

石綿代替繊維を用いたスレートの開発研究

STUDY ON DEVELOPMENT OF SLATES MADE
OF ASBESTOS SUBSTITUTIVE FIBERS平居孝之*¹, 前田孝一*², 遊佐秀逸*³, 岸谷孝一*⁴,
堀内盛夫*⁵, 林 雅治*⁶Takayuki HIRAI, Koichi MAEDA, Shuitsu YUSA,
Koichi KISHITANI, Morio HORIUCHI and Masaharu HAYASHI

Fibers which we used for asbestos substitutive materials are poly-vinyl-alcohol (Vinyon) fiber, poly-acrylo-nitorile (acrylic) fiber, and alkali-resistant glass fiber.

We used mini-Hatschek machine to make test products. We used cellulose fiber to hold cement particles and mineral materials such as mica, cepiolite, wollastonite, silica fume, and bentonite, to prevent cracking and excessive length change.

We have done five tests for asbestos substitutive materials, which are on bending strength, freezing and thawing resistance, impulse resistance, Incombustibility, and fiber contents.

As a result, bending strength of asbestos alternative is a little low, but other properties of those are equal or better than asbestos slates.

Addition of 2 % or 4 % asbestos to alternatives did not make proprieties better compared to non asbestos alternatives except product cost.

Keywords : asbestos substitutive fibers, asbestos alternatives, fiber content, bending strength, freezing and thawing resistance, incombustibility

アスベスト代替繊維, アスベスト代替品, 繊維量, 曲げ強さ, 耐凍結融解性, 難燃性

1. まえがき

石綿は、人体に吸入された場合に有害な物質として、安全対策が強化されつつある。我が国では昭和50年に労働安全衛生法に基づく管理物質に指定され、とくに作業労働者への悪影響が懸念された吹付け石綿の使用が禁止された。その後、教育施設に施工された石綿の人体への影響がマスコミ等で報道され社会的な関心が高まったこともあり、平成元年に一般環境への排出規制を目的とした大気汚染防止法が改正された。

石綿製品の製造、施工、利用、廃棄の各段階における安全性を高めるためには、石綿の代替化、含有量の低減化を推進し、これらを通じて石綿使用の総量の低減化を図ることが必要である。平成元年度に通商産業省に石綿対策検討委員会が設けられ、石綿製品の実態調査を行っ

て、石綿の代替と低減の推進方法を検討するとともに、石綿粉塵発生抑制マニュアルが作成された。

平成2年度はこれらの検討結果を踏まえ、石綿の代替化などの施策を実効のあるものにするため、通商産業省が財団法人建材試験センターに「石綿代替製品調査研究」の委託を行った。委託研究は、代替化が遅れている中小の石綿スレート製品製造メーカーに石綿代替製品を製造する際の指針となるガイドラインを示すことを目的とし、石綿スレート製造メーカーが現在使っている抄造装置と供給可能な原材料を用いてスレートを製造する方法の開発をテーマとして実施された。本論文はその研究結果をまとめたものである。

*¹ 大分大学 教授・工博*² 千葉大学 助教授・工博*³ 建設省建築研究所第五研究部 防火材料研究室長・工博*⁴ 日本大学 教授 東京大学名誉教授・工博*⁵ ユニチカ*⁶ 日本電気硝子

Prof., Oita Univ., Dr. Eng.

Assoc. Prof., Chiba Univ., Dr. Eng.

Building Research Institute, Dr. Eng.

Emeritus Prof., Tokyo Univ., Prof., Nihon Univ., Dr. Eng.

Unitica Ltd.

Nippon Electric Glass Co. Ltd.

表—1 文献に取り上げられた石綿代替材料^{1)~14)}

合成有機系繊維材料	合成有機系繊維材料	無機系繊維材料		鉱物	
ポリエチレン合成パルプ ビニロン アクリル アクリル酸化 ポリ塩化ビニル アラミド ポリイミド ポリアミド ポリエステル ビスコース レーヨン ポリテトラフッ化エチレン ポリベンゾイミダゾール	ポリオレフィン ポリエチレン ポリプロピレン ポリアリレート フェノール 天然有機系繊維材料 セルロースパルプ セルロース サイザル ジュート やしの果皮	耐アルカリガラス Aガラス Cガラス Dガラス Eガラス Rガラス グラスウール ロックウール スラグウール ピッチ系炭素 PAN系炭素 シリカ 炭化珪素	珪酸カルシウム シリコンカーバイド シリコン窒化物 アルミナ アルミナ-シリカ ジルコニア チタン酸カリウム ボロン窒化物 塩基性硫酸マグネシウム 合成カルシウムナトリウムメタ燐酸塩 水酸化マグネシウム	石膏 リン酸塩ポリマー 鉱物 エリオナイト アタパルジャイト ゾノトライト セピオライト ワラストナイト ゲーサイト ゼオライト 珪藻土	バーミキュライト パーライト マイカ タルク バリゴルスカイト ボラストナイト ハロサイト ベントナイト 金属繊維 スチール ステンレス

2. 石綿代替材料に関する文献調査

2.1 スレート用石綿代替の材料

石綿代替の可能性のある繊維材料として文献に取り上げられてその物性が検討されている材料には、表—1 のようなものがある^{1)~14)}。これらのうち、スレート用の石綿代替材料としては、補強用の繊維材料のほか、製造時の抄造性を向上するための材料と成形後の寸法安定性を改善するための混和材料が対象になる。

補強用の繊維材料としては、強度、弾性、セメントマトリックス中での耐久性、耐熱性のほか、抄造時に受ける物理的損傷に対する抵抗性や価格が問題となる。

ビニロン繊維は、セメント補強用に使うことを目的として、強度と弾性率が通常の製品より大きな高強度タイプの特種ビニロンが製造されている。

アクリル繊維は、従来の製品を改質して高強度と高弾性率を付与し、耐アルカリ性、耐酸性能、耐候性、および耐光性を向上してセメント補強に適するようにした種類が製造されている。

耐アルカリガラス繊維はセメント系材料の補強に実績があり、最近ではジルコニアの含有量を高めて耐アルカリ性をさらに向上した種類が製造されている。

以上の3種類以外でセメント補強に使える繊維材料は少なくないが、スレート用の補強繊維としては価格や補強効果の点で使える見込みがない。例えば炭素繊維は高強度高弾性で大きな補強効果があり、また耐薬品性に優れており、セメント補強用に使われた実績があり、さらに最近では以前より低価格の製品が製造されているが、それでも現時点ではスレート用としてはかなり高価格である。

抄造によるスレートの製造では、多量の水にサスペンションとして混合している繊維材料やセメントをすき上げてマット状にし、それを圧密して脱水する工程で、セメント粒子をホルディングして流出させないようにしなければならない。そのための材料として高叩解された繊維材料が必要である。高叩解の繊維材料としてはセルロースパルプと、ポリエチレン合成パルプが製造されている。前者は天然植物繊維を加工したものであり、比較

的安価で有望な材料であり、セメント補強に使われた実績が多い。後者は耐水性、耐薬品性、耐油性にすぐれ、耐候性があるが価格が前者よりかなり高くスレート用としてはコストが問題になる。

寸法安定性とひび割れ防止のために混和する材料として、マイカ、セピオライト、ワラストナイト、アタパルジャイト、エリオナイトなどの鉱物が適しており、セメント製品の混和材料としての使用の実績がある。これらの材料は繊維状の形態をしているものもあるが、セメントとの付着性が小さいので補強効果は低い。

2.2 代替材料を用いた場合の性能

2.1 で述べたスレート用の石綿代替材料に関し、従来の研究で調べられていることは以下のようなものである。

セルロース繊維をセメント補強に使うと、中性化により繊維とマトリックスの界面の密度増加と、繊維の石質化が起こり、強度と弾性係数が増加するが、温湿度を変えた促進試験により、強度が低下する¹⁶⁾。オートクレーブ養生すると、加熱あるいは乾湿繰り返しによる強度低下は少なく、自然暴露で強度の低下は認められず、さらに木材腐朽菌の培地で腐朽させても強度の低下はなく、また石質化が少ない^{15),17)}。

麻パルプと合成繊維を用いた場合は、排水中の固形成分の濃度が高く、繊維分散が悪いなど抄造性が劣り、また曲げ強度と剝離強度が低く寸法安定性が十分でなく製品としての性能が低い。この理由はパルプの叩解によるフィブリル化が十分でなく、またワラストナイトや高分子凝集剤の混和剤が添加されていないからである²³⁾。

ビニロン繊維とセルロースパルプを用いて抄造設備で作製したスレートは、作製直後に曲げ試験をすると多数の亀裂が入り繊維との付着が不良となり繊維の引き抜けと破断が起きるが、長期材令の試験体では付着の不良と繊維の引き抜けが明らかに減少して強度とねばり強さが増加し、自然暴露の試験体では繊維とマトリックスの界面で付着が向上し試験体の強度が増加する^{18),19)}。またビニロン繊維は80°Cまでセメントの高アルカリ性に対し耐久性があり、かつ抄造過程での損傷がない。養生条件によっては材令とともにビニロン繊維の変化がX線回

折により観察される場合もあるが、試験体の曲げ強度に影響はない²⁰⁾。

セメント補強に適するように改質したアクリル繊維とセルロースパルプを用いた場合は、ドイツの規格で有害ガスを発生しない不燃材料に認定できるものが作製でき、さらに少量の合成繊維を入れると、曲げ破壊断面で繊維の引き抜けがなく石綿スレートに比べてやや低い強度とより大きな変形性能が得られる²²⁾。

ビニロン繊維または耐アルカリガラス繊維とパルプを用いた場合は、繊維の分散は良好であるが連続抄造において従来の石綿スレートの場合より抄造効率の低下が予測される。補強効果はビニロン繊維と耐アルカリガラス繊維で差は無く、たわみ、耐衝撃性については、ビニロンがやや優れている。また長期耐久性はビニロンのほうが若干良い。ただし、オートクレーブ養生では両繊維とも現状の調合では補強効果を期待できない²¹⁾。

抄造性、補強効果、ヤング率、耐衝撃性においてビニロン繊維のほうが、耐アルカリガラス繊維とポリプロピレン繊維より優れている²⁴⁾。

石綿含有量を5%に減らして、パルプと耐アルカリガラス繊維とポリプロピレン繊維を用いてスレートを作製すると、成形上の問題は無く、規格値を満足する性能が得られ、また水中浸漬と大気暴露において強度低下は観察されない²⁵⁾。

2.3 代替材料の有害性

石綿代替の必要性は、発ガン性という人体への有害性が原因であり、石綿代替材料の適用においてもその有害性について十分検討しておかねばならない。代替材料の有害性を検討する上で参考となるこれまでの研究をまとめると以下のものである。

2.3.1 繊維の有害性に関する一般論

1977年に Stanton が動物実験から、繊維の種類にかかわらず太さ $1.5\ \mu\text{m}$ 未満長さ $8\ \mu\text{m}$ 以上の繊維で腫瘍の発生率が高いことを発表した。Pott 等によってこのことが追試され、人の体内で不溶性で長く細い繊維において、腫瘍発生能が強いことが立証された。ただし、エリオナイトのように、この範囲のサイズではない繊維においても悪性中皮種発生の報告はある²⁷⁾。

長さ $8\ \mu\text{m}$ 以下の繊維は、胸膜に移植後、食細胞の食作用により食べられるので、催腫瘍性または発ガン作用は小さい。長さ $8\ \mu\text{m}$ 以上の繊維では、長さが長くなるほど、また径が数ミクロン以下のものでは径が大きくなるほど、1本の繊維当たりの発ガン性と催腫瘍性の可能性は増加する²⁸⁾。

発ガン性は食細胞の食作用をのがれる繊維の表面積に比例すると考えられ、それゆえ、繊維1本当たりの危険性は、長さが約 $8\ \mu\text{m}$ 以下の繊維では非常に低い、長い繊維では繊維1本当たりの影響は、一定の径以下では

長さとの積に比例するということが示唆されている²⁸⁾。

繊維のサイズが肺胞への沈着を左右する。ラットでは繊維径が $1\ \mu\text{m}$ を超えると吸入性が低下し、人の口呼吸では繊維径が $5\ \mu\text{m}$ を超えると、吸入性が著しく低下する。 $5\ \mu\text{m}$ 以下の長さの繊維は肺胞でマクロファージにより効率良く除去されるが、 $10\ \mu\text{m}$ より長くなると除去の効率が大きく低下する。データは少ないが、繊維の他の器官への移転は限定されている²⁹⁾。

ガンになりやすい繊維の特性としては、数カ月は動物の組織に存続すること、また径が $5\ \mu\text{m}$ 以下で長さが $5\ \mu\text{m}$ 以上であることである³⁰⁾。

発ガン性がある繊維は、細くて体内に吸引され得ること、長くて体内に物理的に滞留し得ること、生体内で安定して存在できる化学構造であることの3点の特性をもつ⁷⁾。

皮膚や目のかゆみはロックウール、スラグウール、連続ガラス繊維のような $5\ \mu\text{m}$ 程度以上の直径をもつ繊維により起こる。じんましん、湿疹などを起こすが、皮膚炎は重症でない³¹⁾。

2.3.2 スレート用石綿代替材料の有害性

先に示したスレート用石綿代替材料の有害性について、文献調査から次の事が言える^{14), 26)-34)}。

セルロースパルプ、ビニロン繊維、アクリル繊維については、人体に対して何らかの有害性を報告する文献がない。

ガラス繊維については、人体に発ガン性があるとは断定できないが、人体への何らかの有害性を示唆する文献が少なからずある。径の小さいガラス繊維は、同じ寸法の石綿繊維と比較できるほどの細胞毒性を持つ危険性があり、吸入される寸法のガラス繊維は、人の肺に石綿と類似の影響を有する可能性がある。

マイカは、繊維症の原因となるトレモライトやクリノタイトを含む可能性がある。

ワラストナイトは、試験管内の試験により細胞系に対して比較的無毒である。生物学的作用はあるが、他のものより少ない。

セピオライトは、結晶末端に有機イオンと有極性有機物を吸着する特性がある。吸入した場合ラットにおいて線維症が認められている。

シリカを含む材料は、珪肺症を起こす可能性がある。

3. 石綿代替材料を用いたスレートの試作

3.1 試験に用いた石綿代替材料

文献調査より石綿代替の補強繊維としては、合成有機繊維のうちからセメントとの付着が良く、引張強度と弾性率が比較的大きなビニロン繊維とアクリル繊維を選び、また人造鉱物繊維のうちからセメント補強に有効な

引張強度と弾性率を有する耐アルカリガラス繊維を用いた。また抄造による成形において、セメント粒子のホルデングの役目のため高叩解したセルロースパルプを用い、比表面積の大きい耐熱・化学的安定フィラーの混和材料としてマイカ、セピオライト、ワラストナイト、シリカフュームまたはベントナイトなどを用いた。

これらの材料は、スレート製造の原材料として使われるようになった場合の需要を満たすだけの量が供給できる。試験に用いた材料の詳細を表-2に示す。

3.2 調合

表-3に示す9種類の調合について試験体を試作した。少量の石綿を混入すると諸性質が向上しコスト低減に有利であると言われており、スレート協会が目標としている石綿含有率の低減後の目標値が5%以下であることから、無石綿の試験体のほかに石綿を2%または4%混入した試験体を対象とした。また比較のための基準品として石綿スレートのフレキシブル板と波板、既

開発の無石綿製品についても試験体を用意した。なお基準品の波板の試験体は、波の形を付ける前の平らな板状で成形したものをを用い、他の種類の試験体と同じ寸法形状である。

3.3 試験体の作製

ビニロン繊維を補強繊維とするVP-1, 2, 3の試験体は、ミニハチェック抄造機を用いて作製した。水、パルプ、石綿、セピオライト、ワラストナイト、シリカフューム、ビニロン、マイカ、セメントの順で、必要な材料をパルパーに投入して攪拌した。スラリーをチェストに投入後15分で抄板を開始した。なお、抄造性向上のため高分子凝集剤を添加し、抄板生板はビニールで包み、数週間室内養生を行った。

アクリル繊維を補強繊維とするAP-1, 2, 3の試験体は、ミニハチェック抄造機を用いて作成した。パルパー中に水と叩解パルプを投入して十分に攪拌した後、石綿を入れる場合は石綿を投入して10分間攪拌を行い、さ

表-2 試験体作成に用いた材料

材料名	繊維径 繊維長 引張強度 引張伸度 ヤング率 融点 熱膨張係数 比重	13μm 6mm 160kgf/mm ² 7.2% 3700kgf/mm ² 240℃ 1×10 ⁻⁴ /℃ 1.30	セメント	普通ポルトランドセメント	
			マイカ	粒径 厚み アスペクト比 比重	250~340μm 平均4.2μm 2.5~8.0 2.85
アクリル繊維	繊維径 繊維長 引張強度 引張伸度 ヤング率 融点 熱膨張係数 比重	16μm 6mm 135kgf/mm ² 10~12% 2150kgf/mm ² 300℃ 1.5×10 ⁻⁴ /℃ 1.18	ワラストナイト	粒径 吸油量 比重	平均80μm 40%wt 2.9
			シリカフューム	比表面積 粒径 比重	20m ² /g 平均0.1μm 2.2
耐アルカリ ガラス繊維	繊維径 繊維長 引張強度 引張伸度 ヤング率 融点 熱膨張係数 比重	13.5μm 6mm 150kgf/mm ² 2% 7500kgf/mm ² 830℃ 0.9×10 ⁻⁵ /℃ 2.7	ベントナイト	サイズ 耐潤度	300メッシュ 6
			石綿 (アスベスト)	種類 繊維径 繊維長 引張強度 ヤング率 脱構造水温度 融点 比重	クリソタイル ~2μm 平均0.5mm 310kgf/mm ² 16500kgf/mm ² 550~700℃ 1500℃ 2.55
セルロース パルプ	種類 漉水度 繊維長 繊維幅	針葉樹未晒クラフトパルプ 60 ^{ms} (カナディアン スタンダードフリーネス) 平均約2.3mm 平均約40μm フィブリル化部分は約1μm			

表-3 試験体の調合

試験体 種類	補強繊維 (wt%)				セメント (wt%)	パルプ (wt%)	無機添加材 (wt%)				
	ビニロン	アクリル	耐アルカリ ガラス	石綿			マイカ	セピオ ライト	ワラスト ナイト	シリカフ ューム	ベント ナイト
VP-1	1.5	-	-	-	84.0	3.0	10.0	1.5	-	-	-
VP-2	1.2	-	-	2.0	82.8	2.0	2.0	1.0	6.0	3.0	-
VP-3	1.0	-	-	4.0	81.5	1.5	-	-	8.0	4.0	-
AP-1	-	1.5	-	-	80.5	3.0	10.0	-	-	-	5.0
AP-2	-	1.5	-	2.0	78.5	3.0	10.0	-	-	-	5.0
AP-3	-	1.5	-	4.0	76.5	3.0	10.0	-	-	-	5.0
GP-1	0.25	-	1.5	-	89.25	4.0	5.0	-	-	-	-
GP-2	0.25	-	1.5	2.0	87.25	4.0	5.0	-	-	-	-
GP-3	0.25	-	1.5	4.0	85.25	4.0	5.0	-	-	-	-

らにマイカ、アクリル繊維、セメント、ベントナイトを投入して10分間攪拌した。スラリーをチェストへ移し、5分後に抄造を開始した。なお抄造性向上のため凝集剤を加え、抄板生板はビニールで包み、室内で28日間養生した。

耐アルカリガラス繊維を主たる補強繊維とするGP-1, 2, 3の試験体は、丸網抄造機により作製した。水とパルプをバルパーにより十分に攪拌した後、ガラス繊維を除く固形分を投入して攪拌し、最後に耐アルカリガラス繊維を投入して攪拌した。スラリーをチェストに移して抄造を行った。最後に耐アルカリガラス繊維を投入するのは、耐アルカリガラス繊維の攪拌による破損を少なくするためである。なお抄造性向上のため高分子凝集剤を添加した。

以上のいずれの試験体の作製においても抄造効率は良く、これらの調合による製品はスレートの製造に使われている抄造の実機で製造できると考えられた。

基準品の石綿スレートと既開発品は、実際の製造ラインからサンプリングした。

4. 性能評価の試験方法

難燃性、曲げ強さ、耐衝撃性および耐凍結融解性について性能試験を行った。表-4に試験項目ごとの試験体寸法と試験体数を示す。

難燃性は、建築基準法施行令第108条の2による不燃材料の指定（昭和45年12月28日建設省告示1828号）に従い、表面試験と基材試験を行った。表面試験では、加熱中と加熱後の試験体の変形の外観観察、排気温度曲線、発煙係数、残炎時間、亀裂、加熱減量を測定し、基材試験では、試験体挿入後の炉内最高温度、加熱減量を測定した。

曲げ強さは、JIS A 1408 建築用ボード類の曲げ試験方法に準じて試験した。試験体を温度20°C、湿度50%の試験室に7日間以上静置して、試験体の質量、厚さ、幅および長さを測定した後、インストロン万能試験機を使用して支点間距離100mm、載荷速度0.5mm/minで

表-4 試験体寸法と数量

試験項目		寸法 mm	数量
曲げ強さ	平行方向	40x160x6	3
	直角方向		3
耐凍害性		40x160x6	3
衝撃		300x300x6	3
燃焼性	表面試験	220x220x6	3
	基材試験	40x40x48	3

試験体中央を最大荷重に達するまで加力し、荷重-クロスヘッド移動距離の曲線を記録した。曲げ強さのほか最大荷重時のたわみ、比重、含水率を測定した。

耐衝撃性は、JIS A 5403 石綿スレートに従って試験した。

耐凍害性は、JIS (案) 外壁材料の耐凍害性試験方法の片面吸水凍結融解法に従った。試験体を20°Cの清水中に24時間浸漬した後、表面の水分を布で拭き取り、注水したフェルトの上に置き、プログラム付恒温恒湿槽で、-18°C~10°Cの温度域の凍結融解を200サイクル行った。槽内の温度管理はフェルトの間に置いた熱電対で行い、加熱および冷却をそれぞれ2時間で行い、1サイクル所要時間を4時間とした。100および200サイクル後に、試験体の割れ、亀裂、剝離の有無を目視観察し、試験体を20°Cの清水中に24時間浸せきした後、厚さおよび質量の変化率を測定した。200サイクル後では曲げ試験を行い、曲げ強さおよび最大荷重時のたわみを測定した。曲げ試験後に試験体を105°Cの乾燥機に入れ、重量が一定になるまで乾燥し、質量を測定して含水率を求めた。

5. 性能評価の試験結果と考察

5.1 比重と含水率

成形して数週間置いた後、温度20°C湿度50%RHの試験室に7日間以上静置した試験体の比重を図-1

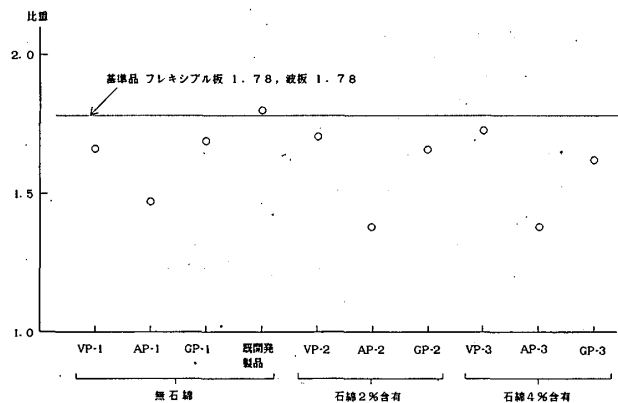


図-1 比重

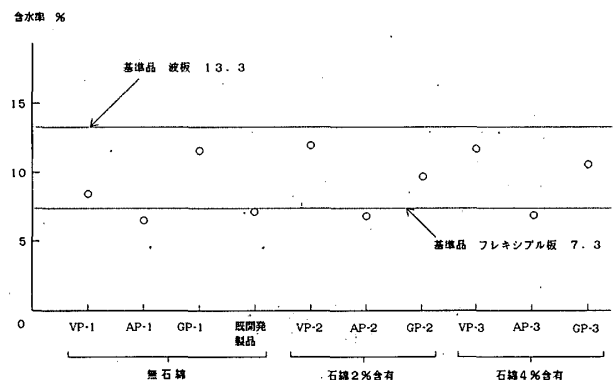


図-2 含水率

に、そのときの含水率を図-2に示す。

比重はAP-1, 2, 3の試験体が比較的小さく、その他の試験体の比重は既開発製品を除いて基準品のフレキシブル板と波板よりやや小さい。

含水率は、基準品の波板とフレキシブル板の値の間にほぼ入っており、GP-1, 3, VP-2, 3の試験体がやや大きく、それ以外は10%以下である。JIS A 5403石綿スレートでは、フレキシブル板の場合に含水率を10%以下になるまで乾燥して出荷すると規定している。

5.2 難燃性

表面試験の結果を表-5に、基材試験の結果を表-6に示す。

表面試験の合格と不合格は、3体の試験体すべてが次の5つの項目に適合するか否かで判定した結果である。

- ・防火上著しく有害な変形が無い。
- ・全厚の1/10以上の幅の亀裂が無い。
- ・温度時間面積が0である。
- ・発炎係数CAが30以下である。

・残炎時間が30秒未満である。

基材試験の合格と不合格は、3体の試験体すべての温度差が50°C以下であるとき合格、そうでないとき不合格として判定した結果である。

無石綿試験体は3種類の試験体のいずれも表面試験と基材試験の両方に合格している。石綿を含有する試験体では、いずれも基材試験に合格するが、VP-2とVP-3の試験体が全厚の1/10以上の幅の亀裂を発生するため表面試験に不合格となっている。不合格となった理由は、コストの低減を目的として表-3に示すようにビニロン、パルプ、セピオライト、マイカの量を減じて、ワラストナイト、シリカフェームの量を増やした調合としたためであり、マイカの増量等の調整により合格することは可能と思われる。

5.3 曲げ強さとたわみ

抄造方向に平行な方向をスパンとした曲げ試験による曲げ強さを図-3に、たわみを図-4に示す。曲げ強さは、いずれの試験体も基準品のフレキシブル板と波板よりや

表-5 難燃性試験の表面試験結果

項目	無石綿				石綿2%含有			石綿4%含有			基準品	
	VP-1	AP-1	GP-1	既開発製品	VP-2	AP-2	GP-2	VP-3	AP-3	GP-3	波板	フレキシブル板
防火上著しく有害な変形	それぞれ3体の試験体いずれも無し											
亀裂巾 - 長さ mm mm	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0
	0-0	0-0	0-0	0-0	0.5-197	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0	0-0
	0-0	0-0	0-0	0-0	1.0-190	0-0	0-0	1.0-190	0.1-154	0-0	0.3-125	0-0
温度時間面積 °C×min	それぞれ3体の試験体いずれも 0											
発煙係数 CA	1	0.5	0	0	1	4	0	1	1	0	0	0
	1	1	0	0.5	0	2	0	1	0	1	0	0.5
	1	1	0.5	0.5	1.5	1.5	0	1	0	0	0	0
残炎時間 sec	それぞれ3体の試験体いずれも 0											
表面試験の合否	合格	合格	合格	合格	不合格	合格	合格	不合格	合格	合格	合格	合格

表-6 難燃性試験の基材試験結果

項目	無石綿				石綿2%含有			石綿4%含有			基準品	
	VP-1	AP-1	GP-1	既開発製品	VP-2	AP-2	GP-2	VP-3	AP-3	GP-3	波板	フレキシブル板
温度差 °C	36	50	30	35	38	35	29	23	40	31	18	15
	34	45	35	40	30	48	36	33	38	35	25	20
	35	50	32	42	28	41	28	30	45	32	25	18
加熱減量 g	18.9	18.0	18.7	16.0	18.5	13.9	17.1	17.0	14.9	17.2	21.8	18.3
	19.1	17.4	18.5	17.0	18.2	14.1	19.6	16.6	15.8	19.4	17.9	18.6
	18.7	17.6	18.9	16.7	18.4	14.0	18.6	17.8	15.3	20.6	18.7	18.7
基材試験の合否	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格

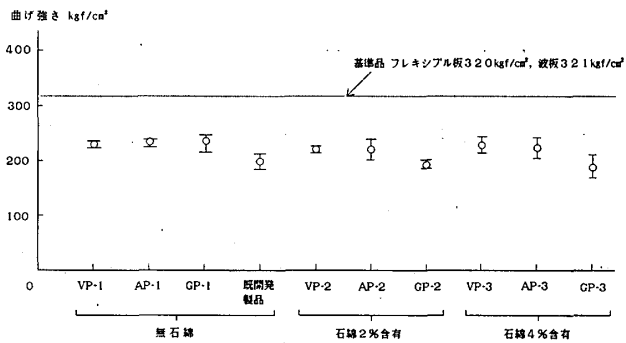


図-3 曲げ強さ (抄造方向に平行な方向をスパンとした曲げ試験による)

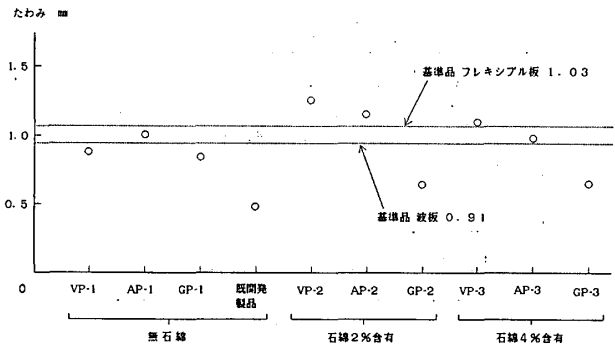


図-4 曲げ試験のたわみ (抄造方向に平行な方向をスパンとした曲げ試験による)

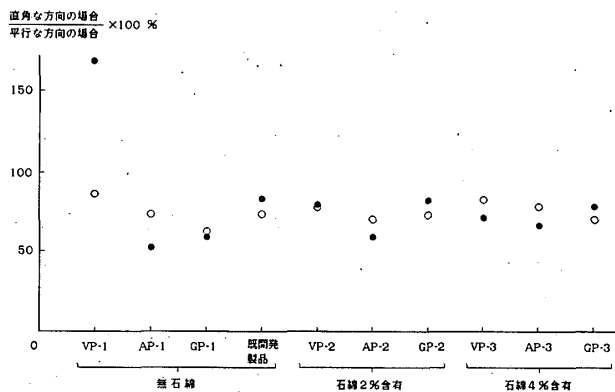


図-5 抄造方向に平行な方向をスパンとした場合と直角な方向をスパンとした場合の曲げ試験の曲げ強さの比率 (○で示す) をたわみの比率 (●で示す)

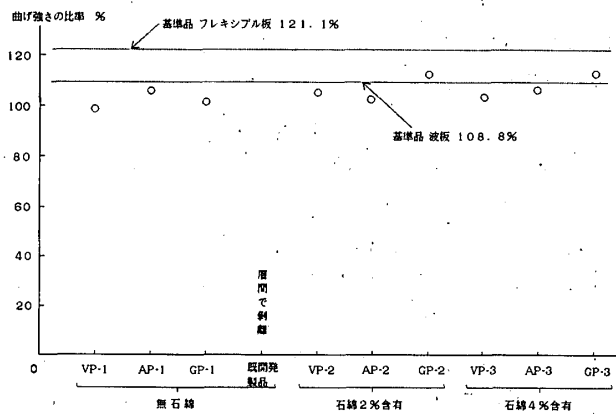


図-6 凍結融解 200 サイクル繰返し後の曲げ強さの初めの曲げ強さに対する比率

表-7 凍結融解繰返し後の質量と厚さ (凍結融解繰返し前を 100 とする)

項目	凍結融解のサイクル数	無石棉				石棉2%含有			石棉4%含有			基準品	
		VP-1	AP-1	GP-1	既開発製品	VP-2	AP-2	GP-2	VP-3	AP-3	GP-3	波板	フルキアル板
質量	100	101.7	100.0	101.6	101.8	101.4	100.9	101.0	101.0	100.8	101.0	100.7	100.5
	200	102.3	100.8	100.5	層間で剥離	101.3	101.0	99.7	100.5	101.3	100.4	99.7	100.8
厚さ	100	100.0	100.4	100.0	103.7	100.2	100.3	100.3	100.0	99.9	100.0	100.3	99.7
	200	100.3	100.6	100.0	層間で剥離	99.8	100.3	100.1	99.5	100.0	99.9	100.0	100.3

や低い。たわみは、GP-2と3の試験体と既開発製品が比較的小さいが、それ以外の試験体は基準品のフレキシブル板と波板に近い値である。

図-5は、抄造方向に垂直な方向をスパンとした場合と、抄造方向に平行な方向をスパンとした場合との比較である。○印で示される曲げ強さの割合は、60~80%程度である。JIS A 5403 石綿スレートのフレキシブル板は、この割合が約70%である。

5.4 耐衝撃性

すべての試験体について、衝撃試験で異常はなかった。

5.5 耐凍結融解性

凍結融解繰返し後の質量と厚さを表-7に、含水率を表-8に示す。凍結融解繰返し後の外観調査では、既開発製品の試験体は層間で剥離したが、他の試験体は外観に異常がない。層間で剥離をしている既開発製品を除いて、いずれも凍結融解繰返しによる質量と厚さの変化は小さい。繰返し前の含水率は、24時間静水中に浸せきした試験体で測定した値であり、吸水率に相当する。AP-3の試験体の吸水率が比較的大きいが、それ以外の試験体の吸水率は21~24%程度の範囲にある。JIS A 5403石

表—8 凍結融解 200 サイクル繰返し前と後の含水率

項目	無石綿				石綿2%含有			石綿4%含有			基準品	
	VP-1	AP-1	GP-1	既開発 製品	VP-2	AP-2	GP-2	VP-3	AP-3	GP-3	波板	フレキシ ブル板
前の含水率 %	21.1	23.2	21.9	20.7	23.8	22.2	23.0	21.1	28.1	24.1	23.1	20.5
後の含水率 %	23.7	23.8	21.8	層間 剝離	25.2	29.0	21.3	21.9	29.2	25.9	23.3	20.4

綿スレートのフレキシブル板では、吸水率は22%以下である。

凍結融解200サイクル繰返し後の曲げ強さの初めの曲げ強さに対する比率を図—6に示す。凍結融解繰返しによる曲げ強さの低下はほとんどない。基準品のフレキシブル板と波板に比べると、凍結融解繰返し後の試験体の曲げ強さの比率はやや低い傾向にある。

5.6 代替材料の安全性

石綿代替に用いた材料は、表—2に示したような寸法形状をしており、これらの材料の安全性について現在のところ次のように考えられる。

ビニロン繊維、アクリル繊維および耐アルカリガラス繊維は、呼吸で吸入される限度の5 μ m以上の径があり、縦に裂けて細くなる性質がないと報告されているので、吸入による疾病には安全である。セルロースパルプは、フィブリル化した部分が遊離すると吸入性の寸法になるが、人体への有害性が認められない。

マイカ、セピオライト、ワラストナイト、シリカフェームおよびベントナイトは、吸入される大きさのものが含まれるので、その粉じんを抑制する必要がある。これらの材料の使用量が少ない場合は、作業場所の空気を清浄に保つ集じん装置により、人体への安全性を保つように、粉じんを抑制することができる。

6. 結論

抄造性を高めるために高叩解したセルロースパルプを用い、必要な強度を得るためにビニロン繊維、アクリル繊維、または耐アルカリガラス繊維を入れ、耐熱性や化学的安定性を向上するための鉱物物質をフィラーとして添加することにより、次のような性能を有する無石綿のスレートを抄造で製造することができる。

- 表面試験と基材試験に合格し必要な難燃性を有する。
- 基準品のフレキシブル板と波板に比べて、曲げ強さはやや低く、比重はやや小さい。したがって同じ厚さの板の場合は、従来の石綿スレートより耐力が少し低い。また同じ重量の板の場合は、従来の石綿スレートに近い耐力になる。
- JISの石綿スレートの6mm厚さのフレキシブル板で規定される強度の基準値に相当する292kgf/cm²の曲げ

強さに比べて、やや低い曲げ強さである。

- たわみは、基準品の石綿スレートと同程度である。
- 耐衝撃性は十分な性能がある
- 200サイクルの耐凍結融解試験で、性能低下は生じない。基準品のフレキシブル板と波板に比べて、耐凍結融解性はやや劣る。
- 乾燥状態における含水率は、ビニロン繊維とアクリル繊維を補強繊維とする場合は10%以下である。
- 吸水率は、石綿スレートのフレキシブル板の規格値の22%程度である。

石綿を2%または4%入れた試験体の成形後の性能は無石綿試験体と同程度であり、今回の性能試験の項目については、石綿を少量混入したことで明確な差異は認められない。なお、石綿を少量混入すると抄造性が向上しコストが低減される可能性がある。

人体への安全性について、セルロース繊維、ビニロン繊維、アクリル繊維は有害性を示唆する文献が無く、また耐アルカリガラス繊維は、呼吸で吸入される限度の5 μ m以上の径があり縦に裂けて細くなる性質がないので、石綿で問題になっている吸入による疾病を起こさない。

謝 辞

本研究は石綿代替製品調査研究本委員会（委員長岸谷孝一、委員平居孝之、東 敏明、高橋泰一、長田直俊、田村伊行、丸一俊雄、今泉正達、中山 勉、草野 武、滝川充朗、土谷 澄、福渡 豊、湯村崇男）、調査分科会（主査 平居孝之、委員前田孝一、仲座政宏、遊佐秀逸、佐藤仁一、高橋康朗、乙黒利和、長岡秀光、井上忠泰、服部純雄、日笠純一、十河英二、上田富士男、草津悟昭、溝口和雄、荒木 卓、堀内盛夫、武田洋一、安藤文雄、上田 弘、計 和弘）、建材試験センター事務局（森幹芳、高野美智子）で行ったものであり、試験の実施においては十河英二（東レ、繊維新事業部）、日笠純一（クラレ、産資・リビング事業本部）、計 和弘（住友金属、未来技術研究所）、長岡秀夫（スレート協会、浅野スレート）の各氏に尽力をいただいた。関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 環境庁大気保全局企画課：アスベスト代替品の開発及び普及状況に関する調査中間報告，昭和63年3月
- 2) 内田京治：ノン・アスベスト建材の開発と石綿処理技術，建築仕上技術 Vol.13, No.153, pp.116~117, 1988.4
- 3) 本橋健司：アスベスト代替建材開発の動向，建築仕上技術 Vol.15, No.177, pp.44~47, 1990.4
- 4) 久保田昭：各産業分野でのアスベスト代替化の動向，建築仕上技術 Vol.15, No.177, pp.48~51, 1990.4
- 5) 遊佐秀逸：米国におけるアスベスト代替材料開発の動向，建築仕上技術 Vol.15, No.177, pp.52~54, 1990.4
- 6) 日本石綿協会：石綿に関する海外調査アンケート回答結果，1989.5
- 7) 日笠純一：アスベスト規制と代替素材の開発，化学経済，pp.23~30, 1989.7
- 8) 日笠純一：アスベスト代替高分子材料，第38回高分子夏期大学，講演要旨集，pp.150~153, 1990.7
- 9) 溝辺昭雄：アスベスト代替用繊維—スレート板用途を中心に—，化学と工業第41巻，第6号，pp.121~123, 1988
- 10) 未来工学研究所：石綿代替品開発動向調査報告書，環境庁大気保全局大気規制課監修，1990.3
- 11) Lohrer W. : Asbest-Ersatzstoffe, Staub-Reinhaltung der Luft 49, pp.61~66, 1989
- 12) Lohrer W. : Ersatzstoffe fur Asbest, Staub-Reinhaltung der Luft 40, pp.210~217, 1980
- 13) Studinka J. B. : Asbestos substitution in the fibre cement industry, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Volume 11, No.2, pp.73~78, 1989.5
- 14) Hodgson A. A. : ALTERNATIVES TO ASBESTOS AND ASBESTOS PRODUCTS, ANJALENA PUBLICATIONS LTD, 1985.1
- 15) 橋本隆治ほか2名：セルロース繊維の耐久性，石綿スレート協会，技術部会論文集第33集，pp.13~22, 1990.6
- 16) Bentur A., et al : The microstructure and ageing of cellulose fibre reinforced cement composites cured in a normal environment, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol.11, No.2, pp.99~109, 1989.5
- 17) Bentur A., et al : The microstructure and ageing of cellulose fibre reinforced autoclaved cement composites, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol.11, No.2, pp.111~115, 1989.5
- 18) Akers S. A. S. et al : Micromechanical studies of fresh and weathered fibre cement composites, Part 1 : Dry testing, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol.11, No.2, pp.117~124, 1989.5
- 19) Tait R. B., et al : Micromechanical studies of fresh and weathered fibre cement composites. Part 2 : Wet testing, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol.11, No.2, pp.125~131, 1989.5
- 20) Akers S. A. S., et al : ET Long term durability of PVA reinforcing fibres in a cement matrix, The International Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol.11, No.2, pp.79~91, 1989.5
- 21) 乾 修郎，寺本 博：石綿代替繊維の研究（ビニロンと耐アルカリ性ガラス繊維の比較），石綿スレート協会技術部会論文集第27集，pp.14~21, 1984.6
- 22) Hahne D. H., et al : The asbestos alternative, Textile Tech. International, pp.57~60, 1990
- 23) 松山保秀，田口裕之：けいカル板に於ける石綿代替繊維の検討，石綿スレート協会技術部会論文集第32集，pp.8~16, 1989.6
- 24) 松山保秀，多田裕昭：合成繊維および耐アルカリ性ガラス繊維について（第2報），石綿スレート協会技術部会論文集第26集，pp.46~57, 1983.6
- 25) 内藤恒雄ほか2名：Asbestos free 石綿スレート超大波の検討，石綿スレート協会技術部会論文集第31集，pp.1~5, 1988.6
- 26) Blais R. A., et al : CHARACTERISTICS OF FIBRES USED IN CEMENT AS ALTERNATIVES TO ASBESTOS, Technical Paper, THE ASBESTOS INSTITUTE, Montreal, Quebec, Canada, 1985.9
- 27) 仲座政宏ほか2名：環境測定技術者のための石綿および代替繊維写真集，リコーテクノロジー，1989.9
- 28) Peto J. : FIBRE CARCINOGENESIS AND ENVIRONMENTAL HAZARD, Institute of Cancer Research, Sutton, Surrey, UK, 1989
- 29) WHO, : WHO Environmental Health Criteria 77, MAN=MADE MINERAL FIBERS, 1988
- 30) Doll R. : MINERAL FIBRES IN THE NON-OCCUPATIONAL ENVIRONMENT : CONCLUDING REMARKS, Imperial Cancer Research Fund Cancer Epidemiology and Clinical Trials Unit, Radcliffe Infirmary, Oxford, UK., International Agency for Research on Cancer (IARC), Lyon, France, No.90, 1989
- 31) ILO : Working paper on safety in the use of mineral and synthetic fibers, Meeting of Experts on Safety in the Use of Mineral and Synthetic Fibers, International Labour Office, Geneva, 1989
- 32) 日本石綿協会安全衛生委員会：せきめんの素顔，1988.4
- 33) 安達修一，竹本和夫：石綿代替物質の生体影響，大気汚染学会，pp.188~189, 1990.10
- 34) Dunnigan J., : KNOWN BIOLOGICAL ACTIVITY OF SELECTED ASBESTOS SUBSTITUTES, A REVIEW OF RECENTLY PUBLISHED DATA, Scientific Paper, THE ASBESTOS INSTITUTE, Montreal, Quebec, Canada 1987.12

(1992年2月10日原稿受理，1992年8月25日採用決定)