

## 4.3.2 石綿（アスベスト）

### 1 石綿とは

#### 1.1 石綿とは

石綿（せきめん、いしわた）はアスベストとも呼ばれる蛇紋石および角閃石に属する繊維状の無機ケイ酸塩鉱物です。石綿という名の示すとおり綿のように柔らかい繊維状の鉱物で、不燃で強度があり酸アルカリ耐性が良く摩擦に強いという鉱物的な特徴と同時に、軽く柔軟性があり加工、混合しやすいなどの繊維としての特徴を併せ持っています。そのため「奇跡の鉱物」と呼ばれ、建築材料を中心に産業用に広く使用されてきました。石綿の産業利用の歴史は古く、1870年代から大規模な採掘がカナダで始まり、1976年には世界の消費量は約500万トンのピークに達しています。日本ではこれまでに約1,000万トンが輸入され、その8割以上が建材に使用されました。その他にはガスケット、パッキン、ブレーキ材、石綿繊維品、石綿板、石綿紙などの工業製品があり、石綿含有製品の種類は3,000以上といわれています。

石綿は微細な石の繊維であることから飛散しやすく、採掘、精製、混合、破碎、研磨などの力加わることにより容易に石綿の粉じんを発生します。微細な繊維は目に見えず臭いもないため、それとわからずに吸入（ばく露）してしまふことがあります。

石綿ばく露の有害性については石綿肺は1900年代、肺がんは1930年代、中皮腫は1960年代から報告があり、職業性ばく露によるものだけではなく労働者の家族や周辺住民にも被害が発生することがわかっています。先進国の多くはすでに全ての石綿の使用を禁止しており、世界的には禁止へ向かう趨勢ですが、多くの工業国では石綿の使用を禁止しても建材など大量の石綿含有製品が残存しており、その使用と処理に伴う石綿ばく露を止めることが石綿対策の主要な課題になっています。

石綿は6種類が知られており、日本ではそのうちのクリソタイル、アモサイト、クロソドライトの3種類が主に産業用として使用されてきましたが、トレモライト、アクチノライト、アンソフィライトも詳細は不明ですが使用されています。最近では、これ以外に角閃石系のリヒテライト、ウィンチャイトを石綿に含める動きがあり、石綿の定義は今後変わってゆく可能性があります。

#### 1.2 石綿リスクの特徴

2005年夏、クボタ旧神埼工場周辺住民の石綿被害の報



写真1 この中に石綿含有の可能性がある建材が3種類あります

表1 石綿の種類

蛇紋石属	クリソタイル（白石綿）
角閃石属	アモサイト（茶石綿）
	クロソドライト（青石綿）
	トレモライト
	アクチノライト
	アンソフィライト
	リヒテライト（?）
	ウィンチャイト（?）

道を契機に石綿問題がクローズアップされました。数十年前の石綿繊維の吸入（ばく露）が悪性腫瘍を引き起こしたことで、多くの方が気がつかないうちにばく露していたこと、身近に石綿含有製品が大量に残っていることなどの石綿の特異性が明らかになり、その後の石綿対策を進める契機となりました。

石綿リスクの特徴は次のとおりです。

- ①どこにでも大量にある。
- ②容易に発じんして目に見えず、臭いもない。
- ③致命的で潜伏期間が極めて長い疾病の原因となる。

### 2 石綿による疾患とその重大性、対策の効果

#### 2.1 石綿による疾患

石綿はそのばく露により数十年間の潜伏期間をおいて石綿肺、肺がん、中皮腫などの疾患を引き起こします。中皮腫の原因はほとんど石綿のみと考えられており、他の疾病と比べて比較的少ないばく露量でも発症し、潜伏期間は25～50年と非常に長いことが特徴です。根治的治療法がなく、予後が非常に悪い疾病です。肺がんは喫煙とも関係しますが、石綿ばく露でも起こり平均的な潜伏期間は40年前後です。石綿肺は石綿によるじん肺症で、比較的濃度のばく露で発症し潜伏期間は10～30年です。珪肺など他のじん肺と比べて予後が悪く、肺がん、中皮腫の合併にも注意が必要です。石綿関連疾患は1回のばく露で発症するものではなく、通常は連続の一定量のばく露で発症しますが、閾値はなく、ばく露が多いほど発症リスクは上昇します。ばく露量を最小にすることが対策の目的となります。角閃石属の方が蛇紋石属よりも発がんの力は大きいと考えられており、世界のほとんどの国では角閃石の石綿の使用禁止としています。

#### 2.2 影響の重大性、対策の効果

石綿のハザードは致死的な疾患を引き起こすことから影響が大きいことは明らかです。日本では2006年に1,050人が中皮腫で死亡しており、過去の石綿の消費量を反映して10年間で約2倍に増えています。日本の中皮腫死亡のピークは2030年頃に2006年の約4倍の年間4,000人となり、計10万人以上が死亡すると予測する研究があります。中皮腫の平均的な潜伏期間が40年とすると2030年に死亡する人の石綿ばく露は1990年頃であったこととなります。石綿の発がん性は早期から警告されていたにもかかわらず、これらの死を止められないことは産業保健に関わるすべての人が重く受け止めなければ

ばならない現実です。そして、その後石綿被害が終息するかどうかは残された石綿含有製品からの石綿ばく露を予防できるかどうかにかかっています。石綿ばく露を可能な限り少なくすることが、速やかに被害者を最小にする唯一の方法であり、予防策は多くの人びとの命を救うると考えられます。

### 2.3 取り組みの方向

石綿ばく露を最小にすることは、これまでに考案された粉じん対策の工学的改善により十分に達成することができ、決して難しいことではありません。そのための取り組みの方向は以下の3点です。

- ① 的確なリスク評価。
- ② 広範なリスクコミュニケーション。
- ③ 総合的な職場改善の中に石綿対策を位置付ける。

## 3 リスクの評価法

### 3.1 石綿含有分析

製品の石綿含有の有無はこれを誤るとばく露に直結することから重要です。また石綿の種類と含有率はリスク評価の重要な情報となります。分析方法は JIS（日本工業規格）、ISO（国際標準化機関）などが規格化しています。偏光顕微鏡法、位相差・分散顕微鏡法、透過型電子顕微鏡法、走査型電機顕微鏡法、エックス線回折分析法などの分析手法があり、これらを単独でまたは組み合わせることで分析します。石綿は繊維状ケイ酸塩鉱物と定義されるように繊維状構造を確認する、つまり目で見る必要があり組成の分析だけでは分析できない点が他の化学物質の分析と異なり、精度も 0.1%含有の判定が限界といわれています。一般に石綿含有製品は石綿を一定量以上含有させなければ、石綿の特徴である耐火性、強度などが向上しないため、意図的含有の場合は1%以上石綿を含有させており、この場合の定性、定量は比較的容易です。しかし不純物として微量含有している場合は分析が困難になることがあります。

### 3.2 気中石綿濃度測定

石綿のリスク評価のために気中石綿濃度は重要な情報です。石綿含有建材を解体除去する場合、石綿含有の吹付け材が劣化により飛散の恐れのある場合などに石綿が空気中に飛散していることが考えられます。このような場合には気中石綿濃度測定により石綿濃度を知り、リス

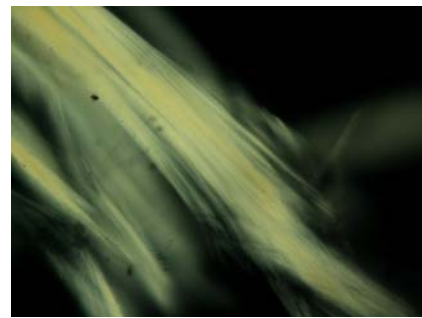


写真2 偏光顕微鏡（400倍）で見るトセライトの微細繊維

ク評価に役立てることができます。気中石綿濃度測定は作業環境測定の方法、JIS、WHO（世界保健機構）などによる方法があります。一定の空気量をポンプで吸引しメンブランフィルターに空気中の浮遊物を捕集し、顕微鏡で計数する方法（位相差顕微鏡法）が広く採られています。石綿の気中濃度は  $f/l$ 、 $f/ml$ 、つまり  $10$ 、 $1ml$ あたりの石綿繊維数で表わします。リスク評価の指標となる過去の疫学調査は、ほとんどがこの位相差顕微鏡法により行われており、リスク評価のための石綿濃度には必ず位相差顕微鏡法を使用します。しかし位相差顕微鏡法には、光学顕微鏡の解像度の限界から細い繊維が計数できない点、石綿であるか否かに関わらず一定の形状の繊維をすべて計数する点、などの限界があります。特に低濃度ばく露が問題となるときにこれらの要因の影響が大きくなります。ばく露のおそれが明らかな場合には測定結果に関わらず、可能な対策を採ることが求められます。

### 3.3 石綿の発がんリスク評価

石綿ばく露量と発がんリスクとの関係は量-反応があり、これまでの疫学調査からばく露量と発がんリスク評価のモデルが考えられています。リスク評価モデルの代表例を表2に示します。日本では産業衛生学会が職業暴露のための許容濃度を決定するために使用したモデルがあります。クリソタイルのみの石綿  $1f/ml$  に16歳から50年間計96,000時間ばく露した場合の過剰発がんリスクは1,000人あたり肺がん2.96人、中皮腫3.59人の計6.55人となります。同委員会ではこの数値を換算した評価値をクリソタイルのみのばく露のときの  $10^{-3}$  リスク（1,000人に1人）として  $0.15f/ml$  と勧告しています。WHOは喫煙者と非喫煙者との比較で示し、EPAは生涯ばく露のり

表2 石綿リスク評価モデル

リスク評価指標	露量	評価値	条件	$1 f / ml \cdot \text{時間}$ の 100 万人に対するリスク
日本産業衛生学会	$1f/ml$ (クリソタイルのみのとき)	肺がんリスク 1,000 人あたり 2.96 人 中皮腫リスク 1,000 人あたり 3.59 人 計 6.55 人	労働ばく露を想定し、ばく露開始 16 歳、ばく露期間 50 年間、潜伏期間 10 年、平均寿命 77 歳 ばく露時間合計 $40h \times 48 \text{ 週} \times 50 \text{ 年間} = 96,000h$	0.068
	$1 f / ml$ (クリソタイル以外を含む)	肺がんリスク 1,000 人あたり 12.13 人 中皮腫リスク 1,000 人あたり 14.71 人 計 26.84 人		0.28
WHO	$0.5 f / l$	喫煙者の肺がん+中皮腫リスク 100 万人あたり 40 人 非喫煙者の肺がん+中皮腫リスク 100 万人あたり 22 人	生涯ばく露を想定し、ばく露時間合計 70 年間 = $24 h \times 365 \text{ 日} \times 70 \text{ 年間} = 613,200h$	喫煙者 0.13 非喫煙者 0.072
EPA	$0.4 f / l$	肺がん+中皮腫リスク 10,000 人に 1 人	生涯ばく露を想定し、ばく露時間合計 70 年間 = $24 h \times 365 \text{ 日} \times 70 \text{ 年間} = 613,200h$	0.41
Hughesモデル	$1f/ml$ (クリソタイルのみ)	肺がんリスク 1,000 人あたり 1.5 人 中皮腫リスク 1,000 人あたり 0.9 人 計 2.4 人	学童のばく露を想定し、ばく露開始 9 歳、ばく露期間 6 年間 ばく露時間合計 $35 h \times 36 \text{ 週} \times 6 \text{ 年間} = 7,560h$	0.32
	$1 f / ml$ (クリソタイル以外を含む)	肺がんリスク 1,000 人あたり 0.6 人 中皮腫リスク 1,000 人あたり 4.4 人 計 5.0 人		0.66

(注) リスクとはその疾患による過剰死亡リスクを示します。

スクをそれぞれ示しています。Hughes モデルは学童が学校の吹付けの石綿にばく露した場合のリスク評価を行っています。

### 3.4 職場のリスク評価への適用

例えば建築解体業の労働者は建物の解体現場で1日のほとんどを過ごします。天井の石綿含有成形板を湿潤化などの飛散防止策を行わずに破碎しながら除去すると最高で数 f/mlの気中石綿濃度になることが知られています。1日のばく露濃度が平均 0.1f/mlとして1日8時間、年間150日、30年間を解体現場で働くとばく露量は3,600f/ml\*時間となり、表2の日本産業衛生学会のモデルを適用すると発がんリスクは  $3,600f/ml \times 0.28 \times 10^6 = 1,008 \times 10^6$ つまり約1,000人に1人の発がんリスクとなります。湿潤化することにより濃度を0.01f/mlに下げることができれば100万人あたり10人の発がんリスクにまで下げることができますが、まだ十分に低くはないので防じんマスクの使用を薦めます。このようにリスク評価を利用して作業者のリスク低減を進めることができます。リスク評価はリスクコミュニケーションでの使用に耐え関係者の合意が得られれば十分であり、完璧である必要はありません。建設現場での主な作業での気中濃度はこれまでの調査により代表的なものはわかっています。

## 4 取り組みかた

### 4.1 一次予防

石綿のリスクを下げるためにはばく露を予防することに尽きます。日本ではすべての石綿は輸入と使用が禁止されていますから、主な対象はこれまでに使用された建材を含む石綿含有製品の使用、取り扱いと除去時のばく露防止対策となります。かつて石綿含有のあった製品のストック、不純物として石綿を含有する可能性のあるタルク、ブルサイト、パーミキュライトなどは石綿の含有のないことを確認する必要があります。残されている石綿含有製品の対策は以下のとおりです。

#### 4.1.1 石綿含有建材除去作業

対象となるのは石綿除去作業、建物の解体作業、増改築と内装の改装作業およびこれらの周辺での作業です。現存する建築物の多くは石綿含有建材を使用しており、大規模な解体工事に限らず、増改築、改装工事でも、また木造一戸建の解体工事であっても、吹付け材、屋根、壁、天井、床材などに石綿含有建材が使用されている可能性があり、解体工事の前に石綿含有の有無の調査が必要です。調査結果を元に石綿含有建材は飛散防止対策を実施し、作業者と周辺住民のばく露を防ぎます。

必要な情報は公開し、説明義務を果たします。石綿が容易に飛散し、周辺住民へも被害を及ぼす可能性があることはすでに明らかになっています。労使によるリスク評価と対策のみでは不十分な場合は周辺住民や建物の利用者も含めた広範なリスクコミュニケーションが必要になります。リスクコミュニケーションは関係者への情報公開と説明の場ということだけではなく、予防対策を利害の異なる立場間で揉みあげることから、対策技術の向上につながる利点があります。

石綿は発がん性が高く、取り扱いにはある程度の厳重さが必要なことから安全衛生上の他の課題と比較して高いレベルの対策が必要となります。例えば整理整頓などの基本的な事項の対策をとらずに、石綿対策のみが十分



写真3 吹付け石綿除去作業



写真4 天井板除去作業

にできることはありません。建設の現場では、整理整頓、高所作業の安全、熱中症対策のような基本的な課題に十分に取り組み、その上に石綿対策を追加して総合的な安全衛生レベルを向上させることが、石綿対策を成功させる近道になります。

#### 【対策のポイント】

- 作業で除去、加工の可能性のあるすべての建材について石綿含有の有無を判定し、記録します。
- 石綿含有の判定は知識と経験のある人が行います。
- 石綿含有建材データベースなどを活用します。
- 分析の必要な建材は信頼できる分析機関に依頼します。
- 安全衛生委員会などでリスクアセスメントの情報を共有します。
- 説明会などで積極的に周辺住民へ説明します。
- 気中石綿濃度を測定し、結果を改善に活用します。
- 湿潤化、手ばらし、養生で石綿の飛散を抑えます。
- これまでの安全衛生活動の延長で考えます。
- 整理整頓清掃、高所作業対策、熱中症対策の基本的な安全衛生改善も同時に進めます。
- 必要な有資格者を養成し、経験を蓄積します。

#### 4.1.2 産業廃棄物処理業

解体除去の現場で分別された石綿を最終的に処分する責任は重大です。吹付け材などの飛散性の高い廃棄物は特別管理産業廃棄物として特別管理産業廃棄物処分場へ、成形板等は産業廃棄物として管理型または安定型産業廃棄物最終処分場へ埋立処分します。誤って中間処理場へ持ち込まれ破碎されると中間処理場の労働者と周辺住民が石綿ばく露するだけでなく、それとわからずにリサイクルされ石綿被害のサイクルが止められなくなります。石綿を取り扱わないはずの中間処理場でも石綿の廃棄物が持ち込まれていないかチェックする必要があります。

#### 【対策のポイント】

- マニフェスト（産業廃棄物管理票）などの情報を確認します。
- 搬出、輸送、処分などの石綿廃棄物取り扱い時のリスクアセスメントを実施します。
- 処分場とその周辺のリスクアセスメントを実施します。
- リスクアセスメント結果は公開し積極的に説明します。
- 石綿含有建材をリサイクルしていないことを定期的に確かめます。

#### 4.1.3 その他石綿含有製品を取り扱う作業

建材以外でも石綿含有製品は数多く残存しています。残存可能性のある石綿含有製品は配管のつなぎ目に入れるパッキン（ガスケット）、車両などのブレーキ、オープンや釜の断熱材、ガラス工場などで使用される石綿布の手袋などがあります。これらの製品の取り扱いによるリスクはよくわかっていませんが、石綿のハザードの深刻さを考えると実行可能な対策を講じる必要があります。

### 【対策のポイント】

- 職場で使用している石綿含有の恐れのある製品をリストアップし、石綿含有の有無を調査します。
- 石綿含有が確認された場合は代替できるかどうか検討し、計画的に交換します。
- パッキンなど石綿含有なしが確認できない製品は石綿含有とみなして、交換時にはばく露防止対策をとります。
- 湿潤化、密閉などにより発じんを防ぎます。
- 無石綿製品に交換した場合は、そのように識別できるように記録を残します。
- 過去に石綿製品を使用していた場合は、使用量、状況を調査し記録を残します。
- 過去の石綿ばく露についてリスク評価をします。
- 今後のばく露防止のため安全衛生委員会で話し合います。

#### 4.1.4 石綿含有建材除去の発注

石綿漏洩などの事故が発生してしまった場合は発注者も責任が問われることがあります。石綿含有建材の除去工事は必ずリスクを伴うと考えるべきで、その工事がリスクに対して必要かどうかも含めて関係者のリスクコミュニケーションで検討します。リスクコミュニケーションは発注者、建物の利用者、周辺住民などに広く呼びかけます。自治体など多くの工事に関わる場合、業者の選定は特に慎重にすべきで、実績の確認、入札参加条件を決めるなどして信頼できる業者を選びます。

### 【対策のポイント】

- 工事の発注を前提とせずにリスクコミュニケーションを実施し、工事の必要性も含めて広く検討します。
- 関係者全員がリスクコミュニケーションに参加します。
- リスクコミュニケーションは公開し、記録を残します。
- 石綿の分析、施工、気中濃度測定は別々に発注します。
- 工事などの発注は実績を確認するか入札参加条件を決め、信頼できる業者を選びます。

#### 4.1.5 吹付け石綿など飛散の恐れのある建物の対策

石綿含有吹付け材は自然の劣化により接合が弱くなり、接触や風などわずかな力で飛散することがあります。建物の吹付けによる石綿の飛散は、作業によるばく露よりも低濃度ですが、過去に中皮腫などの発症例があります。特に注意が必要なのは、吹付け材が露出している場所での作業、機械室、ボイラー室、エレベーターシャフトと機械室など吹付け材が施工されている場所での保守点検の業務を行う場合、吹付けのある天井裏で作業行う電気工などです。またオフィスであっても空調の経路に吹付け材がある場合も注意が必要です。

### 【対策のポイント】

- 建物の管理者は吹付け材について石綿含有の有無を調査し記録、利用者や作業に関わる業者などに公開します。
- 改築、改修時には石綿含有吹付け材は除去し、それ以外でも計画的に除去します。
- 石綿含有吹付け材への加工、接触は禁止します。
- 石綿含有吹付け材のある場所への立入りを禁止します。
- やむを得ず立入る場合は呼吸用保護具を使用し、作業内容、作業時間などを記録します。
- 定期的に気中濃度測定を実施し、リスクコミュニケーションを実施します。

#### 4.1.6 石綿の採取と分析等で石綿を取り扱う作業

今後含有率の高い石綿を日常的に扱うのは石綿を分析する者です。建材の採取と粉碎、石綿除去工事での濃度

測定などのばく露の危険の高い作業場所に立入る場合、分析のために高純度の石綿を取り扱う場合は特に注意が必要です。

### 【対策のポイント】

- すべての試料は石綿含有を前提とします。
- 採取と除去現場の立入りには保護具を使用します。
- 試料採取は石綿の知識と経験がある人が行います。
- 試料採取の際には湿潤化して飛散を防ぎます。
- 作業の記録を残します。
- 分析室などの気中石綿濃度を定期的に測ります。
- 粉碎などの試料の取り扱いには飛散防止対策を採ります。
- 石綿試料は廃石綿として専門業者へ処理を委託します。

## 4.2 二次予防

石綿による疾病は致命的なため、一次予防がたいへん重要ですが、これまでに石綿にばく露してしまった人の数も多いため早期発見も重要な課題である。職歴を押さえて、建設業などの高リスクの集団は継続的な健診が必要です。健診で石綿ばく露の証拠である胸膜肥厚がある場合、また石綿ばく露が明白である場合などは、禁煙を勧めます。禁煙により肺がんのリスクは大きく減らすことができます。

### 【対策のポイント】

- 過去に石綿を取り扱ったことがある人はその概要を記録しておきます。
- 石綿健康管理手帳を取得し健診を受けます。
- 禁煙を勧めます。

## 4.3 三次予防

肺がん、中皮腫の治療は他のガン治療と同様に、手術療法、化学療法、放射線療法の3つが中心です。

## 5 職域安全衛生担当者・産業保健職の心得

石綿は独特の特徴をもつ代表的な職業病リスク要因です。すでに世界中で数十万人の労働者の命を奪っており、過去のばく露の影響による死亡も今後数十年にわたって続きます。ばく露をすみやかに最小限にすることが世界中の産業保健にたずさわる者の最も重要な役割と考えられています。

石綿の被害はばく露から数10年後、多くは40年後以降に顕在化します。つまり40年後の健康のために現在の対策を行っていることとなります。一方、残存する石綿含有製品の廃棄がほぼ終了するのは2050年以降になります。21世紀を通じて息の長い対策が必要となりますが、そのためには職場での安全衛生活動の中に石綿対策をその一部として取り入れ、恒常的かつ総合的な取り組みを続けることが必要であり、リスクアセスメント、リスクコミュニケーションを適宜行いながら、関係者の参加による対策の向上を図ることが重要です。

(外山 尚紀)

### 参考文献

- 1) 森永謙二. アスベスト汚染と健康被害. 日本評論社, 2005.
- 2) 欧州環境庁. レイト・レッスンズ—14の事例から学ぶ予防原則. 七つ森書館, 2005.
- 3) NIOSH. Asbestos Fibers and Other Elongated Mineral Particle: State of the Science and Roadmap for Research