

ファインバブルを混入したソイルセメントスラリーの 攪拌抵抗に関する研究

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

1. はじめに

軟弱地盤の地盤改良のひとつである深層混合処理工法は、共回りの発生や電氣的凝集体の形成により、原位置土と固化材が均一に混合されず、施工不良を生じる恐れがある。これに対し、攪拌翼形状の工夫による機械的対策がとられているがこれだけで品質確保が十分ではない場合は、分散剤添加による化学的対策もあるがコストや環境配慮から課題を有している。

そこで本研究では分散剤の代替としてファインバブル(以下、バブル)を用いた場合の品質改善効果を、ソイルセメントスラリーの攪拌混合時の攪拌抵抗値を測定することで評価した。

2. 実験方法及び実験手順

図1に攪拌抵抗値の計測方法を示す。測定は攪拌翼軸部に取り付けたひずみゲージの計測値を送信機を介した無線で記録した。

表1に実験条件を示す。試料土には笠岡粘土とカオリン粘土を用い、セメントスラリーの添加物には分散剤(グルコン酸ナトリウム)と窒

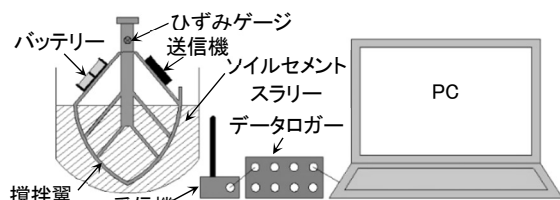


図1 攪拌抵抗の計測方法

表1 条件一覧表

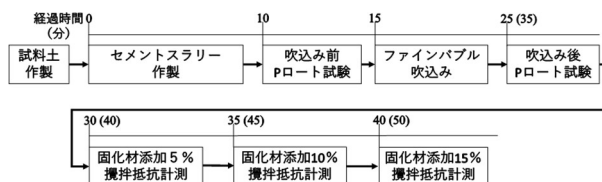
実験 Case	試料土	セメントスラリー					試行回数
		w/c (%)	固化材	水	添加物	添加量	
A-1	笠岡粘土 含水比60%	60	2.1kg	1.26kg	-	-	2
A-2		60	2.1kg	1.26kg	グルコン酸	4.2g	1
A-3		60	10.25kg	6.15kg	N ₂ バブル	250cc	1
A-4		60	10.25kg	6.15kg	CO ₂ バブル	250cc	1
B-1	カオリン粘土 含水比100%	60	2.1kg	1.26kg	-	-	2
B-2		60	2.1kg	1.26kg	グルコン酸	4.2g	1
B-3		60	10.25kg	6.15kg	N ₂ バブル	250cc	1
B-4		60	10.25kg	6.15kg	CO ₂ バブル	250cc	1
C-1	-	60	2.1kg	1.26kg	-	-	1
C-2		60	10.25kg	6.15kg	CO ₂ バブル	750cc	1

素N₂及び二酸化炭素CO₂のバブルを用いた。バブルは50cc/minでセメントスラリーに直接吹き込んだ。C-2はバブルの添加量の増加に伴う試験時間差が生じるため、試験時間を揃えた無添加のC-1を行った。

図2に実験手順を示す。まず、作製したセメントスラリーの流動性をPロート試験で確認する。なお分散剤はこの時点で添加済である。続いてバブル添加のCaseではバブルをセメントスラリーに混入し、再びPロート試験を実施する。その後、試料土にPロート試験で使用したセメントスラリーを5分毎に固化材率を5%ずつ試料土に加え攪拌混合し、攪拌抵抗値を計測する。攪拌抵抗値は各固化材添加後に1分間攪拌してから30秒間計測した。攪拌抵抗値はCase A, Bではセメントスラリー作製から30分後、Case Cではバブルの吹込み時間が10分間増加したことを考慮して40分後に測定した。

3. 実験結果

表2にPロート試験結果を示す。試行回数が



※()内は Case C のタイムスケジュールを示す。

図2 攪拌抵抗計測試験タイムスケジュール

表2 Pロート試験結果

Case	バブル吹込み前	バブル吹込み後	添加物
A-1	10.87秒	-	-
A-2	9.47秒	-	グルコン酸
A-3	11.38秒	9.94秒	N ₂ バブル
A-4	12.22秒	10.19秒	CO ₂ バブル
B-1	11.74秒	-	-
B-2	9.19秒	-	グルコン酸
B-3	12.13秒	10.06秒	N ₂ バブル
B-4	11.00秒	9.75秒	CO ₂ バブル
C-1	10.82秒	-	-
C-2	11.87秒	9.75秒	CO ₂ バブル

Study on Agitation Resistance of Soil-Cement Slurry Mixed with Fine Bubbles

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

2回の結果は平均値で示した。無添加のCase A-1, B-1, C-1に比べてその他のバブルを吹き込んだCaseは流動性の向上が認められた。またCO₂バブル添加のA-4, B-4とC-2の差異は小さく、ファインバブルの多寡はセメントスラリーの流動性に影響を及ぼさない傾向を示した。N₂バブル添加のA-3, B-3とCO₂バブル添加のA-4, B-4の差は小さく、セメントスラリーの流動性向上はファインバブルの特性に影響を受け、溶存気体の特性による顕著な影響はないと考えられる。

表3に計測時間中のひずみ平均値と無添加Case A-1, B-1, C-1の平均値に対する各平均値の比の一覧、図3にひずみの時刻歴の例を示す。笠岡粘土の結果を見るとバブルを添加したCaseでは固化材添加率5%、10%においてA-3で粘度が低下しており、また全ての固化材添加率においてA-3がA-4に比べて粘度低下の効果が高い傾向が認められる。グルコン酸ナトリウムによる粘度低下は固化材添加率5%で認められるもののその他の固化材添加率では無添加と同程度である。しかし、いずれのCase間の比較においてもひずみの差はわずかである。

一方、カオリン粘土では添加物による粘度低下は、笠岡粘土よりも高い。バブル添加のCaseを見るとB-4の方がB-3に比べて粘度低下が高くなる傾向が認められるが、添加量を変えたC-2では、B-4よりも粘土低下効果が低い。

4. まとめ

本研究ではP ロート試験、攪拌抵抗の計測を行った。以下に得られた知見を示す。

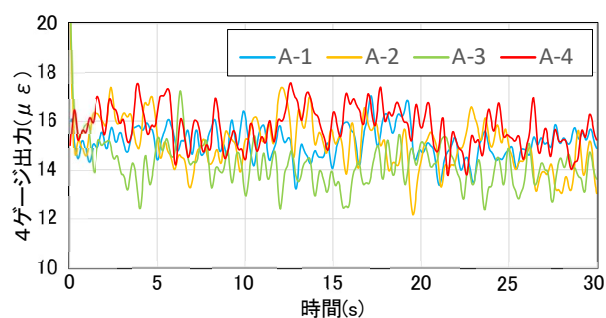
- (1) Pロート試験では添加物による流動性向上が認められた。ファインバブルの添加量や気体の種類による影響は小さい。
- (2) 攪拌抵抗の計測よりファインバブル添加によって粘度低下がわずかに認められた。試料土によってこの傾向は異なり、特にカオリン粘土ではCO₂バブル添加時の効果が大きい傾向が認められた。

固化材添加により、ソイルセメントスラリーの粘度は低下すると予想されるが、本実験の結果は必ずしも固化材添加率とひずみの関係は比例していない。これは、セメントスラリーを加えることで、水の絶対量が増えた影響が一因と考えられる。

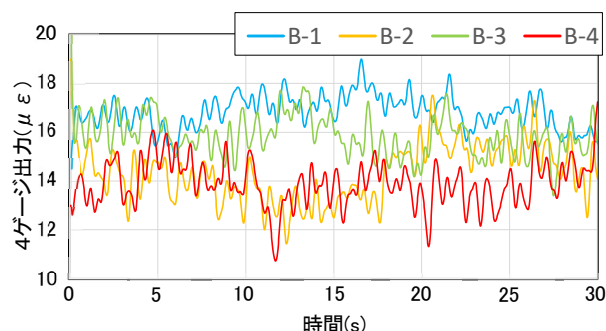
また、計測後の試料をゴムベラで混ぜた感触は、無添加に比べてバブル添加のCaseの方が軟らかく粘土は低い。今後は固化材添加方法とより感度の高い測定方法を検討する必要がある。

表3 攪拌抵抗平均値

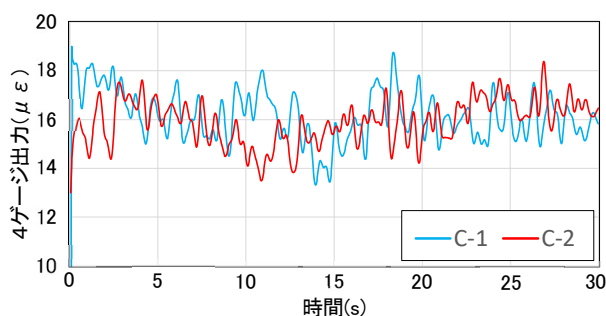
Case	固化材添加率5%		固化材添加率10%		固化材添加率15%	
	平均	平均/無添加	平均	平均/無添加	平均	平均/無添加
A-1	15.32	1.00	15.13	1.00	14.56	1.00
A-2	13.45	0.88	15.07	1.00	14.61	1.00
A-3	14.59	0.95	14.20	0.94	14.82	1.02
A-4	16.44	1.07	15.75	1.04	15.03	1.03
B-1	12.19	1.00	13.85	1.00	13.14	1.00
B-2	13.19	1.08	11.33	0.82	11.10	0.84
B-3	13.06	1.07	12.87	0.93	12.31	0.94
B-4	10.31	0.85	10.90	0.79	12.13	0.92
C-1	13.45	1.00	13.34	1.00	13.16	1.00
C-2	13.20	0.98	14.21	1.06	12.92	0.98



(A) Case A



(B) Case B



(C) Case C

図3 攪拌抵抗の時刻歴例 (固化材添加率 10%)

【謝辞】

本研究は、令和5年度大学院生産工学研究科横断型プログラム（ファインバブルを用いたグリーンイノベーションプロセスの構築）の支援を受けて実施されました。また、本研究の実施に当たり下村研究室卒業生の平野聡君に協力頂きました。ここに記して謝意を表します。