

新幹線用トンネル覆工表面検査システムの開発における構造検討

西日本高速道路(株) 技術本部 技術環境部 正会員 ○田上 涼平
 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
 NEXCO西日本イノベーションズ(株) 技術統括本部 研究開発部 正会員 築山 彰
 西日本高速道路エンジニアリング九州(株) 土木事業本部 土木技術第二部 正会員 池田 智昌

1. はじめに

西日本旅客鉄道(株) (以下, JR 西日本) と西日本高速道路(株) (以下, NEXCO 西日本) は, JR 西日本が管理する新幹線トンネルの検査業務の効率化を図るため, 「新幹線トンネル覆工表面検査システム (以下, 次世代 SATUZO)」の開発を共同で実施した. この共同開発は, 鉄道トンネルに NEXCO 西日本が道路トンネルで活用している「ラインセンサーカメラを用いた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)」の技術適用を行ったものであり, 本稿では, 本開発において実施した構造検討の内容について報告する.

2. 次世代 SATUZO の開発条件及び課題

eQ ドクターT は走行速度が 100 km/h と速く, 並走する一般車両への影響を考慮し不可視の近赤外照明を用いており, 照明強度の不足を補うため, 図-1 に示すとおり天端から肩部にかけての撮影を担当するユニットを上方に設置した構造としている.

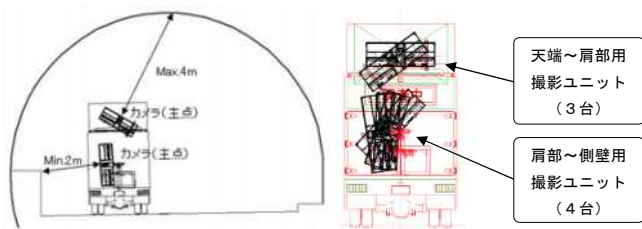


図-1 eQ ドクターTの覆工面までの距離 (左) ユニット配置 (右)

本共同開発の開始時に JR 西日本より示された次世代 SATUZO の主な要求性能を表-1 に示す.

表-1 次世代 SATUZO の主な要求性能

No.	項目	要求性能
1	検査対象	山陽・北陸新幹線のすべてのトンネル
2	外形寸法	測定用台車の指定スペースに搭載可能なサイズ
3	撮影範囲	半断面
4	ピン調整	自動調整
5	最高走行速度	最高速度50km/h
6	走行条件	横断勾配:最大14%、縦断勾配:最大3% 最小曲線半径:1500m
7	ひび割れ抽出	0.5mm以上を自動で抽出できる

要求性能に対し eQ ドクターT の技術の適用可否の検討を行った結果, 次世代 SATUZO については, 撮影速度が遅くなること, 並走車や対向車への配慮が不要の面から照明の条件が緩くなる一方で, 横断勾配がきつい, カメラと壁面までの距離が遠い(最大 6m), さらに断面変化点の撮影を連続的に行う必要がある点が条件的に厳しくなっている.

加えて, 現行撮影システムのサイズが過大であること, 覆工面とカメラの位置関係やトンネルの断面形状及び横断勾配が異なるため, 撮影システムの小型化・配置の省スペース化を図りつつ, 対象路線すべてのトンネルが撮影可能なカメラの配置, 機種, 照明方式の検討を行う必要があった.

また, 次世代 SATUZO については, 搭載車両に搭載される他の計測システムと同時に撮影を行う予定であり, 撮影計画が限定されることから故障が少ないシンプルな構造とする必要があった.

3. 次世代 SATUZO の開発

開発条件および課題を踏まえ, 次のとおり構造の検討を実施した.

(1) 照明方式及びカメラ機種の検討

照明方式については, 眩光防止の必要がないため, 光量の大きい可視光 LED 照明を採用した. 照明機種は複数の LED ライン照明において, 実物試験や照明シミュレーションを行い, 照度や照度分布を比較し選定した. また, 照明単体での照度分布実験にて照明間距離, 照明角度を変化させ, 照射距離ごとに最適な照度分布となる照明の配置を検討した.

カメラの選定について検討の結果, eQ ドクターT で採用している機種の後継機を採用することとし, 解像度チャートを用いた実験により, カメラの撮影精度確認, 撮影モードや撮影方法の検討を行った.

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 〒530-0003 大阪市北区堂島 1-6-20 西日本高速道路(株) 技術環境部 TEL 06-6344-7095

(2) 撮影ユニットの配置検討

次世代 SATUZO においては、前述のとおり可視光照明による必要十分な照明強度が期待できことから撮影ユニットの配置は、ラインセンサーカメラの理想的な配置であるカメラの主点を一致（1軸で配置）させた形とした。主点を一致させることにより、隣り合うカメラの撮影重複範囲が主点位置から重複しているため、図-2 に示すとおり様々な断面形状やカントに対して重複不足を回避することが可能となり、画像合成精度の向上、撮影システム全体の省スペース化を図ることができた。

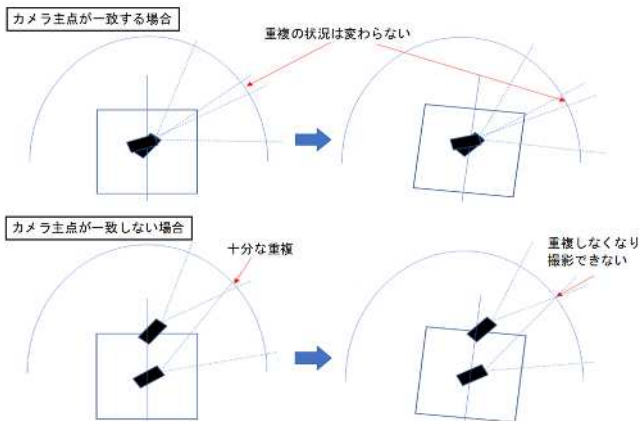


図-2 カメラ主点の配置によるカントの影響

(3) 各種トンネル形状対応検討

JR 西日本の図面からトンネルの断面形状を表-2 のとおり 36 パターンに分類し、図-3 に示すとおり各パターンにおいて画角が満足するか、要求性能の 0.5 mm 以上のひび割れを自動抽出できる画素精度を確保できるかを確認し、山陽・北陸新幹線トンネルで対応できるカメラの配置パターンを決定した。

表-2 検査対象トンネルの断面分類

種別	山陽新幹線		北陸新幹線	
	カント無	カント有	カント無	カント有
アーチ断面	4パターン	3パターン	6パターン	5パターン
矩形断面	2パターン	1パターン	5パターン	---
鋼製スノーシェルター	---	---	5パターン	5パターン

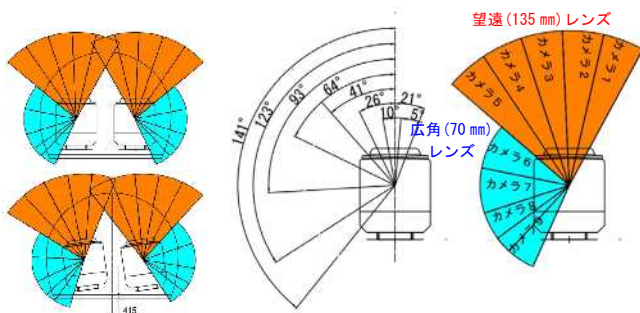


図-3 画角・解像度確認結果 (左) カメラ配置パターン (右)

(4) 撮影ユニット及び支持架台構造検討

撮影ユニット及び支持架台構造は、カメラ、照明等を専用の構造部品に組み込んで構築した撮影ユニット（図-4）を円筒架台に嵌合して固定し、円筒架台を支柱にて一括して支持する構造とした。（図-5）



図-4 撮影ユニットの構造

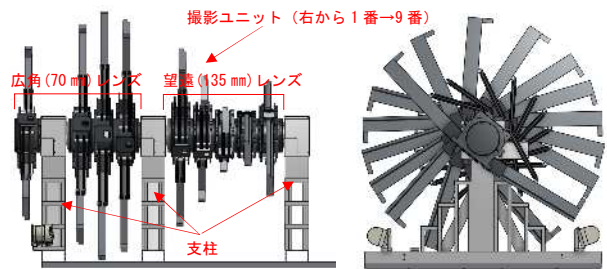


図-5 撮影システム全体図

撮影に使用するレンズは天端用の望遠レンズ（1～5 番カメラ）と側壁用の広角レンズ（6～9 番カメラ）を用いるため、円筒はそれぞれのレンズ郡ごとに回転できるように分離し、さらに路盤境界を撮影する 9 番カメラにおいては、搭載車両床面がカメラの視界と干渉するため、車両後方へ張り出す構造とした。この構造の採用により、全カメラの主点が一致し、画像合成の品質向上、格納状態から上下線毎の撮影姿勢セットに要する作業時間の短縮・簡素化が図られた。

4. おわりに

2017 年度より開発に着手し、諸種検討を重ね、2021 年 8 月から山陽新幹線で本番機によるテスト撮影を実施した（図-6）。テスト撮

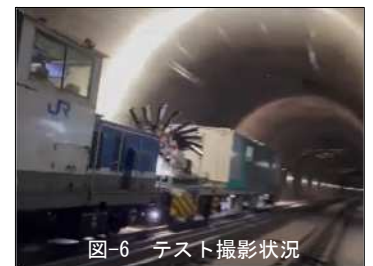


図-6 テスト撮影状況

影で得られた覆工画像を別途構築した後処理システムを用いて画像の合成及び補正、AI を用いたひび割れ自動抽出を行い、要求性能を満足することを確認した。

本共同開発では、鉄道・道路の垣根を越えてトンネル点検技術の向上を図ったものであり、今後も双方が保有する技術の相互交流によって、広く社会インフラの維持管理に活用するための技術開発に取り組んでいきたい。