

高支持力埋込み杭の根固め部の施工管理方法の提案（概要版）

1. はじめに

(1) 高支持力埋込み杭の開発

「高支持力埋込み杭」には明確な定義がないが、ここでは、既製コンクリート杭・鋼管杭であって、その先端支持力係数 α が一般の埋込み杭の上限値 250 より大きいものを指している。

既製コンクリート杭・鋼管杭の支持力は、建築基準法に基づく建設省告示 111 号で定められていた。また、それ以上の支持力を持つ杭が建築基準法第 38 条に基づく大臣認定制度で認められていた。平成 12 年 6 月、建築基準法が改正された。第 38 条は廃止されたが、平成 13 年国土交通省告示第 1113 号第 6 の新たな規定で、必要な載荷試験などを行うことにより性能を確認すれば、杭の許容支持力を自由に設定できるようになった。現在では、先端支持力係数 α が 250 よりはるかに大きい 400 を超えるような杭が多数開発されている。

品質管理の観点での高支持力埋込み杭の特質は、個別の大臣認定であること、支持機構としては「拡底杭」であることである。

特質の第一は、それが個別の大臣認定にもとづくものであることである。大臣認定された仕様に関しては、実質的には杭メーカーの施工者が品質管理の主体となるため、施工管理者は受け入れだけとなり、ややもすれば施工者任せとなる懸念もある。

一般に杭の品質管理は、それが地中であって直接見ることができないため、高度な管理手法が必要である。高支持力埋込み杭は、場所打ちコンクリート杭と同様の支持機構である「拡底杭」である。一般の埋込杭に比べて、根固め部が担う役割は非常に大きいものがある。

(2) 地盤基礎専門部会の検討の経緯

地盤基礎専門部会は、「高支持力埋込み杭根固め部の施工管理WG」を平成 17 年度に設置し、3 回のパネルディスカッションやヒアリング・アンケート調査（性能評価機関や COPITA および既製杭メーカー）の結果などを踏まえ、今回、「高支持力埋込み杭の根固め部の施工管理方法の提案」としてまとめたものである。

(3) 課題の抽出と検討

高支持力埋込み杭根固め部の施工管理WGの活動を通じ、施工管理者側の取組みとして図-1 に示す①～④の拡大根固め部の施工管理が重要であることが認識された。特に、支持力に影響する③根固め部の強度が最重要とのことから、本提案では、根固め部の強度について、未固結試料採取による品質管理方法を取り入れることとした。

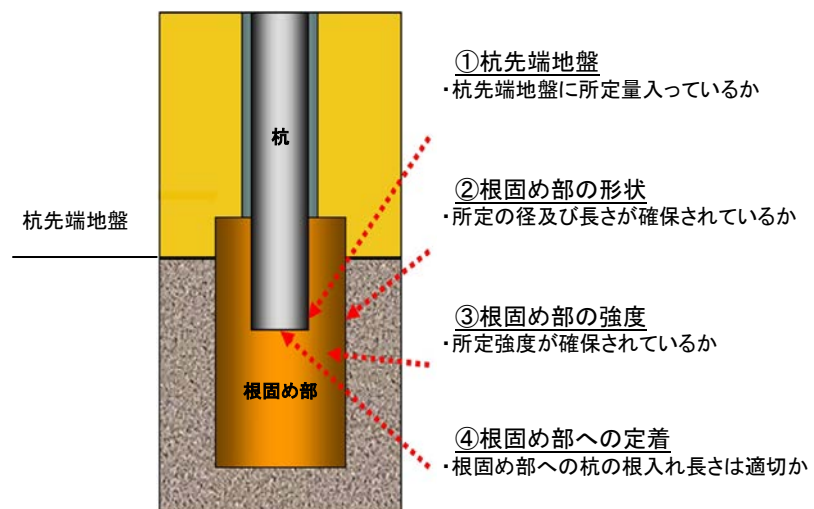


図-1 拡大根固め部の品質管理項目

2. 品質管理フローの提案

(1) 提案

杭メーカーが開発した高支持力埋込み杭工法の施工管理方法は、施工指針の中でうたわれている。しかし、根固め部のソイルセメントについては、必要な強度やその強度を満足するための施工方法（セメントミルクの注入量や注入方法）およびその結果得られる実際の強度が明確になっていない。そこで、杭施工技術の向上を図り、安定的に高い品質の杭を提供するために、現実的な対応策として、既往文献などを踏まえ、根固め部の品質管理フロー（図-2 参照）を提案することとした。

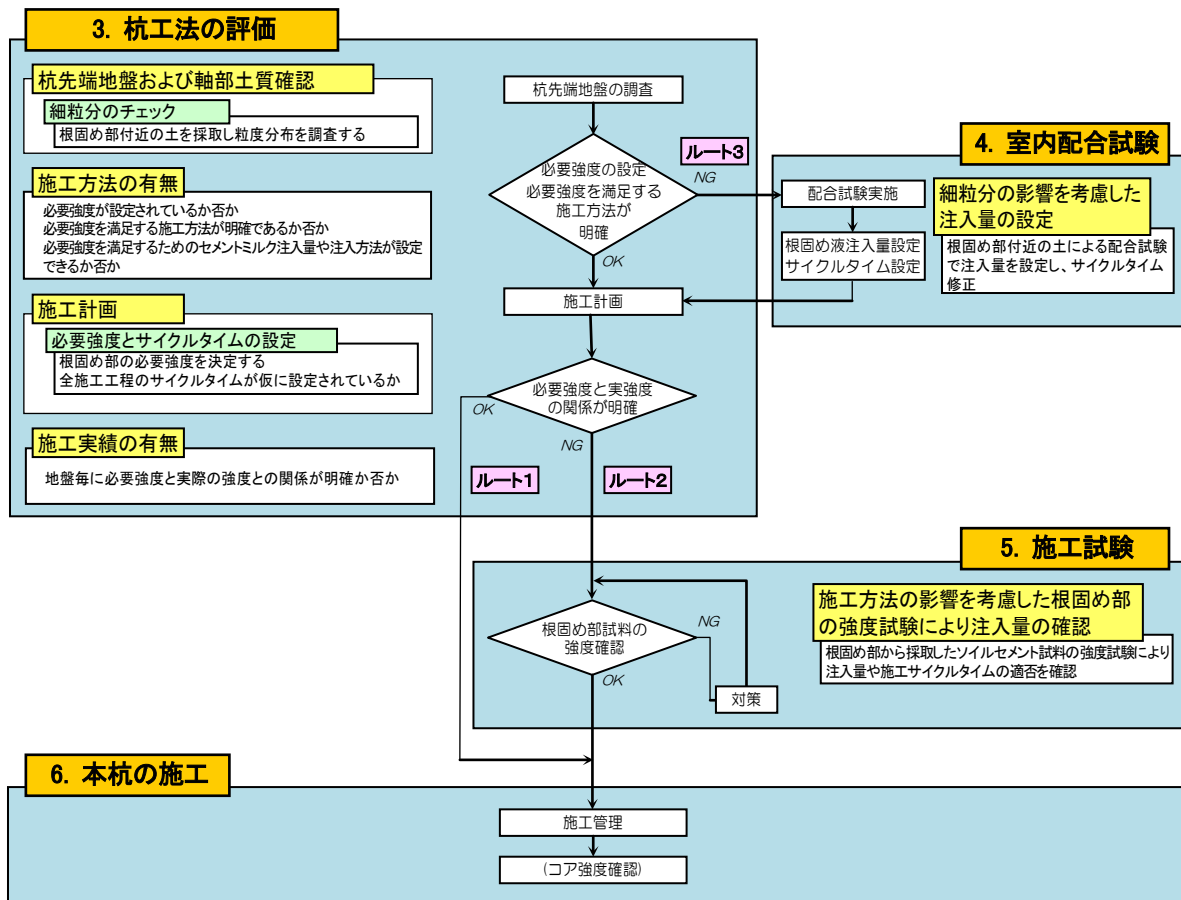


図-2 根固め部の品質管理フローの提案

信頼性の高い高支持力埋込み杭とは、根固め部の施工方法が明示され、強度検証が数多くなされている杭である。すなわち、「必要強度を満足する施工方法が明確」で、さらに「必要強度と実強度の関係が明確」な杭である。一方、このような状態にない杭では、技術の向上が必要である。フローは各工法のレベルに合わせて選択できるように、ルートを3通りに分けて設定している。

(2) 本提案における用語

「必要強度」とは、先端支持力を確保するために必要な根固め部の強度である。設定する目的は、根固め部の品質の良否を確認する指標とするためである。必要強度は、工法や支持力係数、地盤、杭径、拡径率などにより異なるため、一様に決めることができない。開発メーカーが設定する必要がある。工法毎に、地盤種別や地盤強度、杭径、拡径率に応じた必要強度を表-1 に例示する。

「**施工方法**」とは、杭を施工するために必要なサイクルタイムであり、軸部の掘削法はもとより、根固め液の注入量と注入方法を決定する必要がある。ここでは、施工を行う地盤に適した施工方法の設定技術を杭メーカーが保持していること、それに基づきサイクルタイム図(図-3)が作成できることが前提である。

「**実強度**」とは、根固め部の施工後の実測強度である。

「**ルート 1**」とは、工法毎の地盤に対する実績が十分な場合の施工手順である。

「**ルート 2**」とは、工法毎の地盤に対する実績が十分でない場合の施工手順である。

「**ルート 3**」とは、施工技術レベルの向上が望まれる場合の施工手順である。

【参考】図-2 根固め部の品質管理フローの提案の説明

①最初に、杭先端地盤の調査および軸部土質確認を行う。その中で、細粒分のチェックのため、根固め部付近の土を採取し粒度分布を調査する。調査結果をもとに、施工方法の有無の判定を行う。必要強度を設定し、必要強度を満足する施工方法が明確かどうかを判定する。観点には、必要強度が設定されているか否か、必要強度を満足する施工方法が明確であるか否か、必要強度を満足するためのセメントミルク注入量や注入方法が設定できるか否かである。⇒NG②、OK③

②施工方法の有無の判定でNGの場合、**ルート 3**へ進む。**ルート 3**では、室内配合試験を行なう。室内配合試験の結果にもとづいて根固め液注入量の設定、サイクルタイムの設定を行う。その際、根固め部付近の土による配合試験により細粒分の影響を考慮して注入量の設定を行う。なお、室内配合試験については、次の点に留意する。近隣の同様な地盤での調査実績がある場合は省略することができること、細粒分が強度発現に影響するがどの程度で問題となるか不明であること、掘削水や排水条件が影響するため泥水の密度設定が課題であること、杭築造後の根固め部のセメントミルク含有率が不明であること、攪拌方法が配合試験と実施工では異なること、である。サイクルタイム設定後、施工計画を行う。⇒③

③施工方法の有無の判定でOKの場合、あるいは**ルート 3**でサイクルタイムを設定した場合、施工計画を行う。施工計画では、根固め部の必要強度を設定し、全工程のサイクルタイムを仮に設定する。

表-1 根固め部の必要強度の例(注) およびプレボーリング結果

工法名	必要強度 (N/mm ²)
MRXX 工法	20.1 [砂・礫質地盤、N=60]
	15.0 [粘土質地盤、N=60]
Hybridニードリング工法	14 [砂・礫・粘土質地盤、N=60]
SUPERニードリング工法	14 [砂・礫・粘土質地盤、N=60]
Hyper-MEGA 工法	16.1 [$\omega=1.0, N=60$]、17.8 [$\omega=1.25, N=60$]
	18.6 [$\omega=1.5, N=60$]、19.0 [$\omega=1.75, N=60$]
	19.4 [$\omega=2.0, N=60$]
BASIC 工法	15.3 [砂・礫質地盤、N=60]
	14.21 [粘土質地盤、N=58]
H・B・M 工法	14.9 [砂・礫質地盤、杭径=950, N=60]
HiFB 工法	14.1 [砂・礫質地盤、杭径=1200, N=60]
	14.0 [粘土質地盤、杭径=1200, N=60]
ジエロック工法	11.7 [砂・礫質地盤、杭径=1000, N=60]
DYNAWING 工法	11 [砂・礫質地盤、N=60]
DYNABIG 工法	11 [砂・礫質地盤、N=60]
Hyper-NAKS II 工法	18.7 [砂・礫質地盤、N=60]
New-STJ 工法	18.8 [砂・礫質地盤、杭径=1200, N=60]
SGE 工法	16.2 [砂・礫質地盤、N=60]
Super KING 工法	17.7 [砂・礫質地盤、杭径=1200, N=60]
TN-X 工法	20 [砂・礫質地盤]
TBSR 工法	14 [砂・礫質地盤]

(注)：高支持力杭の根固め部品質管理研究会：根固め部の未固結試料採取・調査・試験マニュアル(Ver. 1.0)、2012. 6

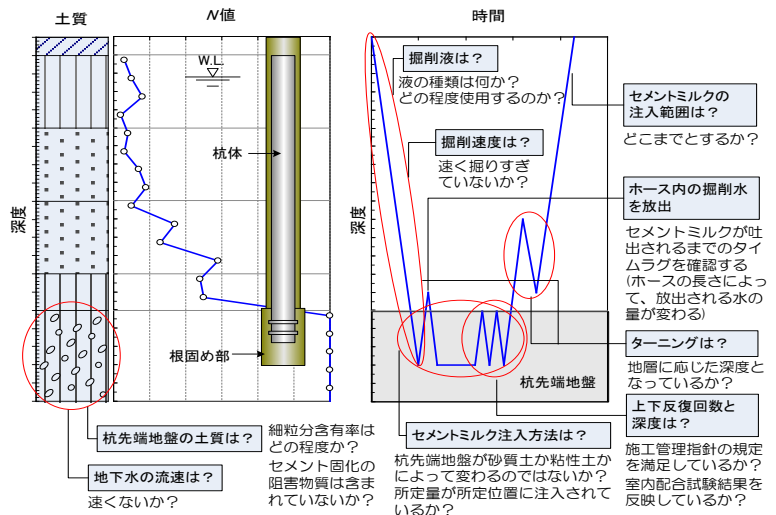


図-3 土質柱状図およびサイクルタイム図 (プレボーリング工法の例)

軸部の掘削速度やターニングなどが根固め部の性能に影響するため留意する。

- ④施工実績の有無の判定を行う。観点は、必要強度と実強度の関係が明確であるか否かである。⇒NG⑤、OK⑥
- ⑤施工実績の有無の判定でNG、すなわち工法毎の地盤に対する実績が十分でない場合、**ルート2**へ進む。**ルート2**では施工試験を行う。具体的には、設定したサイクルタイムに基づいて施工した根固め部から未固結試料を採取し、その強度によりセメントミルクの注入量や施工サイクルタイムの当該地盤への適合性を判定する。なお、近隣の同様地盤での調査実績がある場合は省略できること、未固結試料の採取方法は発展途上であること、杭建込みの影響が考慮できない現状では室内配合試験を併用することが望ましいことに留意する。根固め部試料の強度確認で、NGの場合、対策を施したうえで再度施工試験を繰り返す。OKの場合、本杭の施工を行う。⇒⑦
- ⑥施工実績の有無の判定でOKの場合、**ルート1**へ進む。**ルート1**では、そのまま本杭の施工を行う。⇒⑦
- ⑦本杭の施工においては、サイクルタイムを遵守するように施工管理を行うとともに、現状では本施工後にコア強度を確認することが望ましい。

3. 杭工法の評価

3.1 技術レベルに合わせたルートの選択

(1) ルート1 工法毎の地盤に対する実績が十分な場合

「必要強度を満足する施工方法が明確で、必要強度と実強度の関係が明確である」場合には、当該地盤について施工法は完成したとみなし、試験をせずに本杭の施工(6章)を可能とする。

(2) ルート2 工法毎の地盤に対する実績が十分でない場合

「必要強度を満足する施工方法は明確であるが、必要強度と実強度の関係が明確でない」場合には、当該地盤への適合性を確認するために「施工試験」を行い、施工法の当該地盤への適合性確認とデータの蓄積を図る。

(3) ルート3 施工技術レベルの向上が望まれる場合

「必要強度が設定されていない、あるいは必要強度を満足する施工方法が明確でない」場合には、室内配合試験および施工試験を行い、施工技術のレベルの向上を図る。

3.2 杭先端地盤および軸部の土質確認

根固め部の強度を確保するために、施工計画前の計画段階に、①杭先端地盤の細粒分含有率、②軸部の土質、などの確認を行う。土質確認は、設計で設定された支持層ごとに1箇所を目安に実施する。なお、近隣で地盤の細粒分含有率などの物理試験の実績がある場合には、省略しても良いが、省略に値するデータの開示を必要とする。

3.3 施工計画

(1) 基本方針

施工計画・施工要領は、工事毎の地盤条件や施工条件を反映し作成する。施工記録は、確実な施工と品質を確認する内容となるように計画する。

(2) 根固め部に必要な強度

品質管理フローの実施項目に従い、施工試験で根固め部の強度を調査する。根固め部の強度は、

支持力を満足するための「必要強度」に余裕係数を考慮した「目標強度」以上とする。根固め部の強度試験結果を品質管理項目として記録し保管する。

(3) サイクルタイム

根固め部を確実に施工するため、地盤条件に適したサイクルタイムを作成する。根固め部の確実な施工を確認するため、杭全数のサイクルタイムを記録し保管するように計画する。

各工法の施工指針の規定に従い、地盤条件を反映させたサイクルタイムとする。柱状図とともに記載して施工時に使用できるサイクルタイム図(図-3)を作成する。全杭についてサイクルタイムの施工記録(掘削深度と注入量の経時変化、および積分電流値の深度分布)を残すことが必要である。

4. 室内配合試験

硬化不良が懸念される特異な土質かどうかを見極め、地盤に合った最適な根固め注入量の指標を得て、サイクルタイムや施工方法に反映させるために、室内配合試験を実施する。室内配合試験は、泥水比重を設定後に、注入量をパラメータとした供試体を作製して、7日および28日の圧縮強度を測定する。既往のデータとの比較により特異な地盤かどうかを判断し、目標強度に対応する注入量を設定する。

(1) 試験計画

室内配合試験は、設計で設定した支持層ごとに1箇所を目安に実施する。

(2) 試験方法

試験方法の一例を以下に示す。

- ①根固め部に対応する杭先端地盤から原位置土を採取する。
- ②根固め部付近から採取した原位置土をもとに、掘削水を考慮して単位体積重量を調整し、泥水を作製する。泥水比重については杭メーカーに従うが、なければ1.5~1.7を標準とする。
- ③作製された泥水とセメントミルクをミキサーで混合攪拌する。
- ④φ50×300mmのブリーディング袋またはモールドに採取し、固化後、20°の恒温水槽で水中養生し、7日・28日養生後に圧縮試験を実施する。

(3) 試験結果の評価、施工への反映

根固め部の目標強度に対応する注入量を室内配合試験結果から設定し、サイクルタイムや施工方法に反映する。また、試験データを泥水の水量とセメントミルクの水量の合計と水セメント比で整理し、既往のデータと比較することで特異な地盤かどうかを判断する。

5. 施工試験

施工試験は、本杭の施工で用いる注入量やサイクルタイムを事前に決定するために行う。

(1) 試験位置および試験数

施工試験は本杭ではなく別孔で行うことを原則とする。

施工試験は、1現場または1建物につき1箇所以上を目安とする。

(2) 採取方法

施工計画通りの施工を行い、根固め部からソイルセメント試料を採取して供試体を作製し、所

定材令にて一軸圧縮試験を実施して強度を確認する。施工試験の方法(概念図)を図-4に示す。

(3) 結果の評価

$$\sigma_{ave} \geq F_s \cdot \sigma_N \quad (5-1)$$

ここに、 σ_{ave} : 得られた圧縮強度の平均値(N/mm²) σ_N : 根固め部の必要強度(N/mm²) F_s : 根固め部の必要強度に対する余裕係数(1.0以上とする)

根固め部の必要強度 σ_N に対して、余裕係数 F_s を乗じたものを「目標強度」として設定し、 σ_{ave} がそれ以上であることを確認する。

圧縮強度の平均値 σ_{ave} を求める際の供試体の本数は3本を標準とするが、より多くの供試体を作製できる場合にはこれ以上であってもよい。余裕係数 F_s は、根固め部の強度確認に関する過去の実績や計画敷地の地盤条件を考慮して施工管理者と施工者とで協議して決める。

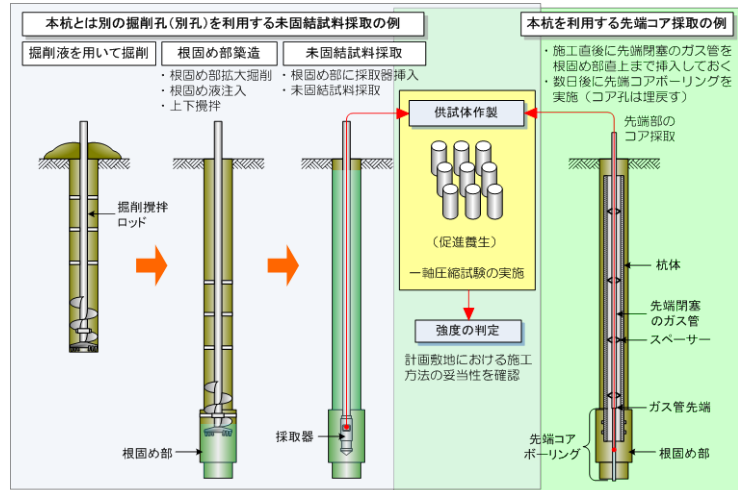


図-4 施工試験の方法(概念図)

【参考】図-4 施工試験の方法(概念図)の説明

- ①一例として、本杭とは別の掘削孔(別杭)を利用して、未固結試料を採取する方法を示す。まず、掘削液を用いて掘削する。次に、根固め部を拡大掘削し、根固め液を注入し、上下に攪拌することにより根固め部を築造する。さらに、根固め部に採取器を挿入し、未固結試料を採取する。⇒③
- ②別の例として、本杭を利用して、先端からコア試料を採取する方法を示す。まず、施工直後に先端閉塞のガス管を根固め部の直上まで挿入しておく。数日後に先端までコアボーリングを行い、先端からコア試料を採取する。なお、コア穴は埋め戻す。⇒③
- ③最後に、供試体を作製し、場合によって促進養生し、一軸圧縮試験を実施し、強度の判定を行う。結果を用いて、計画敷地における施工方法の妥当性を確認する。

6. 本杭の施工

本杭の施工では、全杭についてサイクルタイムをモニタリングし、実施サイクルタイムが計画通りであることを確認する。実施サイクルタイムが計画サイクルタイム通りとならなかった場合には施工管理者は施工者と協議する。

根固め部は、サイクルタイムや支持層の細粒分含有率などの影響を受け強度に違いが生じると考えられているが、その影響度合いなどは現状では明確になっていない。したがって、施工管理としてではなく、根固め部のコア強度とそれらの影響因子との関係を明確にするためのデータ収集を目的として、コアを採取することが望ましい。なお、砂礫層の場合、コアに礫が混入し、コアが採取できないことや、礫の境界面で破壊し、強度がでないこともあり、コア強度の評価にあたっては、礫や泥土の混入の有無を加味し適切に判断する必要がある。