

自動走行式散乱型 RI 密度計の開発

ソイルアンドロックエンジニアリング(株) 正会員 ○谷口 龍
(株)大林組 フェロー会員 古屋 弘 正会員 稲川 雄宣 正会員 松崎 晃
前田建設工業(株) フェロー会員 石黒 健 正会員 平田 昌史
(株)アトラックラボ 非会員 酒井 貴之

1. はじめに

生産人口の減少が進むわが国では業務の効率化・省力化が推進されており、土工現場においては ICT を積極的に活用して生産性の向上を図る ICT 土工が導入され始めている。筆者らは近年の検討で、迅速に地盤性状の把握が可能な RI(Radio Isotope)法の中でも完全非破壊で測定が可能な散乱方式の RI 計器(以下、散乱型 RI)に着目し、含水比の面的な分布を把握するために自動走行ロボットに散乱型 RI 水分計を搭載した自動走行式散乱型 RI 水分計(以下、自走式水分計)について検討してきた¹⁾。

さらに、筆者らは迅速に湿潤密度の測定が可能な散乱型 RI 密度計を自動走行ロボットに搭載した自動走行式散乱型 RI 密度計(写真-1)を新たに開発し、これを自走式水分計とともに運用して土工現場の面的な締め固め度の品質管理を行うことを目指し検討を行った。本稿では、開発した自動走行式散乱型 RI 密度計の特徴の紹介と複数の現場で実施した実証試験の結果について報告する。

2. 自動走行式散乱型 RI 密度計

一般に、散乱型 RI 密度計は地表面の凹凸(以下、不陸)による影響を受け測定誤差を生じやすいという問題がある²⁾。自動走行式散乱型 RI 密度計は測定精度を確保するため、測定エリア上を一定間隔で走行しては停止し、自動走行ロボットに搭載した昇降機構で散乱型 RI 密度計を接地させ、自動走行ロボットの自重によって散乱型 RI 密度計を地表面に密着させてから測定を行い、測定が終了すると再度昇降機構で散乱型 RI 密度計を上昇させて次の測定地点に向かう方式とした。

また、RI 計器の測定精度は線源から放出される放射線量の揺らぎ(以下、壊変揺動)に起因し、まったく同じ測定地点を測定したとしても測定結果はバラつきを生じることが知られており、測定精度を確保するためには測定時間をできるだけ長く設定する必要がある。しかし現場運用の観点から考えると、測定時間は施工時間に大きな影響を与えることからできるだけ短いことが望ましい。つまり、測定精度と測定時間はトレードオフの関係にあると言える。そこで、測定精度確保と現場運用の両方の観点から最適な測定時間を導くため、自動走行式散乱型 RI 密度計の壊変揺動誤差について検討した(図-1)。図-1 から、壊変揺動誤差の 2σ で評価すると測定時間が 2 分以上であれば、湿潤密度が 2.400g/cm^3 の測定対象に関して理論上の測定誤差が 0.010g/cm^3 以下に収まると推定できる。以上から、自動走行式散乱型 RI 密度計の測定時間は 2 分に設定した。



写真-1 自動走行式散乱型 RI 密度計

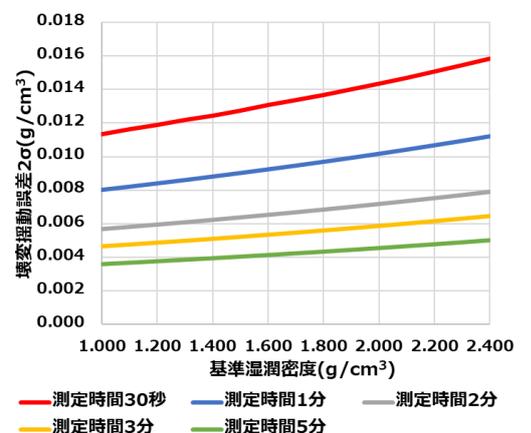


図-1 自動走行式散乱型 RI 密度計の壊変揺動誤差

3. 現場実証実験

自動走行式散乱型 RI 密度計の測定精度を検証するため、複数の現場で実証試験を行った。6種類の土質材料について、盛土の品質管理に広く用いられる透過方式の RI 計器(以下、透過型 RI)で測定を行い、同一地点において自動走行式散乱型 RI 密度計で測定を行った。なお、まさ土と砕石、砂質土については自然含水比状態と高含水比状態の2水準について測定した。得られた測定データについて、透過型 RI の湿潤密度に対する自動走行式散乱型 RI 密度計の湿潤密度の相関図を図-2 に示す。

図-2 から、砕石以外の材料については比較的正しく測定ができているが、砕石については湿潤密度を過小評価していることが分かる。この要因については、粒径が細かい材料では転圧の過程で地表面が平滑化され、散乱型 RI 密度計が地表面に密着しやすいため測定誤差は小さいが、砕石等の粒径が大きな材料については転圧を行っても地表面に不陸が生じやすく、散乱型 RI 密度計が地表面に密着しにくいため測定誤差が増大したものと考えられる。不陸影響による散乱型 RI 密度計の測定値の誤差の補正方法については今後の検討課題としたい。

自動走行式散乱型 RI 密度計の正確な位置情報を取得するために自動走行ロボットに cm 級の GNSS モジュールを取り付けた。これにより、自動走行式散乱型 RI 密度計が測定した地点の座標と湿潤密度を紐づけ、測定エリア内の湿潤密度の面的な分布を得ることができた。さらに、自動走行式散乱型 RI 密度計で得た測定エリア内の湿潤密度の面的な分布データと同一エリア内を別途走行した自走式水分計の測定データを組み合わせることで図-3 に示すような乾燥密度のヒートマップを描くことができる。ヒートマップから、自動走行式散乱型 RI 密度計が走行したエリア内の乾燥密度の面的な分布、つまり締固め度の面的な分布について視覚的に把握することが可能となり、転圧不足や弱部の発見につながることを期待される。

4. まとめと今後の展望

新たに開発した自動走行式散乱型 RI 密度計を用いて測定エリア内の湿潤密度の面的な分布について評価する方法について検討した。砂質土や粘性土など地表面に散乱型 RI 密度計が密着しやすい土質材料については十分な測定精度を確保できることを確認した。一方、砕石など不陸が生じやすい材料については湿潤密度を過小評価しやすい傾向があることが分かった。今後は不陸が生じた場合の補正方法の検討を進めていきたい。

今回の検討および現場実証によって、測定エリア内の湿潤密度の面的な分布を視覚的に確認することが可能と示唆された。さらに、自走式水分計と同時運用し締固め度のヒートマップを作成することで、弱部の把握をすることが可能となる。自動走行式散乱型 RI 密度計の導入によって、透過型 RI の測定の際に必要な測定孔の削孔作業が不要となり、現場作業の大幅な効率化・省力化が見込まれる。

参考文献

- 1) 松崎晃, 古屋弘, 稲川雄宣, 石黒健, 平田昌史, 谷口龍: 自走式散乱型 RI ロボットの開発, 第20回建設ロボットシンポジウム, 2022.8
- 2) 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

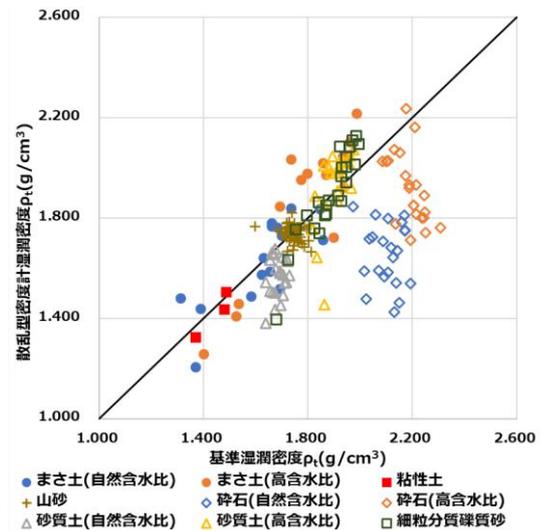


図-2 自動走行式散乱型 RI 密度計と透過型 RI の湿潤密度の相関

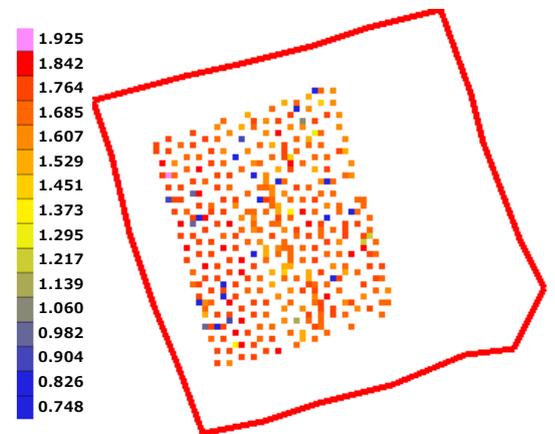


図-3 乾燥密度のヒートマップ