

木造と鉄骨造の混構造による ZEB 建築物の施工 —熊谷組福井本店新築工事—

佐部哲治* 西本立雄* 山田義嗣* 竹内駿大朗* 柳瀬綾冴* 増子寛**

熊谷組は、1898年創業後、1964年に本社機能を東京に移してから、現在まで半世紀以上に亘って創業地・福井を本店としてきた。しかし、旧本店の建物が老朽化したことから、2018年に解体し新たな福井本店の建設を行うこととなった(Photo. 1, 2)。本件は、木造と鉄骨造が組合わされた混構造建築物として計画され、環境に配慮された建築としている。ここでは、混構造の木造部分の施工について報告する。

キーワード：木造と鉄骨造の混構造、断熱耐火 λ-WOOD®、木部材の建方・養生・精度管理、

1. はじめに

脱炭素社会(カーボンニュートラル)の実現に向けて、中大規模木造建築の普及は推進する要素の一つに挙げられる。木造建築は建設時の炭素排出量が少なく、木材自身が炭素を固定し貯蔵する特性もある。日本は先進国の中でも有数の森林国であり、国土の森林率は約67%で、豊富な森林資源が育っている。森林国の日本において木造建築は、地球規模の課題だけでなく、地域森林の環境保全といった地域スケールの課題解決にも貢献し、森林資源の活用を促進することで、地域林業産業の発展及び地域経済の発展にも寄与する。

新本店ビルは、当社の取り組みの実証と市場への展開を視野に入れ、環境負荷低減(CO₂削減)と快適性・生産性の向上を兼ね備えた先進的事例として、「耐火木造」と「ZEB」を採用した建物である。木造(CLT耐震壁)を活かした高断熱化、空調設備等の効率化、壁面・屋上太陽光発電による創エネにより、省エネルギー化を実現し、都市型コンパクトオフィスビルでのZEB化(Nearly ZEB)を実現するとともに、働くための健康的な環境を両立させたスマートウェルネスオフィスとなっている。

環境認証制度としては、CASBEE建築:Sランク、CASBEEウェルネスオフィス:Sランク、LEED:Goldの認証を取得している。本稿では、今回当社開発の断熱耐火λ-WOOD®(ラムダウッド)を採用した木造部分の施工について報告する。

* 北陸支店 建築部 熊谷組福井本店作業所
** 建築事業本部 中大規模木造推進室

2. 工事概要

【建築概要】

工事場所：福井県福井市中央2丁目6-8
工 期：2020年9月1日～2021年7月31日
建物用途：事務所
敷地面積：565.51 m²
建築面積：299.35 m²
延床面積：1,190.85 m²
建ぺい率：52.93% (許容80%)
容積率：194.78% (許容400%)
構造規模：S造+木造 地上4階
最高高さ：19.97m
軒 高：15.97m
階 高：3.95m

【主な外部仕上げ】

屋根：外断熱アスファルト防水の上押えコンクリート
+遮熱塗装
外壁：押出成形セメント板、
ガルバリウム鋼板スパンドレル
建具：アルミサッシ
外構：浸透性インターロッキング舗装

【主な内部仕上げ】

エントランスホール：床/花崗岩 JB 壁/ビニルクロス天井/
突板不燃シート貼
打合せコーナー：床/タイルカーペット
壁/和紙クロス 天井/コンクリート現し
事務室：床/タイルカーペット 壁/ビニルクロス
天井/コンクリート現し

3. 建築計画（鉄骨造と木造の混構造）

本計画では鉄骨造を主としつつ、2階以上の事務スペースを木造としている(Fig. 1)。木部材としては、当社開発の断熱耐火λ-WOOD®を採用している(Fig. 2)。執務スペースは最大8mスパンであり、この部分を支持する木梁断面は230×1,020、積雪荷重を支持する最上階の木梁断面は350×1,150である。梁の表面仕上げは突板シート、柱は縁甲板とし、長期的な仕上げ材の割れや痩せに配慮している。また、執務スペースの外壁面には厚さ150mmのCLTを2枚組み合わせせたCLT耐震壁により地震力を負担するとともに、建物外皮としての断熱性の向上にも寄与している。また、薄型CLT板を仕上げとして見せるトラス鉄筋付きボイドスラブをエントランスやテラスの天井等に採用している。



Photo. 1 熊谷組福井本店 外観(東南面)

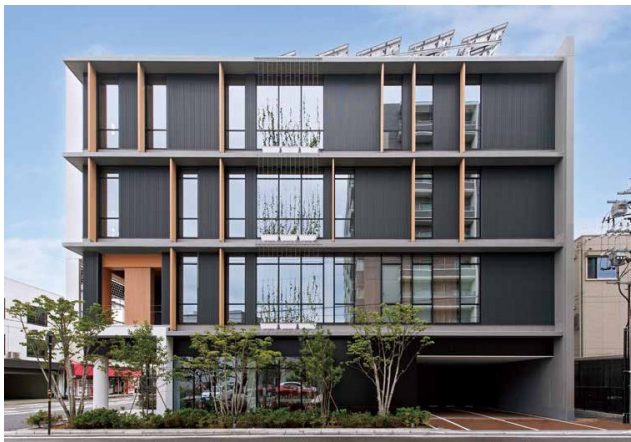


Photo. 2 熊谷組福井本店 外観(東面)

4. 施工計画

敷地は静かな住宅地に配置されており、南東面は市道、北西面は戸建て住宅に面している。そのため施工開始時から近隣に対しては、工事による騒音・振動・第三者災害等が発生しないよう十分に考慮し工事を進めた。

既存杭撤去から開始し、簡易山留→基礎躯体→鉄骨建方・アンボンドブレス取付→木造建方・地上躯体・外壁・サッシ→内外装仕上げの順とした。木部材の損傷を軽減すべく、鉄骨組立を先行し、その終了後に木部材の建方、各階床コンクリート打設を繰返し、次いで木部材の組立終了後に耐火被覆及び表面仕上げを行った。採用している工法は鉄骨・木造を混合させたハイブリッド構造のため、施工図段階で取合い部分など詳細なディテールを作図後部材発注し、施工時には木造組立時の重機配置位置や部材の仮置き配置場所などを綿密に決めておき作業の効率化を図った。

また2階から4階の事務スペースの柱・梁部分は1時間耐火性能を有する「断熱耐火λ-WOOD®」で施工、燃え止まり層を硬質石膏ボードと断熱耐火パネルで現場施工する断熱耐火λ-WOOD®は当社の保有技術である。本社及びつくば技術研究所と連携し、認定方法に基づきながらも創意工夫して施工した。

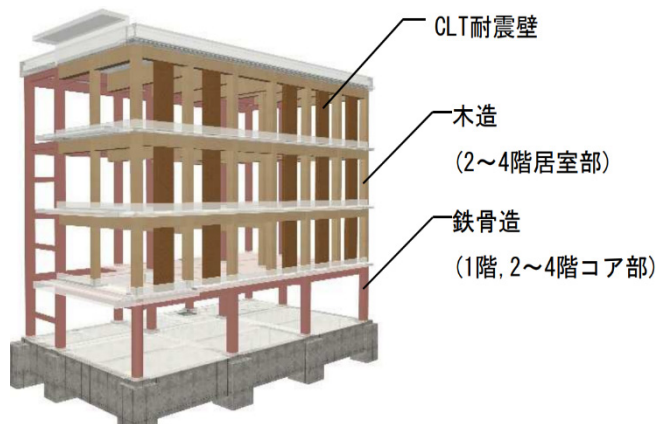


Fig. 1 福井本店構造概念図

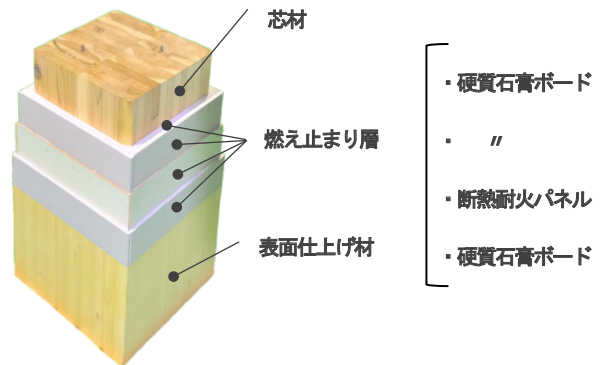


Fig. 2 断熱耐火λ-WOOD®概念図

4. 1 材料手配

木造部柱はスギ、梁はカラマツを使用している。材料は東北地方産を用い、福島県にて加工した。CLT 耐震壁の母材は愛媛県、ボイドスラブ下面に用いた CLT 床版の母材は鹿児島県にて製作した。

4. 2 材料加工

柱・CLT 耐震壁の下端木口部分は、直接コンクリート面と接する納まりであったため、雨や雪からの水分の吸収を防止する目的として、防腐防蟻性能のある干割れ防止材(住友林業:A-100)を塗布した(Photo. 3)。上端についても、コンクリート打設時の水分・施工中の雨や雪の水分吸収防止を目的として木材保護塗料(住友林業:S-100)を塗布した(Photo. 4)。接合金物との取合い部分となるスリット内部には塗布ができないので、施工中には防水テープを張り、水分の侵入防止を図ったが(Photo. 5)、通しボルトやガセットプレート等が突き出す箇所については、シール処理等の防水処理を行わないと小さな隙間から水分が染み込んでしまう原因となった(Photo. 6)。ガセットプレート等、木部に組み込む金物にはめっき処理を行ったが、この塗膜厚が付いたことと、熱影響による材料の反り・ゆがみが原因となり、木部側の切り欠き寸法(スリット幅)2mmでは入らなくなってしまった。このため、実際には切り欠き寸法を4mmとし対応を行った。今後の工事では、金物自体をめっき処理から錆止め塗装への変更を検討している。

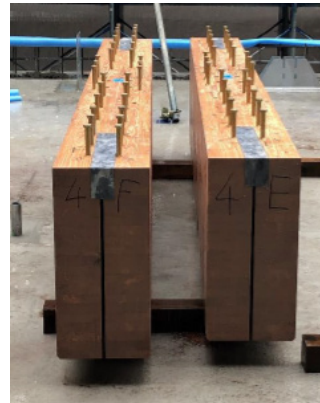


Photo. 5 防水テープによる止水処理



Photo. 6 ボルト貫通部のシール処理



Photo. 3 干割れ防止剤塗布状況



Photo. 4 撥水性塗料塗布状況

4. 3 建方準備

事前準備の良否が建方作業の効率性や安全性に大きな影響を及ぼすため、建方作業が建方計画に従ってスムーズに進行するように事前の準備を十分に整えることが重要である。木質構造部材の建方では、アンカーボルト・ガセットプレート等取付金物の据付精度の良否がそのまま建方工事の精度を左右する。前節となる鉄骨部分に接合している部材については、鉄骨の建入れ精度も上部の木質構造部材の建入れ精度に影響を及ぼすため、コンクリート打設前、打設後の精度確認が重要となる。特に CLT 耐震壁は引き抜きを受けるアンカーボルトと、せん断を受けるガセットプレートのそれぞれの位置を一体で管理するテンプレートを設置して、位置調整を行う必要があった(Photo. 7)。芯ずれのあったアンカーボルトはテンプレートなどを利用して建方開始の前までに適正な位置に揃うように修正を行った。鉄骨部の精度は、柱の倒れ管理許容差: $H/1000$ かつ 10mm 以下、建物の倒れ $H/4000+7\text{mm}$ かつ 30mm 以下が基準で、鉄骨ボルト孔径のクリアランスも 2mm となっているが、木質構造部ではドリフトピンと木部孔についてはクリアランス無しとなっているので、施工誤差がそのまま建方精度に直結してしまう。そのため、建入れ調整が可能なように木質構造梁端の鉄骨接合部分には水平方向のルーズホールを付け若干の誤差を吸収できるようにした。(Fig. 3)

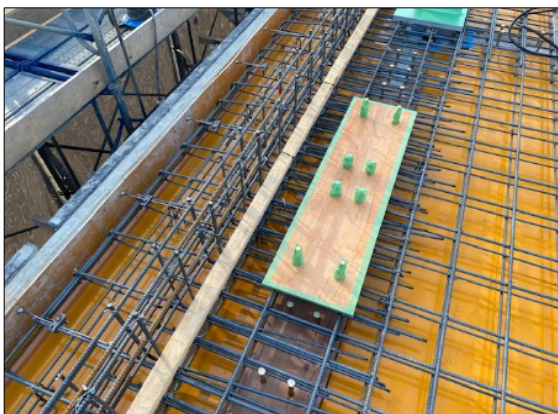


Photo. 7 テンプレートによる位置調整



Photo. 9 ドリフトピン打込状況

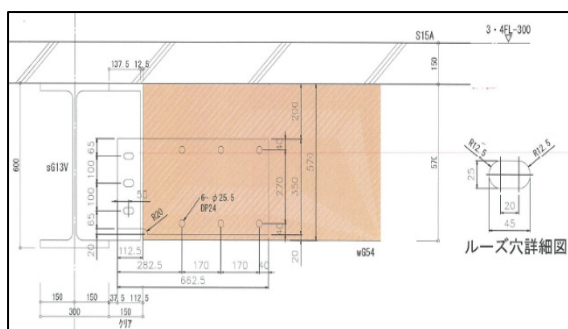


Fig. 3 鉄骨取合部のルーズホール

4. 5 揚重機の配置計画

重機は建設地の現況に合わせて計画し、配置及びサイズ選定をする。今回は狭小地での建設であったため、鉄骨建方時は建逃げ方式となり、50t ラフテレーンクレーンにて建方を行った。その後、木質構造部材の建方については積上げ方式となり、前面道路の一部を申請の上使用してクレーンの設置場所を確保する計画とした。鉄骨より木質構造部材の方が軽量になるが、建設地によっては作業条件が悪くなることもあり、クレーン性能を下げることができない。今回は作業半径が大きくなった事もあり70t ラフテレーンクレーンにて建方を行った。(Photo. 10)

4. 4 足場計画

建方作業の効率性及び安全性を確保するため、建方条件に応じた仮設設備(外部足場、内部足場等)を適切に設置した。中大規模木造建築工事の足場は、主として接合部の取付(ドリフトピン)やボルトの締め付けの作業床として設ける必要があり、設置に際しては、作業性・移動効率などを考慮した。鉄骨建方では鷹工が梁上で作業を行うが、木質構造部材の建方ではスラブ上からの作業となる。梁を固定するドリフトピンを打ち込むために力を入れやすい姿勢を確保できる適切な高さの足場を設ける必要があった。(Photo. 8, 9)



Photo. 10 70 t クレーンによる木部材建方



Photo. 8 建方時の仮設設備

4. 6 建方計画

建方の作業は主に、地組・吊込み・建込み・建入れ(建入れ直し)・本締めから成る。その作業を柱、梁、耐震壁の順に行う。

4. 6. 1 地組

地組とは、建方に先立って地上で複数の部材を組み立てることである。木質構造フレームの接合は、金物とボルト等による場合が多いので、これらを木部材にセットするための地組が必要となる。組立時には寸法精度を確保する必要がある。今回の梁接合金物と梁とのクリアランスが、ボルト先端で 5mm であったため、地組時の通しボルトの両サイドがダブルナット固定となっており、出寸法を合わせるのに苦労した。(Photo. 11, 12)



Photo. 11 接合金物先行取付状況

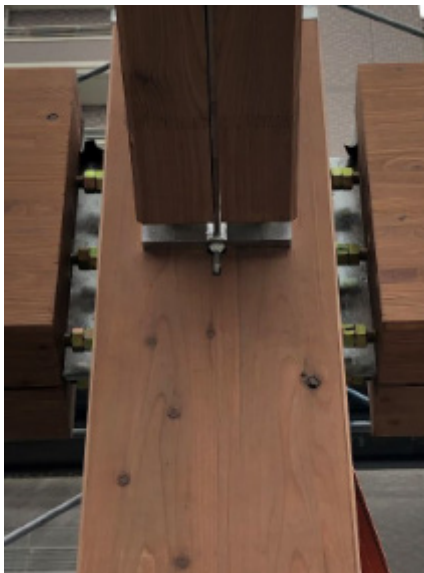


Photo. 12 接合部納まり

4. 6. 2 建方 (建込み)

建方は、予め決められた順序に従って木質構造部材を所定の位置に取付け、直ちにアンカーボルト・接合金物・接合具などの仮留め及び仮締めを行って固定する。ドリフトピンは先端をテーパ状にすることによりガセットプレートの孔にスムーズに入れる事ができるが、10mm 程度のテーパ長は必要かと思われる。今回ドリフトピンの有効長さを確保するため、テーパ長を小さくしたものもあったが、建方時のドリフトピンの入りが悪く苦労した。施工性を確保するには、ドリフトピンのテーパ長を確保することを前提として、ドリフトピンの本数・径を調整するのが望ましい(Photo. 13)。柱の建方についてはスラブ上から行った。この際、「逆さ掛矢」を使うことにより下に居ながら、上からの力で柱をスラブから突き出したサヤ管形状の金具に打ち込んだ。(Photo. 14)



Photo. 13 ドリフトピンの形状違い



Photo. 14 「逆さ掛矢」使用状況

CLT 耐震壁上部の梁については、後から耐火処理のためのボード類を張ることができなかつたので、建方時に仕込む必要があった。上階の耐震壁用の通しボルトも仕込む必要があるので、梁材を横向きに置いて仕込み作業を行うヤードを設けた (Photo. 15)。

λ-WOOD®周囲の耐火被覆用のボード張り施工については、工場での先行施工も考えたが、雨・雪による石膏ボードの吸水に伴う劣化があることに加え、ドリフトピン打込のためのスペースを予め空けておく範囲も必要だったこと等から現場での施工とした。(Photo. 16)



Photo. 15 通しボルト干渉部先行耐火処理



Photo. 16 木部材(梁)の建方状況
(耐火被覆のボードは後施工)

CLT 耐震壁の固定用金具「タフネスコネクター」は取付を行うためのエポキシ樹脂の硬化を待つために養生期間を置く必要がある。搬入してからの取付では建方をすぐに始められないため、今回は現場とは別のヤードに先行して搬入し、取付を行った。梁上部スラブコンクリートとの接合用金具「ラグスクリュー」についても、先行して取付を行った方が精度管理が容易であるため、同じく先行搬入のうえ取付を行った。現場内にこれらの作業スペースが確保できる場合には、現場で処理することを考えた方が効率的である。

CLT 耐震壁の吊り込む方法には、クランプを用いた方法又はアイボルト等を加工孔に差し込む方法等がある。今回は、ドイツ製の木質材料用吊り具 (パワークランプ) を使用して作業を行った。吊りワイヤーの角度が急にならないように取付位置を決定するか、吊り作業時に天秤使用などの検討が必要となる。実際の施工は吊り角度 30 度で計画実施した。(Photo. 17)

一般的に中低層の鉄骨造では一度に全層を建てるのが可能である。これに対し、木造を含むハイブリッド構造の本件では、各階の床コンクリート打設後に木部材の建方を行う必要があったため積層工法となった。木造の範囲についても、床コンクリートを介さずに CLT 材等の木構造部材と一緒に建方ができれば、より効率的な組み立てが可能となるであろう。



ドイツ製木質材料吊り具 (パワークランプ)



Photo. 17 パワークランプを使用した建方状況

4. 6. 3 TVS (木板付きポイドスラブ) の施工

今回、薄型CLT板を仕上げとして見せるトラス鉄筋付きポイドスラブをエントランスやテラスの天井等に採用している。材料の仕上げとして見せる面の表裏を間違えないようにすると共に、材の隙間からの水分の侵入による汚れ防止のために隙間処理が必要となる。デッキプレートを介した木部との熱橋の問題を回避すべく、梁側面に受け材を設置する納まりとなったため、一般には鉄筋付きデッキプレートの効果により支保工の減少を図れるが、今回はデッキプレート端部も支持する必要があったので、全体としての支保工数量はあまり変わらなかった。今後検討が必要である。(Photo. 18, 19)

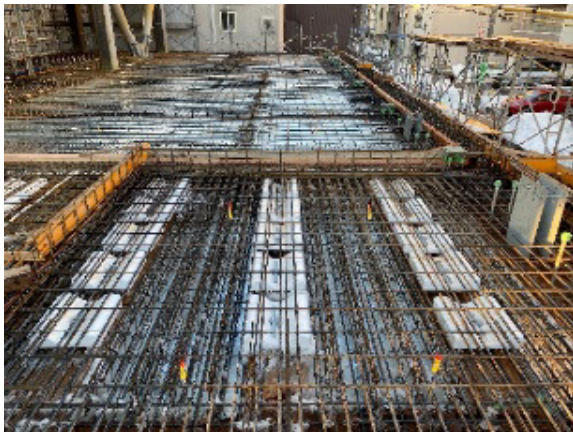


Photo. 18 TVS (木板付きポイドスラブ) 上部



Photo. 19 TVS (木板付きポイドスラブ) 下部

4. 6. 4 木造耐火の施工

木造部分の耐火処理である断熱耐火λ-WOOD®の石膏ボードについては現場加工とし施工を行った。施工の時期は外壁材との複合耐火が無いので、外壁施工の前に施工を行う必要性があったので、雨養生を行うことと上部床を張り出した納まりにする必要性があった。又、認定上の規定で張り重ね方法や接着材の塗布量が規定されているため、張り重ねの管理と接着材塗布量を確認しながら施工を行った。接着材の使用重量管理の方法として専用のくしを使用すると共に使用重量を計測することにより問題が無いかを確認しながら施工を行った。(Photo. 20, 21, 22)



Photo. 20 接着材塗布状況

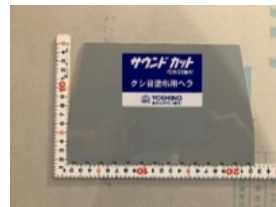


Photo. 21 塗布量管理用のくし、重量確認状況



Photo. 22 3枚目断熱耐火パネル施工状況

5. ZEB・省エネ

本計画では ZEB の達成と LEED, CASBEE 等の環境認証の取得を目指し設備計画を行った。

空調設備は、ウェルネスオフィスの観点から快適性の確保と省エネルギーを実現する潜顕分離空調と床吹出放射空調を採用した。照明設備では、同一室でも点灯区分を分割する等、きめ細やかな運用が可能なように計画し、機械室等でも人感センサーによる点灯方式を採用した。太陽光発電設備は、屋上に定格 23.4kW のパネルを降雪と年間の日射量を考慮し傾斜角 20 度にて設置し、南壁面にはライトシェルフとの相乗効果を得られるように、定格 2.7kW の透過型両面発電タイプのパネルを設置した。これらの諸設備により、BEI=0.17 を得ることができ Nearly ZEB を達成することができた。

なお、BCP 対応にて、蓄電池・非常用排水槽を採用し、水資源の保護と環境インパクトの低減を図る目的で雨水利用設備を導入した。



Fig.4 ZEB・省エネ導入内容

6. まとめ

本報では、木造と鉄骨造のハイブリッド構造を採用した、福井本店の木造部分・耐火処理の施工方法について報告した。施工を通し実感した内容を以下にまとめる。

今回の建方従事者は「鳶工」ではなく、「大工」ということもあり中大規模木造建築の建方の経験が少なく、最初はクレーンへの合図方法・建方全体の段取り等、不慣れなこともあつて時間が掛かる面が見られた。今後、木質構造の建物が増え、木質構造の建方経験者が増えることにより、建方の効率化・省力化が図れると思われる。今回は冬場の施工ということもあり、木質部材全体に撥水材を塗布しておいたが、木材の上に積雪が長時間残ると水分を吸収してしまうので、別途、養生の必要があつた。乾燥により表面の収縮が進むと、硬い年輪部分が浮きだち、相対的に年輪間の柔らかい部分に、ささくれが生じる場合がある。このため、人が触れる可能性が高い部位などには、予め十分注意しておく必要がある。その程度に応じ、相応の補修等が必要となる場合がある。

本件では、木造耐火という初の試みの施工管理について着工当初より本社・北陸支店と連携し事前検討を行い、試行錯誤を繰り返しながら無事完成を迎えることができた。特に接合部細部の納まりについても確認していたが、実際の施工時に問題が出る場面もあつたので、今後規格化をしていくための一つの基準になったのではないかと思う。

謝辞

本件では、本社建築技術統括部、中大規模木造建築推進室、住友林業㈱、住友林業ホームエンジニアリング㈱の関係者の皆様には、多大なご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

Construction of zero energy building (ZEB) incorporating hybrid structure of timber and steel: The new Kumagai Gumi Fukui Head Office

Tetsuji SABE, Ritsuo NISHIMOTO, Yoshitsugu YAMADA, Shuntaro TAKEUCHI,
Ryoga YANASE, and Hiroshi MASHIKO

Kumagai Gumi was founded in 1898. Even after moving its headquarters functions to Tokyo in 1964, it has continued to maintain its head office in Fukui, the place of its founding, for more than half a century. However, due to the deterioration of the old head office building, the decision was made to demolish the old building in 2018 and construct a new Fukui Head Office (Photographs 1 and 2). Designed to be environmentally friendly, the new building was planned as a hybrid structure combining timber and steel. This paper reports on the construction of the timber portion of the hybrid structure.

Key words: hybrid structure of timber and steel; Insulated Fire-Resistant λ-WOOD®; erection, curing, and precision control of wooden members