

ひびわれ指数 (TCI) による覆工の変状原因推定について

(株) 高速道路総合技術研究所*) 正会員○前田佳克 海瀬 忍
 中 日 本 高 速 道 路 (株) 正会員 八木 弘
 西 日 本 高 速 道 路 (株) 正会員 水野希典
 パシフィックコンサルタンツ (株)***) 正会員 重田佳幸 岡本直樹 前田洗樹

1. はじめに

トンネル覆工のひびわれの原因としては、外力の作用等の外因と使用材料や施工等の内因に大別できる。一般には、外因、内因それぞれの変状原因が複合的に作用してひびわれが発生することから、トンネル覆工のひびわれ形態は多種多様である。しかし、トンネルの安定性や安全性を評価するためには、ひびわれの特徴を調査・分析し、変状原因を推定する事が重要となる。

本稿は、外因のひびわれ発生の特徴について TCI を用いて分析し、客観的な変状原因の推定手法の検討結果について報告する。

2. TCI の概要

岩盤工学の分野では、岩盤中のひびわれ(節理)の密度や方向、幅が岩盤物性(変形係数・透水係数)に大きく影響するため、これらの影響を総括的に定量化できる指標の“クラックテンソル”が用いられてきた。一方、既往の研究¹⁾において、覆工コンクリートのひびわれ評価指標として、この“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。覆工コンクリートの劣化の指標 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、さらに 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。

3. 検討概要

3-1 検討方法

分析は TCI の縦断方向成分 F_{11} と横断方向成分 F_{22} を用いて行う¹⁾。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、プロットがグラフ上の点線 ($F_{11} = F_{22}$ ライン) より下側に分布すれば縦断方向ひびわれ卓越型、上側に分布すれば横断方向ひびわれ卓越型とできる。プロットが点線上もしくは点線付近に分布すれば、縦横断(斜め)ひびわれ卓越型となる。したがって、このグラフから、以下のような変状原因が推定できると考えられる。

- ・ $F_{11} > F_{22} \rightarrow$ 緩み圧による天端縦断方向ひびわれ、水圧、塑性圧による側壁部縦断方向ひびわれ等
- ・ $F_{11} = F_{22} \rightarrow$ 地すべり、偏圧地形による斜め方向ひびわれ等
- ・ $F_{11} < F_{22} \rightarrow$ 路盤沈下、路盤隆起による横断方向ひびわれ等

また、既往の研究²⁾により標準的なひびわれ形態と示した四角の領域については、TCI 成分 (F_0 、 F_{11} 、 F_{22} 、 $F_{12} = F_{21}$) による平均値 $\mu \pm$ 標準偏差 σ^2 を活用し、324 チューブ、33,388 スパンのデータを分析しスパンの TCI 成分が、平均値 $\mu \pm$ 標準偏差 σ の範囲内に含まれるものは、内因による変状であるとした。

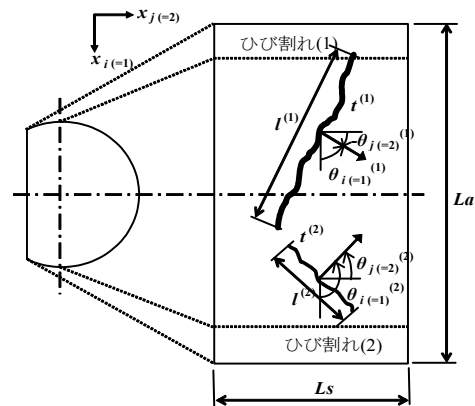


図-1 TCI の概念図

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

A : 覆工コンクリートの面積 ($A = Ls \times La$)

Ls : 覆工コンクリートの縦断延長

La : 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

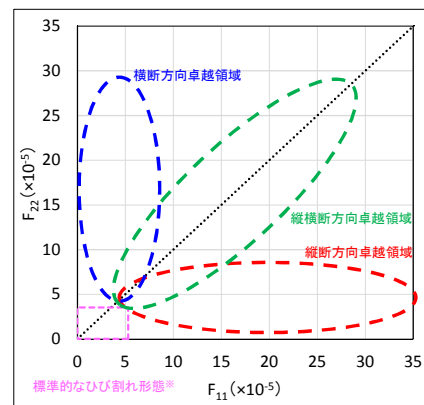


図-2 変状原因の分析例

キーワード：トンネル ひびわれ TCI 変状原因

連絡先：*) 〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1

**) 〒101-8462 東京都千代田区神田錦町 3-22

TEL 042-791-1629

TEL 03-5989-8321

FAX 042-791-2380

FAX 03-5989-8329

3-2 対象トンネルと変状原因³⁾

分析の対象トンネルを表-1に示す. 図-3のよう
に塑性圧による路盤隆起に伴い側壁が内空側
へ変形し, 天端横断方向のひびわれが発生した A
トンネルの 104~106 スパン, 図-4 のように断層
破砕帯に沿った地山のズレによるトンネルの内
空側への変形により, 天端横断方向ひびわれが発
生した B トンネルの 45~47 スパンとする.

4. 分析結果

4-1 A トンネル (S105)

図-5に A トンネルにおける F_{11} と F_{22} の関係を示
す. 外力性変状の可能性がある 104~106 を緑のプ
ロットで示している.

図中の赤線の範囲内は標準的なひびわれと判断
でき, 内因による変状とすることが出来るが, こ
れをみると, 105 スパンは標準ひびわれ境界外に分布しており, 外力性変状
の可能性があると考えられる. さらに, 105 スパンの F_{11} と F_{22} の関係をみる
と $F_{11}=F_{22}$ の, 縦横断方向卓越領域に分布している. これは, 塑性圧により
側壁の縦断方向ひびわれが発生し, その後, 路盤隆起に伴い天端横断方向ひ
びわれが発生したことによるものと想定される. したがって, F_{11} と F_{22} の関
係によって水圧や塑性圧による変状の可能性を捉えていると判断できる.

4-2 B トンネル (S046)

図-6に B トンネルにおける F_{11} と F_{22} の関係を示す. 外力性変状の可能性
がある 45~47 スパンを青のプラットで示している.

これをみると, A トンネル同様に 46 スパンは標準ひびわれ境界外に分布
しており, 外力性変状の可能性があると考えられる. さらに, 46 スパンの
 F_{11} と F_{22} の関係をみると $F_{11}<F_{22}$ であり, 横断方向卓越領域に分布している
ことから, 横断方向ひびわれによる変状が発生していることが想定される.
したがって, 路盤沈下や路面隆起による変状の可能性を捉えていると判断で
きる.

5. まとめ

本検討では, TCI の F_{11} と F_{22} を用いて, ひびわれの特徴を整理分析した.
その結果, F_{11} と F_{22} の関係から変状原因を推定することが出来ることがわか
った. 今後は, 内因の領域の検証, 分析トンネル数を増やす事による精度の
向上を図り, 変状原因推定手法を確立していきたい.

【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
因推定へのひび割れ指数 (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) 前田佳克, 八木 弘, 海瀬 忍, 増田弘明, 水野希典, 重田佳幸, 前田洸樹: ひびわれ指数 (TCI) を用いた覆工に発生する
ひびわれ形態の整理, トンネル工学報告集第 26 巻, I-30, 2016.11
- 3) 重田佳幸, 海瀬 忍, 水野希典, 前田佳克, 岡本直樹, 前田洸樹: 走行型計測による変状モード解析による外力性変状評価
について, 土木学会年次講演会, 2017.9

表-1 対象トンネルと変状原因³⁾

対象トンネル	工法	対象スパン	変状原因
A トンネル	山岳トンネル 工法	104~106	塑性圧
B トンネル	山岳トンネル 工法	45~47	断層破砕帯 のズレ

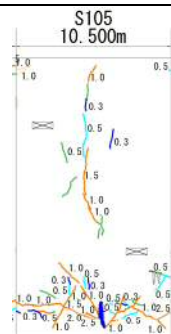


図-3 A トンネル (S105)

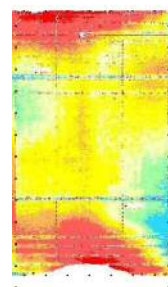


図-4 B トンネル (S046)

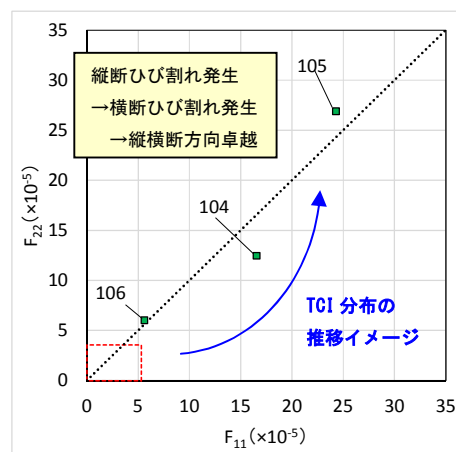


図-5 A トンネルの F_{11} と F_{22} の関係

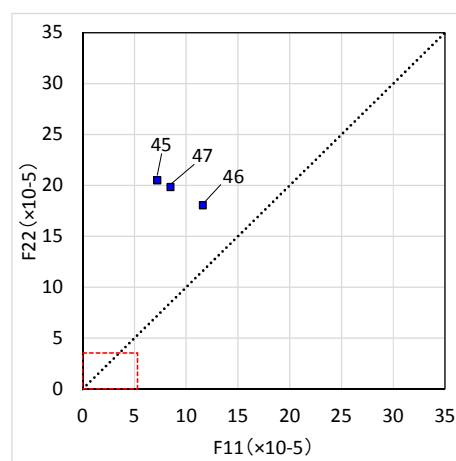


図-6 B トンネルの F_{11} と F_{22} の関係