

# 注目されるアスベスト簡易判定技術の実際

佐野 守\*

## はじめに

アスベスト(石綿)は耐熱性、保温性、耐久性などに優れた特性を持つため、耐火被覆材、保温材、断熱材、吸音材、摩擦材などの建築・工業資材として各種の用途で使用されてきた。しかし、欧米でアスベストの健康に対する危険性が指摘されて以来、わが国では労働衛生上の問題として、最近では環境汚染による住民の健康問題として顕在化した。

このような状況の中、建築物の解体に際しては、事前にアスベストの含有について調査を行なうことが必要となった。また、公共施設を始めとして、住居や勤務先の工場、事務所などでアスベストが使われているかに関心事となっている。

従来、アスベストの検査は光学顕微鏡や電子顕微鏡などを使って形態の特徴などから判定する手法や、X線回折装置を使用して結晶構造の解析を行なうなどの方法で行なわれてきた。これらの手法は高価な装置を使い、また、専門的な技術を要することから高コストで調査に長い期間を必要とする。そこで、従来の分析手法に比べ低コストでかつ化学知識がなくても現場で迅速に測定できるアスベストスクリーニング法<sup>※1</sup>を考案したので紹介する。

※1 特許第3341152号 商品名「アスベストワカール」

## 1. 簡易測定法開発の背景・目的

### 1)アスベストとは

アスベストは天然に産出する結晶構造を持つ繊維状けい酸塩鉱物のことで、国際労働機関では、『岩石を形成する鉱物の蛇紋石及び角閃石グループに属する無機けい酸塩』と定義されている。すなわち、図1.1に示すクリソタイル、アモサイト、クロシドライト、アンソフィライト、トレモライト、アクチノライトの六種鉱物がアスベストに分類される。このうち、角閃石系のアンソフィライト、トレモライト、アクチノライトはまれにしか産出せず、他のアスベストに不純物として含まれる程度であるため工業原料としては使用されていない。

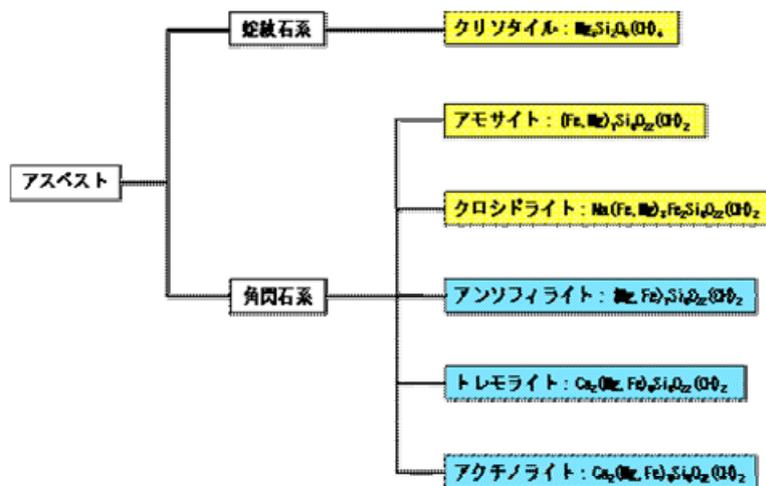


図1.1 アスベストの分類

### 2)アスベスト製品の種類及び用途

アスベストはほとんどを海外からの輸入に頼っており、1930年から2004年までの輸入累計は約1000万トンにのぼる。アスベストの用途は数1000種といわれるが、全体の9割以上が建材製品の原料として使われている。その他はプラント設備のシール材、摩擦材等の工業製品に利用されている。

アスベストが使用されている既存の建築物は、商用ビル、工場、倉庫、一般住宅、共同住宅、学校、病院など多岐にわたる。

用途は内装材、外装材、床材、天井材、耐火被覆材、保温材、吸音断熱材等である。

建材や工業製品中のアスベストは一般に1~70重量%程度添加され、クリソタイルを使用する場合は最も多い。しかし、耐火被覆材などにはクロシドライトやアモサイトを含有するものがある。



図1.2 アスベストの使用状況 [平成7年,(社)日本石綿協会]

### 3)アスベストに係る法令等

アスベストに関する法令には、主にクリソタイル、アモサイト及びクロシドライトの3種類のアスベストを測定対象として、労働安全衛生法をはじめとする労働者の健康障害の予防を目的とした法令と、大気汚染防止法のような一般環境の保全及び公害の防止を目的として定められたものがある。これらの法令はいずれもアスベストを含有する製品などを取り扱う作業者の曝露防止や、作業によって発生するアスベスト粉塵の環境への放散を規制している。

### 4)アスベストによる健康影響

現在、アスベストの曝露によって、発症する確率の高いことが確認されている疾病は、じん肺、肺がん、悪性中皮腫などである。悪性中皮腫はアスベストの種類によって発生に差が見られ、クロシドライトが最も危険性が高く、アモサイト、クリソタイルの順であることが知られている。アスベストが原因の疾病は、比較的長い潜伏期間を経た後発症する。1970年以降、わが国では高度経済成長期にビルなどで断熱、保温を目的にアスベストが多量に使用されたため、疾病の潜伏期間が終わり始める21世紀初頭頃から、アスベスト粉塵の吸入が原因と思われる肺がんや悪性中皮腫による死亡者が増加している。2040年までに、死亡者は10万人以上に上るとの予測もされている。また、今後、当時建設されたビルの老朽化にともなって、解体工事も増加することが予測されることから、新たな被害の発生が懸念される。

環境省では、建築物解体によるアスベストの排出が2020年～2040年頃にピークを迎えると予測している。アスベストは、その有害性が明らかになって以降、徐々に法律等によって規制が行なわれた。平成17年7月には「石綿障害予防規則」が施行され、建築物の解体工事を行なう際には、アスベストの使用について事前に必要な調査をしなければならないこととなった。しかし、いままで建築・工業資材として多用途に使用されたアスベストは、広く社会に存在しているにもかかわらず、使用状況についてほとんど把握されていない。これらのことから、アスベストを容易に検査できる手法の開発が急務であった。

## 2. 従来のアスベスト分析法

アスベストの分析は、目的や被検試料の状態などに応じて表2.1に示す方法などから適切な手法を選択するが、いずれの方法も高価な装置と専門的な技術が必要となる。

建材を対象として定性・定量分析を行なう場合は、光学顕微鏡、電子顕微鏡、元素分析装置、X線回折装置などを用いるのが一般的である。

表2.1 アスベスト分析に使用する主な分析装置／方法

アスベストの特性	分析装置／分析方法
形態	走査型電子顕微鏡
元素	X線マイクロアナライザー
屈折率	位相差顕微鏡／分散染色法
偏光	透過ノマルスキー微分干渉顕微鏡
結晶構造	透過型電子顕微鏡 X線回折装置

#### 1) 走査型電子顕微鏡による方法

走査型電子顕微鏡は電子線を試料に照射して得られる二次電子や反射電子を利用して、空間分解能の高い画像情報が得られる。光学顕微鏡に比べ高倍率で試料を観察できるが、一般的な電子顕微鏡は試料表面に導通処理を施す必要がある。

アスベストの分析では繊維の形態の特長を観察することによって、アスベストや他の繊維との判別を行なう。また、後述するX線マイクロアナライザーを併用することで、類似した形態のアスベストを判定することも可能である。

クリソタイル、アモサイト、クロシドライトの形態的特徴は次の通りである。

### 〈クリソタイル〉

白色から薄緑がかった黄ないし桃色の波うった比較的やわらかい繊維。

束の末端が外側に広がり、捻れている。白石綿とも呼ばれる。中空管状繊維で、繊維の長さは通常1～20mm程度。単繊維の太さは 0.03 μm程度。

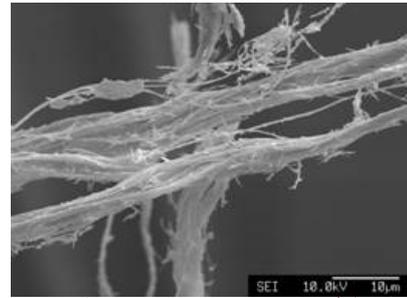


写真2.1 クリソタイル(カナダ産)

### 〈アモサイト〉

繊維は直線的で、末端が繊維軸に対して直角に交わる。堅い繊維。

破壊は結晶構造面に沿って起き、クリソタイルの単繊維よりも細くなることもある。

明るい灰色から茶色。茶石綿とも呼ばれる。

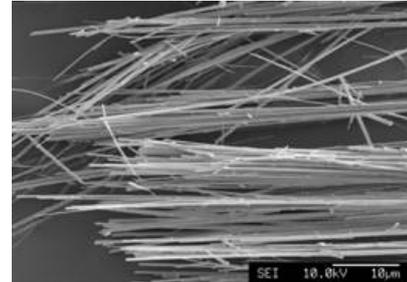


写真2.2 アモサイト(南アフリカ産)

### 〈クロシドライト〉

直線的で、拡大すると針状の尖った繊維。環境中の繊維は短く、細い。

クリソタイルほどではないが比較的柔軟。

色が青いことから青石綿とも呼ばれる。

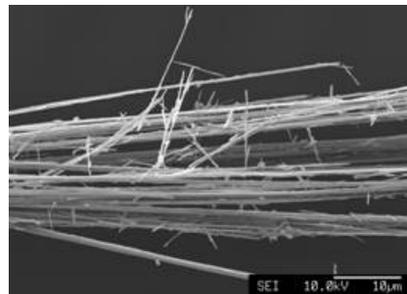


写真2.3 クロシドライト(南アフリカ産)

## 2) X線マイクロアナライザーによる方法

電子顕微鏡と同様、試料に電子線を照射し、発生する特性X線から試料に含まれる元素やその含有量からアスベストの判定を行なう。定性分析だけでなく、元素のマッピングを行なうことで混在した繊維の中から特定のアスベストを確認することなどが出来る。

## 3) 位相差顕微鏡/分散染色による方法

屈折率が光の波長によって異なる性質(分散)を利用して試料中の粒子を光学的に着色させることで目的の粒子を識別する。アスベストを観察する場合は専用の分散染色用浸液に試料を浸して観察する。

表2.2 アスベストの分散色

アスベストの種類	浸液の屈折率 ( $n_D^{25^\circ C}$ )	分散色
クリソタイル	1.550	赤紫色～青色
アモサイト	1.680	桃色
	1.700	青色
クロシドライト	1.680	橙色
	1.700	青色



写真2.4 クリソタイル

 $n_D^{25^\circ\text{C}} : 1.550$ 

写真2.5 アモサイト

 $n_D^{25^\circ\text{C}} : 1.680$ 

写真2.6 クロシドライト

 $n_D^{25^\circ\text{C}} : 1.680$ 

#### 4) X線回折による方法

X線の回折現象を利用して、定性分析では出現する回折ピークのパターンと強度から物質を同定することが出来る。定量分析ではアスベストの回折ピークの高さや面積から含有量を計測する。

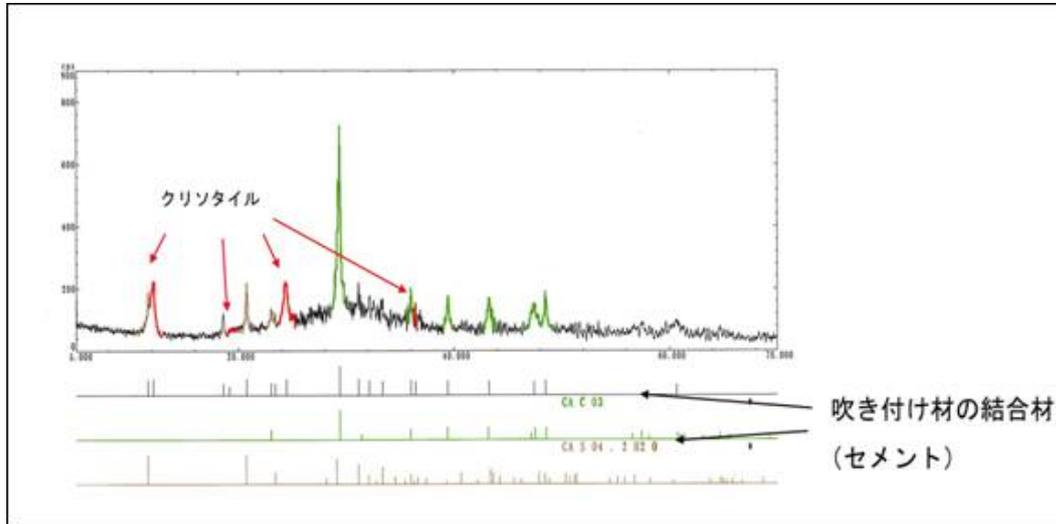


図2.1 X線回折による分析例(定性分析)

### 3. 簡易測定法の概要

前項で紹介したように、従来のアスベスト分析法は高コストで判定に長時間を必要とする。そこで、低コストで判定調査期間の短縮が図れるアスベストスクリーニング法の開発を進めてきた。アスベストの含有成分に注目し、鉄の呈色反応を利用した発色手法と試料汚れを除去する前処理手法を開発した。その測定方法の概要について解説する。

#### 1) 測定原理

アスベストには構成成分または混入微量成分として二価の鉄が含まれる。アスベスト簡易測定法は、この二価の鉄に反応して呈色するキレート剤を使用することでアスベスト含有の有無を目視により判定することができる。

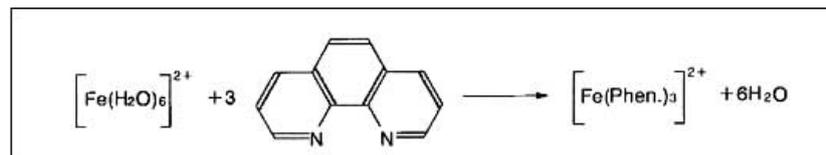


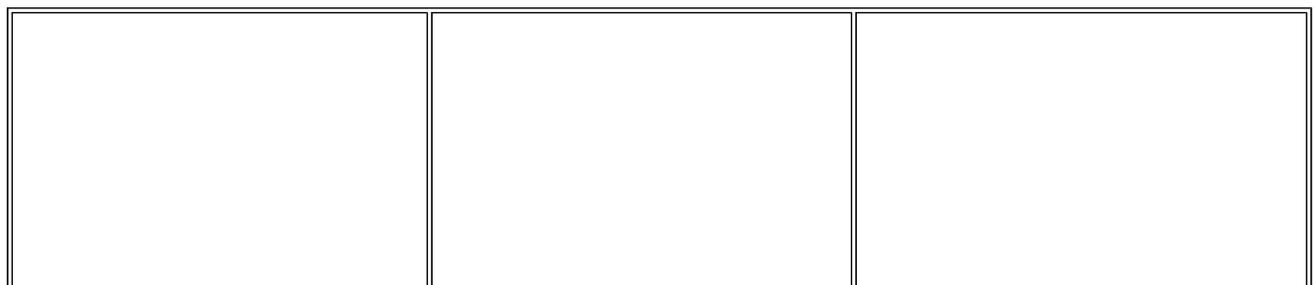
図3.1 鉄とキレート剤の反応例

鉄に反応して呈色するキレート剤は1,10-フェナントリン、4,7-ジフェニル-1,10-フェナントリンなど複数あるが、利用するのはいずれも妨害イオンが少ない二価鉄との特異反応である。

図3.1は1,10-フェナントリンの反応例で、反応は鉄が酸性液に抽出されて水和している二価鉄にキレート剤が配位することを示している。

酸性溶液中で鉄と結合したキレート剤は、呈色が極大となるpH域がキレート剤ごとに異なるため最適なpHに調整することにより明瞭に呈色する。

写真3.1は異なった3種類のキレート剤による呈色である。いずれも鋭敏に反応し、目視によって呈色が確認できることが分かる。



		
<p>写真3.1 鉄のキレート剤による呈色</p>	<p>写真3.2 アスベストのキレート剤 (4,7-ジフェニール-1,10-フェナントリン)による呈色</p>	<p>写真3.3 クリソタイルの呈色</p>
<p>キレート剤: 1,10-フェナントリン, 4,7-ジフェニール-1,10-フェナントリン, ジピリジル-s-トリアジン(左から順に)</p>	<p>クリソタイル, アモサイト, クロシドライト(左から順に)</p>	<p>キレート剤: 4,7-ジフェニール-1,10-フェナントリン アスベスト採取量: 0, 1, 2, 10, 20mg(左から順に)</p>

## 2) 判定限界

測定試料のアスベストの含有を判定できる限界は、アスベストに含まれる鉄含有量と酸に対する溶解度に支配される。クリソタイル以外のアスベストは結晶構成元素として、クリソタイルには結晶欠陥としてマグネシウムに代わって配位する状態で鉄が存在すると考えられる。また、アスベストが天然に産出する鉱物であるがゆえに不純物として酸化鉄を含有する。標準物質の元素分析では、クリソタイルが数%、アモサイト及びクロシドライトは10～20%程度の鉄含有量であった。

写真3.2は、キレート剤として4,7-ジフェニール-1,10-フェナントリンを使って3種のアスベストの呈色試験を行ったものである。試料は標準物質のアスベストを約10mg採取した。また、鉄の溶解を促進するため呈色試薬にフッ素系の酸を混合した。呈色の強さは、アスベストの鉄含有量にほぼ比例し、クリソタイル<アモサイト≒クロシドライトであった。

写真3.3は、呈色が最も弱いクリソタイルを段階的に採取して4,7-ジフェニール-1,10-フェナントリンによる呈色試験を行ったものである。採取量1mgのクリソタイルにおいても目視で呈色が確認できる。したがって、建材等を調査する場合、試料として200mg以上を採取すれば、アスベスト含有量が0.5%であっても判定が可能であることがわかる。

## 3) 測定手順

測定は、前処理液を使って試料中の測定妨害物質を溶解するための『試料調製工程』、試料調製工程で溶解した妨害成分を洗浄除去するための『前処理工程』、アスベスト中の鉄とキレート剤を反応させる『判定調製工程』、pH調整を行なって呈色させる『判定工程』の4つの工程を順に操作する。

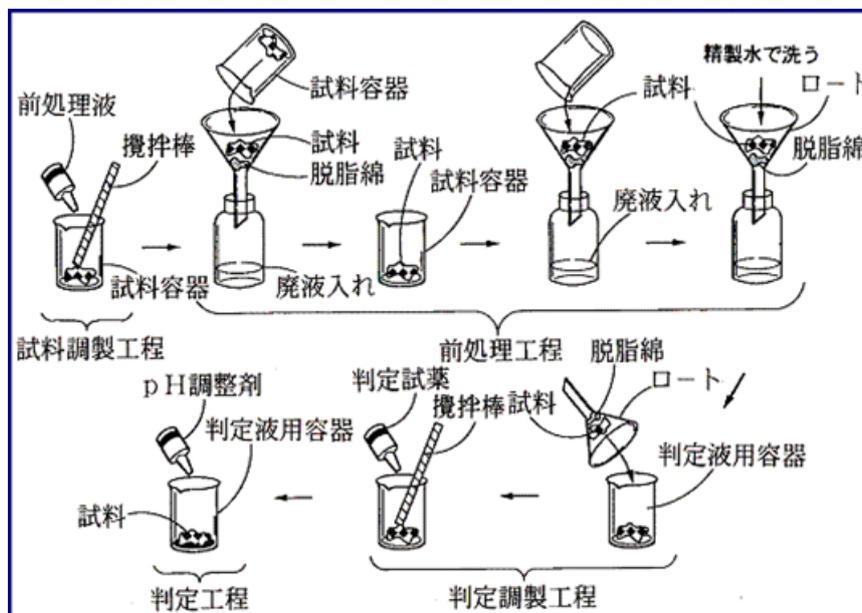


図3.2 測定の手順

試料調製工程及び前処理工程でいう妨害物質とは、結合剤などとしてアスベストと混合使用されるアルカリ成分(炭酸カルシウムなど)、試料中の夾雑物や汚れに含まれる鉄、銅などである。アルカリ成分はキレート剤と鉄の反応を妨げる。また、鉄、銅など一部の金属はアスベスト中の鉄と同様の反応をするため誤判定要因となる。したがって、これらの妨害物質を酸などで予め除去しておく必要がある。その後、判定調製工程でアスベスト中の鉄を溶解後キレート剤と反応させるため液を酸性とし、判定工程でpH緩衝薬剤を添加することでpH調整を行なって呈色させる。

測定を行なう際の具体的な手順を図3.2に示す。

- ①アスベストが含まれると思われる部位から採取した豆粒大の試料に、前処理液を入れ粉碎を行なう。
- ②脱脂綿でろ過し、残渣と脱脂綿を精製水で洗浄する。
- ③洗浄後の試料に酸・キレート剤を入れ、攪拌後3分間静置する。
- ④pH緩衝剤を添加し、攪拌後3分間静置する。
- ⑤呈色の有無によりアスベスト含有の有無を判定する。

#### 4. 簡易測定キット

開発したアスベストスクリーニング法に基づいて、現場で迅速に測定が行なえるよう、必要な試薬及び器具をツールボックスに収納した製品が写真4.1のアスベスト簡易測定キットである。

測定キットには10回分の測定が出来るよう、表4.1に示す試薬などが入っている。その他、試薬類、脱脂綿などの消耗品を別途供給している。

表4.1 アスベスト簡易測定キットの内容

薬試	セット内容	
	前処理液	有機酸(酢酸等)
	A 液	キレート剤+非酸化性無機酸
	B 液	酢酸アンモニウム
器具等	蒸留水、脱脂綿、ロート、ビーカー、攪拌棒、ピンセット、廃液入れ	

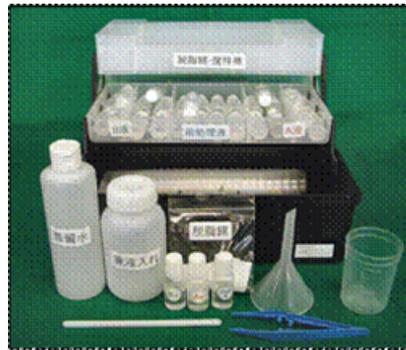


写真4.1 アスベスト簡易測定キット

#### 5. 特徴と課題

簡易測定キットを使ったアスベストの調査は図3.2に示した手順により、誰にでも容易に行なうことができ、取り扱いに際し特別な資格もいらない。測定に要する時間は、おおよそ10分である。また、試薬等にかかる費用は1試料あたり数千円程度と従来の分析方法に比べ1/5～1/10のコストで検査が可能である。

アスベスト含有の疑いがある保温材を主とした材料300品目について解体撤去前の現場からサンプリングし、調査を行なった。この手法による正解率は、アスベストを0.5～1.0%以上含有する試料では99%(残りの1%は強アルカリ等で検査に適さない試料)、アスベストを含有しない試料では96%であった。

本手法は保温材について高い正解率で判定が可能である。しかし、近年、天井や壁等の吹き付け材にアスベストに代わってロックウール(岩綿)が使用され始めた。ロックウールには鉄が多く含まれており、アスベストとの判別が確実に行なえない欠点もある。

#### 6. 今後の展開

簡易測定キットの販売を開始してから約7年が経ち、アスベストによる健康被害が拡大する中、アスベストの有無の手軽なスクリーニング法として本製品は全国で利用されるようになった。課題であったロックウール混合物の判定法の開発にもめどが立ち、近日製品化の予定である。

より多くの建材・工業製品への対応等、課題も少なくないが現手法の改良や新たな判定手法の開発を進めており、信頼性のより高いキットに育てていく所存である。

#### 参考文献

- 1) 環境省ホームページ
- 2) (社)日本石綿協会ホームページ
- 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(2004)