

デジカメ撮影画像を用いた石積み横穴トンネルの坑内変位計測

東海旅客鉄道株式会社 熱海保線所 正会員 ○鈴木 健太 安齋 裕介 新名 祐輔 本村 裕基
株式会社計測リサーチコンサルタント 正会員 柏森 創 大町 正和

1. はじめに

土木構造物の維持管理において、変状の進展が懸念される場合、十分な調査及び計測を行い、その結果に基づいて対策工を選定することが合理的であるといえる。従来の計測手法として、接触式の加速度計やひずみゲージによる応力測定器が用いられてきたが、それぞれの計測機器が高額であることや相応の労力を要する等の問題点がある。

これらの問題点に着目して、近年の計測技術・画像解析技術を活用し、計測データに基づく対策工選定に向けて研究を進めている。本稿では、市販のデジタルカメラで撮影した画像から簡易的に、かつ高精度にひずみ量を求める計測技術を石積み横穴トンネルの坑内変位計測に採用し、本手法の実用性を確認したことについて報告する。

2. 計測手法

2.1 計測機器の概要

本研究で採用したサンプリングモアレ法を用いたひずみ量計測及び可視化技術は、計測対象物に張り付けた格子ターゲット（図-1）をデジタルカメラ（以下、デジカメ）で撮影することで変位を計測する手法¹⁾²⁾である。本手法は、デジカメの画像を解析することで高精度にひずみ量を計測でき、特別な計測機器や電源を使用しないことから、一般的な電気式センサーを使用して構造物の応力を計測する手法に代わって、新たなモニタリング計測手法として期待されている。計測機器の仕様を表-1に示す。



図-1：格子ターゲット

表-1：計測機器の仕様

標点間距離	105mm
判読容量	±500 μe (F.S.=1000 μe)
可視化分解能	50 μe
非直線性	1% of F.S.
繰り返し精度 (2 σ)	±10 μe
外形寸法	17mm×120mm×6.8mm
極性	+: 引張, -: 圧縮

2.2 計測原理

規則正しく並んだ直線群のパターンを2つ重ねたとき、元の格子とは異なる干渉縞（モアレ）が生じる。各格子における単位長さ当たりの直線の距離間隔である周波数（空間周波数）の差がモアレの空間周波数となり、格子同士の微小な相対変位をモアレの移動量として拡大表示することができる。サンプリングモアレ法は、変位計測を行う対象物に貼り付けられた格子状のターゲットをデジカメで走査することでモアレを発生させ、基準となる画像と変位後の画像のモアレを解析することで、変位量を計測する方法である。これにより微小変位の算出が可能となり、その微小変位 Δp を標点間距離 L で除することでひずみ量 ε ($=\Delta p/L$) を算出する。

3. 計測対象トンネル

計測対象としたトンネルは、本線トンネルへと通じる横穴トンネルで、昭和黎明期（昭和35年工事着手）に石積みで建設さ

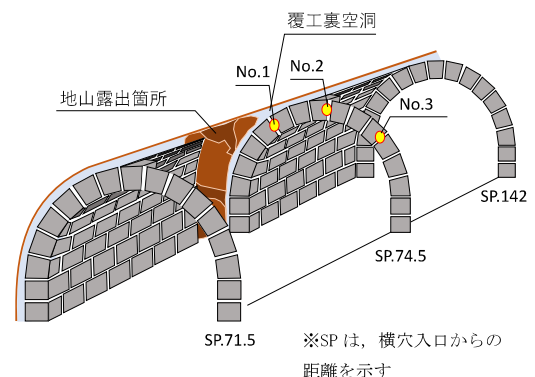


図-2：格子ターゲットの設置位置と概況

キーワード 坑内変位計測, トンネル, デジタルカメラ画像, サンプリングモアレ法

連絡先 〒413-0011 静岡県熱海市田原本町10番15号

東海旅客鉄道株式会社 新幹線鉄道事業本部 熱海保線所 TEL0557-81-4256

れたものである。当該横穴トンネルは、変状の発生に応じて随時修繕工事を実施しているが、一部区間において石積み覆工の裏に空洞や地山の岩盤を直接目視にて確認できる区間（図-2）が存在する。

4. 坑内変位計測

4.1 機器及び配置

クラウン部及びアーチ部において、石積の目地を跨ぐ位置に直接格子ターゲットを設置し、ひずみ量を計測した。格子ターゲットの設置位置は図-2のNo.1~3に示す。

4.2 デジタルカメラでの撮影状況

デジカメによる撮影状況を写真-1に示す。およそ2週間に1回のペースで格子ターゲットを正対に撮影した。また、撮影した画像を専用のアプリケーションで読み込み、画像解析により輝度値が最も低いピクセルの移動量を取得することで、ひずみ量を算出した（図-3）。

5. 計測結果

計測結果の一例として、図-4にSP.74.5における温度、湿度、ひずみ量の計測結果を示す。なお、ひずみ量の初期値は、計測を開始した令和5年10月26日をゼロとした。ひずみ量に着目すると、クラウン部に格子ターゲットを設置したNo.2において、12月5日に圧縮側に最大で $-80\mu\epsilon$ 程度のひずみ量が生じたことを確認することができた。また、No.1及びNo.3については著大な変位は見られないが、引張側にひずみ量が生じる傾向であることを確認することができた。いずれの格子ターゲット設置位置においても、計測期間を通じて支障なく計測することができた。

6. まとめ

本研究で採用したひずみ量計測手法は、石積み横穴トンネルにおいても既往の研究³⁾と同様に微小なひずみ量の計測が可能であることを確認した。また、現地にデジカメと脚立のみを持参するだけで坑内変位の計測が可能であることを確認した。以上より、本手法が石積みトンネルの坑内変位計測においても実用性を有することを確認した。今後は、石積みトンネル以外の構造物への適用可能性の検討及び覆工裏空洞箇所のひずみ量に影響与える素因と誘因の分析を進めるとともに、計測データに基づいて最適な対策工を選定し、修繕工事を実施していく。

【参考文献】

- 1) 梅本秀二・松尾恵輔・大町正和・宮本則幸・高木健・青山忠義：インフラ構造物に作用する応力見える化ーひずみ可視化シートー，ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集，1P1-B04，2017
- 2) 梅本秀二・高木健・大畑秀之・宮本則幸・岡本卓慈・石井抱：モアレ縞を用いたひずみ計測および可視化技術，実験力学 Vol.12, No.3, pp.201-206, 2012.9
- 3) 小林崇，赤松輝雄，梅本秀二，大町正和：モアレ縞の原理を用いたひずみ可視化デバイスの実用化に向けた検証，プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，29, pp.147-150 (2020)



写真-1：撮影状況

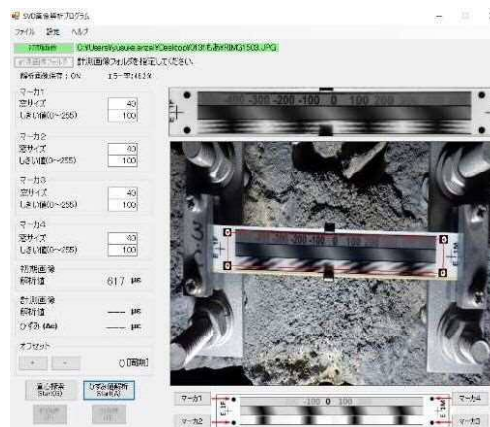


図-3：アプリケーション画面

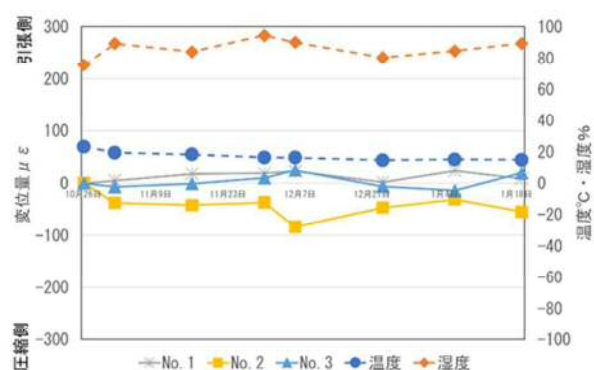


図-4：坑内の温度・湿度及びひずみ量の推移