令和3年度	林業成長産業化総合対策補助金等
$C L T \cdot L V$	L等の建築物への利用環境整備事業のうち、⑥CLT・L
VL等を活用	した建築物低コスト化・検証等事業

CLT パネルを面材として用いた木造軸組耐力壁等の

開発事業報告書

令和4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
1.2. 実施内容	3
1.3. 実施体制	4
2.CLT パネル等試験体材料の概要	6
3.真壁耐力壁のビス1面せん断試験	7
3.1. 試験の目的	7
3.2. 試験の内容	7
3.2.1. ビスの仕様	7
3.2.2. 試験の種類	8
3.3. 試験方法	13
3.4. 試験結果	14
3.5. 特性値の比較	24
4.真壁耐力壁の面内せん断試験	
4.1. 試験の目的	
4.2. 試験の内容	
4.2.1. ビスの仕様	
4.2.2. 試験の種類	29
4.2.3. 試験部材加工図	43
4.2.4. 接合金物図	
4.2.5. 密度と含水率	
4.3. 試験方法	50
4.4. 試験結果	55
4.4.1. FS70-340-L9.1、FS70-320-L9.1の試験結果	55
4.4.2. FS70-320-H@12 の試験結果	
4.4.3. FS45-340-L6.0 の試験結果	60
4.4.4. FS45-340-L9.1 の試験結果	62
4.4.5. FS45-340-L18.2 の試験結果	64
4.4.6. FS45-340-H45 の試験結果	66
4.4.7. FS90-110-L6.0 の試験結果	68
4.4.8. FS90-110-L9.1の試験結果	70
4.4.9. FS90-110-L18.2 の試験結果	73
4.4.10. FS90-110-H45 の試験結果	75
4.5. 特性値の比較	77
4.5.1. No. 1~7 試験体の評価方法の検討	77
4.5.2. 特性値の比較と考察	80
4.5.3. 考察まとめ	
5.大壁耐力壁のくぎ及びビスー面せん断試験	
5.1. 試験の目的	
5.2. 試験の内容	
5.2.1. くぎ及びビスの仕様	
5.2.2. 試験の種類	
5.3. 試験方法	90
5.4. 試験結果	
5.4.1. P24CN75	
5.4.2. C36CN90	
5.4.3. C60F140	
	100

6.CLT を用い	ヽた狭小壁の面内せん断試験	101
6.1. 試算	険の目的	
6.2. 試験	険の内容	
6.2.1.	接合金物の仕様	
6.2.2.	試験の種類	
6.2.3.	試験部材加工図	
6.3. 試験	後方法	
6.4. 試験	後結果	
6.4.1.	L045	
6.4.2.	L060	
6.5. 考察	寮	
7.柱頭・柱	脚接合部のビス補強によるめり込み試験	
7.1. 試馬	険の目的	
7.2. 試験	後の内容	
7.2.1.	金物等の仕様	
7.2.2.	試験の種類	
7.3. 試験	検方法	
7.4. 試験	後結果	
7.4.1.	B00	
7.4.2.	B04	
7.4.3.	B06	
7.4.4.	B10	
7.5. 許福	容耐力の算出	
7.6. 特1	生値の比較	
8.ビスの引	き抜き試験	142
8.1. 試験	険の目的	
8.2. 試算	険の内容	
8.2.1.	ビスの仕様	
8.2.2.	試験の種類	
8.3. 試験	検方法	
8.4. 試験	徐結果	
8.4.1.	00–55	
8.4.2.	00 (45) -55	
8.4.3.	90–55	
8.4.4.	90 (45) -55	
8.4.5.	00–160	
8.4.6.	00 (45) –160	
8.4.7.	90–160	
8.4.8.	90 (45) –160	
9.まとめ		

1. 事業概要

1.1. 事業の目的

CLT を用いて中層 CLT パネルを活用した建築物は、CLT パネルを水平力と鉛直力の両 方を負担する壁として設ける CLT パネル工法(図 1.1-1 の①)が代表的だが、在来軸組工法 に壁や床等の面材として用いるような部分利用の使い方もある(図 1.1-1 の②)。例えば表し として少量の CLT パネルを面材として用い、隠れて見えない部分は構造用合板耐力壁とす るなど、適材適所の使い方が可能であり、コスト減にも繋がる。また、現在の設計方法に おいては軸組工法の設計方法の方が構造設計に掛かる負担が少ないといった利点が挙げら れる。

また、CLT で積載荷重等の鉛直軸力を負担しないことから、高耐力の耐力壁が厚みが薄い CLT パネルで実現可能となる。

着工工数を比較すると、図 1.1-2 に示すようにこれまでの CLT を用いた建築物では、CLT を部分利用した建築物が CLT パネル工法を上回っていることが分かる。

このようなことから、本事業では、軸組フレームに壁として CLT を用いた耐力壁の設計 方法を確立するため、接合部及び耐力壁の開発を行う。







図 1.1-2 CLT を用いた建築物の CLT の用途 (内閣官房CLTを用いた建築物の一覧(郸道府県別)(R2.7.31 現在)より)

1.2. 実施内容

中層建築物を想定しており、高倍率の耐力壁の開発を目標としている。 壁倍率 20 倍程度を目標とするため、使用する軸材の樹種は試験で一般に標準となってい るスギ材に加えたヒノキ材も想定する。

(1) 真壁耐力壁のビスー面せん断要素試験

CLT 耐力壁を真壁納めとした仕様を前提として、ビスの一面せん断試験を実施する。 本年度は、昨年度実施したフルスレッドビス呼び径 8 mm、ビス長さ 110 mmを改良し、呼 び径 9 mmとしたビスで実験を実施する。軸材をヒノキとした試験も併せて行う。

(2) 真壁仕様耐力壁の面内せん断試験

(1)及び昨年度の実験結果を踏まえて、耐力壁試験を実施する。

- ・昨年度柱が割裂してしまった試験体の改良を行う。
- ・耐力壁のサイズによる影響を検証する。
- ・性能のばらつきを検証する。
- ・軸材をヒノキに換えた試験を実施する。

(3) 大壁仕様耐力壁のくぎ及びビスー面せん断試験

CLT 耐力壁を大壁仕様とした仕様を前提として、木造軸組工法住宅の許容応力度設計 2016 年版に掲載しているくぎ1本あたりのせん断性能を求めるための試験を実施する。

CLT の種類は合板と同程度の厚さとして①3 層 3 プライ 36 mm、②3 層 3 プライ 60 mm、 ③構造用合板 24 mmとする。使用するビスは面材厚さに応じてくぎやフルスレッドビスを 使用する。

(4) CLT を用いた狭小壁の面内せん断試験

壁長さの短い(455 mm、600 mm程度) CLT 壁を梁と土台または基礎に直接接合する工法 を想定する。接合金物は x マーク金物を使用するため、耐力壁試験のみとする。

用途は住宅等の1階ガレージなど、開口を広く取りたい箇所などを想定しており、壁倍率7倍を目標とする。

(5) 柱頭・柱脚接合部のビス補強によるめり込み試験

高耐力壁の柱頭柱脚接合部においては、柱の軸力が大きくなるため、土台や梁の適切な めり込み防止が必要となる。引張接合を兼ねた箱型金物やダボピンを基礎等に直接当てる 方法も考えられるが、安価で事前の木材加工が不要なめり込み防止方法としてビスによる 補強効果を検証する。

(6) ビスの引き抜き試験

(2)の耐力壁の性能は、ビスの引き抜き性能に依存するところが大きい。加力方向に 対して 90°に打ち込んだ場合は終局耐力に、加力方向に対して斜めに打ちこんだ場合は終 局耐力、降伏耐力、剛性等に影響を及ぼしている。 このようなことからビスの単体性能を分析するため、ビスの引き抜き試験を実施する。

1.3. 実施体制

実施体制は、学識経験者等からなる委員会を設け、接合金物の要求性能、仕様、試験計 画、評価について諮問する。試験機関は、(公財)日本住宅・木材技術センター試験研究所及 び(一財)建材試験センターで実施した。



図 1.3-1 実施体制図

中層大規模木造用 CLT 接合部の開発委員会

委員名簿

(敬称略、順不同)

CLT パネルを面材として用いた木造軸組耐力壁等の開発

委員名簿

(敬称略、順不同)

委員長

五十田 博 京都大学 生存圈研究所 教授

委員

- 河合 直人 工学院大学 建築学部建築学科 教授
- 青木 謙治 東京大学 大学院農学生命科学研究科 准教授
- 小林 研治 静岡大学学術院農学領域 生物資源科学科 住環境構造学研 究室 准教授
- 槌本 敬大 (国研)建築研究所材料研究グループ 上席研究員
- 中島 昌一 建築研究所構造研究グループ 主任研究員
- 荒木 康弘 国土交通省国土技術政策総合研究所 主任研究官
- 谷口 翼 (一社) 日本 CLT 協会

オブザーバー

野田 卓見 ㈱構造計画研究所 構造設計2部 木質創造設計室 (一社)日本 CLT 協会

事務局

鈴木 圭 木構造振興㈱ 主任研究員

委員会開催実績

第1回

日時:令和3年 7月14日(水) 18:00~20:00会場: ZOOM による Web 開催

第2回

日時:令和4年 1月27日(木) 11:00~12:30会場: ZOOM による Web 開催

第3回

日 時:令和4年 3月19日(木) 14:00~17:00会 場: ZOOM による Web 開催

2. CLT パネル等試験体材料の概要

CLT 等の種類は、試験の目的や使用部位に応じて表 2-1 のとおりとした。

		木質材			幅はぎ	
	試験の種類	料の種	樹種	JASの等級区分/構成方法	接着の	品質、等級の指定
		類			有無	
	真壁耐力壁の	制材	スギ	E70、SD15		比重0.38~0.44
1	ビス一面せん	裘羽	ヒノキ	E90以上、SD20		比重0.47~0.53
	断試験	CLT	スギ	Mx60-3-3/A種構成	無し	
		告日本	スギ	E70、SD15		E70
	ᆂᇠᇧᆠᇠᇷ	裘祔	ヒノキ	E90以上、SD20		E90
	具壁耐刀壁の		スギ	同一等級E65-F255		同一等級E65-F255
2	山内せん町試	朱风প	ヒノキ	同一等級E85-F255		同一等級E85-F255
	尚史		·بد –	Mx60-3-3/A種構成、CLT厚さ90mm	無し	
		CLI	スキ	Mx60-3-4/A種構成、CLT厚さ120mm	無し	
		製材	スギ	E70、SD15		比重0.38~0.44
	大壁耐刀壁の			特類2級、板面の品質C-D、7ply、全		<u> 止于 米王 〇 公辺</u>
3	くさ及びヒス	谷伮	EJŦ	層ヒノキ、合板厚さ24mm		符規2級
	一山せん町武		7 +"	Mx60-3-3/A種構成、CLT厚さ36mm	有り	
	<i>阿</i> 央	CLI	スキ	Mx60-3-3/A種構成、CLT厚さ60mm	無し	
	CLTを用いた	生日十十	スギ	E70、SD15		E70
4	狭小壁の面内	袃树	ヒノキ	E90以上、SD20		E90
	せん断試験	CLT	スギ	Mx60-3-3/A種構成、CLT厚さ90mm	無し	
	柱頭・柱脚接					
	合部のビス補	4-11 L L				
5	強によるめり	製材	ヒノキ	E90以上、SD20		比重0.47~0.53
	込み試験					
-	ビスの引き抜					
6	き試験	CLT	スギ	Mx60-3-3/A種構成	無し	比重0.38~0.44

表 2-1 実験に使用した木質材料の種類

3. 真壁耐力壁のビス1面せん断試験

3.1. 試験の目的

前年度実施した要素試験のうち、全長 110 mmのフルスレッドビスについては、強度性能向上のため、呼び径 8 mmから呼び径 9 mmに改良した。

当試験では、呼び径 9 mmのフルスレッドビスについて試験を実施し、詳細計算法のための要素試験データとすることを目的として実施する。

3.2. 試験の内容

3.2.1. ビスの仕様

昨年度実施した改良前のビスは図 3.2.1-1、今回試験を実施する改良後のフルスレッドビス は図 3.2.1-2 のとおりである。



3.2.2. 試験の種類

試験の種類は表 3.2.2-1 のとおり 8 種類 42 体の試験とする。試験体の記号の意味を図 3.2.2-1 に、試験体別のビスの打ち方を図 3.2.2-2 に示す。各試験体図を図 3.2.2-3~図 3.2.2-10 に、試験体作成の様子を写真 3.2.2-1~写真 3.2.2-2 に、試験体の密度と含水率を表 3.2.2-2 に示す。

図 3.2.2-2 のとおり、加力と直交方向に 45°傾け、試験体の表裏から交互に打つ方法とし、 製材側から打つ場合と CLT 側から打つ場合を実施した。

また、図 3.2.2-3~図 3.2.2-10 の赤斜線部分のとおり CLT と製材の間にはテフロンシート を挿入し、摩擦が生じないように配慮した。

通		面材の	面材の種類		接合具の種類			加力に対	加力方向		試験			
し 番 号	試験体記号	面材規格	厚さ(mm)	名称	山径また は胴部径 d(mm)	接合具長 さl(mm)	軸材の種類	する接合 具の打ち 込み角度	に対する CLTの向 き	ビスの打ち込み 方向	体数 (体)			
1	SS90FC9-110						スギ製材		改動方向	製材からCLTへ	6			
2	SS90CF9-110) スギCLT								E70	٥٥°	四年月月月	CLTから製材へ	6
3	SW90FC9-110		マギCLT ´Mx60-	_ 1 _		110 ·	比重0.38~	90	記軸大向	製材からCLTへ	6			
4	SW90CF9-110	∕Mx60-			0		0.44		羽羽市口入口口	CLTから製材へ	6			
5	HS90FC9-110	3-3/A種	90		9		ヒノキ製材		改動方向	製材からCLTへ	3			
6	HS90CF9-110	構成		~			E90以上	٥٥°	四年月月日	CLTから製材へ	6			
7	HW90FC9-110 HW90CF9-110	0						比重0.47~	50	記軸方向	製材からCLTへ	3		
8							0.53		「「「「「日早 反反	CLTから製材へ	6			
											42			

表 3.2.2-1 試験の種類

 \mathbf{S}



90

加力に対する

ビスの角度

<u>FC</u>

ビスを打つ方向

9-<u>110</u>

製材の樹種

スギ

ヒノキ

加力に対する CLT の向き Strong axis

Weak axis

Frame \rightarrow CLT CLT \rightarrow Frame

```
ビス呼び径-
ビスの長さ
```

9 mm-110 mm

図 3.2.2-1 試験体記号の意味





側材にφ4.5mmの 貫通孔を開口 ※主材には下穴を 開けていない。

図 3.2.2-2 試験体別のビスの打ち方



写真 3.2.2-1 **斜め打ち用治具** ・斜めにカットした木材に塩ビ管を固定した もの



写真 3.2.2-2 斜め打ちビス施工の様子 ・ポンチで位置決めし、ドリルで開口。 ある程度まで埋め込んだらガイドを外して 残りを打ち込む。







図 3.2.2-5 SWFC9-110 試験体

図 3.2.2-6 SWCF9-110 試験体

SWCF9-110







90 _I

テフロンシ

- 19 ×700





ヒノキ製材

- 1- 9

RI0



図 3.2.2-10 HWCF9-110 試験体

	=⇒■全/★=□	お好けませ	CI	_T	製	材			計睦休포모	Cl	T	製	材
No.	い 一 一 一	 武殿仲留方 笙	含水率	密度	含水率	密度	No.	試験体記号	武歌仲留方 笙	含水率	密度	含水率	密度
	5	4	(%)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)				(%)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)
		1	8.0	0.39	12.8	0.43			1	8.6	0.40	8.8	0.39
		2	8.5	0.43	9.8	0.43			2	8.9	0.40	8.6	0.42
	SSECO	3	8.2	0.44	8.8	0.41		SWECO	3	8.9	0.40	9.1	0.43
1	110	4	7.6	0.44	11.4	0.43	3	110	4	9.2	0.40	8.1	0.40
	110	5	8.4	0.41	12.6	0.44		110	5	9.0	0.40	7.9	0.44
		6	8.1	0.38	12.2	0.41			6	8.6	0.41	10.1	0.43
		平均	8.1	0.41	11.3	0.42			平均	8.9	0.40	8.8	0.42
		1	7.5	0.39	14.5	0.42			1	10.5	0.40	12.1	0.42
		2	7.7	0.42	16.3	0.43			2	10.9	0.42	8.3	0.46
	SSCE9-	3	8.0	0.42	8.6	0.46		SWCF9-	3	9.8	0.42	15.2	0.44
2	110	4	8.0	0.40	9.4	0.39	4	110	4	8.5	0.43	12.1	0.40
		5	8.1	0.42	8.1	0.40		110	5	9.8	0.40	10.5	0.43
		6	8.1	0.39	11.9	0.42			6	9.9	0.42	11.4	0.43
		平均	7.9	0.41	11.5	0.42			平均	9.9	0.42	11.6	0.43
				т	刨材1					CI	т	<u> 街</u> り;	₩1
No	試験体記	試験体番号	今水玄	家度	今水玄	クユー 一家度 No		」試験体記号	試験体番号	今水玄	家度		密度
	号	武駛(平衡方) 等	6水平	ш/ <u>х</u>	百小平	ш/х	No	1200 L+100.7		百小平			шix
			(70)	(g/cm°)	(%)	(g/cm^3)			等	(%)	(g/cm ³)	」 (%)	(g/cm^3)
		1	7.8	(g/cm°) 0.43	(%) 14.6	(g/cm ³) 0.51			等 1	(%) 9.3	(g/cm ³) 0.40	(%) 11.8	(g/cm ³) 0.51
		1	(78) 7.8 8.0	(g/cm°) 0.43 0.41	(%) 14.6 10.4	(g/cm ³) 0.51 0.51			等 1 2	(%) 9.3 8.5	(g/cm ³) 0.40 0.40	(%) 11.8 11.6	(g/cm ³) 0.51 0.50
	HSEC0-	1 2 3	7.8 8.0 7.2	(g/cm [°]) 0.43 0.41 0.41	(%) 14.6 10.4 10.4	(g/cm ³) 0.51 0.51		HWEC0-	等 1 2 3	(%) 9.3 8.5 10.5	(g/cm ³) 0.40 0.40 0.40	(%) 11.8 11.6 10.0	(g/cm ³) 0.51 0.50 0.47
5	HSFC9-	1 2 3	7.8 8.0 7.2	(g/cm ³) 0.43 0.41 0.41	(%) 14.6 10.4 10.4	(g/cm ³) 0.51 0.51 0.48	7	HWFC9-	等 1 2 3	(%) 9.3 8.5 10.5	(g/cm ³) 0.40 0.40 0.40	(%) 11.8 11.6 10.0	(g/cm ³) 0.51 0.50 0.47
5	HSFC9- 110	1 2 3	7.8 8.0 7.2	(g/cm ³) 0.43 0.41 0.41	(%) 14.6 10.4 10.4	(g/cm ³) 0.51 0.51 0.48	7	HWFC9- 110	等 <u>1</u> 2 3	(%) 9.3 8.5 10.5	(g/cm ³) 0.40 0.40 0.40	(%) 11.8 11.6 10.0	(g/cm ³) 0.51 0.50 0.47
5	HSFC9- 110	1 2 3	7.8 8.0 7.2	(g/cm ²) 0.43 0.41 0.41	(%) 14.6 10.4 10.4	(g/cm ³) 0.51 0.51 0.48	7	HWFC9- 110	等 1 2 3	(%) 9.3 8.5 10.5	(g/cm ³) 0.40 0.40 0.40	(%) 11.8 11.6 10.0	(g/cm ³) 0.51 0.50 0.47
5	HSFC9- 110	1 2 3 平均	7.8 8.0 7.2 7.7	(g/cm ⁻) 0.43 0.41 0.41 0.41	(%) 14.6 10.4 10.4 10.4	(g/cm ³) 0.51 0.51 0.48 0.50	7	HWFC9- 110	等 1 2 3 3 平均	(%) 9.3 8.5 10.5 9.4	(g/cm ³) 0.40 0.40 0.40 0.40	(%) 11.8 11.6 10.0 11.1	(g/cm ³) 0.51 0.50 0.47 0.50
5	HSFC9- 110	1 3 平均 1	7.8 8.0 7.2 7.2 7.2 7.7 8.2	(g/cm ⁻) 0.43 0.41 0.41 	(%) 14.6 10.4 10.4 10.4 11.8 11.8	(g/cm ³) 0.51 0.51 0.48 0.50 0.50	7	HWFC9- 110	等 1 2 3 平均 1	(%) 9.3 8.5 10.5 9.4 8.0	(g/cm ³) 0.40 0.40 0.40 0.40 0.40 0.40	(%) 11.8 11.6 10.0 11.1 14.7	(g/cm ³) 0.51 0.50 0.47 0.50 0.50 0.49
5	HSFC9- 110	1 2 3 平均 1 2	7.8 8.0 7.2 7.7 8.2 8.9	(g/cm ³) 0.43 0.41 0.41 0.41 0.41 0.42 0.41 0.39	(%) 14.6 10.4 10.4 10.4 11.8 15.8 10.8	(g/cm ³) 0.51 0.51 0.48 0.48 0.50 0.50 0.50	7	HWFC9- 110	等 1 2 3 3 平均 1 2	(%) 9.3 8.5 10.5 9.4 8.0 9.8	(g/cm ³) 0.40 0.40 0.40 0.40 0.45 0.42	(%) 11.8 11.6 10.0 11.1 11.1 14.7 11.4	(g/cm ³) 0.51 0.50 0.47 0.50 0.50 0.49 0.53
5	HSFC9- 110	1 2 3 平均 1 2 3	7.8 7.8 8.0 7.2 7.7 7.7 8.2 8.9 8.1	(g/cm ³) 0.43 0.41 0.41 0.41 0.42 0.42 0.41 0.39 0.43	(%) 14.6 10.4 10.4 10.4 11.8 15.8 10.8 9.4	(g/cm ³) 0.51 0.51 0.48 0.48 0.50 0.50 0.50 0.49 0.53	7	HWFC9- 110	等 1 2 3 3 平均 1 2 3	(%) 9.3 8.5 10.5 9.4 8.0 9.8 9.8	(g/cm ³) 0.40 0.40 0.40 0.40 0.40 0.45 0.42 0.42 0.40	(%) 11.8 11.6 10.0 11.1 11.1 14.7 11.4 12.3	(g/cm ³) 0.51 0.50 0.47 0.50 0.50 0.49 0.53 0.54
5	HSFC9- 110 HSCF9- 110	1 2 3 3 平均 1 2 3 3 4	7.8 8.0 7.2 7.7 8.2 8.9 8.1 8.9	(g/cm ³) 0.43 0.41 0.41 0.41 0.42 0.42 0.43 0.43 0.42	(%) 14.6 10.4 10.4 10.4 11.8 15.8 10.8 9.4 9.7	(g/cm ³) 0.51 0.51 0.48 0.50 0.50 0.50 0.49 0.53 0.51	7	HWFC9- 110 HWCF9- 110	等 1 2 3 平均 1 2 3 4	(%) 9.3 8.5 10.5 9.4 8.0 9.8 9.8 9.8 9.9	(g/cm ³) 0.40 0.40 0.40 0.40 0.40 0.40 0.45 0.42 0.42 0.42	(%) 11.8 11.6 10.0 11.1 14.7 11.4 12.3 12.0	(g/cm ³) 0.51 0.50 0.47 0.50 0.50 0.50 0.53 0.54 0.52
5	HSFC9- 110 HSCF9- 110	1 2 3 3 平均 1 2 3 3 4 5	7.8 8.0 7.2 7.2 7.7 8.2 8.9 8.1 8.9 8.1 8.9 8.6	(g/cm ³) 0.43 0.41 0.41 0.41 0.42 0.42 0.41 0.39 0.43 0.42 0.42 0.43	(%) 14.6 10.4 10.4 10.4 11.8 15.8 10.8 9.4 9.7 9.8	(g/cm ³) 0.51 0.51 0.48 0.48 0.50 0.50 0.50 0.50 0.49 0.53 0.51 0.51	7	HWFC9- 110 HWCF9- 110	等 1 2 3 3 平均 1 2 3 3 4 5	(%) 9.3 8.5 10.5 9.4 8.0 9.8 9.8 9.9 8.5	(g/cm ³) 0.40 0.40 0.40 0.40 0.40 0.40 0.45 0.42 0.42 0.42 0.42 0.43	(%) 11.8 11.6 10.0 11.1 14.7 11.4 12.3 12.0 9.5	(g/cm ³) 0.51 0.50 0.47 0.50 0.50 0.50 0.53 0.54 0.52 0.49
5	HSFC9- 110 HSCF9- 110	1 2 3 3 平均 1 2 3 3 4 5 6	7.8 7.8 8.0 7.2 7.2 7.7 8.2 8.9 8.1 8.9 8.6 9.3	(g/cm ³) 0.43 0.41 0.41 0.41 0.42 0.42 0.43 0.43 0.42 0.40 0.42	(%) 14.6 10.4 10.4 10.4 10.8 15.8 10.8 9.4 9.7 9.8 9.5	(g/cm ³) 0.51 0.48 0.48 0.50 0.50 0.50 0.50 0.51 0.51 0.51 0.49	7	HWFC9- 110 HWCF9- 110	等 1 2 3 3 平均 1 2 3 3 4 5 6	(%) 9.3 8.5 10.5 9.4 8.0 9.8 9.8 9.8 9.9 8.5 10.9	(g/cm ³) 0.40 0.40 0.40 0.40 0.40 0.45 0.42 0.42 0.42 0.43 0.42	(%) 11.8 11.6 10.0 11.1 11.1 14.7 11.4 12.3 12.0 9.5 10.0	(g/cm ³) 0.51 0.50 0.47 0.50 0.49 0.53 0.54 0.52 0.49 0.51

表 3.2.2-2 密度と含水率

3.3. 試験方法

治具及び変位計配置図は図 3.3-1、写真 3.3-1のとおりである。

試験体は面外方向の変形をサポート治具やボルト接合した L 形鋼で押える試験とした。加 力方法は、昨年度実施した呼び径 8 mmのビス試験と同じ *Sy*の 1/2,1,2,4,6,8,12,16 倍の順で正 負交番加力方向繰り返し加力とし、最大荷重後に 80%以下まで荷重が落ちるか、加力可能な 変位まで測定を行った。変位は巻き込み型変位計を用いて CLT と製材の相対変位を計測し た。



図 3.3-1 治具及び変位計配置図



写真 3.3-1 治具及び変位計配置の様子

3.4. 試験結果

(1)荷重変形関係と破壊性状

フルスレットビス HTS9-110 を用いた試験体の荷重変形曲線を図 3.4-1~図 3.4-8 に、試 験体ごとの特性値を表 3.4-1~表 3.4-8 に、破壊性状を写真 3.4-1~写真 3.4-26 に示す。

図 3.4-1~図 3.4-8 より、CLT の向き(強軸方向 or 弱軸方向)、ビスの打ち込み方向(CLT から軸材へ or 軸材から CLT へ)の違いはほぼ見られなかった。

破壊性状については、いずれもビス頭側の材料が割れ破壊しやすい結果となった(写真 3.4-7、写真 3.4-13 等)。CLT については、ビス頭側且つ、弱軸方向の試験体に割れが見 られた(写真 3.4-23、写真 3.4-25)。

SWFC 試験体のうち、SWFC9-110-1 は製材で割れており、他の試験体より Pmax が低い 結果となった。HSFC 試験体の HSFC9-110-1 についても同じ傾向がある。

一方、HSCF 試験体のうち、HSCF9-110-1、-5、-6 も割れが発生したが、割れが小さい ため強度性能に影響は見られなかったと思われる。HWCF 試験体のうち HWCF9-110-1、 -3は最大荷重後の押し側や引き切り側で割れが大きくなったため、強度性能に影響はなか ったと思われる。

公益財団法人日本住宅・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 (2016年版)」(以下、「グレー本」¹⁾)の接合部の試験評価方法は、5%下限値で評価す ることになっているが、耐力壁に使うことを前提として、本事業では 50%下限値の評価を 追加した。また、グレー本では、変位 30mm までの計測データから特性値を算出すること になっているが、耐力壁の設計を行う際に、少なくとも耐力壁が 1/15rad まで変形した状 態までの接合部の荷重変形関係が分かっていないといけないので、最大荷重後、80%まで 荷重が落ちきるまでの評価とした。









図 3.4-3 SWFC9-110-1~6(No.3)の荷重変形曲線

図 3.4-4 SWCF9-110-1~6(No.4)の荷重変形曲線



15

図 3.4-5 HSFC9-110-1~3(No.5)の荷重変形曲線

30

20

10

-30

40

HWFC9-110

重 (kN)

槗

図 3.4-6 HSCF9-110-1~6(No.6)の荷重変形曲線



図 3.4-7 HWFC9-110-1~3(No.7)の荷重変形曲

図 3.4-8 HWCF9-110-1~6(No.8)の荷重変形曲 線

線

試験体記号			SSFC9	9-110			亚坎荷	 插 淮 信 主	亦動反粉	ばらつき	50%
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	保毕佣左	发到你奴	係数	下限值
1/10Pm (kN)	2.21	2.45	2.93	2.45	2.27	2.08	2.40	0.30			
1/10 δ m (mm)	0.06	0.06	0.04	0.05	0.10	0.09	0.07	0.02			
2/5Pm (kN)	8.85	9.78	11.70	9.78	9.08	8.30	9.58	1.18			
2/5 δ m (mm)	1.49	1.46	1.47	1.64	1.69	1.67	1.57	0.11			
2/3Pm (kN)	14.75	16.30	19.50	16.30	15.13	13.83	15.97	1.97	0.123	0.963	15.3
2/3 δ m (mm)	4.06	5.89	5.68	4.44	5.42	5.29	5.13	0.72			
9/10Pm (kN)	19.91	22.01	26.33	22.01	20.42	18.68	21.56	2.66			
9/10 δ m (mm)	11.92	15.27	13.99	13.75	16.30	22.31	15.59	3.61			
Pm (kN)	22.12	24.45	29.25	24.45	22.69	20.75	23.95	2.96			
δ m (mm)	23.07	24.09	23.57	24.06	36.01	35.01	27.64	6.12			
δu時荷重(kN)	17.70	22.05	23.40	19.56	18.15	16.60	19.58	2.65			
δu (mm)	36.91	36.05	33.50	46.93	50.51	49.67	42.26	7.60			
降伏耐力 Py (kN)	13.47	13.01	15.44	14.63	12.95	12.74	13.71	1.09	0.080	0.976	13.3
δy (mm)	2.99	3.00	2.82	3.27	3.45	4.12	3.28	0.47			
終局耐力 Pu (kN)	20.27	21.90	26.47	22.17	20.75	18.55	21.69	2.68	0.124	0.963	20.8
初期剛性 K (kN/mm)	4.5	4.3	5.5	4.5	3.8	3.1	4.3	0.8			
降伏点変位 δv(mm)	4.50	5.09	4.81	4.93	5.46	5.98	5.13	0.52			
塑性率 μ=δu/δv	8.20	7.08	6.96	9.52	9.25	8.31	8.22	1.06			
構造特性係数 Ds	0.25	0.28	0.28	0.24	0.24	0.25	0.26	0.02			

表 3.4-1 SSFC9-110 特性值

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位

注)最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとするが、荷重が大きく低下した場合はその時点とする。

試験体記号			SSCF	9-110			亚坎荷	插滩庐羊	亦動な粉	ばらつき	50%
項目	1	2	3	4	5	6	平均旭	悰凖佃左	変動が数	係数	下限値
1/10Pm (kN)	2.01	2.28	2.65	2.39	2.54	2.25	2.35	0.23			
1/10 δ m (mm)	0.03	0.04	0.15	0.06	0.11	0.14	0.09	0.05			
2/5Pm (kN)	8.04	9.10	10.60	9.55	10.18	9.00	9.41	0.91			
2/5δm (mm)	1.07	1.09	2.22	1.41	1.69	1.71	1.53	0.44			
2/3Pm (kN)	13.40	15.17	17.67	15.91	16.96	15.01	15.69	1.52	0.097	0.971	15.2
2/3 δ m (mm)	6.00	4.82	6.64	4.15	5.48	6.29	5.56	0.94			
9/10Pm (kN)	18.09	20.48	23.85	21.48	22.90	20.26	21.18	2.05			
9/10 δ m (mm)	17.18	17.45	15.14	11.58	16.09	21.48	16.49	3.24			
Pm (kN)	20.10	22.75	26.50	23.87	25.44	22.51	23.53	2.28			
δ m (mm)	35.60	31.50	34.02	24.01	32.51	36.02	32.28	4.41			
δu時荷重(kN)	16.08	18.20	21.20	19.10	22.46	18.01	19.18	2.31			
δu (mm)	49.58	48.39	40.15	44.83	48.00	55.53	47.75	5.11			
降伏耐力 Py (kN)	10.84	13.14	14.07	13.70	14.46	12.97	13.20	1.28	0.097	0.971	12.8
δy (mm)	2.67	2.86	3.81	2.86	3.57	3.75	3.25	0.51			
終局耐力 Pu (kN)	18.05	20.39	23.83	22.04	23.33	20.37	21.34	2.16	0.101	0.970	20.6
初期剛性 K (kN/mm)	4.1	4.6	3.7	4.8	4.1	3.5	4.1	0.5			
降伏点変位 δv(mm)	4.40	4.43	6.44	4.59	5.69	5.82	5.23	0.87			
塑性率 μ=δu/δv	11.27	10.92	6.23	9.77	8.44	9.54	9.36	1.84			
構造特性係数 Ds	0.22	0.22	0.30	0.23	0.25	0.24	0.24	0.03			

表 3.4-2 SSCF9-110 特性值

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位

試験体記号			SWFC	9-110			亚坎荷	抽 滩/戸羊	亦動反粉	ばらつき	50%
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	保準価定	爱 劉怵毅	係数	下限值
1/10Pm (kN)	2.31	2.80	2.69	2.77	2.79	2.61	2.66	0.19			
1/10 δ m (mm)	0.22	0.26	0.30	0.27	0.14	0.17	0.23	0.06			
2/5Pm (kN)	9.25	11.20	10.77	11.09	11.18	10.43	10.65	0.75			
2/5δm (mm)	1.80	1.99	1.84	2.13	1.62	1.71	1.85	0.19			
2/3Pm (kN)	15.42	18.67	17.95	18.49	18.63	17.38	17.76	1.25	0.070	0.979	17.3
2/3δm (mm)	4.62	6.58	5.76	5.44	4.97	4.98	5.39	0.71			
9/10Pm (kN)	20.82	25.20	24.23	24.96	25.15	23.46	23.97	1.68			
9/10 δ m (mm)	16.00	19.06	17.79	15.16	15.12	15.59	16.45	1.61			
Pm (kN)	23.13	28.00	26.92	27.73	27.94	26.07	26.63	1.87			
δ m (mm)	34.53	35.54	36.01	36.01	34.55	34.52	35.19	0.74			
δu時荷重(kN)	19.26	22.87	23.36	22.67	22.35	20.86	21.90	1.54			
δu (mm)	48.00	48.00	48.02	48.01	40.60	48.19	46.80	3.04			
降伏耐力 Py (kN)	14.05	15.71	15.39	16.17	16.11	15.36	15.47	0.77	0.050	0.985	15.2
δy (mm)	3.64	3.80	3.70	3.93	3.13	3.56	3.63	0.28			
終局耐力 Pu (kN)	21.07	24.89	24.46	25.47	25.35	23.48	24.12	1.66	0.069	0.980	23.6
初期剛性 K (kN/mm)	3.9	4.1	4.2	4.1	5.1	4.3	4.3	0.4			
降伏点変位 δv(mm)	5.40	6.07	5.82	6.21	4.97	5.46	5.66	0.46			
塑性率 μ=δu/δv	8.89	7.91	8.25	7.73	8.17	8.83	8.30	0.47			
構造特性係数 Ds	0.24	0.26	0.25	0.26	0.26	0.24	0.25	0.01			

表 3.4-3 SWFC9-110 特性值

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位

注)最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとするが、荷重が大きく低下した場合はその時点とする。

試験体記号			SWCF	9-110			亚坎萨		亦動反粉	ばらつき	50%
項目	1	2	3	4	5	6	平均旭	惊準怖左	変動係数	係数	下限値
1/10Pm (kN)	2.33	2.72	2.56	2.18	2.66	2.66	2.52	0.22			
1/10 δ m (mm)	0.19	0.20	0.17	0.06	0.05	0.22	0.15	0.07			
2/5Pm (kN)	9.31	10.88	10.23	8.71	10.62	10.65	10.07	0.87			
2/5δm (mm)	1.50	1.19	1.38	1.16	1.39	1.28	1.32	0.13			
2/3Pm (kN)	15.52	18.13	17.05	14.52	17.71	17.75	16.78	1.44	0.086	0.974	16.3
2/3δm (mm)	6.73	4.34	4.14	3.90	5.00	4.85	4.83	1.02			
9/10Pm (kN)	20.95	24.47	23.02	19.60	23.90	23.97	22.65	1.95			
9/10 δ m (mm)	20.53	16.53	12.88	15.67	16.48	17.71	16.63	2.51			
Pm (kN)	23.28	27.19	25.58	21.78	26.56	26.63	25.17	2.16			
δ m (mm)	36.07	24.02	24.01	36.02	36.01	36.03	32.03	6.21			
δu時荷重(kN)	18.62	23.21	24.78	17.42	21.25	22.48	21.29	2.81			
δu (mm)	53.24	36.05	36.13	44.76	39.43	48.12	42.96	6.96			
降伏耐力 Py (kN)	13.06	15.92	15.10	13.36	15.31	15.37	14.69	1.18	0.080	0.976	14.3
δy (mm)	3.38	2.50	2.87	3.02	3.09	2.78	2.94	0.30			
終局耐力 Pu (kN)	20.74	23.87	23.67	19.72	23.94	23.83	22.63	1.89	0.084	0.975	22.0
初期剛性 K (kN/mm)	3.9	6.4	5.3	4.4	5.0	5.5	5.1	0.9			
降伏点変位 δv(mm)	5.32	3.73	4.47	4.48	4.79	4.33	4.52	0.52			
塑性率 μ=δu/δv	10.01	9.66	8.08	9.99	8.23	11.11	9.51	1.16			
構造特性係数 Ds	0.23	0.23	0.26	0.23	0.25	0.22	0.24	0.02			

表 3.4-4 SWCF9-110 特性值

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位

試験体記号	Η	HSFC9-110)	亚均荷	 插 淮 信 羊	亦動反對	ばらつき	50%
項目	1	2	3	平均恒	悰毕佣定	爱 到怵毅	係数	下限值
1/10Pm (kN)	2.58	2.62	2.68	2.63	0.05			
1/10 δ m (mm)	0.04	0.12	0.15	0.10	0.06			
2/5Pm (kN)	10.32	10.48	10.73	10.51	0.21			
2/5δm (mm)	1.39	1.74	1.58	1.57	0.18			
2/3Pm (kN)	17.20	17.47	17.88	17.52	0.34	0.019	0.991	17.3
2/3 δ m (mm)	4.53	5.08	4.53	4.71	0.32			
9/10Pm (kN)	23.22	23.58	24.14	23.65	0.46			
9/10δm (mm)	12.11	11.73	11.35	11.73	0.38			
Pm (kN)	25.80	26.20	26.82	26.27	0.51			
δ m (mm)	24.05	22.51	29.53	25.36	3.69			
δu時荷重(kN)	25.10	20.96	21.46	22.51	2.26			
δu (mm)	36.04	36.92	37.21	36.72	0.61			
降伏耐力 Py (kN)	14.29	14.07	14.89	14.42	0.42	0.029	0.986	14.2
δ y (mm)	2.69	3.16	2.92	2.92	0.24			
終局耐力 Pu (kN)	23.89	23.65	24.90	24.15	0.66	0.027	0.987	23.8
初期剛性 K (kN/mm)	5.31	4.45	5.10	4.95	0.45			
降伏点変位 δv(mm)	4.50	5.31	4.88	4.90	0.41			
塑性率 μ=δu/δv	8.01	6.95	7.63	7.53	0.54			
構造特性係数 Ds	0.26	0.28	0.26	0.27	0.01			

表 3.4-5 HSFC9-110 特性值

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位

注)最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

表 3.4-6 HSCF9-110 特性值

試験体記号			HSCFC	29-110			亚坎荷	 插 淮 信 主	亦動反粉	ばらつき	50%
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	停毕佣左	发到你奴	係数	下限值
1/10Pm (kN)	2.39	2.35	2.69	2.66	2.62	2.63	2.56	0.15			
1/10 δ m (mm)	0.05	0.06	0.13	0.11	0.06	0.13	0.09	0.04			
2/5Pm (kN)	9.54	9.40	10.78	10.64	10.47	10.50	10.22	0.59			
2/5δm (mm)	1.18	1.43	1.53	1.44	1.64	1.77	1.50	0.20			
2/3Pm (kN)	15.91	15.67	17.96	17.74	17.45	17.50	17.04	0.99	0.058	0.983	16.7
2/3δm (mm)	3.92	5.18	5.17	4.65	5.09	5.53	4.92	0.57			
9/10Pm (kN)	21.47	21.16	24.25	23.95	23.55	23.63	23.00	1.33			
9/10 δ m (mm)	13.51	15.63	15.60	14.51	13.93	14.40	14.60	0.87			
Pm (kN)	23.86	23.51	26.94	26.61	26.17	26.25	25.56	1.48			
δ m (mm)	28.05	35.02	36.01	24.01	24.03	24.01	28.52	5.65			
δu時荷重 (kN)	22.88	20.84	26.94	24.74	22.51	21.00	23.15	2.34			
δu (mm)	36.04	48.02	36.01	36.01	36.01	38.52	38.44	4.80			
降伏耐力 Py (kN)	14.25	13.18	15.36	15.37	14.70	14.52	14.56	0.81	0.056	0.983	14.3
δy (mm)	2.67	2.91	3.21	3.05	3.14	3.27	3.04	0.22			
終局耐力 Pu (kN)	22.17	21.40	24.50	24.42	23.45	23.96	23.32	1.27	0.054	0.984	22.9
初期剛性 K (kN/mm)	5.3	4.5	4.8	5.0	4.7	4.4	4.8	0.3			
降伏点変位 δv(mm)	4.18	4.76	5.10	4.88	4.99	5.45	4.89	0.42			
塑性率 μ=δu/δv	8.62	10.09	7.06	7.38	7.22	7.07	7.91	1.22			
構造特性係数 Ds	0.25	0.23	0.28	0.27	0.27	0.28	0.26	0.02			

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位

試験体記号	HWFC9-110		0	亚坎荷	插進信羊	亦動反粉	ばらつき	50%
項目	1	2	3	平均恒	悰毕俪定	変動怵奴	係数	下限值
1/10Pm (kN)	2.85	2.82	3.26	2.98	0.25			
1/10 δ m (mm)	0.30	0.23	0.29	0.27	0.04			
2/5Pm (kN)	11.40	11.27	13.04	11.90	0.99			
2/5δm (mm)	1.80	1.95	1.83	1.86	0.08			
2/3Pm (kN)	19.01	18.78	21.73	19.84	1.64	0.083	0.961	19.0
2/3 δ m (mm)	4.78	5.63	4.89	5.10	0.46			
9/10Pm (kN)	25.66	25.35	29.33	26.78	2.21			
9/10 δ m (mm)	14.42	19.02	13.54	15.66	2.94			
Pm (kN)	28.51	28.17	32.59	29.76	2.46			
δ m (mm)	32.00	36.03	24.02	30.68	6.11			
δu時荷重(kN)	22.81	23.73	26.07	24.20	1.68			
δu (mm)	43.80	48.00	43.25	45.02	2.60			
降伏耐力 Py (kN)	17.10	16.72	18.74	17.52	1.07	0.061	0.971	17.0
δ y (mm)	3.35	4.06	3.40	3.60	0.40			
終局耐力 Pu (kN)	25.96	25.36	29.77	27.03	2.39	0.088	0.959	25.9
初期剛性 K (kN/mm)	5.10	4.12	5.51	4.91	0.71			
降伏点変位 δv(mm)	5.09	6.16	5.40	5.55	0.55			
塑性率 μ=δu/δv	8.61	7.79	8.01	8.14	0.42			
構造特性係数 Ds	0.25	0.26	0.26	0.26	0.01			

表 3.4-7 HWFC9-110 特性值

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位

注)最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

表 3.4-8 HWCF9-110 特性值

	──試験体記号 HWCF9-110			亚坎荷 趰潍信羊	亦動な粉	ばらつき	50%				
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	悰毕俪左	変動怵奴	係数	下限值
1/10Pm (kN)	2.64	3.17	2.75	3.25	2.76	2.54	2.85	0.29			
1/10 δ m (mm)	0.14	0.19	0.08	0.34	0.14	0.10	0.17	0.09			
2/5Pm (kN)	10.56	12.68	10.98	13.00	11.04	10.16	11.40	1.16			
2/5δm (mm)	1.43	1.73	1.49	2.10	1.52	1.48	1.63	0.25			
2/3Pm (kN)	17.60	21.13	18.31	21.67	18.40	16.94	19.01	1.93	0.102	0.970	18.4
2/3δm (mm)	5.59	6.43	6.81	7.00	5.35	5.68	6.14	0.69			
9/10Pm (kN)	23.76	28.53	24.71	29.26	24.84	22.87	25.66	2.61			
9/10δm (mm)	16.55	19.53	20.66	21.48	17.10	19.73	19.18	1.96			
Pm (kN)	26.40	31.70	27.46	32.51	27.60	25.41	28.51	2.90			
δ m (mm)	24.02	35.53	35.52	36.01	33.50	30.54	32.52	4.63			
δu時荷重 (kN)	25.23	25.36	27.39	26.01	22.08	20.33	24.40	2.65			
δu (mm)	36.11	42.99	36.01	51.31	43.63	43.71	42.29	5.71			
降伏耐力 Py (kN)	14.89	17.93	15.12	18.49	15.73	14.70	16.14	1.65	0.102	0.970	15.6
δy (mm)	3.14	3.39	3.22	4.18	2.98	3.14	3.34	0.43			
終局耐力 Pu (kN)	23.93	27.83	23.97	29.20	24.63	22.04	25.27	2.70	0.107	0.968	24.4
初期剛性 K (kN/mm)	4.7	5.3	4.7	4.4	5.3	4.7	4.9	0.4			
降伏点変位 δv(mm)	5.09	5.25	5.10	6.64	4.65	4.69	5.24	0.73			
塑性率 μ=δu/δv	7.09	8.19	7.06	7.73	9.38	9.32	8.13	1.04			
構造特性係数 Ds	0.28	0.25	0.28	0.26	0.24	0.24	0.26	0.02			

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位



写真 3.4-1 試験前の様子



写真 3.4-3 SSFC9-110-1 試験後



写真 3.4-5 SSCF9-110-1 試験後



写真 3.4-2 治具と変位計の様子



写真 3.4-4 SSFC9-110-1 ビスの曲がり、折損



写真 3.4-6 SSCF9-110-1 ビスの曲がり、折損



写真 3.4-7 SWFC9-110-1 試験後 製材の割れ



写真 3.4-8 SWFC9-110-1 製材の割れ、ビスの曲 がり、折損



写真 3.4-9 SWFC9-110-5 試験後 CLTの割れ



写真 3.4-10 SWFC9-110-5 CLT の割れ、ビスの 曲がり、折損



写真 3.4-12 SWCF9-110-1 ビスの曲がり、折損



写真 3.4-11 SWCF9-110-1 試験後



写真 3.4-13 HSFC9-110-1 試験後



写真 3.4-14 HSFC9-110-1 製材の割れ、ビスの 曲がり、折損





写真 3.4-15 HSCF9-110-1 試験後 CLT の割 写真 3.4-16 HSCF9-110-1 ビスの曲がり、折損 れ 5体目も同様の割れ



写真 3.4-17 HSCF9-110-6 試験後 CLT の割 れ



写真 3.4-18 HSCF9-110-6 ビスの曲がり、折損



写真 3.4-19 HWFC9-110-1 試験後



写真 3.4-21 HWCF9-110-1 試験後 CLT の割 れ



写真 3.4-23 HWCF9-110-3 試験後 CLT の割 れ



写真 3.4-20 HWFC9-110-1 ビスの曲がり、折損



写真 3.4-22 HWCF9-110-1 ビスの曲がり、折 損、CLTの割れ



写真 3.4-24 HWCF9-110-3 ビスの曲がり、折 損、CLTの割れ





写真 3.4-25 HWCF9-110-5 試験後 CLT の割 写真 3.4-26 HWCF9-110-5 ビスの曲がり、折 れ 損、CLT の割れ

3.5. 特性値の比較

実験より得られたビス1本あたりの一面せん断特性値を表3.5-1に、特性値ごとに各試験体を比較したグラフを図3.5-1~図3.5-8に示す。

表 3.5-1 のうち、白部分は昨年度呼び径 8 mmのビス、青部分は本年度呼び径 9 mmのビス。 赤部分は本年度呼び径 9 mmのビスを用いて製材をヒノキとした試験体を比較したものである。

以下、考察を述べる。

(1)ビスを打つ方向の影響

個体差の影響の方が大きく、CLTから軸材に打った場合と軸材からCLTに打った場合と で強度性能への影響は見られなかった。

(2) 強軸方向、弱軸方向加力の影響

本年度行った試験では、弱軸方向加力の方が高くなるように見えるが、昨年度行った試験 ではその傾向は見られなかった。

(3)ビスの呼び径の影響

昨年度呼び径 8 mmと今年度呼び径 9 mm(いずれもスギ製材)の試験結果を 50%下限値で比較すると下記のとおりとなった。

- ・降伏耐力は SSCF9-110 が 1 割程度の上昇、それ以外は 3~3.5 割程度の上昇。
- ・終局耐力は SSCF9-110 が若干(ほぼ同じ)の上昇、それ以外は 2~2.5 割程度の上昇。
- ・初期剛性は SSCF9-110 が若干(ほぼ同じ)の上昇、SWFC9-110 が1割程度の上昇、それ以外は 2~2.5 割程度の上昇。

(4) 樹種の影響

今年度呼び径9mmスギ製材と今年度呼び径9mmヒノキ製材の試験結果を50%下限値で比較 すると下記のとおりとなった。

・降伏耐力及び終局耐力はスギ試験体と比較して、ヒノキ試験体が1割前後の上昇。

No. 試験体記号	Py(kN)		δy(mm)	Pu(kN)			δ v(mm)	δu(mm)	御州立	剛性 (kN/mm)		
	武駛'体記ち	平均値	5%下限 値	50%下 限値	平均値	平均值	5%下限 値	50%下 限値	平均値	平均值	型任举	平均値
	SSFC8-110	2.68	2.25	2.60	3.07	4.56	3.80	4.45	5.22	43.62	8.43	0.89
昨年度	SSCF8-110	2.92	2.53	2.85	2.97	5.02	4.35	4.93	5.09	41.09	8.19	1.01
試験体	SWFC8-110	2.84	2.40	2.78	3.00	4.81	3.88	4.68	5.07	39.54	7.90	0.96
	SWCF8-110	2.78	2.38	2.73	2.85	4.67	3.70	4.53	4.77	38.50	8.08	0.99
1	SSFC9-110	3.43	2.79	3.35	3.28	5.42	3.86	5.22	5.13	42.26	8.22	1.07
2	SSCF9-110	3.30	2.55	3.20	3.25	5.33	4.07	5.17	5.23	47.75	9.36	1.03
3	SWFC9-110	3.87	3.41	3.81	3.63	6.03	5.06	5.91	5.66	46.80	8.30	1.07
4	SWCF9-110	3.67	2.98	3.58	2.94	5.66	4.55	5.52	4.52	42.96	9.51	1.27
5	HSFC9-110	3.60	3.27	3.55	2.92	6.04	5.51	5.96	4.90	36.72	7.53	1.24
6	HSCF9-110	3.64	3.17	3.58	3.04	5.83	5.09	5.74	4.89	38.44	7.91	1.20
7	HWFC9-110	4.38	3.53	4.25	3.34	6.76	4.87	6.48	5.24	42.29	8.14	1.23
8	HWCF9-110	4.04	3.07	3.91	3.34	6.32	4.74	6.12	5.24	42.29	8.13	1.21

表 3.5-1 ビス一面せん断特性値一覧(ビス1本あたり)



図 3.5-1 スギ製材-スギ CLT 試験の終局耐力の 比較



図 3.5-2 スギ製材-スギ CLT 試験の降伏耐力の 比較



図 3.5-3 スギ製材-スギ CLT 試験の初期剛性の 比較

図 3.5-4 スギ製材-スギ CLT 試験の塑性率の 比較



図 3.5-5 ヒノキ製材-スギ CLT 試験の終局耐力 の比較





図 3.5-7 ヒノキ製材-スギ CLT 試験の初期剛性 の比較

図 3.5-8 ヒノキ製材-スギ CLT 試験の塑性率の 比較

4. 真壁耐力壁の面内せん断試験

4.1. 試験の目的

前年度の試験結果を踏まえ、試験体サイズ等を変えた場合の強度性能への影響を検証する試験を行った。

また、前年度の耐力壁試験では、柱の割裂により脆性的に破壊した試験体があったため、、 本年度の試験では、そのための対策を講じ、実験によって検証する。

なお、壁倍率の目標は 15 倍とし、低減係数が 0.85 程度であると仮定して 18 倍を超えるように設計した。

4.2. 試験の内容

4.2.1. ビスの仕様

耐力壁に使用するフルスレッドビスは図 4.2.1-1 のとおりである。



4.2.2. 試験の種類

試験の種類は表 4.2.2-1~表 4.2.2-3 のとおり 11 仕様 14 体の試験とする。試験体の記号の 意味を図 4.2.2-1~図 4.2.2-3 に示す。試験体図は図 4.2.2-4~図 4.2.2-13 に示す。

表 4.2.2-1 試験の種類(加力方向斜め打ちビスのばらつきの影響、柱材樹種の影響)

	No.	1	2	3			
	試験体記号	FS70-340-L9.1※	FS70-320-L9.1	FS70-320-L0.91H@12			
	鉛直方向標点距離H(mm)	3000					
	水平方向標点距離V(mm)	910					
	柱材	スギ集成材E65-	スギ集成材E65-F255/135×135 ヒノキ集成材E95-F315/				
	添え柱材	スギ集成材E65-255/120×120					
	横架材		スギ製材E70/SD1	5/幅120×せい240			
	土台材		ヒノキ製材E90以上	/SD20/120×120			
	CLTの種類		スギCLT/Mx60/A	種構成/3層4プライ			
	CLTのサイズ		厚120×7	71 × 2820			
	CLTの鉛直方向の向き						
	フルスレッドビスの種類	HTS9-340 ^{**}	HTS9-320	HTS9-320			
	柱1本へのビス打ち込み本数(本)	24	24	20			
	柱の奥行き方向に対するビスの角度	90°					
	柱の鉛直方向に対するビスの角度	70° 、110°					
	フルスレッドビスの種類	HTS9-110					
横架材一	横架材へのビス打ち込み本数(本)	梁9、土台8					
CLT	横架材の奥行き方向に対するビスの角度	45°					
	横架材の水平方向に対するビスの角度	90°					
	四隅の開口(幅×高さ)	150×30					
備考		2, 3層目に千鳥打ち					
		1, 2はビスの向きの違い					
		※角度70°の試験体には長さ <u>320mm</u> のビスを打つ予定であったが、施工ミスにより					
		<u>340mm</u> のビスが打たオ	いてしまった。				
	計除休数 (休)	2	1	1			
記過火性安久 (14)		4					



70-

<u>320-</u>





フルスレッドビス

加力に対するビス の打ち込み角度

70°

135

135



320 mm

340 mm

(なし):スギ





図 4.2.2-1 試験体記号の意味

-				и · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				
	No.	4	5	6	7			
	試験体記号	FS45-340-L6.0	FS45-340-L9.1	FS45-340-L18.2	FS45-340-H45			
	鉛直方向標点距離H(mm)	30	00	3060	4560			
	水平方向標点距離V(mm)	600	910	1820	910			
	柱材	スギ集成材E65-255/135×135						
	添え柱材		スギ集成材E65-	-255/120×120				
	横架材	スギ製材E70/SD1	5/幅120×せい240	スギ製材E70/SD1	5/幅120×せい360			
	土台材		ヒノキ製材E90以上	/SD20/120×120				
	CLTの種類		スギCLT/Mx60/A	種構成/3層4プライ				
	CLTのサイズ	厚120×461×2820	厚120×771×2820	厚120×1681×2820	厚120×771×4320			
	CLTの鉛直方向の向き	<u>強軸方向</u>						
	フルスレッドビスの種類	HTS9-340						
₩	柱1本へのビス打ち込み本数(本)		16		24			
	柱の奥行き方向に対するビスの角度	90°						
	柱の鉛直方向に対するビスの角度	45° 、135°						
	フルスレッドビスの種類	HTS9-110						
横架材一	横架材へのビス打ち込み本数(本)	梁3、土台3	梁9、土台8	梁18、土台18	梁9、土台8			
CLT	横架材の奥行き方向に対するビスの角度	45°						
	横架材の水平方向に対するビスの角度	90°						
四隅の開口(幅×高さ)		150×30 400×80 150×30						
備考		2, 3層目に千鳥打ち 1, 2はビスの向きの違い						
		1	1	1	1			
11. 14. 14. 14. 14. 14. 14. 14. 14. 14.		4						

表 4.2.2-2 試験の種類(加力方向斜め打ちビスの壁サイズの影響)



45-

フルスレッドビス 加力に対するビス の打ち込み角度

45°



<u>340-</u>

ビス長さ

340 mm

<u>L6.0</u>

試験体サイズ

L6.0:壁長さ 600 mm (なし):壁長さ 910 mm L18.2:壁長さ 1,820 mm H4.5:壁高さ 4,560 mm

図 4.2.2-2 試験体記号の意味

					чт д /			
	No.	8	9	10	11			
	試験体記号	FS90-110-L6.0	FS90-110-L9.1	FS45-110-L18.2	FS90-110-H45			
	鉛直方向標点距離H(mm)	30	000	3060	4560			
	水平方向標点距離V(mm)	600	910	1820	910			
	柱材		スギ集成材E65-	-255/135×135	•			
	添え柱材		スギ集成材E65	-255/120×120				
	横架材	スギ製材E70/SD15	/幅120×せい240	スギ製材E70/SD15	/幅120×せい360			
	土台材		ヒノキ製材E90以上	/SD20/120×120				
	CLTの種類		スギCLT/Mx60/A	種構成/3層3プライ				
	CLTのサイズ	厚90×461×2820	厚90×771×2820	厚90×1681×2820	厚90×771×4320			
	CLTの鉛直方向の向き							
	フルスレッドビスの種類	HTS9-110						
	柱1本へのビス打ち込み本数(本)	33 50						
	柱の奥行き方向に対するビスの角度	45°						
	柱の鉛直方向に対するビスの角度	90°						
	フルスレッドビスの種類	HTS9-110						
横架材一	横架材へのビス打ち込み本数(本)	梁3、土台3	梁9、土台8	梁18、土台18	梁9、土台8			
CLT	横架材の奥行き方向に対するビスの角度	45°						
	横架材の水平方向に対するビスの角度	90°						
	四隅の開口(幅×高さ)	150×30 400×80 150×30						
	備考							
	試験休粉 (休)	1	3	1	1			
武殿(平安)		6						

表 4.2.2-3 試験の種類(奥行方向斜め打ちビスの壁サイズの影響、ばらつきの影響)

 \underline{FS}

90-

<u>110-</u>

ビス長さ

<u>L6.0</u> _{試験体サイズ}

フルスレッドビス 加力に対するビス の打ち込み角度

90°

110 mm

L6.0:壁長さ 600 mm (なし):壁長さ 910 mm L18.2:壁長さ 1,820 mm H4.5:壁高さ 4,560 mm

図 4.2.2-3 試験体記号の意味



図 4.2.2-4 FS70-340-L9.1 試験体図



図 4.2.2-5 FS70-320-L9.1 試験体図


図 4.2.2-6 FS70-320-L9.1H@12 試験体図



図 4.2.2-7 FS45-340-L6.0 試験体図



図 4.2.2-8 FS45-340-L9.1 試験体図



図 4.2.2-9 FS45-340-L18.2 試験体図



図 4.2.2-10 FS45-340-H45 試験体図



図 4.2.2-11 FS90-110-L6.0 試験体図



図 4.2.2-12 FS90-110-L9.1 試験体図



図 4.2.2-12 FS90-110-L18.2 試験体図



図 4.2.2-13 FS90-110-H45 試験体図

4.2.3. 試験部材加工図

試験部材加工図を図 4.2.3-1~図 4.2.3-15 に示す。



スギ製材 E70 SD15

図 4.2.3-1 壁長さ 600 mm 用梁材 部材加工図



スギ製材 E70 SD15

図 4.2.3-2 壁長さ 910 mm用梁材 部材加工図



図 4.2.3-3 壁長さ 1820 mm 用梁材 部材加工図

43



スギ製材 E70 SD15







ヒノキ製材 E90 以上 SD20

図 4.2.3-5 壁長さ 600 mm 用土台材 部材加工図





ヒノキ製材 E90 以上 SD20

図 4.2.3-6 壁長さ 910 mm用土台材 部材加工図



ヒノキ製材 E90 以上 SD20

図 4.2.3-7 壁長さ 1820 mm 用土台材 部材加工図

柱材:|35×|35,スギ集成材E65-255 ・・・・22本 柱材:|35×|35,ヒノキ集成材E95-3|5 ・・・・2本







柱材:135×135,スギ集成材E65-255 ・・・・4本



図 4.2.3-9 壁高さ 4560 mm 用柱材 部材加工図



図 4.2.3-10 壁高さ 3000 mm、3060 mm用添え柱材 部材加工図 ^{添え柱材} 2本: |20×|20、スギ集成材E65-255



図 4.2.3-11 壁高さ 4560 mm 用添え柱材 部材加工図

CLTパネルMx60-3-4 強軸方向 |枚:46|×2,820

CLTパネルMx60-3-3 強軸方向 |枚:461×2,820



図 4.2.3-12 600×3000 mm用 CLT パネル 部材加工図

CLTパネルMx60-3-4 強軸方向 5枚:771×2,820

CLTパネルMx60-3-3 強軸方向 3枚:771×2,820



図 4.2.3-13 910×3000 mm用 CLT パネル 部材加工図



図 4.2.3-14 1820×3060 mm用 CLT パネル 部材加工図

CLTパネルMx60-3-4 強軸方向 |枚:77|×4,320 CLTパネルMx60-3-3 強軸方向 |枚:77|×4,320



図 4.2.3-15 910×4560 mm用 CLT パネル 部材加工図

4.2.4. 接合金物図

耐力壁の柱頭柱脚接合に使った金物図を図 4.2.4-1~図 4.2.4-5 に示す。



図 4.2.4-1 梁 240 用柱脚金物図





図 4.2.4-3 梁 360 用柱脚金物図





図 4.2.4-2 梁 240 用柱頭金物図





図 4.2.4-4 梁 360 用柱頭金物図



SS400(JIS G 3101) 図 4.2.4-5 ドリフトピン Φ12 L=115

4.2.5. 密度と含水率

各部材の密度と含水率の測定結果を表 4.2.5-1 に示す。

No.	試験体記号	試験体番号 等	面材		梁材		土台材		右柱材		左柱材		沿え柱材	
			スギCLT		スギ製材		ヒノキ製材		スギ集成材(3の		スギ集成材(3の		スギ集成材(9-1の	
									みヒノキ)		みヒノキ)		みヒノキ)	
			含水率	密度	含水率	密度	含水率	密度	含水率	密度	含水率	密度	含水率	密度
			(%)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)
1	ES70 340 1 0 1	1	9.0	0.39	18.3	0.41	15.0	0.52	11.0	0.39	11.0	0.43	10.3	0.35
	1370-340-23.1	2	8.0	0.41	19.6	0.42	15.2	0.47	11.3	0.39	11.5	0.40	10.4	0.38
	FS70-320-L9.1	1	8.5	0.42	19.0	0.43	13.7	0.52	11.2	0.41	11.7	0.42	11.2	0.38
		平均	8.5	0.41	19.0	0.42	14.6	0.50	11.2	0.40	11.4	0.42	10.6	0.37
3	FS70-320-L9.1H	1	9.0	0.37	19.2	0.38	14.1	0.48	11.5	0.48	11.2	0.48	10.6	0.42
4	FS45-340-L0.6	1	8.0	0.44	18.0	0.34	14.8	0.49	10.9	0.39	11.0	0.39	11.3	0.37
5	FS45-340-L9.1	1	10.5	0.42	20.0	0.42	14.7	0.51	11.7	0.38	10.7	0.38	11.2	0.39
6	FS45-340-L18.2	1	9.9	0.41	9.8	0.36	12.8	0.56	10.5	0.42	9.9	0.39	-	-
7	FS45-340-H4.5	1	10.8	0.40	10.3	0.39	10.0	0.49	9.9	0.38	9.7	0.38	10.4	0.42
8	FS90-110-L0.6	1	8.0	0.41	18.0	0.36	11.7	0.53	11.3	0.42	10.9	0.37	11.0	0.39
9		1	9.0	0.38	20.0	0.38	15.1	0.51	10.9	0.37	11.3	0.41	12.6	0.47
	ES90-110-L9.1	2	8.5	0.43	12.7	0.37	14.3	0.51	10.7	0.39	11.4	0.42	10.5	0.38
		3	8.5	0.42	14.8	0.34	15.2	0.50	11.6	0.39	11.2	0.40	11.7	0.42
		平均	8.7	0.41	15.8	0.36	14.9	0.51	11.1	0.38	11.3	0.41	11.6	0.42
10	FS90-110-L18.2	1	10.3	0.43	9.5	0.35	12.1	0.55	10.3	0.41	11.4	0.41	-	-
11	FS90-110-H4.5	1	9.9	0.40	9.2	0.36	11.6	0.52	11.3	0.41	10.5	0.39	10.0	0.38

表 4.2.5-1 密度と含水率

4.3. 試験方法

試験方法は図 4.3-1~図 4.3-3 のとおり、タイロッド式とした。

グレー本¹⁾の「4.3.4 試験方法」におけるタイロッド方式に則って実験を行い、正負交番繰り返し加力を各変形角で3回行った後、1/30rad で1回繰り返すものとした。

変位計は、標準的なものの他、CLT と柱の変位、CLT 脚部と架台の変位を測定した。



図 4.3-2 高さ 3m×壁幅 1.82m の場合の試験方法図



図 4.3-3 高さ 4.5m×壁幅 0.91m の場合の試験方法図



写真 4.4.1-1 タイロッドに取りつけた歪みゲ 写真 4.4.1-2 歪みゲージの詳細 ージ



写真 4.4.1-3 架台と梁材の水平方向変位計



写真 4.4.1-5 タイロッド治具



写真 4.4.1-7 加力ジャッキとタイロッド 写真 4.4.1-8 脚部の変位計測



写真 4.4.1-4 各変位計



写真 4.4.1-6 タイロッド振れ止め







写真 4.4.1-9 2P 試験 柱脚変位計、壁脚変位 計

写真 4.4.1-10 2P 試験 CLT-軸材相対変位 計測のための変位計



写真 4.4.1-11 2P 試験 CLT-軸材相対変位 写真 4.4.1-12 計測のための変位計 位



写真 4.4.1-12 2P 試験 2P 試験 柱脚変 位計、壁脚変位計





写真 4.4.1-13 土台の水平方向変位計

写真 4.4.1-14 タイロッド等

4.4. 試験結果

4.4.1.FS70-340-L9.1、FS70-320-L9.1の試験結果

荷重変位曲線を図 4.4.1-1~図 4.4.1-3 に、破壊性状を写真 4.4.1-1~写真 4.4.1-12 に示す。 終局時に 3 体共に梁の曲げ破壊と脚部 CLT が横架材にめり込む様子が観察された。曲げ破 壊はめり込み補強のために打った HTS9-110 を起点として生じた可能性が高い。解体後、ビ スの曲げ変形や折損が確認された。





図 4.4.1-2 2 体目の荷重変位曲線とバイリニ ア (ビス 340 mmを使用)



図 4.4.1-3 3 体目の荷重変位曲線とバイリニ ア



写真 4.4.1-1 FS70-340-F9.1-1 試験前



写真 4.4.1-3 FS70-340-F9.1-1 試験後 壁脚部引張



写真 4.4.1-5 FS70-340-F9.1-1 試験後 壁頭部めり込み



写真 4.4.1-2 FS70-340-F9.1-1 試験後



写真 4.4.1-4 FS70-340-F9.1-1 試験後 柱脚部



写真 4.4.1-6 FS70-340-F9.1-1 CLT-製材の離間、ビス引き抜け



写真 4.4.1-7 FS70-340-F9.1-1 壁脚部めり込み



写真 4.4.1-8 FS70-340-F9.1-1 梁の曲げ破壊



写真 4.4.1-9 FS70-340-F9.1-1 解体後 試験体上部



写真 4.4.1-10 FS70-340-F9.1-1 解体後 試験体下部



写真 4.4.1-11 FS70-340-F9.1-1 解体後 接合金物等 ※写真では FS70-320-1 となっているが誤記。



写真 4.4.1-12 FS70-340-F9.1-1 柱頭金物接合部の破壊性状

4.4.2. FS70-320-H@12 の試験結果

荷重変位曲線を図 4.4.24.4.1-1 に、破壊性状を写真 4.4.2-1~写真 4.4.2-10 に示す。終局時 に梁の曲げ破壊と脚部 CLT が横架材にめり込む様子が観察された。解体後、ビスの曲げ変 形や折損が確認されたが、それ以外の目立った破壊は見られなかった。



図 4.4.2-1 荷重変位曲線とバイリニア



写真 4.4.2-1 試験前





写真 4.4.2-3 試験後 壁脚部引張



写真 4.4.2-4 試験後 柱脚部



写真 4.4.2-5 試験後 壁頭部めり込み



写真 4.4.2-6 CLT-製材の離間、ビスの引き抜 き



写真 4.4.2-7 壁脚部めり込み



写真 4.4.2-8 梁の曲げ破壊



写真 4.4.2-9 解体後 ビスの引き抜け



写真 4.4.2-10 解体後 めり込み防止金物

4.4.3.FS45-340-L6.0の試験結果

荷重変位曲線を図 4.4.3-1 に、破壊性状を写真 4.4.3-1~写真 4.4.3-10 に示す。終局時に梁の曲げ破壊と脚部 CLT が横架材にめり込む様子が観察された。解体後、ビスの曲げ変形や 折損が確認されたが、それ以外の目立った破壊は見られなかった。



[°] 真の変形角γ0(×-103rad)

図 4.4.3-1 荷重変位曲線とバイリニア



写真 4.4.3-1 試験前

写真 4.4.3-2 試験後



写真 4.4.3-3 試験後 壁脚部引張



写真 4.4.3-4 試験後 柱頭部めり込み



写真 4.4.3-5 試験後 壁頭部めり込み



写真 4.4.3-6 CLT-製材の離間、ビスの引き抜 き



写真 4.4.3-7 梁の曲げ破壊



写真 4.4.3-8 解体後 ビスの引き抜け



写真 4.4.3-9 解体後 ビスの引き抜け



写真 4.4.3-10 解体後 めり込み防止金物

4.4.4.FS45-340-L9.1 の試験結果

荷重変位曲線を図 4.4.4-1 に、破壊性状を写真 4.4.4-1~写真 4.4.4-10 に示す。終局時に脚部 CLT が横架材にめり込む様子が観察された。解体後、ビスの曲げ変形や折損が確認されたが、それ以外の目立った破壊は見られなかった。



図 4.4.4-1 荷重変位曲線とバイリニア



写真 4.4.4-1 試験前

写真 4.4.4-2 試験後



写真 4.4.4-3 試験後 壁脚部引張



写真 4.4.4-4 試験後 柱頭部めり込み



写真 4.4.4-5 試験後 壁頭部めり込み



写真 4.4.4-6 CLT-製材の離間、ビスの引き抜 き



写真 4.4.4-7 梁の曲げ破壊



写真 4.4.4-8 解体後 ビスの引き抜け



写真 4.4.4-9 解体後 ビスの引き抜け



写真 4.4.4-10 解体後 めり込み防止金物

4.4.5. FS45-340-L18.2 の試験結果

荷重変位曲線を図 4.4.5-1 に、破壊性状を写真 4.4.5-1~写真 4.4.5-10 に示す。終局時に脚部 CLT が横架材にめり込む様子が観察された。解体後、ビスの曲げ変形や折損が確認されたが、それ以外の目立った破壊は見られなかった。



図 4.4.5-1 荷重変位曲線とバイリニア



写真 4.4.5-1 試験前



写真 4.4.5-3 試験後 加力側壁頭部



写真 4.4.5-0 試験前 CLT 壁脚部



写真 4.4.5-2 試験後



写真 4.4.5-4 試験後 非加力側壁頭部



写真 4.4.5-5 解体後 ビスの引き抜け



写真 4.4.5-7 CLT-製材の離間、ビスの引抜き



写真 4.4.5-9 試験後 壁頭部めり込み



写真 4.4.5-6 試験後 壁脚部の浮き上がり



写真 4.4.5-8 試験後 柱脚



写真 4.4.5-10 試験後 壁頭部めり込み

4.4.6.FS45-340-H45 の試験結果

荷重変位曲線を図 4.4.6-1 に、破壊性状を写真 4.4.6-1~写真 4.4.6-6 に示す。終局時に脚 部 CLT が横架材にめり込む様子が観察された。解体後、ビスの曲げ変形や折損が確認され たが、それ以外の目立った破壊は見られなかった。



. . .

図 4.4.6-1 荷重変位曲線とバイリニア



写真 4.4.6-1 試験前



写真 4.4.6-2 試験後



写真 4.4.6-3 試験後 壁脚部引張



写真 4.4.6-5 試験後 壁頭部めり込み



写真 4.4.6-4 試験後 柱頭部めり込み



写真 4.4.6-6 CLT-製材の離間、ビスの引き抜 き

4.4.7.FS90-110-L6.0 の試験結果

荷重変位曲線を図 4.4.7-1 に、破壊性状を写真 4.4.7-1~写真 4.4.7-7 に示す。終局時に脚 部 CLT が横架材にめり込む様子が観察された。解体後、ビスの曲げ変形や折損が確認され たが、それ以外の目立った破壊は見られなかった。



図 4.4.7-1 荷重変位曲線とバイリニア



写真 4.4.7-1 試験前

写真 4.4.7-2 試験後



写真 4.4.7-3 試験後 壁脚部引張



写真 4.4.7-4 試験後 壁脚部浮き上がり



写真 4.4.7-5 試験後 壁頭部めり込み



写真 4.4.7-6 解体後



写真 4.4.7-7 解体後
4.4.8.FS90-110-L9.1の試験結果

荷重変位曲線を図 4.4.8-1~図 4.4.8-3 に、破壊性状を写真 4.4.8-1~写真 4.4.8-11 に示す。 終局時に脚部 CLT が横架材にめり込む様子が観察された。解体後、ビスの曲げ変形や折損 が確認された。





図 4.4.8-1 1体目の荷重変位曲線とバイリニ

ア

図 4.4.8-2 2 体目の荷重変位曲線とバイリニ

ア



図 4.4.8-3 3 体目の荷重変位曲線とバイリニ

ア



写真 4.4.8-1 FS90-110-F9.1-1 試験前



写真 4.4.8-2 FS90-110-F9.1-1 試験後



写真 4.4.8-3 FS90-110-F9.1-1 試験後 壁脚部引張



写真 4.4.8-4 FS90-110-F9.1-1 試験後 柱脚部



写真 4.4.8-5 FS90-110-F9.1-1 試験後 壁頭部めり込み



写真 4.4.8-6 FS90-110-F9.1-1 CLT-製材の離間は生じていない



写真 4.4.8-7 FS90-110-F9.1-1 壁脚部めり込み



写真 4.4.8-8 FS90-110-F9.1-1 解体後 試験体下部



写真 4.4.8-9 FS90-110-F9.1-1 解体後 CLT 脚部



写真 4.4.8-10 FS90-110-F9.1-1 解体後 土台柱脚部



写真 4.4.8-11 FS90-110-F9.1-1 解体後 梁材柱頭部 ※写真では FS45-110-1 となっているが誤記。

4.4.9.FS90-110-L18.2 の試験結果

荷重変位曲線を図 4.4.9-1 に、破壊性状を写真 4.4.9-1~写真 4.4.9-10 に示す。終局時に脚部 CLT が横架材にめり込む様子が観察された。解体後、ビスの曲げ変形や折損が確認されたが、それ以外の目立った破壊は見られなかった。



図 4.4.9-1 荷重変位曲線とバイリニア



写真 4.4.9-1 試験前



写真 4.4.9-3 試験後 非加力側壁頭部



写真 4.4.9-2 試験後



写真 4.4.9-4 試験後 壁脚部の浮き上がり



写真 4.4.9-5 試験後 CLT-製材の離間、 ビスの引き抜け



写真 4.4.9-7 試験後 壁頭部めり込み



写真 4.4.9-6 試験後 CLT-製材の離間、 ビスの引き抜け

4.4.10.FS90-110-H45 の試験結果

荷重変位曲線を図 4.4.10-1 に、破壊性状を写真 4.4.10-1~写真 4.4.10-7 に示す。終局時に 脚部 CLT が横架材にめり込む様子が観察された。解体後、ビスの曲げ変形や折損が確認さ れたが、それ以外の目立った破壊は見られなかった。



図 4.4.10-1 荷重変位曲線とバイリニア



写真 4.4.10-1 試験前



写真 4.4.10-2 試験後



写真 4.4.10-3 試験後 柱頭部



写真 4.4.10-5 試験後 壁頭部めり込み



写真 4.4.10-7 試験後 壁脚部めり込み



写真 4.4.10-4 試験後 壁頭部めり込み



写真 4.4.10-6 試験後 壁脚部浮き上がり

4.5. 特性値の比較

4.5.1.No. 1~7 試験体の評価方法の検討

(1)評価方法の検討

4.4 項に示したとおり No.1~7 試験体(ここでいう番号は、表 4.2.2-1~表 4.2.2-3 に記載の 試験番号)については、ビスの引き抜けや折損によって荷重が急激に低下し、その後、CLT パネルの圧縮筋かい効果によって一定の荷重を保ったまま、変形が進む性状となった(図 4.4.1-1~図 4.4.5-1)。

4.4 項で算出した特性値は、文献1)に準じて完全弾塑性モデルの評価を行っており、この評価方法では、最大荷重後の一定の荷重が 0.8Pmax を下回るか否かで塑性率の評価が大き く変わってしまう。

このため、本項では、図 4.5.1-1 のとおり最大荷重部分のエネルギー吸収を無視し、最大 荷重後の変形角ごとの荷重を平均したものを Pu として完全弾塑性評価を行う。

本報告では、4.4項の評価方法を評価方法①、本項の評価方法を評価方法②と呼ぶこととする。

なお、No.8~11 は 4.4 項の結果のとおりビスの曲げ降伏によって緩やかな荷重変形角関係 となるため、評価方法①のみとした。



図 4.5.1-1 評価方法②の考え方

(2)評価方法②による評価

評価方法①と評価方法②によってNo.1~7を再評価したバイリニア曲線を比較したグラフを図 4.5.1-2~図 4.5.1-9 に示す。

図 4.5.1-2~図 4.5.1-5 のとおり、No.1~No.3 はいずれも 70 度の角度に打ち込んだビスの 耐力壁だが、No.1 は 1/15rad まで 0.8Pmax 以下に低下せず、No.3,4 は 1/30rad あたりで 0.8Pmax 以下に低下したため、後者は塑性率が著しく低い値となった。評価方法②を用いた ことで、Pu 自体は低くなったが、塑性率が No.1 と同じ 1/15rad まで評価されることとなった。

図 4.5.1-6~図 4.5.1-9 のとおり、No.4~No.7 の試験体についてはいずれも最大荷重後の 低下が大きかったため、評価方法②ではいずれも塑性率を高く評価することができた。一方、 No.5 以外の試験体については Pu が著しく低く評価される結果となった。



図 4.5.1-2 No.1 FS70-340-L9.1-1の評価

FS70-320-L9.1-1

80

一包絡線

---評価方法①

●評価方法②

60

変位(mm)

FS70-320-L9.1-1

20

120

100

80

60

40

20

0 🤞

0

重 (kN)

疱

☑ 4.5.1-3 No.1 FS70

No.1 FS70-340-L9.1-2の評価

100



図 4.5.1-4 No.2 FS70-320-L9.1-1の評価

40

図 4.5.1-5 No.3 FS70-320-H@12の評価







No.4 FS45-340-L6.0の評価

⊠ 4.5.1-6

⊠ 4.5.1-8 No.6 FS45-340-L18.2の評価







⊠ 4.5.1-9 No.7 FS45-340-H45の評価

4.5.2. 特性値の比較と考察

各試験体の特性値を纏めたものを表 4.5.2-1~表 4.5.2-8 に示す。

(1)評価方法①と②の比較と考察

試験体 No.1~7 については、結果として評価方法①では目標値を満足することができない ものが多かったが、評価方法②では No.2 を除き、目標値を満たす結果となった。

4.5.1 項で算定した本報告の提案による評価方法②と4.4 項で算定した文献1)に基づく一般的な算定法による評価方法①の比較を行う。

表 4.5.2·1~表 4.5.2·2 のとおり、試験体 No.1 では、4.5.1 項で示したとおり No.1 試験体 は最大荷重後の耐力低下が 0.8Pmax より上だったため、評価方法①においても 1/15rad ま でのエネルギーが評価対象に入っており、Pu×0.2× $\sqrt{(2\mu-1)}$ の値に大きな違いはない。一方で 試験体 No.2 では 1/25rad から 1/15rad までのエネルギーが評価対象となり、Pu×0.2× $\sqrt{(2\mu-1)}$ の値が高くなった。更に No.1 と No.2 間でのばらつきが小さくなったため、3 体の

Pu×0.2×√(2µ-1)の 5%下限値は高くなった。ただし、壁倍率の評価については、いずれの評価方法も 1/150rad で決定しているため、結果は変わらないこととなった。

No.3 試験体においても表 4.5.2·3~表 4.5.2·4 のとおり、No.2 試験体と同様に Pu×0.2×√(2µ·1)の値が大きくなったものの、1/150rad で決定しているため、壁倍率は変わら ない結果となった。

No.4~7 試験体については、表 4.5.2⁻⁵~表 4.5.2⁻⁶のとおり、評価方法①において全て Pu×0.2×√(2µ⁻¹)で壁倍率が決定しており、評価方法②によって Pu×0.2×√(2µ⁻¹)が大きく上 昇したため、壁倍率が高く評価された。

(2) 試験体サイズによる影響の比較と考察

No.4~7 試験体については、表 4.5.2-5~表 4.5.2-6のとおり、特性値が耐力壁のサイズに 必ずしも比例しないことが分かった。No.5 試験体(L9.1)を基準にして考えると、比例する 条件は、No.4 試験体(L6.0)は、0.6/0.91=0.66 倍、No.6 試験体(L18.2)は、1.82/0.91=2.0 倍、 No.7 試験体(H45)は、0.91/0.91=1.0 倍であればよい。

2/3Pmaxについては、各試験体がサイズに応じて比例している。

Pyについては No.4(L6.0)、No.6(L18.2)はほぼ比例しているものの、No.7(H45)は想定の 4 割ほど高い値となった。

P₁₅₀については、No.4 試験体(L6.0)は、2 割ほど低く、No.6 試験体(L18.2)は5 割ほど高く、No.7 試験体(H45)は、3 割ほど高い値となった。

Pu・0.2・√2µ-1 については、評価方法①では No.4 試験体(L6.0)が 3 割高く、他はほぼ比例 する結果となったが、評価方法②では No.7 試験体(H45)が 3 割ほど低く、他はほぼ比例する という結果になった。

No.8~11 試験体についても、表 4.5.2-7 のとおり、特性値が耐力壁のサイズに必ずしも比例しないことが分かった。No.4~7 試験体と同様に、No.9 試験体(L9.1)を基準にして考えると、比例する条件は、No.8 試験体(L6.0)は、0.6/0.91=0.66 倍、No.10 試験体(L18.2)は、1.82/0.91=2.0 倍、No.11 試験体(H45)は、0.91/0.91=1.0 倍であればよい。

P_yについては、各試験体がサイズに応じて比例している。

2/3P_{max}については、No.8 試験体(L6.0)が3割ほど低く、他はほぼ比例する結果となった。
P₁₅₀及びPu·0.2·√2µ·1については、No.8 試験体(L6.0)が3割ほど低く、No.10 試験体
(L18.2)は3割ほど高く、No.11 試験体(H45)は、ほぼ比例する結果となった。

これらの特性値が綺麗に壁長さ比例していない理由としては、CLTの圧縮筋かい効果、回転半径の影響が考えられるため、今後の課題としたい。

(3) 試験体のばらつきの検証

No.1~2 試験体については、2 体が予定と異なる長さのビスで施工されてしまったため、正 しくばらつきを検証することはできないが、少なくとも安全側の評価となる。

評価方法①においては表 4.5.2-1 のとおり、1 体だけ塑性率が低い試験体があったため、 Pu×0.2×√(2µ-1)のばらつきが大きいものとなったが、評価方法②では、表 4.5.2-2 のとおり、 ばらつき係数を高くとることができた。

No.9 試験体については、表 4.5.2-8 のとおり、いずれの指標値もばらつき係数を高くなる 結果となった。

試験体記号	FS70-340-	FS70-340-	FS70-320-					
1-0071-1-0-0	L9.1-1	L9.1-2	L9.1-1	平均値	標準偏差	変動係数		
壁高さ(mm)		3000						
壁長さ(mm)		910						
最大耐力 P max (kN/m)	120.5	115.3	108.9	114.9	5.81			
最大耐力時変形角 δ max (10-3rad)	20.05	25.06	20.03	21.71	2.9			
降伏耐力 P y (kN/m)	80.5	83	78.6	80.7	2.21	0.027		
降伏変形角δy(10-3rad)	9.64	12.97	12.54	11.72	1.81			
終局耐力 P u (kN/m)	105.6	102.7	97.4	101.9	4.16			
終局変形角δu(10-3rad)	66.67	66.67	39.76	57.7	15.54			
降伏点変形角δv(10-3rad)	12.65	16.05	15.54	14.75	1.83			
剛性K (MN/rad)	8.35	6.4	6.27	7.01	1.17			
塑性率μ	5.27	4.15	2.56	3.99	1.36			
構造特性係数Ds	0.32	0.37	0.49	0.39	0.09			
$Pu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu - 1(kN/m)$	65.2	55.5	39.5	53.4	12.98	0.243		
2/3 P max(kN/m)	80.3	76.9	72.6	76.6	3.86	0.05		
一定変形時耐力(kN/0.91m)								
真 1/300rad	29.0	19.7	14.9	21.2	7.17	0.338		
真 1/200rad	42.8	30.6	26.5	33.3	8.48	0.255		
真 1/150rad	56.4	41.6	38.0	45.3	9.75	0.215		

表 4.5.2-1 No.1、2 評価方法①

	試験荷重 (平均値)	こうたう考	50%下限值	
	(kN/0.91m)	はらうさ徐釵	(kN/0.91m)	
Ру	80.7	0.987	79.7	
Pu•0.2•√2μ-1	53.4	0.886	47.3	
2/3 P max	76.6	0.976	74.8	
P 150	45.3	0.899	40.7	
壁倍率		22.8		

表 4.5.2-2	No.1、2	評価方法②
-----------	--------	-------

試験体記号	FS70-340-	FS70-340-	FS70-320-			
	L9.1-1	L9.1-2	L9.1-1	平均値	標準偏差	変動係数
壁高さ(mm)		3000				
壁長さ(mm)		910				
最大耐力 P max (kN/m)	108.1	102.0	89.8	100.0	9.32	
最大耐力時変形角 δ max (10-3rad)	64.64	59.28	48.97	57.63	7.96	
降伏耐力 P y (kN/m)	-	-	-	-	-	-
降伏変形角δy (10-3rad)	-	-	-	-	-	-
終局耐力 P u (kN/m)	97.0	91.1	84.2	90.8	6.41	
終局変形角δu (10-3rad)	66.67	66.67	66.67	66.67	0.00	
降伏点変形角δv (10-3rad)	11.62	14.24	13.43	13.10	1.34	
剛性K (MN/rad)	8.35	6.40	6.27	7.01	1.17	
塑性率µ	5.74	4.68	4.96	5.13	0.55	
構造特性係数Ds	0.31	0.35	0.33	0.33	0.02	
$Pu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu - 1(kN/m)$	62.8	52.7	50.3	55.3	6.63	0.120
2/3 P max(kN/m)	72.0	68.0	59.8	66.6	6.22	0.093
	一定変形明	寺耐力(kN/0	.91m)			
真 1/300rad	29.0	19.7	14.9	21.2	7.17	0.338
真 1/200rad	42.8	30.6	26.5	33.3	8.48	0.255
真 1/150rad	56.4	41.6	38.0	45.3	9.75	0.215

	試験荷重 (平均値)	1112 - + 1544	50%下限值
	(kN/0.91m)	はらつさ係数	(kN/0.91m)
Ру	-	-	-
Pu·0.2·√2μ-1	55.3	0.943	52.1
2/3 P max	66.6	0.956	63.7
P 150	45.3	0.899	<u>40.7</u>
壁倍率		22.8	

試験休司무	FS70-340-	FS70-340-	FS70-320-	FS70-320H-		
	L9.1-1	L9.1-2	L9.1-1	@12		
壁高さ(mm)	3000					
壁長さ(mm)		9	10			
最大耐力 P max (kN/m)	120.5	115.3	108.9	108.1		
最大耐力時変形角 δ max (10-3rad)	20.05	25.06	20.03	25.92		
降伏耐力 Py (kN/m)	80.5	83	78.6	91		
降伏変形角δy(10-3rad)	9.64	12.97	12.54	18.94		
終局耐力 P u (kN/m)	105.6	102.7	97.4	93.5		
終局変形角δu(10-3rad)	66.67	66.67	39.76	31.85		
降伏点変形角δv(10-3rad)	12.65	16.05	15.54	19.46		
剛性K (MN/rad)	8.35	6.4	6.27	4.80		
塑性率 µ	5.27	4.15	2.56	1.64		
構造特性係数Ds	0.32	0.37	0.49	0.66		
Pu·0.2·√2μ-1(kN/m)	65.2	55.5	39.5	28.2		
2/3 P max(kN/m)	80.3	76.9	72.6	72		
一定変形時耐力		(kN/	0.9m)			
真 1/300rad	29	19.7	14.9	8.4		
真 1/200rad	42.8	30.6	26.5	17.2		
真 1/150rad	56.4	41.6	38	26.0		
Ру	80.5	83.0	78.6	91.0		
Pu·0.2·√2μ-1	65.2	55.5	39.5	28.2		
2/3 P max	80.3	76.9	72.6	72.0		
P 150	<u>56.4</u>	41.6	<u>38.0</u>	<u>26.0</u>		

表 4.5.2-3 No.3(No.1,2との比較) 評価方法①

表 4.5.2-4 No.3 (No.1,2 との比較) 評価方法2

31.6

23.3

21.3

14.6

壁倍率

試験体記号	FS70-340- L9.1-1	FS70-340- FS70-320- _9.1-2 L9.1-1		FS70-320H- @12	
壁高さ(mm)	3000				
壁長さ(mm)		93	10		
最大耐力 P max (kN/m)	108.1	102.02	89.77	90.48	
最大耐力時変形角 δ max (10-3rad)	64.642	59.275	48.97	62.65	
降伏耐力 Py (kN/m)	-	-	-	-	
降伏変形角δy(10-3rad)	-	-	-	-	
終局耐力 Pu (kN/m)	97.00807969	91.09632055	84.20598414	78.55	
終局変形角δu(10-3rad)	66.67	66.67	66.66666667	66.67	
降伏点変形角δv(10-3rad)	11.61686818	14.23517202	13.43438984	16.35	
剛性K (MN/rad)	8.35	6.4	6.27	4.80	
塑性率 µ	5.739068309	4.683469923	4.962388875	4.08	
構造特性係数Ds	0.308928497	0.345713769	0.334735131	0.37	
$Pu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu - 1(kN/m)$	62.80293375	52.70042952	50.31200867	42.0	
2/3 P max(kN/m)	72.04666667	68.01333333	59.84666667	60.3	
一定変形時耐力		(kN/	0.9m)		
真 1/300rad	29	19.7	14.9	8.4	
真 1/200rad	42.8	30.6	26.5	17.2	
真 1/150rad	56.4	41.6	38	26.0	
	-				
Ру	-	-	-	-	
Pu·0.2·√2μ-1	62.8	52.7	50.3	42.0	
2/3 P max	72.0	68.0	59.8	60.3	
P 150	<u>56.4</u>	<u>41.6</u>	<u>38.0</u>	<u>26.0</u>	
壁倍率	31.6	23.3	21.3	14.6	

	FS45-320-	FS45-320-	FS45-320-	FS45-320-
	L6	L9.1	L18.2	H4.5
壁高さ(mm)	3000	3000	3060	4560
壁長さ(mm)	600	910	1820	910
最大耐力 P max (kN/m)	64.1	91.8	190.8	91.8
最大耐力時変形角 δ max (10-3rad)	24.33	12.98	12.12	10.13
降伏耐力 Py(kN/m)	46.7	66.2	115.9	91.1
降伏変形角δy(10-3rad)	10.3	8.02	4.9	9.92
終局耐力 Pu (kN/m)	55.8	75.8	178.6	91.3
終局変形角δu(10-3rad)	33.27	18.39	14.33	15.14
降伏点変形角δv(10-3rad)	12.3	9.18	7.55	9.94
剛性K (MN/rad)	4.53	8.25	23.65	9.18
塑性率 µ	2.7	2.00	1.9	1.52
構造特性係数Ds	0.48	0.58	0.6	0.7
Pu•0.2•√2μ-1(kN/m)	23.4	26.3	59.8	26.1
2/3 P max(kN/m)	42.8	61.2	127.2	61.2
一定変形時耐力	(kN/0.6m)	(kN/0.9m)	(kN/1.82m)	(kN/0.9m)
真 1/300rad	7.6	14	78.3	31.6
真 1/200rad	17.4	32.5	117.9	49.9
真 1/150rad	27.1	51.1	150	67.8
Ру	46.7	66.2	115.9	91.1
D 00 /0 1	00.4	00.0	50.0	00.1

表 4.5.2-5 No.4~7 評価方法①

Ру	46.7	66.2	115.9	91.1
Pu·0.2·√2μ-1	<u>23.4</u>	<u>26.3</u>	<u>59.8</u>	<u>26.1</u>
2/3 P max	42.8	61.2	127.2	61.2
P 150	27.1	51.1	150.0	67.8
壁倍率	19.9	14.7	16.8	14.6

表 4.5.2-6 No.4~7	評価方法②
------------------	-------

試験体記号	FS45-320- L6	FS45-320- L9.1	FS45-320- L18.2	FS45-320- H4.5
壁高さ(mm)	3000	3000	3060	4560
壁長さ(mm)	600	910	1820	910
最大耐力 P max (kN/m)	42.26	74.58	107.06	57.34
最大耐力時変形角 δ max (10-3rad)	66.6666667	45.75	66.6666667	33.6767616
降伏耐力 P y (kN/m)	-	-	-	-
降伏変形角δy(10-3rad)	-	-	-	-
終局耐力 P u (kN/m)	36.52	63.40	83.40	50.16
終局変形角δu (10-3rad)	66.6666667	66.67	66.6666667	40.3261896
降伏点変形角δv(10-3rad)	8.05426072	7.68	3.52576045	5.46182681
剛性K (MN/rad)	4.53	8.25	23.65	9.18
塑性率 µ	8.28	8.68	18.91	7.38
構造特性係数Ds	0.25	0.25	0.16	0.27
$Pu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu - 1(kN/m)$	28.8	51.3	101.2	37.2
2/3 P max(kN/m)	28.2	49.7	71.4	38.2
一定変形時耐力	(kN/0.6m)	(kN/0.9m)	(kN/1.82m)	(kN/0.9m)
真 1/300rad	7.6	14	78.3	31.6
真 1/200rad	17.4	32.5	117.9	49.9
真 1/150rad	27.1	51.1	150	67.8
Ру	-	-	-	-
Pu·0.2·√2μ-1	28.8	51.3	101.2	<u>37.2</u>
2/3 P max	28.2	<u>49.7</u>	<u>71.4</u>	38.2
P 150	<u>27.1</u>	51.1	150.0	67.8
壁倍率	23.0	27.9	20.0	20.9

試験体記号	ES90-110-L6	FS90-110-	FS90-110-	FS90-110-	FS90-110-	FS90-110- H4 5
 壁高さ(mm)	3000	3000	3000	3000	3060	4560
	600	910	910	910	1820	910
最大耐力 P max (kN/m)	49.5	98.2	102.6	100.7	197.8	92.2
最大耐力時変形角 δ max (10-3rad)	66.67	66.67	66.07	66.67	33.71	66.67
降伏耐力 P y (kN/m)	26.1	44.2	46.2	45.3	100.1	42.5
降伏変形角δy(10-3rad)	13.23	10.5	10.52	10.23	6.97	10.16
終局耐力 P u (kN/m)	39.6	76.6	78.3	79.4	175.1	75.3
終局変形角 δ u (10-3rad)	66.67	66.67	66.67	66.67	56.8	66.67
降伏点変形角δv(10-3rad)	20.07	18.2	17.83	17.95	12.19	17.98
剛性K (MN/rad)	1.97	4.21	4.39	4.43	14.36	4.18
塑性率 µ	3.32	3.66	3.74	3.71	4.66	3.71
構造特性係数Ds	0.42	0.4	0.39	0.39	0.35	0.39
$Pu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu - 1(kN/m)$	18.8	38.5	39.9	40.2	101	38.2
2/3 P max(kN/m)	33	65.5	68.4	67.1	131.8	61.5
一定変形時耐力	(kN/0.6m)		(kN/0.9m)		(kN/1.82m)	(kN/0.9m)
真 1/300rad	10.3	22.8	24	23.8	58.5	19.6
真 1/200rad	14.5	30.5	31.7	31.5	81.1	27.6
真 1/150rad	17.5	35.8	36.9	37.1	97.8	33.4
Ру	26.1	44.2	46.2	45.3	100.1	42.5
Pu·0.2·√2μ-1	18.8	38.5	39.9	40.2	101.0	38.2
2/3 P max	33.0	65.5	68.4	67.1	131.8	61.5
P 150	<u>17.5</u>	<u>35.8</u>	<u>36.9</u>	37.1	<u>97.8</u>	<u>33.4</u>
壁倍率	14.9	20.1	20.7	20.8	27.4	18.7

表 4.5.2-7 No.8~11 評価方法①

表 4.5.2-8 No.9 評価方法① ばらつきの検証

試験体記号	FS90-110- L9.1-1	FS90-110- L9.1-2	FS90-110- L9.1-3	平均値	標準偏差	変動係数
壁高さ(mm)		3000	•			
壁長さ(mm)		910				
最大耐力 P max (kN/m)	98.2	102.6	100.7	100.5	2.21	
最大耐力時変形角 δ max (10-3rad)	66.67	66.07	66.67	66.47	0.35	
降伏耐力 P y (kN/m)	44.2	46.2	45.3	45.2	1	0.022
降伏変形角δy(10-3rad)	10.5	10.52	10.23	10.42	0.16	
終局耐力 P u (kN/m)	76.6	78.3	79.4	78.1	1.41	
終局変形角δu(10-3rad)	66.67	66.67	66.67	66.67	0	
降伏点変形角δv(10-3rad)	18.2	17.83	17.95	17.99	0.19	
剛性K (MN/rad)	4.21	4.39	4.43	4.34	0.12	
塑性率 µ	3.66	3.74	3.71	3.7	0.04	
構造特性係数Ds	0.4	0.39	0.39	0.39	0.01	
$Pu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu - 1(kN/m)$	38.5	39.9	40.2	39.5	0.91	0.023
2/3 P max(kN/m)	65.5	68.4	67.1	67	1.45	0.022
	一定変形時耐力(kN/0.91m)					
真 1/300rad	22.8	24.0	23.8	23.5	0.64	0.027
真 1/200rad	30.5	31.7	31.5	31.2	0.64	0.021
真 1/150rad	35.8	36.9	37.1	36.6	0.7	0.019
真 1/150rad	35.8	36.9	37.1	36.6	0.7	0.0

	試験荷重 (平均値)	げこっき体粉	50%下限值
	(kN/0.91m)	はりフさ床奴	(kN/0.91m)
Ру	45.2	0.990	44.7
Pu·0.2·√2μ-1	39.5	0.989	39.1
2/3 P max	67.0	0.990	66.3
P 150	36.6	0.991	<u>36.3</u>
壁倍率		20.3	•

4.5.3. 考察まとめ

本章では、前年度の試験結果を踏まえ、試験体サイズ等を変えた場合の強度性能への影響を検証する試験を行った。

・No.3 試験体を除き、全ての試験体で目標である 18 倍を達成することができた。

No.3 の剛性が低かった理由については今後の課題である。

・加力方向にビス斜め打ちを行った No.1~7 試験体については、最大荷重後大きく荷重低下する部分のエネルギーを評価しない方法(評価方法②)によって評価を行った。従来の評価方法では 0.8Pmax を切るか切らないかによって評価結果が大きく変わってしまう結果になったが、この評価方法では、その影響を受けずに評価することができた。

・加力方向にビス斜め打ちを行った No.1~7 試験体については、CLT を 3 層 3 プライから 3 層 4 プライに変更し、ビスを千鳥打ちとすることで柱の割裂が生じない結果となった。

・試験体サイズの影響について検証したところ、これらの特性値が綺麗に壁長さ比例しない結果となった。CLTの圧縮筋かい効果、回転半径の影響が考えられるため、今後の課題としたい。また、No.4~7試験体、No.8~11試験体で傾向が異なることが分かった。

・試験体のばらつきについては、表3のとおり、No.1、2試験体はビス長さが異なるものが混ざってしまった影響もあり、またビスの引き抜きによって最大荷重が決まってしまうことから No.9 試験体よりも ばらつきが大きくなることが分かった。

5. 大壁耐力壁のくぎ及びビスー面せん断試験

5.1. 試験の目的

CLT を大壁耐力壁の面材として用いた場合の耐力壁仕様を検証するため、要素試験を 実施する。

5.2. 試験の内容

5.2.1. くぎ及びビスの仕様

対象となるくぎ及びフルスレッドビスは図 5.2.1-1、図 5.2.1-2 のとおりである。





⊠ 5.2.1-2 HTS9-100

5.2.2. 試験の種類

試験の種類は表 5.2.2-1 のとおり 3 種類 9 体+軸組フレーム試験体 1 体とする。試験体の記 号の意味を図 5.2.2-1 に示す。各試験体図を図 5.2.2-2 ~ 図 5.2.2-5 に、試験体の密度と含水 率を表 5.2.2-2 に示す。

通		面材の種	類	接合	接合具の種類			
し 番 号	試験体名	面材規格	厚さ (mm)	名称	山径または 胴部径d(mm)	接合具長さ l(mm)	軸材の種 類	試験体数 (体)
1	P24 CN75	構造用合板 /特類2級	24	太めくぎCN75	3.76	76.2		3
2	C36 CN90	スギCLT/ Mx60-3-3/ A種構成	36	太めくぎCN90	3.76	76.2	スギ製材	3
3	C60F140	スギCLT/ Mx60-3-3/ A種構成	60	フルスレッドビス	9	140	0.38~0.44	3
4	JF	-	-	軸組フ	レーム試験体			1
		合計						10

表 5.2.2-1 試験の種類

Ρ

24

<u>CN75</u>

面材の樹種 Plywood CLT 面材の厚み 24 mm

36 mm

60 mm

接合具の種類

CN75

CN90

HTS9-110

図 5.2.2-1 試験体記号の意味



図 5.2.2-2 P24CN75 試験体



図 5.2.2-4 C60F110 試験体



図 5.2.2-5 軸組フレーム試験体

			面	材	梁	材	土台	台材	右村	主材	左村	主材
No	試験体記号 新	含水率 (%)	密度 (g/cm³)									
	木材·木質部材(の種類	ヒノキ	合板	スギ	製材	スギ	製材	スギ	製材	スギ	製材
	P24 CN75	1	-	0.45	10.1	0.38	17.1	0.37	12.0	0.37	12.4	0.38
1		2	-	0.45	16.5	0.37	15.1	0.39	8.8	0.39	14.5	0.34
l '		3	_	0.45	13.6	0.39	9.3	0.36	15.8	0.41	12.0	0.43
		平均	-	0.45	13.4	0.38	13.8	0.38	12.2	0.39	13.0	0.38
	木材・木質部材の種類		スギ	CLT	スギ	製材	スギ	製材	スギ	製材	スギ	製材
	C36 CN90	1	10.0	0.40	8.0	0.37	14.1	0.39	9.5	0.40	9.9	0.40
2		2	10.5	0.38	12.2	0.42	16.4	0.36	15.3	0.36	7.0	0.38
2		3	10.0	0.38	15.6	0.44	7.6	0.36	13.1	0.42	13.3	0.42
		平均	10.2	0.38	11.9	0.41	12.7	0.37	12.6	0.39	10.1	0.40
	C60F140	1	10.5	0.41	14.8	0.43	10.8	0.40	15.7	0.37	15.5	0.40
2		2	10.5	0.41	12.4	0.40	8.8	0.39	14.4	0.37	14.0	0.43
		3	10.5	0.40	11.4	0.41	9.9	0.38	10.5	0.43	10.4	0.38
		平均	10.5	0.40	12.9	0.41	9.8	0.39	13.5	0.39	13.3	0.41
	木材・木質部材の種類			-	スギ	製材	スギ	製材	スギ	製材	スギ	製材
4	JF	1	-	-	6.9	0.39	15.9	0.37	13.2	0.36	10.5	0.38

表 5.2.2-2 密度と含水率

5.3. 試験方法

試験方法は、グレー本¹⁾の「4.5.4 試験方法」に則って実験を行い、正負交番繰り返し加力 を各変形角で3回行った後、1/30radで1回繰り返すものとした。

5.4. 試験結果

5.4.1. P24CN75

荷重変位曲線を図 5.4.1-1 に、包絡線とバイリニアを図 5.4.1-2 に、面材接合具 1 本あたり のせん断性能の算定結果を表 5.4.1-1~5.4.1-3、破壊性状を写真 5.4.1-1~10 に示す。くぎの 引き抜け・めり込み(写真 5.4.1-5~6)、面材の孕み(写真 5.4.1-8~10)は見られたが、パンチ ングアウトは見られなかった。1 体目のみ梁の曲げ破壊が生じた(写真 5.4.1-7)。





図 5.4.1-1 荷重変位曲線

図 5.4.1-2 包絡線(軸組フレーム除去)とバイリニア

表 5.4.1-1 特性值

試験方法	タイロッド式、3回正負								
試験体記号	P24CN75-1	P24CN75-2	P24CN75-3	平均值	標準偏差	変動係数			
最大モーメント Mmax (kN・m)	15.15	14.19	12.13	13.82	1.54				
最大モーメント時変形角 γ 0max (10 ⁻³ rad)	50.58	34.33	30.32	38.41	10.73				
降伏モーメント My (kN・m)	8.05	8.51	7.05	7.87	0.75	0.095			
降伏変形角 ν 0v (10 ⁻³ rad)	3.50	3.37	2.42	3.10	0.59				
終局モーメント Mu (kN・m)	13.73	13.11	11.30	12.71	1.26				
終局変形角 γ 0u (10 ⁻³ rad)	85.38	62.65	61.41	69.81	13.50				
降伏点変形角 γ 0v (10 ⁻³ rad)	5.98	5.20	3.88	5.02	1.06				
剛性 K (MN•m/rad)	2.30	2.53	2.91	2.58	0.31				
塑性率 μ	14.28	12.05	15.83	14.05	1.90				
構造特性係数 Ds	0.19	0.21	0.18	0.19	0.02				
Mu•0.2•√2μ−1 (kN•m)	14.42	12.60	12.51	13.18	1.08	0.082			
2/3Mmax (kN•m)	10.10	9.46	8.09	9.22	1.03	0.112			
		一定変形時モ	ーメント(kN・m))					
真 1/300rad	7.93	8.47	7.97	8.12	0.30	0.037			
真 1/200rad	8.92	9.83	9.23	9.33	0.46				
真 1/150rad	9.44	10.62	9.96	10.01	0.59	0.059			

表 5.4.1-2 面材接合具のせん断だけによる降伏点変形角及び終局変形角

項目	P24CN75- 1	P24CN75- 2	P24CN75- 3	平均值	標準偏差
$\gamma 0 v (\times 10^{-})$	5.98	5.20	3.88	5.02	1.06
$\gamma 0 u (\times 10^{-})$	85.38	62.65	61.41	69.81	13.50
$\gamma B(\times 10^{-})$	1.43	1.37	1.18	1.33	0.13
$\Gamma v (\times 10^{-})$	4.55	3.83	2.70	3.69	0.93
$\Gamma u (\times 10^{-}$	83.95	61.28	60.23	68.49	13.40

面材幅	1000
面材長さ	1000
面材厚さ	24
せん断剛性GB	0.4
N	

表 5.4.1-3 面材接合具 1 本あたりのせん断性能

	項目	P24CN75- 1	P24CN75- 2	P24CN75- 3	平均值	標準偏差	ばらつき 係数	項目	50%下限 値
	$\Delta P v (kN)$	3.57	3.41	2.94	3.30	0.33	0.953	$\Delta P v 0$	3.15
	δ v (cm)	0.13	0.11	0.08	0.11	0.03	0.889	δ v0	0.09
	δu(cm)	2.40	1.76	1.78	1.98	0.36	0.913	δ u0	1.81
								$\begin{array}{c} \Delta \ P \\ va(kN) \end{array}$	2.98
L	A P va及び k i	k (kN/cm)	33.11						

Zpxy	0.0385
Ixy	1.14
α	0.95



写真 5.4.1-1 CN75



写真 5.4.1-3 1 体目 試験前





写真 5.4.1-4 1 体目 試験後



写真 5.4.1-5 1体目 柱脚部



写真 5.4.1-7 1体目 梁材の曲げ破壊



写真 5.4.1-6 1体目 くぎの引き抜け



写真 5.4.1-8 1体目 面材の孕み



写真 5.4.1-9 1体目 面材の孕み



写真 5.4.1-10 1体目 面材の孕み

5.4.2. C36CN90

荷重変位曲線を図 5.4.2-1 に、包絡線とバイリニアを図 5.4.2-2 に、面材接合具 1 本あたり のせん断性能の算定結果を表 5.4.2-1~5.4.2-3、破壊性状を写真 5.4.2-1~写真 5.4.2-10 に示 す。くぎの引き抜け・めり込み(写真 5.4.2-5~6)、面材の孕み(写真 5.4.2-8~10)は見られた が、パンチングアウトは見られなかった。



バイリニア

表	$5.4.2 \cdot 1$	特性値

試験方法	タイロッド式、3回正負						
試験体記号	C36CN90-1	C36CN90-2	C36CN90-3	平均值	標準偏差	変動係数	
最大モーメント Mmax (kN・m)	18.15	18.60	16.23	17.66	1.26		
最大モーメント時変形角	82.85	83.33	96.43	87.54	7.71		
y 0max (10 rad) 降伏モーメント My (kN・m)	10.53	11.22	9.70	10.48	0.76	0.073	
WJy (KIV III) 降伏変形角 av 0y (10 ⁻³ rad)	6.44	7.28	5.27	6.33	1.01		
メロット 終局モーメント Mu (kN・m)	16.84	17.24	15.32	16.47	1.01		
終局変形角 × 0u (10 ⁻³ rad)	131.22	135.92	156.62	141.25	13.51		
降伏点変形角 $\gamma 0v (10^{-3} rad)$	10.31	11.19	8.32	9.94	1.47		
剛性 K (MN·m/rad)	1.64	1.54	1.84	1.67	0.15		
塑性率 μ	12.73	12.15	18.82	14.57	3.69		
構造特性係数 Ds	0.20	0.21	0.17	0.19	0.02		
Mu•0.2•√2μ−1 (kN•m)	16.66	16.64	18.55	17.28	1.10	0.064	
2/3Mmax (kN•m)	12.10	12.40	10.82	11.77	0.84	0.071	
		一定変形時モ	ーメント(kN・m))			
真 1/300rad	8.33	8.64	8.24	8.40	0.21	0.025	
真 1/200rad	9.72	9.99	9.56	9.76	0.22		
真 1/150rad	10.65	10.89	10.42	10.65	0.24	0.023	

項目	C36CN90- 1	C36CN90- 2	C36CN90- 3	平均值	標準偏差
$\gamma 0 v (\times 10^{-})$	10.31	11.19	8.32	9.94	1.47
$\gamma 0u(\times 10^{-1})$	131.22	135.92	156.62	141.25	13.51
$\gamma B(\times 10^{-}$	1.17	1.2	1.06	1.14	0.07
$\Gamma v (\times 10^{-}$	9.14	9.99	7.26	8.80	1.40
$\Gamma u (\times 10^{-})$	130.05	134.72	155.56	140.11	13.58

表 5.4.2-2 面材接合具のせん断だけによる降伏点変形角及び終局変形角

面材幅	1000
面材長さ	1000
面材厚さ	36
せん断剛性GB	0.4

表 5.4.2-3 面材接合具 1 本あたりのせん断性能

	項目	C36CN90- 1	C36CN90- 2	C36CN90- 3	平均值	標準偏差	ばらつき 係数	項目	50%下限 値
	$\Delta P v (kN)$	4.37	4.48	3.98	4.28	0.26	0.971	$\Delta P v 0$	4.15
	δv(cm)	0.27	0.30	0.21	0.26	0.05	0.917	δ v0	0.24
	δu(cm)	3.84	4.05	4.50	4.13	0.34	0.962	δ u0	3.97
-		ΔP va (kN)	3.94						
	Δ P va及び k l	k (kN/cm)	16.42						

0.0385 Zpxy Ixy 1.14 α 0.95











写真 5.4.2-3 1体目 試験前





写真 5.4.2-7 2体目 くぎの引き抜け



写真 5.4.2-6 1体目 くぎの引き抜け



写真 5.4.2-8 1体目 面材の孕み



写真 5.4.2-9 1体目 面材の孕み



写真 5.4.2-10 1体目 面材の孕み

5.4.3. C60F140

荷重変位曲線を図 5.4.3-1 に、包絡線とバイリニアを図 5.4.3-2 に、面材接合具 1 本あたり のせん断性能の算定結果を表 5.4.3-1~5.4.3-3、破壊性状を写真 5.4.3-1~写真 5.4.3-10 に示 す。ビスの引き抜け、めり込み及び CLT 端部の割れ破壊(写真 5.4.3-5~8)、面材の孕み(写真 5.4.3-9)は見られたが、パンチングアウトは見られなかった。



表 5.4.3-1 特性值

試験方法	タイロッド式、3回正負 C60F140-1 C60F140-2 C60F140-3 平均値 標準偏差 変動係										
試験体記号	C60F140-1	C60F140-2	C60F140-3	平均值	標準偏差	変動係数					
最大モーメント	F.C. F	<u> </u>	F.7. F	F0.0	0.05						
Mmax (kN•m)	56.5	60.8	57.5	58.3	2.25						
最大モーメント時変形角	112.10	119.96	102.49	100.46	E 94						
$\gamma 0 \max (10^{-3} rad)$	112.10	112.80	105.42	109.40	0.24						
降伏モーメント	22.0	24.6	22.4	22.0	0.61	0.026					
My (kN•m)	23.0	24.0	23.4	23.9	0.01	0.020					
降伏変形角	19.47	15 56	18 30	17 78	2.01						
γ 0y (10 ⁻³ rad)	15.47	15.50	10.50	11.10	2.01						
終局モーメント	40.2	50.4	40.0	10.6	0.74						
Mu (kN•m)	49.5	50.4	49.0	49.0	0.74						
終局変形角	157.01	158.05	157.76	157.01	0.15						
γ 0u (10 ⁻³ rad)	157.51	158.05	157.70	157.91	0.15						
降伏点変形角	40.20	21.90	20.20	26.96	4 41						
$\gamma 0v (10^{-3} rad)$	40.30	51.05	30.30	30.80	4.41						
剛性	1 99	1 59	1 20	1.26	0.10						
K (MN•m/rad)	1.22	1.50	1.20	1.50	0.15						
塑性率	3 02	1.96	4 11	1 22	0.55						
μ	5.52	4.50	4.11	4.55	0.55						
構造特性係数	0.29	0.22	0.27	0.26	0.02						
Ds	0.50	0.55	0.57	0.50	0.05						
Mu•0.2•√2 μ −1	25.9	20.1	26.2	97.4	2.25	0.086					
(kN•m)	25.8	30.1	20.5	21.4	2.35	0.080					
2/3Mmax	27 7	40.5	20.2	20.0	1.47	0.028					
(kN•m)	51.1	40.5	50.5	30.0	1.47	0.038					
		一定変形時モ	ーメント(kN・m)								
真 1/300rad	7.9	7.8	7.8	7.8	0.06	0.008					
真 1/200rad	11.4	11.9	11.4	11.6	0.29						
真 1/150rad	14.3	15.2	14.1	14.5	0.59	0.041					

項目	C60F140- 1	C60F140- 2	C60F140- 3	平均值	標準偏差
$\gamma 0 v (\times 10^{-})$	40.30	31.89	38.38	36.86	4.41
$\gamma 0u (\times 10^{-})$	157.91	158.05	157.76	157.91	0.15
$\gamma B(\times 10^{-})$	2.05	2.10	2.04	2.06	0.03
$\Gamma v (\times 10^{-})$	38.25	29.79	36.34	34.79	4.44
$\Gamma u (\times 10^{-})$	155.86	155.95	155.72	155.84	0.12

表 5.4.3-2 面材接合具のせん断だけによる降伏点変形角及び終局変形角

面材幅	1000
面材長さ	1000
面材厚さ	60
せん断剛性GB	0.4

表 5.4.3-3 面材接合具 1 本あたりのせん断性能

l	項目	C60F140- 1	C60F140- 2	C60F140- 3	平均值	標準偏差	ばらつき 係数	項目	50%下限 値
[$\Delta P v (kN)$	12.8	13.1	12.7	12.9	0.21	0.992	$\Delta P v 0$	12.7
[δv(cm)	1.13	0.88	1.08	1.03	0.13	0.940	δ v0	0.97
[δ u (cm)	4.60	4.61	4.63	4.61	0.02	0.998	δ u0	4.60
_		$\frac{\Delta}{va} P}{va(kN)}$	12.06						
	Δ P va及び k i	k (kN/cm)	12.43						

Zpxy	0.0385
Ixy	1.14
α	0.95



写真 5.4.3-1 ビス HTS9-110



写真 5.4.3-2 ビス HTS9-110



写真 5.4.3-3 1体目 試験前





写真 5.4.3-5 1 体目 柱脚部



写真 5.4.3-6 1体目 くぎの引き抜け、CLT の割れ



写真 5.4.3-7 2体目 くぎの引き抜け、CLT の割れ



写真 5.4.3-8 3体目 くぎの引き抜け、CLT の割れ



写真 5.4.3-9 3体目 面材の孕み



写真 5.4.3-10 2体目 解体後

5.4.4. JF

荷重変位曲線を図 5.4.4-1 に、包絡線を図 5.4.4-2 に、破壊性状を写真 5.4.4-1~写真 5.4.4-4 に示す。



図 5.4.4-1 荷重変位曲線



図 5.4.4-1 包絡線(軸組フレーム除去)とバ





写真 5.4.4-1 1体目 試験前



写真 5.4.4-3 柱頭部



Date



写真 5.4.4-4 柱脚部めり込み

6. CLTを用いた狭小壁の面内せん断試験

6.1. 試験の目的

壁長さの短い(455 mm、600 mm程度)CLT 壁を梁と土台または基礎に直接接合する工法 を想定する。接合金物は x マーク金物を使用するため、耐力壁試験のみとする。

用途は住宅等の1階ガレージなど、開口を広く取りたい箇所などを想定しており、壁倍 率7倍を目標とする。

6.2. 試験の内容

6.2.1. 接合金物の仕様

耐力壁に取り付ける金物の姿図は図 6.2.1-1 のとおり、新たに開発するのではなく、既存 の金物を活用することとした。



図 6.2.1-1 Xマーク表示金物 引張金物 TB-DP

6.2.2. 試験の種類

試験の種類は表 6.2.2-1 のとおり 8 種類 42 体の試験とする。試験体の記号の意味を図 6.2.2-1 に示す。各試験体図を図 6.2.2-1~図 6.2.2-2 に、試験体の密度と含水率を表 6.2.2-2 に示す。

通 ,		面材の種類			3	= 1 = 0 / 1 + 1			
し番号	し 試験体記号 番 号	面材規格	厚さ(mm)	CLTの寸法 (mm)	名称	ドリフトピン のサイズ	金物1個当た りのドリフト ピンの本数	試験体数 (体)	
1	L045	スギCLT/Mx60-3-3	90	3000 × 455	クロスマーク金物	Φ16 × L 80	6	1	
2	L060	/A種構成	90	3000×600	TB-DP	Ψ10×L00	0	1	
		合計							

表 6.2.2-1 試験の種類

 \underline{L} <u>045</u>

耐力壁の長さ 450 mm、600 mm

図 6.2.2-1 試験体記号の意味





図 6.2.2-2 L045 試験体



図 6.2.2-3 L060 試験体

表 6.2.2-2 密度と含水率

No.	. 試験体記号 体番 号等	試験								面	i材	梁	材	土台	台材	土台	台材	添え	柱材
			スギ	CLT	スギ	製材	ヒノキ	製材	ヒノキ	製材	スギ	長成 材							
		锋 子等	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	密度 (g/cm³)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	密度 (g/cm³)							
1	L045	1	10.6	0.39	20.7	0.40	15.6	0.52	14.5	0.48	10.6	0.41							
2	L060	2	12.0	0.39	12.6	0.34	14.8	0.50	10.4	0.46	16.3	0.42							

6.2.3. 試験部材加工図

試験部材加工図を図 6.2.3-1~図 6.2.3-15 に示す。



スギ製材 E70 SD15





スギ製材 E70 SD15





ヒノキ製材 E90 以上 SD20




ヒノキ製材 E90 以上 SD20





ー・ ヒノキ製材 E90 以上 SD20

図 6.2.3-5 壁長さ 450 mm、600 mm用土台材(短) 部材加工図



図 6.2.3-6 壁高さ 3000 mm、3060 mm用柱材 部材加工図



図 6.2.3-7 455 mm用 CLT パネル 部材加工図



図 6.2.3-8 910×3000 mm用 CLT パネル 部材加工図

6.3. 試験方法

試験方法は図 6.3-1 のとおりグレー本 ¹⁾の「4.3.4 試験方法」における柱脚固定方式に則って実験を行い、正負交番繰り返し加力を各変形角で 3 回行った後、1/30rad で 1 回繰り返す ものとした。

変位測定の様子を写真 6.3-1~写真 6.3-2 に示す。



図 6.3-1 試験方法



写真 6.3-1 鉛直方向の変位測定



写真 6.3-2 梁 水平方向の変位測定



写真 6.3-3 土台 水平方向の変位測定

6.4. 試験結果

6.4.1.L045

荷重変位曲線とバイリニアを図 6.4.1-1 に、特性値を表 6.4.1-1 に、破壊性状を写真 6.4.1-1 ~10 に示す。1/30rad 付近で写真 6.4.1.4~写真 6.4.1-6 のとおり脚部接合金物接合部におい て CLT の引張破壊及びせん断破壊が生じ、耐力が低下した。幅はぎ位置とドリフトピン位 置が一致しており、木材破壊しやすい状況であった。



見かけのせん断変形角γ0 (x-103rad) 図 6.4.1-1 荷重変位曲線とバイリニア

1 0.4.1 1 1寸1	エ
試験体記号	L045-1
壁高さ(mm)	3000
壁長さ(mm)	455
最大耐力Pmax (kN/m)	22.48
最大耐力時変形角δmax(10 ⁻³ rad)	33.4
降伏耐力Py(kN/m)	14.74
降伏変形角δy(10 ⁻³ rad)	16.26
終局耐力Pu (kN/m)	20.74
終局変形角δu(10 ⁻³ rad)	36.05
降伏点変形角δv(10 ⁻³ rad)	22.87
剛性K (MN/rad)	0.91
塑性率μ	1.58
構造特性係数Ds	0.68
Pu•0.2•√2μ−1(kN/m)	6.1
2/3Pmax(kN/m)	14.99
一定変形時耐力	(kN/0.455m)
見かけ 1/300rad	3.35
見かけ 1/200rad	4.88
見かけ 1/120rad	7.89
真 1/300rad	19.45

Ру	14.7
$Pu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu - 1$	<u>6.1</u>
2/3Pmax	15.0
P120	7.9
壁倍率	6.8



写真 6.4.1-1 引張金物 TB-DP



写真 6.4.1-2 引張金物 TB-DP

表 6 / 1-1 结性值



写真 6.4.1-3 試験前

写真 6.4.1-4 試験後



写真 6.4.1-5 脚部金物接合部での CLT 引張破壊 写真 6.4.1-6 脚部金物接合部での CLT 引張破壊 及びせん断破壊

及びせん断破壊





及びせん断破壊



写真 6.4.1-9 座金による木材のめり込み



写真 6.4.1-11 解体後 脚部の破壊

写真 6.4.1-7 脚部金物接合部での CLT 引張破壊 写真 6.4.1-8 柱頭部 金物による木材のめり 込み



写真 6.4.1-10 解体後



写真 6.4.1-12 解体後 座金による木材のめ り込み

6.4.2.L060

荷重変位曲線とバイリニアを図 6.4.2-1 に、特性値を表 6.4.2-1 に、破壊性状を写真 6.4.2-1 ~9 に示す。梁の曲げ破壊(写真 6.4.2-4、写真 6.4.2-7~8)、接合金物の引張破壊(写真 6.4.2-9) によって荷重が低下した。



図 6.4.2-1 荷重変位曲線とバイリニア

X 0.1.2 1 NI	
試験体記号	L060-1
壁高さ(mm)	3000
壁長さ(mm)	600
最大耐力Pmax (kN/m)	34.82
最大耐力時変形角δmax(10 ⁻³ rad)	33.37
降伏耐力Py (kN/m)	23.78
降伏変形角δy(10 ⁻³ rad)	17.48
終局耐力Pu (kN/m)	32.59
終局変形角δu (10 ⁻³ rad)	40.96
降伏点変形角δv(10 ⁻³ rad)	23.95
剛性K (MN/rad)	1.36
塑性率 μ	1.71
構造特性係数Ds	0.64
Pu $\cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu - 1(kN/m)$	10.14
2/3Pmax(kN/m)	23.21
一定変形時耐力	(kN/0.6m)
見かけ 1/300rad	4.73
見かけ 1/200rad	6.75
見かけ 1/120rad	11.31
真 1/300rad	20.2

表 6.4.2-1 特性值

Ру	23.8
Pu•0.2•√2 μ −1	<u>10.1</u>
2/3Pmax	23.2
P120	11.3
壁倍率	8.6



写真 6.4.2-1 試験前



写真 6.4.2-2 試験後



写真 6.4.2-3 脚部金物接合部での CLT 引張破壊 写真 6.4.2-4 脚部金物接合部での CLT 引張破壊 及びせん断破壊



及びせん断破壊



写真 6.4.2-5 脚部金物接合部での CLT 引張破壊 写真 6.4.2-6 及びせん断破壊

柱頭部 金物による木材のめり 込み





写真 6.4.2-7 座金による木材のめり込み

写真 6.4.2-8 解体後



写真 6.4.2-9 解体後 脚部の破壊

6.5. 考察

壁長さの短い(455 mm、600 mm程度)CLT 壁を梁と基礎に直接接合する耐力壁を設計し、 その性能について実験的による検証を行った。

目標である7倍程度の性能を確認できたが、両者共に脚部接合部に脆性的な破壊が生じたため、 $Pu \times 0.2 \times \sqrt{(2 \mu - 1)}$ で壁倍率が決定した。また脆性的な破壊は、ばらつきが非常に大きくなる可能性もある。

これらのことから、柱脚金物の設計を変更する等の措置が必要と思われる。

7. 柱頭・柱脚接合部のビス補強によるめり込み試験

7.1. 試験の目的

高耐力壁の柱頭柱脚接合部においては、柱の軸力が大きくなるため、土台や梁の適切な めり込み防止が必要となる。引張接合を兼ねた箱型金物やダボピンを基礎等に直接当てる 方法も考えられるが、安価で事前の木材加工が不要なめり込み防止方法としてビスによる 補強効果を検証する。

7.2. 試験の内容

7.2.1. 金物等の仕様

対象となるフルスレッドビスは 3.2.1 項で用いた図 3.2.1-1 のビスと同一のものである。 座金は公益財団法人日本住宅・木材技術センター規格 Z マーク表示金物 めり込み防止座 がね PM12 を使用した(図 7.2.1-1)。



図 7.2.1-1 座金の形状

7.2.2. 試験の種類

試験の種類は表 7.2.2-1 のとおり 4 仕様 21 体の試験とする。試験体の記号の意味を図 7.2.2-1 に、試験体別のビスの打ち方を図 7.2.2-2 に示す。各試験体図を図 7.2.2-3~図 7.2.2-6 に、部材加工図を図 7.2.2-7~図 7.2.2-8 に試験体の密度と含水率を表 7.2.2-2 に示す。

通		柱材の種	類	横架材の種	重類	接合具の種類				=+ €+	
し 番 号	試験体 記号	材料名	断面寸法 (mm)	材料名	断面寸法 (mm)	名称	山径また は胴部径 d(mm)	接合具長 さl(mm)	本数	_{訊練} 体数 (体)	
1	B00								0	6	
2	B04	ビノキ製材 F0017 F	120 × 120	ビノキ製材 F0017 F	120×120	フルスレッ	0	110	4	3	
3	B06	比重0.47~0.53	120 ^ 120	比重0.47~0.53	120 ~ 120	ドビス	5	110	6	6	
4	B10								10	6	
		合計									

表 7.2.2-1 試験の種類

B

<u>00</u>

ビス

ビスの打ち込み本数

図 7.2.2-1 試験体記号の意味

	160			
55	90	15		
			+	
			30	120

0本仕様 B00



4本仕様 B04



図 7.2.2-2 試験体別のビスの打ち方







160

Γ

70 60 30

400

150

50

+

6060

190

50

φ18

I 20







図 7.2.2-5 B06 試験体

図 7.2.2-4 B04 試験体











図 7.2.2-7 柱材 部材加工図

図 7.2.2-8 橫架材 部材加工図

	=+=+=++================================	计时件承日	柱	材	土台	討材			计时体学口	柱	材	土台	討材		
No.	武殿仲記	武駅 仲	含水率	密度	含水率	密度	No. 試験体記号		No.試験体記号		武駅仲留方 笙	含水率	密度	含水率	密度
	7		(%)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)			4	(%)	(g/cm^3)	(%)	(g/cm^3)		
		1	11.5	0.53	8.9	0.50			1	9.3	0.56	8.5	0.49		
		2	11.0	0.57	11.0	0.52			2	12.5	0.58	11.0	0.49		
		3	10.1	0.54	9.3	0.49				3	9.7	0.55	12.8	0.49	
1	B00	4	7.7	0.54	8.6	0.51	3	B06	4	7.5	0.56	11.1	0.53		
		5	10.4	0.55	11.1	0.56				5	9.8	0.53	9.2	0.50	
		6	10.9	0.54	9.7	0.54				6	12.5	0.51	9.0	0.49	
		平均	10.3	0.55	9.8	0.52			平均	10.2	0.55	10.3	0.50		
		1	8.8	0.53	9.4	0.51			1	12.1	0.58	10.2	0.51		
		2	10.6	0.55	10.0	0.49			2	7.6	0.55	12.1	0.50		
		3	9.5	0.59	9.3	0.48			3	9.0	0.55	8.7	0.50		
2	B04	4	-	-	-	-	4	B10	4	8.0	0.57	13.2	0.49		
		5	-	-	-	-			5	8.8	0.53	8.4	0.50		
		6	-	-	-	-			6	9.5	0.57	10.9	0.51		
		平均	9.7	0.56	9.6	0.49			平均	9.1	0.56	10.6	0.50		

表 7.2.2-2 密度と含水率

7.3. 試験方法

治具及び変位計配置図は写真 7.3-1 のとおりである。

土台はボルト及びサポート治具を用いて架台に固定し、柱材はローラーを用いて水平方向 の移動を拘束した。加力方法は、単調加力とし、ビスの先端が鉄骨架台に到達する程度まで 加力することとした。

変位は柱の下端から100mmの地点から試験装置までの絶対変位とし、柱の前後2か所の平 均を試験結果の変形値とする。



写真 7.3-1 治具及び変位計配置の様子

7.4. 試験結果

一般的なめり込み試験の評価方法は、構造用木材の強度試験マニュアル²)に記載のめり 込み強さおよびめり込み剛性の試験の評価方法では、めり込み降伏強さは 2 mmオフセットし て算出することとしている。

しかしながら、ビス補強した場合は、直線的に荷重が増加し、最大荷重を迎えた後、荷重 が上昇し続けるのではなく、荷重低下する性状となり、2 mmオフセットした地点が最大荷重 後の荷重となってしまう場合が多い。したがって、本事業におけるめり込み試験の評価方法 は完全弾塑性モデルによって算出するものとする。

7.4.1.B00

荷重変位曲線及び初期滑りの補正方法を図 7.4.1-1~図 7.4.1-12 に、特性値を表 7.4.1-1 に、 破壊性状を写真 7.4.1-1~7.4.1-12 に示す。初期滑りの補正は 0.4Pmax と 0.2Pmax 付近の任 意の点を線で結んだ線を荷重 0 まで下して作成した。



図 7.4.1-1 B00-1 の荷重変形曲線



図 7.4.1-3 B00-2 の荷重変形曲線



図 7.4.1-2 B00-1 の初期滑りの補正方法











⊠ 7.4.1-7 B00-4の荷重変形曲線



⊠ 7.4.1-9





B00-3の初期滑りの補正方法



図 7.4.1-8 B00-4の初期滑りの補正方法



図 7.4.1-10 B00-5 の初期滑りの補正方法



B00-6の荷重変形曲線





8

表 7.4.1-1 B00 特性値

120

110

試験体記号			B	00			亚坎荷	插 滩 / 百 羊	亦動反粉	ばらつき	5%
項目	1	2	3	4	5	6	半均恒	標準備定	发期怵奴	係数	下限值
1/10Pm (kN)	18.77	20.81	20.26	17.70	21.92	18.89	19.73	1.55			
1/10 δ m (mm)	3.28	3.34	2.69	3.62	3.19	2.31	3.07	0.48			
2/5Pm (kN)	75.06	83.24	81.05	70.81	87.67	75.56	78.90	6.19			
2/5 δ m (mm)	5.68	5.39	4.92	5.47	5.17	4.23	5.14	0.52			
2/3Pm (kN)	125.11	138.74	135.09	118.02	146.11	125.94	131.50	10.32	0.078	0.818	107.56
2/3 δ m (mm)	11.61	9.14	9.44	7.74	8.48	7.60	9.00	1.47			
9/10Pm (kN)	168.89	187.30	182.37	159.33	197.25	170.02	177.53	13.93			
9/10 δ m (mm)	23.62	23.03	24.40	11.78	22.47	23.62	21.49	4.80			
Pm (kN)	187.66	208.11	202.63	177.03	219.17	188.91	197.25	15.48			
δ m (mm)	30.00	30.00	30.00	18.07	30.00	29.56	27.94	4.84			
δu時荷重 (kN)	187.66	208.11	202.63	141.62	219.17	188.11	191.22	27.13			
δu (mm)	30.00	30.00	30.00	29.28	30.00	30.00	29.88	0.29			
降伏耐力 Py (kN)	99.61	125.61	118.78	101.03	134.29	117.47	116.13	13.63	0.117	0.727	84.42
δy (mm)	7.53	7.68	7.39	6.73	7.43	6.59	7.23	0.45			
終局耐力 Pu (kN)	151.00	171.50	164.09	162.49	180.83	156.52	164.41	10.64			
初期剛性 K (kN/mm)	13.23	16.36	16.07	15.01	18.07	17.83	16.10	1.81			
降伏点変位 δv(mm)	11.41	10.48	10.21	10.83	10.01	8.78	10.29	0.89			
塑性率 μ=δu/δv	2.63	2.86	2.94	2.70	3.00	3.42	2.93	0.28			
構造特性係数 Ds	0.48	0.46	0.45	0.48	0.45	0.41	0.46	0.03			

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

⊠ 7.4.1-11

1/10 δm;0.1Pmax時の変位

注)最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。



写真 7.4.1-1 B00-1 土台材めり込み



写真 7.4.1-3 B00-2 土台材めり込み



写真 7.4.1-2 B00-1 土台材端部割裂



写真 7.4.1-4 B00-2 土台材めり込み



写真 7.4.1-5 B00-3 土台材めり込み



写真 7.4.1-6 B00-3 土台材めり込み



写真 7.4.1-7 B00-4 土台材めり込み



写真 7.4.1-9 B00-5 土台材めり込み



写真 7.4.1-11 B00-6 土台材めり込み



写真 7.4.1-8 B00-4 土台材めり込み



写真 7.4.1-10 B00-5 土台材めり込み



写真 7.4.1-12 B00-6 土台材めり込み

7.4.2.B04

荷重変位曲線及び初期滑りの補正方法を図 7.4.2-1~図 7.4.2-6 に、特性値を表 7.4.2-1 に、 破壊性状を写真 7.4.2-1~写真 7.4.2-6 に示す。変位 15 mm程度からビス先端が鉄骨架台に接 触し、徐々に荷重が上がっていくが、実際の現場では鉄骨ではなく RC であること、また土 台だけでなく梁にも適用できるようにするためにこの部分の評価は行わないこととした。

評価方法は、 $5\sim10$ mm付近の範囲での最大荷重を P_{max1} 、15 mm付近以降の範囲での最大荷 重を P_{max2} とすると、 $P_{max1}-P_{max2}$ 間の荷重の下限値を水平方向に伸ばし、 P_{max2} を超えて 0.8 P_{max2} 、若しくは 30 mmまで引いたものを評価用の荷重変位曲線とした。また、初期滑りの補 正は 0.4Pmax と 0.2Pmax 付近の任意の点を線で結んだ線を荷重 0 まで下して作成すること とした。



図 7.4.2-1 B04-1 の荷重変形曲線



図 7.4.2-3 B04-2 の荷重変形曲線



図 7.4.2-2 B04-1 の初期滑りの補正方法



図 7.4.2-4 B04-2 の初期滑りの補正方法





表 7.4.2-1 B04 特性值

試験体記号			B)4			亚坎荷	插 滩 / 百 羊	亦動反粉	ばらつき	5%
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	惊华俪左	変動係数	係数	下限值
1/10Pm (kN)	22.51	18.08	16.87				14.37	2.97			
$1/10 \ \delta \ m \ (mm)$	3.54	2.61	3.54				3.23	0.54			
2/5Pm (kN)	90.03	72.33	67.47				76.61	11.87			
2/5δm (mm)	5.32	4.22	5.05				4.86	0.57			
2/3Pm (kN)	150.05	120.55	112.45				127.68	19.79	0.155	0.511	65.24
2/3 δ m (mm)	6.85	5.58	6.40				6.28	0.64			
9/10Pm (kN)	202.57	162.75	151.80				172.37	26.72			
9/10 δ m (mm)	8.61	7.30	7.92				7.94	0.66			
Pm (kN)	225.08	180.83	168.67				191.53	29.69			
δm (mm)	12.28	9.35	11.01				10.88	1.47			
δu時荷重 (kN)	222.18	163.88	165.71				183.92	33.14			
δu (mm)	30.00	26.79	26.00				27.60	2.12			
降伏耐力 Py (kN)	176.88	143.40	114.96				145.08	30.99	0.214	0.325	47.15
δy (mm)	7.63	6.37	6.48				6.83	0.70			
終局耐力 Pu (kN)	210.11	159.06	156.99				175.39	30.09			
初期剛性 K (kN/mm)	23.18	22.51	17.74				21.14	2.97			
降伏点変位 δv(mm)	9.06	7.07	8.85				8.33	1.09			
塑性率 μ=δu/δv	3.31	3.79	2.94				3.35	0.43			
構造特性係数 Ds	0.42	0.39	0.45				0.42	0.03			

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位

注)最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。







写真 7.4.2-1 B04-1 土台材めり込み、割裂

写真 7.4.2-2 B04-1 土台材めり込み、割裂



写真 7.4.2-3 B04-2 土台材めり込み、割裂 写真 7.4.2-4 B04-2 土台材めり込み、割裂



写真 7.4.2-5 B04-3 土台材めり込み、割裂 写真 7.4.2-6 B04-3 土台材めり込み、割裂

7.4.3.B06

荷重変位曲線及び初期滑りの補正方法を図 7.4.3-1~図 7.4.3-12 に、特性値を表 7.4.3-1 に、 破壊性状を写真 7.4.3-1~7.4.3-12 に示す。変位 15 mm程度からビス先端が鉄骨架台に接触し、 徐々に荷重が上がっていくが、実際の現場では鉄骨ではなく RC であること、また土台だけ でなく梁にも適用できるようにするためにこの部分の評価は行わないこととした。

評価方法は、 $5\sim10$ mm付近の範囲での最大荷重を P_{max1} 、15 mm付近以降の範囲での最大荷 重を P_{max2} とすると、 $P_{max1}-P_{max2}$ 間の荷重の下限値を水平方向に伸ばし、 P_{max2} を超えて 0.8 P_{max2} 、若しくは 30 mmまで引いたものを評価用の荷重変位曲線とした。また、初期滑りの補 正は 0.4Pmax と 0.2Pmax 付近の任意の点を線で結んだ線を荷重 0 まで下して作成すること とした。



図 7.4.3-1 B06-1 の荷重変形曲線



図 7.4.3-3 B06-2 の荷重変形曲線



図 7.4.3-2 B06-1 の初期滑りの補正方法



図 7.4.3-4 B06-2 の初期滑りの補正方法





⊠ 7.4.3-7 B06-4の荷重変形曲線



⊠ 7.4.3-9





B06-3の初期滑りの補正方法



⊠ 7.4.3-8 B06-4の初期滑りの補正方法





図 7.4.3-10 B06-5 の初期滑りの補正方法



図 7.4.3-11 B06-6 の荷重変形曲線





表 7.4.3-1 B06 特性值

試験体記号			В)6			亚均荷	力店 博淮信兰	趰淮 佢主	亦動反粉	ばらつき	5%
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	际毕佣定	爱 劉怵毅	係数	下限値	
1/10Pm (kN)	21.64	22.05	19.35	22.43	21.09	20.01	21.10	1.20				
1/10 δ m (mm)	4.23	3.25	3.31	3.35	3.25	3.80	3.53	0.40				
2/5Pm (kN)	86.54	88.18	77.41	89.72	84.34	80.02	84.37	4.80				
2/5 δ m (mm)	5.88	4.95	4.98	5.00	4.91	5.49	5.20	0.40				
2/3Pm (kN)	144.23	146.97	129.01	149.53	140.57	133.37	140.61	8.00	0.057	0.867	121.90	
2/3 δ m (mm)	7.27	6.43	6.46	6.43	6.34	6.98	6.65	0.38				
9/10Pm (kN)	194.72	198.41	174.17	201.86	189.77	180.05	189.83	10.80				
9/10 δ m (mm)	8.92	8.19	8.17	8.14	7.97	8.49	8.31	0.34				
Pm (kN)	216.35	220.46	193.52	224.29	210.86	200.06	210.92	12.00				
δ m (mm)	10.93	9.94	9.96	10.45	10.43	11.37	10.51	0.56				
δu時荷重 (kN)	191.76	194.07	176.49	210.48	191.49	180.38	190.78	11.94				
δu (mm)	28.33	26.54	25.58	28.68	26.65	25.40	26.86	1.37				
降伏耐力 Py (kN)	177.54	159.07	133.76	166.92	159.94	152.19	158.24	14.75	0.093	0.783	123.90	
δy (mm)	8.26	6.78	6.60	6.91	6.90	7.52	7.16	0.62				
終局耐力 Pu (kN)	179.86	188.13	170.74	201.39	184.38	171.77	182.71	11.42				
初期剛性 K (kN/mm)	21.49	23.46	20.27	24.16	23.18	20.24	22.13	1.70				
降伏点変位 δv(mm)	8.37	8.02	8.42	8.34	7.95	8.49	8.27	0.22				
塑性率 μ=δu/δv	3.38	3.31	3.04	3.44	3.35	2.99	3.25	0.19				
構造特性係数 Ds	0.42	0.42	0.44	0.41	0.42	0.45	0.43	0.02				

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位

注)最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。



写真 7.4.3-1 B06-1 土台材めり込み、割裂



写真 7.4.3-2 B06-1 土台材めり込み、割裂



写真 7.4.3-3 B06-2 土台材めり込み、割裂



写真 7.4.3-4 B06-2 土台材めり込み、割裂



写真 7.4.3-5 B06-3 土台材めり込み、割裂 写真 7.4.3-6



写真 7.4.3-6 B06-3 土台材めり込み、割裂



写真 7.4.3-7 B06-4 土台材めり込み



写真 7.4.3-9 B06-5 土台材めり込み、割裂



写真 7.4.3-8 B06-4 土台材めり込み



写真 7.4.3-10 B06-5 土台材めり込み、割裂



写真 7.4.3-11 B06-6 土台材めり込み、割裂 写真 7.4.3-12 B06-6 土台材めり込み、割裂





7.4.4.B10

荷重変位曲線及び初期滑りの補正方法を図 7.4.4-1~図 7.4.4-12 に、特性値を表 7.4.4-1 に、 破壊性状を写真 7.4.4-1~7.4.4-12 に示す。変位 15 mm程度からビス先端が鉄骨架台に接触し、 徐々に荷重が上がっていくが、実際の現場では鉄骨ではなく RC であること、また土台だけ でなく梁にも適用できるようにするためにこの部分の評価は行わないこととした。

評価方法は、 $5\sim10$ mm付近の範囲での最大荷重を P_{max1} 、15 mm付近以降の範囲での最大荷 重を P_{max2} とすると、 $P_{max1}-P_{max2}$ 間の荷重の下限値を水平方向に伸ばし、 P_{max2} を超えて 0.8 P_{max2} 、若しくは 30 mmまで引いたものを評価用の荷重変位曲線とした。また、初期滑りの補 正は 0.4Pmax と 0.3Pmax 付近の任意の点を線で結んだ線を荷重 0 まで下して作成すること とした。

ただし、表 7.4.4-1 の赤字部分のとおり、3 体目と 6 体目の降伏耐力 Py が終局耐力 Pu より 大きくなる結果となってしまった。許容耐力の算出に当たって、この数値をこのまま評価す るわけにはいかないので、7.5 項で許容耐力の算出方法についての検討結果を示す。



図 7.4.4-1 B10-1 の荷重変形曲線



図 7.4.4-3 B10-2 の荷重変形曲線



図 7.4.4-2 B10-1 の初期滑りの補正方法



図 7.4.4-4 B10-2 の初期滑りの補正方法







⊠ 7.4.4-7 B10-4の荷重変形曲線



⊠ 7.4.4-9 B10-5 の荷重変形曲線







図 7.4.4-8 B10-4 の初期滑りの補正方法



図 7.4.4-10 B10-5 の初期滑りの補正方法



図 7.4.4-11 B10-6 の荷重変形曲線





表 7.4.4-1 B10 特性值

試験体記号			B	10			亚坎荷		亦動反粉	ばらつき	5%
項目	1	2	3	4	5	6	平均恒	惊퍅惼左	爱期休奴	係数	下限値
1/10Pm (kN)	24.99	20.39	25.77	20.39	25.63	23.80	23.50	2.50			
1/10 δ m (mm)	3.62	3.24	3.83	3.24	2.85	3.06	3.31	0.36			
2/5Pm (kN)	99.96	81.58	103.07	81.58	102.53	95.18	93.98	10.00			
2/5 δ m (mm)	5.47	5.08	5.62	5.08	4.55	4.84	5.11	0.39			
2/3Pm (kN)	166.59	135.96	171.78	135.96	170.89	158.64	156.64	16.68	0.106	0.752	117.7
2/3 δ m (mm)	7.08	6.68	7.14	6.68	6.01	6.37	6.66	0.43			
9/10Pm (kN)	224.90	183.55	231.90	183.55	230.70	214.16	211.46	22.51			
9/10 δ m (mm)	8.96	8.58	8.80	8.58	7.68	7.99	8.43	0.49			
Pm (kN)	249.89	203.94	257.67	203.94	256.33	237.96	234.96	25.02			
δ m (mm)	11.42	10.97	10.36	10.97	9.41	9.55	10.45	0.82			
δu時荷重 (kN)	219.17	189.40	223.72	189.40	225.82	211.14	209.78	16.57			
δu (mm)	27.64	25.00	26.77	25.00	25.33	25.69	25.91	1.07			
降伏耐力 Py (kN)	182.54	152.41	234.40	152.41	199.62	225.15	191.09	35.14	0.184	0.570	108.9
δy (mm)	7.51	7.23	8.90	7.23	6.70	8.46	7.67	0.84			
終局耐力 Pu (kN)	212.15	180.94	210.66	180.94	218.89	203.23	201.14	16.42			
初期剛性 K (kN/mm)	24.31	21.08	26.34	21.08	29.79	26.61	24.87	3.42			
降伏点変位 δv(mm)	8.73	8.58	8.00	8.58	7.35	7.64	8.15	0.57			
塑性率 μ=δu/δv	3.17	2.91	3.35	2.91	3.45	3.36	3.19	0.24			
構造特性係数 Ds	0.43	0.46	0.42	0.46	0.41	0.42	0.43	0.02			

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10δm;0.1Pmax時の変位

注)最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

※表 7.4.4-1 の赤字部分の降伏耐力は終局耐力よりも高く算出されてしまった。



写真 7.4.4-1 B10-1 土台材めり込み、割裂



写真 7.4.4-3 B10-2 土台材めり込み、割裂



写真 7.4.4-2 B10-1 土台材めり込み、割裂



写真 7.4.4-4 B10-2 土台材めり込み、割裂





写真 7.4.4-5 B10-3 土台材めり込み、割裂 写真 7.4.4-6 B10-3 土台材めり込み、割裂



B10-4 土台材めり込み、割裂 写真 7.4.4-7



B10-4 土台材めり込み、割裂 写真 7.4.4-8



B10-5 土台材めり込み、割裂 写真 7.4.4-9



写真 7.4.4-10 B10-5 土台材めり込み、割裂





写真 7.4.4-11 B10-6 土台材めり込み、割裂 写真 7.4.4-12 B10-6 土台材めり込み、割裂

7.5. 許容耐力の算出

7.4 項に示したとおり試験体 B10 については降伏耐力が終局耐力より高く算出されてしまった。完全弾塑性モデルによる評価では、直線的に荷重が上がるような包絡線を前提とした評価ではないことから、試験体 B00~B10 までの評価として許容耐力を一律 2/3Pmax で決定するものとした。結果を表 7.5-1 に示す。B00 以外は Pyの平均値>2/3Pmax の平均値となっているので、危険側の評価とは言えない。

また、国交省告示第 1024 号に定めるヒノキ製材の基準強度 7.8N/mm²に短期の 2/3 を乗 じて、単純に座金の面積を乗じて求めた計算値を表 7.5-1 に列記した。B04 試験体について は計算値よりも低くなる結果となった。

	許容耐力(k N)	計算値(kN)
B00	107.40	85.80
B04	65.31	
B06	121.92	
B10	117.68	

表 7.5-1 めり込み補強の許容耐力(α=1.0の場合)

7.6. 特性値の比較

実験より得られためり込み試験の特性値ごとに各試験体を比較したグラフを図 7.6-1~図 7.6-5 に示す。

図 7.6-1、図 7.6-2 より終局耐力及び降伏耐力について、平均値で比較するとビス本数が増 すごとに性能が上がることが分かった。5%下限値で評価すると B04 は 3 体しか行っていな いこともあり、低めに評価されてしまっている。また、降伏耐力については 7.4.4 項、7.5 項 のとおり B10 試験体の 3 体目と 6 体目が終局耐力より高く算出されたため、参考として見て いただきたい。

図 7.6-3 より初期剛性についてもビス本数が増すごとに性能が上がっていくが本数が増え ると上がりにくくなる結果となった。

図 7.6-4 より塑性率についてはビス本数を増やすと土台材の割裂も大きくなるため 4 本打 ち以降低下する結果となった。

図 7.6-5 のとおり 2/3 最大耐力については、平均値を比較するとビス本数が増すごとに耐力も上昇しているものの、その効果はあまり大きいものではないことが分かった。



図 7.6-1 ビスめり込み補強試験の終局耐力の 比較



図 7.6-3 ビスめり込み補強試験の初期剛性の 比較

図 7.6-2 ビスめり込み補強試験の降伏耐力の 比較



図 7.6-4 ビスめり込み補強試験の塑性率の 比較



図 7.6-5 ビスめり込み補強試験の 2/3 最大耐力の 比較
8. ビスの引き抜き試験

8.1. 試験の目的

3章、4章で実施した真壁耐力壁に使用したビスの性能は、ビスの引き抜き性能に依存す るところが大きい。加力方向に対して 90°に打ち込んだ場合は終局耐力に、加力方向に対し て斜めに打ちこんだ場合は終局耐力、降伏耐力、剛性等に影響を及ぼしている。

このようなことからビスの単体性能を分析するため、ビスの引き抜き試験を実施する。

8.2. 試験の内容

8.2.1. ビスの仕様

対象となるフルスレッドビスは 4.2.1 項で用いた図 4.2.1-1 のビスと同一のものである。

8.2.2. 試験の種類

試験の種類は表 8.2.2-1 のとおり 8 仕様 48 体の試験とする。試験体の記号の意味を図 8.2.2-1 に示す。各試験体図を図 8.2.2-2 ~ 図 8.2.2-3 に試験体の密度と含水率を表 8.2.2-2 に示す。

なお、ビスの打ち込み方法は、3章、4章と同様にφ4.5mmの下穴を開けてから施工を行った。

通	試験体記号	CLTの種類			接合具の種類			施工方法				試験									
し 番 号		規格	厚さ (mm)	試験体の 長手側と なる方向	名称	山径また は胴部径 d(mm)	接合具長 さl(mm)	埋め込み 長さ	打ち込み 部の繊維 方向	打ち込み断面に対 する打ち込み角度	引張方向	体数 (体)									
1	00-55] フルス	7	110	FF	0°	90°		6									
2	00(45)-55	スギCLT /Mx60- 3-3/A種 構成		強軸方向					0°	面外(2層目から外 層を通る)へ45°		6									
3	90-55							110	22	90°	90°		6								
4	90(45)-55		ピCLT 1×60- クA種 りの	弱軸方向					90°	面外(2層目から外 層を通る)へ45°	ビスの軸	6									
5	00-160			90	90	90	90	90	90	50	90	90		7	9			0°	90°	方向	6
6	00(45)-160			強軸方向	向 向		320	160	0°	面内(2層目だけを 通る)へ45°		6									
7	90-160								90°	90°		6									
8	90(45)-160			弱軸方向					90°	面内(2層目だけを 通る)へ45°		6									
合計									48												

表 8.2.2-1 試験の種類

<u>00</u>

打ち込み部のラミナの繊維方向 繊維方向 0 度 繊維方向 90 度

ビスの打ち込み角度 打ち込み角度 45 度 ※0 度は記載なし

55

ビスの埋め込み長さ

 $55~{
m mm}$

160 mm

図 8.2.2-1 試験体記号の意味









表 8.2.2-2 密度と含水率

		封除休釆早	CLT			
No.	試験体記号	武殿仲宙 5 笙	含水率	密度		
		4	(%)	(g/cm^3)		
	00-55、 00(45)-55、 00-160、 00(45)-55	1	8.4	0.41		
		2	7.8	0.44		
		3	9.2	0.38		
1		4	7.7	0.41		
		5	8.9	0.42		
	00(10) 00	6	8.1	0.43		
		平均	8.4	0.41		

		試験体系早	CLT			
۷o.	試験体記号	武殿仲宙 5 安	含水率	密度		
			(%)	(g/cm^3)		
	90-55	1	9.7	0.40		
2		2	9.0	0.41		
		3	9.2	0.39		
	90(45)-55 90-160	4	9.2	0.41		
	90(45)-55	5	9.4	0.40		
		6	9.3	0.45		
		平均	9.3	0.41		

143

8.3. 試験方法

試験方法は写真 8.3·1~写真 8.3·4 のとおりである。 CLT を角度に応じて鉄骨架台に固定し、専用の引張治具を用いて引き抜き試験を行った。 加力方法は、単調加力とした。

変位測定はストロークの変位とした。



写真 8.3-1 打ち込み面に対して面外方向 45°の試験方法



写真 8.3.1-2 打ち込み面に対して面内方向 45°の試験方法



写真 8.3.1-3 **打ち込み面に対して**面外方向 45°の試験方法



写真 8.3.1-4 打ち込み面に対して直角に打っ た場合の試験方法

8.4. 試験結果

各試験体の最大荷重の結果を表 8.4-1 に示す。

ビスの埋め込み長さによる最大耐力への影響については、長さ比例する結果となった。 No.5~8の試験は、No.1~4の試験の 160/55=2.9 倍程度である。

埋め込み部分のラミナの繊維方向 0°と 90°とを比較する。No.1(繊維 0°)と No.3(繊維 90°)、No.5(繊維 0°)と No.7(繊維 90°)をそれぞれ比較すると繊維 0°より繊維 90°の方 が高くなる傾向となった。90°方向の方がせん断耐力が高くなるためと考えられる。0° と 90°の中間地点である 45°試験体 (No.6,8) は最大耐力もその中間という結果にはな らなかった。

No.2,4 は繊維方向の異なるラミナ 2 層を貫くため、繊維がめくれにくくなっており、 No.1,4 よりも高い最大耐力となったと考えられる。

整理	计除伏采旦	試験体ごとの最大耐力(kN)							5%下限
番号		1	2	3	4	5	6	十均(KIN)	值(kN)
1	00-55	6.4	7.0	5.1	6.0	11.3	7.3	7.2	2.1
2	00(45)-55	8.6	8.2	7.3	8.3	10.0	9.2	8.6	6.5
3	90-55	6.9	6.3	5.9	10.1	6.6	9.8	7.6	3.3
4	90(45)-55	8.8	10.2	7.1	9.3	7.6	11.3	9.0	5.4
5	00-160	18.4	18.0	23.5	24.0	35.5	26.1	24.2	9.3
6	00(45)-160	28.2	25.2	32.9	35.6	30.7	29.0	30.3	21.7
7	90-160	25.4	29.9	22.4	33.0	27.2	31.5	28.3	19.0
8	90(45)-160	24.1	26.0	20.5	29.9	25.8	35.3	26.9	15.0

表 8.4-1 各試験体の最大荷重(kN)





図 8.4-2 No.5~8の最大耐力の比較

荷重変位曲線を図 8.4.1-1 に、破壊性状を写真 8.4.1-1~8.4.1-7 に示す。



図 8.4.1-1 00-55 の荷重変形曲線



写真 8.4.1-2 00-55-1 試験後



写真 8.4.1-4 00-55-3 試験後



写真 8.4.1-1 00-55-1 試験前



写真 8.4.1-3 00-55-2 試験後



写真 8.4.1-5 00-55-4 試験後



写真 8.4.1-6 00-55-5 試験後



写真 8.4.1-7 00-55-6 試験後

8.4.2. 00 (45) -55

荷重変位曲線を図 8.4.3-1 に、破壊性状を写真 8.4.2-1~8.4.2-8 に示す。



図 8.4.3-1 00(45)-55 の荷重変形曲線



写真 8.4.2-1 00(45)-55-1 試験前



写真 8.4.2-3 00(45)-55-1 試験後



写真 8.4.2-2 00(45)-55-1 試験前



写真 8.4.2-4 00(45)-55-2 試験後





写真 8.4.2-5 00(45)-55-3 試験後

写真 8.4.2-6 00(45)-55-4 試験後



写真 8.4.2-7 00(45)-55-5 試験後



写真 8.4.2-8 00(45)-55-6 試験後

8.4.3. 90-55

荷重変位曲線を図 8.4.3-1 に、破壊性状を写真 8.4.3-1~8.4.3-8 に示す。



図 8.4.3-1 90-55 の荷重変形曲線



写真 8.4.3-1 90-55-1 試験前



写真 8.4.3-2 90-55-1 試験後



写真 8.4.3-3 90-55-2 試験後



写真 8.4.3-4 90-55-3 試験後



写真 8.4.3-5 90-55-4 試験後



写真 8.4.3-6 90-55-5 試験後



写真 8.4.3-7 90-55-6 試験後



写真 8.4.3-8 90-55-6 試験後

8.4.4. 90 (45) -55

荷重変位曲線を図 8.4.4-1 に、破壊性状を写真 8.4.4-1~8.4.4-7 に示す。



図 8.4.4-1 90(45)-55 の荷重変形曲線



写真 8.4.4-1 90(45)-55-1 試験前



写真 8.4.4-2 90(45)-55-1 試験後



写真 8.4.4-3 90(45)-55-2 試験後



写真 8.4.4-4 90(45)-55-3 試験後



写真 8.4.4-45 90(45)-55-4 試験後



写真 8.4.4-6 90(45)-55-5 試験後



写真 8.4.4-7 90(45)-55-6 試験後

8.4.5. 00-160

荷重変位曲線を図 8.4.5-1 に、破壊性状を写真 8.4.5-1~8.4.5-8 に示す。 5 体目はビスが引き抜かれないまま、荷重が大きく上昇し(図 8.4.5-1)、ビスが引張破断した(写真 8.4.5-6~写真 8.4.5-7)。



図 8.4.5-1 00-160 の荷重変形曲線



写真 8.4.5-1 00-160-1 試験前







写真 8.4.5-3 00-160-2 試験後



写真 8.4.5-4 00-160-3 試験後



写真 8.4.5-5 00-160-4 試験後



写真 8.4.5-6 00-160-5 試験後 ビスの引張破断



写真 8.4.5-7 00-160-5 試験後 ビスの引張破断



写真 8.4.5-8 00-160-6 試験後

8.4.6. 00 (45) -160

荷重変位曲線を図 8.4.6-1 に、破壊性状を写真 8.4.6-1~8.4.6-8 に示す。 4 体目はビスが引き抜かれないまま、荷重が上昇し(図 8.4.6-1)、ビスが引張破断した(写 真 8.4.6-5~写真 8.4.6-6)。



図 8.4.6-1 00(45)-160 の荷重変形曲線



写真 8.4.6-1 00(45)-160-1 試験前



写真 8.4.6-2 00(45)-160-1 試験後



写真 8.4.6-3 00(45)-160-2 試験後



写真 8.4.6-4 00(45)-160-3 試験後



写真 8.4.6-5 00(45)-160-4 試験後 ビスの引張破断



写真 8.4.6-6 00(45)-160-4 試験後 ビスの引張破断



写真 8.4.6-7 00(45)-160-5 試験後



写真 8.4.6-8 00(45)-160-6 試験後

8.4.7. 90-160

荷重変位曲線を図 8.4.7-1 に、破壊性状を写真 8.4.7-1~8.4.7-7 に示す。



図 8.4.7-1 90-160 の荷重変形曲線



写真 8.4.7-1 90-160-1 試験前



写真 8.4.7-2 90-160-1 試験後



写真 8.4.7-3 90-160-1 試験後



写真 8.4.7-4 90-160-2 試験後



写真 8.4.7-5 90-160-2 試験後



写真 8.4.7-6 90-160-3 試験後



写真 8.4.7-7 90-160-4 試験後



写真 8.4.7-8 90-160-5 試験後



写真 8.4.7-9 90-160-6 試験後

8.4.8. 90 (45) -160

荷重変位曲線を図 8.4.8-1 に、破壊性状を写真 8.4.8-1~8.4.8-8 に示す。 6 体目はビスが引き抜かれないまま、荷重が上昇し(図 8.4.8-1)、ビスが引張破断した(写 真 8.4.8-7~写真 8.4.80.-8)。



図 8.4.8-1 90(45)-160 の荷重変形曲線



写真 8.4.8-1 90(45)-160-1 試験前



写真 8.4.8-2 90(45)-160-1 試験後



写真 8.4.8-3 90(45)-160-2 試験後



写真 8.4.8-4 90(45)-160-3 試験後



写真 8.4.8-5 90(45)-160-4 試験後



写真 8.4.8-7 90(45)-160-6 試験後 ビスの引張破断



写真 8.4.8-6 90(45)-160-5 試験後



写真 8.4.8-8 90(45)-160-6 試験後 ビスの引張破断

9. まとめ

(1) 真壁耐力壁のビスー面せん断要素試験

昨年度実施したフルスレッドビス呼び径 8 mm、ビス長さ 110 mmを改良し、呼び径 9 mmと したビスで実験を実施した。

呼び径 8mm と比較して、強度性能の向上が見られた。また、軸材をスギからヒノキに 変更した試験についても実施し、スギ試験体より強度性能が向上することを確認した。

(2) 真壁仕様耐力壁の面内せん断試験

斜め打ち長ビス仕様(表 4.4.2·1~表 4.4.2·2に記載の試験体 No.1~7の試験体) について は、通常の完全弾塑性モデルでの評価では最大荷重後、0.8Pmax を下回った時点でδu が 決まってしまうため、試験体の荷重低下率等のばらつきの影響を強く受けてしまう。代替 の評価方法としてビスの引き抜き性能による最大荷重部分のエネルギーをカットする評価 方法を提案し、通常の完全弾塑性モデルによる評価との比較を行った(詳細は 4.5 項)。

斜め打ち長ビス仕様における柱の割裂問題については、CLTを3層3プライから3層4 プライに変更することで、割裂が防げることが分かった。

耐力壁のサイズによる影響について検証を行った。今後、詳細計算法等を用いた計算結 果との比較を行う。

性能のばらつきについて検証を行った。加力方向に対してビス 90° 打ち試験体の方はば らつきが少ない結果となったが、長ビス斜め打ち試験体はばらつきが大きくなることが分 かった。

(3) 大壁仕様耐力壁のくぎ及びビスー面せん断試験

CLT 耐力壁を大壁仕様とした仕様を前提として、木造軸組工法住宅の許容応力度設計 2016 年版に掲載しているくぎ1本あたりのせん断性能を求めるための試験を実施した。

CLT の種類は合板と同程度の厚さとして①3 層 3 プライ 36 mm、②3 層 3 プライ 60 mm、 ③構造用合板 24 mmとする。使用するビスは面材厚さに応じてくぎやフルスレッドビスを 使用した。

CLT-フルスレッドビス仕様については、降伏耐力がくぎ仕様より高くなるものの、剛 性が思ったよりも高くないことが分かった。

(4) CLT を用いた狭小壁の面内せん断試験

目標であった壁倍率7倍に近い倍率が得られることが分かった。壁脚部金物部分での脆性的な破壊が原因であることが分かったため、靭性が高い金物に改良することで安定した強度性能が得られるようになると思われる。

(5) 柱頭・柱脚接合部のビス補強によるめり込み試験

ビス本数を増やすと土台材の割裂も大きくなるため、ビスの本数に応じて性能が向上す る結果にはならなかった。ビス6本仕様が最も許容耐力が高く、打たない場合と比較して1 割上昇することが分かった。

(6) ビスの引き抜き試験

ビスの埋め込み長さによる最大耐力への影響については、長さ比例する結果となった。 また、繊維方向 0°よりも 90°の方が最大耐力が高くなる結果となった。

面外方向に 45°傾けて打った場合は、繊維方向の異なるラミナ 2 層を貫くため、繊維が めくれにくくなり、真っすぐ打つよりも最大耐力となった。

1) (公財)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,2017

2) (公財)日本住宅・木材技術センター:構造用木材の強度試験マニュアル,2011

https://www.howtec.or.jp/files/libs/1828/201712121507021978.pdf