

[ノート]

パーティクルカウンターによるアスベスト漏えい監視方法の検討

前川 真徳¹, 兒玉 力哉¹, 平木 隆年¹, 高石 豊¹

¹ 兵庫県環境研究センター 大気環境科 (〒654-0037 神戸市須磨区行平町3-1-18)

Application of particle counter in leak monitoring in asbestos removal

Masanori MAEKAWA¹, Rikiya KODAMA¹

Takatoshi HIRAKI¹ and Yutaka TAKAISHI¹

¹ Atmospheric Environmental Division, Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences,
3-1-18, Yukihiro-cho, Suma-ku, Kobe, Hyogo 654-0037, Japan

2015年8月から2023年3月にかけてアスベスト除去工事現場にて調査を行い、集じん・排気装置の排気口から排出される粒子数をパーティクルカウンターで粒径別に計測し、アスベスト濃度との関係について解析を行った。煙突断熱材除去工事を除いたすべての場合において、パーティクルカウンターの5.0 μm以上の粒子数とアスベスト濃度に有意な相関関係がみられた。煙突断熱材除去工事を除いたすべての場合において、パーティクルカウンターで5.0 μm以上の粒子数を測定することでアスベストの漏えい状況を把握することが可能であると推察された。

I はじめに

1996年5月に大気汚染防止法(昭和43年法律第97号, 以下「大防法」という。)が改正, 翌年4月に施行され, アスベスト除去作業に作業基準が定められた¹⁾。

兵庫県は環境の保全と創造に関する条例(平成7年7月18日条例第28号, 以下「県条例」という。)を1995年に制定, 翌年1月に施行し, 建築物等の解体や改修に伴う大気中へのアスベスト飛散防止規制を国に先駆けて実施してきた。

大防法及び県条例ではアスベストが使用されている建築物等の解体等工事において, 作業基準の遵守が義務付けられている。

2013年6月に大気汚染防止法の一部を改正する法律が公布され, アスベスト除去作業における作業基準が改正された。負圧管理の徹底により作業場に加え, 新たに前室の負圧を保つこと, 集じん・

排気装置の稼働確認として, 開始前及び開始後はすみやかに集じん・排気装置の排気口において, 粉じんを迅速に測定できる機器を用いることにより集じん・排気装置が正常に稼働していることを確認し, 異常が認められた場合は直ちに除去工事を中止し, 必要な措置を講ずることなどが定められた。

建築物等の解体等に係る石綿ばく露防止及び石綿飛散漏えい防止対策徹底マニュアルには集じん・排気装置の正常な稼働, 漏えいの有無をすみやかに確認するための機器としてパーティクルカウンター等が紹介されており²⁾, 0.3 μmの粒子個数を確認し捕集効率を計算することで, 集じん・排気装置の点検方法となることが示されている³⁾。

一方で, 平成29年7月に公表されたアスベストモニタリングマニュアル(第4.1版)には自動測定機器によるリアルタイム測定として, パーティクルカウンター等による測定が位置付けられた⁴⁾。

しかしながら、同マニュアルにはパーティクルカウンターの詳細な活用方法は示されていない。

平成29年度第2回アスベスト大気濃度調査検討会の資料では、パーティクルカウンターにて評価する粒子径は、その他の機器との相関性が見られる5.0 μmを指標とするとあるが⁵⁾、アスベスト漏えいととの相関は示されていない。

平成29年度第3回アスベスト大気濃度調査検討会の資料では、自治体立入検査における確認として、集じん・排気装置の稼働開始前後で濃度が減衰し、安定した状態を示すか、濃度の上昇が示されないことが確認できれば使用可能な正常な状態であると判断されるとあり、除去作業開始後、10分間継続して濃度を測定して濃度の上昇が示されないかを確認するとあるが、具体的な目安などは示されていない⁶⁾。

令和4年3月に公表されたアスベストモニタリングマニュアル(第4.2版)にはこうした内容は反映されておらず、パーティクルカウンターの詳細な活用方法は示されていない⁷⁾。

2019年の中央環境審議会大気・騒音振動部会石綿飛散防止小委員会(第7回)の参考資料では、パーティクルカウンターによる集じん・排気装置の管理実践例として、整備された集じん・排気装置では、パーティクルカウンターの0.3~0.5 μmの粒子径のカウント数が20カウント/L以下まで下がること、粒子数濃度と漏えいアスベスト濃度は除去作業区域内の石綿濃度に関係するため、相関は示せないことが記載されている⁸⁾。

パーティクルカウンターを用いて簡便にアスベスト漏えいの可能性を判別することができれば、解体に伴うアスベストの飛散防止に寄与することができる。兵庫県では法改正前よりパーティクルカウンターを用いて排気口における粒子数の測定を行っており、2007年度から2008年度にかけてパーティクルカウンターによる粒径ごとの粒子数とアスベスト濃度について解析を行った結果を報告していた⁹⁾。2015年8月から、新型のパーティクルカウンターを導入し、2023年3月にかけて694件の調査を行った。その結果、既報の結果がより明確になったので報告する。

解析対象期間は、新型のパーティクルカウンターを用いた2015年8月から2023年3月までの期間とした。

2 調査地域

調査地域は、兵庫県のうち神戸市、姫路市、尼崎市、西宮市及び明石市を除く地域とした。

3 調査対象

大防法に基づく特定粉じん排出等作業実施届のあった工事を調査対象とした。

4 粒子数の測定

粒子数を測定するためのパーティクルカウンターは、ベックマン・コールター社製 MET ONE モデルHHPC+を使用し、2.83L/分で吸引した。本機を用いて、0.3 μm以上、5.0 μm以上、10 μm以上の粒径を30秒間測定し、それぞれの粒径ごとのカウント数を得た。測定は、集じん・排気装置の排気口付近でのフィルターによるアスベストサンプリングの間に実施し、外気の影響を小さくするため、パーティクルカウンターの吸引プローブを排気ダクトの中に差し込み測定した(Fig. 1)。

測定した粒子数濃度とアスベスト濃度との関係性を調べるため、粒径ごとの出現頻度等を詳細に検討した。



Fig. 1 Measurement by particle counter

II 方法

1 調査期間

5 採取及びアスベストの計数方法

集じん・排気装置の排気口におけるアスベストの採取方法は、原則として環境省が定めるアスベストモニタリングマニュアル（第4.2版）⁶⁾（以下「マニュアル」という。）に示された方法に従った。47 mmφのセルロースエステルメンブランフィルター（Millipore AAWP04700）に吸引流量10L/minで現場空気をろ過捕集した。サンプリングは除去作業が行われている間に行うことを原則とした。

アスベストの計数と同定は原則としてマニュアルに示された位相差/偏光顕微鏡法に従い、位相差顕微鏡により繊維の形態観察を実施し、偏光顕微鏡に切り替えて光学的特性からアスベスト繊維を同定した。

アスベストの計数と同定は位相差/偏光顕微鏡（Nikon ECLIPSE LV100ND）を用いて行った。観察倍率は400倍（接眼10倍，対物40倍），観察領域は視野全体，観察視野数は50視野で行った。

得られたアスベスト濃度はパーティクルカウンターで測定した粒子濃度との関係を解析した。

III 結果および考察

1 粒径分布の特徴

Table 1に、集じん・排気装置の排気口で採取した694件の粒径別の粒子数（カウント/L）の平均値，最大値，最小値及び標準偏差を示す。粒径別の粒子数は、0.3-5.0 μm，5.0-10 μm，10 μm以上の3つの粒径別に示した。粒子数の平均値は0.3-5 μmの粒径が最も多く，粒径が大きくなるにつれ粒子数が減少する傾向を示した。

Table 1 Size distribution of particles

(unit : count/L, n=694)

| Particle size | 0.3-5.0 μm | 5.0-10 μm | ≥10 μm |
|--------------------------|------------|-----------|--------|
| Average | 1055.0 | 2.9 | 1 |
| Max | 136673.5 | 166.8 | 84.8 |
| Min | 0 | 0 | 0 |
| Standard deviation | 6276.6 | 11.4 | 4.7 |
| Coefficient of variation | 5.9 | 4.0 | 4.9 |

2 粒子数の粒径別頻度

パーティクルカウンターにより計測した粒子数の出現頻度及び累積パーセントを粒径別に示す（Fig. 2）。0.3-5.0 μmの粒径では0カウントが2.9%，10カウント/L以上検出された割合が83.7%あり，100カウント/L以上は50.1%，1000カウント/L以上

は16.3%あり，10000カウント/L以上も1.3%あった。検出される範囲が非常に広く調査によるばらつきが大きかった。5.0-10 μmについては55.3%が0カウント/Lであり，10カウント/L以上で検出された割合が5.2%，100カウント/L以上では0.29%となった。10 μmを超える粒径では，0カウントが71%，10カウント/L以上が1.9%，100カウント以上は0%であった。このように粒径が大きくなるにつれ粒子数が減少する傾向が見られた。集じん・排気装置に装着されるHEPAフィルターは粒径0.3 μm以上の粒子を99.97%以上捕集できる仕様となっており，今回調査を行った粒径では通常5 μm以上の粒子径は，ほとんど検出されないと推測される。

しかしながら，5.0-10 μm，10 μmを超える粒子径においても，粒子がカウントされることがあり，除去工事の現場では集じん機のHEPAフィルターの不具合で漏えいし，検出されたと考えられた。

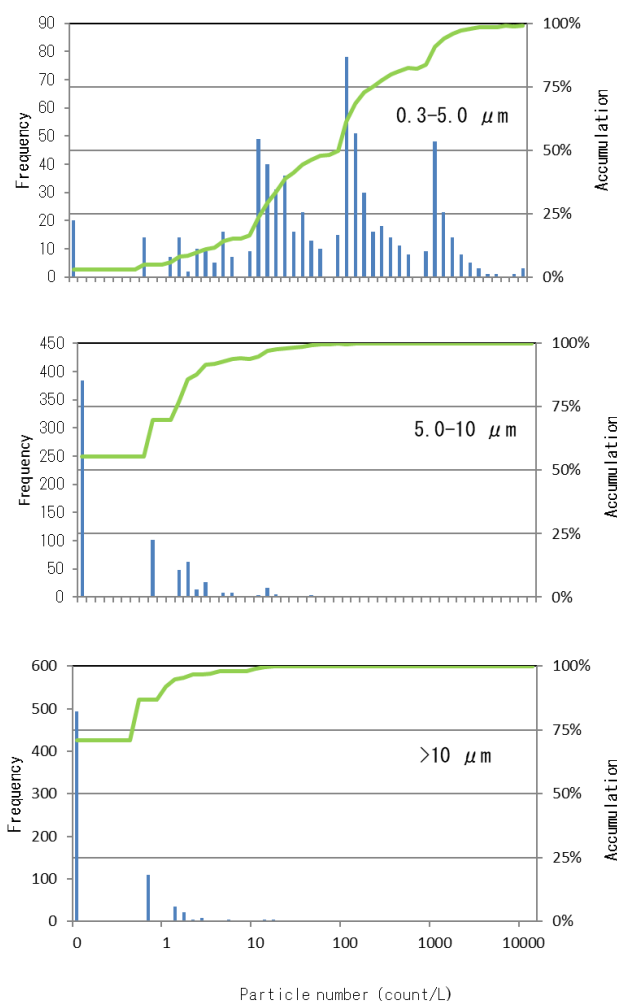


Fig. 2 Frequency of particle number by size and accumulation

調査期間中に集じん・排気装置の排気口で測定したアスベスト濃度の測定結果を、検出濃度別に分けてTable 2に示す。

Table 2 Number of surveys by asbestos concentration at dust collector

| Asbestos concentration C(Fiber/L) | | | |
|-----------------------------------|-------------|------------|-------|
| C<1 | 1≤C<10 | 10<C | Total |
| 671 (96.7) | 15 (2.2) | 8 (1.2) | 694 |

():Percentage

全調査件数の96.7%でアスベスト濃度が1f/L以下となり、アスベスト濃度が高くなるにつれて出現数が減少した。

アスベストの計数については、計数対象繊維が長さ5.0 μm以上、幅3.0 μm未満とマニュアルに定められており、HEPAフィルターを通した集じん機排気口からアスベストは検出される可能性は低いと考えられる。しかしながら、本調査では全調査件数の3.4%から1f/Lを超えるアスベストが検出され、さらに全調査件数の1.2%から10f/L以上のアスベストが検出された。集じん・排気装置の十分な清掃、点検の不備により、正常に使用できていないことが原因と考えられた。このような場合は集じん・排気装置のメンテナンスを徹底することや、正常な集じん・排気装置に入れ替えることでアスベストの漏えいを改善できた。

4 高濃度アスベスト漏えいと粒子数の関係

マニュアルにはパーティクルカウンターによるアスベスト漏えいの明確な関係性や評価方法は示されていない。また、平成29年度第2回アスベスト大気濃度調査検討会の資料では、適正な状況における測定事例でパーティクルカウンターにて評価する粒子径は5.0 μm, 4000カウント/m³以下で安定して推移とある⁵⁾。本調査において、漏えいした事例における5.0 μm-10 μmの粒子径のカウント数の38%は4カウント/L以下であったが、フィールドでは測定誤差があるため更なる検討が必要である。

Table 3にアスベスト濃度が1f/Lを超える場合について、アスベスト濃度と粒径別粒子数の相関係数を示す。相関係数を見ると、全粒子径で相関は見られなかった。

Table 4にアスベスト濃度が1f/Lを超える場合

で、煙突断熱材除去工事の検体を除いたアスベスト濃度と粒径別粒子数の相関を示す。

相関係数を見ると、0.3-5.0 μmには相関がみられなかったが、5.0-10 μm, 5.0 μm以上, 10 μm以上に有意な相関関係が見られた。2019年の中央環境審議会大気・騒音振動部会石綿飛散防止小委員会(第7会)の参考資料では粒子数濃度と漏えいアスベスト濃度は相関を示せないとするが、パーティクルカウンターの5.0 μm以上の粒子径を計測することでアスベストの漏えいを把握することができると推察された。

なお、本調査では、アスベスト濃度は30分のサンプリングに対し、パーティクルカウンターはわずか30秒のサンプリングであり、サンプリング時間が大きく異なっていることも評価に影響を与えていると考えられるが、本調査ではアスベスト濃度と5.0 μm以上の粒子の間に有意な相関関係が見られ、パーティクルカウンターで計数される5.0 μm以上の粒子は、アスベスト繊維の漏えい状況を反映していると考えられた。しかしながら、漏えい件数が少なかったため、結果をより確実にするため、さらに調査を継続する必要がある。

また、煙突断熱材除去工事を含んだアスベスト濃度が1f/Lを超える場合については、相関が見られなかったことについては、煙突断熱材除去工事の除去作業がウォータージェット工法によるものであり、誤操作などにより、突発的にアスベストが漏えいすることがあるため、パーティクルカウンターによる短時間の調査で漏えいの瞬間を捉えることができていない可能性が考えられた。除去作業中の連続した測定が望ましいと考えられる。

Table 3 Correlation coefficient of asbestos concentration and number

| (n=23) | | | | |
|-------------------------|------------|-----------|---------|--------|
| particle size | 0.3-5.0 μm | 5.0-10 μm | ≥5.0 μm | ≥10 μm |
| Correlation coefficient | 0.21 | 0.02 | 0.02 | 0.03 |

※P<0.05

Table 4 Correlation coefficient of asbestos concentration and number without when the work to remove chimney

| (n=11) | | | | |
|-------------------------|------------|-----------|---------|--------|
| particle size | 0.3-5.0 μm | 5.0-10 μm | ≥5.0 μm | ≥10 μm |
| Correlation coefficient | 0.08 | 0.85※ | 0.88※ | 0.83※ |

※P<0.05

IV 結 論

2015年度8月から2023年3月にかけてアスベスト除去工事現場に立入調査を行い、集じん・排気装置の排気口から排出される粒子数をパーティクルカウンターで粒径別に計測し、以下の結果を得た。

集じん・排気装置の排気口の粒子数は0.3-5.0 μm の粒径で最も高く、粒径が大きくなるにつれ減少する傾向を示した。

全調査の96.8%においてアスベストはほとんど検出されなかったが、アスベスト濃度が1f/Lを超え10f/Lまで検出されたものは2.0%、アスベスト濃度が10f/Lを超えて検出されたものは1.2%あり、集じん・排気装置が十分な清掃、点検を行われず、正常に使用できていないことが原因と考えられた。

煙突断熱材除去工事を除いた場合において、粒径別の粒子数とアスベスト濃度の相関係数を算出したところ、5.0 μm 以上の粒径で有意な相関関係が見られた。しかしながら、漏えい件数が少なかつたため、結果をより確実にするため、さらに調査を継続する必要がある。

煙突断熱材除去工事を除いた場合、パーティクルカウンターで5.0 μm 以上の粒子数を正確に測定することで、アスベストの漏えい状況を把握することが可能であると推察された。

文 献

- 1) 環境省：大気汚染防止法の一部を改正する法律の施行について(1996)
- 2) 環境省：大気汚染防止法の一部を改正する法律の施行等について (2016)
- 3) 環境省：建築物等の解体等に係る石綿ばく露防止及び石綿飛散漏えい防止対策徹底マニュアル (2024)
- 4) 環境省：アスベストモニタリングマニュアル (第4.1版) (2017)
- 5) 環境省：平成29年度第2回アスベスト大気濃度調査検討会 資料2(2017)
- 6) 環境省：平成29年度第3回アスベスト大気濃度調査検討会 資料2(2017)
- 7) 環境省：アスベストモニタリングマニュアル (第4.2版) (2022)
- 8) 環境省：中央環境審議会大気・騒音部会 石綿飛散防止小委員会 (第7回) 参考資料2-1(2019)

- 9) 中坪良平, 坂本美徳, 藤原拓洋, 平木隆年 : デジタル粉じん計によるアスベスト漏えい監視方法の検討, 環境技術, 39(9), 45~51 (2010)

Abstract

We conducted surveys at asbestos removal sites from August 2015 to March 2023, and measured the number of particles emitted from the exhaust vents of dust collection and exhaust ventilation systems using particle counters and analyzed the relationship with asbestos concentration. As a result, a significant correlation was found between the number of particles larger than 5.0 μm and asbestos concentration, except for the case of the chimney insulation removal work.

In all cases except for the chimney insulation removal work, it was inferred that the status of asbestos leakage could be determined by measuring the number of particles larger than 5.0 μm using a particle counter.

Further survey is necessary to improve the reliability of our interpretation.