

地盤改良における気泡混入したセメント改良材の強度に関する研究

中部大学 学生会員 ○刑部俊輔

中部大学 正会員 余川弘至

1. はじめに

地盤安定処理工法は、比較的地表近くの改良が主体であり、中間的な位置に支持層がある場合や液状化が起きやすいような砂地盤が厚い場合に採用される工法である。一方、近年では、より深い位置の改良を可能とすることができる中層改良工法が開発されるようになった。基本的には、砂と改良材と水を配合し、スラリー状にした材料を原位置土と混合することで改良地盤を構築することが多い。しかし、砂地盤を対象とする施工では、砂特有の透水性の高さから、スラリー状にした材料より水分が逸水してしまうことで流動性が低下する。流動性が低下すると機械に高い負荷(摩擦力)が生じ、機械攪拌できないといった施工性に関わる問題が生じる。これらを解決するための方法として、シールド工法技術で用いられる気泡シールド工法¹⁾がある。気泡を注入することで、掘削土の流動性や止水性を向上させるとともに、チャンバ内での掘削土の付着(機械への負荷)が低減できるため、施工性を確保できることが分かっている。これら気泡を用いるような工法は、幅広い土質に適応することが求められるため、気泡材の濃度や気泡注入量が高くなる傾向にある。このとき、ほぼ元の土砂の性状へ戻す必要がある場合、特殊気泡材を散布する後処理が必要となる²⁾。本研究で対象とする工法³⁾は、中層混合を主体とするため、砂地盤でも砂のみの単一層が主となることが多い。桑原ら³⁾は、地盤改良を行うにあたり、改良深度に適した機械抵抗を求め、施工性の向上だけに必要な最低限の気泡量を提案している。

本研究では、気泡の有無や供試体水分量および改良材量など様々な条件を変え一軸圧縮試験を実施することで強度発現に関わる因子の解明や画像解析を用いた強度把握手法の確立について検討している⁴⁾。そこで、気泡を添加すると強度や密度が低下する傾向が見られた。加えて、同じ密度の改良体であっても気泡の有無によって強度にばらつきが見られた(図-1参照)。これらの問題点を解決するために、気泡の有無による強度および密度のばらつきに着目し、含水比による締め固まりやすさを把握した。また、同じ母材や配合であっても気泡の有無によって最適含水比の異なる改良土の場合、改良体の密度が異なるため、気泡自体を添加することによる気泡なしとの強度検討を行ってこなかった。そのため、締め固めで使用するランマーの突き固め回数を調整し、密度を一定にすることで気泡が改良体に与える強度影響因子について把握した。

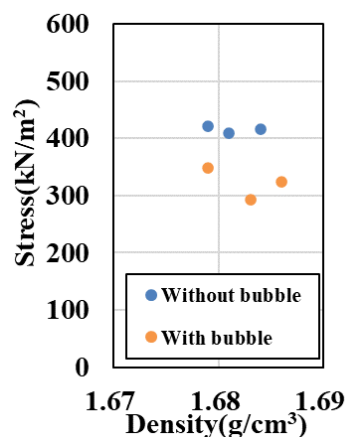


図-1 密度と強度の関係

2. 試験概要

本研究では、鹿島珪6号 ($\rho_s=2.642\text{g/cm}^3$, $D_{60}=0.25\text{mm}$, $D_{30}=0.15\text{mm}$) を母材料とした。各物理特性はJIS規格に準拠して測定を行った。また、各母材は自然含水比0% (絶乾状態)であったため、自然地盤を想定して含水比が5, 10, 15, 20%となるように蒸留水を加え、12時間以上静置したものを試料土とした。

改良体の作成方法は、固化材添加量 130kg/m^3 (高炉セメントB種)、水セメント比(70%)のセメントスラリーに、気泡材(起泡濃度2.5%、発泡倍率25倍、注入量 100l/m^3)を添加し、各母材と混練した。供試体の締め固め方法にランマーを採用し(3層12回)突き固めを行った。その後、改良直後の湿潤密度および含水比を測定することで締め固め曲線を作成し、気泡の有無による密度変化の検討を行った。締め固め曲線の比較後、気泡ありの締め固め曲線を基準として気泡なし供試体作成時にランマーの突き固め回数を調整することにより、密度を一定とする供試体密度調整の実施を行った。その後、供試体の養生(温度 $20\pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度95%以上、28日間)を行ったのち一軸圧縮試験を実施した。

3. 気泡の有無による締め固まりやすさの比較

図-2 にランマーで3層12回締め固めた気泡の有無別締め固め結果を示す。

図-2 に示すとおり、気泡を添加した場合は、改良体含水比約15%、気泡を添加しない場合は約18%が最適含水比の値が得られ、最も締め固まる結果が得られた。つまり気泡を添加することによって最適含水比の値が約3%分小さくなることがわかった。気泡ありでは含水比0%や10%付近の少ない水分量の場合、気泡なしに比べ気泡を添加した方が高い乾燥密度が得られた一方、含水比20%や25%付近の多い水分量の場合、気泡なしに比べて気泡を添加した方が低い乾燥密度が得られた、これは気泡が体積変化を妨げていることにより大きな空隙ができていると推察される。今後気泡を添加する際は配合する水分量を留意する必要があると考えられる。

4. 密度調整および強度比較

本章では図-2 に示した気泡ありの結果を基準として、気泡なし供試体作成時にランマーの突き固め回数を調整することで密度調整したのちに強度検討を行った。落下回数調整後の締め固め曲線の結果を図-3 に示す。結果として、ランマーの落下回数を調節することで気泡ありと気泡なしで密度を合わせることが可能であった。図-4 に密度調整後の強度比較結果を示す、一般に水分量が低いほど、強度は高くなると考えられるが、含水比5%の場合に気泡なしでは最も低い強度が得られ、気泡ありでは最も高い強度が得られた。この結果は改良体練り混ぜやすさが関係していると示唆される。写真-1 に試験実施前の供試体状況を示す。気泡なし供試体ではセメントと母材料が分離しているように見える、一方、気泡あり供試体では分離が確認できない。気泡なしでは改良体練り混ぜ時に十分な流動性が得られずセメントの結合材としての働きを妨げていると推察される。つまり水分量の少ない条件下では気泡を添加することにより、セメントと土の分離を防ぐことができると考えられる。

5. まとめと今後の課題

改良材と気泡材の条件を一定とし、締め固め方法や気泡の有無および突き固め回数を変化させることで、以下の知見が得られた。(1) 気泡の有無によって約3%分最適含水比が異なることがわかり、水分量によっては気泡を添加した方が高い密度が得られることがわかった。(2) ランマーの突き固め回数を調整することにより気泡ありと気泡なしで密度を一定にすることができた。(3) 水分量の少ない条件下では気泡を添加することにより、セメントと土の分離を防ぐことができる。これらの結果は、特定条件下での結果であり、一般性をもっていないことから、さらなる考察を行い、様々な地盤に対して適用可能な気泡条件について検討していく予定である。

謝辞

本研究にあたって、株式会社加藤建設の桑原崇詞氏、伊藤正巳氏、倉田実氏には、多大なるご協力いただきました。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) シールド工法技術協会：<http://shield-method.gr.jp/> (2022.11.17 参照)
- 2) 木村ら：シールド工事用の高発泡性気泡材の開発、大林組技術研究所報 No.80, pp1-6, 2016.
- 3) 桑原崇詞, 大川拓真：気泡混合処理による地盤改良の施工性の改善および品質に関する知見, 土木学会第76回年次学術講演会, pp.VI-112-113, 2021.
- 4) 刑部俊輔：気泡混合処理による改良体内の残存空気率と摩擦力の関係, 土木学会第77回年次学術講演会, ppIII-112, 2022.

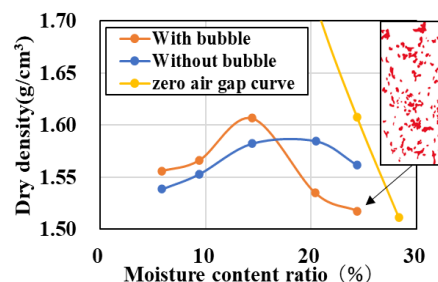


図-2 落下回数12回の締め固め曲線
(赤：空隙)

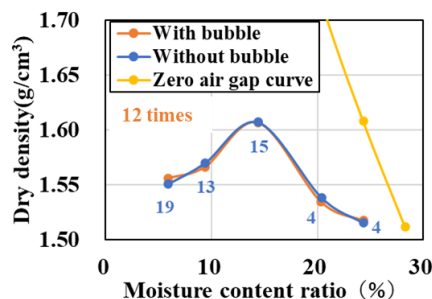


図-3 落下回数調整後の締め固め曲線

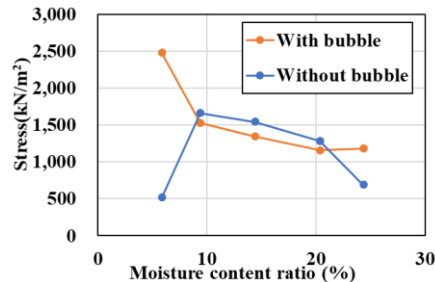


図-4 締め固め方法による密度誤差

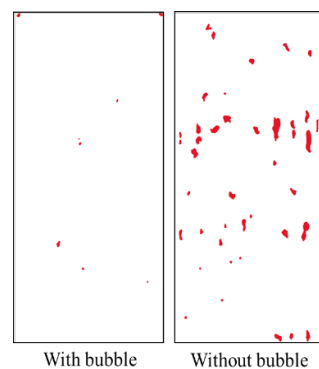


写真-1 セメント分離の様子
(赤：セメント)