

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

－セメントスラリーのゼータ電位－

日大生産工(院) ○奥山 誠也
日大生産工(学部) 川鍋 賢人

日大生産工 下村 修一 松本 真和
日大生産工 (非常勤) 和田 善成

1. はじめに

深層混合処理工法では、粘性土地盤において地盤改良体を造成する際、粘性土とセメント粒子の電気的性質から凝集体が形成され、ソイルセメントスラリーの流動性の低下による攪拌不良が生じ、強度のばらつきが大きくなりやすい。前報¹⁾では、微細気泡が負に帯電している²⁾ことに着目し、微細気泡を混入したセメント改良土を対象とした室内配合試験で一軸圧縮強さとそのばらつきを検討した。その結果、微細気泡には分散剤を添加した場合と同程度もしくはそれ以上に強度のばらつきの低減効果が期待できる可能性を確認した。この低減効果は負に帯電している微細気泡と正に帯電しているセメント粒子の電気的性質によって生じていると考えられる。本報では微細気泡及び微細気泡または分散剤を混入したセメントスラリー、並びに粘土粒子に対してゼータ電位の測定を行った結果を報告する。

2. ゼータ電位及び顕微鏡電気泳動法

図1に顕微鏡電気泳動法³⁾の測定メカニズムを示す。負に帯電した粒子の表面は正の電荷を持つイオンが取り囲み、イオン固定層が形成され、さらに外側に正と負のイオンが混在する拡散層が形成される。これを電気二重層と呼ぶ。拡散層において粒子が移動し、せん断力がかかると粒子から切り離されて動くイオンと粒子に同伴するイオンの境界面ができる。この境界面を「すべり面」と呼び、この面での電位を「ゼータ電位」と呼ぶ。粒子表面の電位である「表面電位」を測定する方法は現在確立しておらず「表面電位によって形成された電気二重層の滑り面での電位」であるゼータ電位が粒子の電位として一般的に用いられている。

粒子に電圧をかけることで負に帯電している粒子は正の電極側、正に帯電している粒子は負の電極側に引き寄せられる。この電気泳動する様子を画像処理によって追尾し、移動度を測定して粒子個々のゼータ電位を算出することができる。本実験では粒子の沈降浮上が激しく、自動測定では計測の難しい微細気泡を取り扱うため、手動追尾測定を行った。

3. 微細気泡発生装置

写真1に微細気泡の発生装置⁴⁾、写真2に微細気泡の吐出状況を示す。本装置は溶存気体を含む溶液を複数の射出口からそれぞれ噴射し、お互いに衝突させることで微細気泡を生成する水撃法⁴⁾を利用したものである。

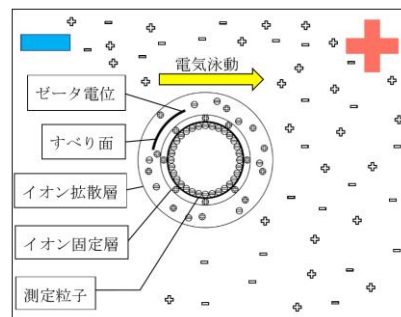


図1 電気泳動法の測定メカニズム

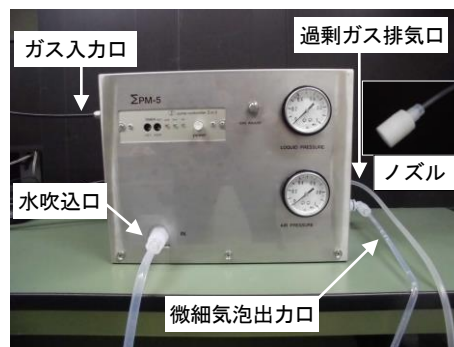
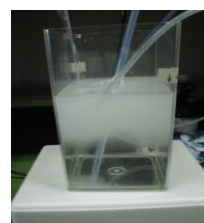


写真1 微細気泡発生装置



(a) 吐出前



(b) 吐出中

写真2 微細気泡の吐出状況

本装置は主に微細気泡の発生装置本体とガス入力口、水吹込口、微細気泡出力口及びノズル、過剰ガス排気口等で構成されている。

4. 実験条件

表1に実験条件を示す。一般的にpH環境が変化するとコロイド粒子の電位も変化することが知られている⁵⁾。深層混合処理工法では、セメント粒子（以下、固化材粒子）の影響で改良体全体がアルカリ環境下になることが想定できる。事前に固化材粒子をイオン交換水に

Study on quality improvement of soil cement column with fine bubble

－ Zeta electric potential of the cement slurry －

Seiya OKUYAMA, Shuichi SHIMOMURA, Masakazu MATSUMOTO, Kento KAWANABE and Yoshinari WADA

混ぜた溶液のpH値の測定を行った結果、pH値は12.4前後であった。その結果から本実験では他試料を測定する場合もNaOH（水酸化ナトリウム）をイオン交換水（pH値5.6）に添加してpH値調整を行い、セメントスラリー中を模擬したpH調整水を用いた計測を行った。

Case1,2,3は前報¹⁾で供試体作製時に用いたカオリン粘土($\rho_s=2.748$ 、 $I_p=30.2$)及び固化材の粒子の電位を測定した条件である。固化材には一般軟弱土用のセメント系固化材を用いた。Case4はpH調整水に固化材粒子とポリカルボン酸系分散剤(固化材に対して、添加率10%)を混入した条件であり、分散剤の電気的性質²⁾を確認するために行った。Case5,6は微細気泡の電位を測定した条件であり、Case5はpH調整水に微細気泡、Case6はpH調整水に固化材粒子と微細気泡を混入している。

測定方法は以下の通りである。

- ① 測定試料（微細気泡除く）をビーカーに採取し、水を加えガラス攪拌棒で1分間攪拌し測定溶液を作製。微細気泡を測定する場合、予め微細気泡をpH調整水に発生させ、測定溶液として用いる。
- ② 測定装置に測定溶液を入れる。
- ③ 一定の画像データ数が得られるまで連続で測定。
- ④ 得られた画像データから手動で追尾測定を行う。

5. 実験結果

図2にカオリン粘土粒子のpH調整による電位変化を示す。pH調整を行った場合、イオン交換水を用いた結果と比べてカオリン粘土粒子のゼータ電位が低下した。セメントスラリー中のpH値を模擬した場合、粘性土の粒子が負に帯電する可能性を確認できた。

図3に固化材粒子を用いたCase3とCase4の電位の比較を示す。Case3では、固化材粒子が正に帯電していることが確認でき、この結果から深層混合処理工法において負に帯電している粘性土粒子との凝集体の形成が予想される。分散剤を加えたCase4では、既往¹⁾の通り、分散剤の電気的性質によって固化材粒子が負に帯電し、粘性土粒子と互いに反発し凝集体の形成を抑えられていると考えられる。

図4に微細気泡を用いたCase5とCase6の電位の比較を示す。正に帯電している固化材粒子に負に帯電している微細気泡が吸着することで、固化材粒子が付着している微細気泡は負に帯電していることが確認できる。これはポリカルボン酸系分散剤と同様の効果であり、粘性土粒子と固化材粒子の電気的性質から生じる凝集体の形成を抑えられると考えられる。

6. おわりに

本報では、微細気泡及び固化材粒子の電気的性質の確認を目的として顕微鏡電気泳動法を用いた検討を行った。その結果、微細気泡または分散剤を用いることで固化材粒子が負に帯電することが確認できた。この結果から前報¹⁾の強度のばらつきの低減効果は正に帯電している固化材粒子と負に帯電している粘性土粒子の凝集体の形成が抑えられたことによるものと考えられる。また、セメントスラリー中の地盤を模擬したpH値の条件において粘性土粒子が負に帯電していることも確認できた。

【参考文献】

- 1)奥山ほか：微細気泡混入による地盤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－，日本大学生産工学部学術

講演会講演概要，pp.29~30，2016.12

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)Takahashi M：ζ Potential of Microbubbles in Aqueous Solutions: Electrical Properties of the Gas-Water Interface, Journal of Physical Chemistry B, Vol.109, No.46, pp.21858~21864, 2005.11

4)Matsumoto M, Fukunaga T, Onoe K: Polymorph control of calcium carbonate by reactive crystallization using microbubble technique, chemical engineering research and design 88, pp.1624-1630, 2010

5)Elakneswaran Y, Nawa T, Kurumisawa K: Zeta potential study of paste blends with slag, Cement & Concrete Composites31, pp72-76, 2009

表1 実験条件

Case	測定試料	水1Lに対する質量 (g)	pH値調整
1	カオリン粘土粒子	0.1	無
2			
3			
4	固化材粒子 +ポリカルボン酸系分散剤	5 (固化材粒子)	有
5	微細気泡	5 (固化材粒子)	
6	微細気泡+固化材粒子		

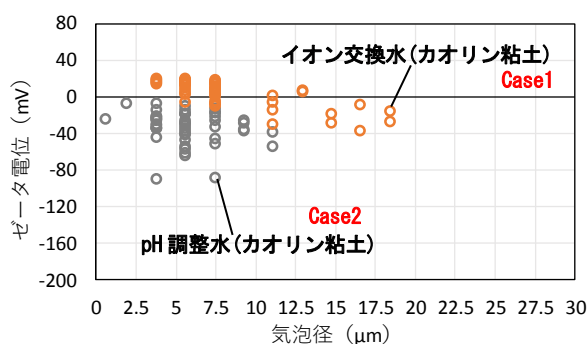


図2 pHによる電位の変化

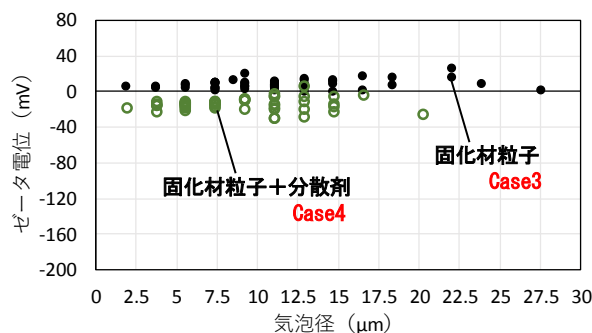


図3 分散剤の効果

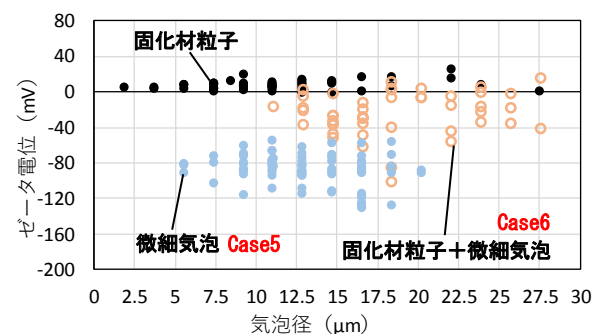


図4 固化材粒子及び微細気泡の電位変化