

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

—画像解析を用いた残存空気率の推定—

中部大学 学生会員 ○刑部俊輔 (株)加藤建設 正会員 桑原崇詞
中部大学 正会員 余川弘至

1. はじめに

改良体の構築は、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が多い。しかし、砂地盤を対象とする施工では、砂の透水性が高いことにより、スラリー状にした材料から水分のみが逸水し、流動性が低下する。それにより、機械に高い負荷抵抗が生じるため、施工性に関わる問題に繋がっている。この問題を解決する方法として、TRD 工法やシールド工法では気泡材を用いて、施工性の確保に努めている。しかし、これら気泡材が用いられるような工法では、幅広い土質に対応することが求められるため、気泡材の希釈濃度や注入量が高くなる傾向にある。それにより発生する排泥は残土として活用するか、消泡剤を散布するなど後処理が必要となっている。

本研究では、パワーブレンダー工法を対象とし、当該工法において気泡材を用いる際には、改良深度に適した負荷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による施工提案を目的としている¹⁾。本報では、その中で使用された気泡条件に着目し、粒度分布の異なる母材を用いた際の挙動を確認した。また、残存する気泡量を評価するにあたり、これまでは、改良体内の単位空気量を求めることで定性的な評価を行ってきた。しかし、目視での気泡（気泡が形成されている位置など）に対する定量的な評価は行ってこなかった。そこで、画像解析技術を用いることで、これらの評価を試みたため、合わせて報告する。

2. 試験概要

使用した母材の物理特性を図-1 に示す。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、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。

使用した改良材の種類は高炉セメント B 種であり、固化材添加量 130kg/m^3 、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。練り混ぜ後、直ちに円柱状の容器に投入し、容器の中心となる位置にて、ベーンせん断強度 (JGS 1411) を求めた (図-2)。このとき、改良直後の湿潤密度および含水比を測定することで、残存空気率を求めた。ここで、残存空気率とは、改良直後に採取した供試体に含まれる単位空気量を試料土に対して、セメントおよび気泡を投入し、消泡や破泡等が生じない条件で求めた理論上の供試体に含まれる単位空気量で除したものである。残存空気率が 100%を下回る場合は、理論上より密実になっており、100%を上回る場合は、理論上よりも疎になっていることを示す。その後、供試体の作製 (JIS 0821-2020) を行い、所定の期間まで養生 (温度 $20\pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 95%以上) した試料を用いて、供試体表面を撮影し、画像解析による空隙率を定量的に評価した (写真-1)。なお、画像処理には、アメリカ国立衛生研究所 (National Institutes of Health) で開発されたオープンソースである画像解析ソフト ImageJ を用いた²⁾。

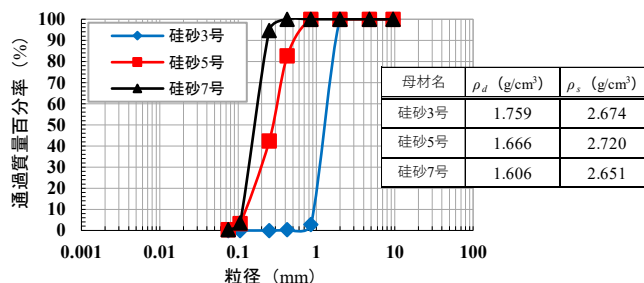
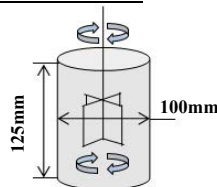


図-1 各母材（鹿島産）の物理特性

試験容器の寸法



例) 珪砂5号(Wn15%)

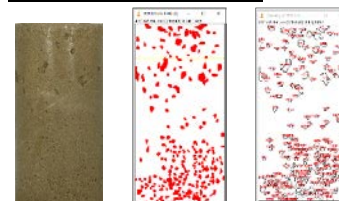


図-2 ベーンせん断試験 写真-1 ImageJによる解析画像

3. 試験結果と考察

3-1. 改良体の水分重量と残存空気率

図-3 に改良体の水分重量と残存空気率の関係を示す。今回の試験条件下において、各母材の残存空気率が最

キーワード 中層混合処理工法、地盤改良工、気泡混合処理、ベーンせん断強度、単位空気量

連絡先 〒136-0072 東京都江東区大島 3-19-2 (株)加藤建設ジオテクノロジー事業部企画開発部 TEL : (03)36375341

大となる水分量は、珪砂3号 0.09g (107%), 珪砂5号 0.24g (127%), 珪砂7号 0.28g (138%) であった。また、どれも残存空気率の最大値を中心に弧を描くような近似曲線を示しており、水分量の増減によって、残存空気率が緩やかに減少することが分かった。これについては、気泡を混練した際に改良土全体の水分量が少なければ、泡膜の水分は土に奪われるため破泡してしまい、逆に添加水量が多ければ、気泡の分離作用が生じているためと考えられた。さらに、母材の物理特性によって、気泡が及ぼす効果は異なり、粒径が大きいものほど少ない水分量で気泡が起きやすいことが分かった。しかし、気泡が起きやすいものの、残存する空気量(気泡の効果)は小さく、粒径だけでなく粒子形状による影響も大きいと考えられる。

3-2. ベーンセン断強さと残存空気率

ベーンセン断強度和残存空気率の関係(図-4)からどの母材も残存空気率が多い試料ほど、ベーンセン断強度は低くなる傾向にあった。これは、微細な気泡が土粒子の間隙部に入り込むことで、離隔が生じ摩擦抵抗が低減したためと思われる。また、抵抗値が増加しているものは、添加した気泡が破泡または分離したことにより、間隙比の減少(密度の増加)が原因と考えられる。一方、珪砂3号においては、他の珪砂と比較して残存空気率が同じであっても抵抗値が異なることが分かった。これは、相似粒度をなす砂の場合、粒径が大きくなると最大・最小間隙比が小さくなる傾向にあり、その原因は粒子形状が粒径によって異なることに起因するためと推察される³⁾。今後、砂のような粒状体のみを取り扱う場合は、粒径や粒度分布および粒子形状を加味する必要があると考えられる。

3-3. 画像解析を用いた残存空気率の推定

図-5に改良体の水分重量と画像解析で求めた空隙率との関係を示す。今回、気泡の消泡や分布状況を簡易的かつ視覚的に把握することを目的として、画像解析ソフトによる空隙率の解析を試みた。しかし、画像解析で知り得た空隙率と定性的に求めた残存空気率の間には正の相関性はみられなかった。一方、図-3の結果と同様に、空隙率が最大となる箇所を中心に弧を描いており、気泡が起きやすい条件の推定に活用できる可能性が示唆される。また、供試体の作製方法による要因も考えられるが、写真-1のように供試体全面に気泡が分散しており、混合性の良さが見受けられた。今後は、さら

なる検討により定量的な評価に繋げていきたい。

4. まとめと今後の課題

改良材と気泡材の条件を一定とし、各母材における水分量を変化させることで、以下の知見が得られた。

(1) 粒径が大きいものほど少ない水分量で気泡が起きやすいが、残存空気率(気泡の効果)は小さくなる傾向にあった。(2) 同様に、残存空気率が多ければベーンセン断強度も低くなる傾向にあった。一方、同じ残存空気率であっても、せん断強度は異なることから粒度や粒径による要因だけでなく粒子形状による影響も大きいと考えられた。今後は粒子形状を観察することで、気泡に与える影響を調べていきたいと考える。(3) 画像解析の結果、定性的に求めた値と相関性は見られなかったものの、気泡条件の推定に活用できることが示唆される。今後、さらなる検討により評価手法の確立を目指していきたい。

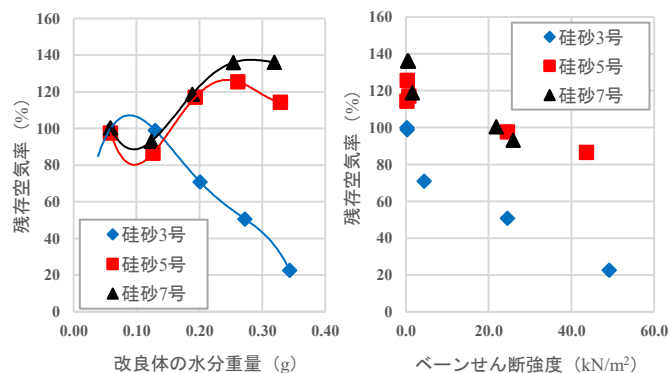


図-3 改良材の水分重量量と残存空気率の関係

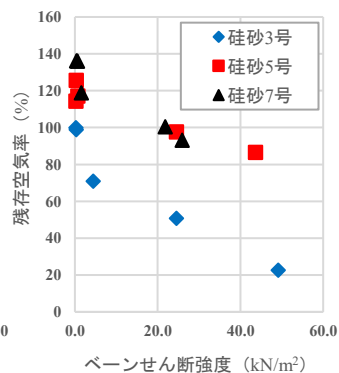


図-4 ベーンセン断強度和残存空気率の関係

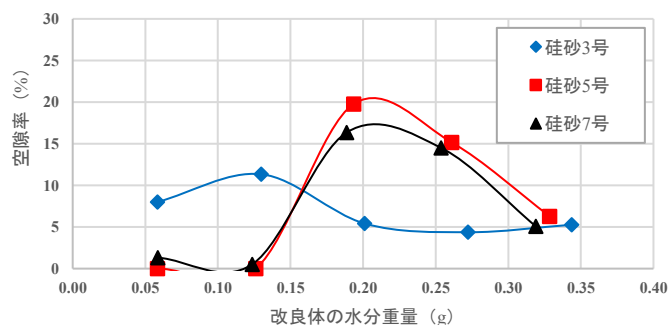


図-5 画像解析を用いた残存空気率の推定

参考文献

- 1) 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.
- 2) Schneider, C.A., Rasband, W. S. and Eliceiri, K.W. "NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis", Nature Methods 9, pp.671-675, 2012.
- 3) 吉村優治, 小川正二: 粒状体の間隙比およびせん断特性に及ぼす一次性質の影響, 土木学会論文集, No.487, III-22, pp.95-130, 1993.