

デジタルカメラを用いたトンネル坑内の粉じん濃度計測法

宇部市役所 正会員 ○渡部 亮

山口大学大学院 学生会員 岸田展明

山口大学大学院 正会員 進士正人

飛島建設(株) 正会員 平間昭信

飛島建設(株) 正会員 筒井隆規

1. はじめに

山岳トンネルの施工中の様々な坑内作業により発生する粉じんは、その粒度によっては作業員の肺に入ると、それが肺に蓄積され、人体に影響を及ぼす。そのため、現在は坑内の粉じん濃度測定の義務化が進められている。トンネル内の粉じん濃度を測定するには「デジタル粉じん計」を用いることが一般的である。この装置は一定の吸引力で空気を吸引し、その空気中の粉じん数をレーザー光の透過量として計量し、それに装置固有の質量濃度変換係数を乗ずることで粉じん濃度を計算している。このデジタル粉じん計は設置するとその場で 10 分以上継続的に計測を行い平均的な粉じん濃度を計測する必要がある¹⁾。そのため、より簡便に粉じん濃度を測定できる計測方法が求められている。

一方、市販のデジタルカメラを使ってトンネル坑内でフラッシュを焚いて写真撮影を行うと写真-1 の様に粉じんが雪のように写る。現場記録の目的で撮影する場合、このように粉じんが写りこむことは好ましくないため、通常、トンネル坑内の写真を撮影する場合はフラッシュを使わずに撮影する。本研究ではフラッシュを焚いて撮影した写真に粉じんが写ることを逆に利用し、粉じんが写る条件を整理し、画像からトンネル坑内の粉じん濃度を測定する方法を確立する。

2. 撮影方法の確立

本研究で使用するデジタルカメラは主にコンパクトカメラである Canon IXY1000 と一眼レフカメラである Nikon D100 である(写真-2 参照)。写真-1 のような粉じんが写る写真は、写真-3 の比較に示すように IXY1000 で撮影することができるが、D100 ではあまり写らなかった。そこでトンネル坑内に浮遊している粉じんの粒径は 10μ 以下であり²⁾、フラッシュを焚いて撮影した写真に写っている粉じんはカメラの極めて近傍に浮遊しているものが撮影されている仮説を立て、

室内実験を行った。まず、IXY1000 と D100 の両方のカメラレンズの直前に黒い画用紙を立て、それを 1mm 単位でレンズから遠ざけ、その都度フラッシュを焚いて写真を撮影した。この結果、写真-4 左に示すように IXY1000 では 5mm 離せば画面全体にフラッシュが届き明るい画像が撮影されているのに対し、D100 では写真-4 右に示すように 15mm 離してもレンズ本体が影になってフラッシュが画面全体に届いていない写真となることがわかった。このことから写真-1 で写っている粉じんはレンズの直近数十 mm の範囲に浮遊する粉じんであることがわかった。そのため、よりはっきりと粉じんを撮影するためには、マクロ撮影で撮影をする方が良い結果が得られると考え、トンネル坑内での粉じんを撮影するにあたって、撮影モードについては通常撮影とマクロ撮影での撮影結果を比較検討し、両方の撮影方法で現場実験を行った。また、より鮮明に粉じんを撮影するために粉じんが白



写真-1 トンネル坑内での撮影



写真-2 左 IXY1000 右 D100



写真-3 撮影結果の比較 IXY1000(左) D100(右)

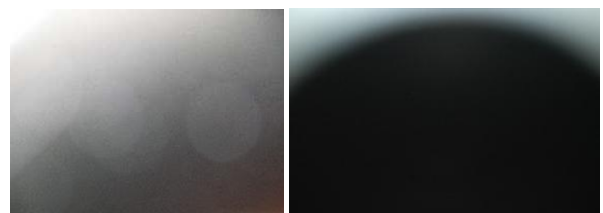


写真-4 フラッシュの有効範囲

く写ることから黒いバックパネルを置いて撮影を行った。適用試験においては時間変化とともに変化する粉じん濃度を確認するためにデジタル粉じん計を用いて測定時間ごとの粉じん濃度を測定した。

3. デジタル写真からの粉じん濃度の換算方法

フラッシュを焚きマクロ撮影した画像の一例を写真-5に示す。この写真から明らかなように、浮遊粉じんは写真-1と比較してはっきりとした白い斑点として撮影されていることがわかる。この画像から、粉じん濃度を換算するため、画像をまず1ピクセルごとに8bitのグレースケールに変換した。そして、画像全体の平均、分散、標準偏差をもとめた。次に、それら統計量とデジタル粉じん計の粉じん濃度を比較するために、補正係数を求めた。補正係数はデジタル粉じん計の計測時間と撮影時間の重なる部分でそれぞれの値の平均を求め、その平均が一致する値を補正係数とした。

図-1にデジタルカメラによる画像から計測時間毎の平均、分散、標準偏差算出し、デジタル粉塵計の値と比較した結果の一例を示す。図-1から明らかなように、どの統計量をとっても粉じん濃度の変化をうまく表現できていることがわかる。マクロ撮影と通常撮影との比較を行うため、この時間経過に伴う粉塵濃度の変化とデジタル粉じん計の濃度との相関を求め、それぞれの配合条件を変化させて4回の現場実験によって得られた相関係数をまとめたものが図-2である。この図から、通常撮影よりマクロ撮影の方がより相関の取れた結果が得られたことがわかる。また中でも分散は、より1に近く分布しているので、画像の分散から求めた換算粉塵濃度が最も相関が取れていることがわかる。分散が最も相関が取れている理由は、画像をグレースケール化した場合に8bitという制限があるので標準偏差の2乗である分散のほうがより背景と粉じんとコントラストを強調できるからであると考えている。また補正係数を撮影日時ごとにまとめたものが表-1である。この表から分散の補正係数はこれらの平均である 7.82×10^{-3} に設定するのが適当であるといえる。

4. 結論

デジタルカメラの画像をグレースケール化し、統計分析を行うことによりデジタル粉じん計と相関のある補正係数が算出できた。従って、デジタル画像から粉じん濃度を測定するアルゴリズムを一樣確立することできた。しかし、本研究ではカメラのパラメータを固定して撮影を行い、撮影条件を固定したが、実際にはカメラの個体差や坑内の露出、風量など考慮すべきパラメータも多く、今後それらについても考慮に入れたアルゴリズムを作成する必要がある。また画像中の色の濃淡ではなく、実際に画像中の粉じんの個数をカウントするなどの新しいアルゴリズムも今後の検討課題である。

5. 謝辞

本研究において、現場実験にご協力を頂いた山口県山口土木建築事務所、飛島建設・フジタ・藤本工業・栗本特定建設工事小郡トンネル作業所の関係各位に深く感謝致します。

<参考文献>

1) 建設業労働災害防止協会:改訂ずい道等建設工事における換気技術指針《設計および粉じん等の測定》, p258, 2-3, 2004 年



写真-5 マクロ撮影による粉じん撮影

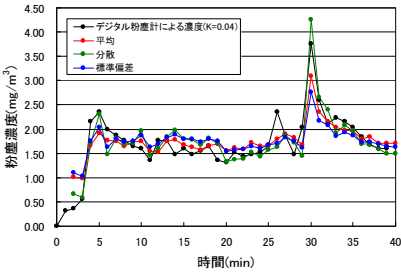


図-1 画像解析結果の比較

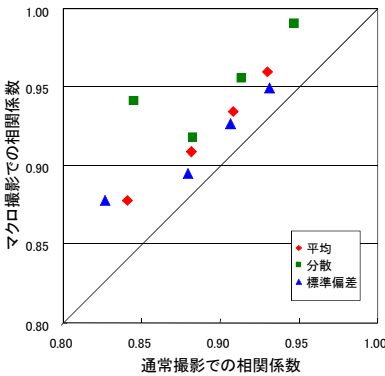


図-2 相関図のまとめ

表-1 補正係数のまとめ

IXY1000	撮影日時	11月20日2基	11月21日1基	11月22日1基	11月22日2基	平均
補正係数 (1/1000)	平均	47.81	42.70	35.66	34.82	40.25
	分散	8.98	7.91	7.30	7.08	7.82
	標準偏差	141.56	119.15	99.82	101.50	115.51