

シールド切羽における塑性流動センシング技術の開発

鹿島建設(株) 正会員 ○川野健一 永谷英基

1. はじめに

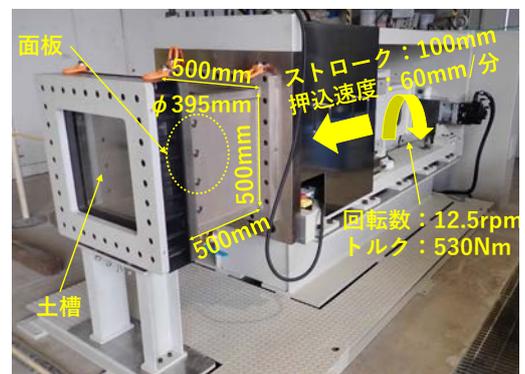
近年、シールドトンネルの施工条件や対象範囲は複雑化や拡大の一途をたどっており、十分なボーリングデータや土質・地盤情報が存在しない状況での難しい施工が求められることもある。そのため、施工中に地盤内部をリアルタイムに可視化できれば、土質・地盤に起因する施工リスクの解消につながる。その結果、安定的にシールド掘進を進めることができ、施工トラブルを回避した高速掘進が可能となる。

そこで、切羽可視化技術となりうる塑性流動センシング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およびチャンバ内の掘削土砂の挙動を模擬できる実験装置を製作した。掘削土砂の挙動を可視化するために、センシング技術を用いて掘削土砂の塑性流動性¹⁾を評価したので、その結果を報告する。

2. 実験装置

2.1 切羽可視化実験装置

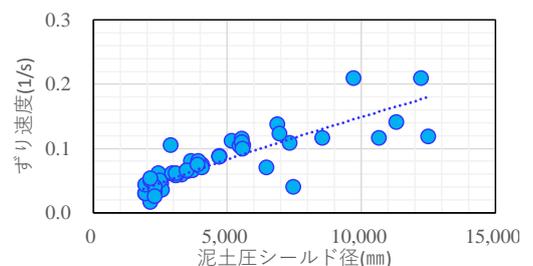
泥土圧シールド工事や気泡シールド工事における切羽の状況を模擬できるように、切羽可視化実験装置(写真—1)を製作した。切羽可視化実験装置は、直近20年の当社の泥土圧シールド工事での代表地点におけるずり速度(図—1)を模擬できる仕様とした。さらに、近年のシールド工事の大口径化・大深度化にあわせて、土槽内は最大で500kPa(深度50m相当)程度の土水圧を付与できる仕様とした。



写真—1 切羽可視化実験装置

2.2 攪拌翼センサ

切羽可視化のためには、センシング技術で掘削土砂の塑性流動性を定量的に評価する必要があることから、当社現場での使用実績を基に、ひずみゲージ式の攪拌翼センサ(写真—2)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、センサ位置で所定のずり速度となるように回転させた。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を換算することで、土槽内の掘削土砂の塑性流動性を定量的に評価した。



図—1 代表的なずり速度とシールド径

3. 実験概要

3.1 実験方法

写真—3に実験状況を示す。実際の気泡シールド工事²⁾同様に、起泡剤を所定の濃度に調整した起泡材溶液を発泡させ、所定の注入率で地盤に気泡を注入(写真—3(a))し、実際の切羽前面およびチャンバ内を模擬した土槽内で攪拌翼センサが取り付けられた面板を回転させることで、掘削土砂と気泡を混合攪拌(写真—3(b))した。その際、面板内に取り付けられた土圧計、水圧計で土水圧が一定条件となるように管理した。



(a) 面板取付状況 (b) 攪拌翼センサ

写真—2 攪拌翼センサの取付状況

キーワード 塑性流動, センシング, 可視化, 泥土, 気泡, シールド

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 042-489-6552

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。実験時の掘削土砂は三河珪砂6号を使用し、含水比は16.7%とした。起泡剤は現場で実績があるマジカルラスティングフォーム^{3),4)} (以下, MLF) を使用した。濃度を1%に調整したMLF溶液を10倍に発泡し、注入率が20%となるように土槽内に気泡を注入した。

現場の土水圧を考慮し、実験時の土槽内圧力 (kPa) は、大気圧 (約 100), 200, 500 の3水準に設定し、攪拌翼センサ位置でのずり速度 (1/s) は 0.05, 0.10, 0.21, 0.52, 1.05 の5水準とした。また、塑性流動性の経時変化を確認するため、混合攪拌直後、混合攪拌直後から1時間後、18時間後における実験結果を比較した。

4. 実験結果

混合攪拌直後からの時系列別に実験結果 (図—2) を示す。図—2(a)に示すように、混合攪拌直後は気泡が十分に混ざっていないため、攪拌翼センサの抵抗力が大きいことが分かる。ずり速度が増大するに伴って、掘削土砂と気泡が混ざることによって塑性流動性を発揮し、抵抗力が顕著に減少した。

混合攪拌直後から1時間後に面板を回転させると、図—2(b)に示すとおり、ずり速度や土槽内圧力に関わらず抵抗力は概ね一定の値を示した。すなわち、気泡が良く混ざっており、塑性流動性が良好と判断できる。

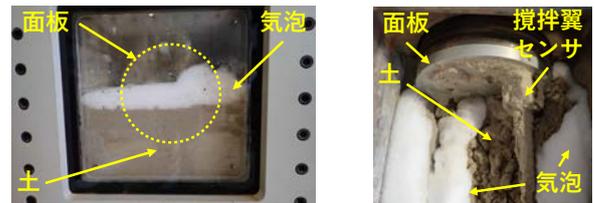
さらに、混合攪拌直後から18時間経過した状態で同様の実験を実施すると、ずり速度の増大に伴って抵抗力がわずかに増大した (図—2(c))。これは、気泡の消泡が進み、塑性流動性が失われたためと推察できる。

5. おわりに

攪拌翼センサの抵抗力をモニタリングすれば、気泡混合土の塑性流動状態を定量的に評価できる可能性があることが分かった。今後、起泡剤、土質、掘進速度の違いが塑性流動性に与える影響を塑性流動センシング技術で評価し、施工につながる地盤可視化技術を確立していく。

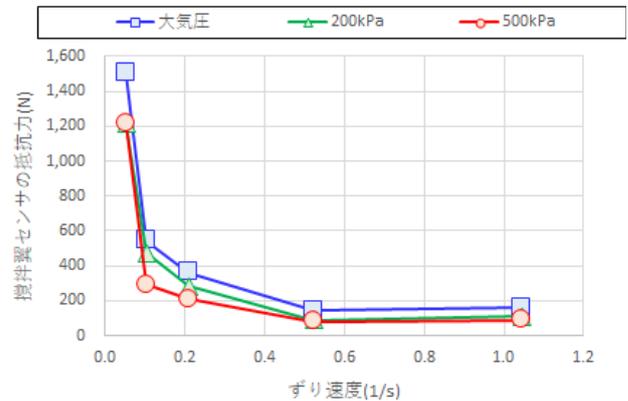
参考文献

- 1) 足立紀尚ほか: 土圧式シールド工法, 鹿島出版会, 2010.
- 2) シールド工法技術協会: 気泡シールド工法, 2020.
- 3) 川野健一, 吉迫和生, 佐藤一成, 瀧川信二, 吉田智哉: 気泡シールド工法に用いる気泡の圧力下における性状 (その2: 気泡単体), 土木学会第75回年次学術講演会概要集, VI, pp. 934-935, 2020.
- 4) 吉迫和生, 川野健一, 佐藤一成, 瀧川信二, 吉田智哉: 気泡シールド工法に用いる気泡の圧力下における性状 (その3: 気泡混合土), 土木学会第75回年次学術講演会概要集, VI, pp. 934-935, 2020.

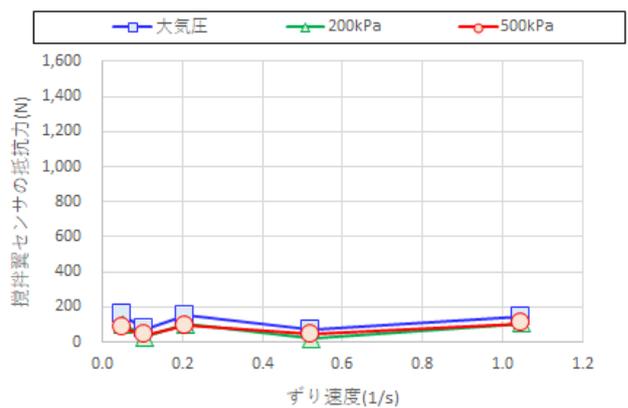


(a) 気泡注入(土槽正面) (b) 混合攪拌(土槽上側)

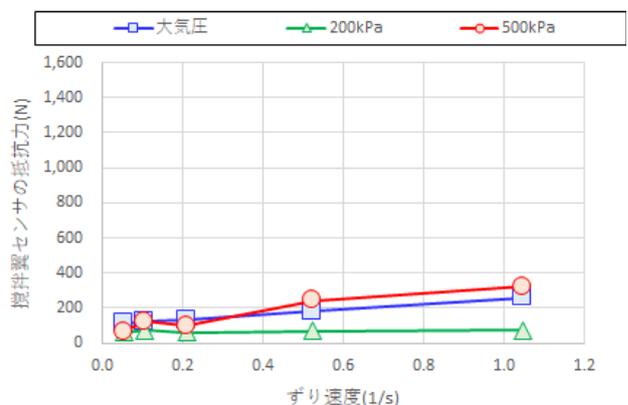
写真—3 実験状況



(a) 混合攪拌直後



(b) 混合攪拌後から1時間後



(c) 混合攪拌後から18時間後

図—2 実験結果