

# 高支持力埋込み杭の根固め部の 施工管理方法の提案

— より良い杭を実現するために —

平成 25 年 4 月

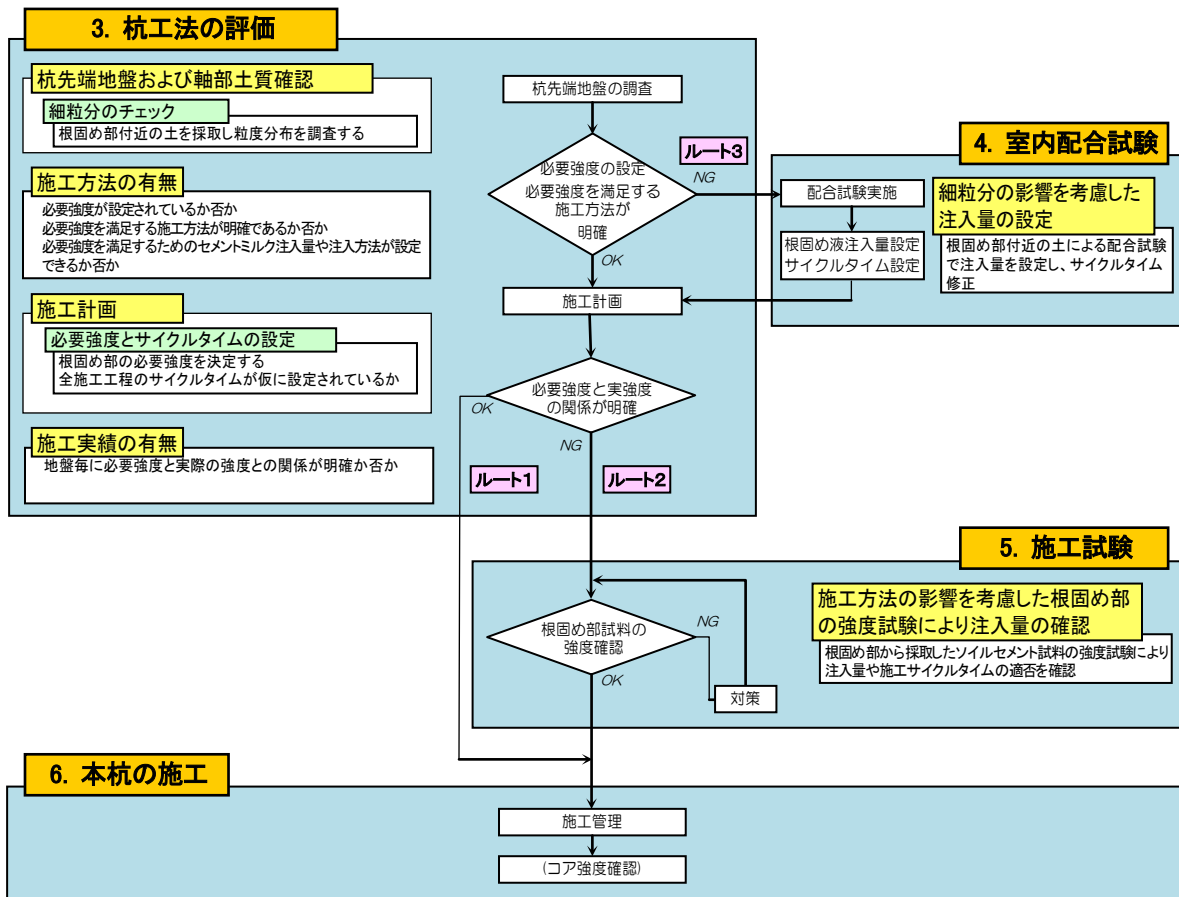
一般社団法人日本建設業連合会  
建築技術開発委員会  
技術研究部会  
地盤基礎専門部会



## はじめに

一般社団法人日本建設業連合会建築技術開発委員会は、このたび技術研究部会地盤基礎専門部会において検討を進めてきた、高支持力埋込み杭の品質管理方法を提案します。近年既製杭の埋込み杭工法はほとんどが高支持力埋込み杭となっています。その特質は、施工指針が工法毎に大臣認定に定められていること、そして高支持力を発現する機構が根固め部の「拡底」であるため、より高度な施工管理方法が求められています。本提案は、高支持力埋込み杭の品質に最も影響を与える根固め部に着目して、実際の現場で具体的に施工管理が可能な未固結試料の強度確認を含む品質管理方法、そしてそれを組み込んだ品質管理フロー(下図)を提案し、さらにその実施例を紹介するものです。施工管理者、施工者にとっては施工指針を補完する総合的な指針となり、また、設計者、監理者等各関係者の参考となり、あわせて高支持力埋込み杭の品質確保の高度化につながれば幸いです。

平成 25 年 4 月  
 一般社団法人日本建設業連合会  
 建築技術開発委員会  
 委員長 則久 芳行



根固め部の品質管理フローの提案

## 「高支持力埋込み杭の根固め部の施工管理」作成関係委員

### 会社名五十音順、敬称略

#### 地盤基礎専門部会

主査	伊勢本 昇昭	戸田建設(株) 技術統轄部 副統轄部長 兼 技術研究所長
副主査	石井 雄輔	(株)大林組 技術本部 技術研究所 技術ソリューション部 部長
副主査	長尾 俊昌	大成建設(株)技術センター建築技術研究所建築構工法研究室基礎構造チームリーダー
幹事	武居 幸次郎	鹿島建設(株) 技術研究所 建築構造グループ 上席研究員 地盤基礎チーム チーフ
幹事	桂 豊	清水建設(株) 技術研究所副所長
幹事	青木 雅路	(株)竹中工務店 技術研究所 建設技術研究部 地盤・基礎部門マネージャー
委員	高稲 敏浩	(株)浅沼組 技術研究所 構造研究グループ
委員	根本 恒	安藤建設(株) 技術研究所 振動・基礎研究室 室長
委員	岸本 剛	(株)奥村組 技術研究所 建築研究課主任研究員 構造担当
委員	森 利弘	(株)熊谷組 技術研究所 地盤基礎研究グループ 部長
委員	井川 望	(株)鴻池組 技術研究所 建築技術研究部門主任研究員
委員	伊藤 仁	(株)銭高組 技術本部 技術研究所
委員	尻無濱 昭三	鉄建建設(株) 建築本部 建築部 建築技術グループ 課長
委員	原 博	東亜建設工業(株) 建築事業本部 設計部構造設計部長
委員	矢島 淳二	東急建設(株) 建築技術部 地盤・基礎グループ リーダー
委員	新井 寿昭	西松建設(株) 技術研究所 建築技術課基礎グループ 主任研究員
委員	山崎 勉	(株)間組 建築事業本部 技術部部長
委員	古澤 顯彦	(株)ピーエス三菱 建築本部建築部長
委員	中川 太郎	(株)フジタ 建設本部 技術部主任研究員
委員	野田 和政	前田建設工業(株) 建築本部 建築部 プロジェクト推進グループ シニアマネージャー
委員	宮田 勝利	三井住友建設(株) 建築管理本部 建築技術部 土質地下グループ

#### 高支持力埋込み杭根固め部の施工管理WG

主査	土屋 富男	(株)竹中工務店 技術研究所 建設技術研究部 地盤・基礎部門
副主査	野田 和政	前田建設工業(株) 建築本部 建築部 プロジェクト推進グループ シニアマネージャー
委員	崎浜 博史	安藤建設(株) 技術研究所 振動・基礎研究室
委員	西山 高士	(株)大林組 技術研究所 地盤技術研究部
委員	宮田 章	鹿島建設(株) 技術研究所 建築構造グループ 上席研究員
委員	小川 敦	(株)熊谷組 技術研究所建設技術研究部 地盤基礎研究グループ
委員	井川 望	(株)鴻池組 技術研究所 建築技術研究部門 主任研究員
委員	桂 豊	清水建設(株) 技術研究所 副所長
委員	内田 明彦	(株)竹中工務店 技術研究所 地盤基礎部門 基礎構造グループ
委員	尻無濱 昭三	鉄建建設(株) 建築本部 建築部 建築技術グループ 課長
委員	古垣内 靖	東急建設(株) 建築総本部 建築本部 建築技術部 基礎技術グループ 課長
委員	新井 寿昭	西松建設(株) 技術研究所 建築技術課 基礎グループ 主任研究員

委員 堀井 宏謙 (株)間組 建築事業本部 技術部 基礎チーム

旧委員

浅香美治(清水建設) 渡邊 徹(大成建設) 尾本 聡(竹中工務店)

栗原 淳(竹中工務店) 山下 清(竹中工務店)



## 高支持力埋込み杭の根固め部の施工管理方法の提案

### 目 次

1. 高支持力埋込み杭	1
(1) 高支持力埋込み杭の開発	1
(2) 地盤基礎専門部会の検討の経緯	2
(3) 課題の抽出と検討	2
2. 品質管理フローの提案	4
(1) 提案	4
(2) 本提案における用語	5
3. 杭工法の評価	9
3.1 技術レベルに合わせたルートを選択	9
(1) ルート1 工法毎の地盤に対する実績が十分な場合	9
(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	9
(3) ルート3 施工技術レベルの向上が望まれる場合	9
3.2 杭先端地盤および軸部の土質確認	10
(1) 細粒分含有率	10
(2) 軸部の土質	10
(3) その他	10
3.3 施工計画	11
(1) 基本方針	11
(2) 根固め部に必要な強度	12
(3) サイクルタイム	12
4. 室内配合試験	16
(1) 試験計画	16
(2) 試験方法	16
(3) 試験結果の評価、施工への反映	16
5. 施工試験	18
(1) 試験位置および試験数	18
(2) 採取方法	18
(3) 結果の評価	19
6. 本杭の施工	22
7. 施工管理事例	24
7.1 事例1	25
7.2 事例2	26
7.3 事例3	27
7.4 事例4	28
7.5 事例5	29
7.6 事例6	30
7.7 事例7	31
7.8 事例8	32
7.9 事例9	33
7.10 事例10	34
8. おわりに	35





## 1. 高支持力埋込み杭

### (1) 高支持力埋込み杭の開発

#### i) 高支持力埋込み杭とは

この提案でいう「高支持力埋込み杭」には明確な定義がない。通常は、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 $\alpha$ が一般のプレボーリング拡大根固め工法の上限值 250 より大きいものを指している。

#### ii) 開発の経緯

既製コンクリート杭・鋼管杭は、昭和 43 年の騒音規制法、昭和 51 年の振動規制法以降、振動・騒音の少ない工法として開発が行われてきたものである。その支持力であるが、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、これ以降、支持力の増大が本格的に図られるようになった。法改正のなかで、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。その鉛直支持性能の高さから基礎設計において効率的な設計が可能となるため、近年ではほとんどの杭が高支持力杭となっている。現在では、先端支持力係数 $\alpha$ 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。

#### iii) 品質管理における特質

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。

##### ①個別の大臣認定

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。取得の手続きは、杭メーカーが杭の工法について、まず日本建築センター、ベターリビング、日本建築総合試験所の 3 つの性能評価機関のいずれかで性能評価を取得し、次に国土交通大臣の認定を得ることである。認定の内容には、製品仕様、施工方法とともに品質管理方法が含まれる。杭の工法は、設計図書においては、特記事項とされることが多い。大臣認定された仕様に関しては取得した杭メーカーだけが施工することが出来る。また、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。良好な品質管理は、関係するすべての工事関係者の適切な活動が前提であることがいうまでもない。個別認定の品質管理方法を補う、業際的な共通認識が求められるところである。

##### ②「拡底杭」

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、他の工種とは異なる管理手法が求められるが、特に高支持力埋込み杭には高度な管理手法が必要である。

その仕様は多様であるが、大きい先端支持力係数 $\alpha$ を可能にした支持機構は、ほとんどが杭先端の根固め部の拡大である。見掛け上杭径が拡大することにより得られる支持力を、地盤の N 値

と杭材の断面積で換算するため、 $\alpha$  値が大きくなるのである。すなわち、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「拡大杭」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。高支持力埋込み杭では根固め部の拡大部に焦点を当てた品質管理方法が求められるところである。

## (2) 地盤基礎専門部会の検討の経緯

地盤基礎専門部会は、こうした点を踏まえ、平成 17 年度から、「高支持力埋込み杭根固め部の施工管理WG」を設置して検討を開始した。平成 19 年 1 月、高支持力埋込み杭の設計・施工の現状と課題について、パネルディスカッション「高支持力既製コンクリート杭の設計・施工の現状と課題」を社団法人日本建築構造技術者協会、社団法人コンクリートパイル建設技術協会(COPITA)と共同で開催した。その後、性能評価機関や既製杭メーカーにヒアリング・アンケート調査し、課題の抽出を行った。平成 22 年 3 月、それらを非公開の報告書としてとりまとめた。また、平成 22 年 3 月、成果の一部をパネルディスカッション「高支持力杭の現状と課題－性能確保のための方策－」として報告した。

## (3) 課題の抽出と検討

### i) 課題

高支持力埋込み杭根固め部の施工管理WGの活動を通じて、信頼性の高い高支持力埋込み杭を実現するためには、性能評価機関、杭メーカー・施工者、施工管理者において取り組むべき課題が数多くあることが認識された。特に、施工管理者側の取組みとして図 1-1 に示す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。

### ii) 拡大根固め部の施工管理項目

図 1-1 に拡大根固め部の品質管理項目を示す。同図①～④の項目が重要であるが、特に、支持

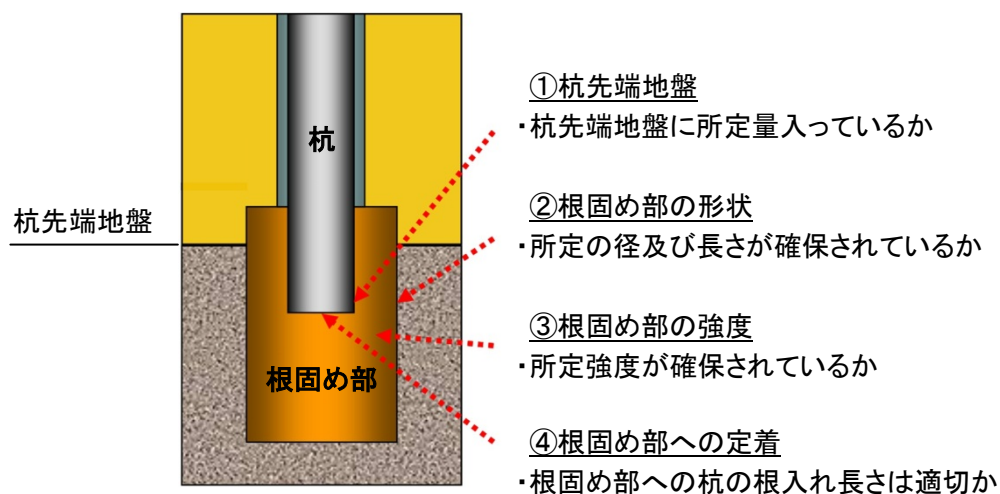


図 1-1 拡大根固め部の品質管理項目

力に影響する③根固め部の強度が最重要であることから、本提案では、強度に着目した提案を行うこととした。

### iii) 品質管理方法の例

これまで、図 1-1 の施工管理項目に対していくつかの提案がなされている。

#### 1) 現状における一般的な品質管理方法

高支持力埋込み杭の施工指針において、根固め部の強度確認は、主に技術的な制約から、地上プラントで採取した根固め液であるセメントミルクの強度と施工サイクルタイムを管理することで、地中の根固め部のソイルセメントの強度を間接的に確保する方式が採られていることが現状では多い。これについては、根固め部の施工法であるセメントミルクの注入量と注入方法と、実強度の関係が明らかでないため、その関係を明確にするデータの蓄積が望まれるところである。

#### 2) コア採取による品質管理方法

本来、根固め部の品質確認には、根固め部から採取したコア試料の強度確認が望ましい。一方、コア採取を実施できるようになるまでには、コア採取に耐えうる強度に固化するまでに数日待たなければならない。そのため、コア試料は施工の品質確認をただちに行う施工管理には向かず、施工管理のフローに組み込むことは実務的でない。

#### 3) 包括的な品質管理方法

一方、最近では施工リスク回避の観点から、室内配合試験を含めた包括的な品質管理が行われる事例が報告<sup>例えば 1-1)</sup>されるようになってきた。

#### 4) 未固結試料採取による品質管理方法

コア採取に準じる方法として、杭施工直後の根固め部から未固化の試料を採取する未固結試料採取の方法が行われるようになってきた。この方法は、杭施工直後に試料採取が可能で、早期強度の予測への展開の可能性があると考えられる。また、サンプリング技術が進み、根固め築造後に地中の根固め部から未固結状態のサンプルを採取して品質管理に利用する事例が報告<sup>例えば 1-2~3)</sup>されるようになってくるなど、地中の根固め部そのものを対象とした品質管理が活発になっている。本提案は、未固結試料採取による品質管理方法を取り入れている。

### 【参考】 図 1-1 拡大根固め部の品質管理項目の説明

拡大根固め部の品質管理項目は、①杭先端地盤への貫入量、すなわち杭先端地盤に所定量入っているか、②根固め部の形状、すなわち所定の径及び長さが確保されているか、③根固め部の強度、すなわち所定強度が確保されているか、④根固め部への定着、根固め部への杭の根入れ長さは適切か、の 4 点である。

### 【参考文献】

1-1) 土屋富男、首藤泰彦、丹野吉雄：高支持力埋込み杭の根固め部に対する施工管理の提案と実施例、日本建築学会技術報告集、第 18 巻、第 38 号、pp. 107~112、2012. 2

1-2) 土屋富男、桑原文夫：埋込み杭の根固め部の築造方法とその強度発現に関する研究、日本建築学会技術報告集、第 18 巻、第 40 号、pp. 883~888、2012. 10

1-3) 土屋富男、桑原文夫：高支持力埋込み杭の支持力に必要な根固め部の強度に関する研究、日本建築学会技術報告集、第 19 巻、第 41 号、pp. 95~100、2013. 2

## 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、地盤基礎分野の専門技術者として、公平な立場で現状を分析し、現実的な対応策として、既往文献<sup>2-1)~2-20)</sup>などを踏まえ、根固め部の品質管理フロー（図 2-1 参照）を提案することとした。

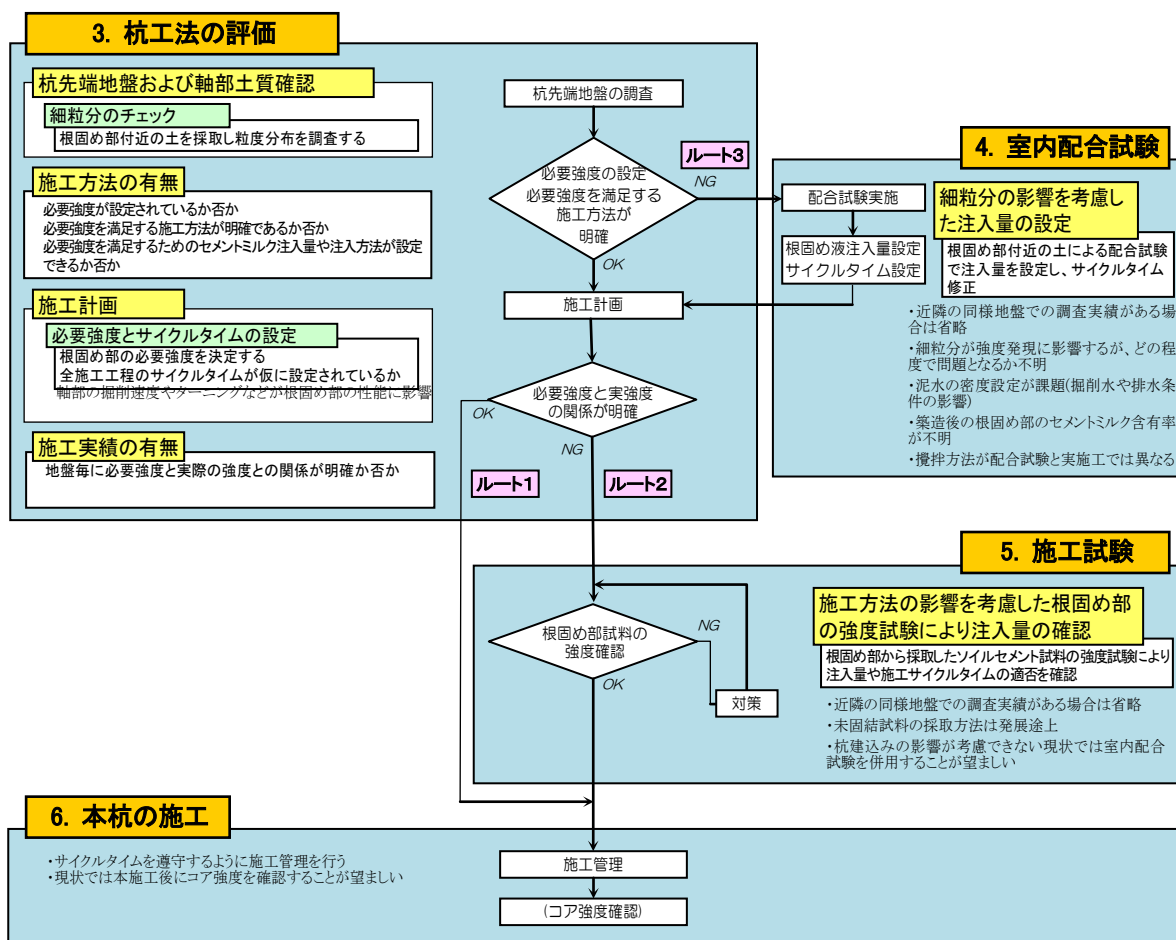


図 2-1 根固め部の品質管理フローの提案

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」な杭で、さらに「必要強度と実強度の関係が明確」な杭である。このような技術レベルの杭であれば、信頼性の高い杭として取り扱えるものと考えられる。一方、このような状態にない杭については、より信頼性の高い根固め部を築造するための技術の向上を図ることが必要である。フローは各工法のレベルに合わせて選択できるよう、ルートを3通りにわけて設定している。

(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。必要強度を設定する目的は、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。開発メーカーが支持力を確保するために必要な強度を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 2-1 に例示<sup>2-21)</sup>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、その作成のためには、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根固め液の注入量と注入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 2-2)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。

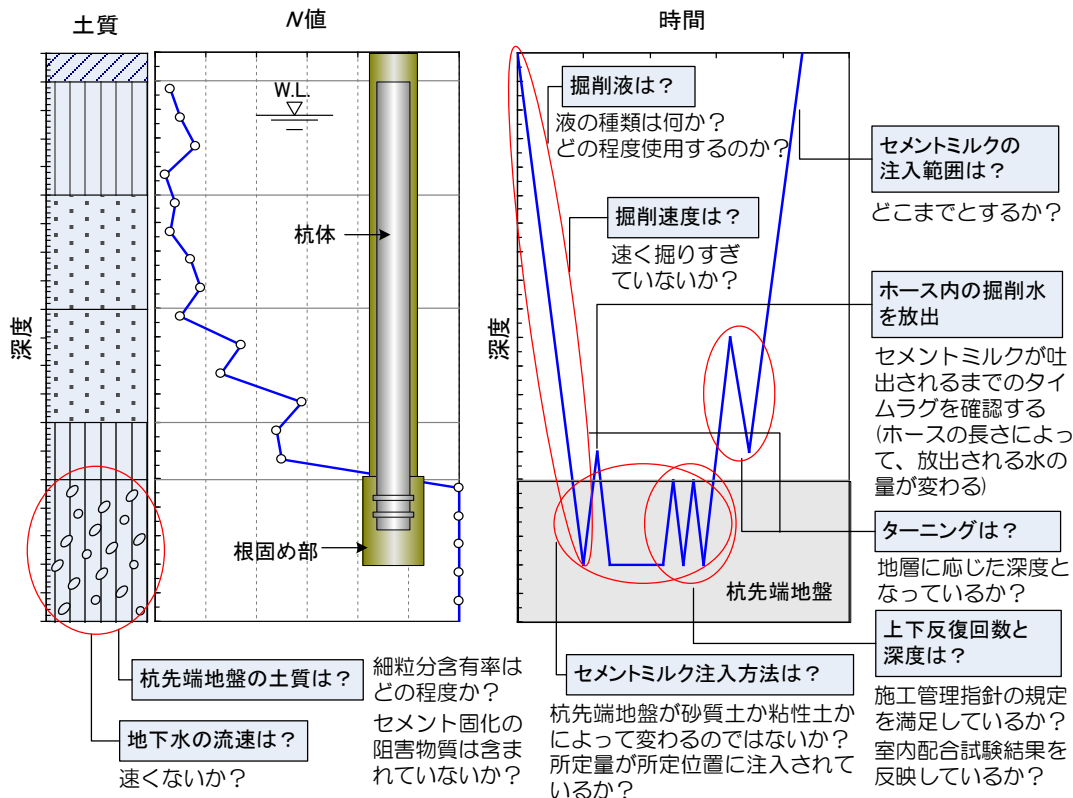


図 2-2 土質柱状図およびサイクルタイム図(プレボーリング工法の例)

表 2-1 根固め部の必要強度の例文献 2-21) および追加ヒアリング結果 (調査日 2012.6)

工法名	杭材	*施工法	必要強度 (N/mm <sup>2</sup> )	適用範囲と条件	根固め液 W/C (%)
MRXX 工法	C	プレ	20.1 [砂・礫質地盤、N=60] 15.0 [粘土質地盤、N=60]	砂・礫質地盤のN値の範囲[35 ≤ N ≤ 60]。粘土質地盤のN値の範囲[30 ≤ N ≤ 60]。実験から得られた杭先端支持力と先端付着力を基に、力の釣合から算定し、押抜き試験で検証。N値に線形比例して低減。	55
Hybrid ニーディング工法	C	プレ	14 [砂・礫・粘土質地盤、N=60]	N値の範囲[10 ≤ N ≤ 60]。杭先端の支持地盤の支持力、実験から得られた根固め部のソイルセメントのせん断耐力を基に算定。N値に線形比例して低減。	60
SUPER ニーディング工法	C	プレ	14 [砂・礫・粘土質地盤、N=60]	N値の範囲[10 ≤ N ≤ 60]。杭先端の支持地盤の支持力、実験から得られた根固め部のソイルセメントのせん断耐力を基に算定。N値に線形比例して低減。	60
Hyper-MEGA 工法	C	プレ	16.1 [ω=1.0, N=60] 17.8 [ω=1.25, N=60] 18.6 [ω=1.5, N=60] 19.0 [ω=1.75, N=60] 19.4 [ω=2.0, N=60]	N値の範囲[5 ≤ N ≤ 60]。軸対称のFEM解析により算定。N値、ωにより低減[16.1~1.0(N=60~5, ω=1.0)、17.8~1.0(N=60~5, ω=1.25)、18.6~1.0(N=60~5, ω=1.5)、19.0~1.0(N=60~5, ω=1.75)、19.4~1.0(N=60~5, ω=2.0)]。ωは軸部掘削径に対する根固め径比。	55~100
BASIC 工法	C	プレ	15.3 [砂・礫質地盤、N=60] 14.21 [粘土質地盤、N=58]	砂・礫質地盤のN値の範囲[5 ≤ N ≤ 60]。粘土質地盤のN値の範囲[2 ≤ N ≤ 58]。杭先端支持力、先端付着力を基に力のつり合いから算定。N値に線形比例して低減。	60
H・B・M 工法	C	プレ	14.9 [砂・礫質地盤、杭径=950, N=60]	N値の範囲[30 ≤ N ≤ 60]。先端支持力と先端摩擦力を考慮した地盤の支持力を考慮した力が、杭先端から根固め部の固化体に局部支圧状態として作用すると算定。N値に線形比例して低減[砂・礫質地盤：14.9~7.3(N=60~30)]。杭径毎に異なる。	60
HiFB 工法	C	プレ	14.1 [砂・礫質地盤、杭径=1200, N=60] 14.0 [粘土質地盤、杭径=1200, N=60]	砂・礫質地盤のN値の範囲[30 ≤ N ≤ 60]。粘土質地盤のN値の範囲[20 ≤ N ≤ 60]。先端支持力と先端摩擦力を考慮した地盤の支持力を考慮した力が、杭先端から根固め部の固化体に局部支圧状態として作用すると算定。N値に比例して低減[砂・礫質地盤：14.1~6.8(N=60~30)、粘土質地盤：14.0~3.9(N=60~20)]。杭径で異なる。	60
ジーロック工法	C	プレ	11.7 [砂・礫質地盤、杭径=1000, N=60]	N値の範囲[30 ≤ N ≤ 60]。杭先端支持力、先端付着力を基に力のつり合いから算定。N値に線形比例して低減。杭径により異なる[11.7~9.0(杭径1000~300)]	60
DYNAWING 工法	C	プレ	11 [砂・礫質地盤、N=60]	N値の範囲[30 ≤ N ≤ 60]。羽根にかかる設計支持力度以上となるように算定。N値に線形比例して低減。	60
DYNABIG 工法	C	プレ	11 [砂・礫質地盤、N=60]	N値の範囲[30 ≤ N ≤ 60]。設計で期待する極限支持力から周面摩擦抵抗を差し引いた値をファブリック球根部の有効断面積で除した値以上となるように算定。N値に線形比例して低減。杭径により異なる[11~6(杭径800, N=60~30)から6~3(杭径400, N=60~30)]。	60
Hyper-NAKS II 工法	C	中	18.7 [砂・礫質地盤、N=60]	N値の範囲[30 ≤ N ≤ 60]。杭先端支持力、先端摩擦力を考慮した力が、杭から支圧状態として作用するものとして算定。N値に線形比例して低減。	60
New-STJ 工法	C	中	18.8 [砂・礫質地盤、杭径=1200, N=60]	N値の範囲[30 ≤ N ≤ 60]。杭先端支持力と先端摩擦力を考慮した地盤の支持力が、杭先端から根固め部の固化体に局部支圧状態として作用すると算定。N値に比例して低減[18.8~9.3(N=60~30)]。杭径毎に異なる。	55
SGE 工法	S	プレ	16.2 [砂・礫質地盤、N=60]	N値の範囲[40 ≤ N ≤ 60]。杭先端支持力を基に、鋼管先端のディスクプレート部、内・外周鉄筋部の力の釣り合いから算定し、室内試験(先端部圧縮試験、先端部押抜き試験)、FEM解析で確認。N値に線形比例して低減。	60
SuperKING 工法	S	プレ・中	17.7 [砂・礫質地盤、杭径=1200, N=60]	FEM解析や各種実験からの知見に基づき、杭外周突起周りでのせん断破壊、根固め底面での支圧破壊、内面支圧リングの支圧破壊について、杭先端支持力と先端付着力の釣合から算定。N値に比例して低減。杭径と根固め倍率により異なる[17.7~15.0(杭径1200, N=60, 根固め倍率2~1.25倍)、17.7~14.7(杭径400, N=60, 根固め倍率2~1.25倍)、10.0~8.0(杭径1200, N=30, 根固め倍率2~1.25倍)、8.9~7.4(杭径400, N=30, 根固め倍率2~1.25倍)]。	60
TN-X 工法	S	プレ・中	20 [砂・礫質地盤]	過去の実績・試験等を踏まえ、根固め部の強度管理が可能である現実的な強度とした。	60
TBSR 工法	S	プレ・中	14 [砂・礫質地盤]	N値の範囲[18 < N ≤ 60]。最も厳しい条件の最大径1200、N=60でFEM解析を行い設定。	60

(\*A:プレ・カスティング工法、中:中掘り工法、C:コンクリート杭、S:鋼管杭)

【参考】図 2-1 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。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。

## 【参考文献】

- 2-1) 土屋富男、首藤泰彦、丹野吉雄：高支持力埋込み杭の根固め部に対する施工管理の提案と実施例、日本建築学会技術報告集、第18巻、第38号、pp. 107～112、2012. 2
- 2-2) 土屋富男、桑原文夫：埋込み杭の根固め部の築造方法とその強度発現に関する研究、日本建築学会技術報告集、第18巻、第40号、pp. 883～888、2012. 10
- 2-3) 土屋富男、桑原文夫：高支持力埋込み杭の支持力に必要な根固め部の強度に関する研究、日本建築学会技術報告集、第19巻、第41号、pp. 95～100、2013. 2
- 2-4) 土屋富男、首藤泰彦、丹野吉雄：高支持力埋込み杭の品質確保への取組み例、基礎工、Vol. 38、No. 5、pp. 66-69、2010.
- 2-5) 土屋富男、内田明彦、井上富太、佐々木幸男、川戸耕介：高支持力埋込み杭の根固め部に対する品質管理の実施例(その1)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 349-350、2011.
- 2-6) 尾本聡、土屋富男、内田明彦、長岡博志、佐々木幸男：高支持力埋込み杭の根固め部に対する品質管理の実施例(その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 351-352、2011.
- 2-7) 内田明彦、土屋富男、尾本聡、栗原淳：高支持力埋込杭の拡大根固め部のコア強度に関する一考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 355-356、2011.
- 2-8) 栗原淳、土屋富男、内田明彦：高支持力埋込み杭の根固め部ソイルセメントの強度予測について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 357-358、2011.
- 2-9) 土屋富男、内田明彦、尾本聡：高支持力埋込み杭の根固め部の品質確保に向けた室内配合試験について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 649-650、2010.
- 2-10) 木谷好伸：埋込杭工法の施工管理手法の研究、第38回地盤工学研究発表会、pp. 1533-1534、2003.
- 2-11) 阿部秋男：杭先端根固め部の評価に適用できるボアホールソナーの開発、第42回地盤工学研究発表会、pp. 1255-1256、2007.
- 2-12) 木谷好伸：高支持力既製コンクリート杭(プレボーリング逆転拡大方式)の施工管理例、基礎工、Vol. 22、No. 10、pp. 42-44、2007.
- 2-13) 浅井陽一、西村裕、先崎大樹：高支持力既製コンクリート杭(プレボーリング油圧拡大方式)における拡大根固め工法球根部の品質管理、基礎工、Vol. 22、No. 10、pp. 45-48、2007.
- 2-14) 横山雅樹、木谷好伸：埋込み杭工法で施工した根固め部及び杭周固定部のソイルセメントの強度、第43回地盤工学研究発表会、pp. 1303-1304、2008.
- 2-15) 武智耕太郎、浅井陽一、藤井衛：プレボーリング拡大根固め杭工法における根固め部の築造過程に関する基礎的研究、第44回地盤工学研究発表会、pp. 1213-1216、2009.
- 2-16) 細田光美：高支持力埋込み杭の品質管理事例1ープレボーリング拡大根固め工法、基礎工、Vol. 38、No. 5、pp. 59-62、2010.
- 2-17) 千種信之：高支持力埋込み杭の品質管理事例2ー中堀拡大根固め工法、基礎工、Vol. 38、No. 5、pp. 63-65、2010.
- 2-18) 浅井陽一、阪上浩二、藤井衛、林隆浩、西村裕：プレボーリング拡大根固め工法の先端根固め液確認施工試験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 653-654、2010.
- 2-19) 今広人、吉田映、横澤和宏、小松吾郎、桑原文夫、木村亮：先端載荷試験後に掘り出した節杭を用いたプレボーリング工法の根固め部の調査、地盤工学ジャーナル、Vol. 5、No. 4、pp. 615-623、2010. 12.
- 2-20) 渡邊徹、長尾俊昌、岡沢良昭、小林祥一、安川真知子、植谷忠興：高支持力埋込杭の根固め部の試験施工と各種試験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 359-360、2011.
- 2-21) 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.



### 3. 杭工法の評価

#### 3.1 技術レベルに合わせたルートを選択

##### (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。

ただし、工法が異なる場合や地盤が異なる場合には、必要強度と実強度の関係が明確であるとは言えないため、工法毎、地盤毎にその関係を明確にする必要がある。例えば、これに該当する条件を以下に示す。

- 1) 隣接する敷地の計画建物で、杭工法、杭先端地盤、支持力係数、施工法、杭径などが同一で、既往の実強度のデータがあり、必要強度との関係が得られている場合。
- 2) 杭先端地盤が同一とみなされる地盤について、杭工法、支持力係数、施工法、杭径などが同一で、**ルート2**を5回以上経験し、実強度の既往データと必要強度との関係が5例以上得られており、地盤に適応した根固め部の施工品質確保が十分とみなされる場合。

##### (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。

当該地盤に適する施工計画を作成し、それに基づく施工試験(5章)により、当該地盤に適合した施工法かどうかを判断する。サイクルタイム図に基づく施工試験(5章)を行い、採取する未固結試料の強度によって施工計画の当該地盤への適合性を判断する。必要強度を満足しない場合は施工計画を修正して施工試験を再度実施し、強度を満足する施工法を決定する。例えば、これに該当する条件を以下に示す。

- 1) 隣接する敷地の計画建物で、杭工法、杭先端地盤、支持力係数、施工法、杭径などのうち一項目でも異なる場合。
- 2) 杭先端地盤が同一とみなされる地盤について、**ルート2**を5回以上経験しているが、杭工法、支持力係数、施工法、杭径などのうち一項目でも異なる場合。
- 3) 杭先端地盤が同一とみなされる地盤について、杭工法、支持力係数、施工法、杭径などが同一で、**ルート2**の経験が5回に満たず、既往の実強度と必要強度の関係が5例に満たない場合。

##### (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。

例えば、これに該当する条件を以下に示す。

1) 杭先端地盤が同一とみなされる地盤について、**ルート3**の経験が5回に満たない場合。

必要強度を満足する施工管理方法を明確にするためには、施工計画(3.3章)を検討し、それに基づく施工試験(5章)により、必要強度を満足する施工法であるかを判断する。施工計画(3.3章)の検討には、根固め液の注入量と注入方法を設定する必要がある。そのためには、杭先端地盤および軸部の土質確認(3.2章)や室内配合試験(4章)を行い、地盤に適合した注入量を設定する必要がある。注入方法は仮に設定してサイクルタイム図(図2-2)を作成する。そのサイクルタイム図に基づく施工試験(5章)を行い、採取する未固結試料の強度によって施工計画の良否を判断する。必要強度を満足しない場合は計画を修正して施工試験を再度実施し、強度を満足する施工法を決定する。

### 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、近隣での地盤の細粒分含有率などの物理試験結果から、代用できると判断できる場合には、省略しても良い。

#### (1) 細粒分含有率

根固め部が砂質土であっても、細粒分含有率が多いと考えられる場合や、上部に粘性土が存在する場合には、粒度試験を実施することが望ましい<sup>3-1)</sup>。

細粒分含有率と根固め部強度の関係については、十分に明らかになっていない。明らかに細粒分を多く含む砂質土の場合は、施工時の掘削速度を落して泥土を細粒化することや、羽切り回数を増やして十分に混合攪拌したり、根固め液の注入量を増やし置換率を高くしたりするなど、慎重な施工管理に加えて、室内配合試験の実施を検討するなどの対応が必要である。

#### (2) 軸部の土質

軸部の土質に粘性土が多い場合には、泥土の細粒分含有率が増えることから、強度不足になる危険性が高い。したがって、事前に軸部の土質を確認し、粘性土が多い場合には対応を検討し、その結果を施工計画に反映させる。

具体的には、掘削水の注入量や掘削速度を検討し、泥土を掘削液(水)と十分に混合攪拌するために、掘削速度を落して泥土を細粒化することや、羽切り回数を増やして十分に混合攪拌を行う必要がある。しかし、スクリーや攪拌ロッドに付着した粘性土の土塊を攪拌することは困難であることから、オーガ引抜き時に土塊のまま排土し、可能な限り土塊を掘削孔に落下させないような施工方法などを検討する。

### (3) その他

#### i) セメント固化を阻害する成分の有無

有機質土にはセメント固化を阻害する成分であるフミン酸、火山灰質粘性土にはアロフェンなどが含まれる場合がある。これらの成分を有する場合には、所要のセメント量では固化しないほか、注入量を増やしても強度の増加は少ないことが考えられる。したがって、例えば、杭先端地盤が砂質土であっても有機質土を挟む地盤では、施工方法など十分に検討する必要がある。

#### ii) 地下水の流速、逸水

可能な限り早い段階で地盤調査会社や杭メーカーから情報を収集して、地下水による危険地区かどうかの判断を行う。危険地区の場合は、増粘剤の添加等を慎重に検討する。地下水の流速については、例えば、文献<sup>3-2)</sup>が参考になる。

## 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。

#### i) 計画

施工管理者・施工者は、杭の品質確保のため、工事毎の地盤条件や施工条件を把握するとともに、杭工法の特徴や適用性を理解し、その条件に合致した無理のない施工計画・施工要領を作成する。

高支持力埋込み杭には、鋼管中掘り工法を含めて多くの工法が開発されており、それぞれが施工方法に特徴を持っている。このため、工法ごとに、性能評価申請資料・大臣認定の別添資料を内容とする「施工指針」と施工計画書の内容と照合することが基本である。さらに、高支持力杭工法が性能評価機関の評価を受けた認定杭だからといって、現場毎に要求品質が保証されているわけではなく、地盤条件や施工条件を考慮した対応が必要となる。

#### ii) 役割分担

杭の性能を保証するのは、杭メーカーの責務である。しかし、設計や施工計画段階での全体に及ぶ検討を施工者だけに求めるのは無理である。自然を相手に敷地でより信頼性の高い杭を築造するためには様々な配慮が必要となるため、施工管理者と施工者が協力することが基本となる。

施工計画段階では設計者の意図が周知される必要があり、設計者、監理者、施工管理者と施工者の協議が必要である。そのため、これらの作業、施工計画作成時点での協議と施工記録の確認は施工者が主導して進めることは困難で、施工管理者が主導して行うことが求められる。最終的に、設計者、監理者、施工管理者と施工者が一同に会し、施工計画内容を確認し、承認した上で

工事を進めることが望ましい。

### iii) 施工記録

施工記録に関して、日々の施工管理の内容を記録するとともに、適正な施工が進捗していること、もしくは何らかの異常が発生していることを確認・発見することが必要である。

これは、プロセス管理とならざるを得ない杭工事において、確実な施工と品質を証明する手段である。施工計画段階において、施工管理記録としてサイクルタイム、品質管理記録として強度試験結果、そのほか必要な施工記録の項目を洗い出し、記録用紙、記録方法、記録者、適否の判断の規準などを具体的に決めて、実施工時に的確に対応できるようにすることが重要である。

## (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。

図 2-1 に示されている品質管理フローの実施にあたり、施工計画書に実施方法や工程を詳細に検討して記載する。

高支持力埋込み杭に所定の支持力を発揮させるため、根固め部は杭先端支持力を満足する強度であることが必要である<sup>3-3)</sup>。しかし、その強度はこれまでに公に示されたことはなく、どのような支持力機構に基づいているのかも、技術的ノウハウとなるためか示されていなかった。そこで、必要強度について COPITA 各社と鋼管杭メーカーに対してヒアリングを行った。表 2-1 に必要強度の一例<sup>3-4)</sup>を示す。

工事の実施に当たっては、施工による強度低下や不均一性を考慮して「必要強度」に余裕係数を考慮した「目標強度」を設定し、計画を行うことが必要である。余裕係数の値については、強度の検証例が多く、信頼性の高い度合いに対応して設定するものとする。7 章に 1.4~1.0 の例が示されているので参考にされたい。

各工法の大径認定上の品質管理項目として、プラント採取した根固め液の原液強度がある。これは、実際に築造された杭周固定部や根固め部のソイルセメント強度の代用特性値ではない。そのため、根固め部の品質管理項目として、室内配合試験結果と共に未固結試料採取あるいはコア試料採取による強度試験の結果を残すことが基本である。

## (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。

### i) サイクルタイムの作成

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 2-2)を作成する。

室内配合試験の結果や土質(粒度分布)によって、根固め部の強度低下が懸念される場合は、各工法の施工指針に追加して、掘削方法や根固め液の注入量の仕様について対策を施す。表 3-1 にチェック項目のリストを示す。

作成したサイクルタイムを基本として、1日の施工可能な数量を設定し工程計画を行う。無理な工程計画は、高止まりや硬化不良杭などの発生原因となる。なお、杭径・長さ・地層構成などが異なる場合、サイクルタイムに違いがでるため、複数のサイクルタイムを作成しておく必要がある。

表 3-1 施工計画段階でのチェック事項

項 目	チェック事項
装置・設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・キャリブレーションの必要項目とその方法は適切か。</li> <li>・統合型の管理装置と全自動プラントの採用の有無。</li> </ul>
掘削速度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地盤種別ごとの適正な掘削速度・ターニングの深度・回数となっているか。</li> </ul>
掘削液の仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>・掘削水量を管理し、必要以上の掘削水の使用は避ける計画となっているか。</li> <li>・崩壊性のある砂や砂礫地盤ではベントナイト溶液を使用する計画となっているか。</li> <li>・タイムラグの時間とオーガ先端の深度の計画は適切か。</li> </ul>
根固め部の掘削	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上下反復回数、掘削速度は施工指針の規定を満足し、地盤条件を反映した計画となっているか。</li> <li>・拡翼機構や回転方向が適切か。</li> <li>・拡翼深度(径によって異なる)は規定値となっているか。</li> </ul>
根固め部の築造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・根固め液の注入深度は施工指針の規定値となっているか。</li> <li>・特に、硬質粘性土(土丹)では、土を細粒化して混合攪拌工法とするか、細粒化した土を上押し上げる置換に近い工法とするかを検討したか。</li> <li>・杭先端地盤の土質に対応した施工法となっているか。</li> </ul>
根固め液の仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水セメント比(W/C)、注入量や注入方法は施工指針の規定を満足し、地盤条件を反映した計画となっているか。</li> </ul>
杭周固定部の築造	<ul style="list-style-type: none"> <li>・杭周固定液の注入深度と注入量は施工指針の規定を満足し、地盤条件を反映した計画となっているか。</li> </ul>
杭周固定液の仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水セメント比(W/C)、注入量や注入方法は施工指針の規定を満足し、地盤条件を反映した計画となっているか。</li> </ul>

## ii) サイクルタイム作成の実例

図 3-1 に例示したサイクルタイムは、施工者が施工指針や地盤条件を反映したサイクルタイム案を作成した後、施工管理者が次の項目についてチェックし多少の加筆・修正を行ったものである。

- ① 地盤種別(関東ローム、砂礫、硬い粘性土等)に応じたターニングや掘削速度
- ② 掘削ロッドジョイント回数と深度
- ③ 掘削液の種類と注入量(粘性土層は清水、砂礫層はベントナイト溶液を用意)
- ④ 根固め液への切り替えのタイミングと深度およびタイムラグ(時間はキャリブレーション時に設定)
- ⑤ 根固め液の注入量と注入方法(注入開始と終了深度、時間、ターニング深度・回数と昇降速度)
- ⑥ 杭周固定液の注入量と注入方法(注入開始と終了深度、洗い水放出の下端深度)
- ⑦ 掘削～根固め液・杭周固定液注入～杭建て込みの各工程所要時間



入しないように注入範囲を明確に設定する。

### ③タイムラグ

掘削が終了して根固め液に切り替える際に、ホース内に残った掘削水が根固め部強度に影響しないよう注意する。ホース内に残った掘削水を根固め部の先端で放出するケースが多いが、ホースが長い場合には放出される水量が多くなり、根固め強度不足の要因ともなりうる。施工試験の結果などから強度不足が懸念される場合は、根固め液の注入方法や注入量の増量を検討するか、根固め部の上端以浅で放出することも考える。

### ④根固め部

拡翼のためのオーガの正転・反転、土質に応じたターニング回数や速度を規定している工法が多く、その内容を確認し図中に表現しておく。特に土丹などの硬質粘性土地盤では強度低下を招きやすく、速く掘削すると大きな土塊となるため、細粒化するために掘削速度を落として羽根切り回数を増し、根固め液は置換率が大きくなる注入方法を採用する。

## iv) 施工記録

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。

目的は、プロセス管理によって確実な施工を確保することを通じて、結果として杭工事における出来型を証明するためである。サイクルタイムの施工記録は、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である。

記録に残すことは、統合型の管理装置を用いる場合は、容易で確実である。統合型の管理装置は、電流計、深度計、流量計を基に、これら複数の計器類を集中して管理しやすくしたものである。これにより特に根固め部の築造に関して、所定の深度で拡径され、所定の根固め液が注入されたことを記録に残すことができる。

この種の装置を用いない場合は、記録に工夫と労力が必要となる。なお、統合型の管理装置には、即日アウトプットができず、適正(異常)な施工を確認(発見)できない機種や、深度計の装備が難しいアボロンなどの施工機械がある。これらの対応については早急な開発・改良を期待するが、即応できない施工データについて、別の確認方法を検討する必要がある。

### 【参考文献】

- 3-1) 土屋富男、桑原文夫：埋込み杭の根固め部の築造方法とその強度発現に関する研究、日本建築学会技術報告集、第18巻、第40号、pp. 883~888、2012. 10
- 3-2) 地盤工学会：杭基礎のトラブルとその対策、pp. 86-87、2000. 10
- 3-3) 土屋富男、桑原文夫：高支持力埋込み杭の支持力に必要な根固め部の強度に関する研究、日本建築学会技術報告集、第19巻、第41号、pp. 95~100、2013. 2
- 3-4) 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

#### 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。

試験数量は、泥水とセメントミルクの配合比(セメントミルクの含有率)をパラメータとして3ケース程度(泥水：セメントミルク=1：1、1：1.5、1：2を基本とする)を設定する(セメントミルクのW/Cは各工法で規定されているため一定とする)。具体的な泥水とセメントミルクの配合比は、各工法で規定された値をもとに決定する。なお、28日強度に加えて7日強度も含めた2材令に対して圧縮強度試験を実施する。

圧縮試験実施時の判定値は、5章に示す目標強度で、杭先端地盤のN値や設計支持力から設定した値とする。

##### (2) 試験方法

試験方法は文献<sup>4-1~2)</sup>を参考に決定する。

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。なお、根固め部が2種類の地盤にまたがって築造される場合には、それぞれの地層に根固め部が貫入している長さ比に合わせて、それぞれの土の体積を配分して泥水を作製する。
- 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。なお、実施工まで期間がない場合には、別途、促進養生で早期に強度発現を促し、例えば3日・7日強度で目標強度を上回るかどうかを判断した事例もある。

##### (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<sup>4-1、6、8)</sup>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。



なお、室内配合試験で7日と28日強度の関係を求めておき、施工試験の未固結試料の強度試験の際に、7日強度から28日強度を予測する際の参考になる場合もある。

以上に示したような高支持力杭の根固め部を対象とした室内配合試験について、近年、報告<sup>4-1</sup>~<sup>8)</sup>されてきてはいるものの、未だ実施例が少ない。なお、施工試験による未固結試料採取ができないような場合には、室内配合試験は参考になる。ただし、原位置での攪拌混合の方法や度合いが室内配合試験と異なることや、実際の掘削水の使用量が規定されておらず泥水に含まれる水量を正確に把握することが困難など、施工の影響が入っていないことに注意が必要であり、室内配合試験と根固め強度の関係の資料が重要である。今後もデータを蓄積していく必要がある。

#### 【参考文献】

- 4-1) 土屋富男、桑原文夫：埋込み杭の根固め部の築造方法とその強度発現に関する研究、日本建築学会技術報告集、第18巻、第40号、pp. 883~888、2012.10
- 4-2) 土屋富男、首藤泰彦、丹野吉雄：高支持力埋込み杭の根固め部に対する施工管理の提案と実施例、日本建築学会技術報告集、第18巻、第38号、pp. 107~112、2012.2
- 4-3) 土屋富男、内田明彦、尾本聡：高支持力埋込み杭の根固め部の品質確保に向けた室内配合試験について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 649-650、2010.
- 4-4) 土屋富男、首藤泰彦、丹野吉雄：高支持力埋込み杭の品質確保への取組み例、基礎工、Vo. 38、No. 5、pp. 66-69、2010.
- 4-5) 土屋富男、内田明彦、井上富太、佐々木幸男、川戸耕介：高支持力埋込み杭の根固め部に対する品質管理の実施例(その1)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 349-350、2011.
- 4-6) 尾本聡、土屋富男、内田明彦：高支持力埋込み杭の根固め部に対する品質管理の実施例(その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 351-352、2011.
- 4-7) 栗原淳、土屋富男、内田明彦：高支持力埋込み杭の根固め部ソイルセメントの強度予測について、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 357-358、2011.
- 4-8) 渡邊徹、長尾俊昌、岡沢良昭、小林祥一、安川真知子、植谷忠興：高支持力埋込み杭の根固め部の試験施工と各種試験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 359-360、2011.

## 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。

計画した注入量とサイクルタイムに従って原位置で築造した根固め部から採取したソイルセメントについて、強度試験を実施し、目標強度(必要強度に余裕係数を考慮した強度)と比較することで、施工計画の良否を確認する。強度を満足しない場合は、計画を修正して施工試験を再度実施し、強度を満足する施工法を決定する。

### (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。

杭材の建て込みがなくても良い。ただし、別孔とする場合は、ソイルセメントが将来の土地利用に際して地中障害となる場合もあるため、地権者や監理者との事前の協議を踏まえるように留意が必要である。本杭と兼用する際には、試験による時間の遅れに起因する高止まりなどに注意が必要である。また、中掘り工法の場合には、杭材の建て込みが前提になるため、杭材を準備することが必要で、一般的には本杭と兼用せざるを得ないと考えられる。本杭と兼用するときには、強度不足が生じた場合の対応が困難となることに注意が必要である。

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。

同じ計画敷地内であっても杭先端地盤の土質特性(細粒分含有率等)が場所によって異なることが予想される場合などには、適宜施工試験の数を増やすことが望ましい。

### (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。

試料は施工直後の未固結状態のソイルセメントを専用の採取器で採取するか、ある程度硬化した段階でコアボーリングによって採取する。施工直後の未固結状態のソイルセメントを採取するには、杭メーカーが保有する専用の採取器などを用いる<sup>5-1)</sup>。採取した試料をブリーディング袋またはモールドに詰めて供試体を作製する。硬化後の根固め部からコアボーリングによって試料を採取する場合には、施工直後の未固結状態のときにあらかじめ先端閉塞のガス管を先端根固め部上面まで挿入しておく方法<sup>5-2)</sup>がある。その後1週間程度の養生期間を経て先端コアボーリングを実施し、コア供試体を採取する。このように作製した供試体に対し、所定材令にて一軸圧縮試験を実施して強度を確認する。

なお、未固結状態のソイルセメントを採取した場合には、その試料の様子を観察し、大きな土塊が多く含まれる場合や密度が $1.7\text{t/m}^3$ を極端に下回る場合<sup>5-3参照)</sup>には施工不良と判定し、圧縮

試験の結果を待たずに施工方法を見直す。ただし、採取方法が適切でない場合にも同様な結果になることも考えられるため、施工の不備か採取方法の不備かを判断する必要がある。

未固結状態のソイルセメントを採取して強度を確認する場合には、供試体を高温で養生することによって強度発現を早める促進養生法を利用した例(7.5 参照)もある。

施工試験の方法(概念図)を図 5-1 に示す。

なお、未固結試料採取方法についての標準化の提案<sup>5-1)</sup>があるので参照されたい。

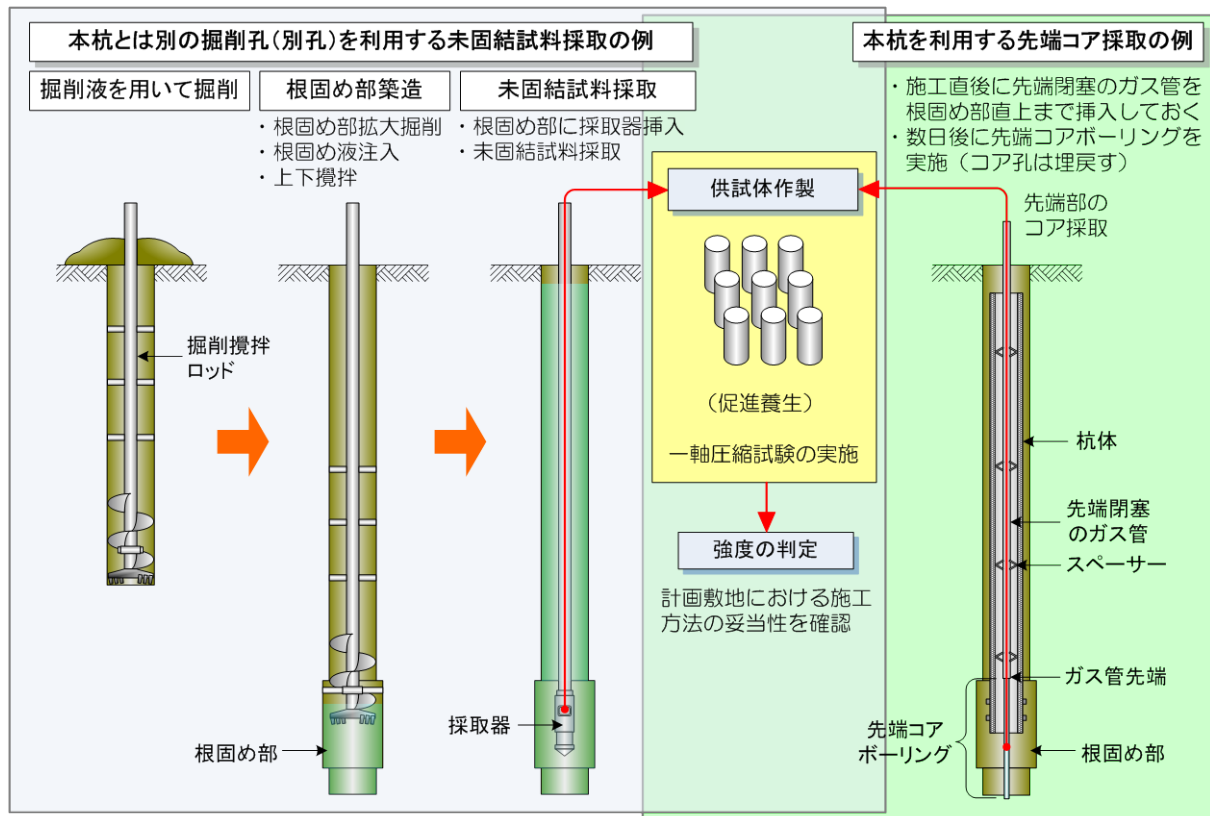


図 5-1 施工試験の方法(概念図)

### (3) 結果の評価

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

ここに、 $\sigma_{ave}$  : 得られた圧縮強度の平均値 (N/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_N$  : 根固め部の必要強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$F_s$  : 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  $\sigma_N$  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、 $\sigma_{ave}$  がそれ以上であることを確認する。

圧縮強度の平均値  $\sigma_{ave}$  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、以下の事項を考慮して施工管理者と施工者として協議して決める。

- 1) 根固め部の強度確認に関する過去の実績

## 2) 計画敷地の地盤条件

1)の「過去の実績」は、使用する杭工法の、当該地盤または類似の地盤条件での根固め部の強度確認の実績を参考にして $F_s$ を設定するものである。過去の実績がない場合には、2)の「地盤条件」を考慮して $F_s$ を設定する。例えば根固め部の強度のばらつきが大きくなることが予想される場合(杭の軸部から根固め部に至る土層が粘性土主体である場合など)には、 $F_s$ を大きめに設定するよう考慮する。一般的には、1)、2)のいずれの場合においても、根固め部の強度確認をコア試料によって行う場合には $F_s$ は低減してよいと考えられる。未固結試料による供試体は原位置(杭先端部)の養生条件とは異なる上、供試体作製方法も強度に影響を及ぼすと考えられるのに対し、コア強度は実際の根固め部の強度そのものを表していると考えられるためである。

図5-2(a)～(c)に合格と判定される例を示す。(a)は3供試体の強度すべてが目標強度を上回る例で、(b)は1供試体の強度が目標強度を下回るものの必要強度は上回っている例である。(c)は $F_s=1.0$ とした例である。同図(d)に示すように、必要強度を下回る供試体があった場合でも、供試体の数を多くすることで平均値の信頼性も高まると考えられるため、合格の判定も可能になると考えられる。

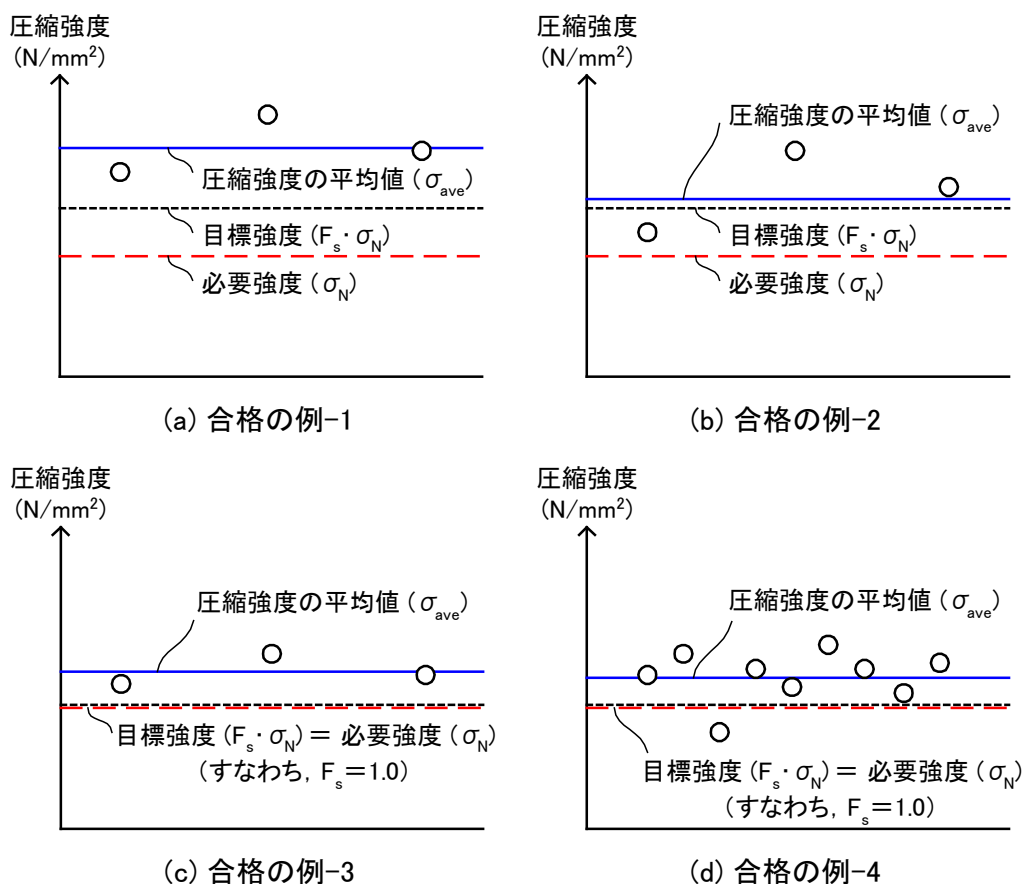


図5-2 合格の例

判定の結果、 $\sigma_{ave} \geq F_s \cdot \sigma_N$ であれば、必要強度が確保できる施工法であると判断する。以後の本施工は施工試験と同じ施工方法で施工する。 $\sigma_{ave} < F_s \cdot \sigma_N$ となった場合は、必要強度が確保できない施工法と判断し、サイクルタイムの修正(ターニング回数を増やす等)や、根固め液の注入

量を増やすなど、施工方法の見直しを検討する。

上記の判定は材令 28 日での判定を基本としているが、同様の地盤条件での過去の実績や、計画敷地における事前の室内配合試験によって、材令 7 日あるいは促進養生による材令 3 日程度の強度と 28 日強度との関係が得られていれば、それらの材令による早期の強度判定も可能である。このとき、強度の判定が出るまで、本杭の施工を行わないのは工期への影響を考えると避けたいところである。そこで、供試体の養生期間中の本施工では、根固め液の注入量を規定の 1.5~2.0 倍程度に増やすことで、根固め部の強度不足のリスクを回避する安全策とする方法も一案である。

#### 【参考】図 5-1 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。

#### 【参考文献】

- 5-1) 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
- 5-2) 土屋富男、首藤泰彦、丹野吉雄：高支持力埋込み杭の根固め部に対する施工管理の提案と実施例、日本建築学会技術報告集、第 18 巻、第 38 号、pp. 107~112、2012.2
- 5-3) 内田明彦、土屋富男、尾本聡、栗原淳：高支持力埋込杭の拡大根固め部のコア強度に関する一考察、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 355-356、2011.

## 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図は、時間、オーガ先端深度、オーガの電流値、注入量などの測定値から施工管理者と施工者が協議して作成する。実施サイクルタイムが計画サイクルタイム通りであるかを管理するとともに、実施サイクルタイムの記録を残す。これらの測定値は統合型の管理装置を利用すると管理しやすい。

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。

高支持力埋込み杭は支持力機構上、根固め部が極めて重要で、杭施工ではこの根固め部の「形状」と「強度」を厳重に管理する必要がある。特に根固め部の強度は、地盤条件・施工の仕方に大きく影響することから、最も重要な品質管理項目と位置付けられる。

また、地中に施工される杭の施工管理はプロセス管理となり、施工計画書どおり杭工事が進捗していることを確認することが施工管理上重要となる。

本杭の施工では、全ての杭について、実施サイクルタイムを施工管理者と施工者が協議して作成する。サイクルタイム(掘削深度と注入量の経時変化、及び積分電流値の深度分布)は、モニタリングした時間、深度、積分電流値、注入量の計測値をとりまとめ作成する。時間は時計、深度はエンコーダー、積分電流値は電流値を内部で積分、注入量は流量計による。これらの測定値を統合型の管理装置で測定すると管理しやすい。作成した実施サイクルタイムをもとに、施工計画で設定したサイクルタイムと比較することで、計画通り施工できていることを確認する。つまり、設定したサイクルタイム通り施工し記録することで、施工試験と同等の品質を確保した杭であることの証明とする。また、サイクルタイムの記録のほかに、表 6-1 に示す管理項目を記録する。

なお、施工計画が立案できない場合には4章を参照されたい。本杭の施工に先立ち、地盤条件・施工方法等を考慮した「施工計画(3.3)」でサイクルタイムを設定し、「施工試験(5章)」にて、設定したサイクルタイムで施工できるかを確認したのちに、本杭の施工を行う。

表 6-1 本杭の施工管理項目例

項目	チェック事項	
掘削	速度等	掘削速度、ターニング深度・回数
	掘削液の仕様	掘削水の種類(水かベントナイト溶液あるいはセメントミルク)・注入量
根固め部	掘削	掘削速度、ターニング回数、拡翼径、拡翼深度、積分電流値
	築造	根固め液の注入深度・注入量
	根固め液の仕様	水セメント比(W/C)
杭周固定部	築造	杭周固定液の注入深度・注入量
	杭周固定液の仕様	水セメント比(W/C)

サイクルタイムと施工管理項目の記録の確認は、施工当日に行う事が望ましい。そのため、複数の計器類を統合した統合型の管理装置を用いると、サイクルタイムと上記管理項目の多くが同時に記録されるため、管理しやすい。

工法や杭施工機によっては、統合型の管理装置で記録できない項目(機械式の拡翼管理など)があるが、工法ごとにこの装置で記録できない項目を整理し、別途全数確実に確認し記録をとる必要がある。

アボロン等の施工機械によっては、現状、統合型の管理装置が取り付かないものがあるので注意が必要となる。今後は施工機・管理装置等の改善が図られる必要がある。

根固め液、杭周固定液の配合管理では、統合型の管理装置では記録できないが、自動的にセメント量と水量を計量する全自動ミキシングプラント等があり、統合型の管理装置と合わせて利用すると管理しやすい。

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。

自然地盤を相手とした杭工事では、施工計画で考慮していたこと以外の事象が多分に考えられる。本杭の施工の途中段階で、設定のサイクルタイム通りの施工が難しい場合には、状況に応じ協議する。以下に一例を示す。

- ①設定したサイクルタイムより時間を要する場合など、根固め部の掘削速度が遅い場合や注入量が同じで注入時間が長い場合、混合攪拌を十分とる場合など、施工試験より根固め部の品質が低下する危険性が低いことが明らかな場合は、品質低下の問題は少ないと考えられる。
- ②設定したサイクルタイムより時間を短縮する場合など、設定したサイクルタイムより品質が低くなる可能性を有する変更については、施工試験で確認された根固め部の品質が保証できないことから、追加で、再設定したサイクルタイムによる施工試験を行う必要がある。
- ③施工された杭のサイクルタイムが設定したサイクルタイムより短い場合など、設定したサイクルタイムより品質が低くなる可能性を有する施工を行った場合については、この施工された杭は、施工試験と施工条件が異なり根固め部の品質が保証されない。この場合は、当該杭の品質の確認が必要となる。

## 7. 施工管理事例

本章では過去に行われた施工管理事例を紹介する。品質調査・試験として室内配合試験、施工試験（根固め部の未固結試料採取、コア試料採取、杭周固定部の未固結試料採取）、鉛直載荷試験によって、施工管理を行った事例を、(1)品質調査・試験、(2)品質調査・試験の実施理由、(3)施工地盤、(4)杭概要、(5)試験結果の項目に分けて内容を説明する。各施工管理事例の品質調査・試験一覧を表 7-1 に示す。

表 7-1 各施工管理事例の品質調査・試験一覧

事例 No.	室内 配合 試験	施工試験			鉛直 載荷 試験	試験 時期	参考 文献
		根固め部		杭周固定部			
		未固結試料 採取	コア試料 採取	未固結試料 採取			
7.1	○	○	○		○	2009. 11	文献 7-1、2
7.2	○		○		○	2009. 8	文献 7-1、3
7.3	○		○		○	2009. 6	文献 7-1、4
7.4	○	○	○			2010. 10	文献 7-5
7.5		○	○			2009. 10	
7.6		○	○			2009. 1	
7.7			○（本杭）			2009. 3	
7.8		○		○		2008. 9	
7.9		○（本杭含む）				2011. 3	
7.10				○		2010. 1	文献 7-6

### 【参考文献】

- 7-1) 土屋富男、首藤泰彦、丹野吉雄：高支持力埋込み杭の根固め部に対する施工管理の提案と実施例、日本建築学会技術報告集、第 18 巻、第 38 号、2012. 2
- 7-2) 土屋富男、内田明彦、井上富太、佐々木幸男、川戸耕介：高支持力埋込み杭の根固め部に対する品質管理の実施例(その 1)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 349-350、2011.
- 7-3) 尾本聡、土屋富男、内田明彦、長岡博志、佐々木幸男：高支持力埋込み杭の根固め部に対する品質管理の実施例(その 2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 351-352、2011.
- 7-4) 土屋富男、佐々木幸男、桧垣歩：細粒分を含む砂質地盤に定着する高支持力埋込み杭の品質調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 591-592、2009.
- 7-5) 渡邊徹、長尾俊昌、岡沢良昭、小林祥一、安川真知子、植谷忠興：高支持力埋込杭の根固め部の試験施工と各種試験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 359-360、2011.
- 7-6) 崎浜博史、森清隆、根本恒：埋込み杭工法における杭周固定部の品質管理手法に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 657-658、2010.



## 7.1 事例 1

### (1) 品質調査・試験

室内配合試験、施工試験（未固結試料およびコア試料の強度）、鉛直載荷試験

### (2) 品質調査・試験の実施理由

杭先端地盤の細砂を用いたソイルセメントの強度確認のために室内配合試験を、根固め部の出来形調査のために施工試験（未固結試料とコア試料の強度）を、支持力確認のために鉛直載荷試験を行った。

### (3) 施工地盤

施工場所・地盤：茨城県・図 7-1-1 参照

杭先端地盤：細砂

（細粒分含有率 10～19%）

### (4) 杭概要

杭径・杭長・本数：φ600・21m・206本

掘削深度：GL-21.8m

掘削径：軸部 680mm、拡大部 950mm

### (5) 室内配合試験

GL-18～24m までの杭先端地盤近傍地盤を対象に、ソイルセメントを作製し、目標強度 17N/mm<sup>2</sup>（必要強度 14N/mm<sup>2</sup>、余裕係数 1.2）を満足する配合を確認した。試験結果を図 7-1-2 に示す。

### (6) 施工試験（未固結試料およびコア試料の強度）

セメントミルクは、根固め体積の 150% 注入し、セメントミルク含有率は 67% を目指した。原位置での施工品質確認のため、杭施工直後の未固結試料採取と固化後のコア試料採取を行った。試験結果を表 7-1-1 に示す。未固結強度は平均で 21.8N/mm<sup>2</sup> コア強度は平均 17.2N/mm<sup>2</sup> と目標強度を満たす結果であった。

### (7) 鉛直載荷試験

杭の先端支持力の確認のため、鉛直載荷試験を実施した。杭頭と先端の荷重沈下曲線を図 7-1-3 に示す。杭頭荷重について、摩擦を含めた設計上必要な支持力（7.9MN）以上の 8.1MN を載荷した時の杭頭沈下量は約 24mm であった。杭先端の荷重は約 3MN であり、降伏や極限に至っておらず、認定支持力の約 45% まで確認ができた。

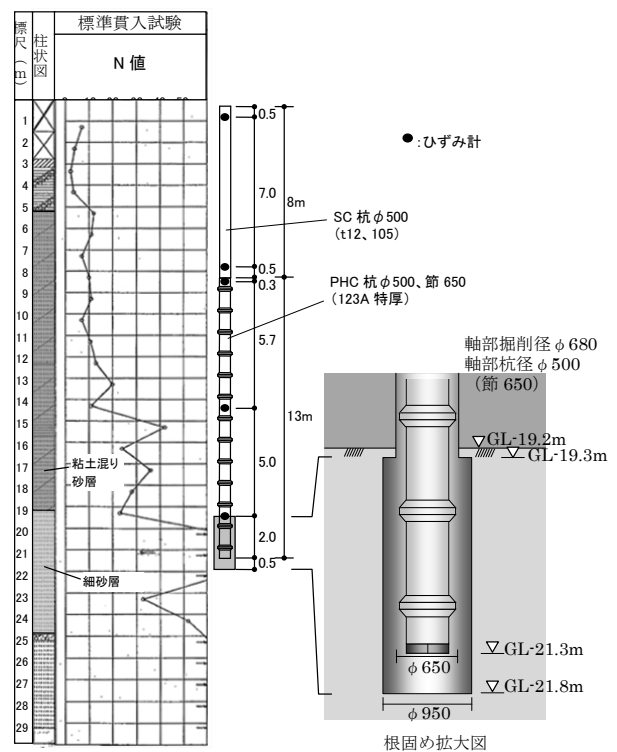


図 7-1-1 地盤と杭の概要

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2011、P349 図 2 を引用

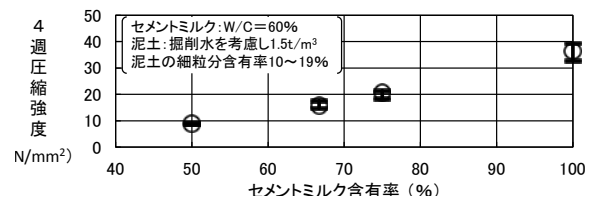


図 7-1-2 室内配合試験結果

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2011、P349 図 3 を引用

表 7-1-1 施工試験結果

試験の種類	事前施工試験								
	目標	施工方法	未固結試料			コア試料			
	強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ソイルセメント中のセメント注入回数 (%)	根固め部の体積に対するセメント注入率 (%)	一軸圧縮強度 (材令 4W) (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (t/m <sup>3</sup> )	採取深度 (GL-m)	一軸圧縮強度 (材令 4W) (N/mm <sup>2</sup> )	単位体積重量 (t/m <sup>3</sup> )	
結果	17.0	67	2回	150	20.1 21.0 21.8 24.3	1.90 1.87 1.88	19.9 20.6 21.2	15.8 18.6 17.2	1.93 1.93 1.84

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2011、P350 表 2 を引用

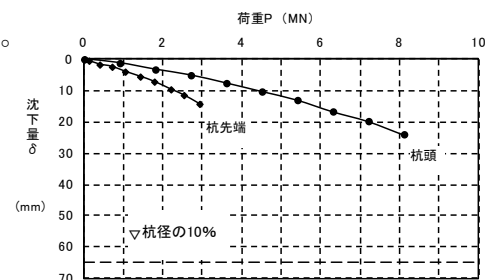


図 7-1-3 鉛直載荷試験結果

技術報告集第 8 巻、第 38 号、2012 年 2 月、P110 図 9 を引用

## 7.2 事例 2

### (1) 品質調査・試験

室内配合試験、施工試験（コア試料の強度）、鉛直載荷試験

### (2) 品質調査・試験の実施理由

杭先端地盤の細砂を用いたソイルセメントの強度確認のために室内配合試験を、根固め部の出来形調査のために施工試験（未固結試料およびコア試料の強度）を、支持力確認のために鉛直載荷試験を行った。

### (3) 施工地盤

施工場所・地盤 : 東京都・図 7-2-1 参照

杭先端地盤 : 細砂(細粒分含有率:11.2%)

### (4) 杭概要

杭径・杭長・本数 :  $\phi 600 \cdot 48\text{m} \cdot 180$  本

掘削深度 : GL-51.7m

掘削径 : 軸部 680mm、拡大部 950mm

### (5) 室内配合試験

GL-49~52m までの杭先端地盤近傍地盤を対象に、ソイルセメントを作製し、目標強度  $14\text{N}/\text{mm}^2$ （必要強度  $14\text{N}/\text{mm}^2$ 、余裕係数 1.0）を満足する配合を確認した。試験結果を図 7-2-2 に示す。

### (6) 施工試験（コア強度確認）

セメントミルクは、根固め体積の 150% 注入し、セメントミルク含有率は 60% を目指した。原位置での施工品質確認のため、ソイルセメント固化後にコア試料採取を行った。試験結果を表 7-2-1 に示す。コア強度は  $10.1 \sim 27.5\text{N}/\text{mm}^2$  で平均  $16.1\text{N}/\text{mm}^2$  であり、目標強度  $14\text{N}/\text{mm}^2$  を満たす結果となった。

### (7) 鉛直載荷試験

杭の先端支持力の確認のため、鉛直載荷試験を実施した。杭頭と先端の荷重沈下曲線を図 7-2-3 に示す。摩擦を含めた設計上必要な杭頭荷重 ( $9.44\text{MN}$ ) を載荷した時の杭頭沈下量は約  $64\text{mm}$  であった。杭先端の荷重は約  $2\text{MN}$  であり、降伏や極限に至っておらず、先端認定支持力の約 30% まで確認ができた。

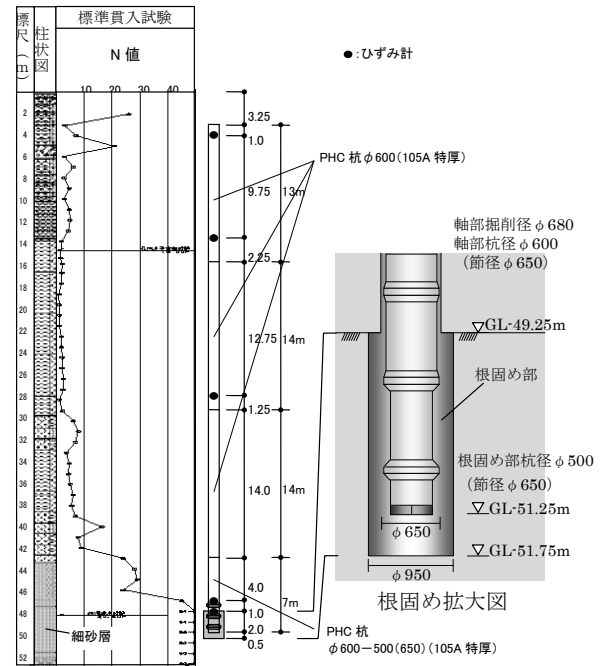


図 7-2-1 地盤と杭の概要

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2011、P351 図 1 を引用

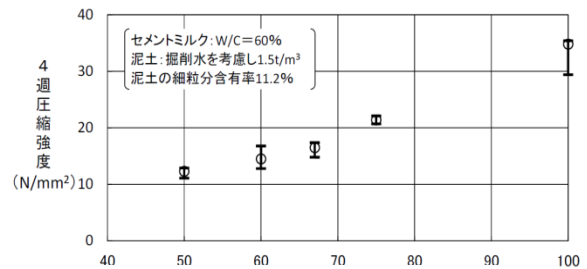


図 7-2-2 室内配合試験結果

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2011、P351 図 2 を引用

表 7-2-1 施工試験結果

事前施工試験								
試験の種別	目標		施工方法		コア試料			
	強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )	ソイルセメント中のセメントミルク含有率 (%)	根固め部の注入回数	根固め部の体積に対するセメントミルク注入率 (%)	採取深度 (GL-m)	一軸圧縮強度 (材令 27 日) ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )		
結果	14.0	60	1 回	150	49.75	27.5	平均 1.97	
					51.27	10.1		16.1
					51.65	10.7		2.02

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2011、P352 表 2 を引用

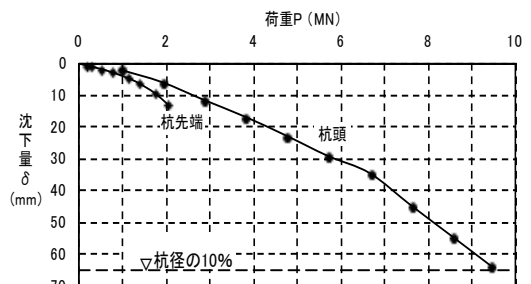


図 7-2-3 鉛直載荷試験結果

技術報告集第 8 巻、第 38 号、2012 年 2 月、P112 図 13 を引用

### 7.3 事例3

#### (1) 品質調査・試験

室内配合試験、施工試験（コア試料強度）、鉛直載荷試験

#### (2) 品質調査・試験の実施理由

泥質砂岩を用いたソイルセメントの強度確認のために室内配合試験を、根固め部の出来形調査のために施工試験（コア試料の強度）を、支持力確認のために鉛直載荷試験を行った。

#### (3) 施工地盤

施工場所・地盤：神奈川県・図 7-3-1 参照

杭先端地盤：泥質砂岩（細粒分含有率 19.5%）

#### (4) 杭概要

杭径・杭長・本数：φ600・32m・約480本

掘削深度：GL-32m

掘削径：軸部680mm、拡大部950mm

#### (5) 室内配合試験

根固め部は砂礫土と泥質砂岩にまたがって位置するため、それぞれの地層の長さ比に合わせて、それぞれの土の体積を配分した泥水を作製した。これにセメントミルクを混合して試料を作製した。図 7-3-2 にソイルセメント中のセメントミルク含有率と4週圧縮強度の関係を記す。

#### (6) コア強度確認

セメントミルクは、根固め部体積の200%注入し、セメントミルク含有率67%を目指した。根固め部の目標強度を約20N/mm<sup>2</sup>（必要強度14N/mm<sup>2</sup>、余裕係数1.4）とし、原位置での品質確認として、施工1週間後に根固め部のコア採取（直径約64mm）を行い、標準水中養生した供試体の4週圧縮強度試験を行った。その結果を表7-3-1に示す。31~40N/mm<sup>2</sup>とばらつきはあるが平均36.5N/mm<sup>2</sup>であり、目標を満足する結果となった。

#### (7) 鉛直載荷試験

鉛直載荷試験による杭頭と先端の荷重沈下量曲線を図7-3-3に示す。杭先端荷重は沈下量約10mmで約10MNで降伏や極限に至っておらず杭の閉鎖断面積当たり約30MN/m<sup>2</sup>、掘削断面積当たり約14MNで認定支持力以上の支持力が確認できた。

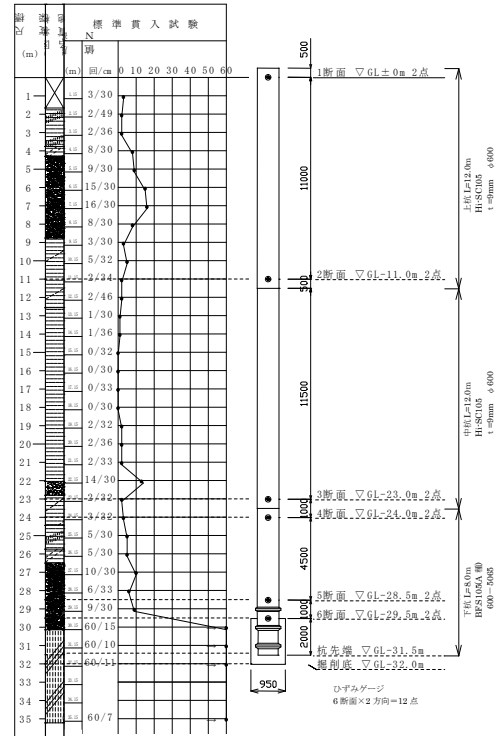


図 7-3-1 地盤と杭の概要

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2009、P591 図1を引用

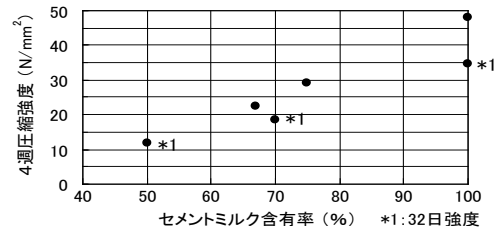


図 7-3-2 室内配合試験結果

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2009、P592 図3を引用

表 7-3-1 施工試験結果

採取深度	一軸圧縮強度	
	材令28日	平均
GL-29.6	39.6	36.5
GL-29.8	38.1	
GL-30.1	39.0	
GL-30.4	35.2	
GL-30.6	33.7	
GL-30.9	36.3	
GL-31.3	31.7	
GL-31.5	36.3	
GL-31.7	39.2	
GL-31.9	35.5	

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2009、P592 表3を引用

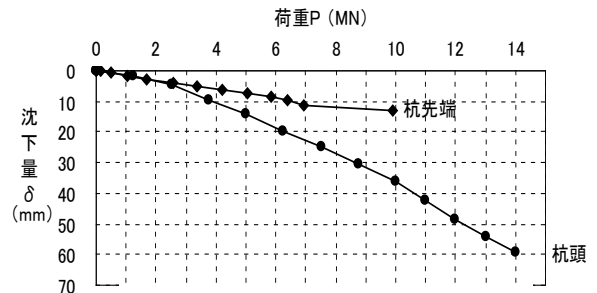


図 7-3-3 鉛直載荷試験結果

技術報告集第8巻、第38号、2012年2月、P109 図5を引用

## 7.4 事例4

### (1) 品質調査・試験

粒度分析、室内配合試験、施工試験（未固結試料およびコア試料の強度）

### (2) 品質調査・試験の実施理由

根固め部の品質管理に関する基礎資料を得るため、研究的な位置づけで各調査を行った。主にコア強度と室内配合試験や未固結試料の強度との関係に着目した。

### (3) 施工地盤

施工場所・地盤：神奈川県・図7-4-1 参照  
杭先端地盤：砂質土

（細粒分含有率約10～30%）

### (4) 杭概要

掘削深度・根固め長・本数：

約GL-10m～-17m・2.1m・約640本

掘削径：900mm（拡大掘削無し）

### (5) 室内配合試験

根固め液と泥土を混合攪拌して試料を作製し圧縮試験を行った。泥土は支持層土と掘削液を混合作製した（単位体積重量 $15\text{kN/m}^3$ ）。試験結果を図7-4-2に示す。目標強度を満足する混入率は60～75%以上となった。

### (6) 施工試験（未固結試料採取）

根固め液を規定量（根固め部体積の80%）の1.0倍、1.5倍で施工試験後、根固め部より未固結試料を採取し、圧縮試験を行った。その結果を図7-4-3に示す。28日強度は目標強度を概ね満足した。

### (7) コア強度確認

先端深度付近のコア試料の28日強度の深度方向分布を図7-4-4に示す。深度方向に強度が増加する傾向を確認できる。杭先端以深では目標強度を満足することが確認できる。未固結試料とコア試料の圧縮強度を表7-4-1に示す。試験位置①を除き、未固結試料、コア試料、根固め液の順に強度が大きくなり、コア強度は未固結強度の約1.5倍を示した。\*

\* 日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2011、P360 文章 右段 4～6行を引用

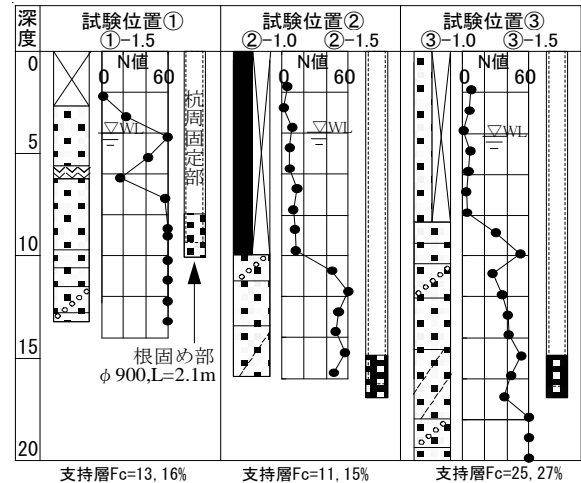


図7-4-1 地盤と杭の概要

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2011、P359 図1を引用

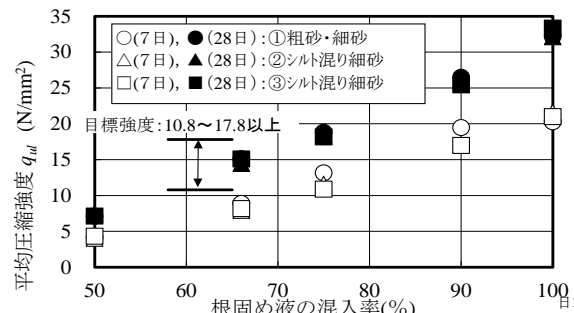


図7-4-2 室内配合試験結果

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2011、P360 図3を引用

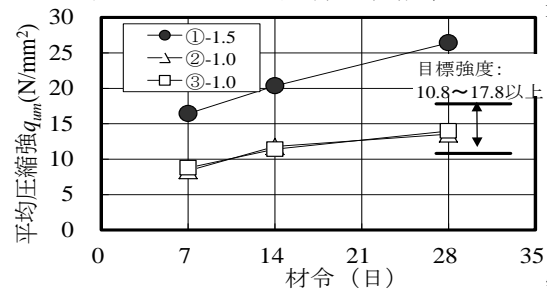


図7-4-3 未固結試料の強度

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2011、P360 図6を引用

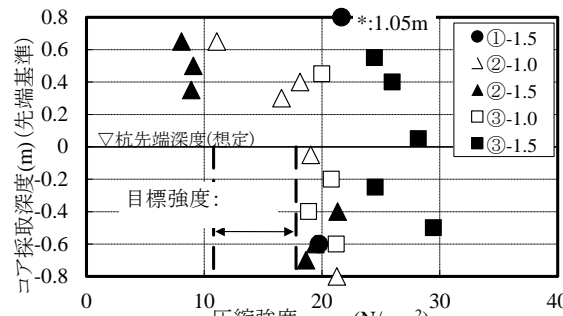


図7-4-4 コア強度の深度分布

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2011、P360 図7を引用

表7-4-1 圧縮強度の比較

試験体名	根固め液	未固結試料	コア試料 <sup>*1</sup>	目標強度
①-1.5	32.5	26.4	19.7 <sup>*2</sup>	17.8
②-1.0	34.9	13.5	20.1	13.8
②-1.5		-	19.8	
③-1.0		13.9	20.3	
③-1.5	31.4	-	27.4	10.8

\* 1: 想定杭先端以深の平均値, \* 2: 35日強度 単位: N/mm<sup>2</sup>

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2011、P360 表4を引用

## 7.5 事例5

### (1) 品質調査・試験

施工試験（未固結採取およびコア試料の強度）

### (2) 品質調査・試験の実施理由

掘削深度 50m を超える大深度の未固結試料およびコア試料採取の可否と強度確認を目的とした。

### (3) 施工地盤

施工場所・地盤：東京都、図 7-5-1

杭先端地盤：細砂

### (4) 杭概要

掘削深度：GL-52.1m

杭本数：63本

掘削径：軸部 1,030mm

拡大部 1,400mm

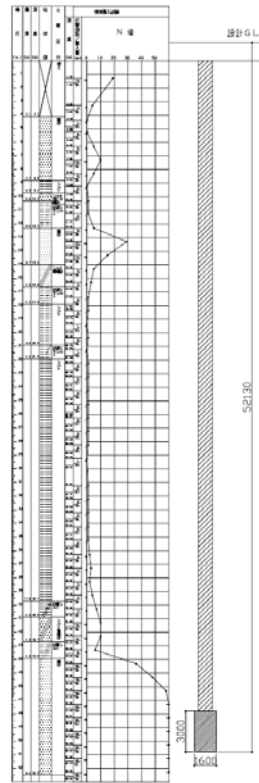


図 7-5-1 地盤概要

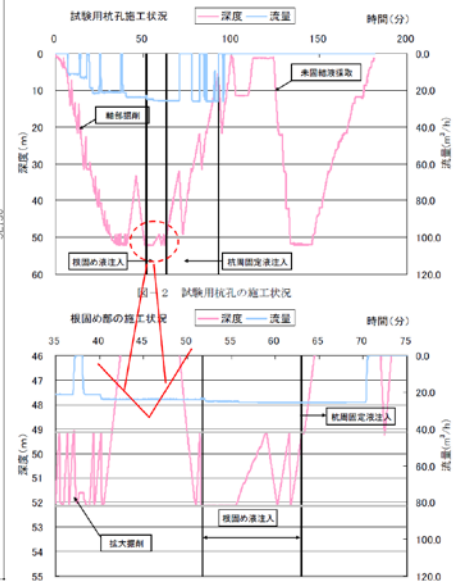


図 7-5-2 施工状況

### (5) 未固結試料採取

セメントミルクは、根固め部体積の 100% 注入した。試験用杭孔の施工完了後、引き上げたロッドの先端に試料採取装置を取り付け、未固結試料を採取した。未固結試料の 1 週および 4 週圧縮強度と試料密度の関係を図 7-5-3 に示す。根固め部から採取した未固結試料の 1 週強度は平均  $21.1\text{N/mm}^2$ 、4 週強度は  $27.4\sim 33.6\text{N/mm}^2$  で平均は  $30.0\text{N/mm}^2$ 、標準偏差は 1.93 であり、個々のデータのばらつきが少ない結果であった。また、4 週強度の 1 週強度に対する比は 1.42 であり、供試体 No. 2 (1 週強度、図 7-5-3 中○印) の  $16.5\text{N/mm}^2$  が特異な値として除外した場合の 4 週強度の 1 週強度に対する比は 1.28 であった。これらのことから、当該地区の細砂層であれば、4 週強度の推定として、1 週強度の 1.3~1.4 倍程度であると予想し、今後の品質管理に適用できる可能性が考えられる。

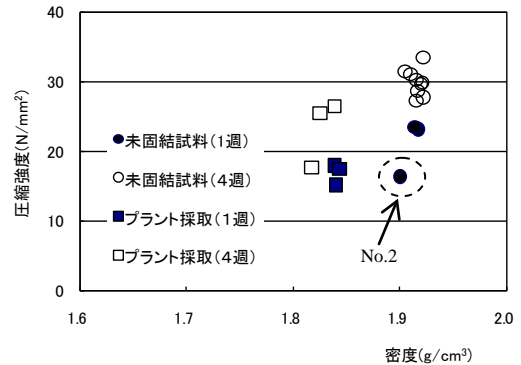


図 7-5-3 未固結試料の圧縮強度

### (6) コア強度確認

根固め部のコア強度を確認するために、未固結試料採取後、ガス管を約 20m 程度挿入した。ガス管挿入から 12 日後に、挿入しておいたガス管の内側にコア抜き用のロッドを挿入し、ガス管を掘削ガイドとしてコア抜きを行った。しかし、杭先端部に達しても根固め部と考えられる試料が採取できなかった。これは、コアボーリングの孔曲りが生じた可能性が考えられる。コア抜きの深度が長尺となる場合には、①曲がっても良いように径の大きい杭を対象にする、②剛性の大きいロッドを用いる、未固結試料採取とコア抜きは別孔で実施する、などの対策が必要であると考えられる。

## 7.6 事例 6

### (1) 品質調査・試験

施工試験(未固結試料およびコア試料の強度)

### (2) 品質調査・試験の実施理由

根固め部の品質管理に関する基礎資料を得るため、研究的な位置づけで行った。主にコア強度と未固結試料の強度との関係に着目した。

### (3) 施工地盤

施工場所 : 栃木県  
 施工地盤 : 図 7-6-1 参照  
 杭先端地盤 : 粘土混じり砂礫

### (4) 杭概要

杭径・杭長 :  $\phi 500 \cdot 16\text{m}$   
 掘削深度 : GL-19.15m  
 掘削径 : 軸部 650mm、根固め部 650mm

### (5) 未固結試料採取

セメントミルクは、根固め部体積の 200% 注入した。試験用杭孔の施工完了後、引き上げたロッドの先端に試料採取器を取り付け、未固結試料を採取した。未固結試料を  $\phi 50 \times 100$  のブリーディング袋に詰める際に、混入している礫や土塊を取り除き、3 体の試験体を作製した。

圧縮試験の結果を表 7-6-1 に示す。4 週強度は、 $26.13 \sim 27.35\text{N/mm}^2$ 、平均  $26.91\text{N/mm}^2$  で、ばらつきは少なかった。根固め液(W/C=65%)のプラント採取強度は  $31.8\text{N/mm}^2$  であった。

### (6) コア強度確認

コア採取した杭は、杭周固定液が約 3m ブリーディングで低下したため、杭頭不良と判断して施工後 3 日目に引き抜きメーカーが持ち帰った杭である。杭を地上に寝かせた状態で、杭中空部で硬化した根固め部からコア採取した。圧縮試験の結果を表 7-6-2 に示す。4 週強度は、 $14.84 \sim 34.23\text{N/mm}^2$  とばらつきが大きかった。強度の小さい試験体には土塊が混入していた。なお、根固め部の強度の目標値としては、杭メーカーの見解で  $14\text{N/mm}^2$  とした。

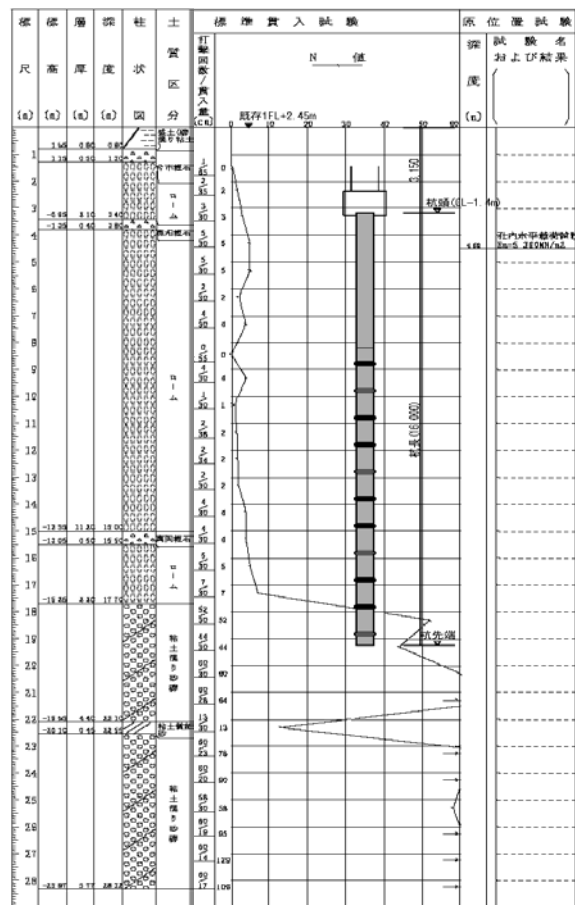


図 7-6-1 地盤と杭の概要

表 7-6-1 未固結試料の圧縮強度

No.	高さ mm	直径 mm	密度 g/cm <sup>3</sup>	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	平均 N/mm <sup>2</sup>
1	100	50	1.86	27.35	26.91
2			1.86	26.13	
3			1.88	27.25	

表 7-6-2 コア試料の圧縮強度

No.	高さ mm	直径 mm	密度 g/cm <sup>3</sup>	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	形状補正 N/mm <sup>2</sup>	平均 N/mm <sup>2</sup>
1	88.2	54.5	2.04	25.25	24.48	27.00
2	87.9	54.5	2.10	35.32	34.23	
3	90.0	54.5	2.14	22.93	22.29	
4	84.0	54.5	2.14	17.70	17.05	-
5	83.0	54.5	2.04	15.43	14.84	

## 7.7 事例7

### (1) 品質調査・試験

コア試料の強度

### (2) 品質調査・試験の実施理由

支持層の土丹と根固め部のソイルセメントの攪拌状況を確認する目的で調査計画を立案した。別孔を用いた未固結試料は、地中障害になることから取りやめとなった。ただし、「本杭でもコアを抜いたあとに根固め強度以上のセメントミルクを充填することを条件」として、本杭を用いたコア採取を行う事になった。

### (3) 施工地盤

施工場所・地盤：神奈川県・図7-7-1 参照

杭先端地盤：土丹

### (4) 杭概要

掘削深度：GL-26.85m

杭概要：35本（内1本でコア採取） 掘削径：軸部 1,030mm・拡大部 1,400mm

### (5) コア強度確認

セメントミルクは、根固め部の100%注入した。根固め部の強度の目安値を約14N/mm<sup>2</sup>とし、原位置での品質の確認として、施工1週間後に根固め部のコア（直径約64mm）を採取し、標準水中養生後45日で圧縮強度試験を行った。その結果を表7-7-1に示す。コア強度は、9.9~23N/mm<sup>2</sup>とかなりばらつきが見られた。コアには支持層上部の礫が混入しており、礫とセメントミルクの境界面で破壊しているもの（表中黄色）は、根固め強度の目安値を下回っていた。左記以外の平均は19.2N/mm<sup>2</sup>であり、目標を満足していた。コア強度を評価する際、RQDや礫や泥の混入の有無を加味し適切に判断する必要がある。

表7-7-1 コア採取深度とコア寸法および圧縮強度

GL-m	材令(日)	径(mm)					断面積(mm <sup>2</sup> )	高さ(mm)			体積(cm <sup>3</sup> )	重量(g)	密度(g/cm <sup>3</sup> )	荷重(kN)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> )
		1	2	3	4	ave		1	2	ave						
24.45 ~ 24.57	45	63.7	63.8	64.1	64.1	63.9	3206.9	118.1	118.4	118.3	379.4	774.8	2.042	71.0	22.1	
25.34 ~ 25.48	45	64.4	64.3	64.5	64.4	64.4	3257.3	134.7	135.0	134.9	439.4	973.1	2.215	53.5	16.4	
25.56 ~ 25.69	45	64.4	64.4	64.0	64.2	64.3	3247.2	132.5	132.4	132.5	430.3	909.1	2.113	32.0	9.9	
25.87 ~ 25.98	45	64.6	64.6	64.6	64.5	64.6	3277.6	109.7	109.8	109.8	359.9	811.0	2.254	53.3	16.3	27,323
26.12 ~ 26.26	45	64.5	64.6	64.4	64.7	64.6	3277.6	128.8	128.9	128.9	422.5	946.8	2.241	33.5	10.2	
26.27 ~ 26.39	45	64.5	64.4	64.8	64.5	64.6	3277.6	131.5	131.4	131.5	431.0	1008.5	2.340	60.4	18.4	15,911
26.54 ~ 26.67	45	64.6	64.6	64.7	64.6	64.6	3277.6	123.3	123.9	123.6	405.1	957.0	2.362	63.6	19.4	16,972
26.73 ~ 26.86	45	64.6	64.6	64.6	64.6	64.6	3277.6	130.6	130.5	130.6	428.1	996.9	2.329	39.0	11.9	
26.92 ~ 27.05	45	64.6	64.7	64.5	64.6	64.6	3277.6	113.6	113.8	113.7	372.7	873.8	2.345	55.8	17.0	17,831
27.13 ~ 27.25	45	64.5	64.5	64.6	64.5	64.5	3267.4	119.2	119.0	119.1	389.1	892.6	2.294	68.5	21.0	
27.29 ~ 27.42	45	64.6	64.6	64.4	64.5	64.5	3267.4	107.7	108.0	107.9	352.6	814.6	2.311	75.3	23.0	22,671

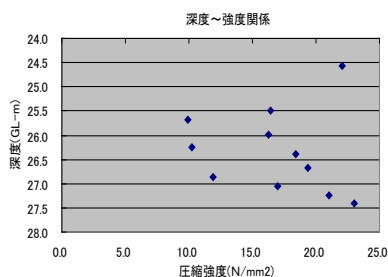


図7-7-2 コア強度と採取深度の関係

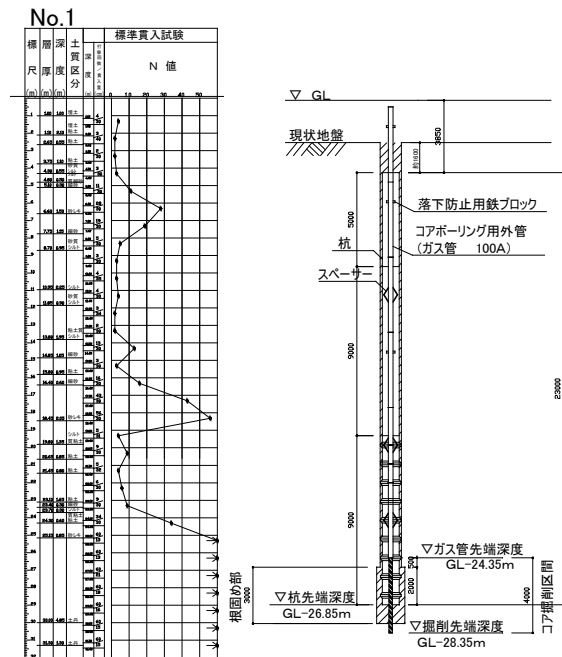


図7-7-1 地盤と杭の概要

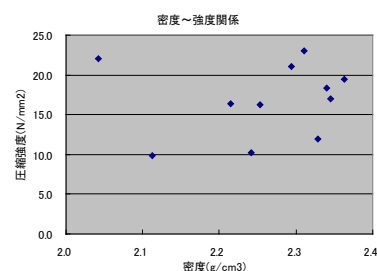


図7-7-3 コア強度と密度の関係

## 7.8 事例 8

### (1) 品質調査・試験

未固結試料採取（根固め部、杭周固定部のオーバーフロー）

### (2) 品質調査・試験の実施理由

根固め部の品質管理に関する基礎資料を得るため、研究的な位置づけで行った。また、杭周固定部の強度も確認した。

### (3) 施工地盤

施工場所 : 千葉県  
 施工地盤 : 図 7-8-1 参照  
 支持層 : 細砂

### (4) 杭概要

杭径・杭長 :  $\phi 600 \cdot 13\text{m}$   
 掘削深度 : FL-14.55m  
 掘削径 : 軸部 650mm  
 根固め部 800mm

### (5) 根固め部

セメントミルクは、根固め部体積の 100% 注入した。試験用杭孔の施工完了後、引き上げたロッドの先端に試料採取器を取り付け、未固結試料を採取した。未固結試料を  $\phi 50$  のブリーディング袋に詰める際に、混入している土塊は取り除き、3 体の試験体を作成した。

圧縮試験の結果を表 7-8-1 に示す。試験体の密度は  $1.77\text{g/cm}^3$ 、4 週強度は  $28.9 \sim 46.0\text{N/mm}^2$  と約  $17\text{N/mm}^2$  の強度差があった。根固め液 (W/C=65%) のプラント採取強度の平均は  $36.5\text{N/mm}^2$  である。なお、根固め部の強度の目標値としては、杭メーカーの見解で  $14\text{N/mm}^2$  とした。

### (6) オーバーフロー

杭建て込み後、杭孔からあふれた杭周固定液を採取した。未固結試料を  $\phi 50$  のブリーディング袋に詰める際に、混入している土塊は取り除き、3 体の試験体を作製した。圧縮試験の結果を表 7-8-2 に示す。試験体の密度は  $1.52\text{g/cm}^3$ 、4 週強度は  $1.0 \sim 1.5\text{N/mm}^2$  であった。管理強度は  $0.5\text{N/mm}^2$  である。

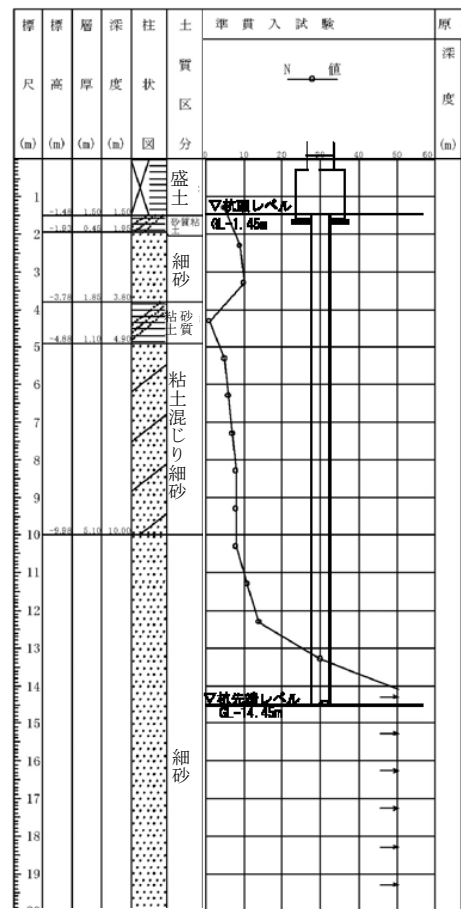


図 7-8-1 地盤と杭の概要

表 7-8-1 根固め部の圧縮強度

No.	高さ mm	直径 mm	密度 $\text{g/cm}^3$	圧縮強度 $\text{N/mm}^2$	平均 $\text{N/mm}^2$
1	99.0	50	1.77	37.8	37.6
2	98.5		1.78	28.9	
3	99.0		1.77	46.0	

表 7-8-2 オーバーフローの圧縮強度

No.	高さ mm	直径 mm	密度 $\text{g/cm}^3$	圧縮強度 $\text{N/mm}^2$	平均 $\text{N/mm}^2$
1	97.0	50	1.52	1.0	1.27
2	97.0		1.52	1.5	
3	97.0		1.51	1.3	



## 7.9 事例9

### (1) 品質調査・試験

未固結試料採取

### (2) 品質調査・試験の実施理由

根固め部の強度確認のため、未固結試料採取を行った。養生条件を工夫して強度発現の早期把握を試み、杭施工工程に反映させた。

### (3) 施工地盤

施工場所・地盤：北海道札幌市・図7-9-1参照

杭先端地盤：砂礫

### (4) 杭概要

杭径：節杭(500-650φ, 700-900φ)

杭長：10m

本数：72本

掘削深度：GL-12m

掘削径：軸部680~930mm

拡大部780~1,300mm

### (5) 施工試験（未固結試料採取）

施工試験は、根固め液の注入量を掘削体積の1.0倍として別孔で実施した。根固め部強度を早期材令で判定する必要があったので、根固め部から採取した未固結試料は養生温度20℃の普通養生した場合と養生温度30~80℃(80℃は1日、3日以降30℃)の特殊養生とした場合を検討した。目標強度は、特殊養生の材令3~5日で12.5N/mm<sup>2</sup>に設定したが、表7-9-1に示すように材令7日でようやく目標強度を上回る結果であり、また普通養生では圧縮強度がほとんど増加しなかった。この結果から、本杭では根固め注入量を掘削体積の1.5倍とすることにした。

### (6) 本杭の施工（未固結試料採取）

本杭の根固め部から採取した未固結試料についても普通養生と特殊養生の供試体を作成した。本杭の目標強度は普通養生で14N/mm<sup>2</sup>である。試験結果を図7-9-2に示す。材令7日で目標強度を上回る圧縮強度であり、材令28日で23.7N/mm<sup>2</sup>に達した。

なお、施工試験時に採取した試料を材令28日で圧縮試験してみた。圧縮強度は、普通養生で14.3N/mm<sup>2</sup>、特殊養生で13.3N/mm<sup>2</sup>であり、特殊養生は圧縮強度の長期的増加が少なく、28日強度も普通養生より低い値であった。また、結果的には、根固め注入量が掘削体積の1.0倍でも目標強度は確保されていたことが分かる。

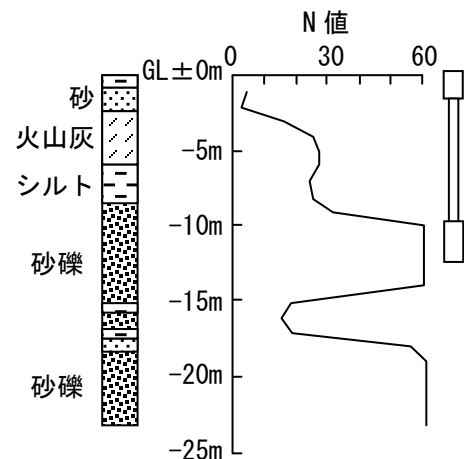


図7-9-1 地盤と杭の概要

表7-9-1 施工試験時採取試料の圧縮強度

材令	3日	7日
普通養生の圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	9.1	9.7
特殊養生の圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	10.7	12.6

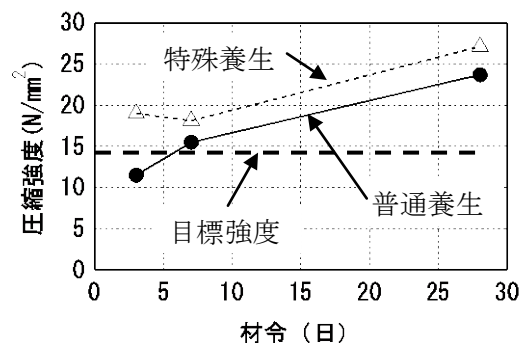


図7-9-2 本杭施工時採取試料の圧縮強度

## 7.10 事例 10

### (1) 品質調査・試験

杭周固定液および杭周固定部のソイルセメントの比重試験。杭周固定部のソイルセメントの未固結試料供試体による一軸圧縮試験。

### (2) 品質調査・試験の実施理由

高支持力杭の根固め部のソイルセメント強度の早期判定を念頭に置いて、促進養生試験の適用性を確認するための第一段階として、強度の低い杭周固定部のソイルセメントを対象にパイロット試験として自主的に実施した。

### (3) 施工地盤

施工場所・地盤：神奈川県・図 7-10-1 参照

杭先端地盤：砂礫

試験実施時期：2010年1月

### (4) 杭概要

掘削深度：GL-18.2m

杭本数：65本

掘削径：軸部 1,030mm、拡大部 1,400mm

### (5) 比重試験

杭周固定液の設計比重 1.744 (W/C=60%) に対し、マッドバランスによる測定比重は 1.70 であった (なお、杭周固定液の注入量は、ストレート部で孔内体積の 10%、節部で同 20%)。

### (6) 一軸圧縮強度

現場で造成されたソイルセメントの強度を材令 28 日で確認するのでは、施工後の経過日数が長く、品質管理としては不十分である。そこで、図 7-10-2 に示す温水養生槽 (JIS A 1805 準拠) を用いた促進養生試験を適用し、杭周固定部のソイルセメント強度の早期判定を試みた。ここでは 55°C の温水養生法により、図 7-10-3 に示すフローに従い材令 1 日 (24 時間) の促進養生を実施し、一軸圧縮試験に供した。試験結果を図 7-10-4 に示す。標準養生とした供試体の 1 日強度が  $q_u=0.5 \text{ N/mm}^2$  程度であったのに対し、促進養生の 1 日強度は  $q_u=3 \text{ N/mm}^2$  程度まで上昇した。「建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針」(日本建築センター) に準じて算定した合格判定値  $X_L (=F_c+k\cdot\sigma)$  に対し、測定値はいずれも上回っており、合格と判定された。

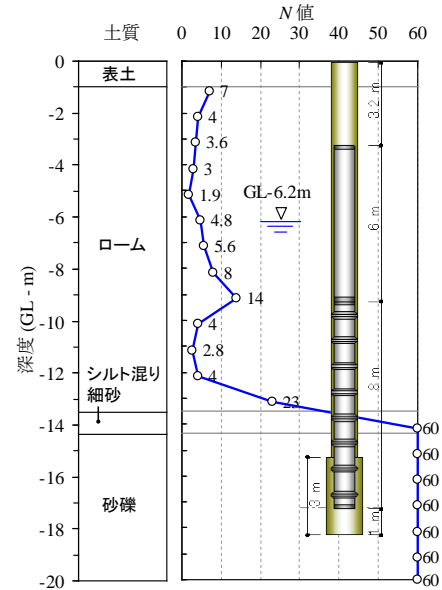


図 7-10-1 地盤と杭の概要

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2010、P657 図 1 を引用

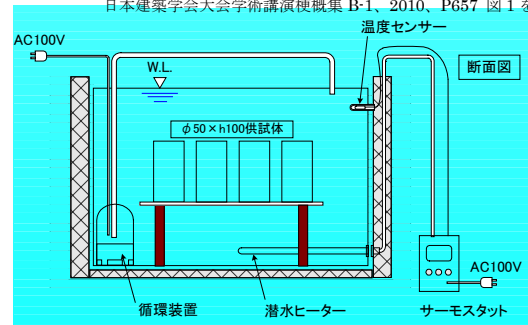


図 7-10-2 温水養生槽

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2010、P658 図 3 を引用

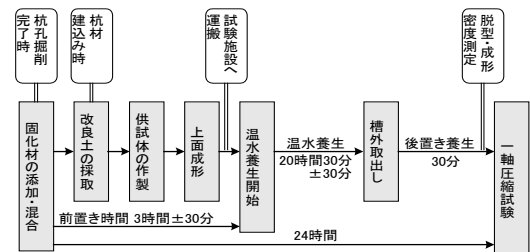


図 7-10-3 促進養生フロー

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2010、P657 図 2 を引用

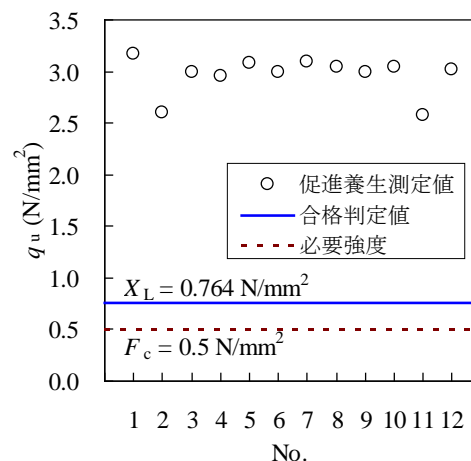


図 7-10-4 圧縮試験結果

日本建築学会大会学術講演梗概集 B-1、2010、P658 図 5 を引用

## 8. おわりに

本提案は、高支持力杭の根固め部の施工管理フローの基本的な枠組みを提案したものである。評定機関による審査を経て大臣認定を受けている高支持力埋込み杭工法の品質向上を図り、より良い杭を提供できるようにするため、施工品質を向上させる意志を形にしたものである。未整備であった施工管理方法を確立していくための一ステップを踏み出したところで、今後、さらに試験内容や評価方法などの細部の検討に期待したい。最後に、日建連の働きかけに賛同し、長期間のヒアリングや検討会に協力していただき、また、本提案については理解を示していただいた杭メーカー各社（高支持力杭を主体的に開発してきた全ての杭メーカー）に、深く感謝いたします。

### ヒアリング・検討会に出席していただき、本提案に理解を示していただいた杭メーカー （会社名五十音順）

旭化成建材株式会社

株式会社トーヨーアサノ

ジャパンパイル株式会社

日本高圧コンクリート株式会社

日本ヒューム株式会社

株式会社クボタ

J F E スチール株式会社

新日鐵住金株式会社

日本コンクリート工業株式会社

三谷セキサン株式会社

高支持力埋込み杭の根固め部の施工管理方法の提案

— より良い杭を実現するために —

平成 25 年 4 月発行

一般社団法人 日本建設業連合会 建築本部

〒104-0032 東京都中央区八丁堀 2-5-1 東京建設会館 8 階

TEL : 03-3551-1118 FAX : 03-3555-2463

© JAPAN FEDERATION OF CONSTRUCTION CONTRACTORS 2011

本誌掲載内容の無断転載を禁じます