避難安全検証法の内装制限の適用除外規定を活用した木質内装の実現

A PROJECT EXCLUDED FROM INTERIOR FINISHING RESTRICTION BY THE VERIFICATION METHOD FOR FLOOR EVACUATION SAFETY

出口嘉一 ——— * 1 長岡 勉 ——— * 1
岡崎智仁 ——— * 2 白波瀬智幸 ——— * 3

Yoshikazu DEGUCHI ——— * 1 Tsutomu NAGAOKA ——— * 1
Tomohito OKAZAKI ——— * 2 Tomoyuki SHIRAHASE ——— * 3

キーワード:

耐火木造建築物, 内装木質化, 避難安全検証法,
内装制限の適用除外

Keywords:

Fire-resistant buildings by wood, Interior finishing with wood, The verification method for floor evacuation safety, Exclusion from application of interior finishing restriction

From the viewpoints of environmental issue and forest protection, promotion of the use of wood is demanded. On the other hand, construction of a large-scale fire proof wooden building is possible legally, but the realization is difficult. In such a background, we planned the wooden structure office with wooden interior finishing in Osaka. In this paper, process of exclusion from application of interior finishing restriction by use of results of full-scale interior finishing fire spread experiments.

1. はじめに

環境問題や森林保護の観点から, 木材の活用推進が求められている。建築物に木材を使用すれば, 大量の木材の活用につながるため, 公共建築物に一定以上の木材を使用した場合の補助金制度が構築されるなど, 木材を使用した建築物の多様化および大規模化が進んでいる。一方, 2000年の建築基準法防火規定の改定により, 法的には耐火木造建築物を実現することは可能であったが, 「木材=燃える」という概念が強く, 特に都市部において大規模木造建築物を実現するためのハードルは非常に高い。

そのような背景の中, 大阪市内の都心部に木造オフィスを計画するプロジェクト(大阪木材仲買会館, 写真1)が発足した。当該プロジェクトは, 防火地域にあたるため耐火建築物となる。加えて, 建築主のご要望により, 構造体だけでなく, 内外装にも木材をふんだんに使用するという使命が課せられた。

プロジェクトの実現に向けて, 火災安全性を確保する上での課題を2つ解決する必要があった。1つは耐火木造建築物を実現するための構造部材(柱・梁)の開発。もう1つは避難安全検証法¹⁾の内装制限の適用除外規定を活用した内装の木質化である。

構造部材については, 1時間の耐火認定を取得した耐火集成材²⁾を用いて仕様規定で対応した。本報では, 後者の避難安全検証法の適用にあたり, 内装の実大模型を用いた火炎伝播実験を中心にプロジェクト実現に至るまでの過程を紹介する。なお, 実験により内装の火災成長率の寄与を検討するなどのアプローチにより内装制限の適用除外規定を受けた例は報告されていない。

2. 建物概要

大阪木材仲買会館は, 大阪市西区の江戸時代には長堀を中心とし

て大阪の木場として栄えたエリアにほど近い場所に立地する。建物は, 地上3階建てで, 木材仲間組合のオフィス, 展示スペース, 会議室からなる事務所ビルである。構造は2, 3階を耐火木造とし, 津波対策として1階を敢えてRC造とし, 隣地境界に近い面は延焼防止を目的にRC壁とした。また, 道路に開けた面には木製建具を採用して, 木の表情があふれる建物とした³⁾。

主 用 途 : 事務所
地域・地区 : 商業地域、防火地域
敷地面積 : 1226.40m²
建築面積 : 453.27m²
延床面積 : 1032.19m²
構 造 : RC造+木造・一部S造・SRC造

PHOTO: T.HAHAKURA

写真1 大阪木材仲買会館(左: 外観, 右: 内観)

3. 避難計画

本プロジェクトは, 構造体や内外装に多くの木材を使用しているため, 火災時には一般的な建物よりも早く火災が燃え広がったり, 煙が拡散することが予想される。そこで, 安全かつ迅速な避難を実現するために以下の3つの基本方針に基づいて避難動線を計画した。

1. 建物の西南東側に沿って屋外バルコニーを設置
2. 屋外バルコニーの両端に屋外階段を設置
3. 全ての居室から屋外バルコニーに直接避難可能

¹⁾ 榊竹中工務店技術研究所 主任研究員・博士(工学)
(〒270-1395 千葉県印西市大塚1-5-1)

²⁾ 榊竹中工務店技術研究所 研究主任・修士(工学)

³⁾ 榊竹中工務店設計部

¹⁾ Chief Researcher, Takenaka R&D Institute, Dr. Eng.

²⁾ Associate Chief Researcher, Takenaka R&D Institute, M. Eng.

³⁾ Building Design Dept., Takenaka Corporation

上記の計画により、在館者が火災を覚知した場合、まず屋外バルコニーに出れば建物両側の屋外階段に二方向避難できるため、避難経路に迷うことのない明快な避難を可能とした(図1)。その他にも、建物中央の吹抜に面する壁をガラスとすることで、建物全体を見渡すことができ、火災覚知しやすいように配慮した(写真2)。

なお、本プロジェクトは、後述する避難安全検証法を適用することにより、内装制限に加えて、吹抜周りの堅穴区画や防煙区画の設置に関する緩和措置を受けた。

写真2 理事長室からガラス越しに見た吹抜

4. 木質内装実現の流れ

4.1 避難安全検証の手順

避難安全検証法は、煙降下時間（火災時に煙が避難上支障がない高さ（通常は床面から1.8m）に降下するまでの時間）と避難時間を比較して、煙降下時間 $\geq$ 避難時間となることを確認する。また、避難安全検証法の評価方法には、従来の仕様基準に適合させる方法（ルートA）、避難安全性能を有していることについて告示で定められた避難安全検証法を利用する方法（ルートB）、高度な検証法を用いて国土交通大臣の認定を受ける方法（ルートC）の3通りがあるが、本プロジェクトでは、後述する火災伝播実験等により火災安全性を検証するため、ルートCを採用した。

検証の手順を図2に示す。本検証の特徴は、①火災伝播実験の結果をもとに内装の火災成長率（ α_m ）を設定していること、②フラッシュオーバー後の避難安全性についても検討していることが挙げられる。本報では、4.2節で①について、4.3節で②について報告する。なお、これら以外については、避難安全検証法で用いられる一般的な検証手順を踏襲している。

図2 本プロジェクトにおける避難安全検証の手順

4.2 火災伝播実験による内装の火災成長率の設定

4.2.1 試験体

実験の対象は本プロジェクトに使用する全ての木質内装とした。試験体一覧を表1および図3に示す。なお、実験の結果、火災安全上問題ありと判断して実際の建物には使用しなかった仕様も含んでおり、最終的には①～⑦の計7種、10パターンの実験を実施した。

試験体のサイズは、全ての試験体で幅を1.4mとし、天井高さは実際の高さ（2.4mまたは3.2m）と同じとした。また、壁の面構成は、一部を除いて二面以上の木質内装を有する壁で構成される隅角部が存在しないため、全ての試験体で一面とした。

試験体の壁材種や壁下地は、可能な限り実際の建築物に用いられる状況を再現した。また、対象とする壁に組み合わせられる天井がコンクリート打ち放しとなる場合は、天井を石膏ボードで製作し、木の天井と組み合わせられる場合は、実際と同じ木の天井とした。さらに、天井高さが2.4mの試験体には深さ300mm、天井高さが3.2mの試験体には深さ800mmの垂れ壁（石膏ボード）を設けて天井面の加熱条件が厳しくなるよう配慮した。

4.2.2 加熱条件

加熱の火源には500mm角のガスバーナ（都市ガス）を用いた。加熱強度は、内装の火災伝播が確認できる程度の加熱となるよう避難安全検証法の中では比較的可燃物量が少ない会議室に相当する火源（積載可燃物の火災成長率 $\alpha_t=0.0123$ の成長火源）を採用した。なお、試験装置の制約により400kWを最大値とした。約3分で400kWに到達し、その時点で間歇火災が天井に到達していた。

図1 各階平面図と避難経路

表 1 試験体一覧

番号	名称	壁材種	天井材種	サイズ (m)	設置室名	構造
①	木格子壁	木角材(スギ) 木合板(アカマツ)	石こうボード	1.4×2.4	エントランスホール	格子状に組んだ木角材(105mm角)に溝を切り、溝に合板(24mm厚)をはめ込んだ構造
②	105角製材積み壁	木角材(スギ) 木スパーサー(スギ)	石こうボード	1.4×2.4	エントランスホール	木角材(105mm角)と木スパーサーを交互に積み重ねた構造
③-1	木板積みFJ壁	木FJ切り放し(スギ) 木スパーサー(スギ)	木板張(スギ)	1.4×3.2	(不採用)	壁全面に木FJ切り放しと木スパーサーを交互に積み重ねた構造
③-2	木板積みFJ壁	木FJ切り放し(スギ) 木スパーサー(スギ) グラスウールボード	木板張(スギ)	1.4×3.2	(不採用)	③-1に対して木FJ切り放しの使用量を半分とし、間引いた部分にグラスウールボードを用いた構造
③-3	木板積みFJ壁	木FJ切り放し(スギ) 木スパーサー(スギ) グラスウールボード	木板張(スギ)	1.4×3.2	大会議室	③-2に対して木FJ切り放しをグラスウールボード表面より2mm内側にセットバックした構造
④-1	杉木ロスリット材張り壁	スリット材(スギ)	木板張(スギ)	1.4×3.2	(不採用)	壁全面に幅5mm、深さ6mmのスリット材を貼りつけた構造
④-2	杉木ロスリット材張り壁	スリット材(スギ)	木板張(スギ)	1.4×2.4	応接室、事務室	
⑤	和紙調塗装一部木片張り壁	木集成材(カラマツ)	木板張(スギ)	1.4×2.4	エントランスホール、廊下、 応接室	不燃認定を取得した塗料を塗布した石こうボードに20mm幅の木片を280mm間隔で貼り付けた構造
⑥	木板張り壁	木板張(スギ)	木板張(スギ)	1.4×2.4	大会議室、中会議室	木板を横貼りした構造
⑦	大和張り壁	木板張(スギ)	木板張(スギ)	1.4×2.4	応接室、事務室、廊下、 理事長室	厚さの異なる木板を交互に縦貼りし、表面に9mmの凹凸を持たせた構造

①木格子壁

②105 角製材積み壁

③-1 木板積み FJ 壁

③-2 木板積み FJ 壁

③-3 木板積み FJ 壁

④-1 杉木ロスリット壁

④-2 杉木ロスリット壁

⑤和紙調塗装一部木片張り壁

⑥木板張り壁

⑦大和張り壁

図 3 試験体外観

図 4 木板積み FJ 壁の仕様決定の過程 (火災伝播実験は実験開始から 165 秒後)

4.2.3 測定項目

測定項目は、下記の4項目とした。測定位置を写真3に示す。

1) 発熱速度

ガス分析計で煙を収集し、酸素消費法により発熱速度を測定

2) 温度

内装材料近傍の雰囲気温度をシーース熱電対（K型、 $\phi=0.65$ 、天井面より600mm間隔）で測定

3) 放射熱流束

天井面及び床面中央における放射熱流束を熱流束計により測定

4) 観察記録

燃焼範囲、着火時間等をビデオカメラおよびカメラで記録

写真3 各種測定項目と測定位置

4.2.4 実験結果

ここでは、「③木板積みFJ壁」の仕様決定の過程および実験結果から内装の火災成長率 α_m を設定する手順を紹介する。

【木板積みFJ壁の仕様決定の過程】

図4に示すように、③木板積みFJ壁は、通常は木材と木材をつなぎ合わせる際に使用するフィンガージョイント（以後、FJ）加工した木材を室内側に露出させた意匠性や吸音性の高い壁である。③-1は壁全面にFJ材を貼り付けた仕様、③-2はFJ材を間引いて使用量を約半分とした仕様、③-3はFJ材の小口部分を壁面よりもセットバックした仕様である。

図5に③-1～③-3の加熱開始から10分間の発熱速度の時間変化を示す。なお、③-1および③-2のデータが途中で切れているのは、火災伝播が激しく、実験を中断したためである。

③-1は、加熱開始から約2分後に着火し、1分程度の間に天井面まで火災が拡大した。実験後の試験体を分析したところ、写真4に示すようにFJ部分の大半が焼失していた。そこで、可燃物となるFJ材の使用量を約半分とした③-2で同じ実験を実施した。図5に示すように、木材の使用量を約半分としたにも関わらず、燃焼（燃え広がり）の程度はほとんど同じであった。同様に実験後の試験体を分析したところ、FJ材を間引いたために新たに生じたFJ材の小口部分が激しく燃焼していた（写真5）。そこで、FJ材の小口部分の露出を抑えた③-3の仕様で実験したところ、加熱開始から実験終了にかけて火災伝播はほとんどみられなかった。これは、バーナーの発熱速度を確認するために実施したブランケットテスト（石こうボードで作成した壁を用いて実施）の結果と比較しても明らかである（図5）。また、加熱を終了した20分後に試験体を確認したところ、FJ材の小口部分を含めて、バーナーの火炎が直接接する部分以外の領域に炭化は見られなかった（写真6）。以上より、本プロジェクトでは木板積みFJ壁として③-3を採用した。

図5 発熱速度の時間変化（木板積みFJ壁、③-1～③-3）

写真4 実験後のFJの焼失状況（木板積みFJ壁、③-1）

写真5 実験後の試験体の焼失状況（木板積みFJ壁、③-2）

写真6 実験後の試験体の焼失状況（木板積みFJ壁、③-3）

【内装の火災成長率 α_m 設定の手順】

避難安全検証に使用する内装の火災成長率 (α_m) の設定手順を示す。

1. 着火時の発熱速度 (Q_i)、時間 (t_i) および 1 次ピーク時の発熱速度 (Q_p)、時間 (t_p) を用いて、(1) 式により火災成長率 α ($=\alpha_f + \alpha_{me}$) を算定
2. 火災成長率 α から積載可燃物の火災成長率 α_f (ここでは 0.0125) を引いて、火災伝播実験による内装の火災成長率 α_{me} を算定
3. 告示の燃焼グレード^{注1)}と比較し、一段階繰り上げた値を避難安全検証に用いる内装の火災成長率 α_m とする

$$\alpha = (Q_p - Q_i) / (t_p - t_i)^2 \quad \dots (1)$$

具体例として、木板積み FJ 壁 (③-3) の内装の火災成長率 α_m の設定手順を示す。火災伝播実験により、着火時間 110 秒、着火時の発熱速度 97.8 kW、1 次ピーク時間 248 秒、1 次ピーク時の発熱速度 471.5 kW が得られた。(1) 式より、火災成長率 α は 0.0196 となり、ここから可燃物の火災成長率 α_f を差し引くと火災伝播実験による内装の発熱速度 α_{me} は 0.007 となる。この値は準不燃材料 (0.014) と不燃材料 (0.0035) の間の値となるため、③-3 の内装の火災成長率 α_m は、一段繰り上げて準不燃材料と同じ 0.014 とする。なお、この設定方法には、着火に要する時間 (実験では約 2 分) を含まないことや、設計時には天井に木材を使用する室の内装の火災成長率は、実験結果によらず木材その他 (0.35) とするなど、二重三重に安全側となるよう配慮した。表 2 にその他の内装の火災成長率をまとめて示す。

表 2 木質内装ごとの火災成長率一覧

番号	名称	内装の火災成長率 (実験 α_{me})	内装の火災成長率 (避難検証 α_m)
①	木格子壁	0.035	0.056“難燃材料”
②	105 角製材積み壁	0.154	0.35“木材その他”
③-1	木板積み FJ 壁	0.151 [*]	(不採用)
③-2	木板積み FJ 壁	0.136 [*]	
③-3	木板積み FJ 壁	0.007	0.014“準不燃材料”
④-1	杉木ロスリット壁	0.263	(不採用)
④-2	杉木ロスリット壁	0.202	0.35“木材その他” ※使用面積を制限
⑤	和紙調塗装一部木片張り壁	0.051	0.056“難燃材料”
⑥	木板張り壁	0.116	0.35“木材その他”
⑦	大和張り壁	0.080	0.35“木材その他”

※実験を中断したため参考値

4.3 フラッシュオーバー後の避難安全性

4.3.1 フラッシュオーバー後の避難に関する考え方

本来は避難安全検証の検討対象ではないが、本プロジェクトは内装に木材を使用していることから、避難時にフラッシュオーバーが発生する可能性についても十分に考慮した。フラッシュオーバーが発生すると、火災室内の温度が急上昇するだけでなく、開口部から噴出火炎が発生する可能性もあるため、本プロジェクトでは、「万一フラッシュオーバーが発生しても、屋外階段への経路を確保する」ことを基本方針として対策を実施した。

4.3.2 3 階大会議室の避難安全性の検討

ここでは具体例として、2 階の事務室でフラッシュオーバーが発生した場合を想定した検証事例を紹介する。

2 階の事務室でフラッシュオーバーが発生すれば、噴出火炎が発生し、計算上⁴⁾、炎は 3 階の床面から約 1.9 m の高さに達する (図 6)。つまり、3 階の大会議室の在館者はバルコニーを使用して避難できない状況になる。

この場合、図 7 に示すように吹抜の廊下を通してテラスに出れば、西側の屋外階段に避難可能である。しかし、事務室と吹抜の間はガラスの壁があるだけで、ガラスが割れて吹抜に煙が侵入することが懸念された。そこで、吹抜に面するガラスにフィルムを貼り、実験により性能を確認⁵⁾することで、少なくとも大会議室の在館者が避難するまでの間は吹抜に煙が侵入しない計画とした。

しかしながら、計算上は避難できたとしても、まずはバルコニーに避難するという避難計画の基本方針にそぐわないため、最終的に事務室の天井に準不燃処理された木材を採用することで、フラッシュオーバーの発生を抑制する計画とした。

図 6 噴出火炎の到達高さ (2 階事務室でフラッシュオーバー発生)

図 7 フラッシュオーバー発生時の大会議室の避難経路

5. まとめ

実大の木質内装を用いた火災伝播実験をもとに内装の火災成長率 α_m を設定し、これを避難安全検証法に適用することで、建物の広範囲に渡って木質内装を実現した (2013 年 3 月竣工)。その他にも、本報では紹介しきれなかったが、建物の北面に設置した RC 耐震壁により隣棟からの延焼を防止するなどの安全対策を多数盛り込んでいる。

本プロジェクトは、柱および梁に耐火集成材を使用した日本初の耐火木造建築物であるという側面も持っており、今後、このような木材をふんだんに活用した建築物が防火地域にも建設され、都心の中に森を造るきっかけになればと考えている。

注 1) 平成 12 年建設省告示第 1441 号において、火災成長率 $\alpha_{\text{火}}$ が内装の燃焼グレード毎に不燃材料 (0.0035)、準不燃材料 (0.014)、難燃材料 (0.056)、木材その他 (0.35) として設定されている。

参考文献

- 1) 国土交通省住宅局建築指導課他編：2001 年版避難安全検証法の解説及び計算例とその解説，海文堂，2000.3
- 2) 大橋宏和ほか 4 名：耐火木造部材の耐火性能に関する研究 その 1 部材断面積が耐火性能に与える影響：実験計画，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.355～356，2012.9
- 3) 白波瀬智幸ほか 12 名：「コンクリートと鉄の街」を「木の森」に変える建築 大阪木材仲買会館，日本建築学会建築デザイン発表梗概集，pp.136-137，2012.9
- 4) 日本建築防災協会：臨海部における大規模建築物群の総合的な防火安全に関する調査・検討報告書，1992
- 5) 長岡勉，竹市尚広：フィルム貼りガラスパーティションの評価法の提案，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.267-268，2009.8

[2013 年 10 月 10 日原稿受理 2014 年 1 月 7 日採用決定]