# 散乱型 RI 密度計の不陸影響範囲に関する検討

(株)竹中土木 正会員 〇千葉 力,大村 啓介 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,桑田 岳治

### 1. はじめに

土工事における重要な品質管理項目の一つに盛土の締固め管理があ る. 締固め管理は現場密度試験で管理され,試験方法は RI 法と砂置換 法がある. RI 法は砂置換法と比較して計測に要する時間が短く,複数 点計測(面的管理)が可能というメリットがある.しかし,日常管理と なるため試験頻度が高く,試験に掛かる労力が大きいというデメリット もある.そこで,現場密度試験(RI 法)に掛かる労力を削減すること を目的として,盛土の締固め管理を自動で行うロボットシステムの開発 を進めている<sup>1)</sup>.これまでに不整地走行ロボットへ自律走行プログラム の実装を行い,そのロボットに小型改良した散乱型 RI 密度計を搭載し



写真-1 自動 RI 試験ロボット

た台車を牽引させることで,自動で RI 試験するロボットシステムの構築を行った.しかし,本システムでは RI 法の試験条件である「計測器を測定面へ完全に接地させること」が困難であるという課題が生じた.そこ で,計測器が測定面へ完全に接地していない状態においても正確に締固め度の測定が可能な手法の確立を目指 し,計測面の不陸影響調査を行った.本報ではその調査結果を報告する.

#### 2. 検討概要

RI 密度計には散乱型と透過型の2種類ある.両測定器の概要を図-1に 示す. 散乱型は線源部が地表面にあることが特徴で, 線源から放出された ガンマ線のうち、地中で散乱され検出部に到達するガンマ線を計数するこ とで、湿潤密度を計測する. 削孔が不要という利点がある一方で、地表面 の不陸の影響を強く受ける特性がある.筆者らの既往の研究では、測定器 と地表面の隙間の影響に一定の傾向があることを確認しているが、地表面 の空隙の影響については、定量化に課題を残していた.本報では、空隙の 影響解明のため、ガンマ線の地中透過シミュレーションを実施し、その結 果の妥当性を検討するための模型実験を行った.実験装置概要を図-2,実 験状況を図-3に示す.計測面を7×7マスの計49に分割し、1ブロックの 大きさが 30×30×300mm となるように ABS 樹脂製の供試体を切出した. このブロックを模型背面側から引き抜くことで任意の空隙深さが再現で きる. なお、模型背面からブロックを引き抜くため、模型を 90 度回転し 設置した.シミュレーションには、任意形状の3次元体系内における放射 線挙動を解析可能な国産の汎用モンテカルロ計算コード PHITS (Ver3.08) を用いた<sup>2)</sup>. PHITS は任意の測定平面における放射線の飛程(線束),エネ ルギースペクトル等を出力することができる.地盤条件(密度計数,寸法) は模型実験と同じになるよう設定し、解析を行った.なお、検出部は図-2 の XY 平面における平面とし、検出面を通過する線束を検出ガンマ線数と した.





図-3 実験状況

キーワート 散乱型 RI 試験,不陸,現場密度試験,PHITS,自動ロボット 連絡先 〒270-1356 千葉県印西市大塚 1-5-1 ㈱竹中土木 竹中技術研究所 TEL 0476-47-1700

## 3. 結果と考察

ガンマ線の拡散状況を表す飛程シミュレーシ ョン結果の一例として、線源近傍に 30×30× 300mmの空隙があった場合の XY 平面と XZ 平面 を図-4、図-5 に示す. 図-4、図-5 より線源から 放射状に広がったガンマ線は, 遮へい材によって 遮られ,直接検出部には入射できない様子が良く わかる. 同様に 30×30×300mm の空隙位置を順 次移動させてシミュレーションを行った. 空隙無 しの場合の検出ガンマ線数を基準値とし、基準値 からの変化率を百分率で表した結果から 7×7 マ スのヒートマップを作製した (図-6). シミュレ ーションと同様に空隙位置を変化させながら行 った模型実験の結果のヒートマップを図-7 に示 す. 図-6,7を比較すると空隙の影響が大きい領 域が非常に良く一致しており,空隙の影響が大き いブロック(実験結果で103%以上)は線源と検 出器を結ぶ幅 3cm の直線状に集中していること が分かる.また、実験結果の方がやや変化率の変 動幅が小さくなっていることも見てとれる.原因



はシミュレーションと実機で使用した検出器の感度が異なるため、検出効率に差が出たものと考えられる. 次に、空隙深さと検出ガンマ線数の関係を調査するため、先の実験で変化率の大きかった4列目の各ブロッ ク(b~f-4は4列のbからfまでの5ブロック全て)を対象に、空隙深さを段階的に変化させて計測を行った (図-8).また、実験と同じ地盤条件で行ったシミュレーションの結果を図-9に示す.いずれの結果も深さ 50mm 前後で変化率が最大となり、その後ゆるやかに下降し収束する結果となった.これはガンマ線を遮る介 在物との反応が減少するため、検出数が増加するが、一定以上の深さになると反射回帰量が減少する現象が起 きていると考えられる.また、b~f-4では下降傾向まで合わせると200mmまで空隙が影響していることが見て 取れる.これより、測定影響深さは約200mmと判断でき、既往の研究結果とも良く合致している<sup>3</sup>.

#### 4. まとめ

散乱型 RI 密度計と計測面の空隙の関係調査ため、PHITS によるシミュレーション解析と模型実験を行った. その結果,空隙の影響が大きい範囲は線源と検出器を結ぶ幅 3cm の直線状に分布していることが分かった. また,PHITS によるシミュレーション解析により,精度良く空隙の影響を評価することも確認できた. 今後, 正確な空隙補正を行うためには,さらに細かいブロック割での複合的な空隙条件と三次元的な地盤密度条件を 考慮する必要がある.よって PHITS のようなシミュレーションの活用が不可欠であり,今後も様々な条件で のシミュレーションと現地盤でのデータ収集を行っていく.

## 参考文献

1) 千葉力,大村啓介,池永太一,塩見篤志:自動現場密度試験ロボット開発のための改良散乱型 RI 試験機評価,土木学会第72回年次学術講演会,VI-700, pp.1399-1400. 2017

- 2) Tatsuhiko Sato, Yosuke Iwamoto, Shintaro Hashimoto, Tatsuhiko Ogawa et al. : Features of Particle and Heavy Ion Transport code System (PHITS) version 3.02, J. Nucl. Sci. Technol. 55, pp.684-690. 2018
- 3) 高田知典, 嶋津晃臣, 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43回年次 学術講演会, VI-89, pp206-207. 1988