

「木造建築物の中高層化等技術に関する研究開発」

(平成 31 年度～令和 3 年度) 評価書 (終了時)

令和 4 年 3 月 28 日 (月)
建築研究所研究評価委員会
材料分科会長 大久保 孝昭

1. 研究課題の概要

(1) 背景及び目的・必要性

①背景

公共建築物木材利用促進法等にみるように、木材利用の拡大・推進は国家施策のひとつとなっており、木造建築物の中高層化への関心が国内外で高まっている。木造建築物の中高層化に際して、高強度・高耐力構造要素や部材等の技術開発が盛んに行われるようになっており、適切な技術的基準等を策定しておく必要がある。これに必要な構造、材料等の分野における技術的資料、知見を得ることを目的とし、平成 28～33 年度の中長期目標として、木造建築物の中高層化技術の開発を提案し、前半の課題として平成 28～30 年度に指定課題「中高層木造建築物等の構造設計技術の開発」を実施した。同課題で検討した事項は以下のとおり。

- (1) 木造建築物の中高層化を実現する複合材料等の性能評価技術の開発
- (2) 集成材等建築物の中高層化に要する構造計算基準の適正化・合理化
- (3) 中高層軸組耐力壁構造建築物の許容応力度等計算に関する設計技術の検討
- (4) 中高層枠組壁工法・CLT 構造建築物の許容応力度等計算に関する設計技術の検討
- (5) 中高層木質併用構造等の設計技術の検討
- (6) CLT パネル構造の仕様書規定の検討

前課題における研究開発を通じて成果は次節に記すが、そこで新たに生じた検討事項、並びに中長期計画で予め後半に実施することを予定していた検討事項を合わせて実施する必要がある。検討の背景等を項目ごとに示す。

1) 前課題では木質系の複合軸材料の評価法を検討したが、木造建築物の中高層化に際して、鋼製ロッドを挿入したり、モルタル層を挿入したりするなど異種材料との複合部材の開発が行われるようになってきており、これらの評価法等を含めた品質に関する技術基準を検討する必要がある。

2) 前課題の成果として集成材等建築物の構造設計マニュアルの素案が作成され、鋼板挿入ドリフトピンや引きボルトによるモーメント抵抗接合を有する集成材フレームの終局耐力設計を含めた設計法が一部の仕様を除いて、公表されることになる。同マニュアルの出版事業は日本建築センターに委ねているが、その編集作業を通じて設計法の適用範囲の拡大等を行う必要がある。

3) 集成材等建築物の構造設計マニュアルの素案は、モーメント抵抗を有する集成材フレームを中心にとりまとめられたが、中高層化で汎用される構法として、集成材ブレース構造がある。S55 建告 1792 号第 1 では、住宅用の小断面筋かい構造を対象として構造特性係数が定められているが、集成材による大断面ブレースは告示の数値とは異なる構造特性係数となることが知られている。そこで、集成材ブレース構造を対象として、その破壊靱性特性を評価する手法を考案し、集成材ブレース構造の設計法の合理化を図り、集成材等建築物の構造設計マニュアルの改定案、若しくは出版時に反映させる必要がある。

4) CLT パネル工法は高さ 31m 以下であっても、3階建てを超えるとルート 3 となる。枠組壁工法の現行の構造基準と同じであるが、枠組壁工法については平成 29～30 年度基準整備促進事業 S24「枠

組壁工法中層建築物の構造設計法の合理化に関する検討」の成果により、ルート2の適用範囲が拡大される見通しとなっている。このため、CLTパネル工法についても公平な市場競争のために、ルート2の適用制限を緩和する必要がある。

5) 当研究所敷地内には6階建て枠組壁工法実験棟が建っているが、この実験棟は(一社)日本ツープイフォー建築協会が建築研究所との共同研究を条件に国土交通省住宅局の補助を得て建設したものである。同実験棟を使用した共同研究「枠組壁工法による中層木造建築物等の設計法の開発」は2016~2022年度の実施を予定しており、遮音性能(床衝撃音遮断性能、界壁の空気音遮断性能等)の評価、中高層枠組壁工法の耐久性などが今後も予定されており、実施する必要がある。

6) 当研究所敷地内にはCLTパネル工法による2階建て実大実験棟が建っているが、この実験棟は(一社)日本CLT協会が建築研究所との共同研究を条件に国土交通省住宅局の補助を得て建設したものである。同実験棟を使用した共同研究「CLTパネルの特質をいかした実験棟建設とその性能検証」は2015~2025年度の実施を予定しており、今後もCLTパネル工法における部材の長期寸法変化挙動の測定、内部現しのCLTパネルの吸放湿特性の評価、CLTパネル工法の遮音性能の改良方法の検討、同工法の耐久性評価などが今後も予定されており、実施する必要がある。なお、このCLT実大実験棟は低層住宅を対象としており、得られた成果は前課題(6)で原案が検討されたCLTの仕様規定に反映される必要がある。また、CLTの仕様規定原案の基準化に際して、平面プランが不整形の場合の挙動等について、ネガティブチェックを行う必要がある。

②目的

本研究開発課題では、前研究課題の研究成果を活用しつつ、安全かつ合理的な中高層木造建築物を普及させ、一般化するための技術基準の改正、明確化に関する検討を行う。本研究開発課題において実施する具体的な研究項目は、以下の6項目である。

- (1) 木質系異種複合部材の性能評価法の開発に資する技術的な知見の収集等を行い、性能評価法、技術基準原案等の技術資料として取りまとめる。
- (2) 集成材等建築物の構造設計マニュアル素案において、適用範囲が限定されている仕様について技術的な知見の収集等を行い、同マニュアル改訂原案等の技術資料として取りまとめる。
- (3) 集成材ブレース構造の終局耐力評価法に関する技術的な知見の収集等を行い、集成材等建築物の構造設計マニュアルを追補する技術資料として取りまとめる。
- (4) CLTパネル工法建築物の合理的な許容応力度等計算に資する技術的な知見の収集等を行い、その適用制限緩和に資する技術資料として取りまとめる。
- (5) 6階建て枠組壁工法実験棟を活用して各種性能評価を行い、性能設計型中高層枠組壁工法の普及に資する技術資料として取りまとめる。
- (6) 低層CLTパネル工法実験棟を活用して各種性能評価を行うとともに、低層用仕様書規定の一部の信頼性向上をさせる検討もを行い、低層CLTパネル工法住宅の普及に資する技術資料として取りまとめる。

③建築研究所で実施する必要性・妥当性

本研究課題は、木質系異種複合部材の性能評価法、集成材等建築物の構造計算法、CLTパネル工法の技術基準の改定等に関する知見を収集し、建築基準関係法令等の整備、法令に基づく性能評価法の整備、又はこれを補うマニュアル類の整備に資する技術的知見及び資料を収集・整備するものである。これらの基準原案の策定や改正に必要な技術的知見や資料の収集は建築行政の技術的側面からの支援であり、また中立公正な機関で行う必要がある。当研究所の使命でもある。さらに、これらの技術的知見や資料の収集は、建築行政を直接支援する立場にない大学や他の機関では的確に実施し得ないものであり、当研究所のみが的確に実施することができる。

以上のことから、本研究課題を建築研究所が実施するのは妥当であり、また他機関では的確に実施し得ないことから建築研究所が実施する必要がある、研究課題として提案するものである。

(2) 研究開発の概要

本研究開発課題では、中高層木造建築物等の普及・一般化に資するために、中高層木造建築物等に使用する木質系異種複合部材の性能評価法、合理的な構造計算に資する技術的な知見の整備や実大実験棟を活用した中高層木造の普及に資する技術的な知見の収集等を行い、技術資料として取りまとめる。

(3) 達成すべき目標

- 1) 木質系異種複合部材等の性能評価法に関する技術資料を作成する。
- 2) 集成材等建築物の構造設計マニュアルの汎用性拡大に資する技術資料を作成する。
- 3) 集成材ブレース構造の終局耐力設計法に関する技術資料を作成する。
- 4) CLT パネル工法の構造計算基準の合理化に関する技術資料を作成する。
- 5) 中高層枠組壁工法の各種性能関連技術資料と普及に資する技術資料を作成する。
- 6) CLT パネル工法の各種性能に関する技術資料と仕様規定改定原案を作成する。

(4) 達成状況

(1) 木質系異種複合部材の性能評価法に関する研究開発

1) 木質系異種複合部材の短期性能に関する性能評価法の合理化に関する検討

炭素繊維束複合集成材の曲げ剛性、曲げ強度について、構成要素の曲げ、せん断等の短期性能、品質に関する特性値から部材自体の特性値を予測する手法を検討し、実際に曲げ試験を行って同手法の妥当性を検証した。

2) 木質系異種複合部材の性能評価項目・評価方法の基準案の検討

木質系異種複合部材などを対象に、性能評価項目、並びに構成要素の性能、品質に関する特性値から部材自体の特性値を予測する手法を含めた評価方法に関する技術基準案を作成した。

3) 炭素繊維束複合集成材のクリープ挙動の測定とその推定方法の検討

炭素繊維束挿入集成材のクリープ試験を実施し、そのクリープ特性を把握した。炭素繊維素線及び炭素繊維束の引張クリープ試験を実施してクリープ特性を把握し、集成材のクリープ特性も含めて複合部材のクリープ特性を推定する手法を検討した。

(2) 集成材等建築物の構造設計マニュアルの汎用性拡大に関する研究開発

1) 適用範囲を拡大する半剛節ラーメンフレーム接合部の終局耐力設計法の検討

集成材等建築物の構造設計マニュアル素案における適用範囲の制限を緩和する引きボルト式柱梁接合部の軸力を負担する場合の終局耐力設計法の検討などを行った。

2) 集成材等建築物の構造設計マニュアルの修正案の作成

(一財)日本建築センターに設置した「集成材等建築物構造設計マニュアル編集委員会」(委員長:坂本功東京大学名誉教授)において、委員である建築行政関係者、大手建設会社、国土交通本省等による査読を受け、指摘事項を反映させた最終原稿案を作成し、建研の監修手続きを開始した。

(3) 集成材ブレース構造の終局耐力設計法に関する研究開発

1) 集成材ブレース構造による構面の終局性能評価

中高層木造建築物における要求性能を満たすように改良試設計された接合部を用いた集成材ブレース構造による構面の終局挙動を実験により把握した。また、接合部の荷重変形関係を用いて、解析により実挙動の追跡可能性を検証した。

2) 集成材ブレース構造の構造特性係数の設定方法の検討

中高層木造建築物における集成材ブレース構造の構造特性係数について、実験により把握した終局変形性能や等価粘性減衰定数等を用いて設定する方法を検討した。

3) 集成材ブレース構造の終局耐力評価法に関する技術資料の作成

集成材ブレース構造の構造特性係数の設定方法や終局耐力評価法等について、集成材等建築物の構造設計マニュアルを追補する技術資料として取りまとめた。

(4) CLT パネル工法の構造計算基準の合理化に関する研究開発

1) ルート2の適用制限を緩和したときの応力割増係数の提案

2) ルート2の適用制限緩和に関する技術資料の作成

林野庁による補助事業「CLTパネル工法の構造計算関係規定更新に向けた技術的要件等検討事業」において、CLTパネル工法のルート2の規制緩和の条件と各構造条件に対応する応力割増係数が提案され、告示案として2022年2月2日にパブリックコメントが開始された。同事業の検討内容について情報収集し、具体的な検討は見送った。

(5) 中高層枠組壁工法の各種性能評価と普及に関する研究開発

1) 中高層枠組壁工法の遮音性能向上を企図した用途ごとの推奨仕様の提案

6階建て枠組壁工法実験棟を活用し、さらなる遮音性能向上のための断面仕様等を検討して改良工事を行い、重量床衝撃音遮断性能、軽量床衝撃音遮断性能の測定を実施した。要求性能が一番高い集合住宅において、日本建築学会遮音性能基準適用等級で評価すると、木造建築物では3級（重量：LH-65、軽量：LL-60）程度の性能が妥当であるといえる。CLT床上の湿式浮き床を施工した場合、素面状態でLH-60、軽量：LL-70であるため、床仕上げ構造を施工することで、適用等級3級を満足すること十分可能であると考えられる。

2) 沈み込み挙動、開口部の水密性能、陸屋根の脱湿挙動の調査

6階建て枠組壁工法実験棟を活用し、沈み込み挙動、開口部の水密性能、陸屋根の脱湿挙動に関する測定を継続した。

3) 中層枠組壁工法建築物の耐久性評価

建築後27年を経過した4階建て枠組壁工法実験棟を活用し、内外壁、陸屋根、構造躯体等の劣化状況や水分浸入の有無等を調査し、実験棟の耐久性を評価したところ、雨染み・カビ・苔の生え方が著しかった北東の出隅部において構造用合板、たて枠腐朽・蟻害が確認され、通気工法としない場合の耐久性には限界があることが明らかとなった。

4) 中層枠組壁工法建築物の通気層の性能評価

6階建て枠組壁工法実験棟を活用し、通気層内部に流量計等各種センサを設置して、その通気量、風速等を測定し、中高層木造建築物に必要な通気層の仕様・寸法の妥当性を検証した。

5) 中層枠組壁工法建築物の通気層の耐火性能評価

中高層木造建築物の耐久性確保に必要な通気層に対して火炎の侵入を防止する必要性があり、加熱膨張材を用いて火炎侵入防止性能を評価した。

(6) 低層CLTパネル工法の各種性能評価と普及に関する研究開発

1) 内部表しCLTパネルの寸法安定性、陸屋根施工時降水の脱湿挙動の調査

CLT実験棟内の表しパネルの寸法変化の測定、陸屋根の防水層下部の脱湿挙動の測定を継続し、空調運転と寸法変化挙動の関係を明らかにした。

2) 片持ちバルコニーのメカノソープティブ変形挙動の調査

CLT実験棟の片持ちバルコニーの設計荷重を載荷したときのクリープ変形挙動の測定を継続し、一部は変形増大係数が2.0を上回る変形が継続していることを再確認した。

3) CLTパネル工法の遮音性能向上を企図した用途ごとの推奨仕様の提案

CLT遮音性能をより向上させるための検討として、CLTパネル工法の壁や床を模した十字型およびT字型の小型試験体を用いて、板上や接合部における振動の伝搬性状の検討を実施した。検討結果は日本建築学会環境系論文集第87巻797号に掲載予定である。

CLTパネル工法実験棟を活用し、さらなる遮音性能向上のための断面仕様を検討して改良工事（乾式二重床構造の上部面材に遮音シート計16mmを追加、独立天井の採用等）を行い、重量床

衝撃音遮断性能、軽量床衝撃音遮断性能の測定を実施した。要求性能が一番高い集合住宅において、日本建築学会遮音性能基準適用等級で評価すると、木造建築物では3級(重量:LH-65、軽量:LL-60)程度の性能が妥当であるといえる。改良工事の床断面仕様は、適用等級3級を満足することができた。

4) CLT パネル工法建築物の耐久性評価

建築後5年を経過した CLT パネル工法実験棟を活用し、エントランスの屋外階段を解体して劣化状況を調査したところ、一部に腐朽が生じていることを確認した。

5) CLT パネル工法建築物の仕様規定改定案の作成

仕様規定改定案において、許容耐力を与える水平抵抗要素の分類を行った。直交壁については十字形配置のデータが不足していたため実験により性能確認を行った。2021 年度に開始された基整促 S35 (2022 年度まで継続) と連携し、各要素の性能を担保する仕様制限、許容耐力値の解析的な検討を行い、技術資料としてとりまとめた。

2. 研究評価委員会（分科会）の所見（担当分科会名：材料分科会）

(1) 研究開発の成果が十分に得られているか。

以下に5名の評価委員の所見を示す

- ① 耐久性など一部継続課題があるが十分な成果が得られている。
- ② 多くの研究課題に対して、有意義な研究成果が得られている。
- ③ 研究開発中に抽出された新たな課題にも積極的に取り組み、当初計画を上回る貴重な成果が得られていると考える。
- ④ 期間内で得るべき成果として十分であると思います。研究開発を進める中で、必要な課題を追加したり、委員構成を変更したり、柔軟な進め方をしている点もよいと思います。
- ⑤ 数多くの研究テーマに関して十分な成果が得られており、特に近年の技術である CLT に関しては我が国の技術開発における先導的な成果を得ており十分に評価できる。

(2) その他の評価（研究成果の発表状況、外部機関との連携等に関する評価）

以下に5名の評価委員の所見を示す

- ①本研究は、外部機関との連携も計画されており、効果的かつ効率的な研究のために必要な体制が取られている。技術的支援や普及のための活動等、成果の最大化のための取組がなされた。
- ②研究成果の公表や外部機関との連携のための諸活動が十分なされている。
- ③3年間で査読付5件を含む60件の論文、学会発表があり、内容のレベルも含め、十分な研究成果が得られていると考える。また、講演会、雑誌等でも20件の発表があり、様々な場を活用して情報発信にも努めていると考える。外部機関との連携に関しても、66件の技術指導、外部委員会への出席等があり、十分に機能したと考える。
- ④マニュアル・指針等への反映、査読付論文・雑誌への発表、技術指導、外部機関との連携など、すべての面で活発に行われていると思います。
- ⑤建築研究開発コンソーシアムや日本ツーバイフォー建築協会など、実務に携わる団体や企業との連携が十分になされており、研究成果の実用化がきちんと諮られている。また、学術論文としての成果公表も申し分なく、まさに建築研究所の役割・使命を達成していると評価できる。

(3) 総合所見

以下に5名の評価委員の所見を示す

- ①木材利用の拡大・推進は国家施策の一つであり、本研究の内容は国の方針や社会のニーズに適合している。さらなる研究進展に期待したい。

- ②本技術開発は、木材利用を推進するという国策に基づく課題であり、社会的ニーズの高い課題でもあるが、対象となる中高層木造建築物の構（工）法等が多種であることから、関連する研究分野も多岐にわたり研究開発目標も多い。実施に当たっては、国内外の関連する外部機関等との連携や情報交換等を含めた研究体制の構築がなされ、研究開発目標に関しては、当初の計画通りに実施され、成果が得られたものと評価できる。今後は、これらの 成果が、次年度から実施される「中高層木造建築物の社会実装の促進に資する研究開発」に反映されることを期待したい。
- ③本研究課題は、木造建築の中高層化の推進に大きく貢献するような研究成果を短期間で取り纏めたと考えている。次年度以降も未解決の課題に取り組み、中高層木造建築の普及を牽引してくれることに期待する。
- ④重要な課題に対して、しっかり成果をあげられていると思います。中高層木造の普及に向けて、設計法の明確化・合理化を進めていただくことは重要で、複合部材の長期性能、構造物の耐久性と耐火性という課題にまで、対象を幅広く網羅している点が素晴らしいと思います。耐久性などのように今後のデータ蓄積が必要なものもありますので、今後も継続的に研究開発をしていただくことを望みます。中高層木造として、集成材構造、枠組壁工法、CLT パネル工法を対象に 本課題以外にも並行して研究が行われて行くなかで、将来的には、横並びでの評価などもできるだけ示していただきたい と思います。
- ⑤研究成果は申し分なく、今後の課題を整理して後継の研究課題も立案されており、我が国の社会生活の発展や建築分野の技術向上に貢献する研究成果を挙げていると判断される。ここで開発した技術の普及を達成するために CLT 等、新しい木質系材料の製造技術等についても指導していただくことを期待する。

(参考) 建築研究所としての対応内容

・総合所見①への対応

- 「さらなる研究進展に期待したい」について、本研究の後継課題「中高層木造建築物の社会実装の促進に資する研究開発 (R4~6 年度)」を設定し、本研究開発課題の成果をサブテーマ「(1)木質系異種複合部材の長期性能の評価法の合理化に資する研究開発」、「(2)中高層木造の構造計算におけるクライテリアの明確化・合理化に資する研究開発」、「(3)中高層木造建築物の耐火性能と耐久性能を両立させる仕様等に関する研究開発」、「(4)CLT パネル工法建築物の社会実装の促進に関する研究開発」、「(5)木造建築物の床衝撃音遮断性能の向上に資する研究開発」において発展させていく予定です。

・総合所見②への対応

- 「(本研究開発課題の) 成果が、次年度から実施される「中高層木造建築物の社会実装の促進に資する研究開発」に反映されることを期待したい」について、本研究の後継課題においても引き続き、多様な中高層木造建築物の構（工）法等を対象に、研究横断的な課題についても積極的に取り組み、国内外の関連する外部機関等との連携や情報交換等を含めた研究体制を維持してとり 君行き いたいと考えています。

・総合所見③への対応

- 「次年度以降も未解決の課題に取り組み、中高層木造建築の普及を牽引してくれることに期待する」について、本研究の後継課題「中高層木造建築物の社会実装の促進に資する研究開発 (R4~6 年度)」において、PRISM や基整促の課題とも連携して未解決の課題について積極的に取り組み、中高層木造建築の社会実装と普及に貢献していきたいと考えています。

・総合所見④への対応

- 「耐久性などのように今後のデータ蓄積が必要なものもありますので、今後も継続的に研究開発をしていただくことを望みます」について、本研究の後継課題「中高層木造建築物の社会実装の促進に資

する研究開発（R4～6年度）」ではサブテーマ「中高層木造建築物の耐火性能と耐久性能を両立させる仕様等に関する研究開発」を設定し、社会実装可能となるように取り組みを行う予定です。

・総合所見⑤への対応

- 「ここで開発した技術の普及を達成するために CLT 等、新しい木質系材料の製造技術等についても指導していただくことを期待する」について、木質系材料の製造技術の開発は主として農林水産系の試験研究機関や民間等において行われており、本課題でも後継課題「中高層木造建築物の社会実装の促進に資する研究開発（R4～6年度）」でも実施する予定はありません。しかし、後継課題のなかでサブテーマ「木質系異種複合部材の長期性能の評価法の合理化に資する研究開発」は継続的に実施する予定であり、この成果を積極的に社会に還元することなどで指導的役割を果たしていきたいと考えています。

3. 評価結果

■ A 研究開発課題として、目標の達成を見込むことができる。

~~□ B 研究開発課題として、目標の達成を概ね見込むことができる。~~

~~□ C 研究開発課題として、目標の達成を見込むことができない。~~