14. 締固め度自動計測システムを搭載した自動化振動ローラの現場実証

大成建設㈱技術センター生産技術開発部　○ 市村 朋也，後藤 洸一，青木 浩章
大成ロテック㈱技術研究所先進技術研究室　城本 政一，佐々木 恵

１．はじめに

建設業では技術者や技能者などの就業者が年々減少傾向にあり、将来、深刻な人手不足に陥ることが予想される。そのため国土交通省は i-Construction を提唱し ICT 技術を建設現場に導入し生産性を向上させる取り組みを行っている。
その中でPRISM（官民研究開発投資拡大プログラム）を活用して公共土木工事において、様々な分野の知見を結集することで、デジタルデータをリアルタイムに取得し、これを活用したIoT・AIをはじめとする新技術を試行することによって建設現場の生産性を向上するための研究開発を促進する「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」を進めている。この取り組みの中で筆者らは2020年から2021年に5社コンソーシアムを組み「データを活用して土木工事における品質管理の高度化を図る技術」として道路舗装工事での品質管理の高度化を目指し以下の項目について現場実証した。

①路盤材の自動転圧、締固め度自動計測
②締固め度の面的管理、帳票のクラウド上共有
③基層・表層の面的温度管理、帳票のクラウド上共有

実施内容の概要図を図-1に示す。2021年の取組みとして東北地方整備局発注の「玉川野田地区舗装工事」において上記提案技術の実証実験を行った。本稿では①②を実施した成果について記す。

２．工事概要

工事名：令和 2 年度　玉川野田地区舗装工事
発注者：国土交通省東北地方整備局三陸国道事務所
受注者：大成ロテック株式会社
工期：2021 年 4 月 1 日～2021 年 9 月 21 日
施工場所：岩手県九戸郡野田村大字野田第 8 地割
施工延長：本線土工部 L=960m
平面図、施工対象範囲を図-2 に示す。

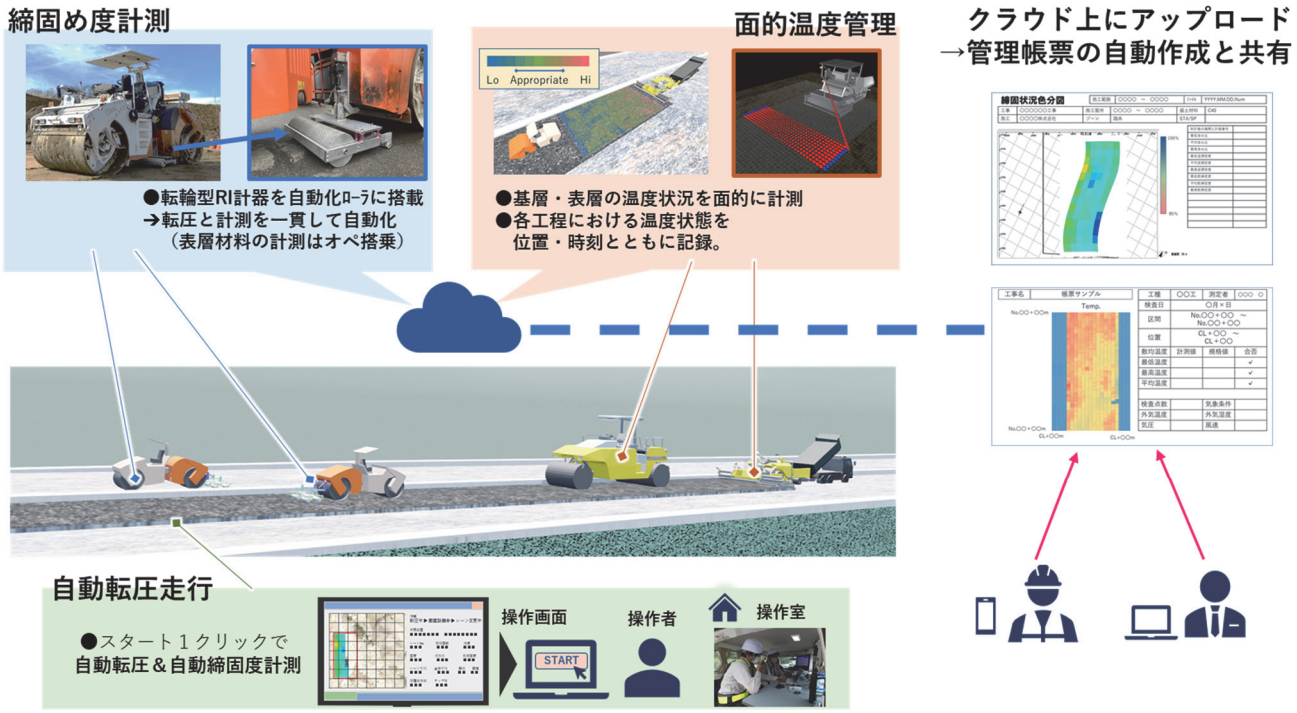

図-1　プロジェクト概要

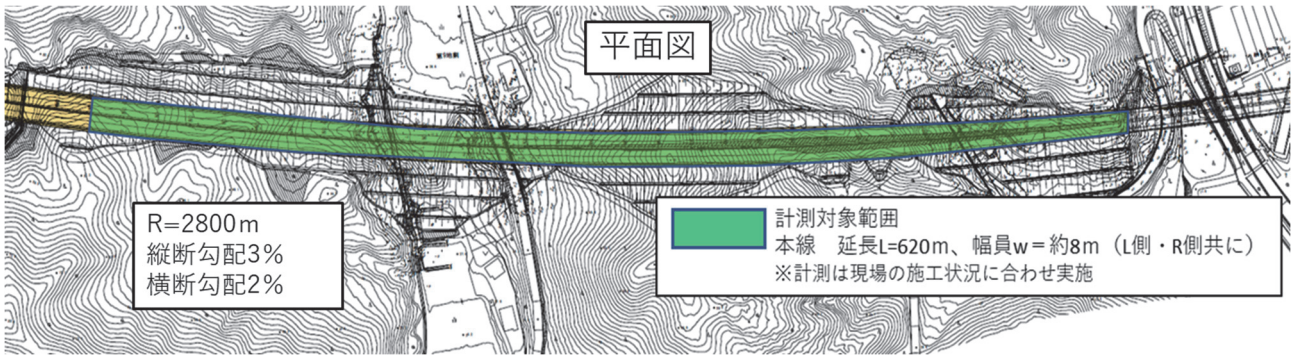

図-2　現場平面図、施工対象範囲

３．実施概要

3.1　①路盤材の自動転圧、締固め度自動計測

(1) 自動化振動ローラ概要

自動化振動ローラは筆者らが開発した遠隔操作と自動運転が可能な振動ローラである。各種センサー類や通信機を搭載し電子制御ができるように改造している。自動転圧走行は地盤や路盤の範囲と走行経路を指定し、転圧範囲や転圧回数等の条件及び制御関連のパラメータを設定することで行うことができる。自動走行を行うための走行計画は図-3 のように 2 通りの方法で作成することが可能である。施工箇所の四隅の座標を指定した矩形の範囲をラップ幅、往復回数を設定し直線的に走行経路を作成する方法と、道路線形の設計データである LandXML データより作成する方法がある[1)]。前者は主に土工事や造成工事で使用してきており、直線での走行を想定している。後者の走行計画は LandXML を活用して作成した必要通過点「waypoints」の座標値を追従するように自動走行するため、曲線での走行に対応している。本取組は曲線を含む道路工事であるため後者を採用した。

(2) 実施結果

自動転圧と締固め度の自動計測は計測対象範囲のうち現場の施工状況に応じて実施可能な範囲の下層路盤工（材料：RC-40）にて実施した。走行計画は 11 区画作成し、1 区画を約 50mとした。1 区画において幅員によってレーンを2～3本に設定し、1 レーン毎に転圧走行 2 回、計測走行 1 回とした。振動ローラは 1 区画ごとに最端レーンの端部から自動制御を開始し、自動転圧作業と締固め度の自動計測を繰り返しながら連続施工した．振動ローラの走行速度については計測時に計器と路面の密着性を安定させる必要があることや締固め度計測時間の確保、計器の損耗を防止するため、転圧時やレーン変更時の速度は 2 km/h、計測時は速度を 1km/h と設定した。自動走行の延べ施工面積は約 6,600m^2 であった。

全区画で自動転圧、計測の一連の動作が正常に行われた。図-4 に 1 区画の自動走行結果を示す。

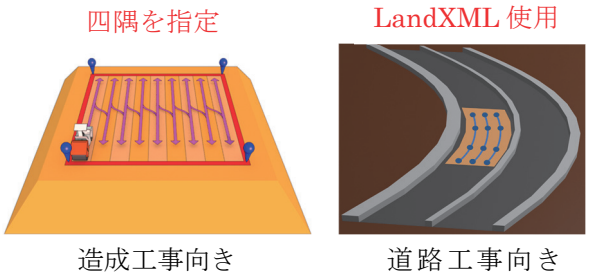

図-3　走行計画作成イメージ

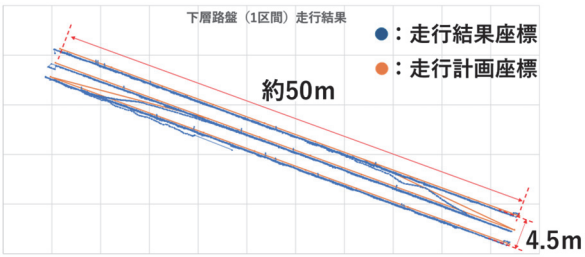

図-4　自動走行結果（1 区画）

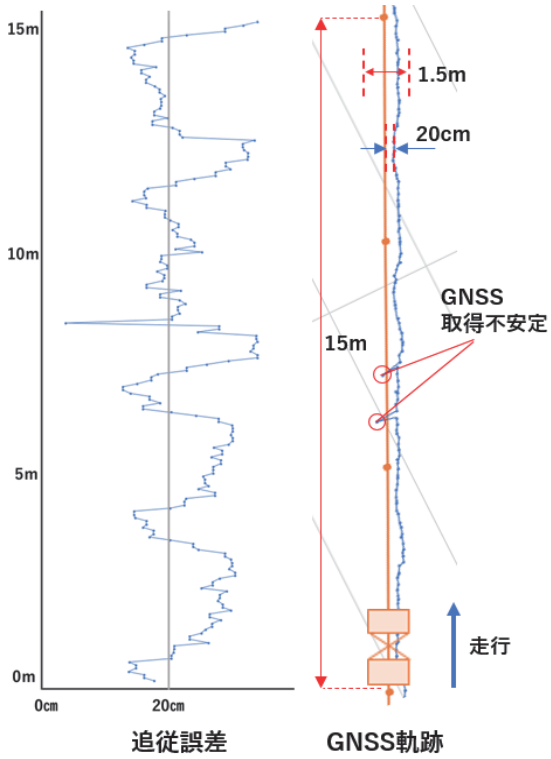

図-5　自動走行結果（拡大）

自動走行結果座標を青色、走行計画座標を橙色でプロットしている。図-5 に走行結果の拡大図と追従誤差の推移を示す。追従誤差とは設定した走行計画の waypoints 間をつないだ線と GNSS により取得した振動ローラの走行座標の距離である。追従誤差が 20cm 付近で推移しているが、急操舵による逸走と路面の損傷を防止するため、定常誤差 20cm を許容しているためである。他の 10 区画においても同様の傾向がみられた。図-4、5 の走行結果座標より数点 GNSS 座標が外れている箇所が存在するが、これは施工区間中に長大法面の区間があり、GNSS 電波が安定して取得できなかったためであると考えられる。しかし走行中振動ローラが走行計画を逸脱することはなく安定した自動走行が行えた。また全区画での追従誤差は平均で 23cm であり精度へ大きく影響しなかった。今回縦断勾配 3%、横断勾配 2%の緩やかな斜面であったが、既往の知見では勾配のない曲線を自動走行した時の追従誤差は平均 20cm であり [1]、勾配による極端な差は見られなかった。

3.2　②締固め度面的管理、帳票のクラウド共有

(1)締固め度自動計測システム概要

締固め度自動計測システムは転輪型 RI 計器を使用し、振動ローラに搭載し走行しながら計測が可能なシステムである。図-6 に装置図を示す。計器は密度計、水分計それぞれをローラ型の筐体に収納しており、振動ローラの前後輪の間に搭載している。従来の締固め度計測では砂置換法や透過型 RI 測定器を使用して計測しているが、これらの方法は締固め後の地盤を削孔する必要があり多大な時間と労力がかかるが、本システムは測定用の削孔を行わずに非破壊での計測が可能であり、かつ対象範囲を全面的に計測することができるため品質管理の高度化や労働生産性の向上効果に期待ができる。

(2)締固め度自動計測

本工事での締固め度の自動計測は下層路盤(RC-40)、上層路盤(再生瀝青安定処理混合物)、基層(再生粗粒度アスファルト混合物（20))、表層（再生密粒度アスファルト混合物 20t 改質II型)で試行した。前述の通り計測時の速度は 1km/h とし、下層路盤のみ自動運転と同時に行い上層路盤～表層は有人運転にて実施した。計測精度検証は下層路盤では砂置換法による現場密度試験、上層路盤～表層はコアによる密度試験の結果を採用した。下層路盤における転輪型 RI 計器による計測と従来手法による計測の結果比較を図 7 に示す。縦軸が転輪型 RI 計器による計測結果、横軸が砂置換法による計測結果である。砂置換法と比較して湿潤密度が±0.1[g/cm3],含水量が±0.05[g/cm]以内であり、通常用いられる透過型 RI 計器と同等の計測精度である。

図-6　締固め度自動計測システム

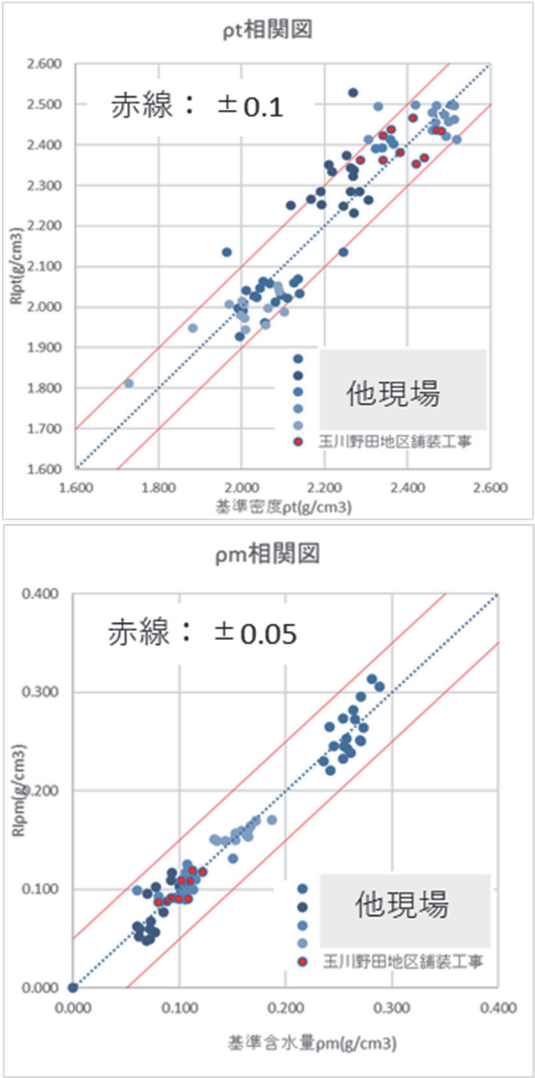

図-7　砂置換法と転輪型 RI 計器の相関図

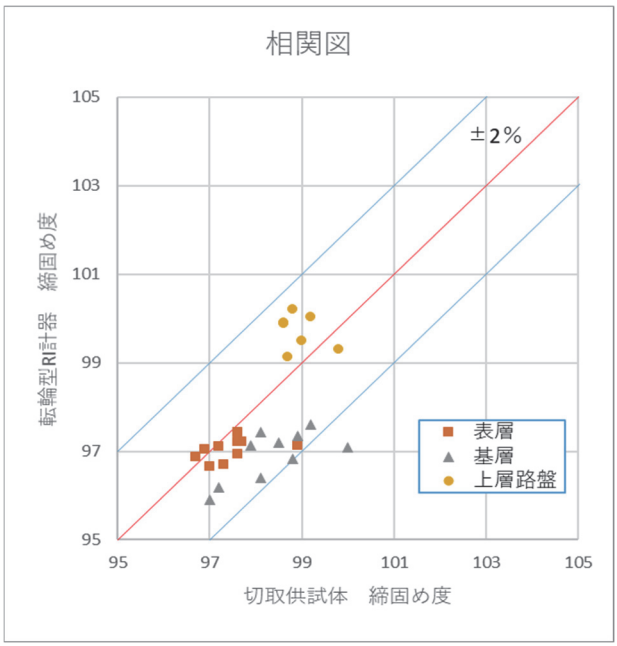

図-8　コアと転輪型 RI 計器の相関図

		下層	上層	基層	表層
平均締固め度 [%]	転輪型RI	102	102.2	99.6	99.7
	従来	97.4	99.1	98.4	97.5
計測点数	転輪型RI	659	2119	2879	1116
	従来	10	10	10	10
計測時間 [h]	転輪型RI	1.5	4.5	6	2.5
	従来	3.3	—	—	—
1点当たりの計測時間	転輪型RI	8.2秒	7.6秒	7.5秒	8.1秒
	従来	20分	—	—	—

図-9　計測能力比較

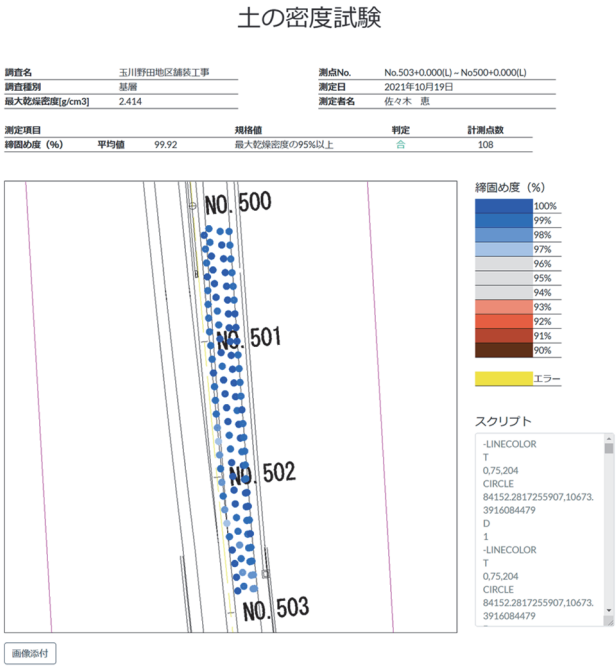

図 10　作成帳票

上層～基層はコアによる密度試験での締固め度と比較した。比較結果を図-8 に示す。どの層でも締固め度はほとんど±2[%]以内に収まっており、概ね基準値を満足する結果となった。転輪型 RI 計器と従来手法の締固め度の計測能力についての比較を図-9 に示す。従来方法は 1000 ㎡毎に 1 点、1 点当たり約 20 分の時間がかかるが、転輪型計器では 3 ㎡に 1 点、一点あたり約 7～8 秒と非常に効率よく計測可能であることが確認できた。

(3) 計測結果の帳票化

転輪型RI計器で計測した締固め度のデータは計測座標、時刻等のデータとともにCSVファイルとして記録され、ネットワーク経由でクラウドサーバーにアップロードされる。アップロードされたデータは即時に閲覧することができ、帳票形式での表示も可能である。帳票形式には測定値以外の管理基準値や材料などの情報も併せて記述される。帳票は計測座標と締固め度がヒートマップとして表示され基準値以上を青色、未満を赤色でプロットしている。帳票の作成はwebの帳票アプリケーション上で帳票化したいデータを選択するだけで行うことができ、関係者間での共有を容易に行える。このように計測結果をリアルタイムで面的に表示することで脆弱な箇所や地盤改良を必要とする箇所などの是正処置のための判断基準としての活用が可能であり、品質の向上につながると考える。図-10に本実証での作成帳票の一例を示す。

4. まとめ

自動化振動ローラによる自動走行が実際の道路舗装工事においても可能であることを、延べ走行面積6,600㎡の実証試験で確認した。全走行を通してこれまでに行ってきた造成工事での自動走行精度と同等であることが確認でき、施工範囲付近の構造物への接触や逸走がなかったことから安定した走行が可能であるといえる。

締固め度の自動計測については全実施面積延べ21870㎡を行うことができアスファルト系材料の品質管理に使用できる十分な精度が得られた。これらの技術を活用することで品質管理にかかる時間や作業人員を削減することができ、効率化や高度化につながると考えられる。

参考文献

1) 田村道生，青木浩章，後藤洸一，越村聡介：自動走行振動ローラ「 T-iROBO® Roller」曲線自動走行の開発，土木学会第 76 回年次学術講演会，VI-689，2021