

## 新幹線用トンネル覆工表面検査システムの開発

西日本旅客鉄道(株) 鉄道本部 施設部 施設技術室 正会員 ○岡 義晃  
西日本高速道路(株) 技術本部 技術環境部 正会員 田上 涼平

### 1. はじめに

西日本旅客鉄道株式会社(以下、JR 西日本)のトンネル検査では、検査基準月に従って2年に1回の通常全般検査を実施している。本稿では、トンネル通常全般検査業務の効率化を目的として「新幹線用トンネル覆工表面検査システム(以下、次世代SATUZO)」を開発したので、その概要について報告する。

### 2. 次世代SATUZOの概要

#### (1) 開発経緯

JR 西日本では、通常全般検査における徒歩目視検査の効率化のため、2002年にトンネル覆工表面検査システム(以下、現SATUZO)を導入した。現SATUZOは覆工表面にレーザー光を照射し、反射するレーザーをセンサにて受光する。これにより、トンネル覆工表面を白黒濃淡の画像として取得する装置である。この画像を用いて、現地での徒歩目視を室内での画像目視に置き換えることで、トンネル検査の効率化および検査精度向上に寄与してきた(写真-1)。



写真-1 現SATUZO

一方、現SATUZO導入から15年が経過したことから、より効率的なトンネル覆工検査を行うため、西日本高速道路株式会社(以下、NEXCO 西日本)が保有する「トンネル覆工コンクリート点検システム(以下、eQ ドクターT)」技術による鉄道トンネルへの適用を検討した。NEXCO 西日本との協議の結果、共同での技術開発を実施することに合意し、2017年度に「共同開発協定」を締結、次世代SATUZOの開発に着手した。

#### (2) 運用イメージ

現SATUZOは、軌陸車両で専任の保守用車責任者、保守用車運転者を配置して撮影を実施してきた。これに対し次世代SATUZOは、線路設備を撮影する計測車両(以下、搭載車両)に搭載し、運転取扱い手続きを兼務することにより、システム操作者のみでの撮影業務が可能な運用体制とした(図-1)。

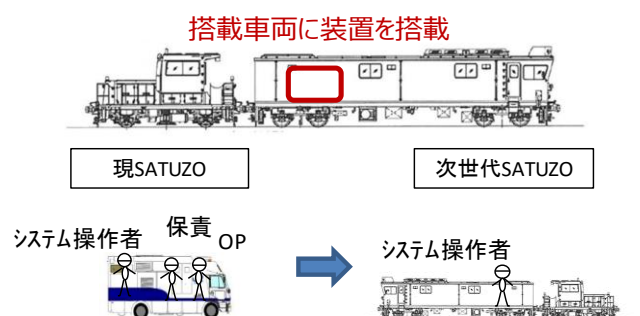


図-1 運用イメージ

#### (3) 次世代SATUZOの性能

現SATUZOと次世代SATUZOの装置性能比較を示す(表-1)。現SATUZOは5km/h程度の低速度撮影であるが、eQ ドクターTのラインセンサカメラを適用し搭載車両に搭載することで、50km/h程度で撮影が可能となる。

表-1 装置性能比較

項目	現SATUZO	次世代SATUZO
装置搭載	軌陸車	搭載車両(保守用車牽引)
データ取得方法	レーザー	カメラ
	照射したレーザー光の反射の濃淡の検出により変状等を画像化	ラインセンサカメラで帯画像を連続的に取得し画像化
測定速度	5 km/h程度	50 km/h程度
撮影方式	全断面	半断面
ひび割れ抽出	自動抽出(0.5mm以上)	自動抽出(0.5mm以上)
	手動による修正作業	手動による修正作業

### 3. 次世代SATUZOの開発

開発では新幹線トンネルにおいて、道路トンネルと異なる環境条件(断面形式や勾配など)への適用のほか、新たに試みる自動撮影化など、どのように実現

キーワード 鉄道トンネル、トンネル検査、トンネル点検、覆工画像撮影、SATUZO、eQ ドクターT

連絡先 〒530-8341 大阪市北区芝田2-4-24 西日本旅客鉄道(株)鉄道本部 施設部 TEL070-8690-8494

するかが課題であった。道路トンネルと新幹線トンネルの主な仕様の違いを示す（表-2）。

表-2 主な仕様の違い

主な開発条件	道路トンネル	新幹線トンネル
① トンネル断面	アーチ断面	アーチ断面・矩形断面
② 横断勾配(カント)	最大2%	最大14%
③ 照明方式	近赤外線(不可視)	LED照明(可視光)
④ 撮影速度	100 km/h	50 km/h
⑤ ひび割れ抽出精度	0.2mm以上	0.5mm以上
⑥ 撮影操作方法	手動制御	自動制御
⑦ 撮影環境	昼間・雨天中止	夜間・雨天決行

現 SATUZO は単独での運転取り扱いであるため、柔軟な撮影計画とできるが、次世代 SATUZO は、搭載車両での撮影を実施するため、撮影計画が限定される。そのため、確実な覆工撮影を実施するため、以下の点に注力し開発を行った。

### (1) 断面変化点への対応（開発条件①）

道路トンネルでの非常駐車帯などは、覆工撮影と別走行にて撮影を実施しているが、新幹線トンネルでは、1 走行にて撮影が可能なシステムを検討した。トンネル内でアーチ断面から矩形断面となる断面変化点では、壁面までの距離が急激に変化し、カメラのピントが合わない状態となる。そこで、撮影カメラに設置した距離計にてトンネル覆工までの距離を計測し、各カメラに独立したオートフォーカス制御とする構造とした。検証では10点の計測値を移動平均した値でフォーカス制御を行うことで、一部ピント不具合区間があるものの、不具合区間を最小限に抑えることができた。（写真-2）

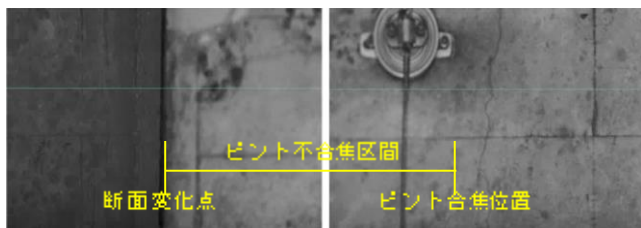


写真-2 断面変化点画像

### (2) 撮影操作の自動制御（開発条件④）

次世代 SATUZO では、ヒューマンエラーによる撮影漏れ防止や将来的な撮影無人化を見据え、撮影業務効率化のため、撮影自動制御化システムを構築した。自動撮影は、撮影対象トンネルの断面情報、フォーカス制御方法、撮影の開始・停止地点などを登録したトンネルデータベースから、キロ程情報によって自動制御を行うシステムを構築した。

### (3) 雨天時での撮影（開発条件⑦）

雨天時での撮影を可能とするため、撮影装置の防水加工を施すことにより、IPX4 相当の防水性能を満足するものとした。また、エアワイパーを設置し、レンズ部に付着した雨水を吹き飛ばし、撮影画像へ与える影響を排除した。これにより雨天撮影が可能となることに加え、トンネル内漏水による影響も排除することが出来た。対策効果は散水試験を実施し、仕様を満たす画像が撮影できることを確認している（写真-3）。



写真-3 雨天対策と散水試験状況

## 4. 次世代 SATUZO の開発成果

開発成果を元に製作した本番機（図-2）により、2021年8月から山陽新幹線でテスト撮影を実施した。



図-2 次世代 SATUZO 撮影システムの構成及び搭載状況

撮影された画像は、後処理システムにて画像合成、明るさ・ズレ補正を行い、0.5mm以上のひび割れを検出できることを確認した。現在では、2022年3月以降の撮影合成画像により、室内目視検査を実施する予定としている。また、今後の省力化に向けAIによる自動ひび割れ抽出機能も実装した。ただし、目地に沿ったひび割れや、覆工面の模様等をひび割れとして誤検知する箇所も見受けられるため、引き続きAI学習を行うことで自動検出精度の向上を図っていく。

## 5. まとめ

生産年齢人口減少による維持補修技術者不足は、喫緊の課題である。限られた人財での持続性可能な鉄道維持管理には、革新が進む検査技術をタイムリーに取り入れていくことが必要である。今後も引き続き検討を進め、安全安心な鉄道の構築に努める。