平成 27 年度林野庁委託事業 CLT等新たな製品・技術の開発・普及事業(CLT 等接合部データ事業)

CLT パネルを用いたビス接合部検討事業報告書

平成28年3月

木構造振興株式会社

目次

1.事業	概要	1
1.1.	事業の目的	
1.2.	実施内容	
1.3.	実施体制	
2.CLT 0	の概要	4
3.一列	多数本打ちによる影響を確認するための試験	5
3.1.	実験の目的	
3.2.	試験体の概要	
3.3.	試験方法	
3.4.	荷重変形関係と破壊の様子	
3.4.	3 最大荷重の比較	
3.5.	考察 多数本打ちによる剛性・強度の低減について	
参考	文献エラー! ブックマークが定義され	ぃていません。
4.集合	型破壊試験	76
4.集合 4.1.	型破壊試験 実験の目的	76 76
4.集合 4.1. 4.2.	型破壊試験 実験の目的 試験体の概要	
 4.集合 4.1. 4.2. 4.3. 	型破壊試験 実験の目的 試験体の概要 試験方法	
4.集合 4.1. 4.2. 4.3. 4.4.	型破壊試験 実験の目的 試験体の概要 試験方法 強軸試験体の試験結果	
4.集合 4.1. 4.2. 4.3. 4.4. 4.5.	型破壊試験 実験の目的 試験体の概要 試験方法 強軸試験体の試験結果	
4.集合 4.1. 4.2. 4.3. 4.4. 4.5. 4.6.	型破壊試験 実験の目的 試験体の概要 試験方法 強軸試験体の試験結果	
4.集合 4.1. 4.2. 4.3. 4.4. 4.5. 4.6. 4.7.	型破壊試験 実験の目的 試験体の概要 試験方法 強軸試験体の試験結果	76 76 76 77 88 89 117 126 130
4.集合 4.1. 4.2. 4.3. 4.4. 4.5. 4.6. 4.7. 5.ビス	型破壊試験 実験の目的 試験体の概要	76 76 76 77 88 89 117 126 130 136
4.集合 4.1. 4.2. 4.3. 4.4. 4.5. 4.6. 4.7. 5.ビス 5.1.	型破壊試験 実験の目的 試験体の概要 試験方法 強軸試験体の試験結果	76 76 76 77 88 89 117 126 130 136
4.集合 4.1. 4.2. 4.3. 4.4. 4.5. 4.6. 4.7. 5.ビス 5.1. 5.2.	型破壊試験 実験の目的 試験体の概要 試験方法 強軸試験体の試験結果 弱軸試験体の試験結果 弱軸試験体の試験結果 指定値と実験値の比較 単体の引き抜き試験 実験の目的 試験体の概要	76 76 76 88 89 117 126 130 136 136
4.集合 4.1. 4.2. 4.3. 4.4. 4.5. 4.6. 4.7. 5.ビス 5.1. 5.2. 5.3.	型破壊試験 実験の目的 試験体の概要 試験方法	76 76 76 77 88 89 117 126 130 136 136 136 138
 4.集合 4.1. 4.2. 4.3. 4.4. 4.5. 4.6. 4.7. 5.ビスコ 5.1. 5.2. 5.3. 5.4. 	型破壊試験 実験の目的 試験体の概要	76 76 76 77 88 89 117 126 130 136 136 136 138 138

1. 事業概要

1.1. 事業の目的

CLT 材はラミナ毎の性能的なばらつきが大きいため、CLT 構造の接合部は性能安定 性が課題のひとつとなっている。接合方法の中でもビス接合は、局所的に構造的な欠 点(欠け、虫孔、抜け節)に数本のビスが打ち込まれたとしても、多数本打つことによ って少なくとも下限値で決定された性能値を担保することが可能な接合方法である。 前述のラミナ毎の性能的なばらつきについても、複数のラミナに跨ってビス打ちを行 うことにより、これによる影響も軽減することが可能である。

ところが平成25年度林野庁委託事業「CLTパネルを用いたLSB及びビス接合部の データ等の収集・分析事業報告書」¹⁾においてビス接合の試験を実施したところ、弱 軸試験体の最外層積層接着面でせん断破壊し、多数本打ちによる問題点が発覚した。

今後、CLT 建築物を建てるに当たって、利便性、コスト面からビス接合部は一番使 用頻度が高い接合方法であるため、様々な接合形状のものが設計者や金物メーカーか ら提案されていくと思われる(写真 1.1-1)。そのときにビス1本当たりの性能やビス単 体の曲げ性能から接合部の性能を設計してしまった場合に最低限の設計ルールが無い と、危険側の接合部が市場に出てしまう恐れがある。

このため、当該事業にてビス接合部の多数本打ちに関する実験を行い、設計ルール を構築することを目的とする。



表 1.1-1 実建物で使用されるビス金物の例

1.2. 実施内容

木質構造設計規準・同解説(日本建築学会発行)では、1列に打つビスを徐々に増や していった場合、ある程度までは本数と強度性能が比例していくが、一定以上の本 数からビス 1 本あたりの強度性能は低下する傾向にあるため、低減係数を定めてい る。CLT 接合においてもこの考え方が当てはまると考えており、当該事業で実験的 に確認を行う(①試験)。

また、同書では、集合型せん断破壊についての検討が必要とされているが、CLT 材を使った接合部においても同一とは言えないものの、似たような現象は起こりう ると考えており、そのための検討を行い、必要な実験を行い(②試験)、算定式を作成 する。

合わせてこれらの試験結果の分析を行うため、ビスの引き抜き試験等の基本的な 試験を行う(③試験)。

上記の試験スケジュールは表 1.2-1 のとおり実施した。

年		-	平成27年	平成28年						
月	8月	9月	10月 11月 12月			1月	2月	3月		
委員会			•							
材料発注(①)										
材料発注(23)										
 1試験 										
 2試験 										
③試験							-			
データ纏め										
報告書作成										

表 1.2-1 事業実施スケジュール

1.3. 実施体制

本事業の実施体制は表1.3-1に示すとおりである。

機関名	実施内容								
木構造振興(株)	事業の統括、実施計画、仕様の検討、試験計画・試験体図作成、								
	データ整理、まとめ								
委員会(学識経験者で構成)	諮問機関								
宇都宮大学中島昌一	1列多数本打ちによる影響について要素試験実施								
(財)日本住宅・木材技術センター	集合型ビス金物接合部についての要素試験実施								

表1.3-1 各機関の実施体制

平成 27 年度 林野庁委託事業 CLT ビス接合 WG

委員名簿

- 主 查 小林 研治 静岡大学 農学部 環境森林科学科 助教
- 委 員 荒木 康弘 国立研究開発法人 建築研究所構造研究グループ
 - 中島 昌一 宇都宮大学大学院工学研究科 助教
- オブザーバー 西村 紘明 農林水産省 林野庁林政部 木材産業課 住宅資材班 住宅資材技術係長
 - 坂 賢 農林水産省 林野庁林政部 木材産業課 木材製品技術室 調査係長
- 事務局原田浩司木構造振興(株)客員研究員 鈴木圭 〃 主任研究員

委員会開催実績

第1回

- 日 時:平成27年 9月 7日(月)19:00~21:30
- 会 場:ハロー貸し会議室馬喰横山3階 RoomB

第2回

- 日 時:平成27年10月 1日(木)17:30~21:00
- 会 場: TKP 東京駅丸の内会議室ミーティングルーム C

第3回

- 日 時:平成28年 3月 7日(月)15:00~18:00
- 会 場: (一社)木を生かす建築推進協議会 会議室

2. CLTの概要

CLT の種類は、試験の目的や使用部位に応じて表 2.1 のとおりとした。一列多数本による影響を確認するための試験においては、幅はぎ接着していないことが試験に影響を及ぼ さないよう、幅はぎ有りの試験体とした。一方、集合型破壊の影響を確認するための試験 においては、安全側の評価をしなければならないので、不利な条件の試験材料として幅は ぎのない試験体とした。

結果として、両者の試験体は別々の CLT 製造メーカーに依頼することになったため、材料の等級や接着剤の仕様が異なるものとなった。材料の仕様を表 2-1 に示す。

		ラミナの	の寸法	青年代	接着剤の種類						
検討項目	CLTの等級区分	ラミナの 厚さ(mm)	ラミナの 幅(mm)	1916さ 接着							
ー列多数本の影響 を確認するための試 験	スギ・Mx60-5-5・ B種構成	30	120	あり	JJS K 6806に規定する水性高分子イソシアネート 系木材接着剤1種1号 主剤:(㈱オーシカ ピーアイボンド5330 架橋剤:(㈱オーシカ 架橋剤H-50 主剤:架橋剤配合比=100:15 塗布量:幅はぎ200g/m ² 、積層240g/m ²						
集合型破壊を確認 するための試験	スギ・Mx60-5-5・ A種構成	30	124	なし	JIS K 6806に規定する水性高分子イソシアネート 系木材接着剤1種1号 主剤:(㈱オーシカ ピーアイボンドMH-8 架橋剤:(㈱オーシカ 架橋剤H-3MSH 主剤:架橋剤配合比=100:15 塗布量:250g/m ²						

表 2-1 実験に使用した CLT 材の種類

3. 一列多数本打ちによる影響を確認するための試験

3.1. 実験の目的

文献2)では、1列の木ねじ本数に基づいて耐力を低減する規定がある。

1列の木ねじ本数 10以上の場合:0.9

1列の木ねじ本数 20以上の場合: 0.8

ただし、これらはくぎによる実験結果であり、ビスでの確認事例はない。

したがって、本事業では CLT におけるビスの低減係数を実験的に確認すると共に、 集成材におけるビスの低減係数の確認を行うことを目的とする。

3.2. 試験体の概要

(1)試験体の種類

表 3.2-1 に試験体の種類と試験体数を示す。

CLTと集成材は比較のため、材質をスギ・Mx60-5-5・B種構成相当とした。

CLT は強軸方向加力及び弱軸方向加力の 2 種類とし、集成材は金物の取り付ける 面を幅方向と積層方向の 2 種類とした。ビスの本数は 1,5,10,15,20,25 本の 6 種類と し、10 本仕様のみピッチを 12d に変更した仕様を行う。ただし、集成材の積層方向 の試験については、1,10,20 本の 3 種類のみとした。ビスを打つ位置と幅はぎ位置が 一致しないよう、試験体の中央にラミナの中央が配置されるようにした。

			母材				ビス					鋼板																							
No.	試験体名		加力	金物 をと	幅	長さ	ビス山 径	ビス間 隔	本数	種類	端距 離	縁距 離	金物名称	材種	材厚	板幅	試験 体数																		
			方向	りつける	B(mm)	H(mm)	d (mm)	a(mm)	n(mm)		e1 e2	e2			mm	mm																			
1	CS-S1					450		52	1		52	125	N1																						
2	CS-S5				250	700		52	5		52	0	N5																						
3	CS-S10		繊維			950		52	10		52	0	N10	-																					
4	CS-S15		に平行す			1200		52	15	タッピン グねじ STS-C65	52	0	N15																						
5	CS-S20		る方			1450		52	20		52	0	N20																						
6	CS-S25		向			1700		52	25		52	0	N25				6																		
7	CS-S10P78					1950		78	10		78	0	N10-12d																						
8	CS-S10P26	CLT				2200		26	10		26	0	N10-4d																						
9	CW-S1				畐は	450		52	1		52	175	N1																						
10	CW-S5		9# 9#			700		52	5		52	0	N5																						
11	CW-S10		越稚に直	幅は		950		52	10		52	0	N10																						
12	CW-S15		交す	ぎ面	350	1200		52	15		52	0	N15																						
13	CW-S20		る方			1450	6.5	52	20		52	0	N20	SS400	t=6	150																			
14	CW-S25		1.0			1700		52	25		52	0	N25																						
15	CW-S10P78					1950		78	10		78	0	N10-12d																						
16	L-S1				250 賃層 面	450		52	1	-	52	125	N1																						
17	L-S5					700		52	5		52	0	N5																						
18	L-S10					950																				52	10		52	0	N10				
19	L-S15		(井 (任			1200		52	15		52	0	N15																						
20	L-S20	焦止	転産			1450		52	20		52	0	N20																						
21	L-S25	果成 材	行す			1700		52	25	-	52	0	N25																						
22	L-S10P78	で 「「「	る力			1950		78	10		78	0	N10-12d																						
23	L1-S1		1.3	積層 面		450		52	1		52	0	N1																						
24	L1-S10					950		52	10		52	0	N10																						
25	L1-S20					1450		52	20		52	0	N20																						
26	L1-S10P78					950		78	10		78	0	N10-12d	1																					
								合計									6																		

表 3.2-1 試験体の種類

※Eurocodeによるとビスの縁・端距離及び間隔におけるdとは、ビスの山径を指す。



図 3.2-1 試験体の各部寸法と仕様

(2) 接合金物及びビスの仕様

.

接合金物の仕様を図 3.2-2~図 3.2-8 に、ビスの仕様を図 3.2-9 に示す。





図 3.2-4 金物: N10



.





図 3.2-6 金物: N15



.



図 3.2-8 金物: N25



図 3.2-9 四角穴付きタッピングねじ STS・C65 姿図

(3)試験体の仕様

試験体の仕様を図 3.2-10~図 3.2-35 に示す。







図 3.2-16 試験体 CS-S25







図 3.2-18 試験体 CW-S5





図 3.2-23 試験体 CW-S25





図 3.2-25 試験体 L-S15







図 3.2-32 試験体 L1-S10



図 3.2-33 試験体 L1-S20

3.3. 試験方法

試験は財団法人日本住宅・木材技術センター発行「木造軸組工法住宅の許容応力度 設計(2008 年版)」³⁾に準じて行った(図 3.3-1、写真 3.3-1)。

変位計測は、変位計を用い、壁パネルの軸芯と接合金物鋼板添え板部分との相対変 位とし、左右2カ所で計測を行った(写真 3.3-2)。変位には、金物の変形、試験による 材料の割れ、めり込みによる変位等も含んだものとした。

加力方法は、一方向繰り返し加力とし、事前に行った単調加力試験体の結果の δy から 1/2,1,2,4,6,8,12,16 倍の順で繰り返し加力を行った。加力は最大荷重に達した後、 接合部の機能が失われるまで、または計測不能になるまで加力を行った。



図 3.3-1 1 列多数本 試験方法



写真 3.3-1 1列多数本 試験の様子



写真 3.3-2 1 列多数本 変位計取り付け

3.4. 荷重変形関係と破壊の様子

図 3.4.1 に荷重変形関係の包絡線の平均曲線を、図 3.4.2-1~図 3.4.50 に各試験体の荷 重変形関係と破壊の様子を示す。



図 3.4-1 パラメータ毎のビス1本あたりの平均荷重変位曲線

3.4.1 荷重変位関係と破壊の様子

図 3.4.2-1 から図 3.4.2.50 に各試験体の荷重変位関係と破壊の様子を示す。



図 3.4.2-1 CS-S11体目から3体目



図 3.4.2-2 CS-S14体目から6体目



図 3.4.2-3 CS-S51体目から3体目



図 3.4.2-4 CS-S5 4体目から6体目



図 3.4.2-5 CS-S10 1体目から3体目



図 3.4.2-6 CS-S10 4体目から6体目





図 3.4.2-7 CS-S10P26 1 体目から 3 体目



図 3.4.2-8 CS-S10P26 4体目から6体目



図 3.4.2-9 CS-S10P78 1体目から3体目



図 3.4.2-10 CS-S10P78 4体目から6体目



図 3.4.2-11 CS-S15 1体目から3体目



図 3.4.2-12 CS-S15 4体目から6体目


図 3.4.2-13 CS-S20 1体目から3体目



図 3.4.2-14 CS-S204体目から6体目



図 3.4.2-15 CS-S25 1体目から4体目



図 3.4.2-16 CS-S25 5体目から7体目



図 3.4.2-17 CW-S1 1体目から3体目



図 3.4.2-18 CW-S1 4体目から6体目



図 3.4.2-19 CW-S5 1体目から3体目



図 3.4.2-20 CW-S5 4体目から6体目



図 3.4.2-21 CW-S10 1体目から3体目



図 3.4.2-22 CW-S10 4体目から6体目



図 3.4.2-23 CW-S10P78 1体目から3体目



図 3.4.2-24 CW-S10P78 4体目から6体目



図 3.4.2-25 CW-S15 1 体目から 3 体目



図 3.4.2-26 CW-S15 4 体目から6 体目



図 3.4.2-27 CW-S20 1 体目から3 体目



図 3.4.2-28 CW-S20 4体目から6体目



図 3.4.2-29 CW-S25 1体目から3体目



図 3.4.2-30 CW-S25 4体目から6体目



図 3.4.2-31 L-S1 1体目から3体目



図 3.4.2-32 L-S1 4体目から6体目



図 3.4.2-33 L-S5 1体目から3体目



図 3.4.2-34 L-S5 4体目から6体目



図 3.4.2-35 L-S10 1体目から3体目



図 3.4.2-36 L-S10 4体目から6体目



図 3.4.2-35 L-S10P78 1 体目から 3 体目



図 3.4.2-36 L-S10P78 4体目から6体目



図 3.4.2-37 L-S15 1体目から3体目



図 3.4.2-38 L-S15 4体目から6体目



図 3.4.2-39 L-S20 1体目から3体目



図 3.4.2-40 L-S20 4体目から6体目



図 3.4.2-41 L-S25 1体目から3体目



図 3.4.2-41 L-S25 4体目から6体目



図 3.4.2-43 L1-S1 1体目から3体目



図 3.4.2-44 L1-S1 4体目から6体目



図 3.4.2-45 L1-S10 1体目から3体目



図 3.4.2-46 L1-S10 4体目から6体目


図 3.4.2-47 L1-S10P98 1体目から3体目



図 3.4.2-48 L1-S10P98 4体目から6体目



図 3.4.2-49 L1-S20 1体目から3体目





写真無し

図 3.4.2-50 L1-S20 4体目から6体目

3.4.3 最大荷重の比較

図 3.4-3-1 にビス間隔 a=52mm (8d) のときのパラメータ毎の木ねじ1本あたりの 最大荷重の平均値を示す。図 3.4-3-2 に木ねじ本数 n=10 のときのパラ—メータごとの 最大荷重の平均値を示す。

接合具ピッチと最大荷重の間には正の相関が見られ、ピッチa=26mm(4d)の試験体では、ビスの外径分の幅端抜け破壊が生じた。



図3.4.3-1 最大荷重とビス本数の関係 図3.4.3-2 最大荷重とビスピッチの関係

(1)1,5,10,15,20,25本仕様の比較

母材に集成材を用いた試験体では、接合具本数nが増えるにつれて割裂破壊が生じ、 最大荷重が低下する傾向がみられた。一方、母材にCLTを用いた試験体では、接合 具本数nが増加しても割裂破壊が生じず、最大荷重が低下する傾向はみられなかった。

(2) ビス間隔及び縁距離(8d、12d)の違いによる比較

1 7月また	このビュナキ	CI	LT	集成材			
1 列めだ	.りのヒス本 <u>級</u> (木)	強軸	弱軸	幅はぎ面	積層面		
11	(4)	CS	CW	L	L1		
1	S1	1	1	1	1		
5	S5	0.88	0.99	0.81	_		
10	S10	0.76	0.95	0.85	0.86		
15	S15	0.85	1.06	0.89	_		
20	S20	0.96	0.98	0.8	0.71		
25	S25	0. 88	0.91	0. 64	_		

表3.4-1 ビス本数n=1のときの最大荷重に対する割合(ビスピッチa=52(8d))

3.5. 考察 多数本打ちによる剛性・強度の低減について

表 3.4-1 に示されるように、集成材では、木ねじの本数が増えるにつれて荷重が低下する傾向にあった。その傾向は幅はぎ面よりも積層面の方が顕著であった。一方、 CLTでは、強軸方向、弱軸方向のいずれの場合も、集成材ほどの低下傾向はみられなかった。これは、互いに直交する層によって、荷重の低下の原因となる割裂破壊が抑制されたことによると考えられる。

他方、図 3.5.1 に弾性論 4に基づき計算された CLT 強軸方向の、木ねじ本数と低減 係数の関係を示す。図 3.5.1 と図 3.4.3-1 を比較すると、木ねじ本数 n=25 の場合、CLT 強軸方向の低減係数は、いずれも 0.9 程度であった。n=10~15 の場合に、実験値と 計算値に相違はみられるものの、これは試験体数が 6 と少ないことによるばらつきの 影響であるとも考えられる。母材に集成材を用いた場合(図 3.5.2)には、低減される 割合の計算値は CLT よりも小さくなった。したがって、集成材において集合的に生じ る割裂破壊には、木ねじの負担するせん断力の偏りとは別の要因が考えられる。



図 3.5.1 低減係数(計算值: CLT 強軸)図 3.5.2 低減係数(計算值:集成材)

4. 集合型破壊試験

4.1. 実験の目的

ー般住宅に非常によく使われる鋼板添え板ビス接合はコスト削減や施工性向上のた め、ビスピッチを狭めたり、胴部径の太いビスを使用することによって金物本体の面 積が小さくなる傾向にある。

今後、CLT 構造が一般化していくにあたって同様の問題点が懸念される。

文献²⁾では、繊維方向の引張について、図 4.1-1 のとおり集合型せん断破壊に対す る検討を行うこととなっている。CLT は繊維平行方向と繊維直交方向が混在してい るため、製材や集成材とは異なる破壊性状となると考えた。

実際に文献¹⁾におけるビス接合の試験体では、写真 4.1-1 に示すように、積層接着 面でせん断破壊している。



図 6.5 木材の繊維に平行方向の力を受ける接合部の破壊性状

$$P_{uw} = \max \begin{cases} A_{es} \cdot F_t \\ A_{es} \cdot F_s \end{cases}$$

記号 P_{uw} :割裂またはせん断破壊による終局耐力(N)

Ae:: 引張部分の有効面積(先孔による断面欠損を引いた値)(mm²)

- A_{es} : せん断の有効面積(先孔による断面欠損を引いた値)(mm²)
- l: 主材の(有効) 厚さ(mm), ただし, l が 10d を超える場合は 10a とする
- d:接合具径(mm)
- F_i :引張りの基準強度 (N/mm^2)
- F_s : せん断の基準強度 (N/mm^2)



図 4.1-1 製材や集成材等に適用される集合破壊の検討方法

写真 4.1-1 文献 1)に見られる集合型せん断破壊の壊れ方

4.2. 試験体の概要

(1)試験体の種類

CLT 接合では強軸方向、弱軸方向の 2 方向に引張接合を設けることが多く、それ ぞれ異なる破壊性状が予測されるため、それぞれの方向について試験を行った。

表 4.2-1 及び表 4.2-2 に強軸試験体及び弱軸試験体の種類と試験体数を示す。表中の各部寸法の補足説明を図 4.2-1 及び図 4.2-2 に示す。

図 4.1-1 に記載してあるとおり集成材等における集合型破壊においてはビスで囲 われたゾーンが大きく影響しており、CLT においてもその部分に着目して試験体仕 様を決定した。ただし、幅はぎ接着の無い CLT においては、図 4.1-1 に示すせん断 面の位置にラミナの幅方向にラミナ側面相互が密着或いは接近している境界部分(以 下「ラミナ境界部」と呼ぶ)が位置することがあり、当然この場合のせん断力の伝達は 0となる。表 4.2-1 の強軸試験体における通し番号 1~7 までの試験は前述の条件を想 定した試験であり、写真 4.1-1 のような積層接着面のせん断破壊の影響が大きいと考 え、表 4.2-1 にはせん断に係る面積を算出している。また、通し番号 9 の試験では、 ラミナ境界部の影響を除くため、試験体の中央部分にラミナ境界部を配置した試験 体とした。

一方、弱軸試験体では、文献¹⁾で実施した試験体 PTO(写真 4.1-1)をコントロール 材として、試験体を用意した。PTO は試験体 O3530 とビスの縁・端距離及び間隔等 は同一であるが、ラミナ境界部はランダムとしており、寸法 L を 300 mm とした O5350 と比較を行う。試験体 PTO の結果から、弱軸試験体はビスで囲まれたゾーンの左右 の部分についても積層接着面がせん断破壊しているが、試験体幅が広くなるにつれ て加力点から遠い部分のせん断応力が小さくなっていくはずである。したがって試 験体の通し番号が大きくなるにつれて試験体幅が大きくなる試験体仕様とした。

					ビス			鋼	板	ビスで囲	目まれた部分の	D面積													
通					ビスの縁・端距離及び間隔※					CLT端部か ら最外端の	左端から右		ランナ培史部	討酴											
番 号 1	試験体	種類	本数 (本)	ビス山径 d (mm)	ビス間隔 s (mm)	ビス列間隔 r (mm)	端距離 e1 (mm)	材質	板厚 t (mm)	ビスまでの 距離 L _b (mm)	端までのビ スの距離 W _b (mm)	面積 (mm²)	の位置	体数											
1	P29		23		9.2d(60)	7.7d(50)	7.7d(50)			290	100	29000		6											
2	P53		23		18.5d(120)	7.7d(50)	7.7d(50)	00.400		530	100	53000	ラミナ境界部	6											
3	P77		23		27.7d(180)	7.7d(50)	7.7d(50)			770	100	77000	の位置かつミ ナ幅の1/2ず	6											
4	P77T	タッピン	23		13.8d(90)	3.8d(25)	7.7d(50)			770	100	77000	れている (ラミナの位置 が試験体の	6											
5	P77U	グねじ	23	65	9.2d(60)	7.7d(50)	7.7d(50)			770	100	77000		6											
6	P29M	STS· C65	STS· 31 C65 41	STS.	STS.	STS.	STS.	STS.	STS	STS.	STS.	STS·	STS· 31	31	0.5	4.6d(30)	3.8d(25)	7.7d(50)	- SS400	0.0	290	100	29000	中央)	6
7	P53M			41		9.2d(60)	3.8d(25)	7.7d(50)			290	100	29000		6										
8	P29MC		31		4.6d(30)	3.8d(25)	7.7d(50)			290	100	29000	ラミナ境界部 の位置が試 験体の中央	6											
							合 計							48											

表 4.2-1 強軸試験体の種類

※Eurocodeによるとビスの縁・端距離及び間隔における d とは、ビスの山径を指す。

			ビス						版	せん断に影響すると思われる面積等				
通し番号				ビスの縁・端距離及び間隔※						CLT端部か ら最外端の			CLT端部から	<u>=</u> + €¢
	試験体	種類	本数	ビス山径 d (mm)	ビス間隔 s (mm)	ビス列間隔 r (mm)	端距離 e1 (nm)	材質	板厚 t (mm)	ビスまでの 距離 L _b (mm)	CLTの幅 W (mm)	面積 (mm ²)	ビス接合され たラミナ境界 部までの距離 L(nm)	^{武映} 体数
1	O2023	タッピン	18							230	200	46000	230	6
2	O3530	クねじ STS・	18	6.5	9.2d(60)	7.7d(50)	7.7d(50)	SS400	4.5	230	350	80500	300	6
3	O4623	C65	18							230	460	105800	230	6

表 4.2-2 弱軸試験体の種類

※Eurocodeによるとビスの縁・端距離及び間隔におけるdとは、ビスの山径を指す。



図 4.2-1 強軸試験体の各部寸法と仕様



図 4.2-2 弱強軸試験体の各部寸法と仕様

(2) 接合金物及びビスの仕様

接合金物の仕様を図 4.2-3~図 4.2-10 に、ビスの仕様を図 4.2-11 に示す。











図 4.2-6 試験体 P77T 用金物







図 4.2-9 試験体 P53M 用金物



図 4.2-10 試験体 O2023、O3530、O4623 用金物



図 4.2-11 四角穴付きタッピングねじ STS・C65 姿図

(3)試験体の仕様

試験体の仕様を図 4.2-12~図 4.2-22 に示す。



図 4.2-14 試験体 P77

図 4.2-15 試験体 P77T



図 4.2-18 試験体 P29MC









図 4.2-22 試験体 O4623



図 4.2-21 試験体 O3530

4.3. 試験方法

試験は財団法人日本住宅・木材技術センター発行「木造軸組工法住宅の許容応力度 設計(2008 年版)」³⁾に準じて行った。

変位計測は、変位計を用い、壁パネルの軸芯と接合金物鋼板添え板部分との相対変 位とし、左右2カ所で計測を行った。変位には、金物の変形、試験による材料の割れ、 めり込みによる変位等も含んだものとした。

加力方法は、一方向繰り返し加力とし、事前に行った単調加力試験体の結果の δy から 1/2,1,2,4,6,8,12,16 倍の順で繰り返し加力を行った。加力は最大荷重に達した後、 接合部の機能が失われるまで、または計測不能になるまで加力を行った。



写真 4.3-1 試験方法、変位計の取り付け

4.4. 強軸試験体の試験結果

(1)試験体 P29

試験体 P29 の特性値を表 4.4-1 に、各試験体の荷重 – 変位曲線を図 4.4-1~図 4.4-7 に、包絡線の比較を図 4.4-7 に示す。破壊性状を写真 4.4-1~写真 4.4-10 に示す。破壊性状は、0 体目と 3 体目が集合型破壊となり、それ以外はビスのせん断破壊となった。

			P2	29			亚坎荷	標準偏	変動係	ばらつ	5%下限
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	差	数	き係数	値
1/10Pm (kN)	13.8	17.3	16.2	16.3	15.1	17.6	16.1	1.42			
1/10 δ m (mm)	0.05	0.08	0.05	0.79	0.06	0.10	0.19	0.30			
2/5Pm (kN)	55.0	69.3	64.9	65.2	60.3	70.5	64.2	5.78			
2/5δm (mm)	0.98	1.02	0.90	2.94	2.69	2.17	1.78	0.93			
2/3Pm (kN)	91.7	115.5	108.2	108.6	100.6	117.5	107.0	9.61	0.090	0.790	84.5
2/3 δ m (mm)	2.52	2.32	2.09	5.14	5.72	4.65	3.74	1.61			
9/10Pm (kN)	123.8	155.9	146.1	146.6	135.8	158.6	144.5	12.96			
9/10 δ m (mm)	5.59	4.78	4.14	8.44	9.48	9.24	6.95	2.38			
Pm (kN)	137.5	173.3	162.3	162.9	150.9	176.3	160.5	14.45			
δ m (mm)	17.21	9.41	6.80	14.01	23.40	23.81	15.77	7.06			
δu時荷重 (kN)	110.0	149.8	162.3	153.7	134.5	168.1	146.4	21.24			
δu (mm)	27.13	30.00	6.80	30.00	30.00	30.00	25.66	9.31			
降伏耐力 Py (kN)	77.7	98.9	91.7	96.9	80.7	101.8	91.3	9.97	0.109	0.745	68.0
δy (mm)	1.89	1.79	1.59	4.44	4.14	3.71	2.93	1.31			
終局耐力 Pu (kN)	130.4	164.6	150.8	157.3	145.6	167.7	152.7	13.70	0.090	0.790	120.6
初期剛性 K (kN/mm)	41.11	55.25	57.67	21.82	19.49	27.44	37.13	16.77			
降伏点変位 δv(mm)	3.17	2.98	2.61	7.21	7.47	6.11	4.93	2.25			
塑性率 μ=δu/δv	8.56	10.07	2.61	4.16	4.02	4.91	5.72	2.92			
構造特性係数 Ds	0.25	0.23	0.49	0.37	0.38	0.34	0.34	0.10			

表 4.4-1 試験体 P29 の特性値

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1 Pmax時の変位









図 4.4-4 試験体 P29-3 Pδ曲線





写真 4.4-1 試験体 P29-0 試験後



写真 4.4-2 試験体 P29-0 ビスの集合型破壊



写真 4.4-3 試験体 P29-0 ビスの集合型破壊 ラミナの引張破断



写真 4.4-4 試験体 P29-0 最外層積層 接着面のせん断破壊



写真 4.4-5 試験体 P29-0 解体後 集合型破壊の様子 ビスによる木材 側の損傷(支圧・割裂破壊)は軽微



写真 4.4-6 試験体 P29-0 解体後 積層接着面のせん断破壊



写真 4.4-7 試験体 P29-2 ビスのせん 断破壊



写真 4.4-8 試験体 P29-3 積層接着面 のせん断破壊



写真 4.4-9 試験体 P29-3 積層接着面 のせん断破壊



写真 4.4-10 試験体 P29-4 ビスのせ ん断破壊

(2)試験体 P53

試験体 P53 の特性値を表 4.4-2 に、各試験体の荷重-変位曲線を図 4.4-8~図 4.4-13 に、 包絡線の比較を図 4.4-14 に示す。破壊性状を写真 4.4-11~写真 4.4-14 に示す。 破壊性状は、全ての試験体においてビスのせん断破壊となった。

			Pā	53	•		亚均荷	標準偏	変動係	ばらつ	5%下限
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	差	数	き係数	値
1/10Pm (kN)	15.0	15.8	14.0	17.7	17.1	19.0	16.4	1.84			
1/10 δ m (mm)	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.01			
2/5Pm (kN)	60.1	63.1	56.1	70.6	68.6	75.9	65.7	7.30			
2/5δm (mm)	2.13	2.37	2.80	2.05	2.33	1.69	2.23	0.37			
2/3Pm (kN)	100.1	105.2	93.6	117.7	114.3	126.5	109.6	12.16	0.111	0.741	81.2
2/3 δ m (mm)	4.68	5.15	5.52	4.46	4.74	3.67	4.70	0.63			
9/10Pm (kN)	135.1	142.0	126.3	159.0	154.3	170.8	147.9	16.45			
9/10 δ m (mm)	8.75	8.82	9.15	8.33	8.17	6.67	8.32	0.88			
Pm (kN)	150.1	157.8	140.4	176.6	171.4	189.8	164.4	18.26			
δ m (mm)	17.21	17.21	20.81	17.01	13.01	13.01	16.38	2.97			
δu時荷重 (kN)	139.0	132.6	112.3	147.8	154.1	161.0	141.1	17.41			
δu (mm)	30.00	30.00	27.93	30.00	30.00	30.00	29.66	0.85			
降伏耐力 Py (kN)	83.6	83.7	85.1	100.3	99.4	104.9	92.8	9.73	0.105	0.755	70.0
δy (mm)	3.47	3.73	4.82	3.48	3.91	2.68	3.68	0.70			
終局耐力 Pu (kN)	143.7	149.0	134.8	165.4	165.0	178.9	156.1	16.39	0.105	0.755	117.8
初期剛性 K (kN/mm)	24.09	22.44	17.66	28.82	25.42	39.14	26.26	7.30			
降伏点変位 δv(mm)	5.97	6.64	7.63	5.74	6.49	4.57	6.17	1.02			
塑性率 μ=δu/δv	5.03	4.52	3.66	5.23	4.62	6.56	4.94	0.96			
構造特性係数 Ds	0.33	0.35	0.40	0.33	0.35	0.29	0.34	0.04			

表 4.4-2 試験体 P53 の特性値

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位











写真 4.4-11 試験体 P53-1 試験後



写真 4.4-13 試験体 P53-4 ビスのせん断破壊



写真 4.4-12 試験体 P53-1 解体後 ビスのせん断、曲げ、折損



写真 4.4-14 試験体 P53-4 ビスのせん断破壊による CLT 端部の割れ

(3)試験体 P77

試験体 P77の特性値を表 4.4-3 に、各試験体の荷重 – 変位曲線を図 4.4-15~図 4.4-20 に、包絡線の比較を図 4.4-21 に示す。破壊性状を写真 4.4-15~写真 4.4-19 に示す。破壊性状は、全ての試験体においてビスのせん断破壊となった。

試験体記号			P	7			亚坎荷	標準偏	変動係	ばらつ	5%下限
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	差	数	き係数	値
1/10Pm (kN)	16.6	16.0	16.1	18.6	14.1	17.6	16.5	1.54			
1/10 δ m (mm)	0.05	0.04	0.03	0.08	0.03	0.03	0.04	0.02			
2/5Pm (kN)	66.3	63.8	64.2	74.3	56.5	70.3	65.9	6.09			
2/5 δ m (mm)	1.47	1.54	1.40	2.38	2.04	1.64	1.75	0.38			
2/3Pm (kN)	110.5	106.4	107.0	123.8	94.2	117.2	109.9	10.14	0.092	0.785	86.2
2/3 δ m (mm)	3.08	3.64	3.65	4.93	4.63	4.03	3.99	0.69			
9/10Pm (kN)	149.2	143.7	144.5	167.1	127.2	158.3	148.3	13.68			
9/10 δ m (mm)	5.77	6.68	7.69	8.54	8.29	7.38	7.39	1.03			
Pm (kN)	165.8	159.6	160.5	185.7	141.4	175.9	164.8	15.19			
δ m (mm)	9.00	17.42	17.41	17.21	17.41	13.01	15.24	3.52			
δu時荷重 (kN)	142.3	130.4	142.0	174.9	113.1	147.2	141.7	20.39			
δu (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	27.97	30.00	29.66	0.83			
降伏耐力 Py (kN)	97.8	83.5	89.0	104.1	75.0	92.2	90.3	10.32	0.114	0.734	66.2
δy (mm)	2.52	2.39	2.54	3.88	3.22	2.63	2.86	0.58			
終局耐力 Pu (kN)	156.2	152.6	151.6	180.1	134.1	163.0	156.3	15.10	0.097	0.773	120.8
初期剛性 K (kN/mm)	38.81	34.94	35.04	26.83	23.29	35.06	32.33	5.93			
降伏点変位 δv(mm)	4.02	4.37	4.33	6.71	5.76	4.65	4.97	1.04			
塑性率 μ=δu/δv	7.46	6.86	6.93	4.47	4.86	6.45	6.17	1.22			
構造特性係数 Ds	0.27	0.28	0.28	0.35	0.34	0.29	0.30	0.03			

表 4.4-3 試験体 P77 の特性値

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位











写真 4.4-15 試験体 P77-1 試験前



写真 4.4-16 試験体 P77-1 試験後



写真 4.4-17 試験体 P77-1 ビスのせん断



写真 4.4-18 試験体 P77-1 上端ビスの 写真 4.4-19 試験体 P77-1 解体後 引き抜けに伴う鋼板の反り



ビスの曲げ、折損

(4)試験体 P77T

試験体 P77T の特性値を表 4.4-4 に、各試験体の荷重-変位曲線を図 4.4-22~図 4.4-27 に、包絡線の比較を図 4.4-28 に示す。破壊性状を写真 4.4-20~写真 4.4-24 に示す。

破壊性状は、全ての試験体においてビスのせん断破壊となった。

試験体記号			P7	7T			亚均值	標準偏	変動係	ばらつ	5%下限
項目	1	2	3	4	5	6	干均恒	差	数	き係数	値
1/10Pm (kN)	15.4	16.5	16.0	16.2	16.2	16.6	16.2	0.43			
1/10 δ m (mm)	0.03	0.08	0.05	0.05	0.03	0.05	0.05	0.02			
2/5Pm (kN)	61.6	65.9	63.9	65.0	64.7	66.3	64.6	1.69			
2/5δm (mm)	0.90	1.55	1.43	1.19	1.28	0.83	1.20	0.29			
2/3Pm (kN)	102.7	109.9	106.5	108.3	107.9	110.4	107.6	2.79	0.026	0.939	101.0
2/3 δ m (mm)	2.55	3.60	3.92	3.48	3.47	2.46	3.25	0.60			
9/10Pm (kN)	138.6	148.4	143.8	146.2	145.7	149.1	145.3	3.80			
9/10 δ m (mm)	5.35	6.65	8.24	7.18	6.22	5.35	6.50	1.12			
Pm (kN)	154.0	164.8	159.8	162.4	161.9	165.7	161.4	4.21			
δ m (mm)	17.21	13.21	21.01	17.01	17.21	13.01	16.44	2.99			
δu時荷重(kN)	136.6	141.5	145.0	138.7	138.9	141.1	140.3	2.91			
δu (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00			
降伏耐力 Py (kN)	81.4	87.5	86.9	82.9	77.3	87.6	83.9	4.16	0.050	0.883	74.0
δy (mm)	1.67	2.41	2.58	2.05	1.85	1.57	2.02	0.41			
終局耐力 Pu (kN)	147.3	155.6	152.0	153.0	152.0	157.0	152.8	3.38	0.022	0.949	145.0
初期剛性 K (kN/mm)	48.74	36.31	33.68	40.44	41.78	55.80	42.79	8.20			
降伏点変位 δv(mm)	3.02	4.29	4.51	3.78	3.64	2.81	3.68	0.67			
塑性率 μ=δu/δv	9.93	6.99	6.65	7.94	8.24	10.68	8.41	1.60			
構造特性係数 Ds	0.23	0.28	0.29	0.26	0.25	0.22	0.26	0.03			

表 4.4-3 試験体 P77T の特性値

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位







図 4.4-25 試験体 P77T-4 Pδ曲線



図 4.4-26 試験体 P77T-5 P8 曲線

図 4.4-27 試験体 P77T-6 P8 曲線



図 4.4-28 試験体 P77T 各試験体の包絡線



写真 4.4-20 試験体 P77T-1 試験後



写真 4.4-21 試験体 P77T-1 ビスの せん断破壊



写真 4.4-22 試験体 P77T-3 上端ビスの 引き抜けに伴う鋼板の反り



写真 4.4-23 試験体 P77T-1 解体後 ビスのせん断、折損



写真 4.4-24 試験体 P77T-1 解体後 ビスのせん断、折損

(5)試験体 P77U

試験体 P77U の特性値を表 4.4-5 に、各試験体の荷重-変位曲線を図 4.4-29~図 4.4-34 に、包絡線の比較を図 4.4-35 に示す。破壊性状を写真 4.4-25~写真 4.4-28 に示す。

破壊性状は、全ての試験体においてビスのせん断破壊となった。

試験体記号			P7	7U			亚坎荷	標準偏	変動係	ばらつ	5%下限
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	差	数	き係数	値
1/10Pm (kN)	17.6	16.9	17.8	20.2	18.0	17.1	17.9	1.19			
1/10 δ m (mm)	0.07	0.09	0.07	0.09	0.09	0.07	0.08	0.01			
2/5Pm (kN)	70.2	67.6	71.1	80.8	71.9	68.2	71.6	4.79			
2/5 δ m (mm)	1.54	1.87	2.05	2.48	2.43	1.77	2.02	0.37			
2/3Pm (kN)	117.0	112.6	118.4	134.7	119.9	113.7	119.4	8.00	0.067	0.843	100.6
2/3 δ m (mm)	3.88	4.26	4.38	5.18	4.98	4.20	4.48	0.50			
9/10Pm (kN)	158.0	152.0	159.9	181.8	161.8	153.5	161.2	10.78			
9/10 δ m (mm)	8.01	7.72	8.11	9.09	8.49	8.14	8.26	0.48			
Pm (kN)	175.5	168.9	177.7	202.0	179.8	170.5	179.1	11.98			
δ m (mm)	17.21	17.20	17.20	13.41	13.42	17.01	15.91	1.93			
δu時荷重(kN)	154.8	143.5	158.3	161.6	149.7	147.3	152.5	6.89			
δu (mm)	30.00	30.00	30.00	29.41	30.00	30.00	29.90	0.24			
降伏耐力 Py (kN)	96.6	91.2	101.7	114.1	100.8	92.8	99.5	8.27	0.083	0.806	80.1
δy (mm)	2.69	3.03	3.44	4.09	3.86	2.93	3.34	0.55			
終局耐力 Pu (kN)	165.8	159.9	170.1	187.5	170.4	160.3	169.0	10.14	0.060	0.860	145.3
初期剛性 K (kN/mm)	35.91	30.10	29.56	27.90	26.11	31.67	30.21	3.38			
降伏点変位 δv(mm)	4.62	5.31	5.75	6.72	6.53	5.06	5.67	0.83			
塑性率 μ=δu/δv	6.49	5.65	5.22	4.38	4.59	5.93	5.38	0.81			
構造特性係数 Ds	0.29	0.31	0.33	0.36	0.35	0.30	0.32	0.03			

表 4.4-5 試験体 P77U の特性値

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位







図 4.4-33 試験体 P77U-5 P8 曲線

図 4.4-34 試験体 P77U-6 P8 曲線



図 4.4-35 試験体 P77U 各試験体の包絡線



写真 4.4-25 試験体 P77U-2 試験後



写真 4.4-27 試験体 P77U-2 解体後 ビスのせん断、折損



写真 4.4-26 試験体 P77U-2 ビスの せん断破壊



写真 4.4-28 試験体 P77U-4 解体後 ビスのせん断、折損

(6)試験体 P29M

試験体 P29M の特性値を表 4.4-6 に、各試験体の荷重-変位曲線を図 4.4-36~図 4.4-42 に、包絡線の比較を図 4.4-43 に示す。破壊性状を写真 4.4-29~写真 4.4-40 に示す。

破壊性状は、全ての試験体において集合型破壊となり、ラミナの引張破断と最外層 の積層接着面のせん断破壊となった。

			P2	9M			亚坎荷	標準偏	変動係	ばらつ	5%下限
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	差	数	き係数	値
1/10Pm (kN)	13.9	15.6	13.8	23.4	11.0	20.3	16.3	4.63			
1/10 δ m (mm)	0.05	0.06	0.04	0.10	0.04	0.08	0.06	0.02			
2/5Pm (kN)	55.7	62.6	55.1	93.6	44.2	81.4	65.4	18.49			
2/5δm (mm)	0.78	1.23	1.13	2.56	0.89	2.04	1.44	0.71			
2/3Pm (kN)	92.8	104.3	91.8	155.9	73.6	135.6	109.0	30.79	0.282	0.341	37.1
2/3 δ m (mm)	2.11	2.71	2.80	5.31	2.13	4.16	3.20	1.27			
9/10Pm (kN)	125.3	140.8	123.9	210.5	99.4	183.1	147.2	41.58			
9/10 δ m (mm)	3.63	4.44	4.39	9.62	3.21	7.15	5.41	2.48			
Pm (kN)	139.3	156.5	137.6	233.9	110.4	203.4	163.5	46.20			
δ m (mm)	4.45	5.53	5.16	14.35	3.71	9.60	7.13	4.09			
δu時荷重(kN)	139.3	156.5	137.6	205.3	110.4	178.5	154.6	33.53			
δu (mm)	4.45	5.53	5.16	18.61	3.71	10.62	8.01	5.74			
降伏耐力 Py (kN)	65.3	78.2	59.8	134.2	46.4	115.3	83.2	34.29	0.412	0.038	3.1
δy (mm)	1.11	1.78	1.37	4.19	0.98	3.26	2.12	1.31			
終局耐力 Pu (kN)	117.9	141.7	114.6	217.7	89.5	187.9	144.9	48.73	0.336	0.215	31.1
初期剛性 K (kN/mm)	58.83	43.93	43.65	32.03	47.35	35.37	43.53	9.46			
降伏点変位 δv(mm)	2.00	3.23	2.63	6.80	1.89	5.31	3.64	1.99			
塑性率 μ=δu/δv	2.23	1.71	1.96	2.74	1.96	2.00	2.10	0.35			
構造特性係数 Ds	0.54	0.64	0.59	0.47	0.59	0.58	0.57	0.06			

表 4.4-6 試験体 P29M の特性値

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δm;0.1Pmax時の変位










写真 4.4-29 試験体 P29M-2 試験後



写真 4.4-31 試験体 P29M-1 解体後



写真 4.4-30 試験体 P29M-2 最外層の積層接着面のせん断破壊



写真 4.4-32 試験体 P29M-1 解体後 最上段ビス位置でのラミナの引張破壊 及び最外層の積層接着面のせん断破壊



写真 4.4-33 試験体 P29M-1 解体後



写真 4.4-34 試験体 P29M-5 解体後 最外層の積層接着面のせん断破壊



写真 4.4-35 試験体 P29M-6 試験後 集合型破壊



写真 4.4-37 試験体 P29M-6 解体後 積層接着面のせん断破壊



写真 4.4-36 試験体 P29M-6 積層 接着面のせん断破壊



写真 4.4-38 試験体 P29M-6 解体後 ラミナの引張破壊



写真 4.4-39 試験体 P29M-6 集合型破壊



写真 4.4-40 試験体 P29M-6 解体後 積層接着面のせん断破壊

(7) 試験体 P29MC

試験体 P29MC の特性値を表 4.4-7 に、各試験体の荷重-変位曲線を図 4.4-44~図 4.4-50 に、包絡線の比較を図 4.4-51 に示す。破壊性状を写真 4.4-41~写真 4.4-48 に示す。

破壊性状は、全ての試験体において集合型破壊となり、ラミナの引張破断と最外層 の積層接着面のせん断破壊となった。

試験体記号			P29	MC			亚坎荷	標準偏	変動係	ばらつ	5%下限
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	差	数	き係数	値
1/10Pm (kN)	17.1	14.7	19.9	22.9	19.2	22.2	19.3	3.09			
1/10 δ m (mm)	0.09	0.09	0.10	0.08	0.89	0.07	0.22	0.33			
2/5Pm (kN)	68.4	59.0	79.8	91.7	77.0	88.6	77.4	12.29			
2/5 δ m (mm)	3.33	1.93	2.65	1.52	3.55	1.45	2.41	0.91			
2/3Pm (kN)	113.9	98.3	132.9	152.8	128.3	147.7	129.0	20.51	0.159	0.629	81.1
2/3 δ m (mm)	6.54	3.93	5.35	3.63	6.50	3.36	4.89	1.44			
9/10Pm (kN)	153.8	132.7	179.5	206.3	173.2	199.4	174.2	27.69			
9/10 δ m (mm)	10.11	6.27	8.47	7.57	10.20	6.15	8.13	1.79			
Pm (kN)	170.9	147.4	199.4	229.2	192.4	221.5	193.5	30.76			
δ m (mm)	13.92	7.55	10.80	13.15	14.67	8.70	11.47	2.92			
δu時荷重(kN)	170.6	147.3	159.5	219.1	153.9	219.4	178.3	32.63			
δu (mm)	14.06	7.72	12.56	13.61	16.31	8.86	12.19	3.28			
降伏耐力 Py (kN)	100.5	77.3	106.1	127.4	107.2	116.3	105.8	16.85	0.159	0.629	66.5
δy (mm)	5.55	2.78	4.01	2.60	5.21	2.24	3.73	1.41			
終局耐力 Pu (kN)	166.3	134.0	186.8	210.8	176.0	198.9	178.8	27.07	0.151	0.647	115.6
初期剛性 K (kN/mm)	18.11	27.81	26.46	49.00	20.58	51.92	32.31	14.54			
降伏点変位 δv(mm)	9.18	4.82	7.06	4.30	8.55	3.83	6.29	2.29			
塑性率 μ=δu/δv	1.53	1.60	1.78	3.17	1.91	2.31	2.05	0.61			
構造特性係数 Ds	0.70	0.67	0.63	0.43	0.60	0.53	0.59	0.10			

表 4.4-7 試験体 P29MC の特性値

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δm;0.1Pmax時の変位







図 4.4-47 試験体 P29MC-3 P8 曲線







写真 4.4-41 試験体 P29MC-2 試験後 集合型破壊



写真 4.4-43 試験体 P29MC-2 解体後 積層接着面のせん断破壊



写真 4.4-45 試験体 P29MC-3 解体後 最外層の積層接着面のせん断破壊



写真 4.4-42 試験体 P29MC-2 最外層の積層接着面のせん断破壊



写真 4.4-44 試験体 P29MC-3 試験後 集合型破壊



写真 4.4-46 試験体 P29MC-3 解体後 最外層の積層接着面のせん断破壊



写真 4.4-47 試験体 P29M-6 試験後 集合型破壊



写真 4.4-48 試験体 P29M-6 積層 接着面のせん断破壊

(8)試験体 P53M

試験体 P53M の特性値を表 4.4-8 に、各試験体の荷重-変位曲線を図 4.4-52~図 4.4-57 に、包絡線の比較を図 4.4-58 に示す。破壊性状を写真 4.4-49~写真 4.4-48 に示す。

破壊性状は、全ての試験体において集合型破壊となり、ラミナの引張破断と最外層 の積層接着面のせん断破壊となった。

試験体記号			P5	3M			亚坎荷	標準偏	変動係	ばらつ	5%下限
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	差	数	き係数	値
1/10Pm (kN)	17.8	18.0	27.9	27.2	21.4	18.8	21.9	4.60			
1/10 δ m (mm)	0.03	0.04	0.72	0.11	0.06	0.05	0.17	0.27			
2/5Pm (kN)	71.1	72.2	111.6	108.8	85.5	75.2	87.4	18.40			
2/5 δ m (mm)	0.35	1.08	2.86	1.95	1.08	0.68	1.33	0.92			
2/3Pm (kN)	118.6	120.3	185.9	181.3	142.5	125.4	145.7	30.61	0.210	0.509	74.1
2/3 δ m (mm)	1.17	2.56	5.24	4.12	2.87	1.90	2.98	1.49			
9/10Pm (kN)	160.0	162.4	251.0	244.8	192.4	169.3	196.7	41.36			
9/10 δ m (mm)	2.01	3.95	8.86	7.14	4.79	3.45	5.03	2.53			
Pm (kN)	177.8	180.5	278.9	272.0	213.8	188.1	218.5	45.95			
δ m (mm)	2.40	5.53	13.20	10.40	6.00	4.56	7.02	4.01			
δu時荷重(kN)	142.3	144.4	278.9	272.0	186.1	150.5	195.7	63.82			
δu (mm)	4.28	6.73	13.20	10.40	7.26	6.21	8.01	3.22			
降伏耐力 Py (kN)	77.0	81.9	159.7	151.2	96.0	94.4	110.0	36.02	0.327	0.236	25.9
δy (mm)	0.44	1.43	4.25	3.12	1.38	1.13	1.96	1.43			
終局耐力 Pu (kN)	150.4	163.7	252.9	251.7	183.9	167.4	195.0	45.65	0.234	0.453	88.3
初期剛性 K (kN/mm)	175.00	57.27	37.58	48.46	69.57	83.54	78.57	49.89			
降伏点変位 δv(mm)	0.86	2.86	6.73	5.19	2.64	2.00	3.38	2.17			
塑性率 μ=δu/δv	4.98	2.35	1.96	2.00	2.75	3.11	2.86	1.13			
構造特性係数 Ds	0.33	0.52	0.59	0.58	0.47	0.44	0.49	0.10			

表 4.4-8 試験体 P53M の特性値

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δm;0.1Pmax時の変位







図 4.4-55 試験体 P53M -3 Pδ曲線



図 4.4-56 試験体 P53M -4 Pδ曲線

図 4.4-57 試験体 P53M -5 Pδ曲線



図 4.4-58 試験体 P53M 各試験体の包絡線



写真 4.4-49 試験体 P53M-1 試験後 集合型破壊



写真 4.4-51 試験体 P53M-1 解体後



写真 4.4-53 試験体 P53M-1 解体後 最外層の積層接着面の様子



写真 4.4-50 試験体 P53M-1 最外層の積層接着面のせん断破壊



写真 4.4-52 試験体 P53M-1 解体後 最外層の積層接着面のせん断破壊



写真 4.4-54 試験体 P53M-3 解体後 集合型破壊



写真 4.4-55 試験体 P53M-4 解体後 金物の両側のラミナの FJ によって 全面がせん断破壊



写真 4.4-56 試験体 P53M-4 最外層の積層接着面の様子



写真 4.4-57 試験体 P53M-5 解体後 中央ラミナの FJ によって 曲げ引張破壊+積層接着面のせん断



写真 4.4-59 試験体 P53M-5 解体後 強軸層の積層接着面



写真 4.4-58 試験体 P53M-5 解体後 中央ラミナの FJ 周りの破断状況



写真 4.4-60 試験体 P53M-5 解体後 弱軸層の積層接着面

4.5. 弱軸試験体の試験結果

(1)試験体 02023

試験体 O2023 の特性値を表 4.5-1 に、各試験体の荷重 – 変位曲線を図 4.5-1 ~ 図 4.5-6 に、包絡線の比較を図 4.5-7 に示す。破壊性状を写真 4.5-1 ~ 写真 4.5-6 に示す。破壊性状は、全ての試験体において集合型破壊となった。

────試験体記号			O20)23			亚地质	標準偏	変動係	ばらつ	5%下限
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	差	数	き係数	値
1/10Pm (kN)	7.7	7.9	6.7	5.9	7.2	7.4	7.1	0.73			
1/10 δ m (mm)	0.06	0.05	0.12	0.11	0.05	0.12	0.09	0.04			
2/5Pm (kN)	30.9	31.6	26.8	23.4	28.8	29.6	28.5	3.02			
2/5 δ m (mm)	0.96	0.96	1.02	0.66	0.45	1.33	0.90	0.31			
2/3Pm (kN)	51.5	52.6	44.7	39.0	48.1	49.3	47.5	5.01	0.105	0.755	35.8
2/3 δ m (mm)	2.32	2.32	2.97	2.54	1.76	3.20	2.52	0.51			
9/10Pm (kN)	69.5	71.0	60.3	52.7	64.9	66.6	64.2	6.75			
9/10 δ m (mm)	3.89	3.60	4.65	4.10	3.18	5.32	4.12	0.77			
Pm (kN)	77.2	78.9	67.0	58.5	72.1	74.0	71.3	7.52			
δ m (mm)	4.81	4.40	5.51	4.90	4.51	8.00	5.36	1.35			
δu時荷重(kN)	77.2	78.9	67.0	58.5	57.7	59.2	66.4	9.62			
δu (mm)	4.81	4.40	5.51	4.90	6.25	17.12	7.17	4.92			
降伏耐力 Py (kN)	37.1	34.4	27.4	24.6	31.4	35.4	31.7	4.88	0.154	0.640	20.2
δy (mm)	1.27	1.12	1.08	0.75	0.56	1.87	1.11	0.46			
終局耐力 Pu (kN)	64.9	65.5	51.4	43.6	61.4	66.0	58.8	9.24	0.157	0.633	37.2
初期剛性 K (kN/mm)	29.21	30.71	25.37	32.80	56.07	18.93	32.18	12.68			
降伏点変位 δv(mm)	2.22	2.13	2.03	1.33	1.10	3.49	2.05	0.84			
塑性率 μ=δu/δv	2.17	2.07	2.71	3.68	5.68	4.91	3.54	1.50			
構造特性係数 Ds	0.55	0.56	0.48	0.40	0.31	0.34	0.44	0.11			

表 4.5-1 試験体 O2023 の特性値

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位













図 4.5-7 試験体 O2023 各試験体の包絡線



写真 4.5-1 試験体 O2023-3 解体後



写真 4.5-2 試験体 O2023-3 積層接着面のせん断破壊



写真 4.5-3 試験体 O2023-5 積層接着面のせん断破壊



写真 4.5-5 試験体 O2023-6 積層接着面のせん断破壊



写真 4.5-4 試験体 O2023-5 積層接着面のせん断破壊



写真 4.5-6 試験体 O2023-6 積層接着面のせん断破壊

(2)試験体 03530

試験体 O3530 の特性値を表 4.5-2 に、各試験体の荷重-変位曲線を図 4.5-8~図 4.5-14 に、包絡線の比較を図 4.5-15 に示す。破壊性状を写真 4.5-7~写真 4.5-12 に示す。破壊性状は、全ての試験体において集合型破壊となった。

─── 試験体記号			O3	530				標準偏	変動係	ばらつ	5%下限
項目	1	2	3	4	5	6	半均值	差	数	き係数	値
1/10Pm (kN)	10.3	10.1	10.6	9.4	10.3	9.1	10.0	0.59			
1/10 δ m (mm)	0.14	0.13	0.16	0.17	0.19	0.13	0.15	0.02			
2/5Pm (kN)	41.2	40.5	42.5	37.6	41.4	36.5	40.0	2.36			
2/5δm (mm)	1.15	1.10	3.08	2.16	1.86	1.58	1.82	0.74			
2/3Pm (kN)	68.7	67.4	70.9	62.6	69.0	60.8	66.6	3.97	0.060	0.860	57.2
2/3 δ m (mm)	3.05	3.27	6.10	4.73	4.13	3.92	4.20	1.11			
9/10Pm (kN)	92.7	91.0	95.7	84.5	93.1	82.1	89.9	5.35			
9/10 δ m (mm)	5.79	6.01	9.36	8.08	6.80	6.23	7.05	1.40			
Pm (kN)	103.0	101.2	106.3	93.9	103.5	91.2	99.9	5.95			
δ m (mm)	9.10	10.00	13.21	16.61	9.10	8.50	11.09	3.19			
δu時荷重 (kN)	102.3	80.9	85.1	75.1	103.5	86.7	88.9	11.54			
δu (mm)	9.26	13.59	17.62	19.49	9.10	9.11	13.03	4.65			
降伏耐力 Py (kN)	51.7	47.7	55.6	50.5	50.3	41.2	49.5	4.81	0.097	0.773	38.2
δy (mm)	1.85	1.63	4.45	3.48	2.50	1.99	2.65	1.10			
終局耐力 Pu (kN)	92.9	90.8	97.9	89.8	90.8	80.4	90.4	5.71	0.063	0.853	77.1
初期剛性 K (kN/mm)	27.95	29.26	12.49	14.51	20.12	20.70	20.84	6.81			
降伏点変位 δv(mm)	3.32	3.10	7.84	6.19	4.51	3.88	4.81	1.85			
塑性率 μ=δu/δv	2.79	4.38	2.25	3.15	2.02	2.35	2.82	0.86			
構造特性係数 Ds	0.47	0.36	0.53	0.43	0.57	0.52	0.48	0.08			

表 4.5-2 試験体 O3530 の特性値

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位













図 4.5-12 試験体 O3530-4 Pδ曲線

図 4.5-13 試験体 O3530-5 P8 曲線





写真 4.5-7 試験体 O3530-1 試験後



写真 4.5-9 試験体 O3530-1 積層接着面のせん断破壊



写真 4.5-11 試験体 O3530-5 積層接着面のせん断破壊



写真 4.5-8 試験体 O3530-1 積層接着面のせん断破壊



写真 4.5-10 試験体 O3530-5 積層接着面のせん断破壊



写真 4.5-12 試験体 O3530-5 積層接着面のせん断破壊

(3)試験体 04623

試験体 O4623 の特性値を表 4.5-3 に、各試験体の荷重-変位曲線を図 4.5-16~図 4.5-22 に、包絡線の比較を図 4.5-23 に示す。破壊性状を写真 4.5-13~写真 4.5-18 に示す。破壊性状は、全ての試験体において集合型破壊となった。

─── 試験体記号			04	523			亚护体	標準偏	変動係	ばらつ	5%下限
項目	1	2	3	4	5	6	平均旭	差	数	き係数	値
1/10Pm (kN)	11.8	9.3	10.1	10.1	10.6	9.7	10.3	0.87			
1/10 δ m (mm)	0.19	0.12	0.94	0.13	0.14	0.12	0.27	0.33			
2/5Pm (kN)	47.1	37.2	40.4	40.4	42.4	38.6	41.0	3.47			
2/5δm (mm)	3.13	2.25	3.66	1.72	3.10	1.21	2.51	0.94			
2/3Pm (kN)	78.6	61.9	67.4	67.4	70.6	64.3	68.4	5.83	0.085	0.801	54.7
2/3δm (mm)	6.30	4.92	6.12	3.94	6.51	3.41	5.20	1.31			
9/10Pm (kN)	106.1	83.6	91.0	90.9	95.4	86.9	92.3	7.86			
9/10 δ m (mm)	10.60	7.84	9.79	6.69	10.70	6.09	8.62	2.02			
Pm (kN)	117.9	92.9	101.1	101.0	106.0	96.5	102.6	8.74			
δ m (mm)	13.95	11.40	13.65	8.81	14.10	8.05	11.66	2.70			
δu時荷重 (kN)	109.1	88.6	97.0	101.0	84.8	95.8	96.1	8.69			
δu (mm)	16.41	11.71	15.61	8.81	24.04	8.96	14.26	5.77			
降伏耐力 Py (kN)	66.5	45.1	67.1	50.9	56.8	45.8	55.4	9.80	0.177	0.587	32.5
δy (mm)	5.01	3.03	6.07	2.57	4.85	1.85	3.90	1.65			
終局耐力 Pu (kN)	110.2	84.6	94.7	90.9	97.9	85.5	94.0	9.47	0.101	0.764	71.8
初期剛性 K (kN/mm)	13.27	14.88	11.05	19.81	11.71	24.76	15.91	5.34			
降伏点変位 δv(mm)	8.30	5.69	8.57	4.59	8.36	3.45	6.49	2.22			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	1.98	2.06	1.82	1.92	2.88	2.60	2.21	0.43			
構造特性係数 Ds	0.58	0.57	0.62	0.59	0.46	0.49	0.55	0.06			

表 4.5-3 試験体 O4623 の特性値

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δm;0.1Pmax時の変位



















写真 4.5-15 試験体 O4623-4 試験後



写真 4.5-14 試験体 O4623-3 金物の破壊状況



写真 4.5-16 試験体 O4623-5 試験後



写真 4.5-17 試験体 O4623-6 試験後 写真 4.5-18 試験体 O4623-6 試験後



4.6. 集合型破壊の推定式

(1) 強軸試験体

強軸試験体については、大きく2種類の破壊性状が見られた。ひとつはビスが曲 げ降伏し塑性変形が進んで荷重が落ちるもの、もうひとつはビスの塑性変形が進ま ずに木部で集合型破壊(対象最外層ラミナの引張破断、積層接着面のせん断破壊)す るものである。前者は試験体 P53、P77、P77T、P77Uであり、後者は P29M、P29MC、 P53M である。両方の現象が見られたのは P29 である。この破壊性状の違いは、ビス の最大荷重と、対象最外層ラミナの引張耐力+積層接着面のせん断耐力のバランスに よって生じるものと考えられ、両方の破壊性状が見られた試験体 P29 は両者がちょ うど良いバランスにあったものと考えられる。

次に幅はぎしていない CLT 材における最外層ラミナ境界部の位置の違いについて 検討を行った。最外層ラミナ境界部の位置が試験体の中央とした試験体は P29MC(図 4.6-2)のみであり、その他の試験体については全て図 4.6-1 に示した仕様である。

試験後の写真(例えば写真 4-4-39 と写真 4-4-47)を見比べると分かるとおり、図 4.6-1 ではラミナの幅が引張面積(緑の網掛け)と積層接着面のせん断面積(水色の 網掛け)に影響を及ぼしているが、図 4.6-2 の場合ではビスで囲まれたゾーンの幅が 引張面積(緑の網掛け)と積層接着面のせん断面積(水色の網掛け)に影響を及ぼして いる。更に図 4.6-2 の場合はラミナの境界面からずれた位置に木材のせん断応力が 生じるため赤い網掛け部分のせん断力が割増しされる。



<正面> <側面>



図 4.6-1 最外層ラミナのラミナ境界部の 位置がラミナ幅の 1/2 ずれている場合

図 4.6-2 最外層ラミナのラミナ境界部の 位置が試験体の中央となる場合 図 4.6-1 の破壊モードによる最大耐力を P_{RI} とし、引張耐力を P_{tI} 、積層接着面の せん断耐力を P_{gI} とすると(1)、(2)式となる。

$$P_{t1} = (W_L - m \cdot d) \cdot t \cdot F_t \tag{1}$$

$$P_{g1} = W_L \cdot L_b \cdot F_g \tag{2}$$

(2)、(3)式より P_{R_1} は(4)式のとおりとなる。

$$P_{\rm R1} = P_{t1} + P_{g1} \tag{3}$$

ここで、図 4.6-3 より
 Ft: ラミナの引張強度(N/mm²)
 Fg: CLT の接着積層面のせん断強度(N/mm²)
 m: 図 4.6-3 に示す最上段の列方向のビスの本数
 d: ビスの山径(mm)

一方、図 4.6-2 の破壊モードによる最大耐力を P_{R2} は、引張耐力を P_{t1} 、積層接着面のせん断耐力を P_{g1} 、せん断耐力を P_s とすると(4)~(6)式となる。

$$P_{t2} = (W_b - (m-1) \cdot d) \cdot t \cdot F_t \tag{4}$$

$$P_{g2} = W_{\rm b} \cdot L_b \cdot F_g \tag{5}$$

$$P_{s} = \left(L_{b} - \left(n - \frac{1}{2}\right) \cdot d\right) \cdot t \cdot F_{s}$$
(6)

(4)~(6)式より P_{R2}は(7)式のとおりとなる。

$$P_{R2} = P_{t2} + P_{g2} + P_S \tag{7}$$

よって、ビス接合部の最大耐力 Pmaxは(8)式で与えられるものとした。

$$P_{max} = MIN(P_b, P_{R1}, P_{R2})$$
(8)

なお、幅はぎしてある CLT 材については PR1を省略することができる。



図 4.6-3 計算に用いる各寸法

(2) 弱軸試験体

弱軸試験体は、全ての試験体で集合型破壊となった。強軸試験体と同様、ビス接合の最大荷重 P_b と積層接着面のせん断耐力 P_g の最小値が接合部の P_{max} になるものとした((8)式)。なお、実験結果から、図 4.6-3 に示すラミナ境界部の位置は最大荷重に影響を及ぼさないものとした。 P_g は図 4.6-3 に示すようにビスが配列されている幅 Wb から 45°に応力が分布しているものと仮定して算出するものとした。



なお、集合型破壊したものとしていないものでは、グラフの形状以外に、ビスの 破壊性状に明確な差が見られる。集合型破壊したものは降伏後、ビスがほとんど塑 性変形せずに集合型破壊するため、写真 4.6-1 のように曲がりがないが、ビス部分 で破断した試験体は写真 4.6-2 のとおり曲げで塑性変形した様子が分かる。



写真 4.6-1 集合型破壊した試験体 のビス



写真 4.6-2 ビス部分で破断した試験体のビス

4.7. 推定値と実験値の比較

文献⁵に示されているビスの設計式(以下「小林式」という)及び4.6項を用いてビス接合部の計算を行った。

(1)小林式による破壊モード

入力条件と出力結果を表 4.7-1 に示す。

CLT の面圧定数は、繊維平行層と繊維直交層をビスの埋め込み長さに応じて配分したものとした。ビス STS65 の埋め込み長さは、鋼板の厚みを引くと約 60 mmとなり、ちょうどラミナ 2 層分となるので、($K_{EI}+K_{E_2}$)/2 とした。

接合具の全塑性モーメントについては、(公財)日本住宅・木材技術センターが開催する「集 成材等構造用タッピンねじ標準化検討委員会(委員長:稲山先生)」の業務の一環とし て実施した4点曲げ試験の試験結果を使用した。3体の試験結果から得られた M_{max} の平均値を採用している。

接合具の引き抜き力は6章の試験体 SC65の平均値を採用している。

	項目		値	備考
	主材における有効径(mm)	d	4.4	谷径×1.1
	主材側の埋め込み長さ(mm)	t	59	
	主材のヤング係数(N/mm)	E_1	6900	スギ製材
入	繊維平行層の面圧定数(N/mn)	K_{E1}	86.7	繊維平行
力条	繊維直交層の面圧定数(N/mn)	K_{E2}	25.5	繊維直交
件	面圧定数	K_E	56.1	
	接合具のヤング率(N/mẩ)	Ε	205000	
	スギ繊維方向面圧降伏応力(N/mm²)	F_{E1}	21.5	接合部設計マニュアル ⁶⁾ P108
	接合具の全塑性モーメント(N・mm)	M_p	14180	Mmax※4点曲げ試験結果sts135の値
	主材・材料内の有効剛体長さ(mm)	$t_{\it ef1}$	31.44	
	接合部の剛性(kN/mm)	K_{s1}	1.94	
	接合具の回転中心距離or塑性ヒンジ	L_1	43.48	
	距離	L_2	24.49	
	降伏耐力mode1(kN)	P_{y1}	114.99	
	降伏耐力mode2(kN)	P_{y2}	2.32	
出力	降伏耐力(MIN)	P_y	2.32	
結	降伏変位(mm)	δ_y	1.19	=Py÷Ks
果	 接合具の軸力(kN)	P _{pull}	6.80	5章の実験結果より
		Pax	5.10	
	二次剛性	K_s '	0.21	
	最大荷重(kN)	P_m	5.60	
	最大荷重時の変位(mm)	δ_{max}	7.17	
	終局変位(mm)	δ_u	16.97	

表 4.7-1 計算に用いた入力条件と出力結果

(2)算定結果

前述の小林式及び(1)~(9)式に基づいて、推定値の算出を行った。入力条件を表4.7-2~ 表4.7-4に示す。表4.7-2は実験値との比較をし、推定結果の適合性を検証するため、入力 に使用するラミナの引張強度及びせん断強度は、実験値及び実験値に近い値とした。一方、 表4.7-3は、設計に用いる場合を意識して、基準強度あるいはばらつきを考慮して低減係数 を乗じた数値とし、安全側に評価するものとした。

算定結果を表 4.7-3 に、実験の包絡線と比較したものを図 4.7-1~図 4.7-4 に示す。

各試験体は実際の設計と違って、ラミナ境界部の位置が試験体毎に決められているので、 P29MC 以外は *P*_{R2}を、P29MC は *P*_{R1}の検定を省略している。

強軸試験体については以下のとおりの結果となった。試験体 P29(図 4.7-1)は、計算によるとビス側の破断で決定する結果となったが、集合型破壊の計算値との差は 17kN 程度であった。実際の実験結果では 7 体中 2 体が集合型破壊となっているので個体差のばらつきによって両方の破壊モードが起こりうることが分かり、推定式での結果と符号する。

試験体 P53、P77、P77T、P77U(図 4.7-2~図 4.7-5)では、小林式による破壊モードが大きく下回り、実験結果とよく一致する結果となった。

試験体 P29M、P53M、P29MC(図 4.7-6~図 4.7-8)の試験体では、集合型破壊による破壊モードで決定しており、こちらも良く一致する結果となった。

一方、弱軸試験体については、試験体 O2023(図 4.7-6)については集合型破壊モードと実験値がよく一致する結果となった。試験体 O3530(図 4.7-7)は小林式と集合型破壊モードが ほぼ同値となったのに対して実際の破壊モードは全て集合型破壊となった。試験体 O4623 (図 4.7-8)は15kNほど小林式が下回ったが、実際の破壊モードは全て集合型破壊となった。

実際の実験結果が集合型破壊しやすい理由としては、純粋なせん断ではなく、面外方向 へ剥がれるようにして破壊することに原因があると考えられる。したがって、実用においては弱 軸試験体については集合型破壊を安全側の数値で評価した方が望ましい。

項目	記号	値	備考
ラミナの引張強度(NJ)(N/mm)	F _{tNJ}	28.8	文献 ⁷⁾ 高知県シミュレーションより。計算で求 める場合はFJ*1/0.82
ラミナの引張強度(FJ)(N/m㎡)	F _{tFJ}	26.2	文献 ⁷⁾ 高知県シミュレーションより。
接着層のせん断強度(要素試験)	F _{ge}	1.56	文献 ⁸⁾ 林野庁補助事業 木構造振興報告書 せん断要素試験より
ラミナのせん断	Fs	2.4	製材の基準強度÷0.75

表 4.7-2 計算に用いた入力条件(強度性能)

表 4.7-3 計算に用いた入力条件(強度性能、安全側で評価)

項目	記号	値	備考
ラミナの引張強度(NJ)(N/m㎡)	F _t	16	CLT告示案におけるM60A若しくはM6OBの引 張強度
接着層のせん断強度(要素試験)	F _{ge}	1.17	文献 ⁸⁾ 林野庁補助事業 木構造振興報告書 せん断要素試験の値×0.75
ラミナのせん断	Fs	1.8	製材の基準強度

試験体	ラミナの 厚(mm)	ラミナの 幅(mm)	ビス配 置の幅 (mm)	最上段 の列方 ののビ スの本)	ビス配 置の長 さ(mm)	せの カ の 方 の 本 、 の 本 、 の 、 本
	t	WL	W _b	m	L _b	m
P29	30	124	100	3	290	5
P53	30	124	100	3	530	5
P77	30	124	100	3	770	5
P77T	30	124	100	5	770	10
P77U	30	124	100	3	770	5
P29M	30	124	100	3	290	5
P53M	30	124	100	3	530	5
P29MC	30	124	100	3	290	5

表 4.7-4 計算に用いた入力条件(各寸法等)

表 4.7-5 計算による出力結果

						推定値						実	
=+≣≁	①ビスの一面せん断によ る最大耐力			②ラミナ境界部が影響する 破壊モード			③ ラ ミナ:	境界部が 破壊	破壊に影 モード	響しない	min(P _b		
言式与史1平	本数 (本)	1本当た りの最 大耐力 (kN)	<i>Рь</i> (kN)	P _{t1} (kN)	P _{g1} (kN)	P _{RI} (kN)	P _{t2} (kN)	P _{g1} (kN)	P _s (kN)	<i>P_{R2}</i> (kN)	、P _{R1} 、 P _{R2})	(kN)	Pmax (kN)
P29	23	5.6	128.8	90.3	56.1	146.4	-	-	-	-	128.8	86.3	151.4
P53	23	5.6	128.8	90.3	102.5	192.8	-	-	-	-	128.8	93.6	164.3
P77	23	5.6	128.8	90.3	148.9	239.2	-	-	-	-	128.8	90.6	164.8
P77T	23	5.6	128.8	79.1	148.9	228.0	-	-	-	-	128.8	84.2	161.4
P77U	23	5.6	128.8	90.3	148.9	239.2	-	-	-	-	128.8	100.5	179.1
P29M	31	5.6	173.6	90.3	56.1	146.4	-	-	-	-	146.4	83.2	167.6
P53M	41	5.6	229.6	90.3	102.5	192.8	-	-	-	-	192.8	93.6	218.5
P29MC	31	5.6	173.6	-	_	-	75.2	45.2	28.2	148.6	148.6	105.8	189.8

			推定値			実験値(平均)				
⇒除休	①ビスの る最大耐)一面せん 力	、断によ	②集合 モ-	型破壊 -ド					
武海火1平	本数	1本当た りの最 大耐力 (kN)	<i>₽₅</i> (kN)	せん断 面積 (mẩ)	P _g (kN)	Ру	Pmax			
O2023	18	5.6	100.8	43500	67.9	31.7	71.3			
O3530	18	5.6	100.8	64875	101.2	49.5	99.9			
O4623	18	5.6	100.8	73400	114.5	55.4	102.6			

					-	推定値					-	実験値	
	①ビスの る最大雨)ー面せん 対力	がいによ	②ラミナ境界部が影響する 破壊モード			37ミナ:	境界部が 破壊	破壊に影 モード	響しない	min(P.		
試験体	本数 (本)	1本当た りの最 大耐力 (kN)	<i>Р</i> ь (kN)	P _{t1} (kN)	P _{g1} (kN)	P _{R1} (kN)	P _{t2} (kN)	P _{g1} (kN)	P _s (kN)	P _{R2} (kN)	、P _{R1} 、 P _{R2})	Py (kN)	Pmax (kN)
P29	23	5.6	128.8	50.2	42.1	92.2	-	-	-	-	92.2	86.3	151.4
P53	23	5.6	128.8	50.2	76.9	127.1	-	-	-	-	127.1	93.6	164.3
P77	23	5.6	128.8	50.2	111.7	161.9	-	-	-	-	128.8	90.6	164.8
P77T	23	5.6	128.8	43.9	111.7	155.6	-	-	-	-	128.8	84.2	161.4
P77U	23	5.6	128.8	50.2	111.7	161.9	-	-	-	-	128.8	100.5	179.1
P29M	31	5.6	173.6	50.2	42.1	92.2	-	-	-	-	92.2	83.2	167.6
P53M	41	5.6	229.6	50.2	76.9	127.1	-	-	-	-	127.1	93.6	218.5
P29MC	31	5.6	173.6	-	_	—	41.8	33.9	28.2	103.9	103.9	105.8	189.8
			推定值			宝酴佶	(下限値)]					

表 4.7-6 計算による出力結果(安全側で評価)

試験体			実験値(下限値)				
	①ビスの る最大耐	ー面せん カ	がいしょう しんしょう しんしょ しんしょ	②集合型破壊 モード			
	本数	1本当た りの最 大耐力 (kN)	<i>Рь</i> (kN)	せん断 面積 (mẩ)	P _g (kN)	Ру	Pmax
O2023	18	5.6	100.8	43500	50.9	20.2	53.7
O3530	18	5.6	100.8	64875	75.9	38.5	85.8
O4623	18	5.6	100.8	73400	85.9	32.5	82.1



の比較

図 4.7-2 試験体 P53 の計算値と実験値 の比較





図 4.7-5 試験体 P77U の計算値と実験値 の比較

図 4.7-6 試験体 P29M の計算値と実験値 の比較



図 4.7-7 試験体 P53M の計算値と実験値 図 4.7-8 試験体 P29MC の計算値と実験値 の比較の比較







図 4.7-10 試験体 O3530 の計算値と実験値 の比較



図 4.7-11 試験体 O4623 の計算値と実験値 の比較

5. ビス単体の引き抜き試験

6.8±0.

5.1. 実験の目的

EYT 式を使って、ビス接合部の強度性能を推定するためにビス単体の引き抜き試験を行った。

5.2. 試験体の概要

3 章及び4章で使用した四角穴付タッピングねじ STS・C65 の引き抜き試験を行った(表 5.2-1)。更にビスの長さによる強度性能の影響を調べるため、ねじ部形状が 同じで長さのみが異なる四角穴付タッピンねじ STS6.5・F-135 の引き抜き性能につ いても試験を行った。また、試験体材料はスギ製材、ヒノキ製材の2種類とした。 ビスの姿図を図 5.2-1 及び図 5.2-2、試験体図を図 5.2-3 及び図 5.2-4 に示す。

通し 番号	試験体名		Ľ				
		種類	ねじ山径 (mm)	ねじ谷径 (mm)	ねじ部長さ (mm)	木材の種類	試験体数
1	SC65	STS·C65	6.5	4	55	スギ製材	6
2	HC65		6.5	4	55	ヒノキ製材	6
3	S135		6.5	4	40	スギ製材	6
4	H135	3130.0°F	6.5	4	40	ヒノキ製材	6
			合言	+			24

表 5.2-1 引き抜き試験の種類



図 5.2-1 四角穴付きタッピングねじ STS・C65 姿図



図 5.2-2 四角穴付きタッピングねじ STS6.5・F-135の姿図





図 5.2-4 S135、H135の引き抜き試験 試験体図

5.3. 試験方法

ビスの引き抜き試験は、単調加力とした。変位計測は、変位計を用い、試験体材上 面からの絶対変位とした(写真 5.3-1)。

加力はビスが引き抜けるまで実施した。



写真 5.3-1 試験方法

5.4. ビス単体の引き抜き試験の試験結果

ビス単体の引き抜き試験の特性値を表 5.4-1 に、各試験体の荷重-変位曲線を図 5.4-1~図 5.4-4 に、破壊性状を写真 5.4-1~写真 5.4-5 に示す。破壊性状は、全てビス の引き抜けとなった。また図 5.4-5 に示すとおりねじ長さと最大荷重は比例関係にあ ることが分かった。

表 5.4-1 ビス単体の引き抜き試験の最大荷重

通し	試験 体名	Pmax(kN)							
番号		1	2	3	4	5	6	平均	
1	SC65	7.0	8.7	6.3	5.9	6.9	6.1	6.8	
2	HC65	10.5	9.0	11.8	12.7	11.2	10.1	10.9	
3	S135	4.9	5.0	4.3	5.0	4.4	5.4	4.8	
4	H135	9.5	6.7	6.3	5.4	8.6	5.5	7.0	



図 5.4-1 試験体 SC65-1~6 P8 曲線

図 5.4-2 試験体 HC65-1~6 P6曲線



図 5.4-3 試験体 S135-1~6 P8 曲線



図 5.4-4 試験体 H135-1~6 Pδ曲線



図 5.4-5 ねじ長さと最大荷重の関係



写真 5.4-2 試験体 SC65 試験後



写真 5.4-4 試験体 S135 試験後



写真 5.4-1 試験体 SC65-1 試験後



写真 5.4-3 試験体 HC65 試験後



写真 5.4-5 試験体 H135 試験後

6. まとめ

CLT 構造における鋼板添え板ビス接合についての設計ルールを構築するため、必要な 実験と推定式の作成をおこなった。

(1) 一列多数本打ちによる影響について

集成材では、木ねじの本数が増えるにつれて荷重が低下する傾向にあった。その傾 向は幅はぎ面よりも積層面の方が顕著であった。一方、CLTでは、強軸方向、弱軸方 向のいずれの場合も、集成材ほどの低下傾向はみられなかった。これは、互いに直交 する層によって、荷重の低下の原因となる割裂破壊が抑制されたことによると考えら れる。

(2) 集合型破壊による影響について

強軸試験体、弱軸試験体それぞれについてビス接合の引張試験を行い、一定の条件 の下で集合型破壊が発生することが分かった。

また、集合型破壊の推定式を作成し、実験値との確認を行った。推定式は実験値と よく一致する結果となった。

(3)ビス単体の引き抜き試験

ビス単体の引き抜き試験を行い、その結果を4章の推定式に使用した。

参考文献

*1)木構造振興㈱:平成25年度林野庁委託事業 CLT等新製品・新技術利用促進事業 のうちCLT実用化促進事業 CLTパネルを用いたLSB及びビス接合部のデータ等の収 集・分析事業報告書,平成27年2月

- *2) (一社)日本建築学会:木質構造設計基準・同解説一許容応力度・許容耐力設計法 一, P228、P280, 2006
- *3)(財)日本住宅・木材技術センター:木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年版), 平成21年6月
- *4) André Jorisen, Double Shear Timber Connections with Double Type Fasteners, Delft University Press, 203-206, 1998
- *5)小林研治、稲山正弘、安藤直人:鋼板を側材に用いたビス接合部の一面せん断性能(3) ビス破断変位の推定、日本木材学会(つくば)2008
- *6)木構造振興㈱:CLTを活用した建築事例集,平成25年3月
- *7)木構造振興㈱:CLTパネルを用いた中高層建築物の構造計画と接合部性能の検証 事業報告書,平成25年3月