

新しい新幹線トンネル覆工表面撮影車の開発



滝澤 彰宏*¹



神谷 弘志*²



秋山 保行*³



久保木 利明*⁴

Development of a new Shinkansen tunnel lining surface photography vehicle

Akihiro TAKIZAWA*¹, Hiroshi KAMIYA*², Yasuyuki AKIYAMA*³, and Toshiaki KUBOKI*⁴

*¹ Assistant Chief 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

*⁴ Manager, Railway Operations Headquarters Facilities Department, East Japan Railway Company

Abstract

In the tunnel inspection, drawings showing deformations such as cracks are used. Previously, he created drawings from local inspection sketches. In this drawing, it was difficult to accurately control the position, shape, and temporal changes of cracks and the like. After the introduction of the tunnel lining surface photography vehicle in 2000, it became possible to create highly accurate drawings from the photographed images, and the accuracy and efficiency of inspections improved.

This time, we will report on the development and introduction of a shooting vehicle with added functions, which enables data acquisition with high accuracy and high speed in accordance with the replacement of the shooting vehicle for the Shinkansen.

●**Keywords:** Tunnel inspection, Tunnel lining surface photography, Cracks

*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 副主幹研究員

*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 首席研究員

*⁴鉄道事業本部 設備部 大規模改修・業務革新G 課長

1. はじめに

トンネル検査では、トンネル変状展開図（以下、展開図）と呼ばれるひび割れなどの変状を図化した資料を活用している。2000年のトンネル覆工表面撮影車（TuLIS）導入以前には、目視検査で作成したスケッチから展開図を作成していたため、ひび割れ等の位置や形状、時間的変化を正確に記録することが困難であった。撮影車導入後は、撮影画像から現地との整合が取れた精度の高い展開図作成が可能となり、検査の正確性や効率が向上した¹⁾。今回、新幹線用車両の老朽化に合わせて、従来車両より機能を追加、向上させたうえ、高精度かつ高速にデータ取得が可能な車両を開発・導入したため、本稿で報告する。

2. 従来車両の機能と開発目標の設定

機能の追加、向上の検討にあたり、従来車両での計測やトンネル覆工面の変状を記した変状展開図作成の仕様や性能確認を行ったうえ開発目標を設定した。

(1) 取得データの解像度

従来車両は出力したレーザーの反射光の強弱を光検出センサで取得していた。取得データの間隔は、線路方向1mm、周長方向（線路直角方向のトンネル断面）2mmである。画像から人の目で抽出するひび割れ幅は1mm以上を基本としていた。

(2) 計測速度

従来車両はトンネル周長方向へのレーザースキャナを毎分2万1千回で回転させながら最高8.5km/hで計測を行っていた。

(3) 従来車両の変状展開図作成

変状展開図を作成・更新する際には、画像から人の目で判断してひび割れ等の変状を作図している。そのため、「作業に時間を要する」「客観性に欠ける」等の課題があった。

(1)～(3)の従来車両の機能を踏まえ、新型車両では取得データの解像度を従来車両以上としながら計測速度を向上すること、および画像のトレースにより行っている変状展開図作成を補助する「ひび割れの自動抽出機能」を追加すること、を開発目標とした。

3. 導入した計測方法や機器等の概要

3・1 計測方法の選定

ひび割れの自動抽出は、一般的に2次元データ(画像)の解析から行う手法と覆工表面の3次元データ(凹凸)から行う手法の2つに大別される。検討時点(2015年)の計測技術、ひび割れ抽出精度を比較・検討した結果、光切断法による高精度な3次元データからひび割れを自動抽出する手法が、画像から抽出する手法よりもコンクリートを打設したときの模様などへの誤抽出が少なく、かつ正確な位置や変状を捉えることが可能であることから、光切断法を用いたセンサをベースに技術開発を進めることにした²⁾。

3・2 計測機器の概要

計測機器として選定したカメラユニット(図1)は、レーザー出力装置とエリアカメラ装置を組み合わせた同一ユニットで、小型で軽量の装置となっている。カメラユニット1セット(2台)で幅4mを、線路方向0.5mm、周長方向1mmの間隔でデータ取得する。光源がレーザー光であるため、昼夜を問わずデータ取得可能である。また、データ取得範囲を定めることで、データ伝送量を調整して、計測速度を向上させることができる。

3・3 取得データの概要

データは覆工表面に照射したレーザー光の変形(覆工表面の凹凸、ひび割れのくぼみ)をエリアカメラで取得し、3次元座標に変換する(図2)。3次元座標には輝度や反射強度といった情報も含まれており、これらの情報から光の明暗強度を捉えた反射輝度断面と断面の凹凸形状を捉えた深度形状断面を生成する。これら2種類の断面データを連続的に並べることで、反射輝度画像(2次元データ)と深度形状画像(3次元データ)を作成している。深度形状画像は断面形状の計測点の平均深度により平滑化した表面と、計測点の細かい凹凸の差を階調表現しており、平滑化された表面位置より近い点を黒色、遠い点を白色で表現している。

3・4 ひび割れの自動抽出機能

ひび割れの自動抽出は、深度形状断面や深度形状画像をもとに、ひび割れが持つ幅や深さの情報とその連続性により、形状や方向等の特性要素を統計処理して行われる(図3)。そのため、ひび割れ形状によってはレーザー光が入射されず、形状や連続性が途切れ、抽出できない場合もある。自動抽出が可能なひび割れの幅は、取得データ間隔が周長1mmであることから、おおむね1mm以上を対象としている。

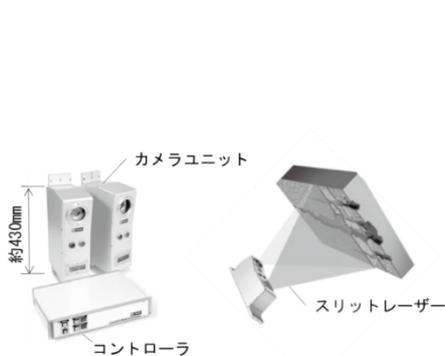


図1 カメラユニット等と計測イメージ

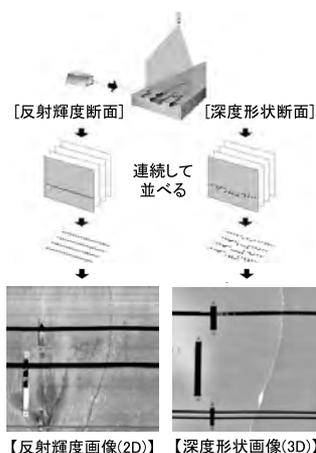


図2 取得データの概要

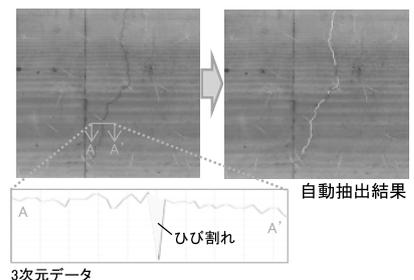


図3 ひび割れ自動抽出例

4. 車両へのカメラユニット配置設計

選定したカメラユニットの仕様や性能を踏まえて、JR東日本管内の新幹線トンネル断面等を考慮のうえ、カメラユニットの配置検討を行った。

4・1 考慮すべき条件

(1) トンネル断面

新幹線複線標準型、円形、箱型を計測対象の断面とし、線形から定まる曲線部のカント量やシフト量を考慮する。ただし、カメラユニットのレーザー出力やエリアカメラの性能を考慮し、大型箱型断面は除く。

(2) カメラユニットの配置箇所

計測時のカメラユニットの配置は、下げ束や架線、付帯設備等の離隔を考慮し新幹線車両限界内とする。

(3) 計測対象

計測範囲はトンネル覆工表面（アーチ部および側壁部）として、R.L-400mmから上部とする（図4）。

4・2 配置検討

カメラユニットの計測範囲やトンネル断面までの距離や角度、カメラユニット同士の間隔等、条件を組み合わせ検討した結果、トンネル半断面に対してカメラユニット6台（計12台）で構成し、格納および展開が可能な構造とした（図5）。

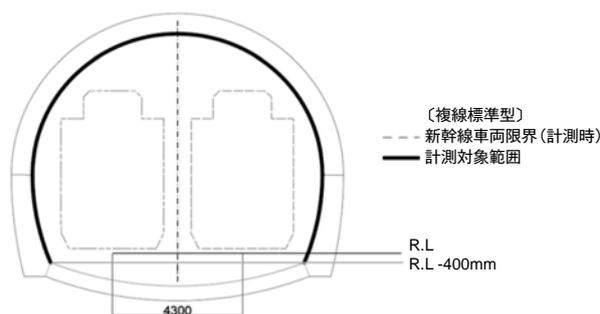


図4 複線標準型における計測対象

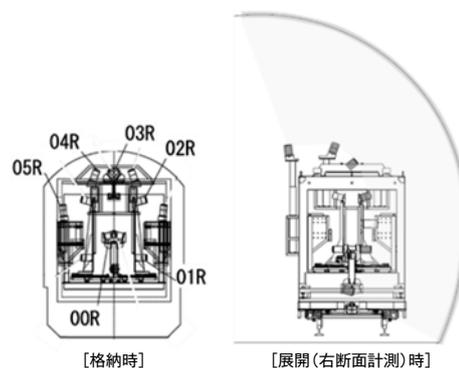


図5 カメラユニットの配置および格納・展開状態

5. 走行検査による検証

5・1 走行検査の位置づけ

前章までに検討した条件で車両を製作し、本線上において走行検査を行うことによる検証を実施した。この走行検査は走行性能の確認、前章で設計したカメラユニット配置によるトンネル全覆工断面でのデータ取得の確認、ひび割れの自動抽出率の確認を実施するため行った。なお、対象のひび割れ幅は1mm以上とした。

5・2 走行検査の対象トンネル選定の考え方

曲線部ではカントによって車両が傾き、直線部よりも覆工表面までの距離の変化が大きいため、曲線部の方が走行検査としての検討条件が厳しいと考えた。これより、断面形状の異なる3種類（複線標準型、円形型、箱型）に対して、直線部およびカントの大きい曲線部を選定して走行検査を実施することにした。

なお、整備新幹線区間ではカント量200mmの区間が存在するが、断面形状は複線標準型断面より50mm小さい。そのため、整備新幹線区間を除いたカントが最大（180mm）であるトンネルを複線標準型断面の対象として選定した。円形断面および箱型断面についても、曲線部は複線標準型断面と同様に整備新幹線区間を除いたカントが最大となる場所を選定した。それぞれの検証区間は、線路方向20mとした。

5・3 事前のひび割れ現地調査

トンネル覆工面におけるひび割れの自動抽出率の確認を行うため、高所作業車等を用いて事前のひび割れ調査を行った。現地を確認したひび割れは1mm未満も含め、近接目視で確認できる全てを対象とした(図6)。調査内容はひび割れの延長および幅で、ひび割れ幅は変化点で計測した。

5・4 走行検査結果

選定した対象トンネルにおいて計測を行った(図7)。各項目に対する確認結果を以下に示す。

(1) 走行性能の確認

走行時の振動状況やブレーキ性能(貫通ブレーキ)の確認を行った。計測時(15km/h~20km/h)および回送時(30km/h)のどちらにおいても顕著な振動は発生せず、ブレーキの動作も良好であった。

(2) 全覆工断面でのデータ取得

複線標準型断面および円形型断面はカメラユニットの設計配置で、従来計測速度以上(20km/h)にて全断面のデータを取得できた。箱型断面の直線部ではカメラユニットから天頂部の距離が財産図から事前把握していた想定よりも小さかった。センサ位置を調整した結果、当該区間で全覆工断面のデータが取得できた。

(3) ひび割れの自動抽出

全覆工断面データを用いたひび割れの自動抽出結果の確認を行った。複線標準型断面のトンネルについて、検証箇所それぞれで3回計測を実施した結果、1mm以上のひび割れの自動抽出率は80%程度となった。

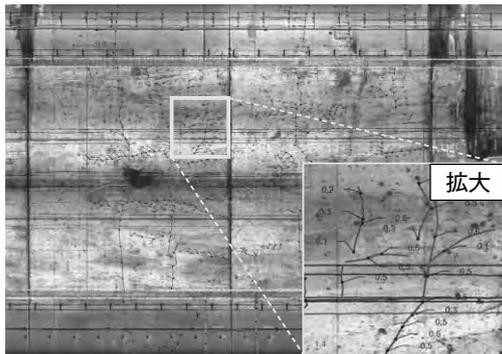


図6 ひび割れ調査の結果例



図7 完成車体による撮影状況

6. まとめ

今回開発した機能を搭載した新しい車両は2020年2月に導入され、計測を開始した。従来車両と比較して計測速度が2倍程度向上し、1晩当たりの計測延長が伸びた。これによりJR東日本管内全体の計測回数を低減することができ、計測作業の効率化を図ることができた。また、取得データの高精度化により、変状展開図の精度が向上したほか、ひび割れ自動抽出機能により、変状展開図の作成効率が向上した。

今後はひび割れ自動抽出の高精度化を進めることで、展開図作成のさらなる効率化を目指している。抽出されたひび割れをもとに、進行性等の把握につなげる研究開発を進めることが、検査の高度化および効率化へとつながると考える。

参考文献

- 1) 鈴木 延彰、トンネル覆工表面撮影車の導入、日本鉄道施設協会、pp.41-43、2000.8
- 2) 久保木 利明、栗林 健一、次世代トンネル覆工表面撮影車の導入に向けた現地試験の概要について、土木学会年次学術講演会、IV-116、2016.9