

9. 土の締固め施工における非破壊連続計測

転輪型 RI 密度水分計の利用

大成建設(株)

ソイルアンドロックエンジニアリング(株)

大成ロテック(株)

○ 後藤 洸一

池永 太一

越村 聡介

1. はじめに

筆者が近年開発してきた「自律制御型振動ローラ」(図-1)は、施工条件指定と施工開始指令により、自動での転圧走行が可能である¹⁾。この技術により、転圧作業に要する人員の削減が期待できる。一方、一般に土の締固め管理としては密度や水分量の測定が行われ、これらは現在人手により行われている。この測定作業は時間を要し、また広大な施工範囲のうち限られた代表点のみで品質を判断しなければならない問題がある。

筆者らは、転圧作業のみならず計測作業をも自動化することで、一層の省力化・効率化が可能であると考えている。このため、計測作業の自動化を目指して「散乱型」RI 密度水分計による連続非破壊での密度・水分量の計測技術を開発している。散乱型 RI 計器は連続的に非破壊での計測が可能であることから、振動ローラによる締固め作業と同時に土の締固め度を計測でき、これを自動制御機械による転圧作業のサイクル内に組込むことによって一層の作業効率向上が期待できる。

開発にあたり、はじめに鉄板上に散乱型 RI 計器を積載し、測定面上を滑走する「滑走型」RI 密度水分計(図-2)を試作して、実験用に構築した盛土上で計測実験を行い、滑走中に連続的な計測が可能であることを確認した。その際、特に粒径の大きな材料において、計器の滑走により測定面が荒れることで計器の測定面への密着性が損なわれ、計測精度が低下する問題を見出した²⁾。このため、測定面を荒らさずに走行可能な構造を目指し、転輪

型の筐体内に計器を納め、転動して走行する「転輪型」RI 密度水分計(図-3)を開発した。

本稿では転輪型 RI 密度水分計の計測性能を従来型である「透過型」RI 密度水分計と比較、および転輪型 RI 密度水分計と滑走型 RI 密度水分計との計測性能の比較を行った結果を述べる。

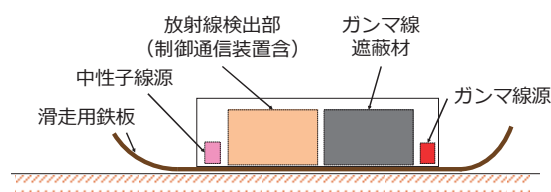


図-2 滑走型 RI 密度水分計

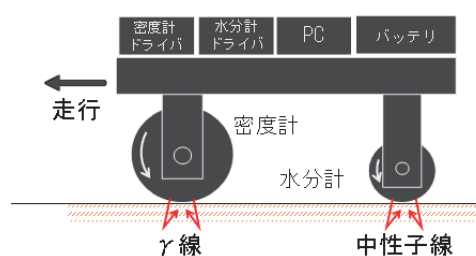


図-3 転輪型 RI 密度水分計



図-1 自立制御型振動ローラ

2. 転輪型 RI 密度水分計

図-3 の転輪型 RI 密度水分計の構造について述べる。密度計と水分計はそれぞれ独立した転輪型の筐体に構成され、それらの回転中心軸は台車フレームに固定される。各転輪型筐体内部には放射線源と検出器が収納されており、放射線源より放射した放射線が計測面上で散乱され、再び計器へ入射したものを検出器で捉えて計数を行うことにより、密度および水分量を測定する。転輪型筐体は円筒状の外殻が走行に伴い回転するが、放射線源と検出器は外殻の回転によらず常に一定方向を向くよう固定されている。台車フレーム上には、計器のドライバや PC、バッテリー等の機器を搭載し、台車を外部から牽引することで走行することができる。

3. 実験方法

実験は図-4 に示すように構築した試験盛土上で散乱型 RI 密度水分計を滑走または走行させながら湿潤密度と含水量を計測し、結果を比較した。試験盛土の材料は山砂および粒度調整碎石(M-30)を使用し、それぞれの材料について転圧回数を {2 回, 6 回, 10 回} と変化させたレーンを設けた。

以上の 2 材料× 3 転圧条件=6 レーンにおいて、転輪型 RI 密度水分計の走行速度を 1.0km/h に設定し、それぞれ一定速度で走行しながら計測を行った。転輪型 RI 密度水分計での計測後に、材料条件ごとに 3 箇所ずつ砂置換法による密度計測と炉乾燥法による含水量測定を行った。

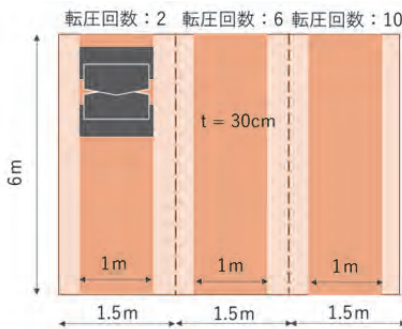


図-4 試験盛土

4. 実験結果

滑走型および転輪型 RI 密度水分計により湿潤密度と含水量を計測し、砂置換法による計測値と対比した結果を図-5 および図-6 に示す。結果の対比のため、RI 密度水分計による計測値は砂置換法による計測点の前後 20cm を計測区間とした。図中、横軸は砂置換法による計測値を示し、縦軸は滑走型および転輪型 RI 密度水分計で同じ箇所を計測した値である。45° の斜線 (中立軸) に近いほど両計測値がよく一致することを表す。また、図-5 において誤差が $\pm 0.1[\text{g}/\text{cm}^3]$ 、図-6 において $\pm 0.05[\text{g}/\text{cm}^3]$ を表す線を記している。これらは透過型 RI 密度水分計が有するおおよその計測誤差範囲を示す³⁾。図中、誤差の標準偏差を条件ごとに示す。

含水量は、滑走型および転輪型ともに透過型 RI 密度水分計と同等の精度で計測が可能であった。湿潤密度は、山砂ではばらつきや誤差に大きな差異は見られないが、砕石材 (M-30) では滑走型の計測値にばらつきや誤差が大きかった一方で、転輪型ではそれらが大きく低減している。以上から、転輪型により粗粒径材料における計測精度が滑走型と比較して改善されたことが確認された。

転輪型による湿潤密度の計測精度は透過型と比較して若干劣るが、これは走行速度を低下させる、或は計測区間を延長するなどして計測時間を増やすことで改善できる可能性がある。

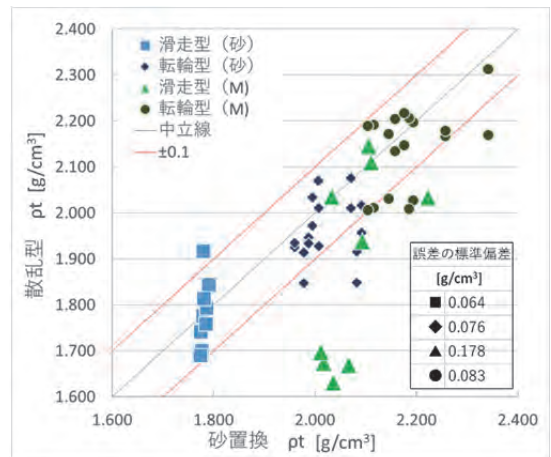


図-5 実験結果 (湿潤密度)

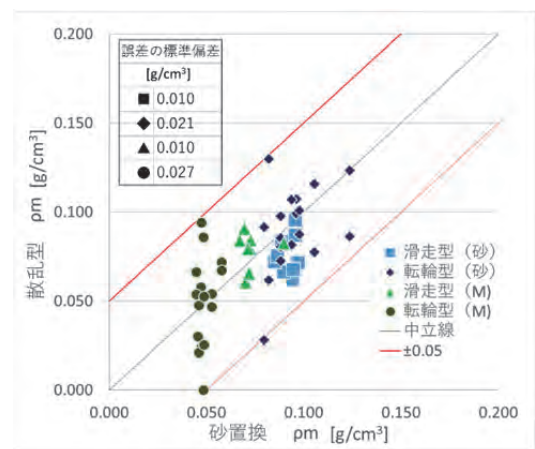


図-6 実験結果 (含水量)

5. まとめ・今後の展望

実験により、滑走型と比較しての転輪型の優位性を確認した。本技術により、振動ローラが走行した部分の締固め度・含水比を連続的に、時間を掛けずに計測することが可能となる。更に、現在は限られた代表点の計測のみによっている品質管理を施工範囲全体に亘る計測により行う事ができ、品質管理の省力化と品質向上が期待できる。

著者らは転輪型 RI 密度水分計を振動ローラによる締固め作業の自動化に利用することを目指しており、引続き開発を継続する予定である。

参考文献

- 1) 青木浩章, 片山三郎, 阿部祐規: 自律制御型振動ローラ「T-iROBO Roller」の一般土工における実証, 大成建設技術センター報第50号, No.07, 2017
- 2) 青木浩章, 片山三郎, 池永太一, 越村聡介: 散乱型 RI 密度水分計による非接触計測の実験, 土木学会第 73 回 年次学術講演会, VI-698, pp. 1395-1396, 2018
- 3) 日本道路公団試験所: 「試験所技術資料第 213 号 RI 計器で土の密度・水分量をはかるしくみ」, pp. 78-79.1984.