

「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30年3月8日（木）
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、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ン(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、既に指定建築材料に指定されているが、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。前者においても性能評価について、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。

(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規定の技術基準の素案及び構造設計例

(4) 29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) 各種複合材料の短期性能に関する試験法・評価法の検討

既往の複数の文献を整理、比較して曲げ応力下の木質I形複合梁の破壊モードはフランジの断面2次モーメントが小さい場合にモードIV(接合部)が発生し、断面2次モーメントが大きい場合にモードI(フランジ)が発生すること、せん断応力下では前者はモードIII(ウェブせん断)～IV、後者はモードIVとなることなどを得た。また、実験により、エッジワイズ、フラットワイズのウェブ材料としてのOSBの曲げ、せん断強度を得た。

2) 各種複合材料の長期性能に関する性能評価法の合理化に関する検討

木質I形複合梁の長期性能に関する既往のデータを入手した。ウェブ材料としてのOSBの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) 木造建築物の中高層化に際した接合部の要求性能の整理

最も汎用される鋼板挿入ドリフトピン接合の予備的なせん断試験結果に基づいて、モーメント抵抗試験体を設計し、変形能力と終局耐力の推定を試みた。

2) 集成材建築に関する構工法ごとの終局設計法素案の検討

架構形式を①ラーメンフレーム・②ブレース構造・③アーチ構造に分類し、塑性率の異なる接合部の骨格曲線を3通り以上設定し、①～③の架構を当該接合部で構成した場合の3通り以上の架構の塑性率、並びに当該架構で構成される層の構造特性係数を解析的に算出した。

また、既往の書籍、論文等に掲載されている各接合形式の終局耐力算定法を整理し、汎用性の有無等について精査した。

3) 集成材厚板パネルの構造性能の検討

S90の5層7プライのCLTにおける脚部の短期許容引張り耐力、脚部の短期許容せん断耐力、及び下階頂部-CLT床パネル-上階脚部の短期許容せん断耐力が、それぞれ317 kN、218 kN、112 kNを超える仕様の挿入鋼板ドリフトピン接合等をE 95-F315の集成材厚板パネルに対して

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)

適用した場合に得られる脚部の短期許容引張り耐力、脚部の短期許容せん断耐力、及び下階頂部-CLT床パネル-上階脚部の短期許容せん断耐力を解析的に算出し、集成材厚板パネルの構造利用の可能性を検討した。

また、曝露試験による重量・寸法変化等の計測を継続し、以下を得た。

- ・雨水が作用する環境での吸水率はLVL、集成材、CLTの順に高いが、集成材の厚さ膨張率が大きく、CLTの厚さ膨張率は小さい。
- ・雨水が作用しない環境下では、集成材パネルの吸水率が他より明らかに高いものの、CLT、集成材、LVLによるパネルの厚さの変化はいずれも1mm未満、かつ厚さの0.5%未満で、寸法安定性が無いことはない。

(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

2～6階に鉛直荷重を付与して各層の沈み込みの経時測定を継続した。鉛直荷重の付与によって収束すべき沈み込みは漸増した。

② 水平力に対する性能検証

強震観測を継続した。

③ 建具の性能検証

開口隅角部下の漏水検知を継続したが、2018年1月23日時点で漏水を示すデータは計測されていない。

④ 屋上及びルーフバルコニーの防湿脱気性能の検証

防水施工時の降雨を想定し、脱気装置の有効性を検証するために、屋上及びルーフバルコニーに予め散水し、防水層の下の空間の温湿度を測定した。その結果、脱気装置の有効性が確認された。

(6) CLTパネル構造の仕様書規定の検討

1) 各種CLTパネルとその接合の組合せによる荷重変形関係の推定方法の検討

低層用3層3プライのCLTパネルの引きボルト接合の引張実験を行い、引きボルトの孔とラミナの未幅はぎ面が一致するときの耐力が最も低く、これに基づいた設計を行えば、安全側の評価となることが判明した。この知見に基づいて単位鉛直要素の水平せん断力下の荷重変形関係の推定を試み、実際にせん断試験を行って推定方法を検証した。

2) CLTパネルのめり込みの荷重変形関係の設定法に関する検討

スギ、オウシュウアカマツによる異等級構成CLTの横圧縮強度、ヤング率の異なるラミナ（スギ、欧州アカマツ）の横圧縮強度、節径比の異なるラミナ（スギ、欧州アカマツ）の横圧縮強度を実験的に調べた。その結果、節径と横圧縮強度の間には相関性があることを確認し、節を含めたラミナのモデル、およびこれを積層したCLTのモデルを作成し、ラミナ及びCLTの全面横圧縮実験結果との相関性を検討した。

3) CLTパネル工法実験棟における各種性能評価

CLTパネル工法による実験棟（2016年3月完成）において、低層CLTパネル工法建築物の健全な発展と普及のために必要なデータの収集を継続した。

① 建築物内で表し使用したCLTパネルの寸法変化挙動の測定・・・測定継続中

② 片持ちバルコニーの温湿度変動下におけるクリープ変形・・・測定継続中

③ 強震観測・・・測定継続中

④ 居住性の評価（温熱環境）

各階、各室の温湿度を測定し、室内温湿度環境を評価し、ある一定以上の居住性があることを確認した。また、空調設備、及び輻射冷暖房設備運転下の温湿度環境を測定した。

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）

⑤ 測定施工時の降水の脱湿挙動測定

昨年度からの計測を継続し、新たな知見として、脱気装置の負担面積の大小により脱湿性能に高低があること、脱気装置近傍の湿度は、外気の湿度変化と連動しており、脱気装置を介して湿気が防水層の中へ侵入することがあることなどが得られた。

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）及び目標とする成果、成果の活用方法が国の方針や社会のニーズに適合しているか。研究開発の計画が具体的に立案されているか。

- ・ 公共建築物木材利用促進法が制定され、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への関心が世界的に高まっており、前研究課題における成果を踏まえて、本課題の目的や必要性は十分に理解できる。また、具体的な研究計画が立案されていると思われる。
- ・ 本研究は、公共建築物木材利用促進法その他の社会情勢により実施した既往の研究により新たに抽出された課題について研究を継続するもので、成果、成果の活用方法は国の方針や社会のニーズに適合しており、研究開発の計画は具体的に立案されている。
- ・ 本技術開発の背景や目標とする成果等及びそれらの活用方法は、国の方針や社会的なニーズに合致し、実施するための研究開発計画はそれらを見据えた具体的な計画等が立案されている。
- ・ 背景及び目標とする成果やその活用方法は、国の方針や社会のニーズに適合している。また、研究計画は、具体的に立案されている。
- ・ 各種ニーズに対して適合している。また研究計画は緻密に練られており、進捗状況も申し分ない。
- ・ 建築材料分野における使用材料の低炭素化や木質材料の有効活用は地球環境の問題から急務と考えられ、本課題は社会的なニーズ等に適合した重要な研究と考える。課題の中は6項目に分類され、それらの目標、具体的な取り組みも明確に立案、実行されていると考える。

(2) 他機関との関係等、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か。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ているか。

- ・ 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、木造住宅産業協会、宇都宮大学・島根大学、北海道立総合研究機構、国土交通省国土技術政策総合研究所等との共同研究や連携がされて必要な研究体制が取られており、技術支援や普及のための活動等も進められており、成果の最大化を考慮した取組がなされていると判断できる。
- ・ 本研究は、関連する協会、公設試験機関、大学、研究会等と連携するとともに、協会、大学、国土交通本省関連部局などと常時情報交換・調整をとり進められており、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。
- ・ 本技術開発は、関連する研究分野が多義にわたることから、外部では産官学の連携、内部では構造や防火領域との連携が図られ、効果的な研究体制や支援体制が構築されている。
- ・ 他機関との連携などはよくとられており、成果の最大化のための取組みもなされている。
- ・ 多くの期間と共同で研究が進められており、成果が非常に期待できる。
- ・ 日本ツーバイフォー建築協会、日本CLT協会といった関連各団体との共同研究により、効果的かつ効率的な研究が実施されている。成果の最大化に向けては、シンポジウムや論文等の執筆を精力的に進めており、高く評価できる。

(3) 研究開発が目標に向けて順調に進捗しているか。

- ・ 研究開発の計画にしたがって、目標に向かって順調に進捗していると判断できる。データの解析

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）

に対しては、より詳細あるいは幅広い観点からの考察も重要であると思われる。

- ・各項目における実験的研究、調査を中心に進められており、目標に向けて順調に進捗している。
- ・順調に進捗しているものと判断される。
- ・研究開発が、その目標に向かって順調に進捗している。
- ・研究計画に沿って順調に研究が進められていると判断される。
- ・順調に進捗していると考える。

(4) 総合所見

- ・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、建築研究所による推進が不可欠であり、関係する機関等との連携によって、研究計画の目標に向かって適切かつ順調に進められることを期待する。
- ・本研究は、木造建築物の推進を行う上で、従来取り残されて来た課題を整備するものであり、研究はよく進められているが、かなり広範囲の課題をカバーするものであるため、本年度の研究成果を各課題における最終成果にどのように結びつけるか、具体的に検討しておく必要がある。特に、クリープなど実験に長期間を要する課題については、とりまとめの方針を検討しておく必要がある。
- ・本研究課題は、国の政策や社会ニーズから重要かつ緊急の課題と考えられ、取り組む課題は多義にわたり他分野との連携が必要である。さらに、諸外国においても研究等が実施されている分野でもあり、研究の実施や成果等の普及に関しては、諸外国の関連機関等との連携も考慮する必要がある。なお、本研究開発の成果は構造設計のみならず、広く木質系材料等のさらなる普及、中高層木造建築物の維持管理を含めた耐久性や防火性能の向上に寄与することを期待したい。
- ・CLT等を構造材とする更なる木材の利用促進に貢献できる研究成果が上げられつつあると評価できる。
- ・国産木材の有効活用という観点からも社会ニーズの高いテーマである。また、木造を好む国民性もあり、社会的にも工学的にも非常に成果が期待できる。
- ・建築物における木質材料の有効利用をはかるために極めて重要な研究と考える。特に、CLTの普及に関しては、建築研究所が中心となって市場を牽引する必要がある、今後の研究成果の発展に期待する。

参考：建築研究所としての対応内容

(3) 進捗状況について

「データの解析に対しては、より詳細あるいは幅広い観点からの考察も重要である」との指摘は当然のことであり、今後はより詳細、かつ幅広い観点からの考察を加えていく所存である。

(4) 総合所見

- ・「かなり広範囲の課題をカバーするものであるため、本年度の研究成果を、各課題における最終成果にどのように結びつけるか、具体的に検討しておく必要」との指摘に対しては、(1)の課題については木質複合軸材料の評価業務方法書への反映、(2)の課題については集成材マニュアルの出版、(4)の3)の課題については枠組壁工法建築物の設計の手引き、又は同構造計算指針への反映、(6)の課題についてはCLTパネル工法の構造方法に関する技術的基準への反映を考えている。
- ・「クリープなど実験に長期間を要する課題については、とりまとめの方針を検討しておく必要」との指摘に対しては、長期性能の評価方法として木質複合軸材料の評価業務方法書への反映を考えている。
- ・「取り組む課題は、多義にわたり他分野との連携が必要」との指摘に対しては、これまでも環境

分野、防火分野とも連携しているが、ご指摘を踏まえ、他分野との連携も研究成果として見える形になるよう努力していきたいと考えている。

- ・「研究の実施や成果等の普及に関しては、諸外国の関連機関等との連携も考慮する必要」との指摘についても、経済的資源に限られる中で、可能な限り諸外国とも連携していきたいと考えている。
- ・「本研究開発の成果は構造設計のみならず、広く木質系材料等のさらなる普及、中高層木造建築物の維持管理を含めた耐久性や防火性能の向上に寄与することを期待」とのアドバイスについては、本課題の後半の3年間で取り組んでいきたいと考えている。
- ・「CLTの普及に関しては、建築研究所が中心となって市場を牽引する必要」との指摘については、研究成果を反映した技術的基準の平易性、汎用性を高めることで市場を牽引できる可能性があると考えている。

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。~~