

## 第8章 まとめ

## 8.1 平成 25 年度事業における検討結果

平成 25 年度事業においては、以下の（イ）～（ニ）の課題について実験的及び解析的検討を行った。

- （イ）材料組成に応じた CLT パネル及び接合部の強度特性に関する調査
- （ロ）建築物の規模・用途等に対する CLT 構法の適性に関する調査
- （ハ）実大架構の耐震性能に関する調査
- （ニ）震動台実験試験体の試設計

本報告書の第 2 章では、（ロ）建築物の規模・用途等に対する CLT 構法の適性に関する調査、すなわち、CLT 建築物の躯体を構成する CLT パネルの配置および CLT パネル相互の接合方法等の構法について、建築物の規模・用途等に対する適性に関する検討を行った結果についてとりまとめている。

ここでは、まず先行する欧米の事例および H24 年度までに実施された構造実験試験体等を参照して、CLT 建築物の構法の類型化を行った。パネルサイズや臥梁の有無、建築物の用途による開口部の大きさなどを検討した上で、解析的検討により、小幅パネルを用いた場合は高靱性で 5 階建て程度の建築物が可能であること、大型パネルは高耐力・低靱性で 3 階建てくらいまでの建築物に適していることを確認した。

また、構造設計法の素案として、簡易モデルを用いた弾塑性増分解析により限界耐力計算または保有水平耐力計算を行う設計法 C、同様に簡易モデルを用いた弾性解析により許容応力度等計算を行う設計法 B、全面壁のみを考慮して壁量計算に近い簡易設計法とする設計法 A とから成る設計体系の提案を行った。

第 3 章では、（イ）材料組成に応じた CLT パネル及び接合部の強度特性に関する調査の一環として、材料組成をパラメータとした CLT パネルの曲げ性能確認に関する実験的検討、および CLT パネル相互の効率の良い接合部の一つと考えられる引きボルト接合における端距離・縁距離の影響に関する実験的検討の結果をとりまとめている。

パネルの曲げ試験は、CLT パネルを構成するラミナの品質制御の方法を、直交積層板の日本農林規格の A 種とした場合、B 種とした場合、曲げ弾性係数が一定の幅に収まるよう管理した場合、密度が一定の幅に収まるよう管理した場合の 4 種類としてパネルの面外曲げ試験を行った。その結果、曲げ弾性係数の管理を行った場合や日本農林規格 B 種において、日本農林規格 A 種や密度管理を行った場合に比べて、曲げ強度の個体差が小さくなる傾向が確認された。

また、引きボルト接合部の端距離、縁距離の影響に関する実験の結果では、縁距離が小さい場合にラミナの引張破壊が生じ、その際にフィンガージョイントの影響があり得ること、無視できないこと、座金直下の木部が降伏する際に多くの場合、座金の傾斜が生じることがわかった。これらの実験結果に基づいて、降伏耐力や最大耐力の算定式の素案を作成した。

第 4 章では、（イ）材料組成に応じた CLT パネル及び接合部の強度特性に関する調査、および（ハ）実大架構の耐震性能に関する調査の一環として、開口を有する大型パネルの開口部入隅を抽出した形の L 形・T 形パネルについて、水平加力実験を行った結果をとりまとめている。有開口パネルの脆性的な破壊である開口部入隅での破壊について、有限要素法による解析との照合を行い、解析の妥当性を検証するのが主たる目的である。

試験体は、L 形パネル、T 形パネルとも、理論的な検討に基づき、パネルの縦材と横材の材せいの比が、縦材（柱）または横材（梁）のいずれかに曲げ破壊が生じる際に、パネルゾーン（交

差部)のせん断応力度が最大となるようなプロポーションとしている。その上で材せいをL形パネルは3段階、T形パネルは4段階に設定した。

実験の結果、L形パネルでは横材の曲げ破壊が多く見られたが、押し側加力(Lが閉じる方向への加力)時にパネルゾーンのせん断破壊を生じたものもあった。T形パネルでは横材、または縦材の曲げ破壊が多く見られたが、パネルゾーンでの破壊を伴う場合もあった。

第5章では、(イ)材料組成に応じたCLTパネル及び接合部の強度特性に関する調査、および(ハ)実大架構の耐震性能に関する調査の一環として、長さ4mから6mの一層の大型有開口パネル、およびこれらを2層に配置した2層構面(2層目には無開口パネルを配置した場合を含む)について、水平加力実験を行った結果をとりまとめている。

これらの大型有開口パネルの実験により、荷重変形関係と破壊形態、接合部配置の影響などを把握した。破壊は主に開口部入り隅での横材の曲げ破壊であり、靱性に乏しい荷重変形関係であることが改めて確認された。

第6章では、平成24年度に行われた大型有開口パネルの水平加力実験、第4章、第5章で述べたL形・T形パネルおよび大型有開口パネルの水平加力実験の結果に対し、有限要素法や簡易モデルを用いた解析による荷重変形関係、最大耐力予測との結果を照合し、解析の妥当性の検証を行った。その結果、有限要素法による解析結果の剛性とラミナの曲げ強度を用いたパネルの最大耐力予測は、一部を除いて実験結果と良い一致を示した。また、パネルゾーンをせん断要素とし、縦材・横材に曲げ要素を用いた簡易モデルによる剛性・耐力も有限要素法と近い結果を与えることがわかった。

第7章では(ニ)震動台実験試験体の試設計として、上記(イ)~(ハ)による知見に基づき、次年度以降に実施を想定する、実大架構の終局耐震性能確認を目的とした震動台破壊実験に供する試験体の検討結果を述べている。震動台実験の試験体としては、小幅パネルを用いた5層の試験体と、大型パネルを用いた2層の試験体の2種類が検討されている。

## 8.2 今後の展望と課題

今年度までの検討で、CLTを用いた構造として我が国での耐震設計を考えた場合に、大別して2種類の構造形式の可能性があることが示された。ひとつは、鉛直構面に幅1m程度の小幅パネルを、壁、垂れ壁、腰壁として引きボルト接合等で接合するもの、ひとつは、鉛直構面に長さ6m程度の大型有開口パネルを用い、上下の引張接合に引きボルト等の接合を用いるものである。いずれの場合も、水平方向のせん断接合には鋼板ビス接合を用いることが考えられる。

耐震性能の観点から構造特性の特徴を整理すると、まず、小幅パネルの組合せの場合には、壁パネルの上下に設けた引張接合部の変形によって壁パネルが回転し、層間変形角が増大することから、比較的靱性に富んだ構造を実現することが可能である。一方、大型パネルでは、引張接合部の変形によるパネルの回転では大きな層間変形角が得られず、代わりに開口部の入り隅部分でパネルの脆性的な破壊を生じやすいため、靱性に期待しない強度型の設計がふさわしいと考えられる。またこのことから、小幅パネルは4階建て、5階建てなどの中層建築物、大型パネルは2階建て、3階建ての低層建築物に向いていると考えられる。これは、本報告書の第2章でも解析的な検討を加えて述べた通りである。ただし、もちろん、小幅パネルを用いて低層建築物を設計することも可能であり、大型パネルで中層建築物が全く設計不可能であるということではない。

これらの構造形式を念頭に置きながら、構造設計法の検討を進めるとすると、小幅パネルについては、パネルの剛性と接合部の荷重変形関係を用いて鉛直構面のモデル化を行い、荷重増分解析を行うこととすれば、限界耐力計算などの高度な設計法の構築は比較的容易に可能である。

一方、大型有開口パネルについては、様々な形状寸法のパネルについて開口部入り隅部分での破壊が生じる際の耐力を把握することが必要となる。有限要素法などの高度な解析で求めることは可能であるが、実務設計用には本報告書の第 6 章で述べたような簡易モデルが必要となろう。こうしたモデルを用いて荷重増分解析を行い、パネル破壊が生じないような範囲で強度型の設計を行うことが考えられる。あるいは、パネル仕様を狭い範囲に限定して最大耐力と変形量をあらかじめ求めておき、設計に用いるという方法も考えられる。設計の自由度は制限されるが、簡易設計法として考えられる方法である。

今後の設計法の開発手順としては、限界耐力計算により詳細に細部を検討する設計法 C（設計法 A,B,C については第 2 章参照）をまず作成し、これに基づいてあらかじめ計算を行って検定内容を簡素化し、許容応力度等計算だけでも安全性が確保される設計法 B、あるいは仕様を限定して壁量計算的な確認により安全性を確保する設計法 A の内容を検討していく、という手順が妥当と思われる。

鉛直構面の CLT パネルの厚さについては、これまで主として中層建築物を念頭に置いて 5 層 5 プライの 150mm 程度のパネル厚さを主に検討してきたが、3 階建てまでの低層建築物では、3 層 3 プライも可能性があると思われる。3 層 3 プライのパネルの構造特性、とりわけ大型有開口パネルの構造特性は、今後、低層建築物の合理的な設計、壁量計算的な簡易設計法を考える上で、検討が必要な課題である。

また、CLT パネルのみで構成される構造以外にも、集成材の梁などを併用した構造とすることは十分に考えられる。例えば掃き出し開口については、まぐさとして集成材を用いることが考えられるし、CLT パネルの床で十分なスパンが飛ばせない場合に、集成材の梁を併用することも考えられる。限界耐力計算などの高度な構造設計法の検討においては、こうした他の材料との併用構造の可能性も念頭に置いて検討を行う必要があると思われる。

さらに、実際の建築物の設計を考えると、燃えしろ計算などの防耐火設計との関係、設備配管や配線の問題など、様々な条件を考慮して適当な構造形式を選択することになる。こうした問題点は、試設計や、実際の建築物の設計事例などによって整理し、より実現性の高い構造形式を検討の俎上に載せていく必要がある。