

根固め部のソイルセメント強度確認のための技術資料

2019年 5月

一般社団法人 日本建設業連合会
一般社団法人 コンクリートパイル建設技術協会

根固め部のソイルセメント強度確認のための技術資料

| | |
|----------------------------|----|
| 1章 はじめに | 1 |
| 2章 根固め部の強度確認の必要性 | |
| 2.1 杭の支持力確保 | 3 |
| 2.2 根固め部の強度確認の法令上の扱い | 4 |
| 3章 未固結試料採取の実績調査 | |
| 3.1 計画チェックシートによる未固結試料採取の実績 | 5 |
| 3.2 未固結試料採取の追加調査 | 5 |
| 3.3 未固結試料のデータ分析 | 6 |
| 4章 根固め部のソイルセメントの必要強度 | |
| 4.1 必要強度の設定 | 11 |
| 4.2 必要強度の算定法 | 11 |
| 4.3 必要強度の算定結果 | 12 |
| 5章 未固結試料採取の計画 | |
| 5.1 未固結試料採取施工の位置付け | 15 |
| 5.2 未固結試料採取のための施工試験のポイント | 16 |
| 5.3 根固め部強度の判断 | 22 |
| 6章 未固結試料採取関連のトラブル事例 | |
| 6.1 トラブル事例作成の目的とトラブル要因 | 26 |
| 6.2 トラブル事例 | 27 |
| 6.3 トラブルとその要因のまとめ | 31 |
| 添付資料 | |
| 未固結試料採取のための施工試験計画書(例) | |

1章 はじめに

これまでの根固め部の品質管理は、セメントミルク原液をプラントから採取し、密度や強度を確認する、間接的な方法で行われていた。しかし、最近では、築造後の地中深い原位置の根固め部から、未固化状態のソイルセメントを採取する方法により、現物の出来ばえや強度を確認する、直接的な方法が行われてきている。(一般社団法人(以下、一社))日本建設業連合会(以下、日建連)で2017年に実施した調査によると、施工試験等におけるこの方法の採用率は高まっており、直接的な強度確認の重要性が認識されつつある。

(一社)コンクリートパイル建設技術協会(以下、COPITA)集計の既製コンクリート杭の2017年施工法別出荷実績調査では、埋込み杭工法が99.1%を占めている。この工法は主として杭先端に根固め部を設け、これを拡大することで支持力を得る工法である。この根固め部の役割と重要度が以前に比べて増していることから、それに伴う根固め部の施工管理の重要度も高まるとともに、施工管理方法の質の向上も求められてきている。

埋込み杭の品質管理については、通常、プロセス管理を実施しているが、この方法では根固め部の強度を直接的には確認できていない。直接的に確認できる方法としては「未固結試料採取による管理」が適している。この方法は、2013年に日建連発行の「高支持力埋込み杭の根固め部の施工管理方法の提案」¹⁻¹⁾で示され、2016年に日建連発行の「既製コンクリート杭施工管理指針」¹⁻²⁾で推奨している。また、根固め部のコア強度と未固結試料の材齢28日の固化強度は相関性が高く施工管理として適しているとの報告¹⁻³⁾もある。

また、国土交通省監修の「2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書」¹⁻⁴⁾では、新たに施工管理に適切な強度確認方法を設定することの必要性が明記されており、支持力確保のための前提条件が施工指針遵守のプロセス管理から出来形管理としての強度管理に移行してきている。

これらの状況を鑑み、日建連とCOPITA共働の専門部会では、根固め部の未固結試料採取を円滑に実施できるよう、今後の方策の検討を行った。未固結試料採取の実績については、専門部会参加メンバーの追加調査で199例の未固結試料の詳細なデータを収集し検討した。未固結試料の必要強度は、杭メーカー及び杭工法ごとに指標が設定されており客観的に評価できなかったが、専門部会独自の統一した検討条件による評価法を定めることで、共通の指標で比較評価できるようにした。強度不足時の対応については、強度不足の原因別にトラブル事例集を作成し、懸念の解消を図った。以上の対応により、未固結試料採取を円滑に実施できる体制が概ね整備されたものと考えられる。

本書では、元請の杭担当技術者や杭メーカーの杭工事管理者が未固結試料採取の計画から実施まで円滑に行えるよう、5章に「未固結試料採取の計画」を、6章に「未固結試料採取関連のトラブル事例」を、添付資料に「未固結試料採取のための施工試験計画書(例)」を掲載した。これらの資料が、元請や杭メーカーはもとより、設計者や工事監理者などの関係者の参考となり、埋込み杭の品質確保・向上につながれば幸いである。

【参考文献】

- 1-1) 地盤基礎専門部会：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 - , 一般社団法人日本建設業連合会, 2013.3
- 1-2) 施工部会 既製コンクリート杭施工管理指針策定委員会：既製コンクリート杭施工管理指針 不具合の再発を防止するために, 一般社団法人日本建設業連合会, 2016.3
- 1-3) 木谷好伸, 平川泰行, 加倉井正昭, 桑原文夫：埋込み杭の根固め部の圧縮強度（その3 未固結採取試料とプラント強度）, 日本建築学会学術講演梗概集, pp.631-632, 2016.8
- 1-4) 国土交通省国土技術政策総合研究所, 国立研究開発法人建築研究所監修：2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書, 一般財団法人建築行政情報センター, 一般財団法人日本建築防災協会編集, 2015.6

2章 根固め部の強度確認の必要性

2.1 杭の支持力確保

杭の先端支持力 R_p は以下の支持力式で算定できるとしている。

$$R_p = \alpha \cdot \bar{N} \cdot A_p$$

この式中の記号と施工管理のポイント（図-2.1）を関連させると、以下のようになる。

\bar{N} は支持地盤の強度の指標であるN値で、「支持地盤」に対応し、 A_p は根固め部の形状に関連した杭先端断面積で「根固め部の形状」に対応している。 α は杭と根固め部の一体性や根固め部の強度に関連している項目で、「根固め部のソイルセメントの圧縮強度」と「杭の根固め部への定着」に対応している。

ここで「支持地盤」、「根固め部の形状」、「杭の根固め部への定着」については、通常の施工管理項目に含まれる項目であるが、「根固め部のソイルセメントの圧縮強度」については、通常の施工管理では直接確認ができない項目である。

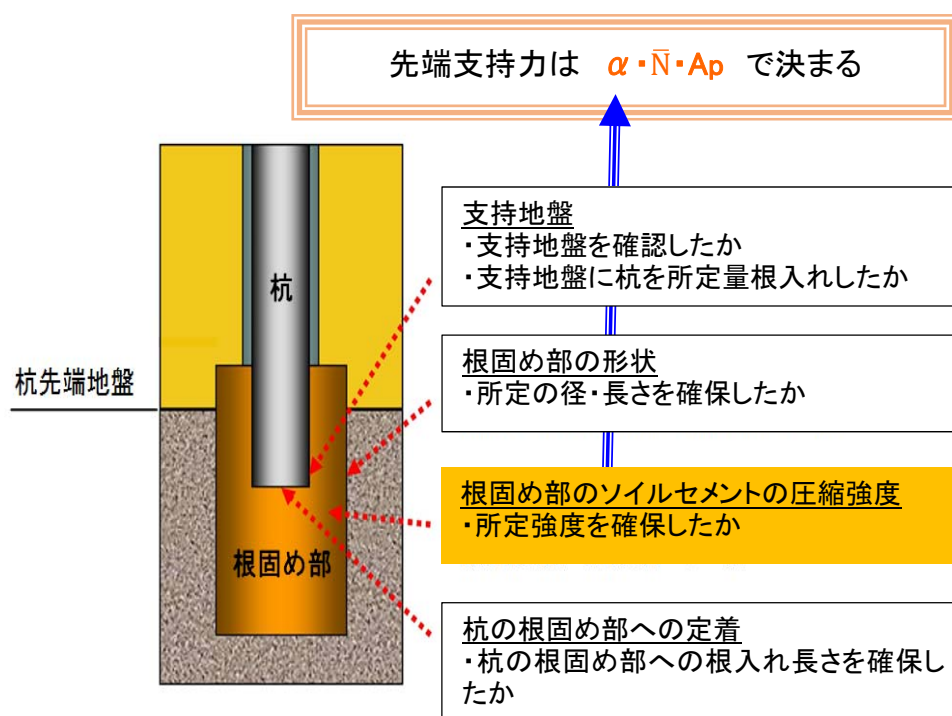


図-2.1 拡大根固め部の施工管理のポイント²⁻¹⁾に追記

一方、根固め部の強度と杭の先端支持力の関係を載荷試験と計算で検討した既往の文献²⁻²⁾によると、根固め部の強度が 10 N/mm^2 では、杭の支持力は低下傾向にあり、 5 N/mm^2 を下回ると杭の支持力が $1/3$ に低下するとの報告がある。

以上より、「根固め部のソイルセメントの圧縮強度」は支持力式の α に関係し、杭の支持力に直結することから、杭の先端支持力確保のためには施工時の管理項目として必要な項

目となっている。

2.2 根固め部の強度確認の法令上の扱い

建築基準法やその関連法令、国土交通省告示等における建築物の構造に関する規定について解説した国土交通省監修の「2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書」²⁻³⁾には以下のように示されている。

「くい先端部付近に攪拌して根固め部が築造される基礎ぐい工法（置換工法は除く）では、根固め部が所定の圧縮強度と形状寸法（掘削長さ、掘削径）を有することが計算式の適用条件であることから、地盤条件に応じた（特に、くい先端付近の地盤に粘性土もしくは有機質土が混入するおそれが有る場合）、強度発現状況を確認できる適切な施工管理方法を適切に設定する必要がある」

以上のように、法令上の扱いでも根固め部のソイルセメントの圧縮強度は支持力確保の前提条件となっている。

【参考文献】

- 2-1) 地盤基礎専門部会：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 - ，一般社団法人日本建設業連合会，2013.3
- 2-2) 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
- 2-3) 国土交通省国土技術政策総合研究所，国立研究開発法人建築研究所監修：2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書，一般財団法人建築行政情報センター，一般財団法人日本建築防災協会編集，2015.6

3章 未固結試料採取の実績調査

3.1 計画チェックシートによる未固結試料採取の実績

日建連の杭工事（既製コンクリート杭）計画チェックシートの集計により、未固結試料採取の実績を検討・分析した（図-3.1 参照）。2016年3月～2017年2月に集計した628件のうち、未固結試料を採取したのは357件であり、57%の実施が確認され、直接的な強度確認の重要性が認識されつつある状況となっている。

3.2 未固結試料採取の追加調査

上記収集データの中から、専門部会の5社の(株)大林組、鹿島建設(株)、清水建設(株)、大成建設(株)、(株)竹中工務店（表記は50音順）が施工した物件で、未固結試料採取データを提出して頂いた杭メーカー5社（(株)トーヨーアサノ、ジャパンパイル(株)、日本コンクリート工業(株)、日本ヒューム(株)、三谷セキサン(株)）の199物件で追加の詳細調査を実施した。未固結試料採取の施工実績には、最大掘削深さ72m、最大根固め径1950mmの大深度、大径の杭も含まれ、現在の設備や技術で、大深度・大径の採取が可能であることが分かった。先端地盤種別については、砂質土、礫質土、粘性土と様々な地盤に適用されていることから、一般的な先端地盤種別であれば採取が可能であることが分かった。地盤の強度については、先端地盤の換算平均N値が最大値83であることから、一般的な強度の地盤であれば実施できることが分かった。杭工法については、主要な杭メーカー5社の主要な杭工法9工法が網羅されており、工法種別（プレボーリング工法、中掘り工法）、掘削種別（拡大掘削、ストレート掘削）を問わず採用できるといえる。

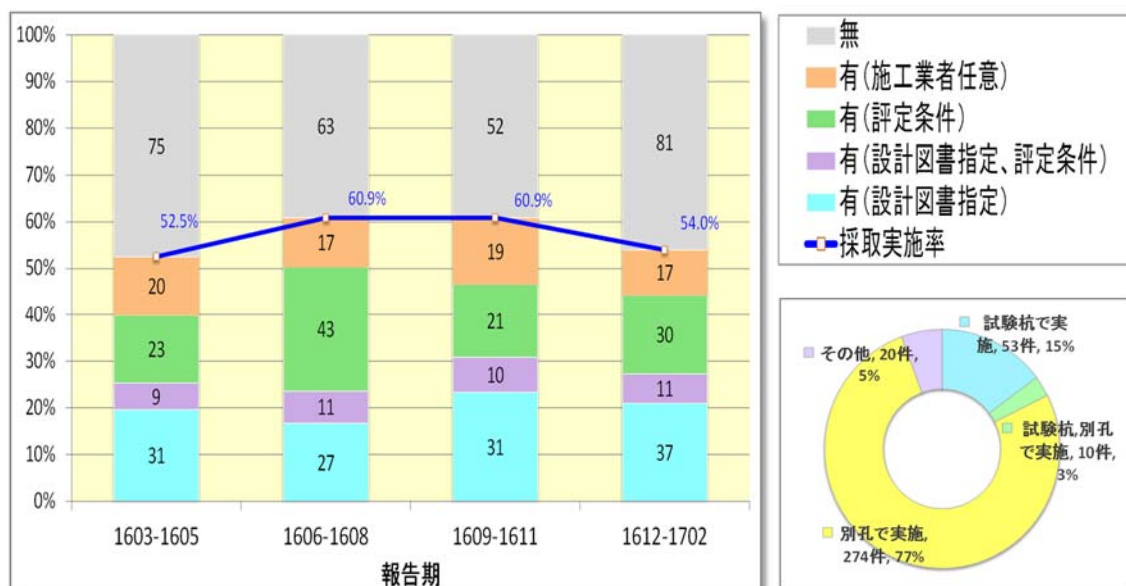


図-3.1 未固結試料の採取実施状況

なお、未固結試料採取器の外形寸法の関係から、杭の掘削径あるいは杭径の限界値は、プレボーリング工法で最小掘削径 500mm 程度、中掘り工法で最小杭径 700mm 程度となっているので、これ以上の掘削径や杭径で実施するよう検討する。

3.3 未固結試料のデータ分析

(1) 未固結採取試料の材齢 28 日強度

根固め部から採取した 199 件のソイルセメントの未固結試料の材齢 28 日の圧縮強度 (σ_{28}) の分布を図-3.2 に示す。データ数 199 件の平均値 (黒破線) は約 26 N/mm²、標準偏差 8.84 N/mm²、変動係数は 0.34 である。根固め部の必要強度の最大値が 20 N/mm² であることを考慮すると、データの 76% がその強度を上回っている。また、本試料の変動係数 0.34 は概ね一般的な地盤改良の管理基準程度 (0.3 程度が多い) である。異なる杭工法や地盤種別、根固め径、深度、セメントミルクの W/C、セメントミルクの注入率が混在していることを考慮しても、大きなばらつきではないと考えられる。

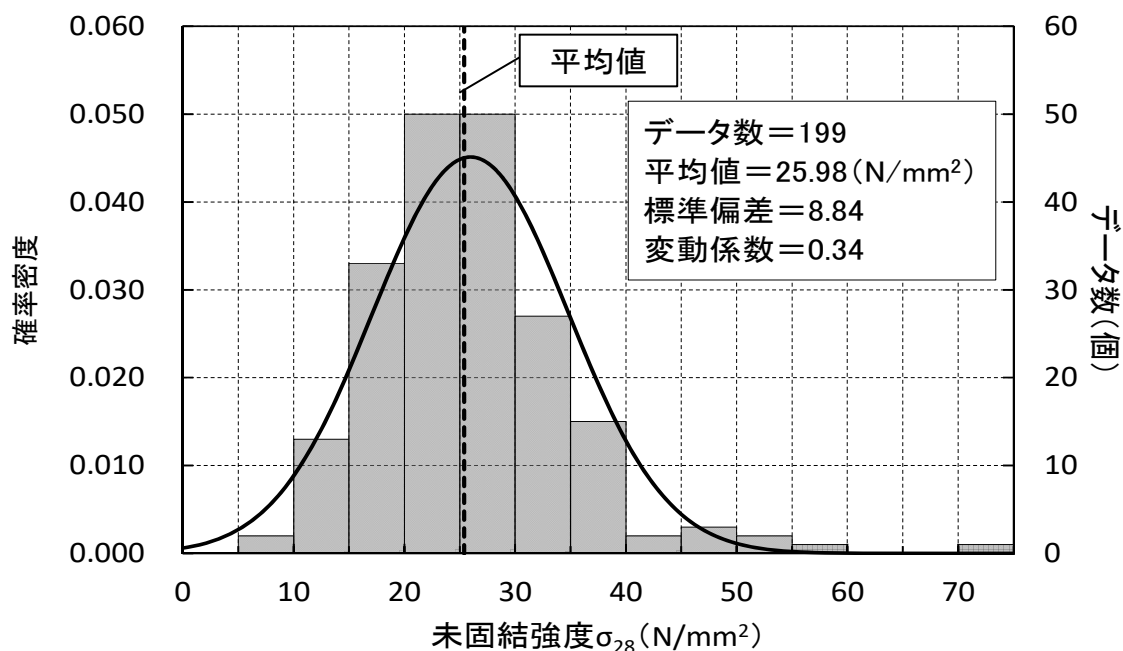


図-3.2 未固結強度 σ_{28} の確率密度

(2) 未固結強度 σ_{28} と必要強度の関係

未固結強度の施工管理上の良否を分析するため、必要強度に対する検討を行った。未固結強度 σ_{28} と必要強度の関係を図-3.3 に示す。 σ_{28} が必要強度と同一の線を黒の実線で示し、最小二乗法の近似線を赤の破線で示している。 σ_{28} は全て必要強度以上となっている。また、近似線の傾きが 1.94 から、平均は必要強度の 2 倍程度発現している。

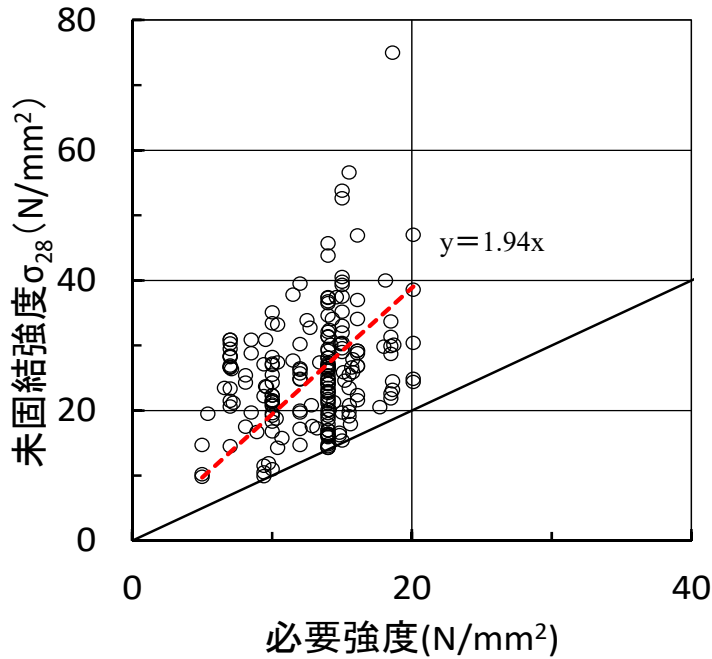


図-3.3 未固結強度 σ_{28} と必要強度の関係

(3) 未固結強度 σ_{28} と σ_3 、 σ_7 の関係

未固結強度について、材齢 3 日、7 日の若材齢から材齢 28 日の強度の推定を目的に、若材齢 3 日強度 (σ_3)、7 日強度 (σ_7) と材齢 28 日強度 σ_{28} の増加傾向を検討した。

図-3.4 に、 σ_3 と σ_{28} の関係を示す。値が一致する線を黒の実線で、最小二乗法の近似線を赤の破線で、信頼値 1σ のばらつきの範囲を青の点線で示している。 σ_3 は黒の実線を下回っているが、近似線の傾きが 0.5 であることから、平均で σ_{28} の 0.5 倍程度発現することが分かる。 1σ の範囲を見ると、傾きが 0.65 であることから、 σ_{28} の 0.65 倍程度発現することが分かる。なお、この近似線は、決定係数 R^2 が 0.55 であり、データとの「相関がある」評価のものである。

図-3.5 に、 σ_7 と σ_{28} の関係を示す。 σ_7 は全て黒の実線に満たないが、近似線の傾きが 0.65 であることから、平均で σ_{28} の 0.65 倍程度発現することが分かる。 1σ の範囲を見ると、傾きが 0.79 であることから、 σ_{28} の 0.79 倍程度発現することが分かる。なお、この近似線は、決定係数 R^2 が 0.71 であり、データとの「かなり強い相関がある」評価のものである。

これを基にすると、以下のように σ_3 あるいは σ_7 より σ_{28} が推測可能と考えられる。

$$\begin{aligned} \text{「未固結強度 } \sigma_{28}\text{」の信頼値 (} 1\sigma \text{)} &\doteq \text{「未固結強度 } \sigma_7\text{」} / 0.79 \doteq 1.27 \times \text{「未固結強度 } \sigma_7\text{」} \\ &\doteq \text{「未固結強度 } \sigma_3\text{」} / 0.65 \doteq 1.54 \times \text{「未固結強度 } \sigma_3\text{」} \end{aligned}$$

このように、若材齢の未固結強度による σ_{28} 強度推定方法は、工事初期の段階で施工管理に活用できる管理手法であり、万が一施工品質に問題があった場合に、早期に施工方法の対策や改善策の良否が判定できる手法と考えられる。

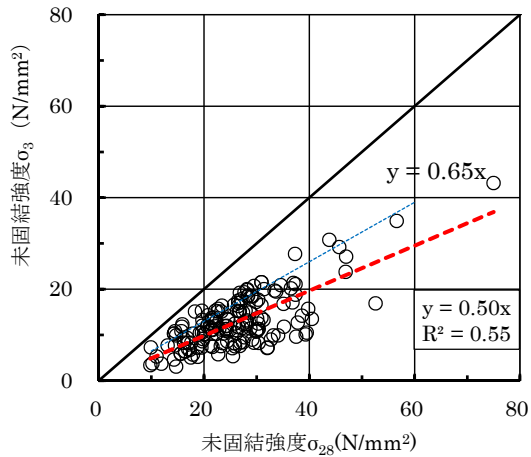


図-3.4 σ_3 と σ_{28}

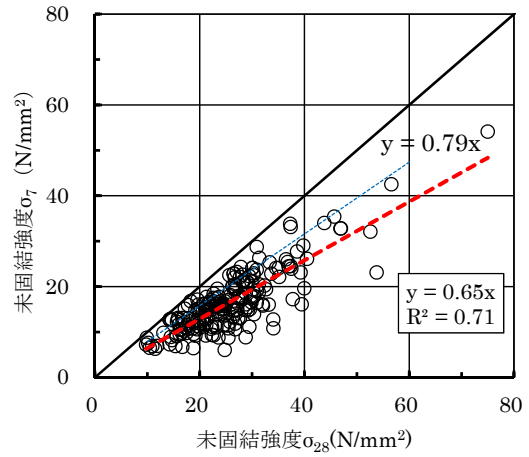


図-3.5 σ_7 と σ_{28}

(4)未固結強度 σ_{28} と必要強度に対する影響要因の検討

未固結強度 σ_{28} に対する地盤種別、N値、根固め液のW/C、深さの影響、根固め径に対する地盤と工法の影響、地盤種別ごとの注入率（根固め液注入量 / 根固め部掘削量）の影響、必要強度に対する地盤と注入率の影響等をパラメーターに調査、検討を行った。

・地盤種別ごとの σ_{28} の平均値は、砂で28.7 N/mm²、礫で25.2 N/mm²、粘土で20.5 N/mm²であり、砂>礫>粘土の傾向は見られるが、大きな差異ではない（図-3.6）。

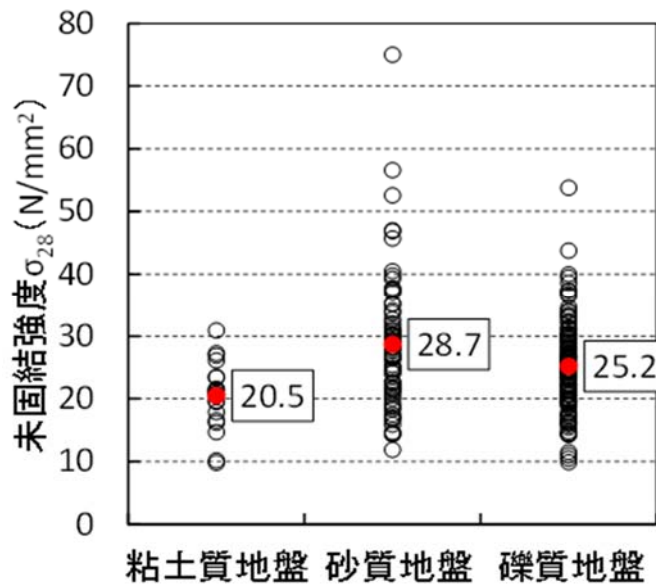


図-3.6 地盤種別ごとの σ_{28}

- ・ N 値が高いほど、根固め液の W/C が低いほど σ_{28} は増加傾向にある (図-3.7, 3.8)。

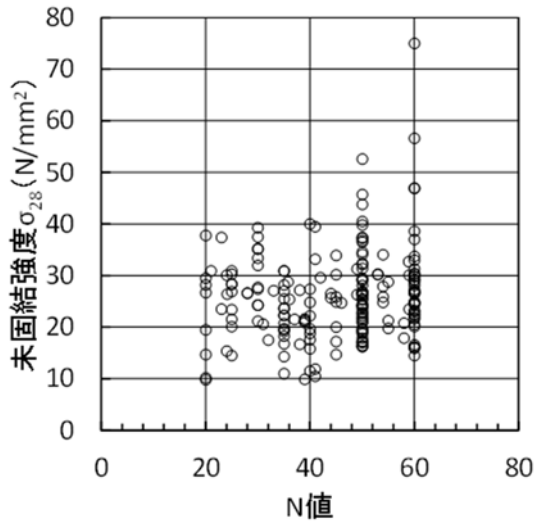


図-3.7 N 値と σ_{28}

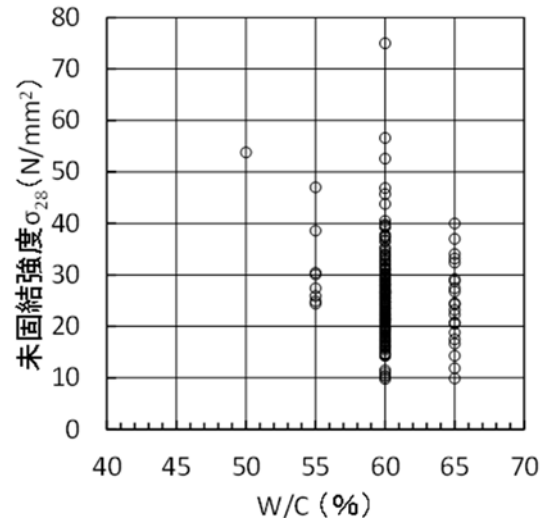


図-3.8 w/c と σ_{28}

- ・ σ_{28} の平均値には深度や根固め径の影響は見られない (図-3.9, 3.10, 3.11)。
- ・ 根固め径ごとの σ_{28} の平均値には地盤種別や工法種別の影響は見られない (図-3.10, 3.11)。

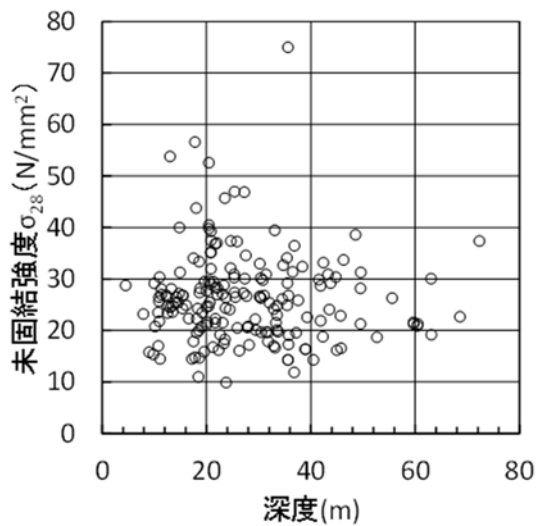


図-3.9 深度別の σ_{28}

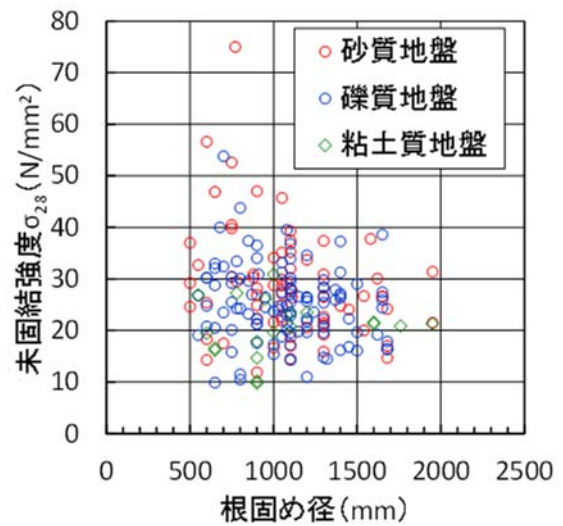


図-3.10 地盤別の根固め径と σ_{28}

・注入率の増加に伴い、粘土質地盤、砂質地盤では σ_{28} が増加傾向にあるが、礫質地盤ではその傾向はみられない（図-3.12）。

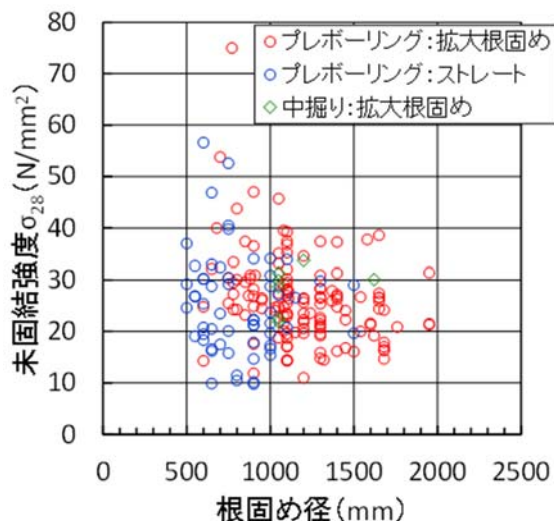


図-3.11 工法別の根固め径と σ_{28}

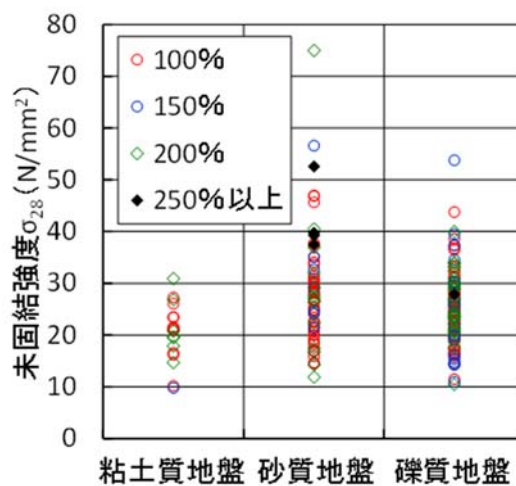


図-3.12 注入率別の地盤種別と σ_{28}

・必要強度はN値の増加と共に増加傾向にある（図-3.13）。
 ・必要強度の大小にかかわらず、注入率は100%と200%を採用している場合が多くなって
 いるが、必要強度が15 N/mm²程度の場合には、さらに注入率を高めた例もみられた（図
 -3.14）。

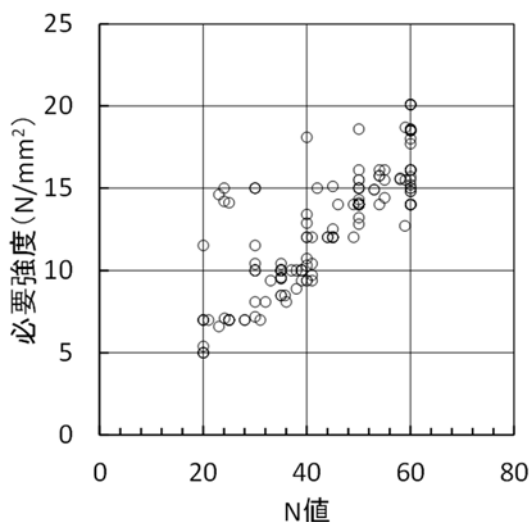


図-3.13 N値と必要強度

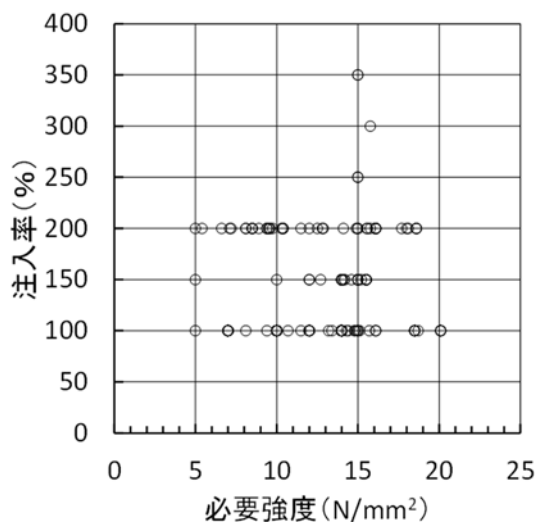


図-3.14 必要強度と注入率

4章 根固め部のソイルセメントの必要強度

4.1 必要強度の設定

杭の先端支持力を確保するために必要な根固め部のソイルセメントの圧縮強度については、杭工法を開発した杭メーカーが独自に検討している。開発された杭工法は様々であり、それに伴い、根固め部の強度の算定方法も様々である。

そこで、専門部会では、検証のために杭工法ごとに杭や根固め部の形状が異なる場合であっても、杭と根固め部の形状から、統一的に必要な強度を算定できるよう、既往の文献⁴⁻¹⁾および⁴⁻²⁾を基に、算定方法と算定条件の統一を図った（日建連案算定式）。これを基に算定すれば、杭工法が異なる場合であっても、杭と根固め部の形状の違いのみを条件に、必要強度を算定することができる。

4.2 必要強度の算定法

杭の先端支持力の低下が予測される破壊モードをいくつか設定し、設定した破壊モードごとに、根固め部の強度に伴う支持力を算定し、設計上必要な杭の先端支持力を満足する最小の強度を必要強度とした。根固め部の破壊モードとして、既往の文献を基に、ここでは一般に用いられる「支圧破壊モード」と「せん断破壊モード」の2種を設定する。図-4.1に破壊モード図を示す。また、「支圧破壊モード」を「破壊モード1」、「せん断破壊モード」を「破壊モード2」と定義する。

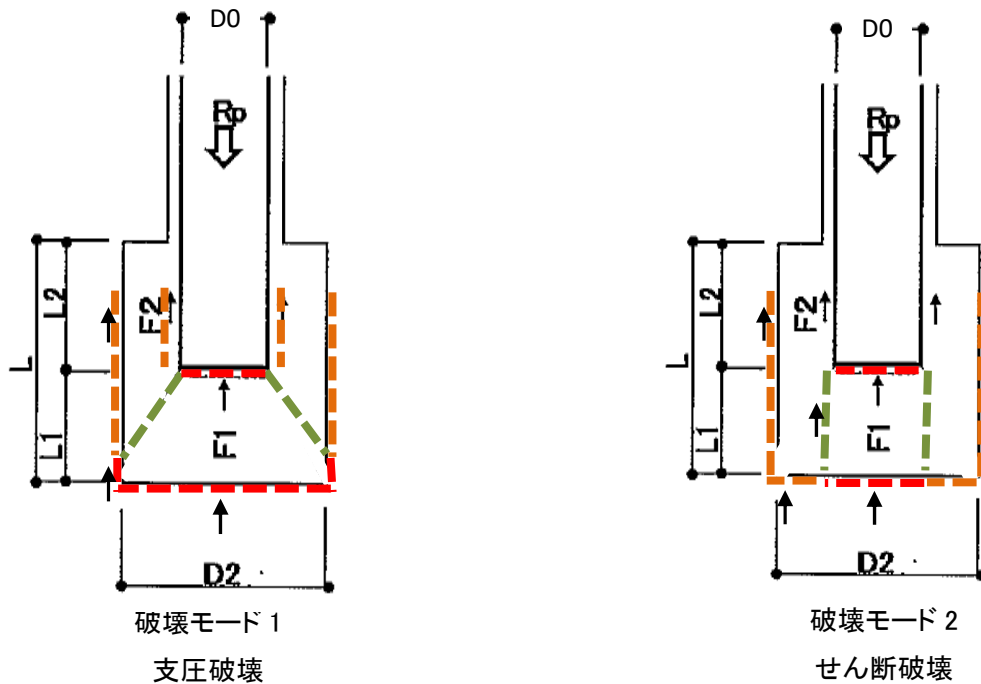


図-4.1 破壊モード図

4.3 必要強度の算定結果

杭工法 12 工法、杭径 2 種類、先端地盤種別 2 種類、先端 \bar{N} 値 2 種類で、具体的に必要強度を算定した。杭工法 12 工法の内訳は、プレボーリング工法 8 工法と中掘り工法 4 工法である。杭径 D_0 は標準的な $\phi 600\text{mm}$ と大径の $\phi 1000\text{mm}$ 程度とし、拡径比 D_2/D_0 (杭径に対する根固め径の比) は 1.1~2.08 の範囲とした。これにより、根固め部の形状が定まる。先端地盤の条件は、粘性土と砂質土・砂礫土の 2 種類、 \bar{N} 値は 40 と 60 の 2 種類とした。既往の文献^{4.3, 4.4, 4.5)}より各種係数を設定し、算定した杭の抵抗力、地盤の抵抗力から、ソイルセメントの強度 F_c に伴う杭の先端支持力 R_p を求め、認定上必要な地盤の支持力と比較することで、必要強度を求めた。

(1)破壊モード

上記の検討条件で検討した結果について、杭工法（ここで、拡径比は 根固め径/杭径 とする）と破壊モードの関係を表-4.1 に示す。同表は、杭工法と拡径比のマトリックスで表示している。杭工法についてはプレボーリング工法か中掘り工法かが問題ではなく、杭の形状によって、根固め部のソイルセメントと杭の付着強度が異なるため、ストレート杭、溝付杭、節杭の 3 種類に分類した。また、杭工法の開発思想の相違によって、図-4.1 に示す杭下の根固め部の長さ L_1 の長短により、破壊モードが異なることが予想されたため、 L_1 が長い杭工法を「離間型」、 L_1 が短い杭工法を「着底型」と表現している。拡径比については、小、中、大の 3 種類とし、小を 1.1~1.3 の範囲に、中を 1.3~1.6 の範囲に、大を 1.6 以上と分類した。表の数値は、破壊モードの型を表している。「-」は、該当工法が無いことを示す。

表-4.1 杭工法(拡径比)-破壊モードの関係

| 杭工法 拡径比 | ストレート杭 | | 溝付杭 | 節杭 | |
|-------------|--------|-----|------|------|-----|
| | 離間型 | 着底型 | | 離間型 | 着底型 |
| 大 (1.6 以上) | - | - | - | 1, 2 | 2 |
| 中 (1.3~1.6) | 2 | - | 1, 2 | 1 | 1 |
| 小 (1.1~1.3) | 1, 2 | 2 | - | 1 | - |

(2)必要強度の算定結果(日建連案と各杭メーカー案の比較)

日建連案算定式で必要強度を算定した結果（日建連案）と杭工法ごとに独自の式で算定した結果（各杭メーカー案）を比較するため、検討する条件を図-4.2 のように設定した。算定定数は各杭メーカーで多少異なるものと推測される。

検討条件
 ○杭工法：プレボーリング工法 8工法、中掘り工法 4工法
 ○杭径：600～1000mm、拡径比：1.10～2.08
 ○先端地盤種別：砂質土・礫質土、粘性土、先端 \bar{N} 値：40、60

図-4.2 検討条件(日建連案と各杭メーカー案の共通条件)

図-4.3 に、日建連案と各杭メーカー案の必要強度の関係を示す。必要強度は、日建連案では約 4～23 N/mm²、各杭メーカー案では約 4～20 N/mm² となっており、ほぼ同様の範囲に入っている。各杭メーカー案の必要強度は、日建連案の 5 N/mm² に対して 5～10 N/mm²、10 N/mm² に対して 8～18 N/mm²、15 N/mm² に対して 13～19 N/mm²、20 N/mm² に対して 14～20 N/mm² となっている。このように日建連案の強度増加に伴い、ばらつきは見られるものの、各杭メーカー案の強度も増加傾向がみられる。同図には、日建連案と各杭メーカー案が一致する線を黒実線で、最小二乗法の近似線を赤の破線で示している。黒実線を見ると、日建連案の 15 N/mm² 以下の範囲では、ほぼ、「日建連案<各杭メーカー案」であり、日建連案の 15 N/mm² 以上の範囲では、5 N/mm² 程度の幅をもって「日建連案≒各杭メーカー案」となっている。赤の破線を見ると、傾きが 1.06 であることから、日建連案と各杭メーカー案の対応が良いことが分かる。

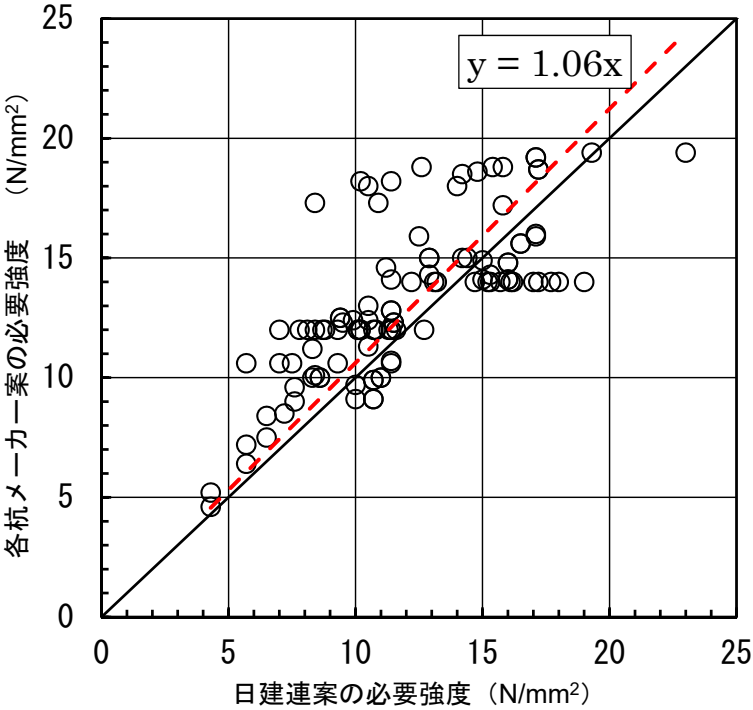


図-4.3 日建連案と各杭メーカー案の必要強度

以上より、認定等で必要強度が定められている工法はその値と、それ以外は工法ごとに定めた値と、日建連案で算出した必要強度を比較・検討して、総合的に管理値（目標強度）を決めることが望ましいと言える。

【参考文献】

- 4-1) 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
- 4-2) 土屋富男：高支持力埋込み杭の支持力確保のための根固め部のソイルセメント強度の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.575-576，2017.8
- 4-3) 日本建築学会基礎構造運営委員会：改定によって基礎構造設計指針はどのように変わるのか，パネルディスカッション資料，日本建築学会大会，2017.8
- 4-4) 日本建築センター：建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針 - セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法 - ，1997.7
- 4-5) 木谷好伸：節杭を用いた埋込み杭の拡大根固め球根の鉛直支持性能に関する研究，日本工業大学，博士論文，2009.3

5章 未固結試料採取の計画

5.1 未固結試料採取施工の位置付け

根固め部の品質確保のためのプロセス管理は、本杭の施工が計画サイクルタイムと同じように実施しているかについて、各施工プロセスを管理することによって、品質を確保することである。そのため、根固め部が所定の強度を満足できるよう、適切な施工サイクルタイム計画表を作成することが重要となる。施工計画から本杭打設までのフローを図-5.1に示す。

施工試験では、作成したサイクルタイム計画表に従って施工した杭について、その根固め部から未固結試料採取を行い、ソイルセメントの圧縮強度を確認する。所定の強度を満足できる施工サイクルタイム計画表を作成できたら、次のステップである試験杭や本杭を行う。

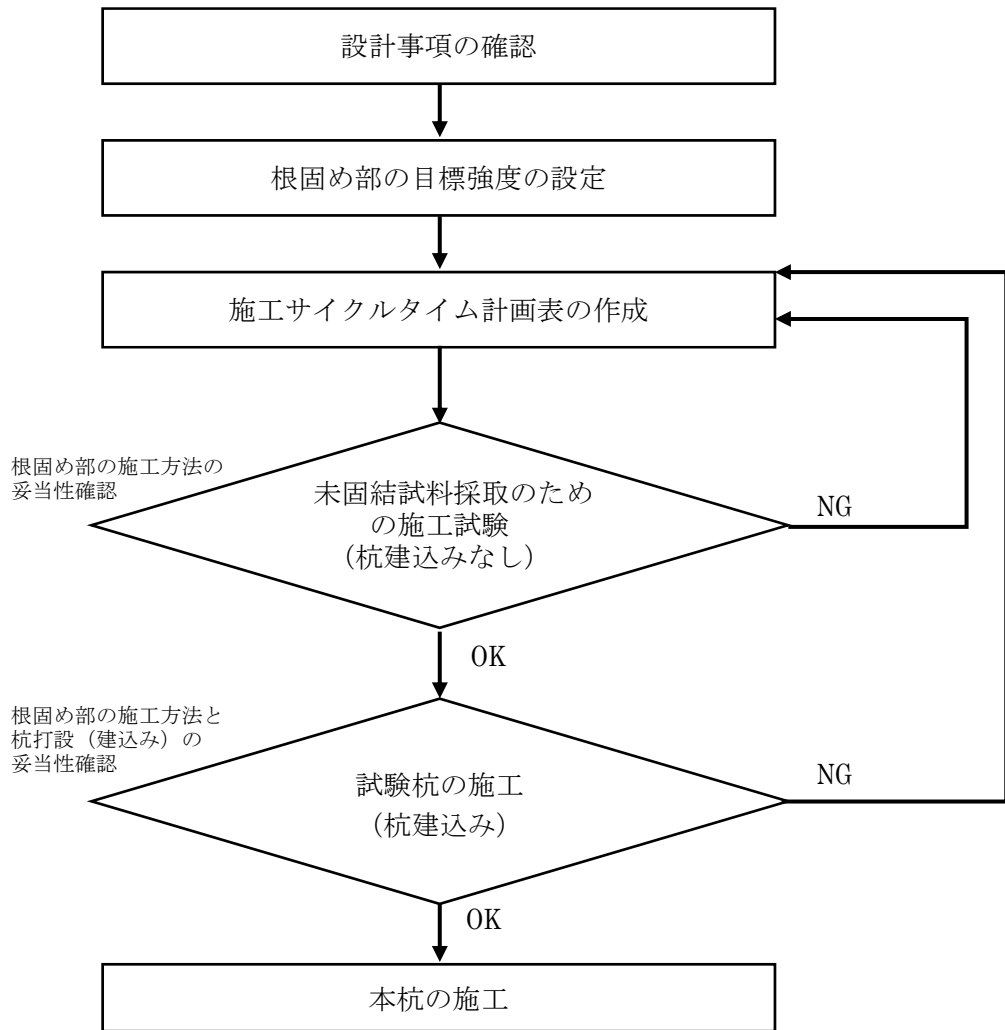


図-5.1 本杭施工までの基本的な流れ

具体的には、全体フローに示すように、未固結試料採取のための施工試験までに、敷地規模や地盤状況に応じた箇所数で、杭径、杭長、支持地盤の土質などの設計事項の確認を行い、設計の要求性能（先端支持力）を満たす根固め部の必要強度から当該現場の目標強度を設定する（4章の必要強度を参照して設定する）必要がある。

次に、地盤状況や杭仕様を考慮して、目標強度を満足するように、根固め液の注入率や注入方法を盛り込んだ施工サイクルタイム計画表を検討・作成する。これには、設計者、工事監理者、元請、杭メーカーで情報共有しながら計画、検討する。ここで重要なことは、未固結試料採取のための施工試験を実施し、目標強度を満足しなければその計画を見直すことである。また、見直した計画で再度未固結試料採取を行い、根固め部のソイルセメント強度を満足する施工サイクルタイムを完成させ、その計画表をもって試験杭や本杭施工を行うことである。

以下に未固結試料採取のための施工試験の留意事項を示す。

- ① 施工試験は、本杭をプロセス管理するための施工試験なので、本杭と同じサイクルタイムで実施する。（未固結採取施工と本杭は同じサイクルタイムで行う）
（6.2 トラブル事例 （3） 要因 No.3 参照）
- ② 施工試験は、本杭とは異なる位置（別孔）で実施することを原則とする。
 - ・プレボーリング工法の場合は、杭を挿入しない。
 - ・中掘り工法の場合、杭挿入が前提となるため、実施位置は、発注者と別途協議する。
- ③ 施工試験は、サイクルタイムが異なる支持層確認のための土砂採取施工と兼用しない。

なお、掘削長が 40m を超える場合など、現状の方法では、根固め液注入から根固め部試料採取までに要する時間が 2 時間以上になると、根固め部が固化を始め、試料採取後の杭打設（建込み）が困難となることが想定される。そこで、根固め部の強度確認を、本杭とは異なる位置（別孔）で実施することを原則としている。この施工試験で、良好な根固め部の施工方法を決定し、本杭に移行することを確認することとしている。今後は未固結試料採取から杭打設まで 1 工程で実施できるような技術開発が望まれるところである。

5.2 未固結試料採取のための施工試験のポイント

未固結試料採取のための施工試験の流れを図-5.2 に、未固結試料採取のための施工試験計画書（例）を添付資料に示す。未固結試料採取のための施工試験は、前述のように、本設杭の施工サイクルタイム計画表を事前に確認する目的で実施することから、一般的には試験杭（試験杭は本設杭である）よりも先に実施される場合が多く、作業所においては最初の掘削、施工となる。このため、各種キャリブレーションや施工性の確認等も同時に行われる。以下に、キャリブレーション、掘削試験、未固結試料採取のポイントを順に示す。

(1) キャリブレーション

使用する計量機器の計量精度の確認（キャリブレーション）や機材の基本量の計測、杭打ち機の調整を行う。

<計量機器のキャリブレーション>

- ・プラント（セメント重量計、水の計量器）
- ・施工管理装置（流量計、深度計など）
- ・マッドバランス（セメントミルクやソイルセメントの密度測定器具）

<機材の基本量の計測>

- ・プラントから掘削ヘッド間のセメントミルク到達時間（タイムラグ）
- ・掘削ロッド等の長さ

<杭打ち機の傾斜計の調整>

所定位置に杭打ち機を据え付け、リーダの鉛直性を、2方向より下げ振りなどで確認しながら、鉛直に調整する。掘削ロッドをリーダに対して平行に合わせ、鉛直性を確認したうえで、リーダ傾斜計（杭打ち機操縦室内）の角度を 0° に合わせることで行う。

(2) 掘削試験

<軸部掘削>

掘削ヘッド先端から掘削液を吐出しながら掘削する。適宜、反復しながら掘削することにより、孔曲りを防止する。地中障害による掘削孔の傾斜や杭心ずれ、または掘削液面の低下に注意して掘削を進める。掘削状況に異常が発生した場合は、作業を中断し、工事監理者と協議する。掘削時の電流値を測定し、その測定値から求めた積分電流値とボーリング柱状図とを対比しながら掘削孔の状況を確認する。掘削速度は土質の状態や掘削孔内の泥化状態・オーガ駆動装置の掘削抵抗に合わせて適宜調整する。拡大根固め部天端、もしくは杭先端深度（支持層出現深度の想定位置）まで掘削後、孔内を攪拌し掘削孔を造成する。

<支持層への到達確認>

日建連発行の「杭の施工管理における支持層到達の確認方法」⁵⁻¹⁾に従って支持層管理を行う。支持層到達の判断と確認方法には、主として以下の5つがあり、地盤条件、杭の仕様、杭の施工法等によりその採否や優先度が変わる。

- ・地盤調査結果に基づく判断・確認
- ・掘削ヘッド等に付着した掘削土採取による判断・確認
- ・オーガ駆動装置の掘削抵抗（電流値、積分電流値等）の変化による判断・確認
- ・施工状況の変化（機械の振動やオーガ駆動装置の音の増大）による判断・確認
- ・試掘による判断・確認

これらを利用した総合的判断により支持層深度の判定を行う。想定支持層深さの上方約5m付近から、掘削速度・掘削液吐出量を一定に保ちながら掘削し、支持層への到達を確認する。

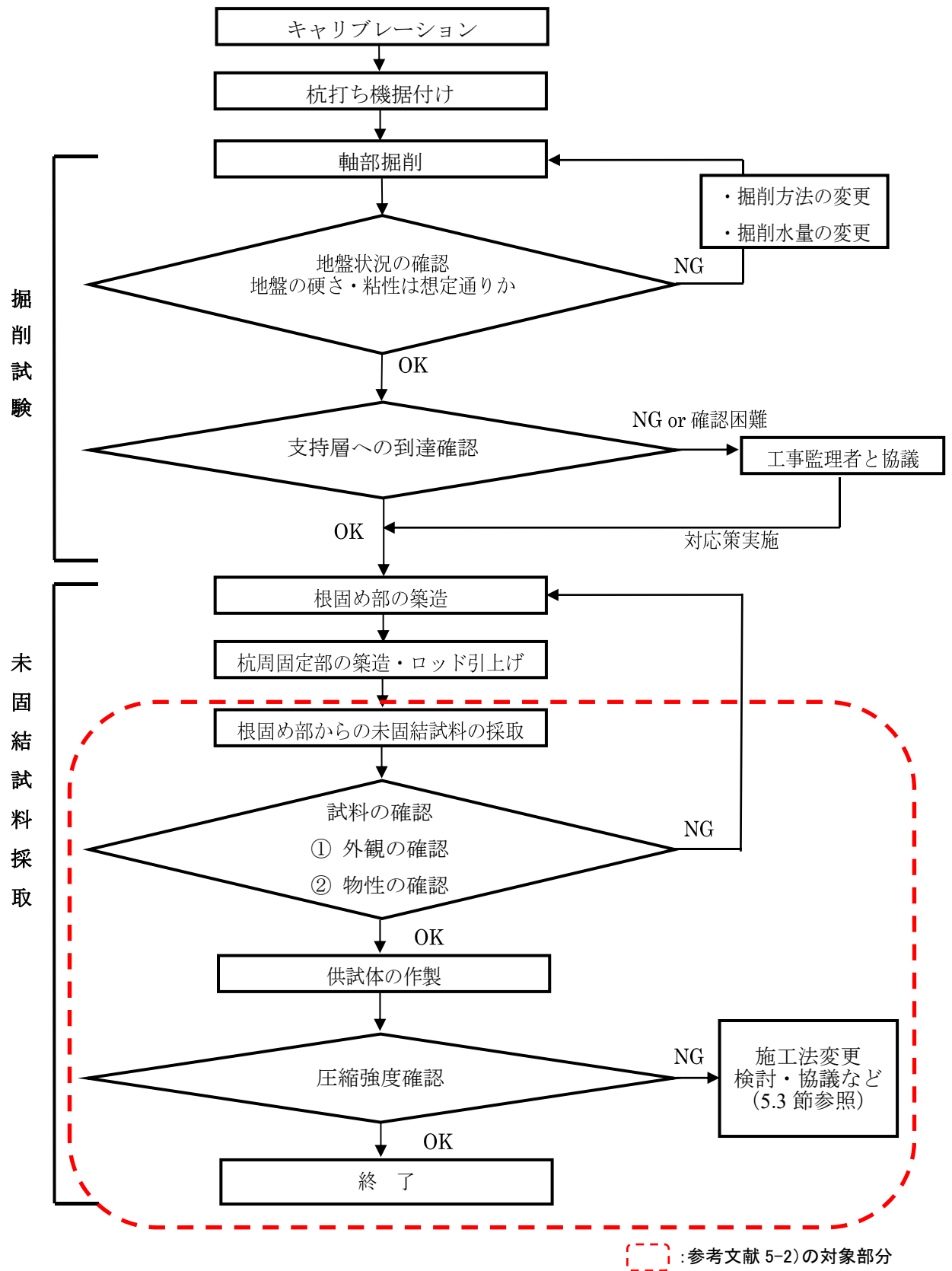


図-5.2 未固結採取のための施工試験フロー

(3) 未固結試料採取

<根固め部の築造>

支持層への到達確認後、根固め部の施工を行う。最終掘削深度は、掘削ロッドにあらかじめマーキングしておき、レベル測定機で視準確認し、工法ごとに定められた所定の方法で根固め部を施工する。

特に、埋込み杭では、鉛直支持力を根固め部の支持力に期待することが多く、根固め部の性能が先端支持力発現に大きく寄与するため、根固め液の管理（配合・注入量）と根固め部の施工およびその出来ばえを確認することが重要である。根固め液の注入方法については、計画サイクルタイムで規定した施工方法と比較して確認する。

<セメントミルクの配合管理>

所定の根固め部の性能を確保するために、セメントミルクの配合確認を行う。配合の確認はマッドバランスを用いて、風や振動などによる外力の影響を受けにくい場所で行い、セメントミルクの密度が規定範囲内であることを確認する。

<根固め液の注入>

根固め液の注入は重要な施工工程である。注入作業は計画サイクルタイムで定めた工程で行い、所定量（施工計画で定めた本杭施工仕様の注入量で、一般的には根固め部体積の100%量とする場合が多い）を所定位置に所定方法で注入することが重要で、これらを管理しながら施工する。グラウトポンプから圧送開始後、掘削ヘッド先端にセメントミルクが到達するまでのタイムラグの間はセメントミルク量をカウントしない。

<杭周固定液の注入>

軸部の掘削孔に杭周固定液を注入し、杭周固定部を築造する。杭周固定液の注入は、根固め部上端より必要区間長以上とする。反復攪拌を行いながら所定の範囲に注入を行う。

<未固結試料の採取>

図-5.3 に未固結試料の採取手順の一例を示す。採取工程や留意点は採取器種ごとに異なるので、器種に応じて計画する。

以下に、採取手順の例と留意点を示す。

① 掘削ロッドに未固結試料採取器を装着する。

→採取器の設備を確認（開閉部のO（オー）リング、グリース、オイル等）する。

② 孔壁を削ることがないように、掘削孔の中心に、ゆっくりと所定の位置まで挿入する。

→鉛直精度の確認、挿入抵抗（摩擦抵抗）のないことを確認（負荷の確認）する。

この時、掘削ロッドの振動や掘削孔上面の乱れに注目し、途中で採取口が開かずに挿入できたかに注意する。

③ 採取口位置が所定の採取位置（根固め部内）に到達したことを確認する。

④ 所定の方法（機械式、油圧式、水圧式など）で採取器の採取口を開く。

→採取口を開けると、すぐに液面が下がり、数秒後にエアが上がってくる。液面の低下あるいはエアを確認し、確実に採取口が開いたことを確認する。

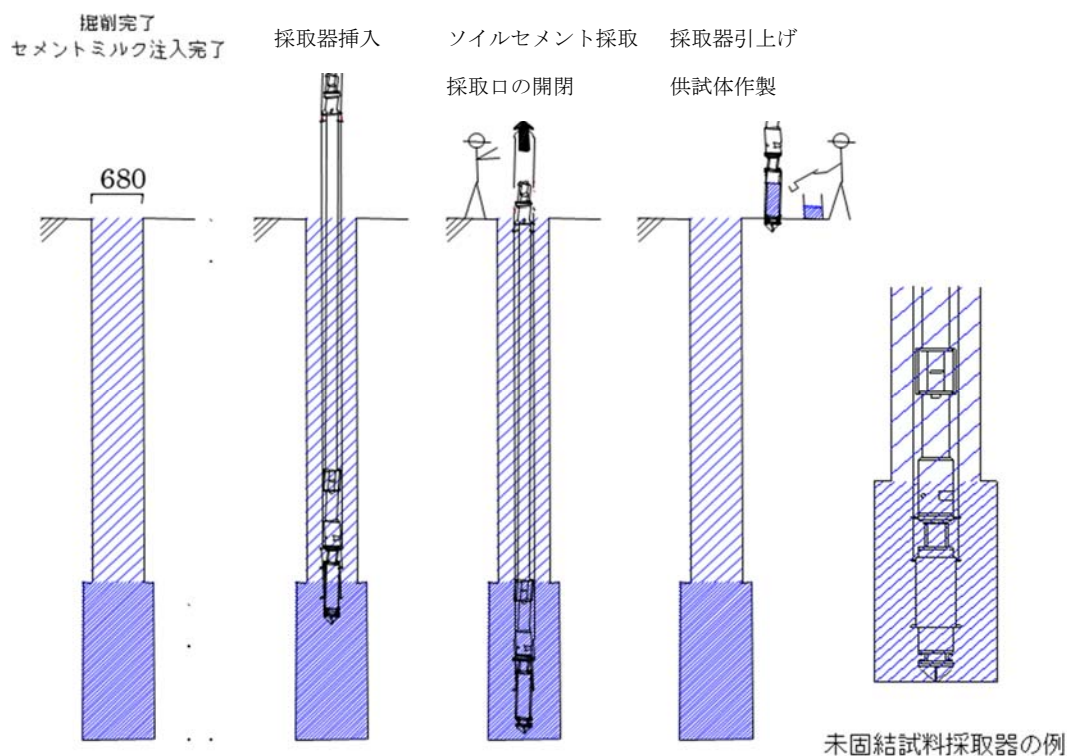


図-5.3 未固結試料の採取手順例

- ⑤ 所定の方法で採取器の採取口を全閉させる。
 →採取口が完全に閉まっていなくて根固め部以外の杭周部のソイルセメントなどが混入してしまうので、採取器の仕様どおりに採取口が閉まっていることを確認する。礫地盤の場合には、採取口に礫が挟まり、完全に閉じないことがあるので注意する。
 (6.2トラブル事例(1)要因No.1参照)
- ⑥ 採取器をゆっくり引上げる。
 →採取口付近に付着している泥土や杭周固定液の混入が想定されるため除去する。また、採取口が完全に閉まっていることを確認する。
- ⑦ 密閉した採取器の取り出し口を開け、採取した未固結試料を取り出す。試料は、ポリバケツ等に移し、密度測定、土塊混入の有無、外観調査を行い、その後試験体を作製する。
 →採取口を開ける際は、根固め部の圧力が封じ込められているので、吹き出しに注意する。また、⑤が不完全な場合や、⑥の引上げ時に全閉が不備な場合には、圧力が既に解放されていることも考えられるので、注意深く確認する。

<外観および物性調査>

根固め部が適切に攪拌混合されているか、採取された試料が根固め部から採取されたものかなどを調査し、未固結試料として適合しているかを表-5.1の項目を参考に判断する。

不適合と判断された場合は、対策を協議の上再施工し採取する。観察・調査結果を表-5.2に示す記録用紙に記載する。

表-5.1 採取時の確認項目例 ⁵⁻²⁾に追記

| | 調査項目 | 目的 | 調査方法 | 関連装置 | 判定目安 |
|--------|------|-------------------------|------|---------|---------------|
| 外 観 | 色合い | 支持層土砂、セメントミルクの混入状況を調査する | 目視 | | セメントミルクに近い色 |
| | 混合状況 | 泥塊の有無 | 目視 | ふるい | 10%未満 |
| | | 泥塊の大きさ | 目視 | ふるい | ゴルフボール大 |
| 物 性 | 密度 | セメントミルクの混入状況 | 密度測定 | マッドバランス | セメントミルクに近い値以上 |
| | 温度 | セメントミルクの混入状況 | 温度測定 | 温度計 | 同上 |
| | 採取量 | 試料作製に十分かを確認 | 目視 | バケツなど | |

<供試体の作製>

- ① 採取した未固結試料のうち採取口付近の上澄み液は捨てる。
- ② 供試体はモールドでの作製を標準とし、標準寸法はφ50 mm、高さ100 mm以上とする。
- ③ 採取試料内の10 mm以上の礫は取り除く。
- ④ 標準作製本数は、12本以上とする。予備が3本以上作製できると良い。
(材齢3日強度用、材齢7日強度用、材齢28日強度用、予備用を各3本以上)
採取量が少ない場合は、材齢7日強度用、材齢28日強度用を優先する。
- ⑤ 作製方法は、3層以上に分けて投入し、各層毎にタッピングして気泡を取り除く。
(ブリーディングすることを想定し、2 cm程度嵩上げをする)
その後、薄膜ビニール等で封かんする。

<供試体の養生>

供試体の養生は、試料の固化強度に大きく影響するので慎重に行う。特に気温の低い時期や地域では、適切な養生装置を準備しておくことが重要である。養生に関する留意点を以下に示す。(6.2 トラブル事例 (2) 要因 No.2 参照)

- ① 採取から養生開始までの時間は短いほど良い。
- ② 保温および湿潤状態確保のため、現場においてはクーラーボックス等の養生箱を用意する。養生箱は原則、室内に置き、供試体を適切な温度(地中の温度程度の20℃前後)で乾燥しない環境下で養生するよう配慮する。硬化するまでは(1日~2日程度)静置する。
- ③ 硬化後、試験場へ移動させる。また、供試体間の隙間には、間詰めなどで転倒防止を行う。試験場では標準養生(20℃前後の水中にて養生)とする。

表-5.2 未固結試料採取測定記録用紙 例

| 未固結試料採取測定記録 | | | |
|---|------------------------|-------|---------|
| | | | 営業担当記録者 |
| | | | |
| 施工月日 | 年 月 日 | 天候・気温 | °C |
| 工事件名 | | | |
| 工事場所 | | | |
| 元請業者 | | | |
| 施工業者 | | | |
| 施工機械 | ボ-ガ- | バ- | プラント |
| 施工方法 | | | |
| 拡径比 | | | |
| 使用セメント | | | |
| 添加剤 | | | |
| 掘削水 | | | |
| 採取装置 | | | |
| 養生方法 | | | |
| 杭仕様 | 杭No. | | |
| | 先端地盤種別 | | |
| | 最終深度 | m | |
| | 設計N値 | | |
| | 掘削径 | mm | |
| | 根固め径 | mm | |
| | 根固め長 | mm | |
| | 注入率 | % | |
| 施工記録 | 項目 | 時間 | |
| | 掘削 | 時 分 ~ | 時 分 |
| | 根固め液注入 引抜き(杭周固定液注入) | 時 分 ~ | 時 分 |
| 温度 | 項目 | 温度 | 測定時間 |
| | 掘削時水温(プラント) | °C | 時 分 |
| | セメントミルク(プラント) | °C | 時 分 |
| 未固結試料 | °C | 時 分 | |
| 密度 | 項目 | 測定値 | 測定時間 |
| | セメントミルク(プラント) | | 時 分 |
| | 未固結試料 | | 時 分 |
| 外観 | 採取量 | リットル | その他 |
| | 採取体数 | 体 | |
| | 色 | | |
| | 状態 | | |
| | 土塊量 | | |
| ※ 採取量：バケツから量を推定する。(参考：50×100t-鉢1本で0.25リットル) | | | |
| 特記 | | | |

5.3 根固め部強度の判断

採取した根固め部試料は、所定の材齢で圧縮強度調査を行い、その良否を判断する。判断基準は認定内容に記載されている工法はその値、設計図書に記載されている場合はその値による。明記されていない場合は、4章に示す考え方や、高支持力杭の根固め部品質管理研究会発行の「根固め部の未固結試料採取・調査・試験マニュアル (ver.2.0)」⁵⁻²⁾を参考に設定する。供試体の所定材齢強度を確認するまでの杭の施工可否または対策施工方法(根固め液の増量など)に関しては、計画段階で工事監理者と打合せて決めておく。また、所定材齢での強度確認前に施工が終わるような場合も、同様な対応を取るのが望ましい。

(1) 圧縮強度試験結果の判定方法例

根固め部強度判定の標準的施工フロー例を図-5.4に示す。

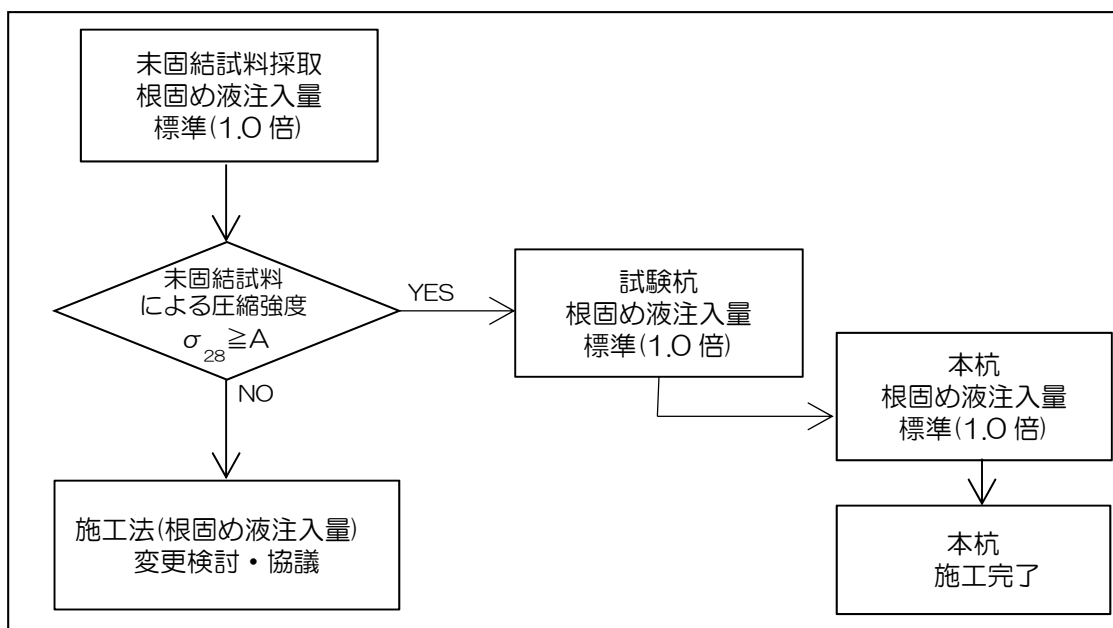


図-5.4 根固め部強度判定を用いた標準的施工フロー例

ここに示すように、まず標準注入量で根固め部施工を行い、未固結試料を採取し所定材齢（28日以内）で圧縮強度試験を行う。ここで管理基準値（目標強度） A (N/mm^2) が確認できれば、根固め液標準注入量で試験杭、本杭と工事を進める。圧縮強度試験の結果が基準値を下回った場合は施工法や根固め液注入量の変更について検討・協議し、再度、未固結試料採取を行う。

また、当該工法の過去の実績より、たとえば、材齢3日 (σ_3) で C (N/mm^2)、材齢7日 (σ_7) で B (N/mm^2) が確認できれば、材齢28日で A (N/mm^2) 以上になることが検証されるという早期材齢での判定が可能な工法となっている場合、施工計画段階で工事監理者の承認も得て、未固結試料の早期判定結果が確認されるまでは、根固め液の注入量を標準注入量より増量して、試験杭・本杭の施工を実施することを提案し、施工を進める場合もある。

たとえば、標準量の1.0倍で未固結採取実施後、強度確認までの試験杭と本杭は1.5倍注入で施工し、強度確認後1.0倍に戻すパターン（図-5.5）や、未固結採取から試験杭、本杭まで2倍注入で施工するパターン（図-5.6）がある。 $\sigma_3 \geq C$ (N/mm^2) や $\sigma_7 \geq B$ (N/mm^2)、 $\sigma_{28} \geq A$ (N/mm^2) が確認できれば、本杭施工は計画値通りで行う。 σ_3 や σ_7 が管理値を下回った場合は工事監理者と協議し、施工法や根固め液注入量を変更し、再度、未固結試料採取を行うなどの対策を施す。 σ_{28} が管理値を下回った場合は、(3) に示すように打設済みの本杭の良否を検討する。

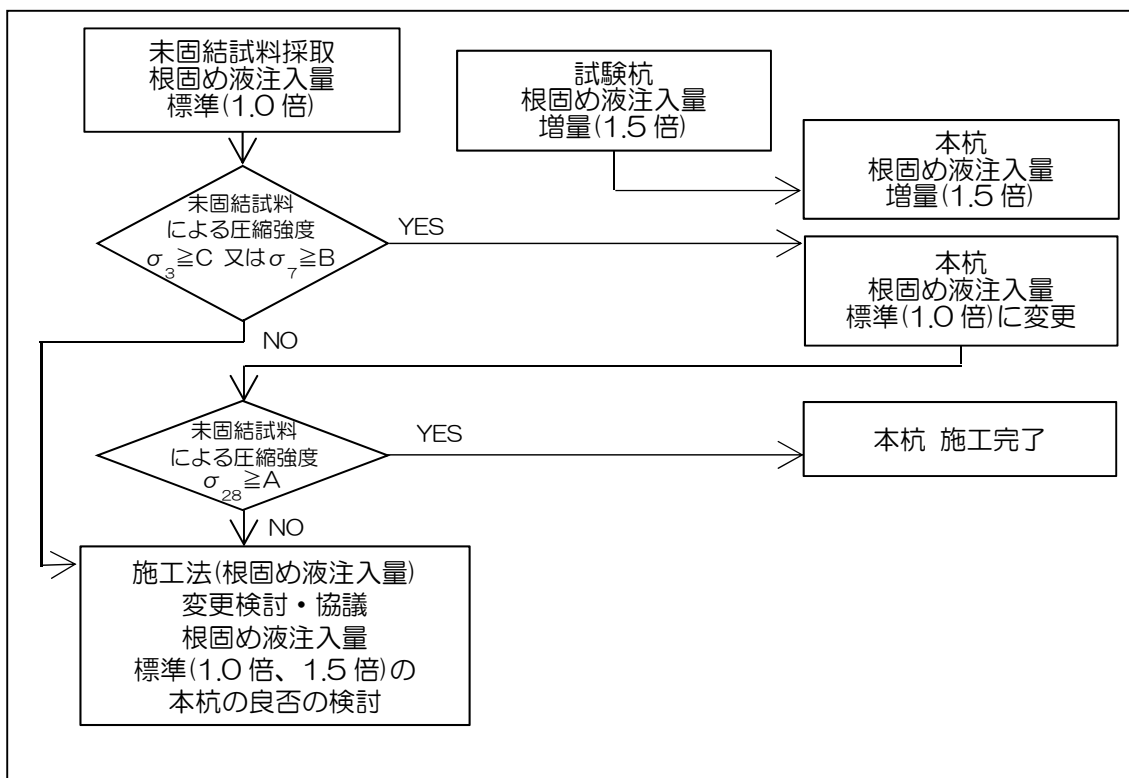


図-5.5 根固め部強度判定を用いた施工フロー例

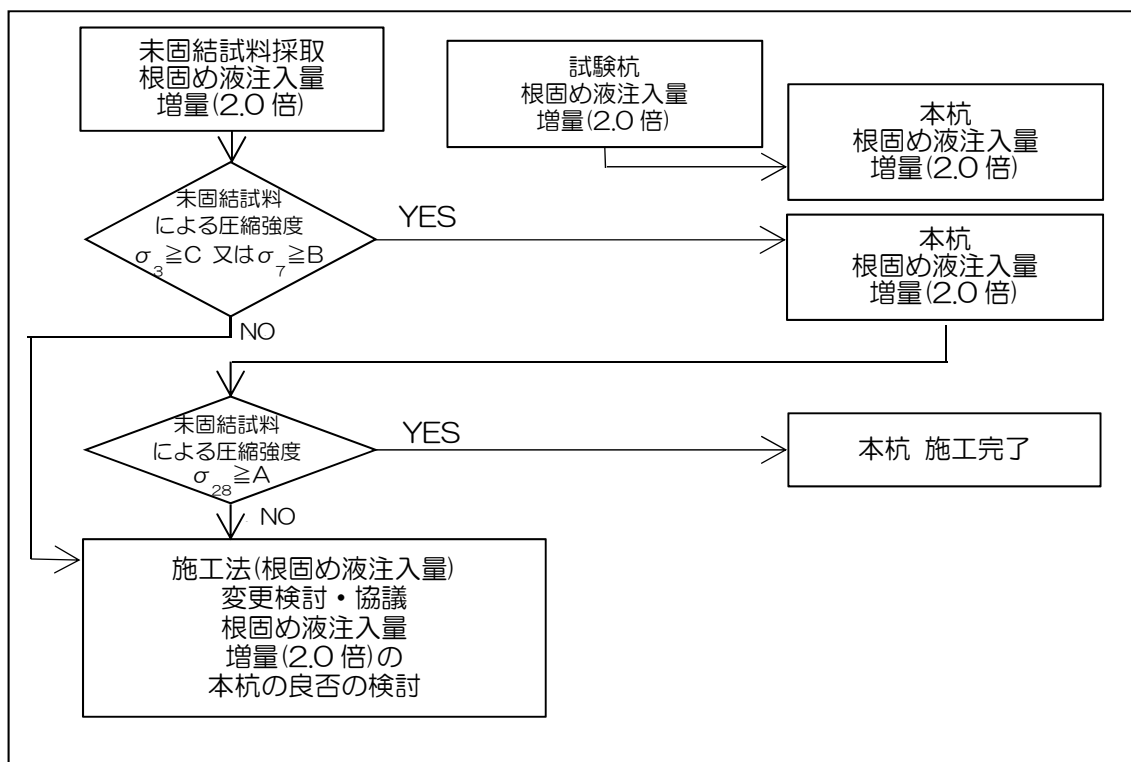


図-5.6 根固め部強度判定を用いた施工フロー例

(2) 材齢 7 日強度で最終強度が管理値に達しないと予想される場合

いずれのパターンにおいても、材齢 7 日での試験結果で、最終強度が管理値に達しないと予想される場合は、工事監理者との協議により施工方法の検討や再採取などの対策を施す。供試体数に予備があれば、工事監理者との協議により、材齢 14 日等で圧縮強度試験を行い、出来ばえを判定する。

(3) 材齢 28 日強度で最終強度が管理値に達しない、または達しないと予想される場合

材齢 28 日では、原則、管理値を満足しなければならない。ただし、下回った場合でも管理値程度の強度で、供試体数に予備があり、材齢による強度増加が期待できる場合は、工事監理者との協議により、材齢 5 週等で圧縮強度試験を行い、最終強度を確認する。

材齢 28 日強度が管理値を大きく下回った場合や設計上の必要強度を下回った場合は、根固め部の状態を確認するために、工事監理者との協議により、根固め部コアを採取して強度確認を行うことや、載荷試験により設計支持力の確認を行うなどの対策を施す。また、プラント採取での供試体の圧縮強度確認を行うことで、注入した根固め液の配合条件に誤りがなかったか等の確認を行うなどの対処も重要である。

【参考文献】

- 5-1) 既製コンクリート杭施工管理専門部会：杭の施工管理における支持層到達の確認方法（既製コンクリート杭 埋込み工法），一般社団法人日本建設業連合会，2017.2
- 5-2) 高支持力杭の根固め部品質研究会：根固め部の未固結試料採取・調査・試験マニュアル（Ver.2.0），パイルフォーラム株式会社，2014.10

6章 未固結試料採取関連のトラブル事例

6.1 トラブル事例作成の目的とトラブル要因

(1) トラブル事例作成の目的

地盤と杭基礎に係わる工事においては、不確定要素が多く含まれており予期せぬトラブルが発生することがある。また、当該管理手法は、杭先端（根固め）部の最深部から築造後の未固結試料を採取する、比較的新しい出来形管理方法であるため、過去の経験を教訓として蓄積し、今後に役立てる必要がある。

再発防止対策の立案によりトラブルを未然に防止し、あるいはトラブルが顕在化するタイミング（施工中の各工程、施工後）により適切な対処方法を選択するためには、失敗から学ぶ気概をもって品質改善・確保や管理手法の確立等に真摯に取り組む必要がある。

そこで、ここでは未固結採取による試料の強度不足等に関するトラブル事例を収集・取りまとめを行うものとする。その目的を以下に示す。

- ① 強度不足時の対応方法を事前に検討できるようにする。
- ② 同様または類似の事態に起因する強度不足の発生を予防する。
- ③ 再発防止策を業界内に広く水平展開し、ノウハウを共有する。

(2) トラブルの要因

トラブル要因については、直結する具体的な不備が、単独で明確なものもあれば、不明確なものもあり、場合によっては複合事象としてとらえることができるものもある。

この度、杭メーカー5社から収集したトラブル事例の12件の内容より、要因を概ね以下の3種類に分類した（表-6.1）。

表-6.1 トラブル要因の大別・分類表

| 要因 No. | トラブル要因（不備）の内容 |
|--------|--|
| 1 | 採取方法（採取自体）の不備に起因する強度不足 |
| 2 | 採取後の供試体の養生方法の不備に起因する強度不足 |
| 3 | 地盤条件に対応する施工方法・手順の不備に起因する強度不足 (施工方法や施工手順が地盤に適合していなかった) |

ここで、要因 No.3 の施工方法・手順については以下が考えられる。

- ・施工方法：掘削方法（速度等）、掘削液量、セメントミルクの配合と注入量、その他
- ・施工手順：計画サイクルタイムの妥当性と実施サイクルタイムとの対比、その他

ここでは、トラブル内容を類型化することで、現状陥りやすいトラブルの要因であると考えられる要因 No.1～No.3 の内容とその対処方法を整理し、3つの要因毎に各1件の具体的トラブル事例を以降で紹介する。

6.2 トラブル事例

(1) 要因 No.1(採取方法(採取自体)の不備に起因する事例)

① 場所と支持層土質

千葉県、礫質地盤

② トラブル内容

引き上げ回収した採取器をハイウォッシャーで清掃したところ、採取口（取り込み口）に礫が挟まり採取口が半開口状態であった。清掃時や引き上げ時の泥土・泥水の混入等により、未固結試料は水分を多く含んでしまっており、プラントにて採取した根固め液（セメントミルク原液）よりも密度値が大幅に低い状態であった。

・プラントで採取したセメントミルク原液の密度： $\rho=1.78\text{g/cm}^3$

・未固結試料の密度： $\rho=1.30\text{g/cm}^3$ → 著しく密度が低下していた。

未固結試料の固化体強度は、根固め部の必要強度を満足せず判定はNGとなった。

③ 原因

採取口に礫が挟まってしまい、閉まらなくなった状態で採取器を引上げ回収していたことにより、試料は根固め部から採取したソイルセメントだけでなく、杭周固定部からも混入してしまった可能性があった。また、引き上げ回収直後の採取器をハイウォッシャーで洗浄したため、その際に採取口付近にも水を吹き付けていたことが推測される。このため、採取した試料は貧配合状態と化していたものと考えられた。

④ 再発防止策と認識事項

礫を含む地盤の場合、採取口の開閉を数回行い、100mm程度上下反復をした後に試料を採取し、採取口に礫が挟まらないような採取手順を計画する。

また、密度値を測定することは採取したソイルセメントの良否判定の目安になり得る。採取直後の出来ばえ確認として、目視観察（攪拌混合状態、泥塊混入状態、色調）や密度測定等の物性調査は有効である。

以下に、要因 No.1 に関係する補足説明とともに、その他の留意事項を含めて列記する。

a) 根固め部以外からの試料の混入をなくすために

根固め部以外の試料が混入してしまう可能性があり、強度低下に至るリスクが存在する。また、その影響は大きい。入念な施工により、地中で良質な根固め部が築造できたとしても、採取して地表に取り出した試料の出来ばえが良好でない可能性があり、真の出来形確認はできない。このため、施工時の努力が水泡と化してしまうことを十分に認識する必要がある。

このリスクは、杭メーカーが使用しているいずれの採取器（写真-6.1）においても同様であるが、その影響度は採取器により大小はある。採取口への礫などの挟み込みに対しては、採取口の開閉を数回繰り返すこと、上下動させる等の作動による対策を行うことが有効である。

b) 採取器が備え持つべき必要条件(気密性の観点からの採取器そのものの良否判断)

元来、採取器が備え持つべき必要条件として気密性（密閉性）がある。この気密性が不足している場合にも、根固め部以外の深度にて採取口より試料が混入してしまう可能性がある。

c) 採取器の採取口の開閉原理と技能者要件(技能不足での採取失敗をなくすために)

現状、主流となっている2工程方式の採取器には、容器の蓋を開閉する方式と二重管をスライドさせて開口部が開閉する方式がある。これらの動作方法は機械式と油（水）圧式とに大別される。施工関係者は採取器ごとの採取口開閉システムの原理を十分に理解する必要があり、技能を習得した者が行う。地上でのキャリブレーション等により、必要に応じて採取口の開閉を事前確認した上で未固結試料採取の作業に従事する必要がある。

d) 試料採取が可能な最遅時間と注意事項(時間経過により採取が困難とならないために)

根固め液をプラントのミキサーで混練り開始してから、未固結試料採取までの経過時間によっては、試料採取が困難となることがある。長尺杭施工の場合には経過時間が長くなり、夏季などの気温が高い時期では初期固化時間が異なる（早い）こともある。この最遅時間の目安としては2時間程度を考慮し、それ以上経過する場合には遅延剤や活性剤等の使用を検討する。

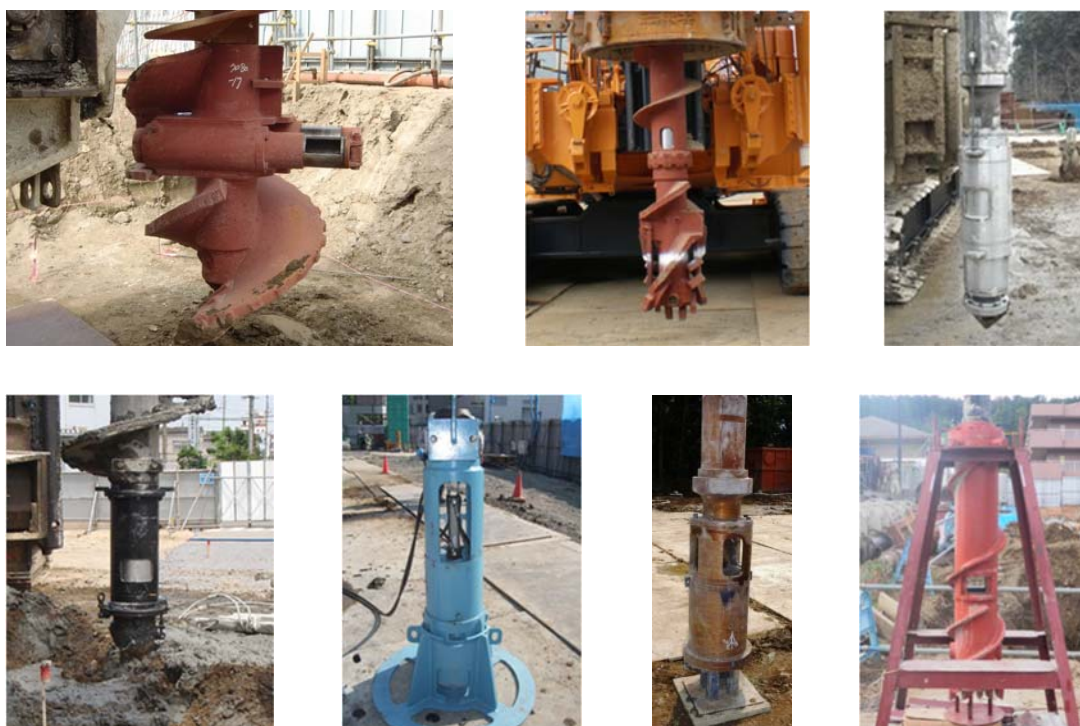


写真-6.1 2工程方式の未固結試料採取器の例

(2) 要因 No.2(採取後の供試体の養生方法の不備に起因する事例)

① 場所

埼玉県

② トラブル内容

採取した試料をモールド缶に詰め、クーラーボックスで初期養生を行った。室内気温が10℃を下回ることが予想されたため、熱源を入れて養生を行った(写真-6.2)。翌日、供試体の発送準備をしようとクーラーボックスの蓋を開けたところ、熱源の電源が切れていた。未固結試料の固化体強度は、必要強度の1/2程度であり判定はNGとなった(表-6.2)。

③ 原因

クーラーボックス内の温度管理が不足していた。翌日の作業開始までの間に主電源が切れたことにより初期養生時にクーラーボックス内の気温が低下してしまい、供試体に悪影響を及ぼした。

④ 再発防止策と認識事項

クーラーボックスの熱源は、一晩中入れておく必要があることから、事前にその旨を関係者全員に伝達しておく必要がある。また、電源別系統である元請事務所の協力を得て室内の電源を借りるなどの処置を行っておくことが望ましい。

表-6.2 未固結試料固化体の圧縮強度試験結果

| 材齢 (日) | 圧縮強度 (3本の平均値) (単位: N/mm ²) | 圧縮強度の目標値 (単位: N/mm ²) | 判定 |
|-----------|---|--------------------------------------|----|
| 3 | 5.2 | 10 | NG |
| 7 | 6.9 | 10 | NG |
| 28 | 11.5 | 必要強度: 14 | NG |



写真-6.2 クーラーボックス内に熱源を入れた初期養生の状況

※温度が高温過ぎると促進養生となるため、3日、7日での判定は要注意。

(3) 要因 No.3(地盤条件に対応する施工方法・手順の不備に起因する事例)

① 場所

東京都

② トラブル内容

支持層の土質確認を目的とする土砂採取施工後、同一孔で未固結試料採取を実施した。(図-6.1)。そこで、掘削水量を極力絞って土砂採取施工を行い、その後セメントミルクを注入し未固結試料を採取したが、試料の観察結果としては原土の色が濃く、セメントミルクとの攪拌混合が不十分な状態であることが報告された。未固結試料の固化体強度は、若材齢強度判定の目標値である 10 (N/mm²) に対して 2.3 (N/mm²) と低強度であり判定は NG となった。

③ 原因

- (1) 掘削水量が少なく、セメントミルクと土砂の攪拌混合性が低下した。
- (2) 原土を採取した同一孔で未固結試料採取用の孔築造作業に移行したため、孔壁崩壊の発生、孔内の圧力差の発生、伏流水の影響などにより、強度への悪影響に及んだと推定された。

④ 再発防止策と認識事項

- (1) 土砂採取施工後、その同一孔にて未固結試料採取を行うことは、本杭のサイクルタイムとは異なることになる。また、強度不足が発生することがある。そのため、孔の兼用は行わないものとし、土砂採取施工と未固結試料採取は別の位置で実施する。また、未固結試料採取は、予定する本杭施工方法の妥当性を検証するものなので基本的に同一サイクルタイムでの施工を行う必要がある。
- (2) 根固め部の築造は、セメントミルクと土砂の攪拌混合性を良好とするために適度な水量を確保して掘削を行う。当該事例は土砂採取施工孔を併用する未固結試料採取となったため、より原土に近い状態にて土砂を採取するとの観点から、極力掘削時の水量を抑えた施工となっていた。

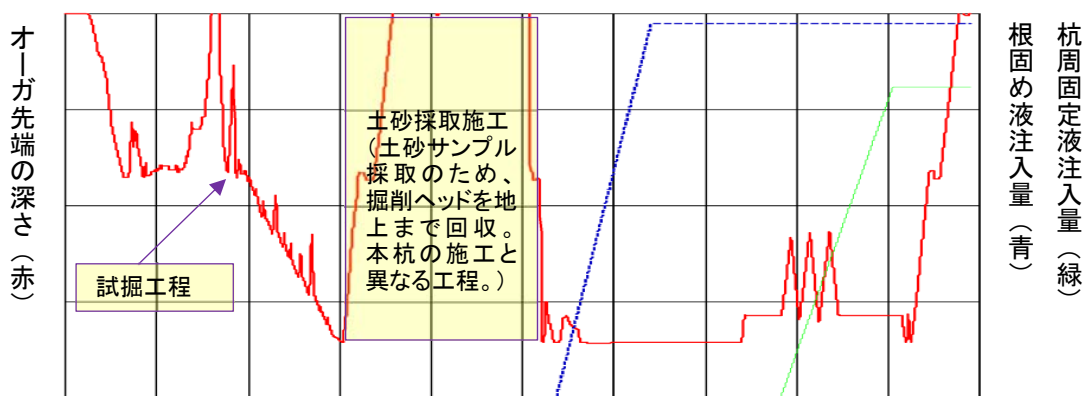


図-6.1 土砂採取用の試掘と未固結試料採取を同一孔で兼用したサイクルタイム図の例

逆に、掘削水量が過度になってしまうとソイルセメントの W/C を上昇させてしまうため注意が必要である。

6.3 トラブルとその要因のまとめ

トラブル事例を収集して取りまとめを行った。トラブル要因としては3種類に大別でき、その中で考えられる具体的なトラブルの例とその要因を以下に列記する。

(1) 採取方法(採取自体)の不備に起因する強度不足

- ① 採取器の気密性不足 (採取器そのものの良否)
- ② 採取深度の間違い (採取後の閉口が不完全な場合の根固め部以外からの異物混入)
- ③ 試料採取要領に対しての技能不足による誤操作や手順等の間違い
- ④ 経過時間による試料の採取不可能

(2) 採取後の供試体の養生方法の不備に起因する強度不足

- ① 未固結試料を採取後、供試体作製以降の養生不良
- ② 特に、冬季の初期養生温度 (標準養生温度: 20°C±2) の未確保
- ③ 供試体の早期運搬移動時における不良

(3) 地盤条件に対応する施工方法・手順の不備に起因する強度不足

- ① 掘削方法 (掘削速度、反復回数等) の不適切による攪拌混合不良
- ② 細粒分が多い地盤の場合における泥塊の混入
- ③ 掘削液の不適切な量 (過小・過大)
- ④ セメントミルクの不適切な配合と注入量

未固結試料採取は、採取試料の固化強度を確認することで、本杭のサイクルタイムの良否を評価することが目的である。したがって、未固結試料採取の施工は、本杭と同様のサイクルタイムとすることが条件である。未固結試料採取はサイクルタイムの異なる土砂採取試験とは兼用しない。

未固結試料の固化強度が杭先端支持力に大きく影響することを踏まえて、十分な対策と慎重な施工を行わなければならない。

添 付 資 料

未固結試料採取のための施工試験計画書(例)

〇〇〇〇工法

工事名： 〇 〇 新 築 工 事

〇〇株式会社 〇〇支店

目 次

I. 未固結試料採取のための施工試験計画書（例）

| | |
|----------------------|-----|
| 1. 未固結試料採取の概要 | P.1 |
| 2. キャリブレーション | |
| 2.1 計量機器のキャリブレーションの例 | P.1 |
| 2.2 機材の基本量の計測 | P.2 |
| 2.3 杭打ち機の傾斜計の調整 | P.2 |
| 3. 掘削試験 | |
| 3.1 軸部掘削 | P.3 |
| 3.2 支持層への到達確認 | P.3 |
| 4. 未固結試料採取 | |
| 4.1 根固め部の築造 | P.4 |
| 4.2 セメントミルクの配合管理 | P.4 |
| 4.3 根固め液の注入 | P.4 |
| 4.4 杭周固定液の注入 | P.4 |
| 4.5 未固結試料の採取 | P.4 |
| 4.6 外観および物性調査 | P.5 |
| 4.7 供試体の作製 | P.6 |
| 4.8 供試体の養生 | P.6 |

II. 未固結試料採取のタイムスケジュール（例）

| | |
|-------------------|-----|
| 1. タイムスケジュール（例） | P.7 |
| 2. 杭の計画サイクルタイム（例） | P.8 |

I. 未固結試料採取のための施工試験計画書(例)

1. 未固結試料採取の概要

地盤状況や杭仕様を考慮し、根固め部の目標強度を満足するように根固め液の注入率や注入方法を盛り込んだ施工サイクルタイム計画表に従い、施工した杭の根固め部からソイルセメントの未固結試料を採取する。そして、試料固化後の圧縮強度を調査することで、計画の妥当性を評価することを目的とする施工試験を実施する。

具体的には根固め部築造後、未固結試料を採取し、まだ固まらない試料についての物性調査並びに、固化後に圧縮強度試験を行うことにより、根固め部に必要な強度を満足する根固め液の配合、注入量、施工サイクルタイムであることを確認する。施工試験の留意事項としては、杭の建込みは行わないため、本杭とは異なる位置(別孔)で実施することを原則とする。さらに、本杭をプロセス管理するための試験なので、本杭と同じサイクルタイムで実施する。そのため、サイクルタイムが異なる支持層確認のための土砂採取施工と兼用しない。

採取試料は、土砂とセメントミルクの混合状態、色、温度、土塊混入の有無などの外観検査を実施し、固化後に圧縮強度試験を行う。

2. キャリブレーション

使用する計量機器の計量精度の確認(キャリブレーション)や機材の基本量の計測、杭打ち機の調整を行う。

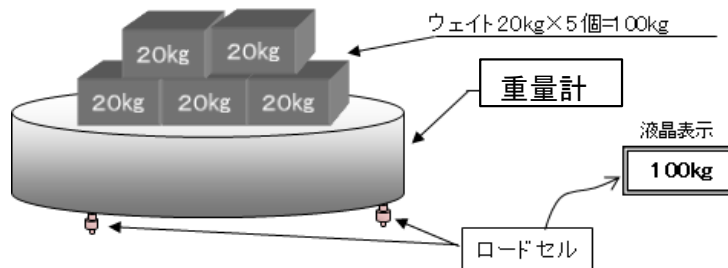
2.1 計量機器のキャリブレーションの例

(1) プラント(セメント重量計、水の計量器)

プラントのミキサにロードセルが装備されており、ミキサ自体が秤となっている。

セメントおよび水は、秤の計量値と連動し、自動で設定量がミキサに投入される。この秤のキャリブレーションを行う。

- ・ 検量用分銅の確認
- ・ 重量計の重量表示0kg確認
- ・ ミキサ内部、または上部に分銅を均等に載荷する
- ・ 重量計の重量表示100kg確認の例



(2) 施工管理装置(流量計、深度計など)の例

a. 流量計

- ・ 流量計の表示が計画値になるよう、プラントポンプの速度を合わせる。
- ・ 流量値表示の安定を確認し、計量バケツに時間を計測しながら吐出する。
- ・ 所定時間経過して計量バケツに吐出した水量がおおよそ計画値であるか確認する。

b. 深度計

- 掘削ヘッド先端の高さを計測開始の基準高さ(±0mm)に合わせる。
(例:基準がGL±0mmで、視準レベルをGL+1,000mmにセットした場合、視準レベル分の高さを掘削ヘッド先端から1,000mm上に印を付けておき、レベルで印を視準しながら、先端を上下させ、印が合う高さに調整する。このように掘削ヘッド先端高さを基準GL±0mmに合わせたところで、深度計を0mmにセットする)

(3) マッドバランス(セメントミルクやソイルセメントの密度測定器具)

- 容器に水を満たし、蓋をする。
こぼれた水滴を拭きとる。
- 分銅を1.0の目盛りに合わせる。
- 水平器の水泡が中央にあることを確認。
- 合っていない時は、蓋ねじを外し、中のダイヤルゲージを回して調整する。



【マッドバランス】

2.2 機材の基本量の計測

(1) プラントから掘削ヘッド間のセメントミルク到達時間(タイムラグ)

プラントポンプを稼働し、セメントミルクが掘削ヘッド先端まで到達する時間を把握する。

- 事前にホース長さを把握し、計算上のタイムラグを算出しておく。
- プラントのアジデータ、若しくはミキサに水を張り、食紅などで着色する。
- ポンプ送り速さを、施工時にセメントミルクを吐出する流量に合わせて水を送り、流量計で流量を確認する。
- 流量が安定したら、プラントから着色した水に切り替え、同時にストップウォッチ等で時間計測を始める。
- 着色した水がヘッド先端から出たら、時間を確認する。

(2) 掘削ロッド等の長さ

掘削ロッド等を横置きにし、メジャー等で長さを確認する。掘削ロッドの種類は、5m、10mの任意の長さの連結ロッド等がある。

2.3 杭打ち機の傾斜計の調整

杭打ち機のリーダの鉛直性を、2方向より下げ振りなどで確認しながら鉛直に調整する。掘削ロッドをリーダに対して平行に合わせ、鉛直性を確認したうえで、リーダ傾斜計(杭打機操縦室内)の角度を前後計左右計ともにゼロ点に合わせる。

目標管理値は1/200以内(鉛直±0.3°以内)とする。

例) リーダ長さが30mの場合、1/200は上端部と下端部で150mmの差異となる。DH508以上とDH358はリーダのガイドパイプ(オーガが上下動するパイプ)がφ100mm、DH408はφ70mmであるので、鉛直確認の目安となる。

3. 掘削試験

3.1 軸部掘削

掘削ヘッド先端から掘削液を吐出しながら掘削する。適宜、反復しながら掘削することにより、孔曲りを防止する。地中障害による掘削孔の傾斜や杭心ずれ、または掘削液面の低下に注意して掘削を進める。掘削状況に異常が発生した場合は、作業を中断し、工事監理者と協議する。掘削時の電流値を測定し、その測定値から求めた積分電流値とボーリング柱状図とを対比しながら掘削孔の状況を確認する。掘削速度は土質の状態や掘削孔内の泥化状態・オーガ駆動装置の掘削抵抗に合わせて適宜調整する。拡大根固め部天端、もしくは杭先端深度(支持層出現深度の想定位置)まで掘削後、孔内を攪拌し掘削孔を造成する。

| 【掘削速度の目安】 | | 参考: JISA7201 (2009) | 参考: 杭基礎施工便覧 (H27) |
|------------|-------------|---------------------|-------------------|
| 土質 | 掘削速度(m/min) | 掘削速度(m/min) | 掘削速度(m/min) |
| シルト・粘土・緩い砂 | 0.5～4.0 | 2.0～6.0 | 0.5～4.0 |
| 硬い粘土・中密砂 | 0.5～3.0 | 1.0～4.0 | 0.5～3.0 |
| 密な砂・砂礫 | 0.5～1.0 | 1.0～3.0 | 0.5～1.0 |

3.2 支持層への到達確認

日建連発行の「杭の施工管理における支持層到達の確認工法」に従って支持層管理を行う。支持層到達の判断と確認方法には、主として以下の5つがあり、地盤条件、杭の仕様、杭の施工方法等によりその採否や優先度が異なる。

- ・地盤調査結果に基づく判断・確認
- ・掘削ヘッド等に付着した掘削土採取による判断・確認
- ・オーガ駆動装置の掘削抵抗(電流値、積分電流値等)の変化による判断・確認
- ・施工状況の変化(機械の振動やオーガ駆動装置の音の増大)による判断・確認
- ・試掘による判断・確認

これらを利用した総合的判断により支持層深度の判定を行う。想定支持層深さの上方約5m付近から、掘削速度・掘削液吐出量を一定に保ちながら掘削し、支持層への到達を確認する。

具体的な方法としては、以下に例を示す。A～Eの方法を利用し、その総合的判断により行う。

(1) 支持層確認の方法

A. 積分電流計の波形と柱状図との比較

記録方法: 管理装置画面の写真

B. 瞬時電流値の変化

C. 重機に伝わる振動・モータ音の変化等の状況

記録方法: 状況が変化した深度をチェックシートに記載

D. ヘッド付着土採取

記録方法: 写真記録

E. 掘削深度による管理

記録方法: レベル確認写真、管理装置画面の写真

(2) 支持層が想定深度で出現しなかった場合の措置

実際の支持層出現深度が想定より深く、杭の根入れ長さが設定値以上確保できない場合には、施工を中断し、元請け技術者や工事監理者または設計者に報告する。

4. 未固結試料採取

4.1 根固め部の築造

支持層への到達確認後、根固め部の施工を行う。最終掘削深度は、掘削ロッドにあらかじめマーキングしておき、レベル測定機で視準し、工法ごとに定められた所定の方法で根固め部を施工する。

特に、埋込み杭では、鉛直支持力を根固め部の支持力に期待することが多く、根固め部の性能が支持力発現に大きく寄与するため、根固め液の管理(配合・注入量)と根固め部の施工およびその出来ばえを確認することが重要である。根固め液の注入方法については、計画サイクルタイムで規定した施工方法と比較して確認する。

4.2 セメントミルクの配合管理

所定の根固め部の性能を確保するために、セメントミルクの配合確認を行う。配合の確認はマッドバランスを用いて、風や振動などによる外力の影響を受けにくい場所で行い、セメントミルクの密度が規定範囲内であることを確認する。

【セメントミルクの密度確認】(密度 3.15g/cm^3 の普通ポルトランドセメントを用いたW/C60%の例)

| | | |
|-------|---------|---|
| 根固め液 | ミキサから採取 | $\rho_{\text{CM}} = 1.74\text{g/cm}^3(-2\% \sim +3\%)$ (1.71~1.79) |
| 杭周固定液 | | |

※密度の許容値(上限値、下限値)は、各工法による。

4.3 根固め液の注入

注入作業は計画サイクルタイムで定めた工程で行い、所定量を所定位置に所定方法で注入することが重要で、これらを管理しながら施工する。グラウトポンプから圧送開始後、掘削ヘッド先端にセメントミルクが到達するまでのタイムラグの間はセメントミルクをカウントしない。

4.4 杭周固定液の注入

軸部の掘削孔に杭周固定液を注入し、杭周固定部を築造する。杭周固定液の注入は必要区間にて行う。反復攪拌を行いながら所定の範囲に注入する。

4.5 未固結試料の採取

未固結試料の採取手順の一例を図に示す。以下に、採取手順の例と留意点を示す。

① 掘削ロッドを引上げ、掘削ヘッドを切離し、未固結試料採取器を装着する。

→採取器の設備を確認(O(オー)リング、グリース、オイル等)する。

② 孔壁を削ることのないよう、掘削孔の中心に、ゆっくりと所定の位置まで挿入する。

→鉛直精度の確認、挿入抵抗(摩擦抵抗)のないことを確認(負荷の確認)する。

この時、掘削ロッド及び掘削孔上面の乱れに注目し、途中で採取口が開かずに挿入できたかに注意する。

③ 採取口位置が所定の採取位置(根固め部内)に到達したことを確認する。

④ 所定の方法(機械式または油圧式・水圧式)で採取器の採取口を開く。

→採取口を開けると、すぐに液面が下がり、数秒後にエアが上がってくる。液面の低下あるいはエアを確認し、確実に採取口が開いたことを確認する。

⑤ 所定の方法で採取器の採取口を全閉させる。

→採取口が完全に閉まっていないと根固め部以外の杭周部のソイルセメントなどが混入してしまうので、採取器の仕様どおりに採取口が閉まっていることを確認する。礫地盤の場合には、採取口に礫が挟まり、完全に閉じないことがあるので注意する。

⑥ 採取器をゆっくり引上げる。

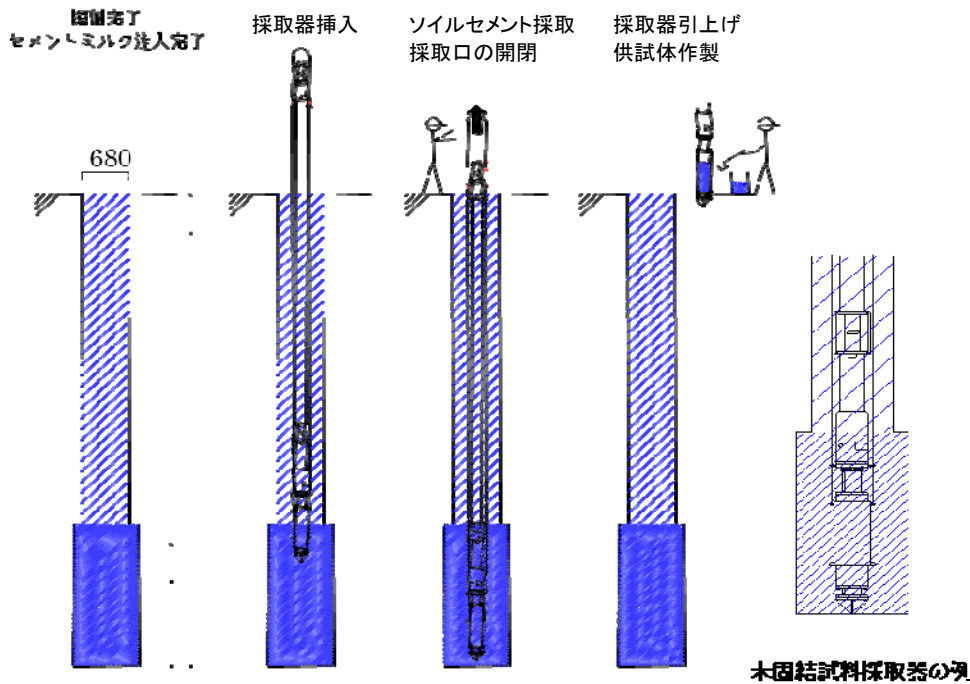
→採取口付近に付着している泥土や杭周固定液の混入が想定されるため除去する。また、採取口が完全に閉まっていることを確認する。

⑦ 密閉した採取器の取り出し口を開け、採取した未固結試料を取り出す。試料はポリバケツ等に移し、密度測定、土塊混入の有無、外観調査を行い、その後試験体を作製する。

→採取口を開ける際は、根固め部の圧力が封じ込められているので、吹き出しに注意する。

また、⑤の全閉が不完全な場合や、⑥の引き上げ時の全閉が不備な場合には、圧力が既に開放されていることも考えられるので、注意深く確認する。採取した未固結試料は、ひしゃく等を用いて一度ポリバケツに入れ、密度測定および外観調査を行い、その後試験体を作製する。

採取直後の試料の観察や物性調査は採取成功か否かの判定に影響するので必ず行う。



4.6 外観および物性調査

根固め部が適切に攪拌混合されているか、採取された試料が根固め部から採取されたものかなどを調査し、未固結試料として適合しているかを以下の項目を参考に判断する。

不適合と判断された場合は、対策を協議の上再施工し採取する。

| | 調査項目 | 目的 | 調査方法 | 関連装置 | 判定の目安の例 |
|--------|------|-------------------------|------|---------|---------------|
| 外観 | 色合い | 支持層土砂、セメントミルクの混入状況を調査する | 目視 | | セメントミルクに近い色 |
| | 混合状況 | 泥塊の有無 | 目視 | ふるい | 10%未満 |
| 泥塊の大きさ | | 目視 | ふるい | ゴルフボール大 | |
| 物性 | 密度 | セメントミルクの混入状況 | 密度測定 | マッドバランス | セメントミルクに近い値以上 |
| | 温度 | セメントミルクの混入状況 | 温度測定 | 温度計 | 同上 |
| | 採取量 | 試料作製に十分かを確認 | 目視 | バケツなど | |

観察・調査結果を記録用紙に記載する。

4.7 供試体の作製

- ① 採取した未固結試料のうち採取口付近の上澄み液は捨てる。
- ② 供試体はモールドでの作製を標準とし、標準寸法はφ50mm、高さ100mm以上とする。
- ③ 採取試料内の10mm以上の礫は取り除く。
(モールド径φ50mmの1/3以上 JIS A 1107 コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮試験方法)
- ④ 標準作製本数は、12本以上とする。予備が3本以上作製できると良い。
(材齢3日強度用、材齢7日強度用、材齢28日強度用、予備用を各3本以上)
採取量が少ない場合は、材齢7日強度用、材齢28日強度用を優先する。
- ⑤ 作製方法は、3層以上に分けて投入し、各層毎にタッピングして気泡を除く。(ブリーディングすることを想定し、2cm程度嵩上げをする)
その後、薄膜ビニール等で封かんする。



【モールド(例)】

4.8 供試体の養生

供試体の養生は、試料の固化強度に大きく影響するので慎重に行う。特に気温の低い時期や地域では、適切な養生装置を準備しておくことが重要である。養生に関する留意点を以下に示す。

- ① 採取から養生開始までの時間は短いほど良い。
- ② 保温および湿潤状態確保のため、現場においてはクーラーボックス等の養生箱を用意する。養生箱は原則、室内に置き、供試体を適切な温度(地中の温度程度の20℃前後)で乾燥しない環境下で養生するよう配慮する。硬化するまでは(1日～2日程度)静置する。
- ③ 硬化後、試験場へ移動させる。また、供試体間の隙間には間詰めなどで転倒防止を行う。試験場では標準養生(20℃の水中にて養生)とする。

II. 未固結試料採取のタイムスケジュール（例）

1. タイムスケジュール（例）

（現場状況に合わせて計画する）

年 月 日（ ）

| 予定時間 | 施工フロー | 検査内容 | 写真 | 確認方法 | 管理値 | 合否又は実測値 | |
|---------------------|-----------|-----------------|-----------|----------------------|---------------------------|----------------------|--|
| 9:00 ～ 10:00 | キャリブレーション | プラントセメント重量計確認 | ○ | 錘(20kg×5個) | 0kg→100kg(±1kg) | | |
| | | マッドバランス水の密度確認 | ○ | マッドバランス | 1.0 | | |
| | | 流量計確認 | ○ | 計量バケツ | 12m ³ /hで水200ℓ | | |
| | | タイムラグ測定 | ○ | ストップウォッチ | タイムラグ実測 | | |
| | | 掘削ロッド長確認 | ○ | リボンテープ | — | | |
| | | 掘削ヘッド長さ確認 | ○ | リボンテープ | 所定の長さ | | |
| | | 掘削ヘッド径確認 | 掘削径 | ○ | スケール | 780 mm(～ 810 mm) | |
| | | | 拡大径 | | スケール | 1,200 mm(～ 1,260 mm) | |
| | | | リーダ傾斜計の調整 | ○ | トランシット | 1/200以内 | |
| | 深度計確認 | ○ | レベル | 0セット(機器高:GL+1,000mm) | | | |
| 10:00 ～ 14:00 | 掘削試験 | リーダ・掘削ロッド鉛直確認 | ○ | リーダ傾斜計 | 1/200以内(傾斜計0.3°以内) | | |
| | | 軸部掘削 | | 深度確認 | — | | |
| | | 支持層への到達確認 | ○※1 | 深度確認 | GL- 36.00 mより浅い事 | | |
| 14:00 ～ 16:00 | 未固結試料採取 | 根固め部の築造(掘削深度確認) | ○※1 | 深度確認 | ±100mm以内 | | |
| | | 根固め部の築造(拡大確認) | ○ | 掘削抵抗確認 | シェアピン確認(事後) | | |
| | | セメントミルクの配合確認 | ○ | 配合表確認 | 下表参照 | | |
| | | セメントミルクの密度確認 | ○ | マッドバランス | (普通セメント) 1.71～1.79 | | |
| | | 根固め液の注入 | ○※1 | 流量計確認 | 3.06 m ³ 以上 | | |
| | | 杭周固定液の注入 | ○※1 | 流量計確認 | 1.96 m ³ 以上 | | |
| | | 未固結試料の採取 | ○ | バケツ・ふるいなど | 外観・物性検査(下表参照) | | |

※1:施工完了後、データが揃った状態の管理装置画面を撮影する

【試験孔の仕様】 (掘削手順及び杭周固定液の注入範囲に関係するため、便宜上杭打設時と同様の名称で記載する)

| 仕様 φ600/750、拡張比1.6(P2杭他)と同等の仕様(試験杭が細径の為) | | | | | 施工位置 | | |
|--|--------|---|----------|---------|-------------|--------|-------------|
| 1D ₁ | 750 mm | ※支持層限界深度は「杭先端深度-杭節部径(1D ₁)」 | | | 近接ボーリングNo. | No. 3 | |
| 杭全長 | 35 m | 拡大長 | 2,700 mm | 杭天端深度 | GL- 1.75 m | 杭先端深度 | GL- 36.75 m |
| 拡張比 | 1.6 | 杭下長 | 700 mm | 根固め上端深度 | GL- 34.75 m | 最終掘削深度 | GL- 37.45 m |

【セメントミルクの配合表】

○根固め液注入量標準(1.0倍)

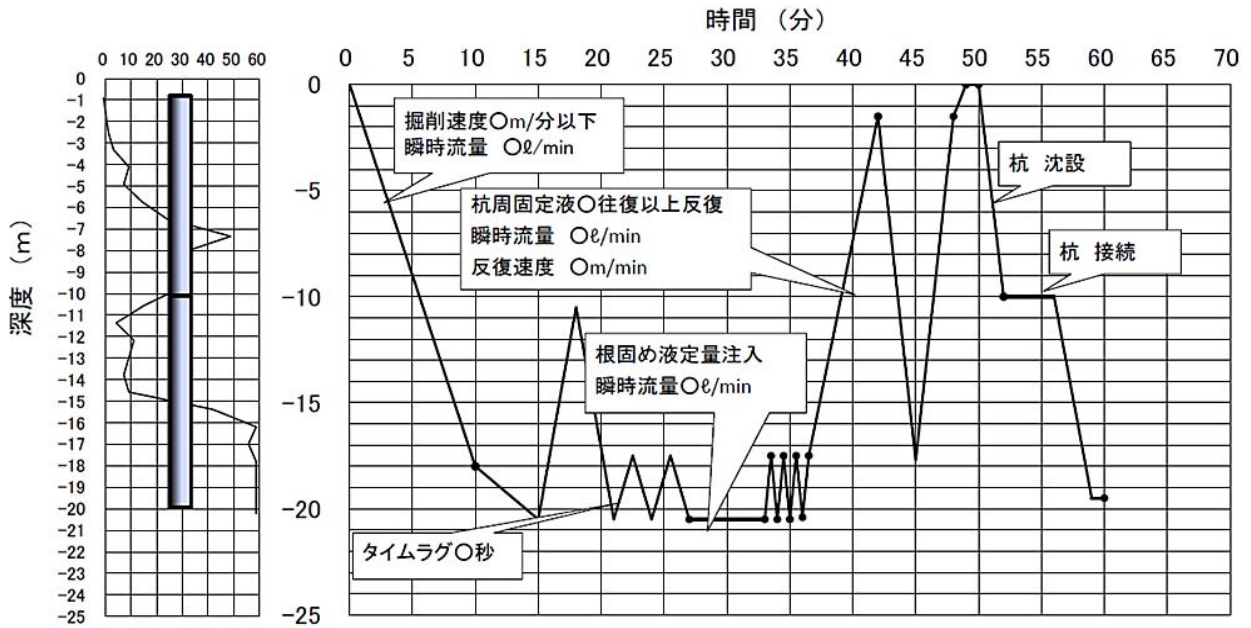
| 種類 | セメント量 (kg) | 水 (ℓ) | 練り上がり量 (m ³) | 配合比 (%) |
|-------|---------------|----------|-----------------------------|------------|
| 根固め液 | 3,336 | 2,001 | 3.06 | 60 |
| 杭周固定液 | 2,137 | 1,281 | 1.96 | 60 |

【外観・物性検査項目】

| | 調査項目 | 目的 | 調査方法 | 関連装置 |
|----|------|-------------------------|------|---------|
| 外観 | 色合い | 支持層土砂、セメントミルクの混入状況を調査する | 目視 | |
| | 混合状況 | 泥塊の有無 | 目視 | ふるい |
| | | 泥塊の大きさ | 目視 | ふるい |
| 物性 | 密度 | セメントミルクの混入状況 | 密度測定 | マッドバランス |
| | 温度 | セメントミルクの混入状況 | 温度測定 | 温度計 |
| | 採取量 | 試料作製に十分かを確認 | 目視 | バケツなど |

| 平均N値 | | 40 |
|------|-----------------|-----------------------|
| 目標強度 | σ ₂₈ | 9.4 N/mm ² |
| | σ ₇ | 6.5 N/mm ² |
| | σ ₃ | 5.0 N/mm ² |

2. 杭の計画サイクルタイム(例)



「根固め部のソイルセメント強度確認のための技術資料」作成関係委員

(敬称略、順不同)

一般社団法人日本建設業連合会 建築生産委員会 施工部会
既製コンクリート杭施工管理専門部会

| | | | | |
|-------|----|----|-----|-----------------|
| 施工部会長 | 木谷 | 宗一 | ・・・ | 株式会社竹中工務店 |
| 主査 | 温品 | 秀夫 | ・・・ | 大成建設株式会社 |
| 副主査 | 岡本 | 秀雄 | ・・・ | 株式会社大林組 |
| 副主査 | 土屋 | 富男 | ・・・ | 株式会社竹中工務店 |
| | 福島 | 隆 | ・・・ | 鹿島建設株式会社 |
| | 岸田 | 了 | ・・・ | 清水建設株式会社 |
| | 秋月 | 通孝 | ・・・ | 大成建設株式会社 |
| | 細田 | 光美 | ・・・ | コンクリートパイル建設技術協会 |
| | 西村 | 裕 | ・・・ | コンクリートパイル建設技術協会 |
| | 松木 | 靖紀 | ・・・ | コンクリートパイル建設技術協会 |
| | 千種 | 信之 | ・・・ | コンクリートパイル建設技術協会 |
| | 朝妻 | 雅博 | ・・・ | コンクリートパイル建設技術協会 |
| | 木谷 | 好伸 | ・・・ | コンクリートパイル建設技術協会 |