

令和 4 年 5 月 18 日現在

機関番号：82113

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K15144

研究課題名（和文）木質混構造を対象としたCLT各種接合部の構造性能評価手法

研究課題名（英文）Evaluation method of structural performance of CLT connection for mixed structure with timber

研究代表者

中島 昌一（Nakashima, Shoichi）

国立研究開発法人建築研究所・構造研究グループ・主任研究員

研究者番号：90734210

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：鋼板挿入ドリフトピン接合は、集成材構造等において広く使用される。鋼板と丸鋼、スリット加工と先穴加工された木材を組み合わせたシンプルな接合であり、製材や集成材を用いた場合については、構造設計に求められる初期剛性、降伏耐力、最大耐力等の特性値の算定法も確立されている。ここでは、母材をCLTとしたドリフトピン接合部について、引張力を受ける接合部、及びせん断力を受ける接合部について、それぞれ最大耐力、降伏耐力、初期剛性について体系的にまとめた。まとめられた設計法は、モーメント抵抗試験及びせん断試験により検証された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

中層大規模木構造の普及に従い、汎用的なCLTパネル端部の接合部設計法の整備が急務となっている。本研究は、扱いやすい形で、汎用的なCLTパネル端部の接合部設計法を提案するという意味で、社会的意義の大きい研究である。木質構造の設計者だけでなく、一般的な構造の設計者に設計法を利用してもらうことで、CLTの普及につながると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Drift pinned connection consists of steel plate, circular steel bar, and timber with slit and hole. that is one of the popular connection for glulam or sawn timber structure. Which in this research, The structural design method of drift pinned connection for CLT was developed. Initial stiffness, yield load, ultimate load under the tensile load and shear load was derived for the CLT panel connection. Derived equations were confirmed by the moment resisting tests and shear tests of the connections

研究分野：建築構造、木質構造

キーワード：CLT 接合部 構造設計法 降伏耐力 終局耐力 初期剛性 引張接合部 せん断接合部

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

本研究は、中高層建築物において、木材(W)をコンクリート部材(RC)や鋼材(S)と併用して構造躯体に使用することを大きな目標とする。具体的には木材と他材料の接合部の抵抗機構の解明と挙動のモデル化を目的とする。中でも、CLT等の木質系部材にボルトやドリフトピンといった機械的接合具を打ち込んだ接合部について、ボルト等の任意の配置手法、剛性・荷重の評価手法を理論的に体系化することを目指す。

第一に、単位接合部の弾塑性挙動を、弾性床上の梁理論をベースに、初期剛性、降伏点、塑性化過程と二次剛性を誘導し、(4)塑性化過程を数式化する。第二に、実験結果に基づく破壊状態の分類から、(5)破壊力学に基づく破壊荷重もしくは変位の導出(6)応力分布に基づく本数と配置による低減を実施する。これらによって、CLT-S・CLT-RC間の接合部について、母材の種類や形状、接合方法(形状・本数・配置)を定めると、復元力特性を一位に求められるようになる。

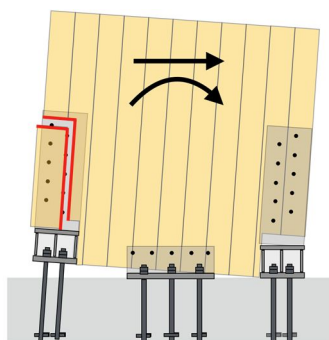


図1 CLTパネル端部のドリフトピン接合部のイメージ

2. 研究の目的

鋼板挿入ドリフトピン接合は、集成材構造等において広く使用される。鋼板と丸鋼、スリット加工と先穴加工された木材を組み合わせたシンプルな接合であり、製材や集成材を用いた場合については、構造設計に求められる初期剛性、降伏耐力、最大耐力等の特性値の算定法も確立されている¹⁾。ここでは、母材がCLTの場合(図1)の最大耐力、降伏耐力、初期剛性について体系的にまとめた。

最大耐力について、CLTパネルの面内方向の引張やせん断に対する強度や剛性の異方性が小さいこと、ならびにドリフトピンの径長比が小さいことに着目し、集合型せん断破壊が生じる際の最大耐力の算定法を示した。これらの算定法の妥当性をCLT壁脚部のモーメント抵抗実験により検証した。降伏耐力と初期剛性について、既往の研究をもとに、現在一般的な層構成のCLTを対象に平易な形で算定式をまとめた。

本研究で対象とするCLTは、算定法をまとめるにあたり、異樹種構成等は考慮せず、ラミナは全て同一樹種と仮定した。

3. 研究の方法

CLT破断による最大耐力は以下のように定義した。

$$P_{uw} = \min(P_{ug}, P_{us}) \quad (1)$$

$$P_{us} = \alpha P_y \quad (2)$$

$$P_{ug} = F_s A_{es} + F_t A_{et} \quad (3)$$

$$A_{es} = l \sum s_i \quad (4)$$

$$A_{et} = l \sum r_i \quad (5)$$

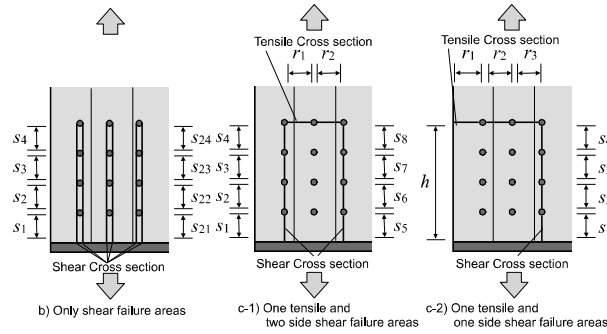


図2 破壊モード

ここで、接合部の P_y は降伏耐力(kN)、 F_s はCLTの面内せん断強度(N/mm²)、 F_t はCLTの引張強度(N/mm²)、 l はスリットによる欠損を考慮したCLTの部材厚、 s_i 、 r_i はFig.1に示すようにドリフトピン孔による欠損を考慮したドリフトピン間距離である。式(2)降伏耐力は材料を完全剛塑性体と仮定する塑性理論に基づき求める¹⁾。式(3)は、図2の各モードで計算される最大荷重のうちの最小値とする。

初期剛性は、以下の式で近似的に求める。

$$K_{\text{approx}} = \frac{2k_{\text{ave}}d}{\beta} \frac{\sinh(\beta t_{\text{gross}}) + \sin(\beta t_{\text{gross}})}{2 + \cosh(\beta t_{\text{gross}}) + \cos(\beta t_{\text{gross}})} \quad (6)$$

$$k_{\text{ave}} = \frac{t_{\text{net}}}{t_{\text{gross}}} k_0 + \left(1 - \frac{t_{\text{net}}}{t_{\text{gross}}}\right) k_{90} \quad (7)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_{\text{ave}}d}{4EI}} \quad (8)$$

ここで、 k_0 はラミナの繊維に平行する方向の支圧剛性(N/mm³)、 k_{90} はラミナの繊維に直交する方向の支圧剛性(N/mm³)、 t_{gross} はCLTの厚さ(mm)(スリットの幅を除く)、 t_{net} は直交するラミナのうち少ない方のラミナの厚さの和(mm)(スリットがある場合はスリットの幅を除く)。

4. 研究成果

図3に装置、試験体形状を示す。表1に試験体一覧を示す。CLT壁脚部ドリフトピン接合部12種類で、それぞれ1体の計12体である。材料は、CLT(スギ、S60-5-5、ラミナ厚さ30mm、ラミナ幅122mm、部材厚さ150mm、幅はぎ接着なし)、ドリフトピン(16、SS400)、挿入鋼板(PL9、孔径17mm、SS400)である。ドリフトピン数はいずれの試験体も6本であるが、a配置を矩形配置として、縦方向の本数 n_1 ×横方向の本数 n_2 を2×3、3×2、6×1の3種類とした。端距離、縦方向のドリフトピン間隔、縁距離、横方向ドリフトピン間隔 e は、全て同じとし、ドリフトピン径 d の2倍、3倍、5倍、8倍の4種類とした。

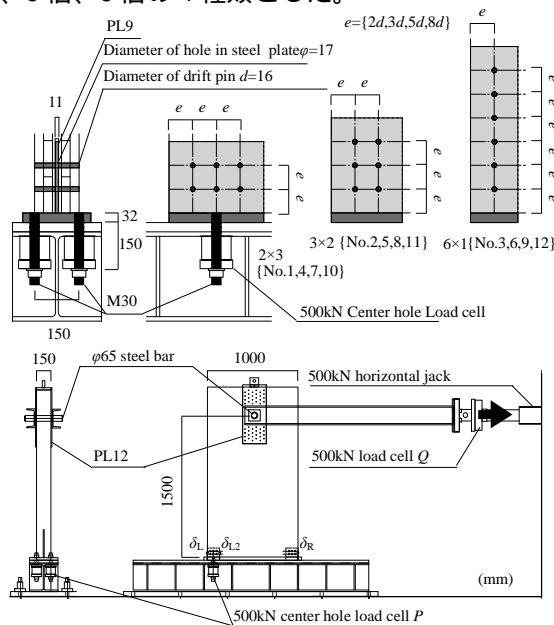


図3 試験体形状とパラメータ

図4に破壊の様子、図5に最大荷重の計算値と実験値の比較、図6に降伏荷重の計算値と実験値の比較、図7に初期剛性の計算値と実験値の比較を示す。 e が小さい場合には、図1のような集合型せん断破壊が生じ、計算による予測と一致した。最大耐力の実験値は、材料強度の平均値を代入して求めた計算値を15%以上下回ることはなかった。降伏耐力の実験値は、降伏理論に基づく降伏耐力の計算値の概ね $\pm 15\%$ 以内であった。初期剛性の実験値は、弾性床上の梁理論に基づく計算値を、大きく下回った。

表1 試験体一覧

Name	t_{gross} (mm)	d (mm)	n_1	n_2	e (mm)	P_y (kN)
No. 1	150	16	2	3	32	162 Mode III
No. 2			3	2		
No. 3			6	1		
No. 4			2	3	48	
No. 5			3	2		
No. 6			6	1		
No. 7			2	3	80	
No. 8			3	2		
No. 9			6	1		
No. 10			2	3	128	
No. 11			3	2		
No. 12			6	1		

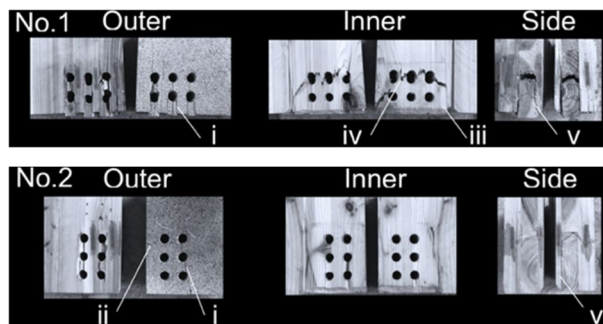


図4 破壊の様子

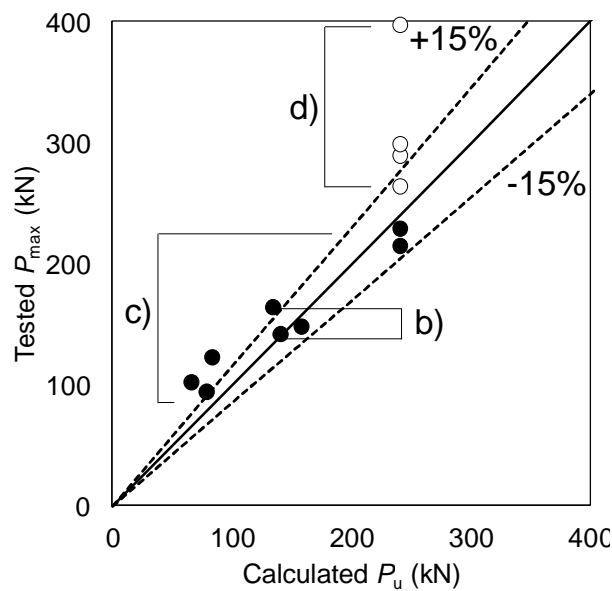


図5 最大荷重の計算値と実験値の比較

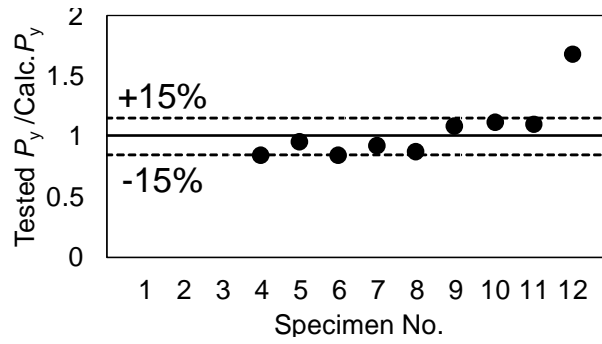


図6 降伏荷重の計算値と実験値の比較

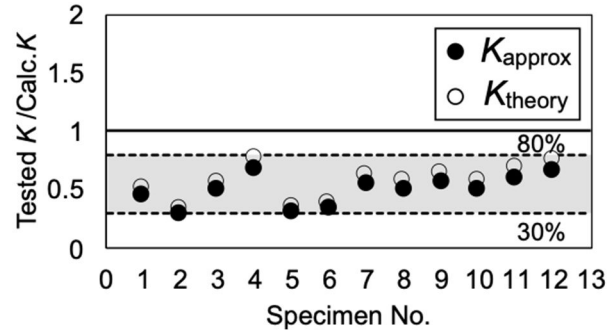


図7 初期剛性の計算値と実験値の比較

[参考文献]

- 1) 日本建築学会: 木質構造設計規準・同解説, 2006

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 中島 昌一, 三木 徳人, 秋山 信彦, 荒木 康弘	4. 巻 86
2. 論文標題 鋼板挿入CLTドリフトピン接合部の最大耐力、降伏耐力および初期剛性の推定と実験による検証	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本建築学会構造系論文集	6. 最初と最後の頁 793-803
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3130/aijs.86.793	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Shoichi Nakashima, Norihito Miki, Nobuhiko Akiyama, Yasuhiro Akiyama
2. 発表標題 ULTIMATE LOAD WITH SHEAR FAILURE OF CLT DRIFT PINNED CONNECTION
3. 学会等名 Proceedings of World Conference on Timber Engineering 2021, Santiago, Chile（国際学会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中島昌一、三木徳人、秋山信彦、荒木康弘
2. 発表標題 CLT を用いたドリフトピン接合部の初期剛性と降伏耐力のモデル化に関する研究
3. 学会等名 日本建築学会大会講演梗概集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shoichi NAKASHIMA, Norihito MIKI, Nobuhiko AKIYAMA, Yasuhiro ARAKI
2. 発表標題 Evaluation of Initial Stiffness and Yield Strength of CLT Drift Pinned Connection
3. 学会等名 PTEC 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島昌一, 三木徳人, 秋山信彦, 荒木康弘
2. 発表標題 CLT鋼板挿入ドリフトピン接合部における集合型破壊の設計法に関する検討
3. 学会等名 日本木材学会大会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三木徳人, 石原直, 中島昌一, 山崎義弘
2. 発表標題 履歴特性の改善を目指したCLT耐力壁と鉄骨ピン架構を組み合わせたCLT-S混構造架構の繰り返し載荷実験
3. 学会等名 日本木材学会大会研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三木徳人, 石原直, 中島昌一, 山崎義弘
2. 発表標題 塑性変形能力の向上を目指した CLT-S 接合部の履歴挙動に及ぼす座屈補剛形式および補剛ボルトの導入張力の影響
3. 学会等名 日本建築学会大会講演梗概集
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------