

## トンネル維持管理でのひびわれモニタリングのための画像計測手法

岡山大学 学生会員 ○廣田 彰久  
 岡山大学 正会員 西山 哲  
 (株)朝日 非会員 大鳥 真幸

### 1. 背景と目的

平成 26 年 6 月の道路トンネル定期点検要領改訂<sup>1)</sup>により、5 年に 1 度の頻度で定期点検を実施することとなった。現在目視により変状の進行性について評価がなされているが、トンネル内は暗く、汚れていることが多いため、変状の見落としがあるなどの問題点を有する<sup>2)</sup>。これらの解決にあたり、走行型計測技術が提案されている<sup>3)</sup>。これは図-1 に示すように、車両にレーザおよびデジタルビデオカメラを搭載し、一定速度で走行する。そしてレーザ計測によりトンネルの変形を推定し、デジタルビデオカメラにより覆工面状態の把握を行うことで、随時モニタリングが必要なひびわれ個所の抽出が可能となる。

変状の抽出後にはその進行性についてモニタリングし、評価する必要がある<sup>4)</sup>。ひびわれの進行性のモニタリングにおいて重要なのは、その変位量をいかに高精度に計測するかである。そこで本研究では、変状の中でもひびわれに着目し、その進行性のモニタリング手法として反射ターゲットを用いた画像計測手法について記述する。本手法は単写真測量の一種であり、任意の撮影位置から撮影した 1 枚の画像を用いて計測を行う。また写真撮影という簡便な方法で計測が可能のため、効率的で誰でも計測が可能であるなどの利点を有する。本論文では、実トンネルのひびわれ挙動モニタリングの適用のために、計測精度に影響するとされる因子について検討を行った。

### 2. 画像計測の計測手順の基本理論

本手法では反射ターゲットを用いる。このターゲット上には 4 つの真円が正確な間隔で配置されており、基準尺としての役割の他、画像の正対化を行う射影変換にも用いられる。

#### (1) 計測手順

本研究での計測手順を以下に示す。

1)ひびわれを挟んで反射ターゲットを設置する。反射タ

キーワード 画像計測, 維持管理, ひびわれ

連絡先 〒700-8530 岡山市北区津島中 3-1-1 環境理工学部 TEL 090-8231-8995

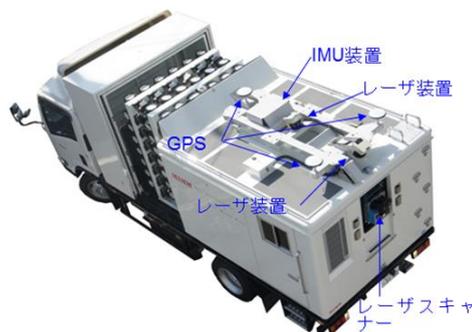


図-1 走行型計測車両の概要<sup>4)</sup>

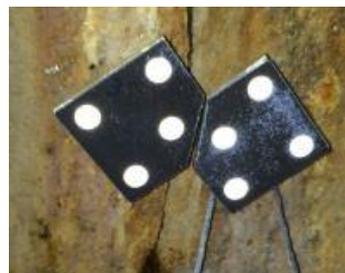


図-2 反射ターゲット

- ターゲットはガラス製で、トンネル等の暗所においてもカメラのフラッシュ光により計測を可能とした。
- 2)射影変換処理により任意の位置から撮影した画像を正対位置から撮影した画像に変換する。
  - 3)変換後の画像を用いてひびわれ両側のターゲット円上の2次元重心座標を算出する。
  - 4)重心間距離を計測し、前回計測時の重心間距離からのひびわれ幅の変化量を計算し、その変化量を評価する。

#### (2) 基本理論

ターゲットの 2 次元重心座標は、カメラのフラッシュ光を反射する強度である明度より算出する。256 段階ある明度から適当な閾値を定め、閾値以下の明度は 0、閾値以上の明度を持つ画素については明度を重みとした重心計算を行う。その後、射影変換により元画像を正対化する。射影変換とはある平面上の点 $(x,y)$ が投影中心  $O$  に関して、他の平面  $L'$  上の点 $(x',y')$ に投影される

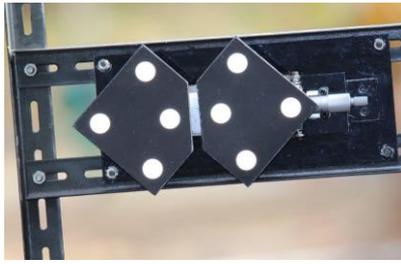


図-3 実験に用いたマイクロメータ付き変位装置

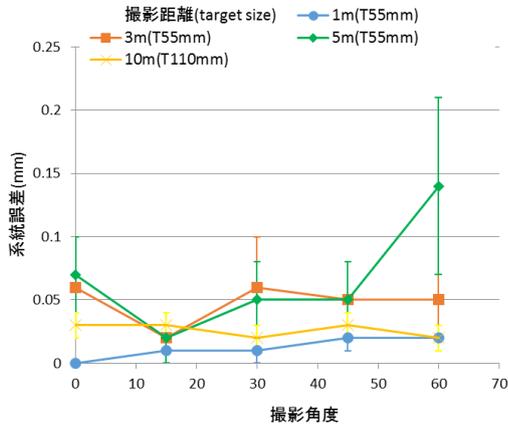


図-4 撮影距離および角度における計測結果

ような変換をいう。

### 3. 精度検証実験

計測精度に影響を与える因子には、撮影距離および撮影角度が考えられる。各要因と計測精度の関係性を明確にすることにより、本手法の有用性について検討した。実験方法は1枚のターゲットを固定し、もう一方のターゲットをマイクロメータを用いて0.2mm単位で1.0mmまで強制変位させる。実験における条件は、1800万画素デジタルカメラ、レンズの焦点距離は50mm（撮影距離1~5mに使用）、250mm（撮影距離10mに使用）を用いた。また撮影距離は1, 3, 5, 10m, 撮影角度は0°~60°まで15°ずつとした。ターゲットサイズは55mm角（撮影距離1~5mに使用）、110mm角（撮影距離10mに使用）の2種類を用意した。

横軸に撮影角度、縦軸に系統誤差をとり、計測条件ごとに整理したものが図-4である。エラーバーは偶然誤差を示している。撮影距離が大きくなると計測精度は低下している。特に撮影距離1mでは0.00mmと高精度での計測が可能であった。また撮影角度が大きくなると同様に計測精度は低下するが、撮影距離が1mにおいては撮影角度が大きくなっても計測精度の低下は見られない。撮影距離が大きくなった場合には、レンズの焦点距離、ターゲットサイズを大きくすることにより計測精度の向上が図れている。以上のことから、撮

影角度に依存せず計測可能とする射影変換技術は、一定の効果を示している。

計測精度の低下要因としては、ピクセル数減少によるターゲット円の重心座標の読取誤差が大きくなったことが挙げられる。そのため、ターゲットサイズの大型化、レンズの焦点距離を大きくするなどして、解像度を上げることで、計測精度の向上を図った。

### 4. まとめ

本研究では、トンネル覆工面のひびわれ進行性に着目し、そのモニタリング手法として反射ターゲットを用いた画像計測手法を提案し、その有用性について検討した。本手法の特徴は反射ターゲットを計測対象点に設置し、任意の撮影位置から計測を可能としている点である。以下に得られた知見を示す。

- 1) 撮影距離10m以内であれば、1800万画素デジタルカメラを用いることで、0.1mm以内の高精度でひびわれの変位量を計測することが可能である。
- 2) 画像処理技術の一つである射影変換技術を用いることにより、撮影角度60度においても計測を十分に行うことができる。

本計測手法により、簡易ながらも高精度に定量的なひびわれ挙動をモニタリングする技術として期待できる。またトンネル点検システムにおいて、走行型計測技術など新技术との併用により効率的に実施し、長期的な監視を簡便に実施することができる。さらに走行型計測技術により、外力作用の推定ができることから、健全性評価を行うことが可能になると考える。

### 参考文献

- 1) 国土交通省 道路局 国道・防災課：道路トンネル定期点検要領, pp.8-56, 2014.
- 2) 佐野信夫, 馬場弘二, 山田隆昭, 吉武勇, 中川浩二, 西村和夫：高速道路トンネルの合理的な点検システムの提案, 土木学会論文集 D, Vol.63, No.3, pp.391-400, 2007.9.
- 3) 水口尚司, 大西有三, 西山哲, 西川啓一, 下澤正道, 石村勝伸：道路トンネルにおける画像及びレーザーデータを用いたマネジメント手法の研究, 土木学会論文集 F2, 71(1), pp.20-30, 2015.
- 4) 廣田彰久, 西山哲, 水口尚司, 石村勝伸：トンネル維持管理のためのひびわれ幅の画像計測手法の研究, 土木学会論文集 F1, Vol.72, No.3, pp.I\_87-I\_95, 2016.