

## 中大規模木造建築における技術開発の取り組み

技術本部 新技術創造センター 開発第3グループ 松岡 直人

### ● はじめに

東京五輪のメイン会場として建設された木のぬくもりに包まれた国立競技場は、現在人々が求めている建物の一つと言える。戦後、中大規模の建物は、耐震・耐火等の面から鉄筋コンクリート造や鉄骨造が主流となった。見渡す限りコンクリートや鉄に囲まれた都市、その中で木のぬくもりを感じる木造建物が少しでも採用されることを人々が望んでいると思われる。また政府は、木材利用促進法<sup>1)</sup>を制定し、公共建築物の木造化を積極的に推進している。中大規模木造建築を実現するためには、木の弱点である様々な課題を技術により解決する必要がある。第一に耐火性能を確保すること、具体的には法律に適合させるために木質部材を耐火仕様とすることである。第二に快適な居住空間とすること、特に遮音性能は鉄筋コンクリート造と比較すると性能の低下は否めない。第三に価格上昇に対する付加価値を担保すること、天然素材である木材を使用することは価格の上昇を伴うが、CO<sub>2</sub>削減等の環境優位性に加え、耐震性等の更なる付加価値を向上させることが重要である。

熊谷組が住友林業株式会社と2017年11月に締結した業務提携の中では、「中大規模木造建築をはじめとした、木化・緑化関連建設事業という新しい市場において他社との差別化を図り、圧倒的な地位の確立を目指す。」との記載がある。また、現中期経営計画(2018~2020年度)における注力する分野として「中大規模木造建築分野」も示されており、中大規模木造建築分野に関する開発は、社内の関係各本部(技術本部、建築事業本部等)ならびに住友林業との協業のテーマとして活発化してきている。

住友林業との業務提携に先立ち、技術本部新技術創造センターでは、2017年度から木造建築に関する技術開発に着手している。まず初めに、この分野で先行している西欧5ヶ国の木造建築を視察、その事例研究からわが国で必要とされる技術の方向性を把握した。その結果から、中大規模木造建築を実現するための技術開発要素として、①木質部材の耐火性能(開発テーマ:木造耐火技術)、②快適な居住空間とするための遮音性能の確保(開発テーマ:木造遮音技術)、③価格と付加価値とのバランスを考慮した耐震構造(開発テーマ:木造構造技術)の3テーマを定めている。本稿では、技術本部新技術創造センターでの中大規模木造建築における技術開発の中から、上記3テーマの取り組みを紹介する。

### ● 木造耐火の技術開発の取り組み

可燃性のある木材を使用して木造建築物を構築するためには、耐火に関する法律に適合させる必要がある。都市部での建築物は、原則として建築基準法に定められた耐火構造とすることが必須であり、Fig.1に示すような主要構造部(柱・梁・床・壁)への耐火性能が要求される。木造建築でも同じ条件が適用され、木質部材となる主要構造部には同等の耐火性能が要求される(以下、木質耐火部材とする)。

更に、建物の階数によって1~3時間の耐火性能が要求されており、木質耐火部材では、1時間の耐火仕様のみ2018年3月告示<sup>2)</sup>が国土交通省により定められている。

それ以外の2～3時間の耐火性能、具体的に5階以上の中大規模木造建築物を建設するためには、法的に適合させた木質耐火部材の大臣認定を取得することが必要最低条件となる。このような背景から主要開発テーマとして「木造耐火技術」を設定し、木質主要構造部（柱・梁・床・壁）の大臣認定（1～3時間）の取得を目標に開発をスタートした。

準備段階として、2017年4月からの半年間で22種類の建材についての簡易耐火試験を行い、最も望ましい1つの仕様に絞り込み、3時間までの耐火予備試験を実施した。その後、2018年4月から全ての部材の1～3時間の大臣認定を取得する3ヶ年に渡る開発計画に基づき総力を挙げて取り組んだ。

2020年10月には、柱・梁・床・壁の部材で公的機関による1～3時間の全ての耐火試験に合格している。Fig.2に公的試験期間で実施した柱小断面の1時間耐火試験の状況を示す。実施した柱1時間の耐火仕様は、Fig.3に示すとおりである。

当社の仕様は燃え止まり層が薄いことと、表面仕上げ材に自由性があることが最大の特徴である。燃え止まり層は、「石膏ボード+断熱耐火パネル+石膏ボード」の組合せとした。石膏ボードは火災時に石膏ボード内に含まれる結晶水が「水」へと化学変化し、その水の蒸発潜熱等の効果で耐火性能が確保できる優れた建材である。一方で、石膏ボードは一度加熱され結晶水が抜けると脆弱化し、剥落しやすくなることから耐火性能が低下する。そのため本仕様の選定においては、火災時でも脆弱化しない断熱耐火パネルを内部に組み込むことで内部の石膏ボードが剥落しないように押さえる効果を付与し、総厚が薄くとも高い耐火性能を確保している。1時間耐火の燃え止まり層の厚さは、柱・梁・床・壁の全てが同じ40.5mmであり、告示仕様の46mmと比較してスリム化を図ることが可能となった。

更に、表面仕上げ材は、一般的な大臣認定では1種類（木材）に限定されることが多いが、当社の仕



Fig.2 柱の耐火試験（加熱前・加熱中・加熱後）

建築物の階		建築物の部位			
		柱	梁	床	壁
最上階から 1～4階	1	1時間			
	2				
	3				
	4				
最上階から 5～14階	5	2時間			
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
	12				
	13				
	14				
最上階から 15階以上	15	3時間			2時間
	16				

※階段、屋根は全階30分

Fig.1 主要構造部の耐火性能

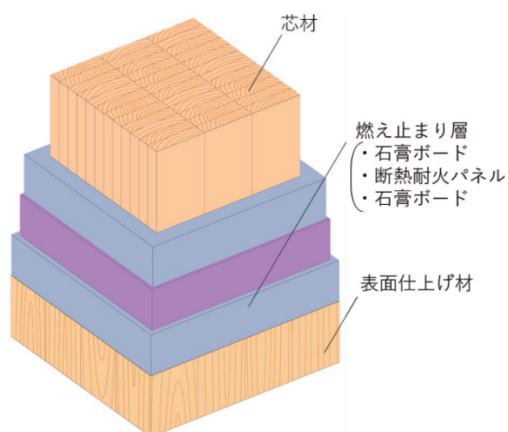


Fig.3 柱（1時間耐火構造）の仕様

様では、様々な表面仕上げ材を選択できるように差別化を図っている。具体的には、20 mm 以下の木材、壁紙、塩ビシート、塗装、表面仕上げ材無し（ふかし壁等を想定）等を選ぶことができる。例えば、0.2 mm 厚さの天然木壁紙シートの採用では、表面仕上げ材を含めた総厚 41 mm と薄くなり、室内有効スペースが広がるとともに、内装不燃化も図ることができる。本仕様では、断熱耐火「λ-WOOD（ラムダウッド）」という商標で商品化を図り、熊谷組福井本店の建替え工事<sup>3)</sup>への採用が決まっている。

● 木造遮音の技術開発の取り組み

人々が生活する居住空間は、快適であることが求められる。木造建築は鉄筋コンクリート造と比較すると、比重が6分の1程度と軽いことから遮音性能が低下する傾向にある。一般的に、中大規模木造建築における床や壁は、CLT（Cross Laminated Timber：直交集成板）を採用することが多い。

CLTは木質部材であることから、床の遮音性に関しては子供が飛び跳ねた際の音等である重量床衝撃音への対策が、壁の遮音性に関してはテレビ音等の空気音遮断性能への対策が求められる。特に静寂な夜間において高い遮音性能が求められる共同住宅等では、CLTを床材や壁材として採用するに当たって、技術的に難しい面があったのも事実である。このような背景から第2の開発テーマを「木造遮音技術」と設定し、共同住宅等で利用可能なCLTを活用した遮音性の高い床と壁を開発するため、音響研究に従事し共同住宅の居住性の改善に取り組んできた専門家も交えて技術開発に取り組んできている。

本節では、遮音性能の高い床と壁の開発について紹介する。

(1) CLT複合遮音床の技術開発の取り組み

上述の通り、共同住宅等の人々が住まう木造建築は、重量床衝撃音への対策が難しい。国内外の木造建築の事例では、CLTを床材として利用する場合にはその上部にコンクリートやモルタルを打設している場合が殆どである。しかしながらこの対策では、コンクリート等の重量によって軽量性に優れるCLTの特性を活かせないことに加えて、湿式工事であるコンクリート等の打設により工期が長くなる等の課題がある。当社では、Fig.4に示すように、1時間の耐火構造を確保するとともに遮音性能を高める付加材を施した仕様でのCLTとの複合床材を開発した（以下、CLT複合遮音床とする）。

このCLT複合遮音床の仕様は、上部に重量の低減と工期短縮を図るため乾式仕様である軽量気泡コンクリート板（ALC）を採用し、2重床に重量床衝撃音への対策として比重の高いアスファルトシートを合板で挟み込むサンドイッチ構造（以下、高剛性高密度2重床とする）を設置している。

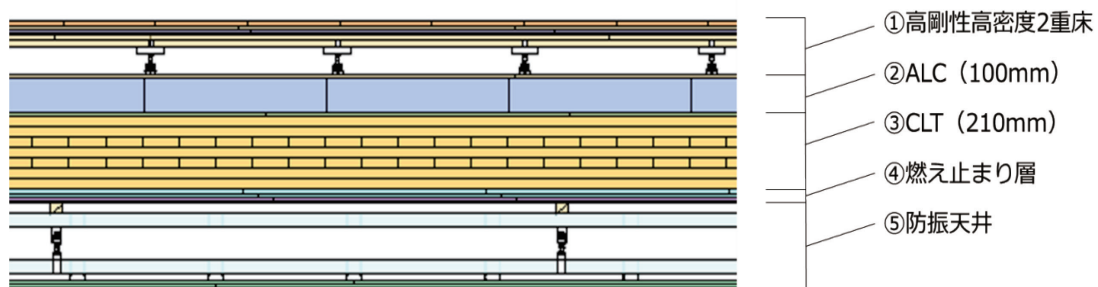


Fig.4 CLT複合遮音床の仕様

CLT 複合遮音床の遮音性能評価については、CLT 床単体の測定法が JIS で規定されていない。そのため、公的機関の残響室を利用し、Fig.5 に示すような複合遮音床モデルで発生させた床単体の重量床衝撃音（標準重量衝撃源）の測定結果を JIS A1419-2 にプロットすることで  $L_r$  相当値として数値化することで表現した。床単体での測定の結果、CLT 複合遮音床は、一般の鉄筋コンクリート造の床と同等程度となる重量床衝撃音  $L_r-45$  相当の高い遮音性能を達成している。ただし、この数値は床単体としての遮音性能であり、今後、実建物での遮音性能についての検証が必要である。



Fig.5 CLT 床の実験状況（左：CLT の設置状況、右：重量床衝撃音の測定）

## (2) CLT 複合遮音壁の技術開発の取り組み

木造建築における共同住宅の CLT 壁については、鉄筋コンクリート造の壁に比較して比重が軽い点、ならびに壁と梁、壁と床との接合部からの音漏れの問題もあり、空気音遮断性能を確保することが難しい。それらの対策を検討し、本開発では、90mm の CLT の壁に対して、上下に梁を想定した木材を設置して測定した。遮音性能の向上には、Fig.6 に示す CLT の両面に木質耐火部材（A-WOOD の 1 時間耐火仕様）を採用した。

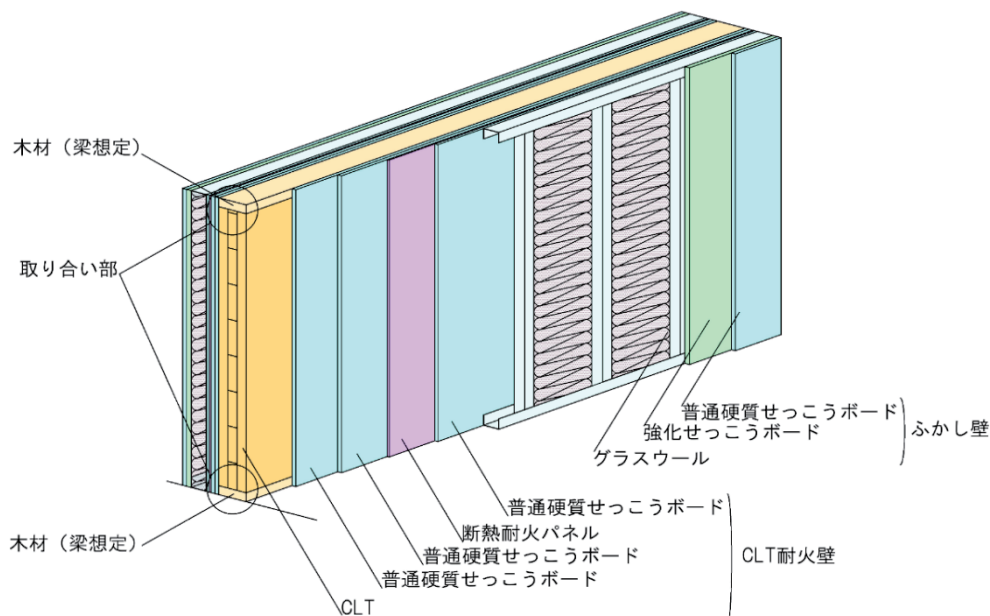


Fig.6 CLT 複合遮音壁の仕様

遮音性能を確保するため、その両側にグラスウールと上張り面材（普通硬質石膏ボード1枚、強化石膏ボード1枚）を施した CLT との複合壁材（CLT 複合遮音壁とする）を開発した。CLT 複合遮音壁の遮音性能については、Fig.7 に示す実験を行い共同住宅等でも採用可能な遮音等級 R<sub>r</sub>-60 を達成することを確認すると共に、「界壁の遮音性能」に関する大臣認定を取得した。

このような高い遮音性能が確保可能となったのは、CLT の両側に遮音性能が高まる空気層厚さを選定し、上張り面材に比重の異なる石膏ボードを積層して低音域の共鳴透過を低下させ、幅広い周波数の空気音遮断性能を高めたこと等の効果による。ただし、この数値は品確法で規定されている壁単体の遮音性能値であり、今後、実建物で遮音性能を確保する検討が必要である。



Fig.7 CLT 壁の実験状況（左：CLT 設置状況、右：空気音遮断性能の測定）

### ● 木造構造の技術開発の取り組み

中大規模木造建築は、中大規模建築用の建材流通市場が完全に整備されていない木材を使用することから、一般的に鉄筋コンクリート造の建物より価格が上昇する傾向にある。この価格上昇分は、木材が本来持っている木のぬくもりや CO<sub>2</sub> 削減等の環境優位性に加え、耐震性等の付加価値を向上させることにより採用の可能性が広がる。特に、鉛直荷重を受け持たない耐震壁として木材を利用する場合には、耐火性能が不要となり、木材をそのままの現しで利用することができる。

このような背景から第3の開発テーマは「木造構造技術」とし、独自性のある耐震壁等を開発するために東京大学稲山教授のご指導のもと、熊谷組（3本部）、銘建工業株式会社、東京大学の3者により、2019年度から取り組んでいる。

建物の一部分を取り出して構造部材の開発を進めると、実施段階で建物全体に必要な性能を満たすことができない等の課題に直面することが多いことから、モデルケースを設定して構造開発を進める方針とした。このモデルケースの設定に際しては、事前に営業・設計等の関係者を対象とした聞き取り調査を行い、7階建て程度の事務所ビルをスタディモデルとして選定している。現在、木造と鉄骨造とのハイブリッド構造におけるオリジナル耐震壁を開発するため、Fig.8 および Fig.9 に示すような要素実験を実施している。この実験については、本編の研究報告「木造の接合部のせん断性能に関する研究」の中で詳細に記載している。ご参照頂きたい。

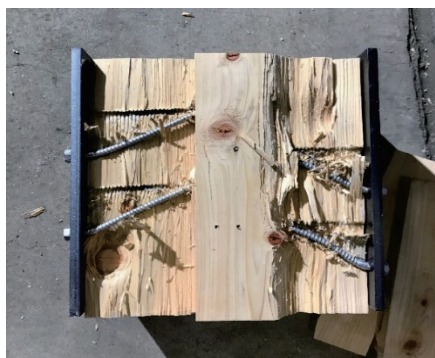


Fig.8 ビス接合の要素試験



Fig.9 鉄骨フレームとの接合部の要素試験

## ● おわりに

本稿では、中大規模の木造建築における開発「木造耐火技術」、「木造遮音技術」、「木造構造技術」の取り組みについて紹介した。その特徴については、以下のようにまとめることができる。

- 木造耐火技術では、法律に適合した耐火性能が必要であることから、3年間で主要構造（柱・梁・床・壁）全ての耐火の大臣認定試験（1～3時間）を実施している。当社開発技術の最大の特徴は、表面仕上げ材を様々な仕様（木・壁紙・塗料・無し等）を選択できるようにしたことである。
- 木造遮音技術では、快適な居住空間を得るため、特に遮音性能の高い床と壁が求められていることから、床では CLT 複合遮音床により、重量床衝撃音  $L_r-45$  相当（自主測定仕様）を達成し、壁では CLT 複合遮音壁により空気音遮断性能  $R_r-60$ （大臣認定仕様）を達成した。いずれも高い遮音性能が求められる共同住宅等で使用可能な床と壁である。
- 木造構造技術では、木が本来の持つぬくもりや  $CO_2$  削減等の環境優位性に加え、オリジナルとなる耐震壁の開発を、7階建て程度の事務所ビルを想定したハイブリッド構造で進めている。

この3テーマの開発では、共通している点がある。それは、全て工場生産を念頭にしたユニット化が可能となる乾式工法で施工できるように開発している点にある。西欧の木造先進諸国がこの分野の一つの方向性として目指しているものに工場生産によるユニット化がある。上述した様々な利点の他、仕様を標準化して工場で大量生産することによりコストダウンを図るとともに、部材をユニット化することで施工費や工期短縮を図っていくことが、将来の普及拡大へ不可欠な要因と考えられる。そのためには、多くの専門家と共に、総合的なチーム力で開発することが重要である。

最後に、開発した技術が多くの人々に利用され、喜ばれることが最も重要なことである。開発者としては、初期段階から多くの人々に利用される商品を中心に置きつつ、商品化として販売・普及を図ることが肝要と考えている。今後もその点を踏まえて、様々な開発をスピーディに進めてまいりたい。

## ● 参考文献

- 1) 公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律、2010.10 施行
- 2) 平成12年建設省告示第1399号「耐火構造の構造方法を定める件」の一部改訂、2018.3 施行
- 3) 熊谷組ホームページ：<https://www.kumagaigumi.co.jp/news/2020/zeb.html>