

SENS の一次覆工コンクリートに生じたひび割れの TCI を用いた定量化について

鉄道建設・運輸施設整備支援機構	正会員	小川 淳
鉄道建設・運輸施設整備支援機構	正会員	田中 淳寛
パシフィックコンサルタンツ株式会社	正会員	○小松原 渉
首都大学東京大学院	正会員	西村 和夫

1. はじめに

SENS は、シールド工法のセグメントの代わりに、場所打ちコンクリートを用いた ECL 工法に加え、場所打ちコンクリートによる一次覆工コンクリートを NATM の一次支保材と同様の位置づけした工法である。しかしながら、掘削と同時に場所打ちによる一次覆工コンクリートを施工するため、現場の地形地質状況やシールドのジャッキ推力、坑内環境等の施工要因が複雑に関連し、内型枠脱型時には、一次覆工コンクリートにひび割れが生じている部分も確認された。発生したひび割れは、規模が小さく進行性がないため、耐力的な問題はないが、側壁部には横断方向や、切羽に向かって斜め方向の特徴的なひび割れが確認された。

本検討は、SENS 特有のひび割れについて方向性をより定量的に評価を行うために、覆工コンクリートのひび割れ評価指標 TCI¹⁾ (Tunnel-Lining Crack Index 以下 TCI とする) を用い、ひび割れ発生要因分析の基礎的な検討として行う事で、トンネル湧水の低減やトンネル構造物の品質向上を目指している。

2. TCI の概要

岩盤工学の分野では、岩盤中のひび割れ（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”²⁾ が用いられてきた。このクラックテンソルを参考に、覆工コンクリートのひび割れ評価指標として TCI が提案されている。以下に TCI の算出式を示す。ここで、図-1 に示す座標系に従うと F11 は縦断方向、F22 は横断方向に発生したひび割れを示す指標となる。なお、幅及び長さに関する重み付け係数として α 、 β が定義されているが、本検討では発生したひび割れそのものの定量化を目的としていることから、 $\alpha=\beta=1$ として取り扱うものとする。

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

A : 覆工コンクリートの面積 ($A = L_s \times L_a$)

n : ひび割れの本数

k : k 番目のひび割れ

$l^{(k)}$: 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

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

α : 幅の重み付けに関する係数 ($\alpha=1$)

β : 長さの重み付けに関する係数 ($\beta=1$)

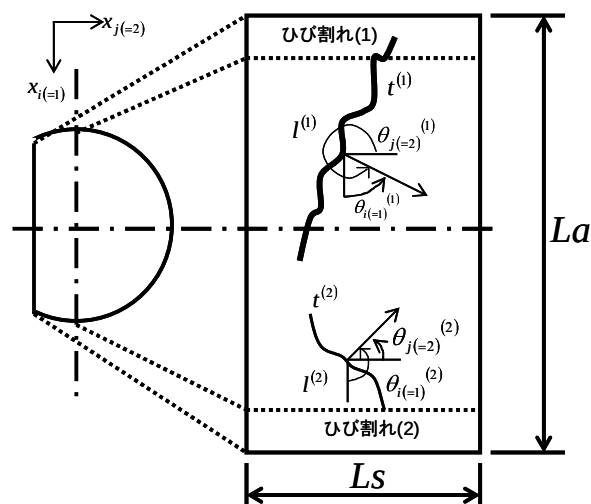


図-1 TCI 算出例の展開図

3. 現場概要

対象トンネルは、現在施工中の全長 6,190m 北海道新幹線津軽蓬田トンネルであり、トンネル外径 11.3m、一次覆工コンクリート厚さ 330mm となっている。地質は蟹田層で構成され、起点側坑口より未固結・塊状を呈する砂層主体の蓬田タイプと半未固結の凝灰質砂層～軟岩質の砂岩の瀬辺地タイプ、半固結～固結した砂岩層の砂川沢タイプに分けられる。

キーワード TCI, SENS, ひび割れ, 定量化, クラックテンソル

連絡先 〒163-6018 東京都新宿区西新宿六丁目 8 番 1 号 住友不動産新宿オークタワー21F 交通基盤事業本部 トンネル部

検討対象区間は、土被りが大きい区間（区間1）、土被りが小さい区間（区間3）、その中間の土被り高さの区間（区間2）に着目した。TCIの算出にあたり、各区間における1連続掘削進長（1打設長）を対象面積とし、各スパンに発生したひび割れについて、定量化を行った。

4. TCI によるひび割れの定量化結果

検討対象とした3区間のうち、最もひび割れが多く発生した区間3を一例に示す。図-3のトンネル展開図を確認すると、スパン1, 2では、主に横断方向のひび割れが確認でき、スパン3以降では、斜め方向から縦断方向のひび割れが多く確認できる。これらの特徴を、TCIを用いて定量化を行った結果を図-4に示す。スパン1及び2はF22成分（横断方向成分）が卓越しており、スパン3以降についてはF11成分（縦断方向成分）がF22成分と同程度若しくはそれ以上示され、トンネル展開図のクラックの特徴を明確に定量化している事がわかる。

次に、区間1及び区間2も同様にTCIによる定量化を行い、各スパンで算出されたTCIを、横軸にF11成分、縦軸にF22成分をプロットした結果を図-5に示す。土被りが大きい区間1ではF22成分が卓越しており、横断方向のひび割れが卓越していることが示さる。一方、土被りが小さくなるに従い、F11成分が卓越することが確認でき、土被りがひび割れの方向性に起因する項目の一つである事がクラックテンソルの成分からも把握できる。

5. まとめ

TCIを用いてひび割れの評価を行った結果、展開図のひび割れ発生状況と一致し、ひび割れ発生状況を定量的に把握できた。

特に土被りの違いによりひび割れの発生方向が変化する状況を数量的にも捉えられることが確認できた。ひび割れ発生要因としては、ジャッキ推力等の施工状況や坑内環境も複雑に関連する事が想定される。よって各種データとひび割れ方向成分(F11, F22)の関連性についても検討を行いひび割れ発生要因の推定を行う。

参考文献

- 1) 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 11-16 2009.1
- 2) 山辺正 原夏生 小田匡寛 クラックテンソルによる節理性岩盤の弾性変形解析と入力パラメータの決定に関する研究 土木学会論文集 第382号/III-7 1987年6月

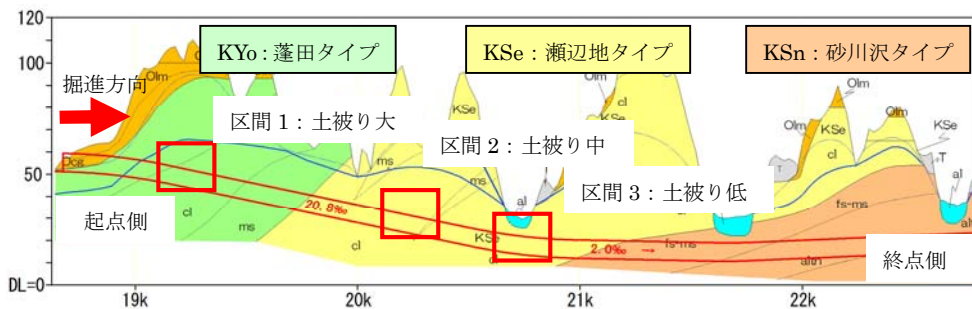


図-2 検討対象区間

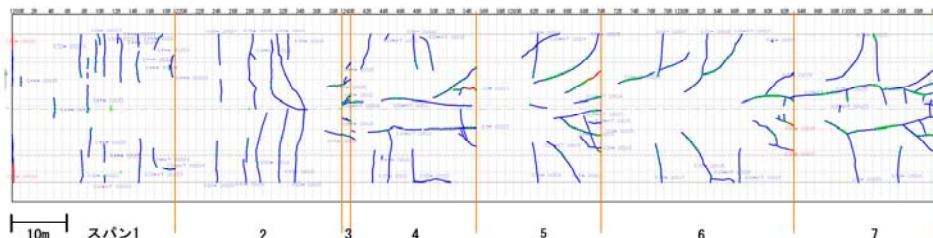


図-3 区間3におけるトンネル展開図

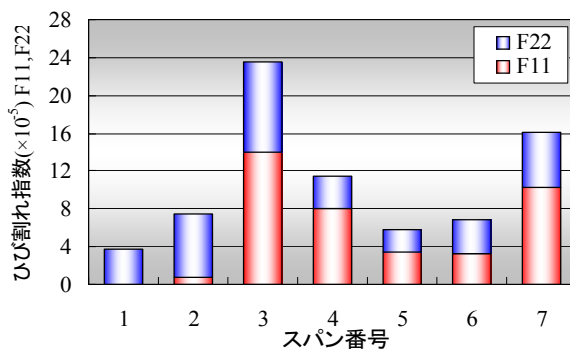


図-4 スパン1～7のTCIによる定量化結果

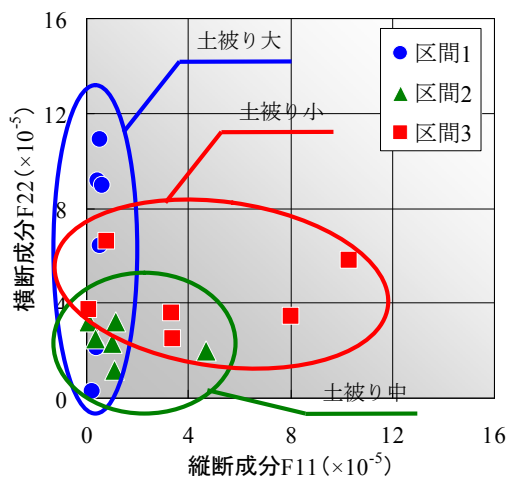


図-5 区間別の方向成分分析結果