

自律制御型不整地走行ロボットによる現場密度試験の自動化

(株)竹中土木 正会員 ○千葉 力 大村 啓介
(株)竹中工務店 非会員 神山 和人
宇宙航空研究開発機構 非会員 妻木 俊道

1. はじめに

土工事において重要な品質管理項目の一つとして盛土の締固め管理がある。現在、現場密度試験の方法としては砂置換法と RI 法とがあり、RI 法は砂置換法と比較して計測時間が短く、複数点計測（面的管理）が可能である。しかし、RI 法は日常管理として盛土作業を行うたびに試験を行うことになるため、試験頻度が多く、試験に掛かる労力は小さくない。そこで不整地走行ロボットに RI 試験器を搭載し、盛土の締固め管理を自動で行うシステムを開発することとした。現場密度試験ロボットの開発には計測器課題とロボット課題とがある。計測器課題はロボット搭載へ向けた計測器の小型軽量化、計測面の不陸と試験器と地面の接地状況を考慮した計測方法の確立である。ロボット課題は指定した場所へ自律移動し、計測器を接地させることである。これまでに、計測器課題について研究開発を進め、ロボット搭載用試験器として、削孔が不要な散乱型 RI 試験器を選定し、ロボットに搭載用に小型化改良を行った¹⁾。

本報では上記散乱型 RI 試験器を自律制御不整地走行ロボットに搭載して実施した、現場密度試験自動化の検証試験について報告する。

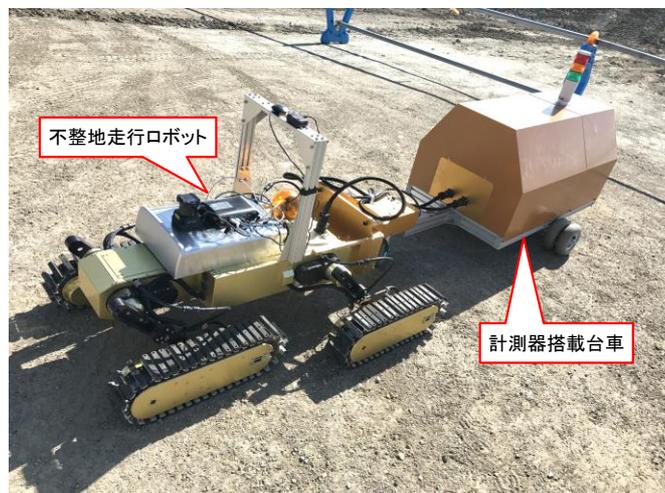


写真.1 自動 RI 試験ロボット

2. RI 計器を用いた盛土の品質管理手順

RI 法は転圧が完了した施工面に対し複数地点に計器を設置し、土の締固め度、水分量を測定するものである。測定地点の選定は国土交通省の定めた管理要領²⁾に記載されている。管理単位は一日の一層当たりの施工面積を基準とし、試験は 1 回/1500m² を基準とし、各管理単位について原則 15 個のデータ採取を行い、平均してその管理単位の代表値とする。また、データ採取は施工当日に行うことが原則とされている。

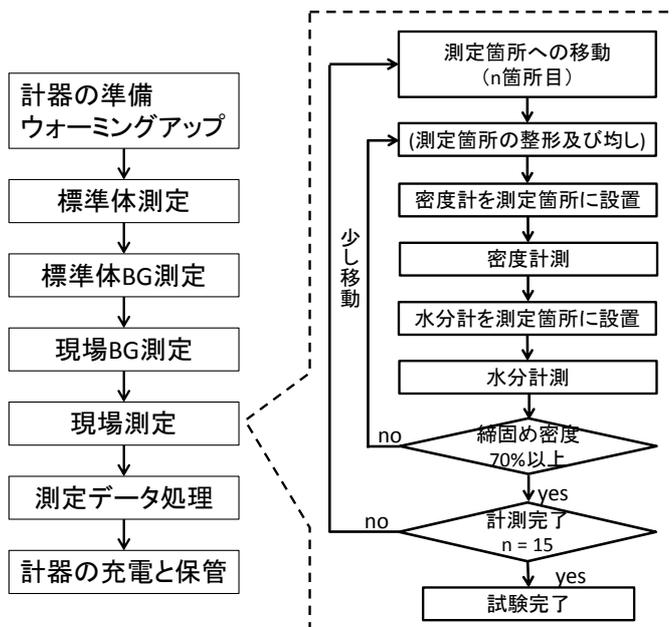


図 1. RI 計器による測定フロー

RI 法の測定フローを図 1 に示す。測定フローは機器の準備から始まり、試験場所に存在する線源以外からの線量を控除するために、標準状態において線源を取り付けた状態の測定（標準体計測）と線源を取り外した状態の測定（標準体 BG 計測）を行い、キャリブレーションを行う。その後、現地での線源以外からの線量を計測し（現場 BG 測定）、現場測定へ移る。今回、自動化を進めるのはこの現場測定の部分である。図 1 右側にその詳細なフローを示す。

測定箇所1点につき、データ収集は1回/秒で1分間行われ、その平均値が記録される。また、表面不陸による測定不良を除くため締固め密度70%未満のデータは取り除く。計測地点を変更しながらこの作業を標準で15回繰り返し試験終了となる。

3. システム概要

3. 1. 自律制御不整地走行ロボット

本研究で用いる不整地走行ロボットは宇宙航空研究開発機構が開発した“健気”と呼ばれるクローラ型ロボットで、写真2にその全景を、表1に主要な性能を示す³⁾。この不整地走行ロボットにGPS及び慣性計測装置IMU(Inertial Measurement Unit)を搭載することで自己位置推定を行い、LiDARを搭載することで周辺状況を把握し、障害物回避を行う。ロボット制御にはROS(Robot Operating System)を使用しており、計測ポイントの座標を指令値として入力すると自動で経路生成を行い、計測ポイントまで自律移動する仕様となっている。



写真2. マルチクローラ型移動ロボット“健気”

表1 移動ロボットの主要諸元

外寸(標準姿勢時)	1115L x 780W x 250H
全備質量	約45kg
駆動自由度	クローラ x4
動力源	Li-ion 電池(54V/6Ah)
操縦方式	半自律/無線遠隔式
センサ	GPS+IMU+LiDAR

3. 2. 計測台車

計測器搭載台を写真3に示す。台車には散乱型RI密度計と散乱型RI水分計の二つから構成される散乱型RI試験器を搭載している。台車の特徴として、両計測器の線量が干渉しない距離に計測器を搭載している。また、計測面の勾配に合わせて計測器を押し付けるために球面軸受とばねを計測器の昇降部に設置している。計測時の動作は、計測ポイントに着くと台

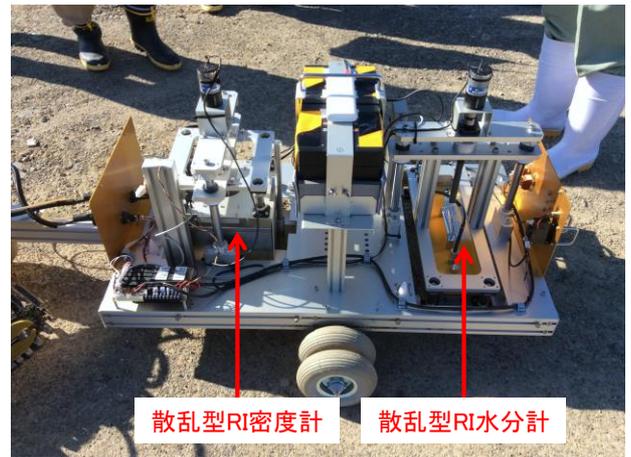


写真3. 計測器搭載台車

車から計測器を下降させ、接地させる。その後、1分間計測を行い、完了すると計測器を上昇させる。

4. 検証試験結果

図1にあるロボットによる試験フローに基づき工事現場で自動現場密度試験の実験を行った。15点の計測ポイント座標を入力するだけで、ロボットが自律移動し、試験することが可能なことを確認した。GPSによる自己位置推定精度が1~2m程度誤差を持っていたため、計測ポイントを中心とした半径2mの円内にロボットが入ると到達と判断させた。このため、指定したポイントから少し離れた位置で計測を行う結果となった。計測結果は従来の試験方法と比較して大きな誤差は生じないことが確認できた。

5. おわりに

今回の試験では、ロボットを用い、自動で15点連続して密度計測を行い、現場密度試験の自動化が可能であることを確認した。今後の課題として、ロボットの移動精度の向上と現場運用へ向けた改良を行っていく。

<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試験器評価” 土木学会第72回年次学術講演会講演集, VI-700, 2017
- 2) 国交省・RI計器を用いた盛土の締固め管理要領(案), http://www.qsr.mlit.go.jp/s_top/doboku/hikkei-kanri12.pdf
- 3) 妻木俊道, 本田瑛彦, 加藤裕基, 藤岡紘, “4クローラ型不整地踏破ロボットの開発,” 日本ロボット学会誌, vol. 34, No.7, pp.422-431, 2016.