

トンネル覆工表面画像の簡易合成によるひび割れ自動抽出結果の検証

西日本高速道路エンジニアリング九州株式会社 正会員 ○池田 智昌

西日本高速道路エンジニアリング九州株式会社 正会員 谷口 徹也

1.はじめに

NEXCO 西日本管内のトンネルの詳細点検では、トンネル覆工点検システム(以下、「現行システム」という)が運用されている。現行システムは、7台のカメラを搭載した撮影車両で覆工表面を撮影後、合成した覆工表面画像をもとに、ひび割れ展開図を作成して健全度評価を行っている。

本稿では、現行システムの更なる作業効率化を目的に行った覆工表面画像合成ソフトウェアの改良(以下、「新システム」という)の検証結果を示す。

2.現行システムの現況と問題点

トンネル覆工撮影は、図-1のトンネル覆工表面画像作成概要に示すとおり、専用車両に搭載した7台のラインセンサカメラで片側断面毎に行う。撮影の際は、2Dレーザーにて覆工断面形状を同時計測し、隣り合うカメラ撮影のラップ幅を計算する。撮影によって得られた14枚の撮影帯状画像は、覆工表面画像ソフトウェアで合成し、1スパン毎の覆工表面画像を作成している。

図-2にトンネル覆工表面画像作成の手順を示す。画像合成に先立ち、2Dレーザーによるラップ幅計算結果に加え、スパン境界部の隣り合う帯状画像のラップ範囲13箇所において、自動合成の精度向上のために同一撮影箇所を目視で見出して位置を指定する(以下、「対応点」という)。その後、ソフトウェアが対応点を活用し自動合成を行う。現行システムの問題点は、精密に画像合成を行うため、人力による対応点指定箇所数がスパン境界ごとに13箇所と多数となり、労力負担の大きい作業となっている点にある。

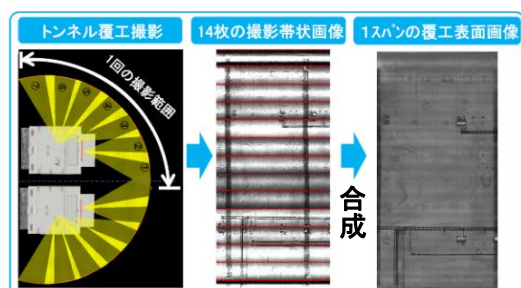


図-1 トンネル覆工表面画像作成概要

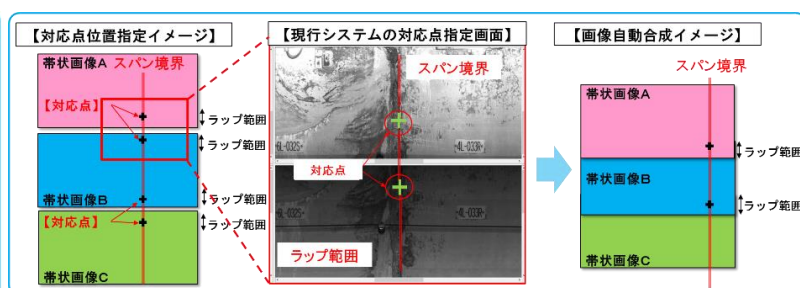


図-2 トンネル覆工表面画像作成手順

3.解決策

隣り合う帯状画像の局所的なずれが健全度評価へ与える影響は少ないと仮定し、対応点指定を省略して2Dレーザーによるラップ幅計算結果のみを用いた合成(以下、「覆工表面画像簡易合成」という)に変更した。なお、撮影が別々になる車線境界部においては、ラップ幅計算が不可能のため対応点指定を1箇所だけ行う。

覆工表面画像簡易合成は、スパン境界ごとの対応点指定箇所数を13箇所から画像合成に最低限必要な1箇所のみとし、局所的なずれを許容することで現行システムの労力負担を改善する。

4.新システムの検証

(1) 検証方法

覆工表面画像簡易合成は、帯状画像の境界で局所的に軽微なずれが発生する場合がある。この様な状況から、局所的なずれの影響により、現行システムと新システムの健全度評価が乖離することが懸念された。

そこで、両システムにより100スパンずつひび割れ展開図を作成し、各スパンのTCI(Tunnel-Lining Crack Index)指数とこれにより算出される評価点を求め、比較検証を行った。

キーワード トンネル覆工詳細点検、トンネル覆工表面画像、ひび割れ自動抽出、健全度評価

連絡先 〒810-0073 福岡県福岡市中央区舞鶴1-2-22 西日本高速道路エンジニアリング九州(株)TEL:092-285-1669

図-3にTCI基礎式および、ひび割れ幅・長さ・分布に関する評価点、ひび割れの方方向性に関する評価点を示す。TCI指数とは、岩盤力学の分野で研究されているクラックテンソルの考え方を採用したひび割れ分布の定量化手法に用いる指数であり、TCI指数をもとに最大ひび割れ幅、最大ひび割れ幅の長さ、ひび割れの分布、ひび割れの方方向性についての評価点が算出される。

検証方法は次のとおりである。

- ① 現行システムの覆工表面画像を技術者が詳細観察して作成（人力抽出）したひび割れ展開図から算出したTCI指数の真値と、新システムの自動抽出をもとに作成したひび割れ展開図から算出したTCI指数との相関性検証
- ② 人力抽出と自動抽出それぞれの健全度評価点の比較検証

【TCI基礎式】

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

A : 対象とする覆工コンクリートの面積 $\theta_i^{(k)}$: k番目のひび割れの法線ベクトルが
 n : ひび割れの本数 $\theta_j^{(k)}$: k番目のひび割れの法線ベクトルが
 $l^{(k)}$: k番目のひび割れの長さ $\theta_j^{(k)}$: k番目のひび割れの法線ベクトルが
 $t^{(k)}$: k番目のひび割れの幅 $\theta_j^{(k)}$: k番目のひび割れの法線ベクトルが

【ひび割れの幅・長さ・分布に関する評価点】 【ひび割れの方方向性に関する評価点】

①外力評価（評価点：y）

$$y = \frac{58 \times x \times 10^5}{(x \times 10^5 + 10)}$$

②はく落評価（評価点：y）

$$y = \frac{32 \times x \times 10^5}{(x \times 10^5 + 13)}$$

x : ひび割れ指数 (TCI)

①外力評価（評価点：y）

$$y=4 \quad (0.7 \leq Z \leq 1.0) \\ y=7 \quad (0.3 \leq Z \leq 0.7) \\ y=11 \quad (0.0 \leq Z \leq 0.3)$$

②はく落評価（評価点：y）

$$y=2 \quad (0.7 \leq Z \leq 1.0) \\ y=4 \quad (0.3 \leq Z \leq 0.7) \\ y=6 \quad (0.0 \leq Z \leq 0.3)$$

Z : TCI指数の縦横の割合値から算出

図-3 TCI 基礎式、ひび割れ幅・長さ・分布に関する評価点、ひび割れの方方向性に関する評価点

(2) 検証結果

① 人力抽出と自動抽出における TCI 指数の相関性検証

図-4に人力抽出と自動抽出における TCI 指数の相関性を示す。検証の結果、自動抽出と人力抽出の TCI 指数が相関係数 0.99 と高い相関性があることから、人力抽出と同等以上のひび割れが抽出可能であることが分かった。

② 人力抽出に対する自動抽出の評価点の検証

それぞれのスパンの各評価点について、人力抽出と自動抽出の評価点比を図-5のとおり度数分布で表した。検証の結果、ひび割れの幅、長さ、分布に関する評価では、比率は1の度数が最も多く、1を越える度数分布が認められなかったことから同等から安全側の評価となっている。ひび割れの方方向性に関する評価については、比率は1の度数がほぼ全てであったことから同等であることを確認した。

なお、新システムの1スパンあたりの画像簡易合成時間と現行システムとの比較を行ったところ、新システムは、現行システムに比べて1スパン当たり50%程度削減可能であることが分かった。

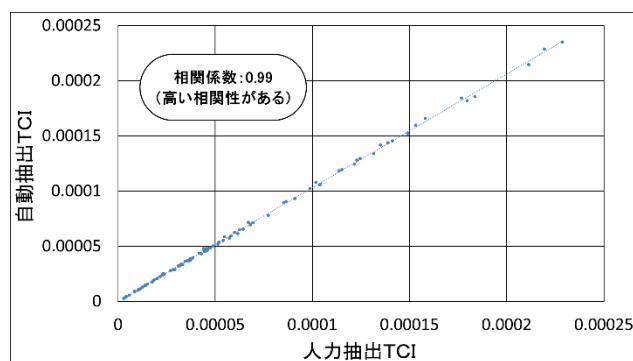


図-4 人力抽出と自動抽出における TCI 指数の相関性

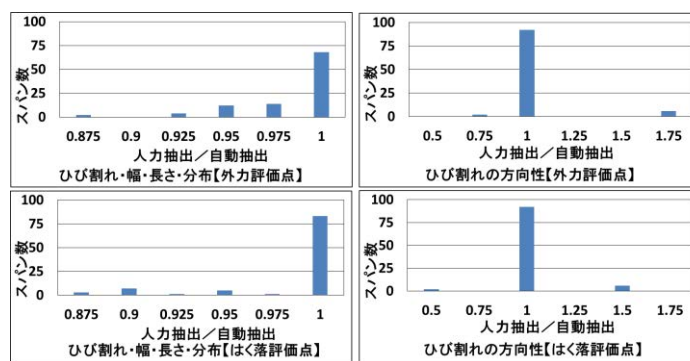


図-5 自動抽出を分母とした 人力抽出の評価点比率ヒストグラム

5. まとめ

覆工表面画像の局部的なずれを許容することで作業効率性を向上させる本改良は、ひび割れ自動抽出の評価点に影響を及ぼすことなく作業効率性を向上させることが可能となった。今後は、さらに品質を保ちながら人力作業の軽減による効率化を目指し、改良を重ねていく所存である。