

無機系材料と積層した木質系材料の耐火性能

菊地伸一 駒澤克己

Fire Resistance of Wooden - Materials Combined with Inorganic - Materials

Shin - ichi KIKUCHI

Katsumi KOMAZAWA

1. はじめに

建築基準法や消防法では、不特定多数の人々が使用したり、高さや面積の規模が大きい建築物など火災が発生した場合の危険性が高い建築物に対して、その構造、材料、消防設備などに多くの規制を設けている。その一つは、火災に対する安全性が要求される建築物の開口部（ドア、窓）に、建築基準法の定めた性能を満足する防火戸の使用を義務づけていることである。これまでの防火戸は、銅製ドア・銅製シャッター・アルミサッシなどに限定され、木材やプラスチックなどの有機材料を使用したものは認められなかった。

しかし、平成2年に防火戸に関する建設省告示が改正され、熱や炎を一定時間遮ることができれば、部材が可燃性であっても防火戸として認められることになった¹⁾。これにより、従来は防火上の規制から木質系ドアを使用することができなかったマンションやホテルにも木質系防火ドアが使えるようになった。

防火戸は甲種と乙種とがあり、甲種は60分間、乙種は20分間の耐火性能が求められる。窓が主体となる外壁開口部には乙種防火戸が認められているが、出入口であるドアは多くの場合、甲種防火戸とする必要がある。

防火戸に必要な耐火性能は次の3点である。

- ・ すき間、亀裂などを生じないこと。
- ・ 裏面側に発炎や著しい発煙を生じないこと。
- ・ 加熱終了後、構造安定性を有していること。

このような耐火性能が必要とされる甲種防火ドアを開発するためには、60分間燃え抜けず防火上有害な変形、破壊を生じないドア面材の構成、およびドアとドア枠のすき間部分からの燃え抜け防止方法を明らかにする必要がある。

ここでは、甲種防火ドアに適用可能な60分間の遮熱性を持つドア面材を選択するために行った、木質系材料と無機系材料とを組み合わせた複合材料の耐火加熱試験結果について報告する。なお、本報告の1部は第42回日本木材学会大会（1992年、名古屋市）で発表した。

2. 実験方法

2.1 供試体

木質系材料と無機系材料とを複合化した供試体に用いた構成部材、およびその組み合わせ方法の概要を第1～3表に示す。

第1表は、心材に無機系材料を、表裏面材に木質系材料を用いた供試体である。No. 1の25mm繊維混入けい酸カルシウム板は、けい酸カルシウム（75～89%）、無機繊維質（11%以上）を主成分とし、他に6%以下の有機質で構成され、主に鉄骨の1時間耐火被覆などに用いられている。No. 2の15mm繊維混入強化石膏ボードの2枚張りは、壁の1時間耐火被覆に用いられている。難燃合板は難燃3級認定品である。

第2表は、心材に用いたカラマツ集成材を無機系材

第 1 表 無機材料コア供試体の概要

供試体 No.		構成部材	
		表裏面材	心材
1	部材名 規格等 比重	9mmパーティクルボード タイプ150 0.68	25mm繊維混入けい酸カルシウム板 不燃第1061号 0.44
2	部材名 規格等 比重	5.5mm難燃シナ合板 難燃第3011号 1.01	15mm繊維混入強化石膏ボード(2枚) JIS A 6913 0.78

表中寸法：各部材の厚さ
接着剤：常温硬化型レゾルシノール樹脂

第 2 表 集成材コア供試体の概要

供試体 No.		構成部材		
		表裏面材	そえ心材	心材
3	部材名 規格等 比重	6mm難燃シナ合板 難燃第3011号 0.68	1mmセラミックファイバー 主成分：アルミナ、シリカ 0.28	25mmカラマツ 集成材 0.54
4	部材名 規格等 比重	5.5mmシナ合板 2類 0.52	6mmセラミックファイバー 主成分：アルミナ、シリカ 0.28	同上 0.44
5	部材名 規格等 比重	10mm石綿セメントけい酸カルシウム板 JIS A 5418 0.89		同上 0.51
6	部材名 規格等 比重	12mm硬質木片セメント板 準不燃第2012号 1.27		同上 0.55
7	部材名 規格等 比重	5.5mmシナ合板 2類 0.52	2mm発泡ボード 主成分：1) 1.36	同上 0.50

表中寸法：各部材の厚さ
接着剤：常温硬化型レゾルシノール樹脂
1)：含水ケイ酸ナトリウム、グラスファイバー繊維、
グラスファイバーメッシュ等

料で覆った供試体、および無機系材料の外側にさらに合板を接着積層した供試体である。カラマツ集成材は幅100mmのラミナをレゾルシノール樹脂で接着して製造した。No. 3, No. 4に用いたセラミックファイバーは、燃焼炉の断熱用ライニング材などに使われ、最高使用温度1200の耐火性能を持っている。主成分はアルミナとシリカである。No. 7の発泡材は100~150の熱を受けると、比重0.1~0.2の不燃・断熱性能を持つ発泡体に変化するので、ドアとドア枠のすき間の充てん、電線・配管の被覆に用いられている。No. 5の石綿セメントけい酸カルシウム板は不燃内装材の下地材として、No. 6の硬質木片セメント板は防火構造の外壁材として、それぞれ用いられている。

第3表はカラマツ集成材の代わりにパーティクルボードを心材に用いた供試体である。そえ心材には石綿セメントけい酸カルシウム板、または繊維混入けい

酸カルシウム板を用いた。これらは不燃内装材の下地材として用いられている。また、比較のために厚さ40mmのパーティクルボードも供試した。

各構成部材は、表に示した接着剤を1接着層当たりそれぞれ250g/m²用いて接着積層した。

供試体の大きさは900×900mmとした。

2.2 試験方法

供試体は910×910mmの鉄製試験体取り付け枠にはめ込み、プロパンガスを燃料とする加熱面が1×1mの垂直炉を使用して、JIS A 1311「建築用防火戸の防火試験方法」に定められる耐火加熱標準温度曲線に沿って60分間加熱した。なお、燃え抜けが生じた場合にはその時点で加熱を中止した。加熱温度は鉄製保護管に挿入した径1mmのK熱電対によって測定、制御した。熱電対は加熱炉内の5か所に設置し、熱接点は供試体表面から30mm離れた。

第3表 パーティクルボードコア供試体の概要

供試体 No.	部材名 規格等 比重	構成部材		接着剤
		表裏面材	芯材	
8	6mm石綿セメントけい酸カルシウム板 JIS A 1548 0.79	6mm石綿セメントけい酸カルシウム板 JIS A 1548 0.79	I	I
9	5.5mm難燃シナ合板 難燃第3011号 0.61	10mm繊維混入けい酸カルシウム板 不燃第1061号 0.75	II	I
10	6mm難燃シナ合板 難燃第3011号 0.72	6mm石綿セメントけい酸カルシウム JIS A 1548 0.93	II	I
11	6mm難燃シナ合板 難燃第3011号 0.72	4mm石綿セメントけい酸カルシウム JIS A 1548 0.92	II	I
12	10mm難燃ラワン合板 難燃第3011号 0.59	6mm繊維混入けい酸カルシウム板 不燃第1061号 0.75	II	I
13	10mm難燃ラワン合板 難燃第3011号 0.60	6mm繊維混入けい酸カルシウム板 不燃第1061号 0.75	II	II
14	2mmラワン合板 2類 0.50	8mm繊維混入けい酸カルシウム板 不燃第1061号 0.89	II	I
15	6mm難燃ラワン合板 難燃第3011号 0.82	6mm繊維混入けい酸カルシウム板 不燃第1061号 0.80	II	I
16	6mm難燃ラワン合板 難燃第3011号 0.83	6mm繊維混入けい酸カルシウム板 不燃第1061号 0.76	III	I
17	2.5mmシナ合板 2類 0.58	2mm発泡ボード 主成分：1) 1.39	I	I
18	部材名 規格等 比重		I	

表中寸法：各部材の厚さ

芯材Ⅰ：40mmパーティクルボード、150タイプ

芯材Ⅱ：22mmパーティクルボード、150タイプ

芯材Ⅲ：22mm難燃処理パーティクルボード、150タイプ

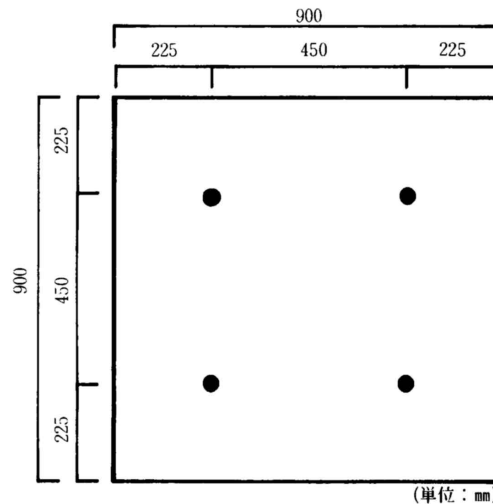
接着剤Ⅰ：常温硬化型レゾルシノール樹脂

接着剤Ⅱ： α -オレフィン系

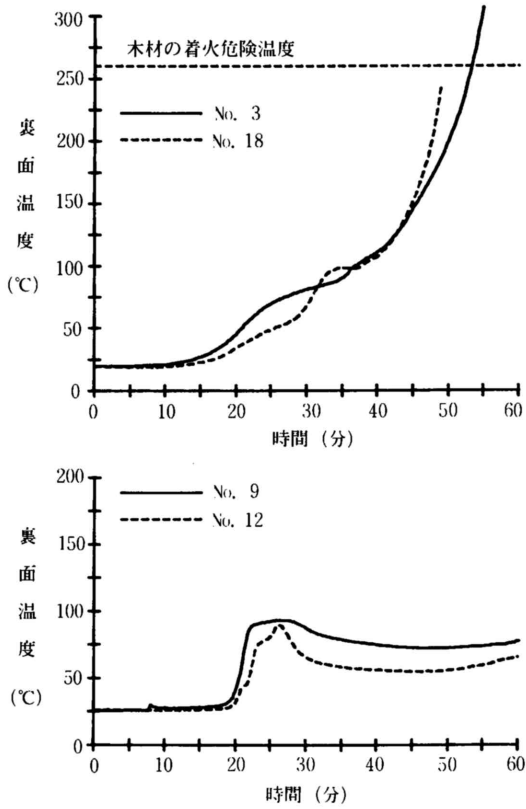
1)：含水ケイ酸ナトリウム、グラスファイバー繊維、
グラスファイバーメッシュ等

遮熱性の評価は60分加熱終了時の裏面到達温度で行った。裏面到達温度の測定は、径0.65mmのK熱電対を用いて第1図に示す4か所で行った。熱電対の熱接点には杉板を用い、耐火目地剤で密着させた。

また、裏面の温度分布を赤外線放射温度計（日本電気三栄株式会社製、サーモトレーサ6T61）を用いて観察した。赤外線放射温度計によって温度を測定するには、放射率による補正を行わなければならない。しかし、木材の放射率は樹種、含水率、温度の影響を受け²⁾、それぞれ異なることが知られている。赤外線放射温度計による温度の測定は、供試体裏面の温度分布の比較を目的としたものなので、放射率は便宜的に1とした。



第1図 供試体の大きさおよび裏面温度測定位置



第2図 裏面温度の経時変化

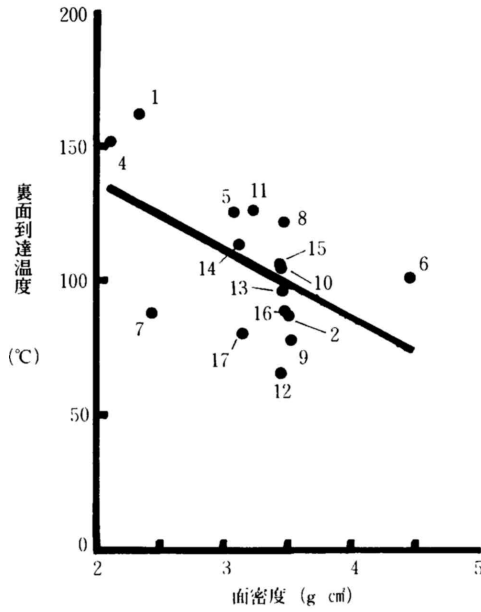
3. 結果

3.1 裏面温度の経時変化

裏面温度の経時変化の1例を第2図に示す。燃え抜けが生じたNo. 3, No. 18では100 前後で温度上昇が停滞後、120~140 から急上昇し260 を超えた。100 前後で起こる温度上昇の停滞は、供試体に含まれる水の蒸発によると考えられる。

裏面到達温度が100 以下だったNo. 9, 12では、加熱側難燃合板の焼失、脱落により加熱側繊維混入けい酸カルシウム板が加熱され始める20分前後に急な温度上昇がみられた。その後、60分加熱終了時まで100 前後で推移し裏面温度に大きな変化はなかった。これは、加熱側繊維混入けい酸カルシウム板が心材のパーティクルボードの燃焼を抑制し、さらに断熱層として作用するパーティクルボード炭化層のはく離、脱落を防止したことによると考えられる。

3.2 裏面到達温度



第3図 面密度と裏面到達温度との関係

各供試体の燃え抜け時間、60分加熱終了時の平均裏面到達温度、および最高裏面到達温度を第4表に示す。

セラミックファイバーを用いたNo. 3, および40mm パーティクルボードのNo. 18が燃え抜けた。

裏面到達温度は、難燃処理の有無や、部材の熱伝導率、比熱に影響されるが、供試体が厚くなるほど、また比重が大きくなるほど低くなるのが当然予想される。厚さおよび比重が異なるままでは、各供試体間の遮熱性の比較はできない。そこで、1平方センチメートル当たりの重量、すなわち面密度によって60分加熱後の裏面到達温度の比較を試みた。結果を第3図に示す。図中の相関直線の下にあるほど、遮熱性に優れていることを意味する。第3図から、強化石膏ボードを心材に用いたNo. 2, 厚さ2mmの発泡材を用いたNo. 7, 17, パーティクルボードと繊維混入けい酸カルシウム板を組み合わせたNo. 9, 12, 16が比較的遮熱性に優れていることが分かった。

心材のカラマツ集成材を無機系材料で覆う構成の傍試体は、パーティクルボードを心材とする供試体より劣る結果となった。集成材を心材に用いた供試体では、加熱側で無機系材料の破壊・脱落が顕著に観察され

た。このため、無機系材料による心材の燃焼抑制効果、および炭化層保護効果が失われたと推測される。無機系材料の破壊・脱落は、加熱によって集成材が変形し、接着面での破壊によって生じたと考えられる。

パーティクルボードを心材とする供試体では、石綿セメントけい酸カルシウム板を用いた供試体が繊維混入けい酸カルシウム板より劣る結果となった。石綿セメントけい酸カルシウム板は亀裂、破壊、脱落が加熱側で顕著に観察された。熱電対による裏面温度測定では明確な違いが表れなかったが、赤外線放射温度計によって観察される裏面の温度分布は、石綿セメントけい酸カルシウム板を用いた供試体が部分的に高温になっていることを示していた。これは、加熱側石綿セメントけい酸カルシウム板の亀裂・脱落によると考えられる。これに対し、不燃第1061号の認定を得ている繊維混入けい酸カルシウム板は亀裂が少なく、赤外線放射温度計によって観察される裏面の温度分布もほぼ均一で、心材の木質系材料を保護する効果に優れていることが分かった。

不燃第1061号は耐火被覆協会が通則認定を取得しており、組成成分、比重に幅広いバリエーションを認めている。また、繊維にガラス繊維、ロックウール、炭素繊維などを使用して個別認定を受けている繊維混入けい酸カルシウム板も数多く、組成成分、比重、強度

が異なっている³⁾。これら不燃材料単体での耐火時間はこれまでも報告されている^{4・5)}。それらによると各材料間の耐火時間に大きな差はみられない。しかし、無機系材料に生じる亀裂の程度、木質系材料との接着性などが心材の木質系材料の燃焼性を左右し、遮熱性に影響する。このように木質系材料と複合化された状態で加熱を受けた場合の挙動には不明な点が多い。今回用いた繊維混入けい酸カルシウム板でもメーカー間の違いが観察された。

今回の耐火試験では、木質系材料と無機系材料との複合材料に対し、裏面到達温度の高低、つまり遮熱性についてのみ評価を行った。しかし、これ以外にも膨張率の違いによる接着面のはく離や部材の脱落の有無、複合化した材料の比重、加工性などについても評価しなければならない。

また、木質系材料と無機系材料とを複合化した材料をドア面材として利用するには、以下の点についても考慮する必要がある。

複合化の手法は、遮熱性を有する厚い無機系材料を心材に用い、その両側に化粧層としての薄い木材を配置する方法と、心材に用いた可燃性の木質系材料の燃焼を薄い無機系材料で抑制する方法とが考えられる。前者の耐火性能はほぼ無機系材料の性能に左右され、比較的単純な構成とすることが可能であるが、無機系

第4表 木質-無機複合供試体の耐火加熱試験結果

供試体 No.	厚さ (mm)	重量 (kg)	比重	面密度 (g/cm ²)	燃え抜け (分 秒)	60分裏面到達温度		燃 料 消費量 (ℓ / 分)
						平均	最大	
1	43.0	19.1	0.55	2.34		162.2	162.5	61
2	41.0	28.6	0.86	3.51		87.2	92.1	67
3	39.0	18.4	0.58	2.26	51' 5"			52
4	47.0	17.2	0.45	2.11		151.9	197.1	62
5	45.8	25.1	0.67	3.08		125.8	135.7	69
6	49.0	36.3	0.91	4.46		101.4	104.1	70
7	40.2	19.8	0.61	2.44		88.1	93.9	56
8	52.0	28.3	0.67	3.47		122.0	147.0	65
9	53.0	28.6	0.67	3.53		78.1	82.4	65
10	46.0	28.0	0.75	3.45		104.8	113.8	56
11	42.0	26.2	0.77	3.23		126.3	136.2	56
12	53.6	27.9	0.64	3.45		65.9	72.1	63
13	53.6	28.0	0.65	3.46		96.2	112.0	61
14	42.0	25.8	0.74	3.12		113.5	123.2	62
15	46.0	27.9	0.75	3.44		106.4	114.0	59
16	46.0	28.2	0.76	3.48		89.0	92.8	59
17	49.0	25.5	0.64	3.15		80.5	82.3	53
18	40.0	21.6	0.67	2.67	49' 4"			45

材料は一般にビス保持力が小さく衝撃に弱いので、ノブ取り付け位置、ドアクローザー取り付け部への補強材の配置や、ドア全体の強度を確保するためのかまち材の配置について考慮する必要がある。木質系材料を心材に用いる方法は、ドア構成が複雑になりやすいが、ドアの強度が容易に確保でき、比較的自由にノブやドアクローザーを取り付けることができる。

可燃性供試体に対する加熱温度を耐火標準温度曲線に沿わせるには、供試体からの発熱が炉内温度に影響するため、燃えやすい供試体ほど燃料供給量を抑制する必要がある。このため炉内温度は同じであるものの可燃性材料が多いほど燃焼条件はゆるく、無機材料が多くなるほど燃焼条件は厳しくなる。一方、耐火標準温度に沿うように不燃材料を加熱したときの燃料消費量に従って可燃性材料を加熱すると、炉内温度は標準温度曲線より100～150℃程度高くなり、燃え抜け時間も早くなると報告されている⁶⁾。現在、防火戸に対する加熱方法は、燃料消費量ではなく炉内温度を一定とするように定められている。炉内温度が耐火標準温度曲線に沿うように加熱した本試験のプロパンガス消費量は、第4表に示したようにNo.18の45ℓ/分からNo.6の70ℓ/分まで供試体間で大きな差を生じた。

4. 結 論

面密度当たりの遮熱性に優れる、木質系材料と無機系材料との組み合わせは以下のとおりであった。

- ・15mm繊維強化石膏ボード（心材）＋難燃合板（表

裏面)

- ・25mmカラマツ集成材（心材）＋2mm発泡材料（そえ心板）＋普通合板（表裏面）
- ・22mmパーティクルボード（心材）＋繊維混入けい酸カルシウム板（そえ心板）＋難燃合板または普通合板（表裏面）
- ・22mmパーティクルボード（心材）＋2mm発泡材料（そえ心板）＋普通合板（表裏面）

文 献

- 1) 平成2年建設省告示第1125号（1990）
- 2) Kollmann, F., Cote, W.: "Principles of Wood Science and Technology I", Springer-Verlag 257(1968)
- 3) 建設省住宅局建築指導課監修：耐火防火構造・材料等便覧，日本建築センター編
- 4) 建設省建築研究所：建設省総合技術開発プロジェクト，新木造建築技術の開発報告書，No. H 1 - 2, 46-48(1990)
- 5) 中村賢一：昭和54年度建築研究所年報，118(1980)
- 6) 財団法人住宅・木材技術センター編：昭和62年度木質材料防・耐火性能開発事業報告書（その2），31-32(1988)

—性能部 耐久性性能科—

(原稿受理 H 5. 8. 11)