

令和6年度 森林・林業・木材産業グリーン成長総合対策補助金等（建築用木材供給・利用強化対策のうち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の推進のうち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7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	5
2.床-床接合 斜め交差打ちビス接合の面外せん断試験	7
2.1. 試験の目的	7
2.2. 試験の種類	8
2.3. 試験体仕様と試験方法	9
2.4. 試験方法、評価方法	11
2.5. 試験結果	12
2.6. 考察	19
3.壁-床接合 ビス接合の面内せん断試験	20
3.1. 試験の目的	20
3.2. 検討方針	20
3.3. 一次試験の内容	22
3.4. 二次試験（本試験）の種類	27
3.5. 試験体仕様	27
3.6. 試験方法、評価方法	30
3.7. 試験結果	31
3.8. 考察	43
3.9. 再評価の結果	46
3.10. 設計に用いる接合部仕様	48
4.壁-床接合 ビス接合の面外せん断試験	50
4.1. 試験の目的	50
4.2. 試験の種類	50
4.3. 試験体仕様	51
4.4. 試験方法、評価方法	52
4.5. 試験結果	53
4.6. 考察	61
4.7. 再評価の結果	62
5.壁-直交壁接合 ビス接合仕様規定の評価方法の検討及び面内せん断試験	63
5.1. 検討の目的	63
5.2. 検討方針	65
5.3. 評価方法の検討	66
5.4. 試験の種類	68
5.5. 試験体仕様	69
5.6. 試験方法、評価方法	73
5.7. 試験結果	75

5.8. 考察	81
5.9. 同等性の評価	83
6.床-梁接合 面材ビス 1本あたりの一面せん断特性を算定するための試験	86
6.1. 試験の目的	86
6.2. 試験の種類	87
6.3. 試験体仕様	87
6.4. 試験方法	92
6.5. 試験結果	93
6.6. グラフの補正方法の検討	99
6.7. 特性値の算出方法の検討	106
7.ビスの引き抜き試験	115
7.1. 試験の目的	115
7.2. 試験の種類	115
7.3. 試験体仕様	116
7.4. 試験方法	126
7.5. 試験結果	127
7.6. 考察	140
8.ビスのせん断接合部における試験値と計算値との比較	141
8.1. 検討の目的	141
8.2. 接合部の設計方法（案）	141
8.3. ビス埋め込み長さ分のロープ効果が発揮できていないとする根拠	144
8.4. 試験値と計算値の比較	146
9.まとめ	154

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 5 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。

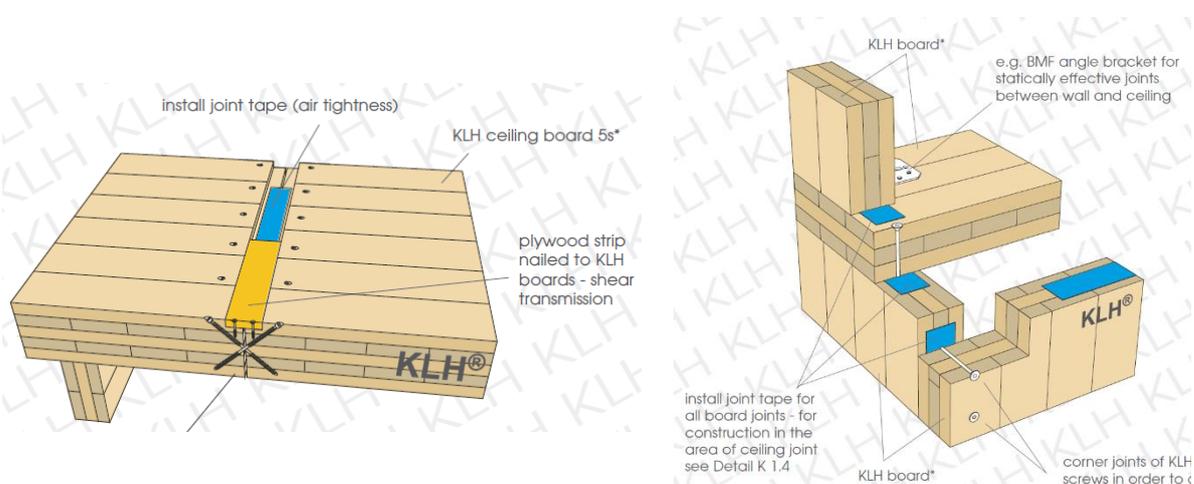


図 1.1-1 海外の CLT ビス接合部の例

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

昨年度までの成果である床-床接合の面内せん断性能について、「CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル」¹⁾への反映を行ったところである。

今年度は、水平構面のせん断接合と併用する形で、垂れ壁端部の跳ね上げ防止としてビス斜め打ち接合の面外せん断性能の検討を行う。

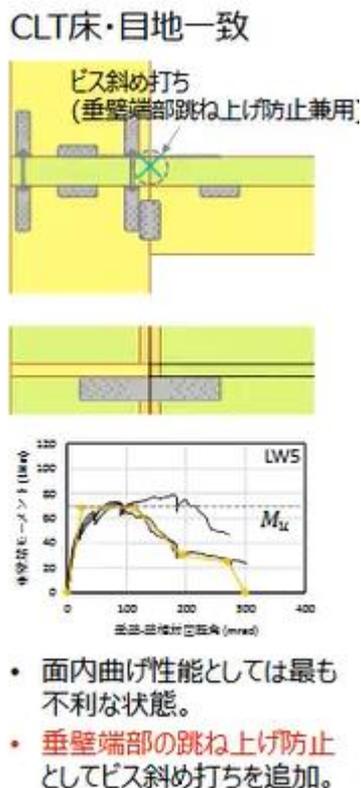
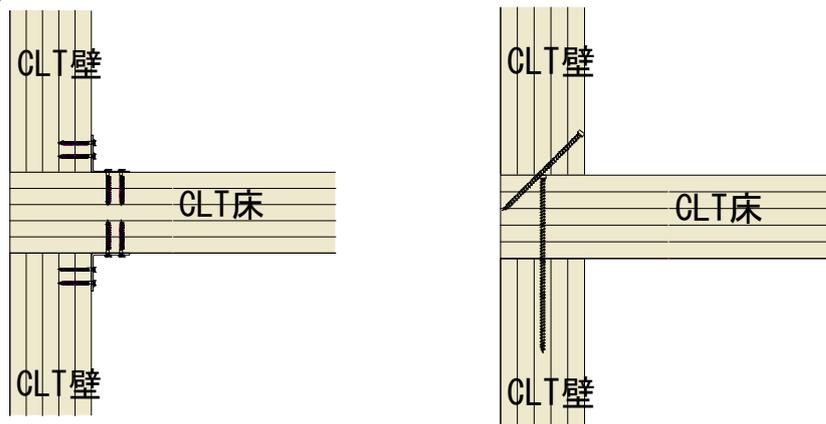


図 1.2-1 CLTパネル工法建築物の倒壊限界を考慮した耐震基準提案に関する検討委員会資料より抜粋

(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。



<金物構法の場合>

<長ビスを用いた場合>

図 1.2-2 壁—床接合

(3) 長ビスを用いた壁—直交壁の面内せん断性能の検証

中高層・非住宅の建築物を対象とした場合、壁脚壁頭部の引張接合部には過大な強度性能が要求されることとなる。

図 1.2-3 のように壁-壁接合部に長ビス接合を用いることで、耐力壁の強度性能を向上させる、或いは要求性能に対して壁脚壁頭部の引張接合部を軽減することができる。

試験体仕様は、図 1.2-3 のとおり直交壁勝ち、直交壁負け、それぞれのせん断性能の検証を行う。使用するビスは半ねじ、フルスレッドの 2 種類とし、CLT は 3 層 3 プライとする。

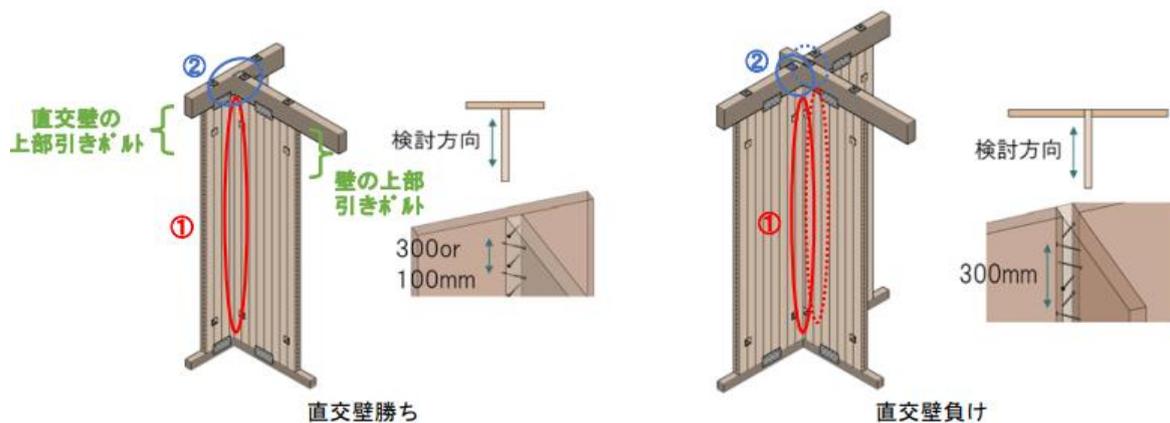


図 1.2-3 壁—壁接合を利用した直交壁効果

出典：文献 2) より抜粋

(4) 長ビスを用いた梁—床接合の強度性能の検証

図 1.2-4 赤丸部分のように床接合に梁を併用した場合の長ビス接合について試験を行う。

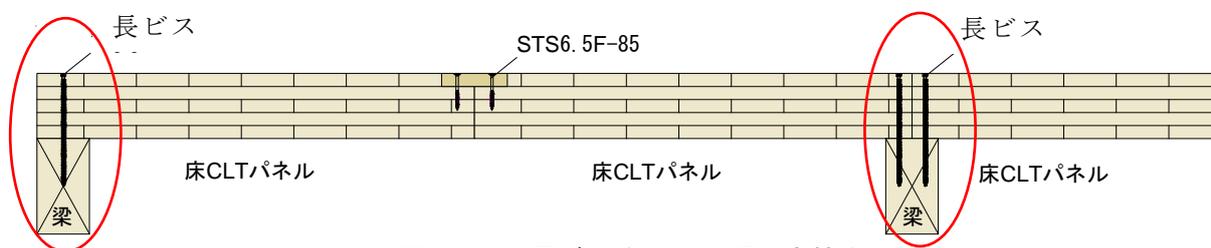


図 1.2-4 長ビスを用いた梁—床接合

(5) 長ビスの引き抜き性能の検証

接合部設計式である EYT 式の算定に必要となる長ビスの引き抜き性能について検証を行った。

(6) 長ビス接合部性能の設計ルールを検証

これまでの実験結果、算定式の検討結果から、長ビス接合の設計ルールについて整備を行った。

1.3. 実施体制

実施体制は、学識経験者等からなる委員会を設け、接合金物の要求性能、仕様、試験計画、評価について諮問を受けた。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。

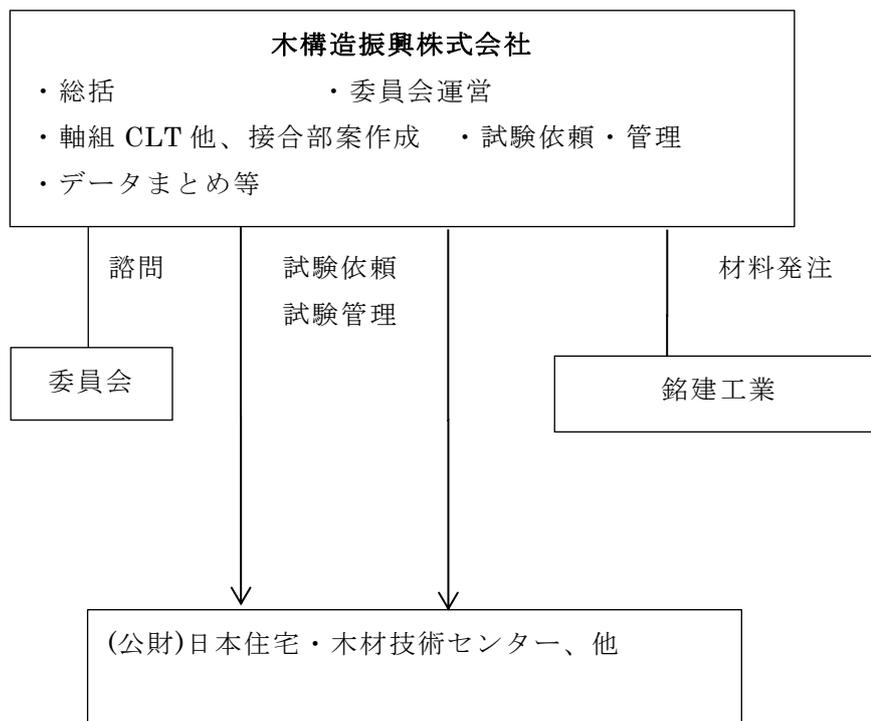


図 1.3-1 実施体制図

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6年 6月27日(木) 18:00～20:00

会場：teamsによるWEB開催

第2回

日時：令和6年 9月 9日(月) 13:00～15:00

会場：teamsによるWEB開催

第3回

日時：令和7年 1月16日(水) 13:00～15:00

会場：teamsによるWEB開催

第4回

日時：令和7年 2月28日(金) 10:00～12:00

会場：teamsによるWEB開催

2. 床-床接合 斜め交差打ちビス接合の面外せん断試験

2.1. 試験の目的

昨年度までの成果である床-床接合の面内せん断性能について、「CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル」¹⁾への反映を行ったところである。

今年度は、水平構面のせん断接合と併用する形で、垂れ壁端部の跳ね上げ防止としてビス斜め打ち接合の面外せん断性能の検討を行う。

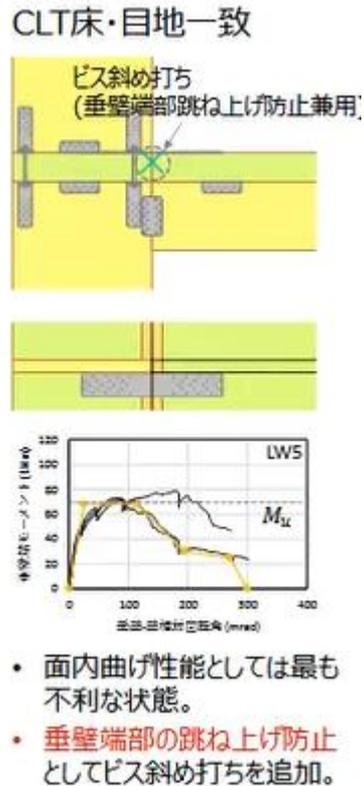


図 2.1-1 CLTパネル工法建築物の倒壊限界を考慮した耐震基準提案に関する検討委員会資料より抜粋（再掲）

2.2. 試験の種類

試験の種類は表 2.2-1 に示すとおりである。

また No.1 について試験を行ったところ、試験加力終盤に試験体が捻じれたので、No.2 からは、図 2.2-1 のとおり振れ止めを設けることとした。

表 2.2-1 床-床接合（斜め交差打ちビス接合）の面外せん断試験

通し番号	試験体記号	振れ止め	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	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				
1	X90-5-5S-N	無し	スギCLT／ Mx60/A種構成	5層5プライ (150mm)	強軸	全ねじビス	9	220	6
2	X90-5-5S-E	有り			弱軸				1
3	X90-5-5W-N	無し			1				
4	X90-5-5W-E	有り			6				
合計									14

X

ビスの打ち方

X：斜め交差打ち

90

加力に対する
ビスの角度

5-5

CLTの層構成

S

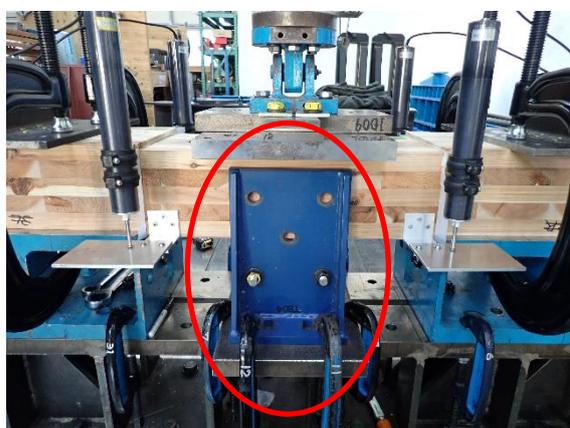
強軸・弱軸

E

振れ止めの有無
exist
nonexist



振れ止め無し



振れ止めあり

写真 2.2-1 振れ止めの有無

2.3. 試験体仕様と試験方法

(1) ビスの仕様

当該試験で使用した長ビスは図 2.3-1 及び写真 2.3-1 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 $L=220$ mmである。

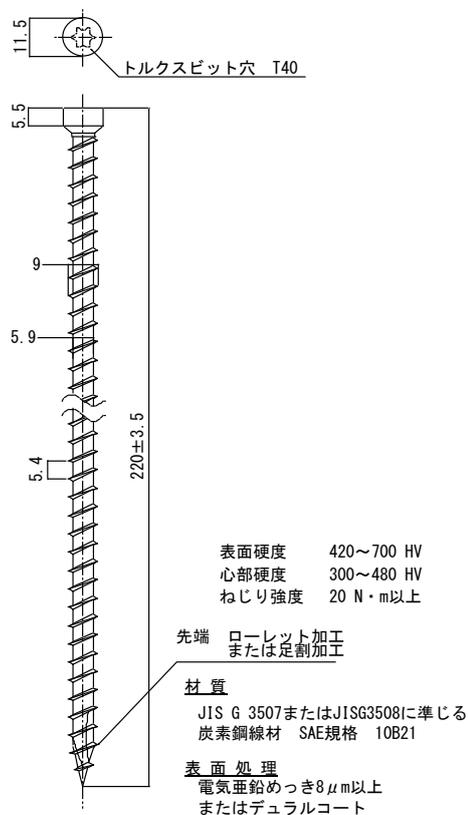


図 2.3-1 全ねじビス HTS9-L220



写真 2.3-1 全ねじビス HTS9

(2) 試験体仕様

試験体形状は図 2.3-2, 図 2.3-3 のとおりである。摩擦の影響を軽減するため、主材-側材間にはテフロンシートを挿入した。試験体の密度と含水率を表 2.3-1 に示す。なお、No.3~4 は予備試験として実施したものであるため、密度と含水率の測定は行っていない。

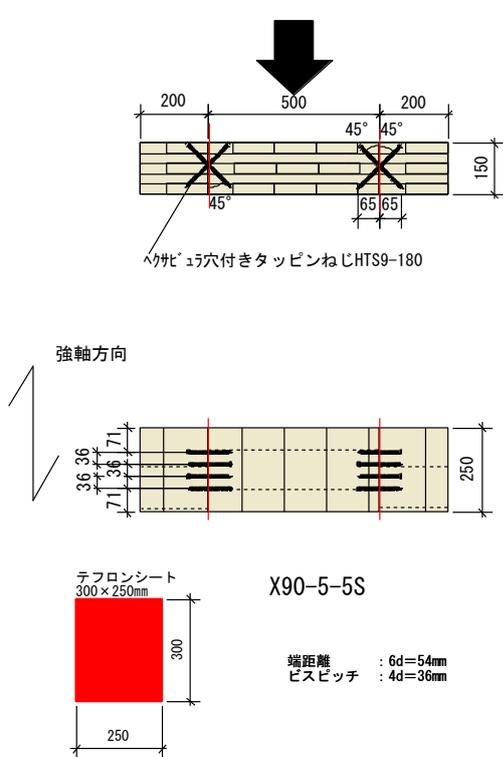


図 2.3-2 No.1,2 試験体図

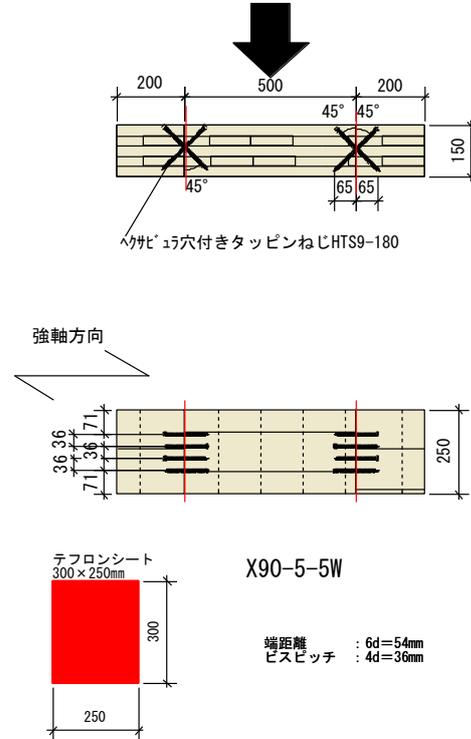


図 2.3-3 No.3,4 試験体図

表 2.3-2 密度と含水率

No.1 X90-5-5S-N

No.	構成	含水率 (%)				質量 (kg)	密度 (g/cm ³)
		1	2	3	平均		
1	側材 R(DG1/2)	9.6	9.5	7.9	9.0	3.98	0.42
	側材 L(DG3/4)	9.9	9.5	8.3	9.2	3.88	0.41
	主材 -	10.4	9.0	7.5	9.0	7.88	0.42
2	側材 R(DG1/2)	10.1	9.4	8.7	9.4	3.88	0.41
	側材 L(DG3/4)	9.0	9.8	10.0	9.6	3.88	0.41
	主材 -	9.4	9.3	8.6	9.1	7.86	0.42
3	側材 R(DG1/2)	9.7	9.0	9.9	9.5	3.90	0.42
	側材 L(DG3/4)	9.3	9.6	9.5	9.5	3.87	0.41
	主材 -	9.5	9.7	9.7	9.6	7.82	0.42
4	側材 R(DG1/2)	9.7	9.4	9.8	9.6	3.88	0.41
	側材 L(DG3/4)	8.3	10.0	9.3	9.2	3.90	0.42
	主材 -	10.9	9.5	9.4	9.9	7.96	0.42
5	側材 R(DG1/2)	9.6	11.0	10.6	10.4	4.08	0.44
	側材 L(DG3/4)	9.6	9.6	9.3	9.5	3.96	0.42
	主材 -	9.5	9.0	10.8	9.8	7.72	0.41
6	側材 R(DG1/2)	8.8	9.4	8.6	8.9	3.82	0.41
	側材 L(DG3/4)	9.8	9.6	9.3	9.6	3.92	0.42
	主材 -	9.1	7.9	8.7	8.6	7.74	0.41

No.4 X90-5-5W-E

No.	構成	含水率 (%)				質量 (kg)	密度 (g/cm ³)
		1	2	3	平均		
1	側材 R(DG1/2)	8.3	7.7	8.2	8.1	4.00	0.43
	側材 L(DG3/4)	7.8	10.1	13.0	10.3	3.92	0.42
	主材 -	8.3	9.2	8.8	8.8	7.78	0.41
2	側材 R(DG1/2)	8.1	9.1	8.3	8.5	3.84	0.41
	側材 L(DG3/4)	7.9	9.2	10.5	9.2	3.96	0.42
	主材 -	8.1	9.1	8.8	8.7	7.92	0.42
3	側材 R(DG1/2)	9.3	10.7	9.0	9.7	3.96	0.42
	側材 L(DG3/4)	8.1	9.4	11.0	9.5	3.92	0.42
	主材 -	7.7	9.9	8.5	8.7	7.88	0.42
4	側材 R(DG1/2)	9.2	7.5	8.3	8.3	4.00	0.43
	側材 L(DG3/4)	10.4	9.0	9.5	9.6	3.90	0.42
	主材 -	8.6	8.8	8.8	8.7	7.96	0.42
5	側材 R(DG1/2)	8.4	8.7	8.1	8.4	4.04	0.43
	側材 L(DG3/4)	8.6	9.3	9.2	9.0	3.96	0.42
	主材 -	8.6	7.5	7.9	8.0	7.82	0.42
6	側材 R(DG1/2)	8.4	10.7	9.0	9.4	3.86	0.41
	側材 L(DG3/4)	8.4	10.0	9.1	9.2	3.86	0.41
	主材 -	8.3	8.7	7.8	8.3	7.86	0.42

2.4. 試験方法、評価方法

試験方法は写真 2.2-1 に示すとおり、側材は面内方向の開きや浮き上がりをシャコ万やストッパで押さえることとし、No.2,4 試験体は、主材側に振れ止めを設けた。

長期荷重だけでなく、耐力壁のロッキング挙動による短期荷重も想定されるので、一方向の繰り返し試験とした。当て板は接合部に干渉しないような幅寸法とした。

加力方法は、一方向繰り返し加力とした。変位は左右、手前奥の 4 点の CLT 相互の相対変位とし、その平均を接合部の変位とした。

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。

2.5. 試験結果

2.5.1. X90-5-5S-N, X90-5-5S-E

荷重変位曲線を図 2.5.1-1 に、包絡線を図 2.5.1-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 2.5.1-1 及び表 2.5.1-2 に、破壊性状を写真 2.5.1-1～写真 2.5.1-14 に示す。CLT の割裂が確認された。また、振れ止めが無い X90-5-5S-N は、部材相互の接合部に捻じれが生じたが、振れ止めを設けた X90-5-5S-E については試験体の捻じれが見られなかった。

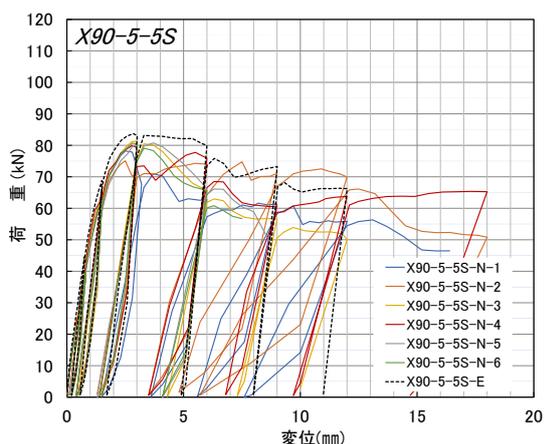


図 2.5.1-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

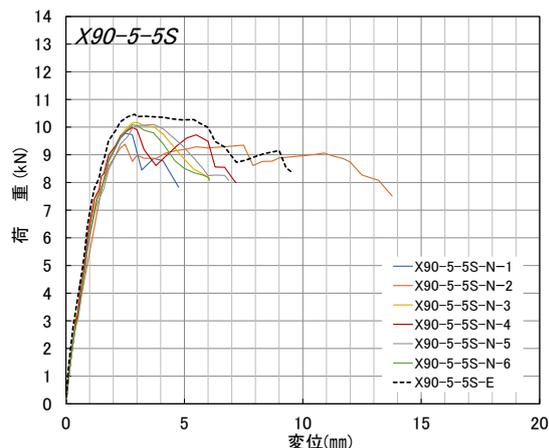


図 2.5.1-2 包絡線(ビス 1 本あたり)

表 2.5.1-1 X90-5-5S-N (振れ止め無し)

完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 8 本))

X90-5-5S-N 包絡線から算出した各種特性値(試験体1体あたり)

項目	試験体記号						X90-5-5S-N	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)	7.8	7.5	8.1	8.0	8.1	8.1	7.9	0.24										
1/10 δ m (mm)	0.09	0.11	0.12	0.12	0.13	0.12	0.12	0.01										
2/5Pm (kN)	31.3	30.0	32.5	32.0	32.3	32.3	31.7	0.95										
2/5 δ m (mm)	0.54	0.60	0.61	0.62	0.67	0.65	0.62	0.05										
2/3Pm (kN)	52.1	50.1	54.2	53.3	53.9	53.8	52.9	1.56	0.029	0.932	49.3							
2/3 δ m (mm)	1.10	1.06	1.09	1.04	1.17	1.14	1.10	0.05										
9/10Pm (kN)	70.4	67.6	73.2	72.0	72.7	72.6	71.4	2.11										
9/10 δ m (mm)	1.82	1.75	1.99	1.80	2.15	1.97	1.91	0.15										
Pm (kN)	78.2	75.1	81.4	80.0	80.8	80.7	79.4	2.36										
δ m (mm)	2.50	2.50	3.00	2.80	3.70	2.80	2.88	0.44										
δ u時荷重 (kN)	62.6	60.1	65.1	64.0	64.6	64.5	63.5	1.86										
δ u (mm)	4.76	13.77	6.06	7.19	6.87	6.06	7.45	3.21										
降伏耐力 Py (kN)	42.4	48.9	51.5	56.8	52.1	53.8	50.9	4.92	0.097	0.773	39.3							
δ v (mm)	0.86	1.03	1.01	1.13	1.12	1.14	1.05	0.11										
終局耐力 Pu (kN)	70.9	71.1	74.2	73.4	73.6	73.3	72.8	1.39	0.019	0.956	69.5							
初期剛性 K (kN/mm)	49.30	47.48	50.99	50.27	46.52	47.19	48.63	1.82										
降伏点変位 δ v (mm)	1.44	1.50	1.46	1.46	1.58	1.55	1.50	0.06										
塑性率 μ = δ u / δ v	3.31	9.18	4.15	4.92	4.35	3.91	4.97	2.13										
構造特性係数 Ds	0.42	0.24	0.37	0.34	0.36	0.38	0.35	0.06										

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が20mmまでの荷重で最も大きいものとする。

表 2.5.1-2 X90-5-5S-E (振れ止め有り)
完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 8 本))

項目	試験体記号
	X90-5-5S E
1/10Pm (kN)	8.4
1/10 δ m (mm)	0.09
2/5Pm (kN)	33.5
2/5 δ m (mm)	0.53
2/3Pm (kN)	55.8
2/3 δ m (mm)	1.04
9/10Pm (kN)	75.3
9/10 δ m (mm)	1.80
Pm (kN)	83.7
δ m (mm)	2.85
δ u時荷重 (kN)	73.3
δ u (mm)	9.01
降伏耐力 Py (kN)	46.8
δ y (mm)	0.80
終局耐力 Pu (kN)	77.5
初期剛性 K (kN/mm)	58.50
降伏点変位 δ v (mm)	1.32
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	6.83
構造特性係数 Ds	0.28



写真 2.5.1-1 NO.1 X90-5-5S-N-1 試験前



写真 2.5.1-2 NO.1 X90-5-5S-N-1 試験前

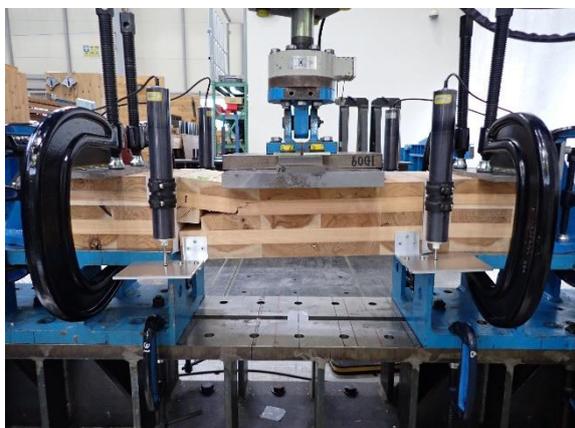


写真 2.5.1-3 NO.1 X90-5-5S-N-1 試験後

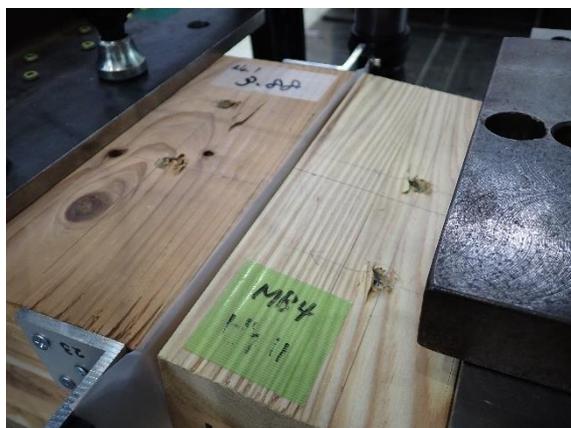


写真 2.5.1-4 NO.1 X90-5-5S-N-1 試験後



写真 2.5.1-5 NO.1 X90-5-5S-N-1
CLTの割裂



写真 2.5.1-6 NO.1 X90-5-5S-N-1
CLTの割裂



写真 2.5.1-7 NO.1 X90-5-5S-N-2
CLTの割裂



写真 2.5.1-8 NO.1 X90-5-5S-N-3 試験後



写真 2.5.1-9 NO.1 X90-5-5S-N-3
試験体のねじれ



写真 2.5.1-10 NO.1 X90-5-5S-N-3
試験体のねじれ

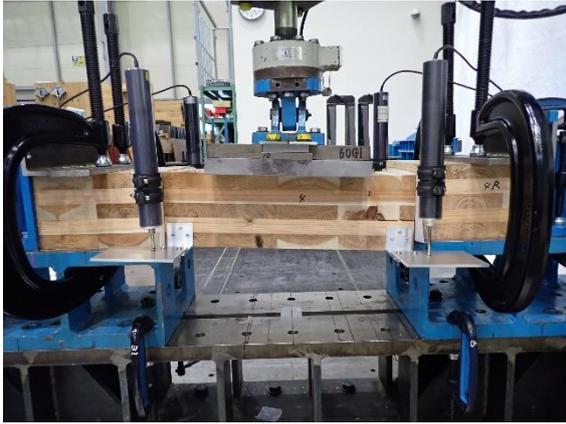


写真 2.5.1-11 No.1 X90-5-5S-N-4
CLTの割裂



写真 2.5.1-12 No.1 X90-5-5S-N-5
試験体のねじれ



写真 2.5.1-13 No.2 X90-5-5S-E
CLTの割裂



写真 2.5.1-14 No.2 X90-5-5S-E
試験体のねじれなし

2.5.2. X90-5-5W-N, X90-5-5W-E

荷重変位曲線を図 2.5.2-1 に、包絡線を図 2.5.2-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 2.5.2-1 及び表 2.5.1-2 に、破壊性状を写真 2.5.2-1～写真 2.5.2-8 に示す。X90-5-5-W-N では試験体のねじれがみられたが、振れ止めを設けた X90-5-5-W-E 試験では手前側と奥側で均等に変位が進んだ。ビス頭の浮きが見られた。

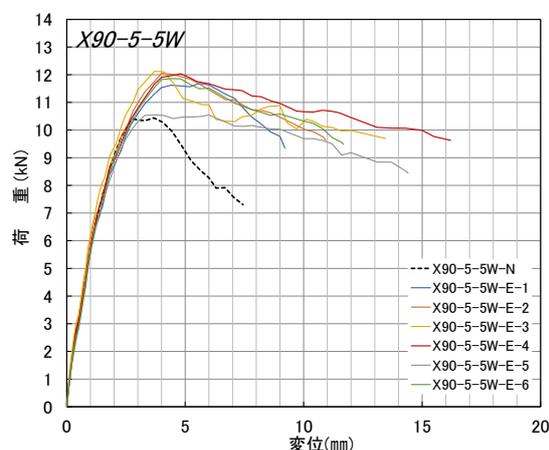
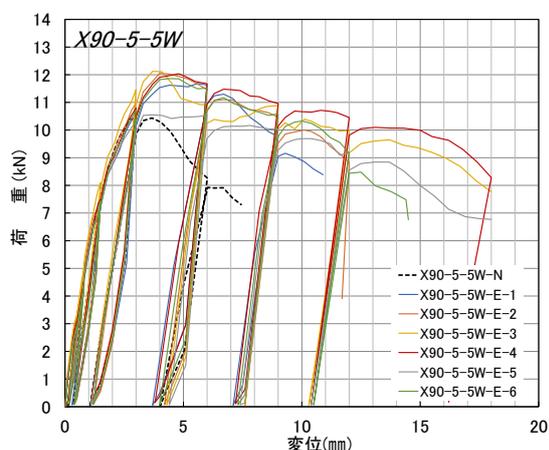


図 2.5.2-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 2.5.2-2 包絡線(ビス 1 本あたり)

表 2.5.2-1 X90-5-5S-N (振れ止め無し)

完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 8 本))

項目	試験体記号	X90-5-5W	N	平均値
1/10Pm (kN)		8.4		8.4
1/10 δ m (mm)		0.12		0.12
2/5Pm (kN)		33.4		33.4
2/5 δ m (mm)		0.69		0.69
2/3Pm (kN)		55.7		55.7
2/3 δ m (mm)		1.32		1.32
9/10Pm (kN)		75.2		75.2
9/10 δ m (mm)		2.14		2.14
Pm (kN)		83.5		83.5
δ m (mm)		3.67		3.67
δ u時荷重 (kN)		66.8		66.8
δ u (mm)		5.90		5.90
降伏耐力 Py (kN)		45.1		45.1
δ v (mm)		1.00		1.00
終局耐力 Pu (kN)		77.3		77.3
初期剛性 K (kN/mm)		45.10		45.10
降伏点変位 δ v (mm)		1.71		1.71
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$		3.45		3.45
構造特性係数 Ds		0.41		0.41

表 2.5.2-2 X90-5-5S-E (振れ止め有り)

完全弾塑性モデルによる評価(1試験体あたり (ビス8本))

X90-5-5W-E 包絡線から算出した各種特性値(試験体1体あたり)

項目	試験体記号 X90-5-5W-E						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)	9.3	9.6	9.7	9.6	8.4	9.5	9.4	0.48			
1/10 δ m (mm)	0.15	0.14	0.11	0.15	0.13	0.16	0.14	0.02			
2/5Pm (kN)	37.4	38.6	38.8	38.5	33.8	38.0	37.5	1.89			
2/5 δ m (mm)	0.83	0.81	0.77	0.84	0.76	0.86	0.81	0.04			
2/3Pm (kN)	62.3	64.3	64.6	64.2	56.3	63.3	62.5	3.15	0.050	0.883	55.1
2/3 δ m (mm)	1.65	1.60	1.49	1.65	1.42	1.66	1.58	0.10			
9/10Pm (kN)	84.1	86.8	87.3	86.6	76.0	85.4	84.4	4.26			
9/10 δ m (mm)	2.94	2.91	2.73	3.03	2.38	2.96	2.83	0.24			
Pm (kN)	93.5	96.4	97.0	96.3	84.4	94.9	93.8	4.75			
δ m (mm)	5.60	4.00	3.70	4.80	3.70	4.40	4.37	0.74			
δ u時荷重 (kN)	74.8	83.7	87.1	83.6	73.5	75.9	79.8	5.71			
δ u (mm)	9.21	9.00	9.00	12.00	12.00	11.67	10.48	1.55			
降伏耐力 Py (kN)	55.0	56.0	57.2	57.4	53.6	56.3	55.9	1.43	0.026	0.939	52.4
δ y (mm)	1.32	1.28	1.23	1.35	1.28	1.40	1.31	0.06			
終局耐力 Pu (kN)	86.7	89.2	87.5	88.9	80.3	86.6	86.5	3.24	0.037	0.914	79.0
初期剛性 K (kN/mm)	41.67	43.75	46.50	42.52	41.88	40.21	42.76	2.17			
降伏点変位 δ v (mm)	2.08	2.04	1.88	2.09	1.92	2.15	2.03	0.11			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	4.43	4.41	4.79	5.74	6.25	5.43	5.18	0.75			
構造特性係数 Ds	0.36	0.36	0.34	0.31	0.29	0.32	0.33	0.03			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が20mmまでの荷重で最も大きいものとする。



写真 2.5.2-1 NO.3 X90-5-5W-E-1 試験前

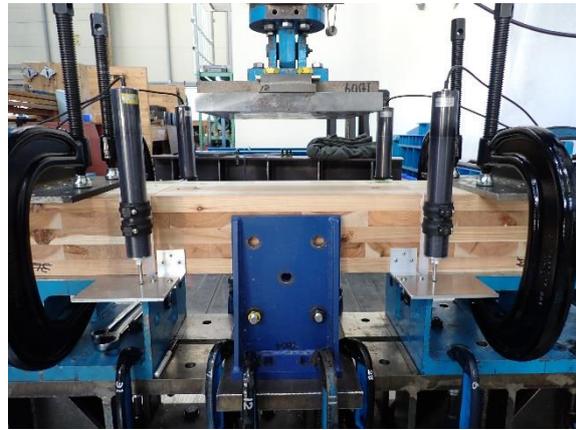


写真 2.5.2-2 NO.3 X90-5-5W-E-1 試験後



写真 2.5.2-3 NO.3 X90-5-5W-E-1
試験後ビス頭の浮き

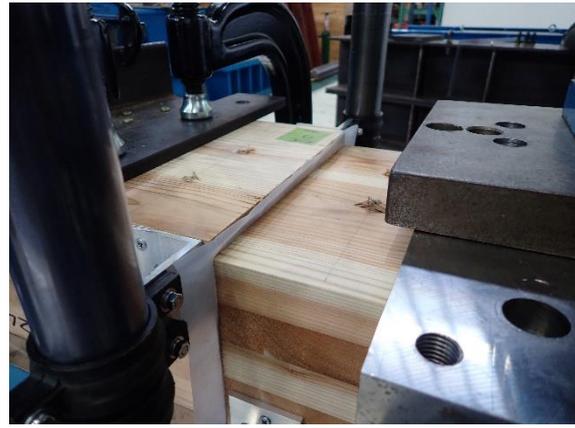


写真 2.5.2-4 NO.3 X90-5-5W-E-2
試験後ビス頭の浮き



写真 2.5.2-5 NO.3 X90-5-5W-E-3 試験後



写真 2.5.2-6 NO.3 X90-5-5W-E-4 試験後

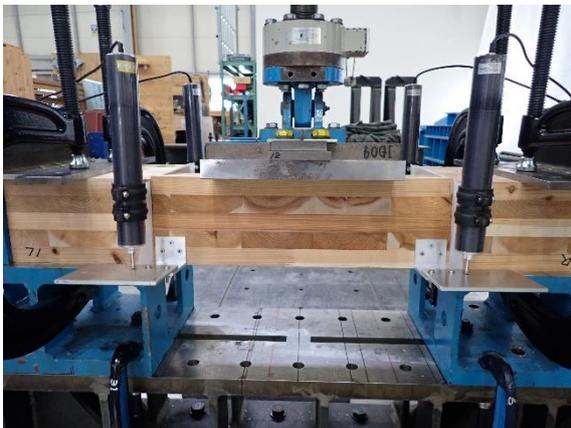


写真 2.5.2-7 No.4 X90-5-5W-N 試験後



写真 2.5.2-8 No.4 X90-5-5W-N
試験体のねじれ

2.6. 考察

ビス 1 本あたりの特性値を比較したものを図 2.6-1～図 2.6-4 に示す。

- ・ 振れ止めは有った方が降伏耐力及び終局耐力が高くなる傾向にありそうだが、断言できるほどの違いは無い。
- ・ 振れ止めの有無に関係なく、降伏耐力及び終局耐力は、弱軸試験体の方が高い傾向にある。
- ・ 上記より若干実態より低い評価になってしまう可能性があるが、強軸試験体については No.1 の振れ止めが無い仕様、弱軸試験体については No.4 の振れ止めがある仕様として評価したい。

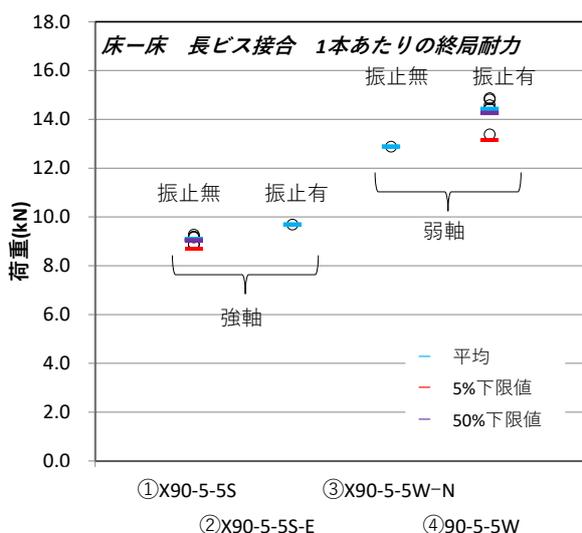


図 2.6-1 終局耐力の比較

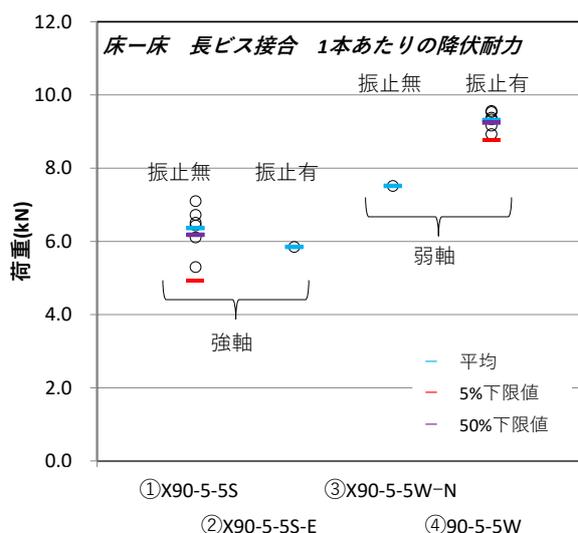


図 2.6-2 降伏耐力の比較

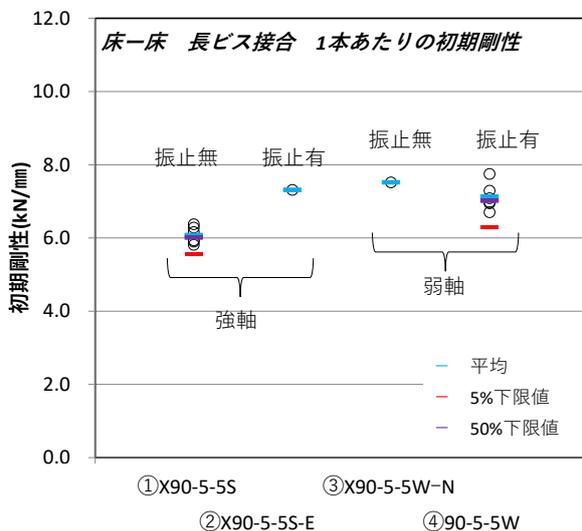


図 2.6-3 初期剛性の比較

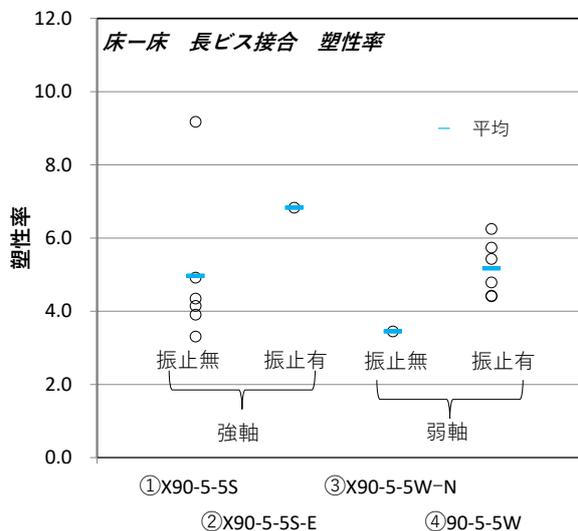


図 2.6-4 塑性率の比較

3. 壁-床接合 ビス接合の面内せん断試験

3.1. 試験の目的

昨年度試験では、写真 3.1-1 のとおり、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、耐力がばらつき、想定する性能を下回ってしまった。

結果として、想定する目標耐力に届かなかったため、接合方法を見直し、再試験を実施することとした。



写真 3.1-1 昨年度試験結果

3.2. 検討方針

接合方法は、施工難易度は上がってしまうが、図 3.2-1 のとおり斜め打ち接合（45度）（右上図）及び直角+45度の交互打ち（右下図）としたい。

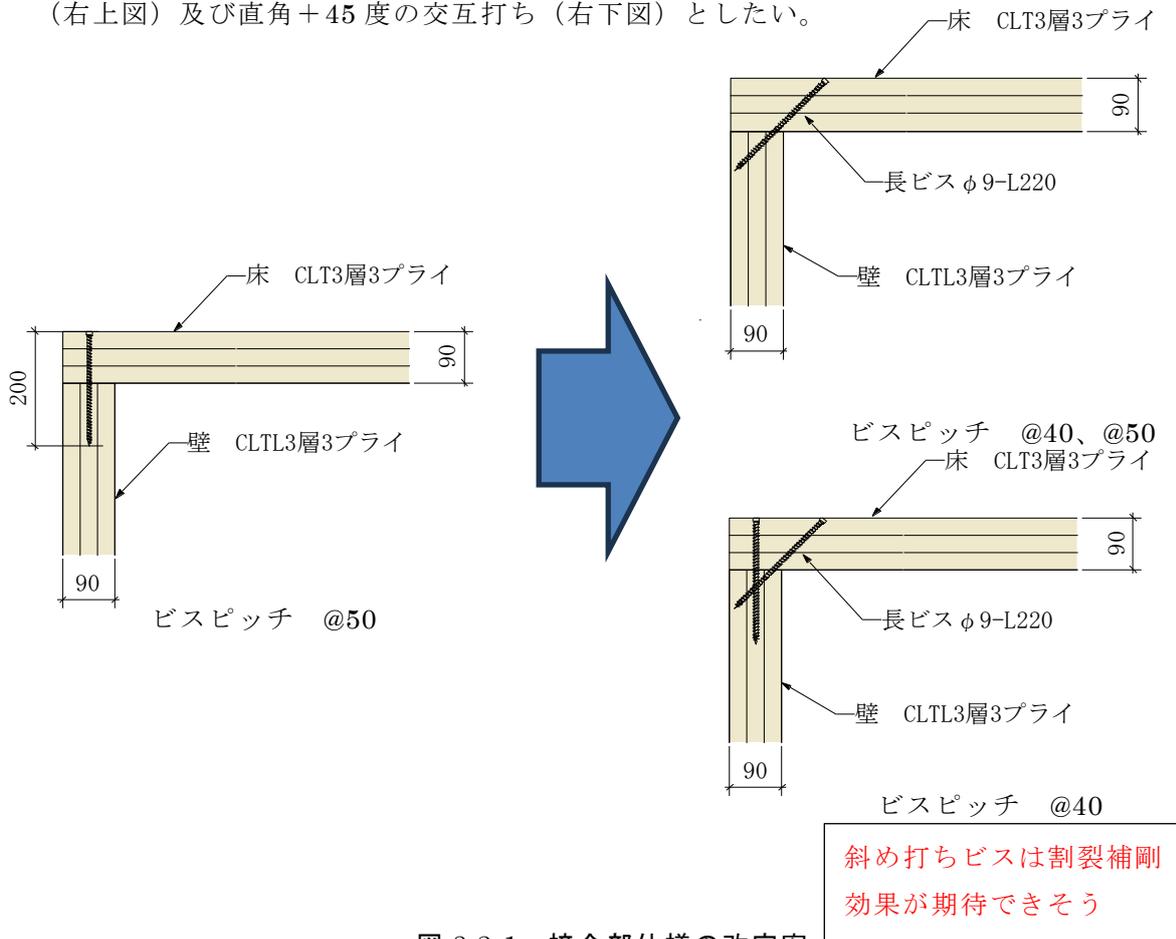


図 3.2-1 接合部仕様の改定案

想定する CLT 厚さ別の接合方法は図 3.2-2 のとおりである（図は斜め打ち接合 45 度の例）。

ルート 1 で一般に使用される 3 層 3 プライと 5 層 5 プライを組み合わせている。このうち試験を行う仕様は、安全側として赤囲いの仕様とする。

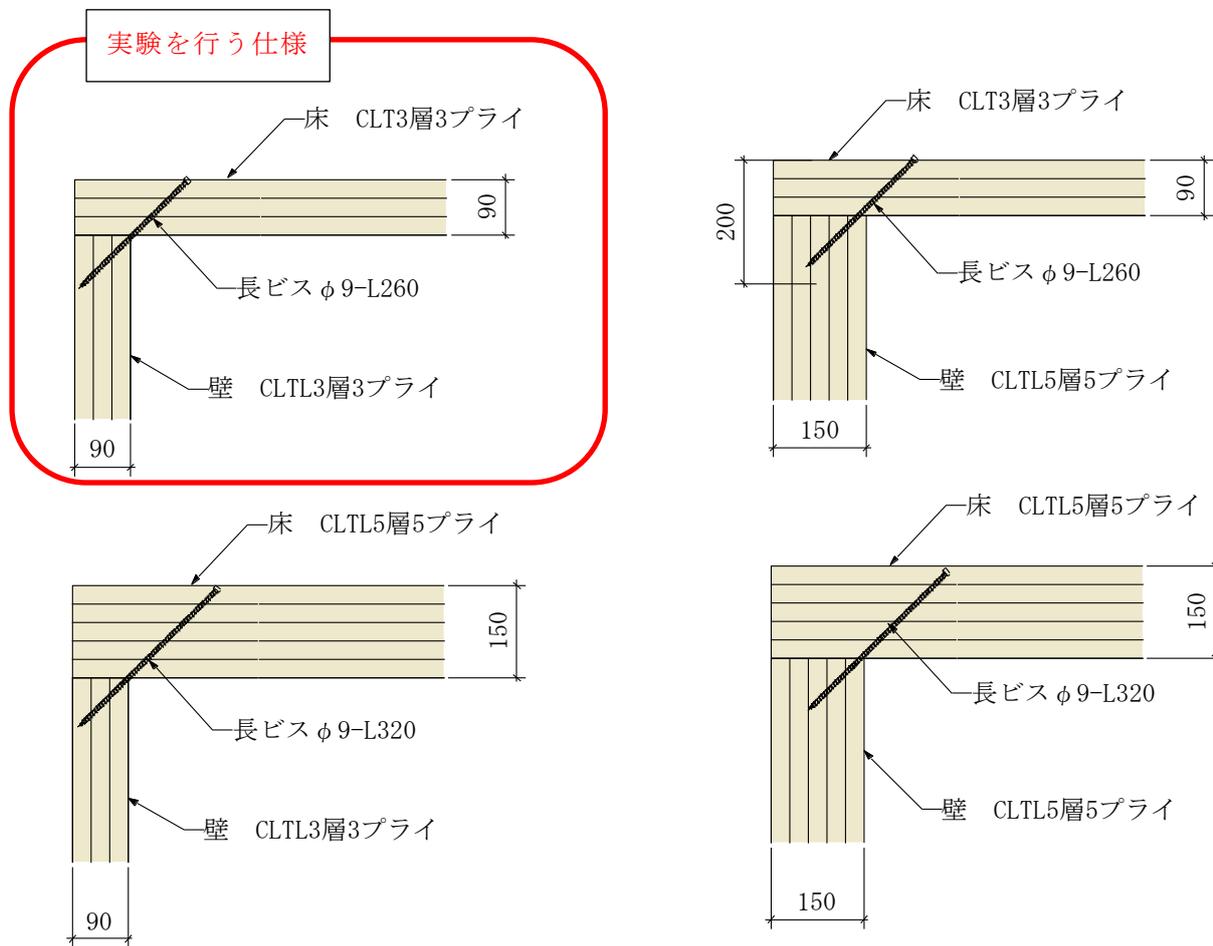


図 3.2-2 想定する CLT パネル厚の組み合わせ

3.3. 一次試験の内容

(1) 試験の種類

本年度試験では、まず1次試験として表3.3-1のと通りの試験を行い、施工性の確認と強度性能のあたりを付けることとしたい。

残材利用として床パネルを想定した側材に5層5プライのCLTパネルを使用するため、壁パネル側からビスを打ち込み、3層3プライと同一のビス埋め込み深さとなるように調整した(図3.3-1)。

試験体図を図3.3-2～図3.3-4に示す。

表 3.3-1 一次試験の種類

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)		ピッチ(mm)
			層構成(厚さ)	加力方向	層構成(厚さ)	加力方向					
1	予 斜め@50	スギCLT/ Mx60/A種構成	3層3プライ (90mm)	弱軸	5層5プライ (150mm) ただし、3層3プライを想定した接合方法	強軸	全ねじ ビス	9	220	50	1
2	予 斜め@40									40	1
3	予 斜め直角@40								斜め220 直角260	40	1
合計											3

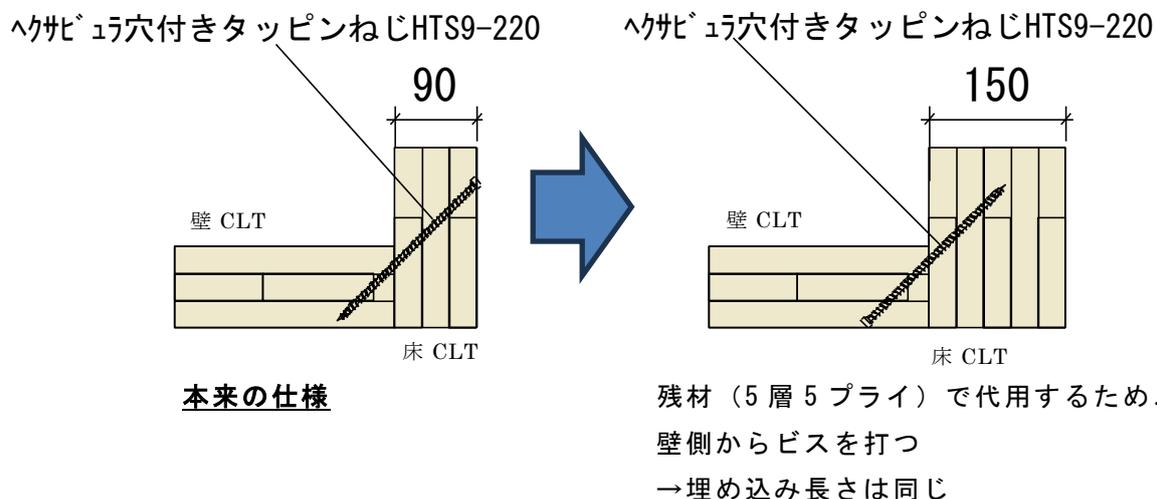


図 3.3-1 5層5プライの残材を活用した試験体の施工方法

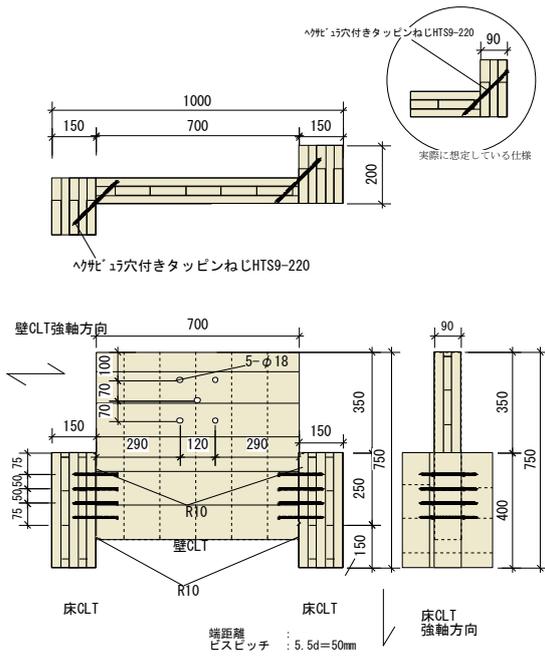


図 3.3-2 No.1 予 斜め@50 試験体図

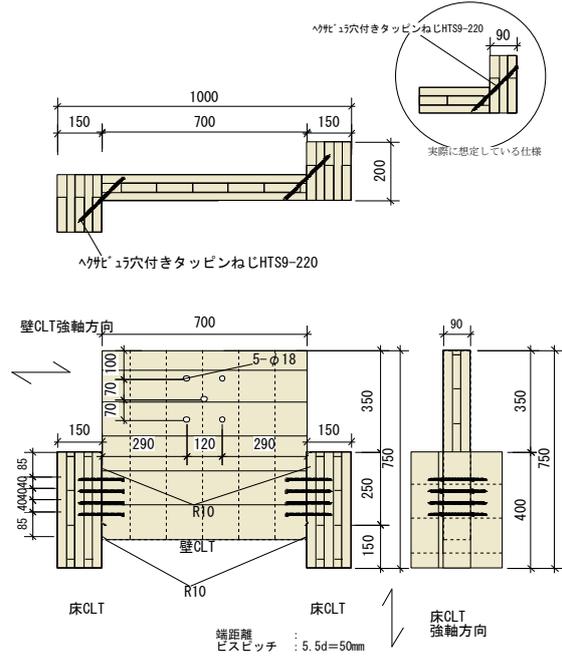


図 3.3-3 No.2 予 斜め@40 試験体図

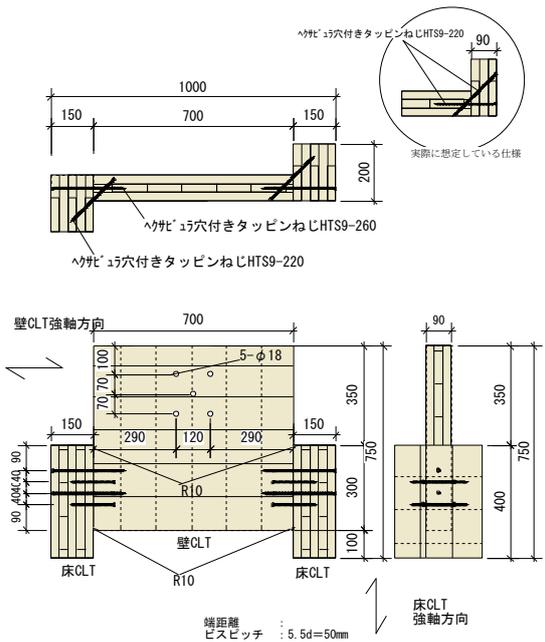


図 3.3-4 No.3 予 斜め直角@40 試験体図

(2) 試験結果

No.1～3 の荷重変位曲線を図 3.3-5 に、特性値を比較したものを表 3.3-2 に、破壊性状を写真 3.3-1～写真 3.3-8 に示す。

いずれの接合部仕様においても、加力方向に対するビス軸方向の向きは直角であるにもかかわらず、特性に差異が見られた。

No.3 試験体の変位に応じてなだらかに荷重増加が減少していくのに対し、No.1, 2 は早期に塑性化し、20 mmあたりからロープ効果によって荷重上昇していく特性が見られた。

また No.1, 2 は塑性化が早いため、第 3 象限の荷重が上がらない結果となった。

以上より、本試験は、No.3 試験体の仕様を採用したい。

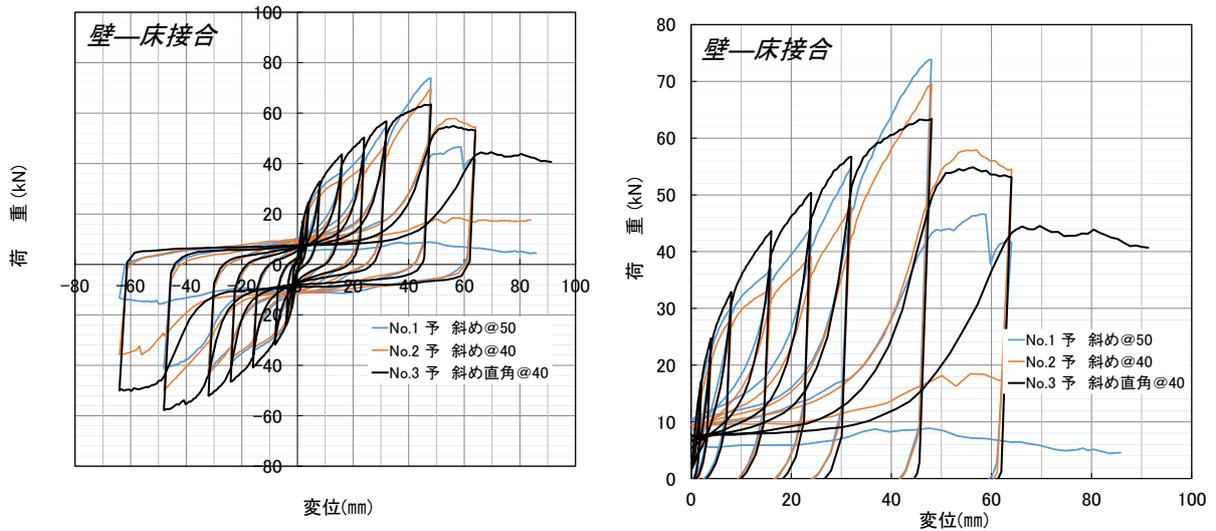


図 3.3-5 予備試験の荷重変位曲線の比較

表 3.3-2 予備試験の特性値の比較

	No.1	No.2	No.3
Pmax	73.89	69.52	63.44
D(Pmax)	48	48.05	48.05
二直線の交点Py	31.2834	31.0921	33.4419
D(0.8Pmax): δ u	48	60.68	64.02
初期剛性K	3.30146	2.64527	3.77867
Pu	53.897	52.3293	54.5935
D(Pu): δ v	16.3252	19.7822	14.4478
$\mu = \delta u / \delta v$	2.94024	3.0674	4.43112



写真 3.3-1 No.1 予 斜め@50 試験の様子



写真 3.3-2 No.1 予 斜め@50
ビスの曲げ、木材の支圧



写真 3.3-3 No.1 予 斜め@50 木材の支圧



写真 3.3-4 No.2 予 斜め@40
ビスの曲げ、木材の支圧

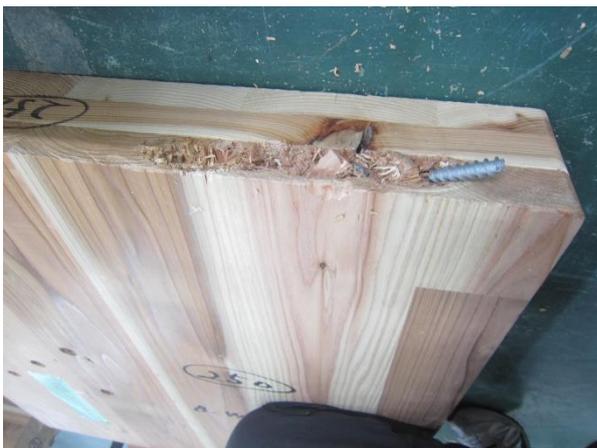


写真 3.3-5 No.2 予 斜め@40
ビスの曲げ、木材の支圧



写真 3.3-6 No.2 予 斜め@40
ビスの曲げ、木材の支圧



写真 3.3-7 No.3 予 斜め直角@40



写真 3.3-8 No.3 予 斜め直角@40

3.4. 二次試験（本試験）の種類

3.3 項の一次試験の結果を踏まえ、二次試験（本試験）の種類は、表 3.4-1 のとおりとした。

表 3.4-1 面内せん断試験（本試験）

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	レ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	220	6	
2	レ33S-33W			弱軸		弱軸				弱軸	6
3	レ33W-33S									弱軸	弱軸
4	レ33W-33W			弱軸		6					
合計										24	

レ 33 S — 33 S

ビスの打ち方 壁 CLT の層構成 壁の強軸・弱軸 床 CLT の層構成 床の強軸・弱軸
 斜め＋直角打ち

3.5. 試験体仕様

(1) ビスの仕様

当該試験で使用した長ビスは図 3.5-1 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 φ9 mm、ビス長さ L=220 mm である。

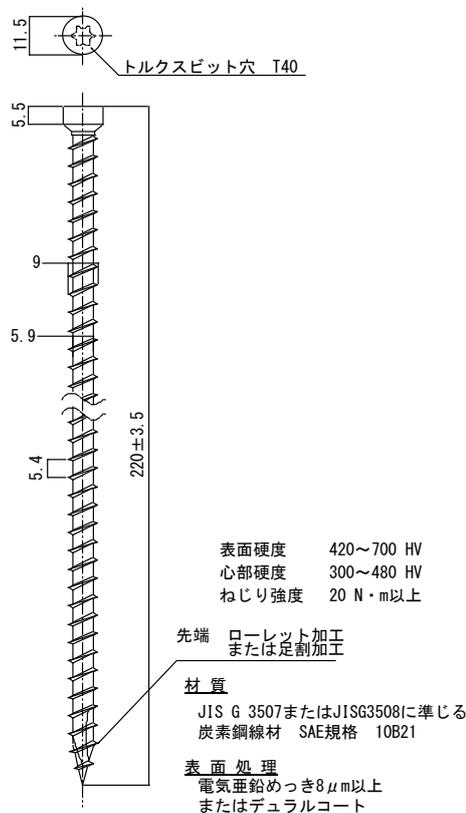


図 3.5-1 全ねじビス HTS9-L220

(2) 試験体仕様

各試験体図を図 3.5-2～図 3.5-5 に、試験体の密度と含水率を表 3.5-1 に示す。本試験では床パネル材として 3 層 3 プライを用いるので、床パネル側からビス打ちを行うこととした。各試験においては 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。

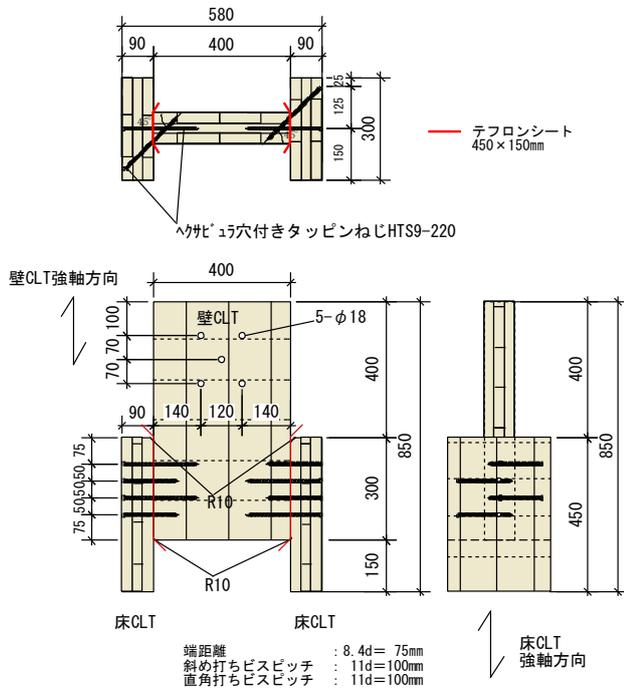


図 3.5-2 No.1 L33S-33S 試験体図

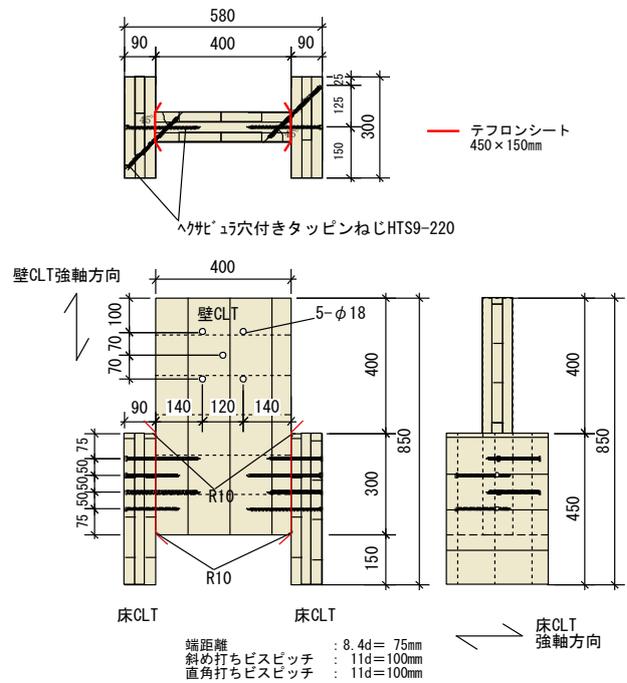


図 3.5-3 No.2 L33S-33W 試験体図

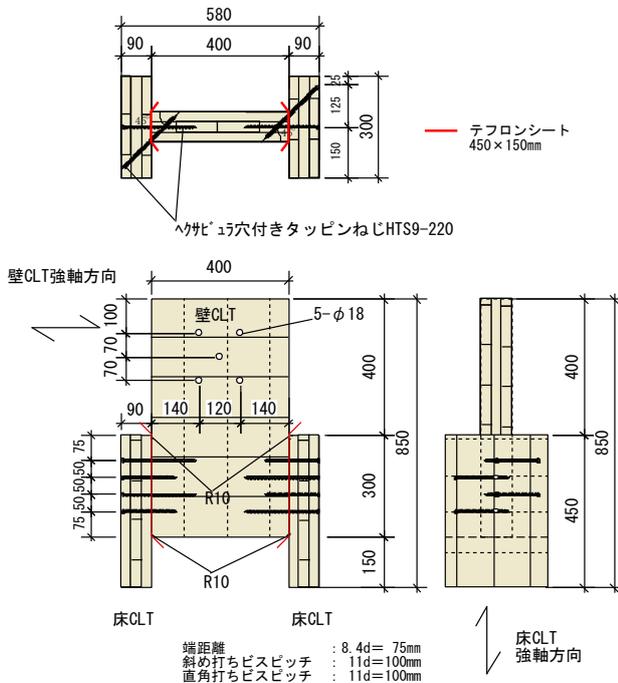


図 3.5-4 No.3 L33W-33S 試験体図

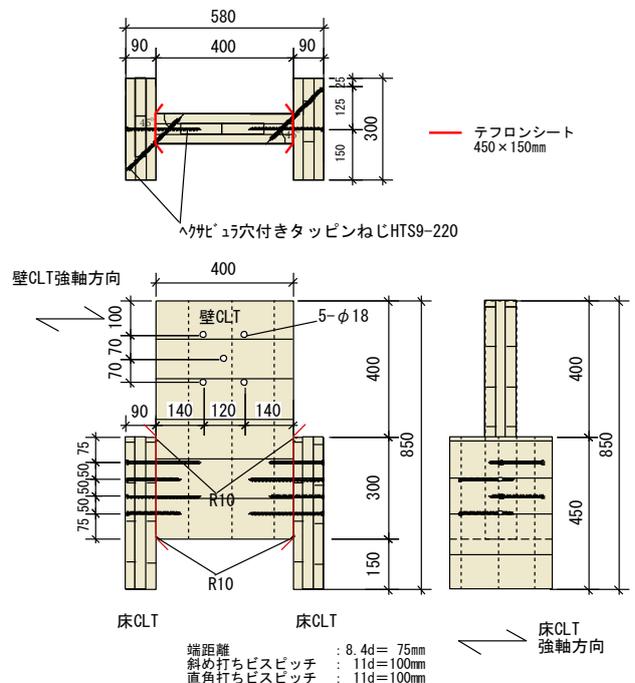


図 3.5-5 No.4 L33W-33W 試験体図

表 3.5-1 密度と含水率

No.1 ㇇ 33S-33S

No.	構成		含水率 (%)				質量 (kg)	密度 (g/cm ³)
			1	2	3	平均		
1	側材	R(DG1/2)	7.5	8.3	7.7	7.8	4.78	0.39
	側材	L(DG3/4)	8.3	8.5	8.8	8.5	4.88	0.40
	主材	-	10.0	8.4	8.8	9.1	10.74	0.43
2	側材	R(DG1/2)	9.2	9.5	8.7	9.1	4.74	0.39
	側材	L(DG3/4)	8.6	9.5	9.4	9.2	4.72	0.39
	主材	-	9.7	9.9	9.5	9.7	10.72	0.43
3	側材	R(DG1/2)	9.8	9.4	9.6	9.6	5.06	0.42
	側材	L(DG3/4)	10.0	8.9	9.7	9.5	4.98	0.41
	主材	-	10.2	9.2	9.5	9.6	10.20	0.40
4	側材	R(DG1/2)	9.2	9.4	9.4	9.3	4.96	0.41
	側材	L(DG3/4)	9.7	9.7	9.2	9.5	4.96	0.41
	主材	-	8.6	9.8	9.1	9.2	9.88	0.39
5	側材	R(DG1/2)	9.1	9.4	9.4	9.3	4.66	0.38
	側材	L(DG3/4)	9.4	9.3	8.9	9.2	4.74	0.39
	主材	-	8.9	9.2	8.7	8.9	10.20	0.40
6	側材	R(DG1/2)	9.1	8.6	10.0	9.2	4.92	0.40
	側材	L(DG3/4)	9.0	8.6	9.2	8.9	4.94	0.41
	主材	-	9.7	9.0	8.3	9.0	10.26	0.41

No.2 ㇇ 33S-33W

No.	構成		含水率 (%)				質量 (kg)	密度 (g/cm ³)
			1	2	3	平均		
1	側材	R(DG1/2)	11.7	10.1	8.9	10.2	4.82	0.40
	側材	L(DG3/4)	9.0	9.6	9.4	9.3	4.98	0.41
	主材	-	8.4	8.5	9.1	8.7	10.18	0.40
2	側材	R(DG1/2)	11.4	10.4	9.4	10.4	4.84	0.40
	側材	L(DG3/4)	9.0	8.8	9.0	8.9	5.18	0.43
	主材	-	9.4	9.4	8.5	9.1	9.92	0.39
3	側材	R(DG1/2)	10.2	9.5	8.8	9.5	5.14	0.42
	側材	L(DG3/4)	9.4	1.2	9.5	6.7	4.98	0.41
	主材	-	8.7	8.6	9.4	8.9	10.22	0.41
4	側材	R(DG1/2)	8.9	9.3	9.3	9.2	4.98	0.41
	側材	L(DG3/4)	8.8	9.5	8.7	9.0	5.12	0.42
	主材	-	9.1	9.5	9.4	9.3	10.12	0.40
5	側材	R(DG1/2)	9.7	10.1	9.0	9.6	5.16	0.42
	側材	L(DG3/4)	9.2	9.0	8.7	9.0	5.34	0.44
	主材	-	8.1	10.2	10.2	9.5	10.32	0.41
6	側材	R(DG1/2)	9.4	9.1	9.2	9.2	5.20	0.43
	側材	L(DG3/4)	8.8	8.7	9.4	9.0	4.88	0.40
	主材	-	9.6	11.5	9.6	10.2	10.50	0.42

No.3 ㇇ 33W-33S

No.	構成		含水率 (%)				質量 (kg)	密度 (g/cm ³)
			1	2	3	平均		
1	側材	R(DG1/2)	9.0	9.2	9.2	9.1	4.74	0.39
	側材	L(DG3/4)	8.8	8.8	9.5	9.0	4.86	0.40
	主材	-	9.4	9.4	9.6	9.5	10.82	0.43
2	側材	R(DG1/2)	8.4	9.7	8.4	8.8	4.98	0.41
	側材	L(DG3/4)	10.6	10.2	9.5	10.1	4.98	0.41
	主材	-	10.0	10.1	9.3	9.8	10.56	0.42
3	側材	R(DG1/2)	9.1	8.8	9.0	9.0	4.80	0.40
	側材	L(DG3/4)	9.1	8.4	9.3	8.9	4.88	0.40
	主材	-	9.1	8.8	9.3	9.1	10.16	0.40
4	側材	R(DG1/2)	9.5	8.2	9.4	9.0	4.82	0.40
	側材	L(DG3/4)	10.5	9.2	9.1	9.6	5.14	0.42
	主材	-	8.7	9.0	10.3	9.3	9.92	0.39
5	側材	R(DG1/2)	8.8	9.3	9.0	9.0	5.04	0.41
	側材	L(DG3/4)	9.7	9.0	9.0	9.2	4.88	0.40
	主材	-	9.6	9.6	9.1	9.4	10.60	0.42
6	側材	R(DG1/2)	9.7	9.3	9.1	9.4	4.90	0.40
	側材	L(DG3/4)	8.1	9.2	8.6	8.6	5.18	0.43
	主材	-	8.8	10.0	7.8	8.9	10.16	0.40

No.4 ㇇ 33W-33W

No.	構成		含水率 (%)				質量 (kg)	密度 (g/cm ³)
			1	2	3	平均		
1	側材	R(DG1/2)	9.2	11.6	10.8	10.5	4.82	0.40
	側材	L(DG3/4)	9.1	9.4	9.2	9.2	5.20	0.43
	主材	-	9.2	9.2	9.2	9.2	10.32	0.41
2	側材	R(DG1/2)	9.1	8.8	10.2	9.4	5.16	0.42
	側材	L(DG3/4)	9.0	10.2	10.5	9.9	5.28	0.43
	主材	-	9.4	9.5	10.2	9.7	10.36	0.41
3	側材	R(DG1/2)	11.9	9.7	9.2	10.3	4.82	0.40
	側材	L(DG3/4)	8.9	8.8	8.4	8.7	4.92	0.40
	主材	-	10.3	10.3	8.9	9.8	10.16	0.40
4	側材	R(DG1/2)	10.4	8.6	9.8	9.6	4.88	0.40
	側材	L(DG3/4)	10.8	9.3	9.3	9.8	4.82	0.40
	主材	-	9.3	8.6	9.0	9.0	10.14	0.40
5	側材	R(DG1/2)	9.0	8.8	8.5	8.8	5.20	0.43
	側材	L(DG3/4)	9.0	8.6	8.3	8.6	5.22	0.43
	主材	-	9.1	8.6	8.8	8.8	10.62	0.42
6	側材	R(DG1/2)	10.6	9.0	9.9	9.8	4.94	0.41
	側材	L(DG3/4)	9.0	9.4	8.8	9.1	5.28	0.43
	主材	-	8.0	12.0	9.4	9.8	10.30	0.41

3.7. 試験結果

3.7.1. L33S-33S

荷重変位曲線を図 3.7.1-1 に、包絡線を図 3.7.1-2 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 3.7.1-1 に、破壊性状を写真 3.7.1-1～写真 3.7.1-12 に示す。CLT の割裂、木材の支圧、ビスの折損が確認された。

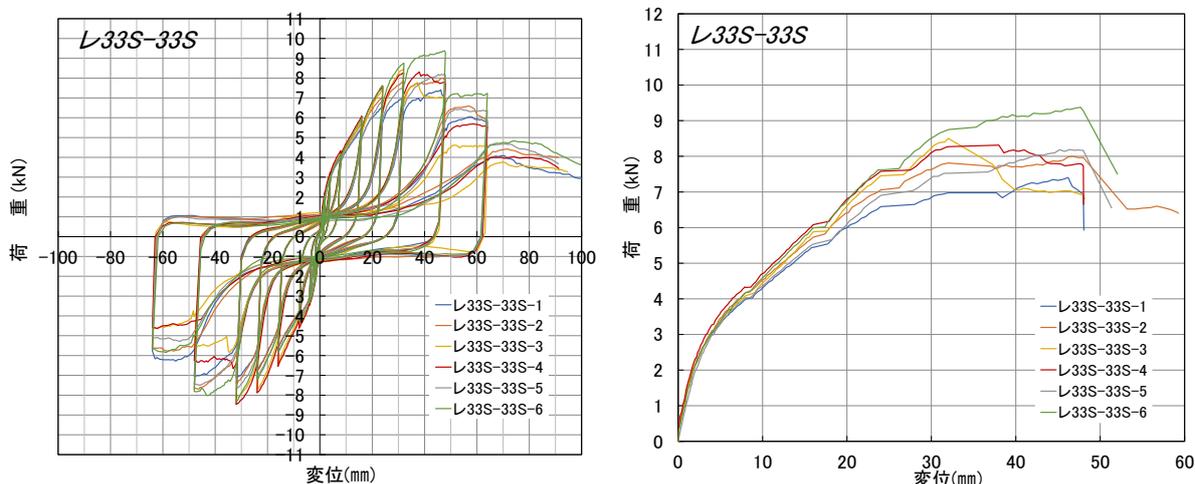


図 3.7.1-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.7.1-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.7.1-1 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	L33S-33S						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)	5.5	6.1	6.6	6.5	5.9	6.8	6.2	0.49			
1/10 δ m (mm)	0.30	0.49	0.45	0.39	0.66	0.62	0.49	0.14			
2/5Pm (kN)	22.0	24.4	26.4	26.0	23.7	27.2	25.0	1.94			
2/5 δ m (mm)	3.25	3.87	4.80	3.93	3.95	5.08	4.15	0.67			
2/3Pm (kN)	36.7	40.7	44.1	43.3	39.5	45.4	41.6	3.25	0.078	0.818	34.0
2/3 δ m (mm)	11.33	12.81	14.51	13.15	12.82	14.64	13.21	1.23			
9/10Pm (kN)	49.5	55.0	59.5	58.5	53.4	61.3	56.2	4.39			
9/10 δ m (mm)	21.36	22.56	23.92	22.38	22.66	24.31	22.87	1.08			
Pm (kN)	55.0	61.1	66.1	65.0	59.3	68.1	62.4	4.88			
δ m (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00			
δ u時荷重 (kN)	55.0	61.1	66.1	65.0	59.3	68.1	62.4	4.88			
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)	25.7	27.6	28.5	28.6	26.8	29.4	27.8	1.35	0.049	0.886	24.6
δ y (mm)	4.71	5.00	5.62	4.93	5.16	5.96	5.23	0.47			
終局耐力 Pu (kN)	45.9	49.4	52.3	52.4	47.9	54.0	50.3	3.10	0.062	0.855	43.0
初期剛性 K (kN/mm)	5.46	5.52	5.07	5.80	5.19	4.93	5.33	0.32			
降伏点変位 δ v (mm)	8.41	8.95	10.32	9.03	9.23	10.95	9.48	0.95			
塑性率 μ = δ u / δ v	3.57	3.35	2.91	3.32	3.25	2.74	3.19	0.31			
構造特性係数 Ds	0.40	0.42	0.46	0.42	0.43	0.47	0.43	0.03			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が20mmまでの荷重で最も大きいものとする。

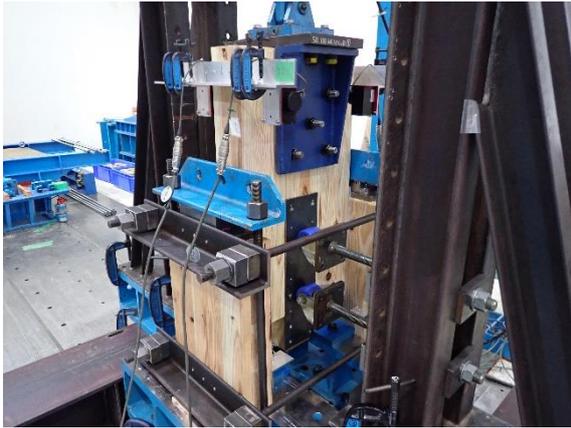


写真 3.7.1-1 NO.1 ㇇33S-33S-1 試験前



写真 3.7.1-2 NO.1 ㇇33S-33S-1 試験前



写真 3.7.1-3 NO.1 ㇇33S-33S-1 試験後

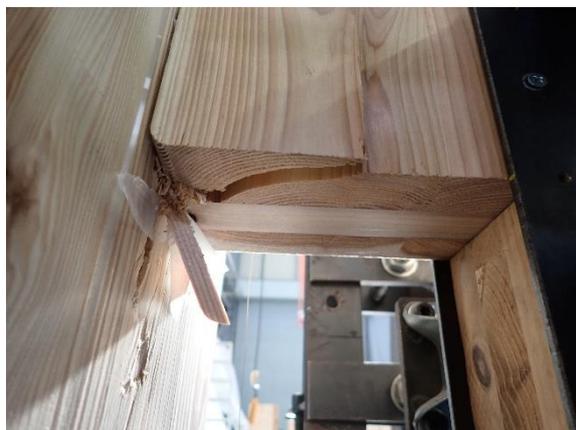


写真 3.7.1-4 NO.1 ㇇33S-33S-1
側材の割裂



写真 3.7.1-5 NO.1 ㇇33S-33S-1
木材の支圧



写真 3.7.1-6 NO.1 ㇇33S-33S-1
CLTの割裂



写真 3.7.1-7 NO.1 ㄥ33S-33S-2
木材の支圧



写真 3.7.1-8 NO.1 ㄥ33S-33S-3
木材の支圧



写真 3.7.1-9 NO.1 ㄥ33S-33S-4
木材の支圧



写真 3.7.1-10 NO.1 ㄥ33S-33S-4
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.7.1-11 NO.1 ㄥ33S-33S-5
ビスの折損、木材の支圧



写真 3.7.1-12 NO.1 ㄥ33S-33S-6
ビスの折損、木材の支圧

3.7.2. L33S-33W

荷重変位曲線を図 3.7.2-1 に、包絡線を図 3.7.2-2 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 3.7.2-1 に、破壊性状を写真 3.7.2-1～写真 3.7.2-12 に示す。CLT の割裂、木材の支圧、ビスの折損が確認された。

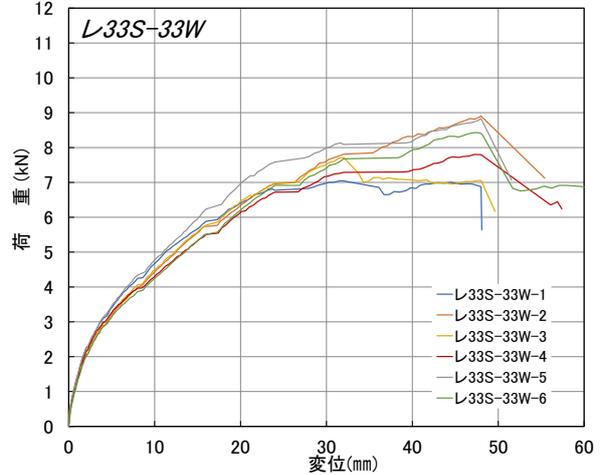
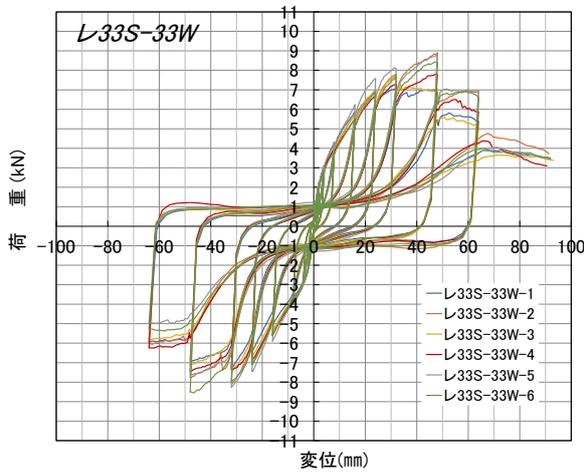


図 3.7.2-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.7.2-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.7.2-1 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))

L33S-33W 包絡線から算出した各種特性値(試験体1体あたり)

試験体記号 項目	L33S-33W						平均值	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	6.1	6.0	5.7	6.4	6.0	6.0	0.29			
1/10 δ m (mm)	0.32	0.37	0.38	0.31	0.35	0.47	0.37	0.06			
2/5Pm (kN)	22.4	24.4	24.1	23.0	25.7	23.9	23.9	1.15			
2/5 δ m (mm)	3.25	4.50	4.18	3.69	4.24	4.57	4.07	0.51			
2/3Pm (kN)	37.3	40.6	40.1	38.3	42.8	39.8	39.8	1.91	0.048	0.888	35.3
2/3 δ m (mm)	9.95	12.72	12.39	12.27	12.43	13.41	12.20	1.17			
9/10Pm (kN)	50.3	54.8	54.2	51.7	57.8	53.7	53.8	2.60			
9/10 δ m (mm)	19.25	23.00	22.52	22.05	21.70	22.79	21.89	1.38			
Pm (kN)	55.9	60.9	60.2	57.4	64.2	59.7	59.7	2.89			
δ m (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00			
δ u時荷重 (kN)	55.9	60.9	60.2	57.4	64.2	59.7	59.7	2.89			
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)	27.7	29.2	28.7	26.0	29.8	26.7	28.0	1.48	0.053	0.876	24.5
δ v (mm)	5.13	6.66	6.10	4.90	5.88	5.68	5.73	0.64			
終局耐力 Pu (kN)	49.1	51.3	50.8	47.1	54.5	48.6	50.2	2.59	0.052	0.879	44.1
初期剛性 K (kN/mm)	5.40	4.38	4.70	5.31	5.07	4.70	4.93	0.40			
降伏点変位 δ v (mm)	9.09	11.71	10.81	8.87	10.75	10.34	10.26	1.09			
塑性率 μ = δ u / δ v	3.30	2.56	2.78	3.38	2.79	2.90	2.95	0.32			
構造特性係数 Ds	0.42	0.49	0.47	0.42	0.47	0.46	0.46	0.03			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が20mmまでの荷重で最も大きいものとする。



写真 3.7.2-1 NO.2 ㄟ 33S-33W-1 試験前



写真 3.7.2-2 NO.2 ㄟ 33S-33W-1 試験前



写真 3.7.2-3 NO.2 ㄟ 33S-33W-1 試験後

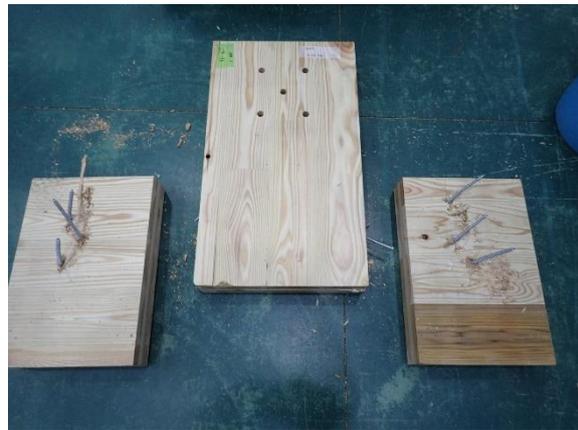


写真 3.7.2-4 NO.2 ㄟ 33S-33W-1 試験後



写真 3.7.2-5 NO.2 ㄟ 33S-33W-1
木材の支圧



写真 3.7.2-6 NO.2 ㄟ 33S-33W-1
木材の支圧



写真 3.7.2-7 NO.2 ㄱ33S-33W-2
試験後



写真 3.7.2-8 NO.2 ㄱ33S-33W-3
木材の支圧



写真 3.7.2-9 NO.2 ㄱ33S-33W-3
木材の割れ



写真 3.7.2-10 NO.2 ㄱ33S-33W-4
押しぬぎせん断



写真 3.7.2-11 NO.2 ㄱ33S-33W-5
木材の支圧、ビスの折損



写真 3.7.2-12 NO.2 ㄱ33S-33W-6
木材の支圧、ビスの折損

3.7.3. L33W-33S

荷重変位曲線を図 3.7.3-1 に、包絡線を図 3.7.3-2 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 3.7.3-1 に、破壊性状を写真 3.7.3-1～写真 3.7.3-12 に示す。CLT の割裂、木材の支圧、ビスの折損が確認された。

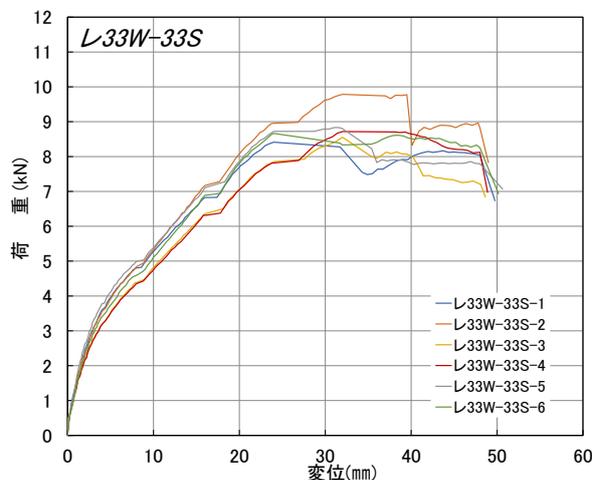
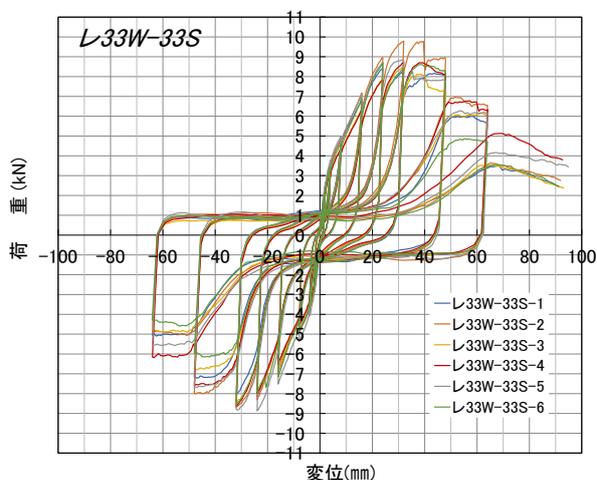


図 3.7.3-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 3.7.3-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 3.7.3-1 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))

L33W-33S 包絡線から算出した各種特性値(試験体1体あたり)

試験体記号 項目	L33W-33S						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)	6.7	7.7	6.6	6.8	7.0	6.9	7.0	0.39			
1/10 δ m (mm)	0.38	0.59	0.46	0.53	0.50	0.50	0.49	0.07			
2/5Pm (kN)	26.9	30.8	26.6	27.1	28.1	27.7	27.9	1.54			
2/5 δ m (mm)	3.52	4.78	4.36	4.62	3.45	4.18	4.15	0.56			
2/3Pm (kN)	44.9	51.3	44.3	45.2	46.9	46.2	46.5	2.54	0.055	0.872	40.5
2/3 δ m (mm)	11.25	13.62	12.76	13.53	11.47	12.30	12.49	1.00			
9/10Pm (kN)	60.6	69.2	59.8	61.0	63.3	62.4	62.7	3.42			
9/10 δ m (mm)	19.53	22.28	21.62	22.61	19.75	19.86	20.94	1.39			
Pm (kN)	67.3	76.9	66.4	67.8	70.3	69.3	69.7	3.81			
δ m (mm)	24.00	30.00	30.00	30.00	29.80	24.00	27.97	3.07			
δ u時荷重 (kN)	66.5	76.9	66.4	67.8	70.3	67.6	69.3	4.00			
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)	30.6	34.2	29.6	30.9	31.5	29.9	31.1	1.66	0.053	0.876	27.2
δ v (mm)	4.62	5.99	5.54	6.07	4.50	5.01	5.29	0.68			
終局耐力 Pu (kN)	57.3	63.4	55.4	56.0	59.4	58.7	58.4	2.90	0.050	0.883	51.5
初期剛性 K (kN/mm)	6.62	5.71	5.34	5.09	7.00	5.97	5.96	0.74			
降伏点変位 δ v (mm)	8.66	11.10	10.37	11.00	8.49	9.83	9.91	1.13			
塑性率 μ = δ u / δ v	3.46	2.70	2.89	2.73	3.53	3.05	3.06	0.36			
構造特性係数 Ds	0.41	0.48	0.46	0.47	0.41	0.44	0.45	0.03			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が20mmまでの荷重で最も大きいものとする。



写真 3.7.3-1 NO.3 ㄥ33W-33S-1 試験前



写真 3.7.3-2 NO.3 ㄥ33W-33S-1 試験前



写真 3.7.3-3 NO.3 ㄥ33W-33S-1 試験後

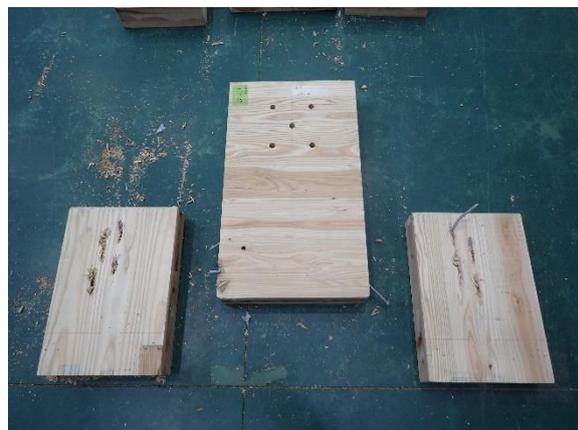


写真 3.7.3-4 NO.3 ㄥ33W-33S-1 試験後

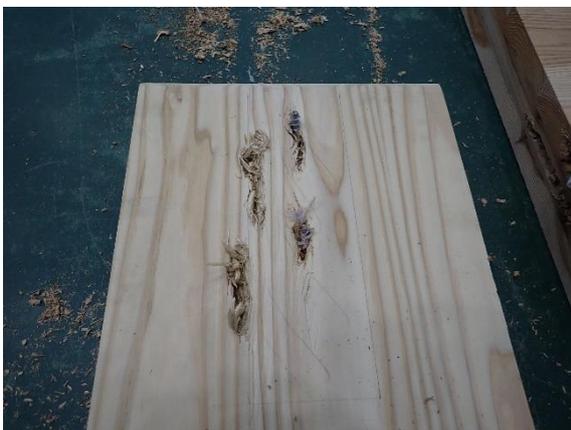


写真 3.7.3-5 NO.3 ㄥ33W-33S-1
木材の支圧



写真 3.7.3-6 NO.3 ㄥ33W-33S-1
木材の支圧、ビスの折損



写真 3.7.3-7 NO.3 ㄱ33W-33S-2
木材の支圧、ビスの折損



写真 3.7.3-8 NO.3 ㄱ33W-33S-3
木材の支圧、ビスの折損

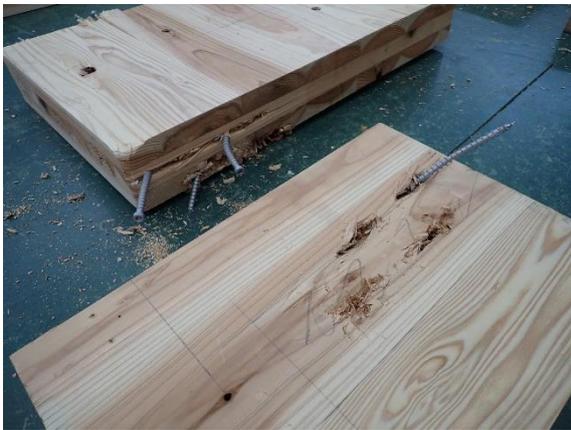


写真 3.7.3-9 NO.3 ㄱ33W-33S-4
木材の支圧、ビスの折損



写真 3.7.3-10 NO.3 ㄱ33W-33S-4
木材の支圧、ビスの折損



写真 3.7.3-11 NO.3 ㄱ33W-33S-5
木材の支圧、ビスの折損



写真 3.7.3-12 NO.3 ㄱ33W-33S-6
木材の支圧、ビスの折損

3.7.4. L33W-33S

荷重変位曲線を図 3.7.4-1 に、包絡線を図 3.7.4-2 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 3.7.3-1 に、破壊性状を写真 3.7.4-1～写真 3.7.4-12 に示す。CLT の割裂、木材の支圧、ビスの折損が確認された。

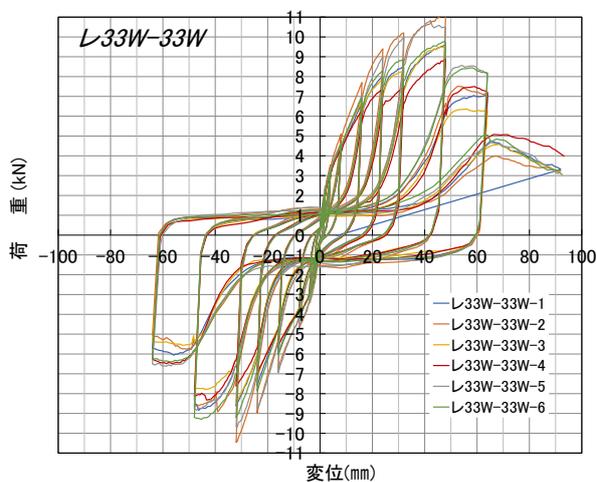


図 3.7.4-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

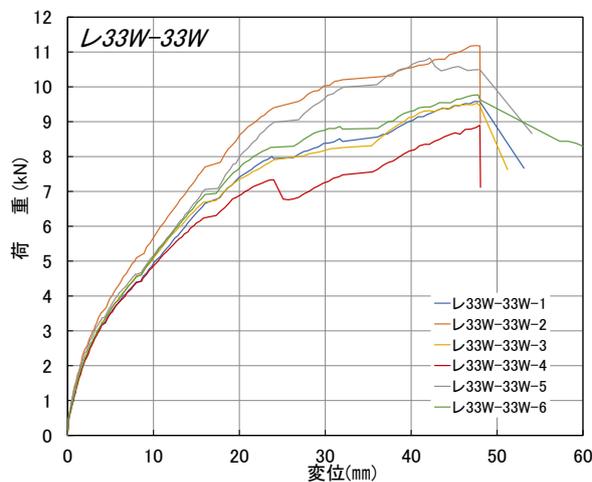


図 3.7.4-2 包絡線(ビス 1 本あたり)

表 3.7.4-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 8 本))

L33W-33S 包絡線から算出した各種特性値(試験体1体あたり)

項目	試験体記号						L33W-33S	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)	6.7	8.0	6.6	5.9	7.8	7.0	7.0	0.79				
1/10 δ m (mm)	0.46	0.48	0.40	0.32	0.44	0.54	0.44	0.07				
2/5Pm (kN)	26.8	32.1	26.2	23.5	31.1	28.0	28.0	3.20				
2/5 δ m (mm)	4.60	5.19	4.09	3.51	5.46	4.71	4.59	0.71				
2/3Pm (kN)	44.7	53.5	43.7	39.1	51.9	46.7	46.6	5.37	0.115	0.731	34.0	
2/3 δ m (mm)	12.25	12.92	11.08	10.10	14.23	12.29	12.15	1.44				
9/10Pm (kN)	60.3	72.3	59.0	52.8	70.0	63.1	62.9	7.25				
9/10 δ m (mm)	20.81	22.04	20.19	18.57	22.95	21.07	20.94	1.51				
Pm (kN)	67.0	80.3	65.5	58.7	77.8	70.1	69.9	8.05				
δ m (mm)	29.80	30.00	30.00	24.00	30.00	30.00	28.97	2.43				
δ u時荷重 (kN)	67.0	80.3	65.5	58.1	77.8	70.1	69.8	8.22				
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)	31.8	39.1	32.1	28.4	34.9	33.5	33.3	3.58	0.108	0.748	24.9	
δ y (mm)	6.40	7.41	6.22	5.23	7.02	6.83	6.52	0.76				
終局耐力 Pu (kN)	57.9	70.0	57.6	51.5	65.4	61.4	60.6	6.50	0.107	0.750	45.4	
初期剛性 K (kN/mm)	4.97	5.28	5.16	5.43	4.97	4.90	5.12	0.21				
降伏点変位 δ v (mm)	11.65	13.26	11.16	9.48	13.16	12.53	11.87	1.44				
塑性率 μ = δ u / δ v	2.58	2.26	2.69	3.16	2.28	2.39	2.56	0.34				
構造特性係数 Ds	0.49	0.53	0.48	0.43	0.53	0.51	0.50	0.04				

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m;0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が20mmまでの荷重で最も大きいものとする。



写真 3.7.4-1 NO.4 ㄥ33W-33W-1 試験前



写真 3.7.4-2 NO.4 ㄥ33W-33W-1 試験前



写真 3.7.4-3 NO.4 ㄥ33W-33W-1 試験後



写真 3.7.4-4 NO.4 ㄥ33W-33W-1 試験後

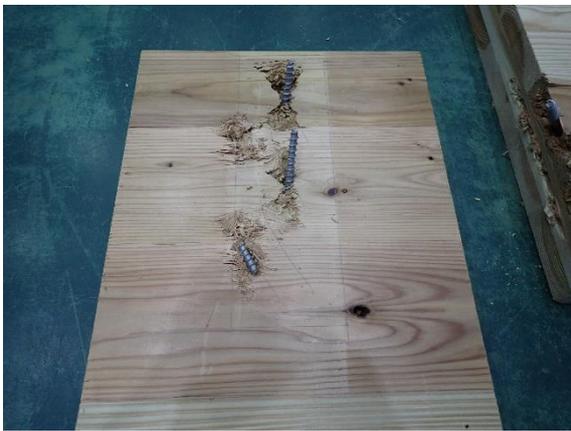


写真 3.7.4-4 NO.1 ㄥ33W-33W-1
木材の支圧、ビスの折損



写真 3.7.4-6 NO.4 ㄥ33W-33W-1
木材の支圧、ビスの折損



写真 3.7.4-7 NO.4 ㄱ33W-33W-2
木材の支圧、ビスの折損



写真 3.7.4-8 NO.4 ㄱ33W-33W-3
木材の支圧、ビスの折損



写真 3.7.4-9 NO.4 ㄱ33W-33W-3
木材の支圧、ビスの折損



写真 3.7.4-10 NO.4 ㄱ33W-33W-4
木材の支圧、ビスの折損



写真 3.7.4-11 NO.4 ㄱ33W-33W-5
木材の支圧、ビスの折損



写真 3.7.4-12 NO.4 ㄱ33W-33W-6
木材の支圧、ビスの折損

3.8. 考察

ビス 1 対あたりの特性値を比較したものを図 3.8-1～図 3.8-4 に示す。

ビス 1 対とは、図 3.8-5 のとおり、斜めビス 1 本+直角ビス 1 本を「1 対」としたものであり、ビス 1 対として特性値を算出している。

各試験体を比較した結果、以下のことが分かった。

- ・壁 CLT の強軸・弱軸を比較すると強軸試験体の方が終局耐力及び降伏耐力が低い傾向が見られる。壁の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。これは、R5 年度直角打ち試験（「<参考>R5 年度試験」の図 3.8-6～図 3.8-9 を参照。）でも同じ傾向であった。壁の木口側で破壊が決まるためか、斜めビスの補強効果か、ばらつきは非常に少ない。
- ・初期剛性や塑性率は有意差が認められるほどの違いはなく、ばらつきの範囲と考えられる。
- ・傾向としてどの試験体も破壊性状が変わらず、壁 CLT の強軸/弱軸で特性が決まる傾向にある。

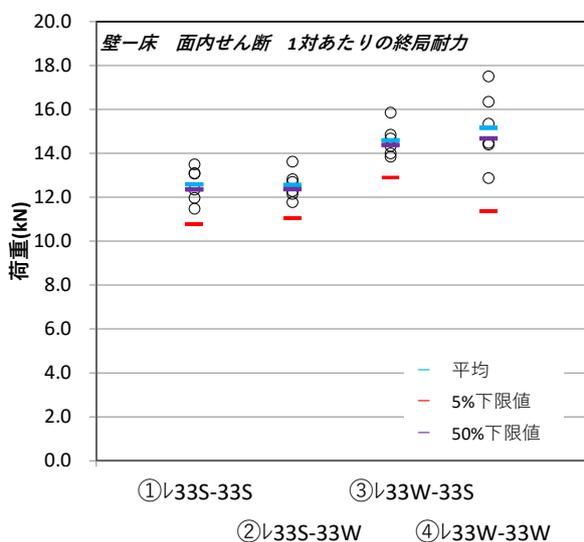


図 3.8-1 終局耐力の比較

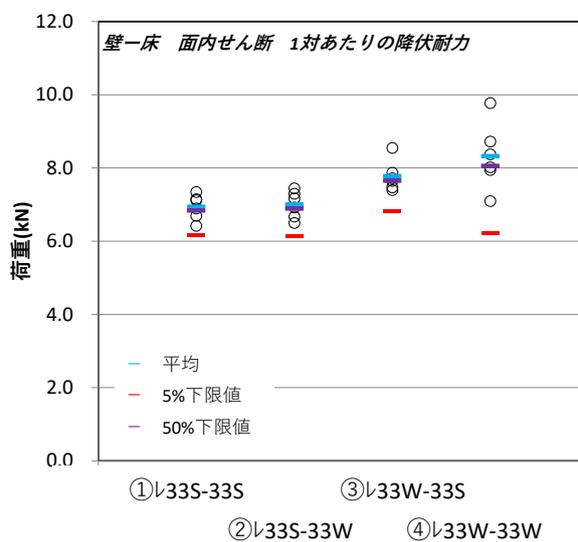


図 3.8-2 降伏耐力の比較

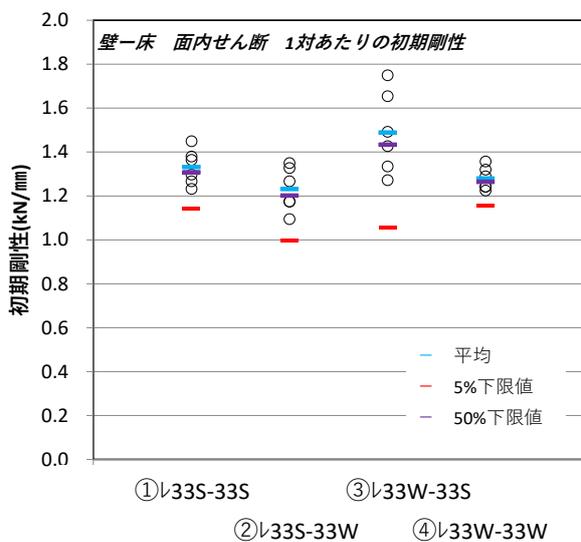


図 3.8-3 初期剛性の比較

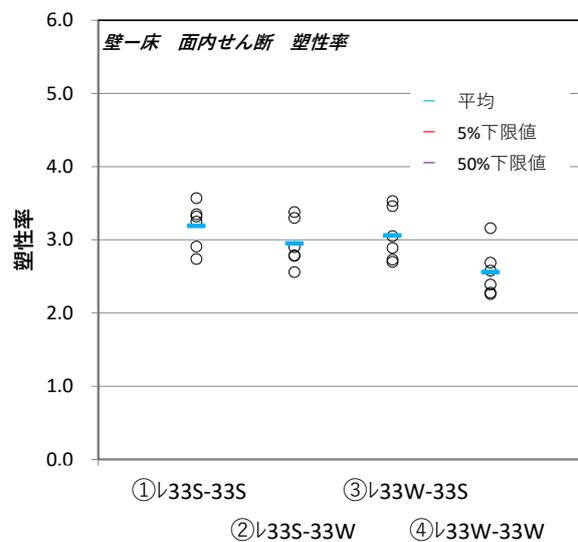


図 3.8-4 塑性率の比較

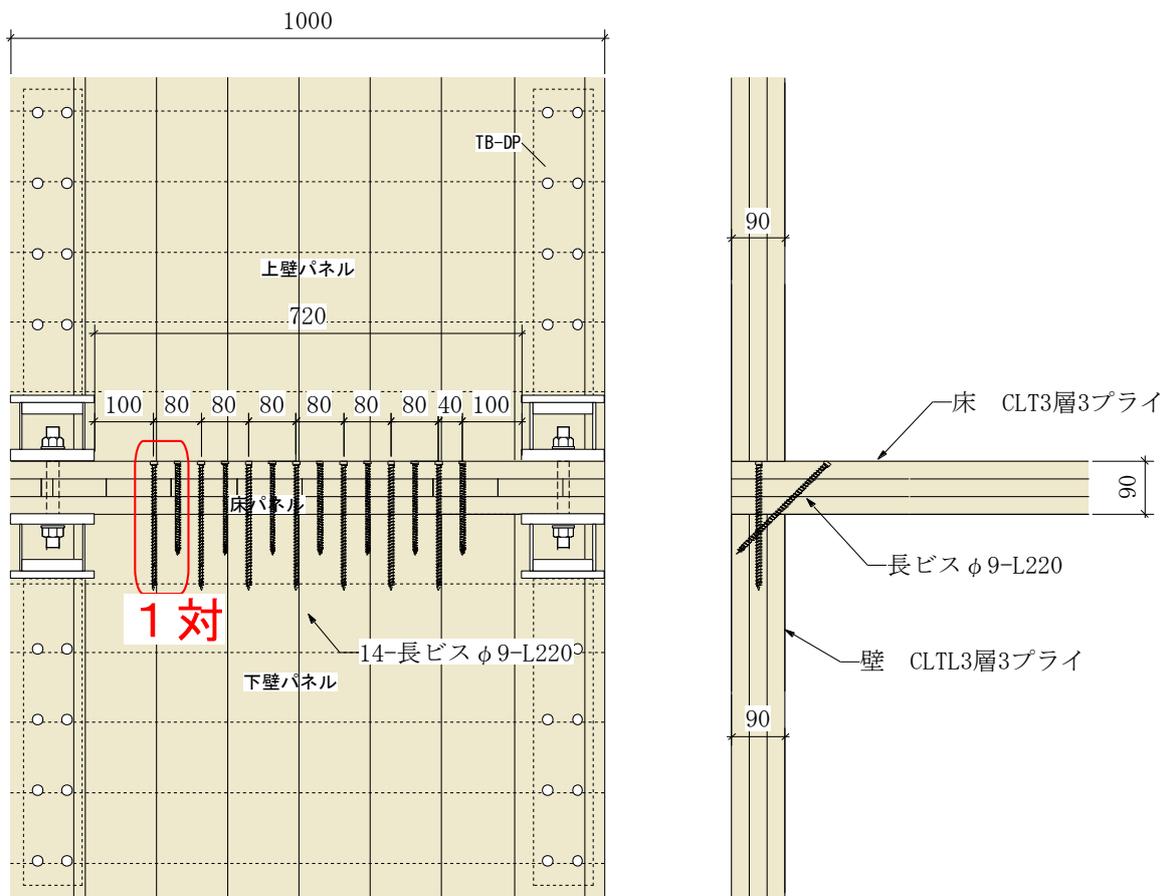


図 3.8-5 ビス 1 対の範囲 (斜めビス 1 本+直角ビス 1 本)

<参考>R5 年度試験

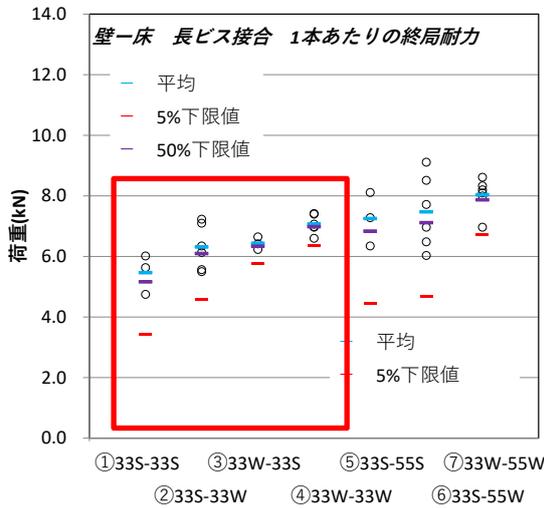
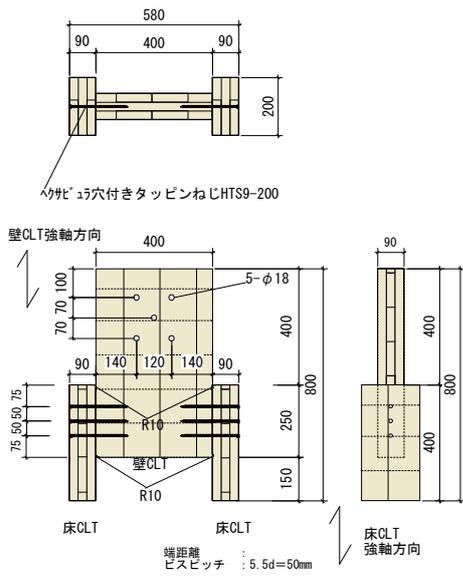


図 3.8-6 終局耐力の比較

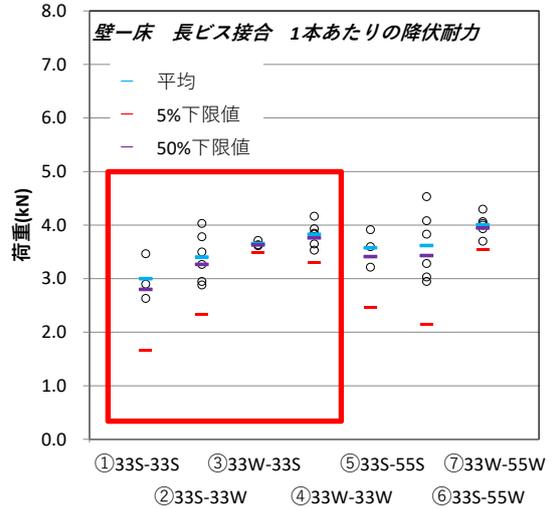


図 3.8-7 降伏耐力の比較

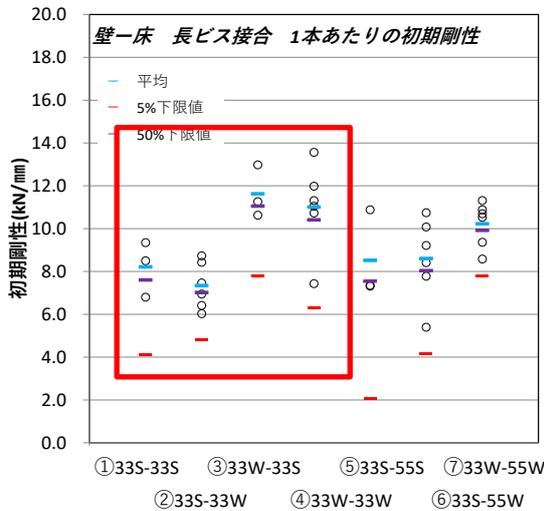


図 3.8-8 初期剛性の比較

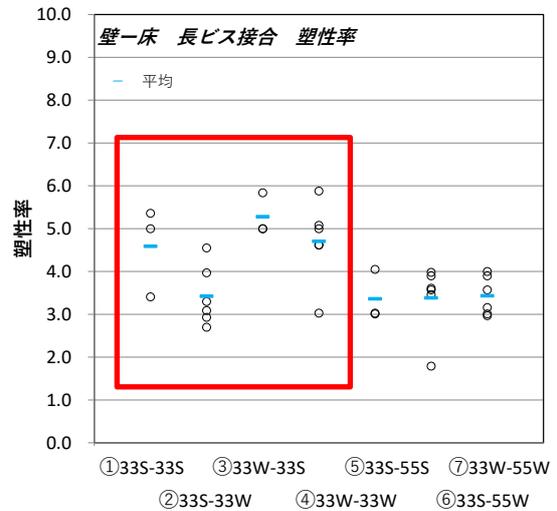


図 3.8-9 塑性率の比較

3.9. 再評価の結果

3.8項より、壁 CLT の強軸／弱軸で特性が決まる傾向にあることが分かったため、No.1 と No.2、No.3 と No.4 を 1 試験体シリーズとして結果を再整理した。

3.9.1. L 33S-33S + レ 33S-33W

表 3.9.1-1 のとおり壁強軸試験体 2 仕様 12 体を 1 試験シリーズとして再評価を行った。ビス 1 対あたり 6.90kN となった。

表 3.9.1-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 8 本))

試験体記号 項目	L33S-33S						L33S-33W						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	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	5.5	6.1	6.6	6.5	5.9	6.8	5.6	6.1	6	5.7	6.4	6	6.1	0.41			
1/10 δ m (mm)	0.30	0.49	0.45	0.39	0.66	0.62	0.32	0.37	0.38	0.31	0.35	0.47	0.43	0.12			
2/5Pm (kN)	22.0	24.4	26.4	26.0	23.7	27.2	22.4	24.4	24.1	23	25.7	23.9	24.4	1.61			
2/5 δ m (mm)	3.25	3.87	4.80	3.93	3.95	5.08	3.25	4.50	4.18	3.69	4.24	4.57	4.11	0.57			
2/3Pm (kN)	36.7	40.7	44.1	43.3	39.5	45.4	37.3	40.6	40.1	38.3	42.8	39.8	40.7	2.71	0.067	0.987	40.1
2/3 δ m (mm)	11.33	12.81	14.51	13.15	12.82	14.64	9.95	12.72	12.39	12.27	12.43	13.41	12.70	1.26			
9/10Pm (kN)	49.5	55.0	59.5	58.5	53.4	61.3	50.3	54.8	54.2	51.7	57.8	53.7	55.0	3.67			
9/10 δ m (mm)	21.36	22.56	23.92	22.38	22.66	24.31	19.25	23.00	22.52	22.05	21.70	22.79	22.38	1.29			
Pm (kN)	55.0	61.1	66.1	65.0	59.3	68.1	55.9	60.9	60.2	57.4	64.2	59.7	61.1	4.08			
δ m (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00			
δ u 時荷重 (kN)	55.0	61.1	66.1	65.0	59.3	68.1	55.9	60.9	60.2	57.4	64.2	59.7	61.1	4.08			
δ u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00			
降伏耐力 Py (kN)	25.7	27.6	28.5	28.6	26.8	29.4	27.7	29.2	28.7	26	29.8	26.7	27.9	1.36	0.049	0.990	27.6
δ y (mm)	4.71	5.00	5.62	4.93	5.16	5.96	5.13	6.66	6.10	4.90	5.88	5.68	5.48	0.60			
終局耐力 Pu (kN)	45.9	49.4	52.3	52.4	47.9	54.0	49.1	51.3	50.8	47.1	54.5	48.6	50.3	2.72	0.054	0.989	49.7
初期剛性 K (kN/mm)	5.46	5.52	5.07	5.80	5.19	4.93	5.40	4.38	4.70	5.31	5.07	4.70	5.13	0.40			
降伏点変位 δ v (mm)	8.41	8.95	10.32	9.03	9.23	10.95	9.09	11.71	10.81	8.87	10.75	10.34	9.87	1.06			
塑性率 μ = δ u / δ v	3.57	3.35	2.91	3.32	3.25	2.74	3.30	2.56	2.78	3.38	2.79	2.90	3.07	0.32			
構造特性係数 Ds	0.40	0.42	0.46	0.42	0.43	0.47	0.42	0.49	0.47	0.42	0.47	0.46	0.44	0.03			

3.9.2.↳ 33W-33S + ↳ 33W-33W

表 3.9.2-1 のとおり壁弱軸試験体 2 仕様 12 体を、1 試験シリーズとして再評価を行った。
ビス 1 対あたり 7.90kN となった。

表 3.9.2-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 8 本))

試験体記号 項目	↳33S-33S						↳33W-33W						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	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	6.7	7.7	6.6	6.8	7.0	6.9	6.7	6.7	6.6	5.9	7.8	7	7.0	0.59			
1/10 δ m (mm)	0.38	0.59	0.46	0.53	0.50	0.50	0.46	0.48	0.40	0.32	0.44	0.54	0.47	0.07			
2/5Pm (kN)	26.9	30.8	26.6	27.1	28.1	27.7	26.8	32.1	26.2	23.5	31.1	28	27.9	2.40			
2/5 δ m (mm)	3.52	4.78	4.36	4.62	3.45	4.18	4.60	5.19	4.09	3.51	5.46	4.71	4.37	0.65			
2/3Pm (kN)	44.9	51.3	44.3	45.2	46.9	46.2	44.7	53.5	43.7	39.1	51.9	46.7	46.5	4.00	0.086	0.983	45.7
2/3 δ m (mm)	11.25	13.62	12.76	13.53	11.47	12.30	12.25	12.92	11.08	10.10	14.23	12.29	12.32	1.19			
9/10Pm (kN)	60.6	69.2	59.8	61.0	63.3	62.4	60.3	72.3	59	52.8	70	63.1	62.8	5.40			
9/10 δ m (mm)	19.53	22.28	21.62	22.61	19.75	19.86	20.81	22.04	20.19	18.57	22.95	21.07	20.94	1.38			
Pm (kN)	67.3	76.9	66.4	67.8	70.3	69.3	67	80.3	65.5	58.7	77.8	70.1	69.8	6.00			
δ m (mm)	24.00	30.00	30.00	30.00	29.80	24.00	29.80	30.00	30.00	24.00	30.00	30.00	28.47	2.69			
δ u 時荷重 (kN)	66.5	76.9	66.4	67.8	70.3	67.6	67	80.3	65.5	58.1	77.8	70.1	69.5	6.17			
δ u (mm)	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	0.00			
降伏耐力 Py (kN)	30.6	34.2	29.6	30.9	31.5	29.9	31.8	39.1	32.1	28.4	34.9	33.5	32.2	2.89	0.090	0.982	31.6
δ y (mm)	4.62	5.99	5.54	6.07	4.50	5.01	6.40	7.41	6.22	5.23	7.02	6.83	5.90	0.94			
終局耐力 Pu (kN)	57.3	63.4	55.4	56.0	59.4	58.7	57.9	70	57.6	51.5	65.4	61.4	59.5	4.94	0.083	0.983	58.4
初期剛性 K (kN/mm)	6.62	5.71	5.34	5.09	7.00	5.97	4.97	5.28	5.16	5.43	4.97	4.90	5.54	0.68			
降伏点変位 δ v (mm)	8.66	11.10	10.37	11.00	8.49	9.83	11.65	13.26	11.16	9.48	13.16	12.53	10.89	1.60			
塑性率 μ = δ u / δ v	3.46	2.70	2.89	2.73	3.53	3.05	2.58	2.26	2.69	3.16	2.28	2.39	2.81	0.42			
構造特性係数 Ds	0.41	0.48	0.46	0.47	0.41	0.44	0.49	0.53	0.48	0.43	0.53	0.51	0.47	0.04			

3.10. 設計に用いる接合部仕様

(1) 接合部仕様

CLT パネル工法告示第 611 号第十第 2 第九号口に示すとおり、ルート 1 における壁パネルー床パネル間のせん断の必要性能は、1 か所当たり 54kN とし、壁パネル幅 1m 当たり 1 か所設置することとなっている。

1 か所当たりのビス必要数は、 $54\text{kN} \div 7.9\text{kN/本} = 6.83$ となるため、図 3.10-1 のとおり 7 対となる。

ピッチの効果（斜めビスによる割れ補剛効果）は検証していないため、@40mm とする。

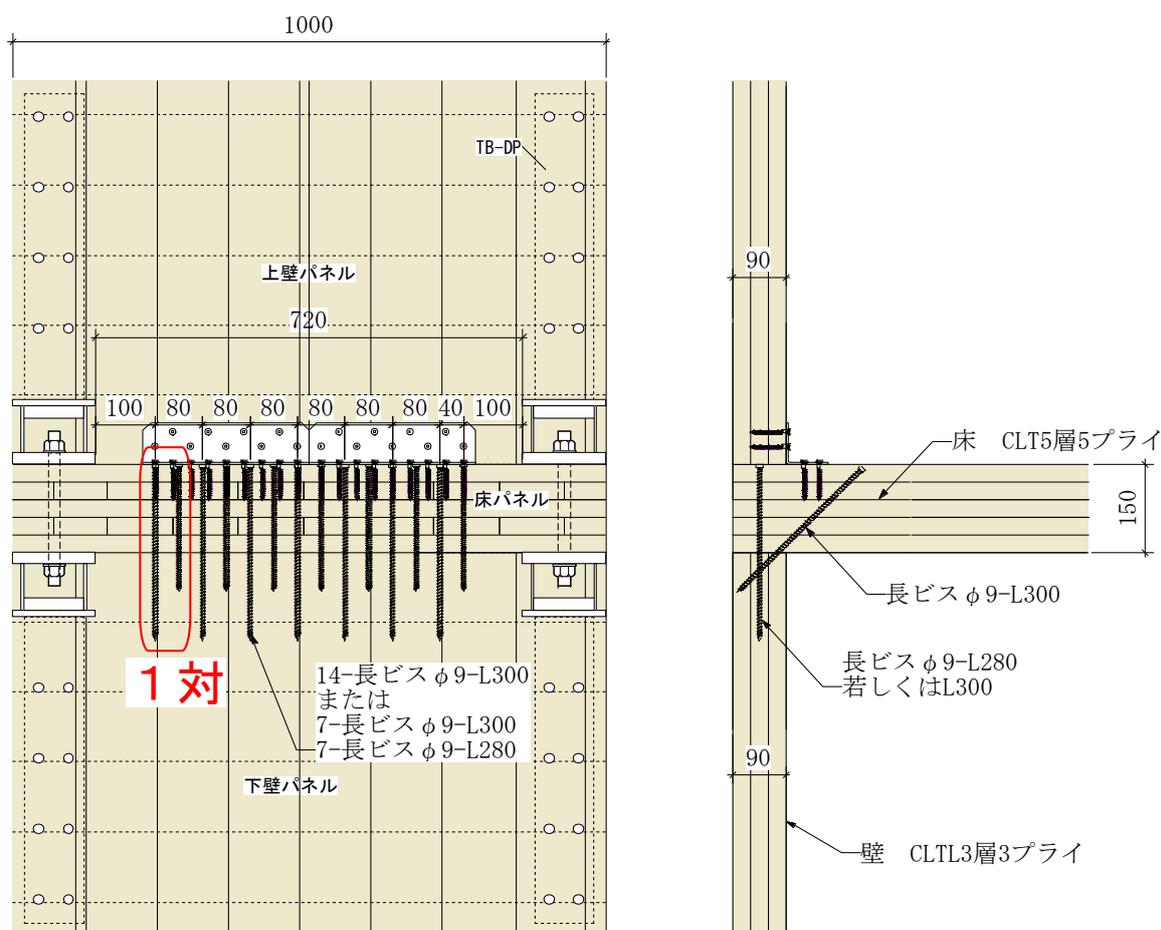


図 3.10-1 CLT パネル工法告示第 611 号第十第 2 第九号口に対応した接合仕様

(2) LST に使用されている金物用ビスとの強度性能の比較

本ビス仕様と、文献 1) に掲載されている公益財団法人日本住宅・木材技術センター α マーク表示金物である LST との比較を行う。

文献 1) に記載されている LST のデータシートを図 3.10-2 に示す。

LST 金物に使用されている 6.5 mm の半ねじビス 36 本打ち (@3kN) に対して、本仕様は、9 mm の全ねじビス 7 セット 14 本打ち (@3.95kN) となった。

ビスの断面積を比較すると $(6.5 \text{ mm}/2)^2 = 10.56 \text{ mm}^2$ 、 $(9 \text{ mm}/2)^2 = 20.25 \text{ mm}^2$ と約 2 倍になっているが、耐力はそれほど上がらず、断面積と耐力は正比例しないことが分かった。

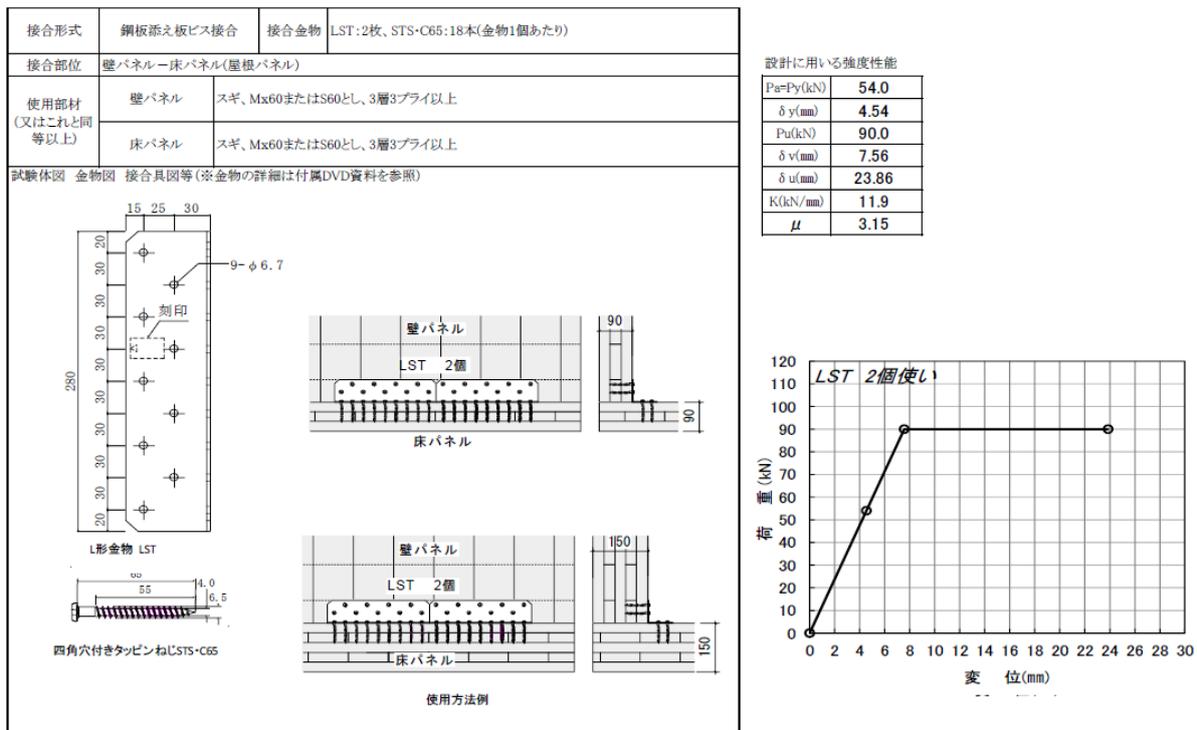


図 9.4-32 LST (壁パネル-床パネル接合) の強度性能
 図 3.10-2 LST の強度性能 (文献 1) より抜粋)

4. 壁-床接合 ビス接合の面外せん断試験

4.1. 試験の目的

3章で検討を行った壁-床ビス接合部の面内せん断試験は、地震力を想定した試験である。本章では、同一接合部の風圧力を想定した面外方向のせん断性能（図 4.1-1）について試験を行うこととした。

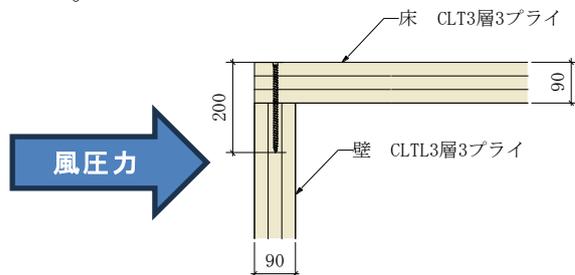


図 4.1-1 風圧力による面外方向の抵抗

4.2. 試験の種類

面外せん断試験の種類は、表 4.2-1 のとおりである。

表 4.2-1 面外せん断試験

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)		打ち込み方向
			層構成 (厚さ)	加力方 向	層構成 (厚さ)	加力方 向					
1	∟33S-33SP	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	220	引き抜き方向	3
2	∟33S-33SB					弱軸				座屈方向	3
3	∟33S-33WP					強軸				引き抜き方向	3
4	∟33S-33WB					弱軸				座屈方向	3
合計											12

∟

33

S - 33

S

P

ビスの打ち方
斜め+直角打ち

壁 CLT の層構成

壁の強軸・弱軸

床 CLT の層構成

床の強軸・弱軸

ビスの打ち込み方向

P：引き抜き方向

B：座屈方向

4.3. 試験体仕様

(1) ビスの仕様

図 3.5-1 と同一のビスを使用した。

(2) 試験体仕様

各試験体図を図 4.3-1～図 4.3-4 に、試験体の含水率を表 4.3-1 に示す。本試験では床パネル材として 3 層 3 プライを用いるので、床パネル側からビス打ちを行うこととした。各試験においては 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。

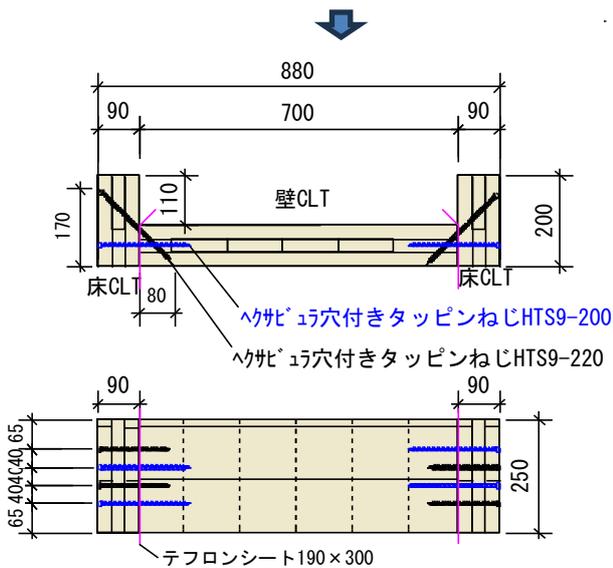


図 4.3-1 No.1 L 33S-33SP 試験体図

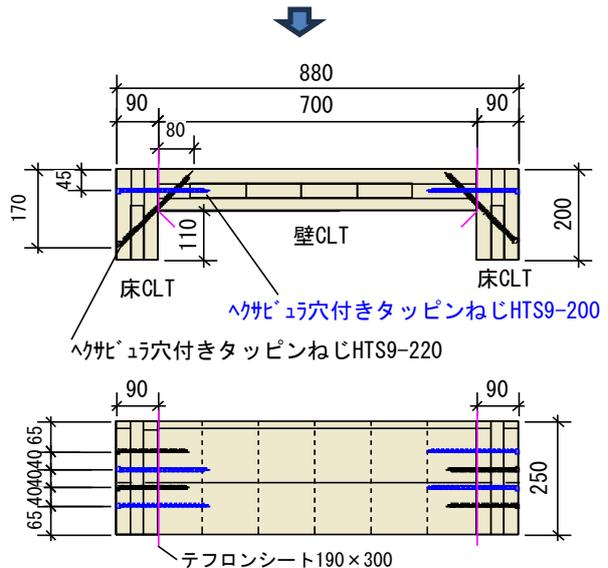


図 4.3-2 No.2 L 33S-33SB 試験体図

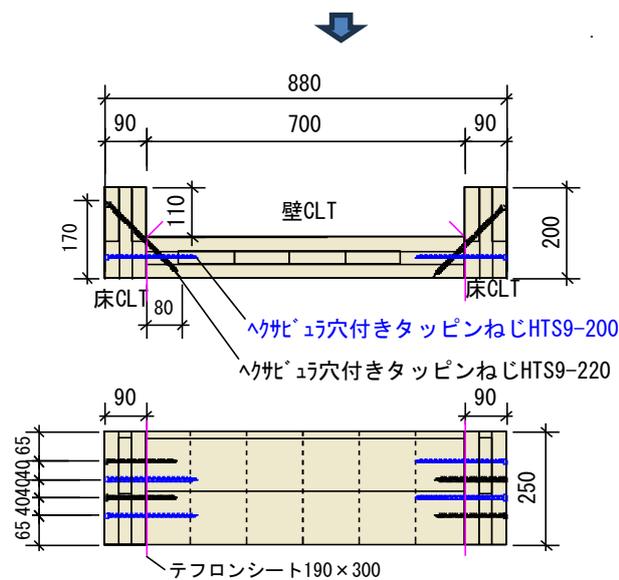


図 4.3-3 No.3 L 33S-33WP 試験体図

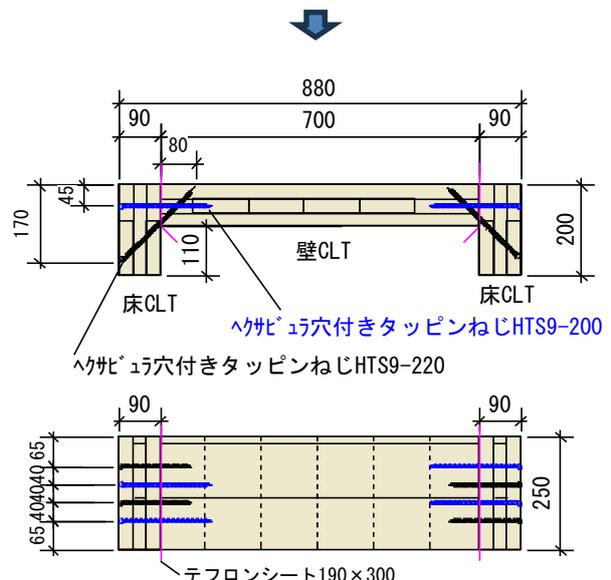


図 4.3-4 No.4 L 33S-33WB 試験体図

表 4.3-1 試験体の含水率

No.1 ♪ 33S-33SP

No.	構成		含水率 (%)			
			1	2	3	平均
1	側材	R(DG1/2)	9.9	10.7	10.2	10.3
	側材	L(DG3/4)	9.3	10.0	10.0	9.8
	主材	-	9.6	9.7	10.1	9.8
2	側材	R(DG1/2)	9.0	9.4	10.9	9.8
	側材	L(DG3/4)	9.8	9.3	9.9	9.7
	主材	-	9.5	10.4	10.4	10.1
3	側材	R(DG1/2)	10.1	9.9	9.7	9.9
	側材	L(DG3/4)	9.2	11.2	10.0	10.1
	主材	-	9.7	10.0	10.1	9.9

No.2 ♪ 33S-33SB

No.	構成		含水率 (%)			
			1	2	3	平均
1	側材	R(DG1/2)	9.5	10.0	10.5	10.0
	側材	L(DG3/4)	9.1	8.9	9.3	9.1
	主材	-	8.5	8.4	8.9	8.6
2	側材	R(DG1/2)	8.7	9.3	9.6	9.2
	側材	L(DG3/4)	9.2	9.1	10.6	9.6
	主材	-	8.3	8.4	8.5	8.4
3	側材	R(DG1/2)	9.7	8.1	9.9	9.2
	側材	L(DG3/4)	10.5	9.6	9.1	9.7
	主材	-	8.8	8.9	8.4	8.7

No.3 ♪ 33S-33WP

No.	構成		含水率 (%)			
			1	2	3	平均
1	側材	R(DG1/2)	8.4	8.4	9.0	8.6
	側材	L(DG3/4)	8.5	9.4	10.0	9.3
	主材	-	9.2	9.2	10.1	9.5
2	側材	R(DG1/2)	8.9	9.1	10.2	9.4
	側材	L(DG3/4)	8.7	9.4	10.4	9.5
	主材	-	9.1	8.9	8.6	8.9
3	側材	R(DG1/2)	9.8	9.6	8.9	9.4
	側材	L(DG3/4)	10.5	9.3	8.8	9.5
	主材	-	9.0	9.1	9.0	9.0

No.4 ♪ 33S-33WB

No.	構成		含水率 (%)			
			1	2	3	平均
1	側材	R(DG1/2)	8.8	9.1	9.1	9.0
	側材	L(DG3/4)	9.5	9.3	9.0	9.3
	主材	-	9.7	9.8	9.5	9.7
2	側材	R(DG1/2)	10.5	9.9	9.0	9.8
	側材	L(DG3/4)	9.3	8.8	10.4	9.5
	主材	-	9.0	9.8	9.3	9.4
3	側材	R(DG1/2)	9.2	9.8	8.9	9.3
	側材	L(DG3/4)	8.7	9.9	8.6	9.1
	主材	-	9.3	9.8	9.6	9.6

4.4. 試験方法、評価方法

試験方法は写真 4.4-1 に示すとおり、側材は面内方向の開きや浮き上がりをシャコ万やステップで押さえることとした。

風圧力を想定しているため、正負交番加力ではなく、一方向の繰り返し試験とした。当て板は接合部に干渉しないような幅寸法とした。変位は左右、手前奥の 4 点の CLT 相互の相対変位とし、その平均を接合部の変位とした。加力方法は、 $\delta_y = 2 \text{ mm}$ として 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て引張で破壊させるものとした。

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。

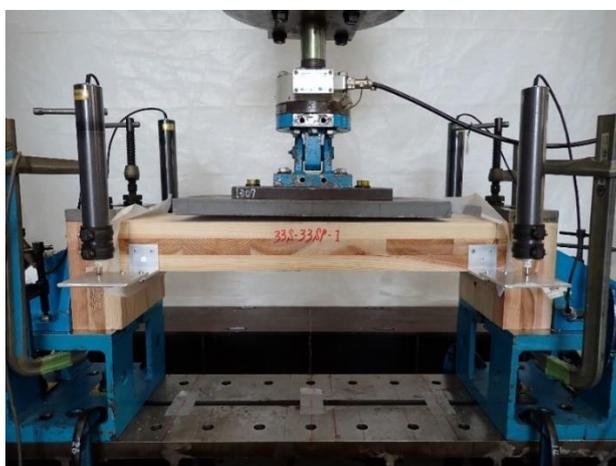


写真 4.4-1 試験方法



写真 4.5.1-1 No.1 33S-33SP-1 試験前
※試験体に「SB」と記載してあるのは間違い

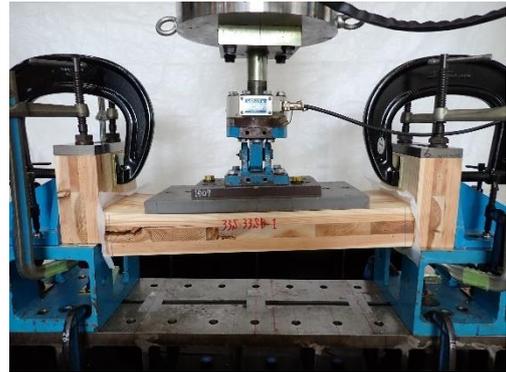


写真 4.5.1-2 No.1 33S-33SP-1 試験後
※試験体に「SB」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.1-3 No.1 33S-33SP-1
ビス打ち込み部からの木材の割裂

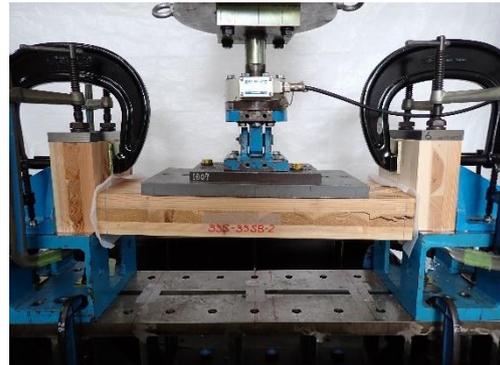


写真 4.5.1-4 No.1 33S-33SP-2 試験後
※試験体に「SB」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.1-5 No.1 33S-33SP-2
ビス打ち込み部からの木材の割裂



写真 4.5.1-6 No.1 33S-33SP-3 試験後
※試験体に「SB」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.1-7 No.1 33S-33SP-3
ビス打ち込み部からの木材の割裂

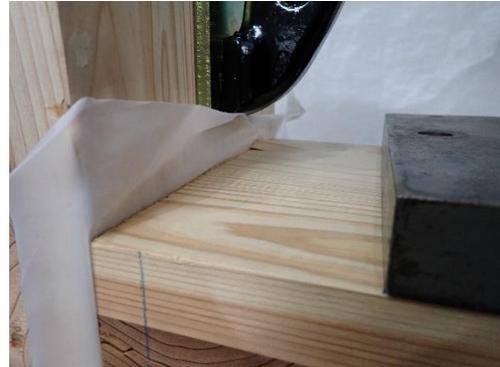


写真 4.5.1-8 No.1 33S-33SP-3
CLT 上面部の木材のめくれ

4.5.2. L33S-33SB

荷重変位曲線を図 4.5.2-1 に、包絡線を図 4.5.2-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 4.5.2-1 に、破壊性状を写真 4.5.2-1～写真 4.5.2-8 に示す。CLT の割裂が確認された。

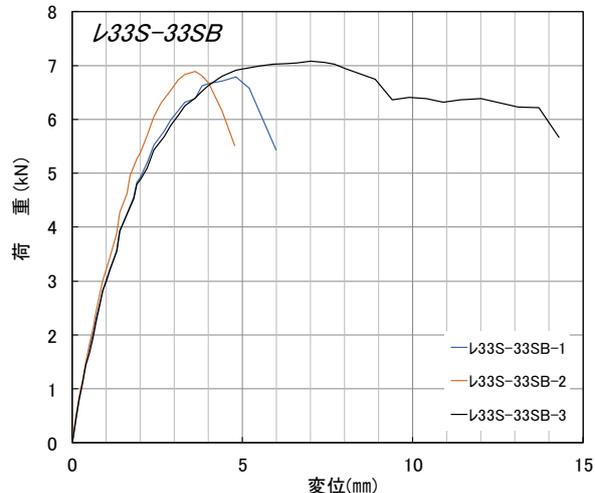
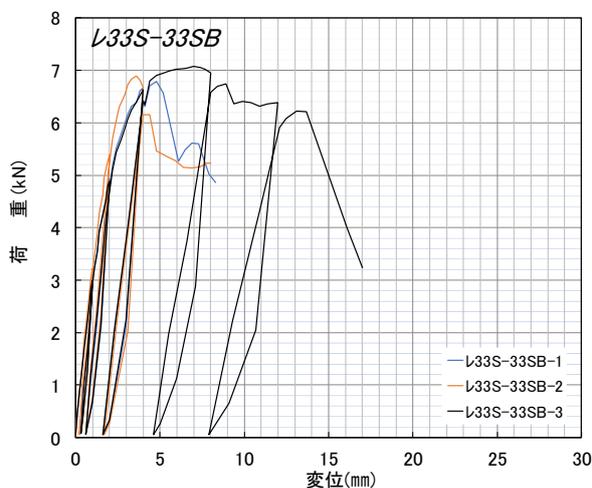


図 4.5.2-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 4.5.2-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 4.5.2-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 8 本分))

項目	試験体記号			L33S-33SB														
	1	2	3															
1/10Pm (kN)	5.4	5.5	5.7	5.5	0.15													
1/10 δ m (mm)	0.17	0.15	0.17	0.16	0.01													
2/5Pm (kN)	21.7	22.0	22.7	22.1	0.51													
2/5 δ m (mm)	0.86	0.80	0.90	0.85	0.05													
2/3Pm (kN)	36.2	36.7	37.8	36.9	0.82	0.022	0.931	34.3	4.3									
2/3 δ m (mm)	1.78	1.58	1.87	1.74	0.15													
9/10Pm (kN)	48.9	49.6	51.0	49.8	1.07													
9/10 δ m (mm)	3.04	2.52	3.55	3.04	0.52													
Pm (kN)	54.3	55.1	56.7	55.4	1.22													
δ m (mm)	4.80	3.60	7.00	5.13	1.72													
δ u時荷重 (kN)	43.4	44.1	49.7	45.7	3.45													
δ u (mm)	5.99	4.77	13.70	8.15	4.84													
降伏耐力 Py (kN)	29.9	30.5	31.9	30.8	1.03	0.033	0.896	27.5	3.4									
δ v (mm)	1.35	1.26	1.44	1.35	0.09													
終局耐力 Pu (kN)	50.0	51.4	52.4	51.3	1.21	0.024	0.924	47.4	5.9									
初期剛性 K (kN/mm)	22.15	24.21	22.15	22.84	1.19													
降伏点変位 δ v (mm)	2.26	2.12	2.37	2.25	0.13													
塑性率 μ = δ u / δ v	2.65	2.25	5.78	3.56	1.93													
構造特性係数 Ds	0.48	0.53	0.31	0.44	0.12													

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m;0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。



写真 4.5.2-1 No.2 33S-33SB-1 試験前
※試験体に「SP」と記載してあるのは間違い

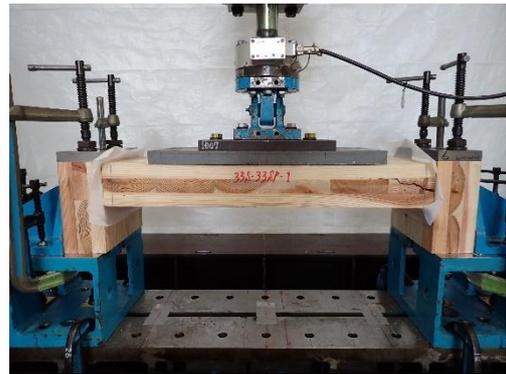


写真 4.5.2-2 No.2 33S-33SB-1 試験後
※試験体に「SP」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.2-3 No.2 33S-33SB-1
ビス打ち込み部からの木材の割裂

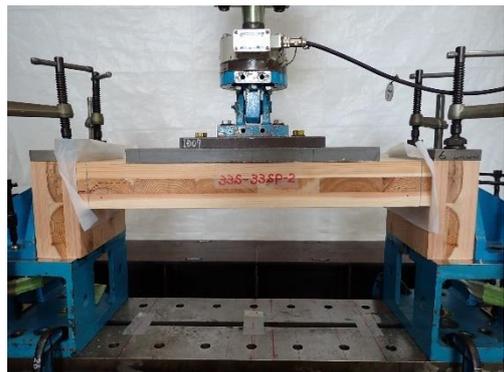


写真 4.5.2-4 No.2 33S-33SB-2 試験後
※試験体に「SP」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.2-5 No.2 33S-33SB-2
ビス打ち込み部からの木材の割裂



写真 4.5.2-6 No.2 33S-33SB-3 試験後
※試験体に「SP」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.2-7 No.2 33S-33SB-3
ビス打ち込み部からの木材の割裂



写真 4.5.2-8 No.2 33S-33SB-3
ビス打ち込み部からの木材の割裂

4.5.3. L33S-33WP

荷重変位曲線を図 4.5.3-1 に、包絡線を図 4.5.3-2 に、完全弾塑性モデルによる評価結果（1 試験体あたり）を表 4.5.3-1 に、破壊性状を写真 4.5.3-1～写真 4.5.3-8 に示す。CLT の割裂が確認された。

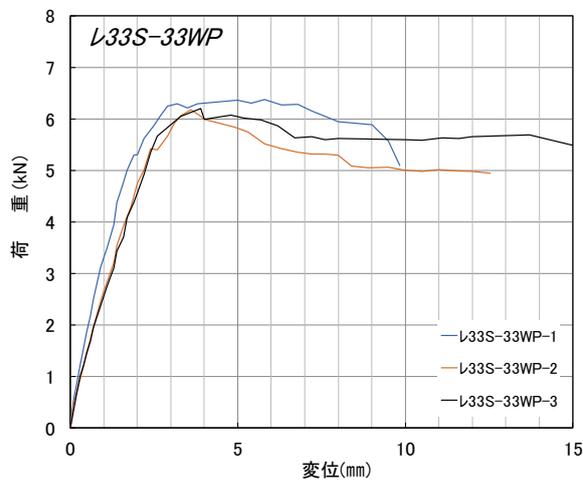
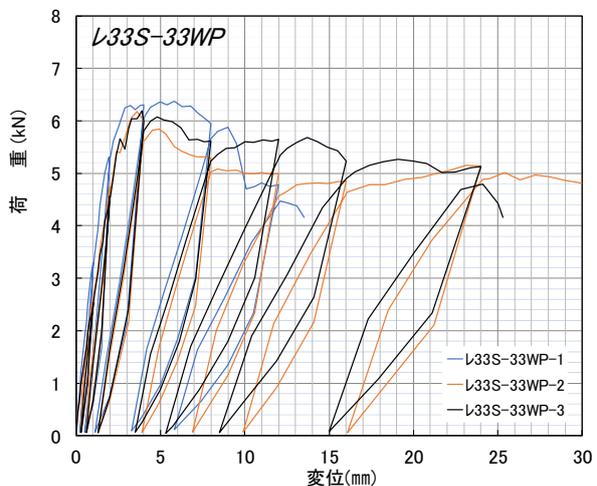


図 4.5.3-1 荷重変位曲線(ビス 1 本あたり)

図 4.5.3-2 包絡線 (ビス 1 本あたり)

表 4.5.3-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり (ビス 8 本分))

項目	試験体記号			L33S-33WP	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本あたり
	1	2	3										
1/10Pm (kN)	5.1	4.9	5.0	5.0	0.10								
1/10 δ m (mm)	0.13	0.17	0.17	0.16	0.02								
2/5Pm (kN)	20.4	19.8	19.8	20.0	0.35								
2/5 δ m (mm)	0.72	0.91	1.00	0.88	0.14								
2/3Pm (kN)	34.0	33.0	33.0	33.3	0.58	0.017	0.946	31.5	3.9				
2/3 δ m (mm)	1.37	1.71	1.73	1.60	0.20								
9/10Pm (kN)	45.9	44.5	44.6	45.0	0.78								
9/10 δ m (mm)	2.34	2.79	2.54	2.56	0.23								
Pm (kN)	51.0	49.5	49.6	50.0	0.84								
δ m (mm)	5.80	3.60	3.90	4.43	1.19								
δ u時荷重 (kN)	40.8	39.6	39.7	40.0	0.67								
δ u (mm)	9.83	12.54	24.18	15.52	7.62								
降伏耐力 Py (kN)	31.1	31.3	35.9	32.8	2.72	0.083	0.738	24.2	3.0				
δ v (mm)	1.27	1.59	1.96	1.61	0.35								
終局耐力 Pu (kN)	48.9	43.1	44.1	45.4	3.10	0.068	0.786	35.6	4.5				
初期剛性 K (kN/mm)	24.49	19.69	18.32	20.83	3.24								
降伏点変位 δ v (mm)	2.00	2.19	2.41	2.20	0.21								
塑性率 μ = δ u / δ v	4.92	5.73	10.03	6.89	2.75								
構造特性係数 Ds	0.34	0.31	0.23	0.29	0.06								

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m;0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が30mmまでの荷重で最も大きいものとする。

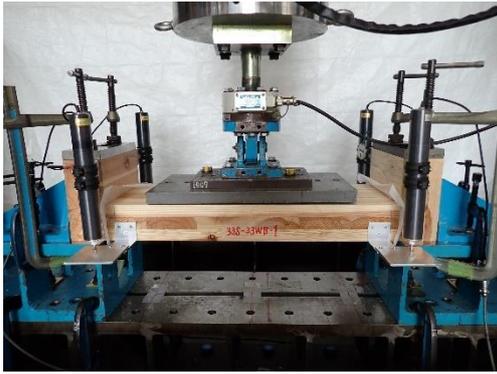


写真 4.5.3-1 No.3レ33S-33WP-1 試験前
※試験体に「WB」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.3-2 No.3レ33S-33WP-1 試験後
※試験体に「WB」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.3-3 No.3レ33S-33WP-1
ビス打ち込み部からの木材の割裂



写真 4.5.3-4 No.3レ33S-33WP-2 試験後
※試験体に「WB」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.3-5 No.3レ33S-33WP-2
ビス打ち込み部からの木材の割裂



写真 4.5.3-6 No.3レ33S-33WP-2
ビスによる CLT 上面部の木材のめくれ



写真 4.5.3-7 No.3レ33S-33WP-3 試験後
※試験体に「WB」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.3-8 No.3レ33S-33WP-3
ビス打ち込み部からの木材の割裂



写真 4.5.4-1 No.3 33S-33WB-1 試験前
※試験体に「WB」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.4-2 No.3 33S-33WB-1 試験後
※試験体に「WB」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.4-3 No.3 33S-33WB-1
ビス打ち込み部からの木材の割裂



写真 4.5.4-4 No.3 33S-33WB-2 試験後
※試験体に「WB」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.4-5 No.3 33S-33WB-2
ビス打ち込み部からの木材の割裂



写真 4.5.4-6 No.3 33S-33WB-3 試験後
※試験体に「WB」と記載してあるのは間違い



写真 4.5.4-7 No.3 33S-33WB-3
ビス打ち込み部からの木材の割裂

4.6. 考察

3.7 項と同様に、ビス 1 対あたりの特性値を比較したものを図 4.6-1～図 4.6-4 に示す。

各試験体を比較した結果、強度性能については有意差が認められるほどの違いはなく、ばらつきの範囲と考えられる。

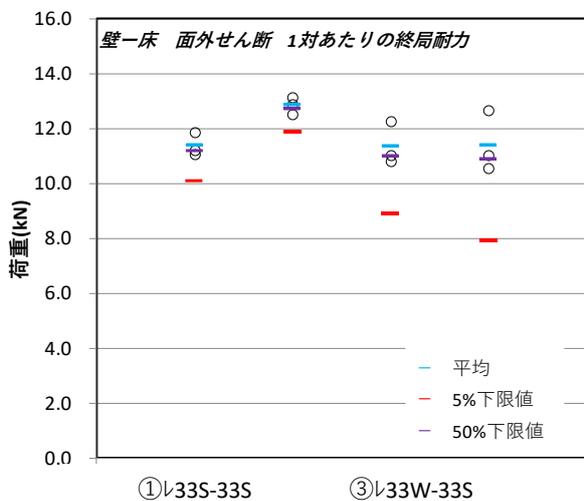


図 4.6-1 終局耐力の比較

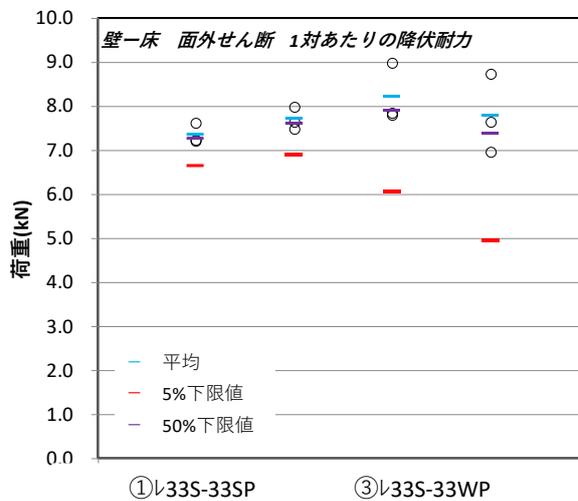


図 4.6-2 降伏耐力の比較

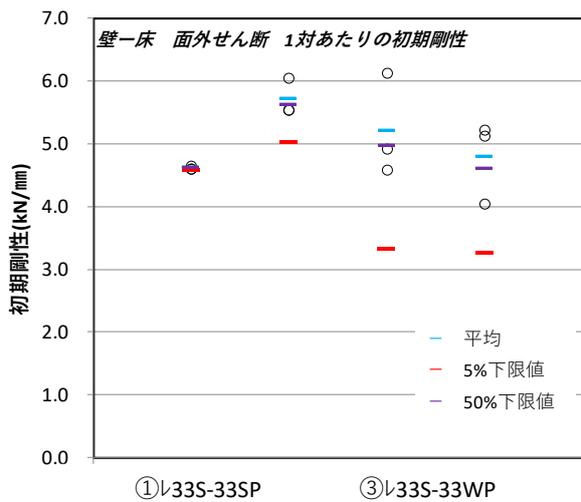


図 4.6-3 初期剛性の比較

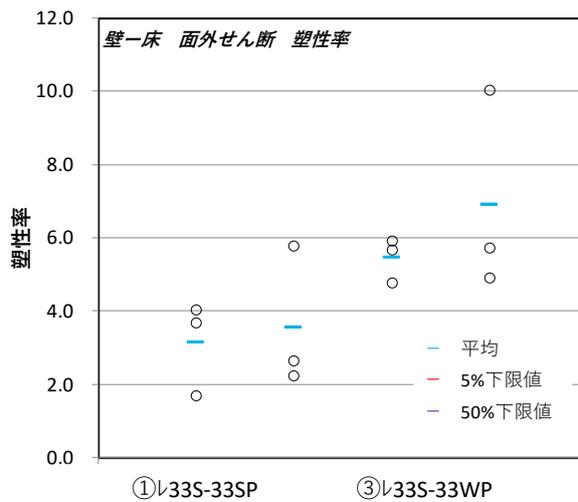


図 4.6-4 塑性率の比較

4.7. 再評価の結果

12体は、主材側で破壊が起こることから、表4.7-1のとおり1試験シリーズとして再評価を行った。

ビス1本あたり3.8kNとなった。

表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8本))

試験体記号 項目	33S-33SP			33S-33SB			33S-33WP			33S-33WB			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	2	3	4	5	6					
1/10Pm (kN)	5.2	4.8	4.9	5.4	5.5	5.7	5.6	4.6	5.1	5.1	4.9	5	5.2	0.34			
1/10δm (mm)	0.19	0.16	0.18	0.17	0.15	0.17	0.17	0.18	0.13	0.13	0.17	0.17	0.16	0.02			
2/5Pm (kN)	20.7	19.0	19.6	21.7	22.0	22.7	22.5	18.3	20.2	20.4	19.8	19.8	20.6	1.40			
2/5δm (mm)	1.01	0.93	0.99	0.86	0.80	0.90	0.96	0.94	0.85	0.72	0.91	1.00	0.91	0.09			
2/3Pm (kN)	34.4	31.7	32.7	36.2	36.7	37.8	37.6	30.5	33.7	34	33	33	34.3	2.34	0.068	0.986	33.8
2/3δm (mm)	1.86	1.77	1.76	1.78	1.58	1.87	2.00	1.83	1.67	1.37	1.71	1.73	1.74	0.16			
9/10Pm (kN)	46.5	42.9	44.1	48.9	49.6	51.0	50.7	41.2	45.5	45.9	44.5	44.6	46.3	3.14			
9/10δm (mm)	2.81	2.74	2.70	3.04	2.52	3.55	3.47	5.54	2.77	2.34	2.79	2.54	3.07	0.86			
Pm (kN)	51.6	47.6	49.0	54.3	55.1	56.7	56.3	45.8	50.6	51	49.5	49.6	51.4	3.48			
δm (mm)	3.40	4.80	3.80	4.80	3.60	7.00	5.50	14.80	3.60	5.80	3.60	3.90	5.38	3.17			
δu時荷重 (kN)	41.3	38.1	46.9	43.4	44.1	49.7	45.1	45.8	40.4	40.8	39.6	39.7	42.9	3.50			
δu (mm)	9.74	8.83	4.40	5.99	4.77	13.70	14.60	14.80	10.10	9.83	12.54	24.18	11.12	5.45			
降伏耐力 Py (kN)	28.8	28.9	30.4	29.9	30.5	31.9	30.5	34.9	27.8	31.1	31.3	35.9	31.0	2.37	0.076	0.985	30.5
δv (mm)	1.55	1.57	1.65	1.35	1.26	1.44	1.49	2.16	1.33	1.27	1.59	1.96	1.55	0.27			
終局耐力 Pu (kN)	44.8	44.2	47.3	50.0	51.4	52.4	50.5	42.1	44	48.9	43.1	44.1	46.9	3.60	0.077	0.985	46.1
初期剛性 K (kN/mm)	18.58	18.41	18.42	22.15	24.21	22.15	20.47	16.16	20.90	24.49	19.69	18.32	20.33	2.55			
降伏点変位 δv (mm)	2.41	2.40	2.57	2.26	2.12	2.37	2.47	2.61	2.11	2.00	2.19	2.41	2.33	0.19			
弾性率 μ = δu/δv	4.04	3.68	1.71	2.65	2.25	5.78	5.91	5.67	4.79	4.92	5.73	10.03	4.76	2.21			
構造特性係数 Ds	0.38	0.40	0.64	0.48	0.53	0.31	0.30	0.31	0.34	0.34	0.31	0.23	0.38	0.12			

5. 壁-直交壁接合 ビス接合仕様規定の評価方法の検討及び面内せん断試験

5.1. 検討の目的

CLT パネル工法建築物の仕様規定ルートの創設に関する検討報告書²⁾（以下「基整促 35 報告書」という。）では、新たな告示案として壁量計算等不要ルートが検討されている。

当該仕様規定では、壁-直交壁の接合方法として、ビスを図 5.1-1 のとおり斜めに留め付けることによって、壁脚部に生じる引張力（あるいは圧縮力）の一部を直交壁が負担できるとしている。基整促 35 報告書では図 5.1-2 のような耐力壁試験によって評価を行っている。

今後新たな接合仕様を開発したい場合に、耐力壁試験が必要ということになると開発者の負担が大き過ぎるため、簡便に評価する方法を確立させる必要がある。併せて施工の低コスト化に対応するため、太いビス径のビスを用いることによって、施工に必要なビスの本数を減らすことができるか実験的な検証を行い、評価方法の妥当性についても確認する。

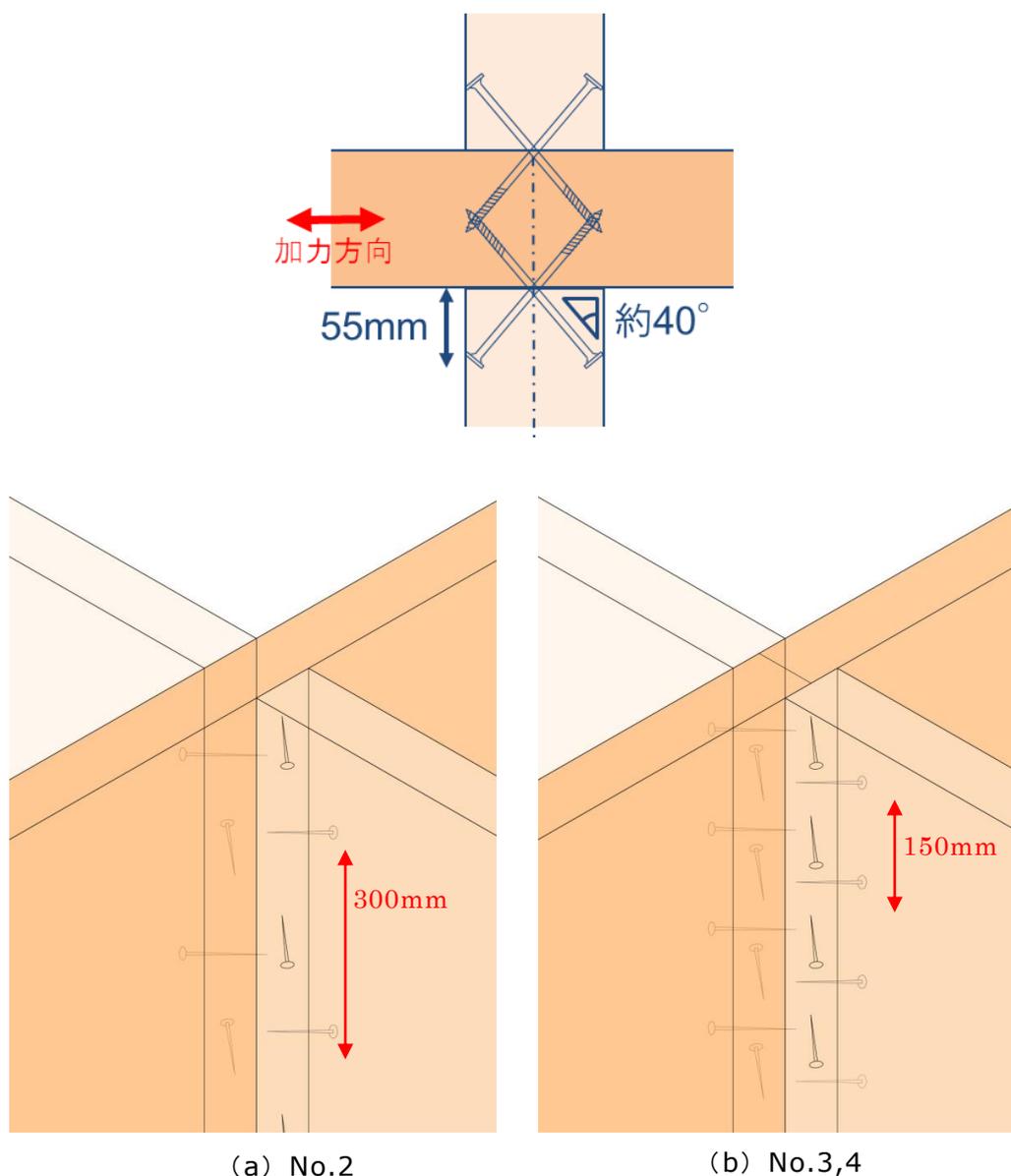


図 5.1-1 直交壁との取り合い（基整促 35 報告書より抜粋）

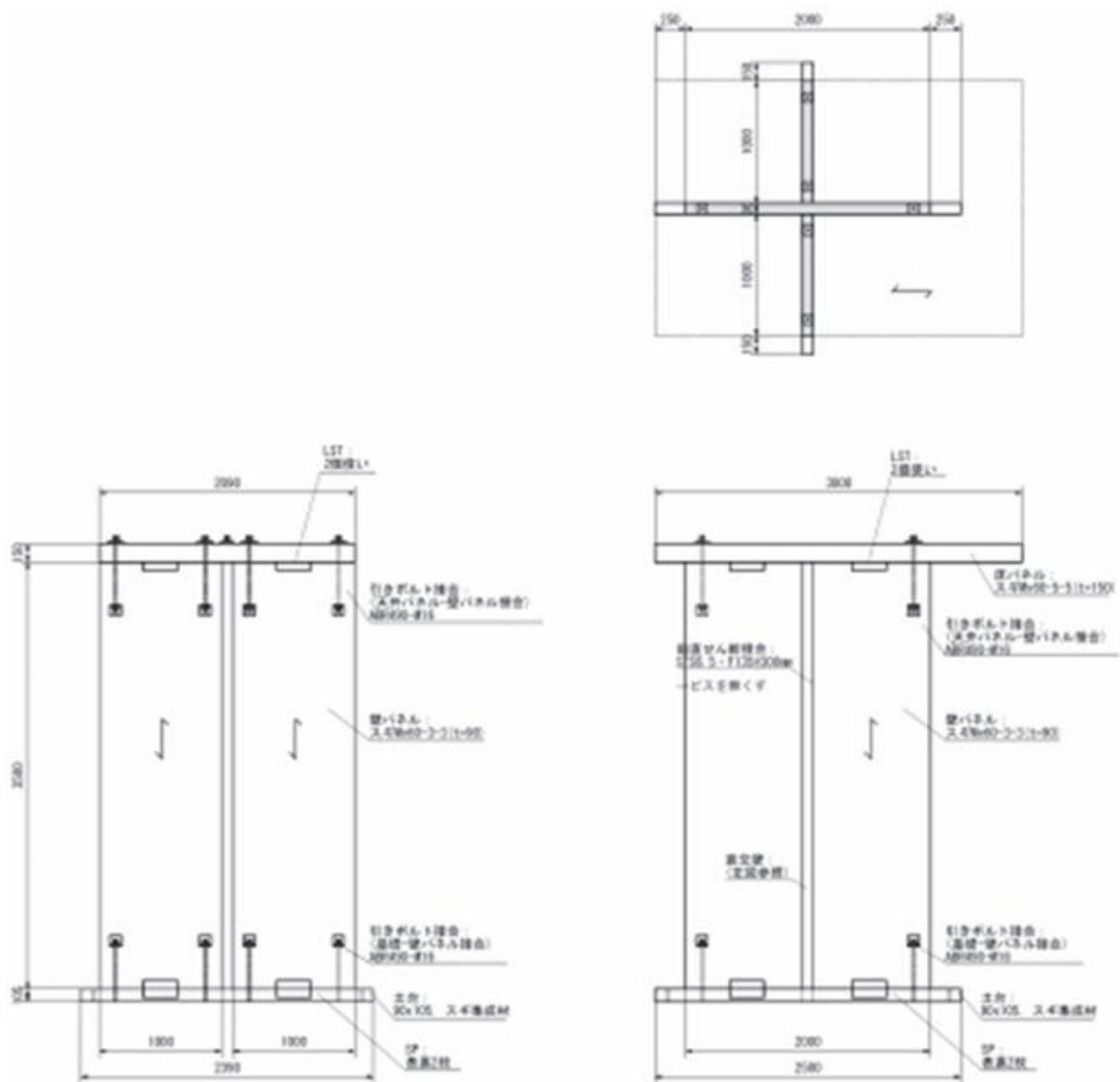


図 5.1-2 耐力壁試験体（基整促 35 報告書より抜粋）

5.2. 検討方針

基整促 35 報告書では、No.1 はビス無し仕様、No.2～4 は、図 5.1-1 に示す仕様として耐力壁の試験を実施している。結果は表 5.2-1、図 5.2-1 のとおりである。

結果より、ビスを打っていない No.1 と比較して、ビスを 300 mm ピッチで打った No.2、ビスを 150 mm ピッチで打った No.3、150 mm ピッチかつ床継ぎ手を設けた No.4 の耐力は大きく上回る事となった。

当該試験で使用された下記のビスとの同等性を確認することにより、径 9 mm の全ねじビスも適用可能とし、1 本あたりのビスの本数を減らすことで施工性向上に寄与することを期待して実験を行うこととする。

表 5.2-1 特性値の比較

	Py [kN]	0.2Pu/Ds [kN]	2/3Pmax [kN]	P120 [kN]	Pa [kN]	壁倍率
No.1	33.09	45.64	35.43	38.84	33.09	8.44
No.2	42.14	59.46	55.43	54.59	42.14	10.75
No.3	58.99	45.74	63.88	55.03	45.74	11.67
No.4	52.96	53.85	59.48	57.57	52.96	13.51

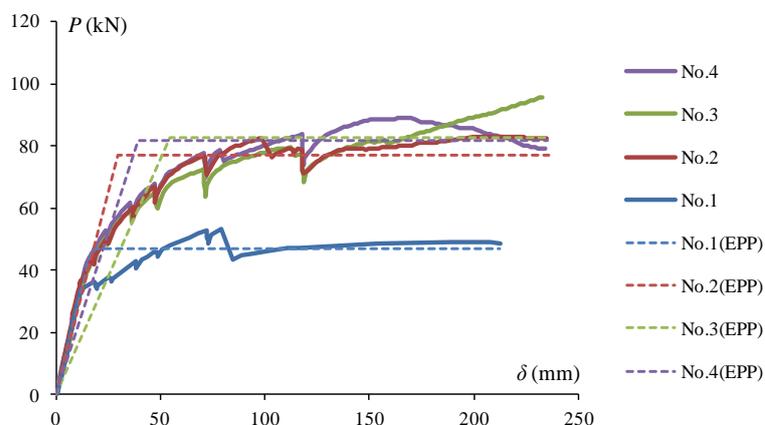


図 5.2-1 荷重－変形関係の包絡線と完全弾塑性モデル

5.3. 評価方法の検討

5.3.1. 耐力壁の性能と接合部設計の考え方

耐力壁－直交壁の接合部設計の考え方は下記のとおりである。

- ・壁と直交壁は一体となってロッキング挙動する（図 5.3.1-1）。
- ・このとき、ビス接合と引きボルト接合の直列バネとなり、設計の考え方としてボルトを先行降伏させるため、引きボルト接合の降伏耐力<ビス接合の降伏耐力となるように接合部設計する。
- ・十字型試験体は、試験耐力が高くなる傾向にあるので、絶対評価を行う場合は H 型とする。側材がロッキング挙動しづらいことが原因と考えられるとのこと。
- ・剛性に代わる指標として、変位 20 mm までの P_{max} を条件に加える。



W1_TWE(B)_NBJ (R4_No.1)



W1_TWE(B)_NBJ_SJ100 (R4_No.2)



W1_TWE(B)_Cy (R4 No.4)



W2_TWC(F)_NSJ (R4_No.3)

図 5.3.1-1 基整促 35 実験の様子

※基整促 35 報告書²⁾より抜粋

5.3.2. 提案する評価方法

ア. 絶対評価を行う場合

(1) 試験方法

ビス接合は塑性化させない考え方なので、繰り返し加力試験ではなく、単調加力試験でよい。評価対象のビス接合を6体。

試験体形状はH型形状のロケット型試験。変位は20mmまで計測。

(2) 評価方法

ビス接合の P_y 、変位20mmまでの P_{max} を算出。

下記を満たすことが条件

- 1) P_y (5%下限値) × 設計に使う1接合部のビス本数 > 1.7kN (表3-1のとおり) × 22本 = 37.4kN
- 2) 変位20mmまでの P_{max} (5%下限値) × 設計に使う1接合部のビス本数 > 3.7kN × 22本 = 81.4kN

表 5.3.2-1 告示(案)のビス1本あたりの特性値
(山崎先生から pickpoint データ提供)

	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)
1	2.29746	3.40776	4.311	20.015
2	2.42736	3.17904	4.4955	20.0863
3	1.96239	3.18195	4.208	20.0387
4	2.24614	3.38131	4.0065	20.0525
kの値	2.681		2.681	
平均値	2.2	3.3	4.3	20.0
5%下限値	1.7		3.7	

イ. 相対評価を行う場合

(1) 試験方法

コントロールとして告示仕様のビス接合、評価対象のビス接合を6体ずつ試験。比較試験なので、単調加力試験でよい。

試験体形状はH形状若しくは十字型形状のロケット型試験。変位は20mmまで計測。

(2) 評価方法

ビス接合の P_y 、変位20mmまでの P_{max} を算出。

下記を満たすことが条件

- 1) 評価対象 P_y (5%下限値) × 設計に使う1接合部のビス本数 > コントロール P_y (5%下限値) × 22本
- 2) 評価対象 P_{max} (5%下限値) × 設計に使う1接合部のビス本数 > コントロール P_{max} (5%下限値) × 22本

※評価方法は、当該告示仕様の同等性検証法として、公益財団法人日本住宅・木材技術センター発行「CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル」¹⁾に掲載する予定である。

5.4. 試験の種類

試験の種類は表 5.4-1 のとおりである。

試験方法は、告示案仕様のビスとの同等性を確認する比較試験なので、加力方法は一番簡便なロケット型単調加力とした。また絶対評価を行う場合においても告示案仕様のビス接合部もロケット型単調加力で試験を実施しているため、問題はない。

表 5.4-1 試験の種類

通し番号	試験体記号	CLTの種類			接合具の種類			打ち込み角度	試験体数(体)	備考
		CLTの樹種/等級/構成方法	層構成(厚さ)	軸方向	名称	山径d(mm)	接合具長さl(mm)			
1	STS6.5F-135 (S35仕様)	スギCLT/ Mx60/A種構成	3層3プライ (90mm)	強軸	半ねじビス	6.5	135	40°	6	コントロール
2	HTS9F-140				半ねじビス	9	140	45°	6	
3	HTS9-140				全ねじビス	9	140	45°	6	
合計									18	

5.5. 試験体仕様

(1) ビスの仕様

当該試験で使用した長ビスは図 5.5-1～図 5.5-3 のとおりである。

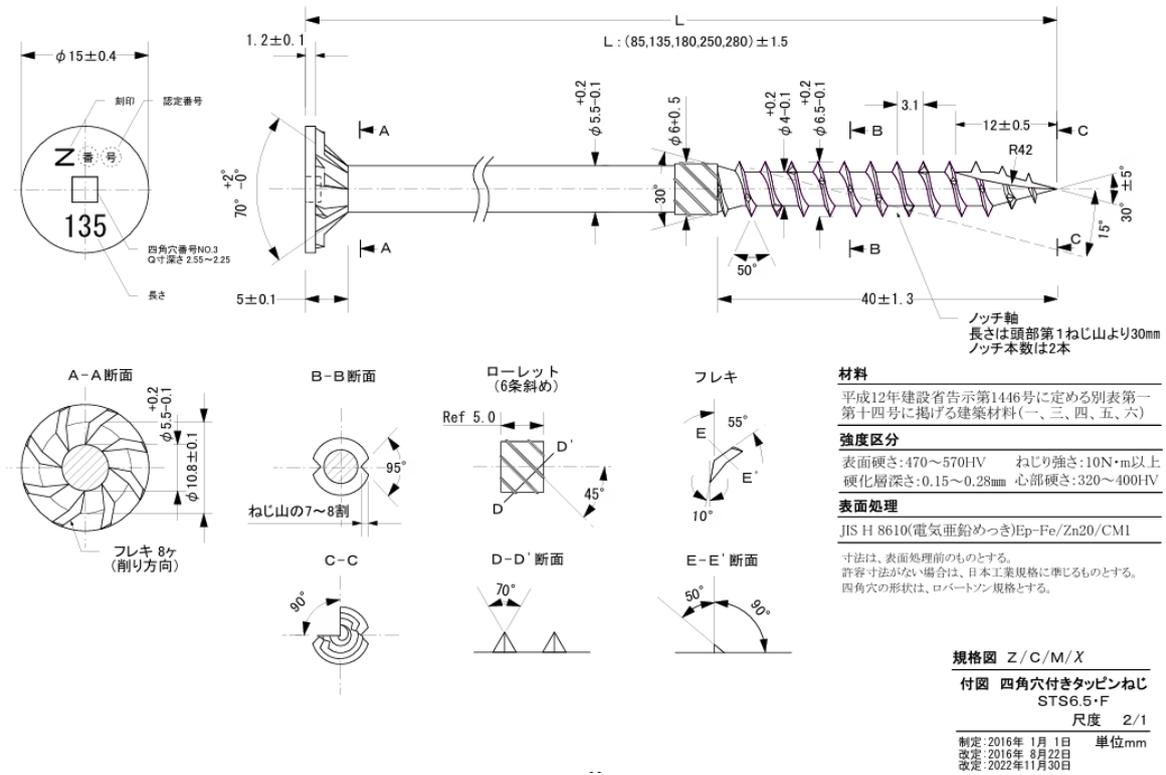


図 5.5-1 基整促 35 で使用した半ねじビス STS6.5F-L135 (コントロール)

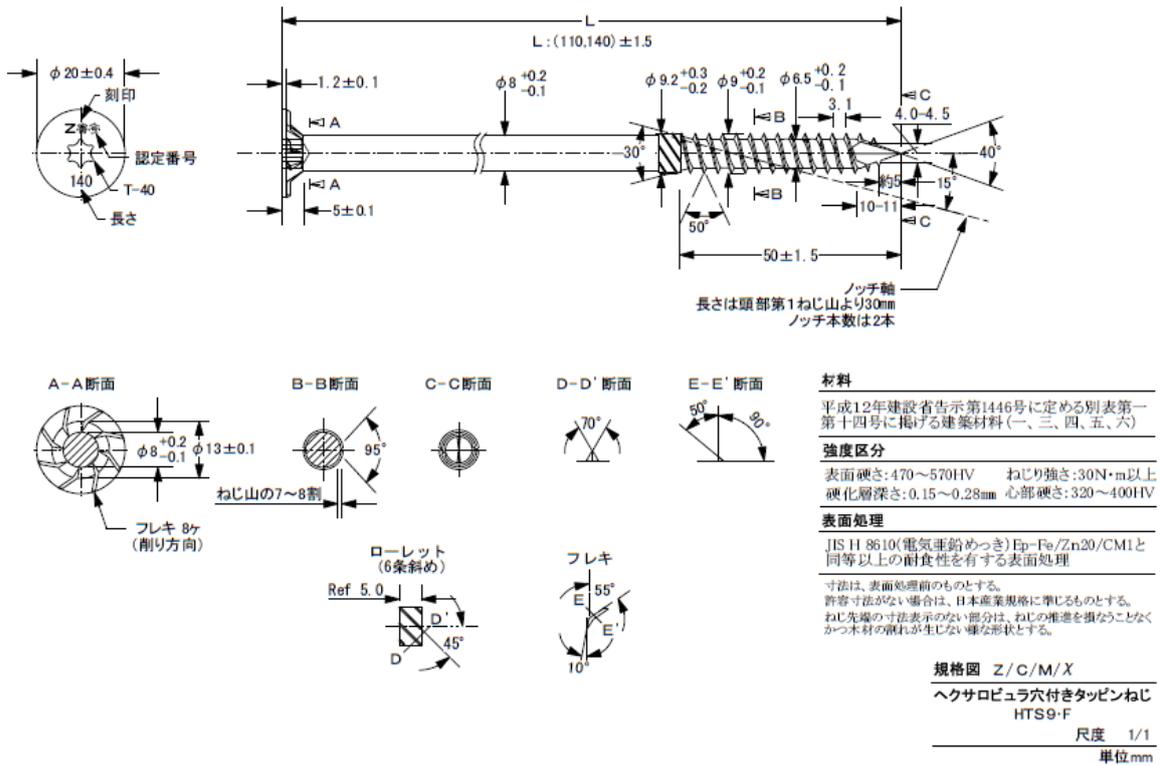


図 5.5-2 半ねじビス HTS9・F-140

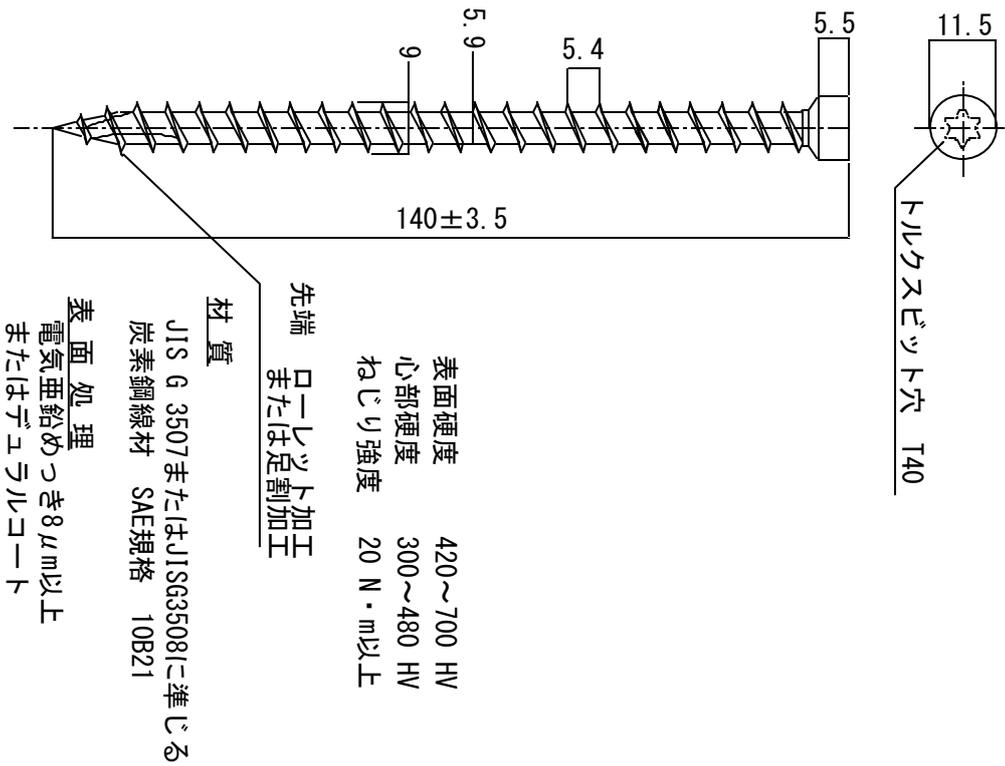
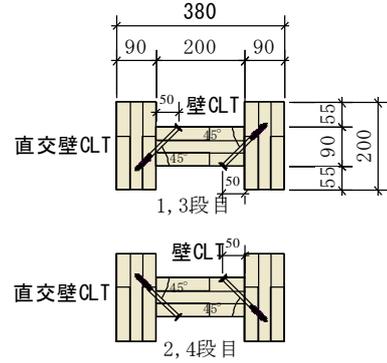
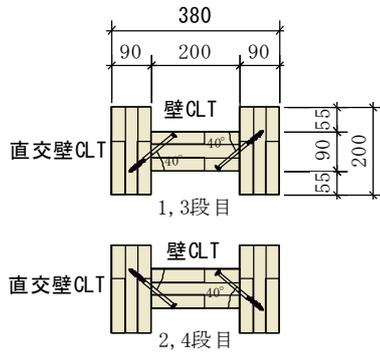


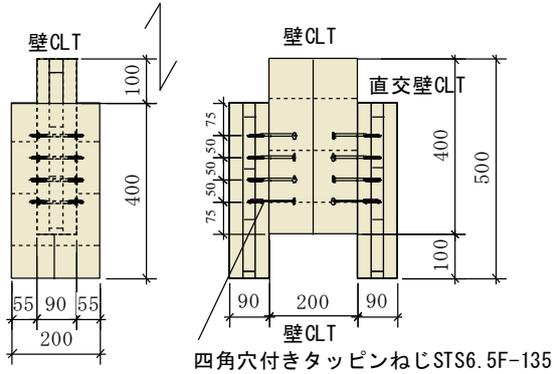
図 5.5-3 全ねじビス HTS9-140

(2) 試験体仕様

各試験体図を図 5.5-4～図 5.5-6 に、試験体の密度と含水率を表 5.5-1 に示す。試験体形状は H 型形状のロケット型試験とした。



壁CLT強軸方向



壁CLT強軸方向

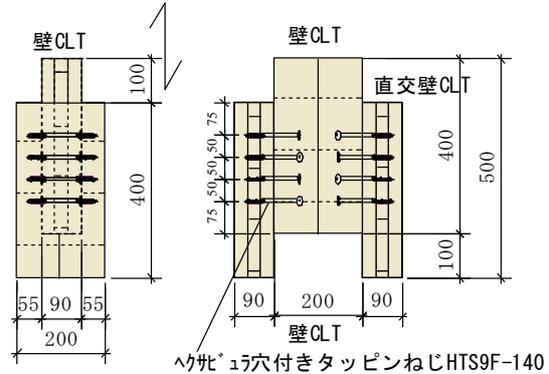
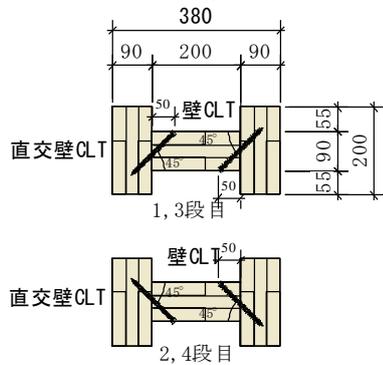


図 5.5-4 No.1 STS6.5F-135 試験体図 (コントロール)

図 5.5-5 No.2 HTS9F-140 試験体図



壁CLT強軸方向

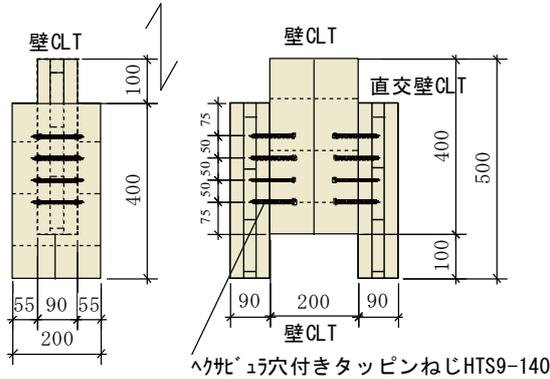


図 5.5-6 No.3 HTS9-140 試験体図

表 5.5-1 密度と含水率

No.1 STS6.5F-135

試験体記号	主材		側材1左		側材2右	
	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)
STS6.5F-1	0.42	11.0	0.42	11.0	0.42	11.5
2	0.41	11.5	0.41	12.0	0.41	11.0
3	0.41	10.5	0.41	10.5	0.41	12.0
4	0.41	12.0	0.41	11.0	0.41	10.5
5	0.41	11.0	0.41	11.5	0.41	11.5
6	0.40	12.0	0.40	10.0	0.40	13.0
平均値	0.41	11.3	0.41	11.0	0.41	11.6
標準偏差	0.01	0.6	0.01	0.7	0.01	0.9

No.2 HTS9F-140

試験体記号	主材		側材1左		側材2右	
	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)
HTS9F-1	0.42	12.0	0.42	12.5	0.42	12.5
2	0.41	12.0	0.41	10.5	0.41	13.0
3	0.41	12.0	0.41	11.0	0.41	11.0
4	0.41	11.0	0.41	11.0	0.41	10.5
5	0.41	12.5	0.41	12.5	0.41	10.5
6	0.40	12.0	0.40	12.0	0.40	11.5
平均値	0.41	11.9	0.41	11.6	0.41	11.5
標準偏差	0.01	0.5	0.01	0.9	0.01	1.0

No.3 HTS9-140

試験体記号	主材		側材1左		側材2右	
	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)
STS6.5F-1	0.42	11.0	0.42	11.0	0.42	11.5
2	0.41	11.5	0.41	12.0	0.41	11.0
3	0.41	10.5	0.41	10.5	0.41	12.0
4	0.41	12.0	0.41	11.0	0.41	10.5
5	0.41	11.0	0.41	11.5	0.41	11.5
6	0.40	12.0	0.40	10.0	0.40	13.0
平均値	0.41	11.3	0.41	11.0	0.41	11.6
標準偏差	0.01	0.6	0.01	0.7	0.01	0.9

5.6. 試験方法、評価方法

試験体形状は H 型形状のロケット型試験とした。

試験体の側材は加力後のねじれ等を抑えるため、写真 5.6-1 のとおり治具で L アングルと六角ボルトで抑えることとした。

加力方法は、単調加力試験とし、荷重が $0.8P_{max}$ に落ちるまで計測を行った。変位は CLT 相互の相対変位を試験体の前後で計測した。

評価方法は、測定したデータについて変位 20 mm 超えた部分を削除 (図 5.6-1) してから完全弾塑性モデルによる評価を行った。(終盤で荷重が上がるものは通常の評価方法で評価を行ったものより P_y が低く算定される。)



写真 5.6-1 試験方法

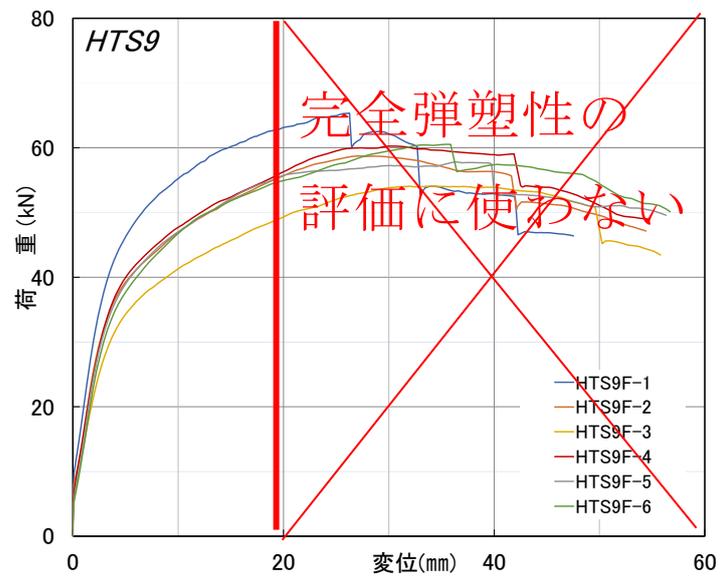


図 5.6-1 変位 20 mmまでのデータで評価を実施

5.7. 試験結果

5.7.1. STS6.5F（半ねじ）、コントロール材

荷重変位曲線を図 5.7.1-1 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 5.7.1-1 に、破壊性状を写真 5.7.1-1～写真 5.7.1-6 に示す。ビスが曲げ降伏し、木材の支圧が確認された。

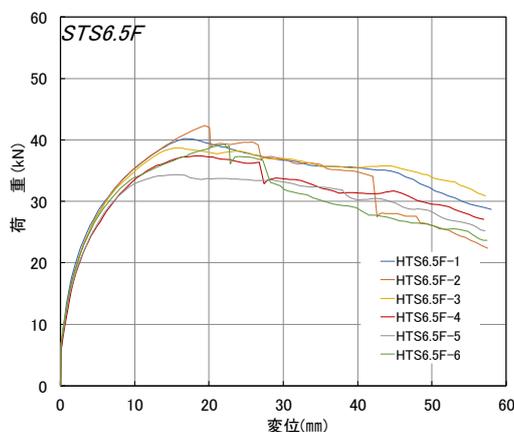


図 5.7.1-1 荷重変位曲線(1 試験体あたり)

表 5.7.1-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり)

試験体記号 項目	STS6.5F(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)	4.0	4.2	3.9	3.7	3.4	3.9	3.9	0.27			
1/10 δ m (mm)	0.04	0.03	0.04	0.06	0.03	0.02	0.04	0.01			
2/5Pm (kN)	16.1	16.9	15.5	14.9	13.7	15.4	15.4	1.09			
2/5 δ m (mm)	1.24	1.55	1.32	1.38	1.06	1.25	1.30	0.16			
2/3Pm (kN)	26.8	28.2	25.8	24.9	22.9	25.7	25.7	1.79	0.070	0.836	21.4
2/3 δ m (mm)	4.32	5.20	4.16	4.42	3.52	4.22	4.31	0.54			
9/10Pm (kN)	36.2	38.1	34.8	33.6	30.9	34.7	34.7	2.43			
9/10 δ m (mm)	10.84	12.96	9.95	10.12	7.87	11.50	10.54	1.70			
Pm (kN)	40.2	42.3	38.7	37.4	34.4	38.6	38.6	2.66	0.069	0.839	32.3
δ m (mm)	16.75	19.43	16.01	18.14	15.04	20.00	17.56	1.96			
δ u時荷重 (kN)	39.4	42.0	38.0	37.2	33.7	38.6	38.2	2.73			
δ u (mm)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00			
降伏耐力 Py (kN)	21.5	22.8	20.8	19.6	17.8	21.6	20.7	1.76	0.085	0.801	16.5
δ v (mm)	2.44	3.06	2.51	2.45	1.90	2.73	2.52	0.38			
終局耐力 Pu (kN)	36.2	37.3	35.5	33.9	31.9	34.7	34.9	1.89	0.054	0.874	30.5
初期剛性 K (kN/mm)	8.81	7.45	8.29	8.00	9.37	7.91	8.31	0.69			
降伏点変位 δ v (mm)	4.11	5.01	4.28	4.24	3.40	4.39	4.24	0.52			
塑性率 $\mu = \delta u / \delta v$	4.87	3.99	4.67	4.72	5.88	4.56	4.78	0.62			
構造特性係数 Ds	0.34	0.38	0.35	0.34	0.30	0.35	0.34	0.03			

1/10Pm; 0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m; 0.1Pmax時の変位

注) 最大荷重Pmは変位が20mmまでの荷重で最も大きいものとする。



写真 5.7.1-1 ビス STS6.5F



写真 5.7.1-2 NO.1 STS6.5F-1 試験前



写真 5.7.1-3 NO.1 STS6.5F-1 試験後



写真 5.7.1-4 NO.1 STS6.5F-2
ビス頭のめり込み



写真 5.7.1-5 NO.1 STS6.5F-1
ビスの曲げ、木材の支圧



写真 5.7.1-6 NO.1 STS6.5F-6
ビスの曲げ、木材の支圧

5.7.2. HTS9F (半ねじ)

荷重変位曲線を図 5.7.2-1 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 5.7.2-1 に、破壊性状を写真 5.7.2-1~写真 5.7.2-6 に示す。ビスが曲げ降伏し、木材の支圧が確認された。

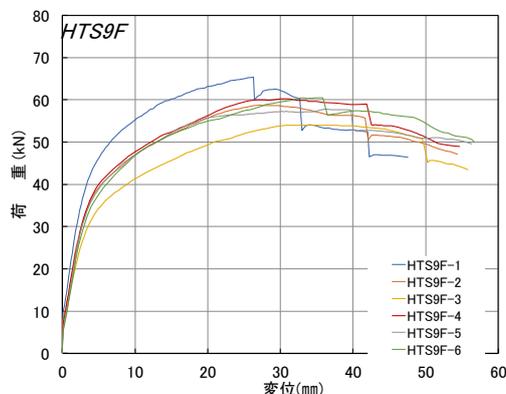


図 5.7.2-1 荷重変位曲線(1 試験体あたり)

表 5.7.2-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり)

試験体記号 項目	HTS9F(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)	6.3	5.6	4.9	5.6	5.6	5.5	5.6	0.44			
1/10 δ m (mm)	0.01	0.05	0.05	0.06	0.12	0.12	0.07	0.04			
2/5Pm (kN)	25.2	22.3	19.7	22.5	22.3	22.0	22.3	1.75			
2/5 δ m (mm)	1.48	1.60	1.71	1.69	1.71	1.83	1.67	0.12			
2/3Pm (kN)	42.1	37.1	32.9	37.5	37.1	36.6	37.2	2.93	0.079	0.815	30.3
2/3 δ m (mm)	3.78	4.17	4.42	4.14	4.33	4.58	4.24	0.28			
9/10Pm (kN)	56.8	50.1	44.4	50.7	50.1	49.4	50.3	3.95			
9/10 δ m (mm)	11.39	13.11	13.32	12.81	13.00	12.10	12.62	0.73			
Pm (kN)	63.1	55.7	49.3	56.3	55.7	54.9	55.8	4.40	0.079	0.815	45.4
δ m (mm)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00			
δ u時荷重 (kN)	63.1	55.7	49.3	56.3	55.7	54.9	55.8	4.40			
δ u (mm)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00			
降伏耐力 Py (kN)	38.4	33.6	29.7	34.5	33.5	32.1	33.6	2.87	0.085	0.801	26.9
δ y (mm)	3.05	3.23	3.45	3.40	3.36	3.32	3.30	0.14			
終局耐力 Pu (kN)	57.2	49.2	43.6	50.1	49.4	48.7	49.7	4.36	0.088	0.794	39.4
初期剛性 K (kN/mm)	12.59	10.40	8.61	10.15	9.97	9.67	10.23	1.31			
降伏点変位 δ v (mm)	4.54	4.73	5.06	4.94	4.95	5.04	4.88	0.20			
塑性率 μ = δ u / δ v	4.41	4.23	3.95	4.05	4.04	3.97	4.11	0.18			
構造特性係数 Ds	0.36	0.37	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.01			

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m;0.1Pmax時の変位

注)最大荷重Pmは変位が20mmまでの荷重で最も大きいものとする。



写真 5.7.2-1 ビス HTS9F



写真 5.7.2-2 NO.2 HTS9F-1 試験前



写真 5.7.2-3 NO.2 HTS9F-1 試験後



写真 5.7.2-4 NO.2 HTS9F-6
ビス頭のめり込み



写真 5.7.2-5 NO.2 HTS9F-2
ビスの曲げ、木材の支圧



写真 5.7.2-6 NO.2 HTS9F-6
ビスの曲げ、木材の支圧

5.7.3. HTS9 (全ねじ)

荷重変位曲線を図 5.7.3-1 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 5.7.3-1 に、破壊性状を写真 5.7.3-1~写真 5.7.3-6 に示す。ビスが曲げ降伏し、木材の支圧が確認された。

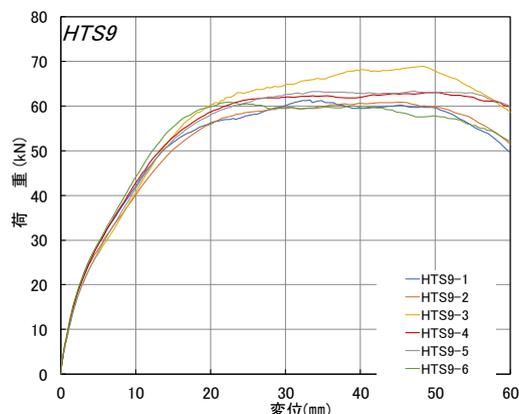


図 5.7.3-1 荷重変位曲線(1 試験体あたり)

表 5.7.3-1 完全弾塑性モデルによる評価(1 試験体あたり)

試験体記号 項目	HTS9(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	5.6	6.0	5.9	5.8	6.0	5.8	0.18			
1/10 δ m (mm)	0.47	0.41	0.53	0.47	0.46	0.47	0.47	0.04			
2/5Pm (kN)	22.5	22.4	24.1	23.5	23.2	24.0	23.3	0.73			
2/5 δ m (mm)	3.06	3.16	4.01	3.43	3.71	3.42	3.47	0.35			
2/3Pm (kN)	37.5	37.3	40.2	39.1	38.7	39.9	38.8	1.20	0.031	0.928	36.0
2/3 δ m (mm)	8.15	8.81	9.83	8.61	8.96	8.54	8.82	0.57			
9/10Pm (kN)	50.6	50.4	54.3	52.8	52.2	53.9	52.4	1.63			
9/10 δ m (mm)	14.01	15.08	15.51	14.87	14.90	14.09	14.74	0.58			
Pm (kN)	56.2	56.0	60.3	58.7	58.0	59.9	58.2	1.81	0.031	0.928	54.0
δ m (mm)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00			
δ u時荷重 (kN)	56.2	56.0	60.3	58.7	58.0	59.9	58.2	1.81			
δ u (mm)	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00			
降伏耐力 Py (kN)	25.8	25.1	26.6	27.8	27.2	27.2	26.6	1.00	0.038	0.911	24.2
δ y (mm)	3.91	3.98	4.83	4.62	4.91	4.29	4.42	0.43			
終局耐力 Pu (kN)	47.5	46.3	50.4	50.1	49.9	51.3	49.3	1.92	0.039	0.909	44.8
初期剛性 K (kN/mm)	6.60	6.31	5.51	6.02	5.54	6.34	6.05	0.45			
降伏点変位 δ v (mm)	7.20	7.34	9.15	8.32	9.01	8.09	8.19	0.82			
塑性率 μ = δ u / δ v	2.78	2.72	2.19	2.40	2.22	2.47	2.46	0.25			
構造特性係数 Ds	0.47	0.47	0.54	0.51	0.54	0.50	0.51	0.03			

1/10Pm;0.1Pmax時の荷重

1/10 δ m;0.1Pmax時の変位

注)最大荷重Pmは変位が20mmまでの荷重で最も大きいものとする。



写真 5.7.3-1 ビス HTS9



写真 5.7.3-2 NO.3 HTS9-1 試験前



写真 5.7.3-3 NO.3 HTS9-1 試験後



写真 5.7.3-4 NO.3 HTS9-1
ビスの曲げ、木材の支圧



写真 5.7.3-5 NO.3 HTS9-2
ビスの曲げ、木材の支圧



写真 5.7.3-6 NO.3 HTS9-6
ビスの曲げ、木材の支圧

5.8. 考察

ビス 1 本あたりの特性値を比較したものを図 5.8-1～図 5.8-4 に、包絡線を比較したものを図 5.8-5 に示す。

各試験体を比較した結果、以下のことが分かった。

- ・ 終局耐力や降伏耐力は **STS6.5F** が低い結果となった。径の太さに依存していると思われるが、**HTS9F** と **HTS9** を比較すると終局耐力では同程度だったが、降伏耐力では **HTS** の方が低くなる結果となった。理由としては、半ねじである **HTS9F** の方が材相互を引き寄せさせるため、初期剛性が高くなることによって降伏点も高くなるものと思われる。図 5.8-5 では、初期剛性が高い **HTS9F** が円を描くように変位に応じて荷重が上昇していくのに対して、**HTS9** は 20kN 付近から降伏している。
- ・ 前述のとおり同じ呼び径同士であっても半ねじビスである **HTS9F** の方が全ねじビスである **HTS9** よりも初期剛性は高くなる結果となった。
- ・ 塑性率は **STS6.5F** が一番高く、**HTS9F**、**HTS9** の順に低くなる結果となった。**HTS9** は早い段階で降伏するのにも関わらず、降伏から最大耐力に至るまでに変形量を要するため、 δv が大きくなってしまいうことが原因と考えられる。

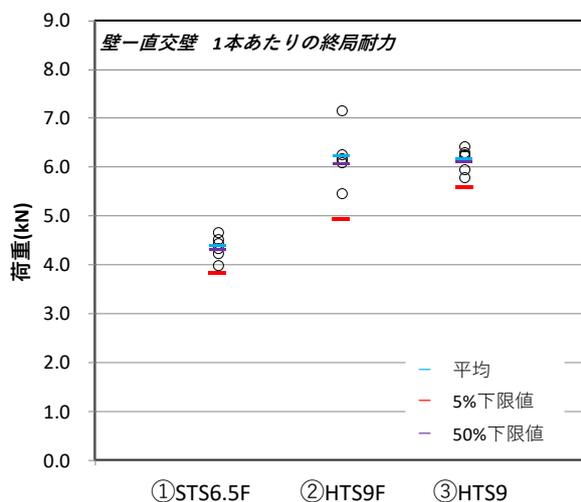


図 5.8-1 終局耐力の比較

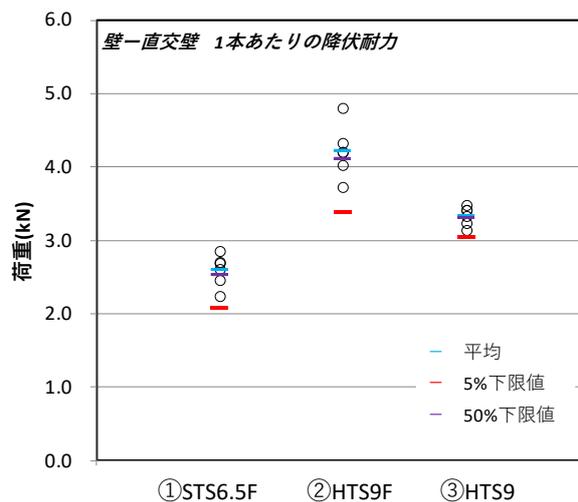


図 5.8-2 降伏耐力の比較

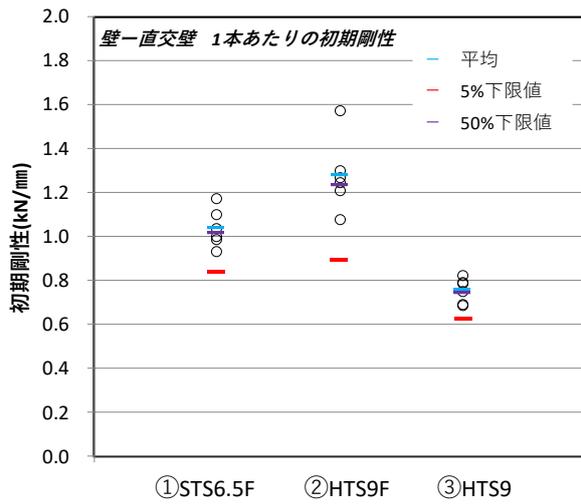


図 5.8-3 初期剛性の比較

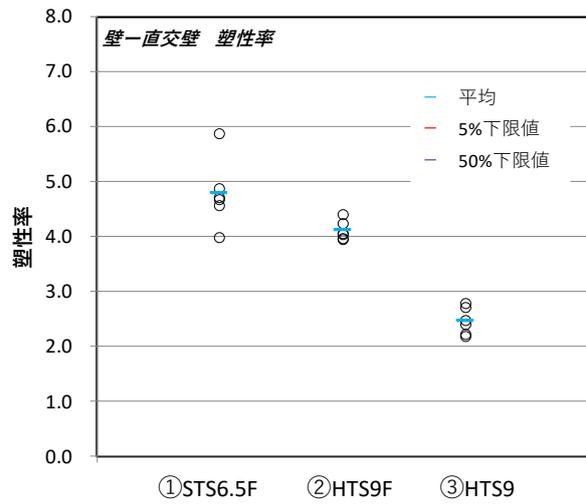


図 5.8-4 塑性率の比較

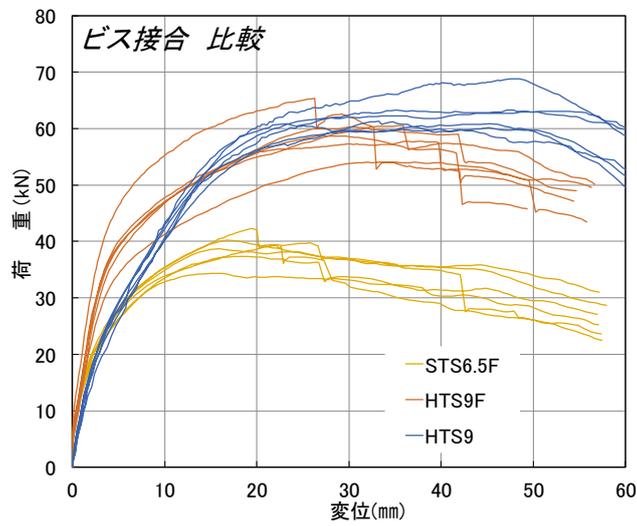


図 5.8-5 包絡線の比較

5.9. 同等性の評価

5.9.1. 絶対評価

全ねじビス HTS9 による絶対評価の結果を表 5.9.1-1 に、半ねじビス HTS9F による絶対評価の結果を表 5.9.1-2 に、HTS9 と HTS9F を包絡線で比較したものを図 5.9.1-1 に、基準値の P_y と P_{max} を加えたものを図 5.9.1-2 に示す。

結果から基準値に対して、全ねじビス HTS9 は降伏耐力 P_y 、20 mm 時の最大耐力（以下、「 ${}_{20}P_{max}$ 」）共に基準値の 1.8 倍前後の性能となり、仕様規定の 1 列ビス本数 22 本に対して 13 本打てば同等以上の性能が得られることが分かった。

一方半ねじビス HTS9F は P_y が約 2 倍の性能となったが、 ${}_{20}P_{max}$ は 1.5 倍程度に留まった。結果として基準値の 1 列ビス本数 22 本に対して 15 本必要という結果になった。

半ねじビス HTS9F の ${}_{20}P_{max}$ が低かった原因は、図 5.9.1-1、図 5.9.1-2 に示すとおりばらつきが大きかったためであるが、全ねじと比べ、なぜばらつきが大きかったのかは分かっていない。写真 5.7.1-4 は、木材が割裂しているように見えるが、ビス頭のめり込みによって表層に割れが入っただけであり、耐力に影響を及ぼすような割れではない。

表 5.9.1-1 全ねじビス HTS9 の絶対評価の結果

評価に必要な特性値		ビス1本あたりの強度性能			1列に打つ必要本数	
		基準値	HTS9	対象/基準	基準値	HTS9
P_y	5%下限値	1.7	3.0	1.78	22	13
${}_{20}P_{max}$	5%下限値	3.7	6.8	1.82	22	13
						13

表 5.9.1-2 半ねじビス HTS9F の絶対評価の結果

評価に必要な特性値		ビス1本あたりの強度性能			1列に打つ必要本数	
		基準値	HTS9F	対象/基準	基準値	HTS9F
P_y	5%下限値	1.7	3.4	1.98	22	12
${}_{20}P_{max}$	5%下限値	3.7	5.7	1.53	22	15
						15

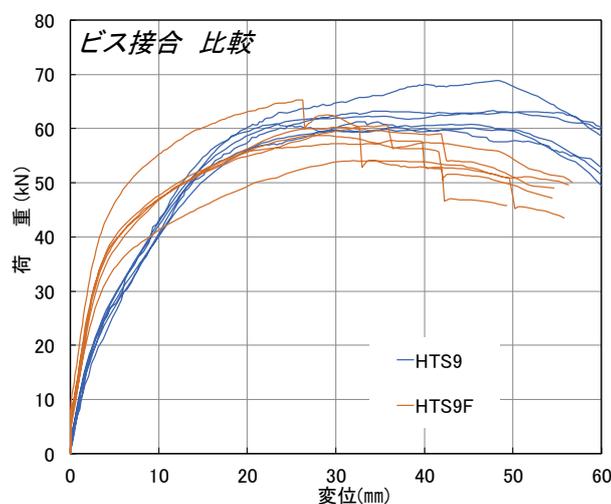


図 5.9.1-1 HTS9 と HTS9F の荷重変位曲線の比較

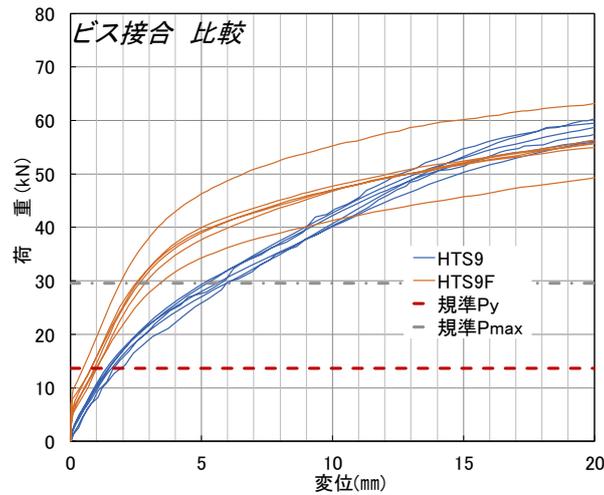


図 5.9.1-2 HTS9、HTS9F 及び基準値の荷重変位曲線の比較（変位 20 mm まで）

5.9.2. 相対評価

全ねじビス HTS9 による相対評価の結果を表 5.9.2-1 に、半ねじビス HTS9F による相対評価の結果を表 5.9.2-2 に、HTS9、HTS9F 及び STS6.5F を包絡線で比較したものを図 5.9.2-1 に、基準値の P_y と P_{max} を加えたものを図 5.9.2-2 に示す。

結果からコントロール試験体に対して、全ねじビス HTS9 の降伏耐力 P_y は 1.47 倍だったのに対して、 ${}_{20}P_{max}$ は 1.67 倍となった。仕様規定の 1 列ビス本数 22 本に対して 15 本打てば同等以上の性能が得られることが分かった。

一方半ねじビス HTS9F は P_y が 1.63 倍、 ${}_{20}P_{max}$ は 1.41 倍となった。結果として使用規定の 1 列ビス本数 22 本に対して 16 本必要という結果になった。

絶対評価に比べ、ビスの必要本数が増した理由は、コントロール試験体である STS6.5F は、基整促で実施した試験結果よりも良かったことが原因である。

表 5.9.2-1 全ねじビス HTS9 の相対評価の結果

評価に必要な特性値		ビス1本あたりの強度性能			1列に打つ必要本数	
		STS6.5F (コントロール)	HTS9	対象/基準	基準値	HTS9
P_y	5%下限値	2.1	3.0	1.47	22	15
${}_{20}P_{max}$	5%下限値	4.0	6.8	1.67	22	14
						15

表 5.9.2-2 半ねじビス HTS9F の相対評価の結果

評価に必要な特性値		ビス1本あたりの強度性能			1列に打つ必要本数	
		STS6.5F (コントロール)	HTS9F	対象/基準	基準値	HTS9F
P_y	5%下限値	2.1	3.4	1.63	22	14
${}_{20}P_{max}$	5%下限値	4.0	5.7	1.41	22	16
						16

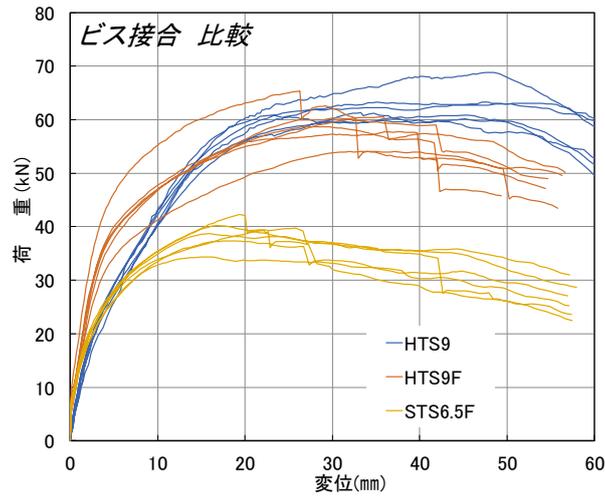


図 5.9.2-1 HTS9、HTS9F 及び STS6.5F の荷重変位曲線の比較

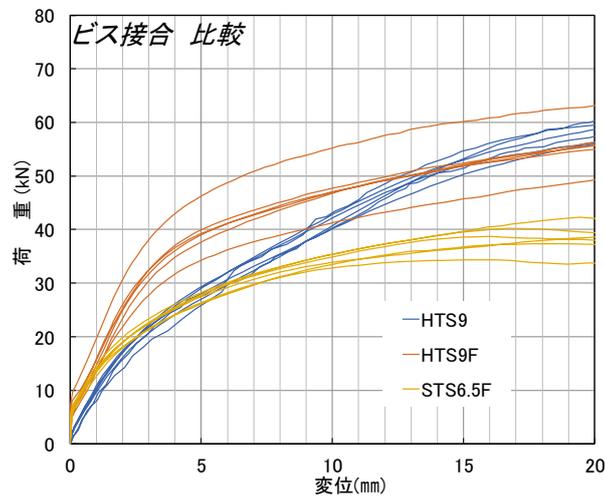


図 5.9.2-2 HTS9、HTS9F、STS6.5F 及び基準値の荷重変位曲線の比較
(変位 20 mm まで)

6.2. 試験の種類

試験の種類は表 6.2-1 のとおりである。

表 6.2-1 試験の種類

通し番号	試験体名	面材の種類		接合具の種類				試験体数(体)
		面材規格	厚さ(mm)	名称	山径または胴部径 d (mm)	接合具長さ l (mm)	梁への埋め込み長さ l_e (mm)	
1	C090F180	スギCLT/Mx60-3-3 /A種構成	90	ヘキサボリュラ穴付きタピンねじ HTS9・L180	9.0	180	90	3
2	C150F300	スギCLT/Mx60-5-5 /A種構成	150	ヘキサボリュラ穴付きタピンねじ HTS9・L300	9.0	300	150	3
3	C210F380	スギCLT/Mx60-5-7 /A種構成	210	ヘキサボリュラ穴付きタピンねじ HTS9・L380	9.0	380	170	3
4	JF	-	-	軸組フレーム試験体				1
合計								10

6.3. 試験体仕様

(1) ビスの仕様

当該試験で使用した長ビスは図 6.3-1、写真 6.3-1 のとおりである。

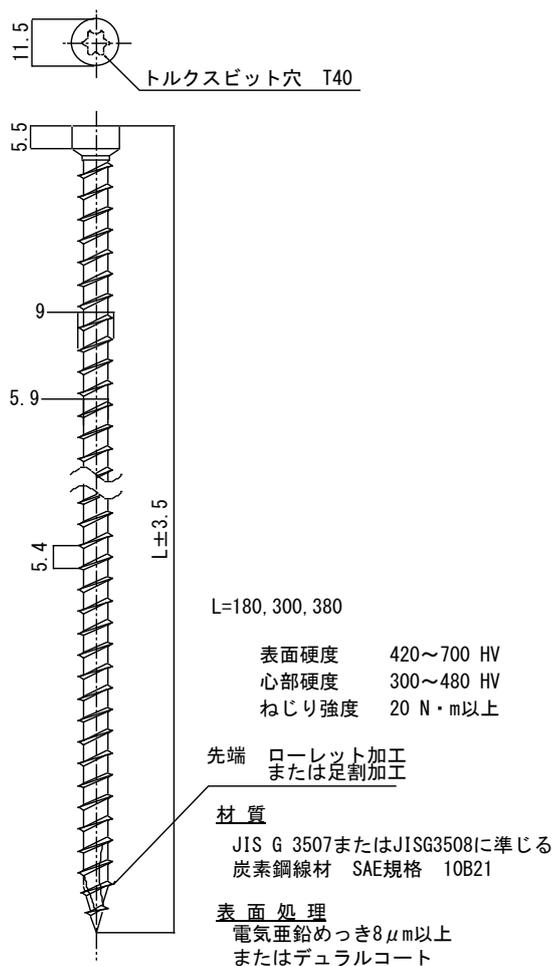


図 6.3-1 全ねじビス HTS9

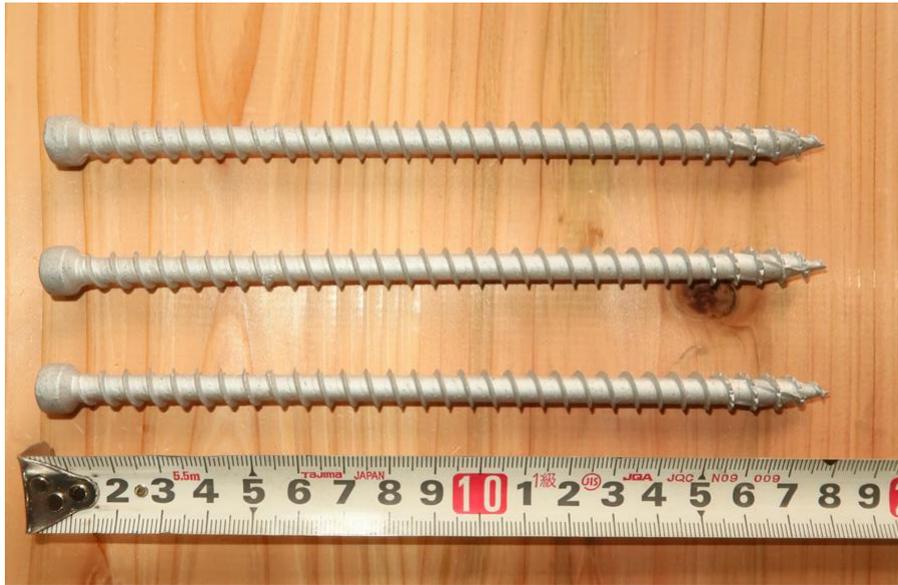


写真 6.3-1 全ねじビス HTS9

(2) 試験体仕様

各試験体図を図 6.3-2～図 6.3-5 に、試験体の密度と含水率を表 6.3-1 に示す。試験体形状は文献 3) においては、「標準サイズの面材 (3'×6'版等)」と規定されているが、CLT には標準サイズが存在しないこと、強軸・弱軸方向の強度性能への影響が大きいことから、面材サイズを正方形とした。

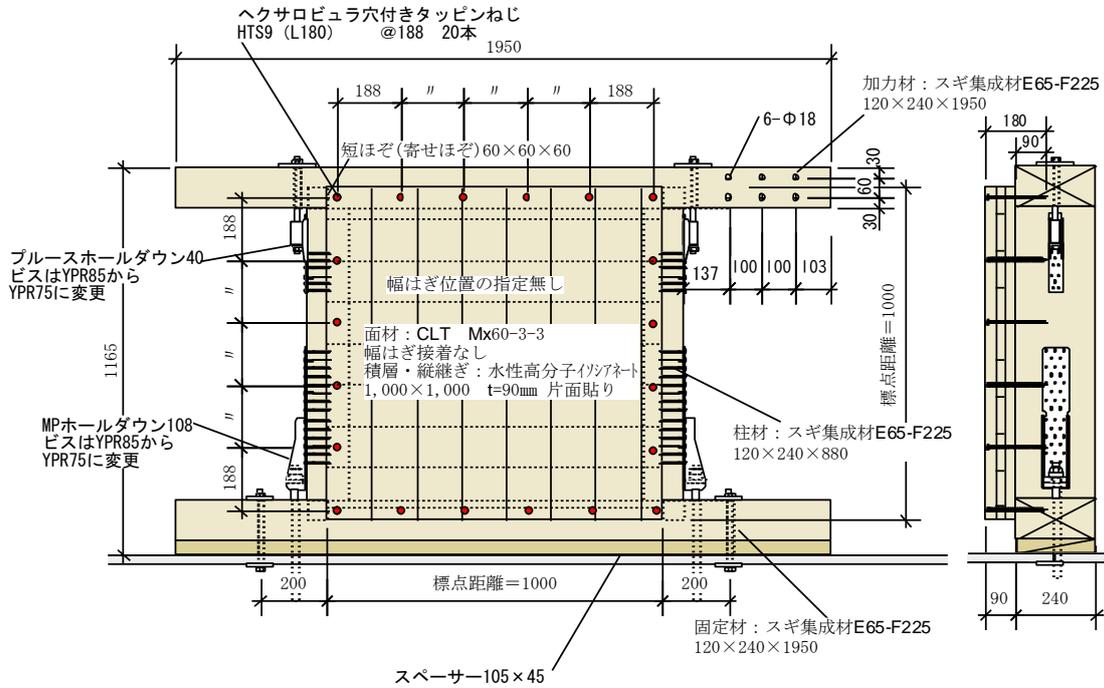


図 6.3-2 No.1 C090F180 試験体図

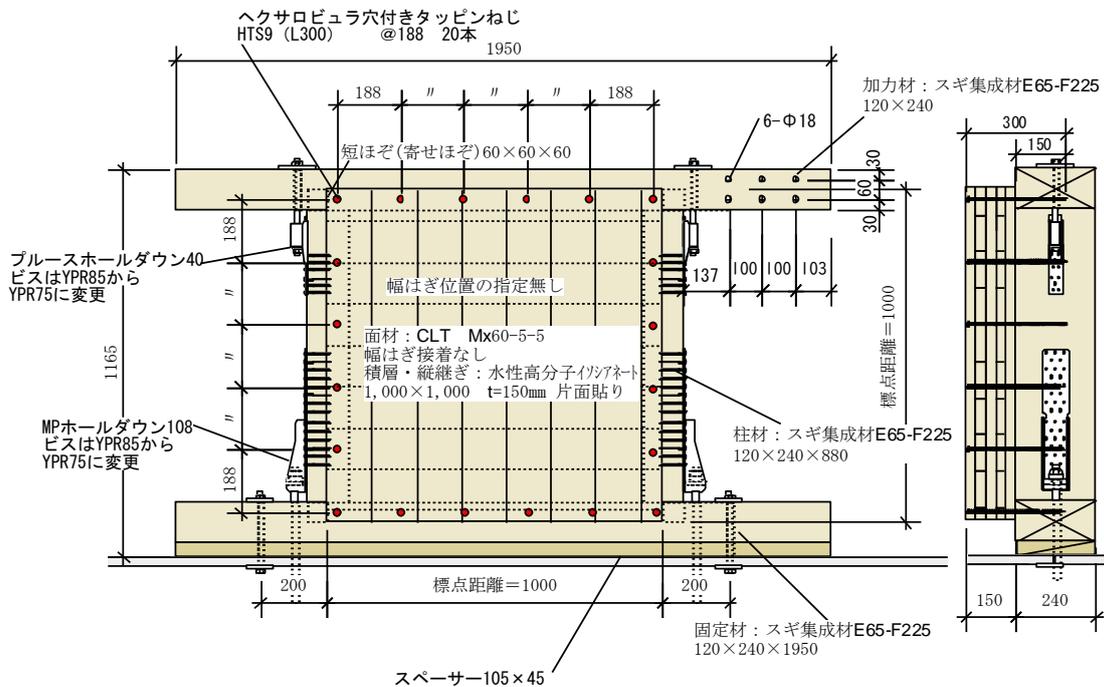


図 6.3-3 No.2 C150F300 試験体図

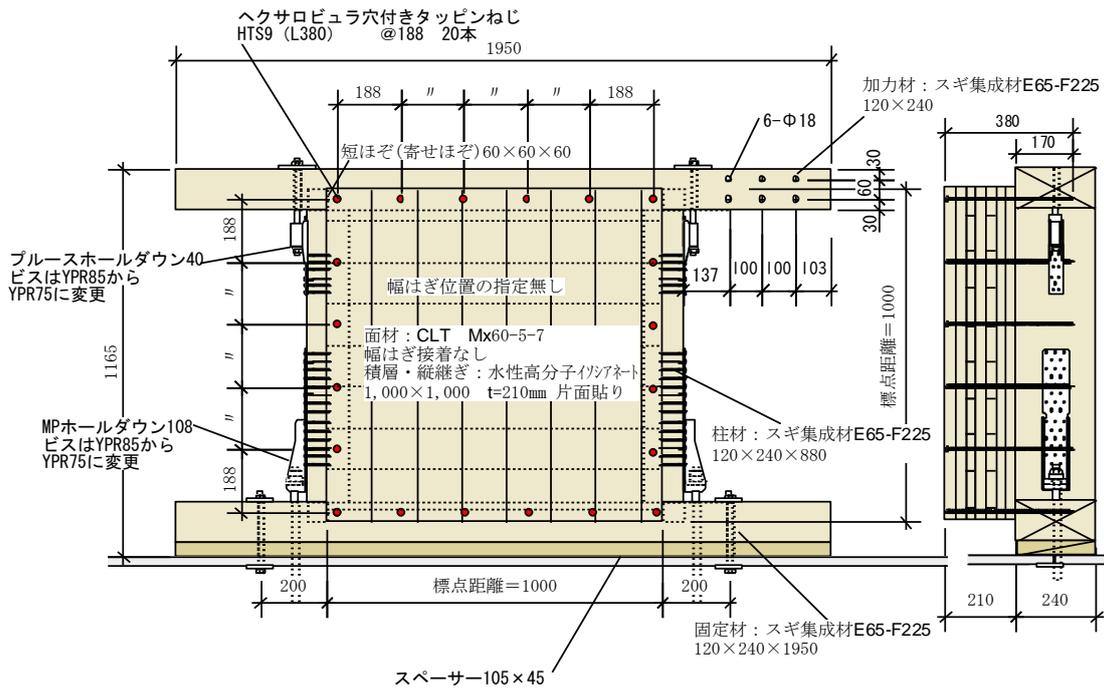


図 6.3-4 No.3 C210F380 試験体図

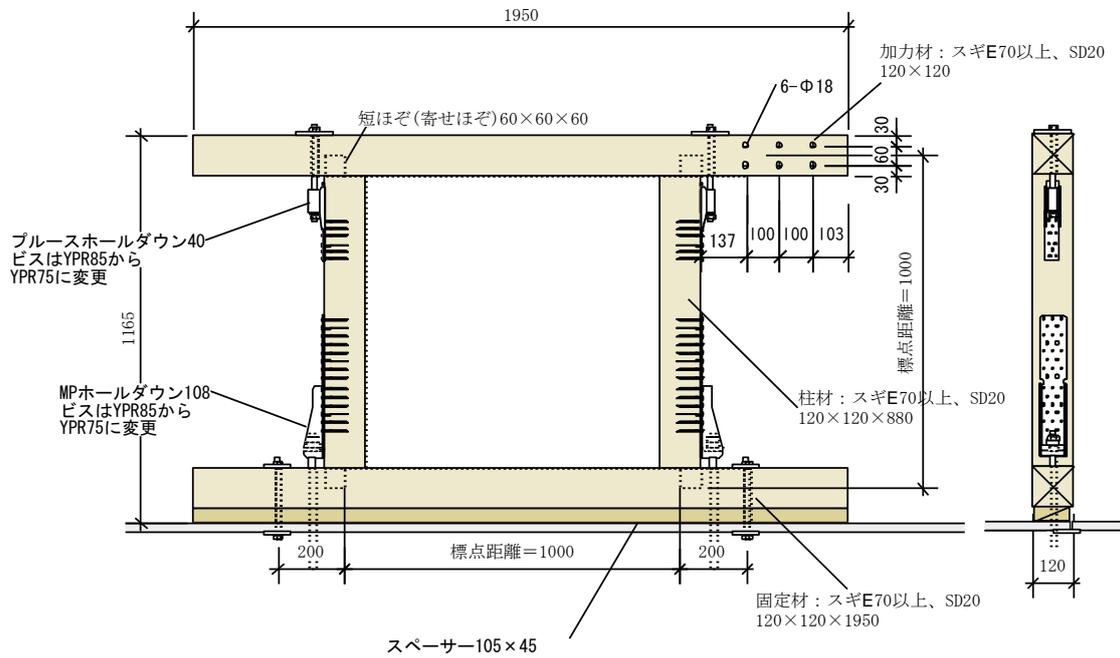


図 6.3-5 No.4 JF 軸組フレーム試験体図

表 6.3-1 密度と含水率

No.1 C90F180

試験体記号	梁材		土台材		右柱材		左柱材		CLTパネル	
	密度 (g/cm ³)	含水率(%)								
C90F180-1	0.43	9.5	0.41	10.0	0.42	15.0	0.45	11.0	0.40	13.0
2	0.41	10.0	0.41	11.0	0.43	10.0	0.42	15.0	0.41	14.0
3	0.39	9.5	0.42	14.0	0.43	14.0	0.43	12.0	0.41	15.0
平均値	0.41	9.7	0.41	11.7	0.43	13.0	0.43	12.7	0.41	14.0
標準偏差	0.02	0.3	0.01	2.1	0.01	2.6	0.02	2.1	0.01	1.0

No.2 C150F300

試験体記号	梁材		土台材		右柱材		左柱材		CLTパネル	
	密度 (g/cm ³)	含水率(%)								
C150F300-1	0.42	10.0	0.40	10.0	0.42	14.0	0.45	10.5	0.41	13.5
2	0.41	12.0	0.42	12.0	0.44	11.5	0.42	12.5	0.41	13.5
3	0.40	10.0	0.43	11.5	0.43	11.0	0.43	12.0	0.42	13.0
平均値	0.41	10.7	0.42	11.2	0.43	12.2	0.43	11.7	0.42	13.3
標準偏差	0.01	1.2	0.02	1.0	0.01	1.6	0.02	1.0	0.00	0.3

No.3 C210F380

試験体記号	梁材		土台材		右柱材		左柱材		CLTパネル	
	密度 (g/cm ³)	含水率(%)								
C210F380-1	0.42	11.5	0.40	13.0	0.40	11.0	0.44	12.5	0.41	12.5
2	0.41	12.0	0.42	16.0	0.44	10.5	0.42	10.0	0.42	11.0
3	0.39	10.0	0.42	14.0	0.42	12.0	0.43	13.0	0.42	10.0
平均値	0.41	11.2	0.41	14.3	0.42	11.2	0.43	11.8	0.42	11.2
標準偏差	0.02	1.0	0.01	1.5	0.02	0.8	0.01	1.6	0.00	1.3

No.4 JF

試験体記号	梁材		土台材		右柱材		左柱材		CLTパネル	
	密度 (g/cm ³)	含水率(%)								
JF	0.41	12.0	0.41	10.0	0.43	11.0	0.43	13.0	—	—
平均値	0.41	12.0	0.41	10.0	0.43	11.0	0.43	13.0		

6.4. 試験方法

試験方法は、文献3)の「4.5 面材くぎ等1本あたりの一面せん断特性を算定するための試験」に準じて柱脚固定式により実施した(写真6.4-1)。

加力方法は、正負交番加力とし、荷重が $0.8P_{max}$ に落ちるまで計測を行った。

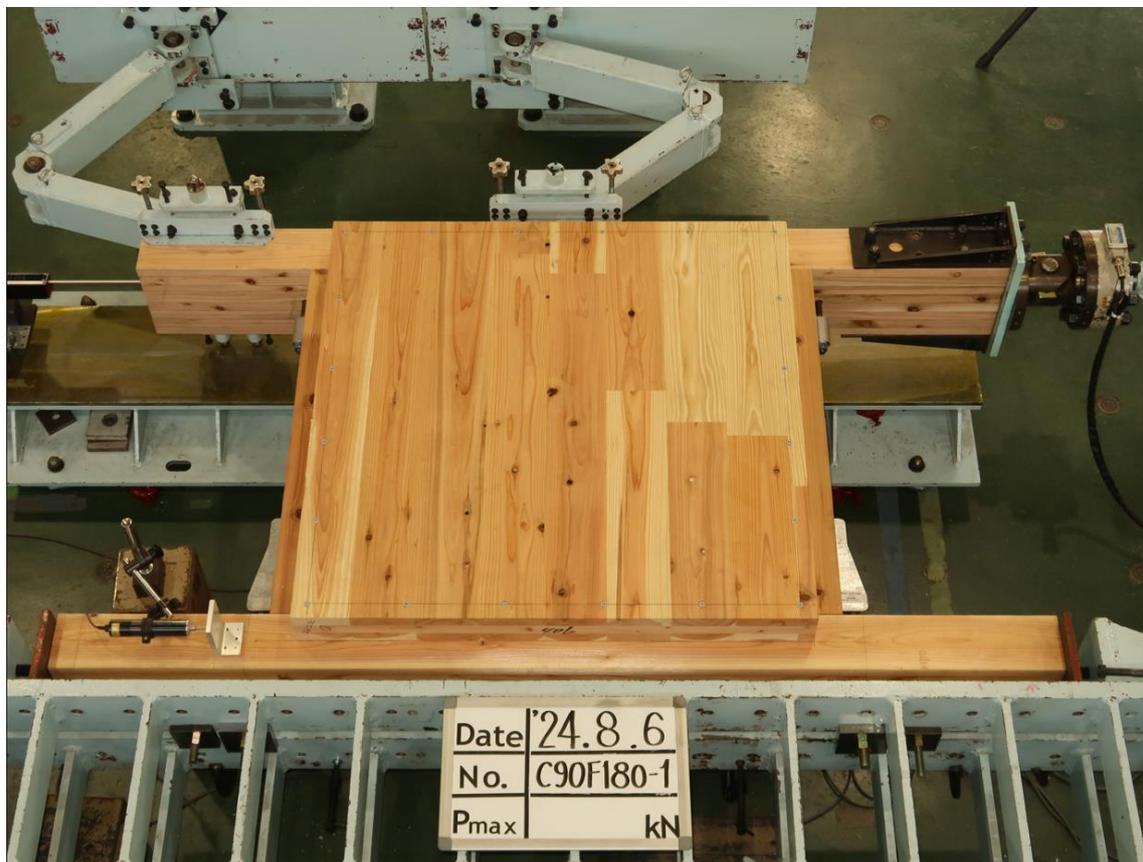


写真 6.4-1 試験方法

6.5. 試験結果

6.5.1. C90F180

荷重変位曲線を図 6.5.1-1 に、破壊性状を写真 6.5.1-1～写真 6.5.1-10 に示す。ビスが曲げ降伏し、木材の支圧が確認された。

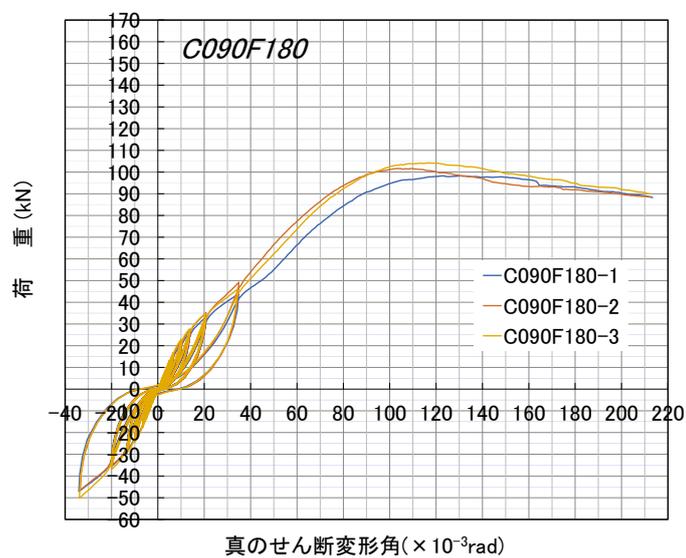


図 6.5.1-1 荷重変位曲線

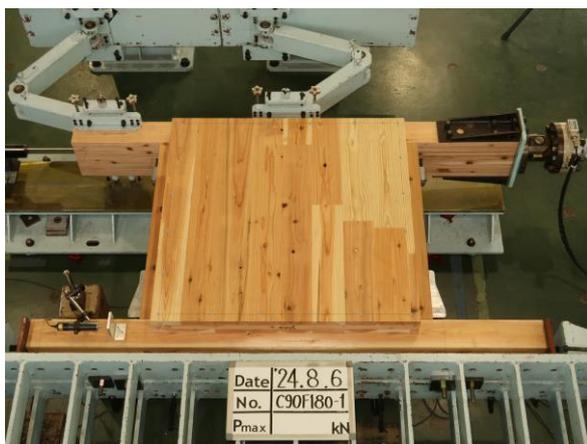


写真 6.5.1-1 C90F180 試験前



写真 6.5.1-2 C90F180 試験後



写真 6.5.1-3 C90F180 CLT の回転



写真 6.5.1-4 C90F180 CLT 端部の割れ



写真 6.5.1-5 C90F180 CLT の回転



写真 6.5.1-6 C90F180 解体後



写真 6.5.1-7 C90F180 軸組み材の割れ



写真 6.5.1-8 C90F180 ビスによる軸組材へのめり込み



写真 6.5.1-9 C90F180 横架材のめり込み



写真 6.5.1-10 C90F180 横架材のビス部のめり込み（面材端部）

6.5.2. C150F300

荷重変位曲線を図 6.5.2-1 に、破壊性状を写真 6.5.2-1～写真 6.5.2-4 に示す。ビスが曲げ降伏し、木材の支圧が確認された。

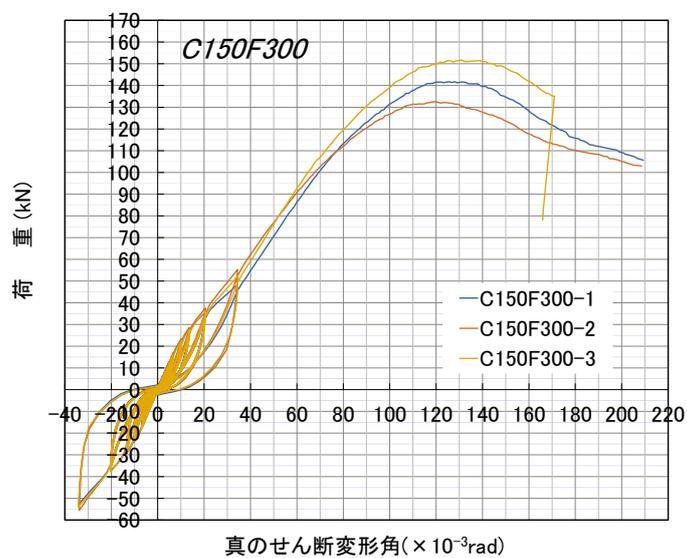


図 6.5.2-1 荷重変位曲線



写真 6.5.2-1 C150F300 試験前



写真 6.5.2-2 C150F300 試験後



写真 6.5.2-3 C150F300 CLT 端部の割れ

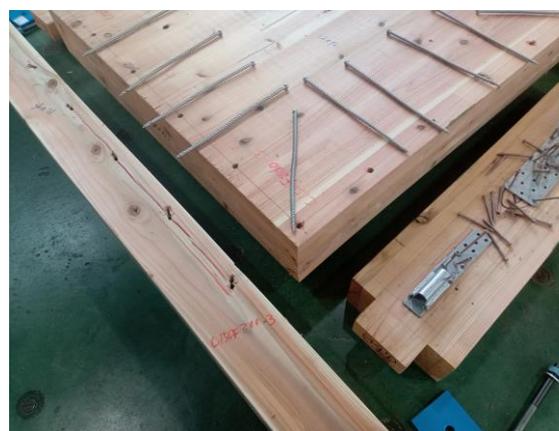


写真 6.5.2-4 C150F300 横架材の割れ

6.5.3. C210F380

荷重変位曲線を図 6.5.3-1 に、破壊性状を写真 6.5.3-1～写真 6.5.3-10 に示す。ビスが曲げ降伏し、木材の支圧が確認された。

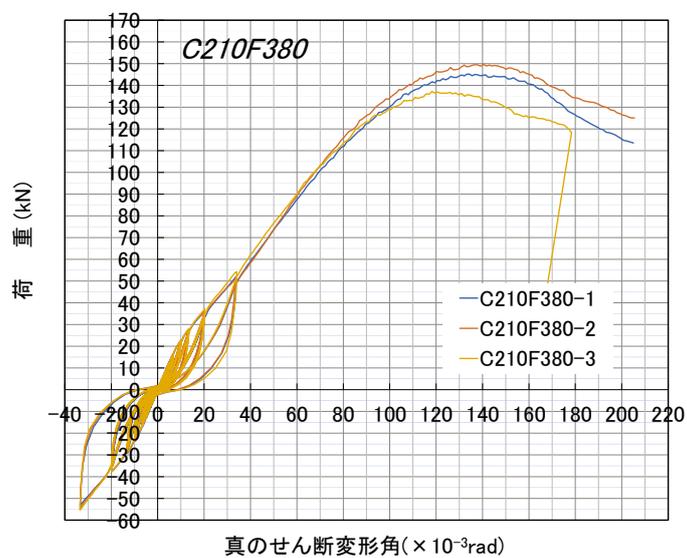


図 6.5.3-1 荷重変位曲線



写真 6.5.3-1 C210F380-1 試験前



写真 6.5.3-2 C210F380-1 試験後



写真 6.5.3-3 C210F380-1 CLT 端部の割れ



写真 6.5.3-4 C210F380-1 CLT パネルの回転



写真 6.5.3-5 C210F380-1 梁の割れ



写真 6.5.3-6 C210F380-1 ホールドダウン金物の変位



写真 6.5.3-7 C210F380-1 ホールドダウン金物の座金部分の木材へのめり込み



写真 6.5.3-8 C210F380-3 ホールドダウン金物部の集合型破壊



写真 6.5.3-9 C210F380-1 解体後



写真 6.5.3-10 C210F380-3 解体後 集合型破壊

6.5.4. JF

荷重変位曲線を図 6.5.4-1 に、破壊性状を写真 6.5.4-1～写真 6.5.4-8 に示す。

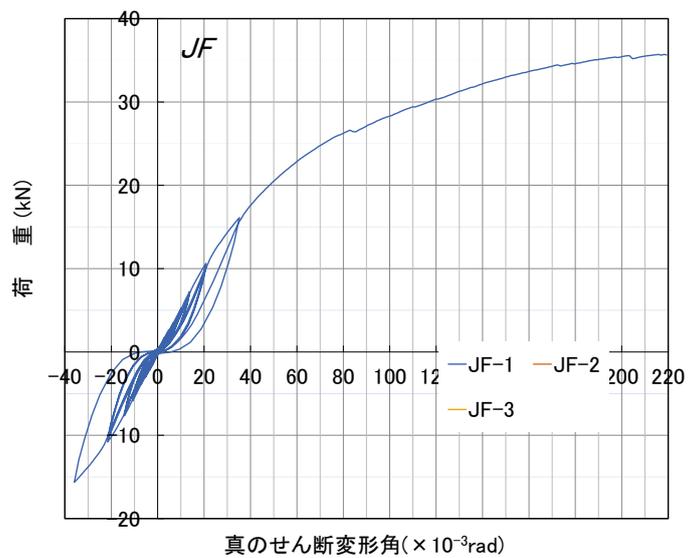


図 6.5.4-1 荷重変位曲線



写真 6.5.4-1 JF 試験前



写真 6.5.4-2 JF 試験後

6.6. グラフの補正方法の検討

本試験では、長尺の全ねじビスを用いているため、図 6.6-1 のようにビスが曲げ降伏した後からロープ効果によって徐々に荷重が上がっていくという特性を持っている。

このような形状の包絡線の場合、完全弾塑性モデルとして評価しようとする、適切に評価できない場合がある。

単に P_y を算定する評価であれば、安全側として $0.4P_{max}$ を許容耐力とする評価方法も考えられるが、ビス 1 本あたりの ΔP_v 、 δ_v 、 δ_u 、 k が必要となるため、完全弾塑性モデルで評価することが可能な形状に包絡線を補正する方法の検討を行った。

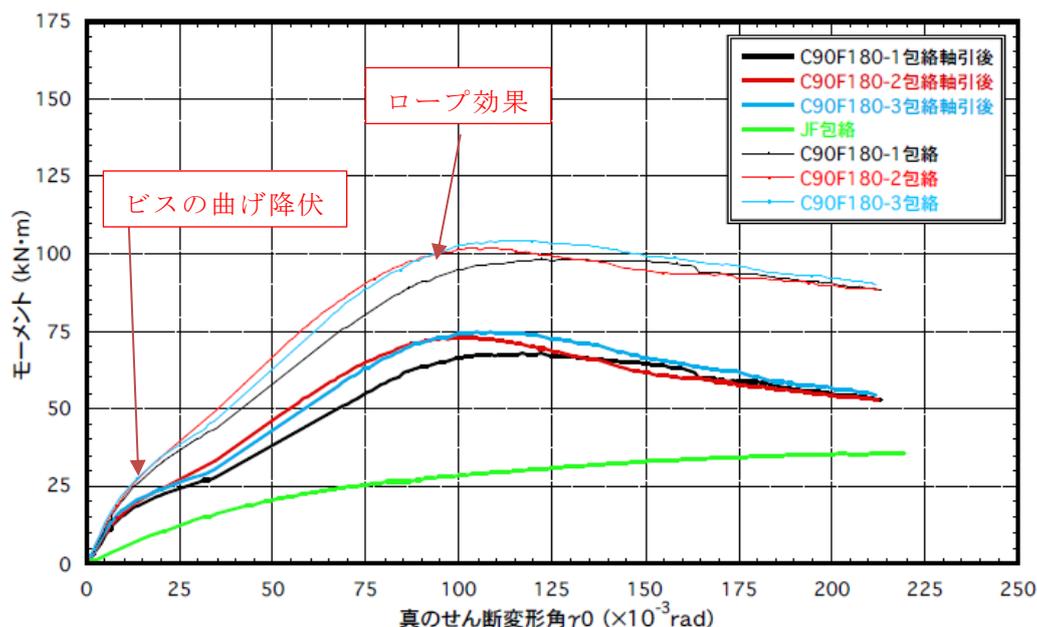


図 6.6-1 床-梁接合部試験の包絡線

6.6.1. 補正方法の提案

補正方法について (1) ~ (4) の方法を提案し、完全弾塑性モデルで評価を行った場合にどの程度評価の値が変わるのか検証を行った。

(1) 初期の凸をカットする補正方法案

$0.4P_{max} \sim 0.7P_{max}$ あたりの勾配に合わせて、直線を引き、初期の凸をカットする方法を提案した (図 6.6.1-1)。

算定結果は表 6.6.1-1 のとおりである。算定結果として、C150F300 と C120F380 はほぼ同じ性能となった。

検討の結果、この方法はビスによる曲げ降伏部分をカットすることになり、元々の特性を大きく損なってしまうため、不採用となった。

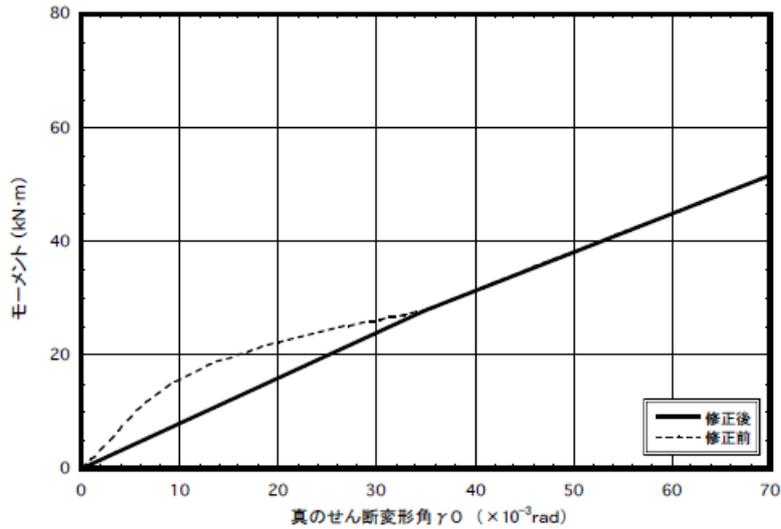


図 6.6.1-1 初期の凸をカットする評価方法

表 6.6.1-1 初期の凸をカットする評価方法による特性値

項目	C90F180			平均値	標準偏差	ばらつき 係数	項目	50%下限値
	1	2	3					
$\Delta Pv(kN)$	12.5	13.4	13.9	13.3	0.71	0.975	$\Delta Pv0$	13.0
$\delta v(cm)$	2.35	2.15	2.41	2.30	0.14	0.972	$\delta v0$	2.24
$\delta u(cm)$	6.11	5.18	5.45	5.58	0.48	0.960	$\delta u0$	5.36
ΔPva 及び k は $\alpha=0.95$ として算出							$\Delta Pva(kN)$	12.3
							$k(kN/cm)$	5.49

項目	C150F300			平均値	標準偏差	ばらつき 係数	項目	50%下限値
	1	2	3					
$\Delta Pv(kN)$	20.2	19.2	22.4	20.6	1.64	0.963	$\Delta Pv0$	19.8
$\delta v(cm)$	2.75	2.51	2.82	2.69	0.16	0.972	$\delta v0$	2.62
$\delta u(cm)$	5.04	4.95	5.14	5.04	0.10	0.991	$\delta u0$	5.00
ΔPva 及び k は $\alpha=0.95$ として算出							$\Delta Pva(kN)$	18.8
							$k(kN/cm)$	7.18

項目	C210F380			平均値	標準偏差	ばらつき 係数	項目	50%下限値
	1	2	3					
$\Delta Pv(kN)$	21.6	21.8	19.9	21.1	1.04	0.977	$\Delta Pv0$	20.6
$\delta v(cm)$	2.97	2.88	2.60	2.82	0.19	0.968	$\delta v0$	2.73
$\delta u(cm)$	5.46	5.85	5.34	5.55	0.27	0.977	$\delta u0$	5.42
ΔPva 及び k は $\alpha=0.95$ として算出							$\Delta Pva(kN)$	19.5
							$k(kN/cm)$	7.14

(2) 凹みを穴埋めする補正方法案

凹み部分を穴埋めする方法（途中のプロットを削除して残った点同士を繋げる。）を提案した（図 6.6.1-2）。

算定結果は表 6.6.1-2 のとおりである。算定結果として、(1) と大きく変わらない結果となった。

検討の結果、この方法は凹みを埋めてしまうことで、面積が増えることになり、安全側の評価とは言えないので、不採用となった。

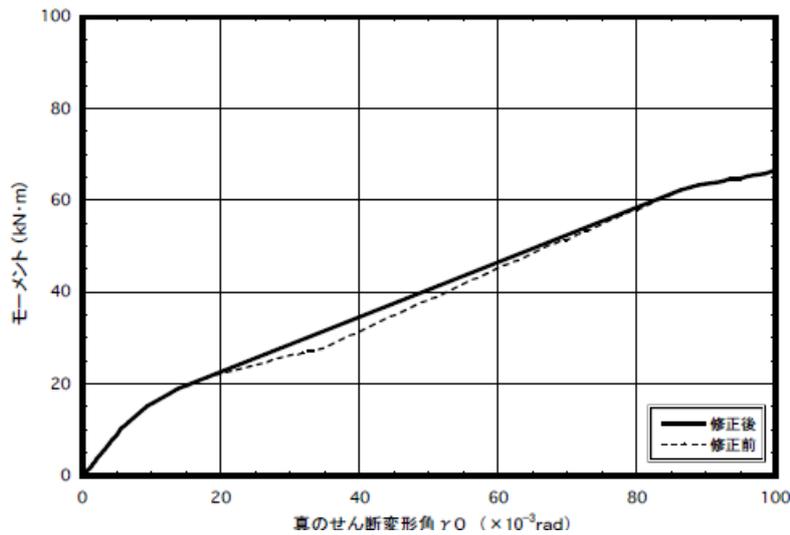


図 6.6.1-2 凹みを穴埋めする評価方法

表 6.6.1-2 凹みを穴埋めする評価方法による特性値

項目	C90F180			平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
	1	2	3					
$\Delta Pv(kN)$	12.2	13.2	13.6	13.0	0.72	0.974	$\Delta Pv0$	12.7
$\delta v(cm)$	1.83	1.81	1.89	1.84	0.04	0.989	$\delta v0$	1.82
$\delta u(cm)$	6.11	5.19	5.46	5.59	0.47	0.960	$\delta u0$	5.36
							$\Delta Pva(kN)$	12.0
							$k(kN/cm)$	6.59

ΔPva 及び k は $\alpha=0.95$ として算出

項目	C150F300			平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
	1	2	3					
$\Delta Pv(kN)$	21.5	19.4	23.5	21.5	2.05	0.955	$\Delta Pv0$	20.5
$\delta v(cm)$	2.85	2.47	2.92	2.75	0.24	0.958	$\delta v0$	2.63
$\delta u(cm)$	5.04	4.95	5.13	5.04	0.09	0.992	$\delta u0$	5.00
							$\Delta Pva(kN)$	19.4
							$k(kN/cm)$	7.38

ΔPva 及び k は $\alpha=0.95$ として算出

項目	C210F380			平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
	1	2	3					
$\Delta Pv(kN)$	22.1	22.6	20.1	21.6	1.32	0.971	$\Delta Pv0$	21.0
$\delta v(cm)$	3.01	2.96	2.58	2.85	0.24	0.961	$\delta v0$	2.74
$\delta u(cm)$	5.46	5.85	5.33	5.55	0.27	0.977	$\delta u0$	5.42
							$\Delta Pva(kN)$	19.9
							$k(kN/cm)$	7.26

ΔPva 及び k は $\alpha=0.95$ として算出

(3) 終局の凸をカットする補正方法案

終局の凸部分をカットする方法（第2勾配のうち、初期の剛性に合わせて線を引く。）を提案した（図 6.6.1-3）。

算定結果は表 6.6.1-3 のとおりであるが、試したのは C90F180 試験体のみであり、C150F300 及び C210F380 試験体は未実施である。

検討の結果、 P_{max} と面積が小さくなり安全側となるが、終局の凸をカットする線の引き方が難しく、作成者のさじ加減によるところが大きいため、不採用となった。

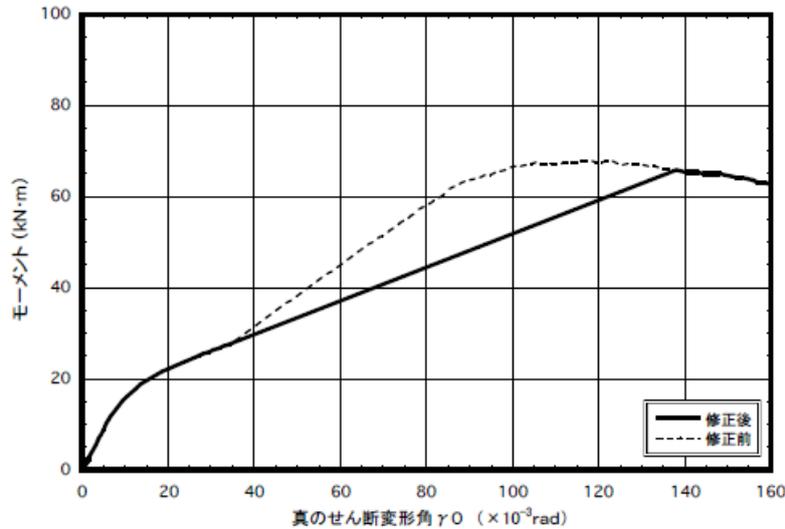


図 6.6.1-3 終局の凸をカットする評価方法

表 6.6.1-3 終局の凸をカットする評価方法による特性値

項目	C90F180			平均値	標準偏差	ばらつき 係数	項目	50%下限値
	1	2	3					
ΔP_v (kN)	11.1	12.8	12.2	12.0	0.86	0.966	ΔP_{v0}	11.6
δv (cm)	1.90	1.85	2.01	1.92	0.08	0.980	δv_0	1.88
δu (cm)	6.44	5.19	5.94	5.86	0.63	0.949	δu_0	5.56
							ΔP_{va} (kN)	11.0
							k (kN/cm)	5.85

ΔP_{va} 及び k は $\alpha=0.95$ として算出

※C150F300、C210F380 試験体は未実施。

(4) 面積が等価になるように凹と凸を貫く線を結ぶ補正方法

考え方としては、(2)に近い。凹み部分を埋めた上で、面積が等価になるように凸部分を削る方法である(図 6.6.1-4)。

算定結果は表 6.6.1-4 のとおりである。算定結果として、(1) (2) と大きく変わらない結果となった。

判断も(4)のように難しくなく、危険側の評価にならないと考えられるため、採用とした。

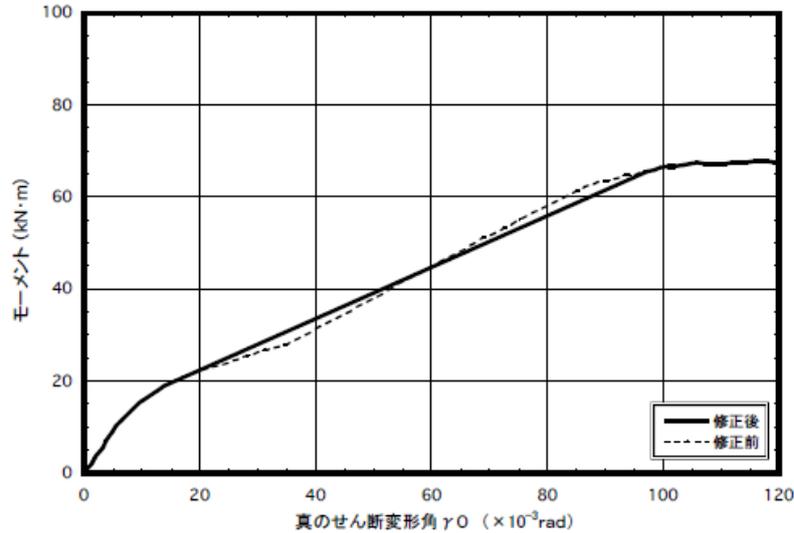


図 6.6.1-4 面積が等価になるように凹と凸を貫く線を結ぶ評価方法

表 6.6.1-4 面積が等価になるように凹と凸を貫く線を結ぶ評価方法による特性値

項目	C90F180			平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
	1	2	3					
$\Delta Pv(kN)$	12.2	13.0	13.4	12.9	0.61	0.978	$\Delta Pv0$	12.6
$\delta v(cm)$	1.88	1.72	1.83	1.81	0.08	0.979	$\delta v0$	1.77
$\delta u(cm)$	6.10	5.17	5.45	5.57	0.48	0.960	$\delta u0$	5.35
							$\Delta Pva(kN)$	11.9
							$k(kN/cm)$	6.72

ΔPva 及び k は $\alpha=0.95$ として算出

項目	C150F300			平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
	1	2	3					
$\Delta Pv(kN)$	20.6	19.2	23.3	21.0	2.08	0.953	$\Delta Pv0$	20.0
$\delta v(cm)$	2.70	2.41	2.87	2.66	0.23	0.959	$\delta v0$	2.55
$\delta u(cm)$	5.04	4.94	4.98	4.99	0.05	0.995	$\delta u0$	4.96
							$\Delta Pva(kN)$	19.0
							$k(kN/cm)$	7.45

ΔPva 及び k は $\alpha=0.95$ として算出

項目	C210F380			平均値	標準偏差	ばらつき係数	項目	50%下限値
	1	2	3					
$\Delta Pv(kN)$	21.3	21.9	20.1	21.1	0.92	0.980	$\Delta Pv0$	20.7
$\delta v(cm)$	2.78	2.81	2.60	2.73	0.11	0.980	$\delta v0$	2.68
$\delta u(cm)$	5.46	5.84	5.34	5.55	0.26	0.978	$\delta u0$	5.42
							$\Delta Pva(kN)$	19.6
							$k(kN/cm)$	7.31

ΔPva 及び k は $\alpha=0.95$ として算出

6.6.2. 補正の結果

補正方法は前項の（４）を採用することとした。結果は下記のとおりである。
包絡線を補正した結果を図 6.6.2-1～図 6.6.2-3 に示す。

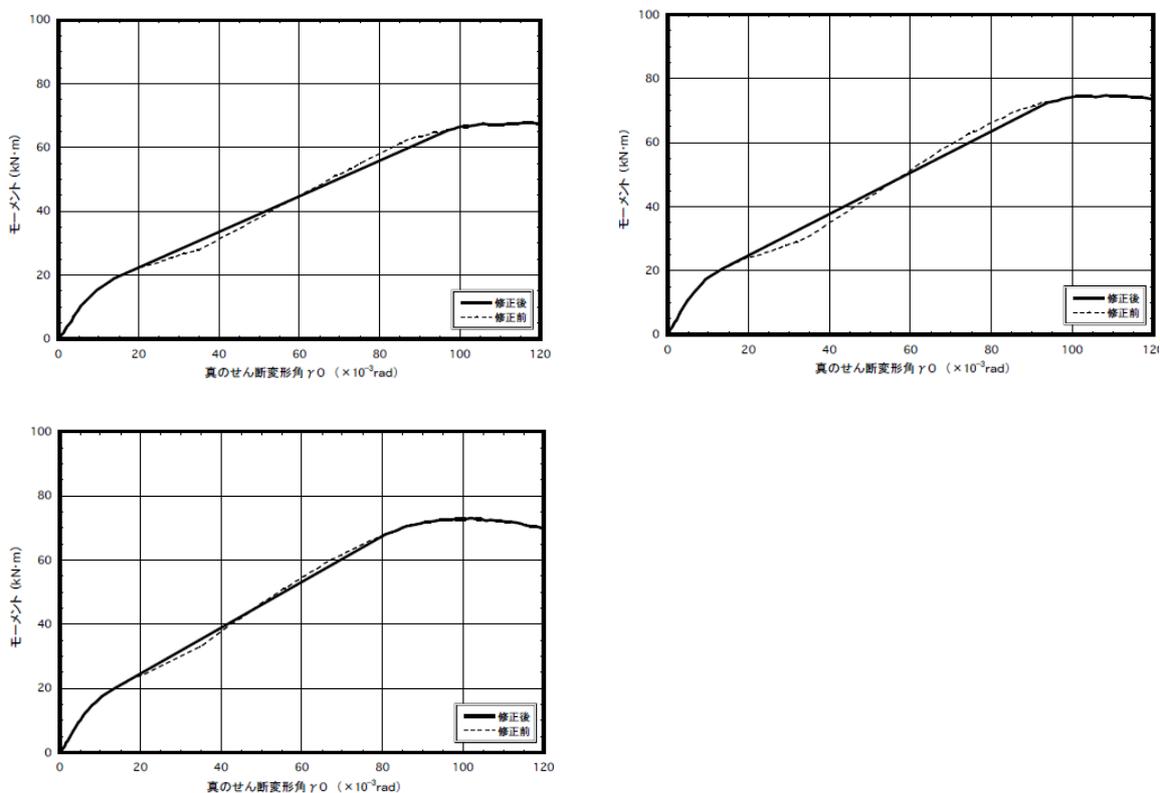


図 6.6.2-1 C90F180 包絡線の補正

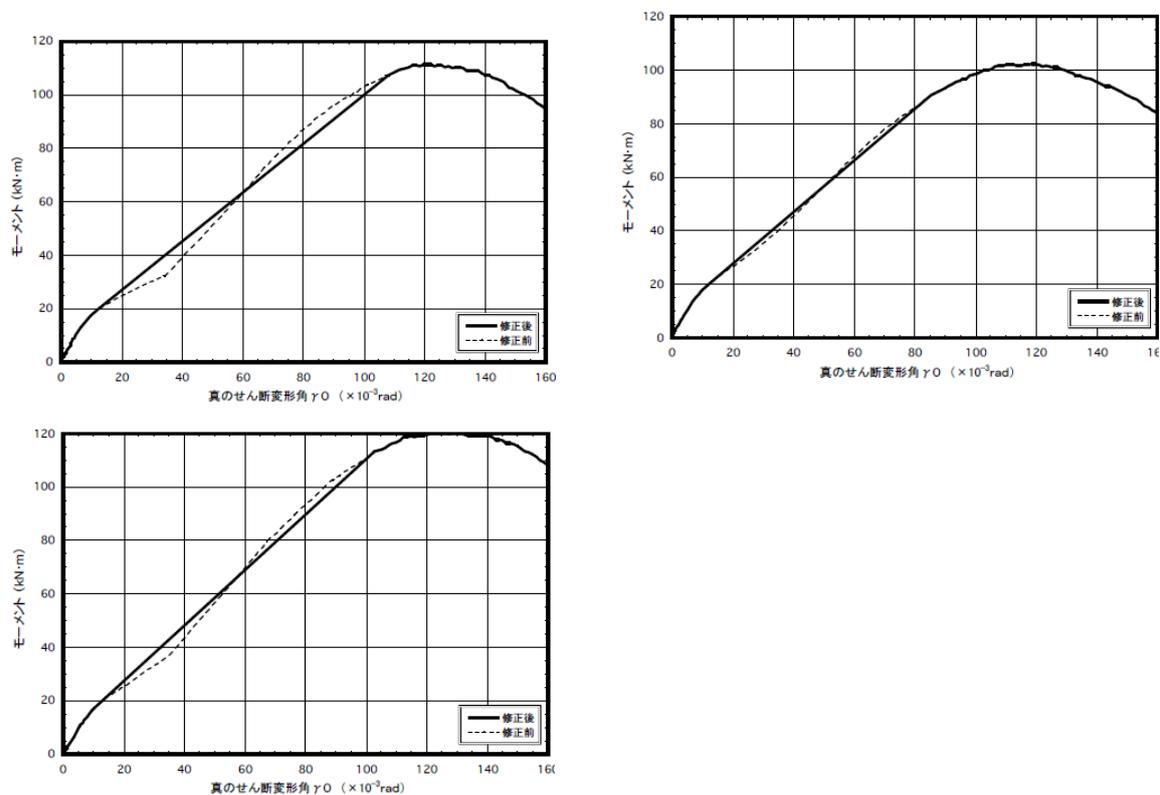


図 6.6.2-2 C150F300 包絡線の修正

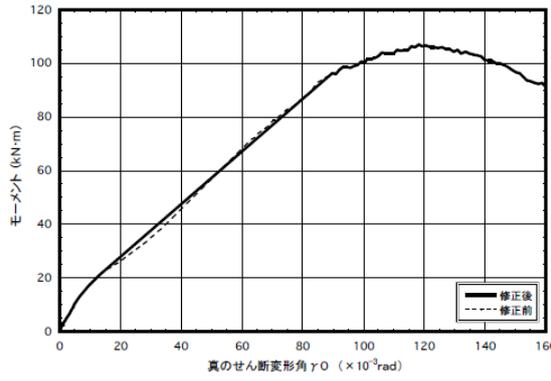
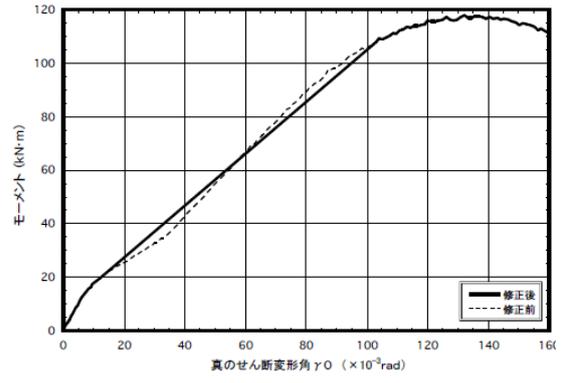
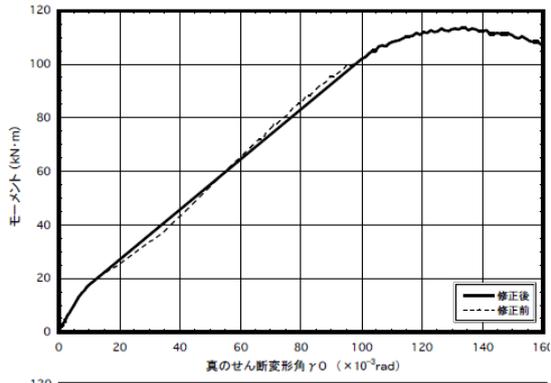


図 6.6.2-3 C210F380 包絡線の修正

6.7. 特性値の算出方法の検討

当該試験のグラフ形状は、6.6 項で述べたとおり、ビスが曲げ降伏した後、ロープ効果によって変位ごとの荷重が徐々に上昇していき、ビスの引き抜き強度が高いものほど、最大耐力が高くなる（図 6.7-1）。このような包絡線を完全弾塑性モデルによって評価を行うとビスの曲げ降伏による降伏点より高い位置が降伏耐力として決まってしまう。ところが、文献 3）の詳細計算法の試験の評価方法では、完全弾塑性モデルによる評価方法で評価を行うことになっているため、現在の設計方法では、実際よりも降伏耐力が高く評価されてしまうことになる。

ビスの曲げ降伏点を適切に評価する評価方法としては、文献 4）に記載の初期剛性と 2 次剛性の交点から求める方法と、5% オフセットによる方法が考えられる。ただし、本試験においては横軸の変形角であるため、接合具径の 5% 分をオフセットする方法は実施できない。

一方で、ねじ長さを長くすることによって最大耐力が高くなるのに、降伏耐力が一定になってしまうことから、最大耐力の高さに見合った降伏耐力（許容耐力）として評価しても良いのではないかという考え方もある。

以上より、本項では、（1）完全弾塑性モデルによる評価方法と（2）2 直線の交点から求める方法の 2 通りの評価方法により算出し、両者の相違点について比較検討を行うこととした。

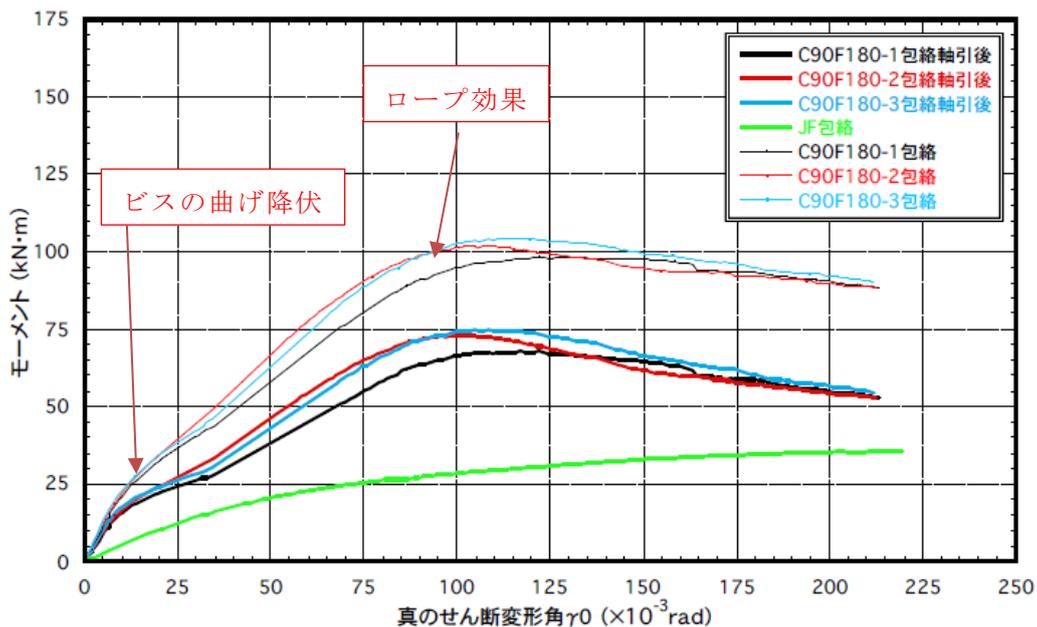
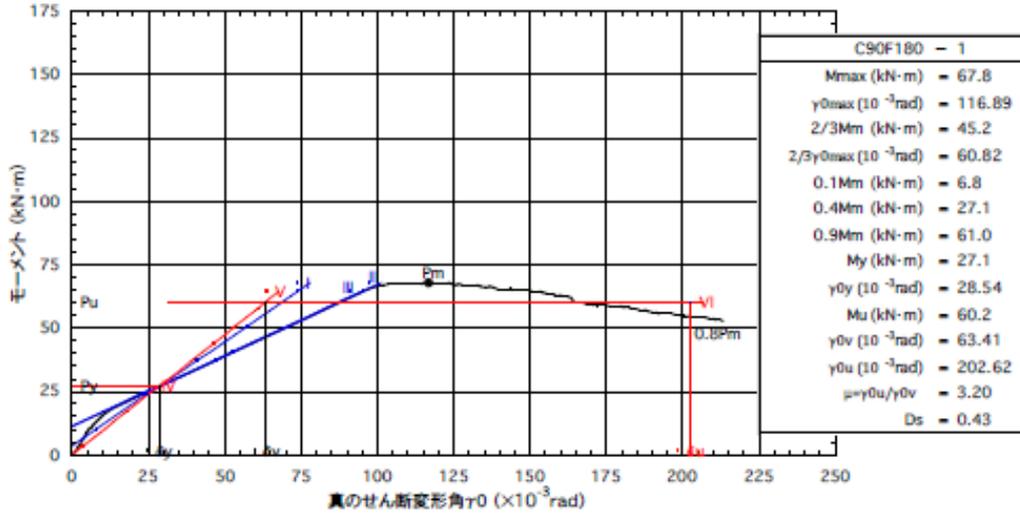


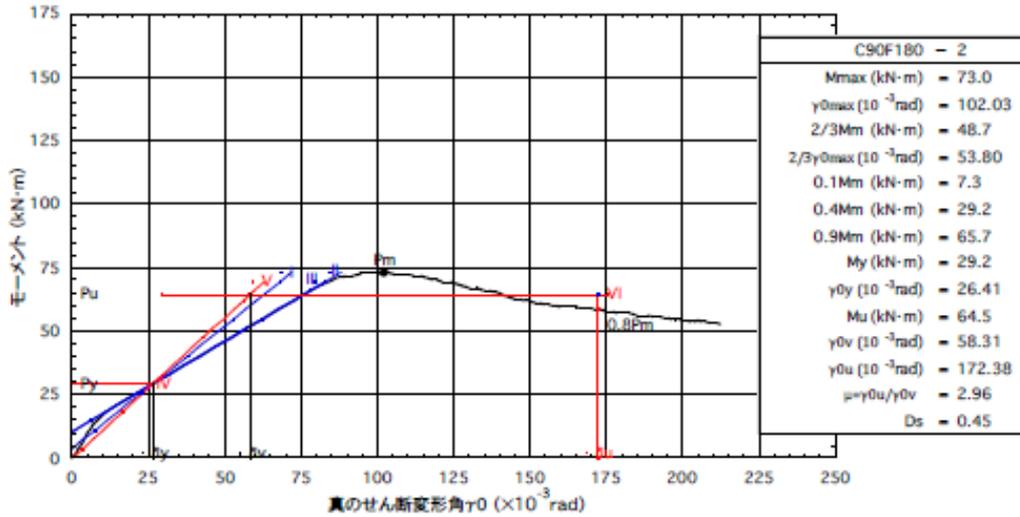
図 6.7-1 床—梁接合部試験の包絡線（再掲）

(1) 完全弾塑性モデルによる評価の結果

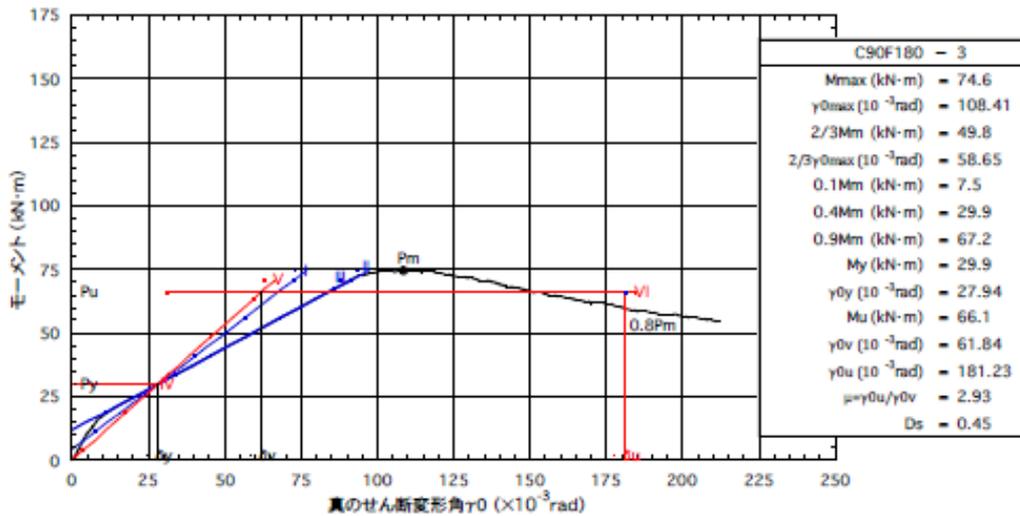
完全弾塑性モデルによる評価の結果を図 6.7-2～図 6.7-4 に示す。



C90F180-1 包絡線及び完全弾塑性モデル

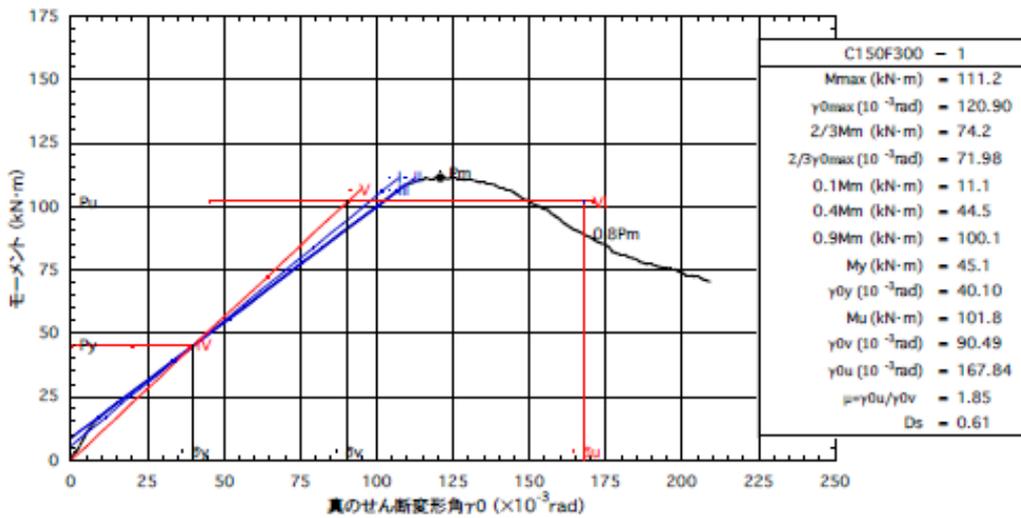


C90F180-2 包絡線及び完全弾塑性モデル

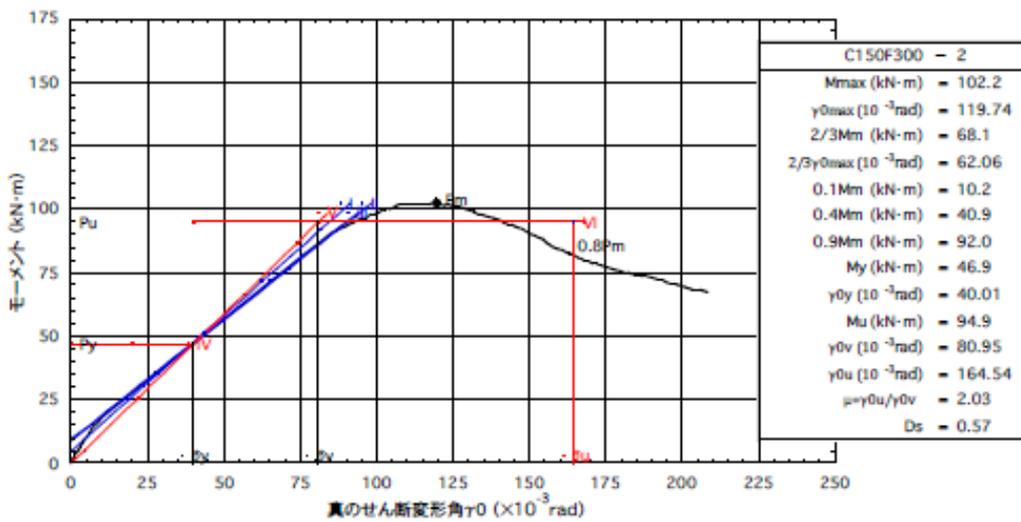


C90F180-3 包絡線及び完全弾塑性モデル

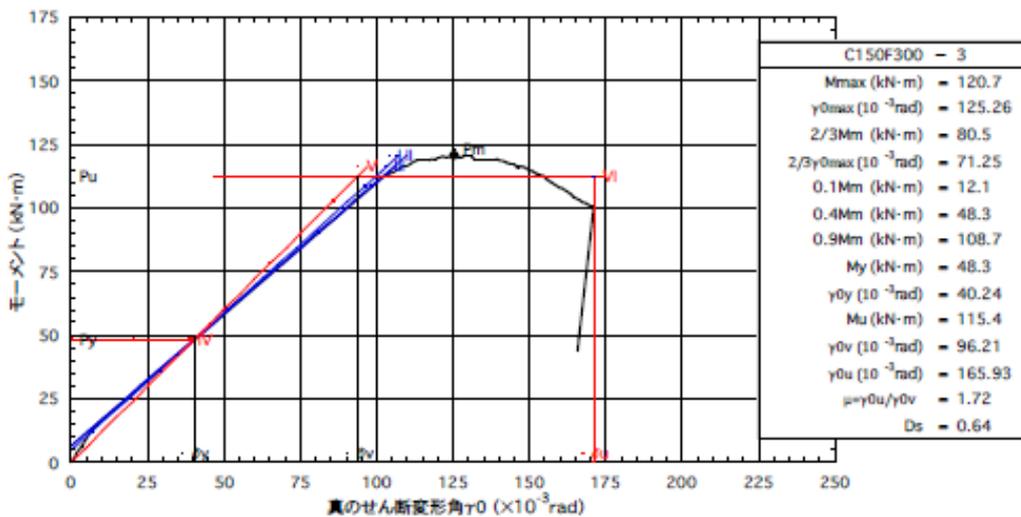
図 6.7-2 C90 F180 の完全弾塑性モデルによる評価



C150F300-1 包絡線及び完全弾塑性モデル

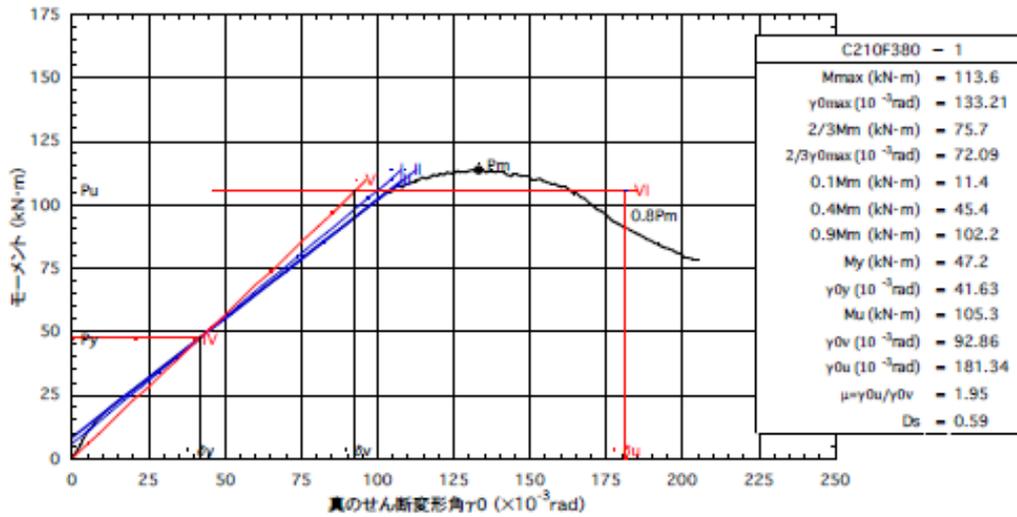


C150F300-2 包絡線及び完全弾塑性モデル

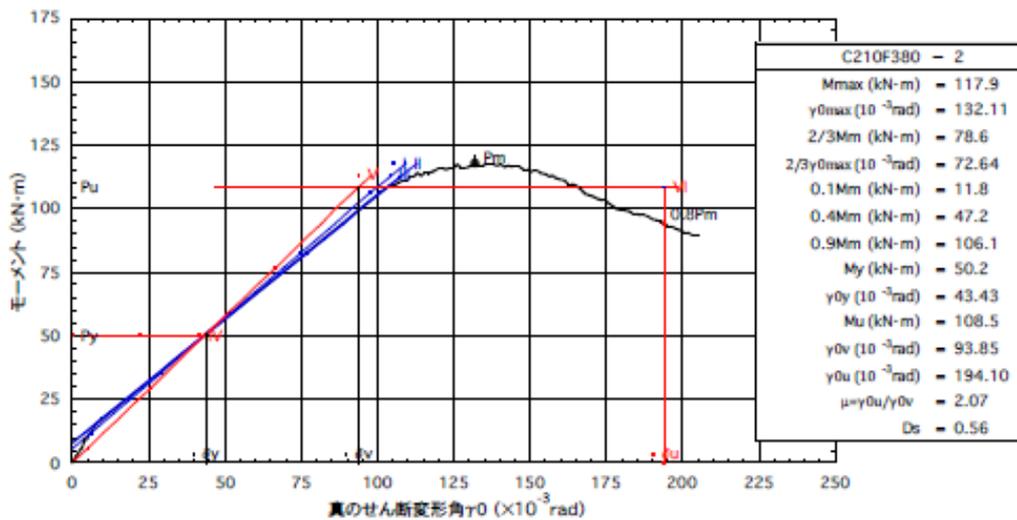


C150F300-3 包絡線及び完全弾塑性モデル

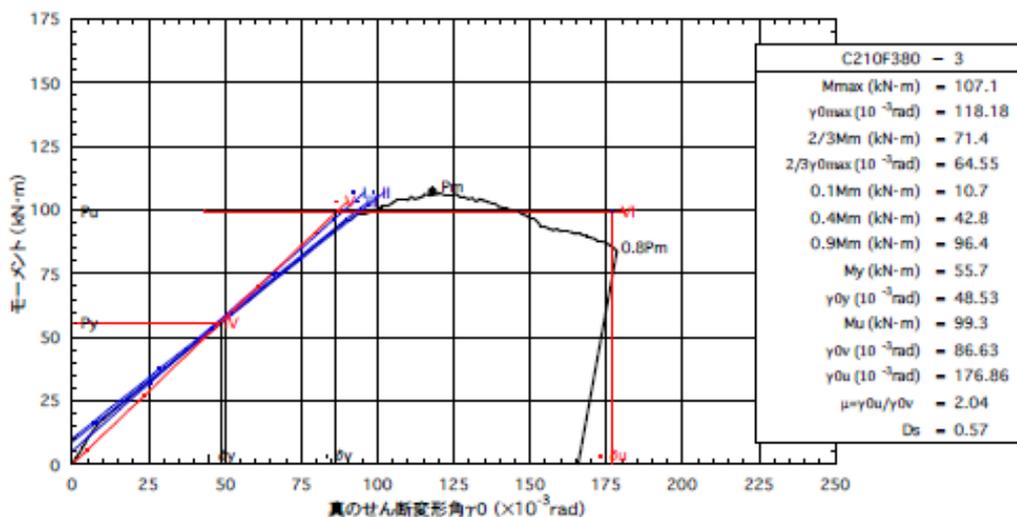
図 6.7-3 C150 F300 の完全弾塑性モデルによる評価



C210F380-1 包絡線及び完全弾塑性モデル



C210F380-2 包絡線及び完全弾塑性モデル



C210F380-3 包絡線及び完全弾塑性モデル

図 6.7-4 C210 F380 の完全弾塑性モデルによる評価

(2) 2直線近似による評価

初期剛性と2次剛性に沿った2つの直線の交点から降伏耐力を求める方法による評価の結果を図6.7-5～図6.7-7に示す。

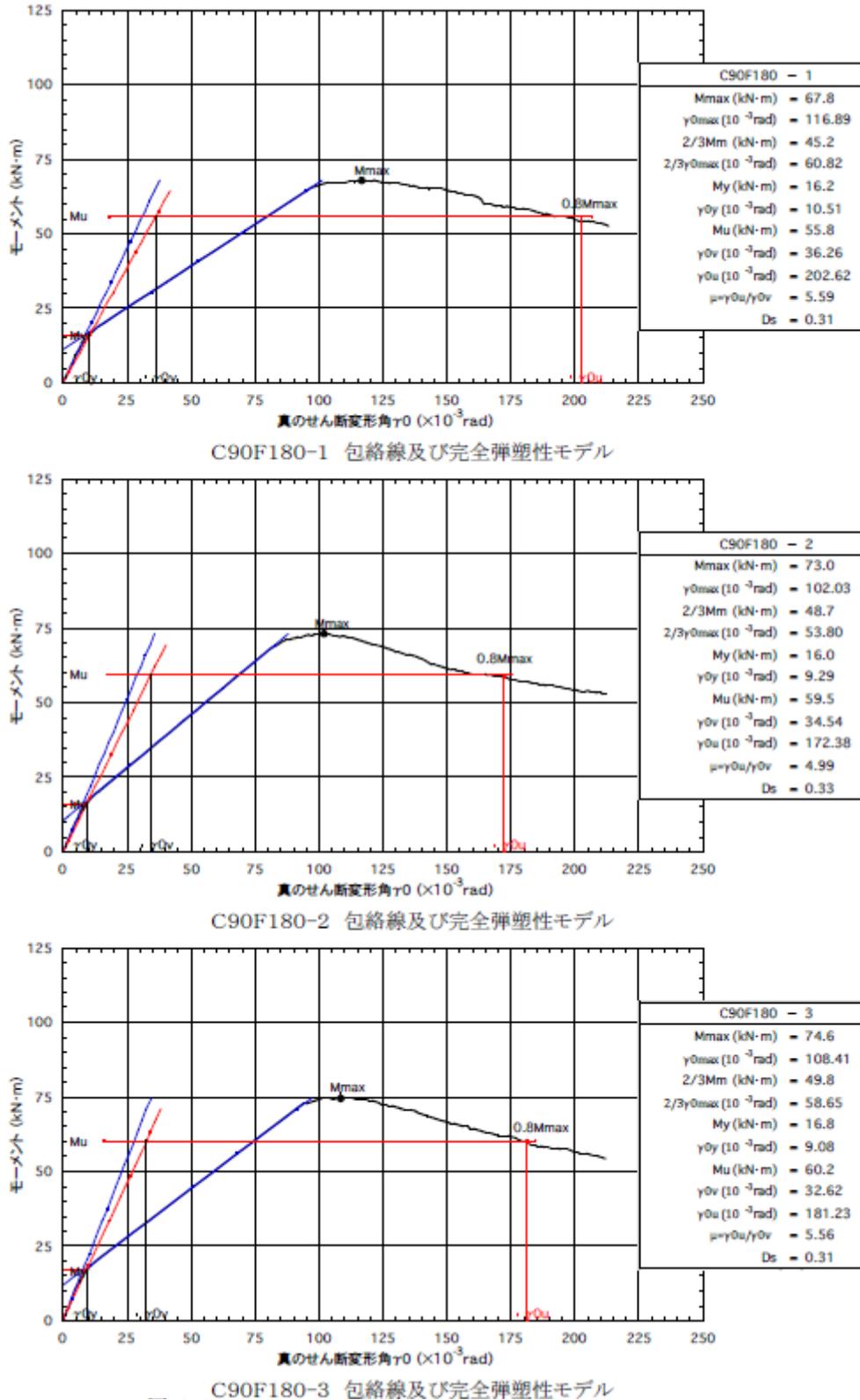
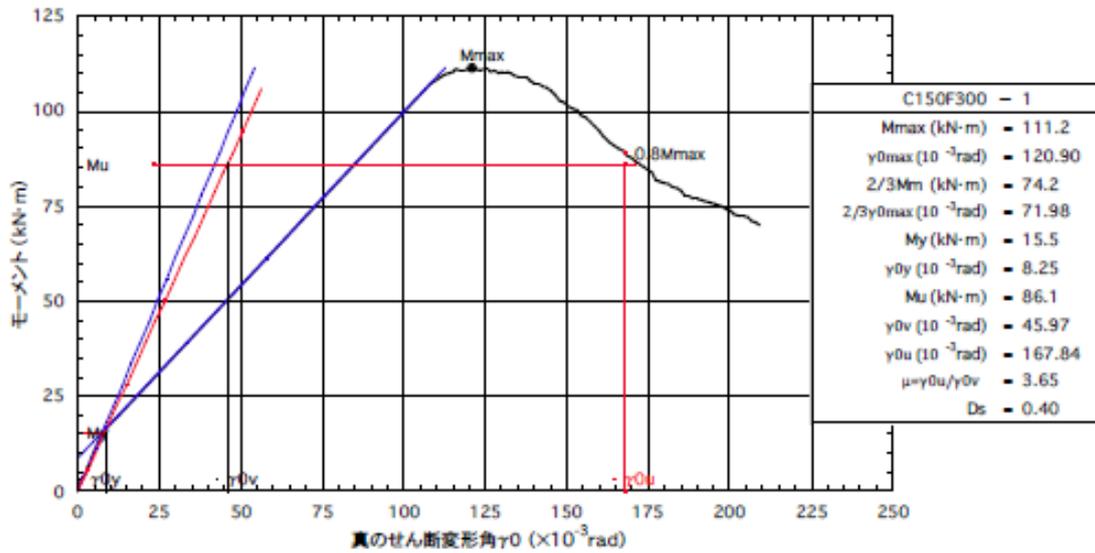
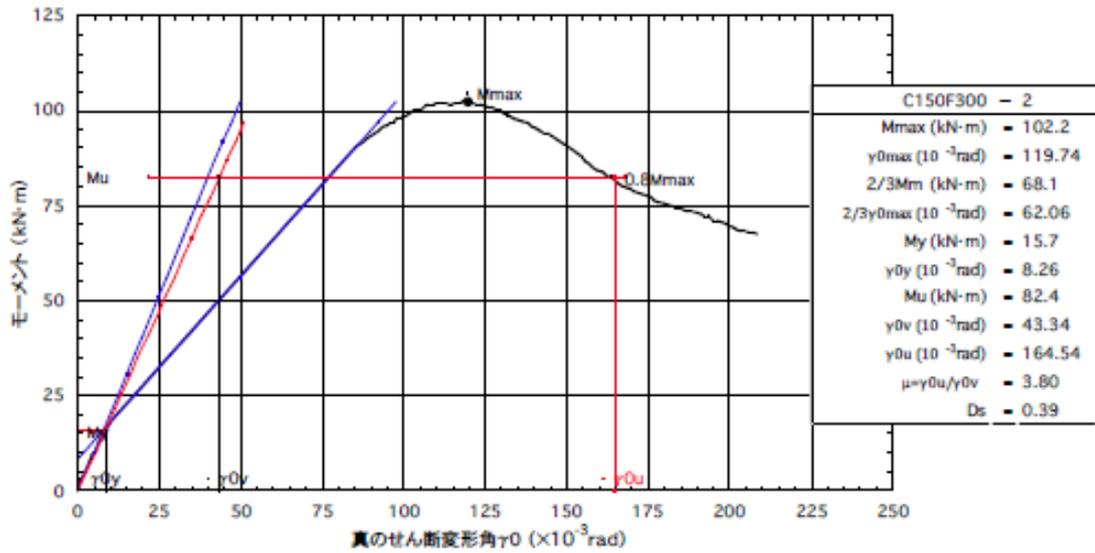


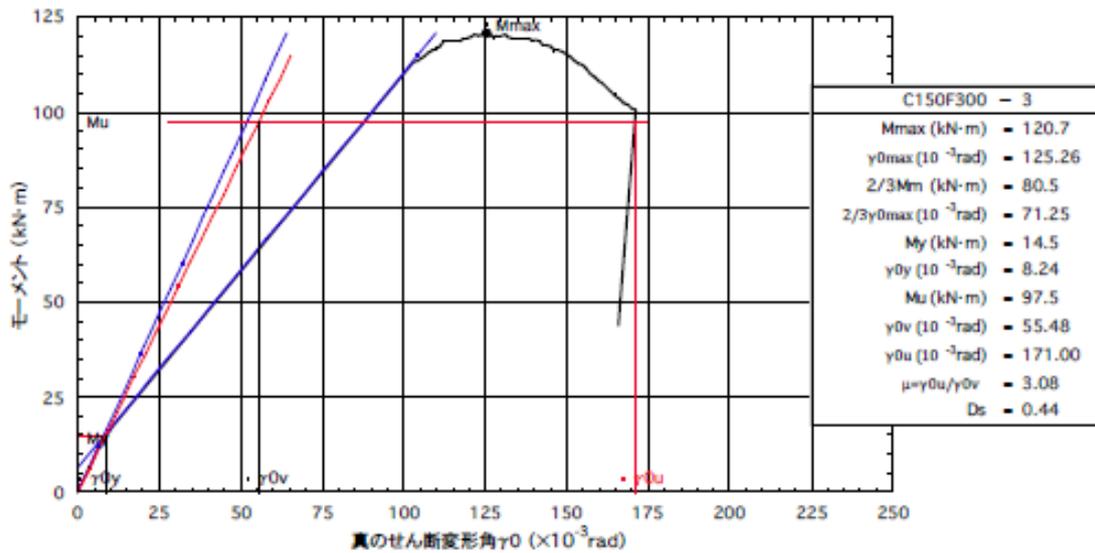
図 6.7-5 C90 F180 の 2 直線近似による評価



C150F300-1 包絡線及び完全弾塑性モデル

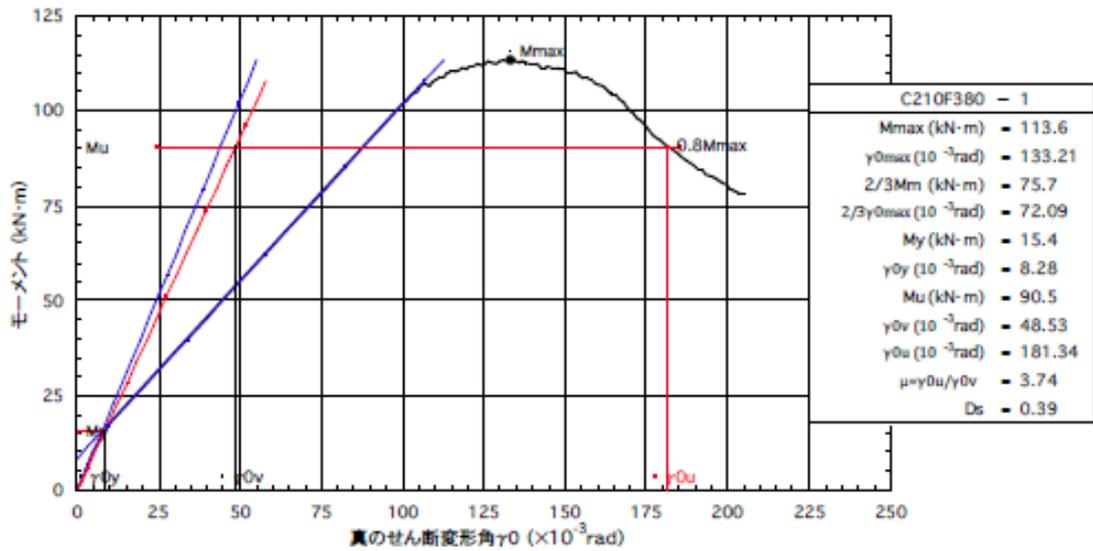


C150F300-2 包絡線及び完全弾塑性モデル

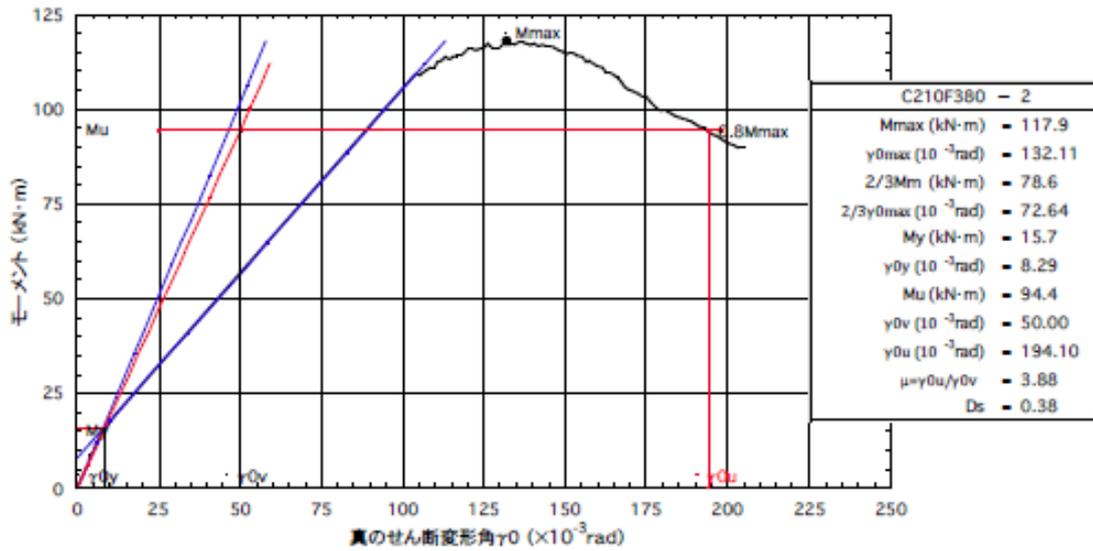


C150F300-3 包絡線及び完全弾塑性モデル

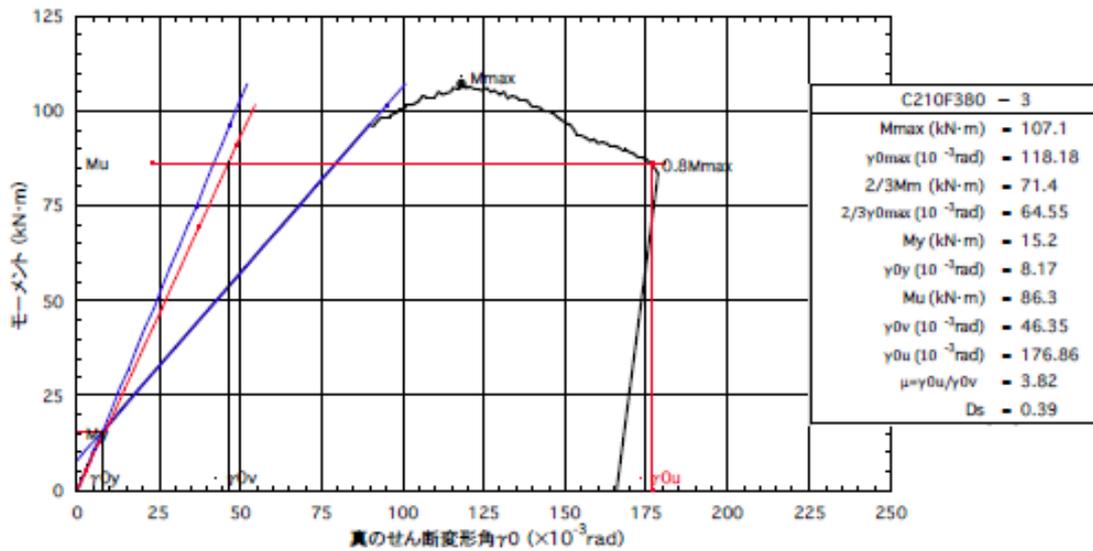
図 6.7-6 C150 F300 の 2 直線近似による評価



C210F380-1 包絡線及び完全弾塑性モデル



C210F380-2 包絡線及び完全弾塑性モデル



C210F380-3 包絡線及び完全弾塑性モデル

図 6.7-7 C210 F380 の 2 直線近似による評価

(3) 特性値の比較

(1) 完全弾塑性モデルによる評価と (2) 2直線近似による評価の比較の結果を表 6.7-1 ~6.7-3 に示す。

(1) と (2) の評価を比較したところ下記のとおり傾向が見られた。

- ・ (1) の M_y は (2) に比べて著しく高い結果となった。
- ・ (1) の剛性は (2) の 6 割程度になった。
- ・ (1) の $M_u \times 0.2\sqrt{2\mu-1}$ は (2) の 8 割程度になった。

表 6.7-1 試験体 C90F180

C90F180			
項目	完全弾塑性	2直線近似	完全/2直線
Mmax (k N/m)	71.8	71.8	1.0
M_y (k N/m)	28.7	16.3	1.8
δy (10^{-3} rad)	27.63	9.63	2.9
Mu (k N/m)	63.6	58.5	1.1
δu (10^{-3} rad)	185.41	185.41	1.0
δv (10^{-3} rad)	61.19	34.47	1.8
K (k Nm/rad)	1.04	1.70	0.6
μ	3.03	5.38	0.6
$M_u \cdot 0.2\sqrt{2\mu-1}$ (k N/m)	28.6	36.5	0.8
$2/3M_{max}$ (k N/m)	47.9	47.9	1.0
ΔPv (kN)	11.9	11.0	1.1
$\delta v0$ (cm)	1.77	0.98	1.8
$\delta u0$ (cm)	5.35	5.37	1.0
k (k N/cm)	6.72	11.22	0.6

表 6.7-2 試験体 C150F300

C150F300			
項目	完全弾塑性	2直線近似	完全/2直線
Mmax (k N/m)	111.4	111.4	1.0
M_y (k N/m)	46.8	15.2	3.1
δy (10^{-3} rad)	40.12	8.25	4.9
Mu (k N/m)	104.0	88.7	1.2
δu (10^{-3} rad)	166.10	167.79	1.0
δv (10^{-3} rad)	89.22	48.26	1.8
K (k Nm/rad)	1.16	1.85	0.6
μ	1.87	3.51	0.5
$M_u \cdot 0.2\sqrt{2\mu-1}$ (k N/m)	34.3	43.3	0.8
$2/3M_{max}$ (k N/m)	74.3	74.3	1.0
ΔPv (kN)	19.0	16.2	1.2
$\delta v0$ (cm)	2.55	1.34	1.9
$\delta u0$ (cm)	4.96	5.00	1.0
k (k N/cm)	7.45	12.09	0.6

表 6.7-3 試験体 C210F380

C210F380			
項目	完全弾塑性	2直線近似	完全/2直線
Mmax (k N/m)	112.9	112.9	1.0
My (k N/m)	51.0	15.4	3.3
δy (10^{-3} rad)	44.53	8.25	5.4
Mu (k N/m)	104.4	90.4	1.2
δu (10^{-3} rad)	184.10	184.10	1.0
δv (10^{-3} rad)	91.11	48.29	1.9
K (k Nm/rad)	1.15	1.87	0.6
μ	2.02	3.81	0.5
$Mu \cdot 0.2\sqrt{2\mu-1}$ (k N/m)	36.4	46.6	0.8
2/3Mmax (k N/m)	75.2	75.2	1.0
ΔPv (kN)	19.6	17.0	1.2
$\delta v0$ (cm)	2.68	1.41	1.9
$\delta u0$ (cm)	5.42	5.42	1.0
k (k N/cm)	7.31	12.06	0.6

(4) 採用する評価方法

現時点において、どちらを採用すべきであるか、適切な判断はできない。したがって本検討の結果については保留とする。

15 mmとなるのに対し、加工せず表層 30 mmとした仕様。

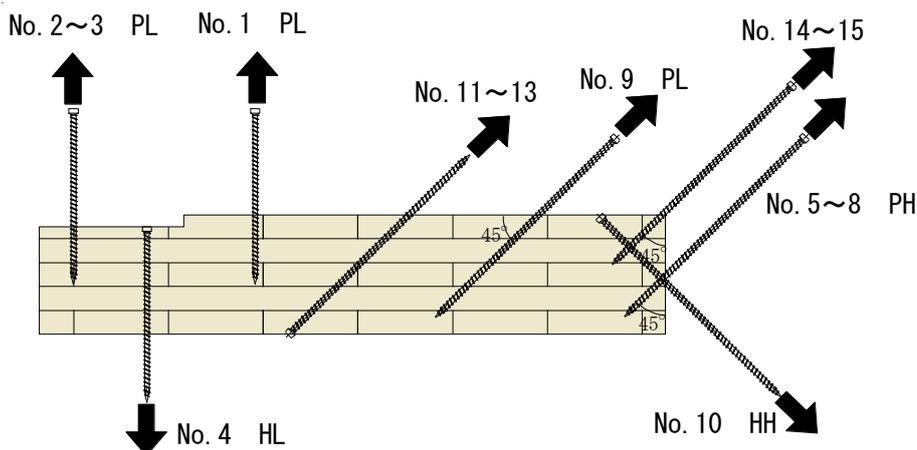


図 7.2-1 試験体のビスの打ち込み位置と向きの関係
(埋め込み長さや強・弱軸は考慮していない。)

7.3. 試験体仕様

(1) ビスの仕様

当該試験で使用した長ビスは図 7.3-1 のとおりである。

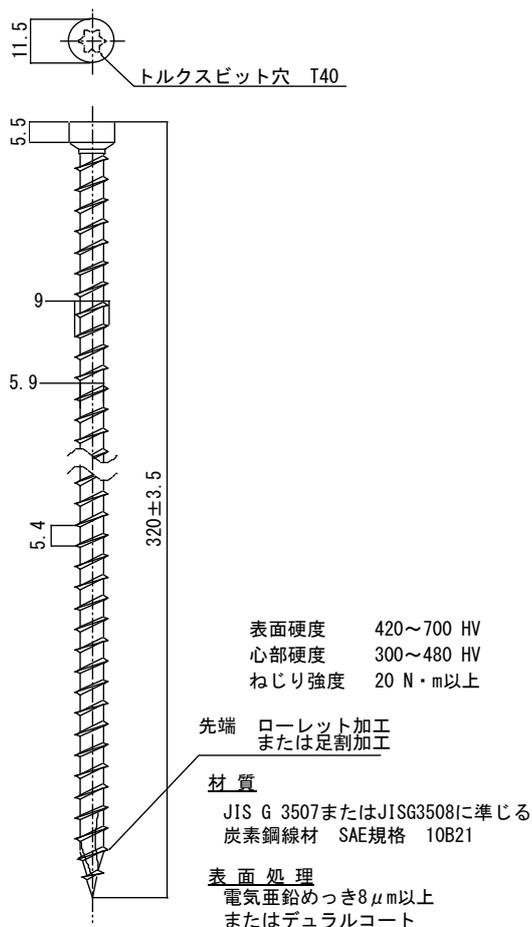


図 7.3-1 全ねじビス HTS9

(2) 試験体の密度と含水率

試験体の密度と含水率を表 7.3-1 に示す。

表 7.3-1 密度と含水率

試験体			含水率(%)				質量 (kg)	密度 (g/cm ³)
No	記号	番号	1	2	3	平均		
1	PL-90-065'	1	8.8	9	9	8.9	1.74	0.39
		2	9	9.1	8.9	9.0	1.68	0.37
		3	8.6	8.9	8.7	8.7	1.72	0.38
		4						
		5						
		6						
2	PL-90-065	1	9.1	10.9	10.3	10.1	1.64	0.44
		2	9.8	9.7	9.9	9.8	1.7	0.45
		3	10.3	9.9	9.8	10.0	1.5	0.40
		4	9.5	9.7	9.5	9.6	1.62	0.43
		5	9.9	10.2	9.4	9.8	1.64	0.44
		6	11.1	10.7	10.6	10.8	1.62	0.43
3	PL-90-095	1	7.7	8.5	8.4	8.2	2.8	0.41
		2	8.7	9.4	9.5	9.2	2.84	0.42
		3	8.7	8.2	8.1	8.3	2.82	0.42
		4	7.4	8.7	6.3	7.5	2.84	0.42
		5	8.1	8.1	7.9	8.0	2.88	0.43
		6	9.3	8.5	8.6	8.8	2.84	0.42
4	HL-90-105	1	9.5	8.9	9.1	9.2	2.86	0.42
		2						
		3						
		4						
		5						
		6						
5	PHS45-094	1	8.7	9.1	8.5	8.8	3.16	0.42
		2	8.8	10.7	9.3	9.6	3.12	0.42
		3	8.3	7.8	9.1	8.4	3.16	0.42
		4	9.3	9.2	8.2	8.9	3.18	0.42
		5	7.9	11.2	7.8	9.0	3.18	0.42
		6	8.4	8.7	9.2	8.8	3.28	0.44
6	PHS45-135	1	11.7	10	9.6	10.4	3.18	0.42
		2	8.7	7.8	8.7	8.4	3.16	0.42
		3	8.7	9.6	9.4	9.2	3.32	0.44
		4	12.2	11.1	8.9	10.7	3.12	0.42
		5	8.7	11.3	9.4	9.8	3.18	0.42
		6	9	11.2	8.3	9.5	3.14	0.42
7	PHW45-094	1	8.5	10.3	10.2	9.7	3.16	0.42
		2	9.4	9.1	9.7	9.4	3.16	0.42
		3	11.1	11.2	9.2	10.5	3.22	0.43
		4	9.7	10.5	8.6	9.6	3.06	0.41
		5	7.8	8.9	9.3	8.7	3.08	0.41
		6	8.5	9	9.6	9.0	3.24	0.43
8	PHW45-135	1	7.7	9.5	9.9	9.0	3.1	0.41
		2	8.3	8.8	9.4	8.8	3.04	0.41
		3	10.5	8	8.3	8.9	3.06	0.41
		4	8.4	9	9.8	9.1	3.12	0.42
		5	8.9	8.2	8.3	8.5	3.12	0.42
		6	9.3	9.2	8	8.8	3.1	0.41
9	PLS45-072	1	8.6	8.6	8.8	8.7	2.36	0.42
		2	8.8	8.4	8.9	8.7	2.28	0.41
		3	9.9	10.2	9.6	9.9	2.34	0.42
		4	8.7	9.7	9.8	9.4	2.24	0.40
		5	8.2	10	9.6	9.3	2.3	0.41
		6	9.7	9.3	10.4	9.8	2.38	0.42
10	HHS45-065	1	8.9	9.2	9	9.0	2.36	0.42
		2	9.4	10	10.1	9.8	2.4	0.43
		3	8.5	9.6	8.3	8.8	2.44	0.43
		4	11.1	8.6	11	10.2	2.42	0.43
		5	8.9	9	9.2	9.0	2.42	0.43
		6	8.8	9.1	8.9	8.9	2.26	0.40
11	HHS45-120	1	9.7	9.2	9	9.3	1.74	0.39
		2	8.1	8.1	8.8	8.3	1.82	0.40
		3	9.1	9.5	9.1	9.2	1.82	0.40
		4						
		5						
		6						
12	HHS45-206	1	9	8.8	8.7	8.8	4.68	0.42
		2	8.5	9.1	8.7	8.8	4.92	0.44
		3	8.3	7.9	8.1	8.1	4.62	0.41
		4						
		5						
		6						
13	HHW45-206	1	8.9	8.7	7.8	8.5	4.8	0.43
		2	8.1	9.7	7.5	8.4	4.66	0.41
		3	8.4	8.5	8.5	8.5	4.74	0.42
		4						
		5						
		6						
14	PHW45-100	1	8.3	8.2	9.1	8.5	4.72	0.42
		2	9.2	9.1	9.9	9.4	4.78	0.42
		3	9.3	9.7	9.9	9.6	4.6	0.41
		4						
		5						
		6						
15	PHW45-170	1	9.5	10.6	9.7	9.9	4.76	0.42
		2	9.6	9.4	10	9.7	4.66	0.41
		3	9.8	10.2	10	10.0	4.68	0.42
		4						
		5						
		6						

(3) 試験体仕様

1) 床-床ハーフラップビス接合を想定した引き抜き試験

試験体 No. 1～4 はハーフラップビス接合を想定した引き抜き試験である。
有効ねじ長さ l_e は、ハーフラップビス接合の仕様で決まっている。

■ハーフラップ接合 5層5プライ想定試験体

想定する接合用途を図 7.3-2 に、試験体仕様を図 7.3-3～図 7.3-4 に示す。

<想定する接合用途>

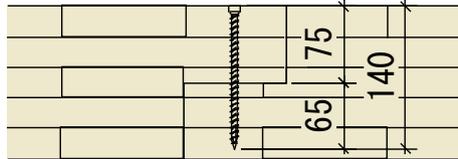
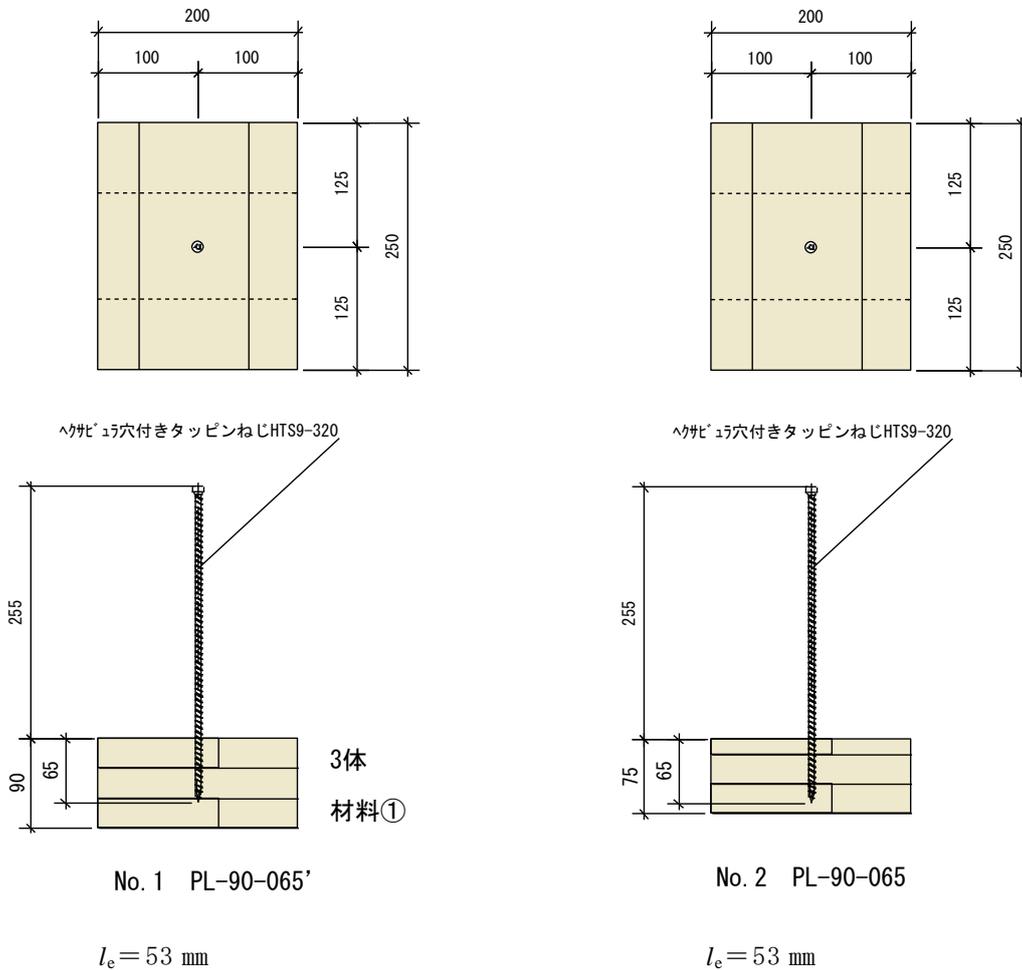


図 7.3-2 想定する接合用途：床-床ハーフラップビス接合（5層5プライ）



No. 2 との比較試験として、表層ラミナが薄い
ことの影響を確認する。

図 7.3-3 No.1 PL-90-065'

図 7.3-4 No.2 PL-90-065

■ハーフラップ接合 5層7プライ想定試験体

想定する接合用途を図 7.3-5 に、試験体仕様を図 7.3-6～図 7.3-7 に示す。

<想定する接合用途>

ハーフラップ接合 5層7プライ

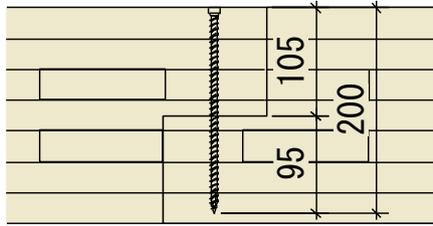
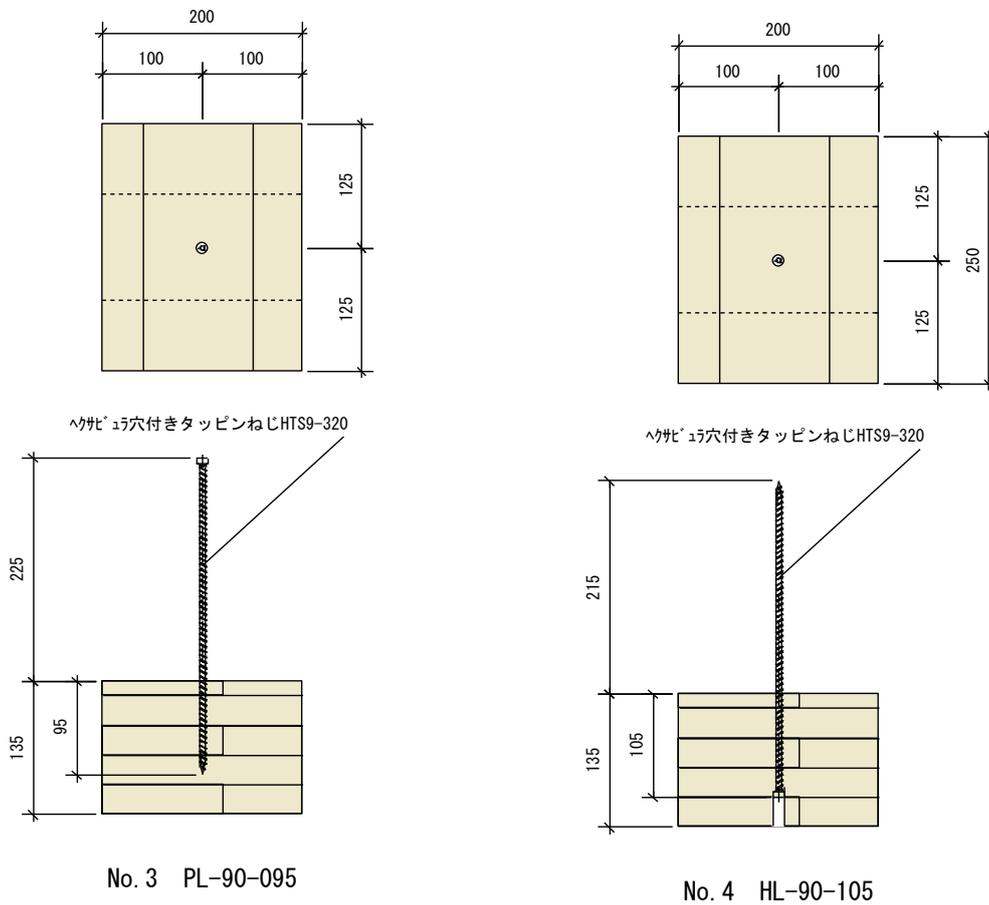


図 7.3-5 想定する接合用途：床-床ハーフラップビス接合（5層7プライ）



No. 3 PL-90-095

$$l_e = 83 \text{ mm}$$

※厳密には上から7層目の繊維方向が試験体と異なるが、ほぼビスの先端なので大過ないとした。

図 7.3-6 No.3 PL-90-095

No. 4 HL-90-105

$$l_e = 96.5 \text{ mm}$$

※有効ねじ長さ l_e をねじ先端側仕様と合わせることも考えられたが、実際の仕様に合わせた。

図 7.3-7 No.4 PL-90-105

2) 床一床斜め交差打ちビス接合を想定した引き抜き試験

試験体 No.5~8 は斜め交差打ちビス接合を想定した引き抜き試験である。
有効ねじ長さ l_e は、斜め交差打ちビス接合の仕様で決まっている。

■斜め交差打ちビス接合 5層5プライ想定試験体

想定する接合用途を図 7.3-7 に、試験体仕様を図 7.3-8~図 7.3-9 に示す。
<想定する接合用途>

斜め交差打ちビス接合 5層5プライ

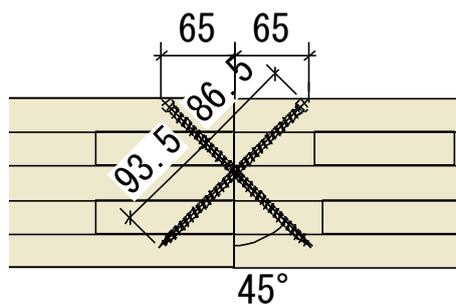
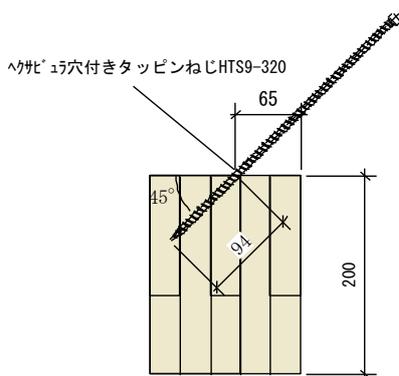
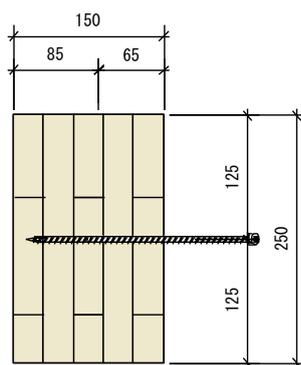
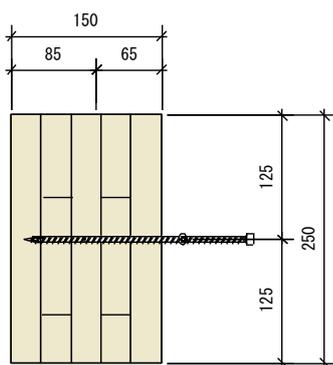
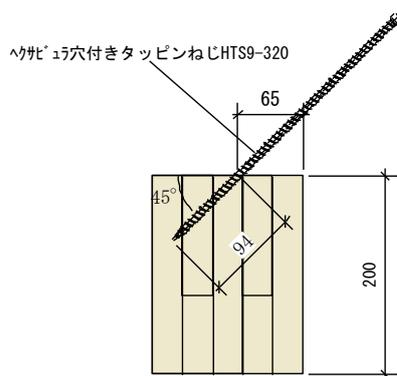


図 7.3-7 想定する接合用途：床一床ハーフラップビス接合（5層5プライ）



No. 5 PHS45-094



No. 7 PHW45-094

$l_e = 82 \text{ mm}$

$l_e = 82 \text{ mm}$

※正確にはビス先端 93.5 mm、頭側 86.5 mmだが、そもそも角度が付くと正確には打てないので、試験体は 94 mmに統一した。

図 7.3-8 No.5 PHS45-094

図 7.3-9 No.7 PHW45-094

■斜め交差打ちビス接合 5層7プライ想定試験体

想定する接合用途を図 7.3-10 に、試験体仕様を図 7.3-11～図 7.3-12 に示す。

<想定する接合用途>

斜め交差打ちビス接合 5層7プライ

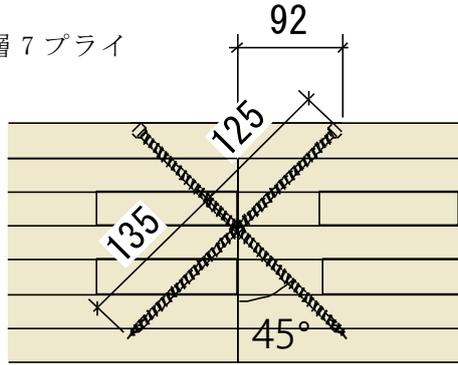
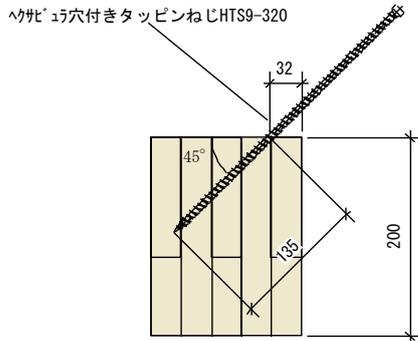
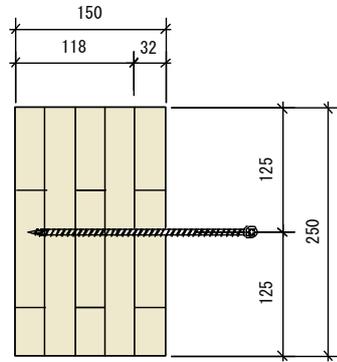
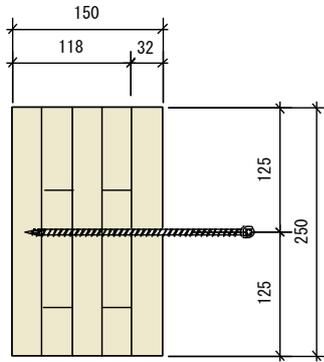


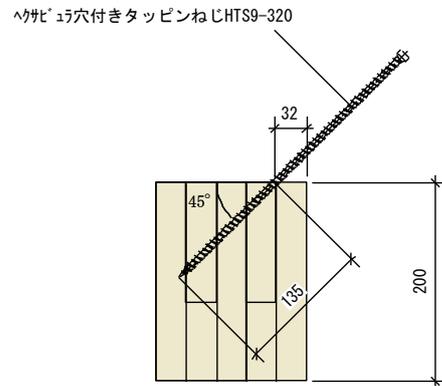
図 7.3-10 想定する接合用途：床-床ハーフラップビス接合（5層7プライ）



No. 6 PHS45-135

$l_e = 123 \text{ mm}$

図 7.3-11 No.6 PHS45-135



No. 8 PHW45-135

$l_e = 123 \text{ mm}$

図 7.3-12 No.8 PHW45-135

3) 壁—直交壁ビス接合を想定した引き抜き試験

試験体 No.9～10 は壁—直交壁ビス接合を想定した引き抜き試験である。

■斜め交差打ちビス接合 3層3プライ想定試験体

想定する接合用途を図 7.3-13 に、試験体仕様を図 7.3-14～図 7.3-15 に示す。

<想定する接合用途>

斜め交差打ちビス接合 5層5プライ

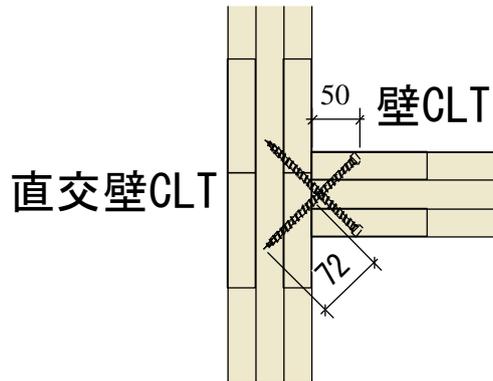
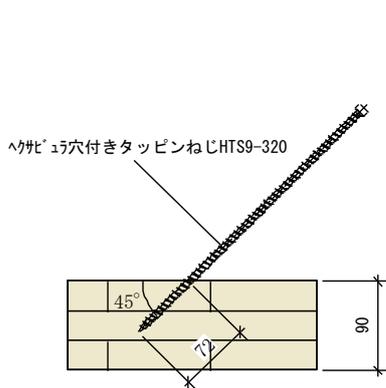
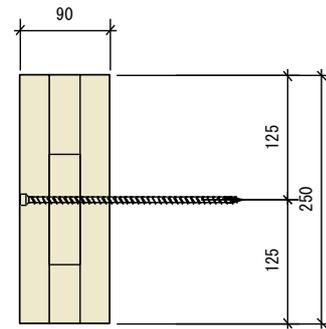
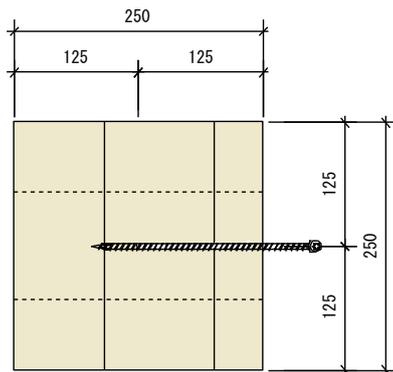
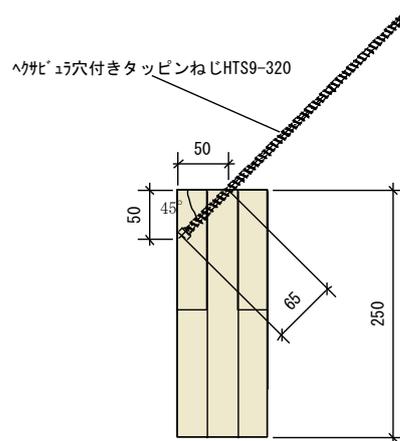


図 7.3-13 想定する接合用途：壁—直交壁 斜め交差打ちビス接合（3層3プライ）



No. 09 PLS45-072

$l_e = 60 \text{ mm}$



No. 10 HHS45-065

$l_e = 56.5 \text{ mm}$

図 7.3-14 No.9 PLS45-072

図 7.3-15 No.10 PLW45-065

4) 壁—床斜め打ちビス接合を想定した引き抜き試験

試験体 No.11～15 は壁—床斜め打ち+直交打ちビス接合を想定した引き抜き試験である。

■斜め打ち+直交打ちビス接合 3層3プライ想定試験体

想定する接合用途を図 7.3-16 に、試験体仕様を図 7.3-17～図 7.3-18 に示す。

<想定する接合用途>

斜め交差打ちビス接合 5層5プライ

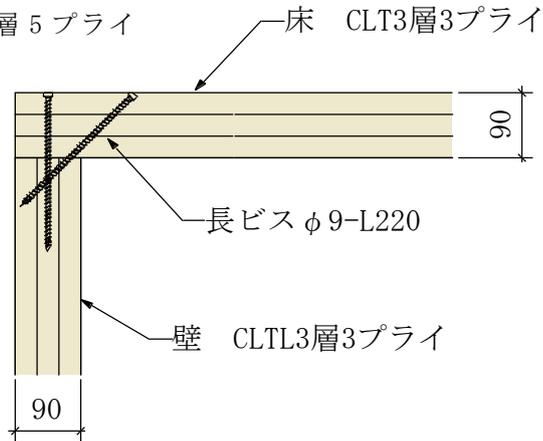
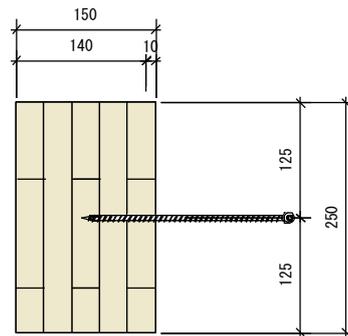
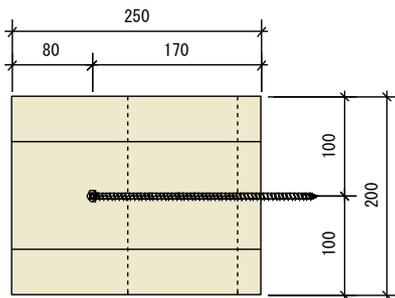
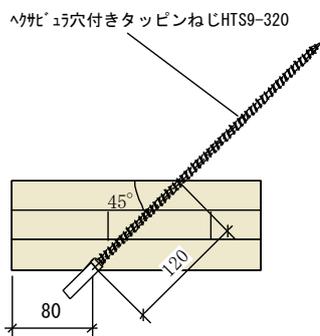


図 7.3-16 想定する接合用途：壁—床斜め打ちビス接合 (3層3プライ)



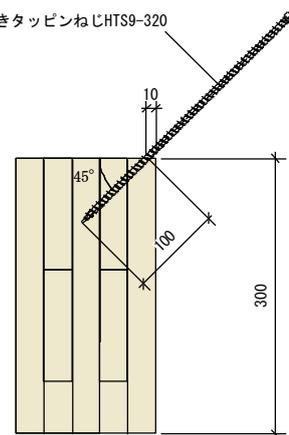
ヘッド15穴付きタッピンねじHTS9-320



HHS45-120

$l_e = 111.5 \text{ mm}$

図 7.3-17 No.11 HHS45-120



No. 14 PHW45-100

※試験体の都合により、5層5プライを使用。

$l_e = 88.0 \text{ mm}$

図 7.3-18 No.14 HHS45-206

■斜め打ち+直交打ちビス接合 5層5プライ想定試験体

想定する接合用途を図 7.3-19 に、試験体仕様を図 7.3-20～図 7.3-22 に示す。

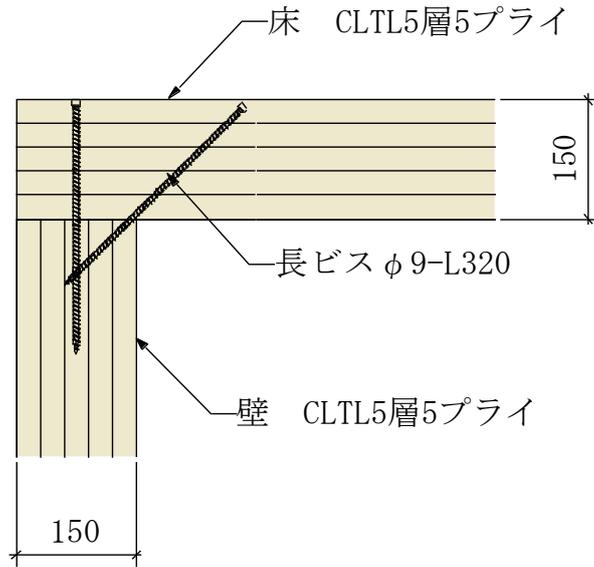
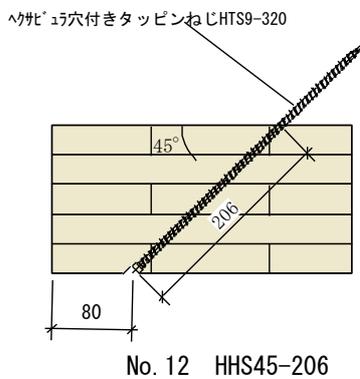
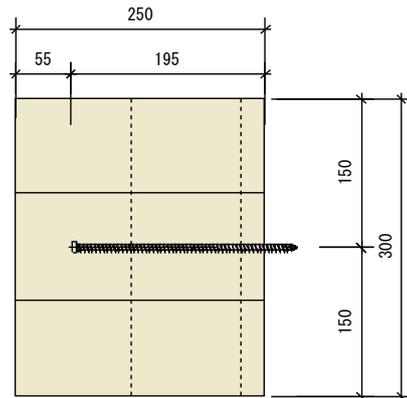
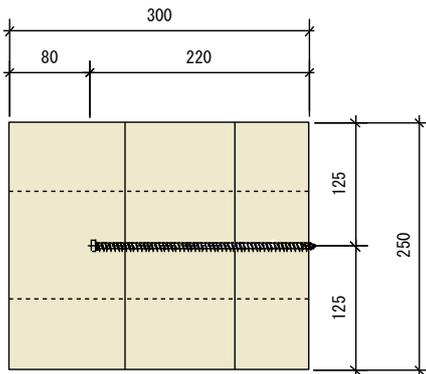


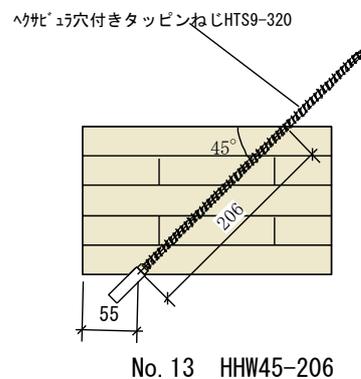
図 7.3-19 想定する接合用途：壁-床斜め打ちビス接合（5層5プライ）



$l_e = 197.5 \text{ mm}$

※せん断加力時の強軸仕様

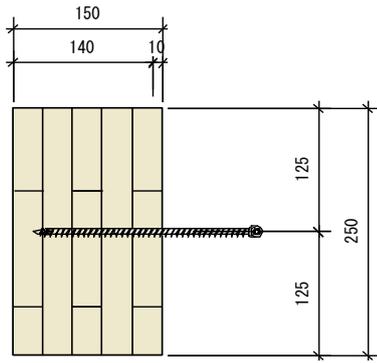
図 7.3-20 No.12 HHS45-206



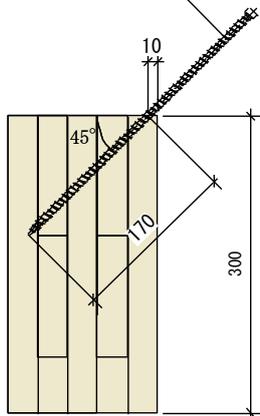
$l_e = 197.5 \text{ mm}$

※せん断加力時の弱軸仕様

図 7.3-21 No.13 HHS45-206



へがね 15穴付きタッピンねじHTS9-320



No. 15 PHW45-170

$l_e = 158 \text{ mm}$

※せん断加力時の弱軸仕様

図 7.3-22 No.15 PHW45-170

7.4. 試験方法

試験方法は写真 7.4-1、7.4-2 のとおり、角度に応じて固定治具を使い分ける。加力は単調加力とし、変位計測はストロークの変位とした。

また、対象となるビスの部位がビス先端の場合は図 7.4-1、ビス頭側の場合は図 7.4-2 の治具で引き抜きを行った。



写真 7.4-1 引き抜き試験 直角

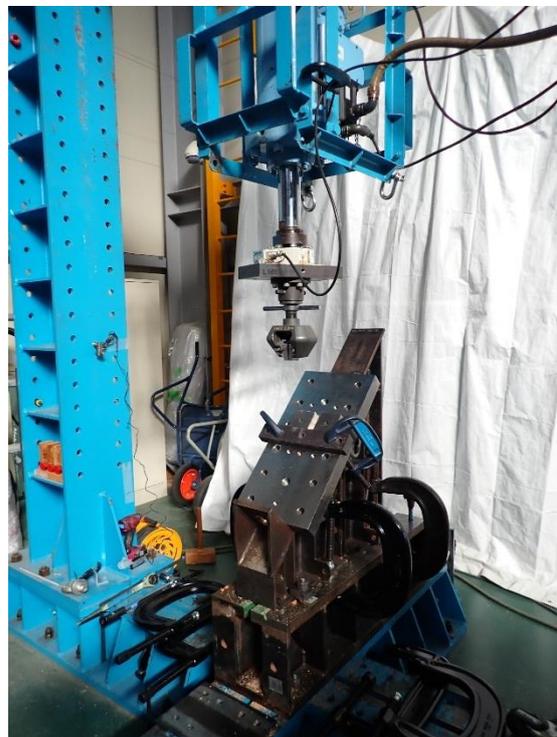


写真 7.4-2 引き抜き試験 斜め

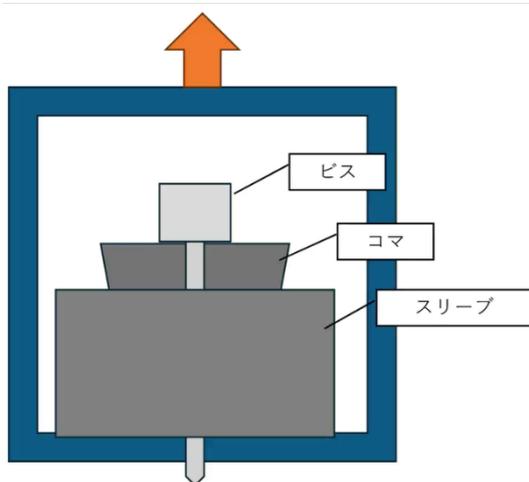


図 7.4-1 ビス先端用治具

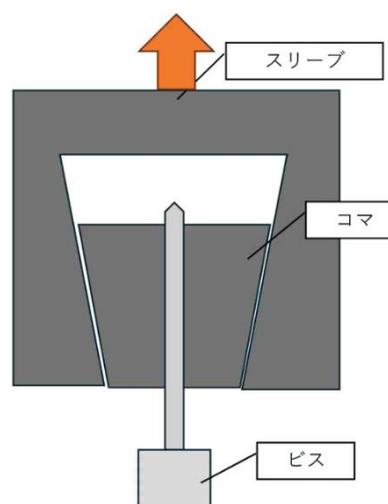


図 7.4-2 ビス頭用治具

7.5. 試験結果

7.5.1. 床—床ハーフラップビス接合を想定した引き抜き試験

試験体 No.1～4 までの結果を整理したものである。

各試験体の荷重変位曲線を図 7.5.1-1～図 7.5.1-4 に、評価結果（最大耐力）を表 7.5.1-1 に、破壊性状を写真 7.5.1-1～写真 7.5.1-10 に示す。

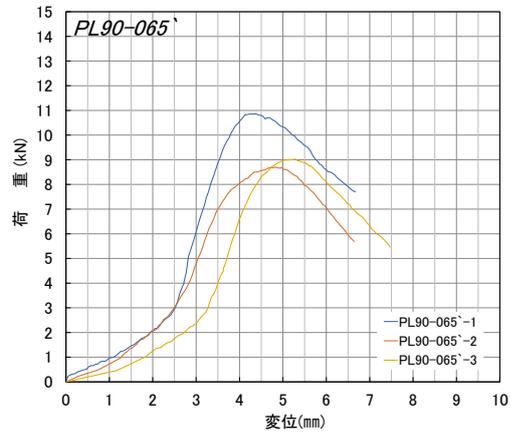
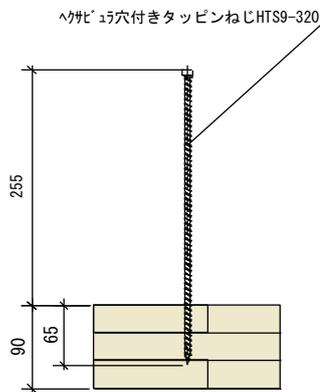


図 7.5.1-1 PL90-065' の荷重変位曲線

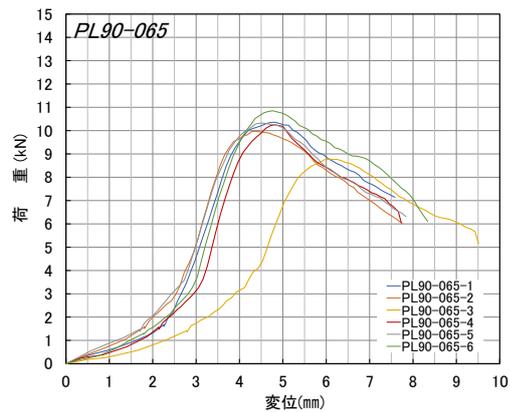
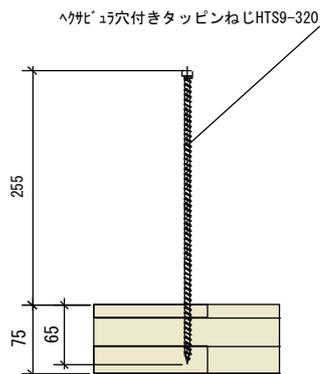


図 7.5.1-2 PL90-065 の荷重変位曲線

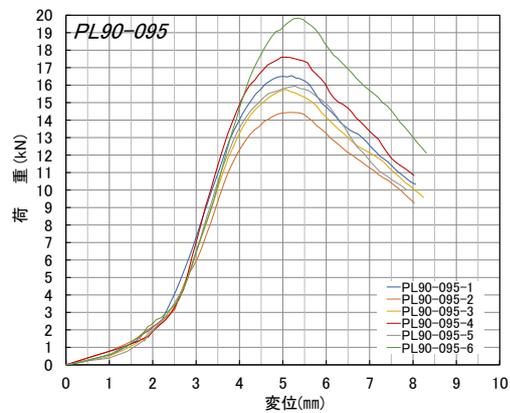
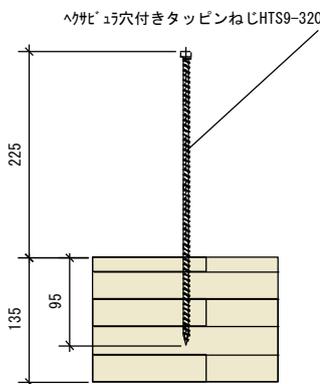


図 7.5.1-3 PL90-095 の荷重変位曲線

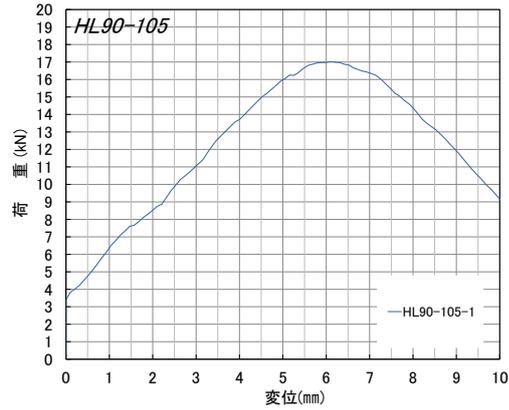
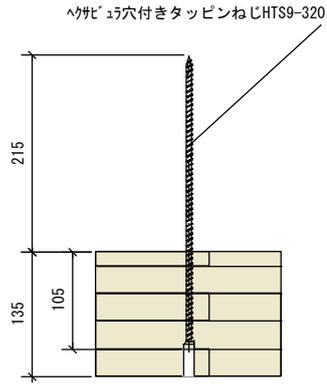


図 7.5.1-4 PL90-095 の荷重変位曲線

表 7.5.1-1 評価結果 (最大耐力)

通し番号	試験体記号	ビス有効長さ (mm)	試験体数 (体)	最大耐力 (kN)												
				1	2	3	4	5	6	平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5%下限値		
1	PL-90-065'	53.0	3	10.86	8.7	9.03						9.5	1.16	0.122	0.615	5.8
2	PL-90-065	53.0	6	10.36	9.97	8.78	10.25	10.32	10.85	10.1	0.70	0.069	0.839	8.4		
3	PL-90-095	83.0	6	16.54	14.44	15.75	17.6	15.94	19.83	16.7	1.86	0.111	0.741	12.3		
4	HL-90-105	96.5	1	17.02								17.0				0.0



写真 7.5.1-1 NO.1 PL90-065'-1 試験前



写真 7.5.1-2 NO.1 PL90-065'-1 試験後 表層のめくれ



写真 7.5.1-3 NO.1 PL90-065'-1 解体後



写真 7.5.1-4 NO.1 PL90-065'-3 試験後 表層のめくれ



写真 7.5.1-5 NO.2 PL90-065-1 試験後
表層のめくれ



写真 7.5.1-6 NO.2 PL90-065-1 解体後



写真 7.5.1-7 NO.3 PL90-095-1 試験後
表層のめくれ



写真 7.5.1-8 NO.3 PL90-095-1 解体後



写真 7.5.1-9 NO.4 HL90-105-1 試験後
表層のめくれ



写真 7.5.1-10 NO.4 HL90-105-1 解体後

7.5.2. 床—床斜め交差打ちビス接合を想定した引き抜き試験

試験体 No.5～8 までの結果を整理したものである。

各試験体の荷重変位曲線を図 7.5.2-1～図 7.5.2-4 に、評価結果（最大耐力）を表 7.5.2-1 に、破壊性状を写真 7.5.2-1～写真 7.5.2-10 に示す。

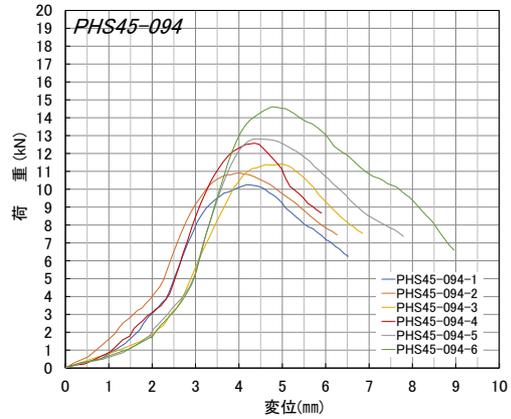
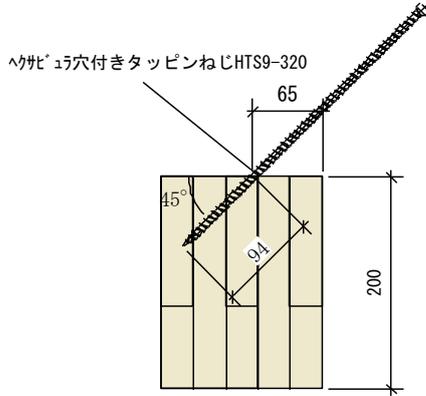


図 7.5.2-1 PHS45-094 の荷重変位曲線

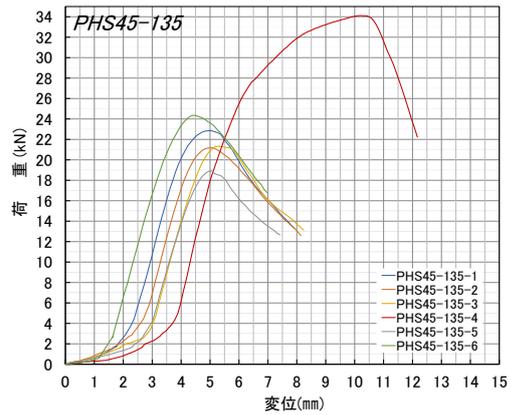
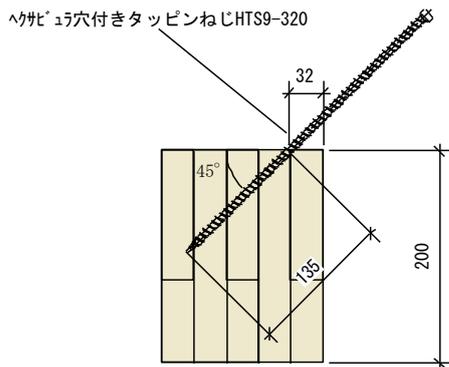
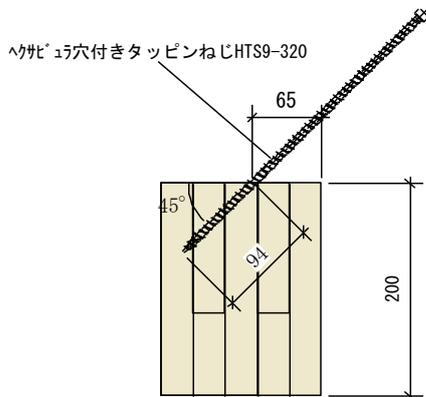


図 7.5.2-2 PHS45-135 の荷重変位曲線



No. 7 PHW45-094

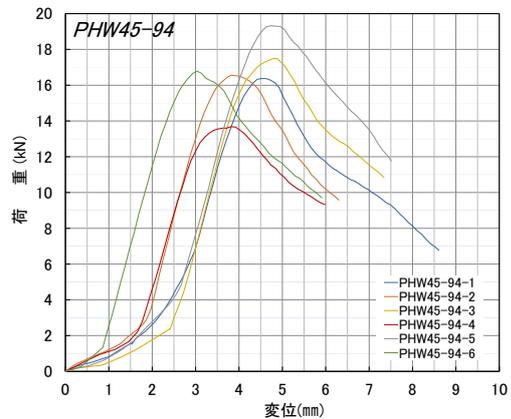


図 7.5.2-3 PHW45-094 の荷重変位曲線

ハジビ ヲリ穴付きタッピンねじHTS9-320

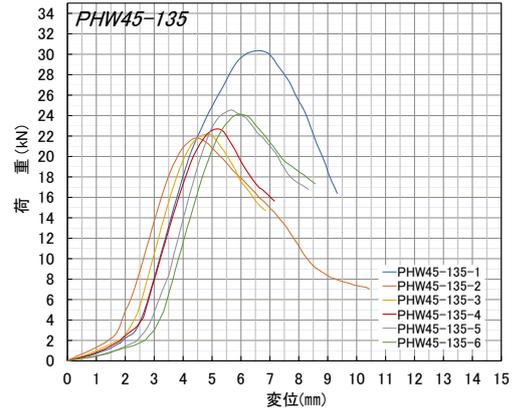
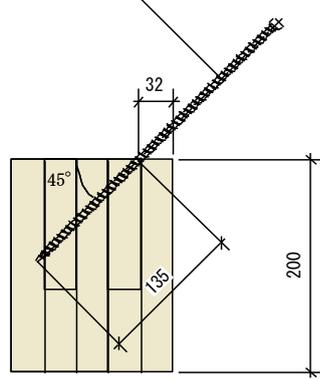


図 7.5.2-4 PHW45-135 の荷重変位曲線

表 7.5.2-1 評価結果 (最大耐力)

通し 番号	試験体記号	ビス有効 長さ (mm)	試験 体数 (体)	最大耐力 (kN)										標準偏 差	変動係 数	ばらつ き係数	5%下 限值
				1	2	3	4	5	6	平均							
5	PHS45-094	82.0	6	10.26	10.91	11.4	12.57	12.82	14.61	12.1	1.57	0.130	0.696	8.4			
6	PHS45-135	123.0	6	22.85	21.18	21.32	34.11	18.92	24.36	23.8	5.37	0.226	0.472	11.2			
7	PHW45-094	82.0	6	16.37	16.56	17.49	13.68	19.32	16.78	16.7	1.83	0.110	0.743	12.4			
8	PHW45-135	123.0	6	30.35	21.79	22.2	22.7	24.55	24.12	24.3	3.16	0.130	0.696	16.9			

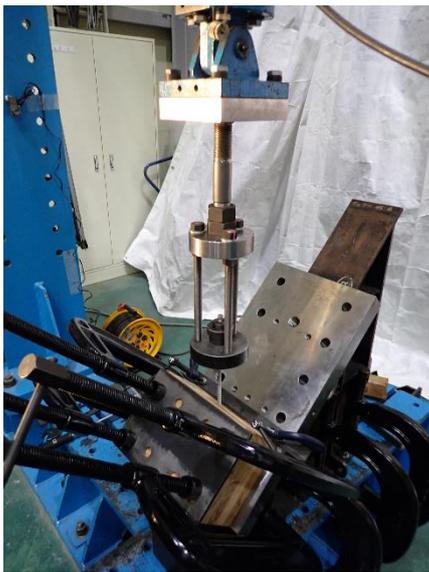


写真 7.5.2-1 NO.5 PHS45-094-1 試験前



写真 7.5.2-2 NO.5 PHS45-094-1 試験後
表層のめくれ



写真 7.5.2-3 NO.5 PHS45-094-1 解体後



写真 7.5.2-4 NO.5 PHS45-094-6 試験後
表層のめくれ



写真 7.5.2-5 NO.6 PHS45-135-1 試験後
表層の押し抜きせん断



写真 7.5.2-6 NO.6 PHS45-135-1 解体後



写真 7.5.2-7 NO.7 PHW45-094-1 試験後
表層の押し抜きせん断



写真 7.5.2-8 NO.7 PHW45-094-1 解体
後



写真 7.5.2-9 NO.8 PHW45-135-1 試験後
表層のめくれ



写真 7.5.2-10 NO.8 PHW45-135-1 解体後

7.5.3. 壁—直交壁ビス接合を想定した引き抜き試験

試験体 No.9～10 までの結果を整理したものである。

各試験体の荷重変位曲線を図 7.5.3-1～図 7.5.3-2 に、評価結果（最大耐力）を表 7.5.3-1 に、破壊性状を写真 7.5.3-1～写真 7.5.3-6 に示す。

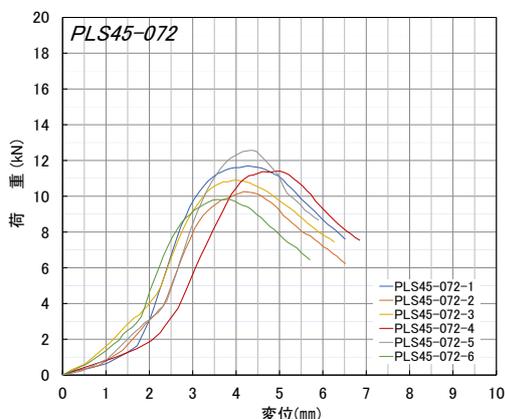
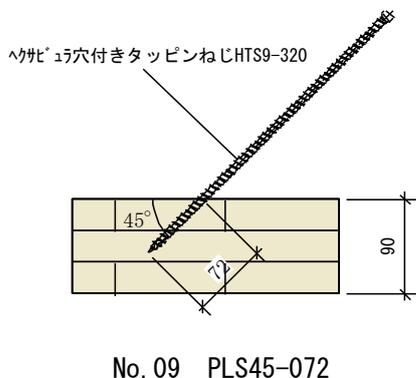


図 7.5.3-1 PLS45-072 の荷重変位曲線

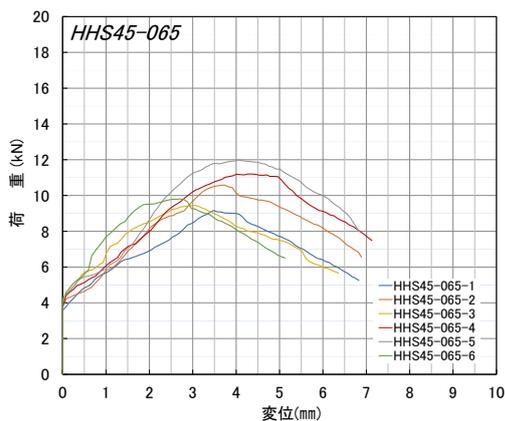
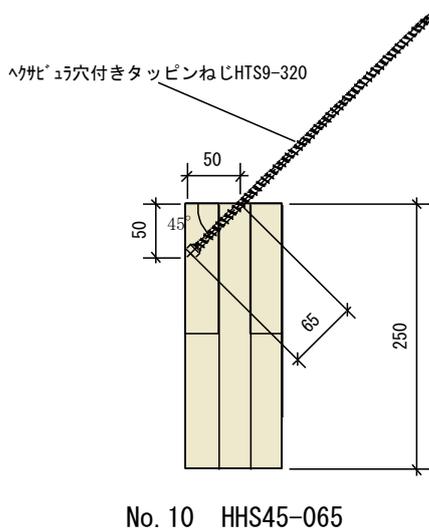


図 7.5.3-2 HHS45-065 の荷重変位曲線

表 7.5.3-1 評価結果（最大耐力）

通し 番号	試験体記号	ビス有効 長さ (mm)	試験 体数 (体)	最大耐力 (kN)										
				1	2	3	4	5	6	平均	標準偏 差	変動係 数	ばらつ き係数	5%下 限值
9	PLS45-072	60.0	6	11.7	10.26	10.91	11.4	12.57	9.83	11.1	1.00	0.090	0.790	8.7
10	HHS45-065	56.5	6	9.16	10.58	9.45	11.2	11.99	9.81	10.4	1.09	0.106	0.752	7.7

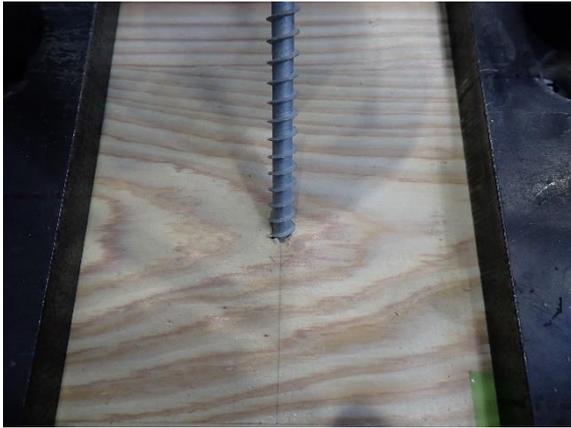


写真 7.5.3-1 NO.9 PLS45-072-1 試験前



写真 7.5.3-2 NO.9 PLS45-072-1 試験後
表層のめくれ



写真 7.5.3-3 NO.9 PLS45-072-1 解体後

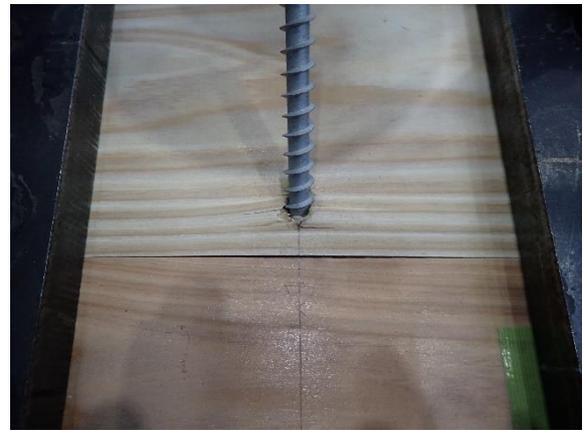


写真 7.5.3-4 NO.9 PLS45-072-6 試験後
表層のめくれ

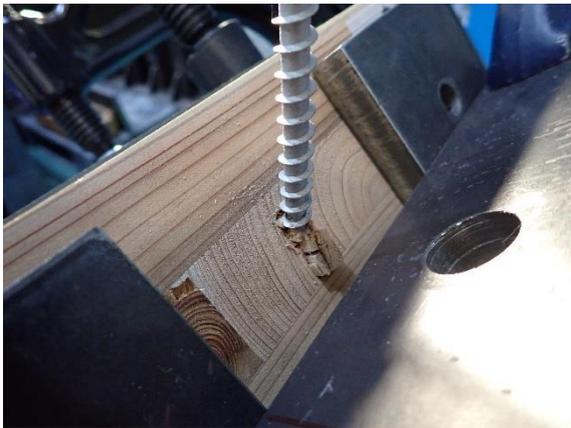


写真 7.5.3-5 NO.10 HHS45-065-1 試験後
表層の押し抜きせん断



写真 7.5.3-6 NO.10 HHS45-065-1 解体後

7.5.4. 壁—床斜め打ちビス接合を想定した引き抜き試験

試験体 No.11～15 までの結果を整理したものである。

各試験体の荷重変位曲線を図 7.5.4-1～図 7.5.4-5 に、評価結果（最大耐力）を表 7.5.4-1 に、破壊性状を写真 7.5.4-1～写真 7.5.4-12 に示す。

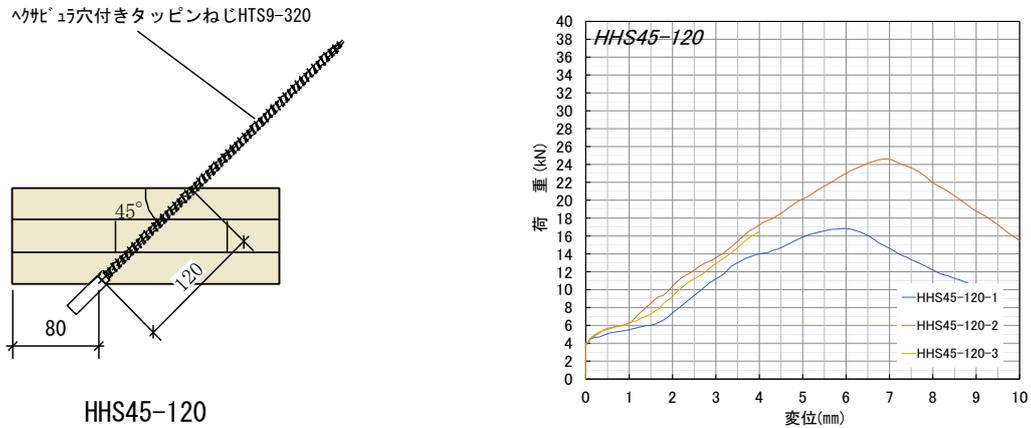


図 7.5.4-1 HHS45-120 の荷重変位曲線

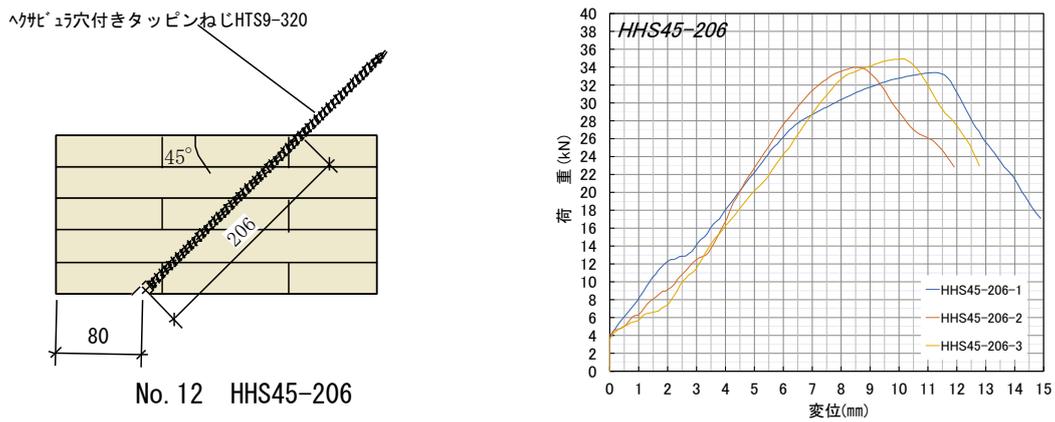


図 7.5.4-2 HHS45-206 の荷重変位曲線

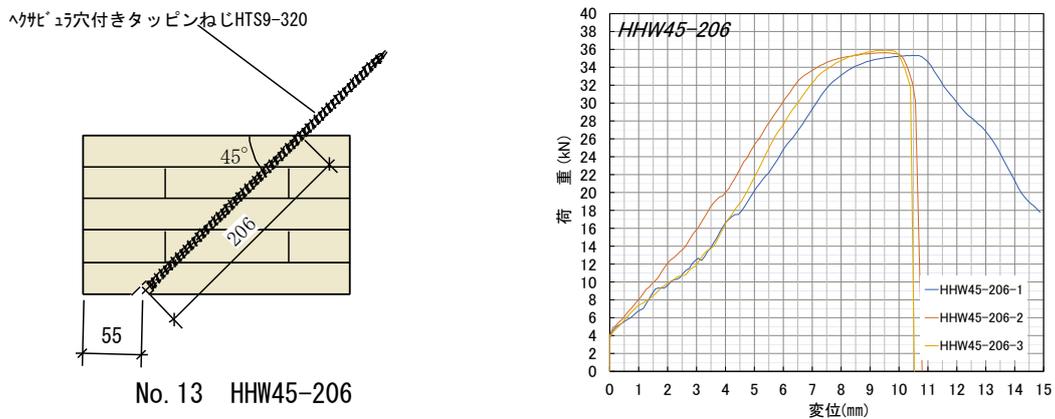
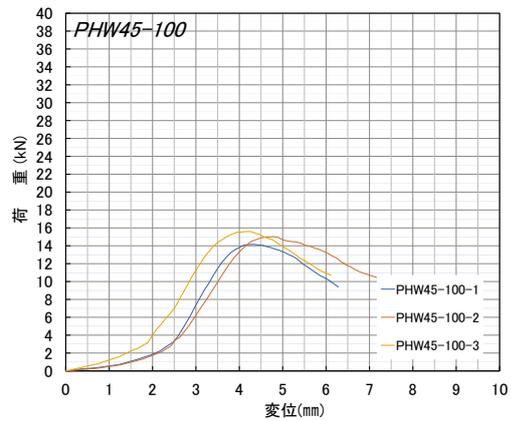
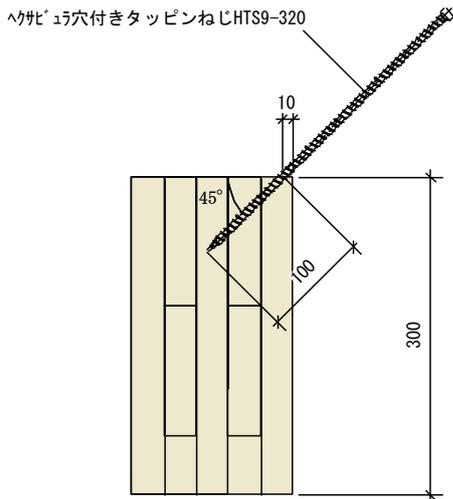
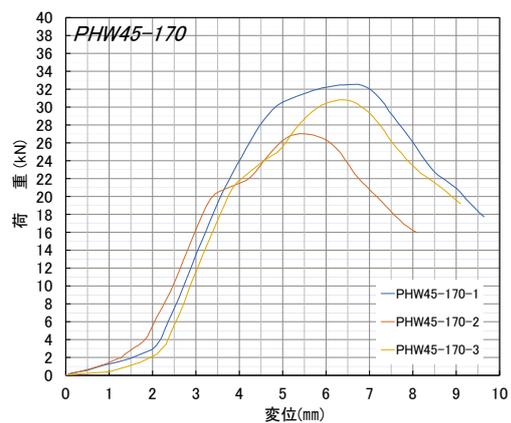
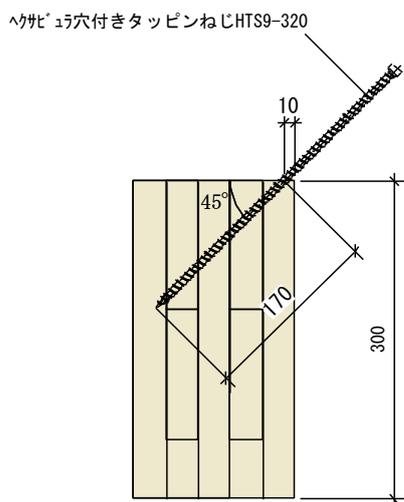


図 7.5.4-3 HHW45-206 の荷重変位曲線



No. 14 PHW45-100

図 7.5.4-4 PHW45-100 の荷重変位曲線



No. 15 PHW45-170

図 7.5.4-5 PHW45-170 の荷重変位曲線

表 7.5.4-1 評価結果（最大耐力）

通し 番号	試験体記号	ビス有効 長さ (mm)	試験 体数 (体)	最大耐力 (kN)												
				1	2	3	4	5	6	平均	標準偏 差	変動係 数	ばらつ き係数	5%下 限值		
11	HHS45-120	111.5	3	16.82	24.62	16.48						19.3	4.61	0.239	0.247	4.7
12	HHS45-206	197.5	3	33.4	33.99	34.93						34.1	0.77	0.023	0.928	31.6
13	HHW45-206	197.5	3	35.32	35.63	35.91						35.6	0.30	0.008	0.975	34.7
14	PHW45-100	197.5	3	14.16	15.02	15.59						14.9	0.72	0.048	0.849	12.6
15	PHW45-170	158.0	3	32.55	27.03	30.81						30.1	2.82	0.094	0.704	21.2

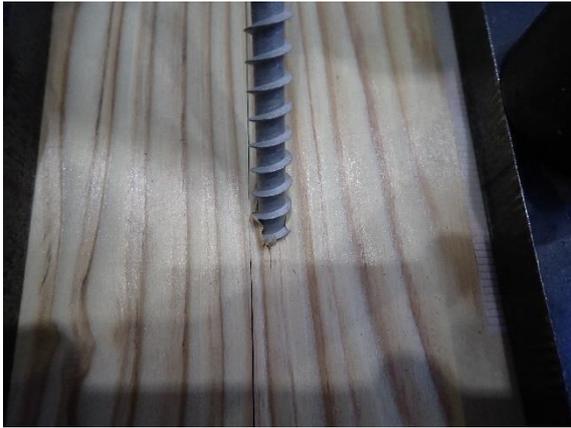


写真 7.5.4-1 No.11 HHS45-120-1 試験前

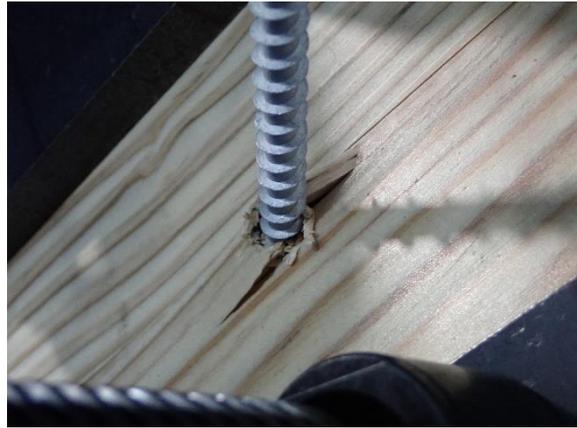


写真 7.5.4-2 No.11 HHS45-120-1 試験後
表層のめくれ



写真 7.5.4-3 NO.11 HHS45-120-1 解体後
ビス先端側



写真 7.5.4-4 NO.11 HHS45-120-1 解体後
ビス頭部側



写真 7.5.4-5 NO.12 HHS45-206-1 試験後
表層のめくれ



写真 7.5.4-6 NO.12 HHS45-206-1 解体後



写真 7.5.4-7 No.13 HHW45-206-1 試験後
表層のめくれ



写真 7.5.4-8 NO.13 HHW45-206-1 解体後



写真 7.5.4-9 NO.14 PHW45-100-1 試験後
表層のめくれ



写真 7.5.4-10 NO.14 PHW45-100-1 解体後

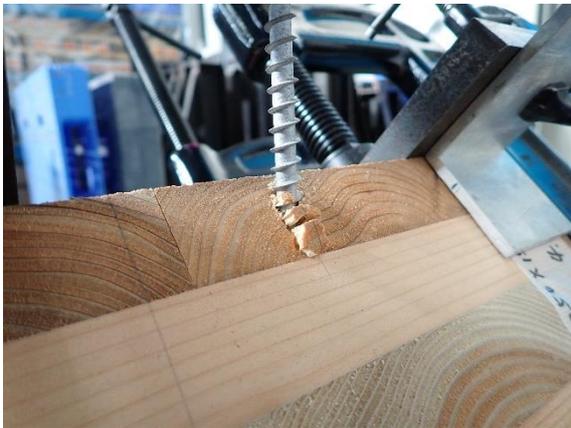


写真 7.5.4-11 NO.15 PHW45-170-1 試験後
表層のめくれ



写真 7.5.4-12 NO.16 PHW45-170-1 解体後

7.6. 考察

最大耐力一覧表を表 7.6-1 に、最大耐力（試験体ごと）と有効長さの関係を図 7.6-1 に、最大耐力（平均値）と有効長さの関係を図 7.6-2 に示す。

最大耐力と有効長さは、ビスの打ち込み角度、木材の繊維の向き、CLT の木口方向・積層方向に関わらず、おおむね比例することが分かった。引き抜き試験の結果はばらつきが大きくなる傾向にあるので、平均値で見比べるとよりはっきり傾向を掴むことができる。

今回は最長で 197.5 mm までの有効ねじ長さとしたが、木材のせん断応力は、せん断長さ方向に徐々に低下していくため、有効ねじ長さが 200 mm を超えると徐々に横ばいになっていく可能性がある。

表 7.6-1 最大耐力一覧表

通し番号	試験体記号	ビス有効長さ (mm)	試験体数 (体)	最大耐力 (kN)												
				1	2	3	4	5	6	平均	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	5% 下限値		
1	PL-90-065'	53.0	3	10.86	8.7	9.03						9.5	1.16	0.122	0.615	5.8
2	PL-90-065	53.0	6	10.36	9.97	8.78	10.25	10.32	10.85	10.85		10.1	0.70	0.069	0.839	8.4
3	PL-90-095	83.0	6	16.54	14.44	15.75	17.6	15.94	19.83	19.83		16.7	1.86	0.111	0.741	12.3
4	HL-90-105	96.5	1	17.02								17.0				0.0
5	PHS45-094	82.0	6	10.26	10.91	11.4	12.57	12.82	14.61	14.61		12.1	1.57	0.130	0.696	8.4
6	PHS45-135	123.0	6	22.85	21.18	21.32	34.11	18.92	24.36	24.36		23.8	5.37	0.226	0.472	11.2
7	PHW45-094	82.0	6	16.37	16.56	17.49	13.68	19.32	16.78	16.78		16.7	1.83	0.110	0.743	12.4
8	PHW45-135	123.0	6	30.35	21.79	22.2	22.7	24.55	24.12	24.12		24.3	3.16	0.130	0.696	16.9
9	PLS45-072	60.0	6	11.7	10.26	10.91	11.4	12.57	9.83	9.83		11.1	1.00	0.090	0.790	8.7
10	HHS45-065	56.5	6	9.16	10.58	9.45	11.2	11.99	9.81	9.81		10.4	1.09	0.106	0.752	7.7
11	HHS45-120	111.5	3	16.82	24.62	16.48						19.3	4.61	0.239	0.247	4.7
12	HHS45-206	197.5	3	33.4	33.99	34.93						34.1	0.77	0.023	0.928	31.6
13	HHW45-206	197.5	3	35.32	35.63	35.91						35.6	0.30	0.008	0.975	34.7
14	PHW45-100	88.0	3	14.16	15.02	15.59						14.9	0.72	0.048	0.849	12.6
15	PHW45-170	158.0	3	32.55	27.03	30.81						30.1	2.82	0.094	0.704	21.2

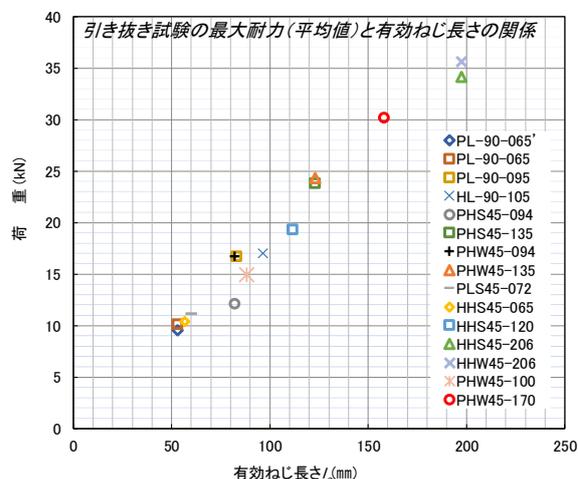
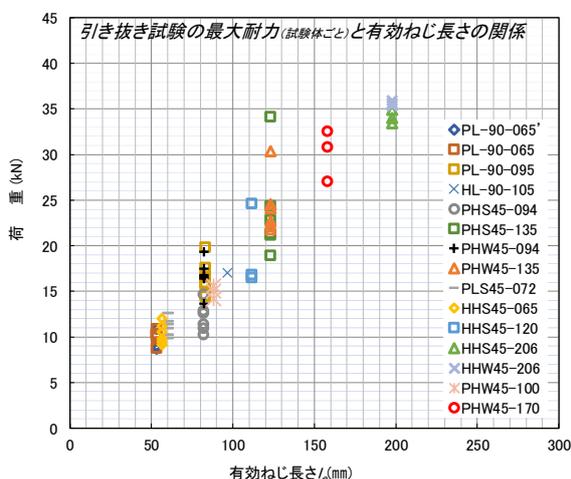


図 7.6-1 最大耐力（試験体ごと）と有効長さの関係

図 7.6-2 最大耐力（平均値）と有効長さの関係

8. ビスのせん断接合部における試験値と計算値との比較

8.1. 検討の目的

本検討では、全ねじビスを用いた CLT パネル工法用の接合部の設計法の提案を行い、7.1 項で行ったビスの引き抜き試験の結果等を用いて、せん断接合部の強度性能の推定を行うことを目的とする。

8.2. 接合部の設計方法（案）

8.2.1. 降伏耐力及び初期剛性の算出

文献 4) の 3.3 構造用ビスの設計方法に準じる。

ただし、支圧強度は繊維平行層、繊維直交層の層構成に応じて、面積按分する。

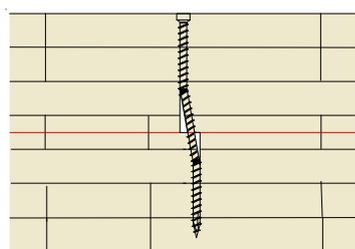
8.2.2. 最大耐力の算出

文献 4) の 3.3 構造用ビスの設計方法における最大耐力の算定式は式 8.2.2-1 のとおりである。

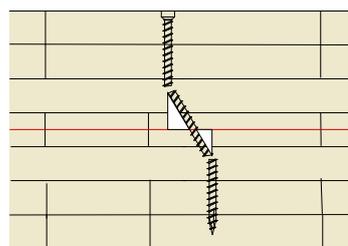
$$P_{ax} = \min(0.75 \times P_w, P_{head}) \quad \text{式 8.2.2-1}$$

ただし、これは半ねじ接合を前提としたものになっているため、全ねじ接合においては P_{head} の定義をビス頭側の引き抜き抵抗とした上で P_w と同様に「ねじ部の引っ掛かりが急速に減少する」ものとして 0.75 を乗じることとする。

更に長ビスの場合は正負交番加力によって、降伏時に形成された塑性ヒンジが終局時に折損するため、埋め込み長さ分のロープ効果は期待できないと考えられる（図 8.2.2-1）。該当する降伏モードは写真 8.2.2-1 のとおり、Mode III a（若しくは Mode III b）、Mode IV が想定される。

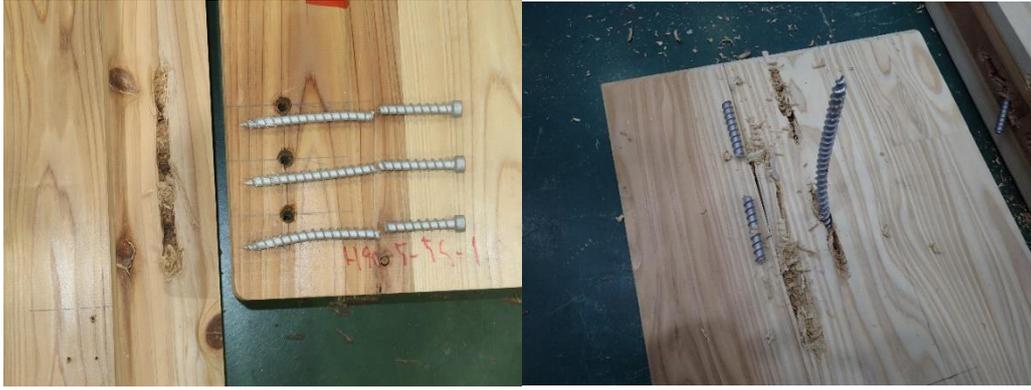


降伏時：塑性ヒンジが形成



終局時：繰り返し加力によって
ビスが折損する

図 8.2.2-1 正負交番加力によるロープ効果の減少



Mode IIIa

Mode IV

写真 8.2.2-1 正負交番加力試験におけるビスの折損

したがって、全ねじ接合で正負交番加力を受けるビス接合部の設計式（案）は式 8.2.2-2 のとおりとした。

$$P_{ax} = \min(0.75 \times P_w, 0.75 \times P_{f\text{-head}}) \quad \text{式 8.2.2-2}$$

ここで、 P_{pull} ：ビス先端側における引き抜き抵抗（N）

ただし、mode III、IV の場合は、塑性ヒンジから接合面までの距離に応じた引き抜き抵抗に低減するものとする。

1) mode III、IV の場合

$$P_w = P_{\text{max}} \times l_n / l_0 \quad \text{式 8.2.2-3}$$

ここで、 P_{max} ：ビスの引抜試験実験時の最大耐力（kN）

l_n ：塑性ヒンジから接合面までの距離（mm）

l_0 ：実験時の有効ねじ長さ（mm）

2) mode III、IV 以外の場合

$$P_w = P_{\text{max}} \times l_e / l_0 \quad \text{式 8.2.2-4}$$

l_e ：接合部設計における有効ねじ長さ（mm）

$P_{f\text{-head}}$ ：ビス頭側における引き抜き抵抗（N）

ただし、mode III、IV の場合は、塑性ヒンジから接合面までの距離に応じた引き抜き抵抗に低減するものとする。

1) mode III、IV の場合

$$P_{f\text{-head}} = P_{\text{max}} \times l_n / l_0 \quad \text{式 8.2.2-5}$$

2) mode III、IV 以外の場合

$$P_{f\text{-head}} = P_{\text{max}} \times l_e / l_0 \quad \text{式 8.2.2-6}$$

ただし、斜め交差打ちビス接合の場合（図 8.2.2-2）は、主材と側材の両方にビス頭側接合部とビス先端接合部の両方が存在するので、式 8.2.2-7 のとおりとする。

$$P_{ax} = \text{average} (0.75 \times P_w, 0.75 \times P_{f\text{-head}}) \quad \text{式 8.2.2-7}$$

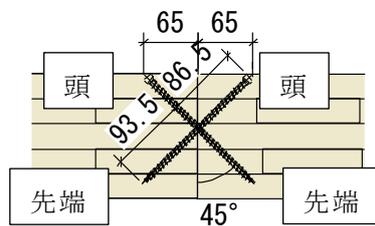


図 8.2.2-2 斜め交差打ちビス接合の場合

8.3. ビス埋め込み長さ分のロープ効果が発揮できていないとする根拠

8.2 項は、全ねじビスの降伏時にねじ部分に塑性ヒンジが形成され、正負交番繰り返し加力を受けることによってビスの折損が引き起こされ、結果として折損部分を除いたねじ部で引き抜き抵抗をしなければならないため、埋め込み長さ分のロープ効果が発揮できないという仮定の下で設計式を提案した。

本項では、接合部実験の結果から、上記の根拠が適当であることを確認することとする。

図 8.3-1 にビスの引抜試験の最大耐力（平均値）と有効ねじ長さの関係を示す。有効ねじ長さが長くなってもそれに比例して最大耐力は大きくなっていることが分かる。一方で接合部試験においては図 8.3-2 のとおり有効ねじ長さが大きくなるほど最大耐力の上昇率は小さくなっていることが分かる。

以上より、8.2 項における提案式の考え方は適正であると考えられる。

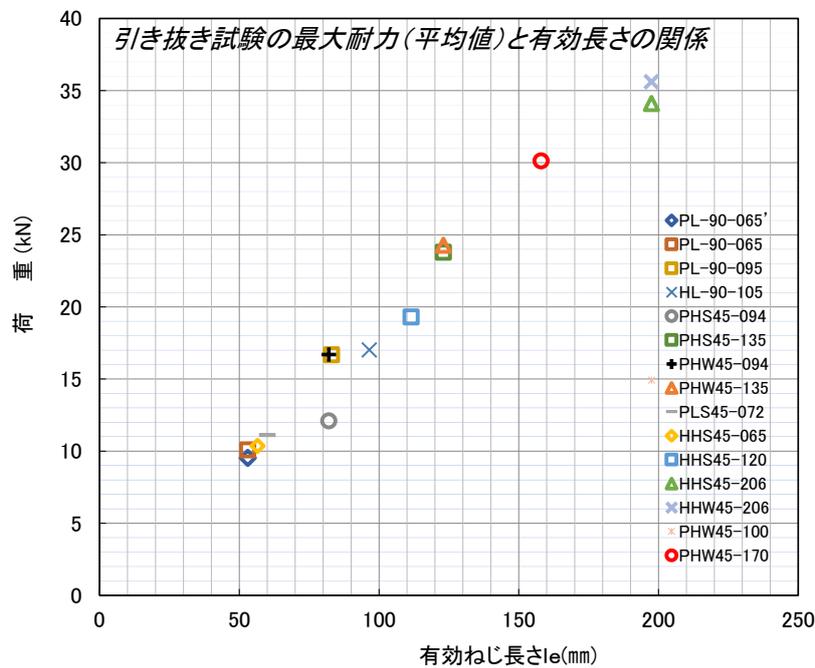


図 8.3-1 引き抜き試験の最大耐力と有効ねじ長さの関係

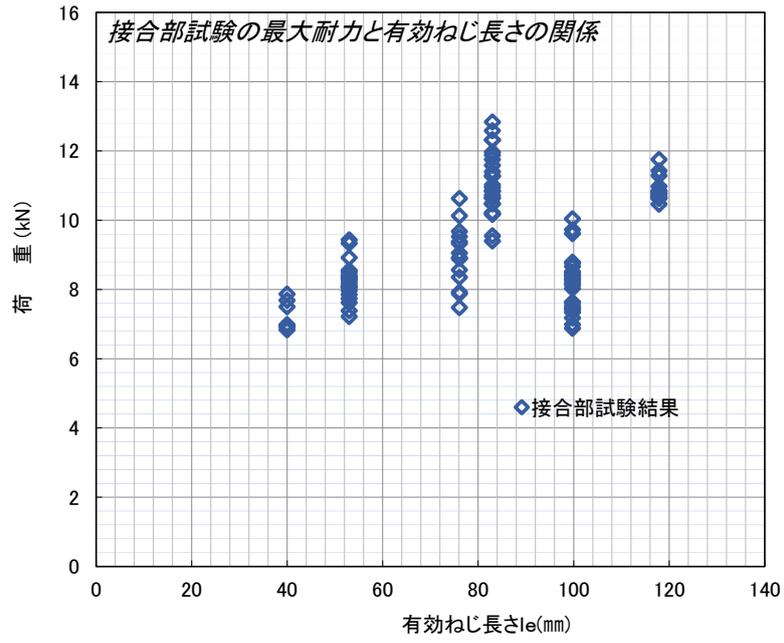


図 8.3-2 R4～R6 年度事業で実施した正負交番加力の全ねじビス接合部試験の最大耐力と有効ねじ長さの関係

8.4. 試験値と計算値の比較

試験値と計算値の比較を行う。計算の前提条件は下記のとおりである。

- ・支圧強度は、R4年度 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よりビスを用いた支圧試験結果の値を用いた。
- ・ビスの引抜強度は、7章（一部 R3年度）のビスの引抜試験結果の値を用いている。
- ・CLTの支圧強度及び剛性は、層構成に応じて繊維平行層と繊維直交層を面積按分している。

8.4.1. 本設計方法案の算定結果

8.2項に基づき、本設計方法案における特性値の算出を行った。

表 8.4.1-1 に試験値と本設計方法案における計算値との比較を示す。8.4.3項に計算シートを示す。

- ・降伏耐力は±1～2割程度の精度となった。
- ・最大耐力は、全て安全側になった。精度は高くない。これは、全てのビスが塑性化後に折損するわけではなく、曲がったまま引張抵抗しているビスが残っているため、安全側の計算になってしまうことが原因と考えられる。
- ・初期剛性については計算値方が高めに算出された。施工精度や複数以上のビスを均等に加力できるわけではないため、計算値の方が高めになってしまうものと思われる。（本試験に限った話ではない）

表 8.4.1-1 試験値と本設計方法案における計算値の比較

R4 実験値と計算値の比較

番号	試験体名	降伏耐力(kN)				最大耐力(kN)				剛性(kN/mm)		
		試験値		計算値	計/実	試験値		計算値	計/実	試験値		計/実
		平均	5%下限値			平均	5%下限値			平均	計算値	
1	X90-5-5S	4.7	3.9	4.1	0.86	9.2	7.5	6.0	0.65	1.15	1.58	1.38
2	X90-5-5W	3.8	-	4.0	1.06	7.8	-	6.1	0.78	0.77	1.34	1.74
3	X90-5-7S	4.6	4.2	4.1	0.89	10.9	10.2	6.2	0.57	0.94	1.71	1.82
4	H90-5-5S	4.1	3.8	4.3	1.05	8.1	6.9	6.0	0.74	1.28	1.58	1.24
5	H90-5-5W	3.6	3.1	4.2	1.17	8.0	7.1	7.3	0.91	0.84	1.34	1.61
6	H90-5-5SH	4.9	4.8	4.5	0.93	7.3	7.2	6.0	0.82	2.05	1.78	0.87
7	H90-5-5SHh	4.7	-	4.5	0.98	7.0	-	6.0	0.86	1.87	1.78	0.95
8	H90-5-7S	4.5	3.9	4.4	0.98	10.6	8.7	6.1	0.58	1.03	1.71	1.67
9	H90-5-7W	5.3	2.9	4.2	0.79	11.4	9.4	6.1	0.54	0.71	1.20	1.68
10	H90-5-7W8d	7.5	-	4.2	0.55	12.6	-	6.1	0.49	0.56	1.20	2.13

R5 実験値と計算値の比較

番号	試験体名	降伏耐力(kN)				最大耐力(kN)				剛性(kN/mm)		
		試験値		計算値	計/実	試験値		計算値	計/実	試験値	計算値	計/実
		平均	5%下限値			平均	5%下限値			平均		
1	X90-5-5W	4.2	3.3	4.0	0.94	8.8	6.4	6.1	0.69	0.78	1.34	1.73
2	X90-5-7W	5.2	-	4.1	0.78	10.8	-	6.2	0.57	0.61	1.71	2.83
3	H90-5-5S	3.9	3.5	4.3	1.10	8.5	7.3	6.0	0.70	1.16	1.58	1.37
4	H90-5-5W	3.7	3.2	4.2	1.15	8.3	6.8	7.3	0.87	0.88	1.34	1.53
5	H90-5-7S	4.7	4.0	4.4	0.94	10.5	8.8	6.1	0.58	0.87	1.71	1.97
6	H90-5-7W	5.6	5.0	4.2	0.75	11.7	10.1	6.1	0.53	0.68	1.20	1.77

R6 実験値と計算値の比較

番号	試験体名	降伏耐力(kN)				最大耐力(kN)				剛性(kN/mm)		
		試験値		計算値	計/実	試験値		計算値	計/実	試験値	計算値	計/実
		平均	5%下限値			平均	5%下限値			平均		
1	L33S-33S	7.0	6.2	8.3	1.19	15.6	12.8	11.9	0.76	1.33	2.92	2.19
2	L33S-33W	7.0	-	8.1	1.16	14.9	13.3	11.9	0.80	1.23	2.92	2.37
3	L33W-33S	7.8	6.8	8.5	1.10	17.4	15.2	12.1	0.69	1.49	2.92	1.96
4	L33W-33W	8.3	6.2	8.4	1.00	17.5	12.8	12.1	0.69	1.28	2.92	2.29

8.4.2. 正負交番加力によるビスの折損を考慮しない場合の算定結果

参考として、正負交番加力によるビスの折損を考慮しない場合の算定結果を示す。

(1) 試験値と木質構造接合部設計マニュアル計算値の比較

表 8.4.2-1 に試験値と木質構造接合部設計マニュアル⁴⁾における計算値との比較を示す。

8.4.3 項に計算シートを示す。

- ・降伏耐力や初期剛性については、8.4.1 項と同じなので省略する。
- ・最大耐力は、全て危険側になった。ビス埋め込み長さ全長によるロープ効果を発揮する前にビスが塑性化し、折損するためと思われる。

表 8.4.2-1 試験値と木質構造接合部設計マニュアルに準拠した場合の計算値の比較

R4 実験値と計算値の比較

番号	試験体名	降伏耐力(kN)				最大耐力(kN)				剛性(kN/mm)		
		試験値		計算値	計/実	試験値		計算値	計/実	試験値	計算値	計/実
		平均	5%下限値			平均	5%下限値			平均		
1	X90-5-5S	4.7	3.9	4.1	0.86	9.2	7.5	13.0	1.41	1.15	1.58	1.38
2	X90-5-5W	3.8	-	4.0	1.06	7.8	-	11.9	1.52	0.77	1.34	1.74
3	X90-5-7S	4.6	4.2	4.1	0.89	10.9	10.2	23.2	2.14	0.94	1.71	1.82
4	H90-5-5S	4.1	3.8	4.3	1.05	8.1	6.9	11.0	1.36	1.28	1.58	1.24
5	H90-5-5W	3.6	3.1	4.2	1.17	8.0	7.1	10.9	1.37	0.84	1.34	1.61
6	H90-5-5SH	4.9	4.8	4.5	0.93	7.3	7.2	11.4	1.57	2.05	1.78	0.87
7	H90-5-5SHh	4.7	-	4.5	0.98	7.0	-	11.4	1.64	1.87	1.78	0.95
8	H90-5-7S	4.5	3.9	4.4	0.98	10.6	8.7	17.3	1.63	1.03	1.71	1.67
9	H90-5-7W	5.3	2.9	4.2	0.79	11.4	9.4	17.2	1.51	0.71	1.20	1.68
10	H90-5-7W8d	7.5	-	4.2	0.55	12.6	-	17.2	1.37	0.56	1.20	2.13

R5 実験値と計算値の比較

番号	試験体名	降伏耐力(kN)				最大耐力(kN)				剛性(kN/mm)		
		試験値		計算値	計/実	試験値		計算値	計/実	試験値	計算値	計/実
		平均	5%下限値			平均	5%下限値			平均		
1	X90-5-5W	4.2	3.3	4.0	0.94	8.8	6.4	11.9	1.35	0.78	1.34	1.73
2	X90-5-7W	5.2	-	4.1	0.78	10.8	-	23.2	2.14	0.61	1.71	2.83
3	H90-5-5S	3.9	3.5	4.3	1.10	8.5	7.3	11.0	1.30	1.16	1.58	1.37
4	H90-5-5W	3.7	3.2	4.2	1.15	8.3	6.8	10.9	1.31	0.88	1.34	1.53
5	H90-5-7S	4.7	4.0	4.4	0.94	10.5	8.8	17.3	1.65	0.87	1.71	1.97
6	H90-5-7W	5.6	5.0	4.2	0.75	11.7	10.1	17.2	1.48	0.68	1.20	1.77

R6 実験値と計算値の比較

番号	試験体名	降伏耐力(kN)				最大耐力(kN)				剛性(kN/mm)		
		試験値		計算値	計/実	試験値		計算値	計/実	試験値	計算値	計/実
		平均	5%下限値			平均	5%下限値			平均		
1	L33S-33S	7.0	6.2	8.3	1.19	15.6	12.8	28.2	1.81	1.33	2.92	2.19
2	L33S-33W	7.0	-	8.1	1.16	14.9	13.3	28.2	1.89	1.23	2.92	2.37
3	L33W-33S	7.8	6.8	8.5	1.10	17.4	15.2	30.5	1.75	1.49	2.92	1.96
4	L33W-33W	8.3	6.2	8.4	1.00	17.5	12.8	30.4	1.74	1.28	2.92	2.29

(2) 試験値と AIJ 規準計算値の比較

表 8.4.2-2 に試験値と AIJ 規準⁵⁾ における計算値との比較を示す。

- ・降伏耐力や初期剛性については、8.4.1 項と同じなので省略する。
- ・最大耐力は、8.4.1 項の結果に近い値となったが、両者は根拠が異なるので関連性はないと思われる。文献 5) は最大耐力ではなく、終局耐力であり、 P_y の 1.5 倍として求めた値であるためである。

表 8.4.2-2 試験値と AIJ 規準に準拠した場合の計算値の比較

番号	試験体名	降伏耐力(kN)				最大・終局耐力(kN)				剛性(kN/mm)		
		試験値		計算値	計/実	試験値 P_{max}		計算値 P_u	計/実	試験値	計算値	計/実
		平均	5%下限値			平均	5%下限値			平均		
1	X90-5-5S	4.7	3.9	4.1	0.86	9.2	7.5	6.1	0.66	1.15	1.58	1.38
2	X90-5-5W	3.8	-	4.0	1.06	7.8	-	6.0	0.76	0.77	1.34	1.74
3	X90-5-7S	4.6	4.2	4.1	0.89	10.9	10.2	6.2	0.57	0.94	1.71	1.82
4	H90-5-5S	4.1	3.8	4.3	1.05	8.1	6.9	6.5	0.80	1.28	1.58	1.24
5	H90-5-5W	3.6	3.1	4.2	1.17	8.0	7.1	6.3	0.80	0.84	1.34	1.61
6	H90-5-5SH	4.9	4.8	4.5	0.93	7.3	7.2	6.8	0.93	2.05	1.78	0.87
7	H90-5-5SHh	4.7	-	4.5	0.98	7.0	-	6.8	0.98	1.87	1.78	0.95
8	H90-5-7S	4.5	3.9	4.4	0.98	10.6	8.7	6.6	0.62	1.03	1.71	1.67
9	H90-5-7W	5.3	2.9	4.2	0.79	11.4	9.4	6.3	0.55	0.71	1.20	1.68
10	H90-5-7W8d	7.5	-	4.2	0.55	12.6	-	6.3	0.50	0.56	1.20	2.13

番号	試験体名	降伏耐力(kN)				最大・終局耐力(kN)				剛性(kN/mm)		
		試験値		計算値	計/実	試験値P _{max}		計算値P _u	計/実	試験値	計算値	計/実
		平均	5%下限値			平均	5%下限値			平均		
1	X90-5-5W	4.2	3.3	4.0	0.94	8.8	6.4	6.0	0.68	0.78	1.34	1.73
2	X90-5-7W	5.2	-	4.1	0.78	10.8	-	6.2	0.57	0.61	1.71	2.83
3	H90-5-5S	3.9	3.5	4.3	1.10	8.5	7.3	6.5	0.77	1.16	1.58	1.37
4	H90-5-5W	3.7	3.2	4.2	1.15	8.3	6.8	6.3	0.76	0.88	1.34	1.53
5	H90-5-7S	4.7	4.0	4.4	0.94	10.5	8.8	6.6	0.63	0.87	1.71	1.97
6	H90-5-7W	5.6	5.0	4.2	0.75	11.7	10.1	6.3	0.54	0.68	1.20	1.77

番号	試験体名	降伏耐力(kN)				最大・終局耐力(kN)				剛性(kN/mm)		
		試験値		計算値	計/実	試験値P _{max}		計算値P _u	計/実	試験値	計算値	計/実
		平均	5%下限値			平均	5%下限値			平均		
1	∟33S-33S	7.0	6.2	8.3	1.19	15.6	12.8	12.4	0.79	1.33	2.92	2.19
2	∟33S-33W	7.0	-	8.1	1.16	14.9	13.3	12.2	0.82	1.23	2.92	2.37
3	∟33W-33S	7.8	6.8	8.5	1.10	17.4	15.2	12.8	0.73	1.49	2.92	1.96
4	∟33W-33W	8.3	6.2	8.4	1.00	17.5	12.8	12.5	0.72	1.28	2.92	2.29

8.4.3. 本設計法案及び接合部設計マニュアル計算結果シート

参考として、8.4.1 本設計法と 8.4.2 のうち接合部設計マニュアルの計算シートを表 8.4.3-1 ~8.4.3-3 に示す。

表 8.4.3-1 令和 4 年度試験 計算シート

項目		R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	R4	備考	
		X90-5-5S	X90-5-5W	X90-5-7S	H90-5-5S	H90-5-5W	H90-5-5SH	H90-5-5SHh	H90-5-7S	H90-5-7W	H90-5-7W8d		
試験体の仕様	接合形式	斜め交差打ちビス接合	斜め交差打ちビス接合	斜め交差打ちビス接合	ハーフラップビス接合	ハーフラップビス接合	ハーフラップ半ねじビス接合	ハーフラップ半ねじビス接合	ハーフラップビス接合	ハーフラップビス接合	ハーフラップビス接合		
	ビスの種類	全ねじ	全ねじ	全ねじ	全ねじ	全ねじ	半ねじ	半ねじ	全ねじ	全ねじ	全ねじ		
	ビスの有効径 d_e (mm)	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	7.15	7.15	6.49	6.49	6.49	径 $\times 1.1$	
	ビスの外径 d (mm)	9	9	9	9	9	8	8	9	9	9		
	ビスの本数(本)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
	ビスの塑性モーメント M_p (N/m)	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	R4JIS試験結果より	
	ビスの基準材料強度 (N/mm^2)	1021	1021	1021	1021	1021	763	763	1021	1021	1021	$M_p \times 6 / d_e^3$	
	ビスのヤング係数 E	205	205	205	205	205	205	205	205	205	205		
	ビスの断面2次モーメント	87	87	87	87	87	128	128	87	87	87	$\pi \times d_e^4 / 64$	
	ビスの全長 l (mm)	180	180	260	140	140	140	140	200	200	200		
	シリンダー頭長さ l_s (mm)	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	0.00	0.00	8.50	8.50	8.50		
	ねじ先端長さ l_e (mm)	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	10.00	10.00	12.00	12.00	12.00		
	ビスの埋め込み長さ l_i (mm)	88.1	88.1	129.9	65.0	65.0	65.0	65.0	95.0	95.0	95.0		
	有効ねじ長さ l_e (mm)	76.1	76.1	117.9	53.0	53.0	55.0	55.0	83.0	83.0	83.0	先端長さをカット(全12mm, 半10mm)	
	主材 (ビス先端側)	比重(スギ)	0.43	0.41	0.43	0.41	0.41	0.41	0.42	0.41	0.42	0.42	試験体測定値
繊維方向圧縮強度		29.50	29.50	29.50	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	R4圧縮試験結果より	
直角方向圧縮強度		23.86	23.86	23.86	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	R4圧縮試験結果より	
圧縮強度 (N/mm^2) ※		27.24	26.12	27.89	31.13	29.67	31.13	31.13	31.96	28.84	28.84	層構成で按分	
有効ねじ長さ l_e (mm)		91.9	91.9	130.1	75.0	75.0	75.0	75.0	105.0	105.0	105.0		
比重(スギ)		0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.42	0.43	0.42	0.43	試験体測定値	
繊維方向圧縮強度		29.50	29.50	29.50	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	34.04	R4圧縮試験結果より	
直角方向圧縮強度		23.86	23.86	23.86	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	26.76	R4圧縮試験結果より	
圧縮強度 (N/mm^2) ※		27.24	26.12	27.89	31.13	29.67	31.13	31.13	31.96	28.84	28.84	層構成で按分	
スギのヤング係数 E_t (Kn/mm^2)		7	7	7	7	7	7	7	7	7	7		
EYT式出力結果		係数											
		α	1.208	1.208	1.104	1.415	1.415	1.364	1.364	1.265	1.265	1.265	
		β	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
		γ	37.463	39.081	36.597	32.788	34.397	24.521	24.521	31.935	35.390	35.390	
		各降伏モードの値	I a	1.208	1.208	1.104	1.415	1.415	1.364	1.364	1.265	1.265	1.265
	I b		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	II		0.461	0.461	0.437	0.513	0.513	0.499	0.499	0.475	0.475	0.475	
	III a		0.377	0.379	0.352	0.411	0.414	0.399	0.399	0.365	0.368	0.368	
	III b		0.440	0.441	0.384	0.528	0.531	0.504	0.504	0.447	0.450	0.450	
	降伏モード	IV	0.301	0.308	0.192	0.405	0.415	0.372	0.372	0.255	0.269	0.269	
		c	0.301	0.308	0.192	0.405	0.414	0.372	0.372	0.255	0.269	0.269	
	算定結果	mode	IV	IV	IV	IV	III a	IV	IV	IV	IV	IV	
		降伏耐力 P_y (kN)	4.06	3.97	4.10	4.33	4.23	4.55	4.55	4.39	4.17	4.17	
	弾性床上の梁理論出力結果	係数											
		k_0	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	
k_{90}		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02		
S1		0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.33	0.33	0.32	0.32	0.32	K0とK90を面積按分	
S2		0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	K0とK90を面積按分	
λ_1		0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.042	0.042	0.046	0.046	0.046		
λ_2		0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.040	0.040	0.044	0.044	0.044		
L_1		0.144	0.144	0.144	0.151	0.151	0.136	0.136	0.144	0.144	0.144		
L_2		0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.147	0.147	0.165	0.165	0.165		
J_1		0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007		
J_2		0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.007	0.007	0.007		
k_1		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
k_2		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
最大耐力等の算定		剛性係数 K_a (N/mm)	1.62	1.62	1.62	1.58	1.58	1.76	1.76	1.62	1.62	1.62	
		主材: 引き抜き実験値	R6引き抜き試験 試験体名	No.7	No.5	No.6	No.2	No.2	No.2	No.2	No.3	No.3	No.3
	引き抜き試験平均値(kN)		16.70	12.10	23.80	10.10	10.10	10.10	10.10	16.70	16.70	16.70	
	実験時の有効ねじ長さ(mm)		82.00	82.00	123.00	53.00	53.00	53.00	53.00	83.00	83.00	83.00	
	側材: 引き抜き実験値	R6引き抜き試験 試験体名	No.5	No.7	No.8	No.2	No.2	No.2	No.2	No.4	No.4	No.4	
		引き抜き試験平均値(kN)	12.10	16.70	24.30	10.10	10.10	10.10	10.10	17.02	17.02	17.02	
		実験時の有効ねじ長さ(mm)	82.00	82.00	123.00	53.00	53.00	53.00	53.00	96.50	96.50	96.50	
	本設計法案算定結果	主: 引き抜き用有効ねじ長さ(mm)	22.93	23.42	22.67	21.46	37.48	20.44	20.44	21.17	22.29	22.29	
		主: 引き抜き強度長さ按分(kN)	4.67	3.46	4.39	4.09	7.14	3.90	3.90	4.26	4.48	4.48	長さ按分
		側: 引き抜き用有効ねじ長さ(mm)	27.71	28.30	25.02	30.36	31.08			26.79	28.20	28.20	
		側: 引き抜き強度長さ按分(kN)	4.09	5.76	4.94	5.79	5.92			4.72	4.97	4.97	
		引き抜き強度(kN)	4.38	4.61	4.66	4.09	5.92	3.90	3.90	4.26	4.48	4.48	
		最大耐力 P_{max}	5.97	6.08	6.21	5.96	7.28	5.99	5.99	6.12	6.13	6.13	
		二次剛性	0.12	0.12	0.13	0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.12	0.12	
		δ_{max}	18.80	20.93	18.58	16.86	31.87	14.17	14.17	16.10	19.58	19.58	
主: 引き抜き用有効ねじ長さ(mm)		76.08	76.08	117.89	53.00	53.00	55.00	55.00	83.00	83.00	83.00		
主: 引き抜き強度長さ按分(kN)		15.49	11.23	22.81	10.10	10.10	10.48	10.48	16.70	16.70	16.70	長さ按分	
マニュアル算定結果	側: 引き抜き用有効ねじ長さ(mm)	83.42	83.42	121.61	66.50	66.50			96.50	96.50	96.50		
	側: 引き抜き強度長さ按分(kN)	12.31	16.99	24.02	12.67	12.67			17.02	17.02	17.02		
	引き抜き強度(kN)	12.31	11.23	22.81	10.10	10.10			16.70	16.70	16.70		
	最大耐力 P_{max}	12.96	11.91	23.18	10.99	10.95	11.43	11.43	17.27	17.21	17.21		
	二次剛性	0.26	0.23	0.49	0.21	0.16	0.24	0.24	0.36	0.34	0.34		
δ_{max}	37.36	37.44	41.64	34.12	45.23	31.63	31.63	38.33	41.73	41.73			
初期剛性の算定	係数等												
	主材の厚さ(mm)	150.00	150.00	210.00	75.00	75.00	75.00	75.00	105.00	105.00	105.00		
	側材の厚さ(mm)	150.00	150.00	210.00	75.00	75.00	75.00	75.00	105.00	105.00	105.00		
	材料内の有効剛体長さ t_{ef1} (mm)	43.31	45.75	42.17	43.31	45.75	47.36	47.36	42.17	47.50	47.50		
	材料内の有効剛体長さ t_{ef2} (mm)	43.31	45.75	42.17	43.31	45.75	47.36	47.36	42.17	47.50	47.50		
	α	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
	γ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
	ϕ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
	算定結果	材料の面圧定数 K_{e0} (N/mm^3)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	
		材料の面圧定数 K_{e90} (N/mm^3)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
CLTの面材定数		0.05	0.04	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.06	0.03	0.03	層構成で按分	
初期剛性		1.58	1.34	1.71	1.58	1.34	1.78	1.78	1.71	1.20	1.20		

表 8.4.3-2 令和5年度試験 計算シート

項目		R5	R5	R5	R5	R5	R5	備考		
		X90-5-5W	X90-5-7W	H90-5-5S	H90-5-5W	H90-5-7S	H90-5-7W			
試験体の仕様	接合形式	斜め交差打ちビス接合	斜め交差打ちビス接合	ハーフラップビス接合	ハーフラップビス接合	ハーフラップビス接合	ハーフラップビス接合			
		全ねじ	全ねじ	全ねじ	全ねじ	全ねじ	全ねじ			
	ビスの種類									
	ビスの有効径 d_e (mm)	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	谷径×1.1		
	ビスの外径 d (mm)	9	9	9	9	9	9			
	ビスの本数(本)	1	1	1	1	1	1			
	ビスの塑性モーメント M_p (N/m)	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	R4JIS試験結果より		
	ビスの基準材料強度 (N/mm^2)	1021	1021	1021	1021	1021	1021	$M_p \times 6 / d_e^3$		
	ビスのヤング係数 E	205	205	205	205	205	205			
	ビスの断面2次モーメント	87	87	87	87	87	87	$\pi \times d_e^4 / 64$		
	ビスの全長さ(mm)	180	260	140	140	200	200			
	シリンダー頭長さ(mm)	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50			
	ねじ先端長さ(mm)	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00			
	主材 (ビス先端側)	ビスの埋め込み長さ (mm)	88.1	129.9	65.0	65.0	95.0	95.0		
		有効ねじ長さ e (mm)	76.1	117.9	53.0	53.0	83.0	83.0	先端長さをカット(全12mm、半10mm)	
		比重(スギ)	0.42	0.42	0.41	0.40	0.41	0.41	試験体測定値	
		縦方向支圧強度	29.50	29.50	34.04	34.04	34.04	34.04	R4支圧試験結果より	
		直角方向支圧強度	23.86	23.86	26.76	26.76	26.76	26.76	R4支圧試験結果より	
		支圧強度 (N/mm^2) ※	26.12	27.89	31.13	29.67	31.96	28.84	層構成で按分	
		有効ねじ長さ e (mm)	91.9	130.1	75.0	75.0	105.0	105.0		
側材 (ビス頭側)		比重(スギ)	0.42	0.43	0.41	0.40	0.41	0.45	試験体測定値	
縦方向支圧強度		29.50	29.50	34.04	34.04	34.04	34.04	R4支圧試験結果より		
直角方向支圧強度		23.86	23.86	26.76	26.76	26.76	26.76	R4支圧試験結果より		
支圧強度 (N/mm^2) ※	26.12	27.89	31.13	29.67	31.96	28.84	層構成で按分			
スギのヤング係数 E_s (Kn/mm^2)	7	7	7	7	7	7				
EYT式出力結果	係数	α	1.208	1.104	1.415	1.415	1.265	1.265		
		β	1	1	1	1	1	1		
		γ	39.081	36.597	32.788	34.397	31.935	35.390		
	各降伏モードの値	I a	1.208	1.104	1.415	1.415	1.265	1.265		
		I b	1	1	1	1	1	1		
		II	0.461	0.437	0.513	0.513	0.475	0.475		
		III a	0.379	0.352	0.411	0.414	0.365	0.368		
		III b	0.441	0.384	0.528	0.531	0.447	0.450		
		IV	0.308	0.192	0.405	0.415	0.255	0.269		
		c	0.308	0.192	0.405	0.414	0.255	0.269		
		mode	IV	IV	IV	III a	IV	IV		
	算定結果	降伏耐力 p_y (kN)	3.97	4.10	4.33	4.23	4.39	4.17		
		主材の塑性ヒンジの回転中心の接合面からの距離 (mm)	23.42	22.67	21.46	37.48	21.17	22.29		
	弾性床上の梁理論出力結果	係数	k0	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	
			k90	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
S1			0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32		
S2			0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27		
λ_1			0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046		
λ_2			0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044		
L_1			0.144	0.144	0.151	0.151	0.144	0.144		
L2			0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165		
J_1			0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007		
J_2			0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007		
k_1			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
K_2			0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
剛性係数 K_e (N/mm)			1.62	1.62	1.58	1.58	1.62	1.62		
最大耐力等の算定			主材：引き抜き実験値	R6引き抜き試験 試験体名	No.5	No.6	No.2	No.2	No.3	No.3
				引き抜き試験平均値(kN)	12.10	23.80	10.10	10.10	16.70	16.70
	実験時の有効ねじ長さ(mm)	82.00		123.00	53.00	53.00	83.00	83.00		
	R6引き抜き試験 試験体名	No.7		No.8	No.2	No.2	No.4	No.4		
	引き抜き試験平均値(kN)	16.70		24.30	10.10	10.10	17.02	17.02		
	本設計法案算定結果	実験時の有効ねじ長さ(mm)	82.00	123.00	53.00	53.00	96.50	96.50		
		主：引き抜き用有効ねじ長さ(mm)	23.42	22.67	21.46	37.48	21.17	22.29		
		主：引き抜き強度長さ按分(kN)	3.46	4.39	4.09	7.14	4.26	4.48		
		側：引き抜き用有効ねじ長さ(mm)	28.30	25.02	30.36	31.08	26.79	28.20		
		側：引き抜き強度長さ按分(kN)	5.76	4.94	5.79	5.92	4.72	4.97		
		引き抜き強度(kN)	4.61	4.66	4.09	5.92	4.26	4.48		
		最大耐力 P_{max}	6.08	6.21	5.96	7.28	6.12	6.13		
		二次剛性	0.12	0.13	0.11	0.11	0.13	0.12		
		δ_{max}	20.93	18.58	18.88	31.87	16.10	19.58		
		マニュアル算定結果	主：引き抜き用有効ねじ長さ(mm)	76.08	117.89	53.00	53.00	83.00	83.00	
	主：引き抜き強度長さ按分(kN)		11.23	22.81	10.10	10.10	16.70	16.70		
	側：引き抜き用有効ねじ長さ(mm)		83.42	121.61	66.50	66.50	96.50	96.50		
	側：引き抜き強度長さ按分(kN)		16.99	24.02	12.67	12.67	17.02	17.02		
	引き抜き強度(kN)		11.23	22.81	10.10	10.10	16.70	16.70		
	最大耐力 P_{max}		11.91	23.18	10.99	10.95	17.27	17.21		
	二次剛性		0.23	0.49	0.21	0.16	0.36	0.34		
	δ_{max}	37.44	41.64	34.12	45.23	39.33	41.73			
	初期剛性の算定	係数等	主材の厚さ(mm)	150.00	210.00	75.00	75.00	105.00	105.00	
			側材の厚さ(mm)	150.00	210.00	75.00	75.00	105.00	105.00	
			材料内の有効剛体長さ t_{ef1} (mm)	45.75	42.17	43.31	45.75	42.17	47.50	
材料内の有効剛体長さ t_{ef2} (mm)			45.75	42.17	43.31	45.75	42.17	47.50		
α			1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
算定結果		γ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
		ϕ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
		材料の面圧定数 K_e0 (N/mm^3)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07		
		材料の面圧定数 K_e90 (N/mm^3)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02		
		CLTの面材定数	0.04	0.06	0.05	0.04	0.06	0.03		
初期剛性	1.34	1.71	1.58	1.34	1.71	1.20				

表 8.4.3-3 令和 6 年度試験 計算シート

項目		R6	R6	R6	R6	R6	R6	R6	R6	備考		
		L33S-33S	L33S-33W	L33W-33S	L33W-33W							
試験体の仕様	接合形式	斜め交差打ちビス接合	斜め交差打ちビス接合	斜め交差打ちビス接合	斜め交差打ちビス接合	斜め交差打ちビス接合	斜め交差打ちビス接合	斜め交差打ちビス接合	斜め交差打ちビス接合			
		全ねじ	全ねじ	全ねじ	全ねじ	全ねじ	全ねじ	全ねじ	全ねじ			
	ビスの種類	ビスの有効径de(mm)	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	6.49	谷径×1.1	
		ビスの外径d(mm)	9	9	9	9	9	9	9	9		
		ビスの本数(本)	1	1	1	1	1	1	1	1		
		ビスの塑性モーメントMp(N・m)	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	46.5	R4JIS試験結果より	
		ビスの基準材料強度(N/mm ²)	1021	1021	1021	1021	1021	1021	1021	1021	Mp×6/de ³	
		ビスのヤング係数E	205	205	205	205	205	205	205	205		
		ビスの断面2次モーメント	87	87	87	87	87	87	87	87	$\pi \times de^4 / 64$	
		ビスの全長さ(mm)	220	220	220	220	220	220	220	220		
		シンダー頭長さ(mm)	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50	8.50		
		ねじ先端長さ(mm)	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00		
		主材(ビス先端側)	ビスの埋め込み長さ(mm)	130.0	92.7	130.0	92.7	130.0	92.7	130.0	92.7	
			有効ねじ長さle(mm)	118.0	80.7	118.0	80.7	118.0	80.7	118.0	80.7	先端長さをカット(全12mm、半10mm)
			比重(スギ)	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	試験体測定値
縦方向支圧強度	34.04		29.50	34.04	29.50	34.04	29.50	34.04	29.50	R4支圧試験結果より		
直角方向支圧強度	26.76		23.86	26.76	23.86	26.76	23.86	26.76	23.86	R4支圧試験結果より		
支圧強度(N/mm ²)※	26.76		27.62	26.76	27.62	34.04	27.62	34.04	27.62	層構成で按分		
側材(ビス頭側)	有効ねじ長さle(mm)		90.0	127.3	90.0	127.3	90.0	127.3	90.0	127.3		
	比重(スギ)	0.40	0.40	0.42	0.42	0.41	0.41	0.42	0.42	試験体測定値		
	縦方向支圧強度	34.04	29.50	34.04	29.50	34.04	29.50	34.04	29.50	R4支圧試験結果より		
	直角方向支圧強度	26.76	23.86	26.76	23.86	26.76	23.86	26.76	23.86	R4支圧試験結果より		
	支圧強度(N/mm ²)※	31.61	27.62	29.19	25.74	31.61	27.62	29.19	25.74	層構成で按分		
	スギのヤング係数E _c (Kn/mm ²)	7	7	7	7	7	7	7	7			
	EYT式出力結果	係数	α	0.763	1.577	0.763	1.577	0.763	1.577	0.763	1.577	
β			1.18137	1	1.09068	0.93193	0.92871	1	0.85742	0.93193		
γ			38.140	36.953	38.140	36.953	29.983	36.953	29.983	36.953		
各降伏モードの値		I a	0.901	1.577	0.832	1.469	0.708	1.577	0.654	1.469		
		I b	1	1	1	1	1	1	1	1		
		II	0.396	0.556	0.384	0.530	0.360	0.556	0.350	0.530		
		III a	0.362	0.372	0.357	0.367	0.344	0.372	0.339	0.367		
		III b	0.315	0.551	0.297	0.521	0.259	0.551	0.244	0.521		
		IV	0.204	0.282	0.200	0.277	0.171	0.282	0.167	0.277		
		c	0.204	0.282	0.200	0.277	0.171	0.282	0.167	0.277		
降伏モード		mode	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV		
算定結果		降伏耐力py(kN)	4.18	4.08	4.11	4.01	4.45	4.08	4.36	4.01		
		1対分の降伏耐力py(kN) ※板の塑性モーメントの回転中心の接合部の塑性モーメントの回転中心の接合部	8.27	8.12	8.22	8.03	8.53	8.16	8.72	8.03		
弾性床上の梁理論出力結果		係数	k0	24.08	22.78	23.64	22.37	20.13	22.78	19.71	22.37	
			k90	15.55	35.92	16.53	37.85	16.54	35.92	17.54	37.85	
	S1		0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07		
	S2		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02		
	S1		0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	K0とK90を面積按分	
	S2		0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	K0とK90を面積按分	
	λ_1		0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046	0.046		
	λ_2		0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044	0.044		
	L ₁		0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144	0.144		
	L ₂		0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165		
	J ₁		0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007		
	J ₂		0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007		
	k ₁		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
	K ₂		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
	剛性係数 Ks(N/mm)	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62		
最大耐力等の算定	主材:引き抜き実験値	R6引き抜き試験 試験体名	No.4	No.14	No.4	No.14	No.4	No.14	No.4	No.14	R6引き抜き要素試験結果	
		引き抜き試験平均値(kN)	17.00	14.90	17.00	14.90	17.00	14.90	17.00	14.90		
	実験時の有効ねじ長さ(mm)	96.50	88.00	96.50	88.00	96.50	88.00	96.50	88.00			
	側材:引き抜き実験値	R6引き抜き試験 試験体名	R3 No.5	No.11	R3 No.5	No.11	R3 No.7	No.11	R3 No.7	No.11		
		引き抜き試験平均値(kN)	24.20	19.30	24.20	19.30	28.30	19.30	28.30	19.30		
	実験時の有効ねじ長さ(mm)	148.00	111.50	148.00	111.50	148.00	111.50	148.00	111.50			
	本設計法案算定結果	主:引き抜き用有効ねじ長さ(mm)	24.08	22.78	23.64	22.37	20.13	22.78	19.71	22.37		
		主:引き抜き強度長さ按分(kN)	4.24	3.86	4.16	3.79	3.55	3.86	3.47	3.79		長さ按分
		側:引き抜き用有効ねじ長さ(mm)	15.55	35.92	16.53	37.85	16.54	35.92	17.54	37.85		
		側:引き抜き強度長さ按分(kN)	2.54	6.22	2.70	6.55	3.16	6.22	3.35	6.55		
		引き抜き強度(kN)	3.39	5.04	3.43	5.17	3.35	5.04	3.41	5.17		
		最大耐力P _{max}	11.87	11.89	12.05	12.08						
		二次剛性	0.24	0.24	0.25	0.25						
	δ_{max}	17.75	18.72	18.85	17.84							
	マニュアル算定結果	主:引き抜き用有効ねじ長さ(mm)	118.00	80.72	118.00	80.72	118.00	80.72	118.00	80.72		
主:引き抜き強度長さ按分(kN)		20.79	13.67	20.79	13.67	20.79	13.67	20.79	13.67	長さ按分		
側:引き抜き用有効ねじ長さ(mm)		81.50	118.78	81.50	118.78	81.50	118.78	81.50	118.78			
側:引き抜き強度長さ按分(kN)		13.33	20.56	13.33	20.56	15.58	20.56	15.58	20.56			
引き抜き強度(kN)		13.33	13.67	13.33	13.67	15.58	13.67	15.58	13.67			
最大耐力P _{max}		28.23	28.19	30.47	30.42							
二次剛性		0.57	0.56	0.64	0.62							
δ_{max}	37.59	38.52	37.25	38.20								
初期剛性の算定	係数等	主材の厚さ(mm)	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00		
		側材の厚さ(mm)	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00		
		材料内の有効剛体長さtef1(mm)	43.31	45.75	43.31	45.75	43.31	45.75	43.31	45.75		
		材料内の有効剛体長さtef2(mm)	43.31	45.75	43.31	45.75	43.31	45.75	43.31	45.75		
		α	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
	算定結果	γ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
		ϕ	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
		材料の面圧定数Ke0(N/mm ³)	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07		
		材料の面圧定数Ke90(N/mm ³)	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02		
		CLTの面材定数	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	層構成で按分	
初期剛性	1.58	1.34	1.58	1.34	1.58	1.34	1.58	1.34				
一対あたりの初期剛性	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92	2.92				

9. まとめ

長ビスに関する課題は、まだ残っているが、令和4～6年度の3か年に亘った長ビス接合部等の開発事業は本年度で一旦終了となる。3年間で実施した試験を表9-1のとおり整理した。

△は試験のやり直しや確認のための再試験が必要だったものを示す。

また、試験は行わないが、公表資料において他の試験結果や計算結果で代替する可能性があるものは、「試験の必要性」欄で「無」と記載した。

表 9-1 CLT パネル工法における長ビス接合部の構造性能試験実施一覧

部位	用途	検証内容	接合方法	ビスの種類	CLT	積層方向	H25	R4	R5	R6	試験の必要性	備考			
床一床	床の面内せん断	面内せん断性能のデータ収集	合板スプラインビス接合	半ねじ	5層5プライ	強	○								
			斜め交差打ちビス接合	全ねじ	5層5プライ	強		○							
					5層7プライ	強		○							
			ハーフラップビス接合	全ねじ	5層5プライ	強		△	○					ピッチ変更	
					5層7プライ	強		△	○					ピッチ変更	
			ハーフラップビス接合	半ねじ	5層5プライ	強		○							
					5層7プライ	強		○							
			1列多数本打ちの検証	ハーフラップビス接合	3-全ねじ	全ねじ	5層5プライ	強			○				
					6-全ねじ			強			○				
					10-全ねじ			強			○				
	15-全ねじ	強							○						
	耐力壁のロッキング挙動による突き上げ抵抗	面外せん断性能のデータ収集	斜め交差打ちビス接合	全ねじ	5層5プライ	強				○					
			5層7プライ		強				○		無	設計上必須ではない			
			合板スプラインビス接合								無	ビスの引抜性能で代替			
ハーフラップビス接合										無	ビスの引抜性能で代替				
壁一床	耐力壁の水平方向の面内せん断	面内せん断性能のデータ収集	直角打ちビス接合 一斜め打ち+直角打ちビス接合	全ねじ	3層3プライ	壁強・床強			△	○					
						壁強・床弱			△	○					
						壁弱・床強			△	○					
						壁弱・床弱			△	○					
	耐力壁の水平方向の面外せん断（風圧力）	面外せん断性能のデータ収集	斜め打ち+直角打ちビス接合	全ねじ	5層5プライ	壁強・床強						無	3層3プライの性能で代替		
						壁強・床弱						無	3層3プライの性能で代替		
						壁弱・床強						無	3層3プライの性能で代替		
						壁弱・床弱						無	3層3プライの性能で代替		
壁一直交壁	耐力壁の鉛直方向の面内せん断	面内せん断性能のデータ収集	斜め打ちビス接合	半ねじ	3層3プライ	壁強				○		告示仕様との同等性を評価			
				全ねじ						○					
要素試験	ビスの接合部性能 EYT 式算定のための支圧強度算定のため	ビスの支圧試験		全ねじ				○				角度(40度・90度)、積層方向・積層直角方向			
	ビスの接合部性能 ロープ効果による最大耐力算定のため	ビスの引き抜き試験		全ねじ						○		角度(45度、90度)、打ち込み位置、埋め込み長さ			

表 9-2 CLT パネル部分利用における長ビス接合部の構造性能実施一覧

部位	用途	検証内容	接合方法	ビスの種類	CLT	積層方向	H25	R4	R5	R6	試験の必要性	備考
壁面材一柱・横架材	大壁耐力壁（CLT部分利用）	ビス1本あたりのせん断性能を求めるための試験	大壁仕様	半ねじ	3層3プライ（36mm）			○				
					3層3プライ（60mm）			○				
床面材一梁	面材張り床（CLT部分利用）	ビス1本あたりのせん断性能を求めるための試験	根太なし床張り仕様	全ねじ	3層3プライ（90mm）					○		
					5層5プライ（150mm）					○		
					5層7プライ（210mm）					○		

-
- 1) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター：2024年版 CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル, 2024年11月
 - 2) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター：CLTパネル工法建築物の仕様規定ルートの創設に関する検討報告書, 2023年3月
 - 3) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター：木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2017年版), 2017年12月
 - 4) 一般社団法人日本建築学会：木質構造接合部設計マニュアル, 2025年3月
 - 5) 一般社団法人日本建築学会：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