

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
加藤建設 正会員 桑原崇詞 加藤建設 正会員 伊藤正巳
加藤建設 正会員 倉田 実

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ることで、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。そこで本研究では、鹿島珪砂7号($\rho_s=2.646\text{g/cm}^3$, $D_{60}=0.2\text{mm}$, $D_{30}=0.15\text{mm}$)を母材料として、気泡の有無および改良材(高炉セメントB種)量などの地盤材料の条件を変えた供試体を作成し、一軸圧縮試験を実施することで、地盤強度の変化を把握する事や、強度と施工性を両立できるような配合条件の最適解を見つけることを目的とした。図-1に研究のイメージを示す。

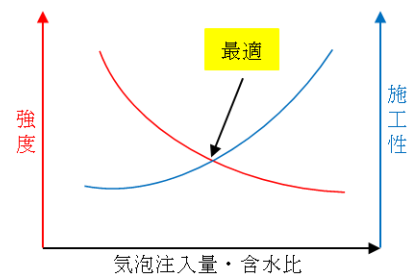


図-1 研究のイメージ図

2. 実験方法

供試体作成手順は、まず鹿島珪砂7号を3分間空練りしたのち、セメントと気泡を混入したセメントミルクと5分間混ぜ合わせる。その後、改良材の施工性を評価するためテーブルフロー試験を行ったのち供試体を作成する。その後、室内温度20℃、湿度70%で供試体を養生した。養生後、強度を評価するために一軸圧縮試験を行った。なお、供試体作成時に共通の条件である固化剤添加量は 100kg/m^3 、水セメント比は70%、養生期間28日、N数は3である。

3. 気泡と施工性について

ここでは、気泡添加による流動性向上性能について確認し実施工への適用性について検討した。条件としてテーブルフロー値(以下TF値)に対し、含水比を5%~15%、気泡注入量10%~30%に変更することで気泡の有無と施工性の関係性を評価する。含水比とTF値の関係を図-2に、気泡注入量とTF値の関係を図-3に示す。図-2より、気泡の有無にかかわらず、含水比が増えるにつれて流動性が上がる傾向がみられる。しかし気泡を注入することで大幅に流動性

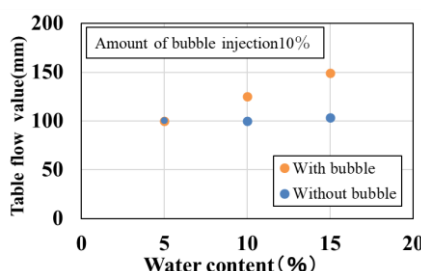


図-2 含水比とTF値の関係

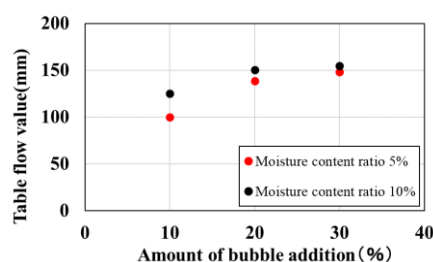


図-3 気泡注入量とTF値の関係

が改善される。一方、含水比 5%では、気泡の有無による流動性の違いがみられないことから、低含水比の場合、気泡の効果が発揮できない可能性がある。図-3 より、含水比 5%、10%同様に気泡注入量を増やすことで流動性が上がる傾向が得られた。

4. 気泡と強度の関係について

気泡添加による強度発現効果について確認し、実施工適用性について検討する。条件として、強度に対し含水比 5%～15%、気泡注入量 10%～30%に変更することで気泡と強度の関係を評価する。含水比と強度の関係を図-4 に、気泡注入量と強度の関係を図-5 示す。

図-4 より、気泡ありでは含水比 5%で最も高い強度が得られ、含水比を増やすごとに強度が下がっていく傾向が得られた。気泡なしでは含水比 10%で最も高い強度が得られた。図-5 より、含水比 5%では気泡注入量 20%で一番強度の高い結果が得られ、含水比 10%では気泡注入量を増やすにつれて強度が右肩下がりになる傾向が得られた。一般に含水比が高いほど、空隙が大きいほど、強度は小さくなると考えられるが、含水比 5%の場合、気泡注入量を 20%で配合する場合に、最も高い強度が得られるという結果になった。その原因を明らかにするために、気泡添加量 10%、含水比 15%、気泡の有無を供試体の作成条件にして、密度(湿潤密度)と強度の関係を整理した。密度と強度の関係を図-6 に示す。

図-6 より、気泡ありの方が低密度であっても気泡なしより強度が高い傾向が得られた。この結果は供試体の作成方法によると考えられる。写真 1 に試験実施前の供試体状況を示す。気泡なしでは、密度が高いにもかかわらず、大きな空隙目立ち、供試体内で密度の高い箇所と低い箇所が混在しているように見える。一方、気泡ありの供試体では、密度は低いものの大きな空隙が確認できない。気泡なしでは、荷重を載荷した際、供試体内の低密度箇所にひずみが集中して十分な強度が得られなかったと推察される。気泡ありでは粒子間で気泡が残存している、かつ、流動性の高いことから均等に弱く締め固まることで低密度であっても、高い強度が得られたと考えられる。つまり、強度を高くするには地盤内の密度を均一にするために、ある程度の流動性が必要ということが分かった。

5. おわりに

本研究では、気泡の有無および改良材量などの地盤材料の条件を変えた供試体を作成し、一軸圧縮試験を実施した。その結果、気泡を添加することにより、流動性の向上と改良後の地盤内を均一な密度で作成できるメリットを確認することができた。本研究で用いた材料および条件では、含水比 5%時に、気泡注入量 20%とすることで、施工に必要な流動性および高い強度が得られた。一方、含水比 10%時に気泡注入量を 10%にした場合、TF 値と強度が確保できた。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の添加量等を検討していく予定である。

参考文献

- 1) シールド工法技術協会：<http://shield-method.gr.jp/> (2021.12.17 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) 桑原ら：気泡混入したセメント改良の施工向上メカニズムと改良強度に関する実験的研究,第 56 回地盤工学会研究発表会,No.13-3-2-06,2021

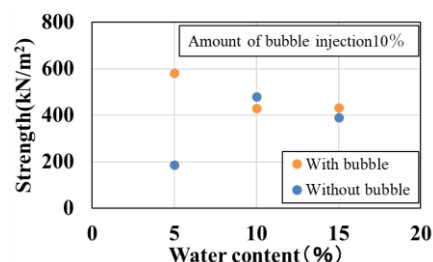


図-4 含水比と強度の関係

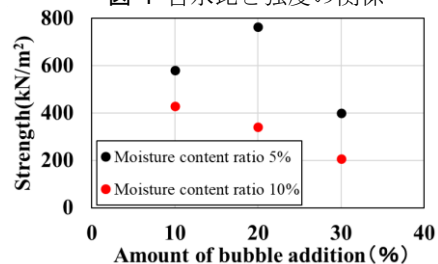


図-5 気泡注入量と強度の関係

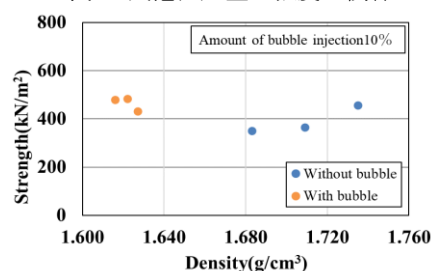


図-6 密度と強度の関係



写真 1 供試体