

木造の接合部のせん断性能に関する研究 —CLTの小口断面に鋼板添え板ビス接合した接合部—

三宅朗彦* 松岡直人* 野田亜久里** 中里太亮***

近年、木造建築に関する法令の整備や、環境問題への関心の高まりなどを背景に、中大規模の木造建築の増加が期待されている。筆者らは、中大規模の木造建築への適用を想定し、接合部の性能の把握と必要に応じた性能の向上のために研究を進めている。本研究では、CLTの小口断面に鋼板添え板ビス接合した接合部について、CLTの樹種、ビスを打ち込むラミナ、ビス長さをパラメータとして一面せん断試験を実施し、構造性能に関する知見を得た。

キーワード：木造建築、CLT、鋼板添え板ビス接合、一面せん断試験、ビス長さ

1. はじめに

近年、木造建築に関する法令の整備や、環境問題への関心の高まりなどを背景に、中大規模の木造建築への期待が高まっており、国内では中高層の建築物においても、木造や、木造と鉄骨造等とを組み合わせたハイブリッド構造で設計される事例が増えてきている。

木造建築の架構においては、接合部が構造的に弱点となる場合が多いため、今後の中大規模化に対応するためには、接合部の構造性能を正確に把握し、必要に応じてその性能を向上させることが重要である。

筆者らは、中大規模の木造建築への適用を想定し、構造性能の高い接合部の研究開発を進めている。本報で扱う接合部は、直交集成板（以下、CLT）と鋼板をビスで留め付けたものであり、鉄骨造とのハイブリッド構造の耐震壁や木造軸組工法の継ぎ手仕口に应用することを想定している。

本研究では、CLTの小口断面を鋼板添え板ビス接合した接合部の一面せん断性能を確かめるために、CLTの樹種、ビスを打ち込む挽き板（以下、ラミナ）およびビス長さをパラメータとして一面せん断試験を実施した。本報ではその結果を報告する。

2. 対象接合部の概要

本研究で対象とする接合部は、Fig. 1に示すようにCLTと鋼板をビスで留め付けたものであり、鋼板添え板ビス接合と呼ばれる。本接合部は、高耐力が求められる鉄骨造とのハイブリッド構造の耐震壁や、木造軸組工法の継ぎ手仕口に应用することを想定している。一般には、CLTの表面に面外方向からビス打ちして鋼板添え板接合をする

場合が多いが、本接合部では、意匠上の見えがかりに配慮してCLTの小口断面で接合する仕様としている。CLTの表面に面外方向からビス打ちした接合については、その接合部の一面せん断性能を検証している例^{1),2)}はあるが、CLTの小口断面に面内方向からビス打ちしたものについては接合部のせん断性能に関するデータが不足しており、構造設計に用いるためにはせん断性能を把握する必要がある。

CLTは、ラミナを繊維方向が互いに直交となるように積層接着させた材料であり、積層接着によって大型の断面が得られる面材料である。CLTの各層の繊維方向が互いに直交しているため、小口断面には木口面と木端面が混在する。木材にはヤング係数や強度の異方性があるために木口面にビス打ちしたものと木端面にビス打ちしたもので性能が異なると想定した。本研究では木口面にあたるラミナにビス打ちしたものと、木端面にあたるラミナにビス打ちしたものを併用したものについてせん断性能を調べることとした（以下、CLT小口断面の木口面にあたるラミナにビスを打つ場合を木口打ち、木端面にあたるラミナにビスを打つ場合を木端打ちと呼ぶこととする）。

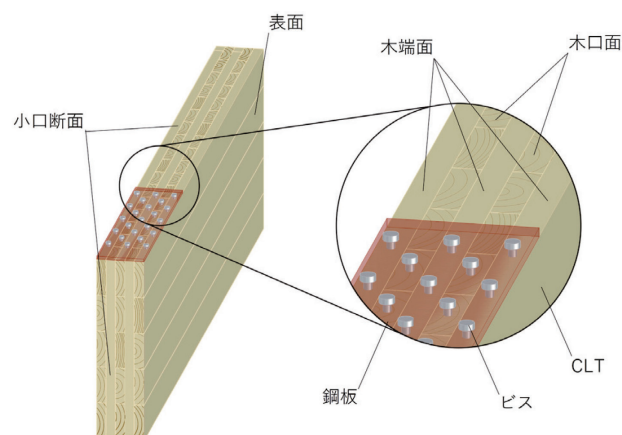


Fig. 1 接合部の概要図

* 技術本部 新技術創造センター 開発第3グループ
** 技術本部 技術研究所 防災技術研究室
*** 建築事業本部 建築技術統括部 建築構造技術部

3. 実験方法

3. 1 試験体

Fig. 2 のように、CLT と鋼板をビスで接合して試験体を作製した。CLT は同一等級構成の 5 層 5 プライのものとし、ヒノキは S90A-5-5、スギは S60A-5-5 を用意した。ともに幅はぎ接着はしていないものとした。CLT の基礎物性を Table 1 に示す。鋼板は SS400 (厚さ $t=9\text{mm}$ 、ビス孔 $\phi=8.5\text{mm}$) とした。ビスは試験体仕様に合わせてそれぞれ PK8-60、PK8-90、PK8-120 を用いた。ビスの標準寸法を Table 2 に示す。

試験体の仕様を Table 3 に示す。試験体のパラメータは、CLT の樹種、ビスを打ち込むラミナ、ビス長さとした。ビスを打ち込むラミナについては、木口打ち、木端打ち、および木口打ちと木端打ちが混在する仕様で場合分けした。各試験体は、それぞれ 3 体ずつ試験を実施した。

3. 2 加力および計測方法

試験の概略を Fig. 3 に示す。荷重は万能試験機のロードセルで計測し、変位は鋼板と CLT の相対変位を変位計により試験体の表裏で計測した。加力方法は 1 方向単調加力とし、最大荷重に達するまで 5 分程度となるように加力速度を調整した。試験は荷重が最大荷重の 8 割以下まで低減するか、相対変位がヒノキの場合 45mm、スギの場合 65mm に達するまで実施した。

Table 1 CLT の基礎物性

樹種	等級・構成	密度 [kg/m ³]		含水率 [%]	
		ave.	S.D.	ave.	S.D.
ヒノキ	S90A-5-5	496	16.0	9.5	0.13
スギ	S60A-5-5	426	10.3	11.3	0.22

Table 2 ビスの標準寸法 (単位: mm)

	全長	ネジ部長さ	ネジ外径	頭部径
PK8-60	60.0	42.0	8.0	15.7
PK8-90	90.0	72.0	8.0	15.7
PK8-120	120.0	102.0	8.0	15.7

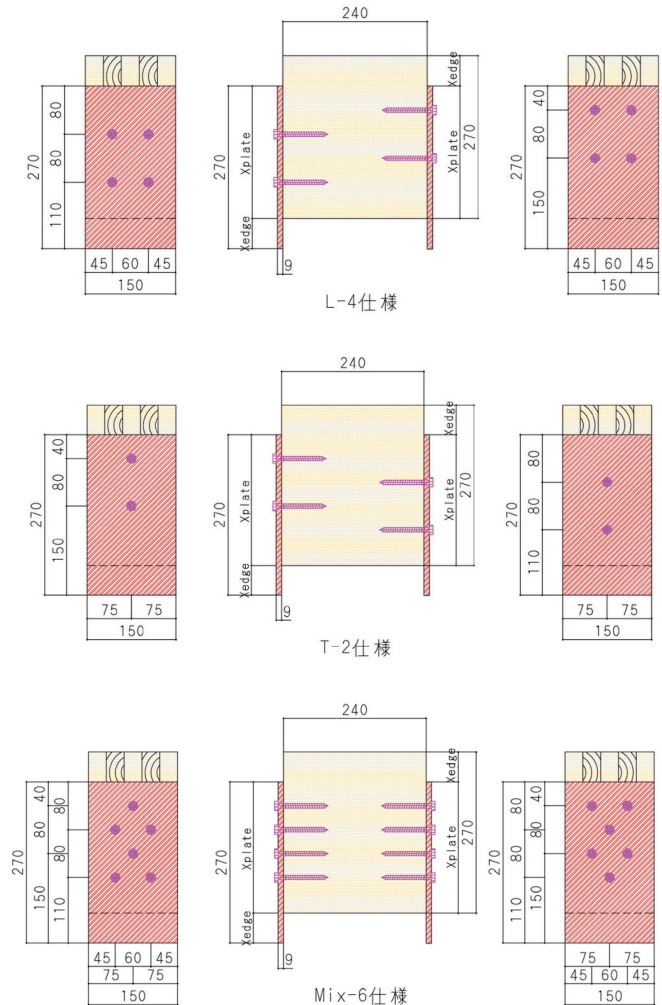
Table 3 試験体仕様

試験体仕様	ビスを打つラミナ (ビスの方向)	ビス本数 (片面あたり)	樹種	ビス長さ [mm]
L -4 -H -60	木口打ち (繊維方向)	4	ヒノキ	60
L -4 -H -90				90
L -4 -H -120				120
L -4 -S -60			スギ	60
L -4 -S -90				90
L -4 -S -120				120
T -2 -H -60	木端打ち (繊維直交方向)	2	ヒノキ	60
T -2 -H -90				90
T -2 -H -120				120
T -2 -S -60			スギ	60
T -2 -S -90				90
T -2 -S -120				120
Mix -6 -H -60	木口打ち・ 木端打ち混在	6	ヒノキ	60
Mix -6 -H -90				90
Mix -6 -H -120				120
Mix -6 -S -60			スギ	60
Mix -6 -S -90				90
Mix -6 -S -120				120

3. 3 評価方法

試験によって得られた荷重をビスの本数で除し、ビス 1 本あたりの荷重変位関係を得た。その包絡線について、「枠組壁工法建築物構造計算指針」³⁾を参考にして、Fig. 4 のように完全弾塑性モデルに置換してビス 1 本あたりのせん断性能を評価した。

「枠組壁工法建築物構造計算指針」では、荷重が最大荷重の 8 割まで低減した時点と、変位が 30mm に到達した時点のうち、変位が小さいほうで実験データを打ち切って



※X_{edge}=50 (ヒノキ), 70 (スギ)
X_{plate}=220 (ヒノキ), 200 (スギ)

Fig. 2 試験体概要図 (単位: mm)

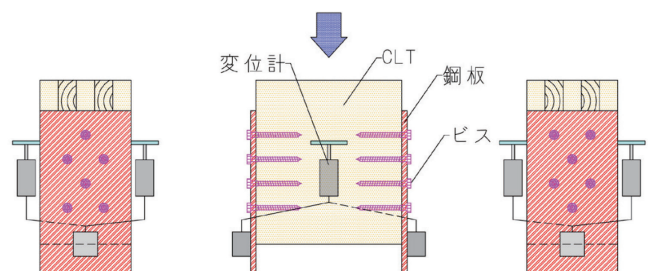


Fig. 3 試験概略図

評価するよう規定されている。しかし、本研究では、30mmを超えた時点で最大荷重を示す試験体もあり、接合具の実際の挙動を確かめるため、降伏時の P_y , δ_y , および最大荷重時の P_{max} , δ_{max} は 30mm でデータを打ち切らず、最大荷重が 8 割まで低減した時点で評価するものとし、終局時の P_u , δ_u は 30mm でデータを打ち切りし、データの打ち切りをせず最大荷重が 8 割まで低減した時点で評価したものを求めた。

また、試験後の試験体から破壊性状を Fig. 5 のように 3 種類に分類した。ビスの曲げと木部のめり込みが生じているものをモード B、ビスの曲げと木部のめり込みに加え

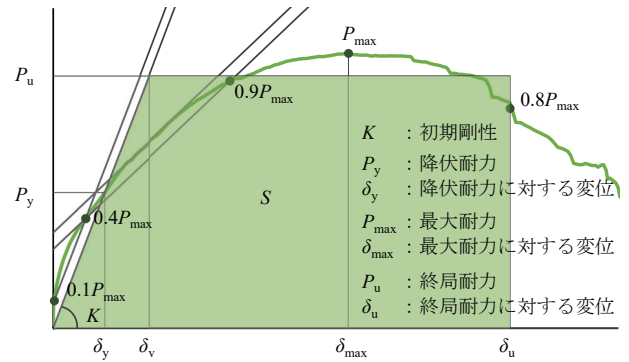


Fig. 4 接合部の評価方法

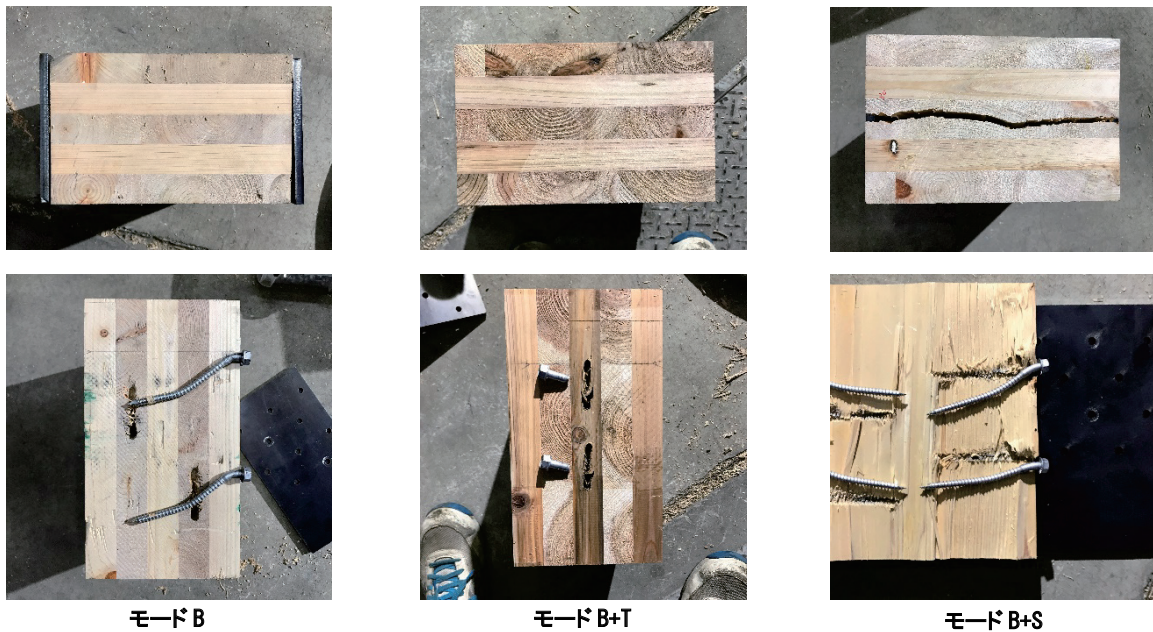


Fig. 5 破壊性状の分類

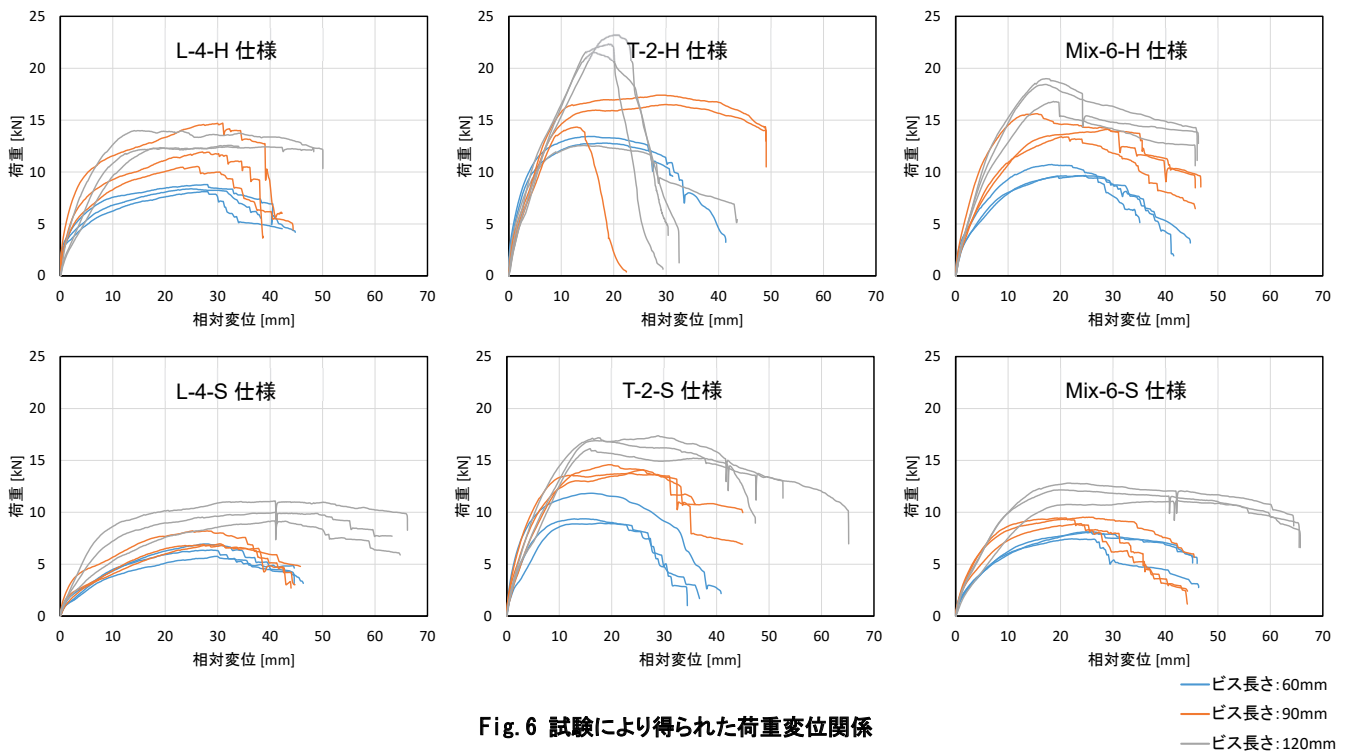


Fig. 6 試験により得られた荷重変位関係

て、ビスの破断が生じているものをモードB+T、また、ビスの曲げと木部のめり込みに加えて、木部の割裂破壊が生じているものをモードB+Sとした。

4. 実験結果

試験により得られたビス 1 本あたりの荷重変位関係を Fig. 6 に示す。また、ビス 1 本あたりの特性値の平均値を Table 4 に示す。実験結果から、CLT の樹種、ビスを打ち込むラミナおよびビス長さや接合部性能について以下のことが考えられる。

4. 1 樹種について

ヒノキのほうがスギより剛性、耐力ともに高い結果を示した。一般に、木材のヤング係数や強度は密度と正の相関があるため、より密度の大きいヒノキの初期剛性、耐力が高くなったと考えられる。一方、T-2-H-120 仕様、および T-2-H-90 の一部の試験体は破壊性状がモード B+S となり、降伏後の変形能力が小さく、木部で脆性的に破壊するものがあつた。これについては、試験体の両側から打ったビスの先が近いことや、端距離（ビスと加力側縁とのへりあき）がスギの試験体に比べて小さく設定したことにより、木部の割裂が生じやすくなったためだと考えられる。

4. 2 ビスを打ち込むラミナについて

木端打ち（T-2 仕様）のほうが木口打ち（L-4 仕様）よりも初期剛性と耐力は高かった。一方、木口打ち仕様は最大耐力に達した後も変形が伸び続け、木端打ち仕様よりも変形能力が高いという特徴があることが分かった。

木口打ち仕様と木端打ち仕様の加重平均をすると初期剛性、降伏耐力ともに、概ね木口打ちと木端打ちの混在の仕様の特性値に近いことが分かった。少なくとも、弾性域においてはラミナの木口打ちおよび木端打ちの性能値があればそれぞれを併用したものについてもおよそその性能を予測できる可能性があると考えられる。

4. 3 ビス長さについて

接合部の初期剛性については実験結果から傾向を見るのが難しかったが、耐力はビス長さが長いほど高くなる傾向にあった。

破壊モードは、ビスの長さが短いものほどビスが破断した試験体（モード B+T）が多い傾向にあった。また、終局変位についてはビスが長いほど大きい傾向が見られた。試験後のビスを観察するとビス長さ 60mm と 90mm のものでは変形ヒンジが 1ヶ所、120mm のものでは 2ヶ所に生じており、ビスが長くなることでねじ部での拘束力が高まるとともに、ビスの変形能力が向上し、破断しにくくなるため、接合部が降伏後も大きく変形したものと考えられる。

Table 4 試験によって得られた破壊性状と特性値

試験体仕様	破壊性状			K [kN/mm]	P_y [kN]	P_{max} [kN]	$P_{u,mb}$ [kN]	$P_{u,nd}$ [kN]
	B	B+T	B+S		δ_y [mm]	δ_{max} [mm]	$\delta_{u,mb}$ [mm]	$\delta_{u,nd}$ [mm]
L -4 -H -60	3			1.47	4.6	8.4	7.7	7.6
					3.2	26.4	30.0	35.2
L -4 -H -90	3			1.97	7.1	12.4	11.0	11.1
					3.6	27.7	30.0	36.5
L -4 -H -120	3			1.47	7.9	12.9	12.5	12.5
					5.9	26.2	30.0	44.1
L -4 -S -60	3			0.48	3.5	6.4	5.8	5.8
					7.3	28.6	30.0	36.6
L -4 -S -90	2	1		0.77	3.5	7.3	6.4	6.5
					5.2	28.8	30.0	38.0
L -4 -S -120	2	1		0.85	5.8	9.7	8.8	9.3
					7.0	40.6	30.0	61.1
T -2 -H -60	3			3.26	7.2	12.9	12.2	12.2
					2.2	15.8	29.0	29.4
T -2 -H -90	1	2		2.10	8.8	16.1	15.1	15.0
					4.3	23.9	25.3	38.0
T -2 -H -120		3		1.97	11.0	22.4	20.3	20.3
					5.7	18.5	23.0	23.0
T -2 -S -60	3			2.01	5.6	10.1	9.5	9.5
					3.1	16.1	27.6	27.6
T -2 -S -90	2	1		2.09	7.7	14.1	13.4	13.3
					3.9	22.9	30.0	33.6
T -2 -S -120	2	1		1.63	8.4	16.8	16.0	15.6
					5.2	20.6	30.0	46.5
Mix -6 -H -60	3			1.35	5.2	10.0	9.3	9.3
					4.0	22.1	29.4	31.9
Mix -6 -H -90	1	2		1.80	7.9	14.4	13.3	13.2
					4.5	21.5	30.0	35.1
Mix -6 -H -120	2	1		1.85	9.6	18.1	16.4	16.1
					5.2	17.7	28.8	34.0
Mix -6 -S -60	2	1		0.81	4.3	7.9	7.3	7.2
					3.5	24.5	29.5	37.6
Mix -6 -S -90	3			1.34	5.1	9.3	8.6	8.6
					3.9	22.8	29.6	33.0
Mix -6 -S -120	3			1.04	7.0	11.9	11.5	11.3
					6.8	27.7	30.0	60.4

※ K : 初期剛性 [kN/mm]

P_y : 降伏耐力 [kN] δ_y : P_y 時変位 [mm]

P_{max} : 最大耐力 [kN] δ_{max} : P_{max} 時変位 [mm]

P_u : δ_u 時耐力 [kN] δ_u : 終局変位 [mm]

※ $P_{u,mb}$ は評価時のデータを 30mm で打ち切ったもの

$P_{u,nd}$ は評価時のデータの打ち切りをしていないもの

5. まとめ

中大規模の木造建築への適用を想定し、構造性能の高い接合部の研究開発のひとつとして、CLT の小口断面の鋼板添え板ビス接合について検証した。

接合部の一面せん断性能を確かめるために、一面せん断試験を実施した結果、CLT の樹種、ビスを打ち込むラミナ、ビス長さの違いによる構造性能の傾向を確かめた。

今後はビス本数や配置を変えた場合の接合部の性能や、実際の架構に適用した場合の接合部の性能についてさらなる検証を要すると考える。

謝辞

本研究は、東京大学大学院農学生命科学研究科稲山教授にご指導を頂いた。また、銘建工業株式会社に材料を提供して頂いた。関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) Soutsada Phommasak, 中島昌一, 鈴木圭, 荒木康弘, 小林研治 : 鋼板を添え板に用いたビス多本打ち CLT 接合部の一面せん断性能 その 1 1 列あたりの接合具本数の影響. 2016 年度日本建築学会大会梗概集, 22007, (2016) .

- 2) 鈴木圭, 後藤隆洋, 清水庸介, 中島昌一, 荒木康弘, 小林研治 : 鋼板を添え板に用いたビス多本打ち CLT 接合部の一面せん断性能 その 2 集合型破壊による影響. 2016 年度日本建築学会大会梗概集, 22008, (2016) .
- 3) 一般社団法人日本ツーバイフォー建築協会 : 「枠組壁工法建築物構造計算指針」 (2007 年), pp. 250-251, (2007) .

Study of Shear Performance of Joints in Wooden Structures — Screw Joints with Steel Side Plates at Cut Ends of Cross Laminated Timber (CLT) —

Akihiko MIYAKE, Naoto MATSUOKA, Aguri NODA and Taisuke NAKAZATO

Abstract

Medium- and large-scale wooden buildings are expected to become more common due to new legislation on wooden buildings and growing interest in environmental issues. Assuming application to medium- and large-scale wooden buildings, the authors are pursuing studies to grasp and improve the performance of joints where necessary. In this study, we performed single shear tests of screw joints with steel side plates at cut ends of cross laminated timber (CLT), using CLT wood species, screwed lamina, and screw length as parameters. These efforts resulted in knowledge in the structural performance.

Key words: Wooden building, Cross Laminated Timber (CLT), Screw Joint with Steel Side Plate, Single Shear Test, Screw Length
