

第13章 まとめ

13.1 まとめ

本事業では、鉛直荷重と水平力の双方を CLT 壁パネルが負担する構造を対象として、許容応力度計算、許容応力度等計算、保有水平耐力計算、限界耐力計算の各計算ルートに対する設計法素案の提案に向けた検討を行った。

はじめに CLT による構造の設計法素案構築に向けた検討課題について、構法、材料、応力変形計算、検定方法等について整理し、必要な構造実験を設定した。

実施した具体的な実験的検討の内容と得られた成果は次のとおりである。

まず CLT パネルの破壊に関する検討課題として、大判パネル開口部隅からの亀裂発生と、壁パネル脚部の圧縮破壊がある。

大判パネルについては、開口部隅からの亀裂の発生を構造計算に基づいて検定可能であることが重要であり、そのため L 形、T 形の試験体を用いた開口入隅部の引張破断強度確認実験およびその解析により、計算式の妥当性の検証を行った。(第 3 章)

また、大判パネル、小幅パネルともに脚部の圧縮破壊についての検討が必要であり、応力状態と圧縮破壊発生の実態を把握し、適切な計算方法を検討するため、壁パネル脚部隅角部の静的な局部的圧縮強度実験を行った。その結果、引きボルト穴の影響、軸力の影響、壁長の影響が明らかになった。(第 4 章)

次に、実際の建築物の設計を想定すると、梁受け金物の接合部設計、壁パネルを床パネルで受ける場合の床パネルの計算上の協力幅、設備小開口がパネルの剛性耐力に及ぼす影響などの課題がある。

接合部に関しては、梁受け金物等を想定して CLT 鋼板ボルト接合部の一面せん断実験を行い、ヨーロッパ型降伏理論を CLT 断面に対して適用することにより、概ね実験結果と適合することが明らかとなった。(第 5 章)

一方、高度な計算を用いる計算ルートにおいては、CLT 耐力壁が CLT 床パネルの面外曲げによって支持される場合も考えられるため、CLT 床パネルの面外曲げ試験に基づいて、構造計算上の床パネル協力幅についての検討を行った。(第 6 章)

また、現実の構造設計において問題となるであろうと予測される設備小開口の影響について、小開口を有する CLT パネルの曲げ試験及びせん断試験と、解析による検討を加えた。その結果、曲げに対しては小開口が縁から一定の距離だけ離れれば有効断面に対する断面係数を用いることで安全な設計が可能であること、せん断に対しては有効断面積を用いた推定に一定の安全率を乗じることで安全な設計が可能であることが明らかとなった。(第 8 章)

建築物の耐震設計に関しては、地震時挙動の解明、構造計算結果との照合が課題となる。

建築物の地震時挙動を規定する主要な要素である CLT パネル・接合部について、地震時挙動の把握のため、引きボルト接合部及び鋼板ビス打ち接合部の動的効果確認実験を行った。その結果、接合部については比較的大きな速度依存性が認められたが、接合部を含む耐力壁の挙動としては、速度効果は顕著には現れないという結果を得た。(第 7 章)

また、構造物全体の地震時挙動の把握と、構造計算の妥当性の検証を目的として、3 棟の 3 階建て試験体に対する実大震動台実験を行った。試験体は大判パネルを用い、開口部隅からの亀裂発生を許容しない設計による C 棟、大判パネルを用い、開口部隅からの亀裂発生を許容する設計による D 棟、小幅パネルを用いた E 棟である。いずれも実態性能において、建築基準法が想定する大地震動に対して安全限界ぎりぎりに達する性能を意図して設計された。いずれも計算上安全限界に達する恐れのある入力である人工地震波 (C 棟長辺 BSL60%、短辺 BSL50%、D 棟・E 棟

長辺 BSL70%、短辺 BSL60%) に対しては、脚部ボルトの降伏などわずかな損傷にとどまった。また、建築基準法で想定する大地震動に相当する BSL90%に対して、最大層間変形角で C 棟 1/102 ラジアン、D 棟 1/28 ラジアン、E 棟 1/34 ラジアンと各試験体の安全限界に収まり、JMA 神戸 100% に対しても倒壊を免れる結果であった。これにより構造計算の妥当性が確認できたことに加え、計算で得られる荷重変形関係に比べて、特に C 棟では高い靱性が認められる結果であった。(第 9 章)

これまでの検討結果を踏まえて、接合部試験・評価方法案(第 10 章)を示すとともに、CLT による構造の設計法素案の検討(第 11 章)を行った。

設計法素案の特徴としては、許容応力度等計算において、標準的な壁パネル配置や接合部等の仕様を想定した上で、中地震動に対する構造計算の検定時に、大地震動時の安全性確保のため、CLT パネルや接合部の応力割り増しを行うことを盛り込んだことが挙げられる。また、許容応力度計算においては、パネルの許容せん断耐力を用いた壁量計算で水平力に対する設計が可能となる方法を示している。保有水平耐力計算では、パネル構成の種類に応じて、保有水平耐力計算で必要となる構造特性係数 D_s の数値を提案している。これらの設計法素案は、想定するパネル配置で壁幅や開口幅を変化させた数多くのシミュレーション結果に基づいて、各数値の提案が行われたものである。

提案する設計法に従って、構造設計事例として、許容応力度等計算、保有水平耐力計算の設計事例を示し、許容応力度計算、限界耐力計算についてもその考え方を示している。(第 12 章)

13.2 今後の課題

平成 27 年度の検討により構造の設計法素案の提案に至った。しかしながら、より合理的な構造設計や、保有水平耐力計算や限界耐力計算における構法のバリエーションの拡大を考えると、今後の課題が少なからず残されている。以下、設計法の全体像に関する課題、構造モデル化に関する課題、材料強度に関する課題等に分けて、今後の課題を整理する。

1) 設計法の全体像に関する課題

CLT 構造として、建築物の規模や用途に応じて、最適な構造方法とはどのようなものであるかについて整理を深める必要がある。これまでの検討で、鉛直構面に小幅パネルを用いた構法、大版パネルを用いた構法、大版パネルを用いた構法でも、開口部隅からの亀裂を許容する場合と許容しない場合のそれぞれが提案されている。その他に、小幅パネルと大版パネルを併用した構法や、頭繋ぎを全体に回す構法、さらには集成材柱梁構造との併用、鉄筋コンクリート構造など他構造との併用といったバリエーションも考えられる。これらの構法は、限界耐力計算などの高度な計算であれば、これまでの検討による知見を活用して構造設計も可能であると思われるが、実験や解析による確認は現状では不十分であると言わざるを得ない。

一方、壁量計算のような簡易な設計法については今回の検討の中では扱っていない。構法仕様を限定した上で解析的検討により、実用的で簡易な設計法の構築が望まれている。

2) 構造モデルに関する課題

構造モデルに関する課題としては、摩擦の考慮、直交壁の考慮などが挙げられる。

CLT 構造についての当初の解析結果では、実験結果よりもかなり剛性の低い結果が得られており、その後、摩擦等を考慮してせん断接合部の剛性を大きくすることで良い適合を得ることとなった。実務設計においてどれだけの摩擦を見込むことができるかは要検討事項である。

また、直交壁による鉛直方向の拘束効果も、鉛直構面の剛性耐力の計算に影響が大きいこともわかっている。どのような条件の下でどれだけの直交壁効果を加えることができるかについて、目安となる方針が必要と思われる。

3) 材料強度に関する課題

構造設計に用いるべき材料強度は、使用する計算モデルによっても変わる可能性があり、設計法素案の検討の中では、有限要素法やフレームモデルにおいて、既往の知見による材料強度を用いた検定方法について検討が加えられている。一方、林野庁の補助事業等で曲げ強度、せん断強度などの CLT の各種強度に関する検討が進められ、基準強度等の数値が告示案として出されている状況である。検定に用いる応力算定方法に問題がないかどうか、これらの数値に関連して、一応の確認が必要となろう。

その他、開口部隅から発生する亀裂や設備小開口の影響については、大局的には有限要素法モデルによる応力や、フレームモデルによる曲げと軸力の複合応力を考えて検定を行えば大過ないという検討結果が示されている。しかしながら、例えば開口部隅からの亀裂に関して、実際にはパネルゾーンでの 3 次元的な変形が生じて、単純な問題ではないことがわかっている。これらの詳細な検討も今後の課題として残されている。