

令和5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6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	3
2.長ビスの種類	5
3.床-床接合 斜め交差打ちビス接合 強軸方向と弱軸方向の影響	6
3.1. 昨年度事業での検討結果と課題	6
3.2. 試験の種類	8
3.3. 試験方法、評価方法	11
3.4. 試験結果	12
3.4.1. X90-5-5S (R4 再掲)	12
3.4.2. X90-5-5W	14
3.4.3. X90-5-7S (R4 再掲)	16
3.4.4. X90-5-7W	18
3.5. ビス交差位置の確認	20
3.6. 考察	22
4.床-床接合 ハーフラップビス接合 ビスピッチの影響	24
4.1. 昨年度事業での検討結果と課題	24
4.2. 試験の種類	26
4.3. 試験方法、評価方法	30
4.4. 試験結果	31
4.4.1. H90-5-5S-4d (R4 再掲)	31
4.4.2. H90-5-5W-4d (R4 再掲)	33
4.4.3. H90-5-7S-4d (R4 再掲)	35
4.4.4. H90-5-7W-4d (R4 再掲)	37
4.4.5. H90-5-5S-7d	39
4.4.6. H90-5-5W-7d	41
4.4.7. H90-5-7S-7d	43
4.4.8. H90-5-7W-7d	45
4.5. 集合型破壊の算定結果	47
4.6. 考察	48
5.床-床接合 ハーフラップビス接合 一列多数本打ちの影響	51
5.1. 試験の目的と課題	51
5.2. 試験の種類	56
5.3. 試験方法、評価方法	58
5.4. 試験結果	59
5.4.1. 3-H90-5-5S (R4 再掲)	59
5.4.2. 6-H90-5-5S	61

5.4.3.	10-H90-5-5S.....	63
5.4.4.	15-H90-5-5S.....	65
5.5.	考察	67
6.	壁-床接合 強軸・弱軸方向、層構成の影響	73
6.1.	想定する接合部	73
6.2.	試験の種類	75
6.3.	試験方法、評価方法	79
6.4.	試験結果	80
6.4.1.	33S-33S.....	80
6.4.2.	33S-33W.....	82
6.4.3.	33W-33S.....	84
6.4.4.	33W-33W	86
6.4.5.	33S-55S.....	88
6.4.6.	33S-55W.....	90
6.4.7.	33W-55W	92
6.5.	考察	94
7.	まとめ、来年度計画.....	96

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て木材同士を直接接合する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、令和 4 年度に引き続き、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。

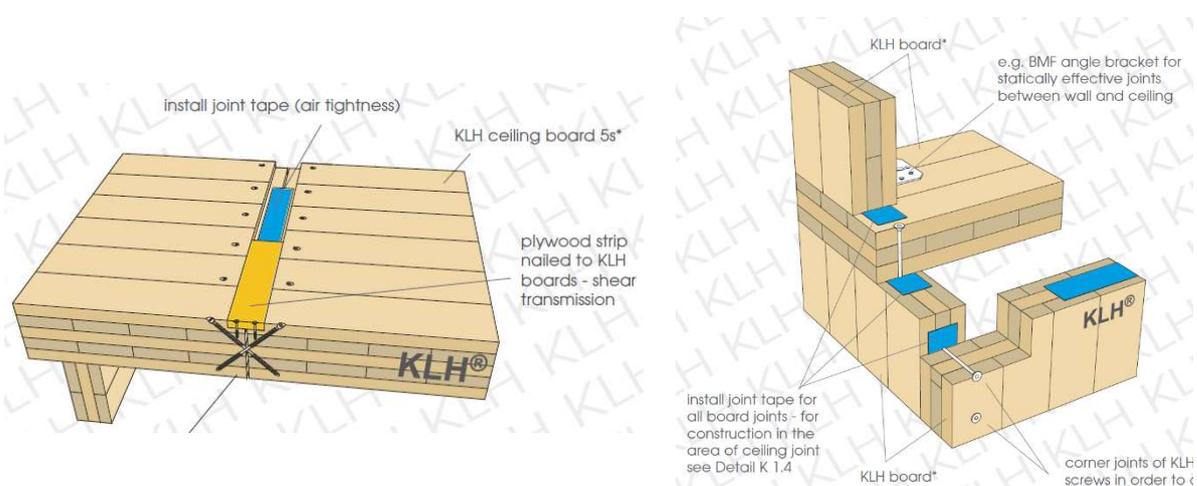


図 1.1-1 海外の CLT ビス接合部の例

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 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル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、5層7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。

したがって図 1.2-1 のようにハーフラップビス接合及び斜め打ちビス接合の実験を行い、面内せん断性能の検証を行うこととした。

本報では、斜め交差打ちビス接合の弱軸方向、ハーフラップビス接合のビスピッチ及び一列多数本による強度性能への影響について検証を行った。

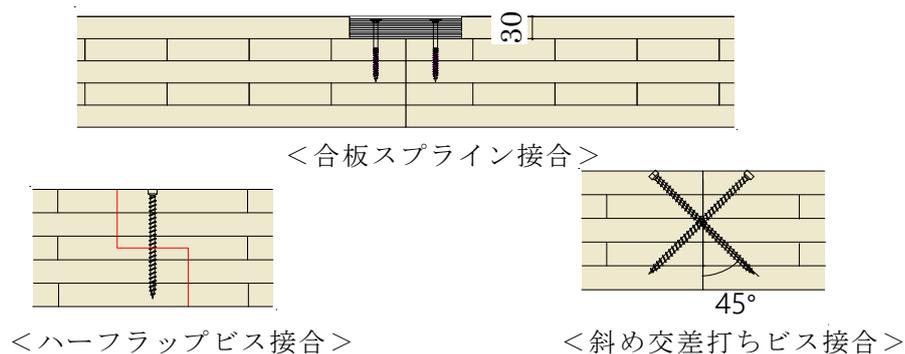


図 1.2-1 合板スプライン接合と長ビス斜め打ち接合

(2) 長ビスを用いた壁-床接合の強度性能の検証

長ビスを用いた壁-床 CLT 間のせん断接合部の強度性能の検証を行った。図 1.2-2 に示すとおり従来の金物を使う場合は下階壁 CLT とその上に載る床 CLT を接合する場合は、脚立等を用いて下階から上方向に向けて施工しなければならないが、長ビスを用いた場合は床上から下向きにビスを打ち込むことができるので、施工性が向上する。

本報では、壁 3 層 3 プライー床 3 層 3 プライまたは 5 層 5 プライの組み合わせで強軸方向・弱軸方向それぞれの試験を実施した。

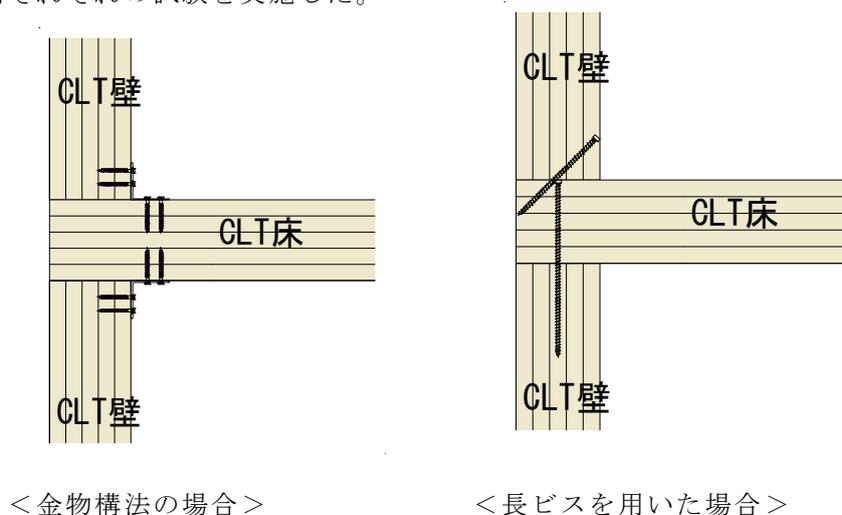


図 1.2-2 壁-床接合

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。

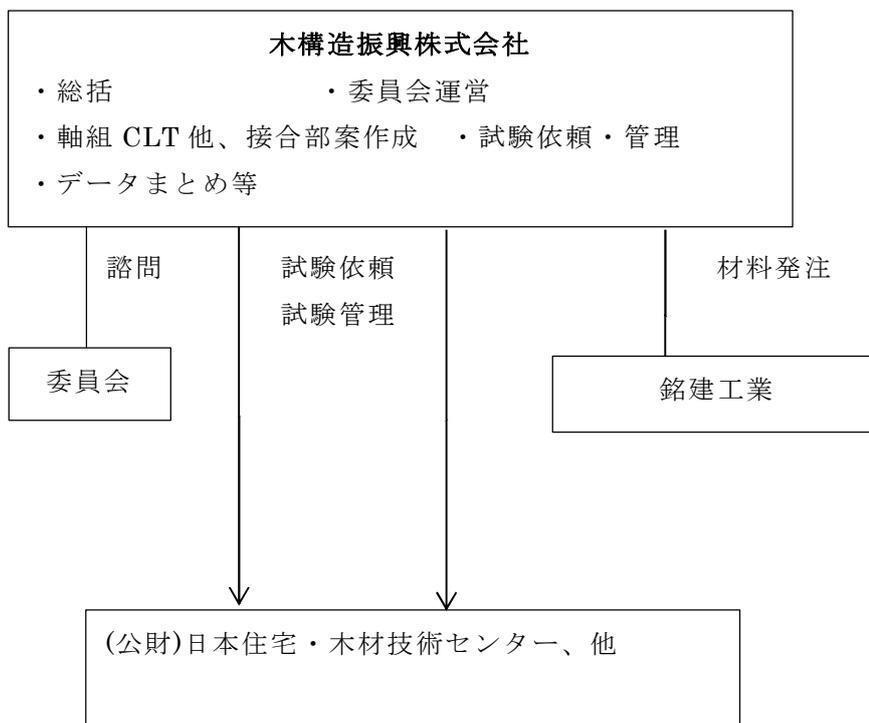


図 1.3-1 実施体制図

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

(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5年 7月11日(火) 15:00～17:00

会場：teamsによるWEB開催

第2回

日時：令和6年 3月 8日(金) 18:00～20:00

会場：teamsによるWEB開催

2. 長ビスの種類

当該事業で使用した長ビスは図 2-1、2-2 のとおりである。

長ビスは全て全ねじであり、寸法規格は呼び径 $\phi 9$ mm、ビス長さ $L=140,180,200,260$ mm である。

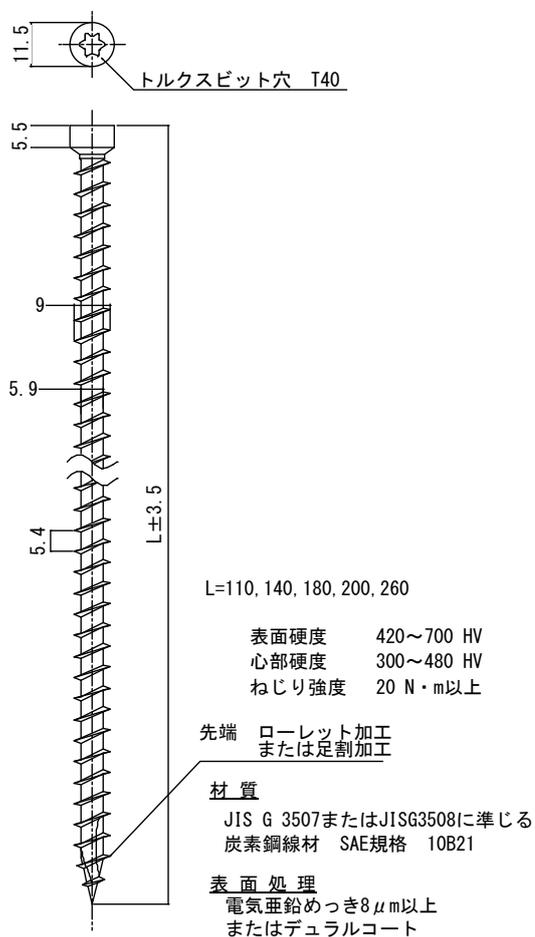


図 2-1 全ねじビス HTS9



写真 2-1 全ねじビス HTS9

3. 床-床接合 斜め交差打ちビス接合 強軸方向と弱軸方向の影響

3.1. 昨年度事業での検討結果と課題

R4 事業では図 3.1-1 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、強度性能は強軸方向、弱軸方向に限らず同じとなるはずである。

弱軸試験体は、確認のためとして 1 体のみ行ったが、結果として図 3.1-1、図 3.1-2 のとおり強軸試験体の一番低い試験体と同程度の値となった。

上記の原因として、写真 3.1-1 のとおり弱軸試験体のビス交差部が狙った位置（ラミナ 2 層目と 3 層目の接着層位置からずれてしまったことが原因と考えられる。写真 3.1-1 では、交差部が 3 層目のラミナの中心に近い位置に見える。

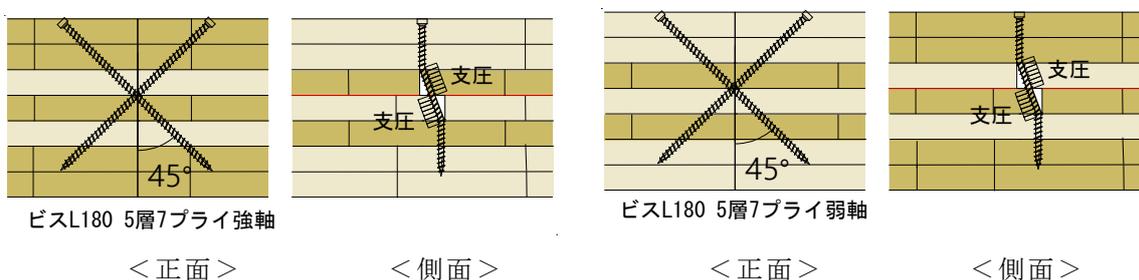


図 3.1-1 強軸、弱軸仕様についての実験の考え方

表 3.1-1 計算値と実験値の比較

		X90-5-5S	X90-5-5W	
繊維方向		強軸	弱軸	
主材側塑性ヒンジ位置 (mm)		22.9	23.4	
側材側塑性ヒンジ位置 (mm)		23.0	23.5	
降伏耐力	計算値	4.1	4.0	
	実験値	1	4.7	3.8
		2	4.0	
		3	4.8	
		4	5.0	
		5	4.9	
		6	5.0	
	平均	4.7	3.8	
50%下限値	4.6			
最大耐力	計算値	11.9	11.9	
	実験値	1	9.0	7.8
		2	7.9	
		3	9.5	
		4	10.1	
		5	9.3	
		6	9.4	
	平均	9.2	7.8	
50%下限値	9.0			

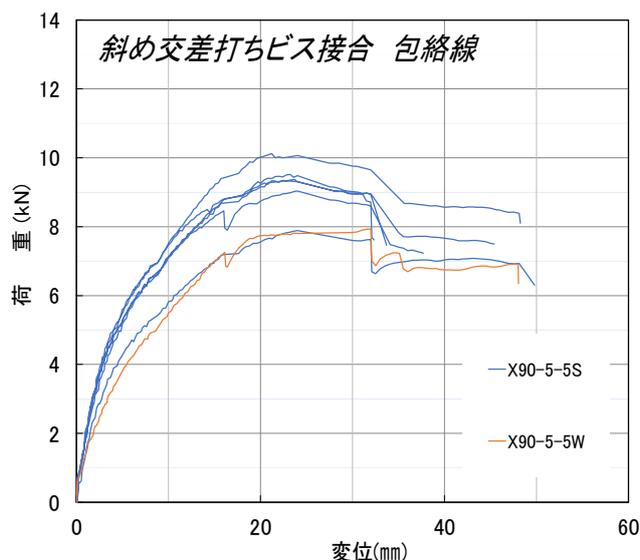


図 3.1-2 斜め交差打ちビス接合 強軸、弱軸の比較

※表 3.1-1 の計算値は、単位接合部の降伏せん断耐力 (AIJ 規準)

したがって本年度は、同じ方法、角度で打った弱軸方向試験体を6体実施し、強軸方向・弱軸方向で差が生じるかの確認と、差が生じた場合には特性値をどのように与えれば良いかの検討を行うこととした。



写真 3.1-1 ビスの交差部の位置 (X90-5-5W)

3.2. 試験の種類

3.1 項を踏まえ、弱軸方向における 5 層 5 プライ、5 層 7 プライ試験体を各 6 体ずつ実施することとした。試験の種類は表 3.2-1 のとおりである。このうち昨 1，昨 2 は R4 年度試験であり、比較のため試験データを再掲した。本年度実験したものは No. 1、2 の 2 仕様である。試験体の記号の意味は表 3.2-1 の下部に示す。各試験体図を図 3.2-1～図 3.2-4 に、試験体作成の様子を写真 3.2-1～写真 3.2-2 に、試験体の密度と含水率を表 3.2-2～表 3.2-3 に示す。

また、図 3.2-1～図 3.2-4 の各試験においては図 3.2-5 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 3.2-1 試験の種類

通し番号	試験体記号	接合形式	CLTの種類			接合具の種類			ビスピッチ	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)		
昨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	4 d	6
1	X90-5-5W			5層5プライ (150mm)	弱軸					6
昨2	X90-5-7S			5層7プライ (210mm)	強軸					6
2	X90-5-7W			5層7プライ (210mm)	弱軸					6
合計										24

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

X : 斜め交差打ち



写真 3.2-1 施工の様子 先穴φ4.5



写真 3.2-2 施工の様子 ビス打ち

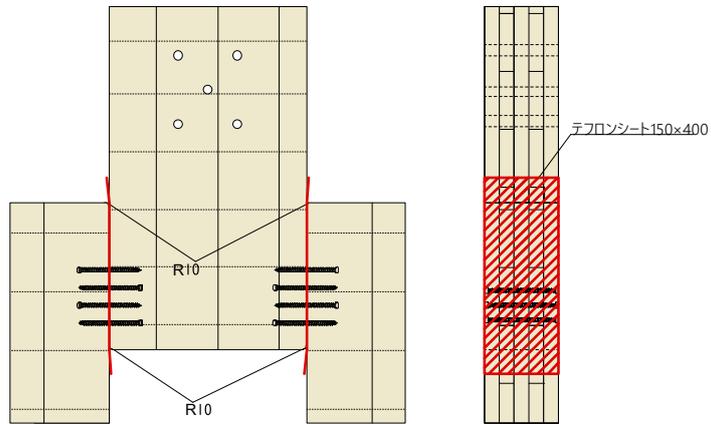


図 3.2-5 摩擦軽減措置（テフロンシートの挿入、端部 R10 加工）

表 3.2-2 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	10.1	0.43	9.6	0.42	10.5	0.41
		2	9.0	0.42	9.9	0.43	10.4	0.43
		3	9.8	0.42	10.2	0.41	9.8	0.42
		4	9.9	0.41	10.0	0.42	10.5	0.41
		5	9.4	0.42	10.5	0.42	9.8	0.42
		6	9.2	0.44	10.0	0.44	9.5	0.44
		平均	9.6	0.42	10.0	0.42	10.1	0.42

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)
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	X90-5-7W	1	8.4	0.41	9.7	0.42	9.9	0.43
		2	8.2	0.41	9.0	0.50	9.1	0.42
		3	8.6	0.43	8.9	0.42	9.3	0.43
		4	10.1	0.42	8.9	0.42	9.2	0.42
		5	9.4	0.41	10.1	0.42	8.8	0.43
		6	9.4	0.43	9.7	0.42	9.7	0.42
		平均	9.0	0.42	9.4	0.43	9.3	0.43

3.3. 試験方法、評価方法

試験治具及び変位計配置図は図 3.3-1、写真 3.3-1 のとおりである。

試験体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た。

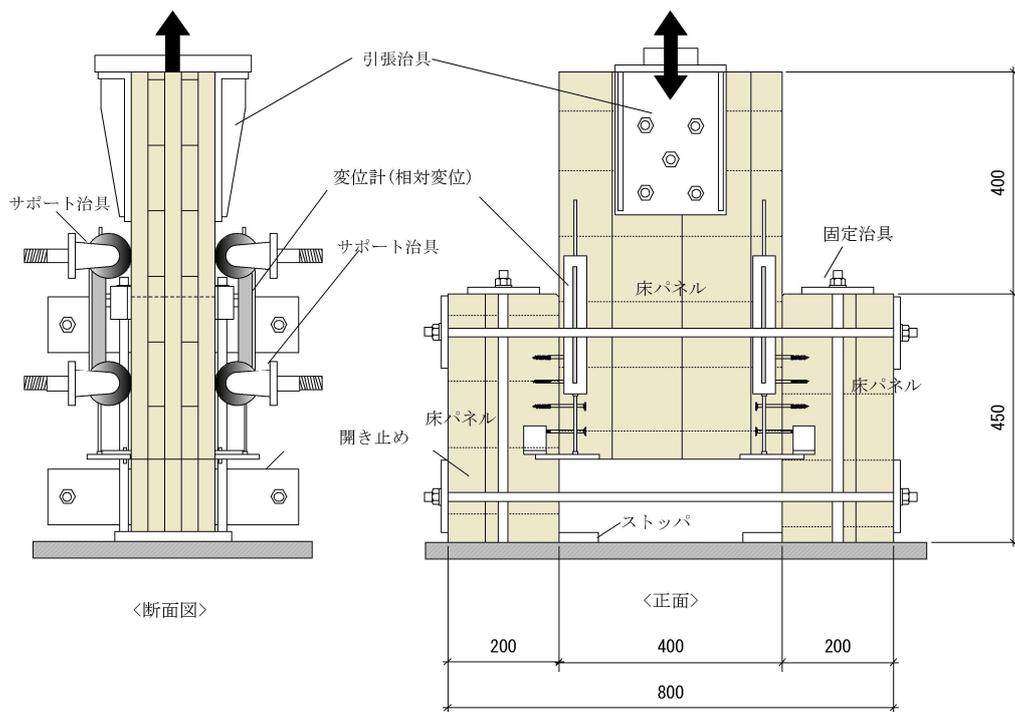


図 3.3-1 ロケット型による試験方法

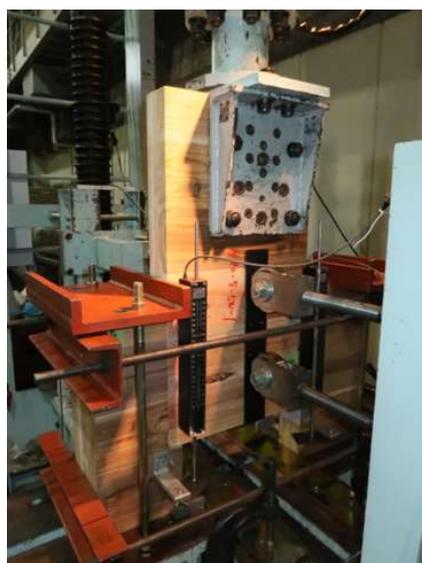


写真 3.3-1 試験の様子

3.4. 試験結果

3.4.1. X90-5-5S (R4 再掲)

荷重変位曲線を図 3.4.1-1 に、包絡線を図 3.4.1-2 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 3.4.1-1 に、破壊性状を写真 3.4.1-1～写真 3.4.1-8 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。

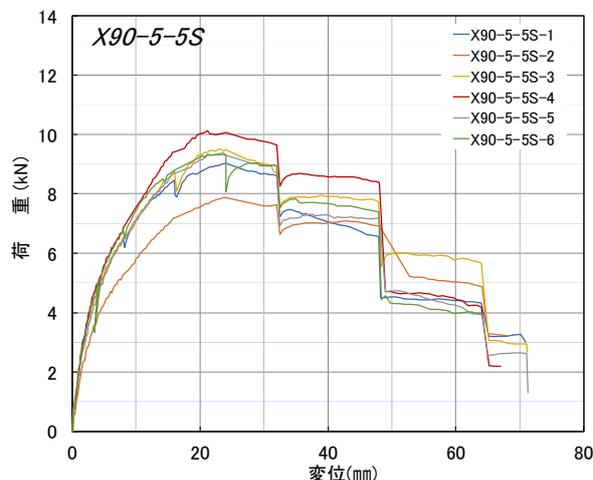
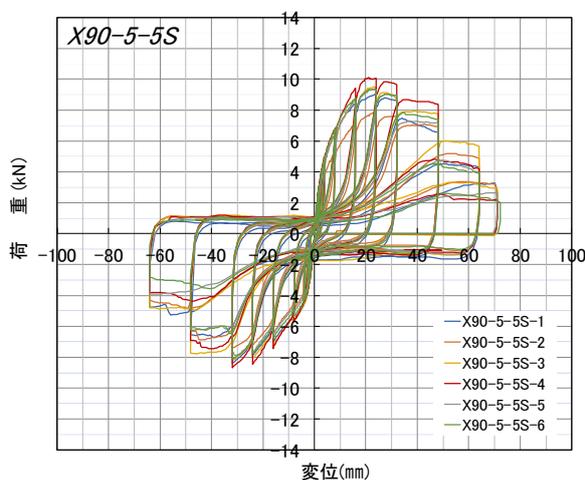


図 3.4.1-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.4.1-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.4.1-1 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))

試験体記号 項目	X90-5-5S						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)	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	0.813	39.9
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	0.813	30.8
δ y (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	0.811	54.0
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 3.4.1-1 NO.1 X90-5-5S-1 試験前



写真 3.4.1-2 NO.1 X90-5-5S-1 試験後



写真 3.4.1-3 NO.1 X90-5-5S-1
ビスの引き抜け



写真 3.4.1-4 NO.1 X90-5-5S-1
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 3.4.1-5 NO.1 X90-5-5S-3 ビスの折損



写真 3.4.1-6 NO.1 X90-5-5S-3 ビスの折損



写真 3.4.1-7 NO.1 X90-5-5S-4 節あり



写真 3.4.1-8 NO.1 X90-5-5S-4 ビスの折損

3.4.2. X90-5-5W

荷重変位曲線を図 3.4.2-1 に、包絡線を図 3.4.2-2 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 3.4.2-1 に、破壊性状を写真 3.4.2-1～写真 3.4.2-8 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。

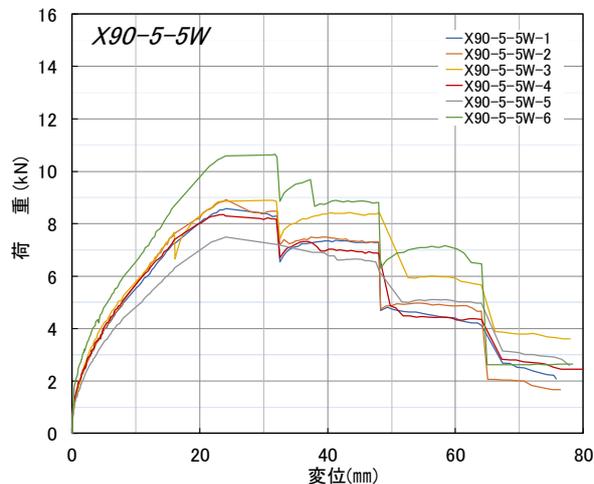
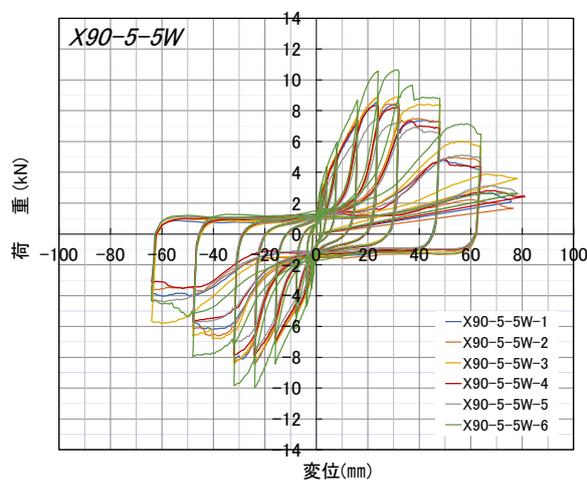


図 3.4.2-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.4.2-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.4.2-1 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	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)	6.8	7.1	7.1	6.7	6.0	8.5	7.0	0.82				
1/10 δ m (mm)	0.24	0.24	0.16	0.09	0.10	0.19	0.17	0.07				
2/5Pm (kN)	27.4	28.5	28.4	26.7	23.9	34.0	28.2	3.32				
2/5 δ m (mm)	3.69	4.23	3.49	3.46	3.73	3.69	3.72	0.28				
2/3Pm (kN)	45.7	47.5	47.4	44.5	39.9	56.7	47.0	5.53	0.118	0.724	34.0	
2/3 δ m (mm)	10.73	10.83	10.58	9.81	10.85	11.53	10.72	0.55				
9/10Pm (kN)	61.6	64.2	64.0	60.1	53.8	76.5	63.4	7.47				
9/10 δ m (mm)	18.78	18.92	18.70	17.92	19.45	19.63	18.90	0.61				
Pm (kN)	68.5	71.3	71.1	66.8	59.8	85.0	70.4	8.29				
δ m (mm)	24.10	24.10	30.00	23.80	24.00	30.00	26.00	3.10				
δ u時荷重 (kN)	67.2	67.2	71.1	65.2	58.2	85.0	69.0	8.92				
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)	32.2	36.1	34.2	32.7	29.1	38.3	33.8	3.21	0.095	0.778	26.2	
δ y (mm)	5.26	6.58	5.27	5.14	5.52	5.04	5.47	0.57				
終局耐力 Pu (kN)	60.6	64.5	63.1	60.1	52.9	73.6	62.5	6.77	0.108	0.748	46.7	
初期剛性 K (kN/mm)	6.12	5.49	6.49	6.36	5.27	7.60	6.22	0.83				
降伏点変位 δ v (mm)	9.90	11.75	9.72	9.45	10.04	9.68	10.09	0.84				
塑性率 μ = δ u / δ v	3.03	2.55	3.09	3.17	2.99	3.10	2.99	0.22				
構造特性係数 Ds	0.44	0.49	0.44	0.43	0.45	0.44	0.45	0.02				



写真 3.4.2-1 NO.2 X90-5-5W-1 試験前

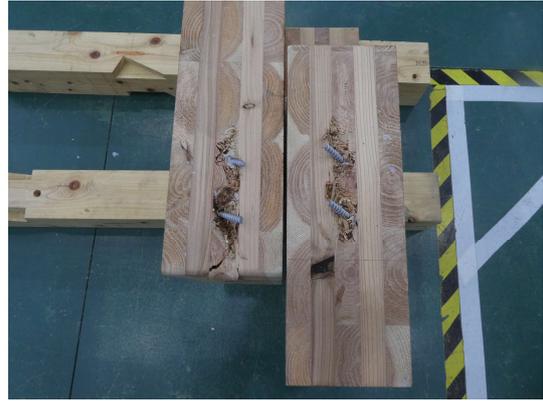


写真 3.4.2-2 NO.2 X90-5-5W-1 試験後



写真 3.4.2-3 NO.2 X90-5-5W-2
ビスの引き抜け・折損、木材の割れ



写真 3.4.2-4 NO.2 X90-5-5W-3
ビスの引き抜け・折損、木材の割れ



写真 3.4.2-5 NO.2 X90-5-5W-4
ビスの引き抜け・折損、木材の割れ



写真 3.4.2-6 NO.2 X90-5-5W-5

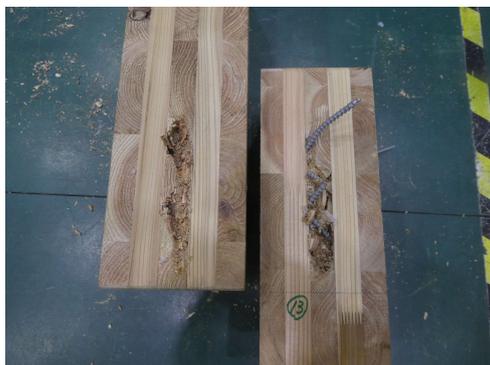


写真 3.4.2-7 NO.2 X90-5-5W-5
ビスの引き抜け・折損、木材の割れ



写真 3.4.2-8 NO.2 X90-5-5W-6
ビスの引き抜け・折損、木材の割れ

3.4.3. X90-5-7S (R4 再掲)

荷重変位曲線を図 3.4.3-1 に、包絡線を図 3.4.3-2 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 3.4.3-1 に、破壊性状を写真 3.4.3-1~写真 3.4.3-8 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。

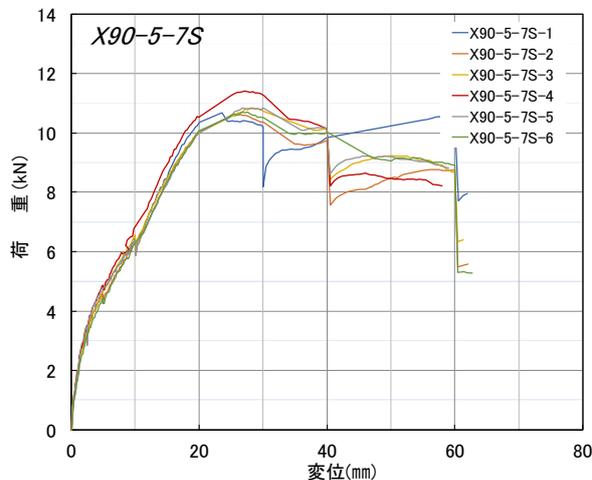
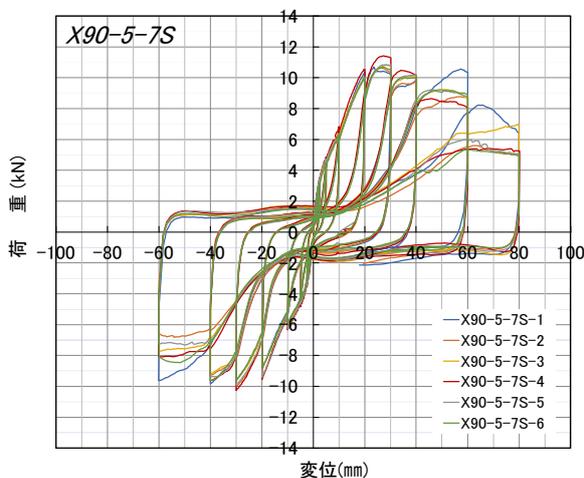


図 3.4.3-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.4.3-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.4.3-1 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 y (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 3.4.3-1 NO.3 X90-5-7S-1 試験前



写真 3.4.3-2 NO.3 X90-5-7S-1 試験後



写真 3.4.3-3 NO.3 X90-5-7S-1
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 3.4.3-4 NO.3 X90-5-7S-1
ビスの引き抜け



写真 3.4.3-5 NO.3 X90-5-7S-2 ビスの折損

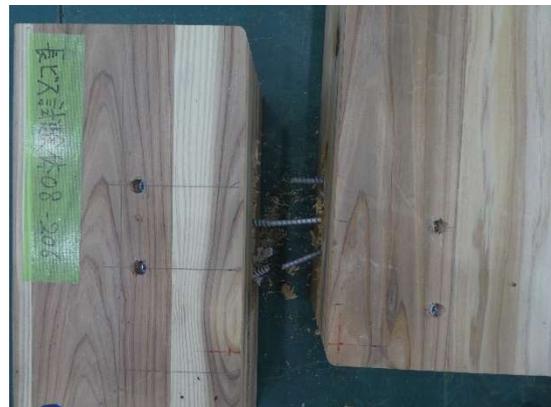


写真 3.4.3-6 NO.3 X90-5-7S-4 ビスの折損



写真 3.4.3-7 NO.3 X90-5-7S-4 ビスの折損



写真 3.4.3-8 NO.3 X90-5-7S-5 ビスの折損、木材の割れ

3.4.4. X90-5-7W

荷重変位曲線を図 3.4.4-1 に、包絡線を図 3.4.4-2 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 3.4.4-1 に、破壊性状を写真 3.4.4-1～写真 3.4.4-8 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。

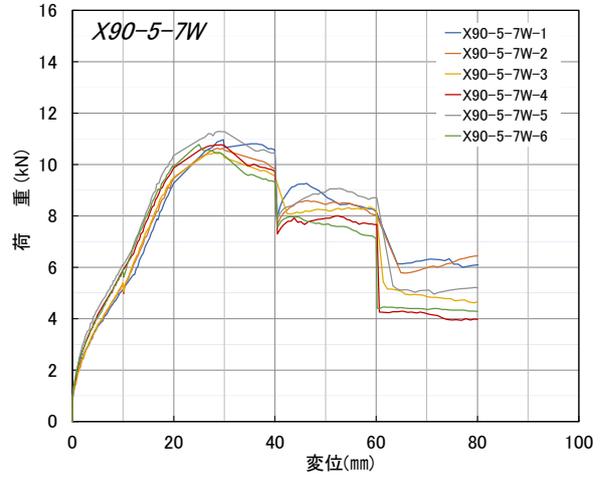
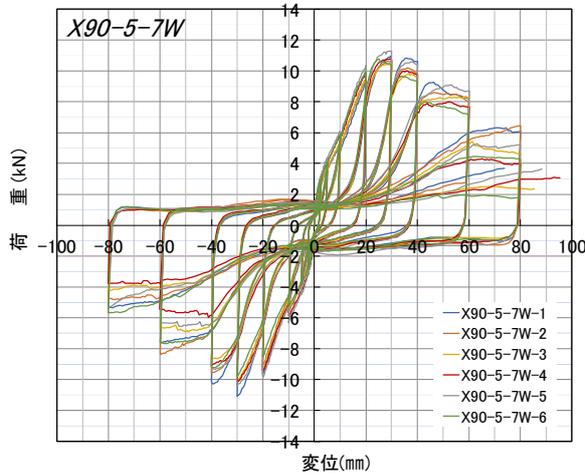


図 3.4.4-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.4.4-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.4.4-1 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						X90-5-7W	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)	8.8	8.5	8.4	8.6	9.0	8.6	8.7	0.22				
1/10 δ m (mm)	0.18	0.10	0.16	0.11	0.18	0.12	0.14	0.04				
2/5Pm (kN)	35.1	34.0	33.5	34.4	36.1	34.5	34.6	0.91				
2/5 δ m (mm)	7.33	6.61	6.30	5.47	5.41	5.85	6.16	0.74				
2/3Pm (kN)	58.5	56.7	55.8	57.4	60.2	57.5	57.7	1.53	0.027	0.937	54.0	
2/3 δ m (mm)	15.56	14.22	13.81	13.34	13.42	12.93	13.88	0.93				
9/10Pm (kN)	79.0	76.5	75.3	77.5	81.3	77.6	77.9	2.08				
9/10 δ m (mm)	23.02	20.76	19.73	19.50	19.52	19.10	20.27	1.46				
Pm (kN)	87.8	85.1	83.7	86.1	90.3	86.2	86.5	2.29				
δ m (mm)	29.80	29.70	28.00	29.40	28.80	25.00	28.45	1.82				
δ u時荷重 (kN)	85.3	84.5	82.2	85.8	90.2	82.8	85.1	2.85				
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)	50.0	42.4	39.2	38.1	40.4	41.2	41.9	4.25	0.101	0.764	32.0	
δ y (mm)	13.18	9.85	8.66	6.84	6.97	8.04	8.92	2.37				
終局耐力 Pu (kN)	95.6	82.6	79.9	77.3	81.1	81.1	82.9	6.45	0.078	0.818	67.8	
初期剛性 K (kN/mm)	3.79	4.30	4.53	5.57	5.80	5.12	4.85	0.78				
降伏点変位 δ v (mm)	25.22	19.21	17.64	13.88	13.98	15.84	17.63	4.26				
塑性率 μ = δ u / δ v	1.19	1.56	1.70	2.16	2.15	1.89	1.78	0.37				
構造特性係数 Ds	0.85	0.69	0.65	0.55	0.55	0.60	0.65	0.11				

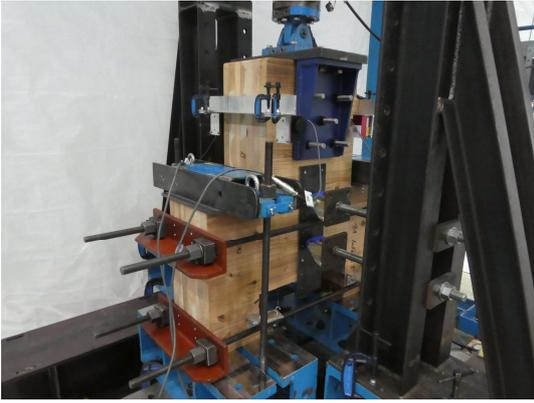


写真 3.4.4-1 NO.4 X90-5-7W-1 試験前



写真 3.4.4-2 NO.4 X90-5-7W-1 試験前



写真 3.4.4-3 NO.4 X90-5-7W-1
ビスの引き抜け・折損、木材の割れ



写真 3.4.4-4 NO.4 X90-5-7W-2
ビスの引き抜け・折損、木材の割れ



写真 3.4.4-5 NO.4 X90-5-7W-3
ビスの引き抜け・折損、木材の割れ



写真 3.4.4-6 NO.4 X90-5-7W-4
ビスの引き抜け・折損、木材の割れ



写真 3.4.4-7 NO.4 X90-5-7W-5
ビスの引き抜け・折損、木材の割れ

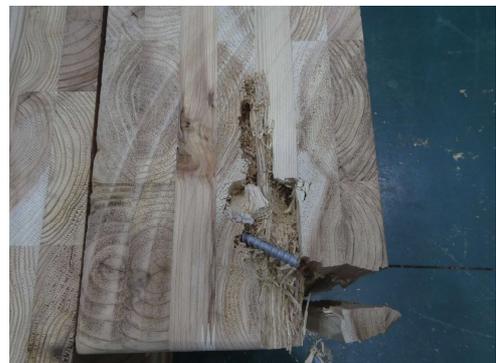


写真 3.4.4-8 NO.4 X90-5-7W-6
ビスの引き抜け・折損、木材の割れ

3.5. ビス交差位置の確認

ビス交差部がどの位置に施工されていたか、写真による判定を行った。

ビス交差部の位置とは図 3.5-1 の左図に見えるビス交差部の位置である。右図のとおり CLT の表層面を原点として、1 層目までを 1、2 層目までを 2 として数値化する。5 層 7 プライの場合、材の厚さの中央は 3.5 となる。

写真判定の結果を図 3.5-2 に示す。写真判定の例を写真 3.5-1～写真 3.5-6 に示す。

結果から狙い通りの 2-3 層目の境界、3-4 層目の境界よりもやや中央よりにずれた結果となった。すなわち X90-5-5S 及び X90-5-7S は強度性能に影響を及ぼす部分の支圧強度が高く、X90-5-5W 及び X90-5-7W は低くなるはずである。

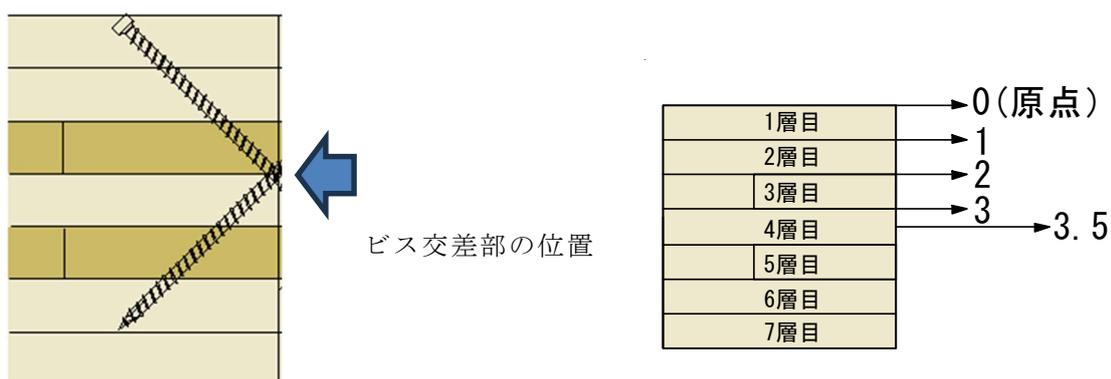


図 3.5-1 ビス交差部の位置と数値化の方法

表 3.5-1 写真による判定結果

		左右どちらか一方	
X90-5-5S	1	2.2	2.0
	2	2.2	2.2
	3	2.2	2.0
	4	2.2	2.5
	5	2.2	2.5
	6	2.5	2.5
	平	2.3	
X90-5-7S	1	3.5	3.5
	2	3.0	3.0
	3	3.0	3.0
	4	3.0	3.0
	5	3.2	3.0
	6	3.5	3.2
	平	3.2	
		左右どちらか一方	
X90-5-5W	1	2.2	2.2
	2	2.2	2.5
	3	2.2	2.5
	4	2.2	2.5
	5	2.5	2.5
	6	2.2	2.5
	平	2.4	
X90-5-7W	1	3.2	3.5
	2	3.5	3.2
	3	3.2	3.5
	4	3.0	3.2
	5	3.0	3.5
	6	3.0	3.5
	平	3.3	



写真 3.5-1 2.2 と判定



写真 3.5-2 2.2 と判定



写真 3.5-3 2.5 と判定



写真 3.5-4 3.0 と判定



写真 3.5-5 2.2 と判定



写真 3.5-6 3.0 と判定

3.6. 考察

各試験体シリーズのビス 1 本あたりの特性値を図 3.6-1～図 3.6-4 に示す。

(1) 強軸方向と弱軸方向の違い

- ・ 5%下限値で評価した場合、終局耐力、降伏耐力、初期剛性及び塑性率は弱軸方向試験体よりも強軸方向試験体の方が高くなる結果となったが、降伏耐力には大きな差は見られなかった。
- ・ 一方、平均値（50%下限値）で比較すると、5層7プライ試験体の終局耐力及び降伏耐力は弱軸試験体(④)の方が高くなる結果となった。
- ・ 斜め交差ビス接合については、施工精度によって強度性能が変わる恐れがあるので、強軸方向、弱軸方向についてそれぞれ許容耐力を与えるのではなく、安全側となる弱軸方向で許容耐力を定めることとしたい。

(2) 5層5プライと5層7プライの違い

- ・ 終局耐力及び降伏耐力は5層5プライ試験体より5層7プライ試験体の方が高くなる結果となった。5層7プライ試験体の方が使用しているビスのねじ長さが長いいため、ローブ効果による荷重上昇に差が出たものと考えられる。包絡線を比較すると図 3.6-5、図 3.6-6 参照のとおり5層7プライ試験体は変位 10 mmあたりから荷重が上昇しているのが分かる。
- ・ 初期剛性、塑性率については5層5プライ試験体より5層7プライ試験体の方が低くなる結果となった。

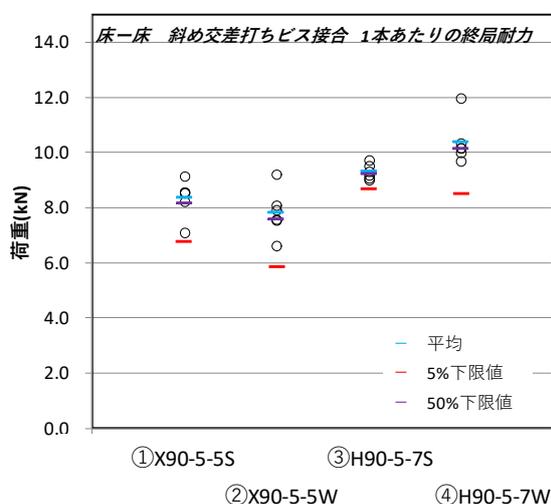


図 3.6-1 終局耐力の比較

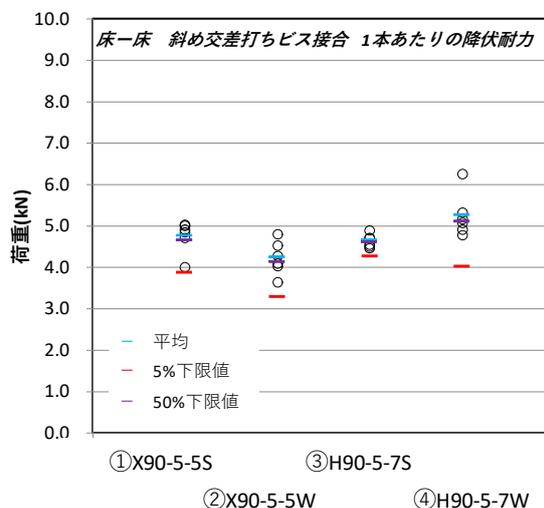


図 3.6-2 降伏耐力の比較

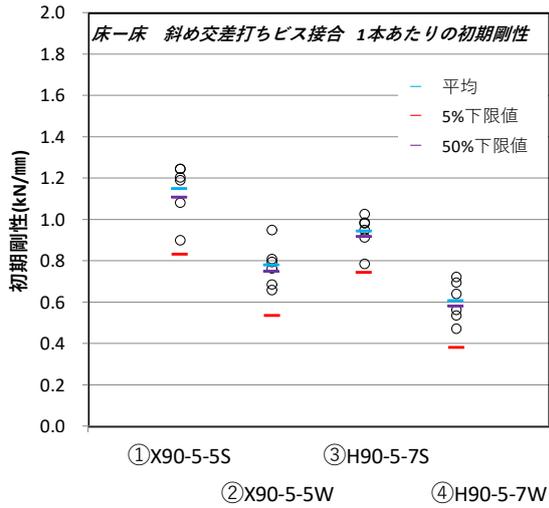


図 3.6-3 初期剛性の比較

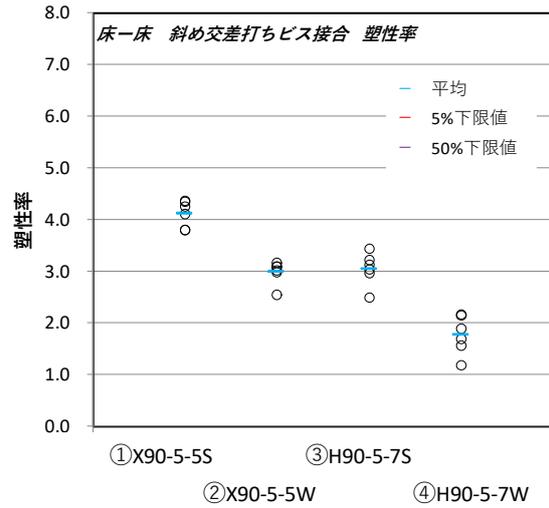


図 3.6-4 塑性率の比較

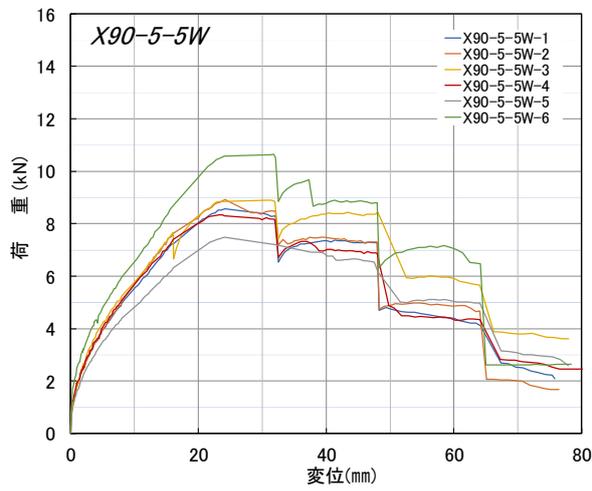


図 3.6-5 X90-5-5W の包絡線 (再掲)

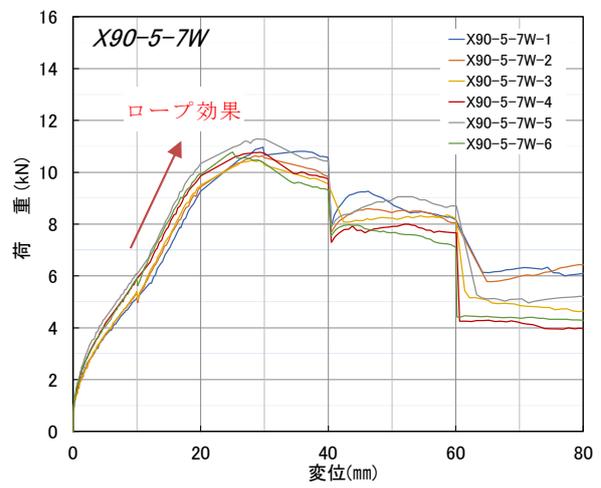


図 3.6-6 X90-5-7W の包絡線 (再掲)

4. 床-床接合 ハーフラップビス接合 ビスピッチの影響

4.1. 昨年度事業での検討結果と課題

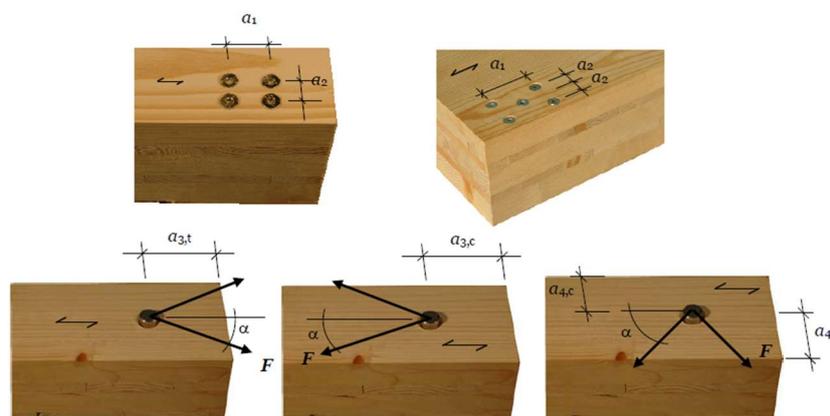
昨年度事業ではハーフラップビス接合について、ETA(European Technical Assessment)で評価された Rothoblass 社の CLT 用のビスの規定を参考にビスピッチ $4d(36\text{ mm})$ 仕様(端距離は $6d(54\text{ mm})$)とした (図 4.1-1)。

結果は、終局状態において写真 4.1-1 のように木材のめり込み変形によって隣り合うビスの支圧に抵抗している木材が欠損してしまう結果となった。このため余った試験体を使って $8d$ で 1 体のみ追加試験を行ったところ、木材の欠損は生じなかった(写真 4.1-2)。また、結果として、 $8d$ で評価した方の強度性能が高くなる結果となった (表 4.1-1、図 4.1-2)。

破壊性状は異なることが分かったものの、特性値にどの程度影響するのかについては、1 体の試験結果のみでは分からないため、本年度各パラメータについて 6 体ずつ実験を行うこととした。

また、本年度行う試験のビスピッチは $8d$ ではなく、AIJ 規準¹⁾のラグスクリュー接合に合わせて $7d(63\text{ mm})$ 、端距離も $7d(63\text{ mm})$ とした。

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 4.1-1 ETA (RothoBlass 社) のビス配列



写真 4.1-1 4d 弱軸試験体の試験後の様子 (H90-5-7W)



写真 4.1-2 8d 弱軸試験体の試験後の様子 (H90-5-7W8d)

表 4.1-1 計算値と実験値の比較

		H90-5-7W	H90-5-7W8d	
ビスピッチ		4 d	8 d	
降伏耐力	計算値	4.2	4.2	
	実験値	1	4.6	7.5
		2	6.8	
		3	4.4	
		4	6.2	
		5	4.3	
		6	5.7	
	平均	5.3	7.5	
50%下限値	5.0			
最大耐力	計算値	11.4	11.4	
	実験値	1	10.6	12.6
		2	12.3	
		3	10.8	
		4	11.8	
		5	10.5	
		6	12.3	
	平均	11.4	12.6	
50%下限値	11.1			

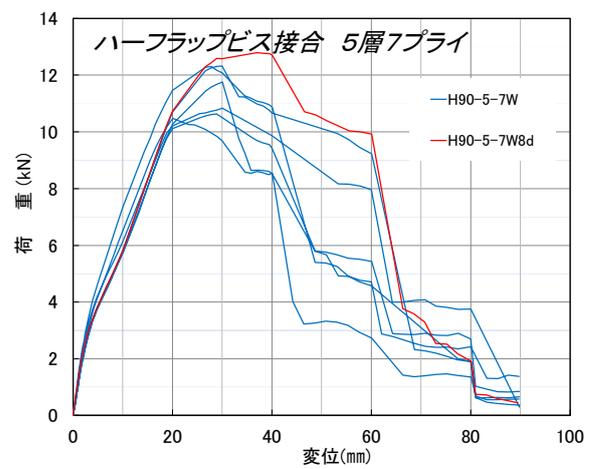


図 4.1-2 ビス間隔 6 d と 8 d の比較

4.2. 試験の種類

試験の種類は表 4.2-1 のとおりである。このうち No. 昨 3～6 は R4 年度に実施した試験であり、比較のため試験データを再掲している。本年度実験したものは No.3～6 の 4 仕様である。試験体の記号の意味を表 4.2-1 の下部に示す。各試験体図を図 4.2-1～図 4.2-6 に、試験体の密度と含水率を表 4.2-2～表 4.2-3 に示す。

また、図 4.2-1～図 4.2-6 の各試験においては図 4.2-7 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 4.1-2 試験の種類

通し番号	試験体記号	接合形式	CLTの種類			接合具の種類			ビスピッチ	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)		
昨3	H90-5-5S-4d	ハーフラップビス接合	スギCLT/ Mx60/A種構成	5層5プライ (150mm)	強軸	全ねじ ビス	9	140	4 d	6
昨4	H90-5-5W-4d				弱軸					
昨5	H90-5-7S-4d			5層7プライ (210mm)	強軸			200		6
昨6	H90-5-7W-4d			弱軸	6					
3	H90-5-5S-7d			5層5プライ (150mm)				強軸	140	7 d
4	H90-5-5W-7d			弱軸	6					
5	H90-5-7S-7d			5層7プライ (210mm)				強軸	200	
6	H90-5-7W-7d			弱軸	6					
合計									48	

H

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

4d

ビスピッチ

H : ハーフラップビス接合

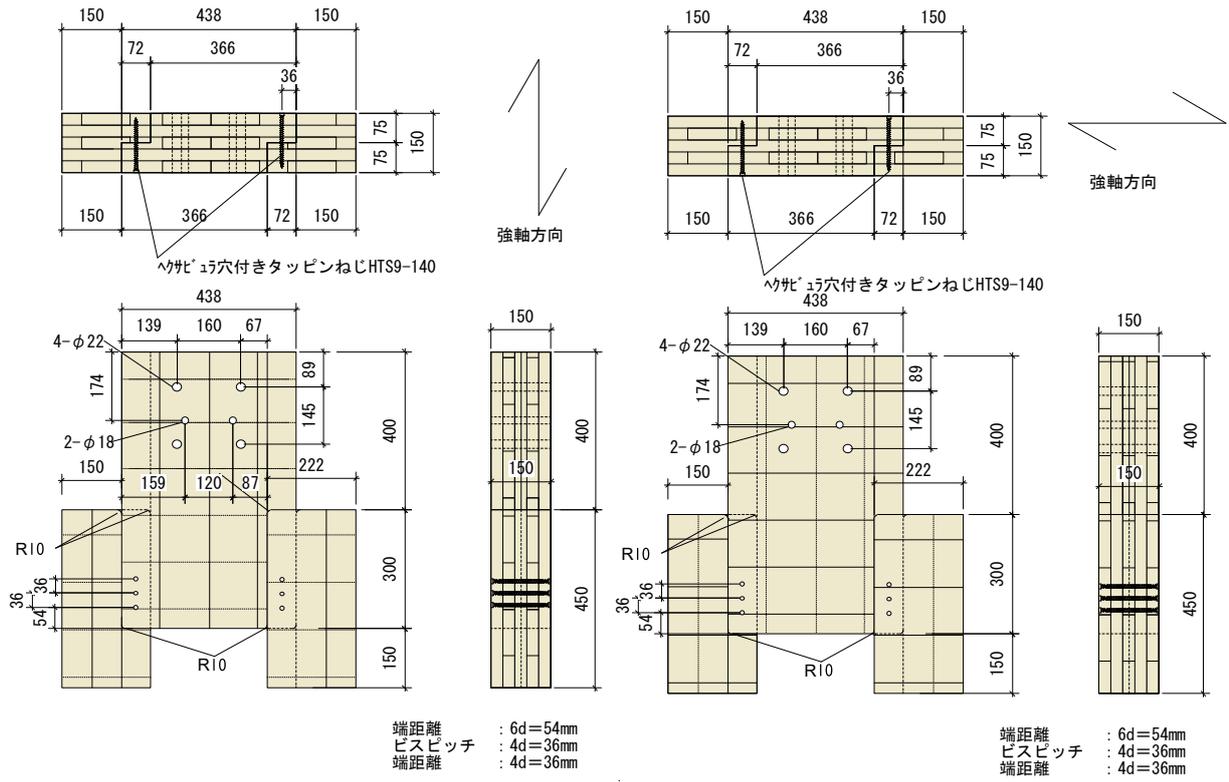


図 4.2-1 昨 No.3 H90-5-5S-4d 試験体図 図 4.2-2 昨 No.4 H90-5-5W-4d 試験体図

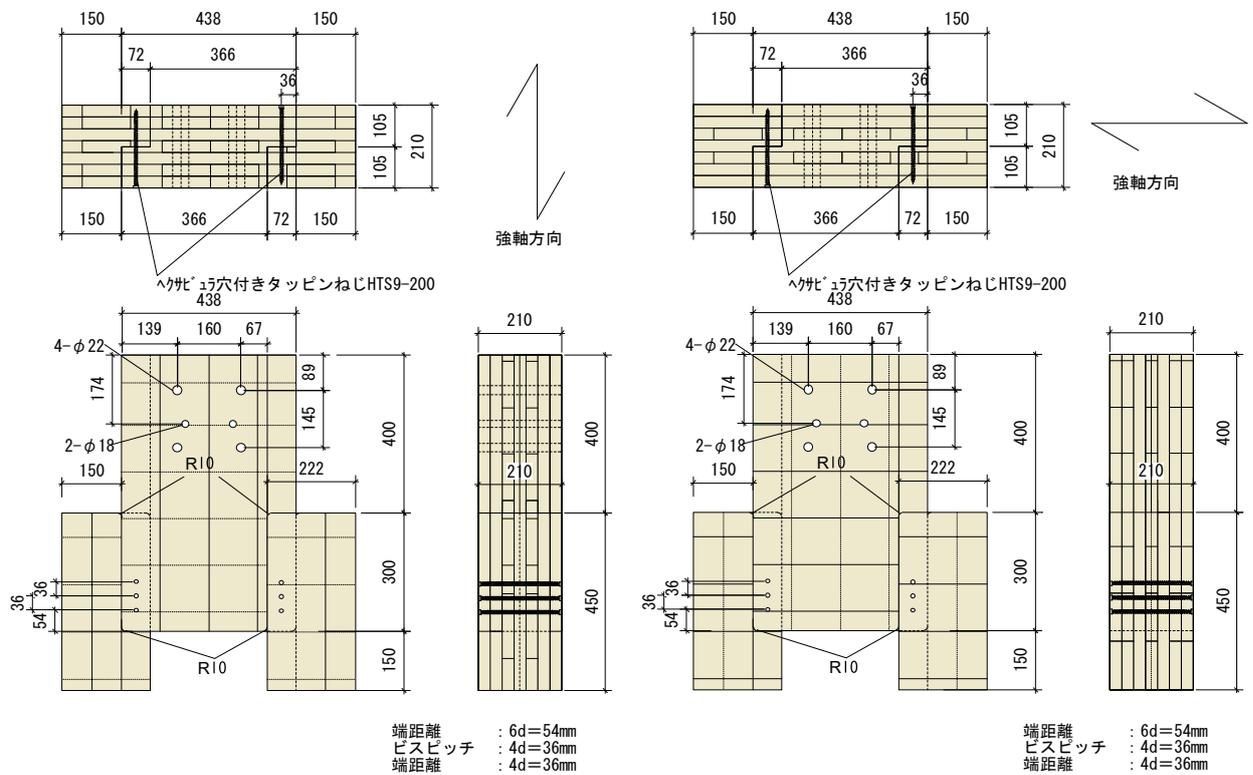


図 4.2-3 昨 No.5 H90-5-7S-4d 試験体図 図 4.2-4 昨 No.6 H90-5-7W-4d 試験体図

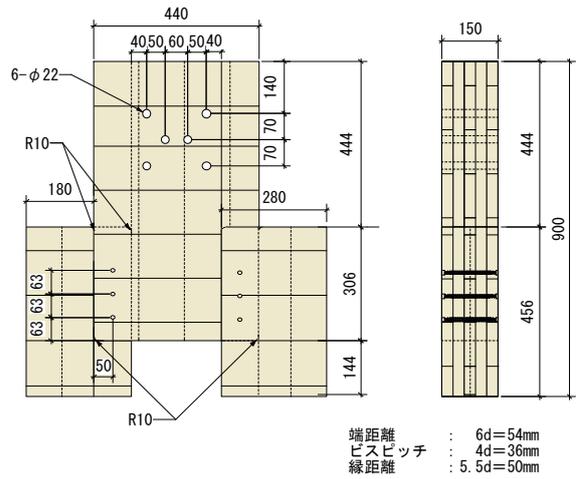
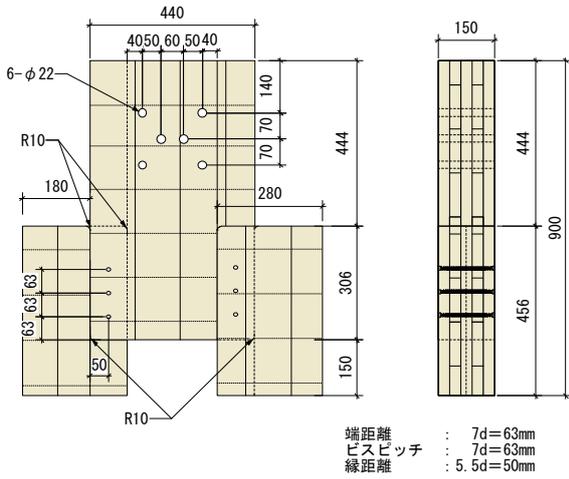
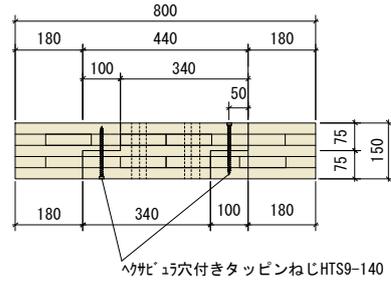
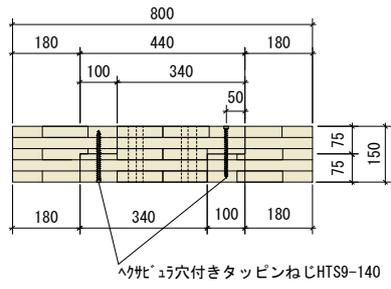


図 4.2-3 No.3 H90-5-5S-7d 試験体図

図 4.2-4 No.4 H90-5-5W-7d 試験体図

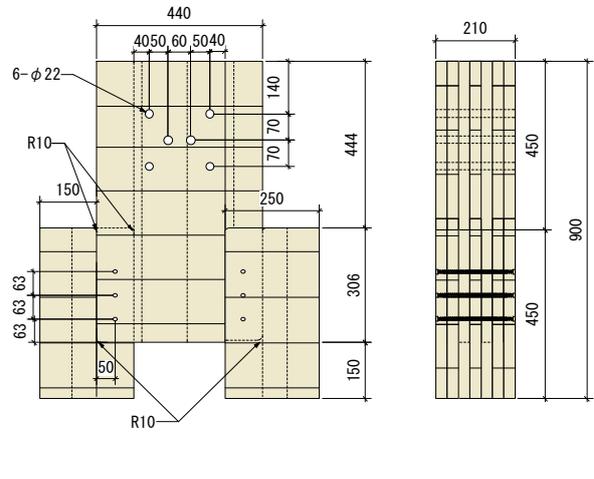
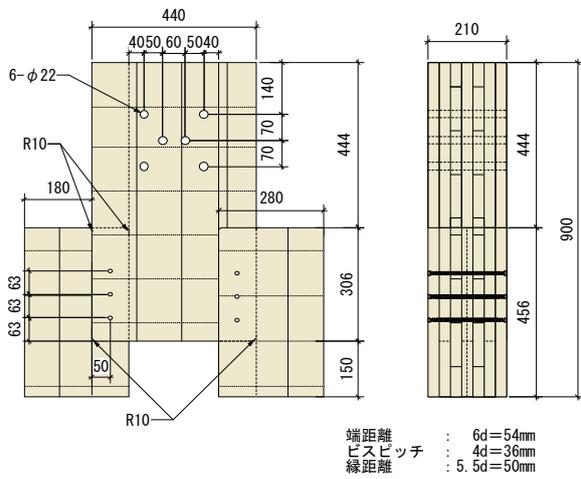
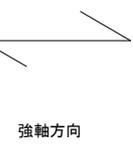
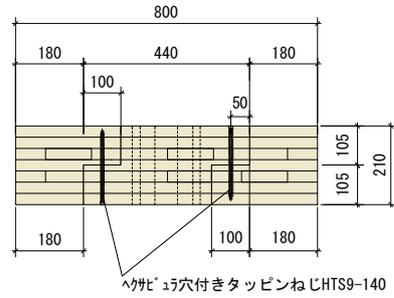
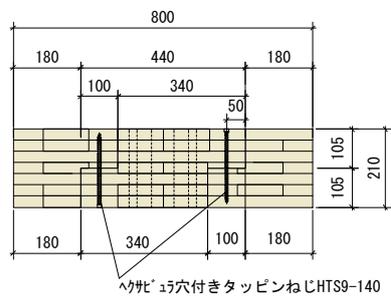


図 4.2-5 No.5 H90-5-7S-7d 試験体図

図 4.2-6 No.6 H90-5-7W-7d 試験体図

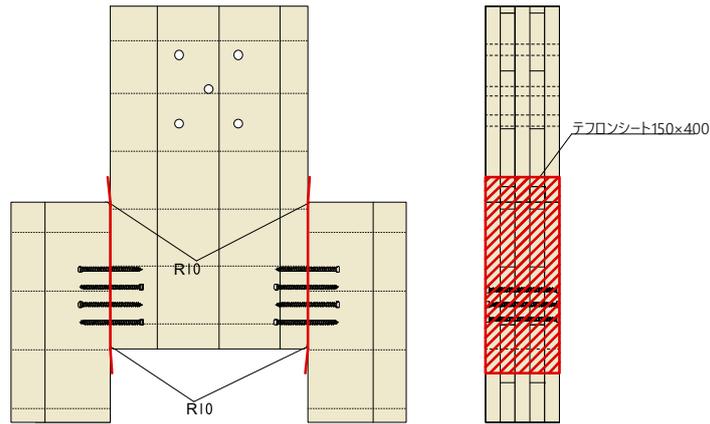


図 4.2-7 摩擦軽減措置（テフロンシートの挿入、端部 R10 加工）

表 4.2-2 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)
昨3	H90-5-5S- 4d	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
昨4	H90-5-5W- 4d	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
昨5	H90-5-7S- 4d	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
昨6	H90-5-7W- 4d	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

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)
3	H90-5-5S- 7d	1	10.5	0.40	10.5	0.40	11.0	0.40
		2	10.5	0.41	13.5	0.40	10.5	0.41
		3	15.0	0.41	14.0	0.41	13.0	0.41
		4	11.0	0.42	14.0	0.42	14.0	0.42
		5	11.5	0.42	11.0	0.42	12.0	0.42
		6	11.0	0.42	11.5	0.42	12.5	0.42
		平均	11.6	0.41	12.4	0.41	12.2	0.41
4	H90-5-5W- 7d	1	10.5	0.39	10.5	0.39	10.0	0.40
		2	11.0	0.40	12.5	0.40	10.5	0.40
		3	11.0	0.40	12.5	0.40	12.0	0.40
		4	12.5	0.40	14.0	0.40	11.0	0.40
		5	11.0	0.41	10.5	0.41	11.0	0.41
		6	11.5	0.41	11.0	0.41	12.5	0.41
		平均	11.3	0.40	11.8	0.40	11.2	0.40
5	H90-5-7S- 7d	1	11.5	0.41	10.5	0.40	11.0	0.40
		2	11.5	0.41	11.5	0.41	12.0	0.41
		3	11.0	0.42	12.0	0.40	11.0	0.40
		4	11.0	0.41	11.5	0.41	10.5	0.41
		5	10.5	0.41	11.0	0.41	11.0	0.41
		6	10.5	0.42	11.0	0.41	11.0	0.41
		平均	11.0	0.41	11.3	0.41	11.1	0.41
6	H90-5-7W- 7d	1	11.5	0.41	12.5	0.44	13.0	0.44
		2	11.0	0.41	14.0	0.44	14.0	0.44
		3	11.5	0.41	12.0	0.44	11.5	0.45
		4	11.0	0.42	11.0	0.45	12.5	0.45
		5	11.0	0.42	13.0	0.45	12.0	0.45
		6	12.5	0.42	15.0	0.45	13.5	0.45
		平均	11.4	0.41	12.9	0.44	12.8	0.45

4.3. 試験方法、評価方法

試験治具及び変位計配置図は図 4.3-1 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、信頼水準 75%における 95%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。

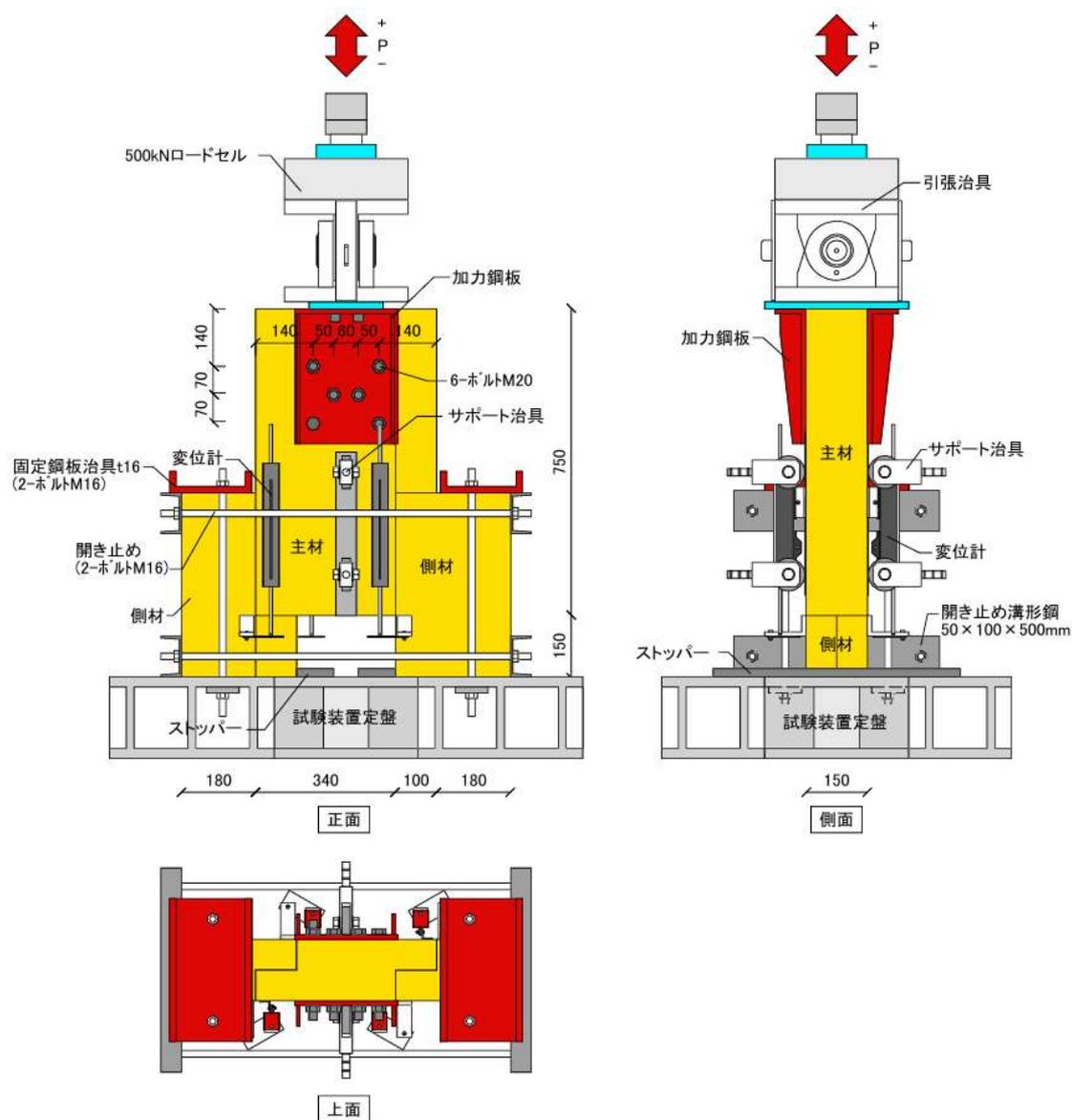


図 4.3-1 ロケット型による試験方法

4.4. 試験結果

4.4.1. H90-5-5S-4d (R4 再掲)

荷重変位曲線を図 4.4.1-1 に、包絡線を図 4.4.1-2 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 4.4.1-1 に、破壊性状を写真 4.4.1-1～写真 4.4.1-8 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。

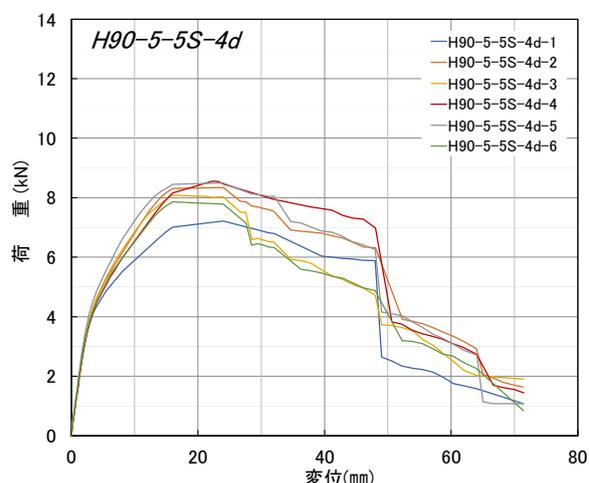
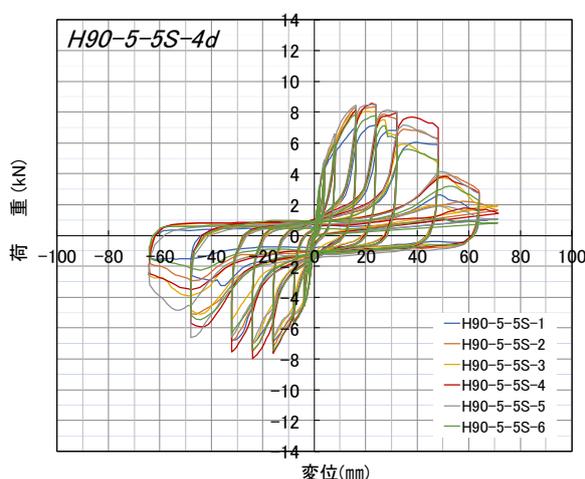


図 4.4.1-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 4.4.1-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 4.4.1-1 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-4d						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 y (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 4.4.1-1 No. 昨 3 H90-5-5S-4d-1 試験前



写真 4.4.1-2 No. 昨 3 H90-5-5S-4d-1 試験後



写真 4.4.1-3 No. 昨 3 H90-5-5S-4d-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.1-4 No. 昨 3 H90-5-5S-4d-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.1-5 No. 昨 3 H90-5-5S-4d-2
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.1-6 No. 昨 3 H90-5-5S-4d-3
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.1-7 No. 昨 3 H90-5-5S-4d-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.1-8 No. 昨 3 H90-5-5S-4d-2
支圧の様子 (CLT 断面をカットした)

4.4.2. H90-5-5W-4d (R4 再掲)

荷重変位曲線を図 4.4.2-1 に、包絡線を図 4.4.2-2 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 4.4.2-1 に、破壊性状を写真 4.4.2-1~写真 4.4.2-8 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。

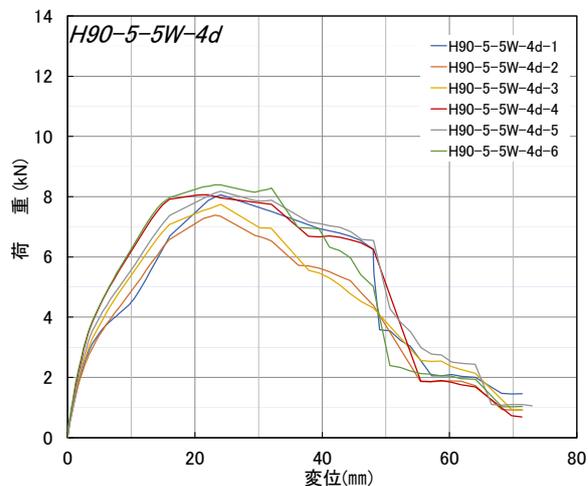
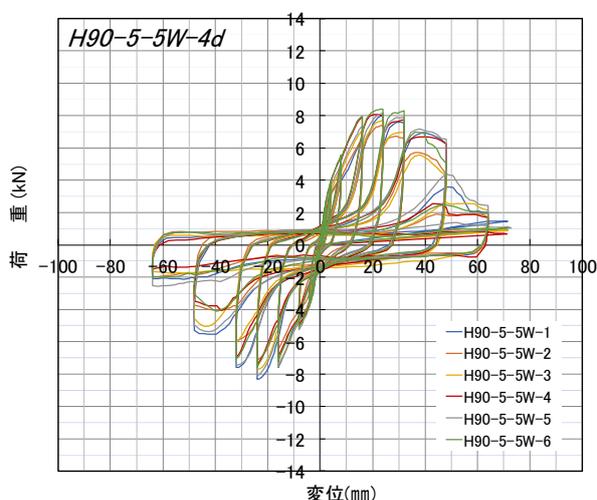


図 4.4.2-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 4.4.2-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 4.4.2-1 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))

項目	試験体記号						H90-5-5W-4d	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)	4.8	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	0.895	28.5	
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	0.865	18.6	
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	0.865	36.6	
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 4.4.2-1 NO.昨 4 H90-5-5W-4d-1 試験前



写真 4.4.2-2 NO.昨 4 H90-5-5W-4d-1 試験後

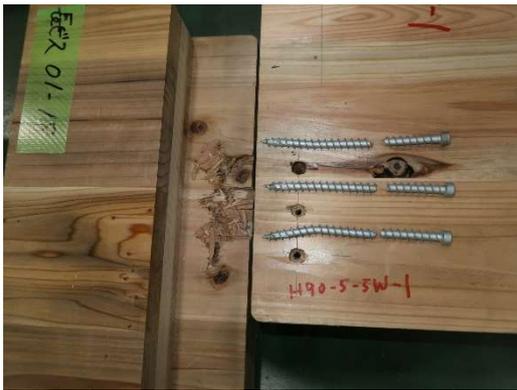


写真 4.4.2-3 NO.昨 4 H90-5-5W-4d-1
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 4.4.2-4 NO.昨 4 H90-5-5W-4d-2
3層目ラミナの割れ



写真 4.4.2-5 NO.昨 4 H90-5-5W-4d-2
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 4.4.2-6 NO.昨 4 H90-5-5W-4d-3
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 4.4.2-7 NO.昨 4 H90-5-5W-4d-4
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 4.4.2-8 NO.昨 4 H90-5-5W-4d-6
ビスの折損、木材の割れ

4.4.3. H90-5-7S-4d (R4 再掲)

荷重変位曲線を図 4.4.3-1 に、包絡線を図 4.4.3-2 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 4.4.3-1 に、破壊性状を写真 4.4.3-1~写真 4.4.3-8 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。

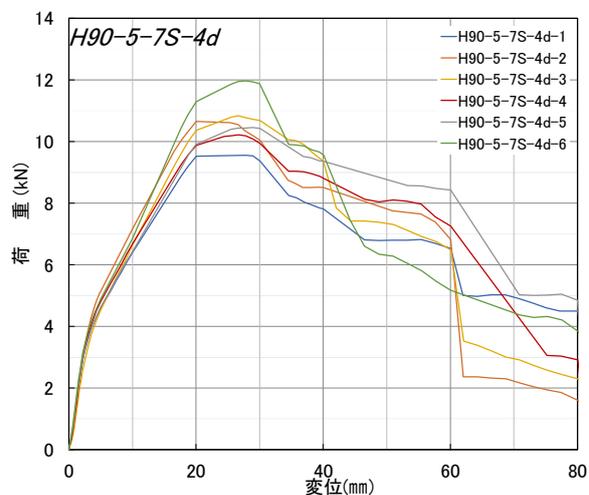
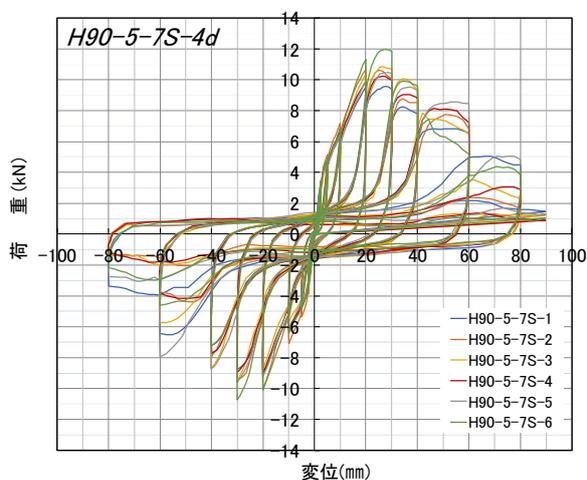


図 4.4.3-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 4.4.3-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 4.4.3-1 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))

項目	試験体記号						H90-5-7S-4d	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)	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	0.822	34.9	
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	0.874	23.5	
δ y (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	0.836	45.9	
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 4.4.3-1 NO.昨 5 H90-5-7S-4d-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.3-2 NO.昨 5 H90-5-7S-4d-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.3-3 NO.昨 5 H90-5-7S-4d-2
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.3-4 NO.昨 5 H90-5-7S-4d-3



写真 4.4.3-5 NO.昨 5 H90-5-7S-4d-2
ビスの折損、木材の支圧

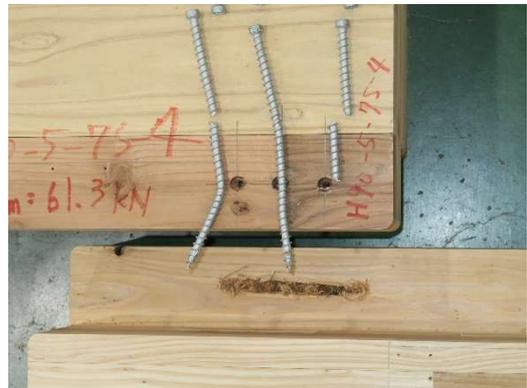


写真 4.4.3-6 NO.昨 5 H90-5-7S-4d-3
ビスの折損、木材の支圧

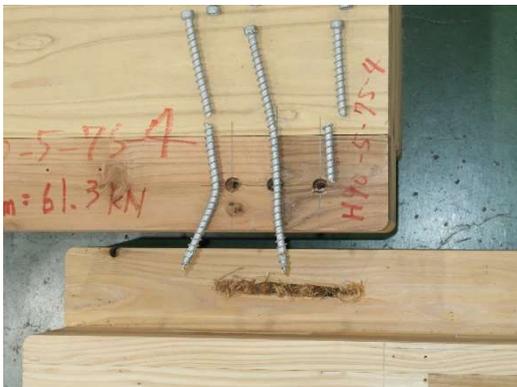


写真 4.4.3-7 NO.昨 5 H90-5-7S-4d-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.3-8 NO.昨 5 H90-5-7S-4d-1
支圧の様子 (CLT 断面をカットした)

4.4.4. H90-5-7W-4d (R4 再掲)

荷重変位曲線を図 4.4.4-1 に、包絡線を図 4.4.4-2 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 4.4.4-1 に、破壊性状を写真 4.4.4-1~写真 4.4.4-8 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。

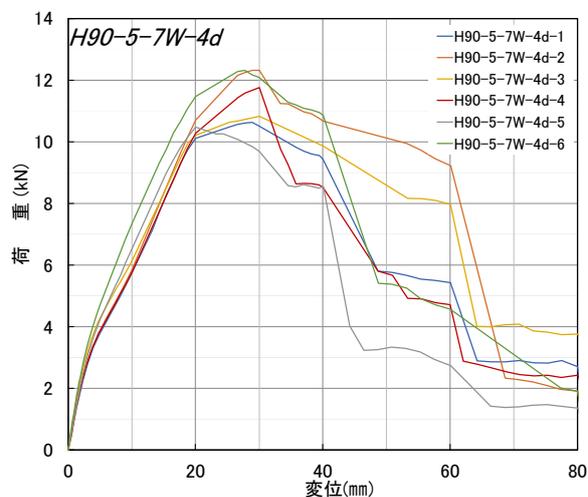
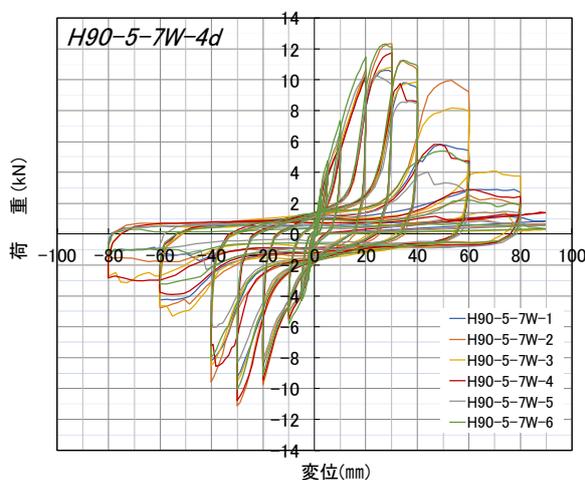


図 4.4.4-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 4.4.4-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 4.4.4-1 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))

項目	試験体記号						H90-5-7W-4d	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)	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	0.825	37.6	
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	0.542	17.2	
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	0.729	45.9	
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 4.4.4-1 NO.昨 6 H90-5-7W-4d-1 試験前



写真 4.4.4-2 NO.昨 6 H90-5-7W-4d-1 試験後



写真 4.4.4-3 NO.昨 6 H90-5-7W-4d-2
ビス頭のめり込み



写真 4.4.4-4 NO.昨 6 H90-5-7W-4d-2
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.4-5 NO.昨 6 H90-5-7W-4d-2
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 4.4.4-6 NO.昨 6 H90-5-7W-4d-3
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 4.4.4-7 NO.昨 6 H90-5-7W-4d-4
ビスの折損、木材の支圧、割れ



写真 4.4.4-8 NO.昨 6 H90-5-7W-4d
支圧の様子 (CLT 断面をカットした)

4.4.5. H90-5-5S-7d

荷重変位曲線を図 4.4.5-1 に、包絡線を図 4.4.5-2 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 4.4.5-1 に、破壊性状を写真 4.4.5-1～写真 4.4.5-8 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。

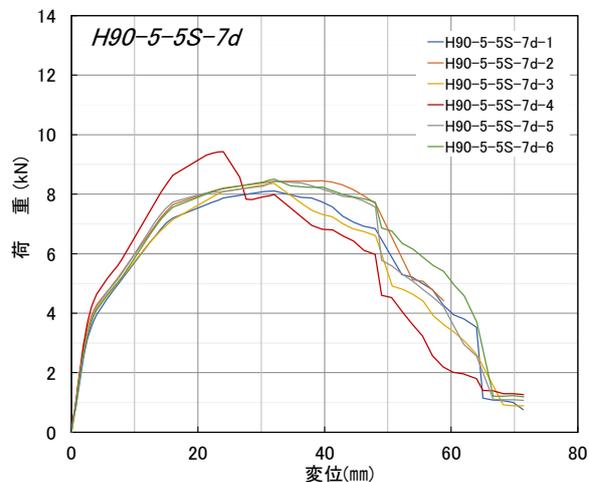
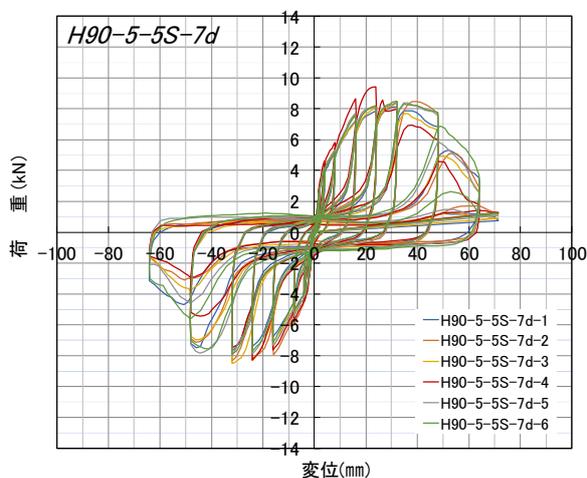


図 4.4.5-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 4.4.5-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 4.4.5-1 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))

項目	試験体記号						H90-5-5S-7d(正)	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)	4.9	5.0	5.0	5.7	5.0	5.0	5.1	0.30				
1/10 δ m (mm)	0.68	0.59	0.62	0.64	0.62	0.65	0.63	0.03				
2/5Pm (kN)	19.4	20.1	19.9	22.6	19.8	20.2	20.3	1.14				
2/5 δ m (mm)	2.70	2.38	2.61	2.67	2.55	2.70	2.60	0.12				
2/3Pm (kN)	32.3	33.5	33.2	37.7	33.1	33.6	33.9	1.92	0.057	0.867	29.3	
2/3 δ m (mm)	8.85	8.67	9.23	9.28	8.52	9.20	8.96	0.32				
9/10Pm (kN)	43.7	45.2	44.8	50.9	44.6	45.4	45.8	2.58				
9/10 δ m (mm)	16.88	15.46	18.68	15.51	14.59	16.04	16.19	1.43				
Pm (kN)	48.5	50.2	49.8	56.6	49.6	50.4	50.9	2.89				
δ m (mm)	30.00	30.00	30.00	24.03	30.00	30.00	29.01	2.44				
δ u時荷重 (kN)	48.5	50.2	49.8	47.4	49.6	50.4	49.3	1.15				
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)	22.7	23.3	24.0	25.7	23.1	22.9	23.6	1.11	0.047	0.890	21.0	
δ y (mm)	3.64	3.11	3.75	3.31	3.29	3.38	3.41	0.24				
終局耐力 Pu (kN)	41.8	43.3	42.4	47.6	43.4	43.2	43.6	2.05	0.047	0.890	38.8	
初期剛性 K (kN/mm)	6.24	7.49	6.40	7.76	7.02	6.78	6.95	0.60				
降伏点変位 δ v (mm)	6.70	5.78	6.63	6.13	6.18	6.37	6.30	0.34				
塑性率 μ = δ u / δ v	4.48	5.19	4.52	4.89	4.85	4.71	4.77	0.26				
構造特性係数 Ds	0.35	0.33	0.35	0.34	0.34	0.34	0.34	0.01				



写真 4.4.5-1 No.3 H90-5-5S-7d-1 試験前



写真 4.4.5-2 No.3 H90-5-5S-7d-0 試験前
テフロンを部材間に挟んでいる



写真 4.4.5-3 No.3 H90-5-5S-7d-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.5-4 No.3 H90-5-5S-7d-3
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.5-5 No.3 H90-5-5S-7d-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.5-6 No.3 H90-5-5S-7d-5
試験後の様子



写真 4.4.5-7 No.3 H90-5-5S-7d-5
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.5-8 No.3 H90-5-5S-7d-6
ビスの折損、木材の支圧

4.4.6. H90-5-5W-7d

荷重変位曲線を図 4.4.6-1 に、包絡線を図 4.4.6-2 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 4.4.6-1 に、破壊性状を写真 4.4.6-1～写真 4.4.6-8 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。

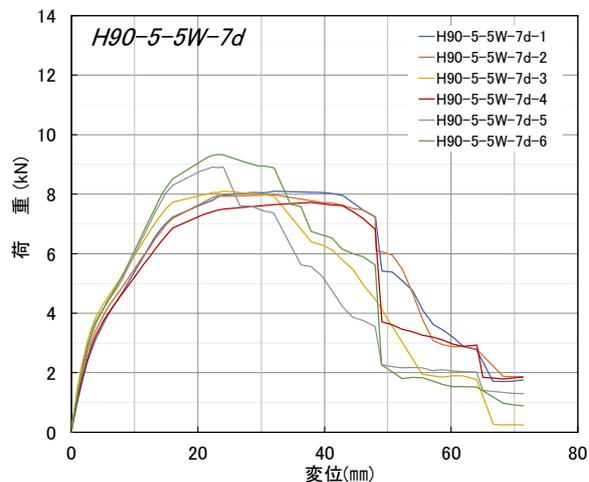
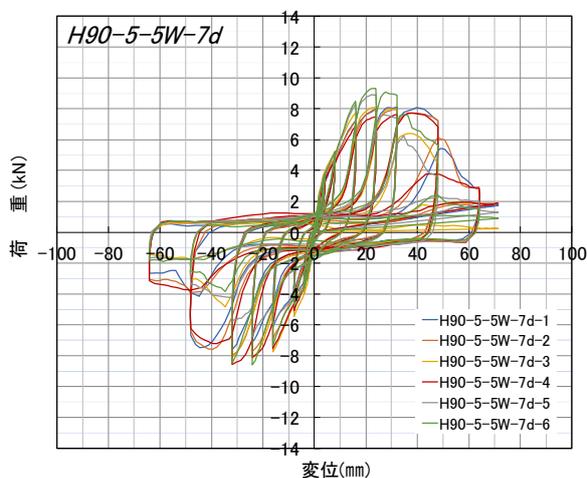


図 4.4.6-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 4.4.6-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 4.4.6-1 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))

項目	試験体記号						H90-5-5W-7d(正)	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)	4.8	4.8	4.9	4.6	5.3	5.6	5.0	0.37				
1/10 δ m (mm)	0.74	0.58	0.48	0.63	0.62	0.73	0.63	0.10				
2/5Pm (kN)	19.3	19.1	19.4	18.3	21.4	22.4	20.0	1.57				
2/5 δ m (mm)	4.06	3.43	2.81	3.49	3.49	4.04	3.55	0.46				
2/3Pm (kN)	32.2	31.9	32.4	30.5	35.6	37.3	33.3	2.57	0.077	0.820	27.3	
2/3 δ m (mm)	9.92	9.43	8.43	9.51	9.91	10.24	9.57	0.63				
9/10Pm (kN)	43.5	43.0	43.7	41.1	48.1	50.4	45.0	3.52				
9/10 δ m (mm)	16.22	15.93	14.12	15.97	14.88	15.59	15.45	0.80				
Pm (kN)	48.4	47.8	48.6	45.7	53.5	56.0	50.0	3.90				
δ m (mm)	28.42	30.00	24.04	30.00	22.29	23.16	26.32	3.55				
δ u時荷重 (kN)	48.3	47.8	48.0	45.7	44.8	53.7	48.1	3.10				
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)	22.7	21.6	21.9	20.6	21.8	23.9	22.1	1.12	0.051	0.881	19.4	
δ y (mm)	5.36	4.28	3.46	4.30	3.62	4.65	4.28	0.69				
終局耐力 Pu (kN)	43.7	42.4	43.4	40.3	45.3	49.9	44.2	3.26	0.074	0.827	36.5	
初期剛性 K (kN/mm)	4.24	5.05	6.33	4.79	6.02	5.14	5.26	0.78				
降伏点変位 δ v (mm)	10.31	8.40	6.86	8.41	7.52	9.71	8.54	1.30				
塑性率 μ = δ u / δ v	2.91	3.57	4.37	3.57	3.99	3.09	3.58	0.54				
構造特性係数 Ds	0.46	0.40	0.36	0.40	0.38	0.44	0.41	0.04				



写真 4.4.6-1 No.4 H90-5-5W-7d-1 試験後



写真 4.4.6-2 No.4 H90-5-5W-7d-1 試験後



写真 4.4.6-3 No.4 H90-5-5W-7d-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.6-4 No.4 H90-5-5W-7d-2
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.6-5 No.4 H90-5-5S-7d-3
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.6-6 No.4 H90-5-5W-7d-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.6-7 No.4 H90-5-5W-7d-5
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.6-8 No.4 H90-5-5W-7d-6
ビスの折損、木材の支圧

4.4.7. H90-5-7S-7d

荷重変位曲線を図 4.4.7-1 に、包絡線を図 4.4.7-2 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 4.4.7-1 に、破壊性状を写真 4.4.7-1～写真 4.4.7-8 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。

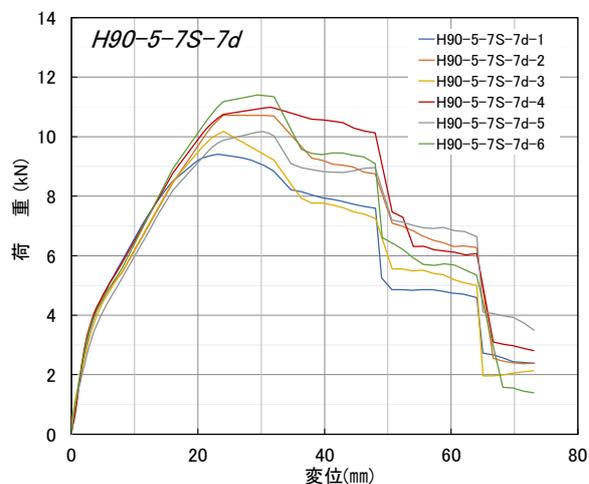
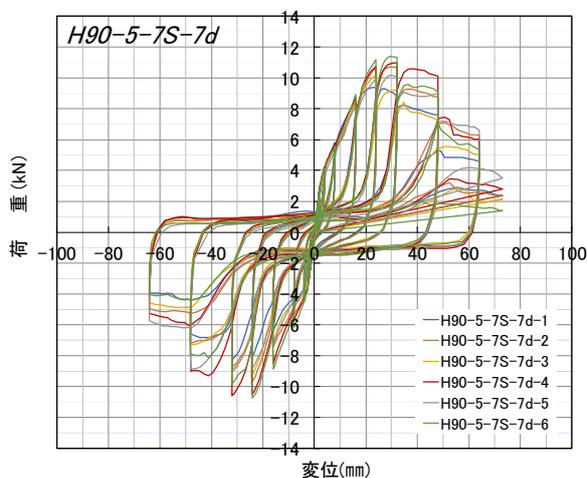


図 4.4.7-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 4.4.7-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 4.4.7-1 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))

項目	試験体記号						H90-5-7S-7d(正)	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)	5.6	6.4	6.1	6.6	6.1	6.8	6.3	0.43				
1/10 δ m (mm)	0.71	0.77	0.49	0.88	0.66	0.75	0.71	0.13				
2/5Pm (kN)	22.6	25.7	24.4	26.3	24.4	27.4	25.1	1.69				
2/5 δ m (mm)	3.36	4.07	4.22	4.31	4.87	5.05	4.31	0.60				
2/3Pm (kN)	37.6	42.9	40.7	43.8	40.7	45.6	41.9	2.82	0.067	0.843	35.3	
2/3 δ m (mm)	9.18	12.56	11.50	12.11	12.14	12.86	11.73	1.33				
9/10Pm (kN)	50.8	57.9	55.0	59.1	54.9	61.6	56.6	3.80				
9/10 δ m (mm)	15.85	19.87	18.71	19.82	20.06	20.42	19.12	1.70				
Pm (kN)	56.4	64.3	61.1	65.7	61.0	68.4	62.8	4.22				
δ m (mm)	23.10	24.01	24.01	30.00	30.00	29.44	26.76	3.37				
δ u時荷重 (kN)	54.4	64.3	56.8	65.7	61.0	68.3	61.8	5.37				
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)	25.6	26.8	27.4	28.8	28.8	30.6	28.0	1.77	0.063	0.853	23.8	
δ y (mm)	4.27	4.58	5.33	5.32	6.81	6.56	5.48	1.03				
終局耐力 Pu (kN)	50.3	53.5	52.8	56.1	54.4	60.2	54.6	3.36	0.062	0.855	46.6	
初期剛性 K (kN/mm)	6.00	5.85	5.14	5.41	4.23	4.66	5.22	0.68				
降伏点変位 δ v (mm)	8.38	9.15	10.27	10.37	12.86	12.92	10.66	1.88				
塑性率 μ = δ u / δ v	3.58	3.28	2.92	2.89	2.33	2.32	2.89	0.50				
構造特性係数 Ds	0.40	0.42	0.45	0.46	0.52	0.52	0.46	0.05				



写真 4.4.7-1 No.5 H90-5-7S-7d-1 試験後



写真 4.4.7-2 No.5 H90-5-7S-7d-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.7-3 No.5 H90-5-7S-7d-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.7-4 No.5 H90-5-7S-7d-2
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.7-5 No. 5 H90-5-7S-7d-3
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.7-6 No.5 H90-5-7S-7d-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.7-7 No.5 H90-5-7S-7d-5
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.7-8 No.5 H90-5-7S-7d-6
ビスの折損、木材の支圧

4.4.8. H90-5-7W-7d

荷重変位曲線を図 4.4.8-1 に、包絡線を図 4.4.8-2 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 4.4.8-1 に、破壊性状を写真 4.4.8-1～写真 4.4.8-8 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。

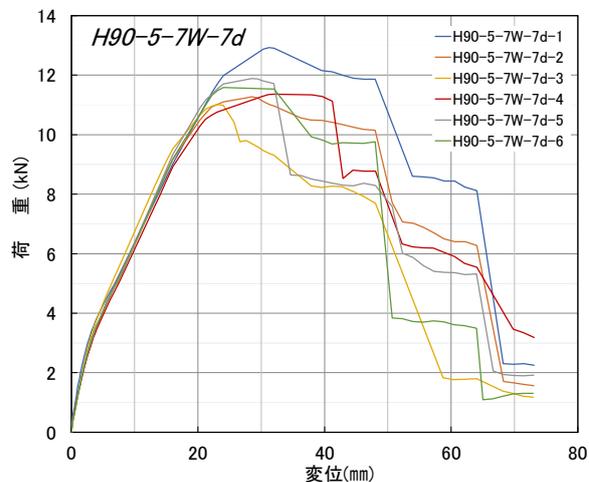
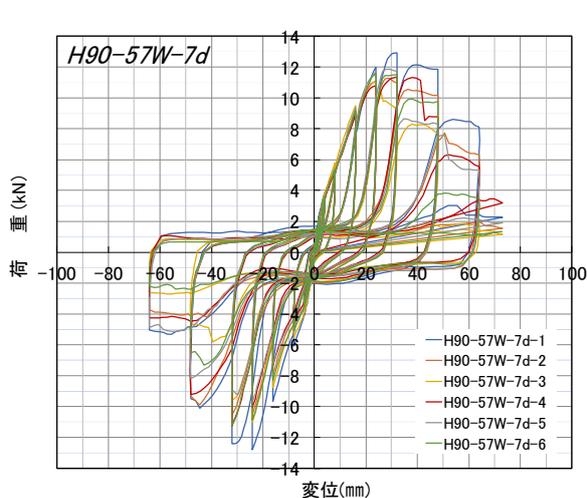


図 4.4.8-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 4.4.8-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 4.4.8-1 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))

項目	試験体記号						H90-5-7W-7d(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)	7.7	6.8	6.6	6.8	7.1	7.0	7.0	0.38				
1/10 δ m (mm)	0.83	0.92	0.91	0.92	0.97	0.94	0.92	0.05				
2/5Pm (kN)	30.8	27.0	26.4	27.1	28.5	27.8	27.9	1.58				
2/5 δ m (mm)	7.16	5.92	5.13	6.27	6.49	6.23	6.20	0.67				
2/3Pm (kN)	51.3	45.1	44.1	45.1	47.5	46.3	46.6	2.60	0.056	0.869	40.4	
2/3 δ m (mm)	14.97	12.45	11.25	12.99	13.15	12.95	12.96	1.21				
9/10Pm (kN)	69.3	60.9	59.5	60.9	64.2	62.6	62.9	3.53				
9/10 δ m (mm)	22.62	19.17	17.48	19.87	19.78	19.58	19.75	1.66				
Pm (kN)	77.0	67.6	66.1	67.7	71.3	69.5	69.9	3.93				
δ m (mm)	30.00	28.51	23.07	30.00	28.48	24.01	27.35	3.04				
δ u時荷重 (kN)	77.0	66.9	57.1	67.7	71.0	69.3	68.2	6.51				
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)	34.7	33.0	30.7	33.5	34.8	33.2	33.3	1.49	0.045	0.895	29.8	
δ y (mm)	8.67	8.18	6.61	8.76	8.82	8.38	8.24	0.83				
終局耐力 Pu (kN)	68.5	63.5	59.3	63.2	67.5	65.9	64.7	3.36	0.052	0.879	56.8	
初期剛性 K (kN/mm)	4.00	4.03	4.64	3.82	3.95	3.96	4.07	0.29				
降伏点変位 δ v (mm)	17.13	15.76	12.78	16.54	17.09	16.64	15.99	1.65				
塑性率 μ = δ u / δ v	1.75	1.90	2.35	1.81	1.76	1.80	1.90	0.23				
構造特性係数 Ds	0.63	0.60	0.52	0.62	0.63	0.62	0.60	0.04				



写真 4.4.8-1 No.6 H90-5-7W-7d-1 試験前



写真 4.4.8-2 No.6 H90-5-7W-7d-1 試験後



写真 4.4.8-3 No.6 H90-5-7W-7d-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.8-4 No.6 H90-5-7W-7d-2
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.8-5 No. 6 H90-5-7W-7d-3
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.8-6 No.6 H90-5-7W-7d-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.8-7 No.6 H90-5-7W-7d-5
ビスの折損、木材の支圧



写真 4.4.8-8 No.6 H90-5-7W-7d-6
ビスの折損、木材の支圧

4.5. 集合型破壊の算定結果

本試験は、ビスピッチの違いによる影響を検証するための実験であるが、そもそもビスピッチに関係なく、ビスピッチを短くしたことによって部材が負担する残存面積が減少することによって、接合部より先に部材の先行破壊を引き起こす可能性がある。

このため、実験に先立って集合型破壊の検討を行ったところ、算定結果は昨年度の実験結果よりもかなり低い値となった。破壊性状が脆性的に見える一方で荷重変位曲線は脆性的ではないこと、本年度試験体は昨年度より集合型破壊による耐力が高く算定されたことから、集合型破壊の影響による可能性は低いものとして本年度試験を行うこととした。

引張の基準強度 17.4N/mm^2 、ローリングシア強度 1.5N/mm^2 、せん断の基準強度 1.8N/mm^2 、ビスの呼び径 9mm として計算する。

試験結果（4.4項）は下記のとおり計算結果は実験の実測値より低い値となったこと、4d試験体と7d試験体を比較しても耐力に差が無いことから集合型破壊の影響はないと考えた。

（1）昨年度実験

■ビスピッチ 4d、5層5プライの場合

引張 16.4kN

せん断 19.2kN

$P_{uw} = 19.2\text{kN}$

■ビスピッチ 4d、5層7プライの場合

引張 23.0kN

せん断 21.4kN

$P_{uw} = 23.0\text{kN}$

（2）本年度実験

■ビスピッチ 7d、5層5プライの場合

引張 23.7kN

せん断 37.3kN

$P_{uw} = 37.3\text{kN}$

■ビスピッチ 7d、5層7プライの場合

引張 33.2kN

せん断 40.9kN

$P_{uw} = 40.9\text{kN}$

4.6. 考察

ビス 1 本あたりの包絡線を図 4.6-1～図 4.6-4 に、特性値を図 4.6-5～図 4.6-8 に、試験終了後、CLT からビスを抜き取り、ビスの支圧による変形が分かるようにビス打ち込み部分を切り取った写真を写真 4.6-1～写真 4.6-4 に示す。

写真 4.6-1、4.6-2 では破壊性状として 4d 試験体の CLT 表面から 4 番目のラミナの脱落が確認されたが、写真 4.6-3、4.6-4 の 7d 試験体では脱落が見られなかった。ただし、図 4.6-1～図 4.6-4 の包絡線を見るかぎり 7d 試験体より 4d 試験体が脆性的であるとは言えないことから集合型破壊の影響はないと考えられる。

図 4.6-5～図 4.6-8 のとおり各特性値を平均値で比較すると 4d、7d 試験体の間に大きな差異は見られなかった。ただし、4d 試験体である No.4 の終局耐力及び降伏耐力はばらつきが大きく、7d 試験体である⑧と比較して 5% 下限値の終局耐力及び降伏耐力が大きく低下する結果となった。4d 試験体は前述のようなラミナが脱落するような破壊性状であったことがばらつきの大きさに影響を与えた可能性が考えられる。

強軸方向、弱軸方向の影響は見られなかった（5-5S と 5-7S、5-5W と 5-7W は支圧に影響ある部分の CLT の層構成が同じ。）。

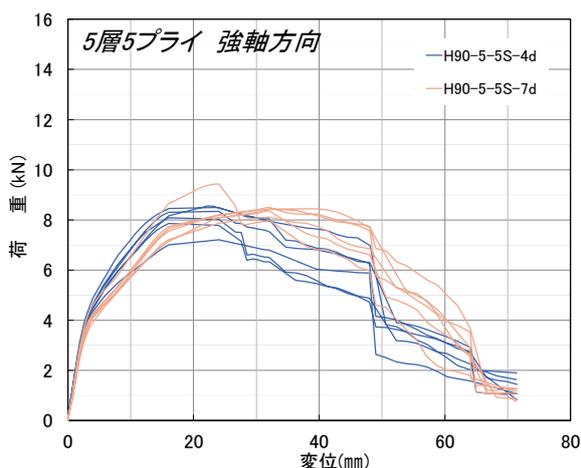


図 4.6-1 5 層 5 プライ強軸方向 包絡線

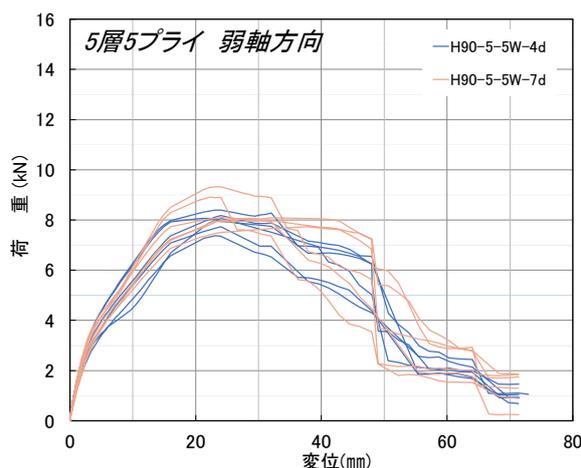


図 4.6-2 5 層 5 プライ弱軸方向 包絡線

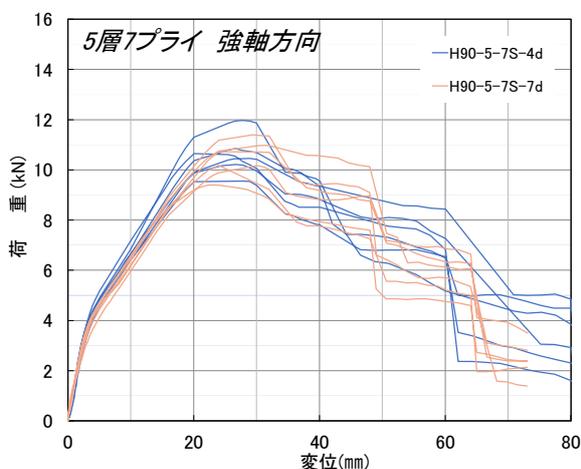


図 4.6-3 5 層 7 プライ強軸方向 包絡線

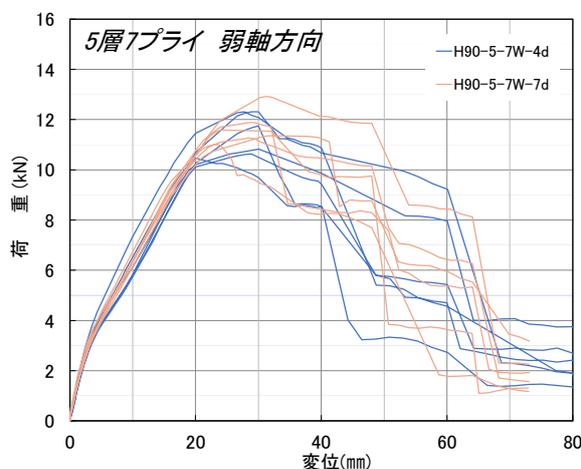


図 4.6-4 5 層 7 プライ弱軸方向 包絡線

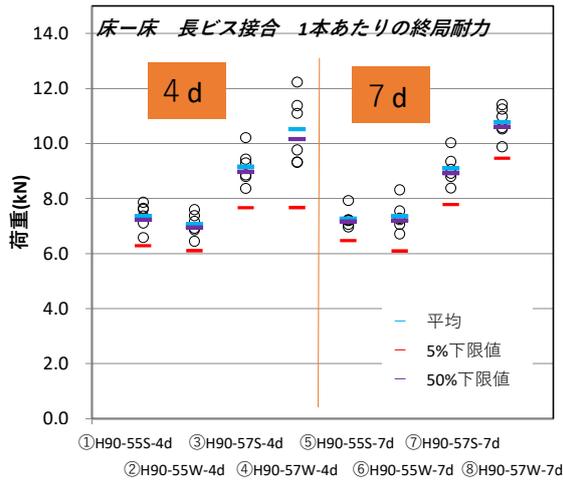


図 4.6-5 終局耐力の比較

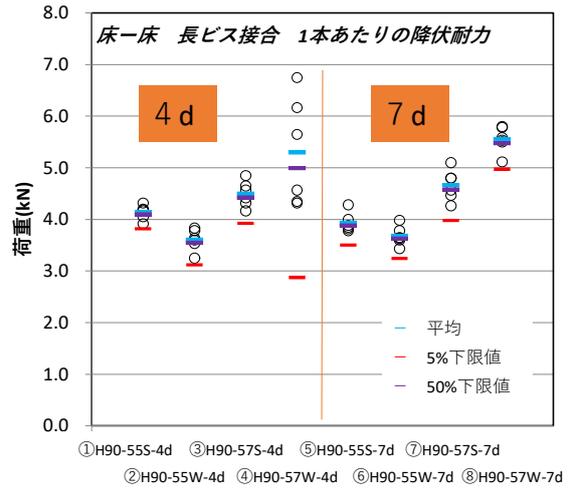


図 4.6-6 降伏耐力の比較

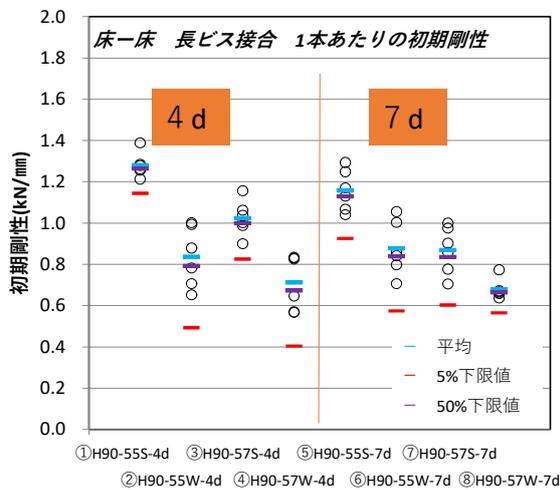


図 4.6-7 初期剛性の比較

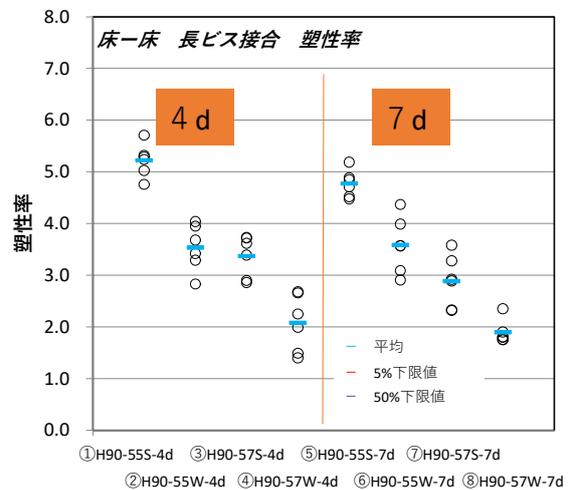


図 4.6-8 塑性率の比較



写真 4.6-1 4d H90-5-7W-4d
試験後、ビス打ち込み部を割った写真



写真 4.6-2 4d H90-5-7W-4d
試験後、ビス打ち込み部を割った写真



写真 4.6-3 7d H90-5-5S-7d
試験後、ビス打ち込み部を割った写真



写真 4.6-4 7d H90-5-5SW7d
試験後、ビス打ち込み部を割った写真

5. 床-床接合 ハーフラップビス接合 一列多数本打ちの影響

5.1. 試験の目的と課題

床-床接合では一列にビスが配列されるため、本数に応じて適切に低減する必要がある。

AIJ 規準では、木ねじ接合の設計において、耐力に乗じる低減係数として、1列の木ねじ本数 10 本以上の場合：0.9、1列の木ねじ本数 20 本以上の場合：0.8 を乗じることとしている。

ただし、AIJ 規準で想定している JIS 木ねじと、市販の構造用ビスは形状寸法が異なること、CLT はラミナが直交して積層されているので、割裂が起きにくい可能性があることから実験によって一列多数本打ちの影響を確認することとする。

なお、H26 年度、H28 年度にも多数本打ちの検証は行っており、参考データとして下記に示す。それぞれの実施内容の違いは下記のとおりである。

(1) H26 年度

- ・接合部形式は合板添え板一面せん断
- ・径 6.5 mmの短めの半ねじビス
- ・加力方法は正負交番繰り返し加力

(2) H28 年度

- ・接合部形式は鋼板添え板一面せん断
- ・径 6.5 mmの短めの半ねじビス
- ・加力方法は一方向繰り返し加力

(3) 本年度事業

- ・接合部形式は木-木一面せん断
- ・径 9 mmの長尺の全ねじビス
- ・加力方法は正負交番繰り返し加力

■合板添え板ビス接合（スプライン接合）

（出典：CLT パネルを用いた中高層建築物の接合部性能の検証事業報告書

平成 26 年 3 月 木構造振興(株)

2 本（1 組）と 14 本（7 組）の比較を実施

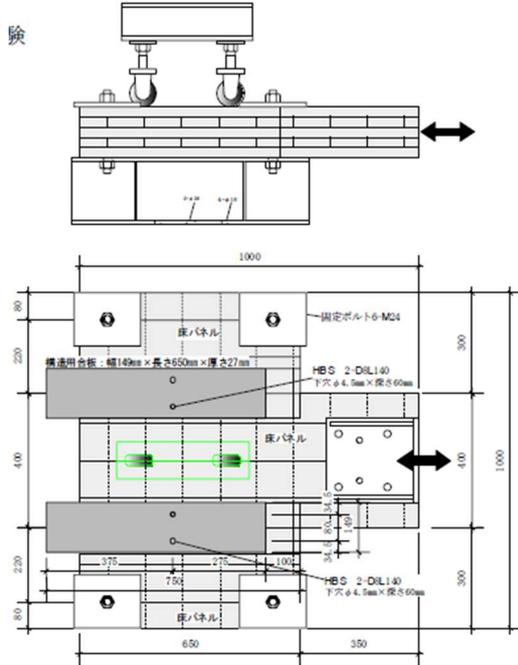


図 5.2.2-1 No1 2HBS 単位接合部試験

ビス単体試験体

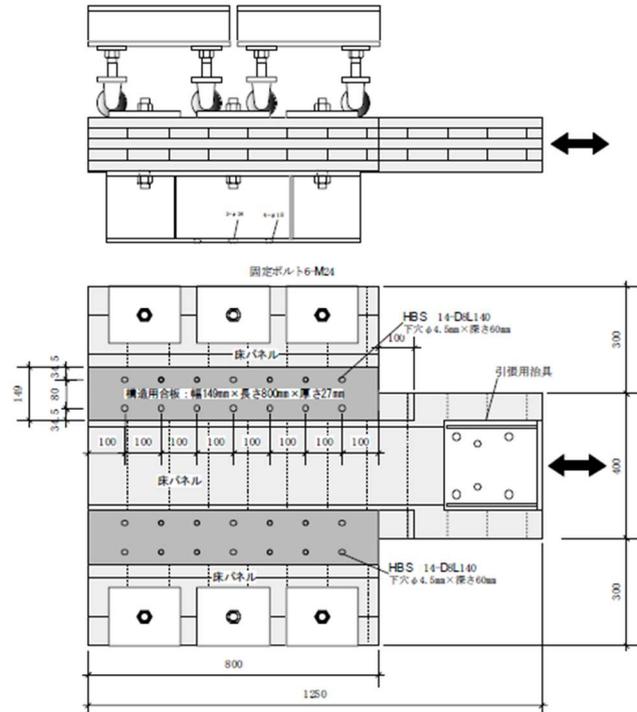


図 5.2.2-2 No1 14HBS 多数本接合部試験

ビス多数本試験体

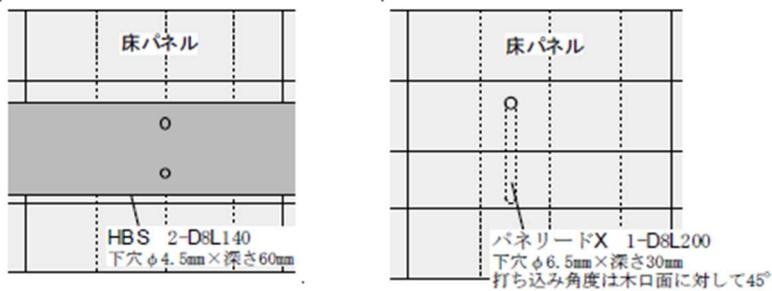
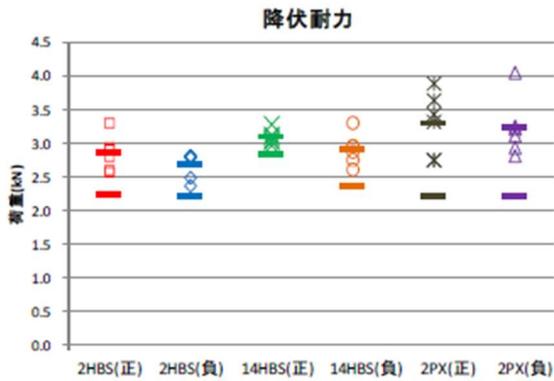
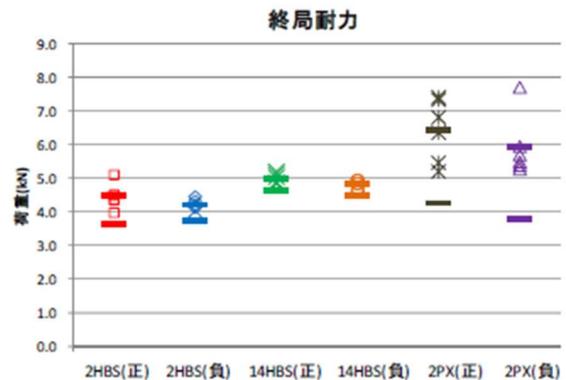


図 5.4.1-1 比較に用いた接合部の最小単位



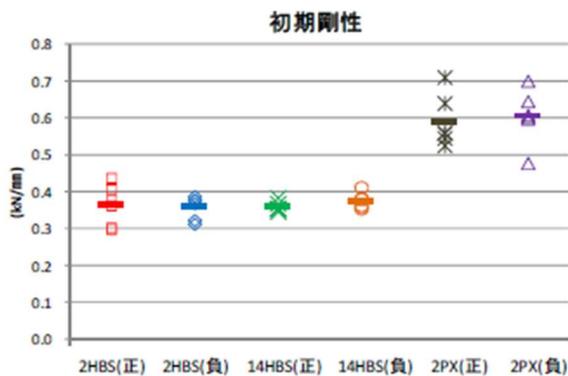
※上側の「-」は平均値、下側の「-」は5%下限値を示す。

図 5.4.1-1 降伏耐力の比較



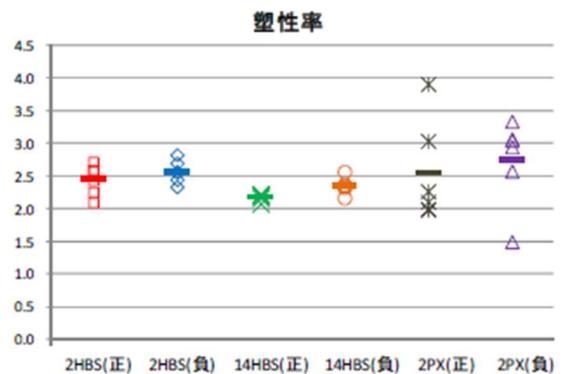
※上側の「-」は平均値、下側の「-」は5%下限値を示す。

図 5.4.1-2 終局耐力の比較



※「-」は平均値を示す。

図 5.4.1-3 初期剛性の比較



※「-」は平均値を示す。

図 5.4.1-4 塑性率の比較

上記のようにほぼ違いは見られなかった。

一方で（今から思えば）側材の回転の止め方が不十分だった。部材の端の面取り処理も行っていなかった。

この実験の結果を振動台実験や CLT を用いた建築物の設計施工マニュアルに反映した。

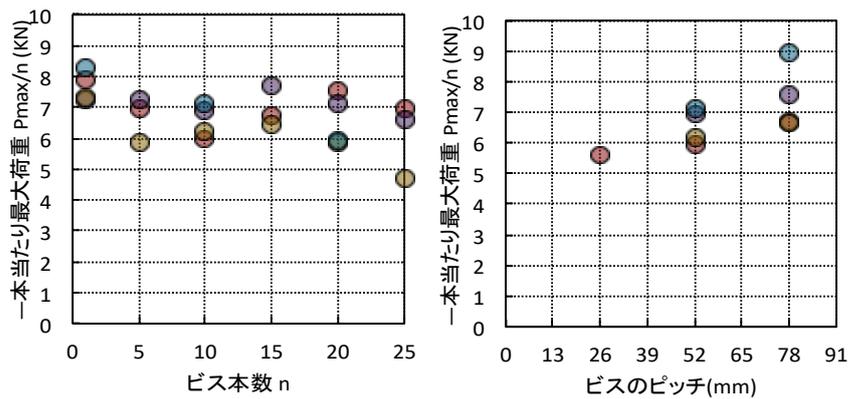
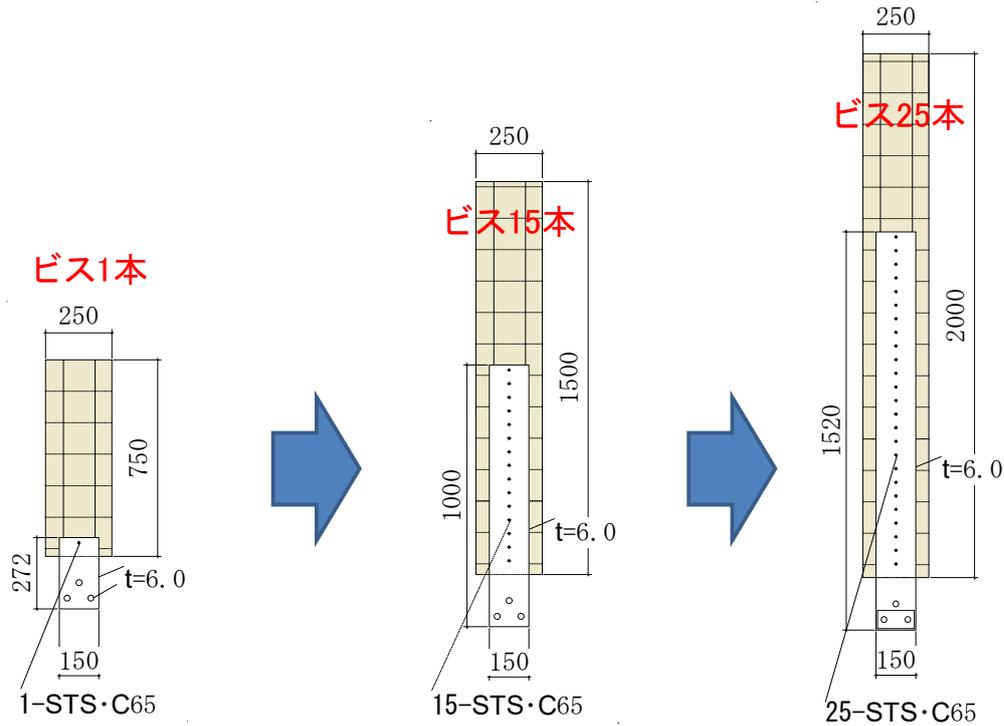
■鋼板添え板ビス接合（接合金物を想定）

（出典：①CLT建築物等普及促進委託事業（CLTの性能データ収集・分析）

報告書 平成29年9月 木構造振興(株)

②Phommasak SOUTSADA ら，鋼板を添え板に用いたビス多数本打ち CLT 接合部の一面せん断性能 その1 1列あたりの接合具本数の影響,日本建築学会大会梗概, 2016)

一列1本、15本、25本の比較を実施



CS: CLTの強軸方向

CW: CLTの弱軸方向

L: 集成材の幅はぎ面(繊維方向)

L1: 集成材の積層面(繊維方向)

- ・集成材：15～25 本打ち
→割裂発生。20 本打ちから 1 本あたりの耐力低下
CLT：割裂なし。耐力低下なし
- ・いずれも 15 本打ちが一番高い値となった
- ・集成材は 20 本、25 本打ちの場合、強度低下
が大きいのに対して CLT はほぼ変わらない結果
となった。



CLT CS



集成材 L

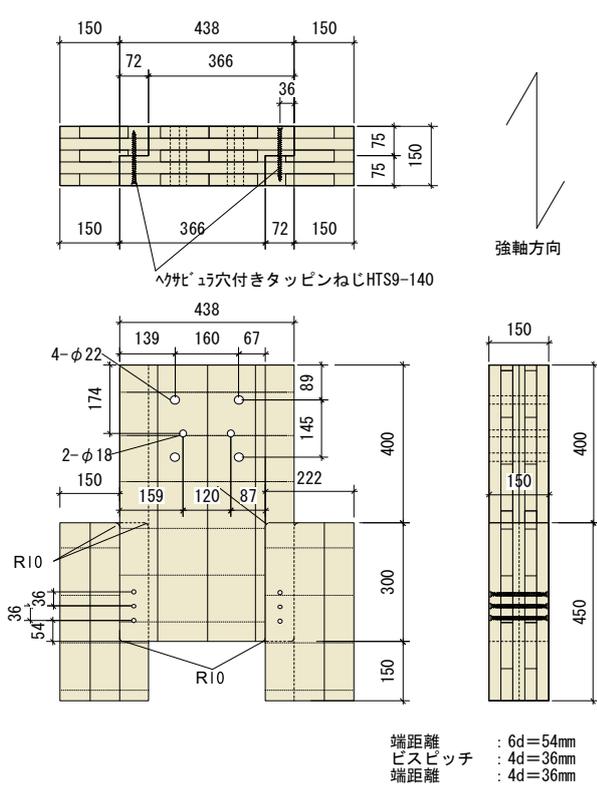


図 5.2-1 昨 No.3 03-H90-5-5S 試験体図

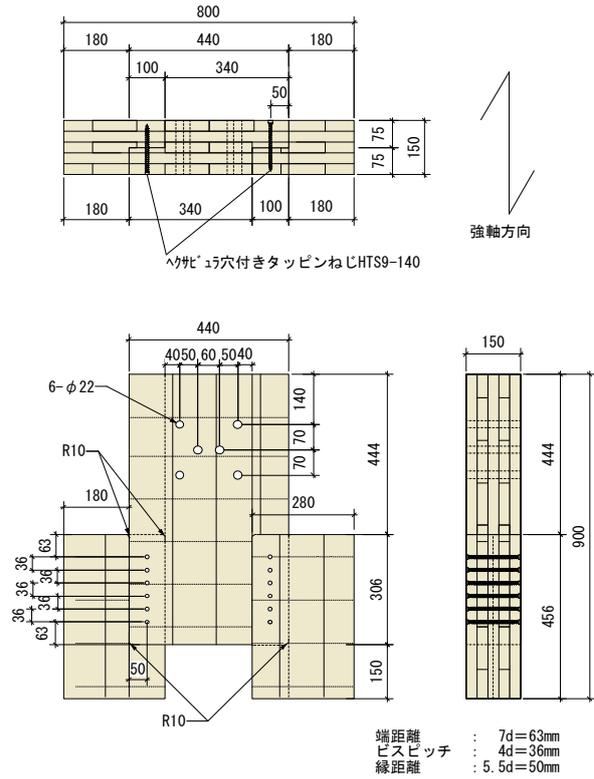


図 5.2-2 No.2 06-H90-5-5S 試験体図

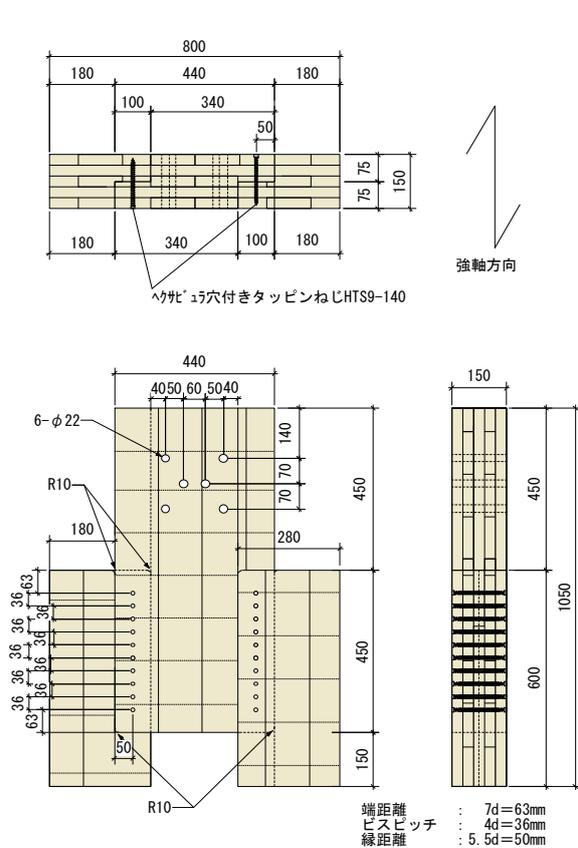


図 5.2-3 No.3 10-H90-5-5S 試験体図

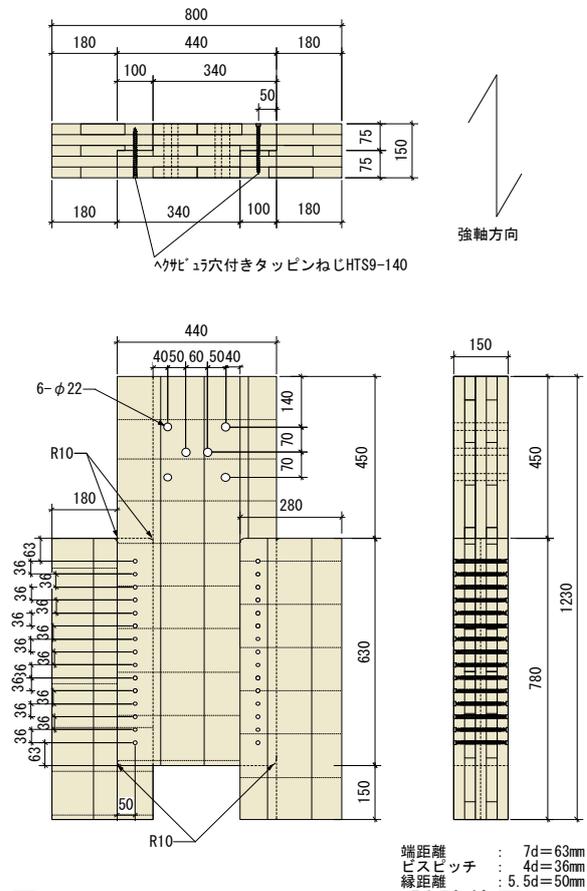


図 5.2-4 No.4 15-H90-5-5S 試験体図

表 5.2-2 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)
7	3-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
7	06-H90-5-5S	1	11.0	0.41	10.0	0.41	15.0	0.41
		2	12.0	0.41	10.5	0.41	12.0	0.41
		3	14.0	0.41	10.5	0.42	11.0	0.42
		4	12.0	0.42	11.0	0.42	12.0	0.43
		5	15.0	0.42	15.0	0.42	13.0	0.43
		6	15.0	0.43	12.0	0.43	14.5	0.44
		平均	13.2	0.42	11.5	0.42	12.9	0.42

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)
8	10-H90-5-5S	1	11.5	0.40	11.0	0.41	12.0	0.41
		2	10.5	0.41	12.5	0.41	11.0	0.42
		3	12.0	0.41	14.5	0.42	13.0	0.42
		4	11.0	0.41	12.5	0.42	12.0	0.42
		5	11.5	0.41	17.0	0.43	11.0	0.43
		6	11.0	0.41	15.5	0.43	15.0	0.43
		平均	11.3	0.41	13.8	0.42	12.3	0.42
9	15-H90-5-5S	1	12.5	0.40	14.0	0.40	13.5	0.41
		2	13.0	0.41	13.5	0.41	12.0	0.41
		3	12.5	0.41	12.0	0.41	14.0	0.41
		4	12.0	0.42	13.0	0.42	13.5	0.42
		5	12.5	0.42	13.0	0.42	13.0	0.42
		6	14.0	0.42	14.0	0.42	14.0	0.43
		平均	12.8	0.41	13.3	0.42	13.3	0.42

5.3. 試験方法、評価方法

試験方法は 5.2 項と同様であるので、省略する。

5.4. 試験結果

5.4.1. 3-H90-5-5S (R4 再掲)

荷重変位曲線を図 5.4.1-1 に、包絡線を図 5.4.1-2 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 5.4.1-1 に、破壊性状を写真 5.4.1-1～写真 5.4.1-8 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。

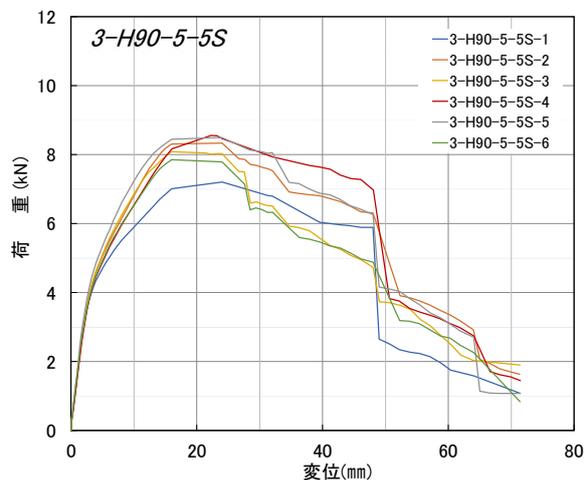
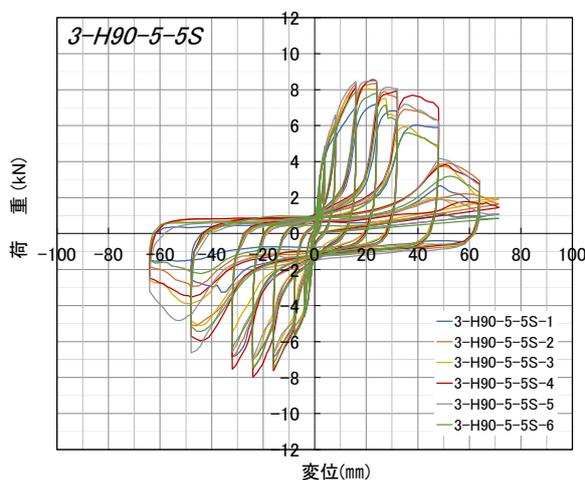


図 5.4.1-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 5.4.1-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 5.4.1-1 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	3-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 y (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			

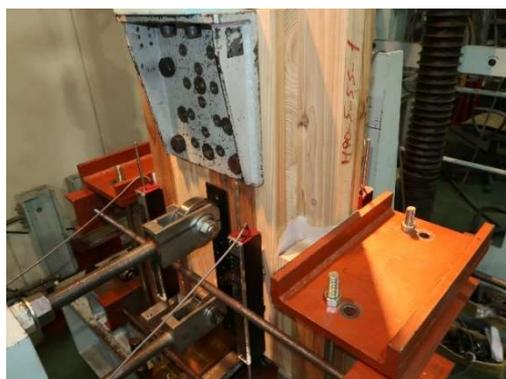


写真 5.4.1-1 No. 昨 3 3-H90-5-5S-1 試験前



写真 5.4.1-2 No. 昨 3 3-H90-5-5S-1 試験後



写真 5.4.1-3 No. 昨 3 3-H90-5-5S-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.1-4 No. 昨 3 3-H90-5-5S-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.1-5 No. 昨 3 3-H90-5-5S-2
ビスの折損、木材の支圧

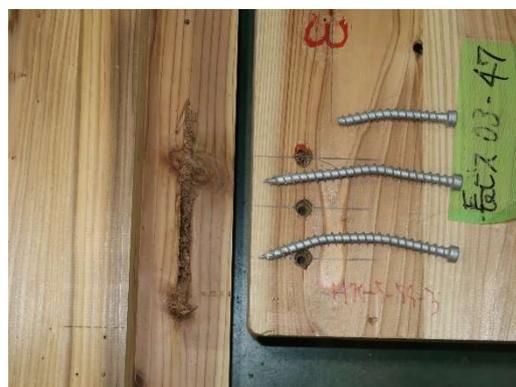


写真 5.4.1-6 No. 昨 3 3-H90-5-5S-3
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.1-7 No. 昨 3 3-H90-5-5S-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.1-8 No. 昨 3 3-H90-5-5S-2
支圧の様子 (CLT 断面をカットした)

5.4.2. 6-H90-5-5S

荷重変位曲線を図 5.4.2-1 に、包絡線を図 5.4.2-2 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 5.4.2-1 に、破壊性状を写真 5.4.2-1～写真 5.4.2-8 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。

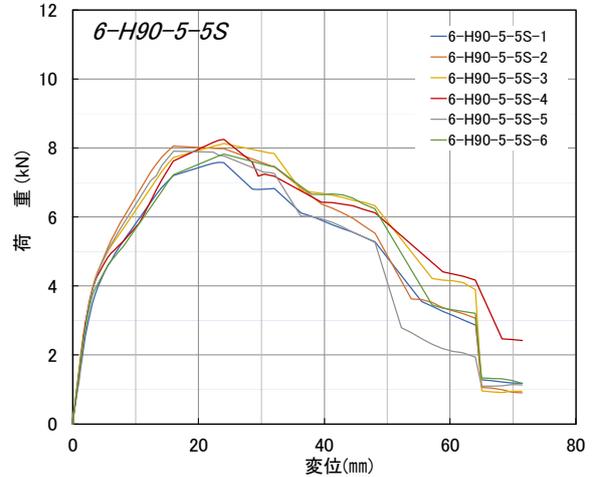
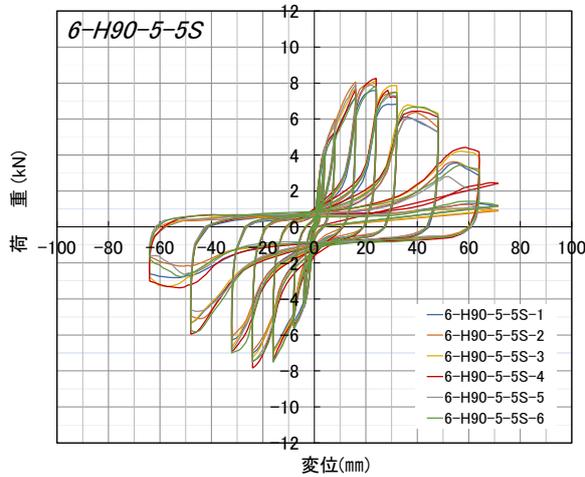


図 5.4.2-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 5.4.2-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 5.4.2-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 12 本分))

試験体記号 項目	06-H90-5-5S(正)						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)	9.1	9.7	9.8	9.9	9.5	9.4	9.6	0.29			
1/10 δ m (mm)	0.58	0.57	0.48	0.55	0.51	0.55	0.54	0.04			
2/5Pm (kN)	36.4	38.7	39.1	39.6	38.0	37.6	38.2	1.15			
2/5 δ m (mm)	2.54	2.38	2.31	2.40	2.30	2.39	2.39	0.09			
2/3Pm (kN)	60.7	64.5	65.1	66.0	63.3	62.6	63.7	1.91	0.030	0.930	59.2
2/3 δ m (mm)	7.13	6.24	7.10	9.02	6.32	8.29	7.35	1.10			
9/10Pm (kN)	81.9	87.0	87.9	89.2	85.4	84.5	86.0	2.62			
9/10 δ m (mm)	14.01	12.21	14.17	15.34	12.81	15.23	13.96	1.26			
Pm (kN)	91.0	96.7	97.7	99.1	94.9	93.9	95.6	2.91			
δ m (mm)	23.27	16.01	24.02	24.03	16.03	24.00	21.23	4.04			
δ u時荷重 (kN)	81.7	91.0	94.9	86.6	88.0	90.5	88.8	4.49			
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)	45.8	48.8	49.1	48.0	48.6	45.1	47.6	1.69	0.036	0.916	43.6
δ y (mm)	3.68	3.36	3.35	3.32	3.35	3.22	3.38	0.16			
終局耐力 Pu (kN)	81.0	88.7	87.3	84.9	86.4	81.7	85.0	3.09	0.036	0.916	77.8
初期剛性 K (kN/mm)	12.45	14.52	14.66	14.46	14.51	14.01	14.10	0.84			
降伏点変位 δ v (mm)	6.51	6.11	5.95	5.87	5.95	5.83	6.04	0.25			
塑性率 μ = δ u / δ v	4.61	4.91	5.04	5.11	5.04	5.15	4.98	0.20			
構造特性係数 Ds	0.35	0.34	0.33	0.33	0.33	0.33	0.34	0.01			



写真 5.4.2-1 NO.7 6-H90-5-5S-1 試験前



写真 5.4.2-2 NO.7 6-H90-5-5S-1 試験後



写真 5.4.2-3 NO.7 6-H90-5-5S-1
試験後

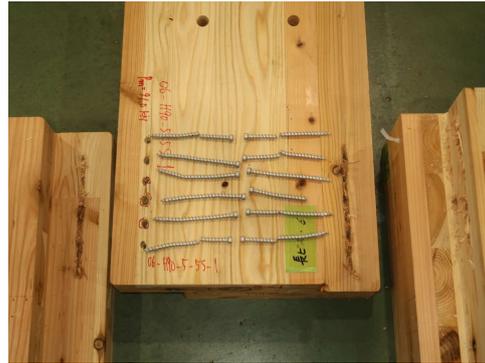


写真 5.4.2-4 NO.7 6-H90-5-5S-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.2-5 NO.7 6-H90-5-5S-2
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.2-6 NO.7 6-H90-5-5S-3
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.2-7 NO.7 6-H90-5-5S-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.2-8 NO.7 6-H90-5-5S-6
ビスの折損、木材の支圧

5.4.3. 10-H90-5-5S

荷重変位曲線を図 5.4.3-1 に、包絡線を図 5.4.3-2 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 5.4.3-1 に、破壊性状を写真 5.4.3-1～写真 5.4.3-8 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。

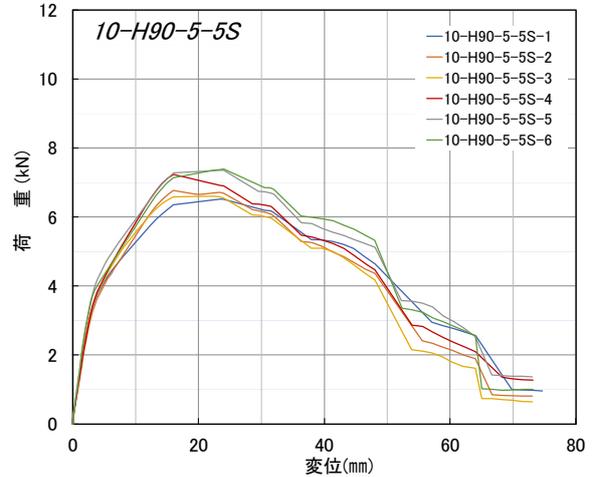
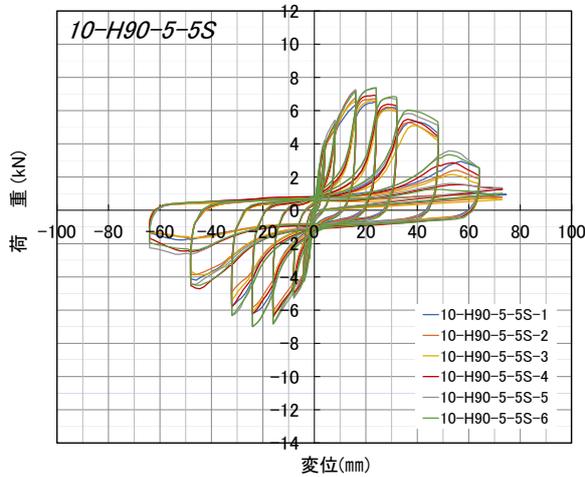


図 5.4.3-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 5.4.3-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 5.4.3-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 20 本分))

試験体記号 項目	10-H90-5-5S(正)						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)	13.0	13.5	13.2	14.5	14.7	14.8	14.0	0.81			
1/10 δ m (mm)	0.48	0.51	0.40	0.54	0.50	0.47	0.48	0.05			
2/5Pm (kN)	52.2	54.2	52.9	57.9	58.9	59.1	55.9	3.12			
2/5 δ m (mm)	2.16	2.43	2.19	2.49	2.18	2.25	2.28	0.14			
2/3Pm (kN)	87.0	90.3	88.1	96.4	98.1	98.6	93.1	5.22	0.056	0.869	80.9
2/3 δ m (mm)	5.81	6.65	5.64	6.67	5.99	7.11	6.31	0.58			
9/10Pm (kN)	117.4	121.9	118.9	130.2	132.4	133.1	125.7	7.06			
9/10 δ m (mm)	12.93	12.28	11.76	12.24	12.77	13.38	12.56	0.58			
Pm (kN)	130.4	135.4	132.1	144.6	147.1	147.8	139.6	7.84			
δ m (mm)	23.49	16.01	22.40	16.03	23.39	24.02	20.89	3.81			
δ u時荷重 (kN)	124.4	123.4	120.7	127.3	134.8	137.9	128.1	6.81			
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)	69.6	67.2	69.4	70.7	77.4	73.2	71.3	3.59	0.050	0.883	62.9
δ y (mm)	3.35	3.36	3.27	3.34	3.31	3.09	3.29	0.10			
終局耐力 Pu (kN)	119.0	122.9	121.6	129.4	133.8	131.8	126.4	6.05	0.048	0.888	112.2
初期剛性 K (kN/mm)	20.78	20.00	21.22	21.17	23.38	23.69	21.71	1.49			
降伏点変位 δ v (mm)	5.73	6.15	5.73	6.11	5.72	5.56	5.83	0.24			
塑性率 μ = δ u / δ v	5.24	4.88	5.24	4.91	5.24	5.40	5.15	0.21			
構造特性係数 Ds	0.32	0.34	0.32	0.34	0.32	0.32	0.33	0.01			



写真 5.4.3-1 NO.8 10-H90-5-5S-1 試験前



写真 5.4.3-2 NO.8 10-H90-5-5S-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.3-3 NO.8 10-H90-5-5S-2
試験後



写真 5.4.3-4 NO.8 10-H90-5-5S-2
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.3-5 NO.8 10-H90-5-5S-3
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.3-6 NO.8 10-H90-5-5S-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.3-7 NO.8 10-H90-5-5S-5
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.3-8 NO.8 10-H90-5-5S-6
ビスの折損、木材の支圧

5.4.4. 15-H90-5-5S

荷重変位曲線を図 5.4.4-1 に、包絡線を図 5.4.4-2 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 5.4.4-1 に、破壊性状を写真 5.4.4-1～写真 5.4.4-8 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。

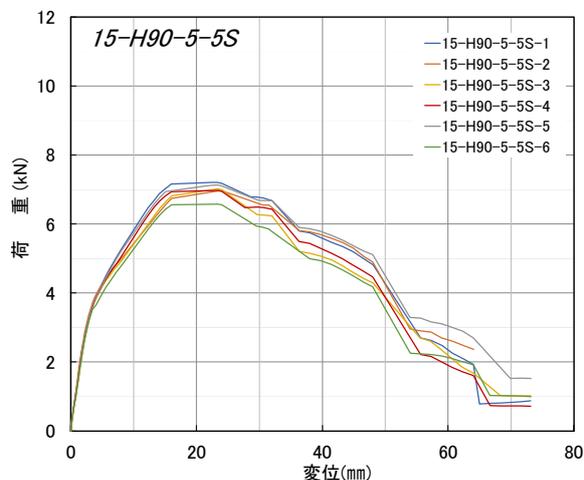
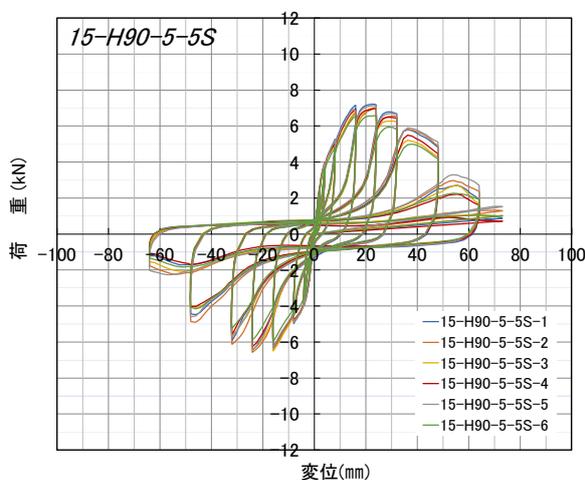


図 5.4.4-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 5.4.4-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 5.4.4-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 30 本分))

試験体記号 項目	15-H90-5-5S(正)						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)	21.6	20.9	21.1	20.9	21.4	19.7	20.9	0.67			
1/10 δ m (mm)	0.54	0.44	0.55	0.50	0.52	0.50	0.51	0.04			
2/5Pm (kN)	86.5	83.5	84.2	83.7	85.6	78.9	83.7	2.64			
2/5 δ m (mm)	2.44	2.16	2.39	2.28	2.33	2.21	2.30	0.11			
2/3Pm (kN)	144.1	139.2	140.4	139.5	142.6	131.5	139.6	4.37	0.031	0.928	129.5
2/3 δ m (mm)	6.52	6.42	6.90	6.46	6.52	6.40	6.54	0.18			
9/10Pm (kN)	194.6	188.0	189.5	188.3	192.6	177.6	188.4	5.90			
9/10 δ m (mm)	12.38	13.70	13.60	12.37	12.58	12.62	12.88	0.61			
Pm (kN)	216.2	208.9	210.6	209.3	214.0	197.3	209.4	6.57			
δ m (mm)	22.37	24.00	23.40	23.45	23.35	23.40	23.33	0.53			
δ u時荷重 (kN)	203.2	197.7	188.1	194.6	200.8	177.7	193.7	9.43			
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)	107.3	108.3	107.5	104.4	104.9	99.5	105.3	3.24	0.031	0.928	97.7
δ y (mm)	3.36	3.27	3.46	3.20	3.18	3.10	3.26	0.13			
終局耐力 Pu (kN)	197.7	188.0	188.0	190.0	194.3	178.2	189.4	6.67	0.035	0.918	173.8
初期剛性 K (kN/mm)	31.93	33.12	31.07	32.63	32.99	32.10	32.31	0.77			
降伏点変位 δ v (mm)	6.19	5.68	6.05	5.82	5.89	5.55	5.86	0.23			
塑性率 μ = δ u / δ v	4.85	5.28	4.96	5.15	5.09	5.41	5.12	0.20			
構造特性係数 Ds	0.34	0.32	0.33	0.33	0.33	0.32	0.33	0.01			



写真 5.4.4-1 NO.9 15-H90-5-5S-1 試験後



写真 5.4.4-2 NO.9 15-H90-5-5S-1 試験後



写真 5.4.4-3 NO.9 15-H90-5-5S-1
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.4-4 NO.9 15-H90-5-5S-2
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.4-5 NO.9 15-H90-5-5S-3
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.4-6 NO.9 15-H90-5-5S-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 5.4.4-7 NO.9 15-H90-5-5S-5
ビスの折損、木材の支圧

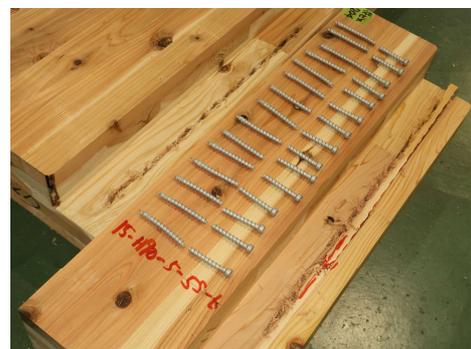


写真 5.4.4-8 NO.9 15-H90-5-5S-6
ビスの折損、木材の支圧、
幅はぎ部からの割れ

5.5. 考察

ビス 1 本あたりの包絡線を図 5.5-1 に、特性値を図 5.5-2～図 5.5-5 に、破壊性状を写真 5.5-1～写真 5.5-10 に示す。

図 5.5-1～図 5.5-5 に示すとおり 1 列のビス本数が増すにつれて終局耐力、降伏耐力及び初期剛性が徐々に低下していく結果となった。ただし、写真 5.5-5～写真 5.5-8 のとおり 1 列のビス本数が 10 本打ち以上とした場合であってもビス列に沿った割裂は生じなかったため、少なくとも CLT の割裂による影響ではないことが分かった。

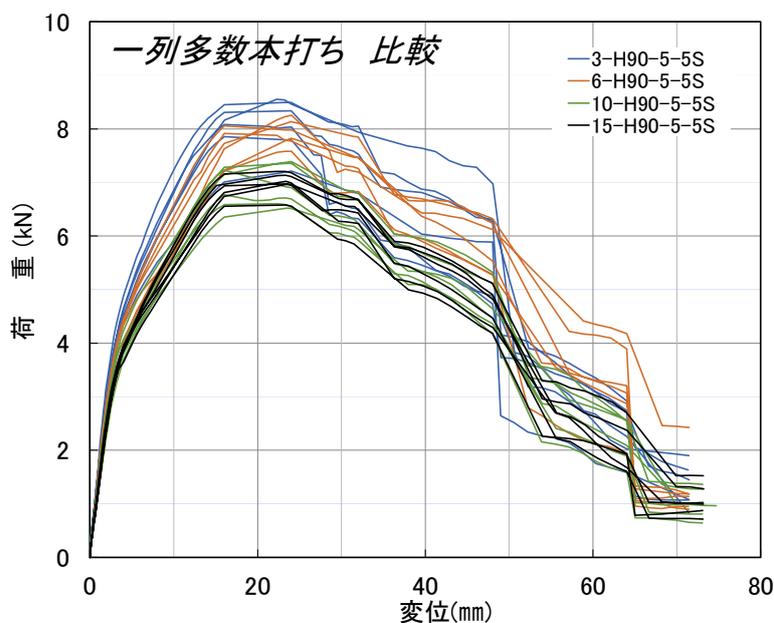


図 5.5-1 包絡線

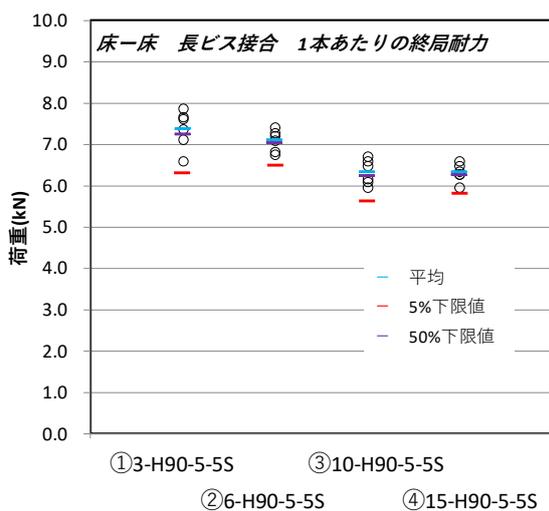


図 5.5-2 終局耐力の比較

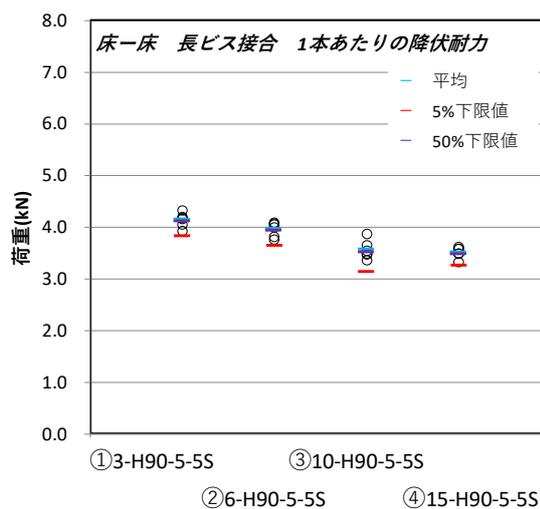


図 5.5-3 降伏耐力の比較

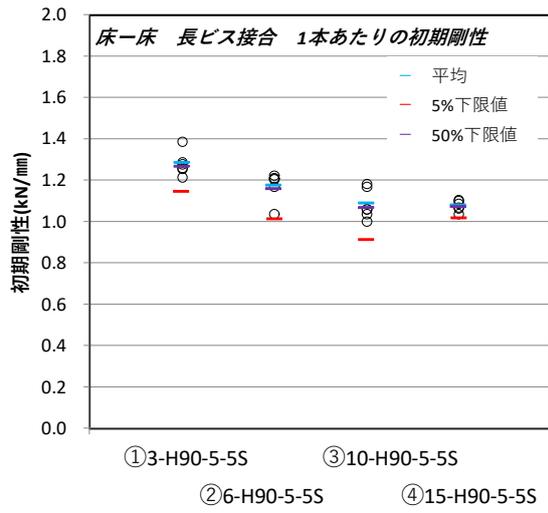


図 5.5-4 初期剛性の比較

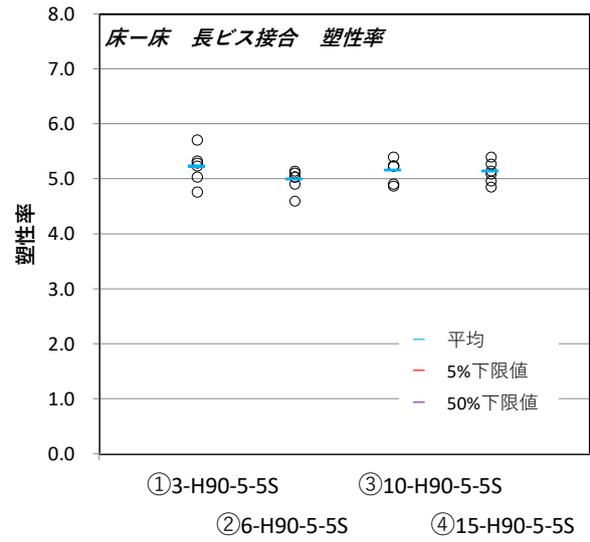


図 5.5-5 塑性率の比較



写真 5.5-1 3-H90-5-5S



写真 5.5-2 3-H90-5-5S



写真 5.5-3 6-H90-5-5S



写真 5.5-4 6-H90-5-5S



写真 5.5-5 10-H90-5-5S



写真 5.5-6 10-H90-5-5S



写真 5.5-7 15-H90-5-5S



写真 5.5-8 15-H90-5-5S



写真 5.5-9 10-H90-5-5S
試験後にビス打ち込み部を割った写真



写真 5.5-10 15-H90-5-5S
試験後にビス打ち込み部を割った写真

(1) AIJ 規準における木ねじの低減係数と実験値による低減率の比較

AIJ 規準では、木ねじ接合の設計において、耐力に乗じる低減係数として、1 列の木ねじ本数 10 本以上の場合：0.9、1 列の木ねじ本数 20 本以上の場合：0.8 を乗じることとしている。3 本打ち仕様を 1.0 と仮定すると 6 本打ち、10 本打ち、15 本打ちは表 5.5-1 のとおりの低減率となり、AIJ 規準で想定している低減係数よりも低減率が低くなる結果となった。

表 5.5-1 各試験体仕様の降伏耐力と 1 本あたりの低減率（3 本仕様を 1.0 と仮定）

試験体の種類		3本	6本	10本	15本
ビス1本 あたりの 実験値	1	23.5	45.8	69.6	107.3
	2	25	48.8	67.2	108.3
	3	25.2	49.1	69.4	107.5
	4	25.1	48	70.7	104.4
	5	25.9	48.6	77.4	104.9
	6	24.3	45.1	73.2	99.5
	平均	24.8	47.6	71.3	105.3
	5%下限値	22.9	43.6	62.9	97.8
3本仕様 に対する 低減率	1本あたり平均	8.28	7.93	7.13	7.02
	1本あたり5%下限値	7.63	7.27	6.29	6.52
	1本あたり平均	1.00	0.96	0.86	0.85
	1本あたり5%下限値	1.00	0.95	0.82	0.85

(2) AIJ 規準におけるラグスクリューの低減係数と実験値による低減率の比較

AIJ 規準¹⁾ではラグスクリュー本数に基づく耐力の低減係数として、北米規格で採用されている Lantos の理論式²⁾に基づく算定方法が紹介されている。本報ではこの算定式を用いて低減係数 C_g を算出し、実際のビスの降伏耐力の低減率 P_{yn}/P_{y1} と比較した(図 5.5-6)。

ここで、 P_{yn} ：1 列 n 本時のビス 1 本あたりの降伏耐力(実験値)

P_{y1} ：ビス 1 本の降伏耐力。ビス 1 本での試験は行っていないので、3 本時の実験値を 3 本時の C_g で除することによって算出した。

実験値の低減率より、算定による低減係数の方が小さくなる結果となった。原因として、設計式が想定しているビスピッチは $7d$ 以上(径 6 mm 以上のビスのピッチはボルトの基準に準ずるため)であり、本試験の $4d$ は想定されていない、多数本打ちの場合に面外方向等への拘束が十分でなく、接合具に均等に力を伝達させることができなかつた等の原因が考えられる。なお、低減係数の算定結果は主材・側材の断面積が大きく影響する。算定においては腰掛部分の断面積 $75 \times 100\text{ mm}$ を採用した。

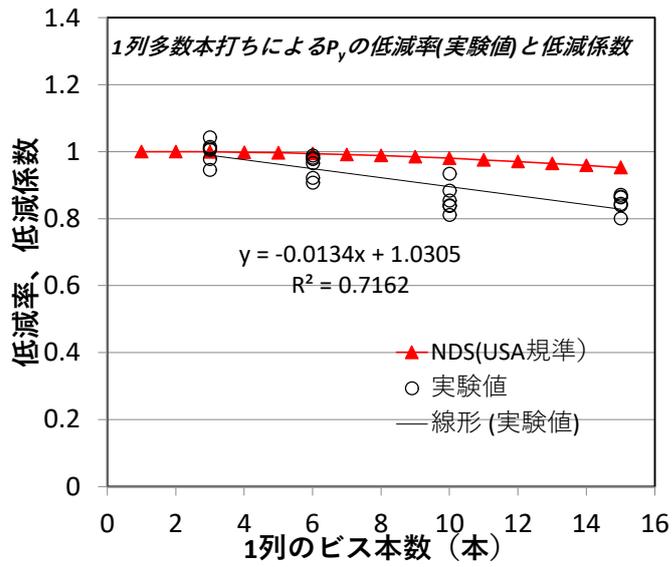


図 5.5-6 1列多数本打ちによる P_y の低減率(実験値)と Lantos の低減係数

6. 壁-床接合 強軸・弱軸方向、層構成の影響

6.1. 想定する接合部

構造計算ルートはルート1を想定する。ルート1のせん断性能の要求性能は表6.1-1に示すとおり壁-床パネル、小屋組みまたは屋根パネル接合は1か所当たり54kNである。

1本あたり5kNとすると1mあたり11本必要となる。

壁頭壁脚金物との納まりを考えると図1.1-1のとおり、ビスピッチ60mm(6.6d)となる(繊維方向に対して、EC5では4d、AIJ規準ではボルトベースで7d)。

CLTパネルの種類はルート1なので図2-2のとおり3層3プライ、5層5プライの2種類とする。

またせん断試験は、面内方向だけでなく、耐風性能を確認するため面外方向の試験も行う。

表 6.1-1 構造計算ルート1によるせん断接合部の要求性能

接合部位	該当告示	接合部の種類	要求性能	
壁パネル-壁パネル	第十第2第八号	形状の指定なし	接合部全体の許容耐力 P_a (kN)	52 kN/箇所
壁パネル-基礎、又は十台	第十第2第九号イ	形状の指定なし	接合部全体の許容耐力 P_a (kN)	1m当たり1箇所以上、かつ47kN/箇所
壁パネル-床パネル、小屋組み又は屋根パネル	第十第2第九号ロ	形状の指定なし	接合部全体の許容耐力 P_a (kN)	1m当たり1箇所以上、かつ54kN/箇所

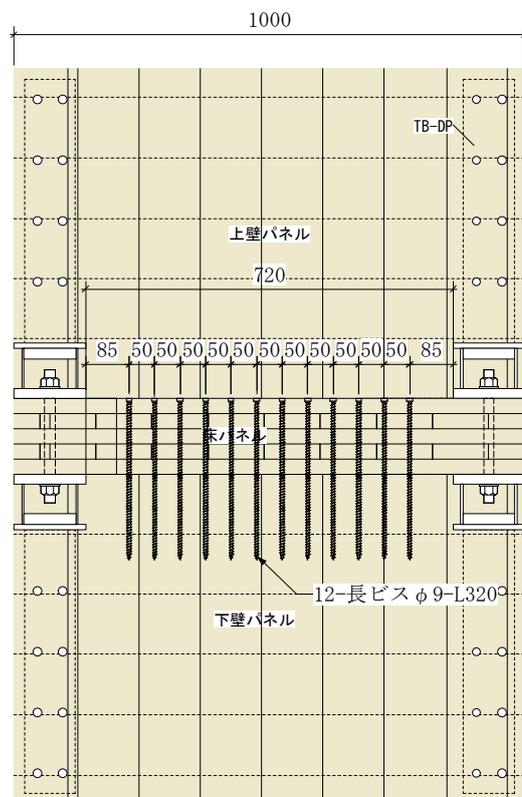


図 6.1-1 壁頭壁脚金物と長ビスせん断接合の納まり

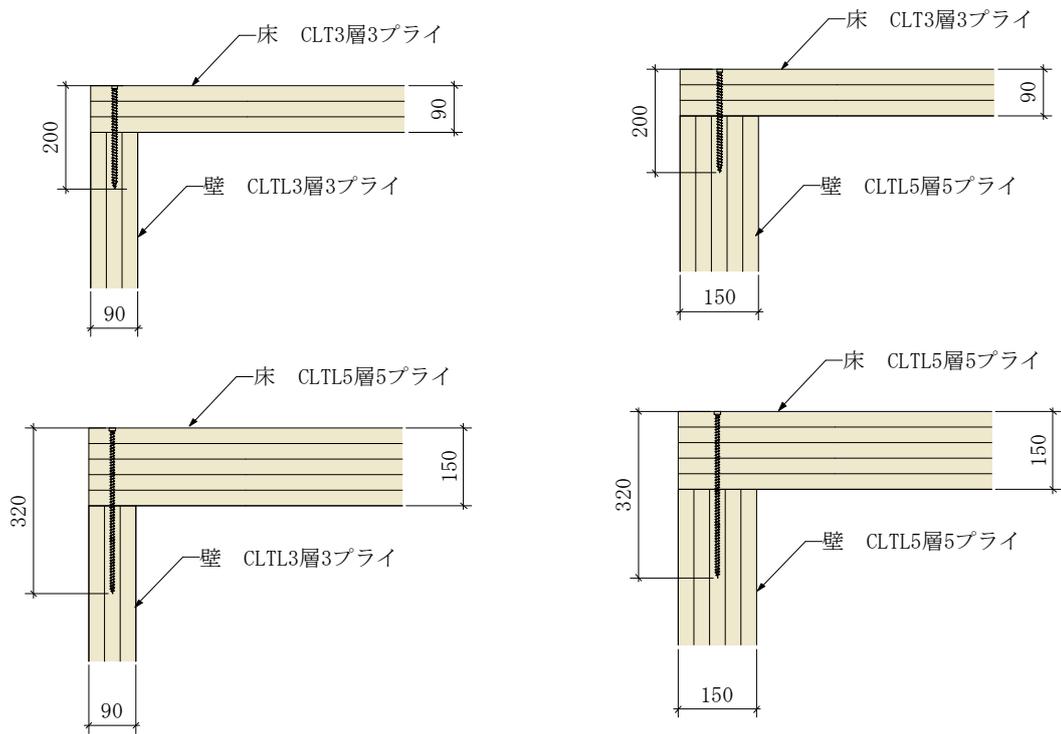


図 6.1-2 想定する CLT パネルとビス長さ

6.2. 試験の種類

試験の種類は表 6.2-1 のとおりである。このうち昨 1，昨 2 は R4 年度試験であり、試験データのみを参照する。本年度実験したものは No. 1, 2 の 2 仕様である。試験体の記号の意味は表 6.2-1 の下部に示す。各試験体図を図 6.2-1～図 6.2-4 に、試験体作成の様子を写真 6.2-1～写真 6.2-2 に、試験体の密度と含水率を表 6.2-2～表 6.2-3 に示す。

また、図 6.2-1～図 6.2-4 の各試験においては図 6.2-5 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 6.2-1 試験の種類

通し番号	試験体記号	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	壁パネル		床パネル		名称	山径 d(mm)	接合具長さ l(mm)								
			層構成(厚さ)	加力方向	層構成(厚さ)	加力方向											
1	33S-33S	スギCLT／ Mx60/A種構成	3層3プライ (90mm)	強軸※	3層3プライ (90mm)	強軸	全ねじ ビス	9	200	3							
2	33S-33W			弱軸		弱軸				弱軸	6						
3	33W-33S									強軸※	5層5プライ (150mm)	強軸	3				
4	33W-33W			弱軸		弱軸						弱軸	6				
5	33S-55S				合計										33		
6	33S-55W			強軸※		強軸										3	
7	33S-55W			弱軸		弱軸										弱軸	6
8	33W-55W															弱軸	弱軸

33

壁 CLT の層構成

S

壁の強軸・弱軸

—

33

床 CLT の層構成

S

床の強軸・弱軸

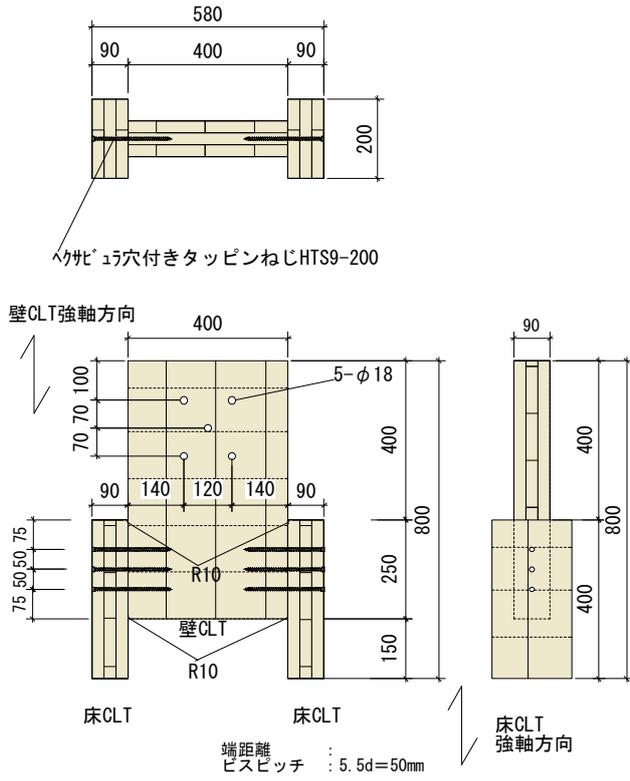


図 6.2-1 No.1 33S-33S 試験体図

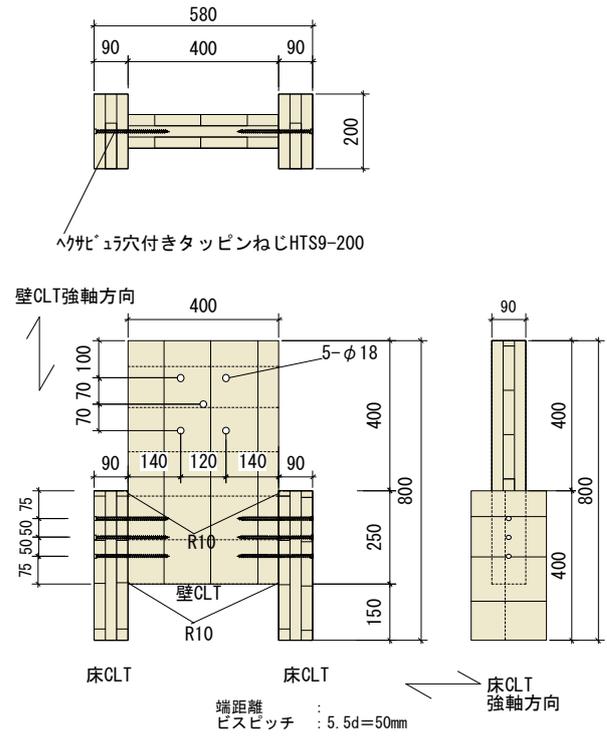


図 6.2-2 No.2 33S-33W 試験体図

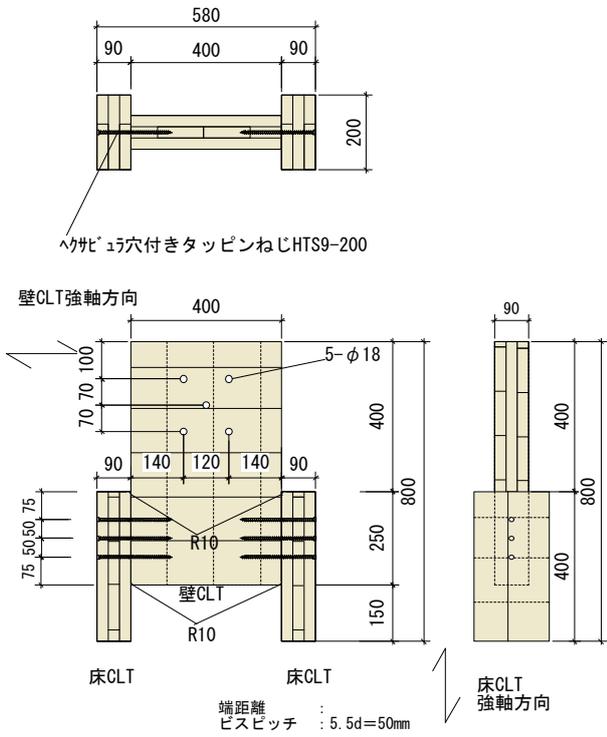


図 6.2-3 No.3 33W-33S 試験体図

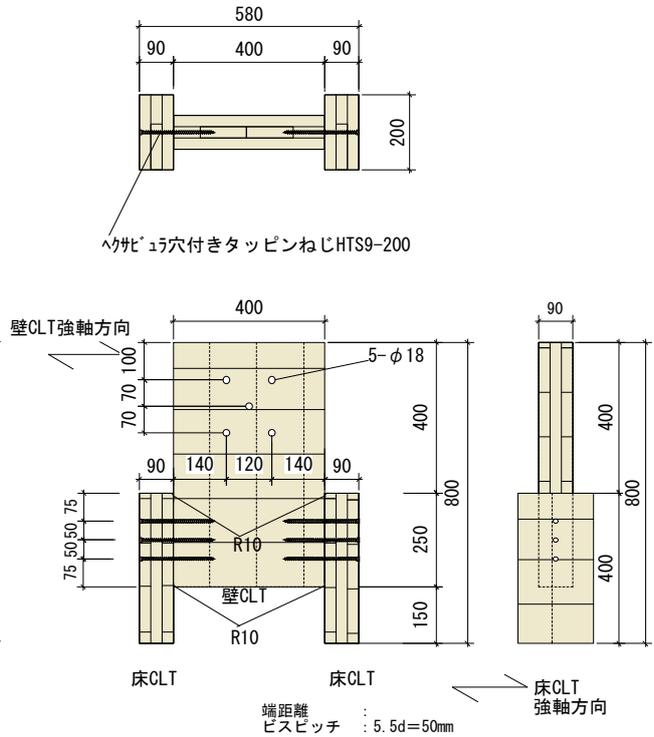


図 6.2-4 No.4 33W-33W 試験体図

表 6.2-2 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	33S-33S	1	10.1	0.41	10.5	0.41	10.5	0.41
		2	9.5	0.43	10.2	0.41	9.9	0.43
		3	8.6	0.41	10.1	0.44	10.1	0.45
		平均	9.4	0.42	10.3	0.42	10.2	0.43
2	33S-33W	1	9.9	0.41	9.6	0.43	10.8	0.40
		2	10.2	0.42	11.1	0.42	10.6	0.42
		3	9.8	0.39	10.8	0.43	11.0	0.42
		4	10.4	0.39	11.0	0.44	10.8	0.42
		5	10.6	0.43	9.9	0.42	9.5	0.43
		6	11.2	0.43	10.7	0.43	9.2	0.45
		平均	10.4	0.41	10.5	0.43	10.3	0.4
3	33W-33S	1	10.3	0.41	9.9	0.42	10.3	0.40
		2	10.2	0.40	10.6	0.45	10.2	0.43
		3	10.5	0.39	10.2	0.41	9.8	0.42
		平均	10.3	0.40	10.2	0.43	10.1	0.41
4	33W-33W	1	10.3	0.40	10.6	0.42	11.1	0.45
		2	10.5	0.43	10.2	0.44	11.5	0.41
		3	10.3	0.42	10.7	0.40	11.6	0.41
		4	10.3	0.40	11.0	0.39	10.9	0.42
		5	10.0	0.42	10.5	0.43	11.3	0.42
		6	10.6	0.41	10.4	0.44	10.0	0.43
		平均	10.3	0.42	10.6	0.42	11.1	0.42

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)
5	33S-55S	1	11.1	0.39	10.7	0.43	10.2	0.42
		2	11.6	0.39	12.6	0.43	11.2	0.41
		3	11.8	0.41	11.7	0.43	12.1	0.41
		平均	11.5	0.40	11.7	0.43	11.2	0.41
6	33S-55W	1	12.3	0.39	13.0	0.43	12.5	0.44
		2	12.7	0.42	11.1	0.42	10.6	0.42
		3	9.8	0.39	10.8	0.43	11.0	0.42
		4	10.4	0.39	11.0	0.44	10.8	0.42
		5	10.6	0.43	9.9	0.42	9.5	0.43
		6	11.2	0.43	10.7	0.43	9.2	0.45
		平均	11.2	0.41	11.1	0.43	10.6	0.43
7	33W-55W	1	11.5	0.40	12.0	0.45	11.9	0.46
		2	11.6	0.41	11.6	0.43	11.1	0.43
		3	10.3	0.40	10.8	0.42	10.9	0.43
		4	10.9	0.40	11.2	0.42	10.9	0.43
		5	11.5	0.41	11.3	0.42	10.9	0.41
		6	10.9	0.41	11.4	0.44	10.7	0.44
		平均	11.1	0.41	11.4	0.43	11.1	0.43

6.3. 試験方法、評価方法

試験治具及び変位計配置図は写真 6.3-1 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ー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、信頼水準 75% における 95% 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。



写真 6.3-1 試験の様子

6.4. 試験結果

6.4.1. 33S-33S

荷重変位曲線を図 6.4.1-1 に、包絡線を図 6.4.1-2 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 6.4.1-1 に、破壊性状を写真 6.4.1-1～写真 6.4.1-8 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。

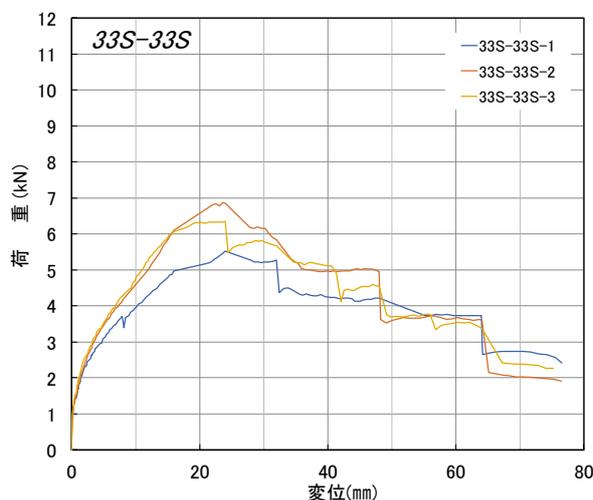
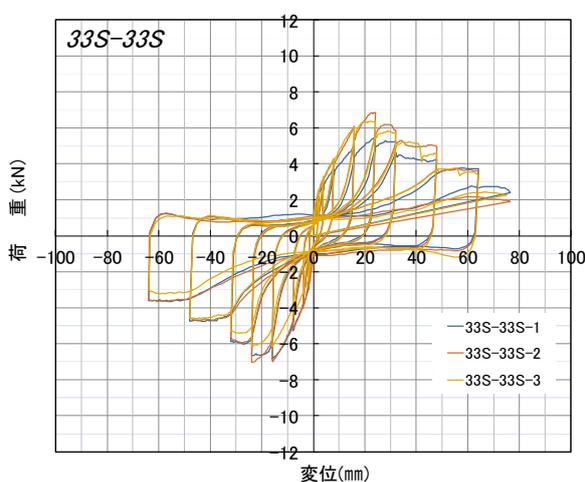


図 6.4.1-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 6.4.1-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 6.4.1-1 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))

項目	試験体記号			33S-33S(正)	1	2	3	平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3									
1/10Pm (kN)	3.3	4.1	3.8	3.7	0.40							
1/10 δ m (mm)	0.06	0.15	0.10	0.10	0.05							
2/5Pm (kN)	13.3	16.5	15.3	15.0	1.62							
2/5 δ m (mm)	1.85	2.88	2.08	2.27	0.54							
2/3Pm (kN)	22.1	27.5	25.4	25.0	2.72	0.109	0.656	16.4				
2/3 δ m (mm)	7.80	9.95	7.74	8.50	1.26							
9/10Pm (kN)	29.9	37.1	34.3	33.8	3.63							
9/10 δ m (mm)	16.09	16.64	14.11	15.61	1.33							
Pm (kN)	33.2	41.2	38.1	37.5	4.03							
δ m (mm)	24.00	23.60	24.00	23.87	0.23							
δ u時荷重 (kN)	31.3	36.9	34.7	34.3	2.82							
δ u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00							
降伏耐力 Py (kN)	15.7	18.4	17.3	17.1	1.36	0.080	0.748	12.7				
δ y (mm)	3.09	3.67	2.89	3.22	0.41							
終局耐力 Pu (kN)	28.5	35.1	33.2	32.3	3.40	0.105	0.669	21.6				
初期剛性 K (kN/mm)	5.08	5.01	5.99	5.36	0.55							
降伏点変位 δ v (mm)	5.61	7.01	5.54	6.05	0.83							
塑性率 μ = δ u / δ v	5.35	4.28	5.42	5.02	0.64							
構造特性係数 Ds	0.32	0.36	0.32	0.33	0.02							

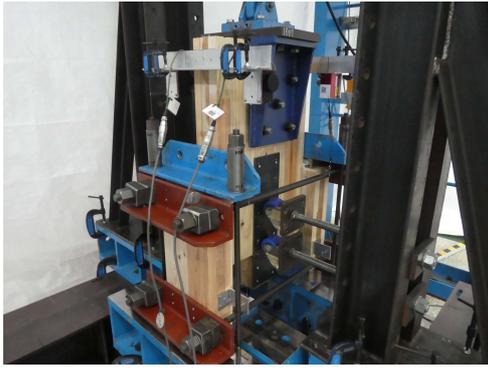


写真 6.4.1-1 NO.1 33S-33S-1 試験前



写真 6.4.1-2 NO.1 33S-33S-1
押し抜きせん断

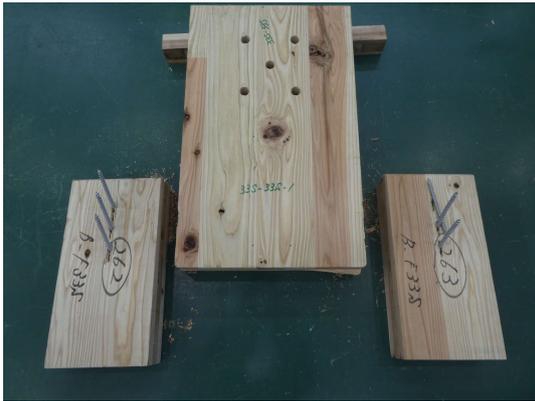


写真 6.4.1-3 NO.1 33S-33S-1
ビスの引き抜け



写真 6.4.1-4 NO.1 33S-33S-1
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.1-5 NO.1 33S-33S-2
ビスの引き抜け、木材の割れ

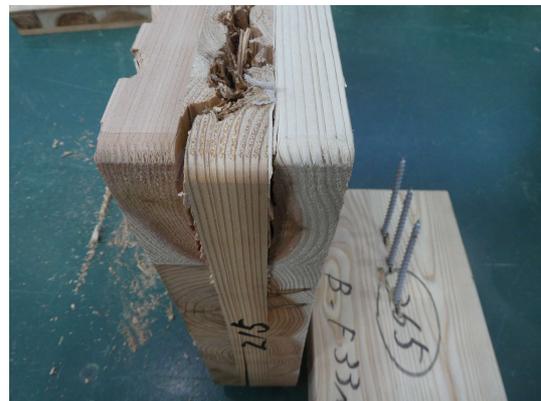


写真 6.4.1-6 NO.1 33S-33S-2
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.1-7 NO.1 33S-33S-3
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.1-8 NO.1 33S-33S-3
ビスの引き抜け、木材の割れ

6.4.2. 33S-33W

荷重変位曲線を図 6.4.2-1 に、包絡線を図 6.4.2-2 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 6.4.2-1 に、破壊性状を写真 6.4.2-1～写真 6.4.2-8 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。

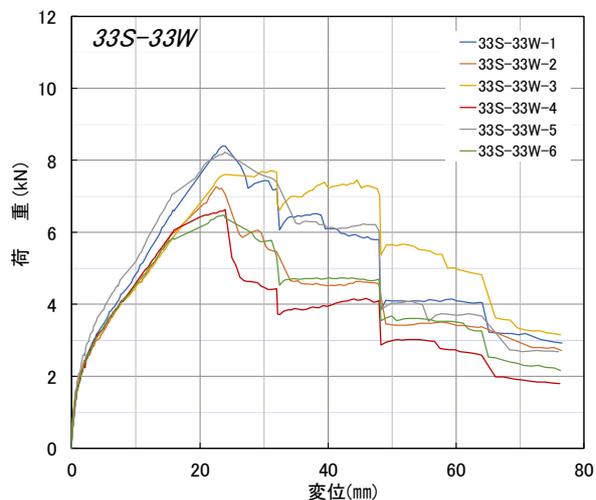
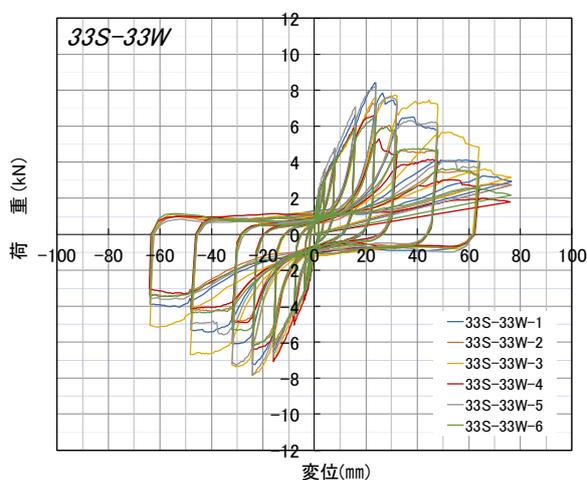


図 6.4.2-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 6.4.2-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 6.4.2-1 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	33S-33W(正)						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)	5.0	4.4	4.6	4.0	4.9	3.9	4.5	0.45			
1/10 δ m (mm)	0.22	0.18	0.26	0.30	0.36	0.18	0.25	0.07			
2/5Pm (kN)	20.2	17.4	18.4	15.9	19.8	15.6	17.9	1.93			
2/5 δ m (mm)	4.57	3.60	3.98	2.69	3.32	2.53	3.45	0.77			
2/3Pm (kN)	33.6	29.1	30.7	26.5	32.9	25.9	29.8	3.21	0.108	0.748	22.2
2/3 δ m (mm)	12.47	11.70	12.92	9.33	10.92	9.10	11.07	1.59			
9/10Pm (kN)	45.4	39.3	41.5	35.8	44.4	35.0	40.2	4.33			
9/10 δ m (mm)	19.86	19.22	20.50	15.73	18.48	15.76	18.26	2.06			
Pm (kN)	50.4	43.6	46.1	39.8	49.4	38.9	44.7	4.80			
δ m (mm)	23.50	22.60	29.70	24.00	24.00	23.80	24.60	2.55			
δ u時荷重 (kN)	44.6	34.9	46.0	39.8	45.5	34.4	40.9	5.30			
δ u (mm)	30.00	29.94	30.00	24.00	30.00	30.00	28.99	2.44			
降伏耐力 Py (kN)	22.2	20.2	19.5	17.3	23.4	17.6	20.0	2.44	0.122	0.715	14.3
δ y (mm)	5.72	5.34	4.62	3.31	5.05	3.44	4.58	1.00			
終局耐力 Pu (kN)	42.8	36.6	38.3	33.0	43.2	33.4	37.9	4.43	0.117	0.727	27.5
初期剛性 K (kN/mm)	3.88	3.78	4.22	5.23	4.63	5.12	4.48	0.62			
降伏点変位 δ v (mm)	11.03	9.68	9.08	6.31	9.33	6.52	8.66	1.86			
塑性率 μ = δ u / δ v	2.72	3.09	3.30	3.80	3.22	4.60	3.46	0.66			
構造特性係数 Ds	0.47	0.44	0.42	0.39	0.43	0.35	0.42	0.04			



写真 6.4.2-1 NO.2 33S-33W-1 試験前

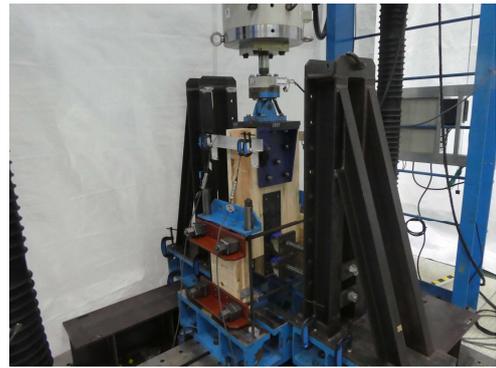


写真 6.4.2-2 NO.2 33S-33W-1 試験後



写真 6.4.2-3 NO.2 33S-33W-1
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.2-4 NO.2 33S-33W-2
ビスの引き抜け、木材の割れ

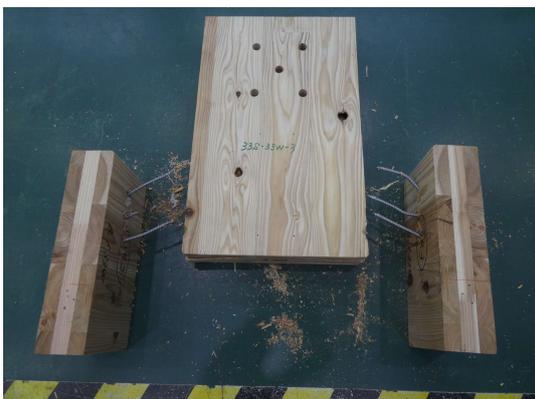


写真 6.4.2-5 NO.2 33S-33W-3
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.2-6 NO.2 33S-33W-4
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.2-7 NO.2 33S-33W-4
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.2-8 NO.2 33S-33W-6
ビスの引き抜け、木材の割れ

6.4.3. 33W-33S

荷重変位曲線を図 6.4.3-1 に、包絡線を図 6.4.3-2 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 6.4.3-1 に、破壊性状を写真 6.4.3-1～写真 6.4.3-8 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。

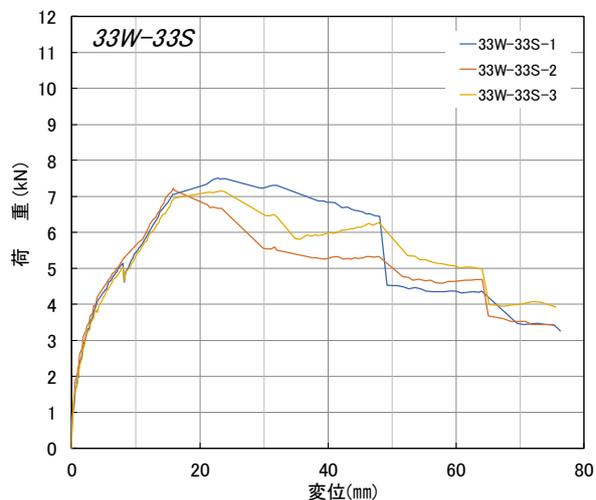
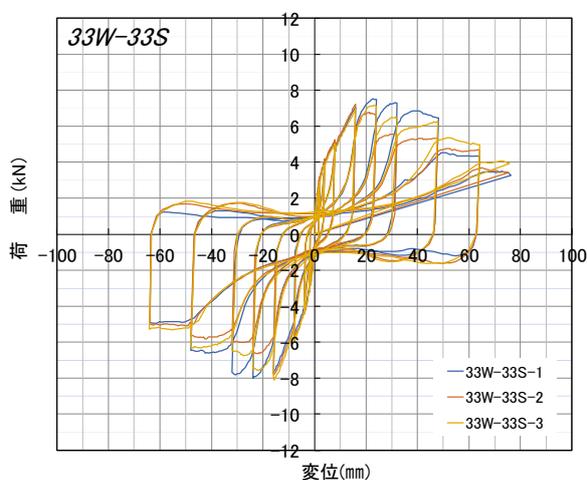


図 6.4.3-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 6.4.3-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 6.4.3-1 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))

項目	試験体記号			平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5% 下限値
	33W-33S(正)							
	1	2	3					
1/10Pm (kN)	4.5	4.3	4.3	4.4	0.12			
1/10 δ m (mm)	0.09	0.17	0.10	0.12	#NAME?			
2/5Pm (kN)	18.0	17.3	17.2	17.5	0.44			
2/5 δ m (mm)	2.11	1.67	1.90	1.89	0.22			
2/3Pm (kN)	30.0	28.9	28.6	29.2	0.74	0.025	0.921	26.8
2/3 δ m (mm)	7.32	6.26	6.97	6.85	0.54			
9/10Pm (kN)	40.5	39.0	38.7	39.4	0.96			
9/10 δ m (mm)	14.66	13.33	14.09	14.03	0.67			
Pm (kN)	45.0	43.4	43.0	43.8	1.06			
δ m (mm)	22.80	15.90	23.40	20.70	4.17			
δ u時荷重 (kN)	43.4	34.7	39.0	39.0	4.35			
δ u (mm)	30.00	28.57	30.00	29.52	0.83			
降伏耐力 Py (kN)	22.2	21.8	21.0	21.7	0.61	0.028	0.912	19.7
δ v (mm)	3.30	2.84	3.02	3.05	0.23			
終局耐力 Pu (kN)	39.9	37.4	38.1	38.5	1.29	0.034	0.893	34.3
初期剛性 K (kN/mm)	6.73	7.68	6.95	7.12	0.50			
降伏点変位 δ v (mm)	5.93	4.87	5.48	5.43	0.53			
塑性率 μ = δ u / δ v	5.06	5.87	5.47	5.47	0.41			
構造特性係数 Ds	0.33	0.31	0.32	0.32	0.01			



写真 6.4.3-1 NO.3 33W-33S-1 試験前

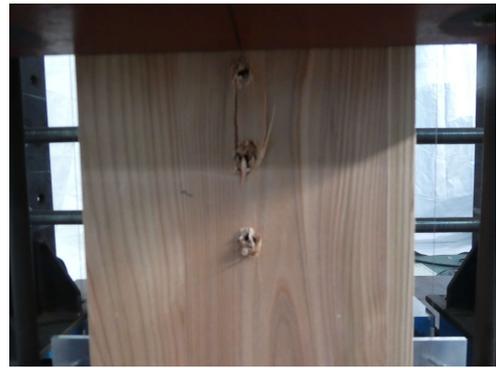


写真 6.4.3-2 NO.3 33W-33S-1 試験後

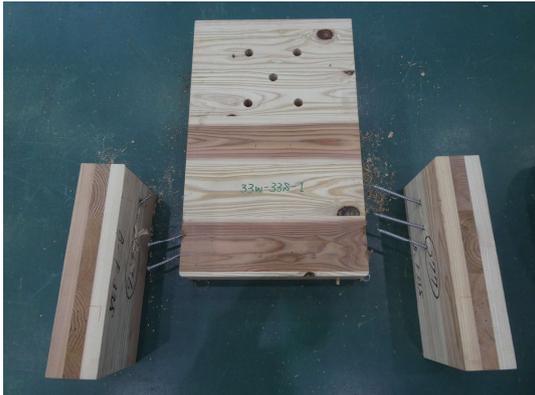


写真 6.4.3-3 NO.3 33W-33S-1
ビスの引き抜け



写真 6.4.3-4 NO.3 33W-33S-1
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.3-5 NO.3 33W-33S-2 試験後

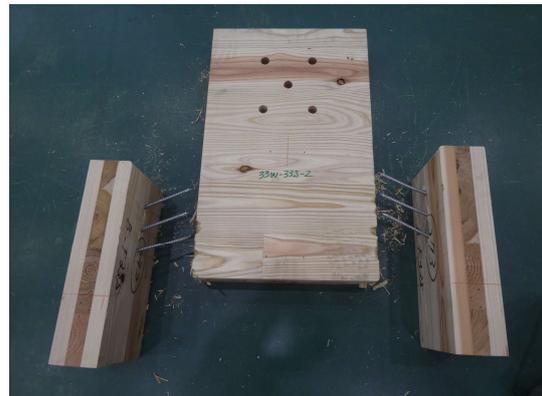


写真 6.4.3-6 NO.3 33W-33S-2
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.3-7 NO.3 33W-33S-3 試験後



写真 6.4.3-8 NO.3 33W-33S-3
ビスの引き抜け、木材の割れ

6.4.4. 33W-33W

荷重変位曲線を図 6.4.4-1 に、包絡線を図 6.4.4-2 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 6.4.4-1 に、破壊性状を写真 6.4.4-1～写真 6.4.4-8 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。

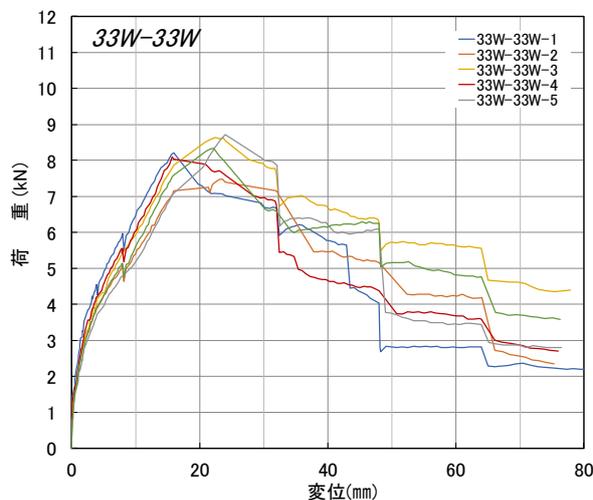
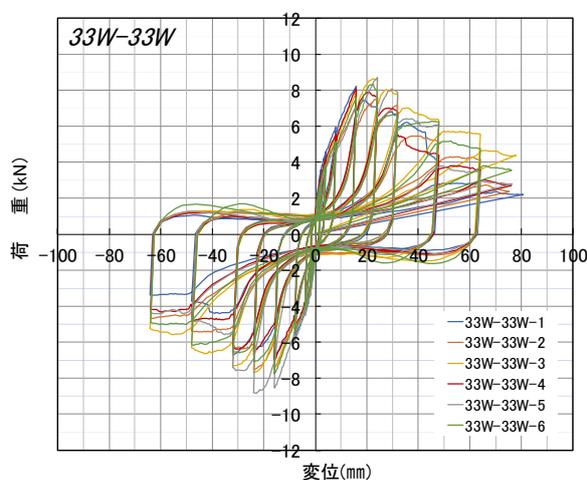


図 6.4.4-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 6.4.4-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 6.4.4-1 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	33W-33W(正)						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)	4.9	4.5	5.2	4.9	5.2	5.0	5.0	0.26			
1/10 δ m (mm)	0.06	0.07	0.12	0.07	0.25	0.30	0.15	0.10			
2/5Pm (kN)	19.7	17.9	20.7	19.4	20.9	20.0	19.8	1.08			
2/5 δ m (mm)	1.82	2.10	2.75	2.12	3.53	2.80	2.52	0.63			
2/3Pm (kN)	32.9	29.9	34.6	32.4	34.9	33.3	33.0	1.80	0.055	0.872	28.7
2/3 δ m (mm)	6.70	7.79	9.32	7.37	12.11	9.88	8.86	1.99			
9/10Pm (kN)	44.4	40.3	46.6	43.7	47.1	45.0	44.5	2.44			
9/10 δ m (mm)	12.80	14.52	15.62	13.41	20.67	15.57	15.43	2.80			
Pm (kN)	49.3	44.8	51.8	48.5	52.3	50.0	49.5	2.70			
δ m (mm)	16.00	23.10	22.50	15.70	24.00	22.20	20.58	3.72			
δ u時荷重 (kN)	40.4	43.3	47.4	41.8	48.2	40.2	43.6	3.48			
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)	23.6	21.1	23.1	22.4	25.0	21.9	22.9	1.37	0.060	0.860	19.6
δ y (mm)	2.90	3.14	3.36	3.05	5.56	3.38	3.57	0.99			
終局耐力 Pu (kN)	41.9	39.6	44.6	42.4	44.8	42.0	42.6	1.93	0.045	0.895	38.1
初期剛性 K (kN/mm)	8.14	6.72	6.88	7.34	4.50	6.48	6.68	1.22			
降伏点変位 δ v (mm)	5.15	5.89	6.48	5.78	9.96	6.48	6.62	1.71			
塑性率 μ = δ u / δ v	5.83	5.09	4.63	5.19	3.01	4.63	4.73	0.95			
構造特性係数 Ds	0.31	0.33	0.35	0.33	0.45	0.35	0.35	0.05			

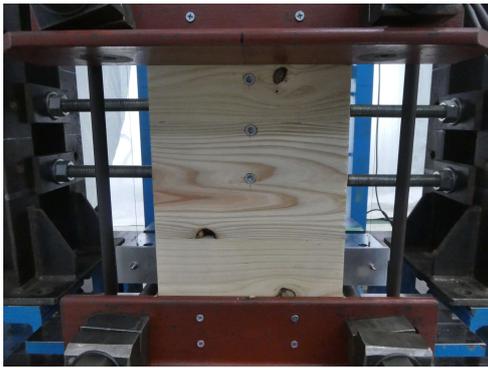


写真 6.4.4-1 NO.4 33W-33W-1 試験前



写真 6.4.4-2 NO.4 33W-33W-1 試験後



写真 6.4.4-3 NO.4 33W-33W-1
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.4-4 NO.4 33W-33W-2
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.4-5 NO.4 33W-33W-3
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.4-6 NO.4 33W-33W-4
ビスの引き抜け、木材の割れ

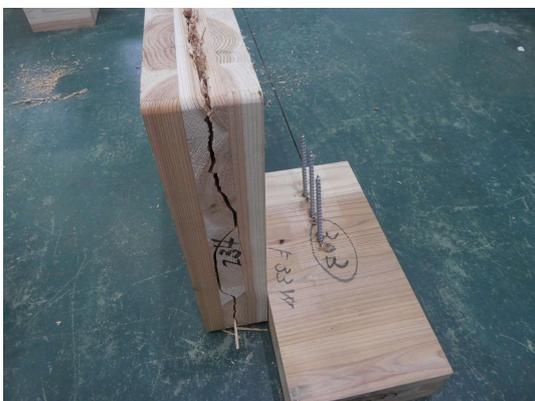


写真 6.4.4-7 NO.4 33W-33W-5
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.4-8 NO.4 33W-33W-6
ビスの引き抜け、木材の割れ

6.4.5. 33S-55S

荷重変位曲線を図 6.4.5-1 に、包絡線を図 6.4.5-2 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 6.4.5-1 に、破壊性状を写真 6.4.5-1～写真 6.4.5-8 に示す。ビスが曲げ降伏し、ビスの引き抜け、木材の割れが確認された。

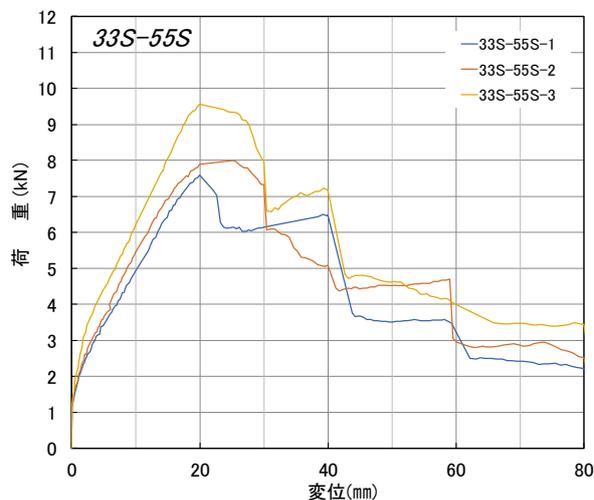
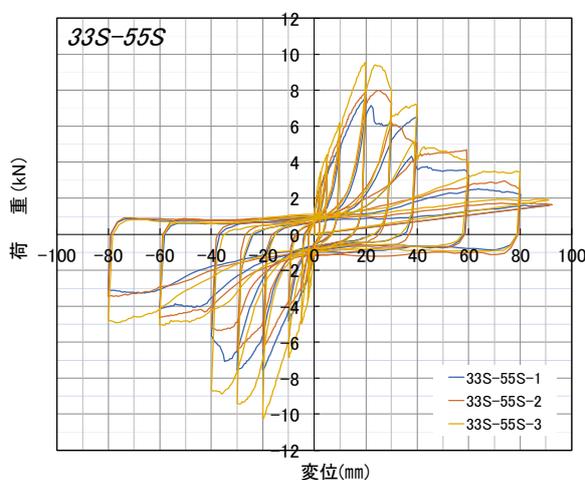


図 6.4.5-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 6.4.5-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 6.4.5-1 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	33S-55S(正)			平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき 係数	5% 下限値
	1	2	3					
1/10Pm (kN)	4.6	4.8	5.7	5.0	0.59			
1/10 δ m (mm)	0.08	0.07	0.00	0.05	#NAME?			
2/5Pm (kN)	18.2	19.2	22.9	20.1	2.48			
2/5 δ m (mm)	3.71	3.68	3.40	3.60	0.17			
2/3Pm (kN)	30.4	32.0	38.2	33.5	4.12	0.123	0.612	20.5
2/3 δ m (mm)	10.45	9.66	10.42	10.18	0.45			
9/10Pm (kN)	41.0	43.2	51.6	45.3	5.59			
9/10 δ m (mm)	16.30	15.95	16.43	16.23	0.25			
Pm (kN)	45.6	48.0	57.3	50.3	6.18			
δ m (mm)	20.00	25.20	20.00	21.73	3.00			
δ u時荷重 (kN)	36.5	43.9	47.8	42.7	5.74			
δ u (mm)	26.49	30.00	30.00	28.83	2.03			
降伏耐力 Py (kN)	19.3	21.6	23.5	21.5	2.10	0.098	0.691	14.8
δ v (mm)	4.45	4.89	3.57	4.30	0.67			
終局耐力 Pu (kN)	38.2	43.7	48.9	43.6	5.35	0.123	0.612	26.6
初期剛性 K (kN/mm)	4.34	4.42	6.58	5.11	1.27			
降伏点変位 δ v (mm)	8.80	9.89	7.43	8.71	1.23			
塑性率 μ = δ u / δ v	3.01	3.03	4.04	3.36	0.59			
構造特性係数 Ds	0.45	0.44	0.38	0.42	0.04			



写真 6.4.5-1 NO.5 33S-55S-1 試験前

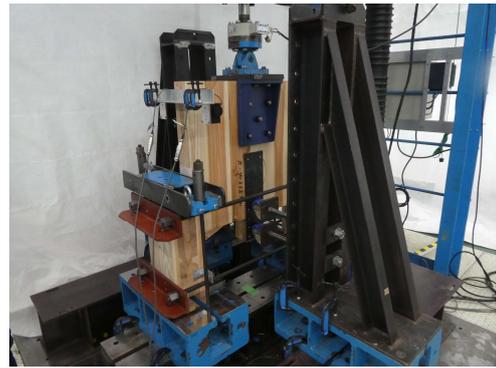


写真 6.4.5-2 NO.5 33S-55S-1 試験後



写真 6.4.5-3 NO.5 33S-55S-1
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.5-4 NO.5 33S-55S-1
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.5-5 NO.5 33S-55S-2 試験後
ビスの引き抜け、木材の割れ

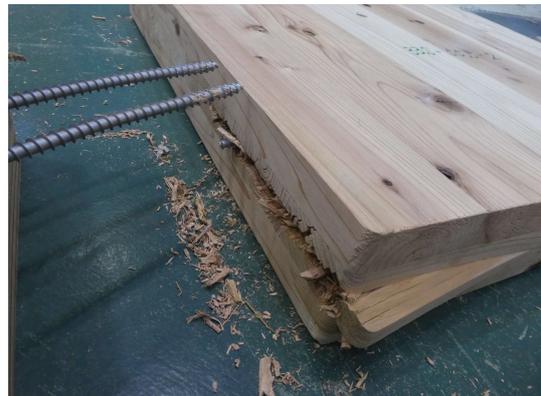


写真 6.4.5-6 NO.5 33S-55S-2
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.5-7 NO.5 33S-55S-3 試験後
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.5-8 NO.5 33S-55S-3
ビスの引き抜け、木材の割れ

6.4.6. 33S-55W

荷重変位曲線を図 6.4.6-1 に、包絡線を図 6.4.6-2 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 6.4.6-1 に、破壊性状を写真 6.4.6-1～写真 6.4.6-8 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。

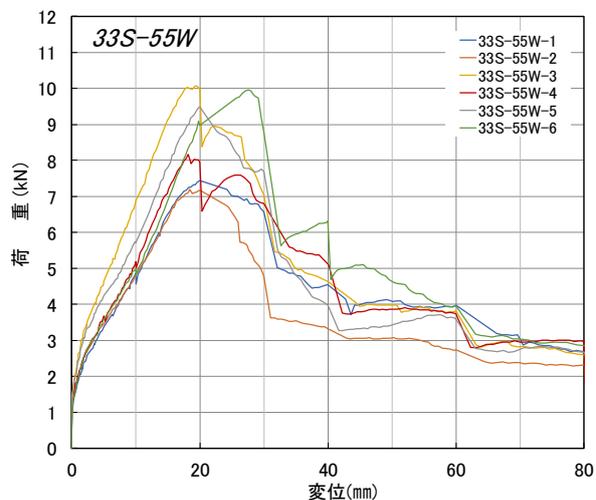
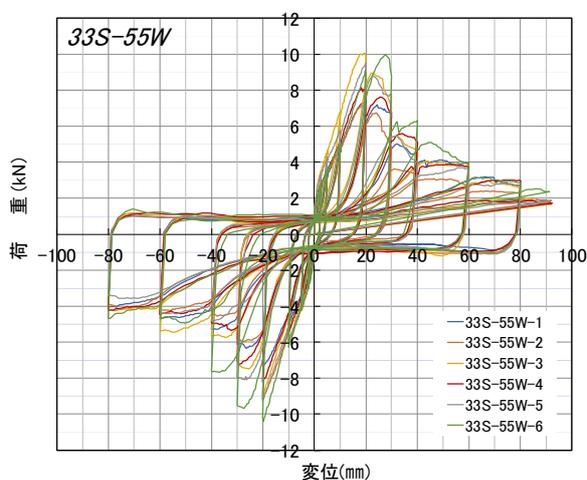


図 6.4.6-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 6.4.6-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 6.4.6-1 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	33S-55W(正)						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)	4.5	4.3	6.0	4.9	5.7	6.0	5.2	0.76			
1/10 δ m (mm)	0.08	0.06	0.07	0.07	0.07	0.09	0.07	0.01			
2/5Pm (kN)	17.9	17.2	24.1	19.6	22.8	23.9	20.9	3.07			
2/5 δ m (mm)	3.80	3.01	3.60	4.17	3.77	6.48	4.14	1.21			
2/3Pm (kN)	29.8	28.7	40.2	32.6	38.0	39.9	34.9	5.15	0.148	0.654	22.8
2/3 δ m (mm)	10.75	9.93	9.78	10.76	11.55	14.52	11.22	1.74			
9/10Pm (kN)	40.2	38.8	54.3	44.1	51.3	53.8	47.1	6.93			
9/10 δ m (mm)	15.65	15.19	14.78	15.49	16.73	19.65	16.25	1.79			
Pm (kN)	44.7	43.1	60.3	49.0	57.0	59.8	52.3	7.69			
δ m (mm)	20.00	18.50	19.20	18.20	20.00	27.60	20.58	3.52			
δ u時荷重 (kN)	39.4	34.5	48.3	40.8	46.2	52.8	43.7	6.66			
δ u (mm)	30.00	26.28	26.98	30.00	30.00	30.00	28.88	1.75			
降伏耐力 Py (kN)	18.2	17.8	24.4	21.5	23.4	33.5	23.1	5.74	0.248	0.421	9.7
δ y (mm)	3.97	3.34	3.85	4.80	3.98	11.89	5.31	3.26			
終局耐力 Pu (kN)	38.8	36.4	51.0	42.0	46.5	63.9	46.4	10.05	0.217	0.493	22.8
初期剛性 K (kN/mm)	4.58	5.33	6.34	4.48	5.88	2.82	4.91	1.25			
降伏点変位 δ v (mm)	8.47	6.83	8.04	9.38	7.91	22.66	10.55	5.99			
塑性率 μ = δ u / δ v	3.54	3.85	3.36	3.20	3.79	1.32	3.18	0.94			
構造特性係数 Ds	0.41	0.39	0.42	0.43	0.39	0.78	0.47	0.15			

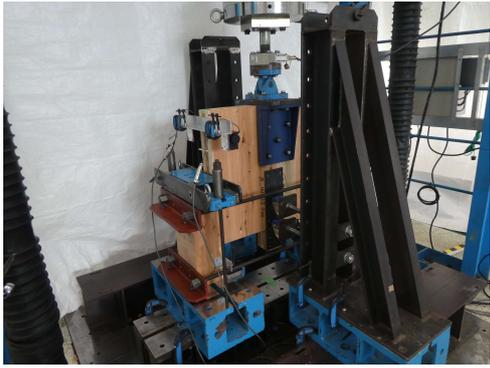


写真 6.4.6-1 NO.6 33S-55W-1 試験前



写真 6.4.6-2 NO.6 33S-55W-1 試験後
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.6-3 NO.6 33S-55W-1
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.6-4 NO.6 33S-55W-1
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.6-5 NO.6 33S-55W-2
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.6-6 NO.6 33S-55W-3
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.6-7 NO.6 33S-55W-4
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.6-8 NO.6 33S-55W-6
ビスの引き抜け、木材の割れ

6.4.7. 33W-55W

荷重変位曲線を図 6.4.7-1 に、包絡線を図 6.4.7-2 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 6.4.7-1 に、破壊性状を写真 6.4.7-1～写真 6.4.7-8 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。

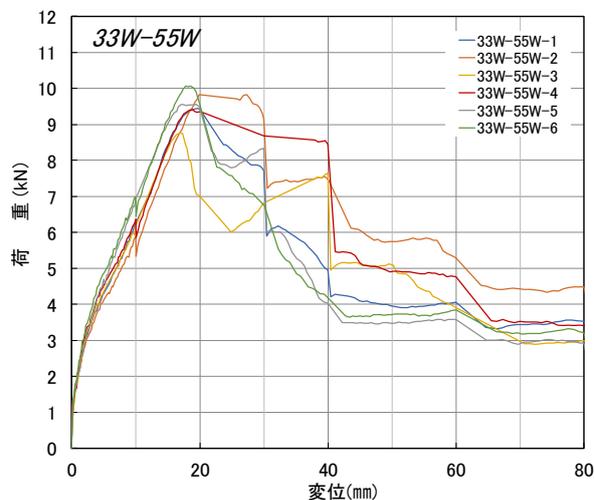
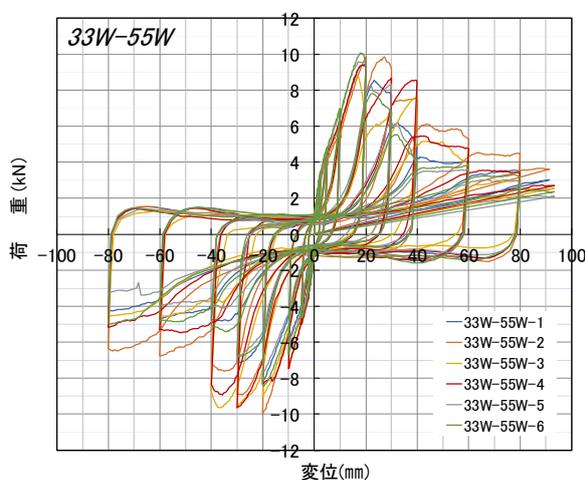


図 6.4.7-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 6.4.7-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 6.4.7-1 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))

項目	試験体記号						33W-55W(正)	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)	5.7	5.9	5.3	5.6	5.7	6.0	5.7	0.24				
1/10 δ m (mm)	0.09	0.26	0.20	0.08	0.18	0.21	0.17	0.07				
2/5Pm (kN)	22.7	23.6	21.1	22.6	23.0	24.2	22.9	1.05				
2/5 δ m (mm)	3.68	4.50	3.07	3.30	3.35	3.31	3.54	0.51				
2/3Pm (kN)	37.8	39.3	35.1	37.7	38.3	40.3	38.1	1.76	0.046	0.893	34.0	
2/3 δ m (mm)	10.13	11.94	9.24	9.86	8.87	9.36	9.90	1.10				
9/10Pm (kN)	51.0	53.1	47.4	50.8	51.7	54.3	51.4	2.36				
9/10 δ m (mm)	15.17	17.13	13.97	15.23	13.94	14.77	15.04	1.17				
Pm (kN)	56.7	59.0	52.7	56.5	57.4	60.4	57.1	2.63				
δ m (mm)	19.60	20.00	17.00	18.80	17.10	17.80	18.38	1.28				
δ u時荷重 (kN)	46.2	54.8	42.1	52.1	50.0	48.3	48.9	4.48				
δ u (mm)	30.00	30.00	19.86	30.00	30.00	22.33	27.03	4.66				
降伏耐力 Py (kN)	23.1	24.2	22.2	24.0	24.4	25.8	24.0	1.22	0.051	0.881	21.1	
δ y (mm)	4.02	4.72	3.36	3.77	3.78	3.83	3.91	0.45				
終局耐力 Pu (kN)	48.1	51.6	42.2	49.2	48.7	49.9	48.3	3.21	0.066	0.846	40.8	
初期剛性 K (kN/mm)	5.75	5.13	6.61	6.37	6.46	6.74	6.18	0.62				
降伏点変位 δ v (mm)	8.37	10.06	6.38	7.72	7.54	7.40	7.91	1.23				
塑性率 μ = δ u / δ v	3.58	2.98	3.11	3.89	3.98	3.02	3.43	0.45				
構造特性係数 Ds	0.40	0.45	0.44	0.38	0.38	0.45	0.42	0.03				



写真 6.4.7-1 NO.7 33W-55W-1 試験後
ビスの引き抜け、木材の割れ

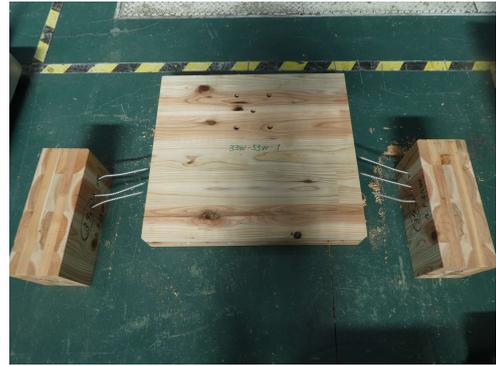


写真 6.4.7-2 NO.7 33W-55W-1
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.7-3 NO.7 33W-55W-1
ビスの引き抜け、木材の割れ

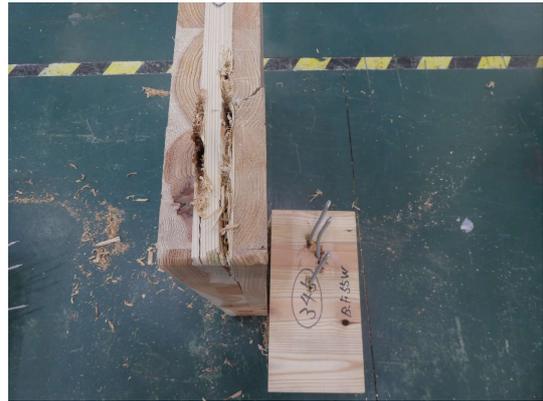


写真 6.4.7-4 NO.7 33W-55W-2
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.7-5 NO.7 33W-55W-3
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.7-6 NO.7 33W-55W-4
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.7-7 NO.7 33W-55W-5
ビスの引き抜け、木材の割れ



写真 6.4.7-8 NO.7 33W-55W-6
ビスの引き抜け、木材の割れ

6.5. 考察

ビス 1 本あたりの特性値を比較したものを図 6.5-1～図 6.5-4 に示す。

- ・床 3 層 3 プライ仕様 (①～④) より、床 5 層 5 プライ仕様(⑤～⑧)の方が終局耐力及び降伏耐力が高くなる結果となった。荷重変位曲線の形状 (図 6.5-5, 図 6.5-6) から分かるとおり床 5 層 7 プライ仕様はロープ効果による荷重上昇が見受けられる。したがって、床 CLT の厚さというよりも、ビスの長さに依存するものと考えられる。
- ・壁 CLT の強軸・弱軸を比較すると弱軸試験体の方が終局耐力、降伏耐力及び初期剛性が高い傾向が見られる。強軸試験体はビスが打ち込まれる部分が木口打ちであるためと思われる。
- ・破壊性状が脆性的に見えるが、90 mm 近くまで変形させた結果であるため、荷重変位曲線からわかるとおり脆性的ではない (塑性率は 3～5 程度)。とはいえ、いくつかの試験体では最大耐力時に割れが発生したことから、縁距離と試験体幅を調整すれば強度性能のばらつきが少なくなると思われる。
- ・L 型金物のビス 1 本あたり Pa が 3kN なので、径 9 mm のビスで同程度の性能であれば実用化する意味が薄い。

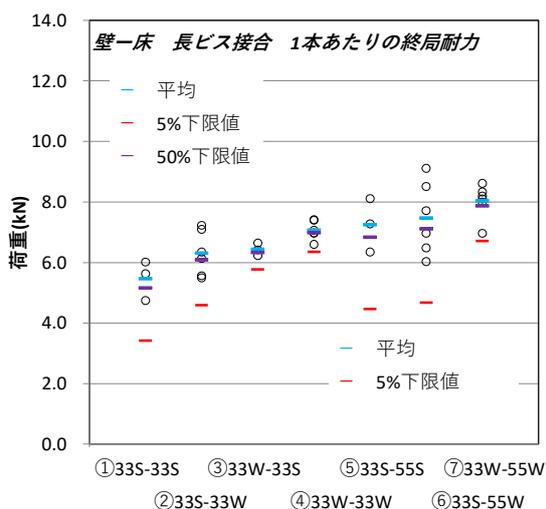


図 6.5-1 終局耐力の比較

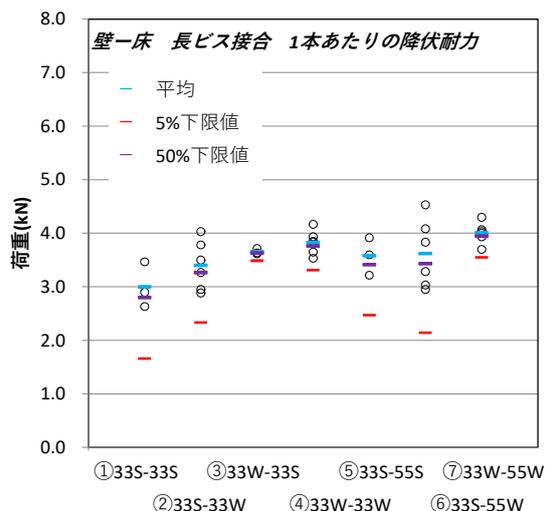


図 6.5-2 降伏耐力の比較

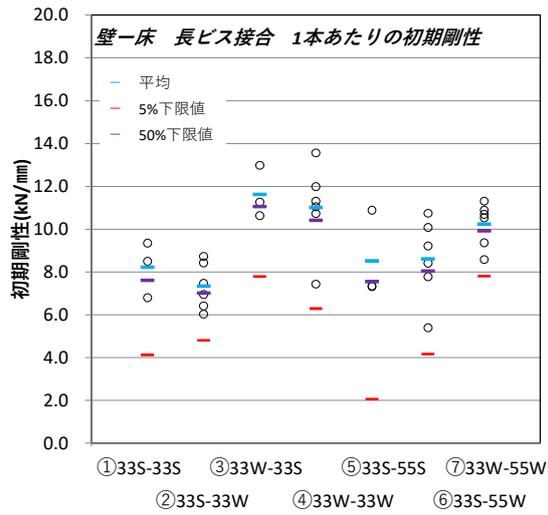


図 6.5-3 初期剛性の比較

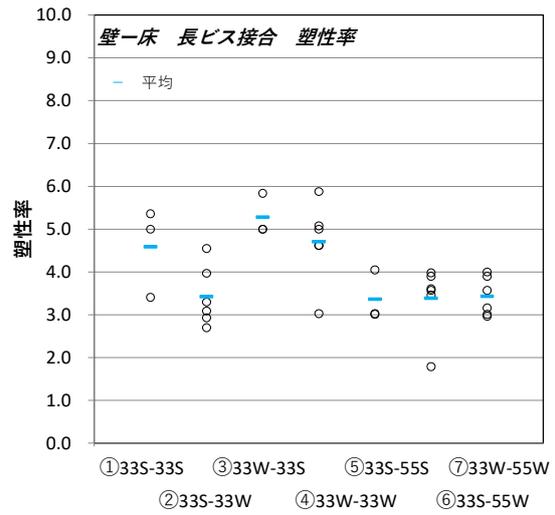


図 6.5-4 塑性率の比較

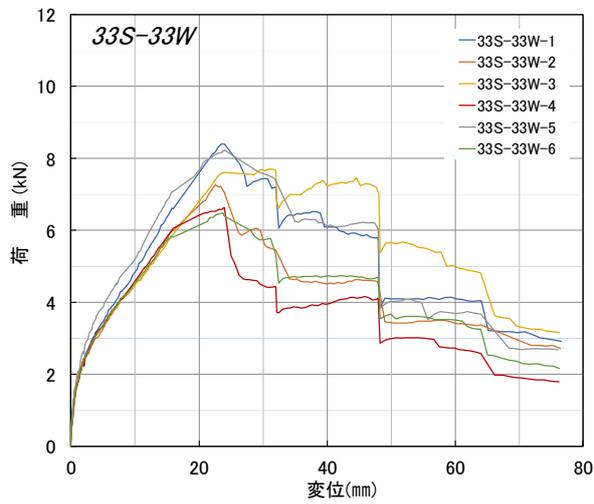


図 3.6-5 33S-33W の包絡線 (再掲)

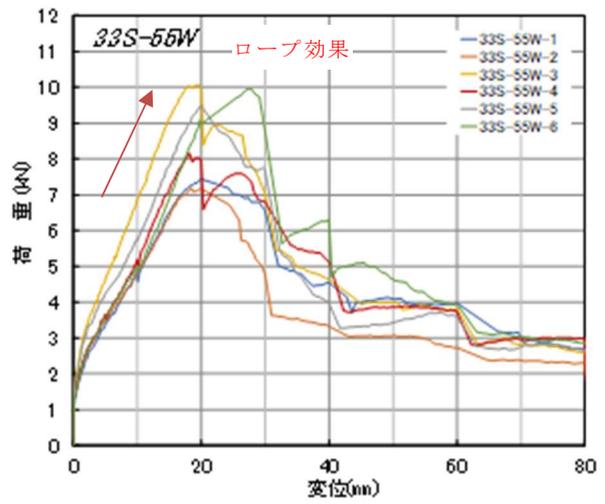


図 3.6-6 33S-55W の包絡線 (再掲)

7. まとめ、来年度計画

(1) 床一床接合部 斜め交差ビス接合

斜め交差打ちビス接合について、一通りの試験を終えた。

斜め交差打ちビス接合については、施工精度によって強度性能が変わる恐れがあるので、強度性能データを公表する場合には、強軸方向、弱軸方向についてそれぞれ許容耐力を与えるのではなく、安全側となる弱軸方向で許容耐力を定めることとする。

(2) 床一床接合部 ハーフラップビス接合

ハーフラップビス接合について、一通りの試験を終えた。

層プライ数や強軸・弱軸の違い等に加え、ビスピッチ及び1列多数本打ちによる強度性能への影響について検証を行った。ハーフラップビス接合は1列に、比較的狭い間隔で多数本打たれる可能性が高いためである。

ビスピッチ 7d 試験体と 4d 試験体を比較したところ、5層7プライ仕様における 7d 試験体と比較して 4d 試験体は 5% 下限値の降伏耐力が低くなる結果となった。

1列多数本打ちの影響については、1列に 15 本打っても割裂は生じなかったものの、1本あたりの耐力が低下することが分かった。また 1列多数本打ちの低減率について、AIJ 規準との比較を行った。

(3) 壁一床接合部 ハーフラップビス接合

試験結果からビスが打ち込まれる部分が木口打ちとなる強軸試験体は耐力が低くなる結果となった。また、床 5 層 7 プライ試験体は床 5 層 5 プライ試験体より耐力が高くなる結果となった。

試験結果は概ね上記のとおりであったが、どの仕様も期待した性能を得ることができなかったため、来年度に向けて下記のとおり事業を進めたいと考えた。

試験を実施する場合は、床パネルの厚さと強軸・弱軸方向をパラメータに振ることについては優先順位が低くてよい。

1) 一次試験

①縁距離と試験体幅を調整した試験体 S33-S33、W33-S33 の 2 仕様を実施する。ビスの長さを L260 としたものを加えてもよい（図 7-1 を想定）。

②斜め打ち試験体 S33-S33, W33-S33 の 2 仕様を新規仕様として実施する（図 7-2 を想定）。

2) 二次試験

一次試験を踏まえて実施。

①一次試験を踏まえて、必要があれば追加試験

②実大試験か、せん断幅 1m の試験体に 16 本打った試験体を実験し、破壊性状を確認する。壁 S33 と W33 の 2 種類各 1 体（または 3 体）

③一次試験を踏まえて、面外せん断試験を実施

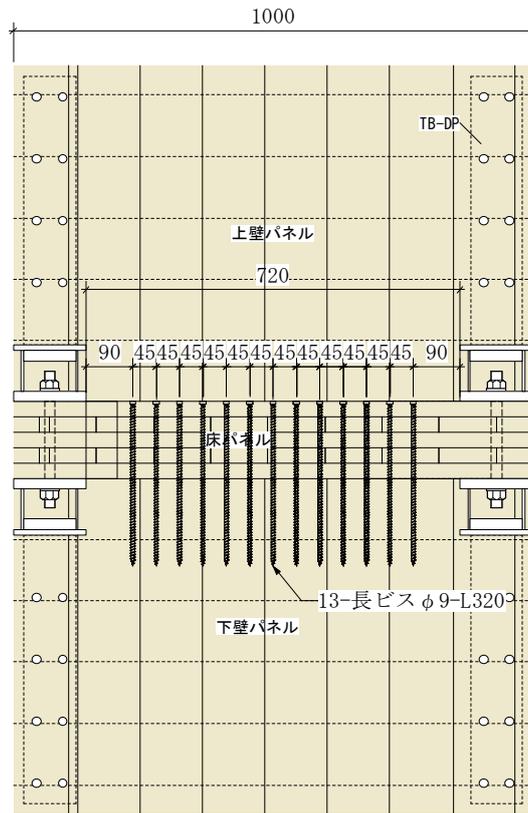


図 7-1 縁距離を調整したビスの接合部の想定

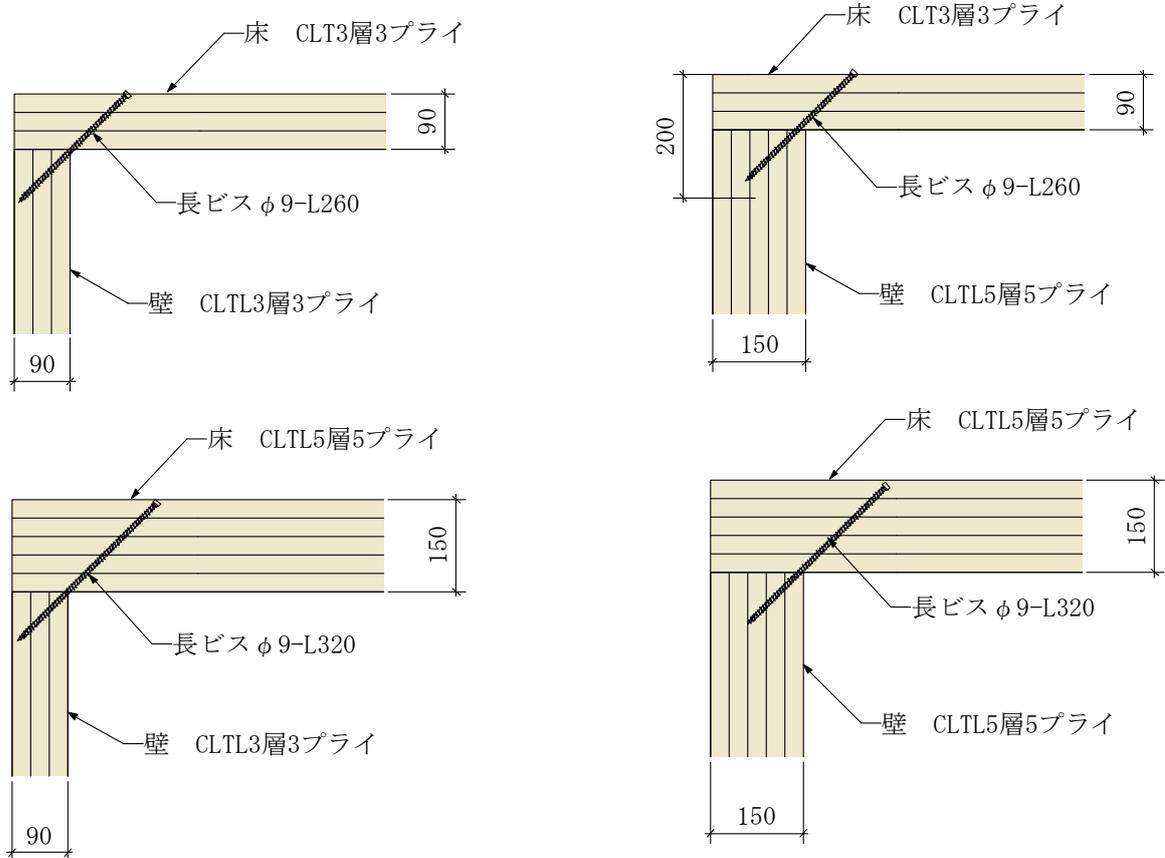


図 7-2 斜め打ちビス接合

引用文献

- 1) (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-, 2006年12月1日
- 2) G.Lantos: "Load Distribution in a Row of Fasteners Subjected to Lateral Load", Wood Science, 1(3), pp.129-136, 1969