

改訂されたアスベストモニタリングマニュアル

吉川 徹¹⁾・佐藤 民男²⁾

はじめに

近年、日本における自動車排気ガス等による環境汚染は、ハイブリッド車の開発等各企業の努力により減少傾向が見られる。これにかわり、新たな大気汚染物質としてクローズアップされてきたものとして「アスベスト（石綿）」があげられる。

アスベストは、耐熱性、耐薬品性などの優れた物性を数多く備えていることから、耐火被覆材、断熱材等の工業原料として各方面に幅広く利用されてきた。しかし、飛散したアスベストを吸入することにより、石綿肺、肺がん、中皮腫等が引き起こされることが明らかとなり、大きな社会問題となっている。

一度建物の解体工事等により環境中に放出されたアスベストは、通常的环境条件下ではほとんど分解、変質することがなく、環境へ蓄積される。したがって、環境省や各自治体において大気環境中のアスベストによる汚染を把握するため、アスベストモニタリングが継続して行われている。

環境省ではアスベストによる大気汚染を未然に防止することを目的として、大気汚染防止法を改正し、飛散するアスベストについて規制を強化している。また、環境大気中のアスベスト濃度を測定する上での技術的指針であるアスベストモニタリングマニュアル（以下「マニュアル」という）を約14年ぶりに改訂した。改訂された背景として二点あげられる。一点は日本に輸入されたアスベストは1950年から2000年の50年間でおよそ400万tにおよび（とりわけ1970年から1990年の20年間の輸入量は全体の約8割を占める）、輸入されたアスベストの約8割が建築材料として使用されたといわれている。今後、数十年間アスベストが使用された建築物の解体等が繰り返されるものと考えられ、環境大気中のアスベスト濃度の推移を把握することの重要性が増してきたこと。もう一点は測定技術の進歩を踏まえ、アスベスト繊維の総数として把握する手法として、クリソタイル以外のアスベスト繊維、アスベスト類似繊維の識別のため「光学顕微鏡法」を補完する分析方法の追加が必要となったことなどである。

そこで、本稿では「マニュアル」の主な変更点について紹介する。

1. アスベスト繊維数濃度測定フロー及び主な変更点

「マニュアル」によるアスベスト繊維数濃度の測定フローを図1に示す。

改訂にあたっての主な変更点は、以下の4点である。

- ① 測定に当たって、測定点、採取時間帯及び採取方法等を適切に設定するため、「測定計画」項が加わった。
- ② 測定地域区分に建築物等の解体現場等が追加され、当該地域における試料の採取方法が規定された。
- ③ 光学顕微鏡法による測定の際の繊維数の判断基準について、日本工業規格（JIS）との整合を図るため、「JIS K3850-1:2006 空気中の繊維状粒子測定方法—第1部：光学顕微鏡法及び走査電子顕微鏡法」が参照された。
- ④ 光学顕微鏡法による測定結果の確認が必要な場合の参考法として、分析走査電子顕微鏡法（A-SEM法） 分析透過電子顕微鏡法（A-TEM法）及び分散染色法の三つの方法が追加された。

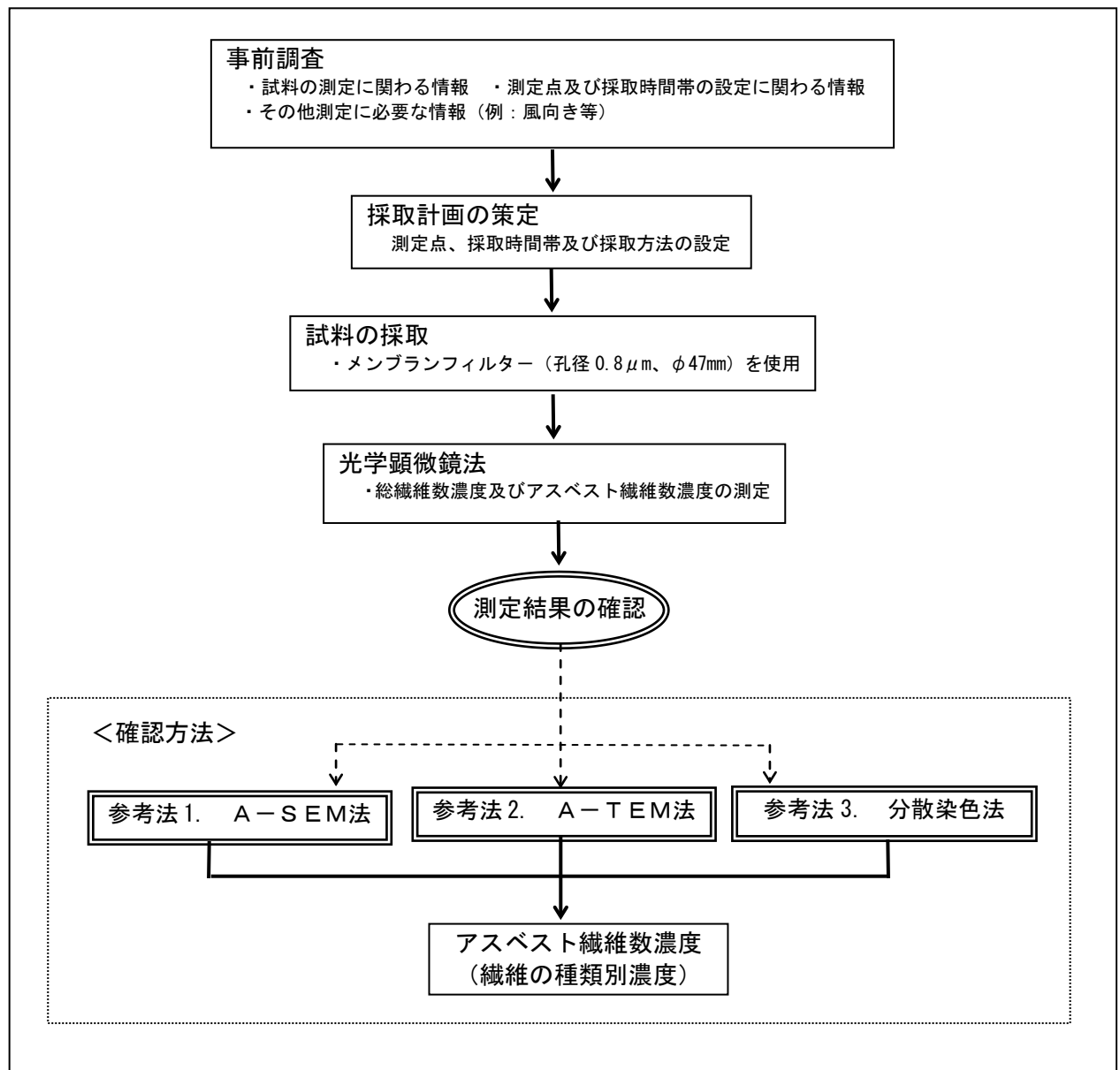


図1 測定フロー

2. 採取計画

1) 事前調査

環境大気中のアスベストを採取する場合、事前に以下に述べる測定地域周辺の環境情報を可能な範囲で収集し、採取計画の立案に利用する。

① 試料の測定に関わる情報

地域周辺の利用状況、周辺のアスベスト発生源等の状況、建築物等の解体現場等については使用アスベストの種類や石膏ボード使用の有無など。

② 測定点及び採取時間帯に関わる情報

測定地域の主風向、道路周辺の測定を行う場合は時間当たりの交通量、対象施設の作業時間など。

2) 計画の策定

事前調査で確認した情報をもとに、測定点、採取時間帯及び採取方法を決定する。採取時間は交通量のように時間帯で変動が多い場合や作業時間が限定される場合は、最もアスベスト繊維が確認される可能性のある時間帯が含まれるように設定する。また、参考法の適用が必要であると判断し、A-SEM法を実施する場合、ポリカーボネートフィルターでの採取はメンブランフィルターと併行して行う。

3. 試料採取

1) 測定地域及び採取点の設定

測定地域は、発生源周辺地域とバックグラウンド地域に大別され、表 1 に示す区分に別けられる。

表 1 測定地域区分

地域区分	該当する施設・地域
発生源周辺地域 (Ⅰ)	・ アスベスト製品製造工場・事業場周辺地域 ・ 蛇紋岩地域
発生源周辺地域 (Ⅱ)	・ アスベスト取扱工場・事業場散在地域 ・ 廃棄物処分場等周辺地域
発生源周辺地域 (Ⅲ)	・ 高速道路沿線地域 ・ 幹線道路沿線地域
発生源周辺地域 (Ⅳ)	・ 特定建築材料が使用されている建築物等の解体現場等 ・ アスベスト含有成形板等を扱う建築物等の解体現場
バックグラウンド地域 (Ⅰ)	・ 内陸山間地域 ・ 離島地域
バックグラウンド地域 (Ⅱ)	・ 住宅地域 ・ 商工業地域 ・ 農業地域

地域区分ごとに次の事項を考慮して採取点を設定する。

① 発生源周辺地域 (Ⅰ)

- ・ アスベスト製品製造工場・事業場周辺地域……工場または事業場の敷地境界線付近で、風下側の 2 地点とする。2 地点間の距離は、原則として 100m～200mとする。採取は工場等の稼働日を考慮して行う。フィルターホルダーの吸引口は工場等の方向に向ける。
- ・ 蛇紋岩地域……蛇紋岩採石場から最も近い一般住宅のある地域の 2 地点とする。2 地点間の距離は、原則として 100m～300mとする。フィルターホルダーの吸引口は採石場の方向に向ける。

② 発生源周辺地域 (Ⅱ)

- ・ アスベスト取扱工場・事業場散在地域……小規模のアスベスト製品製造事業所等が散在している地域内で主要車道路肩から 50m以上離し、特定の固定発生源の影響を直接受けない 2 地点とする。
- ・ 廃棄物処分場等周辺地域……廃棄物処分場等の敷地境界線付近の風下側の 2 地点とする。2 地点間の距離は、原則として 100m～200mとする。採取は事業場等の稼働日を考慮して行う。フィルターホルダーの吸引口は廃棄物処分場の方向に向ける。

③ 発生源周辺地域 (Ⅲ)

- ・ 高速道路沿線地域及び幹線道路沿線地域……路肩から垂直方向に約 20m離れた風下側の 2 地点とする。垂直方向に採取地点を設定できない場合や、風下側に設定できない場合は採取地点をずらしてもよい。フィルターホルダーの吸引口は道路の方向に向ける。

④ 発生源周辺地域 (Ⅳ)

- ・ 特定建築材料が使用されている建築物等の解体現場等及びアスベスト含有成形板等を扱う建築物等の解体現場……施設(排出源)の直近で、多数の人の通行等がある場所の 4 地点(排出源をはさんで、風上・風下と風向に垂直な 2 地点)とする。測定点は、排出源からできる限り等距離で、排出源から遮る障害物の少ない場所を選定することを原則とする。敷地の形状や排出源の位置を考慮して、一般環境への負荷を把握するのに適した場所を選定する。フィルターホルダーの吸引口は排出源の方向に向ける。

⑤ バックグラウンド地域 (Ⅰ)

- ・ 内陸山間地域及び離島地域……地域を代表しうる地点で、付近に障害物の少ない 2 地点を選定する。2 地点間の距離は数 10m～数 100m とする。フィルターホルダーの吸引口は風上方向に向ける。

⑥ バックグラウンド地域 (Ⅱ)

- ・ 住宅地域、商業地域及び農業地域……地域を代表しうる地点で、主要車道路肩から 50m以上離れた 2 地点とする。2 地点間の距離は 100m～200mとし、地域内の固定発生源の影響を受けない、たとえば工場から 50m(可能なら 100m)以上離れた地点とする。フィルターホルダーの吸引口は最も近い主要車道の方

2) 装置及び器具

採取装置の構成を図2に示す。

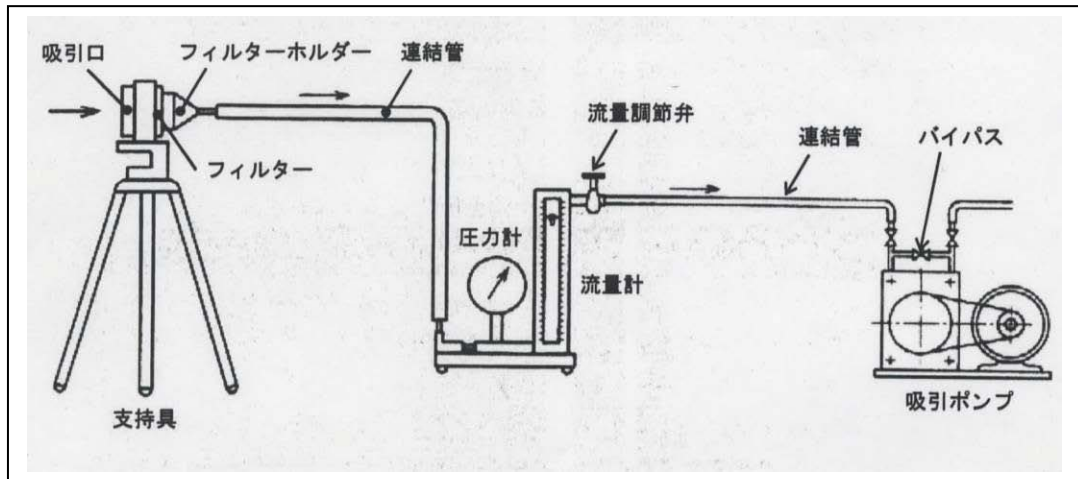


図2 採取装置の構成

① フィルター

白色のセルロースエステル製メンブランフィルター（φ47mm，平均孔径 0.8μm）を使用する。A-SEM 法のうち、ポリカーボネートフィルター法で測定を実施する場合は、直径 47mm、孔径 0.8μm のポリカーボネートフィルターを用いる。ポリカーボネートフィルターは静電防止のため、原則として金又はカーボンを蒸着したものを使用する。

② フィルターホルダー

直径 47mm の円形ろ紙用ホルダーで有効ろ紙直径が 35mm のオープンフェイス型を使用する。

③ 吸引ポンプ及び流量計

フィルターをホルダーに装着した状態で、10L/min の吸引流量が得られ、脈動を生じることなく連続運転に耐えられる電動式吸引ポンプを使用する。流量計は、フロート型面積流量計又は基準流量計によって校正された流量計を用いる。

④ 連結管

フィルターホルダー、流量計及び吸引ポンプを連結する管は、採取中の吸引圧力に耐えるものを使用し、接続部に漏れがないかを事前に確認する。

⑤ フィルター保管容器及び収納箱

フィルター採取面を上向きにして固定でき、保管運搬時に静電気が生じないものが望ましい。

3) 採取条件

① 採取回数

発生源周辺地域（Ⅰ）～（Ⅲ）及びバックグラウンド地域は、採取回数 3 回を一連の測定とする。特に理由がない限り、平日昼間（10 時～16 時）の連続した 3 日間とする。事業所周辺で測定を行う場合は、事業所の稼働日も考慮する。発生源周辺地域（Ⅳ）の採取回数は、その作業が実施される 1 回（1 日）とする。

② 吸引流量、採取時間及び採取空気量

吸引流量 10L/min で連続 4 時間採取（2400L）する。発生源周辺地域（Ⅳ）において、作業が採取時間内に終了しても連続 4 時間の採取を行う。

③ 採取高さ

地上 1.5m 以上、2.0m 以下とする。採取点周辺の障害物等の影響が考えられる場合は適宜高さを設定してもよい。

④ 測定点の決定

事前調査で得られた情報をもとに、採取点周辺の障害物等の影響などを考慮して採取点を決定する。メンブランフィルターとポリカーボネートフィルターを並行して採取する場合は、2 台のホルダーの高さ及び向きを同一にする。2 台の装置が互いに影響を及ぼさないよう考慮する必要がある。

⑤ 気象条件

前日又は当日が強風、降雨時の場合は採取を避ける。採取開始後に降雨があった場合には、覆いをし、フィルター等に雨滴があたることが無いようにする。強風、降雨等により適切な

採取ができないと判断される場合には、連続ではなく、採取可能な3日間とする。

⑥ その他の事項

粉じん量が多くなると思われる場合は、4時間を均等に分割し、フィルターが4枚以下になるよう採取する。

4. アスベスト繊維数濃度の測定

一般大気に浮遊しているアスベスト繊維は、ほとんどがクリソタイルであることから、マニュアルでは「光学顕微鏡法」が選定されている。

1) 光学顕微鏡法

(測定方法)

メンブランフィルターにクリソタイルと同程度の屈折率をもつ不揮発性液体を浸して透明化した後、位相差顕微鏡及び生物顕微鏡を用いて同一視野で確認された繊維状粒子を計数する。位相差顕微鏡では、視野中の繊維状粒子がある太さ以上であれば確認することができる。一方、生物顕微鏡では、クリソタイルと不揮発性液体の屈折率がほぼ同じであるため、クリソタイル繊維が識別できないか、非常に見えにくくなる。この性質を利用して、位相差顕微鏡と生物顕微鏡で計数された粒子の差から、クリソタイルなど、屈折率が不揮発性液体と同程度の繊維状粒子を計数する。

光学顕微鏡法は、これまで実施されてきた環境大気中のアスベスト調査で利用された方法で、過去のデータと比較することにより、環境大気中アスベストの飛散状況の推移を確認できる。

また、今回の改訂により、測定結果について確認が必要と考えられる場合は、以下に示す3種類の参考法により繊維の種類の同定・識別を行うこととされ、精度の高い測定が可能である。

2) 参考法1 . 分析走査電子顕微鏡法 (A-SEM法)

(装置概要)

走査電子顕微鏡(SEM)は、固体材料表面へ電子線を走査して得られる二次電子から、表面微視構造の観察を行うタイプの電子顕微鏡である。付属するX線分析装置により、表面微細領域の元素分析が可能であり、例えば繊維中のマグネシウムの含有量や分布を推測することができる。

マニュアルでは、X線分析装置としてエネルギー分散型(EDX)を紹介しているが、波長分散型(WDX)でも同様の調査を行うことができる。

(測定方法)

走査電子顕微鏡(SEM)により繊維の計数を行うとともに、X線分析装置で繊維の構成成分を確認し、①クリソタイル、②アモサイト、③クロシドライト、④その他の角閃石系アスベスト(アンソフィライト、トレモライト、アクチノライト)、⑤その他の繊維(硫酸カルシウム、ロックウール、グラスウール等)に識別する。

(留意点)

1本1本の繊維の構成成分を調べた上で計数を行うため、分析に膨大な時間がかかる。

3) 参考法2 . 分析透過電子顕微鏡法 (A-TEM法)

(装置概要)

透過型電子顕微鏡(TEM)は、観察対象に電子線をあて、それを透過してきた電子が作り出す干渉像を拡大して観察するタイプの電子顕微鏡である。電子線を透過する固体物質であれば、内部組織と微細構造の観察が可能のため、様々な材料の観察・分析に用いられる。一般的には金属材料・無機材料等の固体物質の内部組織観察例が多いが、凍結乾燥させた生物組織等の医学研究にも用いられる。

(測定方法)

透過電子顕微鏡(TEM)により繊維の計数を行うとともに、内部結晶構造を電子線回折法によって解析することにより、アスベスト繊維の識別を行う。

(留意点)

観察対象に電子を当て透かして観察することになるため、試料をできるだけ薄く(厚さ100nm以下)切ったり、電子を透過するフィルムの上に薄く塗りつけたりするなど、高度な技術が必要となる。また装置も高価なため、あまり一般に普及していない。

4) 参考法3 . 分散染色法

(測定方法)

特定の屈折率をもつ浸液をフィルターに滴下・分散し、特定のアスベストにおいて観察される特異的なスペクトル(分散色)によりアスベスト繊維を同定する(図3参照)。

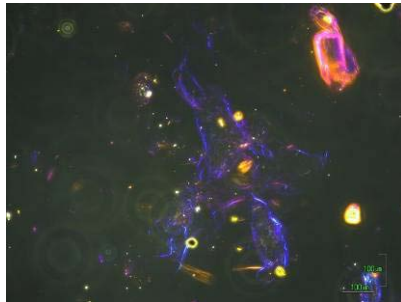
計数にあたっては、少なくともクリソタイル、アモサイト及びクロシドライトを確認するた

め、試料を分割してそれぞれ計数を実施する。アスベスト繊維に近い屈折率の繊維が混在している場合、アスベストと見間違ふ可能性があるため、屈折率の異なる浸液で確認する必要がある（表3参照）。

（留意点）

試料採取にはメンブランフィルターを使用するため、光学顕微鏡法に用いたフィルターの残りを利用することができる。また使用する分散顕微鏡は、A-SEM法、A-TEM法で用いる装置よりも安価であり、取扱い等も容易であるため、最も普及している方法である。

クリソタイル(浸液の屈折率1.55)



アモサイト(浸液の屈折率1.68)



クロシドライト(浸液の屈折率1.68)



図3 分散色の一例

表2 浸液の屈折率と分散色

繊維の種類 / 屈折率 (n_D 25 °C)		浸液の屈折率 ※ (n_D 25 °C)	分散色
アスベスト繊維	クリソタイル / 1.532 ~1.549	1.550	赤紫～青
	アモサイト / 1.635 ~1.696	1.680	桃
		1.700	青
	クロシドライト / 1.654 ~1.701	1.680	橙色
		1.690	桃
		1.700	青
	アンソフィライト / 1.596 ~1.694	1.605	橙色
	アクチノライト / 1.620 ~1.688	1.640	青
アスベスト以外の繊維	トレモライト / 1.599 ~1.620	1.605	橙色
		1.640	青
	繊維状石膏（ギプサム） / 1.520 ~1.530	これらの繊維は、屈折率の近いアスベスト繊維と同じような分散色を示す場合がある	
	セピオライト / 1.490 ~1.530		
	ウォラストナイト / 1.620 ~1.660		
	アタパルジャイト / 1.500 ~1.560		
	ハロサイト / 1.530 ~1.540		
	モルデナイト（ゼオライト） / 1.470 ~1.490		
	グラスウール、ガラス長繊維 / 1.560 以下		
	ロックウール、スラグウール / 1.560 以上		

※25 °Cにおける屈折率

おわりに

アスベスト使用建築物等の解体等作業は今後も増加すると考えられる。したがって今後とも、環境大気中のアスベスト濃度を注意深く見守っていく必要があると思われる。また今後、さらなる知見の充実や技術の進歩が予想されることから、マニュアルの改訂も引き続き検討されるものと考えられる。アスベストの分析は経験・情報・技術的知見等比較的高度な技術を要求されることから、更なる技術の向上に努めてゆく。

【参考文献】

- (1) 環境省ホームページ (<http://www.env.go.jp/>)
- (2) (社)日本石綿協会ホームページ (<http://www.jaasc.or.jp/>)
- (3) (社)日本作業環境測定協会 編集・発行 繊維状物質測定マニュアル
- (4) 電子プローブ・マイクロアナライザー 日本表面科学会編 丸善株式会社
- (5) 透過型電子顕微鏡 日本表面科学会編 丸善株式会社

筆者 技術部試験四課 課長補 1)
技術部試験一課 係長 2)