

令和 6 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K18826

研究課題名（和文）全天球カメラと全周レーザを用いたリアルタイム大型構造物内部形状計測

研究課題名（英文）Real-time Measurement of Large Structures Using Spherical Camera and Ring Laser

研究代表者

山下 淳（Yamashita, Atsushi）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：30334957

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：既存の測量機器であるトータルステーションやLiDARでは、高密度な計測を高速に行うことは原理的に困難であり、広範囲の測量を行うため測量機器の場所を移動させる度に、測量機器の位置姿勢の移動量を計測するための操作が必要となる。そこで本研究では、全周レーザと広視野カメラからなる光切断法に基づいた新規な計測装置を構築し、大型構造物の内部形状を広範囲・高精度・高密度に測量する新規な手法を提案した。具体的には、広視野カメラで取得した画像を解析することにより、追加の装置なく複数断面の統合を行う手法を新規に構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、大型構造物を対象とし、全天球カメラと全周レーザを用いた光切断法を新規に構築することによって広範囲計測・高精度計測を実現すると同時に、画像処理技術によって追加の機器を用いずに複数断面の計測結果を自動統合する手法を新規に構築した。本研究は、大型構造物の内部形状を広範囲・高精度・高密度に測量するという斬新な枠組みを新規に提案するものであり、学術的な新規性と理論的な発展が大きい。加えて、施工・維持管理時の3次元測量データ生成・活用・管理の効率化といった社会的な成果と、これまでにない新理論を提案する点において挑戦的研究としての学術的な進展の両者を兼ね備えた内容である。

研究成果の概要（英文）：It is difficult to perform 3D measurement of large infrastructures with high density at high-speed using existing measurement systems such as total station theodolite or LiDAR.

These measurement systems require an operation to measure the shift in position and orientation of the measurement systems each time when the measurement systems change their positions and orientation.

This study proposed a new 3D measurement system of large infrastructures based on the structured light method using ring laser and wide field-of-view camera with high accuracy and high density. This study also proposed a registration method of multiple 3D measurement results at different locations using image processing technique. Effectiveness of the proposed method was verified through experiments.

研究分野：ロボット工学

キーワード：形状計測 光切断法 広視野カメラ 全周レーザ

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

トンネルや建築物など大型構造物の施工・維持管理において、その内部形状の3次元計測は必要不可欠である。これまでの大型構造物の測量では、サンプリングされた少数の位置のみを計測していた。例えばトンネルでは、断面形状ではなく、少数の計測点のみを用いて施工・維持管理を行うルールになっていることに起因する。この方法が採用されている理由の1つは、簡便かつ高速に全形状を計測することが非常に困難(事実上不可能)であるためであったためである。例えばトータルステーションやLiDARでは、高密度な計測を高速に行うことは原理的に困難であり、広範囲の測量を行うため測量機器の場所を移動させる度に煩雑な校正(測量機器の位置姿勢の移動量を計測するための操作)が必要となる。

2. 研究の目的

本研究では、広い視野を有するカメラと360度方向に同時にレーザ光を照射可能な全周レーザから構成される測量機器を新規に構築し(図1)、構築した測量機器を校正なしで移動させながら、大型構造物の内部形状を広範囲・高精度・高密度に測量する新規な手法の構築を目的とする。

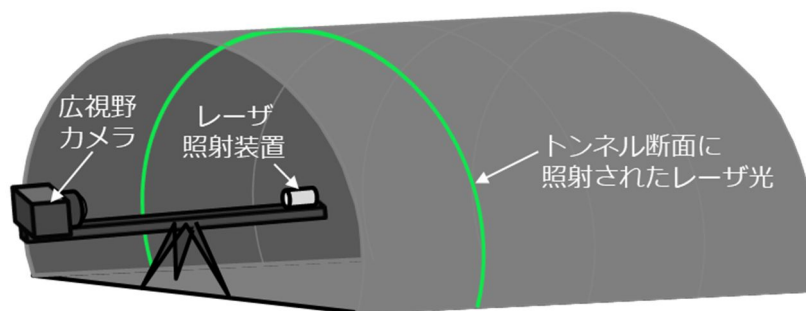


図1 提案する計測システム

3. 研究の方法

本研究では、広い視野を有するカメラと360度方向に同時にレーザ光を照射可能な全周レーザから構成される測量機器を用いて、光切断法により、複数断面の高密度測量を実現する。また、複数断面の統合に取り組む。

光切断法のように三角測量に基づく測量方法は、工場内での小型部品点検のように、計測すべき範囲が狭く、近距離の対象の計測に向いている。それに対してトンネルのような大型構造物の計測では、計測すべき範囲が広く、計測対象までの距離も遠い。本研究では、広い画角を有する広視野カメラと、周囲360度に同時にレーザ光を照射可能な全周レーザからなる光切断法に基づいた新規な測量装置を提案する。レーザ方向変化方式やスキャン方式では疎な計測であることに対して、提案手法では断面のすべての場所に同時にレーザ光が照射されるため、高密度に広範囲をワンショットで計測できる。また、レーザ光照射の出力を瞬間的に切り替えて複数枚の画像を取得し、画像間の差分解析を行うことで、環境光や外光の影響を受けない安定したレーザ光検出手法を新規に構築する。

ある断面と別の断面の計測結果(複数地点での計測結果)の統合には、従来はGNSSやトータルステーションのような絶対座標を計測する追加の装置が別途必要であった。本研究では、広視野カメラで取得した画像を解析することにより、追加の装置なく複数断面の統合を行う手法を新規に提案する。ここでレーザ1とカメラ1からなる測量機器1と、レーザ2とカメラ2からなる測量機器2を考える(図2)。測量機器1(レーザ1とカメラ1)を用いると、レーザ1から照射された断面1の3次元計測が可能である。同様に計測機器2では断面2が計測できる。本研究では、レーザ1から照射された断面光1は、計測機器2を移動させた際にも常時カメラ2から観測できること(図3)に着目する。カメラ2から見た断面1を目印とすることで、追加の装置や環境中に設置したマーカを用いることなく、計測機器2の移動量を算出(自動校正)できる。また、算出した移動量を用いると、レーザ2とカメラ1を用いて断面2の計測が可能となる。光切断法の計測精度はレーザとカメラの距離に依存するため、断面2の計測精度が向上する。以上、一方の測量機器を移動させながら計測することにより、計測範囲の拡大と自動校正による複数断面形状情報の自動統合に加えて、計測精度の向上を図る手法を新規に構築する。

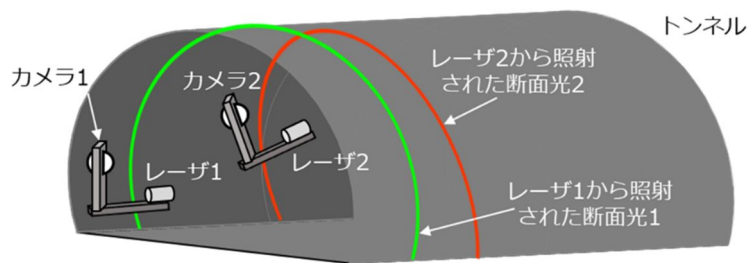


図2 複数断面の計測と統合



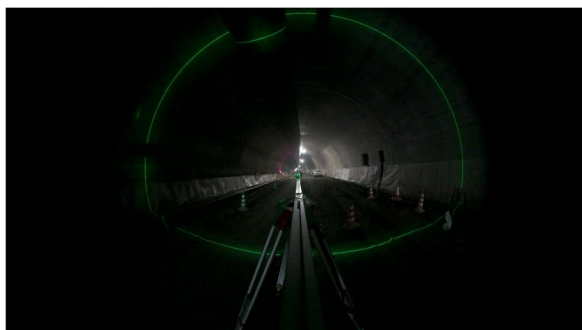
図3 製作した測量機器

4. 研究成果

製作した広視野カメラと全周レーザから構成される測量機器（図3）を用い、トンネルにレーザを照射した結果を図4に示す。図4(a)は製作した測量機器からレーザを照射した様子を外部のカメラを用いて撮影した画像、図4(b)は製作した測量機器の広視野カメラで取得した計測用の画像である。図4(a)から、トンネル表面に適切にレーザ光が照射されていることが確認できる。また、図4(b)から、広視野カメラで取得した画像についてもレーザ光が確認できることから、測量機器が適切に作動していることが確認できる。



(a) レーザ照射の様子



(b) 広視野カメラで取得した画像

図4 トンネルにレーザを照射した結果

製作した測量装置を用いて複数断面を計測し、統合した結果を図5に示す。広範囲・高精度・高密度な計測が実現されていることが確認できる。

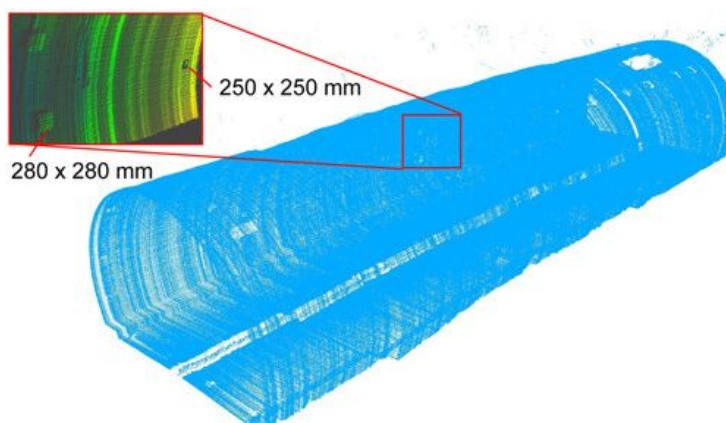


図5 トンネルの複数断面を計測した結果

これらの結果から、広い視野を有するカメラと360度方向に同時にレーザ光を照射可能な全周レーザから構成される測量機器を構築し、構築した測量機器を校正なしで移動させながら、大型構造物の内部形状を広範囲・高精度・高密度に測量可能であることが確認された。以上、本研究で提案した手法の有効性が確認された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 速水 桃子, 伊賀上 卓也, 井倉 幹大, 樋口 寛, ルイ笠原 純ユネス, 伊藤 哲, 谷口 信博, 森野 弘之, 吉田 健一, 浅間 一, 山下 淳	4. 巻 89
2. 論文標題 クロスラインレーザとカメラを併用したロックボルト孔の位置および方向計測	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 精密工学会誌	6. 最初と最後の頁 328 ~ 335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2493/jjspe.89.328	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Igaue Takuya, Hayamizu Toko, Yoshida Kenichi, Yamanaka Satoshi, Asama Hajime, Yamashita Atsushi	4. 巻 -
2. 論文標題 Pose Adjustment Considering Linear Cross-Section Continuity of Line-Structured Light-Based 3D Tunnel Measurements	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2023)	6. 最初と最後の頁 51-57
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SII55687.2023.10039303	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Igaue Takuya, Hayamizu Toko, Higuchi Hiroshi, Ikura Mikihiro, Yoshida Kenichi, Yamanaka Satoshi, Yamaguchi Takashi, Asama Hajime, Yamashita Atsushi	4. 巻 40
2. 論文標題 Cooperative 3D tunnel measurement based on 2D-3D registration of omnidirectional laser light	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Field Robotics	6. 最初と最後の頁 2042 ~ 2056
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/rob.22241	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------