

転輪型 RI 密度計の測定精度向上について

ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 正会員 ○森 安弘, 池永 太一, 中野 雄貴
大成建設(株) 正会員 青木 浩章, 田村 道生, 後藤 洸一 大成ロテック(株) 越村 聡介

1. はじめに

近年、筆者らが行っている研究は、実施工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) 計器でリアルタイムかつ連続的に測定を行うことを目的としたものである。締固め度をリアルタイムかつ連続的に施工へフィードバックするためには、使用する RI 計器には「連続測定が可能である」、「完全非破壊試験である」という条件が求められる。現在、締固め度管理の主流である砂置換法および透過型 RI では試験孔、測定孔を必要とするため、先述した条件を満たすことは困難である。そこで測定孔を必要としない散乱型 RI を適用することとした。2017 年度に「滑走鉄板構造 (写真-1)」, 2018 年度に「転輪構造 (写真-2)」の開発を行った¹⁾。本稿では、転輪型 RI 密度計の先行研究からの課題である測定範囲 (深度方向) の浅さ²⁾の改善と測定精度向上について述べる。

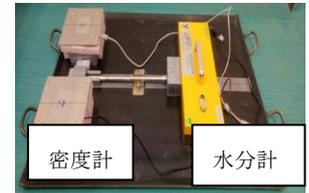


写真-1 滑走鉄板構造



写真-2 転輪構造

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 γ 線のコンプトン散乱を利用したものである。物質と γ 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土の元素構成によらず密度に依存する。この性質を利用し密度測定を行う。転輪型 RI 密度計で使用している γ 線源は ^{137}Cs である。 ^{137}Cs のエネルギー分布の一例を図-1 に示す。 ^{137}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 密度計では全エネルギー帯域を計数し計測を行っている。

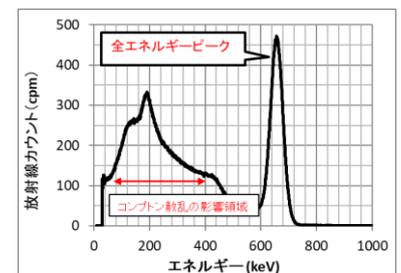


図-1 エネルギー分布一例

3. 室内試験

先行研究²⁾より測定対象深部を経由した γ 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、低エネルギー帯域では深部の情報を、高エネルギー帯域では浅部 (表層) の情報を多く有していることが分かっている。高エネルギー帯域を除外することにより浅部の散乱 γ 線の比率を相対的に小さくできるため測定深度を深くできる可能性がある。転輪型 RI 密度計でこの手法により測定深度を深くすることが可能であるかを確認するため室内試験を行った。試験方法はアルミ板の上に $\phi 750\text{mm} \times h 300\text{mm}$ のボイド管を設置し、2cm ピッチで材料 (山砂, 碎石) を敷き詰め、供試体高さ毎に定点測定を行いアルミ板の影響がなくなり、計数率 (単位時間当たりの放射線カウント) が収束した供試体高さを測定深さの限界と判断することとした。比較を行いやすい様に供試体高さ 0cm (アルミ板) の計数率で各供試体高さの計数率を正規化した。正規化する値を計数率比 R_p とする。全エネルギー帯域とエネルギー帯域をカットした山砂の結果を図-2 に、碎石の結果を図-3 にそれぞれ示す。

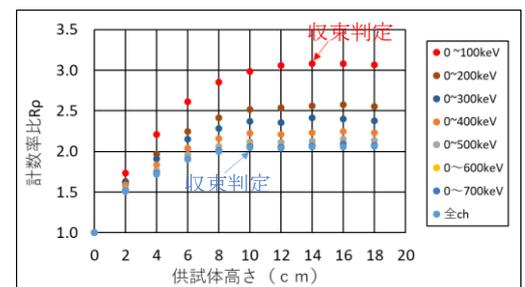


図-2 山砂測定結果

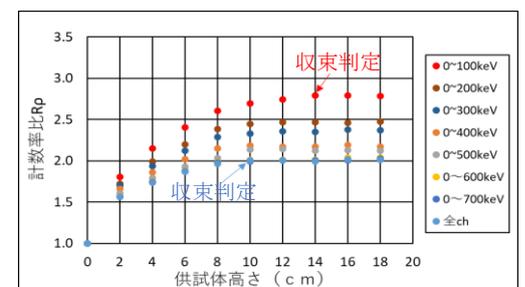


図-3 碎石測定結果

キーワード i-Construction, 散乱型 RI, リアルタイム, 連続測定

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) 技術センター技術開発部 TEL045-814-7247

全エネルギー帯域の測定深さが約 10cm であるのに対して、0~200keV と 0~300keV は約 12cm, 0~100keV は約 14cm と測定深さが増す傾向が図-2 および図-3 から見て取れる。500keV 以上のエネルギー帯域をカットすると測定深さに関しては全エネルギー帯域とあまり変わらない結果となった。

高エネルギー帯域をカットすることにより、測定深さが増すことが確認できた。しかし、RI 法において一般的に測定精度を向上させるためには、計数率を大きくすることが重要である。エネルギー帯域をカットするという事は、測定深さを増加させる効果と同時に計数率が減少し、測定精度が低下する懸念がある。そこで測定深さを増加させつつ、測定精度を保てるエネルギー帯域を探るため、アルミ板 $\rho_t=2.700\text{g/cm}^3$, 山砂 $\rho_t=1.700\text{g/cm}^3$, 碎石 $\rho_t=1.750\text{g/cm}^3$ と計数率比 R_p の関係式すなわち校正式を作成、校正式から放射線発生数の揺らぎに起因する固有の統計誤差（壊変揺動誤差）を算出し、各エネルギー帯域での理論上の測定誤差（測定時間 10 秒）による比較を行った。計算結果を表-1 に示す。予想に反し全エネルギー帯域を使用するより、500keV 以上のエネルギー帯域をカットする方が測定精度が向上する結果となった。転輪型 RI 密度計では低エネルギー帯域に測定対象の密度に関する情報を多く有しており、662keV の全エネルギーピーク以上は測定に関する情報を持たない帯域のため、そこをカットすることでより正確な測定結果を得ることができたのではないかと考察する。

表-1 壊変揺動誤差一覧

エネルギー帯域	壊変揺動誤差	
	山砂	碎石
keV	g/cm^3	g/cm^3
0~100	0.0069	0.0075
0~200	0.0052	0.0054
0~300	0.0049	0.0048
0~400	0.0051	0.0051
0~500	0.0053	0.0051
全エネルギー	0.0056	0.0055

4. 現場検証

室内試験の結果が現場運用の上でも適用可能か検証するために、転輪型 RI 密度計の締固め地盤での実験を行った。ここでは砂置換法での測定値を基準密度 ρ_t とし、比較するデータは全エネルギー帯域と、室内試験で最も統計誤差が小さかった 0~300keV の値とした。転輪型 RI 密度計の測定結果と砂置換の相関を図-4 に示す。転輪型 RI 密度計と砂置換の測定値の差である標準偏差 σ を算出し比較した結果、全エネルギー帯域では $\sigma=0.062\text{ g/cm}^3$ に対し、 $\sigma=0.047\text{ g/cm}^3$ と 0~300keV での計測結果の方が優位であった。低エネルギー帯域の使用による測定精度向上に加え、測定深さも向上したことにより、砂置換の測定領域に近づき、測定値の差が小さくなった可能性がある。

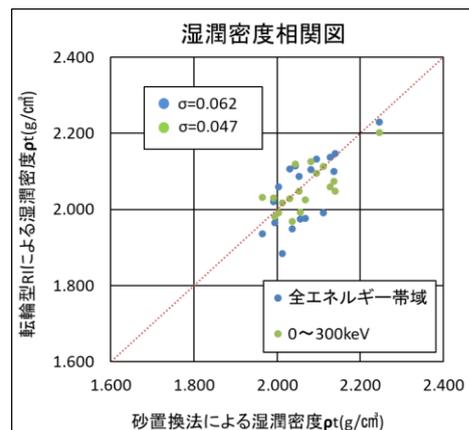


図-4 相関図

5. まとめ

室内試験と現場検証の結果から、低エネルギー帯域のみを使用することにより、測定深さと測定精度の向上が可能であると判断できた。今後の転輪型 RI 密度計の課題として、自然放射線（バックグラウンド、BG）測定が上げられる。現状転輪型 RI 密度計では線源を取り外してから数か所の代表点で BG 計測を行っているが、当社で研究を進めている BG 同時測定の手法³⁾を取り入れることにより、全測定範囲での BG 測定が可能となり、測定精度がさらに向上する可能性がある。今後も継続し検討を行い計器としての完成度向上をめざす。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 池永太一, 松浦良信, 桑田岳治, 斎藤恵美, 小林泰三：転輪型 RI 密度による密度計測とバックグラウンド計測の同時計測技術 土木学会 74 回年次学術講演会, VI-607, 2019