

大規模木造建築物の防火対策

防火研究グループ 上席研究員 萩原 一郎

目次

- I はじめに
- II 建築物の火災安全の確保
 - 1) 火災安全の性能とは
 - 2) 大規模木造建築物の防火基準
 - 3) 大規模木造建築物の課題
- III 木質部材の耐火性能
 - 1) 防耐火性能の確保
 - 2) 新しい木質部材
- IV 木造3階建て学校の実大火災実験（予備実験）
 - 1) 実験の目的
 - 2) 実験建物の概要
 - 3) 実験条件と計測項目
 - 4) 実験結果
- V 木造3階建て学校の実大火災実験（準備実験）
 - 1) 実験の目的
 - 2) 実験結果の概要
- VI おわりに
 - 参考文献

I はじめに

近年、木造利用および木造建築への関心が高くなっている。大規模な木造建築物に対しては、過去の市街地火災における被害などを踏まえて、建築基準法が厳しく防火規制を行ってきた。建築分野における木材の利用を増やすためには、これまでに木材利用が困難であった集合住宅や学校、事務所ビルなどの中層・大規模建築物を木造で建築することが効果的である。

海外でも従来、大規模な木造建築は制限されてきたが、1990年代から規制緩和が進められ、現在では中層の木造建築物が可能となっている。ヨーロッパを中心に中層の木造建築物が建てられており（写真1）、例えば、イギリスでは9階建ての木造集

合住宅までが建築されている。日本においても、2000年の建築基準法の改正により、防火基準の性能規定化が行われ、耐火建築物を木造で建てることできるようになった。しかし、木造の耐火建築物をつくるための技術的なハードルは、まだまだ高いと言える。

このような状況の中で、「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」（2010年10月施行）が施行され、国土交通省は木造3階建て学校について、必要な研究を進めた上で規制見直しを行う方針を示した。現在、建築基準法では、3階建ての学校を鉄筋コンクリート造のような耐火建築物とすることを義務付けているが、木造で建てても火災に対して十分な安全を

確保できるように研究開発を進めている。

本稿では、木材利用を進める立場から、大規模木造建築物を実現するために解決すべき火災安全の課題と対策について紹介する。



写真1 スウェーデンの8階建て木造集合住宅

II 建築物の火災安全の確保

1) 火災安全の性能とは

建築物の防火対策は、古くから建築法規において仕様書的に定められてきた。人が集まる都市においては、火災が発生すると広範囲に家々が焼失することが少なくなかった。そこで、その

ような都市大火を防ぐことを目的として、個々の建物に対する防火規制がつけられた。1666年ロンドン大火、1871年シカゴ大火、1906年サンフランシスコ地震火災などを受け、米国の保険会社の協会が、建築物の火災安全性を確保するための技術基準として、建築基準を体系的に整備する活動が開始された。

日本においても、江戸時代から都市大火は重大な社会問題であり、様々な防火対策が求められてきた。特に、関東大震災後には、都市の不燃化、耐火建築物の促進が行われ、鉄筋コンクリート造の建築物が次々と出現してきた。このような建築物の防火基準が整備される一方で、火災に弱い木造建築物は基準に適合することができず、徐々に街中から姿を消していったものと考えられる。

仕様書的な防火基準が作成されてから既に一世紀近くの時間が経ち、様々な不都合が見られるようになってきた。そのため、仕様書の規定に代わり性能規定を導入することが世界的に広がり、日本でも2000年に施行された建築基準法において防火基準に性能規定が導入された。これにより、仕様書の規定によらず、様々な防火対策を選択することが可能となった。火災安全に必要な性能を定め、想定される火災に対する防火対策の効果を評価するのである。

そのためには、従来の法令等において要求されてきた仕様書的な防火対策を、それを必要とする目的から体系的に整理する

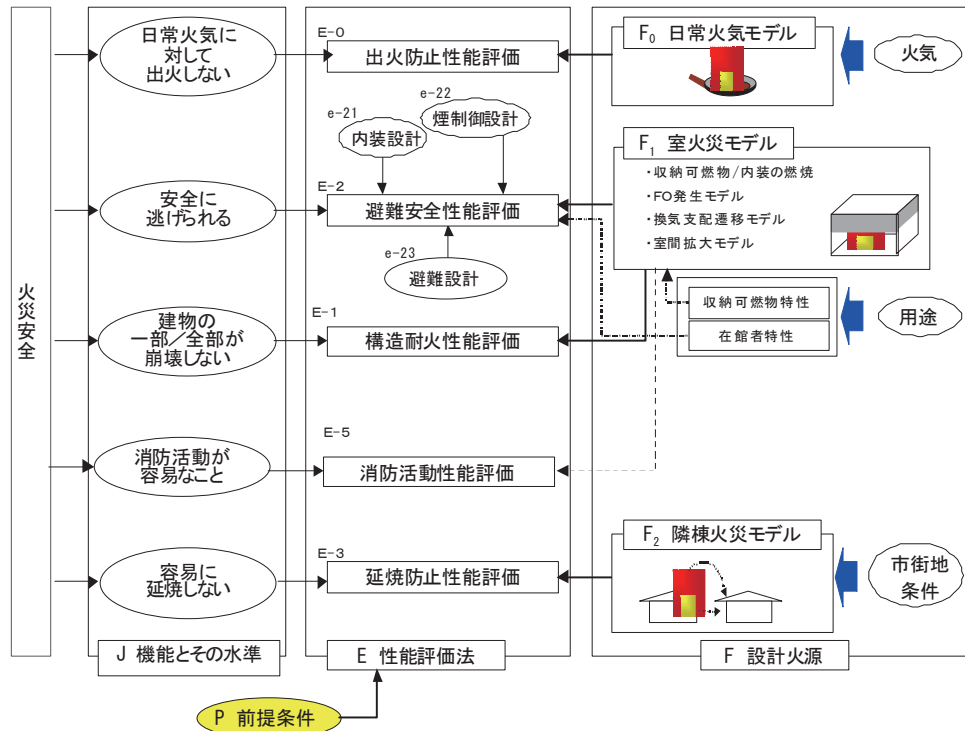


図1 火災安全設計のフレームワーク

ことが必要である。建築研究所では、1982～86年にかけて総合技術開発プロジェクト「建築物の防火設計法の開発」（通称「防火総プロ」）を実施し、防火設計の目的、目的を達成させるための機能要求を整理した。この成果を踏まえて、図1に示す火災安全設計のフレームワークがつけられた。

現在は内容を一部見直し、火災安全を以下の5つの機能要件、即ち、出火防止、避難安全、周辺への危害防止、市街地火災の抑制、円滑な消防活動に整理している。

- ①出火防止とは、日常的な出火を防止すること。頻繁に火災が発生しては安心して生活することができないので、台所のコンロやたばこの不始末程度で容易に出火することを防ぐ。
- ②避難安全とは、火災が発生した建築物の在館者および周囲の人の人命を保護すること。在館者が安全に避難できるためには、廊下や階段等を適切な場所に設け、火災の影響から保護することが必要である。
- ③周辺への危害防止とは、出火建物から周囲の建物への火災による被害を抑制すること。火災による被害とは、火災建物から周辺建物への延焼、倒壊等による周辺建物の損壊等である。
- ④市街地火災の抑制は、単体火災が市街地大火に拡大することを抑制すること。市街地において、出火した場合に周囲の建物への完全な延焼防止対策を求めること（加害防止）は困難

であるので、延焼を受ける側にも防止対策（受害防止）を組み合わせることが必要である。

- ⑤円滑な消防活動とは、消防隊の活動が建物内外で円滑に行えるように、必要な設備を適切に設置すること。防火対策を建物側だけで完結させることには限界があるため、防火対策が失敗した場合は、消防活動を効果的に行えるようにする。

このような火災安全上の目的が整理され、様々な評価手法が用意された結果、性能規定化前は、旧法第38条に基づく大臣認定を適用した建築物が多く建てられるようになった。その中には、例えば、アトリウムのような大空間、加圧防排煙システム、耐火被覆を施さない鉄骨構造、大規模木造建築物などがある。

2) 大規模木造建築物の防火基準

市街地火災による火災被害を低減するため、海外においても日本と同様に大規模な木造建築は制限されてきたが、防火基準の性能規定化とともに規制緩和が進められ、現在では中層の木造建築物の建築が可能となっている。海外における木造で建築できる範囲を調査した結果を表1に示す。

各国で違いはあるものの、概ね4階程度までは木造建築物とすることが認められている。ただし、建築物の用途による制限もあり、病院や学校は低層とすることが求められている。また、スプリンクラー設備の評価や、消防力を考慮して、木造建築物

表1 各国における木造建築物の防火基準

項目	国	ドイツ	オーストリア	ニュージーランド	カナダ	オーストラリア	フランス	イギリス	米国
木質系構造が認められる範囲		MBO2002 建物のクラス B2 GK1 a,b =<7m, 2ユニット, ユニット合計=<400㎡ GK2 =<7m, 2ユニット, ユニット合計=<400㎡ F30-B GK3 =<7m F30-B GK4 最上階の床=<13m 各ユニット面積=<400㎡ 木質構造F60-B/A	OIB2008 GK1 戸建, =<7m, =<400㎡ R30 GK2 長屋, =<7m, =<400㎡ R30 GK3 集合, =<7m, =<400㎡ R80 GK4 集合, =<11m, =<400㎡ R80	性能検証できれば可	NBC2010 小規模建築物は材料制限なし 3階建以下、600㎡程度 一般建築物の場合: 4階建以下 建築面積 3000㎡	BCA1996 性能規定に適合すれば可	1992 要求耐火時間を満足すれば可 ただし、高さ8mを超える場合、1時間の耐火性能を満足させることは困難 平座: 0.5時間耐火 地上から8m未満: 2-4種: 0.5時間耐火 1種: 1時間耐火 地上から8m以上28m未満: 2-4種: 1時間耐火 1種: 1.5時間耐火	Building Regulations 2000 1時間を超える耐火構造には可燃材料の使用制限あり タイプV 大断面構造(外壁不燃) タイプV 可燃構造	IBC2000 タイプIV 大断面構造(外壁不燃) タイプV 可燃構造
用途		病院 不可 物販 1階建て F30-B 宿泊 2階建て F30-B	学校 2階建てはGK3, GK4(4階建てまで可)	病院: 1階建て、500㎡以下 ホテル、物販等: 4階建 1,800㎡以下 事務所等: 4階建、3,600㎡以下 学校: 2階建て 2,400㎡以下 住宅用: 6階まで 最上階の床<18m 床面積の総和7,200㎡ 2階建 3,600㎡、3階建 2,400㎡、6階建 1,200㎡ 4階建: 木質構造、木質HB 1時間耐火、SP 13R(住宅用) 5・6階建: 木質構造 1時間耐火、SP 13	ホテル: 2階、2方向避難 店舗: 2階 最大2,000㎡ 事務所: 2階 最大3,000㎡ 戸建て: 制限なし アパート: 4階 1階RC+3階W			1時間耐火で可能な範囲 店舗: 18m未満 SPなし 30m未満 SPあり 事務所: 18m未満 SPなし 30m未満 SPあり 集合: 18m未満 SPなし 30m未満 SPあり 1時間耐火で可能な範囲 集合住宅: 18m未満	タイプIVで可能な範囲 店舗: 4階 事務所: 5階 学校: 3階 集合: 3階 住居、ホテル: 4階
木質系の耐火等級		耐力部材 F60-BA、F30-B、B2(可燃) 区画壁 F60-BA+M	R30,R60 防火区画 EI60, EI90	S-rating 前後防止: 隣地までの距離、外壁の開口面積、屋根の開口面積、火災区画の制限値 SP有りは1/2 F-rating 延焼防止: 避難高さ・階数、各階の火災区画の数、火災区画の面積、用途、在館者数、火災危険カテゴリ 最大90分	45分 または 1時間		高さ28m未満の場合: 0.5時間、1時間、1.5時間	樹種により炭化深さに違いあり 30分耐火: 20、25、15mm 60分耐火: 40、50、30mm	壁 最大2時間 床 最大1時間
SP、消防力の考慮				S-rating SP有りは1/2	SPありの場合、建築面積は概ね2倍 消防力は敷地の面する防壁の数で詳細し、建築面積が増加 住宅 5・6階建・消防の到着は10分未満			SPありの場合 区画面積の緩和、耐火時間の緩和あり	SPありの場合、1時間耐火の要求が0時間になる部位もあり
備考		以前は木材使用は3階建てまで	耐火時間90分以上は不燃材料の使用		外壁の構造は、外壁と敷地境界との距離で、耐火性、表面の不燃性、開口面積の制限がある 住宅 防火区画は木部が露出しないこと		防火被覆されていない木質構造の計算式あり		

の規模制限を行っている国もある。

例えば、カナダでは、集合住宅は6階建て、最上階の床面高さの上限18mまで木造とすることが可能である。スプリンクラー設備を設けることが必要であり、内装については木質化が出来ず、せっこうボードなどで仕上げなければならない。外壁について耐火性だけでなく、不燃性が要求される。また、延床面積の上限が定められているため、階数が増えると階の床面積が減少する仕組みとなっている。

ニュージーランドは、防火基準が性能規定化されており、木造建築物でも性能検証が出来れば良く、建築物の階数や規模の制限はない。但し、在館者の人数、可燃物量、避難高さ（在館者のいる床の地上高さ）が高くなると、結果として義務付けられる防火対策が増加する仕組みである。部材の耐火性能は、防火区画としての性能と、荷重支持としての性能が別々に求められており、どちらもスプリンクラーを設置した場合、要求される耐火時間が半分となる。また、スプリンクラーを設置した場合、木材の利用に対する制限が緩和される。逆にいえば、スプリンクラー設備が設置されていないならば、木材利用することが制限されている。

オーストリアでは、主にGK4（地上4階、集合形式）以下であれば、木質構造部材を利用可能である。60分の耐火性能までは木質部材を利用可能であるが、90分以上の耐火性能が要求される部材には不燃材が必要とされるので、木質部材を利用することができない。

3) 大規模木造建築物の課題

大規模木造建築物を実現するためには、火災安全を確保する必要があるが、上に示した諸外国の防火基準の考え方も併せて火災安全の5つの機能要件毎に、どのような課題があるのかを整理する。

①出火防止

木質内装を行う場合、例えば、タバコなどの小さな火源では、容易に内装に着火しないように対策を行う。

②避難安全

火災の影響、特に、煙に晒されずに避難できることは、木造、非木造に関係なく、共通に求められる性能である。木質内装は木材の使用範囲や部位により、急激に火災が成長することも予想されるので、十分な避難時間を確保することが必要である。火災初期における内装の燃焼が、急激な火災拡大を生じさせないようにすることや、避難経路を火災からの煙やガスの影響から防ぐことが重要となる。

また、木質系の構造部材について、少なくとも避難が行われている時間は、火災で避難経路が壊れたり、火災で建築物の一部が崩壊したりして、避難に支障が生じないことが必要である。

③周囲への危害防止

火災となった木造建築物から周囲の建築物への延焼が生じないようにするため、十分な離隔距離を確保したり、開口部からの噴出火炎を制限したり、可燃性外装の燃焼を制限することなどが必要となる。

また、倒壊により周囲の建築物へ被害を生じさせないためには、十分な離隔距離を確保する、または、部材の耐火性能を確保するなどの必要がある。

火の粉の飛散を防止することも周囲への延焼を防止するためには重要であり、対策としては屋根の燃え抜け防止や、倒壊防止などが考えられる。

④市街地火災の抑制

周囲の火災から木造建築物が延焼を受けることを防止するためには、想定される市街地火災の外力に対して、外壁や開口部の防火対策が必要となる。また、屋根や軒裏など、飛び火の影響を受けやすい部分については、火の粉の侵入、木材部分への着火防止の対策などが重要である。

⑤円滑な消防活動

通常の消防活動により、消火が可能な火災規模に制限することが重要である。防火壁や防火区画を行うことにより、消防が効果的に放水できるように燃焼範囲を制御することなどが考えられる。

III 木質部材の耐火性能

1) 防耐火性能の確保

建築物に要求される防火上の性能は、一般に規模が大きくなるほど、柱や梁などの部材に高い耐火性能が求められる。木材は火災に弱いとされていたので、従来、木造建築物は規模の小さなものしか建築できなかった。木材を利用した場合にも構造的に火災に強くするための対策としては、木材をせっこうボード等で被覆するメンブレン防火被覆という方法と、燃えしる設計という方法が一般的に用いられている。(図2)

メンブレン防火被覆は、木材を燃えない材料で覆うことで、木材の温度上昇を緩やかに、燃え難くすることができる。例えば表2に示すように、準耐火構造では部材の表面に必要な厚さのあるせっこうボードで防火被覆することで性能を確保する。しかし、被覆材で覆われているため、木の表面を見せることが

できないため、見た目では木造ということが分からないというデメリットがある。

一方、燃えしろ設計では、表面に木材を見せることができる。木が燃えて表面が炭化することにより内部へ燃え進む速度が遅くなる特性を利用しているのである。表3に示すように、準耐火構造として必要な時間に対応して、燃えてしまう厚さ（燃えしろ）の分だけ、構造上必要な断面より大きな部材断面が必要となる。

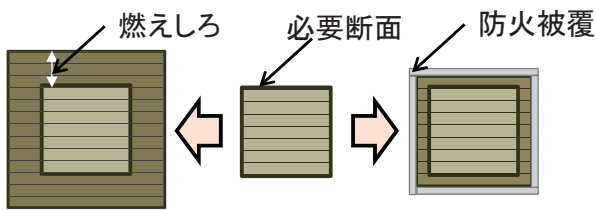


図2 燃えしろ設計とメンブレン防火被覆の概念

表2 防火被覆の例

部位	準耐火構造の防火被覆	
	45分	60分
柱 (鉛直部材)	せっこう ボード15mm以上	せっこう ボード12mm以上 2枚張
梁 (水平部材)	強化せっこう ボード15mm以上	強化せっこう ボード12mm以上 2枚張

表3 必要な燃えしろ寸法

柱、梁の部材 (JAS適合品)	必要な燃えしろ(mm)		
	30分	45分	60分
集成材、単板積層材	25	35	45
製材	30	45	60

2) 新しい木質部材

1990年頃までは欧米でも、2階建て程度の規模までに木造建築物は制限されていたが、現在では5階建てを超える建築物も建てられている。このような木造建築物には、新しい木質部材 CLT パネル (Cross-Laminated Timber Panel、比較的厚い断面の板を繊維の直交方向に貼り合わせたもの。図3) が多く利用されている。日本でも CLT パネルが生産されているので、国産の CLT パネルを用いて、現行の耐火試験の方法による耐火性能を把握することにした。

なお、大断面集成材を用いた建築物では、燃えしろ設計を採用して木造であることが目で見えるようにすることが多い

が、現状では燃えしろ設計は、主要構造部である柱やはりだけを対象としているため、壁や床には適用することができない。そこで、CLT パネルの壁や床に対しても、燃えしろ設計を適用することができるように、炭化速度などの基礎的なデータを収集した。¹⁾

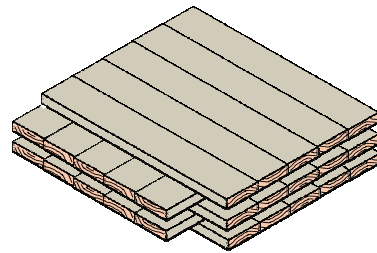


図3 CLT パネルの構成概要

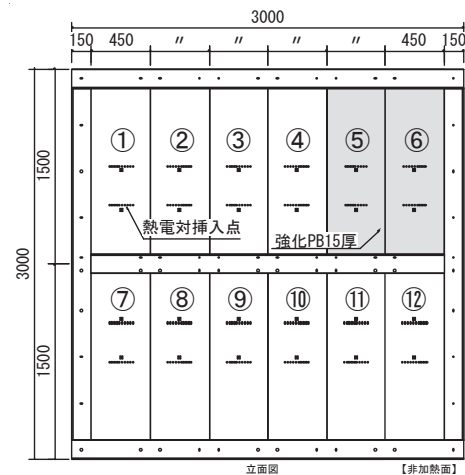


図4 試験体図



写真3 加熱試験直後の CLT パネル

表4 各パネルの仕様と炭化速度

試験体名	パネル名	仕様		加熱時間(分)	部材燃焼開始時間(分)*1	炭化速度*2(mm/分)		炭化深さ(mm)		
		構成方法	幅はぎ			60分時	実験終了時	最大*3	平均*4	
W1	①	CLT 135厚(19.3mm×7層) 材種:スギ 接着剤:RF	無し	90	0.5	0.59	0.66	60	57	
	②		有り			0.74	0.71	68	63	
	③	CLT 135厚(27mm×5層) 材種:スギ 接着剤:API	無し			0.69	0.70	75	67	
	④		有り			0.66	0.77	83	74	
	⑤	CLT 90厚(30mm×3層) 材種:スギ 接着剤:API 強化PB 15厚	無し			24.3	*5	0.43	41	33
	⑥		有り			34	*5	0.55	44	37
	⑦	CLT 135厚(19.3mm×7層) 材種:カラマツ 接着剤:API	無し			0.5	0.57	0.64	79	69
	⑧		有り			0.5	0.62	0.67	73	67
	⑨	CLT 135厚(19.3mm×7層) 材種:スギ 接着剤:API	無し			0.5	0.73	0.76	85	74
	⑩		有り			0.5	0.61	0.63	73	63
	⑪	CLT 135厚(45mm×3層) 材種:スギ 接着剤:API	無し			0.5	0.71	0.70	76	64
	⑫		有り			0.5	0.7	0.71	82	75

- *1 燃えしろ仕様では炉内温度、メンブレン仕様では被覆材裏面温度が260℃に到達した時間
- *2 最小二乗法により算出した炭化速度
- *3 炭化図測定断面(熱電対挿入点(図4、6)で試験体を切断した2断面)における最大炭化深さの値
- *4 炭化図測定断面で断熱材の影響が無い部分の炭化深さ(測定間隔 20mmピッチ)の平均値
- *5 メンブレン仕様においては60分加熱時の正確な炭化速度が算出されなかったため、除外する。

壁の厚さ、ラミナの厚さ、接着剤の種類、樹種、防火被覆の有無などの条件を変えた CLT パネルを作成し、それらを組み合わせた壁の試験体を利用して加熱試験を行った。(図4、写真3、表4)

その結果は表4に示すように、スギ・防火被覆なし CLT パネルでは、炭化速度が0.66~0.77mm/分となり、集成材の燃えしろ寸法から計算される炭化速度(0.75~0.83mm/分)とほぼ同じ値となることが明らかとなった。(図5) また、カラマツ・防火被覆なし CLT パネルでは、炭化速度は0.64~0.67mm/分である。

従って、上記の結果から、燃えしろ寸法については、現行と同じような燃えしろ設計を適用することが可能と考えられる。但し、CLT パネルを構成する厚い断面の板(ラミナ)は、交互の直交しているため、直交方向は構造上荷重を支持しないものとして扱うことになる。そのため、パネル表面から燃えしろ寸法を除外したパネルの断面を想定し、最外ラミナが直交層である場合は、当該ラミナも燃えしろとして除外するなどの調整が必要となる。

また、スギ・防火被覆あり CLT パネルでは、炭化速度が0.43~0.55mm/分となり、防火被覆なしと比較して炭化速度が2/3程度に低下している。さらに防火被覆されていることで、木材の炭化が始まる時間も約30分程度、遅くなっていることが分かる。(図6)

これらの結果から、防火被覆が脱落しないことを条件とすれば、燃えしろ設計と防火被覆を組合せることで、より合理的に耐火性能を確保することが可能となる。

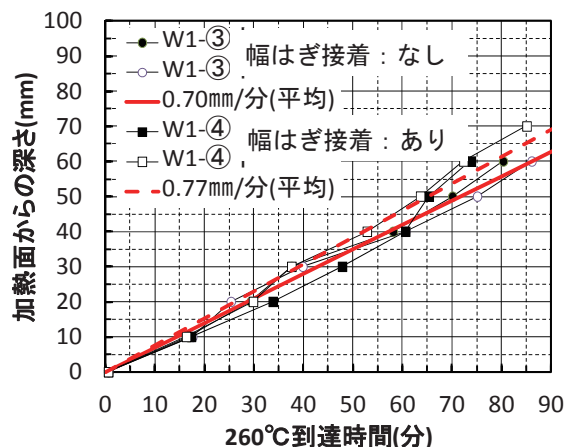


図5 スギ・防火被覆なし CLT パネルの炭化速度

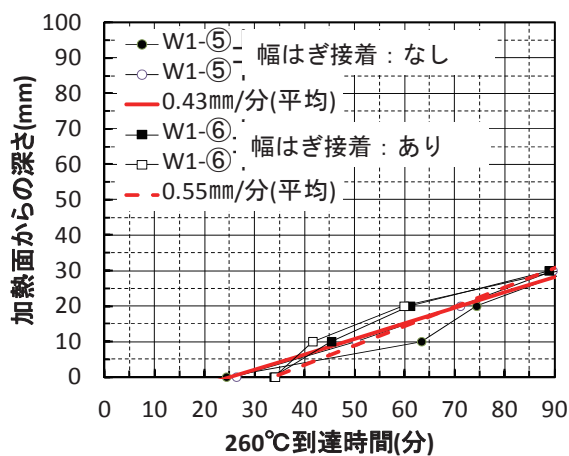


図6 スギ・防火被覆 CLT パネルの炭化速度

IV 木造3階建て学校の実大火災実験（予備実験）

1) 実験の目的

現行の建築基準法では耐火建築物とすることが要求されている3階建て学校を、既に共同住宅などで導入されている1時間準耐火構造の部材を用いて建設し、火災安全上の課題を明らかにするための実大火災実験（予備実験）を実施した。予備実験では、火災が内部でどのように燃え広がるのか、また、周辺に対してどのような延焼危険が生じるのか、さらに、長時間火災が継続した場合に建物が倒壊するのかなどを把握することを目的としている。²⁾

この一連の実験は、木造3階建て学校に対する防火規制を見直すため、平成23年度から開始された国土交通省の補助事業として実施された。（図7）

項目	H23	H24	H25
実大規模の建築物による実験 （木造3階建て学校）	予備実験		
教室規模（木質内装）の実験・ 部材の加熱試験等			
シミュレーション等の調査分析			

図7 補助事業の全体計画

2) 実験建物の概要

実験建物は図8に示す通り、長さ50m、幅16m、高さ16mの3階建て、建築面積は約830㎡、延べ面積が約2,260㎡である。以下に計画の要点を示す。

①平面計画

近年の学校建築の動向を考慮して、8m×8mの普通教室を標準としたオープンタイプとした。なお、東側の1教室分を自立する耐火構造の防火壁により、その他の部分と区画している。

（図9）

②構造計画

工法による延焼拡大及び煙流動性状の違いを把握するため、軸組工法（Aブロック）と枠組壁工法（Bブロック）を組み合わせ合わせた仕様としている。

軸組工法の部分は、南北に広い開口を実現するため、X方向を8mスパンの集成材による木造一方方向ラーメン構造とし、Y方向は4mスパンの耐力壁構造で計画し、オープンスペース側は耐力壁がない一体的な空間を可能としている。

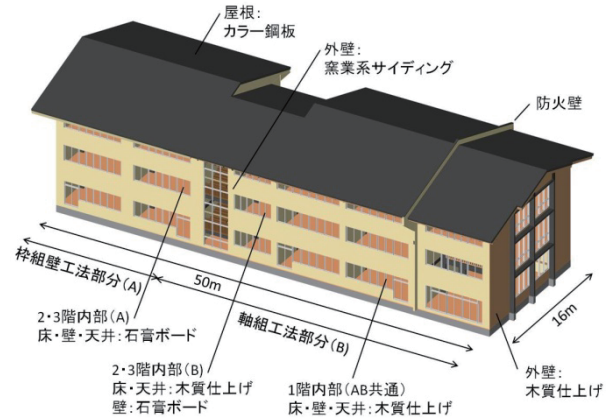


図8 実験建物の外観

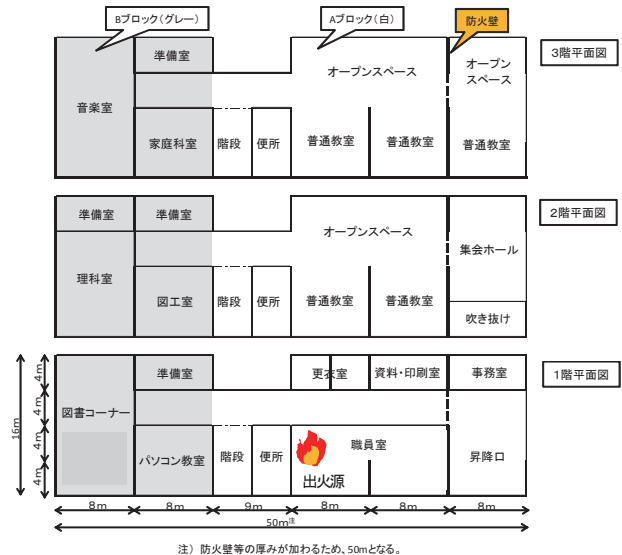


図9 実験建物の平面図

③防耐火設計

軸組工法部分は、木造らしさを表現できる燃えしろ型とし、枠組み工法部分はメンブレン型の1時間準耐火構造とした。各部に必要とされる防耐火性能（1時間または30分の準耐火構造）については、部材実験により性能が確認された仕様である。防火区画は各階で行うことを基本として、1時間の準耐火構造の壁・床で区画した。

④内装・外装

木造の学校には木質系の内部仕上げが求められることを考慮して、出火階である1階は天井を含め、ほぼ全面を木質仕上げとしている。（表5）外装は東面のみを木質仕上げとして、その他の部分は窯業系サイディングとした。

表5 内装仕上げ

内部仕上げ		床	壁	天井
1階	Aブロック	スギ板 強化石膏ボード 構造用合板	スギ板 構造用合板	構造用合板
	Bブロック	スギ板 構造用合板	スギ板 強化石膏ボード 構造用合板	スギ板 強化石膏ボード
2・3階	Aブロック	スギ板 強化石膏ボード 構造用合板	強化石膏ボード 構造用合板	構造用合板 (垂木現し)
	Bブロック	石膏ボード 構造用合板	石膏ボード 構造用合板	石膏ボード
各階	Aブロック		(防火壁) 強化石膏ボード 2枚張り	

3) 実験条件と計測項目

実験建物は国土交通省国土技術政策総合研究所（茨城県つくば市）の河川模型実験施設内に設定した実験場に建設し、2012年2月22日に実施した。

①実験条件

出火室：可燃物量が多く、かつ、実際に出火場所となる事例が多い職員室とした。

収納可燃物：調査結果や避難安全検証法の告示をもとに、各室の用途に応じて収納可燃物の発熱量（教室：400MJ/m²等）を設定した。

開口部の条件：屋外に面する開口部は全て閉鎖し、屋内の扉は基本的に開放した。ただし、防火区画を構成する階段室と防火壁に設けられた防火戸（特定防火設備）は閉鎖状態とした。

②計測項目

温度：火災がどのように延焼拡大したのかを把握するため、室内は360点、部材・接合部は210点、外壁は73点で温度を測定した。また、建物周囲に5台のやぐらを設置して、建物外壁付近の温度分布を熱映像で記録した。

熱流束：噴出火炎などによる建物周囲への延焼危険性を把握するため、外壁の開口部から少し離れた位置（3～14m）に合計64点の水冷式熱流束計を設置して測定した。

その他、ビデオや目視による観察記録や、火の粉の飛散状況を把握を行った。

4) 実験結果

実験は午前9時、1階職員室に点火してスタートし、比較的短時間に上階へ延焼し、建物全体に延焼拡大した。以下に、主に目視観察による延焼状況を示す。

①出火室の延焼及び煙の拡大

1階中央の職員室に置かれた什器に見立てた木材クリブに点

火すると、直ぐに火炎が天井に達し、木質仕上げの天井と壁にも着火して、短時間で室内が火炎に包まれるフラッシュオーバーが発生した。

②出火室からの噴出火炎による上階への延焼

出火室の窓から噴出した火炎は3階に達する高さとなり、窓を通じて上階に延焼した。そのため、1階から2階、2階から3階への順番に延焼するのではなく、点火の約30分後には3層が同時に延焼する状況になった。（写真4、5）

その後、屋根が燃抜けて、屋根上に大きな火炎を形成し、屋根に空いた開口から火の粉が大量に噴出した。

③防火壁を越えた延焼

点火後すぐに1階昇降口の防火戸が少し開き、隙間から大量の煙が防火壁の反対側に流入した。約19分後には、1階の開放された防火戸周辺から延焼したと考えられ、吹抜けを通じて2階へ延焼した。



写真4 噴出火炎による上階延焼 (6分後)



写真5 3層が同時に燃焼 (33分後)

④倒壊

軸組工法部分は50分過ぎると収納可燃物はほぼ燃えつきた状態となり、76分後に軸組工法部分が北側に傾き、フレームの形状をほぼ保持したまま、北側へ倒れこむように倒壊した。

枠組工法部分は60分頃から床が燃抜けて落下し、ほぼ集成材のフレームだけが残る形となり、84分後には北側のフレームが、95分後には残り全体が倒壊した。

96分後には、防火壁が面の形状を保ったまま、西側にはがれるように倒れた。122分後には残りの部分が全て倒壊した。



写真6 倒壊直前(65分後)

⑤延焼経路

室内の温度が450℃となった時点をも延焼時間として整理した結果が図10である。

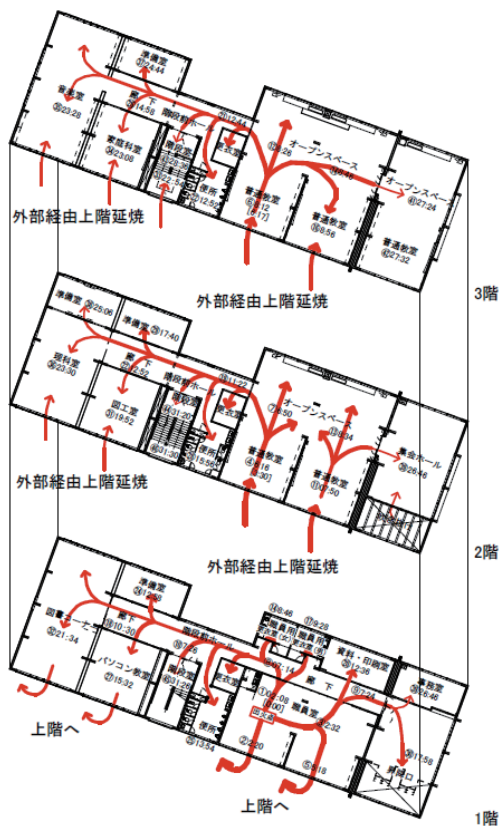


図10 延焼経路図

V 木造3階建て学校の実大火災実験(準備実験)

1) 実験の目的

予備実験では、1階の職員室から出火させた火災が、早期に上階延焼して建物全体が延焼したため、通常予想される建物内部の延焼性状などを十分に把握することが出来なかった。そこで、予備実験で明らかとなった課題に対して、対策を施した試験体を建設し、延焼防止など、様々な防火対策の効果を明らかにするとともに、建物内部の延焼性状、煙の流動性状、周囲への火災による影響、長時間火災が継続した場合の構造体への影響などを把握することを目的として実大火災実験(準備実験)を実施した。

実験建物は、長さ24m、幅12m、高さ15mの3階建て、建築面積は約310㎡、延べ面積が約850㎡であり、予備実験の約4割の大きさである。

予備実験の実験建物との違いは、主に次の3点である。

- ・軸組み工法のみ。
- ・内装は、柱・梁・床を除き、全面不燃仕上げ
- ・南側壁面にはバルコニーを設け、北側開口部には庇を設置

なお、安全管理上、火の粉の飛散を防止するために、2階と3階の開口部には金属メッシュを設置し、試験体が崩壊する前に消火する計画としている。

2) 実験結果の概要

実験建物は岐阜県下呂市に建設し、実験は平成24年11月25日に実施した。実験結果は現在分析を進めている途中であるが、主な経過と結果は以下の通りである。

午前8時、1階職員室に点火したが、火源は成長するものの局所的な燃焼に留まった。そのため、出火室に松明を投げ入れて、点火後50分に再着火させたところ、火源は成長し、点火後約89分で室内がフラッシュオーバーとなった。(写真7)

出火室の噴出火炎は3階バルコニーにまで達したが、直ぐには上階に延焼することは無かった。2階に上階延焼したのは点火後約129分であり、外部開口部からの噴出火炎ではなく、2階の床を通じての延焼と推定されている。(写真8)

2階の床の燃え抜けにより、2階の開口部からの噴出火炎の高さが屋根を越えるようになり、点火後約139分には噴出火炎により外部開口を通じて3階に延焼した。(写真9)

点火後142分には放水を開始して消火したが、実験終了後も実験建物が倒壊することはなかった。また、防火区画された階段室への延焼や、防火壁を通じた反対側の室への延焼も生じていない。

このように予備実験で明らかになった課題については、概ね解決の見通しをつけることができた。平成25年度には、基準化を想定した実大火災実験（本実験）が予定されている。これらの結果を踏まえて、木造3階建て学校の防火基準は見直しが行われる予定である。



写真7 点火後89分でフラッシュオーバー



写真8 点火後131分 2階開口部からも噴出火炎



写真9 点火後139分 3階に延焼

VI おわりに

日本における防火研究は、いわゆる市街地大火による木造住宅の被害を軽減することから始まったといえる。その後、耐火建築物の普及によりビル火災で一度に多くの人命が失われるようになる一方、地震による市街地大火以外はほとんど発生していないことから、木造建築の防火研究はあまり進められてこなかった。

木造の利用拡大が望まれる今、火災に対して安全な木造建築をつくる新しい技術が期待されている。一方、日本に古くからある木造建築には、伝統的な防火対策がされていることも事実である。新旧の技術を再評価し、安全に木材を利用できるように研究開発を進めていくことが必要である。

謝辞

本論文の内容のうち実大火災実験に関しては、国土交通省の平成23-25年度「木造建築基準の高度化推進事業」（早稲田大学、秋田県立大学、三井ホーム、住友林業、現代計画研究所）により、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くものである。ご協力戴きました関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 榎田紘敬、鈴木淳一、萩原一郎、増田秀昭、荒木康弘、中川貴文、山口修由、中島史郎、安井昇、長谷見雄二、小宮祐人：木質壁式構造の燃えしろ設計・評価法の開発 CLTパネルの加熱実験、日本建築学会大会、2012.9
- 2) 長谷見雄二、安井昇、加来照彦、成瀬友宏、萩原一郎、加藤詞史、蛇石貴宏、泉潤一、板垣直行、鈴木淳一、鍵屋浩司、仁井大策、吉岡英樹、林吉彦ほか：木造3階建て学校の実大火災実験（予備実験） その1～14、日本建築学会大会、2012.9