

## 気泡混合掘削土を対象とした $\gamma$ 線密度計の計測精度の評価

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 ○平山智章 新川健二 高柳 哲 劉 偉晨 佐藤一成 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

近年、気泡シールド工法を採用するプロジェクトが増加しており、シールドマシンのチャンバー内の気泡混合掘削土の密度を精度良い管理が求められている<sup>1)</sup>。密度を精度良く計測できれば排土量を正確に管理できることから、チャンバー内からバルクヘッド側に掘削土を取り込める配管を取り付けて、配管内に取り込んだ気泡混合掘削土の密度を $\gamma$ 線密度計などによって計測するシステムが開発されている<sup>2)</sup>。そこで、気泡混合掘削土を対象に $\gamma$ 線密度計(ソイルアンドロックエンジニアリング社製)の計測精度を室内実験で検証・評価した。

### 2. 実験条件

泥水および気泡混合掘削土を対象に、 $\gamma$ 線密度計(写真-1)の計測精度を検証するため、写真-2に示す配管3種類(2, 3, 4インチ)を準備した。写真-3に示すように、配管に $\gamma$ 線密度計の送信部、受信部を取り付けて配管内を泥水および気泡混合掘削土で充填し、湿潤密度を $\gamma$ 線密度計で計測した。キャリブレーションは各配管でそれぞれ実施した。

気泡混合掘削土の模擬試料には最大粒径 9.5 mm に調整した粘性土(トチクレ)を使用した。また、気泡は高性能起泡剤を使用し、溶液濃度 5%、発泡倍率 20 倍で発泡させて、土と混合率 20% (体積比) で混合し、気泡混合掘削土を模擬した。

実験ケースを表-1 に示す。対象とした泥水の理論湿潤密度は 1.3, 1.6 t/m<sup>3</sup> とし、この2水準の泥水に気泡を混合した。気泡混合掘削土の理論湿潤密度は 1.1, 1.3 t/m<sup>3</sup> となる。

### 3. 較正曲線

$\gamma$ 線密度計での計測精度は事前に行うキャリブレーションの結果に大きく依存する。今回設定した較正曲線の一例を図-1 に示す。図に示すとおり、今回の実験で計測対象となる模擬試料の湿潤密度(1.0~1.6 t/m<sup>3</sup>)を内挿できるように、1.0~2.0 t/m<sup>3</sup>の模擬試料を用いて較正曲線を設定した。

なお、今回使用した $\gamma$ 線密度計は線源の種類を選択することができる。 $\gamma$ 線密度計を設置する離隔や、さらなる計測精度の向上が必要となれば、より透過力が強い線源を使用することも可能である。



写真-1  $\gamma$ 線密度計

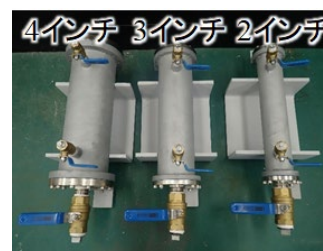


写真-2 配管

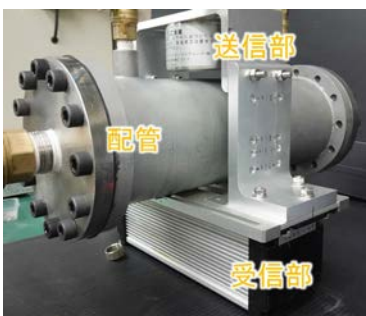


写真-3 計測状況

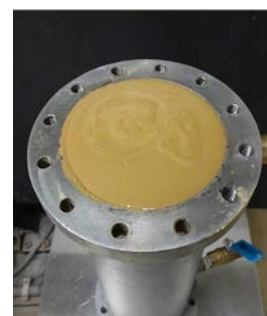


写真-4 充填状況

表-1 実験ケース一覧

ケース	配管径 インチ	計測対象	理論湿潤密度 t/m <sup>3</sup>
1-1	2	泥水	1.3
1-2	2	泥水	1.6
1-3	2	気泡混合土	1.1
1-4	2	気泡混合土	1.3
2-1	3	泥水	1.3
2-2	3	泥水	1.6
2-3	3	気泡混合土	1.1
2-4	3	気泡混合土	1.3
3-1	4	泥水	1.3
3-2	4	泥水	1.6
3-3	4	気泡混合土	1.1
3-4	4	気泡混合土	1.3

キーワード  $\gamma$ 線密度計, 気泡, シールド, 計測精度, 排土量

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

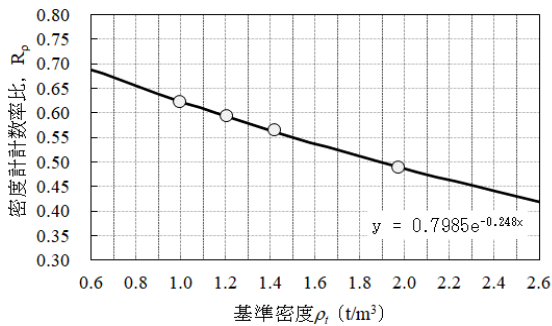


図-1 較正曲線の例

図-2に、土の主要元素に対する $\gamma$ 線の質量吸収係数を示す。今回使用したバリウム型は $\gamma$ 線のエネルギーが0.1~0.3 MeVである。一方で、より放射線が強いコバルトやセシウムは $\gamma$ 線のエネルギーが0.6~1.3 MeVであり、使用の際に原子力規制庁への届出が必要となる。線源部の形状は変えていないことから設計認証は必要なく、放射能濃度が規定値内の線源を使用するので、法律的にも問題はない。

#### 4. 実験結果

配管別に $\gamma$ 線密度計で計測した際の計測誤差を図-3に示す。図は、 $\gamma$ 線密度計による計測値(湿潤密度)が理論湿潤密度からどの程度乖離しているかを、理論湿潤密度に対する偏差で示したものである。本報文における計測結果は全て60秒間における計測値の平均値としている。なお、移動平均処理時間の違いが計測精度に及ぼす影響は別報文<sup>2)</sup>で報告予定である。図-3によると、2インチから4インチに配管径が大きくなっても、標準偏差の差は1%未満であることから、配管径の影響は限定的と推察できる。

一般的に、配管径が小さいほど、計測対象の試料土が少なくなることから、試料土の不均質性に起因するばらつきが大きくなる。一方、配管径が大きくなれば、試料土の不均質性の影響が少なくなり、ばらつきが減少する傾向となる。その傾向が図からも確認することができる。

よって、今回の実験結果から、2~4インチ程度の配管径であれば、配管別のキャリブレーションを事前に実施し、配管径に合わせて較正曲線をオフセットするだけで、概ね同等の計測誤差に収まることが分かった。

#### 5. おわりに

現在施工中のシールドトンネル工事で使用しているシールドマシンに $\gamma$ 線密度計を取り付けているので、今回の実験結果を基にデータ分析を進めていく。今後、さらなるデータの蓄積を進めることで正確な排土量管理に活用していく予定である。

#### 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) 劉ら：RI密度計を利用したチャンバー内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（投稿中），2022。
- 3) 土質工学会：土工管理とラジオアイソトープ，p. 30，1974。

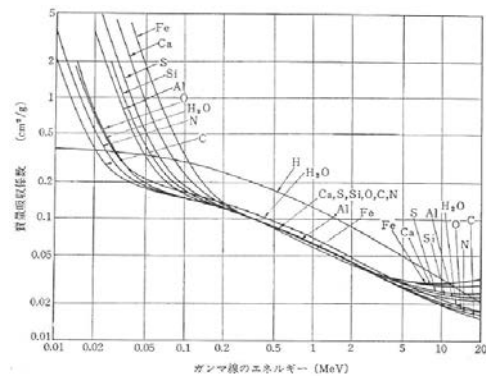
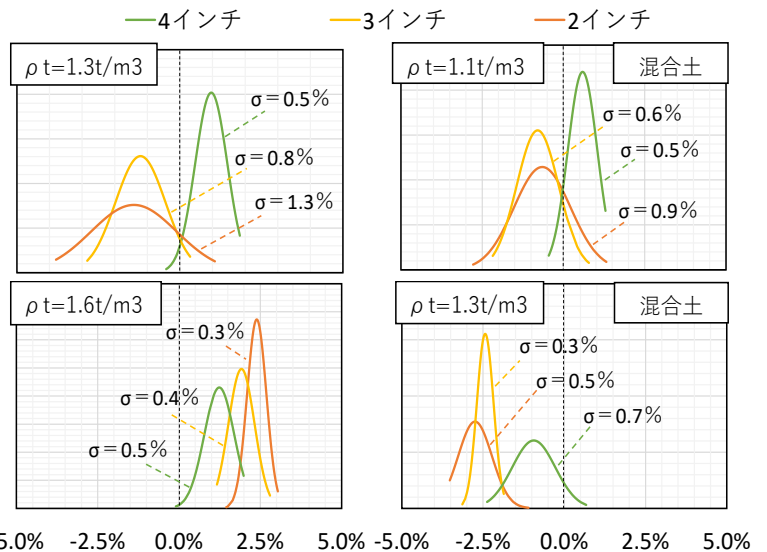
図-2 土の主要元素に対する $\gamma$ 線の質量吸収係数<sup>3)</sup>

図-3 理論湿潤密度に対する偏差分布