

気泡混合処理による地盤改良と攪拌機械への負荷抵抗

—最低気泡量下における施工性の確認—

(株)加藤建設 正会員 ○桑原崇詞 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

本報は、中層混合処理工であるパワーブレンダー工法（以下、PB工法）にて、気泡材を用いて補強土壁の基礎を構築した施工事例である。これより得られた成果および知見について報告する。

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、流動性および施工性の低下に関わる問題に繋がっていた。そこで、当工法では気泡混合処理による止水性の向上に着目する中で、改良深度に適した負荷抵抗を求めることにより、必要最低限の気泡量による施工提案が検討されてきた¹⁾。本工事では、室内試験において添加水量を変化させながら、気泡混入時の流動性および残存空気率²⁾を確認することで施工条件を求めた。また、現場施工では、施工時の流動性を室内試験と同様の試験方法から判断すると共に、攪拌機械のチェーン速度を確認することで施工性の評価を行った。さらに、採取した供試体から残存空気率を算出し、室内と現場での消泡状況を比較した。

2. 室内試験

2-1. 試験概要

PB工法では、テーブルフロー試験（以下、TF試験）を実施し、改良体の均質性、施工性の望ましい流動値を確保するため、水セメント比の設定を行っている。しかし、本現場のように細粒分が殆どない砂質土を扱う場合、TF試験での評価は適さないと考えられたため、ベーンせん断試験にて適切な水セメント比の設定を行うものとした。また、PB工法では改良深度とTF値の相関が示されており、既報¹⁾で求めたTF値とせん断強度の関係性から改良深度5.0mにおけるベーンせん断強度を算出した。その結果、室内試験において2.4kN/m²を確保できれば攪拌機への負荷抵抗を低減でき、かつ安定した施工が可能であると考えられた。これより、現場にて採取した試料土に対して、気泡混合処理による配合を行い、設計を満足する施工条件を求めた。

2-2. 試験方法と試験結果

(1) 目標せん断強度2.4kN/m²を満足する水セメント比を求めるため、固化材添加量130kg/m³および気泡注入量100ℓ/m³（希釈濃度2.5%、発泡倍率25倍）を一定とし、水セメント比を変化させた際のベーンせん断強度を測定した。また、改良直後の湿潤密度および含水比を測ることで、残存空気率の算出を行った（図-1）。

(2) 図-1より目標値を満たす水セメント比を求め、各配合添加量における水セメント比を計算し、供試体の作製（JIS 0821-2020）を行った。供試体を作製後、所定の試験期間まで養生した。

(3) 材齢28日における改良体の一軸圧縮強度（JIS A 1216）を測定し、室内目標強度1,200kN/m²を満たす現場推定添加量を求めた。その結果、設計を満足する施工条件は設計添加量93kg/m³、水セメント比142%、気泡注入量100ℓ/m³であることが分かった。

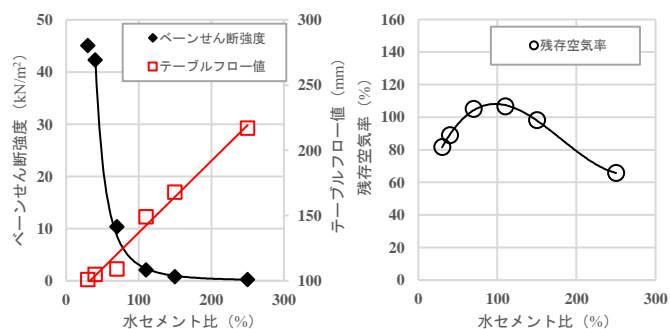


図-1 水セメント比と各測定値の試験結果

3. 現場施工

3-1. 施工概要

現場にて採取した試料土の粒度分布と現場状況を、それぞれ図-2と写真-1に示す。施工対象となる土質は砂質土主体であり、砂礫が点在する土層構成であった。

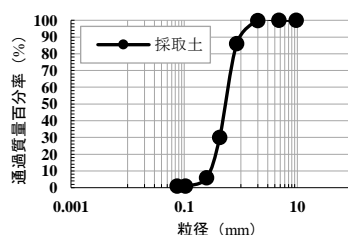


図-2 試料土の物性値



写真-1 現場状況

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

また、現場は200m圏内に海岸があるものの、改良深度は地下水位以浅であったため、気泡材にとっては水分の影響（消泡作用）を受けづらいと考えられた。このとき、現地の地盤状況を把握するため、施工前に各区割にて表面部（GL-2.0mほど）を掘削し、原土の含水比測定（JGS T 122）を行った。結果として、雨天による影響はあったが、原位置土の含水比は概ね5~11%の範囲にあることを確認した。このような現場状況下、室内試験で求めた設計条件にて施工を行った。

3-2. 品質管理項目

本現場では、施工直後（フレッシュ時）の改良体を試験採取器により採取し、深度方向における改良体の湿潤密度および含水比の測定を行った。また、施工時の流動性はTF試験およびベーンせん断試験、PB工法のベースマシンに装着されている施工管理装置から得られるデータより評価した。後日、消泡状況を把握するため、採取した供試体から残存空気率を算出し、一軸圧縮強度との関係性を整理した。

3-3. 結果と考察

図-3には残存空気率と流動性の関係を示す。設計条件における各測定試験の指標は、ベーンせん断強度 2.4kN/m^2 、TF値 142mm 、残存空気率 107% である。これより、各流動性を改良深度ごとに評価したところ、表面部には最大で 107% の気泡が残存しており、上部から下部に掛けて、消泡していることが分かった。また、ベーンせん断強度およびTF試験においても同様な傾向を示していることから、土水圧の作用によるものと推察される。一方で、表面部においても 70% 近く消泡している箇所が見られており、雨天による原位置土の含水比変化や混練時または圧送時の影響による消泡が考えられた。しかし、実施工時に攪拌翼が受ける負荷抵抗（図-4a）を区割ごとに確認したところ、どの区割も概ね 1.0m/s の速度で施工しており、負荷抵抗の大きな増加は見られなかった。いずれにしろ、今後は表面部の湿潤密度を確認しながら、施工性を確保するための対策を講じておく必要があると考えられる。

気泡混合処理においては、施工性も然ることながら強度担保も必要となる。本現場の設計強度は 600kN/m^2 （現場/室内強度比 0.5 ）であり、事後の供試体における一軸圧縮強度の結果を図-4bに示す。これより、全てにおいて設計基準強度を満足しており、かつサンプル数31本の平均値が $1,260\text{kN/m}^2$ であることから室内目標強

度と同等の試験結果が得られた。一方で、残存空気率と湿潤密度の相関性は見られるものの、一軸圧縮強度との相関は見られなかった。これは、残存空気率によって相対的な間隙比が変化しているものと考えられ、せん断応力時に過剰間隙水圧が起因することで強度に影響を与えていると推察される。今後、三軸試験にて有効応力経路を確認することで、残存空気率と強度の関係を整理していきたいと考えている。

4. まとめと今後の課題

今回、残存空気率と流動性の関係に着目し、室内と現場の比較を行ったところ、以下の知見が得られた。

(1) 現場において、改良体の表面部は計画通りの残存空気率を示しており、上部から下部にかけて消泡していることが分かった。一方で、表面部においても 70% 近く消泡している箇所も見られたが、実施工時のチェーン速度（攪拌機械への負荷抵抗）を確認したところ、施工性の低下は示唆されなかった。(2) 今後は、表面部の湿潤密度を確認しながら、施工性を確保できる対策を講じておく必要があると考えられる。

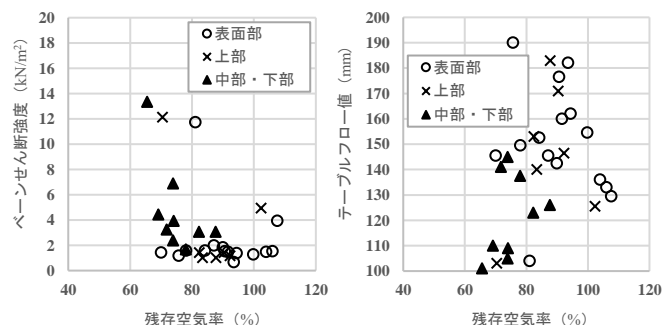
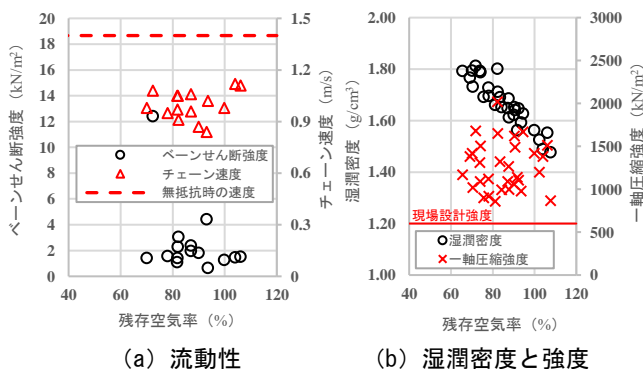


図-3 残存空気率と流動性の関係



(a) 流動性 (b) 湿潤密度と強度

図-4 残存空気率と各関係性

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) 刑部俊輔, 余川弘至: 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—, 土木学会第77回年次学術講演会, 2022.(掲載予定)