プレボーリング拡大根固め部における ソイルセメントの早期強度安定化技術の検討

福岡大学工学部　学生会員　椿　貴裕　永山 陽裕
福岡大学工学部　正会員　佐藤 研一　藤川 拓朗　古賀 千佳嗣
福岡大学大学院　正会員　廣田 武次
リーフ エア㈱　稲元 裕二
㈲宮坂設計　宮坂 博信

1. はじめに　プレボーリング拡大根固め工法は、根固め部を拡大掘削することで高支持力が期待でき、設計上杭本数の軽減化を図り杭材料費の削減・工期の短縮に繋がっている。**図-1** にこの工法の杭先端部のイメージ図を示す。杭支持力確保のため杭先端根固め部にソイルセメントを注入し支持層と杭を一体化する手法が取られており、注入されたソイルセメントの適切な強度発現が求められる。しかし、根固め部には掘削残土及び孔壁崩壊を防止する泥水が満たされているため、注入されたソイルセメントはプラントで混錬された状態と相違する。これらを踏まえ現在、根固め部から未固結状態のソイルセメントを採取し 28 日養生の圧縮強度を確認する品質管理が行われている。昨今 3 日養生圧縮強度で 28 日養生圧縮強度が推測出来るため、3 日養生圧縮強度が確認されるまでは規定の 2 倍程度のソイルセメントを孔内に注入し、根固め部に十分なセメント分を確保し品質を担保しているのが現状である。しかし、この方法はセメントを多量に使用するためコスト高となる課題が顕在化している。そこで本研究では、根固め部の確実な強度確保を図るため塩化化合混合物を主体とした混和剤を添加したソイルセメントと掘削残土が混合した状態での強度発現効果を一軸圧縮強度にて評価した結果を報告する。

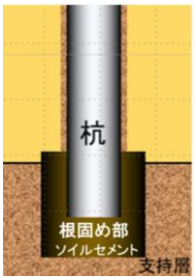


図-1　杭先端のイメージ図

2. 実験概要

2-1　実験試料及び混和剤　本研究でソイルセメントに混合した土質材料は、砂質土を想定し珪砂 5 号(以下、珪砂と称す)と木節粘土とし、これらの物理特性を**表-1** に示す。**図-2** に土質材料の粒径加積曲線を示す。珪砂は粒度分布の良い中砂を想定でき、木節粘土は細粒分が 90%以上の粘性土であることが確認される。セメントは普通ポルトランドセメントを使用した。ここで、混和剤の配合量は普通ポルトランドセメントに対する質量比であり、土砂含有量はセメントミルクに対する質量比である。また、実験に用いた混和剤は、アルカリ金属、アルカリ土類金属の塩化化合混合物であり、セメントによる固化を補助する役割を有している。混和剤の添加量は 4 条件(0, 1.0, 3.0, 5.0%)とした。また、木節粘土については、強度発現効果の確認のためさらに 7.0, 9.0%の 2 条件を追加して検討を行った。

表-1　物理特性

実験試料	土粒子の密度 ρ_d (g/cm^3)	均等係数 Uc	曲率係数 U'c	細粒分含有率 F_C (%)
三河珪砂5号	2.655	1.766	1.052	-
木節粘土	2.594	-	-	68.87

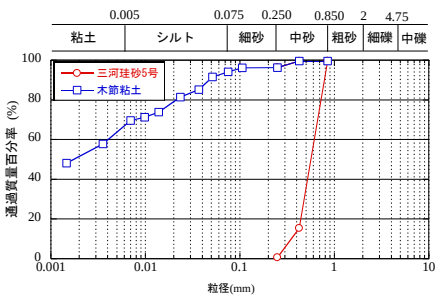


図-2　粒径加積曲線

表-2　実験条件

実験試料	混和剤 (%)	土砂含有量 (%)	水セメント比 (%)	材齢 (日)
珪砂5号	0 1.0 3.0 5.0	30	60	3 7 28
木節粘土	0 1.0 3.0 5.0 7.0 9.0	30	60	3 7 28

2-2　一軸圧縮試験　**表-2** に実験条件を示す。ソイルセメントの水セメント比は現在一般的に使用されている W/C=60%、混合する土質は現場の状態を想定し、含水比 20%とし土砂含有量は 30%と一定にし、**表-2** に示すように混和剤を加え、混合攪拌し試料を作製した。試料はブリーディングを考慮しカラー付きのモールド（直径 50mm, 高さ 100mm）に流し込み供試体を作製した。**写真-1** にモールドの外観を示す。供試体は、約 20℃の室内で所定の日数養生後、一軸圧縮試験を実施した。

2-3　ブリーディング試験　ソイルセメント作製後、ポリエチレン袋に入れ 3 時間養生後、ソイルセメント全体の体積(a)を量りソイルセメント上面に浸み出した水の体積(b)を吸い取り、ブリーディング率(b/a×100)を求めた。

写真-1　モールド

3. 実験結果および考察

3-1　ブリーディング特性　**図-3, 4** にブリーディング率に及ぼす土質材料の影響を示す。珪砂のブリーディング率は、木節粘土と比較すると 50 倍程度であり、均一粒径でもあることから材料分離

が大きいことが分かる。また、いずれの土質材料も混和剤の配合量が増加するとブリーディング率が低下しており、材料分離を低下させる効果があることを示している。しかしながら、既往の研究のブリーディング率は 4.0%程度 [1]であるこのとから、高い値を示している。このような材料分離は、ソイルセメントのセメントや混和剤による固化効果を減少させることから均一粒径の砂質土における杭の根固めでは、材料分離に注意する必要がある。

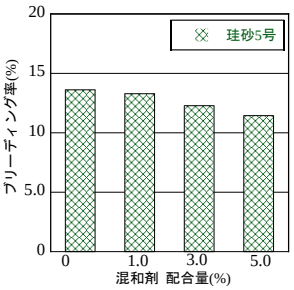


図-3　ブリーディング率に及ぼす混和剤の影響（珪砂）

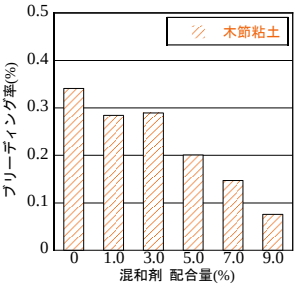


図-4　ブリーディング率に及ぼす混和剤の影響（木節粘土）

3-2 ソイルセメントの強度変形特性に及ぼす混和剤の影響　図-5, 6 に 28 日養生の珪砂・木節粘土の混和剤添加量を変化させた応力-ひずみの関係を示す。圧縮強度は、混和剤の添加に関係なく、粒径の大きな珪砂が高い値を示す。**図-7, 8** に珪砂・木節粘土の一軸圧縮強度-混和剤配合率の関係を示す。データは、養生日数ごとに取りまとめている。一軸圧縮強さは、28 日養生において、珪砂は木節粘土に比べ、約 2 倍の値を示している。また、混和剤添加の影響は、珪砂については、混和剤の添加量を増加させても、ブリーディングの影響を受けるためか、3 日養生では僅かに効果が見られるが、28 日養生では、その効果が見られないことが分かる。一方、木節粘土では、混和剤添加の影響が強度増加に見られ、添加率 7.0%で最大強度を示している。また、添加率 7.0%を超えると強度低下が生じ、最適な添加剤配合率があることが示唆される。**図-9** に土質材料別の変形係数 E_{50}-混和剤配合率の関係を示す。混和剤配合率が増加するに伴い、木節粘土は、珪砂ほど剛性の増加は見られないが、いずれの土質材料も供試体の剛性が増加していることが分かる。このようなソイルセメントの剛性の増加は、杭先端部の定着において有利と考えられ、混和剤の有効性が伺える。

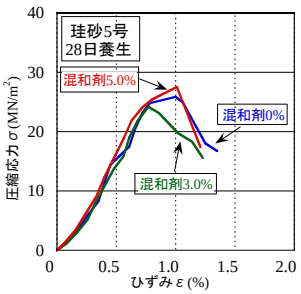


図-5　一軸圧縮試験結果（珪砂、28 日養生）

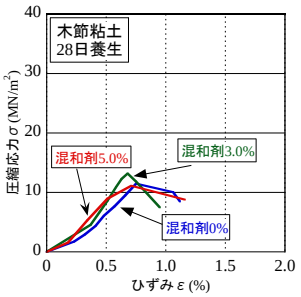


図-6　一軸圧縮試験結果（木節粘土、28 日養生）

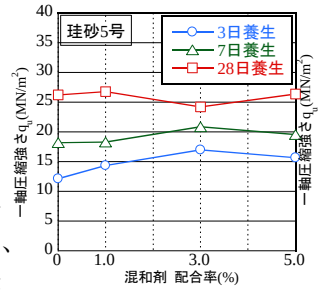


図-7　一軸圧縮強さに及ぼす混和剤添加の影響（珪砂）

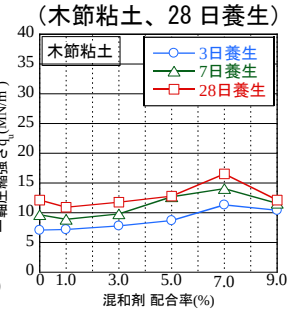


図-8　一軸圧縮強さに及ぼす混和剤添加の影響（木節粘土）

3-3 混和剤添加率の違いによる強度発現　**図-10** に(a)珪砂, (b)木節粘土における混和剤 0%に対する一軸圧縮強度比（強度発現率）による混和剤の効果について取りまとめている。珪砂においては、養生初期において混和剤添加による強度発現が見られ、既往の研究による強度増加率(1.2～1.4)[2]を十分に満足している。しかしながら、養生進行に伴いその効果が見られなくなっている。一方、木節粘土については、珪砂同様に養生に伴う混和剤の効果が減少するものの、添加率 7.0%において高い強度発現が見られる。今回、プレボーリング拡大根固め部のソイルセメントの早期強度発現とセメント量低減のために混和剤の利用を検討した。その結果、粒径が均一でブリーディング率の高い珪砂は混合早期に効果が表れた。一方、ブリーディングが小さい木節粘土では添加率 7.0%において最も効果が認められた。

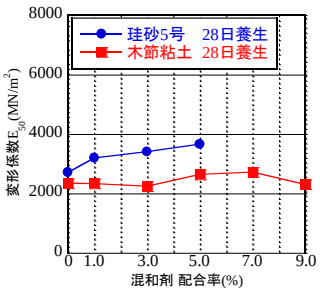
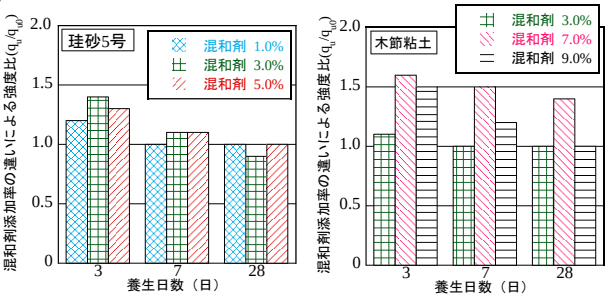


図-9　変形係数 E_{50} に及ぼす混和剤の影響



(a) 珪砂　(b) 木節粘土
図-10　一軸圧縮強さに及ぼす混和剤の影響

4. まとめ　1) 単一粒径である珪砂の材料分離は、ソイルセメント中のセメントや混和剤による固化効果を減少させることが示唆された。2) 混和剤の添加は、ソイルセメントの剛性の増加に繋がり、杭の定着に有効と考える。3) 細粒分の多いソイルセメントへの混和剤の添加は、強度増加に大きく寄与し、最適な添加量があることが示された。

【参考文献】
1) 高畑ら：測定条件の違いがブリーディング試験の結果に及ぼす影響，土木学会第 57 回年次学術講演会, pp.1449-1450, 2002.
2) 頓花ら：呼び強度比による工程管理，第 17 回生コン技術大会研究発表論文集, 2013.