

TOF カメラによるトンネル切羽変状監視システム開発の試み

佐藤工業(株) 正 ○菊田 遥子, 正 京免 継彦, 正 瀬谷 正巳
(株)バイオネット研究所 新川 隆朗, 前田 新一

1. はじめに

山岳トンネル工事は、切羽周辺での作業が多く、落石や崩落の危険を伴うため、切羽監視責任者および作業員による目視監視により安全対策を行っている。しかしながら、暗い坑内において切羽全体の僅かな挙動を目視で捉えることは容易ではなく、連続した監視業務になった場合の作業員の疲労による見落としも懸念される。筆者らは、トンネル切羽面を定量的に捉える試みを行っており¹⁾、そのデータ取得媒体として TOF カメラに着目している。今回、トンネル切羽変状を定量的に監視するシステムとして、市販の TOF カメラを用いた試行を報告する。

2. 監視システム概要

(1) 機器構成

本監視システムの機器の構成は、切羽形状を取得する媒体である TOF カメラ、制御 PC、および警報 LED で構成されている(写真-1)。外部電源およびバッテリーによる使用が可能である。

(2) TOF カメラ

TOF(TIME-of-Flight)カメラは、近赤外線パルスを対象物に照射し、カメラに戻ってくるまでの時間を計測し、距離に換算することで対象物の座標データを取得するものである。カメラで撮影するように容易に広範囲の点群データを取得することができる。今回、Basler ToF(BASLER AG 社)をデータ取得媒体として使用した。機器の仕様を表-1 に示す。Basler ToF は、8 箇所から照射される近赤外線(850nm)によって多視点画像を作成し、1 回の撮影で 2 次元データと 3 次元データを同時に取得できるという特徴がある。

表-1 機器仕様

解像度	640×480(NIR)
フレームレート	20fps
撮影範囲	0-13m
レンズ	57° h×43° v

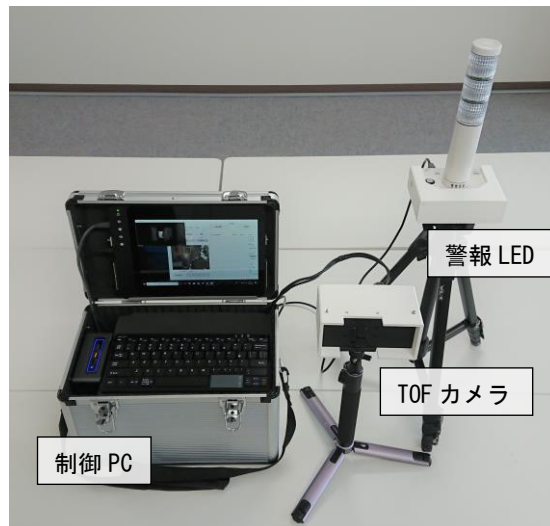


写真-1 機器構成

(3) 監視ソフトウェア

監視ソフトウェアのシステムは、TOF カメラで連続計測している軸方向座標データを任意時間間隔で処理し、値の変化量(最大・最小・平均)を監視する。この変化量が設定した規制値を超えた場合に警報を発信するものである。監視ソフトウェアの特徴を以下に示す。

①監視領域

監視する領域として、撮影全域を監視することも可能であるが、任意範囲を最大で 3 領域設定して部分的な監視が可能である。また、LED の警報灯も 3 色 3 段式で、指定した領域の色とリンクしている。

②対象物に合わせた各種パラメータの設定

「データ積算数」「カメラ感度」「データ信頼度」のパラメータを設定できる仕様とすることで、計測精度を確保している。

③警報の通知

坑内無線 LAN と接続することで、警報発信の通知を予め設定したメールアドレスに送信することが可能である。

キーワード TOF カメラ, 近赤外線, 切羽変状監視システム, 自動化

連絡先 〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-19 (株)佐藤工業 土木事業本部 ICT 推進部 TEL 03-3661-2932

3. 監視状況

(1) テスト概要

当社施工中のトンネル切羽で本監視システムの実証実験を実施した。実験状況を写真-2に示す。トンネル切羽に対して正対する形でTOFカメラを設置し、切羽面より4m, 6m, 8mの位置での計測距離のばらつきを算出して精度確認を行った。

また、2章で述べた部分的な監視を行い、模擬的に警報を発信させる実験も併せて実施し、任意で指定した領域の測定値の変化量と制御PC上の警告表示および警報LEDが一致していることを確認した。警報発信時の様子を写真-3および写真-4に示す。



写真-2 実験状況



写真-3 警報発信時①



写真-4 警報発信時②

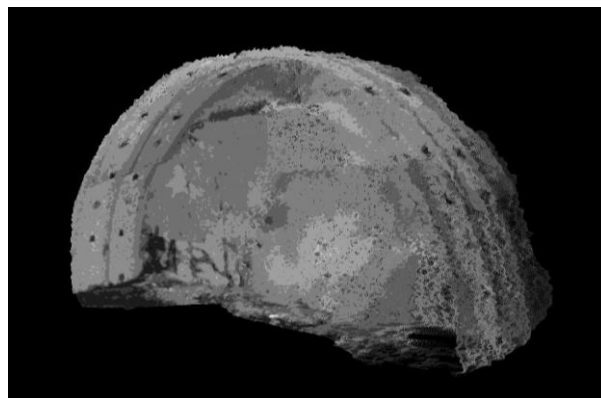


図-1 切羽 3D モデル

(2) 監視精度

使用したTOFカメラのメーカー資料²⁾によると、カメラ自体の計測精度は、対象から0.5～5.8m離れた位置からの測定で±10mm程度となっている。

今回の実証実験での計測精度を表-2に示す。切羽から8m離れた位置で±15mmという結果となった。

表-2 計測精度

切羽からの距離	精度
4m	±2mm
6m	±8mm
8m	±15mm

4. 今後の課題

現状では計測精度の関係上、最大でも切羽より8m～10m程度離れた位置からの監視となるので、切羽全体を同時に捉えるためには、複数のTOFカメラを必要とする。切羽の性状に合った各種パラメータの検討、使用するTOFカメラそのものの検討等が必要である。

また、機器の構成について、現在定置式での開発を行っているが、他にトンネル掘削機械（例えばドリルジャンボ）に搭載できるシステム構成とすることでより実用的なシステムになると考えられる。

参考文献

- 1) 菊田遥子, 京免継彦ら: トンネル切羽観察 (節理) AI 自動評価のための切羽面 3次元単純モデル化手法, 土木学会第72回年次学術講演会, pp. 399-400, 2017.
- 2) BASLER AG: Accuracy of Basler ToF Camera, Jul. 2016.