

ダボ形式による CLT パネルせん断接合部の構造性能に関する実験的研究

性能制御システム学研究室

熊谷 太希

Structural Performance Control System Laboratory

Taiki KUMAGAI

1. はじめに

近年、森林資源の有効活用という観点で都市木造建築が注目され、2010年には公共建築物等木材利用促進法が施行されるなど、中高層の木造建築への関心が高まっている。そこで中高層木造建築に有効な木質部材として、高い耐震性を持つ CLT(Cross Laminated Timber)の利用拡大が進んでいる。木質構造の一般的な特徴として、部材耐力に対して接合部の耐力が著しく小さく、耐震性に優れる接合形式が少ないという課題がある¹⁾。また、CLT パネル工法では、アンカーボルト (ABR) 等を用いた壁脚接合部の曲げ降伏を先行させ、塑性後の靱性を確保すべく、CLT せん断接合部は ABR 等より先に破壊しないように十分な耐力・靱性を、また架構の変形を抑制するための高い剛性を有する必要がある。

以上の課題点を踏まえ、本研究では、中高層木造建築への利用を目指したダボ形式のせん断接合部の提案を行い、要素実験より提案型の工法を用いた CLT 接合部の構造性能を明らかにすることを目的としている。

2. 実験概要

2.1. 対象建物の概要

本実験で対象とする接合部は、「CLT モデル施設東北大学セミナールーム」の CLT 壁架構に使用するせん断接合部である。RC 基礎の上に CLT 壁架構があり、この架構のせん断接合部にダボ接合が採用されている。図-1 に対象建物の接合部を示す。

2.2. 実験計画

図-2 に試験体詳細図を示す。試験体は CLT 壁-RC 基礎接合部、また CLT 壁-CLT 垂れ壁接合部を実大寸法で再現したものであり、3 枚の試験片から構成される。試験体はすべて対象建物部材の実大寸法で、同一の CLT パネル (スギ、Mx60-5 層 5 プライ、厚さ 150mm) で製作した。

加力は、「CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」²⁾に従い、まず単調載荷試験より降伏変位 δ_y を算出し、その後正負交番繰り返し載荷試験を各 6 体ずつ実施した。載荷履歴は、単調載荷試験結果から得られた降伏変位 δ_y の固定数列方式とし、 δ_y の 1/2, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16 倍の順で 1 回ずつの繰り直し載荷とした。

破壊モードとして CLT 壁の嵌合部分の割裂破壊または噛合い面の支圧破壊を想定し、式(1)を用いて、短期許容せん断強度 ($P_o=2/3Q_j$) が構造計算ルート 1 における要求性能を満たし、かつ ABR が先行降伏するように強度算定を行い、その寸法を決定した。(図-3 参照)。

$$\text{せん断強度の基準耐力 } Q_j = \min(Q_s, Q_b) \quad (1)$$

ここで、割裂によるせん断強度 $Q_s(N)$ = 材料せん断強度 $\tau_s(N/mm^2) \times$ 高さ $H(mm) \times$ 厚さ $D(mm)$ 、また支圧によるせん断強度 $Q_b(N) =$ 材料圧縮強度 $\sigma_c(N/mm^2) \times$ 幅 $W(mm) \times$ 厚さ $D(mm)$ である。

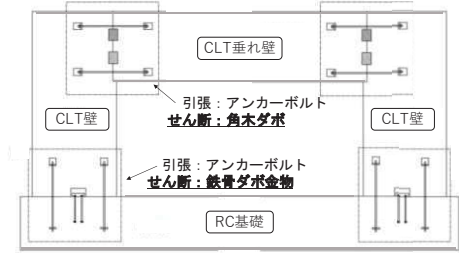


図-1 対象建物の接合部

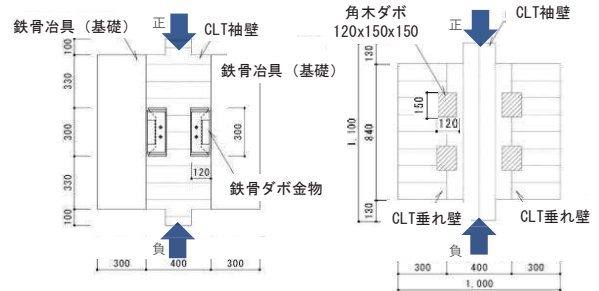


図-2 試験体概要

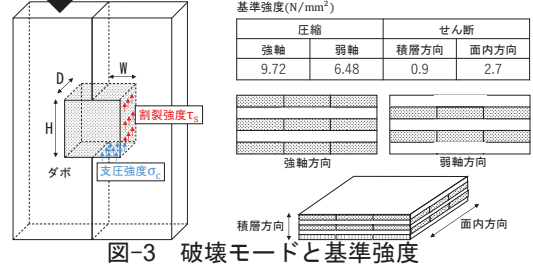


図-3 破壊モードと基準強度

3. 実験結果

3.1. 荷重-変形関係および破壊性状

図-4 に CLT 壁-RC 基礎接合部試験体 (以下、CR)、CLT 壁-CLT 垂れ壁接合部試験体 (以下、CC) 6 体目の荷重変形関係、写真-1, 2 に破壊状況を示す。CR-6 ではダボ付近の CLT 壁弱軸方向の引張破壊が生じた後、耐力が急減した。また CC-6 では嵌合部分のせん断破壊が生じた後、耐力が急減したが、木ダボの CLT 垂れ壁へのめり込みが進行し耐力が低下する試験体もみられた。

3.2. 従来型接合との比較

表-1 に実験値より算出した特性値及び従来型接合の特性値一覧を示す²⁾。比較対象とした従来型の鋼板添え板接合 (図-5) は、対象建物接合部と同様に構造計算ルート 1 の要求性能を満たすように想定し、「CLT 関連告示等解説書」³⁾の実験データを用いてその特性値及び復元力特性を設定した。図-6 に各接合部のトリリニアモデルを示す。短期基準耐力は、文献 2) に基づき、降伏耐力 P_y の平均値にばらつき係数を乗じて算出した。CR 試験体と CC 試験体の短期基準せん断強度は、構造計算ルート 1 における要求性能²⁾を上回る十分なせん断強度を持つことを確認した。ダボ接合は従来型に比べて壁-基礎接合部で 5.9 倍、壁-垂れ壁接合部で 3.3 倍の高い剛性を持つことが分かった。

4. 対象建物の CLT 壁架構の構造性能評価

4.1. 解析モデル概要

図-7 に解析対象フレームとモデル化の概念図、表-2 に解析モデルの諸元を示す。文献 2)に基づき CLT パネル壁架構をマルチスプリングモデルに置換し、壁-基礎間および壁-垂れ壁間のせん断パネに図-6 で示した従来型接合部と提案型接合部の復元力特性をそれぞれ入力し、接合形式の違いをパラメータとする静的増分解析を行った。

4.2. 各フレームの構造性能の比較

図-8 に各モデルの静的増分解析による荷重-変位関係を示す。従来型接合のフレームに対してダボ接合を用いたフレームは約 1.7 倍の保有水平耐力を持っていた。

図-9 に安全限界($R=1/30$)時のヒンジ発生図と破壊メカニズム図を示す。従来型接合のフレームは壁-基礎接合部の U 型金物がせん断降伏し、水平方向の剛性を失っているのに対して、壁-基礎接合部のダボ金物は安全限界時にも降伏せず、壁脚の ABR が先行降伏し、壁脚部のロッキング挙動により曲げ降伏型の崩壊機構を形成し、高い変形能力を持っていることが分かった。

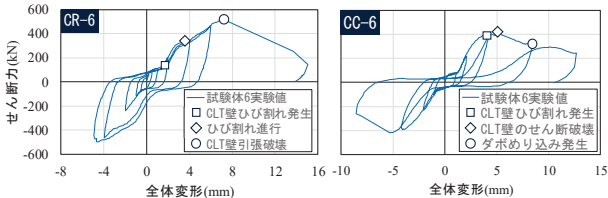


図-4 荷重-変形関係



写真-1 CR-6 破壊部分の詳細



写真-2 CC-6 破壊部分の詳細

表-1 特性値一覧

		降伏耐力	終局耐力	降伏変位	終局変位	初期剛性	降伏点変位	塑性率	
		P_y	P_u	δ_y	δ_u	K	δ_v		
		kN	kN	mm	mm	kN/mm	mm	$\mu = \delta_u / \delta_v$	
壁-基礎	従来	U型	53.2	117.6	2.4	12.2	17.6	7.8	1.6
	ダボ	CR	96.4	201.7	1.6	6.3	103.1	2.2	2.9
壁-垂壁	従来	平型	52.2	109.8	2.6	13.7	31.9	7.1	1.9
	ダボ	CC	80.0	183.6	2.1	8.2	103.9	2.6	3.3

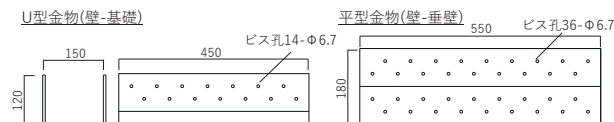


図-5 従来型接合 (鋼板添え板ビス接合)

5. まとめと今後の課題

CLT パネルダボ接合部の要素実験および静的増分解析による従来型との比較を行い、以下の知見を得た。

- 1) 本実験で得られた、ダボ形式による CLT 壁-RC 基礎接合部と CLT 壁-CLT 垂れ接合部の短期基準せん断強度は、構造計算ルート 1 におけるせん断接合部の要求性能をそれぞれ上回り、十分なせん断強度を確保した。
 - 2) 静的増分解析より、従来型に比べてダボ接合用いたフレームは壁脚引張接合部を先行降伏させるため、CLT 壁架構が塑性後の高い靱性を持つことが分かった。
- 今後は「CLT モデル施設東北大学セミナールーム」に設置される地震計の計測データを用いた解析や多層 CLT 建物の性能試験などを通して CLT ダボ接合部の構造特性をさらに明らかにし、効果的に大規模木造の設計に適応させることが課題である。

[参考文献]

- 1) 青木和巳:「大断面木質部材を用いた中高層建築物のための構造システムの開発」修士学位論文 2016
- 2) 日本 CLT 協会:2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル
- 3) 日本 CLT 協会:CLT 関連告示等解説書

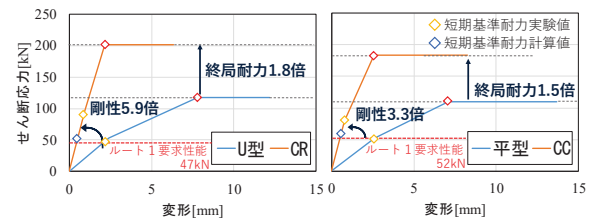


図-6 各接合部の復元力特性 (トリリニアモデル)

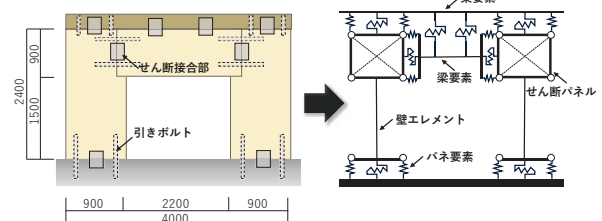


図-7 解析対象フレームとモデル化の概念図

表-2 CLT パネルの諸元

CLTパネル (面内)	強度等級 ラミナ構成	ヤング係数(N/mm)		せん断剛性(N/mm)	厚さ (mm)	幅 (mm)	引きボルト
		強軸	弱軸				
壁	Mx60-5-5	3000	1200	500	150	900	M16(基礎),M20(垂壁)
垂壁	Mx60-5-5	3000	1200	500	150	900	M20

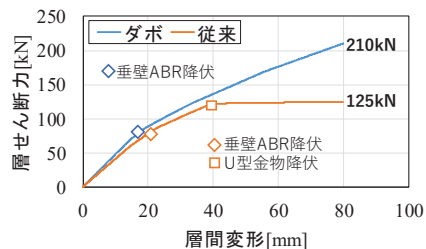


図-8 静的増分解析による荷重変位関係

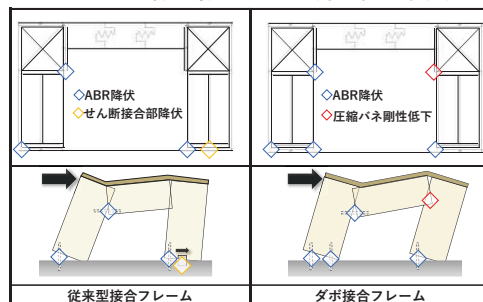


図-9 ヒンジ図と破壊メカニズム図