

令和4年度 研究成果の概要(1/2)

研究テーマ:「R4 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 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻・教授
研究期間:令和2年10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開発する。広い視野を有する広視野カメラと広範囲にレーザー光を照射可能なリングレーザー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)やレーザー距離計などの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回のレーザー照射のみで計測する手法・システムを構築する。次に、断面数のレーザー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った。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った。

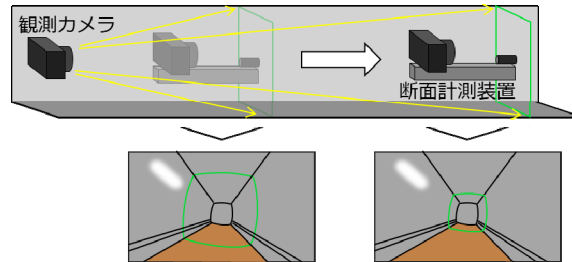
令和4年度 研究成果の概要(2/2)

研究成果の概要

令和4年度は、複数断面の3次元計測に関する技術研究開発を行った。

(1) 複数断面の計測結果統合の理論構築の研究

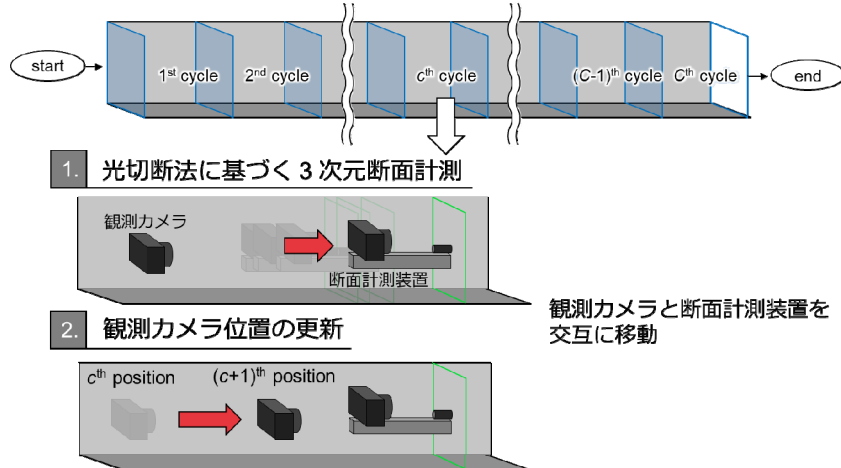
カメラで取得した画像情報を用いて複数断面の位置姿勢関係を求め、複数断面の計測結果を統合する技術の研究開発を行った。一断面を計測する装置(以降、断面計測装置)を移動させながら複数断面を計測する際に、ある位置に設置したカメラ(以降、観測カメラ)を用いてトンネル壁面に照射されたレーザ光を観測し続け、取得した画像を解析することによって、断面計測装置の移動量を推定する手法を構築した。



複数断面の計測結果統合のための取得画像(左図:移動前, 右側:移動後). 画像処理により移動量を推定

(2) 複数断面の3次元計測システム構築の研究

(1)で構築した複数断面の計測結果統合を実現するための3次元計測システムの構築を行った。長尺なトンネルを計測する場合、断面計測装置を移動させるだけでは限界がある。そこで、断面計測装置を一定距離移動させた後に観測カメラを移動させ、観測カメラをある位置に設置した後に再度断面計測装置を移動させるというように、交互に断面計測装置と観測カメラを交互に移動させることによって、長尺なトンネル計測への対応手法を構築した。



複数断面の3次元計測システム構築

(3) トンネルでの検証実験・評価の研究

構築した3次元計測システムを用いて、実トンネルにおける実験で最終検証を行った。断面計測装置を、三脚、4足歩行ロボット、UAVの3種類にそれぞれ搭載して、提案手法の有効性を検証するための実験を行った(下図)。計測結果の一例を右図に示す。黄緑色が提案手法により複数断面の統合を行った結果である。提案手法を用いない場合(赤色)では統合の誤差が大きくなっていることに対して、提案手法を用いた場合(黄緑色)では誤差を抑えて高精度な統合が実現されている。実験結果より、三脚、4足歩行ロボット、UAVの3種類のいずれの場合においても、トンネルの3次元計測が可能であることが示された。



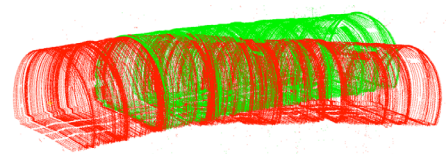
三脚



4足歩行ロボット



UAV



トンネルでの検証実験結果