被覆型 CLT 2 時間耐火構造開発に向けた 小型炉実験と実大耐火試験

上川 大輔^{*1}, 原田 寿郎^{*1}, 稲田 達夫^{*2}, 倉富 洋^{*2},
塩崎 征男^{*3}, 村田 忠^{*3}, 矢埜 和彦^{*4}

Small furnace fire tests and actual-size fireproof tests for development
of 2-hour fireproof CLT structures

Daisuke KAMIKAWA^{*1}, Toshiro HARADA^{*1}, Tatsuo INADA^{*2}, Yoh KURATOMI^{*2},
Masao SHIOZAKI^{*3}, Tadashi MURATA^{*3}, Kazuhiko YATOU^{*4}

According to Japanese Building Standard Law, 2-hour fireproof floor slabs and walls are needed to construct over 4-story buildings. To develop the 2-hour fireproof CLT structures, small furnace fire tests and actual-size fireproof tests were conducted for CLT specimens clad with some refractory materials. Small furnace fire tests were conducted to demonstrate the fire resistant properties of CLT clad with calcium silicate boards, gypsum boards, and these combinations. Actual-size 2-hour fireproof tests were conducted for the clad CLT floor slabs combined with a steel beam. From these tests, the following were indicated; CLT clad with calcium silicate board (JIS A 5430 Calcium silicate board Type3, 0.5TK) 15mm (outer) and gypsum boards (JIS A 6901 GB-F) 45mm (inner) had adequate 2-hour fireproof performance. Heat conduction of screws to fix the outer claddings did not cause charring of CLT when claddings had adequate 2-hour fireproof performance. Further thermal insulation on steel member subjects or some artifice around the CLT-steel joint region should be done if CLT and steel members used together.

Keywords ; CLT, 2-hour fireproof performance, calcium silicate board, gypsum board

クロスラミネイテッドティンバー（以下 CLT と記載）を床や壁構造体として 5 階建て以上の中高層建築物に用いる場合、2 時間の耐火性能が必要となる。この 2 時間耐火性能を無

* 1 国立研究開発法人 森林総合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute

* 2 福岡大学工学部 Faculty of Engineering, Fukuoka University

* 3 山佐木材株式会社 Yamasamokuzai Company Limited

* 4 一般財団法人建材試験センター Japan Testing Center for Construction Materials

Corresponding author : Daisuke Kamikawa (daikami@ffpri.affrc.go.jp)

機材料での被覆により CLT 構造材料に付与することを目的とし、小型炉での被覆材の検討および実大炉での耐火試験を実施した。無機材料としてケイ酸カルシウム板と石こうボードを対象とし、小型炉ではこれらの材質、厚さ、組み合わせと断熱性の関係を検討した。実大炉ではケイ酸カルシウム板と石こうボードを組み合わせた仕様について 2 時間の耐火性能の有無を検証するとともに、耐火被覆を施した鉄骨梁と CLT との接合部の安全性についても検証した。これらの結果、加熱側にケイ酸カルシウム板、内側に強化石こうボードという被覆材の組み合わせでおよそ 60mm 厚の被覆をすることで 2 時間の耐火性能が得られること、鋼製の柱や梁と組み合わせる場合は接合部の断熱もしくは鋼材の被覆割増等の処置が必要なことなどを明らかにした。

キーワード：CLT，2 時間耐火性能，ケイ酸カルシウム板，石こうボード

1. 緒言

近年、我が国においては木材利用、特に国産材を利用しようという機運が高まっている。この背景には、木材利用が炭素の固定化や森林の適切な整備・保全につながり林産地域振興とともに地球環境の維持・改善に有用である、という認識がかなり普遍的となったことがある。建築材料としての木材利用に対しては、2010 年の「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」施行や 2015 年の建築基準法改正による木造建築の防火基準見直しなど、これまであまり進んでいなかった中大規模の非住宅建築物への木材利用が推進されている。そのような状況のなか、新しい木質材料である CLT（クロスラミネイテッドティンバー）は、住宅用途よりはむしろより大型の建築物への親和性が高く、中高層建築物への木質材料利用の重要な要素として注目されている。この CLT を従来の木質材料のように構造部材として様々な建築物へ適用できるよう、JAS 規格の制定や基準強度、燃えしろ設計基準の整備などが進められている。さらに、柱および梁を鉄骨造、床を CLT 木質構造として中高層ビルに用いる方法も検討されている¹⁾。

オフィスビルのような一般的な空間構成の中高層建築物に CLT からなる床や壁の構造部材を用いる場合、最上階から数えて 4 階までは 1 時間耐火、それより下層では 2 時間耐火構造の部材とする必要がある。CLT を 2 時間耐火構造として建築物に用いるには、性能評価機関にて耐火性能を評価し、国土交通大臣の認定を受ける必要がある。

耐火構造の要件には非損傷性、遮熱性、遮炎性があり、非損傷性の解釈として火災後も自立することが求められるため、火災後自然に燃焼が停止するものである必要がある。木質耐火構造の認定試験では、所定の時間（2 時間耐火であれば 2 時間）の加熱後少なくとも加熱時間の 3 倍以上の間試験体を炉に設置したままにし、その後火気が残っていないことを確認する。荷重支持部の炭化は、燃焼反応が停止しているか明確に判断できないことから火気残存と判断される。現在開発が進んでいる木質耐火構造としては、無機被覆型（石こうボードなどの耐火被覆を施す方法）、燃え止まり型（難燃薬剤処理木材層やモルタル層を燃え止まり層として設ける方法）、鉄骨内蔵型（鉄骨の周囲に集成材等を設ける方法）がある。CLT への耐火性能付与を考える場合、技術的に最も簡易に適用可能なのは無機被覆型で、既存の技術の応用で必要性能の確保は可能と考えられる。しかし、5 階建て以上で求められる 2 時間耐火性能を CLT に付与するために被覆材料の構成や厚みをどうすべきか、という点について既往の知見はほとんど見受けられない。また、鋼製の柱・梁と CLT からなる床・壁を組み合わせる用いた場合、その取合い部の火災安全性も問題となり得る。

そこで本研究では、ケイ酸カルシウム板や石こうボードで被覆した 2 時間耐火性能をもつ CLT 構造部材の開発を念頭に、被覆材の構成やそれぞれの厚みと断熱性能の関係、および鋼製部材と CLT との取合い部の安全性などを明らかにすることを目的とした。

被覆材の仕様と断熱性能について、構成材料の

種類と厚さをパラメーターとして小型耐火炉での2時間の加熱実験を実施し、部材内部の温度推移やCLT表面の炭化の有無等を明らかにした。さらに鉄骨梁を組込んだ実大試験体に対する2時間耐火試験（非載荷）を行い、被覆材の妥当性や留め付けネジの熱橋の影響、CLT-鉄骨取合い部の防火的問題の検討を行った。

2. 実験方法

2.1 小型炉による被覆材の検討

木質耐火構造部材に要求される性能のうち、キーポイントとなるのは「荷重支持部が炭化しない」という要件である。既往の木質耐火構造の試験結果をみると、荷重支持部を炭化温度以下に維持できていれば、基本的に非損傷性や遮熱性は問題ない場合がほとんどである。まずはCLT表面の炭化・変色を防ぐのに必要な被覆材料の構成や

厚みを明らかとすることが第一ステップとなる。ただし、炭化温度より低くても温度の上昇によりラミナ強度や接着力は低下するため²⁻⁵⁾、仮に荷重支持部に炭化が生じなくとも、荷重を負担する断面のうち比較的広い範囲が100℃以上となるような場合は非損傷性の要件を満たせない可能性がある。このような状況は、加熱時間が長く、加熱方向の部材断面厚さが薄い場合に生じやすいと予測され、2時間耐火仕様の被覆型CLTも材厚が薄い場合は非損傷性に問題が生じる可能性が高くなるので注意が必要である。

ここではCLTパネルに2時間の耐火性能を付与するための基礎的性能である被覆材の断熱性能を明らかにするため、被覆材の構成と厚さを変えた各仕様について小型炉を用いた耐火試験を実施し、被覆材およびCLTの温度推移を検証した。表1に試験体仕様一覧を示す。対象とした被覆材

表1 小型炉試験体の仕様および試験結果概要一覧
Table 1 Small furnace test specimens and results

試験 No. Test No.	試験体名 Specimen name	被覆材料 Cladding material	CLT 表面のピーク温度* Peak temp of CLT surface*		2 時間 耐火性能 2-hour Fire-proof performance
			温度 (℃) Temperture (℃)	時間 (min) Time (min)	
1	CB 75	繊維混入けい酸カルシウム板 ^{a)} 15mm×5 枚 Fiber-reinforced calcium silicate board ^{a)} 15mm×5	132.3	227	○
2	CB 50	繊維混入けい酸カルシウム板 ^{a)} 25mm×2 枚 Fiber-reinforced calcium silicate board ^{a)} 25mm×2	—	(210)	×
3	CB' 50	繊維混入けい酸カルシウム板 ^{b)} 25mm×2 枚 Fiber-reinforced calcium silicate board ^{b)} 25mm×2	—	(167)	×
4	GBF 75	強化石膏ボード ^{c)} GB-F (V) 15mm×5 枚 Fire-Resistant Gypsum board ^{c)} 15mm×5	94.0	162	○
5	GBF 60	強化石膏ボード ^{c)} GB-F (V) 15mm×4 枚 Fire-Resistant Gypsum board ^{c)} 15mm×4	134.0	253	○
6	GBF 50	強化石膏ボード ^{c)} GB-F (V) 12.5mm×4 枚 Fire-Resistant Gypsum board ^{c)} 12.5mm×4	281.8	237	×
7	GBR 50	普通石膏ボード ^{d)} GB-R 12.5mm×4 枚 Gypsum board-Regular type ^{d)} 12.5mm×4	—	(175)	×
8	GBRH 50	普通硬質石膏ボード ^{e)} GB-R-H 12.5mm×4 枚 Gypsum board-Regular-Hatd type ^{e)} 12.5mm×4	262.4	235	×
9	CB15/GB45	繊維混入けい酸カルシウム板 ^{a)} 15mm + 強化石膏ボード ^{c)} GB-F (V) 15mm×3 枚 Fiber-reinforced calcium silicate board ^{a)} 15mm + Fire-Resistant Gypsum board ^{c)} 15mm×3	120.4	299	○
10	CB15/GB30	繊維混入けい酸カルシウム板 ^{a)} 15mm + 強化石膏ボード ^{c)} GB-F (V) 15mm×2 枚 Fiber-reinforced calcium silicate board ^{a)} 15mm + Fire-Resistant Gypsum board ^{c)} 15mm×2	230.6	199	×

* 温度の欄の “—” は300℃超を意味し、右のカッコ内はその時間を示す。

“—” means over 300℃, and its time is indicated in bracket.

a) JIS A 5430 けい酸カルシウム板タイプ3, 0.5TK

JIS A 5430 Calcium silicate board Type3, 0.5TK

b) JIS A 5430 けい酸カルシウム板タイプ3, 0.2TK

JIS A 5430 Calcium silicate board Type3, 0.2TK

c) JIS A 6901 GB-F

d) JIS A 6901 GB-R

e) JIS A 6901 GB-R-H

図1 小型炉用試験体図例 (CB15/GB30) (寸法単位: mm)

Fig. 1 An example of specimen drawing for small furnace test (CB15/GB30) (Dimension unit: mm)

は、建築物の耐火被覆や内装として広く用いられる繊維混入ケイ酸カルシウム板（以降ケイカル板と表記）と石膏ボードとした。使用したCLTの寸法は700×700 (mm) (No. 5, 8, 9は600×600 (mm))、厚さ135mm、樹種はスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) で、加熱側のみを表中の無機材料で被覆し試験体とした。各被覆材は冷間圧造用炭素鋼ネジ (φ3.8~4.5mm, 長さ45~100mm) によりCLTに留め付け、ネジによる熱橋の影響を調べるため、最外層の加熱範囲内の留め付け間隔をおよそ300mmとしてネジ表面が加熱範囲に含まれる留め付け位置とした。図1に試験体例を示す。

試験には、森林総合研究所の小型炉（加熱範囲寸法：高さ500mm×幅500mm）を用い、図2に示すように小型炉側面開口に試験体を壁状に立てた状態で設置した。荷重支持部への荷重は行っていない。ISO834の標準加熱温度曲線に沿った2時間の加熱を加えたのち、試験体を設置したままさらに6時間（加熱時間の3倍）経過、または

図2 小型炉鉛直断面図 (寸法単位: mm)

Fig. 2 Vertical cross-section of small furnace (Dimension unit: mm)

CLT表面が明らかに炭化したと判断された時点まで計測を続けた。加熱終了後の放置中の炉内温度は、炉内への給気ファンおよび排気ダンパーを調節し、既往の2時間耐火試験での放置中炉内温度⁶⁾と同等となるよう制御した。炉内温度および各構成材料の境界面、CLT内部、CLT裏面の温度をK型熱電対（素線径φ0.65, クラス2）にて計測（図1参照）、データロガーを介してパーソナルコンピュータにて5秒間隔で記録したほか、試験後に試験体を脱炉・解体し、各被覆材の状況、CLT表面の変色・炭化の有無を目視にて観測した。

2.2 実大水平炉による2時間耐火試験

試験体は床下面が加熱を受ける想定とした4,300×2,200 (mm)の2体（試験体A, B）で、いずれも中央長手方向に鉄骨梁（H-300×150×6.5×9）を配し、その上に4,300×1,100 (mm)、厚さ135mmのCLTパネルを2枚並べたものに各種被覆を施したものとした。CLTは鉄骨梁の上フランジに直接載せ、フランジに溶接した全ネジボルト（M12×長さ150mm）にて1,000mm間隔で固定した。図3に試験体A、図4に試験体Bの短辺方向断面を示す。試験体AのCLT被覆材は、加熱側よりケイカル板（JIS A 5430 けい酸カルシウム板タイプ3 (0.5TK)、以降、2.2項内では同じ）15mm、強化石膏ボードGB-F (V) (JIS

図3 実大2時間耐火試験 試験体断面図 (試験体 A 短辺方向) (寸法単位 : mm)

Fig. 3 Vertical cross-section of actual-size specimen for 2-hour fireproof test (Specimen A shorter direction) (Dimension unit : mm)

図4 実大2時間耐火試験 試験体断面図 (試験体 B 短辺方向) (寸法単位 : mm)

Fig. 4 Vertical cross-section of actual-size specimen for 2-hour fireproof test (Specimen B shorter direction) (Dimension unit : mm)

A 6901 GB-F, 以降同じ) 15mm×3枚とし、鉄骨梁の被覆材はケイカル板35mm×2枚とした。試験体BのCLT被覆材は、加熱側よりケイカル板15mm、強化石膏ボード21mm×3枚とし、鉄骨梁の被覆材はケイカル板35mm×1枚とした。なお、本鉄骨梁を上記ケイカル板35mmで被覆した場合、2時間耐火相当の性能となる(認定番号FP120BM-9400)。CLT被覆用のケイカル板および強化石膏ボードは、目地が同じ位置とならないよう適宜ずらして配置し、パテ等での目地処理は行わず、突きつけとした。また、いずれもCLT上面には被覆を行っていない。被覆材の留め付けには、冷間圧造用炭素鋼ネジ(φ3.8~4.5mm、長さ45~100mm)を用い、留め付け間隔は最外層で200mm間隔、内部の被覆材で300~

435mm間隔程度とした。最外層留め付け用ネジによる熱橋の影響を検証するため、図3、4の梁の右側では最外層のケイカル板留め付けネジをCLTに達する長さ、左側では下地の石膏ボード内にとどまる長さとした。

耐火試験は(一財)建材試験センター中央試験所の水平炉にて実施した。ISO834の標準加熱温度曲線に沿った2時間の加熱を加えたのち、試験体を炉に設置したままさらに6時間(加熱時間の3倍)経過時まで計測を続けた。炉内、各構成材料の境界面、CLT表面、鉄骨梁のウェブおよびフランジの中央、鉄骨梁上部のCLT留め付け用全ネジボルトの温度をK型熱電対(素線径φ0.65、クラス2)にて計測し(図3、4参照)、データロガーを介しパーソナルコンピュータにて1分間隔

で記録した。試験後に試験体を脱炉・解体し、CLT表面の変色・炭化の有無を目視にて観測した。

3. 結果と考察

3.1 小型炉試験

表1に、各試験体のCLT表面温度のピーク値とその時間、2時間耐火性能の有無の判定を示す。なお、ピーク温度の欄が“—”のものはCLT表面温度が300℃を超えたため試験を終了したもので、隣の時間欄の括弧内に300℃を超えた時間を記載した。CB75, GBF75, GBF60, CB15/GB45については、試験後のCLT表面に炭化や変色は見られず、被覆材自体の断熱性に関しては2時間の耐火性能があることが確認された。CB15/GB30は、試験体中央でのCLT表面最高温度は230.6℃となっているが、やや外側のネジのある付近を中心として炭化・変色が進んでいた。そのほかの仕様については、CLT表面が明らかに炭化しており、2時間の耐火性能は確保されていない。

構成材料および厚さの比較のため、図5にいくつかの試験体のCLT表面温度推移を示す。被覆の厚さが50mmで同一のものを比較すると、CLT表面の温度を低く抑える性能はおおむね、GBRH50>GBF50>GBR50=CB50>CB'50といった順となった。これらのうちGBR（普通石こうボード）では、試験後1層目および2層目に大きな割れと反りが見られ（図6）、断熱性能に影響を与えたと考えられる。被覆厚さが60mmであるGBF60とCB15/GB45を比較すると、後者の方が

図5 CLT表面温度推移（小型炉）
Fig. 5 Transition of CLT surface temperature (Small furnace)

CLT表面温度は低く抑えられている。被覆材料構成ごとの内部温度推移の例として、図7にCB50、図8にGBF60、図9にCB15/GB45の計測結果を示す。凡例の括弧内の数値は加熱面からの深さを表している。各被覆材内部の温度およびCLT表面の温度の推移を比較すると、ケイカル板による被覆のCB50では100℃付近での温度停滞はわずかで、直線的に温度が上昇していくのに対し、強化石こうボードによる被覆のGBF60では100℃付近での温度停滞が見られ、CLTに近づくにつれ停滞時間が長くなっているのが分かる。これは石こうボードに含まれる結晶水の蒸発潜熱によるもので、他の石こう系の仕様でも同じ傾向の温度推移となっている。使用したケイカル板の

図6 試験後の加熱面の様子（GBR50）
Fig. 6 Heated surface after small furnace test (GBR50)

図7 内部温度推移（小型炉 CB50）
凡例括弧内は加熱面からの深さ。
Fig. 7 Transition of temperature (Small furnace CB50)
The values in parentheses mean depth from the surface.

熱伝導率は0.10（常温）～0.15（800℃）W/(mK)程度、石こうボードは0.27（常温）～0.23（800℃）W/(mK)程度であり⁷⁾、ケイカル板のほうが低い値であるが、この結晶水による温度上昇抑制効果により、結果的に被覆厚さ50mm前後では石こうボードの方がCLT表面温度は低く抑えられている。一方でGBF60（図8）とCB15/GB45（図9）を比較すると、全体的に後者の内部温度の方が低く推移している。1層目と2層目の間（ともに表面より15mm）の温度に注目すると、1層目が強化石こうボードのGBF60で最高758℃、ケイカル板のCB15/GB45で最高551℃となっている。これは、石こうボードが強い加熱を受ける位置にあると結晶水が早期に消費され、熱伝導率ではケイカ

図8 内部温度推移（小型炉 GBF60）

凡例括弧内は加熱面からの深さ。

Fig. 8 Transition of temperature (Small furnace GBF60)

The values in parentheses mean depth from the surface.

図9 内部温度推移（小型炉 CB15/GB45）

凡例括弧内は加熱面からの深さ。

Fig. 9 Transition of temperature (Small furnace CB15/GB45)

The values in parentheses mean depth from the surface.

ル板に劣るため、かなり早い時点で2層目への入熱量が前者のほうが大きくなるためと推測される。また、加熱後のケイカル板は多少割れが生じるもののある程度の強度を保っているのに対し、加熱後の石こうボード、特に表層から30mm程度までは細かく割れが入り非常にもろく、崩落の懸念がある。

これらの結果より、無機被覆材を用いてCLTに2時間の耐火性能を付与するには、強い加熱を受ける加熱側に崩落しにくく断熱性の高いケイカル板、その内側に結晶水を多く含む石こうボードを配置し、被覆の総厚を60mm程度とする方法が最も合理的であるものと考えられる。

図10 内部温度推移（実大試験体 A）

凡例括弧内は加熱面からの深さ

Fig. 10 Transition of temperature (Actual-size Specimen A)

The values in parentheses mean depth from the surface.

図11 内部温度推移（実大試験体 B）

凡例括弧内は加熱面からの深さ

Fig. 11 Transition of temperature (Actual-size Specimen B)

The values in parentheses mean depth from the surface.

図12 試験後の実大試験体（試験体 A）
右下は CLT 表面

Fig. 12 Actual-size specimen after fireproof test (Specimen A)

The lower right image is the surface of CLT

3.2 実大水平炉試験

図10に試験体 A の、図11に試験体 B の温度推移の計測結果の一例を示す。また、試験後の試験体 A の様子を図12に示す。いずれの試験体とも、脱炉時にケイカル板等の脱落は見られなかった。鉄骨梁の影響を受けない部分の CLT 温度は、試験体 A で最高167℃、試験体 B で最高116℃であり、脱炉解体後の観察でも鉄骨梁付近を除き変色・炭化は見られなかった。また、最外層の被覆材を留め付けたネジによる熱橋についても問題となるような変色・炭化は見られなかった。CLT と鉄骨梁の接触部について、試験体 A では鋼材に接触する CLT 表面に若干の変色が観測されたが、これは凝縮した水分によりラミナ内の抽出成分が染み出したことによる染みとみられる（図13）。試験体 B では接触部の明らかな炭化と、固定用ボルト孔での赤熱燃焼が見られた（図14）。鉄骨梁ウェブおよび下フランジ中央の最高温度は、試験体 A でそれぞれ205℃、221℃、試験体 B で380℃と416℃となっており、鉄骨梁の被覆が35mm の試験体 B では木材の炭化温度を超える温度となっている。このため、試験体 B においては CLT の鉄骨梁との接触面において炭化・赤熱燃焼が生じる結果となった。このような鋼製部材と木質部材との接合部の防火的問題が生じるのは、それぞれで防火上許容される温度の上限が異なるためである。通常の鋼製部材では、温度上昇による部材の強度低下はおおよそ350℃付近から顕著になり、そ

図13 CLT-鉄骨梁接触面付近（試験体 A）
2枚の CLT のうちの1枚を梁から取り外した様子。

Fig. 13 CLT-steel beam contact surface (Specimen A)

One of CLT panel detached from steel beam.

図14 CLT-鉄骨梁接触面付近（試験体 B）
2枚の CLT のうちの1枚を梁から取り外した様子。

Fig. 14 CLT-steel beam contact surface (Specimen B)

One of CLT panel detached from steel beam.

のため柱・梁の耐火試験においては部材温度が平均350℃、最高450℃以下であれば合格とされる⁸⁾。これに対し木質部材は少なくとも260℃となると炭化の危険性が高くなるため、部材単位でそれぞれ耐火性能が確認された鋼製部材と木質部材であっても、何の対処も無しに直接接合すると木質部材の炭化や発火という問題が生じる可能性がある。

これら試験結果より、CLT の被覆材の構成として、加熱側よりケイカル板15mm、強化石膏ボード45mm（15mm×3枚）の組み合わせで2時間の耐火性能が得られること、CLT に達する被覆材留め付け用ネジ（φ4.5mm）が天井表面に

露出していても熱橋による炭化は見られないこと、鋼製構造部材と CLT とを混合して用いる場合、CLT の炭化や発火を防ぐために鋼材の耐火被覆の増量もしくは CLT と鋼材の接合付近に何らかの対策が必要なことが明らかとなった。

4. 結論

被覆型 CLT についての小型炉 2 時間加熱試験および鉄骨梁と組み合わせた試験体に対する実大 2 時間耐火試験を実施し、以下のような知見を得た。

- ・ CLT の被覆材の構成として、強い加熱を受ける加熱側に崩落しにくく断熱性の高いケイカル板、その内側に結晶水を多く含む石こうボードを配置し、被覆の総厚を 60mm 程度とする方法が最も合理的であると考えられる。
- ・ 加熱側よりケイカル板 15mm、強化石こうボード 45mm (15mm×3 枚) により CLT を被覆することで 2 時間の耐火性能が得られ、この場合 CLT に達する被覆材留め付け用ネジ (φ4.5mm) が天井表面に露出していても熱橋による炭化は見られない。
- ・ 鋼製構造部材と CLT とを混合して用いる場合、鋼材の耐火被覆を当該鋼材の 2 時間耐火仕様よりさらに割増す、もしくは CLT と鋼材の接合付近に何らかの対策等を施し、CLT との接触面の炭化を防ぐ必要がある。

謝辞

本研究の一部は、林野庁「CLT 等新製品・新技術利用促進事業 (耐火部材開発)」および科学研究費 (基盤研究 (B) 課題番号: 15H04532) の助成を受けて実施された。

引用文献

- 1) 稲田達夫: CLT 2 時間耐火床構造への取り組み, 木材工業, **70** (11), 566-569 (2015).
- 2) 上杉三郎: スギ材の 180℃ 以下加熱における曲げ性能, 日本木材学会誌, **38** (11), 985-994, (1992).
- 3) 加來千紘, 長谷見雄二, 安井昇, 保川みずほ, 上川大輔, 亀山直央, 小野徹郎, 腰原幹雄, 長尾博文: 火災加熱が木材の力学的性能に及ぼす影響—加熱した針葉樹材及び広葉樹材の高温時及び加熱冷却後のヤング係数・曲げ強度の測定—, 日本建築学会構造系論文集, 701, 1065-1072 (2014).
- 4) Sebastian Clauß, Matus Joscak, Peter Niemz: Thermal stability of glued wood joints measured by shear tests, *European Journal of Wood and Wood Products*, **69** (1), 101-111 (2011).
- 5) 原田寿郎, 宮武敦, 上川大輔, 平松靖, 新藤健太, 井上明生, 宮本康太, 塔村真一郎, 秦野恭典, 宮林正幸: 木材の接着強さの温度依存性と構造用集成材はりの耐火性能, 木材学会誌, **59** (4), 219-226 (2013).
- 6) 上川大輔, 原田寿郎, 宮林正幸, 抱 憲誓, 西村光太, 宮本圭一, 大内富夫, 安藤恵介, 服部順昭: 難燃処理ラミナを用いた耐火集成材の開発—スギ集成材柱の 1 時間および 2 時間耐火性能, 日本建築学会環境系論文集, 657, 929-935 (2010).
- 7) 日本建築学会: 鋼構造耐火設計指針, 219-222 (2008).
- 8) 例えば “建材試験センター: 防耐火性能評価試験・評価業務方法書 (2000 年 6 月 1 日制定, 2015 年 6 月 1 日変更)” http://www.jtccm.or.jp/biz/seino/seino_siryo_list/seino_siryo_seinokubun.html#gyoumuhouhoucho, (参照 2016-03-07).

(2016.3.7 受付)

(2016.8.23 受理)