

ファインバブル混入による地盤改良体の品質改善に関する研究 -粘性土の違いが品質改善効果に及ぼす影響-

日大生産工(院) ○柳 元希 生産工(院) 神原 一翔 野村 悠斗
日大生産工 下村 修一 日大生産工 松本 真和
日大生産工 高橋 岩仁 日大生産工 亀井 真之介

1. はじめに

深層混合処理工法において、均一な改良体を築造することは品質に直結するため重要である。しかし、土粒子とセメント系固化材(以下、セメント)粒子の表面電位の違いによる電気的凝集体の形成により、原位置土とセメントスラリーが均一に混合されず、土塊の混入や強度不足などを招く恐れがある。この対策として、分散剤などを投入して凝集体の形成を防ぐ化学的対策がとられることがある。

このような中で、著者らはファインバブルに着目し、セメントスラリーに混入させることで、分散剤と同様の効果が得られると考えた。既往の研究¹⁾では攪拌抵抗計測装置を製作し、試料土(笠岡粘土)とセメントスラリーを混ぜたソイルセメントスラリー状態において、ファインバブル混入により攪拌抵抗が下がることを確認した。一方で、前述の実験は計測装置の計測能力確認も兼ねていたため、セメントスラリーへの添加物以外の条件は1パターンとした。そこで本研究では、土質を変えても同様の攪拌抵抗低減効果が得られるか確認した。

2. 試験概要

試験装置や試験方法、手順などは既報と同様としたうえで、試料土の土質を笠岡粘土からカオリン粘土に変更し、含水比も高くしている。写真1に試験装置、写真2に本試験の試料土(カオリン粘土)、写真3に既報の試料土(笠岡粘土)、表1に試験条件を示す。含水比については、ソイルセメントスラリーの攪拌抵抗が大きい方がより添加物による流動性改善効果を検出できるため、攪拌抵抗が計測装置のモーター性能を超えない範囲で可能な限り大きくなるよう調整した。

また、試験手順において、ソイルセメントスラリーの攪拌抵抗計測時間のみ既報の10分から20分に変更している。これは、既報の計測結果において、10分経過付近でやや攪拌抵抗が上昇する傾向が見られたため、時間経過による攪拌抵抗の変化を確認するために計測時間を延ばしたものである。

3. 試験結果

3.1 Pロート試験結果

Pロート試験結果を表2に示す。各ケース2回ずつ実施し、1回目は○-1、2回目を○-2とした。セメントスラリー状態では、分散剤、N₂バブル、CO₂バブルのいずれも無添加に比べて流動性が改善することを確認できた。また、ファインバブル



写真1 試験装置



写真2 試料土(カオリン粘土)



写真3 試料土(笠岡粘土)

表1 試験条件一覧

| case | セメントスラリー | | 試料土 | | | 試験回数 |
|------|---------------------|---------------------|----------|------------------|------------|------|
| | 添加物 | 添加量 | セメント量(g) | 水量(ml) | 土質 | |
| A | 無添加 | - | 1,597 | 958 (W/C=60%) | カオリン 粘土 | 2 |
| B | 分散剤 (グルコン酸系) | 3.2g (セメント比0.2%) | | | | |
| C | N ₂ バブル | 250cc (50cc/min) | | | | |
| D | CO ₂ バブル | 250cc (50cc/min) | | | | |

※セメントスラリーは1.5倍量を作製し、上記数量を計量後、試料土と混合させた

表2 Pロート試験結果

| セメントスラリー | | 流下時間(秒) | |
|----------|---------------------|---------|------|
| case | 添加物 | 添加前 | 添加後 |
| A-1 | 無添加 | 10.53 | |
| A-2 | 無添加 | 11.09 | |
| B-1 | 分散剤 | | 8.97 |
| B-2 | 分散剤 | | 8.84 |
| C-1 | N ₂ バブル | 10.81 | 9.13 |
| C-2 | N ₂ バブル | 10.19 | 9.28 |
| D-1 | CO ₂ バブル | 10.29 | 9.22 |
| D-2 | CO ₂ バブル | 10.31 | 9.13 |

ルにおいて、気体の違いによる差異は見られない。

3.2 攪拌抵抗計測結果

本研究における攪拌抵抗計測結果のうち、各ケースの1回目を図1に、2回目を図2に示す。両図ではトルクの絶対値が大きいほど攪拌抵抗が大きくなることを表している。なお、無負荷(空転)時も含め、全ての結果においてトルク値の時刻

Study on improvement of soil cement quality by fine bubble
-Effects on quality improvement in different cohesive soil-

Genki YANAGI, Kazuto KANBARA, Yuto NOMURA,
Shuichi SHIMOMURA, Masakazu MATSUMOTO, Iwahito TAKAHASHI and Shinnosuke KAMEI

歴のグラフに周期的な波が確認できる。この波の周期はおよそ 160 秒であり、試料の有無や添加物の種類によって変わらないため、装置自体がもつ固有のものであると考えられる。この周期については、モーターの歯車か軸部の歯車が若干曲がるなどしており、160 秒周期で軸トルクの最大値と最小値が発生している可能性がある。

各ケースにおける攪拌抵抗計測の結果として、分散剤やファインバブルの添加により、無添加のものより流動性が改善することが確認できたものの、その差は軽微であった。また、ファインバブルについては N_2 と CO_2 でほぼ同様の結果となったほか、計測 1 回目と 2 回目でも概ね同じ結果であった。一方で、分散剤は 1 回目と 2 回目でトルク値に差があり、流動性の改善効果にばらつきが生じることが確認された。

本研究と既報の攪拌抵抗計測結果を比較したものを図 3 に示す。比較においては、各ケースの 1 回目と 2 回目のトルク値の平均値を採用した。笠岡粘土における試験では、分散剤やファインバブル添加による流動性の改善効果が明瞭に表れており、特に分散剤よりもファインバブルの方がより大きな改善効果となった。加えて、 N_2 と CO_2 の気体の違いによる改善効果の差異も確認された。一方、カオリン粘土においては分散剤やファインバブル添加による改善効果はわずかであり、添加物の違いによる差異もほぼ見られない結果となった。また、笠岡粘土では試料土と水を混ぜた試料土のみの状態ではほぼ攪拌抵抗が見られないが、セメントスラリーを混ぜると攪拌抵抗が急激に上昇することも確認できる。

3.3 試料土の元素分析

以上より、試料土の違いにより電気的凝集体形成の強弱やファインバブル混入時の流動性改善効果に差異が生じたと考えられる。そこで著者らは粘土の元素組成に着目し、融合結合プラズマ質量分析法(ICP-MS 試験)により、各粘土の元素含有量を測定した。結果を表 3 に示す。笠岡粘土はカオリン粘土と比べるとナトリウム(Na)とカリウム(K)の含有量が多い。このパラメータがファインバブル混入時の流動性改善効果に影響を与える可能性があるが、詳細は今後の課題である。

4. おわりに

本試験で得られた知見は下記の通りである。

1. カオリン粘土においてもファインバブル混入による流動性の改善効果は見られたものの、わずかな効果に留まった。
2. ソイルセメントスラリーへのファインバブル混入による流動性の改善効果は、試料土の違いによる影響を大きく受けたことを確認した。

今後は試料土の違いによる効果の違いについて、異なる分析手法も視野に入れて検証を進める。同時に、ファインバブルの量や大きさ、気体の種類、吹き込み方法などを変えて試験を継続する予定である。

【参考文献】

- 1) 丸山ほか: ファインバブル混入による地盤改良土の品質改善に関する研究-ソイルセメントスラリーの攪拌抵抗の計測-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造 I , pp.315-316, 2024.8

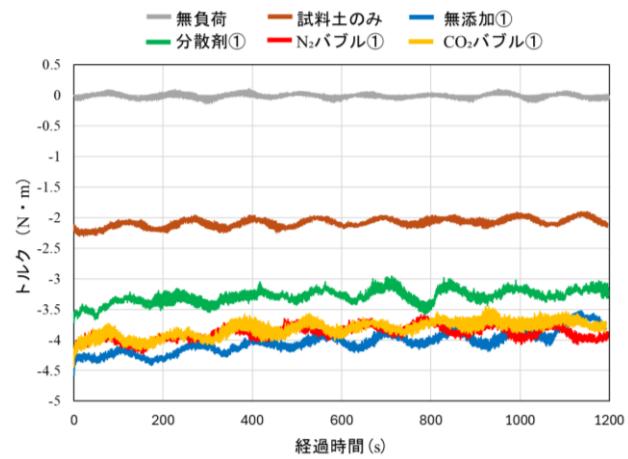


図 1 攪拌抵抗時刻歴(各ケース 1 回目)

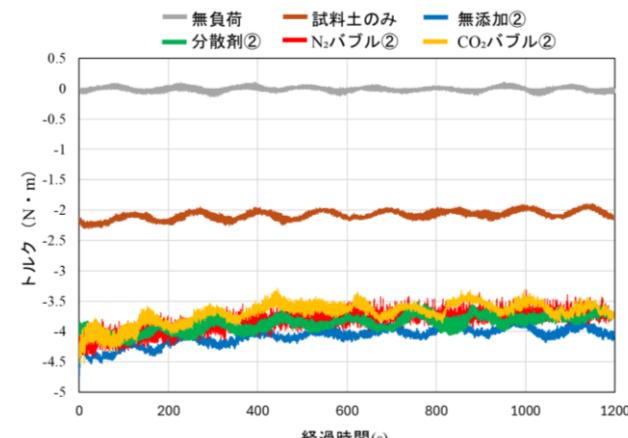


図 2 攪拌抵抗時刻歴(各ケース 2 回目)

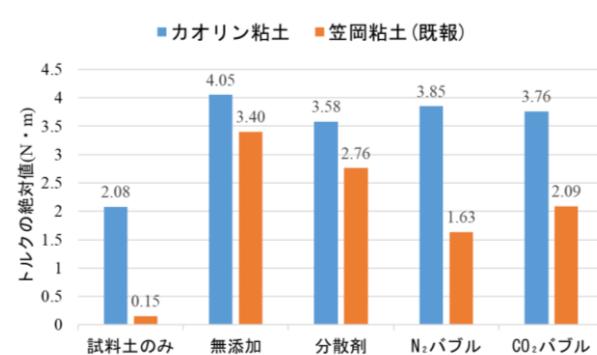


図 3 試料土の違いによる攪拌抵抗平均値の比較

表 3 ICP-MS 試験による元素含有量比較

| 測定元素 | 溶液中の濃度(mg/L) | |
|------|--------------|--------|
| | 笠岡粘土 | カオリン粘土 |
| Na | 5.1 | 2.3 |
| Si | 0.96 | 1.06 |
| S | 0.56 | 0.53 |
| K | 0.81 | 0.53 |
| Ca | 1.6 | 1.7 |
| Mg | 0.32 | 0.32 |
| Al | 0.41 | 0.31 |
| Ti | 0.056 | 0.41 |
| Fe | 0.27 | 0.36 |