

「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（29年度）

平成30年 3月 5日（月）

建築研究所研究評価委員会

構造分科会長 林 静雄

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「GLT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。GLT（Gross 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、また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像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、蓄積が必要である。

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、GLT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・GLT 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（GLT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GLT構造の普及の阻害要因となっている（GLT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) また 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。

(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の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(サブテーマ3, 4, 5)

(サブテーマ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

(概要) 平成27年度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る4階建以上の木造軸組耐力壁構造の許容応力度等計算に関する構造設計ガイドラインを作成する。

29年度

①許容応力度等計算による大地震時の安全性を保证するための規定の検討

- ・許容応力度等計算で大地震時の安全性を保证するために必要な構造性能について、4層~6層モデルを用いて解析的検討を行い、大地震時の安全性を保证するために必要な規定を検討した。その結果、①耐震要素である耐力壁の構造特性係数(Ds)に対し、層のDsを接合部での変形を考慮して0.05~0.1の割増係数を加えること、②耐力壁は、短期と終局のせん断耐力の比と層のDsを考慮した割増係数を乗じること、③引張接合部は層のDsから想定した終局時の必要性能を考慮して設計すること、④圧縮接合部は、変形抑制の観点から1.5程度の割増係数を乗じること、大地震時の安全性を確保できることを確認した。

②中高層化を実現するための耐震要素の事例収集

- ・中高層化を実現するための耐震要素として2種類の木質ブレースの仕様を検討し、その構造性能を実験により確認した。1つ目は、軸材に集成材(カラマツ同一等級集成材E95-F270)、端部に鋼板挿入ドリフトピン接合を有する仕様(仕様1)、2つ目は、軸材に集成材と丸鋼(ABR490)を直列に併用した仕様(仕様2)である(丸鋼部分には座屈補剛のためのカバー材を設ける)。仕様1は端部の鋼板挿入ドリフトピン接合部分で変形性能を確保し、仕様2は丸鋼部分で変形性能を確保することを想定したものである。

(サブテーマ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

(概要) 4階建以上は法令上保有水平耐力計算が必要となる枠組壁工法及びCLT構造建築物について、許容応力度等計算で設計できる規模(階数)の緩和に向けた検討を行う。

H29年度

①許容応力度等計算による大地震時の安全性を保证するための規定の検討

- ・枠組壁工法について、許容応力度等計算で大地震時の安全性を保证するために必要な構造性能について、6層~8層モデルを用いて解析的検討を行い、大地震時の安全性を保证するために必要な規定を検討した。その結果、①耐震要素である耐力壁の構造特性係数(Ds)に対し、層のDsを接合部での変形を考慮して0.1程度の割増係数を加える事、②耐力壁は、短期と終局のせん断耐力の比と層のDsを考慮した割増係数を乗じること、③引張接合部は層のDsから想定した終局時の必要性能を考慮して設計すること、④圧縮接合部は、変形抑制の観点から1.5~2倍程度の割増係数を乗じること、大地震時の安全性を確保できることを確認した。
- ・CLT工法建築物について、現行法規では3階建までが適用範囲となるルート2の応力割り増し係数について、5階建モデルを用いて限界耐力計算(等価線形化法)による解析的検討を行った。

②中高層化を実現するための耐震要素の事例収集

- ・中高層化を実現するための耐震要素として、目標性能40kN/m(壁倍率換算20倍)として3仕様の耐力壁の実験を行い、その構造性能を実験的に確認した。
- ・CLT構造の耐力壁として利用するCLT壁パネルのラミナ幅(105mm,74mm,124mm)、および内層ラミナの強度(外層M90、内層M60とM30)の違いが面内せん断性能にあたる影響について実験的に確認した。

(サブテーマ5) 中高層木質併用構造等の設計技術の検討

(概要) 中高層木造立面併用構造をはじめとする木造と異種構造の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技術基準及び例示仕様について検討する。

H29 年度

①許容応力度等計算による大地震時の安全性を保証するための規定の検討

- ・立面混構造建築物の大地震時の安全性を許容応力度等計算で保証する可能性を検討するため、上部木質構造と下部 RC 造部分の剛性を変化させた場合の SRSS と A_i 分布の外力分布の比較、および弾塑性応答解析を行った。RC 造がルート 3 相当の場合、中間階で A_i 分布よりも SRSS の外力分布が大きくなる傾向が確認された。

②異種構造接合部等の標準仕様の事例収集

- ・前年度に実施した木質立面併用構造の試設計で提案した、横架材に鋼製梁、耐震壁に CLT (S90-9-9, t=270mm)、引張接合部にテンションロッドを用いた耐震要素の構造性能を実験的に確認した。
- ・中層鉄骨造建築物の耐震要素としての利用を想定した CLT 耐震壁 (5 層 5 プライ、スギ Mx60、接合部：鋼板挿入ドリフトピン接合) の構造性能を実験的に確認し、その破壊性状を確認した (国総研総プロと連携)。
- ・中高層木造建築物での一般的な工法となると考えられるタイロッドを用いた引張接合部の基礎部分の接合方法に関する問題点と対策を検討した。
- ・RC スラブとの併用部分で用いる異種構造間接合部の構造性能を確認する実験を行った (共同研究で実施)。

2. 研究評価委員会 (分科会) の所見 (担当分科会名：構造分科会)

- 1) 地球環境問題への取り組みニーズが高まる中、木造建築物の高層化を含む木材の積極的活用への関心も高まっており、本課題は社会ニーズに適合している。研究開発の計画も具体的である。
- 2) CLT を中心として、公共建築物木材利用促進や大規模木造建物の建設促進など、国策と合致した研究テーマである。規準類の整備などとも相まって、建築研究所が推進すべき重要な研究テーマと判断する。
- 3) 課題ごとに他機関との共同研究を行っており、効率的な研究推進への配慮が為されている。
- 4) 中高層木造建物の構造設計技術に関して、多様な取り組みがなされており、順調な進捗をみせていると判断する。また、多くの機関と連携して成果は十分に上がっていると感じている。
- 5) 順調な進捗が認められる。研究成果として、査読論文、国際会議を含む多数の論文が発表されている。
- 6) 中高層木造建物の普及に役立つような技術資料がまとめられることを期待する。
- 7) 木造建築の中高層化に向けて構造設計分野での研究開発が着実に進んでいると思う。今後、木造建築の普及・促進が課題であるが、異種構造との併用が多くなることも考えられる。併用構造のパターンおよび課題も整理していくことも必要と考える。
- 8) 多くの研究テーマがあり、他機関との連携を十分に図っている。規準やマニュアルの整備も含めて、十分に成果は上がっている。より幅広い研究機関と連携を行うことで、さらに多くの成果が得られると期待する。
- 9) 混構造については、バラエティが沢山あるため、どのような組み合わせが社会からの要望として高いのかなどの調査を行って、優先順位をつけて検討するのが良い。

(参考1) 建築研究所としての対応内容

所見1)～5)について

→特になし

所見6)～9)について

→中高層木造建物の普及に役立つような技術資料がまとめられるように引き続き努力する。

併用構造の構造設計技術の開発については、併用構造のパターンおよび課題も整理していく。

また、より幅広い研究機関と連携してさらに多くの成果が得られるように努める。

(参考2) 29年度の進捗・達成状況(サブテーマ1,2,6)

(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

(概要) 木造建築物の中高層化を実現するために、木質複合軸材料、並びに異種材料とのハイブリッド部材を対象に、構成要素の品質や性能から、部材の性能を推定する手法を実験等と解析の両面から検討し、当該部材の設計規準強度を与える、若しくは誘導する技術資料を作成する。

29年度

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次モード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継続した。

(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

(概要) 集成材建築物の各構造様式(引きボルトによるものを除く)に対して、構造特性係数 D_s を解析的に検討して定め、また、階数に応じて外力や各部の応力を割り増す必要性の有無等について解析的に検討し、「大断面集成材建築物設計・施工マニュアル」の改訂を目標とする。

29年度

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3月末までに解析的に算出する。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3月末までに

精査する。

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 3 月末までに解析的に算出し、集成材厚板パネルの構造利用の可能性を検討する。
- ・ 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 1 mm 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。

(サブテーマ 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

3) 6 階建て枠組壁工法実験棟における各種性能評価

- ・ 鉛直荷重に対する性能検証として、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。
- ・ 水平力に対する性能検証として、強震観測を継続した。
- ・ 建具の性能検証として、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。
- ・ 屋上及びルーフバルコニーの防湿脱気性能の検証として、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。

(サブテーマ 6) CLT パネル構造の仕様書規定の検討

(概要) 前研究課題や本省補助事業で整備してきた構造基準等について、その適用範囲を拡げるための技術開発、並びに業界等から強く要望されている仕様書規定の整備を行う。

29 年度

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 3ply 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 (3 月末までに) 行って推定方法を検証する。

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 (3 月末までに) 検討する。

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。

- ・ 建築物内で表し使用した GLT パネルの寸法変化挙動の測定・・・測定継続
- ・ 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
- ・ 強震観測・・・測定継続
- ・ 居住性の評価（温熱環境）として、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。
- ・ 測定施工時の降水の脱湿挙動測定として、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。

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。