

覆工コンクリート出来形管理の DX

(株)大林組 正会員 ○吉田 健一 正会員 谷口 智洋
 東京大学 学生会員 伊賀上 卓也 非会員 速水 桃子 正会員 山下 淳

1. はじめに

道路トンネルを NATM で施工する際、日常的に様々な出来形・品質管理が行われている。覆工コンクリート工の出来形管理には、基準高、幅、高さ（上下方向の長さ）、厚さ、延長の項目がある。その内、基準高や高さの出来形計測は、高所作業車やオートレベル、スチールテープを用いての人力計測が主流であり、幅の計測は、スチールテープがたるまないように左右で引っ張り合う人、中間でそれを保持する人の合計3人を要している。現行の手法では、人の手でテープを引っ張り、人の目で数値を読んでそれをノートにメモし、事務所でエクセルシート等に数値を入力してはじめて出来形管理図表が完成する。しかし、手間や労力をかけて出来形管理を行っているにもかかわらず、覆工コンクリートと建築限界が最も接近する左右の肩部が実測できていないのが現状である（図-1）。それらの課題を解決するために、本稿では、デジタル技術を用いて任意の断面を簡便、高速かつ密に計測可能な3次元計測手法を紹介するとともに、その計測結果を標準断面図と自動比較することによって出来形管理を高度化し、DX（デジタルトランスフォーメーション）を実現する方法を提案する。

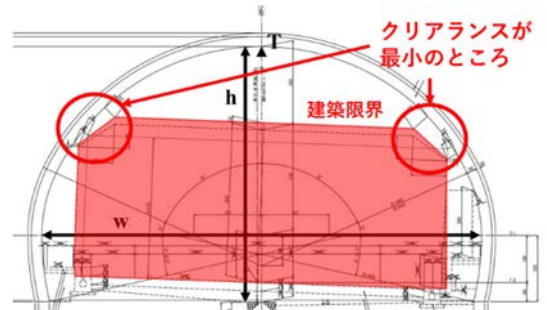


図1 道路トンネルの建築限界

2. 任意の断面を簡便かつ高速かつ密に計測可能な3次元計測手法

(1) 光切断法

光切断法は、三角測量の原理が適用された3次元計測手法の一つである。計測したい対象物にレーザー光を照射し、写真撮影および画像処理を行うことによって、レーザー光が照射された部分の3次元座標が取得できる。今回は、道路トンネルのような大型構造物を計測できるように、覆工面にレーザー光を照射できるリングレーザーと広い視野を持った魚眼カメラを用いて計測を行った¹。図-2は、計測装置の構成を示している。



図2 光切断法による計測装置の概要

(2) 背景差分処理

道路トンネルの建設現場には、シリンダーライトや懸垂灯などの照明設備が設置されている。画像処理を施さない場合、カメラはこのような照明設備をレーザー光と誤検知してしまう可能性があるため、背景差分処理を行った。背景差分処理とは、画像の引き算のようなものであり、レーザーONの状態の画像からレーザーOFFの状態の画像を引き算することで画像内にある照明の影響を打ち消し、レーザー光のみを抽出することが可能になる。

(3) トータルステーション (TS) と AR マーカーを用いたスケール調整

計測精度確保は、いかなる3次元計測手法において最も重要な要素の一つである。現時点では、計測精度検証にTSが用いられているため、TSとARマーカーを用いたスケール調整を考案した。具体的には、画像処理技術を用いることによって、カメラはARマーカーのある点（例えば右隅など）を自動で認識することが可能になる。その点をTS（ノンプリズム方式）で計測し、その計測結果と光切断法による計測結果のスケールが合

キーワード 覆工コンクリート、光切断法、DX

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 株式会社大林組 生産技術本部先端技術企画部 TEL03-5769-1253

うように微調整した。図-3 (左) はリングレーザーが覆工面に照射された計測状況が示されており、図-3 (右) は AR マーカーとスケール調整あり・なしの結果がそれぞれ示されている。

3. 計測結果と標準断面図自動比較

(1) ソフトウェア開発

計測結果は CSV ファイル形式 (120kB 程度) で出力されるため、CSV ファイルと設計図の形式である DXF ファイルを比較できるソフトウェアを別途開発した。

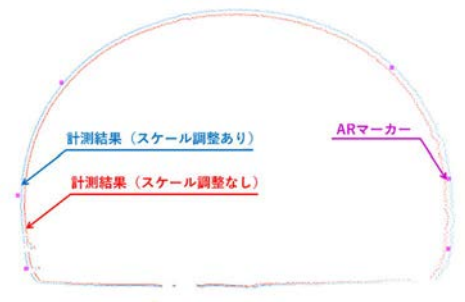


図 3 (左) 計測状況 (右) TS と AR マーカーを用いたスケール調整

(2) 楕円フィッティング

トンネル形状の性質上、トンネル上半を楕円と仮定できる。そこで計測結果からランダムに 5 点抽出し、計測結果点群に最もフィッティングする楕円の中心を計算するアルゴリズムを構築した。一方、標準断面図にはトンネルの上半と下半を分けるスプリングライン (S.L.) とトンネル中心線が描写されている。この交点と推定した楕円の中心を重ね合わせることによって計測結果と標準断面図の自動比較を行った。

4. 断面比較結果

図-4 は、建設中の道路トンネルの覆工面の計測結果 (緑色) と標準断面図を比較したものである。赤色は設計の覆工面、青色が建築限界を示している。計測結果は、全体的にトンネル断面の形状を的確に計測できていることが分かる。計測精度は、ある断面で TS と AR マーカーを用いたスケール調整を行い、別の断面で TS を用いて検証したところ、6 点の平均で 19mm であった (出来形の規格値は -50 mm 以上)。

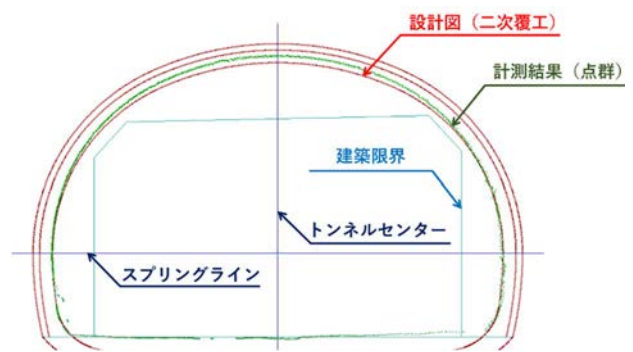


図 4 計測結果 (点群) と標準断面図の自動比較結果

5. 提案手法の効果

計測時間は、レーザー ON/OFF の状態でそれぞれ写真撮影するのみでよいいため、約 5 秒間で完了した。現行の手法では、高所作業車を配置して幅や高さを計測するのに 10 分以上要していたため、計測業務の生産性は約 120 倍向上した。また、高所作業車を使用せず一人で計測可能なため、安全性向上や省力化 (1/3) の効果も確認できた。通常の写真測量と比較して、環境中にレーザー光を用いて強制的に特徴点を創出するため、覆工面のような特徴点の少ない構造物の計測も可能であることが実証された。また、計測結果と標準断面図を比較することによって建築限界を侵さずにトンネルを構築できていることが証明できるため、出来形管理の高度化にも寄与した。

6. まとめ

光切断法による高速高密度 3 次元計測手法をトンネル覆工面の出来形計測に適用した。背景差分処理や TS と AR マーカーを使用することによって、安定的かつ高精度の計測を実現した。画像処理をはじめデジタル技術を活用することによって、出来形計測の大幅な生産性向上、省人化、安全性向上効果を確認した。従来、基準高や幅、高さで管理していた出来形のプロセスを任意断面の計測結果と標準断面図を自動比較するプロセスに変更することによって、建築限界との最小離隔確保を可視化し、出来形管理の高度化を実現した。本稿で提案した 3 次元計測手法や出来形管理の考え方が、インフラ分野の DX 施策の一助となれば幸いである。

謝辞

提案手法の現場試行は、国交省「官民研究開発投資拡大プログラム (PRISM)」予算を活用して実施した。

参考文献

- 1) 伊賀上卓也, et al. リングレーザー照射光の 2D-3D マッチングに基づく光切断法によるトンネル内部の 3 次元計測. 精密工学会誌, 2021, 87.12: 987-994.