

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

(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		佐伯 徹
(株) ダイヤコンサルタント	正会員	重田 佳幸
(株) ダイヤコンサルタント	正会員	○大場 諭

1. はじめに

トンネル点検において、現在の目視が主体の点検方法では、その評価基準も定性的なものであり、点検技術者の経験や技術力に左右されるため、技術者の高齢化が進む中、トンネル維持管理の技術力低下が懸念されている。

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われ指数 (TCI : Tunnel-lining Crack Index) が提案されている。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を進めてきた。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、モールの応力円と同様な図化処理が可能である。そこで本研究では、ひび割れ指数 (TCI) を図化処理することで、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. 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} の各成分を用いて図化を行った。

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

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_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

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

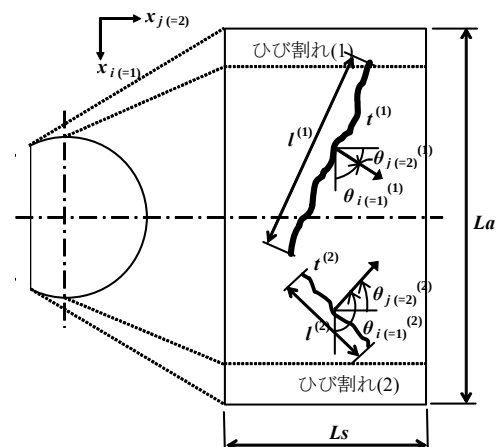


図-1 TCI の概念図

3. TCI の円の算出方法

TCI は応力テンソルと同じ 2 階のテンソルである。応力テンソルは、主応力とせん断力の関係を図示することができ、モールの応力円上の点 (σ , τ) と σ_m の直線と σ 軸のなす角が 2α となる。

同様に、ひび割れデータから算出した TCI の各成分 (F_{11} , F_{22} , F_{12} , F_{21}) によりモールの応力円のような円 (以下 TCI の円) を描くことが可能であり、覆工のひび割れ展開図からひび割れの主方向を求めることが可能である。式(2)にひび割れの主方向の算出式を示す。

キーワード トンネル覆工, ひび割れ, 覆工展開図, 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

ひび割れを回転させ、 F_{11} を横軸、 F_{12} を縦軸とした場合の TCI の円上の点と円の x 軸との交点を結ぶ直線による角度 α を求める。

$$\theta = \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{F_{12}}{r + (F_{11} - (F_0/2))} \right) \quad (2)$$

ここで、 θ : ひび割れの主方向

α : TCI の円が x 軸と交わる点と点

(F_{11}, F_{12}) を結ぶ直線と x 軸のなす角

r : TCI の円の半径

3. 検討結果

ひび割れ幅は等しいが、長さ、2本のひび割れの交差角を変化させた場合に TCI の円がどのような形状となるか検討した。

図-2 に検討ケースを示す。

図-3 に TCI の円の算出結果を示す。ケース 1 とケース 3 は同一の F_0 値であるが、ケース 3 が円の半径が大きくなる。これは、これは、 F_{12} の大きさの違いであり、ひび割れが 1 方向に集中すると円の半径が大きくなる特徴を示したものである。

ケース 1, 2, 4 を比較すると円の中心が原点に近づく傾向となった。これは、 F_0 の大きさの影響であり、ひび割れの長さが短くなるにつれ、円の中心は次第に原点に近づく傾向となった。

また、実トンネルにおけるひび割れ展開図を用いたひび割れの主方向の算出結果を図-4 に示す。図-4 より TCI の算出結果からひび割れの主方向を算出することができると考えられる。また、詳細点検結果では両トンネルとも健全度ランクは同ランクと判定されているが、図-5 のように TCI の円を図化することで円の中心位置の違いによりひび割れの量の違いが分かるなど、同じ健全度でも覆工状態の違いを示せると考えられる。

4. まとめ

本検討結果のまとめを以下に挙げる。

- ① ひび割れがトンネル縦断方向、横断方向等、一方向に集中すると TCI の円の半径が大きくなる。このことから、TCI の円の半径の大小によりひび割れの分布の特徴を評価する可能性があるものと考えられる。
- ② ひび割れの量（長さ、幅）が小さいほど、TCI の円の中心が原点に近づく。すなわち、ひび割れ変状の程度は TCI の円の中心位置で評価する可能性があると考えられる。
- ③ 実トンネルのひび割れ展開図から TCI の円を描画することにより、外力変状の推定や、外力変状と内的要因による変状の区分け等の可能性があると思われる。

参考文献

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, 2009.

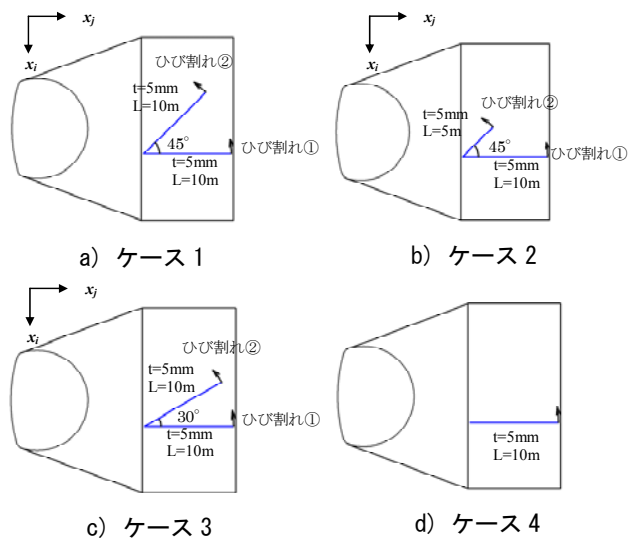


図-2 検討ケース

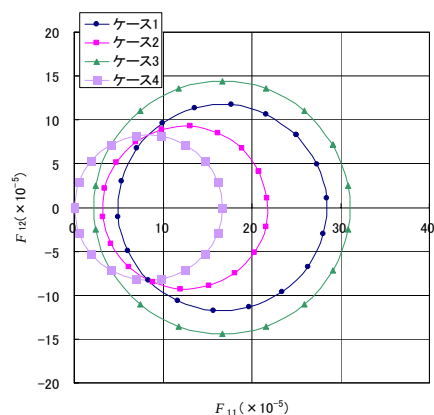


図-3 TCI の円の算出結果

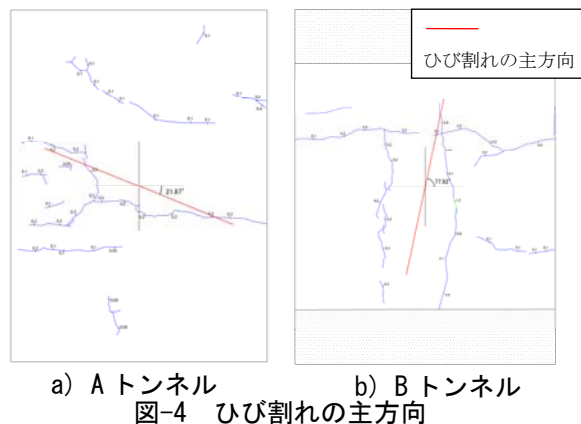


図-4 ひび割れの主方向

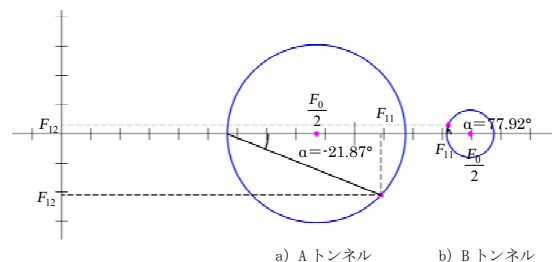


図-5 TCI の円の算出結果