

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（1）

—室内試験における検討—

(株)加藤建設 正会員 ○桑原 崇詞 正会員 大川 拓真
(株)加藤建設 非会員 永久 翔 非会員 赤星 勝之

1. はじめに

建設分野における気泡の利用は1954年頃に外国から技術導入され、軽量盛土材や裏込め材に適用されてきた¹⁾。近年では、ソイルセメント地中連続壁工法において、その発展が目覚ましいものである。従来、この工法においては、掘削中の溝壁の崩壊を防ぐために、ベントナイト系やセメントスラリー系安定液が用いられてきた。しかし、砂礫土層を対象とした場合、土との材料分離（逸水または逸泥）が生じやすく、施工が不安定になりやすい原因となっていた。そこで、土に気泡混合処理を施すことにより、流動性や止水性を向上させることで、溝壁の安定性に寄与している²⁾。一方、施工性も然ることながら品質の確保や発生汚泥の低減も必要となるため、消泡剤を用いることで破泡作用を促す方法が取られている。本報では、砂礫層を対象とした地盤改良において、パワーブレンダー工法（以下、PB工法）による施工が計画される中、スラリー噴射方式では施工が困難と想定されるため、気泡混合処理による検討が行われた。また最大改良深度（GL-6.91m）が比較的浅いことから、消泡剤を併用しない方法が選択された。室内試験において、セメントスラリー改良土と気泡混合処理土を比較するにあたり、テーブルフロー（以下、TF）とベーンせん断強さの関係に着目することで、施工性の評価を行った。このとき、気泡混合処理においては、気泡量を一定とし、水量をコントロールすることで施工性の改善に必要な最低限の気泡量となるように試みた。これより、室内試験から得られた知見を報告する。

2. 室内試験の概要

PB工法では、施工性の確保だけでなく、高品質な改良体を造成するため、改良深度に適した流動性の確保を目的として、その測定指標にTF試験（JIS R5201）が採用されている。一方、砂礫土層を対象とした地盤改良において、セメントスラリー改良土によるTF試験を行った場合、土との材料分離が生じ、測定値として捉えることが困難であった。そのため、TF試験との相関が考えられるベーンせん断試験（JGS 1411）に着目することで改良土の硬軟性を把握することとした³⁾。

2.1 テーブルフローとベーンせん断強さの関係

ベーンせん断試験とは、シャフトの先端にあるベーンブレードの回転抵抗から地盤のせん断強さを求める試験である（図-1）。また、掘削時に気泡を用いる工法においては、フレッシュ時の改良土をベーンせん断試験にて測定することで、施工性を評価している⁴⁾。本試験においてもTFとベーンせん断強さの関係を求めるにあたり、この評価方法を適用した。まず、相関性を把握する上でPB工法により施工性が確保できている試料を対象として試験を行った。これらの試料土に対して、固化材添加量を一定としTF値が110から140mmとな

るように水セメント比を変化させた試料を混練した後、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、ベーンせん断強さを測定した（図-2）。

試験容器の寸法

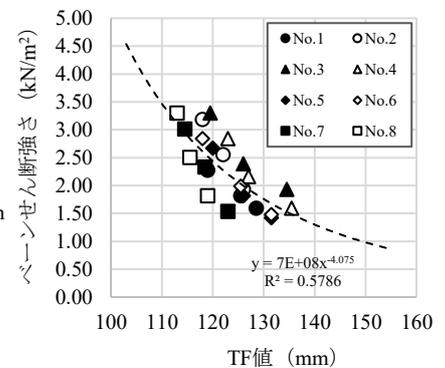
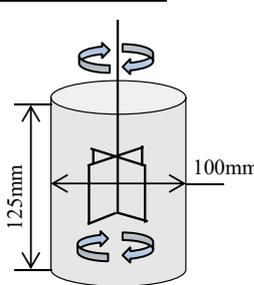


図-1. ベーンせん断試験

図-2. TF値とせん断抵抗の関係

2.2 目標とするベーンせん断強さの推定

PB工法における改良深度とTF値の相関⁵⁾に対して、図-2で得られた結果を加味したところ、ベーンせん断強さにおいては2.0kN/m²を確保できれば攪拌機への負荷を低減でき、安定した施工が可能であると考えられた。これより、現地にて採取した試料土に対して、セメントスラリー改良（以下、スラリー添加）と気泡混合処理（以下、気泡添加）による検討を行った。図-3には、試料土の物理特性を示す。

キーワード 中層混合処理工法, 地盤改良工, 気泡混合処理, 流動性, ベーンせん断強さ

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)3637-5341

2.3 室内試験方法

(1) 目標値 2.0kN/m^2 を満足する水セメント比（以下、W/C）を求め、スラリー添加では固化材添加量を一定とし、W/C を変化させた際のベーンせん断強さを測定した。一方、気泡添加も同様の手順に加え、スラリーに気泡を 100l/m^3 （希釈濃度 2.5%，発泡倍率 25 倍）の割合で注入した際の測定値を求めた（図-4）。

(2) 図-4 より目標値を満たす W/C を求め、各配合添加量における W/C を計算し、供試体の作製（JIS 0821-2020）を行った。但し、気泡添加においては、施工の上で供給可能な W/C を下回ったため、最低水セメント比 70% に設定した。供試体を作製後、ラップで密栓して温度 $20\pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 95% 以上の恒温恒湿機内にて、所定の試験期間まで養生を行った。

(3) 材齢 7 日および材齢 28 日における改良体の一軸圧縮強度と固化材添加量の関係（図-5）から室内目標強度を満足する現場推定添加量を求めた。

2.4 試験結果および考察

図-4 より、スラリー添加では W/C の増加に伴い、ベーンせん断強さが低くなる傾向にあった。これは、混練した試料土を容器に投入して測定しているため、土との材料分離が起らず、見かけ上の測定値が得られていると考えられた。しかし、湿潤密度においては W/C の増加に従い、高くなっていることから測定する際に試料土の偏りが生じており、材料分離の影響が見受けられた。一方、気泡添加において、理論上の湿潤密度と比較した際、W/C の増加により湿潤密度も増加傾向にあることから、水量のコントロールだけでも破泡作用を促していることが分かった。また、理論値に対して、実測値が下回る原因については、試料土と気泡を混合した際に再発泡現象によるものと考えられた⁶⁾

3. まとめ

- (1) 室内配合試験により、決定した施工条件は設計添加量 121kg/m^3 、W/C 70%、気泡注入量 100l/m^3 （希釈濃度 2.5%、発泡倍率 25 倍）となった。このとき、ベーンせん断強さは 0.5kN/m^2 、TF 値は 194mm であり、施工時の判断基準が得られた。
- (2) 水量を調整することにより破泡作用を促すことが分かった。これより現地では、機械攪拌による破泡、土水圧の影響による消泡が顕著に表れると考えられた。
- (3) 現地での施工性や品質によっては、本試験で目標としたベーンせん断強さの見直しに繋がると考えられる。

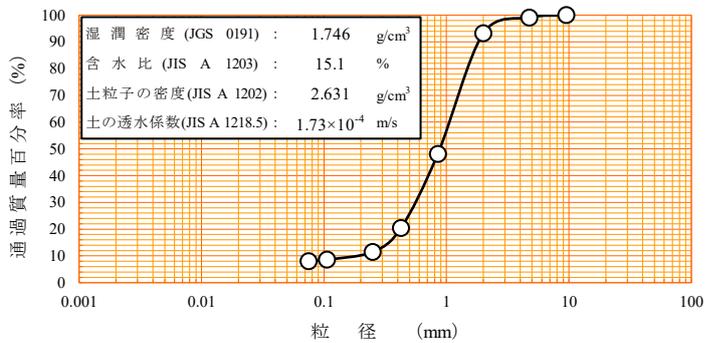


図-3. 試料土の物性値

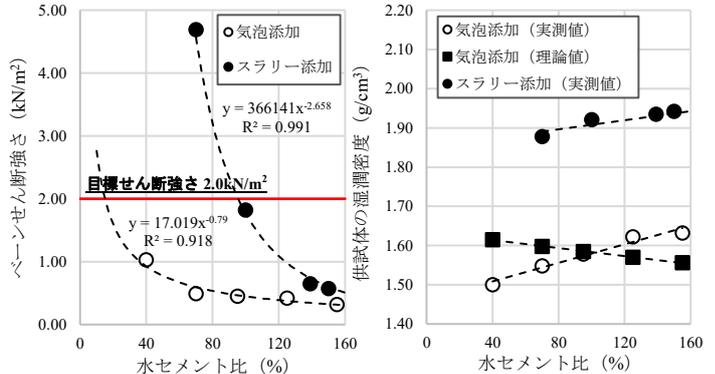


図-4. 水セメント比と各測定値の関係

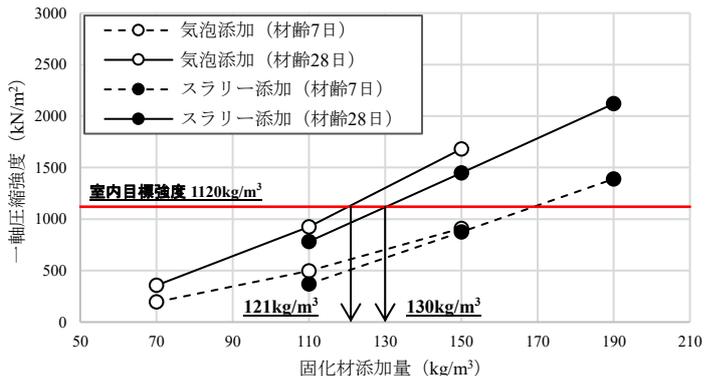


図-5. 固化材添加量と一軸圧縮強度の関係

参考文献

- 1) 田中 積 (1975)：現場打ちコンクリートとその施工について，コンクリート工学，Vol.13，No.5
- 2) 赤木 寛一 (2012)：気泡掘削工法，技術手帳，地盤工学会誌，Vol.60，No.11
- 3) 蒲生 和久 (2005)：施工現場におけるポリマーセメントモルタルの品質管理手法の提案，土木学会第 60 回年次学術講演会，pp523-524
- 4) 気泡混合研究会 (2020)：AWARD-Hsm 工法（気泡掘削による等厚式ソイルセメント地中連続壁の造成）技術・積算マニュアル，pp14-15
- 5) パワーブレンダー工法協会 (2020)：パワーブレンダー工法（中層混合処理工）技術資料，pp17-19
- 6) 平田 光彦 (2019)：配合試験時の攪拌羽根の形状が気泡混合土の性状に及ぼす影響，第 16 回地盤工学会関東支部発表会