

CLT 壁と鉄骨梁によるハイブリッド構造システムの開発

その1 提案するハイブリッド構造システムの概要と構造性能評価法

CLT	鉄骨架構	ハイブリッド構造
都市木造	構造性能	施工性

正会員	○厚澤 瑛人*1	正会員	津田 和輝*2
同	峯岸 新*2	同	Ahmad Ghazi Aljuhmani*3
同	後藤 豊*4	同	前田 匡樹*5

1. はじめに

近年、国連の持続可能な開発目標 SDGs への取り組みにおける 2050 年にカーボンニュートラルを達成する目標に、建築分野での環境負荷低減の観点から都市建築の木造化が注目されている。RC 造や鉄骨造が主流である中高層建築を木造建築で置換するために有効な木質部材として、高強度・高剛性な CLT(Cross Laminated Timber)の利用拡大が進んでいる。CLTは、中高層建築の耐力壁として極めて有望な部材である一方で、母材の性能を発揮させ、施工が容易で合理的な接合法・構造システムが未開発で、日本では未だ十分に普及していない。そこで、本研究では、CLT 壁と鉄骨梁から構成され、優れた構造性能・施工性を有する新たな構造システム・接合法を開発し、普及型中層木造建築の可能性を検討することを目的とする。

2. ハイブリッド構造システムの提案

2.1. 構造システム概要

本研究では、図 1(a)に示すような都市によくみられる 4 層程度の集合住宅を木造化することを目指し、図 1(b)に示す鉄骨架構と CLT 壁パネルから構成されるハイブリッド構造システムを提案する。CLT 壁パネルと鉄骨架構を組み合わせることで、純木造架構とする場合と比べて、木梁(床)へのめり込みを抑制でき、壁脚部の回転剛性が向上する(図 2(a))。また、CLT 壁従来の引きボルト接合等ではパネル孔にボルトを通すため、施工精度・難易度が高くなる。これに対し本提案構法では、鋼板を鉄骨梁に高力ボルト接合することで、接合部分の施工誤差を調整でき、施工精度レベル・難易度の引き下げが期待される(図 2(b))。

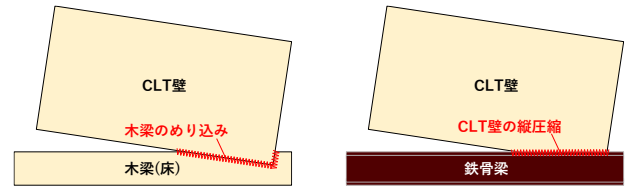
2.2. 提案する CLT パネルー鉄骨梁接合部

鉄骨梁(溝形鋼)と CLT 壁パネルの接合部は、図 3 に示すように、鋼板を CLT パネル・鉄骨梁それぞれにボルトで緊結するシステムである。これは、遠藤・前田ら¹⁾が開発した鋼板添え板ドリフトピン接合法を基本としており、図 4(a)に示すように水平力が作用した際には、ボルトが CLT へめり込むことで抵抗させ、CLT 母材本来の強度を発揮させながら、靱性的挙動を得る機構である。本研究では、遠藤ら¹⁾のせん断接合金物(図 4(a))を改良し、1 箇所の接合部で、CLT 壁間で鉛直方向・水平方向のせん断力、及び脚部引張力に抵抗する接合部を提案する(図 4(b))。

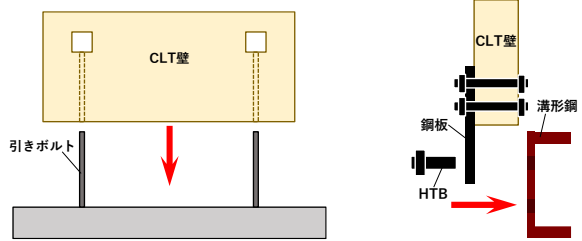


(a) 検討対象建物 (b) 構造システム

図 1 4 層集合住宅と構造システム



(a) 構造性能



(b) 施工性

図 2 本構造システムのメリット(左:従来、右:本構造システム)

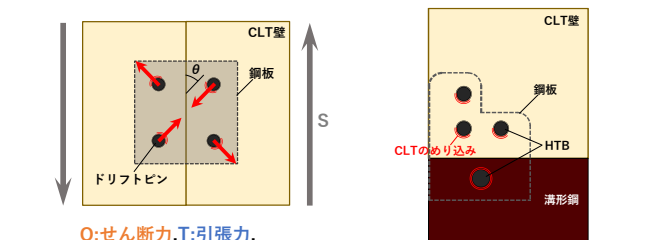
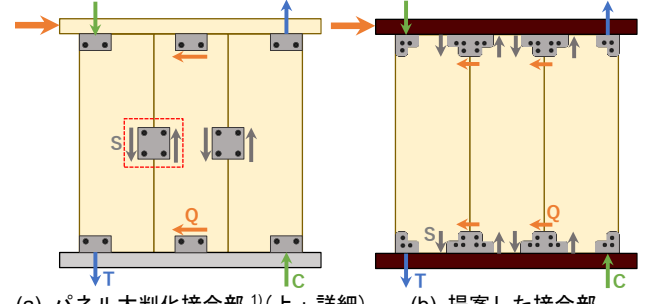


図 3 本構造システムの接合部



(a) パネル大判化接合部¹⁾(上:詳細) (b) 提案した接合部

図 4 接合部における力の伝達

3. 壁の構造性能評価法

3.1. 接合部の強度算定

CLT壁が水平力を受けると壁脚部に曲げモーメントが発生する。図5(a)に示すように、引張力Tは引張脚部のボルトのCLTへの鉛直方向のめり込みで、圧縮力Cは圧縮脚部のCLT壁木口のめり込みで、せん断力Qは両側脚部のボルトのCLTへの水平方向のめり込みで抵抗する。引張脚部のボルトには、CLT壁のアスペクト(高さ/長さ)比で決まる θ 方向に、引張力Tとせん断力Qの複合応力 P_θ が作用し、この時の接合部全体の引張、せん断降伏耐力 T_y, Q_y はボルトの本数をn本とし式(1),(2)により算出する。

$$T_y = n \times P_\theta \times \cos\theta \quad (1)$$

$$Q_y = n \times P_\theta \times \sin\theta \quad (2)$$

図6に示すように、ボルト1本あたりの強度 P_θ は遠藤らの研究¹⁾よりボルト直下部におけるCLTのせん断強度 Q_s 、めり込み強度 Q_{cv} の最小値から、式(3)~(5)により計算できる。

$$P_\theta = \min(Q_s, Q_{cv}) \quad (3)$$

$$Q_s = \tau \times 2 \times L_n \times t \quad (4)$$

$$Q_{cv}: \text{ヨーロッパ型降伏理論}^{2)} \text{により算出} \quad (5)$$

また、連続壁の壁間接合部では、中央4本のボルトが鉛直方向のせん断力に、左右端のボルトが引張力及び水平方向のせん断力に抵抗するような機構とする(図5(b))。

3.2. CLT壁の降伏モーメント・回転角の算定

CLTパネル工法において、壁の強度は主に脚部における引張接合部の降伏とパネルの圧縮による曲げ降伏先行型の設計が靱性確保の点から一般的である。峯岸ら³⁾の研究より、CLT壁脚部の曲げモーメントは、RC柱の曲げモーメントと同様の考え方で算定でき、図7の応力状態を仮定し、単体壁・連続壁の降伏モーメント M_{1Py}, M_{2Py} は、式(6),(7)により略算的に求めることができる。その際 M_{2Py} 末項分($T_{y2} \times 0.4D$)の耐力上昇(連続壁効果)が期待できる。

$$M_{1Py} = T_y \times 0.8D + N \times 0.4D \quad (6)$$

$$M_{2Py} = T_{y1} \times 0.8D + N \times 0.4D + T_{y2} \times 0.4D \quad (7)$$

この時の壁の降伏せん断耐力 Q_y は壁の反曲点高さhにより式(8)で求められる。また、壁脚部の回転剛性 K_θ は、図7(a)のように圧縮力Cと軸力N、降伏引張力 T_y の力の釣り合いから中立軸距離 x_n を算定し、式(9)~(11)により求める。

$$Q_y = M_y/h \quad (8)$$

$$x_n = 3(N + T_y)/\sigma_c t \quad (9)$$

$$\theta_y = \delta_{ty}/(d - x_n) \quad (10)$$

$$K_\theta = M_y/\theta_y \quad (11)$$

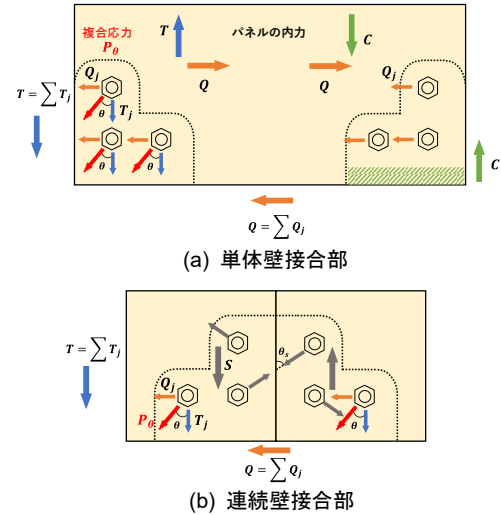


図5 接合部の抵抗機構



図6 接合部の破壊モード

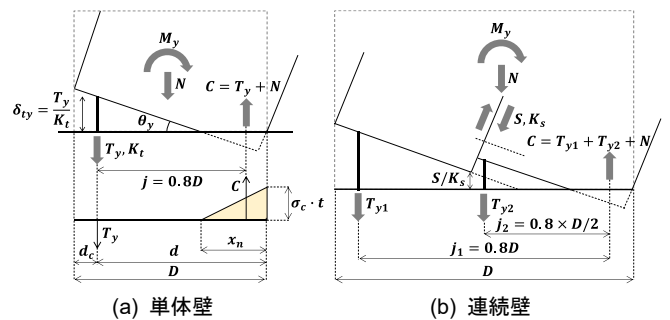


図7 CLT壁脚部接合部の応力状態

4. まとめ

本稿のまとめを以下に示す。

- ① 鉄骨梁とCLTパネルで構成されるハイブリッド構造システムの概要とその特徴・施工面での利点を示した。
- ② 鋼板とボルトによるCLTパネル接合法を提案し、接合部の応力伝達の仕組みと壁の曲げ耐力の評価の基本的な考え方を示した。

【参考文献】

- 1) 遠藤広大, 小笠原絢香, 前田匡樹: 「鋼板添え板ドリフトピン接合法を用いて小幅パネルを接合し大判化するCLT架構形式の開発 その1~その3」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 分冊, No.22343-22345, pp.685-690, 2019年7月
- 2) 一般社団法人 日本建築学会: 木質構造設計基準・同解説-許容応力度・許容耐力設計法, 2018年
- 3) 峯岸新, 厚澤瑛人, 前田匡樹: 「簡易で実用的なCLT構造の設計用解析モデルの開発に関する研究 その1~その2」, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1 分冊, No.22246-22247, pp.491-494, 2021年7月

*1 大成建設

*2 東北大学大学院工学研究科 博士課程前期

*3 東北大学大学院工学研究科 博士課程後期

*4 チャルマース工科大学 研究員

東北大学大学院工学研究科 客員助教 博士(工学)

*5 東北大学大学院工学研究科 教授 博士(工学)

*1 Taisei Corporation

*2 Graduate Student, Graduate School of Eng., Tohoku Univ.

*3 Graduate Student, Graduate School of Eng., Tohoku Univ.

*4 Research Fellow, Chalmers Univ. of Technology

Visiting Asst. Prof., Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Ph.D.

*5 Professor, Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Ph.D.