

平成 30 年 6 月 5 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06634

研究課題名(和文) 骨材生産から発生する砕石粉じんのリアルタイム多点モニタリングシステムの開発

研究課題名(英文) Development of real-time multipoint monitoring system for crushed stone dust generated by the production of aggregate

研究代表者

齊藤 貢 (Saito, Mitsugu)

岩手大学・理工学部・准教授

研究者番号：20271843

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：骨材を生産する採石場では副産物である砕石微粉末の生成が増え、作業場内および周囲地域への飛散粉じんの影響が危惧される。本研究では、マイクロ繊維シート捕集材(MFS)を利用した砕石粉じんのリアルタイム多点モニタリングシステムの開発を行った。

MFS表面画像解析を利用したモニタリング方法において、MFSへの捕集粉じん量と有色ピクセル比(RGB値)の間に高い一次線形の関係が認められ、一定期間における砕石場内の飛散粉じん量の推定が可能であることが示唆された。

MFSの光透過度を利用したモニタリングセンサの開発において、健康影響が懸念される閾値での危険シグナルの点灯と無線データ転送の動作を確認した。

研究成果の概要(英文)：In order to restore the infrastructure such as broken seawalls and roads, demand of aggregate is increasing at the Pacific coast of the Tohoku region in Japan. Therefore, it is expected that the amount of crushed stone dust as a byproduct of aggregate will increase in the quarry. And, the health effects of workers and neighborhood residents due to scattering of crushed stone dust are concerned. In this study, I tried to develop a real-time multipoint monitoring system for crushed stone dust in the quarry using micro fiber sheet.

In monitoring method using image analysis of MFS surface, a primary linear correlation was observed between the number of catching particulate matter and the colored pixel ratio (RGB value). In the development of monitoring sensors utilizing the light transmittance of MFS, we checked the lighting of the danger signal at the threshold affecting health and the operation of wireless data transmission.

研究分野：大気環境工学

キーワード：砕石粉じん モニタリング マイクロ繊維シート 画像解析

1. 研究開始当初の背景

骨材は、わが国でまかなえる数少ない資源である。2011年に起こった東日本大震災からの復旧・復興、また、2020年開催予定の東京オリンピック・パラリンピックに向けた社会基盤整備など、骨材の需要は増加傾向にある。実際に、2012年～2013年に我々が行った東北地方の砕石山の現状調査結果からも、岩手県および宮城県沿岸部の砕石場では製品出荷量が増加している事業所がうかがえた。骨材を精算する砕石場が抱える環境問題の一つに“飛散粉じん”がある。砕石場から発生する粉じんには、岩石破碎時に飛散するものや、製品運搬時に巻き上げられるものなど多岐に及んでいる。大量に発生するこれらの粉じんは、砕石場内および周辺地域へ飛散し作業従事者の健康だけでなく、地域住民の健康や生活環境にも影響を与える可能性がある。

2. 研究の目的

骨材需要の増加に伴い、プラントや重機の稼働時間の延長、製品運搬ダンプの運行増加により砕石場内および周辺地域への飛散粉じん状況は以前に比べて悪化していることが懸念される。“安全・安心”かつ“安定的”に骨材を供給するためにも、飛散粉じん状況に配慮（モニタリング）しつつ製品の製造を増加する必要がある。しかしながら、現状行われている飛散粉じん測定は、定期的に定点測定するのが精一杯で、多岐にわたる粉じん発生源近傍で飛散粉じん状況をリアルタイム測定することは、人的・経済的にも困難である。そこで本研究は、小型カメラや小型マイコンとネットワークを組み合わせた『骨材生産から発生する砕石粉じんのリアルタイム多点モニタリングシステムの開発』を研究テーマに掲げ、以下の2点を研究目的とした。
 (1) ミクロ繊維シート（MFS）表面の画像解析による飛散粉じんモニタリング法の検討
 (2) MFS材を透過する光量変化による飛散粉じんモニタリング法の検討

3. 研究の方法

本研究は、画像解析による方法として(1) 模擬粉じんを用いたMFS表面の画像解析による吸着粉じん量の推定と現場での多点モニタリングによる比較・評価、モニタリングセンサによる方法として(2) 模擬粉じんを用いたMFS材を透過する光量変化による吸着粉じん量の推定とモニタリングデータ送信の検討を、以下に示す方法で行った。

(1) 模擬粉じんを用いたMFS表面の画像解析による吸着粉じん量の推定と現場での多点モニタリングによる比較・評価

図1に画像解析モニタリング法のイメージを示す。MFS表面に粉じんが吸着していない状態の画像をインターバルカメラで撮影しておき、既知量の模擬粉じんを吸着させた後に再度カメラで表面画像を撮影する。画像解

析ソフトを用いた粉じん吸着前後のMFS表面画像のピクセル解析により、粉じん吸着量と画像解析結果との関係を明らかにする。また、実際の砕石場でのモニタリング結果と模擬粉じんを用いたMFS表面の画像解析結果の精度について評価する。

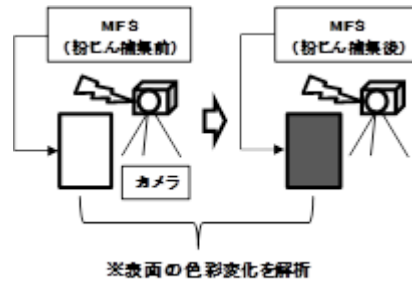


図1 画像解析モニタリング法のイメージ

(2) 模擬粉じんを用いたMFS材を透過する光量変化による吸着粉じん量の推定とモニタリングデータ送信の検討

図2に光量変化モニタリング法のイメージを示す。MFSの背面に太陽光パネルを取り付け、太陽光パネルによる起電力量の変化を小型マイコンで評価するシステムを検討する。既知量の模擬粉じんを吸着させて、吸着前後のMFSを透過する光量変化量(起電力変化量)を測定し、粉じん吸着量と光量変化量との関係を明らかにする。また、小型マイコンに定期的にデータ通信するプログラムを組み込んで、現場でのモニタリング結果をデータ送信することが可能かどうか無線通信状況を検討する。

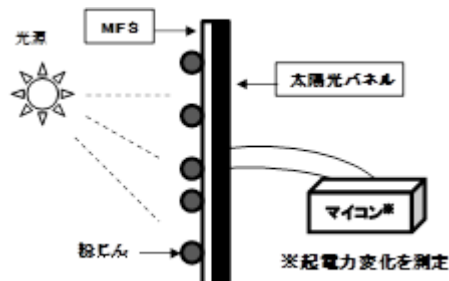


図2 光量変化モニタリング法のイメージ

4. 研究成果

研究方法に示した順に沿って(1) 画像解析方法、模擬粉じんを用いたMFS表面の画像解析による吸着粉じん量の推定、現場モニタリングによる比較・評価、(2) 模擬粉じんを用いたMFS材を透過する光量変化による吸着粉じん量の推定、モニタリングデータ送信の検討について、研究結果を以下に示す。

(1) MFS表面の画像解析による吸着粉じん量の推定方法

画像解析方法

MFSモニタリング材(図3)は、モニタリング期間中はカバーで覆い粉じん(PM)捕集のない1cm×1cm平方の画像解析基準面(MFS)と、モニタリング期間中にPMを捕集する10cm×10cm平方のPM捕集面(MFS)か

ら構成されている。PM 捕集後に MFS のカバーを外した後、MFS 表面と MFS 表面を含む MFS モニタリング材全体を撮影し、画像解析ソフトウェア Photoshop CS3 (Adobe 社) により画像解析を行う。図 4 に明度ヒストグラムと有色ピクセルの概念図を示す。MFS の明度ヒストグラムで最も暗いピクセル明度を基準明度として、MFS の明度ヒストグラムで MFS の基準明度よりも暗いピクセル領域を有色ピクセルと見なし、この領域内のピクセルを PM 捕集のあるピクセルと判定した。MFS の有色と判定したピクセル数を全ピクセル数で除した値の百分率を“有色ピクセル比”と定義した。

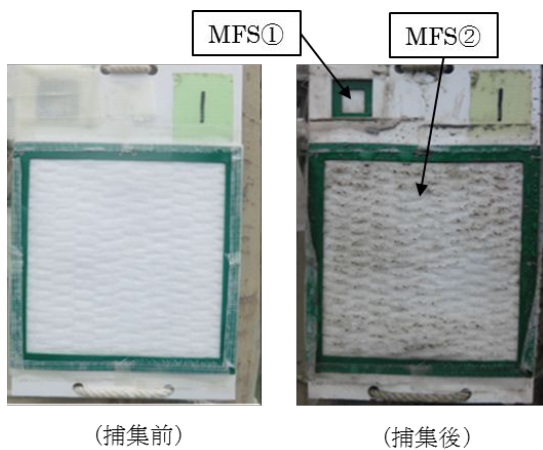


図 3 MFS モニタリング材の様子

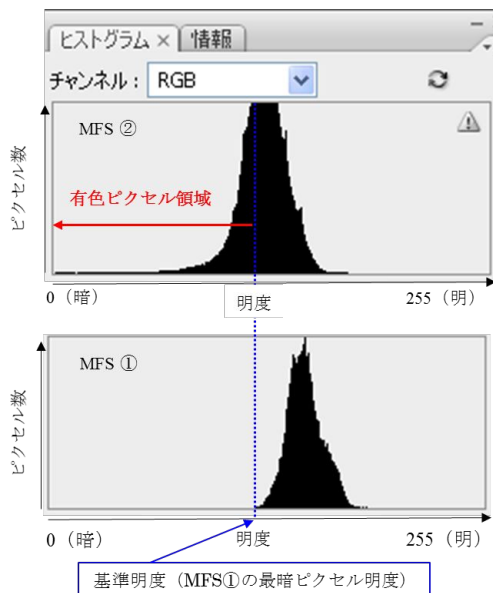


図 4 明度ヒストグラムと有色ピクセル比の概念図

模擬粉じんを用いた MFS 表面の画像解析による吸着粉じん量の推定

図 5 に撮影画素数の違いによる画像解析結果を示す。デジタルカメラ (1400 万画素) 撮影での有色ピクセル比と捕集粉じん量の決定係数は $R^2=0.77$ 、携帯電話 (300 万画素) での撮影では $R^2=0.83$ とそれぞれ高い相関関係が認められた。また、撮影画素数によらずそ

れぞれの一次回帰式の傾きがほぼ同じとなることから、画像解析結果に撮影画素数の違いによる影響はないと判断した。

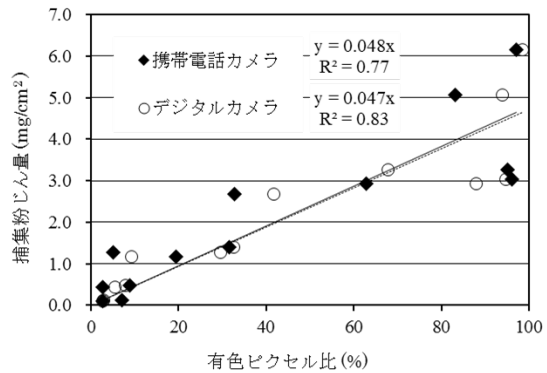


図 5 撮影画素数の違いによる有色ピクセル比と捕集 PM 量の関係

図 6 に捕集 PM 粒径サイズの違いによる画像解析結果を示す。RGB 値の明度ヒストグラムがほぼ等しく粒径サイズの異なる模擬 PM (45~75 μm 、30~45 μm) を用いた実験の結果、45~75 μm の場合の有色ピクセル比と捕集粉じん量の決定係数は $R^2=0.78$ 、30~45 μm の場合では $R^2=0.81$ とそれぞれ高い相関関係が認められた。また、PM 粒径サイズによらずそれぞれの一次回帰式の傾きがほぼ同じとなることから、捕集粒径サイズの違いによる影響はないと判断した。

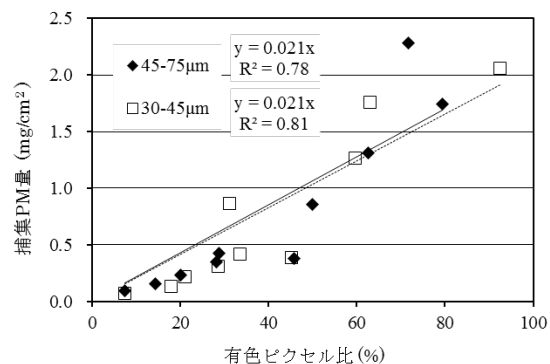


図 6 粒径サイズの違いによる有色ピクセル比と捕集 PM 量の関係

図 7 に色彩の違いによる画像解析結果を示す。白色、赤色、茶色、緑色、黒色の模擬 PM (45~75 μm) を用いた実験の結果、白色 PM では、多量の粒子を MFS に満遍なく散布した場合でも有色ピクセル比が 10%未滿で一次線形の関係が見られず、MFS 表面に多量の PM が吸着しても画像解析から PM 捕集量を推定することが困難な結果であった。一方、黒色 PM、赤色 PM、緑色 PM、茶色 PM では、有色ピクセル比と捕集 PM 量に高い一次の相関関係が見られたため、捕集 PM 量の推定が可能であることが示唆された。

白色系 PM 量の推定が困難であった結果を踏まえて、どの程度の白さの PM までが推定可能であるかを検討するため、階調の異なる

8種類の模擬PMによる実験を行った。表1に階調の違いによる画像解析結果を示す。R値、G値、B値それぞれが160を超える白色度の高いPMの場合、有色ピクセル比と捕集PM量の間には正の線形関係が見られず、R値、G値、B値それぞれが150程度よりも小さい暗色値の場合に正の一次線形の関係が認められた。

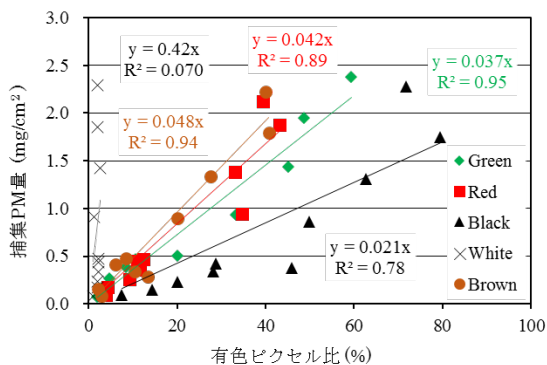


図7 PMの色彩の違いによる有色ピクセル比と捕集PM量の関係

表1 PMの階調の違いによる有色ピクセル比と捕集PM量の関係

模擬PMのR,G,B値	一次回帰式	決定係数 (R ²)
227, 225, 216	$y = -0.14x + 0.79$	0.37
191, 187, 178	$y = 0.029x + 0.3$	0.17
172, 170, 163	$y = 0.0078x + 1.3$	0.049
166, 158, 149	$y = 0.030x$	0.77
152, 147, 135	$y = 0.034x$	0.82
130, 128, 118	$y = 0.036x$	0.63
77, 75, 71	$y = 0.039x$	0.72
53, 49, 51	$y = 0.027x$	0.70

現場モニタリングによる比較・評価

画像解析から算出された推定PM量が砕石場現場での簡易モニタリング結果として適用可能であるかを検証するため、岩手県内のA砕石場（岩種：輝緑岩）及びB砕石場（岩種：安山岩）で実施した現場多点モニタリングによる実測捕集粉じん量と推定PM量の比較により検証した。

A砕石場では、緑色模擬PMのR値有色ピクセル比の一次回帰式を用いて算出した推定式において決定係数 $R^2=0.72$ の高い相関関係を示し、B砕石場では、赤色模擬PMのG値色ピクセル比の一次回帰式を用いて算出した推定式で決定係数 $R^2=0.78$ の高い相関関係を示した。この結果より、各砕石飛散粉じんと類系の色相と補色関係に近い色相成分値を見ることが、PM捕集領域を表す白色度が鮮明に抽出され、MFS捕集面の撮影画像から飛散粉じん量の推定が可能であることが示唆された。

(2) 光量変化による吸着粉じん量の推定方法

模擬粉じんを用いたMFS材を透過する光量変化による吸着粉じん量の推定

図8にセンサシステムの概要を示す。2枚の太陽光パネルの一方をPM捕集材であるMFSで覆い、MFS上へのPM捕集の有無による光透過度の変化量を、太陽光パネルの起電圧値の変化量に換算して評価するものである。センサシステムは、PM捕集用MFS被覆の太陽光パネル、参照用太陽光パネル、起電圧差を測定するマイコン（Arduino）、データ保存用メモリカード、起電力差を視認するLEDシグナル、PCへのデータ通信モジュール、電源用バッテリーから構成されている。

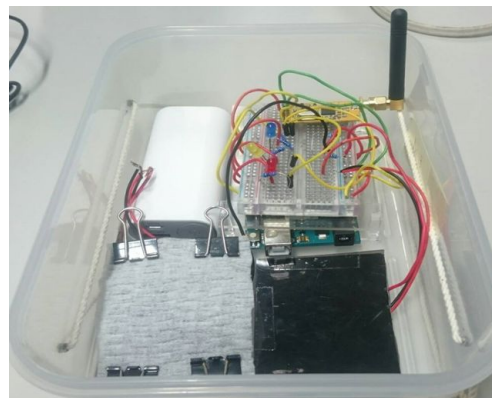


図8 センサシステムの概要

砕石場におけるモニタリングは屋外での使用となるため、太陽光の照度変化に対応するセンサが必要である。そこで、参照用パネルとMFS被覆の太陽光パネルの起電圧差の関係から、健康影響が懸念される閾値を超える粉じんが飛散した際に視認できるLEDシグナルの点灯条件を検討した。本実験で採用した閾値は、日本産業衛生学会における『作業環境測定対象物質の管理濃度・許容濃度一覧』の第3種粉じん（石灰石、その他の無機及び有機粉じん）総粉じん量許容濃度値の $8\text{mg}/\text{m}^3$ とした。なお、許容濃度値に相当するMFSによる捕集量基準値は $6.49\text{mg}/\text{cm}^2$ となり、この値を赤色LEDが点灯する閾値に設定した。また、注意濃度値（ $7.5\text{mg}/\text{m}^3$ ）に相当するMFS捕集基準値を $5.69\text{mg}/\text{cm}^2$ とし、この値を黄色LEDが点灯する閾値に設定した。

図9に可変光量における参照用パネルの起電圧と両パネルの起電圧差の関係を示す。

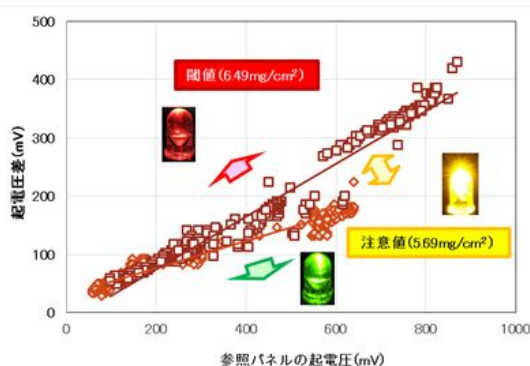


図9 可変光量における起電圧差の関係

太陽光から受ける照度が大きくなる（参照パネルの起電圧が大きくなる）と、双方の太陽光パネルの起電圧差が大きくなる一次線形の関係が得られた。この結果は、本実験で得られた一次回帰式（赤色 LED 点灯および黄色 LED 点灯の一次回帰式）を境界として、赤色 LED の回帰式より起電圧差が大きくなる領域では許容濃度値を超える PM 量の付着、赤色 LED と黄色 LED のそれぞれの回帰式間の領域では注意濃度値相当の PM 量が付着していることを表しており、緑色・黄色・赤色 LED が、捕集 PM 量に応じてそれぞれ正常に点灯することを確認した。

また、砕石飛散粉じんを多点で同時にモニタリングするため、同型センサを 3 台作成し個々のセンサ精度を検討した。図 10 に 3 台それぞれの可変光量における参照用パネルの起電圧と両パネルの起電圧差の関係を示す。

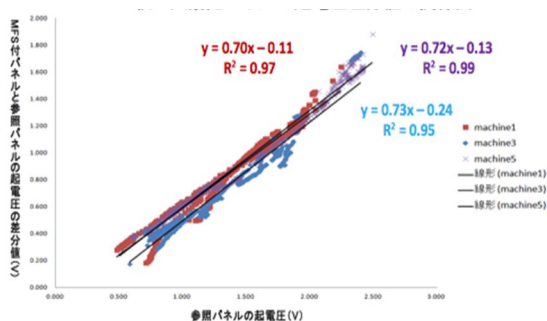


図 10 可変光量における起電圧差の関係 (3 台個別別)

3 台の同型センサともに参照用パネルと双方の太陽光パネルの起電圧差には類似の一次線形の関係が確認され、精度の検証がなされた。

モニタリングデータ送信の検討

砕石事業場管理室内から現場内の多地点における飛散 PM 状況を監視することを念頭に入れ、本モニタリングセンサシステムに搭載した無線通信モジュールのデータ送受信範囲について検討した。岩手県内の A 砕石場において、砕石場内の任意の 3 地点にそれぞれモニタリングセンサを設置し、それぞれの測定データが同時に監視用 PC で受信可能かどうか検討した。

複数回にわたる実験の結果、複数のセンサからの同時無線通信は、砕石場内の障害物（プラントやストックヤードなど）と通信距離（見通しが良い場合は最大約 400m の通信を確認）により影響されることが確認された。

本研究において、骨材生産から発生する飛散粉じんの新規なリアルタイムモニタリング方法の提案と可能性までを示すことができた。砕石場から飛散する粉じんによる周辺地域への環境問題は、長年抱えている問題の一つである。本研究で検討した飛散粉じんの

リアルタイムモニタリングシステムが構築され、実働したとしてもすぐに解決するものではないが、粉じんモニタリングデータの見える化を継続的に行うことで、作業従事者の健康はもちろんのこと、砕石場の周辺地域に生活する住民にとって“安全・安心”な生活を担保するための身近な環境情報として有用であると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 10 件)

Mitsugu Saito・Naohiro Otsuk, Study on the Simple Monitoring Method using Image Analysis for Crushed Stone Dust in Quarry, Asia Pasific Symposium on Safety 2017, 2017.11.30, Kitakyushu International Conference Center (Kitakyushu)

齊藤 貢・大塚尚寛, 骨材生産により発生する砕石飛散粉じんの簡便なリアルタイムモニタリング法の検討, 資源・素材 & EARTH 2017 (札幌), 2017.9.28, 北海道大学 (北海道)

齊藤 貢・大塚尚寛, ミクロ繊維シート捕集材の画像解析を用いた採石場における大気中 PM 量の推定, 第 58 回大気環境学会, 2017.9.6, 兵庫医療大学 (兵庫県)

陳 冠良・齊藤 貢・大塚尚寛, 簡易な砕石飛散粉じんモニタリングセンサーの開発 - 閾値シグナル精度の検討 -, 資源・素材学会平成 29 年度春季大会, 2017.3.27, 千葉工業大学 (千葉県)

齊藤 貢・小林大起・大塚尚寛, ミクロ繊維シート捕集材の撮影画像解析による大気中 PM 量推定に関する検討, 第 57 回大気環境学会, 2016.9.7, 北海道大学 (北海道)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

齊藤 貢 (SAITO Mitsugu)
岩手大学・理工学部・准教授
研究者番号：20271843