

山岳トンネルのひび割れに着目した定量評価と特徴的なひび割れを加味した評価方法の試行

小林 徹也¹・水野 光一郎²・近藤 英治³・野城 一栄⁴

¹正会員 JR 東日本コンサルタンツ (株) 防災計画部 (〒141-0033 東京都品川区西品川一丁目1番1号)
E-mail: tetsuya-kobayashi@jrc.jregroup.ne.jp

²正会員 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター (〒141-0031 東京都品川区西五反田 3-5-8)
E-mail: kou-mizuno@jreast.co.jp

³正会員 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター (〒141-0031 東京都品川区西五反田 3-5-8)
E-mail: e-kondo@jreast.co.jp

⁴正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: yashiro.kazuhide.40@rtri.or.jp

山岳トンネルにおける無筋コンクリート造の覆工に発生する変状の代表例として、ひび割れが挙げられる。多数のトンネルの維持管理し、構造物の長寿命化を実現するためには、検査員による検査の健全度判定の精度の向上と平準化が必要であると思われる。そのため、筆者らは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。本稿ではひび割れを定量的に評価する手法の一つとして着目されている TCI を活用し、鉄道トンネルの実際の検査において判定したひび割れと覆工に発生したひび割れを図化した展開図から算出した TCI 値を照合し、TCI による評価手法の妥当性や有効性、精度の向上をさせる方法を検討した。検討の結果、TCI による評価において、ひび割れの幅や方向の特徴に着目することが有用であることがわかった。

KeyWords: mountaintunnels, TCI, cracktensor, quantitativeevaluation, visualinspection

1. 本研究の背景と目的

各鉄道事業者では、供用するトンネルに対して2年に1回の周期で検査を実施することが法令で定められている¹⁾。検査では、トンネルを検査する技術者(以下、検査員という)が目視や打音調査で変状の状態を確認し、その結果から、対象トンネルの健全性を判定する。しかしながら、検査員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ている。

東日本旅客鉄道株式会社(以下、JR 東日本という)では約1,200坑のトンネルを供用している。これらの供用中のトンネルは大部分が山岳トンネルであり、覆工の構造と材質の組み合わせとしては、無筋コンクリート造が多い。無筋コンクリート造のトンネルの覆工に発生する変状の代表例として、ひび割れが挙げられる。多数のトンネルの維持管理し、構造物の長寿命化を実現するためには、トンネルの検査により健全度を的確に診断する必要があり、検査員によるトンネルの健全度判定の精度

の向上と平準化が必要であると思われる。そのため、筆者らは、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。

ひび割れを定量的に評価する手法の一つとして、岩盤工学等で用いられる「クラックテンソル」²⁾を参考とした TCI (Tunnel-lining Crack Index) を用いた検討事例がみられる^{例えば3)}。

高速道路のトンネルを対象とした TCI によるトンネルの健全度評価手法の研究事例として、海瀬のもの⁴⁾がある。この事例では、走行型画像撮影車による覆工画像から作成した画像展開図を用いて、TCI による健全度の定量評価を行い、従来と比較して高精度で効率性を向上させた点検手法の検討を行っている。

鉄道トンネルは道路トンネルと比較して供用開始後の経年が長く、古いトンネルが多いことが特徴である。検査員による検査を通じて維持管理が行われ、安全性が確保されているものの、覆工には多種多様な変状が発生し、代表的な変状であるひび割れに関しても多種多様なもの

があるように思われる。鉄道トンネルを対象とした TCI の活用事例は、筆者らの山岳トンネルを対象とした検討事例^{5,6)}がある。これらの事例で筆者らは外力の影響を受けた変状に着目している。例えば、塑性圧の影響を受けたトンネルや路盤隆起が確認されたトンネルのうち、2坑の一部の区間を対象として、TCI による評価値と検査員による現地での検査の判定の照合を行っている。照合の結果として、TCI による評価は一定の有効性があるものの、試行の数量としては少なく、鉄道トンネルを対象とした TCI による評価手法の検討は研究途上にあるように思われる。

本稿では、外力の影響を受ける山岳トンネルのうち、矢板工法で構築された無筋コンクリート造の鉄道トンネルを対象とし、実際の検査において判定したひび割れと、覆工に発生したひび割れを図化した図面（以下、展開図という）から算出した TCI による計算値を照合する。照合を通じて、TCI による評価手法の妥当性や有効性について検討する。また、外力の影響で発生するひび割れの特徴に着目し、検査員が外力によりトンネルの健全性に影響があると判定されたひび割れを TCI による手法で評価し、抽出する方法を検討する。

2. TCI の理論式と計算方法

TCI は、近年、トンネルのひび割れを定量的に評価する指標として各事業者で活用が試行されている。式(1)および図-1 に示される理論²⁾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 F_{11} 、線路直角方向である横断方向のひび割れに対する成分 F_{22} の数値を合計した F_0 が評価値として示される。 F_{11} および F_{22} は TCI を計算する範囲の面積当たりのひび割れの本数、長さ、幅、方向性を基に計算される。

本稿では以下の方法により計算された値を TCI 値ということとする。

$$F_{ij} = \frac{1}{A} \sum_{n=1}^n (t^{(k)})^\alpha (l^{(k)})^\beta \cos \theta_i^{(k)} \cos \theta_j^{(k)} \quad (1)$$

ここに、

A : TCI を計算する範囲の覆工の面積

n : ひび割れの本数

l : ひび割れの長さ

t : ひび割れの幅

θ_1 : ひび割れの法線ベクトルが x_1 軸となす角度

θ_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

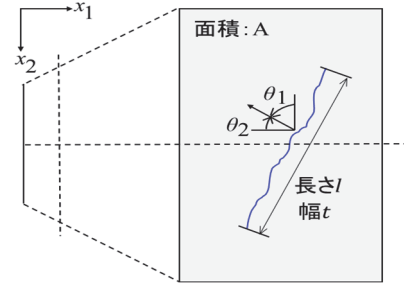
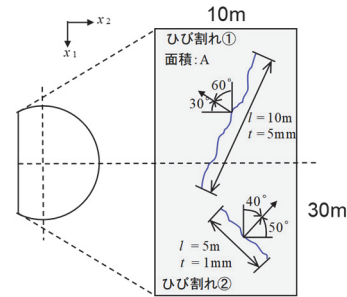


図-1 TCI の理論式 の概念



$$F_{11} = \frac{1}{10 \times 30} \times 0.005 \times 10 \times \cos 60^\circ \times \cos 60^\circ + \frac{1}{10 \times 30} \times 0.001 \times 5 \times \cos 40^\circ \times \cos 40^\circ = 0.524 \times 10^{-4}$$

$$F_{22} = \frac{1}{10 \times 30} \times 0.005 \times 10 \times \cos 30^\circ \times \cos 30^\circ + \frac{1}{10 \times 30} \times 0.001 \times 5 \times \cos 50^\circ \times \cos 50^\circ = 1.319 \times 10^{-4}$$

$$F_0 = F_{11} + F_{22} = 1.843 \times 10^{-4}$$

図-2 TCI 値の計算例

F_{22} : TCI の横断方向成分

$F_0 = F_{11} + F_{22}$: TCI 値

である。

TCI 値の計算においては、展開図を基に施工目地間（以下、スパンという）のスパン毎の評価値として算出されることが一般的である。TCI 値の計算例を図-2 を示す。図-2 では、TCI 値の計算対象の範囲を縦断方向の 10m、横断方向の 30m としている。この範囲に 2 つのひび割れが存在する場合の計算例である。幅 5mm × 長さ 10m で縦断方向とのなす角度が 60° のひび割れ①と、幅 1mm × 長さ 5m で縦断方向とのなす角度が 30° のひび割れ②が存在すると、TCI 値としては 1.84×10^4 となる。2 つのひび割れについて個々に着目すると、横断方向に卓越するひび割れ①では、 $F_{11} < F_{22}$ となり、縦断方向に卓越するひび割れ②では $F_{11} > F_{22}$ となる。

3. 対象としたトンネルの概要

本稿では、外力の影響を受けるトンネルの例として、山岳トンネルのうち、矢板工法で構築された無筋コンクリート造の鉄道トンネルを対象として選定した。

外力の分類⁷⁾として、土圧の影響のうち、塑性圧を受け覆工に変状が確認されたトンネル（以下、A トンネル

という) および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 坑のトンネルの変状がみられた区間を検討の対象とした。

4. 評価方法の考え方と TCI 値の計算条件

(1) TCI による評価手法の有効性の検証方法

TCI 値によって外力の影響を評価する手法が検査において有用であることを確認するためには、検査員が外力によりトンネルの健全性に影響があると判定されたひび割れを TCI 値で捉えることが重要であると思われる。そこで、検査において実際に判定されたひび割れと TCI 値を照合することで、TCI 値の計算条件や評価の考え方の妥当性、TCI による評価手法の有効性を検討することとした。

(2) 評価の対象とした変状

鉄道トンネルの検査方法には区分があるが、本稿では、詳細な検査が必要とされた場合等に実施する検査 (以下、個別検査という) および構造物の健全度の判定の精度を高める目的で、覆工に近接して目視による調査と打音調査等を実施する検査 (以下、特別全般検査という) の結果を対象とした。

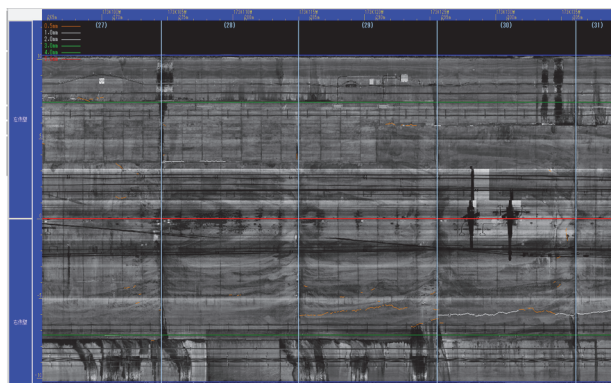
本稿ではひび割れのうち、トンネルの健全性に影響があると判定されたひび割れを主に対象としているが、トンネルの健全性に影響があるひび割れとは、外力に起因するひび割れや何らかの原因により進行性の疑いがあるひび割れである。これらは、いわゆる「要注意」のひび割れで、検査において注意して検査すべき箇所と位置付けられると思われる。また、外力の影響を受けていると考えられるものを特に着目しているため、検査の経験年数が長い技術者⁷⁾ (以下、専門技術者という) が要注意と判定した結果とした。

(3) TCI 値を計算するための展開図の作成要領

覆工のひび割れの発生状態を図化した展開図は、検査員による検査の記録を基に展開図作成システム (図-3) を活用して書き起こした。本稿で使用した展開図は、ひび割れ幅の情報を有している。このひび割れ幅は近接目視の検査で実測された値をシステムに入力したものである。ひび割れ幅の記録がないものは、展開図作成システムに搭載されたクラックスケールを用いて、覆工の表面を撮影した画像から読み取った。

(4) 計算条件

TCI 値を計算するにあたり、式(1)および図-1 に示した



(1) 展開図作成システムに投影された覆工の例



(2) クラックスケールによるひび割れ幅の計測例

図-3 展開図作成システムの概要

ように同一の長さのひび割れであってもひび割れ幅の取り扱いや、計算対象の範囲などの計算条件により結果が異なる。本稿における TCI 値の計算条件を以下に示す。

a) ひび割れ幅の取り扱い

検査において確認されたひび割れ幅を考慮するケースと、ひび割れ幅を一律の値としてひび割れ幅を考慮しないケースを設けることで、TCI 値による評価への影響を検討することとした。

b) 計算対象の範囲

同程度の数量のひび割れが存在したとしても TCI 値の計算対象の面積により密度が異なるため、計算結果にも影響が表れる。ひび割れの発生状況は個々のトンネルにおいて異なるため、本稿では対象とする区間のうち、ひび割れが比較的密に発生している横断方向の範囲を対象とすることとした。ひび割れの発生状況に応じて、A トンネルでは、覆工の曲率が変化する点である S.L. (スプリングライン) より上部を対象とし、S.L.よりも下部の側壁は含めない範囲とした。B トンネルでは、施工基面の高さである F.L. (フォーメーションレベル) より上部の範囲を対象とした。

c) 縦断方向の計算の単位

TCI 値の計算において一般的であるスパン毎とした。

d) ひび割れ幅の取り扱い

検査では要注意のひび割れについては、個々にひび割れ幅を計測することが多い。TCI 値の計算においても個々のひび割れの幅を詳細に把握し、計算に反映させる方法もあるが、本稿では a) のひび割れ幅を考慮するケースでは、文献 1) を参考に、1mm 未満、1mm 以上 3mm 未

満というように、ひび割れ幅をいくつかの階級に分類して、階級ごとに TCI 値を計算した。

5. TCI による評価の基準値の考え方

検査における実際の判定と TCI 値を照合し、検査において要注意箇所として抽出されたスパンを TCI による評価で抽出できるかの検討を行うにあたり、TCI 値で要注意箇所として抽出するための基準値を設ける必要がある。

本稿では、基準値を以下のように検討した。

(1) 基準値の設定において参考とした値

a) ひび割れ幅

ひび割れの幅は検査の判定における重要な指標であり、TCI 値の結果にも大きな影響があると考えられる。文献 1) の付属資料 13 において、幅によるひび割れの評価の目安の記載がある。この中で、中程度のひび割れの目安として、ひび割れ幅が 3mm 以上が挙げられている。本稿では基準値の設定の一つとして、この値を参考とすることとした。

3mm 以上の縦断方向のひび割れが 1 スパンを貫通して 1 本存在する条件で TCI 値を計算すると、計算対象を F.L. より上部として 10m とした場合には、 $F_{11}=3.0 \times 10^4$ に相当する値となる。この値は縦断方向の計算値 F_{11} のみの値であるが、1 スパンを貫通する縦断方向のひび割れは、土圧によるひび割れのパターンの 1 つとして、文献 1) の付属資料 11 に示されている。そのため、TCI 値として $F_0=3.0 \times 10^4$ が基準値となりうると考えた。

b) 覆工模型試験による TCI 値の計算例

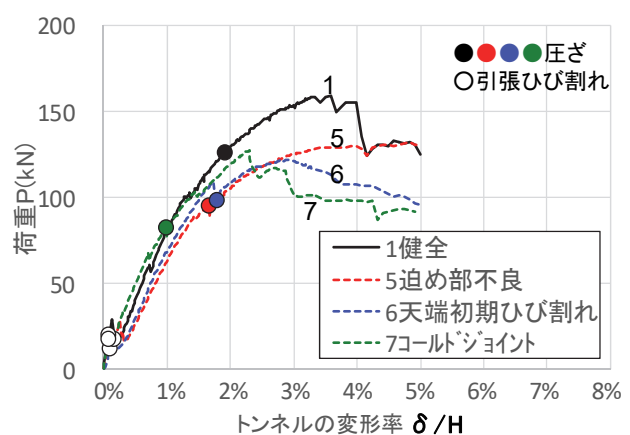
覆工模型試験を対象に TCI 値を計算した事例がみられる⁵⁾。この事例では、健全な覆工のほか、迫め部に不良がみられるものや天端に初期ひび割れがみられるもの、コールドジョイントがみられるものを模擬して模型を作成し、それぞれ载荷試験を行っている。覆工模型実験の結果に基づき、トンネルの変形率や荷重と TCI 値の関係⁵⁾が図-4 のように整理されている。これをみると、TCI 値はトンネルの変形と変状の進展に応じて増加していることがわかる。また、変状の進展における代表点として、①引張ひび割れの発生時、②圧ざの発生時を考えると、①引張ひび割れの発生時の TCI 値は、 $F_0=1.0 \times 10^4 \sim 2.0 \times 10^4$ 程度であることや、②圧ざの発生時の TCI 値は、 $F_0=25 \times 10^4 \sim 50 \times 10^4$ 程度であることもわかる。

上記の結果は、変状の進展と TCI 値との関連性を示す結果の一例であり、本稿の検討においても基準値の参考となりうると考えた。

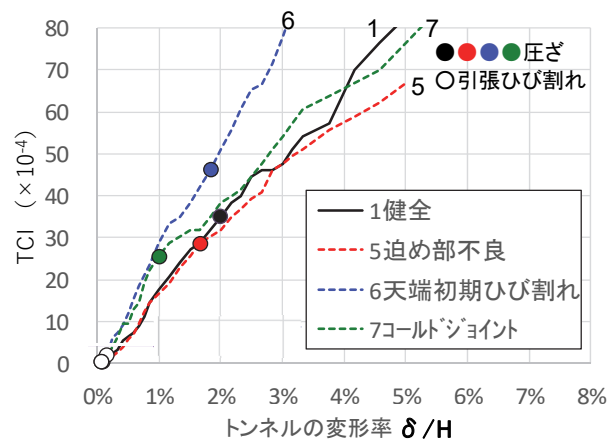
(2) 要注意箇所を抽出する基準値の設定

TCI による評価では、基準値を設け、これを超える場合に検査において注意すべき要注意箇所として抽出されたとした。(1)の値や考え方を参考に、試行を繰返し、表-1 の 2 つの条件で TCI 値の基準値を設定した。これらの基準値とひび割れ幅の考慮の有無を条件として 2 つの抽出ルールを定め、試行を行うこととした。

また、個別検査や特別検全般検査においては要注意のひび割れが確認された場合、その隣接するスパンについても要注意箇所準じて着目することが多くある。そのため、TCI による評価においても、各ルールで抽出されたスパンに隣接するスパンも要注意箇所として抽出されたとみなすこととした。



(1) トンネルの変形率と荷重の関係



(2) トンネルの変形率と TCI 値の関係

図-4 覆工模型試験における TCI 値の関係の例⁵⁾

表-1 抽出のルールと基準値

抽出ルール No.	ひび割れ幅の考慮	基準値
ルール 1	しない	TCI 値 $> 3.0 \times 10^4$
ルール 2	する	TCI 値 $> 6.0 \times 10^4$

6. 要注意箇所抽出の試行結果

前述の計算条件や手法で TCI 値を計算し、検査の判定と TCI 値との照合を行い、TCI による評価により検査の判定による要注意箇所を的確に抽出することができるかの検討を行った。両者の照合では専門技術者の検査の判定を正とし、以下のように照合の正誤を区分してスパン毎に正誤の判定を行った。そして、それぞれの割合を算出することで、TCI による評価手法の妥当性や有効性の検証を行った。

(1) 検査の判定と TCI による評価との照合の正誤の考え方

a) 正答

TCI 値の基準値で抽出されたスパンが検査の判定で要注意のスパンと一致する場合、もしくは、TCI 値の基準値で抽出されなかったスパンが検査で要注意と判定されなかったスパンと一致する場合とした。

b) 空振

TCI 値の基準値で抽出されたスパンが検査で要注意と判定されなかったスパンとなる場合とした。

c) 見逃

TCI 値の基準値で抽出されなかったスパンが検査で要注意と判定されたスパンとなる場合とした。

(2) 試行結果

a) 塑性圧の影響を受ける A トンネルの結果

A トンネルでは塑性圧の影響を受け、検査で覆工に要注意のひび割れが多くみられたことが特徴である。ルール 1 による TCI による評価と個別検査および特別全般検査の判定の照合の結果を図-5 および表-2 に、ルール 2 による結果を図-6 および表-2 に示す。表-2 の「個別」は個別検査を、「特全」は特別全般検査を表す。

ルール 1 のひび割れ幅を考慮しない場合、図-5 より、TCI 値の基準値で抽出されたスパンが検査の判定で要注意のスパンと一致する場合、もしくは、TCI 値の基準値で抽出されなかったスパンが検査で要注意と判定されなかったスパンと一致する場合が全数に占める割合である正答率は、個別検査を対象とした場合は 76% で、特別全般検査を対象とした場合には 77% であった。図-5 および表-2 より、見逃の割合の見逃率は 15% 前後であり、空振の割合である空振率は 23% 前後である。ルール 2 のひび割れ幅を考慮する場合、正答率は図-6 および表-2 より、81% と 83% となり、ルール 1 と比較して改善がみられた。見逃および空振についても図-6 および表-2 に示すように、それぞれ改善がみられた。

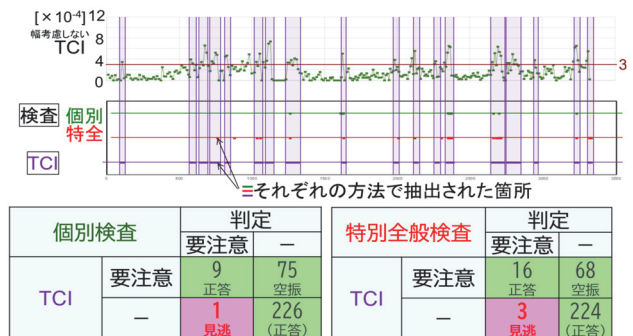


図-5 ルール 1 による A トンネルの TCI による評価の結果

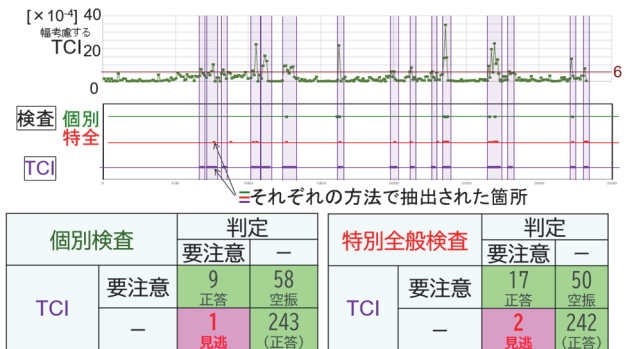
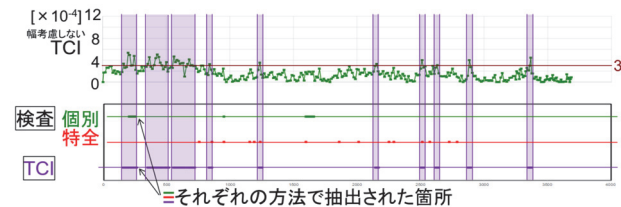


図-6 ルール 2 による A トンネルの TCI による評価の結果

表-2 TCI による評価の結果

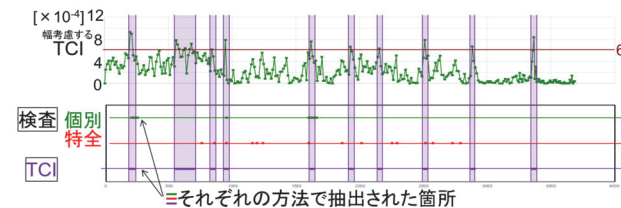
評価値	検査	A トンネル (塑性圧)			B トンネル (路盤隆起)		
		正答率	見逃率	空振率	正答率	見逃率	空振率
計算式		$\frac{A+D}{A+B+C+D}$	$\frac{B}{A+B}$	$\frac{C}{A+B+C+D}$	$\frac{A+D}{A+B+C+D}$	$\frac{B}{A+B}$	$\frac{C}{A+B+C+D}$
ルール 1 ひび割れ幅 考慮しない TCI > 3.0 × 10 ⁻⁴	個別	76%	10%	24%	81%	58%	17%
	特全	77%	16%	22%	79%	80%	18%
ルール 2 ひび割れ幅 考慮する TCI > 6.0 × 10 ⁻⁴	個別	81%	10%	19%	88%	42%	11%
	特全	83%	11%	16%	85%	80%	12%

該当数量	専門技術者の判定	
	要注意	-
TCI による評価	要注意	A (正答) C (空振)
	-	B (見逃) D (正答)



個別検査		判定		特別全般検査		判定	
	要注意	5 正答	57 空振		要注意	3 正答	59 空振
TCI	要注意	7 見逃	264 (正答)	TCI	要注意	12 見逃	259 (正答)
	—				—		

図-7 ルール1によるBトンネルのTCIによる評価の結果



個別検査		判定		特別全般検査		判定	
	要注意	7 正答	35 空振		要注意	3 正答	39 空振
TCI	要注意	5 見逃	286 (正答)	TCI	要注意	12 見逃	279 (正答)
	—				—		

図-8 ルール2によるBトンネルのTCIによる評価の結果

b) 路盤隆起が確認されたBトンネルの結果

Bトンネルでは路盤隆起が確認され、検査で覆工に要注意のひび割れがみられたことが特徴である。ルール1による結果を図-7および表-2に、ルール2による結果を図-8および表-2に示す。

ルール1の結果をみると、図-7および表-2より、正答率は正答率は80%前後であった。見逃率は最大で80%であり、空振率は18%程度である。見逃が多い結果であり、要注意箇所をTCIによる手法で抽出することの精度が十分でないように思われる。

ひび割れ幅を考慮するルール2の結果の図-8および表-2をみると、正答率および空振率は改善するものの、見逃率の改善はみられなかった。これより、ルール2においても、TCIによる評価の精度は十分でないように思われる。

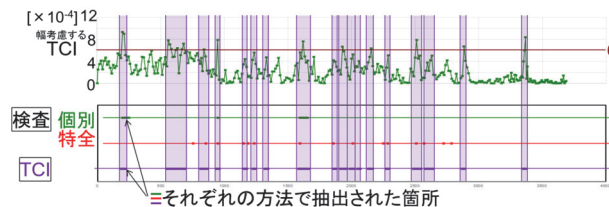
c) 2つの抽出ルールの試行結果のまとめ

外力の影響を受け、ひび割れが多くみられるAトンネルについては、ひび割れ幅を考慮しない、考慮するによらず、TCI値により、一定の精度で要注意箇所を抽出することができる結果であった。ひび割れ幅を考慮するルール2によると、正答率、空振率、見逃率のいずれにおいても精度が改善される結果であった。

Bトンネルでは、ひび割れ幅を考慮すると、正答率、空振率、見逃率のそれぞれで概ね精度が改善される結果であった。しかしながら、見逃率は全体的に高いままで

表-3 縦断方向のひび割れに着目したルールと基準値

抽出ルール No.	ひび割れ幅の考慮	基準値
ルール3	する	TCI値 $>6.0 \times 10^4$ もしくは $F_{II} > 3.0 \times 10^4$



個別検査		判定		特別全般検査		判定	
	要注意	10 正答	74 空振		要注意	9 正答	75 空振
TCI	要注意	2 見逃	247 (正答)	TCI	要注意	6 見逃	243 (正答)
	—				—		

図-9 ルール3によるBトンネルのTCIによる評価の結果

表-4 ルール3による見逃および空振の結果

評価値	検査	Bトンネル (路盤隆起)	
		見逃率	空振率
計算式		$\frac{B}{A+B}$	$\frac{C}{A+B+C+D}$
ルール3 ひび割れ幅 考慮する TCI $>6.0 \times 10^4$ F _{II} $>3.0 \times 10^4$	個別	17%	22%
	特全	40%	23%

あった。

本稿の対象は2坑の一部の区間と限定された範囲であるが、見逃の割合が高いことは、要注意箇所を抽出することを目的としたTCIによる評価の課題であるため、ルールの改善が必要であると考えられる。

(3) 変状の特徴を加味したルールの再設定と再試行の結果

前述の試行において、Bトンネルではひび割れ幅を考慮しても見逃の区分の結果が改善がされなかった。そのため、2つのトンネルに発生しているひび割れの特徴を再確認した。その結果を基に、TCIによる評価で要注意箇所を抽出するための基準値および条件を再考し、縦断方向のTCI値であるF_{II}の基準値を加味した抽出ルールを表-3のように設定した。

なお、縦断方向のひび割れに着目したルール3においても、抽出されたスパンに隣接するスパンも要注意箇所として抽出されたとみなすこととした。

Bトンネルに対して適用した縦断方向のひび割れにも着目したルール3のTCIによる評価と個別検査および特別全般検査の判定の照合の結果を図-9および表-4に示す。

これまでの試行結果である図-7、図-8 および表-2 とルール3の結果である図-9および表-4を比較すると、見逃率が個別検査に対しては17%、特別全般検査に対しては40%となっている。これより、Bトンネルのひび割れの特徴を基準値に加味することで改善されたことがわかる。しかしながら、依然として大きな値であると考えられる。

以上より、縦断方向に連続するひび割れがあるという特徴のある変状を有する場合、その特徴を加味した TCI 値の基準値を要注意箇所を抽出するルールに加えることで精度の向上が図られることがわかった。しかしながら、見逃の割合が大きく、要注意箇所を抽出することを目的とした TCI による評価方法の課題であると思われる。

7. まとめ

本稿では、検査員によるトンネルの健全度判定の精度の向上と平準化を目的に、覆工のひび割れを数値化して定量的に評価する手法として TCI による手法に着目した。特に、外力の影響を受けるトンネルのひび割れに着目し、山岳トンネルのうち、矢板工法で構築された無筋コンクリート造の鉄道トンネルの2坑の一部区間を対象として TCI による評価手法について検討を行った。一連の検討では、TCI の計算条件や評価の考え方の妥当性、ならびに TCI による評価手法の有効性の検討を行うために、専門技術者による実際のトンネルの検査の判定と TCI 値による評価の照合を行った。試行の結果を記載すると以下のとおりである。

- 外力の影響を受けてひび割れが多く発生している A トンネルを対象とした場合には、専門技術者が要注意のひび割れを含むと抽出したスパンと TCI による評価で抽出されたスパンの照合を行ったところ、ひび割れ幅を考慮しない条件であっても、正答率は76%程度であり、比較的よい精度で一致していた。
- A トンネルの事例では、ひび割れ幅を考慮しない条件での TCI による評価で、見逃率は15%前後、空振率は23%前後であった。
- 路盤隆起が確認され、縦断方向に連続するひび割れがみられる B トンネルを対象とした場合には、正答率は A トンネルの場合と大きな差はみられなかったが、見逃率が高い結果となった。
- B トンネルに対して、縦断方向のひび割れに着目する抽出ルールとしたところ、見逃率の結果の改善がみられたが、十分な精度の結果ではなかった。
- TCI 値の計算にひび割れ幅を考慮すると、正答、見逃、および空振のそれぞれの項目で精度が高まった。

以上より、本稿で得られた知見を示すと以下のとおりである。

- 本稿で対象とした範囲においては、TCI による評価手法は、検査員が要注意として抽出したスパンを一定の精度で抽出することができたと思われる。
- TCI 値の計算では、ひび割れ幅を考慮することが重要であると思われる。
- TCI による評価手法で、見逃率が高い条件があり、見逃率の改善は、TCI による評価の解決すべき課題であると思われる。
- ひび割れの特徴と TCI 値への影響について更なる分析と検討が必要であると思われる。

本稿で得られた知見を基に、今後の取り組みについて記載する。

本稿での検討は2坑のうちの一部区間と限られた条件でのものである。本稿で提案した TCI による評価の抽出ルールとその基準値は試行の域にあり、検討対象を増やしてより広い適用条件を検討したい。

TCI 値を計算するに際し、ひび割れの幅を考慮することが重要であることを本稿で再確認した。本稿で使用したひび割れ幅の値は、近接目視で計測したひび割れ幅と展開図作成システム内のクラックゲージを活用した人の判断によるひび割れ幅が混在している。覆工のひび割れを精度よく把握し、効率的に定量評価を行っていくためには、画像処理技術を活用した自動判読技術の応用も必要であると思われる。

鉄道の山岳トンネルには、本稿で対象とした矢板工法以外にも、NATMがあるほか、ブロック造といった鉄道トンネルに特有のものがある。本稿で対象とした工法や構造、材質以外のものについても、TCI による評価手法の有効性について検証を進め、構造物の健全度判定の精度の向上と平準化に活用したい。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）トンネル，丸善，2007.
- 2) 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/III-7，pp.121-130，1987.
- 3) 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. 62，No. 4，pp.628-632，2006.
- 4) 海瀬忍：高速道路トンネル覆工の点検技術と健全度評価の精度向上に関する研究，山口大学大学院創成科学研究科，学位論文，2020.
- 5) 野城一栄，水谷真基：覆工のひび割れの密度とパターンによる山岳トンネルの要注意箇所抽出手法，鉄道総研報

- 告, Vol.35, No.7, pp.11-16, 2021.
- 6) 小林徹也, 水野光一朗, 野城一栄: 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, 土木学会全国大会第77回年次学術講演会, VI-842, 2022.
- 7) 籠雅貴, 水野光一朗, 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ส์実践研究論文集 Vol.62, No.1, pp.514-520, 2022.

(2022. 8. 26 受付)

TRIAL STUDY ON QUANTITATIVE EVALUATION BY TCI METHOD REGARDING CHARACTERISTICS OF CRACKS CAUSED BY SQUEEZING IN RAILWAY MOUNTAIN TUNNELS

Tetsuya KOBAYASHI, Koichiro MIZUNO, Eiji KONDO and Kazuhide YASHIRO

This report outlines trial study regarding quantitative evaluation by TCI method on characteristics of cracks caused by squeezing in railway mountain tunnels. Authors focused on TCI “Tunnel-lining Crack Index” method as to evaluate quantitatively the soundness of concrete tunnel lining affected by cracks. To confirm the validity of TCI method, we compared the accuracy of evaluation of soundness by TCI method with the evaluation by expert engineer. As a result of investigation into the calculational procedure, condition and rules regarding TCI value, we showed that TCI value with the consideration of the characteristics of cracks such as width and direction could possibly matched the aspects of cracks on tunnel lining caused by squeezing. Moreover, the accuracy of TCI value calculated by our method might not be sufficient and the improvement of method of calculation of TCI value are required.