

「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 (28年度)

平成29年2月24日(金)

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「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(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、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(CL T 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CL T 構造の普及の阻害要因となっている(CL T 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) 28年度の進捗・達成状況(サブテーマ3, 4, 5)

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。

28年度

①構造システムの検討及び中層化に伴う課題点の抽出

- ・現実的な内外装材仕様を想定した6階建モデル(共同住宅)を設定し、外力計算、耐力壁仕様、接合部仕様を検討した。
- ・モデルプランを用いて、許容応力度等計算、保有水平耐力計算を行い、両計算における耐力壁の必要性能と壁頭壁脚部の部材・接合部の必要性能を確認した(検討したケースでは、耐力壁の短期と終局の比は2倍程度、壁頭壁脚部の部材・接合部の必要性能の比は3倍程度)。

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木造軸組耐力壁構造の耐力壁の事例収集を実験により収集した。まためり込み変形に対する補強方法も検討した(共同研究で実施)。

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。

H28

①構造システムの検討及び中層化に伴う課題点の抽出

- ・枠組壁工法建築物について、現実的な内外装材仕様を想定した6階建および8階建モデル(共同住宅)を設定し、外力計算、耐力壁仕様、接合部仕様を検討した。同モデルプランを用いて、許容応力度等計算、保有水平耐力計算を行い、両計算における耐力壁の必要性能と壁頭壁脚部の部材・接合部の必要性能を確認した(検討したケースでは、耐力壁の短期と終局の比は2倍程度、壁頭壁脚部の部材・接合部の必要性能の比は3倍程度)。
- ・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、4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

- ・枠組壁工法の中高層化を実現するための枠組壁工法耐力壁構造の耐力壁の構造性能に関する情報を実験により収集した(共同研究で実施)。
- ・CLT構造建築物の中高層化を実現するためのCLTの材料性能(スギ幅広・幅狭、カラマツ、トドマツ)に関する情報を実験により収集した(共同研究および委託研究で実施)。

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。

①構造システムの検討及び中高層化に伴う課題点の抽出

- ・木質系混構造の規基準の規定を整理した。
- ・現実的な内外装材仕様を想定した6階建および8階建モデル(共同住宅)を設定し、外力計算、耐力壁仕様、接合部仕様を検討した。
- ・6階建(1, 2階RC、上階CLTおよび全層CLT。但し横架材は共にS梁)および8階建(1~4階RC、上

階 CLT および全層 CLT。但し横架材は共に S 梁) のモデルプランを用いて、許容応力度等計算および保有水平耐力計算を行った。全層 CLT+S 梁仕様で、5 層 7 プライ、強度等級が Mx90 以上の CLT で概ね設計可能であることを確認した。

②異種構造接合部等の標準仕様の事例収集

・異種構造接合部や木造建物に RC スラブを併用する方法等の事例を文献調査により収集した。

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) 他機関との関係等、効果的かつ効率的な研究のため、また技術的支援や普及のために積極的に情報発信を行ってほしい。また、研究の進捗にあわせて、住宅メーカー(コンソーシアム)との実用化研究に進むとよい。”
- 2) 昨年度までは外部資金との関係が示されていましたが今年度は示されていなかったため、外部資金を獲得することも、成果の一部のように思う。
- 3) この分野の研究者の育成と技術開発結果の社会実装のため環境整備が望まれる。
- 4) ゼネコン各社では耐火集成材等の開発も積極的に行われている。あまり CLT に偏ることなく検討をすすめてほしい。
- 5) 国産材使用の CLT パネル構法の普及に資する成果を期待している。
- 6) 木造中高層の実現には解決すべき課題が多く、時間がかかると思われる。そのためにも、日本の木材の利用促進の観点からの、やや消極的な目的に基づく研究ではなく、木材の利点を前面に打ち出した説明が必要と思われる。

(参考1) 建築研究所としての対応内容

所見1)、2)について

→積極的に研究成果の情報発信を行っていくよう心掛ける。

また他機関との連携について、共同研究以外にも情報提供および情報交換している機関等も示す。外部資金を獲得する点で引き続き努力する。

所見3)について

→特になし

所見4)、5)について

→研究対象が一工法に特化することなく、中高層木造建築物の設計技術に関する研究を行っていく。

所見6)について

→研究課題設定の説明として、木材の利点も強調するように努力する。

(参考2) 28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。

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

10 階建て程度のポストアンドビームによる木造建築物を想定し、複合部材に関する技術的課題を抽出した。

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

(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。

①中高層木造建築物への構造性能要求事項の整理

10 階建て程度のポストアンドビームによる木造建築物を想定し、その構造関係技術的課題を抽出した。

- a) 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)
- b) 接合部の終局(≠降伏)挙動の推定方法
- c) 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)環境における曝露試験(下図)を開始した。また、既にマッシュティ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 におえる B 種)との差異を検証するため、それらのパネルも同時に曝露実験に供した。

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。

③6 階建て枠組壁工法実験棟における各種性能評価

- a) 鉛直荷重に対する性能検証
- b) 水平力に対する性能検証
- c) 建具の性能検証

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。

28年度

①仕様規定用 CLT パネルに関する技術資料の収集

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、異等級構成スギ CLT (Mx60) のラミナ特性を、非破壊および微少破壊試験装置を用いて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。このため、外層にはホワイトウッド L60、内層には L30 の規程に該当するめり込み実験用 CLT を製作する。

CLT (Mx60) のヤング係数の分布 めり込み実験 (中央加力)

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 名以上についてアンケート、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。また、接合部の設計に必要なパラメータとして、CLT の材料めり込み試験を行った。

③CLT パネルによる構造の仕様書規定の策定方針の検討

仕様書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。

④CLT 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 (1016 年 4 月～2017 年 1 月で見学者 2, 517 名) 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収集を行っている。

- a) 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
- b) 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
- c) 気密性能
- d) 空気質測定

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、緩やかにではあるが絶対湿度についても低下傾向が確認された。

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。