

深度画像を用いたトンネル付帯構造物の劣化箇所抽出

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○滝澤 彰宏
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 齊藤 岳季
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 神谷 弘志

1 背景

鉄道土木構造物の維持管理の課題は、①構造物の経年による劣化の進展、②生産年齢人口減に伴う社員の減少などがあり、検査精度の向上や効率的な検査手法の導入が求められている。

トンネル管理においては、JR 東日本ではトンネル覆工表面の変状把握のため、新幹線トンネル覆工表面検査車（通称「次世代トーリス」）の導入を計画している（図1）。

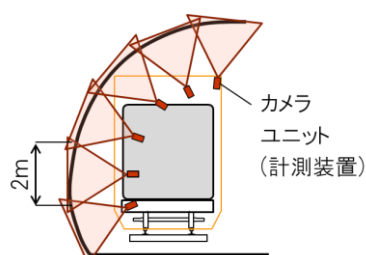


図1 新幹線トンネル計測イメージ

本検測車は「High Speed 3D Camera」と呼ばれる移動体計測装置を用いて光切断法の原理で覆工表面の座標情報を計測し、またレーザーの反射輝度から覆工表面画像を取得することが可能である（図2）。

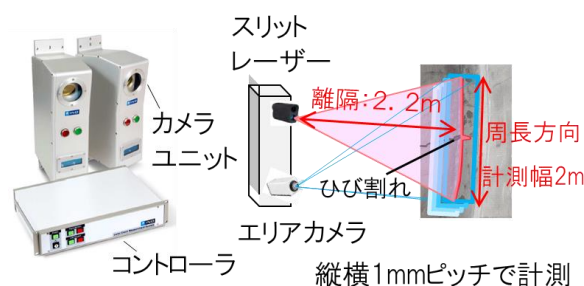


図2 計測装置（外観と計測時の概略図）

現行トーリスで取得できるのは画像情報のみであったが、次世代トーリスでは座標情報も同時に取得することができる。

2 課題

列車が高速走行する新幹線トンネル内では導水とい等の付帯構造物の管理も重要である。特に付帯構造物を固定する取付ボルトが劣化により脱落した場合は、付帯構造物が垂下して列車運行に影響を与える恐れがある。

しかし、現地および写真での確認は対象数量が多く、多大な人的労力が必要であった。また画像解析による判定は覆工面の汚れや画像の鮮明度の影響が大きく困難であった。

3 研究開発の目的と方針

本研究開発はトンネル付帯構造物の劣化箇所を効率的な手法で抽出することを目的とした。その目的のために開発方針を下記のように定めた。

3.1 抽出対象の設定

付帯構造物を固定する取付ボルトが脱落した箇所（ボルト抜け孔箇所）を抽出対象とした。

3.2 深度画像の活用

計測作業の効率化と座標情報の活用を考え、次世代トーリスにて取得できる深度画像を活用することにした。深度画像とは距離（奥行き）を表した画像で濃淡で示される。なお一般的な写真画像は輝度（光源または照らされた面の明るさの度合）を記録したもので輝度画像という。

計測装置に近い側を黒色、計測装置から遠い側を白色で表わすと取付ボルトが抜けた箇所はその周辺よりも計測器から遠くなる（奥行きがある）ため、周辺よりも白色で表わされる（図3）。

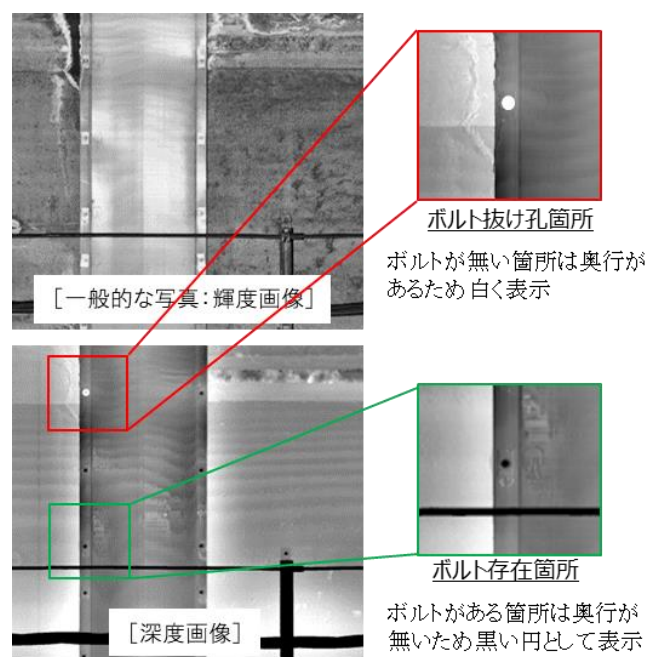


図3 深度画像（イメージ）と輝度画像

キーワード 維持管理, トンネル, 覆工表面, 付帯構造物, 深度画像, 画像解析

連絡先 〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町二丁目 479 番地 JR 東日本研究開発センター TEL 048-651-2552

3.3 テンプレートマッチング手法の採用

将来的な汎用性を考え、比較的簡素な画像解析手法であるテンプレートマッチング手法を採用した（図4）。

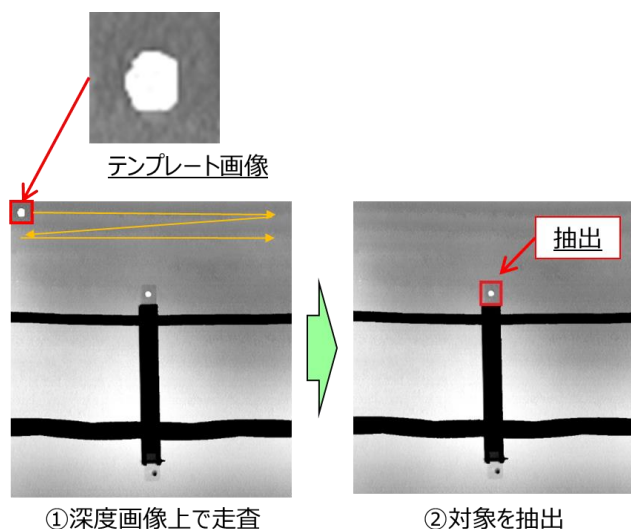


図4 テンプレートマッチング手法（概要図）

4 開発内容と検証

付帯構造物の取付ボルトの抜け孔を、深度画像を画像解析（テンプレートマッチング手法）して自動抽出するソフトウェアを作成し、以下の精度向上に取り組んだ。

4.1 画像前処理（3値化）

深度画像は白黒の濃淡で表わされるが、対象が抽出しやすいように白色、黒色、灰色の3色にすることで抽出率の向上をはかった（図5）。

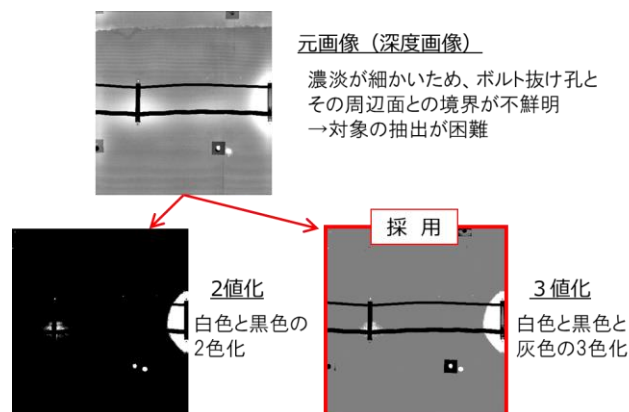


図5 3値化説明図

4.2 類似度の選定

実際のボルトの抜け孔は円形に近い楕円形であり、長径方向や大きさに違いがある。テンプレート（ひな形）との類似度（1に近いほど真円に近い）の選定が正抽出率と誤抽出率に関わっており、運用上重要である。今回の検討では正抽出率を確保しつつ、誤抽出が少なくなるように類似度 0.78 を採用した（正抽出率 90%，誤抽出率 0%）（表1、図6）。

表1 正誤抽出率一覧表

類似度	正抽出数	誤抽出数	正抽出率	誤抽出率
0.65	38	9	93%	19%
0.70	37	3	90%	8%
0.75	37	0	90%	0%
0.78	37	0	90%	0%
0.80	36	0	88%	0%
0.85	32	0	78%	0%
0.90	20	0	49%	0%

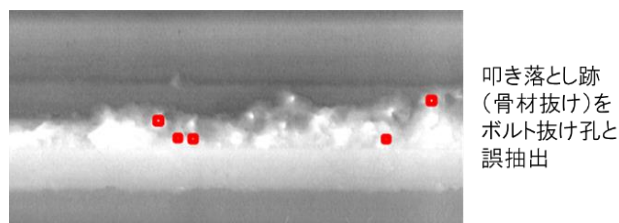


図6 誤抽出箇所例

4.3 解析速度と再現性

抽出する取付ボルトの口径種類数を 11 種類として、約 3,300m² を一般的な性能のノート PC（i5-7200U@2.50GHzメモリ 8GB）で解析したところ、約 36 分で解析が完了した（表2）。これは新幹線トンネル全断面を約 230（m/h）で解析する速度である。今回は試験的に 11 種類の口径で実施したが利用頻度の高い 2 種類程度の口径に種類を絞り、高性能な PC を利用することで解析速度は向上する。

同一箇所を同様に計測した U トンネルのデータ 1 とデータ 2 で抽出数を比較したところ約 15%の差異があった。これは画像（1 画像：2m×2m）境界部に抽出対象が位置した場合や画像色調の違いと推測される。

表2 抽出数と解析時間

対象	画像数	抽出数	解析時間	備考
Uトンネル（データ1）	120	96	6'40"	同一データ
Uトンネル（データ1）		96	6'30"	
Uトンネル（データ2）	120	80	6'11"	データ1と同一箇所
Uトンネル（データ3）	120	56	5'39"	
Nトンネル（データ4）	236	19	8'52"	
Nトンネル（データ5）	228	24	8'45"	
合計	824	275	36'07"	

5 まとめ

次世代トーリスの計測から得られる深度画像を利用したトンネル付帯構造物の劣化箇所（取付ボルトの抜け孔）を自動抽出するソフトウェアを開発した。

今後は次世代トーリスの導入によって得られる多くの計測データで解析の検証を行い、他の変状についても抽出可能か検討する予定である。