

ロックボルトの遠隔打設のための孔位置検知方法の開発

大林組 正会員 ○伊藤 哲, 正会員 谷口 信博, 森野弘之
東京大学 速水桃子, 学生会員 伊賀上卓也, 正会員 山下 淳

1. 研究の背景

山岳トンネルのロックボルト工は、依然として人力での施工を行っているのが現状である。ロックボルト工のうち、特にモルタル充填からボルト挿入までの作業は人力にたよっており、苦渋だけでなく、トンネル掘削の影響範囲といわれるアーチ上部での危険な作業となる。このため、筆者らは、ロックボルト工の遠隔化や自動化により、その安全性と生産性向上を図る。

2. ロックボルトの孔位置検知

現状ロックボルトの一般的な施工方法は作業員2~3人の2チームに分かれ、ドリルジャンボの左右のブームでそれぞれがロックボルトの施工を行う。通常、各チームで1人はオペレータ、残り1~2人が人力でモルタル充填、ロックボルト挿入、ベリングプレート・ナットの設置を行っている。

遠隔化や自動化の方法として、例えば、著者らはロックボルト遠隔打設機械「ロボルタス®」を開発しており、1つのブームで削孔からロックボルト挿入までの一連作業でブームを動かさずに施工をすることが可能である。ブームを動かさずに一連作業をすることにより、機械位置の計測が不要であるが、サイクルタイムやモルタル充填など課題がある。

本報文では、削孔とそれ以降の作業は別のブームで実施するものとし、削孔済みの孔へのモルタル充填からロックボルト挿入作業の遠隔化を目指す。すなわち、以下の手順を想定している

- ①削孔済みの孔位置を検知する
- ② 検知した孔位置をもとに、削岩機のブームを利用し、モルタル充填用のホースを孔に挿入する
- ③モルタルを充填する
- ④削岩機のブームでロックボルトを孔に挿入する

本報文では、手順①の孔位置検知の開発を行う。

3. 開発技術の概要

図-1に本開発の概要、図-2に提案手法のフローを示す。本手法では、クロスラインレーザを用いた光切断法により、壁面上のレーザ光が投影された位置の3次元座標を計測し、壁面の平面を計測する。またカメラ画像を用いて孔を検出する。次にクロスラインレーザを用いて計測した壁面の平面のカメラに対する角度およびカメラ画像内の孔口の楕円形上を用いて計測したカメラに対する孔の方向を併用することにより、孔の方向を計測する。さらに、カメラ画像内で検出した孔中心と計測した壁面の平面の距離情報を併用することにより、孔中心の3次元座標を計測する。

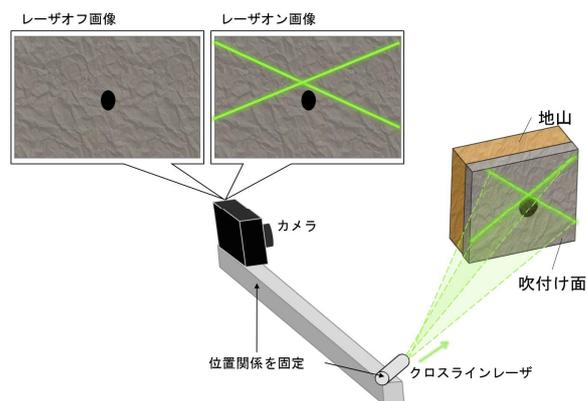


図-1 開発の概要

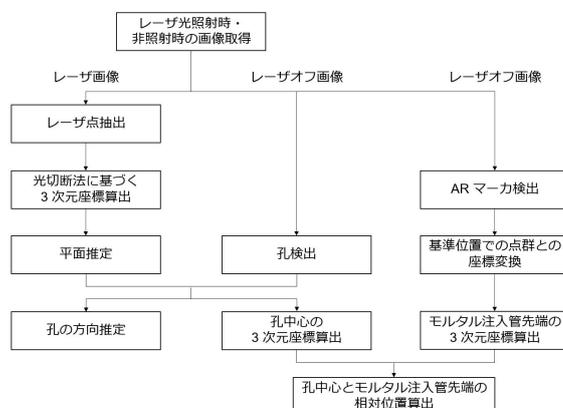


図-2 開発技術のフロー

一方、挿入するモルタル注入管とロックボルト先端の位置は、ロックボルト打設機のブームに設置するARマーカをカメラ画像で検出する。モルタル注入管およびロックボルト先端位置はブームとの相対位置関係から先端の3次元座標を算出する。孔中心とモルタル注入管先端の相対位置を算出することで、孔へモルタル注入管を遠隔で挿入する。

4. 現場実験

実際のトンネル現場で実験を行った。吹き付けコンクリートの厚さ約50mmの巻厚検査孔をロックボルト孔に見立てて実験をした。使用した装置を図-3に示す。装置には望遠カメラと交差して照射するように取り付けられた2本のラインレーザで構成した。カメラとレーザの照射位置との距離は本実験では150mmで固定とした。

実験条件を図-4に示す。カメラと壁面の距離は5mで一定とした。壁面に対するカメラの角度を地点1と地点2で変化させた。使用したカメラはNikonZ7IIであり、使用したレンズはAF-S NIKKOR70-200mmである。焦点距離は200mm、解像度を8256×5504ピクセルとした。

なお、ロックボルト孔に挿入するための孔中心の三次元座標の目標精度は孔とロックボルトのクリアランスより、xy成分の2次元座標で±10mm以下とした。孔方向計測の目標精度は、ロックボルトを孔に50mm挿入すると仮定し、±25度以下とした。今回、トータルステーションでも計測をし、その孔中心位置、孔方向を真値とし、本手法の計測結果と比較検証した。

5. 実験結果

(1) 孔方向計測

光切断法により計測した壁面の平面の方向と真値との誤差を表-1に示す。本手法ではいずれも壁面の方向は高精度に計測することができた。

本手法の孔方向と真値との比較を表-2に示す。カメラのみを用いて計測した孔方向および提案手法により計測した方向を比較した。本手法により、地点によらず目標精度の25度以内となった。

(2) 孔中心の3次元座標計測

提案手法により計測した孔中心の三次元座標と真値とを比較した。ここでTSを用いて計測した孔中心の3次元座標を真値とした。なお、真値との比較



図-3 計測装置

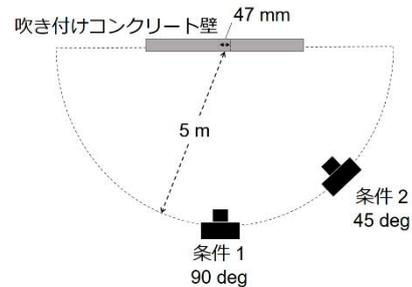


図-4 実験条件 (平面図)

表-1 壁面の平面計測誤差 (度)

地点1		地点2	
レーザが孔内	レーザが孔外	レーザが孔内	レーザが孔外
3.9	2	1.4	3.2

表-2 孔の方向計測誤差 (度)

	地点1		地点2	
	レーザが孔内	レーザが孔外	レーザが孔内	レーザが孔外
従来手法	32.5	31.5	7.1	8.6
提案手法	7.8	16	17.3	20.6

表-3 孔中心の三次元計測の誤差 (mm)

	地点1	地点2
従来手法	16.8	11.7
提案手法	1.3	4.5

は真値、計測結果およびxy成分の誤差からなる2次元誤差で評価をした。表-3に孔中心座標の誤差を示す。提案手法により目標精度である±10mm以内で計測をすることができた。

6. まとめ

光切断法による3次元計測とカメラ画像による孔検出を併用し、遠方のロックボルト孔の3次元座標と方向を計測する手法を提案した。現場実験により5mの距離で直径50mmの孔に対し、計測を行った。本手法により、孔方向は目標精度±25mmを、孔中心座標は2次元誤差±10mm以内を満足した。

参考文献

- ・速水ほか:坑口の楕円近似に基づくカメラ画像を用いたロックボルト孔の位置および角度推定,動的画像処理実利用化ワークショップ2022講演論文集,pp.18-23,2022.