

新幹線トンネル覆工表面ひび割れの自動抽出

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 秋山 保行
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 神谷 弘志
 富士フイルム株式会社 佐藤 康平

1. はじめに

JR東日本では2000年から、トンネル覆工表面撮影車によってトンネルの覆工表面撮影を実施している。2020年に新幹線用の新しい車両を導入し、旧車両に比べて解像度の高い画像が取得できるようになった²⁾。今回、この画像から機械学習を利用したひび割れ自動抽出を行ったので、その検証結果を報告する。

2. 自動抽出した画像

JR東日本管内の新幹線トンネル（標準型）から、線区や地域、施工方法、変状有無に偏りが無いように61トンネル（線路延長約22km）から検証用26画像を選定した。1画像は線路方向10m、線路直角方向周長21mの新幹線複線断面（覆工部）である（2.1億画素枚）。

3. ひび割れ自動抽出精度の評価方法

ひび割れ自動抽出精度の評価方法は各論文等でも様々であり、定まった基準が無い。本研究では、「画像から人の目による抽出（以下、「人的抽出」と記す）」との比較を行うため、下記の条件で定性評価（見た目）と定量評価（抽出率）を行った。

- ・画像から人的抽出したひび割れを正解とする
- ・抽出率は人的抽出されたひび割れ延長を基準として、正誤抽出率を以下の定義で算出する

$$\text{正抽出率 (\%)} = \frac{\text{正しく自動抽出したひび割れ延長}}{\text{正解ひび割れ (人的抽出) 延長}} \times 100$$

$$\text{誤抽出率 (\%)} = \frac{\text{誤って自動抽出したひび割れ延長}}{\text{正解ひび割れ (人的抽出) 延長}} \times 100$$

抽出率算出作業は①人的抽出と自動抽出を重ねあわせ、②自動抽出の正誤を判定する手順である（図-1）。

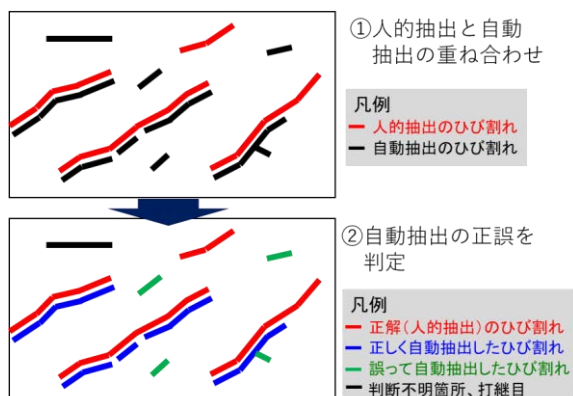


図-1 抽出率算出模式図

4. 自動抽出の評価

4-1 定性評価（見た目）

- ・覆工表面の状況（漏水、打設模様、汚れ等）の自動抽出への影響は少なく、人の抽出と同程度（画像から目視できないひび割れは除く）（図-2, 3）
- ・覆工場所（クラウン、アーチ部、側壁等）による自動抽出精度の違いは無い。
- ・自動抽出は定性的には、人と同等以上の精度（主要なひび割れは、見逃さずに抽出）

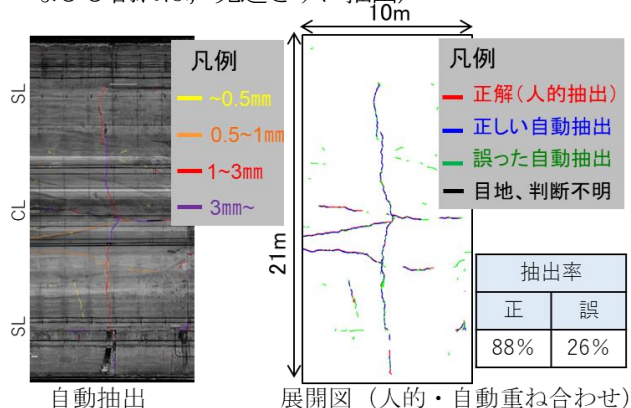


図-2 抽出結果例（一般的な覆工面）

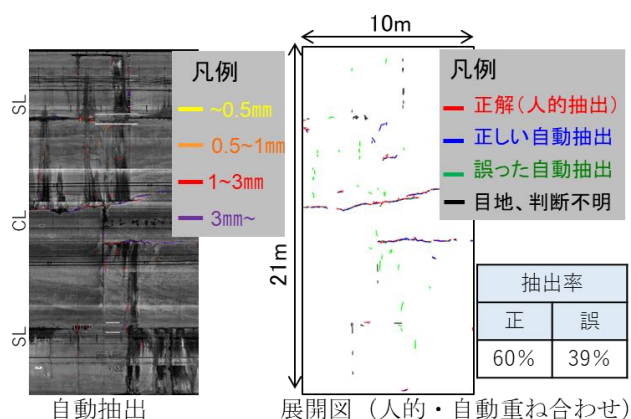


図-3 抽出結果例（漏水が多い覆工面）

4-2 定量評価（抽出率）

- ・平均正抽出率は74%、誤抽出率は26%（図-4）
- ・正抽出率を下げる主な要因は、ひび割れ線上の漏水等による欠損（図-5）
- ・誤抽出を上げる主な要因は、打設跡等を極短いひび割れとして抽出

キーワード 画像解析、機械学習、ひび割れ、トンネル、鉄道構造物、維持管理

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

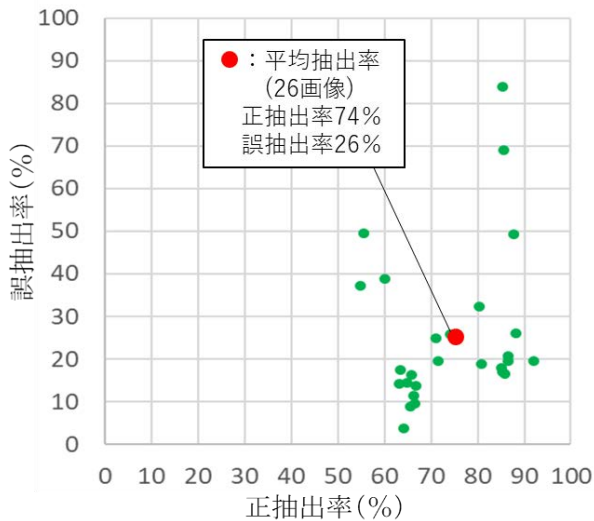


図-4 正誤抽出率

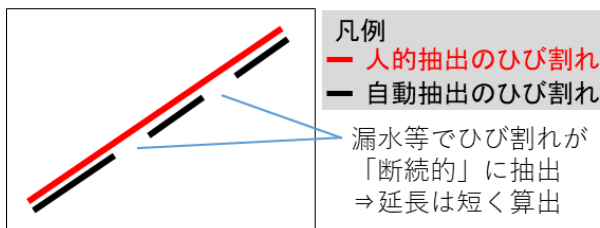


図-5 正抽出率が低い箇所の抽出イメージ

4.3 自動抽出評価のまとめ

人的抽出（今回の正解）は、ひび割れを長く1本と抽出する傾向がある。例えば、人は漏水等による部分的な欠損箇所も推定で接続した線として描写する。また、延長が短いひび割れは描写しない。それに対して、自動抽出は設定した値（今回は延長10cm未満のひび割れは非描写、延長10cm以内の欠損は接続して描写）で機械的に抽出する。その差が正誤抽出率の「数値」の差としてあらわされる。しかし、定性的には主要なひび割れは確実に自動抽出しており、誤抽出も少なく、極短い線分のため、現地検査で使用するには問題無い程度である。

5. 画像から捕捉すべきひび割れ

画像から捕捉すべきひび割れは、維持管理標準³⁾および社内トンネル検査マニュアルを踏まえ、通常全般検査（目視）段階にて確認するひび割れとした。全般検査は「構造の安定性等」の健全度判定と、「はく落に対する安全性」の健全度判定に分かれる。「構造の安定性等」が健全度Aの場合、個別検査を実施する。「はく落に対する安全性」が健全度 α の場合、措置（補修補強）が必要となる。今回、各ひび割れ種別を大きく4分類し、抽出可否を検証した。（表-1）。

5-1 分類① 非開口ひび割れ（圧ぎ等）

JR東日本管内には新幹線の圧ぎ等の事例が無かったため、他の画像を準用して自動抽出を行った。結果はこれまで開口（引張）ひび割れにて機械学習を実施し

てきたため、開口が無いひび割れ（圧ぎ、せん断ひび割れ）は抽出できなかった。

5-2 分類② 開口ひび割れ（幅広）

JR東日本のトンネル検査マニュアルでは、顕著な開口ひび割れ幅3mm以上と定義している。これらは開口ひび割れのため、抽出することができた。

5-3 分類③ 開口ひび割れ（複数のひび割れ形状）

一般的な個々のひび割れは開口（引張）ひび割れのため、抽出することができる。

5-4 分類④ 開口ひび割れ（ひび割れの増加）

分類②、③と同様に、一般的な個々のひび割れは開口（引張）ひび割れのため、抽出することができる。

5-5 考察

非開口ひび割れは自動抽出できなかったが、圧ぎ等が発生する変状箇所は、先行して開口（引張）ひび割れが多数発生する⁴⁾。複数のひび割れ形状や、新規のひび割れ発生箇所は、自動抽出後のひび割れデータ分析により、要注意箇所として選定が可能と考えている。

表-1 自動抽出するひび割れ種別検討表

[新幹線山岳トンネル（無筋コンクリート覆工）]

判定種別	健全度	具体的なひび割れ例	分類	自動抽出
構造の安定性等の健全度判定	A	圧ぎ	①非開口ひび割れ	不可
		せん断ひび割れ	①非開口ひび割れ	不可
		顕著な開口ひび割れ（幅3mm以上）	②開口ひび割れ（幅広）	可
		放射状のひび割れ	③開口ひび割れ（複数のひび割れ形状）	可
		前回検査時になかったひび割れが多く発生	④開口ひび割れ（ひび割れの増加）	可
目視におけるはく落に対する健全度判定	α	覆工面に対して鋭角なひび割れ（圧ぎ・せん断）	①非開口ひび割れ	不可
		複数のひび割れ形状 放射状、閉合、交差・平行 網目状・亀甲状	③開口ひび割れ（複数のひび割れ形状）	可

※圧ぎ、せん断ひび割れは開口していないため、「非開口ひび割れ」と分類した。

6. まとめ

自動抽出精度は、人のひび割れ抽出・描写作業の補助として十分有用なレベルである。今後は、自動抽出されたひび割れデータを利用して、検査業務への活用を検討していく予定である。

参考文献

- 鈴木延彰：トンネル覆工表面撮影車の導入，日本鉄道施設協会誌，pp.41-43，2000.8
- 森井広樹・滝澤彰宏・菅原和孝：計測機能を向上した新しい新幹線用トンネル覆工表面撮影車，トンネルと地下，pp.69-76，2020.11.
- 鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）トンネル，2007.2.
- 野城一栄・嶋本敬介・小島芳之・朝倉俊弘：時間依存型地山劣化モデルによるトンネル変状予測法の開発，鉄道総研報告，Vol22，No.10，2008.10