策により、騒音レベルはディーゼルハンマより低く、油煙の飛散がな

いなどの特長を有する。[図 5.5.5](#) は音圧レベルと周波数の関係を示したもので、油圧ハンマは高周波数帯での音圧レベルが小さいことがわかる。このため、油圧ハンマは、ディーゼルハンマに対し騒音レベルで 10～15dB 小さく、ソフトな音に感じられる。

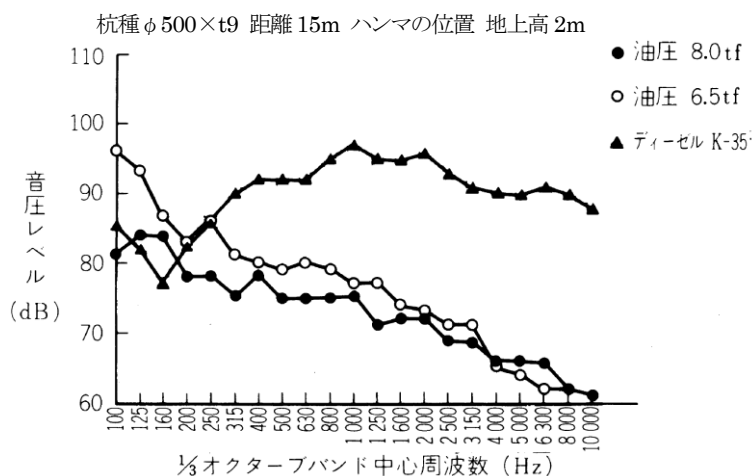


図 5.5.5 音圧レベルと周波数の分析 (出典 [5.5-①](#))

(2) バイブロハンマ工法

バイブロハンマの騒音は、打撃式ハンマよりはるかに低く、[図 5.5.4](#) に示すように騒音規制値である 85dB 以下になる減衰距離は 10～15m 程度で、30m 離れると騒音レベルは約 70dB 程度である。

(3) 中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法

中掘り杭工法や鋼管ソイルセメント杭工法などの鋼管杭の埋込み杭工法では、アースオーガを装備した 3 点支持式杭打機によって地盤を掘削することがほとんどである。アースオーガはエンジン付発電機で駆動することが多く、その騒音はオーガの回転音と発電機、杭打機のエンジン音が重なったものである。[図 5.5.6](#) はアースオーガ作業のときの騒音レベルを示したもので、商用電源または防音型発動発電機を用いた場合には、40m 地点で 65dB 程度である。これは、[図 5.5.4](#) の値とも一致している。通常の発動発電機を用いた場合には 40m 地点で 10dB 程度、騒音レベルが高くなり、周辺機器の騒音にも注意を払わなければならない。

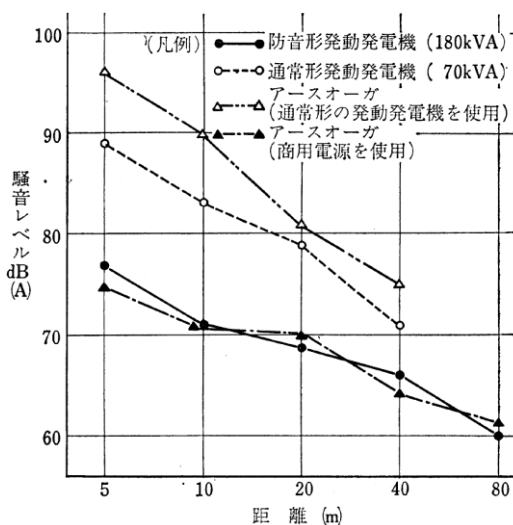


図 5.5.6 アースオーガと発電機の騒音 (出典 [5.5-②](#))

(4) 回転杭工法

回転杭工法では、3点支持式杭打機などに装備した回転駆動装置により施工する場合と、全回転機で鋼管胴体部を把持して回転させる胴体回転方式（以下、全周回転機）により施工する場合があるが、いずれの場合も杭を地中に貫入する際に衝撃を発生せず、低騒音施工が可能である。

騒音レベルは図5.5.4に示すように30m地点で約65dB程度である。

5.5.3 振動

1. 振動の大きさの表わし方

振動の場合は、音と異なり変位、速度、加速度の物理量があり、何を測定評価の対象とするかは目的によって異なる。また、振動には方向と大きさがある点も音と異なる点である。振動公害については物理量として加速度（振動規制法では鉛直方向加速度を対象としている）を用いるが、加速度の時間的変化に対して人がどのように感じるかという心理的反応の問題が騒音と同様に生じる。そこで、心理的反応が物理量の対数に比例するという知見（ウェーバー・フェヒナーの法則）に基づき、加速度の大きさそのものではなく、ある基準値に対する振動加速度実効値の比（エネルギーの比）の常用対数を用いてdB（デシベル）表示したものが用いられる。

$$L_{va} = 10 \log (a^2 / a_0^2) = 20 \log (a / a_0) \quad (\text{dB}) \quad \text{振動規制法では基準値 } a_0 = 10^{-5} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

※海外では異なる基準値が用いられていることがあるので注意

また、音の場合の等ラウドネス曲線と同様に、JIS C 1510 振動レベル計^{5.5-9)}では、鉛直振動、水平振動についての振動感覚の周波数補正（基準レスポンス特性）が規定されている。

振動規制法の規制基準である75dBを地震動にたとえると、気象庁震度階級の震度2～3（加速度2.5～25gal）（旧震度階級で言えば震度Ⅱの軽震と震度Ⅲの弱震）の中間程度である。

2. 振動公害

杭打ち機械から発生する振動は、地盤を媒体として伝播してゆき、住宅などの構造物が揺れる。住宅の振動が中にいる人間に不快感を与えたり、住宅に損傷を与えたりすることがある。とくに木造家屋では周波数特性もあいまって振幅が増幅されることも多い。一方、地盤振動は幾何減衰（地下逸散減衰）と土粒子の摩擦等に伴う内部減衰により、振動レベルは振動伝播距離に伴って指数的に現象してゆくことが知られており、地盤性状、振動源からの距離や振動周波数が重要な因子となる。

3. 基礎工事の振動

杭打ち機械を動かせば地盤に振動が伝達される。機械の構造によって振動レベルには差があり、打撃工法やバイブロハンマ工法では大きい。各機械の振動レベルを図5.5.7に示す。

(1) 打撃工法

油圧ハンマ、ディーゼルハンマ共に、ラムでアンビルを打撃したときの振動が杭体を経て、地盤を振動させる。

図5.5.8はディーゼルハンマによる打込み時の振動レベル測定例である。この例では、中間に軟弱な地層を含む場合は発生する振動も大きく、振動レベルの大きさはN値の変化と多少似かよった傾向を示してい

る。これに対して、中間に軟弱な地層がない場合は発生する振動も小さく、振動レベルの変化も少ない。このように、振動は地盤の状況によって伝達の状態が異なり、騒音問題とは異なる難しさがある。打撃工法ときの地盤の振動と地盤条件との間には、おおよそ次のような傾向が認められる。

- ① 一般に地表付近の打込み時の振動が大きい。
- ② 軟弱な地層の上部にある硬い地層に打込むときは振動が大きくなる。

(単位：縦軸 dB 横軸 m)

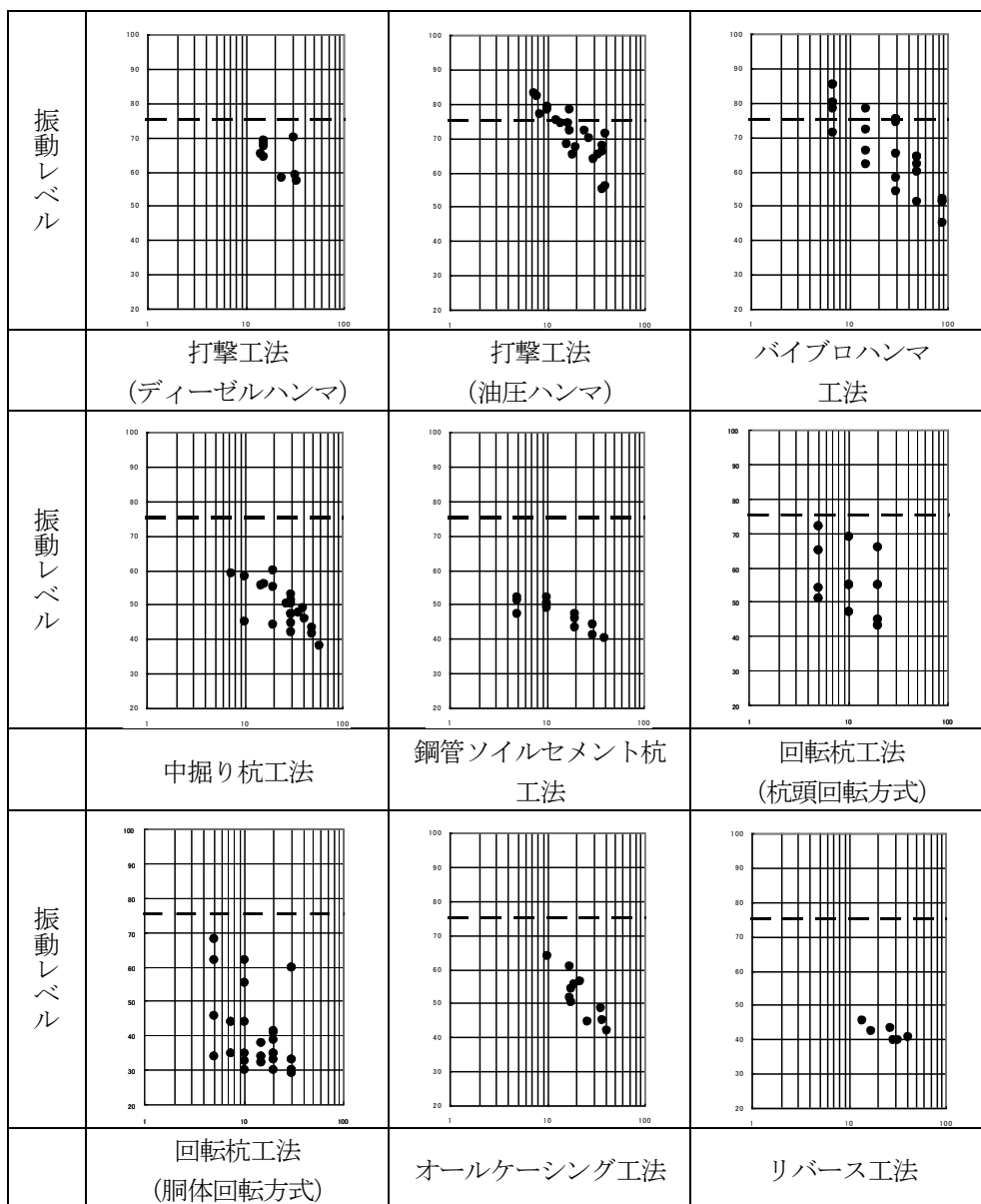


図 5.5.7 基礎工事用機械の振動レベル

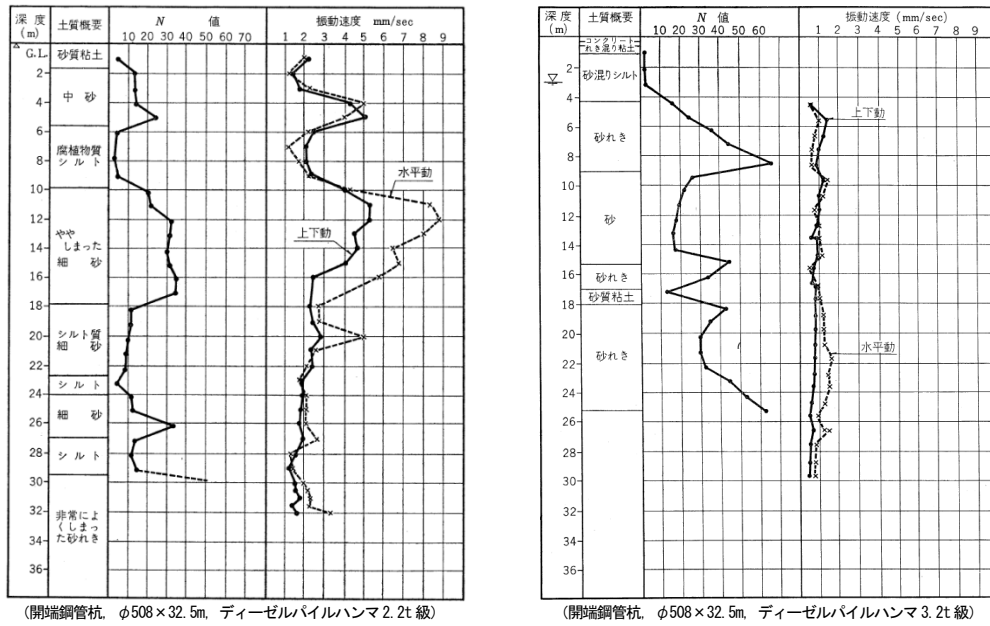


図 5.5.8 地盤と振動との関係 (出典 5.5-③)

(2) バイブロハンマ工法

バイブロハンマ工法は、上下方向に連続的な強制振動を杭に加えるものであり、バイブロハンマの容量によっては打撃工法の振動レベルと同程度となる。打込み位置から1~2mの至近距離に構造物がある場合は注意が必要であるが、[図 5.5.9](#)の例では20m以上離れると振動は規制値の75dB以下に減衰している。また、近年は機械の改良・開発が進み、現地の状況に応じ、種々の起振力や周波数特性のバイブロハンマを選択できるようになっている。機械規格ごとの振動レベルの目安を[表 5.5.4](#)に示す。

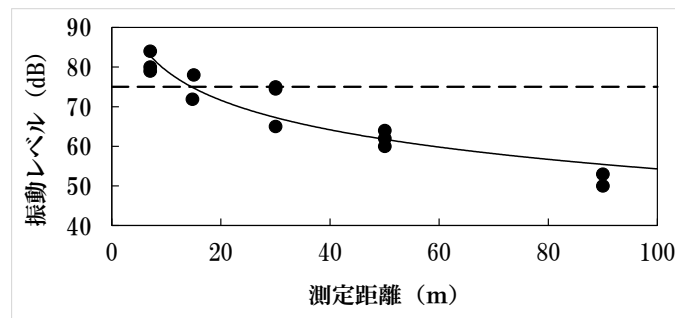


図 5.5.9 振動測定結果 (出典 5.5-④)に加筆・修正)

表 5.5.4 機械規格ごとの振動レベルの目安 (出典 5.5-⑤)

機種分類		出力	振動源から 7m 位置での振動レベル	
			バイブロハンマ単独工法 打込み施工時の目安値	ウォータージェット併用 バイブロハンマ工法 単独工法に対する低減値
電動式	普通型	60kW 以下	80dB	5dB～8dB 減
		90～120kW	85dB	
	可変モーメント型	60kW 以下	75dB	5dB～8dB 減
		90～120kW	80dB	
	180～240kW	85dB	7dB～10dB 減	
油圧式	可変超高周波型 (振り子式)	190・235kW	65dB	10dB～15dB 減

注 1) 振動レベルは目安の値であり、地盤条件と杭・矢板の規格により変化することに注意を要する。

注 2) 可変モーメント型と可変超高周波型は、起動・停止時の地盤共振振動を解消することを目的にゼロ起動・ゼロ停止機構を装備するバイブロハンマを示す。

(3) 中掘り杭工法、鋼管ソイルセメント杭工法

図 5.5.7 に示すように、中掘り杭工法および鋼管ソイルセメント杭工法の振動レベルは 60dB 程度以下であり、特に問題が生じるほどのものではない。

(4) 回転杭工法

図 5.5.7 に示すように、回転杭工法の振動レベルは打込み位置から 5m 以上離れると騒音規制基準値である 75dB 以下に減衰する。

なお、振動は地盤の状況によって発生する大きさと伝播の状態が異なるため、相対的な比較には注意を要する。

5.5.4 騒音・振動対策

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。

ここでは打撃工法についての例を示すが、打撃工法で使用す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。

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が必要である。



1. 騒音対策

(1) 油圧ハンマの騒音防止対策

杭打設用のハンマは油圧ハンマが主流となっている。騒音の発生源は、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5.5.1参照）や杭頭に被せるキャップの周辺またはハンマ全体を遮音材等で覆うような防音装置の事例がある。

油圧ハンマの騒音防止対策の例を表5.5.5に示す。また、最近の騒音防止の例を写真5.5.1に示す。

表 5.5.5 油圧ハンマの防音対策例

ハンマの種類	油圧ハンマ	油圧ハンマ
		IHC 社製 Sハンマ(90~280)
試験者	丸泰土木	オーク
防音の対象	ハンマ・杭	杭頭部
装置の概要	全体カバー	打撃部カバー
装置の重量	16 ton	110kg
装置の材質等	上部防音室 コルゲートパイプ t=2.7mm+吸音材 50mm	外装材:PVCコーティングポリエステル (グレー RAL7043 相当) 本体:高密度タイプ(HD/Extra Density) 防音カーテン
	下部防音室 鋼板 t=6.0mm+吸音材 100mm	
写真		
騒音低減効果	-30db	-10db

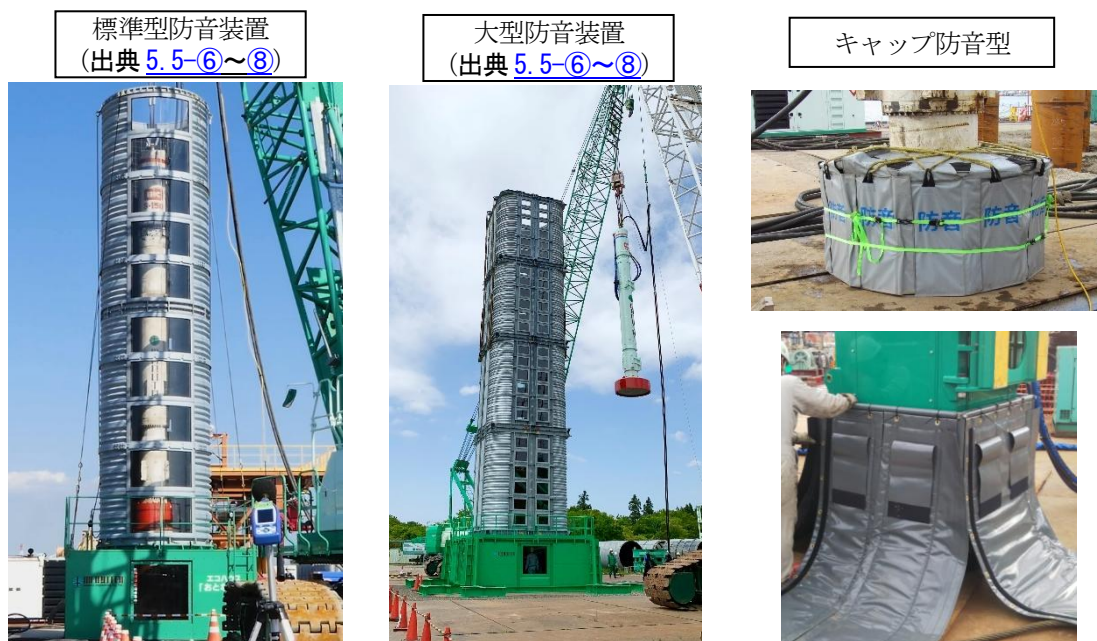


写真 5.5.1 防音装置の例

(2) バイブロハンマの騒音防止対策

バイブロハンマの騒音防止対策機として、国土交通省が低騒音型建設機械として形式を指定している。指定形式数は令和5年12月現在で45となっている。詳しくは、国土交通省のWebサイトで確認することができる。

2. 振動対策

(1) 油圧ハンマの振動防止対策





油圧ハンマの機械性能としての低振動機械は現存していない。油圧ハンマの機能から低振動のハンマの開発は困難と思われる。従って、振動問題が懸念される場合は極力その使用を控えることが必要となる。

(2) バイブロハンマの振動防止対策

バイブロハンマの振動防止対策機として、国土交通省が低騒音型建設機械として形式を指定している。指定形式数は令和5年12月現在で33となっている。詳しくは、国土交通省のWebサイトで確認することができる。

近年では、鋼管杭や鋼管矢板の大径長尺化に伴い、海外製の油圧バイブロハンマが多く導入されてきている。バイブロハンマは、鉛直度の修正が行いやすいことや騒音があまり大きくないという利点の他、高周波型は振動も比較的小さいことなどから使用頻度が増えてきている。また、起振・停止時の地盤やクレーンブームとの共振を回避できる可変モーメント式のものもある。大型油圧バイブロハンマの仕様(例)を表5.5.6に示す。

表 5.5.6 大型油圧バイブロハンマの仕様例

	単位	PVE-90VM	PVE-250MS	PVE-300M	HV-1200
形式	—	可変モーメント式 高周波型	高周波型	高周波型	高周波型
モータ出力	KW	1,202	1,130	1,633	708
偏心モーメント	kg・m	0~90	250	300	120
最大起振力	ton	457	548	628	263
総重量(標準)	ton	25	44	53	19
その他	—	世界最大	国内最大(陸上)	国内最大(海上)	国産最大
写真	—				

5.5.5 参考資料等

特定建設工事（杭打ち）の騒音と振動について、基本事項と実際について簡単に紹介したが、より詳しい情報や詳細な検討が必要となる場合も多い。環境省等から種々の有用な資料が公開されているので、以下にいくつか列記しておく。

表 5.5.7 建設工事の騒音・振動に関する参考資料の例

資料名等	発行者
建設工事に伴う騒音振動対策技術指針	昭和 51.3.2 建設省経機発第 54 号
振動に関わる苦情への対応	総務省、公害等調整委員会事務局編
よくわかる建設作業振動防止の手引き	環境省環境管理局大気生活環境室
建設作業振動対策の手引	環境省水・大気環境局 大気生活環境室
低周波音問題対応のための手引書	環境省環境管理局大気生活環境室
基礎工事中用機械の環境対策技術に関する調査結果報告書	一般社団法人日本建設機械施工協会
建設工事に伴う騒音振動対策ハンドブック（第3版）	一般社団法人日本建設機械施工協会
建設工事公害防止対策の手引き	一般社団法人日本建設業連合会
海洋工事における公害防止マニュアル	一般社団法人日本建設業連合会
海上工事で発生する振動が周辺海域の底生成物に及ぼす影響	海洋開発論文集、第 24 巻、2008.
Hydroacoustic Effects of Pile Driving on Fish — (Appendix)Compendium of Pile Driving Sound Data	The California Department of Transportation

参考文献

- 5.5-1) 厚生省・建設省：昭和46年 厚生省・建設省 告示1号「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」，昭和46年6月
- 5.5-2) 環境省：平成27年 環境省告示 第66号「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準（改正）」，平成27年4月
- 5.5-3) 総理府：昭和51年 総理府令 第58号「振動規制法施行規則」（令和3年改正），昭和51年11月
- 5.5-4) 環境省：昭和51年 環大特 第154号（環境事務次官通知）「振動規制法の施行について」（平成5年改正），昭和51年12月
- 5.5-5) 日本建設業連合会 公衆災害対策委員会，環境公害対策部会，建設三団体 安全対策協議会：建設工事公害防止対策の手引き（第12回改訂版），日本建設業連合会，2025年6月
- 5.5-6) 日本騒音制御工学会，日本規格協会：JIS C 1509-1 電気音響 -サウンドレベルメータ（騒音計）—第1部：仕様，2017年9月
- 5.5-7) 日本音響学会，日本規格協会：JIS Z 8731 環境騒音の表示・測定方法，2019年6月
- 5.5-8) 産業環境管理協会：公害防止の技術と法規（騒音編），2001年6月
- 5.5-9) 日本騒音制御工学会，日本規格協会：JIS C 1501 震動レベル計，2023年8月

出典

- 5.5-① 鋼管杭協会：鋼管杭の公害対策工法 鋼管杭協会編，p11 図-2・8，山海堂，昭和61年2月
- 5.5-② 鋼管杭協会：鋼管杭の騒音振動低減工法 鋼管杭協会編，p95 図-4・11，山海堂，昭和54年4月
- 5.5-③ 無音無振動基礎工法研究会：無音無振動基礎工法，p12 図-1・10／p13 図-1・11，鹿島研究所出版会，昭和44年4月
- 5.5-④ 津嶋敏明，高橋健二：パイプロハンマ工法の設計と施工，基礎工，Vol.30 No.5，p54 図-13，総合土木研究所，2002年5月
- 5.5-⑤ パイプロハンマ工法技術研究会：パイプロハンマ工法標準積算要領 令和3年度版，p2 表1-4，2021年10月
- 5.5-⑥ 丸泰土木：油圧ハンマの騒音防止装置【3号機】油圧ハンマの騒音防止装置の開発と普及について，パンフレット，2019年9月
- 5.5-⑦ 丸泰土木：油圧ハンマ騒音防止装置 エコハウス「おとなし君」* パンフレット，2019年11月
- 5.5-⑧ 丸泰土木：油圧ハンマ騒音防止装置 エコハウス「おとなし君」* メガ MEGA パンフレット，2021年6月

5.6 中掘り杭工法の施工および施工管理

5.6.1 一般

1. 概要

中掘り杭工法は、先端開放の鋼管杭の内部にスパイラルオーガ等を挿入し、これにより地盤を掘削しながら杭を所定深度まで沈設したのち、所定の支持力を得るために杭先端に所定の処理を行う工法である。杭先端の処理方法には、セメントミルク噴出攪拌方式、最終打撃方式、コンクリート打設方式がある。

セメントミルク噴出攪拌方式は、杭先端にセメントミルクを噴出し、地盤と攪拌混合して根固め球根を築造するもので、根固め球根を築造する方法には、低圧（1MPa 程度）でセメントミルクを噴出しオーガヘッドにより機械的に攪拌する方式（機械攪拌方式）と、高圧（20MPa 程度以上）でセメントミルクを噴出し攪拌混合する方式（高圧噴出方式）に分けられる。いずれの方式も根固め球根が地盤とよく密着し、確実に支持力を得ることができる工法である。[表 5.6.1](#) に鉛直載荷試験から設計上の支持力の扱いが確認され、施工管理手法が確立されている代表 5 工法の概要を示す。また各工法の施工手順を [図 5.6.1](#) ~ [5.6.6](#) に示す。

最終打撃方式は、中掘りで支持層付近まで沈設した杭を最終打ち止め深度まで打撃により打込むものであり、杭の打込みには杭打機に備え付けられたモンケン（ドロップハンマ）または油圧ハンマを用いる。

コンクリート打設方式は、杭先端部の所定の範囲の鋼管内にコンクリートを打設して杭先端を閉塞させるものである。コンクリート打設方式は、一般にセメントミルク噴出攪拌方式や最終打撃方式での施工が困難な場合に適用される。

表 5.6.1 代表 5 工法の施工方法（概要）

工法名称	TAIP 工法	TN 工法	TBS 工法		FB9 工法	KING 工法
工法の概要	杭先端部に仮固定した先端刃シャフトにより杭本体と共に回転しながら中掘りを行い、杭を所定深度まで沈設する。その後、杭先端部を掘削し、連続してセメントミルクを低圧噴出することにより根固め球根を築造する工法。	杭内径よりも小さいヘッドを付けたスパイラルオーガを用いて中掘りを行い、杭を沈設した後、先端根固め部にセメントミルクを高圧噴出することにより拡大根固め球根を築造する工法。	RPタイプ 特殊拡翼機構をもつビットを取付けたスパイラルオーガにより中掘りで杭を支持層まで沈設したのち、支持層を拡大掘削しセメントミルクを低圧噴出し、攪拌混合して拡大根固め球根を築造する工法。	RBタイプ	管内付着泥土を除去するクリーニング装置と拡翼機構をもつ拡大ヘッドを取付けたスパイラルオーガにより中掘りで杭を所定深度まで沈設した後、支持層を拡大掘削して、先端部よりセメントミルクを低圧噴出し、攪拌混合して拡大根固め球根を築造する工法。	特殊拡翼機構をもつビットを取付けたスパイラルオーガを用いて中掘りを行い、杭を所定深度まで沈設した後、杭先端部を拡大掘削し、連続してセメントミルクを低圧噴出し、攪拌混合することにより拡大根固め球根を築造する工法。
施工順序	図 5.6.1	図 5.6.2	図 5.6.3 図 5.6.4		図 5.6.5	図 5.6.6

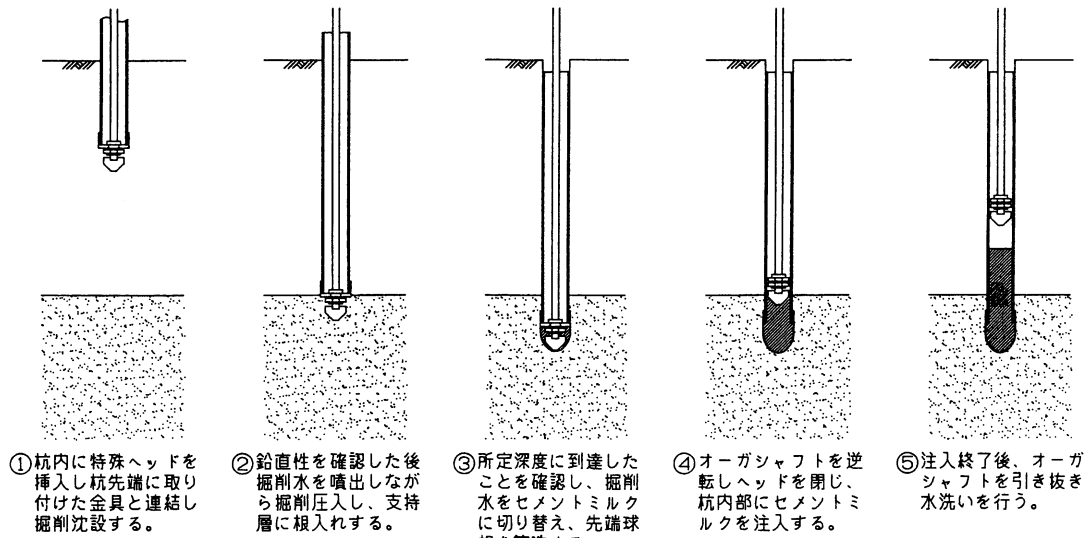


図 5.6.1 TAIP 工法施工順序 (出典 5.6-①)

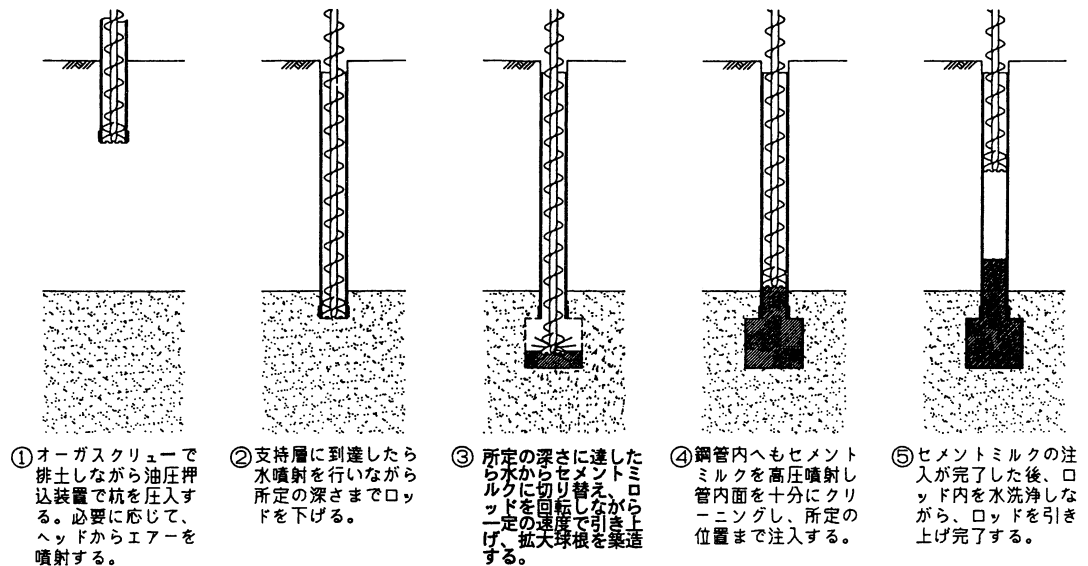


図 5.6.2 TN 工法施工順序 (出典 5.6-①)

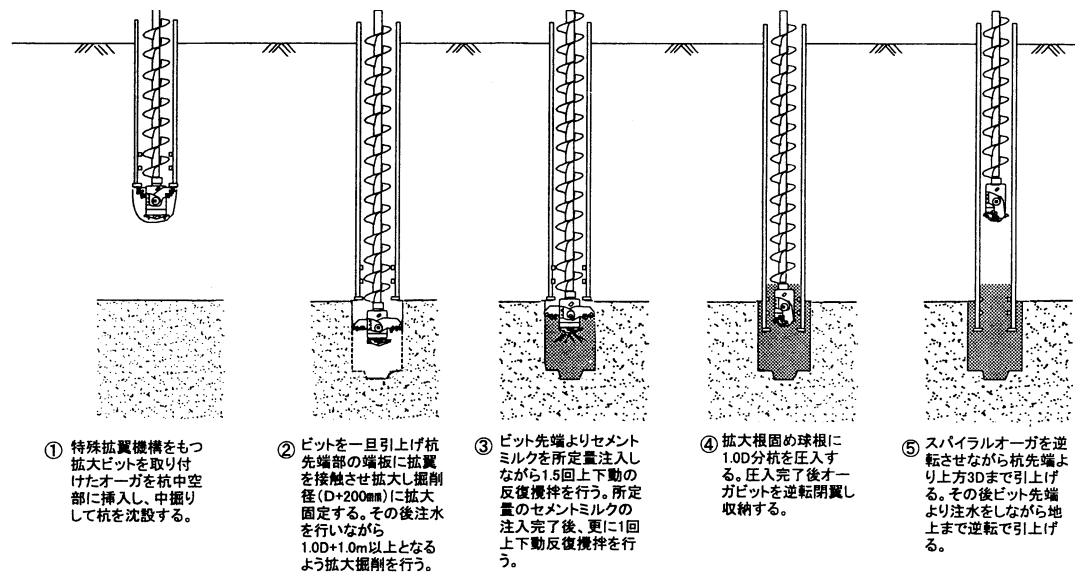


図 5.6.3 TBS 工法 (RP タイプ) の施工手順 (出典 5.6-①)

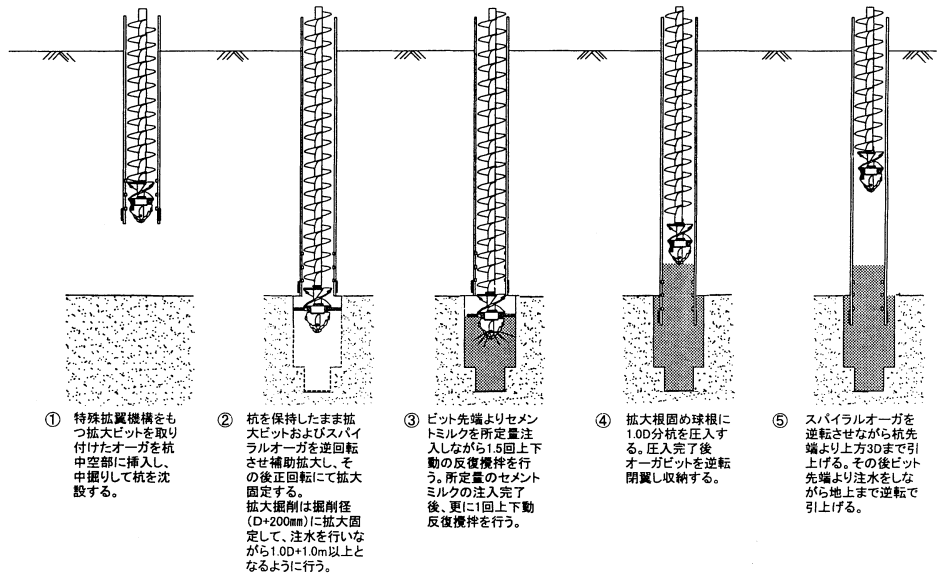


図 5.6.4 TBS 工法 (RB タイプ) の施工手順 (出典 5.6-①)

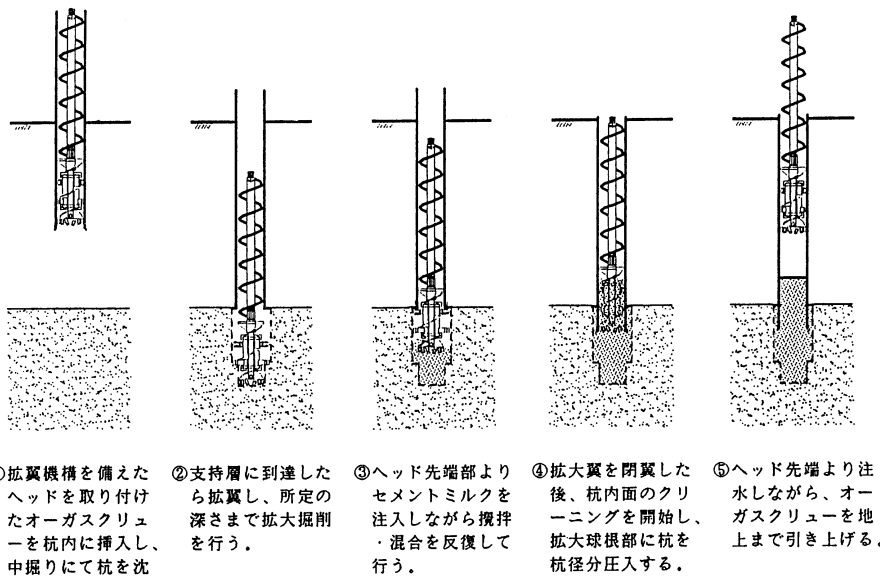


図 5.6.5 FB9 工法の施工手順 (出典 5.6-① : 施工管理要領)

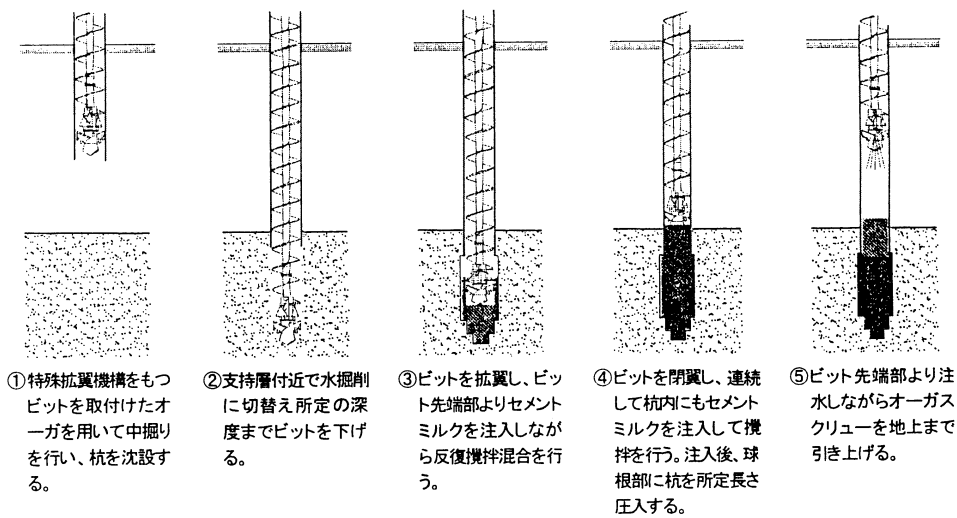


図 5.6.6 KING 工法の施工手順 (出典 5.6-①)

2. 施工手順

中掘り杭工法の施工は、建込み、中掘り沈設、先端処理の 3 つの主要工程から成る。実際の施工手順には、先端処理までを一連の施工工程で実施する「1 工程方式」と、先端処理を分離して行う「2 工程方式」がある。「1 工程方式」はセメントミルク噴出攪拌方式の鋼管杭や最終打撃方式のモンケン打設の場合に、「2 工程方式」はセメントミルク噴出攪拌方式の鋼管矢板基礎やコンクリート打設方式で使用される。

中掘り杭工法の「1 工程方式」を図 5.6.7 に、「2 工程方式」を図 5.6.8 に、セメントミルク噴出攪拌方式の「1 工程方式」の標準的な場合の施工手順図を図 5.6.9 に示す。なお、最終打撃方式は、打込み工法に準拠し、コンクリート打設方式は、場所打ち杭に準拠する。

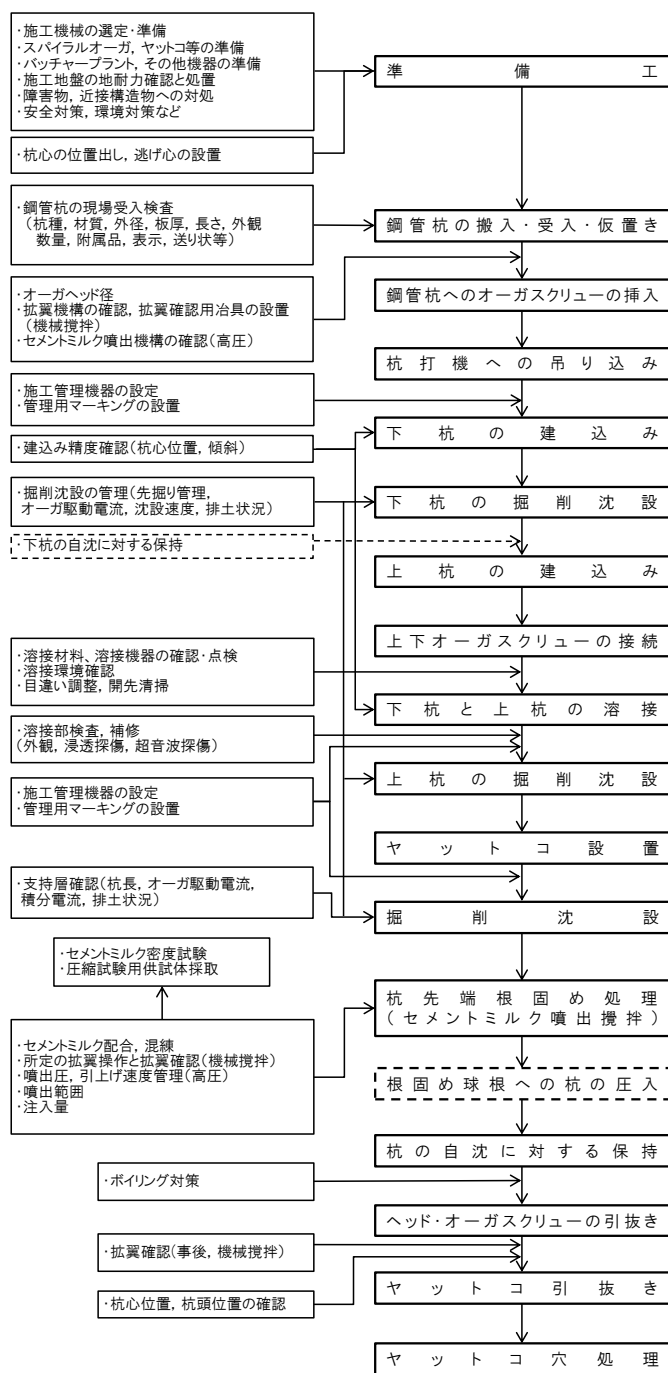


図 5.6.7 標準的な施工フロー（1 工程方式）（出典 5.6-②）

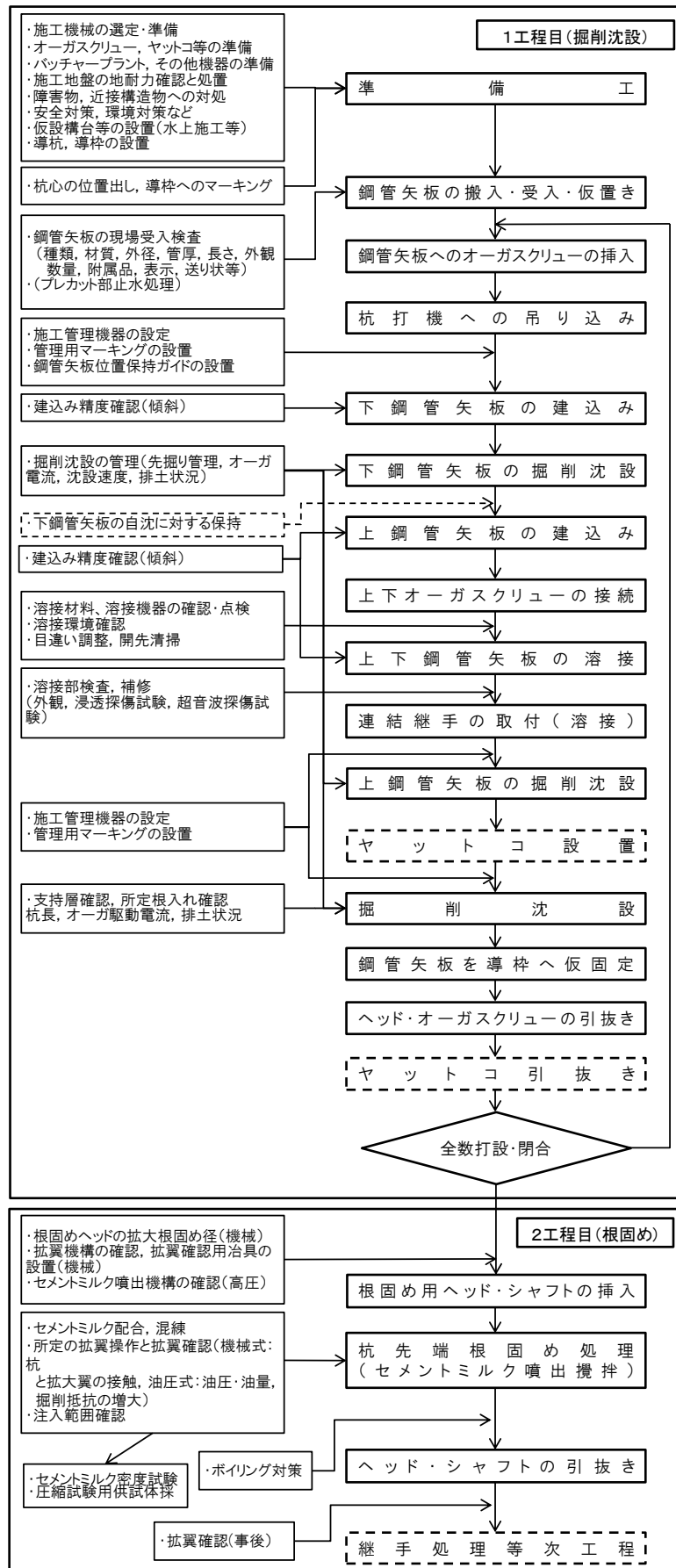


図 5.6.8 標準的な施工フロー (2工程方式) (出典 5.6-③)

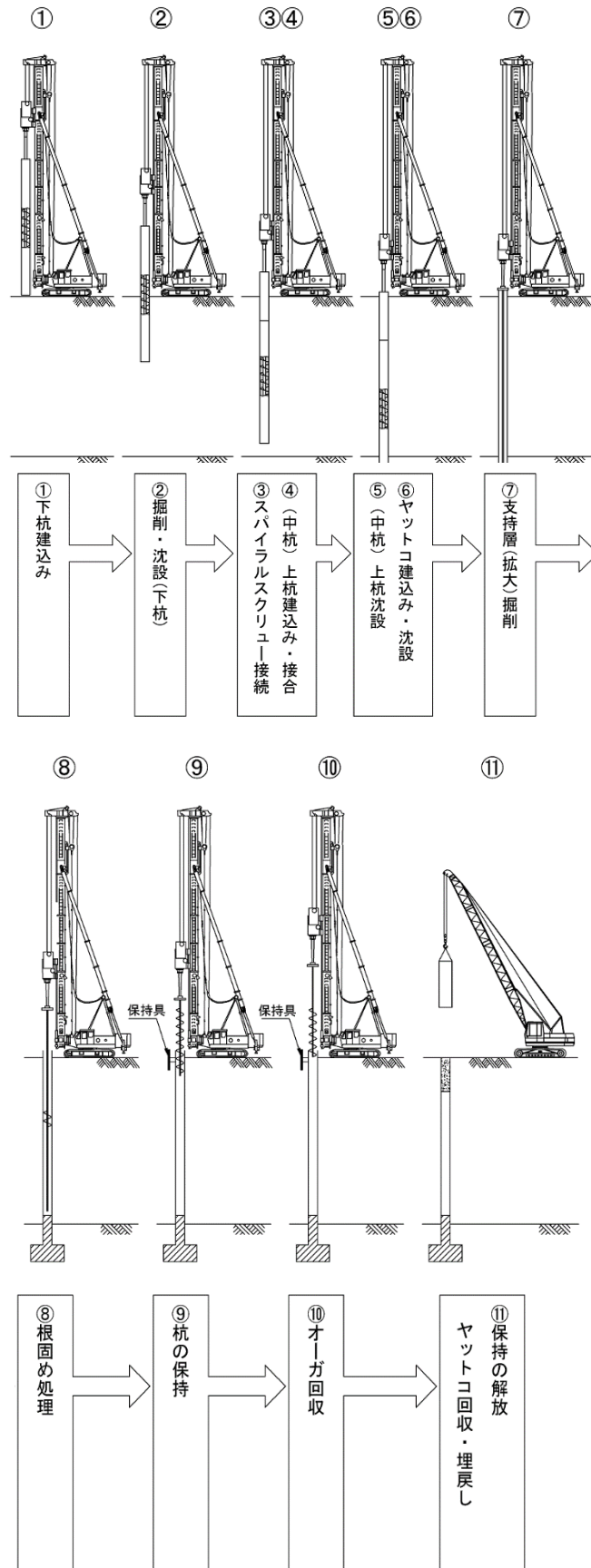


図 5.6.9 標準的な施工手順図(セメントミルク噴出攪拌方式、1工程方式)

3. 施工機械

施工機械の選定にあたっては、施工する杭の形状、長さ、数量や地盤の硬さ、中間層の有無、地下水位等の地盤条件を考慮する。また、作業ヤードの広さ（組立・分解ヤードを含む）、運搬道路の幅員等も同時に考慮する必要がある。最適な施工機械の選定において考慮する要因が多く、かつ地盤の複雑さから一律に選定図表等で規定できないため、できる限り現地調査を行うとともに、条件が類似している施工例等を参考にして施工機械の能力・仕様を決めなければならない。

セメントミルク噴出攪拌方式による中掘り杭工法に使用する主要な施工機械は、杭打機、補助クレーンおよび杭先端の根固め処理用のセメントミルクプラント等である。図5.6.10にセメントミルク噴出攪拌方式の施工で使用する施工機械・設備の例を、表5.6.2に杭打機と駆動装置の組合せ例を、表5.6.3に機器電容量と発動発電機の仕様例を示す。

最終打撃方式では、杭打機に備え付けられたモンケン（ドロップハンマ）や油圧ハンマを用いる。油圧ハンマの詳細は5.9 打撃工法の施工および施工管理を参照されたい。また、コンクリート打設方式では、排土・洗浄のためにバケット、ハンマグラブ、サクシオンポンプ、エアリフト等があり、コンクリートの打設のためにトレミー管、コンクリートポンプ車等を用いる。

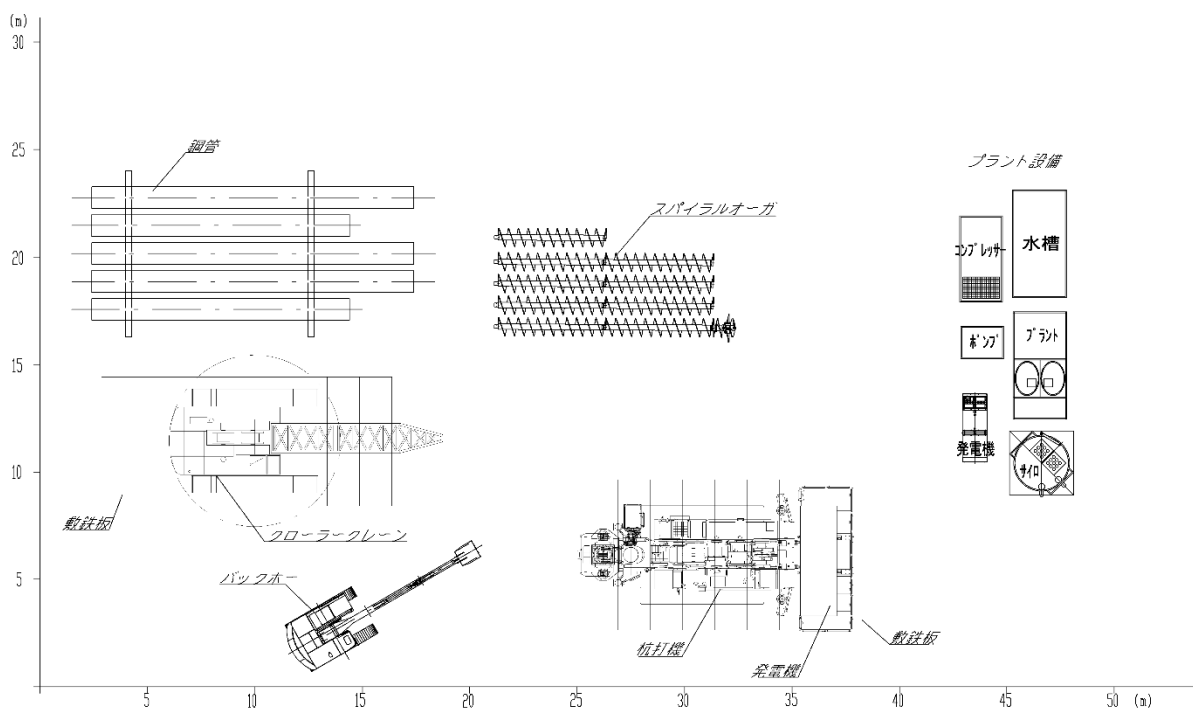


図 5.6.10 中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）の機械構成例

表5.6.2 杭打機と駆動装置の組合せ例

杭径(mm)	φ 400以上 φ 800未満	φ 800以上 φ 1000以下	φ 1000超 φ 1200まで
機器			
杭打機	100t クラス	120t クラス	135t クラス
駆動装置 (オーガ出力)	45~90kW	60~150kW	110~180kW

表5.6.3 機器電気容量と発動発電機の仕様例

用途		仕様 (kVA)	質量 (t)	機関出力 (kW)
オーガモータ	55kW	200	3.54	195
	90kW	300	4.40	248
	110kW	450	7.80	385
セメントミルクプラント		75	1.72	69
交流アーク溶接機	1台	100	1.88	92
	2台	125	2.13	117

注) 機器の最大容量で発動発電機の容量を決定する。
排出ガス対策型を用いる。第2次基準値、第3次基準値適合のものを用いることが望ましい。

4. 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。

セメントミルク噴出攪拌方式による中掘り杭工法では、鋼管杭から杭先端に形成される根固め球根への荷重伝達を確実にを行う目的で、平鋼、鉄筋や端板リングを杭先端支圧材として鋼管杭内面あるいは先端に取付ける。この先端部仕様は個別工法で異なる形状となっており、各工法の規定に従う必要がある。鋼管先端部へ取り付ける材料は、工法、地盤、杭径によっては取付けない場合もあり、取付ける場合であってもその形状、数量等の仕様が工法によって異なるので注意を要する。

代表5工法における鋼管先端部の標準仕様については、1.2.2 杭の種類による分類 1. 鋼管杭中の図 1.2.3 に記載してあるので参考にされたい。

5. 根固め液（セメントミルク噴出攪拌方式）

(1) セメント

根固め（鋼管内への打設部も含め）は、杭先端部と支持地盤を一体化させるとともに、杭先端部での力の伝達を受け持つ重要な構造部材であり、根固め液（セメントミルク）には、JIS R 5210 ポルトランドセメントに規定されるポルトランドセメント（普通、早強）または JIS R 5211 高炉セメントに規定される高炉セメントを使用することを標準とし、その取扱いならびに配合・練混ぜ等の管理は確実にを行う必要がある。

なお、セメントミルクの配合改質のために、JIS R 5212 シリカセメントや JIS R 5213 フライアッシュセメントを用いても良い。

また、地下水や逸水層の存在が問題となる場合には、セメントミルクの分離抵抗性・粘性を改善するために増粘剤等の薬剤を添加する場合もあるが、混練条件、圧送・噴出性、強度、硬化特性等について事前の確認が必要である。

(2) 練混ぜ水

練混ぜに用いる水は、水道水またはセメントミルクの品質に悪影響を及ぼさない水を使用することを原則とする。河川水、地下水、海水等を使用する場合は、油分、pH、有機物等セメントミルクの品質に悪影響を及ぼす物質を含んでいないか、強度、耐久性、凝固性や施工性などに問題が生じないかを確認する必要がある。

(3) 根固め液（セメントミルク）の配合

根固め液は、所定のプロセスで配合・練混ぜを行う。水セメント比は通常 60～70%程度の範囲である。代表5工法における根固め液の配合例や品質管理については、（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 3.0]」（令和3年）^{5.6-1)}（以下、「中掘り杭工法 施工管理要領」という）などを参考にするとよい。

6. コンクリート（コンクリート打設方式）

鋼管杭先端部杭内に打設するコンクリートは、JIS A 5308 レディーミクストコンクリートに規定されるレディーミクストコンクリートを用いることを標準とする。

なお、コンクリートは水中施工されることを前提として、場所打ちコンクリート杭および地中連続壁に関して規定されている呼び強度 30N/mm²、設計基準強度 24N/mm²以上のものを用いるものとする。

5.6.2 施工方法

1. 杭心出し

杭の建込みにあたっては、まず設計図書に示された杭心の位置を確認しなければならない。杭心の測量は監督員の立ち合いのもとで、元請技術者が設計図書に基づき行い、杭心位置を示す標示杭を設置する。なお、軟弱地盤上での施工では、標示杭が施工中に動くおそれがあるため、毎回基準点から移動についての有無について確認するのがよい。

標示杭の設置例を [図 5.6.11](#) に示す。なお図中のように、頭部にリボンまたは着色したハリガネを巻き付けておくと、杭打機の据付および杭心位置の確認が容易となる。

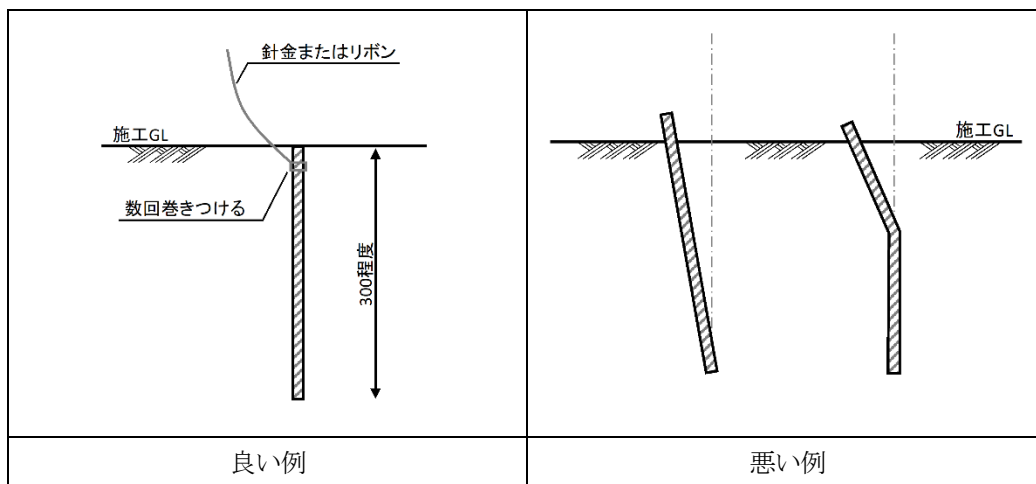


図 5.6.11 標示杭の設置例（出典 [5.6-④](#)）

また、同一の施工現場で杭径等が異なる場合は、図中の着色ハリガネおよびリボンの色を杭径ごとに覚えて表示するとよい。

標示杭の設置は、施工機械の搬入前に行い、杭工事管理者は設計図書と照らし合わせて確認後、施工機械の据付を行う。なお、杭心位置によって杭の施工が困難と判断された場合には速やかに監督員に連絡し指示を求める。

2. 鋼管杭の建込み

鋼管杭の建込みは、杭打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。

鋼管杭の中掘り杭工法では掘削土が発生するため、[図5.6.12](#)に示すように杭心位置から離れた場所に逃げ心を堅固に設置する。また、近接杭の施工によって杭心や逃げ心が移動しないよう鉄筋等を地中に十分打込むとともに、誤認がないような措置をとる。

鋼管杭は、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、杭心位置には杭外周と同径の円を、石灰等を用いて描き、その円周に合わせて鋼管杭を建込む。また、直交2方向に逃げ心を設置し、[図5.6.13](#)に示すように逃げ心からの距離を計測して杭心位置の確認を行う。

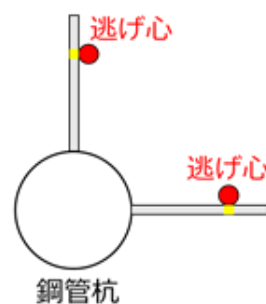
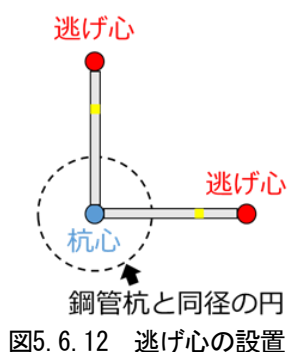


図5.6.12 逃げ心の設置

図5.6.13 杭心位置の計測

杭の鉛直性の確保も重要で、直交2方向から常に杭の鉛直性を確認しながら、杭の建込み、沈設を行う。杭が地盤中に沈設されてゆくと地盤の拘束によって杭の鉛直性の修正は難しくなるので、特に建込みから沈設初期の管理、必要に応じて建て直し修正を行うことが重要となる。

3. 中掘り沈設

中掘り杭工法は、杭中空部に挿入したオーガによって杭先端地盤を掘削し、掘削した土砂を排出しながら、杭の自重および圧入によって杭を所定深度まで沈設する。杭先端地盤を過度に掘削すると地盤を緩めたり、周面摩擦抵抗の低下を招いたりするおそれがあるため、例えば（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年度改訂）」（平成29年）^{5.6-2}（以下、「道路橋示方書・同解説 下部構造編」という）や「杭基礎施工便覧」^{5.6-3}では、沈設過程でのオーガ掘削範囲は杭外面（フリクションカッター一厚を含める）を超えないこと、杭先端からの先行掘りは1m程度以下に留めること、掘削水や補助エアの噴出圧や噴出量に注意すべきこと等が記載されている。また、ボイリング発生によって地盤の乱れや緩みが生じるおそれもあるので、鋼管先端部での圧力バランスや、被圧層の打ち抜きには十分注意が必要である。

中掘り沈設は、鋼管杭の鉛直性を確保しながら杭周辺地盤を緩めたりしないように注意して掘削沈設を行うとともに、土質柱状図を参考に、施工中に得られるオーガ駆動電流値、貫入速度等の施工管理機器での情報や排土状況等に基づき地盤性状の把握に努める。

適切な掘削沈設速度は杭径や土質条件によっても異なるが、[表5.6.4](#)の速度が目安となる。これを参考に試験杭において現場に適した掘削沈設速度を判断する。

なお、掘削可能なれき径は鋼管内径の1/5程度以下であるが、実際のれき径がボーリング調査の結果より大きい可能性もあるので注意が必要である。中間層における中掘り沈設の施工性の目安を[表5.6.5](#)に示す。

表5.6.4 掘削沈設速度の目安

地質	掘削沈設速度 (m/分)
シルト, 粘土, ゆるい砂	0.5~4
かたい粘土, 中密砂	0.5~3
密な砂, 砂礫	0.5~2

表5.6.5 中間層における中掘沈設の施工性の目安

地盤条件		施工可否
粘性土	10<N	施工能率の低下
	N=30 程度	極端な施工能率の低下
砂質土	30<N	施工能率の低下
	N=50~100 程度	3m 程度の貫入施工で極端な施工能率の低下
礫質土	30<N で D/5 程度以下の礫がまばらに分布	5m 程度の貫入施工で施工能率の低下
	50<N が連続し, 礫が密に分布	施工困難
	D/5 程度以上の玉石が分布	施工困難

4. 先端処理

(1) セメントミルク噴出攪拌方式

杭先端根固め処理は、支持力性能に大きく影響を与えるため、その施工に際しては各工法の施工手順に従い、確実に実施することが重要である。根固め球根の所要の強度や形状を確保するために、セメントミルクの配合や噴出量、支持層地盤との攪拌混合等、その施工管理や品質管理には十分注意しなければならない。

根固め球根の形状・寸法やセメントミルクの配合、注入量等は各工法で杭径毎に定められているのでそれに従う。

特に、地下水の流速が大きい場合には、セメントミルクの流失やセメント分が洗われる現象、固化体形状不整の発生等が懸念されるため、事前の地下水状態の調査検討や施工中の管内水位やセメントミルク注入状況の確認などに留意し、必要に応じて未固結試料の採取による確認等も管理手法として検討すべきである。

(2) 最終打撃方式

[5.9 打撃工法の施工および施工管理](#)に準拠する。ただし、中掘り杭工法から打撃工法に切替える深度は慎重に検討する。「道路橋示方書・同解説 下部構造編」では「打込み杭工法と同程度の閉塞効果を確保するために、支持層上面から杭径の3倍程度以上を残して中掘りから打込みへ切替えるのがよい。」とされている。切り替えの深度は試験杭施工時に打ち止め管理基準とともに決定する。また、中掘り沈設と打撃による打ち込みを別のタイミングで行う2工程方式を採用する場合には、先行した杭が中掘り沈設終了後、支持層に到達していない状態（特に軟弱地盤上にある状態）のまま近傍に別の杭を打設すると、先行した杭を動かすおそれがあるため注意が必要である。

騒音・振動が問題とならない場合には、一般に、経済的にも工程的にも打撃工法が有利になる。中掘り杭工法が採用されるのは、騒音・振動等の問題で打撃工法が採用し難い場合が多いことから、最終打撃方式での先端処理の位置付けは微妙である。支持層が中掘り掘削沈設が困難な硬質な地盤の場合や根固め球根築造に適さない粘性土地盤のような場合に、打撃施工を先端処理のみに限定することで騒音・振動問題を回避できる条件が整えば最終打撃方式が検討されるものと推測される。打撃施工に適した鋼管厚等を確保しておく必要があるため、設計段階から十分な検討が必要である。

(3) コンクリート打設方式

コンクリート打設方式における先端処理は以下の手順で行う。なお、コンクリート打設方式はセメントミルク噴出攪拌方式での根固め球根の築造が困難なような硬質支持層等の条件に適用されることが多く、先端の極限支持力度も大きいことから、こうした場合には、先端部鋼管内面に支圧材を設けて管内コンクリートと鋼管の一体性を確保することが提案されており、(国研) 土木研究所他「岩盤を支持層とする杭基礎の設計法・施工法に関する共同研究報告書」(平成31年)^{5.6-4)}(以下、「岩盤を支持層とする杭基礎の設計法・施工法に関する共同研究報告書」という)中の4.3中掘り杭工法コンクリート打設方式の適用性および参考資料6. 鋼管先端内面のずれ止めについてを考慮した施工・施工管理が必要となる。

1) 管内土の排出・管内洗浄

杭内に残っている土の排出をスパイラルオーガ、ハンマグラブ、バケット等で行った後、鋼管内部の支圧材とコンクリートとの付着力を確実に得るために、鋼管杭内面の洗浄を清掃用ブラシやウォータージェット等により、コンクリートの充填区間以上行うものとする。

2) 孔底処理

孔底の凹凸や掘削屑の取り残しなども念頭に、1次処理として底浚いバケットやサンドポンプによる孔底沈積物(土砂やスライム)の排出を行う。また、2次処理としてポンプやエアリフトによるスライム除去、必要に応じて沈積バケットによる泥水中の浮遊分の沈積除去を行う。

孔底処理に際しては、最初に孔底位置を検測して杭先端以上に過掘りされていないことを確認するとともに、底浚いの作業位置などを確認したうえで処理作業を管理し、孔底処理後に最終的な孔底位置、スライム量を検測・確認する。

3) 杭先端へのコンクリートの打設

コンクリート打設の際には、落下による材料分離を起こさないようにトレミー管による打設とし、コンクリートの打設中は、トレミー管の先端を常にコンクリート内に挿入した状態を保つ。

「杭基礎設計便覧」^{5.6-5)}には「杭体内部に打設するコンクリートの強度および充填範囲、杭体内側の構造については、設計で想定する杭先端の極限支持力度の特性値 qd に相当する力が作用した場合にも、杭体と充填コンクリートとの一体化が確保される構造としなければならない」旨が記載されている。そのため、例えば鋼管内面には支圧材(ずれ止め)を設け、コンクリートは余盛り部分を含めて孔底から最上段支圧材位置+500mm以上上方まで充填する等の処置を行う必要がある。

また、コンクリート打設は、孔底の処理後に泥水中の泥分が沈降してスライムがたまることのないように、孔底スライムが除去されたことを確認した後、時間を空けずに実施する。なお、打設するコンクリート量はロス率を考慮して設定する。

4) 鋼管先端部の支圧材(ずれ止め)

従来、コンクリート打設方式の先端構造は鋼管先端に支圧材を設けず、鋼管内径 d の4倍以上のコンクリートを打設していたが、その仕様設定に明確な根拠がなく、岩盤支持層のように大きな支持力が期待できる場合に、鋼管内面とコンクリートとの付着のみでは先端閉塞が十分に確保できないおそれがあった。

そこで、コンクリート打設方式においても、セメントミルク噴出攪拌のように鋼管先端部に支圧材を設けるものとした。支圧材の高さ・ピッチ・段数等の仕様設定は、多数の鋼管内コンクリートの押抜き試験結果から提案された(公財)鉄道総合技術研究所:「鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの

複合構造物」(平成28年) 5.6-6) における付着強度の算定式を準用することとした。なお、算定式は「中掘り杭工法 施工管理要領」の付録 G 8. 鋼管先端部の支圧材が参考となる。

5. 杭の保持

セメントミルク噴出攪拌方式では杭の根固め球根への定着直後は、杭の先端抵抗や周面抵抗が期待できないため、所定深さより深く杭が自沈するおそれがある。対策として、杭が安定するまでの間、所定の位置に杭を保持する。一般に、杭頭部付近あるいは杭と連結したヤットコ部分にストッパー（受け治具）を取り付け、敷き鉄板や杭保持装置等に固定しておく方法が取られる。杭の保持解除の判断は、例えばストッパーと敷鉄板等の間に数枚の鉄板などの仮受け治具を設置しておき、一定時間間隔で仮受け治具を取り外し、杭が沈下しないことを確認する方法がある。杭保持方法の例を図5.6.14に示す。

杭を保持しておくべき時間は地盤状況等によっても異なり、試験杭において保持時間の目安等を慎重に検討・判断し、本杭の施工に反映させることが必要である。

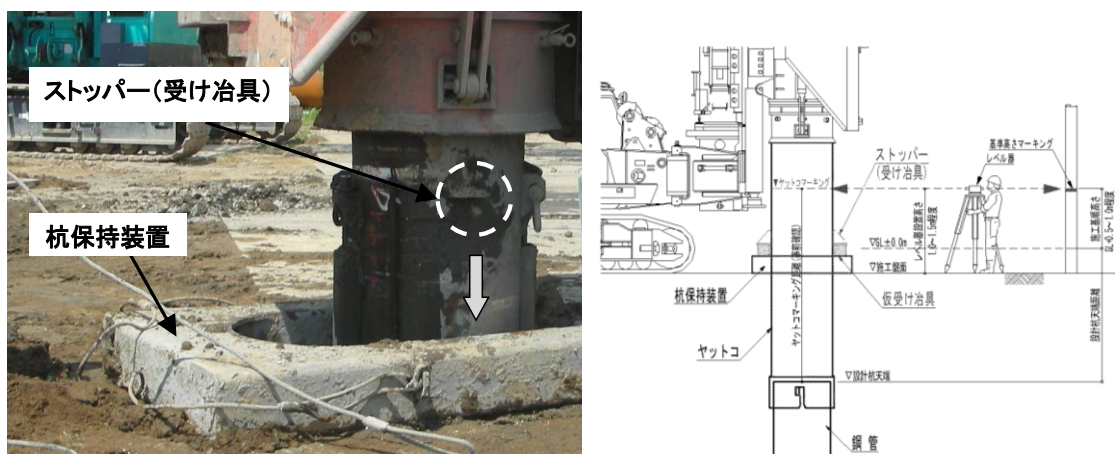


図5.6.14 杭保持方法の例

6. 排出土

中掘り杭工法では、管内土を連続したオーガスクリューで排出しながら杭を沈設した後、根固め液（セメントミルク）を注入し、根固め球根を築造する。したがって、杭沈設時と根固め球根築造時に排出土が発生する。

一般に、杭沈設時に排出された掘削土の一部は、施工完了後に杭体内に埋め戻される。この埋め戻しを行った場合、杭沈設に伴う排出土は、土質によって変動するが、杭体積（掘削体積）のおおよそ40%程度である。また、根固め球根築造時には注入した根固め液（セメントミルク）量に相当する量の排出土が発生する。したがって、排出土量は、掘削体積×0.4+根固め注入量、が一つの目安となる。なお、排出土は、現場の埋戻し材等として再利用するか、産業廃棄物として適正に処分する。

5.6.3 施工管理

1. 一般

中掘り杭工法においては、施工完了後の出来形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極めて重要である。

すなわち、周到な施工計画の下で、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鋼管杭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の実態・情報、管理データを施工記録として確実に保存することが求められる。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。

中掘り杭工法の施工管理の具体的方法や留意点等の詳細については、「鋼管杭—施工と施工管理—」^{5.6-7)}や「中掘り杭工法 施工管理要領」などを参考にするとよい。

2. 試験杭

[5.3 試験杭](#)を参照のこと。

3. 施工管理項目

中掘り杭工法の主要な施工プロセス管理項目を[表5.6.6](#)および[表5.6.7](#)に示す。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。なお、最終打撃方式の先端処理の施工管理項目は打撃工法と同様であり、先端コンクリート打設方式の施工管理項目は、「中掘り杭工法 施工管理要領」の付録Gが参考となる。

杭工事管理者は、これらの施工管理項目について自ら、または管理・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必要がある。

施工プロセスの記録は、数値等で表現できない項目も多いため、こうした場合にはチェックリストでの実施チェック記入や写真やビデオ等での実施記録も活用するのがよい。

表5.6.6 中掘り杭工法の標準的な施工管理項目と管理基準（先端処理以外）

区分	対象	管理項目	管理方法	管理基準	
材料	鋼管杭	杭種, 材質等	鋼管表示の確認	設計図書, 施工計画との照合	
		外観検査	目視	変形等有害な損傷がないこと	
		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	
施工 機械 ・ 装置	スパイラル オーガ	スパイラルスクリュー径, 損傷の有無	スケール等による測定, 目視	杭内径 -20 ~ -100mm, 使用上問題がないこと	
	オーガヘッド	機械攪拌方式: ヘッド径, 拡翼機構	スケール等による測定	閉翼時: 杭内径未満 拡翼時: 所定径 0 ~ +20mm	
		高圧噴射方式: ヘッド径, 噴出機構	スケール等による測定 目視, 地上での試噴出試験	ヘッド径: 杭内径未満 噴出機構: チップの取付位置, 詰り 等	
	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 杭の保持が可能な構造	
建込み ・ 沈設	杭の建込	杭心	2方向に逃げ心を設置し, 検尺棒 等で確認	杭心とのズレ 50mm 以内	
		傾斜	トランシットまたは傾斜計	1/100 以内	
	現場継ぎ 溶接	溶接工の技量資格	5.13.1 現場円周溶接 を参照		
		溶接環境 (風・気温等)			
		継手条件(目違い・ルー ト間隔等)			
		溶接条件(電流・電圧・バ ス数等)			
		外部さざ			
	内部さざ				
	掘削・沈設	杭打機の鉛直性, 掘削・沈設精度	トランシットまたは傾斜計	1/100 以内	
		掘削速度	施工管理計で測定	地盤等に応じた適切な値 試験杭によって目安設定	
		先掘り長さ	標尺物等を用いた杭とオーガ駆動 装置の位置関係等の目視管理	過度な先掘りは行わない: 1m 以内	
排土状況		目視確認	掘削土の付着や杭内閉塞による施 工支障や排土によるボイリングが生 じない		
支持層の 確認	支持層の確認	掘削抵抗(積分電流値等)の変化 と土質柱状図との対比	試験杭によって定めた管理指標		
		オーガヘッド付着土砂の観察	土質調査結果との対比		
出来形	杭心の偏心量	測量	杭心とのズレ D/4 かつ 100mm 以内		
	杭頭レベル	測量	±50mm 以内		

表5.6.7 中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）の標準的な施工管理項目と管理基準（先端処理）

区分	対象	管理項目	管理方法	管理基準	
材料	セメント副資材	品質	製造会社の試験成績表	JIS R 5210, JIS R 5211, 設計図書による	
		数量, 保管状況	入荷伝票, 目視	防湿に配慮した保管方法	
	セメントミルク	配合(水, セメント)	水量:容積または質量の計量	水量:質量計量または袋数	所定の水セメント比 W/C に応じた配合量
			密度		
		圧縮強度	採取供試体を採取材令 28 日で一軸圧縮試験 (3 体/1 セット)	3 体平均 \geq 規格値 (20N/mm ²) 個体値 \geq 規格値の 85% (17N/mm ²)	
先端処理	支持層の掘削	機械攪拌方式： 拡翼作業開始深度	施工管理装置で測定 杭, ヤットコのマーキングで目視確認	計画値 \pm 100mm 以内	
		機械攪拌方式： 拡翼の確認	拡翼操作後, オーガヘッドを引上げて鋼管先端に軽く接触させる 拡翼に伴う掘削抵抗値の変化を確認 拡翼痕跡の事後確認 (ピンの変形等)	所定の拡翼操作を行い, 拡翼されたことが確認できる 施工後に拡翼された事実を確認できる	
		支持層掘削深さ	支持層確認深度と杭体先端深度および根固め下端深度から測定	杭の支持層根入れ1D 以上 根固め部が所定長さ以上であること	
	根固め築造	噴出攪拌範囲	マーキングによるレベルまたは施工管理装置	所定噴出攪拌範囲, 攪拌混合の上下反復回数, 杭内打上げ範囲 ※工法毎に定められた管理方法	
		高圧噴出方式： 噴出圧力	圧力計で確認	所定の圧力以上	
		高圧噴出方式： オーガ回転数	オーガ回転数の測定	所定の回転数以下	
		高圧噴出方式： ヘッド引上げ速度	オーガヘッドの引上げ速度の測定	所定の速度以下	
		注入量	流量計または製造バッチ数	所定の総注入量および時間当り注入量	
	杭の定着	根固め部への 圧入定着	根固め部内への 圧入量 杭頭レベル	圧入後の杭頭レベルの測定	所定以上の圧入量 (圧入の有無は工法による) 杭頭レベル：計画値 \pm 50mm 以内
		保持時間	保持時間	沈設完了から保持装置取り外しまでの時間	試験杭の結果を目安に決定

4. 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。中掘り杭工法（セメントミルク噴出攪拌方式）における標準的な施工記録項目は以下のようなものである。

- ① 杭番号、杭打設番号
- ② 杭施工年月日
- ③ 杭径、肉厚、杭長、オーガヘッド径（閉翼時、拡翼時）、スクリー径
- ④ 施工時間（開始時刻、終了時刻、作業時間）
- ⑤ 掘削深度と掘削時間の関係
- ⑥ 電流記録
- ⑦ 支持層の管理指標
- ⑧ 根固め部の築造管理
- ⑨ セメントミルクの配合、セメントミルク注入量等
- ⑩ オーガヘッド、スパイラルオーガの引上げ時間
- ⑪ 杭の自沈に対する保持時間
- ⑫ 支持層根入れ深さ
- ⑬ 支持層掘削径、掘削長さ、杭深度、ヤットコ長
- ⑭ 高止まり量、低止まり量
- ⑮ 溶接記録
- ⑯ その他問題点、トラブル等の特記事項

5. 施工管理装置

施工管理装置は、中掘り沈設工程および根固め球根築造時に必要な施工管理項目が常時表示および記録されるものである。最近のセメントミルク噴出攪拌方式の施工管理装置の構成例を[図5.6.15](#)に示す。各検出器より検出された信号が、制御盤内で演算処理され表示器（[図5.6.16](#)参照）へ表示されるとともに、施工データが制御盤内の記録媒体へ記録保存される。

6. 支持層到達の確認方法

支持層到達の確認は、施工管理装置で記録される掘削抵抗値（積分電流値や積分電力値など）の変化と土質柱状図の比較をする方法が一般的である。

掘削抵抗値は、中掘り沈設時のオーガモータの電流または電力と掘削時間（速度）により算出され、硬質地盤では掘削抵抗値が大きくなる傾向があるが、中掘り沈設時の施工状況（排土状況や掘削水量、沈設状況等）により変化する。このため、支持層到達は、試験杭施工において記録された掘削抵抗値と土質柱状図の比較をするとともに、杭の沈設状況や施工機械の挙動、オーガヘッド先端の付着土などから総合的に判断する必要がある。

オーガ駆動電流値、積分電流値の評価例については、「[中掘り杭工法 施工管理要領](#)」などを参考にするとよい。

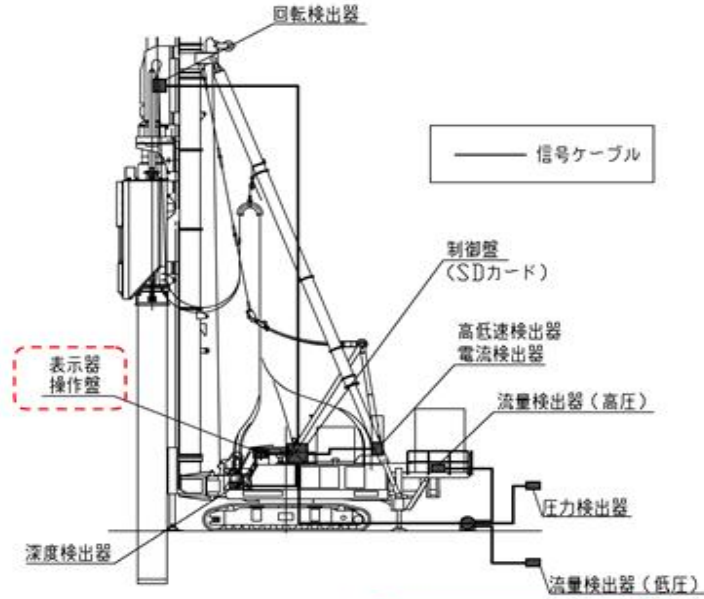


図5.6.15 施工管理装置の構成例

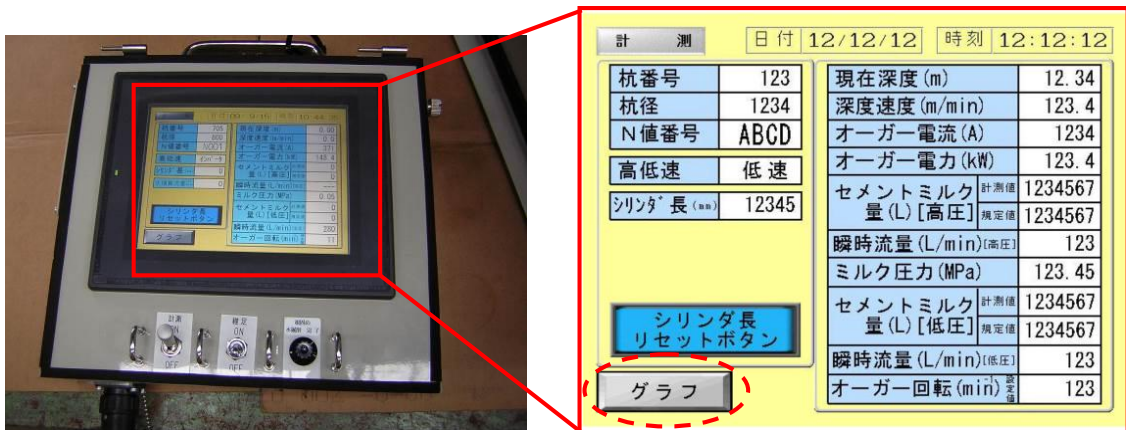


図5.6.16 表示器の例

参考文献

- 5.6-1) 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 3.0], 2021年3月
- 5.6-2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成29年度改訂），2017年11月
- 5.6-3) 日本道路協会：杭基礎施工便覧（令和2年度改訂版），2020年9月
- 5.6-4) 土木研究所 他：岩盤を支持層とする杭基礎の設計法・施工法に関する共同研究報告書，2019年4月
- 5.6-5) 日本道路協会：杭基礎設計便覧（令和2年度改訂版），2020年9月
- 5.6-6) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼とコンクリートの複合構造物，2016年1月
- 5.6-7) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），2022年1月

出典

- 5.6-① 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 3.0], p8 図-2.1~2.5, 2021年3月
- 5.6-② 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 3.0], p10 図-2.6 (a), 2021年3月
- 5.6-③ 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 3.0], p11 図-2.6 (b), 2021年3月
- 5.6-④ コンクリートパイル・ポール協会：既製コンクリート杭の施工管理, p226 図-2.3.14, 2019年6月

5.7 鋼管ソイルセメント杭工法の施工および施工管理

5.7.1 一般

1. 概要

鋼管ソイルセメント杭工法は、地盤に専用の掘削・攪拌装置を用いて、セメントミルクを注入しながら土と攪拌混合してソイルセメント柱を造成し、その中に外面に突起（リブなど）を有する鋼管を沈設することで、鋼管と固化後のソイルセメント柱（固化体）を一体化させる工法である。

支持杭では、支持層近傍に高濃度な配合のセメントミルクが注入された杭先端固化部を造成するが、杭の先端抵抗を期待しない摩擦杭では、杭先端固化部は造成しない。

鋼管ソイルセメント杭の概要図を [図 5.7.1](#) に示す。また、鋼管ソイルセメント杭の支持杭における杭先端固化部の仕様を [図 5.7.2](#) に示す。

なお、鋼管ソイルセメント杭の施工についての詳細は（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 2.0]」（令和3年）^{5.7-1}（以下、「鋼管ソイルセメント杭工法 施工管理要領」という）などを参考にするとよい。

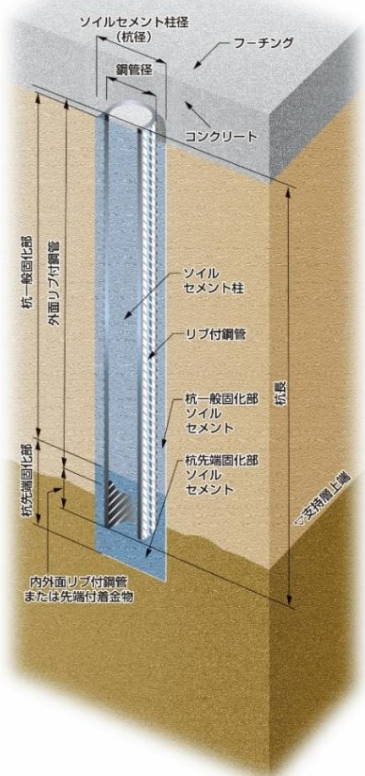
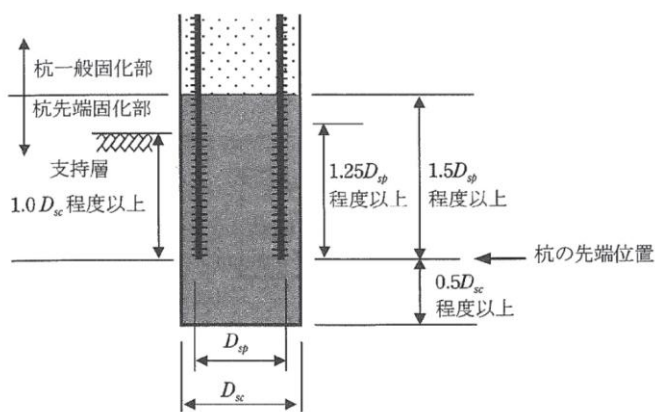


図 5.7.1 鋼管ソイルセメント杭の概要図
（出典 [5.7-①](#)）



D_{sc} : ソイルセメント柱径（杭径）
 D_{sp} : 鋼管径
 $1.25D_{sp}$: 杭先端から鋼管内面に付着金物あるいは突起を有する長さ

図 5.7.2 鋼管ソイルセメント杭の杭先端固化部の仕様（支持杭の場合）（出典 [5.7-②](#)）

2. 施工手順

鋼管ソイルセメント杭工法の施工手順には、ソイルセメント柱の造成と同時に鋼管の沈設を行う方法（同時沈設方式）と、ソイルセメント柱を造成した後に鋼管の沈設を行う方法（後沈設方式）がある。両方式と

も使用材料、施工機械・機器等に大きな違いはなく、施工管理項目も共通であり、沈設方式の選択は、杭工事会社のこれまでの施工実績や保有機械によって決定されている。それぞれの施工フローを図5.7.3および図5.7.4に、施工手順例を図5.7.5および図5.7.6に示す。



図 5. 7. 3 同時沈設方式の一般的な施工フロー (出典 5.7-③)



図 5.7.4 後沈設方式の一般的な施工フロー (出典 5.7-④)

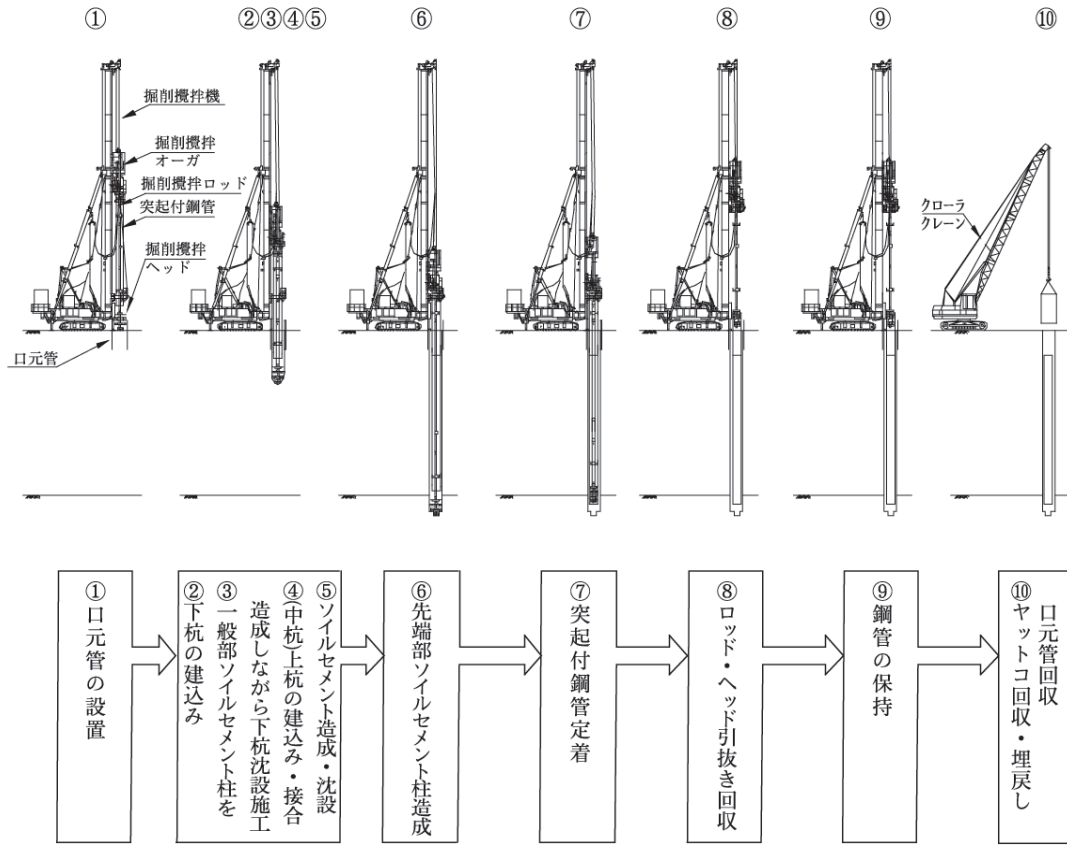


図 5. 7. 5 同時沈設方式の一般的な施工手順例 (出典 5.7-⑤)

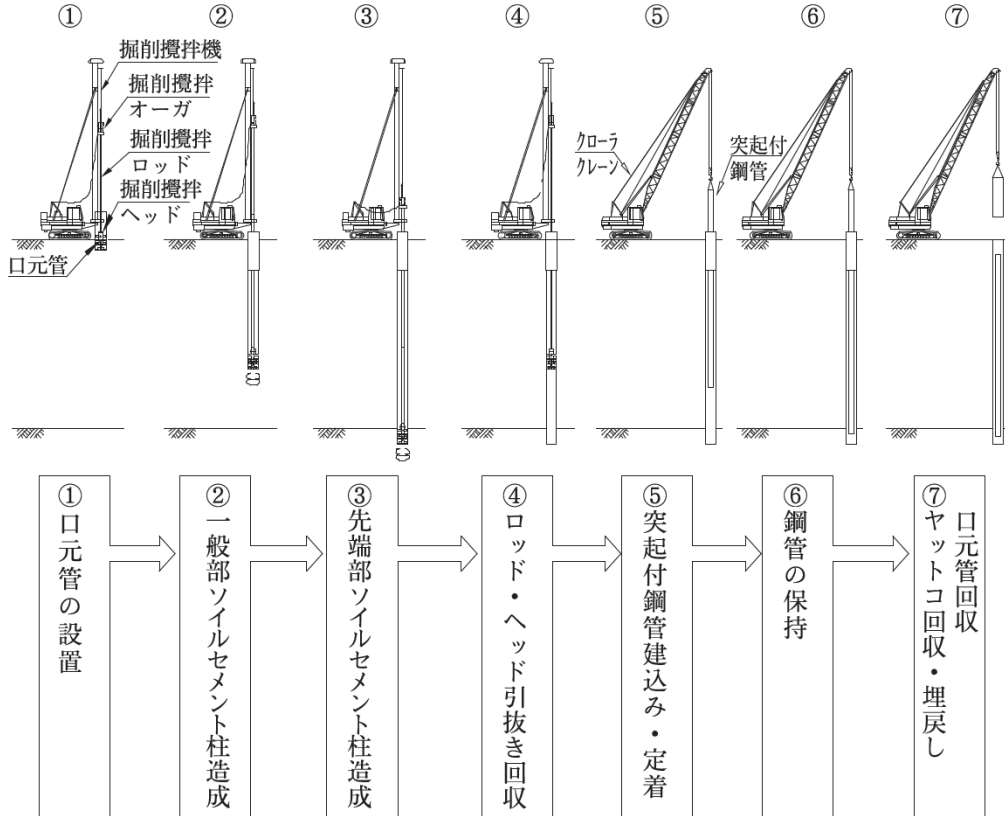


図 5. 7. 6 後沈設方式の一般的な施工手順 (出典 5.7-⑥)

3. 施工機械および設備機器

図5.7.7に施工で使用する施工機械・設備の例を示す。

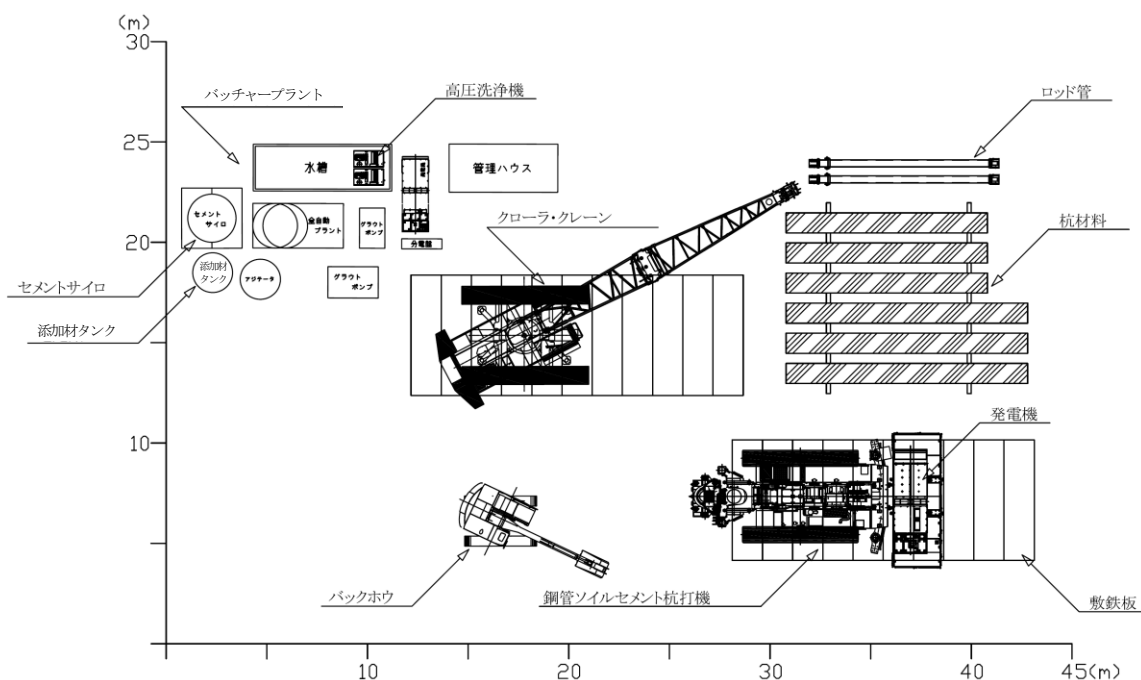


図 5.7.7 鋼管ソイルセメント杭工法の機械構成例 (出典 5.7-⑦)

(1) 施工機械

施工機械の選定においては、搬入経路、作業環境、杭の仕様、施工地盤の土質条件等を考慮し、設計図書に従って均質なソイルセメント柱を安全に施工できる機種を選定する必要がある。

オーガ駆動装置は、杭径、杭長および掘削地盤の土質性状を考慮して、掘削攪拌できる容量のものを使用する。ソイルセメント柱径と施工深さによる鋼管ソイルセメント杭打機の選定目安を図5.7.8に示す。

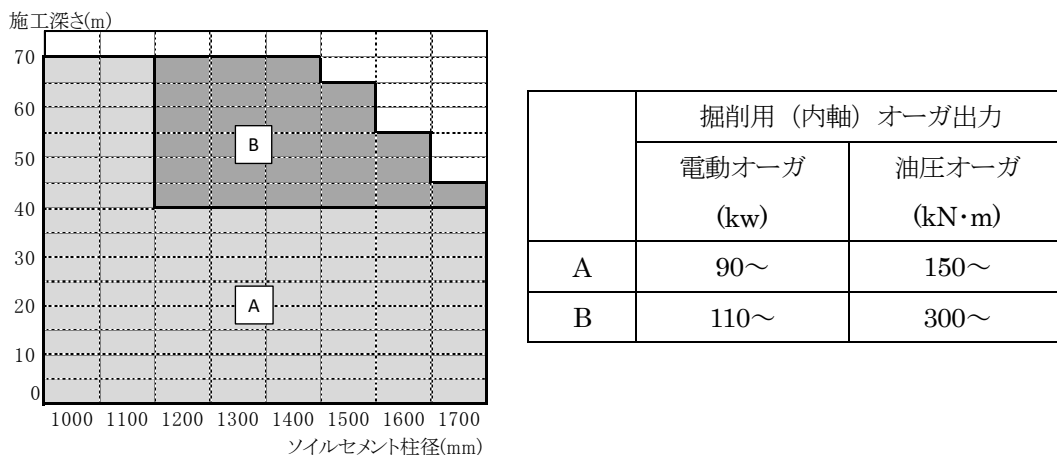


図 5.7.8 ソイルセメント柱径と施工深さによる鋼管ソイルセメント杭打機の選定目安 (出典 5.7-⑧)

補助クレーンの選定にあたっては、作業内容や吊り荷の重量、作業範囲、必要な揚程、施工手順、上空の障害物などの条件を総合的に検討し、安全に運用できる機種を選ぶことが重要である。

掘削攪拌ヘッドには、単軸で共回りを抑制する翼を備えたタイプや二軸で正逆に回転する翼を持つタイプなどがあり、ソイルセメントの造成に適した性能を持つ機器を選定して使用する。図5.7.9に代表的な掘削攪拌ヘッドの例を示す。

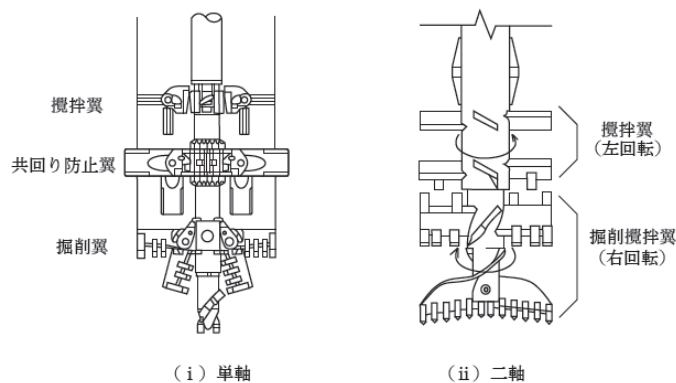


図 5.7.9 代表的な掘削攪拌ヘッドの例 (出典 5.7-⑨)

(2) 口元管

口元管はソイルセメント柱径より 200mm 以上大きく、鋼製で円柱形のもが多く、ソイルセメントの排出口が設けられている。掘削攪拌、鋼管沈設時の杭心管理のための基準点となるほか、掘削攪拌ロッド、鋼管の保持のための受け台に使用される。

(3) その他

プラント諸機械、保持装置、ヤットコは、「杭基礎施工便覧」^{5.7-2)}や「鋼管ソイルセメント杭工法 施工管理要領」などを参考にするとよい。

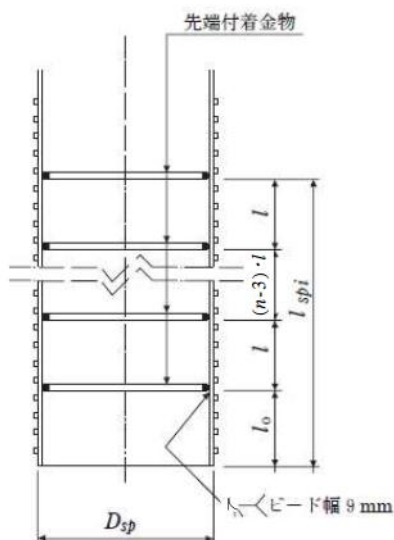
4. 鋼管杭および付属品

(1) 鋼管杭本体

鋼管ソイルセメント杭に使用する外面突起（リブ）付き鋼管は、化学成分および機械的性質が JIS A 5525 鋼管ぐいに適合するとともに、ソイルセメントとの付着を確保するための外面突起（リブ）が JIS A 5525 附属書 A 突起付き素管の品質規定に適合するものを標準とする。仕様詳細については、2.2 鋼管杭の仕様および 1.2.2 杭の種類による分類を参照されたい。

(2) 鋼管先端部

鋼管先端部は、先端支持力を伝達させるために、鋼管とソイルセメント柱との付着力を高める必要があるため、鋼管先端部の内面にも付着金物（リング筋）を設けるか、内面にも突起（リブ）を有する鋼管とする。内面突起（リブ）をつける場合には、JIS A 5525 附属書 A 突起付き素管の品質規定に適合するものを標準とする。図 5.7.10、図 5.7.11 に先端部の仕様例を示す。



鋼管径 D_{sp} (mm)	先端附着 金物の段数 n	先端間隔 l_0 (mm)	ピッチ l (mm)	取付長 l_{spi} (mm)	
800	4	300	250	1050	
900	5			300	1300
1000					1500
1100	6	450	300	1800	
1200				1950	
1300				2250	
1400	7	450	300	2250	
1500				2250	

注) 附着金物は、リング筋 D13 SD345 以上または平鋼 t16×h32 SS400 相当品を用いる。

図 5.7.10 先端附着金物（リング筋）を設けた例（出典 5.7-⑩）

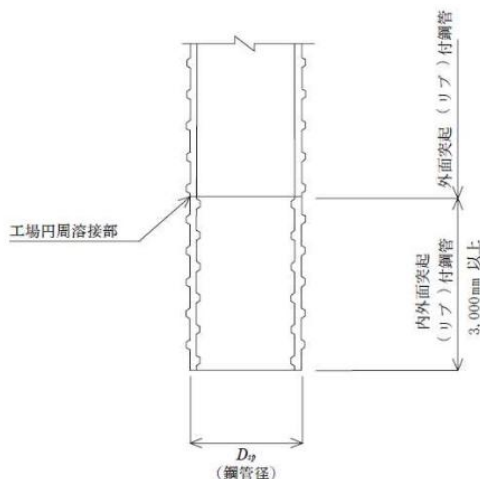


図 5.7.11 内外面突起（リブ）付き鋼管とした例（出典 5.7-⑪）

(3) 突起（リブ）切削

JIS A 5525 附属書 A 突起付き素管の品質規定では、①現場円周溶接部となる管端部で、裏当てリング、ストッパーおよび銅バンドが干渉する場合、②その他附属品を取り付ける場合、③受渡当事者間の協定による場合、において外面（および内面）突起（リブ）を必要に応じて削除してよい、とされている。

現場縦継ぎ溶接で銅バンドと干渉する部分の標準的な突起（リブ）切削範囲等の詳細については、「鋼管ソイルセメント杭工法 施工管理要領」などを参考にするとよい。

(4) 回転金具・スペーサー

回転金具・スペーサーについては、「鋼管ソイルセメント杭工法 施工管理要領」などを参考にするとよい。図 5.7.12 に回転金具の標準的な取付け例、図 5.7.13 にスペーサーの標準的な取付け例、図 5.7.14 にスペーサーの形状寸法例を示す。

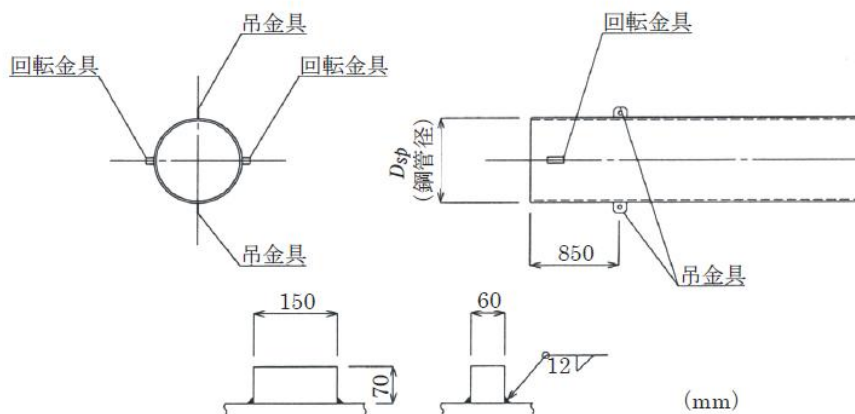


図 5.7.12 回転金具の標準的な取付け例 (出典 5.7-12)

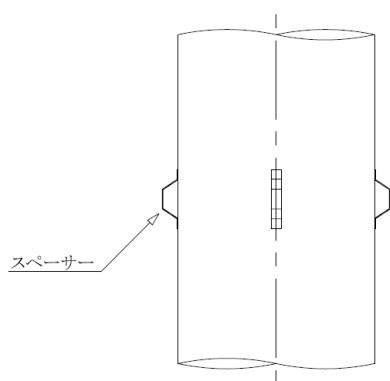


図 5.7.13 スペーサーの標準的な取付け例 (出典 5.7-13)

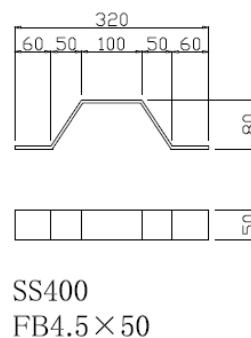


図 5.7.14 スペーサーの形状寸法例 (出典 5.7-14)

5. セメントミルク

セメントミルクは、セメント、水、添加剤・混和材を練り混ぜたものであり、鋼管ソイルセメント杭工法の「ソイルセメント」の材料として用いられる。ソイルセメント柱は、杭の支持性能に大きな影響を与えるため、所定の強度が得られるようセメントミルクを調製するとともに、所定の深さに適切に注入し、攪拌混合・固化しなければならない。

(1) セメント

JIS R 5211 高炉セメントおよび JIS R 5210 ポルトランドセメントに規定されるにセメントを標準として用いる。泥炭や腐植土等の特殊土を含む地盤には、セメント系固化材等を用いる場合もある。

(2) 練混ぜ水

練混ぜに用いる水は、水道水などセメントミルクの品質に悪影響を及ぼさないものを使用することを原則とする。河川水、地下水等を使用する場合は、セメントミルクの強度や施工性などを確認する必要がある。

(3) 添加剤・混和材

添加剤・混和材は、施工性を高める手段として施工方法、施工条件、土質条件等に応じて適宜選択するものであるが、下記の添加剤・混和材が一般的に用いられる。

- ・硬化遅延剤 (固化材の凝結進行による鋼管の沈設抵抗増大の抑制策として使用)
- ・分散剤 (固化材の粒子を均一に分散、再凝集を防ぐことで鋼管の沈設抵抗増大の抑制策として使用)
- ・ベントナイト・増粘剤 (逸水性の地盤で掘削抵抗および鋼管の沈設抵抗の増加防止策として使用)

(4) セメントミルクの配合

杭一般固化部については、原位置土の性状や注入するセメントミルクの配合により強度や流動性が変化するため、事前に原位置土を用いた配合試験により配合を決めることを原則とする。セメントミルクの標準的な配合例を表5.7.1に示す。また、杭先端固化部については、支持層の地盤が「砂・砂礫」の場合は、標準的な配合を用いることを基本として配合試験は行わない。セメントミルクの配合は、「鋼管ソイルセメント杭工法 施工管理要領」などを参考にするとよい。

表 5.7.1 セメントミルクの標準的な配合例(高炉セメントB種) (出典 5.7-⑮)

(原位置土 1m³あたり)

部位	土質	固化材 C (kg)	ベントナイト・ 増粘剤 B (kg)	水 W (kg)	水・固化材比 W/(B+C) (%)	硬化遅延剤 固化材料重量比 (%)
空掘部	—	150	適宜	150~225	100~150	0~5.0
杭一般固化部	砂質土 粘性土	300~400	〃	300~600	100~150	0~5.0
杭先端固化部	砂・砂れき	1,000	〃	600	60	0~1.0

5.7.2 施工法

1. 施工機械・口元管の設置

施工機械の設置は、施工機械の安定確保や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) 杭心出し

[5.6 中掘り杭工法の施工および施工管理](#)を参照。

(2) 口元管の設置

口元管を杭施工機による圧入等で地盤内に設置する場合は、口元管内の土砂はバックホウ等で排出しておく。バックホウ等で事前に土砂を排出してから口元管を設置する場合は、口元管設置後に口元管の外側を埋戻し、足場を確保する。

2. 杭の掘削・沈設

(1) ソイルセメント柱の造成

1) 杭一般固化部の造成

杭一般固化部の造成は、鉛直性を確認しながら掘削するとともに、掘削攪拌ヘッド先端よりセメントミルクを注入攪拌しながら行う。セメントミルクの注入量は、事前の室内配合試験によって定めた計画値以上とする。口元管の内部まで杭一般固化部を造成する必要がある場合は、口元管の直径を加味して注入量を設定する。ポンプ詰まりや配管詰まりなどによる急激な圧力上昇がないか確認しながら注入する。また、施工中は土質柱状図と施工管理装置による施工データを参考にしながら施工状況の把握に努める。

2) 杭先端固化部の造成

杭先端固化部の造成は、所定の位置に所定の寸法・形状・強度が得られる方法で施工しなければならない。そのための留意事項を以下に示す。

- ・鋼管ソイルセメント杭工法では、設計支持層の上方より杭先端固化部を造成する仕様となっていることが多く、その場合、設計図に示された杭先端固化部上端深度において杭先端固化部用のセメントミルクに切替える。
- ・杭先端固化部用配合のセメントミルクへの切替えは、切替え位置であるグラウトポンプから吐出先までの配管長を考慮して確実に行う。
- ・支持層が硬質で掘削負荷が大きい場合等は、適切な速度で掘削攪拌する。

3) 掘削沈設速度

掘削沈設速度は、[表 5.7.2](#)の値を標準とする。粘着力の大きな地層や硬い地層では、無理な負荷をかけると掘削攪拌ロッドや掘削攪拌ヘッドを曲げたり、破損したりすることがあるので適切な速度で掘削攪拌する。また、杭長が長い場合など、鋼管の沈設が完了する前にソイルセメント柱の凝結が進行する場合がありますので、必要に応じて繰り返し攪拌（ターニング、繰り返し攪拌）を行う。

表 5.7.2 ソイルセメント柱造成時における標準的な掘削速度（出典 [5.7-16](#)）

部位	掘削速度
杭一般固化部	1.0m/分以下
杭先端固化部	0.25m/分程度

(2) 鋼管の建込み・沈設(同時沈設方式)

同時沈設方式では、ソイルセメント柱の造成と鋼管の建込み・沈設を同時に行う。鋼管（下杭）の杭心へのセットまでの手順を[図 5.7.15](#)に示す。

1) 掘削攪拌ロッドの準備

掘削攪拌ロッドには、鋼管との心ずれ防止のためスタビライザーを設置する。スタビライザーは、下杭で2箇所、中杭・上杭で単管当たり1箇所を目安に設置する。

2) 鋼管および掘削攪拌ロッドの吊込み

鋼管は吊金具を使用し、鋼管内部に挿入されている掘削攪拌ロッドはロッド吊装置等を利用して同時に吊り込む。その後掘削攪拌ロッド頭部を杭施工機のオーガモーターと接続し、鋼管回転装置と鋼管とを接合する。

3) 掘削攪拌ヘッドの接続

下杭の建込みでは、掘削攪拌ロッドの先端に掘削攪拌ヘッドを取付ける。掘削攪拌ヘッドは、仮置きスタンド（ヘッドスタンド）等を使用して取付け、各翼が開翼した状態で固定する。

4) 杭心のセット

掘削攪拌ヘッド先端を所定の杭心位置に設置する。施工機のリーダの鉛直性を調整した後、ヘッド先端の杭心位置を再確認する。

5) 鋼管の沈設

鋼管の沈設は、口元管に心出し装置をセットし、ソイルセメント柱の造成と同時に回転沈設する。施工中の杭心は、逃げ心からの距離を計測し、その位置を確認する。また、掘削時には、杭体の鉛直性を確保するため、鋼管の鉛直性を施工機に装備された傾斜計、または直交2方向からトランシット等を用いて鉛直度を確認する。空掘部がある場合は、ヤットコ等を用いて所定の深度まで沈設する。

ヤットコは、設計杭天端が施工基面より低い場合に杭頭の高さを調整するための治具である。同時沈設方式に用いるヤットコは、鋼管とほぼ同径で、上端部は鋼管回転装置と連結可能となっており、下端部には鍵型溝が設けられ、鋼管の回転金具を引掛けて鋼管を回転・沈設する機能を有する。鋼管を所定深度に沈設後、鋼管が安定するまではヤットコを用いて鋼管を保持し、鋼管の安定が確認できたら鋼管回転装置を逆回転することでヤットコを回収する。なお、鋼管の保持方法については [5.7.3 施工管理](#) [6. 鋼管の保持](#) を参照されたい。同時沈設方式のヤットコの使用例を [図5.7.16](#) に示す。

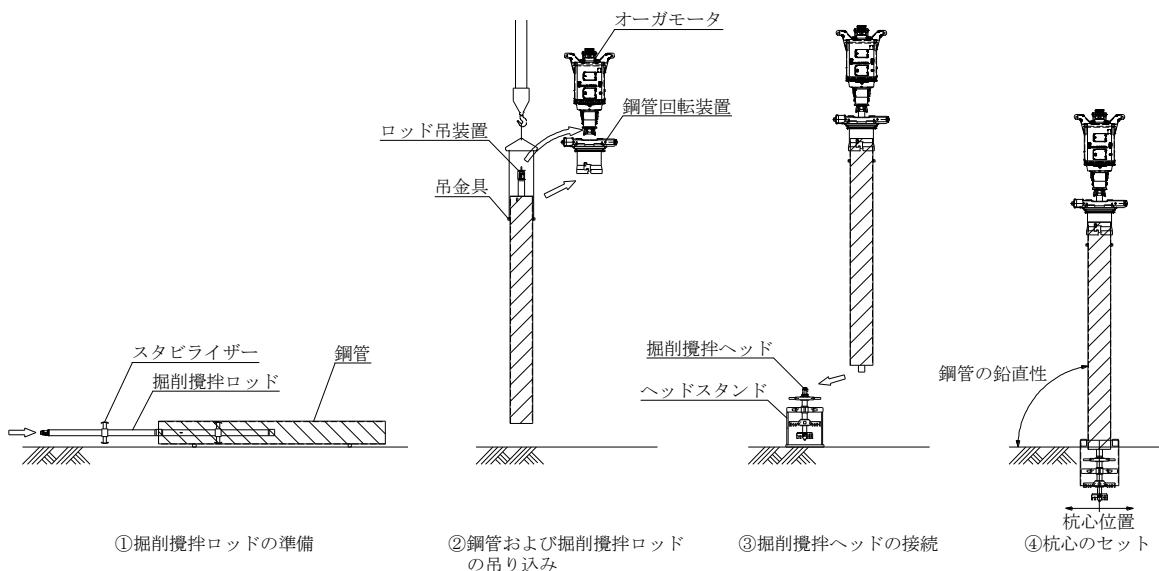


図 5.7.15 鋼管の建込み手順（同時沈設方式）（出典 [5.7-⑩](#)）

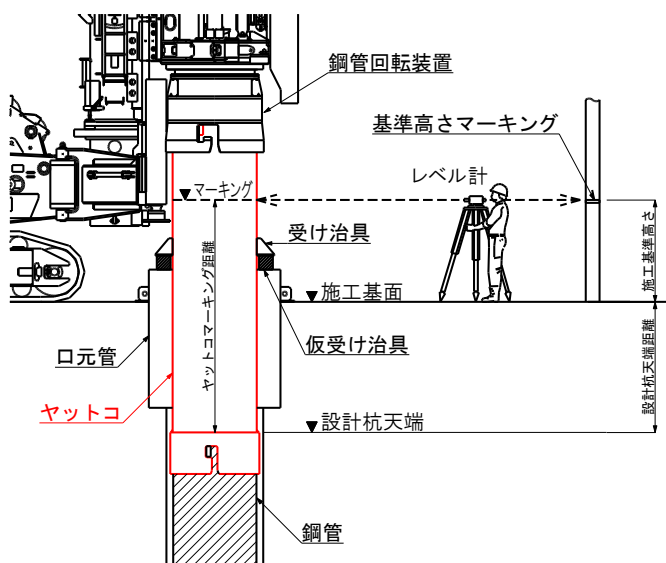


図 5.7.16 ヤットコ概要図（同時沈設方式）

(3) 鋼管の建込み・沈設（後沈設方式）

後沈設方式では、ソイルセメント柱造成後に鋼管の建込み・沈設を行う。

1) 鋼管の吊込み

鋼管は吊金具を使用して吊り込む。

2) 鋼管の沈設

鋼管の沈設は、水平精度および鉛直性を確認しながら、施工状況により自重または鋼管ソイルセメント杭打機などの補助機械を用いて所定の深度に沈設する。水平精度は、口元管に心出し装置をセットし、逃げ心からの距離を計測することで、確認する。図5.7.17に心出し装置の例を示す。鉛直性は、施工機に装備された傾斜計、または直交2方向からトランシット等を用いて確認する。

ヤットコは、施工基面より低い杭頭の高さを調整するための治具であり、掘削攪拌ロッドの先端に鋼管回転装置（回転キャップ）を取付けたものである。図5.7.18に概要図を示す。鋼管回転装置は、鍵型溝に吊金具や回転金具を引掛けて鋼管を沈設する。鋼管の保持が確認できたら、鋼管回転装置を逆回転することでヤットコを回収する。

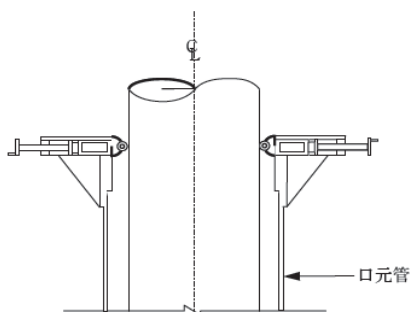


図5.7.17 心出し装置の例（出典5.7-⑱）

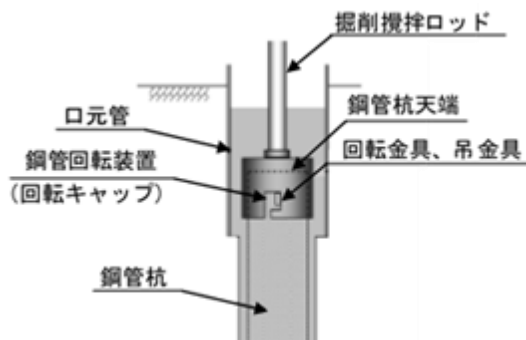


図5.7.18 ヤットコ概要図

(4) 掘削攪拌ロッド・ヘッドの引抜き

ソイルセメント柱の造成が完了した後、掘削攪拌ロッド・ヘッドを引抜き回収する。引抜く際には、先端地盤のボイリングや吸引現象を防止するため、セメントミルクを注入・攪拌しながら引抜く。その際の引抜き速度は1.0m/分程度を標準とする。

同時沈設方式の場合には、掘削攪拌ロッドを引き上げることで鋼管を反力として掘削翼・攪拌翼を縮閉させた後、引抜く。

(5) ヤットコ・口元管撤去

鋼管の自沈防止措置を講じ、自沈しないことを確認したうえで、ヤットコおよび口元管を引抜き、撤去する。

(6) 排土、発生土の処理

鋼管ソイルセメント杭工法では、セメントミルク注入量に相当する排土が、セメント混じりの発生土となる。対象土に対するセメントミルク注入量は対象土により異なるが、空掘部で20～30%程度、杭一般固化部で40～60%程度、杭先端固化部で150%程度である。発生土は、現場の埋戻し材等として再利用したり、産業廃棄物処分場へ運搬して適正処分したりする。

(7) 礫・玉石地盤および硬質地盤の施工性

鋼管ソイルセメント杭工法は、礫径が100mm程度以上の玉石が介在する場合や岩盤の場合、補助工法（先行掘削や先行もみほぐしなど）の検討が必要となる。岩盤については換算N値300以上の砂岩や換算N値60~150程度の泥岩での試験事例^{5.7-3)}が参考となる。

5.7.3 施工管理

1. 一般

[5.6 中掘り杭工法の施工および施工管理](#)を参照。

2. 試験杭

[5.3 試験杭](#)を参照。

3. 施工管理項目

鋼管ソイルセメント杭工法における主要な施工プロセス管理項目を[表5.7.3\(1\)](#)、[\(2\)](#)に示す。ただし、施工工程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。

施工プロセスの記録は、数値等で表現できない項目も多いため、こうした場合にはチェックリストでの実施チェック記入や写真やビデオ等での実施記録も活用するのがよい。

表 5.7.3 (1) 鋼管ソイルセメント杭工法の標準的な施工管理項目と管理基準 (出典 5.7-⑱)

区分	対象	管理項目	管理方法	管理基準
杭材料	鋼管杭	杭種, 材質等	鋼管表示の確認	設計図書, 施工計画との照合
		外観検査	目視	変形等有害な損傷がないこと
		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
	セメント	品質	製造会社の試験成績表	JIS R 5210, JIS R 5211, 設計図書による
		数量	入荷伝票	
	ベントナイト	品質	製造会社の試験成績表	製造会社の基準
		数量	入荷伝票	
	硬化遅延剤	品質	製造会社の試験成績表	製造会社の基準
		数量	入荷伝票	
	セメントミルク	作成量	練上がりバッチ数, 流量計	計画値以上
比重		マッドバランス	計画値±2%以内	
ソイルセメント柱造成	口元管	位置	逃げ心からの距離又はトータルステーション等	杭心とのズレ 50mm 以内
	掘削・攪拌機掘付	掘削径	スケール等により掘削攪拌ビット径検測	設計径以上
		平面位置	掘削攪拌ロッド管位置を逃げ心又は口元管よりチェック	杭心とのズレ 50mm 以内
		深度計 0 セット	基準高さをあらかじめ設定し, 掘削攪拌ロッドのマーキングをレベルにて視準	合致していること
		鉛直性	杭打機傾斜計	1/100 以内
	空掘部掘削・攪拌	平面位置	掘削攪拌ロッド管位置あるいは鋼管面を逃げ心又は口元管よりチェック	杭心とのズレ 50mm 以内
		鉛直性	杭打機傾斜計	1/100 以内
		セメントミルク配合	プラント計量器	所定配合
		注入量	施工管理装置	計画値以上
	一般部掘削・攪拌	平面位置	掘削攪拌ロッド管位置あるいは鋼管面を逃げ心又は口元管よりチェック	杭心とのズレ 50mm 以内
鉛直性		杭打機傾斜計	1/100 以内	

*本杭の施工管理を行ううえ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。

表 5.7.3 (2) 鋼管ソイルセメント杭工法の標準的な施工管理項目と管理基準 (出典 5.7-⑳)

区分	対象	管理項目	管理方法	管理基準	
ソイルセメント柱造成	一般部 掘削・攪拌	セメントミルク配合	プラント計量器	所定配合	
		注入量	施工管理装置	計画値以上	
		切り替え深度 (空掘部・一般部)	施工管理装置	所定深度	
		速度	施工管理装置	1.0m/分以下	
		ソイルセメント圧縮強度	採取器にてソイルセメントを採取、材齢 28 日で一軸圧縮試験 (各 3 体)	3 体の平均値 ≥ 必要強度 個体値 ≥ 必要強度の 85%以上	
	先端部 掘削・攪拌	平面位置	掘削攪拌ロッド管位置あるいは鋼管面を逃げ心又は口元管よりチェック	杭心とのズレ 50mm 以内	
		鉛直性	杭打機傾斜計	1/100 以内	
		セメントミルク配合	プラント計量器	所定配合	
		注入量	施工管理装置	計画値以上	
		切り替え深度 (一般部・先端部)	施工管理装置	所定深度	
		下端深度	施工管理装置	支持層から所定深度	
		速度	施工管理装置	0.25m/分程度	
		セメントミルク圧縮強度	プラントよりセメントミルクを採取材令 28 日で一軸圧縮試験 (3 体)	3 体の平均値 ≥ 必要強度 個体値 ≥ 必要強度の 85%以上	
	支持層 確認	オーガ駆動電流値, 積分電流値等	施工管理装置	試験杭で定めた管理指標	
		深度	施工管理装置	支持層から所定根入れ長以上	
	掘削・攪拌ロッド ト引上げ	速度	施工管理装置	1.0m/分を標準	
	鋼管沈設	鋼管建込み	位置	鋼管面を逃げ心又は口元管よりチェック	杭心とのズレ 50mm 以内
鉛直性			トランシット又は傾斜計	1/100 以内	
天端高さ			ヤットコのマーキングをレベルにて視準	±50mm 以内	
現場継ぎ溶接		溶接工の技量資格	3.13.1 現場円周溶接を参照		
		溶接環境 (風・気温等)			
		継手条件 (目違い・ルート間隔等)			
		溶接条件 (電流・電圧・パス数等)			
		外部きず			
内部きず					
鋼管の保持		保持時間	沈設完了から保持装置取り外しまでの時間	試験杭の結果を目安に決定	
出来形	杭心の偏心量	測量	杭心とのズレ D/4 かつ 100mm 以内		
	杭頭レベル	測量	±50mm 以内		

4. 施工管理装置

鋼管ソイルセメント杭工法では、ソイルセメント柱造成時の主要な管理項目の計測値をデジタルデータとして取得し、パソコンやモニターなどに一元的に常時表示・記録できる施工管理装置を用いるものとする。対象とする施工管理・記録項目は表5.7.4の通りである。また、表5.7.5に掘削深度とオーガ駆動電流値、積分電流値のチャート記録例を示す。

表 5.7.4 施工管理装置による管理・記録項目（出典 5.7-⑳）

工程	管理・記録項目
ソイルセメント柱 造成工程	セメントミルク注入量 セメントミルク切換深度 掘削深度／掘削時間／掘削速度 オーガ駆動電流値／積分電流値

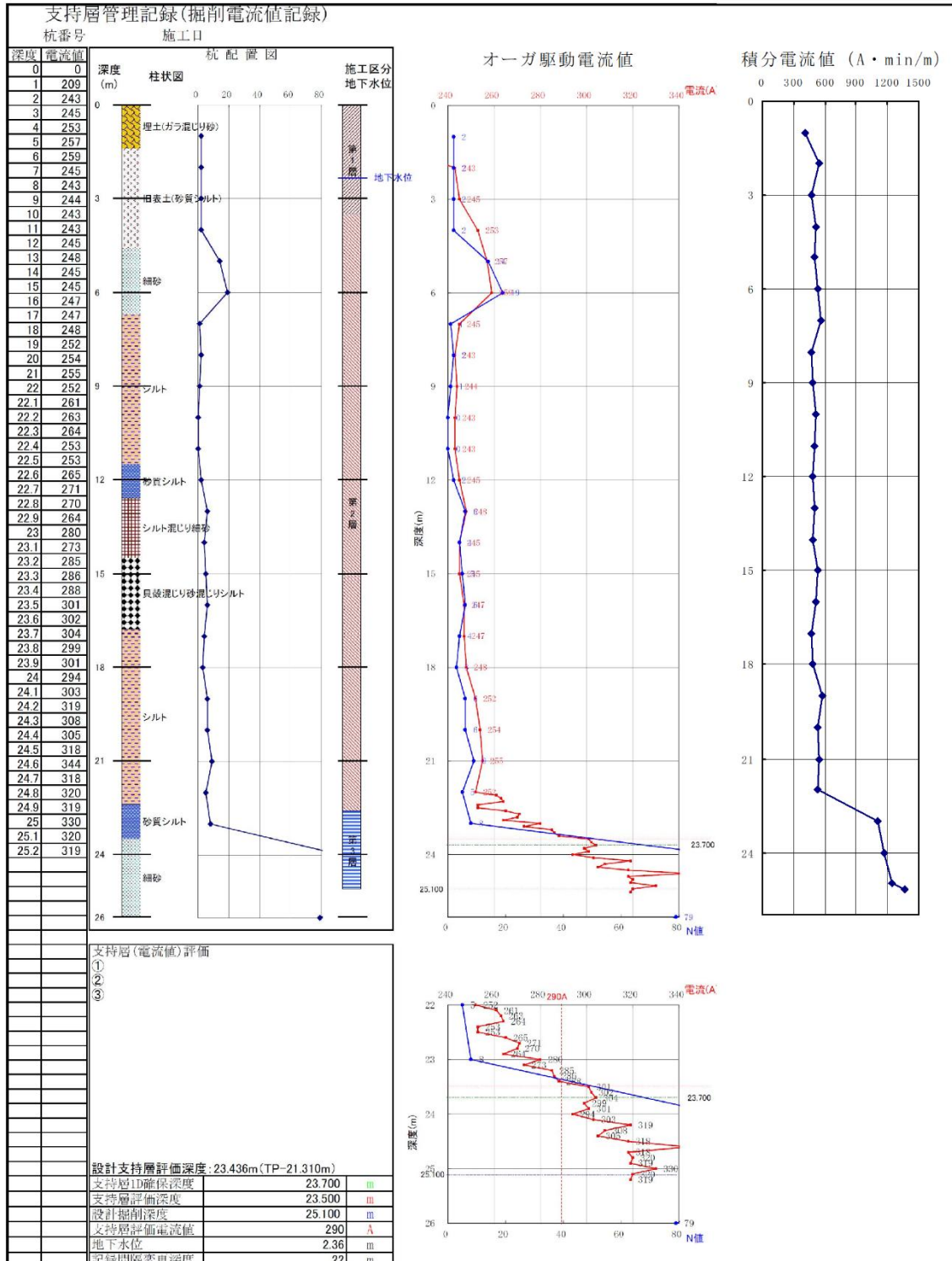
施工管理装置の利用に際しては、機器の設定に留意し、掘削深度や掘削速度等が正しく表示されていることを事前に確認（キャリブレーション）する必要がある。施工管理装置の例を写真5.7.1に示す。



写真 5.7.1 施工管理装置の例（出典 5.7-㉑）

表 5.7.5 掘削深度とオーガ駆動電流値、積分電流値のチャート記録例 (出典 5.7-⑭)

監督者 (工事監理者)	元請技術者	杭工事管理者



5. 支持層の確認

基礎の設計は地盤調査に基づいて行われるが、実際の地盤の変化は予想を超えることが少なくない。そのため、支持層の確認には地盤調査結果だけでなく、近隣工事の施工実績や類似工事の施工記録など、可能な限り多くの判断材料を活用することが重要である。

鋼管ソイルセメント杭工法における支持層確認は、積分電流値が増加することを必要条件として、オーガ駆動電流値の変化状況（低速への切換え時の減少とその後の上昇やその後の相対的な高い値の持続と地盤調査結果を照合することを基本とする。また、施工機械の揺れやオーガ駆動装置の音の変化なども判断材料に加えて極力多くの情報から支持層を確認するとよい。なお、支持層確認の詳細は、「**鋼管ソイルセメント杭工法 施工管理要領**」を参考にするとよい。

支持層確認の事例として、他のボーリング結果から支持層の傾斜を想定して杭長が1m程度長く設計されたため、実地盤の支持層以深でセメントミルクの仕様が切り替えられたものを以下に示す。

土質柱状図と掘削速度、オーガ駆動電流値および積分電流値の施工記録例を[図 5.7.19](#)に示す。

深度 0～11m 付近 : N 値の小さな埋土および沖積粘土を主体とした地層であるため、オーガ駆動電流値および積分電流値は比較的小さい。

深度 11～25m 付近 : N 値の増加に伴い、オーガ駆動電流値および積分電流値ともに若干増加する。

深度 25～28m 付近 : 土質柱状図の地層境界（支持層）深度付近でオーガ駆動電流値および積分電流値が上昇している。深度 25.6m では杭先端固化部造成のために掘削速度を 0.25m/分に切り替えたことにより、電流値は相対的に値が小さくなり、積分電流値は相対的に値が大きくなっている。その後の最終深さまでの掘削過程において、オーガ駆動電流値および積分電流値ともに速度の切り替え直後の値に対し同等以上の値で推移していることから、当該杭の先端は支持層に到達していると判断できる。

支持層相当深度での掘削施工時にオーガ駆動電流値および積分電流値が上昇する変化点が確認されること、変化後の積分電流値の値が 15A・h/m 程度を連続して超えることを確認することなどを本事例における管理指標とした。また、あわせて支持層掘削時のオーガ駆動音や機械振動なども参考とした。

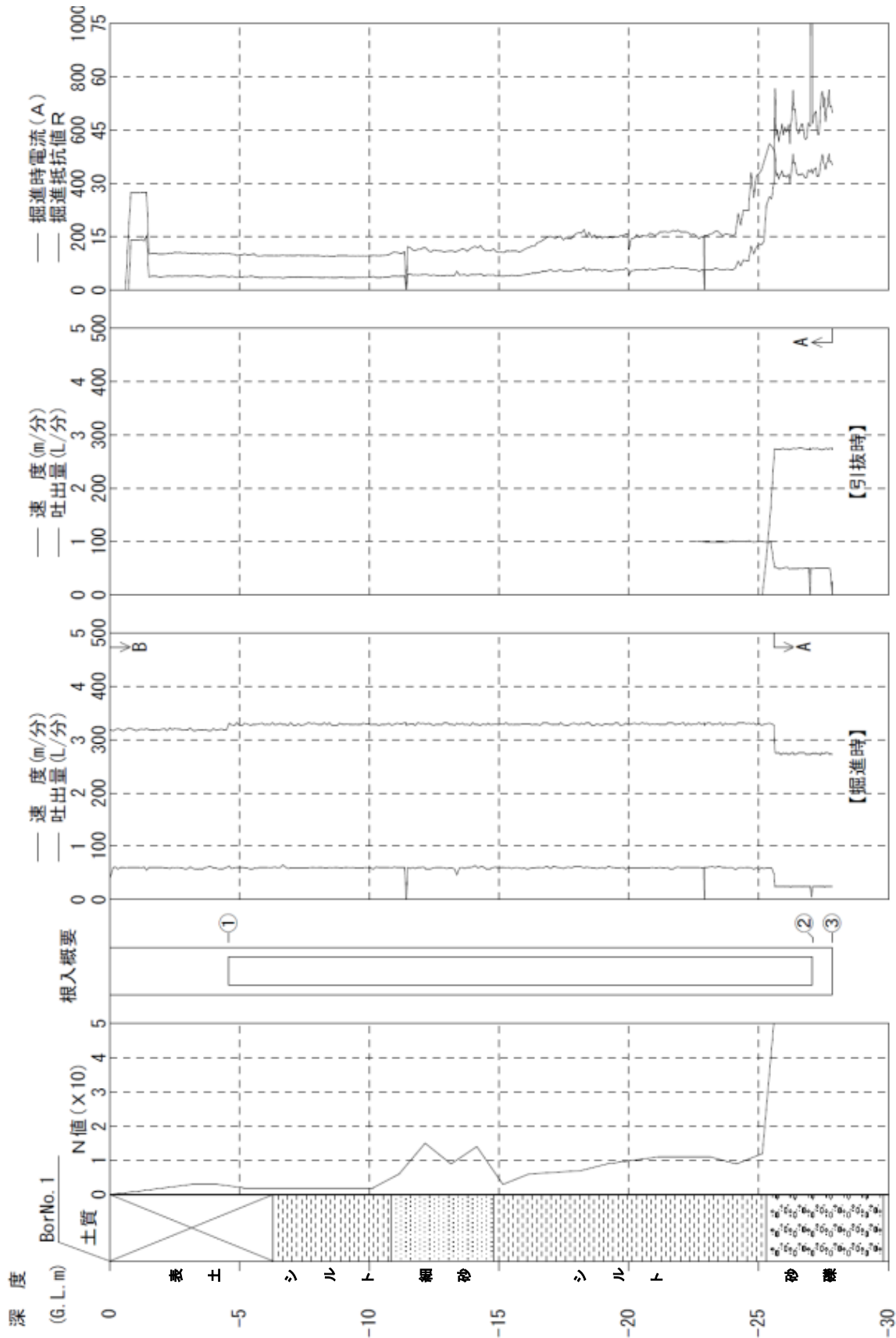


図 5.7.19 施工記録例（出典 5.7-24 に追記）

6. 鋼管の保持

鋼管の沈設直後は、ソイルセメント柱の固化が不十分なため、所定深さより深く自重で沈下する可能性がある。このため、試験杭での確認結果に基づき、鋼管が安定するまで所定の位置に保持する管理が必要である。一般的な保持方法としては、鋼管と連結したヤットコに受け鉄板等の保持具を取り付ける方法や、[図 5.7.20](#)に示すように鋼管の吊金具に鋼棒を取り付けて口元管に固定する方法が採用されている。鋼管の保持を解除する判断には、受け鉄板と口元管の間に鉄板を敷き、一定時間間隔で取り去り、鋼管が沈下しないことを確認する方法がある。保持時間は施工条件や状況によって異なり、試験杭で検討・決定したうえで本杭の施工に反映させる必要がある。ただし、本杭の施工時に使用する硬化遅延剤等を変更した場合は、再度保持時間の確認が必要である。

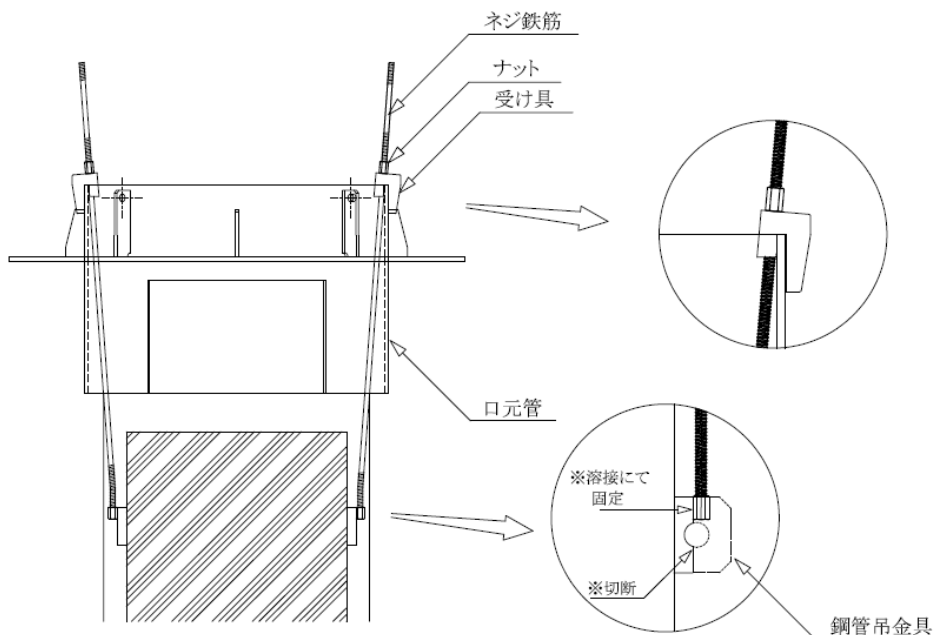


図 5.7.20 保持装置の例（出典 [5.7-25](#)）

参考文献

- 5.7-1) 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 2.0]，2021年3月
- 5.7-2) 日本道路協会：杭基礎施工便覧（令和2年度改訂版），2020年9月
- 5.7-3) 土木研究所 他：岩盤を支持層とする杭基礎の設計法・施工法に関する共同研究報告書，2019年4月

出典

- 5.7-① ソイルセメント合成鋼管杭工法技術協会：ハイエスシー（HYSC）杭工法 製品カタログ，P2
- 5.7-② 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 2.0]，p8 図-2.2，2021年3月
- 5.7-③ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），p227 図-3.6.3，2022年1月
- 5.7-④ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），p228 図-3.6.4，2022年1月
- 5.7-⑤ 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 2.0]，p11 図-2.5，2021年3月
- 5.7-⑥ 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 2.0]，p11 図-2.6，2021年3月
- 5.7-⑦ 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 2.0]，p12 図-2.7，2021年3月
- 5.7-⑧ 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 2.0]，p14 図-2.9，2021年3月
- 5.7-⑨ 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 2.0]，p14 図-2.10，2021年3月
- 5.7-⑩ 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 2.0]，p17 図-2.15，2021年3月
- 5.7-⑪ 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 2.0]，p18 図-2.16，2021年3月
- 5.7-⑫ 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 2.0]，p19 図-2.18，2021年3月
- 5.7-⑬ 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 2.0]，p19 図-2.19，2021年3月
- 5.7-⑭ 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 2.0]，p19 図-2.20，2021年3月
- 5.7-⑮ 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]，p20 表-2.5，2017年3月
- 5.7-⑯ 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 2.0]，p31 表-4.1，2021年3月
- 5.7-⑰ 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 2.0]，p33 図-4.2，2021年3月
- 5.7-⑱ 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 2.0]，p33 図-4.3，2021年3月

- 5.7-⑱ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭 —施工と施工管理— (改訂第3版), p237 表-3.6.2(1), 2022年1月
- 5.7-⑳ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭 —施工と施工管理— (改訂第3版), p238 表-3.6.2(2), 2022年1月
- 5.7-㉑ 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 2.0], p45 表-5.3, 2021年3月
- 5.7-㉒ 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 2.0], p45 写真-5.1, 2021年3月
- 5.7-㉓ 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 2.0], p58 書式例-4, 2021年3月
- 5.7-㉔ 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 2.0], p78 図-D.1, 2021年3月
- 5.7-㉕ 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 2.0], p11 図-2.11, 2021年3月

5.8 回転杭工法の施工および施工管理

5.8.1 一般

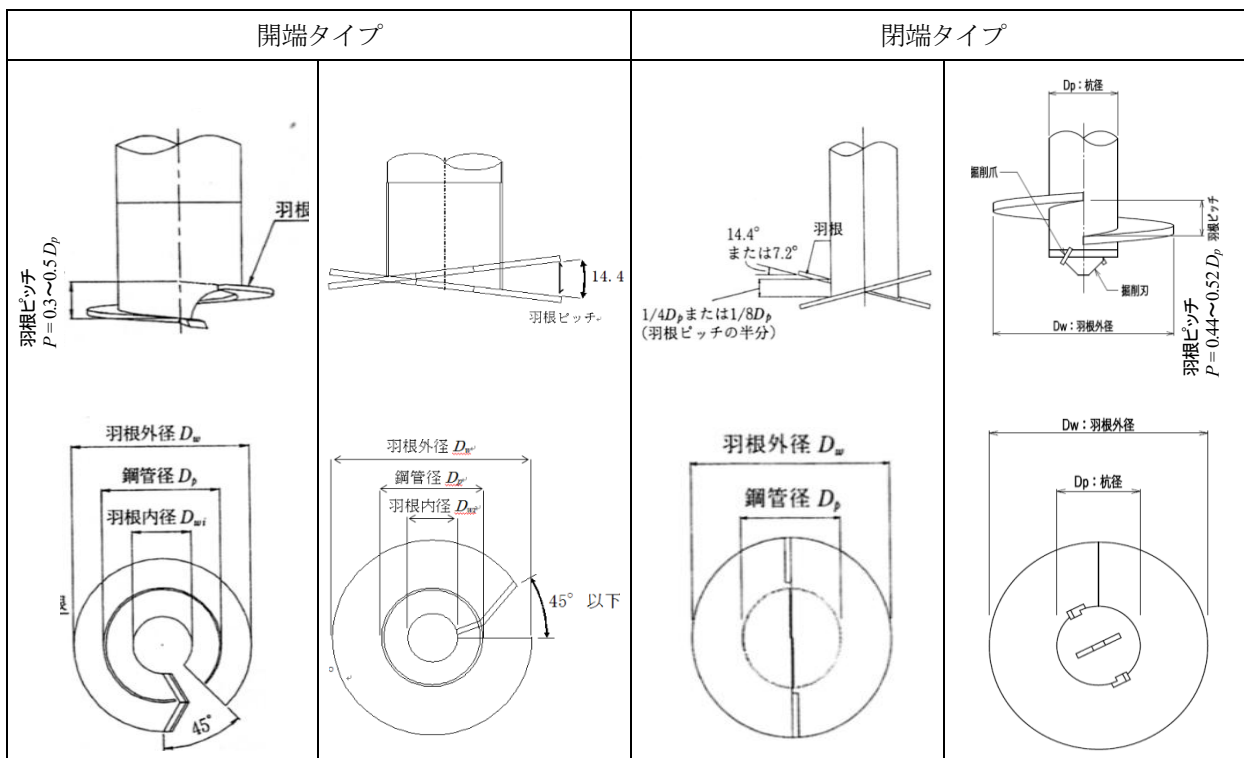
1. 概要

回転杭工法は、先端部に羽根を有する鋼管杭に回転力を付与して地盤に貫入させる工法である。代表的な先端羽根形状を表5.8.1に示す。先端の羽根は、施工時に回転による推進力を発生するだけでなく、拡底部材として同径の打込み杭より大きな先端押込み支持力とアンカー効果による大きな引抜抵抗力が得られる。また木ネジのように地盤に回転貫入させて沈設するため、掘削残土の排出がないことと、斜杭が比較的精度よく容易に施工することができることも特長である。以下に回転杭工法の特長をまとめる。

なお、回転杭工法の施工についての詳細は「鋼管杭—施工と施工管理—」^{5.8-1)} や(一社)鋼管杭・鋼矢板技術協会「回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]」(令和3年)^{5.8-2)} (以下、「回転杭工法 施工管理要領」という)などを参考にするとよい。

- ・ 杭径に比べて大きな羽根の拡底効果により大きな先端押込み支持力が得られる。
- ・ 先端羽根のアンカー効果により大きな引抜抵抗力が得られる。
- ・ 発生残土がない、汚泥が発生しない。
- ・ 斜杭の施工が可能である。
- ・ 低騒音、低振動での施工が可能である。
- ・ 被圧地下水下での施工が可能である。
- ・ セメントプラントなどの設備が必要なく、狭隘な施工スペースでの施工が可能である。
- ・ セメントミルクなどを用いないため、地下水を汚染しない。

表 5.8.1 先端羽根形状 (出典 5.8-①に加筆)



2. 施工手順

回転杭の施工は、杭の建込み、回転貫入、支持層への貫入と打ち止めの3つの主要工程から成り立つ。回転杭の標準的な施工フローを図5.8.1に示す。

回転杭工法の施工方法には、小型杭打機、3点支持式杭打機を用いて杭頭部に回転力を付与する杭頭回転方式と、全周回転機を用いて杭胴体部に回転力を付与する胴体回転方式がある。図5.8.2および図5.8.3に施工手順を示す。



図 5.8.1 回転杭の標準施工フロー (出典 5.8-②)

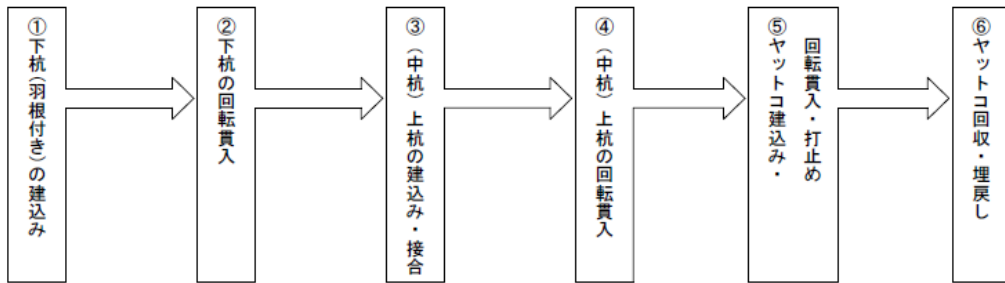
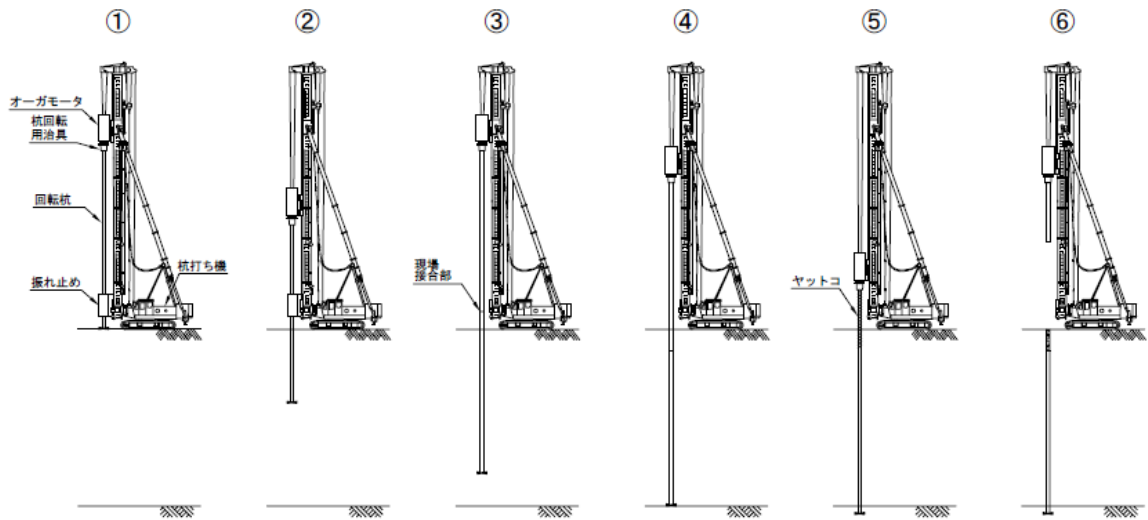


図 5.8.2 杭頭回転方式の施工手順例 (出典 5.8-③)

① ② ③ ④ ⑤ ⑥

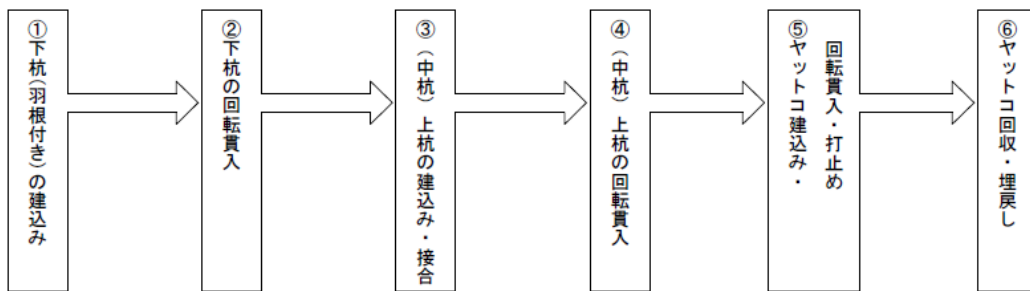
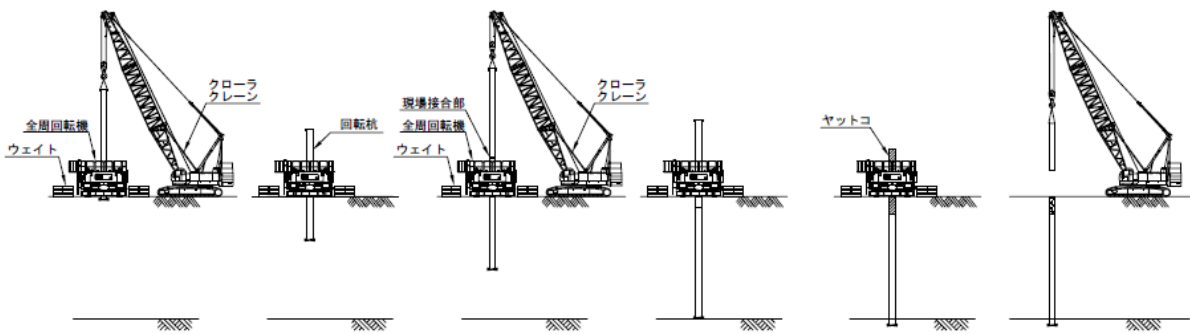


図 5.8.3 胴体回転方式の施工手順例 (出典 5.8-④)

3. 施工機械

回転杭工法に使用する主要な施工機械は、回転貫入機（小型杭打機、3点支持式杭打機、または全周回転機）、補助クレーン、施工管理装置である。図5.8.4～図5.8.6に各施工機械・設備の配置例を示す。

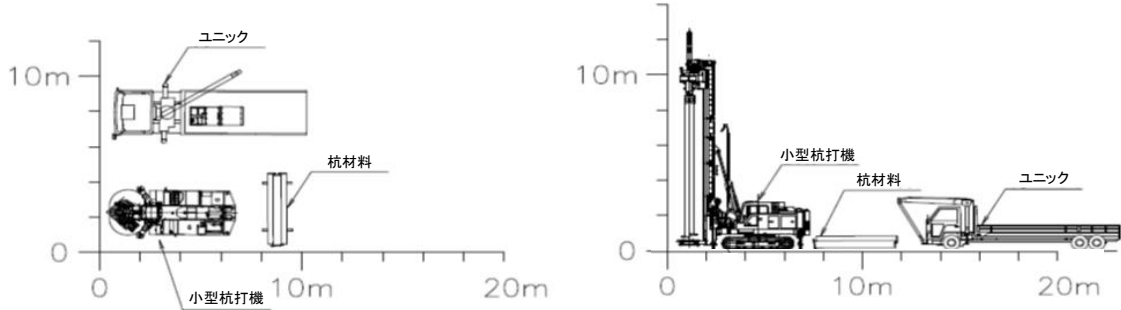


図 5.8.4 小型杭打機の配置例（出典 5.8-⑤）

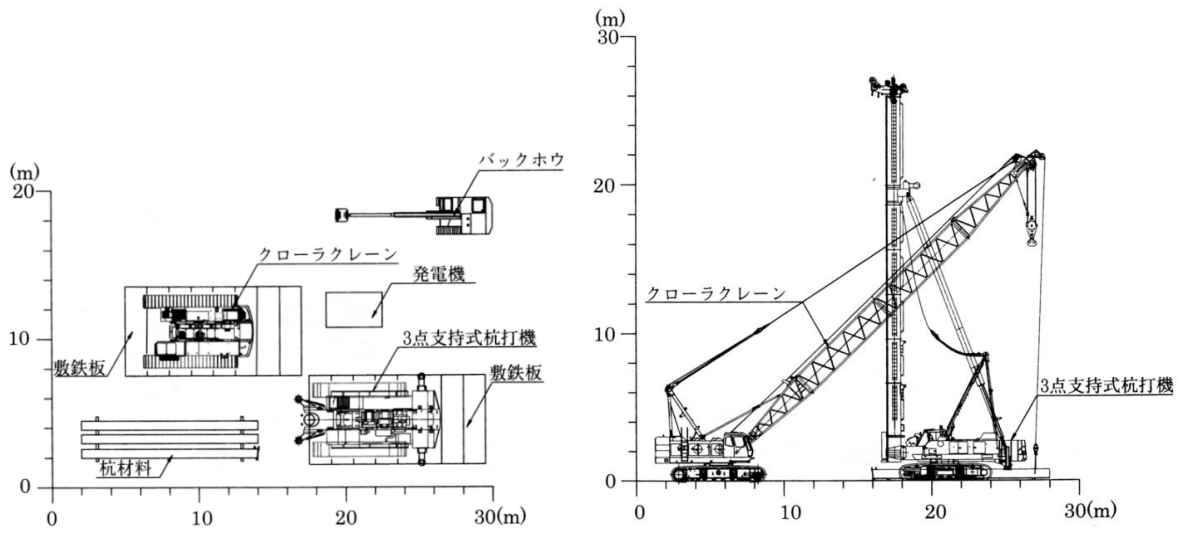


図 5.8.5 3点支持式杭打機の配置例（出典 5.8-⑥）

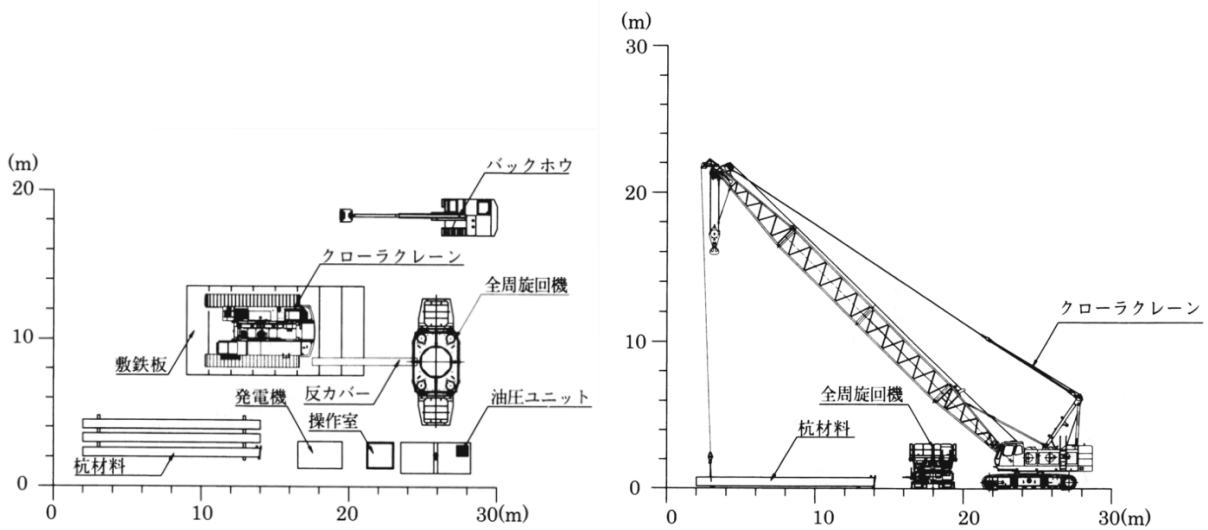


図 5.8.6 全周回転機の配置例（出典 5.8-⑦）

施工機械は、施工する杭径、深度、地盤条件、あるいは作業ヤードの広さなどの制約条件を考慮して、適切な機種を選定する必要がある。

施工機械の組立・分解、施工機械の移動・旋回、さらには回転杭の保管場所などを考慮すると、回転杭の施工には 400m²程度以上の作業ヤードが必要となるのが一般的であるが、セメントプラントなどの設備が不要であるため、現場の制約条件に応じて臨機応変に機械を配置することが可能である。また小型杭打機を用いる場合は、50m²程度以上の作業ヤードで対応できるため、他の工法に比べると狭小・狭隘地施工に適している。

杭径に応じた施工機械の選定目安を [図 5.8.7](#) に、杭打機とオーガ駆動装置、補助クレーンの組合せの例を [表 5.8.2](#) に示す。

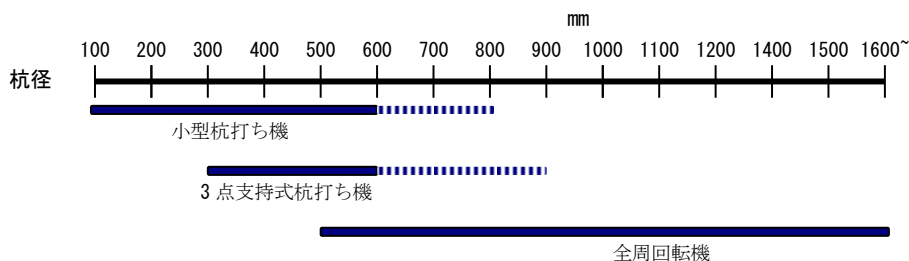


図 5.8.7 施工機械の選定の目安 (出典 [5.8-⑧](#))

表 5.8.2 杭打機、駆動装置、補助クレーンの組合せ例 (出典 [5.8-⑨](#) に加筆・修正)

	杭打機の種類		
	小型杭打機	3点支持式杭打機	全周回転機
杭打機	自走式 (杭径φ100~600mm程度)	3.6~80t吊り級 (杭径φ300~600mm程度)	油圧式 (杭径φ500~1600mm程度)
オーガ駆動装置	10~694kN・m (油圧式)	60~180kW級 (電動式)	1,400~8,000kN・m (油圧式)
補助クレーン	2.9t吊り級 (クレーン装置付きトラック)	25~80t吊り級	65~200t吊り級 4.9t吊り級

4. 鋼管杭および付属品

(1) 鋼管杭本体

鋼管杭は JIS A 5525 鋼管ぐいの SKK400 または SKK490 を標準としているが、施工時の回転トルクに対する安全性および経済性などの観点から SKK490 が多用される。

これに加え、建築分野では建築基準法第 37 条に基づき指定建築材料と指定されている JIS G 3444 一般構造用炭素鋼鋼管の STK400 または STK490 等の JIS 規格品や、国土交通大臣の認定を取得したより高強度の材料が適用可能な場合がある。また、土木分野においても、建設技術審査証明等によって前記 JIS 規格品を適用可能としているものがある。詳細については各工法の認定内容を参考にするのがよい。

回転杭では施工時に発生する回転トルクに対して杭体の健全性を守るため、杭体のねじり降伏トルクに対して余裕を持たせた値やその他の条件を考慮して定める施工制限トルクも参考に材質・板厚などを選定する。杭体のねじり降伏トルクの計算方法は、「杭基礎施工便覧」^{5.8-3)} や「回転杭工法 施工管理要領」など

を参考にするとよい。なお、杭径に対して鋼管の板厚が薄い場合には、ねじり座屈の発生により上記計算方法により算定する杭体のねじり降伏トルクよりも小さな値で破損する可能性があることから、板厚は $t_{pn}/D_p \geq 1.3\%$ を一つの目安として、各工法の施工マニュアルや施工実績などを参考に適切な仕様を設定する。ここに、 t_{pn} : 杭の一般部の板厚、 D_p : 杭径とする。

(2) 先端羽根

先端羽根は施工時において鋼管杭の回転により貫入推進力を発生させる施工部材として、また供用時には荷重を支持する構造部材として機能する重要な部位である。羽根および羽根が取り付けられている先端部の鋼管の詳細な仕様は、押し込み支持力や引抜抵抗力、施工時の回転トルクに耐えられるよう工法ごとに設定されている。

先端部の鋼管および羽根の仕様は、工法ごとおよび分野ごとに異なっており、各工法の規定に従う必要がある。なお、「道路橋示方書・同解説 下部構造編」^{5.8-4)} では、杭先端の極限支持力度の推定式を適用できる条件として、羽根外径が杭径の1.5倍または2.0倍、先端が閉端タイプまたは羽根内径/杭径比が1/2以下の開口タイプ、羽根外周の切欠き長さの合計が全周の1/8以下とされている。

(3) 回転金具

回転金具は施工機械からの回転力を杭体に伝達させる施工用の部材である。

杭頭回転方式の場合、回転金具を鋼管の頭部付近の外表面（内面の場合もある）に2～4個取付ける。胴体回転方式の場合は基本的には不要であるが、ヤットコを用いる場合は上杭の鋼管の頭部付近の内面に2個取付ける。回転金具の例を[写真5.8.1](#)、[写真5.8.2](#)に示す。



写真 5.8.1 回転金具の例（杭頭回転方式）
（出典 [5.8-⑩](#)）



写真 5.8.2 回転金具の例（胴体回転方式）
（出典 [5.8-⑪](#)）

5.8.2 施工法

1. 回転杭の建込み

回転杭の建込みは、杭打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。

3点支持式杭打機、小型杭打機の場合、杭は杭打機またはクレーンにより吊込み、回転金具と回転キャップを接続する。

全周回転機の場合、杭はクレーンにより杭を把持するスパイラルカラーの螺旋状の溝を通して建込むか、杭を建て込んだ後にミニクレーンなどでケーシングライナーを取り付ける。ケーシングライナーを取り付ける際には作業者が杭との間に挟まれないよう安全に留意する。

鋼管杭は所定の杭心位置に正確に設置し、3点支持式杭打機、小型杭打機を用いる場合には、あらかじめ杭心から一定距離に設置しておいた2個所の逃げ心（鉄筋棒など）の位置から鋼管外周までの距離をスケール・定尺棒などで確認しながら、杭中心と杭心が一致するように施工機械を移動させる（[5.6 中掘り杭工法の施工と施工管理](#)参照）。全周回転機の場合には、鋼管杭を吊り込む前にベース鉄板の開口部の中心を出すために直行する2方向に水糸等を張り、水糸の交点と杭心が一致するようにベース鉄板を設置し、ベース鉄板のストッパーに合わせて全周回転機をクレーンでセットする。施工中の杭の建込み精度は、トランシット、下げ振り、水準器または傾斜計などにより直角2方向から確認する。[写真5.8.3](#)に回転キャップ、[写真5.8.4](#)にベース鉄板、[写真5.8.5](#)にスパイラルカラー、[写真5.8.6](#)にケーシングライナーを示す。



写真5.8.3 回転キャップ（出典 [5.8-12](#)）



写真5.8.4 ベース鉄板（出典 [5.8-13](#)）



写真5.8.5 スパイラルカラー（出典 [5.8-14](#)）



写真5.8.6 ケーシングライナー（出典 [5.8-15](#)）

2. 回転貫入

回転貫入開始時は、杭の偏心量と鉛直精度に十分注意しながら、ゆっくり回転貫入させる。貫入時には、回転トルク(回転抵抗値)、貫入量などの施工状況を常に確認しながら施工を行う。

回転貫入作業は以下の事項に留意する。

(1) 回転貫入

回転トルク(回転抵抗値)を連続的に測定し、その変化状況と地盤の土質およびN値とを対比しながら貫入する。回転貫入開始直後から5m程度貫入するまでは、地盤による側方の拘束が小さく杭心ずれや杭の傾斜が生じやすいので、細心の注意を払って杭心や鉛直性の調整作業を行う。3点支持式杭打機、小型杭打機の場合には下杭施工中は杭を振れ止め装置で拘束した状態で施工する。

継ぎ杭の場合には、下杭の施工終了後に中杭または上杭を建込み、鋼管の接合を行った後、同様に回転貫入を行う。

(2) 押し込み力の付加

先端羽根による推進力が十分に得られず貫入量が減少する（1回転あたりの貫入量が羽根ピッチに比べて極端に小さい）場合には、押し込み装置により杭体に押し込み力を付加して回転貫入を補助する。

過度な押し込み力は杭の鉛直精度や偏心量に悪影響を及ぼし、品質が確保できなくなることもあるので注意する。

硬質粘性土層や地層（または地盤の硬さ）の変わる境界付近では、羽根の推進力が不足して滑りが発生し貫入速度が著しく低下することがある。一度そのような状況が発生すると解消するまでに時間がかかるので、適切な押し込み力の付加によりスムーズに貫入するように施工する。

(3) ヤットコ施工

[5.6 中掘り杭工法の施工および施工管理](#)に準拠する。

3. 杭の施工性・貫入性

回転杭工法の先端部の羽根は、供用時の荷重を支持する構造部材として機能するほか、施工時には自ら貫入推進力を発生する施工部材であるため、施工時に杭体を損傷しない施工が肝要である。また、供用時には設計を満足するため、施工時に地盤を過度に乱すことのない施工を心掛けることが必要である。

(1) 中間層の打抜き

回転杭工法の場合、大きな玉石などの地中障害物が存在する場合や中間層が非常に硬い場合・厚い場合などは補助工法を用いることを検討する。補助工法としては、スパイラルオーガによるもみほぐし処理や、全周回転機によるケーシングとハンマグラブによる掘削、障害除去・置換などが挙げられる。この他、開端タイプの場合には鋼管内で締め固まった土をハンマグラブやスパイラルオーガなどによって取り除く方法が挙げられる。

(2) 支持層への貫入性

1) 砂層

地盤からの推進力を最も安定して得られやすいのが砂層で、換算 N 値 100 程度以下であれば施工可能な場合が多い。貫入性はよい一方、施工トルクが上昇しやすく杭体の施工制限トルクや機械能力を超える回転トルク（回転抵抗値）が必要となる場合があるため注意が必要である。そのような場合には、杭を逆回転で多少引き上げて再度正回転で貫入するなど、施工時に発生するトルクを抑えながら徐々に回転するとよい。また、砂層では根入れ長が厚くなるにつれて施工困難へ至りやすく、長時間にわたる回転貫入に伴って杭材が損傷したり、支持層を乱したりするおそれが高まる。このような場合には、無理に根入れを継続するのではなく、地盤調査や試験杭で得られた成果などを参考に打ち止めることとなるが、特に所定根入れ長が不足する場合や、設計時に想定された周面抵抗が得られない場合などは、設計条件に対する検証が別途必要となるため、元請技術者等と十分協議を行う必要がある。

2) 礫層

杭径や礫の密度などによっても影響度合いは異なるが、主に開端タイプの場合には最大礫径が杭径の 1/4～1/2 程度かつ 300mm 以下程度までの礫に対しては施工可能な場合が多い。一方、閉端タイプの場合には、より小さな粒径でも障害となる場合があるため、開端・閉端共に各工法の第三者審査機関の認定（評定）や施工実績などを基に計画すると良い。

3) 粘性土層

回転杭工法は、先端部の拡幅した羽根で地盤に貫入させるため、比較的軟弱な粘性土に対しては推進方向に押し込む力はそれほど生じないため施工可能な場合が多い。ただし、閉端タイプの場合には地盤による先端抵抗の影響が大きく、貫入を阻害してしまう場合などもあるため、各工法の施工実績などを基に計画すると良い。また、硬質粘性土層や層内へレンズ状に狭在する粘性土層では、羽根の推進力が不足して空転状態へ至り、貫入性が著しく低下するなど顕著に施工性が悪化する場合もあり注意が必要である。なお、回転杭工法における支持層の主な適用土質は、砂質土層、礫質土層であり、支持層として粘性土へ適用可能な工法は限られるため、施工面のみならず設計支持力などについても、適用分野ごとに各工法が取得した第三者審査機関の認定（評定）に基づき適用範囲や設計条件など十分な検討が必要である。

4) 岩盤・岩石

岩盤を支持層とする場合の杭基礎については、岩盤の特性把握や杭工法に応じた支持機構の検証等が必要である。回転杭に関しては、過去に岩盤を支持層とする地盤での採用例も存在するが、載荷試験数や施工試験などに基づく施工・施工管理手法の検証が十分とはいえないため、適用に際しては検討が必要である。岩盤を支持層とする場合の施工については、「[回転杭工法 施工管理要領](#)」なども参考にするとよい。

4. 斜杭の施工

斜杭は、「[道路橋示方書・同解説 下部構造編](#)」では10度程度までとするのがよいとされ、また（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）[5.8-5](#)でも10度以下での使用を基本とするとされており、施工実績も上記要件内が多い。斜杭の施工状況を[写真5.8.7](#)に示す。

なお、斜杭の施工についての詳細は「[回転杭工法 施工管理要領](#)」などを参考にするとよい。



写真 5.8.7 斜杭の施工状況（出典 [5.8-16](#)）

5.8.3 施工管理

1. 一般

[5.6 中掘り杭工法の施工と施工管理](#)を参照。

2. 試験杭

[5.3 試験杭](#)を参照。

3. 施工管理項目

各施工管理項目の管理方法および標準的な管理基準の例を表 5.8.3 に示す。施工工程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。

施工プロセスの記録は、数値などで表現できない項目も多いため、こうした場合にはチェックリストでの実施チェック記入や写真またはビデオなどでの実施記録も活用するのがよい。

表 5.8.3 標準的な施工管理項目と管理基準（例）（出典 5.8-⑰）

区分	対象	管理項目	管理方法	管理基準	
杭材料	鋼管・先端羽根	規格・材質等	鋼管表示の確認	JIS A 5525, JIS G 3444 設計図書による	
		外観検査	目視	変形等有害な損傷がないこと	
		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, JIS G 3444 設計図書による	
施工機据付	施工機	平面位置	杭心と据付心のずれをスケールで計測	±10mm 以内	
		鉛直性	角度計等（機械付帯等）	1/100 以内	
杭回転貫入	杭建込み	鉛直性	トランシット、水平器等で 2 方向から確認	1/100 以内	
		貫入状況	偏心量	逃げ心から定尺棒でチェック	$D_p^*/4$ 以内かつ 100mm 以内
	杭の傾斜		トランシット、水平器、傾斜計	1/100 以内	
	回転トルク		施工管理装置	施工制限トルク値以内	
	貫入状況	貫入量と羽根ピッチを確認 モーター運転音や周辺地盤に異常値や異常現象がないこと		1 回転あたりの貫入量が羽根ピッチを大幅に超えていないことなど	
		支持層確認	回転トルク、貫入量	回転トルク等の管理指標	試験杭で定めた管理指標
	深度		施工管理計	支持層から所定根入れ長以上（設計に従う）	
	現場縦継ぎ溶接	溶接工の技量資格	5.13.1 現場円周溶接を参照		
		溶接環境（風・気温等）			
		継手条件（目違い・ルート間隔等）			
溶接条件（電流・電圧・パス数等）					
外部きず					
内部きず					
出来形	偏心量	トランシットによる測量等（ヤットコセット前）	$D_p^*/4$ 以内かつ 100mm 以内		
	天端高さ	ヤットコにマーキングし、レベル測量器等による測量	±50mm**以内		

* D_p ：杭径

**支持層の不陸等により高止まり、低止まりとする場合は、元請技術者らと協議し設計的な確認が必要である。

4. 施工管理装置

施工管理装置は、回転杭貫入時の主要な管理項目について常時表示・記録できるものを用いるものとする。主要な管理項目としては、施工深度、回転トルク（回転抵抗値）、杭1回転当たりの貫入量であり、これらの他に回転杭の施工法や管理目的に応じて、施工時間、付加する押込み力、単位時間当たりの貫入量等も表示・記録の対象とするのが良い。[写真5.8.8](#)に施工管理装置のモニター写真の例を、[写真5.8.9](#)に小型杭打機モニター写真の例を示す。



写真5.8.8 施工管理装置のモニター写真の例
(出典[5.8-10](#))



写真5.8.9 小型杭打機モニター写真の例
(出典[5.8-19](#))

5. 支持層の確認と打止め

回転杭では、回転速度がスパイラルオーガによる掘削に比べて遅く、また羽根が杭先端のみであり先端地盤の硬軟が回転トルク（回転抵抗値）に反映されることから、一般的には施工時の回転トルク（回転抵抗値）が土質柱状図のN値（あるいは換算N値）と高い相関を示す傾向にある。ただし、その相関性は現場毎の地盤や杭の施工条件（施工機械能力や杭体耐力から決まる回転トルク（回転抵抗値）の上限、回転速度、押込み力等）によって異なるため、本杭の支持層への確実な根入れのために試験杭で回転トルク（回転抵抗値）とN値の関係を把握し、当該現場における支持層の確認方法を設定する。試験杭における支持層の確認例を（例1）、（例2）、（例3）に示す。

(例1) 試験杭における支持層の確認例 NSエコパイルの例 (φ1200、1.5倍径)

土質柱状図と回転トルク (回転抵抗値)、1回転あたりの貫入量、押込み力の施工記録例を[図5.8.8](#)に示し、回転貫入状況と管理指標の設定について以下に示す。

深度 0~14m 付近 : 沖積粘土を主体とした地層であるため、回転トルクは比較的小さい。1回転あたりの貫入量はほぼ羽根ピッチ (360mm) である。

深度 14~27.4m 付近 : 洪積粘土を主体とした地層で上層より N 値が高くなっている。回転トルクは上昇するものの、1回転あたりの貫入量はほぼ羽根ピッチである。

深度 27.4m 以深 : 深度27.4m 付近において急激に回転トルクが上昇したことから、打ち止めの対象である堅固な層へ鋼管杭の先端が到達したことが確認される。なお洪積細砂土においても1回転あたりの貫入量はほぼ羽根ピッチであり、特殊な施工状況とはなっていない。また支持層貫入後には1000kN・m 超の回転トルクが発生し、所定深度を貫入して打ち止めた。

本杭の施工では、これらの挙動を管理指標として支持層の確認を行った。

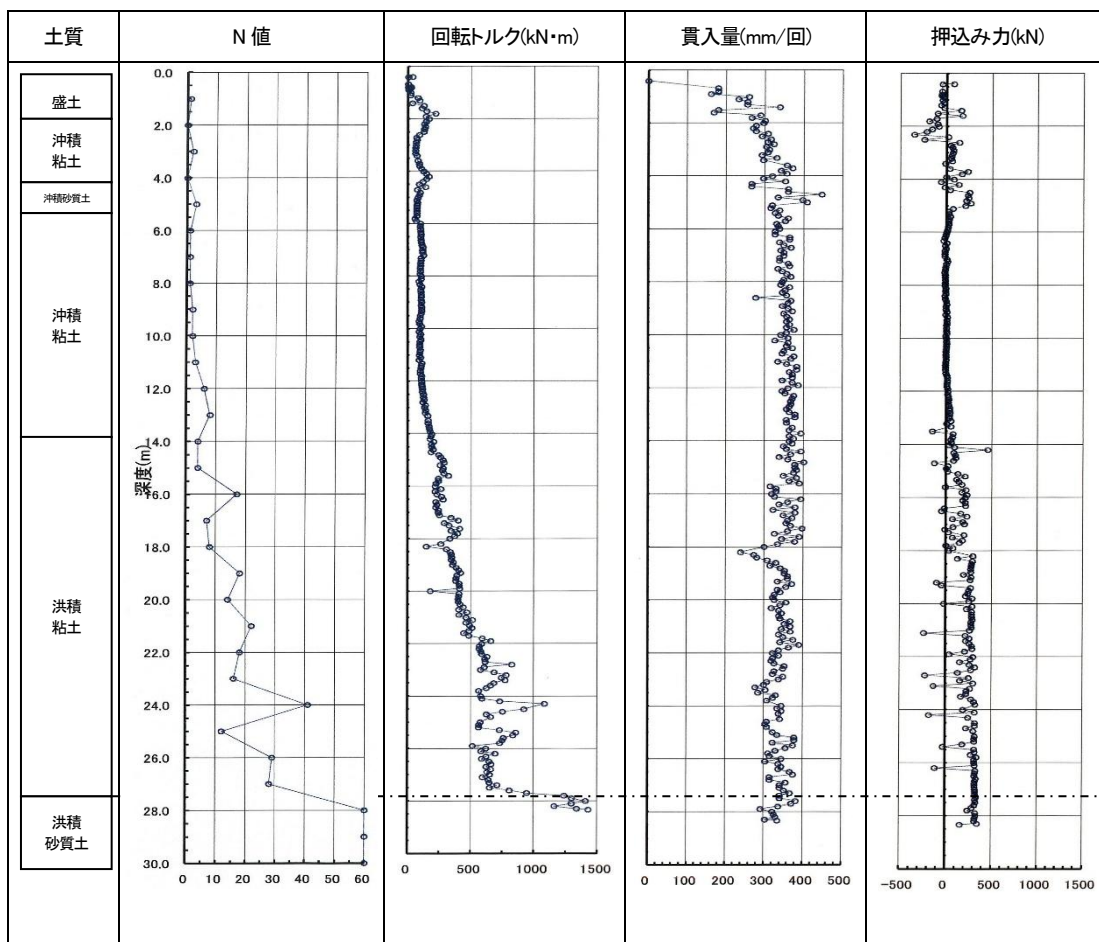


図 5.8.8 施工記録例① (出典 [5.8-20](#))

(例2) 試験杭における支持層の確認例 つばさ杭の例 (φ1000、1.5倍径)

土質柱状図と回転トルク (回転抵抗値)、 回転トルク (回転抵抗値) を1回転あたりの貫入量で除した値 (つばさ杭において「硬さ指標」と呼称)の施工記録例を図5.8.9に示し、回転貫入状況の特徴と管理指標値の設定例を以下に記す。

深度 0～10m 区間 : 粘土層を主とした地層であるため、回転トルクは比較的小さい。

深度10～20m 区間 : 砂層が中心の地層となり、N 値の増加とともに回転トルクも上昇している。1回転あたりの貫入量が小さくなっていることから、硬さ指標が大きくなっている。

深度20～35m 区間 : シルト層が中心の地層であるため、回転トルクが再度小さくなっている。

深度35～40m 区間 : 36m の N 値30の細砂層からは、回転トルクが上昇し、硬さ指標も大きな値となっている。

深度40～45.2m 区間 : 支持層手前からは、測定ピッチを増やして計測を行っている。43m の粘土層では硬さ指標が一旦降下するものの、土質柱状図の支持層上端深度である43.5m で硬さ指標が明確に上昇している。43.5m 以深からは回転トルクが上昇するとともに硬さ指標が定常的に250kN・m/cm 程度以上発生しており、ボーリング調査結果との対比からも、支持層に到達していることが確認できる。

この試験杭はボーリング調査位置直近で実施しており、施工データからも土質柱状図と杭施工位置の支持層に大きな相違はないものと推定される。

よって本杭の施工では、43.5m 点での値を読み取った190kN・m/cm を支持層上端判断の指標値とするとともに、支持層に貫入されてからは試験杭と同様の傾向を示すこと、すなわち支持層上端よりも回転トルクが上昇することや硬さ指標が定常的に250kN・m/cm 程度以上発生することを確認したうえで、硬さ指標が190kN・m/cm 以上発生する点を支持層上端として杭径程度以上根入れさせて打ち止め管理をするものとした。

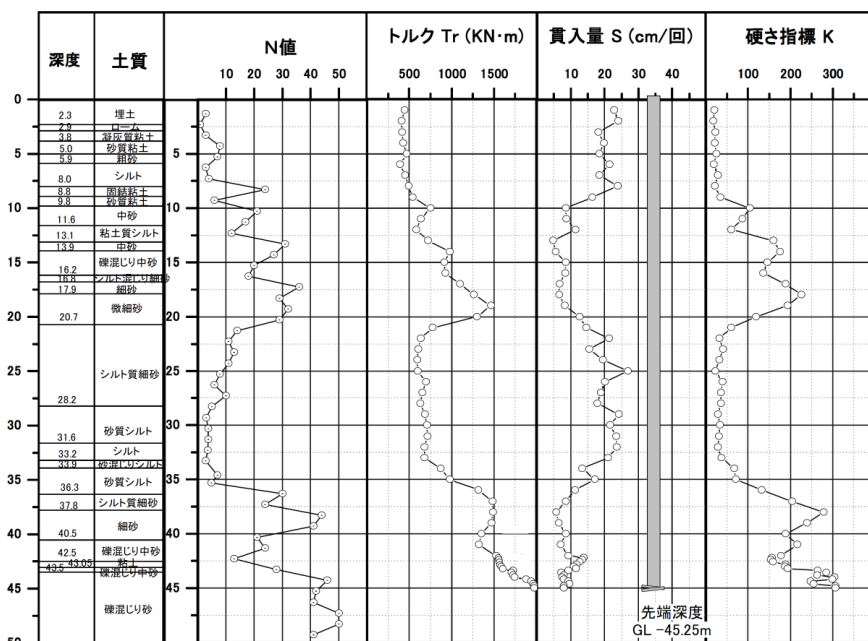


図 5.8.9 施工記録例② (出典 5.8-②)

(例3) 試験杭における支持層の確認例 スクリューパイル EAZET の例 (φ267.4、2.5 倍径)

土質柱状図と回転トルク (回転抵抗値)、1回転あたりの貫入量の施工記録例を [図5.8.10](#) に示し、回転貫入状況の特徴と管理指標の設定例を以下に示す。

- 深度 0～11m 付近 : N 値の小さい粘性土層で、回転トルクは小さく1回転あたりの貫入量はほぼ羽根ピッチ (150mm) である。
- 深度11～17m 付近 : シルト混じりの砂層で N 値の増加とともに回転トルクも徐々に上昇する。1回転あたりの貫入量は少しずつ減少し地盤が硬くなっていることがわかる。
- 深度17～18m 付近 : 有機物が混入する地層で、回転トルクの低下とともに1回転あたりの貫入量も増加し砂層からの変化を示している。深度17.5m 付近では、回転トルクが低下しているにもかかわらず1回転あたりの貫入量がやや減少し施工時間を少し要していたことから、固結シルト層で少し空転気味に貫入している。
- 深度18～19m 付近 : 深度18m 付近で回転トルクの急激な上昇、1回転あたりの貫入量の変化を確認し、この深度が打ち止め対象である柱状図のシルト混じり砂層のほぼ一致することから支持層に到達したと判断する。その後は支持層到達時と同様な傾向が打ち止め深度まで継続されたことから確実な根入れができたことが確認できる。

本杭では、試験杭の結果と同様、深度18m 付近での回転トルクの上昇を確認するとともに、1回転あたりの貫入量の変化も併せて総合的に判断することとし、支持層到達以降の回転トルクが安定的に170～200kN・m 発現することを確認することとした。

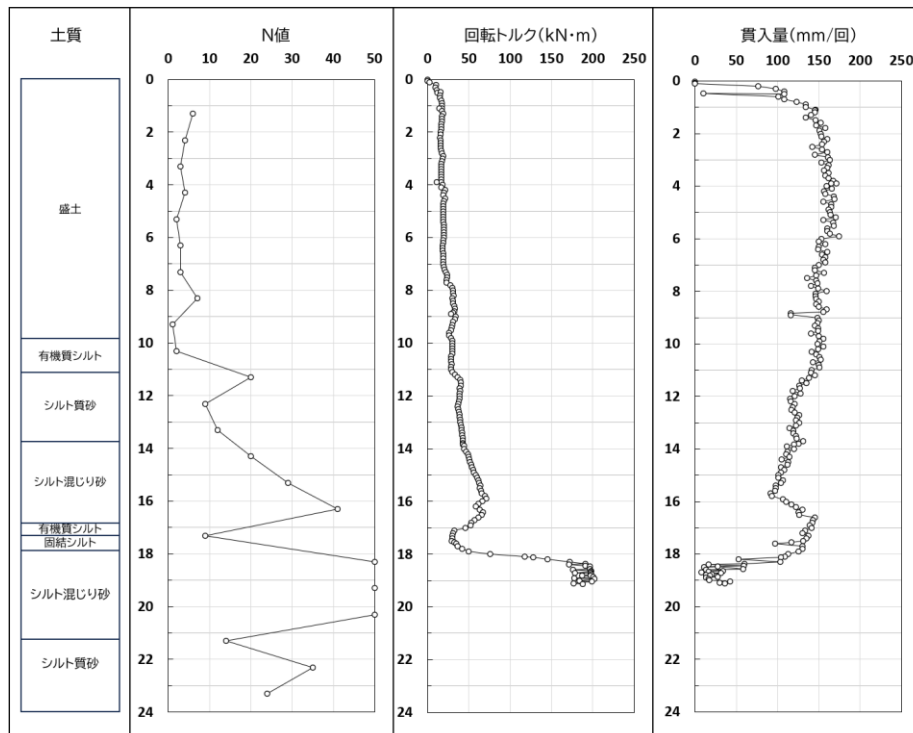


図 5.8.10 施工記録例③

参考文献

- 5.8-1) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭 —施工と施工管理— (改訂第3版)，2022年1月
- 5.8-2) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，2021年3月
- 5.8-3) 日本道路協会：杭基礎施工便覧 (令和2年度改訂版)，2020年9月
- 5.8-4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編 (平成29年度改訂)，2017年11月
- 5.8-5) 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)，2012年1月

出典

- 5.8-① 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭 —施工と施工管理— (改訂第3版)，p246 表-3.7.1，2022年1月
- 5.8-② 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭 —施工と施工管理— (改訂第3版)，p247 図-3.7.1，2022年1月
- 5.8-③ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p8 図-2.2，2021年3月
- 5.8-④ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p8 図-2.3，2021年3月
- 5.8-⑤ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p10 図-2.6，2021年3月
- 5.8-⑥ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p10 図-2.5，2021年3月
- 5.8-⑦ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p11 図-2.7，2021年3月
- 5.8-⑧ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p9 図-2.4，2021年3月
- 5.8-⑨ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭 —施工と施工管理— (改訂第3版)，p251 表-3.7.3，2022年1月
- 5.8-⑩ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p15 写真-2.1，2021年3月
- 5.8-⑪ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p15 写真-2.2，2021年3月
- 5.8-⑫ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p24 写真-4.1，2021年3月
- 5.8-⑬ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p24 写真-4.2，2021年3月
- 5.8-⑭ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p24 写真-4.3，2021年3月
- 5.8-⑮ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p24 写真-4.4，2021年3月
- 5.8-⑯ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p27 写真-4.7，2021年3月
- 5.8-⑰ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭 —施工と施工管理— (改訂第3版)，p257 表-3.7.4，2022年1月
- 5.8-⑱ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p50 写真-5.1，2021年3月
- 5.8-⑲ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p50 写真-5.2，2021年3月
- 5.8-⑳ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p65 図-E.1，2021年3月
- 5.8-㉑ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：回転杭工法 施工管理要領 [Edition 2.0]，p66 図-E.2，2021年3月

5.9 打撃工法の施工および施工管理

5.9.1 一般

1. 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。杭打機のベースマシンは、3点支持式杭打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てハンマを吊り下げた状態で打込みを行うフライングハンマ方式による施工も増えてきている。

打撃工法は他の工法と比較して一般的には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. 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、鋼管の天端を施工基面より低い位置まで打ち下げる場合はヤットコ施工工程がこれらに追加となる。[図5.9.1](#)に打撃工法の標準的な施工フローを示す。



図 5.9.1 打撃工法の一般的な施工フロー (出典 5.9-①)

3. 施工機械

打撃工法に使用する主要な施工機械・機器は、3点支持式杭打機、クレーン、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 5.9.2](#) に示す。なお、河川や海などの水上工事の場合は、杭打船や起重機船、台船等を利用した船施工か、施工用の仮設栈橋・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ことが多い。

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。

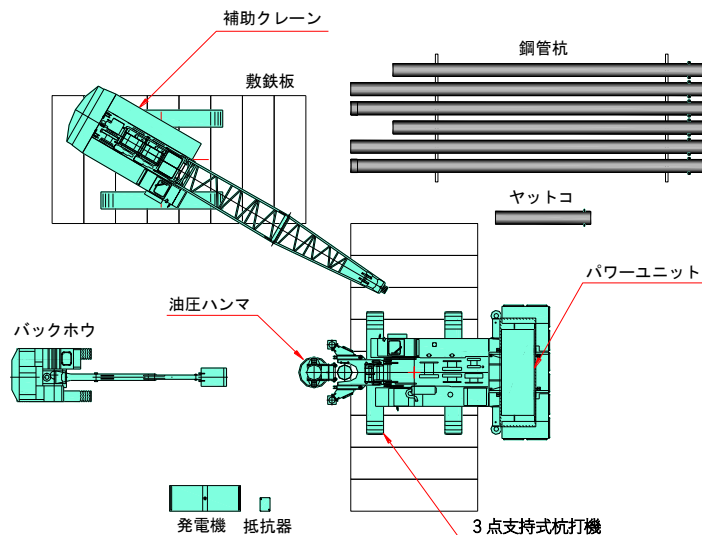


図 5.9.2 陸上施工での平面配置の例（出典 5.9-②）

(1) 杭打機

杭打機には、陸上施工と海上施工用がある。陸上施工用の杭打機本体は、3点支持式杭打機を使用する場合やクローラー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。

海上施工用の杭打船は、杭打ち専用船と起重機船を利用したものや台船を利用したものがあるが、海象・気象条件（波浪、潮流、濃霧、風雨等）、船団配置や係留等の現場の作業条件、地盤の土質条件、鋼管杭の仕様、ハンマの能力などを考慮して、最も適した杭打船を選定する。

1) 3点支持式杭打機

油圧ハンマを杭打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 5.9.3 に 3点支持式杭打機の形状例を示す。

杭打機の詳細についてはメーカーの Web サイト等を参照されたい。

- ・日本車両製造下部域会社
- ・住友重機械建機クレーン株式会社
- ・コベルコ建機株式会社

2) クローラークレーン

油圧ハンマをクレーンで直接吊った状態で杭を打設するフライングハンマ工法の場合に使用する。

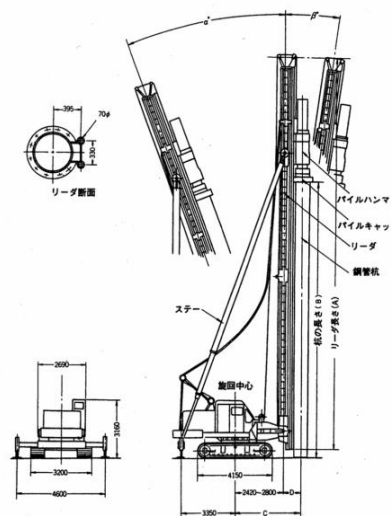


図 5.9.3 3点支持式杭打機の形状例（出典 5.9-③）

3) 杭打船

(i) 杭打船の種類

杭打船には大別して次の3種類がある。

(a) 杭打ち専用船

最初から杭打ち作業を目的として建造された船で、リーダその他必要な付属設備を装備している。最近の専用船の多くは、パイルキーパー（パイルホルダー）を装備する、リーダを前傾後傾できるようにする等により斜杭を打てるようにした型式となっている（[図5.9.4](#)）。なお、杭打船等の作業船の仕様は下記のWebサイトを参照がするとよい。

- ・一般財団法人 日本作業船協会

(b) 起重機船を利用したもの

起重機船に適当なリーダやパイルキーパー（パイルホルダー）を装備して杭打ち用に用途変更したもので、多くが杭打船として登録されたものである。杭およびハンマの巻上げおよびリーダの操作にはウインチを兼用する。

(c) 台船を利用したもの

台船の上にクローラークレーン、直結式杭打機などを装備して杭打ちに利用する。多くは傾斜打ちが困難である。

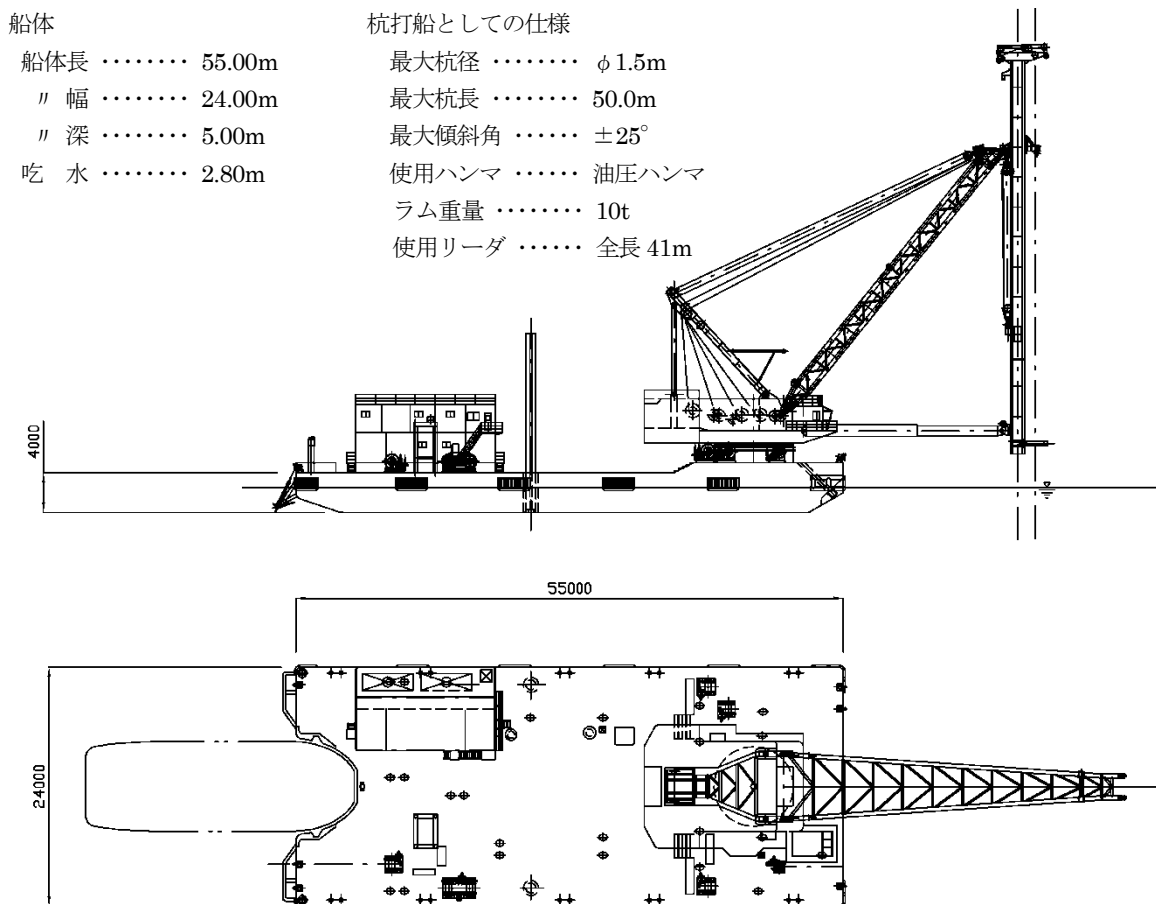


図 5.9.4 汎用大型杭打船仕様例

(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、杭打ち時の騒音を小さくすることができる他、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5.9.1に国内で使用される代表的な油圧ハンマの仕様を、写真5.9.1に油圧ハンマの写真を、鋼管杭と油圧ハンマの組合せの例を図5.9.5に示す。また、(公社)日本港湾協会「港湾土木請負工事積算基準 令和5年度改訂版」(2023年)5.9-1)では、油圧ハンマの選定標準として、表5.9.2の内容が示されている。

表 5.9.1 国内で使用される代表的な油圧ハンマの仕様 (出典 5.9-4)に加筆)

ハンマ形式			S-90	S-150	S-200	S-280	S-350	S-500	S-800	NH-70	NH100-2	NH-150B
作 動	最大打撃エネルギー	kN・m	90.0	150.0	200.0	280.0	350.0	500.0	800.0	87.9	141.0	235.0
	最小打撃エネルギー	kN・m	2.0	6.0	10.0	10.0	39	20.0	88.0	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	40	45	30	30	27	20
質 量	ラム	t	4.5	7.5	10.0	13.6	18	25.0	40	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	36.0	55.0	85.0	—	—	—
	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	47.27	80.7	145	15.3	25.1	37.8
寸 法	外径	mm	640	712	915	915	915	1,220	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	11,384	10,200	14,535	5,730	7,980	8,420



NH-150B

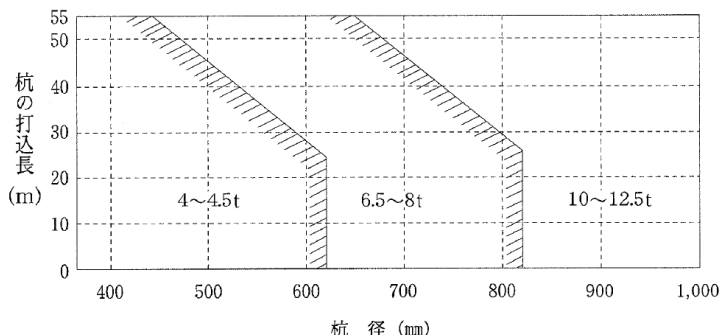


S-280



S-800

写真 5.9.1 各種油圧ハンマ (出典 5.9-5)に加筆)



- (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。

図 5.9.5 鋼管杭と油圧ハンマの組合せの例 (出典 5.9-⑥)

表 5.9.2 油圧ハンマの選定標準

ハンマ規格を選定する際の範囲値		ハンマ規格
鋼材質量 W_p (t)	貫入抵抗値 R (kN)	
$W_p \leq 4.56$	$R \leq 5,700$	4~4.5 t
$4.56 < W_p \leq 8.71$	$5,700 < R \leq 10,900$	6.5 t
$8.71 < W_p \leq 10.6$	$10,900 < R \leq 13,100$	7~8 t
$10.6 < W_p \leq 20.4$	$13,100 < R \leq 25,600$	10~12.5 t
$20.4 < W_p \leq 28.2$	$25,600 < R \leq 35,100$	15 t

注1) N値30以上で層厚3m以上の中間層を打抜く場合は、1ランク上のハンマ規格を選定する。

注2) 鋼管杭の貫入抵抗値は、以下により算出する。

$$R = 300 \times N \times A_p + 2 \times \bar{N} \times L \times A_s \quad (\text{小数1位四捨五入})$$

R : 鋼管杭の貫入抵抗値 (kN)

A_p : 鋼管杭の先端面積 (閉塞率100%) (m²)

L : 鋼管杭の根入れ長 (m)

A_s : 鋼管杭の周長 (m)

N : 鋼管杭の先端N値

\bar{N} : 鋼管杭周辺地盤の加重平均N値 (表層から連続するN=0の区間は根入れ長に入れない)

近年では、大径長尺杭の採用が増えていることもあり、ハンマ効率の高い海外製ハンマ (例えばIQIP (IHC) 製Sハンマシリーズ) の適用が日本でも増えている。なお、国内製の主力機種であった日本車輛製造製油圧ハンマNHシリーズは新規製造が中止されており、国内プロジェクトでも海外製の油圧ハンマの採用が増えてゆくものと思われる。

2) ドロップハンマ

古くは杭打ちやぐらを組んで、鉄製の重錘等を人力で吊り上げて自由落下させて杭頭に打撃を与える「モンケン打ち」が行われたが、これが機械化・装置化されたものがドロップハンマであり、打撃工法の主力が油圧ハンマに切り替わった現在でも中掘り杭工法の最終打撃方式等には用いられている。支持層付近まで中掘り杭工法で沈設施工したのちに、杭頭をドロップハンマで打撃して支持層に貫入・打ち止めることで、打撃工法と同等の先端支持力を発現させることができる。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、下面は凹凸のない平面で杭軸と直角にあたるものでなければならない。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。よって、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。

(3) キャップ・クッション

キャップは杭頭部を保護し、打撃力を杭に均等に伝えるために用いられる。図5.9.6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、ハンマ本体の損傷を防止する役割がある。クッション材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。また、損傷・変形が進むと偏打の原因となったり、打撃時に蓄熱して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高いものの、打撃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。

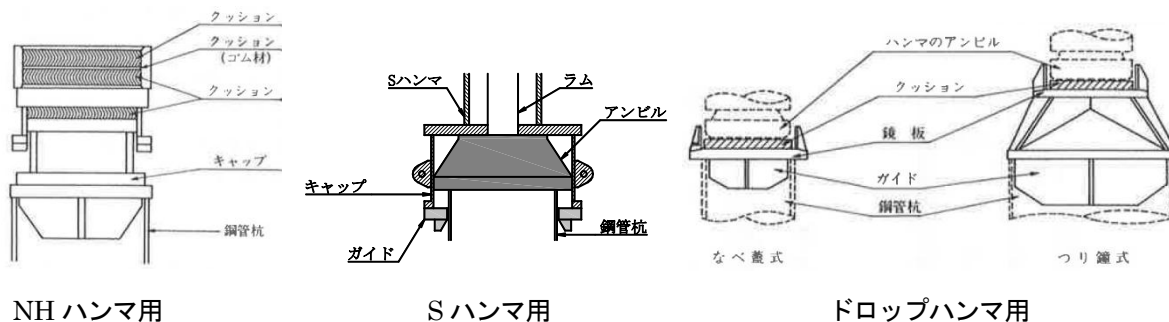


図5.9.6 キャップの断面図 (出典 5.9-⑦)

(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。

4. 鋼管杭および附属品

(1) 鋼管杭本体

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。打撃工法に用いる鋼管杭は繰返し負荷される打撃力に対して健全性が保たれるように、外径、板厚、強度等を選定する必要がある。

(2) 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 5.9.7](#) 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考えられるので、先端補強バンドの板厚は 9mm 以下とするのが一般的である。

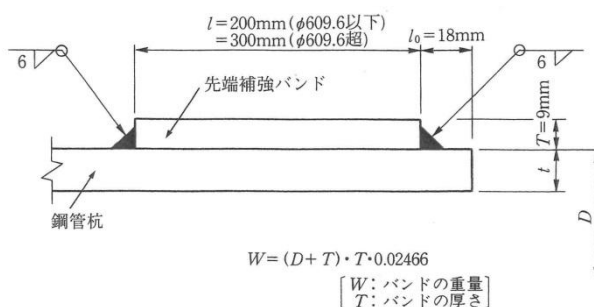


図 5.9.7 先端補強バンドの例 (出典 [5.9-⑧](#))

(3) 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 5.9.8](#) 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。硬い層などに打込む場合、先端十字リブに過大な力が作用して変形や損傷を生じる場合もあるので、地盤条件、施工条件等に応じて適切な寸法形状、溶接仕様等を定めることが望まれる。

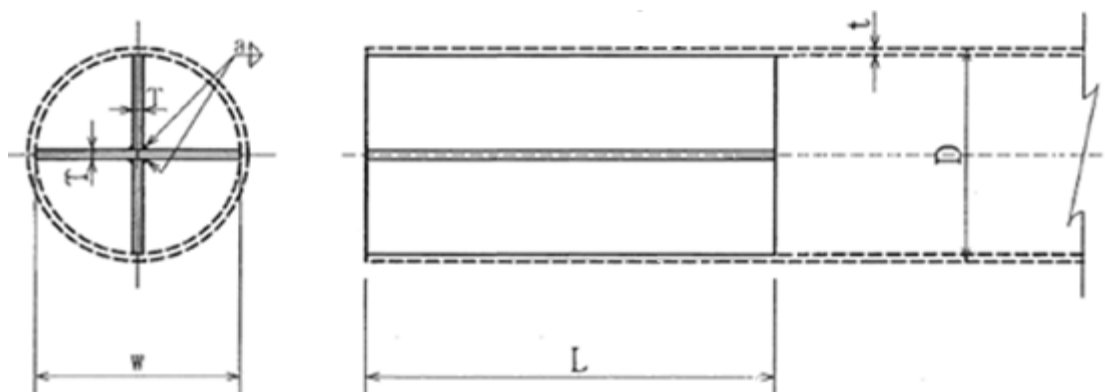


図 5.9.8 杭先端十字リブ (仕様例) (出典 [5.9-⑨](#))

表 5.9.3 十字リブの標準寸法 (出典 5.9-⑩)

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

(4) 頭部補強バンド

鋼管杭協会「鋼管杭の打撃応力と適正ハンマ (1982年)」[5.9-2](#)によれば、鋼管杭の場合、頭部補強バンドは、有意な効果がなく場合によっては断面急変部で応力集中が生じて有害な効果を与えることもあることから、原則として取付けないものとしている。鋼管杭頭部の補強については、[5.16 杭工事のトラブルと対策](#)を参照されたい。

5.9.2 施工手順

1. 杭の建込み

杭の建込みは、杭打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) 杭心出し

[5.6 中掘り杭工法の施工および施工管理](#)を参照。

(2) 鋼管杭の吊込み

杭打機が3点支持式杭打機の場合は、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。杭の長さとお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、全体のバランスや安定性およびクローラの最大接地圧等を考慮しなければならない。

杭打機がクローラクレーンの場合は、主フックで鋼管杭を吊り上げる。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。

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、直交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。トランシットでの視準、トータルステーションやGPSを用いた測量により、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機リーダ下部に取り付ける方法もある。

2. 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も施工することもある。

鋼管杭の外径、板厚、長さとともに、地盤の層構成や硬さの影響も大きいため、適切なハンマ容量や打撃エネルギーを一義的に決定することは難しいが、過去の事例や図5.9.5を目安に設定する。近隣の施工事例がない場合や図5.9.5の範囲外の標準的とは言い難い条件の場合は、杭の打込み解析によりハンマ選定、施工可否検討を行うこともある。施工性ととも想定される打撃時の杭体応力や打撃回数等もあわせて検討しておくことが望ましい。

(2) 打込み時の杭頭座屈の検討

1) 打撃応力の算定

ハンマを近似的に剛体と仮定し、長い弾性棒が衝突した際の剛体の慣性力との釣合いより導かれた St.Venant (サン・ブナン) ^{5.9-3)} の解によって打撃応力を求める。

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \exp\left(-\frac{\gamma_P \cdot A_P}{W_H} \cdot C_P \cdot t\right) \dots\dots\dots \text{式 (5.9.1)}$$

ここに、

- σ_0 : ラムが衝突した瞬間の衝突応力
 $\sigma_0 = E_P / C_P \cdot \sqrt{2gh}$
- A_P : 杭の断面積 (m²)
- W_H : ラム重量 (kN)
- γ_P : 杭の単位体積重量 (=77 kN/m³)
- C_P : 杭体内の弾性波速度 (=5.12 × 10³ m/s)
- E_P : 杭のヤング係数 (=2.0 × 10⁸ kN/m²)
- t : ラム衝撃後の経過時間 (s)
- g : 重力加速度 (=9.8 m/s²)
- h : ラムの落下高さ (m)

式 (5.9.1)は、クッションがなく、ハンマが杭頭を直接打撃した場合の理論解である。クッションを用いた場合には、図5.9.9に実測例を示すように、杭頭部の打撃応力の最大値は打撃後 St.Venant の解より 2~3ms (2~3 × 10⁻³ 秒) 遅れて発生する。このようなクッションの効果を検討し、式 (5.9.1)に $t = 2\text{ms}$ を代入したものを式 (5.9.2)に示す。なお、クッション材を使用しない IHC 社製の S ハンマの場合は、 $t = 0.3\text{ms}$ とする場合が多い。(式 (5.9.3))

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_0} = e^{-788 \frac{A_P}{W_H}} \dots\dots\dots \text{式 (5.9.2)}$$

ここに、 σ_2 : $t = 2\text{ms}$ のときの最大打撃応力 (N/mm²)

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_0} = e^{-118 \frac{A_r}{W_{lr}}} \dots\dots\dots \text{式 (5.9.3)}$$

ここに、 σ_2 : $t = 0.3\text{ms}$ のときの最大打撃応力 (N/mm²)

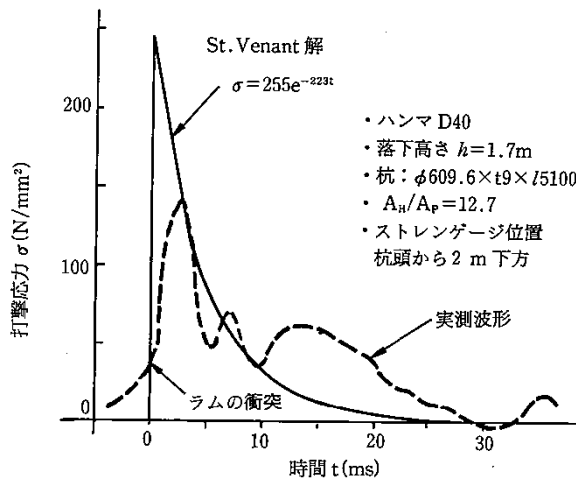


図 5.9.9 実測波形と St. Venant 解の基本波形との比較 (出典 5.9-⑪)

2) 板厚半径比 (t/r) の影響

岸田、高野^{5.9-4)}によれば、加藤ら^{5.9-5)}の座屈応力上昇評価式に対して鋼管の 0.2% オフセットの点と母材引張降伏点の関係を適用して整理し、座屈するときの応力度と材料の降伏応力度として次式を示している。

$$\sigma_{max}/\sigma_{ty} = 1.16 - 0.0067 (r/t) \dots\dots\dots \text{式 (5.9.4)}$$

また、短柱鋼管の圧縮実験結果を厚さ半径比 (t/r) で一次近似評価して、 $0.01 \leq t/r \leq 0.10$ の範囲での座屈応力度の評価として次式を得ている。

$$\sigma_{max}/\sigma_{ty} = 0.86 - 2.7 (t/r) \dots\dots\dots \text{式 (5.9.5)}$$

ここに、 σ_{max} : 座屈するときの応力度 (N/mm²)

σ_{ty} : 杭材料の降伏応力度 (N/mm²)

t : 板厚 (mm)

r : 杭の半径 (mm)

3) 偏心打撃の影響

偏心打撃の偏心量が大きいほど鋼管杭は座屈しやすくなる。その関係は、式 (5.9.6) で表すことができる。また、偏心打撃の影響を考慮する範囲は、「鋼管杭の打撃応力と適正ハンマ (1982 年)」^{5.9-2)}によれば、杭頭から $3D \sim 5D$ (D : 鋼管の外径) の間である。

$$\sigma_c = \frac{\sigma_{max}}{1 + \frac{Ae}{Z}} \dots\dots\dots \text{式 (5.9.6)}$$

ここに、 σ_c : 偏心のある場合に座屈をおこす応力度 (N/mm²)

σ_{max} : 式 (5.9.4), (5.9.5) 等より求められる座屈をおこす応力度 (N/mm²)

A : 鋼管杭の断面積 (m²)

Z : 鋼管杭の断面係数 (m³)

e : 偏心量 (m)

式 (5.9.6) の e (偏心量) は杭の中心線とハンマの中心線のずれ量である。当時の調査結果を [図 5.9.10](#) に示す (図中の d は、杭径を表す) が、 e の分布は 1.17cm から 7.94cm (平均 3.80cm)、 e/d にして 2.3% から 9.9% (平均 6.0%) である。杭径が大きくなるほど、 e は大きくなる傾向にあることがわかる。これは、杭体とハンマキャップの形状・寸法から求まる偏心量 (杭体とハンマキャップとの平面的な軸心ずれ) に、杭体の軸心とハンマの軸心の相対的傾斜による影響 (杭体の軸心に対してハンマの軸心が傾いていることによる影響=偏心打撃の影響) が含まれることによるものと考えられる。したがって、 e としては、最大で杭径の 10% まで考慮する必要がある。

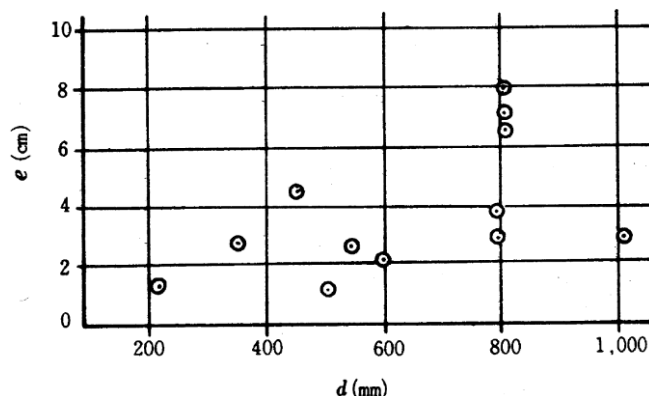


図 5.9.10 d (杭径) と e (偏心量) の関係

具体的な検討においては、式 (5.9.4) または (5.9.5) で t/r の影響を考慮した座屈応力度 σ_{max} を求め、次に式 (5.9.6) で偏心量を考慮して σ_c を算出し、式 (5.9.2) から求めた σ_2 と比較すればよい。

$\sigma_2 \leq \sigma_c$ であれば座屈しない

$\sigma_2 > \sigma_c$ であれば座屈する

と判断することができる。

(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たりすることがある。これらを防ぐためには、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

打撃方法で使用されるヤットコの形状は、[5.4.3 ヤットコ](#)に示されている4種類のものがある。外ガイド式のヤットコは鋼管杭や鋼管矢板の定規材と干渉する可能性があるので注意を要す。爪型のガイド材はヤットコ本体への取付けが容易であり、破損時の修理も簡単であるが、巻パイプ型と比べて破損や変形の可能性が高くなるという欠点もある。以下の[図5.9.11](#)～[図5.9.16](#)に製作図の例と写真を示す。

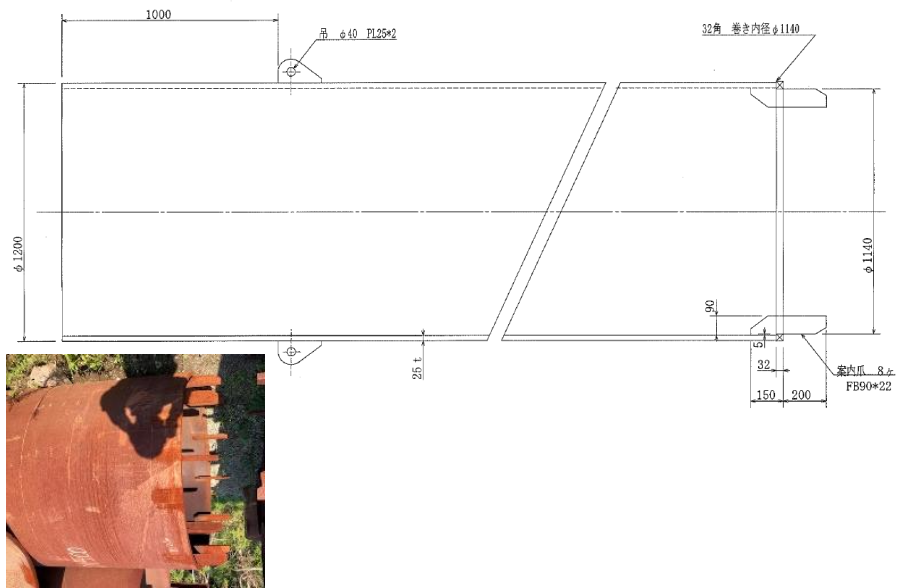


図 5.9.11 ヤットコの製作図の例と写真（内ガイド式爪型）

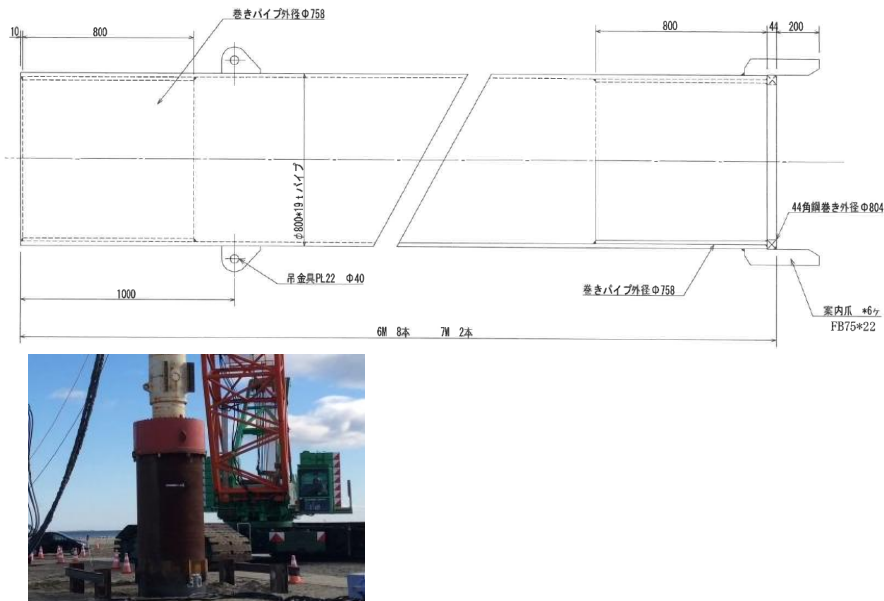


図 5.9.12 ヤットコの製作図の例と写真（外ガイド式爪型）

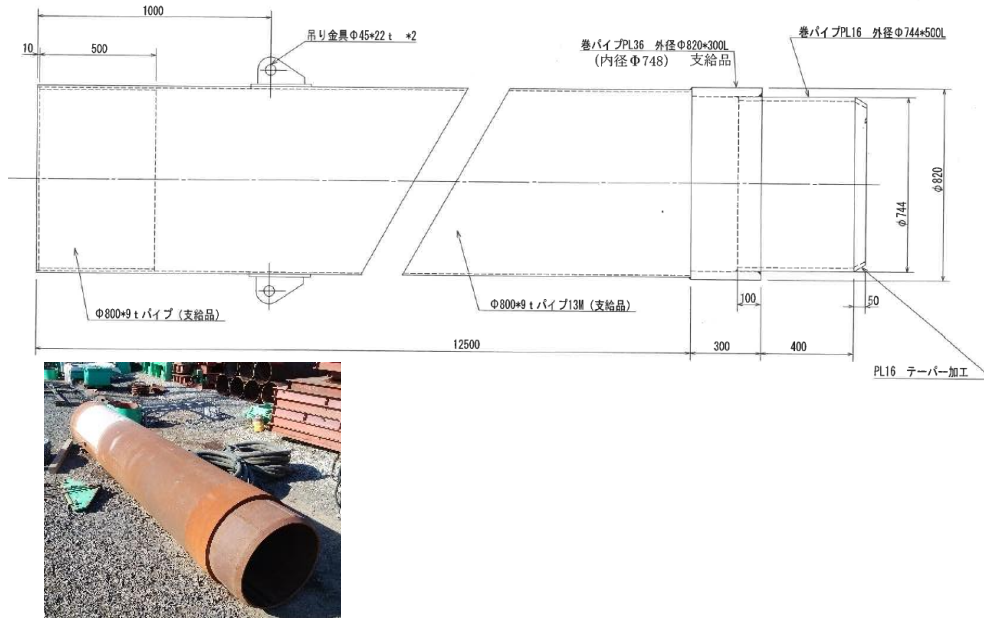


図 5.9.13 ヤットコの製作図の例と写真 (内ガイド式巻パイプ型)

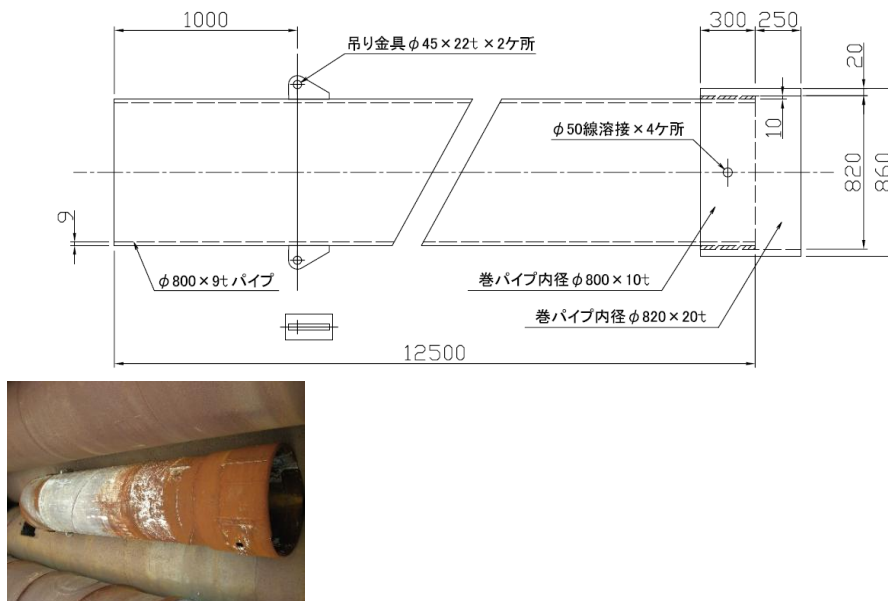


図 5.9.14 ヤットコの製作図の例と写真 (外ガイド式巻パイプ型)

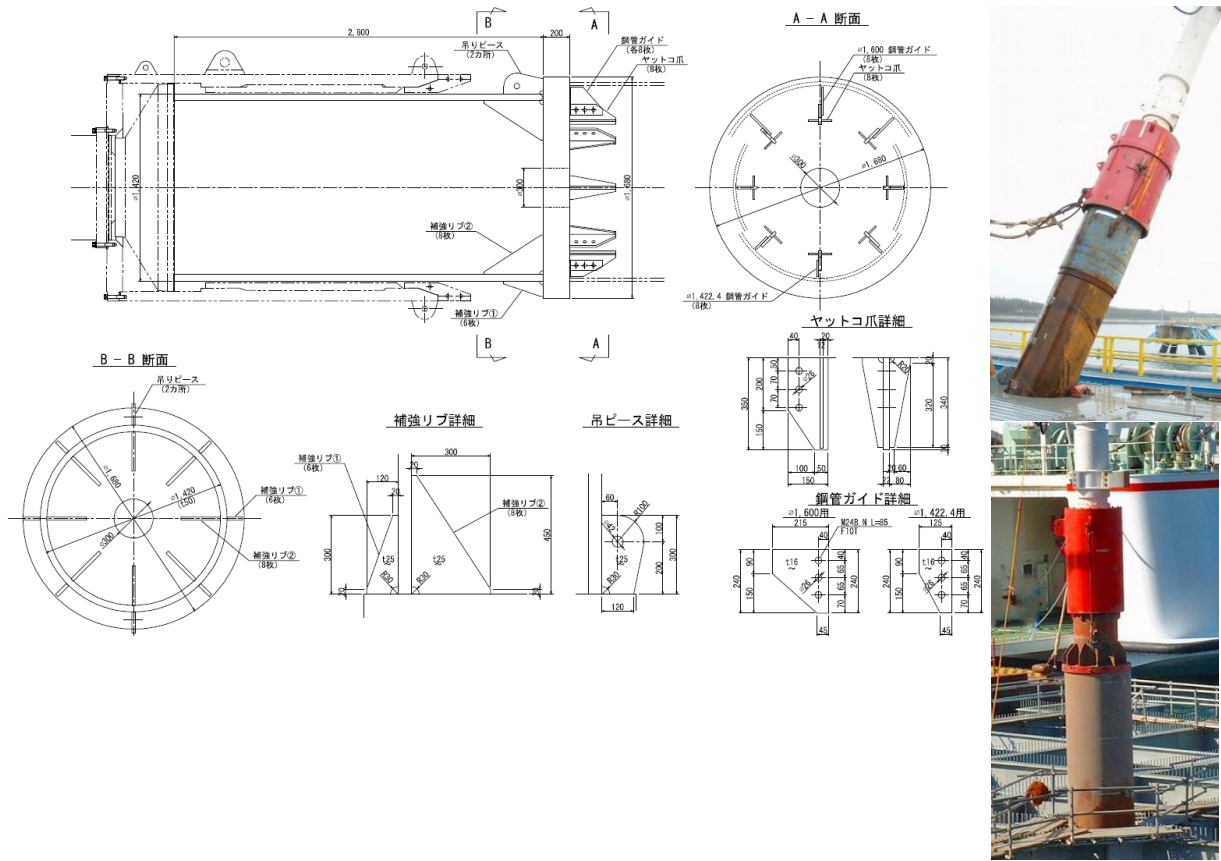


図 5.9.15 ヤットコの製作図の例と写真 (内ガイド式爪型多径対応型)

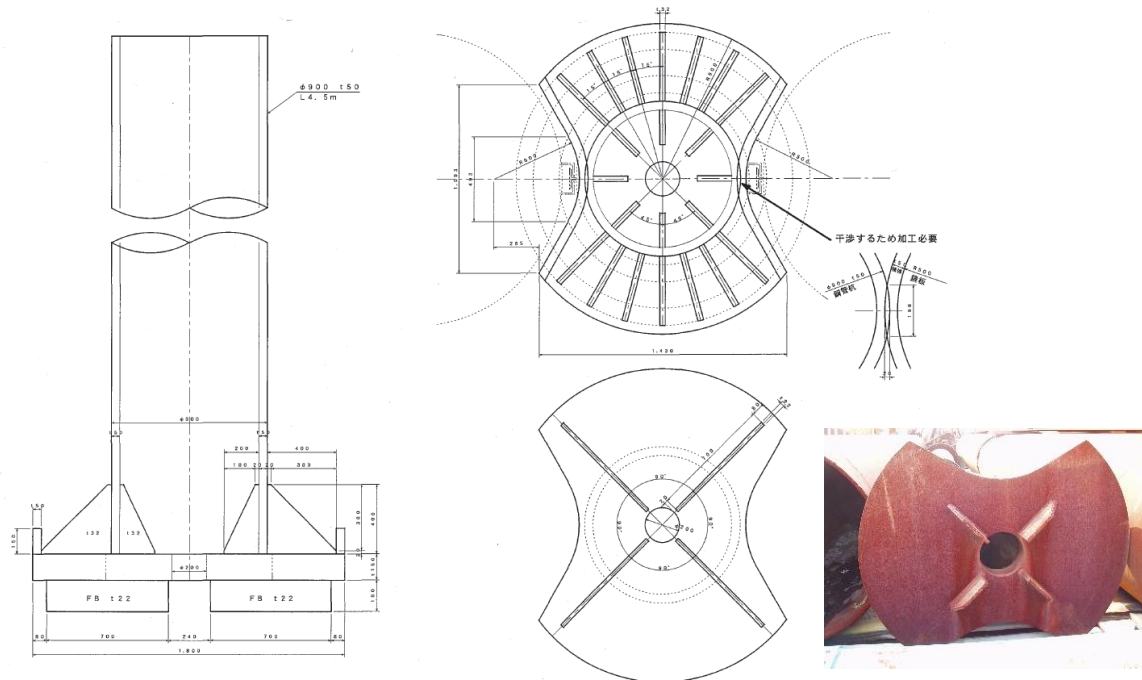


図 5.9.16 ヤットコの製作図の例と写真 (内ガイド式爪型鋼管矢板特殊型)

3. 杭の施工性・貫入性

出典 [5.9-12](#) はラム質量 4t 程度のディーゼルハンマ（入力エネルギー100kN・m 程度）および径 600mm 未満の鋼管杭（H 鋼杭含む）の実績に基づいており、当然、杭径やハンマの大きさなどによって異なるので、大まかな地盤の種類による特徴の参考とされたい。

(1) 中間層の打抜き（出典 [5.9-12](#)）

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 砂質地盤では粒径が一樣なほど打抜きは容易である。
- ④ 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。
- ⑤ 打抜き不可能な場合は、中掘り工法・プレボーリング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場合がある。ただし、この場合は周面摩擦力等の支持性能に関する検討が別途必要となる。

(2) 支持層への貫入性

「道路橋示方書・同解説 下部構造編」[5.9-6](#) の打止めの項には、「打止め時における一打あたりの貫入量は、杭の種類、長さ、形状、地盤の状況などにより異なることから、一義的に定めることは不可能であるものの、既往の資料などを参考に 2～10mm を目安とする。」旨、また、「特に、一打あたりの貫入量が 2mm 以下となるような状況下で打設を続けることは、杭体だけでなく、ハンマにも悪影響を及ぼし、損傷の原因となるため、注意を要する。」旨が述べられている。

打込むことができるか否かをきめるものは下記の要因である。

- ① その層の土質と硬さ
- ② その層よりも上層にある土質の状況
- ③ その層の地表からの深さ

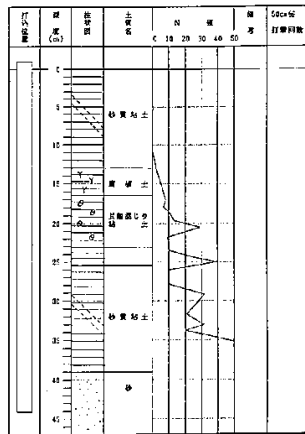
杭が貫入不能になる土質は、岩盤・岩石をはじめとして、硬質な粘土質、砂質および礫質地盤である。以下にそれぞれの土質の貫入性について説明する。

1) 砂層

N 値が 50 よりもはるかに大きい砂層は、不攪乱の状態で掘り出すと角砂糖のように固まっても、つるはし、スコップで削るとさらさらした砂になる。

このような硬い砂層は、砂礫層と同様に杭の先端閉塞が杭の貫入量に大きく影響する。N 値が 50 よりもやや大きい程度の砂層は、同じ N 値をもつ砂礫層よりも杭の貫入は容易である。

[図 5.9.17](#) は、砂層に打込んだ例であるが、砂層に到達する前に N 値が 10～40 の砂層を約 15m 通過していることから、杭の先端は十分な閉塞状態になっていたと考えられる例である。杭の先端が閉塞状態になると、杭の貫入は困難になる。



(江戸川区 首都公団荒川大橋)

鋼管杭 $\phi 711.2$
 ラム質量 4.2t
 ラム落下高 250cm

貫入量

根入長 (m)	貫入量 (mm/打)
33.6	7
40.6	3
43.4	0.8

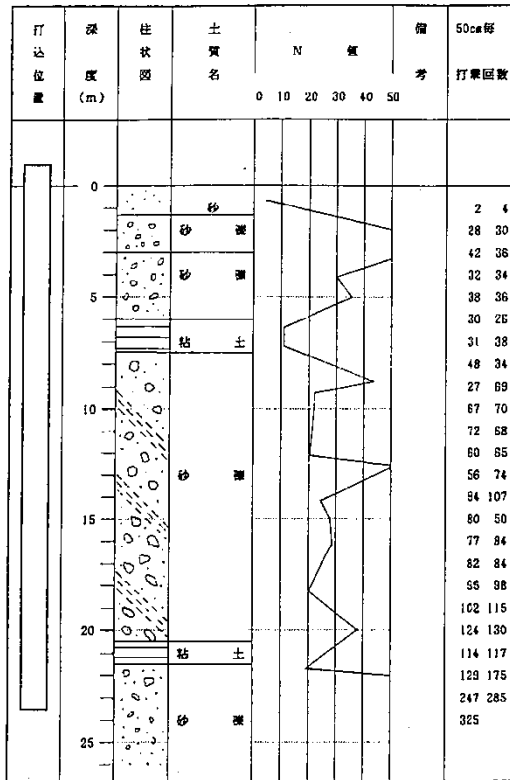
図 5.9.17 砂層の例 (出典 5.9-⑬)

2) 砂礫層

砂礫層の N 値が 50 よりはるかに大きいときは貫入不能な場合がある。

N 値が 50 以下あるいは 50 前後であるときは、先端閉塞していない杭の場合、その層への貫入当初は 10mm/打以上の貫入量があっても次第に貫入量が減少してゆく。図 5.9.18、図 5.9.19 は N 値が 30~40 の砂礫層を貫入した後、N 値が 50 よりも大きい地層に到着してから打止めとなった例で、図 5.9.18 では貫入量 1.1mm/打、図 5.9.19 では 0.3mm/打で打止めとしている。

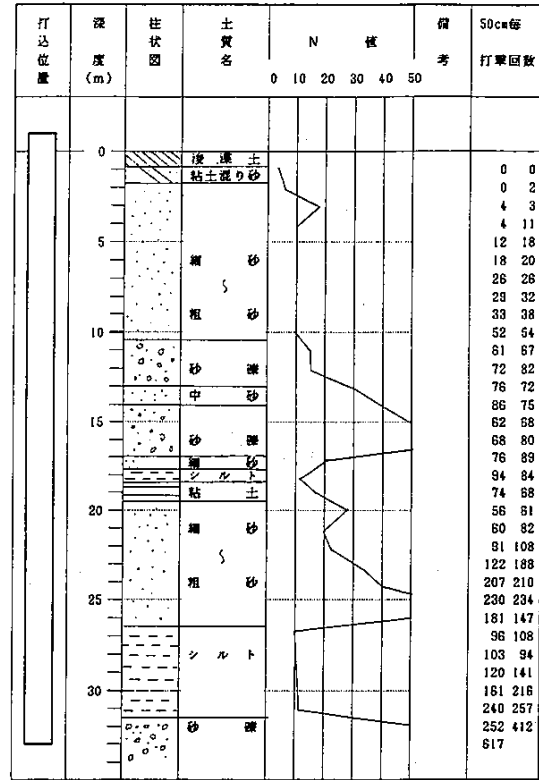
砂礫層では、礫の大きさ・密度が問題であり、礫径が 100mm 以上になると、杭の先端が破損して杭打込み不能になるおそれがある。



(福岡県)

鋼管杭 φ800
 ラム質量 4.0t
 ラム落下高 230cm
 打止貫入量 1.1mm/打

図 5.9.18 砂礫層の例 1 (出典 5.9-⑭)



(長岡市)

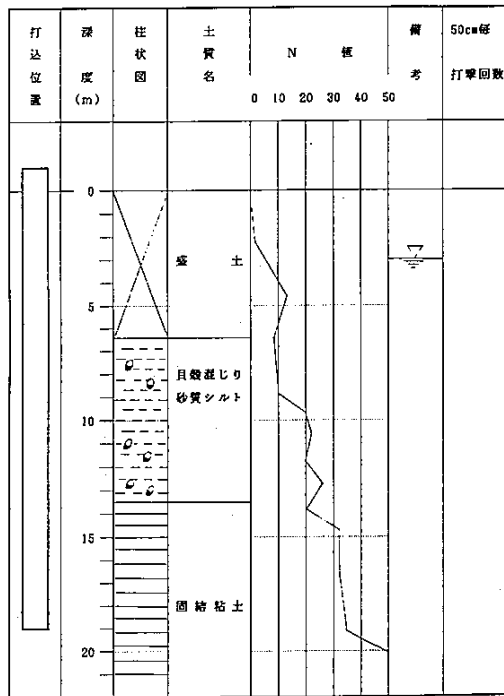
鋼管杭 φ812.8
 ラム質量 4.0t
 ラム落下高 250cm
 打止貫入量 0.3mm/打

図 5.9.19 砂礫層の例 2 (出典 5.9-⑮)

3) 粘性土

密度が高い粘性土の場合、標準貫入試験の N 値が小さくても、透水性が低いために杭の貫入の際の体積変化が小さいため、同じ N 値の砂質土よりも打込みは困難である。

図 5.9.20 は、固結粘度の層に杭を打込んだ例であり、N 値≒40 付近で貫入量が、1.4mm/打になっていることを示している。



(横浜市)
 鋼管杭 φ800
 ラム質量 4.5t
 ラム落下高 250cm
 貫入量

根入長 (m)	貫入量 (mm/打)
1.6	4.8
18.6	1.4

図 5.9.20 粘性土の例 (出典 5.9-16)

4) 岩盤・岩石

「道路橋示方書・同解説 下部構造編」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5.9.4](#)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5.9.4 支持層のボーリングコア性状 [5.9-6](#), [5.9-7](#)

ランク	形状	硬度(硬 軟)	風化度(変質度合)
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	ほとんど未風化 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	ほとんど～完全に風化
5	土砂状	指圧で割れる	—

(i) 凝灰岩の例

図 5.9.21 の土質柱状図は、-25.7m まで軟弱なシルトで、以深が凝灰岩になり標準貫入試験のサンプラー貫入が不可能な程の硬さである。ここに、φ800×t9 の鋼管杭をラム質量 4.0t のディーゼルハンマで打撃したところ、杭 No.5 では-26.3m、杭 No.6 では-26.1m で貫入量が 0.5mm/打以下になった。打設状況を観察していると杭 No.6 では、はじめ 1 打 30mm 程度の貫入量であったものが-25.8m で急激に減少をはじめ、30cm を貫入させるうちに、貫入量は 0.5mm/打になった。

これによって、風化部分を通過し終わったものと判断して杭はここで打止めた。サンプラーの貫入が不能であるような硬い土質のところでは、杭を打撃しても貫入量は 0mm に近い状態、つまり貫入不能になるのでこれ以上の打撃は行わないほうがよい。

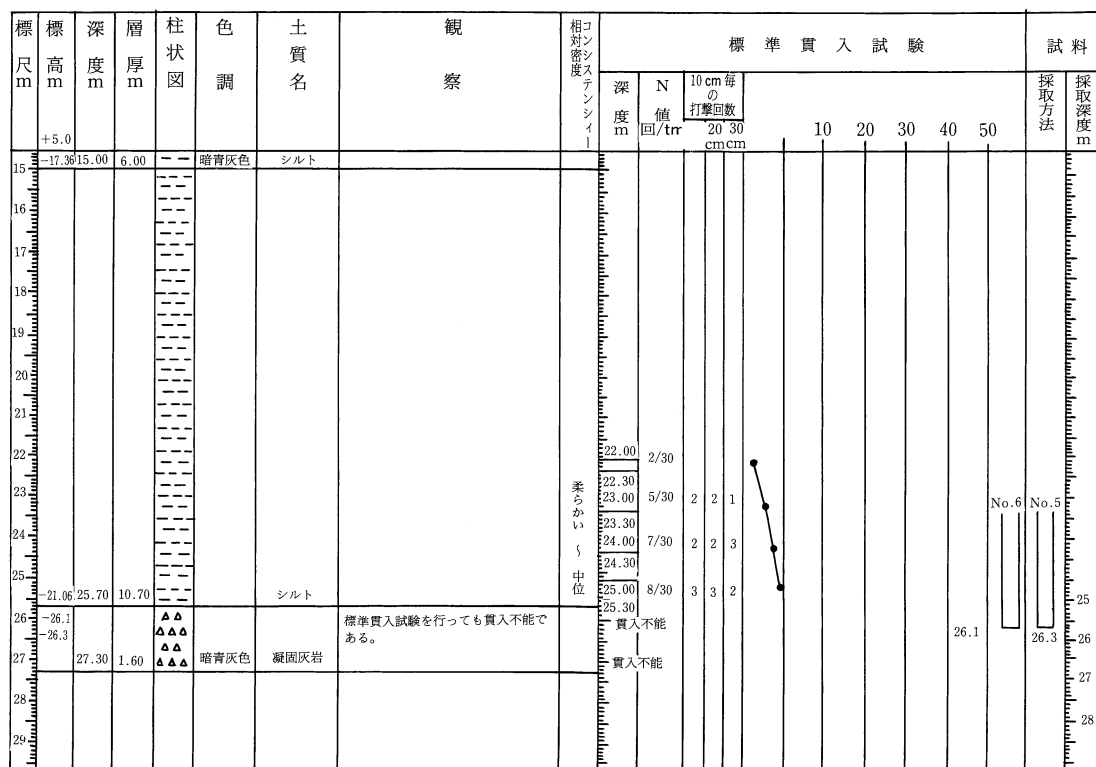


図 5.9.21 凝灰岩の例 (出典 5.9-⑱)

5.9.3 施工管理

1. 一般

5.6 中掘り杭工法の施工および施工管理を参照。

2. 試験杭

5.3 試験杭を参照。

3. 施工管理項目

打撃工法での各施工管理項目の管理方法および標準的な管理基準の例を表 5.9.5 に示す。施工工程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。

施工プロセスの記録は、数値などで表現できない項目も多いため、こうした場合にはチェックリストでの実施チェック記入や写真またはビデオなどでの実施記録も活用するのがよい。

表 5.9.5 打撃工法の標準的な施工管理項目と管理基準 (出典 5.9-⑱)

区分	対象	管理項目	管理方法	管理基準	
材 料	鋼管杭	杭種, 材質等	鋼管表示の確認	JIS A5525, 設計図書による	
		外観検査	目視	変形等有害な損傷がないこと	
		形状寸法検査 (外径・板厚・長さ)	ノギス・検尺テープにより検測	JIS A 5525, 設計図書による	
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, 変形がないこと	
	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	
建 込 み ・ 打 込 み	杭の建込み, 打設	位置	2方向に逃げ心を設置し, 検尺棒 等で確認	杭心とのズレ 50mm 以内	
		傾斜	トランシット又は傾斜計	1/100 以内	
		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,変形がないこと	
		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	
		1m 当たりの打撃回数	カウンタ	-	
	現場継ぎ 溶接	溶接工の技量資格	5.13.1 現場円周溶接を参照		
		溶接環境 (風・気温等)			
		継手条件 (目違い・ルート間隔等)			
		溶接条件 (電流・電圧・パス数等)			
		外部きず			
		内部きず			
	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)	
		1 打当たりの 貫入量・リバウンド量	ペン書き方, 高速度カメラなど	試験杭で定めた管理指標	
		打撃回数・総打撃回数	カウンタ	試験杭から目安を設定	
		支持層到達深度	測量器	試験杭で定めた深度	
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		
出来形	杭心の偏心量	トランシットによる測量	杭心とのズレ D/4 かつ 100mm 以内		
	杭頭レベル	レベルによる測量	±50mm 以内		

4. 施工管理の留意点

打込み杭工法の施工においては杭の建込み精度を管理すること、支持層到達および打止めの判断を適切に行うことなどが重要である。なお、打込み杭工法の施工管理などについては、「鋼管杭—施工と施工管理—」[5.9-8](#)) や (一社) 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) [5.9-9](#)) などを参考にするとよい。

5. 杭頭の打撃時の変位量 (リバウンド・貫入量) に基づいた打止め管理式

(1) リバウンド・貫入量に基づいた支持力管理とは

打撃工法により杭を施工する場合の地盤抵抗力の模式図を[図 5.9.22](#)に示す。

杭がハンマの打撃により地盤に貫入される際には、動的成分と静的成分が合わさった地盤抵抗力を受ける (図中の○)。動的抵抗力を除いた施工時の静的抵抗力 (図中の●) は施工後の養生期間を経て、周辺地盤の過剰間隙水圧が消散することにより一般的には大きくなる。この養生後の静的抵抗力 (図中の■) が、設計上の支持力値と比較、照査される。

杭頭でのリバウンド・貫入量に基づいた動的支持力式は、元々の理論としては、施工時の動的+静的地盤抵抗力を算出するものである ([3](#) 参照)。動的支持力式では理論的、経験的な補正係数を用いて養生後の静的抵抗力を推定している。

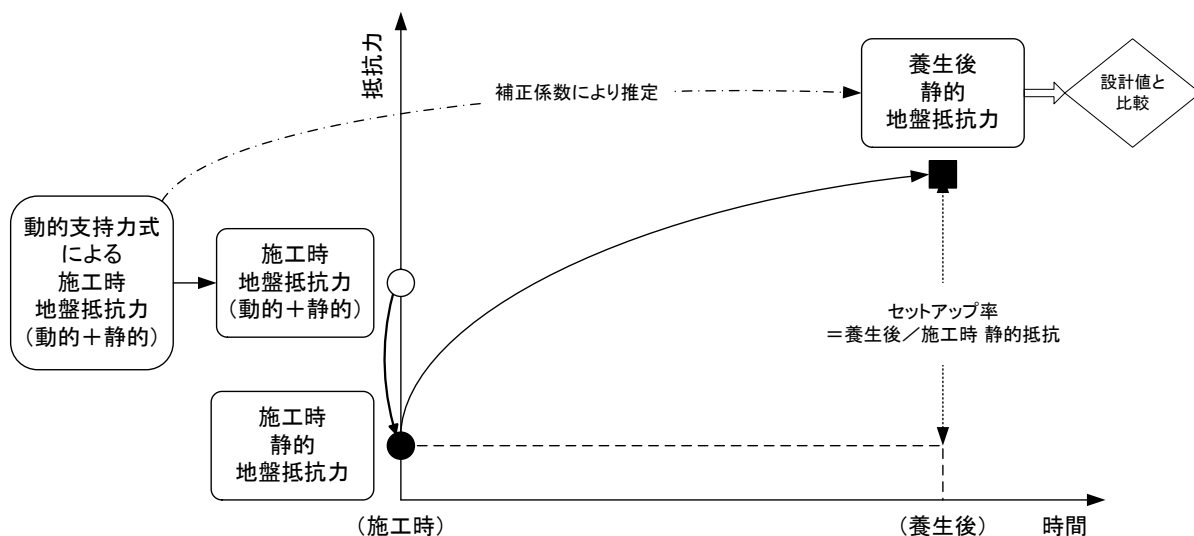


図 5.9.22 打撃工法における施工時と養生後の地盤抵抗力の模式図

施工時の動的+静的地盤抵抗力を算出する動的支持力式から養生後の静的抵抗力を推定するためには、主に以下の影響を補正する必要がある。

- ・ 打止め管理式で採用している地盤抵抗力の算定式の誤差
- ・ 施工時の動的抵抗力の影響
- ・ 養生期間中のセッアップの影響
- ・ 真のハンマ効率 (Hiley 系の式の場合)

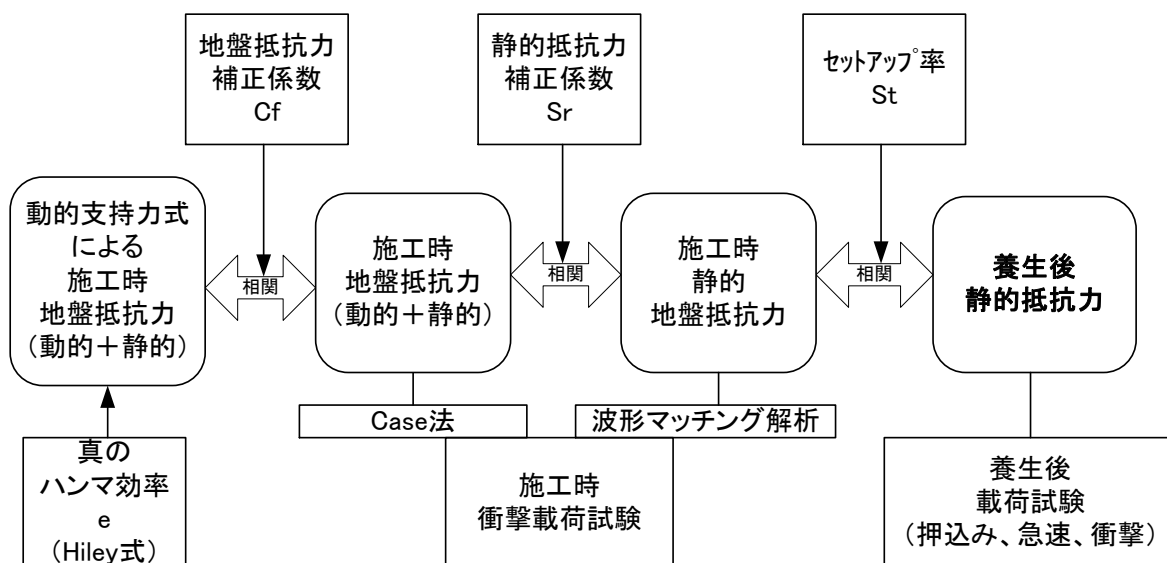


図 5.9.23 打止め管理式から養生後の静的抵抗力を推定するためのフロー

(2) 打止め管理式の適用性

現行の打止め管理式は、提案されてから長い期間が経過しており、その間に杭の仕様やハンマの性能も大きく変化してきている。養生後の静的抵抗力を推定する提案時の補正の考え方は、現状の杭やハンマの仕様に合わせていないと判断される。したがって、現状では、打止め管理式から養生後の静的抵抗力を推定し、設計値と照査する支持力管理に適用するには信頼性が乏しい。

例えば、深度方向での算定値の変化による支持層深度の判定や、同じ敷地内での同一種類の杭に対する施工状態の比較などを目的に適用するのが良いと考えられる。

打止め管理式を支持力の管理に適用するためには、養生後の载荷試験を実施し、試験結果と試験杭の施工時のリバウンド・貫入量から算定した管理式の値との相関を把握して、管理式の係数を適切に補正して用いる必要がある。

(3) 現状の打止め管理式詳細

1) 宇都・冬木式 (旧 道路橋示方書式)

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

ここに、

- R_a : 許容支持力 (kN)
- A : 杭の断面積 (m²)
- E : 杭のヤング係数 (kN/m²)
- l_1 : 動的先端支持力算定上の杭長 (m)
- l_2 : 地中に打込まれた杭の長さ (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_0 : 杭体に生じる応力波の波長とリバウンドに関する補正係数
- e_f : 杭の動的周面摩擦力の低減値に関する補正係数

第1項で先端支持力を算定する。打撃時の杭体の弾性縮み量（リバウンド K ）に杭体のバネ定数 $\frac{AE}{l_1}$ を掛けた弾性力が杭の先端地盤抵抗力と釣り合っているとされている。ただし、施工時の周面抵抗力は、無視している。波動の影響を e_0 で補正しているとしているが、 e_0 には動的抵抗力の影響、セットアップ率も含まれると考えられる。

第2項で周面摩擦力を算定する。周面地盤の平均 N 値に基づいて養生後の値を推定している。動的周面摩擦力としているがリバウンド・貫入量には無関係に算定される値である。

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

2) Hiley 系の式

① Hiley の簡略式

$$R_{du} = \frac{e_f F}{S + \frac{K}{2}}$$

ここに、

R_{du} : 杭の動的極限支持力 (kN)

e_f : ハンマの効率 ($e_f = 0.5$)

S : 杭の貫入量 (m)

K : リバウンド量 (m)

F : ハンマエネルギー (kN・m)

ドロップハンマ $F = W_H H$

油圧ハンマ $F = 2W_H H$

W_H : ハンマのラム重量 (kN)

H : ラムの落下高 (m)

杭を剛体として、打撃により地盤に貫入するときになす仕事 (図 5.9.24 中の台形の面積) がハンマエネルギー F と釣り合う。貫入時の地盤抵抗 R_{du} は一定である。

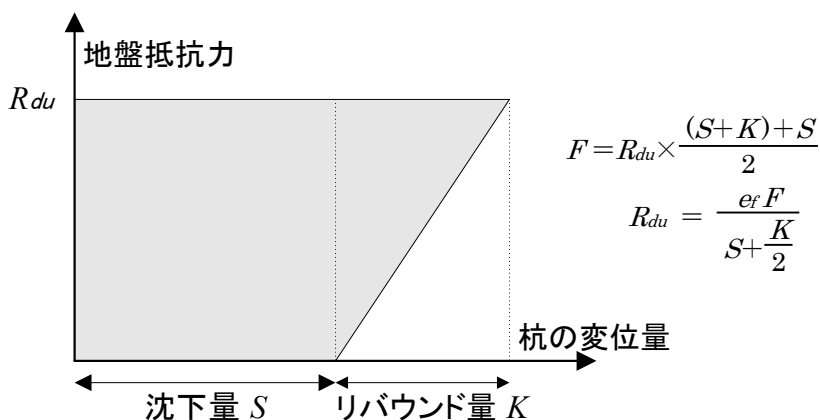


図 5.9.24 Hiley の簡略式におけるエネルギーの釣り合い

剛体仮定なので杭が長くなるほど誤差が大きくなる。ハンマの効率 e_f には、実際のハンマ効率と動的抵抗力の影響、セットアップ率も含まれると考えられる。

② 5Sの式 (旧 建設省告示の式)

$$R_a = \frac{F}{5S+0.1}$$

ここに、

R_a : 長期応力に対する基礎杭の先端の地盤の許容支持力 (kN)

S : 杭の貫入量 (m)

K : リバウンド量 (m)

F : ハンマエネルギー (kN・m)

ドロップハンマ $F = W_H H$

油圧ハンマ $F = 2W_H H$

W_H : ハンマのラム重量 (kN)

H : ラムの落下高 (m)

長期応力に対する安全率を3とすると式は下式となる。

$$R_u = \frac{3F}{5S+0.1}$$

ここに、

R_u : 極限支持力 (kN)

さらに式を変形すると、

$$R_u = \frac{0.6F}{S + \frac{0.04}{2}}$$

となり、Hileyの簡略式においてハンマ効率 $e_f = 0.6$ 、リバウンド $K = 40\text{mm}$ とした場合と等しい。

③ IHC 提案の式

$$R_{du} = \frac{e_{f(IHC)} F}{S + \frac{K}{2}}$$

ここに、

R_{du} : 杭の動的極限支持力 (kN)

$e_{f(IHC)}$: IHC ハンマの実績に基づいた補正係数

S : 杭の貫入量 (m)

K : リバウンド量 (m)

F : ハンマエネルギー (kN・m)

IHC ハンマについては、実績に基づいて、補正する係数 (ここではハンマ効率と表現) として $e_{f(IHC)} = 2.5$ を採用している。また、ハンマエネルギー F は、ハンマ駆動時に測定するラムの落下速度から計算した値としている。

ハンマ効率が旧港湾基準と比べ大きくなっているのは、IHC ハンマがクッションを用いない構造でエネルギーの伝達効率 (真のハンマ効率) が高いことと、国産の油圧ハンマと比較して打撃間隔が短く施工時に杭の周辺地盤を乱す度合が大きく施工時の地盤抵抗が小さくなり、結果としてセットアップ率が大きくなるのが主な要因と考えられるが、公表された情報では定量的な根拠が明確ではない。

5.9.4 施工精度の確保

主に河川や海上で鋼管杭や鋼管矢板をフライングハンマ方式の打込み杭工法で施工する場合には、打込み初期に、軟弱地盤等において杭の建込み精度が安定するまでパイロハンマによる打設を標準的に用いている。なお、これに関する留意事項については、「杭基礎施工便覧」^{5.9-10}中の「Ⅱ. 各論 1.2 打込み杭工法（打撃工法）1.2.2 施工」が参考となる。

また、杭の打設位置をリアルタイムで確認する方法として、GPSやトータルステーションを用いた杭打機誘導技術や杭位置測定技術が実用化されている。

1. 支持層・打止め管理用の施工管理装置

(1) 高速度カメラを用いた支持層到達確認と打止め管理装置

(一社)全国基礎工事業団体連絡会が開発した管理装置は、サンプリングモアレカメラ、制御・記録・作図用のPCおよび格子状の計測用シートから構成される。管理装置の構成を写真5.9.2に示す。計測方法は、杭から数十m離れた位置に設置したサンプリングモアレカメラで杭表面に貼り付けた計測用シートに焦点を合わせ、打撃による杭貫入に伴う計測用シートの格子の変化から杭の変位を求める。この管理装置では、支持層到達と打止め判定に必要な貫入量 (s)、リバウンド量 (k)、打撃回数を連続計測してリアルタイムで作図できる。計測時のPC画面を写真5.9.3に示す。打止め管理式は、宇都・冬木の式、Hileyの簡略式および旧建設省告示の式に対応可能である。また、無線通信によって、計測現場から離れた場所でのPC上で結果をリアルタイムで見ることができる。

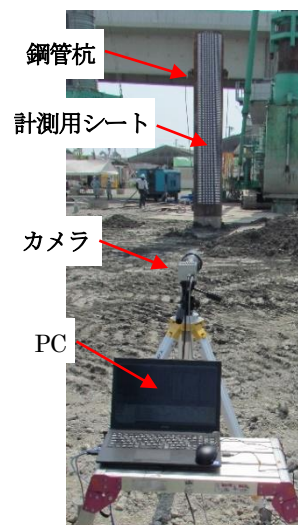


写真 5.9.2 装置の構成

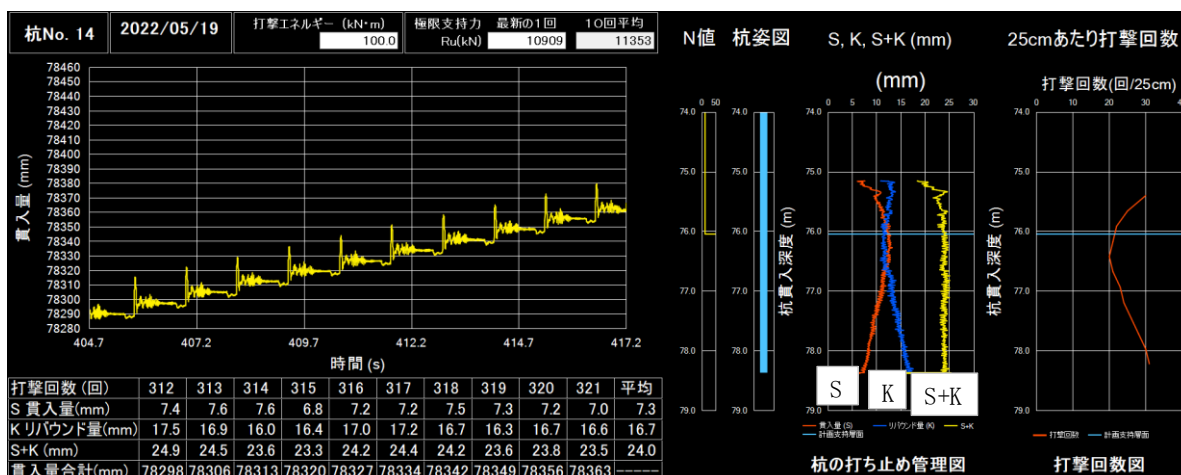


写真 5.9.3 計測時のPC画面

(2) ヤットコを用いた打止め管理手法開発

従来の管理手法とヤットコを用いた打止め管理手法の比較説明^{5.9-11, 12}を図5.9.25に示す。

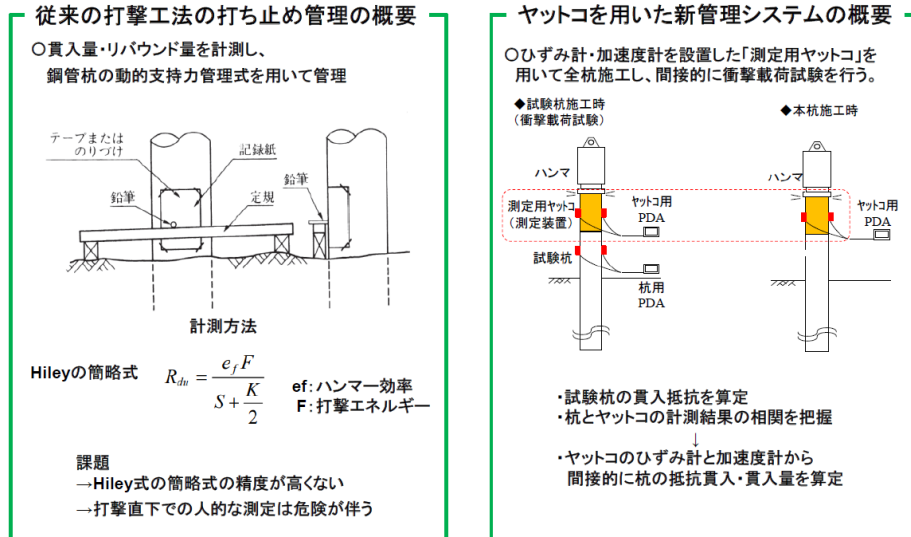


図 5.9.25 管理システムの概要 (新旧比較)

この装置の使用により下記のような打ち止め管理の精度向上がみこまれる。

- ・全杭で間接的な衝撃載荷試験を実施できることから、より精度の高い支持力確認が可能となる。
- ・連続計測により、支持層到達確認等が容易になる。
- ・支持力不足の懸念が生じた際は、データ解析により詳細な確認が可能となる。

また、計測の無人化による効果として下記の効果が期待できる。

- ・ハンマ直下や足場が悪い中での危険作業を排除できる。
- ・計測のための杭打ち作業の一時中断が不要で、連続して作業を行うことができる。
- ・計測作業における個人差や人的ミスを排除できる。

2. 出来形管理装置

近年、杭心や傾きを計測し、出来形管理を行う装置は数多くのものが開発されており、実用化されている。詳しくは、国土交通省の「新技術情報提供システム (NETIS)」で確認することができる

参考文献

- 5.9-1) 日本港湾協会：港湾土木請負工事積算基準 令和5年度改訂版，p3-4.5-(2) 2023年4月
- 5.9-5) 鋼管杭協会 特別技術委員会 施工分科会：鋼管杭協会報告 第3号 鋼管杭の打撃応力と適正ハンマ，鋼管杭協会，1982年
- 5.9-2) (Adhémar Jean Claude) Barré de Saint-Venant：Théorie de l'élasticité des corps solides，1881.
- 5.9-3) 加藤勉，秋山宏，鈴木弘之：軸圧縮応力を受ける鋼管の塑性局部座屈耐力，日本建築学会論文報告集，第204号，pp.9～17，1973年2月
- 5.9-4) 岸田英明，高野昭信：鋼管杭の座屈と端部補強，日本建築学会論文報告集、第213号，pp.29～38，1973年11月
- 5.9-6) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 IV下部構造編（平成29年度改訂），2017年11月
- 5.9-7) 土木研究所：軟岩を支持層とする杭の支持力に関する実験的研究，土木研究所資料 第2720号，1989年2月
- 5.9-8) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），2022年1月
- 5.9-9) 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
- 5.9-10) 日本道路協会：杭基礎施工便覧（令和2年度改訂版），2020年9月
- 5.9-11) 時田知典，塩崎禎郎，北濱雅司，坂本俊彦，相和明男，宮北啓伍：測定用ヤットコを用いた鋼管杭の打止め管理について，第57回地盤工学研究発表会発表講演集，p21-6-2-03，2022年6月
- 5.9-12) 塩崎禎郎，時田知典，及川森，森本凌，森安俊介，西部和生：測定用ヤットコを用いた鋼管杭の打止め管理に関する実海域実験，第59回地盤工学研究発表会発表講演集，pDS-4-05，2024年6月

出典

- 5.9-① 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]，p6 図-2.1，2019年7月
- 5.9-② 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]，p7 図-2.2，2019年7月
- 5.9-③ 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]，p7 図-2.3，2019年7月
- 5.9-④ 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]，p8 表-2.1，2019年7月
- 5.9-⑤ 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]，p8 写真-2.1，2019年7月
- 5.9-⑥ 建設物価調査会：国土交通省土木工事積算基準 令和6年度版，p102 図3-1，2025年5月
- 5.9-⑦ 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]，p10 図-2.6，2019年7月
- 5.9-⑧ 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]，p11 図-2.8，2019年7月
- 5.9-⑨ 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]，p13 図-2.10，2019年7月
- 5.9-⑩ 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]，p13 表-2.3，2019年7月

- 5.9-⑪ 宇都一馬, 冬木衛, 近藤博: くいの打撃応力におよぼすハンマーの重量について, 第5回土木学会
関東支部年次研究発表講演梗概集, p116 図-4, 1978年
- 5.9-⑫ 鋼管杭協会: 鋼管杭の施工限界と施工能力, p20, 1995年
- 5.9-⑬ 鋼管杭協会: 鋼管杭の施工限界と施工能力, p13 図・7, 1995年
- 5.9-⑭ 鋼管杭協会: 鋼管杭の施工限界と施工能力, p9 図・3, 1995年
- 5.9-⑮ 鋼管杭協会: 鋼管杭の施工限界と施工能力, p9 図・4, 1995年
- 5.9-⑯ 鋼管杭協会: 鋼管杭の施工限界と施工能力, p15 図・9, 1995年
- 5.9-⑰ 鋼管杭協会: 鋼管杭の施工限界と施工能力, p5 図・1, 1995年
- 5.9-⑱ 鋼管杭・鋼矢板技術協会: 鋼管杭 —施工と施工管理— (改訂第3版), p276 表-3.8.4, 2022年1
月

5.10 バイブロハンマ工法の施工および施工管理

5.10.1 一般

1. 概要

バイブロハンマは、特殊耐震型電動モータまたは油圧モータを駆動力とし、偏心重錘を同位相で互いに逆回転させて把持した杭に上下振動を与えるもので、その振動力により鋼杭の打込み・引抜きに使用される。ただし、支持層での打設にあたり支持層確認や打止め管理が必ずしも明確化されておらず、載荷試験での先端支持力の確認例も少ないことから、支持層での適切な打止め、先端支持力の発現のために打撃工法などを併用することがある。

工法設備の構成は比較的簡単であり、作業性や経済性に優れる利点を持つが、施工時の地盤振動が避けられないため、施工環境に配慮する必要がある。また、ヤットコを用いることで水深 10m 程度まで水中打込みができることや、バイブロハンマの振動が杭打機リーダに伝播することを防ぐための特殊な緩衝装置を装着することで、直杭の他に傾斜角 20 度程度の斜杭の施工も可能である。

なお、一般的な鋼管杭の杭径を大きく超えるようなものをバイブロハンマで打設する場合には、複数台のバイブロハンマを用いて施工する集合バイブロハンマ施工が行われることもある。

2. 施工手順

バイブロハンマ工法の標準的な施工フローを [図 5.10.1](#) に、施工手順図を [図 5.10.2](#) に示す。杭を把持する方法としては、鋼管杭専用の油圧チャック装置（鋼管チャック）を用いる方法と、杭の頭部にチャッキングプレートを溶接して標準チャック（120kW 以下）を用いる方法があるが、大径杭の場合には鋼管杭専用チャックの使用が一般的である。

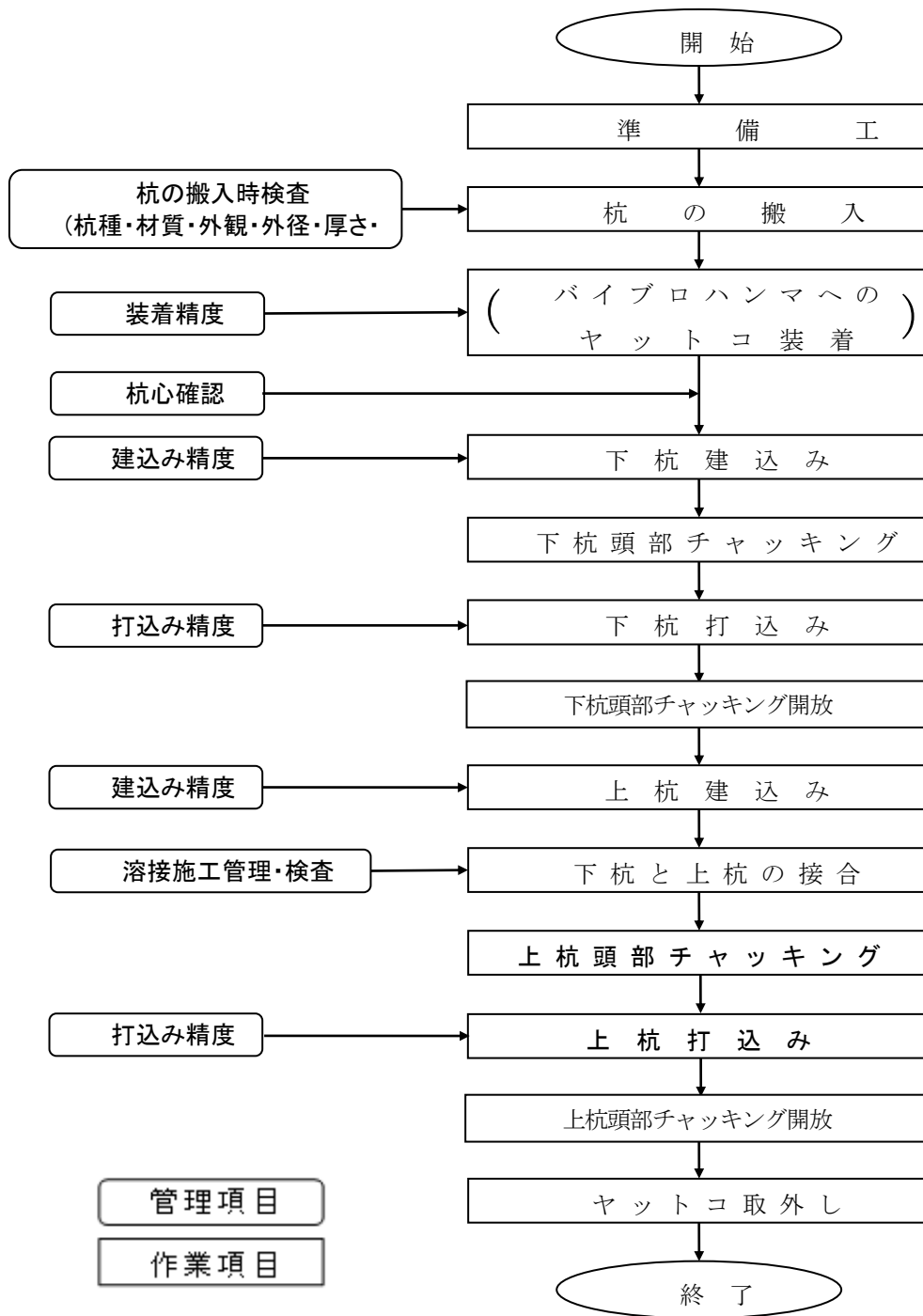
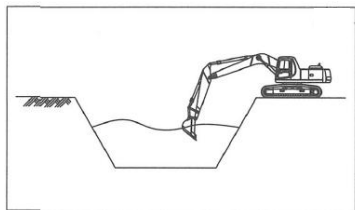
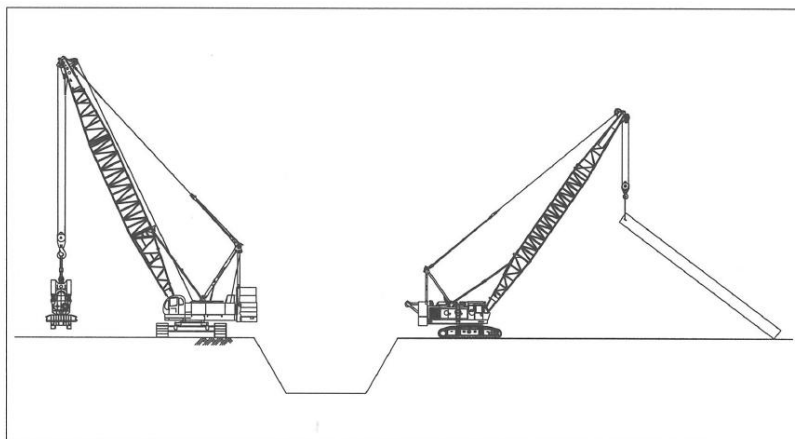


図 5.10.1 バイブロハンマ工法の標準施工フロー（出典 [5.10-①](#)）

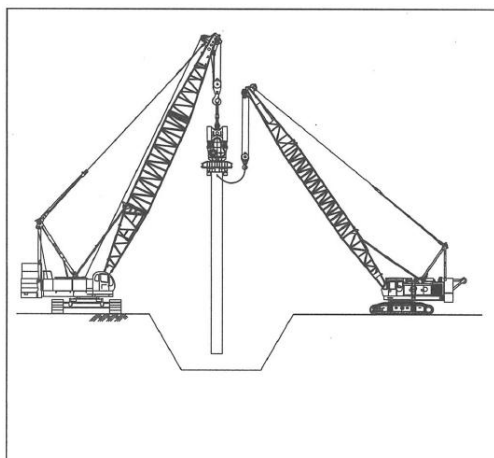
①床掘り



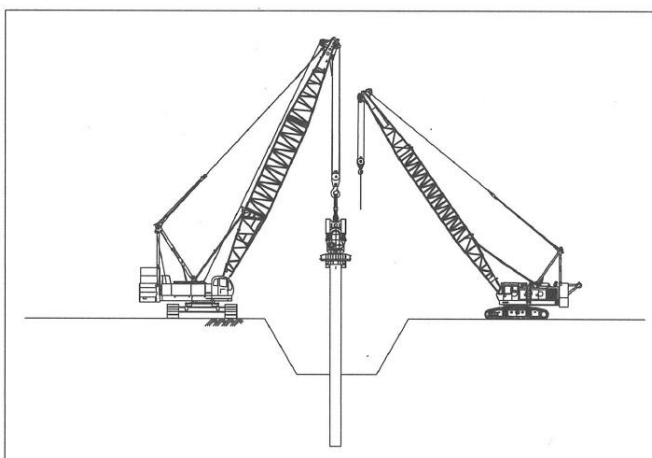
②杭吊り込み



③チャッキング/建込み



④打込み



⑤打止め

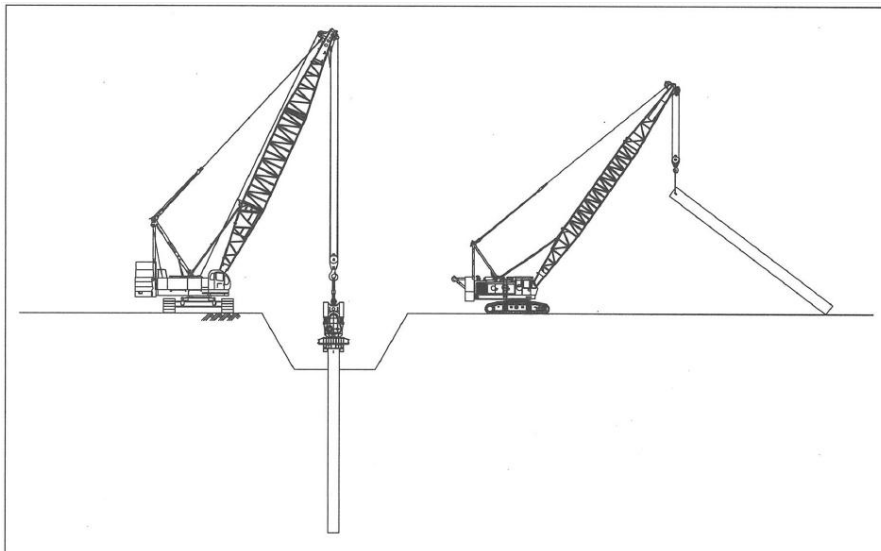


図 5.10.2 床掘りして施工する場合の施工手順例 (出典 5.10-②)

3. 施工機械および設備機器

図 5.10.3 に施工で使用する施工機械・設備機器の例を示す。

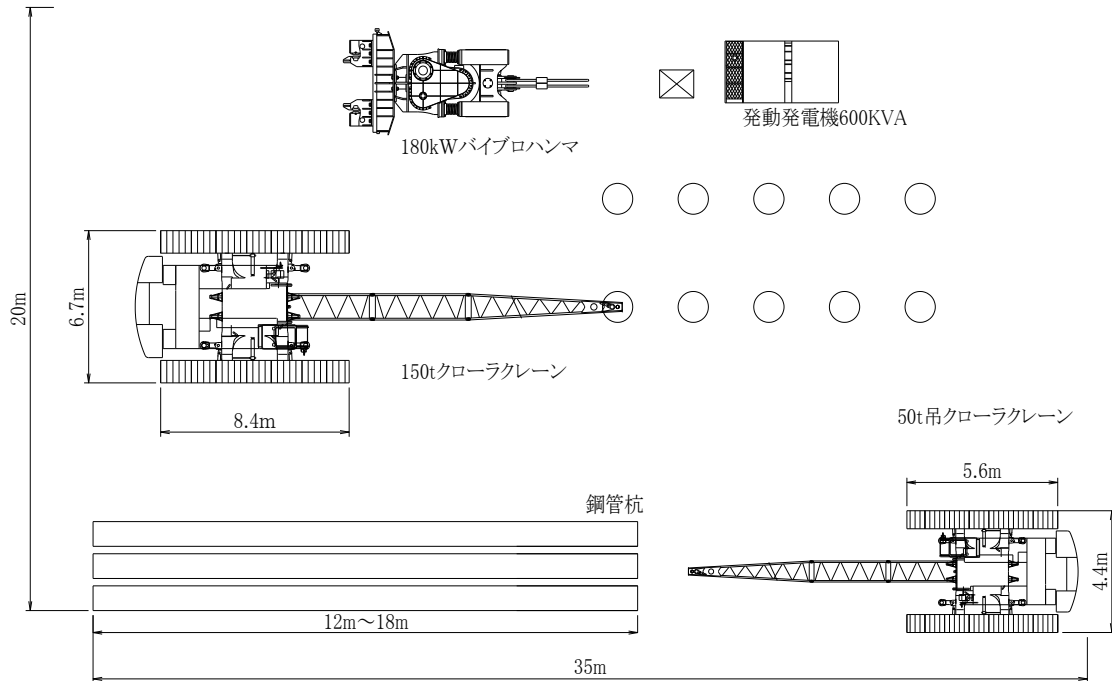


図 5.10.3 バイブロハンマ工法の機械構成例 (出典 5.10-③)

(1) ベースマシン

ここでは、ベースマシンの選定方法を、次の3ケースについて示す。

1) 標準施工

作業時のブーム仰角が 70° 以上

2) 特殊施工

作業半径が大きい場合等で作業時のブーム仰角が 70° 未満

3) 起振力が大きいバイブロハンマによる施工

出力 90kW 以上の電動バイブロハンマ、起振力 1262kN 以上の油圧バイブロハンマの場合

1) 標準施工の場合

(i) 陸上施工

陸上施工のベースマシンは、クローラークレーンを標準とし、その能力を表 5.10.1 に示す。

表 5.10.1 鋼管杭施工のベースマシン能力 (出典 5.10-④) に加筆)

条件	主クレーン	補助クレーン
陸上施工	クローラクレーン	クローラクレーン
	(油) t 吊	(油) t 吊
<p>注1) 主クレーンの規格は、バイプロハンマ重量 (鋼管チャック重量を含む) と杭重量から式 (5.10.1) で算定する。</p> $C_f = (W_v + W_p) \times 6 \dots\dots\dots \text{式 (5.10.1)}$ <p>ここに、 C_f: クレーン最大吊上げ荷重 (tf) W_v: バイプロハンマの重量 (鋼管チャック重量を含む) (tf) W_p: 杭 1 本当りの重量 (tf)</p> <p>注2) 本表規格のクレーン規格は、標準的な施工条件 (作業時のブーム仰角が 70° 以上) を想定している。 注3) 作業半径が広い等の作業条件により、標準的な施工条件に適合しない場合は、「2) 特殊施工の場合」により算定する。 注4) 補助クレーンの規格は、クローラクレーン 50t 吊を標準とする。ただし、小径・短尺杭、大径・長尺杭の場合には、規格を別途検討する。</p>		

(ii) 水上・海上施工

水上・海上施工に用いるベースマシンの能力を [表 5.10.2](#)、[表 5.10.3](#) に示す。

表 5.10.2 電動式バイプロハンマによる鋼管杭施工のベースマシン能力 (出典 5.10-⑤) に加筆)

船種・機種	バイプロハンマ規格					数量	摘要
	90kW	120kW	180kW	240kW	480kW		
発動発電機	300kVA	400kVA	600kVA	800kVA	800kVA ×2	1	
クレーン付台船 または 起重機船・杭打船	クレーン付台船 または起重機船		起重機船または杭打船			1	注1)
	t 吊	t 吊	t 吊	t 吊	t 吊		
台船	鋼 t 吊		鋼 t 吊			1	注2)
引船	鋼 PS 型		鋼 PS 型			1	
揚錨船	鋼 D 5t 吊					1	
潜水士船	D180PS 型 3~5t 吊						注3)
<p>注1) クレーン付台船の規格は、陸上施工の主クレーン規格の選定と同様に、クレーンの最大吊上げ荷重をもとに選定する。 注2) 台船および引船の規格は、鋼管杭運搬の規格とする。 注3) 潜水士船は、必要に応じて、1 日計上することができる。 注4) 本表規格のクレーン規格は、標準的な施工条件 (作業時のブーム仰角が 70° 以上) を想定している。 注5) 作業半径が広い等の作業条件により、標準的な施工条件に適合しない場合は、「2) 特殊施工の場合」により算定する。</p>							

表 5.10.3 油圧式バイプロハンマによる鋼管杭施工のベースマシン能力 (出典 5.10-⑥に加筆)

船種・機種	バイプロハンマ規格					数量	摘要
	107kW (473kN)	168kW (767kN)	172kW (929kN)	264kW (1684kN)	389kW (2579kN)		
クレーン付台船 または 起重機船・杭打船	クレーン付台船 または起重機船		起重機船または杭打船			1	注 1)
	t 吊	t 吊	t 吊	t 吊	t 吊		
台船	鋼	t 吊	鋼	t 吊		1	注 2)
引船	鋼	PS 型	鋼	PS 型		1	
揚錨船	鋼 D 5t 吊					1	
潜水士船	D180PS 型 3~5t 吊						注 3)

注 1) クレーン付台船の規格は、陸上施工の主クレーン規格の選定と同様に、クレーンの最大吊上げ荷重をもとに選定する。
 注 2) 台船および引船の規格は、鋼管杭運搬の規格とする。
 注 3) 潜水士船は、必要に応じて、1 日計上することができる。
 注 4) 本表規格のクレーン規格は標準的な施工条件 (作業時のブーム仰角が 70° 以上) を想定している。
 注 5) 作業半径が広い等の作業条件により、標準的な施工条件に適合しない場合は、「2) 特殊施工の場合」により算定する。

2) 特殊施工の場合

標準外施工条件下に必要なクレーンの吊上げ能力は、式 (5.10.2) により求まるクレーンの正味吊上げ荷重で確認する。標準外施工条件下とは作業半径が大きい場合等で作業時のブーム仰角が 70 度未満となる場合である。適合するクレーン能力の選定は、正味吊上げ荷重の算定と現場の作業半径において充分な地上高さ (図 5.10.4 参照) を確保できるブーム長を選定したうえで、各クレーンメーカーのクレーン性能表 (定格荷重表) に基づいて行う。

$$F = W_c + W + W_p + \left(\frac{P_0}{g} \times \alpha \right) \dots\dots\dots \text{式 (5.10.2)}$$

ここに、

- F : クレーンの正味吊上げ荷重 (tf)
- W_c : クレーンフックの重量 (tf) (クレーンカタログを参照)
- W : バイプロハンマの本体重量 (tf) (表 5.10.4、表 5.10.5 参照)
- W_p : 材料の重量 (tf) (継杭の場合は図 5.10.5 参照)
- P₀ : バイプロハンマの最大起振力 (kN)
- α : 作業係数 打込み時 : 0.15、引抜き時 : 0.25

表 5.10.4 クレーン能力算定のためのバイプロハンマ本体重量表（標準チャック・鋼管チャック装着時）
（出典 5.10-⑦に加筆）

バイプロハンマ型 式名	定格出力 (kW)	最大起振力 (kN)	本体重量 (tf)		本体全高 (m)	
			標準チャック 装着時	鋼管チャック 装着時	標準チャック 装着時	鋼管チャック 装着時
ZERO-60VR	45	332	4.23	—	3.01	—
ZERO-80VR	60	478	5.67	—	3.31	—
ZERO-120VR	90	571	7.13	8.69	3.62	3.67
ZERO-160VR	120	685	9.70	11.90	3.98	4.13
ZERO-200 I MR	180	1123	—	19.80	—	6.81
ZERO-320 I MR	240	1988	—	38.40	—	8.06
ZERO-640 I MR	480	3976	—	79.93	—	10.82
SR-30	78	347	4.00	—	3.09	—
SR-45	107	474	6.50	7.84	3.48	3.69
SR-60	168	767	7.18	7.42	3.76	3.68
HV-300	172	929	5.85	6.05	2.71	2.64
HV-600	264	1684	—	11.90	—	3.09
HV-1200	389	2579	—	19.00	—	3.71
PVE-28VM	344	1600	—	7.53	—	3.07
PVE-90VM	1202	4477	—	25.14	—	4.05
PVE-55M	359	1711	—	8.60	—	2.69
PVE-82M	518	2567	—	11.14	—	3.18
PVE-110M	557	2198	—	15.24	—	3.32
PVE-150M	754	3224	—	23.18	—	3.52
PVE-200M	980	4300	—	36.68	—	4.05
PVE-250MS	1130	5449	—	43.70	—	4.05
PVE-300M	1633	6150	—	54.41	—	5.04

表 5.10.5 クレーン能力算定のためのバイプロハンマ本体重量表（ハットチャック装着時）（出典 5.10-⑧）

バイプロハンマ 型式名	定格出力 (kW)	最大起振力 (kN)	本体重量 (tf)			本体全高 (m)		
			10H 用	25H 用	45,50H 用	10H 用	25 用	45,50H 用
ZERO-80VR	60	478	6.42			3.30		
ZERO-120VR	90	68.5	7.44			3.50		
ZERO-160VR	120	685	11.12	—	—	4.25	—	—
SR-45	107	474	7.42			3.63		
SR-60	168	767	—	6.06	6.08	—	3.47	3.47

クレーン能力算定のための参考図を [図 5.10.4](#) に示す。

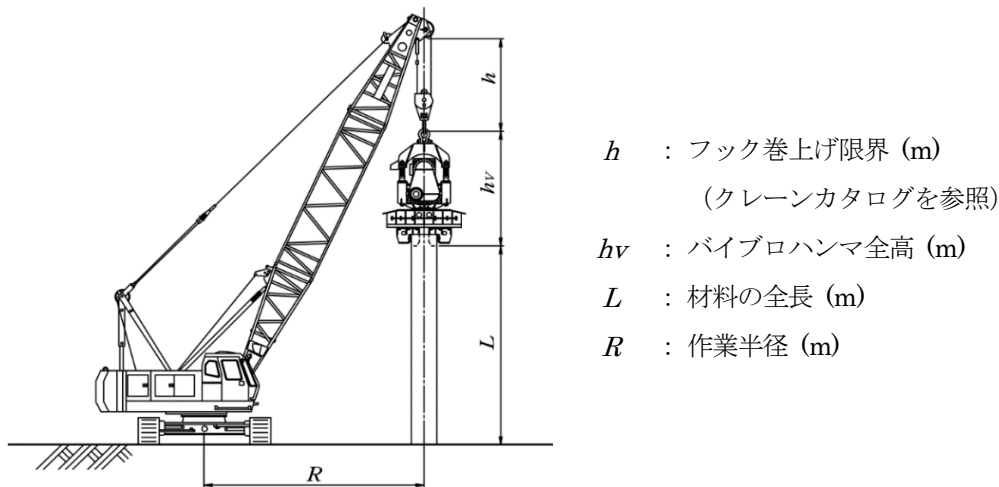


図 5.10.4 クレーン能力算定参考図 (出典 [5.10-9](#))

継杭の場合の材料重量は、杭長の 50%以上を打込むと材料の自立と鉛直精度が確保され、それ以後打止めに至るまではバイブロハンマ本体重量を材料に預けることが可能であり、この時点におけるクレーンの吊り荷重が最大となる。よって、材料の重量としては、下杭または下杭と中杭の長さが杭全長の 50%以上になるとき ([図 5.10.5](#) の例では下杭+中杭) の重量を採用する。

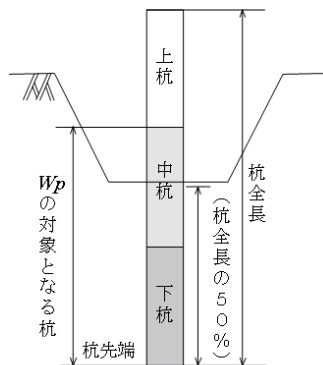


図 5.10.5 継杭施工時の材料重量の考え方 (出典 [5.10-10](#))

3) 起振力の大きいバイブロハンマの場合

クレーンの正味吊上げ荷重は、安全率を乗じて算出する場合もある。ここでは、実大試験結果を参考に打込み時には安全率 1.2 を推奨する。本実大試験では、杭を空中吊りする最も厳しい条件下で実施され、安全性を十分に考慮した評価値として安全率=1.2 が得られている。

ここで、大型のバイブロハンマについては、出力 90kW 以上の電動ゼロバイブロハンマもしくは起振力 1,265kN 以上の油圧バイブロハンマとする。

① 打込み時

$$F = (W_c + W + W_p) \times W_s \quad \dots \quad \text{式 (5.10.3)}$$

F : クレーンの正味吊上げ荷重 (tf)

W_c : クレーンフックの重量 (tf) (クレーンカタログを参照)

- W : バイブロハンマの本体総重量 (tf) (表 5.10.3 参照)
- W_p : 鋼管杭の重量 (tf)
- W_s : バイブロ作業の安全率=1.2

② 引抜き時

$$F = (W_c + W + W_p + W_r) \times W_s \quad \dots\dots\dots \text{式 (5.10.4)}$$

W_r : 引抜き時の動摩擦抵抗力 (tf)

$$W_r = \mu \times W_T$$

μ : 低減率

- 砂・砂礫 = $0.05 + (1 - 0.05) \times e^{-0.52 \eta_G}$
- シルト = $0.06 + (1 - 0.06) \times e^{-0.52 \eta_G}$
- 粘土 = $0.13 + (1 - 0.13) \times e^{-0.52 \eta_G}$

e : 自然対数の底

η_G : バイブロハンマ運転時の振動加速度の重力加速度比

$$\eta_G = (P_0 \times 103) / \{9.81 \times (W_V + W_p)\}$$

P_0 : バイブロハンマの起振力 (kN)

W_V : バイブロハンマの振動部質量 (kg)

W_T : 静的摩擦力 (kN)

$$W_T = \alpha (N \times \Sigma L) \times U$$

α : 換算係数

- 砂・砂礫 = 2
- シルト = 5
- 粘土 = 5

N : 土質ごとの平均 N 値

ΣL : 土質ごとの合計層厚 (m)

U : 鋼管杭の周長 (m)

(2) バイブロハンマ

鋼管杭の打込みに使用されるバイブロハンマには電動式と油圧式がある。電動式バイブロハンマは設定振動周波数により高周波型と低周波型に分類される。油圧式バイブロハンマは、より高い騒音・振動対策性をもつ油圧式可変超高周波型等が開発されている。また、最近では起振力を起動・停止時にゼロにするとともに、運転中自由に可変する機構を組み込んだ可変モーメント型が普及している。電動式バイブロハンマと油圧式バイブロハンマの区分を表 5.10.6 に示す。

バイブロハンマの規格は、土質条件や施工する杭の仕様などを考慮して施工に適した容量を選定しなければならない。これまでの施工試験結果等より作成した鋼管杭の打込みに用いるバイブロハンマの選定図を 5.10.6 に示す。なお、貫入抵抗値（鋼管杭）は式 (5.10.5) を用いて算出するが、この値はバイブロハンマの選定のための便宜的なものであり、鋼管杭の支持力や施工中の地盤抵抗の実態を示すものではないことに留意する必要がある。

表 5.10.6 バイブロハンマの区分 (出典 5.10-⑩に加筆)

区 分	電動式		油圧式		
	可変モーメント型		可変モーメント 超高周波型	可変高周波型	油圧ショベル装着式
出 力	45~120kW (4規格)	180~480kW (3規格)	78~168kW (3規格)	172~708kW (3規格)	16~54kW (4規格)
周波数 (f)	$f \geq 16.3\text{Hz}$	$f \leq 13.3\text{Hz}$	$f \geq 60\text{Hz}$	$18.3\text{Hz} \leq f < 28\text{Hz}$	$26.7\text{Hz} \leq f \leq 36.7\text{Hz}$
主な用途	主に鋼矢板・H形鋼杭に適用する。	主に大型の鋼管杭・鋼管矢板に適用する。	主に振動・騒音対策を必要とする施工で、鋼矢板・H形鋼杭に適用する。	鋼矢板、H形鋼杭の他小型の鋼管杭・鋼管矢板に適用する。振動・騒音対策を必要とする施工にも適用する。	振動・騒音対策を必要とする施工で、軽量鋼矢板やⅢ型以下の鋼矢板、250以下のH形鋼杭に適用する

・貫入抵抗値 (鋼管杭の場合) の計算

$$R_1 = 300 \times N \times A_p + 2 \times \bar{N} \times L_b \times A_s \quad (\text{少数第1位四捨五入}) \quad \dots\dots\dots \text{式 (5.10.5)}$$

ここに、

- R_1 : 鋼管杭の貫入抵抗値 (kN)
- A_p : 鋼管杭の先端面積 (閉塞率 100%) (m²)
- L_b : 鋼管杭の打設長 (m)
- A_s : 鋼管杭の周長 (m)
- N : 鋼管杭先端地盤の N 値
- \bar{N} : 鋼管杭周辺地盤の加重平均 N 値
(表層から連続する N 値=0 の区間は根入れ長に加算しない。)

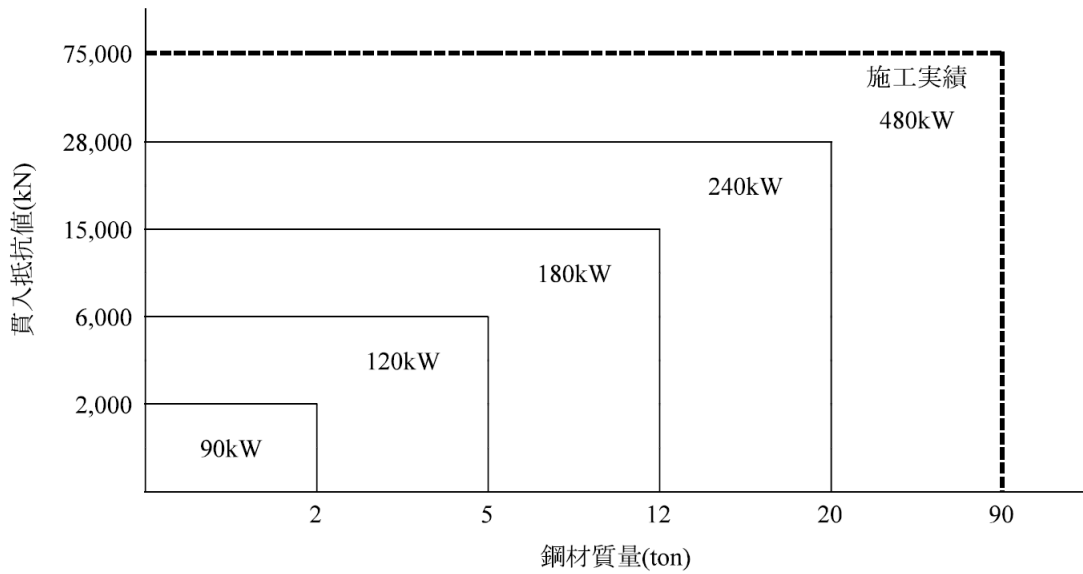
$$R = R_1 + R_j \quad (\text{少数第1位四捨五入}) \quad \dots\dots\dots \text{式 (5.10.5)}$$

ここに、

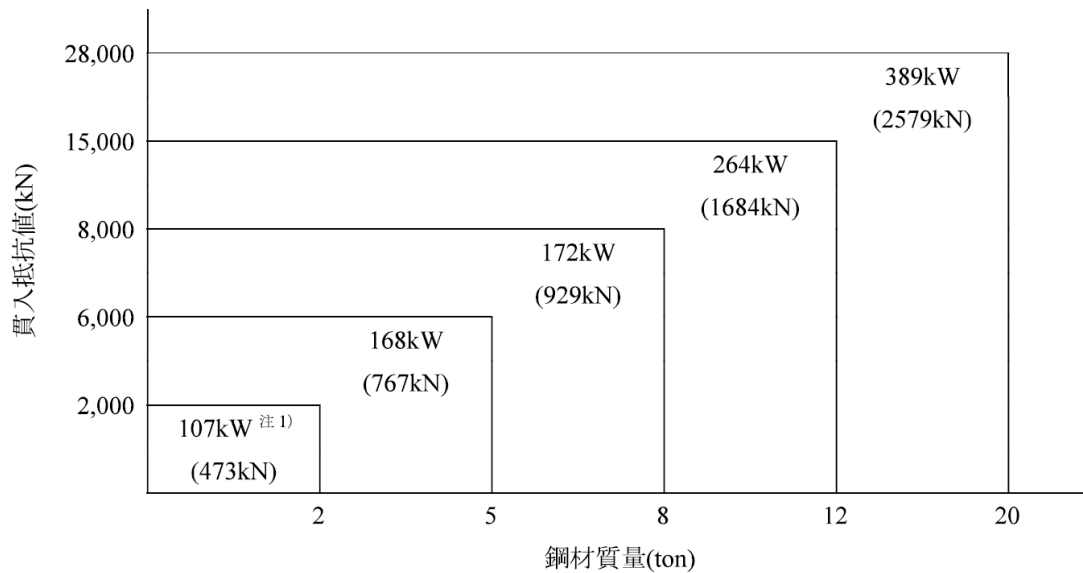
- R : 鋼管矢板の貫入抵抗値 (kN)
- R_1 : 鋼管杭の貫入抵抗値 (kN)
- R_j : 継手の貫入抵抗値 (kN) ($R_j = R_1 \times 10^{-1}$)

鋼管杭・鋼管矢板の打設に使用するバイブロハンマの標準選定図を [図 5.10.6](#) に示す。電動式を採用する場合は、電動式可変モーメント型を標準とする。

なお、480kW を用いた工事が少ないため、[図 5.10.6\(a\)](#) に破線で示す 480kW の実績範囲は、バイブロハンマ工法技術研究会で調査した工事実績のうち、鋼材質量・貫入抵抗値がともに最大の工事事例に基づくものである。



(a) 電動式バイブロハンマ可変モーメント型 (出典 5.10-⑫)



注1) 170kWの規格は、排出ガス対策型(第3次基準)とする。

注2) 油圧式バイブロハンマのkWは換算モータ出力を表わす(換算モータ出直とは油圧バイブロハンマのエンジン出力をモータ出力に変換した値)。()内のkNは起振力を表わす。

(b) 油圧式バイブロハンマ (出典 5.10-⑬)

図 5.10.6 バイブロハンマ標準選定図

(3) 補助クレーン

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。鋼管等の総重量および作業性、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。

(4) ヤットコ

ヤットコは図5.10.7に示すように一般にバイブロハンマと油圧チャックの間にセットする。油圧チャックは水没しても問題がないため、杭頭が水面下になる杭も打設可能である。

(5) 電力設備

発動発電機を使用する場合は、バイブロハンマの諸元等を考慮して設定する。表5.10.7に発動発電機選定の例を示す。機器の最大容量で発動発電機の容量を決定する。

表 5.10.7 発動発電機選定表の例 (出典 5.10-⑭)

バイブロハンマ定格出力	発電機	台数
45 kW	150 kVA	1
60 kW	200 kVA	1
90 kW	300 kVA	1
120 kW	400 kVA	1
180 kW	600 kVA	1
240 kW	800 kVA	1
480 kW	800 kVA	2

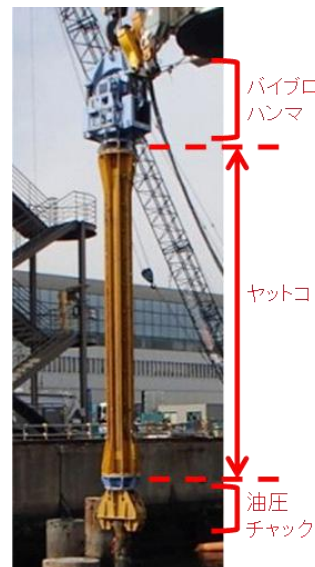


図 5.10.7 ヤットコ使用例 (出典 5.10-⑮)

(6) チャック装置

バイブロハンマの振動力を杭に伝える方法として、鋼管専用の油圧チャック（鋼管チャック）を用いる方法と杭頭部に溶接取付けしたチャッキングプレートによる方法がある。

1) 鋼管専用の油圧チャックによる把持方式（標準）

バイブロハンマの能力および鋼管杭の外径、板厚に合わせて把持が可能であり、現在は外径 500mm 以上の杭に適合するチャック装置が、バイブロハンマの能力ごとに数多く準備されている。図5.10.8に鋼管専用の油圧チャック装置による把持方法の例を示す。

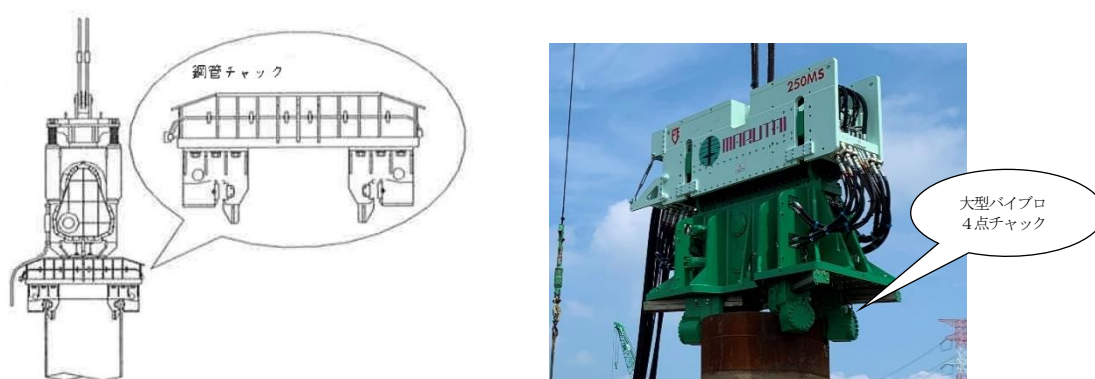


図 5.10.8 鋼管専用の油圧チャックによる把持方法の例 (出典 5.10-⑯に加筆)

2) チャッキングプレートによる把持方式

外径 500mm 未満の鋼管においては、適合する鋼管チャック装置の準備が少数であるため、鋼管頭部にチャッキングプレートを溶接取付けし、油圧チャック装置でプレートを把持する方法を標準とする。図5.10.9にチャッキングプレートの取付け例を示す。

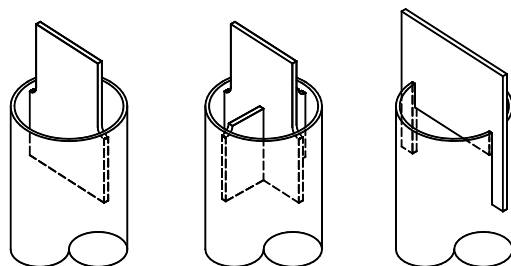


図 5.10.9 チャッキングプレートの取付け例 (出典 5.10-⑰)

5.10.2 施工手順

1. 鋼管杭の建込み

(1) 杭心出し

鋼管杭のバイプロハンマ工法では、[図 5.10.10](#)に示すように杭心位置から杭の半径ほど離れた場所に、杭を挟んで平行に導棒を設置する。導棒は、杭打ち作業によって変形しない堅固なものにするとともに、杭の建込み位置を決定し、施工中における杭心ずれの防止の役目も果たすため、導杭にしっかりと固定しなければならない。なお、現場で導杭を打てない場合には、別の方法を適用する場合もある。

逃げ心は地上部に設けることが多く、スケールを用いて杭心の確認を行う。

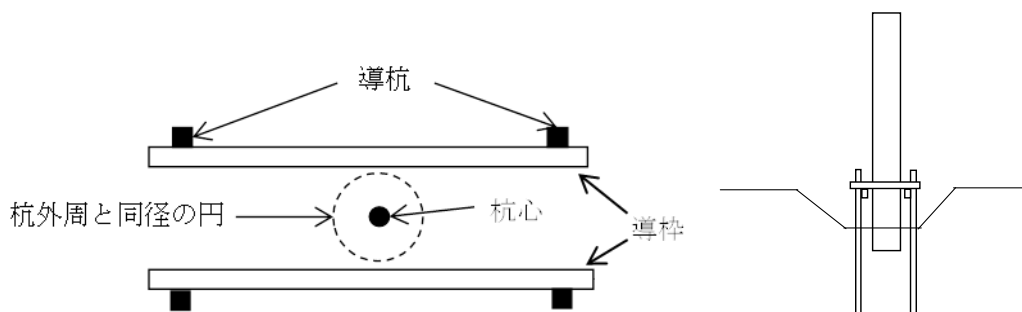


図 5.10.10 導棒の設置 (出典 5.10-⑱)

(2) 鋼管杭の吊込み

[図 5.10.11](#)に示すように、鋼管杭は補助クレーンを使用して吊込むことが一般的である。施工時の安全性や施工性を考慮して、各単管に吊金具を取付けることが望ましい。

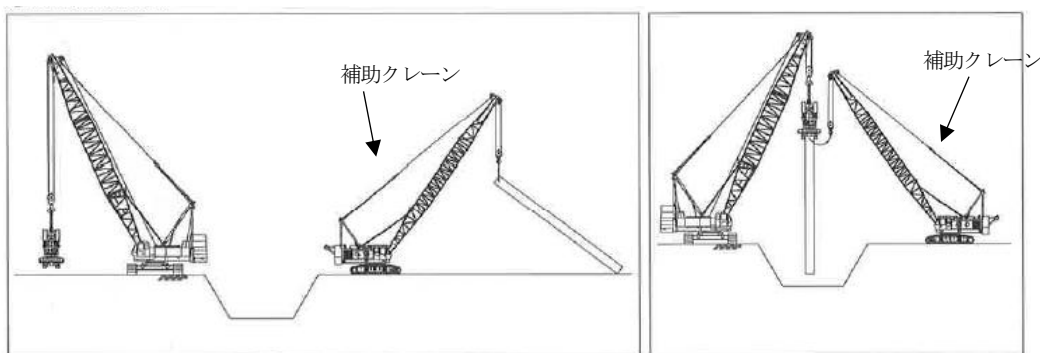


図 5.10.11 鋼管杭の吊込み状況 (出典 5.10-⑲)

(3) 鋼管杭の建込み

杭の建込みは、一般に補助クレーンを用いて行い、導棒もしくは吊込み用仮設やぐらに建込み、十分な安定を確保してクローラクレーンに吊り下げられたバイブロハンマで把持する。この際、鋼管の溶接部を把持すると、長時間の起振により溶接部から疲労亀裂を発生させるおそれがあるため、溶接部を避けて把持する。

沈設初期には、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鋼管の鉛直度を確認しながら作業を進める。

2. バイブロハンマ打設

(1) 作業要領

杭の打ち始めは吊り気味にして杭心、鉛直度を確認し、その後に本打ちに移る。地盤条件によっては自重のみで地中に大きく貫入する場合もあるので、徐々に打ち下げて杭心の位置がずれないようにする。また、傾斜角の大きい斜杭の場合、過大な速度で打込むとベースマシンの重心の移動が急激に起こり、転倒事故などに原因となることから、徐々に打下げて杭の角度を正しく調整した後に連続打込みを行う。

なお、打込みの初期において杭が傾斜した場合は、所定の角度になるように引き起こしての修正や、引抜いて打ち直しを行うことが可能であるが、杭周辺地盤を緩めるおそれがあり極力避けるようにする。

バイブロハンマには、偏心モーメントを自由に変えることができる可変モーメント型と偏心モーメントが一定の普通型がある。

このうち、可変モーメント型は、起振時や停止時にクレーンブームの固有振動数領域の通過時に偏心モーメントをゼロとして、クレーンブームの共振を防止することができる。

一方、普通型油圧バイブロハンマは、その油圧機構の特性から、立ち上がり時においては最大起振力が発現するまでの時間が短いため、クレーンの共振周波数領域を瞬時に通過してしまうこと、その時点の起振力が小さいことにより、クレーンブームの共振はさほど大きくない。しかしながら、停止時においては起振力がゼロに下がるまでに要する時間が起振時に比較して長いことから、クレーンの共振周波数領域を瞬時には通過できない。このため、その時点での起振力が小さくても、クレーンブームに比較的大きな共振が発生する。このようなバイブロハンマの特性を踏まえて標準的な作業手順を以下に示す。

1) 打込み作業時

- ・杭を導棒（定規）の内に納め、横ブレを抑制した状態で起動する。
- ・最大起振力による作業時は、クレーンの吊り荷重は安定しているため、荷重計と貫入量を見比べながら慎重に打込み作業を行う。
- ・停止時は、吊り荷重を地山に預けた状態とし、クレーンの吊りワイヤを緩めた状態にしてバイブロハンマの振動がクレーンブームまで伝わりにくくすることにより共振を抑制して停止させる（停止後に杭の把持を解除する際には、バイブロハンマ本体が倒れない程度にクレーンの吊りワイヤを張りなおすこと）。

2) 引抜き作業時

- ・引抜き作業時においても、起振時と最大起振力における作業時の状態は打込み時と同様であるが、停止時においては、打込み作業時の対応ほど共振を防止する有効な操作方法はない。引抜き作業の終了

方法については、引抜き作業の進捗に伴って吊り荷重が静止吊り荷重に近づいてきた状況で、杭の下部が地中に残った状態にあるうちにクレーンの吊りワイヤを緩め、振動を停止した後に杭を素抜きする。

(2) 支持層への貫入性

打込の可否をきめる要因は、以下3項の通りである。

- 1) 支持層の土質と硬さ。
- 2) 支持層よりも上層にある土質と硬さ。
- 3) 支持層の地表からの深さ。

杭の支持層への打設においては、岩盤は勿論のこと、礫質・砂質・粘土質のいずれの場合も、N値が50を超える土質であれば貫入不能となる危険性がある。

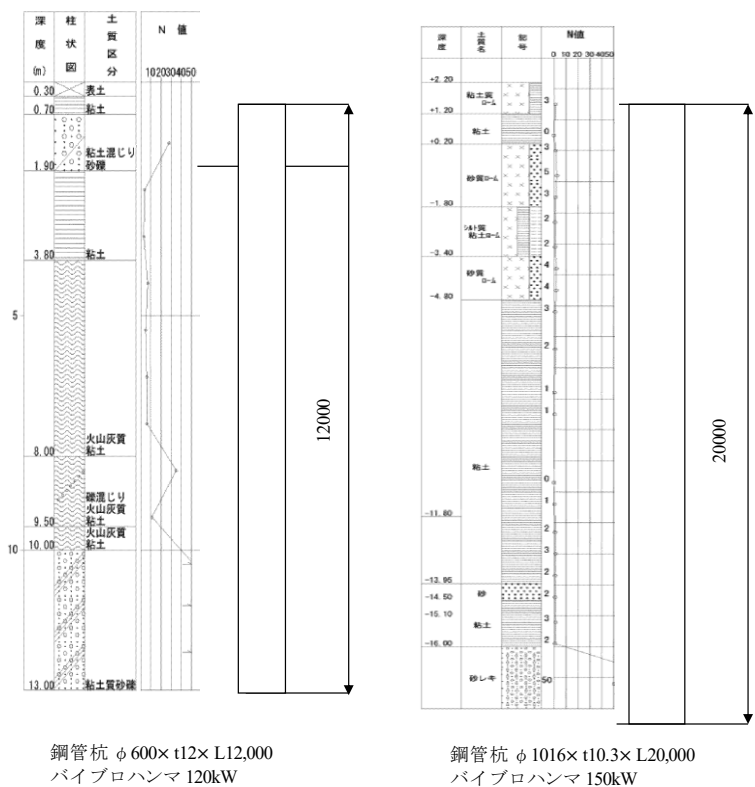
1) 岩盤

岩に属する地層は、圧縮強度が低く密度が小であっても、鋼管杭の振動打込みは困難な場合が多い。ただし、風化している堆積岩は、風化した部分にのみ鋼管杭の打込みができる。

2) 砂れき層

N値が50を超える砂れき層は貫入不能になる場合がある。

なお、れき径・密度が大きい場合、杭先端の変形もしくは破損により貫入性が阻害されるおそれがある。砂れき層への貫入事例を [図 5.10.12](#) に示す。



鋼管杭 φ600×t12×L12,000
バイプロハンマ 120kW

鋼管杭 φ1016×t10.3×L20,000
バイプロハンマ 150kW

図 5.10.12 砂れき層への貫入事例 (出典 5.10-20)

3) 砂層

N 値が 50 を超える砂層は、杭の先端閉塞が大きく影響して、貫入不能になる場合がある。砂層への貫入事例を [図 5.10.13](#) に示す。

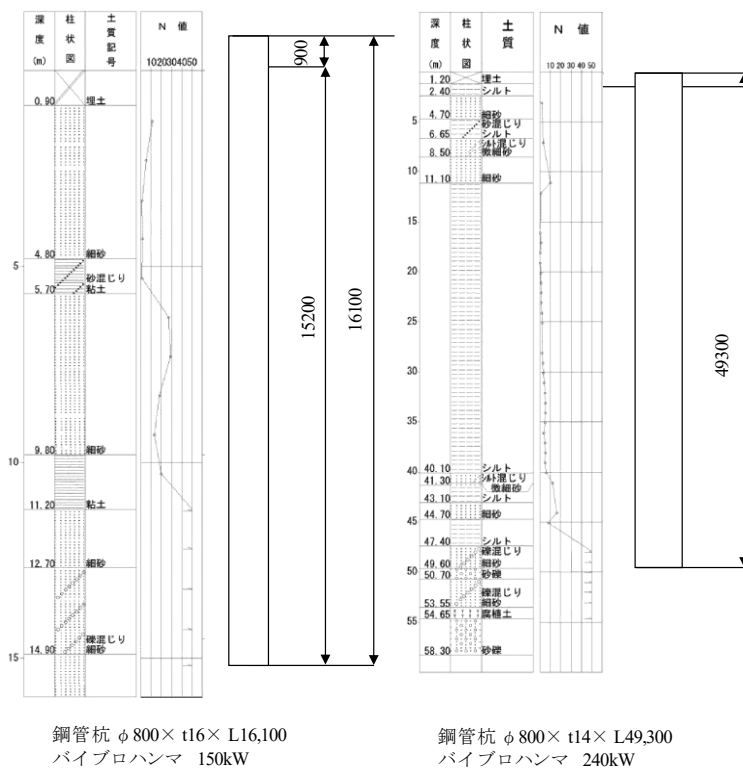


図 5.10.13 砂層への貫入事例 (出典 [5.10-21](#))

4) 粘性土

一般に粘性土は密度が高く、振動による土の体積変化が生じにくいので、N 値が小さい場合でも砂質土と比較して打込みが困難である。

(3) 中間層の打抜き

中間層の打抜きでは杭径、バイプロハンマの機種などによって多少異なるが、一般に次の傾向がある。

- 1) 砂れき層で N 値 30~50 以下の場合、杭径の 3 倍程度までの層厚は打抜き可能である。
- 2) 粘性土で N 値 15~30 以下の場合、杭径の 2 倍程度の層厚は打抜き可能である。
- 3) 砂質地盤では、粒径が均一なほど打抜きが容易である。
- 4) 中間層が多少硬質でも、下層が軟弱な場合には打抜きができる。

なお、中間層を支持層とした場合は、下部層の地耐力や圧密沈下の検討を行う必要がある。

(4) 杭頭部の照査

鋼管杭頭把持部の板厚が起振力に対して十分な安全性を有するかどうかは、式 (5.10.6) の経験式で確認することができる。

なお、施工時間が著しく長い場合には、式 (5.10.6) を満足する鋼管杭頭把持部の板厚であっても、破断が生じることがある。式 (5.10.6) が適用できる施工時間の目安は (応力度とその繰り返し回数に依るものではあるが) 経験的に打込み長の 2 倍 (打込み長×2分) 以内かつ最長 60 分以内である。これを超える

ことが予想される場合や軟弱層でのみバイブロハンマを使用する場合（下杭施工の場合）等は別途現場毎に適正板厚を検討するものとする。

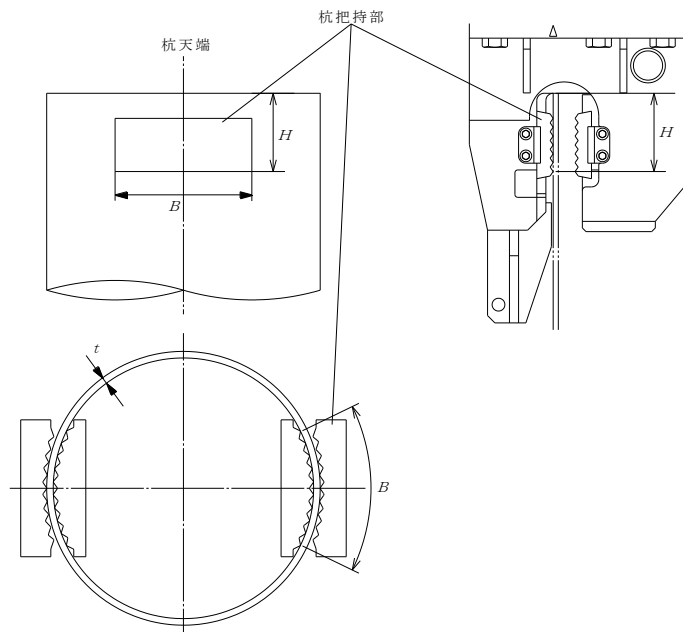


図 5.10.14 鋼管杭把持部のチャック歯寸法（出典 5.10-22）

$$\tau_o \cong \tau_v \dots \dots \dots \text{式 (5.10.6)}$$

ここに、

- τ_o : せん断応力度 (N/mm²) の制限値
疲労破壊も考慮した応力度の制限値で表 5.10.8 とする。
- τ_v : 把持部近傍のせん断応力度の評価値 (N/mm²) で、式 (5.10.7) により求める。
$$\tau_v = \frac{\alpha \times P_0}{n \times \Sigma l \cdot t} \times 10^3 \dots \dots \dots \text{式 (5.10.7)}$$
- P_0 : バイブロハンマの最大起振力 (kN) (表 5.10.10 参照)
- α : バイブロハンマ工法の作業係数で、表 5.10.9 による。
- n : 杭把持部の数 (標準的な鋼管チャック使用時は $n=2$)
- Σl : 把持部の周囲長さ (mm) で、式 (5.10.8) により求める (表 5.10.10 参照)。
$$\Sigma l = B + 2H \dots \dots \dots \text{式 (5.10.8)}$$
- B : 杭把持部のチャック歯孤長 (mm) (表 5.10.10 参照)
- H : チャック歯下端より杭天端までの高さ (mm) (表 5.10.10 参照)
- t : 杭の板厚 (mm)

表 5.10.8 せん断応力度の制限値 (τ_o) (出典 5.10-23)

鋼管の材質	せん断応力度の制限値 (N/mm ²)
SKK400 SKY400	80
SKK490 SKY490	105

表 5.10.9 バイブロハンマ工法の作業係数 (出典 5.10-⑭)

振動周波数 f (Hz)	作業係数 α
$f \leq 15$	1.3
$15 < f \leq 25$	1.5
$25 < f \leq 35$	1.7
$f > 35$	1.9

表 5.10.10 算定に必要な数値一覧 (参考値) (出典 5.10-⑮) に加筆)

バイブロ ハンマ 型式	バイブロ ハンマ 出力 (kW)	適用杭径 (mm)	最大 起振力 P_0 (kN)	周波数 f (Hz)	チャック		把持部	
					歯幅 B (mm)	歯高さ H (mm)	数 n	周囲長さ Σl (mm)
ZERO-120VR	90	500~1200	571	18.3	164	200	2	564
ZERO-160VR	120	500~1300	685	16.3	214	200	2	616
ZERO-200 II MR	180	600~1500	1123	13.3	212	220	2	652
ZERO-320 II MR	240	800~2100	1988	11.7	246	327	2	900
ZERO-640 II MR	480	1400~1600	3976	11.7	407	397	2	1201
ZERO-640 II MR	480	1700~2300	3976	11.7	362	397	2	1156
SR-45	107	500~1200	474	40.0	117	213.5	2	544
SR-60	168	500~1200	767	45.0	211	207	2	625
HV-300	172	500~1400	929	28.0	211	207	2	625
HV-600	264	700~1600	1684	26.7	211	234	2	679
HV-1200	389	800~2000	2579	23.3	308	426	2	1160
PVE-28VM	344	456~1604	1600	38.3	160	145	2	450
PVE-90VM	1202	1000~2660	4477	35.5	230	200	4	630
PVE-55M	359	700~1700	1711	28.3	230	200	2	630
PVE-82M	518	700~1700	2567	28.3	230	200	2	630
PVE-110M	557	700~1700	2198	22.5	230	200	2	630
PVE-150M	754	800~2500	3224	23.3	220	200	2	620
PVE-200M	980	1200~3300	4300	23.3	230	200	4	630
PVE-250MS	1130	1000~3420	5449	23.3	230	200	4	630
PVE-300M	1633	1000~3440	6150	23.3	200	220	4	640

・油圧式バイブロハンマの出力 (kW) は、換算モータ出力を表す。

5.10.3 施工管理

1. 一般

[5.6 中掘り杭工法の施工および施工管理](#)を参照。

2. 試験杭

[5.3 試験杭](#)を参照。

3. 施工管理項目

バイプロハンマ工法の主要な施工管理項目を[表 5.10.11](#)に示す。施工工程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。施工プロセスの記録は、数値等で表現できない項目も多いため、こうした場合にはチェックリストでの実施チェック記入や写真やビデオ等での実施記録も活用するのがよい。

表 5.10.11 バイプロハンマ工法の施工管理項目と管理基準 (出典 [5.10-26](#))

区分	対象	管理項目	管理方法	管理基準	
材料	鋼管杭	杭種, 材質等	鋼管表示の確認	設計図書, 施工計画との照合	
		外観検査	目視	変形等有害な損傷がないこと	
		形状寸法検査 (外径・板厚・長さ)	ノギス・検尺テープにより検測	JIS A 5525, 設計図書による	
機械装置	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	
建込み・打込み	杭の建込み	杭心	2方向に逃げ心を設置し, 検尺棒等で確認	杭心のズレ 50mm 以内	
		傾斜	トランシット又は傾斜計	1/100 以内	
	現場継ぎ溶接	溶接工の技量資格	5.13.1 現場円周溶接 を参照		
		溶接環境 (風・気温等)			
		継手条件 (目違い・ルート間隔等)			
		溶接条件 (電流・電圧・パス数等)			
		外部きず			
内部きず					
打込み	杭打機の鉛直性, 打込み精度	トランシット又は傾斜計	1/100 以内		
出来形	杭心の偏心量	トランシットによる測量	杭心とのズレ D/4 かつ 100mm 以内		
	杭頭レベル	レベルによる測量	±50mm 以内		

5. 施工管理の留意点

バイプロハンマ工法の施工においては杭の建込み制度を管理すること、打止めの判断を適切に行うことなどが重要である。

なお、バイプロハンマ工法の施工管理等については、「鋼管杭—施工と施工管理—」[5.10-1](#) やバイプロハンマ工法技術研究会「バイプロハンマ設計施工便覧（令和6年）」（以下、「バイプロハンマ設計施工便覧」という）[5.10-2](#)などを参考にするとよい。

5.10.4 施工精度の確保

バイプロハンマ工法の場合、杭体をチャック装置で把持した状態での施工であることから、杭の打込み作業中は杭とバイプロハンマとが一体となって挙動する。そのため、杭の鉛直精度はクレーンの上げ下げ操作により調整する。

杭の打込み初期段階は、杭を吊り気味にして打込みを行い、徐々に打ち下げて杭心の位置、角度を確認した後に、杭にバイプロハンマの荷重を預けて本打ちに移る。杭の打込み初期に杭が傾斜した場合は、引き抜いて打ち直しを行うようにする。

5.10.5 応用施工技術

1. ウォータージェット併用工法

ウォータージェット併用工法は、鋼管杭に取り付けられた噴射ノズルから高圧水を噴射することで、地盤を緩めながら施工する工法である。バイプロハンマの単独施工では打込みが困難な中間層、風化岩、礫層などへの打込みに用いられる。港湾分野を中心に、実績を積み重ねている。

「バイプロハンマ設計施工便覧」には、地盤条件に応じたウォータージェットの必要設備や施工管理、周辺地盤への影響について取りまとめられており参照されたい。工法の特性上、地盤を緩めているため支持力を低下させることになるが、この課題を克服する方法として、ジェット水をセメントミルクの噴射に変える工法が開発されている。[表 5.10.12](#)に各工法の概要と実績例を示す。また、類似の機械構成で硬質地盤を対象としたガンパイル工法がある（[5.11.3](#)参照）。

表 5.10.12 セメントミルク噴射の工法の概要と実績例

工法名	CJV 工法	JVC 工法	RS プラス工法
工法概要	一定の深度に達した後、ジェット水に切り変えて4 MPaの噴射圧力でセメントミルク噴射。	所定の地盤までジェット水で杭を打設後、低圧（1～5 MPa）でセメントミルクを充填。	所定の地盤までジェット水で杭を打設後、セメントミルクに切り替えて杭先端部に根固球根を築造。ジェット配管回収時に杭周囲にもセメントミルクを充填。
実績例	伏木富山港-14m 水深栈橋 5.10-3	新仙台火力発電所 LNG 受入栈橋 5.10-4	小名浜港東港地区-18m 水深栈橋 5.10-5

RS プラス工法では、杭先端の鋼管内面あるいは鋼管外周部に複数のリブプレートを事前に工場に取り付けた鋼管杭を用いるが、この鋼管杭の先端に取り付けたノズルから高圧で水を噴射（ウォータージェット）しながらバイプロハンマで所定の深度まで打設する。その後、水をセメントミルクに切り替えて高圧噴射を

行い、杭先端部に根固め球根を築造し、さらに、ジェット用配管を回収する際に杭周面部にもセメントミルクを充填し、杭と周辺地盤との一体化を図ることで、大きな支持力が得られる工法である。設備配置を [図 5.10.15](#) に、杭のイメージを [図 5.10.16](#) に、施工手順を [図 5.10.17](#) にそれぞれ示す。

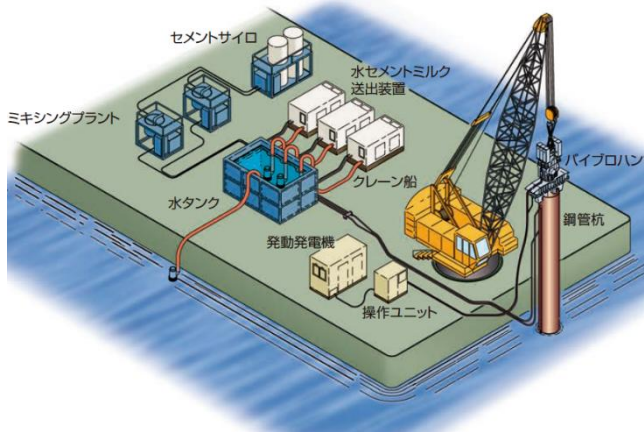


図 5.10.15 設備配置図 (出典 [5.10-27](#))



図 5.10.16 RS プラス工法杭のイメージ図 (出典 [5.10-27](#))

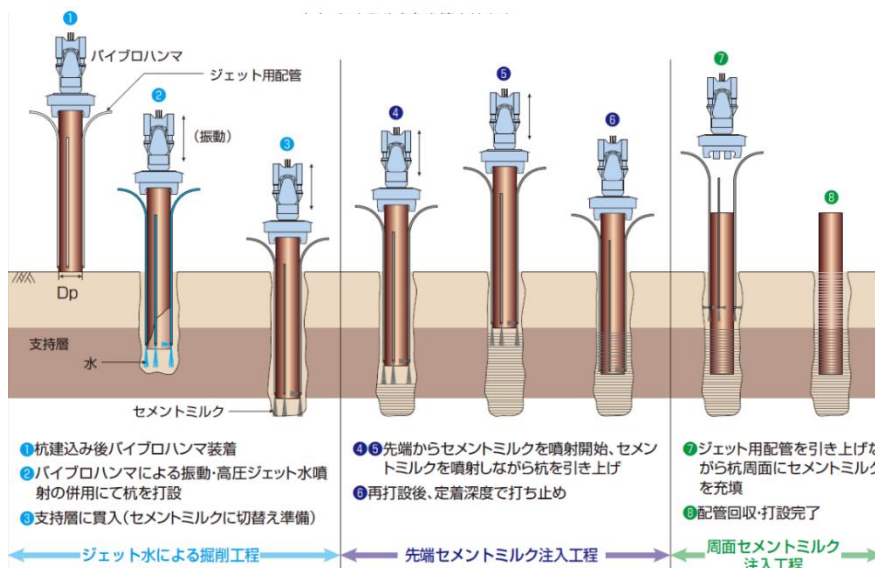


図 5.10.17 施工手順図 (出典 [5.10-27](#))

2. 測定用ヤットコによる施工時の地盤抵抗の測定

バイプロハンマによる杭施工時の地盤抵抗測定技術として測定用ヤットコの開発が進められている。

これは、バイプロハンマの本体とチャック装置の間にひずみ計と加速度計が仕込まれた測定用ヤットコを挟み込むように設置することで、杭頭の荷重・加速度の関係から地盤抵抗を直接的に測定する技術である。動的載荷試験で用いられている地盤抵抗算定モデル (1 質点系モデル法・Case 法) により地盤抵抗を算定する。詳細は文献 [5.10-6](#) を参照されたい。

既往の実験では、当技術による地盤抵抗算定値と地盤 N 値の深度方向の変化傾向が定性的に対応する結果が得られている。現在、当技術は試験段階であり、実用化に向けた開発が進められている。今後、測定用ヤットコを用いる場合の施工手順の整備やソフトウェアの製品化等が待たれる。

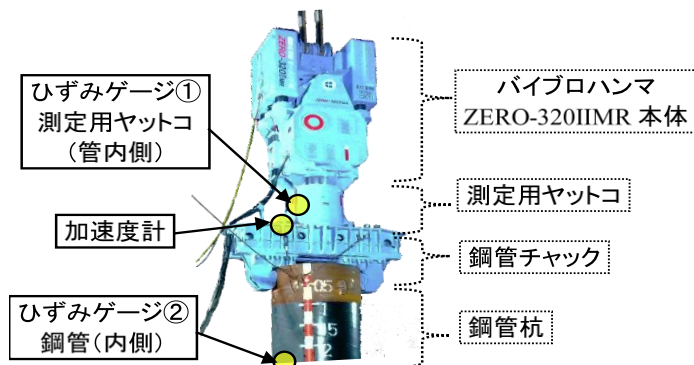


図 5.10.15 測定用ヤットコの取付け状況 (出典 5.10-29)

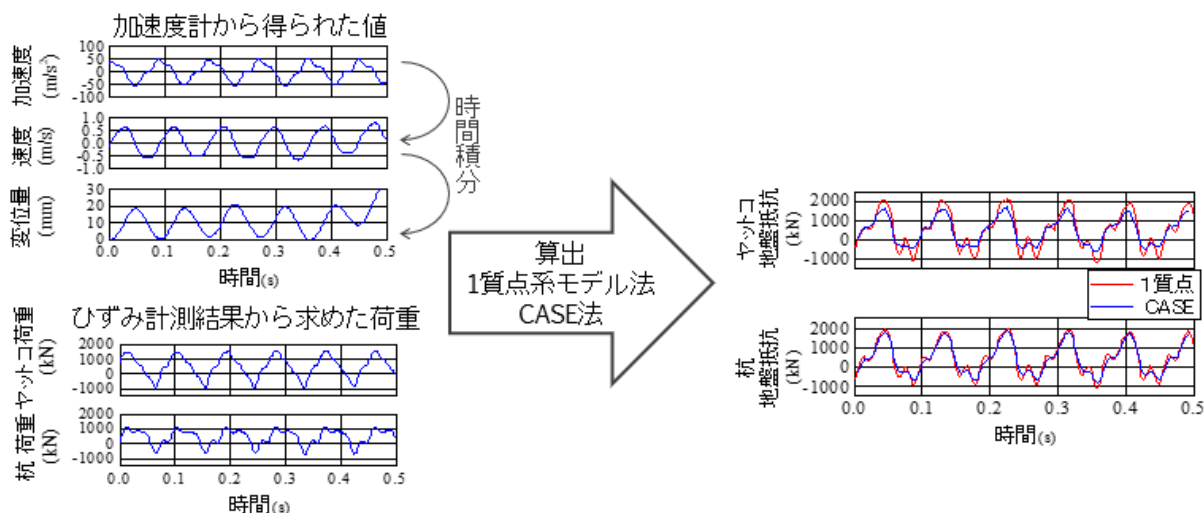


図 5.10.16 実測値と地盤抵抗算定値の時刻歴波形 (出典 5.10-29, 5.10-30) に加筆)

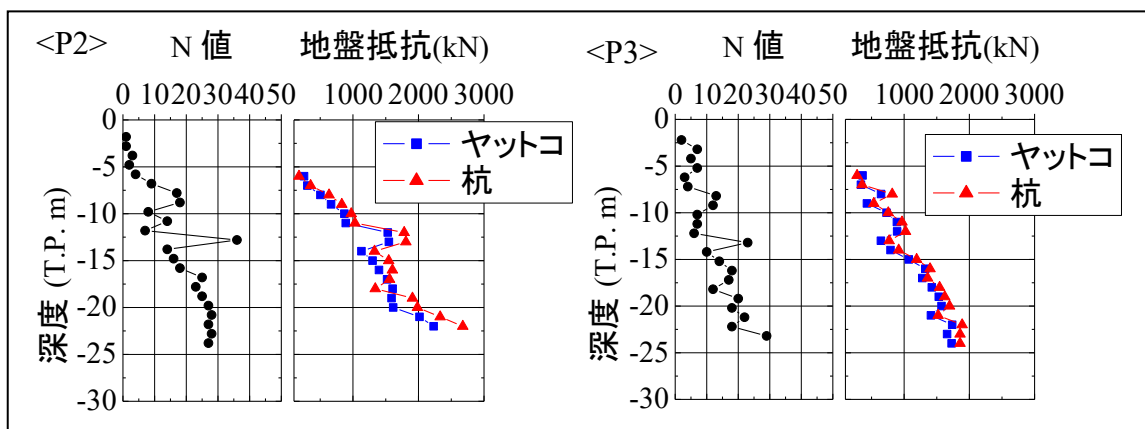


図 5.10.17 既往実験の地盤抵抗の深度分布と近傍 N 値 (出典 5.10-31) より抜粋)

参考文献

- 5.10-1) 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），2022年1月
- 5.10-2) バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，2024年3月
- 5.10-3) 上藺晃，竹澤一彦，滝口要之助，高橋邦夫，山下久男，西村真二：ジェットバイブロ工法で施工した栈橋鋼管杭の支持力とその増大工法について，土木学会論文集 2002 巻，700 号/VI-54，pp.15～29，2002年3月
- 5.10-4) 工藤武美，木村雅道，佐藤努：新仙台火力発電所 LNG 受入れ栈橋基礎杭打設における JVC 工法の開発，電力土木，No.374，pp.72～74，2014年11月
- 5.10-5) 青木伸之，木村和弘：【復興の現在と施工事例】小名浜港東港地区岸壁における鋼管杭打設-RS プラスによる施工と現場での工夫—，土木施工，58 巻3号，pp.54～57，2017年2月
- 5.10-6) 森拓人，水谷崇亮，西村真二：バイブロハンマ工法における施工中の地盤抵抗測定手法の開発，土木学会論文集 B3（海洋開発）78 巻2号，pp. I_181～I_186，2022年10月

出典

- 5.10-① 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），p284 図-3.9.1，2022年1月
- 5.10-② バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p14 図1-12，2024年3月
- 5.10-③ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p12 図1-10，2024年3月
- 5.10-④ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ工法標準積算要領（令和6年度版）Edition1.1，p62 表4-2，2024年3月
- 5.10-⑤ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ工法標準積算要領（令和6年度版）Edition1.1，p63 表4-3，2024年3月
- 5.10-⑥ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ工法標準積算要領（令和6年度版）Edition1.1，p63 表4-4，2024年3月
- 5.10-⑦ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p131 表4-10，2024年3月
- 5.10-⑧ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p132 表4-11，2024年3月
- 5.10-⑨ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p132 図4-5，2024年3月
- 5.10-⑩ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p132 図4-6，2024年3月
- 5.10-⑪ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p9 表1-1，2024年3月
- 5.10-⑫ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ工法標準積算要領（令和6年度版）Edition1.1，p60 図4-3
- 5.10-⑬ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ工法標準積算要領（令和6年度版）Edition1.1，p61 図4-4
- 5.10-⑭ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p67 表3-11，2024年3月
- 5.10-⑮ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），p290 図-3.9.7，2022年1月
- 5.10-⑯ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），p291 図-3.9.8，2022年1月
- 5.10-⑰ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），p291，図-3.9.9，2022年1月
- 5.10-⑱ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），p292，図-3.9.10，2022年1月
- 5.10-⑲ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p14 図1-12，2024年3月

- 5.10-⑳ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p108 図3-31，2024年3月
- 5.10-㉑ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p109 図3-32，2024年3月
- 5.10-㉒ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p110 図3-33，2024年3月
- 5.10-㉓ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p111 表3-34，2024年3月
- 5.10-㉔ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p111 表3-35，2024年3月
- 5.10-㉕ バイブロハンマ工法技術研究会：バイブロハンマ設計施工便覧，p111 表3-36，2024年3月
- 5.10-㉖ 鋼管杭・鋼矢板技術協会：鋼管杭—施工と施工管理—（改訂第3版），p296 表-3.9.9，2022年1月
- 5.10-㉗ 日本製鉄，調和工業：ウォータージェット併用バイブロハンマ工法で打設する先端根固め鋼管杭大口径杭RSプラス®（カタログ），p1 図（杭のイメージ），p3 図（施工設備），p2 図（施工手順），2020年4月
- 5.10-㉘ 森拓人，水谷崇亮，西村真二：バイブロハンマ工法における施工中の地盤抵抗測定手法の開発，土木学会論文集B3（海洋開発）78巻2号 pp. I_181～I_186，pI_183 図-6，2022年10月
- 5.10-㉙ 森拓人他：バイブロハンマ工法における施工中の地盤抵抗測定手法の開発，土木学会論文集B3（海洋開発）78巻2号 pp. I_181～I_186，pI_184 図-7，2022年10月
- 5.10-㉚ 森拓人他：バイブロハンマ工法における施工中の地盤抵抗測定手法の開発，土木学会論文集B3（海洋開発）78巻2号 pp. I_181～I_186，pI_184 図-8，2022年10月
- 5.10-㉛ 森拓人他：バイブロハンマ工法における施工中の地盤抵抗測定手法の開発，土木学会論文集B3（海洋開発）78巻2号 pp. I_181～I_186，pI_185 図-13，2022年10月