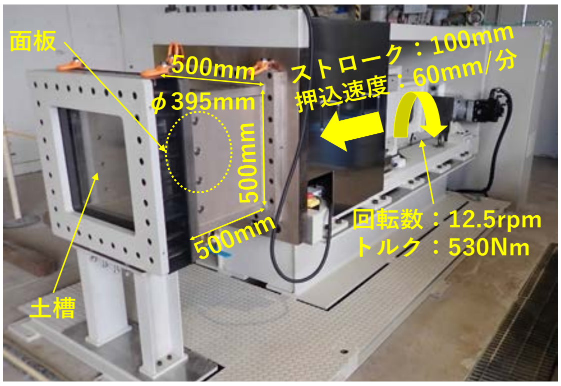
攪拌翼センサによるシールドチャンバー内の可視化技術の開発

東日本高速道路(株)　村田賢士　児玉亮治　尾関　淳
鹿島建設(株)　正会員　○新川健二　高柳　哲　劉　偉晨　川野健一　永谷英基

１．はじめに

近年、シールドトンネルの施工条件は複雑化している．そのため，施工中にシールドチャンバー内の土砂性状をリアルタイムに可視化できれば，土質・地盤に起因する施工リスクの低減につながり，安定的にシールド掘進を進めることができる．

そこで，切羽可視化技術を確立するために，シールド掘進時における切羽前面地山やチャンバー内土砂の挙動を模擬できる実験装置を製作した．この装置を使って，気泡混合によるチャンバー内土砂の塑性流動性の変化をセンシング技術でモニタリングしたので，その結果を報告する．



写真―1　切羽可視化実験装置

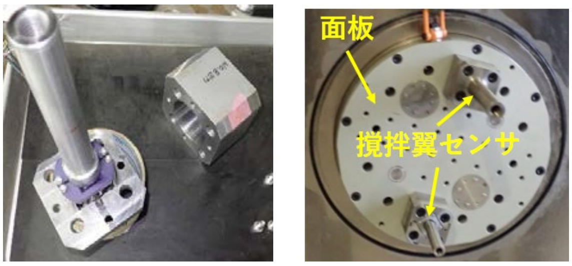
２．実験装置

2.1 切羽可視化実験装置

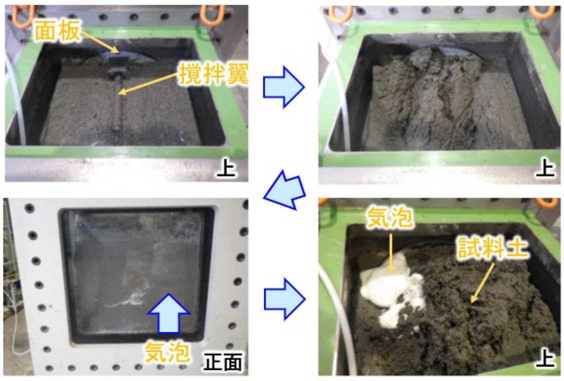
泥土圧シールド工法や気泡シールド工法[1]における切羽前方やチャンバー内[2]の状況を模擬するために，切羽可視化実験装置（**写真―1**）を製作した．近年のシールド工事の大口径化・大深度化にあわせて，実験装置の土槽内は最大で500kPa（深度 50m 相当）程度の土水圧を付与できる仕様[3]とした．

2.2 攪拌翼センサ

気泡シールド工法においては，チャンバー内土砂の塑性流動性を保持することが重要である．チャンバー内の掘削土砂の塑性流動性を定量的に評価するためには，センシング技術を用いてチャンバー内可視化を実現する必要がある。そこで，現場での使用実績を基にひずみゲージを使用した攪拌翼センサ（**写真―2(a)**）を製作した．実験時は，**写真―1** に示す実験装置の面板に攪拌翼センサを取り付け（**写真―2(b)**），実際のシールドマシンと同等の回転速度で回転させた．センサ内に貼り付けたひずみゲージの測定値から攪拌翼センサに作用する抵抗力に換算することで，チャンバー内掘削土砂の塑性流動性の定量的な評価を試みた．



(a) 攪拌翼センサ　　(b) 面板取付状況
写真―2　攪拌翼センサの取付状況



写真―3　気泡混合掘削土攪拌実験

３．実験概要

3.1 実験方法

写真―3 に実験状況を示す．掘削土砂をシールドマシンのチャンバーを模擬した土槽内に充填し，面板と取り付けた攪拌翼センサを回転させることで掘削土砂を攪拌した．その後，実際の気泡シールド工事と同様に，所定の濃度に調整した起泡剤の希釈溶液を発泡装置により

キーワード　塑性流動性，センシング，可視化，シールド工法
連絡先　〒182-0036　東京都調布市飛田給 2-19-1　鹿島建設(株)技術研究所　TEL 042-489-1111

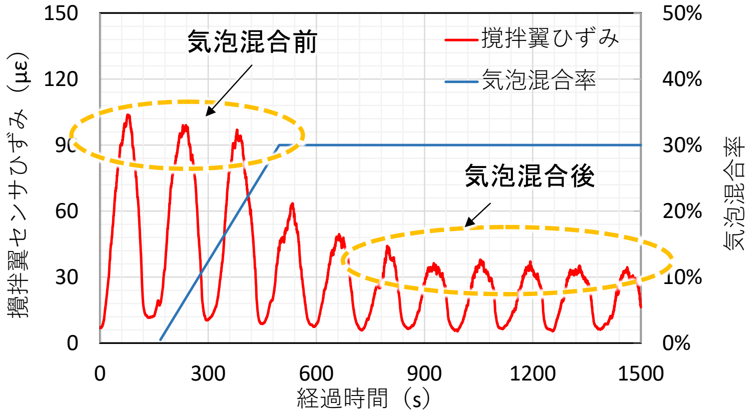
© Japan Society of Civil Engineers

発泡させ，所定の混合率になるように土槽内で混合した．実験中は，面板に取り付けた土圧計ならびに水圧計を使って土槽内の土水圧が一定になるように操作した．攪拌翼センサによる掘削土砂の塑性流動性の評価には，攪拌翼センサの計測結果と従来の評価方法である室内試験（スランプ試験，テーブルフロー試験など）結果の相関関係を利用した．そのため，実験前後の掘削土砂に対し，テーブルフロー試験やスランプ試験等を行った．

3.2 実験条件

実験条件は実際の現場条件を参考に設定した．チャンバー内の掘削土砂は実現場における泥岩掘削土を使用し，実際の掘削条件に合わせるために，加水して含水比を 43～48 %に調整した．このように，含水比を変化させて塑性流動性が異なる掘削土砂を対象に攪拌翼センサのひずみ値を計測した．

起泡剤（原液）は高性能起泡剤を使用した．濃度を 0.5 %に調整した溶液を 10 倍に発泡させ，5 L/min の混合速度で混合率 30 %（掘削土砂に対する体積比）となるまで土槽内で気泡を混合した．現場の土水圧を考慮し，実験時のチャンバー内圧力は 500 kPa と設定し，面板の回転速度を 0.55 rpm と設定した．

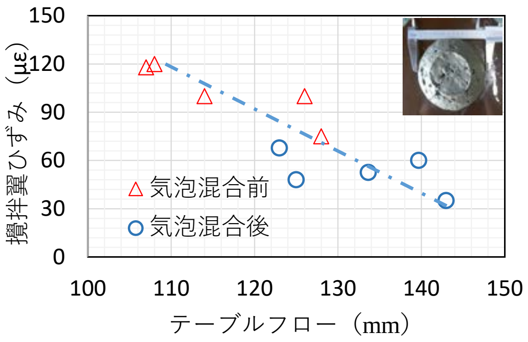


図―1　攪拌翼センサ計測値の時系列

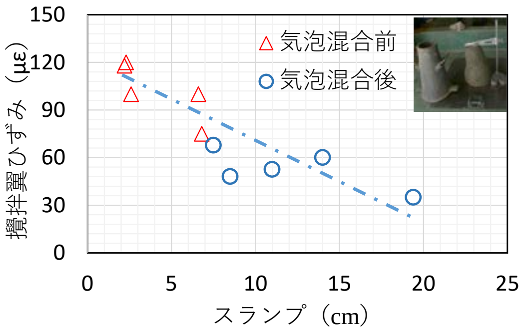
4．実験結果

気泡混合前後における攪拌翼センサにより計測したひずみ値の時系列の一例を**図―1** に示す．気泡を混合する前は攪拌翼センサのひずみ値は約 100 με であったが，気泡の混合により約 40 με まで減少した．すなわち，気泡混合による掘削土砂の塑性流動性の改善が攪拌翼センサのひずみ値によって明確に判別できた．

実験前後に掘削土砂に対して実施した室内試験の結果と攪拌翼センサひずみ値の関係を**図―2** に示す．大気圧下で実施したスランプ試験ならびにテーブルフロー試験の結果，500 kPa の加圧環境下で計測した攪拌翼センサのひずみ値と良い相関があることが分かった．気泡を混合することによって，掘削土砂の塑性流動性が改善され，テーブルフロー値とスランプ値が増加した一方，攪拌翼センサのひずみ値は減少した．



(a) テーブルフローとの相関



(b) スランプとの相関

図―2　室内試験結果との相関

5．おわりに

面板に取り付けた攪拌翼センサのひずみ値をモニタリングすることで，チャンバー内の掘削土砂の塑性流動性をリアルタイムに把握することができた．今後，様々な地盤材料に対する適用性を検討し，施工時の閉塞・噴発を事前に判断できる可視化システムを構築し，横浜環状南線公田笠間トンネル工事で実証していく．

参考文献

1）気泡シールド工法技術協会：気泡シールド工法，2020.
2）足立紀尚ほか：土圧式シールド工法，鹿島出版会，2010.
3）川野健一，永谷英基：シールド切羽における塑性流動センシング技術の開発，土木学会第 76 回年次学術講演会概要集，VI-394，2021.

© Japan Society of Civil Engineers