

新幹線トンネル等の3Dモデル構築に向けた 点群データ活用に関する検証

BASIC RESEARCH ON GENERATING 3D MODEL OF RAILWAY STRUCTURE USING LASER PROFILER DATA

栗林 健一¹・齊藤 岳季²

Kenichi KURIBAYASHI¹, Takeki SAITO²

In 2031, about 50 years will have passed since the Joetsu Shinkansen and the Tohoku Shinkansen began service, and large-scale renovation of Shinkansen infrastructure is planned for extending the life of those lines. We measured the 3D data of Shinkansen structure to build MIM of large-scale renovation of Shinkansen infrastructure. We analyzed the basic research on generating 3D model of railway structure using Laser Profiler data.

Key Words : Large-scale renovation of Shinkansen infrastructure ,Laser Profiler data,3D model

1. はじめに

鉄道構造物を有益な資産として今後も供用し続けるためには検査や修繕を主体とする通常の維持管理業務に加え，あるタイミングで大規模な改修を選択することが必要となる場合がある．しかし，将来の労働力不足が予想される中で大規模改修などの事業を円滑に進めるためには，生産性向上などを柱とする魅力ある建設現場の構築が必要と考えられる．建設現場の生産性向上のための方策（i-Construction1）の一つとしてICTの活用があげられる．調査・設計，施工計画・管理，検査の建設生産プロセスから得られる情報の共有化およびそれに伴う業務の効率化，また各プロセスで得られる電子情報を他のプロセスに活用することによって，建設事業全体の生産性向上に期待がかかる．

JR東日本では2031年より新幹線大規模改修を計画している．JR東日本研究開発センターでは新幹線大規模改修事業の生産性向上を目的として，図-1に示すようなMIM（Maintenance Information Management/Modeling）を提案し，構築に向け検討を行っている．MIM上の建設生産プロセスの各情報は部材などを単位とする3次元モデルによって管理される．各情報には，構造物の緒元や検査情報，

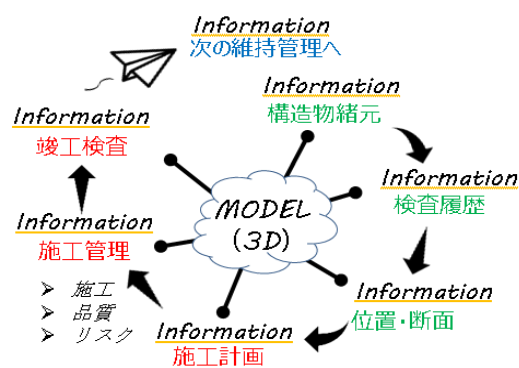


図-1 MIM の概念図

正確な位置情報を有する点群データをもとにした断面情報，また施工計画管理（施工・品質・リスク）および竣工検査情報等が含まれる．これらの情報は次の維持管理の世代に有益な情報として引き継がれる．

視覚的に認識しやすい3次元モデルは，これまで使用されている2次元の資料に比べ，事業や建設現場に従事する関係者が短時間で情報を共有化できる．さらに，より高精度な寸法や位置情報を有している3次元モデルほど建設現場での活用機会が拡がることが予想されることから，様々な事業者²⁾や測量会社等において既存構造物の3Dデータをレーザプロファイラや航空写真等により

キーワード：新幹線大規模改修工事，レーザプロファイラ，3Dモデル

¹正会員 東日本旅客鉄道株式会社 フロンティアサービス研究所 主幹研究員 (E-mail: k-kuribayashi@jreast.co.jp)

East Japan Railway Company Frontier Service Development Laboratory Chief Researcher

²正会員 東日本旅客鉄道株式会社 フロンティアサービス研究所 上席研究員

East Japan Railway Company Frontier Service Development Laboratory Principal Chief Researcher

取得し、3Dモデルへの活用の検討³⁾がなされている。

本研究では、新幹線大規模改修工事のMIMの構築に向け、レーザプロファイラ等で構成されるMMS（Mobile Mapping System）を用いて実際の新幹線構造物の3D点群データを取得した。本稿では、3D点群データの精度検証を行い、現時点における3Dモデルの作成（案）について検討を行ったので報告する。

2. 3D点群データの精度等の検証

(1) 検証概要

a) 測定概要

レーザプロファイラとデジタルカメラを車両に搭載したMMSを用いて構造物の3D点群データ（トンネル、高架橋、付帯設備）を取得した。測定した構造物は、上越新幹線のAトンネル（坑口から約1,000m）、複数の高架橋、Bトンネル（坑口から約1,000m）の線路内および線路外（側道）における約7kmを対象とした。

b) MMS概要

MMSとは、GNSS、IMU、デジタルカメラ、レーザプロファイラ及びオドメータ等を搭載し、位置情報に同期した周囲の3次元データを移動しながら計測できる移動体計測システムである。

本研究で使用したレーザプロファイラ（Leica geosystem社製Pegasus:Two）の諸元を表1に示す。

線路内からの測定はTMW（保守用車）の架台にプロファイラを取り付け、速度20km/h程度で測定を行った。図-2にTMW（保守用車）へのレーザプロファイラ設置状況、図-3に線路外からの乗用車による測定状況の写真を示す。

なお、計測データの座標系は、精度検証のため、平面直角座標系及びに日本水準原点を基準とする高さとした。

表-1 プロファイラの諸元

項目	仕様
カメラ数	デジタルカメラ 8 台
計測速度	200Hz
スキャニング速度	100 万点/秒
レーザ距離計測精度	0.2mm

(2) 3D点群データの測定結果

MMSで取得した3D点群データにデジタルカメラデータのカラー情報を付与した。3Dデータ化した結果について、線路外（乗用車）から取得したデータを図-4に示し、線路内（TMW）から取得したデータを図-5に示す。

(3) 測定位置情報の検証



図-2 TMW への設置



図-3 側道からの測定



図-4 線路外の点群データ



図-5 線路内の点群データ

MMSの測定結果は平面直角座標系のデータに変換を行い、並行して実施した基準点測量との比較を行った。MMSの位置情報の精度はGNSS(1回/秒)観測とIMU(200回/秒)補間に基づく。そのため図-6に示すようにトンネル区間に入ってから徐々に基準となる測量結果と大きな較差を確認できた。

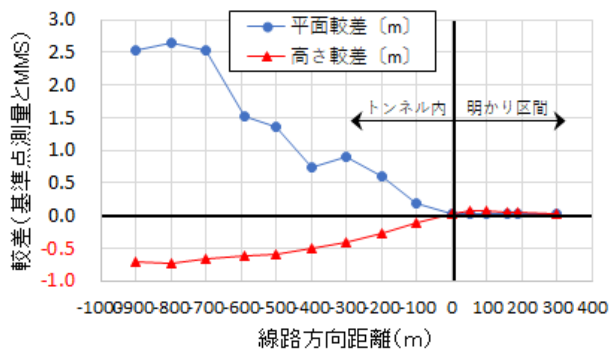


図-6 MMSと測量結果の較差(m)

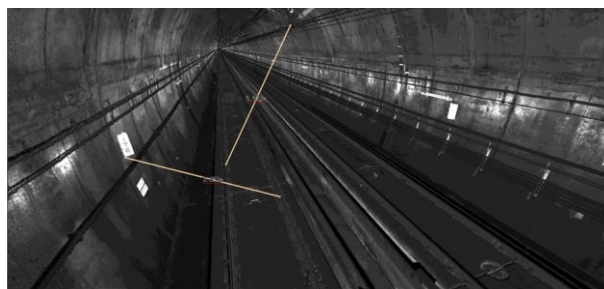
測定結果からGNSS+IMUでは十分な精度確保できない。そこで、搭載しているレーザドップラ距離計により重み付けを行い点群の座標展開を実施し、図7に示すように展開図上で付帯物等間の2点間距離やトンネル内の付帯物等の形状について測定を行った。表-2にこれら3D点群データ上の測定結果と現地での付帯物等の測定結果(図-8)との比較を示す。比較検証の結果より、おおむね断面方向の較差は10mm程度であり、良好な結果が得られたことを確認できた

表-2 トンネル内の3D点群データの精度検証

検査対象	現地調査	MMS 測定	較差
軌間内レール幅	1,437 mm	1,442 mm	-5 mm
スラブ軌道目地間隔	45 mm	57 mm	-12 mm
左レール頭頂部 - トンネル壁面	1,510 mm	1,512 mm	-2 mm
右レール頭頂部 - 下り線キロポスト	3,860 mm	3,862 mm	-2 mm
左レール頭頂部 - 下束	5,501 mm	5,522 mm	-21 mm
下り線退避工壁面 - 上り線退避壁面	17,730 mm	17,710 mm	20 mm

(4) 気象条件などの影響

本研究での測定では気象条件等の影響についても確認を行った。Bトンネル内での測定は、計測当日の天気が雨であったこと、また計測直前に軌道モーターカーが走行していたためトンネル内は煙や濃霧に覆われていた。



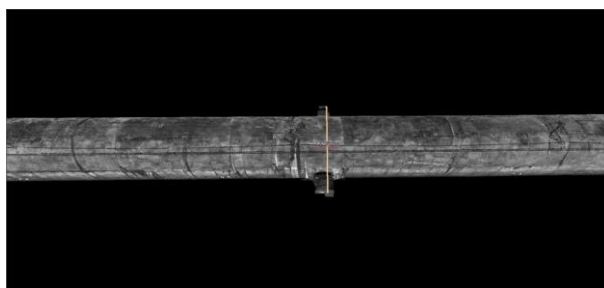
(レールからの覆工までの距離)



(レールからの消火器箱までの距離)



(軌間内レール幅)



(トンネル鳥瞰図)

図-7 トンネル内の3D展開図



図-8 付帯物調査状況

取得データを解析したところデータ不良が見受けられた。このことから煙やの濃霧なども状況時では計測に影響を及ぼす可能性を確認した。

また、取得データを分析した結果、反射輝度で判読可能であったが、カメラデータも使用できるように照明がある方が望ましい。特にレーザ点群間隔より細かな対象物には必須と考えられた。

(5) 検証結果のまとめ

精度は明かり区間では良好な結果を確認することができた。一方でMMSはGNSS観測の可否により左右されるためトンネル内での測定結果は測量結果と差が生じた。そこで、レーザドップラ距離計により重み付けを行い点群の座標展開を実施することで付帯物などの位置情報を断面方向においては、おおむね10mm程度の誤差で捉えることができた。これは工事管理上で必要な値としては満足できるレベルと思われる。

3. 3Dモデルの作成(案)

本研究の測定結果からもMMSにより取得される3D点群データは構造物を管理する3Dモデルの骨格に活用できると考えられる。ここで、新幹線大規模改修工事を含む修繕工事での3D点群データの活用シーンとしては、付帯物の有無や種別確認、添架ケーブルの種別や本数確認、高架下利用状況の確認などの可視画像情報として活用することがあげられる。

他の活用シーンとしては、以下に示す離隔距離などの詳細な位置情報が必要なものがあげられる。

- ・線路直角方向の車両限界や建築限界の支障確認
- ・線路上空の架線等の空頭支承確認
- ・付帯物等との支障確認
- ・仮設計画を目的とした高架橋高さや道路幅など

前者については、必ずしも詳細な位置情報は必要ではなく画像としての活用である。また後者は詳細な位置情報が必要ではあるが、かならずしも3Dデータである必要性は大きくなく、主に線路直角方向の断面(2D)の位置情報で要件を満たすと考えられる。

さらに、現状の汎用技術では3D点群データからの3Dモデル化は容易ではなく、モデル化のコストが高い。またデータ容量が膨大となることも考慮する必要がある。

現時点においては、新幹線大規模改修工事での活用を目的としたMIMにおける3D点群データの活用(案)は、抽出された断面情報(2D)としての活用が、構築性や経済性また使用性からも適していると思われる。

3Dモデルについては、既存の図面情報からREVIT等を活用して3Dモデルを構築する。特に新幹線構造物は類

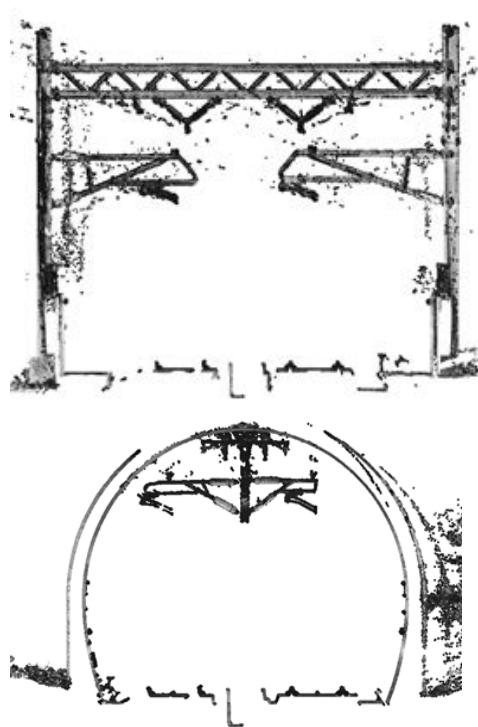


図-9 3D点群データからの断面図

似した形状が連続するため、在来線や道路橋の構造物に比べると3Dへのモデル化は比較的容易と思われる。3Dモデルには、中心部などの代表的な箇所位置情報(座標)や断面(2D)の位置情報を付与する。図-9に点群データから抽出された断面(2D)の一例を示す。

4. おわりに

本研究の測定結果からもMMSは、比較的容易に広範囲にわたって3D点群データを取得でき、また構造物や部材の位置情報を高精度に取得することが可能であった。位置情報を基盤とするGISプラットフォームを構築し、検査や工事などのあらゆる情報を位置座標に紐づけることで、維持管理における情報の共有化、可視化等の向上が期待される。

また、レーザ点群は、GISプラットフォームの基盤座標としての活用だけではなく、建築限界測定などの断面管理の代替データとしての期待もかかる、引き続き、次の維持管理世代に繋がる情報管理に取り組みたい。

参考文献

- 1) i-Construction(建設生産性革命)の推進に向けた積算基準の見直しについて、国土交通省、2016.3
- 2) 首都高技術(株)、ホームページ、技術紹介、インフラドクター
- 3) 点群座標データを用いた3次元モデルの生成に関する研究、土木情報利用技術論文集土木学会、Vol.19, pp.165-174, 2010