

トンネル覆工健全性評価の定量化を目指したTCIと技術者判定との関係分析

山口大学大学院
山口大学大学院
山口県
山口大学大学院

学生会員
正会員
非会員
フェロー会員

○糸田 大輝
林 久資
藏重 聡志
進士 正人

1. はじめに

平成26年度の道路法の一部改正に伴い、道路トンネルの定期点検は5年に1回の頻度で実施することが義務付けられた¹⁾。定期点検結果にもとづく対策区分の判定では、覆工コンクリート（以降、覆工と称す）1スパンにおけるひび割れ等の各変状に対して、その誘因である外力、材質劣化、漏水ごとの判定が行われている。この判定結果にもとづきスパンごとに健全性を診断し、もっとも厳しい判定区分がそのトンネル全体の判定結果となる。しかし、健全性診断の判定基準は技術者の主観的かつ定性的な判定が中心で、技術者の技術、経験による判定のばらつきが強く懸念される。さらには、今後のわが国の少子高齢化による技術者不足を考慮すると、技術者に依存しない定量的な判定基準の確立が必要である。

著者らが既往研究²⁾で提案している Tunnel-lining Crack Index（以降、TCIと称す）は覆工に生じたひび割れの幅、長さ、角度を数値化できる覆工の定量的健全性評価指標である。しかし、これまで技術者の定性的な判定結果との比較・考察はほとんど行われていない。本研究ではトンネル健全性の定量的な判定指標を提案することを目的に、技術者の覆工のひび割れに対する判定区分³⁾（以降、判定区分と称す）とひび割れ進行性を示すTCI増加量との関連分析を行う。そして、TCI増加量のうちひび割れの幅、長さの経年的増大と判定区分との関連を分析した。

2. 分析対象データの概要

本研究では、覆工に発生したひび割れの定量的評価指標として“覆工ひび割れ指数TCI”を用いた。TCIの基礎式を式(1)に示す。

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

(1)

表-1 ひび割れに対する判定区分³⁾

判定区分	変状の状態
I	ひび割れが生じてない、または生じていても軽微で、措置を必要としない状態
II	IIb ひび割れがあり、その進行が認められないが、将来的に構造物の機能が低下する可能性があるため、監視を必要とする状態
	IIa ひび割れがあり、 進行が認められ 、将来的に構造物の機能が低下する可能性があるため、重点的な監視を行い、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態
III	ひび割れが密集している、またはせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が低下しているため、早期に対策を講じる必要がある状態
IV	ひび割れが大きく密集している、またはせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が著しく低下している、または圧ざがあり、緊急に対策を講じる必要がある状態

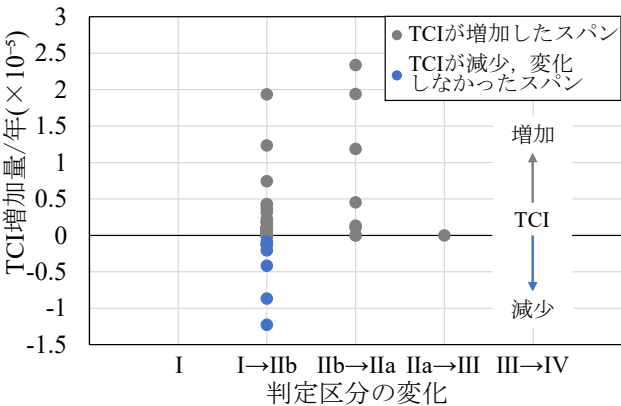


図-1 判定区分が低下したスパンにおける判定区分と TCI 増加量

- A：覆工コンクリートの面積
- n：ひび割れの本数
- $l^{(k)}$ ：ひび割れkの長さ
- $t^{(k)}$ ：ひび割れkの幅
- $\theta_i^{(k)}$ ：ひび割れkの法線ベクトルが x_i 軸となす角度
- $\theta_j^{(k)}$ ：ひび割れkの法線ベクトルが x_j 軸となす角度

分析対象としたトンネルは過去2回以上の点検記録がある山口県等が管理する計24本のトンネル、総数989スパンである。

3. ひび割れ進行性に関する項目の技術者判定と TCI 増加量の関連分析

分析対象トンネルにおけるひび割れ進行性を示すTCI増加量を算出し、判定区分と比較した。ここでTCI増加量とは過去2回分の点検記録から差分をとることでひび割れ状況の経年的変化、つまり進行性を示

することができると想定している。図-1に、定期点検1回目より2回目の判定区分が低下したスパン（65スパン）における判定区分とTCI増加量との関係を示す。なおここで示したTCI増加量は各トンネルごとに点検間隔が一定でないため、TCI増加量を点検間隔期間で除し、1年間あたりのTCI増加量に補正した値を用いた。図-1より、判定区分がIからIIbに低下したスパンではTCI増加量が減少（ひび割れが減少）しているスパンが多く見られた。一方で、判定区分がIIbからIIaに低下したスパンでは、TCI増加量が減少したスパンが見られず、ほとんどのスパンでTCI増加量が増加（ひびわれが増加）した。これは、表-1に示す技術者判定の指標となる表のとおり、判定区分がIIbからIIaに低下するとき、ひび割れ進行性によって判定区分を決定していることが読み取れ、そのひび割れ進行性はTCI増加量によって評価できることがわかった。

4. 技術者判定とひび割れの幅・長さの進行傾向の関連分析

トンネル覆工に生じるひび割れは新しく発生したひび割れ、ひび割れ幅の増大、ひび割れ長さの増大に分別でき、TCI増加量もそれに合わせ3種類に分離した場合、経年に従ってひび割れ幅の増大の寄与が支配的になると言われている⁴⁾。提案された分離方法をTCIの基礎式である式(1)を用いて示すと、TCIにおけるひび割れ幅の増分は $\Delta t^{(k)}$ 、ひび割れ長さの増分は $\Delta l^{(k)}$ と表され、それらの増分を考慮した場合が式(2)である。これをさらに展開すると式(3)となり、式(3)の F_{ij} から算出されるTCIを評価すると、以下のように解釈できる。

$$F_{ij} = \frac{1}{A} \sum_{k=1}^n \left(\underbrace{t^{(k)} + \Delta t^{(k)}}_{\text{幅の増大}} \right) \left(\underbrace{l^{(k)} + \Delta l^{(k)}}_{\text{長さの増大}} \right) \cos \theta_i^{(k)} \cos \theta_j^{(k)} \quad (2)$$

$$F_{ij} = \frac{1}{A} \sum_{k=1}^n \left(\underbrace{t^{(k)} l^{(k)}}_{(i)} + \underbrace{t^{(k)} \Delta l^{(k)}}_{(ii)} + \underbrace{\Delta t^{(k)} l^{(k)}}_{(iii)} + \underbrace{\Delta t^{(k)} \Delta l^{(k)}}_{(iv)} \right) \cos \theta_i^{(k)} \cos \theta_j^{(k)} \quad (3)$$

(i) 前回点検時のTCI

(ii) 前回点検時からひびわれの長さが今回増加したことに起因するTCI

(iii) 前回点検時からひびわれの幅が今回増加したことに起因するTCI

(iv) 前回点検時には確認されず、今回の点検で初めて確認された新しく発生したひびわれによるTCI

そこで、本研究ではTCI増加量を上記の3種類に分離して算出し、技術者判定との比較を行うことで健全性が比較的低下したスパンにおけるひび割れ幅・

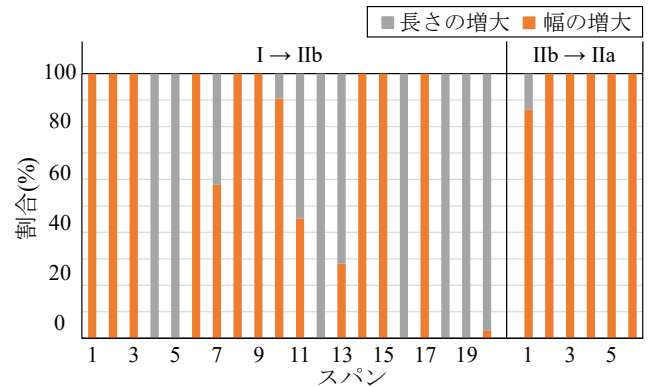


図-2 判定区分がIからIIbに低下したスパンにおける幅と長さの増大割合

長さの増大が占める割合を調査した。

分析対象スパンは前章の図-1でまとめた判定区分が低下したスパンのうち、点検間で経年的にTCI増加量が増加した33スパンである。その内訳は、判定区分がIからIIbに低下したスパンが27スパン、判定区分がIIbからIIaに低下したスパンが6スパンである。ここで、判定区分がIからIIbに低下したスパン、判定区分がIIbからIIaに低下したスパンにおける幅と長さの増大を各スパンの全TCI増加量に対する割合で図-2に示す。ちなみに、点検間で新しく発生したひび割れに関しては省いている。この図における判定区分がIからIIbに低下したスパンでは長さの増大と幅の増大の両方が見られるのに対して、判定区分がIIbからIIaに低下したスパンでは幅の増大が大半を占めていることが確認できた。よって、判定区分が低下する、つまり健全性が相対的に低下する場合、長さの増大に対して幅の増大が卓越していることがわかり、幅の増大が技術者判定に与える影響が大きいと推測できる。今後は、更に点検データを収取し、TCIを用いてひび割れ進行性や、ひび割れ幅の進行性を点数化することで技術者と同様の傾向の判定が行える可能性を検討したい。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局:道路トンネル定期点検要領, p6, 2014.
- 2) 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.
- 3) 公益社団法人日本道路協会:道路トンネル維持管理便覧[本体工編], p202, 2015.
- 4) 相緒春菜・中村剛・藏重聡志・林久資・進士正人:トンネル覆工の健全性評価実用化のためのTCI項目の寄与度分析に関する研究, トンネル工学報告集, 第29巻, I-17, 2019.