

石綿に関する基礎知識

1.1 石綿の物性等

1.1.1 石綿の定義と種類

(1) 鉱物学上の定義

石綿（アスベスト）とは、天然に産する鉱物群のうちで、高い抗張力と柔軟性を持つ絹糸状光沢の特異な繊維状集合（これをAsbestiformと呼ぶ）をなすものを指している。したがって、鉱物学上の分類にはアスベストという名称は使われていない。Asbestiformを呈する鉱物としては、

- ① フィロ珪酸塩鉱物に属する蛇紋石（Serpentine）族石綿のクリソタイル（白石綿）
- ② イノ珪酸塩鉱物に属する角閃石（Amphibole）族石綿で、これはアモサイト（茶石綿）、クロシドライト（青石綿）、アンソファイライト、トレモライト、アクチノライト

等いくつかの種類がある。これらの鉱物のうち肉眼的にAsbestiformをなさないものもあり、これらは単一格子の物理的・化学的性質は同一であり、顕微鏡下では、微細な繊維の不規則な集合をしていることから、アスベストとされることがある。

(2) 工業上の定義

石綿は種類により異なるが、一般に他の繊維状鉱物と比し、著しく高い抗張力と柔軟性を持ち、耐熱性、電気絶縁性、紡織性、耐薬品性を有している。そのため大量に産する地域において、工業原料として採掘されている。

工業的に石綿と呼ぶときは、肉眼的にAsbestiformをなした鉱物を採掘、加工して得た工業原料のみをいうことが多い。

(3) 環境大気中の定義

表 1. 1 に掲げた鉱物は、いずれもその単一繊維が極めて細く（クリソタイルでは太さ約0.02～0.03 μm ）、また Asbestiformをなすものは1～2 μm の細さ程度までの繊維束に容易に解綿でき、そのため微細な繊維又は繊維束の状態が容易に大気中に浮遊する。したがって、環境大気中の石綿とは、微細な繊維又は繊維束の状態が浮遊する表1.1の鉱物と定義できる。

1.1.2 石綿の化学成分と産状

(1) クリソタイル

一般的な化学式は $\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ で表される含水珪酸マグネシウムである。Fe、Alを不純物として少量含むことが多い。

クリソタイルは蛇紋石族グループに属し、蛇紋岩を構成する主要鉱物の1つである。蛇紋岩は超塩基性火成岩（稀には苦灰岩）が蛇紋石化作用を受けてできたものであり、クリソタイルは蛇紋岩中に網状をなしている。

表 1. 1 石綿の分類：石綿名と鉱物名、化学組成式、CAS No.など

	鉱物名	石綿名	化学組成式
蛇紋石族 Serpentines	クリソタイル (chrysotile)	クリソタイル (白石綿 chrysotile)	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ 12001-29-5*
角閃石族 Amphiboles	グリユネ閃石 (grunerite)	アモサイト (茶石綿 amosite)	$(Mg,Fe)_7Si_8O_{22}(OH)_2$ 12172-73-5*
	リーベック閃石 (曹閃石 riebeckite)	クロシドライト (青石綿 crocidolite)	$Na_2Fe_3^{2+}Fe_2^{3+}Si_8O_{22}(OH)_2$ 12001-28-4*
	アンソフィライト (直閃石 anthophyllite)	アンソフィライト石綿 (fibrous anthophyllite)	$Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$ 77536-67-5*
	トレモライト (透閃石 tremolite)	トレモライト石綿 (fibrous tremolite)	$Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ 77536-68-6*
	アクチノライト (陽起石 actinolite)	アクチノライト石綿 (fibrous actinolite)	$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$ 77536-66-4*

*: CAS No. (Chemical Abstracts Number)

(2) 角閃石石綿

一般的な化学式は表1. 1で示したとおりである。カミングトン閃石とグリユネ閃石は同構造の鉱物であり、カミングトン閃石は Mg^{2+} に富み Fe^{2+} に乏しく、グリユネ閃石は Fe^{2+} に富み Mg^{2+} に乏しく、 Mg^{2+} と Fe^{2+} の比の変化は連続的であるので 1つの鉱物系とみなせる。トレモライトとアクチノライトも同様の関係である。

角閃石は、重要な造岩鉱物であり、Asbestiformをなす、いわゆる角閃石石綿は変成岩中に産することが多い。

(3) 随伴鉱物

石綿の鉱石は、タルク（滑石 $(Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2)$ ）、ブルーサイト $(Mg(OH)_2)$ 等の随伴鉱物をしばしば伴う。

タルクは工業原材料として採掘されるが、商品としてのタルクには、しばしばクリソタイル、トレモライト等の微小な繊維を含んでいる。

1. 1. 3 石綿の化学的・物理的特性

石綿の特性としてあげられるのは、①繊維状で紡織性を有すること、②耐熱性に優れていること、③曲げや引張りに強いこと、④耐薬品性に優れていること、⑤熱絶縁性を有していること等である。

これらの特性の程度は、石綿の種類により異なってくるが、概括すれば以下のとおりであり、各種石綿の化学的・物理的特性を表 1. 2 にまとめた。

(1) 繊維構造

石綿は、非常に細かい繊維に解綿しても、なお電子顕微鏡で見ると、多数の微細繊維の集合体となっている。最も細いクリソタイルでは、この微細繊維を構成する単繊維は、太さが約 $0.02 \sim 0.03 \mu m$ で中空管状をなしている。その断面は主に円形をなしている。通常解綿操作で得られる最も細い繊維束の太さはだいたい $1 \sim 2 \mu m$ である。このように繊維が細いため、その表面積は非常に大きく、 $20 \sim 30 m^2/g$ の値を示している。

(2) 耐熱性

耐熱性は石綿の工業的利用価値を高めている重要な性質の1つであって、他の有機繊維の及ばないところである。

クリソタイルにおいては、だいたい $500^\circ C$ までは安定であり、それ以上の高温になると結晶水を放出しはじめ、 $800^\circ C$ 付近でだいたい完了し、 $13 \sim 16\%$ の強熱減量を示す。また、角閃石綿は一般にクリソタイルより高温で安定である。なお、繊維は結晶水の放出によってろくなり石綿としての特質を失う。

表 1. 2 各種石綿の化学的・物理的特性（大気中発がん物質のレビュー—石綿—，昭和 55 年 3 月及びアスベスト発生源対策討議会検討結果，昭和 55 年 6 月）

	クリソタイル	アンソフィライト	アモサイト	トレモライト	アクチノライト	クロシドライト
硬 度	2.5 ~ 4.0	5.5 ~ 6.0	5.5 ~ 6.0	5.5	約 6	4
比 重	2.4 ~ 2.6	2.85 ~ 3.1	3.1 ~ 3.25	2.9 ~ 3.2	3.0 ~ 3.2	3.2 ~ 3.3
比 熱	0.266	0.210	0.193	0.212	0.217	0.201
抗張力(kg/cm ²)	30,000	2,800	25,000	70 ~ 560	70	35,000
最大重量減温度 (°C)	982	982	871 ~ 982	982	N.A. ¹⁾	649
ろ過性能	遅い	中間速	速い	中間速	中間速	速い
電 荷	陽	陰	陰	陰	陰	陰
融点 (°C)	1521	1468	1399	1316	1393	1193
紡 糸 性	良好	不良	良	不良	不良	良
柔 軟 性	大 良好	不良	良 良好	不良	不良	良
耐 熱 性	高温で もろくなる	優秀	高温で もろくなる	良好 きわめて	N.A. きわめて	不良 高温で 溶融する
耐 酸 性	弱い	中	中	強い	強い	強い
耐アルカリ性	きわめて強い	強い	強い	きわめて強い	強い	強い
分解温度 (°C) ²⁾	450 ~ 700	620 ~ 960	600 ~ 800	600 ~ 850	950 ~ 1,040	400 ~ 600

注1) N.A. : 測定値なし

注2) 結晶構造が崩壊して脱水和物又は脱水素をきたし，強度を失う温度をいう。

(3) 引っ張り強さ，可撓性

石綿の引っ張り強さの大きいことも，石綿の工業的利用価値を高めた重要な性質の1つである。

石綿の可撓性は，主として繊維の細かさや結晶水の多少によって左右される。石綿繊維中で最も細く，しかも結晶水の多いクリソタイルが最も優れた可撓性を示す。

(4) 耐薬品性

クリソタイルは，一般に耐酸性はよくないが，耐アルカリ性には優れている。

クリソタイルはおよそ25%の苛性ソーダ中100~105°Cで5時間煮沸しても減量はわずか2%である。

(5) 熱絶縁性

石綿は一般的に熱絶縁性に優れている。熱絶縁性は耐熱性と相まって保温材料として使用する場合の重要な性質であるが，これは構成材料と組成状態によって左右される。

(6) 吸湿性

吸湿・吸水性は，保温材として使用する場合に考慮しなければならない性質である。石綿は有機繊維に比べ吸湿・吸水性は小さく，石綿の中で最も大きい吸湿率を示すクリソタイルでも，吸湿性は有機繊維の数分の一である。他の石綿に比べクリソタイルの吸湿・吸水性が大きい理由は，その繊維が他の石綿と比べて細く，かつ中空であるため大きな表面積を有することに起因すると考えられる。

(7) 安定性及び環境蓄積性

環境中においては，石綿の安定性及び環境蓄積性が問題となる。すなわち，通常的环境条件下では，半永久的に分解・変質せず，また，地表に沈降したものが再発じんすることがあるため，そのLife Timeは極めて長いことが指摘されている。

1.2 石綿の生産・使用

1.2.1 生産・輸入状況

工業原料としての石綿は、鉱物学上で定義した石綿を含む鉱石を採掘し、選鉱の後、粉碎して得られる。

採掘は露天堀が多く、粗鉱中の石綿含有率は2~20%程度まで様々だが、一般的には4~9%が多い。世界における工業原料としての石綿の国別生産量の推移は、数十年前は500万t前後で推移していたが、表1.3に示すように、ここ10年は世界全体で200~240万t程度で、横這いの状態にある。国別生産量で最も多いのは、ロシアの約92.5万t(平成20年)で、全体の4割強を占めている。そのほかでは中国、カザフスタン、カナダ、ブラジル、ジンバブエ等が主な生産国になっている。

わが国では鉱物標本的な量の各種石綿が全国各地にあり、ごく小規模な採掘も戦前は行われていた。戦後は、採掘に伴って排出されたボタ山廃材の再利用により、年間約0.5万t程度が生産されていたが、現在はその生産も中止されている。わが国の石綿輸入実績の推移は図1.1のとおりで、輸入量は、戦後漸増し、昭和36年には10万tとなり、昭和49年が最大の35万tで、それ以後平成元年頃までは20~30万tで推移したが、その後暫時減少し、平成16年10月の労働安全衛生法による石綿含有建材、石綿含有摩擦材、石綿含有接着剤の輸入、製造、使用の禁止に伴い、平成17年には約110tと大幅に減少し、更に平成18年9月からの石綿含有製品の輸入、製造、使用が禁止されたことに伴い、平成18年11月段階では石綿原綿の輸入はない。

国別輸入実績は表1.4のとおりであるが、禁止にいたるここ10年間での輸入先はカナダが最も多く、南アフリカ、ジンバブエ、ロシアがこれに次いでおり、上位2カ国で総輸入量の多くを占めている。

1.2.2 用途・製品

石綿は、前述のように紡織性、耐熱性等の多くの優れた特性を有しており、それらの特性を巧みに生かして工業原料として広範多岐に使用され、その製品は生活領域のすみずみにまで及んでいるとって過言ではない。

表1.3 世界の石綿生産量の推移 (U. S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries)

(千 t)

	ロシア	カナダ	中国	ブラジル	ジンバブエ	カザフスタン	南アフリカ	米国	その他	合計
平成9年	700	447	245	170	160	125	60	7	156	2,070
10年	650	330	250	170	140	125	20	6	149	1,840
11年	700	337	300	170	135	125	20	7	136	1,930
12年	750	340	260	170	110	125	19	5	121	1,900
13年	750	340	360	170	120	235	16	5	54	2,050
14年	750	272	360	209	130	291		3	120	2,130
15年	878	241	260	195	130	353			93	2,150
16年	875	200	355	195	150	347			110	2,230
17年	925	200	520	195	122	355			84	2,400
18年	925	244	350	236	100	355			90	2,300
19年	925	185	380	230	100	300			80	2,200
20年	925	175	380	220	100	300			75	2,180
21年予測	1,000	180	280	250	25	210			75	2,000

※その他：ギリシャ、スワジランド、インド、コロンビア、ルーマニア、ユーゴスラビア

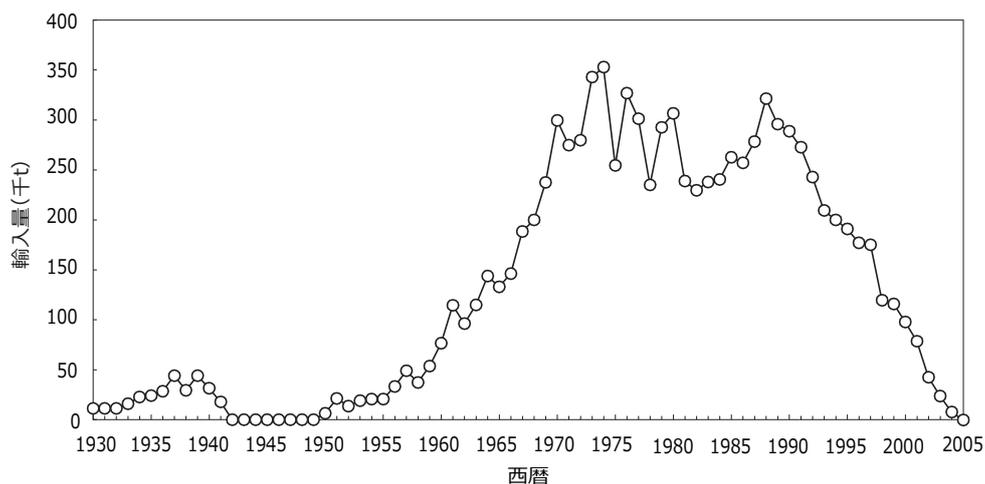


図 1.1 石綿の輸入量の推移（財務省貿易統計）

表 1.4 国別輸入量（財務省貿易統計）

(t)

	カナダ	南アフリカ	ジンバブエ	スワジランド	ロシア	米国	ブラジル	ギリシャ	中国	カザフスタン	その他	合計
平成 3 年	99,536	75,518	32,993	1,358	37,258	14,462		4,198			6,765	272,088
4 年	99,218	64,312	27,960	2,914	23,245	10,977	10,160	3,180	228		85	242,279
5 年	86,675	56,897	29,632	1,578	14,717	10,486	9,861				0	209,846
6 年	91,006	48,694	27,979	1,251	10,771	9,070	10,880	182			3	199,836
7 年	85,890	42,181	29,489	976	11,952	9,716	10,462	554	162		93	191,475
8 年	81,838	35,035	27,783	1,660	10,589	10,118	10,184	466	142		54	177,869
9 年	88,266	22,355	32,137	2,162	11,593	7,150	12,048	256			54	176,021
10 年	57,954	16,822	24,919	1,580	7,730	5,687	5,200	776	128		17	120,813
11 年	59,146	13,302	24,392	1,586	4,674	6,835	6,359	482			367	117,143
12 年	51,618	7,648	20,780	1,010	5,483	5,256	6,560	220	20		0	98,595
13 年	44,203	6,960	14,684	526	2,883	5,127	5,080				0	79,463
14 年	24,430	784	11,265		1,738	2,154	2,974			20	25	43,390
15 年	13,332	490	6,915		20	837	3,059				0	24,653
16 年	5,380	288	886				1,595		37		0	8,186
17 年	13	0	77				20				0	110
18 年	0		0				0					0

製品の種類は少なくとも 3,000 以上あったと言われており、JIS 規格も相当数にわたって定められている。

石綿製品は、石綿工業製品と建材製品に大きく分けられる。図 1.2 のとおり、わが国の石綿消費量のうち、約 93%を建材製品が占めている（平成 7 年度）。また、使用分野では、建造物材料が約 9 割を占めており、自動車部品への使用は全体の 4%程度となっている。新車に対して、自動車部品への石綿の利用は、国内の自動車メーカーの自主規制により順次代替化が進み、平成 6 年度末において、乗用車、小型商用車、軽四輪車については完全に代替が完了し、トラック・バス、二輪車についても概ね代替が完了している。

なお、平成 16 年 10 月 1 日から労働安全衛生法により石綿含有建材、石綿含有摩擦材、石綿含有接着剤の輸入、製造、使用等が禁止となり、さらに平成 18 年 9 月から石綿を 0.1 重量%を超えて含有する製品の輸入、製造、使用等を禁止した。（限定用途の石綿含有製品のみ、当分の間、輸入、製造、使用等の禁止の猶予措置がとられていたが、平成 24 年 3 月以降、猶予措置は撤廃されている。）

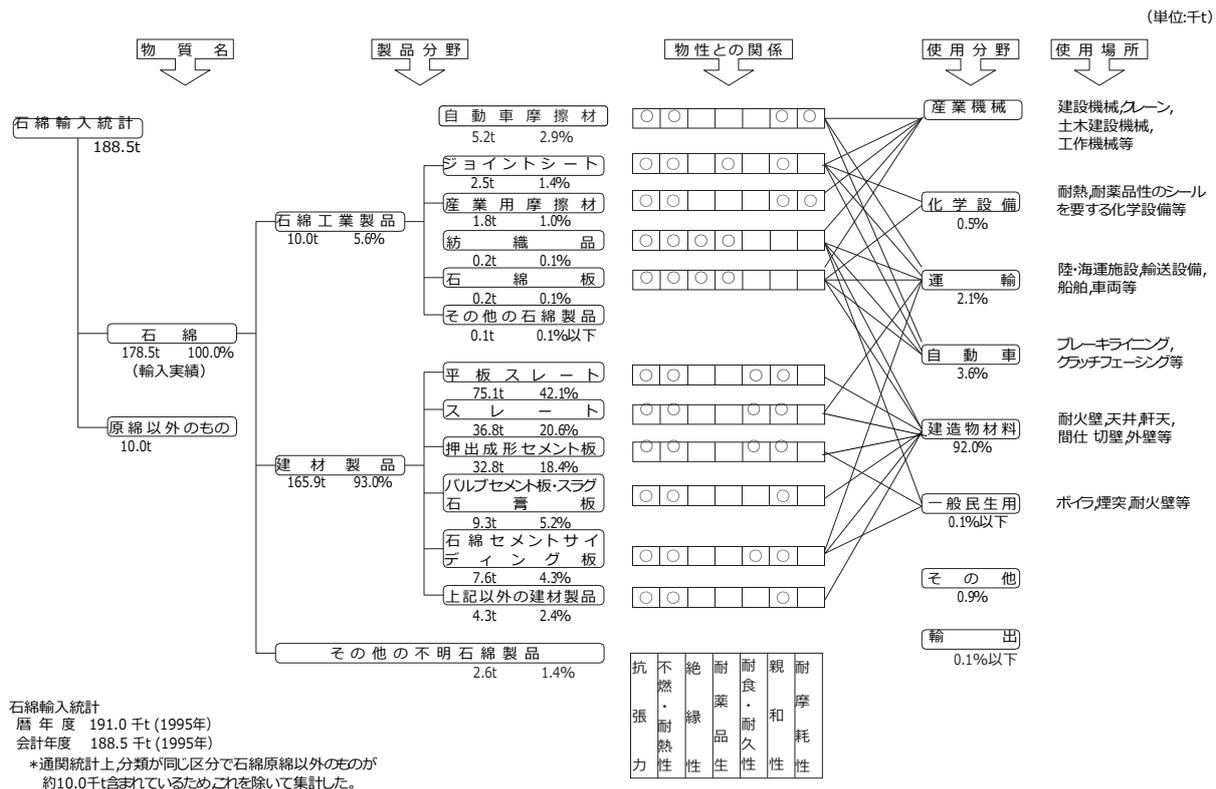


図 1. 2 わが国における石綿製品等の使用状況 (1996 年)
(社) 日本石綿協会

1. 2. 3 建築物における石綿の使用

石綿の消費量の約 9 割は図 1. 2 のとおり、建材製品に係わるものである。鉄骨鉄筋コンクリート造、鉄筋コンクリート造、鉄骨造、コンクリートブロック造の構造のものには、相当量の石綿が用いられている。石綿は吹付け石綿として直接壁、天井、柱、梁等に吹き付けられたほか、波形石綿スレートや石綿セメント板として床材、壁材、天井材、軒天材、防火壁材等に用いられた。

吹付け石綿としては、主としてクロシドライト又はアモサイトが使用され、結合材と混合の上、吹付機を用いて吹き付けられた。(最近の吹付け材の分析結果では、トレモライトが認められることがある)

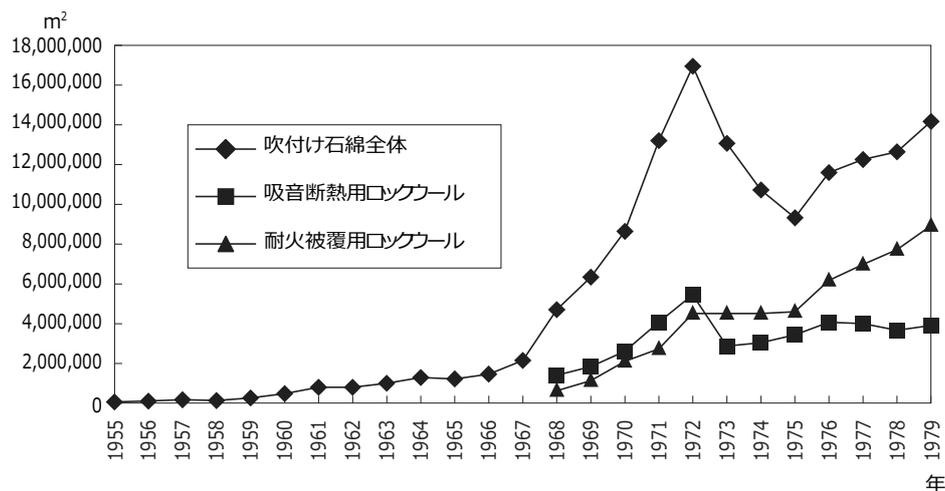
吹付け石綿の使用は、昭和 30 年頃から始められ、昭和 39 年に防音用として航空基地付近の建築物に使われたことをきっかけとして一般に使用されるようになった。

昭和 42 年頃から建築物の超高層ビル化、鉄骨構造化に伴い、鉄骨造建築物の軽量耐火被覆材として注目を浴びて大量に使われ始め、設備投資が盛んに行われた昭和 46、47 年の高度成長期が最必要期であった。

石綿を吹き付ける作業は、作業に従事する労働者の健康障害を防止する観点から、昭和50年、特定化学物質等障害予防規則により石綿を 5 重量%を超えて含有する吹付けが原則禁止になり、平成 7 年には 1 重量%を超えて含有する吹付けが原則禁止に、さらに平成 17 年石綿障害予防規則の制定に伴い、1 重量%を超えて含有する吹付けが完全に禁止となった。

この間、石綿含有率 5 重量%以下の吹付けロックウールが平成元年ごろまで使用されているが、ロックウールを含まない原材料での吹付け材(たとえば吹付けバーミキュライト、吹付けパーライト)については、石綿使用中止時期が明確ではない。

吹付け石綿及び石綿含有吹付けロックウールに使われた石綿の量は、図 1. 3 のとおりである。なお、平成 7 年の労働安全衛生法施行令で、石綿のうち、アモサイト、クロシドライトの輸入、製造等が禁止になり、平成 18 年 労働安全衛生法の改正で石綿が 0.1 重量%を超える製品の輸入、製造等が全面禁止となった。



(注) 生産量 (t) のデータを基に、吹付け石綿は、密度 0.3、厚み 10 mm、吸音断熱用ロックウールは、密度 0.3、厚み 45 mm、耐火被覆用ロックウールは、密度 0.3、厚み 15 mm と仮定して、面積を求めた。また、吹付け石綿全体については、昭和 43 年から昭和 49 年までは、吹付け石綿と石綿含有ロックウールの合計であり、昭和 50 年以降は、石綿含有ロックウール（吸音断熱用及び耐火被覆用）である。

図 1.3 吹付け石綿、石綿含有吹付けロックウール生産量の推移
(平成 17 年 11 月建築物の解体等における石綿飛散防止検討会報告書)

1.3 環境中の石綿濃度

1.3.1 環境中の石綿濃度

表 1.5 に示すように、石綿の一般大気環境濃度のモニタリング結果の幾何平均値をみると、住宅地域については 1.2f/L が 0.23f/L に、商業地域でも 1.2f/L が 0.19f/L と、昭和 60 年度に比べ平成 7 年度の濃度はかなり低くなってきている。また、幹線道路周辺地域では、昭和 60 年度に 1.0f/L であったのが、平成 7 年度には 0.41f/L に減少している。

さらに、環境省では、平成 17 年 12 月 27 日付け「アスベスト問題に係る総合対策」（「アスベスト問題に関する関係閣僚による会合」決定）に基づき、旧石綿製品製造事業場等、廃棄物処分場及び建築物の解体工事等の作業現場を平成 22 年度は 54 地点 142 箇所、平成 23 年度は 54 地点 142 箇所、平成 24 年度は 54 地点 138 箇所を対象に大気中の石綿濃度の測定を行った。表 1.6.1 から表 1.6.3 に示すように、いずれの地域分類においても特に高い濃度は見られず、現時点で直ちに問題になるレベルではないという結果であった。

表 1.5 石綿の一般大気環境濃度レベル（環境省資料）

(単位 f/L)

項目 地域	昭和 60 年度			平成 3 年度			平成 5 年度			平成 7 年度		
	検体数	検出範囲	幾何平均	検体数	検出範囲	幾何平均	検体数	検出範囲	幾何平均	検体数	検出範囲	幾何平均
商工業地域	84	0.30 ~ 6.1	1.2	38	0.2~1.9	0.67	60	ND ~ 1.3	0.17	60	0.04 ~ 1.28	0.19
住宅地域	110	0.26 ~ 6.2	1.2	30	0.09~2.9	0.34	59	ND ~ 1.2	0.14	78	ND~1.76	0.23
幹線道路 周辺地域	140	ND ~ 10	1.0	38	0.2~2.3	0.61	60	ND ~ 3.7	0.43	60	ND~1.96	0.41

表 1.6.1 平成 22 年度 アスベスト大気濃度調査結果

地域分類	地点数	測定箇所数	測定データ数	総繊維数濃度			
				最小値 (本/L)	最大値 (本/L)	幾何平均値 (本/L)	
発生源周辺地域	旧石綿製品製造事業場等	1	6	12	0.06 未満	0.11	0.07
	廃棄物処分場等	10	20	40	0.06	0.61	0.14
	解体現場(敷地周辺)	10	40	40	0.06 未満	1.3	0.12
	蛇紋岩地域	2	4	8	0.06	0.17	0.11
	高速道路及び幹線道路沿線	6	12	24	0.06	0.33	0.14
バックグラウンド地域	住宅地域	7	13	26	0.06	0.22	0.08
	商工業地域	5	10	20	0.06	0.39	0.13
	農業地域	1	2	4	0.07	0.15	0.11
	内陸山間地域	4	7	14	0.06	0.17	0.10
	離島地域	4	8	16	0.06	0.35	0.10
その他の地域	破碎施設	4	20	20	0.06	15	0.21
合 計		54	142	224	—	—	—

表1.6.2 平成 23 年度 アスベスト大気濃度調査結果

地域分類	地点数	測定箇所数	測定データ数	総繊維数濃度			
				最小値 (本/L)	最大値 (本/L)	幾何平均値 (本/L)	
発生源周辺地域	旧石綿製品製造事業場等	1	6	6	0.07	0.13	0.10
	廃棄物処分場等	10	20	20	0.07	0.31	0.14
		(1)	(2)	(2)	(0.14)	(0.18)	(0.16)
	解体現場(敷地周辺)	10	40	40	0.06	2.3	0.21
	蛇紋岩地域	2	4	4	0.09	0.15	0.12
		(1)	(2)	(2)	(0.12)	(0.15)	(0.13)
	高速道路及び幹線道路沿線	6	12	12	0.05	0.34	0.15
(2)		(4)	(4)	(0.05)	(0.08)	(0.07)	
バックグラウンド地域	住宅地域	7	13	13	0.05	0.19	0.10
		(3)	(6)	(6)	(0.05)	(0.17)	(0.09)
	商工業地域	5	10	10	0.06	0.26	0.12
	農業地域	1	2	2	0.16	0.21	0.18
	内陸山間地域	4	7	7	0.05	0.13	0.08
		(2)	(3)	(3)	(0.05)	(0.09)	(0.06)
	離島地域	4	8	8	0.06	0.11	0.07
その他の地域	破碎施設	4	20	20	0.06	4.3	0.37
合 計		54	142	201	—	—	—

注) 表中の () 内の数値は地域数における内数である

表1.6.3 平成 24 年度 アスベスト大気濃度調査結果

地域分類	地点数	測定箇所数	測定データ数	総繊維数濃度			
				最小値 (本/L)	最大値 (本/L)	幾何平均値 (本/L)	
発生源周辺地域	旧石綿製品製造事業場等	1	6	12	0.056	0.43	0.21
	廃棄物処分場等	10	20	26	0.056	0.70	0.22
	解体現場(敷地周辺)	10	36	36	0.056	1.7	0.44
	蛇紋岩地域	2	4	8	<0.056	0.23	0.14
	高速道路及び幹線道路沿線	6	12	24	<0.056	0.92	0.21
バックグラウンド地域	住宅地域	7	13	26	<0.056	0.80	0.13
	商工業地域	5	10	20	0.15	0.66	0.33
	農業地域	1	2	4	0.28	0.48	0.34
	内陸山間地域	4	7	14	0.056	0.49	0.14
	離島地域	4	8	16	0.11	1.0	0.32
その他の地域	破碎施設	4	20	20	0.11	0.62	0.31
合 計		54	138	206	—	—	—

1.3.2 建築物の解体現場周辺の石綿濃度

建築物の解体現場における石綿飛散に関する文献は少なくない。しかし、これらの文献では、石綿含有建築材の施工部位（屋内か屋外か）、解体方法（手ばらしか機械破碎か、湿潤化の有無、負圧除じん装置の設置有無、薬剤の使用有無等）等が不明確なものが多いため、可能な限り施工部位、解体方法が明確な文献に絞って、整理し、まとめたものが表1.7（散水あり）、表1.8（散水なし）である。

なお、表1.7, 1.8で、表中のJAWE法（日本作業環境測定協会法）は、位相差顕微鏡による総繊維数濃度であり、分散染色法は、位相差・分散顕微鏡により、石綿と特定した上での石綿濃度である。

表 1.7 石綿含有建材解体時特定じん等環境濃度測定結果（散水あり）（環境省 建築物の解体等における石綿飛散防止検討会報告書）

一般名	製品名	部位	内外区分	石綿の種類	石綿含有率	作業環境測定			敷地境界（作業場周辺）			敷地境界（敷地外周等）			備考		
						JAWE 法 (f/L) 範囲	平均	範囲	分散染色法 (f/L) 範囲	平均	範囲	JAWE 法 (f/L) 範囲	平均	範囲		分散染色法 (f/L) 範囲	平均
石綿含有保温材	塗り材	配管	内	白・茶	90 ~	3368.5 ~ 4311.8	3840.2	22.1 ~ 31.3	26.7			3.1 ~ 9.9	5.9	ND ~ 2.0	1.4	手ばらし	
石綿含有成形板	石綿含有スレートボード	天井	内	茶	10 ~ 15	6.36					0.15					パール	
石綿含有成形板	石綿含有スレートボード	外壁	内	白	10 ~ 15	164.0 ~ 335.0	228.0				2.9 ~ 3.9	3.4				ハンマー 窓開放状態	
石綿含有成形板	石綿含有フロア材	床	内	白	9	0.06					0.10					ケレン棒	
石綿含有成形板	石綿含有フロア材	床	内	白	9	93.5	93.5	1.4	1.4		22.2 ~ 91.6	46.7	ND			手ばらし	
石綿含有成形板	石綿含有フロア材	床	内	白	9	17.0 ~ 21.2	19.1	ND ~ 7.1			67.0	67.0	ND	4.3 ~ 103.6	44.7	ND	手ばらし
石綿含有成形板	石綿含有天井ボード及び 石綿含有フロア材	天井・床	内	白	10 ~ 15	2.0 ~ 8.0										パール・スコップ	
石綿含有成形板	石綿含有セメントけい酸 カルシウム板	外壁	内	白	10 ~ 15	538.0 ~ 657.0	609.0				4.2 ~ 6.4	5.3				ハンマー, 窓開放状態	

表 1.8 石綿含有建材解体時特定粉じん等環境濃度測定結果（散水なし）（環境省 建築物の解体等における石綿飛散防止検討会報告書）

一般名	製品名	部位	内外区分	石綿の種類	石綿の含有率	作業環境測定				敷地境界（作業場周辺）				敷地境界（敷地外周等）				備考
						JAWE法 (f/L)		分散染色法 (f/L)		JAWE法 (f/L)		分散染色法 (f/L)		JAWE法 (f/L)		分散染色法 (f/L)		
						範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均	
石綿含有保温材	塗り材	配管	内	白	90 ~			4.9	4.9	1.2	1.2	3.9~9.2	6.6	ND~1.7	1.1	手ばらし 天井, 壁部解体後に解体		
石綿含有保温材	塗り材	配管	内	白	90 ~			10.4	10.4	1.3	1.3	4.3~5.5	5.0	0.7~0.9	0.8	手ばらし		
石綿含有断熱材	屋根用折版裏石綿断熱材	屋根	内	白	90 ~	23.3 ~ 31.6	27.4	1.8	1.0~2.3	8.3	ND~1.4	9.3~15.4	10.8	ND	ND	手ばらし 前日に薬剤により固定化		
石綿含有断熱材	屋根用折版裏石綿断熱材	屋根	内	白	90 ~	23.8 ~ 202.8	95.0	15.0	2.4~26.2	4.8	ND~1.8	1.1	2.3~6.1	4.2	ND	手ばらし 前日に薬剤により固定化		
石綿含有断熱材	屋根用折版裏石綿断熱材	屋根	内	白	90 ~	20.6 ~ 96.1	42.8	10.2	1.9~30.2	6.8	ND	ND	1.8~8.8	5.0	ND	手ばらし		
石綿含有断熱材	屋根用折版裏石綿断熱材	屋根	内	白	90 ~	15.8 ~ 283.9	104.6	29.9	1.7~79.7	6.5	ND~0.7	0.6	2.5~6.1	4.8	ND	手ばらし		
石綿含有成形板	石綿含有住宅屋根用化粧スレート	屋根	外	白	10~15	18.4 ~ 36.8	29.2			10.2		2.2 ~ 5.4	3.6			手ばらし		
石綿含有成形板	石綿含有スレート波板	屋根	外	白	10~15	12.1 ~ 19.5	17.0	2.7	1.8~4.0	8.3 ~ 38.8	22.7	ND~5.1	2.3	13.4~20.3	17.0	ND~1.8	1.0	手ばらし
石綿含有成形板	石綿含有スレート波板	外壁	外	白	10~15	5.8 ~ 8.2	6.7	2.2	1.4~2.9	7.0 ~ 37.4	18.5	ND~2.3	0.9	8.2~25.7	15.2	ND~1.2	0.8	手ばらし
石綿含有成形板	石綿含有スレート波板	屋根	外	白	10~15	44.4	44.4	ND	ND				5.8~47.9	23.1	ND	ND	手ばらし	
石綿含有成形板	石綿含有スレート波板	屋根	外	白	10~15	184.0	184.0	ND	ND	10.1 ~ 14.3	11.4	ND~1.5	1.7				手ばらし	
石綿含有成形板	石綿含有スレートボード	天井	内	白	10~15	2756.0	2756.0	78.0	78.0	75.1 ~ 1056.2	337.7	ND	ND				ケレン機破砕 掃除（ちりととり, ホウキ）	
石綿含有成形板	石綿含有スレートボード	天井	内	白	10~15	3840.0	3840.0										ケレン機破砕	
石綿含有成形板	石綿含有スレートボード	内壁	内	白	10~15	234.0~256.0	245.7			4.6 ~ 5.2	4.9						手ばらし窓開放状態	
石綿含有成形板	石綿含有セメントけい酸カルシウム板	内壁	内		10~15	275.0~441.0	374.0			2.6 ~ 2.9	2.8						手ばらし窓開放状態	
石綿含有成形板	石綿含有フロア材	床	内	白	9	178.1	178.1	22.3	22.3	5.4 ~ 10.7	8.6	1.0~2.7	1.9				（電動）ケレン	

1.3.3 阪神・淡路大震災に伴う大気環境中の石綿濃度

平成7年1月の阪神・淡路大震災において被害を受けた建築物の解体等に伴う石綿飛散問題を受けて、環境省は、兵庫県及び神戸市の協力を得て、大気環境モニタリングを実施している。当時の石綿の一般環境濃度は、2月、3月時において、一部の地域で高い地点がみられたものの、4月以降においては改善の傾向に向かい、夏期には表1.5と同程度の数値となっている（表1.9）。

また、解体現場周辺の環境調査結果（敷地境界濃度）は、3月～6月においては高い地点がみられたが、7月以降には、解体等において石綿の飛散防止対策が浸透したものと推察される（表1.10）。

表1.9 追跡継続調査結果（継続17地点）

(f/L)

調査年月日	最大値	最小値	中央値	幾何平均値
H7.2.6 - 2.12	4.9	0.2	1.0	1.0
3. 9 - 3.16	6.0	0.3	1.0	1.2
4.24 - 4.28	2.1	0.2	1.0	0.9
5.29 - 6. 2	1.4	0.5	0.8	0.8
6.26 - 6.30	1.7	0.3	0.7	0.8
7.24 - 7.28	1.2	0.3	0.7	0.7
8.28 - 9. 1	0.8	0.3	0.5	0.5
9.25 - 9.29	0.8	0.3	0.6	0.6
10.23 -10.27	0.7	0.2	0.5	0.4

表1.10 建築物解体現場周辺調査結果

(f/L)

調査年月日	検体数	最大値	最小値	中央値	幾何平均値
H7.3.9 - 3.16	20	7.7	0.8	2.6	3.0
4.24 - 4.28	16	9.5	0.9	5.4	3.8
5.29 - 6. 7	18	19.9	0.9	4.5	4.5
6.26 - 7.18	20	9.5	0.3	2.3	2.0
7.25 - 8. 8	22	9.9	0.2	0.9	1.3
8.22 - 9.21	10	4.5	0.2	0.5	0.7
9.29 -10.23	16	8.6	0.1	0.4	0.7

1.3.4 東日本大震災にともなう大気環境モニタリング

平成23年3月11日に発生した東日本大震災により、広範囲にわたる地域で甚大な被害が発生し、多くの建築物等が損壊するとともに、膨大な量の災害廃棄物が発生した。その後の災害復旧工事における建築物などの解体・改修工事、がれきの処理に伴い、アスベストを始めとする粉じんの飛散が懸念された。

そこで、被災した住民等へのばく露防止と有する不安の解消の観点から「避難所等の周辺」や「被災自治体において環境省が毎年実施している地点」についてアスベストの飛散防止の観点から「倒壊、半壊又は一部破損している建築物等で解体・改修中の現場」や「破砕等を行っているがれき処理現場及びがれきの集積場」等の地点を選定し、大気環境モニタリングを定期的実施している。

定期的な大気環境モニタリングは平成26年2月までに1次から11次まで11回実施され、その結果は「東日本大震災アスベスト対策合同会議」において会議資料として報告している。

選定された地点の詳細データは、環境省のHPに掲載されている。

http://www.env.go.jp/jishin/asbestos_jointconf.html

1.4 石綿の健康影響

石綿にばく露して引起される疾患としては、じん肺（石綿肺）、肺がん、悪性中皮腫、良性石綿胸水（胸膜炎）、びまん性胸膜肥厚がある。その他、致命的な疾患ではないが、石綿ばく露の重要な指標として胸膜プラーク（胸膜肥厚斑）がある。それらを表 1.11 に示した。

表 1.11 石綿ばく露によって生じる石綿関連疾患等

部位	石綿ばく露に非特異的	石綿ばく露に特異的
肺	じん肺 肺がん びまん性間質性肺炎	石綿肺
胸膜	良性胸膜炎 びまん性胸膜肥厚 円形無気肺	胸膜中皮腫 胸膜プラーク
腹膜		腹膜中皮腫

1.4.1 石綿肺

石綿肺は、石綿の健康影響として最も早くから注目されている疾患で、職業上比較的高濃度あるいは長期にわたって石綿を吸入した労働者に起こるじん肺の一種である。吸入した石綿が細気管支や細胞に刺激を与えて炎症を起こし、次第に終末肺気管支周辺や肺泡間質の線維化をきたし、肺機能障害を起こすことになる。ばく露から日が経っていない段階で石綿肺が検出されることはほとんどなく、初期段階の石綿肺の場合でも、最初のばく露から10年以上経ていることが多い。症例の大多数において、石綿肺は石綿にばく露することがなくなってからも進行するようであるが、初期段階の症例では、さらにばく露し続けられない限り、X線撮影の結果は何年もほとんど変化しない。

石綿肺は、石綿の種類によって発生率や重症度を左右するという確証はないが、紡織工場でのリスクが鉱山、採石場、摩擦材の製造工場よりも高いようである。石綿肺による肺線維症が進展すると、呼吸不全で死亡する場合もある。死亡率は、ばく露年数とばく露の程度によって影響されるが、年齢との相関はなく、喫煙者の死亡率が高くなるといわれている。

また、石綿肺を有する患者及び石綿にばく露した動物実験において、免疫学的検査項目の数値が変化した例が観察されている。しかし、石綿肺の発症に、これらの変化がどの程度影響を与えたかについては、明らかではない。

1.4.2 肺がん

昭和10年に Lynch と Smith によって、石綿肺に合併する肺がんの症例が最初に報告された。その後、昭和30年に Doll がイギリスの紡織工場で働く労働者を対象にした疫学調査で、この紡織工場で20年以上働く労働者の肺がん死亡率が、一般の住民に比べて13.7倍も高いことを検証した。

石綿のばく露から肺がんの発症までには、一般に15～40年の長い潜伏期間があり、石綿ばく露量が多いほど肺がんの発生率が高いことも確認されている。肺がんは石綿ばく露に特異的でなく、かつ長い潜伏期間の後に発症するため、石綿に起因した肺がんを一般の肺がんと鑑別するのにかなりの困難を伴うことがある。現在、わが国では石綿ばく露の職歴を調べるとともに臨床所見（石綿肺や胸膜プラークの有無、肺内に残された石綿繊維や石綿小体の量の計測値など）を根拠にした基準が設けられている。

石綿の発がん性について石綿ばく露と喫煙の関係を表 1.12 に掲載した。

1.4.3 中皮腫

胸膜、心膜、腹膜等のしよ膜腔を覆う中皮表面及びその下層の組織から発生する、きわめて予後不良な悪性腫瘍（がん）である。胸膜中皮腫は壁側胸膜側に生じる。組織型は、上皮型、肉腫型、二相型、特殊型があり、現在では免疫化学診断で確定される。中皮腫は石綿ばく露から20～50年の長い潜伏期間の後に発症するため、日本では、近年になり、**図 1.4** に示すように増加傾向にある。

中皮腫発生の8割程度は、石綿に起因するといわれているが、石綿の種類によって差があることも知られており、クロシドライトの危険性が最も高く、アモサイトがこれに次ぎ、クリソタイルはクロシドライト、アモサイトよりも危険性が低いといわれている。

しかし、中皮腫の発症と石綿のばく露量の反応関係に関する信頼のおけるデータはない。

表 1.12 石綿ばく露と喫煙が肺がん死亡の相対危険比に及ぼす影響
(中館, 石綿の健康影響, 医学のあゆみ, 147, 527—529, 1988)

Hammond 1979	石綿ばく露		McDonald 1980	石綿ばく露		
	なし	あり		なし	中等度	高度
非喫煙者	1.0	5.17	非喫煙者	1.0	2.0	6.9
			中等度喫煙者	6.3	7.5	12.8
喫煙者	10.85	53.24	高度喫煙者	11.8	13.3	25.0

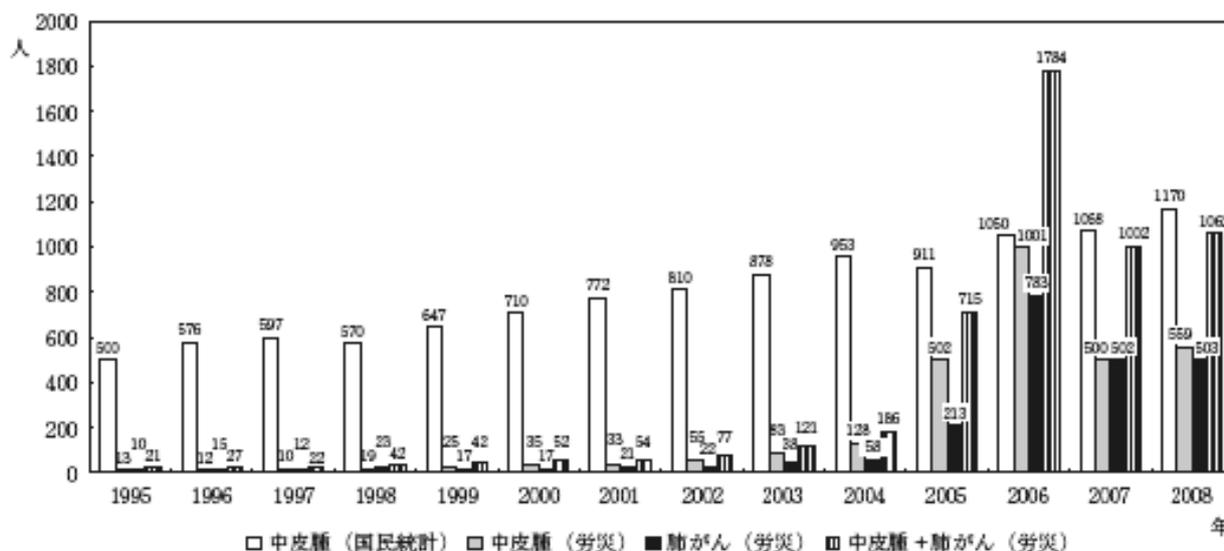


図 1.4 中皮腫死亡者数と労災認定

1.4.4 良性石綿胸水（石綿胸膜炎）

石綿ばく露によって生じる非悪性の胸水（胸腔に貯留した生体液）をいう。石綿ばく露以外でも胸水貯留は生じることがあるため、診断基準は、①石綿ばく露歴がある、②胸水が存在する、③胸水の原因となる他の疾患がない、④胸水発生後、3年間悪性腫瘍が発生しない、といった鑑別が重要である。

自覚症状はある場合と、なくて健診で偶然見つかる場合がある。胸水は血性のこともあれば非血性のこともある。一側に発生し、自然に消退して、反対側に発生することもあれば、両側に繰り返し発生することもある。石綿ばく露開始から10年以内に発生することもあれば、30—40年後に発生することもある。臨床上、注意すべきは、当初胸水細胞診では悪性細胞を認めなかったのが、経過観察中に悪性細胞を認めるようになり、原発巣が見当たらないような場合には、悪性中皮腫を疑って対処すべきである。

1.4.5 びまん性胸膜肥厚

胸膜プラークが壁側胸膜の病変で、臓側（肺側）胸膜との癒着を伴わないのに対して、びまん性胸膜肥厚は、臓側胸膜の病変で、壁側胸膜との癒着を伴う。びまん性胸膜肥厚は、胸膜プラークに比べて石綿ばく露との関係が低く、必ずしも石綿による発生とは限らない。結核性胸膜炎の後遺症や、リウマチ性疾患、全身性エリテマトーデス（SLE）、強直性脊椎炎（AS）、薬剤起因性胸膜疾患との鑑別が必要なこともある。こうした鑑別がなされ石綿ばく露があった場合は、労災補償等の対象疾病になる。

1.4.6 胸膜プラーク（胸膜肥厚斑）

胸膜プラークは、壁側胸膜側や横隔膜に限局性で生じる肥厚斑で、臓側（肺側）胸膜との癒着を伴わず、致命的でなく、肺機能障害も示さない。しかし、石綿ばく露に特異的とされていて過去の石綿ばく露の指標として重要である。石綿ばく露から長期になるに従い胸膜プラークは石灰化を伴うようになる。胸部 X 線や胸部 CT で肺がん患者や悪性中皮腫患者に胸膜プラークを認めた場合、あるいは胸腔鏡検査や手術時・剖検時に肉眼で認めた場合には、その患者が過去に石綿への職業ばく露、副次的職業ばく露、近隣ばく露、家族ばく露などがあったことを疑って詳細に問診等を行うことが必要である。石綿ばく露歴の記録が不十分である場合は、詳細な職業歴、アルバイト歴、居住歴、家族の職業などを広く調べ、石綿のばく露の機会を把握すべきである。

1.5 石綿に係る法規制の変遷

石綿に係る法規制は、石綿製造工場等における労働者の健康障害予防のために、昭和35年（1960）に制定された「じん肺法」から始まった。昭和46年（1971）に「特定化学物質等障害予防規則」（特化則）が制定されたことにより、その前後で石綿によるばく露の状況が大きく変化したと考えられている。また、石綿のがん原性等に着目した対策の強化として、昭和50年（1975）に特化則が改正され、さらに、建築物の解体等に伴う労働者の石綿ばく露防止措置を強化するため、石綿障害予防規則が平成17年（2005）に制定されている。

石綿の飛散による大気汚染を防止するため、平成元年（1989）に大気汚染防止法（以下「大防法」という。）の改正により、石綿製品製造工場に対する規制が導入され、敷地境界基準が設定された。また、平成3年（1991）の廃棄物の処理及び清掃に関する法律の改正に伴い、廃石綿等が特別管理産業廃棄物に指定された。さらに、平成7年（1995）の阪神・淡路大震災による倒壊ビルの解体等に伴う石綿飛散問題が契機となって、平成8年（1996）に大防法が改正され、吹付け石綿が使用されている建築物の解体等の作業に対する規制が開始された。平成17年6月末以降の石綿問題を受けて、同年12月の大防法施行令・施行規則の改正により、規制対象の建築物の規模要件等の撤廃と石綿含有断熱材等の規制対象への追加が、平成18年2月には「石綿による健康等に係る被害の防止のための大気汚染防止法等の一部を改正する法律」が制定により、建築物の解体等の作業と同様に、石綿が使用されている工作物の解体等の作業に対する規制が導入され、平成18年（2006）10月から施行された。これらの推移を表 1.13 に示す。なお、石綿による健康被害の救済のために、平成18年に「石綿による健康被害の救済に関する法律（平成18年3月27日施行）が制定され、石綿による指定疾病（中皮腫、肺がん）に罹患した方等に対する救済措置がとられ、平成22年7月には石綿による指定疾病を追加（著しい呼吸障害を伴う石綿肺、びまん性胸膜肥厚）した。

表 1.13 石綿関係法規の変遷

年号	法規, 通達名	法規・通達の概要
昭和 35 年 (1960)	「じん肺法」制定	じん肺健診についての規定（石綿も対象）
昭和 46 年 (1971)	「労働基準法特定化学物質等障害予防規則（特化則）」制定	製造工場が対象, 局所排気装置の設置, 測定の義務付け（測定方法の規定なし）
昭和 47 年 (1972)	「労働安全衛生法」制定 「特化則」再制定	労働安全衛生法が新たに制定され, 特化則は同法に基づく規定に
昭和 50 年 (1975)	「労働安全衛生法施行令」の改正	名称等表示（石綿 5%超対象）
	「特化則」の大改正（昭和45 年 I L O 職業がん条約批推のため）	石綿 5% 超対象, 取扱い作業も対象, 石綿等の吹付け作業の原則禁止, 特定化学物質等作業主任者の選任, 作業の記録, 特殊健診の実施, 掲示等
昭和 63 年 (1988)	告示「作業環境評価基準」	法規に規定されている各種物質の管理濃度を規定（石綿も対象: 2 f/cm ³ ）
平成元年 (1989)	「大気汚染防止法（大防法）・同施行令・同施行規則」の改正	石綿を特定粉じんとし, 特定粉じん発生施設の届出, 石綿製品製造 / 加工工場の敷地境界基準を 10 f/L と規定
平成 3 年 (1991)	「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（廃棄物処理法）の改正	特別管理産業廃棄物として「廃石綿等」を新たに制定。吹付け石綿, 石綿含有保温材等の石綿含有廃棄物が該当
平成 7 年 (1995)	「労働安全衛生法施行令」の改正	アモサイト, 青石綿の製造等禁止,
	「労働安全衛生規則」の改正	吹付け石綿除去作業の事前届出
	「特化則」の改正	石綿 1 % 超まで対象が拡大, 吹付け石綿除去場所の隔離, 呼吸用保護具, 保護衣の使用
平成 8 年 (1996)	「大防法」の改正	特定建築材料（吹付け石綿）を使用する一定要件をみたす建築物の解体・改修・補修する作業が「特定粉じん排出等作業」となり, 事前届出, 作業基準の遵守義務を規定
平成 9 年 (1997)	「大防法施行令・同施行規則」の改正	
平成 11 年 (1999)	「特定化学物質の環境への排出量の把握等及び管理の改善の促進に関する法律」制定	特定第一種指定化学物質として石綿が規定され, 年間 500kg 以上使用する場合に, 環境への移動・排出量を国への報告義務付け
平成 16 年 (2004)	「労働安全衛生法施行令」の改正	石綿含有建材, 摩擦材, 接着剤等 10 品目が製造等禁止
	告示「作業環境評価基準」	石綿の管理濃度を改正（施行期日 2005.4.1）
平成 17 年 (2005)	「石綿障害予防規則」の制定（施行期日 2005.7.1）	特定化学物質等障害予防規則から, 石綿関連を分離し, 単独の規則である石綿障害予防規則を制定。解体・改修での規制（届出, 特別教育, 石綿作業主任者等）を追加
平成 17 年 (2005)	「大防法施行令・同施行規則」の改正（施行期日 2006.3.1）	吹付け石綿の規模要件等の撤廃と特定建築材料に石綿含有保温材, 耐火被覆材, 断熱材が追加。掻き落とし, 破碎等を行わない場合の作業基準を規定
平成 18 年 (2006)	「大防法」の改正（施行期日 2006.10.1）	法対象の建築物に加え工作物も規制対象となる
	労働安全衛生法施行令の改正（施行期日 2006.9.1）	石綿 0.1 重量%超の製品の全面禁止（一部猶予措置あり）
	石綿障害予防規則の改正（施行期日 2006.9.1）	規制対象を石綿 0.1 重量%超に拡大 一定条件下での封じ込め, 囲い込み作業に対する規制の強化等
	廃棄物処理法の改正（施行期日 2006.10.1）	石綿 0.1 重量%超を含有する廃棄物を石綿含有廃棄物と定義。また, 無害化処理認定制度が発足した。（施行期日 2006.8.9）
平成 20 年 (2008)	石綿障害予防規則等の一部を改正する省令等（施行期日 2009.4.1）	・事前調査の結果の掲示 ・隔離の措置を講ずべき作業範囲の拡大, 隔離の措置等 ・船舶の解体等の作業に係る措置（施行期日 2009.7.1）
平成 23 年 (2011)	石綿障害予防規則の一部を改正する省令（施行期日 2011.8.1）	船舶の解体等について, 建築物解体等と同等の措置を義務付け。
平成 24 年 (2012)	労働安全衛生法施行令等の一部を改正する省令	石綿 0.1 重量%超の製品の禁止の猶予措置を撤廃。

注 1) 建築基準法：一定規模以上の増改築において, 吹付け石綿, 石綿含有吹付けロックウールが施工されている部分は除去することが, また一定規模^{*}未満の増改築, 大規模な模様替え, 大規模な修繕の場合は, 除去又は封じ込め, 囲い込みを行うことが義務付けられた。

(施行期日 2006.10.1)

※ 一定規模：増改築部分の床面積が増改築前の床面積の 1/2

注 2) 宅地建物取引法：建物の売買等の取引に際して, 石綿が使用されているか調査した経緯があればその結果を建物の持ち主又は宅地建物取引業者は, 買主等に対して, 石綿の使用を重要事項として通知することが義務付けられた。