

## RI 測定器を用いたシールドチャンバー内土砂の空気量測定手法の検討

ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 正会員 ○桑田 岳治  
 株式会社大林組 正会員 武田 厚  
 株式会社立花マテリアル 非会員 富田 正文

### 1. はじめに

気泡シールド工法は、特殊起泡剤を用いて生成した気泡を切羽へ添加しながら掘削することで掘削土の塑性流動性と止水性を向上させ、切羽の安定とスムーズな排土を保ちながら掘進する工法である。近年では大深度・大断面シールドトンネル工事等で多く用いられている。ただし、気泡シールド工法は、地盤の透水性が高い場合等に添加した気泡が周辺地盤へ漏出することがある。気泡が漏出した場合、掘削土砂の流動性が確保できないばかりでなく、地表面へ噴出する等して、円滑な工事進行の妨げとなることがある。このため、切羽へ添加した気泡が、漏出することなく掘削土砂に混合されていることを確認するために、加圧条件下にあるチャンバー内土砂の気泡混合量（空気量）測定手法の確立が課題となっている。

そこで筆者らはチャンバー内の掘削土砂に対する気泡の混合量を把握するため、盛土や生コンの品質管理等で利用されている RI (Radio Isotope) 法に着目し、チャンバー内の掘削土砂の密度と水分量を RI 法で測定することで空気混合率を定量的に評価する手法の検討を行っている。本稿では空気混合率を評価するための測定手法の紹介、並びに基礎検討として行った要素実験の結果を報告する。

### 2. 測定概要

チャンバー内の掘削土砂に対する密度と水分量の測定概要を図-1に示す。隔壁部に RI 密度計と水分計を設置して鋼板越しに掘削土砂の密度と水分量を測定する。隔壁に関しては一般に 40~60mm 程度の鋼板厚を有していて隔壁越しの RI 測定は困難なため、RI の測定面については測定可能な鋼板厚に薄肉化する。RI の測定方式には線源部と検出部の間の測定対象内部を透過してきた放射線を計測する透過方式（以下、透過型）と、線源と検出部を同じ面に配置し、測定対象で散乱して戻ってきた放射線を計測する散乱方式（以下、散乱型）の 2 種類が存在する。散乱型は設置が容易ではあるが、特に密度計は薄肉化してもチャンバーの鋼板越しでの測定は困難だと判断し、透過型を採用することにした。一方で水分計に関しては比較的鋼板の影響を受けにくく、20mm 程度の鋼板越しでも測定した実績があるため、散乱型を用いることにした。なお、透過型を用いる密度計については、線源部をチャンバー内に配置すると線源の破損・紛失等のリスクが生じるため、検出部をチャンバー側に配置し、線源部を機内側に設置して L 字型の配置で測定を行うことにした。

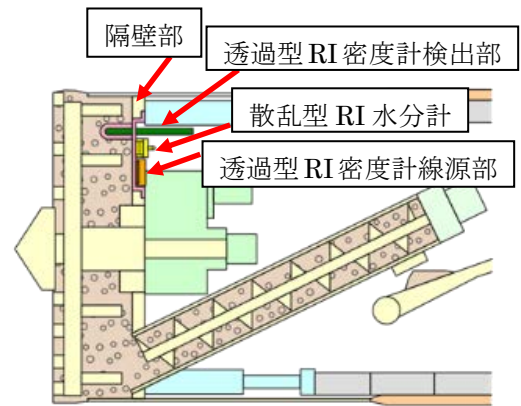


図-1 密度と水分量の測定概要

空気混合率の計算式を式(1)に示す。RI 法により測定した湿潤密度と含水量を用いて空気混合率を算出する。なお、土粒子密度は土質試験結果を用いるのが望ましいが、本検討では代表値として  $2.65 \text{ g/cm}^3$  を与えている。

$$\frac{V_a}{V} = 1 - \rho_m - \frac{\rho_t - \rho_m}{\rho_s} \quad (1)$$

$V_a/V$ : 空気混合率       $\rho_t$ : 湿潤密度 ( $\text{g/cm}^3$ )  
 $\rho_m$ : 含水量 ( $\text{g/cm}^3$ )       $\rho_s$ : 土粒子密度 ( $\text{g/cm}^3$ )

部分的とはいえチャンバー鋼板厚の薄肉化には限界がある。また密度計検出部をチャンバー内部に突き出す形となるが、突出部分が長いと破損の危険性が増加する。そのため実機検証を行う前に、RI 測定に及ぼす鋼板厚の影響や、密度計検出部と線源部の配置による測定影響等を的確に把握しておく必要がある。これらの検証のため、土槽を用いた要素実験を行った。

キーワード 気泡シールド工法, 密度, 含水比, 気泡量, RI 法

連絡先 〒561-0834 大阪府豊中市庄内栄町 2-21-1 ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 機械部 TEL06-6331-6031

### 3. 実験概要

実験は図-2のような600mm四方、高さ800mmで側面に19mm, 22mm, 25mmの3種類の厚みの鋼板を組み合わせた土槽を用いた。その中に測定対象の試料を投入し、土槽の側面にRI測定器を配置して鋼板越しの測定を模した状態で、含水量および湿潤密度を測定した。測定対象の試料は、「水」「砂質土」「粘性土」の3種類とし、砂質土と粘性土に関しては測定直前に気泡を混合した上で土槽に投入した。

密度計に関しては、線源部と検出部が90°の角度となるように2面の側面にそれぞれ設置した。また側面鋼板には100mmメッシュのマーキングを行い、検出部と線源部の配置を100~400mmの範囲で100mmずつずらしながら測定し、結果を比較した。水分計は19mm, 22mm, 25mmの側面の各鋼板に設置して測定し、鋼板厚の違いによる影響を検討した。

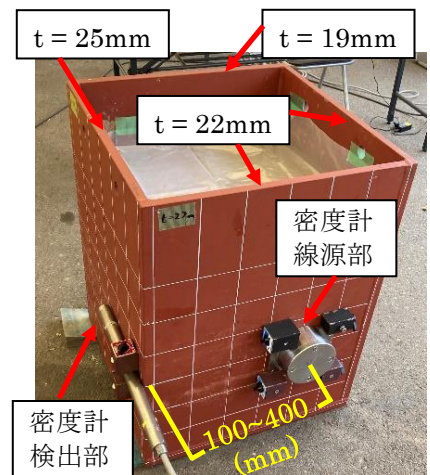


図-2 実験状況

### 4. 結果と考察

密度計の結果を図-3,4に示す。鋼板厚は検出部側が25mm, 線源部側が22mmで、グラフの「100×200」は検出部の位置が100mm, 線源部の位置が200mmでの配置を指している。また赤線は水, 砂質土, 粘性土各々の自然放射線(以下BG)の平均値(2362cpm)を指している。それぞれの配置で、試料によって計数率 $N_p$ の差異がみられ、密度差を捉えていることが確認できる。一方で斜距離(密度計検出部と線源部の直線距離)が400mm以上の配置の場合は、BGを除いた $N_p$ がBGの値より低くなる場合があり、精度的に厳しいと考えられる。斜距離300~400mmの配置でも $N_p$ がBGの値と近く、また距離が近すぎても局所的な測定領域しか測定できないため、測定の配置としては斜距離200~300mm程度が望ましいと考えられる。

図-5に斜距離の違いによるRI密度計の壊変揺動誤差(放射線に特有の統計的な揺らぎによる誤差)の理論上の計算結果を示す。放射線源は新品から3年経過後とし、測定時間2分, 信頼限界95%の $2\sigma$ で評価した。斜距離300mmでは $2\sigma$ で $\pm 0.04\text{g/cm}^3$ 程度だが、それ以降は壊変揺動誤差が増加するため、壊変揺動誤差で検討しても測定条件としては斜距離300mm以内が妥当だと考えられる。

次に水分計の測定結果を図-6に示す。一番厚い鋼板厚25mmにおいても水分量の差による $N_p$ の差異を確認でき、鋼板厚25mmでの測定が可能だという結果が得られた。

### 5. まとめと展望

要素実験により、透過型密度計、散乱型水分計をチャンバー隔壁部に取付けて測定する際の配置や鋼板厚についての条件を確認することができた。現在、今回の結果を基にシールド現場で取り付ける装置の製作を行っており、気泡の混入量評価のため、実機に取り付けての現場検証に向けて引き続き検討を進めていく所存である。

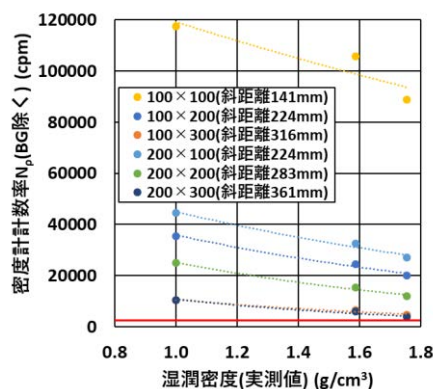


図-3 密度計測定結果

(斜距離 400mm 以下)

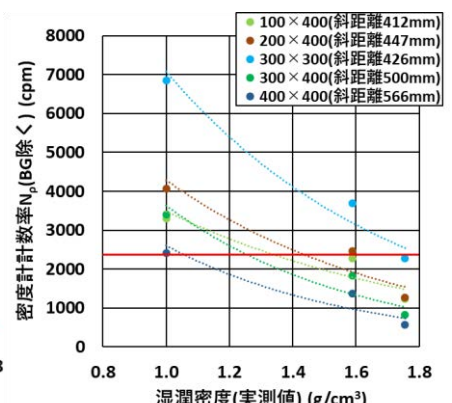


図-4 密度計測定結果

(斜距離 400mm 以上)

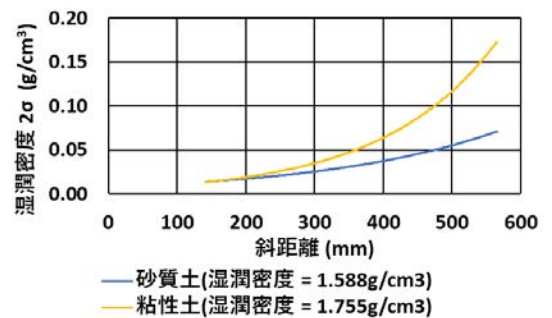


図-5 斜距離と壊変揺動誤差

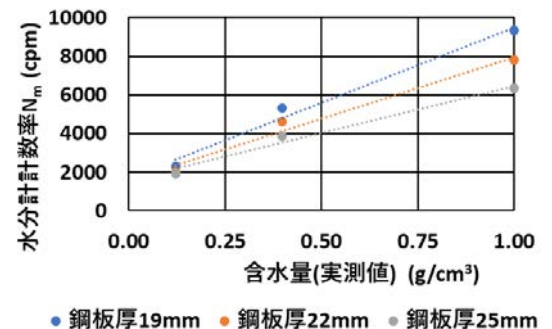


図-6 水分計測定結果