

実大模擬トンネル実験施設におけるトンネル点検システムの検証

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
 NEXCO 西日本イノベーションズ株式会社 正会員 築山 彰
 NEXCO 西日本イノベーションズ株式会社 非会員 舟木 翔太

1. はじめに

NEXCO 西日本管内のトンネル詳細点検では近接目視の代替技術として画像撮影による点検システム(以下、「点検システム」という)を運用している。この度、点検システムで取得される覆工表面画像の位置精度、及びひび割れ幅検出の精度検証を、実大模擬トンネルを使用して実施した。

本稿は、検証結果、及び本システムの有効性を示すものである

2. 点検システム概要

点検システムの概要を図-1に示す。トンネル覆工撮影は、7台のラインセンサカメラを搭載した専用車両を用いて左右片側断面毎に撮影を行う。次に得られた計14枚の帯状画像は、撮影車両上部に設置したLiDARにより取得された内空寸法の計測値から各ラインセンサカメラのラップ幅を計算して画像を自動合成し、1スパン毎の覆工表面画像を作成している。その後、AIによる専用ソフトによるひび割れ自動抽出、及び土木エンジニアによる確認と加筆修正によりひび割れ展開図を完成させる。

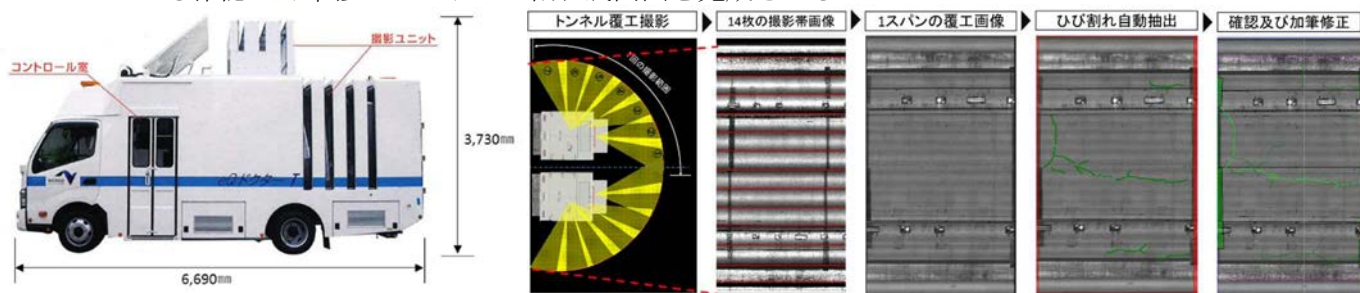


図-1 トンネル覆工表面撮影車両及び点検システムワークフロー

3. 実大模擬トンネル検証方法

計測精度の検証は、国土技術政策研究所内に設置されている実大模擬トンネル実験施設にて実施した。実大模擬トンネル覆工に設置されたマーカー、及びひび割れ幅計測用の模擬ひび割れ供試体(以下、「模擬供試体」という)を、点検システムを用いてマーカー間の距離やひび割れ幅について計測を行う。マーカー及び模擬供試体設置状況を図-2, 3に示す。

①位置計測精度検証

位置精度確認は、トンネル覆工面に設置されたマーカー間のそれぞれの距離を計測するもので図-2に示すように、点Oを原点として点A～D間の距離を計測し、水平と鉛直方向に分け現場計測値に対する検証を全3ブロックにおいて行った。

②ひび割れ幅計測精度検証

ひび割れ幅計測精度検証は、トンネル覆工面に設置された、ひび割れの方向や幅(0.1～4.5mm)を変えてひび割れを再現した供試体80パネルを、点検システムを用いてひび割れ自動抽出し、計測精度を確認した。

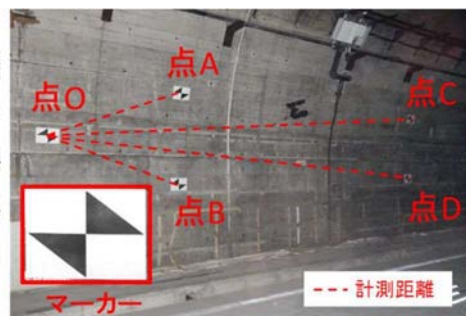


図-2 マーカー設置状況



図-3 模擬供試体設置状況

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, 点検支援技術, 実大模擬トンネル

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

4. 実大模擬トンネル検証結果

①位置計測精度検証

3 ブロックの各マーカー間距離 4 箇所の計測誤差結果のグラフを図-4に示す。水平方向の平均誤差 0.69%に対し、鉛直方向の平均誤差は 5.59%であり、鉛直方向の誤差が他に比べ大きい結果となった。

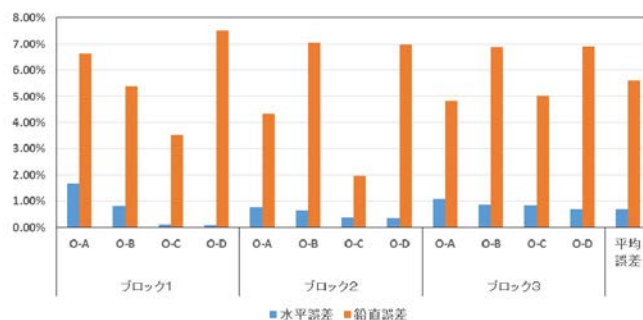


図-4 位置精度計測誤差グラフ

鉛直方向誤差の原因として、鉛直方向の画像合成は、撮影車両上部に設置した LiDAR の内空寸法計測結果から各ラインセンサカメラのラップ幅を計算して画像を自動合成している。また、各ラインセンサカメラは撮影トンネルの内空寸法に合わせて撮影角度を自動調整して撮影を行うため、設置時の角度調整誤差が鉛直方向誤差として表れている。

②ひび割れ幅計測精度検証

ひび割れ自動抽出結果の抜粋を図-5に示す。模擬供試体のひび割れについて一部未検出箇所を確認した。原因として、模擬供試体のひび割れはモルタルにて製作されていることから直線的なひび割れを有しているが、AIで検出するひび割れ形状は実際の覆工コンクリートに発生する細かな凹凸形状を学習しているため未検出となったと考えられる。

覆工のひび割れについては、図-6に示すように供試体横の覆工コンクリートに実際に発生したひび割れを検出出来ていることから実トンネルでのひび割れの抽出については問題ないことが確認できる。覆工ひび割れ自動抽出例を図-6に示す。

そこで今回は、ひび割れ幅をひび割れ編集ソフト上でクラックスケールを用いて人力にて計測（以下、「スケール計測」という）した。

スケール計測の結果、最小検出計測幅は 0.1 mmであった。また、各パネルの計測ひび割れ幅と正解ひび割れ幅の絶対誤差の平均値とした計測精度は、0.269 mmであった。計測精度の算出式を式1に示す。

誤差原因としては、クラックスケールの計測間隔を 0.5 mm単位で計測していることに対し正解ひび割れ幅の計測間隔が 0.1 mm単位であったため発生した誤差であると考えられるが、軽微な誤差であり点検時に求められるひび割れ計測の閾値は 1 mm単位であることから計測について問題ないとする。

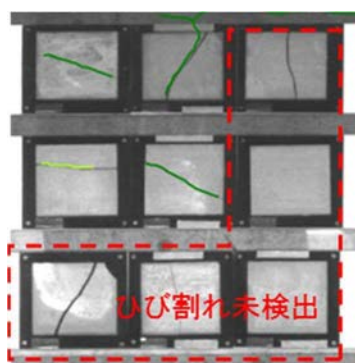


図-5 ひび割れ自動抽出結果

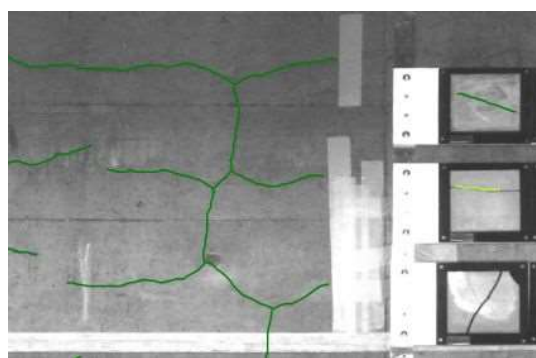


図-6 覆工ひび割れ自動抽出状況

$$E = \sqrt{\frac{(x_1 - a)^2 + \dots + (x_n - a)^2}{n}} \quad (1)$$

E: 計測精度
 $x_1 \sim x_n$: 計測ひび割れ幅
 a : 正解ひび割れ幅
 n : データ数

5. まとめ

実大模擬トンネルにおける検証を行って、点検システムで作成される合成画像の精度、及び覆工画像のひび割れ幅抽出精度を確認し、その結果、点検支援技術として活用できることを確認した。また、現在撮影車両の更新を計画している。更新車両の各ラインセンサカメラは撮影トンネルの内空寸法に関わらず撮影角度を固定して撮影を行う。そのため設置時の角度調整誤差が解消し、位置精度の誤差は現行車両に比べ低減される予定である。今後も、さまざまな技術開発に取り組み土木分野の DX を推進し、点検業務効率化・高品質化に貢献していきたい。