

# 列車前方画像によるVR空間作成と 軌道メンテナンスへの活用



**昆野 修平**  
Shuhei Konno  
軌道技術研究部  
軌道管理研究室  
研究員



**箕浦 慎太郎**  
Shintaro Minoura  
鉄道力学研究部  
軌道力学研究室  
副主任研究員



**清水 惇**  
Atsushi Shimizu  
軌道技術研究部  
軌道管理研究室  
副主任研究員

## はじめに

軌道のメンテナンス業務では、定期検査や工事前調査などの場面において、現地での測定や確認が必要となる作業が多くあります(図1)。このような作業に対して、作業員や熟練者が不足していることや、周囲が明るい昼間は列車走行により作業時間が確保できないこと、山中や橋りょう上などアクセス困難な場所があることなどの課題が存在します。

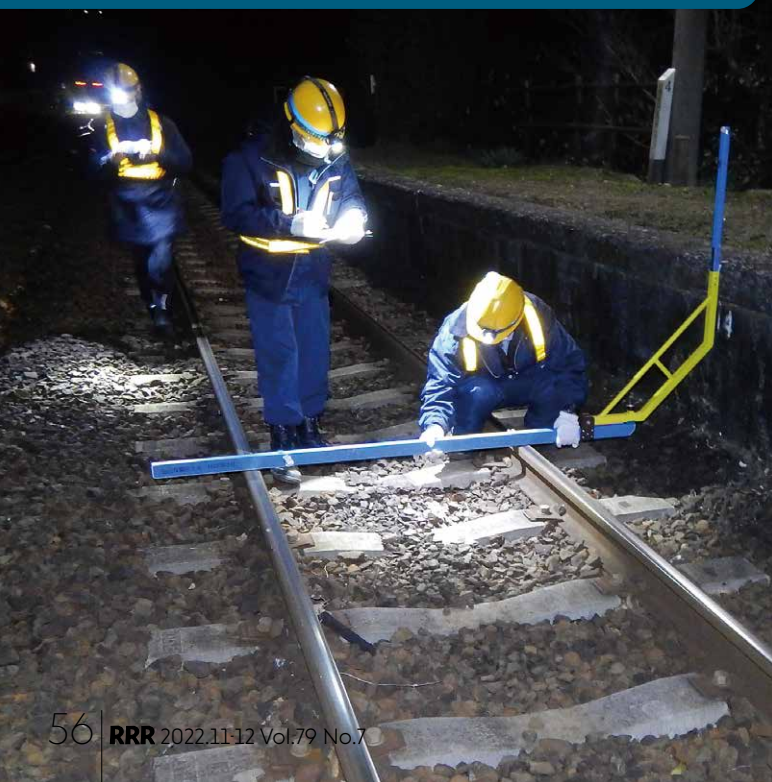
これらの課題に対して、営業列車などの前頭で撮影した画像を利用して線路周辺のVR空

間(以下、「線路VR空間」)を作成し、その線路VR空間内で測定や確認の作業を実施することで、作業効率や安全性を大幅に向上させるための技術開発を進めています。

## 線路周辺画像解析エンジンと 線路VR空間の作成

これまでに、軌道のメンテナンス業務のなかでも**列車巡視**における目視確認を支援するための線路周辺画像解析エンジンを開発してきました<sup>1)2)</sup>。この画像解析エンジンは、図2に示すような列車前頭に設置したステレオカメラの取得画像を利用して、走行位置を高精度に推定する「自己位置推定技術」や、自己位置推定の結果を利用して線路周辺の**3次元点群**を高精度に取得する「3次元計測技術」などの画像解析

図1 現地測定の様子(夜間のホーム離れ・高さ測定の場合)



### 列車巡視

営業車などの列車に添乗して、線路の全体的な保守状態や線路周辺の状態を確認するメンテナンス業務の1つです。全線を定められた頻度で行う必要があり、線路近傍支障物の有無や沿線環境の変化の目視による確認、列車動揺の体感による確認を行います。「列車巡回」などともいいます。

### 3次元点群

3次元座標(X,Y,Z)や色情報(RGB値など)をもつ点の集まりのことで、立体を表現するデジタルデータ形式の1つです。カメラ画像から取得する方法のほか、レーザースキャナーによって取得する方法があります。



機器ハウジング  
(地上サーバーへの  
伝送装置など)



図2 ステレオカメラを搭載した営業車



ステレオカメラ

技術により構成されます。これらの画像解析技術は、自動車の自動運転などのさまざまな産業の分野で活用されていますが、本エンジンは、走行する営業車の先頭で取得された画像を対象として、精度向上や処理時間短縮のためのさまざまな処理の工夫をしています<sup>3)</sup>。

本研究では、本エンジンの自己位置推定技術と3次元計測技術によって図3のように構築される線路VR空間を利用します。このような線路VR空間を用いることで、軌道のメンテナンス業務における現地での測定や確認を効率的に行うことができると考えられます。

図3 線路VR空間の構築例



## 線路VR空間の軌道検査への活用

### ホーム離れ・高さ測定

図4に、線路VR空間を用いた軌道検査として、ホーム離れ・高さを測定した例を示します。ホーム離れ・高さは、旅客乗降時のホーム・車両間の隙間や段差に直結するほか、ホーム離れが一定の値より小さくなるとホームと走行車両が接触してしまうため、つねに適正な値になる

ように管理する必要があります。

ここでは、線路VR空間内で、実際の検査で測定位置となるレールやホーム端の3次元点群を選択することで、ホーム離れ・高さを推定しました。図5に、任意の5つの測点での推定値と、従来の検査方法による実測値を比較した結果を示します。同図において、ホーム離れで最大30mm程度、ホーム高さで最大で40mm程度

の誤差があることがわかります。現在、レールやホーム端に着目したVR構築精度の向上に取り組んでいますが、現状の精度であっても要注意箇所のスクリーニングに活用できる可能性はあると考えています。

### 軌道中心間隔測定

上り列車と下り列車がそれぞれ別の線路を走る複線区間などでは、車両同士の接触を防ぐとともに乗客や作業員の安全を確保するため、隣り合う軌道の間隔を管理する必要があります。隣り合う軌道の中心線の間隔を“軌道中心間隔”とよび、これがつねに適正な値になるように管理しなければなりません。

本研究では、線路VR空間を用いて軌道中心間隔を計測するために、3次元点群の座標や色情報(RGB値)から、レール照面(レール頭頂部の車輪の転がりによる金属光沢のある面)の3次元座標を自動的に抽出する手法を開発しました(図6)。本手法を用いることで、レール照面の連続

図4 線路VR空間によるホーム離れ・高さ測定

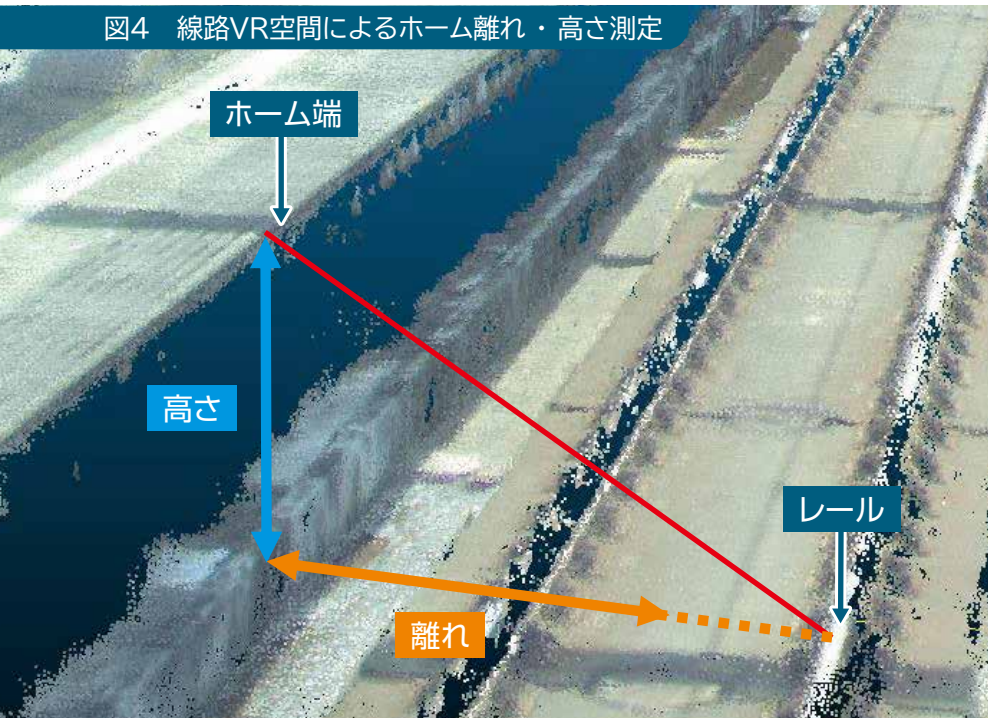
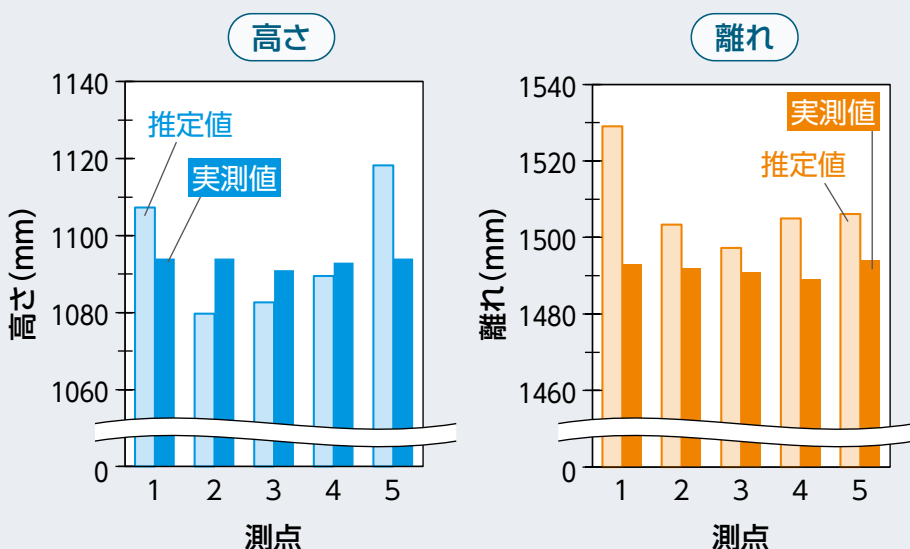


図5 ホーム離れ・高さ測定の精度



的な3次元座標を把握することが可能になります。

このレール照面の自動抽出法を、画像撮影した複線区間に用いることで軌道中心間隔を推定しました。図7に、この推定値と既存の検査装置で測定した実測値を比較した結果を示します。同図において、推定値は最大で20mm程度の誤差があったものの、実測値の傾向はおおむねとらえられていることが確認できます。これについても、レールのVR構築精度の向上をめざしていますが、現状の精度であっても要注意箇所のスクリーニングに活用できる可能性はあると考えています。

### 軌道変位測定

鉄道線路では、列車の繰り返し走行によって軌道が徐々に変形し、列車の走行安全性が低下したり、列車の動揺が増大して乗り心地が悪化したりします。そのため、軌道メンテナンスにおいては、軌道の設計値からの不整量、すなわち“軌道変位”を定期的に測定して、軌道変位が大きい箇所に対しては適切な補修作業をすみやかに実施する必要があります。

線路VR空間と先ほど紹介したレール照面の自動抽出法を用いて、軌道変位を推定した例を以下に示します。推定では、従来の軌道変位の測定方法にならって、図8に示すように10m弦<sup>せい</sup>正<sup>せい</sup>矢<sup>や</sup>法による高低変位（鉛直方向の変位）と通り変位（水平方向の変位）を求めました。図9に、

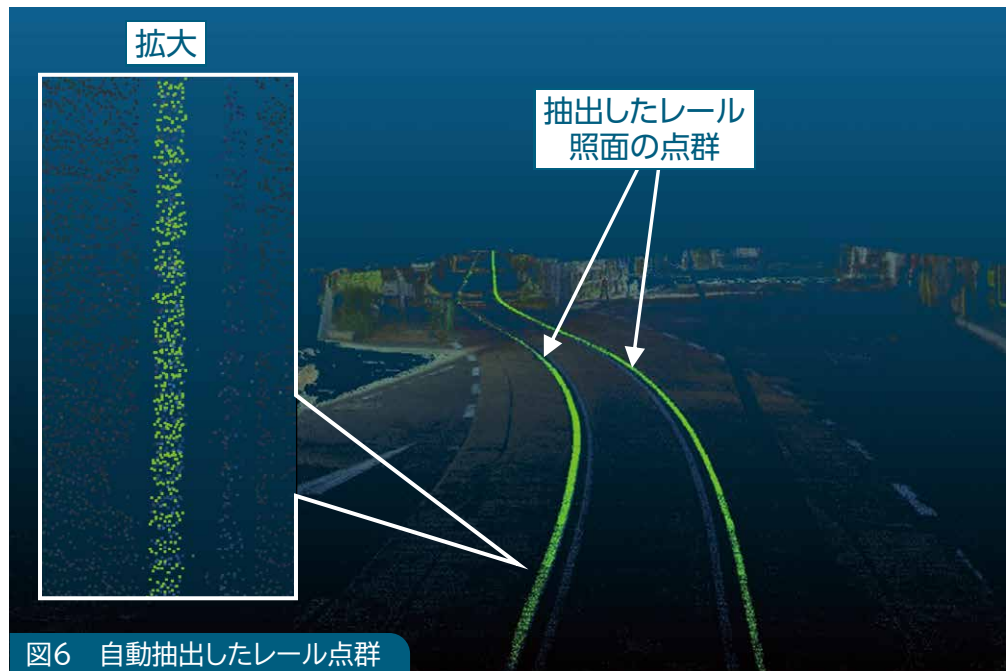


図6 自動抽出したレール点群

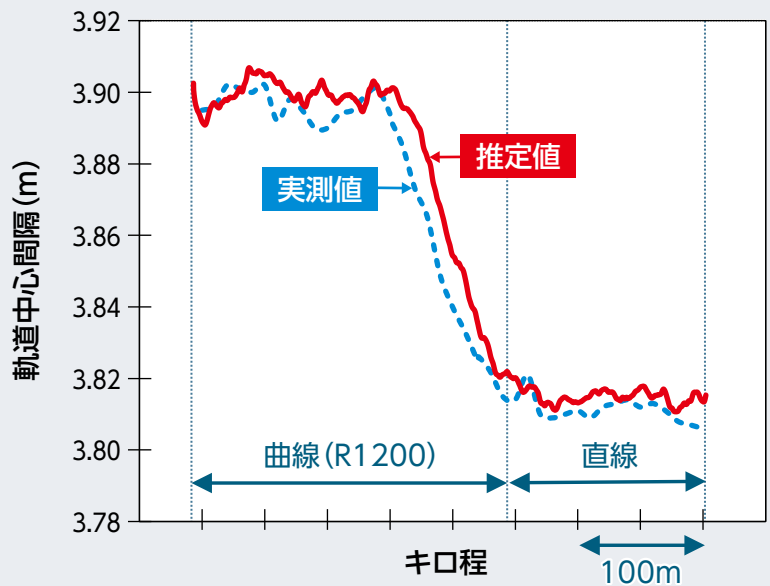


図7 軌道中心間隔測定の精度

線路VR空間における推定値と既存の検査装置で測定した実測値を比較した結果を示します。同図より、高低変位と通り変位の推定値は、最大で20mm程度の誤差が生じているものの実測値の傾向をおおむねとらえられていることがわかります。現状の精度では実用は難しいと考えていますが、レールのVR構築精度を向上させることで軌道変位測定の精度向上をめざしています。

## 線路VR空間による 軌道検査への活用可能性

以上、線路VR空間を用いた3つの軌道検査項目への活用例を紹介しました。今回用いた線路VR空間の構築技術は、前で述べたように、列車巡視の“目視確認”の効率化を目的に開発したものでした。しかし、軌道検査ではこのような目視確認と比べて検査対象物体の3次元形状をより高精度に把握する必要があるため、レールやホーム端などの軌道検査で重要な役割をもつ物体に対して、3次元形状をより高精度に復元するVR構築技術を開発中です。

一方で、現状の精度であっても、とくにホーム限界や軌道中心間隔測定の見直し項目に対しては、要注意箇所のスクリーニングに活用できる可能性があると考えています。具体例として、検査を計画している箇所に対して、あらかじめ列車前頭画像から要注意箇所のスクリーニングを行って、現地測定地点を絞り込むことで、現地作業を大幅に削減するといった活用方法が考えられます。

また、軌道検査の多くは数か月～数年の頻度で実施されるのに対して、営業車による列車前頭画像は運用次第で毎日の撮影も可能といった利点から、日々の検査値を把握することで、軌道のいわゆるCBM (Condition Based Maintenance) 施策への活用や工事発注の平準化といった効果が期待できます。

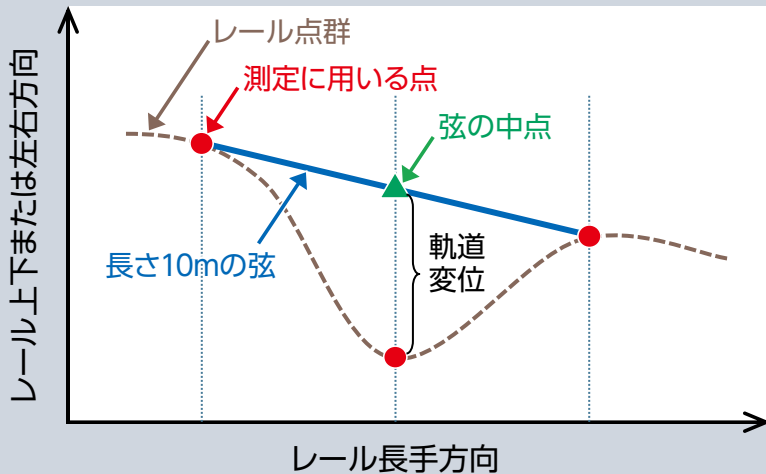


図8 10m弦正矢法による高低変位および通り変位

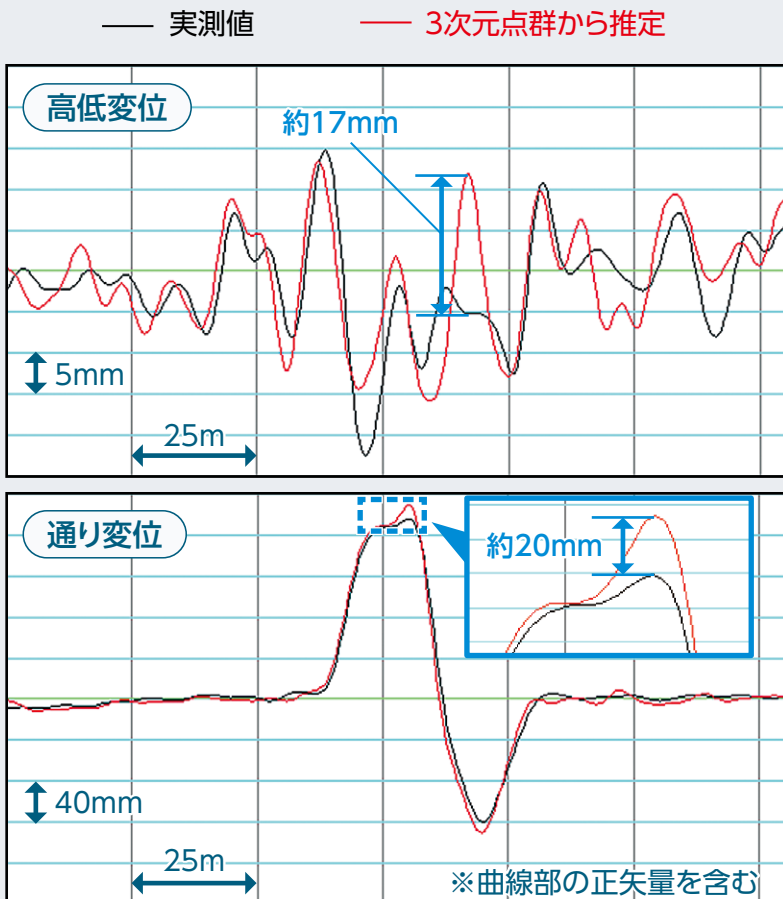


図9 軌道変位測定精度

— 高低変位  
— 通り変位

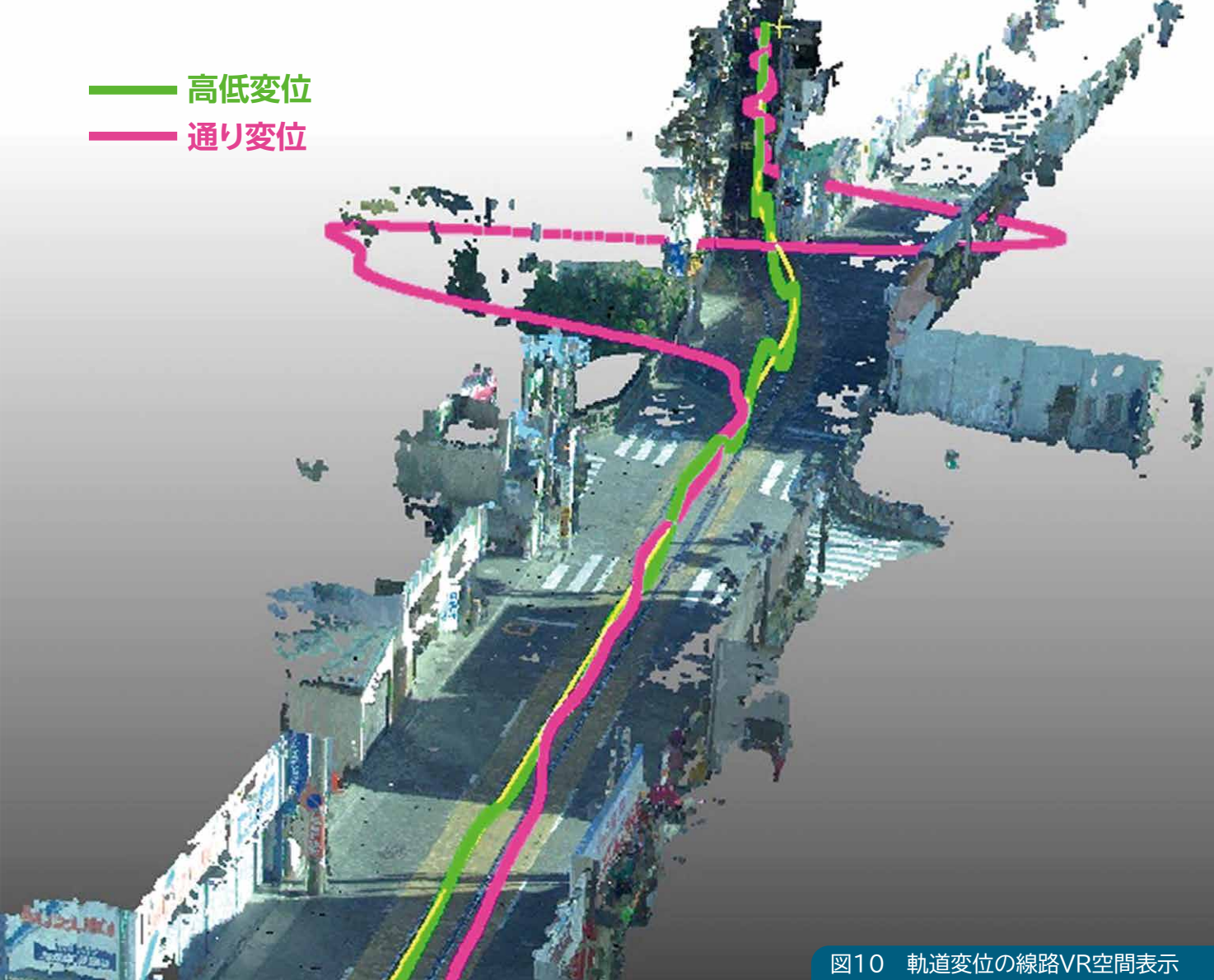


図10 軌道変位の線路VR空間表示

### 線路VR空間のさらなる活用方法

図10に、線路VR空間のさらなる活用方法として、線路VR空間上で測定した軌道変位の推定値を、元の線路VR空間に重ねて表示した例を示します。このような活用法により、従来、紙やモニターなどで確認していた軌道変位に対して、線路周辺の風景や構造物との位置関係を一目で把握可能となります。また、軌道変位の大きな箇所に対して、その発生要因や効果的な補修方法を、現地に向かうことなく容易に策定することが可能になると考えられます。

### おわりに

列車前頭で撮影した画像から線路VR空間を作成して、従来、現地作業を必要としている軌

道メンテナンス業務へと活用する方法を紹介しました。今後は、線路VR空間を用いた軌道の検査や工事作業計画支援のための要素技術の開発を引き続き進めていきます。

なお、本開発の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。**RRR**

### 文献

- 1) 三和雅史, 清水惇, 昆野修平, 川崎恭平, 猿木雄三: 画像解析技術で線路の巡視を省力化する, RRR, Vol.78, No.8, pp.8-11, 2021
- 2) 昆野修平, 川崎恭平, 三島健吾, 三和雅史, 清水惇, 中島昇: 列車巡視支援のための線路周辺画像解析エンジンの開発, 鉄道総研報告, Vol.36, No.3, pp.5-10, 2022
- 3) 昆野修平, 川崎恭平, 清水惇, 箕浦慎太郎: 列車巡視を省力化するための線路周辺画像解析エンジンの開発, JREA, Vol.65, No.3, pp.45846-45849, 2022