

粉体特性を考慮した乾式集塵フィルタへの粉塵の付着評価方法の確立

大分工業高等専門学校 機械工学科

尾形 公一郎

1. はじめに

2020年4月に国は労働安全衛生規則、特定化学物質障害予防規則等を改正し、金属アーク溶接等作業において発生する溶接ヒュームについて新たな健康障害防止措置を事業者に義務づけた¹⁾。金属アーク溶接等作業は製造、建設等の幅広い業種で用いられていることから、これらの業界にとって大きな影響がある改正となった。

また、溶接技術は被覆アーク溶接棒の全盛期からガスシールドアーク溶接による自動及び半自動溶接が多く用いられることとなった。この流れに伴って溶接作業時に発生するヒュームやスパッタ、粉塵などの有害因子も多様化し、溶接作業に従事する作業員あるいはその周辺で他の作業に従事する作業員の健康管理対策も複雑化している。特にアーク溶接の過程で発生するヒュームを起因とする粉塵障害防止は、作業環境や衛生面から重要視されている²⁾。そのため、粉塵障害を防止するための集塵機等の開発が進められている³⁻⁵⁾。

さらに、近年、人々の生活空間中の環境衛生を向上することを目的として、多くの集塵機が開発されている。これは、COVID-19などの細菌、花粉症など花粉、PM2.5などのダストを捕集し、健康被害を抑制するための大気環境の衛生浄化が求められているからである。

これら集塵機では、集塵フィルタで粉塵を捕集するが、フィルタ表面に堆積及び付着する粉塵と粉体特性との関係の詳細が明らかになっていない。そこで、本研究では、集塵性能評価装置に集塵機で使用されるバグフィルタを設置し、粉塵がバグフィルタに付着した際の圧力損失と粒子径や付着応力などの粉体特性との関係を調査した結果を報告する。

2. 実験

本研究では集塵特性に及ぼす粉体特性の影響を知るために、粉体特性の異なる粉体を用いてバグフィルタによる集塵実験を実施した。試験粉体として、粒子径や形状が異なるJIS試験用粉体（関東ローム、石松子、フライアッシュ）及びシリカ（SE-40）を選定した。50%粒子径 D_{50} とアスペクト比 A_s はTable 1の通りである。

Table 1 Particle size and aspect ratio

Material	D_{50} (μm)	A_s (-)
関東ローム (Kanto loam)	3.1	0.762
フライアッシュ (Flyash)	4.8	0.858
石松子 (Lycopodium)	39.7	0.826
シリカ (SE-40)	35.1	0.906

表より、関東ロームとフライアッシュは粒子径が $10\mu\text{m}$ 以下の付着性が高い粒子であることが分かる。石松子とシリカはこれらの粒子との比較のために粒子径が約10倍程度の粒子を選

定した。粒子形状のパラメータとしてアスペクト比を示しているが、関東ロームのアスペクト比が最も低くて非球形であり、シリカが最も高くて球形に近い粒子である。ここで、粒子径分布はレーザー回折式粒子径分布測定装置（Malvern Panalytical, Mastersizer 3000）、粒子形状は画像式粒度分布測定装置（Malvern Panalytical, Morphologi 4）で測定した。

Fig.1 に集塵性能評価装置の概略を示す。図のように、集塵部は内径 300mm、長さ 1500mm であり、装置下流側の送風機で吸引し、バグフィルタ（中尾フィルター工業, Tetratex#6214）を搭載した集塵機の上流側から粉体を投入してバグフィルタ前後の圧力損失の上昇量と集塵機出口濃度を測定した。本実験では、集塵部の入口から 1000mm の位置にバグフィルタを取り付けた。出口濃度はデジタル粉塵計（柴田科学, LD-5R）で測定した。また、風速の測定にはピトー管も使い、微差圧センサ（共和電業, PDV-A）でフィルタ部の圧力損失を測定した。測定値はデータロガー（HIOKI, LR-8450）で記録した。

実験条件としては、集塵機の初期入口吸込流速を 10m/s に設定し、試験用粉体を 2g/min で 3 分間投入した。試験用粉体の投入には、真空発生器（PISCO, VRL50-060601）やスクリーフィーダーを使用して粉体を分散させて集塵機に吸引させた。

本研究では、実験後のフィルタに付着した粉体と付着せずに流路内に残存した粉体のそれぞれをサンプリングし、レーザー回折式粒子径分布測定装置を用いて粒子径分布を測定した。また、画像式粒度分布測定装置を用いて粒子形状も測定した。さらに、パウダーレオメーターのせん断試験から粉体の付着応力などの測定も行った。これらの粒子特性や粉体特性とフィルタへの付着特性及び集塵時の圧力損失上昇量との関連性を調査した。

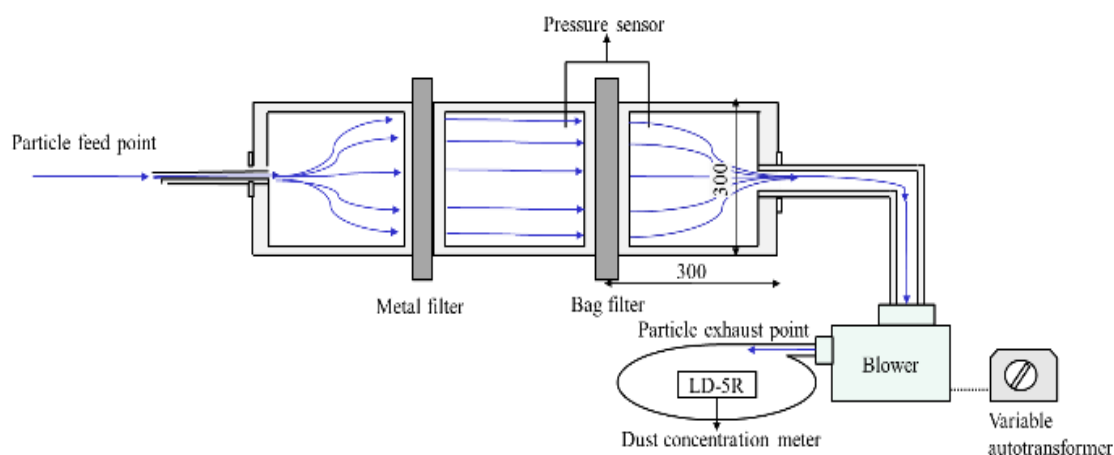


Fig.1 Schematic diagram of dust collector equipment

3. 結果と考察

Fig.2 にバグフィルタの圧力損失の上昇量 ΔP と使用粉体の 50%粒子径 D_{50} をプロットした結果を示す。図より、粒子径が大きい SE-40 や石松子では圧力損失の上昇量は低いことが分かる。これに対して、 D_{50} が $10\mu\text{m}$ 以下の関東ロームとフライアッシュでは圧力損失の上昇量が大きく増加する傾向が確認された。一般に、粒子径が小さくなると付着性の影響が大きくなることが知られている⁶⁾。このため、粒子径の小さい粉体がバグフィルタ表面の繊維構造に付着して繊維間の空隙が減少し、流体の通気抵抗が増加した結果を表しているのではないかと考えられる。次に、フライアッシュと関東ロームの値を比較すると、関東ロームの圧力損失上昇量

が大きく増加している。Table 1 より、関東ロームのアスペクト比がフライアッシュに比べて低いため、粒子径に加えて粒子形状も圧力損失上昇量に影響すると思われる。

Fig.3 にバグフィルタの圧力損失の上昇量 ΔP と各粉体の付着応力 C をプロットした結果を示す。図より、付着応力が大きい粉体はバグフィルタの圧力損失の上昇量が顕著に増加する傾向が見られた。ここで、付着応力は粒子間付着の度合いを示すため、この値が高い粉体はバグフィルタ表面に付着した後に集塵される後続の粉体と付着し、フィルタ表面に凝集体を形成すると考えられる。その結果、バグフィルタ表面に粉体層を形成し、流体の通気抵抗が増加して圧力損失も増加したと推測される。さらに、不規則な形状を持つ関東ロームは付着応力が高く、バグフィルタに付着した際の圧力損失の増加に寄与したと考えられる。一方、石松子は、付着応力が低いシリカよりも圧力損失の上昇量が低くなる傾向が見られた。この結果は、石松子の粒子径が大きいことや流動性を示すフローファンクションの値がシリカよりも高いために、バグフィルタ表面への付着が少なく、圧力損失が増加しなかったと思われる。

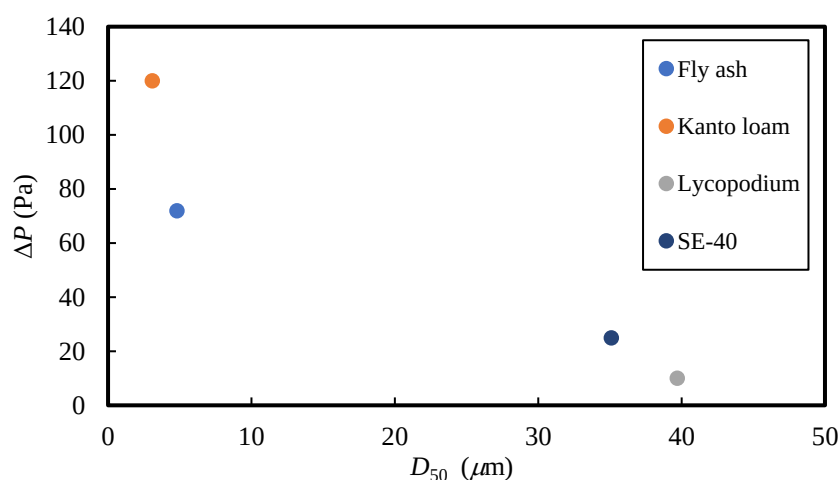


Fig.2 Relationship between particle size and pressure drop of bag filter

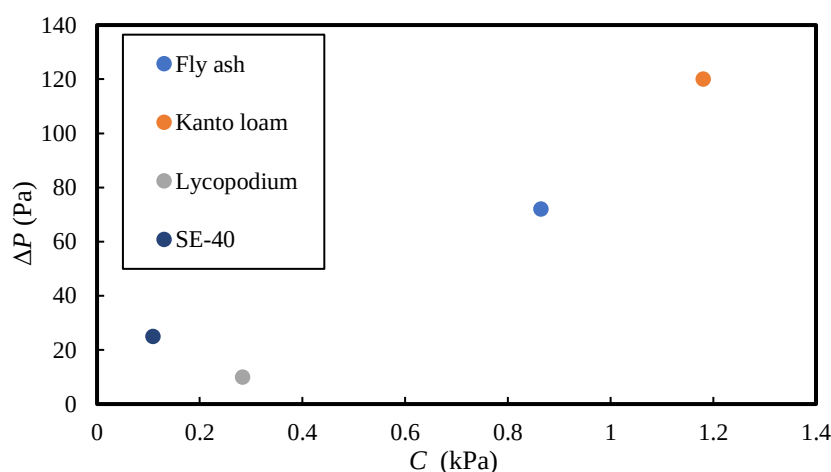


Fig.3 Relationship between cohesion and pressure drop of bag filter

Fig.4 に、実験後のバグフィルタに付着した粉体と付着せずに流路内に残存した粉体をサンプリングして粒子径分布を測定した結果を示す。試験粉体は関東ロームで、頻度分布の測定結果である。図より、バグフィルタに付着した粉体の方が付着せずに流路内に残存した粉体より

も微粉であることが明らかとなった。これは、粒子径が小さくなると付着性の影響が強くなることに起因した結果であると思われる。

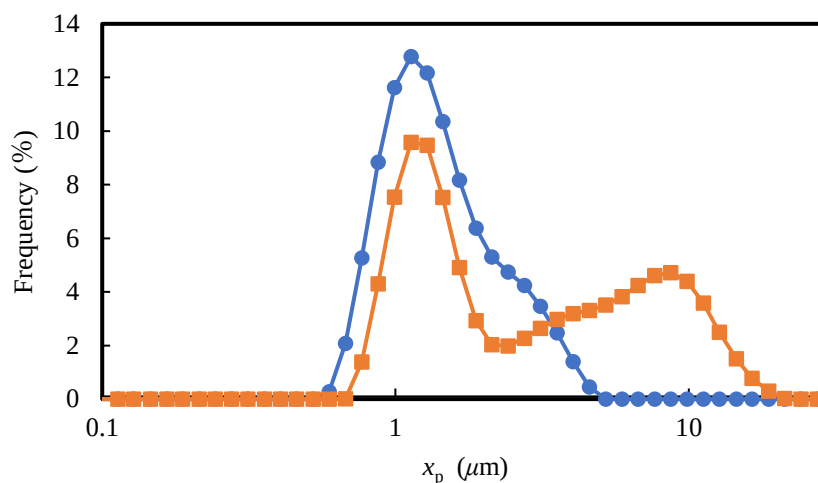


Fig.4 Particle size distribution of Kanto loam

4. まとめ

本研究では、空気中へ分散させた粉塵をバグフィルタで集塵した際に付着する粉体の付着特性と粉体特性（粒子径、付着応力）の関係を調査した。その結果、粒子径や形状及び付着応力がバグフィルタの圧力損失の上昇に影響を与えており、バグフィルタには微粒子が多く付着する傾向を確認できた。本研究で得られた結果は、粉体特性が集塵付着に大きく影響することを示しており、今後の集塵機の開発や評価に繋がる知見と思われる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、（公財）天野工業技術研究所から多大なご支援を頂きました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) 岩崎明夫, 溶接ヒュームの健康障害とその対策, 産業保健, Vol. 106, 14-17 (2021).
- 2) M. Rahul, S. P. Sivapirakasam, B. R. Vishnu, K. R. Balasubramanian, S. Mohan, Health issue owing to exposure with welding fumes and their control strategies at the source-A review, Materials Today: Proceedings, 46, 9239-9245 (2021).
- 3) 明星敏彦, 小型集じん装置の粉じんばく露低減の有効性, 粉体工学会誌, Vol.57, 224-232 (2020).
- 4) 明星敏彦, 直進型サイクロンの分級性能評価と遠心分離機構の考察, 粉体工学会誌, Vol.59, 212-218 (2022).
- 5) B. Xie, Y. Li, S. Li, S. Hu, H. Jin, F. Zhou, Performance of composite polyester filter with magnetic NdFeB particles on filtering welding fume particles, Powder Technology, 368, 245-252 (2020).
- 6) 日高重助, 神谷秀博, 基礎粉体工学, 日刊工業新聞社, 45-53 (2014).