

肌落ち発生要因に着目した肌落ち災害発生リスクを低減するシステムの開発

山口大学大学院	学生会員	○田村	大智
山口大学大学院	正会員	林	久資
株式会社熊谷組	正会員	青木	宏一
山口大学大学院	フェロー会員	進士	正人

1. はじめに

山岳トンネルの建設現場では、掘削直後の切羽付近の岩盤や土砂が崩落する「肌落ち」による労働災害が問題となっている。(独)労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所の調査によると、この肌落ち災害は、平成12年以降の10年間で47名が被災し、そのうち6%にあたる3名が死亡、36%にあたる17名が休業1ヶ月以上となっており重篤度の高い災害である¹⁾。そのため、厚生労働省は「肌落ち災害防止対策に係るガイドライン²⁾」を取りまとめ、切羽付近での作業を行う場合には専任の切羽監視員による監視を義務付けている。しかしながら、監視員のみによる切羽監視では見落としや見間違いなどの人的ミスが発生することが十分想定される。加えて、熟練技術者が減少傾向にあることなどから、切羽監視員の補助を行い、肌落ち災害を未然に防ぐための監視システムが喫緊の開発課題となっている。

すでに切羽の安全監視に関するいくつかの研究が報告されており、対象物までの距離を短時間で計測できるデプスカメラや一般的なRGBカメラを用いた監視システムが提案されている^{3,4)}。しかし、これらの研究では岩塊の落下直後や肌落ちが起こる直前のわずかな変化を検知することで被害を防止としているが、切羽近傍の人員を肌落ち発生以前に避難させるまでには至っていない。

そこで本研究では、肌落ち発生リスクの高い領域を事前に特定し、集中監視を行うと同時にその領域へ作業員が接近すると警告を出すことで、作業員に危険意識を与えて肌落ち発生前に人員を避難させる。そのために、まず複数枚の切羽写真から写真測量技術を用いて3D点群データを構築し、切羽形状のデータを取得することで、切羽の中でオーバーハングし

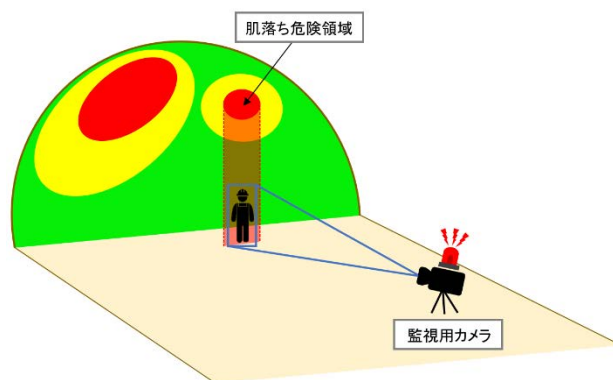


図-1 システムのイメージ図



図-2 切羽の3D点群データ例

た箇所を肌落ち発生リスクの高い領域として抽出する。その後RGBカメラを用いて切羽の重点監視領域を常時監視し、機械学習に基づいた人物検出を行い、肌落ち発生リスクの高い領域に作業員が接近した場合には警告を出すこととした(図-1)。

2. 切羽面におけるオーバーハング箇所の特定

写真測量技術を援用し、切羽形状のデータを取得する。ここではAgisoft社製のMetashapeを使用し、トンネル左右側壁近傍、中央部から撮影した複数枚の切羽写真から切羽の3D点群データの構築を行った。Aトンネルの3D点群データを図-2に示す。掘削によって切羽面に生じた凹凸を十分に取得できていることがわかる。

キーワード 山岳トンネル, 肌落ち, 労働安全, 写真測量

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科 進士研究室 TEL0836-85-9332

次に、構築した 3D 点群データから肌落ちリスクの高い領域を特定する。肌落ちの発生要因としては掘削による岩盤のオーバーハングや亀裂、湧水等が挙げられる。本研究では、切羽における岩盤のオーバーハングしている箇所を肌落ち発生リスクの高い領域として設定する。すなわち、点群データからオーバーハングしている領域を特定するために、切羽面を正方形要素群である voxel に変換する。変換方法としては、x-y 平面上に正方形要素群を設定して切羽面の点群データとの重ね合わせを行い、各要素に含まれる全ての点群の z 値（奥行き）を平均する。voxel 変換の概念図を図-3 に示す。この手法を用いて図-2 に示した点群データを voxel に変換したものを図-4 に示す。図-4 にはそれぞれの voxel 要素の中心にオーバーハングの程度によって色分けをした点を示した。ここでのオーバーハングの程度とは、要素が緑色の場合は 1 つ下の要素が手前にある状態（オーバーハングしていない状態）、黄色もしくは赤色の場合はオーバーハングしている状態である。この場合では、黄色が 5cm 以下、赤色が 5cm 以上のオーバーハング度合いを示している。但し、この閾値については今後の検討が必要であり、切羽のオーバーハングによる肌落ちリスクについて AI や統計学的手法を用いた検討を行う予定である。

3. 機械学習による人物検出

RGB カメラを用いた切羽の常時監視、機械学習による人物検出について詳述する。本研究では人物検出のアルゴリズムとして YOLO⁵⁾の学習済みモデルを利用した。このモデルを用いることで、RGB カメラから取得できる動画をリアルタイムで分析し人物を検出することができる。図-5 に実際に切羽付近で作業中の動画を分析した 1 コマを示す。この図から 2 名の作業員が青枠で囲まれており十分検出できていることがわかる。

4. 今後の課題

今後の課題としては、肌落ち発生リスクの高い領域の特定と人物検出を組み合わせ、高リスクの領域に作業員が接近すると警告を出すシステムの開発が必要である。加えて、どの程度オーバーハングしていれば肌落ち発生リスクの高い領域として示すかといった閾値の検討も行う予定である。

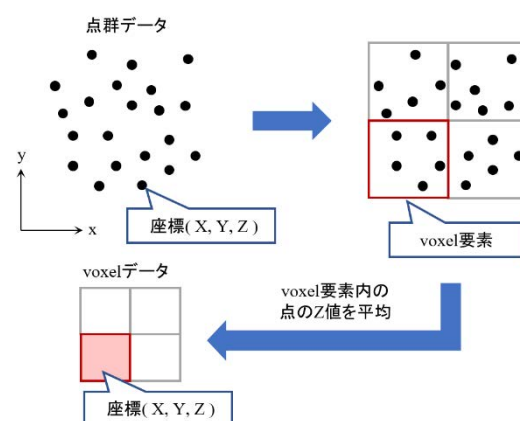


図-3 voxel 変換の概念図

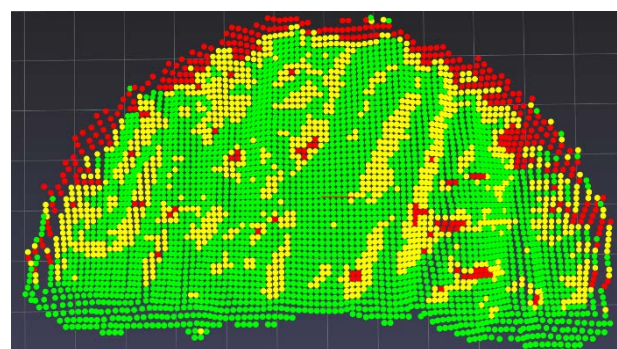


図-4 voxel に変換した点群データ



図-5 作業員を検出した 1 コマ

参考文献

- 1) 労働安全衛生総合研究所：トンネルの切羽からの肌落ちによる労働災害の調査分析と防止対策の提案，pp.4-8，2012.
- 2) 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について，pp.4-5，2018.
- 3) 中村隆史，西山哲，藤岡大輔：ビデオカメラを活用したトンネル切羽崩壊のモニタリング手法に関する研究，土木学会中国支部第 69 回研究発表会，VI-6，pp.383-384，2017.
- 4) 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，土木学会全国大会第 74 回年次学術講演会，VI-735，2019.
- 5) Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi : You Only Look Once Unified Real-Time Object Detection, Cornell University, 2016.