

メンテナンスDXに向けた点群データ利活用に関する開発



向井 鷹則*¹



栗林 健一*²



秋山 保行*³

Development of Point Cloud Utilization for Maintenance DX

Takanori MUKAI*¹, Kenichi KURIBAYASHI*², and Yasuyuki AKIYAMA*³

*¹ Researcher, Frontier Service Development Laboratory of Research and Development Center of JR East Group

*² Chief Researcher, Frontier Service Development Laboratory of Research and Development Center of JR East Group

*³ Principal Chief Researcher, Frontier Service Development Laboratory of Research and Development Center of JR East Group

Abstract

We are planning to carry out large-scale renovation work on the civil engineering structures of the Tohoku Shinkansen (between Tokyo and Morioka) and the Joetsu Shinkansen (between Omiya and Niigata) from fiscal 2031. This is a very large-scale and wide-area project, and it is very important to manage the progress of the entire project. It is very important to manage the progress of the entire project. One of the basic data is point cloud data, and we are already using point clouds for maintenance work on various structures. In this paper, we report a case study of our efforts to utilize point clouds in the maintenance of railroad structures.

●**Keywords:** Point cloud, Machine learning, 3D laser scanner, Digital transformation, Maintenance

*¹JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 研究員 *²JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 主幹研究員

*³JR東日本研究開発センター フロンティアサービス研究所 上席研究員

1. はじめに

2031年度より東北新幹線（東京～盛岡間）および、上越新幹線（大宮～新潟間）の土木構造物を対象に大規模改修工事を計画しているが、非常に大規模かつ広域にわたるプロジェクトであり、その計画全体の進捗管理は特に重要である。この進捗管理を行うためのツールとして座標情報と紐づいたGISプラットフォームの導入が非常に有効である。その基盤データのひとつとして点群データが挙げられるが、当社でも既に様々な構造物のメンテナンス業務においてその利活用が進められている。そこで、本稿では当社の土木構造物メンテナンスにおける点群データ利活用の取り組み事例を報告する。

2. 点群データ利活用における課題

土木構造物のメンテナンスへの点群データ利活用における課題は、精度と認識である。精度はスキャナ等の計測機器に左右される部分も大きいですが、計測対象物の材質によってはレーザー乱反射で大きな誤差が生じる、もしくは計測できない場合もある。また、認識は三次元計測点の集まりである点群データの性質から、計測対象物の輪郭や境界の判定が難しい。よって、メンテナンス業務における点群データ利活用では、対象物によって点群データの計測方法や活用方法を適切に選択する必要がある。

3. ホームおよびホームドア建築限界測定における点群データ利活用の検討

3・1 課題と目的

駅乗降場のホームおよびホームドアの建築限界管理業務では、ホームを土木構造物として、ホームドアを機械設備としてそれぞれの担当部署が測定・管理していたため、ひとつのホームに対して二度の測定作業を行っていた（図1、2）。この状況に対し、3Dレーザースキャナ（以下、3DLS）を活用して点群データを取得し、同じホーム面にあるホームとホームドアを一度に測定して業務効率化につなげることを目的に点群データ利活用を検討とした。

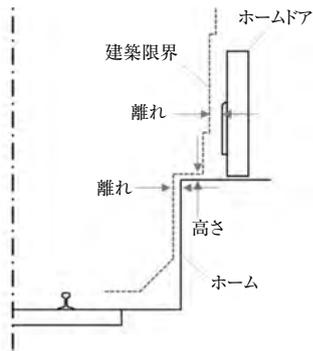


図1 ホーム建築限界の管理イメージ



ホーム測定（現行型）



ホームドア測定（現行型）

図2 ホームおよびホームドア建築限界測定状況

3・2 鉄道用3DLS製品の比較試験

今回の検討では点群データの取得が可能な3DLS 4機種（機種A～D）を対象とした。また、当社で導入済の現行型ホーム測定器（機種E）、現行型ホームドア測定器（機種F）も4機種（機種A～D）の測定値を検証するために用意し、これら計6機種について測定比較を行った（表1）。

比較試験のため当社敷地内試験用ホーム、ホームドアに支障物（10mm～100mm大）を設置し、あらかじめ詳細な測量を実施してホーム、ホームドア管理値の真値を設定した。そして、4機種（機種A～D）についてこの真値を基準として評価すると共に、機種E、Fとも比較し評価することとした（図3）。

表1 試験対象機種 概要一覧

	分類	タイプ	備考
機種A	試験対象機種	トロリー型	
機種B	試験対象機種	トロリー型	当社業務にも一部導入（トンネル計測等）
機種C	試験対象機種	トロリー型	リアルタイム計測不可
機種D	試験対象機種	三脚設置型	
機種E	現行ホーム測定器	トロリー型	ホームのみ
機種F	現行ホームドア測定器	トロリー型	ホームドアのみ



図3 真値設定した点群データ（試験用ホーム）

また、本検討は「ホームおよびホームドアの建築限界測定の本体化」を目的としていることから、以下を主な検証項目とした。

- (1) ミリ単位の建築限界管理への運用可否
- (2) 10mm大の支障物の検知
- (3) ホームとホームドアの同時測定の実現

3・3 比較試験の結果

試験を進めたところ、機種C、Dはミリ単位での測定精度の確保が難しいため、機種A、Bに絞って評価を進めた。最終的な結果は以下のとおりであった。

- (1) ミリ単位の建築限界管理への運用可否
機種A、B共に真値との比較で最大誤差±3mmほどの精度で、運用可能である。
- (2) 10mm大の支障物の検知
機種Aはモレなく検知できたが、機種Bではφ10mm×L100mm棒状の支障物は一部モレがあった。
- (3) ホームとホームドアの同時測定の実現
機種A、B共に同時測定できたが、ステンレス無垢素材ホームドアで正しく測定できなかった。

この結果から、精度も良好、かつ10mm大の支障物を捕捉した機種Aの実導入を検討することとした(図4)。

(3)について、ステンレス無垢素材のような鏡面仕上げの場合は正しく測定できない可能性はあるものの、実ホームに設置されるホームドアは塗装されることから運用上支障はないと判断した。



図4 機種A測定値と真値の比較

3・4 点群データからのホームおよびホームドア測定値抽出方法

3DLSで測定した点群データを建築限界管理に活用するためには、点群データから、ホームやホームドアの管理すべき離隔を割り出す必要がある(図5)。また、同一形状が連続するホームは従来どおり0.5mピッチ管理で対応できるものの、ホームドアはセンサーボックスなどにより形状が複雑であることから、筐体全面を測定する必要がある。そこで、より形状が複雑なホームドアに合わせてホームも全面測定とし、0.5mピッチの管理点を中心に前後0.25m範囲の点群データを集約・断面化して測定値を抽出することとした(図6)。

この結果、目的である点群データを活用してホームとホームドアを2つの測定作業の一本化による業務効率化の目途がつき、この手法を実導入することとなった。

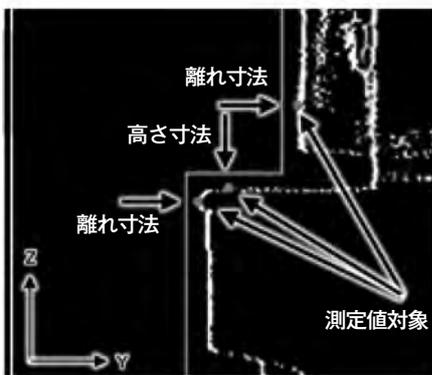


図5 測定値抽出イメージ

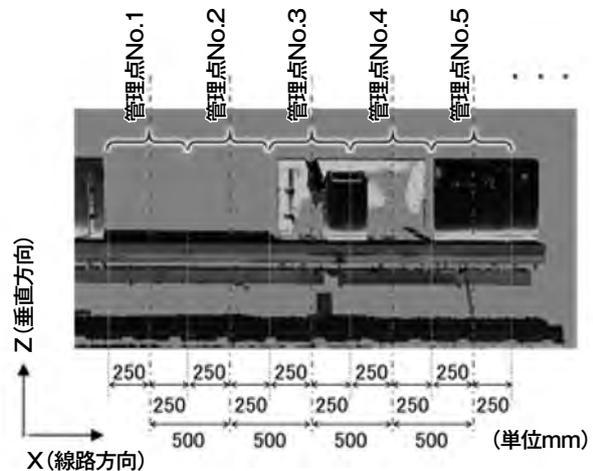


図6 管理測点への集約イメージ

4. 点群データと機械学習による付帯物認識の検討

4・1 課題と目的

新幹線高架橋のように同一断面が連続する区間を長い延長で調査する際、その対象が既設構造物に設置された付帯物の場合はその数や種類も多く調査に多くの労力を要する。よって、既設構造物の付帯物調査における効率化を目的として、点群データを活用した付帯物認識方法の検討を行うこととした。

具体的な対象物は、設置数量の多い既設の吸音材、および補修材とした(図7)。

ただし、点群データの座標値だけでそれらを直接的に認識することに課題がある。

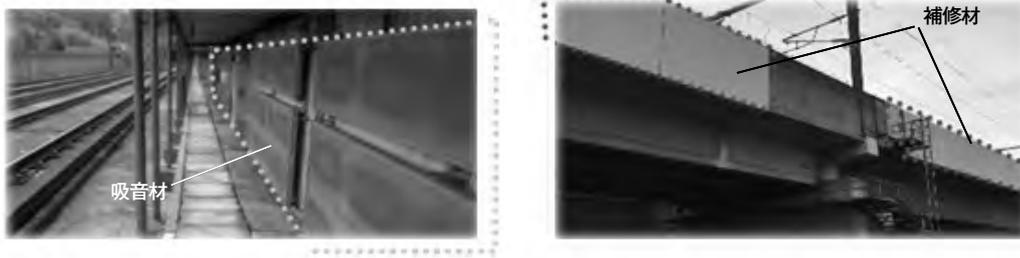


図7 吸音材および補修材の設置状況

4・2 レーザ反射強度を利用した認識方法

点群データから吸音材と補修材を認識するため、材質によるレーザ反射強度の違いに着目した。そこで、その違いを把握するため、高架橋に存在するコンクリートやレール、様々な付帯物をレーザスキャナで点群計測試験を行った。この試験により、吸音材と補修材の反射強度を特定し閾値を設定した(図8)。続いて、実構造物を計測した点群データにこの閾値を反映させたところ、吸音材と補修材をおおまかに区別することができた(図9)。しかし、この方法では反射強度の近い材質の物は明確に区別するには至らず、更に精度を高める工夫が必要である。

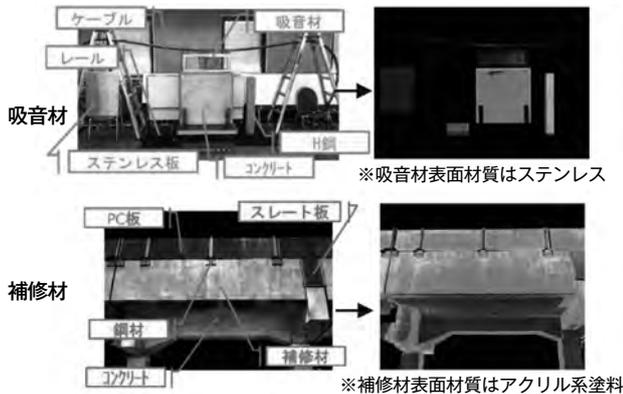


図8 室内試験での材質別反射強度の違い(吸音材)

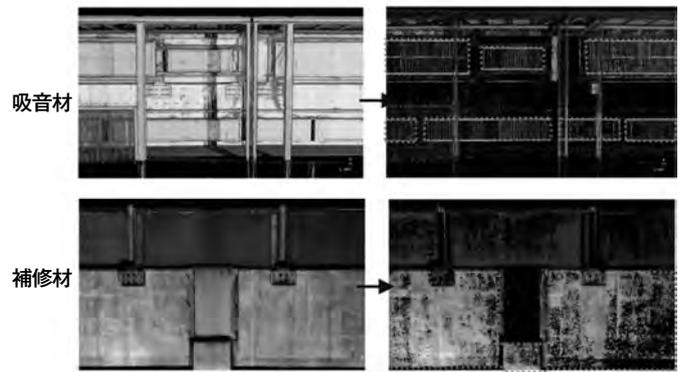


図9 設定した閾値による吸音材・補修材の抽出

4・3 機械学習を利用した認識方法

次に、機械学習を活用して対象物を画像認識する方法について検討した。これは点群データの画像キャプチャから吸音材と補修材の教師データを用意し、それを学習したモデルで画像認識させるものがある。機械学習の手法としては、形状を捉えるためセマンテック・セグメンテーションとした。教師データとして、吸音材データ220枚、補修材データ265枚で学習を行った。評価は、吸音材、補修材各20枚を用意して行った(図10)。

この結果、レーザ反射強度の違いによる認識だけでは難しかった吸音材・補修材の形状も捉えることができた(図11)。レーザ反射強度の違いによる認識と、機械学習による認識を組み合わせる方法で抽出した場合、ピクセル数で90%以上の正解率を得られ、それぞれ吸音材・補修材の形状・輪郭も一定の精度で捉えることができた。

点群データのレーザ反射強度の違いと機械学習という2つの組み合わせで、吸音材・補修材の認識としては一定の成果を得られた。しかし、付帯物調査には位置情報も重要であり、この検討で得た付帯物情報を位置情報として変換させる方法も必要となることから、今後も引き続き検討を進める。

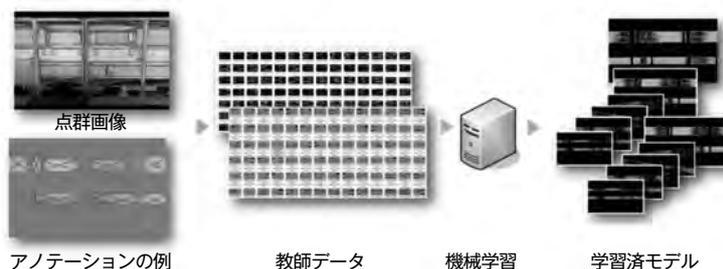


図10 機械学習を利用した認識方法の流れ



図11 レーザ反射強度と機械学習を組み合わせた認識結果 (補修材)

5. 点群データを活用したトンネル断面変位モニタリング

5・1 課題と目的

外力による断面変位がみられるトンネルの維持管理において、その変位量の確認に計測点を設けて鋼巻尺等による計測を行っており、多くの労力を要することが課題である(図12)。そこで、計測作業の省力化を目的に、配置した基準点ターゲットを点群データから自動抽出させる断面変位モニタリングについて検証を行った。

5・2 自動抽出に用いる基準点ターゲット

断面変位モニタリングの検証には基準点ターゲットとしてチェッカー型を用いた。これは、トンネル内での基準点設置の際、覆工面に貼り付けトンネル内空断面から張り出しのないチェッカー型が望ましいためである。また、精度確認のための比較対象として球体型も合わせて設置した。球体型は計測した真球の表面からその中心点を割り出すことで管理を行うため精度面で有利である(図13)。



図12 現在のトンネル断面変位計測状況

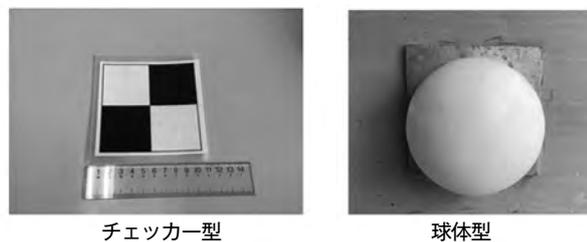


図13 基準点ターゲット

5・3 実物大模擬設備を使った検証

実トンネルで各ターゲットを測定する検証を行うには線路閉鎖による作業時間確保など制約がある。よって、当社総合研修センター敷地内(福島県白河市)にある新幹線実物大模擬設備を使って計測試験を行い検証した。

計測試験はトンネル覆工面の左右にそれぞれ基準点を配置し、軌道上に3DLSを設置して行った。トンネル断面変位を再現するため、左側壁部のチェッカーに厚さ1mmの板材を挿入し、1、2、5mmの断面変位を再現しながら計測した(図14)。また、配置した2断面を正対方向と斜め方向の両方で比較した。



図14 実物大模擬設備を使った計測試験状況

5・4 計測試験結果

測定結果を図15に示す。それぞれの変位実測値は概ね過小な値を示し設定値との差は最大で1.2mmとなり、点群データ測量としては概ね良好な結果であった。また、基準点ターゲットの自動抽出については市場にある点群データ測量ソフトウェアでも実現可能であることを確認した(図16)。

しかし、断面変位モニタリングとして考えた場合、現在は0.1mm単位管理であるため継続監視箇所の単純な置き換えは難しい。こちらも引き続き検討を行うが、現状では新たな変位箇所把握のスクリーニングには有効だと考える。

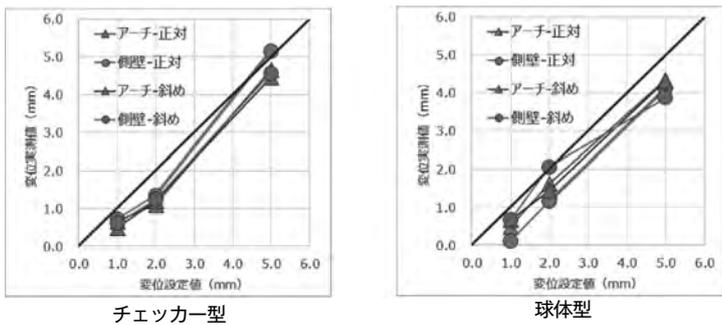


図15 計測試験結果グラフ

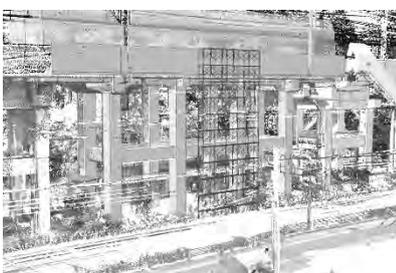


図16 点群データからの基準点自動抽出状況

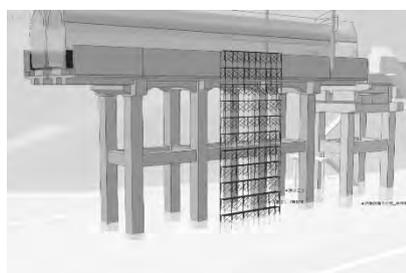
6. 土木構造物のメンテナンスDXに向けて

ここまで当社での点群データ利活用事例をいくつか紹介したが、点群データは現地状況の把握に非常に有効である。単に高精度・広範囲な現況測量にとどまらず、過去の計測データとの二時期比較や現地の構造物を3Dモデル化するなど、デジタルツインの基盤データとしての側面を持っている。本稿の冒頭にも触れたように、2031年度から計画している新幹線大規模改修は広域にわたるプロジェクトであり、橋りょう・トンネルなどの既存の土木構造物をデジタル化したGISプラットフォームの導入が非常に有効である。その基盤データとして、現地状況は点群データを利用し、データの共有先としては3Dモデルを利用するのがユーザービリティの面で望ましい。点群データは座標点の集まりであり現地状況を把握するには有効である一方、橋りょう名、改修工事計画、構造物の変状情報など、情報の保存先としては不向きである。そのため、点群データと3Dモデルの両方を用意し、プラットフォームの利用場面に応じてユーザーが使い分けるのが現時点では現実的である。この2つのデータを併用することで、各工事に不可欠な足場や仮設物の配置を計画するための現地確認を省力化するなど、業務効率化を期待できる(図17)。

また、このようなプラットフォームがあれば多くの工事関係者間でひとつの工事計画を直感的に理解でき、各担当者間で精度の高い情報共有が可能となる(図18)。



点群データ表示



3Dモデル表示

図17 点群データおよび3Dモデルの併用イメージ

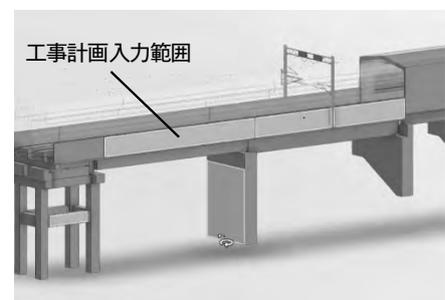


図18 3Dモデルへの計画入力イメージ

このように基盤データを整備しつつプラットフォームの導入を進めていくことは重要であるが、土木構造物のメンテナンス業務のデジタルトランスフォーメーション(DX)を進めるためには、現場とデータを双方向で連携させ、その距離を近づけていくことが重要である。今後も、メンテナンス業務で得られる様々なデータを集約・統合の検討を含め、当社の土木構造物のメンテナンス業務におけるDXの基盤のひとつとして点群データ利活用を進めていく。