

クロス・ラミネイティド・ティンバーによる構造の耐震性能に関する研究 その11 まとめと今後の課題

正会員 ○榎本 敬大*¹ 同 津田 千尋*² 同 中川 貴文*³
同 三宅 辰哉*⁴ 同 御子柴 正*⁵ 同 五十田 博*⁶
同 河合 直人*⁷ 同 岡部 実*⁸ 同 安村 基*⁹

引きボルト グルード・イン・ロッド 鉛直構面
変形能力 最大耐力 繊維方向

1. はじめに

幅 1 m の CLT パネルを壁パネル、まぐさパネル（以上、厚さ 150 mm）、及び床パネル（厚さ 180 mm）に使用した建築物について、接合部実験（その 3）、並びに鉛直構面の水平せん断実験（その 4）を実施した。この結果に基づいて設計した 3 階建てのモデル試験体（5 階建てを想定して最上部に約 350 kN の重量を付与し、総重量約 700 kN）の振動台実験を実施した結果（その 5～10）について、前報まで 10 編にわたって報告した。本報では、これらを総括して、現在得られている結論を述べる。

2. 接合部実験

約 50 体の引張接合部実験から、以下の結論が得られた。

- 1) 引きボルト式の接合部の耐力は、現在の組み合わせではボルトの座金のめり込みの耐力で決まる。
- 2) 座金のめり込み耐力は、その応力と繊維が平行である層の縦方向のめり込み耐力と相応する。
- 3) 表層の繊維方向が引きボルトの応力方向と直交する場合の耐力は、表層繊維が平行する場合よりも低くなる。
- 4) グルード・イン・ロッド（以下、「GIR」と称する）による接合部の耐力及び剛性は、引きボルト式の接合部よりも高い。
- 5) GIR による接合部の耐力は異形棒鋼に隣接する層の繊維方向の差異に影響を受け、引きボルト式の耐力は繊維平行層の面積に影響を受ける。
- 6) 木部で破壊させた場合の接合部の変形能力は、接合方法に寄らず、個体差が大きい。

3. 鉛直構面のせん断実験

計 7 体の構面実験から、以下の結論が得られた。

- 1) 本報一連の鉛直構面のせん断性能は、接合部の性能から概ね推定できる。
- 2) 引きボルト式、GIR による接合部、もしくはそれらの併用（まぐさ側を引きボルト、壁パネル側を GIR）では、併用した構面が最も大きな最大耐力を示したが、それぞれに大差なく 195～203kN の範囲である。（全ての試験体の破壊が 1 層の脚部で発生したため）
- 3) 引きボルトと GIR の接合耐力差ほど、構面の耐力に

差はない。

- 4) Py と初期剛性については GIR による構面が最大であるが、変形性能は最も低い。
- 5) 引きボルトによる接合部の構面は初期のスリップが大きく、加えて、Py と初期剛性は他仕様の構面に比して小さいが、変形性能を大きくできる。
- 6) 腰壁の付加により最大耐力は 20～30% 程度増加するが、変形性能は低下した。
- 7) 引きボルトによる接合部の構面はスリップにより繰り返しループの等価粘性減衰性能は比較的小さいが、これに比して、他接合仕様試験体のその性能は大きい。
- 8) 壁パネル脚部の表層ラミナが剥離しても、構面全体の耐力低下は限定的（著しい耐力低下には至らない）であるが、構造計画上せん断抵抗を企図したコの字型の金物が構面全体のモーメント抵抗を負担し、構面の水平耐力は概ね継続的に発揮していた。コの字型金物が降伏または破断するとロッキング挙動が主となるが、このときの構面全体の耐力は（載荷がないため）ほとんど無い。
- 9) 引きボルトによる CLT 壁—まぐさ構面の水平せん断性能（図 1）は、筋かい耐力壁¹⁾（図 2）や引きボルトによる集成材フレーム¹⁾（図 3：靱性を発現するよう設計したもの）に比して、変形能力は多少劣るものの、履歴減衰はほぼ同程度である可能性がある。

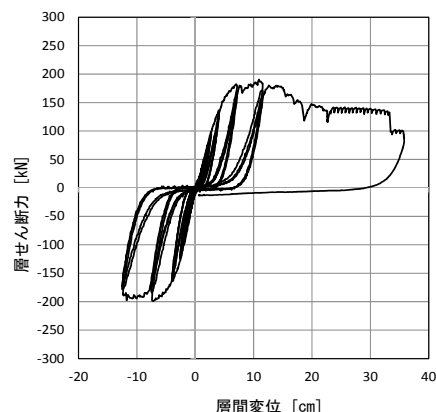


図 1 引きボルトによる CLT 壁—まぐさ構面の荷重—変形関係

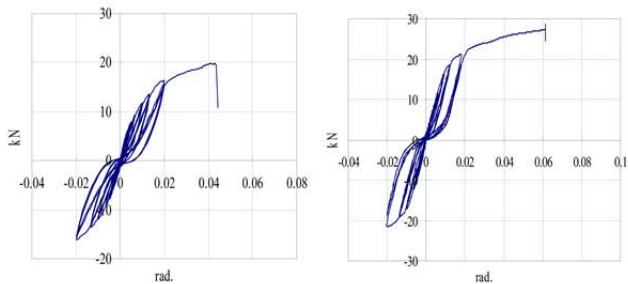


図2 筋かい耐力壁 (1P) の荷重-変形関係

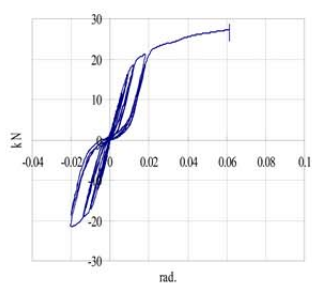


図3 引きボルトによる集材骨組の荷重-変形関係

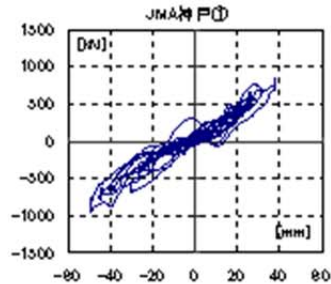


図4 CLTによる3階建て躯体の荷重-変形関係(2階)

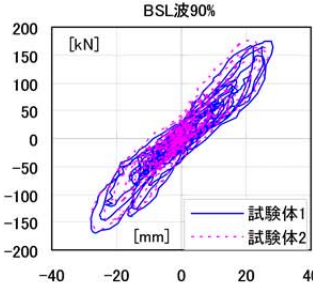


図5 3階建て軸組構法の荷重-変形関係(1階)

4. 3階建て実大モデルの振動台実験

構面実験の結果に基づいて設計した3階建て実大モデルの振動台実験から、以下の結論が得られた。

- 1) 3階建てのモデル試験体に対して、建築基準関係法令で稀に発生する地震動に相当する人工地震波を入力した結果、1/800~1/900 radの最大層間変形にとどまった。木造の損傷限界変形とされる1/120 radには達しなかった。
- 2) 3階建てのモデル試験体に対して、建築基準関係法令で極めて稀に発生する地震動に相当する人工地震波を入力した結果、最大層間変形は1/176 rad程度であった。これも木造の安全限界変形とされる1/30 radには達していない。
- 3) JMA神戸NS波、1.5Hz正弦波など、建築基準関係法令で想定している入力を超える入力に対しても、最大層間変形は1/60 rad程度であった。このときの損傷の程度は、一部のボルトの緩みや局所的なCLTパネルのひび割れ程度であり、十分修復可能と考えられ、損傷限界を1/120 radとして問題がないことが判明した。
- 4) 1)~3)の加振において、いずれも2層目の層間変形が最大となり、各層一様に変形する1次モードが卓越しなかった。ただ、これは振動解析的に十分に事前検証できており、想定範囲である。
- 5) 有限要素モデル、及び個別要素モデル両者の事前解析による応答変位に比べて、1)~3)の加振結果は、いずれもかなり小さな応答変位であり、各モデルにおいて考慮されていない耐力要素の全体変形への寄与を今後検討する必要性が示唆された。
- 6) 3層躯体の荷重変形関係(図4)は、3階建て木造軸

組構法²⁾(図5)のものとは、履歴減衰が小さい可能性がある。

5. 今後の課題と展望

今回の接合部、構面、躯体の実験から、接合部の特性から構面の性能を推定することは可能であったが、構面や接合部の性能から躯体の性能を推定すると、大きく安全側の推定となっている。すなわち、現段階の知見だけでは、安全を多く見込んだ非効率的な設計とならざるを得ない。よって、今後は理論解析の精度を向上させ、考えられる範囲のパラメータ・スタディを行って、効率的、かつ安全な設計法を構築する必要がある。

一方、CLT構法は、今回の小幅パネルを組み合わせる構法だけではない。欧州では、幅2.5m以上のCLTパネルを1枚で層の構面を構成し、表層の繊維方向は水平である場合もある。このような長手方向が水平のパネルを使用した場合について、接合部の性能は共通的に考えられるとしても、構面の性能は大きく異なると考えられ、構面の性能把握は優先的に進めていきたいと考えている。

なお、最も基礎的な部分に着目すれば、今回の実験、並びに得られた技術的な知見は、その2に示す方法で製造したCLTパネルを使用し、今回用の接合部を用いた場合に過ぎない。従って、材料の製造方法、品質制御方法の確立とそれに基づいた材料特性値の特定、及び接合部性能の設計方法等の確立が重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 荒木康弘：平成21年度住宅市場整備等推進事業「4. 木造建築物の基準の整備に資する検討」業務報告書、p.63-64, 2010.
- 2) 槌本敬大ほか：日本建築学会大会学術講演梗概集 229-254, 2010.

*1 国土交通省国土技術政策総合研究所 室長・博士(農学)
 *2 ポリテクセンター愛媛、職業能力開発指導員・博士(工学)
 *3 建築研究所材料研究グループ 主任研究員・博士(農学)
 *4 日本システム設計 代表取締役・博士(工学)
 *5 防災科学技術研究所 観測・予測研究領域 主任研究員
 *6 信州大学 工学部 教授・博士(工学)
 *7 工学院大学建築学部 教授・工学博士
 *8 ベターリビング 統括試験研究役・農学修士
 *9 静岡大学 農学部 教授・農学博士

*1 Head, National Inst. for Land and Infrastructure Management, MLIT, Dr. Agr.
 *2 Vocational Training Instructor, Ehime Polytechnic Center, Dr. Eng.
 *3 Senior Research Engineer, Building Research Institute, Dr. Agr.
 *4 President, Nihon System Sekkei Architects & Engineers, Dr. Eng.
 *5 Senior Researcher, National Inst. for Earthquake Disaster and Earth Science
 *6 Professor, Shinshu University, Dr. Eng.
 *7 Professor, Kogakuin University, Dr. Eng.
 *8 Chief Researcher, Center for Better Living, Mr. Agr.
 *9 Professor, Shizuoka University, Dr. Eng.