

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

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
岡山大学大学院環境生命科学研究科 正会員 西山 哲

1. はじめに

平成30年に改正された「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⁾では、「掘削断面積が50m²以上の場合、切羽監視責任者を専任し、肌落ちの予兆を感知するために、切羽の変状を常時監視すること」と記されている。しかし、複数の重機や人が混在する中で、切羽全体のごく一部で生じる微小な変化を目視で全て確認することは困難であるため、非接触かつ面的計測が可能な切羽監視技術を目視監視と併用して実施し、微小な落石などの見逃しがないようにすることが必要であると考えられる。そこで筆者らは、少ない計算量でリアルタイムに解析が可能な画像処理技術「背景差分法」に着目し、それを活用した崩落検知システムの開発を行ってきた^{2,3)}。本報告では、崩落検知システムの概要と、実際のトンネルの切羽監視への適用方法の検討と、その試行事例を述べる。

2. 崩落検知システムの概要

(1) 崩落検知システムの構成

崩落検知システムは、掘削サイクルの中で建設技能者が切羽に近づく工程となる「支保工建込み」、「装葉」において運用する。図1に崩落検知システムの構成図を示す。本システムは切羽画像を撮影するためのUSBカメラとノートPCによって構成され、切羽から10m程度離れたトンネルジャンボ運転席天井などに設置する。撮影した切羽画像はリアルタイムでノートPCに転送し、画像処理とデータ保存、モニタリング結果が表示される。画像処理で切羽に落石などの変状が検知された場合、ランプや音で警告を発し、建設技能者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。切羽監視責任者はタブレット端末でノートPCの操作とモニタリング状況を確認できる。

(2) 背景差分法による落石の検出

背景差分法は、背景と見なす直前の画像と現在の画像において、同一画素における色の変化を求めることで移動物体を検出する手法である。図2に背景差分法による落石検出の主な手順を示す³⁾。

① カメラから取得した n サイクル目の現在の画像を輝度画像（グレースケール画像）に変換し、入力画像

I_n とする。輝度画像は画素ごとに0~255の輝度値を持っている。背景画像 B_n は、直前のサイクル(数百ミリ秒前)で得られた入力画像 I_{n-1} である。

② 背景画像 B_n と入力画像 I_n との差の絶対値(輝度差)である差分画像 D_n を計算する。輝度差が閾値を超えるものを画素として抽出する。抽出された画素が複数連結している場合、それらを一つの移動体として捉える。ノイズフィルターとして以下を設定し、変状の判定を行う。

- 移動体面積(画素数)が設定範囲から外れる移動体を除去する。
- 移動体上限数(個)を設定し、これを超えた場合は、振動や粉塵が発生したと判断して変状判定を行わない。
- 移動体幅(pixel)が設定値以上のものを変状として検知する。

③ 出力画像 U_n として、抽出された移動体(黄色で描写)を入力画像 I_n に重ねて表示する。

実際のトンネルの切羽監視に適用するため、①~③の手

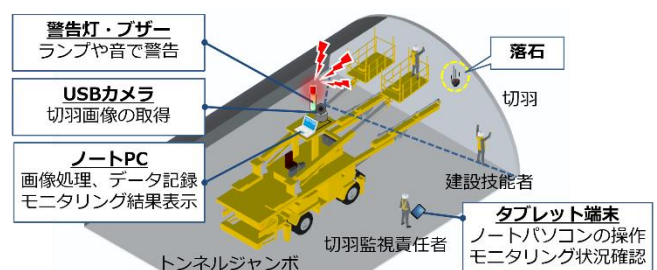


図1 崩落検知システムの構成図

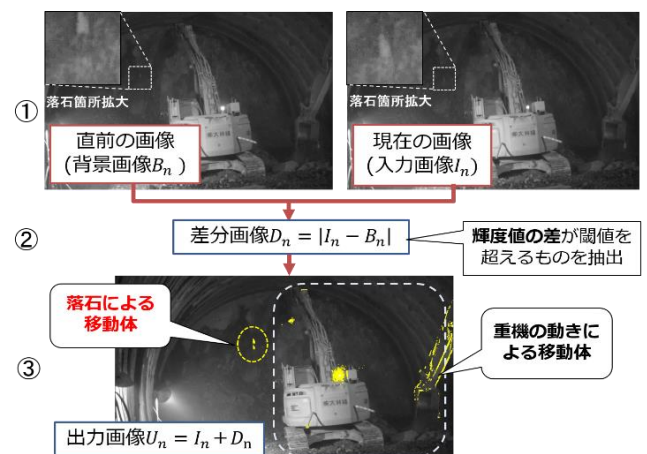


図2 背景差分法による落石検出の流れ

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

順を数百ミリ秒間隔で繰り返す必要がある。また、②で述べた移動体だけによる変状判定では、人や重機、電気雷管の脚線によって発生する移動体を変状として誤検出する可能性が高い。そのため、このような切羽前面で生じる動きは、マスク処理を行って監視領域から外す工夫をしている。

3. 実際のトンネルの切羽監視への適用方法

背景差分法を実施のトンネルに適用するため、以下の手順において監視領域の設定とマスク処理を行う。

(1) 監視領域の設定

監視を開始する前に、切羽を含む領域を監視領域として任意に設定する(矩形、自由形状)。

(2) 累積領域除去

監視を開始する前に、数秒間の間、背景差分法を用いて移動体の抽出を行い、移動体を累積して拡大いく。この時に抽出される移動体は、揺れる脚線や人の動きである。抽出された移動体周辺をマスク領域として設定し、監視領域から除外する。監視開始時の監視領域は、

(1)と(2)で設定された監視領域の組み合わせとなる。

(3) 領域外移動体検知

背景差分法による移動体の抽出は監視領域外でも継続する。人や重機が移動すると画像上の色の変化が大きいため、必ず移動体が抽出される。監視領域外で抽出された人や重機による移動体周辺を常にマスク領域として設定することで、人や重機はマスク領域に覆われて監視領域に侵入することになる。

一度マスク領域と設定するとマンゲージ等が退去してもマスク領域として継続され続けるため、一定時間経過後に(2)と(3)を実行し、マスク領域を更新する。

4. 実際のトンネルへの試行事例

トンネル掘削幅約 12m、高さ約 6m の 2 車線道路トンネルにおいて、崩落検知システムの試行を行った。崩落検知システムはトンネルジャンボ天井に設置し、タブレット端末によりモニタリング状況を確認した(図3)。撮影条件と背景差分法の条件は以下の通りである。

- 撮影距離：8m ■ 照度：100 lx 程度
- 画素数：1280×720 pixel ■ レンズ：4mm(焦点固定)
- 輝度差閾値：10 ■ マスク更新間隔：60 秒
- 移動体面積(画素数)：20~300 画素の移動体を抽出
- 移動体上限数：10 個以上同時発生で変状判定なし
- 移動体幅：10pixel 以上(直径 5cm)を変状と認識

図4に監視領域として矩形形状を設定した例と、累積領域除去により脚線周辺をマスク領域として設定し

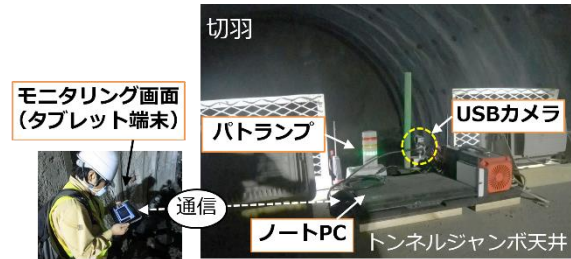


図3 崩落検知システム設置状況

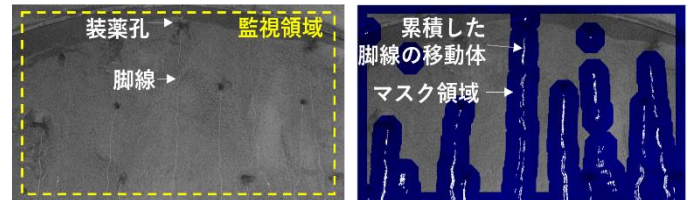


図4 監視領域の設定(左)と累積領域除去(右)

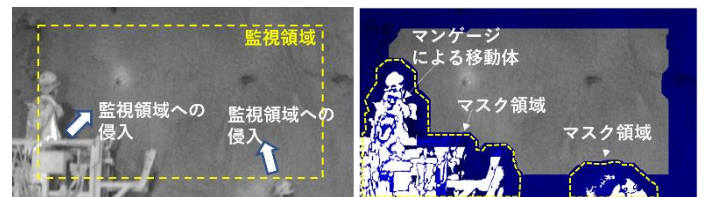


図5 領域外移動体検知(左：マスク前、右：マスク後)

た例を示す。累積時間は3秒とし、累積した移動体の周囲を半径 54pixel でマスク領域(青色ハッチング)とした。図5は、領域外移動体検知の例である。マンゲージが領域外から監視領域へ侵入してきたが、それらを適切にマスク領域で隠すことができた。結果として、落石は発生せず、上半断面下部の装薬作業中において適切に安全監視を行うことが出来た。

5. まとめ

崩落検知システムは、監視領域の設定と累積領域除去、領域外移動体検知といった背景差分法の基本的手法を組み合わせることで、実際の切羽監視に適用することが可能となった。閾値やマスク領域の設定値は、現場の状況が変わる度に変更する必要がある。設定値の変更後には、その都度、切羽で模擬的な落石を発生させて、それを正しく検知できるかどうかの確認実験を行うことが重要である。

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)中村隆史，藤岡大輔，沖西将弥，西山哲：背景差分法を用いたトンネル切羽の変状モニタリングに関する研究，第42回土木情報学シンポジウム講演集，2017
- 3)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，2018