

ひび割れ指数 (TCI) を活用したトンネル覆工の変状原因推定法に関する試み

(株)高速道路総合技術研究所	正会員	中野 清人
(株)高速道路総合技術研究所	正会員	下田 哲史
(株)高速道路総合技術研究所	正会員	佐伯 徹
(株)ダイヤコンサルタント	正会員	大場 諭
(株)ダイヤコンサルタント	正会員	○重田 佳幸

1. はじめに

山岳トンネルの変状は、外因（外力や環境等の外的な要因）と内因（材料や設計、施工等に起因する構造的な要因）に大別され、トンネルの変状の多くが複数の原因によって生じる¹⁾。覆工コンクリートに発生したひび割れの方向、発生部位などに特徴があり、変状原因推定の目安として評価に用いられている。一方、覆工コンクリートに発生したひび割れの定量的評価手法として、クラックテンソルの考えを導入したひび割れ指数 (TCI : Tunnel-lining Crack Index) が提案されている²⁾。このひび割れ指数 (TCI) は、ひび割れの幅、長さ、方向性を一つの数値化された評価尺度として利用できる特徴を有しており、点検技術者の技術力に依存せず客観的な評価ができるため、効率的な健全度評価、作業の省力化が期待され、トンネル覆工コンクリートの健全度評価への導入が検討されている³⁾。また、ひび割れ指数 (TCI) は、応力テンソルと同じ 2 階のテンソルであるため、得られる成分からモールの応力円と同様な図化処理が可能であり、覆工コンクリートに発生したひび割れの主たる方向を求めることができる⁴⁾。

そこで、本研究は、変状原因が明らかなトンネルの実データを用いてひび割れ指数 (TCI) を導入することで、トンネルの変状の特徴や程度の評価への適用性について可能性を検討した。

2. ひび割れ指数 (TCI) の概要

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。覆工コンクリートのひび割れの指標 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、さらに F_{11} 、 F_{22} 、 F_{12} 、 F_{21} の各成分を用いてひび割れ発生状況から変状原因の推定方法について検討を行った。

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

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 軸となす角度

$\theta_j^{(k)}$: ひび割れ k の法線ベクトルが y 軸となす角度

α : ひび割れ幅の重み付けに関する係数

β : ひび割れ長さの重み付けに関する係数

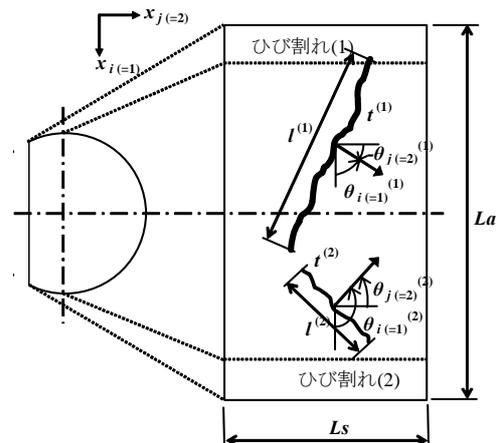


図-1 TCI の概念図

3. 対象トンネルの概要

高速道路トンネルを対象として、過去に変状を起こしたトンネルの変状原因を推定した資料を収集・整理した。表-1に対象トンネルの変状概要を示す。資料は、変状原因が分かるものと、軽微な変状のもので展開図が読み取れ

キーワード トンネル覆工, ひび割れ, 変状原因, ひび割れ指数 (TCI), 健全度評価

連絡先 〒331-8638 埼玉県さいたま市北区吉野町 2-272-3 (株)ダイヤコンサルタント TEL 048-654-1909

るものを検討対象とした。表中のひび割れパターンは、これまでの研究事例に基づきひび割れの方向と分布の割合を示したものである⁵⁾。

4. 変状原因と TCI の関係

ひび割れ展開図より TCI を算出し、既知となっている変状原因と TCI を比較・分析することにより、TCI から変状原因の推定の可能性を検討した。図-2 に変状原因と TCI の関係を示す。図-2 は、横軸に TCI の縦断成分 (F_{11}) を、縦軸に TCI の横断成分 (F_{22}) をとり、それぞれの変状原因別に色分けしてプロットしたものである。緩み圧による変状は、縦断成分が卓越し、路盤隆起による変状は、横断成分が卓越する領域に分布した。また、地すべり、偏圧による変状は、縦断成分、横断成分がほぼ同程度の領域に分布する。さらに、塑性圧による変状は、縦断成分が若干卓越する領域に、材質劣化は、縦断成分、横断成分がほぼ同程度であるが、それぞれの成分が小さな領域 (10×10^{-5} 以下) に分布した。変状原因別にある程度の領域に分布する結果が得られたことから、TCI を用いて変状原因推定の可能性があるものと考えられる。

5. まとめ

ひび割れ展開図より TCI を算出し、既知となっている変状原因と TCI を比較・分析することにより、TCI から変状原因の推定の可能性を検討した。その結果、 F_{11} と F_{22} の関係から、変状原因推定の目安として用いられる可能性があると考えられた。ただし、今回の検討で用いたデータ数は少ないため、データを追加して、さらなる検討が必要と思われる。また、TCI による変状原因推定は一次的な位置付けであり、実際に変状原因を推定する際には、地形、地質及びひび割れ発生部位等も考慮して総合的な判断をする必要がある。

参考文献

- 1)土木学会岩盤力学委員会トンネル変状メカニズム研究小委員会：トンネルの変状メカニズム，2003.
- 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)山田隆昭，佐野信夫，馬場弘二，重田佳幸，吉武勇，西村和夫：ひび割れ指数を用いたトンネル覆工コンクリートの健全度評価法の構築，土木学会論文集 F，Vol.65 No.1，pp.11-16，2009.
- 4)下田哲史，佐伯徹，重田佳幸，大場諭：トンネルの変状評価へのひび割れ指数 (TCI) の適用可能性について，土木学会 第 64 回年次学術講演会講演概要集，III-397，pp.793-794，2009.
- 5)山田 隆昭，佐野 信夫，馬場 弘二，吉武 勇，中川 浩二，西村 和夫トンネル覆工コンクリートの定量的な健全度評価基準，土木学会論文集 F，Vol.63 No.1，pp.86-96，2007.

表-1 対象トンネルの変状概要

トンネル名	主な変状原因	ひび割れ幅	ひび割れパターン	発生部位
A トンネル	地すべり	大半が 0.5mm 程度以下	縦断・斜め卓越型	アーチ部
B トンネル	偏圧	0.5~2.0mm 程度	縦横断拮抗型	肩部，側壁部
C トンネル	偏圧	大半が 0.5mm 程度以下	縦断・斜め卓越型	天端部，側壁部
D トンネル	偏圧	大半が 0.5mm 程度以下	縦断・斜め卓越型	天端部，側壁部
E トンネル	緩み圧	大半が 0.5~2.0mm	縦断・斜め卓越型	肩部，側壁部
F トンネル	緩み圧	大半が 0.5~5.0mm 程度	縦横断拮抗型	アーチ部
G トンネル	塑性圧	0.3~2.5mm	縦断・斜め卓越型	天端部，側壁部
H トンネル	塑性圧	0.1~5.0mm	縦断・斜め卓越型	天端部，側壁部
I トンネル	路盤隆起	0.1~3.0mm	横断卓越型	アーチ部
J トンネル	路盤隆起	大半が 1.0mm 程度以下	縦横断拮抗型	アーチ部
K トンネル	材質劣化	0.5~3.0mm 程度	横断卓越型	アーチ部
L トンネル	材質劣化	大半が 1.0mm 程度	縦断・斜め卓越型	アーチ部

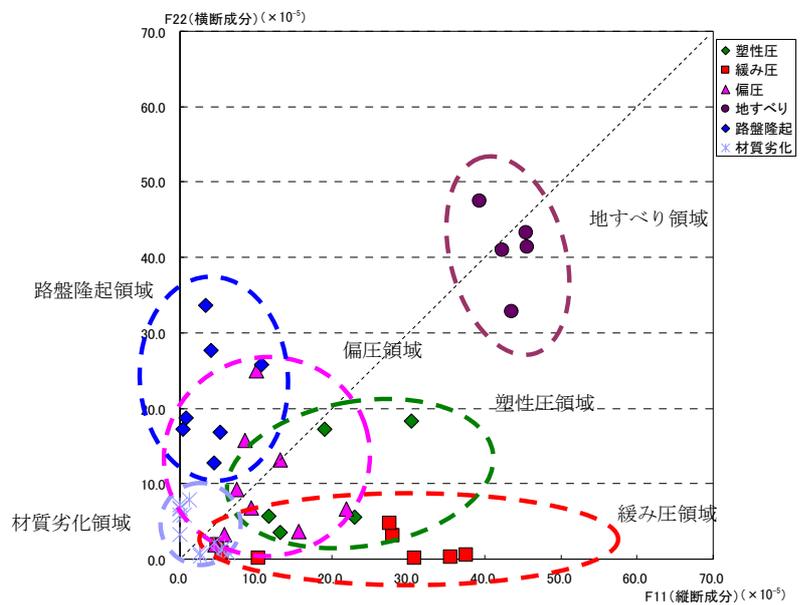


図-2 変状原因と TCI の関係