

第7章 まとめ

本事業に先立ち、CLT パネル工法・鉄骨梁勝ち小幅パネル架構への適用を前提として、RC 造の鉄筋継手に用いられるスリーブジョイントを応用したグラウトジョイント(既往接合部)が開発されている。この既往接合部は 10 階建てにも対応可能な構造性能を有するが、適用可能な CLT 壁パネルは 7 プライ(210mm 厚)以上であり、壁上下の引張接合ボルト径が M36 であるため、需要のボリュームゾーンである 4,5 階建て程度の中層建築物に用いるにはやや過剰な仕様である。

本事業では、中層建築物に適したグラウトジョイント(新接合部)の開発を目指し、下記の 3 つの目的に対応する検討を行った。

- 1) 中層木造建築に適した新接合部仕様の検討
 - ✓ CLT パネルの最適化(CLT 厚 210mm → 150mm)
 - ✓ ボルト径の最適化(M36, ABR490 → M27, ABR490), D25, SD345)
 - ✓ 既製品スリーブの活用, オリジナルスリーブによるコンパクト化
- 2) 新接合部に対する構造性能の実験的検証
- 3) 新接合部の実用性検証 (5 階建てモデルプランの構造試設計)

本報告書各章の内容は以下のように要約される。

「第 2 章 架構・接合部構成の仮定」では、目的 1)に対応し、既往接合部に対して、4,5 階建て程度の中層木造建築に適した新接合部の仕様と、それを適用する架構の構成について検討した。そこでは、架構形式を 150mm 厚の CLT 壁パネルを用いた鉄骨梁勝ち小幅パネル架構とし、新接合部としては既製品スリーブの適用、ボルトの小径化、異形鉄筋の利用を含め、適用の可能性のある構成・仕様として、既製品スリーブを用いた接合部(スリーブ接合)およびグラウトモルタルを介して直接 CLT 壁パネルにボルト・異形鉄筋を定着する接合部(CLT グラウト接合)の 2 種類を設定した。

「第 3 章 ボルト径・鉄筋径上限値の検討」では、目的 1)に対応し、第 2 章で提示した GJ 接合部に用いるボルト及び異形鉄筋について、S90-5-5(150mm 厚)の CLT 壁パネルを先行破壊させないことを条件とした径の上限値を検討した。結果として、ボルトは M27(ABR490)、異形鉄筋は D25(SD345)を上限とすることとした。

「第 4 章 オリジナルスリーブの設計」では、目的 1)のうち「オリジナルスリーブによるコンパクト化」に対応して、既製品スリーブを参考として材料・形状を設定した。オリジナルスリーブの製造には鋳造に関する検討が必要となり、相応の期間を要するため、本事業ではソリッドモデルを用いた非線形 FEM 解析により構造性能を検証した。結果として、ボルトの引張応力度が M27(ABR490)の上限規格強度に達するときのオリジナルスリーブの最大応力度は規格降伏応力度を十分下回ることを確認した。

「第 5 章 性能確認実験と設計用特性の設定」では、目的 2)に対応し、第 2 章及び第 3 章で設定した部材構成による新接合部に対して、以下に示す実験①～③により構造性能を検証した。

- 実験①:既製品スリーブ継手引張実験
- 実験②:CLT グラウト接合の要素実験
- 実験③:新 GJ の性能確認実験
 - 鋼板挿入ドリフトピン接合部の引張実験
 - CLT グラウト接合の引張・圧縮実験

- スリーブ接合・CLT グラウト接合の圧縮実験
- スリーブ接合・CLT グラウト接合のせん断実験
- 異形鉄筋アンカー引張実験

実験①では、既製品スリーブは異形鉄筋を定着するために開発されたものなので、異形鉄筋に代えてボルト・ナットを用いる場合の定着性能(引張耐力)とグラウト充填性の他に、施工誤差によりボルト・鉄筋がスリーブに対して偏心する場合の性能を確認した。また、スリーブ内径に対するナットのクリアランス確保のために鋼管を加工した丸ナットを用いた試験体を対象に含めた。実験の結果として、グラウト充填性はすべての試験体において良好であった。丸ナットを用いた試験体では定着長の範囲に設けるナット数をパラメータとしたが、ボルトの先端に 1 個存在すればボルトの上限規格破断耐力を上回る引張耐力を示した。また、ボルト・鉄筋の偏心は引張耐力に対して特段問題となる影響はないことが確認された。

実験②は、CLT グラウト接合に対する予備の実験として実施した。CLT グラウト接合では CLT パネルの定着部にコブ状の掘り込みを設ける。実験②では必要なコブの数を決定するためにコブ 1 節当たりの引張性能を確認した。本実験結果に基づいて、ボルト M27(ABR490)及び異形鉄筋 D25(SD345)の上限破断耐力に対して必要なコブの数を 6 と設定し、実験③の試験体に反映した。

実験③では、スリーブ接合と CLT グラウト接合を対象として、引張・圧縮・せん断の各実験を実施し、接合部性能を確認した。スリーブ接合を構成するスリーブ継手部分の引張性能は実験①で確認されており、実験③ではそれに直列に接続する鋼板挿入ドリフトピン接合部の引張性能を確認した。結果として、一部の試験体に CLT の集合型せん断破壊が生じたが、実際の接合部ではせん断破断面が長いことにより、そのような破壊は生じないと考えられ、接続するボルト・鉄筋の破断耐力を上回る終局引張耐力を有すると判断された。CLT グラウト接合のうちボルト M27(強度区分 8.8)を用いた試験体ではボルト先端のナット定着部でグラウトモルタルに割裂が生じて脆性的な性状となった。鉄筋 D25(SD345)を用いた検体では鉄筋の降伏が先行して安定した性状を示したが、引張変形が 15~20mm 程度に達した時点でグラウトモルタル全域にわたって割裂が生じて耐力が低下した。本接合部の終局引張耐力と変形能力については今後慎重に検討する必要がある。

圧縮実験及びせん断実験では、試験機の上限荷重を超える性能を示したため、接合部の終局耐力性能・破壊性状が確認できなかったことが課題として残った。

異形鉄筋アンカー引張実験では、最大耐力が鉄筋 D25(SD345)の破断耐力に到達せず、定着フック部分近傍に降伏・変形が生じたと推察されたが、終局時の伸び率は 10%程度で、CLT パネル工法に用いるアンカーボルトの必要性能をほぼ満足した。

また、実験結果に対して論文等による設計式を適用した場合の耐力評価値(材料強度による強度、剛性等)を比較検証し、構造設計に用いるための接合部耐力性能として提示した。

「第 6 章 新接合部を用いた架構のプラン対応力の確認」では、目的 3)に対応し、標準的と考えられる 5 階建て集合住宅プランを対象として、第 2 章で設定した架構方法と新接合部による躯体構成を設定し、ルート 3・保有水平耐力計算を行い、その成立性および問題点等を確認した。ここでは、第 5 章による接合部の設計用特性を適用した立体フレームモデルを用い、地震力に対しては荷重増分解析により、許容水平耐力、層間変形角、保有水平耐力および構造特性係数 D_s 等を評価した。

結果として、短期許容水平耐力と保有水平耐力のいずれも必要値を上回ること、短期許容水平耐力時の CLT 壁パネルの平均負担水平力は X 方向で 77kN/m、Y 方向で 70kN/m、保有水平耐力時では 163kN/m、Y 方向で 189kN/m であること、したがって 5 階建て集合住宅プランの成立性があることが確認された。

一方、上記の結果は、接合部の実験で破壊性状まで確認できていないせん断性能については保有水平耐力時の決定因子には含めないことにし、圧縮性能については終局変形を仮定した場合のものであり、接合部の性能として以下に示す必要性能を満足することを確認する必要がある。

・必要終局せん断耐力

本検討では、接合部の終局せん断力を実験で確認された最大荷重(試験機の加力範囲の上限である200kN)を採用して検定した結果、検定比が1.37であり検定を満足しないことから、必要終局せん断耐力は274kN(=200kN×1.37)以上であることが確認された。

・必要終局圧縮変形

本検討では、接合部の終局圧縮変形を8.5mm(実験での最大耐力時の変位の2倍程度)を採用して検定した結果、接合部の終局圧縮変形が保有水平耐力時の決定因子であることが確認され、必要終局圧縮変形は8.5mm以上であることが確認された。

以上のように、5階建てモデルプランを対象として保有水平耐力計算による耐震性能検定を行った。建物全体の水平耐力は必要値を満足したが、第5章の実験により終局性能が確認できなかった接合部の一部に検定を満足しない箇所が見られた。それらについては、今後、終局性能を確認するための実験を行う必要がある。また、特に建物平面短辺方向の鉛直構面について、壁パネルの割付け等の部材配置を調整することによる応力低減の余地は残されている。