

TCIによる覆工コンクリートの健全度評価に関する検討

(株) 高速道路総合技術研究所*) 正会員 ○前田佳克 伊藤哲男 海瀬 忍
 パシフィックコンサルタンツ (株)** 正会員 重田佳幸 前田洸樹 柿崎陽介

1. はじめに

NEXCO は、老朽化する道路トンネルを管理し、補修計画を立案していく必要がある。一方、人口減少や少子高齢化により技術者の減少も懸念されている。今後は、トンネル点検を更に効率化するために、点検者の技能によるバラツキをできるだけ無くし、定量的な評価ができる変状原因推定手法を確立することが急務である。

本稿は、TCIによる変状原因推定指標および進行性評価指標を用いて、定量的な健全度評価手法の基礎的な検討結果について報告する。

2. TCI の概要

既往の研究¹⁾において、覆工のひびわれ評価指標として、岩盤工学で用いられる“クラックテンソル”を参考に、TCI が提案されている。TCIの基礎式を式(1)に示すとともに、その概念図を図-1に示す。式(1)により求まる F_{11} , F_{22} は、それぞれ TCI の縦断成分、横断成分を示すものである。覆工の劣化の指標 F_0 は、テンソルの不変量として縦断・横断成分の和($F_0 = F_{11} + F_{22}$)として表され、この F_0 を TCI の変状程度の評価値とし、 F_{11} , F_{22} , F_{12} , F_{21} の各成分を用いてひびわれの特徴を把握できる。さらに、複数回の点検結果から、 F_0 の差分を算出することでひび割れの進行性を評価できる指標 ΔF_0 も提案されている。

3. 検討概要

3-1 検討方法

既往の研究^{2), 3)}において、変状原因推定に関する指標である F_{11} , F_{22} の閾値 $u+2\sigma$ 、進行性指標である ΔF_0 の閾値 $u+\sigma$ が提案されている。ここで、 u : TCI の平均値、 σ : TCI の標準偏差である。これら変状原因推定指標と進行性評価指標を組み合わせることで、詳細調査の選定や補修の有無の判断に対して定量的な評価を行うことができると考えられる。そこで、本研究では、 F_{11} または F_{22} が閾値以上、かつ、 ΔF_0 が閾値以上であるスパンを抽出し、詳細調査や補修・補強が必要か否かどうかなを確認することで、定量的な健全度評価の確立のための基礎的検討を行った。

図-2 に分析例を示す。グラフの横軸に F_{11} 、縦軸に F_{22} を設定し、覆工 1 スパンごとに算出した F_{11} , F_{22} との交点をプロットする。このとき、図-2 に示すように、 F_{11} と F_{22} の関係により、プロットの位置がそれぞれの閾値以上であれば、ひび割れ量が多いことから外力性変状である可能性が示唆される。さらに、それらスパンのうち、 ΔF_0 が閾値以上のスパンがあれば、ひび割れ量が多い、かつ、進行性がみられることから、詳細調査や補修・補強が必要とされる変状である可能性が高いと想定される。

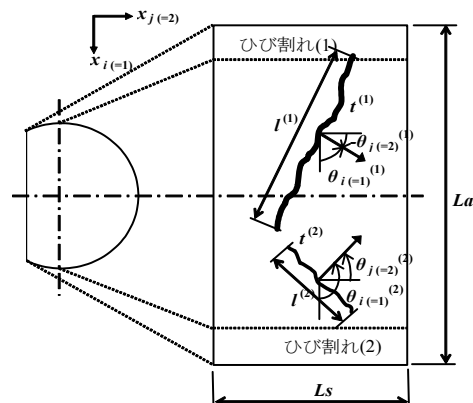


図-1 TCI の概念図

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

A : 覆工コンクリートの面積 ($A = L_s \times L_a$)

L_s : 覆工コンクリートの縦断延長

L_a : 覆工コンクリートの横断延長

n : ひびわれの本数

$l^{(k)}$: ひびわれ k の長さ

$t^{(k)}$: ひびわれ k の幅

$i^{(k)}$: ひびわれ k の法線ベクトルが x_i 軸となす角度

$j^{(k)}$: ひびわれ k の法線ベクトルが x_j 軸となす角度

α : ひびわれ幅の重み付けに関する係数

β : ひびわれ長さの重み付けに関する係数

F_{11} : TCI の縦断成分, F_{22} : TCI の横断成分

$F_{12} = F_{21}$: TCI のせん断方向成分

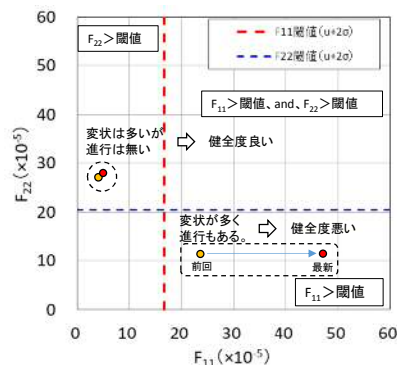


図-2 TCI による分析例

キーワード：健全度評価 ひびわれ TCI 変状原因 進行性

連絡先：*) 〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1

TEL 042-791-1629

FAX 042-791-2380

**) 〒101-8462 東京都千代田区神田錦町 3-22

TEL 03-6777-4763

FAX 03-3296-0516

本検討では、NEXCO 管内の 50 トンネル、計 4,045 スパンを対象に、「 $F_{11} > u + 2\sigma$ 、または、 $F_{22} > u + 2\sigma$ 」かつ「 $\Delta F_0 > u + \sigma$ 」であるスパン（以下、閾値以上スパンと呼ぶ。）を抽出し、それらスパンに発生する変状から、詳細調査あるいは補修・補強が必要な変状かどうか確認を行った。

3-2 対象トンネルと工法別の TCI の閾値

分析の対象トンネルを表-1 に示す。近接目視を実施されている矢板工法、NATM それぞれ 50 トンネルを抽出し、工法別の対象スパンにおける F_{11} 、 F_{22} 、 ΔF_0 の閾値を示す。

4. 分析結果

表-1 に矢板工法、NATM それぞれにおける閾値以上スパン数を示す。これを見ると、矢板工法 7 スパン（0.5%）、NATM 58 スパン（2.2%）であり、これらスパンについては、変状が多く進行性があることから、健全度ランクが高いスパンであると想定される。

図-3 に矢板工法の閾値以上スパンの TCI 分布を示す。これを見ると、閾値以上スパンである 7 スパンは、前回点検から最新点検で TCI の値が大きくなっていることがわかる。さらに、図-4 に示す閾値以上スパンである A トンネルの S114、S115 の変状展開図をみると、新規発生ひび割れやひび割れ幅の進行がみられることに加え、スパンを連続してひび割れが発生していることから、外力性変状の発生が懸念される。したがって、これらスパンに対し、形状計測等の詳細調査を実施して健全度判定を行い、補修・補強対策実施の検討を行う必要がある。以上より、TCI を用いて、詳細調査や対策が必要なスパンを抽出できる可能性があることがわかった。

5. まとめ

本研究では、TCI の F_{11} 、 F_{22} 、さらに、 F_0 の差分 ΔF_0 を用いて、詳細調査や対策が必要なスパンを抽出できる可能性があることがわかった。本手法が確立されれば、定量的な健全度評価が可能となり、より効率的な維持管理計画策定に繋がると考えられる。今後は、閾値以上スパンの健全度ランクとの関係等を分析するとともに、データ数を増やして本手法の精度向上に努めていく。

【参考文献】

- 1) 中野清人, 佐伯 徹, 重田佳幸, 大場 諭, 西村和夫: トンネルの変状評価・原因推定へのひびわれ指数 (TCI) の適用可能性について, トンネル工学報告集第 20 巻, pp.239-243, 2010.11
- 2) 水野希典, 前田佳克, 海瀬 忍, 前田洗樹, 重田佳幸, 松岡 茂, 西村和夫: 既設トンネル覆工の変状原因推定手法に関する検討, 土木学会論文集 F1, Vol.73, No3, I_1-I_9, 2017.
- 3) 海瀬 忍, 伊藤哲男, 八木 弘, 水野希典, 前田洗樹, 進士正人: トンネル覆工のひび割れ進行性評価手法に関する検証, 土木学会論文集 F1, Vol.73, No3, I_10-I_20, 2017.

表-1 対象トンネルと工法別の TCI の閾値

工法		矢板工法	NATM
対象スパン数		1,447	2,598
閾値	F_{11}	$u+2\sigma$	21.73
	F_{22}	$u+2\sigma$	20.06
	ΔF_0	$u+\sigma$	10.47
閾値以上スパン		7 (0.5%)	58 (2.2%)

() 内は対象スパン数に対する割合

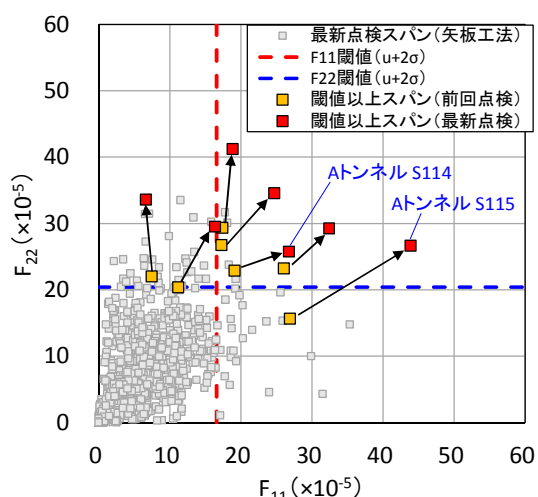


図-3 閾値以上スパンの TCI 分布 (矢板工法)

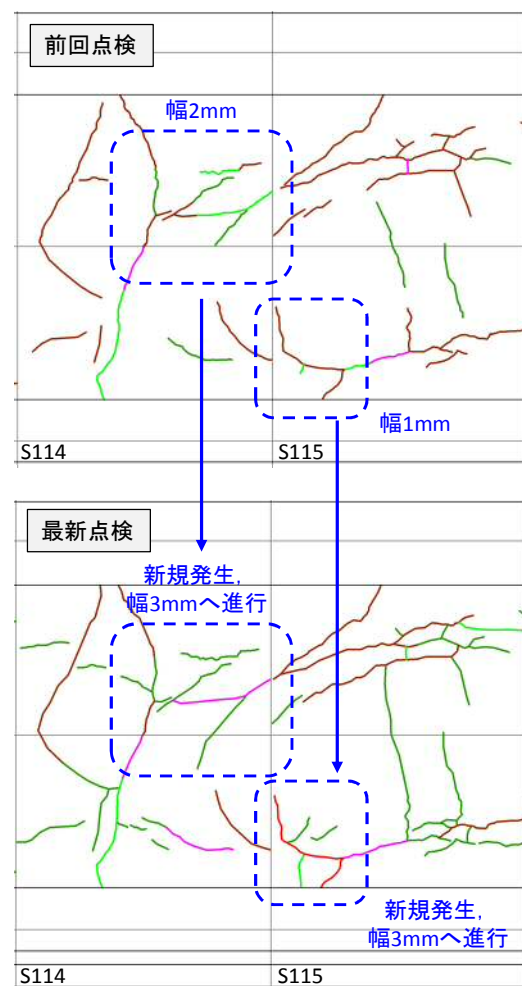


図-4 A トンネルの閾値以上スパンの変状