

カメラ動画像を用いたトンネル坑内の粉じん濃度計測システム開発に向けた基礎的検討

山口大学大学院 学生会員 ○田中 亨昌, 正会員 中島 伸一郎
 正会員 林 久資, フェロー会員 進士 正人
 ドボクリエイト株式会社 正会員 岸田 展明

1. はじめに

山岳トンネルの建設現場では、掘削、ズリだし、コンクリート吹付け作業のそれぞれの工程等において、粉じんが発生する。発生した粉じんの中でも、特に粒径 $4\mu\text{m}$ 以下に分類されるレスピラブル粒子は「じん肺症」の原因となるため社会問題となっている¹⁾。厚生労働省のガイドライン²⁾により、空気中の粉じん濃度の測定等を実施することとなっている。

トンネル坑内で人・場所を問わず粉じん濃度を簡便に測定することができれば、作業者の粉じん暴露の機会を低減する。現在トンネル粉じん測定で用いられているデジタル粉じん計は高精度で粉じん濃度を計測できるが、機械内に高濃度の粉じんを取り込むため、一定頻度でのメンテナンスが必要である。これに対し岸田ら³⁾は、Mie散乱⁴⁾の原理を援用したフラッシュ撮影画像による粉じん濃度測定法を提案した。この方法では、機械に粉じんを取り込むことなく粉じん測定が可能となったが、撮影に暗幕を要したり、リアルタイムな粉じん濃度の把握ができないなど改良の余地がある。

本研究では、メンテナンスが容易でかつ、リアルタイムな粉じん濃度計測が可能なシステムとして、カメラ動画像を用いたシステム開発を行う。本発表では、トンネル坑内で撮影したカメラ動画像に写り込む粉じんの自動抽出に適した方法を比較・検討した。

2. 検出方法

トンネル坑内における撮影動画像から、動画像に写り込む粉じんを自動的に検出する手法として、2ケースを比較した。検出フローを図-1に示す。

ケース①は、動画像に写り込む粉じんの形状が白色の円形であることに着目して粉じんの個数をカウントする方法である。まず、撮影した動画像に前処理

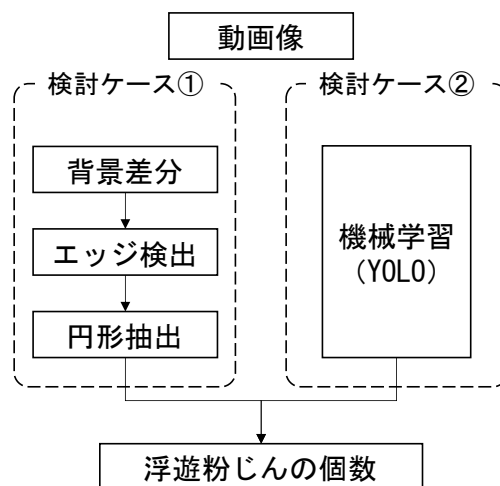


図-1 今回検討した検出フロー

として背景差分を行い、入力画像と背景画像の差分を計算することでMie散乱により写った粉じんを抽出できるようにした。次にエッジ検出を行い、画像の画素値を微分することで画素値が急激に変化している箇所を特定し、写り込む粉じんの縁を抽出した。最後に円形抽出として、エッジ検出した中でもノイズなど粉じん以外のものを除いた円形のを粉じんとしてカウントした。

ケース②は機械学習により動画像に写り込む粉じんを学習させて、粉じんの個数をカウントする方法である。今回は前処理などを行わずに、動画像に写り込む粉じんをそのまま学習させることで、機械学習の適用の可能性を検討した。本研究では、深層学習の一つで高速に物体検出をすることが可能なアプリケーションである“You Only Look Once(YOLO)”⁵⁾を用いた。YOLOは、画像の領域推定と物体の予測を一回の推測で同時に行うため高速に物体検出を行うことが可能である。はじめに、撮影した動画をフレームごとに分割した画像データから粉じんを切り出し、ラ

キーワード 山岳トンネル, 粉じん, 画像処理, 労働安全

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 TEL0836-85-9334

ベル付け（アノテーション）を行った。microsoftのVoTT⁶⁾を用いて、トンネル建設現場で撮影した粉じんが写った画像220枚から280件の教師データを作成した。これを用いて学習したモデルで粉じんの検出を試みた。

3. トンネル建設現場での撮影および粉じん検出

山岳トンネルの建設現場において、カメラセンサ、リングライトを図-2のように構成し、撮影・検出を行った。撮影時は、吹付けコンクリート作業時であり、送風管からの送気によって換気が行われていた。撮影装置の設置場所は、トンネル切羽から30mの左側壁付近、地面からの高さ1.3mとし、トンネル壁面にカメラを指向し撮影した。また、デジタル粉じん計を同時に設置し、粉じん濃度の測定を行った。

図-3に各ケースの検出結果、図-4に動画像に写り込む粉じんの検出個数(個/分)とデジタル粉じん計での粉じん濃度計測値(CPM)の1分間の計測結果を示す。図より、ケース①とケース②の2パターンを比べると、ケース①の方が、相関係数が0.843となり、検出個数と粉じん濃度の相関が高い結果となった。しかしながらケース①では、撮影中に機器の操作によりカメラが振動することで、トンネル壁面部のロックボルトやケーブル等が背景差分により誤検出する場合があった。またケース②では、ケース①と比べてカメラセンサの揺れによる誤検出は低減できるが、粉じんの検出数が少なく、未検出の粉じんが多く見られた。

4. まとめと今後の課題

本研究では、トンネル坑内で撮影した動画像から粉じんを検出する手法について検討を行った。2ケースで検出を行い、ケース①の方が粉じんの検出個数と粉じん濃度計測値との相関が高い結果となった。しかし、両ケースにおいて検出時の課題が生じたため、改良が必要であると考える。

今後は、検出方法の改良に取り組み、両ケースで生じた課題を解決する検出方法を検討する。そして、改良した検出方法でトンネル建設現場での撮影を行い、粉じんの検出数と粉じん濃度計測の関係性を求め、システムの開発を行いたい。

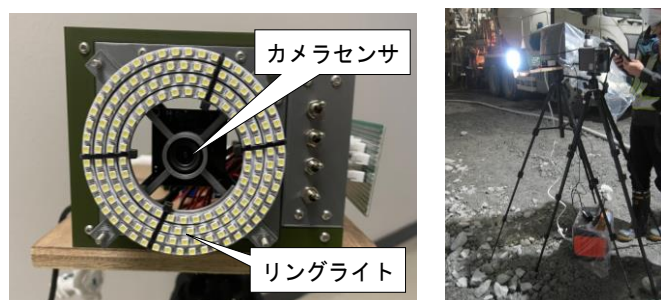


図-2 撮影装置(左)と現場撮影の状況(右)



図-3 粉じん検出結果(左：ケース① 右：ケース②)

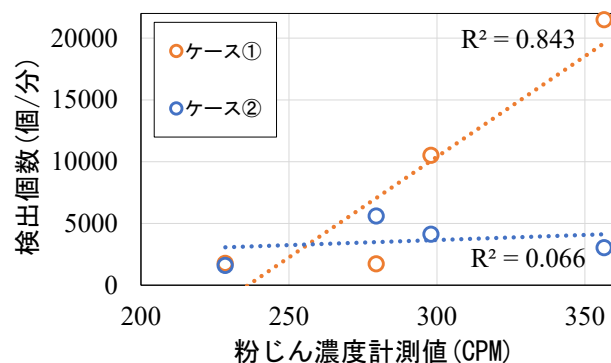


図-4 粉じん検出個数と粉じん濃度計測値の関係

参考文献

- 1) 鷹屋光俊：労働環境における粒子状化学物質のばく露管理と測定・分析技術，技術広報誌 (SCAS NEWS)，Vol.52，pp.3-6，2020
- 2) 厚生労働省：ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン，pp.6-7，2020.
- 3) 進士正人，岸田展明：ニューラルネットワークを利用したデジタルカメラによる粉じん濃度測定の実用化，土木学会G，Vol.66，No.4，pp.194-200，2010.
- 4) Hecht, E. (尾崎義治，朝倉利光 訳)：原著5版 ヘクト 光学 I —基礎と幾何光学—，p.167，2018.
- 5) Ultralytics YOLOv5: [doi.org/10.5281/zenodo.6222936](https://github.com/Microsoft/VoTT/release) 閲覧日2023/3/31
- 6) microsoft VoTT: <https://github.com/Microsoft/VoTT/release> 閲覧日2021/11/20