

楕円フーリエ変換を用いたトンネル覆工変状評価の試み

横浜国立大学大学院

学生会員 ○松永 拓望 正会員 崔 瑛

大成建設(株) 技術センター

正会員 坂井一雄 宮永隼太郎

1. 背景と目的

道路トンネルは5年に1度のスパンでの定期点検が求められ、主に目視点検によるクラックの確認が実施されており、変状が進んでいるトンネルにおいては、変形速度や変形量等を複合的に確認している。よって、高精度な覆工変状の評価は、トンネルの安全性や効率的な維持管理に貢献できる。著者らは、近年精度が向上している三次元レーザースキャナ(3D-LS)の変状計測への適用について、現場計測実験を実施してきている。3D-LSの点群データを用いた変状の評価精度は、3D-LSの性能や点群間隔といった点群そのものの精度のほか、差分の計算方法に大きく依存することが分かった。そこで本報では、点群データと物体形状の定量的な評価に適した楕円フーリエ変換(Elliptic Fourier Analysis, 以下EFA)³⁾を組み合わせた、覆工の任意の位置での形状評価に関する試みについて述べる。

2. 現場計測と点群の処理方法

現場計測実験は、廃坑となった道路トンネル内で実施した。覆工の壁面に変状を模擬した複数枚のパネル(100mm×100mm)を図-1のようにL側とR側に設置し、変状前後、すなわちパネル貼付け前後にそれぞれ3D-LSによる計測を実施した。変状前後の計測点群をそれぞれT1, T2とする。3D-LSはZ+F社製のIMAGER 5016(距離分解能:0.1mm)を使用し、トンネルの路盤中央に設置し、計測を行った。

次に、取得した点群データを輪郭として解析するために点群の処理を行う。処理過程は図-2に示すように、①断面の抽出、②中心点の特定、③代表点の抽出の順で行った。①では、トンネル進行方向5mmの厚さを持った断面を抽出し、YZ平面へ投影する。この作業では図-1に示すように、1, 5, 14 mm, 2, 6, 21 mm, 3, 7, 21 mm, 4, 8, 28 mmのそれぞれ3種類のパネルを含んだ4つの断面a,b,c,dを抽出した。②では設計断面を参考に、天端から中心角153.2°の円弧を引き(半径は設計断面と同じ)、その中心点を内空の中心とする。

この方法は、同トンネルの覆工の中心点が設計断面から大きくずれず、設計断面同様中心角153.2°で曲率を変化することを前提としている。③では、中心点から一定間隔 $\Delta\theta$ の放射線を引き、 $\Delta\theta$ 内の点群を単純平均し、代表点を取得した。本研究では $\Delta\theta$ を1°, 0.5°, 0.2°, 0.1°の4つのパターンを設定し、変状を評価した。それぞれの代表点数は361, 721, 1801, 3601点である。

3. EFAによる変位の評価

EFA³⁾を用いることで、離散データである上記代表点を周期関数に変換し、トンネルの輪郭を周期関数として表すことができる。その操作を変状前後の2つの点群に対して行い、周上の任意の

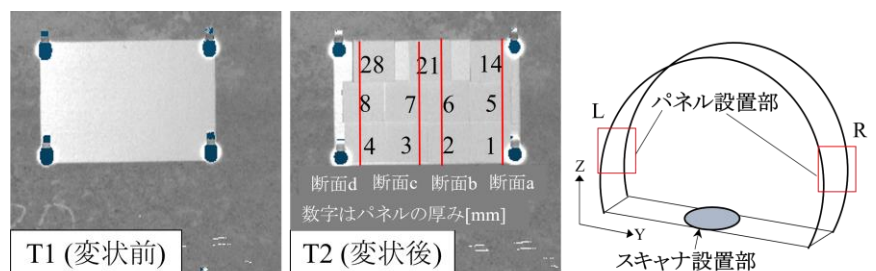


図-1 パネルの厚みと設置位置

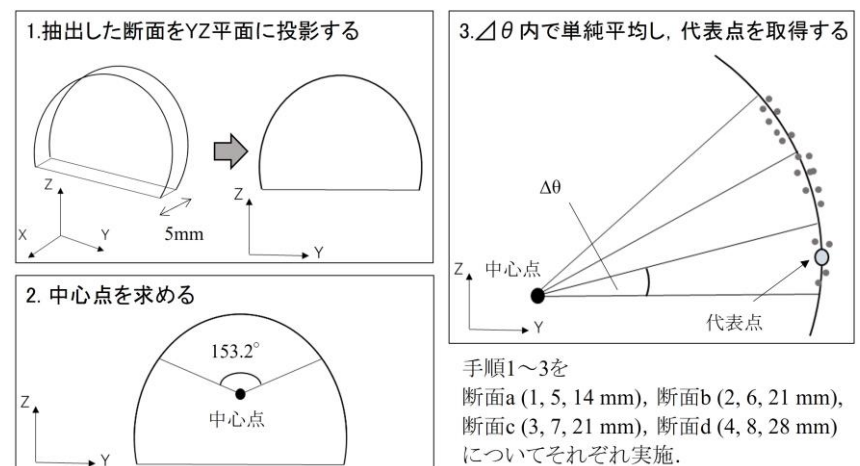


図-2 代表点の取得までの流れ

キーワード 楕円フーリエ変換, 点群, 3Dレーザースキャナ, トンネル, 変状
連絡先 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 横浜国立大学 TEL045-339-4040

点の座標を出力し、対応する点同士の差を取ることで変状を評価する。なお本研究では T1, T2 の結果に対し、中心点からの同角度の点を対応させることとし、変状前後において対応点の相対位置は大きくずれないと仮定した。

図-4 に、覆工の左側壁側に貼られた断面 a(1,5,14) mm のパネルの推定変位を示す。図より代表点の増加に伴い、徐々にパネル部分の変位が正確に表されていることがわかる。これは代表点数が増加することで、より詳細に輪郭が記述できているためである。また、他のパネルが設置された断面 b,c,d においても同様の結果を得た。パネルが周長に寄与する長さはわずか 100mm であり、このような局所的に存在する変状を精度よく表すためには、代表点数をある程度確保しなければならない。

最も良い精度が出た 0.1° ピッチ(3601 点)の推定変位と、パネルの実板厚の差分の平均を変状評価の誤差とし、図-5 に各パネルの結果を示す。誤差は上述した断面 a,b,c,d の各パネル内で評価した。結果としては最大誤差が 1.42mm ではあるものの、ほとんどのパネルにおいて 1mm 以下の誤差に収まっている。推定変位の誤差の原因として、任意の点の対応方向の誤差、周期関数が元の輪郭に収束しないことによる誤差があげられる。本研究では壁面に貼られたパネルが内空の中心より上側に位置しているため、対応する点同士がパネルの板厚方向に位置しなかったことが推定変位の誤差に起因したと推測される。また、パネルの端部のように輪郭が極端に変化する箇所に対しては、EFA による近似精度は低くなる性質がある。本研究で離散データである点群に対して EFA を実施した際に最大の調和数まで級数展開したが、周期関数が完全には元の輪郭に収束しなかったことが誤差の原因となったと考えることができる。

4. まとめ

本研究では実トンネルにおいて変状前後の状態を模擬し、取得した点群を対象に EFA を用いた覆工変状の評価を試みた。その結果、代表点数が増加するほど推定変位の精度は良くなり、最も精度が良い 0.1° ピッチ(3601 点)では、誤差が最大で 1.42mm にとどまり、EFA の覆工変状評価に対する適用可能性が見られた。一方、局所的な変状が発生した場合の対策といった課題を見出した。さらに今後は、3D-LS の設置位置から離れた箇所における変位の推定精度についても検討していく。

謝辞: 本研究は北海道土木技術会トンネル研究委員会の活動の一環として道路トンネルでの計測機会を提供いただいたものである。本研究の実施にご協力を頂いた方々に謝意を表す。

参考文献: 1) 国土交通省: 道路トンネル定期点検要領, 2019. 2) 浅羽 純介, 松永 拓望, 坂井 一雄, 宮永 隼太郎, 谷 卓也, 崔 瑛: 3DLS の測定方法がトンネル覆工の断面計測に与える影響の考察, トンネル工学研究発表会講演集, 第 31 回, 2021. 3) Kuhl.F.P, C.R.Giardina: Elliptic Fourier Features of a Closed Contour, Computer Graphics and Image Processing, Volume 18, Issue 3, pp.236-258, 1982.

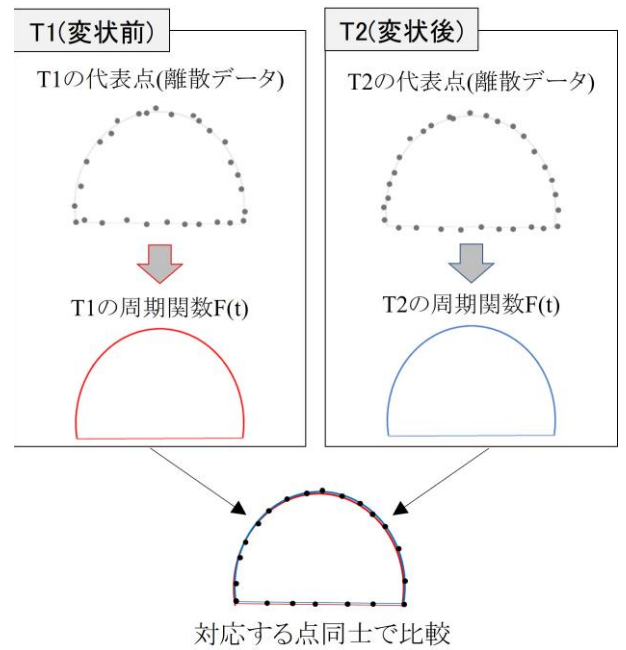


図-3 推定変位算出の流れ

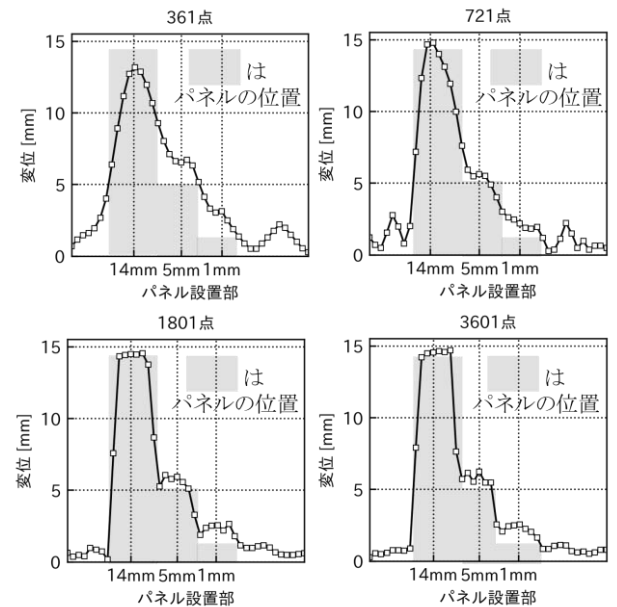


図-4 推定変位(1, 5, 14mm のパネルの断面)

