

セメントマトリクスの風化・損傷による屋根からの石綿繊維の散逸に関する研究

酒井 護, 板野泰之, 中尾賢志, 花田拓也, 増田淳二

Investigation of fibrous asbestos releasability from roof with cement sheets weathering

SAKAI Mamoru, ITANO Yasuyuki, NAKAO Satoshi, HANADA Takuya and MASUDA Junji

Abstract

Asbestos are natural fibrous minerals. Since they have been readily available from mines, inexpensive, heat resistant, and easy to process, they have been widely used for roofs and walls of buildings. However, manufacturing of products with fibrous asbestos have been prohibited in several countries, according to be recognized as health affect, including of carcinogenic on lung and malignant mesothelioma and so on. In Japan, there is a lot of stock of encapsulated or non-friable asbestos on building roofs. Investigations of fibrous asbestos release from weathered roof cement sheets have been carried out since 1980s. This paper describes the outline of these investigation and fibrous asbestos release from cement panels with real and artificial rainfall.

Key words: fibrous asbestos, releasability, weathering, rainfall

I. 諸言

石綿は、天然に産出する鉱物であり、アクチノライト、アモサイト(茶石綿)、アンソフィライト、クリソタイル(白石綿)、クロシドライト(青石綿)及びトレモライトの総称である。労働安全衛生法(昭和47年法律第57号)(以下「安衛法」)では、このうち繊維状を呈しているもののみが規制の対象となっている[1]。6種の石綿のうち、クリソタイルは蛇紋石系の岩石であり、アクチノライト、アモサイト、アンソフィライト、クリソタイル、クロシドライト及びトレモライトの5種は角閃石系の岩石である。これらは、直径が0.02から0.35 μm 程度の細い繊維が束になった状態で産出する。鉱山からの入手が容易かつ安価であり工業的な利点が多く加工が容易であったことから、日常生活の多くの用途で使用されている。しかし、石綿鉱山や石綿を使用する製品を製造する工場及び石綿を使用した建材を扱う建築現場などで職業的にばく露されている労働者に、石綿肺や中皮腫などの健康影響が発生していることが1920年代以降報告されるようになってきた[2]。世界保健機関(WHO)の一機関である国際がん研究機関(IARC)は、石綿をグループ1(ヒトに対して発がん性がある)に分類している[3]。また、国際労働機関(ILO)は、「職業上の石綿へのばく露による健康に対する危険の防止と抑制、及びこの危険からの労働者の保護」を目的として、『石綿の使用における安全に関する条約』を1986年に採択した[4,5]。日本は2005年にこの条約に批准し、その後の安衛法の改正により、現在では試験・研

究など一部の用途を除き、石綿をその重量の0.1%を超えて含有する製剤その他の物は製造が禁止されている。一般社団法人 JATI 協会のまとめによると、日本国内への石綿の輸入量は1970年代から1990年代にかけて年間30万トン程度であったが、その後減少し続け2006年に降ゼロとなっている[6]。

大気汚染防止法(昭和43年法律第97号)(以下、「大防法」)は、「発がん性等の健康影響の観点から、国民の関心が高まっている石綿等による大気汚染の問題に対処するため、石綿その他の人の健康に係る被害を生ずるおそれのある粉じんを特定粉じんとして所要の規制にかからしめること」を目的として1989年より特定粉じんに関する規制を開始し、特定粉じん排出者は工場又は事業場の敷地の境界線における大気中の特定粉じんの濃度を測定し記録することが義務付けられた[7,8]。その後、1997年に、特定粉じんを発生し又は飛散させる原因となる建築材料として「特定建築材料」として吹付け石綿が指定された[9]。2006年には石綿を含有する断熱材、保温材及び耐火被覆材[10,11]、2020年には石綿含有成形板等及び石綿含有仕上塗材[12]も特定建築材料に追加されている。また、廃棄物の処理及び清掃に関する法律(昭和45年法律第137号)は、1991年に廃棄物のうち「爆発性、毒性、感染性その他の人の健康又は生活環境に係る被害を生ずるおそれがある性状を有するもの」を特別管理廃棄物として定め、建築物に吹き付けられた石綿及び石綿を含む保温材の除去作業等によって発生した飛散するおそれのあるものが、「廃石綿等」

表 1 年度別の検査件数

年度	飛散性	非飛散性	合計
	件数		
2012	57	19	76
2013	45	11	56
2014	63	56	119
2015	55	27	82
2016	42	72	114
2017	184	255	439
2018	155	61	216
2019	141	32	173
2020	132	58	190
2021	118	149	267

仕上塗材は 2017 年 6 月から 2022 年 3 月の期間は飛散性建材、それ以外の期間は非飛散性建材として検査を行った。

として特別管理産業廃棄物に指定された[13]。その後、2006 年には廃石綿等の対象に、石綿が飛散するおそれのある断熱材及び耐火被覆材を含むことが明確化され、廃石綿等以外で、石綿をその重量の 0.1%を超えて含有する廃棄物を「石綿含有廃棄物」と指定した[14]。

大阪市立環境科学研究センター（以下、「センター」）では、行政または民間が所有する建築物で使用されている建材製品を対象とした検査依頼のほか、苦情対応による検査依頼により、建材中石綿の定性分析（含有判定検査）を行っている。2012 年度から 2021 年度までの 10 年間の検査件数は表 1 に示した通りである。ここで、検査対象の建材は、分析の前処理時の手順に応じて『飛散性』建材及び『非飛散性』建材の 2 種類に分類されている。これらについて、現行の法体系では厳密に定義されていないものの、石綿を含有している場合には上記のうち 2020 年の大防法改正前の定義による「特定建築材料」または「廃石綿」に該当する、吹付け材、保温材、断熱材及び耐火被覆材の 4 種類の建材を飛散性建材とし、成形板等の飛散性建材以外のものはすべて非飛散性建材と区分している。日本建築仕上材工業会のまとめによると、1965 年から 2005 年までに製造された建築仕上材の中には石綿が混合されているものがある[15]。こ

れらは、塗膜のひび割れや施工時のダレを防止する目的で石綿（クリソタイル）を添加して製造された[16]。2017 年の環境省の通達[17]により、「吹付け工法により施工されたことが明らかな場合には吹付け石綿に該当する」ものとされたことから、飛散性建材として分類していたが、大防法の 2020 年度の改正により、2022 年 4 月より非飛散性建材として分類している。なお、仕上塗材中の石綿含有に係る定性分析時に留意が必要となる事項は、既報[18]にまとめた通りである。

石綿含有成形板の表面は、図 1 のように表面に石綿繊維が浮き出ている場合や、破断面に石綿繊維が確認できる場合がある。この場合でも、石綿繊維はセメントマトリクスに固着（カプセル化）されており、通常の使用では石綿繊維が飛散することはほとんどないとされている。ただし、建築物や工作物の解体時及び災害時などに、石綿含有成形板が機械的な衝撃により破砕された場合には、石綿繊維が飛散することがある。こうしたことから、「建築物等の解体等に係る石綿ばく露防止及び石綿飛散漏えい防止対策徹底マニュアル」[19,20]、「災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル」[21]などが作成されている。しかし、天候による風化やコケ類・地衣類などが屋根材として使用されている石綿含有成形板の表面に繁茂することにより、セメントマトリクスの一部が損傷し、表面に析出した石綿繊維が成形板に保持されず、散逸される可能性のあることが 1980 年代より様々な国で調査されてきた[22-27]。また、屋根材からの石綿繊維の散逸に関するリスク評価が行われている[28, 29]。

本稿では、このようにセメントマトリクス表面等が風化あるいは損傷することにより石綿繊維を含む粉じんが発じんするような事象を「散逸」という用語で定義する（機械的な衝撃等で破砕されることにより、その断面などから石綿繊維を含む粉じんが発じんするような事象は「飛散」として区別する）。以下、文献による石綿含有成形板からの石綿繊維の散逸に関する既往の研究事例の結果をまとめた。さらに、これらの事例を参考にして、降雨により石綿含有成形板表面のセメントマトリクスの表面が損傷し、そこから石綿繊維が散逸することを検証する目的で行った実験の結果を報告する。

II. 石綿の散逸に関する既往の研究事例調査

1) 調査の目的と方法

石綿を含有する成形板表面の劣化による石綿繊維の散逸に関する研究や散逸したことによる周辺大気中の石綿濃度の比較に関する研究について文献調査を行った。調査は WEB により適当なキーワードを指定することによる検索または得られた文献に引用されているもの入手して行った。なお、文献[22, 27, 29]では、AC 板（アスベストセメント板）が使用された屋根材での調査を行っている。

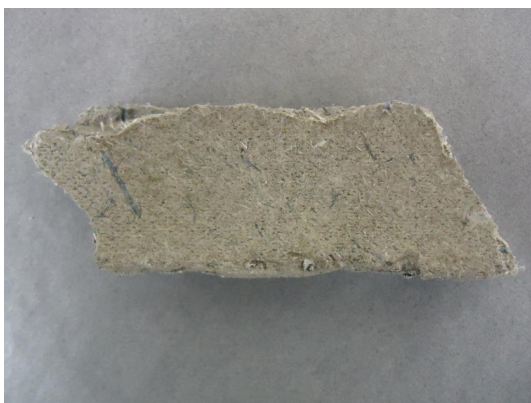


図 1 破砕した石綿含有成形板の表面
(左側にクロシドライトの黒い繊維が浮き出ている)

2) 調査の結果

検索により得られた文献の概要は以下の通りであった。

(1) 表面の劣化による石綿繊維の散逸に関する研究

Andersen ら[22]は、飲料水として建物の雨水が利用されていたノルウェーの灯台守 690 人に対して、がんの罹患率と総死亡率について追跡調査を行った。ノルウェーの海岸沿いに 133 ある灯台の大部分は、1950 年代後半に屋根瓦が AC 板に置き換えられおり、1970 年代後半以降に屋根瓦の顕著な摩耗が発見されていた。これらのうち 7 つの灯台で使用している貯水槽から当時のノルウェーでの一般的な水道水の 10^4 倍以上 (1 L あたり 500×10^6 以上の繊維) と大量石綿繊維が確認されていた。1960 年から 1991 年の追跡期間中、潜伏期間が 20 年以上のどの種類のがんについても、胃がんを除いては統計的に有意なリスク及び悪性中皮腫の症例はみられなるとされた。

Ervik ら[23]は、ノルウェー南部にある 50 年以上にわたって風化にさらされていた一軒屋の屋根で使用されている石綿を含有している波板スレートからの石綿の散逸に関するモデル調査を行った。調査にあたり、流出水 (雨をシミュレートするために約 0.5 L の水を屋根に注ぎ屋根下部からペットボトルに収集)、雨樋に堆積している風化した屋根の破片、屋根にむしている苔及び周辺大気を採取した。その結果、①屋根の上側は明らかに風化による劣化がみられ石綿繊維の露出が確認されたが下側では石綿繊維を確認することが困難であった、②雨樋で収集された風化した屋根瓦礫のサンプルではクリソタイル繊維が確認された、③風化した屋根の破片のサンプルには他の粒子状物質も大量に含まれていた、④空気濃度は検出限界の 0.0012 本/cm³ を下回っていた、ことを報告している。

Spurny ら[24]は、1984～1986 年当時の西ドイツ国内において、表面が風化して腐食した石綿セメントからの石綿繊維の散逸に関する検討を行った。その結果、石綿繊維の散逸はセメント表面のコーティングの有無によらず発生していること、石綿繊維の散逸はセメントマトリクスが物理的に破壊されることにより起こっていること、セメントマトリクスの損傷の程度はセメントが使用されている場所の気象条件により異なっていること、雨天時よりも好天時のほうが石綿繊維の散逸量が多くなっていること、散逸された石綿繊維には周辺の環境に由来する様々な粒子が付着する可能性があることを示した。また、散逸された石綿繊維を単離し、発がん性に関する動物実験を行ったところ、標準的な石綿繊維と同等であるとした。

Oberta ら[25]は、屋根材のパネルを 2015 年 7 月から 2016 年 10 月までの間 (途中 6 か月間の中断あり) 風雨にばく露した表面の変化に関する実験を行った。試験

用のパネルは、石綿を含まない厚さ 1/8 インチの床タイルの表面に厚さが 1/8 インチとなるように石綿を含むセメントをコーティングしたものを用意した。ばく露期間終了後、ASTM D5755 法に従い真空サンプリングを行い透過型電子顕微鏡 (TEM) で観察した結果、1cm²あたり 400 万程度の石綿構造があるとされた。また、これらはすべてカプセル化されていない状態で存在していることから、容易に散逸し屋根の除去作業を行う労働者が吸入する可能性のあることを示した。

Campopiano ら[26]は、イタリアの 40 棟の建築物から採取した屋根材に使用されている石綿含有建材の劣化状況を、2 種類の優先度評価アルゴリズム並びに実際に表面を走査電子顕微鏡または実体顕微鏡により直接観察する方法により評価した。2 種類の優先度評価アルゴリズムとは、建材の表面を目視により管理状態や亀裂の有無などの 10 項目について積算したスコアにより評価する手法 (A アルゴリズム) 及び石綿製品が見つかった場所と状況や屋根の損傷など 5 項目について積算したスコアにより評価する手法 (B アルゴリズム) からなる。これらのアルゴリズムでスコアが大きい建材は、石綿繊維を散逸させる可能性が大きく、顕微鏡による観察の結果でも劣化が多く見られた。また、大量の石綿セメント屋根材が見つかった 20 棟の建物に隣接する地区で空気中の石綿繊維濃度を測定した結果、そのレベルは低かった。また、雨どいから集められた物質中にも、石綿繊維が多く見られたことから、屋根材から石綿繊維がゆっくりと継続的に散逸されているとした。

Favero-Longo ら[27]は、地衣類の生物地球物理学的および生物地球化学的作用が、AC 板の構造的および化学的保存に与える影響を調査した。その結果、地衣類がシュウ酸を分泌することによりクリソタイル繊維では MgO、クロシドライト繊維では FeO_{tot} が大幅に減少することを示した。

(2) 石綿繊維の散逸による周辺環境中の石綿濃度の比較に関する研究

Obmiński[28]は、ポーランドにおいて石綿含有建材が使用されている建築物の内部およびそれらの解体・除去時の石綿粉じんの濃度を測定した。その結果、石綿含有建材に目立った損傷が見られない場合には、一般的な外気と同様に 1 m³あたり <300～500 本程度と小さかったことを示している。しかし、石綿含有建材に損傷があった場合には、最大 1 m³あたり 10,000 本程度と非常に大きい場合が見られた。この場合、"non-friable"な建材よりも"friable"な建材を使用している場合に大きく、さらに除去時には大きくなっていることとしている。

Krakowiak ら[29]は、ポーランドのアップーシレジア大都市圏にあり AC 板が使用された建築物の多い地域において、①AC 板を使用した建物の近傍、②①よりも離

れた地点、③対照地区から合計 100 件の空気試料中の石綿濃度を測定し、サンプリング地点の条件と濃度の大きさについて比較した。その結果、①の地点で採取した空気中の石綿濃度は②及び③の地点で採取した場合よりも、有意に濃度が大きいとした。また、これらの地点にける石綿濃度と、気温・相対湿度・風速との間の相関関係についても計算したところ、風速にのみ関係が見られた。これらのことから、建築物に多用されている AC 板が空気中の石綿の発生源であると推定している。

III. 検証実験

1) 検証実験の目的と概要

文献[23,24,29]などの事例では、屋根材のセメントマトリクスが雨水により僅かずつではあるものの損傷することにより、石綿含有成形板中の石綿繊維が表面に現れることになる。このようなメカニズムで表面に析出した石綿繊維は、さらに風雨にさらされることにより石綿含有成形板から散逸され、雨どいなどに堆積することが考えられる。このことを検証するために、劣化した石綿含有石綿含有成形板を用いた 2 種類の検証実験を行った。検証実験 A は、成形板 A を用いて 14 日間風雨にさらした時に見られたセメントマトリクスの損傷及び散逸した粒子状物質に関する実験である。検証実験 B は、表面の劣化状況が異なる成形板 B₁ 及び成形板 B₂ を用いて、これらを模擬的な降雨とする 10 L の水を流した後のセメントマトリクスの損傷状況の違いに関する実験である。なお、本実験で使用した成形板 A、B₁ 及び B₂ は、センターで行っている石綿含有検査のために持ち込まれた石綿含有成形板の破片である。これらの製造年等に関する情報は不明であるが、簡易検査により 5-50% のクリソタイルを含有しているものである。本実験で観察に使用した実

体顕微鏡は株式会社ニコン製 SMZ745T、走査電子顕微鏡(以下「SEM」)は日本電子株式会社製 JSM-IT100 InTouchScope である。SEM での観察時の条件は、加速電圧 15 kV、照射電流 50 A である。なお、検証実験 A の内容の一部は既報で報告した[30]。

2) 方法

(1) 検証実験 A

成形板 A の表面にはコケ類が繁茂していたが、除去せずに実験を行った。装置全体は、模式図を図 2 に示した通りである。クランプで固定した成形板 A の前部に直径 45 mm、80 メッシュの銅製フィルタを配して衝突した雨滴が発する飛沫を捕集した。また、成形板 A の下部には開口 220 mm × 300 mm のバットを配し、表面からの流水を含む雨水を捕集した。この装置をセンター屋上に設置し、2021 年 6 月 3 日から 6 月 17 日までの 14 日間風雨にさらした。大阪管区气象台によるこの 14 日間の降雨量及び日照時間に関するデータは、表 2 の通りであった[31]。前部に配したフィルタ及び雨水をろ過した 80 メッシュの銅製フィルタでの捕集物(乾燥後)を、それぞれ実体顕微鏡により観察した。

(2) 検証実験 B

成形板 B₁ 及び B₂ は図 3 に示すように表面の劣化状態が異なっていた。装置全体は、模式図を図 2 に示した通りである。クランプで固定した成形板の前部に約 300 mm × 300 mm のアルミフレームにはさみこんだ目開き 0.67 mm のポリプロピレン製フィルタを配して衝突した模擬雨滴が発する飛沫を捕集した。また、成形板の下部には開口 425 mm × 550 mm のバットを配し、模擬降雨による流水を捕集した。成形板 B 及び C のそれぞれにつ

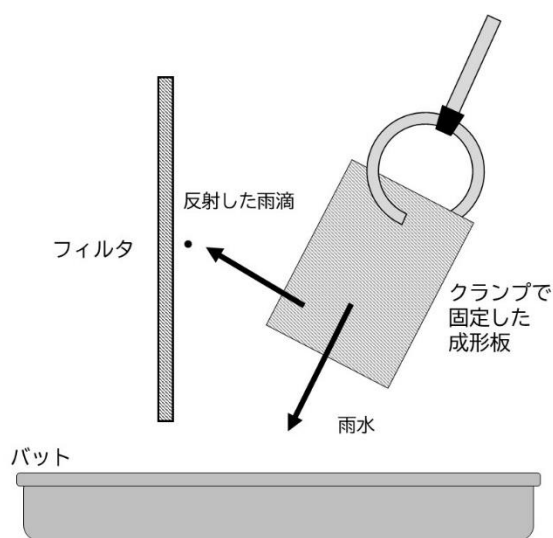


図 2 検証実験 A 及び B の装置模式図

検証実験 A では成形板 A に雨水、検証実験 B では成形板 B₁ 及び成形板 B₂ に模擬雨水にさらし、フィルタ及びバット上に捕集された粒子状物質を観察した

表 2 設置期間の日別降水量・日照時間

日	降水量			日照 時間
	合計	最大		
		1 時間	10 分間	
		mm		
6/3	0.5	0.5	0.5	6.6
4	46.0	8.0	3.5	0.0
5	--	--	--	1.6
6	0.0	0.0	0.0	4.8
7	--	--	--	10.0
8	--	--	--	11.7
9	--	--	--	13.2
10	--	--	--	12.3
11	0.0	0.0	0.0	6.8
12	0.0	0.0	0.0	1.8
13	5.5	5.5	4.0	0.4
14	41.0	34.0	13.0	8.1
15	0.0	0.0	0.0	5.1
16	18.0	8.0	4.0	0.0
17	0.0	0.0	0.0	9.9

文献[31]より作成

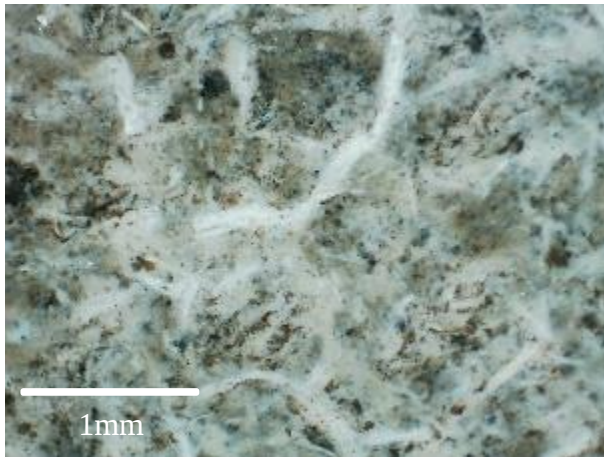


図3 成形板 B₁(左)及び B₂(右)の表面の実体顕微鏡像
(成形板 B₂は石綿繊維が容易に確認できるなど表面の劣化が激しい)

いて同様の装置を作成し、約 2 m の高さから容量 5 L の
じょうろにより模擬降雨として 2 回散水した。前部に配し
たフィルタ及び雨水をろ過した目開き 0.198 mm の SUS
製フィルタでの捕集物(乾燥後)を、それぞれ実体顕微
鏡により観察した。

3) 結果

(1) 検証実験 A

実体顕微鏡で観察した、成形板 A の前部のフィルタ
全体には多数の粒子状物質が捕集されていた。これら
の中には、図 4 に示したようなクリソタイルと考えられる繊
維状粒子も多数見られた。

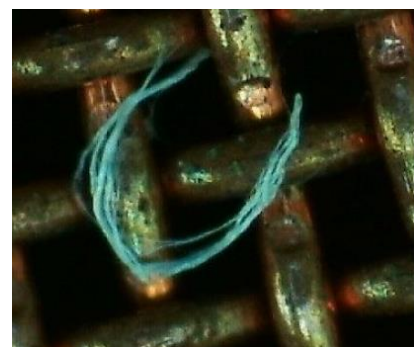


図4 成形板 A 前部のフィルタに捕集された
繊維状粒子の実体顕微鏡像

バットに溜っていた雨水の量は約 1 L であった。この
雨水をろ過したフィルタには図 5 に示したようにセメント
マトリクスと考えられる粒子状物質が多数存在していた。
このフィルタには、図 6 に示したようにセメントマトリクスが
付着したクリソタイルと考えられる繊維状粒子も見られた。



図5 成形板 A 下部のバットに
捕集された水をろ過したフィルタ

(2) 検証実験 B

成形板 B₁の前部のフィルタに捕集された粒子状物質
は 6 粒子であり、うち 1 粒子がクリソタイルであると考えら
れた。成形板 B₂の前部のフィルタに捕集された粒子状
物質は 11 粒子であり、うち 4 粒子がクリソタイルであると
考えられた。これらのクリソタイルであると考えられた粒子
は、SEM 用の試料載台上のカーボンテープにサンプリ
ングし、SEM により図 7 に例を示したエネルギー
分散型 X 線分析により、クリソタイルであることを確認し
た。



図8 成形板 B₁(左)及び B₂(右)の下部のバットに
捕集された模擬雨水をろ過したフィルタの比較

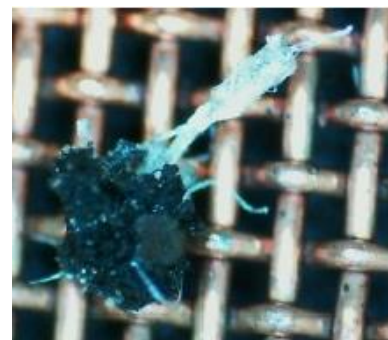


図6 図5のフィルタから回収された
セメントマトリクスが付着した
繊維状粒子の実体顕微鏡像

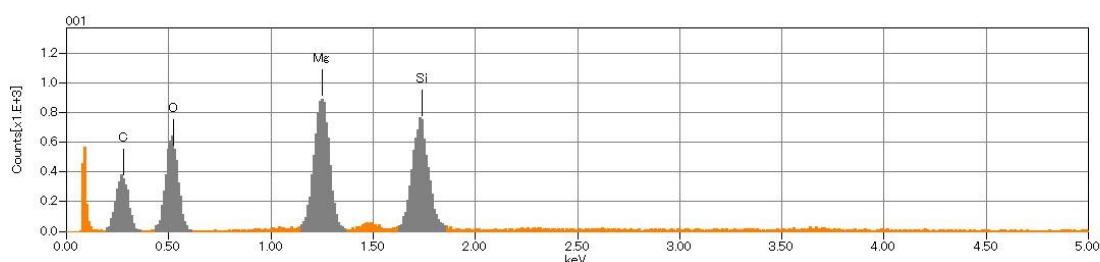


図7 エネルギー分散型 X 線分析チャートの例
(検出された元素は、左から、炭素(C), 酸素(O), マグネシウム(Mg), ケイ素(Si)である)

成形板 B₁ 及び B₂ の下部に配置したバット中にたまった模擬雨水をろ過したフィルタの写真を図 8 に示す。成形板 B₂ のフィルタにはセメントマトリクスと考えられる粒子状物質が多数見られた。

4) 検証実験の考察

降雨及び模擬降雨により石綿含有成形板のセメントマトリクスは損傷され、その表面などから石綿繊維が散逸することが確認された。散逸したセメントマトリクス等の粒子状物質は、雨どいまたはさらに下流の集水桝等に堆積すると考えられた。また、検証実験 B の結果により、表面の劣化状況が進んでいるほど、セメントマトリクスを含めた粒子の散逸量が大きくなるとされた。

環境省は 2005 年度より大気中の石綿濃度の測定を行っている[32]。2020 年度の調査結果の継続調査地域における調査結果の推移に関する考察として、『近年では、全ての地点で総繊維数濃度の幾何平均値は1本/Lを下回っており、低いレベルで推移しています』としている。国内で屋根材に使用されている石綿含有成形板からの散逸量が大きいと仮定した場合でも、大気中の総繊維数は低いレベルでの推移である。局地的な影響は今後検討する必要があると考えられるものの、全国的には、屋根材からの散逸による影響はゼロに近いものであると考えられる。

IV. まとめ

機械的な衝撃による破砕等がなければ、石綿含有成形板からは石綿繊維は飛散しないとされている。そのため、建築物の解体時や災害時には多くの石綿繊維が飛散することが予想されるために、必要な対策のマニュアルがまとめられてきた。しかし、本稿で示した通り、石綿含有成形板からの石綿繊維の散逸に関しては 1980 年代より調査が行われており、検証実験でも屋根材に使用されている石綿含有成形板から雨水により石綿繊維が散逸することが示唆された。ただし、環境省による大気環境中の総繊維数濃度の調査結果において幾何平均値は近年低いレベルで推移していることから、屋根材に使用されている石綿含有建材からの散逸による大気中の寄与はゼロに近いものであると考えられる。

謝辞 本報文での調査の一部は、科学研究費補助金(「降雨に伴う劣化したアスベスト含有スレート屋根材からのアスベスト飛散実態の解明」21K04331, 代表:板野泰之)及び2021年度(公財)大同生命厚生事業団「地域保健福祉研究助成」の助成を受けて実施したものである。

参考文献

- 1) 厚生労働省. 労働安全衛生法施行令の一部を改正する政令及び石綿障害予防規則等の一部を改正する省令の施行等について (平成 18 年 8 月 11 日, 基発第 0811002 号).
<https://www.mhlw.go.jp/new-info/kobetu/roudou/sekimen/hourei/060811-1.html>
- 2) 車谷典男. アスベストの発がん性に関する国際的な知見集積と認識の形成—UICC Working Group による Report and Recommendations (1964 年)まで—. 日本衛生学雑誌 2012; 67(1): 5-20.
- 3) IARC Monographs Supplement 7 (1987), Overall Evaluations of Carcinogenicity: An Updating of IARC Monographs Volumes 1–42.
<https://publications.iarc.fr/139>
- 4) International Labour Organization (ILO). C162 Asbestos Convention, 1986 (No. 162).
https://www.ilo.org/dyn/normlex/en/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO::P12100_ILO_CODE:C162
- 5) ILO 駐日事務所. 1986 年の石綿条約 (第 162 号).
https://www.ilo.org/tokyo/standards/list-of-conventions/WCMS_239017/lang--ja/index.htm
- 6) 一般社団法人 JATI 協会. 石綿に関する調査資料; 石綿輸入統計.
http://www.jati.or.jp/data/toukei_07.pdf
- 7) 環境省. 大気環境中へのアスベスト飛散防止対策について
https://www.env.go.jp/air/asbestos/litter_ctrl/
- 8) 環境省. 大気汚染防止法の一部を改正する法律の施行について(依命通達) (公布日:1989 年 12 月 27 日, 環大企 489 号)
<https://www.env.go.jp/hourei/04/000098.html>

- 9) 環境省. 大気汚染防止法の一部を改正する法律の施行について(公布日:1997年02月12日 環大規31号).
<https://www.env.go.jp/hourei/04/000096.html>
- 10) 環境省報道発表資料(2006年07月20日).「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の一部の施行期日を定める政令」等について.
<https://www.env.go.jp/press/7339.html>
- 11) 環境省. 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の施行等について(通知)(2006年9月5日 環水大 大発第060905003号).
<https://www.env.go.jp/content/900479282.pdf>
- 12) 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(2020年11月30日 環水大 大発第2011301号).
<https://www.env.go.jp/hourei/add/d050.pdf>
- 13) 環境省. 廃棄物の処理及び清掃に関する法律の一部改正について(依命通知)(公布日:1992年08月13日 厚生省生衛736号).
<https://www.env.go.jp/hourei/11/000502.html>
- 14) 環境省. 廃棄物の処理及び清掃に関する法律等の一部改正について(公布日:2006年8月9日 環廃対060809002号・環廃産060809004号).
<https://www.env.go.jp/hourei/11/000490.html>
- 15) 日本建築仕上材工業会. アスベスト含有仕上塗材・下地調整塗材の概要.
<http://www.nsk-web.org/asubesuto/questionnaire.pdf>
- 16) 国立研究開発法人 建築研究所. 建築研究資料171. 建築物の改修・解体時における石綿含有建築用仕上塗材からの石綿粉じん飛散防止処理技術指針.
<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/171/index.html>
- 17) 環境省. 石綿含有仕上塗材の除去等作業における石綿飛散防止対策について(2017年5月30日 環水大 大発第1705301号).
<https://www.env.go.jp/content/000066328.pdf>
- 18) 酒井護. 仕上塗材中石綿の定性分析. 大阪市立環境科学研究センター報告2018; 1: 33-37.
- 19) 環境省. 建築物等の解体等に係る石綿ばく露防止及び石綿飛散漏えい防止対策徹底マニュアル.
https://www.env.go.jp/air/asbestos/post_71.html
- 20) 厚生労働省. 石綿障害予防規則など関係法令について. 石綿飛散漏洩防止対策徹底マニュアル.
https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/ko you_roudou/roudoukijun/sekimen/jigyo/ryuijikou/index_00001.html#h2_free2
- 21) 環境省. 災害時における石綿飛散防止に係る取扱いマニュアル.
https://www.env.go.jp/air/asbestos/saigaiji_manual.html
- 22) Aage Andersen, Eystein Glattre, Bjorn V. Johansen. Incidence of cancer among lighthouse keepers exposed to asbestos in drinking water. *American Journal of Epidemiology* 1993; **138**(9): 682-687.
- 23) Torunn Ervik, Stine Eriksen Hammer, Pål Graff. Mobilization of asbestos fibers by weathering of a corrugated asbestos cement roof. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2021; **18**(3): 110-117.
- 24) K.R. Spurny. On the release of asbestos fibers from weathered and corroded asbestos cement products. *Environmental Research* 1989; **48**(1): 100-116.
- 25) Andrew F. Oberta, Lee Poye, Steven P. Compton. Releasability of asbestos fibers from weathered roof cement, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2018; **15**(6): 466-473.
- 26) Antonella Campopiano, Deborah Ramires, Aneta Maria Zakrzewska, Rosa Ferri, Antonio D'annibale, Giancarlo Pizzutelli. Risk Assessment of the Decay of Asbestos Cement Roofs, *The Annals of Occupational Hygiene* 2009; **53**(6): 627-638.
- 27) S.E. Favero-Longo, D. Castelli, B. Fubini, R. Piervittori. Lichens on asbestos-cement roofs: Bioweathering and biocovering effects. *Journal of Hazardous Materials* 2009; **162**(2-3): 1300-1308.
- 28) Andrzej Obminski. Asbestos in building and its destruction, *Construction and Building Materials* 2020; **249**(20): 118685.
- 29) Ewa Krakowiak, Rafał L. Górny, Jolanta Cembrzyńska, Gabriela Szałol, Marjorie Boissier-Draghi, Edmund Anczyk. Environmental exposure to airborne asbestos fibres in a highly urbanized city. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 2009; **16**(1): 121-128.
- 30) 板野泰之, 酒井護, 中尾賢志, 花田 拓也. 劣化したスレート板からのアスベストの飛散. 大気環境学会年会要旨集2021; 62:
- 31) 気象庁. 過去の気象データ検索.
https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_s1.php?prec_no=62&block_no=47772&year=2021&month=6&day=&view=p1
- 32) 環境省報道発表資料(2021年10月22日).「令和2年度アスベスト大気濃度調査結果について」.
<https://www.env.go.jp/press/110145.html>

(WEB サイトの内容は、2022 年 9 月 1 日に確認した)

