

散乱型 RI 密度計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

ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 正会員 ○池永 太一
 ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 松浦 良信 桑田 岳治 齋藤 恵美
 立命館大学 正会員 小林 泰三

1. はじめに

盛土の品質管理試験は、RI（ラジオアイソトープ、放射性同位元素）法の導入により置換法よりも短時間かつ省労力で実施することが可能となった。現場密度試験で一般に用いられている RI 計器は、事前に削孔した孔に線源が封入された鋼棒を挿入し、地中を透過した放射線を計測する「透過型」と呼ばれる測定方式である。これに対し、線源を地表面に配置し、測定対象で散乱し戻ってきた放射線を計測する「散乱型」と呼ばれる測定方式がある。事前の削孔が不要となるため、近年は重機の自動運転と散乱型 RI 密度計、同水分計を組み合わせる自動計測技術が注目されている¹⁾。散乱型 RI 密度計は、線源として密封ガンマ線源を用いており、現場密度試験を行う際には、線源を計器から取り外した状態で、自然界に存在するガンマ線（バックグラウンド、以下 BG と記す）を計測する必要がある。夜間運転も想定している自動計測技術において、BG 計測のために、作業員が計測に立ち会い線源を脱着しなければならないということは大きな課題と言える。筆者らは更なる省力化として BG 計測自体の省略について技術検討を進めており、本稿では散乱型 RI 密度計の線源付き計測中のデータから BG を推定する技術について報告する。

2. 手法の概要

散乱型 RI 密度計の測定に多く用いられているガンマ線源は Cs-137（セシウム 137）で半減期が約 30 年と長いことが特徴である。Cs-137 の崩壊によって放出されるガンマ線のエネルギーは 662 keV であり、それ以下のエネルギー領域にコンプトン散乱の影響によるスペクトルの広がりが見られる。また、土壤中に含まれる主な放射性核種はウラン系列核種、トリウム系列核種、および K-40（カリウム 40）であり、BG 計測で得られる放射線カウント数の地域差はそのほとんどが K-40 によるものである。K-40 の崩壊によって放出されるガンマ線のエネルギーは 1461 keV であり、Cs-137 と同様にそれ以下のエネルギー領域にスペクトルの広がりが見られる。すなわち、図-1 に示すガンマ線エネルギー計測結果からも確認できるように、Cs-137 の干渉を受けないエネルギー領域では Cs-137 の有無にかかわらず、BG 計測のエネルギースペクトルとほぼ等しい挙動を示す。エネルギーのしきい値は Cs-137 のスペクトル幅が大きい場合を考慮して 900 keV とし、この 900 keV 以上のエネルギー領域から BG 計測の全エネルギー領域を推定することができれば、Cs-137 を用いた密度計測と、本来は Cs-137 を取り外さなければならない BG 計測の同時計測が可能と考えられる。筆者らは、最新の小型高性能検出器を用いて、日本各地の BG のデータを収集し、900 keV 以上のエネルギー領域における放射線のカウント数と、全エネルギー領域のカウント数の関係式を回帰分析によって算出した。次に、実際の現場にて、実器レベルの精度検証を行った。

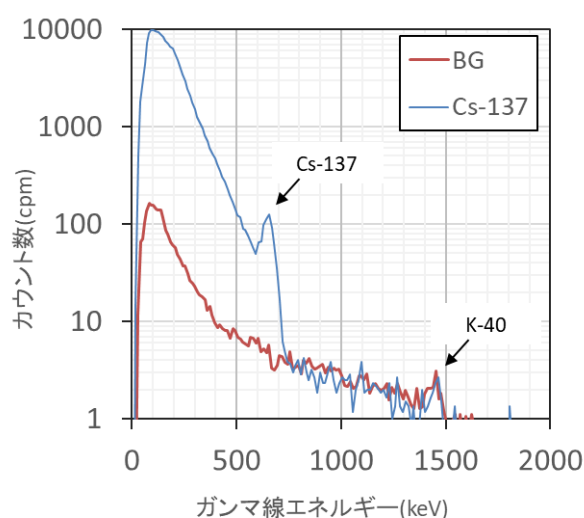


図-1 ガンマ線エネルギー計測結果

キーワード i-Construction, 生産性向上, 締固め, 品質管理, 自動計測

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) TEL06-6331-6031

3. 結果と考察

BG データの計測地点を図-2 に示す。14 地域、33 地点のデータを取得した。900 keV 以上のエネルギー領域におけるカウント数から全エネルギー領域のカウント数を導出する関係式を図-3 に示す。関係式は 1 次関数で表すことができる。図中の R^2 は近似直線の決定係数である。

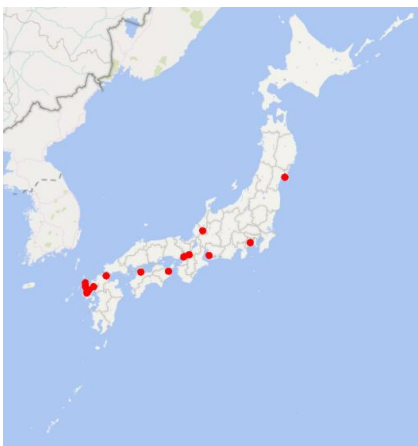


図-2 BG データ計測地点

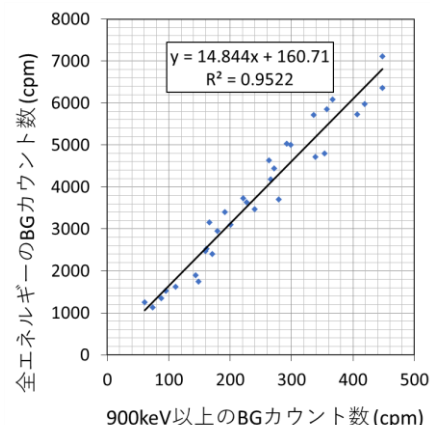


図-3 BG 関係式

兵庫県の現場にて山砂に、埼玉県
の現場にて碎石と粘性土に先述の関
係式を適用し得られた推定 BG カウン
ト数と、実際の測定から得られた真の

BG カウント数との差の平均値と標準偏差を算出して精度評価を行った。図-4 に測定結果を示す。エリア平均データ（図中、赤色のデータ）とは、同一材料で作成した試験ヤード全体の平均値である。エリア平均の推定 BG カウント数は真の BG カウント数に対して 83cpm 過小評価となった。この差の要因として考えられるのは、各地の BG データを収集する際に用いた測定器は筐体が樹脂製であったのに対し、現場測定に用いた測定器は筐体がステンレス鋼製であったので、より密度の高いステンレス鋼の遮へい効果によってガンマ線カウントが減少したと考えられる。本技術の現場適用に際しては、RI 計器の筐体の設計（特に材質、肉厚）に注意し、微調整する必要がある。エリア平均データの両カウント数の差の標準偏差は 1σ で 238cpm となった。湿潤密度換算でおおよそ相対誤差 0.7% に相当し、実用レベルと考えられる。測定毎のデータでは誤差が生じるため、同時測定の利点を活かし、測定エリアを平均的に評価することが誤差を軽減する上で重要となる。

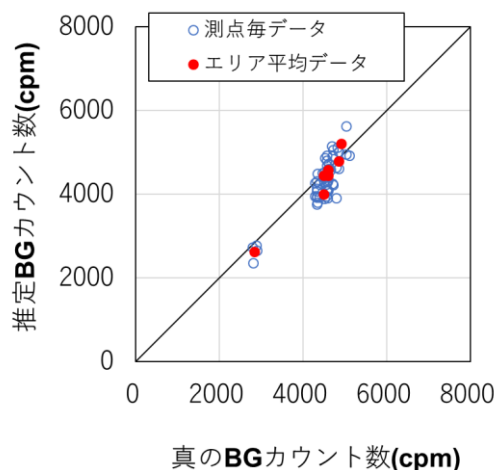


図-4 実現場データ

4. まとめ

最新の小型高性能ガンマ線検出器と、Cs-137 ガンマ線源を用いた散乱型 RI 密度計において、線源を装着した密度計測時に得られたガンマ線のエネルギースペクトルを 900keV で切り分けることで、BG カウント数を推定する関係式を得ることができた。課題として、現場運用には RI 計器の筐体の設計が変わると推定値に誤差が生じる可能性があるが、今後も実例や、各地のデータを蓄積することで、精度の向上が期待できる。本技術は RI 計器を用いた自動計測分野の発展に不可欠と言っても良い重要な技術であり、その他にも、同様の散乱型 RI の測定原理を用いた別の RI 計器（例えば地盤調査用や配管用密度計）への応用にも期待ができる。

参考文献

- 1) 後藤政昭, 池永太一, 小林泰三 他：非接触移動式 RI 測定器による盛土の品質管理手法の検討, 土木学会 第 73 回年次学術講演会, VI-733, pp.1465-1466, 2018