

## 令和3年度 研究成果の概要(1/2)

研究テーマ:「R3光切断法を用いたトンネル 3次元計測についての技術研究開発」

研究代表者

- ・氏名(ふりがな):山下 淳(やました あつし)
- ・所属、役職:東京大学大学院工学系研究科精密工学専攻・准教授

研究期間:令和2年11月～令和5年3月

研究参加メンバー(所属団体名のみ)

東京大学, 株式会社大林組

研究の背景・目的

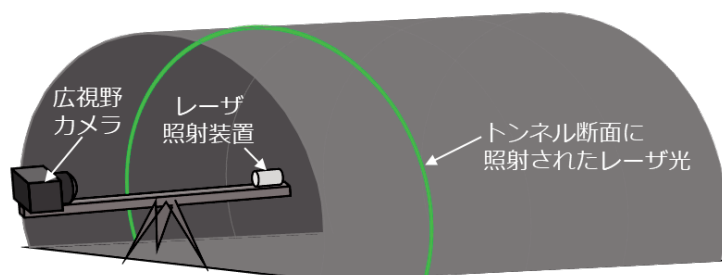
トンネルの 3次元形状情報はトンネルの施工・維持管理に有用である。本研究では、光切断法を用いてトンネル断面の 3次元形状を計測する技術を新規に提案する。広い視野を有する広視野カメラと広範囲にレーザ光を照射可能なリングレーザを用いることにより簡便かつ高速に密な 3次元計測を実現する技術・システムの構築を目指す。

研究内容(研究の方法・項目等)

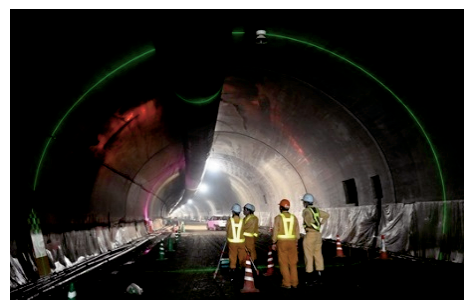
トンネルの施工・維持管理において、トンネル形状の 3次元計測は必要不可欠である。かつてはメジャー(巻尺)を使ってトンネルの高さや幅を計測していたが、近年ではトータルステーション(TS)やレーザ距離計などの ICT 機器・技術を用いた方法も採用されつつある。これらの計測装置は、トンネル壁面のある 1点のみに光を照射し、その 1点のみを計測する計測原理に基づいている。複数点を計測したい場合、手動で計測装置の方向を変化させることや光照射装置を回転台に搭載してスキャンすることにより、計測点の数だけ光を複数回照射する方法が用いられている。従って、従来の計測装置は、複数点、特に多点の高速計測には原理的に不向きであり、空間的に高密度な計測(以後、密な計測と呼ぶ)を高速に行うことは困難である。

高速かつ密な計測が可能な方法として、光切断法と呼ばれる手法があり、整備された環境である工場内での小型対象物(部品)の形状計測・点検などに幅広く用いられている。しかし、安定性と計測精度の問題から、一般に光切断法は、非整備環境における大型構造物の計測には、ほとんど注目・利用されてこなかった。

そこで本研究では、非整備環境における大型構造物であるトンネルの 3次元計測を実現するための未解決問題を解決し、簡便かつ高速に密な 3次元計測を実現する、光切断法に基づいた新しいトンネル形状計測手法・システムの構築を目的とする。



光切断法を用いたトンネル 3次元計測の概略図



トンネルにレーザを照射した例

本研究では、最初にトンネル内の一断面を 1回のレーザ照射のみで計測する手法・システムを構築する。次に、断面数のレーザ照射のみで複数の断面形状をそれぞれ計測した上で、複数断面間の位置姿勢の関係を自動的に求め、複数断面形状の計測結果を自動統合する手法・システムを構築する。提案手法・システムを用いることでトンネルの 3次元形状モデルを生成することにより、例えばトンネル切羽面の設計値と計測値の差分の自動検出や可視化が可能となり、トンネルの施工・維持管理の生産性向上や効率化を図ることができる。

具体的な研究項目は以下の通りである。令和 2 年度は、(1) 一断面の 3次元計測手法に関する基礎理論構築、(2) 計測システムプロトタイプ構築、(3) プロトタイプを用いた理論検証を行った。令和 3 年度は、令和 2 年度に構築した計測システムのプロトタイプを改良し、高精度に密な 3次元計測が可能な計測システムの構築を行う。令和 4 年度は、令和 2～3 年度に構築した一断面の 3次元計測手法を用いて取得した複数の断面形状の計測結果統合を行う手法の構築、トンネルでの検証実験および評価を行う。

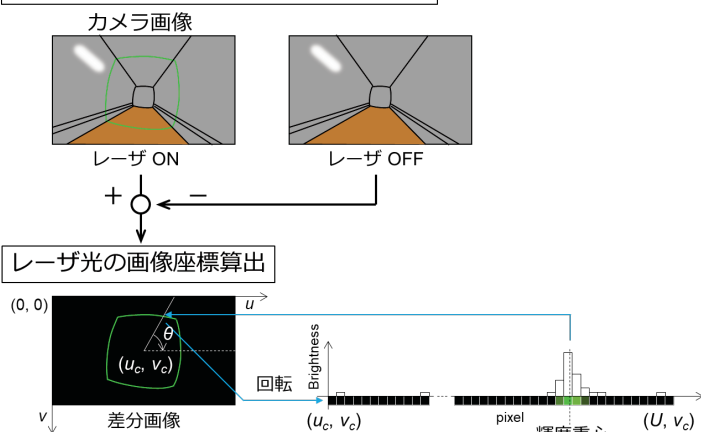
## 令和3年度 研究成果の概要(2/2)

### 研究成果の概要

#### (1) 安定して高精度な 3 次元計測が可能な計測システムの構築

照明条件が一定に制御された工場とは異なり, 照明条件を制御できないトンネルでは, 環境光や外光の影響によりレーザ光を安定して検出することが難しい. そこで本研究では, レーザ光照射の出力を瞬間的に切り替えて 2 枚の画像を取得し, 画像間の差分解析により安定してレーザ光を検出する手法を構築した(左図の上). また, 画像中のレーザ光の輝度重心の位置を 1 ピクセル以下の精度で検出することにより, 画像の 1 ピクセル以下の精度で 3 次元計測を行う手法を構築した(左図の下). 平成 2 年度に構築した計測システムのプロトタイプに上記の手法を新規に組み込み, 安定して高精度な 3 次元計測が可能な計測システムを構築した(右図).

レーザ照射時と非照射時の差分画像算出



安定したレーザ光検出(上)と高精度レーザ光検出(下)



改良した計測システム

#### (2) 実トンネルでの実験検証

(1)で構築した計測システムを用いて, 実トンネルで計測実験を行った. 画像間の差分処理なしのレーザ光検出(左図)ではトンネル内の照明部分などで誤検出が発生したが, 提案手法である差分処理ありのレーザ光検出(右図)では, 安定して高精度にレーザ光を検出可能であることが確認できた.



差分処理なしのレーザ光検出結果

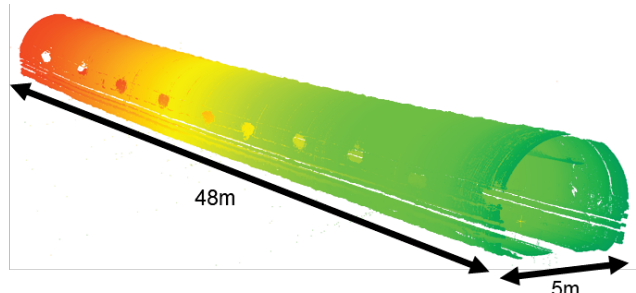


差分処理ありのレーザ光検出結果

また, 実トンネルの 48m の区間の 4335 断面の計測に要した時間は約 10 分間であった. 計測した点群の個数は約 716 万点であり, 高速かつ密な計測が可能となった(下図). 以上により提案手法の有効性が確認でき, トンネルの 3 次元計測について, 研究成果の活用・発展性が見込みが示された.



実トンネル計測の様子



実トンネルの 3 次元計測結果