

## ひび割れに着目した既設山岳トンネルの健全度の定量評価の試行

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○小林 徹也  
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 水野光一郎  
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 野城 一栄

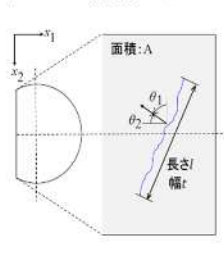
## 1. はじめに

JR 東日本では、新幹線トンネル延長約 440km, 在来線トンネル延長約 565km, あわせて約 1200 坑を供用している。供用中のトンネルは大部分が山岳トンネルであり、覆工の構造は無筋コンクリート造が多い。各鉄道事業者では、供用するトンネルに対して 2 年に 1 回の周期で検査(通常全般検査)を実施することが法令で定められている。検査では、トンネルの技術者が目視や打音で変状の状態を確認し、その結果から、当該トンネルの構造的な健全性を判定する。しかしながら、検査する技術者(以下、検査員という。)の経験や技術レベルの違いにより健全度判定の精度にばらつきが生じることが懸念される。

筆者らは、鉄道トンネルの健全度判定の精度を平準化することを目的として、トンネル覆工のひび割れを数値化して定量的に評価する手法の導入を検討している。具体的には、岩盤工学等で用いられる”クラックテンソル”<sup>1)</sup>を参考とした TCI (Tunnel-lining Crack Index)<sup>2)</sup>を用いるものであり、覆工コンクリートのひび割れ発生状態を図化した図面(展開図)から TCI 値を算出し、スパン(施工目地間)毎に定量化するものである。本稿では、TCI の有効性について検証を行うため、塑性圧の影響を受けたトンネル(以下、A トンネルという)、路盤隆起が確認されたトンネル(以下、B トンネルという)の 2 トンネルを対象として、算出した TCI 値と検査において判定された健全度を照合した結果を報告する。

## 2. TCI の概要

TCI は、近年、トンネルのひび割れを評価する定量的な指標として各事業者で活用の試みが行われている(例えば<sup>3)</sup>)。理論式(図-1)を基に線路方向である縦断方向のひび割れに対する成分 F11, 線路直角方向である横断方向のひび割れに対する成分 F22 の数値を合計した F0 が評価値として示される。ひび割れの密度、ひび割れ幅、方向性から重み付けによる係数を計上して計算される。



$$F_{11} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n t \times l \cos \theta_1 \cos \theta_1 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$F_{22} = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n t \times l \cos \theta_2 \cos \theta_2 \quad \dots \dots \dots (2)$$

ここで、  
 A: TCIを計算する範囲の覆工コンクリートの面積 (m<sup>2</sup>)  
 n: ひび割れの本数 (本)  
 l: ひび割れの長さ (m)  
 t: ひび割れの幅 (m)  
 $\theta_1$ : ひび割れの法線ベクトルが  $x_1$  軸となす角度  
 $\theta_2$ : ひび割れの法線ベクトルが  $x_2$  軸となす角度  
 $F_{11}$ : TCIの縦断方向成分  
 $F_{22}$ : TCIの横断方向成分  
 $F_0 = F_{11} + F_{22}$ : TCI

図-1 TCI 理論式<sup>2)</sup>

## 3. TCI 値と検査結果の照合手順

トンネル検査において TCI を活用するためには、検査員が健全性に影響があると評価されたひび割れを TCI により確実に捉えられることが重要である。これを検証するため、トンネルの展開図から算出した TCI 値と実際にトンネル検査において判定したひび割れ(以下、検査結果という。)を照合することで、TCI の妥当性を確認することを試みた。

なお、検査員はトンネル検査の経験年数が長い専門技術者<sup>4)</sup>である。またトンネルの健全性に影響のあるひび割れとは、外力に起因するひび割れや何らかの原因により進行性の疑いがあるひび割れが対象である。

照合は以下の手順で行った。

(1) トンネルの展開図は、検査記録を基に展開図作成システム(図-2)を活用して書きおこしをおこなった。

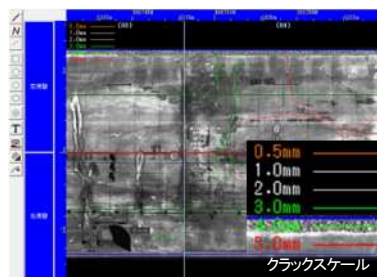


図-2 展開図作成システム

(2) 使用した展開図は、ひび割れ幅の情報を有している。ひび割れ幅は、トンネル検査において実測されたデータを入力したものである。ひび割れ幅の検査記録が無いものは、展開図作成システム内に搭載されたクラックスケールを用いて画像から新たに読み取った。

(3) 展開図のひび割れを基に、スパン毎に TCI 値を算出した。TCI 値にひび割れ幅を考慮することの影響を評価するため、それぞれひび割れ幅を考慮した TCI 値とひび割れ幅を考慮しない TCI 値を算出した。

(4) TCI 値には基準値を設け、これを超える場合には「変状あり」とした。検査結果では、当該スパンの中にトンネル健全性に影響がある変状(ひび割れ)が 1 箇所以上ある場合には「変状あり」とした。それぞれの結果から「変状あり」としたスパンを照合し、適切に評価されたかを検証した。照合結果は、定量的に評価するため、以下の①～③に分類した。

## ① 正答

1 スパンの中に健全性に影響があると評価されたひび割れがあり、TCI 値も基準値以上の場合。

キーワード 山岳トンネル, TCI, クラックテンソル, 定量評価

連絡先 〒163-0231 東京都新宿区西新宿二丁目 6 番 1 号 新宿住友ビル 31 階 TEL03-6851-0086

②空振り

1 スパンあたりの中で、健全性に影響するひび割れは無いが、TCI 値が基準値以上の場合。

③見逃し

1 スパンあたりの中で、健全性に影響があると評価されたひび割れはあるが、TCI 値が基準値以下の場合。

4. 結果

TCI によるトンネルの健全性評価の精度は、①正答の比率が高く、かつ③見逃しの比率が低い場合に精度が高いと言える。表-1 に評価結果を示す。

(1)A, B トンネルのどちらもひび割れ幅を考慮したものは、ひび割れ幅を考慮しない結果に対して①正答率は高く、③見逃し率は低い結果となった。

(2)スパン毎の評価では、TCI 値にひび割れ幅を考慮することで精度は向上すること分かった。一方で、TCI 値にひび割れ幅を考慮しない場合には、TCI 値に差が生じにくく、見逃し率が高くなる傾向であった(図-4)。

この結果から、正答率を向上させるためには、展開図からの作図段階でひび割れ幅の情報を持たせることが必要であると考えられる。

表-1 TCI 値結果一覧

対象トンネル	条件	A/ア中数 (箇所)	I/イ中数 (箇所)	ウ/見逃し数 (箇所)	E/ア/イ/ウ以外 (箇所)	A/(A+ウ) ①正答率	I/(A+I+ウ+E) ②空振り率	U/(A+ウ) ③見逃し率
Aトンネル (塑性圧)	ひび割れ幅考慮なし	6	13	13	279	32%		68%
	ひび割れ幅考慮あり	18	49	3	241	88%	16%	14%
Bトンネル (路盤隆起)	ひび割れ幅考慮なし	2	1	30	300	6%	0.3%	94%
	ひび割れ幅考慮あり	13	29	19	272	41%	9%	59%

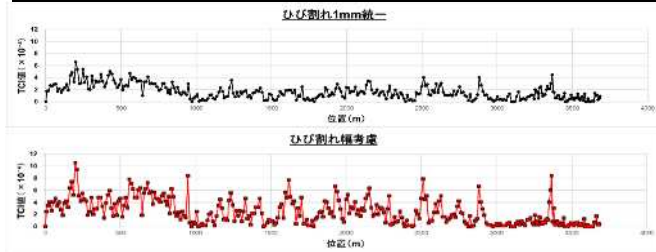


図-4 同一トンネルにおける TCI 値の条件別の結果

(3)A, B トンネルでは、図-5 に示すようなトンネル縦断方向のスパンを跨ぐ、ひび割れ幅が比較的大きいひび割れが多くみられた。TCI 値はスパン毎に算出するため、縦断方向に伸びるひび割れがスパン毎に分断され、ひび割れ幅を考慮しない場合に TCI 値が低くなる傾向であった。一方、TCI

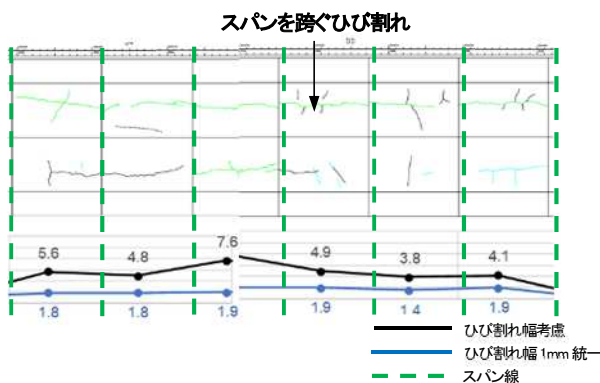


図-5 スパンを跨ぐひび割れの TCI 値 (例)

値にひび割れ幅を考慮することで、正答率が向上することが確認できた。

(3) 展開図において確認できる閉合ひび割れと交差ひび割れに対して、TCI が見逃したものと正答した例を図-6 に示す。TCI 値はひび割れの発生密度に影響されるため、密度が小さい場合には TCI 値も小さくなる。そのため、トンネル検査で着目する交差や閉合ひび割れを見逃す可能性も高くなる。ひび割れの方向性や外力により発生する特徴的なひび割れパターンを考慮するなどの方法を検討し、正答率を向上させることが求められる。

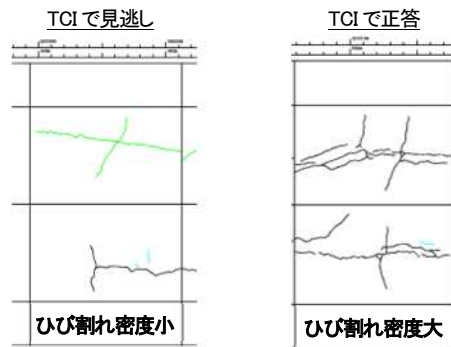


図-6 閉合、交差ひび割れの見逃し・正答 (例)

6. まとめ

(1) 今回の検討結果により、鉄道トンネルの検査へ TCI を導入することについては、一定の有効性を確認することができた。

(2) TCI による健全性の判定精度を向上させるためには、TCI 値の算出にひび割れ幅を考慮することが重要と考えられる。現時点では、画像からひび割れ幅を抽出する際に、技術者がひび割れ幅を読み取るため、ひび割れ幅のデータに不確実性が出やすい。画像からひび割れ幅を自動算出するような方法も確立されているため、今後は画像処理技術を取り入れることも必要になると思われる。

(3) 今後、TCI で計算される縦断成分 (F11)、横断成分 (F12) を分析することで偏圧や塑性圧など外力の影響について推測可能かを検討したいと考えている。そのため、データ数を増やして引き続き TCI の導入検討を進めたい。

【参考文献】

- 山辺正, 原夏生, 小田匡寛: クラックテンソルによる節理性岩盤の弾性変形解析と入力パラメーターの決定に関する研究, 土木学会論文集, 第 382 号/-7, 1987 年 6 月
- 重田佳幸, 飛田敏行, 亀村勝美, 進士正人, 吉武勇, 中川浩二: ひび割れ方向性を考慮した覆工コンクリートの健全度評価法, 土木学会論文集 F, Vol. 62No. 4, 628-632, 2006. 10
- 海瀬忍, 伊藤哲男, 八木弘, 水野希典, 前田洸樹, 進士正人: トンネル覆工のひびわれ進行性評価手法に関する検証, 土木学会論文集 F, Vol. 73No. 3 (特集号), I\_10-I\_20, 2017.
- 籠雅貴, 水野光一郎, 友利方彦, 野澤伸一郎, 露木寿, 久保木利明: 技術者の評価に基づいた地下・トンネル構造物の維持管理戦略の検討と制度の構築, インフラメンテナンス実践研究論文集 Vol. 62No. 1, 514-520, 2022.