切羽崩落検知システムの切羽常時監視への適用事例

株式会社大林組　技術研究所　正会員　○藤岡大輔　正会員　中岡健一

1．はじめに

厚生労働省は，平成 30 年に「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止に係るガイドライン」[1]を改正した．ここには「掘削断面積が 50m^2 以上の場合，肌落ちの予兆を感知するために専任の切羽監視員を配置し，切羽で作業が行われる間は切羽の変状を常時監視しなければならない」と定められている．しかし，複数の重機や人が混在する中で，切羽全体の一部で生じる微小な変化を目視で全て確認することは難しい．そこで筆者らは，画像処理技術によりリアルタイムに落石を検知可能な切羽崩落検知システム(以下，崩落検知システムと記す)を開発し[2,3]，切羽監視員の目視監視と併用して運用してきた．本報告では，切羽常時監視として崩落検知システムを 2 現場で実施した事例を述べる．

2．崩落検知システムの切羽常時監視への適用

(1) 崩落検知システムの概要

本システムは，ウェブカメラとタブレット端末，警告灯，ノートパソコンによって構成され，切羽から 10m 程度離れたドリルジャンボなどに設置する(図 1)．撮影した切羽画像を用いてリアルタイムで画像処理を行い，閾値以上の幅の落石が検知された場合，ランプや音で警告を発し，作業員に切羽からの退避を促す．落石発生から警告までの所要時間は 0.5 秒程度である．切羽監視員はタブレット端末でモニタリング状況を確認できる．

人や重機等は以下の手順で監視対象から除外する．

① 監視領域の設定：監視計測を開始する前に，切羽を含む領域を監視領域として設定する．

② 事前移動体除去：監視計測を開始する前に，監視領域内で動く人や揺れる脚線等をマスク領域として設定し，監視対象から除外する．

③ 領域侵入物除去：監視領域外から内側に侵入してきた人やマンゲージをマスク領域として設定する．

崩落検知システムを工事機械に取付ける場合，各作業工程で使用されている機械に 1 セットずつ取付ける必要がある．また，初回の計測時に，切羽近くで岩石を落下させる模擬落石実験を行い，落石が正しく検知できるかどうか確認する．

(2) 切羽常時監視への適用方法

表 1 に，作業員が切羽に接近する作業工程を示す．その中で，特に切羽に接近し，かつ切羽の状態を把握できない姿勢で作業に集中する工程において，崩落検知システムと目視監視を併用すれば，切羽作業の安全管理に効果的であると考えられる．

3．崩落検知システムの現場適用事例

崩落検知システムを 2 現場で適用した．図 2 に，崩落検知システムの設置状況を示す．いずれの現場においても，切羽全体を撮影するため，ドリルジャンボ等の天井にウェブカメラを設置し，操縦席付近にタブレット PC や警告灯を配置した．

(1) 道路トンネル A

■ 発破掘削，掘削幅約 12m，延長 2,282m

■ 地山状態：凝灰角礫岩，切羽は安定，坑内湧水多い

■ 適用した作業工程：装薬

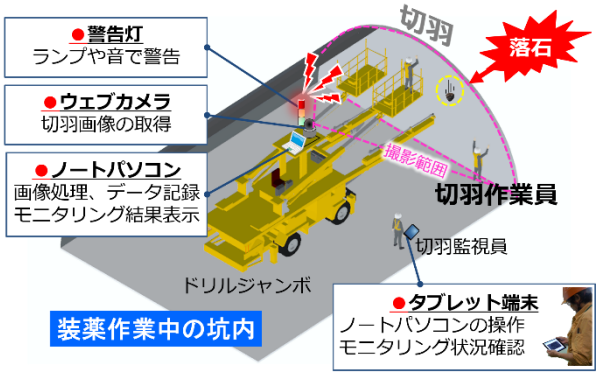

図 1　切羽崩落検知システムの構成

表 1　作業員が切羽に接近する作業工程

掘削サイクル	作業員が切羽に接近する作業工程	崩落検知システムと目視監視の併用が効果的な作業工程	使用機械
機械掘削 (機械掘削時のみ)	×	－	ロードヘッダー ブレーカー等
発破 (発破掘削のみ)	×	－	－
残土搬出	×	－	ホイールローダー 重ダンプ等
浮石落し	○	－ 浮石を探すため，作業員は切羽の状態を常に確認する	ブレーカー バックホウ等
鏡吹付けコンクリート	×	－	吹付け機
鋼製支保工 建込み	○	○ 作業に集中し，切羽に背を向けることがある．	吹付け機(エレクター付き) もしくはドリルジャンボ
二次吹付けコンクリート	×	－	吹付け機
ロックボルト 削孔・挿入	○	－ 切羽から1m程度離れて作業し，切羽中央に入らない．	ドリルジャンボ
補助工法 (注入式長尺先受工法等)	○	○ 注入圧により吹付けコンクリートが想定外の位置で剥離する可能性がある．	ドリルジャンボ
装薬孔削孔	×	－	ドリルジャンボ
装薬	○	○ 作業に集中し，屈んで作業することがある．	ドリルジャンボ

キーワード：山岳トンネル，切羽監視，画像処理，背景差分法，肌落ち災害
連絡先：〒204-8558　東京都清瀬市下清戸 4-640　大林組技術研究所　Tel：042-495-1015

© Japan Society of Civil Engineers

■ システムの操作：ドリルジャンボオペレーター
■ 実施期間：8 か月
■ 適用結果：
• 切羽監視員と併用して切羽を監視した．
• オペレーターが操作を行うことで，掘削サイクルの作業手順に組込むことができた．
• 落石は発生しなかった．落石以外を検出した結果の約 8 割は落石と同様に静止状態から鉛直に落下する湧水の滴水を検出したものであり(図 3)，1 サイクル当りの頻度の平均値は 1.9 回であった．現状では落石と滴水の識別は困難であるため，湧水が多い区間では目視監視を重点的に実施したほうがよい．

(2) 道路トンネル B
■ 機械掘削，掘削幅約 12m，延長 769m
■ 地山状態：土石流堆積物主体，切羽は安定，湧水なし
■ 適用した作業工程：1 号機→鋼製支保工建込み，2 号機→補助工法(注入式長尺先受工法)施工時
■ システムの操作：切羽監視員
■ 実施期間：12 か月
■ 適用結果：
• 2 台設置し，切羽監視員と併用して切羽を監視した．
• 切羽監視員が操作を行うことで，掘削サイクルの作業手順に組込むことができた．
• 落石は発生しなかった．
• 鋼製支保工建込み時に，落石以外を検出した結果の約 7 割はエレクター等のブームの動きを検知したものであり(図 4)，1 サイクル当りの頻度の平均値は 1.9 回であった．「事前移動体除去」機能により動きが大きい動作は監視対象から除外されるが，鋼製支保工を微調整する動作や屈んでいた作業員が上を向く動作等は除外されにくく，落石として検出されることがあった．対策として，鋼製支保工建込み時の作業員の切羽への接近は，脚部に限られるため，監視領域を作業員の上部のみに設定することが有効と考えられる．ただし，吹付け機の姿勢により，監視領域がずれるため，その都度監視領域を設定する必要がある．そのため，作業員やエレクターの位置等により，最適な監視領域を自動設定する手法の開発が望まれる．
• 補助工法施工時は，誤検知はなかった．

4．まとめ

2 現場において合計 20 か月間，目視監視を併用して崩落検知システムを切羽常時監視に適用した．落石は発生しなかったが，落石と同じ挙動をする湧水の滴水を検出できたことから，落石発生時も正常に検知できる可能性が高い．引き続き，滴水と落石の識別や最適な監視領設定について改良を行い，切羽における肌落ち災害の低減に努めていきたいと考えている．

図 2 崩落検知システムの設置状況

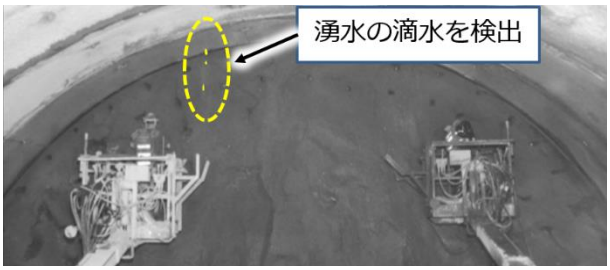

図 3 湧水の滴水を検出した例

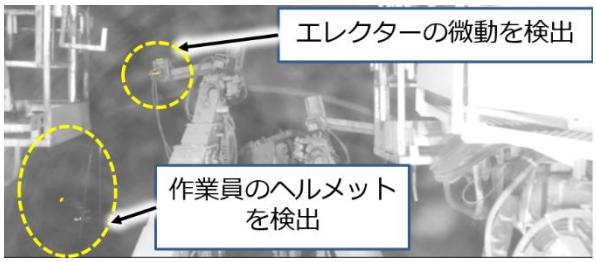

図 4 エレクターと作業員を検出した例

参考文献

1)厚生労働省：山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン，2018
2)藤岡大輔，中村隆史，西山哲，中岡健一：画像処理技術を利用したリアルタイム切羽監視システムの開発，第 45 回岩盤力学シンポジウム，pp.55-60，2017.1
3)藤岡大輔，中岡健一，西山哲：背景差分法を活用したトンネル切羽の崩落検知システムの開発，土木学会第 73 回年次学術講演集，VI-018，pp.35-36，2018.8

© Japan Society of Civil Engineers