

石綿セメント板の劣化と応急対策

THE DETERORATION AND COUNTREMEASURE OF SLATE

佐々木孝彦*

by Takahiko SASAKI

1. はじめに

2005年に石綿含有製品の製造メーカー(株)クボタの旧神崎工場の周辺住民がアスベスト粉塵の吸入が原因と考えられる中皮腫(癌の1種)を発症したことが明らかになった。製造メーカー勤務者にしか確認されていなかった健康被害が、これまで一度もアスベストを扱ったことがない人にまで広がったことで、アスベストの健康に及ぼす影響の深刻さが再認識され、平成17年2月に石綿障害予防規則が制定されるなど種々の施策が実施されている。

アスベストは紡ぐことができる繊維状ケイ酸塩鉱物の一群を示す言葉で、具体的にはクリソタイル、クロシドライト、アモサイト等が該当する。これらは、耐熱性、耐薬品性、熱や電気の絶縁性に優れ、曲げや引っ張りに強いなどの特性を有するうえに、安価で、有史以前から種々の目的に用いられてきた。近代にいたり、量産が可能となるのに伴って、鉄骨の耐火被覆、断熱・吸音用として、セメントに混練して駅等公共施設の建材に直接吹き付けたり、また、スレート等石綿を強化材として含有するセメント成型品は、住宅や工場の屋根や天井、壁などに使われた。建材以外では、自動車などのブレーキやクラッチなどの摩擦材、配管や機器などの継ぎ目からの流体漏れを防ぐシール材、機械の断熱材、ボイラー等の保温材などの用途がある。日本ではほとんど産しないため、多くは輸入した。昭和30年代以降の高度経済成長期における社会資本拡充と相まって、建物の断熱や防火の用途をはじめ、急速な需要増に呼応するように輸入量が増大して50年代初には約30万トン程度輸入し、その大半は建材として使用された。

アスベストは、非常に有用な素材であった。しかし、石綿の世界的な使用量の拡大に伴って、日本を始め世界各国において、空中に飛散したアスベスト繊維の吸入が原因と考えられる、石綿含有製品製造メーカー従業員の健康被害事例が報告されたのを契機に、昭和40年代後半に労働安全衛生の観点から作業環境に対する規制等が法制化され、最も大量に消費する分野であっ

た建造物へのアスベスト含有材の吹付け作業については、昭和50年に、5%以上含有する材料の使用が禁止された。

その後、昭和60年代初めには、昭和30年代に建設した建築物の老朽化に伴う解体が進められた。この時、解体現場でアスベスト粉塵の発生が懸念されたために、昭和63年に大気汚染防止と廃棄物処理の観点から、「建設・解体工事に伴うアスベスト廃棄物処理に関わる技術指針および同解説」が示された。

ここでは、建材として用いられたアスベスト含有品は、飛散性アスベストと非飛散性アスベストに区分されることが示されている。前者は容易に一般大気に飛散する恐れのあるもの、さらに詳細には、軽く接触したり気流があつたりするだけで材料中のアスベストが空气中に飛散する恐れのあるもので、感覚的には手で容易に揉み解すことができるものとの解釈が示されている。これには、吹付けアスベスト、アスベスト保温材等が含まれる。一方の後者には飛散性アスベスト以外のものが区分され、スレート等石綿セメント板の類が区分される。飛散性と非飛散性では作業可能環境の条件、廃棄する場合の手順が、大きく異なっている。非飛散性アスベストに区分される石綿スレートは、容易には飛散しないものの破断・破砕されればアスベストが飛散する可能性があるとされている。これは十分散水すれば良いこと、通常では表面は安定していて飛散する可能性は小さいと解説されていて、問題視されることは少ない。

神山¹⁾は「建材に含まれる石綿は、建材が老朽化や破壊等により表面の脱離や著しい肌荒れを起こしていなければ、石綿繊維が室内に飛散する可能性は非常に小さく心配はない。」と報告している。石綿スレートは古くから使用されていて相当程度経年を経ているものも多いため、中性化等変質している部分が存在する。プレス成型しているとはいえ劣化して老朽したときの程度によっては飛散する可能性は否定できないと思われる。そこで、石綿セメント板の劣化状況の確認と飛散の有無、飛散するとした場合の取替までの応急対策について検討した。

* (財)鉄道総合技術研究所 事業推進室 構造物メンテナンス課長(〒184-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)

表1 アスベストの主な物理的・化学的特性

	クリソタイル	クロシドライト	アモサイト	アンソフィライト	トレモライト	アクチノライト
硬度	2.5～4.0	4	5.5～6.0	5.5～6.0	5.5	6
比重	2.55	3.37	3.43	2.85～3.1	2.9～3.2	3.0～3.2
融点 (°C)	1,521	1,193	1,399	1,468	1,316	1,393
比熱 (kcal/g°C)	0.266	0.201	0.193	0.210	0.212	0.217
抗張力 (kg/cm ²)	31,000	35,000	25,000	24,000	5,000 未満	5,000 未満
比抵抗 (MΩcm)	0.003～0.15	0.2～0.5	500 未満	2.5～7.5	—	—
柔軟性	優	優	良	良～不良	良～不良	良～不良
表面電荷	+	—	—	—	—	—
耐酸性	劣	優	良	優	優	良
耐アルカリ性	優	優	優	優	優	優
*脱構造水温度 (°C)	550～700	400～600	600～800	600～850	950～1,040	450～1,080
耐熱性	良。450°C位からもろくなる	クリソタイルと同様	クリソタイルよりやや良	アモサイトと同様	クリソタイルより良	不良

2. アスベストの特性²⁾

アスベストが様々な工業製品に使用されている理由は、経済的に安価であることはもちろんであるが、以下に示すような優れた特性によるところが大きい。アスベストの諸特性を以下に示す。

2. 1 紡織性

クリソタイルの単繊維は、太さが約 0.01～0.03μm でアスベスト繊維の中で最も細く、髪の毛の約 5,000 分の 1 にすぎない。また、クリソタイルの繊維は、しなやかに曲がった形状をしており、断面はほぼ円形で、長さが約 1～20μm の中空管状をなしている。クロシドライト及びアモサイトの繊維は、針のように真っ直ぐな形状で、断面は一定の形を持たず、内部までびっしりと原子が詰まっている。通常、アスベスト繊維は集合体をなしており、工学的に解綿できる最も細い繊維束の太さは、およそ 1～2μm である。このように、アスベスト繊維は、アスベスト以外の無機又は有機繊維に比べ著しく細い。

2. 2 不燃・耐熱性

クリソタイルでは、およそ 450°C までは安定であり、角閃石族ではクリソタイルより高温でも安定しているものが多い(表 1)。主として、この耐熱性から、吹付け材等の建築資材及び他の工業資材に使用されるこ

とになった。

2. 3 抗張力

アスベストは、ピアノ線より強い引張力を有している。また、しなやかさも有しているが、特にクリソタイルのしなやかさが最も優れているとされている。

2. 4 耐薬品性

耐酸性及び耐アルカリ性は、アスベスト繊維の種類によって異なるが、その中で、アンソフィライトが最も優れており、クリソタイルが劣り、他はこれらの中に位置するとされている。また、酸・アルカリ以外の薬品に対しても比較的抵抗力が強いとされている。

2. 5 断熱性

アスベストは一般に断熱性にすぐれている。この特性及び吸湿・吸水が少ないという性質から、保温材及び断熱材として用いられている。

2. 6 その他の特性

耐摩耗性に優れる。防音性が高い、高い絶縁性を有する。重さに比べて表面積が大きく他の材料と混ぜ合わせやすい性質がある。通常の実環境条件下では、耐蝕・耐久性に優れる。

2. 7 環境に対する影響

地表に沈降した場合でも、容易に再発じんするため、極めて長い間一般環境中に留まることが知られている。

3. 建造物に使用されているアスベスト含有製品について²⁾

アスベスト含有製品には、多くの種類があり、輸入されたアスベストの90%以上は建築資材として建築物等に使用されている。以下には、建材の中でも最も使用量の多い吹付けアスベストとアスベスト成型品の概要を以下に示す。

3. 1 吹付けアスベスト

アスベストと結合材とを一定割合で水を加えて混合し、吹付け施工したものである。結合材としては一般にセメントが使用されている。

3. 1. 1 耐火被覆

建築基準法の耐火要求に応じて使われる。使用場所は、3階建て以上の鉄骨造建築物のほり、柱等である。この他にデッキプレート裏面への吹き付けなどがある。使用期間は、昭和38年頃から50年初頭までである。

3. 1. 2 吸音・断熱

使用場所はビルの機械室ボイラー室地下駐車場等の天井壁などである。ビル以外の建造物(体育館、講堂、学校、工場等)では、天井、壁などに使用されている。鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造の建物は、それ自体が耐火建築であるため、これらの建物で吹付けアスベストが使用されるのは、ほとんどすべてが吸音用である。これらの構造の建物の中で人間が日常的に在室する部屋(例えば、学校の教室、実験室、体育館等)では、コンクリート壁面に囲まれているために、残響時間が長く、会話がしにくいために、吸音用の吹付けアスベストを行ったものである。各種吸音用内装材の使用と吹付けアスベストの選択については、明確な仕分けの根拠はないようである。また、鉄骨造建築物においては、人間が常時在室しない部屋(機械設備等が設置されていることが多い)でも、内部の音を外部に漏らさないために吸音用の吹付けアスベストが施工された。コンクリート造は遮音効果が高いものの、例えば鉄骨造で機械室回りの壁に遮音性の劣るコンクリートブロックやALC板を使用した場合は吹付けアスベストが用いられた。吹き付けアスベストの使用期間は昭和31年頃から昭和50年初頭までである。

3. 2 アスベスト成型板

アスベスト成型板には、平板(ボード)又は波板状のものがある。最も代表的なものが石綿スレートである。構成原料の主体を占めるセメント及びアスベストが無機質系材料であるため、防火性、耐水性等に優れた性能を持つことから、建物の外壁、屋根をはじめとして広い範囲で使用されている。さらに、化粧を施したもののや、軽量化したものなど、多くの石綿スレート

関連製品がある。

3. 2. 1 石綿スレート

セメント及びアスベストを主原料とし、若干の混和材料と適量の水を加え、抄造して板状に成形した後、所定の含水率になるまで乾燥させたものである。一部にオートクレープ処理したものもある。形状を大別すると波板とボードがあり、さらに波板は小波、中波、大波、リブ波に分かれる。ボードではフレキシブル板、軟質フレキシブル板、平板、軟質板に分かれる。

3. 2. 2 住宅屋根ふき用石綿スレート

セメント及びアスベストを主原料とした屋根ふき材で、主に野地板下地の上に施工する住宅用の石綿スレートである。基板となる石綿スレートの原料に着色材料を混入して板の全部又は表層部を着色したものや基板の表面に印刷塗装吹付け焼付け、凹凸を付ける等の化粧加工を行うものが多い。

4. 劣化した石綿スレートの外観

約20年程度建屋の屋根として使用されていた石綿スレートを入手することができたので、これを調査した。この外観を図1に示す。

石綿スレートは工場製品であり、種類はあるものの特定の寸法のもので製造されているので、寸法以上の大きな面積に施工する場合には、重ね合わせて使用する。

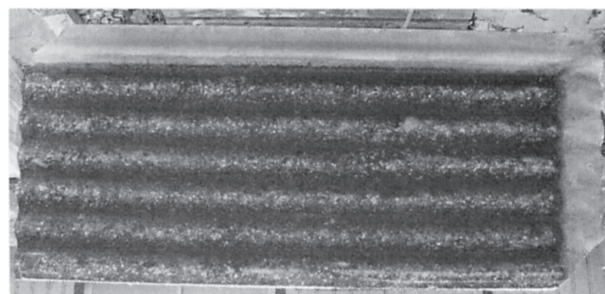


図1 石綿スレートの外観

図2に示すように、重ね合わせた部分は本来の表面性状を示しているものの、風雨に曝されていた部分は著しく変化している。

風雨に曝された部分の波形状の谷間には、綿状の黒い埃様付着物が見られる。これは手で容易にほぐすことができ、もしアスベスト繊維を含んでいるものであれば、前述の飛散性、非飛散性の区分では、飛散性に区分されるものである。飛散性アスベストは大気中に飛散しないように対処が求められているものである。

さらには、石綿スレートの表面は黒色を呈している。

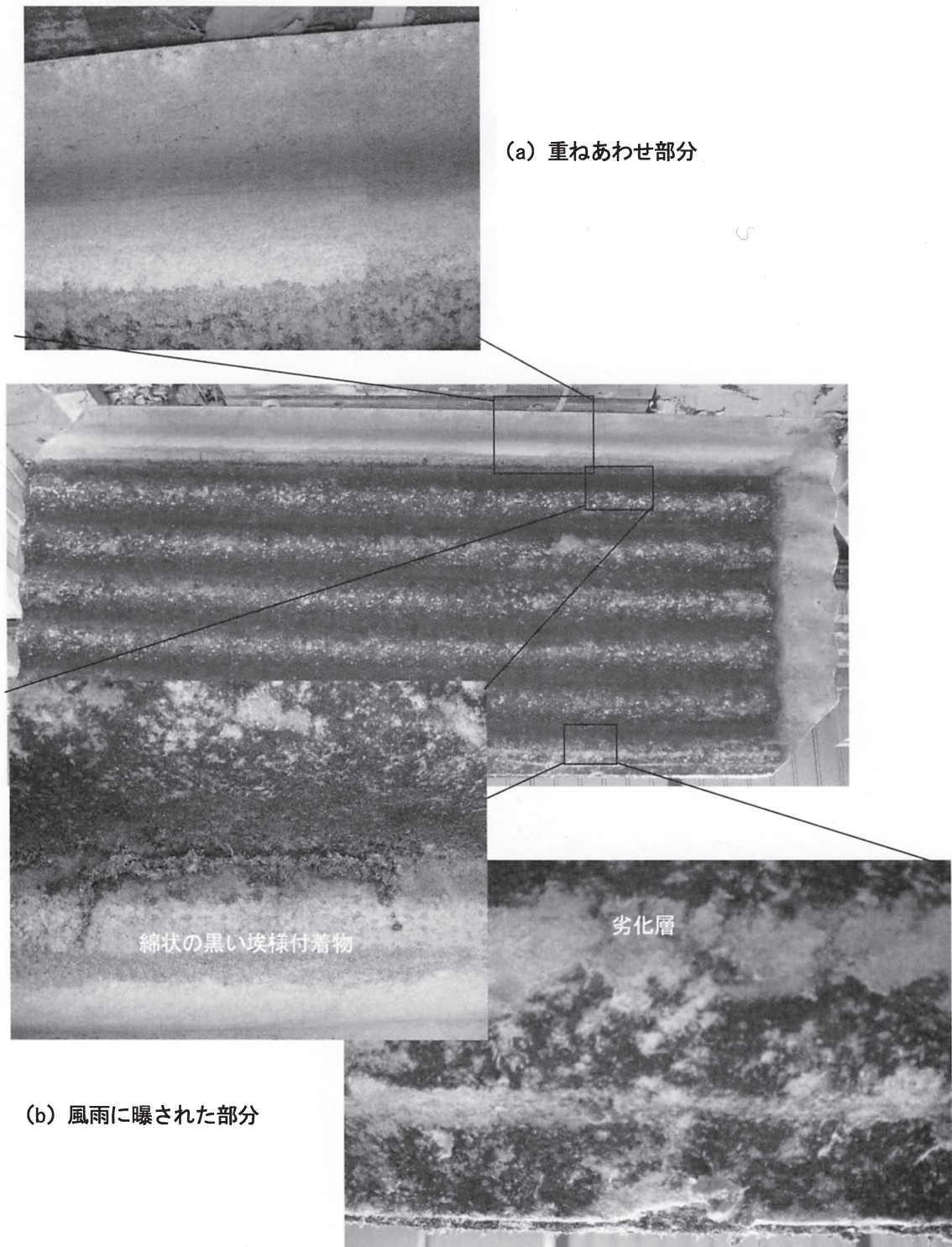


図2 屋根に使用した石綿スレートの外観

その下は、マトリックス部分を形成するセメント硬化体が中性化したことに起因して、黄色味を帯びるとともに粉状化している劣化層も見られ、力学性状の低下も懸念される。

5. 石綿スレートに生じた綿状の黒い埃様付着物

5. 1 アスベストの含有の有無

綿状の黒い埃様付着物を採取し、これを試料として粉末X線回折分析および蛍光X線分析を実施した。図3には綿状の黒い埃様付着物の粉末X線回折パターンを示す。

骨材成分、セメント硬化体が分解して生じた物質のほかに、アスベストに区分されるクリソタイルが相当

程度含まれていることが判明した。

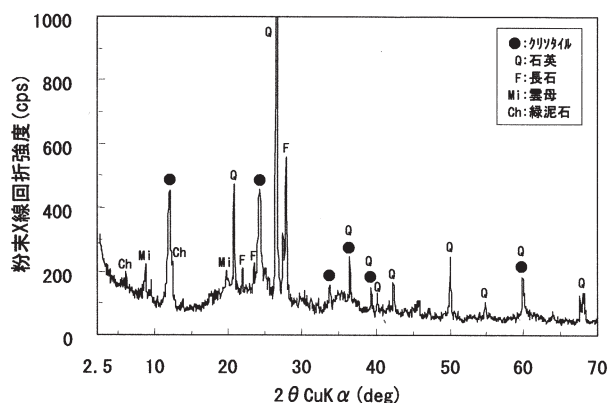


図3 綿状の黒い埃様付着物の粉末X線回折パターン

5. 2 飛散の可能性

綿状であることで脱離する可能性がある。そこで、どれくらいの風速で脱離するか調べた。

試験は試作風洞(図4)を用いた。半円の筒は直径30mm、長さ100mmで、中央に風速計がセットしている。風は扇風機で送ったが、風速の調整は風速計と扇風機の距離で調整した。劣化石綿スレート板を通過した風は0.1ミクロンのフィルターを通した。

この実験では、10~15m/sの風速の風を通した時に綿状の埃様付着物の脱離が確認された。この結果については、更なるデータの蓄積が望まれる。

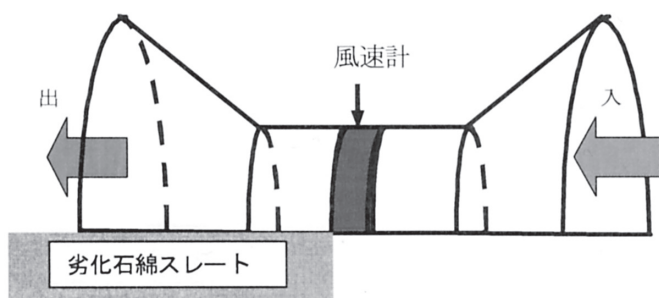


図4 試作した風洞

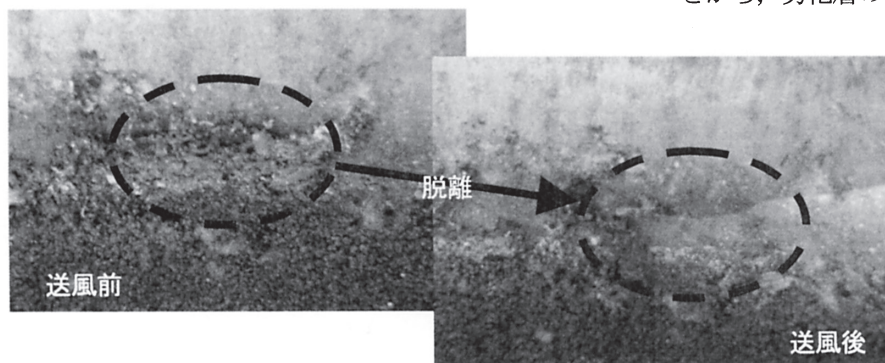


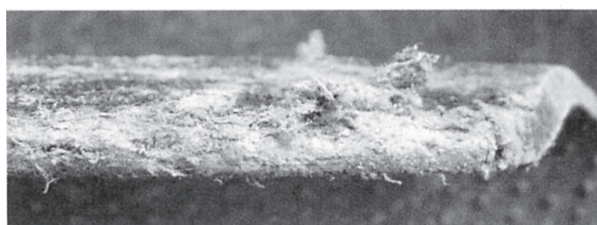
図5 10~15m/sの風速における綿状の黒い埃用付着物の脱離状況

6. 石綿スレートに生じた劣化層

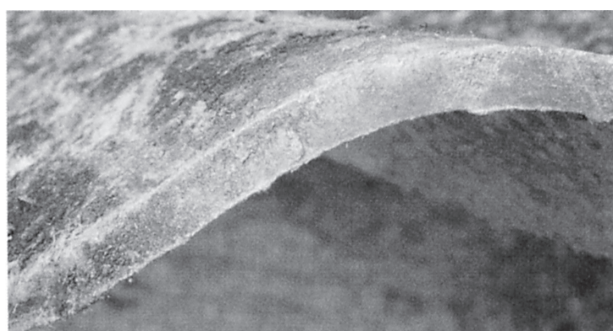
劣化層の断面方向の観察結果を図6に示す。この図には、比較のために、重ね合わせ部の断面方向の観察結果も併せて示す。

劣化層は、粉状化して強化材として添加されている石綿に沿ってはく離する様相を示していて、爪で引っ掻く程度で容易に剥がれた。

石綿スレートの経年変化に対しては、前島、山田、星野の研究³⁾がある。前島らは、外観の変化については、「経年を経るほど石綿スレートの表面は黒ずむ。これは簡単に除去できる。除去したその下層は黄色味を帯びている。」とし、この原因はセメント硬化体の中性化であると述べていて、今回の調査結果も前島らの結果とよく符合している。



(a) 劣化した端部



(b) 重ね合わせ部分の健全な端部

図6 石綿スレートの断面

6. 1 劣化層生成メカニズム

6. 1. 1 外壁に使用されていた石綿スレート

重ね合わせた部は、ほとんど劣化層は見られないことから、劣化層の生成は雨水が直接作用する条件で進行しやすいことが想定される。

6. 1. 2 帯水する条件下のイオン交換水のpHの変化

(1) 試験方法

イオン交換水を約1000mlとり、その水に窒素ガスを30分流して炭酸ガスを追い出した。その後、炭酸ガスをバブリング(50ml/min)した。なお、

水温は20℃であった。バブリング開始後 pH を測定した。

(2) pH の変化

pH の変化は図 7 を示すとおりであり、炭酸ガスのバブリングと同時に急激に低下する。わが国の酸性雨に関する研究では、酸性化した雨水の pH を 5 以下としている。pH が 5 になる時間はおよそ 1 分程度である。大気中の炭酸ガス濃度は 0.03% であるから、帯水した雨水の pH が 5 になるまでに二日程度を要することになる。このような条件が揃えば、空気中の炭酸ガスが雨水を酸性化させて、セメント硬化体を侵食する可能性がある。

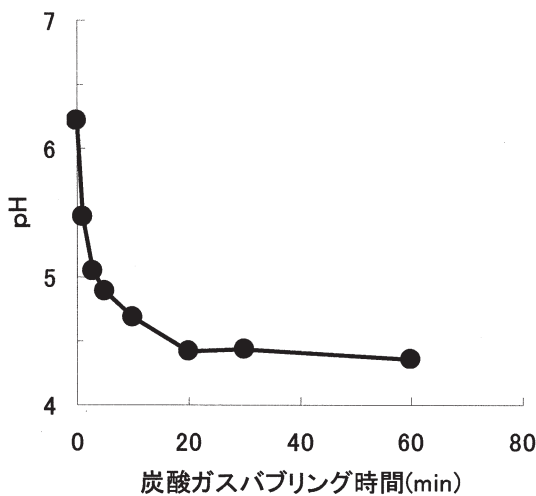


図 7 イオン交換水の pH の変化

6. 2 劣化による力学性状の変化³⁾

前島、山田、星野の研究³⁾は、また、劣化層の存在を実厚さの減少と捕らえ、曲げ強度の変化も調べている。この結果を図 8 に示す。およそ 1 年経過時点まで、

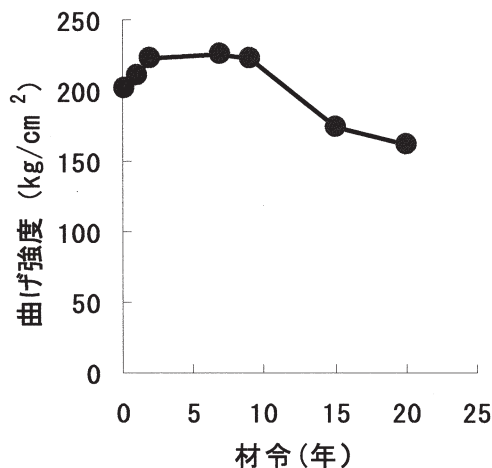


図 8 曲げ強度の経年変化

水和の進行とともに曲げ強度は当初の 10% 強度程度増進したとしている。以降、10 年経過まで曲げ強度の変化は認められものの、その後、徐々に低下し、20 年後では、1 年経過時点のおよそ 70% まで低下した結果を得ている。

7. 石綿スレートを廃棄するための応急対策

7. 1 対策の考え方

石綿スレートは、昭和 63 年の「建設・解体工事に伴うアスベスト廃棄物処理に関する技術指針・同解説」に非飛散性アスベストと区分されて、通常では飛散の可能性はほとんどないと記載されている。ただし、これらを破断した時は、破面からアスベストが飛散する可能性があるため、解体・撤去においては、機械を使用せず手作業で行い、破断しないことを原則とするが、やもうえない場合散水するなど石綿スレートなどアスベスト成型板からのアスベストの飛散防止を図るよう求めている。

しかし、石綿スレートは雨水が帯水するような状況で空気中の炭酸ガスの溶解による酸性化に起因して特に著しく劣化し、爪で引っ掻くと容易にはく離する黄色味を帯びた脆弱層の形成と容易に手で揉み解すことが出来て 10~15m/s の風速で離脱するような綿状の黒い埃様付着物が生成することが判った。そこで、綿状の黒い埃様付着物および劣化層の固化策について検討した。

綿状の黒い埃様付着物は手で容易に揉みほぐすことができる。また、劣化層は爪で引っ掻くと容易にはく離することから、これらを固定化させるために、刷毛等で塗布する方法でなく、吹付けまたは噴霧などにより簡易的に塗布あるいは浸透させて、表面を固定させるような機能を設定した。

吹付け可能な材料としてはセメントを主体とする材料からアクリル樹脂やエポキシ樹脂等の有機系材料まで多数存在する。しかし、セメント系材料では、携帯可能な霧吹きによる作業の実施、吹付け器具中で硬化しない、という項目が実現できない。そこで、低粘度のエポキシ樹脂を用いることとした。一般的にはエポキシ樹脂ビスフェノール A を主剤とし、アミンを硬化剤とする 2 液タイプで、使用時に主剤と硬化剤を混合して用いるのが通常である。ここでは硬化剤として、ケチミンを用いることとした。ケチミンは潜在硬化性を付与できるもので、水分を使用することにより、次式 (1) に示す反応によりアミンを再生することができる硬化剤である。以上のように、ケチミンは水と反応するまでは主剤と反応して硬化することはないと考えられるため、吹付け器具中で硬化しないという要求性能(表 2)を満足する。

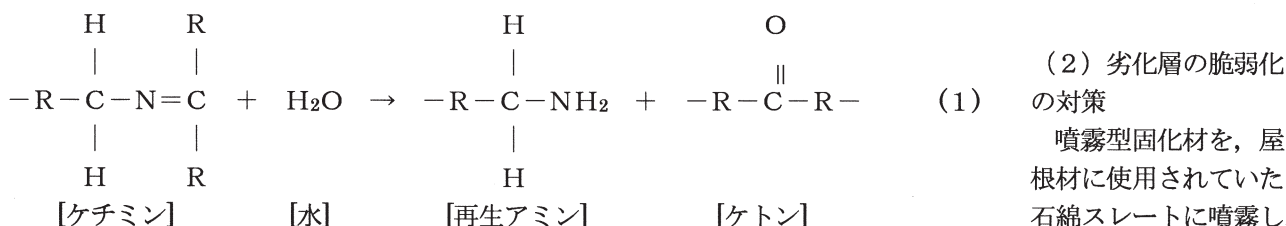


表2 主剤の諸性能

主成分	変性エポキシ樹脂
外観	淡黄色～透明
粘度 (20℃)	4±1 mPa・s
比重	0.93±0.05
不揮発分	28 重量%
タックフリー (20℃, 70%R. H.)	2 時間
希釈成分 (粘度調整)	トルエン, キシレン
密着性 基盤目試験 (鋼板)	1 mm 巾; 100/100
エンピツ硬度	1H
貯蔵安定性	2 ヶ月

表3 噴霧型固化材による綿状劣化物の脱離防止効果

	脱離風速 (m/s)
噴霧前	10～15
噴霧後	20～25m/s で脱離せず ^{a)}

表4 接着強度の試験結果

施工量 (kg/m ³)	接着強度 (N/mm ²)	破断状況
未施工	0.82	スレート板の表層で破断
0.3	2.35	スレート板の内部で破断
0.6	2.5	

7. 2 固化の検討

7. 2. 1 劣化スレート板を用いた検討

(1) 綿状の埃様付着物について

噴霧型固化材による表面性状の改質効果を確認するために、屋根材に使用されていた石綿スレートに0.3kg/m²噴霧した。先に試作した風洞を用いて、未施工の場合の脱離風速で剥がれるか否か調べた。その結果は、表3に示すとおりで、噴霧した場合は風速20～25m/secで脱離しないことが確認された。

なお、本試作風洞ではこれ以上の風速は得られなかったため、本実験の範囲では、これ以上の如何なる風速で脱離するかは不明である。

(2) 劣化層の脆弱化の対策

噴霧型固化材を、屋根材に使用されていた石綿スレートに噴霧し、20℃で1週間養生した後、建研式接着強度試験機により表層部の接着強度を測定した。なお、噴霧量は0.3kg/m³と0.6kg/m³の2水準を施工した。

表4に、試験結果を示す。未施工の場合の接着強度は0.82N/mm²であった。これに、固化材を吹き付けた結果、接着強度はおおよそ3倍の値となることが確認された。

表4に、試験結果を示す。未施工の場合の接着強度は0.82N/mm²であった。これに、固化材を吹き付けた結果、接着強度はおおよそ3倍の値となることが確認された。

8. まとめ

石綿スレートを試料として経年による劣化状況の確認と劣化生成物におけるクリソタイル混入状況確認、固化材による綿状の埃様付着物および劣化層の固定の検討、高圧水洗による劣化層の除去方法を検討した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 屋外に長期間曝された石綿スレートに、粉状化した劣化層と綿状の劣化物が確認された。しかし、雨水が帯水しない条件では劣化は小さいことから、劣化には帯水の可否が大きく影響していることが判った。
- (2) 雨水に大気中の炭酸ガスが溶解して弱酸性化する。セメント硬化体の中酸化部分が、この雨水に侵食された結果として粉状化層が形成されたものと推察される。綿状の劣化生成物は、さらに侵食が進行した結果生じたものと推察される。
- (5) 粉状化がさらに進み生じた綿状の劣化生成物は、10～15m/sの風速で脱離する可能性があることが判った。
- (7) 簡易噴霧器で噴霧可能な湿気硬化型エポキシ樹脂を0.3～0.6kg/m²程度噴霧した結果、綿状の劣化生成物は、20～25m/sの風速でも脱離せず、固定化に対する有効性が示された。

参考文献

- 1) 国立科学博物館 企画展「石綿<アスベスト>展」資料、2006年2月。
- 2) 東京都環境局：建築物の解体等に係るアスベスト飛散防止対策マニュアル第2次改訂版、平成18年10月。
- 3) 前島・山田・星野：長年使用波形スレートの特性、波形石綿スレート協会・石綿セメントボード協会技術部会論文集、第十集、pp. 97～108、1967年5月。
(2007年6月受付 2007年11月受理)