

# 転輪型 RI 計器（密度計）の測定表面状況の影響軽減についての検討

ソイルアンドロックエンジニアリング(株)機械部 正会員 ○森 安弘, 中野 雄貴  
大成建設(株)技術センター生産技術開発部 正会員 青木 浩章, 後藤 洸一  
大成建設(株)原子力土木技術部 正会員 白瀬 光泰

## 1. はじめに

筆者らは、現場での締固め度管理を振動ローラに取り付けた RI (Radio Isotope) 計器で面的にかつ連続的に測定を行うことを目的として研究を行っている。現在、現場密度試験に用いられている RI 計器には、地中に放射線源（以下、線源）を挿入し、線源から地表に設置した放射線検出部までを透過した放射線を計測する透過型と、線源、放射線検出部ともに地表にあり、線源から放射され測定対象内部で散乱し、検出部に到達した放射線を計測する散乱型があり、筆者らが研究を行っている転輪型 RI 計器は後者である。どちらの RI 計器も精度よく測定を行うためには、測定箇所表面が平坦である（凸凹がない）ことが必須条件である。人が測定を行う従来型の RI 計器は、作業者が測定箇所表面の整形（平滑に均す）と確認を行い測定を行っている。しかし、振動ローラに取り付け、連続的に測定を行う転輪型 RI 計器は、測定点数（頻度）も多く、測定箇所表面の平滑性を作業者がすべて把握することは困難である。そこで水分計に比べて測定箇所表面状況の影響を受けやすい密度計に着目し、影響軽減を行う方法について検討を行った。

## 2. 散乱型 RI 密度計の測定原理

散乱型 RI 密度計の測定原理は、物質中における  $\gamma$  線のコンプトン散乱を利用したものである。散乱型 RI 密度計における物質と  $\gamma$  線の相互作用は、そのほとんどがコンプトン散乱であり、土中でコンプトン散乱が生じる確率は密度に依存する。この性質を利用し密度測定を行う。転輪型密度計で使用している  $\gamma$  線源は  $^{137}\text{Cs}$  である。 $^{137}\text{Cs}$  の  $\gamma$  線エネルギー分布の一例を図-1 に示す。 $^{137}\text{Cs}$  の全エネルギーピークは 662keV であり、それ以下の領域にコンプトン散乱影響によるスペクトルの広がりが見られる。なお、従来の透過型 RI や、転輪型 RI 計器の密度計（以下、転輪型密度計）では全エネルギー帯域の  $\gamma$  線を計数し計測を行っている。

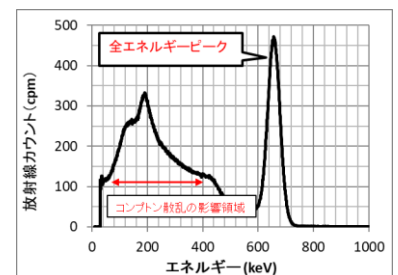


図-1 エネルギー分布一例

## 3. 転輪型密度計の構成と検討の方法

転輪型密度計は固定された主軸と、主軸に対して自由に回転する外管の二重構造となっており、主軸には密度計検出部が 2 個と線源部（ $\gamma$  線源）が 1 個固定されている。また、計器の浮き検知用のレーザーセンサを架台に 2 個取り付けている。地表面からの浮きは、このレーザーセンサで検知可能であるが、測定材料表面の微細な凹凸を、レーザーセンサで検知することはできない。

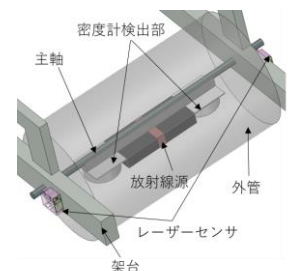


図-2 転輪型密度計の構成図

そこで、 $\gamma$  線のエネルギースペクトルを用いて、測定対象の表面状況の影響を軽減できないかの検討を行った。先行研究<sup>1)</sup>より測定対象深部を經由した  $\gamma$  線ほど散乱回数が多くエネルギーが小さくなることから、低エネルギー帯域は深部の情報を、高エネルギー帯域は浅部（表層）の情報を多く有していることが分かっている。この研究を応用し、密度測定に利用するエネルギー帯域を細分化することにより、微細な表面状況の変化による影響を除外できないかと考え、室内実験を行った。実験は縦 900mm×横 400mm×深さ 250mm の土槽を用い、実験材料は測定面を平坦に成形しやすいベントナイト混合土と真砂土、表面に凹凸ができやすい材料として粒度調整碎石（M-30）で供試体を作成した。加えて一般的な RI 計器の校正に用いられることの多いアクリル板とガラス板を使用した。

キーワード i-Construction, 散乱型 RI, 非破壊連続締固め度計測, 放射線スペクトル

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

〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター生産技術開発部 TEL045-814-7247

## 4. 実験結果

本実験にて得た  $\gamma$  線のエネルギースペクトルを解析した結果を図-3 に示す。図-3 中の拡大箇所（100～200keV のエネルギー帯域）では、低密度の材料ほど放射線カウントが多く得られており、材料に含まれる成分や供試体表面（凸凹）の状況に影響を受けず、純粋な湿潤密度  $\rho_t$  の情報を有している可能性があることが分かった。

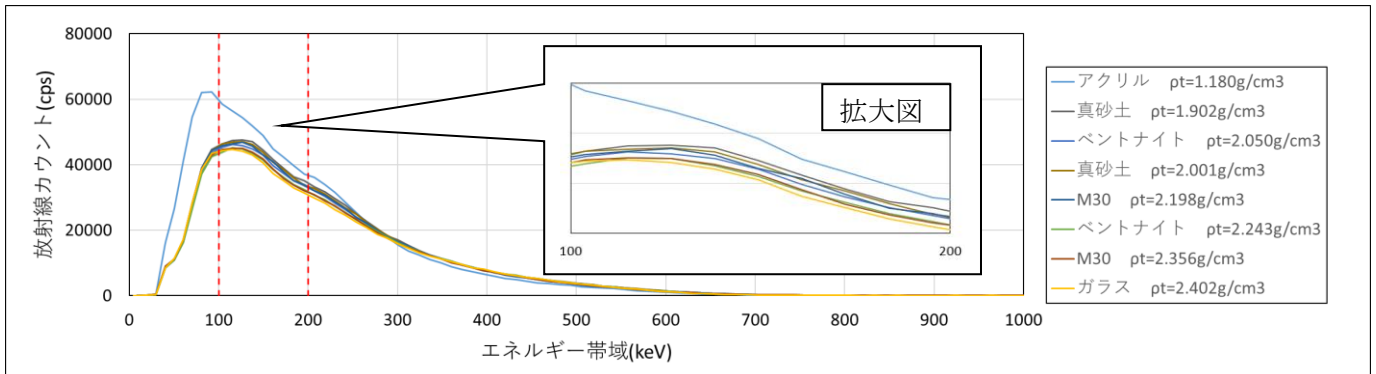


図-3 転輪型密度計のエネルギースペクトル

全エネルギー帯域の放射線計数率比（単位時間あたりに密度計検出部で計数される放射線の数を、ある標準値に対し比率化した値）と湿潤密度  $\rho_t$  との関係式を図-4 に、先に述べた 100～200keV のエネルギー帯域を切り取った放射線計数率比と湿潤密度  $\rho_t$  の関係式を図-5 にそれぞれ示す。

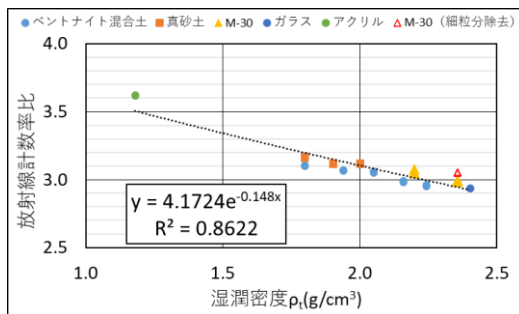


図-4 全エネルギー帯域を用いて作成した関係式

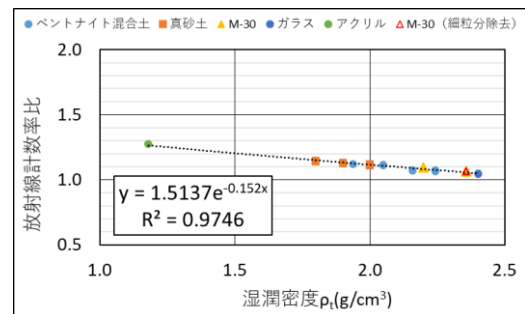


図-5 100～200keV 帯域を用いて作成した関係式

全エネルギー帯域より、100～200keV の帯域を用いた関係式の方が図中に示した決定係数  $R^2$  が高い結果となった。これは各供試体表面の凸凹の影響が軽減され、相対的に深部密度の影響度合いを大きくできたからだと考える。また、両図中に示した M-30（細粒分除去）のデータは、あえて材料の粒度分布を変え、供試体表面が凸凹になるように作成したものである。この測定データに関しても、供試体表面の凸凹の影響を軽減させる結果となった。

## 4. まとめ

一般的に RI 法を用いた測定器の測定精度向上には、放射線カウントと関係式指数部の絶対値をそれぞれ大きくすることが重要であるが<sup>2)</sup>、本稿で用いた手法においては、 $\gamma$  線を特定のエネルギー帯域で切り取ったため、全エネルギー帯域を用いたものと比べ、放射線カウントが小さくなっている。しかし、先に述べた測定材料表面の影響度が軽減されたことや、関係式指数部の絶対値が大きくなったことにより、測定精度（決定係数）は向上している。同手法を用い、なおかつ密度計検出部、線源の配置工夫、計器構造の改良などにより放射線カウントを大きくすることができれば、更なる測定精度向上も可能であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 高田知典, 島津晃臣, 見波潔, 中川良文: 土の締固め程度の測定技術に関する研究, 土木学会第 42 回年次学術講演会, VI-29, 1987
- 2) 森安弘, 池永太一, 青木浩章, 後藤洗一: 転輪型 RI 密度・水分計の測定精度向上の検討 土木学会 74 回年次学術講演会, VI-355, 2019