

中大規模建築における木材利用促進のための

耐火性に優れた木材-コンクリート-鉄骨ハイブリッド構造の開発

板垣直行¹, 林知行², 西田哲也¹, 中村昇², 岡崎泰男², 石山智¹, 小幡昭彦¹, 大塚亜希子¹¹ 秋田県立大学システム科学技術学部建築環境システム学科² 秋田県立大学木材高度加工研究所

平成 22 年に制定された「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」等を背景に、公共建築物における木材利用の機運が高まっているが、中大規模建築においては、耐震・耐火における要求性能が高く、鉄骨造（S 造）や鉄筋コンクリート造（RC 造）とのハイブリッド木造が注目されている。これを踏まえ、本研究においては、木質耐火構造部材の更なる実用化に向けて、ハイブリッド構造における木質耐火構造部材の架構および接合の方法について検討した。また、高層化を可能にする 2 時間耐火性能の実現に向けた断面構成を検討し、2 時間耐火性能の検証に取り組んだ。ハイブリッド構造による老人福祉施設においては、S 造、RC 造の耐火性能とその違いを考慮した接合事例を整理した。また 2 時間耐火部材においては、燃えしる層の厚さ及び構成を変えた試験体を用いて耐火試験を行った結果、いずれの断面構成においても中心構造部材の損傷は無く、燃え止まる事を確認した。しかし、加熱時間が 2 時間より少なくなった場合に、燃えしる層の燃焼が長期化する恐れがあるため、更なる検証が必要である。

キーワード：木造建築，耐火，ハイブリッド構造，集成材，接合，難燃処理

平成 22 年に制定された「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」や平成 27 年 6 月閣議決定「まち・ひと・しごと創生基本方針」に公共建築物の木造化等の促進強化が記載されたことなどにより、庁舎等の公共建築物における木材利用の機運が高まっている。しかし中大規模建築においては、耐震・耐火における要求性能が高く、鉄骨造（S 造）や鉄筋コンクリート造（RC 造）とのハイブリッド木造とする事が注目されている。

ハイブリッド構造とした場合、高層建築の可能性も広がるが、それを実現するためには 2 時間耐火構造部材が必要となる。三菱地所と竹中工務店は 2019 年にハイブリッド木造による国内初の 10 階建てのマンションを建設予定であり、既に木質 2 時間耐火構造部材の大臣認定を取得している。このような事

例の出現と共に高層木造建築の要望・需要も高まると思われ、これに向けた木質 2 時間耐火構造部材の開発とそれを利用した耐火建築の実現はさらに加速すると考えられる。

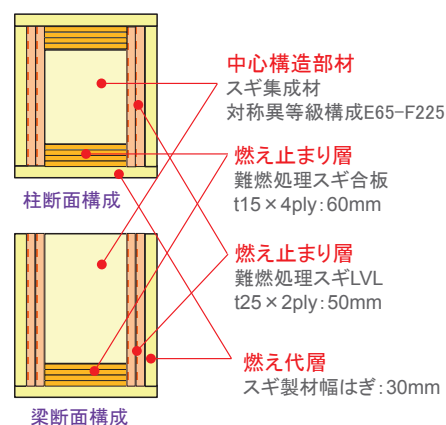


図1 開発した耐火構造柱・梁の断面構成

本学を中心とした耐火木質ラーメン構造研究会では2017年5月に1時間耐火構造の柱、梁部材(図1)について国土交通大臣認定を取得し、2018年3月に竣工した能代市「道の駅ふたつ」において実用化に至っている。この建物は約2,500m²の延床面積を、耐火構造部分で区画して全体を木造としている。しかし、これに続いて使用が検討された能代市の老人福祉施設「ねむの木苑」は、RC造建物のホール部分において、上部架構を木造とするハイブリッド構造であり、木質耐火構造部材をどのように構成し、接合するかを検討する必要がある。

また2017年度においては、開発した1時間耐火構造部材をベースに検討された2時間耐火部材の予備実験を小型炉にて実施し、その可能性が示された(大山, 2017)が、今後実大炉における載荷加熱試験で所定の性能を満たすことを確認する必要がある。

これらの背景を踏まえ、本研究においては、木質耐火構造部材の更なる実用化に向けて、ハイブリッド構造における木質耐火構造部材の架構および接合の方法について検討した。また、高層化を可能にする2時間耐火性能に向けた燃え止まりメカニズムの確立と2時間耐火性能の検証に取り組んだ。

ハイブリッド構造における木質耐火構造部材の架構および接合部の検討

ねむの木苑の構造・架構

ハイブリッド構造として計画された「ねむの木苑」は、延床面積1,366.8m²の2階建ての老人福祉施設で、鉄筋コンクリート(RC)造の一部を木造、鉄骨(S)造としている。建物は耐火構造であり、この一部の木造部分に木質耐火構造部材が用いられている。この部分は、食堂ホールの上部架構であり、円形のホールの屋根を中央から放射状にのびた12本の梁が支えており、それらの梁をV字に設置された柱によって支える架構となっている。完成したホールの写真を図2に示す。

耐火性を考慮した接合部の納まりと施工状況

この木質耐火構造の梁は図3に示すように中央のS造のリングとつながっており、柱も図4の通り下

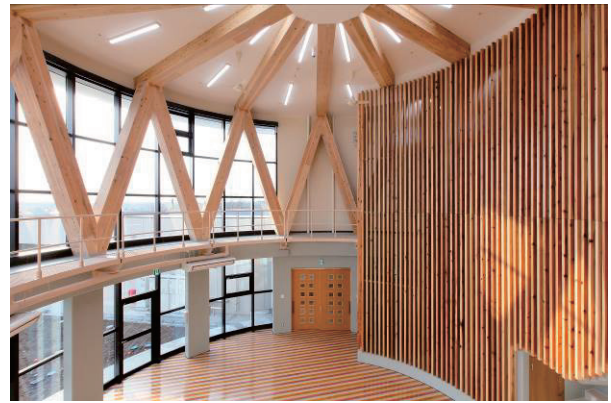


図2 ねむの木苑食堂ホール

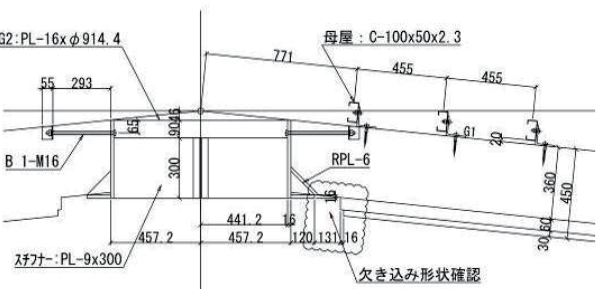
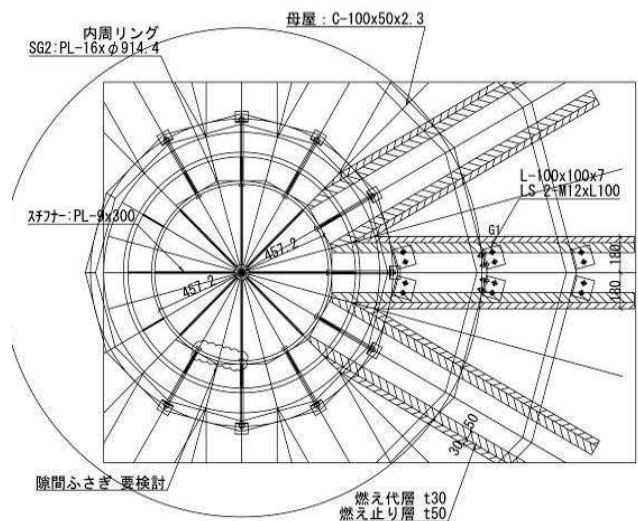


図3 耐火構造梁と中央のS造リングの納まり

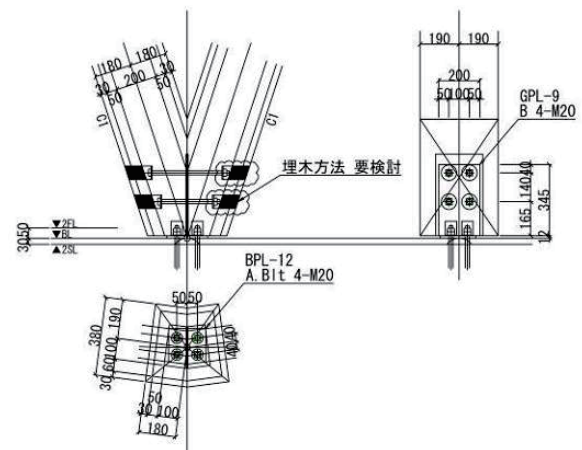


図4 耐火構造柱とRC造リングの納まり

部構造の RC 造のリングの上から立ち上がっている。耐火建築を実現するには、これらの部材の構成部分、特に部材端部の接合部分においても耐火性能が確保されていることが求められる。

S 造の 1 時間耐火性能の要件としては、最高温度が 450℃に達しない事であるが、木材は 260℃を越えると燃焼してしまう恐れがあるため、同じ 1 時間耐火性能を持った部材同士で構成した場合、S 造部分から木造部分が損傷を受けてしまう。このため、今回の S 造リング部分は図 5 のように 2 時間耐火性能のロックウール吹付けの耐火被覆を施し、さらに木質耐火構造梁との接合部分をせっこうボードにより被覆し、部材の接合部分での耐火性能を確保した。

また柱脚部においては、図 3 の通り接合金物のベースプレートを RC 造部分からのアンカーボルトに固定し、2 本の柱で接合金物を挟んでボルトで留めるようにした。その際に柱の中心構造部材を接合金物のプレート厚さ分彫り込んで、燃え止まり層同士が連続してプレートを包み込むようにした。また既往の研究（大山ら，2017）を踏まえ、ボルト部分も中心構造部材まで座掘りして、燃え止まり部分にロックウールを充填した後、表面に埋木をした。柱端部とベースプレート部分は図 6 の様に取って隙間を空け、設置後にモルタルを充填して端部から燃え込まないようにした。

2 時間耐火部材の開発

2 時間耐火性能に向けた燃え止まりメカニズム

2 時間耐火性能を確保するためには、加熱の 2 時間の間を耐えるように燃えしろ層の厚さを 1 時間耐火部材の 30 mm から厚くする必要がある。しかし単純に 2 倍とした予備実験の結果においては、燃えしろ層の燃え残り部分が長時間にわたって燃焼を続けてしまい、燃え止まらなかった（高瀬椋，2016）。このため 2 時間加熱の間に、燃えしろ層が燃え尽きると共に炭化層が剥落して加熱終了後の燃焼に影響しないようになることが望ましい。これを実現するために、①燃えしろ層を 50 mm まで薄くする、②燃え止まり層を 30 mm の 2 層とし、その間を燃焼に弱い水性ビニルウレタン接着剤で接着して、燃焼中に剥落しや



図 5 S 造リングの耐火被覆
(左：被覆前、右：被覆後)



図 6 柱脚部分の処置
(左：固定時、右：処置後)

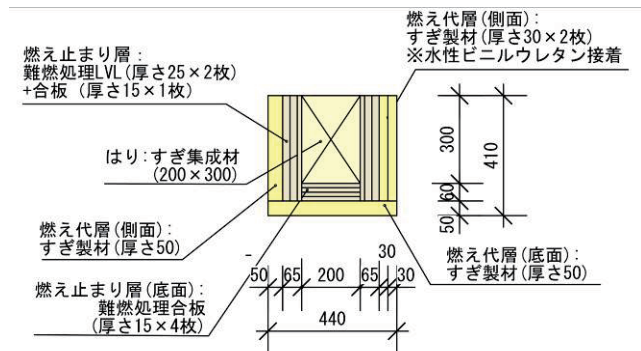


図 7 2 時間耐火梁断面詳細図 (単位mm)

すくするという方法を検討した。

2 時間耐火性能の検証

試験体および試験方法。

試験体は実大梁とし、中心構造部材の断面を幅 200 mm、梁せい 300 mm とした。試験体の断面構成を図 7 に示す。また見下げ図および側面図を図 8 に示す。中心構造部材のスギ集成材（対称異等級構成 E65-F225）の側面に難燃薬剤（丸菱油化工業製）を注入したスギ単板積層材（厚さ 25mm×2 層）およびスギ合板（15mm×1 層）を積層接着し、下面の燃え止まり層にはスギ合板（15mm×4 層）を積層接着した。その外側に燃えしろ層として、片方の側面および底面にはスギ幅はぎ材厚さ 50mm を積層接着した。またもう一方の側面には、厚さ 30 mm の幅はぎ材 2 層を水性ビニルウレタン接着剤で張り合わせた 60

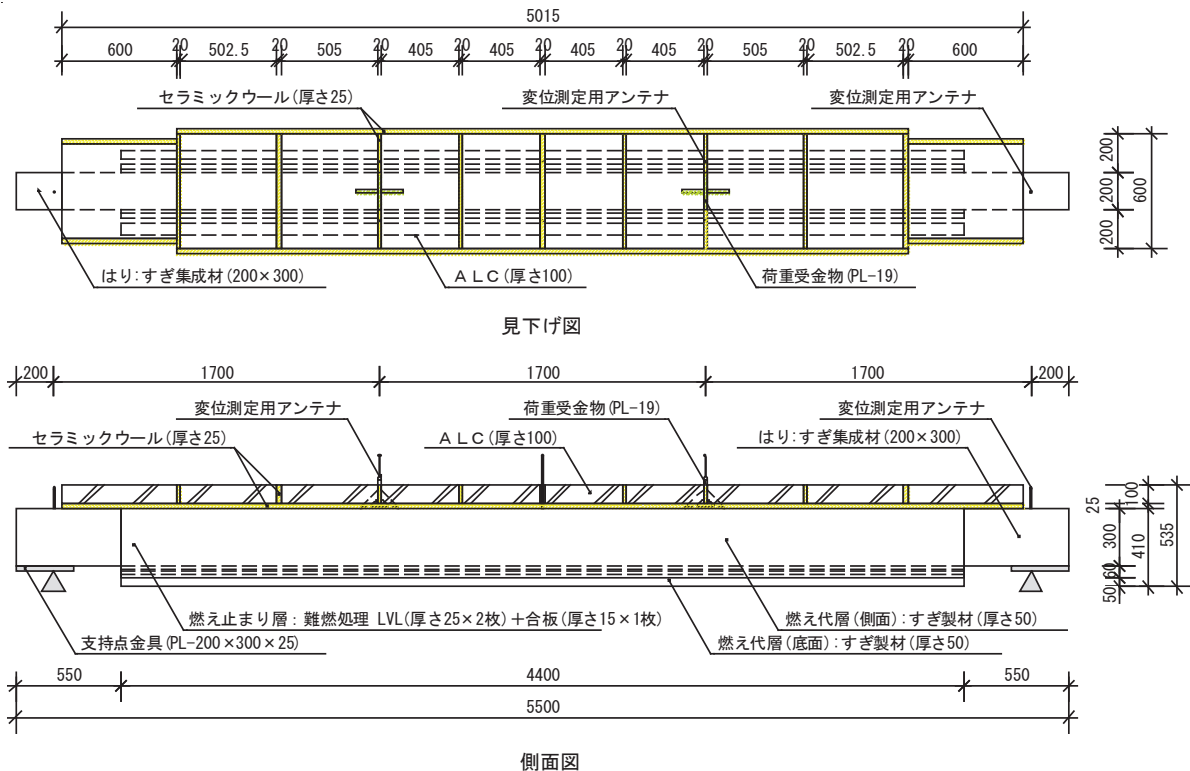


図8 2時間耐火試験体全体図 (単位mm)

mmの燃えしろ層を積層接着した。これらの接着については、構造用集成材の接着に使用されるレゾルシンノール樹脂接着剤を使用した。

試験は図9に示す木材高度加工研究所の耐火炉(水平炉)を用いて行い、支持スパンを5,100mmとした。炉の内法が4,200mmであるため、燃え止まり層、燃えしろ層の長さを4,400mmとし、炉壁部分でセラミックウールにより梁周辺を被覆した。また梁上面は厚さ100mmのALC板で覆い、炉蓋で挟み込むようにした。このALC板の隙間から上に伸ばした荷重受け金物に、中心構造部材中央に長期許容モーメントが生じる荷重を載荷した状態で、ISO834に規定される標準加熱曲線に従って2時間加熱し、その後そのまま炉内で放冷し燃え止まりの有無を調べた。スパン中央および加力点の断面における図10に示す33点の位置に熱電対を設置し、加熱から放冷時における温度推移を計測した。

試験結果.

図10に試験体中央の主な測定点の温度推移を示す。また脱炉時の試験体の様子を、図12、図13に、



図9 木材高度加工研究所水平炉

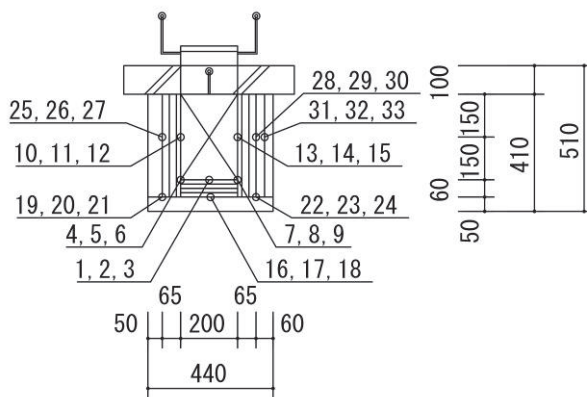


図10 温度・たわみ計測位置 (断面)

梁中央部の断面の炭化状況を図 14 に示す。

30 mm を 2 層とした燃えしろ層の中間点 (No.32) や燃え止まり層の底面角 (No.20) は加熱 1 時間程度で 800°C 位まで温度が達し, No.17 や No.26 等のそれ以外の燃え止まり層表面も 2 時間加熱終了までに 800°C 程度に温度が上昇した. 加熱終了後は炉内温度と共に, 温度が低下し 4 時間後には 400°C 以下に降下した. No.32 では 5 時間後や 16 時間後に炭化した燃えしろ層の再燃焼と思われる温度上昇が見られたが, いずれも自消して温度が降下した.

一方, 中心構造部材の表面においては 2 時間の加熱後にやや温度の上昇が進んだが, その後緩やかな温度上昇が 9~10 時間後まで続いた後, 降下に転じた. 最大温度は No.7 が唯一 200°C を越えて 212°C に達したが, それ以外は 200°C 以下であった.

24 時間後に脱炉して試験体を観察したところ, 燃えしろ層を 50 mm とした側面では燃えしろ層の炭化層が残っていたものの, 炭化層が再燃焼した様子はほとんど見られず, 薬剤の効果により速やかに自消したものと考えられた. 一方, 30 mm の 2 層を水性ビニルウレタン接着剤で接着した側では, 燃えしろ層の炭化層はかなり剥落しており, 炭化した燃え止まり層が露出している部分が多かった.

切断した断面を確認すると, 中心構造部材の底面角付近ではすぐ近くまで燃え止まり層が炭化しているが, 中心構造部材には変色は見られず, 損傷は受けていないと考えられる.

梁のたわみに関しても, 規程を越えるたわみは生じておらず, 以上の結果より 2 時間耐火性能を有することが検証できた.

まとめ

木質耐火構造部材の実用化に向けて, ハイブリッド構造の福祉施設を事例として, 耐火性能を確保する木質耐火構造部材と S 造, RC 造との接合方法を例示できた. また, 2 時間耐火性能に向けた断面構成を検討し, 燃えしろ層を 50 mm とした断面構成と 30 mm の 2 層を水性ビニルウレタン接着剤で積層接着した燃えしろ層の断面構成のいずれにおいても 2 時間耐火性能を検証することができた.

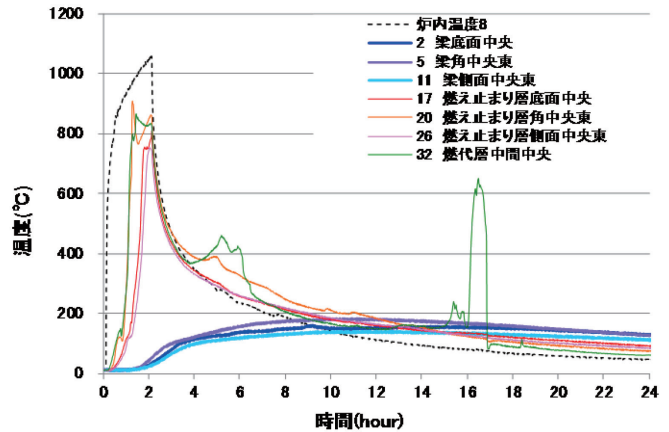


図 11 試験体温度推移



図 12 脱炉時の試験体の状況 (燃えしろ層 50 mm 側)

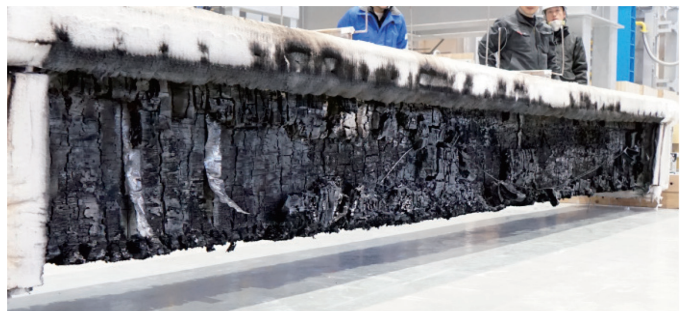


図 13 脱炉時の試験体の状況 (燃えしろ層 30 mm × 2 層側)

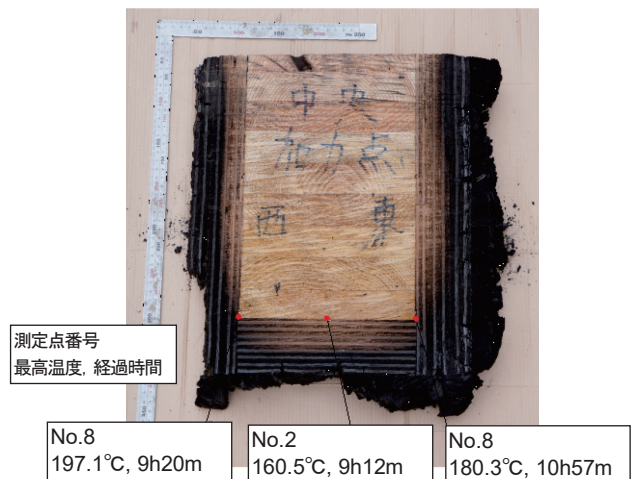


図 14 梁中央部炭化状況

しかしながら 2 時間に満たない加熱時間であった場合、燃えしろ層の燃焼が長期に継続する恐れがあるため（山口智世, 2016）、今後それらの条件における燃え止まりの確認など更なる検証が必要である。

文献

- 大山智之（2018）. 「スギ材を活用した燃え止まり型木質耐火構造部材の耐火性能の向上及び実用化に向けた構成方法の検討」（105-136）. 平成 29 年度秋田県立大学修士論文.
- 大山智之, 板垣直行, 他 6 名（2017）. 「スギ難燃処理合板・LVL を用いた耐火構造部材とその接合部の耐火性能の検討」『日本建築学会東北支部研究報告集. 構造系』80, D-11.
- 高瀬 椋（2016）. 「木質耐火構造部材の燃え止まり性能担保に関する研究」（105-136）. 平成 27 年度早稲田大学創造理工学研究科修士論文.
- 山口智世, 他 6 名（2016）. 「燃え止まり型木質耐火構造部材の工学的設計法に関する研究 小型試験に基づく燃えしろ・燃え止まり層の設計法の検討」『日本建築学会環境系論文集』730, 1065-1074.

〔 2019 年 6 月 30 日受付
2019 年 7 月 9 日受理 〕

Development of fireproof wood-concrete-steel hybrid structure for promoting wood utilization in medium and large scale buildings

Naoyuki Itagaki¹, Tomoyuki Hayashi², Tetsuya Nishida¹, Noboru Nakamura², Yasuo Okazaki², Satoru Ishiyama¹, Akihiko Obata¹ and Akiko Ohtsuka¹

¹ *Department Architecture and Environment Systems, Faculty of Systems and Technology, Akita Prefectural University*

² *Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University*

In recent years, the use of timber in public buildings has been promoted by government policy. In medium to large scale buildings such as public buildings, a hybrid structure combining steel and reinforced concrete with a wooden construction is a rational choice due to high seismic performance requirements and fire resistance performance. In this study, we examined a construction method that combines wood with fireproof structural members in a hybrid structure to test the practical use of wood fireproof structural members. Moreover, the cross-sectional configuration of the wood members which exhibited fire resistance performance for two hours were examined and verified by a fire resistance test to determine if a high-rise building could be constructed. In elderly people's welfare facilities, we proposed a hybrid structure and a combined construction method that had considered the difference in fireproof performance of steel structure, reinforced concrete and a wooden structure. The result of fire resistance tests on a fireproof structural member for two hours of different thicknesses and composition indicated that the central structural member remained undamaged.

Keywords: wooden construction, fireproof, hybrid structure, glued laminated timber, joint, flame retardant treatment