

「中高層木造建築物等の構造設計技術の開発」

（平成28年度～平成30年度）評価書（年度）

平成29年2月27日（月）

建築研究所研究評価委員会

材料分科会長 近藤 照夫

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その他の社会情勢により、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。このような背景のもと、平成23年度から25年度にかけて実施した重点研究課題「木材の利用促進に資する中層・大規模木造建築物の設計・評価技術の開発」及び26年度から27年度にかけて実施した重点研究課題「CLT等を構造材とする木造建築物の普及促進に資する設計法の開発」（以下、「前研究課題」と呼ぶ）では、木造建築物を中層・大規模化する際の技術的な課題について整理し、各課題を解決するために必要な技術的な知見を実験と解析により収集してきた。CLT（Cross Laminated Timberの略）構造に関しては平成27年度までに構造設計法（案）を作成しており、さらに特定の接合部仕様の集成材構造及び枠組壁工法に関しては構造設計ガイドライ（案）を作成予定である。一方、以下の課題も明らかになった。

- 1) 木質複合軸材料は、既に指定建築材料とされているが、木造の中高層化に際してニーズが高まると想定される異種材料との複合部材の性能評価法は確立されていない。前者に対する性能評価についても、その評価業務方法書の内容が十分でないため、H12建告1446号第3別表第二に示される構成要素の品質から性能を推定する手法が適用できない現状がある。後者についてもこれを応用することで、性能評価の簡素化が図れると考えられる。
- 2) 集成材建築物に関して、「大断面集成材建築物設計・施工マニュアル」（建築指導課監修、日本建築センター、1988年）に基づいて構造計算がなされているが、 $C_0=0.2$ における存在応力に対する耐力設計に留まっており、終局状態の考慮が必要と言われて久しく、このマニュアルの改訂版の作成に必要な技術的知見の収集、蓄積が急務である。
また、欧州で提案されたマッシュホルツ工法は、直交層を設けず繊維方向を揃えて積層した挽き板を壁に使用する構法であるが、木材の繊維方向の強度は繊維直交方向に比べて高く、これを活用して木造建築物の中高層化を図ることが効率的である。一方、CLTは直交層を含んでおり、これが高層化を図る上で弱点となる可能性がある。
- 3) 軸組耐力壁構造建築物に関して、3階建以下の木造耐力壁構造（いわゆる木造住宅）の設計マニュアルは整備されているが、4階建以上の許容応力度等計算に関しては技術基準が明確ではなく、また設計マニュアルが整備されていない。そのため、平成27年6月の建築基準法及び関係政令等の改正により、構造計算適合性判定が不要となった木造建築物の許容応力度等計算の建築確認の現場において、今後大きな混乱をきたす恐れがある。
- 4) 枠組壁工法・CLT構造建築物に関して、一定規模以下の3階建までは許容応力度計算で設計できる（CLT構造は予定）が、4階建以上については法令上保有水平耐力計算が必要となる。平成26年度に木造下地の1時間耐火構造告示が制定され、4階建の木造建築物が建設しやすい環境と

なったが、保有水平耐力計算が4階建以上の枠組壁工法及びCLT構造の普及の阻害要因となっている（CLT構造に関しては阻害要因となる）恐れがある。

- 5) 併用構造に関して、防火上の規定から純木造で建設可能な高さは現在4階建迄であるため、RC造やS造との混構造による中高層化が予想される。また、木造で大空間を構成するために水平構面を木造とRC造の複合構造で構成する方法等の普及が予想されるが、併用構造の構造計算、異種構造間の接合部や複合構造の構造性能評価方法等に関する明確な技術基準や例示仕様がない。
- 6) CLTパネル構造については、平成28年度早期に基準強度、許容応力度、構造関係基準等が整備される予定であるが、業界から強く要望されている仕様書の規定は今後継続して検討が必要である。以上のように今後、中高層・大規模木造建築物を安全かつ合理的に設計し、普及を促進するためには、これらの課題を解決することが重要である。

②目的

本研究課題では、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・大規模木造建築物を普及・一般化するための技術基準の明確化に関する検討を行う。本研究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) 木質系複合部材の性能評価法の合理化に資する技術的な知見の収集等を行い、性能評価法・指針案等の技術資料として取りまとめる。
- 2) 集成材フレーム構造の設計・施工マニュアルの改訂及び集成材パネルによる構造の構造設計法の検討に資する技術的な知見の収集等を行い、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) 軸組耐力壁構造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、構造設計ガイドライン等の技術資料として取りまとめる。
- 4) 枠組壁工法・CLT構造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、適用範囲拡大に資する技術資料として取りまとめる。
- 5) 木造と異種構造間の併用構造等の合理的な構造計算及び性能評価等に資する技術的な知見の収集等を行い、許容応力度等計算及び接合部標準仕様の設計指針案の技術資料として取りまとめる。
- 6) CLTパネル構造の仕様書の規定の検討に資する技術的な知見の収集等を行い、技術基準の素案等の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、木質部材の性能評価法、木造建築物の構造計算法、各種混構造に関する設計指針や例示仕様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な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な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り、当研究所の使命でもある。さらに、これらの技術的な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、研究課題として実施するものである。

(2) 研究開発の概要

本課題では、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、及び木造と異種構造間の併用構造等の合理的な構造計算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。

研究開発課題名（中高層木造建築物等の構造設計技術の開発）

(3) 達成すべき目標

- 1) 中高層木造建築物に用いる木質複合部材等の性能特性値の予測手法に関する技術資料及び性能評価指針案
- 2) 集成材フレーム構造の設計・施工マニュアルの改訂原案並びに集成材厚板パネルによる構造の構造性能評価方法に関する技術資料及び構造設計例
- 3) 中高層木造軸組構法建築物の合理的な許容応力度等計算に関する構造設計ガイドライン案及び構造設計例
- 4) 中高層枠組壁工法・CLT構造建築物の許容応力度等計算の適用範囲拡大に資する技術資料
- 5) 中高層の木造と異種構造の併用構造等の許容応力度等計算に資する技術資料及び接合部等の標準仕様に関する設計指針案
- 6) CLTパネルによる構造の仕様書の規定の技術基準の素案及び構造設計例

(4) 28年度の進捗・達成状況

材料分野が主担当として実施した(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、(4) 中高層枠組壁工法・CLT構造の許容応力度等計算に関する設計技術の検討のうち、3) 6階建て実験棟による各種性能評価、(6) CLTパネル構造の仕様書の規定の検討については以下の通り。

(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

1) 既往の複合材料の性能と性能評価事例等に関する調査

木質複合軸材料、並びに異種材料とのハイブリッド部材に関する性能評価事例、性能検証実験結果等を収集した。

2) 木造建築物の中高層化に際した部材の要求性能と技術的課題に関する調査

複合部材に関する技術的課題を以下のように抽出した。

- ① 鉛直荷重増加による高耐力、高剛性化
- ② 座屈挙動、座屈を補剛するディテール又は補助部材
- ③ めり込み変形を生じない横架材のディテールの開発
- ④ ②と③の両立

3) 各種複合材料の長期性能に関する試験法・評価法の検討

木質I型複合梁を対象に破壊のシナリオを整理し、構成要素の長期・短期性能の評価方法の検討方針を考案した。また、多くの場合にウェブに使われているOSBの短期せん断試験、並びにせん断クリープ破壊試験を開始した。

(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

1) 中高層木造建築物への構造性能要求事項の整理

構造関係技術的課題を以下のように抽出した。

- ・ 構造計算の諸係数・クライテリア (D_s 、層間変形、 $P-\Delta$ 効果、接合部等)
- ・ 接合部の終局 (\neq 降伏) 挙動の推定方法
- ・ 異なる塑性率 (靱性特性) を有する構造要素併用時の建築物の挙動 (異種木質構造システム併用時を含む)

2) 集成材建築に関する構工法の分類と構造特性係数の評価方法の検討

集成材フレーム構造の構工法の分類を行い、それぞれについて適用すべき構造特性係数に関する既往の技術資料 (下図は中耐力、低減衰の集成材ラーメンフレーム、集成材ブレース、面

研究開発課題名 (中高層木造建築物等の構造設計技術の開発)

材壁併用時の許容終局変形に対する標準化された地震動下における応答変位を解析的に検討した結果の一例)を収集した。さらに、異なる塑性率(靱性特性)を有する構造要素併用時の建築物の挙動(異種木質構造システム併用時)を解析的に検討し、構造特性係数の設定方法の一例を検討した。

3) 集成材厚板パネルの構造的利用方法の検討

集成材厚板パネルの構造利用の可能性を阻害している要因は寸法安定性であることが判明したため、屋内(外気流入)環境における暴露試験(下図)を開始した。また、既にマッシュブテインバー構法の要素として提案されているCLTパネル、LVLパネル(JASにおけるB種)との差異を検証するため、それらのパネルも同時に暴露実験に供し、計測を開始した。

(4) 中高層枠組壁工法・CLT構造の許容応力度等計算に関する設計技術の検討

3) 6階建て枠組壁工法実験棟による各種性能評価

① 鉛直荷重に対する性能検証

鉛直荷重による各層の沈み込み量の6月~10月における速報値を得た。

② 水平力に対する性能検証

平成28年5月16日(茨城県南部、 $M_j=5.5$ 、計測震度3.6)、11月22日(福島県沖、 $M_j=7.4$ 、計測震度3.7)などの地震発生時の強震記録が収録できた。固有周期はNS方向0.3秒(3.3Hz)、EW方向0.27秒(3.6~3.7Hz)であった。疑似速度応答スペクトルは下図の通り。前者の強震記録による応答変位はNS方向-0.9~0.5 cm、EW方向-0.2~0.7 cmであることなどを得た。

③ 建具の性能検証

漏水センサを各層南側と西側の開口隅角部に設置して測定した結果、2017年1月時点で漏水が発生したことを示すデータは得られていない。

(6) CLTパネル構造の仕様書規定の検討

1) 仕様規定用CLTパネルに関する技術資料の収集

異等級構成CLTのめり込み性能の実験的把握を目的として、仕様規定に用いるCLTパネルの材料特性、並びに接合部設計における重要なパラメータとしてめり込み性能を把握した。H28は異等級構成CLTのめり込み性能の調査のために、非破壊(Fakkop)および微小破壊試験装置(プローブの引抜強度測定法)を用いて、異等級構成スギCLT(Mx60)のラミナ特性を調査する方法を開発した。この結果、現行製作されているMx60試験体のラミナ特性は、S60構成のラミナ特性と大差なく、実験用のMx60構成のCLTについては特別な配慮をした上で、製作する必要性が明らかになった。

2) 仕様規定に使用するCLTパネル接合部に関する技術資料の収集

低層CLTパネル構造の必要性能を明確にし、その与条件を整理した。既往の低層CLTパネル工法設計事例5例以上及びCLTパネル構造の設計、建築経験のある設計者・技術者20名以上に対して、アンケート又はヒアリングにより、以下の事項について調査し、整理した。

- ・ 壁、床、屋根等各部位の構法 (CLTパネル、軸組構法、枠組壁工法、集成材フレーム等)
- ・ 壁のCLTパネルの架構種別 (小幅パネル架構、大判パネル架構①、大判パネル架構②)
- ・ 小屋水平構面の取り方 (天井面、屋根面)
- ・ 構造計算ルート
- ・ 地震地域係数
- ・ ルート2の場合の応力割り増し係数、又はルート3の場合の D_s
- ・ 用途・階数
- ・ 風圧力 (基準風速、地表面粗度区分)
- ・ 積雪荷重 (最大積雪深、積雪の単位荷重)

- ・地盤長期地耐力
- ・最高高さ・軒高さ
- ・CLTによる壁・床・屋根パネルの仕様（樹種、厚さ、断面構成、ラミナ強度区分、接着剤等）
- ・各部材間の接合仕様（スプライン、金属プレート、ボルト、木ねじ、釘等）
- ・基礎の仕様

3) CLTパネルによる構造の仕様書の規定の策定方針の検討

仕様書の規定で構造設計を行うべき低層CLTパネル構造の適用範囲について調査した。仕様書の規定で建築する必要がある建築物の規模、用途、高さ等をCLTパネル構造の設計、建築経験のある設計者・技術者や学識経験者ら20名以上に対して、以下の項目に関するアンケート又はヒアリング等を行い、その結果を整理した。

- ・基礎の構造方法（基礎の仕様書の規定）
- ・壁、床、屋根等各部位の構法（CLTパネル、軸組構法、枠組壁工法、集成材フレーム等）
- ・壁のCLTパネルの架構種別（小幅パネル架構、大判パネル架構①、大判パネル架構②）
- ・小屋水平構面の取り方（天井面、屋根面）
- ・用途の制限
- ・階数の制限
- ・積雪荷重（最大積雪深、積雪の単位荷重）の範囲
- ・地盤長期地耐力の範囲
- ・最高高さの上限
- ・軒高さの上限
- ・CLTによる壁・床・屋根パネルの仕様（樹種、厚さ、断面構成、ラミナ強度区分、接着剤等）
- ・各部材間の接合仕様（スプライン、金属プレート、ボルト、木ねじ等）

4) CLTパネル工法実験棟における各種性能評価

① 建築物内で露し使用したCLTパネルの寸法変化挙動の測定

各部材間の隙間の増減、目違い寸法の速報値を得た。

② 片持ちバルコニー（3m）の温湿度変動下におけるクリープ変形

実験棟南側の3mのオーバーハングによるバルコニー部分の温湿度変動下におけるクリープ変形挙動の速報値を得て、恒温恒湿槽におけるクリープ実験結果に基づいて設定したクリープ増大係数2を9ヵ月経過した時点で超える変形を生じていないことが分かった。

③ 気密性能

CLT実験棟において開口部等の周囲の仕様を数通り変えて気密測定を行った結果、相当隙間面積 $C(\text{cm}^2/\text{m}^2)$ は16.5から4.0に減少した。

④ 空気質測定

パッシブ法のバッチ式により1、2階居室に設置しホルムアルデヒド、VOCを測定した結果では、木材を露出した場合に止むを得ないアセトアルデヒドは基準値を超えているものの、他は基準値に達しないことが分かった。

⑤ 測定施工時の降水の脱湿挙動測定

測定開始以降の湿度低減効果について傾向的に捉えるべく、相対湿度から絶対湿度に換算して比較した。単純に全データを絶対湿度に置き換えると、温度影響を受けて絶対湿度（水分量）が変動するため、ある一定の温度での絶対湿度をとらえることで温度影響を排除してグラフ化した。なお、温度条件としてはデータ数が多くなる温度として、15～16℃について抽出した。その結果、緩やかではあるが絶対湿度についても低下傾向が確認された。

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) 背景（目的・必要性）及び目標について

- ・公共建築物木材利用促進法が制定されて地球温暖化防止の観点から木材利用が推進される等、木造建築物に対する中高層化に対する関心が世界的に高まっており、本課題の目的や必要性は十分に理解できる。成果の活用に向けた研究が着実に進められていると判断できる。
- ・本技術開発の目標とする成果の活用は、国の方針である公共建築木材利用促進法に適合しており、また、地球温暖化防止、地域産業の活性化等の観点から社会ニーズに合致している。研究開発は、計画されたそれぞれの目標に対して具体的に立案されている。
- ・研究の背景や成果の活用方法は、国の方針や社会のニーズに適合していると判断される。ただし、集材建築物の各種様式から「引きボルトによるものを除く」とし、それが、既に十分なデータの蓄積があるとためとしている。構造特性係数を解析的に検討する場合も、終局設計法を検討する際にも、様々な構工法に適用可能なモデル化や計算方法を模索する上で、このように除外して考えられるものではない。
- ・社会的ニーズが高いテーマであり、研究計画も具体的で、成果が期待される。

(2) 他機関との関係等、成果の最大化について

- ・研究内容に関連する建築研究開発コンソーシアム、日本ツーバイフォー建築協会、日本CLT協会、日本木造住宅産業協会、北海道研究開発機構、宇都宮大学、島根大学等と綿密な連携がされており、支援や普及のための活動が十分になされていると判断できる。
- ・民間の協会等と共同研究を実施するとともに、国公設研究機関、大学、研究会等と連携することにより、効果的かつ効率的な研究体制及び技術支援や普及のための体制が取られている。
- ・必要な体制は取られている。後半の取り組みもなされていると判断される。
- ・研究体制は十分に整えられており、この分野のトップの研究者が揃っている。

(3) 進捗状況について

- ・多くの課題に対して、有意義な研究成果が得られていると評価できる。
- ・計画されたそれぞれの目標に向けて順調に進捗している。
- ・順調に進んでいると判断される。
- ・1年間の成果としては申し分のない成果である。

(4) 総合所見

- ・国家政策である木材利用の推進に資する材料分野と構造分野にまたがる幅広い内容が包含される重要な研究開発課題であり、研究の初年度として有意義な成果が得られており、引続き推進されることを期待したい。
- ・本技術開発は、国の施策、社会ニーズの観点から重要度の高い課題と考えられるが、本技術開発の達成にあたっては、取り組むべき課題が多く、またその分野も多岐にわたっているため、横断的な視野による研究体制の構築が必要となろう。また、本開発の一部は諸外国において先行している技術でもあるので、海外における現状の把握および海外の機関との情報交換等の連携が必要となるであろう。
- ・広範な研究課題に取り組んでいるが、計画通りに着実に進んでいるものと判断される。
- ・順調に研究が進められており、研究成果が期待できる。地方の活性化も期待できる課題である。

参考：建築研究所としての対応内容

(1) 背景（目的・必要性）及び目標について

引きボルトの除外については、分科会での回答が言葉足らずであった可能性はあるが、引きボルトについては既に豊富な実験データが存在するため、実験対象として引きボルトを除くだけであって、ご指摘の構造特性係数、終局設計法、モデル化や計算方法の検討に際しては検討の中心と考え

ている。

(2) 他機関との関係等、成果の最大化について

他機関との関係や成果の最大化への取り組みも十分と分科会で評価されているが、更なる効率化を目指した関係の構築、成果の更なる最大化に取り組んでいく。

(3) 進捗状況について

進捗状況は順調で、得られた成果についても十分であると分科会で評価されているが、次年度も進捗状況を維持するとともに、さらに優れた研究成果が得られるよう努力を続けていく。

(4) 総合所見

横断的な視野による研究体制の構築については、さらに充実化を図っていく。海外における現状の把握および海外の機関との情報交換等の連携については従来も行ってきたが、次年度はさらに積極的に行う。

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。~~