

セメントミルク工法による埋込み杭の先端根固め部分の材料特性

セメントミルク工法 根固め 品質管理

(国研) 建築研究所 正会員○井上波彦
 (一財) ベターリビング 正会員 久世直哉
 同 正会員 二木幹夫

1. はじめに

セメントミルク工法（プレボーリング根固め工法）とは、建築基準法において先端支持力係数 $\alpha=200$ と規定された既製杭（埋込み杭）の施工法で、1970年代後半より「埋込み杭施工指針・同解説—セメントミルク工法—」¹⁾に基づく設計施工が行われてきたものである。既製杭の根固め部分については、これまで根固め液を注入する前段階でのセメントミルクの強度を確認した上で、あらかじめ定められた施工手順に従うプロセス管理が行われてきたが、施工中の直接的な品質の確認についての要望が高まっている。一方、オーガーを用いて地盤を掘削し地中に築造された根固め部は、セメント系の固化材を用いた地盤改良と類似のものであることが推察され、施工にあたって地盤改良における品質管理の考え方を適用して性能を担保することが考えられる。そこで、本検討ではセメントミルク工法を用いて築造した根固め部について、未固結試料²⁾及びコア試料を採取してその強度及び品質の確認を行った。

2. 検討対象

敷地は滋賀県米原市内である。深さ 18.9m 付近でL型地盤的なN値の急変を示し、上側は層厚 1.7m の礫混り粘土、下側は層厚 4.1m のシルト混り砂礫となっている。これらの地層の割合が変化するように掘削深度を変化させた施工（CASE-1～CASE-4）を実施した。概要を図1に示す。杭径を 600mm とし掘削径は 700mm、根固め部の長さは 2,000mm とした。ただし実杭は未設置である。また、掘削液は清水とし、根固め液の水セメント比 W/C は施工指針¹⁾に従い 70% とした。

3. 調査項目及び結果

根固め部の施工直後に、それぞれの根固めの中央位置から未固結試料を採取し、JIS A1132（コンクリートの強度試験用供試体の作り方）に準じて供試体（未固結供試体）を作成した。また、根固め部の固化後に深さ方向に連続するコア試料を採取し、施工指針¹⁾で定める根固め寸法の仕様に準拠し根固め先端より 1,500mm の範囲で供試体（コア供試体）を作成した。さらに、根固め液を用いた室内供試体も作成した。実施した調査項目と結果を表1に示す。

未固結試料の W/C は、2mm 及び 75 μ m メッシュのふるいでそれぞれ礫と細粒分を取り除いた試料に対して蛍光X線分析計（写真1：オリンパス Delta Professional）を用い、試料中のカルシウム（Ca）の比率及び使用したセメントにおける酸化カルシウム（CaO）の重量比（64.11%）によるセメント重量から算出した。いずれも W/C は根固め液の配合（70%）より増加した。ふるい分け試験によって把握した土の構成割合を図2に示す（図中の数値は上記の推定セメント重量 [g]）。また、土塊混入率に関しては、供試体の切断面から目視で粘土塊を判別し、写真2に示すようにデジタル画像上のポリゴンの面積に基づき算出した。コア採取率は、地盤改良に関する指針⁴⁾を参考に、根固め部分の連続性を示すものとしてコア全長から固化不良や断面欠損等によりコア供試体が採取できなかった部分を除いた割合である。

4. 根固め部分の強度に関する検討

表1に示す通り、CASE-1の供試体の圧縮強度が他と比較して特に低かった。そこで、上記で計算した未固結試料における W/C とセメント量について、未固結供試体及びコア供試体の圧縮強度との関係を図3及び図4に示す。図より、特に強度の低かった CASE-1 を含め、未固結試料の圧縮強度については既往の検討で示されている W/C の指数近似と類似の傾向となり、セメント量とはほぼ線形の対応を示している。W/C の根固め液からの増加には孔内水の影響が、さらに、今回の施工ではベントナイトなどの孔壁保護を行わなかったため、CASE-1においては礫層から根固め液が流出している可能性がある。また、CASE-2～4については、細粒土の割合が高く、その混入が強度に影響していると考えられる。

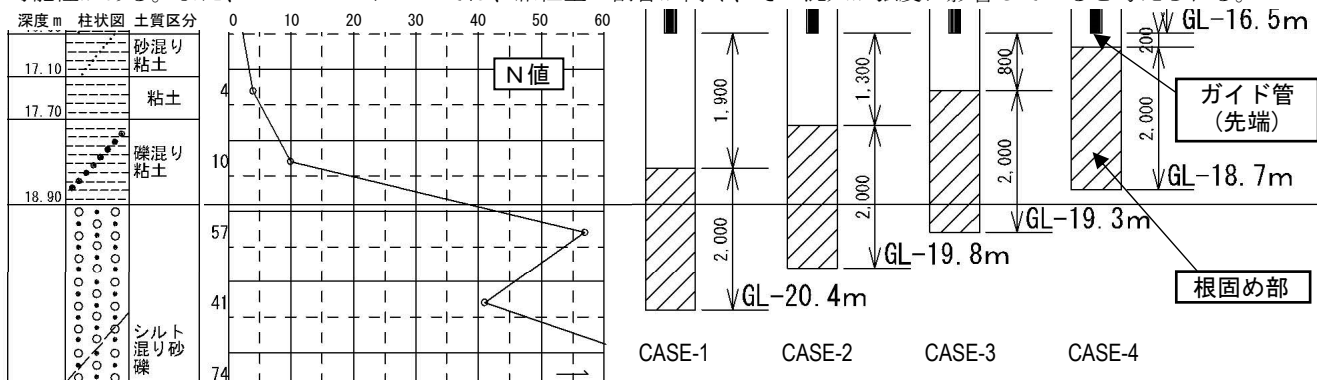


図1 対象地盤の概要及び根固め部の施工位置・形状（CASE-1～CASE-4）

5. 地盤改良の考え方の適用に関する検討

4. の結果では、コア供試体の圧縮強度に関しては未固結供試体と異なり W/C 等との関連は明確には見られなかった。表 1 及び図 2 に示す通り根固め中に掘削した地盤の一部や土塊が残留するなど、施工が置換でなく攪拌に近い地盤改良と類似の状況となっていることが強度発現に影響したと考えられる。そこで、セメントミルク工法の先端支持力係数 $\alpha=200$ を前提に、式(1)を根固めに必要となる圧縮強度 q_{un} と仮定し、地盤改良での判定式(2)の適用性について確認した。

$$q_{un} = \alpha \times \bar{N} / 1000 \dots \dots \dots (1) \quad \bar{X}_n \geq X_L = Fc + k_b \cdot \sigma_n \dots \dots \dots (2)$$

ここで α : 支持力係数 (200) 、 \bar{N} : 杭先端付近の N 値 (下部 1 d ~ 上部 4 d (d : 杭径) の平均値³⁾) 、 \bar{X}_n : コア供試体の圧縮強度 (材齢 28 日) の平均値 (表 1) 、 X_L : 合格判定値、 Fc : 改良体の設計基準強度 (式(1)によって計算した必要強度 q_{un} とする) 、 k_b : 合格判定係数 (改良指針⁴⁾) の数値 1.3) 、 σ_n : \bar{X}_n に関する標準偏差 (表 1) である。強度の出なかった CASE-1 以外は OK の判定となり、既往の地盤改良と同等以上の品質が確保されているものと考えられる。

6. まとめ

本検討により得られた知見を以下に示す。

- ・地層の構成が変化するように、異なる掘削深度に対してセメントミルク工法を用いて築造した根固め部には地盤と対応する土質構成が見られた。今回の施工では、根固め部は置換でなく攪拌混合に近い状態であると考えられる。
- ・未固結試料の密度及び空気量については強度等との関連は見られなかった。
- ・未固結試料中のセメント量を測定したところ、礫地盤を多く含む施工 (CASE-1) で得られた強度の特に低いものを含め、供試体の圧縮強度とセメント量や W/C との間に相関が見られた。このことから、未固結試料のセメント量や W/C を管理することで、根固め液の流出のおそれなど強度不足の傾向について把握できる可能性がある。
- ・粘性土地盤付近の施工 (CASE-3, 4) では、未固結供試体と比較してコア供試体における強度発現が低下する傾向が見られた。未固結試料の構成を確認したところ細粒土分を多く含んでおり、またコア供試体の土塊混入率も高かった。したがって、未固結試料に対しては粘土塊等の異物の混入状況の確認や土質構成の把握など、実際の根固め部の状態を反映できる調査の実施や手法の改善、またはこれらを考慮した検討が必要と考えられる。
- ・セメントミルク工法の品質向上に関しては、地盤改良工法を参考に、配合試験や現場室内強度比などの知見の蓄積、土塊混入率やコア採取率などの品質管理項目の導入が有効であると考えられる。

表 1 試験 (調査) 項目及び結果一覧 (圧縮強度は材齢 28 日時点) *

	未固結試料及び供試体							コア試料及び供試体				
	数量	W/C [%]	密度 [g/cm ³]	空気量 [%]	圧縮強度 [N/mm ²]		土塊混入率 [%]	数量	圧縮強度 [N/mm ²]		土塊混入率 [%]	コア採取率 [%]
					平均	標準偏差			平均	標準偏差		
CASE-1	8	371	1.810	0.75	3.85	0.23	0.00	3	6.68	6.30	1.39	80.0
CASE-2	8	132	1.806	0.25	16.68	1.34	0.00	4	11.56	4.26	2.45	86.7
CASE-3	8	107	1.777	0.50	16.79	1.36	0.00	6	8.10	3.02	6.37	93.3
CASE-4	8	90	1.832	0.10	19.04	1.67	0.01	3	8.03	1.53	7.55	66.7

* プラント試料 (根固め液、W/C=70 [%]) より作成した室内供試体の圧縮強度 (材齢 28 日時点) は 28.25 [N/mm²]



写真 1 蛍光 X 線分析計



写真 2 土塊混入状況 (CASE-3)

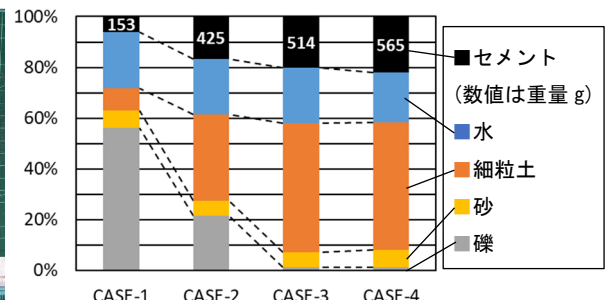


図 2 未固結試料の土質構成割合

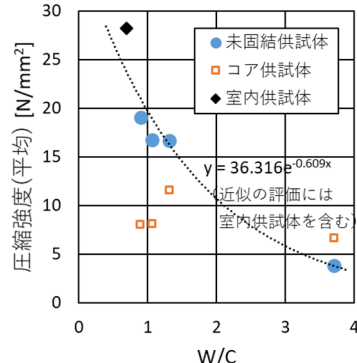


図 3 W/C と圧縮強度

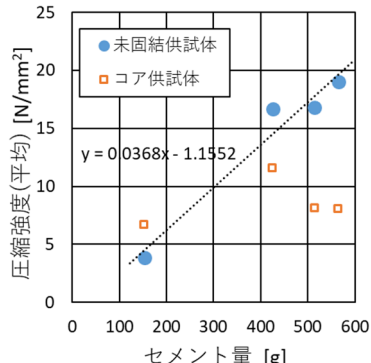


図 4 セメント量と圧縮強度

- 1) 全国基礎工業協同組合連合会：埋込み杭施工指針・同解説 ―セメントミルク工法―, 1979
- 2) パイルフォーラム：根固め部の未固結試料採取・調査・試験マニュアル (Ver.2.0), 2014.10
- 3) 日本建築防災協会・建築行政情報センター：2015 年版 建築物の構造関係技術基準解説書 (2016 年追補収録版), 2017.10
- 4) 日本建築センター・ベターリビング：2018 年版 建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針, 2018.11