

## 有機質土のセメント改良による強度促進のための添加剤の開発

福岡大学大学院 学生会員 ○椿 貴裕  
 福岡大学工学部 正会員 佐藤 研一 藤川 拓朗 古賀 千佳嗣  
 株式会社 E プラス 正会員 廣田 武次  
 リーフ エア 株式会社 稲元 裕二  
 有限会社 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<sup>1)</sup>は、埋込み杭工法の1つで、予め地盤を掘削して地盤を緩め、セメントミルクを注入し、掘削孔内の土砂と混合攪拌したソイルセメントに、既製杭を打ち込む工法である。また、この工法は杭の高支持力が期待でき、建設発生土が少なく環境への負荷が小さいことから多くの施工実績がある。しかしながら、根固め部が所定の強度を有しているかについて品質管理に関する研究例は少ない<sup>2)</sup>。さらに、対象地盤が有機分を多く含む場合、セメントによる固化反応が阻害されてしまい、所定の強度発現が生じないことが知られている。そのため、多量なセメント使用によるコスト高の課題が顕在化している。そこで本研究では、有機質土の持つ陽イオンに着目した添加剤を用いてプレボーリング拡大根固め工法のソイルセメントの強度促進とその適用性の検討を行った。実験では、有機分を多く含有するに関東ロームを用いて、特に添加剤を土との混合方法に着目し、一軸圧縮強度から新しい添加剤の評価を行った結果について報告する。

### 2. 実験概要

2-1 実験試料及び添加剤 本研究で用いた土質試料は、関東ロームである。これらの物理特性を表-1に示す。自然含水比は、140.2%、強熱減量が25.7%の有機質土である。土が持つ負荷電量を示す陽イオン交換容量<sup>3)</sup>(以下、CECと示す)は、23.0である。有機質土は、セメントとの水和反応が促進されにくく、有機化合物イオン中の炭素イオンやフミン酸が固化強度阻害要因となり強度不足が顕在化している。ここで、本研究で使用した添加剤は、有機質土内にある陽イオン交換を促進させる性質を有し、セメント固化を阻害する炭素イオンと化学反応することにより、固化強度の発現を促すことを目的としている。固化材は普通ポルトランドセメントを使用した。添加剤の添加率は、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。

2-2 実験条件 表-2に実験条件を示す。セメントミルクの水セメント比は施工実績を踏まえ W/C=60%、混合する泥水は土質試料が高含水比のため液性限界 ( $w_L$ : 166.7%) とし、土砂含有量は30%と、添加剤の添加率は、0, 2, 4, 6%の4条件とした。杭工事の施工手順を考慮し、有機質土と添加剤の混合方法は、図-1に示す3種類の混合方法を採用する。混合方法Iは、まずセメントミルクに添加剤を添加し、その後杭の根固め部での現地土との攪拌を想定する方法。混合方法IIは、杭の根固め部の現地土と水に溶解した添加剤を攪拌しその後セメントミルクを混入する方法。混合方法IIIは杭の根固め部の現地土と粒子状の添加剤とを攪拌しその後セメントミルクを混入する方法。これらの混合方法により、添加剤の添加状態による有機質土のイオン交換促進度合いを比較する。

表-1 物理特性

土質試料	土粒子の密度 $\rho_s(\text{g}/\text{cm}^3)$	含水比 (%)	細粒分含有率 (%)	強熱減量 (%)	陽イオン交換容量 $\text{cmol}(+) \cdot \text{kg}^{-1}$
関東ローム	2.107	140.2	77.6	25.7	23.0

表-2 実験条件

土質試料	添加剤添加率 (%)	添加剤の状態	水セメント比 (%)	土砂含有量 (%)	材齢 (日)
関東ローム	0	粒子状	60	30	3
	2				7
	4				28
	6				



図-1 混合手順(混合方法I~III)

キーワード 根固め部、一軸圧縮強さ、関東ローム

連絡先 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1 福岡大学工学部 TEL092-871-6631(ext.6464)

3. 実験結果および考察

ソイルセメントの強度変形特性に及ぼす添加剤の影響 図-2 に各混合方法の一軸圧縮試験の応力-ひずみ関係を示す。いずれの混合方法においても0.5~1%程度のひずみ時に最大強度を示し、その後荷重は脆性的に減少した。混合方法IIIは、添加剤添加率増加に伴い、最大強度が増加することから、添加剤の添加率増加により、有機質土とのイオン交換が促進され強度発現することが考えられる。図-3 に各混合方法の一軸圧縮強さ-添加率関係を示す。根固め部の強度評価は、既往の研究<sup>4)</sup>から28日養生における目標の一軸圧縮強さを10MN/m<sup>2</sup>を用いる。混合方法Iでは、添加剤の添加率による顕著な強度発現は見られなかった。これ混合方法では、セメントミルクと添加剤のイオン反応が先行しておこり、添加剤による有機質土のイオン反応が進まなかったと考えられる。混合方法IIは、添加剤添加による強度発現が全く見られなかったことがわかる。これは、今回の実験条件における添加剤水溶液の濃度がイオン交換に必要な濃度に達していなかったことが要因となり強度発現が見られなかったと考えられる。混合方法IIIは、添加剤の添加により強度発現していることがわかる。また、添加率2%、28日強度で要求強度以上の強度発現が認められた。このように有機分を多く含有する土質では、添加剤を粒子状で添加し、十分にイオン交換を促進した後にセメントミルクによる攪拌・混合することにより強度発現することが明らかになった。図-4 に一軸圧縮強さに及ぼすCECの影響を示す。添加剤を粒子状で先に土質試料と混合する混合方法IIIは、CECの高い関東ロームは、木節粘土と比較して添加剤添加率6%にすることにより強度促進され、目標強度の10MN/m<sup>2</sup>を大きく超える結果を得た。この結果から、今回の添加剤は、CEC値が高い関東ロームの陽イオン交換を促進させ、セメント固化させることが明らかになった。

図-2 (a) 混合方法 I: 関東ローム 28日養生 W/C=60% w<sub>L</sub>=166.7%。添加率0%, 2%, 4%, 6%。ひずみε (%) vs 圧縮応力σ (MN/m<sup>2</sup>)。 (b) 混合方法 II: 同上。添加率0%, 2%, 4%, 6%。 (c) 混合方法 III: 同上。添加率0%, 2%, 4%, 6%。

図-3 (a) 混合方法 I: 一軸圧縮強さ q<sub>u</sub> (MN/m<sup>2</sup>) vs 添加率 (%)。3日養生 (赤丸), 7日養生 (青三角), 28日養生 (緑四角)。要求強度: 10MN/m<sup>2</sup>。 (b) 混合方法 II: 同上。 (c) 混合方法 III: 同上。

図-2 一軸圧縮試験結果 (28日養生)

図-3 一軸圧縮強さに及ぼす混合方法の影響

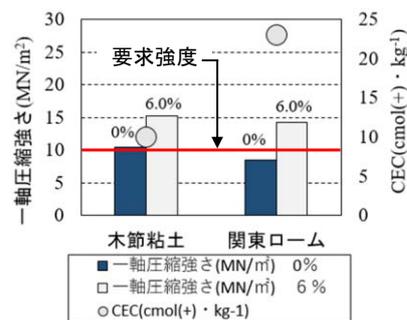


図-4 一軸圧縮強さに及ぼす CEC の影響 (混合方法III、28日養生)

4. まとめ

有機分を含有する土質において陽イオン交換させる添加剤をプレボーリング拡大根固め工法に適用する場合、添加剤を地盤材料と確実に混合させ、イオン交換を促進させることで根固め液・杭周固定液の強度発現が期待できることが明らかになった。一方、現行のプレボーリング拡大根固め工法の杭工事の作業手順において、添加剤の機能を有効的に発揮させることが困難であることも確認された。今後は、現行の杭の施工方法に適用するために、実状の施工手順を踏まえた混合方法・添加剤水溶液濃度等に着目し配合条件等の再検討を行う必要があると言える。

【参考文献】 1) 今ら：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. 2) 竹森ら：杭先端根固め部へのセメントミルクの注入・攪拌方法に関する実験的研究，日本建築学会技術報告書，第21巻，第48号，pp.551-556, 2015. 3) 石黒ら：土の中の物質移動(その4) 土中におけるイオンの交換吸着現象，農業土木学会誌，pp.1017-1023, 1988. 4) 土屋ら：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，建築学会学術講演梗概集，19巻，第41号，pp.99-100, 2013.