

令和 3 年 5 月 17 日現在

機関番号：33302

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18902

研究課題名（和文）大規模耐火木造の設計・施工・部材供給に関する研究

研究課題名（英文）A study on the production system of large fireproof wooden buildings

研究代表者

佐藤 考一（Sato, Kouichi）

金沢工業大学・建築学部・教授

研究者番号：40298253

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、大規模耐火木造の設計、施工及び部材供給段階に内在する主要課題の解決に向けた調査・検討を行い、五つの成果を得た。第一に、大規模耐火木造に適したプランニングモジュールを用途や構法別に明らかにした。第二に、大規模耐火木造に工務店や住宅メーカーが躯体サブコンとして参画する工事組織モデルを提案した。第三に、大規模耐火木造に対する規格サッシの適合性を明らかにした。第四に、構造用合板とCLTに関する生産・流通状況の現状を明らかにした。最後に、提案した工事組織モデルの実現に向け、工務店向けエンジニアリングサポートWebのデモ版を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって大規模耐火木造の全体的動向を把握する調査が初めて実施された。こうした取り組みによって得られた成果には、次の五つの意義がある：大規模耐火木造に軸組構法を用いる場合とツーバイフォー構法を用いる場合の両方について、設計上の課題が明確化された。大規模耐火木造を促進するための新しい工事組織モデルが示され、こうした工事のあり方が今後の建築市場に果たしうる役割が明確化された。大規模耐火木造の開口部周りについて今後の開発課題が抽出された。定尺幅1M合板の普及に向けた提言が取りまとめられた。工務店の基礎的エンジニアリング力を底上げするWebツールの実装に目処が付いた。

研究成果の概要（英文）：To solve major issues in the design, construction and material distribution stage of large fireproof wooden buildings, this study has gained five results as follows: first, planning module size suitable for each building use and construction system has been clarified. Second, a jobsite organization model that house builders and manufacturers join as a subcontractor of wooden structure work has been proposed. Third, standard sashes' suitability for fireproof wooden buildings has been clarified. Forth, current situation of production and distribution on structural plywood and CLT panels has been clarified. And final, a web application for supporting house builders' engineering has been developed to promote the jobsite organization model proposed in this research project.

研究分野：構法計画・建築生産

キーワード：モジュール 工事組織編成 木質系面材 規格サッシ エンジニアリングサポート

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

今日の日本では、森林が持つ国土保全機能を再生しつつ地域経済の活性化にも貢献するような、循環型社会にふさわしい建物づくりが求められている。その有力な方策として期待されているのが大規模耐火木造(注1)であり、公共建築分野では「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年施行)に基づく取り組みが始まっている。しかし、建築投資の約9割は民間投資であり、今後は大規模耐火木造を民間建築分野に本格的に展開していくことが重要である。

2017年までに累計5,000棟を超える耐火木造が建設された。それらの供給を主に担ってきたのは、日本ツーバイフォー建築協会と日本木造住宅産業協会の会員会社である。つまり、従来の耐火木造は木造戸建住宅の延長線上に展開されてきた。しかし、2015年頃から大規模事例の建設が目立ち始め、戸建住宅の延長線上にある設計や施工のあり方が限界を迎えつつある。その一方で、CLT(直行集成板)といった厚形木質パネルの国産化も実現し、大規模耐火木造向けの新たな部材供給の機運も急速に高まっている。

### 2. 研究の目的

大規模耐火木造の生産プロセスは「設計段階」「施工段階」及び「部材供給段階」という三つの段階に分けられる。本研究の目的は、これら三つの段階に内在するそれぞれの主要課題を解決することにある。そのため、大規模耐火木造の設計・施工・部材供給の各段階について次の検討を行う。

- 大規模耐火木造の寸法計画に適したプランニングモジュールの抽出とその効果の検証
- 大規模耐火木造の施工体制に関する実態把握と躯体工事組織編成モデルの提案。
- 木質系面材に関する生産・流通状況の実態把握と大規模耐火木造に適した規格寸法の検討

### 3. 研究の方法

上記三つの目的に向けて、本研究では次の六つの調査・検討を行った。

- 調査1: 大規模耐火木造の現状把握に関する調査 (平成30年度、令和2年度)
- 調査2: 大規模耐火木造の設計に関する調査 (平成30年度)
- 調査3: 大規模耐火木造の施工に関する調査 (令和元年度)
- 調査4: 木質系面材(CLT及び構造用合板)の生産供給に関する調査 (令和元年度)
- 調査5: 大規模耐火木造に対する規格サッシの適合性の検討 (令和2年度)
- 調査6: 工務店向けエンジニアリングサポート Web 開発に向けた調査 (令和2年度)

調査1は、建築関連誌(新建築、日経アーキテクチュア)と国土交通省の先導事業採択事例について実施した。前者は2004年から17年までの掲載事例、後者は2010年度から18年度までの採択事例を対象とした。なお本研究の着手時点では、実質的に大手建設会社が主導した大規模耐火木造は存在しなかった。しかし、実施期間中に注目すべき事例が竣工するなどしたため、最終年度に建築関連誌調査を3年間分追加すると共に、木質系耐火構造の大臣認定状況に関する調査や大手建設会社に対するヒアリング調査も実施した。

大規模耐火木造は、基本的に軸組構法かツーバイフォー構法を用いて建設される(注2)。木造耐火構造の例示仕様が全ての主要構造部に出揃う2018年まで、ほとんどの耐火木造は日本木造住宅産業協会や日本ツーバイフォー建築協会が開発した大臣認定仕様を用いて設計する必要があった。そのため、両団体の協力を得て調査2(設計者アンケート)を実施したが、軸組構法に関する回答は全く得られなかった。そこで、建築関連誌の掲載事例や先導事業採択事例からも大規模耐火木造の設計者を抽出し、同じ内容のアンケート調査を実施した。その結果、109事例にアンケート調査を実施することになり、最終的に27事例から回答を得た(回答率25%)。さらに、これらの中からプランニングモジュールに1Mを採用している8事例を選び出し、ヒアリング調査も実施した。

調査3は、調査2で回答を得た27事例を対象とした。質問項目を躯体工事に絞ったアンケート調査を実施し、17事例から回答を得た(回答率63%)。さらに、これらの中から5事例を選び、ヒアリング調査も実施した。

大規模耐火木造が健全に成長できるかどうかは、木質系面材の供給に大きく左右されると考えられる。調査4は、木質系面材として最も多用されている構造用合板と今後の普及が期待されているCLTを対象として実施した。日本合板工業組合連合会と日本CLT協会の資料に基づき、合板メーカー19社とCLTメーカー24社をアンケート調査対象に選んだところ(注3)、それぞれ15社から回答を得た(回答率:前者は79%、後者は63%)。これらの中の5社にはヒアリング調査も実施し、さらに三つの関連団体(日本合板工業組合連合会、日本CLT協会及び日本合板商業組合)に対する意見聴取も行った。

以上の調査により、ツーバイフォー構法を用いた大規模耐火木造は高齢者施設で高い評価を得ており、これらの施設は主に910mmモジュールを採用していることが判明した。こうした慣用的寸法を用いる場合、プランニングモジュールそのものに起因する課題は特に見当たらない。しかし、耐火木造では開口内周部に防火措置が必要になり、従来の納まりでは規格サッシを用いることができない。そこで最終年度には、ツーバイフォー構法を用いた大規模耐火木造の開口部に

着目し、調査5を実施した。

日本の建設会社は、木造の躯体工事組織を編成する力が乏しい。長年にわたって非木造建物に専念してきたためである。調査3の成果に基づき、町場の工務店が躯体サブコンとして大規模耐火木造に参画する工事組織編成モデルを取りまとめたが、このモデルが社会的広がりを持つには、工務店の基礎的エンジニアリング力の底上げが不可欠と考えられる。そこで最終年度には、木造住宅の壁量計算と外皮計算を支援するためのWebツール(デモ版)も開発し、その評価を目的としたアンケート調査を実施した。調査対象には石川県木造住宅協会の全会員67社を選び、24社から回答を得た(回答率35%)。また代表的な回答を寄せた4社を抽出し、ヒアリング調査も実施した。

#### 4. 研究成果

##### (1)大規模耐火木造に関する初めての網羅的調査の実施

本研究によって、大規模耐火木造の全体的動向を把握する調査が初めて実施された。つまり、2017年3月末時点で大規模耐火木造は160棟ほど建設されていたが、その約2/3に対して実態把握のためのアンケート調査を行った。その結果、ツーバイフォー構法の大規模耐火木造に関する回答が調査対象の約半数から得られ、その現状を概ね明らかにすることができた。しかし、軸組構法の大規模耐火木造に関する回答は調査対象の1割にも満たず、十分な情報を得ることができなかった。

研究期間中に、大規模耐火木造に関する大手建設会社の取り組みが急速に顕在化した。建設会社上位5社に対するアンケート調査を行ったところ、3社が大規模木造の推進部署を設置しており、年間100億円から300億円ほどの売上げを目標にしていた。また、木造耐火構造に関しては、自社開発に積極的な会社が存在する一方で、既存技術活用に重きを置く会社も見られた。ただし、前者の場合でも、全ての主要構造部を木質化することには拘っておらず、むしろ混構造を前提としながらプロジェクトごとに適切な木質化を図るという姿勢が、大手建設会社に共通して見られた。

2000年4月から2021年8月までの21年間に、516件の木質系耐火構造が国土交通大臣によって認定された。国土交通省が公開している「構造方法等の認定に係る帳簿」を確認したところ、こうした木質系耐火構造の大臣認定仕様の内容は、近年急速に変化していた。つまり2015年までは、耐力壁が大臣認定仕様の6割ほどを占め、それら全てが1時間耐火であった。しかし2016年以降は、柱・梁・床が過半を占めるようになり、2時間耐火や3時間耐火が耐力壁(外壁)や柱・梁の3割前後を占めるようになった(注4)。

##### (2)大規模耐火木造を設計するためのプランニングモジュールの整理

調査2に基づき、大規模耐火木造に採用されるプランニングモジュールは、用途や構法によって異なる傾向が見られることを明らかにした。具体的には、居住系建物ではツーバイフォー構法、非居住系建物では軸組構法を採用する傾向があることを確認した。また、ツーバイフォー構法を用いる場合は、木造住宅の延長線上にある3尺(910mm)モジュールが多いのに対し、軸組構法を用いる場合は、非木造建物と同様にメーターモジュールが多いことを明らかにした。

以上の調査結果に基づき、大規模耐火木造に関する設計上の課題を次のように考察した。ツーバイフォー構法の場合、大規模建物でも3尺(910mm)モジュールが採用されているのは、竪柱の最大間隔が455mmに制限されているためと考えられ、こうした仕様制限が今後の普及の足枷になる可能性が高い(注5)。一方、軸組構法は間柱の最大間隔が500mmに設定されており、実質的にプランニングモジュールに対する制約は存在しない。但し、今回の調査によれば、軸組構法を用いた設計者が主要構造部の間柱の割付け等を十分に検討した様子が見られず、品質上の問題が内在しているものと予想される。なお前述したように、本研究では軸組構法の大規模耐火木造事例を十分に収集できたとは言えず、こうした建物のプランニングモジュールの検討が、今後の課題として残されることになった。

##### (3)大規模耐火木造の施工上の課題抽出と工事組織のあり方に関する提案

調査3に基づき、大規模耐火木造では石膏ボード張り工事が工事遅延の要因になりやすく、ツーバイフォー構法の場合には集成材の調達に手間取る傾向があることなどを明らかにした。こうした問題を解決する方法の一つは、工務店や住宅メーカーが躯体サブコンとして大規模耐火木造の木造躯体工事を請負うことと考えられる。実際、調査3によれば、ツーバイフォー構法では既にこうした方式が1/4を占めており、その萌芽を確認することができた。

工務店・住宅メーカーが大規模耐火木造の躯体工事を請負うには、一定数の作業員を手配する能力が必須である。年間供給規模50戸以上の工務店・住宅メーカーがこうした能力を持つと仮定した場合、軸組構法では250社ほどの担い手、ツーバイフォー構法では50社ほどの担い手が全国に存在すると推定される(注6)。

日本の建築市場は、非木造建物の野丁場と木造住宅の町場とに二分されてきた。今後、建築市場の長期的縮減に伴ってこれら市場が融合して行くとすれば、大規模耐火木造にふさわしい工事組織の追求がこうした潮流を先導するものと考えられる。

#### (4)大規模耐火木造向け木質系面材の整備要件の明確化

前述したように、軸組構法の大規模耐火木造ではメーターモジュールを用いる傾向が強まり始めている。調査4により、定尺幅1Mの構造用合板については製造技術上の困難は特に見当たらないことが確認され、CLTの規格寸法については4種類ほどのデファクトスタンダードが生まれつつあることも明らかになった。その一方で、合板関係者には定尺幅1Mの供給が大規模耐火木造の普及の鍵を握っているという認識がなく、定尺幅1Mに適した国産針葉樹原木が十分に流通していないことも明らかになった。

国産原木は、根元から順番にA材、B材、C材に区分される。それぞれ製材用、合板用、チップ用として出荷され、いずれも伐採段階で長さ4mに切り揃えられている。一方、定尺幅1M合板の本格的製造には、少なくとも長さ4.3m程度のB材の安定供給が不可欠である。従って、軸組構法を用いた大規模耐火木造が健全に発展していくには、定尺幅1M向けの国産針葉樹原木の流通を政策的に促進することが重要になる。具体的には、公共建築物に関する大規模耐火木造の需要を明らかにするなどして、定尺幅1M合板の需要を明確化することが考えられ、こうした取り組みは国産針葉樹の新たな需要を掘り起こすことにも繋がると思われる。

#### (5)大規模耐火木造に対する規格サッシの適合性の検証

居住系施設を計画する場合、規格サッシを活用できるかどうかは建設コストに大きな影響を与える。調査5によって、ツーバイフォー構法の耐火木造に規格サッシの幅が適合するかどうかを整理したところ、半外付け引違いサッシは1割ほどしか適合しないものの、外付け引違いサッシの1/3ほどが耐火木造に適合することを確認した。つまり、取付方式を限定しなければ、縦枠配置10種類(縦枠間隔455mm×1~10)の中の9種類には、適合する規格サッシ幅が存在することを明らかにした。

しかし、一つの建物に半外付けサッシと外付けサッシを混用することは、必ずしも実務的でない。つまり、大規模耐火木造を推進するには、規格サッシの寸法適合性を高めることも重要であり、クリアランス寸法の調整方法や開口部内周部の防火措置に関する新たな納まりを開発して行くことが、今後の課題として浮かび上がった。

#### (6)工務店向けエンジニアリングサポート Web 開発とその評価

最終年度には、研究当初には予定していなかった調査6を実施した。具体的には、木造の壁量計算と外皮計算を支援するWebアプリ(デモ版)を開発すると共に、その実装に向けた課題をアンケート調査によって抽出した。その結果、壁量計算や外皮計算を実務的に支援する場合には、簡便なWebツールであっても略図入力機能が必要であり、市販ソフトの使用経験がある回答者ほどこうした要望が強くなることを明らかにした。

注1：本研究では延床面積1,000㎡以上の木造耐火建築物を「大規模耐火木造」と呼ぶ。

注2：2017年3月末時点では、大規模耐火木造の6割ほどにツーバイフォー構法が採用されており、残り4割ほどに軸組構法が採用されている。なおこれら以外に、木質ハイブリッド集成材を用いた事例が5棟、耐火性能検証法を用いた事例が30棟ほど建設されている(「耐火木造[計画・設計・施工]マニュアル」エクスナレッジ、2018.4)。

注3：CLTメーカーの調査対象は、製造会社7社と加工会社17社(重複5社)であり、それぞれ6社と13社(重複4社)から回答を得た。

注4：3時間耐火は柱のみ。

注5：縦枠間隔の制約は大臣認定仕様によりのみ設けられており、例示仕様によりこうした制約は存在しない(次に述べる間柱間隔についても同様)。

注6：「木造住宅の担い手の現状」(国土交通省、<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/mokuzou/mokuzouninate.pdf>)に基づく概算。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 佐藤考一
2. 発表標題 大規模耐火木造の設計・施工の実態把握
3. 学会等名 日本建築学会北陸支部
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤考一
2. 発表標題 木質系面材の製造・供給の実態把握
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西川直志・佐藤考一
2. 発表標題 ツーバイフォー構法を用いた耐火木造に対する規格サッシの適合性の検討
3. 学会等名 日本建築学会北陸支部
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 稲山正弘・青木謙治・佐藤考一（他9名）	4. 発行年 2021年
2. 出版社 日本住宅・木材技術センター	5. 総ページ数 268
3. 書名 （仮）木でつくる中大規模木造建築の設計入門	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------