

## [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

藤原 亘<sup>1</sup>, 中坪 良平<sup>1</sup>, 松村 千里<sup>1</sup>, 平木 隆年<sup>1</sup><sup>1</sup> 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)Examination of asbestos leak monitor method  
using particle counterWataru FUJIWARA<sup>1</sup>, Ryouhei NAKATSUBO<sup>1</sup>Chisato MATSUMURA<sup>1</sup> and Takatoshi HIRAKI<sup>1</sup><sup>1</sup> Atmospheric Environmental Division, Hyogo Prefectural Institute of Environmental Sciences,  
3-1-18, Yukihira-cho, Suma-ku, Kobe, Hyogo 654-0037, Japan

2007年度から2011年度にかけてアスベスト除去工事現場にて調査を行い,集じん機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.粒子数は0.3-0.5 $\mu$ mの粒径で最も多く,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87.1%においてアスベストはほとんど検出されなかったが,10本/L以上のアスベストが検出された集じん機も4.0%あった.5.0 $\mu$ m以上の粒子数とアスベスト濃度には相関が見られ,5.0 $\mu$ m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概ね把握することができると推測された.

## I はじめに

1996年5月に大気汚染防止法(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.2005年6月のクボタショックの後,大防法は改正強化され,規制対象建築材料・建築物の追加指定,解体等工事の規模要件の撤廃などが行われた.

一方,兵庫県は環境の保全と創造に関する条例(兵庫県条例第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の際に作業基準の遵守が義務付けられている.具体的には,作業内容に関する掲示,ポリエチレンフィルム等による作業場

の隔離・養生,高性能フィルター(HEPAフィルター)付き集じん排気装置(以下,「集じん機」という.)による作業場内の負圧化,薬液等による湿潤化等の実施が義務付けられている.これら作業基準の主な目的は一般環境中にアスベストを飛散させないことであるが,近年,アスベスト除去工事において排気口やセキュリティゾーンの出入口等で,アスベストの飛散事例が確認されている<sup>1)</sup>.

そのため,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開始後はすみやかに集じん機排気口において粉じんを測定し,異常が認められた場合は直ちに除去工事を中止することと定められた.粉じんを測定する装置としてデジタル粉じん計やパーティクルカウンター等が挙げられるが,機器によって仕様が異なるため機器ごとに測定値とアスベスト濃度との関係を把握することが重要である.兵庫県では

法改正に先駆け、以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きた。ここでは、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前回<sup>2)</sup>に引き続き、2009年度から2011年度にかけて行った調査結果を合わせて報告する。

## II 方法

### 1 調査期間

解析対象期間は2007年4月から2012年3月までの5年間とした。

### 2 調査地域

調査地域は、兵庫県域のうち神戸市、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Hach Ultra Analytics社製Met One モデル227Bを使用し、2.83L/分で吸引した。本機は0.3 $\mu$ m以上の粒径と0.5, 1.0, 3.0, 及び5.0 $\mu$ m以上の粒径を2チャンネル並行して測定できる。それぞれ10秒間の測定を5回繰り返し(計50秒)、平均カウント数を算出した(Table 1)。測定は、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)。

Table 1 Measurement condition of particle counter

No.	1	2	3	4
1.Ch	$\leq 0.3\mu\text{m}$	$\leq 0.3\mu\text{m}$	$\leq 0.3\mu\text{m}$	$\leq 0.3\mu\text{m}$
2.Ch	$\leq 0.5\mu\text{m}$	$\leq 1.0\mu\text{m}$	$\leq 3.0\mu\text{m}$	$\leq 5.0\mu\text{m}$
Time(min)	10	10	10	10
repeat count	5	5	5	5

### 5 サンプリング及びアスベストの計数方法

排気口におけるアスベストのサンプリング方法は、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<sup>3)</sup>(以下「マニュアル」という)に示された方法に従った。47mm  $\phi$  のセルロースエ



Fig. 1 Measurement by particle counter

ステル製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。

アスベストの計数は原則としてマニュアルに示された位相差顕微鏡法に従った。プレパラートはアセトン-トリアセチン法で作成し、約50 $^{\circ}$ Cのホットプレート上で5~10分加熱した後、位相差顕微鏡(Nikon OPTIPHOT または OPTIPHOT2)を用いて計数した。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。

## III 結果および考察

### 1 粒径分布の特徴

Table 2に、集じん機排気口で採取した371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、例えば0.3-0.5 $\mu$ mの粒子数なら0.3 $\mu$ m以上の粒子数から0.5 $\mu$ mの粒子数を差し引いて算出し、0.3-0.5 $\mu$ m, 0.5-1.0 $\mu$ m, 1.0-3.0 $\mu$ m, 3.0-5.0 $\mu$ m, 5.0 $\mu$ m以上の5つの粒径別に示した。測定時間が異なるため最小値が負の値を示す場合があり、その場合は0とした。粒子数の平均値は0.3-0.5 $\mu$ m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

Table 2 Size distribution of particles

Particle size	(unit: count/L, n=371)				
	0.3-0.5 $\mu\text{m}$	0.5-1.0 $\mu\text{m}$	1.0-3.0 $\mu\text{m}$	3.0-5.0 $\mu\text{m}$	$\geq 5.0\mu\text{m}$
Average	249.0	101.9	84.8	7.3	2.7
Max	11663.9	7850.2	10795.3	914.6	147.3
Min	0	0	0	0	0
Standard deviation	906.5	513.1	662.6	51.7	12.4

した. 一般的な大気環境における粒子の個数濃度の粒径分布は0.01 $\mu\text{m}$ 付近にピークを持つ単峰型分布を示し, 粒径が大きくなるに従い個数濃度が著しく減少することが知られている<sup>4)</sup>. 本調査でも概ね同様の結果が得られたが, 最大値を見ると1.0-3.0 $\mu\text{m}$ の区分が0.5-1.0 $\mu\text{m}$ よりも大きな値となっており, 工事によっては単峰型分布を示さない事例も見受けられた. また, 標準偏差は平均値と比較して大きく, 調査によって粒子数のばらつきが大きいと考えられた.

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

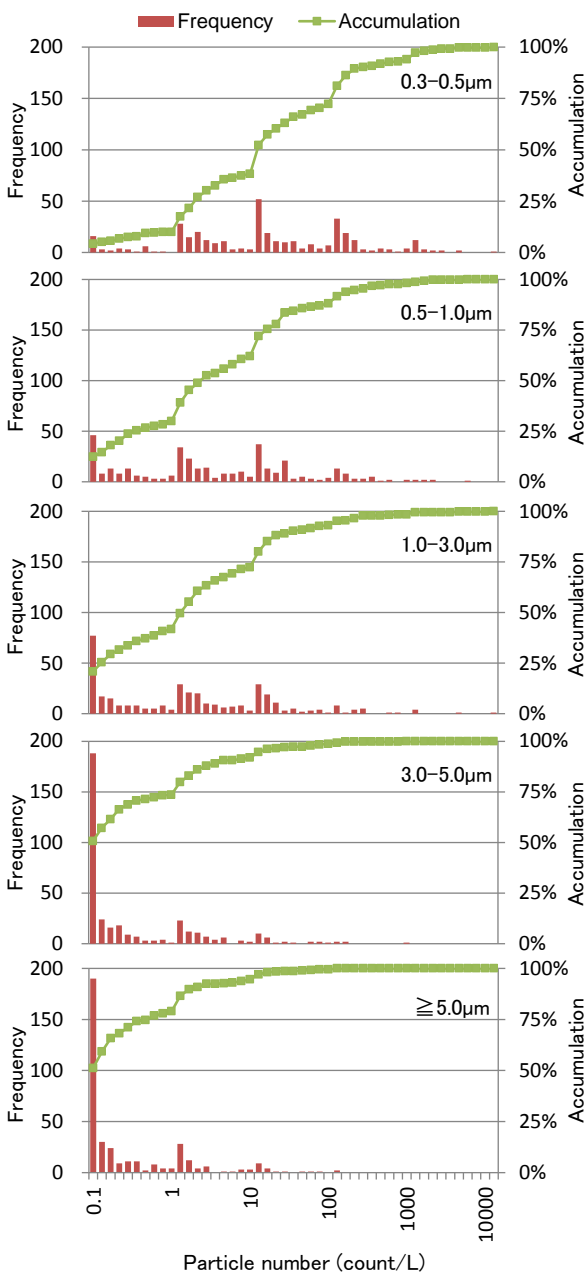


Fig. 2 Frequency of particle number by size and accumulation percentage

の出現頻度及び累積パーセントを粒径別に示す (Fig. 2). 0.1は粒子数が0から0.1カウント/L未満の検出回数, 10は粒子数が9カウント/L以上10カウント/L未満の検出回数を示している. 0.3-0.5 $\mu\text{m}$ の粒径では10カウント/L以上検出された割合が62.5%あり, 100カウント/L以上は29.6%, 1000カウント/L以上も7.0%あった. 一方, 1カウント/L以下の割合が10%, 0.1カウント/L以下も4.3%あり, 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. 0.5-1.0 $\mu\text{m}$ , 1.0-3.0 $\mu\text{m}$ についても0.3-0.5 $\mu\text{m}$ と同様に広い範囲で検出されたが, 10カウント/L以上検出された割合がそれぞれ39.4%及び28.6%, 100カウント/L以上は12.9%及び7.2%と, 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. 3.0-5.0 $\mu\text{m}$ , 5.0 $\mu\text{m}$ 以上の粒径ではその傾向がさらに顕著で, 両粒径とも0.1カウント/L以下の割合が50%以上あり, 100カウント/L以上検出されたのはそれぞれ1.6%及び0.9%だった. 集じん機に装着されるHEPAフィルターは粒径0.3 $\mu\text{m}$ 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ほとんど検出されないと推測される. 事実, 0.3 $\mu\text{m}$ 以上の粒径で粒子数が0となった事例がいくつか見られた. しかしながら, 0.3-0.5 $\mu\text{m}$ 程度の微小な粒子はHEPAフィルターのささいな不具合で容易に漏れいし, そのため広い範囲で検出されたと考えられた. 一方, 3.0-5.0 $\mu\text{m}$ , 5.0 $\mu\text{m}$ 以上の粒子は50%以上が0.1カウント/L以下となっており, その要因として0.3-0.5 $\mu\text{m}$ の微小な粒子に比べて発生量が少ないこと, 加えて粒径が大きいためHEPAフィルターを通過しにくいことが考えられた.

3 集じん機排気口のアスベスト濃度

調査期間中に集じん機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 3に示す. 全体の87.1%でアスベスト濃度が1本/L未満となり, 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, 5.0 $\mu\text{m}$ 以上のものについて行うようマニュアルに定められており, そのため通常の使用方法では

Table 3 Number of surveys by asbestos concentration at dust collector

Asbestos concentration C (Fiber/L)				
C<1	1≤C<10	10≤C<100	100≤C	Total
323(87.1)	33(8.9)	12(3.2)	3(0.8)	371

( ): Percentage

集じん機排気口からアスベストは検出されないと考えられる。しかしながら、本調査では全体の12.9%から1本/L以上のアスベストが検出され、さらに全体の4.0%から10本/L以上のアスベストが検出された。HEPAフィルターは傷がつきやすく、目視で傷を見つけることが困難なため、このような場合はアスベストが漏えいする可能性があると考えられた。実際に漏えいがあった現場で原因を調査したところ、HEPAフィルターの傷による漏えいの他に、集じん機の歪みによる隙間、HEPAフィルターと本体の間のパッキンの劣化、HEPAフィルターのはめ込みがきちんとできていなかったなど、集じん機を正常に使用できていないケースがほとんどであった。

#### 4 アスベスト濃度と粒子数の関係

Table 4に粒径別の粒子数とアスベスト濃度との相関係数を示す。なお、この結果は特異な事例、例えばパーティクルカウンターによる粒子数の測定時間が、フィルターによるサンプリングの時間帯の状況を反映していないと明確になった事例などを除いた364件の結果である。

相関係数を見ると、0.3-0.5 $\mu$ m, 0.5-1.0 $\mu$ m, 1.0-3.0 $\mu$ mといった小さな粒径ではアスベスト濃度との間に相関はほとんど見られなかった。本調査において位相差顕微鏡で計測したアスベスト繊維と、校正粒子の光散乱径を基準に粒径別の粒子数を計数するパーティクルカウンターでは、計数の対象となる粒子は同一でないと考えられる。さらに、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1~5分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原因と考えられる。しかしながら、本調査ではアスベスト濃度と5.0 $\mu$ m以上の粒子の間に一定の相関（相関係数：0.53）が見られ、パーティクルカウンターで計数される5.0 $\mu$ m以上の粒子は、アスベスト繊維の状況のある程度反映していると考えられた。また、現場によっては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むことができず、外気の影響を受けていると思われる事例があった。このようなケースでは集じん機から排出された空気を正確に測定できていな

いと考えられ、こういった事例を取り除くことでさらに精度の高い相関係数を得ることができると推測された。2012年度は0.3 $\mu$ m以上及び5.0 $\mu$ m以上の2粒径についてのみ測定を行っているため本調査の解析対象期間から除いたが、集じん機排気口の詳細な情報が比較的多く記録されていた。そのため、2012年度に行った調査のうち、集じん機排気口から排出された空気を正確に測定した可能性の高い検体(n=72)を選び、相関係数を算出した。その結果、相関係数は0.78となり、アスベスト濃度と5.0 $\mu$ mの粒子数の間に高い相関が得られた。以上のことから、集じん機排気口から排出された5.0 $\mu$ m以上の粒子を正確に測定することで、アスベストの漏えい状況を概ね把握できる可能性が示唆された。

## IV 結論

2007年度から2011年度にかけてアスベスト除去工事現場に立入調査を行い、集じん機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。

- ①集じん機排気口の粒子数は0.3-0.5 $\mu$ m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。
- ②粒子数の出現頻度は0.3-0.5 $\mu$ mの微小な粒子については広い濃度範囲で検出され、ばらつきも大きかったが、粒径が大きくなるにつれ濃度範囲が狭くなり、ほとんど検出されない割合も50%を超えた。
- ③全調査の87.1%においてアスベストはほとんど検出されなかったが、10本/L以上のアスベストが検出された集じん機も4.0%あり、そのほとんどは集じん機を正常に使用できていないことが原因であった。
- ④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 $\mu$ m以上の粒径で相関が見られた。
- ⑤5.0 $\mu$ m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概ね把握することが可能であると推測された。

Table 4 Correlation coefficient of asbestos

n=364				
0.3-0.5 $\mu$ m	0.5-1.0 $\mu$ m	1.0-3.0 $\mu$ m	3.0-5.0 $\mu$ m	$\geq 5.0\mu$ m
0.11	0.16	0.14	0.44	0.53(0.78)

\* : p < 0.05 ( ) : 2012 date (n=72)

## 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等について (2014)
- 2) 中坪良平, 坂本美德, 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)
- 3) 環境省: アスベストモニタリングマニュアル (第4.0版) (2010)
- 4) Whitby, K. T. : The physical characteristics of sulfur aerosols. Atmospheric Environment, 12, 135-159(1978)

## Abstract

We conducted on-site inspections at asbestos removal construction sites from 2007 to 2011, measured particle number by size classified at dust collector, and analyzed the relationship between asbestos concentration and particle number. The number of 0.3-0.5 $\mu$ m particle was the biggest, and particle number decreased as particle size became big. On dust collector, there was few asbestos at 87.1% of removal construction sites, but more than 10f/L asbestos were detected at 4% of the sites. We found that there is a correlation between particle number of more than 5.0 $\mu$ m and asbestos concentration. It is presumed that we can grasp asbestos leakage by measuring particle number of more than 5.0 $\mu$ m.