

マーカを用いた掘削箇所トラッキングによる肌落ち検出法

東京都市大学 正会員 ○小林 礼
 東急建設(株) 正会員 村田 和哉
 東急建設(株) 正会員 三浦 雅也
 東京都市大学 佐藤 圭浩
 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」¹⁾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、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、Depth 画像の差分による形状変化検出法²⁾、背景差分法を用いた肌落ち検出³⁾⁴⁾がある。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)を検出した内、事前に検出範囲を指定し、範囲外から侵入してきた動物体をマスクし、対象外とする手法である。しかし、範囲外から侵入した動物体をマスクしていくことで、検出範囲が狭まるため、マスクの更新の必要があり、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。そこで、筆者らは、肌落ちは切羽面から発生することから、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⁵⁾(以下、切羽上動物体検出)を提案した。しかし、この方法では、本来の目的と関係ないブレイカ掘削作業時に切羽上で発生する掘削土塊も検出されてしまう。そこで本研究では、掘削土塊の誤検出を無くすため、掘削重機のブレイカ部分にマーカを設置し、RGB 画像中からマーカ箇所を推定による、切羽上のブレイカ掘削箇所の特特定と切羽上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

切羽上の掘削箇所の特特定に、RGB 画像を用いる。事前に、掘削重機のブレイカ部に図 1 に示すように、単色マ

カの重心が先端部より一直線上になるように、2 箇所設置する。その際、ブレイカの先端部から先端部に近いマーカの重心の距離と 2 点のマーカの重心間の距離の比率を算出する。撮影した RGB 画像中からマーカ色のみを抽出し、2 点のマーカの重心を算出する。ブレイカの姿勢が変化しても、ブレイカの先端部から先端部に近いマーカの重心の距離と 2 点のマーカの重心間の距離の比例関係は変わらない。したがって、ブレイカの先端部は、先ほど算出した比率とユークリッド距離を用いることで画像中の座標を特定できる。切羽上動物体検出によって抽出された肌落ちと掘削土塊のうち、掘削土塊がマスクできるように、特定したブレイカの先端部の座標を基準にマスク範囲を設定する。これにより掘削土塊を取り除いた肌落ち検出が可能になる。図 2 に本手法のアルゴリズムを示す。



図 1 マーカ設置例

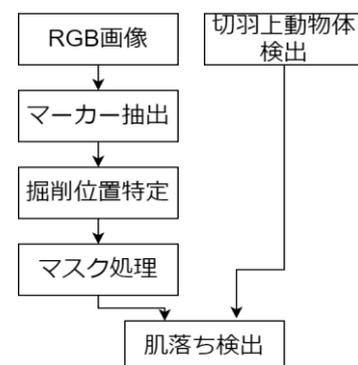


図 2 アルゴリズム

キーワード 山岳トンネル, 切羽監視, 肌落ち, マーカ, RGB-D カメラ, 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. 03-5466-5322

3.実験および考察

提案手法の有効性を確認するため、施工中の山岳トンネルのブレーカ掘削・コソク作業時の映像を撮影し、映像中から肌落ち検出可能か実験を行った。カメラはRGBカメラに加え、Depth画像を同時に撮影可能なIntel RealSense D455を用いた。実験映像撮影時の撮影距離は約10mである。画像の解像度は1280×720pixelsであり、30fpsで撮影した。図3に取得したRGB画像、図4に図3の画像を用いての肌落ち検出し、赤色で着色したものと、推定した掘削箇所を緑色にポイントした結果画像を示す。また表1には提案手法を適用した際の処理時間、表2に処理に用いたPCを示す。



図3 RGB画像



図4 肌落ち検出結果

表1 提案手法の処理時間

平均処理時間	15.4[ms]
最大処理時間	32[ms]

表2 処理に用いたPC

OS	Windows 10
CPU	Intel core i7-10750H
メモリ	32GB

図4から緑色でポイントした箇所が掘削箇所と一致していることが確認できる。また、図3の落石発生箇所の落石のみが図4で赤色検出できていることが確認できる。したがって、従来問題であった掘削土塊を誤検出していないことがわかる。また、表1は、RGB-D画像を取得後、図4の結果画像を生成するまでの処理時間を示している。最大処理時間は、次フレーム画像の取得する33msまでに処理を終えていることから、リアルタイム処理が実現できていることが確認できた。

4.結論

本研究では、ブレーカ掘削・コソク作業時の肌落ちを検出するために、マーカを用いた掘削箇所特定と切羽上動物体検出によるリアルタイム検出法を提案した。実験結果より、従来、掘削作業時に誤検出していた掘削土塊を除去し、肌落ちをリアルタイムで検出できることが確認できた。しかし、マーカがカメラの撮影範囲から隠れた際、正しく抽出できず掘削位置が特定できないことが確認された。例えば、ブレーカ部分をマーカ色で塗装するなどの、マーカを確実に撮影する工夫、または、カメラ設置位置について検討する必要があると考えられる。

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)中村隆史，請関大海，塩崎正人，河村圭：デブ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。
- 3)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。
- 4)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。
- 5)小林礼，三浦雅也，満尾淳，包躍：RGB-Dカメラを用いたトンネル切羽の肌落ち検出，土木学会第75回年次学術講演会，2020。