

令和4年度 森林・林業・木材産業グリーン成長総合対策補助金等
(CLT・LVL等の建築物への利用環境整備事業のうち、CLT・
LVL等を活用した建築物の低コスト化・検証等事業)

CLTパネルに長ビスを用いたせん断接合部等の 開発事業報告書

令和5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	2
1.3. 実施体制	4
2.長ビスの種類	6
3.長ビスを用いた床-床接合の強度性能の検証	7
3.1. 試験の目的	7
3.2. 海外仕様の調査	7
3.3. 試験体仕様	15
3.3.1. 接合仕様	15
3.3.2. ビス配置についての検討	16
3.3.3. 試験の種類	19
3.4. 試験方法、評価方法	25
3.5. 試験結果	26
3.5.1. X90-5-5S	26
3.5.2. X90-5-5W	28
3.5.3. X90-5-7S	30
3.5.4. H90-5-5S	32
3.5.5. H90-5-5W	34
3.5.6. H90-5-5SH	36
3.5.7. H90-5-5SHh	38
3.5.8. H90-5-7S	40
3.5.9. H90-5-7W	42
3.5.10. H90-5-7W8d	44
3.5.11. H45-5-5S	46
3.5.12. H45-5-7S	50
3.6. 特性値の比較	54
3.6.1. 斜め交差打ちビス接合	54
3.6.2. ハーフラップビス接合	56
3.7. 実験値と計算値の比較	60
4.大壁耐力壁のくぎ及びビス一面せん断試験	64
4.1. 試験の目的	64
4.2. 試験体仕様	64
4.2.1. くぎ及びビスの仕様	64
4.2.2. 試験の種類	65
4.3. 試験方法	68
4.4. 試験結果	69
4.4.1. SP24CN75	69

4.4.2.	SP24H110	72
4.4.3.	C36H110.....	76
4.4.4.	C60H140	80
4.5.	考察	83
5.	大壁耐力壁の面内せん断試験.....	84
5.1.	試験の目的	84
5.2.	試験の内容	84
5.2.1.	ビスの仕様	84
5.2.2.	試験の種類	84
5.2.3.	密度と含水率	85
5.2.4.	試験部材加工図	86
5.2.5.	接合金物図	87
5.3.	試験方法	87
5.4.	試験結果	88
5.5.	試験結果と計算結果の比較	90
5.6.	CLT 面材の配置ルールについて	91
6.	真壁仕様耐力壁の試験結果と計算結果の比較	93
6.1.	検証の目的	93
6.2.	検証の結果	93
6.3.	各特性値の比較	100
7.	長ビスを用いた CLT の支圧試験	103
7.1.	試験の目的	103
7.2.	試験の種類	103
7.3.	試験方法と評価方法	104
7.4.	試験結果	104
7.4.1.	23-00	106
7.4.2.	23-40	109
7.4.3.	32-00	112
7.4.4.	32-40	115
7.4.5.	試験結果のまとめ	118
7.5.	実験値と計算値の比較	120
8.	JIS 木質構造ねじ試験	122
8.1.	試験の目的	122
8.2.	試験の内容	122
	引用文献	143

1. 事業概要

1.1. 事業の目的

欧米の CLT パネル工法では、下図のように長ビスを用いた接合方法が主流となっているが、現在、日本で広く用いられている CLT パネル工法の接合部は、接合金物を使用したものが多い。その背景としては、海外のような径が太く長いビスが流通していないため、日本にある既存の細く短いビスのみで構成される接合部では日本の高い耐震基準に照らすと、強度性能的に対応できないことなどが挙げられる。

本事業では、径の太い長ビスを用いて、CLT パネル工法用の接合部を開発・普及させることによって、接合方法の合理化、低コスト化を図ることを目的とする。

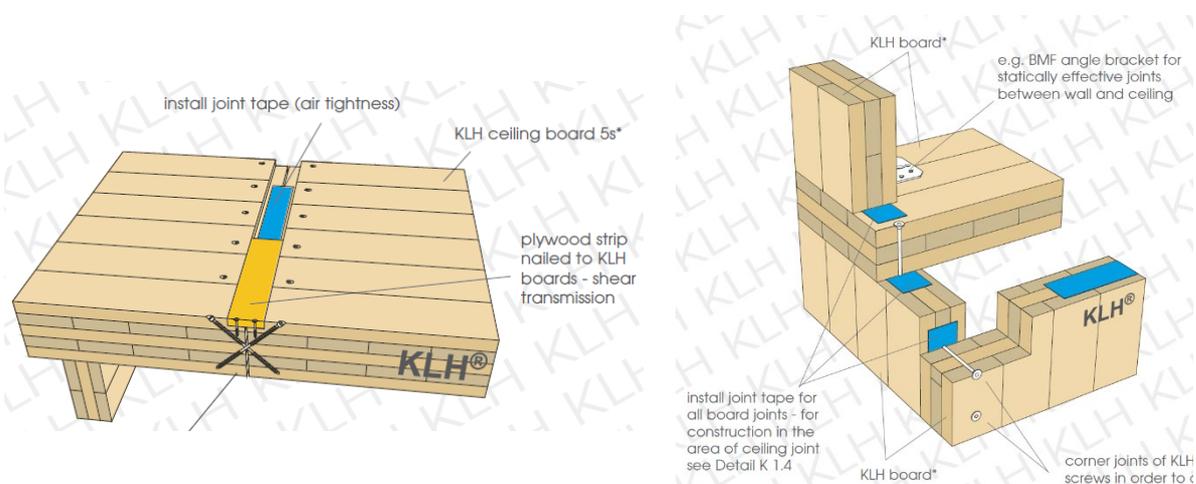


図 1.1-1 海外の CLT ビス接合部の例

1.2. 実施内容

(1) 長ビスを用いた床-床接合の強度性能の検証

現状の「2016年版 CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル 2021年構造・材料増補版¹⁾」に掲載されている床相互の接合方法は、構造用合板をスプラインとしたビス接合のみであり（図 1.2-1）、5層7プライ、9層9プライ等の厚みを持ったCLTを接合した場合、面内せん断力を適切に伝えることが難しいこと、面外曲げに対して有効でないことなどの理由から合板スプラインによる接合は適切とは言えない。例えば図 1.2-2の右図のように接合の中心を、床CLTの厚み方向の中心に近い位置となるような接合部とすれば上記の問題は解消される。

したがって、本事業では上記のような接合部を考案し、実験的にその性能の検証を行う。

対象となるCLTの種類は、需要が高い5層5プライ、5層7プライの2種類とした。

使用するビスは主として全ねじビスを使用し（一部のみ半ねじビス）とし、CLTの厚みに応じて2段階程度ビスの長さを変えたものを実験する。ビスの打つ向きについては、加力に対して直角になる方向に45°斜め打ちした仕様、加力方向・加力直角方向の両方に45°斜め打ちした仕様とする。

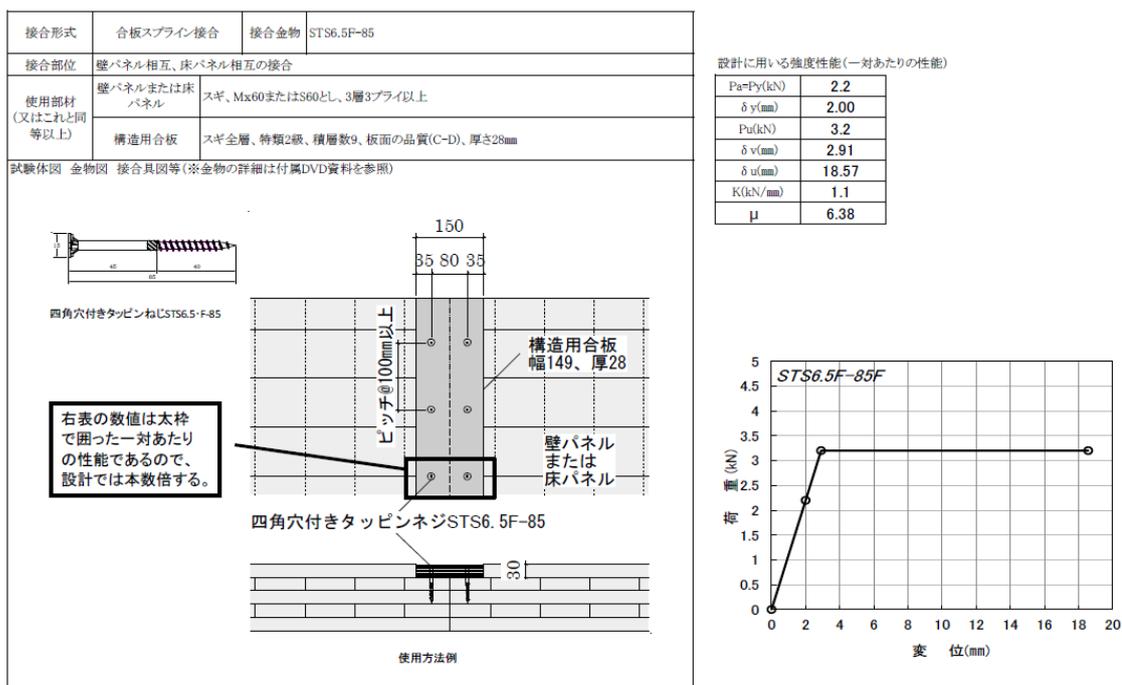


図 1.2-1 2016年版 CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル 2021年構造・材料増補版における床-床接合部

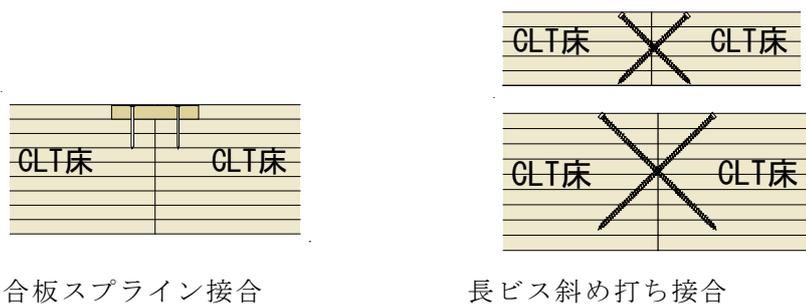


図 1.2-2 合板スプライン接合と長ビス斜め打ち接合

(2) 長ビスを用いた耐力壁の面内せん断性能の検証

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、要素試験によってくぎ及びビス 1 本あたりのせん断性能データを取得する。このデータを用いて耐力壁を設計し、計算結果と照合し、設計法が妥当であることを検証する。

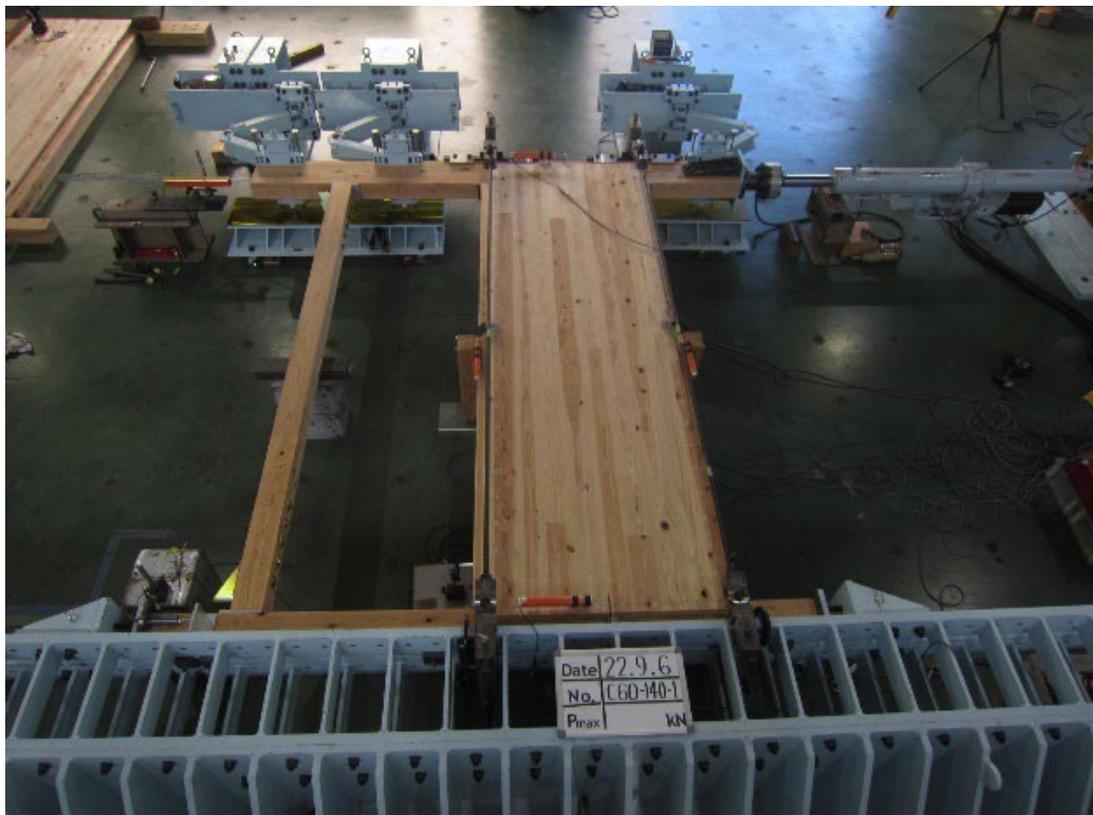


図 1.2-3 長ビスを用いた耐力壁

(3) 構造用ねじの JIS 規格等に基づく長ビス単体の強度性能の検証

来年度設立予定である構造用ねじの JIS 規格に基づき、長ビス単体の強度性能の検証を行った。

実施する試験項目は、ビス単体の曲げ試験、繰り返し曲げ試験、ねじり試験、引張試験等である。

(4) ビスのめり込み性能の検証

(1) 及び (2) においては、EYT 式 (ヨーロッパ型降伏理論式) による算定値との比較によって、実験結果の妥当性を検証する必要がある。EYT 式に用いる値としてビスのめり込み試験を行い、支圧強度を実験的に求めた。

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。

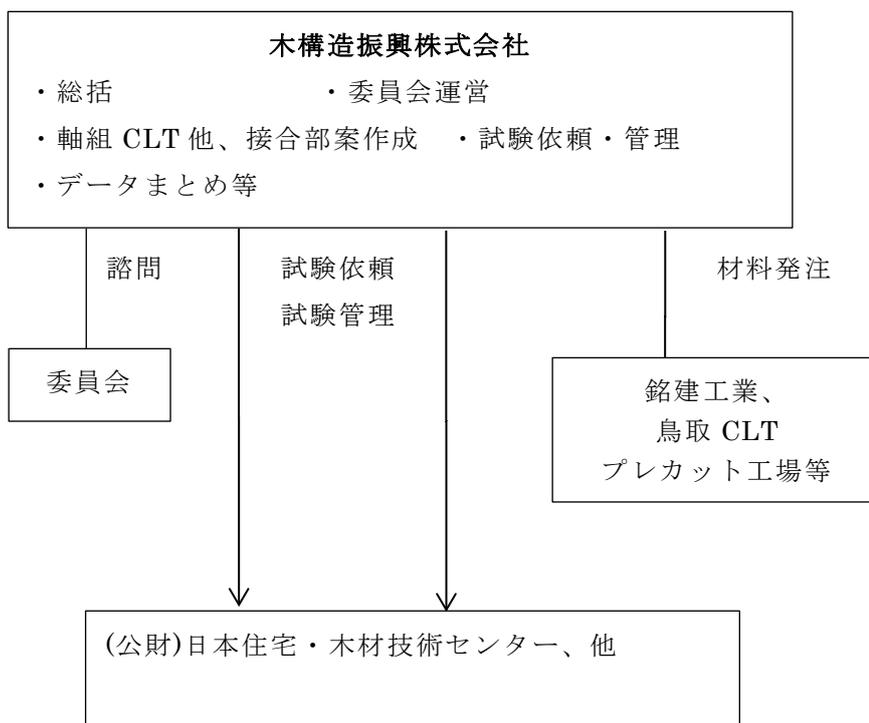


図 1.3-1 実施体制図

CLT パネルに長ビスを用いたせん断接合部等の開発

委員名簿

(敬称略、順不同)

委員長

五十田 博 京都大学 生存圏研究所 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 (株)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(株) 主任研究員

委員会開催実績

第 1 回

日 時：令和 4 年 6 月 2 8 日 (火) 10:00～12:00

会 場：ZOOM による WEB 開催

第 2 回

日 時：令和 4 年 9 月 1 6 日 (金) 17:30～19:30

会 場：ZOOM による WEB 開催

第 3 回

日 時：令和 4 年 1 1 月 1 7 日 (木) 16:00～18:00

会 場：ZOOM による WEB 開催

第 4 回

日 時：令和 5 年 3 月 1 7 日 (金) 10:00～12:00

会 場：ZOOM による WEB 開催

3. 長ビスを用いた床-床接合の強度性能の検証

3.1. 試験の目的

CLTを用いた建築物の設計施工マニュアルの床-床接合では、合板をスプラインとしたビス接合部のみが紹介されている。

本試験では長ビスを用いた接合方法を提案し、実験によって面内せん断性能、面外せん断性能を検証する。

3.2. 海外仕様の調査

欧州では、長ビスを使った仕様が頻繁に使われていることから、カタログ調査を実施した。

調査結果を表 3.2-1～表 3.2-8 に示す。

調査対象は、rothoblass 社、SIHGA 社、Eurotec 社、Schmid 社の 4 社である。

ビスの種類と接合方法に応じて①ハーフラップ（半ねじ）、②ハーフラップ（全ねじ）、③ハーフラップ斜め打ち、④合板スプライン、⑤内部合板スプラインの 5 種類に分類した。

表 3.2-1 ①ハーフラップ（半ねじ）その1

rothoblass HBS						rothoblass TBS						SIHGA GoFix MS II					
CLTはあるが、厚さのみ。層構成不明						CLTはあるが、厚さのみ。層構成不明						木質材料の種類と側材の繊維方向が不明。					
$\rho =$ 350 kg/m ³						$\rho =$ 350 kg/m ³						$\rho =$ 350 kg/m ³ C24					
d (mm)	d k (mm)	L (mm)	A (mm)	b (mm)	Rvk (kN)	d (mm)	d k (mm)	L (mm)	A (mm)	b (mm)	Rvk (kN)	d (mm)	d k (mm)	L (mm)	AD (mm)	b (mm)	F2 (kN)
8	14.5	100	52	48	3.04	8	19	100	52	48	3.43	8	18.3	100	40	60	3.33
		120	60	60	3.16			120	50	70	3.56						
		140	80	80	3.11			140	80	80	3.51			140	60	80	3.82
		160	100					160	70					90	4.04		
		180	120	180	80			100	100	100	100						
		200	120	200	100			100	100	100	100						
		220	140	220	120			100	100	100	100						
		240	160	240	140			100	100	100	100						
						赤字：カタログどおりの数値											
10	18.25	100	52	48	3.86	10	25	100	52	48	4.50	10	22.5	100	40	60	4.37
		120	60	60	4.45			120	50	70	4.66						
		140	80	80	4.49			140	80	80	5.33			140	60	80	4.94
		160	100					160	70					90	5.26		
		180	120	180	80			100	100	100	100						
		200	120	200	100			100	100	100	100						
		220	140	220	120			100	100	100	100						
		240	160	240	140			100	100	100	100						

表 3.2-2 ①ハーフラップ（半ねじ）その2

Eurotec PANELTWISTEC AG,COUNTERSUNK-HEAD,BLUE GALVANISED						Eurotec PANELTWISTEC AG,FLANGE BUTTON HEAD,BLUE GALVANISED										
木質材料の種類が不明。繊維方向の指定はあるが、CLTの扱いは不明						木質材料の種類が不明。繊維方向の指定はあるが、CLTの扱いは不明										
$\rho =$ 350 kg/m ³						$\rho =$ 350 kg/m ³										
																
d (mm)	d k (mm)	L (mm)	AD (mm)	ET (mm)	Rk (kN)	d (mm)	d k (mm)	L (mm)	AD (mm)	ET (mm)	Rk (kN)					
8	14.5	80	30	50	4.13	8	22	80	30	50	4.14					
		100	40	60				4.83								
		120	50	70												
		140	40	100												
		160	60	100												
		180	80	100												
		200	100	100												
		220	120	100												
		240	140	100												
		260	160	100												
		280	180	100												
		300	200	100												
		320	220	100												
		340	240	100												
		360	260	100												
		380	280	100												
		400	300	100												
		10	17.8	100				40	60	5.73	10	25	100	40	60	6.44
				120				50	70	6.07			120	50	70	6.94
				140				40	100	5.73			140	40	100	6.70
160	60			100		160	60	100								
180	80			100		180	80	100								
200	100			100		200	100	100								
220	120			100		220	120	100								
240	140			100		240	140	100								
260	160			100		260	160	100								
280	180			100		280	180	100								
300	200			100		300	200	100								
320	220			100		320	220	100								
340	240			100		340	240	100								
360	260			100		360	260	100								
380	280			100		380	280	100								
400	300			100		400	300	100								

表 3.2-3 ①ハーフラップ（全ねじ）その1

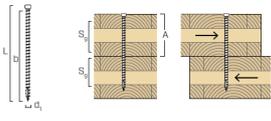
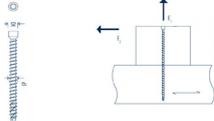
rothoblass VGZ					SIHGA GoFix X+					SIHGA GoFix SS					K
CLTはあるが、厚さのみ。層構成不明					木質材料の種類と側材の繊維方向が不明。					木質材料の種類と側材の繊維方向が不明。					木質
$\rho = 350 \text{ kg/m}^3$					$\rho = 350 \text{ kg/m}^3$ C24					$\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ C30					$\rho =$
															
d (mm)	L (mm)	Amin (mm)	Sg (mm)	Rvk (kN)	d (mm)	L (mm)	AD (mm)	b (mm)	F2 (kN)	d (mm)	L (mm)	AD (mm)	b (mm)	F2 (kN)	
8					155 80 75 5.12										
					195 100 95 5.60										
					220 110 110 5.90										
					245 125 120 6.20										
					295 150 145 6.80										
					330 170 160 7.22										
					375 190 185 7.76										
					400 200 200 8.06										
					430 215 215 8.42										
					480 240 240 9.02										
					160 80 65 4.81										
180 90 75 5.07															
200 100 85 5.34															
220 110 95 5.60															
240 120 105 5.86															
260 130 115 6.13															
280 140 125 6.20															
300 150 135 6.20															
320 160 145 6.20															
10					300 150 150 8.83										
					330 170 160 9.27										
					360 180 180 9.70										
					400 200 200 10.27										
					450 225 225 10.99										
					500 250 250 11.71										
					550 275 275 12.43										
					600 300 300 13.15										
11					250 125 110 7.86										
					300 150 135 8.64										
					350 175 160 8.64										
					400 200 185 8.64										
					450 225 210 8.64										
					500 250 235 8.64										
11.3					300 150 150 12.33										
					340 170 170 12.98										
					380 190 190 13.63										
					420 210 210 14.28										
					460 230 230 14.94										
					500 250 250 15.21										
					540 270 270 15.21										
					580 290 290 15.21										
620 310 310 15.21															

表 3.2-4 ②ハーフラップ（全ねじ）その2

Eurotec KONSTRUX ST WITH CYLINDER HEAD AND DRILL POINT					Eurotec KONSTRUX ST WITH COUNTERSUNK HEAD AND DRILL POINT					Schmid RAPID, Senkkopt																								
木質材料の種類が不明。繊維方向の指定はあるが、CLTの扱いは不明										木質材料の種類が不明。繊維方向の指定はあるが、CLTの扱いは不明										木質材料の種類と側材の繊維方向が不明。														
ρ =		380 kg/m ³			ρ =		380 kg/m ³			ρ =		350 kg/m ³			c 24																			
d (mm)	L (mm)	A (mm)	B (mm)	Rk (kN)	d (mm)	L (mm)	A (mm)	B (mm)	Rk (kN)	d (mm)	d k (mm)	L (mm)	lef (mm)	Rk (kN)																				
8					8					8					15																			
																				95		40	60	4.61	120		55	4.01						
																				125		60	80	5.05	140		65	4.27						
																				155	80	80	5.67	160		75	4.54							
																				195	100	100	6.15	180		85	4.8							
																				220	120	120	6.27	200		95	5.06							
																				245	120	140	6.74	220		105								
																				270	140	140	6.98	240		115								
																				295	140	160	7.21	260		125								
																				330	160	180	7.69	280		135								
																				375	180	200		300		145								
																				400	200	220	7.79	325		157.5								
																				430	220	220		350		170								
																				480	240	260		375		182.5								
																				10					10					18.5				
155		80	80	7.61	180		85	6.36																										
195	100	100	8.19	200		95	6.67																											
220	120	120	8.33	220		105	6.99																											
245	120	140	8.91	240		115	7.30																											
270	140	140	9.20	260		125																												
300	160	160	9.48	280		135																												
330	160	180	10.06	300		145																												
360	180	200	10.64	325		157.5																												
400	200	220		350		170																												
450	220	240		375		182.5																												
500	240	280	10.89	400		195																												
550	260	300		450		220																												
600	300	320		500		245																												
															600		295																	
															700		345																	
															800		395																	
															1000		495																	

表 3.2-5 ③ハーフラップ斜め打ち その1

rothoblass VGZ					SIHGA GoFix X+				SIHGA GoFix SS												
CLTはあるが、厚さのみ。層構成不明。床-床接合のデータはないため、参考として床-壁接合を示す。					木質材料の種類が不明。				木質材料の種類と倒材の繊維方向が不明。												
$\rho = 350 \text{ kg/m}^3$					$\rho = 350 \text{ kg/m}^3$				$\rho = 380 \text{ kg/m}^3$ C30												
d (mm)	L (mm)	Amin (mm)	Sg (mm)	Rvk (kN)	d (mm)	L (mm)	AD (mm)	F2 (kN)	d (mm)	L (mm)	AD (mm)	F2 (kN)									
8					155 60 4.92																
					195 70 6.28																
					220 80 7.13																
					245 90 7.98																
					295 105 9.67																
					330 120 10.86																
					375 135 12.39																
					400 145 13.24																
					430 155 14.26																
					480 170 15.96																
					9								160 60 6.5 3.50								
180 70 7.5 4.00																					
200 75 8.5 4.50																					
220 80 9.5 4.90																					
240 90 10.5 5.40																					
260 95 11.5 5.90																					
280 105 12.5 6.30																					
300 110 13.5 6.80																					
320 115 14.5 7.20																					
340 125 15.5 7.70																					
360 130 16.5 8.10																					
380 140 17.5 8.60																					
400 145 18.5 9.00																					
440 160 20.5 9.90																					
480 175 22.5 10.70																					
520 190 24.5 11.60																					
10					300 110 11.79																
					330 120 13.01																
					360 130 14.23																
					400 145 15.86																
					450 160 17.89																
					500 180 19.92																
					550 195 21.96																
					600 215 23.99																
11					250 95 110 6.60																
					300 115 135 8.00																
					350 130 160 9.30																
					400 150 185 10.60																
					450 165 210 11.80																
					500 185 235 13.10																
					550 200 260 14.40																
					600 220 285 15.60																
					11.3								300 110 13.36								
													340 120 15.21								
380 140 17.05																					
420 150 18.89																					
460 170 20.74																					
500 180 22.58																					
540 200 24.42																					
580 210 26.27																					
620 220 28.10																					
660 240 29.95																					
700 250 31.80																					
750 270 34.10																					
800 290 35.36																					
900 320 35.36																					
1000 360 35.36																					

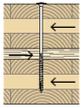
表 3.2-6 ③ ハーフラップ斜め打ち その2

Eurotec KONSTRUX ST WITH CYLINDER HEAD AND DRILL POINT					Eurotec KONSTRUX ST WITH COUNTERSUNK HEAD AND DRILL POINT					Schmid RAPID, Senkkopt														
木質材料の種類が不明。繊維方向の指定はあるが、CLTの扱いは不明										木質材料の種類が不明。繊維方向の指定はあるが、CLTの扱いは不明										木質材料の種類と側材の繊維方向が不明。				
$\rho =$		380 kg/m ³			$\rho =$		380 kg/m ³			$\rho =$		350 kg/m ³			c 24									
d (mm)	L (mm)	A (mm)	B (mm)	Rk (kN)	d (mm)	L (mm)	A (mm)	B (mm)	Rk (kN)	d (mm)	d k (mm)	L (mm)	lef (mm)	Rk (kN)										
8	155	60	60	4.70	8	155	60	60	4.70	8	15	120	55	5.09										
													140	65	6.02									
	195	80	80	5.49		195	80	80	5.49			160	75	6.95										
													180	85	7.87									
	220	80	100	7.17		220	80	100	7.17			200	95	8.80										
													220	105	9.73									
	245	100	100	6.95		245	100	100	6.95			240	115	10.65										
													260	125	11.58									
	295	120	100	8.40		295	120	100	8.40			280	135	12.51										
													300	145	13.43									
	330	120	140	10.75		330	120	140	10.75			325	157.5	14.59										
													350	170	15.75									
									375	182.5	16.91													
									400	195	18.06													
									430	160	13.66													
									450	220	19.78													
									480	180	15.12													
									500	245	21.30													
									600	295														
10	300	120	120	10.63	10	220	80	100	8.72	10	18.5	120	55	5.97										
													160	75	8.18									
	330	120	140	13.07		245	100	100	8.45			180	85	9.28										
													200	95	10.39									
	360	140	140	13.21		270	100	120	10.49			220	105	11.49										
													240	115	12.60									
	400	160	140	14.17		300	120	120	10.63			260	125	13.70										
													280	135	14.81									
	450	180	180	18.25		330	120	140	13.07			300	145	15.91										
													325	157.5	16.63									
	500	180	200	20.02		360	140	140	13.21			350	170	18.01										
													375	182.5	19.39									
550	200	200	21.79	400	160	140	14.17	400	195	20.77														
									450	220	23.53													
600	220	220	23.33	450	180	180	18.25	500	245	26.30														
									550	200	21.79													
									600	220	23.33													
									600	295	31.82													
									700	345														
									800	395	35.36													
									1000	495														

表 3.2-7 ④合板スプライン

rothoblass HBS d10					rothoblass TBS d10				
CLTはあるが、厚さのみ。層構成不明					CLTはあるが、厚さのみ。層構成不明				
$\rho =$		350 kg/m ³			$\rho =$		350 kg/m ³		
									
d (mm)	d k (mm)	L (mm)	OSB(mm)	Rvk (kN)	d (mm)	d k (mm)	L (mm)	OSB(mm)	Rvk (kN)
8	14.5	80	18	2.30	8	19	40	18	1.67
		100					2.61		
		120					2.62		
		140							
		160							
		180							
		200							
		220							
10	18.25	120	22	3.31	10	25	100	22	3.89
		140							
		160							
		180							
		200							
		220							

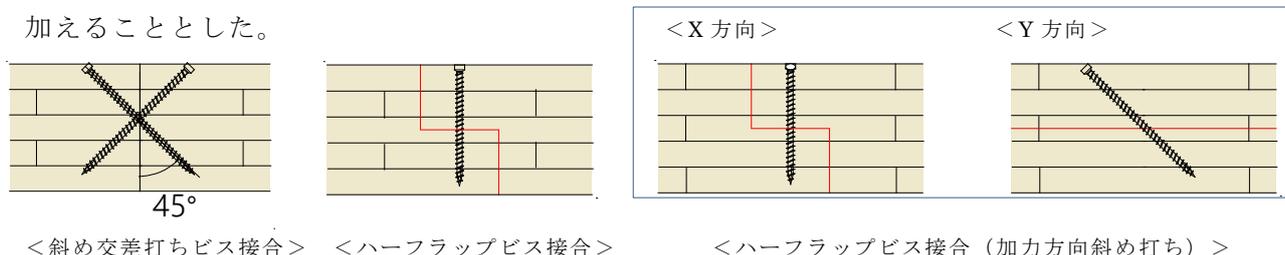
表 3.2-8 ⑤内部合板スプライン

rothoblass HBS d10					rothoblass TBS d10						
CLTはあるが、厚さのみ。層構成不明					CLTはあるが、厚さのみ。層構成不明						
$\rho =$		350 kg/m ³			$\rho =$		350 kg/m ³				
											
d (mm)	d k (mm)	L (mm)	t(mm)	OSB(mm)	Rvk (kN)	d (mm)	d k (mm)	L (mm)	t(mm)	OSB(mm)	Rvk (kN)
8	14.5	100	40	18	2.92	8	19	100	40	18	2.92
		120	50								
		140	60								
		160	70								
		180	80								
		200	90								
		220	100								
10	18.25	120	50	22	3.89	10	25	120	50	22	3.89
		140	60								
		160	70								
		180	80								
		200	90								
		220	100								

3.3. 試験体仕様

3.3.1. 接合仕様

接合仕様は図 3.3.1-1 の斜め交差打ちビス接合、ハーフラップビス接合、面内せん断の加力方向に対してビスを斜めに打ち込んだハーフラップビス接合（加力方向斜め打ち）も試験に加えることとした。



＜斜め交差打ちビス接合＞ ＜ハーフラップビス接合＞ ＜ハーフラップビス接合（加力方向斜め打ち）＞

図 3.3.1-1 接合方法の種類

(1) 斜め交差打ちビス接合

CLT はラミナごとに強度性能が異なるため（ヤング係数、繊維の向き）、ビスをどの位置に埋め込むかによって性能が変わる恐れがある。

本事業では図 3.3.1-4 のとおり、平行層と直交層のちょうど境目にビスの交点が配置されるようにすることとした。側面図に示すとおり、塑性ヒンジまたは回転の中心となる位置は CLT 接合面から 30 mm 程度の位置となるため、ビスの打つ位置を一定に決めれば、同じとなるはずである。

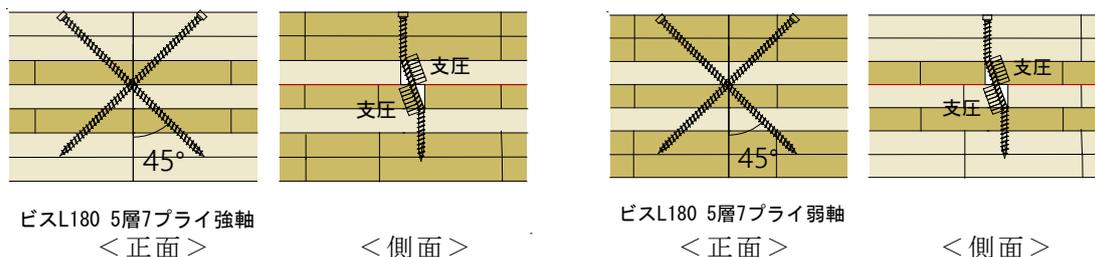


図 3.3.1-4 強軸、弱軸仕様についての実験の考え方

(2) ハーフラップビス接合

ハーフラップビス接合は、(1) と異なり、強軸・弱軸仕様では支圧部分の支圧強度に影響があると思われるので、強軸・弱軸仕様の両方を実施する。

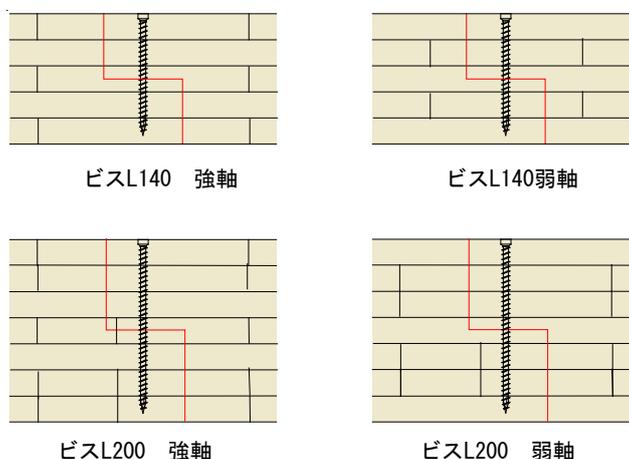


図 3.3.1-5 強軸、弱軸仕様についての実験の考え方

3.3.2. ビス配置についての検討

(1) 曲げ降伏型（加力方向に対して直角にビスを打つ場合）

AIJ 規準²⁾では、太径のビスが想定されていないので、木ねじは図 3.3.2-1 のくぎの配置ルールに従うこととなっている。

一方、EC5³⁾では図 3.3.2-2 のとおり $d=6\text{mm}$ 以上のビスは、ボルトと同じ接合具配置と

している。更に RothoBlass 社の European Technical Assessment ETA-11/0030 of 2016-04-07⁴⁾（以下、「ETA」）はビス配置として図 3.3.2-3 のとおりとしている。

両者を比較すると後者は

- ・ a_2 の寸法が「 $4d$ 」から「 $2.5d$ 」
- ・ $a_{3,t}$ 及び $a_{3,c}$ の寸法が「 $7d$ 且つ 80mm 以上」から「 $6d$ 」
- ・ $a_{4,t}$ の寸法が「 $4d$ （斜め方向の除く）」から「 $6d$ 」
- ・ $a_{4,c}$ の寸法が「 $3d$ 」から「 $2.5d$ 」

と一部を除き、小さい寸法にすることができるようになっている。

上記の配置が RothoBlass 社用ビスに限っての話というよりも CLT 用（割裂しにくい）と思われる。

本接合部では、EC5 と RothoBlass 社の ETA を参考にビス配置を設定することとした。

表 6.11 板に対する釘配置等の最小間隔

加力が繊維方向の場合	加力方向	釘間隔	$12d$	
		釘側圧縮の作用する側の端距離	$15d$	
	加力に直角方向	釘列間隔	$5d$	
		縁距離	$5d$	
加力が繊維に直角方向の場合	加力方向	釘間隔	$8d$	
		縁距離	$8d$	
	加力に直角方向	同一繊維上釘間隔	$10d$	
		端距離	$10d$	

図 3.3.2-1 AIJ 規準の木ねじ配列（くぎ準拠）

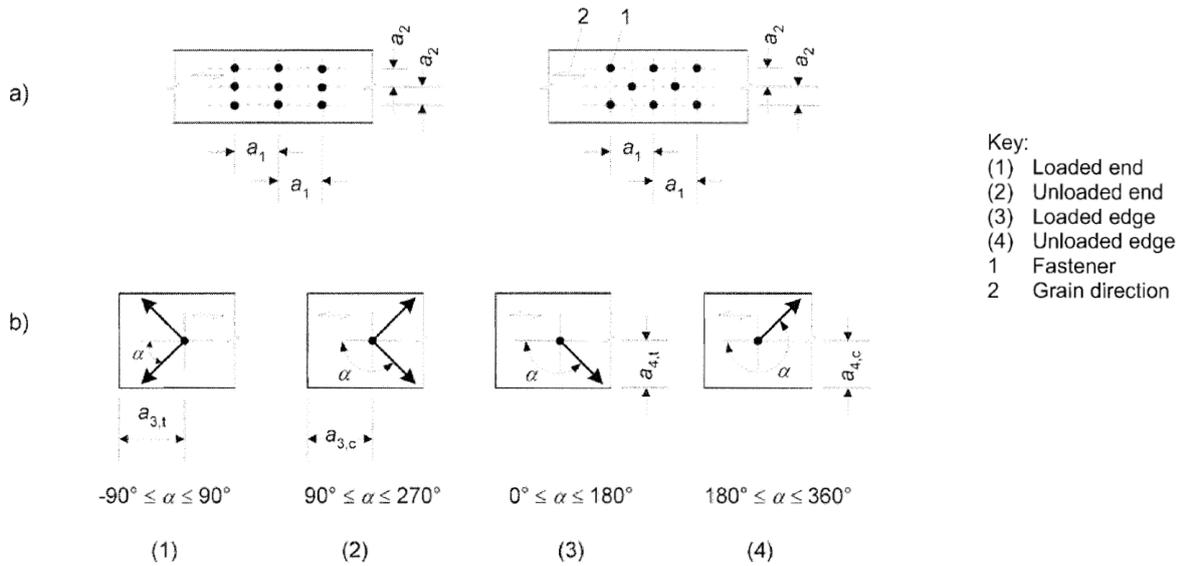
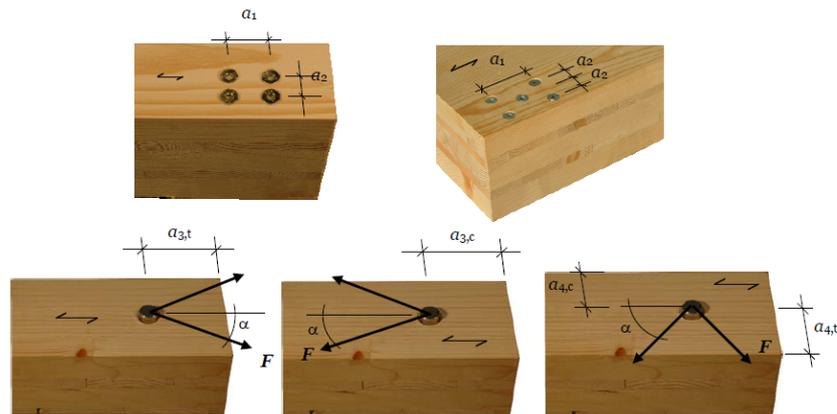


Table 8.4 – Minimum values of spacing and end and edge distances for bolts

Spacing and end/edge distances (see Figure 8.7)	Angle	Minimum spacing or distance
a_1 (parallel to grain)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (perpendicular to grain)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$4 d$
$a_{3,t}$ (loaded end)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$\max(7 d; 80 \text{ mm})$
$a_{3,c}$ (unloaded end)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$\lceil \frac{1}{2} \rceil (1 + 6 \sin \alpha) d$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$4 d$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(1 + 6 \sin \alpha) d \lceil \frac{1}{2} \rceil$
$a_{4,t}$ (loaded edge)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$\max[(2 + 2 \sin \alpha) d; 3d]$
$a_{4,c}$ (unloaded edge)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$3 d$

図 3.3.2-2 EC5 の $\phi 6\text{mm}$ 以上のビス配列 (ボルト準拠)

Definition of spacing, end and edge distances in the plane surface unless otherwise specified in the technical specification (ETA or hEN) for the cross laminated timber:



Definition of spacing, end and edge distances in the edge surface unless otherwise specified in the technical specification (ETA or hEN) for the cross laminated timber:

Table B1: Minimum spacing, end and edge distances of screws in the plane or edge surfaces of cross laminated timber

	a_1	$a_{3,t}$	$a_{3,c}$	a_2	$a_{4,t}$	$a_{4,c}$
Plane surface (see Figure 1)	$4 \cdot d$	$6 \cdot d$	$6 \cdot d$	$2,5 \cdot d$	$6 \cdot d$	$2,5 \cdot d$
Edge surface (see Figure 2)	$10 \cdot d$	$12 \cdot d$	$7 \cdot d$	$4 \cdot d$	$6 \cdot d$	$3 \cdot d$

図 3.3.2-3 ETA (RothoBlass 社) のビス配列

(2) ビス引き抜き型 (加力方向に対して斜めにビスを打つ場合)

ビスを加力方向に対して斜めに打ち込む場合の配置ルールについて検討を行った。AIJ 規準には斜めビス配置についてのルールがないため、EC5 (図 3.3.2-4) と ETA (RothoBlass 社) (図 3.3.2-5) を参考にした。

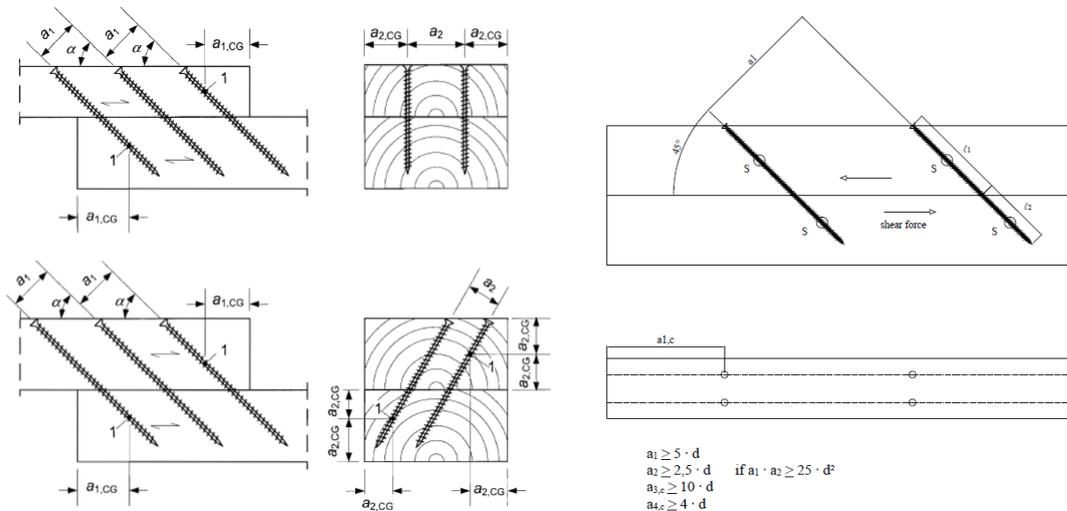
両者を比較すると ETA (RothoBlass 社) は、

- ・ a_1 の寸法が「 $7d$ 」から「 $5d$ 」
- ・ a_2 の寸法が「 $5d$ 」から「 $2.5d$ 」
- ・ $a_{1,cg}$ 及び $a_{2,cg}$ が規定されていない。
- ・ $a_{3,c}$ 及び $a_{4,c}$ が規定されていない。

と小さい寸法にすることができる。一部の寸法の規定があるものと無いものがある。

Table 8.6 – Minimum spacings and end and edge distances for axially loaded screws

Minimum screw spacing in a plane parallel to the grain	Minimum screw spacing perpendicular to a plane parallel to the grain	Minimum end distance of the centre of gravity of the threaded part of the screw in the member	Minimum edge distance of the centre of gravity of the threaded part of the screw in the member
a_1	a_2	$a_{1,cg}$	$a_{2,cg}$
$7d$	$5d$	$10d$	$4d$



Key: 1 Centre of gravity of the threaded part of the screw in the member
Figure 8.11.a – Spacings and end and edge distances

$$\begin{aligned}
 a_1 &\geq 5 \cdot d \\
 a_2 &\geq 2.5 \cdot d \quad \text{if } a_1 \cdot a_2 \geq 25 \cdot d^2 \\
 a_{3,c} &\geq 10 \cdot d \\
 a_{4,c} &\geq 4 \cdot d
 \end{aligned}$$

Minimum distances and spacing see also 4.2
Minimum timber thickness $t = 12 \cdot d$, see also 4.2

S = centroid of the part of the screw in the timber

図 3.3.2-4 EC5 の斜め打ちビス配列

3.3.3. 試験の種類

試験の種類は表 3.3.3-1 のとおり 12 種類 57 体の試験とした。試験体の記号の意味は表 3.3.3-1 の下部に示す。各試験体図を図 3.3.3-1～図 3.3.3-12 に、試験体作成の様子を写真 3.3.3-1～写真 3.3.3-2 に、試験体の密度と含水率を表 3.3.3-2～表 3.3.3-3 に示す。

また、図 3.3.3-3～図 3.3.3-12 の各試験においては図 3.3.3-13 のとおり CLT 相互の間にテフロンシートを挿入し、また主材及び側材端部を R10 に加工することで、極力摩擦が生じないように配慮した。

表 3.3.3-1 床一床接合部試験の種類と試験体記号の意味

通し番号	試験体記号	接合形式	CLTの種類			接合具の種類			試験体数(体)	
			CLTの樹種／等級／構成方法	層構成(厚さ)	軸方向	名称	山径d(mm)	接合具長さl(mm)		
1	X90-5-5S	斜め交差打ちビス接合	スギCLT／Mx60/A種構成	5層5プライ(150mm)	強軸	全ねじビス	9	180	6	
2	X90-5-5W			弱軸	6					
3	X90-5-7S			5層7プライ(210mm)	強軸				260	6
4	H90-5-5S	ハーフラップビス接合		5層5プライ(150mm)	弱軸			半ねじビス	140	6
5	H90-5-5W			6						
6	H90-5-5SH			6						
7	H90-5-5SHh			5層5プライ、目地打ち(150mm)	強軸	全ねじビス		200	1	
8	H90-5-7S			5層7プライ(210mm)	弱軸				6	
9	H90-5-7W								6	
10	H90-5-7W8d	1								
11	H45-5-5S	ハーフラップビス接合(加力方向斜め打ち)		5層5プライ(150mm)	強軸	全ねじビス		180	6	
12	H45-5-7S			5層7プライ(210mm)					260	6
合計									57	

X

ビスの打ち方

90

加力に対する
ビスの角度

5-5

CLTの層構成

S

強軸・弱軸

h

幅はぎ一致
または半ねじ

X：斜め交差打ち

H：ハーフラップ

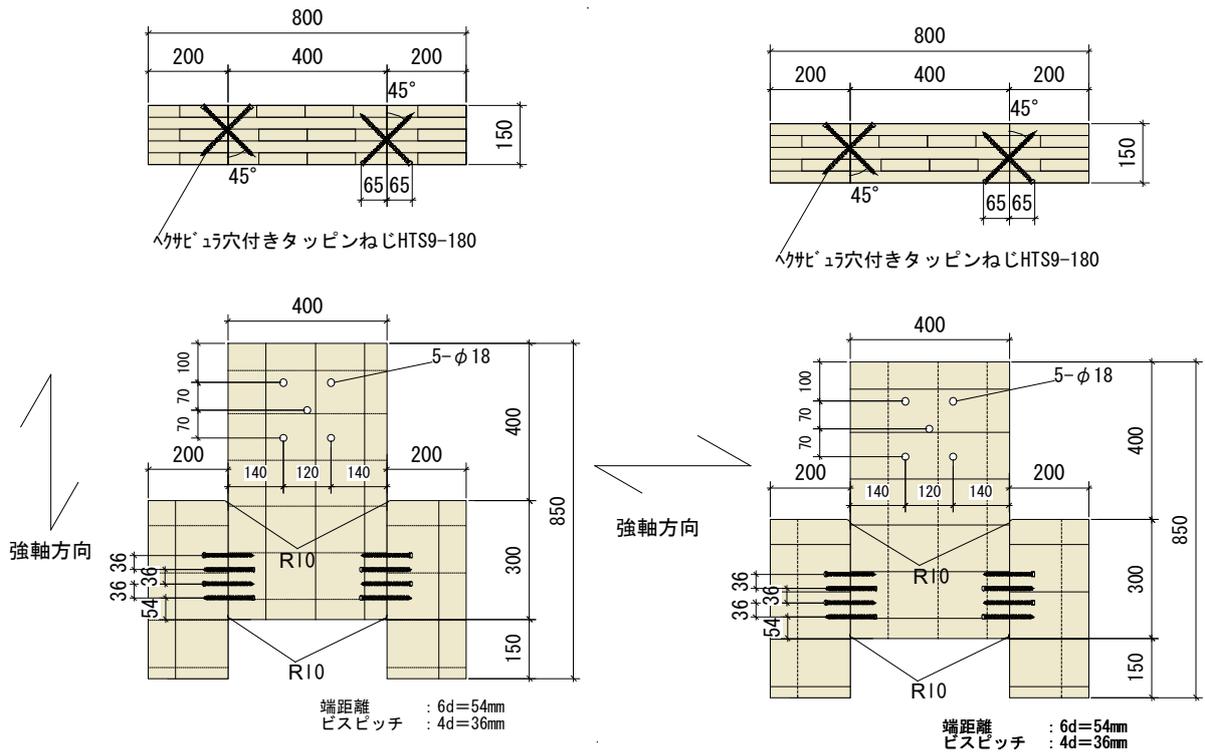


図 3.3.3-1 No.1 X90-5-5S 試験体図

図 3.3.3-2 No.2 X90-5-5W 試験体図

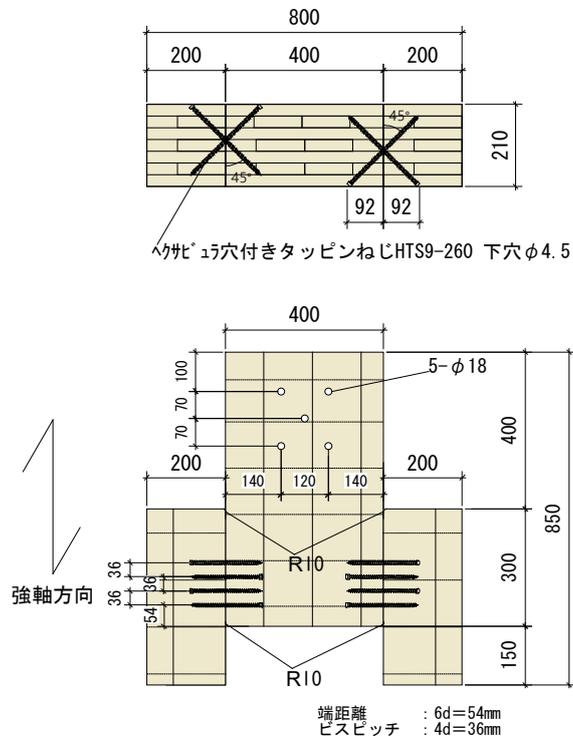


図 3.3.3-3 No.3 X90-5-7 S 試験体図

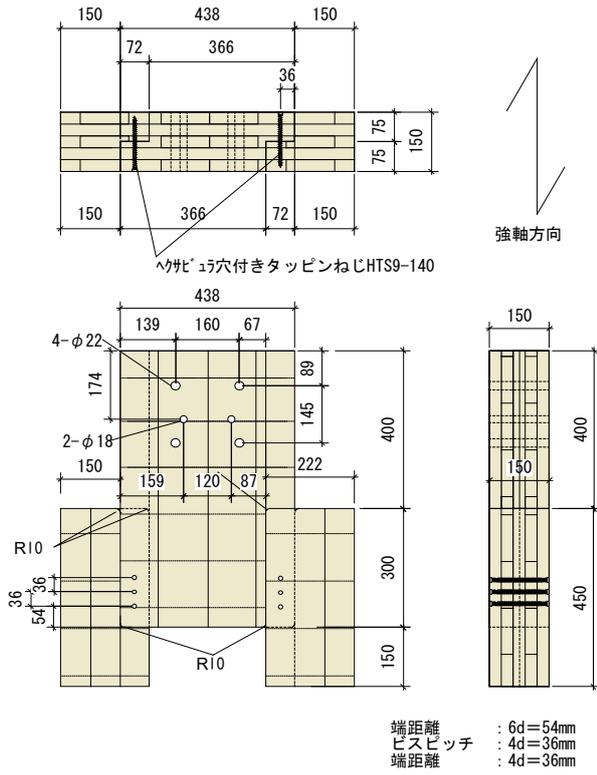


図 3.3.3-4 No.4 H90-5-5S 試験体図

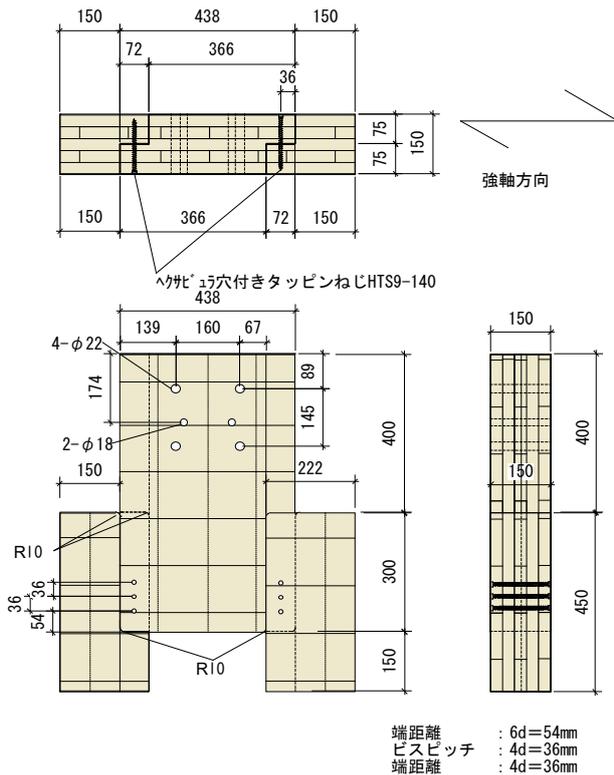


図 3.3.3-5 No.5 H90-5-5W 試験体図

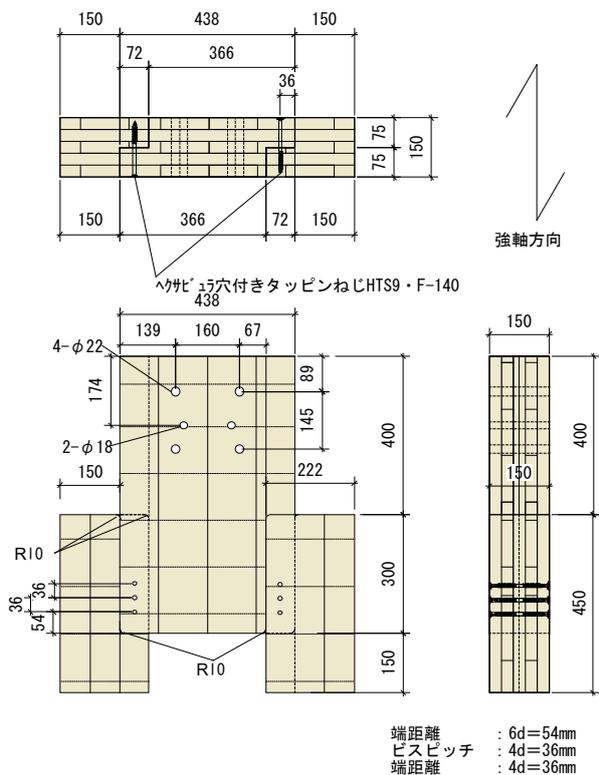


図 3.3.3-6 No.6 H90-5-5SH 試験体図

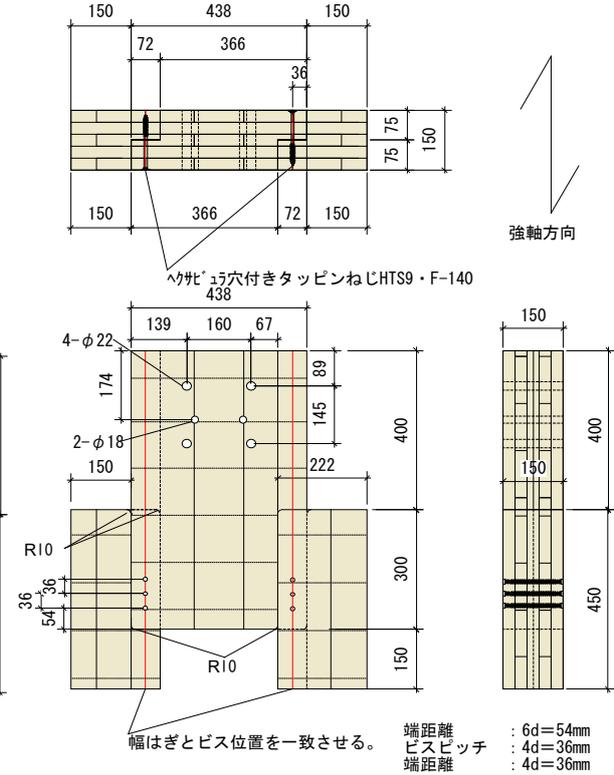


図 3.3.3-7 No.7 H90-5-5Shh 試験体図

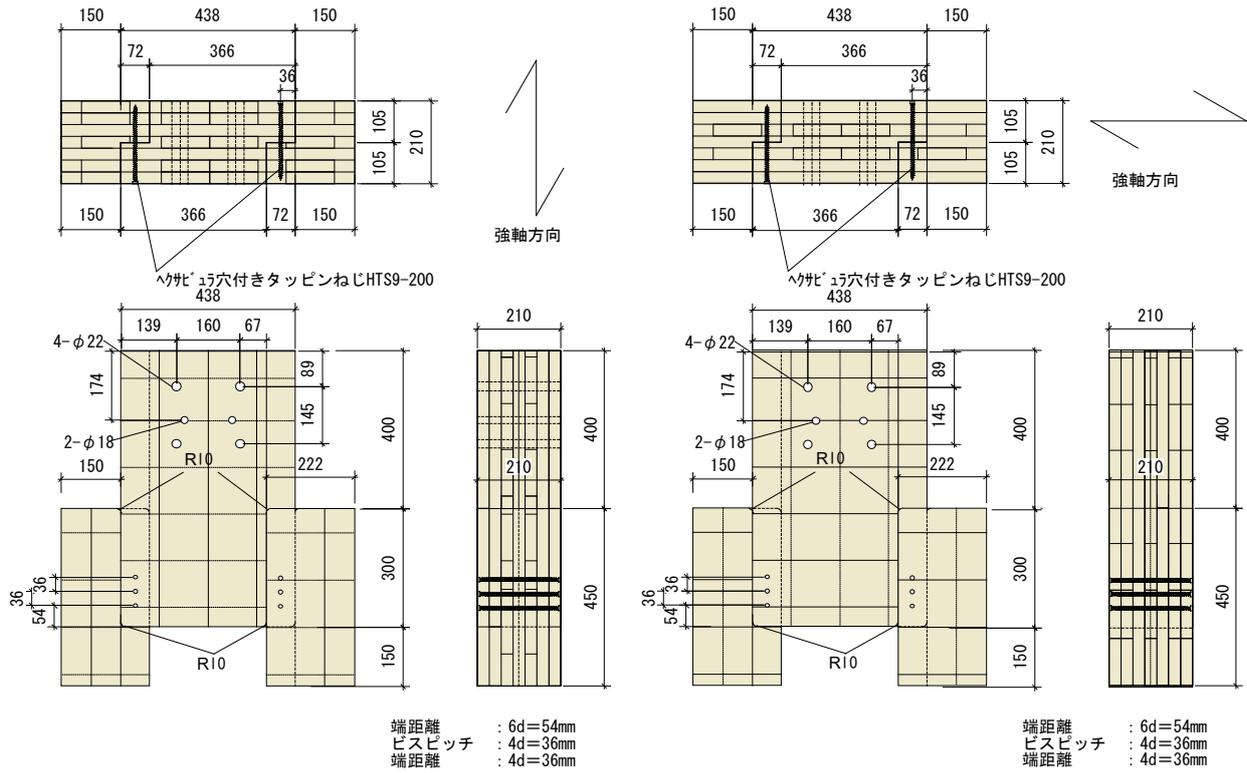


図 3.3.3-8 No.8 H90-5-7S 試験体図

図 3.3.3-9 No.9 H90-5-7W 試験体図

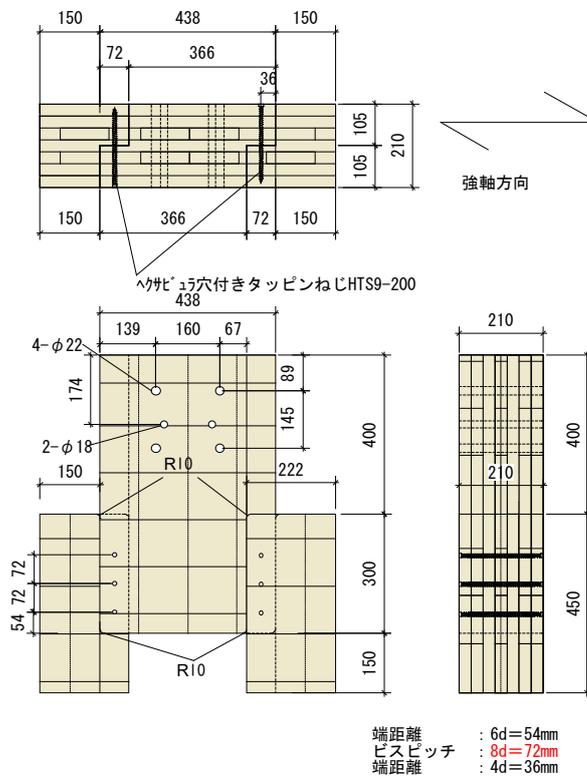


図 3.3.3-10 No.10 H90-5-7W8d 試験体図

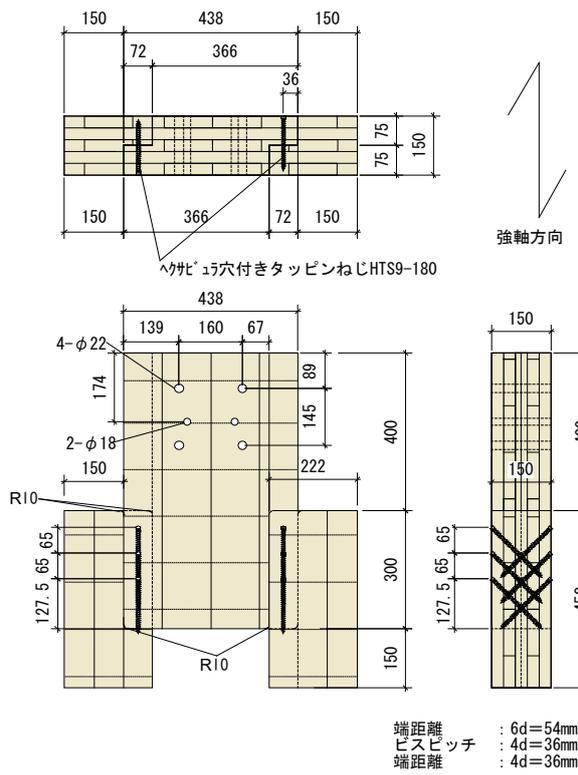


図 3.3.3-11 No.11 H45-5-5S 試験体図

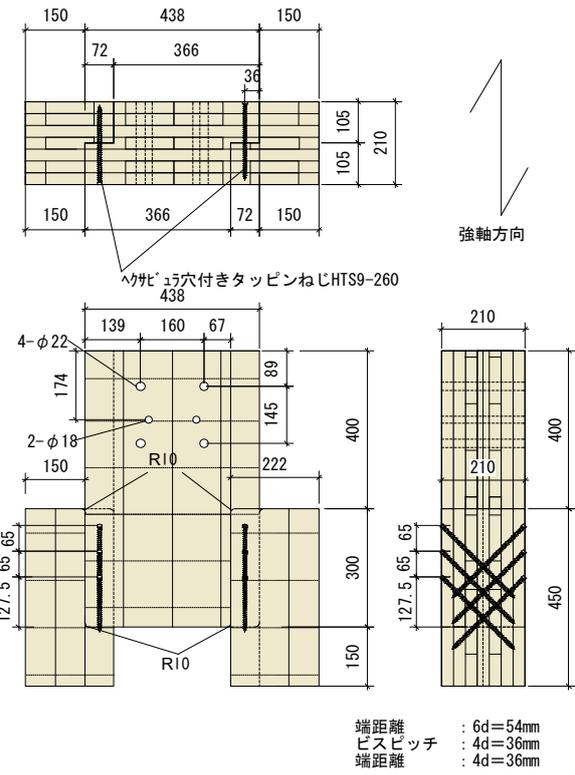


図 3.3.3-12 No.12 H45-5-7S 試験体図

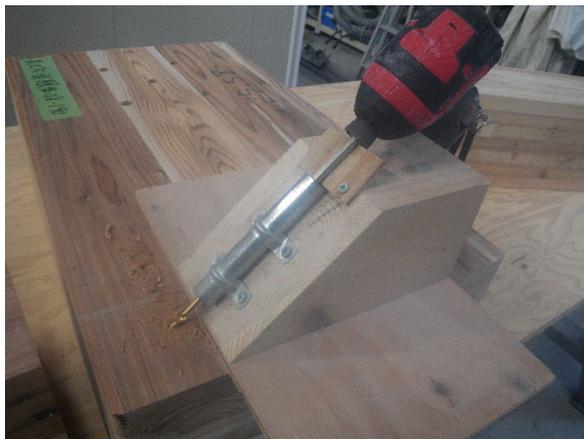


写真 3.3.3-1 施工の様子 先穴φ4.5

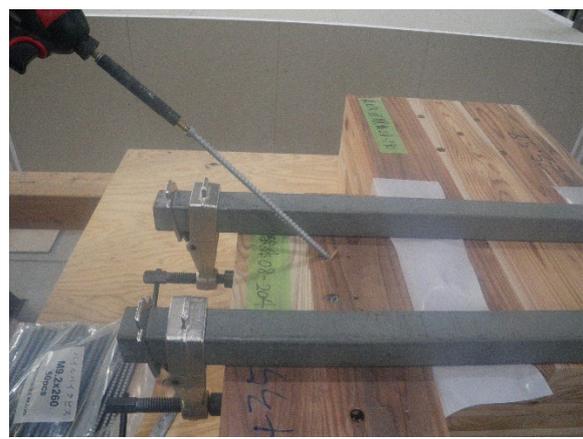


写真 3.3.3-2 施工の様子 ビス打ち

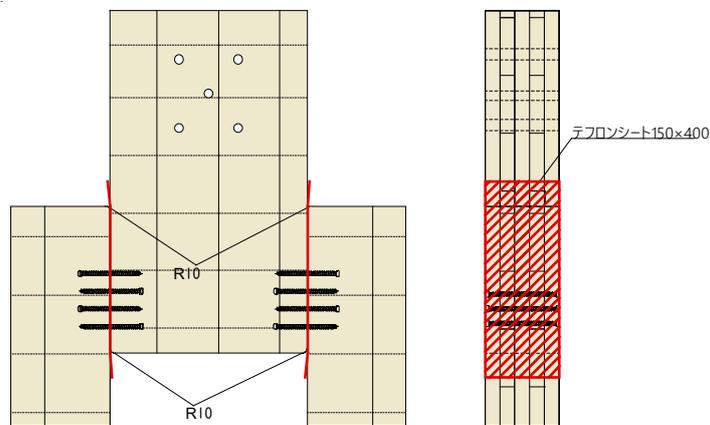


図 3.3.3-13 摩擦軽減措置 (テフロンシートの挿入、端部 R10 加工)

表 3.3.3-2 密度と含水率

No.	試験体記号	試験体番号等	CLT主材		CLT側材1		CLT側材2	
			含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)
1	X90-5-5S	1	8.3	0.44	8.6	0.43	7.9	0.44
		2	8.9	0.43	8.3	0.42	9.7	0.42
		3	9.7	0.39	8.7	0.43	10.4	0.43
		4	9.1	0.44	8.7	0.43	8.0	0.44
		5	9.6	0.45	10.5	0.43	8.1	0.42
		6	9.0	0.43	7.9	0.45	8.4	0.42
		平均	9.1	0.43	8.8	0.43	8.8	0.43
2	X90-5-5W	1	9.2	0.41	9.7	0.43	7.9	0.44
		2						
		3						
		4						
		5						
		6						
		平均	9.2	0.41	9.7	0.43	7.9	0.44
3	X90-5-7S	1	8.5	0.44	9.9	0.44	8.7	0.45
		2	9.0	0.43	8.3	0.43	9.3	0.43
		3	8.7	0.44	9.3	0.43	8.8	0.42
		4	8.1	0.43	9.7	0.43	8.6	0.42
		5	8.6	0.43	10.1	0.42	8.6	0.43
		6	9.1	0.43	9.3	0.43	8.7	0.43
		平均	8.7	0.43	9.4	0.43	8.8	0.43
4	H90-5-5S	1	9.5	0.40	10.5	0.42	10.0	0.42
		2	9.0	0.40	10.5	0.42	11.5	0.42
		3	10.5	0.40	10.0	0.42	9.5	0.43
		4	10.5	0.41	10.0	0.43	10.0	0.43
		5	11.0	0.41	10.0	0.43	9.5	0.43
		6	11.5	0.43	10.5	0.43	11.0	0.44
		平均	10.3	0.41	10.3	0.43	10.3	0.43
5	H90-5-5W	1	11.5	0.40	11.0	0.42	12.0	0.42
		2	11.0	0.40	12.5	0.42	12.5	0.42
		3	11.0	0.40	15.0	0.43	13.0	0.43
		4	12.5	0.41	11.0	0.43	12.5	0.43
		5	13.0	0.41	12.0	0.43	12.0	0.43
		6	11.0	0.42	12.5	0.44	12.0	0.44
		平均	11.7	0.41	12.3	0.43	12.3	0.43
6	H90-5-5SH	1	10.0	0.39	10.5	0.42	10.5	0.41
		2	11.0	0.41	10.0	0.42	10.5	0.42
		3	10.5	0.41	10.5	0.43	10.5	0.43
		4	11.0	0.42	10.5	0.43	11.0	0.43
		5	11.0	0.42	10.5	0.43	10.0	0.43
		6	10.0	0.42	10.5	0.43	11.5	0.44
		平均	10.6	0.41	10.4	0.43	10.7	0.43
7	H90-5-5SHh	1	11.5	0.42	10.0	0.42	10.5	0.42
		2						
		3						
		4						
		5						
		6						
		平均	11.5	0.42	10.0	0.42	10.5	0.42
8	H90-5-7S	1	11.0	0.41	10.5	0.42	10.5	0.42
		2	11.0	0.41	11.0	0.42	10.5	0.43
		3	11.5	0.41	10.5	0.43	10.5	0.43
		4	12.0	0.41	11.0	0.43	10.0	0.43
		5	11.0	0.42	11.0	0.44	11.0	0.43
		6	11.5	0.42	11.0	0.44	10.5	0.44
		平均	11.3	0.41	10.8	0.43	10.5	0.43
9	H90-5-7W	1	12.0	0.42	10.5	0.42	11.0	0.41
		2	14.0	0.42	10.5	0.42	11.0	0.42
		3	13.0	0.42	11.5	0.42	10.5	0.42
		4	12.0	0.42	10.5	0.42	12.0	0.43
		5	14.0	0.42	11.5	0.43	11.5	0.43
		6	13.5	0.43	12.5	0.43	11.5	0.43
		平均	13.1	0.42	11.2	0.42	11.3	0.42
10	H90-5-7W8d	1	13.0	0.42	12.5	0.43	12.5	0.43
		2						
		3						
		4						
		5						
		6						
		平均	13.0	0.42	12.5	0.43	12.5	0.43
11	H45-5-5S	1	12.0	0.40	11.5	0.41	13.0	0.42
		2	11.0	0.40	10.5	0.43	11.0	0.42
		3	10.5	0.40	10.5	0.43	10.5	0.43
		4	12.0	0.41	11.0	0.43	10.5	0.43
		5	11.0	0.42	11.0	0.43	10.5	0.43
		6	10.5	0.42	13.0	0.43	12.5	0.44
		平均	11.2	0.41	11.3	0.43	11.3	0.43
12	H45-5-7S	1	11.5	0.41	10.5	0.42	10.5	0.42
		2	11.5	0.41	11.0	0.42	10.5	0.42
		3	11.0	0.41	10.5	0.43	10.5	0.43
		4	11.5	0.41	12.0	0.43	11.5	0.43
		5	11.0	0.42	11.0	0.44	10.5	0.43
		6	12.0	0.42	12.0	0.44	11.0	0.44
		平均	11.4	0.41	11.2	0.43	10.8	0.43

3.4. 試験方法、評価方法

治具及び変位計配置図は図 3.4-1、写真 3.4-1 のとおりである。

試験体の主材は面外方向の変形をサポート治具で押え、側材は面内方向の開きや浮き上がりをロッドやストッパで押さえる試験とした。加力方法は、単調加力試験の δ_y 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まで測定を行った。変位は CLT 相互の相対変位を計測した。

評価方法は完全弾塑性モデルによる評価とし、多数本打ちを想定しているため（床 - 床接合）、信頼水準 75% における 50% 下側許容限界値として評価を行った。また、変位 30mm までを評価の対象とした。加力方向に斜め打ちした試験体 No.11, 12 は第 1 象限と第 3 象限のグラフの形状が大きく異なるため、正負それぞれ評価を行った。

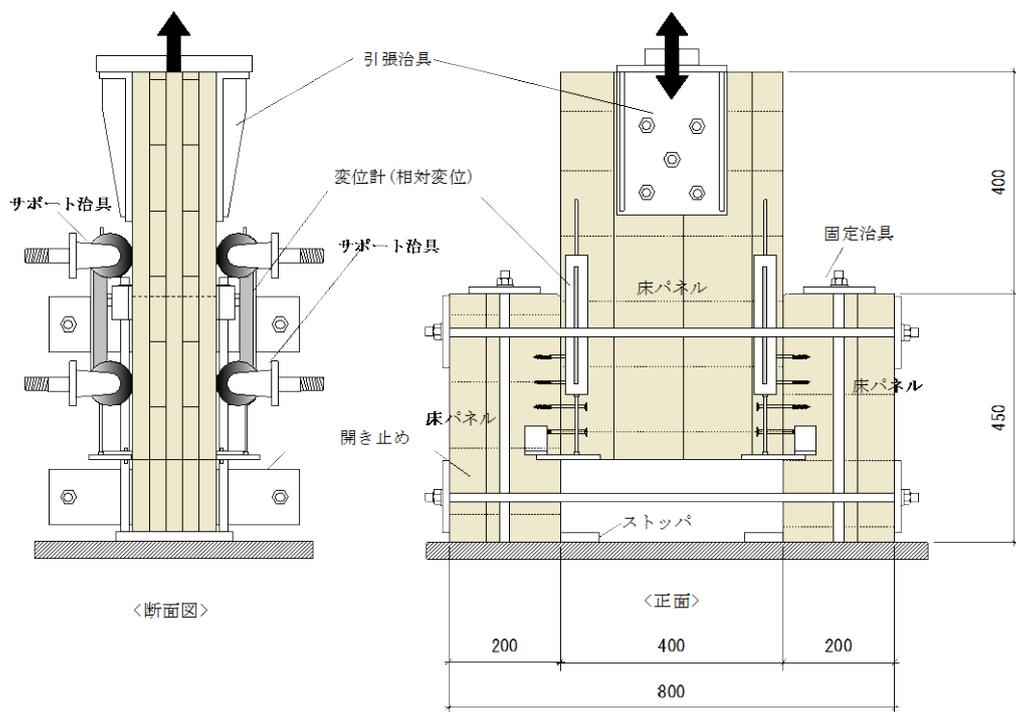


図 3.4-1 ロケット型による試験方法

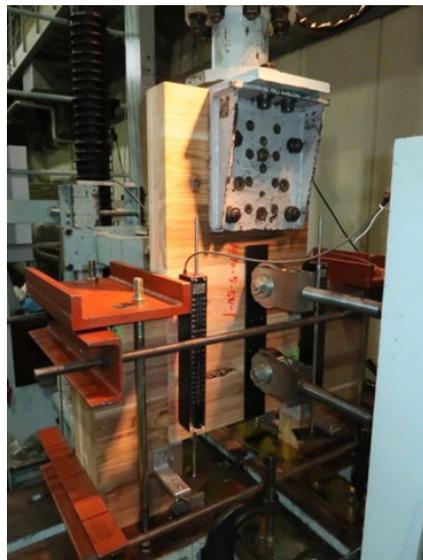


写真 3.4-1 試験の様子

3.5. 試験結果

3.5.1. X90-5-5S

荷重変位曲線を図 3.5.1-1 に、包絡線を図 3.5.1-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 3.5.1-1 に、破壊性状を写真 3.5.1-1～写真 3.5.1-8 に示す。ビスが曲げ降伏し、ビスの折損、木材の割れが確認された。

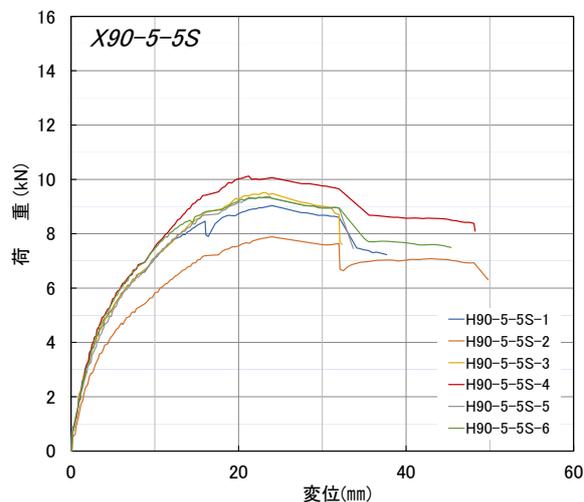
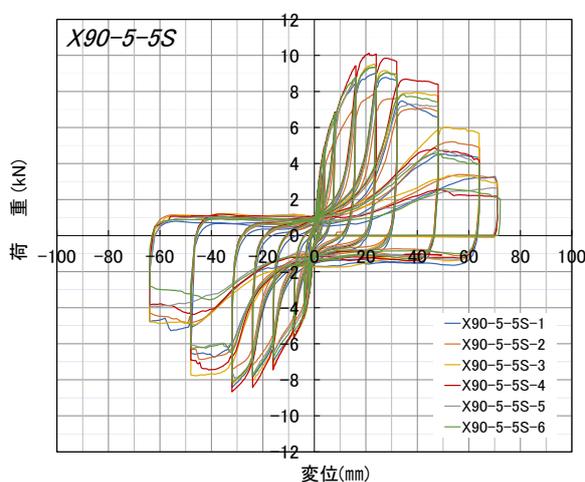


図 3.5.1-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.5.1-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.5.1-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 8 本分))

項目	試験体記号 X90-5-5S						平均值	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	50% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	7.2	6.3	7.6	8.1	7.5	7.5	7.4	0.60			
1/10 δ m (mm)	0.28	0.57	0.36	0.45	0.39	0.45	0.42	0.10			
2/5Pm (kN)	28.9	25.2	30.5	32.4	29.8	30.0	29.5	2.39			
2/5 δ m (mm)	2.21	2.87	2.60	2.70	2.81	2.48	2.61	0.24			
2/3Pm (kN)	48.2	42.1	50.8	54.0	49.7	50.0	49.1	3.95	0.080	0.976	47.9
2/3 δ m (mm)	6.61	7.89	7.68	7.88	7.31	6.38	7.29	0.66			
9/10Pm (kN)	65.1	56.8	68.5	72.9	67.1	67.5	66.3	5.33			
9/10 δ m (mm)	14.29	15.51	15.21	14.66	14.86	13.69	14.70	0.65			
Pm (kN)	72.3	63.1	76.2	81.0	74.6	75.0	73.7	5.94			
δ m (mm)	24.00	24.00	23.20	21.20	22.50	23.70	23.10	1.09			
δ u時荷重 (kN)	69.5	60.8	72.1	78.1	71.8	71.5	70.6	5.62			
δ u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00			
降伏耐力 Py (kN)	37.5	32.0	38.7	40.1	39.2	40.0	37.9	3.05	0.080	0.976	36.9
δ v (mm)	3.93	4.45	4.01	4.02	4.53	4.02	4.16	0.26			
終局耐力 Pu (kN)	65.7	56.7	68.0	72.9	68.3	68.3	66.7	5.41	0.081	0.976	65.0
初期剛性 K (kN/mm)	9.54	7.19	9.65	9.98	8.65	9.95	9.16	1.08			
降伏点変位 δ v (mm)	6.89	7.89	7.05	7.30	7.90	6.86	7.32	0.48			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	4.35	3.80	4.26	4.11	3.80	4.37	4.12	0.26			
構造特性係数 Ds	0.36	0.39	0.36	0.37	0.39	0.36	0.37	0.01			



写真 3.5.1-1 NO.1 X90-5-5S-1 試験前



写真 3.5.1-2 NO.1 X90-5-5S-1 試験後



写真 3.5.1-3 NO.1 X90-5-5S-1
ビスの引き抜け



写真 3.5.1-4 NO.1 X90-5-5S-1
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 3.5.1-5 NO.1 X90-5-5S-3 ビスの折損



写真 3.5.1-6 NO.1 X90-5-5S-3 ビスの折損



写真 3.5.1-7 NO.1 X90-5-5S-4 節あり



写真 3.5.1-8 NO.1 X90-5-5S-4 ビスの折損

3.5.2. X90-5-5W

荷重変位曲線を図 3.5.2-1 に、包絡線を図 3.5.2-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 3.5.2-1 に、破壊性状を写真 3.5.2-1～写真 3.5.2-8 に示す。写真では分かりにくいですが、ビスが曲げ降伏し、木材の割れが確認された。

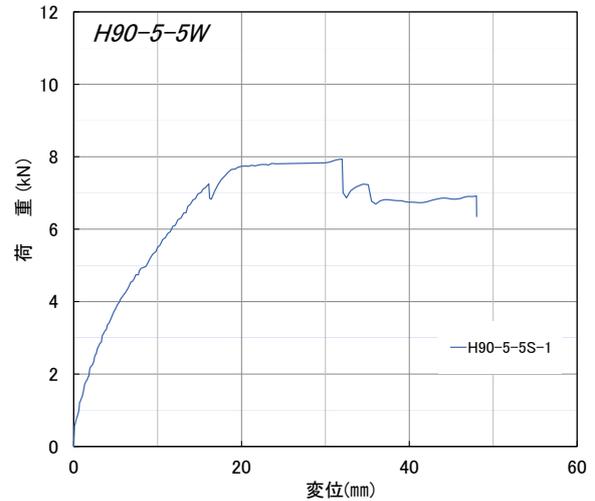
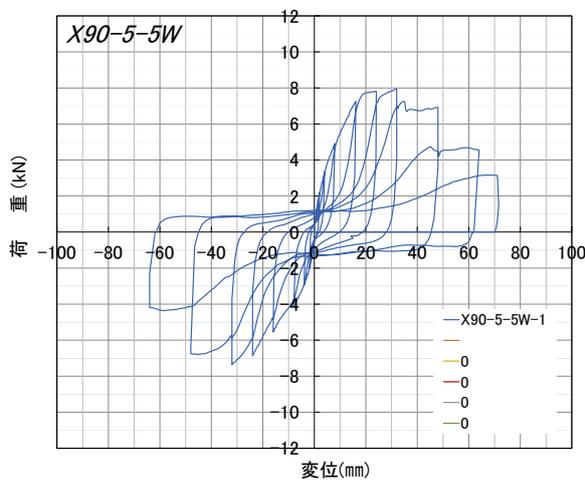


図 3.5.2-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.5.2-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.5.2-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 8 本分))

項目	試験体記号						X90-5-5W	平均値
	1	2	3	4	5	6		
1/10Pm (kN)	6.3							1.1
1/10 δ m (mm)	0.35							
2/5Pm (kN)	25.1							4.2
2/5 δ m (mm)	3.59							
2/3Pm (kN)	41.8							7.0
2/3 δ m (mm)	9.18							
9/10Pm (kN)	56.4							9.4
9/10 δ m (mm)	15.28							
Pm (kN)	62.7							10.5
δ m (mm)	30.00							
δ u時荷重 (kN)	62.7							10.5
δ u (mm)	30.00							
降伏耐力 Py (kN)	30.0							5.0
δ y (mm)	4.86							4.86
終局耐力 Pu (kN)	57.1							9.5
初期剛性 K (kN/mm)	6.17							6.17
降伏点変位 δ v (mm)	9.25							9.25
塑性率 μ = δ u / δ v	3.24							3.24
構造特性係数 Ds	0.43							0.43



写真 3.5.2-1 NO.2 X90-5-5W-1 試験前



写真 3.5.2-2 NO.2 X90-5-5W-1 試験後



写真 3.5.2-3 NO.2 X90-5-5W-1



写真 3.5.2-4 NO.2 X90-5-5W-1



写真 3.5.2-5 NO.2 X90-5-5W-1



写真 3.5.2-6 NO.1 X90-5-5W-3 ビス引抜け



写真 3.5.2-7 NO.2 X90-5-5W-1 ビス引抜け



写真 3.5.2-8 NO.2 X90-5-5W-1

3.5.3. X90-5-7S

荷重変位曲線を図 3.5.3-1 に、包絡線を図 3.5.3-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 3.5.3-1 に、破壊性状を写真 3.5.3-1～写真 3.5.3-8 に示す。ビスが曲げ降伏し、ビスの折損、木材の割れが確認された。

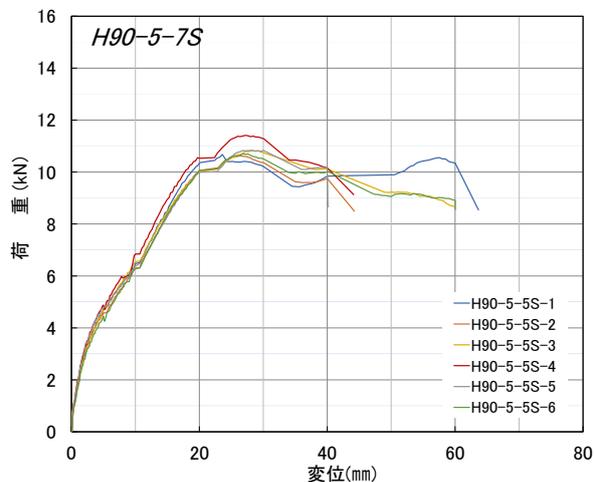
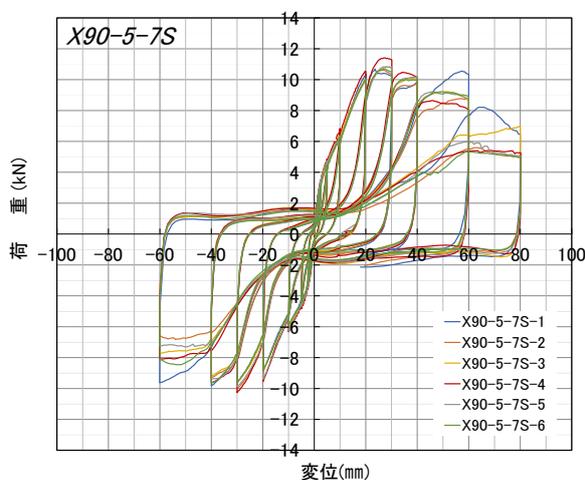


図 3.5.3-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.5.3-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.5.3-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 8 本分))

項目	試験体記号						X90-5-7S	1	2	3	4	5	6	平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3	4	5	6												
1/10Pm (kN)	8.5	8.5	8.7	9.1	8.7	8.6	8.7	0.22										
1/10 δ m (mm)	0.31	0.32	0.40	0.54	0.44	0.54	0.43	0.10										
2/5Pm (kN)	34.2	34.0	34.7	36.5	34.7	34.2	34.7	0.92										
2/5 δ m (mm)	4.16	4.09	4.21	4.25	3.94	4.72	4.23	0.26										
2/3Pm (kN)	57.0	56.6	57.8	60.9	57.8	57.1	57.9	1.56	0.027	0.937	54.2							
2/3 δ m (mm)	11.92	12.19	12.07	12.14	12.56	12.34	12.20	0.22										
9/10Pm (kN)	76.9	76.5	78.0	82.2	78.0	77.0	78.1	2.10										
9/10 δ m (mm)	17.52	18.24	18.95	18.64	19.12	18.77	18.54	0.58										
Pm (kN)	85.4	85.0	86.7	91.3	86.7	85.6	86.8	2.32										
δ m (mm)	23.60	26.50	28.00	27.20	30.00	26.80	27.02	2.09										
δ u時荷重 (kN)	81.7	82.9	86.0	90.3	86.7	84.1	85.3	3.09										
δ u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00										
降伏耐力 Py (kN)	35.9	35.6	37.6	39.0	36.3	37.6	37.0	1.29	0.035	0.918	33.9							
δ v (mm)	4.56	4.69	5.14	4.95	4.41	5.98	4.96	0.57										
終局耐力 Pu (kN)	73.3	72.6	74.3	77.7	72.0	75.9	74.3	2.16	0.029	0.932	69.2							
初期剛性 K (kN/mm)	7.87	7.59	7.32	7.88	8.23	6.29	7.53	0.68										
降伏点変位 δ v (mm)	9.31	9.57	10.15	9.86	8.75	12.07	9.95	1.14										
塑性率 μ = δ u / δ v	3.22	3.13	2.96	3.04	3.43	2.49	3.05	0.32										
構造特性係数 Ds	0.43	0.44	0.45	0.44	0.41	0.50	0.45	0.03										



写真 3.5.3-1 NO.3 X90-5-7S-1 試験前



写真 3.5.3-2 NO.3 X90-5-7S-1 試験後



写真 3.5.3-3 NO.3 X90-5-7S-1
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 3.5.3-4 NO.3 X90-5-7S-1
ビスの引き抜け



写真 3.5.3-5 NO.3 X90-5-7S-2 ビスの折損



写真 3.5.3-6 NO.3 X90-5-7S-4 ビスの折損



写真 3.5.3-7 NO.3 X90-5-7S-4 ビスの折損



写真 3.5.3-8 NO.3 X90-5-7S-5 ビスの折損、木材の割れ

3.5.4. H90-5-5S

荷重変位曲線を図 3.5.4-1 に、包絡線を図 3.5.4-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 3.5.4-1 に、破壊性状を写真 3.5.4-1～写真 3.5.4-8 に示す。ビスが曲げ降伏し、ビスの折損、木材の支圧が確認された。

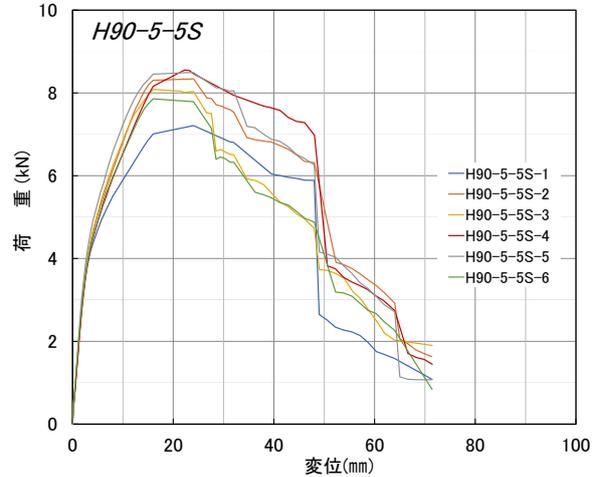
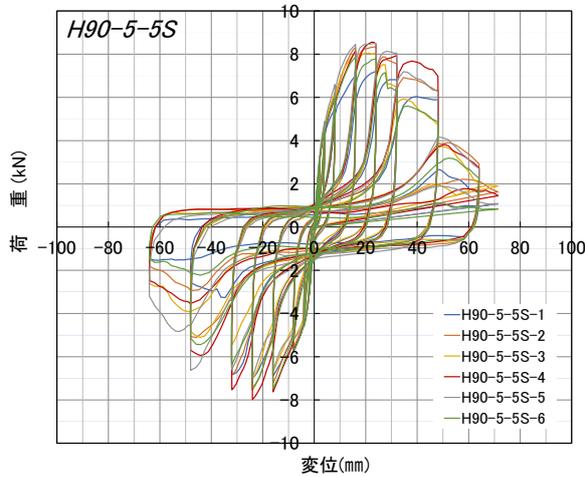


図 3.5.4-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.5.4-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.5.4-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 6 本分))

試験体記号 項目	H90-5-5S						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	4.3	5.0	4.9	5.1	5.1	4.7	4.9	0.31			
1/10 δ m (mm)	0.42	0.50	0.43	0.53	0.44	0.41	0.46	0.05			
2/5Pm (kN)	17.3	20.0	19.4	20.5	20.4	18.9	19.4	1.20			
2/5 δ m (mm)	1.90	2.30	2.21	2.46	2.13	2.13	2.19	0.19			
2/3Pm (kN)	28.8	33.4	32.3	34.2	34.0	31.4	32.4	2.04	0.063	0.853	27.6
2/3 δ m (mm)	5.34	6.30	5.64	7.25	5.72	5.77	6.00	0.69			
9/10Pm (kN)	38.9	45.0	43.7	46.2	45.9	42.4	43.7	2.74			
9/10 δ m (mm)	13.02	12.13	11.45	14.05	11.45	11.99	12.35	1.01			
Pm (kN)	43.3	50.0	48.5	51.3	51.0	47.1	48.5	3.01			
δ m (mm)	24.03	24.02	16.02	22.28	23.19	16.01	20.93	3.86			
δ u時荷重 (kN)	41.3	45.9	39.6	48.4	48.5	38.6	43.7	4.44			
δ u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00			
降伏耐力 Py (kN)	23.5	25.0	25.2	25.1	25.9	24.3	24.8	0.83	0.033	0.923	22.8
δ v (mm)	3.12	3.26	3.27	3.45	3.11	3.21	3.24	0.12			
終局耐力 Pu (kN)	39.5	45.7	44.2	45.9	47.2	42.7	44.2	2.77	0.063	0.853	37.7
初期剛性 K (kN/mm)	7.53	7.67	7.71	7.28	8.33	7.57	7.68	0.35			
降伏点変位 δ v (mm)	5.25	5.96	5.73	6.30	5.67	5.64	5.76	0.35			
塑性率 μ = δ u / δ v	5.71	5.03	5.24	4.76	5.29	5.32	5.23	0.32			
構造特性係数 Ds	0.31	0.33	0.32	0.34	0.32	0.32	0.32	0.01			



写真 3.5.4-1 NO.4 H90-5-5S-1 試験前



写真 3.5.4-2 NO.4 H90-5-5S-1 試験後



写真 3.5.4-3 NO.4 H90-5-5S-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.4-4 NO.4 H90-5-5S-1
ビスの折損、木材の支圧

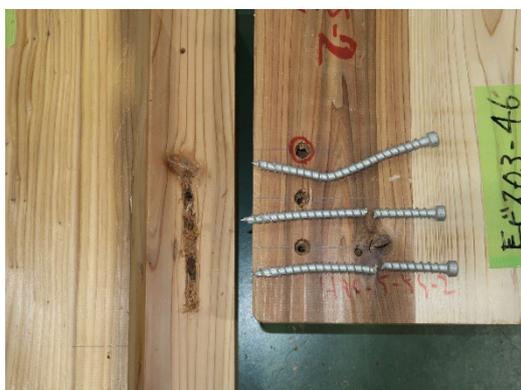


写真 3.5.4-5 NO.4 H90-5-5S-2
ビスの折損、木材の支圧

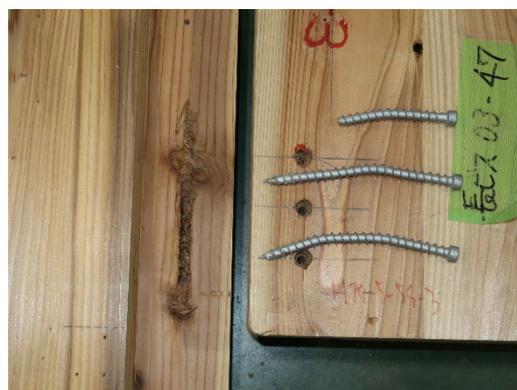


写真 3.5.4-6 NO.4 H90-5-5S-3
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.4-7 NO.4 H90-5-5S-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.4-8 NO.4 H90-5-5S-2
支圧の様子 (CLT 断面をカットした)

3.5.5. H90-5-5W

荷重変位曲線を図 3.5.5-1 に、包絡線を図 3.5.5-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 3.5.5-1 に、破壊性状を写真 3.5.5-1～写真 3.5.5-8 に示す。ビスが曲げ降伏し、ビスの折損、木材の支圧が確認された。

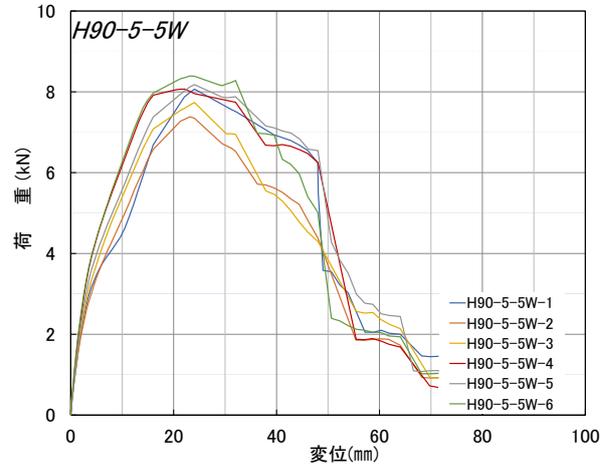
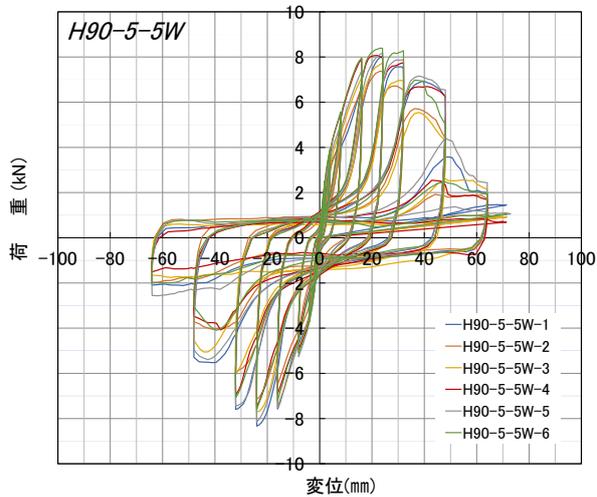


図 3.5.5-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.5.5-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.5.5-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 6 本分))

試験体記号 項目	H90-5-5W(正)						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	50% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	4.8	4.4	4.6	4.8	4.9	5.0	4.8	0.22			
1/10 δ m (mm)	0.66	0.59	0.55	0.52	0.63	0.49	0.57	0.07			
2/5Pm (kN)	19.4	17.7	18.6	19.4	19.6	20.1	19.1	0.85			
2/5 δ m (mm)	4.22	3.88	3.51	2.94	3.41	3.04	3.50	0.49			
2/3Pm (kN)	32.3	29.5	31.0	32.3	32.7	33.6	31.9	1.44	0.045	0.987	31.4
2/3 δ m (mm)	12.63	10.22	9.20	7.65	9.58	8.09	9.56	1.78			
9/10Pm (kN)	43.6	39.9	41.8	43.6	44.2	45.3	43.1	1.92			
9/10 δ m (mm)	18.94	16.54	15.53	13.18	15.97	13.85	15.67	2.05			
Pm (kN)	48.4	44.3	46.4	48.4	49.1	50.4	47.8	2.16			
δ m (mm)	24.05	23.16	24.03	22.18	24.04	23.11	23.43	0.76			
δ u時荷重 (kN)	45.9	40.1	41.9	46.8	47.2	49.1	45.2	3.44			
δ u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00			
降伏耐力 Py (kN)	21.6	19.5	21.2	22.7	21.8	23.0	21.6	1.25	0.058	0.983	21.2
δ y (mm)	5.53	4.60	4.52	3.81	4.14	3.83	4.41	0.64			
終局耐力 Pu (kN)	41.5	38.7	41.2	44.3	43.0	45.6	42.4	2.46	0.058	0.983	41.6
初期剛性 K (kN/mm)	3.91	4.24	4.69	5.96	5.27	6.01	5.01	0.88			
降伏点変位 δ v (mm)	10.61	9.13	8.78	7.43	8.16	7.59	8.62	1.18			
塑性率 μ = δ u / δ v	2.83	3.29	3.42	4.04	3.68	3.95	3.54	0.45			
構造特性係数 Ds	0.46	0.42	0.41	0.38	0.40	0.38	0.41	0.03			



写真 3.5.5-1 NO.5 H90-5-5W-1 試験前



写真 3.5.5-2 NO.5 H90-5-5W-1 試験後



写真 3.5.5-3 NO.5 H90-5-5W-1
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 3.5.5-4 NO.5 H90-5-5W-2
3層目ラミナの割れ



写真 3.5.5-5 NO.5 H90-5-5W-2
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 3.5.5-6 NO.5 H90-5-5W-3
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 3.5.5-7 NO.5 H90-5-5W-4
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 3.5.5-8 NO.5 H90-5-5W-6
ビスの折損、木材の割れ

3.5.6. H90-5-5SH

荷重変位曲線を図 3.5.6-1 に、包絡線を図 3.5.6-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 3.5.6-1 に、破壊性状を写真 3.5.6-1～写真 3.5.6-8 に示す。ビスが曲げ降伏し、ビスの折損、木材の支圧が確認された。

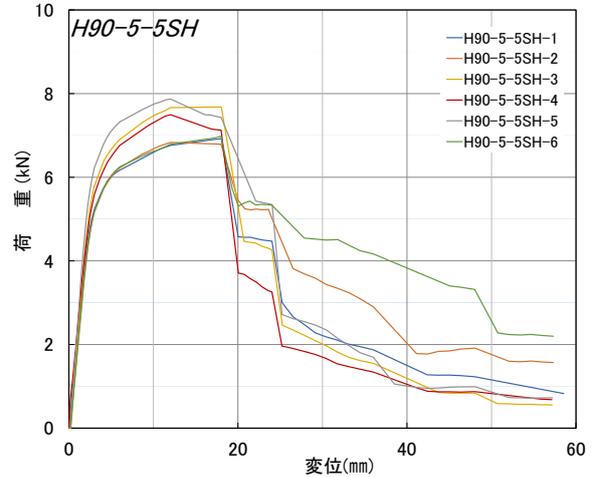
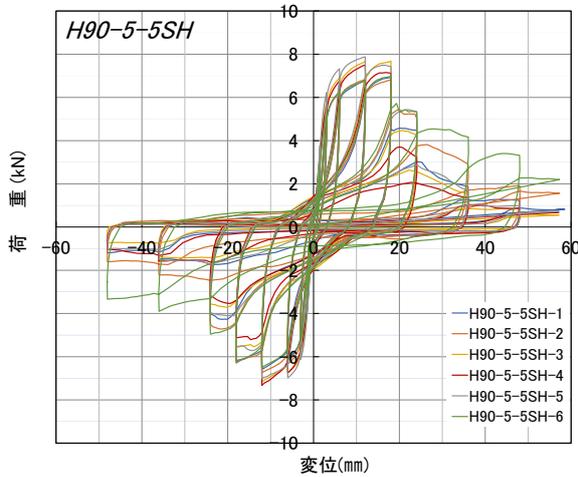


図 3.5.6-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.5.6-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.5.6-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 6 本分))

試験体記号 項目	H90-5-5SH						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	50% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	4.2	4.1	4.6	4.5	4.7	4.2	4.4	0.25			
1/10 δ m (mm)	0.33	0.47	0.52	0.21	0.43	0.50	0.41	0.12			
2/5Pm (kN)	16.6	16.4	18.4	18.0	18.9	16.8	17.5	1.05			
2/5 δ m (mm)	1.31	1.40	1.40	1.29	1.28	1.45	1.36	0.07			
2/3Pm (kN)	27.7	27.3	30.7	30.0	31.5	27.9	29.2	1.77	0.061	0.982	28.6
2/3 δ m (mm)	2.33	2.38	2.41	2.44	2.19	2.50	2.38	0.11			
9/10Pm (kN)	37.4	36.9	41.5	40.5	42.5	37.7	39.4	2.38			
9/10 δ m (mm)	6.55	5.61	6.09	5.96	4.93	6.35	5.92	0.58			
Pm (kN)	41.5	41.0	46.1	45.0	47.2	41.9	43.8	2.65			
δ m (mm)	18.03	12.03	18.03	12.02	12.02	18.01	15.02	3.29			
δ u時荷重 (kN)	41.5	32.8	46.1	42.8	44.6	33.5	40.2	5.70			
δ u (mm)	18.03	20.00	18.03	18.01	18.01	19.56	18.61	0.92			
降伏耐力 Py (kN)	28.3	27.3	30.7	29.8	31.2	28.0	29.2	1.58	0.054	0.984	28.7
δ y (mm)	2.41	2.38	2.41	2.42	2.16	2.50	2.38	0.12			
終局耐力 Pu (kN)	39.1	38.7	43.7	42.5	44.7	39.0	41.3	2.67	0.065	0.981	40.5
初期剛性 K (kN/mm)	11.74	11.47	12.74	12.31	14.44	11.20	12.32	1.18			
降伏点変位 δ v (mm)	3.33	3.37	3.43	3.45	3.10	3.48	3.36	0.14			
塑性率 μ = δ u / δ v	5.41	5.93	5.26	5.22	5.81	5.62	5.54	0.29			
構造特性係数 Ds	0.32	0.30	0.32	0.33	0.31	0.31	0.32	0.01			



写真 3.5.6-1 NO.6 H90-5-5SH-1 試験前



写真 3.5.6-2 NO.6 H90-5-5SH-1 試験後



写真 3.5.6-3 NO.6 H90-5-5SH-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.6-4 NO.6 H90-5-5SH-2
ビス頭の浮き



写真 3.5.6-5 NO.6 H90-5-5SH-2
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.6-6 NO.6 H90-5-5SH-3
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.6-7 NO.6 H90-5-5SH-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.6-8 NO.6 H90-5-5SH-4
支圧の様子 (CLT 断面をカットした)

3.5.7. H90-5-5SHh

荷重変位曲線を図 3.5.7-1 に、包絡線を図 3.5.7-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 3.5.7-1 に、破壊性状を写真 3.5.7-1～写真 3.5.7-6 に示す。ビスが曲げ降伏し、ビスの折損、木材の支圧が確認された。

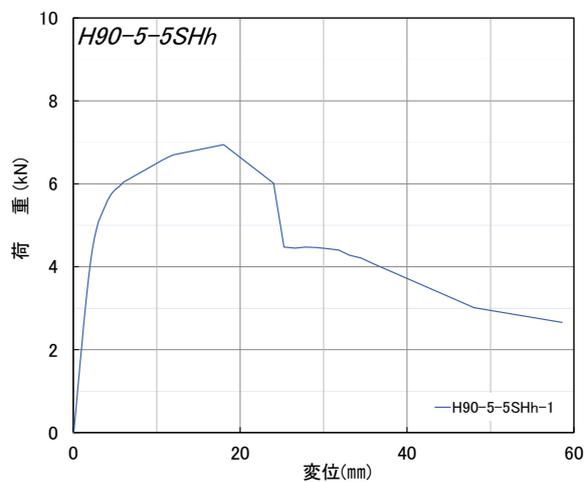
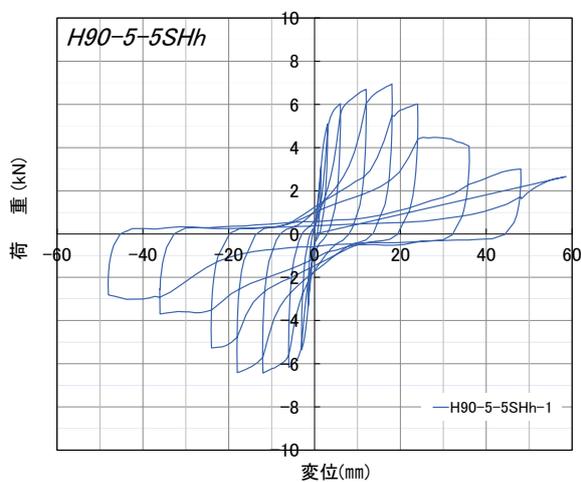


図 3.5.7-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.5.7-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.5.7-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 6 本分))

試験体記号	H90-5-5SHh
項目	
1/10Pm (kN)	4.2
1/10 δ m (mm)	0.38
2/5Pm (kN)	16.7
2/5 δ m (mm)	1.33
2/3Pm (kN)	27.8
2/3 δ m (mm)	2.48
9/10Pm (kN)	37.5
9/10 δ m (mm)	7.86
Pm (kN)	41.7
δ m (mm)	18.02
δ u時荷重 (kN)	36.1
δ u (mm)	24.00
降伏耐力 Py (kN)	27.9
δ y (mm)	2.49
終局耐力 Pu (kN)	38.7
初期剛性 K (kN/mm)	11.20
降伏点変位 δ v (mm)	3.46
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	6.94
構造特性係数 Ds	0.28



写真 3.5.7-1 NO.7 H90-5-5SHh-1 試験前



写真 3.5.7-2 NO.7 H90-5-5SHh-1 試験後
ビス頭の浮き



写真 3.5.7-3 NO.7 H90-5-5SHh-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.7-4 NO.7 H90-5-5SHh-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.7-5 NO.7 H90-5-5SHh-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.7-6 NO.7 H90-5-5SHh-1
支圧の様子 (CLT 断面をカットした)

3.5.8. H90-5-7S

荷重変位曲線を図 3.5.8-1 に、包絡線を図 3.5.8-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 3.5.8-1 に、破壊性状を写真 3.5.8-1～写真 3.5.8-8 に示す。ビスが曲げ降伏し、ビスの折損、木材の支圧が確認された。

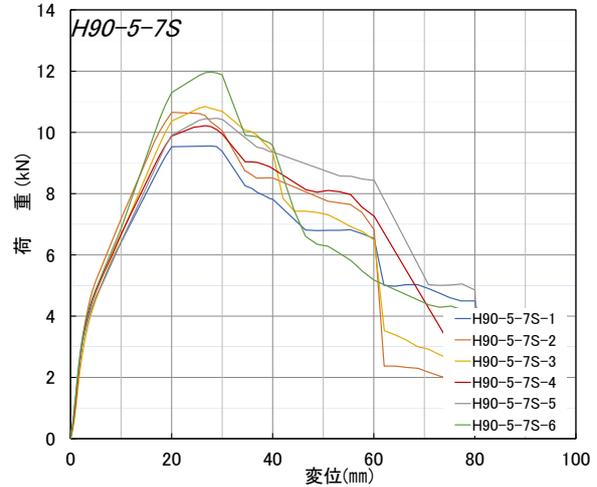
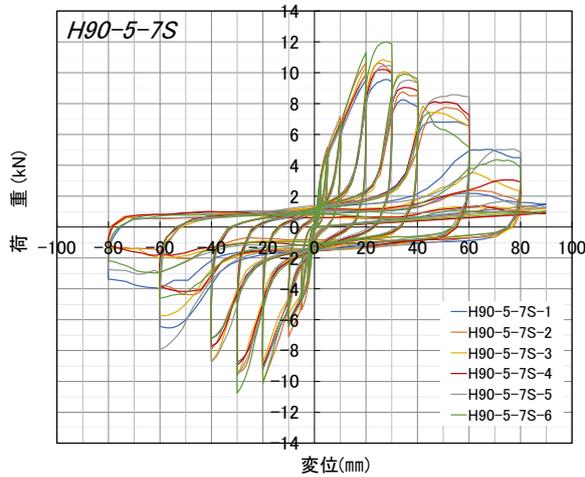


図 3.5.8-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.5.8-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.5.8-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 6 本分))

試験体記号 項目	H90-5-7S(正)						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	50% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	5.7	6.4	6.5	6.1	6.3	7.2	6.4	0.50			
1/10 δ m (mm)	0.81	0.86	1.09	0.90	0.83	0.87	0.89	0.10			
2/5Pm (kN)	22.9	25.6	26.0	24.5	25.1	28.7	25.5	1.92			
2/5 δ m (mm)	3.36	3.46	4.60	3.55	4.00	4.77	3.96	0.61			
2/3Pm (kN)	38.2	42.6	43.4	40.9	41.8	47.9	42.5	3.21	0.076	0.977	41.5
2/3 δ m (mm)	9.89	9.83	11.51	10.39	11.53	12.39	10.92	1.04			
9/10Pm (kN)	51.6	57.5	58.6	55.2	56.5	64.7	57.4	4.34			
9/10 δ m (mm)	16.79	16.30	18.07	17.47	18.39	18.47	17.58	0.89			
Pm (kN)	57.3	63.9	65.1	61.3	62.8	71.8	63.7	4.80			
δ m (mm)	27.76	20.03	26.61	26.65	28.88	27.77	26.28	3.18			
δ u時荷重 (kN)	56.3	60.3	64.1	59.7	62.5	71.3	62.4	5.12			
δ u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00			
降伏耐力 Py (kN)	25.0	27.9	27.4	26.5	25.9	29.1	27.0	1.47	0.054	0.984	26.5
δ v (mm)	4.02	4.02	5.07	4.16	4.31	4.91	4.42	0.46			
終局耐力 Pu (kN)	50.2	55.8	56.6	52.8	53.2	61.3	55.0	3.85	0.070	0.979	53.8
初期剛性 K (kN/mm)	6.22	6.94	5.40	6.37	6.01	5.93	6.15	0.51			
降伏点変位 δ v (mm)	8.07	8.04	10.48	8.29	8.85	10.34	9.01	1.12			
塑性率 μ = δ u / δ v	3.72	3.73	2.86	3.62	3.39	2.90	3.37	0.40			
構造特性係数 Ds	0.39	0.39	0.46	0.40	0.42	0.46	0.42	0.03			



写真 3.5.8-1 NO.8 H90-5-7S-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.8-2 NO.8 H90-5-7S-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.8-3 NO.8 H90-5-7S-2
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.8-4 NO.8 H90-5-7S-3



写真 3.5.8-5 NO.8 H90-5-7S-2
ビスの折損、木材の支圧

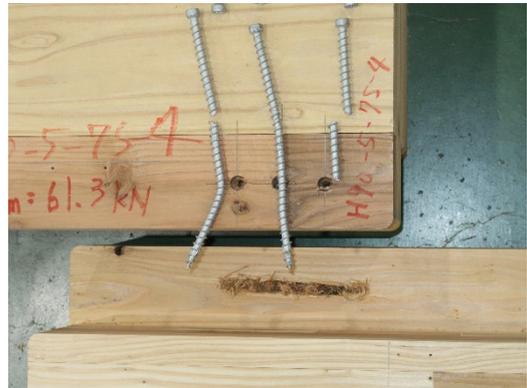


写真 3.5.8-6 NO.8 H90-5-7S-3
ビスの折損、木材の支圧

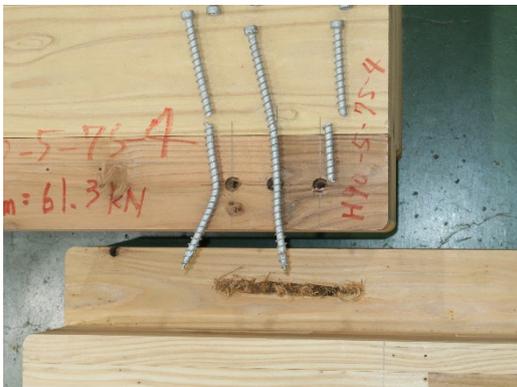


写真 3.5.8-7 NO.8 H90-5-7S-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.8-8 NO.8 H90-5-7S-1
支圧の様子 (CLT 断面をカットした)

3.5.9. H90-5-7W

荷重変位曲線を図 3.5.9-1 に、包絡線を図 3.5.9-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 3.5.9-1 に、破壊性状を写真 3.5.9-1～写真 3.5.9-8 に示す。ビスが曲げ降伏し、ビスの折損、木材の支圧が確認された。

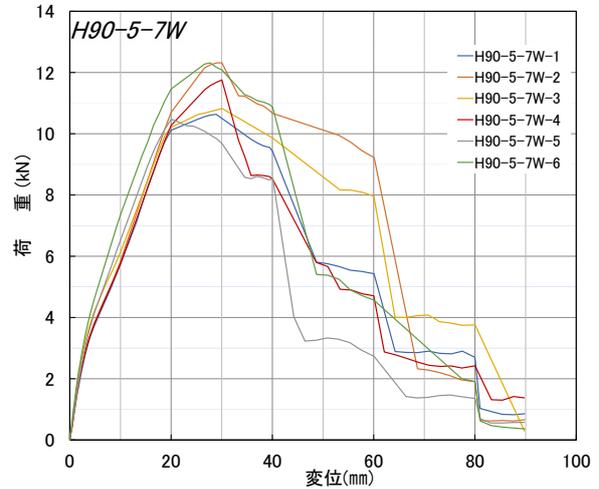
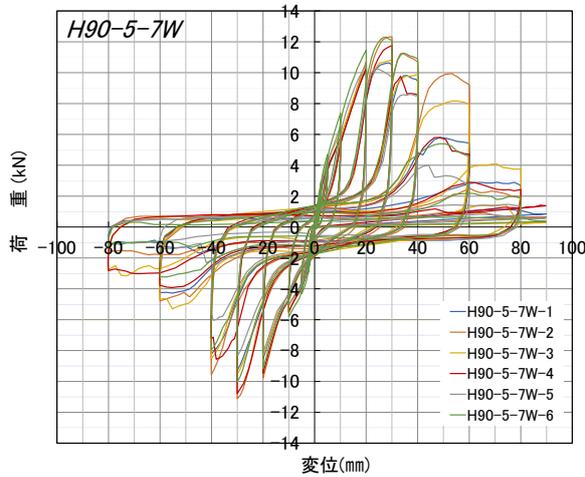


図 3.5.9-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.5.9-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.5.9-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 6 本分))

試験体記号 項目	H90-5-7W						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	50% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	6.4	7.4	6.5	7.1	6.3	7.4	6.9	0.51			
1/10 δ m (mm)	1.02	1.17	0.91	1.08	0.95	0.90	1.01	0.11			
2/5Pm (kN)	25.5	29.6	26.0	28.2	25.1	29.6	27.3	2.06			
2/5 δ m (mm)	6.24	7.76	5.17	7.27	4.94	5.42	6.13	1.17			
2/3Pm (kN)	42.5	49.3	43.3	47.0	41.9	49.3	45.6	3.40	0.075	0.978	44.5
2/3 δ m (mm)	13.11	14.80	12.49	14.51	11.01	11.89	12.97	1.48			
9/10Pm (kN)	57.4	66.5	58.5	63.5	56.6	66.5	61.5	4.56			
9/10 δ m (mm)	18.33	21.76	18.30	21.73	16.54	18.78	19.24	2.09			
Pm (kN)	63.8	73.9	65.0	70.5	62.9	73.9	68.3	5.06			
δ m (mm)	28.90	30.00	30.00	30.00	20.05	27.74	27.78	3.89			
δ u時荷重 (kN)	63.0	73.9	65.0	70.5	58.1	72.5	67.2	6.15			
δ u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00			
降伏耐力 Py (kN)	27.4	40.5	26.1	37.0	25.9	33.9	31.8	6.23	0.196	0.942	29.9
δ y (mm)	7.06	11.83	5.22	10.89	5.22	6.79	7.84	2.85			
終局耐力 Pu (kN)	58.6	73.4	55.9	68.3	56.0	66.6	63.1	7.32	0.116	0.966	60.9
初期剛性 K (kN/mm)	3.88	3.42	5.00	3.40	4.96	4.99	4.28	0.79			
降伏点変位 δ v (mm)	15.10	21.46	11.18	20.09	11.29	13.35	15.41	4.42			
塑性率 μ = δ u / δ v	1.99	1.40	2.68	1.49	2.66	2.25	2.08	0.56			
構造特性係数 Ds	0.58	0.75	0.48	0.71	0.48	0.53	0.59	0.12			

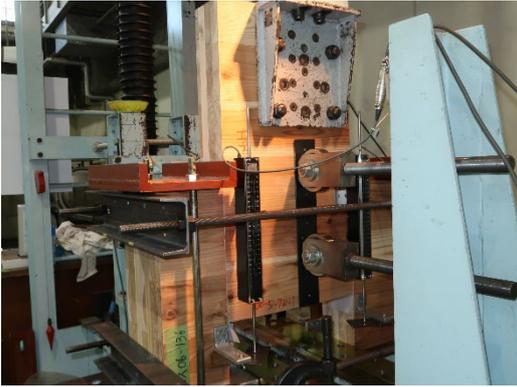


写真 3.5.9-1 NO.9 H90-5-7W-1 試験前



写真 3.5.9-2 NO.9 H90-5-7W-1 試験後



写真 3.5.9-3 NO.9 H90-5-7W-2
ビス頭のめり込み



写真 3.5.9-4 NO.9 H90-5-7W-2
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.5.9-5 NO.9 H90-5-7W-2
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 3.5.9-6 NO.9 H90-5-7W-3
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 3.5.9-7 NO.9 H90-5-7W-4
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 3.5.9-8 NO.9 H90-5-7W
支圧の様子 (CLT 断面をカットした)

3.5.10. H90-5-7W8d

荷重変位曲線を図 3.5.10-1 に、包絡線を図 3.5.10-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 3.5.10-1 に、破壊性状を写真 3.5.10-1～写真 3.5.10-6 に示す。ビスが曲げ降伏し、ビスの折損、木材の支圧が確認された。

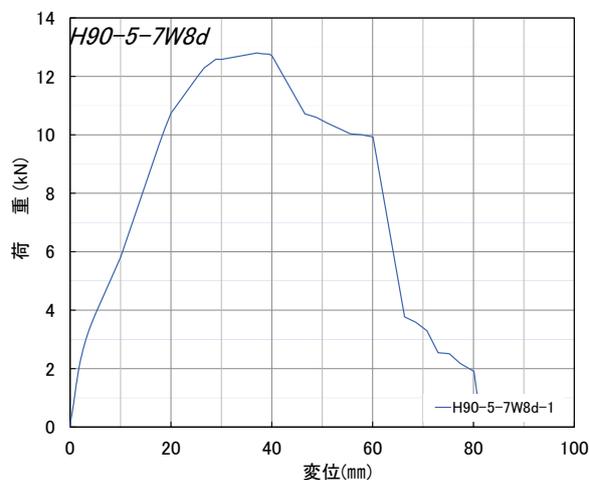
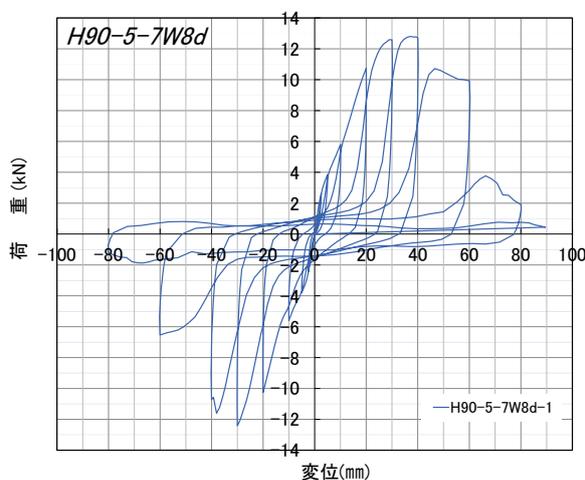


図 3.5.10-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.5.10-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.5.10-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 6 本分))

試験体記号	H90-5-7W8d
項目	
1/10Pm (kN)	7.6
1/10 δ m (mm)	1.06
2/5Pm (kN)	30.2
2/5 δ m (mm)	8.02
2/3Pm (kN)	50.4
2/3 δ m (mm)	15.12
9/10Pm (kN)	68.0
9/10 δ m (mm)	22.48
Pm (kN)	75.5
δ m (mm)	28.90
δ u時荷重 (kN)	75.5
δ u (mm)	30.00
降伏耐力 Py (kN)	45.2
δ y (mm)	13.43
終局耐力 Pu (kN)	76.5
初期剛性 K (kN/mm)	3.37
降伏点変位 δ v (mm)	22.70
塑性率 μ = δ u / δ v	1.32
構造特性係数 Ds	0.78



写真 3.5.10-1 NO.10 H90-5-7W8d-1
試験前



写真 3.5.10-2 NO.10 H90-5-7W8d-1
試験後



写真 3.5.10-3 NO.10 H90-5-7W8d-1
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 3.5.10-4 NO.10 H90-5-7W8d-1
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 3.5.10-5 NO.10 H90-5-7W8d-1
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 3.5.10-6 NO.10 H90-5-7W8d-1
支圧の様子 (CLT 断面をカットした)

3.5.11. H45-5-5S

加力方向に斜め打ちした試験体仕様は、正の包絡線（第1象限）と負の包絡線（第3象限）が異なる性状を示す。このため、正負それぞれ評価を行ったもの、正負の包絡線の変位ごとの荷重の平均を取ったもの（以下、「正負合成」）について評価を行った。

荷重変位曲線を図 3.5.11-1 に、上記 3 種の包絡線を図 3.5.11-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 3.5.11-1～表 3.5.11-3 に、破壊性状を写真 3.5.11-1～写真 3.5.11-10 に示す。破壊性状は、ビスの折損、引き抜けが確認された。

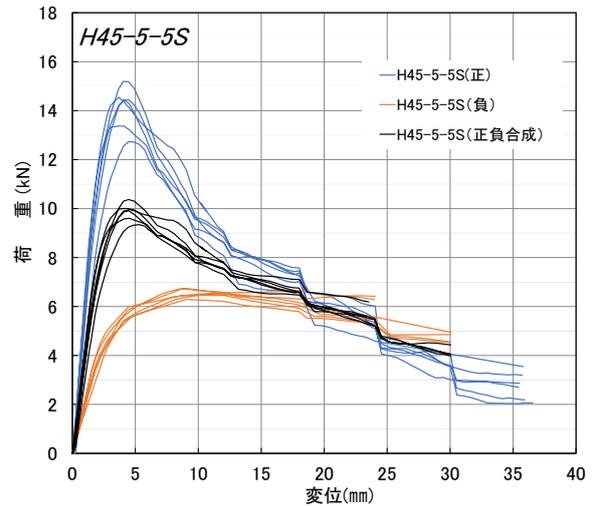
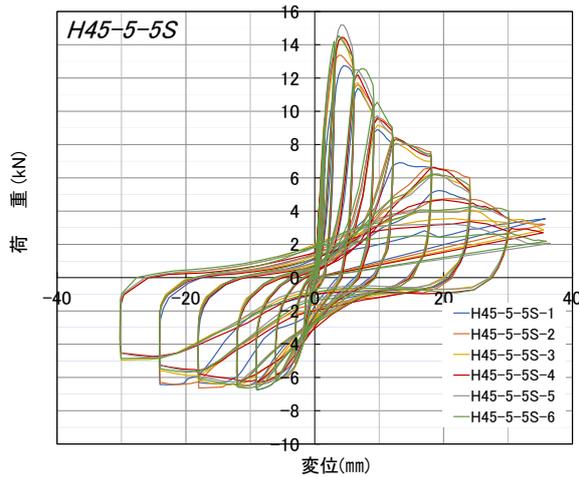


図 3.5.11-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.5.11-2 包絡線(ビス 1 本あたり)

表 3.5.11-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 6 本分))・正

試験体記号 項目	H45-5-5S(正)						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	50% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	7.6	8.0	8.7	8.7	9.1	8.7	8.5	0.55			
1/10 δ m (mm)	0.50	0.26	0.36	0.24	0.37	0.32	0.34	0.09			
2/5Pm (kN)	30.6	32.1	34.6	34.7	36.5	34.9	33.9	2.15			
2/5 δ m (mm)	1.20	0.82	1.07	0.93	1.05	0.95	1.00	0.13			
2/3Pm (kN)	50.9	53.5	57.7	57.8	60.8	58.2	56.5	3.60	0.064	0.981	55.4
2/3 δ m (mm)	1.95	1.38	1.85	1.70	1.80	1.58	1.71	0.21			
9/10Pm (kN)	68.8	72.2	77.9	78.0	82.0	78.6	76.3	4.82			
9/10 δ m (mm)	3.20	2.19	2.96	2.78	2.95	2.46	2.76	0.37			
Pm (kN)	76.4	80.2	86.6	86.6	91.2	87.3	84.7	5.39			
δ m (mm)	4.46	3.70	4.07	4.09	4.05	3.69	4.01	0.29			
δ u時荷重 (kN)	61.1	64.2	69.3	69.3	72.9	69.8	67.8	4.30			
δ u (mm)	8.60	8.47	6.91	7.51	7.26	8.98	7.96	0.84			
降伏耐力 Py (kN)	45.8	49.2	48.6	48.3	51.9	53.3	49.5	2.69	0.054	0.984	48.7
δ y (mm)	1.74	1.25	1.50	1.34	1.49	1.41	1.46	0.17			
終局耐力 Pu (kN)	69.0	73.7	78.2	79.1	82.3	79.0	76.9	4.75	0.062	0.982	75.5
初期剛性 K (kN/mm)	26.32	39.36	32.40	36.04	34.83	37.80	34.46	4.65			
降伏点変位 δ v (mm)	2.62	1.87	2.41	2.19	2.36	2.09	2.26	0.26			
塑性率 μ = δ u / δ v	3.28	4.53	2.87	3.43	3.08	4.30	3.58	0.68			
構造特性係数 Ds	0.42	0.35	0.46	0.41	0.44	0.36	0.41	0.04			

表 3.5.11-2 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 6 本分))・負

試験体記号 項目	H45-5-5S(負)						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	50% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	4.0	4.0	3.9	3.8	3.9	4.0	3.9	0.08			
1/10 δ m (mm)	0.33	0.40	0.37	0.19	0.36	0.29	0.32	0.08			
2/5Pm (kN)	16.2	15.9	15.6	15.1	15.5	16.1	15.7	0.41			
2/5 δ m (mm)	1.46	1.22	1.37	1.22	1.60	1.21	1.35	0.16			
2/3Pm (kN)	27.0	26.5	26.0	25.1	25.9	26.8	26.2	0.70	0.027	0.992	25.9
2/3 δ m (mm)	2.78	2.17	2.66	2.35	2.78	2.34	2.51	0.26			
9/10Pm (kN)	36.4	35.8	35.2	33.9	34.9	36.2	35.4	0.93			
9/10 δ m (mm)	5.33	4.43	6.13	5.00	5.35	5.19	5.24	0.55			
Pm (kN)	40.5	39.8	39.1	37.7	38.8	40.2	39.4	1.03			
δ m (mm)	9.00	18.00	11.73	9.03	10.12	8.64	11.09	3.57			
δ u時荷重 (kN)	38.5	37.8	31.3	30.2	31.0	32.2	33.5	3.66			
δ u (mm)	24.04	24.00	27.51	24.53	24.29	24.22	24.77	1.36			
降伏耐力 Py (kN)	24.5	24.4	24.2	23.8	25.6	24.3	24.5	0.61	0.025	0.993	24.3
δ y (mm)	2.38	1.93	2.33	2.13	2.74	1.96	2.25	0.30			
終局耐力 Pu (kN)	38.3	38.2	35.8	34.7	35.8	36.5	36.6	1.44	0.039	0.988	36.1
初期剛性 K (kN/mm)	10.29	12.64	10.39	11.17	9.34	12.40	11.04	1.29			
降伏点変位 δ v (mm)	3.72	3.02	3.45	3.11	3.83	2.94	3.35	0.38			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	6.46	7.95	7.97	7.89	6.34	8.24	7.48	0.84			
構造特性係数 Ds	0.29	0.26	0.26	0.26	0.29	0.25	0.27	0.02			

表 3.5.11-3 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 6 本分))・正負合成

試験体記号 項目	H45-5-5S(正負合成)						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	50% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	5.6	5.8	5.9	6.0	6.2	6.0	5.9	0.20			
1/10 δ m (mm)	0.44	0.28	0.35	0.22	0.36	0.30	0.33	0.08			
2/5Pm (kN)	22.4	23.0	23.8	23.9	24.9	24.0	23.7	0.87			
2/5 δ m (mm)	1.21	0.89	1.09	0.95	1.11	0.96	1.04	0.12			
2/3Pm (kN)	37.4	38.4	39.6	39.8	41.5	40.0	39.5	1.41	0.036	0.989	39.0
2/3 δ m (mm)	2.04	1.49	1.87	1.75	1.95	1.60	1.78	0.21			
9/10Pm (kN)	50.5	51.9	53.5	53.8	56.0	54.0	53.3	1.89			
9/10 δ m (mm)	3.40	2.44	3.06	2.91	3.13	2.56	2.92	0.36			
Pm (kN)	56.1	57.6	59.5	59.8	62.2	60.0	59.2	2.11			
δ m (mm)	5.29	4.52	4.48	4.52	4.47	4.11	4.57	0.39			
δ u時荷重 (kN)	44.8	46.1	47.6	47.8	49.8	48.0	47.4	1.72			
δ u (mm)	11.20	12.21	9.42	9.63	9.42	11.36	10.54	1.20			
降伏耐力 Py (kN)	33.1	35.5	34.8	34.4	34.4	37.5	35.0	1.47	0.042	0.988	34.5
δ y (mm)	1.76	1.36	1.60	1.45	1.55	1.48	1.53	0.14			
終局耐力 Pu (kN)	50.8	52.1	53.4	54.5	56.2	55.6	53.8	2.08	0.039	0.988	53.1
初期剛性 K (kN/mm)	18.81	26.10	21.75	23.72	22.19	25.34	22.99	2.66			
降伏点変位 δ v (mm)	2.70	2.00	2.46	2.30	2.53	2.19	2.36	0.25			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	4.15	6.11	3.83	4.19	3.72	5.19	4.53	0.93			
構造特性係数 Ds	0.37	0.30	0.39	0.37	0.39	0.33	0.36	0.04			



写真 3.5.11-1 NO.11 H45-5-5S-1 試験前



写真 3.5.11-2 NO.11 H45-5-5S-1 試験後



写真 3.5.11-3 NO.11 H45-5-5S-1
ビスの引き抜け



写真 3.5.11-4 NO.11 H45-5-5S-1
ビスの引き抜け

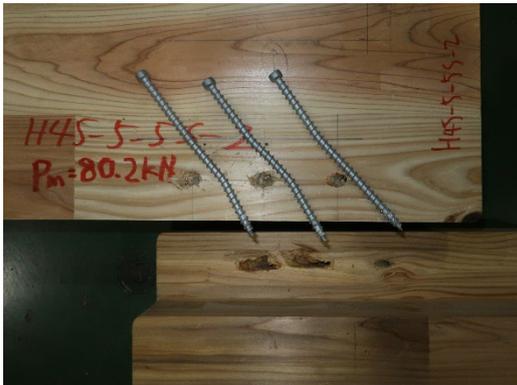


写真 3.5.11-5 NO.11 H45-5-5S-2
ビスの引き抜け



写真 3.5.11-6 NO.11 H45-5-5S-2
ビスの引き抜け



写真 3.5.11-7 NO.11 H45-5-5S-3
ビスの折損、引き抜け



写真 3.5.11-8 NO.11 H45-5-5S-4
ビスの折損、引き抜け



写真 3.5.11-9 NO.11 H45-5-5S-5
ビスの引き抜け



写真 3.5.11-10 NO.11 H45-5-5S-6
ビスの折損、引き抜け

3.5.12. H45-5-7S

荷重変位曲線を図 3.5.12-1 に、包絡線を図 3.5.12-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）の正の包絡線(第 1 象限)の評価を表 3.5.12-1 に、負の包絡線(第 3 象限)の評価を表 3.5.12-2 に、破壊性状を写真 3.5.12-1～写真 3.5.12-10 に示す。ビスの折損、引き抜けが確認された。

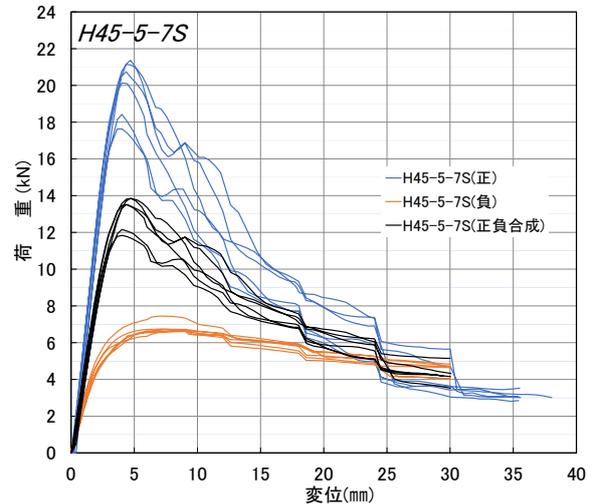
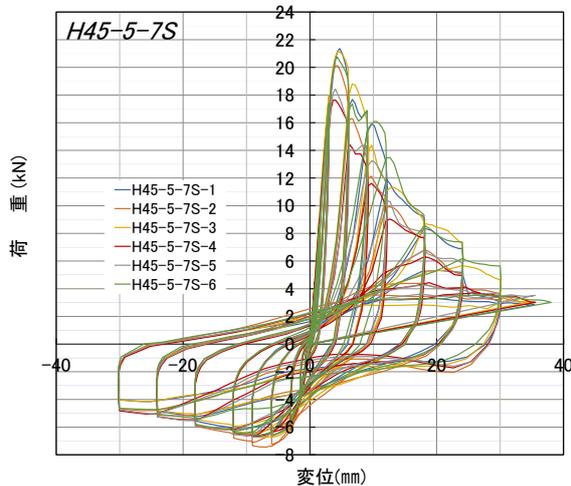


図 3.5.12-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.5.12-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.5.12-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 6 本分))・正

試験体記号 項目	H45-5-7S(正)						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	50% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	12.8	12.1	12.7	10.6	11.1	12.4	12.0	0.90			
1/10 δ m (mm)	0.59	0.41	0.47	0.31	0.66	0.50	0.49	0.13			
2/5Pm (kN)	51.3	48.3	50.8	42.3	44.2	49.8	47.8	3.71			
2/5 δ m (mm)	1.62	1.32	1.40	1.17	1.45	1.46	1.40	0.15			
2/3Pm (kN)	85.5	80.5	84.6	70.5	73.7	83.0	79.6	6.16	0.077	0.977	77.7
2/3 δ m (mm)	2.56	2.14	2.24	1.95	2.21	2.34	2.24	0.20			
9/10Pm (kN)	115.4	108.7	114.2	95.2	99.5	112.0	107.5	8.30			
9/10 δ m (mm)	3.62	3.12	3.34	2.81	3.07	3.36	3.22	0.28			
Pm (kN)	128.2	120.8	126.9	105.8	110.6	124.5	119.5	9.21			
δ m (mm)	4.70	4.03	4.39	4.04	4.02	4.35	4.26	0.27			
δ u時荷重 (kN)	102.6	96.6	101.5	84.6	88.4	99.6	95.6	7.40			
δ u (mm)	7.35	6.90	8.52	6.78	6.49	7.12	7.19	0.71			
降伏耐力 Py (kN)	81.6	82.1	83.0	69.7	65.5	78.8	76.8	7.37	0.096	0.971	74.5
δ y (mm)	2.45	2.18	2.20	1.93	1.99	2.22	2.16	0.19			
終局耐力 Pu (kN)	114.9	110.5	115.6	98.4	99.5	114.1	108.8	7.86	0.072	0.979	106.5
初期剛性 K (kN/mm)	33.31	37.66	37.73	36.11	32.91	35.50	35.54	2.07			
降伏点変位 δ v (mm)	3.45	2.93	3.06	2.73	3.02	3.21	3.07	0.25			
塑性率 μ = δ u / δ v	2.13	2.35	2.78	2.48	2.15	2.22	2.35	0.25			
構造特性係数 Ds	0.55	0.52	0.47	0.50	0.55	0.54	0.52	0.03			

表 3.5.12-2 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 6 本分))・負

試験体記号 項目	H45-5-7S						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	50% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	4.0	4.5	4.0	4.0	4.0	4.0	4.1	0.20			
1/10 δ m (mm)	0.20	0.25	0.19	0.20	0.26	0.24	0.22	0.03			
2/5Pm (kN)	15.9	17.9	16.2	16.0	16.1	15.9	16.3	0.78			
2/5 δ m (mm)	1.14	1.01	0.96	0.89	1.06	1.14	1.03	0.10			
2/3Pm (kN)	26.5	29.8	27.0	26.6	26.9	26.4	27.2	1.29	0.047	0.986	26.8
2/3 δ m (mm)	2.11	1.93	1.84	1.79	2.05	1.99	1.95	0.12			
9/10Pm (kN)	35.8	40.2	36.4	36.0	36.3	35.7	36.7	1.72			
9/10 δ m (mm)	3.77	3.87	3.38	3.85	4.34	3.85	3.84	0.31			
Pm (kN)	39.7	44.7	40.5	40.0	40.4	39.6	40.8	1.94			
δ m (mm)	8.68	7.12	7.13	8.71	9.02	9.00	8.28	0.90			
δ u時荷重 (kN)	31.8	35.8	32.4	32.0	32.3	31.7	32.7	1.56			
δ u (mm)	18.43	17.76	18.06	22.82	22.15	19.81	19.84	2.18			
降伏耐力 Py (kN)	24.0	26.6	23.4	24.3	24.2	26.1	24.8	1.28	0.052	0.985	24.4
δ y (mm)	1.83	1.66	1.55	1.57	1.73	1.96	1.72	0.16			
終局耐力 Pu (kN)	36.9	40.3	37.0	36.4	36.7	36.9	37.4	1.45	0.039	0.988	36.9
初期剛性 K (kN/mm)	13.11	16.02	15.10	15.48	13.99	13.32	14.50	1.20			
降伏点変位 δ v (mm)	2.81	2.52	2.45	2.35	2.62	2.77	2.59	0.18			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	6.56	7.05	7.37	9.71	8.45	7.15	7.72	1.16			
構造特性係数 Ds	0.29	0.28	0.27	0.23	0.25	0.27	0.27	0.02			

表 3.5.12-3 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 6 本分))・正負合成

試験体記号 項目	H45-5-7S(正)						平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	50% 下限値
	1	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	8.3	8.1	8.3	7.1	7.3	8.1	7.9	0.53			
1/10 δ m (mm)	0.49	0.36	0.40	0.27	0.55	0.43	0.42	0.10			
2/5Pm (kN)	33.3	32.4	33.2	28.4	29.2	32.5	31.5	2.14			
2/5 δ m (mm)	1.49	1.21	1.28	1.08	1.33	1.35	1.29	0.14			
2/3Pm (kN)	55.4	54.1	55.4	47.4	48.6	54.1	52.5	3.55	0.068	0.980	51.4
2/3 δ m (mm)	2.46	2.06	2.16	1.86	2.11	2.25	2.15	0.20			
9/10Pm (kN)	74.8	73.0	74.7	63.9	65.6	73.0	70.8	4.81			
9/10 δ m (mm)	3.59	3.11	3.30	2.78	3.04	3.37	3.20	0.28			
Pm (kN)	83.2	81.1	83.0	71.0	72.9	81.1	78.7	5.35			
δ m (mm)	4.70	4.44	4.78	4.04	4.02	4.35	4.39	0.32			
δ u時荷重 (kN)	66.5	64.9	66.4	56.8	58.4	64.9	63.0	4.26			
δ u (mm)	10.22	8.39	9.24	9.29	10.65	11.85	9.94	1.23			
降伏耐力 Py (kN)	47.9	47.8	49.8	41.2	41.6	48.1	46.1	3.69	0.080	0.976	44.9
δ y (mm)	2.11	1.79	1.93	1.59	1.80	1.98	1.87	0.18			
終局耐力 Pu (kN)	73.4	73.7	76.5	64.6	64.7	71.7	70.8	4.98	0.070	0.979	69.3
初期剛性 K (kN/mm)	22.70	26.70	25.80	25.91	23.11	24.29	24.75	1.63			
降伏点変位 δ v (mm)	3.23	2.76	2.97	2.49	2.80	2.95	2.87	0.25			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	3.16	3.04	3.11	3.73	3.80	4.02	3.48	0.42			
構造特性係数 Ds	0.43	0.44	0.44	0.39	0.39	0.38	0.41	0.03			



写真 3.5.12-1 NO.12 H45-5-7S-1 試験前

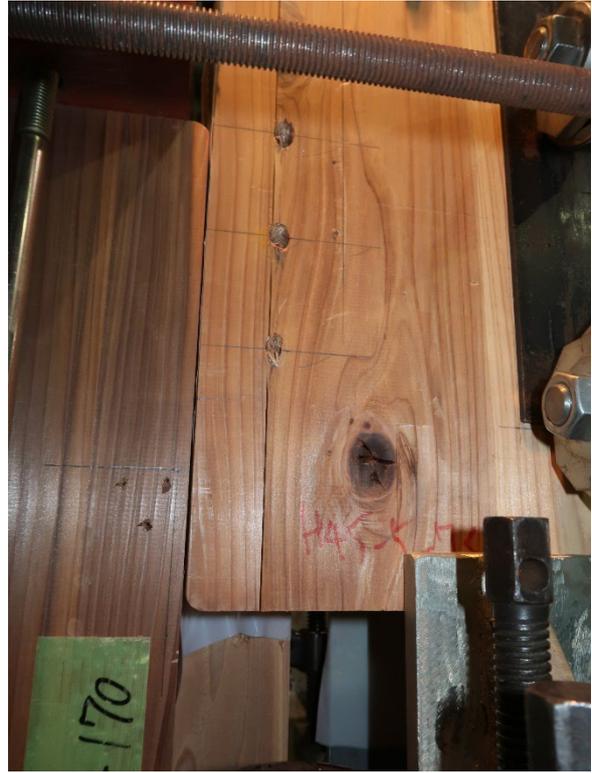


写真 3.5.12-2 NO.12 H45-5-7S-2 試験後



写真 3.5.12-3 NO.12 H45-5-7S-1
ビスの引き抜け



写真 3.5.12-4 NO.12 H45-5-7S-1
ビスの引き抜け



写真 3.5.12-5 NO.12 H45-5-7S-2
ビスの引き抜け



写真 3.5.12-6 NO.12 H45-5-7S-3
ビスの引き抜け



写真 3.5.12-7 NO.12 H45-5-7S-4
ビスの折損、引き抜け



写真 3.5.12-8 NO.12 H45-5-7S-5
ビスの折損、引き抜け



写真 3.5.12-9 NO.12 H45-5-7S-6
ビスの折損、引き抜け



写真 3.5.12-10 NO.12 H45-5-7S
支圧の様子 (CLT 断面をカットした)

3.6. 特性値の比較

3.6.1. 斜め交差打ちビス接合

(1) 包絡線の比較

斜め交差打ちビス接合の包絡線（試験体の整理番号 No. 1～3）を図 3.6.1-1 に示す。

弱軸仕様 1 体は強軸仕様 6 体のうちの最小値の包絡線をなぞる結果になった。

5 層 5 プライより 5 層 7 プライの最大耐力の方が高い結果となったが、ビスの長さ倍にはなっていない（5 層 5 プライのビス長さ 180mm のうち側材の埋め込み長さ約 92 mm に対して、5 層 7 プライのビス長さ 260mm のうち側材の埋め込み長さ約 130 mm）。正負交番加力によってビスが切れるため、最大耐力が一定以上に伸びないことが原因と思われる。

・ 5 層 7 プライはローブ効果によってグラフが下に凸の形状となった。

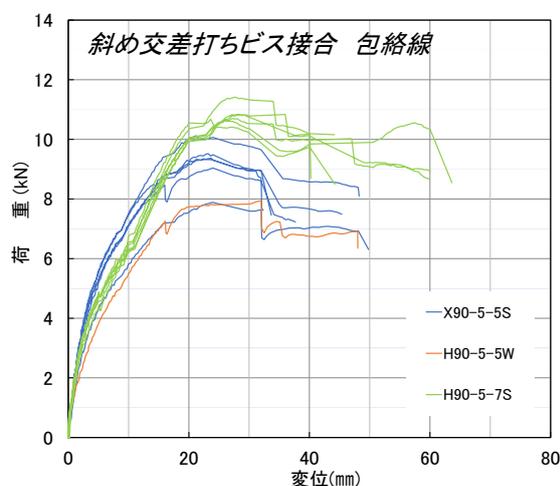


図 3.6.1-1 斜め交差打ちビス接合
包絡線全て

(2) 各特性値の比較

各特性値の数値を元に、包絡線の形状より精緻な比較を行った。

① 降伏耐力（図 3.6.1-2）

・ 弱軸仕様は 1 体しか行っていないため、安易に有意性の有無を結論づけることは難しい。弱軸仕様の 1 体は、強軸仕様の一番小さい値とほぼ同じ値であった（試験体 No. 1 と No. 2 の比較）。

・ 5 層 5 プライと 5 層 7 プライの違いは見られなかった（試験体 No. 1 と No. 3 の比較）。

② 終局耐力（図 3.6.1-3）

・ 弱軸仕様は 1 体しか行っていないため、安易に有意性の有無を結論づけることは難しい。弱軸仕様の 1 体は、強軸仕様の一番小さい値とほぼ同じ値であった（試験体 No. 1 と No. 2 の比較）。

・ 5 層 5 プライと 5 層 7 プライの違いは見られなかった（試験体 No. 1 と No. 3 の比較）。

③ 初期剛性（図 3.6.1-4）

・ 弱軸仕様は 1 体しか行っていないため、安易に有意性の有無を結論づけることは難し

い。弱軸仕様の1体は強軸仕様の一番小さい値より低かったので弱軸仕様の方が小さくなると思われる（試験体 No. 1 と No. 2 の比較）。

- ・5層7プライより5層5プライの方がやや高い（試験体 No. 1 と No.3 の比較）。

④ 塑性率（図 3.6.1-5）

- ・強軸仕様と弱軸仕様の違いは見られなかった（試験体 No. 1 と No. 2 の比較）。
- ・5層7プライと5層5プライの違いは見られなかった（試験体 No. 1 と No.3 の比較）。

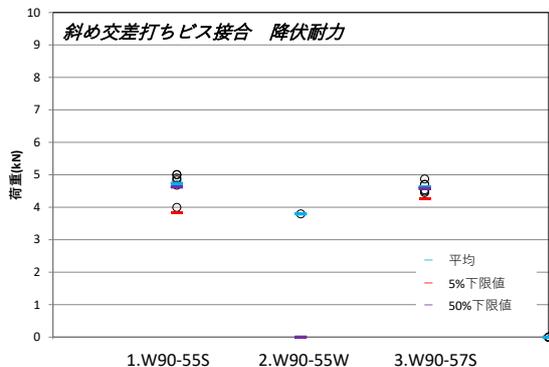


図 3.6.1-2 斜め交差打ちビス接合 降伏耐力の比較

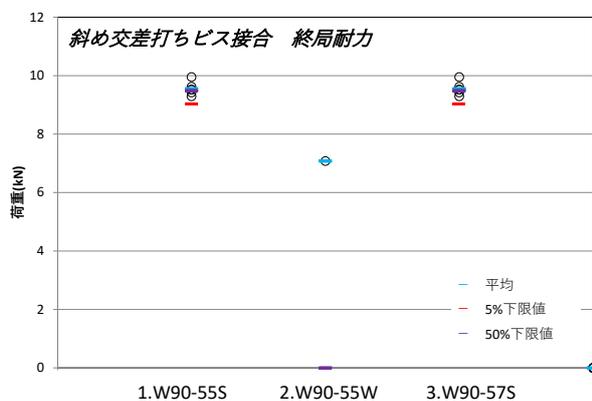


図 3.6.1-3 斜め交差打ちビス接合 終局耐力の比較

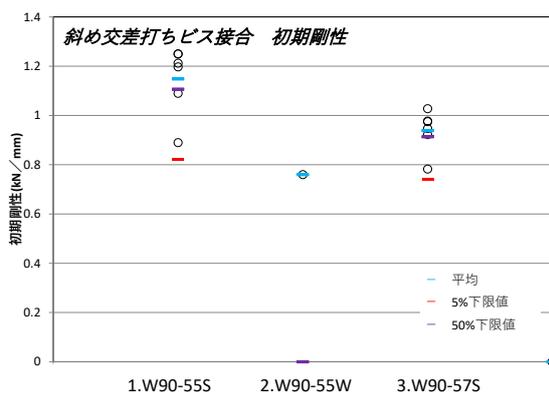


図 3.6.1-4 斜め交差打ち接合 初期剛性の比較

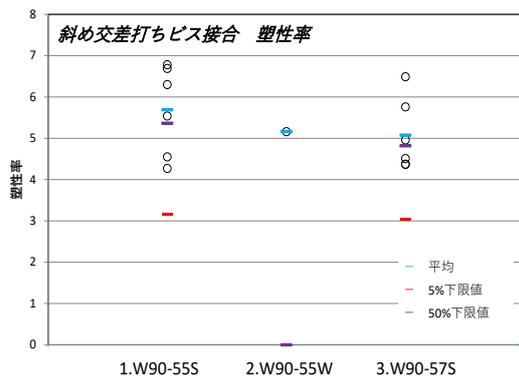


図 3.6.1-5 斜め交差打ち接合 塑性率の比較

3.6.2. ハーフラップビス接合

(1) 包絡線の比較

ハーフラップビス接合の各試験体の包絡線（試験体の整理番号 No.4~12）を図 3.6.1-1 に示す。なお加力方向に斜め打ちした No.11,12 は正負合成したグラフである。

- ・強軸仕様、弱軸仕様の違いによる影響は見られなかった（図 3.6.2-2, 図 3.6.2-6）。
- ・5層7プライはロープ効果によってグラフが下に凸の形状となった（図 3.6.2-6）。
- ・半ねじビスと全ねじビスを比較すると半ねじビスの方が脆性的で、最大耐力も低い結果となったが、剛性は高い結果となった（図 3.6.2-3）。半ねじの剛性が高いのは引き寄せ機能を有しているため、最大耐力が低いのは、耐力壁用として開発した結果、ねじ長さを短くしたこと（ロープ効果小）が起因すると考えられる。
- ・ビスの打ち込み位置を目地とした仕様は1体しか行っていないため、安易に有意性の有無を結論づけることは難しいが、結果的にその1体は目地以外とした場合の低い方のグループと同程度の値となった（図 3.6.2-4）。（既往文献⁵⁾では鋼板添板ビス接合φ6.5mmの実験では目地打ちの最大耐力が1割ほど低下。）
- ・繊維方向に対して直角打ちとした仕様と斜め打ちとした仕様を比較すると、斜め打ち仕様の方が剛性、耐力ともに高く、脆性的になった（図 3.6.2-5、図 3.6.2-7）。

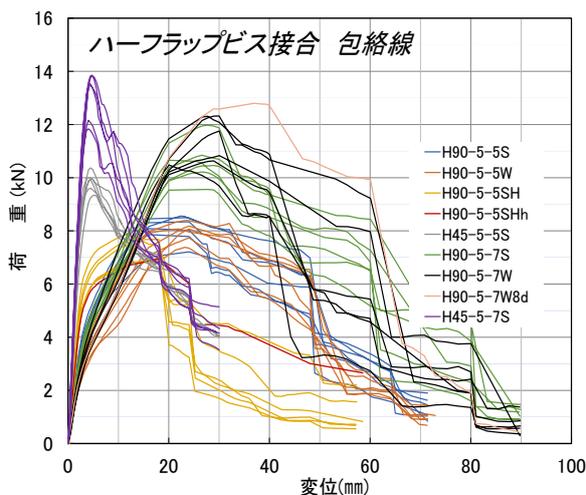


図 3.6.2-1 ハーフラップビス接合
包絡線全て

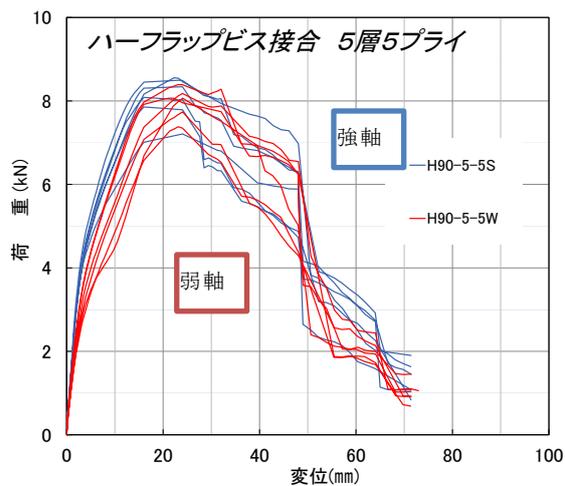


図 3.6.2-2 ハーフラップビス接合
5層5プライ 強軸×弱軸

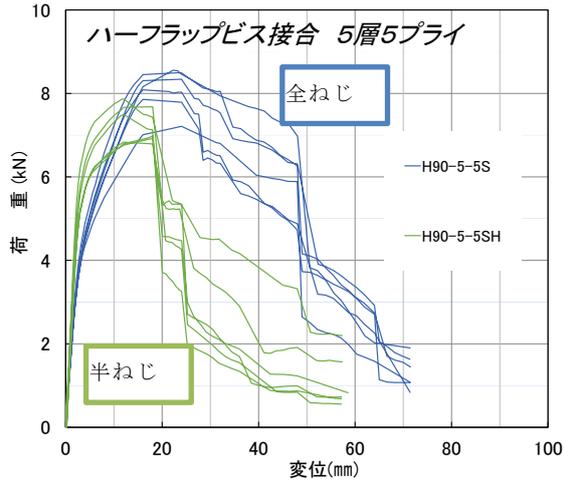


図 3.6.2-3 ハーフラップビス接合
5層5プライ全ねじ×半ねじ D9×L140

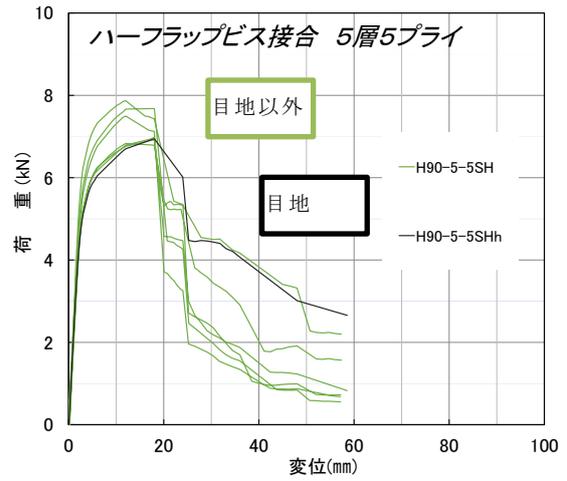


図 3.6.2-4 ハーフラップビス接合
5層5プライ 半ねじ目地以外×目地

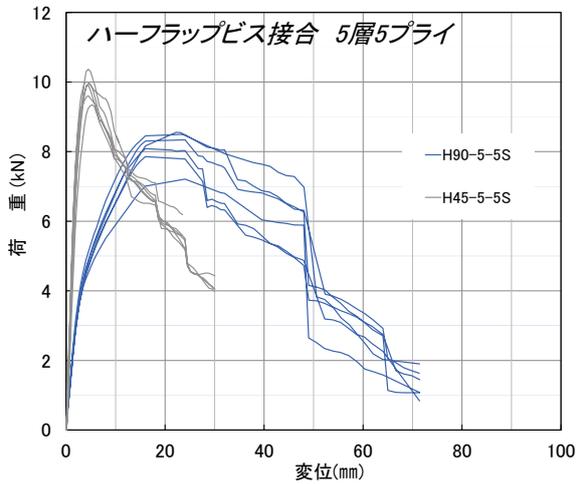


図 3.6.2-5 ハーフラップビス接合
5層5プライ 直角打ち×斜め打ち

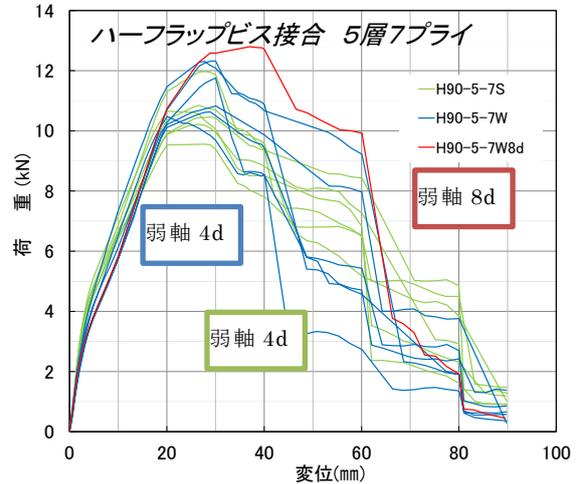


図 3.6.2-6 ハーフラップビス接合
5層7プライ 強軸×弱軸×弱軸ピッチ 8d

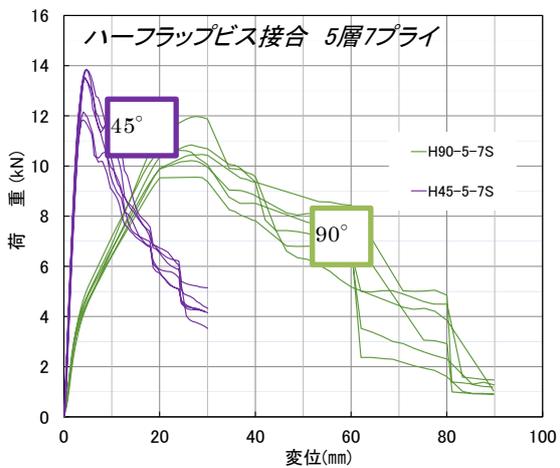


図 3.6.2-7 ハーフラップビス接合
5層7プライ 直角打ち×斜め打ち

(2) 各特性値の比較

各特性値からより精緻な数値を比較する。

なお、特性値の算出にあつては、斜め打ちのみ正負の値を平均して算出している。

① 降伏耐力 (図 3.6.2-8)

- ・強軸仕様と弱軸仕様の違いは見られなかった (No. 1 と No. 2 , No. 6 と No. 7 の比較)。
- ・5層5プライ仕様より5層7プライ仕様の方が高い結果となった (No. 1 と No. 6 , No. 2 と No. 7 の比較)。
- ・全ねじビス仕様より半ねじビス仕様の方がやや高い結果となった (No. 1 と No. 3 の比較)。
- ・目地打ち仕様は1体しか行っていないため、安易に有意性の有無を結論づけることは難しいが、目地打ちと目地以外の違いは見られなかった (No. 3 と No. 4 の比較)。
- ・直角打ち仕様より斜め打ち仕様の方が高い結果となった (No. 1 と No. 5 , No. 6 と No. 9 の比較)
- ・8d仕様は1体のみとの比較だが、ビスピッチ 4d より 8dの方が高くなった (No. 7 と No. 8 の比較)

② 終局耐力 (図 3.6.2-9)

- ・強軸仕様と弱軸仕様の違いは見られなかった (No. 1 と No. 2 , No. 6 と No. 7 の比較)。
- ・5層5プライ仕様より5層7プライ仕様の方がやや高い (No. 1 と No. 6 , No. 2 と No. 7 の比較)。5層7プライ仕様は、ビスの埋め込み長さも長いので、ローブ効果の差が明確に出ている。
- ・全ねじビス仕様と半ねじビス仕様ではあまり違い見られなかった (No. 1 と No. 3 の比較)。
- ・目地打ち仕様は1体しか行っていないため、安易に有意性の有無を結論づけることは難しいが、目地打ちと目地以外の違いは見られない (No. 3 と No. 4 の比較)。
- ・直角打ち仕様より斜め打ち仕様の方が高い (No. 1 と No. 5 , No. 6 と No. 9 の比較)
- ・8d仕様は1体のみとの比較だが、ビスピッチ 4d より 8dの方がやや高くなった (No. 7 と No. 8 の比較)。

③ 初期剛性 (図 3.6.2-10)

- ・弱軸仕様より強軸仕様の方が高い結果となった (No. 1 と No. 2 , No. 6 と No. 7 の比較)。
- ・5層5プライ仕様と5層7プライ仕様では違いがみられなかった (No. 1 と No. 6 , No. 2 と No. 7 の比較)。
- ・全ねじビス仕様より半ねじビス仕様の方が高い結果となった (No. 1 と No. 3 の比較)。
- ・目地打ち仕様1体のみとの比較だが、目地打ちと目地以外の違いは見られなかった (No. 3 と No. 4 の比較)
- ・直角打ち仕様より斜め打ち仕様の方が高い結果となった (No. 1 と No. 5 , No. 6 と No. 9 の比較)
- ・ビスピッチ 4d仕様と8d仕様では違いがみられなかった (No. 7 と No. 8 の比較)

④ 塑性率 (図 3.6.2-11)

- ・弱軸仕様より強軸仕様の方が高い結果となった (No. 1 と No. 2, No. 6 と No. 7 の比較)。
- ・5層7プライ仕様より5層5プライ仕様の方がやや高い結果となった (No. 1 と No. 6, No. 2 と No. 7 の比較)。
- ・全ねじビス仕様と半ねじビス仕様ではあまり違い見られなかった (No. 1 と No. 3 の比較)
- ・目地打ち仕様1体のみとの比較だが、目地打ち仕様の方が高い結果となった (No. 3 と No. 4 の比較)
- ・ビスピッチ 4d仕様と 8d仕様では違いがみられなかった (No. 7 と No. 8 の比較)

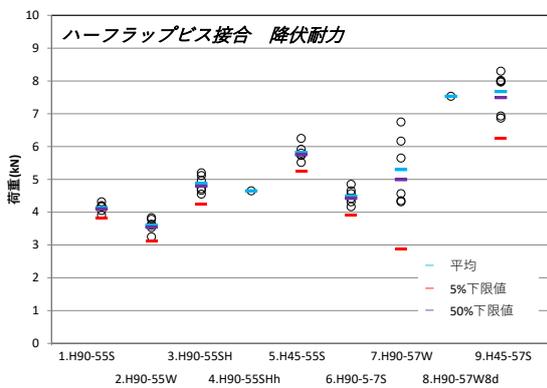


図 3.6.2-8 ハーフラップビス接合 降伏耐力の比較

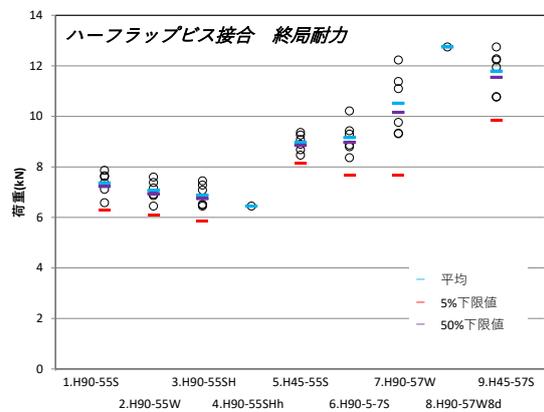


図 3.6.2-9 ハーフラップビス接合 終局耐力の比較

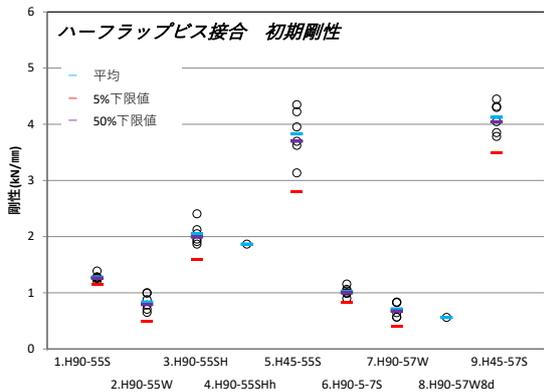


図 3.6.2-10 ハーフラップビス接合 初期剛性の比較

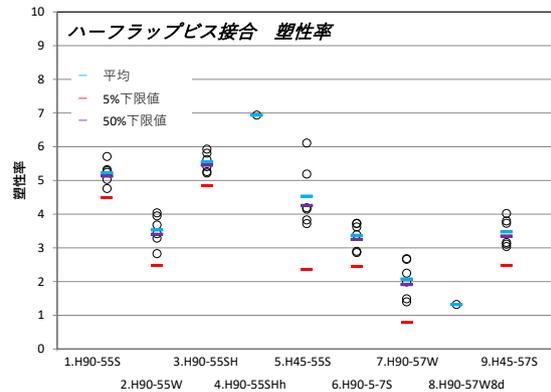


図 3.6.2-11 ハーフラップビス接合 塑性率の比較

3.7. 実験値と計算値の比較

(1) 曲げ降伏型接合部の算定結果

曲げ降伏型接合部である試験体 No.1~10 については、AIJ 規準²⁾及び接合部設計マニュアル⁶⁾の設計式を用いて表 3.7-1 のとおり算出した。

ビスの塑性モーメントは 8 章 JIS 木質構造ねじ試験、CLT の支圧強度は 7 章長ビスを用いた CLT の支圧試験の試験結果を活用した。ビスの引き抜き強度は令和 3 年度事業の実験結果を採用した。ただし、ハーフラップジョイントについては、積層方向の引き抜きとすべきだが実験では幅方向に打ったものとなっている。

表 3.7-1 曲げ降伏型接合部 試験体 No.1~10 の算定結果

項目		X90-5-5S	X90-5-5W	X90-5-7S	H90-5-5S	H90-5-5W	H90-5-5SH	H90-5-5SHh	H90-5-7S	H90-5-7W	H90-5-7W8d	備考			
試験体の仕様	ビスの仕様	ビスの有効径de(mm)	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	7.15	7.15	6.49	6.49	6.49	谷径×1.1		
		ビスの外径d(mm)	9	9	9	9	9	8	8	9	9	9			
		ビスの本数(本)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
		ビスの塑性モーメントMp(N/m)	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	8章JIS試験結果より	
		ビスの基準材料強度(N/mm ²)	1021	1021	1021	1021	1021	763	763	1021	1021	1021	1021	Mp×6/de ³	
		ビスのヤング係数E	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205	
		ビスの断面2次モーメント	87	87	87	87	87	128	128	87	87	87	87	$\pi \times de^4 / 64$	
		ビスの全長さ(mm)	180	180	260	140	140	140	140	200	200	200			
	主材	ビスの埋め込み長さ(mm)	84.9	84.9	127.3	75.0	75.0	75.0	75.0	105.0	105.0	105.0			
		比重(スギ)	0.43	0.41	0.43	0.41	0.41	0.41	0.42	0.41	0.42	0.42	0.42	試験体測定値	
		繊維方向支圧強度	29.50	29.50	29.50	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	7章支圧試験結果より	
		直角方向支圧強度	23.86	23.86	23.86	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	7章支圧試験結果より	
	側材	支圧強度(N/mm ²)※	27.24	26.12	27.89	31.13	29.67	31.13	31.13	31.96	28.84	28.84	28.84	層構成で按分	
		ビスの埋め込み長さ(mm)	85	85	123	55	55	55	55	85	85	85	85	先端長さ10mmをカット	
		比重(スギ)	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.42	0.43	0.42	0.43	0.43	試験体測定値	
		繊維方向支圧強度	29.50	29.50	29.50	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	7章支圧試験結果より	
		直角方向支圧強度	23.86	23.86	23.86	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	7章支圧試験結果より	
		支圧強度(N/mm ²)※	27.24	26.12	27.89	31.13	29.67	31.13	31.13	31.96	28.84	28.84	28.84	層構成で按分	
		スギのヤング係数Eg(Kn/mm ²)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
		EYT式出力結果	係数	α	1.003	1.003	0.964	0.733	0.733	0.733	0.733	0.810	0.810	0.810	
	β			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
γ	37.463			39.081	36.597	32.788	34.397	24.521	24.521	31.935	35.390	35.390			
各降伏モードの値	I a		1.003	1.003	0.964	0.733	0.733	0.733	0.733	0.810	0.810	0.810			
	I b		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
	II		0.415	0.415	0.407	0.366	0.366	0.366	0.366	0.378	0.378	0.378			
	III a		0.369	0.370	0.349	0.373	0.375	0.369	0.369	0.353	0.355	0.355			
	III b		0.370	0.371	0.338	0.297	0.300	0.293	0.293	0.294	0.297	0.297			
	IV		0.270	0.276	0.178	0.286	0.293	0.273	0.273	0.202	0.212	0.212			
降伏モード	c		0.270	0.276	0.178	0.286	0.293	0.273	0.273	0.202	0.212	0.212			
	mode		IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV			
算定結果	降伏耐力py(kN)		4.06	3.97	4.10	4.33	4.23	4.55	4.55	4.39	4.17	4.17			
	主材の塑性ヒンジor回転中心の接合面からの距離(mm)		22.93	23.42	22.67	21.46	21.98	20.44	20.44	21.17	22.29	22.29			
	側材の塑性ヒンジor回転中心の接合面からの距離(mm)		23.01	23.51	21.86	15.73	16.12	14.99	14.99	17.14	18.04	18.04			
最大耐力の算定	実験値	R3年度報告書試験体名	00(45)-55、90(45)-55			90-160									
		ビス有効埋め込み長さ(mm)	45.00	45.00	45.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00			
		R3年度報告書実験平均値(kN)	8.95	8.95	8.95	28.30	28.30	28.30	28.30	28.30	28.30	28.30	R3試験結果		
		シリンダー頭長さ(mm)	5.50	5.50	5.50	5.50	5.50	0.00	0.00	5.50	5.50	5.50			
	算定結果	ねじ先端長さ(mm)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00			
		ビスの引き抜き強度(実験値)	14.95	14.95	22.42	8.49	8.49	7.55	7.55	14.15	14.15	14.15	長さ按分		
接合部設計マニュアルビスの式	係数等	最大耐力P _{max}	11.92	11.89	17.31	7.70	7.85	7.26	7.26	11.49	11.40	11.40			
		主材の厚さ(mm)	150.00	150.00	210.00	75.00	75.00	75.00	75.00	105.00	105.00	105.00			
		側材の厚さ(mm)	150.00	150.00	210.00	75.00	75.00	75.00	75.00	105.00	105.00	105.00			
		材料内の有効剛体長さtef1(mm)	43.31	45.75	42.17	43.31	45.75	47.36	47.36	42.17	47.50	47.50			
		材料内の有効剛体長さtef2(mm)	43.31	45.75	42.17	43.31	45.75	47.36	47.36	42.17	47.50	47.50			
		α	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
	算定結果	γ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
		ϕ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00			
		材料の面圧定数Ke0(N/mm ³)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07			
		材料の面圧定数Ke90(N/mm ³)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02			
		CLTの面材定数	0.05	0.04	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.06	0.03	0.03	層構成で按分		
		初期剛性	1.58	1.34	1.71	1.58	1.34	1.78	1.78	1.71	1.20	1.20			
		二次剛性	0.26	0.25	0.39	0.21	0.20	0.20	0.20	0.30	0.28	0.28			
		δ_{max}	32.88	34.22	36.36	19.00	20.16	15.79	15.79	26.23	29.06	29.06			

(2) ハーフラップビス接合（加力方向斜め打ち）接合部の算定結果

加力方向斜め打ちとした試験体 No.11, 12 については、EC5³⁾の 8.7.2 項「Axially loaded screws」の設計式を用いて表 3.7-2 のとおり算出した。

EC5 の 8.7.2 項「Axially loaded screws」の設計式（抜粋）

- $6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$
 - $0,6 \leq d_1/d \leq 0,75$
 where
 d is the outer thread diameter;
 d_1 is the inner thread diameter
 the characteristic withdrawal capacity should be taken as:

$$F_{ax,k,Rk} = \frac{n_{ef} f_{ax,k} d \ell_{ef} k_d}{1,2 \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha}$$

where:
 $f_{ax,k} = 0,52 d^{-0,5} \rho_k^{-0,1} \rho_k^{0,8}$
 $k_d = \min \left\{ \frac{d}{8}, 1 \right\}$

$F_{ax,\alpha,Rk}$ is the characteristic withdrawal capacity of the connection at an angle α to the grain, in N;
 $f_{ax,k}$ is the characteristic withdrawal strength perpendicular to the grain, in N/mm²;
 n_{ef} is the effective number of screws, see 8.7.2(8);
 ℓ_{ef} is the penetration length of the threaded part, in mm;
 ρ_k is the characteristic density, in kg/m³;
 α is the angle between the screw axis and the grain direction, with $\alpha \geq 30^\circ$.

表 3.7-2 加力方向斜め打ち 試験体 No.11, 12 の算定結果

項目	H45-5-5S(正)	H45-5-7S(正)	備考
ねじ外径 d(mm)	9.0	9.0	
ねじ内径 d1(mm)	5.9	5.9	
ビス長さ(mm)	180	260	
シリンダー頭長さ(mm)	5.5	5.5	
ねじ先端長さ(mm)	10.0	10.0	
側材側埋め込み長さ(mm)	100.6	143.0	
主材側埋め込み長さ(mm)	63.9	101.5	
ねじ部の貫通長さ ℓ_{ef} (mm)	63.9	101.5	
木材の密度(kg/m ³)	410	410	試験体測定値
一緒に作用するビスの本数	3	3	1列の本数
n_{ef}	2.7	2.7	
打ち込み角度 α (ラジアン)	0.8	0.8	45°
$6 \text{ mm} \leq d \leq 12 \text{ mm}$ 判定	○	○	
$0.6 \leq d_1/d \leq 0.75$ 判定	○	○	
$f_{ax,k}$ (N/mm ²)	14.0778	13.4419	
k_d	1	1	
$F_{axk,Rk}$ (N)	19,794	30,007	
試験体1体あたりの終局耐力(kN)	39.59	60.01	
ビス1本あたりの終局耐力(kN)	6.60	10.00	

(3) 実験値と計算値の比較

実験の包絡線と算定結果を比較したグラフを図 3.7-1～図 3.7-12 に、特性値の比較を表 3.7-3 に示す。

結果より、Py については完全弾塑性モデルにおける算定値と比較すると一致しないものもあったが、包絡線での降伏点とはよく一致する結果となった。最大耐力についてはハーフラップビス接合 (No.4～10) がよく一致する結果となったが、斜め交差打ち接合 (No.1～3) は計算値の方が 3～6 割高くなる結果となった。計算には、ビス引き抜き試験 (要素試験) の値を用いているが要素試験ではビスの軸方向に加力しているのに対し、接合部試験では試験部材の軸方向に加力されるため (ビスは斜めの状態で加力されてしまう)、計算値より耐力が低くなるのではないかと思われる。No.11,12 は、要素試験の値を用いず、密度等から算出しているため、計算値が低めになるのではないかと思われる。

剛性については概ね合っているが危険側に評価される試験体もあった。

斜め交差打ちビス接合の最大耐力の推定に課題が残った。

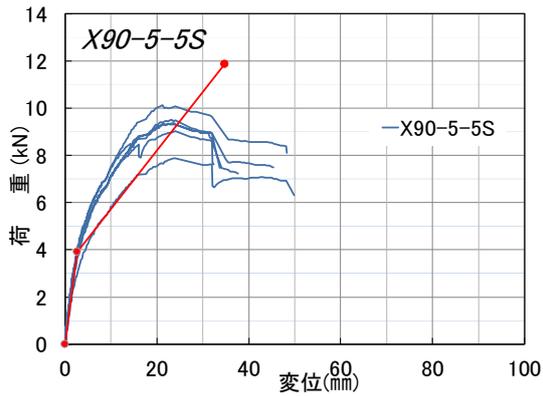


図 3.7-1 No.1 X90-5-5S 実験値との比較

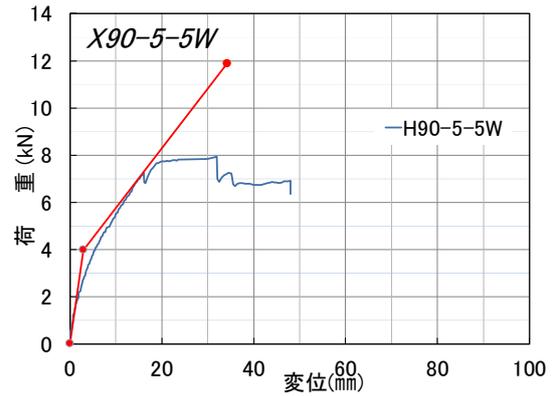


図 3.7-2 No.2 X90-5-5W 実験値との比較

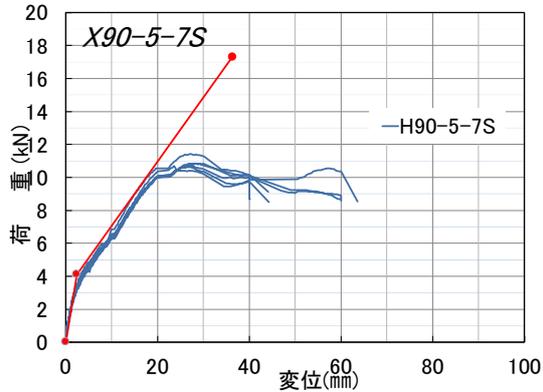


図 3.7-3 No.3 X90-5-5SH 実験値との比較

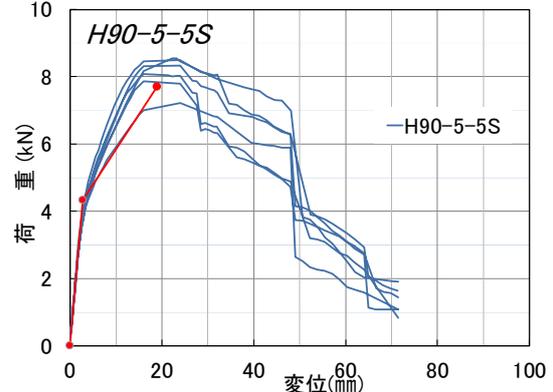


図 3.7-4 No.4 H90-5-5S 実験値との比較

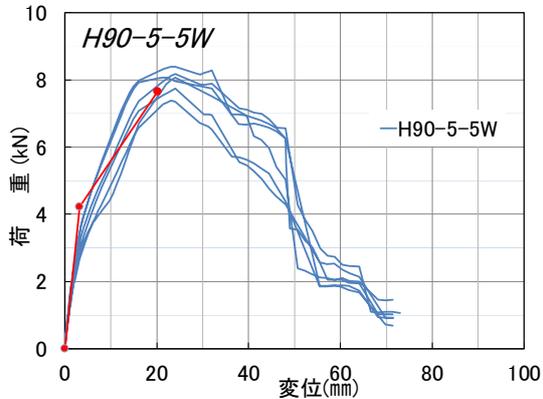


図 3.7-5 No.5 H90-5-5W 実験値との比較

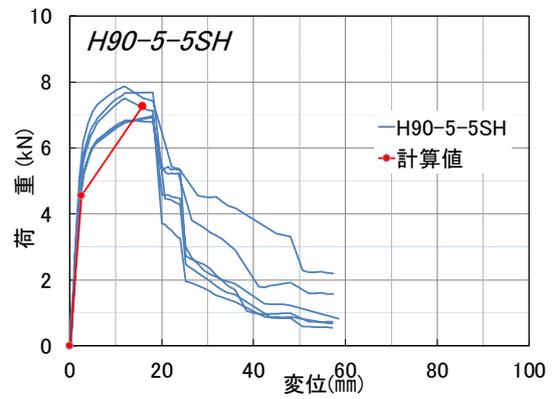


図 3.7-6 No.6 H90-5-5SH 実験値との比較

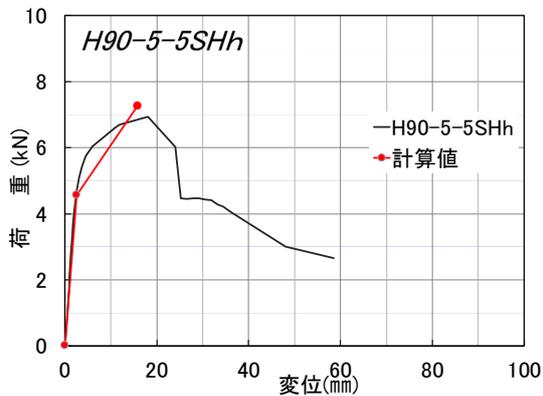


図 3.7-7 No.7 H90-5-5SHh 実験値との比較

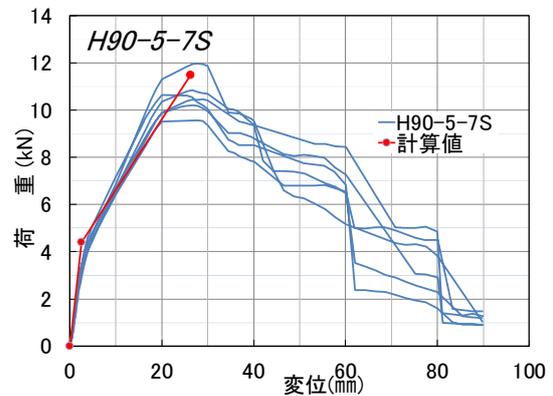


図 3.7-8 No.8 H90-5-7S 実験値との比較

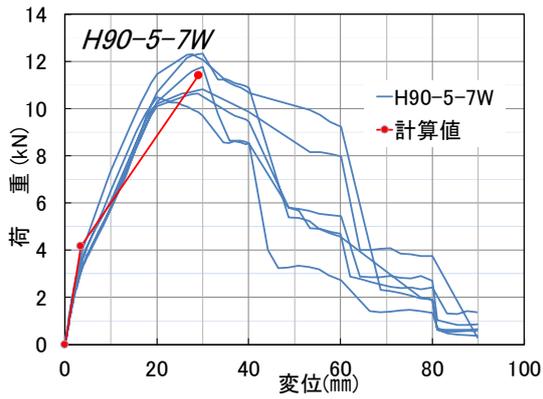


図 3.7-9 No.9 H90-5-7W 実験値との比較

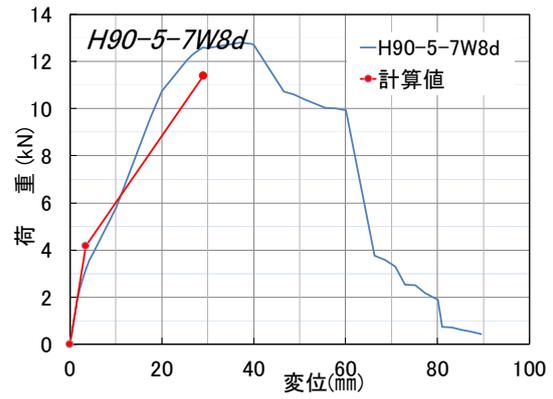


図 3.7-10 No.10 H90-5-7W8d 実験値との比較

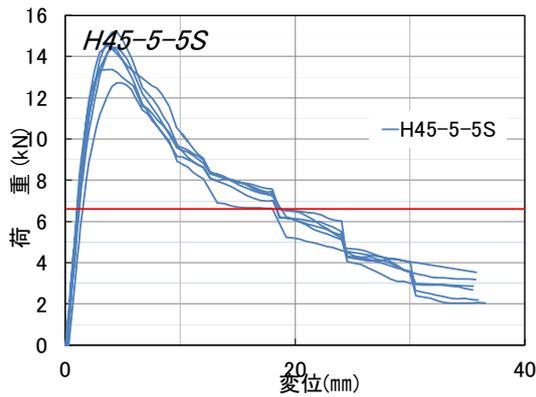


図 3.7-11 No.11 H45-5-5S 実験値との比較

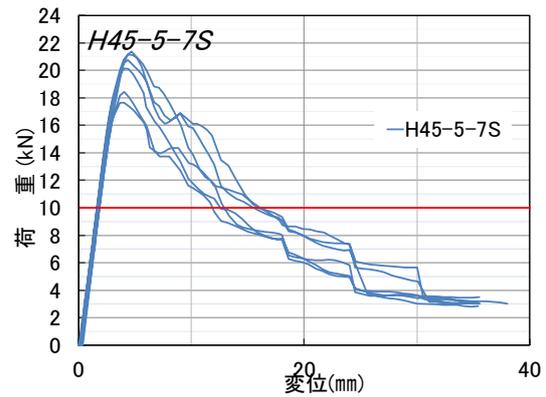


図 3.7-12 No.12 H45-5-7S 実験値との比較

表 3.7-3 実験値と計算値の特性値の比較

番号	試験体名	降伏耐力(kN)				最大耐力(kN)				剛性(kN/mm)		
		平均	50%下限値	計算値	計/実	平均	50%下限値	計算値	計/実	平均	計算値	計/実
1	X90-5-5S	4.7	4.6	4.1	0.86	9.2	9.0	11.9	1.29	1.15	1.58	1.38
2	X90-5-5W	3.8	-	4.0	1.06	7.8	-	11.9	1.52	0.77	1.34	1.74
3	X90-5-7S	4.6	4.2	4.1	0.89	10.9	10.2	17.3	1.60	0.94	1.71	1.82
4	H90-5-5S	4.1	3.8	4.3	1.05	8.1	6.9	7.7	0.95	1.28	1.58	1.24
5	H90-5-5W	3.6	3.5	4.2	1.18	8.0	7.9	7.6	0.96	0.84	1.34	1.61
6	H90-5-5SH	4.9	4.8	4.5	0.93	7.3	7.2	7.3	0.99	2.05	1.78	0.87
7	H90-5-5SHh	4.7	-	4.5	0.98	7.0	-	7.3	1.04	1.87	1.78	0.95
8	H90-5-7S	4.5	4.4	4.4	0.98	10.6	10.4	11.5	1.08	1.03	1.71	1.67
9	H90-5-7W	5.3	5.0	4.2	0.79	11.4	11.1	11.4	1.00	0.71	1.20	1.68
10	H90-5-7W8d	7.5	-	4.2	0.55	12.6	-	11.4	0.91	0.56	1.20	2.13
11	H45-5-5S(正)	8.3	8.1	-	-	14.1	13.9	6.6	0.47	5.74	-	-
12	H45-5-7S(正)	12.8	12.4	-	-	19.9	19.4	10.0	0.50	5.92	-	-

4. 大壁耐力壁のくぎ及びビス一面せん断試験

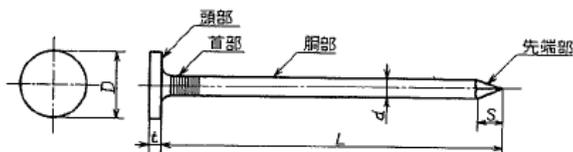
4.1. 試験の目的

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、要素試験によってくぎ及びビス1本あたりのせん断性能データを取得する。このデータを用いて耐力壁の設計を行う。

4.2. 試験体仕様

4.2.1. くぎ及びビスの仕様

対象となるくぎ及びビスは図4.2.1-1～図4.2.1-3のとおりである。



CN75 : $L=76.2$ 、 $d=3.76$ 、 $S=3.8$ 以上7.5未満、 $D=7.92$ 、
CN90 : $L=88.9$ 、 $d=4.11$ 、 $S=4.1$ 以上8.2未満、 $D=8.74$

図 4.2.1-1 CN75、CN90

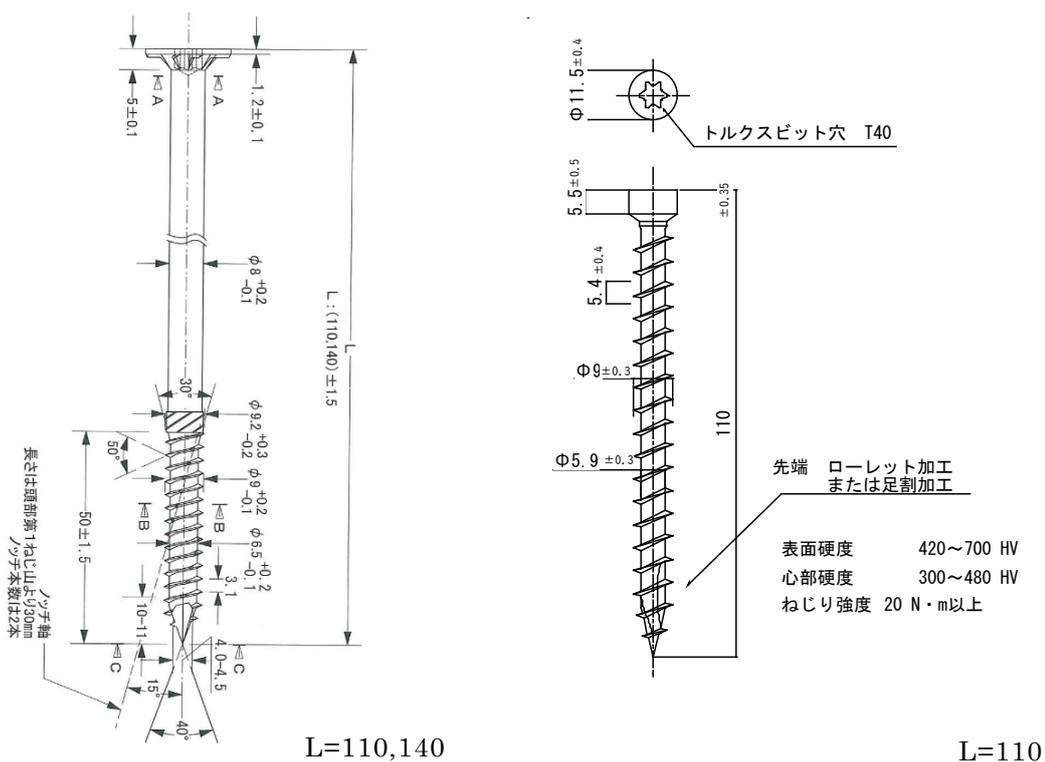


図 4.2.1-2 ヘキサビット穴付きタピンねじ HTS9・F (半ねじビス)

図 4.2.1-3 ヘキサビット穴付きタピンねじ HTS9 (全ねじビス)

4.2.2. 試験の種類

試験の種類は表 4.2.2-1 のとおり 7 仕様 20 体+軸組フレーム試験体 2 体である。このうち、グレー部分は昨年度別の事業で実施したものであるが、考察時に比較検証を行うため、併記している。

試験体の記号の意味を図 4.2.2-1 に示す。各試験体図を図 4.2.2-2～図 4.2.2-5 に、試験体の密度と含水率を表 4.2.2-2 に示す。

表 4.2.2-1 試験の種類

通し番号	試験体名	面材の種類		接合具の種類			軸材の種類	試験体数(体)	備考
		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)			
1	SP24 CN75	スギ構造用合板/特類2級	24	太めくぎCN75	3.76	76.2	スギ製材 0.38~0.44	3	
2	HP24 CN75	ヒノキ構造用合板/特類2級		太めくぎCN75	3.76	76.2		3	昨年度試験、ヒノキ構造用合板で3体実施
3	SP24H110	スギ構造用合板/特類2級		ヘキサボリョラ穴付きタ ピンねじHTS9・F L110(半ねじ)	9.0	110		3	
4	C36CN90	スギCLT/	36	太めくぎCN90	3.76	76.2		3	昨年度試験実施
5	C36 H110	Mx60-3-3/ A種構成		ヘキサボリョラ穴付きタ ピンねじHTS9・F L110(半ねじ)	9.0	110		3	
6	C60F140	スギCLT/	60	ヘキサボリョラ穴付きタ ピンねじHTS9 L140(全ねじ)	9.0	140		3	昨年度試験実施
7	C60H140	スギCLT/	60	ヘキサボリョラ穴付きタ ピンねじHTS9・F L140(半ねじ)	9.0	140		3	
8	JF	-	-	軸組フレーム試験体				1	昨年度試験実施
9	JF	-	-					1	
合計								20	

P 24 CN75

面材の樹種 面材の厚み 接合具の種類
 Plywood 24 mm CN75
 CLT 36 mm CN90
 60 mm HTS9-110

図 4.2.2-1 試験体記号の意味

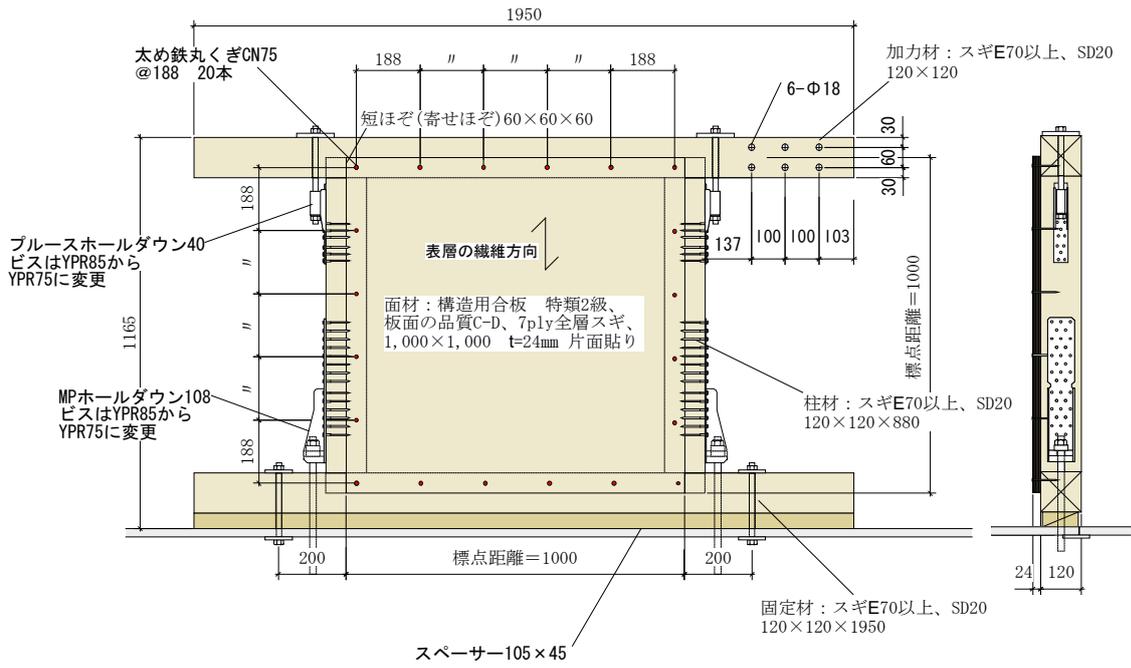
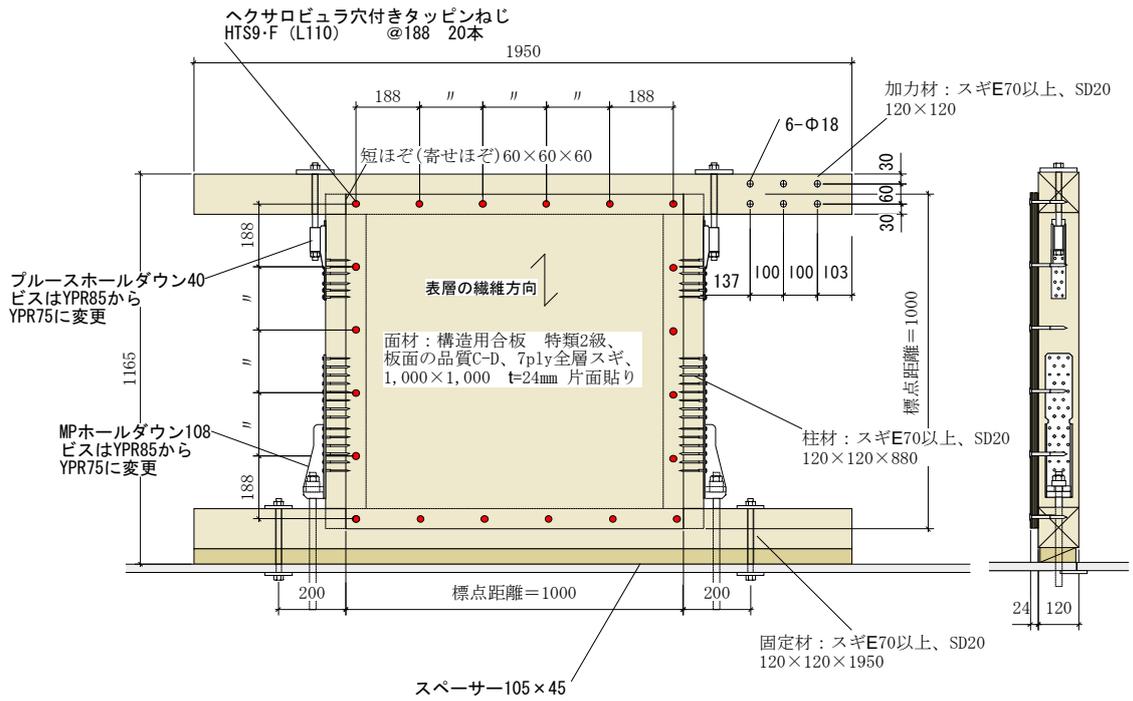


図 4.2.2-2 SP24CN75 試験体



1仕様×3体=3体

図 4.2.2-3 SP24H110 試験体

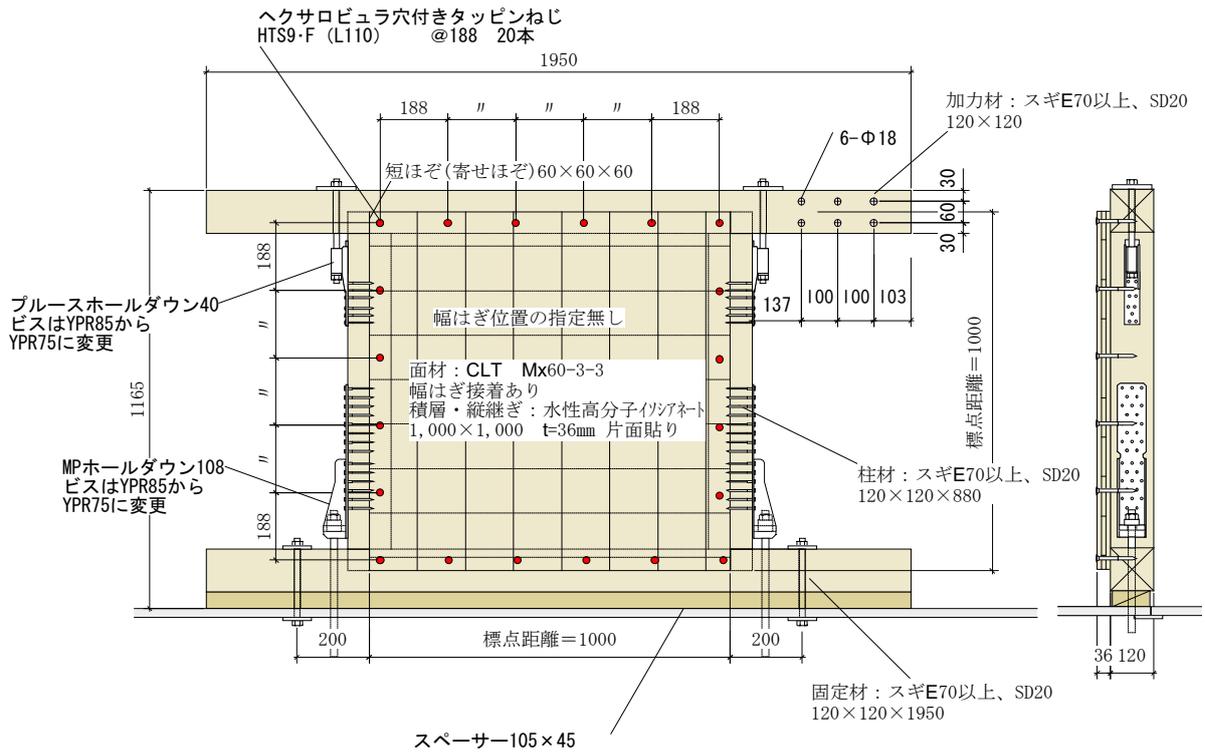


図 4.2.2-4 C36H110 試験体

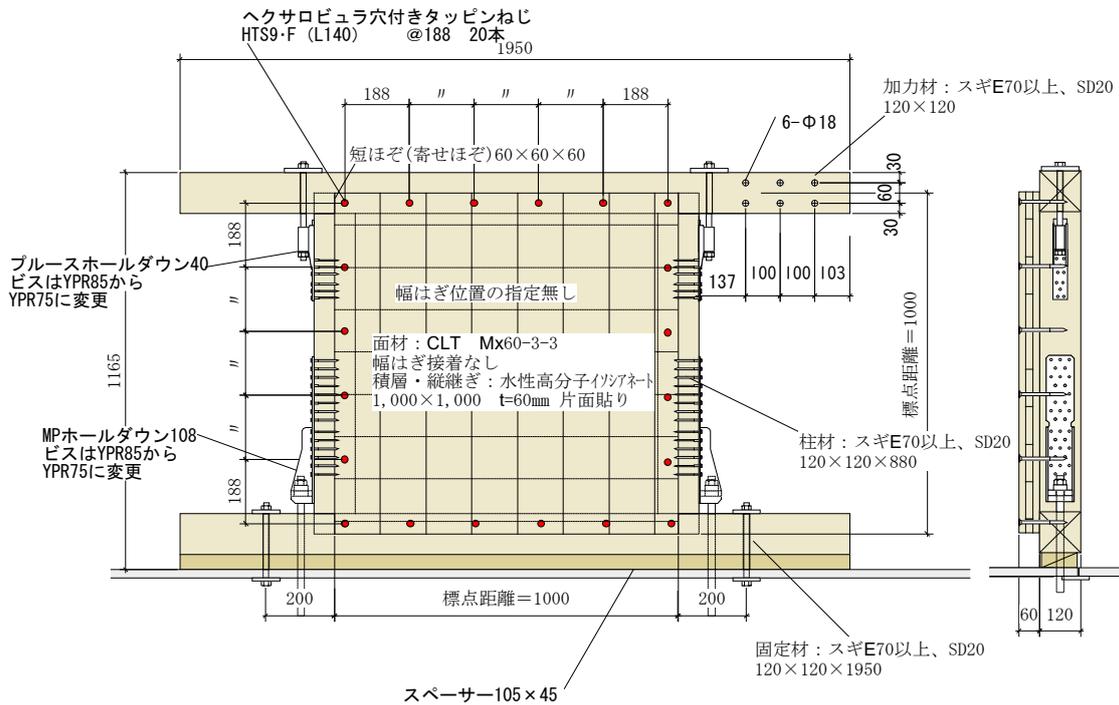


図 4.2.2-5 C60F110 試験体

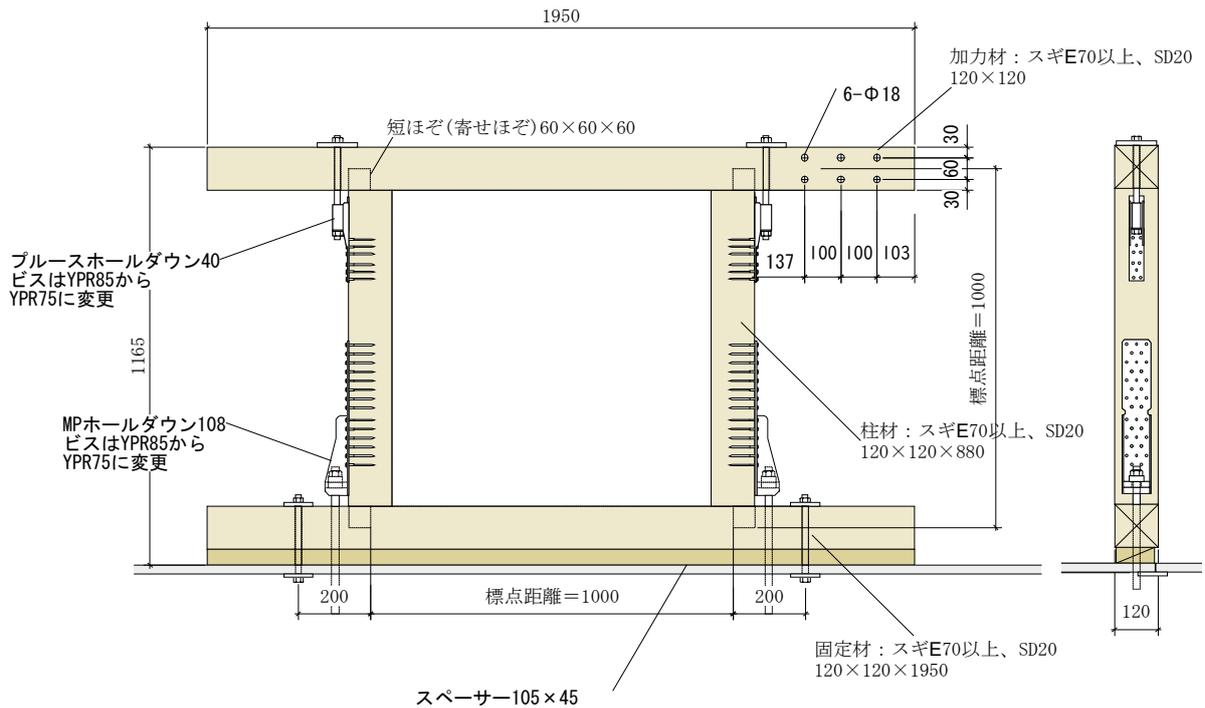


図 4.2.2-6 軸組フレーム試験体

表 4.2.2-2 密度と含水率

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	
			含水率 (%)	密度 (g/cm ³)								
木材・木質部材の種類			スギ合板		スギ製材		スギ製材		スギ製材		スギ製材	
1	SP24 CN75	1	-	0.44	13.8	0.46	10.9	0.37	8.8	0.35	14.4	0.43
		2	-	0.43	15.8	0.42	12.4	0.41	11.2	0.40	12.1	0.38
		3	-	0.45	17.6	0.39	13.0	0.41	12.8	0.38	13.7	0.39
		平均	-	0.44	15.7	0.42	12.1	0.40	10.9	0.38	13.4	0.40
3	SP24 H110	1	-	0.44	13.6	0.41	13.9	0.38	17.8	0.37	12.5	0.40
		2	-	0.43	21.3	0.41	13.7	0.40	14.0	0.40	11.2	0.38
		3	-	0.45	15.9	0.42	14.1	0.39	19.9	0.39	8.3	0.37
		平均	-	0.44	16.9	0.41	13.9	0.39	17.2	0.39	10.7	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	
5	C36 H110	1	10.9	0.41	12.1	0.43	13.6	0.37	9.3	0.37	10.3	0.42
		2	10.8	0.38	11.2	0.40	16.0	0.40	14.0	0.42	15.1	0.38
		3	9.6	0.41	19.8	0.39	14.6	0.40	14.1	0.40	11.7	0.38
		平均	10.4	0.40	14.4	0.41	14.7	0.39	12.5	0.40	12.4	0.39
7	C60 H140	1	12.0	0.39	14.9	0.42	14.9	0.38	10.0	0.37	14.8	0.43
		2	11.5	0.39	12.8	0.42	15.7	0.40	13.3	0.40	11.3	0.38
		3	11.6	0.38	11.5	0.41	11.5	0.37	12.3	0.37	13.6	0.42
		平均	11.7	0.39	13.1	0.42	14.0	0.38	11.9	0.38	13.2	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	
9	SJF	1	-	-	13.3	0.39	15.3	0.39	13.3	0.39	10.7	0.38

4.3. 試験方法

試験方法は、グレー本⁷⁾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。評価方法は0.8Pmaxに低下するまでと1/15rad時までの2通りを評価するものとした。

4.4. 試験結果

4.4.1. SP24CN75

荷重変位曲線を図 4.4.1-1 に、包絡線とバイリニアを図 4.4.1-2 に、面材接合具 1 本あたりの特性値の算定 (0.8Pmax まで) を表 4.4.1-1~4.4.1-3 に、面材接合具 1 本あたりの特性値の算定 (1/15rad まで) を表 4.4.1-4~4.4.1-6 に、破壊性状を写真 4.4.1-1~6 に示す。

くぎの変形・引き抜け・めり込み(写真 4.4.1-2,5,6)、面材の浮き上がり(写真 4.4.1-3)、横架材への柱材のめり込み(写真 4.4.1-2,4)は見られたが、パンチングアウトは見られなかった。

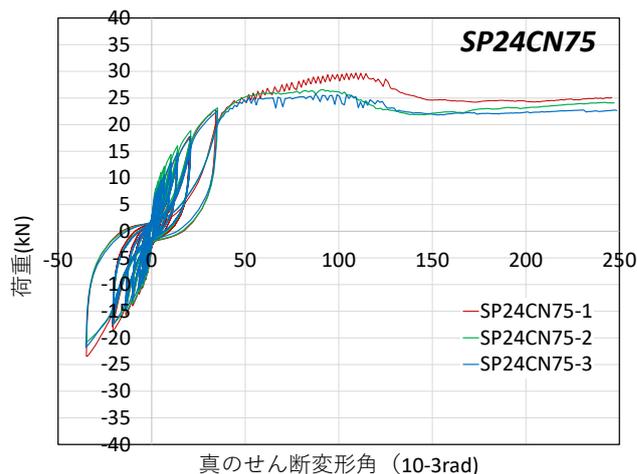


図 4.4.1-1 荷重変位曲線

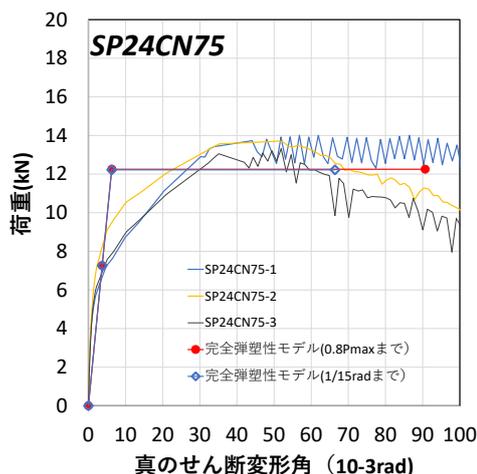


図 4.4.1-2 包絡線(軸組フレーム除去)とバイリニア

表 4.4.1-1 特性値 (0.8Pmax まで)

試験方法	タイロッド式、3回正負					
	SP24CN75-1	SP24CN75-2	SP24CN75-3	平均値	標準偏差	変動係数
最大モーメント Mmax (kN・m)	14.01	13.71	13.32	13.68	0.35	
最大モーメント時変形角 γ_{0max} (10^{-3} rad)	56.81	51.14	51.90	53.28	3.08	
降伏モーメント My (kN・m)	6.72	8.12	6.93	7.26	0.76	0.105
降伏変形角 γ_{0y} (10^{-3} rad)	3.83	3.52	3.73	3.69	0.16	
終局モーメント Mu (kN・m)	12.55	12.49	11.70	12.25	0.47	
終局変形角 γ_{0u} (10^{-3} rad)	119.00	87.21	65.80	90.67	26.77	
降伏点変形角 γ_{0v} (10^{-3} rad)	7.14	5.42	6.30	6.29	0.86	
剛性 K (MN・m/rad)	1.75	2.31	1.86	1.97	0.30	
塑性率 μ	16.67	16.09	10.44	14.40	3.44	
構造特性係数 Ds	0.18	0.18	0.22	0.19	0.02	
$Mu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu^{-1}$ (kN・m)	14.27	13.95	10.43	12.88	2.13	0.165
$2/3 Mmax$ (kN・m)	9.34	9.14	8.88	9.12	0.23	0.025
一定変形時モーメント(kN・m)						
真 1/300rad	6.47	7.99	6.74	7.07	0.81	0.115
真 1/200rad	7.27	9.07	7.56	7.97	0.97	
真 1/150rad	7.68	9.60	7.95	8.41	1.04	0.124

表 4.4.1-2 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 (0.8Pmax まで)

項目	SP24CN75-1	SP24CN75-2	SP24CN75-3	平均値	標準偏差		
$\gamma_{0v} (\times 10^{-3})$	7.14	5.42	6.30	6.29	0.86		
$\gamma_{0u} (\times 10^{-3})$	119.00	87.21	65.80	90.67	26.77	面材幅	1000
$\gamma_B (\times 10^{-3})$	1.31	1.3	1.22	1.28	0.05	面材長さ	1000
$\Gamma_v (\times 10^{-3})$	5.83	4.12	5.08	5.01	0.86	面材厚さ	24
$\Gamma_u (\times 10^{-3})$	117.69	85.91	64.58	89.39	26.73	せん断剛性GB	0.4

表 4.4.1-3 面材接合具 1 本あたりのせん断性能 (0.8Pmax まで)

項目	SP24CN75-1	SP24CN75-2	SP24CN75-3	平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
ΔP_v (kN)	2.54	2.52	2.36	2.47	0.10	0.982	ΔP_{v0}	2.43
δv (cm)	0.18	0.12	0.15	0.15	0.03	0.906	δv_0	0.14
δu (cm)	3.63	2.50	1.91	2.68	0.87	0.846	δu_0	2.27
							ΔP_{va} (kN)	2.42
							k (kN/cm)	17.29

ΔP_{va} 及びkは $\alpha=1.00$ として算出

Z_{pxy}	0.0495
I_{xy}	1.50

表 4.4.1-4 特性値 (1/15rad まで)

試験方法	タイロッド式、3回正負					
	SP24CN75-1	SP24CN75-2	SP24CN75-3	平均値	標準偏差	変動係数
試験体記号						
最大モーメント Mmax (kN・m)	14.01	13.71	13.32	13.68	0.35	
最大モーメント時変形角 $\gamma_{0max} (10^{-3}rad)$	56.81	51.14	51.90	53.28	3.08	
降伏モーメント My (kN・m)	6.72	8.12	6.93	7.26	0.76	0.105
降伏変形角 $\gamma_{0y} (10^{-3}rad)$	3.83	3.52	3.73	3.69	0.16	
終局モーメント Mu (kN・m)	12.26	12.69	11.7	12.22	0.5	
終局変形角 $\gamma_{0u} (10^{-3}rad)$	66.67	66.67	65.80	66.38	0.5	
降伏点変形角 $\gamma_{0v} (10^{-3}rad)$	6.98	5.51	6.30	6.26	0.74	
剛性 K (MN・m/rad)	1.75	2.31	1.86	1.97	0.3	
塑性率 μ	9.55	12.10	10.44	10.70	1.29	
構造特性係数 Ds	0.24	0.21	0.22	0.22	0.02	
$Mu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu^{-1}$ (kN・m)	10.43	12.22	10.43	11.03	1.03	0.093
2/3Mmax (kN・m)	9.34	9.14	8.88	9.12	0.23	0.025
一定変形時モーメント(kN・m)						
真 1/300rad	6.47	7.99	6.74	7.07	0.81	0.115
真 1/200rad	7.27	9.07	7.56	7.97	0.97	
真 1/150rad	7.68	9.6	7.95	8.41	1.04	0.124

表 4.4.1-5 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 (1/15rad まで)

項目	SP24CN75-1	SP24CN75-2	SP24CN75-3	平均値	標準偏差		
$\gamma_{0v} (\times 10^{-3})$	6.98	5.51	6.30	6.26	0.74		
$\gamma_{0u} (\times 10^{-3})$	66.67	66.67	65.80	66.38	0.50	面材幅	1000
$\gamma_B (\times 10^{-3})$	1.28	1.32	1.22	1.27	0.05	面材長さ	1000
$\Gamma_v (\times 10^{-3})$	5.70	4.19	5.08	4.99	0.76	面材厚さ	24
$\Gamma_u (\times 10^{-3})$	65.39	65.35	64.58	65.11	0.46	せん断剛性GB	0.4

表 4.4.1-6 面材接合具 1 本あたりのせん断性能 (1/15rad まで)

項目	SP24CN75-1	SP24CN75-2	SP24CN75-3	平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
ΔP_v (kN)	2.48	2.56	2.36	2.47	0.10	0.981	ΔP_{v0}	2.42
δv (cm)	0.17	0.13	0.15	0.15	0.02	0.937	δv_0	0.14
δu (cm)	1.95	2.03	1.91	1.96	0.06	0.985	δu_0	1.93
							ΔP_{va} (kN)	2.30
							k (kN/cm)	16.43

ΔP_{va} 及びkは $\alpha=1.00$ として算出

Z_{pxy}	0.0495
I_{xy}	1.50



写真 4.4.1-1 1体目 試験後



写真 4.4.1-2 1体目 梁材へのめり込み、くぎの引き抜け

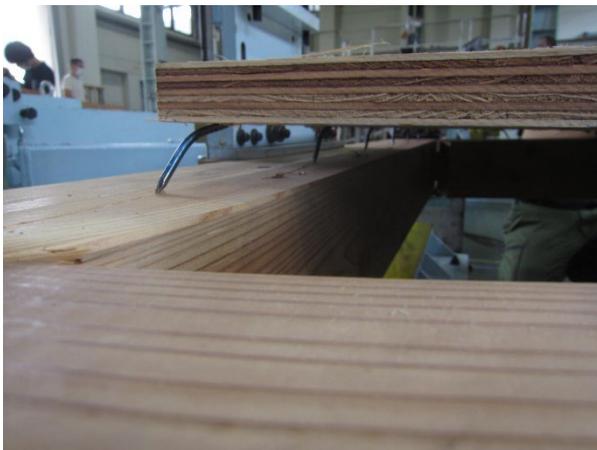


写真 4.4.1-3 1体目 面材の浮き上がり



写真 4.4.1-4 1体目 柱脚部



写真 4.4.1-5 1体目 くぎの変形・引き抜け



写真 4.4.1-6 くぎの変形

4.4.2. SP24H110

荷重変位曲線を図 4.4.2-1 に、包絡線とバイリニアを図 4.4.2-2 に、面材接合具 1 本あたりの特性値の算定結果を表 4.4.2-1～4.4.2-3 に、面材接合具 1 本あたりの特性値の算定 (1/15rad まで) を表 4.4.2-4～4.4.2-6 に破壊性状を写真 4.4.2-1～10 に示す。

合板端部の割れ(写真 4.4.2-3,5,7,8)、横架材のめり込み(写真 4.4.2-4,7)、面材の浮き上がり(写真 4.4.2-6)、ビスの折損(写真 4.4.2-9,10)が見られた。

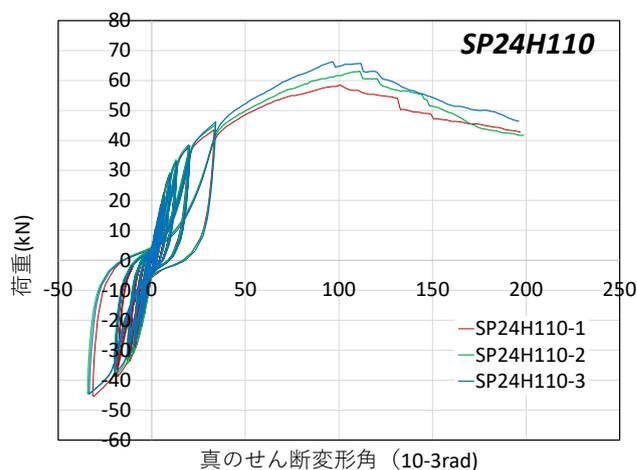


図 4.4.2-1 荷重変位曲線

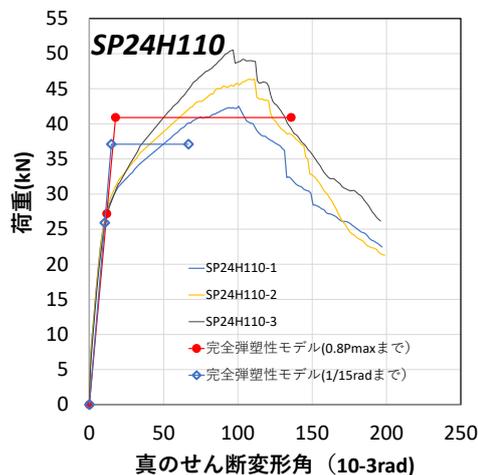


図 4.4.2-2 包絡線(軸組フレーム除去)とバイリニア

表 4.4.2-1 特性値 (0.8Pmax まで)

試験方法	タイロッド式、3回正負					
	SP24H110-1	SP24H110-2	SP24H110-3	平均値	標準偏差	変動係数
試験体記号	SP24H110-1	SP24H110-2	SP24H110-3	平均値	標準偏差	変動係数
最大モーメント Mmax (kN・m)	42.5	46.4	50.5	46.5	4	
最大モーメント時変形角 γ_{0max} (10^{-3} rad)	100.51	111.10	96.77	102.79	7.43	
降伏モーメント My (kN・m)	26.4	27.8	27.5	27.2	0.74	0.027
降伏変形角 γ_{0y} (10^{-3} rad)	10.64	11.87	12.61	11.71	1	
終局モーメント Mu (kN・m)	38.2	40.8	43.7	40.9	2.75	
終局変形角 γ_{0u} (10^{-3} rad)	132.19	142.57	132.57	135.78	5.89	
降伏点変形角 γ_{0y} (10^{-3} rad)	15.41	17.41	20.03	17.62	2.32	
剛性 K (MN・m/rad)	2.48	2.34	2.18	2.33	0.15	
塑性率 μ	8.58	8.19	6.62	7.80	1.04	
構造特性係数 Ds	0.25	0.26	0.29	0.27	0.02	
$Mu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu^{-1}$ (kN・m)	30.7	32	30.6	31.1	0.78	0.025
2/3Mmax (kN・m)	28.3	30.9	33.7	31	2.7	0.087
一定変形時モーメント(kN・m)						
真 1/300rad	13.2	12.8	12.1	12.7	0.56	0.044
真 1/200rad	17.4	17	16.2	16.9	0.61	
真 1/150rad	20.9	20.6	19.7	20.4	0.62	0.03

表 4.4.2-2 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 (0.8Pmax まで)

項目	SP24H110-1	SP24H110-2	SP24H110-3	平均値	標準偏差		
$\gamma_{0v} (\times 10^{-3})$	15.41	17.41	20.03	17.62	2.32		
$\gamma_{0u} (\times 10^{-3})$	132.19	142.57	132.57	135.78	5.89	面材幅	1000
$\gamma_B (\times 10^{-3})$	3.98	4.25	4.55	4.26	0.29	面材長さ	1000
$\Gamma_v (\times 10^{-3})$	11.43	13.16	15.48	13.36	2.03	面材厚さ	24
$\Gamma_u (\times 10^{-3})$	128.21	138.32	128.02	131.52	5.89	せん断剛性GB	0.4

表 4.4.2-3 面材接合具 1 本あたりのせん断性能 (0.8Pmax まで)

項目	SP24H110-1	SP24H110-2	SP24H110-3	平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
ΔP_v (kN)	7.7	8.2	8.8	8.2	0.55	0.968	ΔP_{v0}	7.9
δv (cm)	0.35	0.40	0.47	0.41	0.06	0.930	δv_0	0.38
δu (cm)	3.93	4.20	3.89	4.01	0.17	0.980	δu_0	3.93
							ΔP_{va} (kN)	7.9
							k (kN/cm)	20.79

ΔP_{va} 及びkは $\alpha=1.00$ として算出

Z_{pxy}	0.0495
I_{xy}	1.50

表 4.4.2-4 特性値 (1/15rad まで)

試験方法	タイロッド式、3回正負					
	SP24H110-1	SP24H110-2	SP24H110-3	平均値	標準偏差	変動係数
試験体記号						
最大モーメント Mmax (kN・m)	40.1	42.1	44.9	42.4	2.41	
最大モーメント時変形角 $\gamma_{0max} (10^{-3}rad)$	66.67	66.67	66.67	66.67	0	
降伏モーメント My (kN・m)	25.6	26.3	25.8	25.9	0.36	0.014
降伏変形角 $\gamma_{0y} (10^{-3}rad)$	9.83	10.36	10.79	10.33	0.48	
終局モーメント Mu (kN・m)	35.6	37.1	38.5	37.1	1.45	
終局変形角 $\gamma_{0u} (10^{-3}rad)$	66.67	66.67	66.67	66.67	0	
降伏点変形角 $\gamma_{0v} (10^{-3}rad)$	13.66	14.61	16.08	14.78	1.22	
剛性 K (MN・m/rad)	2.60	2.54	2.39	2.51	0.11	
塑性率 μ	4.88	4.56	4.15	4.53	0.37	
構造特性係数 Ds	0.34	0.35	0.37	0.35	0.02	
$Mu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu - 1$ (kN・m)	21.1	21.1	20.8	21	0.17	0.008
$2/3Mmax$ (kN・m)	26.7	28	29.9	28.2	1.61	0.057
一定変形時モーメント(kN・m)						
真 1/300rad	13.2	12.8	12.1	12.7	0.56	0.044
真 1/200rad	17.4	17	16.2	16.9	0.61	
真 1/150rad	20.9	20.6	19.7	20.4	0.62	0.03

表 4.4.2-5 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 (1/15rad まで)

項目	SP24H110-1	SP24H110-2	SP24H110-3	平均値	標準偏差		
$\gamma_{0v} (\times 10^{-3})$	13.66	14.61	16.08	14.78	1.22		
$\gamma_{0u} (\times 10^{-3})$	66.67	66.67	66.67	66.67	0.00	面材幅	1000
$\gamma_B (\times 10^{-3})$	3.71	3.86	4.01	3.86	0.15	面材長さ	1000
$\Gamma_v (\times 10^{-3})$	9.95	10.75	12.07	10.92	1.07	面材厚さ	24
$\Gamma_u (\times 10^{-3})$	62.96	62.81	62.66	62.81	0.15	せん断剛性GB	0.4

表 4.4.2-6 面材接合具 1 本あたりのせん断性能 (1/15rad まで)

項目	SP24H110-1	SP24H110-2	SP24H110-3	平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
ΔP_v (kN)	7.2	7.5	7.8	7.5	0.30	0.981	ΔP_{v0}	7.4
δv (cm)	0.30	0.33	0.37	0.33	0.04	0.950	δv_0	0.32
δu (cm)	1.90	1.93	1.92	1.92	0.02	0.996	δu_0	1.91
							ΔP_{va} (kN)	7.4
							k (kN/cm)	23.13

ΔP_{va} 及びkは $\alpha=1.00$ として算出

Z_{pxy}	0.0495
I_{xy}	1.50



写真 4.4.2-1 1体目 試験前

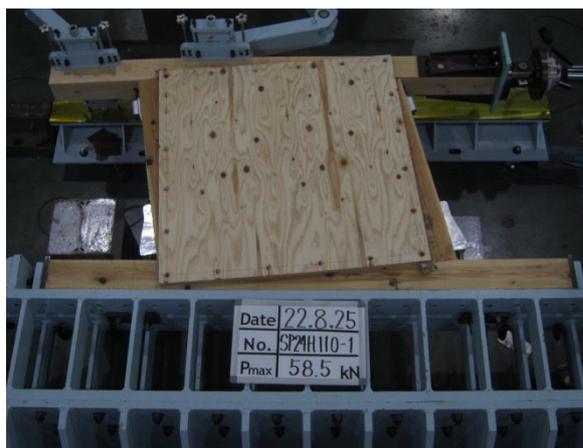


写真 4.4.2-2 1体目 試験後



写真 4.4.2-3 1体目 合板端部の割れ



写真 4.4.2-4 1体目 柱脚部土台のめり込み



写真 4.4.2-5 1体目 合板端部の割れ



写真 4.4.2-6 合板の割れ、浮き上がり



写真 4.4.2-7 2体目 合板端部の割れ、浮き上がり



写真 4.4.2-8 2体目解体後 合板端部の割れ



写真 4.4.2-9 2体目解体後 ビスの変形、合板の割れ



写真 4.4.2-10 2体目解体後 ビスの変形、折損

4.4.3. C36H110

荷重変位曲線を図 4.4.3-1 に、包絡線とバイリニアを図 4.4.3-2 に、面材接合具 1 本あたりの特性値の算定結果を表 4.4.3-1~4.4.3-3 に、面材接合具 1 本あたりの特性値の算定 (1/15rad まで) を表 4.4.3-4~4.4.3-6 に破壊性状を写真 4.4.3-1~10 に示す。

CLT 端部の割れ及びビス頭のめり込み(写真 4.4.3-3,4,10)、横架材の割れ(写真 4.4.3-6~8)、CLT の浮き上がり(写真 4.4.3-2,5,6)ビスの折損(写真 4.4.3-7,8)が見られた。

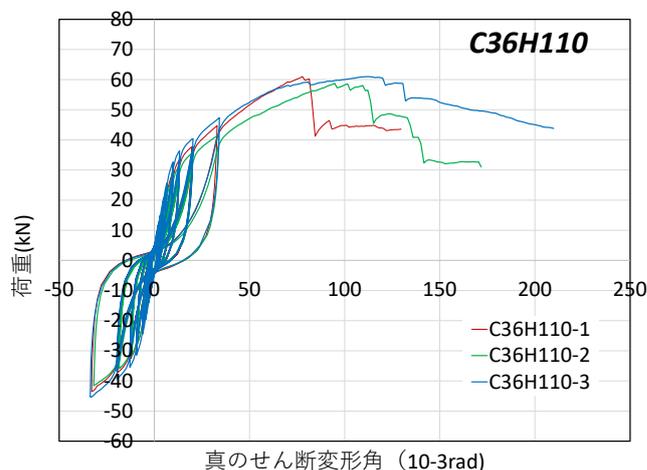


図 4.4.3-1 荷重変位曲線

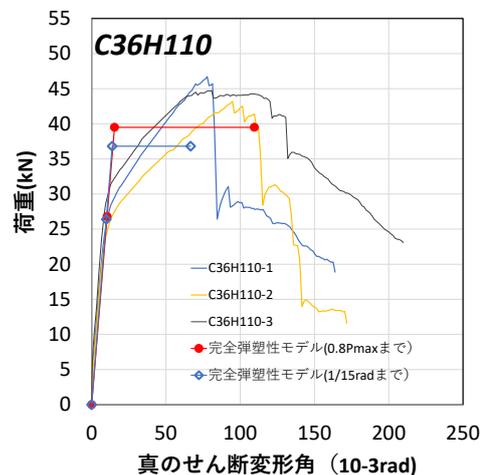


図 4.4.3-2 包絡線(軸組フレーム除去)とバイリニア

表 4.4.3-1 特性値 (0.8Pmax まで)

試験方法	タイロッド式、3回正負					
	C36H110-1	C36H110-2	C36H110-3	平均値	標準偏差	変動係数
最大モーメント Mmax (kN・m)	46.7	43.2	44.8	44.9	1.75	
最大モーメント時変形角 γ_{0max} (10 ⁻³ rad)	77.78	94.78	80.67	84.41	9.1	
降伏モーメント My (kN・m)	26.5	25.2	28.6	26.8	1.72	0.064
降伏変形角 γ_{0y} (10 ⁻³ rad)	10.73	11.05	9.46	10.41	0.84	
終局モーメント Mu (kN・m)	39.7	37.4	41.5	39.5	2.06	
終局変形角 γ_{0u} (10 ⁻³ rad)	82.93	113.84	131.84	109.54	24.74	
降伏点変形角 γ_{0v} (10 ⁻³ rad)	16.06	16.39	13.70	15.38	1.47	
剛性 K (MN・m/rad)	2.47	2.28	3.02	2.59	0.38	
塑性率 μ	5.16	6.95	9.62	7.24	2.24	
構造特性係数 Ds	0.33	0.28	0.23	0.28	0.05	
$Mu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu^{-1}$ (kN・m)	24.2	26.9	35.4	28.8	5.84	0.203
2/3Mmax (kN・m)	31.1	28.8	29.8	29.9	1.15	0.038
一定変形時モーメント(kN・m)						
真 1/300rad	12.2	11.1	14.2	12.5	1.57	0.126
真 1/200rad	16.7	15.7	19.3	17.2	1.86	
真 1/150rad	20.5	19.5	23.5	21.2	2.08	0.098

表 4.4.3-2 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 (0.8Pmax まで)

項目	C36H110-1	C36H110-2	C36H110-3	平均値	標準偏差		
$\gamma_{0v} (\times 10^{-3})$	16.06	16.39	13.70	15.38	1.47		
$\gamma_{0u} (\times 10^{-3})$	82.93	113.84	131.84	109.54	24.74	面材幅	1000
$\gamma_B (\times 10^{-3})$	2.21	2.08	2.31	2.20	0.12	面材長さ	1000
$\Gamma_v (\times 10^{-3})$	13.85	14.31	11.39	13.18	1.57	面材厚さ	36
$\Gamma_u (\times 10^{-3})$	80.72	111.76	129.53	107.34	24.70	せん断剛性GB	0.5

表 4.4.3-3 面材接合具 1 本あたりのせん断性能 (0.8Pmax まで)

項目	C36H110-1	C36H110-2	C36H110-3	平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
ΔP_v (kN)	8.0	7.6	8.4	8.0	0.40	0.976	ΔP_{v0}	7.8
δv (cm)	0.42	0.43	0.35	0.40	0.04	0.949	δv_0	0.38
δu (cm)	2.45	3.36	3.98	3.26	0.77	0.889	δu_0	2.90
							ΔP_{va} (kN)	7.8
							k (kN/cm)	20.53

ΔP_{va} 及びkは $\alpha=1.00$ として算出

Z_{pxy}	0.0495
I_{xy}	1.50

表 4.4.3-4 特性値 (1/15rad まで)

試験方法	タイロッド式、3回正負					
	C36H110-1	C36H110-2	C36H110-3	平均値	標準偏差	変動係数
試験体記号						
最大モーメント Mmax (kN・m)	44.6	38.7	44	42.4	3.25	
最大モーメント時変形角 $\gamma_{0max} (10^{-3}rad)$	66.67	66.67	66.67	66.67	0	
降伏モーメント My (kN・m)	26.3	24.4	28.4	26.4	2	0.076
降伏変形角 $\gamma_{0v} (10^{-3}rad)$	10.47	9.93	9.26	9.89	0.61	
終局モーメント Mu (kN・m)	37.8	33.7	38.9	36.8	2.74	
終局変形角 $\gamma_{0u} (10^{-3}rad)$	66.67	66.67	66.67	66.67	0	
降伏点変形角 $\gamma_{0v} (10^{-3}rad)$	15.06	13.72	12.70	13.83	1.18	
剛性 K (MN・m/rad)	2.51	2.46	3.07	2.68	0.34	
塑性率 μ	4.43	4.86	5.25	4.85	0.41	
構造特性係数 Ds	0.36	0.34	0.32	0.34	0.02	
$Mu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu - 1$ (kN・m)	21.2	19.9	24	21.7	2.1	0.097
2/3Mmax (kN・m)	29.7	25.8	29.3	28.3	2.15	0.076
一定変形時モーメント(kN・m)						
真 1/300rad	12.2	11.1	14.2	12.5	1.57	0.126
真 1/200rad	16.7	15.7	19.3	17.2	1.86	
真 1/150rad	20.5	19.5	23.5	21.2	2.08	0.098

表 4.4.3-5 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 (1/15rad まで)

項目	C36H110-1	C36H110-2	C36H110-3	平均値	標準偏差		
$\gamma_{0v} (\times 10^{-3})$	15.06	13.72	12.70	13.83	1.18		
$\gamma_{0u} (\times 10^{-3})$	66.67	66.67	66.67	66.67	0.00	面材幅	1000
$\gamma_B (\times 10^{-3})$	2.10	1.87	2.16	2.04	0.15	面材長さ	1000
$\Gamma_v (\times 10^{-3})$	12.96	11.85	10.54	11.78	1.21	面材厚さ	36
$\Gamma_u (\times 10^{-3})$	64.57	64.80	64.51	64.63	0.15	せん断剛性GB	0.5

表 4.4.3-6 面材接合具 1 本あたりのせん断性能 (1/15rad まで)

項目	C36H110-1	C36H110-2	C36H110-3	平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
ΔP_v (kN)	7.6	6.8	7.9	7.4	0.57	0.964	ΔP_{v0}	7.1
δv (cm)	0.39	0.36	0.32	0.36	0.04	0.954	δv_0	0.34
δu (cm)	1.94	1.97	1.96	1.96	0.02	0.996	δu_0	1.95
							ΔP_{va} (kN)	7.1
							k (kN/cm)	20.88

Z_{pxy}	0.0495
l_{xy}	1.50

ΔP_{va} 及びkは $\alpha=1.00$ として算出



写真 4.4.3-1 1 体目 試験後



写真 4.4.3-2 1 体目 CLT の浮き上がり



写真 4.4.3-3 1 体目 CLT 端部の割れ
ビス頭のめり込み



写真 4.4.3-4 1 体目 CLT 端部の割れ
ビス頭のめり込み

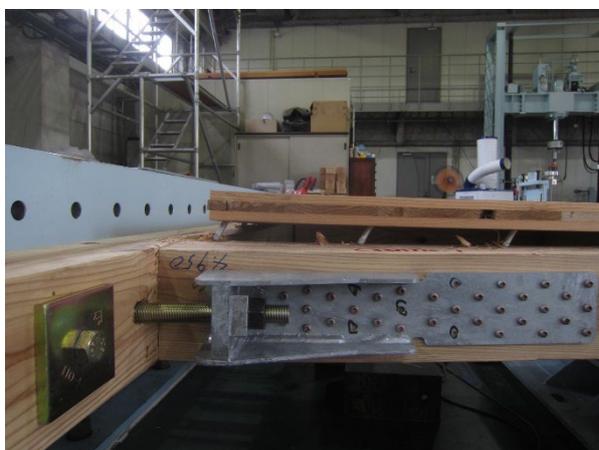


写真 4.4.3-5 1 体目 CLT の浮き上がり



写真 4.4.3-6 1 体目 CLT の浮き上がり、
横架材の割れ



写真 4.4.3-7 1体目解体後 ビスの折損、横架材の割れ等



写真 4.4.3-8 1体目解体後 ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 4.4.3-9 2体目試験後



写真 4.4.3-10 2体目 CLT 端部の割れ、ビスの変形

4.4.4. C60H140

荷重変位曲線を図 4.4.4-1 に、包絡線とバイリニアを図 4.4.4-2 に、面材接合具 1 本あたりの特性値の算定結果を表 4.4.4-1~4.4.4-3 に、面材接合具 1 本あたりの特性値の算定 (1/15rad まで) を表 4.4.4-4~4.4.4-6 に破壊性状を写真 4.4.4-1~10 に示す。

CLT 端部の割れ及びビス頭のめり込み(写真 4.4.4-3,4,5,9,10)、CLT の浮き上がり(写真 4.4.3-6,10)、ビスの折損(写真 4.4.3-8)が見られた

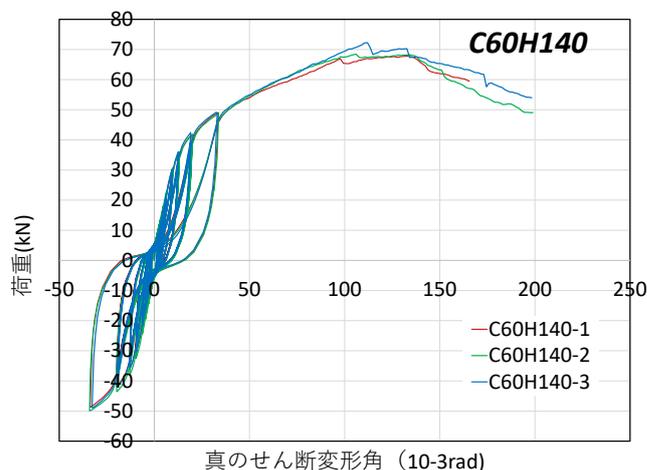


図 4.4.4-1 荷重変位曲線

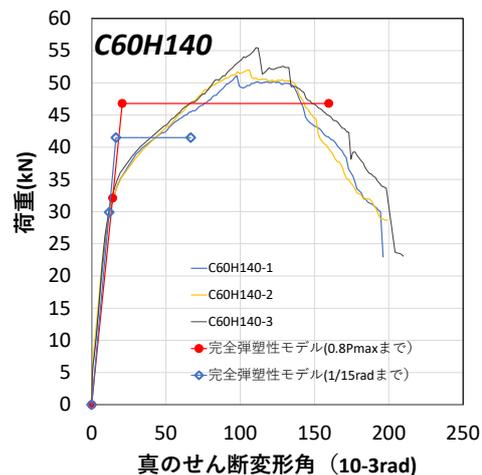


図 4.4.4-2 包絡線(軸組フレーム除去)とバイリニア

表 4.4.4-1 特性値 (0.8Pmax まで)

試験方法	タイロッド式、3回正負					
	C60H140-1	C60H140-2	C60H140-3	平均値	標準偏差	変動係数
最大モーメント Mmax (kN・m)	51.1	52	55.5	52.9	2.32	
最大モーメント時変形角 γ_{0max} (10^{-3} rad)	97.74	106.06	110.47	104.76	6.46	
降伏モーメント My (kN・m)	32.1	31.1	33.2	32.1	1.05	0.033
降伏変形角 γ_{0y} (10^{-3} rad)	14.65	13.01	14.78	14.15	0.99	
終局モーメント Mu (kN・m)	45.8	46.7	47.9	46.8	1.05	
終局変形角 γ_{0u} (10^{-3} rad)	163.41	153.32	162.15	159.63	5.5	
降伏点変形角 γ_{0v} (10^{-3} rad)	20.93	19.50	21.33	20.59	0.96	
剛性 K (MN・m/rad)	2.19	2.39	2.25	2.28	0.1	
塑性率 μ	7.81	7.86	7.60	7.76	0.14	
構造特性係数 Ds	0.26	0.26	0.27	0.26	0.01	
$Mu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu^{-1}$ (kN・m)	35	35.8	36.1	35.6	0.57	0.016
2/3Mmax (kN・m)	34.1	34.7	37	35.3	1.53	0.043
一定変形時モーメント(kN・m)						
真 1/300rad	11.4	12.8	11.2	11.8	0.87	0.074
真 1/200rad	15.7	17.1	16	16.3	0.74	
真 1/150rad	19.9	21.2	20.7	20.6	0.66	0.032

表 4.4.4-2 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 (0.8Pmax まで)

項目	C60H140-1	C60H140-2	C60H140-3	平均値	標準偏差		
$\gamma_{0v} (\times 10^{-3})$	20.93	19.50	21.33	20.59	0.96		
$\gamma_{0u} (\times 10^{-3})$	163.41	153.32	162.15	159.63	5.50	面材幅	1000
$\gamma_B (\times 10^{-3})$	1.53	1.56	1.6	1.56	0.04	面材長さ	1000
$\Gamma_v (\times 10^{-3})$	19.40	17.94	19.73	19.02	0.95	面材厚さ	60
$\Gamma_u (\times 10^{-3})$	161.88	151.76	160.55	158.06	5.50	せん断剛性GB	0.5

表 4.4.4-3 面材接合具 1 本あたりのせん断性能 (0.8Pmax まで)

項目	C60H140-1	C60H140-2	C60H140-3	平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
ΔP_v (kN)	9.3	9.4	9.7	9.5	0.21	0.990	ΔP_{v0}	9.4
δ_v (cm)	0.59	0.54	0.60	0.58	0.03	0.974	δ_{v0}	0.56
δ_u (cm)	4.92	4.57	4.88	4.79	0.19	0.981	δ_{u0}	4.70
							ΔP_{va} (kN)	9.4
							k (kN/cm)	16.79

ΔP_{va} 及びkは $\alpha=1.00$ として算出

Z_{pxy}	0.0495
I_{xy}	1.50

表 4.4.4-4 特性値 (1/15rad まで)

試験方法	タイロッド式、3回正負					
	C60H140-1	C60H140-2	C60H140-3	平均値	標準偏差	変動係数
試験体記号						
最大モーメント Mmax (kN・m)	45.5	46.8	46.9	46.4	0.78	
最大モーメント時変形角 $\gamma_{0max} (10^{-3}rad)$	66.67	66.67	66.67	66.67	0	
降伏モーメント My (kN・m)	29.5	29.5	30.8	29.9	0.75	0.025
降伏変形角 $\gamma_{0v} (10^{-3}rad)$	11.73	11.54	12.06	11.78	0.26	
終局モーメント Mu (kN・m)	41.1	41.3	42	41.5	0.47	
終局変形角 $\gamma_{0u} (10^{-3}rad)$	66.67	66.67	66.67	66.67	0	
降伏点変形角 $\gamma_{0v} (10^{-3}rad)$	16.37	16.18	16.45	16.33	0.14	
剛性 K (MN・m/rad)	2.51	2.56	2.55	2.54	0.03	
塑性率 μ	4.07	4.12	4.05	4.08	0.04	
構造特性係数 Ds	0.37	0.37	0.38	0.37	0.01	
$Mu \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu - 1$ (kN・m)	22	22.2	22.4	22.2	0.2	0.009
2/3Mmax (kN・m)	30.3	31.2	31.3	30.9	0.55	0.018
一定変形時モーメント(kN・m)						
真 1/300rad	11.4	12.8	11.2	11.8	0.87	0.074
真 1/200rad	15.7	17.1	16	16.3	0.74	
真 1/150rad	19.9	21.2	20.7	20.6	0.66	0.032

表 4.4.4-5 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 (1/15rad まで)

項目	C60H140-1	C60H140-2	C60H140-3	平均値	標準偏差		
$\gamma_{0v} (\times 10^{-3})$	16.37	16.18	16.45	16.33	0.14		
$\gamma_{0u} (\times 10^{-3})$	66.67	66.67	66.67	66.67	0.00	面材幅	1000
$\gamma_B (\times 10^{-3})$	1.37	1.38	1.4	1.38	0.02	面材長さ	1000
$\Gamma_v (\times 10^{-3})$	15.00	14.80	15.05	14.95	0.13	面材厚さ	60
$\Gamma_u (\times 10^{-3})$	65.30	65.29	65.27	65.29	0.02	せん断剛性GB	0.5

表 4.4.4-6 面材接合具 1 本あたりのせん断性能 (1/15rad まで)

項目	C60H140-1	C60H140-2	C60H140-3	平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
ΔP_v (kN)	8.3	8.3	8.5	8.4	0.12	0.994	ΔP_{v0}	8.3
δv (cm)	0.45	0.45	0.46	0.45	0.01	0.994	δv_0	0.45
δu (cm)	1.96	1.99	1.99	1.98	0.02	0.996	δu_0	1.97
							ΔP_{va} (kN)	8.3
							k (kN/cm)	18.44

Z_{pxy}	0.0495
I_{xy}	1.50

ΔP_{va} 及びkは $\alpha=1.00$ として算出



写真 4.4.4-1 1 体目 試験前



写真 4.4.4-2 1 体目 試験後



写真 4.4.4-3 1 体目 CLT 端部の割れ、ビス頭のめり込み



写真 4.4.4-4 1 体目 CLT 端部の割れ、ビス頭のめり込み



写真 4.4.4-5 1 体目 CLT 端部の割れ、ビス頭のめり込み



写真 4.4.4-6 1 体目 CLT の割れ、浮き上がり



写真 4.4.4-7 1体目解体後



写真 4.4.4-8 1体目解体後 ビスの折損



写真 4.4.4-9 2体目 CLTの割れ、ビスの引き抜け



写真 4.4.4-10 2体目 CLTの割れ、ビスの引き抜け、CLTの浮き上がり

4.5. 考察

得られた特性値を纏めると表 4.5-1 のとおりとなる。合板の樹種の違いについては、スギより比重の高いヒノキ合板の方の剛性が高くなる結果となった。また、くぎをビスに代えることで ΔP_v の大幅な向上が見られた。接合具が同じ場合、24 mm合板と 36 mm CLT ではほぼ性能に違いはない。全ねじビスより半ねじビスの方の剛性が高い結果となった。半ねじビスを締結する際に合板と木材を引き寄せる機能があるため剛性が向上するものと思われる。

表 4.5-1 特性値のまとめ(0.8Pmax まで)

No.	試験体記号	ΔP_v (kN)		δv_0 (mm)		δu_0 (mm)		塑性率	剛性 (kN/mm) 平均值
		平均值	50%下 限值	平均值	50%下 限值	平均值	50%下 限值		
1	SP24 CN75	2.47	2.42	1.5	1.4	26.8	22.7	16.21	1.73
2	HP24 CN75	2.57	2.44	1.1	1.0	20.9	18.9	18.90	2.44
3	SP24H110	8.20	7.90	4.1	3.8	40.1	39.3	10.34	2.08
4	C36CN90	2.47	2.43	1.5	1.4	26.8	22.7	16.21	1.73
5	C36 H110	8.00	7.80	4.0	3.8	32.6	29.0	7.63	2.05
6	C60F140	10.00	9.90	10.7	10.0	47.4	47.3	4.73	0.99
7	C60H140	9.50	9.40	5.8	5.6	47.9	47.0	8.39	1.68

5. 大壁耐力壁の面内せん断試験

5.1. 試験の目的

4章で実施したビス1本あたりのせん断性能データを用いて耐力壁を設計し、計算結果と照合し、設計法が妥当であることを検証する。

目標性能は壁倍率換算で15倍程度を目標とする。

5.2. 試験の内容

5.2.1. ビスの仕様

耐力壁に使用するフルスレッドビスは4章図4.2.1-2に示すヘキサビュラ穴付きタッピンねじHTS9・F(半ねじビス)のうちL=140mmを使用した。

5.2.2. 試験の種類

試験の種類は表5.2.2-1のとおり1仕様3体の試験とする。試験体図は図5.2.2-4に示す。試験体の設計は4章で得られたビス1本あたりのデータからグレー本⁷⁾の詳細計算法によって算出している。

表 5.2.2-1 試験の種類

No.	1
試験体記号	C60-140
鉛直方向標点距離H(mm)	3000
水平方向標点距離V(mm)	910
柱材	スギ製材E70/SD15/120角
添え柱材	スギ製材E70/SD15/120角
横架材	スギ製材E70/SD20/幅120×せい240
土台材	スギ製材E70/SD15/120角
CLTの種類	スギCLT/Mx60/A種構成/3層3プライ
CLTのサイズ	厚60×910×3000
CLTの鉛直方向の向き	強軸方向
フルスレッドビスの種類	ヘキサビュラ穴付きタッピンねじHTS9・F L110(半ねじ)
ビス打ち込み本数(本)	62本 (@125mm)
備考	間柱はつけていない
試験体数(体)	3

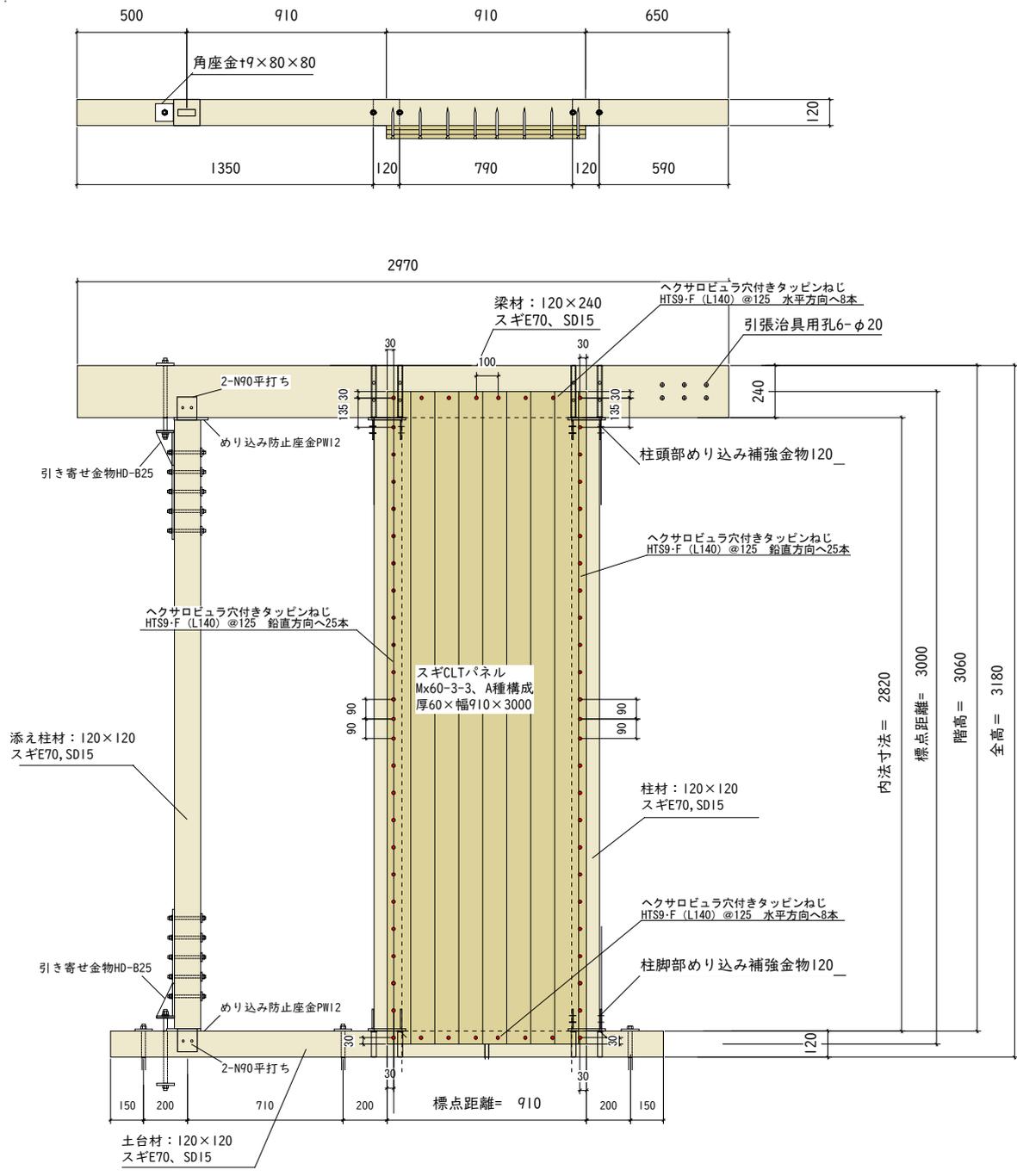


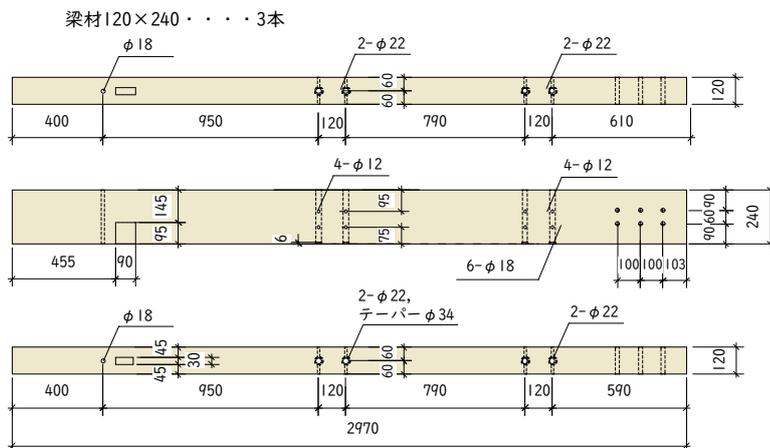
図 5.2.2-1 C60-140 試験体図

5.2.3. 密度と含水率

- 柱材：密度 0.37～0.43（平均 0.40）g/cm³、含水率 9.5～11.5(平均 10.3)%
- 梁材：密度 0.35～0.38（平均 0.36）g/cm³、含水率 9.0～12.0(平均 10.5)%
- 土台：密度 0.36～0.43（平均 0.39）g/cm³、含水率 9.5～11.5(平均 10.3)%
- CLT：密度 0.40～0.41（平均 0.40）g/cm³、含水率 12.0～12.5(平均 12.2)%

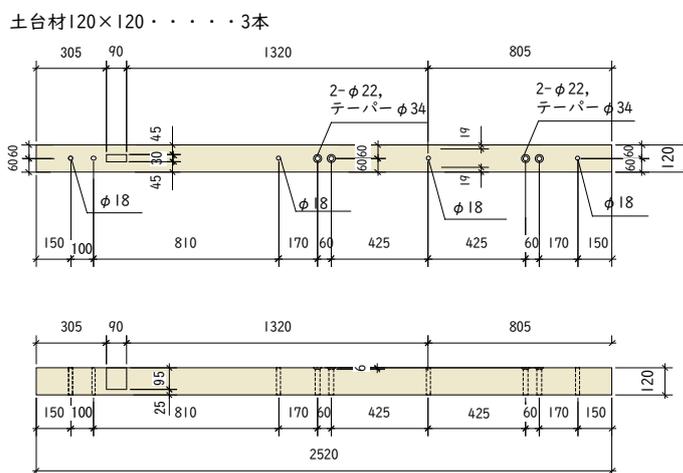
5.2.4. 試験部材加工図

試験部材加工図を図 5.2.3-1～図 5.2.3-4 に示す。



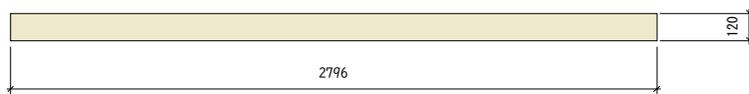
スギ製材 E70 SD15

図 5.2.3-1 梁材 部材加工図



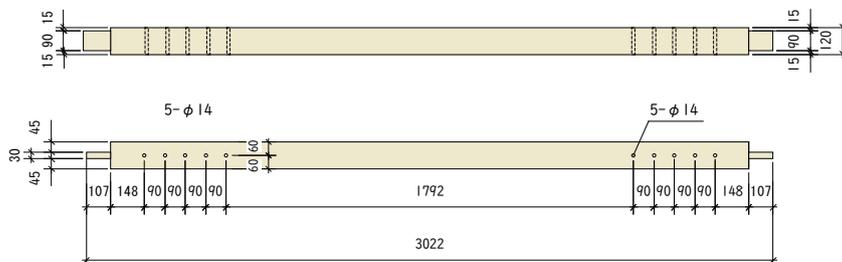
スギ製材 E70 SD15

図 5.2.3-2 土台材 部材加工図



スギ製材 E70 SD15

図 5.2.3-3 柱材 部材加工図



スギ製材 E70 SD15

図 5.2.3-4 壁高さ 4500 mm用梁材 部材加工図

5.2.5. 接合金物図

耐力壁の柱頭柱脚接合に使った金物図を図 5.2.4-1～図 5.2.4-5 に示す。

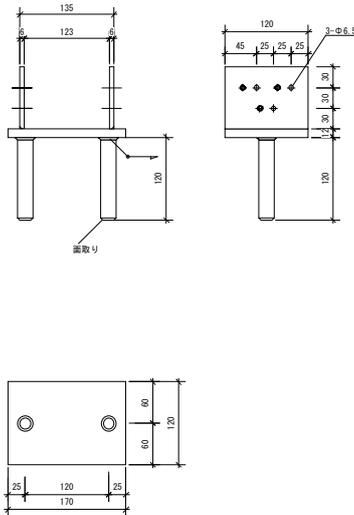


図 5.2.4-1 柱脚金物図

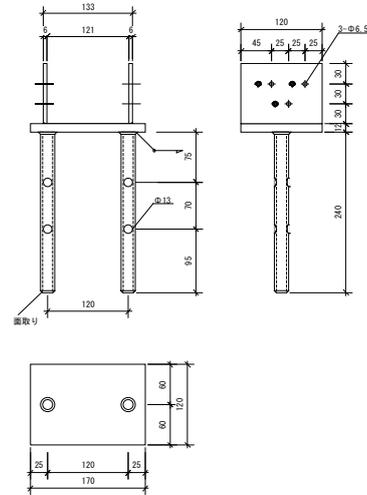


図 5.2.4-2 柱頭金物図



図 5.2.4-3 ドリフトピン $\Phi 12$ L=115

5.3. 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⁷⁾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、 $1/30\text{rad}$ 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。

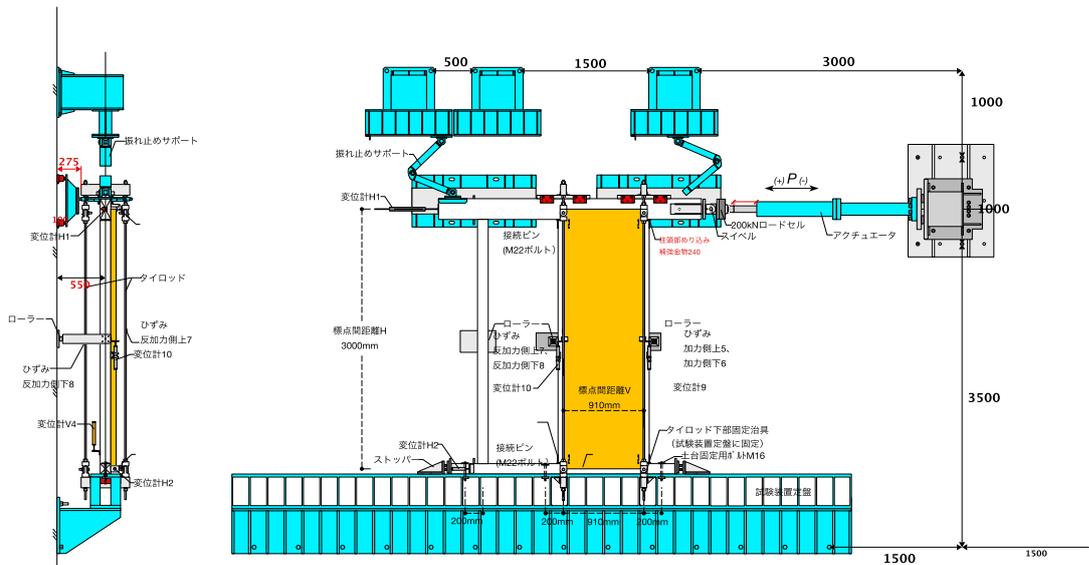


図 4.3-1 試験方法図

5.4. 試験結果

荷重変位曲線を図 5.4-1 に、破壊性状を写真 5.4-1～写真 5.4-7 に示す。終局時に端部ビスの引き抜け、1、2 体目にビスによる土台の割れが観察されたが、ビス頭のパンチングアウトは生じなかった。また、1、2 体目は鉛直方向一列の幅はぎとビス配置が非常に近い位置であったが、脆性的な破壊は生じなかった（写真 5.4-7）

壁倍率評価は表 3.3-1 のとおり 19.5 倍となった。低減係数 0.85 と仮定すると 16.57 倍となる。

表 5.4-1 50%下限値評価

項目	試験荷重 (平均値) (kN/0.91m)	ばらつき係数	50%下限値
			(kN/0.91m)
P_y	40.2	0.977	39.3
$P_u \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2} \mu - 1$	37.6	0.981	36.9
$2/3P_{max}$	42.8	0.980	41.9
P_{150}	35.6	0.980	34.9
	$K = 0.471$		P_0
	幅 = 0.91		倍率
			34.9
			19.5

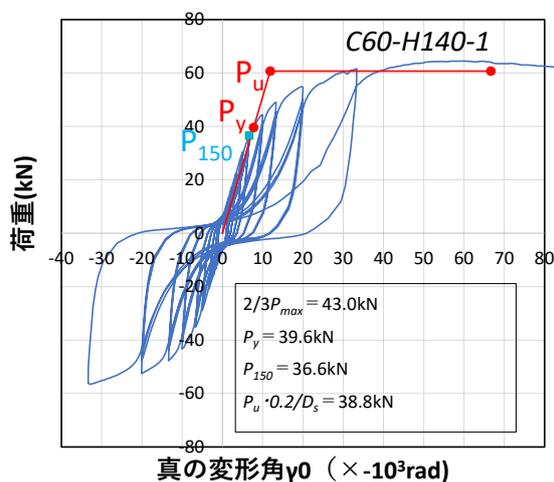


図 5.4-1 1 体目の荷重変位曲線とバイリニア

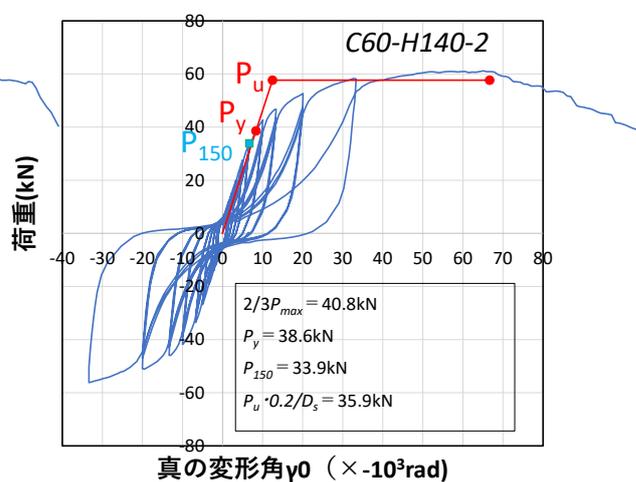


図 5.4-2 2 体目の荷重変位曲線とバイリニア

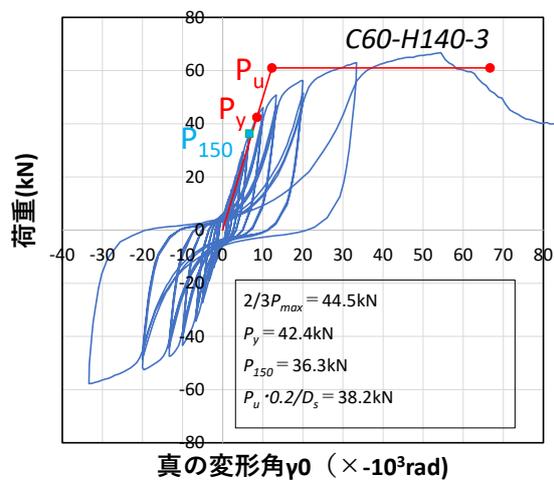


図 5.4-3 3 体目の荷重変位曲線とバイリニア



写真 5.4-1 試験前 ビスの打ち込み

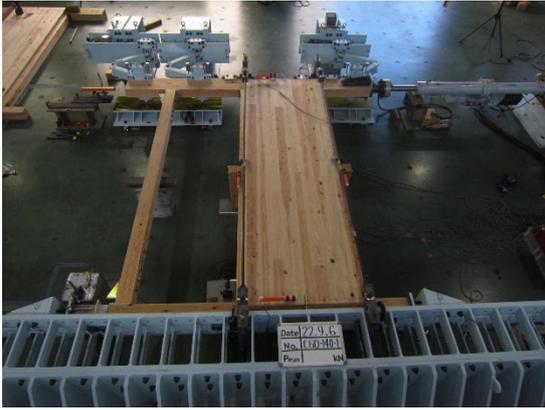


写真 5.4-2 試験前



写真 5.4-3 試験後



写真 5.4-4 試験後 加力側柱脚部



写真 5.4-5 試験後 非加力側柱脚部



写真 5.4-6 非加力側柱頭部



写真 5.4-7 梁 ビスの引き抜け、めり込み



写真 5.4-8 幅はぎとビスが近い位置関係にあったが、脆性的な破壊は生じず。



写真 5.4-9 CLT の浮き上がり

5.5. 試験結果と計算結果の比較

試験結果と詳細計算法の比較を表 5.5-1 に示す。

詳細計算法は、接合具の要素試験を 0.8Pmax に落ちるまでと 1/15rad になるまで（図 5.5-1）を評価の範囲とした 2 通りの方法によって算出した。

結果として詳細計算法の剛性と Py が低めになった。くぎ接合は、降伏後の二次勾配が小さく、バイリニアに近い性状を示すのに対し、ビスは降伏後も荷重が大きくなることから、耐力壁の降伏耐力の算出は、ビス 1 本あたりの降伏耐力 ΔPy で算出することとした。結果は表 5.5-2 のとおり、Py はよく一致する結果となった。

表 5.5-1 試験結果と詳細計算法の比較

特性値	実験値	詳細計算法 (0.8Pmax)	詳細計算法 (1/15radまで)
P _u (kN)	59.8	64.85	54.01
P ₁₅₀ (kN)	34.9	25.92	28.06
P _y (kN)	39.3	61.16	54.01
0.2√(2μ-1)*P _u (kN)	36.9	47.90	29.63
倍率	19.6	14.5	15.7

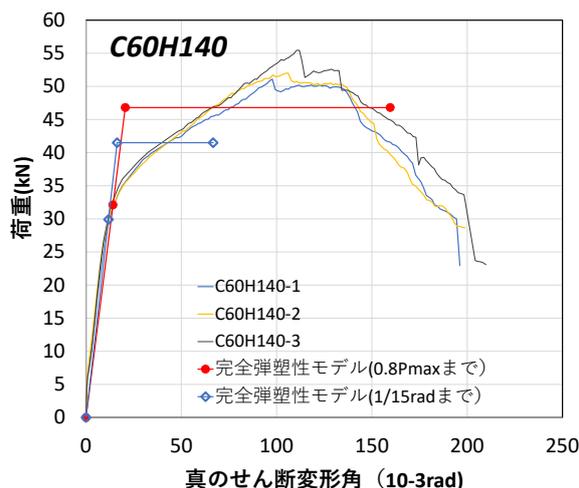


表 5.5-2 試験結果と詳細計算法の比較 (Py を ΔPy で算出)

特性値	実験値	詳細計算法 (0.8Pmax)	詳細計算法 (1/15radまで)
P _u (kN)	59.8	64.85	54.01
P ₁₅₀ (kN)	34.9	25.92	28.06
P _y (kN)	39.3	41.60	38.87
0.2√(2μ-1)*P _u (kN)	36.9	47.90	29.63
倍率	19.6	14.5	15.7

図 5.5-1 要素試験 C60H140 の包絡線

接合具 1 本あたりの特性値について、グレー本どおり荷重低下するまで評価した場合と、1/15rad で打ち切った場合の特性値を比較したものを表 5.4-2 に示す。

表 5.4-2 各試験体の接合具 1 本あたり特性値（上表は再掲）

■グレー本評価方法どおり（0.8Pmax に落ちるまで）の場合

No.	試験体記号	ΔPv(kN)		δv0(mm)		δu0(mm)		塑性率	剛性(kN/mm)	ΔPy(kN)	
		平均値	50%下限値	平均値	50%下限値	平均値	50%下限値			平均値	50%下限値
1	SP24 CN75	2.47	2.43	1.5	1.4	26.8	22.7	17.87	1.73	1.47	1.39
2	HP24 CN75	2.57	2.44	1.1	1.0	20.9	18.9	18.90	2.44	1.59	1.52
3	SP24H110	8.20	7.90	4.1	3.8	40.1	39.3	10.34	2.08	5.50	5.43
4	C36CN90	2.47	2.43	1.5	1.4	26.8	22.7	16.21	1.73	1.47	1.39
5	C36 H110	8.00	7.80	4.0	3.8	32.6	29.0	7.63	2.05	5.41	5.25
6	C60F140	10.00	9.90	10.7	10.0	47.4	47.3	4.73	0.99	4.84	4.78
7	C60H140	9.50	9.40	5.8	5.6	47.9	47.0	8.39	1.68	6.49	6.39

■1/15rad で打ち切った場合

No.	試験体記号	ΔPv(kN)		δv0(mm)		δu0(mm)		塑性率	剛性(kN/mm)	ΔPy(kN)	
		平均値	50%下限値	平均値	50%下限値	平均値	50%下限値			平均値	50%下限値
1	SP24 CN75	2.47	2.42	1.5	1.4	19.6	19.3	13.79	1.73	1.47	1.39
2	HP24 CN75	2.58	2.45	1.1	1.0	19.0	18.5	18.50	2.45	1.59	1.52
3	SP24H110	7.50	7.40	3.3	3.2	19.2	19.1	5.97	2.31	5.23	5.20
4	C36CN90	3.19	3.10	2.4	2.2	19.7	19.7	8.95	1.41	2.04	1.98
5	C36 H110	7.40	7.10	3.6	3.4	19.6	19.5	5.74	2.09	5.33	5.13
6	C60F140	6.70	6.60	5.7	5.4	19.8	19.8	3.67	1.22	4.32	4.17
7	C60H140	8.40	8.30	4.5	4.5	19.8	19.7	4.38	1.84	6.05	5.97

5.6. CLT 面材の配置ルールについて

面材くぎの配置ルールについては、中大規模グレー本で図 5.6-1 のとおりとなっている。EC5 では $\phi 6\text{mm}$ 未満のビスはくぎに準じた配列ルール(ピッチ等の最小寸法)、 $\phi 6\text{mm}$ 以上のビスはボルトに準じた配列ルールとしているため、面材接合具の配置ルールは、3.3.2 項で述べた EC5³⁾ 及び ETA (RothoBlass 社のビスの評価)⁴⁾ に準拠して、 $\phi 6\text{mm}$ 未満なら中大規模グレー本⁸⁾ に準拠し、 $\phi 6\text{mm}$ 以上のビスは図 5.6-2 の EC5 のビス配列を参考にしてはどうか。

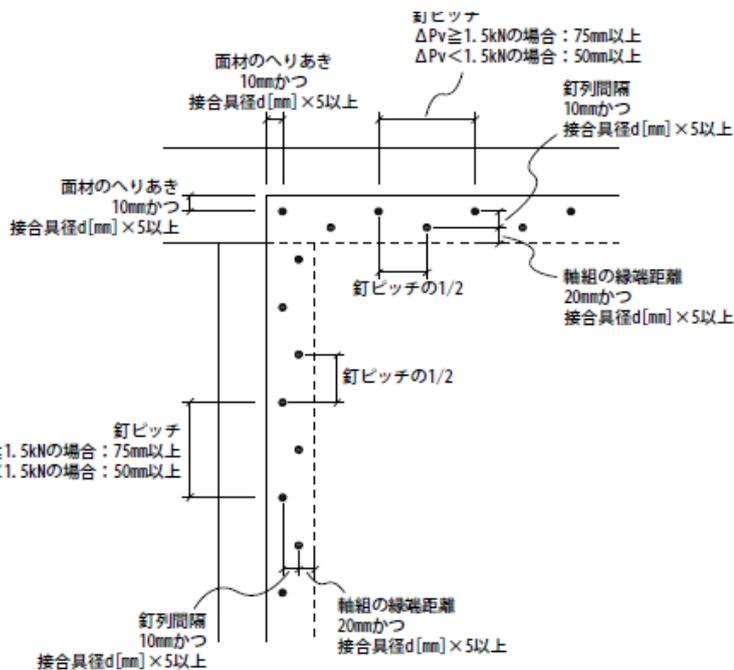


図 2.5.3-1 釘等の配置

図 5.6-1 面材のくぎ配置ルール (中大規模グレー本より抜粋)

提案の配置ルールは図 5.6-2 のとおりとした上で、実験に基づく場合はこの限りではないとしてどうか

なお、CLT と軸組の両方にビスが打たれるので、ビス列間隔は ETA の $2.5d$ ではなく、EC5 の $4d$ 以上を適用する。

→面材のへりあきが厳しすぎるので、せめて $5d$ 以上にできないか？

呼び径 6mm 未満のビスやくぎは、中大規模グレー本のとおり。

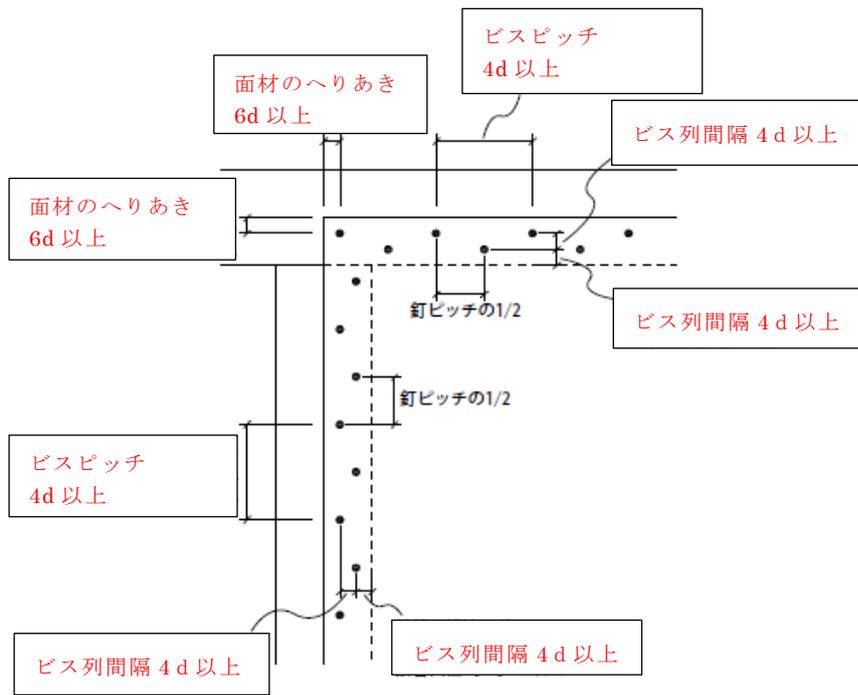


図 2.5.3-1 釘等の配置

※実験に基づく場合はこの限りではない

図 5.6-2 CLT 面材の呼び径 $\phi 6\text{mm}$ 以上のビス配置ルールの提案

6. 真壁仕様耐力壁の試験結果と計算結果の比較

6.1. 検証の目的

前年度「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」4章で実施した真壁耐力壁の面内せん断試験についてその結果と詳細計算法による計算値との比較を行うことを目的とする。

6.2. 検証の結果

試験体形状と試験結果の荷重変位曲線等の結果を図6.2-1～図6.2-24に示す。荷重変位曲線には実験値の完全弾塑性モデルと、詳細計算法によるバイリニアを記載している。

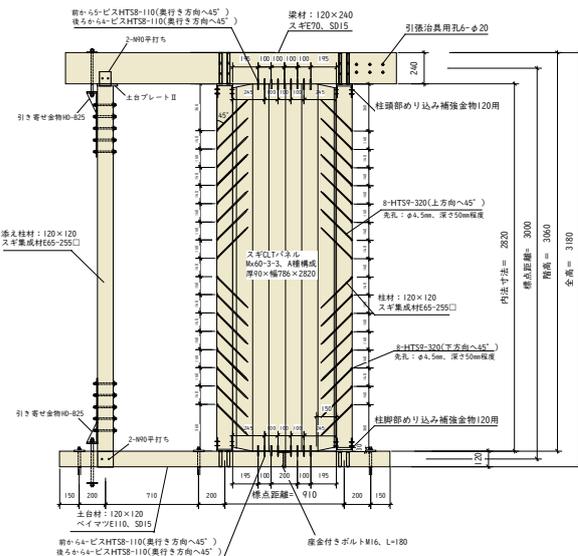


図 6.2-1 R2 年度 FS45-320 試験体図

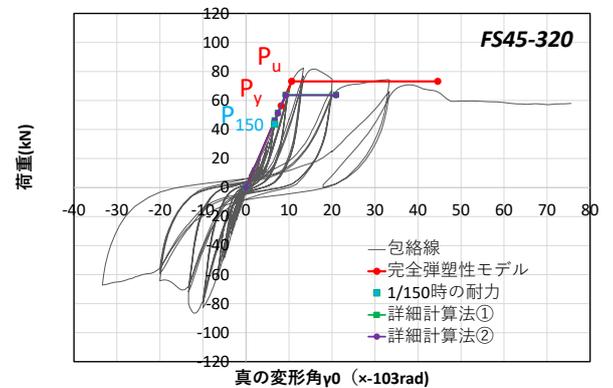


図 6.2-2 R2 年度 FS45-320 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

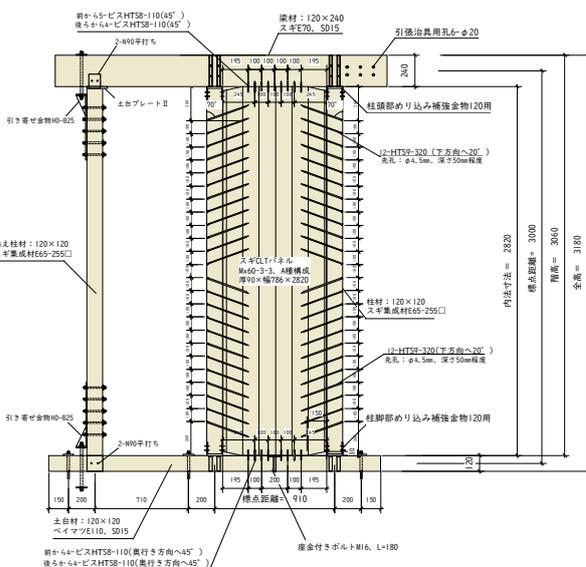


図 6.2-3 R2 年度 FS70-320 試験体図

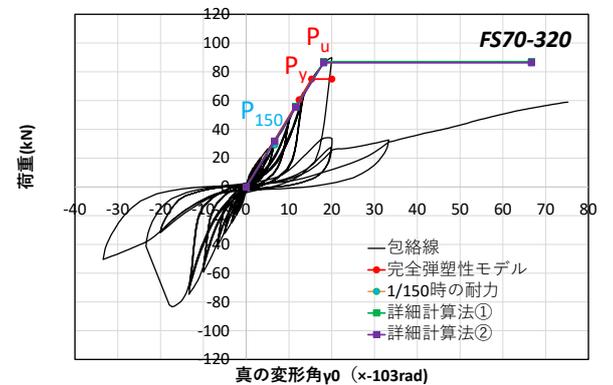


図 6.2-4 R2 年度 FS70-320 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

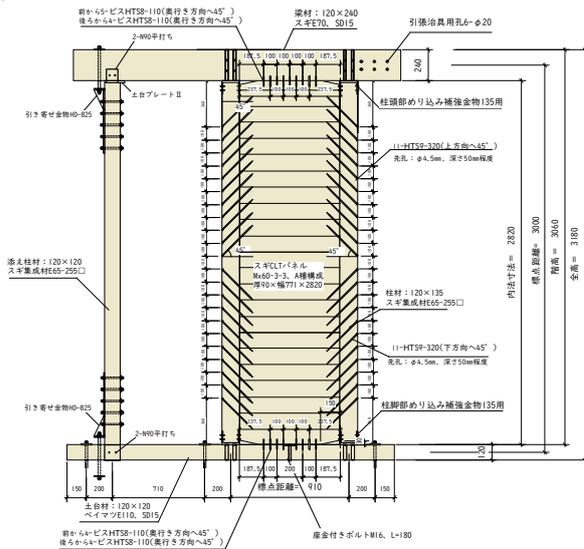


図 6.2-5 R2年度 FW45-320 試験体図

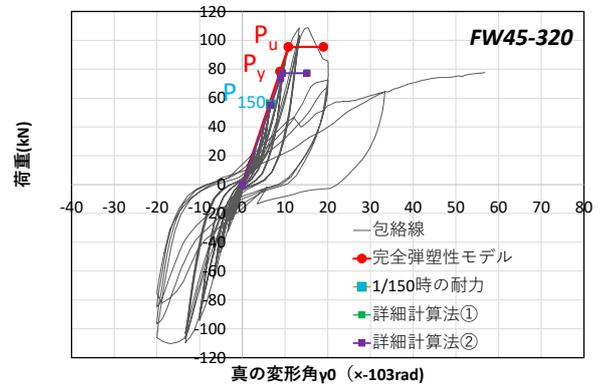


図 6.2-6 R2年度 FW45-320 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

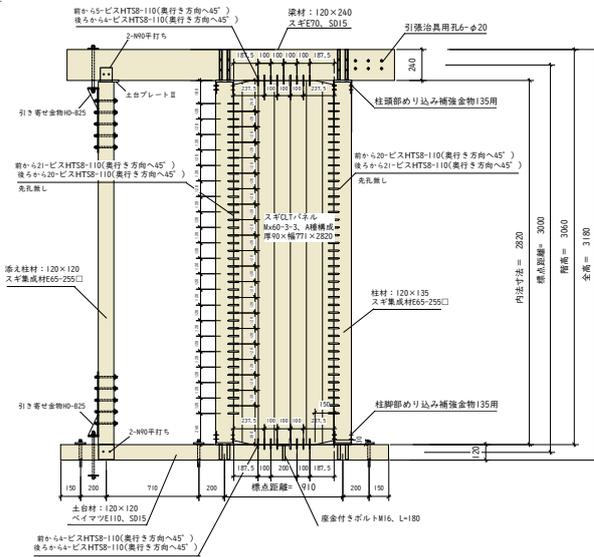


図 6.2-7 R2年度 FS90-110 試験体図

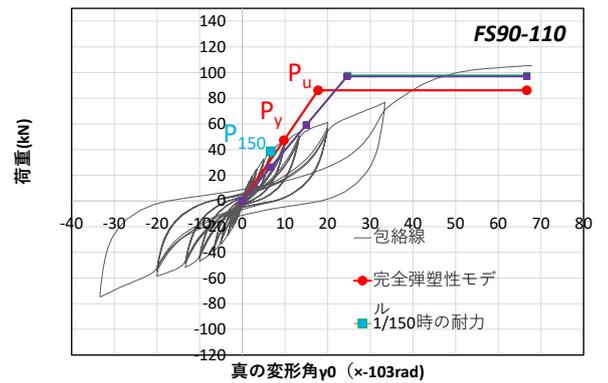


図 6.2-8 R2年度 FS90-110 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

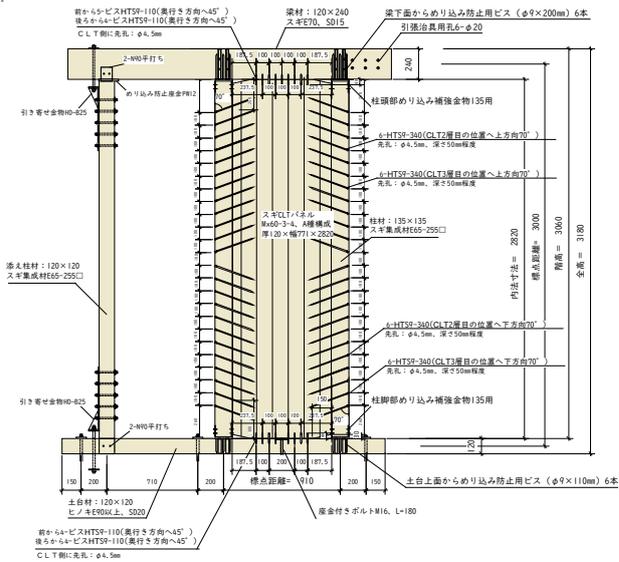


図 6.2-9 R3 年度 FS70-340-L9.1-1 試験体図

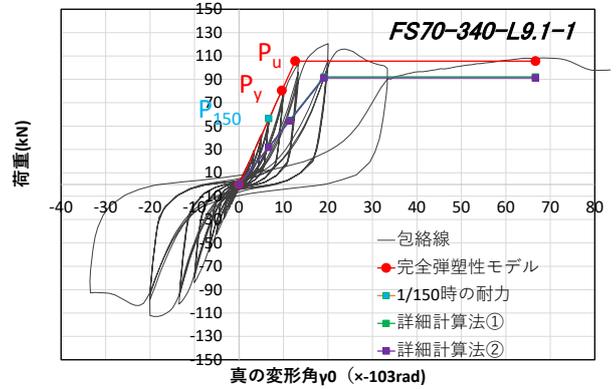


図 6.2-10 R3 年度 FS70-340-L9.1-1 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

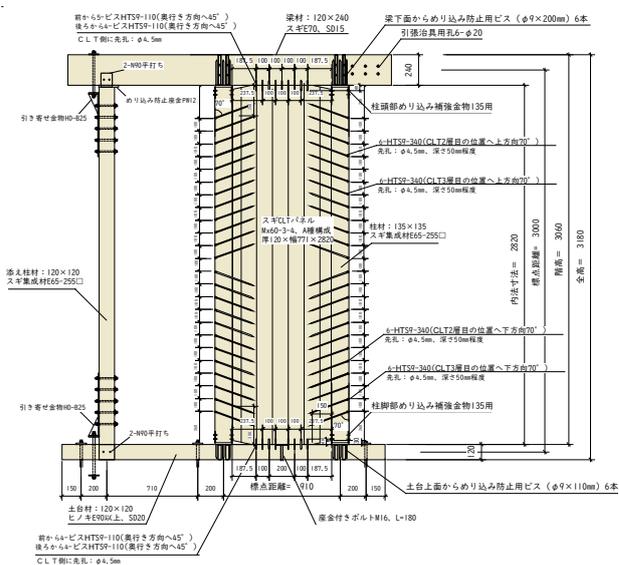


図 6.2-11 R3 年度 FS70-340-L9.1-1,2 試験体図

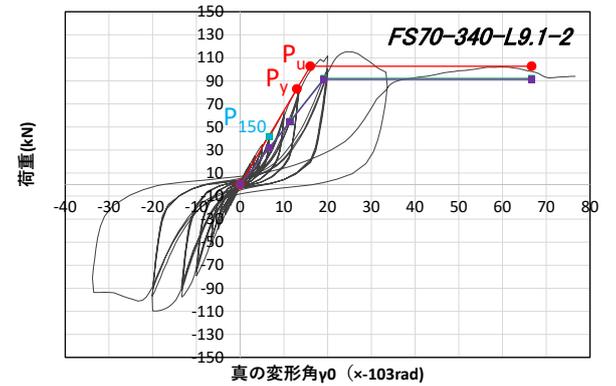
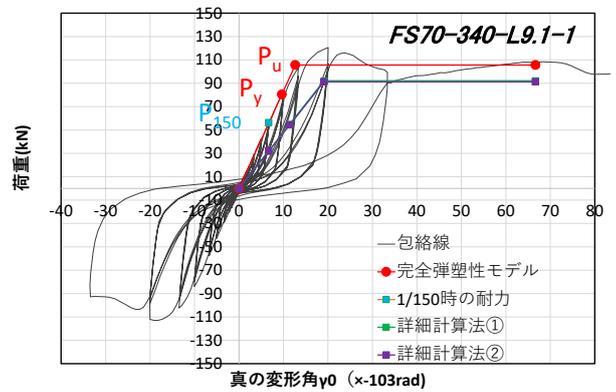


図 6.2-12 R3 年度 FS70-340-L9.1-1, 2 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

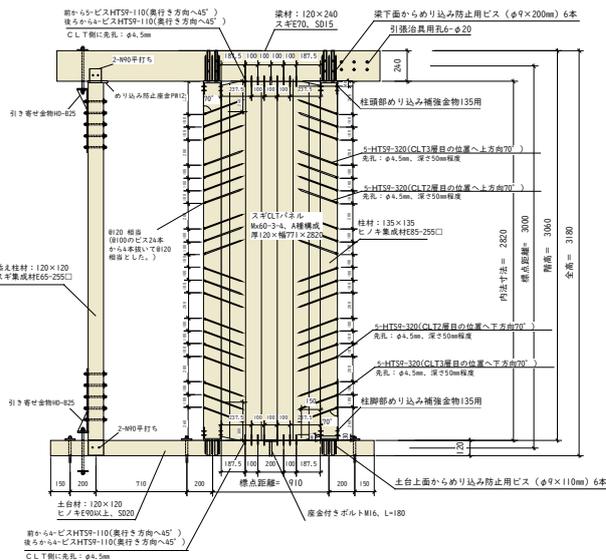


図 6.2-13 R3 年度 FS70-340-H@12 試験体図

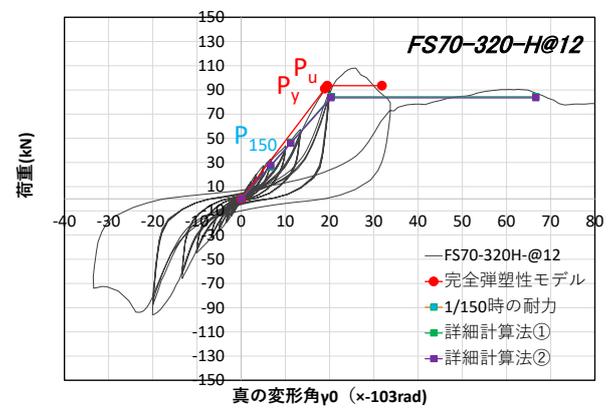


図 6.2-14 R3 年度 FS70-340-H@12 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

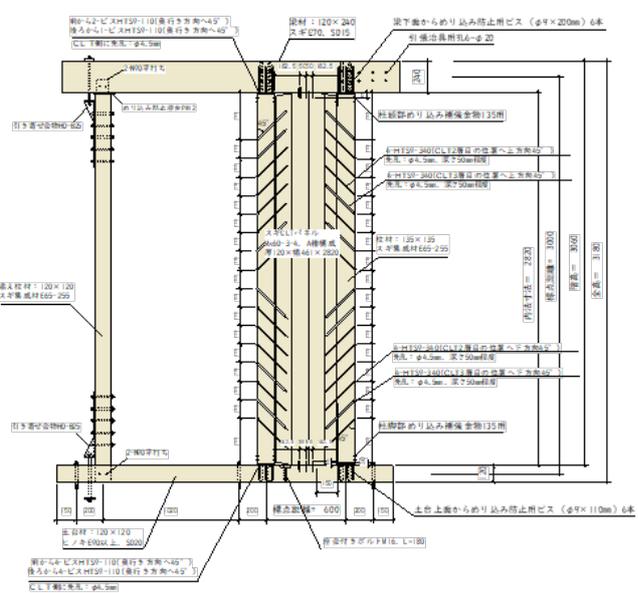


図 6.2-15 R3 年度 FS45-340-L6.0 試験体図

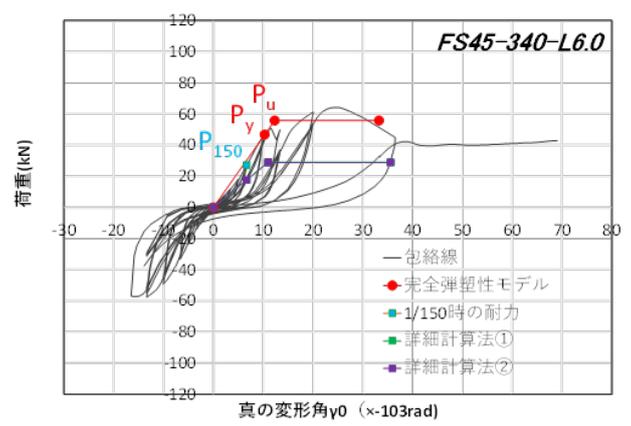


図 6.2-16 R3 年度 FS45-340-L6.0 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

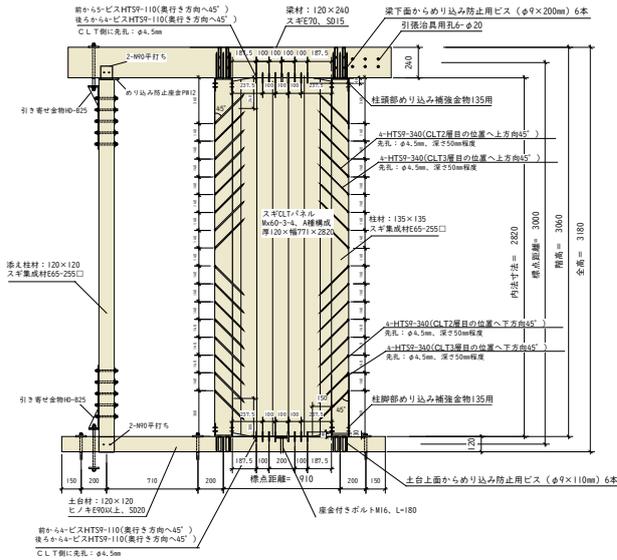


図 6.2-17 R3 年度 FS45-340 試験体図

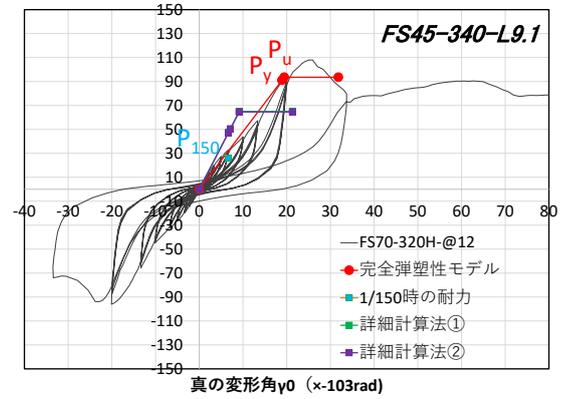


図 6.2-18 R3 年度 FS45-340 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

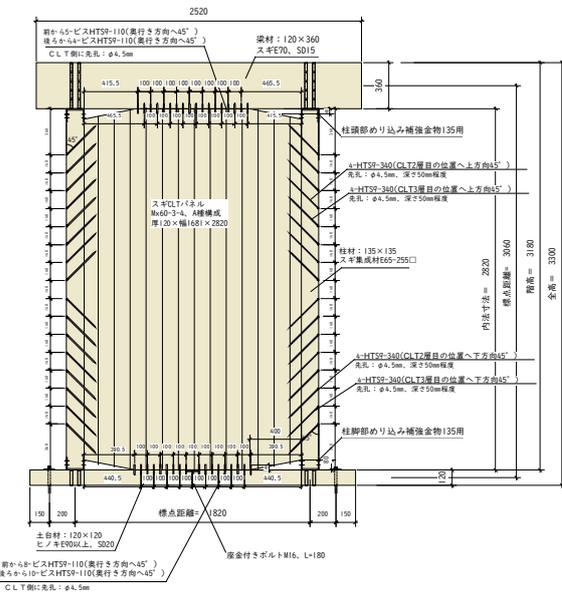


図 6.2-19 R3 年度 FS45-340-L18.2 試験体図

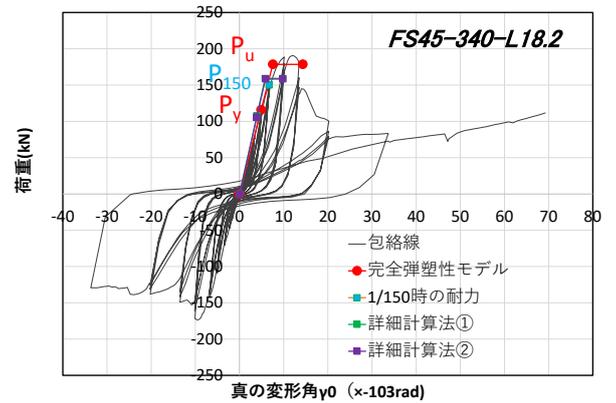


図 6.2-20 R3 年度 FS45-340-L18.2 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

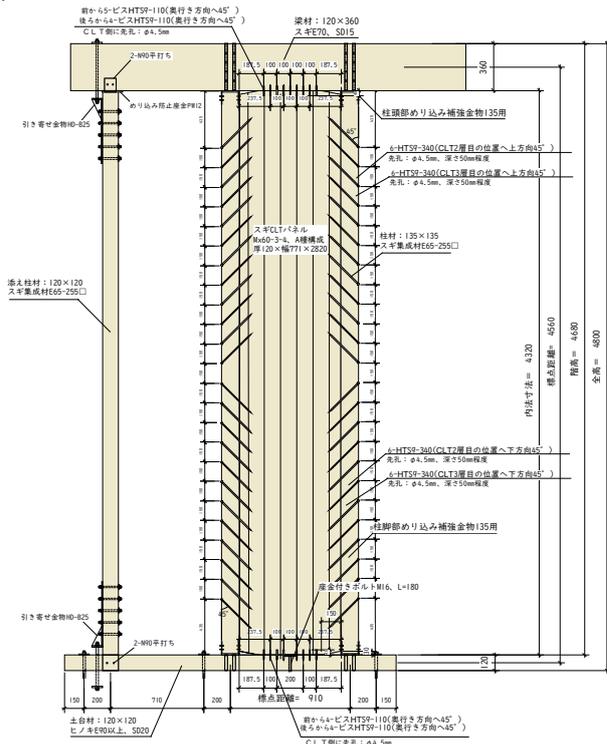


図 6.2-19 R3 年度 FS45-340-H45 試験体図

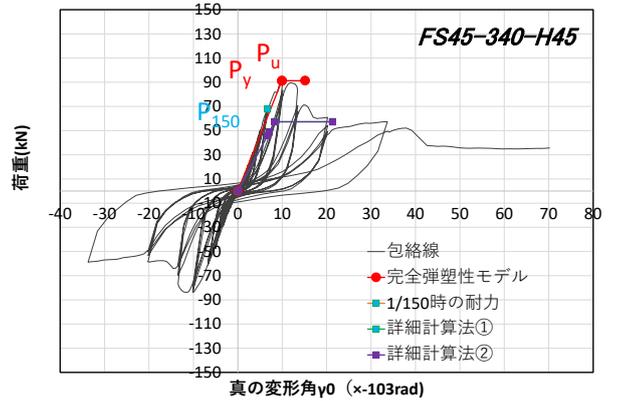


図 6.2-20 R3 年度 FS45-340-H45 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

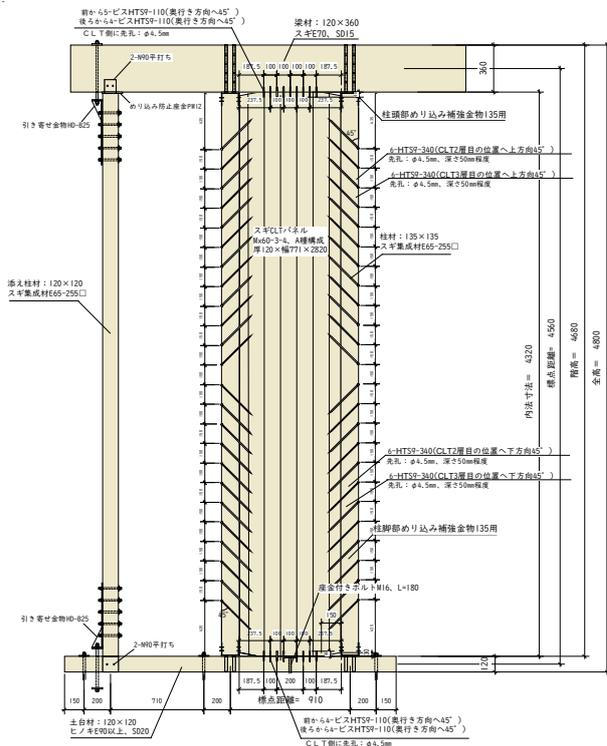


図 6.2-21 R3 年度 FS90-110-L6.0 試験体図

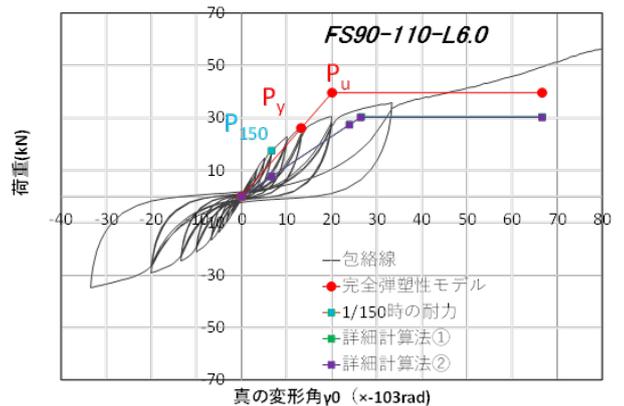


図 6.2-22 R3 年度 FS90-110-L6.0 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

図 6.2-23 R3 年度 FS90-110-L9.1 試験体図

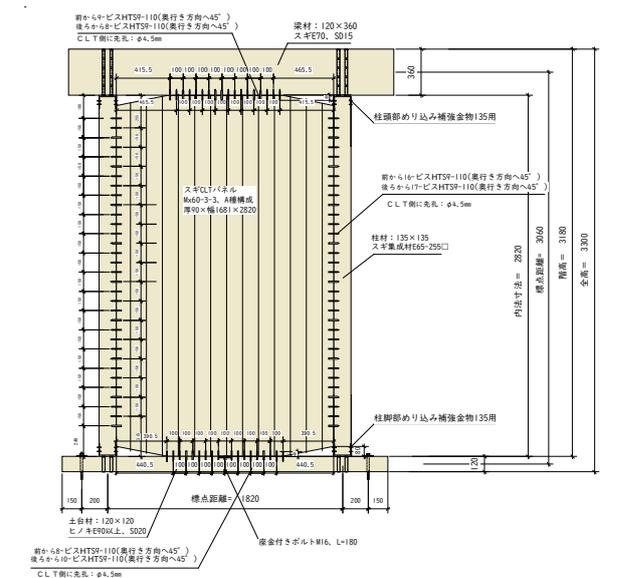


図 6.2-25 R3 年度 FS90-110-L18.2 試験体図

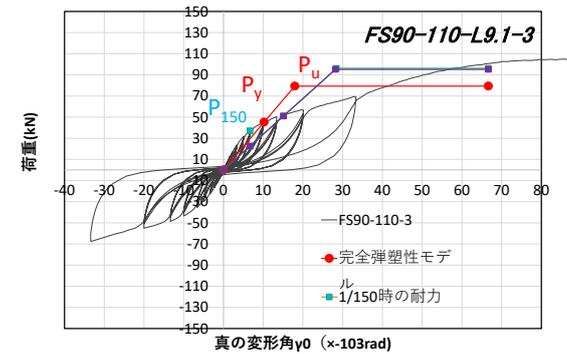
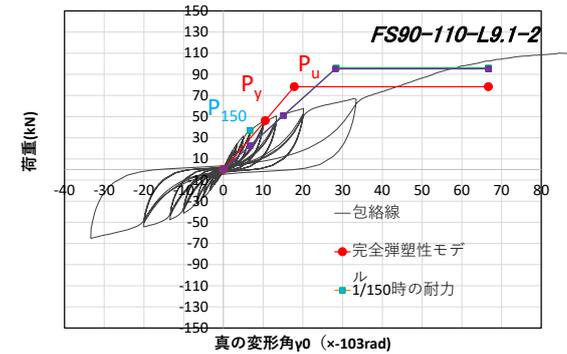
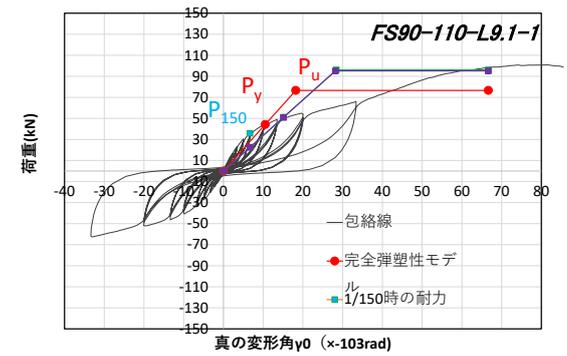
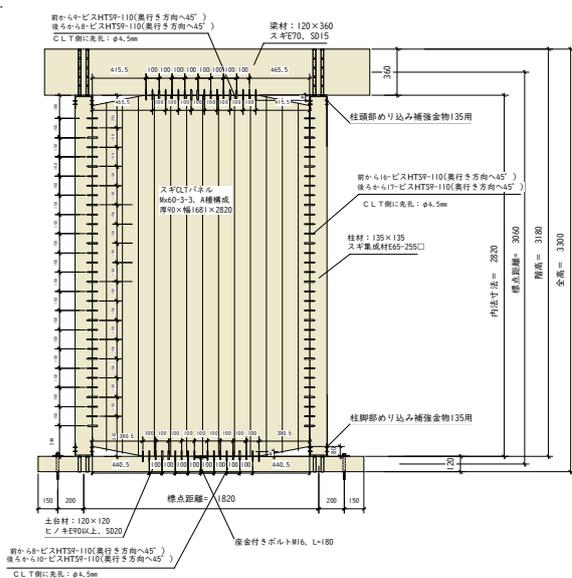


図 6.2-24 R3 年度 FS90-110-L9.1-1~3 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

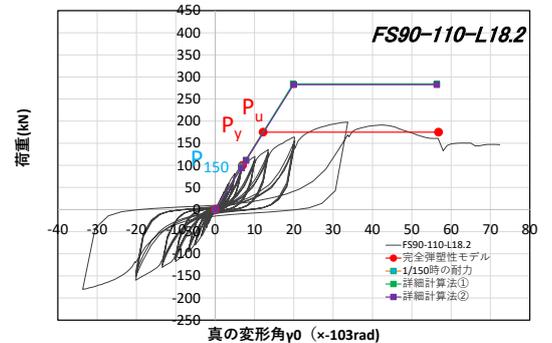


図 6.2-26 R3 年度 FS90-110-L18.2 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

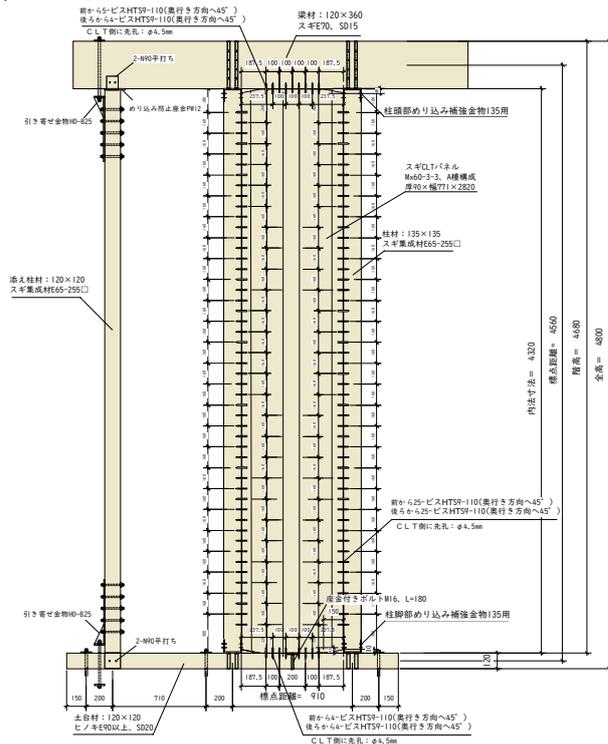


図 6.2-27 R3 年度 FS90-110-H45 試験体図

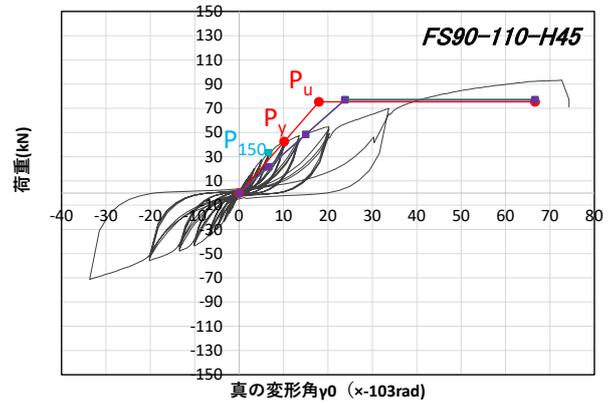


図 6.2-28 R3 年度 FS90-110-H45 荷重変位曲線と完全弾塑性モデル

6.3. 各特性値の比較

各特性値の比較を表 6.3-1 に、斜め打ち仕様と直角打ち仕様を分けた上で終局耐力の比較を図 6.3-1 に、降伏耐力の比較を図 6.3-2 に、 $1/150\text{rad}$ 時の耐力の比較を図 6.3-3 に、 $0.2\sqrt{(2\mu - 1)} \times P_u$ の比較を図 6.3-4 に示す。

- ②と⑥は、 $0.2 \times \sqrt{(2\mu - 1)} \times P_u$ の計算値が高いが、終局耐力は一致しているので、想定より脆性的に壊れてしまったことが原因と思われる。
- 直角打ち仕様 2P タイプ⑬の終局耐力及び $0.2 \times \sqrt{(2\mu - 1)} \times P_u$ の計算値は高すぎる結果となった。
- 直角打ち仕様の剛性が安全側過ぎる結果となった。

表 6.3-1 各特性値の比較

	終局耐力Pu(kN)			降伏耐力Py(kN)			1/150rad時の耐力(kN)			$0.2 \times \sqrt{(2 \mu - 1)} \times Pu$		
	完全弾塑性モデル	詳細計算法	計算/実験	完全弾塑性モデル	詳細計算法	計算/実験	完全弾塑性モデル	詳細計算法	計算/実験	完全弾塑性モデル	詳細計算法	計算/実験
①FS45-320	73.2	63.9	0.9	56.3	51.4	0.9	43.6	46.3	1.1	39.8	27.6	0.7
②FS70-320	75.0	87.0	1.2	60.6	55.7	0.9	29.2	31.9	1.1	19.1	56.3	2.9
③FW70-320	95.5	77.4	0.8	78.4	74.0	0.9	55.8	55.1	1.0	30.3	23.9	0.8
④FS90-110	86.2	97.8	1.1	47.3	59.3	1.3	38.6	26.4	0.7	44.0	55.0	1.2
⑤FS70-320-1	105.6	92.1	0.9	80.5	54.8	0.7	56.4	32.0	0.6	65.2	60.3	0.9
⑤FS70-320-2	102.7	92.1	0.9	83.0	54.8	0.7	41.6	32.0	0.8	55.5	60.3	1.1
⑥FS70-320-H@120	93.5	84.3	0.9	91.0	46.3	0.5	26.0	27.6	1.1	28.2	55.7	2.0
⑦FS45-340-L6	55.8	28.9	0.5	46.7	29.1	0.6	27.1	17.6	0.6	23.4	13.5	0.6
⑧FS45-340	75.8	64.9	0.9	66.2	50.6	0.8	51.1	47.3	0.9	26.3	29.0	1.1
⑨FS45-340-L18.2	178.6	159.2	0.9	115.9	107.7	0.9	150.0	182.5	1.2	59.8	63.6	1.1
⑩FS45-340-H45	91.3	57.4	0.6	91.1	48.8	0.5	67.8	46.0	0.7	26.1	25.8	1.0
⑪FS90-110-L6	39.6	30.2	0.8	26.1	27.4	1.0	17.5	7.6	0.4	18.8	12.9	0.7
⑫FS90-110-1	76.6	95.1	1.2	44.2	51.0	1.2	35.8	22.5	0.6	38.5	53.3	1.4
⑫FS90-110-2	78.3	95.1	1.2	46.2	51.0	1.1	36.9	22.5	0.6	39.9	53.3	1.3
⑫FS90-110-3	79.4	95.1	1.2	45.3	51.0	1.1	37.1	22.5	0.6	40.2	53.3	1.3
⑬FS90-110-L18.2	175.1	284.4	1.6	100.1	112.6	1.1	97.8	95.6	1.0	101.0	207.8	2.1
⑭FS90-110-H4.5	75.3	77.4	1.0	42.5	48.6	1.1	33.4	21.6	0.6	38.2	43.5	1.1

赤：計算結果が危険側

青：計算結果が安全側だが大きく外れている。

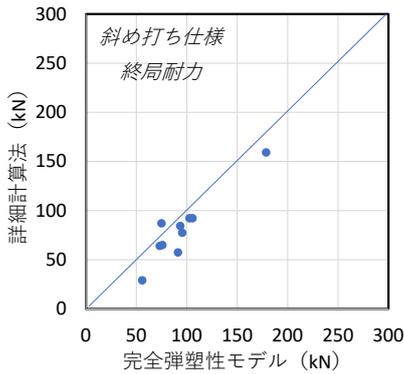


図 6.3-1 斜め打ち仕様終局耐力

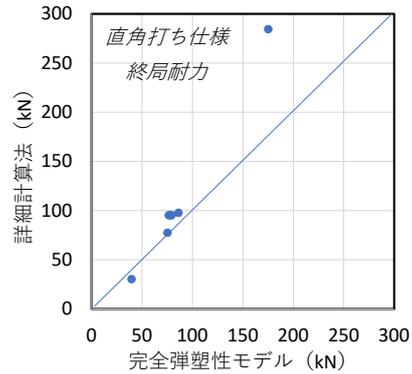


図 6.3-2 直角打ち仕様終局耐力

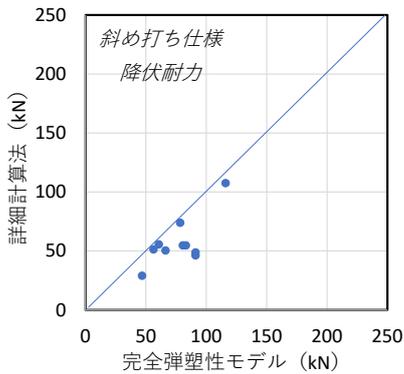


図 6.3-3 斜め打ち仕様降伏耐力

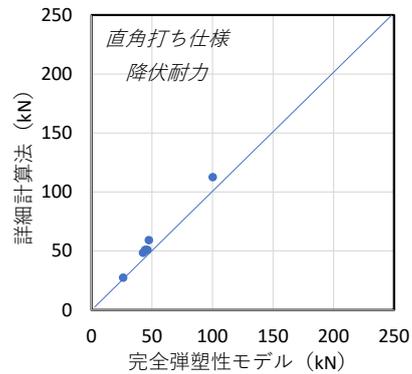


図 6.3-4 直角打ち仕様降伏耐力

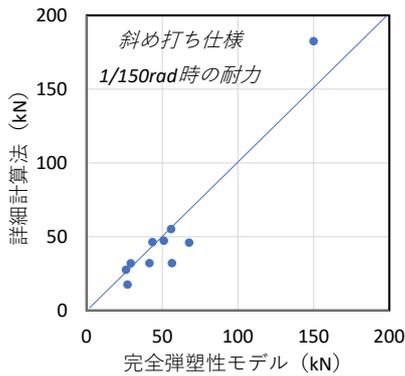


図 6.3-5 斜め打ち仕様 1/150rad 時の耐力

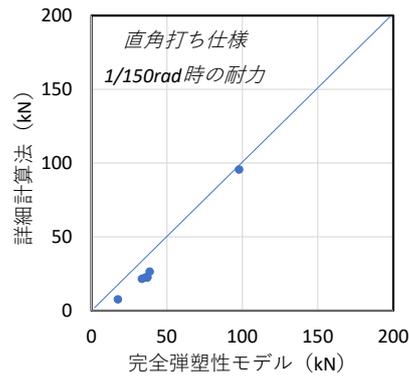


図 6.3-6 直角打ち仕様 1/150rad 時の耐力

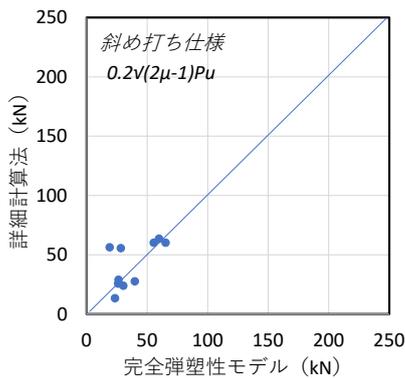


図 6.3-7 斜め打ち仕様 $0.2\sqrt{(2\mu-1)} \times Pu$

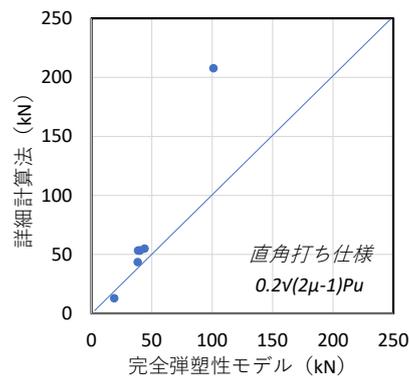


図 6.3-8 直角打ち仕様 $0.2\sqrt{(2\mu-1)} \times Pu$

(2) 考察

直角打ち仕様が危険側になる理由としては、真壁耐力壁は、面材が回転するというよりも壁端部が浮き上がる挙動を示しているため、梁-CLT 間のビス接合はせん断方向に効かず、主たる役割がビスの引き抜き方向になっているためと考えられる（写真 6.3-1）。したがって、梁-CLT 間のビスのせん断を無視して計算している斜め打ち仕様の方が完全弾塑性モデルの評価結果と合う結果となったと考えられる。2P 仕様の終局耐力や降伏耐力 1/150rad 時の耐力が大きく危険側に評価されてしまっているのは梁-CLT 間に打つビスの本数が増えていることで、その影響が高くなっているためと考えられる。

また、今回、CLT の面圧は全層で計算しているが、弱軸層は横架材に対して効いていない可能性があるため、強軸層のみを面圧面積としたときの影響について確認したい。特に CLT の有効幅の 1/2 を面圧面積としているが、実際の現象では三角形めり込みになることを考えると 2P 仕様にとっては過大である。

斜め打ち仕様は終局変位のばらつきが大きいので、 $0.2\sqrt{(2\mu-1)} \times Pu$ もばらつく可能性がある。



写真 6.3-1 2P 仕様のロッキング挙動

7. 長ビスを用いた CLT の支圧試験

7.1. 試験の目的

木構造設計規準・同解説では、長ビスを用いた曲げ降伏型接合の設計式は EYT 式（ヨーロッパ降伏型理論式）を用いることとしている。

本試験では EYT 式の計算に必要な CLT の支圧強度を実験によって算出することを目的としている。

7.2. 試験の種類

試験の種類は表 7.2-1 のとおり 4 仕様 6 体=24 体とした。

表 7.2-1 試験体の種類

通し番号	試験体記号	CLTの種類		接合具の種類			積層方向に対する角度	試験体数(体)
		CLTの樹種/等級/構成方法	軸方向	名称	山径 d(mm)	接合具長さ l(mm)		
1	23-00	スギCLT/ Mx60-5-5/A種構成	弱軸	全ねじ ビス	9	260	0°	6
2	23-40						40°	6
3	32-00		強軸				0°	6
4	32-40						40°	6
合計								24

23

—

00

平行層の数・直交層の数※

積層方向からのビスの角度

平行層 2 層、直交層 3 層

積層方向に対して 0°

※平行層は加圧時に繊維に対して縦圧縮、直交層は加圧時に繊維に対してめり込みになる方向の層とした。

図 7.2-1 試験体記号の意味

試験体の作成方法は、CLT にビスを打ち、ビスを引き抜いた後、打ち込み穴が半分になるように CLT を切断して試験体を作成することが、最も実際にビスが使用される状況に近い方法であるが、ビスを試験体底面と平行に正確に打つことが困難なこと、切断面を試験体底面と平行に切断することも困難であることからこの方法は採用できなかった。

あらかじめ半円にカットしておくことも考えられるが、半円をビスの外径にするか谷径にするか判断が難しいところである。

くぎの試験においては、平らな面にそのままくぎを押し当てて試験を行うことがあるようなので、本試験においても同じ方法で試験を行うこととした（写真 7.2-1）。

当初の予定では No. 1～4 までの試験体は全て異なる CLT 材で実施する予定であったが、個体差による影響を除去するため、同一試験体の 4 面を使って実施した（図 7.2-2、写真 7.2-2）。40°ではなく、45°の角度としたかったが、サンプルを 150 mm 角としていたため、40°とした。

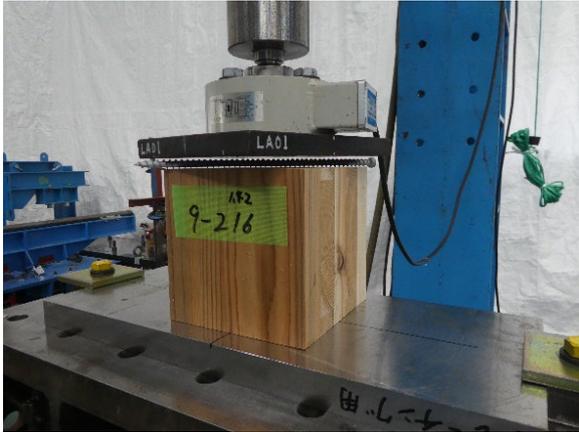


写真 7.2-1 試験方法



写真 7.2-2 実験の様子

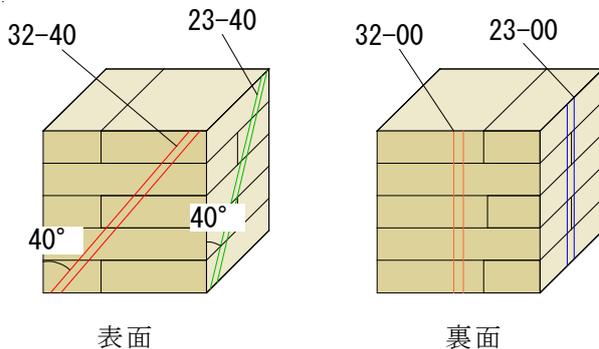


図 7.2-2 同一個体試験体で試験を行う方法

表 7.2-1 密度と含水率

試験体番号等	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)
1	9.3	0.42
2	9.6	0.42
3	9.9	0.42
4	9.0	0.42
5	9.3	0.42
6	9.9	0.42
平均	9.5	0.42

7.3. 試験方法と評価方法

試験方法は ISO10984-2⁹⁾ に準じて実施した。

加力は単調加力とし、ビスが CLT 材へ完全に埋没した時点で試験終了とした。

加力速度は 1 mm/分程度とし、変位はストロークの変位で測定した。

7.4. 試験結果

各試験体の荷重変位曲線を図 7.2-1 に示す。

図に示すとおり、試験開始直後は荷重が上がりにくく、1 mm、3 mm 変位時を境に勾配が上昇していく結果となった。

原因として、ビスのねじ先端部分から木材に接触し、徐々に面圧面積が増えていくことに加え、ビス長さが長いため、均等に加圧することが困難であることが考えられる。

ISO10984-2 では試験体の厚みを 5d~4d の範囲としているが、本試験では 150 mm、195.81 mm (16.6d、21.7d) としている。

上記の現象があるため、どこを変位 0 として評価してよいか判断が難しい。本試験では加力によってビスが木材に埋没した後、当て板が木材前面に接し、荷重が大きく上がるため、その時点を変位 9 mm (外径 9 mm) として開始点を求めた。

特性値の評価においては上記に加え、初期の緩やかな勾配部分の面積を削除してグラフを補正する必要がある。具体的には包絡線上の 0.4Pmax を起点として、0.3Pmax、0.2Pmax 等の点を直線で結んで包絡線の補正を行う。

Py, Pu の評価方法は、下記①②の 2 通りとする。

- ①試験荷重—変位の関係から 5% オフセット法によって Py を求める。0.4Pmax までの接線と包絡線で囲まれたエネルギー量が等価になるように完全弾塑性モデルへの置換を行い、Pu を算出する。Py, Pu を投影面積で除すことによって降伏点強度と支圧強度を算出する（以下、「方法 1」）。
- ②各変位の試験荷重を変位ごとのめり込み面積で除して、支圧強度—変位の関係から 5% オフセット値を求める。7.2 項で述べたとおり、本試験は平らな面にそのままビスを押し当てて試験を行うため（図 7.2-2）、めり込み面積は変位に伴い増加し、4.5mm 以降はめり込み面積一定として算出する（以下、「方法 2」）。

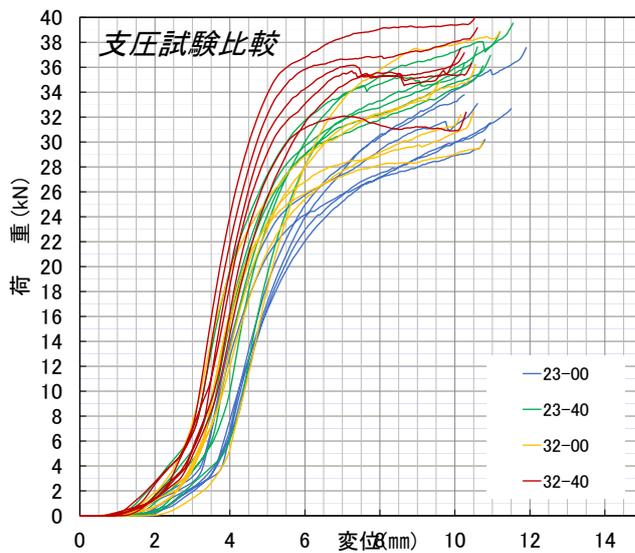


図 7.2-1 各試験体の荷重変位曲線

斜線部分のエネルギー量が等価になるように完全弾塑性性への置換を行う。

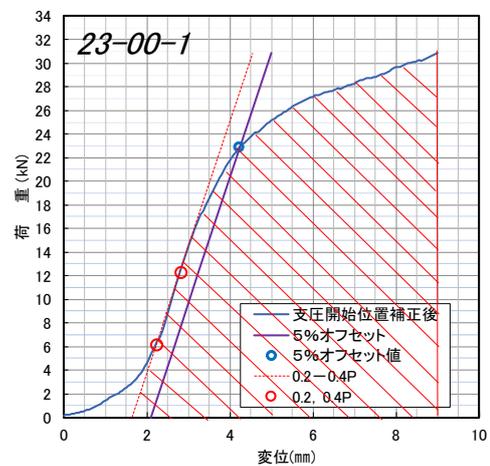


図 7.2-2 完全弾塑性モデルの作成方法

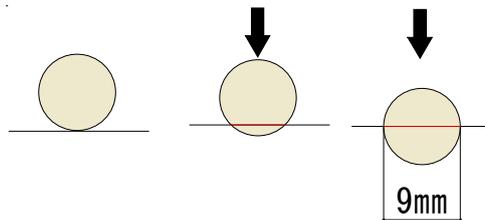


図 7.2-2 めり込み面積の変位に伴う増加

7.4.1. 23-00

荷重が急激に上がる地点を変位 9 mm として変位を補正した荷重変位曲線を「方法 1」、荷重を変位ごとの支圧面積で除した応力度変位曲線を「方法 2」として図 7.4.1-1～図 7.4.1-12、破壊性状を写真 7.4.1-1～6 に示す。

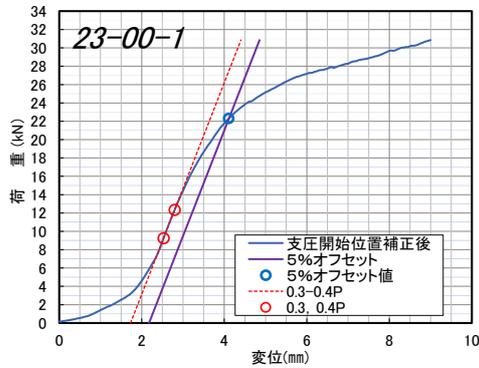


図 7.4.1-1 23-00-1 方法 1

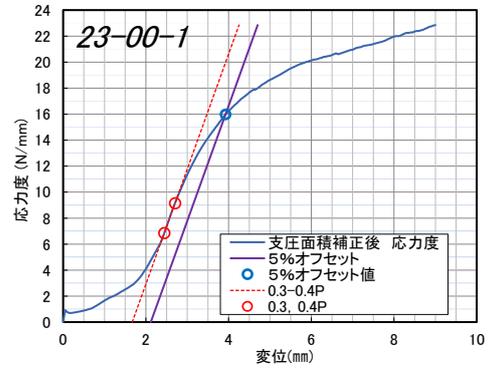


図 7.4.1-2 23-00-1 方法 2

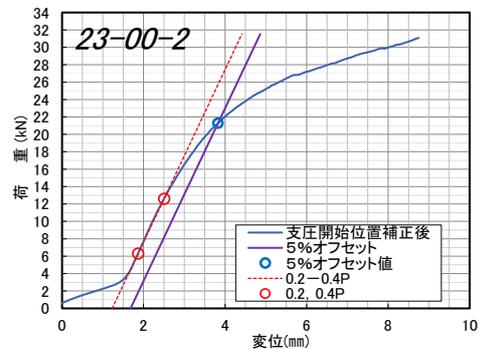


図 7.4.1-3 23-00-2 方法 1

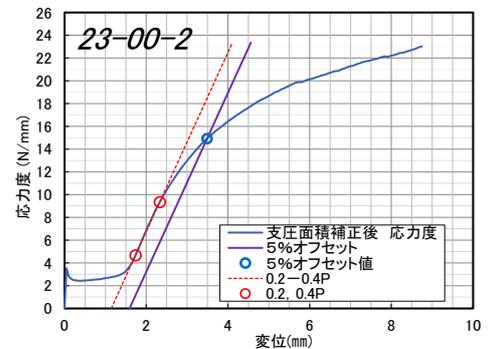


図 7.4.1-4 23-00-2 方法 2

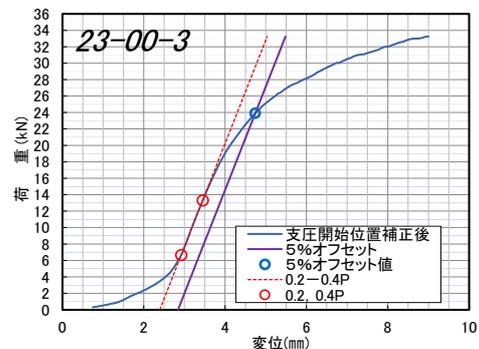


図 7.4.1-5 23-00-3 方法 1

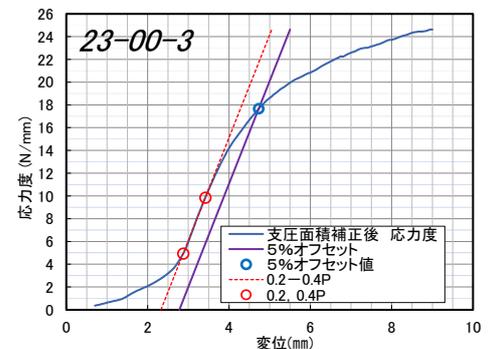


図 7.4.1-6 23-00-3 方法 2

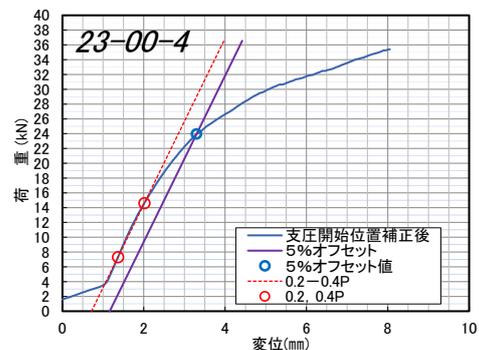


図 7.4.1-7 23-00-4 方法 1

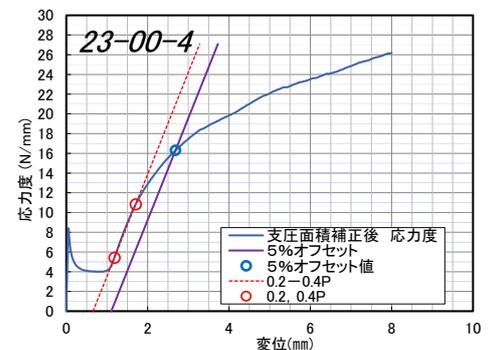


図 7.4.1-8 23-00-4 方法 2

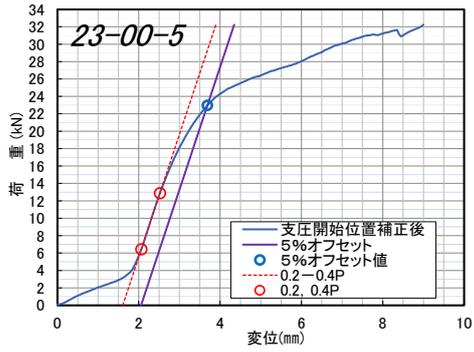


図 7.4.1-9 23-00-5 方法 1

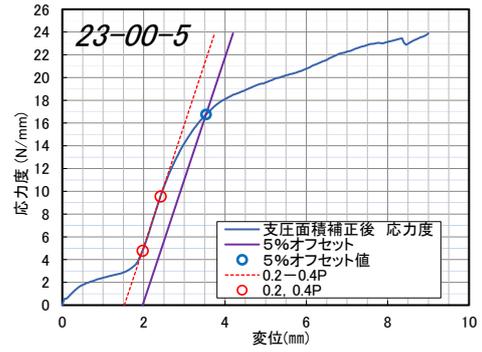


図 7.4.1-10 23-00-5 方法 2

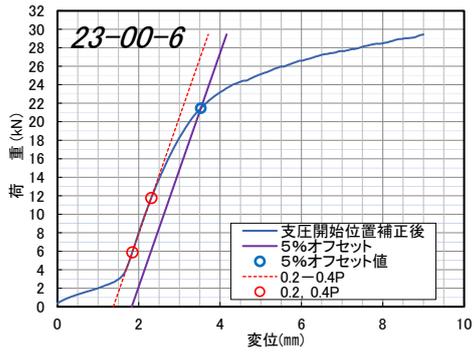


図 7.4.1-11 23-00-6 方法 1

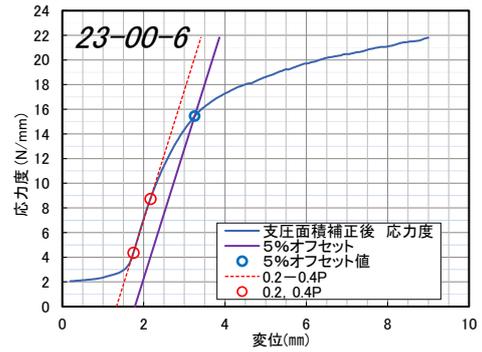


図 7.4.1-12 23-00-6 方法 2



写真 7.4.1-1 1 体目 試験前



写真 7.4.1-2 1 体目 試験後

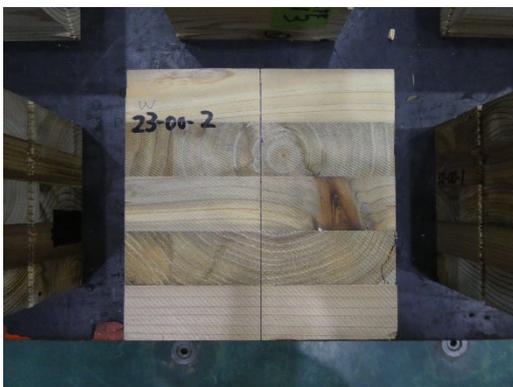


写真 7.4.1-3 2 体目 試験前



写真 7.4.1-4 2 体目 試験後



写真 7.4.1-5 3体目 試験前



写真 7.4.1-6 3体目 試験後



写真 7.4.1-7 4体目 試験前



写真 7.4.1-8 4体目 試験後



写真 7.4.1-9 5体目 試験前



写真 7.4.1-10 5体目 試験後



写真 7.4.1-11 6体目 試験前



写真 7.4.1-12 6体目 試験後

7.4.2. 23-40

荷重が急激に上がる地点を変位 9 mm として変位を補正した荷重変位曲線を「方法 1」、荷重を変位ごとの支圧面積で除した応力度変位曲線を「方法 2」として図 7.4.2-1～図 7.4.2-12、破壊性状を写真 7.4.2-1～12 に示す。

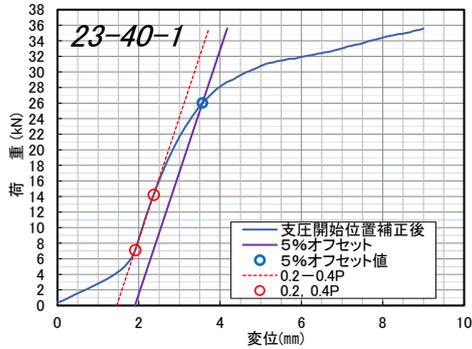


図 7.4.2-1 23-40-1 方法 1

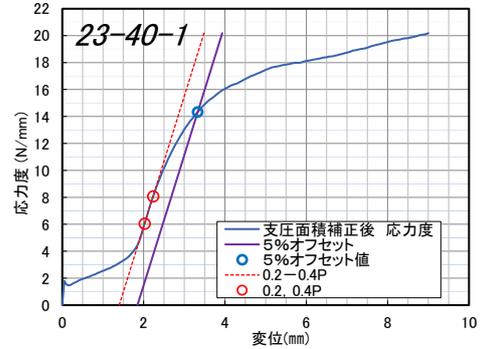


図 7.4.2-2 23-40-1 方法 2

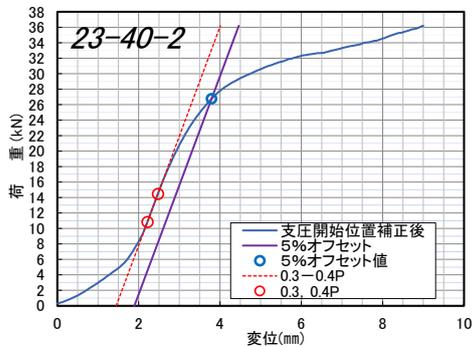


図 7.4.2-3 23-40-2 方法 1

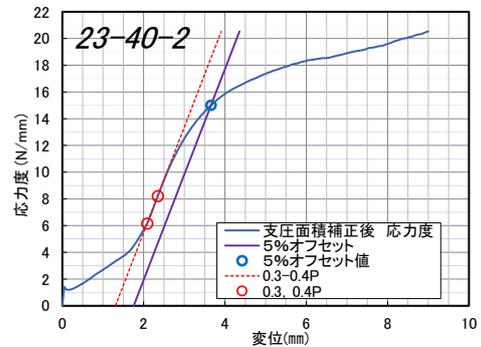


図 7.4.2-4 23-40-2 方法 2

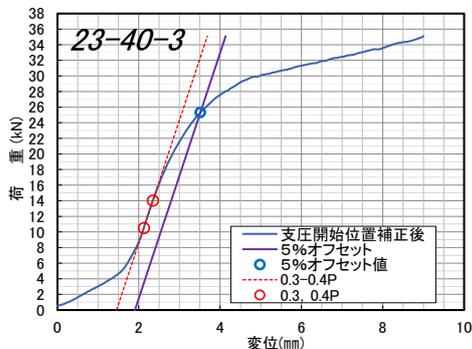


図 7.4.2-5 23-40-3 方法 1

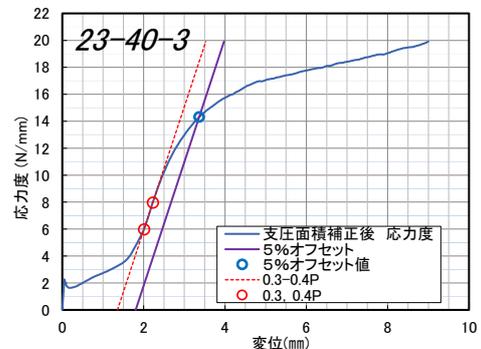


図 7.4.2-6 23-40-3 方法 2

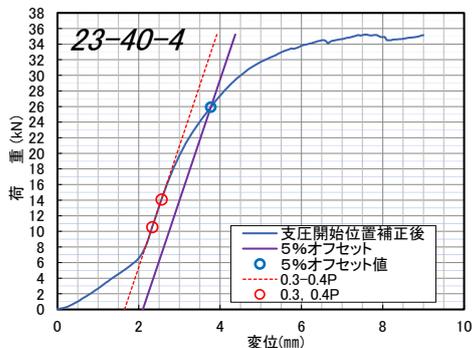


図 7.4.2-7 23-40-4 方法 1

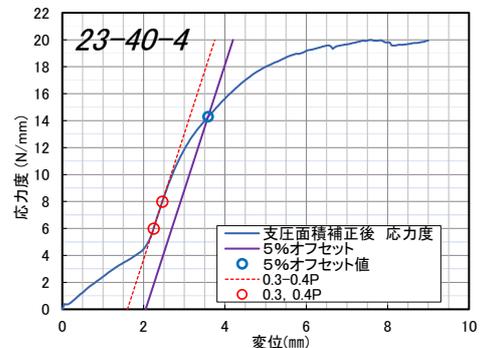


図 7.4.2-8 23-40-4 方法 2

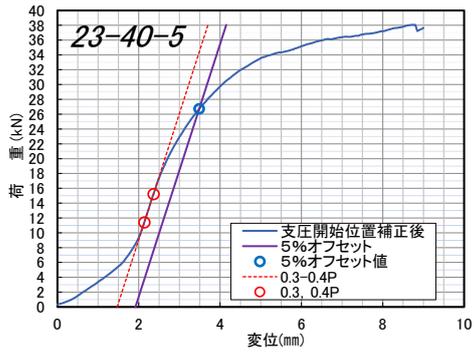


図 7.4.2-9 23-40-5 方法 1

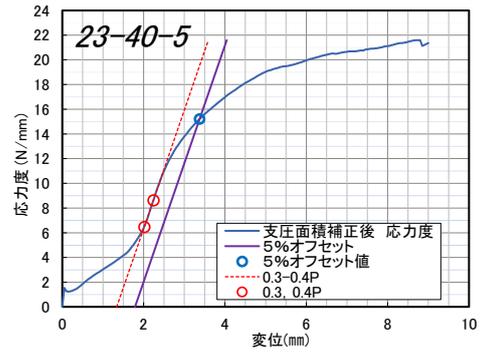


図 7.4.2-10 23-40-5 方法 2

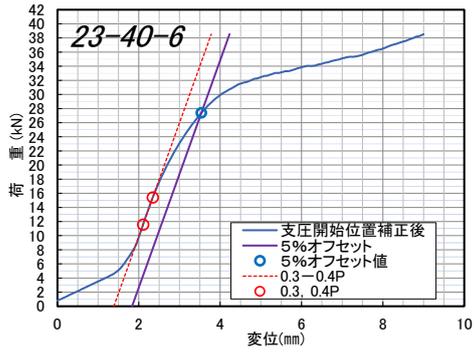


図 7.4.2-11 23-40-6 方法 1

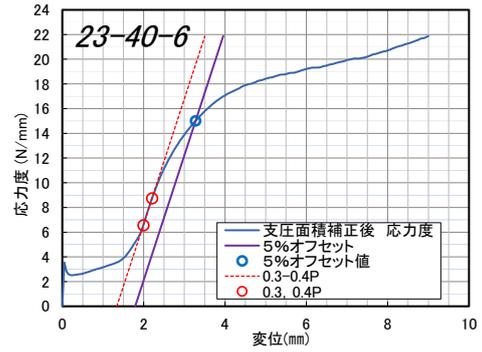


図 7.4.2-12 23-40-6 方法 2



写真 7.4.2-1 1 体目 試験前



写真 7.4.2-2 1 体目 試験後



写真 7.4.2-3 2 体目 試験前



写真 7.4.2-4 2 体目 試験後



写真 7.4.2-5 3体目 試験前



写真 7.4.2-6 3体目 試験後



写真 7.4.2-7 4体目 試験前



写真 7.4.2-8 4体目 試験後



写真 7.4.2-9 5体目 試験前



写真 7.4.2-10 5体目 試験後



写真 7.4.2-11 6体目 試験前



写真 7.4.2-12 6体目 試験後

7.4.3. 32-00

荷重が急激に上がる地点を変位 9 mm として変位を補正した荷重変位曲線を「方法 1」、荷重を変位ごとの支圧面積で除した応力度変位曲線を「方法 2」として図 7.4.3-1～図 7.4.3-12、破壊性状を写真 7.4.3-1～12 に示す。

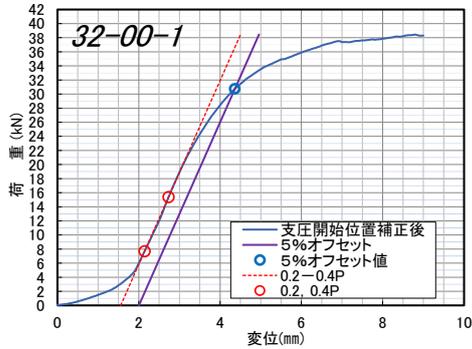


図 7.4.3-1 32-00-1 方法 1

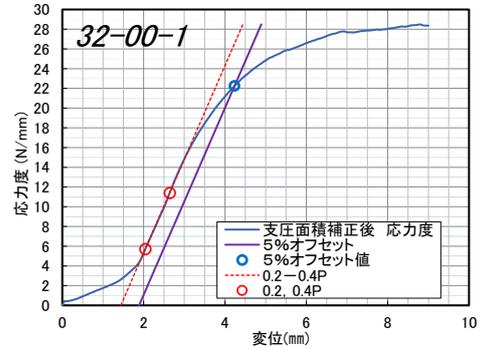


図 7.4.3-2 32-00-1 方法 2

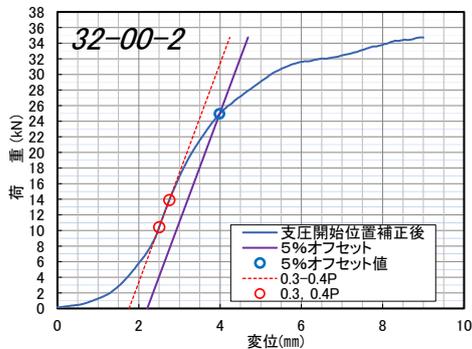


図 7.4.3-3 32-00-2 方法 1

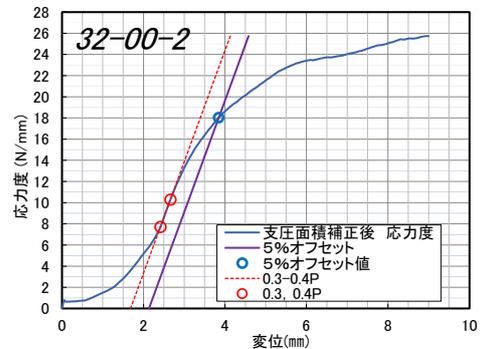


図 7.4.3-4 32-00-2 方法 2

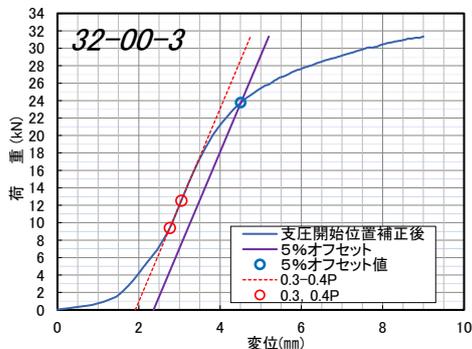


図 7.4.3-5 32-00-3 方法 1

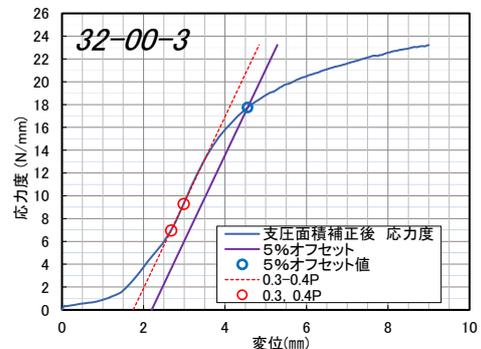


図 7.4.3-6 32-00-3 方法 2

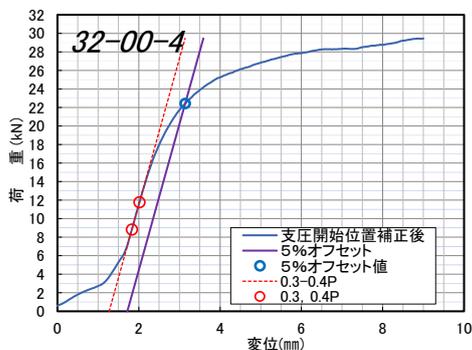


図 7.4.3-7 32-00-4 方法 1

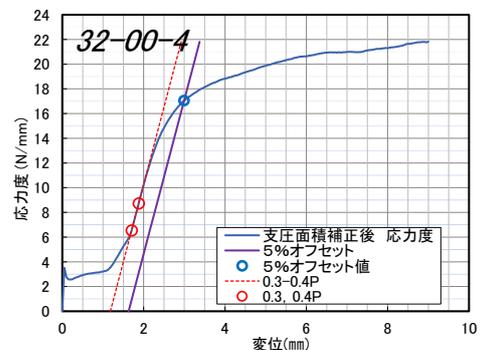


図 7.4.3-8 32-00-4 方法 2

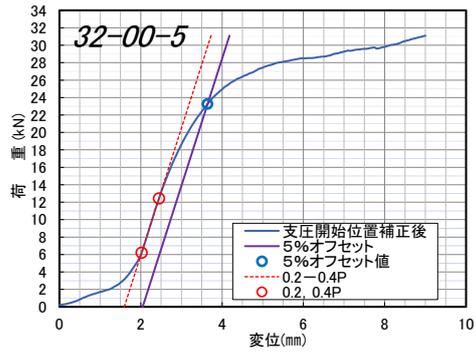


図 7.4.3-9 32-00-5 方法 1

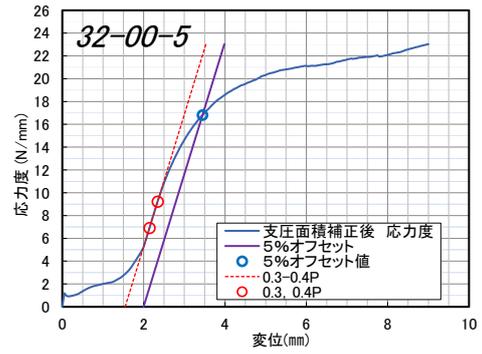


図 7.4.3-10 32-00-5 方法 2

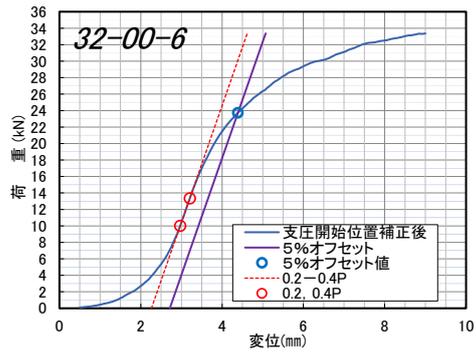


図 7.4.3-11 32-00-6 方法 1

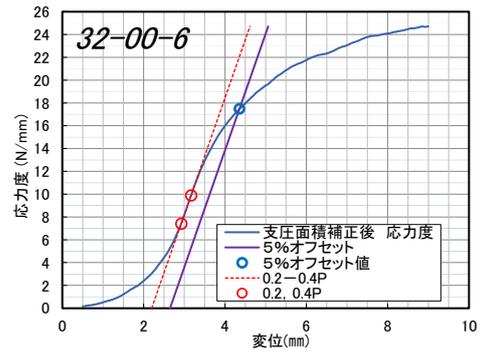


図 7.4.3-12 32-00-6 方法 2



写真 7.4.3-1 1 体目 試験前



写真 7.4.3-2 1 体目 試験後

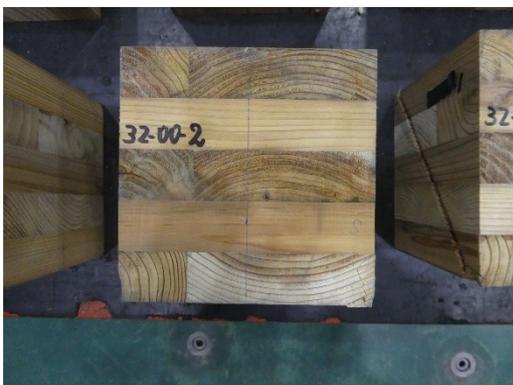


写真 7.4.3-3 2 体目 試験前



写真 7.4.3-4 2 体目 試験後



写真 7.4.3-5 3体目 試験前



写真 7.4.3-6 3体目 試験後



写真 7.4.3-7 4体目 試験前



写真 7.4.3-8 4体目 試験後



写真 7.4.3-9 5体目 試験前



写真 7.4.3-10 5体目 試験後



写真 7.4.3-11 6体目 試験前



写真 7.4.3-12 6体目 試験後

7.4.4. 32-40

荷重が急激に上がる地点を変位 9 mm として変位を補正した荷重変位曲線を「方法 1」、荷重を変位ごとの支圧面積で除した応力度変位曲線を「方法 2」として図 7.4.4-1～図 7.4.4-12、破壊性状を写真 7.4.4-1～12 に示す。2 体目、4 体目については、0.2-0.4Pmax で適切に接線が引けなかったため、調整を行った（※印のグラフ）。

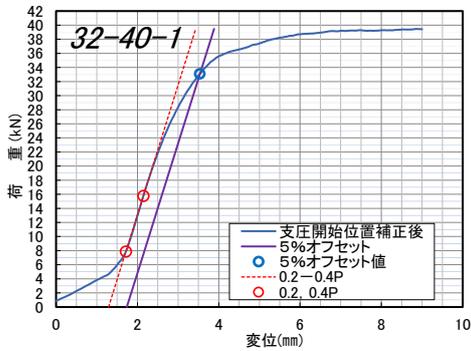


図 7.4.4-1 32-40-1 方法 1

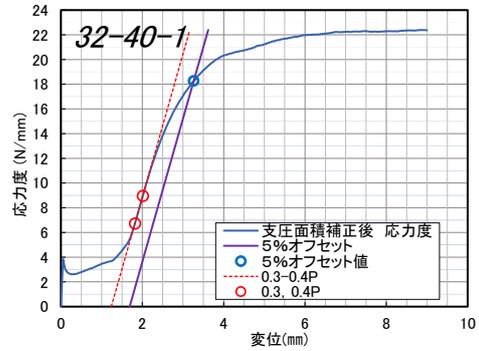


図 7.4.4-2 32-40-1 方法 2

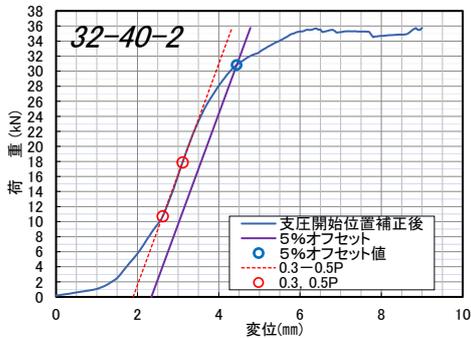


図 7.4.4-3 32-40-2 方法 1※

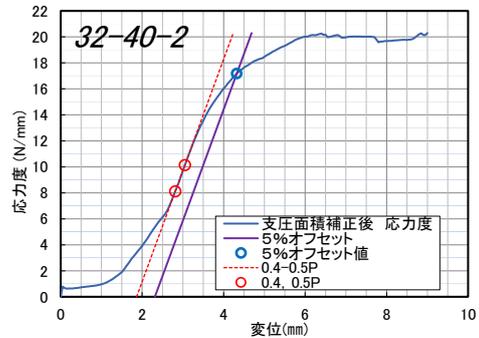


図 7.4.4-4 32-40-2 方法 2※

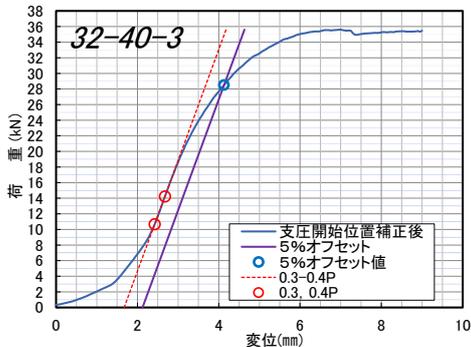


図 7.4.4-5 32-40-3 方法 1

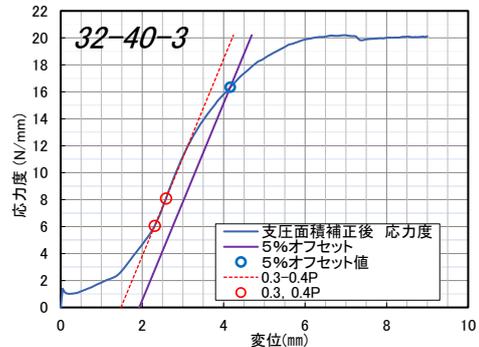


図 7.4.4-6 32-40-3 方法 2

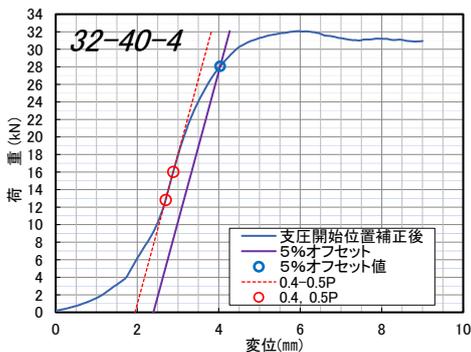


図 7.4.4-7 32-40-4 方法 1※

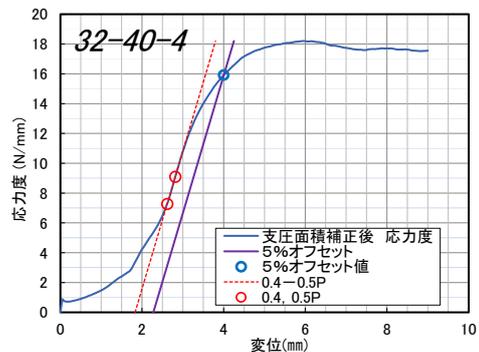


図 7.4.4-8 32-40-4 方法 2※

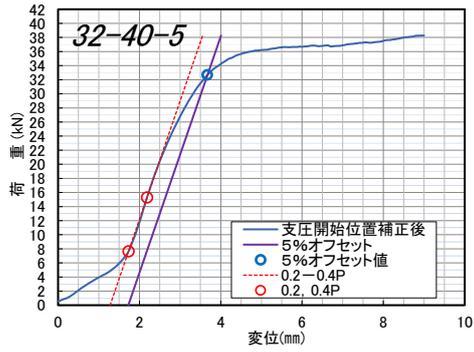


図 7.4.4-9 32-40-5 方法 1

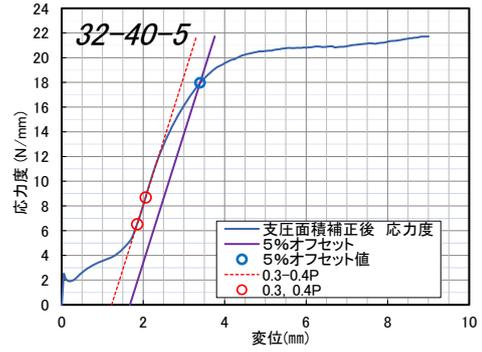


図 7.4.4-10 32-40-5 方法 2

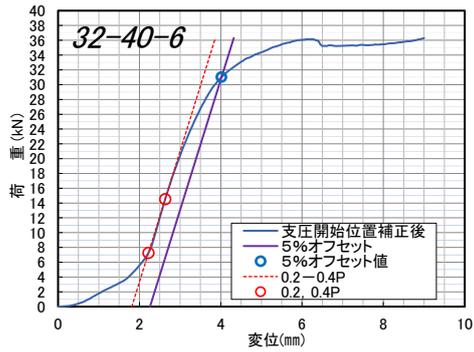


図 7.4.4-11 32-40-6 方法 1

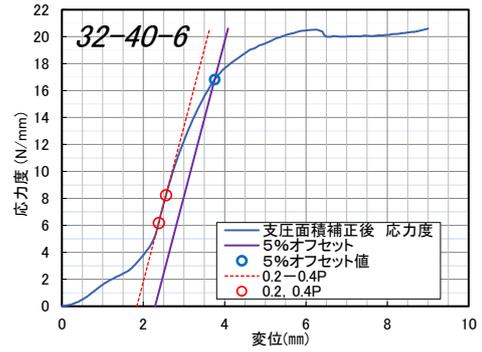


図 7.4.4-12 32-40-6 方法 2



写真 7.4.4-1 試験前



写真 7.4.4-2 1体目 試験後



写真 7.4.4-3 2体目 試験後



写真 7.4.4-4 3体目 試験前



写真 7.4.4-5 4体目 試験後



写真 7.4.4-6 5体目 試験前



写真 7.4.4-7 6体目 試験後

7.4.5. 試験結果のまとめ

各試験体の荷重-変位曲線を比較したものを図 7.4.5-1 に、各試験体の降伏応力度、支圧強度（終局応力度）、支圧剛性を纏めたものを表 7.4.5-1、表 7.4.5-2 に示す。

結果から、層構成によるグラフ形状に大きな違いは見られなかった。繊維方向の面積割合が大きい 32-00、32-40 の方が、23-00、23-40 より各特性値が高くなることが分かった。また、方法 1 と方法 2 の算出結果は違いがほぼないことが分かった。

0 度より 40 度の方の各特性値が低くなることが分かった。

繊維方向と繊維直角方向それぞれの支圧強度について、連立方程式を使って表 7.4.5-3 のとおり求めた。支圧強度の割合は学会規準では、直角方向は繊維方向の 1/2 だが、本実験結果では 8 割程度となった。

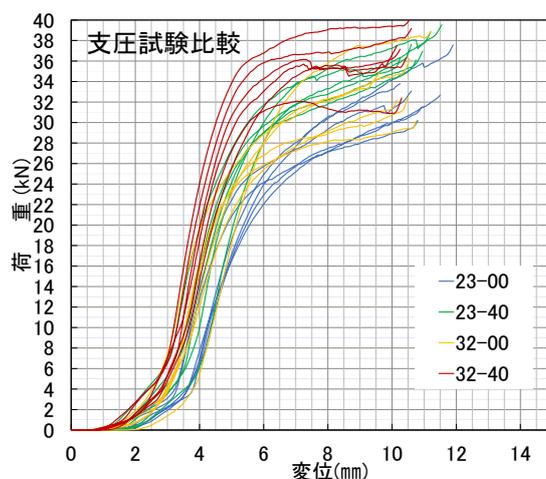


図 7.4.5-1 各試験体の荷重変位曲線の比較

表 7.4.5-1 方法 1 による評価

番号	試験体名	密度平均(g/cm ³)	降伏応力度 (N/mm ²)						支圧強度 (終局応力度 (N/mm ²))					支圧剛性 (N/mm ² /mm)			
			試験値	平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値	試験値	平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値	試験値	平均	
1	23-00	- 1	0.421	22.91	23.26	1.20	0.051	0.880	20.46	28.56	29.67	1.99	0.067	0.843	25.02	10.60	10.93
		- 2	0.421	21.86						28.66						9.07	
		- 3	0.421	24.55						30.61						11.86	
		- 4	0.421	24.60						33.08						10.22	
		- 5	0.427	23.59						29.69						12.46	
		- 6	0.433	22.04						27.43						11.37	
2	23-40	- 1	0.421	20.47	20.74	0.59	0.028	0.934	19.37	25.50	26.11	0.98	0.038	0.912	23.82	10.63	10.87
		- 2	0.421	21.06						25.73						9.92	
		- 3	0.421	19.92						24.94						10.63	
		- 4	0.421	20.39						25.89						11.49	
		- 5	0.427	21.02						27.38						11.97	
		- 6	0.433	21.56						27.23						10.59	
3	32-00	- 1	0.421	31.57	25.48	3.10	0.122	0.716	18.25	36.98	31.12	3.24	0.104	0.757	23.55	12.89	13.00
		- 2	0.421	25.62						32.36						13.07	
		- 3	0.421	24.41						29.28						10.76	
		- 4	0.421	23.04						28.04						14.60	
		- 5	0.427	23.89						29.17						13.35	
		- 6	0.433	24.39						30.92						13.34	
4	32-40	- 1	0.421	26.05	24.16	1.63	0.068	0.842	20.34	29.74	27.24	1.87	0.069	0.840	22.87	13.99	12.55
		- 2	0.421	24.26						26.91						11.30	
		- 3	0.421	22.44						26.68						10.80	
		- 4	0.421	22.08						24.24						13.18	
		- 5	0.427	25.71						28.56						12.81	
		- 6	0.433	24.40						27.31						13.21	

表 7.4.5-2 方法 2 による評価

番号	試験体名	密度平均(g/cm ³)	降伏応力度 (N/mm ²)							支圧強度 (終局応力度 (N/mm ²))					支圧剛性 (N/mm ² /mm)		
			試験値	平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値	試験値	平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値	試験値	平均	
1	23-00	- 1	0.421	22.15	22.42	1.34	0.060	0.860	19.29	28.43	29.49	1.89	0.064	0.850	25.07	10.79	11.48
		- 2	0.421	20.69						28.43						9.49	
		- 3	0.421	24.48						30.65						11.52	
		- 4	0.421	22.60						32.59						11.93	
		- 5	0.427	23.22						29.54						12.84	
		- 6	0.433	21.41						27.32						12.34	
2	23-40	- 1	0.421	19.87	20.37	0.59	0.029	0.932	18.99	25.38	25.96	0.95	0.037	0.914	23.74	11.32	11.33
		- 2	0.421	20.80						25.52						9.92	
		- 3	0.421	19.84						24.82						11.04	
		- 4	0.421	19.82						25.79						12.06	
		- 5	0.427	21.09						27.18						12.24	
		- 6	0.433	20.82						27.04						11.43	
3	32-00	- 1	0.421	30.84	25.26	2.80	0.111	0.741	18.72	36.89	31.04	3.23	0.104	0.757	23.50	12.63	13.15
		- 2	0.421	25.00						32.17						13.34	
		- 3	0.421	24.59						29.26						10.00	
		- 4	0.421	23.63						28.01						15.68	
		- 5	0.427	23.30						28.98						14.17	
		- 6	0.433	24.22						30.92						13.06	
4	32-40	- 1	0.421	25.32	23.68	1.26	0.053	0.876	20.73	29.68	27.16	1.83	0.067	0.843	22.88	15.20	13.01
		- 2	0.421	23.82						26.76						11.59	
		- 3	0.421	22.66						26.63						9.96	
		- 4	0.421	22.08						24.27						12.59	
		- 5	0.427	24.91						28.43						13.98	
		- 6	0.433	23.31						27.18						14.71	

表 7.4.5-3 繊維方向と繊維直角方向ラミナの支圧強度の算出

評価方法	積層方向に対するビスの角度	ラミナの向きの違いによる支圧強度の連立方程式	繊維方向S (N/mm ²)	直交方向W (N/mm ²)
方法1	0°	$\frac{3S + 2W}{5} = 31.12$ $\frac{2S + 3W}{5} = 29.67$	34.04	26.76
	40°	$\frac{3S + 2W}{5} = 27.24$ $\frac{2S + 3W}{5} = 26.11$	29.50	23.86
方法2	0°	$\frac{3S + 2W}{5} = 31.04$ $\frac{2S + 3W}{5} = 29.49$	34.14	26.39
	40°	$\frac{3S + 2W}{5} = 27.16$ $\frac{2S + 3W}{5} = 25.96$	29.56	23.55

7.5. 実験値と計算値の比較

7.4 項に示した完全弾塑性モデルによる評価（実験値）と学会規準²⁾及び EC5³⁾ の算定方法による算定値の比較を行った。荷重が急激に上がる地点を変位 9 mm として変位を補正した荷重変位曲線による結果（方法 1）との比較を表 7.5-1 に、荷重を変位ごとの支圧面積で除した応力度変位曲線による結果（方法 2）との比較を表 7.5-2 に示す。

ここで、学会規準及び EC5 による支圧強度は、スギの基準比重 0.32 ではなく、実験値の密度平均 0.42g/cm³ を用いている。CLT の層構成に合わせて 23-00 及び 23-40 は繊維方向：繊維直角方向=2：3、32-00 及び 32-40 は繊維方向：繊維直角方向=3：2 として按分計算した。

結果から、EC5 の計算値と実験値はよく一致する結果となり、学会規準の計算値は安全側になることが分かった。当該実験においては、木材の厚さ方向を ISO で定めた 5d~4d を大きく超える厚さとしてしまっているため、EC5 の計算値が全ての実験値より安全側になっていないという結果になったと思われる。

学会規準と EC5 による支圧強度を比較すると、EC5 の方が大きな値となることが分かった。学会規準については、本書の解説の中に「接合具径が小さいものではやや安全サイドになる傾向がある」と記載されており、適用範囲である 26 mm 以下の接合具径を対象にしていることから、φ 6.49 mm（谷径 5.9 mm×1.1）は小さい部類に入るためと思われる。

表 7.5-1 方法 1 による評価と計算値の比較

番号	試験体名	密度平均(g/cm ³)	支圧強度実験値(N/mm ²)			学会規準による支圧強度(N/mm ²)			EC5による支圧強度(N/mm ²)		
			平均	標準偏差	5%下限値	繊維方向	直角方向	按分	繊維方向	直角方向	按分
1	23-00	0.424	29.67	1.99	25.02	25.71	12.85	17.99	32.48	22.44	26.46
2	23-40	0.424	26.11	0.98	23.82	25.71	12.85	17.99	32.48	22.44	26.46
3	32-00	0.424	31.12	3.24	23.55	25.71	12.85	20.57	32.48	22.44	28.47
4	32-40	0.424	27.24	1.87	22.87	25.71	12.85	20.57	32.48	22.44	28.47

表 7.5-2 方法 2 による評価と計算値の比較

番号	試験体名	密度平均(g/cm ³)	支圧強度実験値(N/mm ²)			学会規準による支圧強度(N/mm ²)			EC5による支圧強度(N/mm ²)		
			平均	標準偏差	5%下限値	繊維方向	直角方向	按分	繊維方向	直角方向	按分
1	23-00	0.424	29.49	1.89	25.07	25.71	12.85	17.99	32.48	22.44	26.46
2	23-40	0.424	25.96	0.95	23.74	25.71	12.85	17.99	32.48	22.44	26.46
3	32-00	0.424	31.04	3.23	23.50	25.71	12.85	20.57	32.48	22.44	28.47
4	32-40	0.424	27.16	1.83	22.88	25.71	12.85	20.57	32.48	22.44	28.47

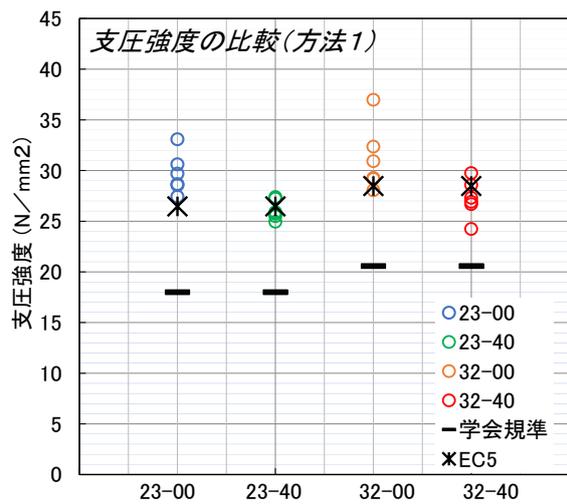


図 7.5-1 方法 1

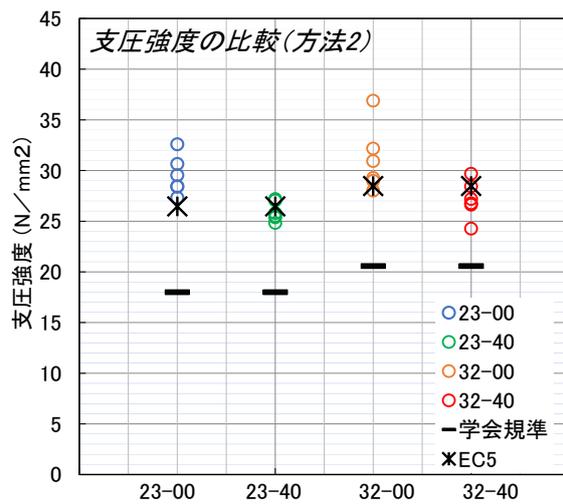


図 7.5-1 方法 2

8. JIS 木質構造ねじ試験

8.1. 試験の目的

当該試験方法は、EYT 式（ヨーロッパ型降伏理論）による構造用ねじの一面せん断性能を算出するための基礎データを得るために実施する。

各接合部試験の実験値と当該試験の実験値を元に算出した計算値の比較を行うことによって CLT に用いた場合でも EYT 式が運用可能であることを検証する。

8.2. 試験の内容

試験は、日本木質構造用ねじ工業会に依頼した。

試験方法は、JIS A 1503 木質構造用ねじの試験方法に基づき、実施した。

試験成績書は、一般社団法人建材試験センターから発行された品質性能試験報告書（第 22C0661 号）である。内容を次ページに示す。

品質性能試験報告書



一般財団法人 建材試験センター
西日本試験所長 真野 泰隆
山口県山陽小野田市大字

試験名称

木質構造用ねじの性能試験

依頼者

木構造振興株式会社
東京都港区赤坂2-2-19アドレスビル5階

目次

1. 試験内容	2
2. 試験体	2
3. 試験方法	6
4. 試験結果	8
4.1. 試験体HTS9	8
4.2. 試験体HTS9F	13
4.3. 試験体STS6.5F	26
5. 試験期間、担当者及び場所	39

1. 試験内容

木構造振興株式会社から提出された木質構造用ねじについて、JISA 1503「木質構造用ねじの試験方法」に記載された、単調曲げ試験、繰返し曲げ試験、引張強さ試験及びねじり強さ試験を行った。

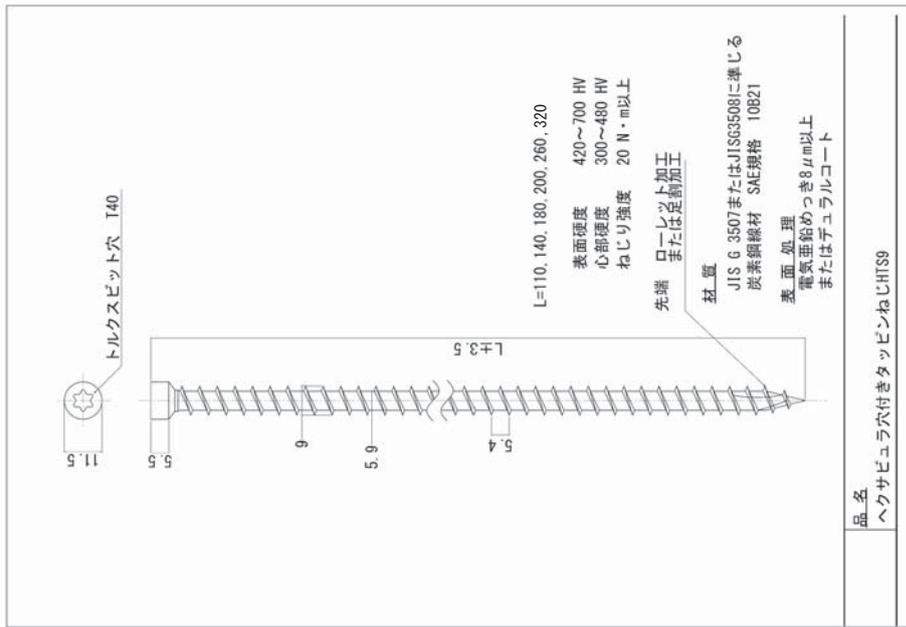
2. 試験体

試験体の概要を表1に、試験体を図1～図3に示す。
なお、試験体の概要は依頼者提出資料による。

表1 試験体の概要

試験体名	形状	全長 (mm)	材質等
HTS9	全ねじ	320	図1参照
HTS9F	半ねじ	140	図2参照
STS6.5F	半ねじ	180	図3参照

単位:mm



(依頼者提出資料)

図1 試験体

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

単位:mm

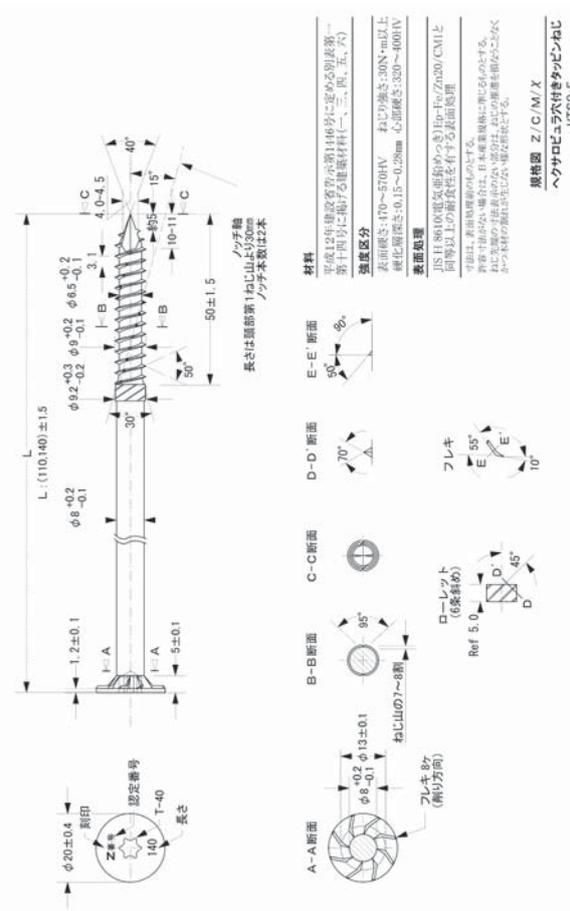


図2 試験体

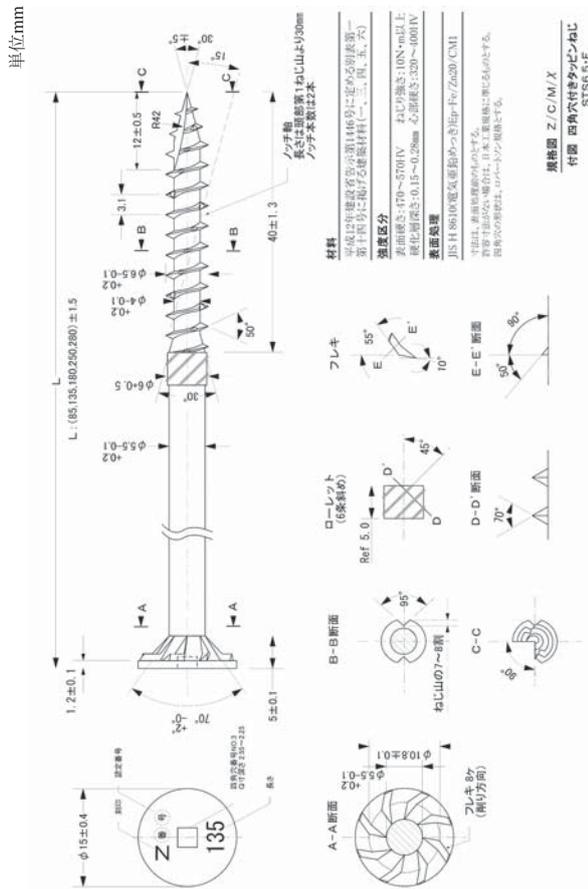
試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

3. 試験方法

試験は、JIS A 1503「木質構造用ねじの試験方法」に従って試験を実施した。
 試験体に対して実施した試験項目及び試験体数を表3に、試験実施状況の一例を写真1～写真6に示す。単調曲げ試験及び繰返し曲げ試験は、つかみ曲げ載荷方法を採用した。
 なお、単調曲げ試験、繰返し曲げ試験及びひねり強さ試験は、温度10.5°C～17.5°C、引張強さ試験は23°Cの環境下で試験を実施した。

表3 実施した試験項目及び試験体数

試験体名	形状	対象部位	試験項目			
			単調曲げ試験	繰返し曲げ試験	引張強さ試験	ねじり強さ試験
HTS9	全ねじ	ねじ部	6体	6体	6体	6体
HTS9F	半ねじ	ねじ部	6体	6体	6体	6体
		円筒部	6体	6体		
		ローレット部とねじ部の境目	6体	6体		
STS6.5F	半ねじ	ねじ部	6体	6体	6体	6体
		円筒部	6体	6体		
		ローレット部とねじ部の境目	6体	6体		



(依頼者提出資料)

図3 試験体

4. 試験結果

4. 1. 試験体HTS9

試験結果を表4及び表5に、曲げモーメント-曲げ角度曲線関係を図4～図6に、試験体の状況を写真7～写真12に示す。

表4 単調曲げ試験及び繰返し曲げ試験結果 (対象部位：ねじ部)

試験体記号	単調曲げ試験			繰返し曲げ試験	
	Mp (N・m)	θ_p (°)	θ_c (°)	M _{act} (N・m)	繰返し回数(回)
ねじ部-1	46.4	13.0	13.1	46.5	22
ねじ部-2	47.1	13.2	13.1	46.2	17
ねじ部-3	46.1	12.8	13.1	47.3	18
ねじ部-4	46.6	13.5	13.1	45.1	24
ねじ部-5	46.7	13.2	13.1	46.8	17
ねじ部-6	46.2	13.0	13.1	46.7	19
平均	46.5	13.1	-	46.4	19.5
標準偏差	0.37	0.24	-	0.75	2.88
5%下限値	45.6	-	-	-	12.8
50%下限値	46.4	-	-	-	18.6

表5 引張強さ及びねじり強さ試験結果

試験体記号	引張強さ試験		ねじり強さ試験	
	Pt (N)	Tr (N・m)	Pt (N)	Tr (N・m)
ねじ部-1	34891	66.65		
ねじ部-2	34681	67.80		
ねじ部-3	34634	67.20		
ねじ部-4	34372	67.70		
ねじ部-5	34922	67.35		
ねじ部-6	34953	66.70		
平均	34742	67.23		
標準偏差	224.2	0.49		
5%下限値	34200	66.1		



写真1 試験実施状況
試験項目：単調曲げ及び繰返し曲げ

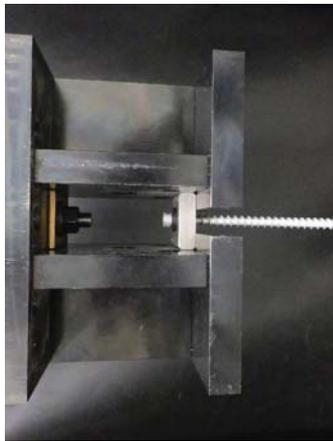


写真2 試験実施状況
試験項目：単調曲げ及び繰返し曲げ

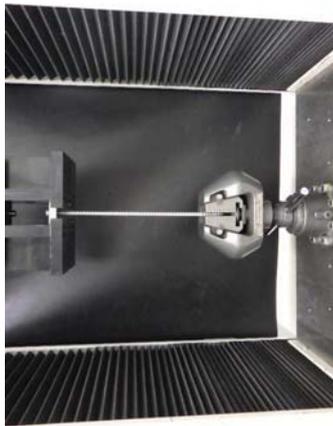


写真3 試験実施状況
試験項目：引張強さ



写真4 試験実施状況
試験項目：引張強さ



写真5 試験実施状況
試験項目：ねじり強さ

写真6 試験実施状況
試験項目：ねじり強さ

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

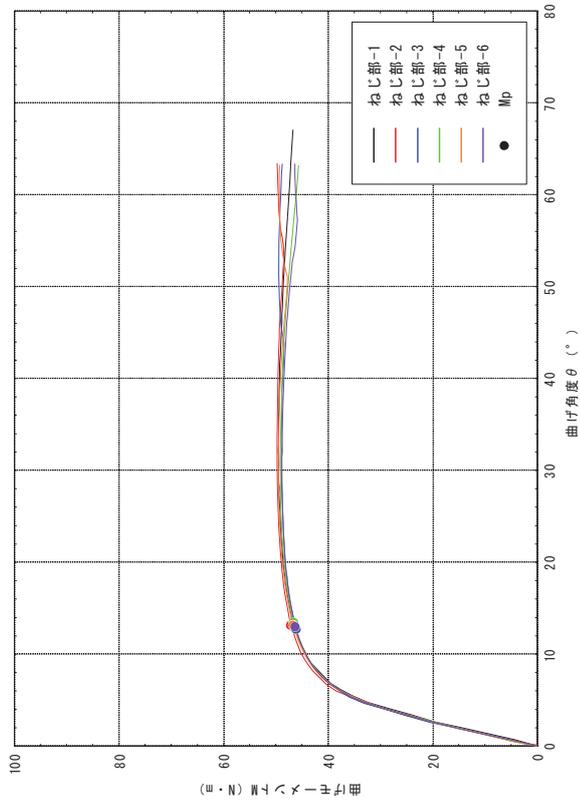
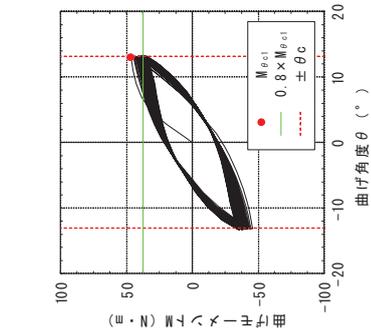
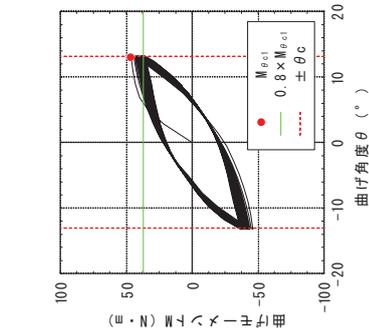
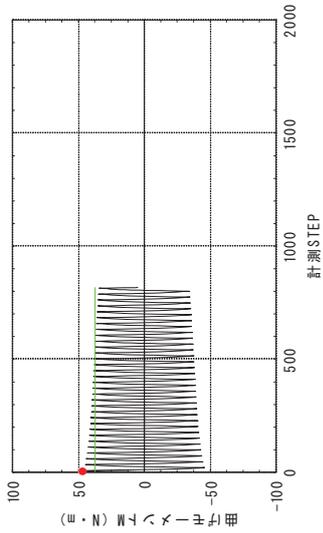


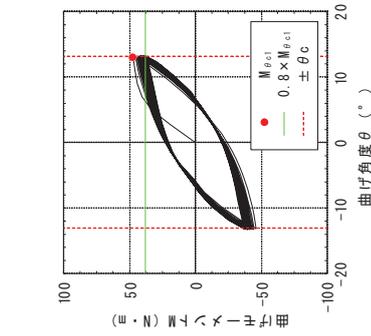
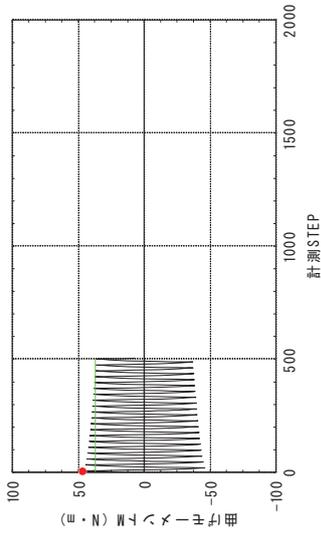
図4 曲げモーメント-曲げ角度曲線 (対象部位：ねじ部)



試験体記号：ねじ部-1



試験体記号：ねじ部-2



試験体記号：ねじ部-3

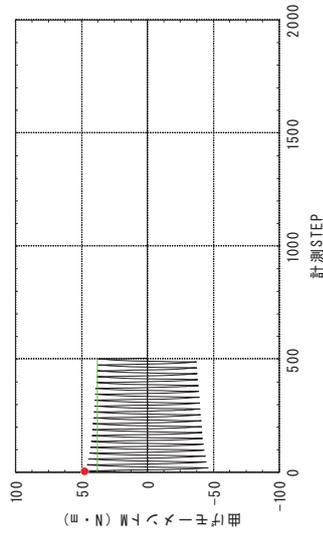
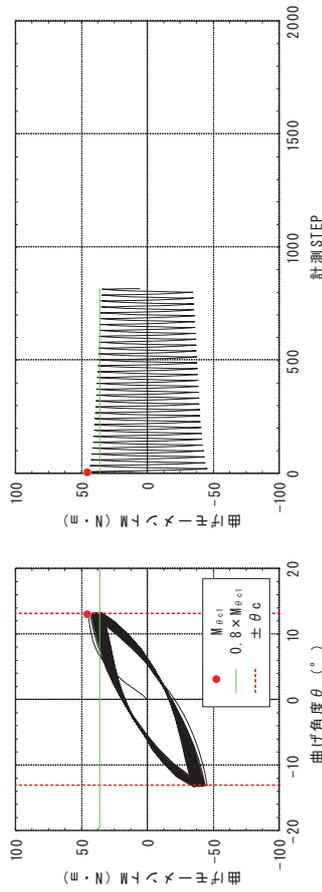
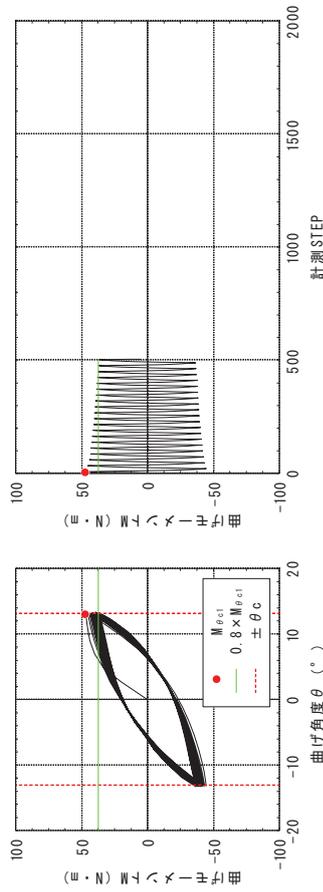


図5 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：ねじ部)

試験体記号：ねじ部-4



試験体記号：ねじ部-5



試験体記号：ねじ部-6

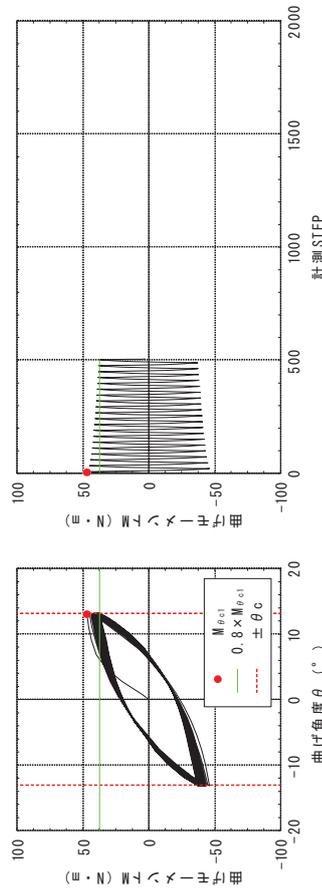


図6 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：ねじ部)

試験体名：HTS9

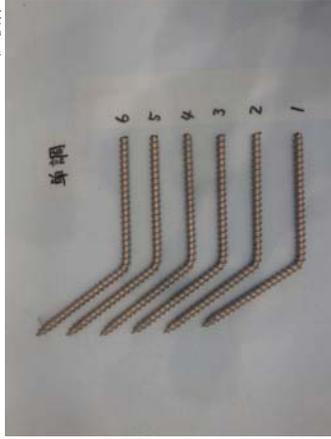


写真7 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：ねじ部



写真8 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：ねじ部



写真9 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰り返し曲げ試験
対象部位：ねじ部



写真10 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰り返し曲げ試験
対象部位：ねじ部



写真11 試験体の状況 (試験後)
試験項目：引張強さ



写真12 試験体の状況 (試験後)
試験項目：ねじり強さ

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

4. 2. 試験体HTS9F

試験結果を表6～表9に、曲げモーメント-曲げ角度曲線関係を図7～図15に、試験体の状況を写真13～写真26に示す。

表6 単調曲げ試験及び繰返し曲げ試験結果 (対象部位：ねじ部)

試験体記号	単調曲げ試験			繰返し曲げ試験		
	Mp (N・m)	θ_p (°)	θ_c (°)	M _{test} (N・m)	θ_c (°)	繰返し回数(回)
ねじ部-1	44.5	11.4	11.8	50.6	11.8	10
ねじ部-2	51.4	12.0	11.8	49.7	11.8	11
ねじ部-3	49.0	11.6	11.8	47.8	11.8	9
ねじ部-4	50.0	11.7	11.8	50.6	11.8	11
ねじ部-5	48.9	11.9	11.8	50.1	11.8	12
ねじ部-6	49.7	12.4	11.8	49.0	11.8	11
平均	48.9	11.8	-	49.6	-	10.7
標準偏差	2.34	0.35	-	1.08	-	1.03
5%下限値	43.4	-	-	-	-	8.3
50%下限値	48.2	-	-	-	-	10.4

表7 単調曲げ試験及び繰返し曲げ試験結果 (対象部位：円筒部)

試験体記号	単調曲げ試験			繰返し曲げ試験		
	Mp (N・m)	θ_p (°)	θ_c (°)	M _{test} (N・m)	θ_c (°)	繰返し回数(回)
円筒部-1	70.5	10.2	10.3	77.8	10.3	36
円筒部-2	76.5	10.5	10.3	72.2	10.3	46
円筒部-3	71.9	10.1	10.3	66.5	10.3	41
円筒部-4	74.0	10.3	10.3	71.6	10.3	50
円筒部-5	79.0	10.6	10.3	70.5	10.3	61
円筒部-6	70.3	10.3	10.3	74.3	10.3	47
平均	73.7	10.3	-	72.2	-	46.8
標準偏差	3.49	0.19	-	3.78	-	8.52
5%下限値	65.5	-	-	-	-	26.9
50%下限値	72.7	-	-	-	-	44.3

表8 単調曲げ試験及び繰返し曲げ試験結果 (対象部位：境目部)

試験体記号	単調曲げ試験			繰返し曲げ試験		
	Mp (N・m)	θ_p (°)	θ_c (°)	M _{test} (N・m)	θ_c (°)	繰返し回数(回)
境目部-1	48.3	11.5	11.9	50.1	11.9	6
境目部-2	49.2	11.7	11.9	49.2	11.9	5
境目部-3	51.0	11.9	11.9	47.5	11.9	5
境目部-4	50.4	12.4	11.9	49.6	11.9	5
境目部-5	49.8	12.1	11.9	48.9	11.9	5
境目部-6	47.9	11.6	11.9	49.1	11.9	5
平均	49.4	11.9	-	49.1	-	5.2
標準偏差	1.20	0.34	-	0.88	-	0.41
5%下限値	46.6	-	-	-	-	4.2
50%下限値	49.0	-	-	-	-	5.1

表9 引張強さ及びねじり強さ試験結果

試験体記号	引張強さ試験		ねじり強さ試験	
	Ft (N)	Tr (N・m)	Ft (N)	Tr (N・m)
1	33353	65.55	33353	65.55
2	33447	62.35	33447	62.35
3	32188	62.35	32188	62.35
4	33544	60.30	33544	60.30
5	33375	64.10	33375	64.10
6	33403	62.55	33403	62.55
平均	33218	62.87	33218	62.87
標準偏差	509.3	1.79	509.3	1.79
5%下限値	32000	58.7	32000	58.7

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

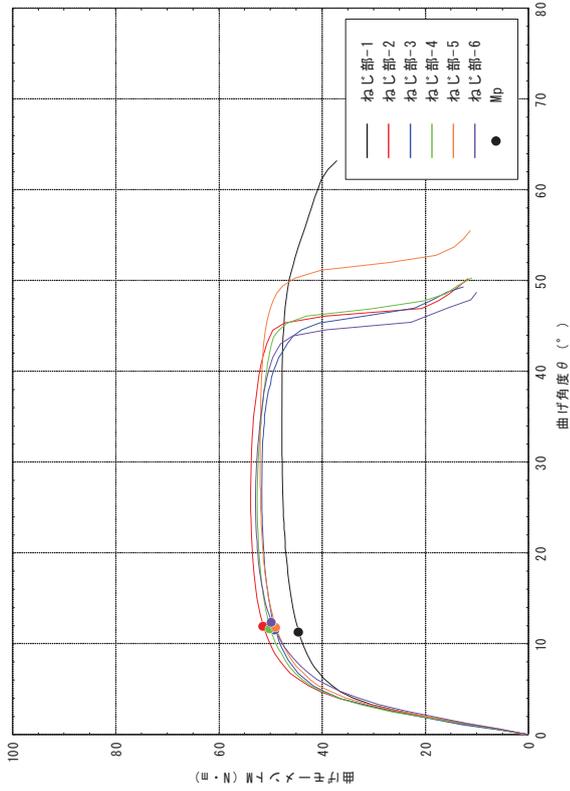


図7 曲げモーメント-曲げ角度曲線 (対象部位：ねじ部)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

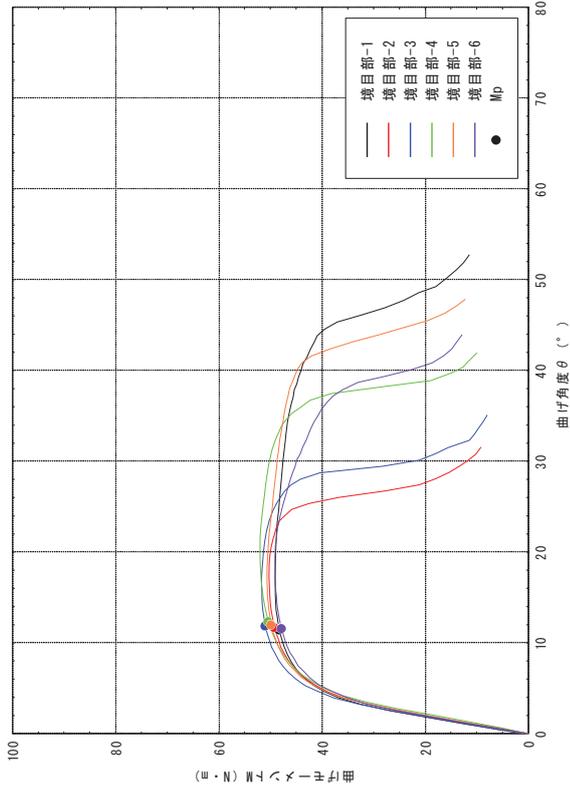
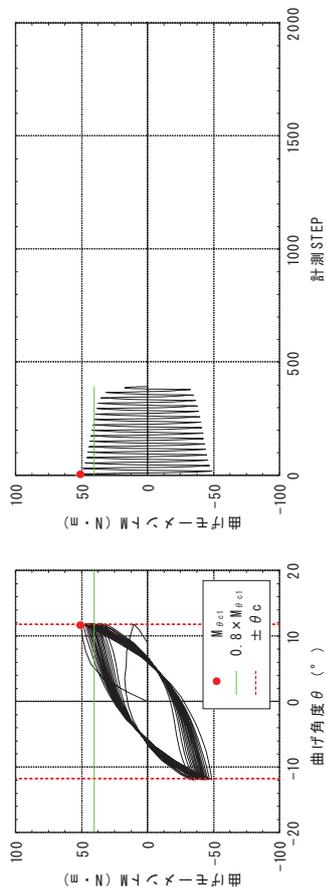


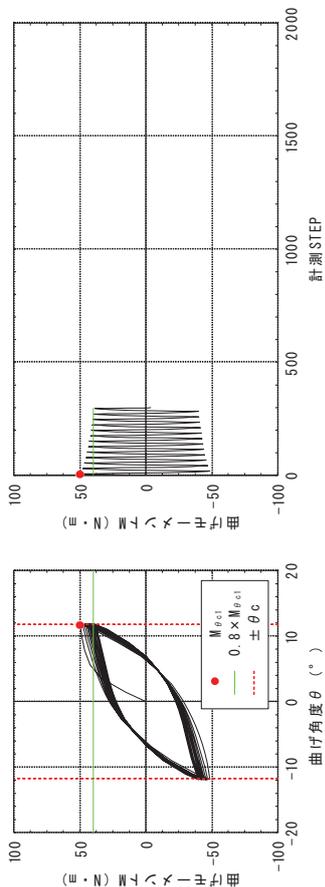
図9 曲げモーメント-曲げ角度曲線 (対象部位：ローレット部とねじ部の境目)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体記号：ねじ部-1



試験体記号：ねじ部-2



試験体記号：ねじ部-3

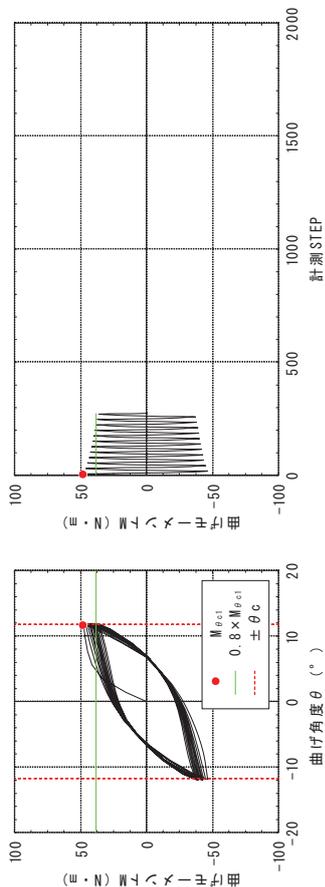
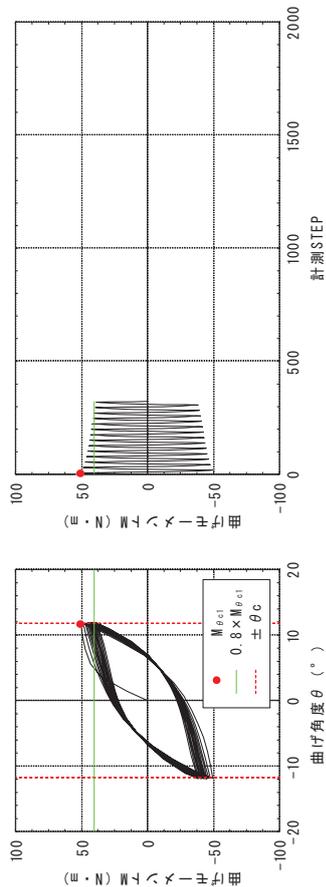


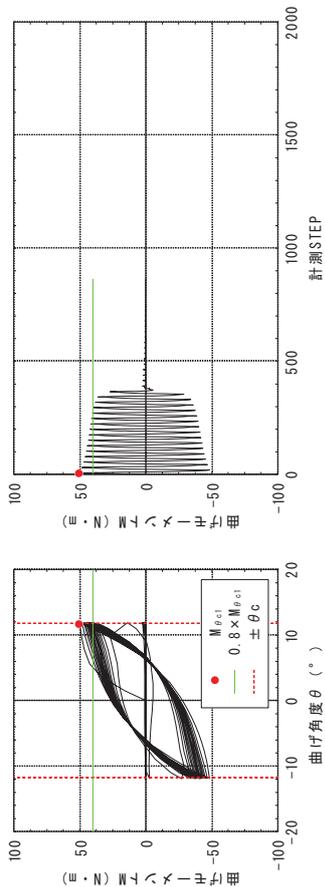
図10 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：ねじ部)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体記号：ねじ部-4



試験体記号：ねじ部-5



試験体記号：ねじ部-6

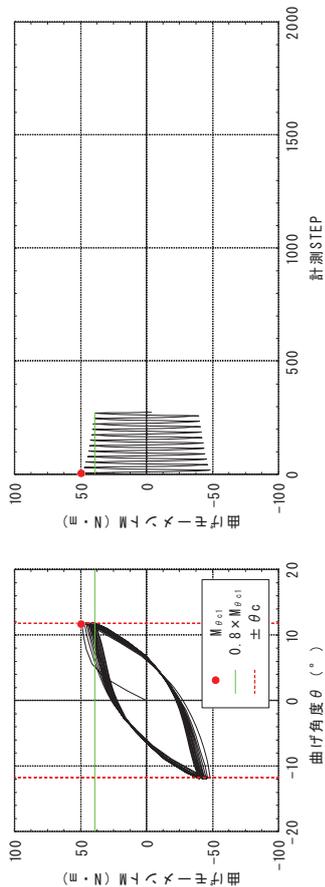
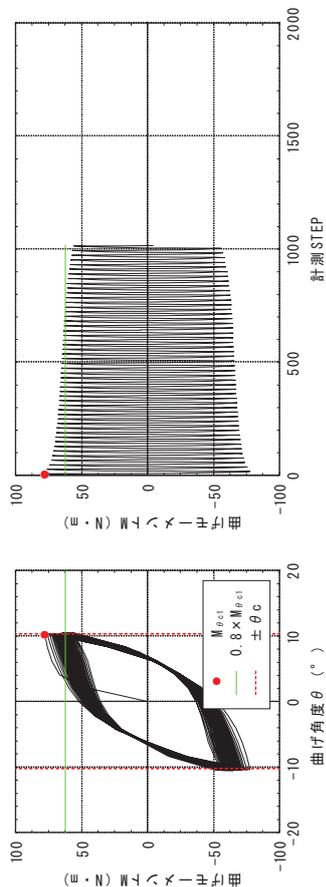


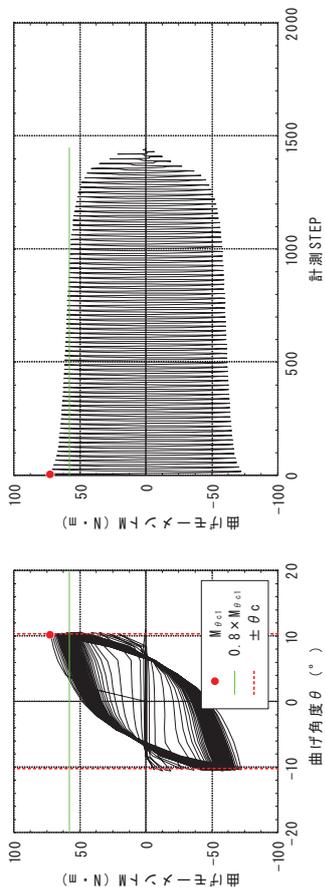
図11 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：ねじ部)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体記号：円筒部-1



試験体記号：円筒部-2



試験体記号：円筒部-3

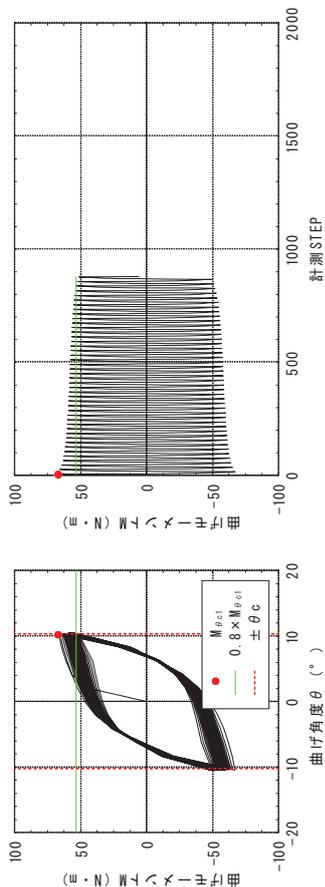
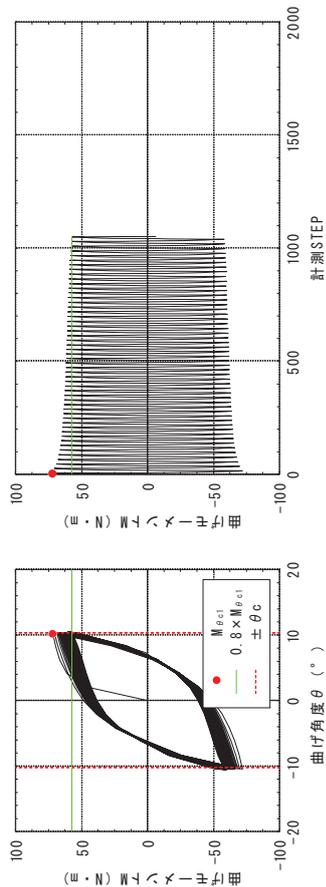


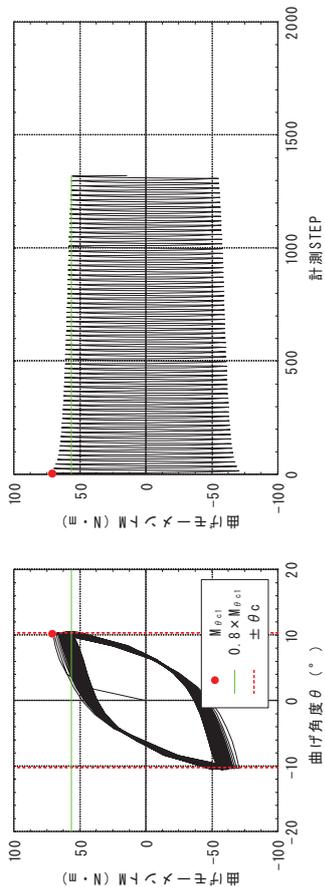
図12 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：円筒部)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体記号：円筒部-4



試験体記号：円筒部-5



試験体記号：円筒部-6

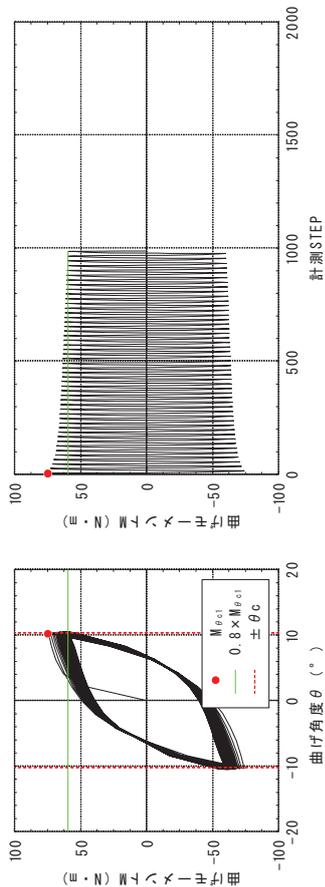
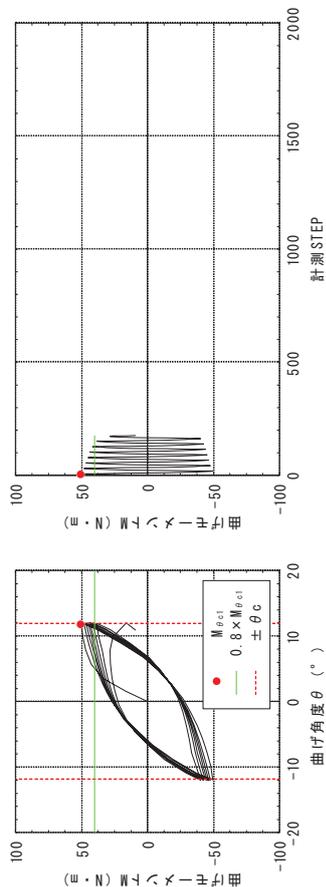


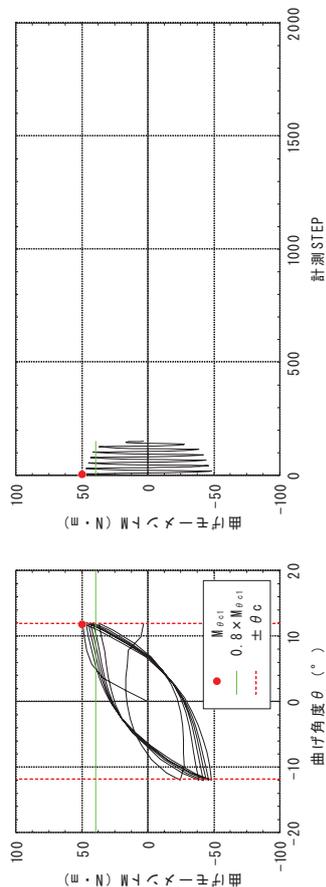
図13 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：円筒部)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体記号：境目部-1



試験体記号：境目部-2



試験体記号：境目部-3

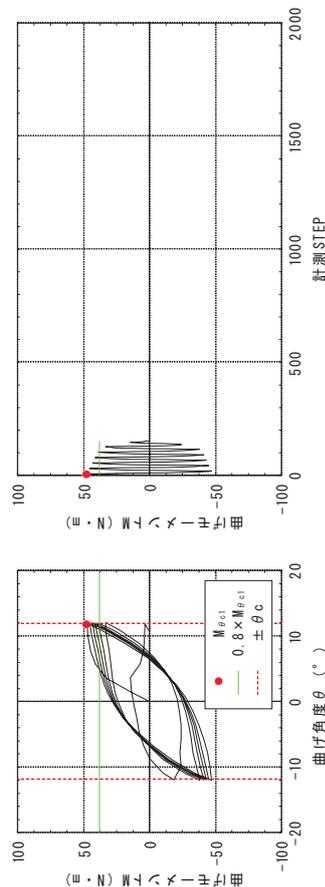
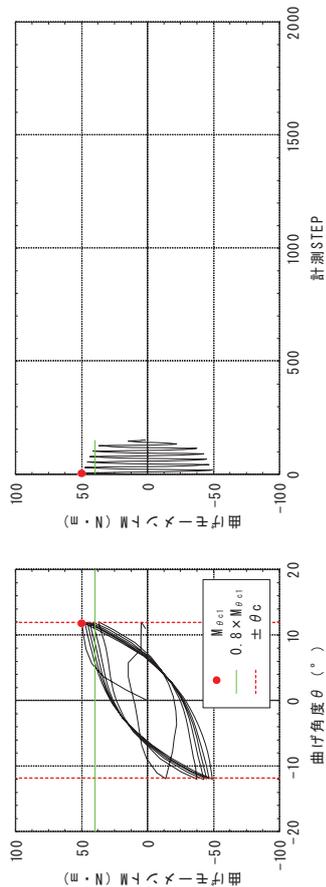


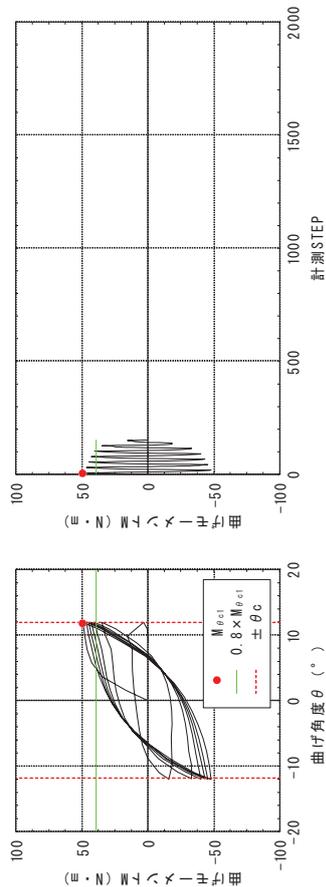
図14 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：ローレット部とねじ部の境目)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体記号：境目部-4



試験体記号：境目部-5



試験体記号：境目部-6

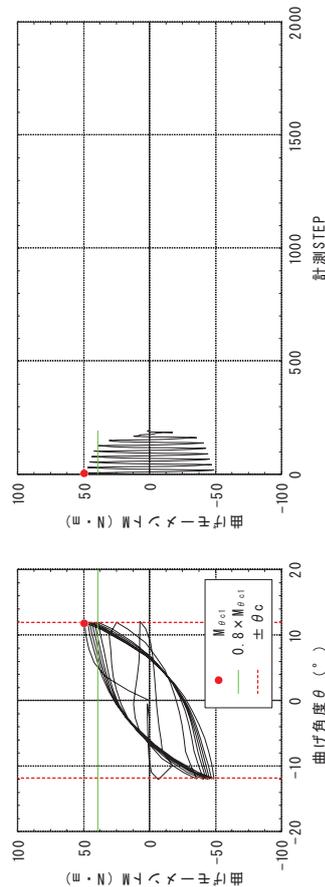


図15 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：ローレット部とねじ部の境目)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体名：HTS9F



写真13 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：ねじ部



写真14 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：ねじ部



写真15 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：円筒部



写真16 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：円筒部



写真17 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：ローレット部とねじ部の境目



写真18 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：ローレット部とねじ部の境目

試験体名：HTS9F



写真19 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰返し曲げ試験
対象部位：ねじ部



写真20 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰返し曲げ試験
対象部位：ねじ部



写真21 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰返し曲げ試験
対象部位：円筒部



写真22 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰返し曲げ試験
対象部位：円筒部



写真23 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰返し曲げ試験
対象部位：ローレット部とねじ部の境目



写真24 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰返し曲げ試験
対象部位：ローレット部とねじ部の境目

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体名：HTS9F



写真25 試験体の状況 (試験後)
試験項目：引張強さ試験



写真26 試験体の状況 (試験後)
試験項目：ねじり強さ試験

4. 3. 試験体STS6.5F

試験結果を表10～表13に、曲げモーメント-曲げ角度曲線関係を図16～図24に、試験体の状況を写真27～写真40に示す。

表10 単調曲げ試験及び繰返し曲げ試験結果 (対象部位：ねじ部)

試験体記号	単調曲げ試験			繰返し曲げ試験		
	Mp (N・m)	θp (°)	θc (°)	M _{act} (N・m)	繰返し回数(回)	繰返し回数(回)
ねじ部-1	13.1	13.7	14.2	13.4	12	12
ねじ部-2	13.8	14.2	14.2	13.6	12	12
ねじ部-3	14.0	14.5	14.2	13.3	14	14
ねじ部-4	14.1	14.2	14.2	13.5	14	14
ねじ部-5	13.6	14.2	14.2	13.5	13	13
ねじ部-6	13.3	14.1	14.2	13.5	13	13
平均	13.7	14.2	-	13.5	13	13
標準偏差	0.40	0.26	-	0.11	0.89	0.89
5%下限値	12.8	-	-	-	-	10.9
50%下限値	13.6	-	-	-	-	12.7

表11 単調曲げ試験及び繰返し曲げ試験結果 (対象部位：円筒部)

試験体記号	単調曲げ試験			繰返し曲げ試験		
	Mp (N・m)	θp (°)	θc (°)	M _{act} (N・m)	繰返し回数(回)	繰返し回数(回)
円筒部-1	32.6	11.3	11.3	33.3	12	12
円筒部-2	33.2	11.5	11.3	32.3	20	20
円筒部-3	33.2	10.9	11.3	31.9	20	20
円筒部-4	32.9	11.3	11.3	32.2	21	21
円筒部-5	32.0	11.3	11.3	33.0	23	23
円筒部-6	31.2	11.3	11.3	33.3	26	26
平均	32.5	11.3	-	32.7	20.3	20.3
標準偏差	0.79	0.20	-	0.61	4.68	4.68
5%下限値	30.7	-	-	-	-	9.4
50%下限値	32.3	-	-	-	-	18.9

表12 単調曲げ試験及び繰返し曲げ試験結果 (対象部位：境目部)

試験体記号	単調曲げ試験			繰返し曲げ試験		
	Mp (N・m)	θp (°)	θc (°)	M _{act} (N・m)	繰返し回数(回)	繰返し回数(回)
境目部-1	14.1	13.9	13.7	14.0	4	4
境目部-2	14.0	13.4	13.7	13.8	4	4
境目部-3	13.7	13.6	13.7	13.6	6	6
境目部-4	13.6	13.9	13.7	13.8	5	5
境目部-5	13.8	13.5	13.7	14.0	4	4
境目部-6	13.7	13.7	13.7	13.8	7	7
平均	13.8	13.7	-	13.8	5.0	5.0
標準偏差	0.19	0.21	-	0.15	1.26	1.26
5%下限値	13.4	-	-	-	-	2.1
50%下限値	13.7	-	-	-	-	4.6

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

表13 引張強さ及びねじり強さ試験結果

試験体記号	引張強さ試験		ねじり強さ試験	
	Ft (N)	Tr (N・m)		
1	14669	19.90		
2	14606	19.25		
3	14731	19.35		
4	14825	20.15		
5	14750	19.20		
6	14734	19.80		
平均	14719	19.61		
標準偏差	74.6	0.39		
5%下限値	14500	18.7		

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

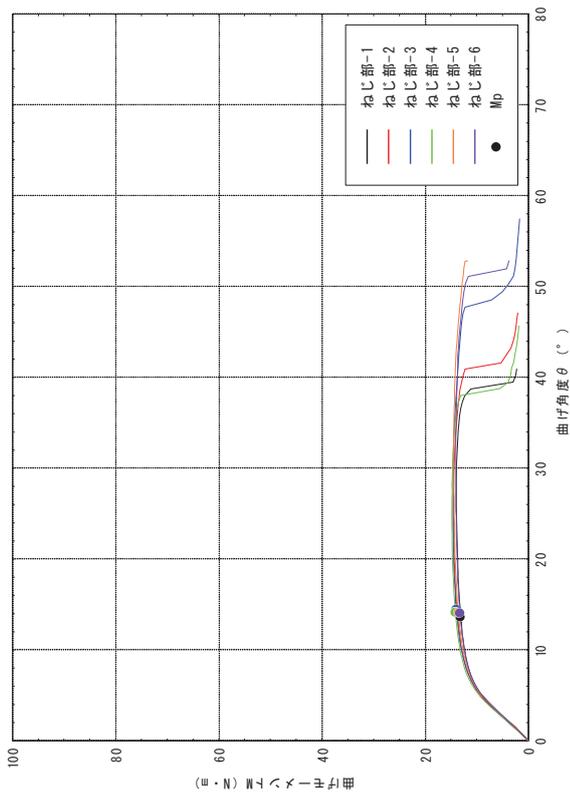


図16 曲げモーメント-曲げ角度曲線 (対象部位：ねじ部)

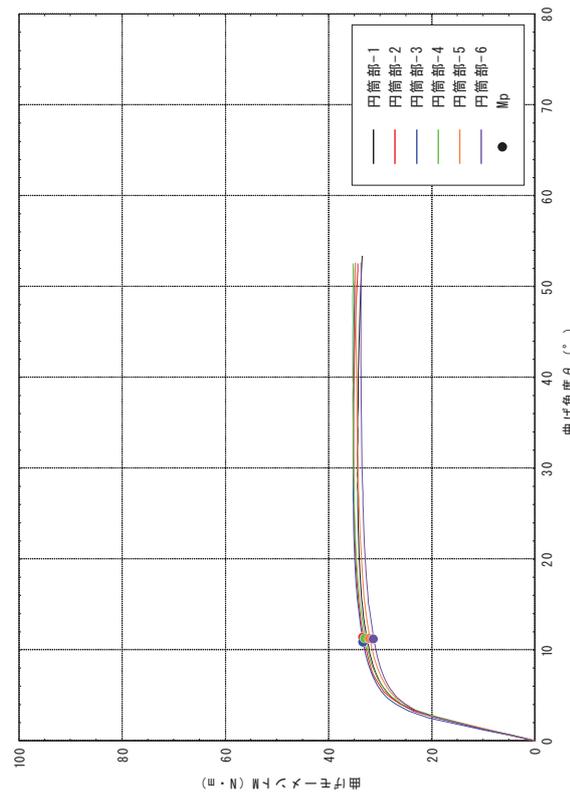


図17 曲げモーメント-曲げ角度曲線 (対象部位：円筒部)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

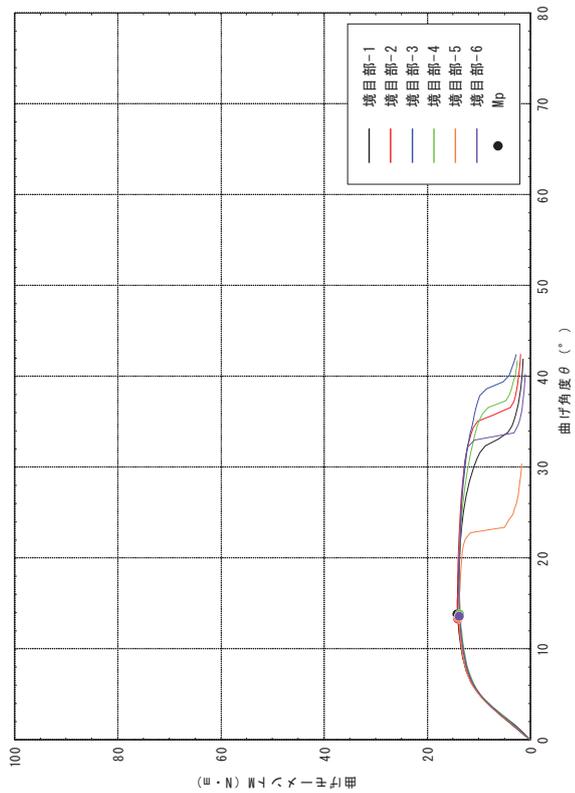
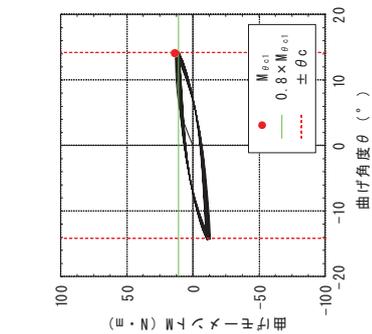
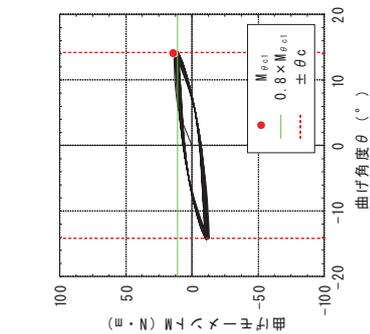
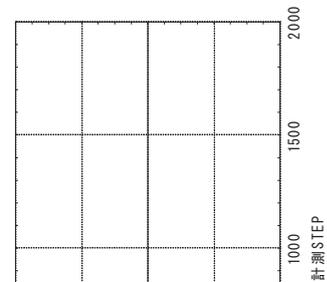


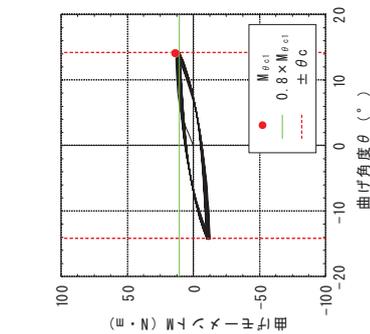
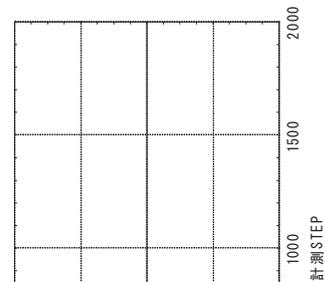
図18 曲げモーメント-曲げ角度曲線 (対象部位：ローレット部とねじ部の境目)



試験体記号：ねじ部-1



試験体記号：ねじ部-2



試験体記号：ねじ部-3

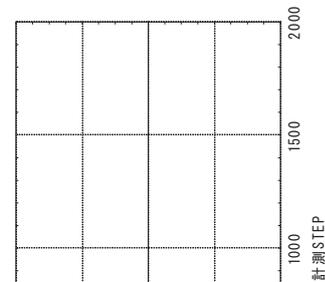
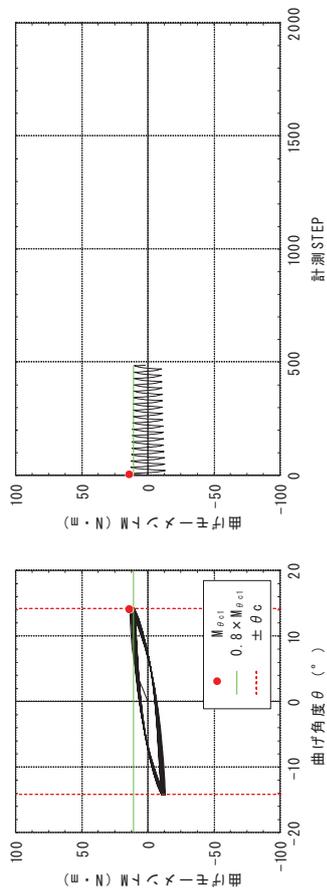
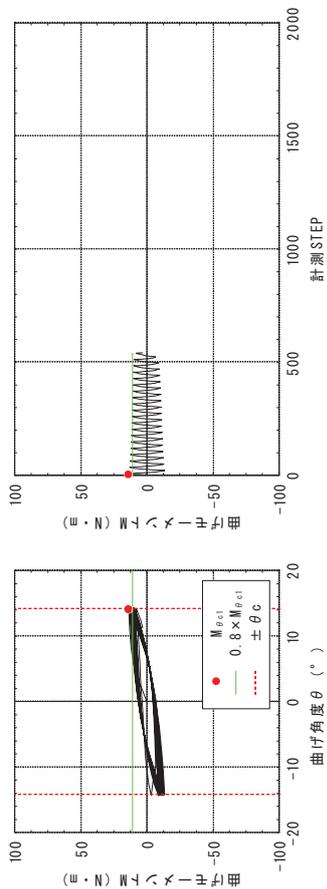


図19 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：ねじ部)

試験体記号：ねじ部-4



試験体記号：ねじ部-5



試験体記号：ねじ部-6

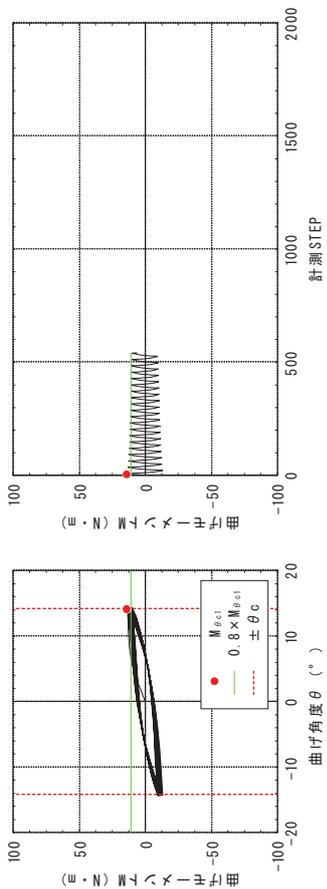
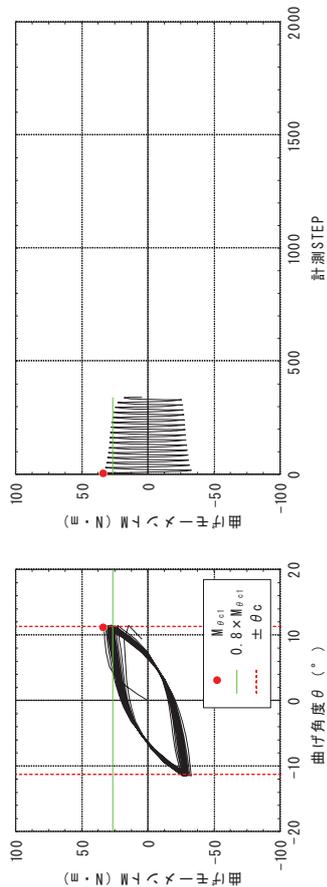


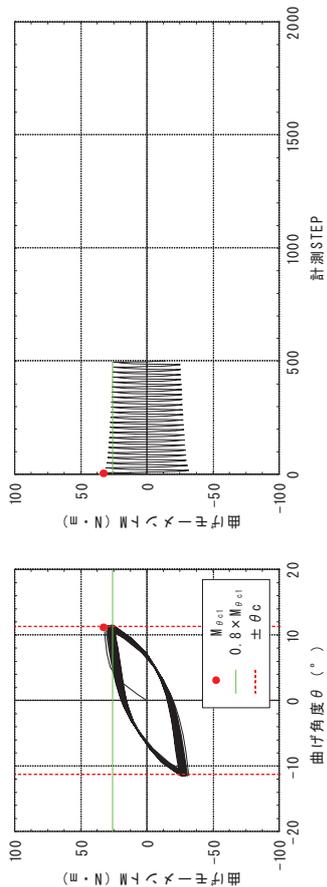
図20 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：ねじ部)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体記号：円筒部-1



試験体記号：円筒部-2



試験体記号：円筒部-3

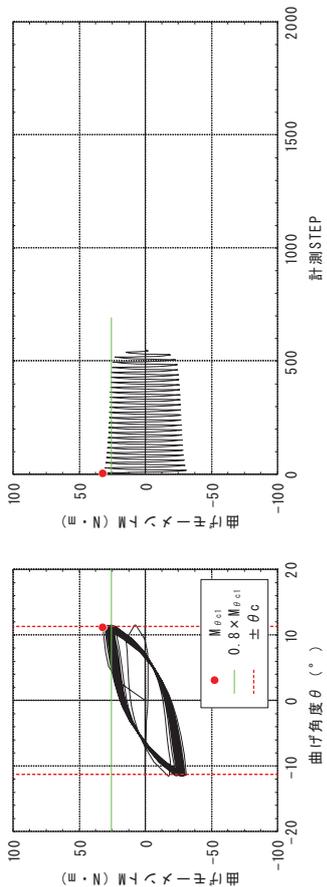


図21 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：円筒部)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体記号：円筒部-4

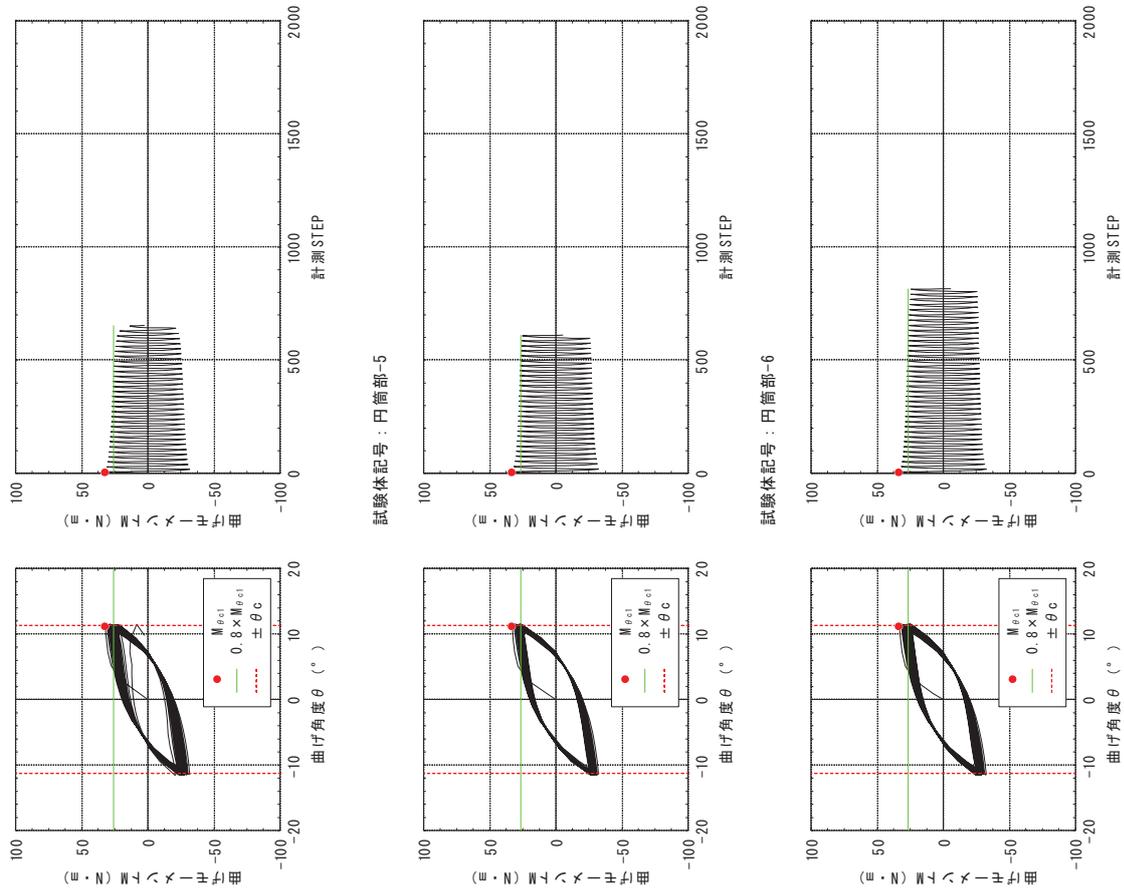


図22 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：円筒部)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体記号：境目部-1

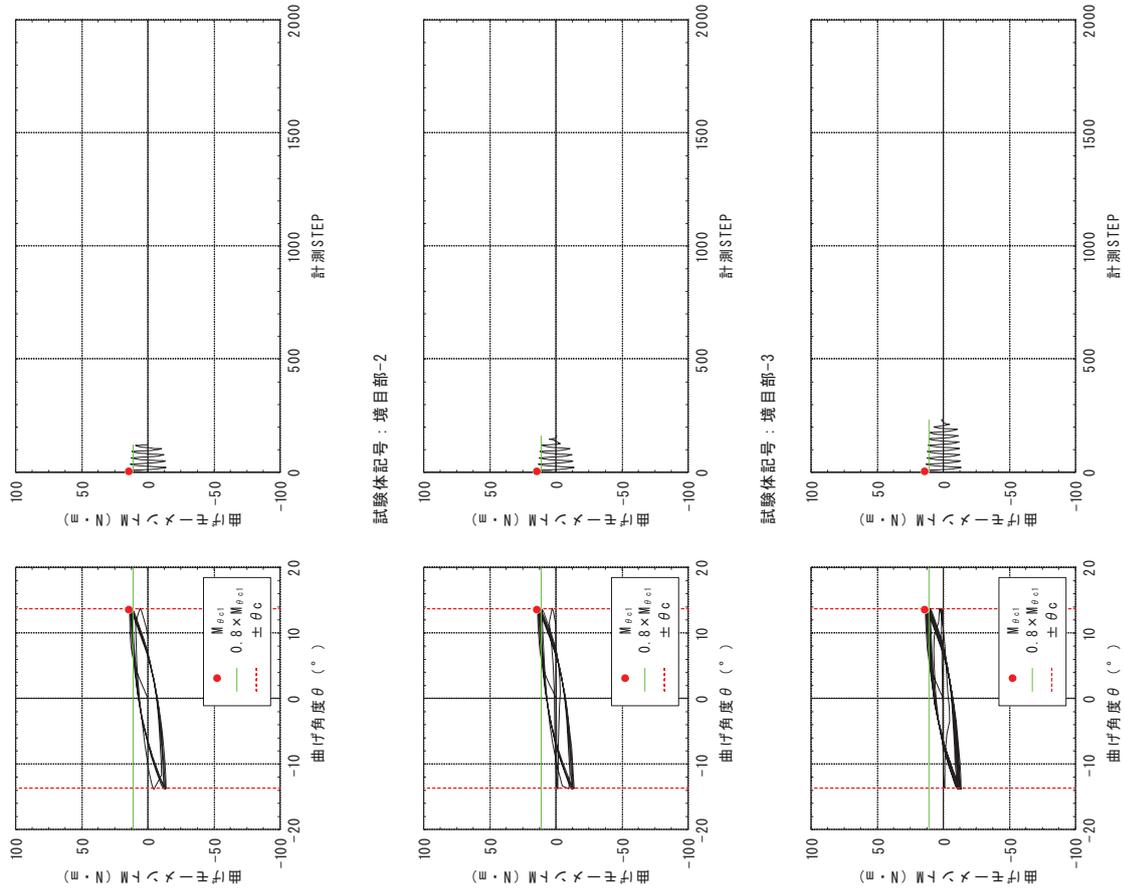
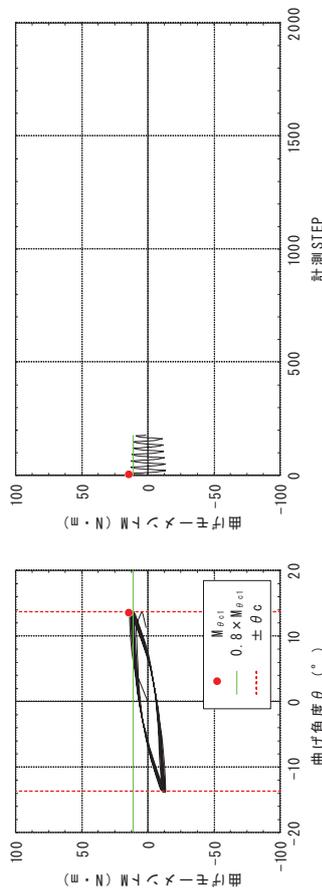


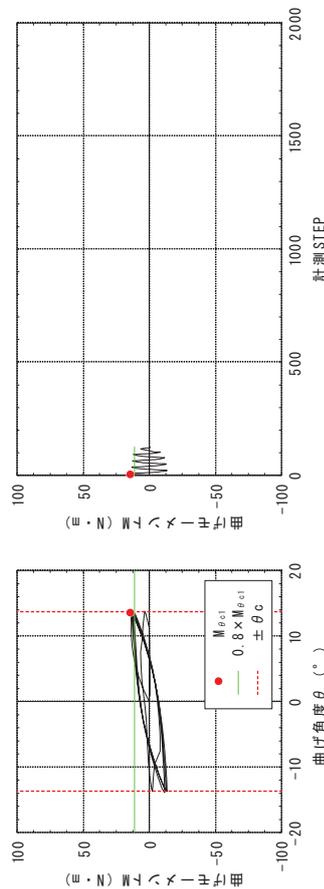
図23 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：ローレット部とねじ部の境目)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体記号：境目部-4



試験体記号：境目部-5



試験体記号：境目部-6

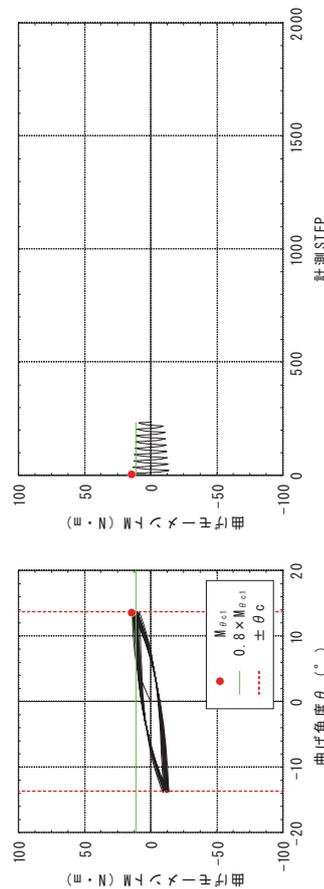


図24 曲げモーメント-曲げ角度曲線関係 (対象部位：ローレット部とねじ部の境目)

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体名：STS6.5F



写真27 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：ねじ部



写真28 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：ねじ部

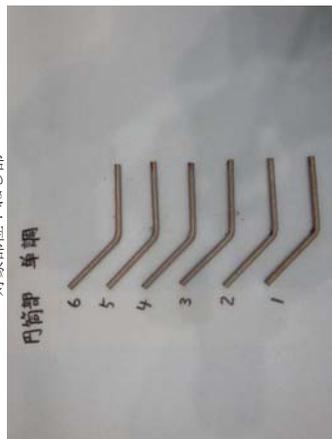


写真29 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：円筒部

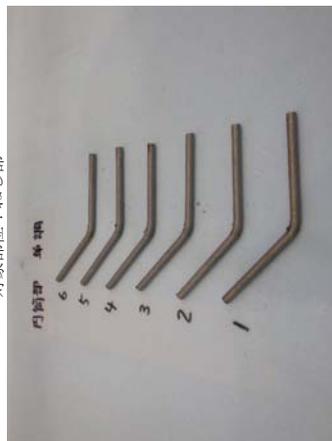


写真30 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：円筒部



写真31 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：ローレット部とねじ部の境目



写真32 試験体の状況 (試験後)
試験項目：単調曲げ試験
対象部位：ローレット部とねじ部の境目

試験所長の文書による承認なしでは、完全な複製を除き、一部分のみを複製してはならない。

試験体名：STS6.5F



写真33 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰返し曲げ試験
対象部位：ねじ部



写真34 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰返し曲げ試験
対象部位：ねじ部



写真35 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰返し曲げ試験
対象部位：円筒部



写真36 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰返し曲げ試験
対象部位：円筒部



写真37 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰返し曲げ試験
対象部位：ローレット部とねじ部の境目



写真38 試験体の状況 (試験後)
試験項目：繰返し曲げ試験
対象部位：ローレット部とねじ部の境目

試験体名：STS6.5F



写真39 試験体の状況 (試験後)
試験項目：引張強さ試験



写真40 試験体の状況 (試験後)
試験項目：ねじり強さ試験

5. 試験期間、担当者及び場所

試験期間 2022年10月18日～11月 1日

担当者 試験課長 佐川 修
早崎 洋一 (主担当)
小森 谷 誠
品 末 竹 彦

場 所 西日本試験所 (山口県山陽小野田市大字山川)

以上

引用文献

- 1) (公財)日本住宅・木材技術センター：2016年版 CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル 2021年構造・材料増補版,2021
- 2) (一社)日本建築学会：木質構造設計規準・同解説 - 許容応力度・許容耐力設計法 -, 2006年12月1日
- 3) EN 1995-1-1 (2004) (English): Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings [Authority: The European Union Per Regulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC]
- 4) European Technical Assessment ETA-11/0030 of 2016-04-07
- 5) 林健太, 小林研治, 安村基, 鈴木圭：スギ CLT の強度性能に及ぼすラミナ物性の影響 (その2) CLT 構造における鋼板添え板ビス接合部の一面せん断性能,日本木材学会中部支部大会,2013.10
- 6) (一社)日本建築学会：木質構造接合部設計マニュアル,2009年11月
- 7) (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
- 8) (公財)日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法 中大規模木造建築物の構造設計の手引き (許容応力度設計編)
- 9) ISO10984-2 Timber structures — Dowel-type fasteners — Part 2:Determination of embedding strength, 2009-08-15