

第23回 国土技術開発賞 優秀賞受賞

化学的手法を用いた基礎ぐい工事の 施工品質検査技術 CW – QUIC システム

〔受賞者〕 清水建設株式会社

〔本稿執筆者〕 依田 侑也、浅香 美治

以下に、第23回 国土技術開発賞 優秀賞を受賞した「化学的手法を用いた基礎ぐい工事の施工品質検査技術」を紹介します。

1. はじめに

既製杭埋込み工法は、掘削孔内の泥水中にセメントミルクを注入・攪拌することによって根固め部および杭周固定部を築造し、支持力を得る工法である。

平成26年11月、既製杭により支持されたマンションにおいて不具合が発生し、基礎ぐい工事の問題が社会的にクローズアップされた。これに端

を発し、平成28年国土交通省告示第468号、平成28年3月一般社団法人日本建設業連合会 既製コンクリート杭施工管理指針が出され、既製杭の適正な施工を確実にし、それらの記録を適切に残すことが求められるようになった。

基礎ぐい工事の施工の妥当性確認では、杭先端の支持層到達を確認することのみならず、図-1に示す、泥水中にセメントミルクを注入・攪拌して杭先端に築造される根固め部や、杭周辺に築造される杭周固定部のソイルセメントの強度を確認することが極めて重要とされており（上記日建連指針より）、現場内で即座に施工品質を確認できる本技術を開発した。

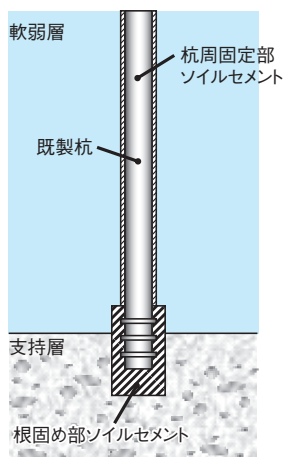


図-1 基礎ぐい工事の概要

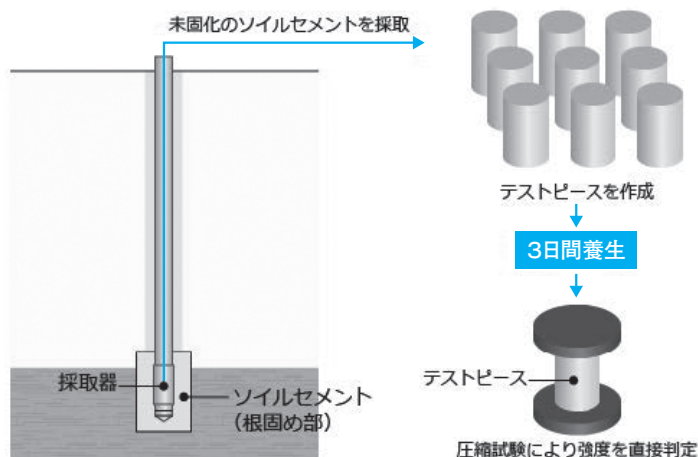


図-2 圧縮試験による従来の早期品質確認手法

2. 技術概要

基礎ぐい工事のソイルセメントの強度確認は、従来、未固結状態のソイルセメントを根固め部もしくは杭周固定部から採取器で採取し、供試体を作製して、材齢 28 日で行う圧縮試験により実施していた。しかしながら実際には、図-2 に示すように、材齢 3 日で行う圧縮試験結果から材齢 28 日の圧縮強度を推定し、杭施工の妥当性を早期確認する方法が運用されている。この方法には、材齢 3 日まで杭施工の妥当性を確認できない課題がある。

従来の強度推定手法の課題を解決するため、ソイルセメントの強度を推定する手法として、セメント水質量比が有効であることを明らかにする実験を実施するとともに、1 時間以内にソイルセメントの材料組成を現場にて簡易分析することのできる化学的手法の開発を行った。

本技術は、従来のテストピースを用いた圧縮試験での物理的手法（図-2）とは異なり、化学的手法を用いてソイルセメントの強度を判定する。具体的には、ソイルセメントの強度が土質ごとにセメント水質量比（以下、「C/W」という）と相関が高いこと、また、セメント（アルカリ性）と酸の中和反応を利用する。具体的な技術の内容を次の(1)～(3)に示すが、より詳細な技術内容は論文¹⁾に整理しているのでご覧いただきたい。

(1) 原位置土質を用いた配合試験による強度推定式の設定

支持層や杭周辺部を構成する原位置土を用いた配合試験を実施した。土は、砂質土、礫質土、粘性土、これらの混合土を用いた。まずは、普通ポルトランドセメントを用いて配合試験を実施した。その結果、根固め部ソイルセメントの C/W と材齢 28 日の圧縮強度には、土質ごとに強い相関があることを初めて指摘し、強度を判定する指標として有効であることを確認した（図-3）。なお、ここでは普通セメントの強度推定式を示しているが、同様の実験により高炉セメント B 種

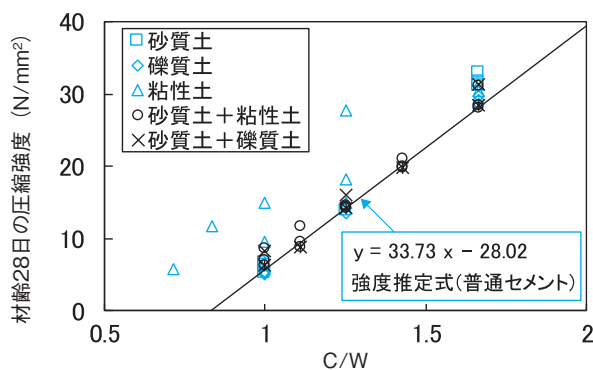


図-3 本技術の強度推定式

についても強度推定式を設定している¹⁾。

(2) 化学的手法による材料組成の簡易分析

現場で行う材料組成分析では、採取された未固結状態のソイルセメント 10 cc 程度を用い、加熱乾燥により水分量を求めるとともに、中和反応によりセメント量を求める簡易手法を開発した。特に、セメント量を求めるためには、従来、試験室の高額な分析機器（X 線回折装置、ICP 発光分光分析装置など）を用いて数時間かかっていたが、本技術は、特別な設備がなくとも現場において迅速に実施できる点が特徴である。判定の概要を図-4 に示す。判定用の試料に、目標強度を確保するために必要なセメント量をちょうど中和できる量の酸を加えた後、試料がアルカリ性を示せばセメント量は必要量以上含まれていると判定する。

本技術では、設備の限られる現場での判定作業に際して、実用性を重視した工夫がある。まず、判定に使用する器具は、写真-1 に示す、容易に入手可能で一般的なものを使用している。また、毒劇物となる酸は現場での使用に制約を受けるため、食品添加物にも使用されている比較的安全な有機酸を中和反応に使用できることを見だし、

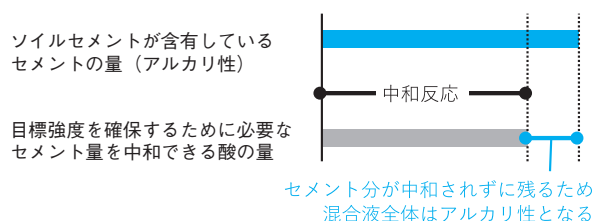


図-4 判定の概要



写真-1 判定に使用する器具



色合い①薄いグレー ②薄いマゼンタ(ピンク)
③濃いマゼンタ(ピンク) ④濃い赤

写真-2 指示薬の呈色反応による判定

本技術の試薬として用いている。さらに、溶液がアルカリ性かどうかは、写真-2に示すように、フェノールフタレイン溶液などのアルカリ性で呈色する指示薬を用いることで、目視により判定する方法を採用している。

(3) 推定精度の検証

実現場で採取した未固結状態のソイルセメントを用いた本技術の検証結果を図-5に示す。実証現場と適用現場を合わせて200現場以上での判定実績がある。本技術の推定強度がモールド供試体の実測強度を下回った事例は5件であり、97.6%(202/207)の現場で品質検査上安全側の判定が可能であった。

また、従来手法である材齢3日の圧縮強度を用いて材齢28日の圧縮強度を推定する手法と、本技術のC/Wを用いて材齢28日の圧縮強度を推定する手法の精度の比較を行った。図-6に、自

社施工現場の実績値を用いて、材齢3日の圧縮強度と材齢28日の圧縮強度の関係を整理した結果(63現場)を示す。また、図-7に、本技術で求めたC/Wと材齢28日の圧縮強度の関係を整理した結果(80現場)を示す。いずれも直線近似を行った際の近似式および相関係数を示しており、図-6の相関と比較して図-7の相関は高く、本技術による強度の推定手法は、従来の手法

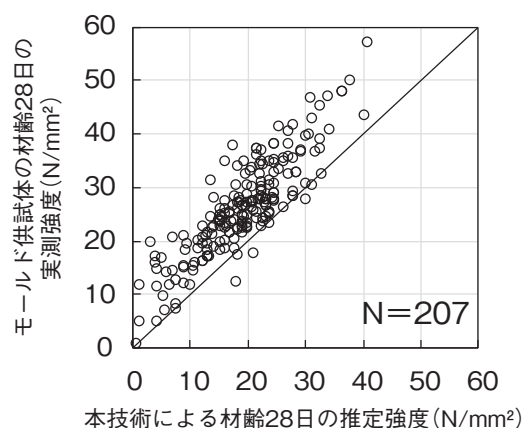


図-5 本技術の推定強度と実測強度の関係

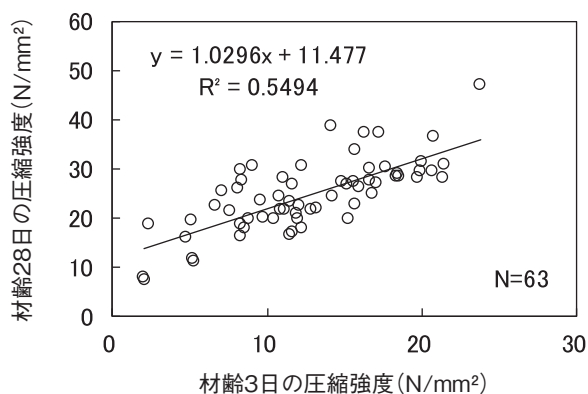


図-6 従来法の材齢3日の圧縮強度から推定する手法

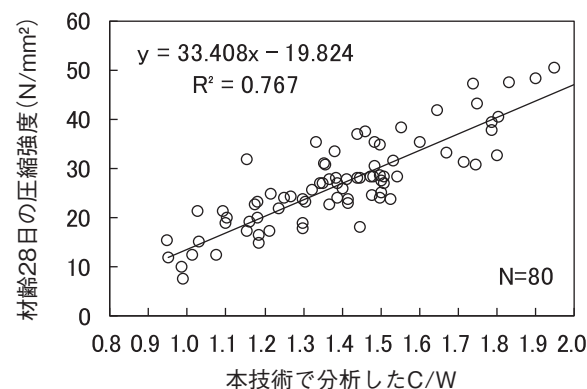


図-7 本技術のC/Wから推定する手法

である材齢3日の圧縮強度を用いる推定手法よりも高い精度で推定が可能であることを確認した。

3. 技術の適用範囲

本技術は、強度推定式を求めるために実施した実験および実現場での適用実績より、技術審査証明²⁾内で適用範囲を定めている。技術の適用範囲は次の(1)～(3)のとおりである。

- (1) 土質：4 < pH < 11 程度の礫質土、砂質土、粘性土に分類される土質
- (2) セメント：普通ポルトランドセメント、高炉セメント B 種（JIS 適合品）
- (3) 判定強度：60 N/mm² 以下

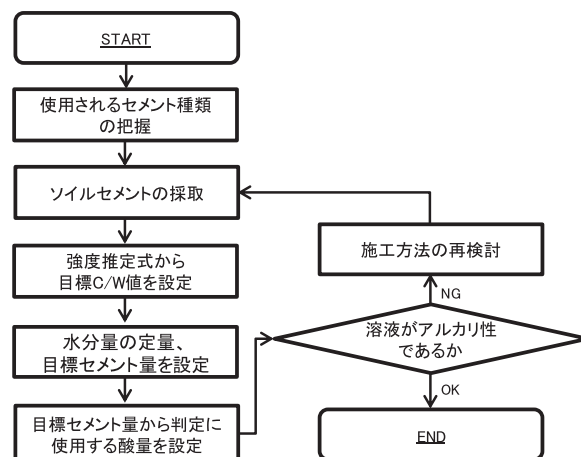
4. 技術の実施方法

実現場において本技術を実施する際の手順を図－8に示す。概要は次のとおりである。

- ・仕様書や施工要領書などから、ソイルセメントの目標強度と使用されているセメント種類を把握する。
- ・セメント種類ごとの判定式から目標強度を満足できる C/W 値を求める。
- ・ソイルセメントの水分量を定量し、目標強度を満足できるセメント量を求める。
- ・上記のセメント量を、見かけの中和点とできる酸の量を求める。
- ・見かけの中和点とできる酸の量を入れたときに、溶液がアルカリ性となれば、目標強度以上となるセメント量が入っていると判定する。アルカリ性かどうかは、指示薬等で判定する（参考：写真－2）。

本手順による検査を実施した場合、実現場においてソイルセメントの材齢28日の圧縮強度が必要強度を満たすのに十分な C/W 以上かどうかを、ソイルセメントの採取から1時間程度で判定することが可能となる。

例えば、本技術を実現場において活用して、未固結試料採取後の検査結果が不合格であった場



図－8 実現場における技術の実施方法

合、施工方法を直ちに再検討し、注入する根固め液の調合や採取方法を見直す等の方法を採用することが可能になる。これにより、根固め部の強度不足に起因する大きな手戻りやコストの増加を未然に防ぐことも可能となる。

5. おわりに

本技術については、実施者を限定することなく、世の中に広く普及ができるような展開を行っている。目に見えない部位ではあるが、非常に重要な基礎ぐいの施工品質を確保することで、業界全体の良質な構造物の構築に貢献したいと考えている。また、本技術の高い発展性を生かし、基礎ぐい工事のみならず、基礎工事全般の施工品質を向上させる技術や、生産性を向上させる技術開発を目指す。

最後に、本技術の開発に際し、ご指導ご支援をいただきました多くの皆さまに心よりお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 依田侑也，浅香美治，大和由佳，木村匠，岸田了：セメント水質量比に基づく既製杭埋込み工法における根固め部ソイルセメントの強度早期判定方法，日本建築学会構造系論文集，84巻，761号，pp.927-935，2019.8
- 2) 埋込み杭工法において原位置で築造されたソイルセメントの材料組成に基づく圧縮強度の早期評価手法，BCJ-審査証明-250，2018.11