

RI 密度計を利用したチャンバー内掘削土砂の密度監視システムの開発

鹿島建設(株) 正会員 米沢 実 串田慎二 永谷英基 川野健一 ○劉 偉晨
ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 塩見篤志

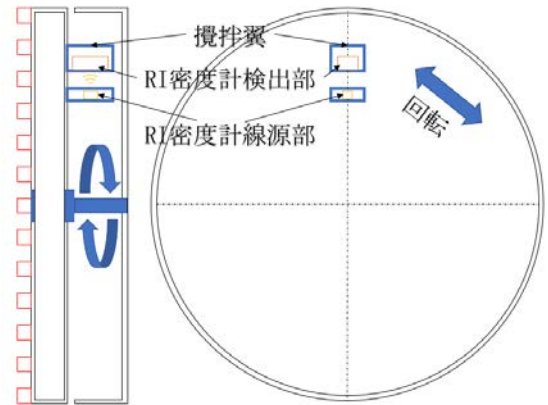
1. はじめに

シールド工事における従来の排土量管理は、スクリーコンベアからの排土を対象に密度を計測していた。近年、気泡シールド工法の採用が増加しており、シールドマシンチャンバー内の掘削土砂の密度を精度よく管理することが求められる。チャンバー内の土砂密度をリアルタイムに計測できれば、排土量・排土率の正確な管理やシールドの安定掘進に繋がる。そこで、ソイルアンドロックエンジニアリング社製の配管用 RI 密度計（以下、RI 密度計）²⁾を利用したチャンバー内密度監視システムを開発し、その精度を室内実験で評価した。

2. 実験概要

図一に示す攪拌翼内蔵型チャンバー内密度計測システムを室内実験で模擬するために、写真一に示すように矩形の土槽を使用した。土槽上に設置したレールに沿って、RI 密度計内臓攪拌翼を模した治具を動かせるようにし、移動速度が計測精度に及ぼす影響を評価するために、人力あるいはインチで RI 密度計内臓攪拌翼を 6, 12, 24 m/min の速度（実機は 18 m/min）で動かした。また、RI 密度計内臓攪拌翼の板厚の影響を評価するために、写真二に示すようにザグリ加工で RI 密度計の線源部と検出部板厚を 25 mm から 18.5 mm ならびに 12 mm に薄肉化した攪拌翼を製作した。

実験は計測対象土砂が異なる場合の計測精度を検証するために、含水比 w および湿潤密度 ρ_t が異なる 3 種類の泥水（ $\rho_t = 1.3, 1.6, 1.8 \text{ t/m}^3$ ）を用いて行った。なお、以下では実験ケースを「泥水 1.3」のように湿潤密度の値で表す。計測は、計測結果の平均化処理の影響を調べるために、1 ケースあたり 5 分間実施し（取得データ数 $n = 300$ ）、15, 30, 60 秒間の移動平均を用いて計測データを統計的に分析した。



図一 攪拌翼内蔵型チャンバー内密度監視システム



写真一 実験用土槽



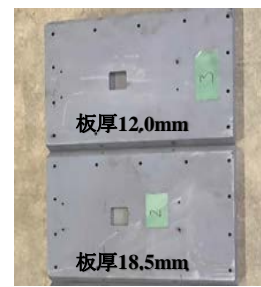
(a) RI 密度計検出部



(b) RI 密度計装着状況



(c) 攪拌翼側面

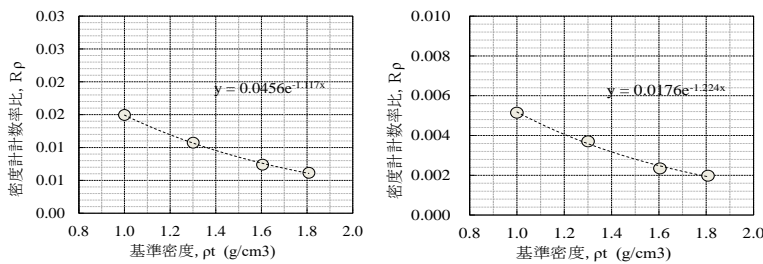


(d) ザグリ加工

写真二 RI 密度計装着状況とザグリ加工状況

キーワード 計測精度, RI 密度計, 排土量管理, 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



(a) 板厚 12 mm (b) 板厚 18.5 mm
図-2 板厚別の校正曲線

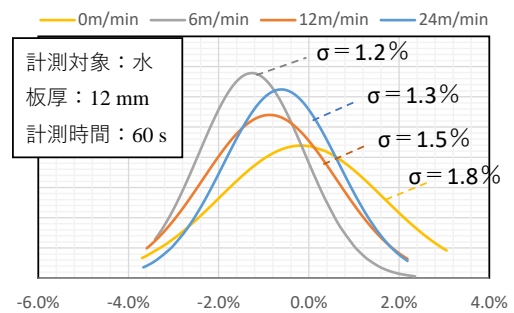


図-3 実測密度に対する偏差分布 (速度別)

3. 実験結果

RI 密度計での計測精度は線源部板厚に依存するため、板厚別に事前にキャリブレーションを行った。校正曲線を図-2 に示す。攪拌翼の移動速度が計測精度に及ぼす影響を図-3 に示す。移動速度による標準偏差の変化は最大 0.6% であり、偏差の平均値が最大 1.2% (密度差に換算すると 0.02 t/m³ 以内) であるため、移動速度はほとんど計測精度に影響しないと判断した。

次に、計測時間 60 秒の湿潤密度の平均値に対する偏差分布を図-4 に示す。板厚が薄いほうが計測精度は良く、板厚 12 mm における偏差の最大値は 1.7% (泥水 1.8) であり、全ケースの平均で 1.4% であった。これは、最も濃い泥水 1.8 において密度差に換算すると 0.02 t/m³ (1.4%) であり、現場条件に合わせて校正すれば十分に現場適用が可能であると判断できる。

最後に、移動平均時間の影響を評価するために、移動速度 24 m/min、板厚 12 mm での測定データを 15、30、60 秒で移動平均処理したときの、湿潤密度の平均値に対する偏差分布を図-5 に示す。15 秒における全ケースの偏差が 3% 前後であり、移動平均時間が長いほどデータのばらつきが抑制されることが確認できた。

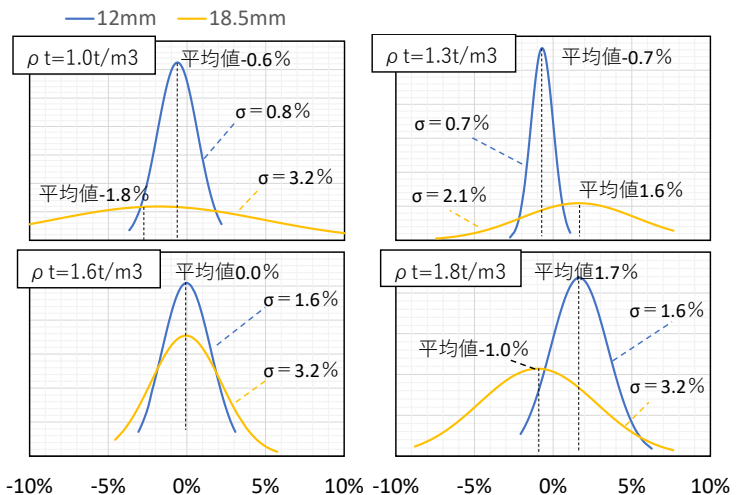


図-4 湿潤密度のばらつき (板厚別)

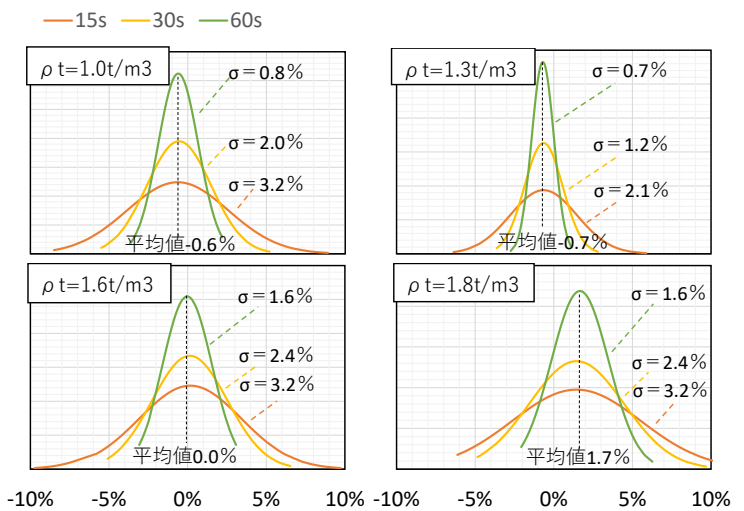


図-5 実測密度に対する偏差分布 (移動平均時間別)

4. おわりに

チャンバー内掘削土砂の密度をリアルタイムで計測するために、配管用 RI 密度計を用いる攪拌翼型密度監視システムを開発し、その計測精度を室内実験で検証した。今後、チャンバー内可視化システムの構築し、正確な排土量管理に活用していく。

参考文献

- 1) 国土交通省シールドトンネル施工技術検討会：シールドトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン，2021。
- 2) 平山ら：気泡混合掘削土を対象とした配管用γ線密度計の計測精度の評価，土木学会第 77 回年次学術講演集 (投稿中)，2022。