

## RGB-D カメラを用いたトンネル切羽の肌落ち検出

東京都市大学 正会員 ○小林 礼  
 東急建設(株) 正会員 三浦 雅也  
 東急建設(株) 正会員 満尾 淳  
 東京都市大学 包 躍

## 1. 背景

厚生労働省により策定された「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」<sup>1)</sup>を受け、山岳トンネル施工時の肌落ち労働災害をなくすために、切羽を常時監視し切羽の変状を検出する研究・開発が盛んに行われている。従来研究として、レーザー距離計を用いた肌落ち検出法<sup>2)</sup>、Depth 画像の差分による形状変化検出法<sup>3)</sup>、背景間差分法を用いた肌落ち検出<sup>4)</sup>がある。レーザー距離計の手法では、計測点が限られており、局所的範囲の計測となるため、切羽全体の監視は困難である。Depth 画像の差分による形状変化検出法では、Depth 画像を 256 階調に正規化し差分を取るため、カメラと撮影対象間の距離が遠くなるほど、1 階調当たりの分解能が低下し細かな変化を検出できない。背景差分法を用いた手法では、フレーム間で動く物体(以下、動物体)を検出するため、肌落ちだけでなく人や重機の動きを誤検出する。そこで<sup>4)</sup>を改良した従来技術<sup>5)</sup>では、検出範囲を指定し、範囲外から侵入してきた動物体をマスクし、対象外とする手法が提案された。しかし、マスクしていくことによって検出範囲が狭まるため、マスクの更新が必要であり、更新前にマスク内に肌落ちが発生した際に検出できない問題がある。本研究では、肌落ちは切羽面から発生する点に着目し、Depth 画像を用いた切羽のみのマスク画像生成と、RGB 画像を用いたフレーム間差分法による動物体検出を組み合わせた肌落ち検出法を提案する。

## 2. 提案手法

RGB 画像と Depth 画像を同時に撮影し取得した画像(以下、RGB-D 画像)を用いる。RGB-D 画像のうち RGB 画像にフレーム間差分法を適用させ、フレーム間の動物体を抽出した画像(以下、動物体画像)を生成する。動物体画像には、肌落ちのほか重機や人物の動きが含まれる。そこで、カメラ切羽間の距離情報である Depth 画

像を用いて、カメラ切羽間のうち、図 1 のように切羽手前の Depth 値に閾値を設け、切羽閾値間の範囲のみの Depth 画像を抽出したマスク画像(以下、切羽マスク画像)を生成する。これにより、設けた閾値より手前の物体(人や重機)が取り除かれたマスク画像となる。しかし、この場合カメラが切羽に対して正面から撮影する必要がある。そこで、RGB-D 画像が様々な状況で撮影できるようにするために、切羽に対して角度をつけて撮影した際に、Depth 画像をキャリブレーションによって正面から撮影した際の Depth 画像に変換後、切羽マスク画像を生成する。その後、切羽マスク画像と動物体画像の論理積を取る。これにより切羽上(切羽閾値間範囲)に発生した動物体(以下、切羽上動物体)のみを抽出することが可能となり、すなわち肌落ち検出となる。図 2 に本手法のアルゴリズムを示す。

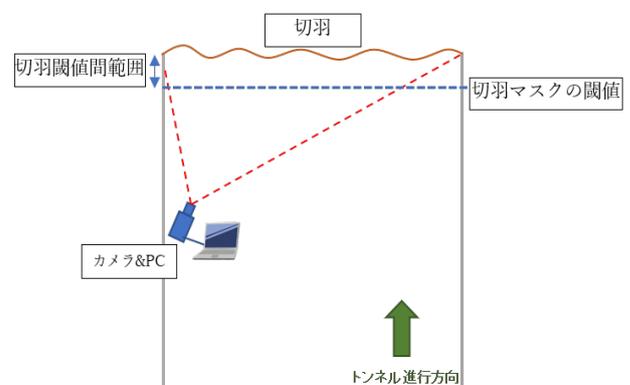


図 1 切羽マスク画像生成、カメラ設置位置について

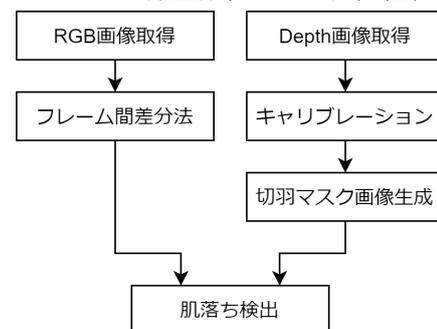


図 2 アルゴリズム

キーワード 山岳トンネル, 切羽監視, 肌落ち, RGB-D カメラ, Depth 画像, RGB 画像

連絡先 〒150-8340 東京都渋谷区渋谷 1-16-14 東急建設株式会社 土木技術部 TEL. 03-5466-5272

### 3. 実験および考察

提案手法の有効性を確認するため、建設中の幅約 9m、高さ約 8m の鉄道用複線断面トンネルのブレーカ掘削・コソク作業時において、切羽上動物体が検出可能かの実験を行った。この時の撮影距離は約 10m、カメラは RGBカメラに加え、ステレオカメラによって Depth 画像を同時に撮影可能な Intel RealSense D435i を用いた。Depth 画像の取得に用いられるステレオカメラは、人が見る原理と同じように、2つのレンズを用いて対象物体を異なる方向から同時に撮影することにより、2つの画像の画素の差から、奥行き方向の情報も計測することができるカメラである。画像の解像度は 1280×720pixel, 30fps で撮影した。図 4 に取得した RGB 画像、図 5 に切羽上動物体を検出し、赤色で表示した結果画像を示す。また表 1 には提案手法を適応した際の処理時間を示す。



図 4 RGB 画像



図 5 切羽上動物体検出結果

表 1 提案手法の処理時間

処理フレーム数	1788[枚]
平均処理時間	7.12[ms]
最大処理時間	9.78[ms]
信頼区間 (信頼係数 95%)	7.10~7.14[ms]

図 4 の落石発生箇所の落石が図 5 で赤色検出できていることが確認できる。また掘削作業によって落下する土砂が検出できているほか、切羽より手前で動いている重機の動きを誤検出していない。よって掘削作業時に落下する土砂と肌落ちが検出できていることがわかる。30fps で撮影した映像は、33[ms]間隔で撮影した連続画像で構成されている。実験で撮影した約 1 分の映像を処理した時、RGB-D 画像を取得後、図 5 の結果画像を生成するまでの処理時間が、表 1 より平均 7.12[ms]、最大 9.78[ms]であることから、次フレーム画像を取得するまでに処理を終えている。また、信頼区間が 7.10~7.14[ms]より、処理時間のばらつきが狭いことから、精度が高いリアルタイム処理が実現できていることがわかる。

### 4. 結論

本研究では、肌落ちを検出するために RGB-D カメラを用いたリアルタイム検出法を提案した。実験結果より、掘削作業時における切羽上動物体をリアルタイムで検出できることが確認できた。実験を行ったブレーカ掘削・コソク作業時では、切羽上動物体に肌落ち以外の落下する土砂（掘削土塊）があり、それを検出結果から除去することによって、肌落ちのみ検出できると考えられる。

### 5. 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落ち災害防止対策に係るガイドライン、2018
- 2)熊谷幸樹，寺島佳宏，吉田良勝：切羽安全監視システムの開発と不良山での試験適用，土木学会第 66 回年次学術講演会論文集，pp. 653-654, VI-327, 2011.
- 3)中村隆史，請関大海，塩崎正人，河村圭：デプスカメラを用いたトンネル切羽監視システムの開発における基礎研究：土木学会第 74 回年次学術講演会，2019.
- 4)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形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.
- 5)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 回年次学術講演会，2018.