

シールドチャンバー内掘削土砂を対象とした散乱型 RI 密度計の計測精度

鹿島建設(株) 正会員 ○森 嘉一 串田慎二 川野健一 永谷英基
 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

気泡などを用いた泥土圧シールド工法における排土量管理は、スクリーコンベアから排土された掘削土の重量および体積を計測し、密度を計算することで管理している。地山の取込過ぎに関するトラブル防止のためには、適切な排土量管理¹⁾が重要であり、その実現にはシールドマシンのチャンバー内の掘削土砂の高精度かつ高頻度な密度計測が求められる。

大断面シールドにおいては、切羽面積が大きいことためチャンバー内で掘削土砂の密度に差があることが想定される。そこで、カッタースポーク内にソイルアンドロックエンジニアリング社製の散乱型 RI 密度計（以下、RI 密度計）を内蔵することで、チャンバー内土砂を直接、かつ回転による面分布での計測を可能とした密度計測システム（図-1）を開発した。本報文では、室内実験によって計測精度を評価した結果について報告する。

2. 実験概要

図-1 に示す密度計測システムを室内実験で模擬するために、写真-1、図-2 に示す実験装置を製作した。樹脂製の土槽（W600 mm×D400 mm×H200 mm）にチャンバー内のスポークを模擬した鉄製治具を設置し、 γ 線を放射するセシウム線源（写真-2(a)）および放射線量を測定できる検知器（写真-2(b)）を並べた。線源から検知器に直接照射される γ 線の影響を排除するために、検知器周辺は鉛で遮蔽した。理論上²⁾、鉛の厚さが 60 mm あれば γ 線の線量を約 1/500 以下に減衰でき、一般的には放射線を遮蔽できたと判断できる。なお、今回の実験では γ 線源としてセシウム線源（¹³⁷Cs）を使用した。

現場では泥土を対象として排土量管理をしているが、RI 密度計の特性として、材質に関わらず計測対象の密度によって検知する γ 線の応答に差が生じるため、本実験では作製が容易で密度分布の均一性を確保するために泥水を使用し、泥水密度の違いによる RI 密度計の計測精度を評価した。表-1 に示すとおり、計測の対象とした湿潤密度 ρ_t は 0.0~1.8 g/cm³とし、空気、ベントナイト溶液+気泡、水、泥水の計 12 種類の試料を使用した。なお、密度 1.0 g/cm³未満の試料は、濃度 5%の起泡剤を 25 倍に発泡した気泡を使用し、添加率を変えることで所定の湿潤密度とした。また、線源と検知器の離隔（以下、中心離隔（SD））が計測精度に与える影響も検証するために、中心離隔（SD）を 4 水準設定した（表-1）。

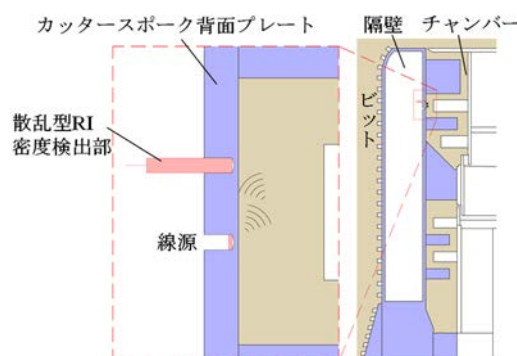


図-1 シールドチャンバー内掘削土砂の密度計測システム

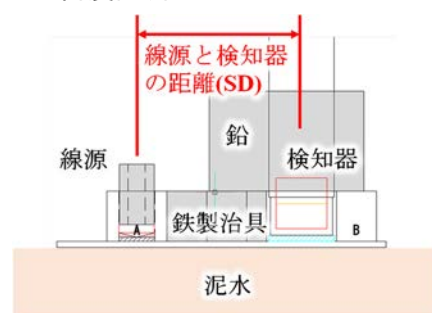


図-2 実験装置の断面

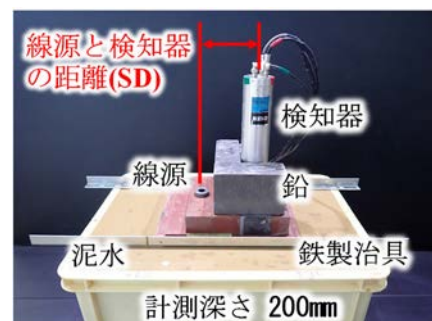


写真-1 実験装置の外観



(a) セシウム線源 (b) 検知器
 写真-2 RI 密度計

キーワード RI 密度計, セシウム線源, 計測精度, 排土量管理, 泥土圧シールド工法, 気泡シールド工法
 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 042-485-1111

表－1 湿潤密度および中心離隔（SD）

対象試料	空気	ベントナイト+気泡							水	泥水		
湿潤密度（g/cm ³ ）	0.0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.3	1.6	1.8
中心間隔（SD）（mm）	120, 140, 160, 180											

さらに、計測時間が計測誤差に与える影響を検証するために、1 ケースあたりサンプリング周期 1 秒で 3 分間継続して計測し、15、30、60 秒間の 3 種類の移動平均時間を用いて計測結果を統計的に分析した。

3. 実験結果

γ線による測定では、時間ごとに壊変する原子核の数が一定ではなく、放出される放射線数に揺らぎがあることから、壊変揺動誤差と呼ばれる RI を用いた計測器に固有の測定誤差が存在する。そこで、泥水密度 1.3 g/cm³ の結果を使って代表的な壊変揺動誤差を求めた。図－3 に示すとおり、中心離隔（SD）が大きくなると壊変揺動誤差が小さくなり、揺らぎによるばらつきが小さくなる結果となった。特に、中心離隔（SD）180 mm（以下、SD180）のケースでは、計測時間 30 秒で 0.033 g/cm³、計測時間 60 秒では 0.023 g/cm³ のばらつきに留まっており、実務的には揺らぎの影響がほとんどないことが分かった。

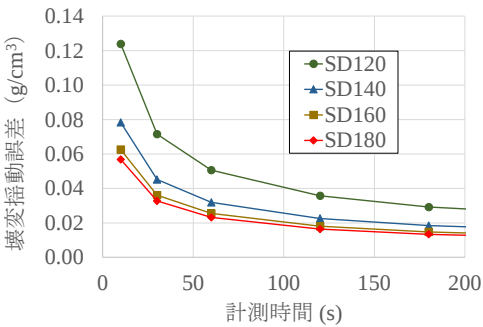
次に、移動平均時間の影響を評価するために、各密度の SD180 における計測データの 15、30、60 秒の移動平均値を求めた。湿潤密度の移動平均値に対する標準偏差σを表－2 に示す。ここで言う誤差とは湿潤密度の移動平均値と、計測対象の湿潤密度との差の割合であり、平均値は誤差を平均した値を示す。移動平均時間が長いほどデータの誤差が抑制されており、密度が大きくなるほど誤差が抑制される結果となった。また、図－4 に湿潤密度 1.3 g/cm³ を対象とした場合の移動平均値と標準偏差σを示す。標準偏差σを密度に換算したところ、60 秒移動平均におけるばらつきは 1σ相当で 0.023 g/cm³、2σ相当で 0.046 g/cm³であることから、実務的に十分な精度を確保できると考えられる。

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に計測する方法として散乱型 RI 密度計を用いた密度計測システムを開発した。本文で報告したように、室内実験で計測精度を確認した結果、実務での使用に十分な精度を確保できることが分かった。今後、システムを実用化し、高精度な排土量管理を実現することで、安全安心な安定掘進管理に活用していく。

参考文献

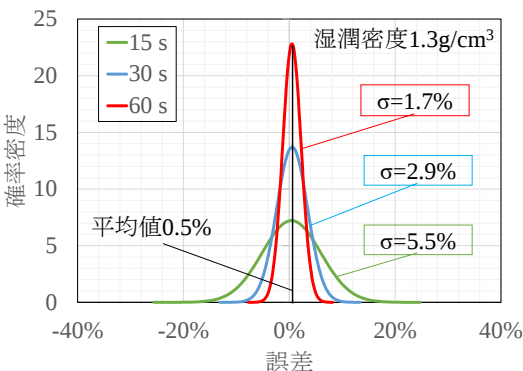
1) 国土交通省シーロトンネル施工技術検討会：シーロトンネル工事の安全・安心な施工に関するガイドライン，2021。
2) 公益財団法人原子力安全技術センター：放射線施設の遮蔽計算実務マニュアル，2015。
3) 米沢ら：RI 密度計を利用したチャンバー内掘削土砂の密度監視システムの開発，土木学会第 77 回年次学術講演集，2022。



図－3 離隔と計測時間が壊変揺動誤差に与える影響

表－2 移動平均時間・密度別の計測誤差

湿潤密度（g/cm ³ ）	平均値（%）	σ（15s）（%）	σ（30s）（%）	σ（60s）（%）
0.7	-0.7	7.1	3.8	2.0
0.8	2.9	6.2	4.3	2.4
1.0	-2.1	5.6	4.2	2.9
1.3	0.5	5.5	2.9	1.7
1.6	-1.3	4.3	3.0	1.9
1.8	-0.4	4.1	2.6	1.4



図－4 移動平均時間・密度別の計測誤差