

木材を利用した耐火構造の技術開発

防火研究グループ 上席研究員 成瀬 友宏

目次

- I はじめに
- II 木造耐火構造の基準に関する動向
 - 1) 平成 12 年以前の日本における耐火構造の技術開発
 - 2) 平成 12 年以降の日本における木造耐火構造の技術開発
 - 3) 海外における建築基準の動向
- III 建築研究所における技術開発の概要
 - 1) 研究の目的
 - 2) 耐火構造の分類
 - 3) 研究対象とする耐火構造
- IV 耐火構造部材の技術開発の状況
 - 1) 要素試験の概要
 - ①床 (1 時間耐火性能)
 - ②柱 (1 時間耐火性能)
 - ③はり (1 時間耐火性能)
 - ④屋根 (30 分耐火構造)
 - 2) 部材試験の概要
 - ①床 (1 時間耐火性能)
 - ②はり (1 時間耐火性能)
 - ③階段 (30 分耐火性能)
 - 3) 試験結果のまとめ
 - 4) 課題と今後の予定
- V おわりに
 - 謝辞
 - 参考文献

I はじめに

地球温暖化防止や森林資源の整備の必要性を背景として、平成 22 年 5 月に公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律が成立 (同年 10 月施行) し、木造建築物の防火に関する基準の見直しを行った結果、次に示すような法令改正が行われた。

- ・木造 1 時間耐火構造の間仕切壁・外壁 (耐力壁・非耐力壁)

の構造方法の仕様追加 (平成 26 年 8 月、平成 28 年 3 月)

- ・改正建築基準法 (以下、「法」という。) 第 21 条第 2 項、第 27 条施行 (平成 27 年 6 月)
- ・直交集成板 (CLT) 等の燃えしる設計の準耐火構造告示への追加 (平成 28 年 3 月)

これらにより、木造の防火壁を設置することで 3,000m² の木

造建築物が実現し、さらに木造の「壁等」により 3,000m² 以内ごとに区画することで、3,000m² を超える木造建築物が実現できるようになるなど、木造建築物の大規模化への法整備が進められている。このような面的な規模の拡大に対する検討に対して、中高層化に関しては、まだ十分な検討が行われておらず、検討の途上にある。

建築研究所では、平成 28 年度から 3 年間の計画で研究課題「中高層木造建築物の防耐火関連技術の開発」を開始しており、本報では、木造耐火構造に関するこれまでの技術開発の動向やこの課題における検討状況を紹介します。今後検討すべき課題を整理して紹介する。

なお、本研究は、国土交通省平成 28 年度建築基準整備促進事業 F10「不燃材料等に関する大臣認定仕様基準の検討」の事業主体（一般社団法人 建築性能基準推進協会）および国土交通省国土技術政策総合研究所との共同研究に基づき実施した内容を含む。

II 木造耐火構造の基準に関する動向

1) 平成 12 年以前の日本における耐火構造の技術開発

木造建築物は歴史的に火災時の問題から、法により厳しく制限がされてきた。また昭和 34 年には、日本建築学会においても伊勢湾台風による被害に対し「建築防災に関する決議」が行われ、特に危険の著しい地域に対する建築制限のひとつとして「木造禁止」が提起されるなど、法令による規制以外にも木造を制限する動きが見られた。

耐火構造についてみると、平成 12 年の法改正までは、耐火構造に不燃材料か準不燃材料（現行法の表現では、準不燃材料）以外の有機質材料を使用する場合には、原則として構造耐力を負担する部分には使用せず、また、有機質材料が無機質材料で完全に覆われて、外部に露出していないことが仕様の求められた。さらに、被覆部分（外装材とするもの）にも、不燃材料か準不燃材料（現行法の表現では、準不燃材料）を用いることが仕様の求められた。そのため、平成 12 年までは木造の耐火構造は建設大臣（当時）の認定を受けることができなかったことから、建築物の規模、用途、建設する区域により、耐火建築物が要求される場合は木造の建築物が実現できず、準耐火構造、防火構造、準防火性能を有する構造（準防火構造）についての技術開発や大臣認定の取得が進められて来た。特殊建築物については共同住宅等の用途に限って 3 階建て準耐火建築物（延べ面積：1,500m²以下（準防火地域）、3,000m²以下（防火地域・

準防火地域以外の区域）が許容される規模の上限であった。

2) 平成 12 年以降の日本における木造耐火構造の技術開発

平成 12 年の法改正により、防耐火構造には仕様ではなく必要な性能を要求することが規定されたことにより、要求性能を満たせば耐火構造であっても被覆や構造耐力を負担する部分に木材が使用できるようになった。

木造耐火建築物を実現するためには、

- ・耐火構造の部位を組み合わせる方法（いわゆるルート A）
- ・告示に定める耐火性能検証法により確かめる方法（いわゆるルート B）
- ・国土交通大臣の認定を受けた高度な検証法による方法（いわゆるルート C）

があり、これまでに多くの建築物の実績がある¹⁾。写真 1 は高知県自治会館、写真 2 は東部地域振興ふれあい拠点施設で、ともに一般社団法人日本木造住宅産業協会が取得した国土交通大臣認定の仕様（ルート A）を用いている。写真 3 は JR 四国高知駅、写真 4 は所沢市市民体育館で、高度な検証法（ルート C）により木造化した屋根の耐火性能が検証された耐火建築物である。



写真 1 高知県自治会館



写真 2 東部地域振興ふれあい拠点施設



写真3 JR 四国高知駅



写真4 所沢市市民体育館



写真5 木質ハイブリッド部材の例



写真6 実大火災実験の様子



写真7 燃え止まり状況

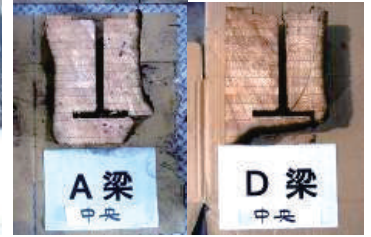


写真8 梁の炭化状況

耐火構造には、告示で仕様が定められた構造と国土交通大臣の認定を受けた構造があるが、木造耐火構造についてみた場合、前者については、平成26年に木造1時間耐火構造の間仕切壁・外壁（耐力壁・非耐力壁）の構造方法の仕様が定められ、後者についても平成17年に初めて認定が取得されたように、その歴史は長くはない。

平成11年からの5年間で、建設省（当時）総合技術開発プロジェクト「木質複合建築構造技術の開発」において、木材を構造耐力を負担する部分や被覆部分に用い、他の鉄骨やコンクリート等を複合した木質ハイブリッド部材（写真5は鉄骨を木材で被覆した部材）に関する研究が実施され、平成16～17年に建築研究所において研究課題「木質複合建築構造技術の開発フォローアップ」を実施した。その結果、次の成果が得られた²⁾。

- ・木質材料と他の材料を複合した木質ハイブリッド部材の開発
- ・木材と木材を他の材料により接合した木質ハイブリッド接合部、並びに他の材料のハイブリッド接合部の開発
- ・木造と他の構造を複合化した木質ハイブリッド構造の開発
- ・木材のような可燃性の材料を含む部材の耐火性能評価（試験法）の具体的な手順の整備（要求耐火時間加熱終了後に加熱時間の3倍の時間加熱炉に放置し炭化の進行の停止を確認）
- ・燃え止まり部材（鉄骨を木材で被覆し、木材の燃え止まりにより鉄骨の温度上昇を抑制するもの）・接合部の開発等

写真6は、木質ハイブリッド構造の実大火災実験の様子（点火20分後）を示したもので、写真7は火災終了後の室内の燃え止まり状況、写真8は梁の炭化状況を示す。

これらの研究成果により性能評価（試験法）の具体的な手順が整備されたことから、平成17年には一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会が木造1時間耐火構造の間仕切壁・外壁（耐力壁）の大臣認定を受け、それ以降、協会や民間企業が多くの認定を受けて耐火性能を有する部材の仕様の範囲を拡大して来た。さらに、平成26年からは2時間耐火構造の部材開発が進め

られ、国土交通大臣の認定が取得されている。写真9は、一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会との共同研究により2時間耐火構造の部材開発を実施した際の試験体の様子である。

表1に最上階から数えて14階までの主要構造部に建築基準法施行令（以下、「令」という。）に規定される要求性能を示すが、木造2時間耐火構造の大臣認定の取得により、建築構造的な検討等は別にして、防火規定上は地上14階建ての木造建築物が実現可能となった。これまでの事例では、最上階から数えて4階までを木造1時間耐火構造とし、それより下階をRC造等にする事で、中層化が行われている。表2に、平成28年5月時点の耐火構造の国土交通大臣認定の取得件数をまとめて示す。

耐火建築物の実績について、耐火構造の大臣認定書の発行数をみると、平成28年3月末時点で、

一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会：延べ2,866件^③

一般社団法人日本木造住宅産業協会：延べ1,741棟^④

の実績があり、これまでに十分な実績を有することが分かる。



(1)加熱前の試験体の様子



(2)加熱後の試験体の様子

写真9 2時間耐火壁の耐火性能試験

表1 主要構造部の要求耐火性能

最上階から数えた階数	通常の火災		屋外火災	屋内火災	
	非損傷性		遮熱性	遮炎性	
最上階	1時間	30分間	1時間	1時間	30分間
2~4階					
5~14階	2時間				
部位	耐力壁・柱・床・はり	屋根・階段	壁*1・床	外壁*2	外壁*3・屋根

*1 延焼のおそれのある部分以外の部分にある非耐力外壁は30分間

*2 耐力壁と延焼のおそれのある部分にある非耐力壁

*3 延焼のおそれのある部分以外の部分にある非耐力壁

表2 木造耐火構造の国土交通大臣認定の取得件数

認定区分	明細区分	認定記号	認定件数	
耐火構造	壁	外壁(非耐力)	FP030NE	0
		外壁(耐力・非耐力)	FP060BE,NE	86
		間仕切壁(耐力・非耐力)	FP060BP,NP	20
		間仕切壁(耐力)	FP120BP	4
	柱		FP060CN	17
			FP120CN	1
	床		FP060FL	26
			FP120FL	2
	はり		FP060BM	20
			FP120BM	2
屋根		FP030RF	57	
階段		FP030ST	4	

構造方法等の認定に係わる帳簿(平成28年5月末現在)

平成22年からの3年間、法第21条第2項および第27条改正のため、木造3階建て学校（以下、「木3学」という。）の実大火災実験を含む検討が国土交通省「木造建築基準の高度化推進に対する検討を行う者に対する補助事業」の事業主体（早稲田大学（代表）、秋田県立大学、三井ホーム(株)、住友林業(株)、(株)現代計画研究所）、国土交通省国土技術政策総合研究所、建築研究所の共同研究で実施された。その結果にもとづき、法第21条第2項については、「壁等」により建築物を3,000m²以内ごとに区画することで建築物全体では木造であっても3,000m²を超える規模の建築物を実現できるようになった。さらに、その成果にもとづき、木造1時間耐火構造の間仕切壁・外壁（耐力・非耐力）の次の仕様が平成26年8月、平成12年建設省告示第1399号に位置づけられた。写真10は、木造1時間耐火構造の間仕切壁の試験の様子である。

ただし、耐火被覆としての性能から強化せっこうボードは、ボード用原紙を除いた部分のせっこうの含有率を95%以上、ガ



(1)加熱前の試験体の様子



(2)加熱後の試験体 (2層めの被覆) の様子

写真 10 木造 1 時間耐火構造耐力壁の試験体

ラス繊維の含有率を 0.4%以上とし、かつ、ひる石の含有率を 2.5%以上としたものに限る (以下、「GB-F(V)」という。)。また、平成 28 年 3 月にも耐火構造の告示に以下の仕様が追加された。

木造 1 時間耐火構造の外壁(耐力・非耐力)の例示仕様
 間柱及び下地を木材で造り、かつ、それぞれ次の防火被覆が設けられたもの
 屋内側:間仕切壁の(1)から(3)のいずれかに該当する防火被覆
 屋外側: 次の(1)から(3)のいずれかに該当する防火被覆
 (1)強化せつこうボード GB-F(V)を 2 枚以上張ったもので、その厚さの合計が 42 mm 以上のものの上に金属板、軽量気泡コンクリートパネル若しくは窯業系サイディングを張った場合又はモルタル若しくはしっくいを塗ったもの
 (2)強化せつこうボード GB-F(V)を 2 枚以上張ったもので、その厚さの合計が 36 mm 以上のものの上に厚さが 8 mm 以上の繊維混入けい酸カルシウム板を張ったものの上に金属板、軽量気泡コンクリートパネル若しくは窯業系サイディングを張った場合又はモルタル若しくはしっくいを塗ったもの
 (3) 厚さが 15mm 以上の強化せつこうボード GB-F(V)の上に厚さが 50mm 以上の軽量気泡コンクリートパネルを張ったもの

木造 1 時間耐火構造の間仕切壁(耐力・非耐力)の例示仕様

間柱及び下地を木材で造り、かつ、その両側にそれぞれ次の(1)から(3)のいずれかに該当する防火被覆が設けられたもの

- (1)強化せつこうボード GB-F(V)を 2 枚以上張ったもので、その厚さの合計が 42 mm 以上のもの
- (2)強化せつこうボード GB-F(V)を 2 枚以上張ったもので、その厚さの合計が 36 mm 以上のものの上に厚さが 8 mm 以上の繊維混入けい酸カルシウム板を張ったもの
- (3) 厚さが 15mm 以上の強化せつこうボード GB-F(V)の上に厚さが 50mm 以上の軽量気泡コンクリートパネルを張ったもの

3) 海外における建築基準の動向

海外でも、近年木造建築物に関する基準見直しが進められ、階数制限や規模の緩和が行われている。

たとえば規制緩和を積極的に進めるカナダ⁶⁾では、建築基準 NBCC2015 の改正により共同住宅等の用途および事務所等の用途の建築物は、高さ制限等はあるものの、表 3 に示すように、スプリンクラー設備の設置を条件にして、一定の延床面積に対して 6 階までの建築物を許容している。防災上考慮すべき点や考え方が異なるため、これらの考え方をそのまま日本に導入することはできないものの、参考にできる点は多くある。なお、海外では日本という耐火構造の考え方はなく、準耐火構造が要求されている点は大きく異なる。

表 3 カナダにおける共同住宅・事務所等の面積制限

建物用途・階数	各階の面積	スプリンクラー	主要構造部の耐火性能・材料		
共同住宅	1 階建て	NFPA 13R	【主要構造部が可燃材料の場合】		
	2 階建て			9,000 m ²	
	3 階建て			4,500 m ²	
	4 階建て	NFPA 13	1時間準耐火性能: 床(層間区画)・屋根・耐力壁・柱・梁		
	5 階建て			3,000 m ²	
	6 階建て			2,250 m ²	
事務所	1・2 階建て	設置要求なし	【主要構造部が不燃材料の場合】		
	3 階建て			制限なし	
	4 階建て			12,000 m ²	
	事務所	1 階建て	NFPA 13	1時間準耐火性能: 床(層間区画)・屋根・耐力壁・柱・梁	
		2 階建て			9,000 m ²
		3 階建て			6,000 m ²
4 階建て		NFPA 13	【主要構造部が不燃材料の場合】		
5 階建て				4,500 m ²	
6 階建て				3,600 m ²	
事務所	1・2 階建て	設置要求なし	1時間準耐火性能: 床(層間区画)・屋根・耐力壁・柱・梁		
	3 階建て			制限なし	
	4 階建て			14,400 m ²	
	5 階建て			10,800 m ²	
事務所	6 階建て	NFPA 13	【主要構造部が不燃材料の場合】		
	7 階建て			8,640 m ²	
事務所	8 階建て	設置要求なし	1時間準耐火性能: 床(層間区画)・屋根・耐力壁・柱・梁		
	9 階建て			7,200 m ²	

III 建築研究所における技術開発の概要

木造耐火構造の部材開発に関しては、平成 17 年度建築研究所講演会²⁾において紹介した内容についてさらに検討をすすめ、また、法第 21 条第 2 項改正のための実験的な検討も実施して知見を蓄積してきた。これらの知見をもとにして、建築研究所では、前述したとおり平成 28 年度から 3 年間の計画で研究課題「中高層木造建築物の耐火関連技術の開発」を開始した。以下、研究の目的と研究の対象について示す。

1) 研究の目的

本研究課題は、本報のはじめにも記載したとおり、木材利用の促進を背景として、木造建築物の中高層化や大規模化の普及をより推進するために、木造耐火建築物に必要となる主要構造部について、告示に位置づけるための仕様や接合部の耐火性能等について、技術的な知見を蓄積することを目的としている。

本報告は、3 年間の研究期間の 1 年目の成果として、1 時間および 30 分間の耐火性能を有する部材の性能確認のための試験結果について報告するが、次年度以降、異なる耐火性能部材の接合部に関して性能を確保するための技術開発、2 時間耐火部材に関する技術開発を目的として検討を行う計画である。

2) 耐火構造の分類

耐火構造に要求される性能は、令第 107 条に規定されており、耐力部材と非耐力部材に分けて、非損傷性、遮熱性、遮炎性が要求される。表 1 は非損傷性の要求時間を示している。

実際の火災時の室内温度は、火災室の開口面積や可燃物量（表面積）、室の周壁の熱特性等により違いがあるものの、国土交通大臣の認定のための性能評価試験の加熱条件である ISO831-1 に規定する標準加熱温度曲線に従うと、加熱開始後 30 分で 840℃、1 時間で 945℃になる。長期の鉛直荷重を支持する部分には火災加熱による耐力低下を防止する必要があるため、材料によらず一般にはその表面に被覆を設ける必要がある。

たとえば、鉄筋コンクリート造の場合は、火災加熱に対して構成材料に不燃性能、耐熱性能（機械的特性含む）、伝熱性能（熱抵抗が高い性質）があり、加熱表面に近い部分により内部にある長期の鉛直荷重を支持する部分の耐力低下を防止できる。また、鉄骨造の場合は、火災加熱に対して不燃性能はあるものの鉄骨の温度上昇による機械的特性の低下が大きいので、鉄骨周囲を被覆して熱が伝わらないようにする必要がある。木造の場合は、木材が可燃性で火災により燃焼した際には、非損傷性を

維持できる状態のうちに木材の熱分解が停止する必要がある。

このように、平成 12 年の法改正により耐火構造は要求性能を満たせば、構成する材料に制限がなくなったことから、耐火構造の部分については、次のように分類ができる。

- ・長期の鉛直荷重を支持する部分
 - ・被覆部分
- さらに、それぞれの部分を構成する材料として、
- ・a:不燃材料（コンクリート、鉄等の不燃材料あるいはその組み合わせ）
 - ・b:他の材料（可燃材料や不燃材料以外の難燃材料等あるいは可燃材料や不燃材料等の組み合わせ）
 - ・c: 可燃材料（木材等の可燃材料あるいはその組み合わせ）

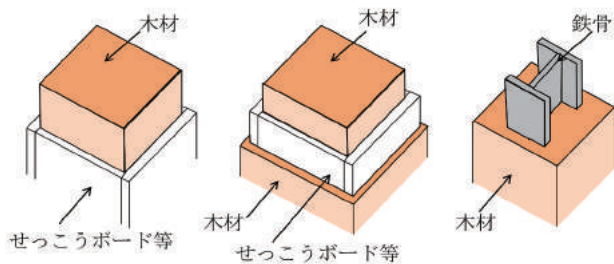
に分けた場合、それぞれの組み合わせは表 4 に示すようになる。

例示仕様についてみた場合、平成 12 年以前の耐火構造についてみると、木片セメント板を用いた構造については、木片セメント板の JIS である JISA 5404:2007「木質系セメント板」において、難燃 2 級の難燃性が規定されているので、表 4 の[荷重支持部 A:被覆 b]に位置づけられるが、それ以外の仕様は表 4 の[荷重支持部 A:被覆 a]に位置づけられる。また、平成 26 年 8 月に木造の 1 時間耐火構造の間仕切壁・外壁（耐力壁）の構造方法の仕様追加されたことから、[荷重支持部 C:被覆 a]の部分も位置づけられたことになる（表 4 の青色の部分が示す）。

国土交通大臣の認定の仕様については、多くの組み合わせがある。たとえば、図 1 に示すように、[荷重支持部 C:被覆 b]についても、被覆に薬剤処理した木材を使用するもの、木材と薬剤処理した木材の組み合わせ、木材とせっこうボードやモルタル等との組み合わせがあり、ある程度の厚さを有する木材であれば加熱時に燃焼発熱しても、深さ方向には熱が伝わりにくいことから、木材を部材表面に燃えしろ層として設けて長期の鉛直荷重を支持する部分へ伝わる熱を少なくする効果がある。ただし現時点では、木材の燃え止まりに関する知見の不足から[荷重支持部 C:被覆 c]の構造は耐火構造として認定されていない。

表 4 長期の鉛直荷重を支持する部分と被覆部分の組み合わせ

		長期の鉛直荷重を支持する部分		
		A:不燃材料	B:他の材料	C:可燃材料
被覆部分	a:不燃材料	荷重支持部 A:被覆 a	荷重支持部 B:被覆 a	荷重支持部 C:被覆 a
	b:他の材料	荷重支持部 A:被覆 b	荷重支持部 B:被覆 b	荷重支持部 C:被覆 b
	c:可燃材料	荷重支持部 A:被覆 c	荷重支持部 B:被覆 c	荷重支持部 C:被覆 c



[荷重支持部 C:被覆 a] [荷重支持部 C:被覆 b] [荷重支持部 A:被覆 c]
 図1 長期の鉛直荷重を支持する部分と被覆部分の組み合わせ例

また、平成11年から実施した総合技術開発プロジェクト²⁾では、木質ハイブリッド構造として、写真5に示す鉄骨を木材で被覆する[荷重支持部 A:被覆 c]の構造について実験的に検討し、火災室において被覆以外の収納可燃物が燃え尽きて室内の温度が低下する段階では、熱容量の大きな鉄骨への失熱により被覆とした木材の燃焼が停止し、鉄骨の温度も耐力低下が問題となるほど上昇しないことが確認できた。さらに、木材をせっこうボードにより被覆した[荷重支持部 C:被覆 a]の構造について実験的に検討した。木質ハイブリッド構造の考え方に基づいて、柱・はりについて、荷重支持部に鉄骨、被覆にカラマツ・ベイマツを用いた構造として、日本集成材工業組合により国土交通大臣認定が取得された。

3) 研究対象とする耐火構造

本研究では、長期の鉛直荷重を支持する部分に木材を用い、告示に位置づけるための被覆の仕様案について技術的知見を収集する。建築基準整備促進事業⁶⁾において例示仕様を整備する上での基本的な考え方が次のように示されており、この考え方に従って検討を進めることとした。

- (1) JIS などの公的規格により、耐火被覆に用いる材料の防耐火性能が担保できるもの。
- (2) 認定実績の多い仕様、実際に普及している仕様及びその類似材料による仕様。
- (3) 現行告示における例示仕様で認めている材料で、主として厚さを変化させることで異なる構造に位置付けることが可能と考えられるもの。例えば、耐火構造の間仕切壁・外壁(耐力壁)の耐火被覆の仕様が告示に例示されており、部位により必要な耐火被覆としての厚さを実験により確認したもの。
- (4) 標準断面形状の試験体により性能確認を行う。
- (5) 耐火被覆に用いる材料は準不燃材料の性能を有するものとし、

有機系材料は検討対象からは除外する。木材利用の促進の観点からは、薬剤処理木材(木材に薬剤を注入して難燃性を付与して防火性能を持たせたもの)は JIS A 5801:2008 建築用防火木材があり、その利用も考えられるが、節等を有する天然の木材を使用することから薬剤の注入には量や分布の違いが生じる等の製造時の品質管理の問題や、使用時には薬剤が水分と共に流出する等の使用環境や耐久性についての問題が指摘されていることから⁷⁾、検討対象からは除外している。また、木材の燃え止まりについても、例示仕様とするには十分な知見が蓄積できていないため、検討の対象から除外した。

IV 耐火構造部材の技術開発の状況

本研究は、建築基準整備促進事業 F10 のワーキンググループ(主査: 安井昇氏(桜設計集団))において既存の耐火構造の間仕切壁・外壁の例示仕様の被覆をもとに、各部位の被覆の仕様や被覆の留め付け方法等の施工方法を検討し、要素試験を実施して基本的な遮熱性能を確認した後、部材を用いた耐火試験を実施して性能を確認した。なお、仕様は前項の考え方に基づいて決定し、テープ等の目地補強材料は用いていない。また、耐火性能の確認は性能評価試験の判定基準に安全率を想定して、被覆下地の木材に炭化がなく、被覆裏面の測定温度が木材の炭化する温度以上にならないこととした。

1) 要素試験の概要

被覆の仕様(案)に、製品や種類のバリエーションがある場合に、部材試験で代表すべき仕様を確認するために、建築研究所の水平炉(有効加熱面 4mx4m、深さ 2m)による通常の部材より小規模な寸法の要素試験(分割試験)を実施した。表5および以下に、木造耐火構造で、実施した試験の概要を示す。

表5 被覆仕様の包含関係確認のための要素試験の被覆仕様

No	区分	部位	試験体被覆の仕様
1	30分耐火	屋根	・GB-F(V) 15mm+12.5mm ・GB-F(V) 15mm+12.5mm+(GW 32K 300mm) ・GB-F(V) 15mm+15mm ・GB-F(V) 15mm+15mm+(GW 32K 300mm)
2	1時間耐火	柱	・GB-F(V) 25mm+21mm ・GB-F(V) 25mm+21mm(目地処理あり) ・GB-F(V) 25mm+25mm ・GB-F(V) 25mm+25mm(目地処理あり)
3		はり	・GB-F(V) 25mm+21mm ・GB-F(V) 25mm+25mm
4		床	・GB-F(V) 21mm+21mm ・GB-F(V)(防水防かび性能)21mm+21mm

①床 (1時間耐火性能)

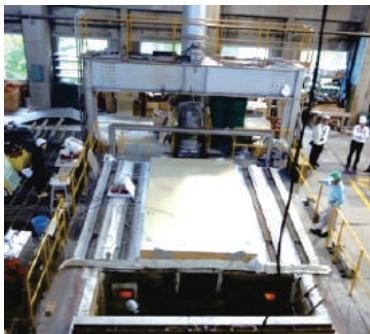
本研究で被覆とする GB-F(V)には、商品数、防水防かび性能を付加したものがああるため、被覆としての性能を代表するもの（性能が劣るもの）を選定する目的で、目地を設けた水平面を下側から1時間加熱し、加熱停止後温度が低下するまで放置して、温度上昇を測定した。なお、床内には断熱材（グラスウール32K、200mm）を入れている。

写真11(1)～(3)は、試験の様子、表5に示す仕様の加熱前後の試験体加熱面の様子である。被覆下地木材の温度については4つの試験体に大きな違いはなく、最大で190℃であり、下地に問題となる炭化等は見られなかった。そこで、総じて温度が高かったものを代表的な強化せっこうボードとした。

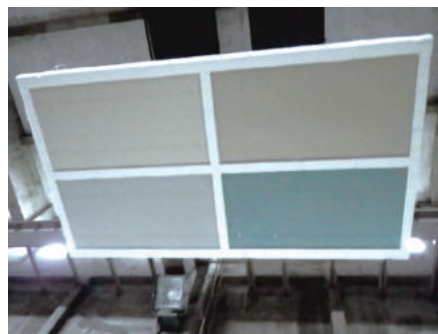
②柱 (1時間耐火性能)

柱の被覆として想定される GB-F(V)の厚さを確認するために、目地を中央に設けた高さ1mの柱2体を四周から1時間加熱し、加熱停止後温度が低下するまで放置して、温度上昇を測定した。

写真12(1)～(3)は、表5に示す仕様の試験体の加熱前と加熱後の試験体、木材表面 (GB-F(V)25mm+21mmの試験体)の様子である。被覆下地の木柱表面の温度は約200℃まで上昇したが、下地に問題となる炭化等は見られなかった。そこで、これを代表的な被覆とする。



(1)試験の様子



(2)試験体加熱面の加熱前の様子



(3)試験体加熱面の加熱後の様子

写真11 床の要素試験の概要



(1)試験体の加熱前の様子



(2)試験体の加熱後の様子



(3)木材表面の様子

写真12 床の要素試験の概要

③はり (1時間耐火性能)

柱と同様にはりの被覆として想定される GB-F(V)の厚さを確認するために、目地を中央に設けた長さ 1m のはり 2 体を四周から 1 時間加熱し、加熱停止後温度が低下するまで放置して、温度上昇を測定した。

写真 13(1)~(3) は、表 5 に示す仕様の試験体の加熱前と加熱後の試験体の様子、木材表面 (GB-F(V)25mm+21mm の試験体) の様子である。被覆 (GB-F(V)25mm+21mm) の下地の木柱表面の温度は約 205℃まで上昇したが、下地に問題となる炭化等は見られなかった。そこで、これを代表的な被覆とする。

④屋根 (30分耐火構造)

屋根の被覆の厚さの違いによる被覆の効果と断熱材 (グラスウール 32K、300mm) の有無による熱的な影響を確認する目的で、写真 14(1)~(3)は、表 5 に示す仕様の試験体の水平面を下面から 30 分間加熱し、加熱停止後温度が低下するまで放置して、温度上昇を測定した。

被覆下地木材の温度については 4 つの試験体のうち、GB-F(V)15mm+12.5mm に断熱材を設けた仕様が最大 142℃の温度であり、下地に問題となる炭化等は見られなかったため、この仕様を屋根の代表的な仕様とした。



(1)試験前の試験体の様子

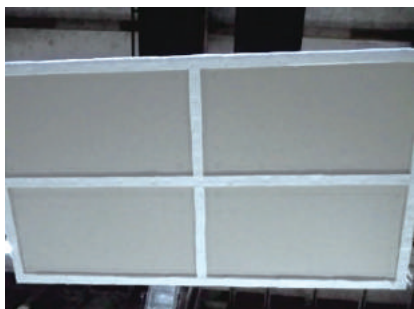


(2)加熱後の試験体の様子



(3)木材表面の様子

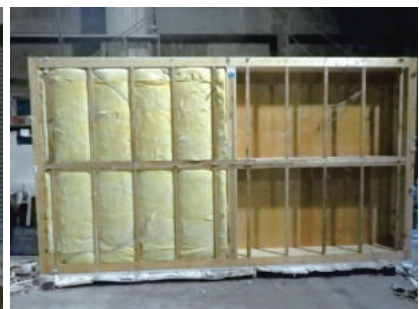
写真 13 はりの要素試験の概要



(1)試験前の試験体の様子



(2)試験後の試験体の様子



(3)試験体の下地の様子

写真 14 屋根の要素試験の概要

2) 部材試験の概要

1) の要素試験に基づいて表6示すように木造耐火構造の仕様を定め、実施した耐火試験の概要を以下に示す。

①床 (1時間耐火性能)

床の要素試験に基づいて、表6および写真15(1)に示すように被覆GB-F(V)21mm+21mmを被覆とした試験体に载荷(31kN)しながら下側から1時間加熱し、加熱停止後温度が低下するまで放置して、温度上昇を測定した。なお、床内には断熱材(グラスウール32K、200mm)を入れている。

写真15(2)、(3)は加熱前の加熱面の様子と加熱後の試験体の被覆下地木材と断熱材表面の様子である。被覆下地木材の温度は、最大で260℃近く上昇し、下地に耐火上問題となる炭化が見られた。そこで、被覆GB-F(V)25mm+21mmとして再試験を実施して、耐火上問題がないことを確認した。

②はり (1時間耐火性能)

はりの要素試験に基づいて、表6および写真16(1)に示すように被覆GB-F(V)25mm+21mmを被覆とした試験体に载荷(10.3kN)しながら下側からはりの3面を1時間加熱し、加熱停止後温度が低下するまで放置して、温度上昇を測定した。

写真16(2)、(3)は加熱後の試験体とその被覆下地木材表面の様子である。被覆下地の木材表面温度は、最大で140℃であり、下地に耐火上問題となる炭化は見られなかった。また、変位は最大35mmで、耐火性能上問題はなかった。

表6 試験体被覆の仕様

区分	部位	仕様	備考
1時間 耐火	柱	GB-F(V) 25mm+21mm	目地処理なし
	はり	GB-F(V) 25mm+21mm	目地処理なし
	床	上面:GB-F(V) 21mm+21mm 下面:GB-F(V) 21mm+21mm	断熱材あり
30分 耐火	屋根	GB-F(V) 15mm+12.5mm	断熱材あり
	階段	GB-F(V) 15mm+12.5mm	



(1) 载荷加熱試験の様子



(2) 試験前の試験体の様子



(3) 下地と断熱材表面の様子

写真15 床の部材試験の概要



(1) 試験前の試験体の様子



(2) 試験後の試験体の様子



(3) 試験体の下地の様子

写真16 はりの部材試験の概要

③階段 (30分耐火性能)

表6および写真17(1)、(2)に示すように、被覆をGB-F(V)15mm+12.5mmとした階段の試験体の各踏み板に載荷(65kg/段)しながら全体を30分間加熱し、加熱停止後温度が低下するまで放置して、温度上昇および段板の変位を測定した。写真17(3)、(4)は加熱後の試験体の様子、被覆下地木材の様子である。被覆下地木材の温度を図2に示すが、最大で127℃に上昇した程度で、下地に問題となる炭化は見られなかった。また、変位は最大4mmで、耐火性能上問題はなかった。

3) 試験結果のまとめ

表7に試験結果をまとめて示す。これらの結果から、表8に示すとおり1時間および30分木造耐火構造の耐火被覆について例示仕様として必要な性能についての知見が得られた。

表7 部材試験の結果

区分	部位	仕様	実験結果
1時間 耐火	はり	GB-F(V) 25mm+21mm	下地の炭化なし
	床	上面:GB-F(V) 21mm+21mm 下面:GB-F(V) 21mm+21mm	下地の炭化あり
30分 耐火	階段	GB-F(V) 15mm+12.5mm	下地の炭化なし



(1) 試験前の試験体の様子



(2) 試験体の設置の様子



(3) 試験後の試験体の様子



(4) 被覆下地木材の様子

写真17 階段の部材試験の概要

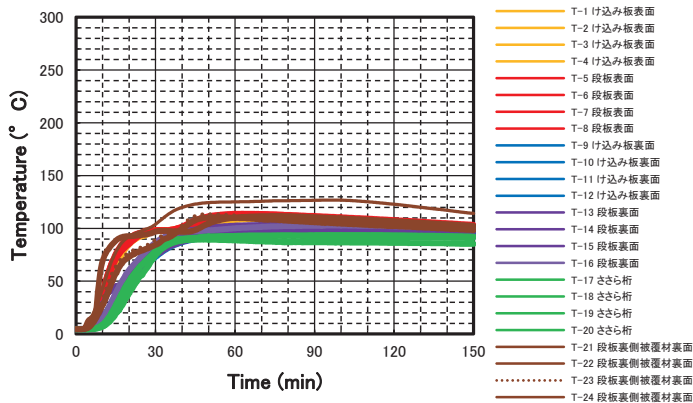


図2 階段の木材表面の各温度の測定結果

表8 耐火構造の仕様(案)

区分	部位	仕様	備考
1時間 耐火	柱	GB-F(V) 25mm+21mm	目地処理なし
	はり	GB-F(V) 25mm+21mm	目地処理なし
	床	上面:GB-F(V) 25mm+21mm 下面:GB-F(V) 25mm+21mm	断熱材(無機系のもの)の設置可
30分 耐火	屋根	GB-F(V) 15mm+12.5mm	断熱材(無機系のもの)の設置可
	階段	GB-F(V) 15mm+12.5mm	

4) 課題と今後の予定

本報告では、本年度実施した木造耐火構造部材の耐火性能についての知見を紹介した。これ以外にも、部材の接合部の性能確認についても、今後実験を実施して、性能確認を行う予定である。

また、屋根は30分耐火構造の性能要求に対して、最上階から数えて4階までの梁や柱は1時間耐火構造が要求され、最上階から数えて5以上14以下の階では2時間耐火構造が要求される。これらの要求性能が異なる部材の接合部は、要求耐火時間の長い部材の性能を損なうことがないような接合部の仕様を検討する必要がある。

さらに、鉄骨造耐火構造等と木造耐火構造の部材の取り合い部分についても、鉛直荷重を支持する部分の性能が異なることから、被覆に要求される性能が異なる。たとえば、鉄骨造のはりの上に木造の床を設ける場合、鉄骨の非損傷性を温度で判定するには平均温度が350℃以下であることを考えると、これに接する木部は炭化し、場合によっては延焼する危険性がある。すでに一部では林野庁の補助事業による検討が行われているが⁸⁾、より木材の利用範囲を拡大するためには、引き続き検討を行ってゆくことが必要である。

今後、木造建築物の中高層化を考えた場合、2時間耐火構造の要求が主体となる。現在のところ、このような建築物での火災に対する知見は十分でないことから、耐火性能を担保するための技術開発等の知見の蓄積を行ってゆくことが必要である。

V おわりに

本報告は、「木材を利用した耐火構造の技術開発」と題して、3年計画の研究課題の初年度における成果を中心に紹介した。次年度以降、引き続き実験的な検討を実施し、木造建築物の中高層化に必要な技術開発を行ってゆく予定である。

謝辞

写真1～3は、桜設計集団代表 安井昇氏に提供して戴きました。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) たとえば、一般社団法人 木を活かす建築推進協議会、ここまでできる木造建築のすすめ 第3版、平成24年7月
- 2) 萩原一郎、木材を利用した耐火構造の技術開発、平成17年度独立行政法人建築研究所講演会、平成18年3月14日
- 3) http://www.2x4assoc.or.jp/builder/technology/taika/taika03_img/publish_graph.pdf
- 4) 一般社団法人日本木造住宅産業協会の資料による
- 5) Joseph Su, Revisions to the National Building Code of Canada (NBCC) 2015 – Related to Midrise Combustible Construction, Building Expert Committee (BEC), September 27, 2016
- 6) 一般社団法人建築性能基準推進協会、平成27年度建築基準整備促進事業 F3「防火に関する大臣認定仕様の告示化の検討」報告書、平成28年3月
- 7) 福田泰孝、最近の防火材料性能評価業務の状況、BL つくば Vol.19、一般財団法人ベターリビングつくば建築試験研究センター、平成28年11月
- 8) 山佐木材株式会社、平成27年度林野庁委託事業 CLT 等新たな製品・技術の開発・普及事業「鋼構造オフィスビル床のCLT化」(木質耐火部材開発) 研究成果報告書、平成28年3月