

微細気泡混入によるセメント改良体の品質改善に関する研究

－粘性土を対象とした基礎的検討－

日大生産工(院) ○奥山 誠也 日大生産工 下村 修一 松本 真和
 日大・理工(院) 笹田 寛
 兼松サステック株式会社 水谷 羊介 中村 博 平野 聡

1. はじめに

地盤改良の一種である深層混合処理工法では、均質な地盤改良体を造成するため、攪拌翼の形状や攪拌方法の工夫などの物理的な対応を行っている。また、粘性土を対象により効率的な施工を行うため分散剤を用いてソイルセメントスラリーの流動性を向上させる化学的な対応も取られている。

図1に分散剤の効果を示す。セメントスラリーに分散剤を添加することで、粘土粒子とセメント粒子の表面電位の違いにより生じる凝集体の形成を防ぐ事が可能である他、立体的保護作用により粘土粒子とセメント粒子、セメント粒子同士の凝集も防ぐことができる。

一方、近年多くの分野で微細気泡（マイクロバブル、ナノバブル）が多くの分野で盛んに活用されている。微細気泡は様々な性質を持つことが知られており、特に本研究では微細気泡が「負に帯電している」ことに着目した²⁾。セメントスラリー中に微細気泡を混入させた場合、微細気泡と正に帯電しているセメント粒子が互いに引き合い、セメント粒子の表面電位が低下し、分散剤と同様な効果が期待できると考えられる。

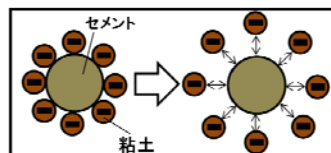
そこで本研究では微細気泡を混入させたセメントスラリーを用いて粘性土のソイルセメント供試体を作製し、一軸圧縮強さのばらつきを検討した。

2. 微細気泡発生装置

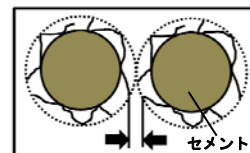
図2に微細気泡の発生装置を示す。本研究ではセメントスラリーに微細気泡を混入させることを主な目的としたため、攪拌剪断方式を採用した。本装置は主に微細気泡の発生器とその外周部に設けた攪拌器から構成されている。微細気泡はインペラを高速回転させて空気を剪断し生成され、インペラ外周部に設けた多孔板からセメントスラリー内に吐出され、攪拌器でセメントスラリー全体に拡散される(写真1)。

3. 実験条件

本研究では試料土に粘性土を用いた。図3に土の粒径加積曲線、表1に試料土の配合および固化材の条件を示す。試料土はカオリン粘土($\rho_s=2.748$ 、 $I_p=30.2$)と珪砂5号($\rho_s=2.667$)をそれぞれ乾燥状態の質量比7:3で混合した後、含水比調整を行った。固化材には一般軟弱土用のセメント系固化材（以下、固化材）を使用し、試料土の質量に対して10%添加した。

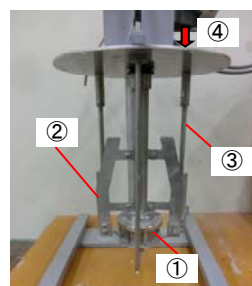


電氣的斥力による安定



立体的保護作用による安定

図1 分散剤の効果

①発生器 ②攪拌器
③通気管 ④空気取り込み口

発生器拡大

図2 微細気泡発生装置



(a) 吐出前



(b) 吐出中

写真1 微細気泡の吐出状況(水道水)

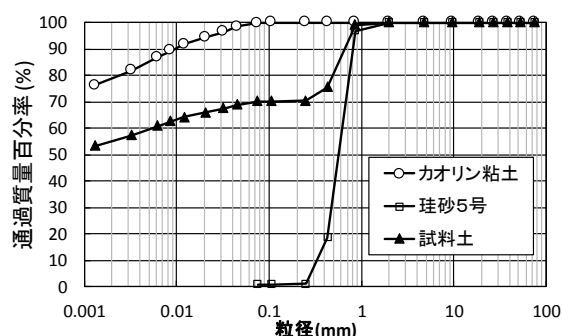


図3 粒径加積曲線

Study on quality improvement of soil cement column with fine bubble

－ Fundamental study for cohesive soil －

Seiya OKUYAMA, Shuichi SHIMOMURA, Masakazu MATSUMOTO, Hiroshi SASADA, Yousuke MIZUTANI, Hiroshi NAKAMURA and Satoshi HIRANO

表 2 に実験ケースを示す。本実験では微細気泡の吹込み時間及びインペラの回転速度をパラメータとした。空気量は吹込み時間と流量で制御しており、セメントスラリー約 6.6ℓに対して数%吹込んだ。なお、Case2 は流量のコントロールはせずに発生器内のインペラを高速回転させ、負圧により内部に外気を自吸した。流量を少量にコントロールした場合、気泡径の分布幅は小さな範囲に収まるが、自吸では流量が比較的多く、インペラによるせん断が追い付かないため、気泡径の分布幅は広い範囲に広がる。そのため、比較的大きい気泡はスラリー表面から消泡してしまう。また、固化材用水にグルコン酸系分散剤を添加した場合の実験結果(Case7~8、添加率 0.2%、0.6%)³⁾との比較も行った。

供試体の作製方法は以下の通りである。

- ① 乾燥状態のカオリン粘土と珪砂 5 号を混合し、含水比調整水（水道水）を加えた後、ミキサーで 5 分間攪拌混合し試料土を作製。
- ② 固化材に固化材用水（水道水）を加え、ハンドミキサーで攪拌して、セメントスラリーを作製。
- ③ セメントスラリーに微細気泡を混入させる場合、②で作製したセメントスラリーに微細気泡発生装置で所定の量、微細気泡を混入させる。
- ④ 試料土にセメントスラリーを投入後、ミキサーで 1 分間攪拌混合し、ソイルセメントスラリーを作製。
- ⑤ ソイルセメントスラリーを直径 5cm、高さ 10cm のモールドに 3 層に分けて詰め、各層タッピングを行い、供試体を作製。

全供試体は 20℃、60%の恒温恒湿下で 7 日間養生した後、一軸圧縮試験（20 供試体）を行った。

4. 実験結果

図 4 に実験ケース毎の全供試体の一軸圧縮強さについて、表 3 に実験ケース毎の全供試体の平均一軸圧縮強さ q_u と変動係数の関係について示す。微細気泡を混入していない Case1 は強度のばらつきが大きい。微細気泡を混入した Case2 は Case1 と比較して強度のばらつきは大きく低下し、平均強度はやや大きくなる。分散剤を添加した Case7、8 と比較すると、分散剤の添加率が高い Case8 とばらつき、平均強度ともに同程度であり、分散剤の代わりに微細気泡を適用できる可能性を示唆している。

流量を 50cc/min に制御した Case3 は Case2 と比較して強度のばらつきはさらに小さくなり、微細気泡の径を小さい範囲にコントロールすることで、より高いばらつきの低減効果が期待できる可能性がある。

微細気泡の総量を Case3 の半分にした Case4、5 は、Case3 と比べて平均強度は高いものの強度のばらつきは大きくなり、微細気泡の量が多いほどばらつきの低減効果は高いことが分かる。Case1 と比べてばらつきの低減は明らかであり、分散剤を少量添加した Case7 と同程度である。

インペラの回転数を Case3 の半分とした Case6 は、Case3 と比べて強度のばらつきは大きくなり、ばらつき及び平均強度とともに Case1 と同程度となった。強度のばらつきの低減効果を得るには気泡径のコントロールが重要であることが分かる。

5. おわりに

本研究では、強度のばらつきを抑えることを目的として微細気泡に着目し、室内配合試験でその効果を検討した。その結果、微細気泡を用いることで強度のばらつきの低減効果が確認された。また、本実験の範囲内では、気泡径が小さく、気泡量が多いほど、ばらつきの低減効果は高いことが確認された。今後は各種土質に対して最適な微細気泡の混入量および気泡径の検討を進める予定である。

【参考文献】

- 1)水谷羊介：界面活性剤添加によるソイルセメントパイルの品質改善に関する研究，日本大学博士論文，2004.1
- 2)柘植秀樹監修：《普及版》マイクロバブル・ナノバブルの最新技術，シーエムシー出版，2015.5
- 3)笹田寛ほか：グルコン酸系分散剤による地盤改良体の品質改善に関する研究-室内配合試験に基づく強度のばらつき検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造 I，pp.535-536，2015.9

表 1 試料土の配合および固化材

試料土			固化材	
カオリン粘土 (kg)	珪砂5号 (kg)	含水比 (%)	W/C (%)	添加率 (%)
3.6	1.6	70	60	10

表 2 実験ケース

CASE	微細気泡					
	混入有無	混入時間 (min)	空気量		インペラ 回転数 (rpm)	気泡径の 分布範囲 イメージ
			流量 (cc/min)	総量 (cc)		
1	無	-				
2	有	5	200以上 (自吸)	1000 以上	4000	小  大
3		5	50	250		小  大
4		5	25	125		
5		2.5	50	125		
6			5	50	250	2000

CASE	微細気泡混入の有無	分散剤添加率 (%)
7	無	0.2
8	無	0.6

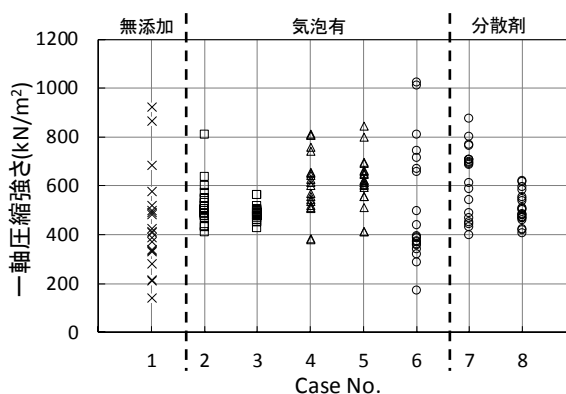


図 4 一軸圧縮強さ

表 3 平均一軸圧縮強さ q_u と変動係数の関係

CASE	1	2	3	4	5	6	7	8
q_u (kN/m ²)	445	521	487	612	619	514	624	505
変動係数 (%)	45	17	7	21	17	47	23	13