

カメラ動画像によるトンネル坑内粉じん濃度計測の性能調査

山口大学大学院	学生会員	○田中 亨昌
西日本工業大学	正会員	林 久資
株式会社大林組	正会員	井出 一貴
ドボクリエイト株式会社	正会員	岸田 展明
山口大学大学院	正会員	中島 伸一郎
山口大学大学院	フェロー会員	進士 正人

1. はじめに

山岳トンネル建設現場では、掘削、ズリだし、コンクリート吹付け作業の各工程において、粉じんが発生する。発生した粉じんは、じん肺症などの重篤な肺機能障害を引き起こす原因物質と言われている¹⁾。そこで、厚生労働省では「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」を定め、各工程で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²⁾。現在行われている粉じん濃度測定は、定点計測のみであり、これではトンネル坑内全体や作業者の吸引する粉じん濃度を把握することは困難である。

そこで、本研究では動画像によるリアルタイムでかつ多点での移動観測が可能な粉じん濃度計測システムの開発を目指し、室内模擬トンネルでの実験により得られた動画像より、動画像に写り込んだ粉じんを画像処理等を用いた検出を試みた。また、デジタル粉じん計のカウント値と動画像に写る粉じんの検出個数の相関を確認した。さらに、粉じん濃度を精度よく把握するための基礎的実験として、カメラに写る粉じんの撮影領域を確認した結果を報告する。

2. 動画像を用いた粉じん撮影装置とライトの概要

本研究で試作した撮影装置とライトを図-1 に示す。装置は小型コンピュータ (Jetson Nano) を中心に、カメラ、ライト、モニター、ガラスフィルターで構成されている。ライトにはテープ LED を用いて、図-1 のように口径の中心方向に向け照射したライトを設置した。ライト外枠には幅 3mm のスリットを設けて照射範囲を絞りこみ、レンズ前方に現れる粉じんに集光することによって、Mie 散乱した粉じんを撮影しやすくした。

3. 動画像における粉じん検出手法の概要

前章で示した粉じんを撮影した動画像から、粉じん

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

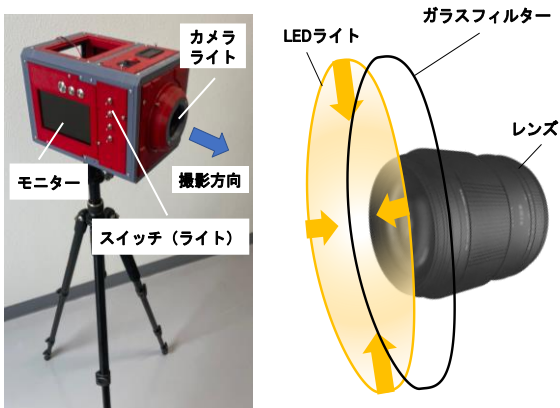


図-1 撮影装置とライトの照射方向

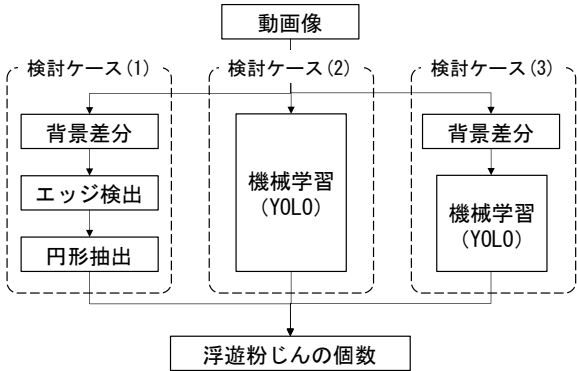


図-2 粉じん検出フロー

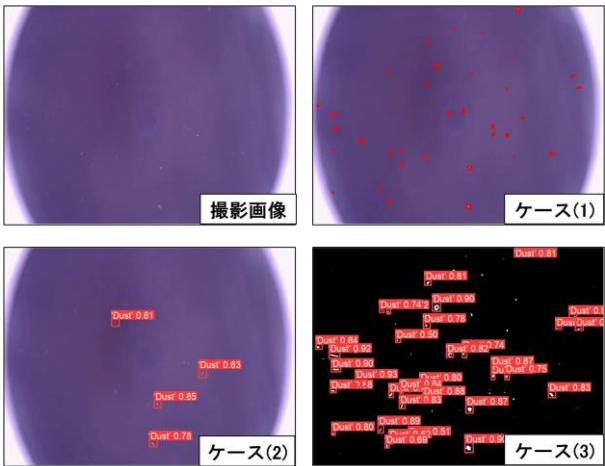


図-3 粉じん撮影画像と検出画像

を自動的に検出する手法として、3ケースを検討した。図-2に検出フロー、図-3に撮影画像と各々の手法での検出画像を示す。ケース(1)は、撮影した動画を、背景差分、エッジ検出、円形抽出を行うことで、粉じんをカウントする方法。ケース(2)は、深層学習の一つで高速に物体検出が可能なYOLOv5を用いて、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。ケース(3)は、上述したケース(1)と(2)を組み合わせ、粉じんを検出する方法である。

図-4は、室内模擬トンネルでの粉じん実験で、動画画像から求めた各ケースでの検出個数（個/分）とデジタル粉じん計のカウント値（cpm: count per minute）を比較したものである。3つの検出方法全てで検出個数はデジタル粉じん計のカウント値と高い相関（ $R^2 > 0.9$ ）を示しており、動画を用いた粉じん計測の有効性が確認できる。ただし、デジタル粉じん計のカウント値を検出個数と考えると、動画による検出個数の約30～150倍となっている。これは動画カメラによる撮影領域が、デジタル粉じん計の評価体積よりも狭いことに起因していると考えられる。そこで、近接撮影実験を実施してカメラの撮影領域を調査した。

4. 撮影領域調査のための近接撮影実験

近接撮影実験の概要を図-5に示す。太さ1mmのビニール紐を撮影対象物とし、カメラのレンズフィルターに接触した状態（近接側）から徐々に遠ざけていったときの最短撮影距離と最長撮影距離を求めた。撮影対象物は精密スライダにセットし、マイクロメータによりミクロン単位で距離を制御した。画像の一例を図-6（左）に示す。実験の結果、図-6（右）に示すように、近接側はフィルター面までピントが合い、外側はフィルター面から28mmの距離までビニール紐を視認することができた。この結果に基づき、撮影可能領域を長さ28mm、直径31.5mmの円筒形状と仮定すると、その体積は $21,820 \text{ mm}^3$ ($2.18 \times 10^{-2} \text{ L}$)となった。一方で、デジタル粉じん計LD-5Rは毎分1.7Lの空気を吸引している³⁾ため、評価体積は1.7L/minである。つまり、デジタル粉じん計の評価体積は、本研究のカメラの撮影領域の約80倍である。この倍率は、図-4におけるデジタル粉じん計のカウント値（cpm）と動画による検出個数の倍率の範囲内にあることから、考え方としては大筋で整合していると考えられる。また、カメラが動画の中で捉えている粉じんは、フィルターから28mmまでのわず

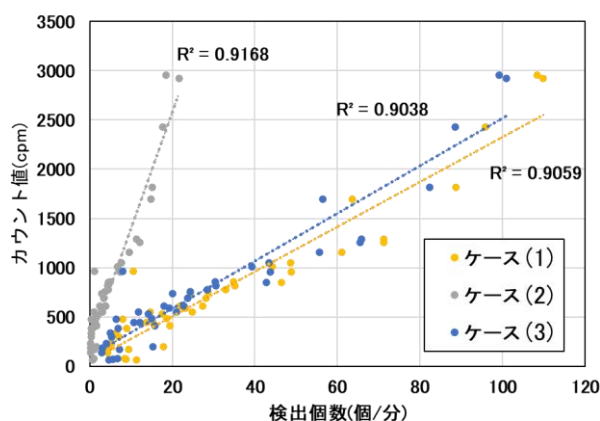


図-4 検出個数とカウント値の相関図

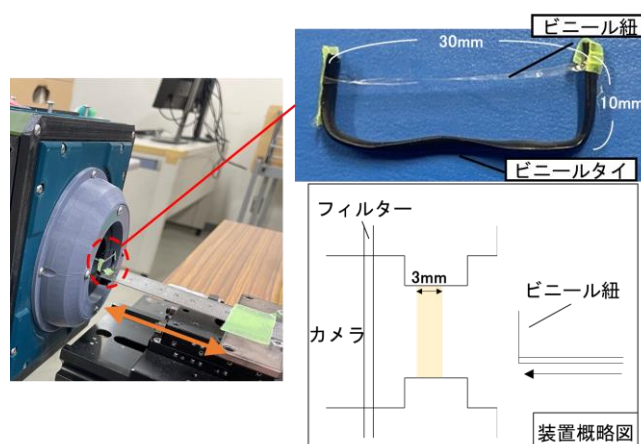


図-5 近接撮影実験の概要

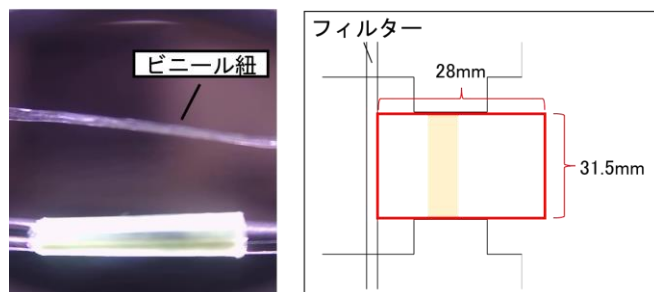


図-6 撮影画像（左）と推定した撮影領域（右）

かな領域であることがわかった。

5. まとめ

本報告では、デジタル粉じん計のカウント値と動画画像に写る粉じんの検出個数の相関を確認し、更なる精度向上のための撮影領域の調査を行った。その結果、デジタル粉じん計と撮影領域の体積には80倍の差があり、撮影装置の内部に加え外部のわずかな領域を飛散する粉じんを対象に撮影していることが分かった。

参考文献

- 1) 長浜文雄：じん肺症の肺機能—重症度分類に対する私案，日本胸部疾患学会雑誌，Vol.2，No.5-6，pp.319-326，1965.
- 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) 柴田科学：デジタル粉じん計FAQ
https://www.sibata.co.jp/faq/faq_digitalfunjin/，閲覧日 2023.3.26