耐火木造を実現する新しい耐火工法の検討 その2 木現し仕様

Study on New Fireproof Construction Method to Realize Fireproof Wooden Construction Part 2 Wood Surface Specification

抱 憲 誓 久保田 淳

要 約

国内では、脱炭素社会に向けた環境建築の創出、森林資源の有効活用や炭素固定化による CO_2 削減などを目的とし、木材利用が促進されている。我々は、1 時間耐火構造を目指して国産スギ材およびカラマツ材を利用した純木質耐火集成材を開発した。燃え止まり層には、インサイジング処理を行って難燃処理薬剤を注入しているが、インサイジング処理や薬剤の費用のため製造コストが高価となる。前報では、安価な耐火部材を実現するために、被覆材に木材と鉄骨部材に使用されている耐火塗料を利用して燃え止まることを確認した。本報では、室内側に木材が面するように、被覆材に木板の間に耐火塗料を挟み込む仕様で耐火性能を確認し、その知見を基に小型の柱部材を製作して耐火試験を実施した。90 分加熱の耐火試験において燃え止まりを確認したので報告する。

目 次

- I. はじめに
- Ⅱ.被覆材を構成する木板と耐火塗料の組み合わせ
- Ⅲ. 耐火試験炉を用いた加熱試験
- IV. おわりに

I. はじめに

の有効活用や炭素固定化による CO2 削減などを目的とし、木材利用が促進されている。内装材や構造体への木材利用が進んでいるが、防火地域や準防火地域では、建物規模が大きくなると耐火構造が求められるため、可燃物である木材で要求耐火性能を実現する様々な研究が行われている。木部材の周囲を石膏ボードなどの不燃材で覆ったり、熱容量が大きい材料を配したりして温度上昇を抑制する対策が採られている「)。我々は、1時間耐火構造を目指して国産のスギ材およびカラマツ材を利用した純木質耐火集成材を開発した「2)。純木質耐火集成材は、Fig.1 に示すように、構造的に荷重を支持する荷重支持部、火災時の耐火被覆となる燃え止まり層および表面の化粧材で構成されている。燃え止まり層は、インサイジ

ング処理を行って難燃処理薬剤を注入しているが, インサイ

ジング処理や薬剤の費用のため製造コストが高価となる。

国内では, 脱炭素社会に向けた環境建築の創出, 森林資源

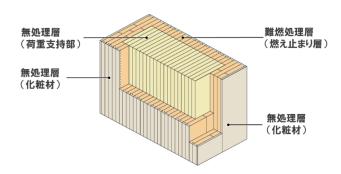


Fig.1 耐火集成材の断面構成 (Cross-sectional Structure of Fire-preventive Glued Laminated Timber)

前報³⁾では、鉄骨部材に用いる耐火塗料を木板の表面に塗 布して被覆材を構成し、木材を用いた耐火被覆の実現性を確 認した。そこで本報では、木板と木板の間に耐火塗料を挟み 込み、木現しとした加熱試験を実施したので報告する。

Ⅱ. 被覆材を構成する木板と耐火塗料の組み合わせ

前報³⁾では、木板の表面に耐火塗料を施工して耐火構造の被覆材として成立するか確認を行った(Ver.A)。一般的に木材を使用する場合には、木材が表面に見える仕様が求められる。この木材仕様を Ver.B と定義し、概念図を Fig.2 に示す。

キーワード: 木造,耐火,耐火塗料,燃え止まり,カラマツ,コーンカロリメータ試験

Keywords: timber construction, fire proof, fire proof paint, non-spread of fire, larch, cone calorimeter test

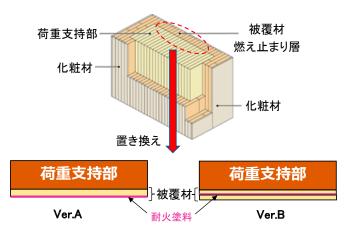


Fig.2 被覆材の組み合わせ比較 (Comparison of Wood Covering Variations)

1. 既往の知見

Ver. A の加熱試験では,640mm 角で厚さ50mm の木板を用意し,表面に塗る耐火塗料の厚みを変数として耐火試験を行った。試験ではISO834 の加熱曲線に従って行い,全ての裏面温度が下降,および炉内に残火がないことを確認して計測を終了した。試験後には,脱炉して加熱面の観察を行うとともに,木板を切断して残存断面の状態を確認した。

試験結果の一例を Photo 1 に示すように、試験後は木板の健全部が残存し、被覆材として利用できる可能性を確認した。被覆材の厚みと既往の知見の比較を Table 1 に示す。 Ver.A の結果を既往の知見と比較すると、被覆材の仕様が薄く、また質量比も半分程度になることがわかる。被覆材が薄くできることで空間の有効利用、軽くなることで躯体の軽量化に寄与できると考えられる。

Table 1 Ver.A 試験結果と既往の知見の比較 (Relationship between Test Result and Reference Result)

耐火時間	被覆仕様	質量比
1 時間	強化石膏ボード 46mm (23mm×2)	2.0
	木板 (カラマツ 35mm) +耐火塗料 (0.5mm) 計 35.5mm**	1
2 時間	強化石膏ボード等 60mm	1.6
	難燃処理木材 100mm	2.1
	木板 (カラマツ 45mm) +耐火塗料 (2 mm) 計 47mm [*]	1

※Ver.A 試験結果 3)

2. 被覆材 Ver. B の構成

木造の柱・梁・床といった部材を使用する場合には、木材が現しとして計画することが望まれる。そこで Ver.B では、被覆材の厚さは Ver.A 試験と同じとして、木板を分割して木板間に耐火塗料を施工した。また、分割した木板同士は、加熱面側もしくは非加熱面側からビス留めで固定した。



Photo 1 加熱試験後の残存厚さの一例 (Residual Thickness After Heating Test)

Ⅲ. 耐火試験炉を用いた加熱試験

Ver. B とした木現しの被覆材の耐火性能を確認する。本報では前報³⁾ に示したように、木板(被覆材)の性能確認を行った後、小型の柱部材を製作して性能を確認する。

1. 被覆材(木板)の性能確認試験

(1) 試験体

前報3)の試験結果より、被覆材として1時間耐火性能を発 揮するために必要な木板厚さは 40mm 以上, 2 時間耐火性能 を発揮するために必要な木板厚さは 50mm 以上と考え, 試験 体の木板厚さは 50mm および 70mm (640×640mm 角) とし た。木板は全てカラマツとし、加熱面側の板厚と非加熱面側 の板厚を変えた。例えば試験体 No.1 では、非加熱面側を 40mm とし、加熱面側を 10mm として、板間に耐火塗料を所 定の厚さ(0.5mm)で施工した。木板表面に塗布する耐火塗 料の塗膜厚は、1時間耐火の試験体で0.5mm,2時間耐火の 試験体で 2mm とした。加熱面側の木板を留付けるためにビ ス (φ8.5mm, 長さ28mm, 鉄製) を用い, 熱橋の影響を確認 するためにビスの固定方法も変数とした。加熱面側から留付 けたビスは埋木処理を行った。ただし、試験体 No.1 のみ加 熱面側の板厚が 10mm と薄いため埋木処理は行っていない。 木板の非加熱面側には、K型ディスク熱電対を5点設置して 裏面温度を計測した。試験体の一覧を Table 2 に、試験体図 の一例を Fig.3 に示す。

Table 2 Ver.B 試験体一覧 (List of Specimen for Heating Test)

No.	加熱	塗膜厚	木板厚さ**	ビス	木板密度
	時間	[mm]	[mm]	固定	[kg/m ³]
1	1	0.5	50(40+10)	加熱側	479
2	1	0.5	50(30+20)	加熱側	459
3	1	0.5	50(10+40)	非加熱側	484
4	2	2	70(40+30)	加熱側	477
5	2	2	50(30+20)	加熱側	470
6	2	2	50(10+40)	非加熱側	488

※()内は、左が非加熱側板厚、右が加熱面側板厚を示す

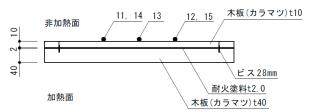


Fig.3 被覆材(木板)試験体 No.5 の断面図 (Cross Section of Wooden Board Cladding, No.5)

(2) 試験方法

有効加熱範囲 H:1000mm×W:2000mmの小型耐火炉にけい酸カルシウム板で構築した断熱箱を取り付け、試験体を下側から加熱できる装置を使用した。各試験体の有効加熱範囲は520mm×600mmとなる。加熱装置に平置きして設置した加熱面および非加熱面の状況をPhoto2に示す。

試験は、ISO 834 加熱曲線に従って行い、全ての裏面温度が下降、および炉内に残火がないことを確認して計測を終了した。試験後には、脱炉して加熱面の観察を行うとともに、試験体を切断して残存断面の状態を確認した。





Photo 2 加熱試験の木板設置状況 (Test Situation of Heating Test)

(3)1時間耐火仕様の耐火試験

加熱温度の経時変化の一例を Fig.4 に示す。使用した小型耐火炉は、4 基のバーナーを手動で制御する装置であるが、ISO 834 加熱曲線に従って行えたことがわかる。

試験体 No.1 の裏面温度の経時変化を一例として Fig.5 に示す。加熱終了後の 80 分に最高温度 150℃に達し、その後裏面温度は下降して再度上昇することはなかった。また、5 カ所の計測点で裏面温度の差は小さく、火災危険温度の 260℃を

十分下回る結果となった。試験後に切断して断面を確認したが、健全な木板が残存していることが確認できた。試験後の切断断面を Photo 3 に示すが、健全な部位が 15mm 残存した。 No.1~No.3 の各試験体で、計測点の裏面温度に差がなかったため、平均温度を算出し Fig.6 に示す。 Fig.6 からわかるように各試験体の裏面温度の差異は小さく、木板厚さ 50mm において加熱面側と非加熱面側の板厚の影響は、1 時間の加熱では確認されなかった。また、木板を固定したビスの熱橋影響に関しては、ビス位置で断面を切断したが、差異が確認されなかった。

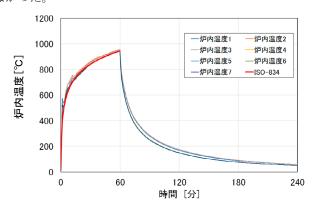


Fig.4 加熱温度の経時変化の一例 (Time History of Heating Temperature)

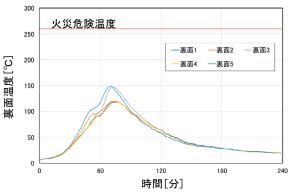


Fig.5 裏面温度の経時変化, No.1 (Time History of Temperature of Board Back, No.1)

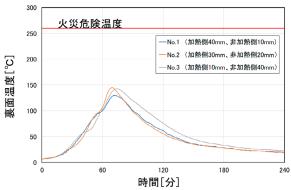


Fig.6 裏面温度の比較, No.1~No.3 (Comparison of Temperature of Board Back, No.1~No.3)

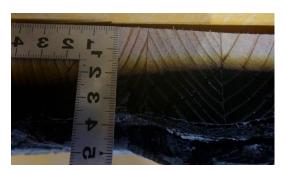


Photo 3 加熱試験後の残存厚さ, No.1 (Residual Thickness after Heating Test, No.1)

(4)2時間耐火仕様の耐火試験

2 時間の加熱を実施した試験体 No.4~No.6 では, 燃え止まりが確認できた試験体 No.4 と No.5 と, 燃え抜けた No.6 に分かれた。木板の総厚が 50mm の試験体 No.5 と No.6 では, 加熱面側の木板が厚い No.6 (40mm) では燃え抜け, 加熱面側の木板が薄い No.5 (20mm) では燃え止まった。試験体 No.5 の裏面温度の経時変化を Fig.7 に示すように, 裏面は火災危険温度をギリギリ下回った。

以上のことから,耐火塗料が発泡して性能を発揮する非加 熱面側の厚みが存在すると考えられる。加熱面側の木板が厚 いと,耐火塗料の発泡を妨げ,断熱層を形成できないために 燃え抜けたと推測される。

また、木板を固定したビスの熱橋影響に関しては、2 時間の加熱で差異が確認された。加熱面側からビス止めした試験体 No.4 や No.5 では、ビス部の熱橋の影響は確認されなかった。一方で非加熱面側からビス止めした No.6 では、熱橋の影響で裏面の炭化が見られた。Photo 4 に試験中の裏面の状況を示す(赤丸がビス)。ビス位置で局所的に炭化が進行しており、荷重支持部に試験体 No.6 を貼り付けた場合には、荷重支持部が炭化すると考えられる。2 時間の加熱では、ビスの先端に炭化層が到達すると、ビスを介した熱橋の影響が生じ始めて裏面に向けてた熱伝導が継続的に発生するため、ビス位置で裏面まで炭化したと推測される。

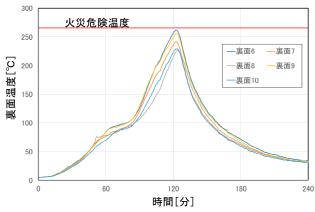


Fig.7 裏面温度の経時変化, No.5 (Time History of Temperature of Board Back, No.5)



Photo 4 加熱試験中の裏面, No.6 (Test Board Back Situation during Heating Test, No.6)

(5) 試験結果の一覧

以上の試験より、残存した被覆材の厚みの一覧を Table 3 に示す。1 時間耐火の試験体 (No.1~No.3) では、木板厚 50mm の被覆材のうち 35mm が炭化して、15mm が残存した。この結果は、文献 ³⁾に示した結果と概ね同様となった。一方、2 時間耐火の試験体 No.6 では被覆材全てが炭化して燃え止まらなかった。試験体 No.4 では被覆材 70mm のうち 55mm が炭化して 15mm が残存し、試験体 No.5 では被覆材 50mm のうち 45mm が炭化して 5mm が残存した。

Table 3 試験結果一覧 (List of Test Result)

No.	加熱	塗膜厚	木板厚*	密度	残存厚
	時間	[mm]	[mm]	$[kg/m^3]$	[mm]
1	1	0.5	50(40+10)	479	15
2	1	0.5	50(30+20)	459	15
3	1	0.5	50(10+40)	484	15
4	2	2	70(40+30)	477	15
5	2	2	50(30+20)	470	5
6	2	2	50(10+40)	488	0

※() 内は, 左が非加熱側板厚, 右が加熱面側板厚を示す

2. 柱部材の性能確認試験

前節に示したように、木板と木板の間に耐火塗料をサンドイッチして被覆材を構成した場合 (Ver.B) でも燃え止まりが確認できた。そこで被覆材を小規模柱の荷重支持部の周囲に固定して、耐火性能を有するか確認した。前節の試験は面的に加熱を受ける状況であったが、柱部材では角部が2面加熱を受けるため、若干被覆材の厚みを増した。

(1) 試験体

製作した小型柱(Fig.8 参照)は、荷重支持部をスギの120mm角とし、荷重支持部の外側に40mm+40mmの計80mmのカラマツ板(板間には2mmの耐火塗料)を張り合わせ、外寸284mm×284mm、長さ700mmとした。被覆材の木板の張り合わせには、加熱面から30mmの穴をあけ、38mmのビスを中央部で200mmピッチ、柱脚頭は120mmピッチで、最外層の木板を固定した後に頭は埋木処理を行った(Fig.9 参照)。試験体写真をPhoto5示す。試験体には、荷重支持部と

被覆材の境界位置に熱電対を 8 本設置し、火災危険温度 260℃に達しないか確認した。

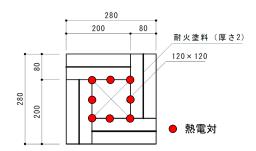


Fig.8 小型柱試験体断面 (Cross Section of Small Column Specimen)

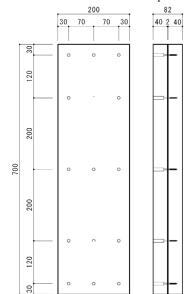


Fig.9 被覆材 (Wooden Board Cladding)



Photo 5 小型柱試験体 (Small Colum Specimen)

(2) 試験方法

小型柱試験体を小型炉内に設置し、ISO 834 の加熱曲線に 従って 90 分間の加熱を実施し、熱電対の計測値が最高温度 に達して降温が確認できるまで放置した。放冷後に試験体に 残火がないことを確認して脱炉し、切断して断面の炭化状態 を確認した。

(3) 試験結果

荷重支持部と被覆材の境界に設置した熱電対の経時変化を Fig.10 に示す。隅角部の計測値は先に温度上昇し、隅角部の間に設置した一般部の計測値が遅れて温度上昇している。隅角部においても、最高温度は木材の炭化温度の 260℃に達することなく降温した。小型柱試験体を切断した断面写真を Photo 6 に示す。荷重支持部(写真中の赤枠)は炭化しておらず、残存断面は隅角部で小さく隅角部間の一般部で大きくなっていることがわかる。健全部の残存厚さは、Photo 7 に示すように、隅角部で 10mm~20mm、隅角部間の一般部では、25mm~30mm となった。試験後の被覆材木板間の耐火塗料の状況を Photo 8 に示す。加熱側の木板は炭化して炉内に脱落したが、耐火塗料が発泡して断熱層を形成しており、荷重支持部に達する加熱を防いだと考えられる。以上のことから、放冷時含めて燃え止まりが確認できた。

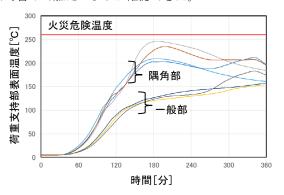


Fig.10 境界部温度の経時変化 (Time History of Boundary Temperature)



Photo 6 試験後の断面 (Cross Section after Fire Test)



Photo 7 試験後の残存厚 (Residual Thickness after Fire Test)



Photo 8 試験後の耐火塗料 (Fire Resistant Paint after Fire Test)

Ⅳ. おわりに

木造の耐火部材を開発する目的で、木板と耐火塗料を用いて被覆材を構成する手法を検討した。被覆材(木板)および小型柱の試験体を用いて耐火試験を行い、以下の知見を得た。被覆材(木板)の性能確認試験

- ①1 時間耐火性能をターゲットとして、木板総厚 50mm 間に耐火塗料を 0.5mm 挟み込んだ試験体で耐火試験を行った結果、全ての仕様で燃え止まりが確認できた。
- ②2 時間耐火性能をターゲットとして、木板総厚 50mm および 70mm で、木板間に耐火塗料を 2mm 挟み込んだ試験体で耐火試験を行った結果、木板総厚 50mm で加熱面側の木板が厚い試験体では裏面まで燃え抜けた。その他の仕様では燃え止まりが確認できた。

③木板を固定するビスの熱橋影響に関しては,2時間耐火性能をターゲットとした試験で差異が確認された。加熱面側からビスで木板を固定した場合,非加熱面側の木板のビス先端位置で炭化が止まった。一方非加熱面側から固定した場合には裏面までビス位置で炭化が進行した。このことから,ビスは加熱面側から固定することが望ましい。

小型柱部材の性能確認試験

④被覆材(木板)の耐火試験の結果を基に小型柱試験体を製作して 90 分間の耐火試験を実施した。被覆材の有効性が確認でき、柱部材の耐火性能が確認できた。被覆材の木板間で耐火塗料が発泡して断熱層を形成していることが確認できた。

今後は実大の試験体を製作して耐火試験を実施し,耐火性 能を確認する予定である。

参考文献

- 1) 大橋宏和ほか;耐火木造部材の荷重支持部の木材密度が耐火性能に与える影響,日本建築学会技術報告集,第21巻,第47号,2015,pp.151-156.
- 2) 抱憲誓ほか; 断面構成が異なる耐火集成材柱の燃焼特性, 日本建築学会技術報告集,第22巻,第52号,2016, pp.997-1002.
- 3) 抱憲誓ほか; 耐火木造を実現する新しい耐火工法の検討, 鹿島技術研究所年報, 第70号, 2022, pp.95-100.

Study on New Fireproof Construction Method to Realize Fireproof Wooden Construction Part 2 Wood Surface Specification

Norichika Kakae and Jun Kubota

In Japan, the use of wood is being promoted for the purpose of creating environmental buildings for a carbon-free society, effectively utilizing forest resources, and reducing CO₂ by immobilizing carbon. Under such circumstances, as the scale of buildings increases, more fireproof structures are required, so various studies are being conducted to achieve fireproofing with combustible wood. We have developed a pure-wood fireproof laminated material using cedar wood and larch wood for a structure that is fireproof for one hour. The structure is composed of a load support part that structurally supports the load, a burnout layer that serves as a fireproof coating in the event of a fire, and a decorative material on the surface.

We confirmed the possibility of using the fire-resistant paint used in steel frame members in order to realize an inexpensive fire-resistant member by using wood including the laminated material. In this report, the fire resistance performance was confirmed by sandwiching fire-resistant paint between wooden boards.