

トンネル覆工の健全性評価の定量化を目的としたひび割れ状況の分析

山口大学大学院 学生会員 ○糸田 大輝
 山口大学大学院 正会員 林 久資
 山口県 非会員 藏重 聡志
 山口大学大学院 フェロー会員 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。しかしながら、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あり、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、今後のわが国の熟練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。

一方で、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幅、長さ、角度を数値化できる覆工の定量的な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のが現状である。そこで本研究ではトンネル健全性の普遍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幅・長さの経年的な増大と判定区分との関連性を分析した。また、スパン内に存在するひび割れの最大幅、ひび割れ幅の増大量と判定区分との関連性を分析した。

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TCIを用いた。TCIの基礎式を式(1)に示

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

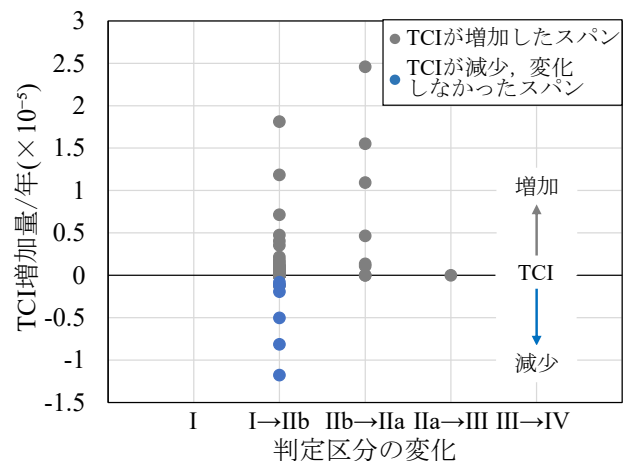


図-1 判定区分が低下したスパンにおける判定区分と TCI 増加量

す。

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

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計24本のトンネル、総数985スパンである。このうち山口県が管理するトンネルが22本、福岡県が管理するトンネルが2本である。

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

キーワード トンネル, TCI(Tunnel-lining Crack Index), 判定区分, ひび割れ進行性

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-1-1 山口大学大学院創成科学研究科 TEL0836-85-9332

分析対象トンネルごとに、各スパンにおけるひび割れ進行性を示すTCI増加量を算出し、技術者が健全度を判定した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、つまり劣化傾向を示すことができると思定している。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（64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増加量に補正している。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（ひび割れが増加）した。これは、表-1に示す技術者判定の指標からわかるように、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わかる。このことから、技術者判定とTCI増加量の傾向は一致していると判断できる。したがって、技術者が技術、経験により判定したひび割れ進行性はTCI増加量によって適切に評価できる可能性が示唆された。

4. 技術者判定とひび割れ幅・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起因するものの3種類に分離でき、それに合わせTCI増加量もトンネル供用後経年に伴ってひび割れ幅の増大の寄与が支配的になることが既往研究⁴⁾によりわかっている。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} から算出されたそれぞれの項の物理的な意味からそれにより算出されるTCIを評価すると、以下のように解釈できる。

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

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

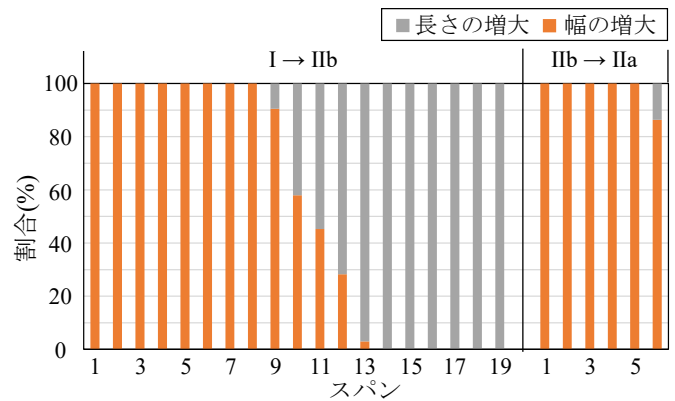


図-2 判定区分が低下したスパンにおける幅と長さの増大割合

- (i) 前回点検時のTCI
- (ii) 前回点検時からひび割れの長さが今回増加したこと
- (iii) 前回点検時からひび割れの幅が今回増加したこと
- (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割れによる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により健全性が比較的低下したスパンにおけるひび割れ幅・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で示し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30スパンである。該当スパンは、判定区分がIからIIbに低下したスパンが24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、図-2に判定区分が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の増大に占めるTCIと長さの増大に占めるTCIを各スパンの全TCI増加量に対する割合で示す。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略している。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および幅の増大に占めるTCI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に占めるTCIが大半であることが確認できた。このことから判定区分がIIbからIIaに低下する、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。

5. 技術者判定と幅の増大と最大幅の関連分析

覆工コンクリートの経年的な劣化に伴い、既存の

ひび割れが進行する。その際、覆工コンクリートに多数を占める無筋コンクリートスパンでは、鉄筋による拘束を受けないため、覆工に生じたひび割れは、ひび割れ量が分散しにくい。つまり新しいひび割れが発生しにくく、既存のひび割れ幅が経年に伴い徐々に進展すると考えられる。

このことから覆工の健全性が低い場合、点検間にひび割れ幅の増大が確認され、またその結果、幅の大きなひび割れが確認されると推測できる。そこで、図-3に対象トンネルにおいてスパン内に存在するひび割れの最大幅と、ひび割れ幅の増大量の関係を、点検間に判定区分が低下したスパンと判定区分が変化しない、または判定区分が向上した(低下していない)スパンの違いで取りまとめ、分析を行った。それぞれ該当するスパン数は64スパン、921スパンである。ここで示す最大幅とは、直近の定期点検で確認されたスパン内に存在するひび割れのうち最大幅を有するひび割れ幅であり、幅の増大量とはスパン内に存在するひび割れのうち最も幅が経年的に増大しているひび割れにおける幅の増大量である。ここではトンネルによって点検間隔が一定ではないため、ひび割れ幅の増大量を点検間隔で除した結果を示した。

図-3より、判定区分が点検間に低下したスパン、低下していないスパンのどちらに存在するひび割れも、最大幅が2mm以下程度、幅の増大量が0.2mm/年以下程度にプロットが集中していることがわかった。道路トンネル維持管理便覧³⁾によると、早期措置段階や緊急措置段階の判定につながるひび割れの目安は、ひび割れ進行性の有無が確認できない場合では3mmを超えるようなひび割れである。一方で、ひび割れ進行性が確認された場合には、3mm未満でも早期措置段階に判定される場合がある。つまり、図-3においてプロットが集中している最大幅が2mm以下程度、幅の増大量が0.2mm/年未満程度のひび割れが生じているスパンでは、スパンに対してひび割れに対する措置が必要ない箇所が多いといえる。一方で、幅の増大が0.2mm/年以上、つまりひび割れに進行が見られ、ひび割れ幅が5mmとなるようなプロットが2点みられるが、そのようなスパンは覆工の健全性が低い可能性がある。ただし、この2点においては技術者によって、健全性の低下を判定していることから、適切な

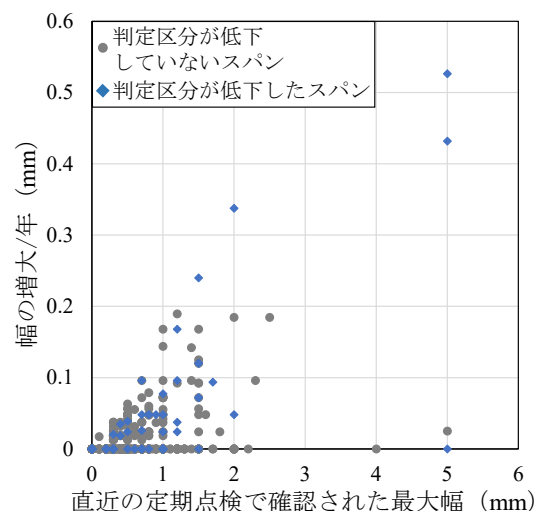


図-3 最大幅と経年的な幅の増大量の関係

判定、その後の措置につながったものであると考える。これらのことからひび割れの最大幅と、ひび割れ幅の増大量からひび割れに対する技術者の健全性低下に関する判定傾向を推測できる可能性がある。

6. まとめ

本研究では、ひび割れ進行性を示すTCI増加量と判定区分、ひび割れ幅・長さの経年的な増大と判定区分、また最大幅と経年的な幅の増大量と判定区分との関連分析を行った。分析の結果、TCI増加量からひび割れ進行性を把握でき、そのうちひび割れ幅、長さの増大に着目すると幅の増大が技術者の判断に与える影響が大きいと推測された。また、ひび割れの最大幅、ひび割れ幅の増大量からひび割れに対する技術者の健全性低下に関する判定傾向を把握できる可能性が示唆された。

今後は、更に対象スパン数を増やし、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により技術者と同傾向の判定が行える可能性について検討したい。

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.