

坑口大断面部における落石検知警報装置の実証実験結果と課題

大成建設株式会社 正会員 ○浅井伸弘 宮永隼太郎 福島淳平 谷卓也

1. はじめに

山岳トンネル工事では切羽周辺で作業が行われ、必要に応じて専任の切羽監視責任者による監視の下、切羽に立ち入って作業が行われている。作業中、切羽面から岩塊が抜け落ちて人に当たると重篤な災害となる可能性があり、切羽監視責任者の責任は重く、心理的な負担も大きい。そのため、筆者らは山岳トンネル施工における切羽作業の安全確保を目的として、切羽監視責任者を補助する「機械の目」となる落石検知警報装置の開発を行ってきた¹⁾。

これまで、この装置は掘削幅が5m以下の小断面トンネルや歩道付き2車線の比較的大きな断面なトンネルに導入・運用してきたが、単焦点レンズを使用しており、切羽から3~7mの比較的切羽に近い位置に設置する仕様のため、大断面トンネルにおいては切羽全体を監視することが困難であった。そこで2020年にズームレンズ搭載型の装置(図-1)を開発し²⁾、切羽のより広い範囲の監視に対応できるように改良を行った。今回、この改良した装置について、大分212号跡田トンネル(東工区)新設工事の坑口大断面部において実証実験を行う機会を得た。本稿では、実証実験の概要と結果、明らかになった課題と今後の展望について述べる。

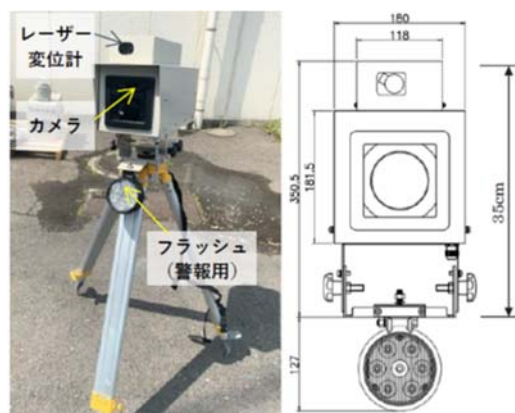


図-1 ズームレンズ型落石検知警報装置

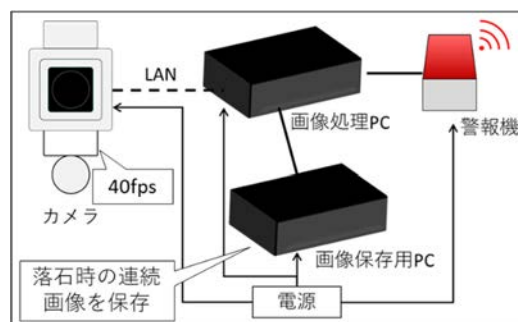


図-2 落石検知警報装置の構成

2. 落石検知警報装置(ズームレンズ搭載型)の概要

落石検知警報装置は切羽を監視するカメラ、取得した画像を解析して落石を検出するPC、落石時の画像を保存するPC、警報機で構成される(図-2)。画像解析手法には、連続画像の差分を取り、変化した箇所を抽出できるフレーム差分法を用い、抽出した物体が自由落下物であれば「落石」と判断して警報を鳴らす仕組みとなっている。装置は、1秒間に40回連続撮影した画像を継続的に処理しており、監視範囲内で発生する落石を0.1秒以内に検知・警報する。運用時には、装置を切羽から5~10mの位置に三脚を用いて設置する。なお、人や重機など、自由落下以外の動作を検知すると、その近傍領域は「検知対象外領域」と指定し、誤検知を防いでいる。また、設置した位置と切羽との距離をレーザー変位計で自動測定してピントを調整する機能を有し、設置時の手間を極力省く工夫もなされている。

3. 実証実験

実証実験は、2020年5月中旬~6月末の約1.5か月間行われた。実験区間は坑口から60m地点まで、掘削幅は約20mであった。また、実験区間は機械により掘削され、支保工建込み、ロックボルト施工、先受け工の作業時に実証実験を行った。切羽から5~10m後方の左右に各1台、計2台の装置を設置し、上半アーチ部全体を監視できるようにカメラの向きを調整した(図-3)。切羽監視責任者は、周囲の明るさに応じた装置の感度の設定を行い、監視範囲に小石を投げて落石を確実に捉えられることを確認してから、切羽作業を開始させた。また、切羽作業の間、後方から別途ビデオ撮影を行って、肌落ち等の現象を見逃していないことを確認した。さらに、工事担当職員と切羽監視責任者は、監視中も時々監視範囲に小石を投げて、落石を正しく検知できるかどうかの確認を行い、必要に応じて感度の再調整を行った。作業後には適切な警報、若しくは不要な警報(誤検知)があったかどうかを記録シ

キーワード 落石, 山岳トンネル, 切羽監視, フレーム差分

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1 大成建設(株)技術センター TEL 045-814-7221

ート(図-4)に記載した。

また、実証実験に先立ち、切羽作業員に対しては、実験の目的と装置の概要説明の他、警報と同時に退避行動をとるための訓練を行った。これは、実際の切羽作業中に警報を鳴らし、警報発令の確認と共に切羽後方への退避するもので、複数回実施した。

4 実証実験結果と課題

実証実験中は自然の落石は発生しなかったが、工事担当職員および、切羽監視責任者による記録シートへの記載内容から明らかになった課題を示す。

4.1 周辺環境による検知精度

実証実験区間は坑口付近であったことから、時間と天候の変化により周囲の明るさに変化が生じ、人が投げた石への検知精度に影響が見られた。開発を行った現場はある程度掘進し、周囲の明るさが一定な条件での運用であったため、一度感度調整を終えるとその後の調整は概ね不要であった。一方で、当現場では頻繁な感度調整が必要となった。しかし、掘削の進行とともに、感度調整の頻度は少なくなり、夜間の運用では検知感度の変化は小さかったことから、装置は一定の照度の条件下では安全監視システムとして運用可能であると考えられる。今後は、周囲の明るさに応じた自動感度調整機能の追加が必要であることが分かった。

4.2 検知範囲の拡張

ズームレンズを搭載したことで、改良以前よりも設置自由度が高く、監視範囲が広がる利便性があるが、それぞれの装置の監視範囲の切羽の位置によっては検知精度のばらつきが見られた。これは装置を切羽の端に設置することで、切羽の端と中央で装置からの相対距離に差が出来ることが原因である。この点については、解析アルゴリズムの改良による検知精度向上が必要であり、現在プログラムの改良中である。また、現在は毎作業ごとに切羽監視責任者が2台の装置の運搬・設置・片付けを行っており、身体的な負担がかかっている。さらなる監視範囲の拡大と落石検知精度の安定向上を図り、大断面トンネルにおいても1台のみの運用と重機への設置を実現したい(図-5)。

5. おわりに

大断面トンネルにおける切羽監視の実現を目的に改良した落石検知警報装置の現場実証の結果と課題について述べた。現在、現場および室内実験を行いながら上述の課題解決に取り組んでいる。今後も装置を運用しながら改善を積み重ね、担い手不足が懸念されている山岳トンネル工事における省人化を実現するために、切羽監視責任者に代わる信頼性のある装置の開発と普及を図っていきたい。

参考文献

- 1) 谷卓也, 古賀快尚, 青木智幸, 高市一馬: 落石を予知・警報する切羽監視システム「T-iAlert Tunnel」の開発, 大成建設技術センター報, No.51, 2018.
- 2) 谷卓也, 水野史隆, 本間直樹, 小島一紘: 設置自由度の高いズームレンズ搭載型落石監視装置の開発, 土木学会全国大会第75回年次学術講演会, 2020.



図-3 切羽監視状況

■落石検知警報装置の稼働記録

日時: 令和2年6月11日(木)(昼・夜), 記録者(氏名): 福島 淳平
距離: No.28, 画像ファイル名:

■動作チェック時刻

6:00~

■落石・肌落ちの様子

・落石・肌落ちは特になし。

■装置稼働記録(調整方法・警報など)

・防音屏設置後の誤作動防止のため、パラメータ再設定。
・朝日(日中)の照度変化でパラメータ調整。
パラメータを下げて対応した。20000→19000

■切羽の状態

・切羽からの肌落ちはない。
・切羽端面で、同化した安山岩の箇所でもよく崩壊しやすい状態のため、鎮静剤(セメント)も実施。

図-4 記録シート(抜粋)

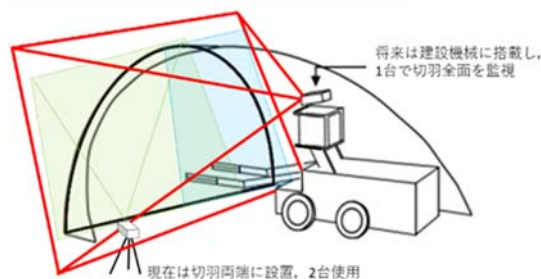


図-5 落石検知警報装置の将来運用イメージ