

令和元年度 木材産業・木造建築活性化対策事業
(横架材・2×4部材等の製品・技術開発事業)

「木ダボ積層材 (DLT) の普及に向けた性能評価と普及活動」

報告書

2020 年 3 月
株式会社 長谷萬

令和元年度 林業成長産業化総合対策補助金等（低層建築物を中心とした無垢構造材等利用拡大事業）横架材・2 x 4 部材等の製品・技術開発

「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」

目次

1.	事業概要	1
1.1	事業の背景と目的	1
1.2	DLT について	3
1.3	事業内容	4
1.4	事業実施体制とスケジュール	5
2.	要素試験	7
2.1	木ダボ接合部のせん断試験（１）	7
2.1.1	試験概要	7
2.1.2	試験体仕様	7
2.1.3	試験方法	8
2.1.4	試験結果	9
2.2	木ダボ接合部のせん断試験（２）	20
2.2.1	試験の実施概要	20
2.2.2	試験体仕様	20
2.2.3	試験結果	22
2.3	ビス接合部のせん断試験	28
2.3.1	試験概要	28
2.3.2	試験体仕様	28
2.3.3	試験結果	30
2.4	木ダボ接合のせん断試験（耐久性試験）	35
2.4.1	試験概要	35
2.4.2	試験体仕様	35
2.4.3	試験方法	36
2.4.4	試験結果	37
3.	木ダボ積層材の曲げ性能確認試験	46
3.1	木ダボ積層材の曲げ試験（１）	46
3.1.1	試験概要	46

3.1.2	試験体仕様	46
3.1.3	試験方法	48
3.1.4	試験結果	49
3.2	木ダボ積層材の曲げ試験（2）	69
3.2.1	試験概要	69
3.2.2	試験体仕様	69
3.2.3	試験の実施概要	70
3.2.4	試験結果	73
4.	面内せん断試験	90
4.1	面内せん断試験（TYPE 1）	90
4.1.1	試験概要	90
4.1.2	試験体仕様	90
4.1.3	試験の実施概要	91
4.1.4	試験結果	92
4.1.5	短期基準せん断耐力および倍率の試算	95
4.2	面内せん断試験（TYPE 2）	97
4.2.1	試験概要	97
4.2.2	試験体仕様	97
4.2.3	試験の実施概要	98
4.2.4	試験結果	99
4.2.5	短期基準せん断耐力および倍率の試算	102
5.	DLT の製作実証	105
5.1	製作実証の概要	105
5.2	実施内容	105
5.3	実施結果	105
6.	DLT の断面形状の検討	111
7.	DLT の普及にむけて.....	113
7.1	DLT の活用手法について	113
7.2	DLT 利用拡大のための課題.....	115
8.	添付資料.....	116
委員会議事録		116

1. 事業概要

令和元年度木材産業・木造建築活性化対策事業（横架材・2×4部材等の製品・技術開発事業）

「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」の概要について報告する。

事業名：「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」

事業主体：株式会社長谷萬

事業期間：令和元年5月9日～令和2年3月24日

1.1 事業の背景と目的

- 1) 日本の森林資源は、人工林の大部分が主伐期である10 齢級（50 年生）以上となっており、本格的な利用期を迎えている。国産材の利用量は増加傾向にあり、木材自給率は3 割台となった。国産材需要の約4 割は建築用材として主に木造住宅資材として使用されている。木造住宅の約75%は在来工法であり、その半数以上は年間供給戸数50 戸未満の中小の大工・工務店により供給されている。よって、中小住宅事業者の1 戸あたり木材使用量の増加は、木材需要に少なくない影響を与える手段となる。在来工法の場合の木材使用量は、通常床面積1 m²当たり約0.20 m³ 程度（平成22 年林業白書より）であることが知られている。この木材使用料を増やすには、より多面的な木材活用手法を選択肢として市場に提示し、新たな需要を喚起することが有効な手段の一つとなる。
- 2) 地球温暖化対策の観点から温室効果ガス排出削減目標の達成に、森林吸収源対策が引き続き重要な役割を果たすことから、持続可能な森林経営の観点から木材利用の拡大策として、公共建築物の木造化や非住宅用途の木造化が推進されている。この木造化推進については海外ではマスティンバー（Mass Timber；大型木造）建設やトールウッド（Tall Wood；高層木造）建設とも呼ばれ、集成材の柱や梁とCLT の壁や床など、複数の木質素材を組み合わせた構造で、優れた建築性能と、環境性、プレファブ化によるコストダウンにより、北米やヨーロッパで採用されるプロジェクトも着実に増えており、日本でもそうした方向にある。
- 3) 素材供給を行う製材側の状況を見ると、国内の製材工場数は平成29 年末で約4,820 工場あり、前年より約120 工場減少している。減少した工場の約8 割は、出力規模が75.0kW 未満の小規模工場であり、製材生産が大規模工場にシフトする傾向にある。一方、木材加工・流通体制の安定性や多様性の確保には、規模の追求だけではなく、中小製材事業者の特性を活かした、製品の高付加価値化が重要な課題となっている。
- 4) 中小製材事業者の製品の付加価値化の一つの事例として、ヨーロッパ山間部で生産される「プレットシュタッペル」がある。この地域では、中小の製材所、加工所、工務店が、プレットシュタッペルと呼ばれる木ダボ積層材（DLT: Dowel Laminated Timber、以下 DLT と称す）を生産・活用するサプライチェーンが形成されている。DLT は接着材を使用せずに、木ダボによって板材を積層した床・屋根・壁用の構造用面材である。現在、ドイツやスイスなどの中小企業約30 社によって製造されている。製造方法は板の配列、穿孔、木ダボ挿入という

単純な工程からなる為に大掛りな製造設備が不要となる。また、構成部材の断面形状と配列方法により意匠性や吸音機能性の付加が可能であり、高付加価値型の多品種少量生産に適した木材製品といえる。DLT は日本国内では導入がなされていない木質素材だが、中小の製材業者に適した木質素材であり、国内の森林資源を活用した国産 DLT の開発と導入は、多面的な木材活用手法を提供する観点から意義があるといえる。

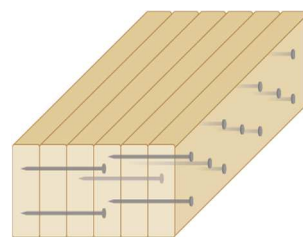
1.2 DLT について

DLT (Dowel Laminated Timber) とは木ダボで板材を積層した木質素材である。木材を積層してつくるブレットシュタッペル (Brettstapel) の一種で 1970 年代にスイスの木構造の研究者のユリウス ナッター (Julius Natterer) 氏によって考案された構造用面材である。今日では中央ヨーロッパだけでなく北米でも使われている。

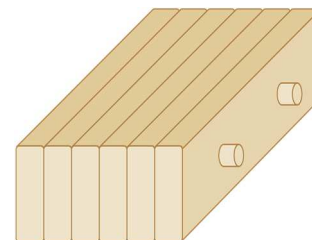
※ ブレットシュタッペル (Brettstapel) は、Brett (板材) + Stapel (重ねる) という言葉から成り、木を積層して作る木質素材を指す。

1970 年代 初期のブレットシュタッペルは横に並べた製材を連続して釘止めて積層したもので、この釘止めたブレットシュタッペルは NLT (Nail Laminated Timber) とも呼ばれている。

NLT は材せい 80~200mm の製材からなる 3~4 枚の板を長い釘で貫通させて構成される。予め配列時に節や欠陥が隣り合わせにならないようにすることで、比較的低位品目の木材を使用できるという特徴がある。NLT は製材同士を釘止めるだけなので、建設現場でも比較的容易に積層が可能である。一方、積層後は釘を内包するため自由な切断等による寸法調整や穴あけ加工が困難な面もある。



その後 1900 年代にドイツの企業が、製材の予め垂直に開けた穴に広葉樹ダボを挿入、貫通させて積層する製造方法を開発した。このシステムはデュベルホルツ (Dübelholz) と呼ばれ針葉樹製材 (通常はモミまたはトウヒ) のひき板と広葉樹のダボ (主にブナ) が使用されるものである。木ダボによるかん合に加え、ひき板と木ダボの異なる含水率が平衡状態に達することによる木ダボの微小な膨張により、ひき板と木ダボの固定が維持される仕組みであった。今日ではこの方法がヨーロッパや北米での DLT 製造の主流となっており、厚さ 30mm 程度、材せい 89~300mm 程度のひき板を使用して幅 600mm 程度、最長 8 メートルのパネルが製作されている。



DLT の製造は接着剤を使用せず板の配列、穿孔、木ダボ挿入という単純な工程によるため、大規模な製造設備が不要となる。そのために接着剤を使用するエンジニアリングウッドに比べ製造時間や使用エネルギーの抑制が期待できる。また使用するひき材の断面形状と配列方法の如何によって、多種多様な製品が可能になる。その結果生まれる意匠性や吸音などの機能性の付加によって付加価値を与えることができ、中小の製材事業者による高付加価値型の多品種少量生産に適していると言える。

また DLT は製造の自由度により素材段階での寸法や品質の許容範囲が他の木質材料に比べて広く、未利用材や低質材の利活用により製材歩留りを高めることが可能と考えられる。たとえば立木を 100%とした場合、構造材料のほかに仕上げ材として有効に活用することで 60%に近い歩留を目指せる可能性がある。

以上の通り、DLT は従来の構造用集成材や CLT などのエンジニアリングウッドと同様に多くの木材を利活用できる。さらに接着剤を不使用のため、製造時のエネルギー消費や環境負荷が比較的少ない特徴がある。

1.3 事業内容

本事業では、木ダボ積層材(DLT)を、低層建築物を中心とした一般住宅の床材や壁材として広く活用できるよう技術的検証と普及を図り、これによって国産材の利用拡大、中小製材事業者による木材製品の高付加価値化につなげることを目的として以下の取り組みを行った。

- ① 木ダボ接合部のせん断試験による、強度・接合剛性の確認。
- ② 梁の曲げ試験による DLT の曲げ強度の確認。
- ③ DLT を壁用途として使用する場合を想定した、耐力壁の面内せん断試験。
- ④ 木材供給業者による DLT 製品試作および製作プロセスの検証。
- ⑤ DLT の断面形状の検討。

1.4 事業実施体制とスケジュール

製材業者、大学・研究機関と連携し、以下の体制による検討委員会で検討を進めた。（敬称を省略）

委員長 宮田雄二郎（法政大学デザイン工学部建築学科 専任講師）

委員 網野禎昭（法政大学デザイン工学部建築学科 学部長）

小井土義治（小井土製材株式会社 取締役社長）

大貫 肇（物林株式会社 国産材事業室 室長）

長谷川泰治（株式会社長谷萬 代表取締役副社長）

協力委員※ 田中啓介（法政大学デザイン工学部建築学科）

稲葉拓巳（法政大学デザイン工学部建築学科）

オブザーバー 竹本央記（林野庁林政部木材産業課）

平山翔一（林野庁林政部木材産業課）

事務局 鈴木康史（株式会社長谷萬）

藤井憲一郎（株式会社長谷萬）

小林辰美（株式会社長谷萬）

高橋将治（株式会社長谷萬）

釜本理佳子（株式会社長谷萬）

※ 協力委員として法政大学デザイン工学部建築学科の2名（田中啓介君、稲葉拓巳君）が参加した。本報告書の各試験結果や試験結果のまとめ、考察の一部は両君の卒業論文より一部抜粋して掲載した。

全体スケジュール

表- 1 全体スケジュール

	2019												2020		
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3				
① 要素試験															
② 実大梁の性能確認試験															
③ 耐力壁の面内せん断試験															
④ 木材供給業者での試作															
⑤ 加工形状確認															
⑥ PR 普及活動															
⑦ 検討委員会	▽			▽				▽			▽				

委員会の開催日程

第1回 2019年5月15日(水曜日) 14:00~16:00

株式会社長谷萬本社 会議室

第2回 2019年8月8日(月曜日) 14:00~16:00

株式会社長谷萬本社 会議室

第3回 2019年12月3日(火曜日) 14:00~16:00

株式会社長谷萬本社 会議室

第4回 2020年2月21日(金曜日) 14:00~16:00

株式会社長谷萬本社 会議室

2. 要素試験

2.1 木ダボ接合部のせん断試験（１）

2.1.1 試験概要

- ・ 木ダボ積層材の面内せん断性能を把握するため、接合要素である木ダボ接合部の 1 面せん断試験を行い、剛性と耐力を確認する。主材、側材の繊維方向は、加力方向に平行とする。
- ・ 木ダボ接合部の加工孔径を変えて試験を行い、それがせん断性能に与える影響を確認する。
- ・ 日本建築学会『木質構造接合部設計マニュアル（2009）』にある接合部の剛性・耐力を計算で求めるための接合具の強度試験を参考にする。

2.1.2 試験体仕様

a. 試験体仕様

- ・ 試験体は側材を 1 枚とした単純一面せん断試験体（CASE1）,側材を 2 枚とした 1 面せん断試験体（CASE2）の 2 種類とし、試験体概要をそれぞれ図 1-1、図 1-2 に示す。
- ・ 2 種類の試験体それぞれ、木ダボ加工孔径を直径 19mm、19.5mm、20mm に変えた 3 タイプ設定する。したがって、試験体は計 6 種類となり、その仕様一覧を表 2 に示す。
- ・ 社団法人 日本建築学会『木質構造接合部設計マニュアル（2009 年 11月30日）』を参考にし、試験体数はそれぞれ各 6 体とした。

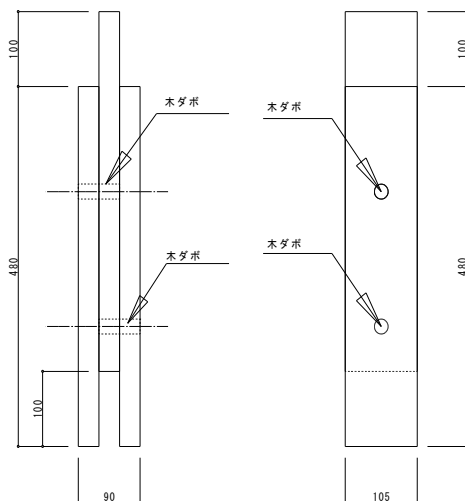


図- 1-1 単純 1 面せん断 CASE1 (J1,J2,J3)

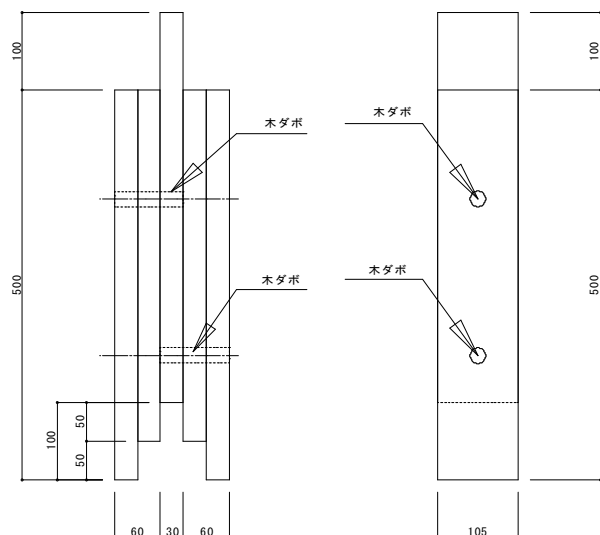


図- 1-2 複数枚 1 面せん断 CASE2 (J4,J5,J6)

表- 2 試験体の仕様一覧

No.	主材、側材	木ダボ	加工孔径	試験体数
J1	スギ KD 30×105×500	φ20mm	φ19mm	6 体
J2	スギ KD 30×105×500	φ20mm	φ19.5mm	6 体
J3	スギ KD 30×105×500	φ20mm	φ20mm	6 体
J4	スギ KD 30×105×500	φ20mm	φ19mm	6 体
J5	スギ KD 30×105×500	φ20mm	φ19.5mm	6 体
J6	スギ KD 30×105×500	φ20mm	φ20mm	6 体

主材、側材：群馬県産スギ KD 材 無等級材、含水率 20.0%以下、比重 0.37 以下

木ダボ：欧州ブナ 直径 20mm たて溝つき 含水率 13%以下 比重 0.65 以上

2.1.3 試験方法

a. 試験内容 木ダボ接合部の圧縮せん断試験

b. 試験実施日 2019 年 7月5,7日

c. 試験場所 群馬県林業試験場

実大強度試験機：SAH-100 前川試験機（株） 定格最大試験力：曲げ 500KN

d. 試験方法

変位計を取付け後に、試験体主材上部を一方向単調加力し、強度を測定した。側材の開き止めにクランプ金物を用いた。

2.1.4 試験結果

荷重変形曲線の特徴点抽出には、PickPoint (軽部正彦：荷重変形曲線の特徴点抽出自動化ツール <http://www.ffpri.affrc.go.jp/labs/etj/karube/PickPoint/index-j.html>。)を用いた。

試験体 J1

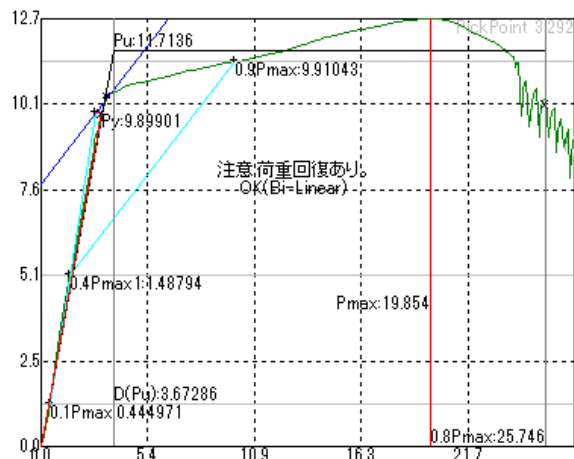


図-2-1 試験体 J1-1 荷重-たわみ曲線

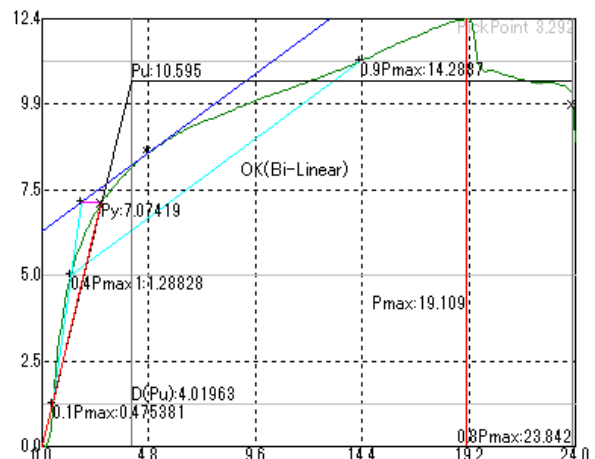


図-2-2 試験体 J1-2 荷重-たわみ曲線

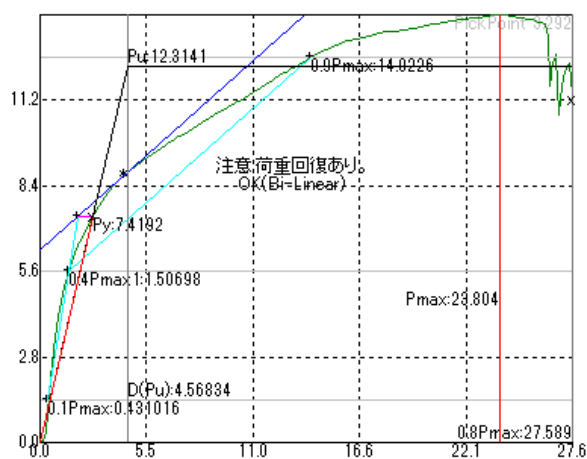


図-2-3 試験体 J1-3 荷重-たわみ曲線

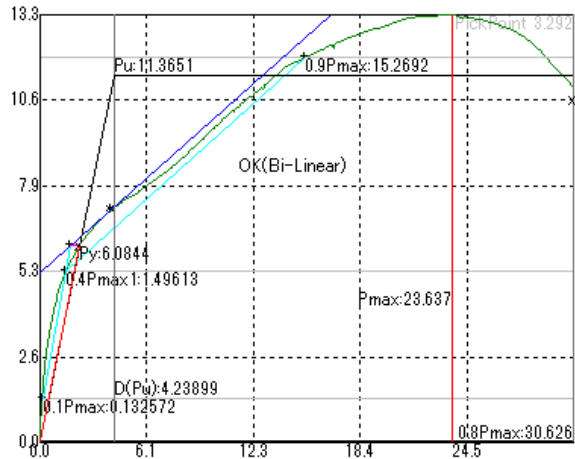


図-2-4 試験体 J1-4 荷重-たわみ曲線

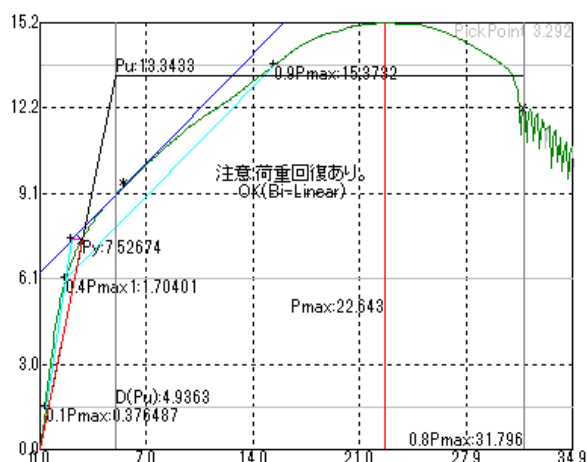


図-2-5 試験体 J1-5 荷重-たわみ曲線

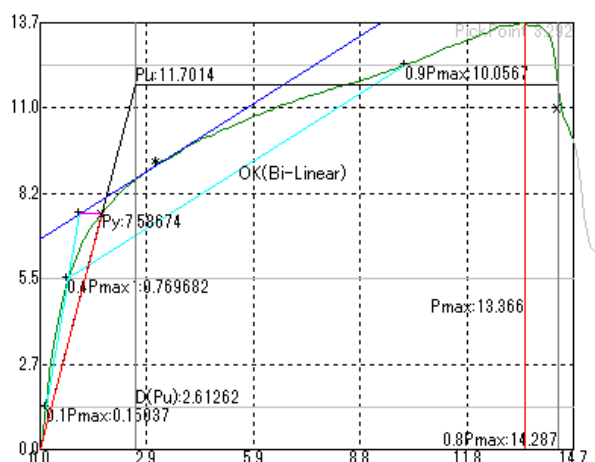


図-2-6 試験体 J1-6 荷重-たわみ曲線

試験体 J2

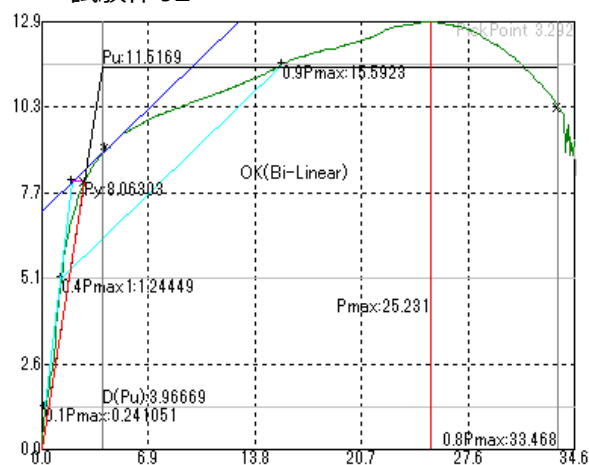


図-3-1 試験体 J2-1 荷重-たわみ曲線

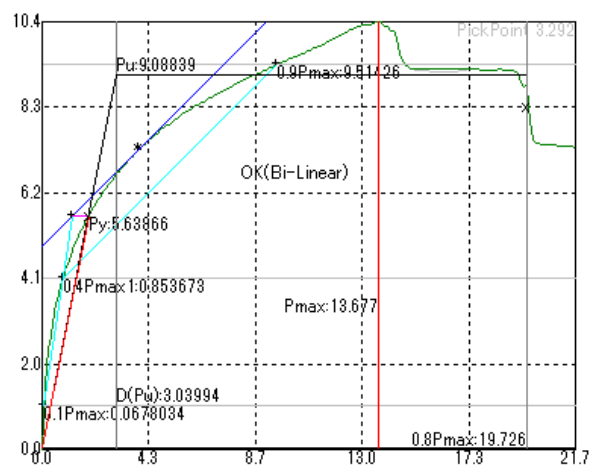


図-3-2 試験体 J2-2 荷重-たわみ曲線

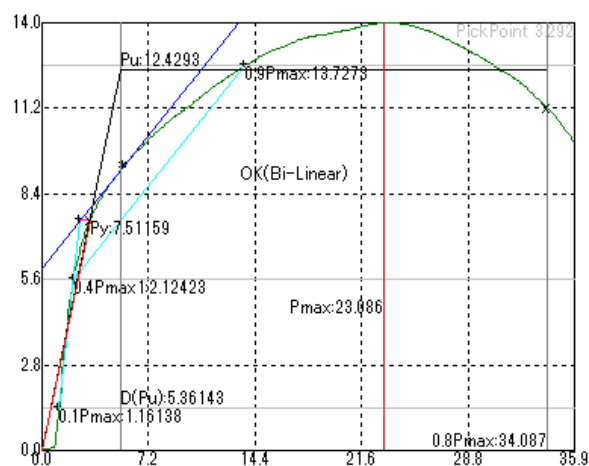


図-3-3 試験体 J2-3 荷重-たわみ曲線

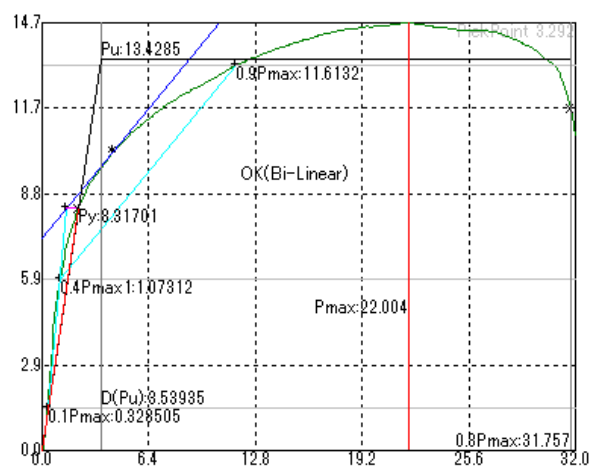


図-3-4 試験体 J2-4 荷重-たわみ曲線

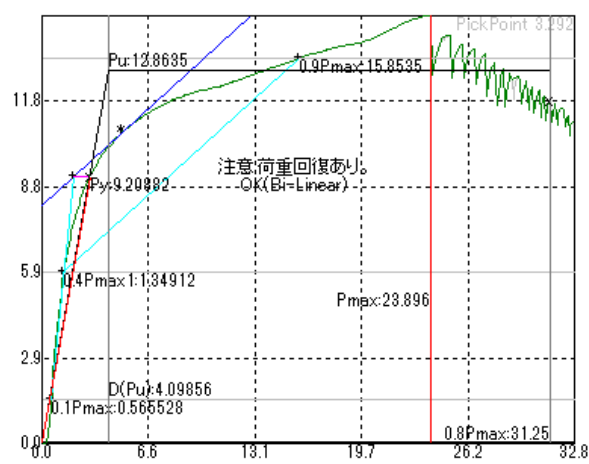


図-3-5 試験体 J2-5 荷重-たわみ曲線

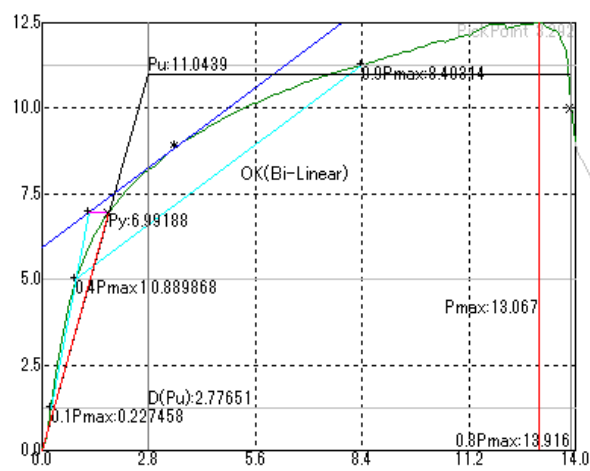


図-3-6 試験体 J2-6 荷重-たわみ曲線

試験体 J3

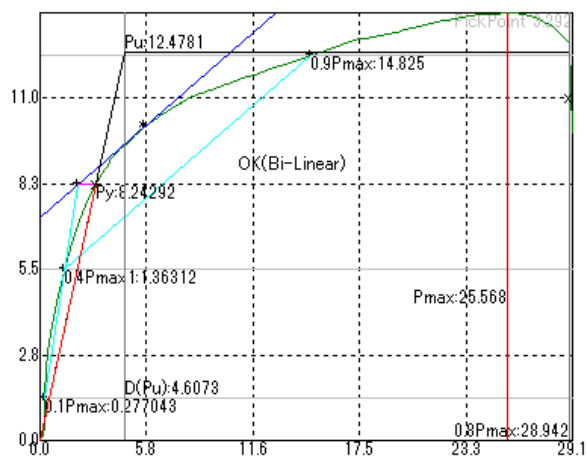


図-4-1 試験体 J3-1 荷重-たわみ曲線

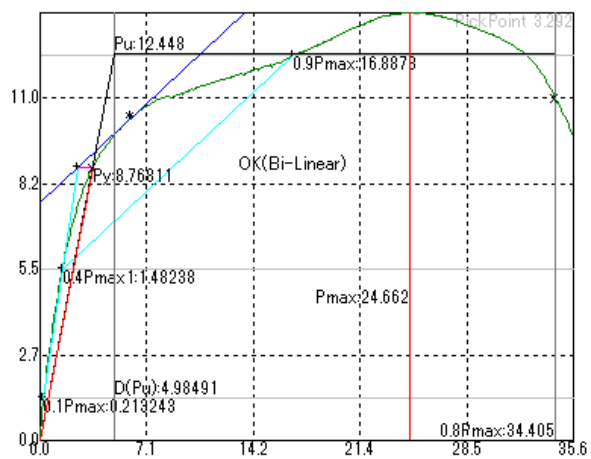


図-4-2 試験体 J3-2 荷重-たわみ曲線

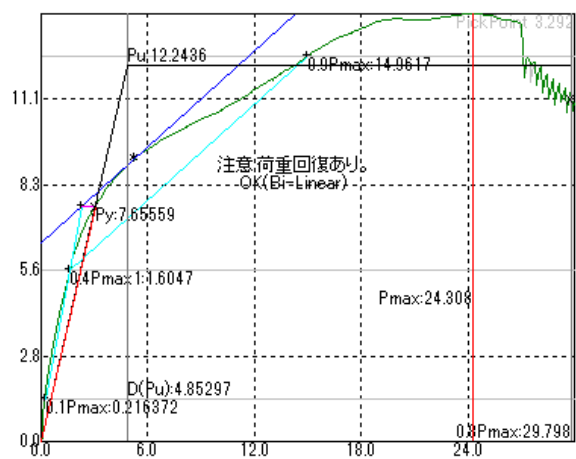


図-4-3 試験体 J3-3 荷重-たわみ曲線

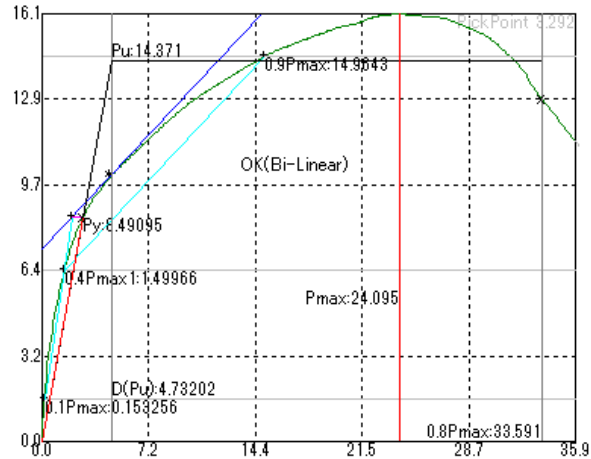


図-4-4 試験体 J3-4 荷重-たわみ曲線

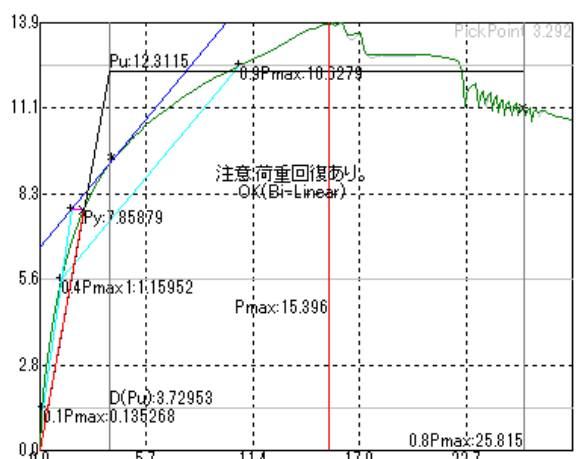


図-4-5 試験体 J3-5 荷重-たわみ曲線

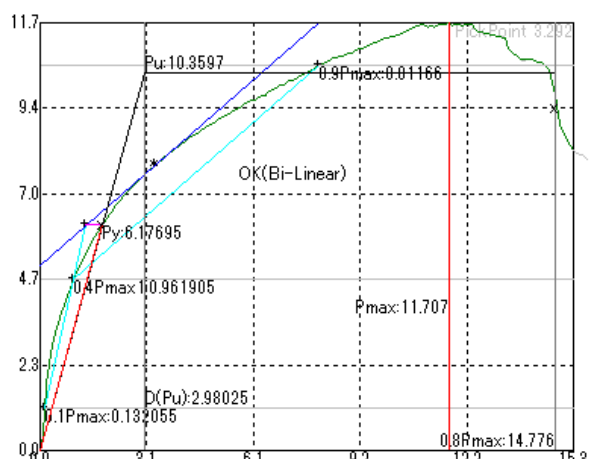


図-4-6 試験体 J3-6 荷重-たわみ曲線

試験体 J4

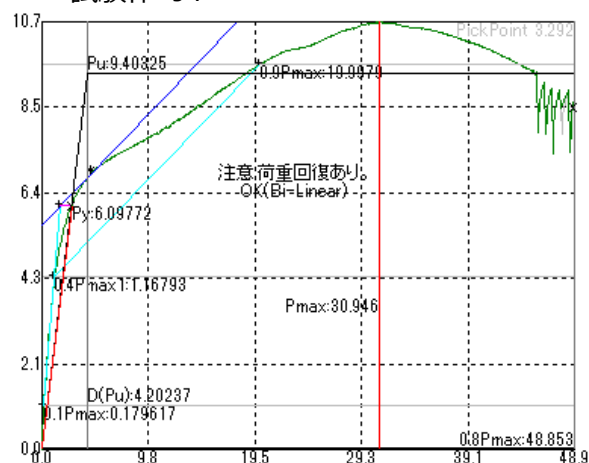


図-5-1 試験体 J4-1 荷重-たわみ曲線

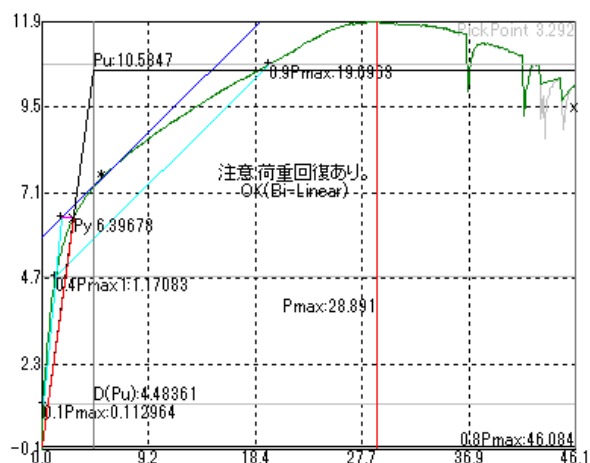


図-5-2 試験体 J4-2 荷重-たわみ曲線

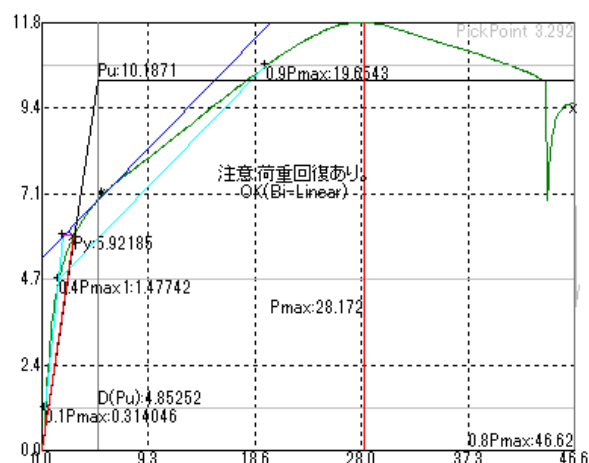


図-5-3 試験体 J4-3 荷重-たわみ曲線

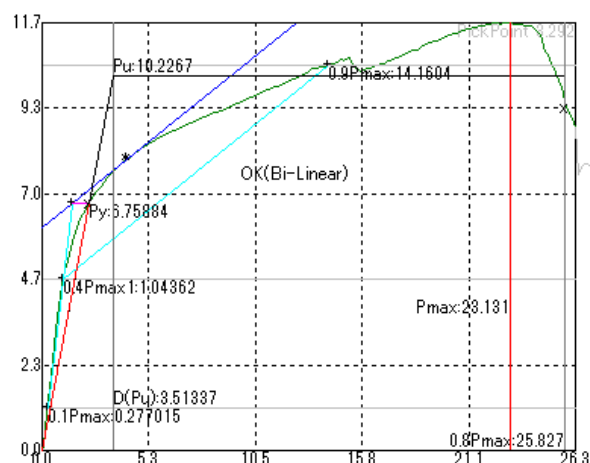


図-5-4 試験体 J4-4 荷重-たわみ曲線

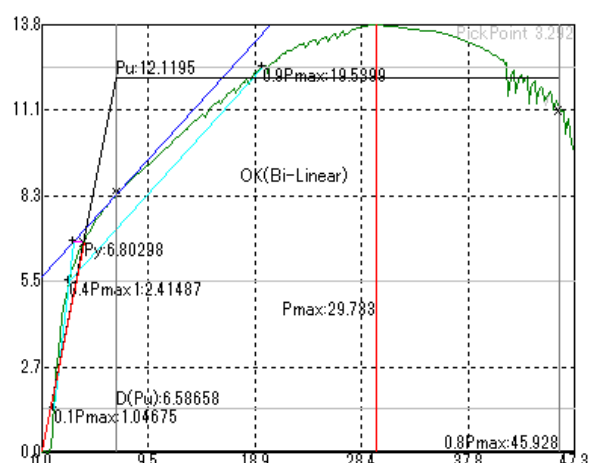


図-5-5 試験体 J4-5 荷重-たわみ曲線

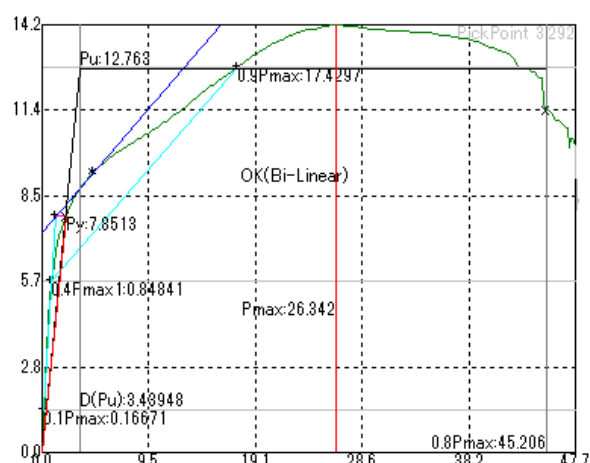


図-5-6 試験体 J4-6 荷重-たわみ曲線

試験体 J5

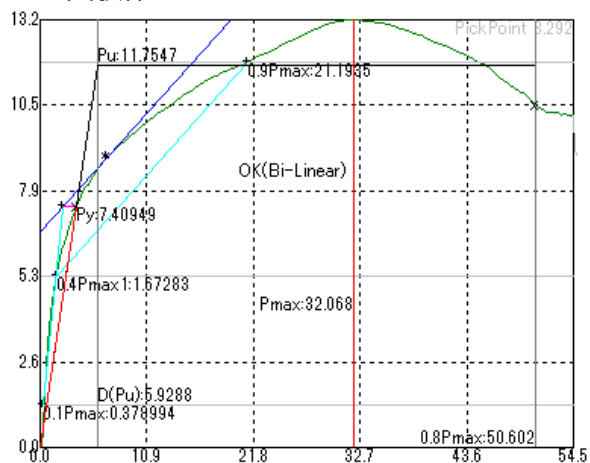


図-6-1 試験体 J5-1 荷重-たわみ曲線

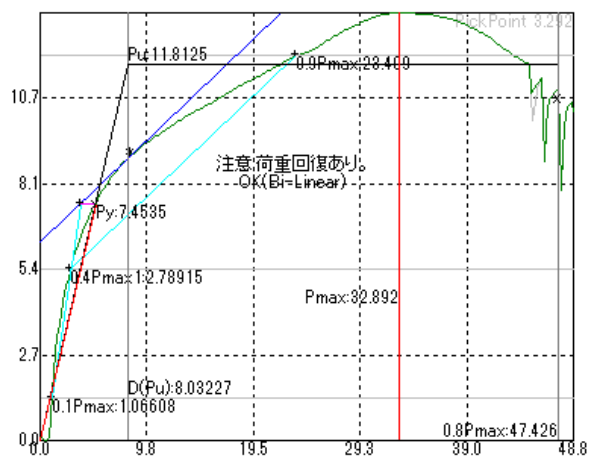


図-6-2 試験体 J5-2 荷重-たわみ曲線

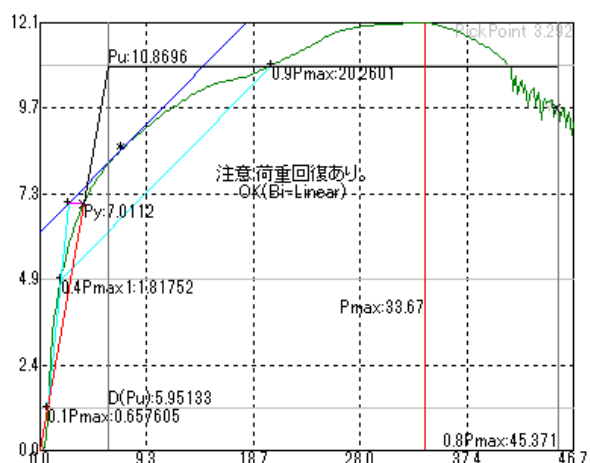


図-6-3 試験体 J5-3 荷重-たわみ曲線

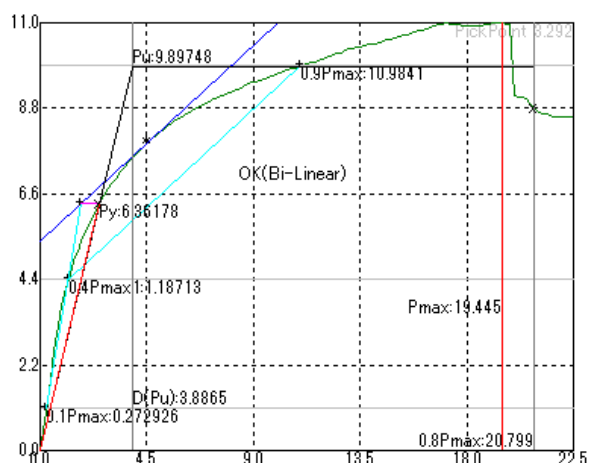


図-6-4 試験体 J5-4 荷重-たわみ曲線

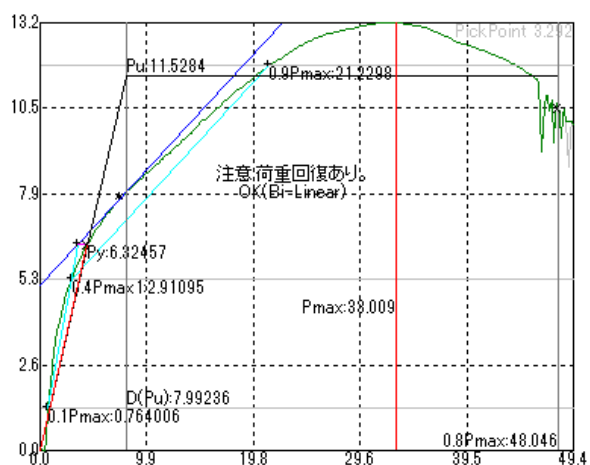


図-6-5 試験体 J5-5 荷重-たわみ曲線

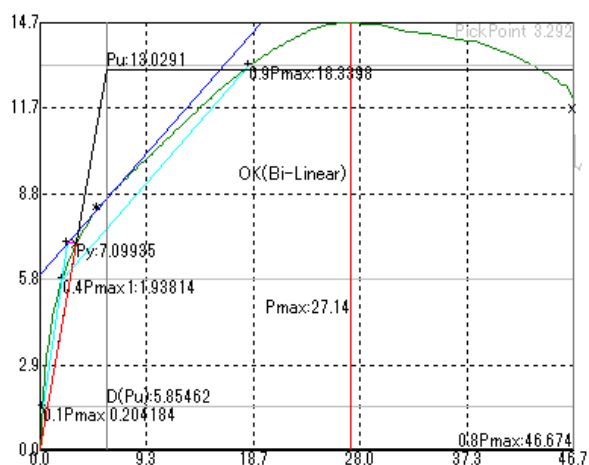


図-6-6 試験体 J5-6 荷重-たわみ曲線

試験体 J6

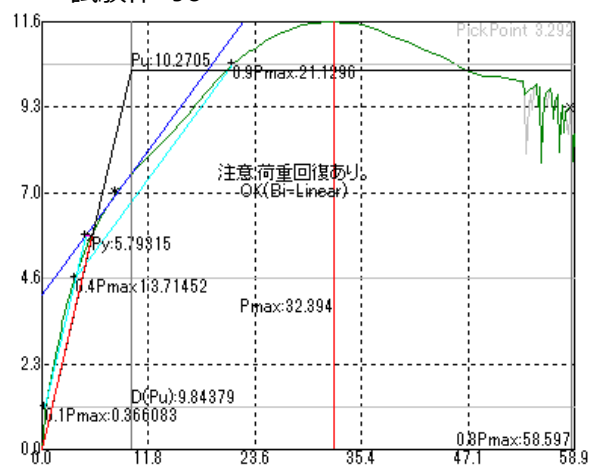


図-7-1 試験体 J6-1 荷重-たわみ曲線

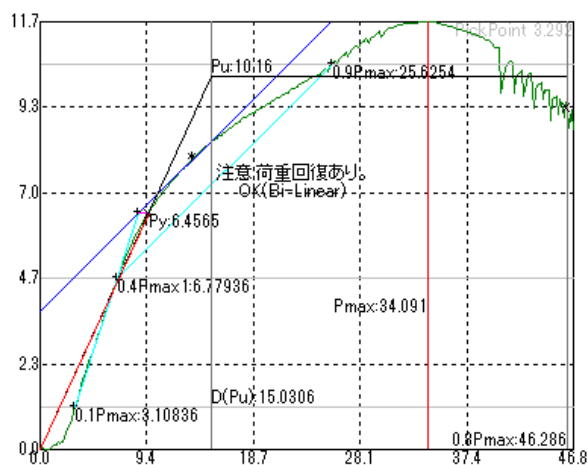


図-7-2 試験体 J6-2 荷重-たわみ曲線

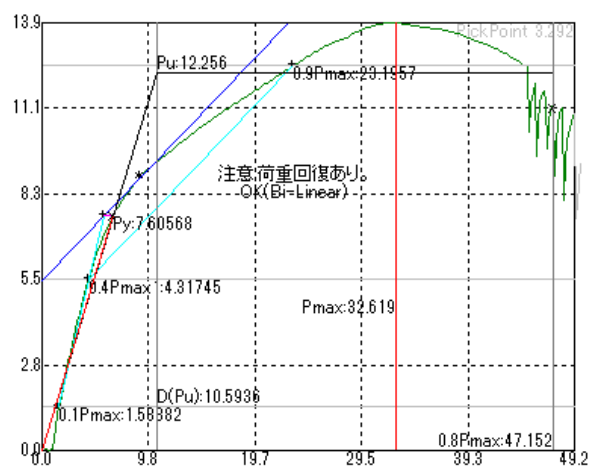


図-7-3 試験体 J6-3 荷重-たわみ曲線

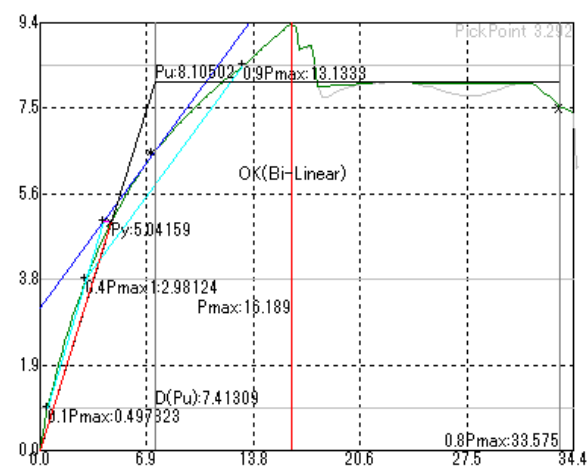


図-7-4 試験体 J6-4 荷重-たわみ曲線

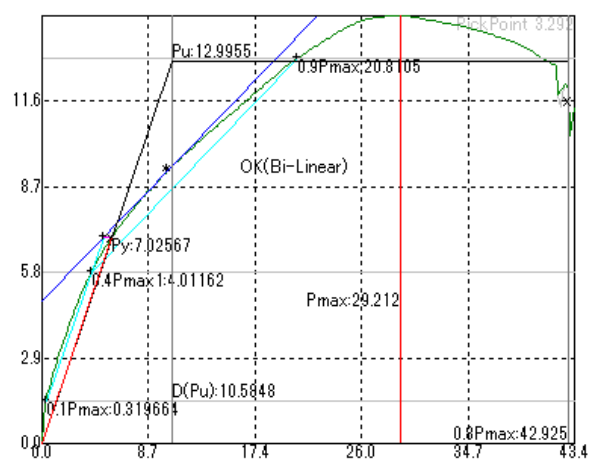


図-7-5 試験体 J6-5 荷重-たわみ曲線

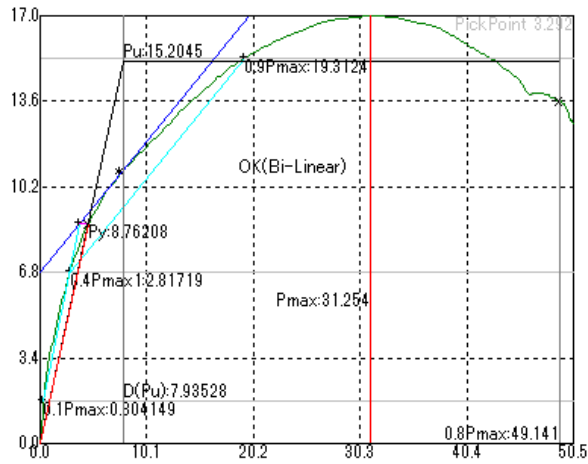


図-7-6 試験体 J6-6 荷重-たわみ曲線

試験結果

表- 3 木ダボ接合部のせん断試験結果

試験体No.	加工孔径 (mm)	最大荷重 (kN)	平均値 (kN)	平均値/2 (kN)	Pmax40%時 変位量(mm)	平均値 (mm)	Pmax10%時 変位量(mm)	平均値 (mm)
J1-1	φ 19	12.673	13.551	6.776	1.230	1.026	0.315	0.115
J1-2		12.420			0.781		0.071	
J1-3		14.000			1.037		0.088	
J1-4		13.267			1.436		0.086	
J1-5		15.230			1.080		0.088	
J1-6		13.717			0.590		0.039	
J2-1	φ 19.5	12.877	13.198	6.599	1.031	0.772	0.143	0.101
J2-2		10.365			0.726		0.022	
J2-3		13.974			0.670		0.068	
J2-4		14.750			0.794		0.139	
J2-5		14.677			0.757		0.144	
J2-6		12.546			0.651		0.090	
J3-1	φ 20	13.758	13.863	6.932	1.045	1.147	0.053	0.074
J3-2		13.747			1.284		0.103	
J3-3		13.902			1.414		0.120	
J3-4		16.138			1.349		0.080	
J3-5		13.911			0.986		0.054	
J3-6		11.724			0.803		0.034	
J4-1	φ 19	10.696	12.354	6.177	1.123	1.004	0.118	0.073
J4-2		11.906			0.960		0.027	
J4-3		11.765			1.219		0.116	
J4-4		11.682			0.653		0.039	
J4-5		13.846			1.520		0.104	
J4-6		14.226			0.548		0.036	
J5-1	φ 19.5	13.164	12.93	6.465	1.343	1.532	0.082	0.080
J5-2		13.435			1.950		0.150	
J5-3		12.127			1.102		0.040	
J5-4		11.033			0.770		0.053	
J5-5		13.154			2.206		0.040	
J5-6		14.666			1.820		0.112	
J6-1	φ 20	11.593	13.02	6.51	3.688	3.718	0.213	0.397
J6-2		11.656			5.940		0.942	
J6-3		13.877			3.074		0.471	
J6-4		9.406			2.927		0.430	
J6-5		14.555			4.120		0.226	
J6-6		17.032			2.559		0.099	

短期接合耐力の算定

「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」における「第2章木造軸組工法住宅の各部要素の試験方法と評価方法5. 仕口、継手の評価の方法」に準じて短期基準接合耐力を求める。

特性値の算出

荷重－変位曲線から完全弾塑性モデルにより降伏耐力 P_y 等の特性値を算出、短期基準接合耐力は、下記に示す方法により算出する。

下記①、②における試験荷重の平均値にばらつき係数を乗じた値の小さい方を短期基準接合耐力とする。

① 降伏耐力 P_y

② 最大荷重 P_{max} の $2/3$ の値ばらつき係数は次式による。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - CV \cdot K$$

CV：変動係数、

K：信頼水準 75% の 95% 下限許容限界を求めるための定数

表- 4 短期接合耐力の算定(CASE1)

項目 試験体	J1			J2			J3		
	$P_y(kN)$	$2/3P_{max}(kN)$	$P_{max}(kN)$	$P_y(kN)$	$2/3P_{max}(kN)$	$P_{max}(kN)$	$P_y(kN)$	$2/3P_{max}(kN)$	$P_{max}(kN)$
No.1	4.950	4.225	6.337	4.032	4.293	6.439	4.121	4.586	6.879
No.2	3.537	4.140	6.21	2.819	3.455	5.183	4.384	4.583	6.874
No.3	3.71	4.667	7	3.756	4.658	6.987	3.828	4.634	6.951
No.4	3.042	4.423	6.634	4.604	4.917	7.375	4.245	5.379	8.069
No.5	3.763	5.077	7.615	4.159	4.893	7.339	3.929	4.637	6.956
No.6	3.793	4.573	6.859	3.496	4.182	6.273	3.088	3.908	5.862
試験体数 n	6.000			6.000			6.000		
K	2.336			2.336			2.336		
平均値	3.799	4.518		3.811	4.400		3.933	4.621	
標準偏差	0.629	0.339		0.614	0.553		0.461	0.466	
変動係数	0.165	0.075		0.161	0.126		0.117	0.101	
ばらつき係数	0.613	0.825		0.624	0.706		0.726	0.764	
短期基準接合耐力(kN)	2.331	3.725		2.377	3.108		2.856	3.532	

表- 5 短期接合耐力の算定(CASE2)

項目 試験体	J4			J5			J6		
	$P_y(kN)$	$2/3P_{max}(kN)$	$P_{max}(kN)$	$P_y(kN)$	$2/3P_{max}(kN)$	$P_{max}(kN)$	$P_y(kN)$	$2/3P_{max}(kN)$	$P_{max}(kN)$
No.1	3.049	3.565	5.348	3.705	4.388	6.582	2.897	3.865	5.797
No.2	3.198	3.969	5.953	3.727	4.479	6.718	3.228	3.885	5.828
No.3	2.961	3.922	5.883	3.506	4.043	6.064	3.803	4.626	6.939
No.4	3.379	3.894	5.841	3.181	3.678	5.517	2.521	3.135	4.703
No.5	3.401	4.615	6.923	3.162	4.385	6.577	3.513	4.852	7.278
No.6	3.926	4.742	7.113	3.55	4.889	7.333	4.381	5.677	8.516
試験体数 n	6.000			6.000			6.000		
K	2.336			2.336			2.336		
平均値	3.319	4.118		3.472	4.310		3.391	4.340	
標準偏差	0.345	0.459		0.248	0.411		0.662	0.896	
変動係数	0.104	0.111		0.071	0.095		0.195	0.207	
ばらつき係数	0.757	0.740		0.833	0.777		0.544	0.518	
短期基準接合耐力(kN)	2.514	3.046		2.893	3.349		1.844	2.246	

表- 6 特性値算定結果

項目 試験体	降伏耐力 (kN) P_y	降伏変位 (mm) δ_y	終局耐力 (kN) P_u	最大荷重 (kN) P_{max}	終局変位 (mm) δ_u	初期剛性 (kN/mm) K	降伏点変位 (mm) δ_v	塑性率 μ	構造特性係数 D_s
J1-1	4.950	3.104	5.857	6.337	25.746	1.595	3.673	7.010	0.277
J1-2	3.537	2.684	5.298	6.210	23.842	1.318	4.020	5.931	0.303
J1-3	3.710	2.752	6.157	7.000	27.589	1.348	4.568	6.039	0.300
J1-4	3.042	2.269	5.683	6.634	30.626	1.341	4.239	7.225	0.273
J1-5	3.763	2.784	6.672	7.615	31.796	1.352	4.936	6.441	0.290
J1-6	3.793	1.694	5.851	6.859	14.287	2.239	2.613	5.468	0.317
平均	3.799	2.548	5.920	6.776	25.648	1.532	4.008	6.352	0.293
標準偏差	0.629	0.496	0.463	0.509	6.304	0.361	0.811	0.672	0.017
J2-1	4.032	2.777	5.758	6.439	33.468	1.452	3.967	8.437	0.251
J2-2	2.819	1.886	4.544	5.183	19.726	1.495	3.040	6.489	0.289
J2-3	3.756	3.240	6.215	6.987	34.087	1.159	5.361	6.358	0.292
J2-4	4.604	2.934	6.432	7.375	31.250	1.569	4.099	7.625	0.265
J2-5	4.159	2.192	6.714	7.339	31.757	1.897	3.539	8.973	0.243
J2-6	3.496	1.758	5.522	6.273	13.916	1.989	2.777	5.012	0.333
平均	3.811	2.465	5.864	6.599	27.367	1.594	3.797	7.149	0.279
標準偏差	0.614	0.605	0.780	0.829	8.439	0.306	0.922	1.472	0.033
J3-1	4.121	3.044	6.239	6.879	28.942	1.354	6.282	4.607	0.349
J3-2	4.384	3.511	6.224	6.874	34.405	1.249	6.902	4.985	0.334
J3-3	3.828	3.034	6.122	6.951	29.798	1.261	6.140	4.853	0.339
J3-4	4.245	2.796	7.186	8.069	33.591	1.518	7.099	4.732	0.344
J3-5	3.929	2.381	6.156	6.956	25.815	1.651	6.922	3.730	0.393
J3-6	3.088	1.777	5.180	5.862	14.776	1.738	4.958	2.980	0.449
平均	3.933	2.757	6.185	6.932	27.888	1.462	6.384	4.315	0.368
標準偏差	0.461	0.605	0.636	0.699	7.155	0.206	0.796	0.790	0.045
J4-1	3.049	2.725	9.403	5.348	48.853	1.119	4.202	11.625	0.212
J4-2	3.198	2.723	10.535	5.953	46.084	1.175	4.484	10.278	0.226
J4-3	2.961	2.821	10.187	5.883	46.620	1.050	4.853	9.607	0.234
J4-4	3.379	2.322	10.227	5.841	25.827	1.455	3.513	7.351	0.270
J4-5	3.401	3.697	12.120	6.923	45.928	0.920	6.587	6.973	0.278
J4-6	3.926	2.116	12.763	7.113	45.206	1.855	3.439	13.143	0.199
平均	3.319	2.734	10.872	6.177	43.086	1.262	4.513	9.830	0.237
標準偏差	0.345	0.545	1.288	0.688	8.546	0.340	1.154	2.398	0.032
J5-1	3.705	3.737	5.877	6.582	50.602	0.991	5.929	8.535	0.249
J5-2	3.727	5.068	5.906	6.718	47.426	0.735	8.032	5.904	0.304
J5-3	3.506	3.839	5.435	6.064	45.371	0.913	5.951	7.624	0.265
J5-4	3.181	2.498	4.949	5.517	20.799	1.273	3.887	5.352	0.321
J5-5	3.162	4.385	5.764	6.577	48.046	0.721	7.992	6.011	0.301
J5-6	3.550	3.190	6.515	7.333	46.674	1.113	5.855	7.972	0.259
平均	3.472	3.786	5.741	6.465	43.153	0.958	6.274	6.900	0.283
標準偏差	0.248	0.897	0.523	0.617	11.088	0.216	1.558	1.306	0.029
J6-1	2.897	5.552	5.135	5.797	58.597	0.522	9.844	5.953	0.303
J6-2	3.228	9.552	5.080	5.828	46.286	0.338	15.031	3.079	0.440
J6-3	3.803	6.574	6.128	6.939	47.152	0.578	10.594	4.451	0.356
J6-4	2.521	4.611	4.053	4.703	33.575	0.547	7.413	4.529	0.352
J6-5	3.513	5.722	6.498	7.278	42.925	0.614	10.585	4.055	0.375
J6-6	4.381	4.573	7.602	8.516	49.141	0.958	7.935	6.193	0.296
平均	3.391	6.097	5.749	6.510	46.279	0.593	10.234	4.710	0.354
標準偏差	0.662	1.851	1.252	1.344	8.165	0.203	2.708	1.178	0.053

<試験結果の考察>

- 1) 側材を 1 枚とした試験体(CASE1)は、孔径を 19mm(J1)、19.5mm(J2)、20mm(J3)の 3 種類設定したが、木ダボ 1 本あたりの試験結果は、降伏耐力(平均値)がそれぞれ 3.80、3.81、3.93kN (表-6)、終局耐力(平均値)が 5.85、5.86、6.18kN であった。したがって、孔径が耐力に与える影響は少ないことが確認された。また初期剛性(平均値)は、それぞれ 1.53、1.59、1.46kN/mm であった(表-6)。このことから、孔径が剛性に与える影響も小さいと考えられるが、木ダボ径よりもわずかに孔径を小さくすることが望ましいと推測される。終局変位は J1 が 25.6mm に対して、J2 が 27.4mm であり、わずかに J2 が上回ったが、その差はわずかであるため孔径が変形性能に与える影響も小さいことが確認された。
- 2) 側材を 2 枚とした試験体(CASE2)も、孔径を 19mm(J4)、19.5mm(J5)、20mm(J6)の 3 種類設定したが、木ダボ 1 本あたりの試験結果は、降伏耐力(平均値)がそれぞれ 3.92、3.47、3.39kN (表-6)、終局耐力(平均値)が 6.18、6.47、6.51kN であった。したがって、CASE2 でも孔径が耐力に与える影響は少ないことが確認された。また初期剛性(平均値)は、それぞれ 1.26、0.958、0.593kN/mm であった(表-6)。
- 3) 側材を 1 枚とした CASE1 と側材を 2 枚とした CASE2 の結果を比較すると、孔径を 19.5mm とした J2 試験体と J5 試験体では、降伏耐力が 3.81 に対して 3.47kN、終局耐力(平均値)が 5.86 に対して 6.47kN であり、おおむね近い値となっている。試験体を解体して確認したところ、木ダボに生じているめりこみ量に対して、主材、側材のめり込み量が大きくなっており、主に主材、側材のめりこみで終局に達したと考えられ、側材の枚数が増えても耐力は大きく変わらないと予想できる。完全弾塑性で得られた初期剛性は J2 と J5 でそれぞれ、1.59、0.958kN/mm であった。側材を 2 枚にすると、せん断面が倍になるため、剛性はおよそ 50%になると予想したが、結果は 60%であった。最大耐力の 40%に達した時点の変位量は、J2 が 0.77mm に対して J5 が 1.53mm であり(表-3)、ほぼ 50%となっている。
- 4) 試験体を制作する際、 $\phi 20.0\text{mm}$ の木ダボを加工孔径 $\phi 19.0\text{mm}$ に打ち込み、30mm 厚のスギ板 3 枚を貫通することは大変大きな労力を要した。木ダボ積層材の製造ではさらに多数枚の貫通が必要である。木ダボの打ち込みを人力で行う場合は、加工孔径は $\phi 19.5\text{mm}$ が最適と考えられる。

<試験写真>

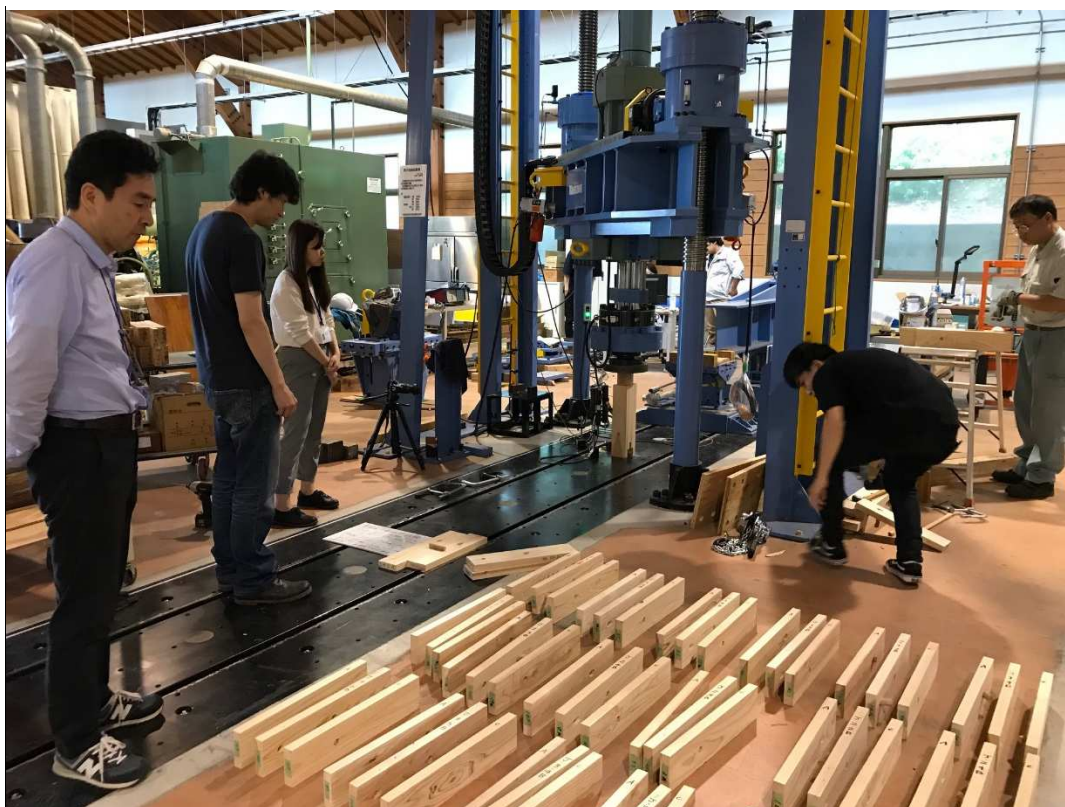


写真- 1-1 試験実施状況 全景

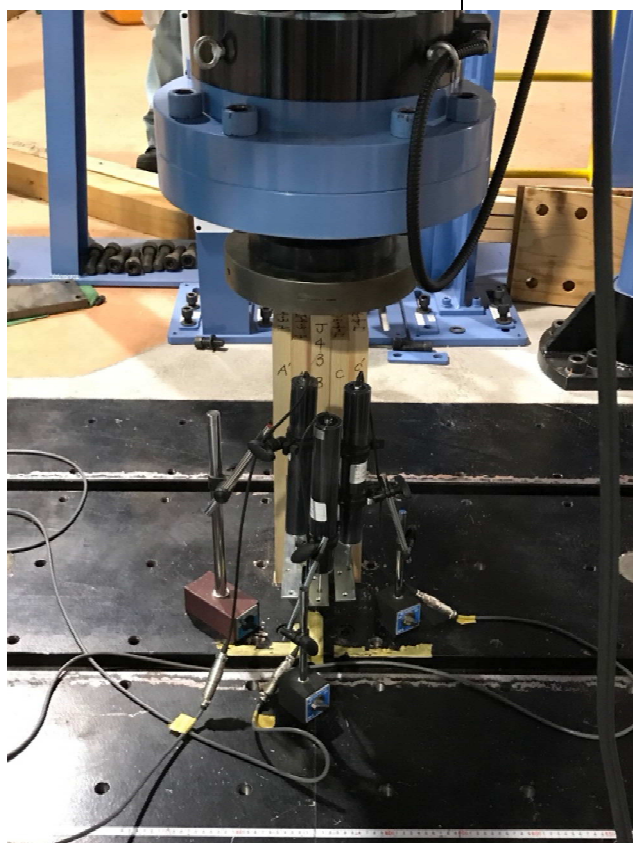


写真- 1-2 試験状況 近景

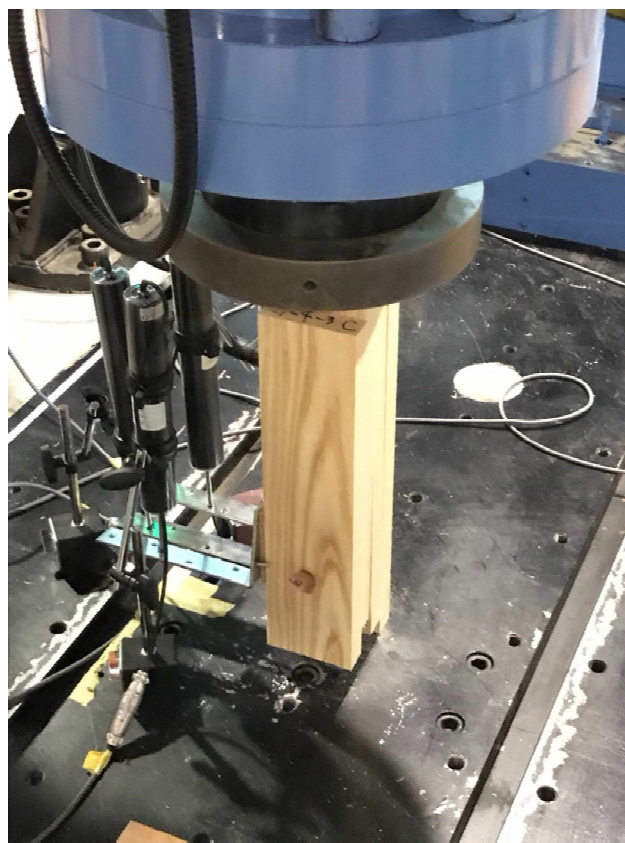


写真- 1-3 試験体 拡大

2.2 木ダボ接合部のせん断試験（２）

2.2.1 試験の実施概要

- ・ 木ダボ積層材を床梁として活用することを想定し、木ダボ接合部の１面せん断試験を行い、剛性と耐力を確認する。主材、側材の繊維方向は、加力方向に対して直交方向とする。
- ・ 日本建築学会『木質構造接合部設計マニュアル（２００９）』にある接合部の剛性・耐力を計算で求めるための接合具の強度試験を参考にする。

2.2.2 試験体仕様

a. 試験体仕様

- ・ 試験体は側材を１枚とした単純一面せん断試験体(J7)、側材を２枚とした１面せん断試験体(J8)の２種類の試験体を設定し、試験体概要をそれぞれ図 8-1、図 8-2 に示す。木ダボせん断試験（１）の結果から、木ダボの加工孔径は $\phi 19.5\text{mm}$ とした。仕様一覧を表- 7 に示す。
- ・ 社団法人 日本建築学会『木質構造接合部設計マニュアル（２００９ 年 11月30日）』を参考に、試験体数はそれぞれ 6 体とした。

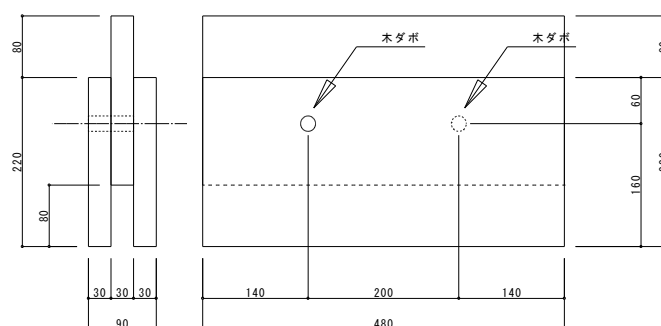


図-8-1 単純 1 面せん断（J7）

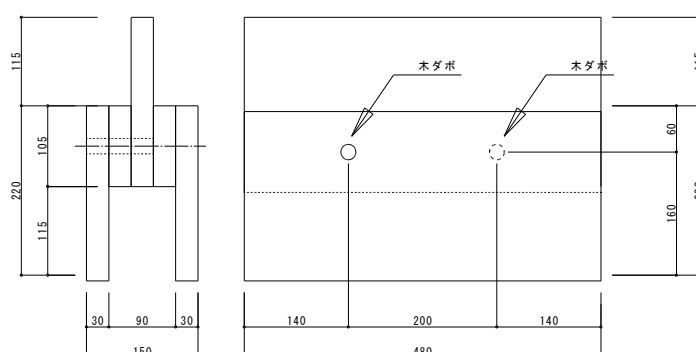


図-8-2 複数枚 1 面せん断（J8）

表- 7 試験体の仕様一覧

No.	主材、側材	木ダボ	加工孔径	試験体数
J7	スギ KD 30×220×480	φ20mm	φ19.5mm	6 体
J8	スギ KD 30×220×480 スギ KD 30×105×480	φ20mm	φ19.5mm	6 体

主材、側材：群馬県産スギ KD 材 無等級材、含水率 20.0%以下、比重 0.37 以下

木ダボ：欧州ブナ 直径 20mm たて溝つき 含水率 13%以下 比重 0.65 以上

試験方法

- a. 試験内容 木ダボ接合部の圧縮せん断試験
- b. 試験実施日 2019 年 9 月13 日
- c. 試験場所 群馬県林業試験場
実大強度試験機：SAH-100 前川試験機（株） 定格最大試験力：曲げ 500KN
- d. 試験方法
変位計を取付け後に、試験体主材上部を一方向単調加力し、強度を測定した。側材の開き止めにクランプ金物を用いた。

2.2.3 試験結果

試験体 J7

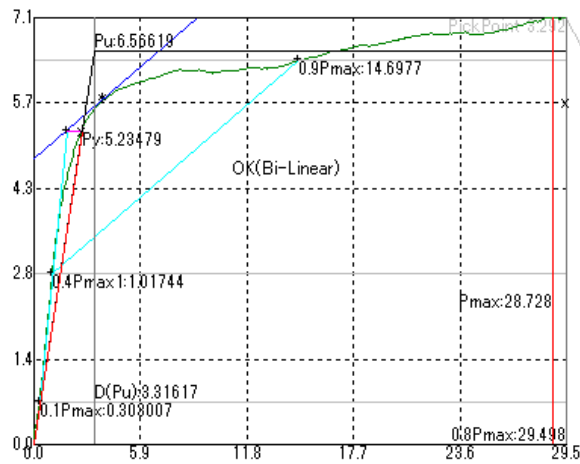


図-9-1 試験体J7-1 荷重-たわみ曲線

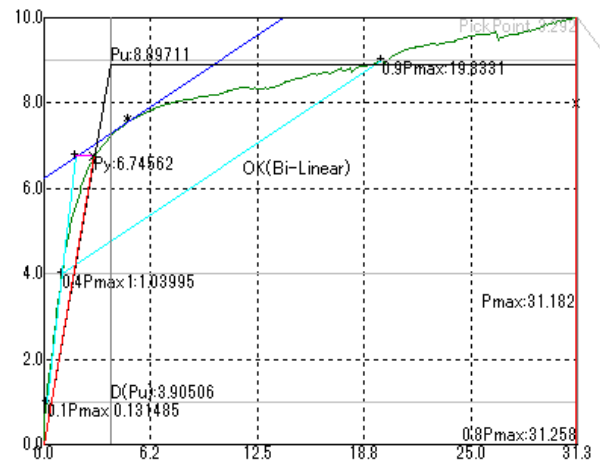


図-9-2 試験体J7-2 荷重-たわみ曲線

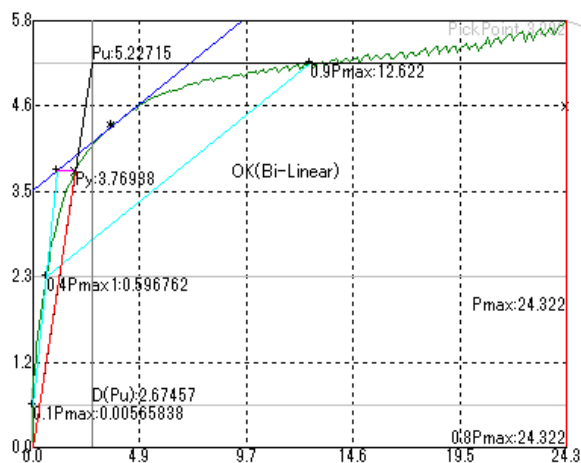


図-9-3 試験体J7-3 荷重-たわみ曲線

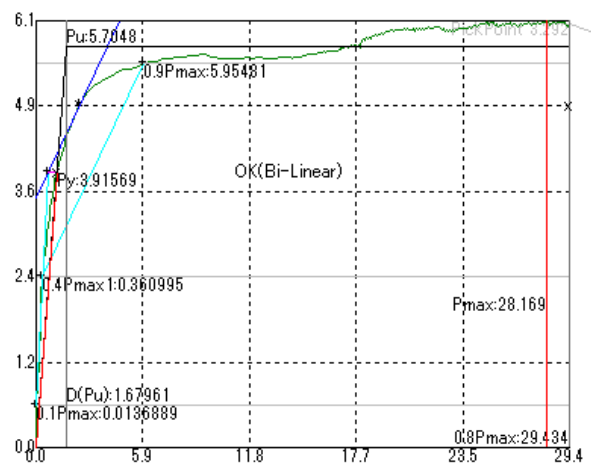


図-9-4 試験体J7-4 荷重-たわみ曲線

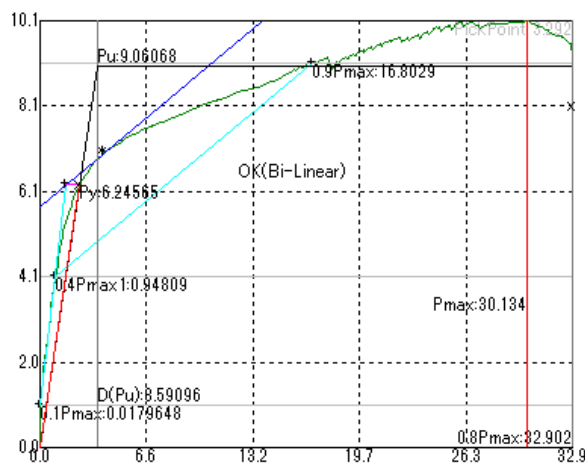


図-9-5 試験体J7-5 荷重-たわみ曲線

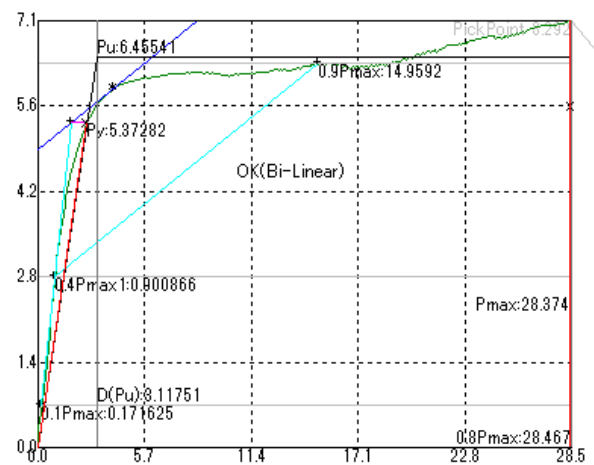


図-9-6 試験体J7-6 荷重-たわみ曲線

試験体 J8

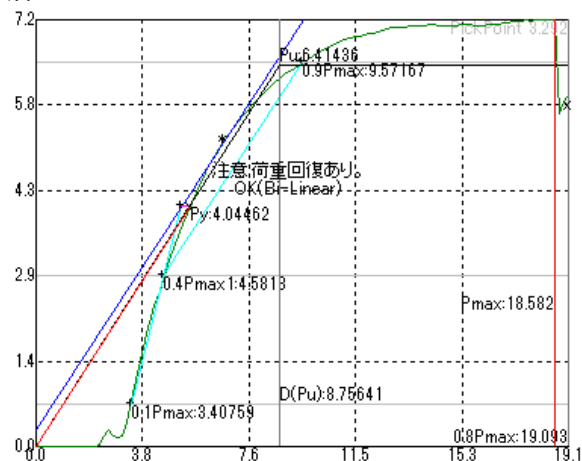


図-10-1 試験体J8-1 荷重-たわみ曲線

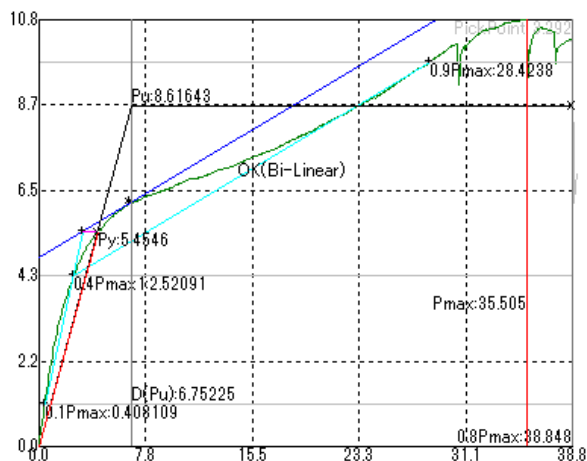


図-10-2 試験体J8-2 荷重-たわみ曲線

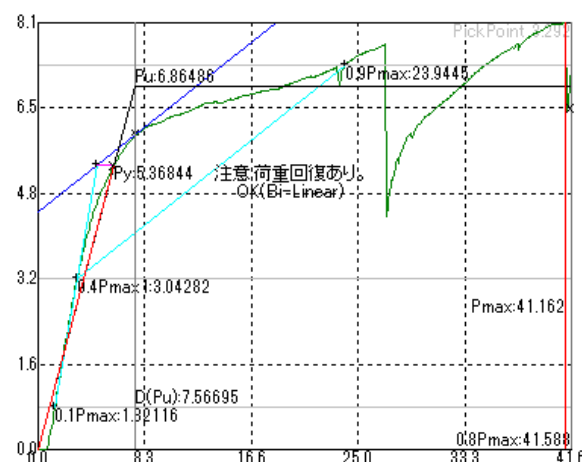


図-10-3 試験体J8-3 荷重-たわみ曲線

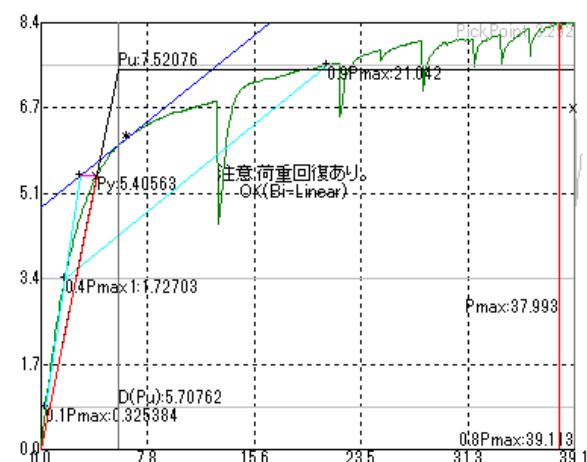


図-10-4 試験体J8-4 荷重-たわみ曲線

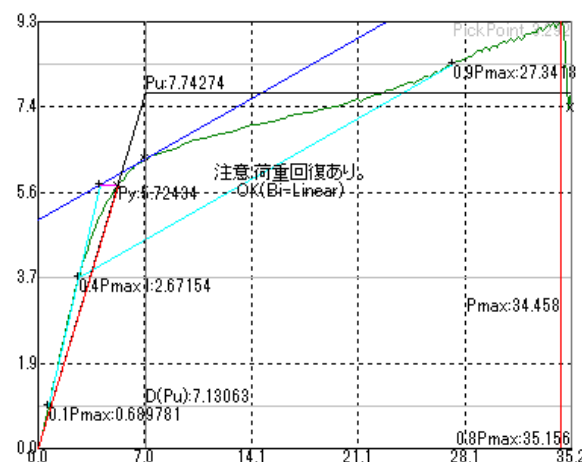


図-10-5 試験体J8-5 荷重-たわみ曲線

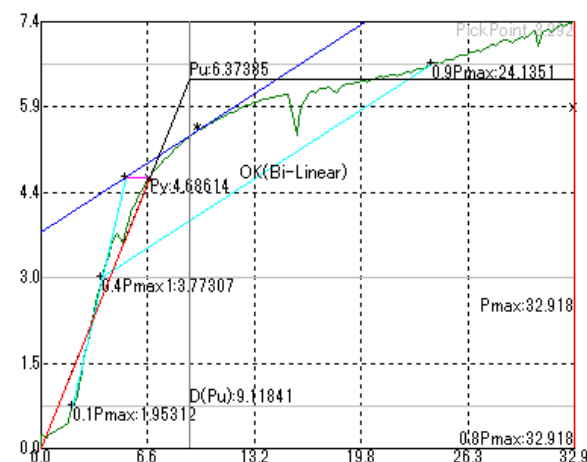


図-10-6 試験体J8-6 荷重-たわみ曲線

試験結果

表- 8 木ダボ接合部のせん断試験（繊維直角方向のせん断耐力）

試験体No.	最大荷重(kN) P _{max}	平均値(kN)	変位量(mm) D(0.1P _{max})	平均値(mm)	変位量(mm) D(0.4P _{max})	平均値(mm)
J7-1	7.119	7.552	0.3030	0.094	1.0174	0.759
J7-2	9.982		0.1315		1.0400	
J7-3	5.805		0.0057		0.5968	
J7-4	6.081		0.0137		0.3610	
J7-5	10.128		0.0180		0.9481	
J7-6	7.052		0.1716		0.9009	
J7-7	6.696		0.0138		0.4467	
J8-1	7.19	8.519	0.0803	0.408	1.2713	1.969
J8-2	10.817		0.1489		1.9732	
J8-3	8.071		0.0874		1.7000	
J8-4	8.434		0.1697		1.3090	
J8-5	9.276		0.1032		1.5985	
J8-6	7.378		1.9531		3.7731	
J8-7	8.461		0.3089		2.1526	

※J8-6は変位計が脱落して終了したために最大荷重に達していない。

短期接合耐力の算定

「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」における「第2章木造軸組工法住宅の各部要素の試験方法と評価方法 5. 仕口、継手の評価の方法」に準じて短期基準接合体力を求める。

特性値の算出

荷重－変位曲線から完全弾塑性モデルにより降伏耐力 P_y 等の特性値を算出する。短期基準接合耐力は、下記に示す方法により算出する。

下記①、②における試験荷重の平均値にばらつき係数を乗じた値の小さい方を短期基準接合耐力とする。

① 降伏耐力 P_y

② 最大荷重 P_{max} の 2/3 の値ばらつき係数は次式による。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - CV \cdot K$$

CV：変動係数

K：信頼水準 75% の 95% 下限許容限界を求めるための定数

表- 9 短期接合耐力の算定

項目 試験体	J7			J8		
	Py(kN)	2/3Pmax(kN)	Pmax(kN)	Py(kN)	2/3Pmax(kN)	Pmax(kN)
No.1	2.617	3.327	4.991	2.022	2.397	3.595
No.2	3.373	1.935	2.903	2.727	3.606	5.409
No.3	1.885	2.027	3.041	2.684	2.691	4.036
No.4	1.958	3.376	5.064	2.703	2.811	4.217
No.5	3.123	2.351	3.526	2.862	3.092	4.638
No.6	2.686	2.232	3.348	2.34	2.459	3.689
試験体数 n	6			6		
K	2.336			2.336		
平均値	2.607	2.541		2.556	2.843	
標準偏差	0.600	0.645		0.314	0.450	
変動係数	0.230	0.254		0.123	0.158	
ばらつき係数	0.462	0.407		0.713	0.630	
短期基準接合耐力(kN)	1.205	1.035		1.823	1.790	

表- 10 特性値算定結果

項目 試験体	降伏耐力 (kN) Py	降伏変位 (mm) δ_y	終局耐力 (kN) Pu	最大荷重 (kN) Pmax	終局変位 (mm) δ_u	初期剛性 (kN/mm) K	降伏点変位 (mm) δ_v	塑性率 μ	構造特性係数 Ds
J7-1	2.617	2.644	3.283	4.991	29.498	0.990	3.316	8.895	0.244
J7-2	3.373	2.961	4.449	2.903	31.258	1.139	3.905	8.004	0.258
J7-3	1.885	1.929	2.614	3.041	24.322	0.977	2.675	9.094	0.241
J7-4	1.958	1.153	2.852	5.064	29.434	1.698	1.680	17.524	0.171
J7-5	3.123	2.475	4.530	3.526	32.902	1.262	3.591	9.162	0.240
J7-6	2.686	2.595	3.228	3.348	28.467	1.035	3.118	9.131	0.241
平均	2.607	2.293	3.493	3.812	29.314	1.184	3.047	10.302	0.233
標準偏差	0.600	0.652	0.811	0.967	2.910	0.274	0.790	3.565	0.031
J8-1	2.022	5.521	3.207	3.595	19.093	0.366	8.756	2.180	0.546
J8-2	2.727	4.274	4.308	5.409	38.848	0.638	6.752	5.753	0.309
J8-3	2.684	5.917	3.432	4.036	41.588	0.454	7.567	5.496	0.316
J8-4	2.703	4.102	3.760	4.217	39.113	0.659	5.708	6.853	0.281
J8-5	2.862	5.272	3.871	4.638	35.156	0.543	7.131	4.930	0.336
J8-6	2.340	7.299	3.163	3.689	33.240	0.321	9.865	3.370	0.417
平均	2.556	5.398	3.624	4.264	34.506	0.497	7.630	4.764	0.368
標準偏差	0.314	1.171	0.441	0.676	8.122	0.140	1.482	1.704	0.099

＜試験結果の考察＞

- 1) 側材を 1 枚とした J7 試験体と側材を 2 枚とした J8 試験体について、木ダボ 1 本当たりの試験結果は、降伏耐力(平均値)がそれぞれ 2.60、2.56kN、終局耐力(平均値)が 3.49、3.62kN であった(表-10)。したがって側材の枚数は耐力に影響しないことが確認された。初期剛性(平均値)はそれぞれ 1.18、0.50kN/mm であり、J8 は J7 に対して 42 %の値となった。繊維方向の試験結果と同様に、せん断面の数におおむね反比例すると考えられる。
- 2) 試験体を解体して確認した結果、木ダボに生じているめりこみはわずかで、主材、側材のめりこみが支配的であった。J7 試験体の終局変位(平均値)は 29.3mm であり、木ダボが主材、側材にめりこんでいくことで変形が進行し、バイリニア型の荷重-変形関係が確認された。J8 試験体では、側材の木ダボはしあき寸法を 60mm と小さくしたことで、側材に割裂を生じた。終局変位(平均値)は、34.5mm となり、せん断面が J7 に対して 2 倍でありながら、終局変位量はほぼ同じため、せん断面あたりの変形量は 1/2 程度になっている。

＜木ダボ接合部のせん断試験結果まとめ＞

加力方向を主材、側材の繊維方向とした試験体(J2,J5)と、繊維直交方向とした試験体(J7,J8)の試験結果まとめを表-11 に示す。試験体 J2 と J7 で比較すると、木ダボ 1 本あたりの最大耐力は、それぞれ 7.62、5.07kN、降伏耐力は、それぞれ 3.81、2.54kN であり、繊維直交方向に加力した試験体は繊維方向に対して 67%の耐力となった。

表- 11 木ダボ接合のせん断試験

試験体 \ 耐力	平均最大荷重 Pmax(kN)	1本当たりのPmax (kN)	降伏耐力 Py (kN)	1本当たりのPy (kN)	短期基準せん断耐力 Pa (kN/本)
繊維方向 (J2)	13.198	6.599	7.622	3.811	2.38
繊維方向 (J5)	12.930	6.465	6.943	3.472	2.9
繊維直角方向(J7)	7.552	3.776	5.077	2.539	1.19
繊維直角方向(J8)	8.518	4.259	5.147	2.574	1.57

<試験写真>

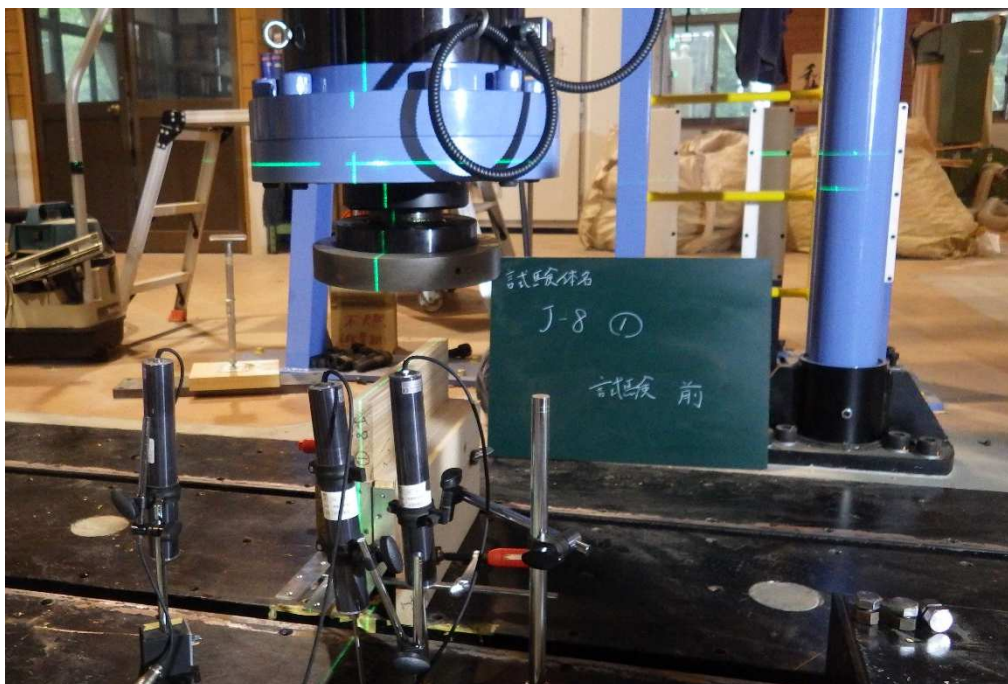


写真-2-1 試験前 (J8-1)

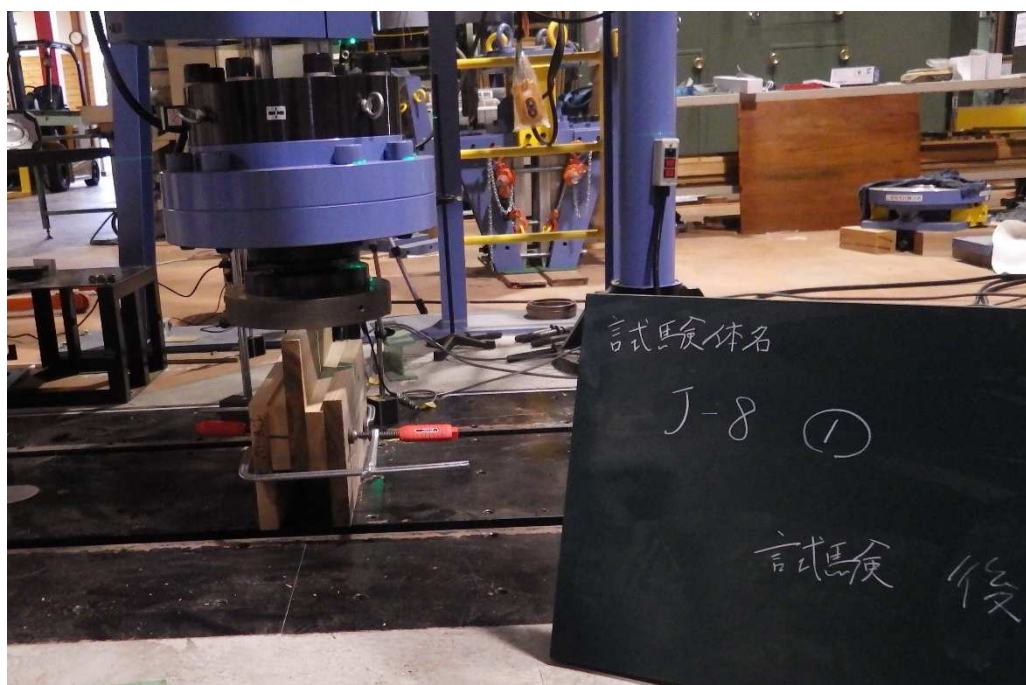


写真-2-2 試験後 (J8-1)

2.3 ビス接合部のせん断試験

2.3.1 試験概要

- ・ 木ダボ積層材同士、また木ダボ積層材と軸組みとの接合をビスで行うことを想定し、斜めビス接合のせん断耐力を確認する。
- ・ 日本建築学会『木質構造接合部設計マニュアル（2009）』にある接合部の剛性・耐力を計算で求めるための接合具の強度試験を参考にする。

2.3.2 試験体仕様

a. 試験体仕様

- ・ DLT同士、および柱との接合を想定し、加力方向をDLTの繊維方向とした試験体（接合1）、DLTと土台、桁との接合を想定し、加力方向をDLTの繊維直交方向とした試験体（接合2）の2種類を設定した。それぞれの試験体概要を図-11.1、図-11.2に示す。
- ・ 主材は入手可能であった含水率20%以下の105×105mmのスギ製材を木ダボで一体化したものをを用いる。載荷板の径が300mmであるため、木ダボの変形は無視できると判断した。木ダボの加工孔径は ϕ 19.5mmとした。仕様の一覧を表-12に示す。
- ・ 社団法人 日本建築学会『木質構造接合部設計マニュアル（2009 年11 月30 日）』を参考に、試験体数はそれぞれ各6体とした。

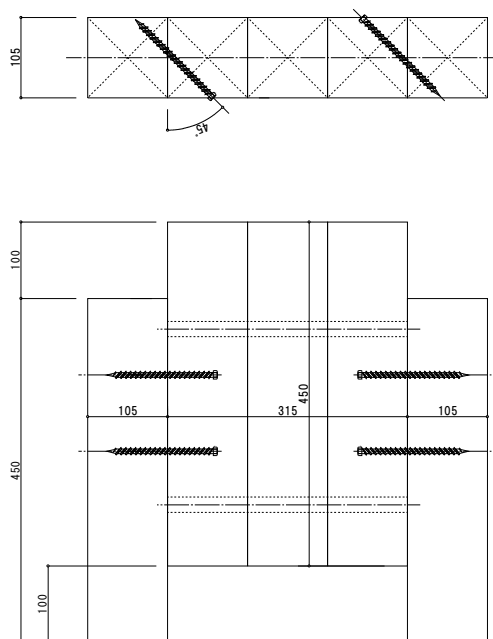


図-11-1 接合部 1 (J9)

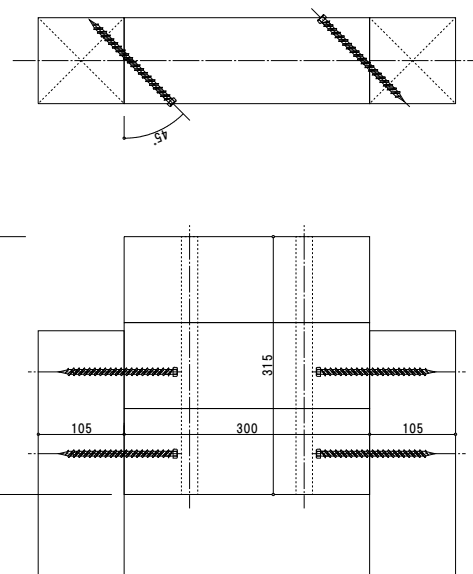


図-11-2 DLT接合部2 (J10)

表- 12 接合部せん断試験 試験体の仕様

No.	主材、側材	木ダボ	ビス	試験体数
J9	スギKD 105×105	φ20mm	4本	6体
J10	スギKD 105×105	φ20mm	4本	6体

主材、側材：群馬県産スギ KD 材 無等級材、含水率 20.0%以下、比重 0.37 以下

木ダボ：欧州ブナ 直径 20mm たて溝つき 含水率 13%以下 比重 0.65 以上

ビス：パネリード PX6-140 斜め打ち角度 45°

試験方法

a. 試験内容 木ダボ接合部の圧縮せん断試験

b. 試験実施日 2019 年 9 月13日

c. 試験場所 群馬県林業試験場

実大強度試験機：SAH-100 前川試験機（株） 定格最大試験力：曲げ 500KN

d. 試験方法

変位計を取付け後に、試験体主材上部を一方向単調加力し、強度を測定する。側材の開き止めは設けていない。

2.3.3 試験結果

試験体 J9

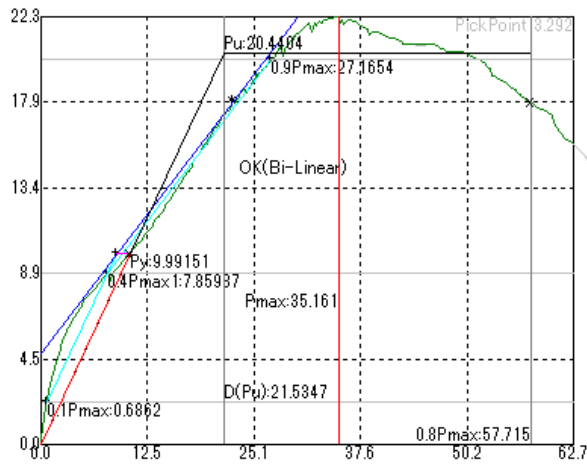


図-12-1 試験体J9-1 荷重-たわみ曲線

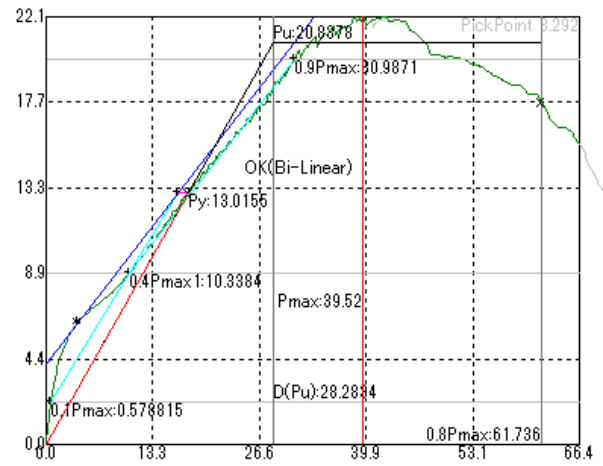


図-12-2 試験体J9-2 荷重-たわみ曲線

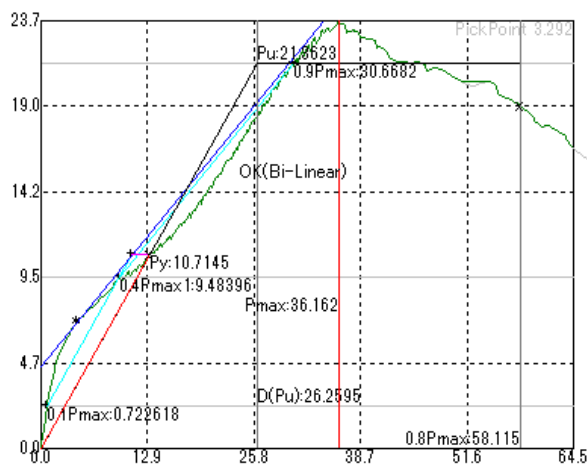


図-12-3 試験体J9-3 荷重-たわみ曲線

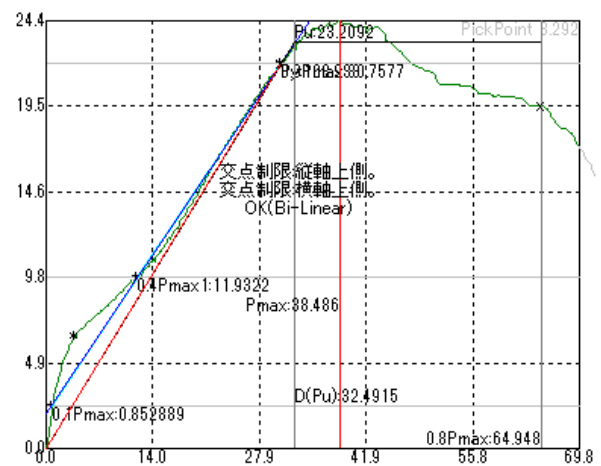


図-12-4 試験体J9-4 荷重-たわみ曲線

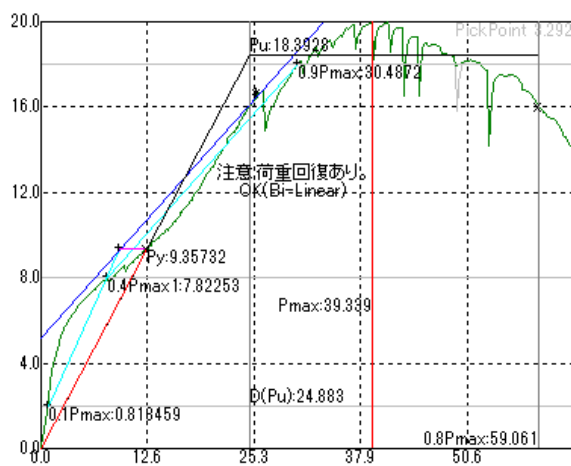


図-12-5 試験体J9-5 荷重-たわみ曲線

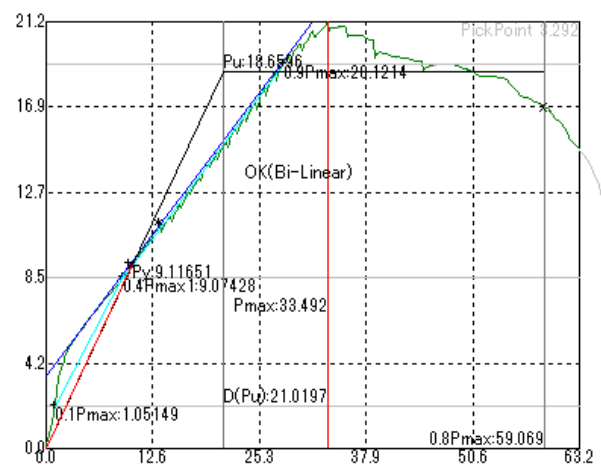


図-12-6 試験体J9-6 荷重-たわみ曲線

試験体 J10

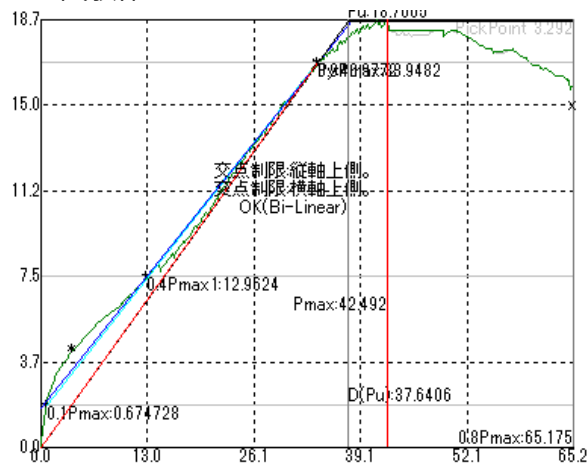


図-13-1 試験体J10-1 荷重-たわみ曲線

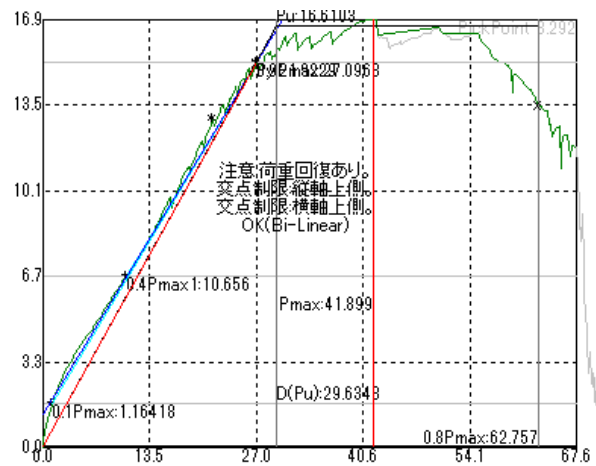


図-13-2 試験体J10-2 荷重-たわみ曲線

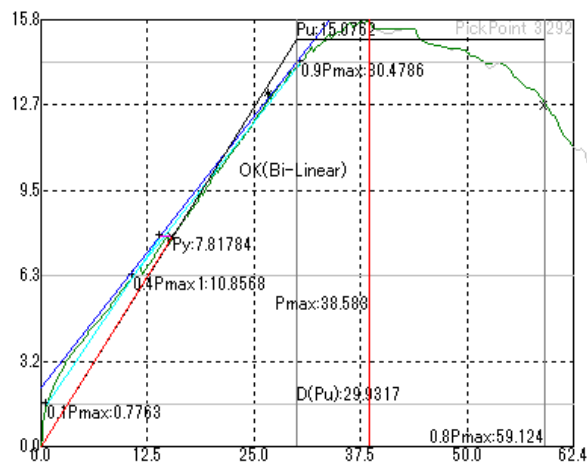


図-13-3 試験体J10-3 荷重-たわみ曲線

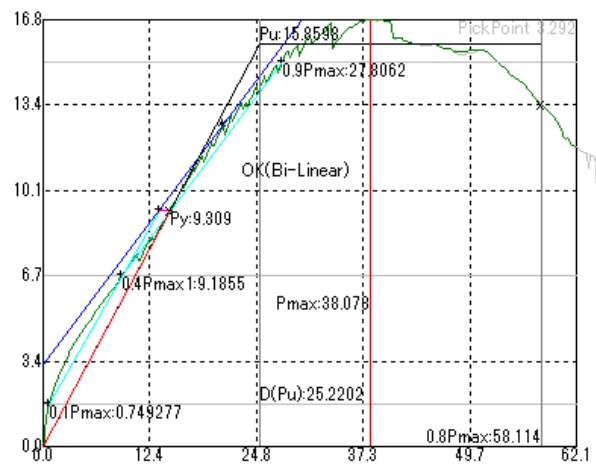


図-13-4 試験体J10-4 荷重-たわみ曲線

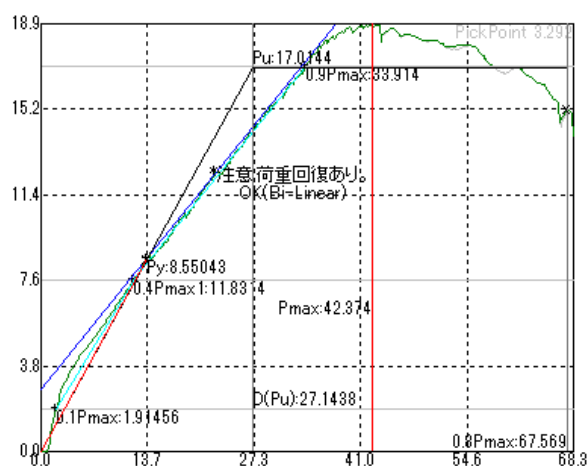


図-13-5 試験体J10-5 荷重-たわみ曲線

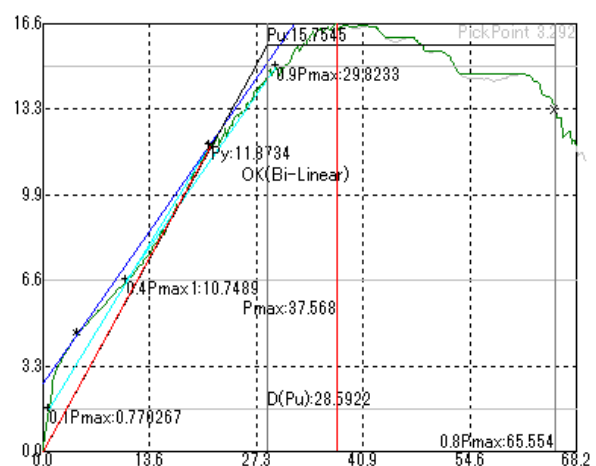


図-13-6 試験体J10-6 荷重-たわみ曲線

表- 13 接合部のせん断試験

試験体No.	最大荷重(kN) P _{max}	平均値 (kN)	変位量(mm) D(0.1P _{max})	平均値 (mm)	変位量(mm) D(0.4P _{max})	平均値 (mm)
J9-1	22.323	22.283	0.686	0.785	7.860	9.419
J9-2	22.138		0.579		10.338	
J9-3	23.690		0.723		9.484	
J9-4	24.412		0.853		11.932	
J9-5	19.979		0.813		7.823	
J9-6	21.151		1.051		9.074	
J10-2	18.740	17.290	0.083	0.443	11.721	10.263
J10-3	16.875		1.015		10.294	
J10-4	15.813		0.489		9.678	
J10-5	16.795		0.392		8.871	
J10-7	18.939		0.399		11.038	
J10-8	16.577		0.276		9.973	

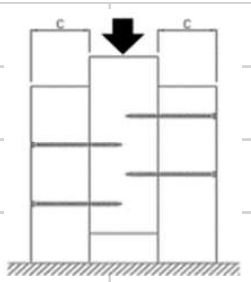
表- 14 特性値算定結果(ビス一本あたり)

項目 試験体	降伏耐力 (kN) P _y	降伏変位 (mm) δ _y	終局耐力 (kN) P _u	最大荷重 (kN) P _{max}	終局変位 (mm) δ _u	初期剛性 (kN/mm) K	降伏点変位 (mm) δ _v	塑性率 μ	構造特性係数 D _s
J9-1	2.216	7.037	4.282	5.368	29.948	0.315	13.596	2.203	0.542
J9-2	1.961	6.714	3.792	4.850	29.994	0.292	12.982	2.310	0.526
J9-3	2.152	6.960	4.159	5.321	29.978	0.309	13.449	2.229	0.538
J9-4	2.151	7.437	4.204	5.330	29.951	0.289	14.536	2.060	0.566
J9-5	2.039	8.329	3.987	4.978	32.389	0.245	16.286	1.989	0.580
J9-6	1.997	7.431	3.911	4.945	29.879	0.269	14.553	2.053	0.567
平均	2.086	7.318	4.056	5.132	30.357	0.287	14.234	2.141	0.553
標準偏差	0.101	0.569	0.189	0.232	0.996	0.026	1.182	0.125	0.021
J10-2	1.591	7.700	3.176	3.933	29.946	0.207	15.370	1.948	0.588
J10-3	1.775	9.959	3.683	4.068	29.897	0.178	20.666	1.447	0.727
J10-4	1.466	8.468	2.852	3.479	29.948	0.173	16.476	1.818	0.616
J10-5	1.661	8.320	3.470	4.048	29.095	0.200	17.388	1.725	0.639
J10-7	1.708	9.365	3.276	3.878	29.932	0.182	17.967	1.666	0.655
J10-8	1.548	7.531	3.009	3.710	29.557	0.206	14.634	2.040	0.570
平均	1.625	8.557	3.244	3.853	29.729	0.191	17.083	1.774	0.632
標準偏差	0.112	0.946	0.303	0.224	0.345	0.015	2.145	0.212	0.056

<試験結果の考察>

- ・ 斜め打ちビス（商品名：パネリードPX6-140）接合部のせん断試験結果は、加力方向が主材の繊維方向であるJ9試験体と、加力方向が繊維直交方向であるJ10試験体で、降伏耐力(平均値)はそれぞれ2.01、1.63kN/本、終局耐力(平均値)は4.05、3.24kN/本となった(表-14)。
- ・ 既存の垂直打ちした接合部の試験結果と、最大荷重を比較した結果を表-15に示す。垂直打ちに対して斜めビス接合は、繊維方向加力で75%、繊維直交方向加力で60%程度の耐力になることが確認された。

表- 15 ビス接合部の耐力比較

PX6-140	C (mm)	最大荷重 (kN/本)	垂直との比較	
メーカー値（垂直）	90	4.36	1.0	
直角方向（J9）	105	3.26	0.75	
繊維方向（J10）	105	2.49	0.57	

<試験写真>

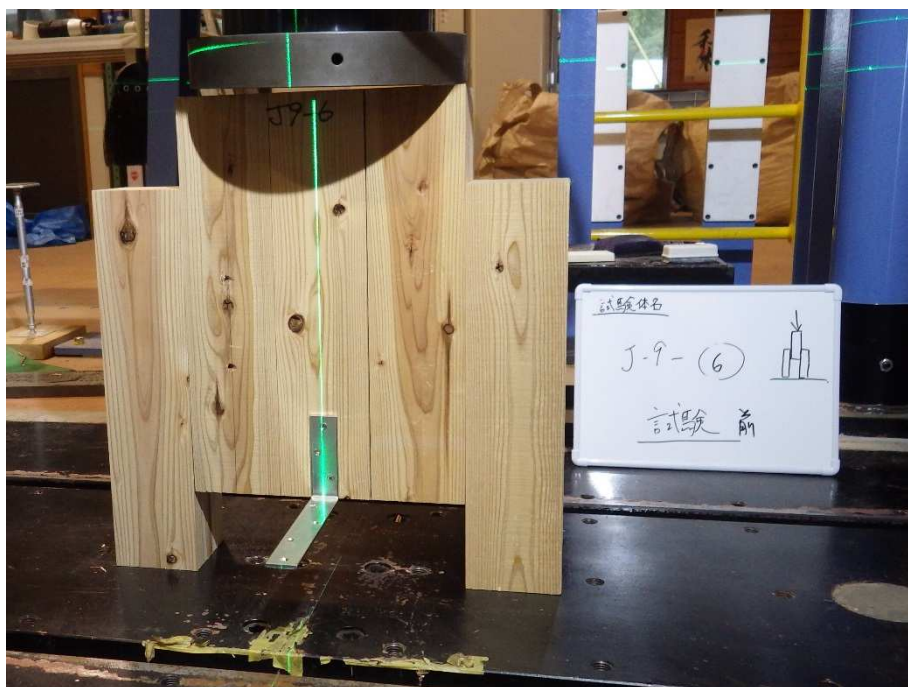


写真-3-1 試験前 (J9-6)



写真-3-2 試験後 (J9-6)

2.4 木ダボ接合のせん断試験（耐久性試験）

2.4.1 試験概要

- ・ 木ダボの接合の長期耐久性能を確認するため、促進処理（気乾、乾湿繰り返し、事故的水かかり）条件下でのせん断試験を行い、劣化条件下での木ダボ接合のせん断耐力を確認する。

2.4.2 試験体仕様

a. 試験体仕様

- ・ 下図形状のDLT同士、および柱との接合部（接合1）、DLTと土台、桁との接合部（接合2）の2種類を用意。
- ・ 実施済みの試験結果より、木ダボの加工孔径は $\phi 19.5\text{mm}$ とする。
- ・ 社団法人 日本建築学会『木質構造接合部設計マニュアル（2009年11月30日）』に則って試験体数は同一種類6体とした。
- ・ 試験は①気乾状態、②乾湿繰り返し、③事故的水かかりの促進処理を行った3ケースで実施する。

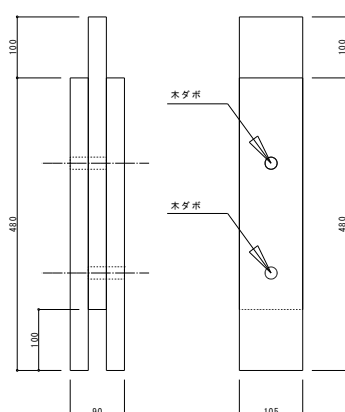


図-14-1 一面せん断 1 (J11)

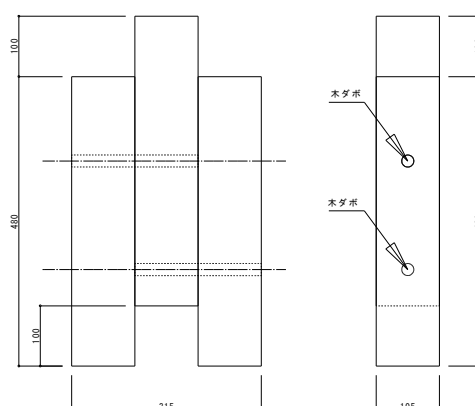


図-14-2 一面せん断 2 (J12)

b. 促進処理方法

試験体はそれぞれ下記の①、②、③の3条件の促進処理を行った後にせん断試験を行った。

- ① 気乾（恒量）：温度 $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $65\pm 3\%$ の環境に静置
- ② 事故的水掛け：①の処理後に 20°C の水中に72時間浸し、浸せき前の重量まで乾燥室で乾燥
- ③ 乾湿繰り返し：①の処理後 水中に4時間浸漬※ → 温度 $60\pm 3^{\circ}\text{C}$ で乾燥20時間 → 水中に4時間浸漬※ → 温度 $60\pm 3^{\circ}\text{C}$ で乾燥20時間 → 通風のよい室内で2日間静置

※ 水中浸漬は温度管理された室内で浸漬させた。

表- 16 木ダボ接合のせん断試験、耐久性試験 試験体の仕様

No.	主材、側材	木ダボ	加工孔径	試験体数
J11	スギKD 30×105	φ20mm	φ19.5mm	6体×3条件
J12	スギKD 105×105	φ20mm	φ19.5mm	6体×3条件

主材、側材：群馬県産スギ KD 材 無等級材、含水率 20.0%以下、比重 0.37 以下

木ダボ：欧州ブナ 直径 20mm たて溝つき 含水率 13%以下 比重 0.65 以上

2.4.3 試験方法

a. 試験内容 木ダボ接合部の圧縮せん断試験

b. 試験実施日 2019 年 9 月13日

c. 試験場所 群馬県林業試験場

実大強度試験機：SAH-100 前川試験機（株） 定格最大試験力：曲げ 500KN

d. 試験方法

変位計を取付けた後に、試験体主材上部を加力し、強度を測定した。側材の開き止めにクランプ金物を用いた。

2.4.4 試験結果

試験体 J11

① 恒温処理

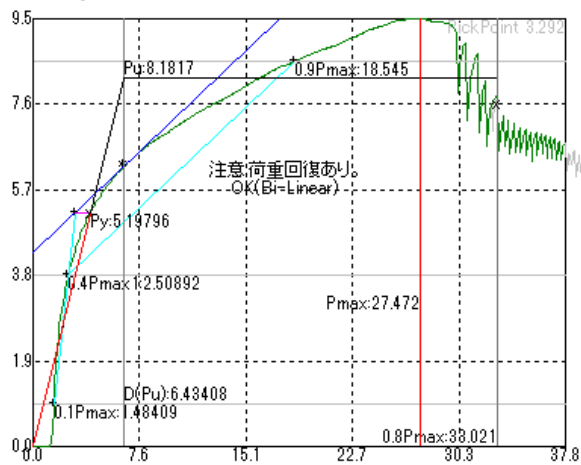


図-15-1 試験体J11-1 荷重-たわみ曲線

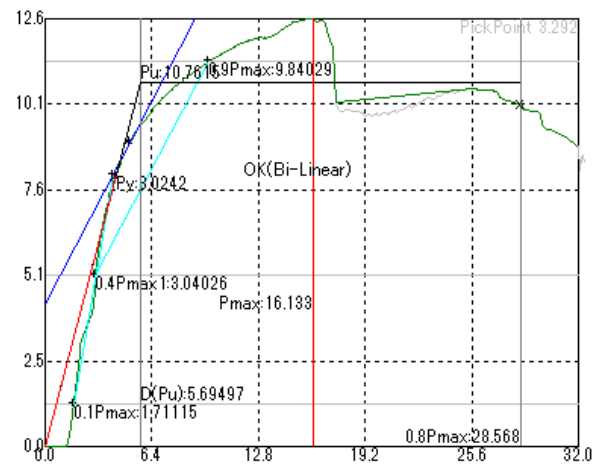


図-15-2 試験体J11-2 荷重-たわみ曲線

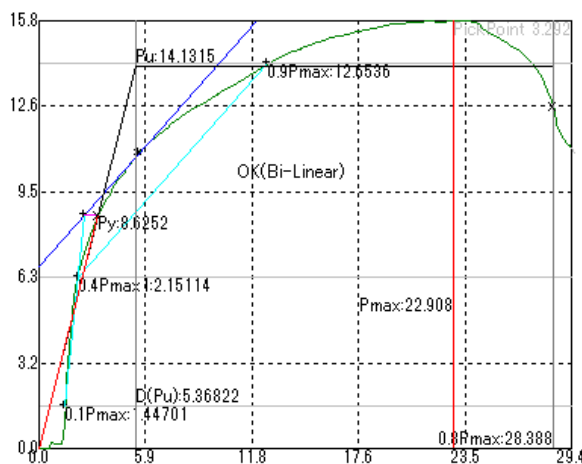


図-15-3 試験体J11-3 荷重-たわみ曲線

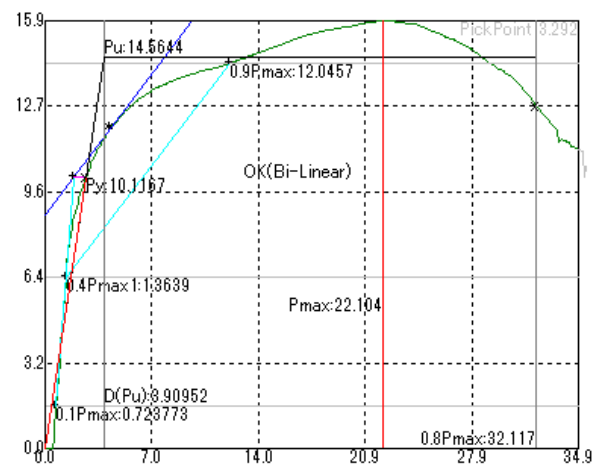


図-15-4 試験体J11-4 荷重-たわみ曲線

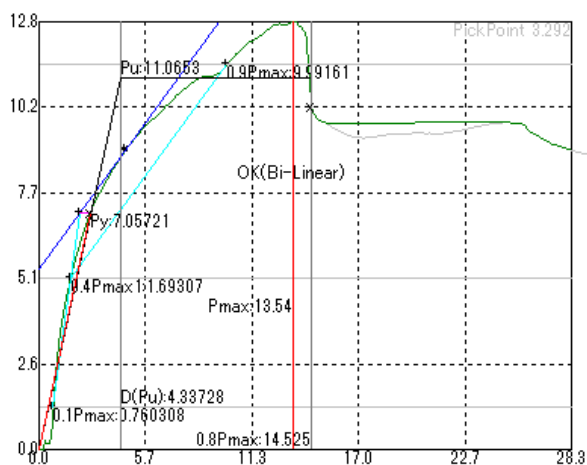


図-15-5 試験体J11-5 荷重-たわみ曲線

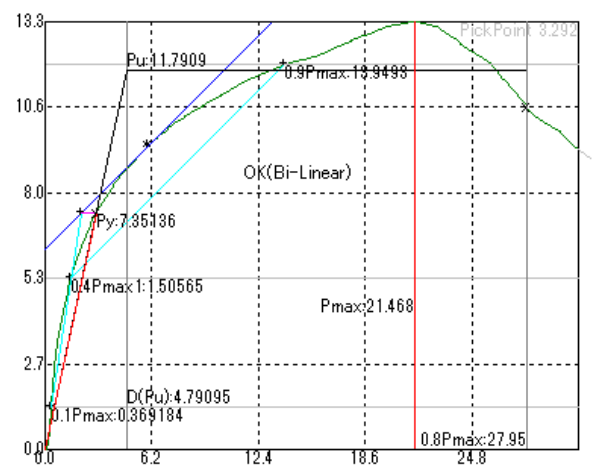


図-15-6 試験体J11-6 荷重-たわみ曲線

② 事故的水かき処理

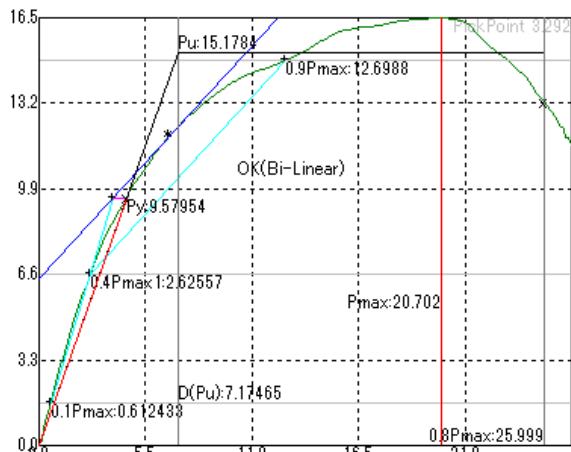


図-15-7 試験体J11-7 荷重-たわみ曲線

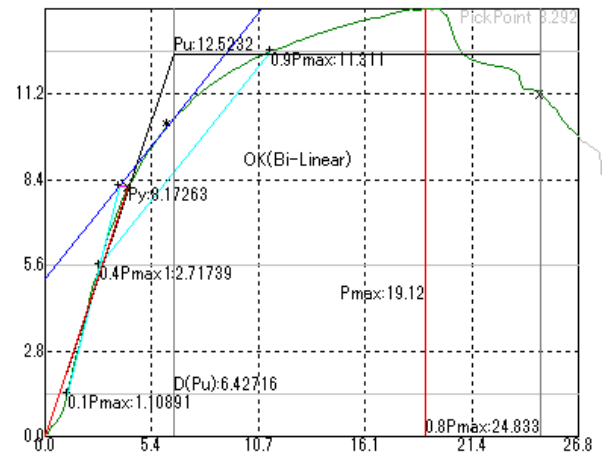


図-15-8 試験体J11-8 荷重-たわみ曲線

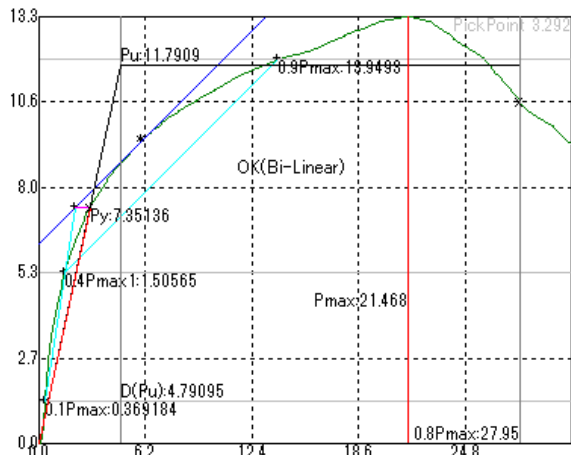


図-15-9 試験体J11-9 荷重-たわみ曲線

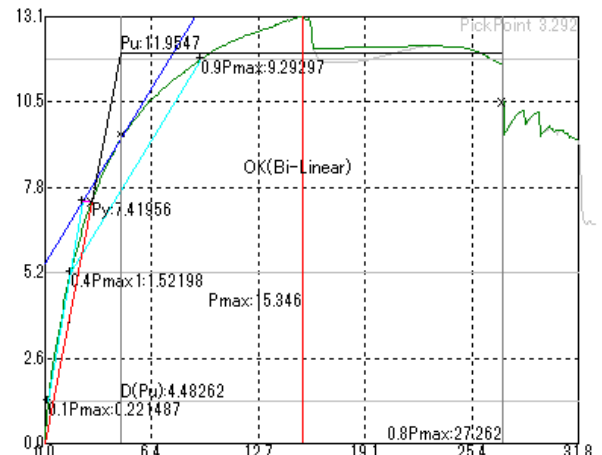


図-15-10 試験体J11-10 荷重-たわみ曲線

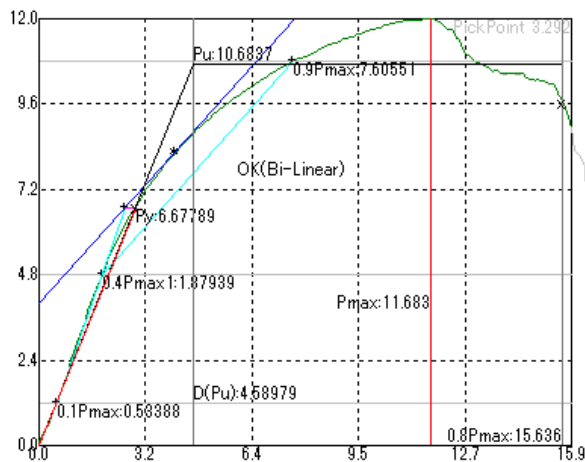


図-15-11 試験体J11-11 荷重-たわみ曲線

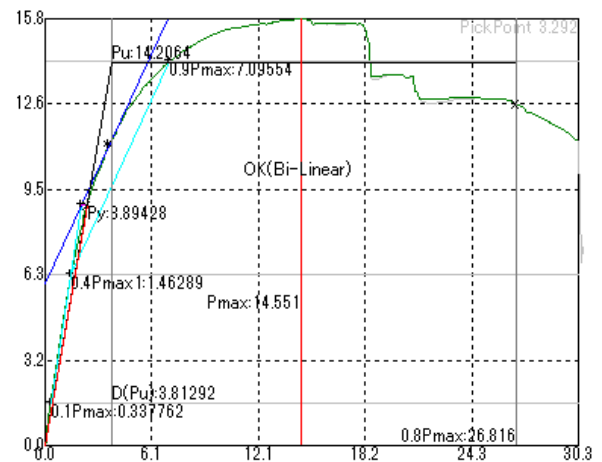


図-15-12 試験体J11-12 荷重-たわみ曲線

③ 乾湿繰り返し処理

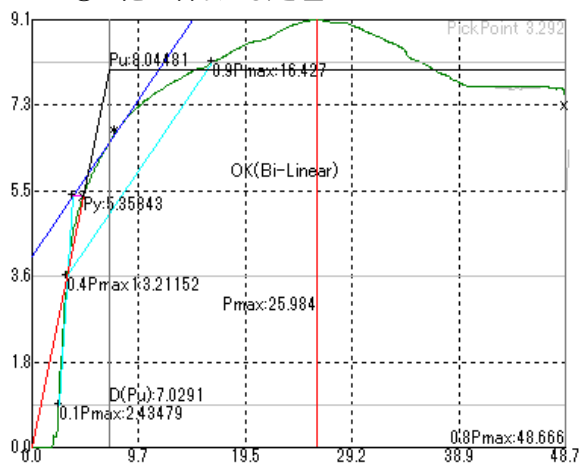


図-15-13 試験体J11-13 荷重-たわみ曲線

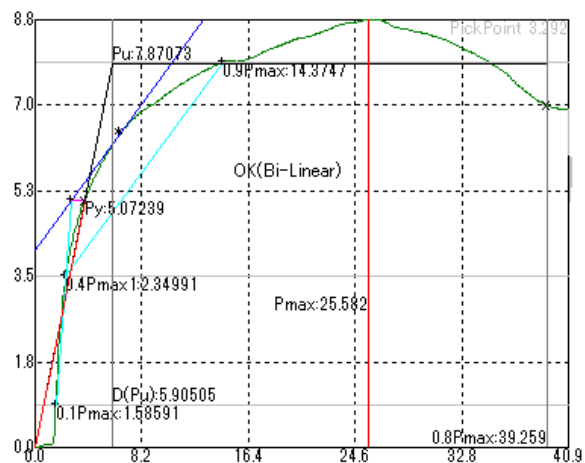


図-15-14 試験体J11-14 荷重-たわみ曲線

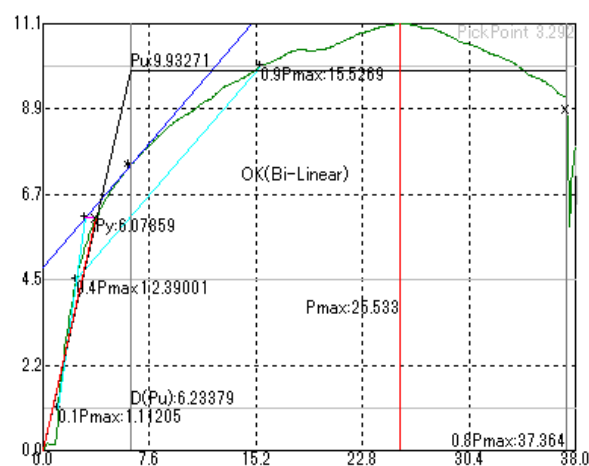


図-15-15 試験体J11-15 荷重-たわみ曲線

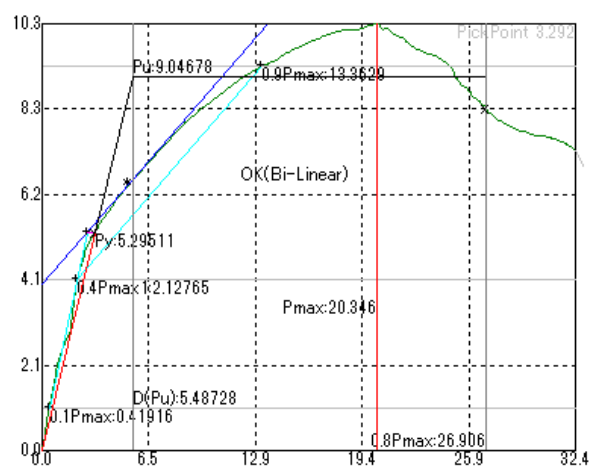


図-15-16 試験体J11-16 荷重-たわみ曲線

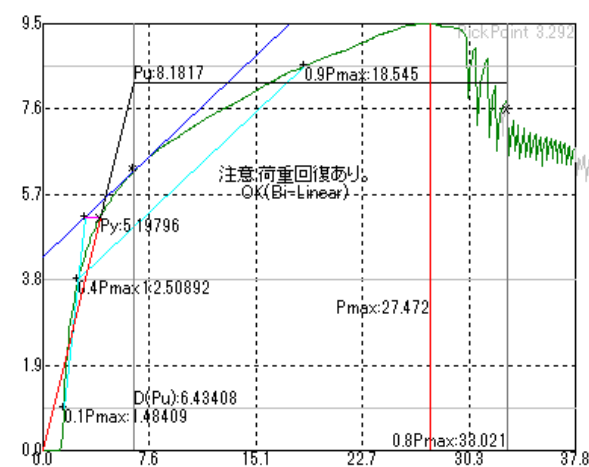


図-15-17 試験体J11-17 荷重-たわみ曲線

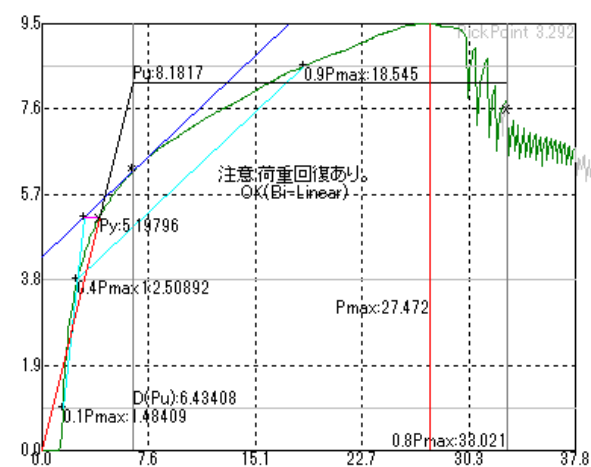


図-15-18 試験体J11-18 荷重-たわみ曲線

試験体 J12

① 恒温処理

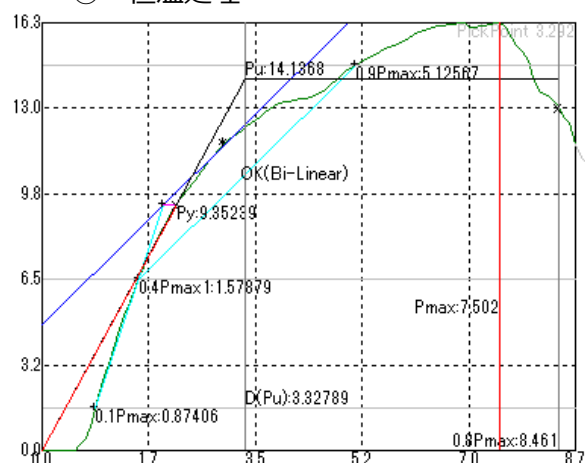


図-16-1 試験体 J12-1 荷重-たわみ曲線

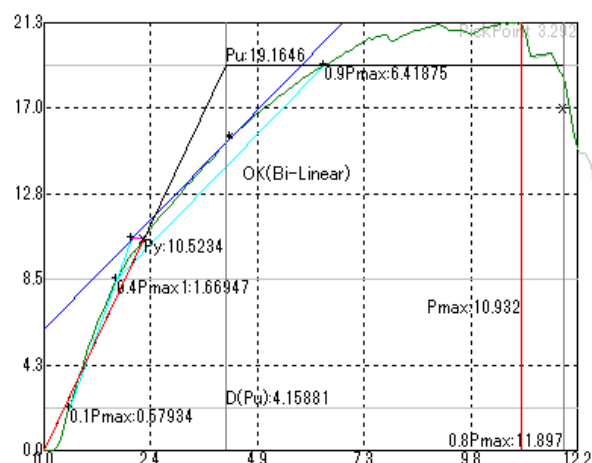


図-16-2 試験体 J12-2 荷重-たわみ曲線

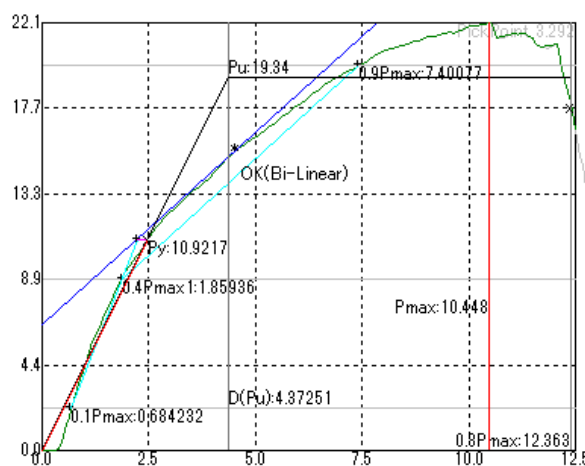


図-16-3 試験体 J12-3 荷重-たわみ曲線

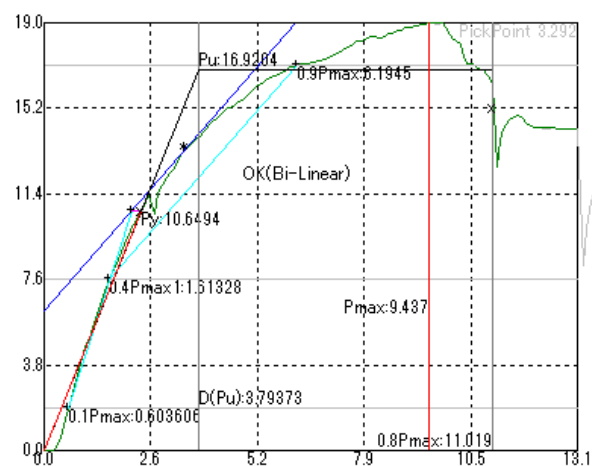


図-16-4 試験体 J12-4 荷重-たわみ曲線

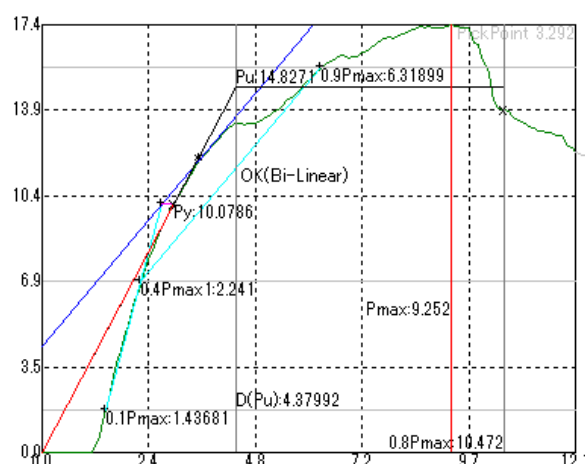


図-16-5 試験体 J12-5 荷重-たわみ曲線

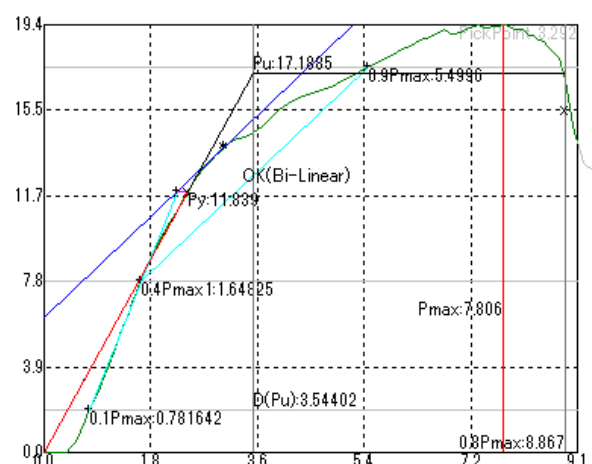


図-16-6 試験体 J12-6 荷重-たわみ曲線

② 事故の水かき処理

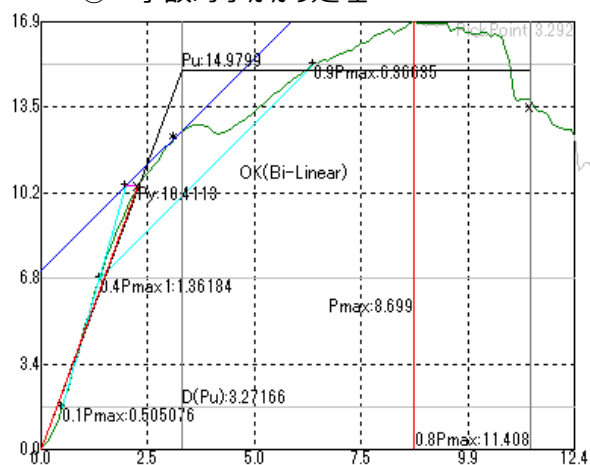


図-16-7 試験体 J12-7 荷重-たわみ曲線

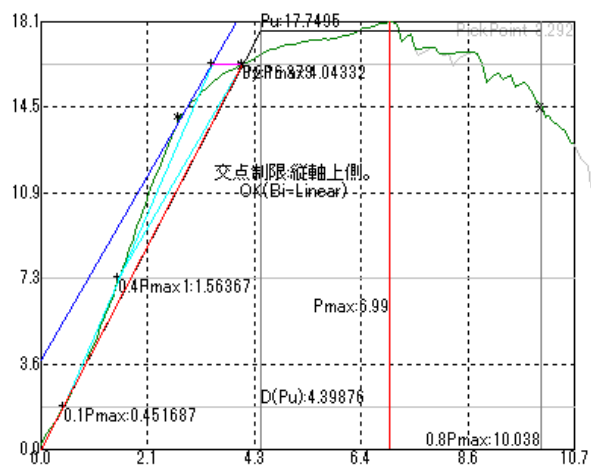


図-16-8 試験体 J12-8 荷重-たわみ曲線

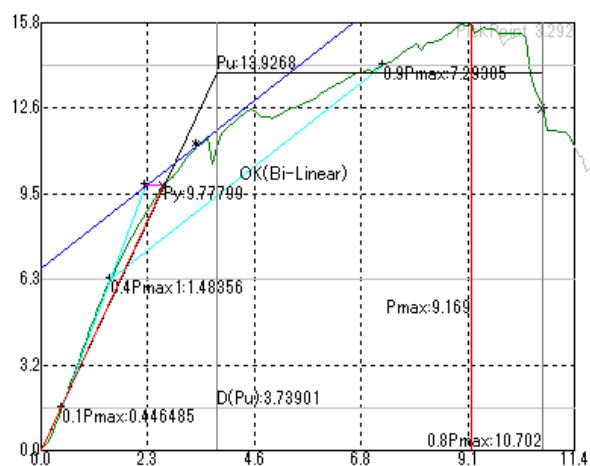


図-16-9 試験体 J12-9 荷重-たわみ曲線

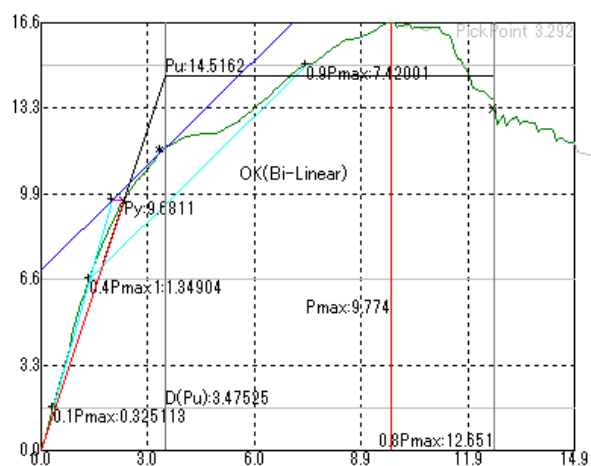


図-16-10 試験体 J12-10 荷重-たわみ曲線

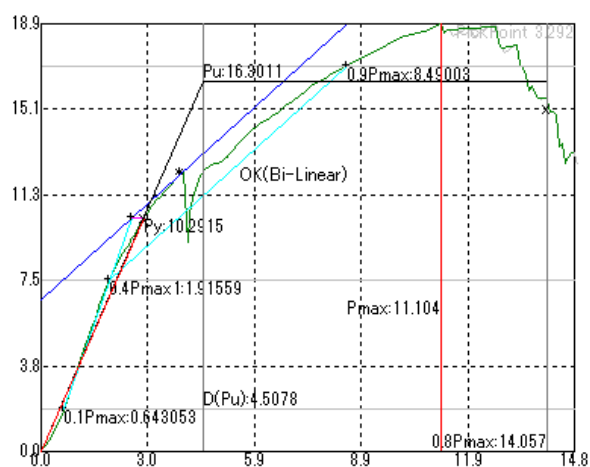


図-16-11 試験体 J12-11 荷重-たわみ曲線

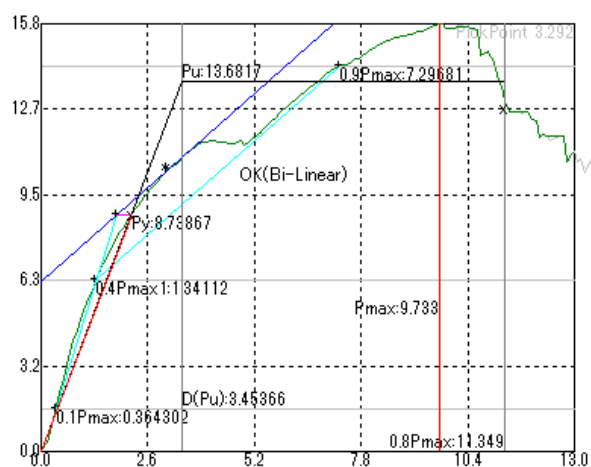


図-16-12 試験体 J12-12 荷重-たわみ曲線

③ 乾湿繰り返し処理

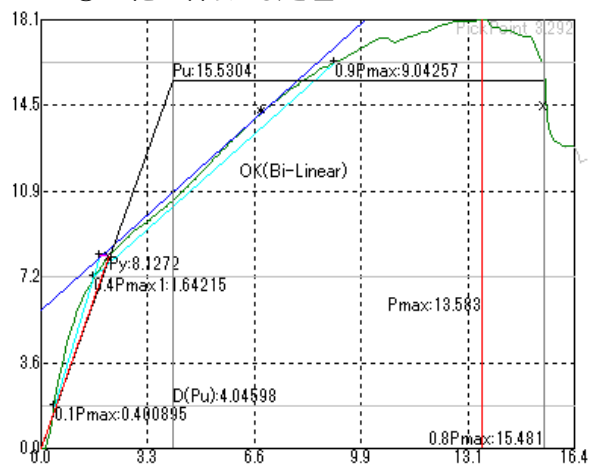


図-16-13 試験体 J12-13 荷重-たわみ曲線

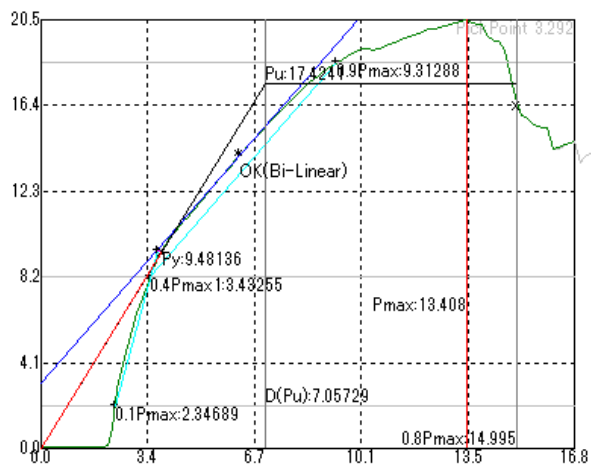


図-16-14 試験体 J12-14 荷重-たわみ曲線

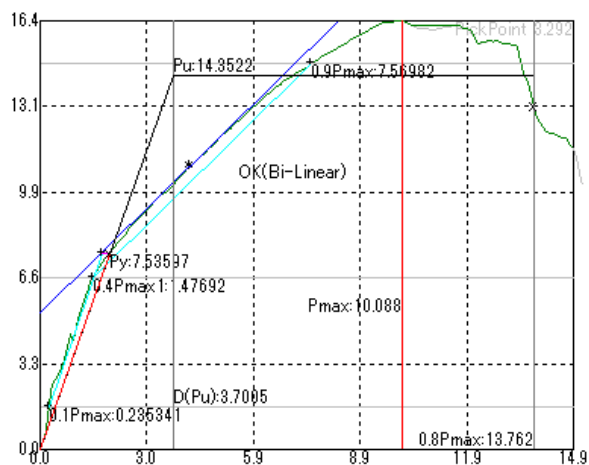


図-16-15 試験体 J12-15 荷重-たわみ曲線

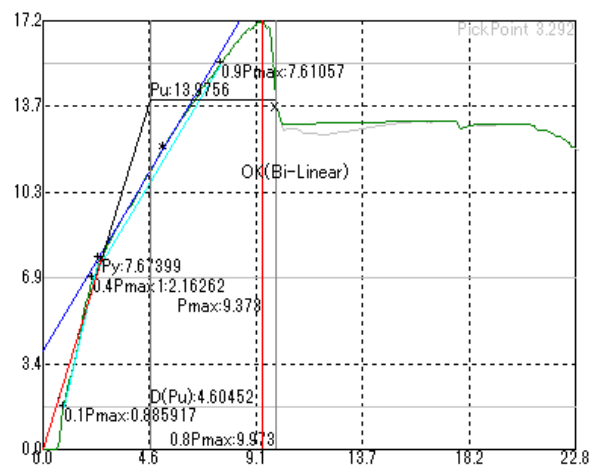


図-16-16 試験体 J12-16 荷重-たわみ曲線

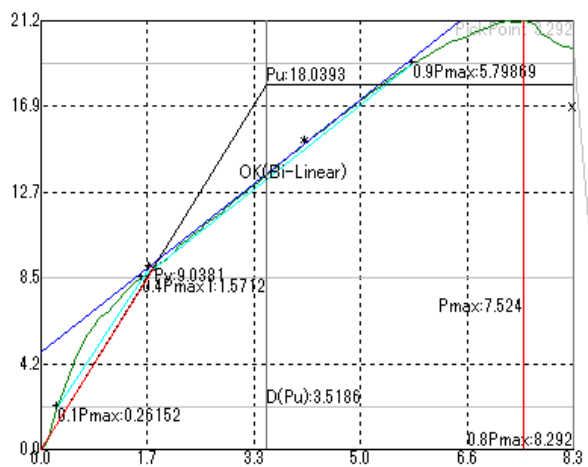


図-16-17 試験体 J12-17 荷重-たわみ曲線

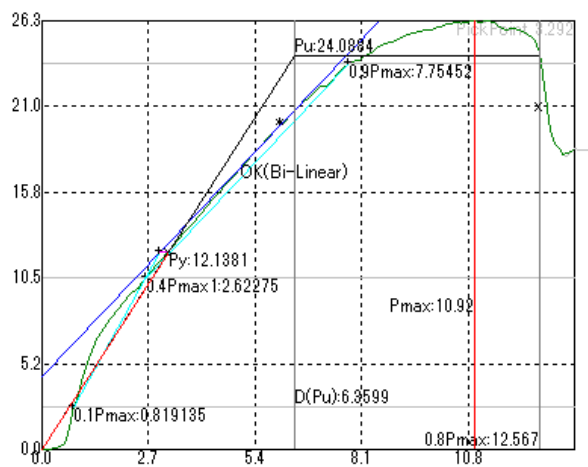


図-16-18 試験体 J12-18 荷重-たわみ曲線

表- 17 木ダボ接合のせん断試験（耐久性試験）

試験体No.	最大荷重(kN) Pmax	平均値(kN)	変位量(mm) D(Pmax)	平均値(mm)	変位量(mm) D(0.4Pmax)	平均値(mm)	環境処理
J11-1	11.756	13.697	11.706	16.939	0.568	0.811	気乾処理
J11-2	12.633		13.814		1.363		
J11-3	15.802		21.322		0.558		
J11-4	15.927		21.229		0.510		
J11-5	12.758		12.431		0.797		
J11-6	13.301		21.130		1.069		
J11-7	16.548	14.080	21.435	15.388	2.976	1.985	事故的水かかり
J11-8	14.000		19.743		2.881		
J11-9	13.077		14.982		1.454		
J11-10	13.086		10.781		1.602		
J11-11	11.957		11.077		1.608		
J11-12	15.807		14.309		1.386		
J11-13	9.120	9.637	23.680	24.075	0.748	1.125	乾湿繰り返し
J11-14	8.773		24.364		1.140		
J11-15	11.149		24.736		1.627		
J11-16	10.349		19.693		1.691		
J11-17	9.494		25.736		0.816		
J11-18	8.935		26.238		0.723		
J12-1	16.254	19.221	6.719	10.876	0.857	1.090	気乾処理
J12-2	21.263		10.876		1.564		
J12-3	22.133		9.824		1.240		
J12-4	19.000		8.941		1.033		
J12-5	17.254		8.060		0.900		
J12-6	19.420		7.083		0.943		
J12-7	16.922	17.019	8.665	9.232	1.373	1.427	事故的水かかり
J12-8	18.128		6.664		1.242		
J12-9	15.786		9.822		1.690		
J12-10	16.564		9.616		1.277		
J12-11	18.895		10.484		1.615		
J12-12	15.813		10.141		1.361		
J12-13	18.116	19.937	13.241	9.939	1.287	1.302	乾湿繰り返し
J12-14	20.504		10.942		0.999		
J12-15	16.422		9.827		1.171		
J12-16	17.152		8.463		1.291		
J12-17	21.162		7.194		1.233		
J12-18	26.261		9.967		1.826		

＜試験結果の考察＞

- 1) 試験結果より、30×105 の薄いラミナでは事故的水かかり（水中に 72 時間浸漬し、その後に浸漬前の重量まで乾燥）では耐力低下が認められなかった。一方で乾湿繰り返し処理後の接合耐力は気乾状態の 70%ほどに耐力低下が確認された。乾湿繰り返し処理での湿潤後の乾燥でラミナ幅の変動によって主材と側材との隙間が生じたためと想定される。
- 2) 一方で105角の場合では事故的水かかりで若干の耐力低下があったものの、乾湿繰り返し処理でも接合部の耐力低下がほとんど認められないことから、木ダボ接合で乾湿繰り返しを受けた積層材の幅方向の寸法変化が生じにくい使用法または幅方向の寸法変化が抑制されるように固定される使用法であれば耐力低下はほとんどないと考えられる。

表- 18 木ダボ接合の環境処理による耐力の比較

環境処理	J11			J12		
	気乾処理	事故的水かかり	乾湿繰り返し	気乾処理	事故的水かかり	乾湿繰り返し
平均値(kN/本)	3.425	3.520	2.410	4.806	4.255	4.985
気乾との強度比	1.000	1.028	0.704	1.000	0.886	1.038

<試験写真>



写真-4-1 試験前 (J12-8)



写真-4-2 試験後 (J12-8)

3. 木ダボ積層材の曲げ性能確認試験

3.1 木ダボ積層材の曲げ試験（１）

3.1.1 試験概要

- ・ 木ダボ積層材を床版に用いた場合の曲げ性能を確認するため、実大曲げ試験を行う。
- ・ 木ダボ積層板の各構成材に均等に荷重が加わる場合、それを一体断面の梁として計算できるが、端部に偏心して集中荷重が加わる場合、木ダボの一体効果がどの程度発揮されるか確認する必要がある。そのため、木ダボ間隔を@600mm、@900mmとした試験体を２種類設定し、木ダボ間隔の違いが一体効果に与える影響を検証する。偏心集中荷重は、積層材の弾性範囲内で載荷してたわみを測定し、その後二線荷重方式による曲げ破壊試験を行い、最大荷重と破壊性状を確認する。一体効果を検証するため、同じ断面寸法の同一等級構成集成材でも試験を行う。
- ・ 集中荷重の加力位置は、スパンの中央部と、中央から450mmの２パターン設定する。これはダボ真上とダボ間では、一体効果に違いが生じるか確認するためである。また積層板の幅方向については、端部と中央、その中間の３種類を設定し、計６か所にそれぞれ集中荷重を加えて、たわみを測定する。
- ・ 水平構面は合板で確保することを想定し、合板による各構成材への分散効果を検証するため、合板 t24mm 450mm×900mm を載せた上からの載荷試験も行った。

3.1.2 試験体仕様

a. 試験体仕様

断面寸法 105mm×450mm×4000mm の梁を３種類、各３体を用意。予備試験は試験体 A-2 と同仕様の試験体を用意して試験実施した。

表- 19 試験体の仕様

No.	断面寸法	木ダボ間隔	加工孔径	試験体数
A-1	105×450×4,000	@600mm	φ19.5mm	3
A-2	105×450×4,000	@900mm	φ19.5mm	3
A-3（対象材）	105×450×4,000 スギ集成材 E65F255 同一等級構成			3

使用ラミナ：予めグレーディングされたスギ KD 材 E70 以上 30×105 L4.0m を使用

木ダボ：欧州ブナ 比重 0.67 以上 直径 φ20mm

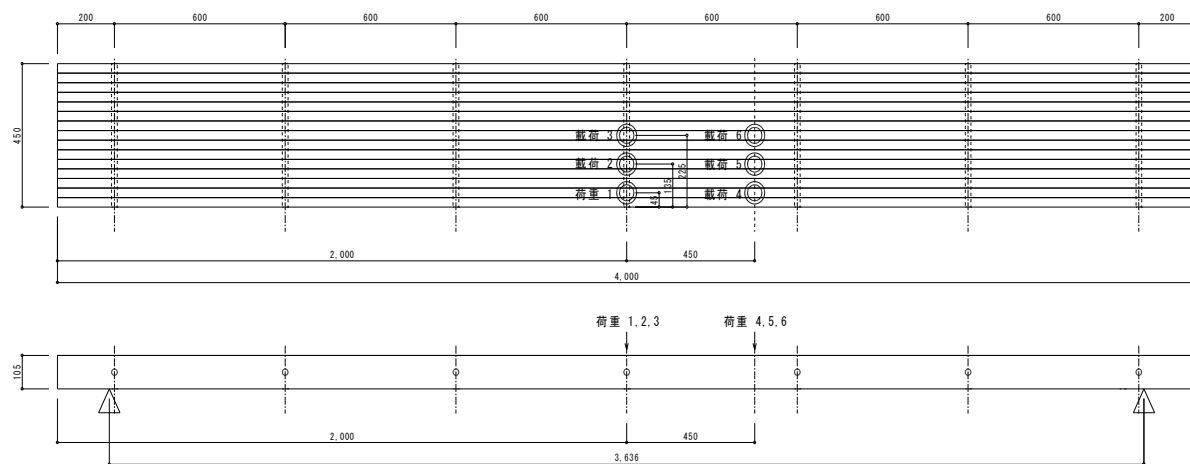


図- 17-1 A1 試験体姿図

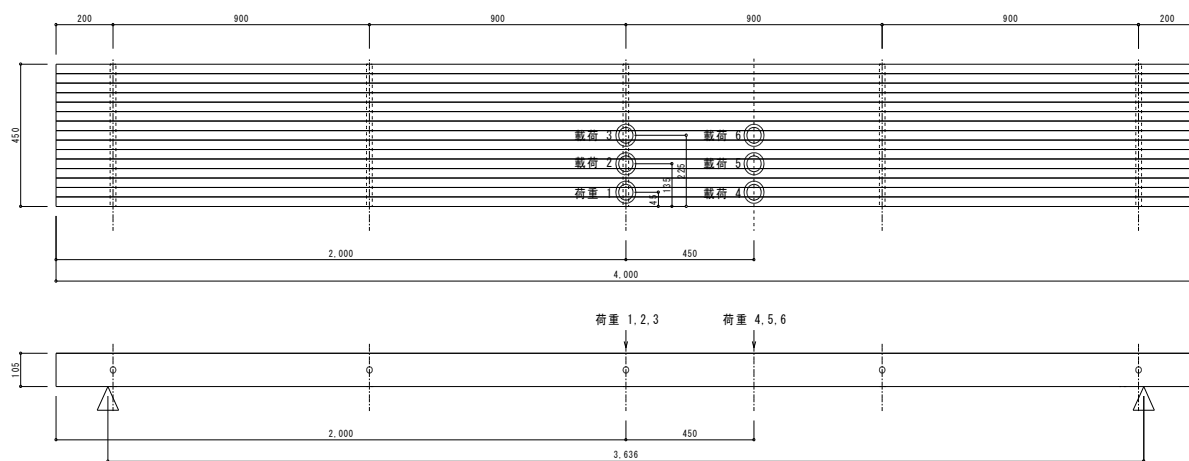


図- 17-2 A2 試験体姿図

3.1.3 試験方法

- a. 試験内容 105mm×450mm, L=4.0m 実大梁の曲げ試験
- b. 試験実施日 2019 年 7月11日
- c. 試験場所 群馬県林業試験場
実大強度試験機：SAH-100 前川試験機（株） 定格最大試験力：曲げ 500KN

d. 試験方法

1) 4KN 荷重時変位量試験：中央集中荷重（6 箇所）

支点間距離 3,636mm、載荷速度 1KN/min

簡易試験手順

- ① 曲げ試験機の枕木をピンで固定し、支点間距離を調節する。
- ② 梁の位置を試験機の X, Y 軸共に合わせ、中心を確認する。
- ③ 変位計を取り付けた後、加力位置に 90mm×90mm、H90mm の堅木を設置する。
試験体 A1-3、A2-3 では変位測定後に合板 t24mm を乗せた上から加力した変位測定を行う。
- ④ 準備が整い次第、枕木の固定ピンを抜き、加力盤を堅木の加力材に押し当て荷重載荷を開始する。
- ⑤ 載荷荷重 4kN に到達したら、加力をストップし、荷重のかかったままの状態を梁を観察する。
- ⑥ 除荷後に別の載荷点へ移行して加力を繰り返す。

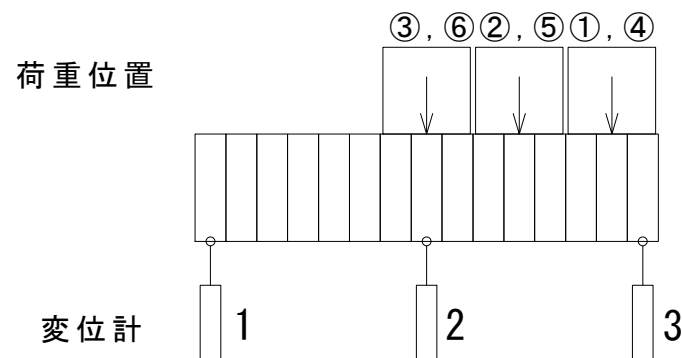


図- 18 荷重位置と変位計位置図

2) 曲げ破壊試験：3 等分点 4 点式曲げ（2 線荷重方式）

支点間 3,636mm、荷重点間 1,212mm、載荷速度 20mm/min

基本的な流れは殆ど変わらない。

荷重盤との間の堅木は使用しない。

3.1.4 試験結果

1) 4kN 荷重時変位置試験

試験体 A1-1

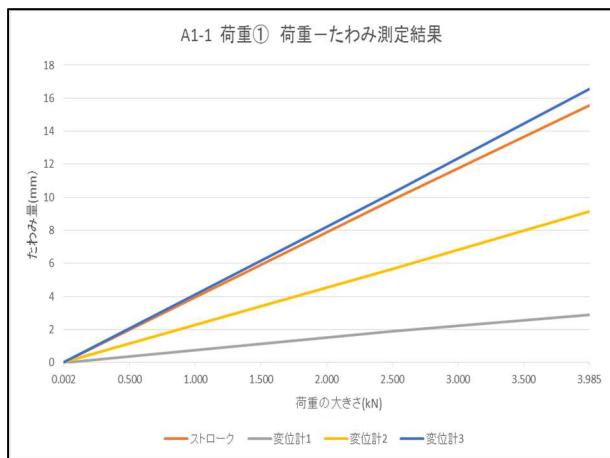


図- 19-1 試験体 A1-1 荷重① たわみ測定結果

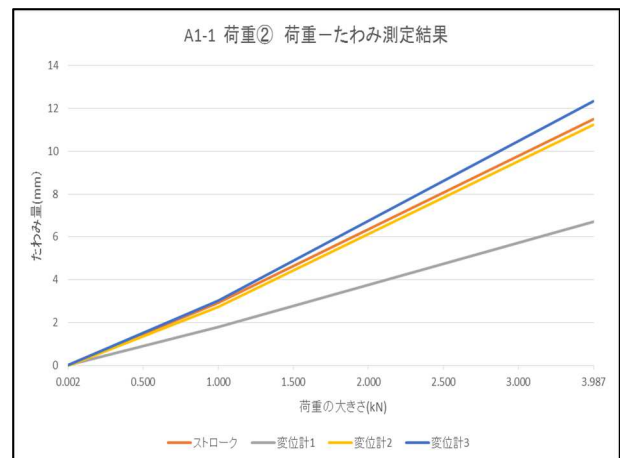


図- 19-2 試験体 A1-1 荷重② たわみ測定結果

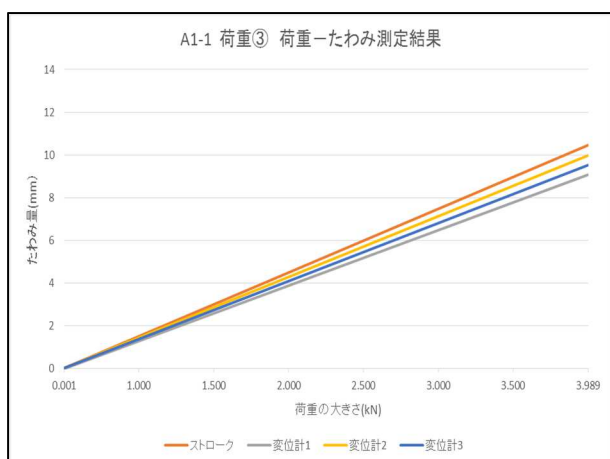


図- 19-3 試験体 A1-1 荷重③ たわみ測定結果

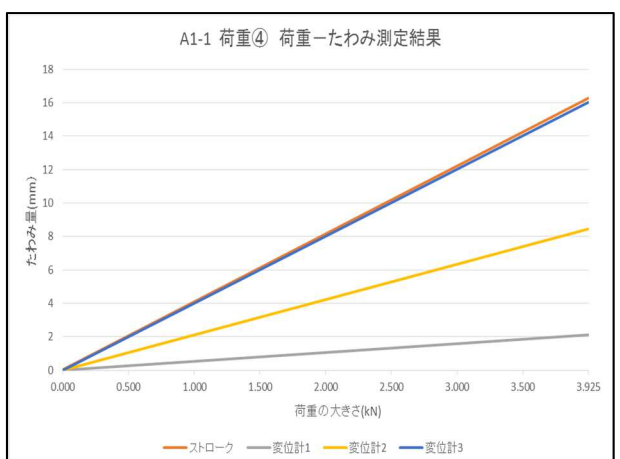


図- 19-4 試験体 A1-1 荷重④ たわみ測定結果

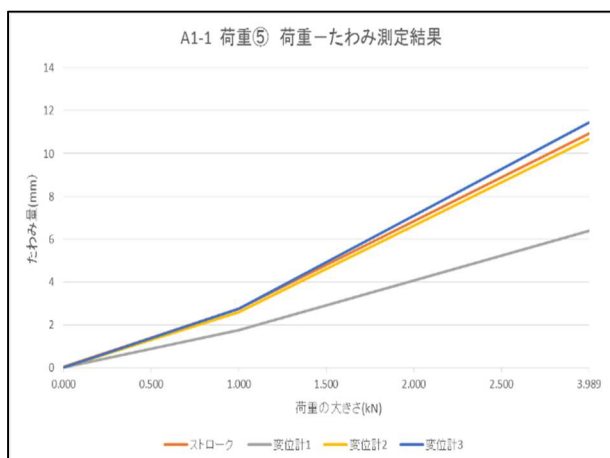


図- 19-5 試験体 A1-1 荷重⑤ たわみ測定結果

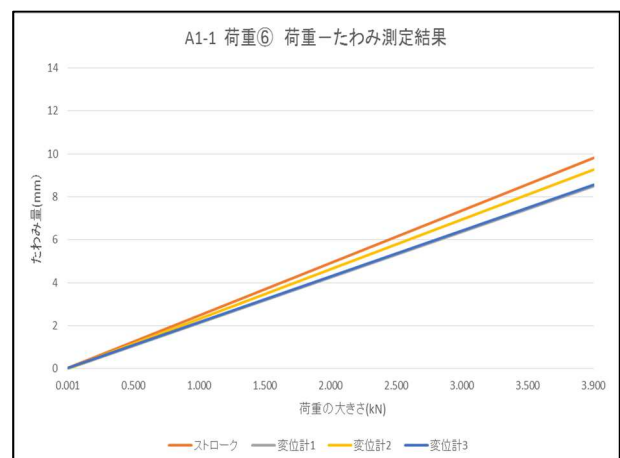


図- 19-6 試験体 A1-1 荷重⑥ たわみ測定結果

試験体 A1-2

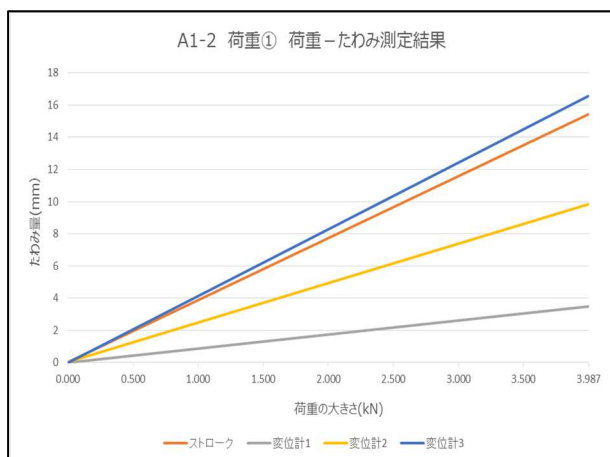


図- 20-1 試験体 A1-2 荷重① たわみ測定結果

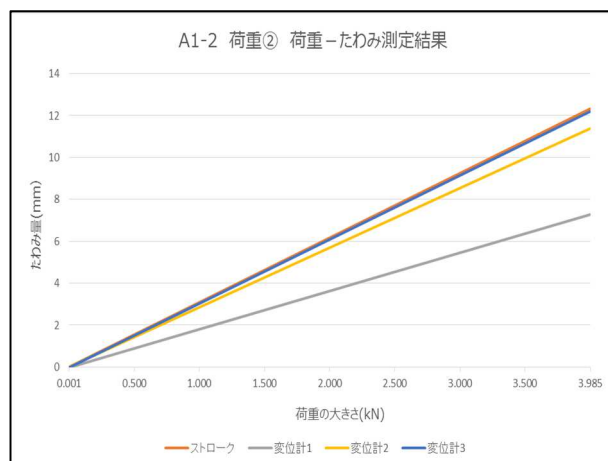


図- 20-2 試験体 A1-2 荷重② たわみ測定結果

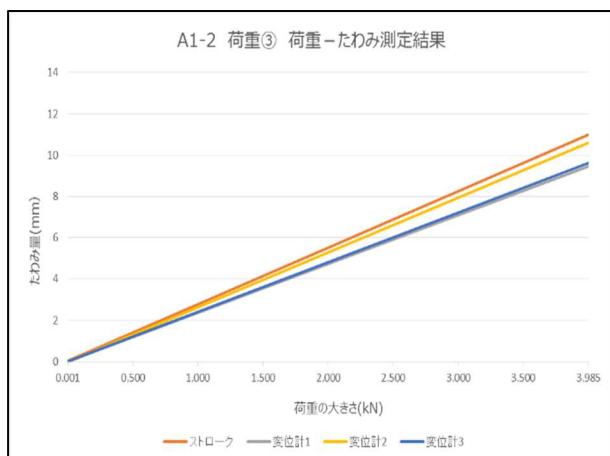


図- 20-3 試験体 A1-2 荷重③ たわみ測定結果

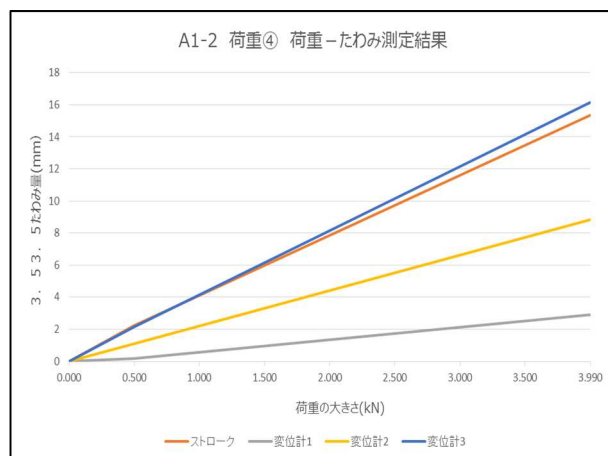


図- 20-4 試験体 A1-2 荷重④ たわみ測定結果

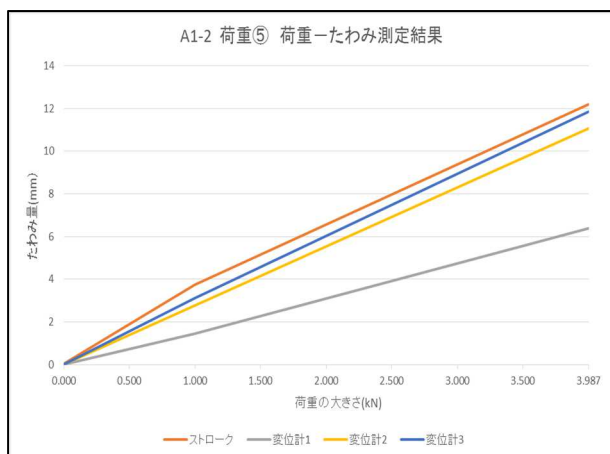


図- 20-5 試験体 A1-2 荷重⑤ たわみ測定結果

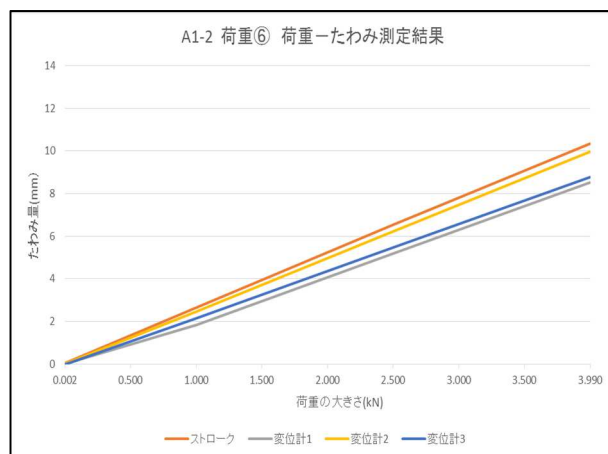


図- 20-6 試験体 A1-2 荷重⑥ たわみ測定結果

試験体 A1-3

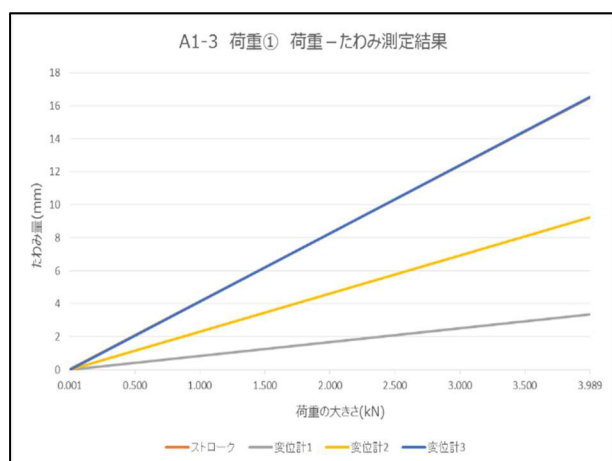


図- 21-1 試験体 A1-3 荷重① たわみ測定結果

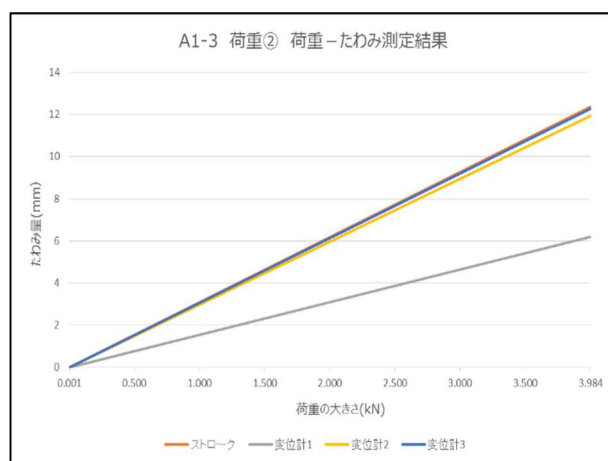


図- 21-2 試験体 A1-3 荷重② たわみ測定結果

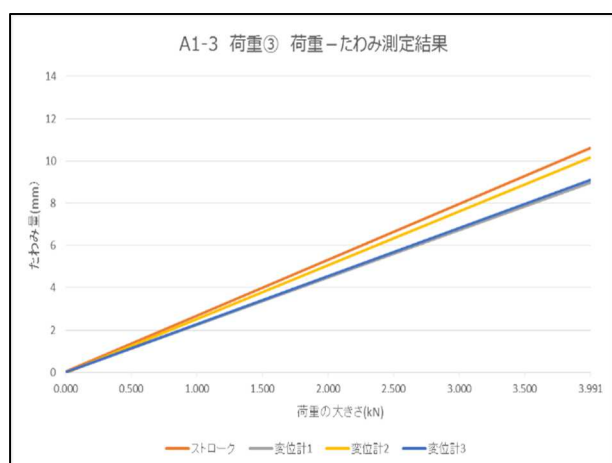


図- 21-3 試験体 A1-3 荷重③ たわみ測定結果

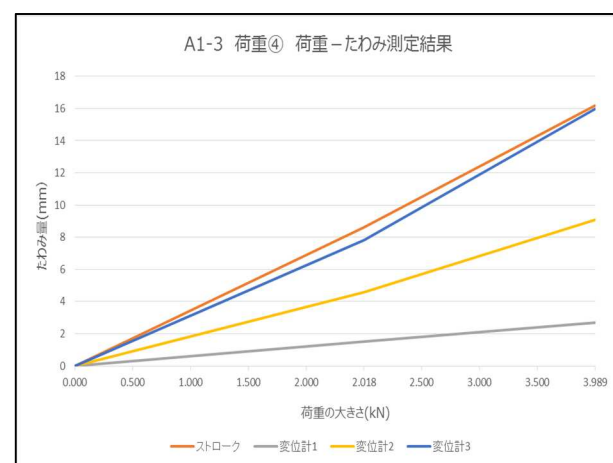


図- 21-4 試験体 A1-3 荷重④ たわみ測定結果

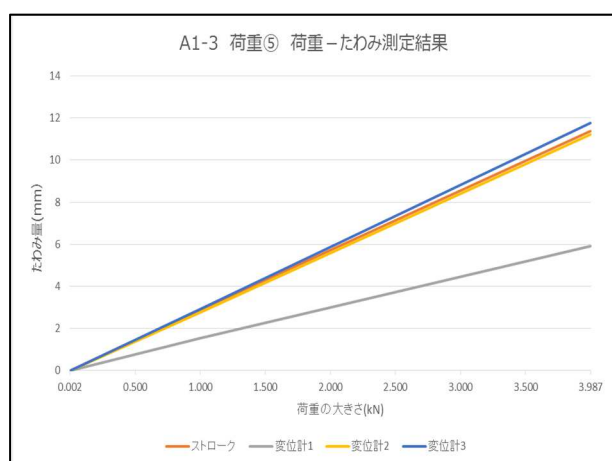


図- 21-5 試験体 A1-3 荷重⑤ たわみ測定結果

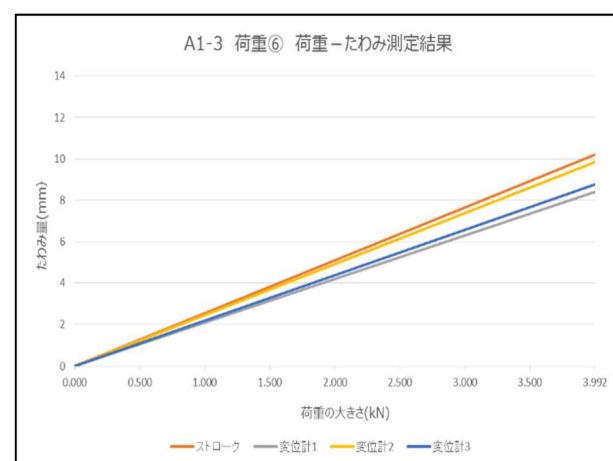


図- 21-6 試験体 A1-3 荷重⑥ たわみ測定結果

試験体 A1-3 合板敷きの上から荷重載荷

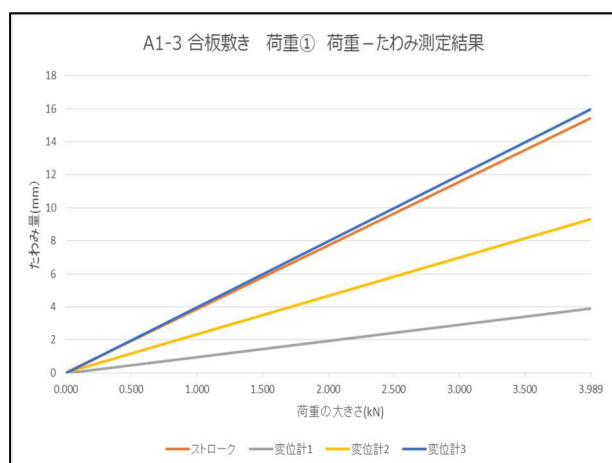


図- 22-1 試験体 A1-3 合板 荷重①たわみ測定結果

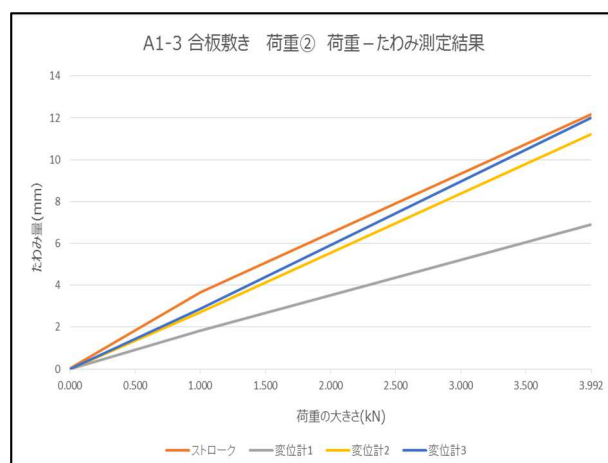


図- 22-2 試験体 A1-3 合板 荷重②たわみ測定結果

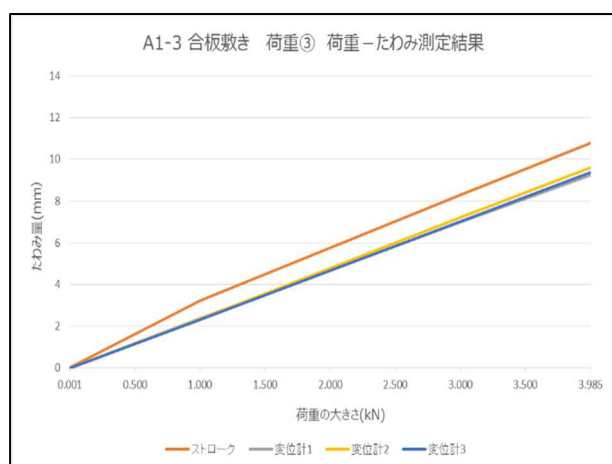


図- 22-3 試験体 A1-3 合板 荷重③たわみ測定結果

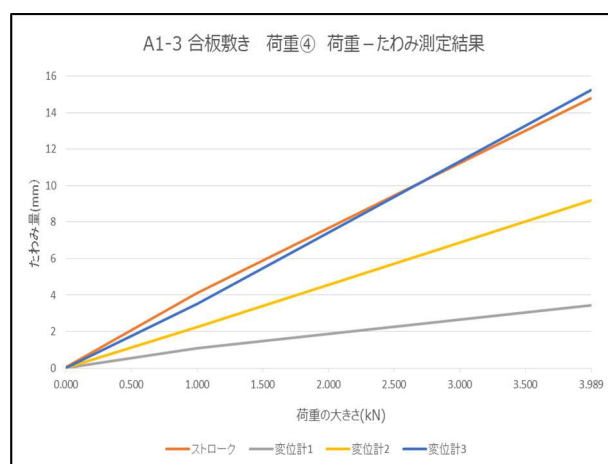


図- 22-4 試験体 A1-3 合板 荷重④たわみ測定結果

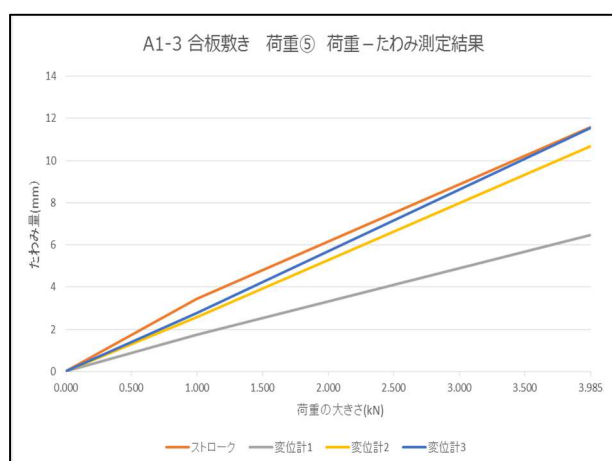


図- 22-5 試験体 A1-3 合板 荷重⑤たわみ測定結果

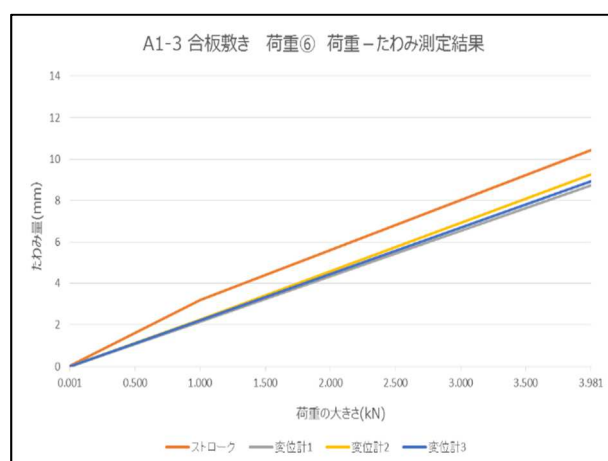


図- 22-6 試験体 A1-3 合板 荷重⑥たわみ測定結果

試験体 A2-1

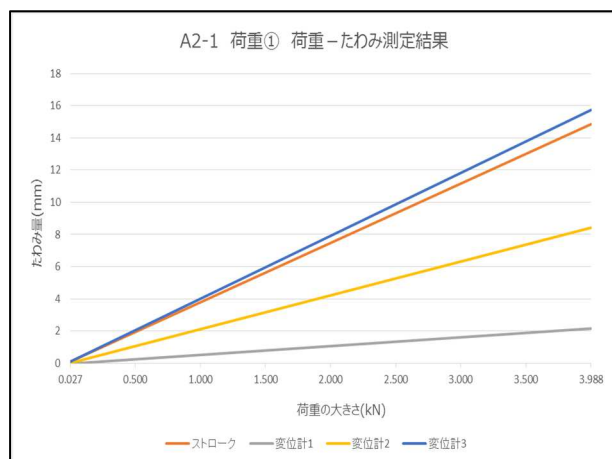


図- 23-1 試験体 A2-1 荷重① たわみ測定結果

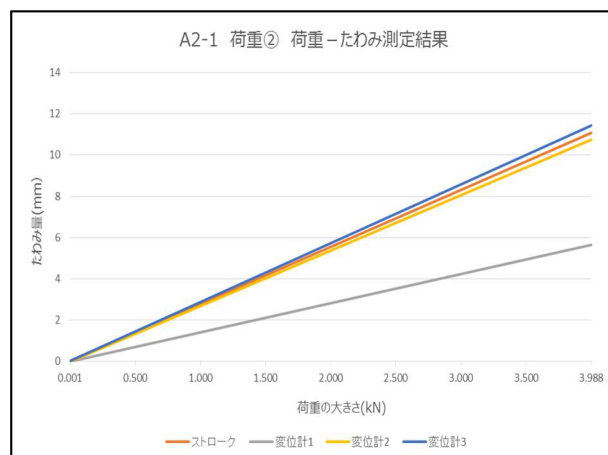


図- 23-2 試験体 A2-1 荷重② たわみ測定結果

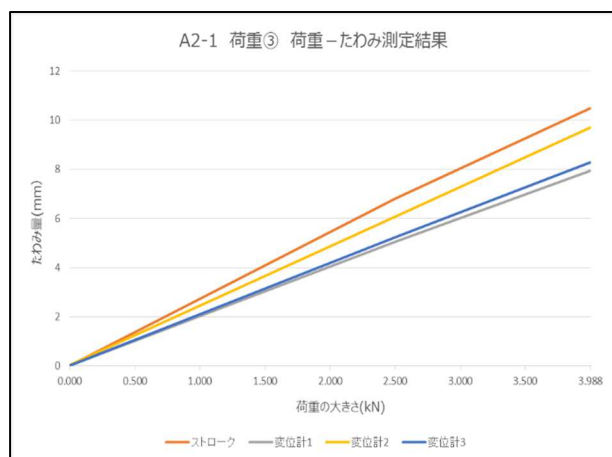


図- 23-3 試験体 A2-1 荷重③ たわみ測定結果

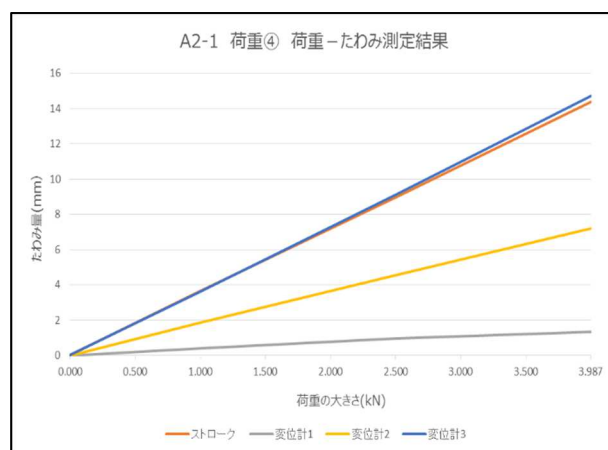


図- 23-4 試験体 A2-1 荷重④ たわみ測定結果

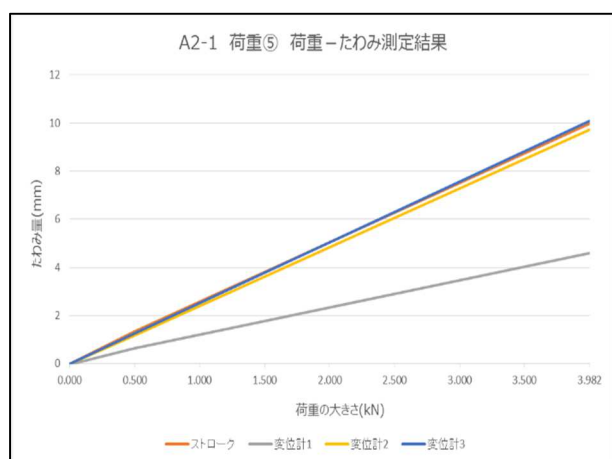


図- 23-5 試験体 A2-1 荷重⑤ たわみ測定結果

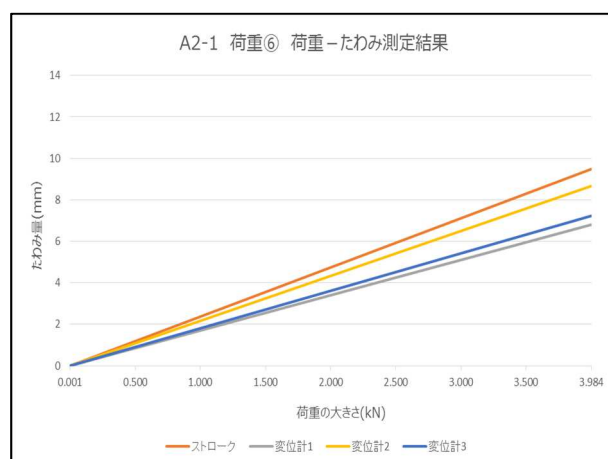


図- 23-6 試験体 A2-1 荷重⑥ たわみ測定結果

試験体 A2-2

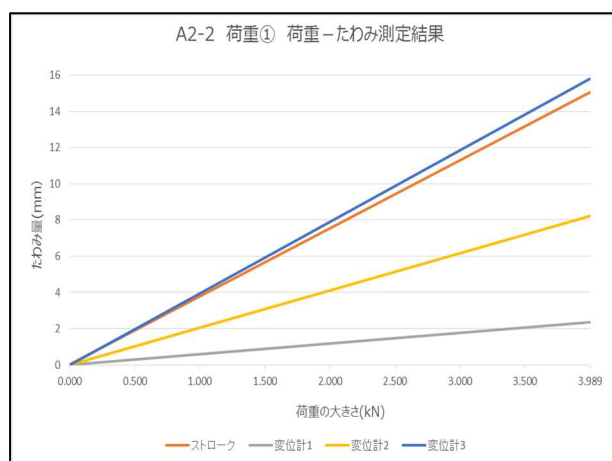


図- 24-1 試験体 A2-2 荷重① たわみ測定結果

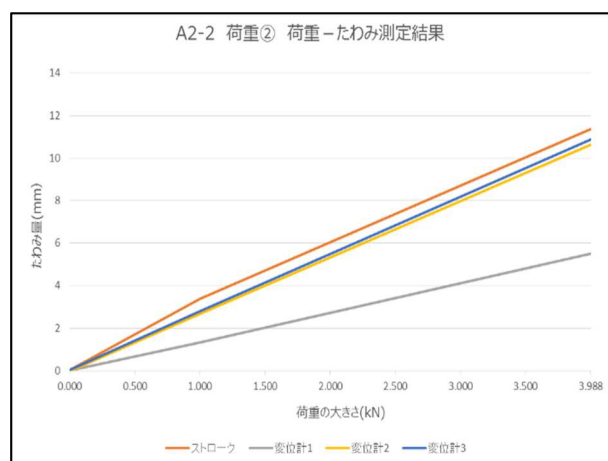


図- 24-2 試験体 A2-2 荷重② たわみ測定結果

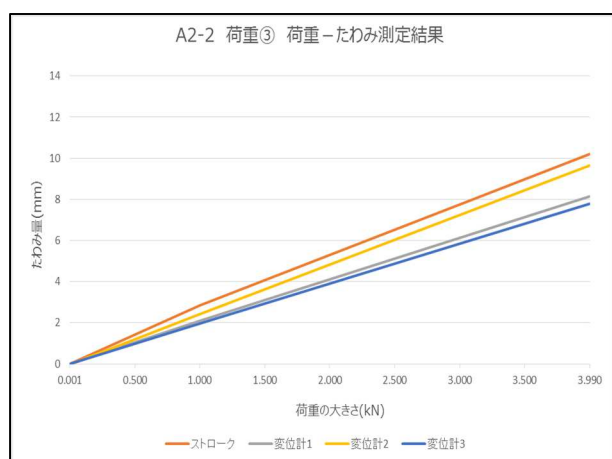


図- 24-3 試験体 A2-2 ③ たわみ測定結果

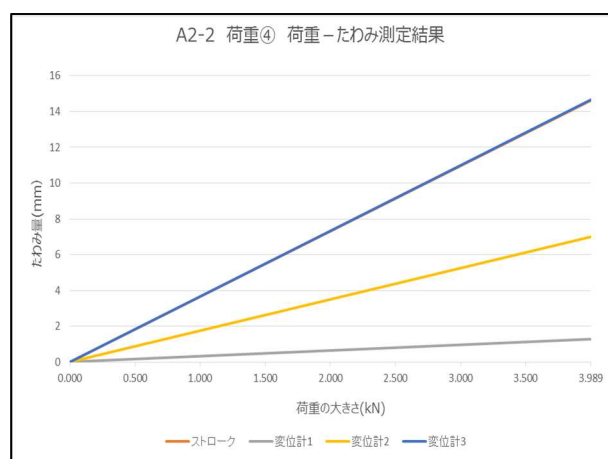


図- 24-4 試験体 A2-2 荷重④ たわみ測定結果

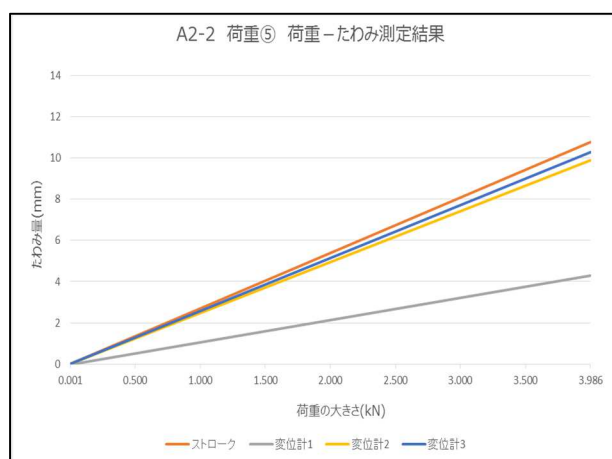


図- 24-5 試験体 A2-2 荷重⑤ たわみ測定結果

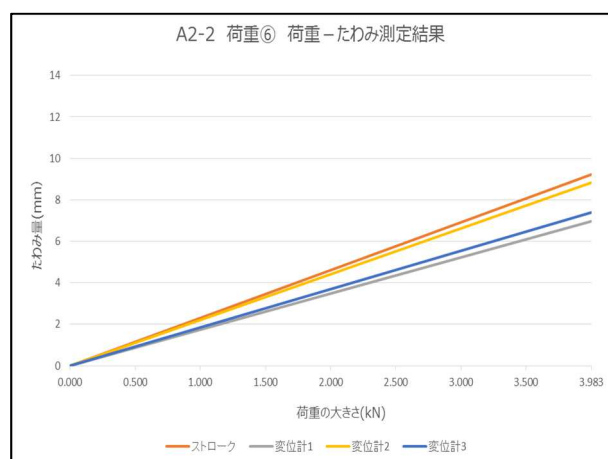


図- 24-6 試験体 A2-2 荷重⑥ たわみ測定結果

試験体 A2-3

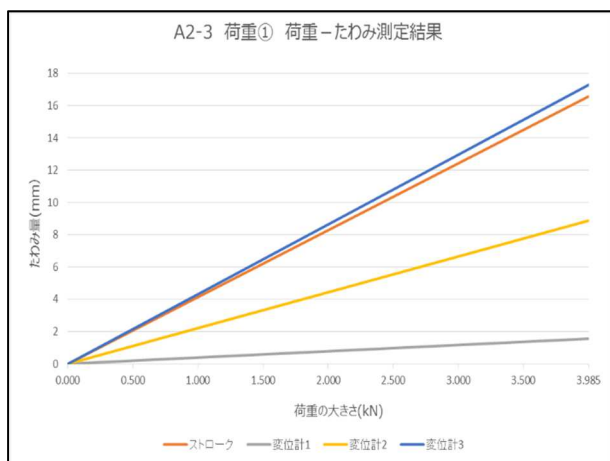


図- 25-1 試験体 A2-3 荷重① たわみ測定結果

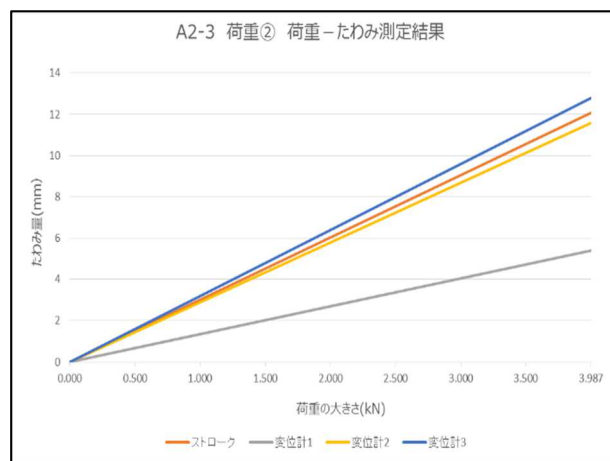


図- 25-2 試験体 A2-3 荷重② たわみ測定結果

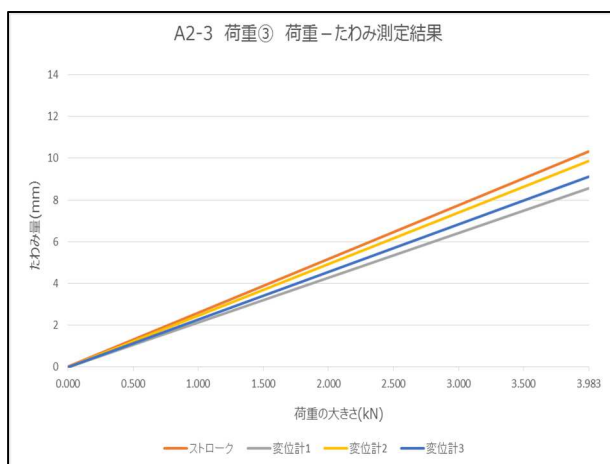


図- 25-3 試験体 A2-3 荷重③ たわみ測定結果

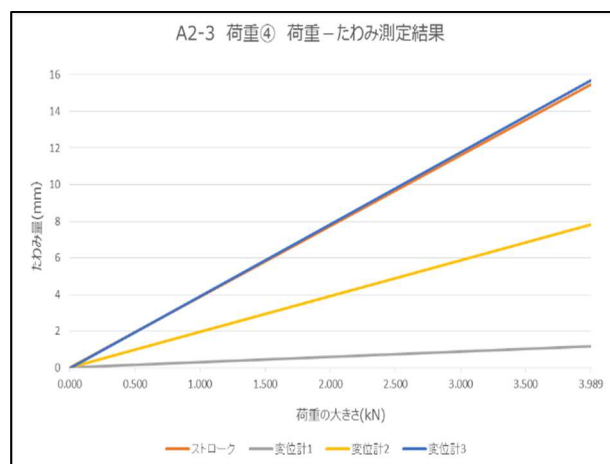


図- 25-4 試験体 A2-3 荷重④ たわみ測定結果

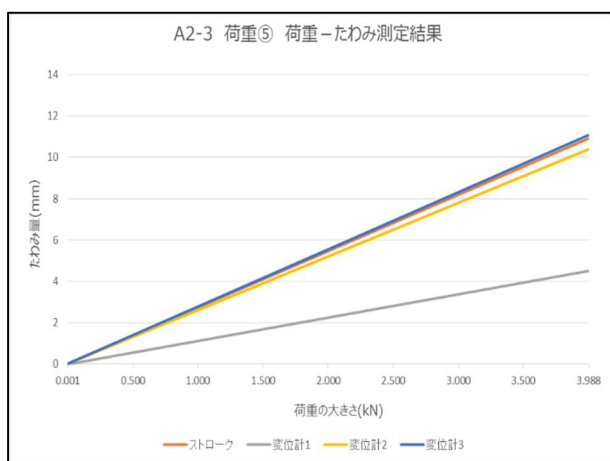


図- 25-5 試験体 A2-3 荷重⑤ たわみ測定結果

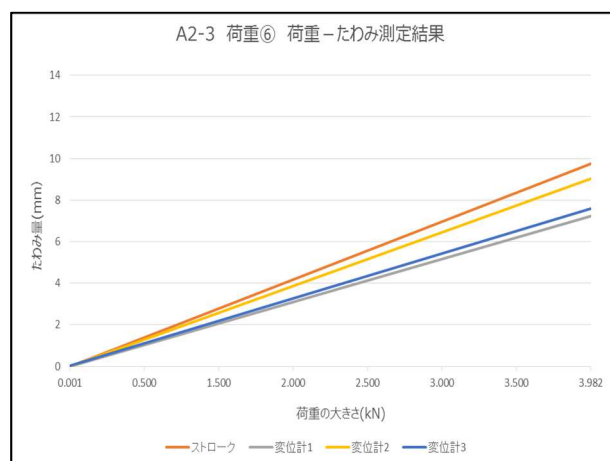


図- 25-6 試験体 A2-3 荷重⑥ たわみ測定結果

試験体 A2-3 合板敷きの上から荷重載荷

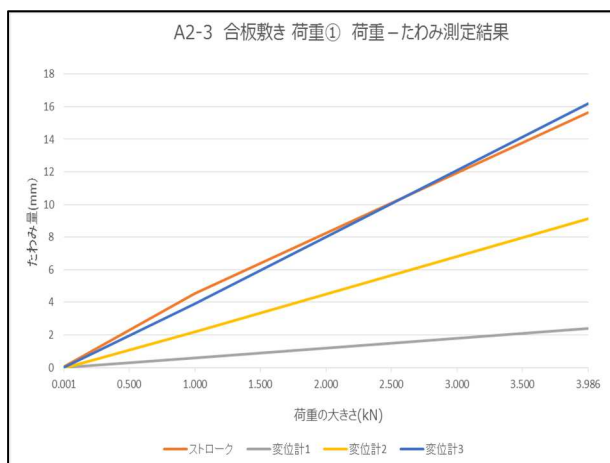


図- 26-1 試験体 A2-3 合板 荷重①たわみ測定結果

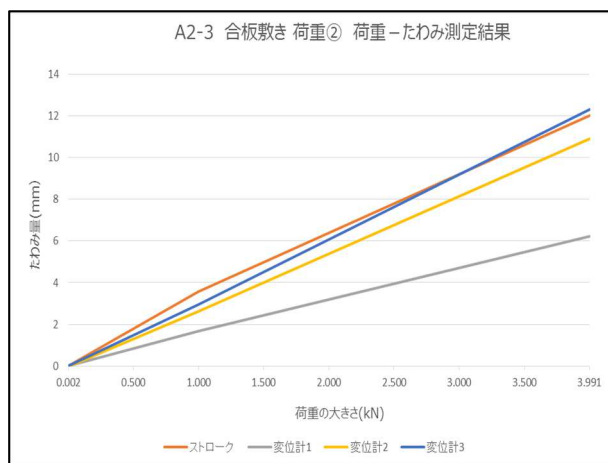


図- 26-2 試験体 A2-3 合板 荷重②たわみ測定結果

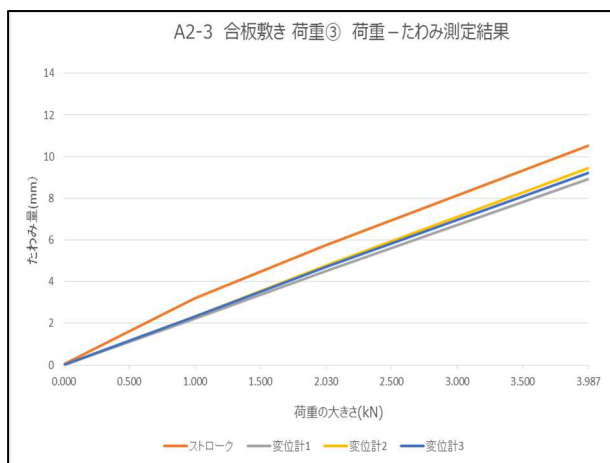


図- 26-3 試験体 A2-3 合板 荷重③たわみ測定結果

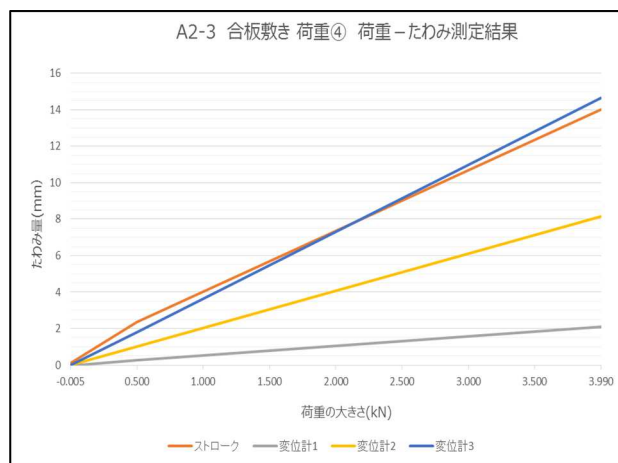


図- 26-4 試験体 A2-3 合板 荷重④たわみ測定結果

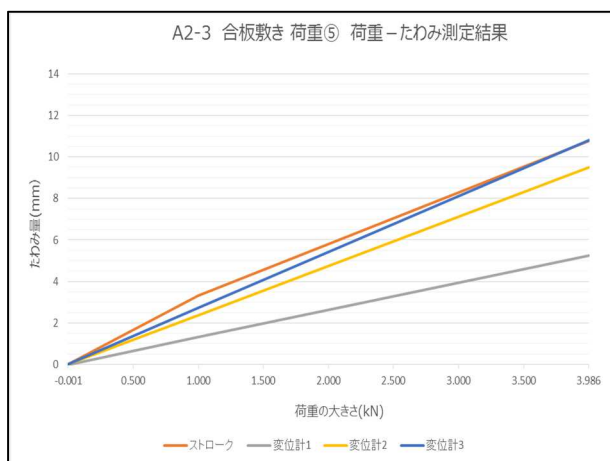


図- 26-5 試験体 A2-3 合板 荷重⑤たわみ測定結果

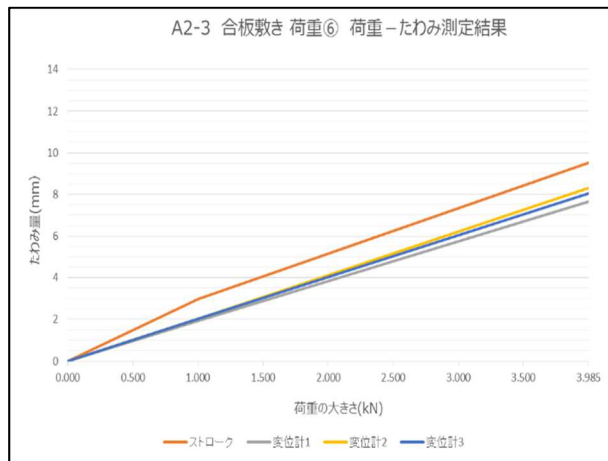


図- 26-6 試験体 A2-3 合板 荷重⑥たわみ測定結果

試験体 B1

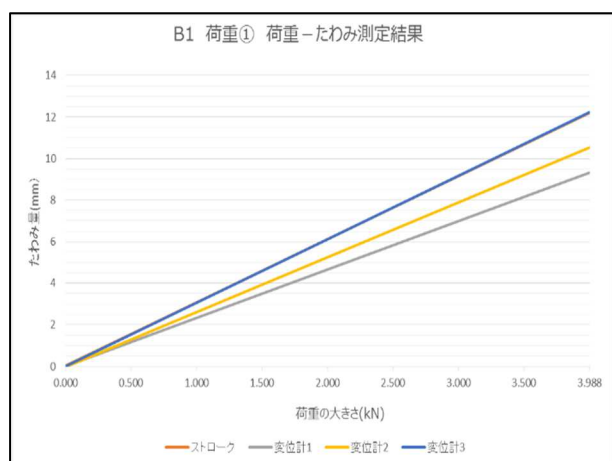


図- 27-1 試験体 B1 荷重① たわみ測定結果

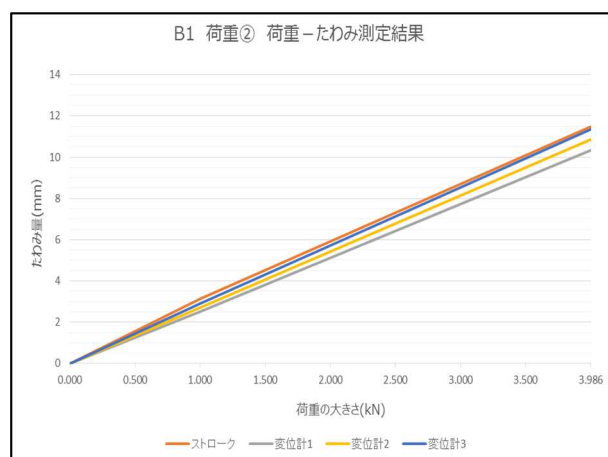


図- 27-2 試験体 B1 荷重② たわみ測定結果

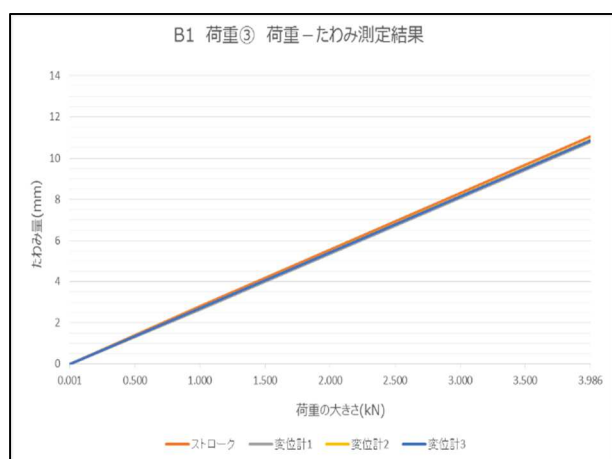


図- 27-3 試験体 B1 荷重③ たわみ測定結果

試験体 B2

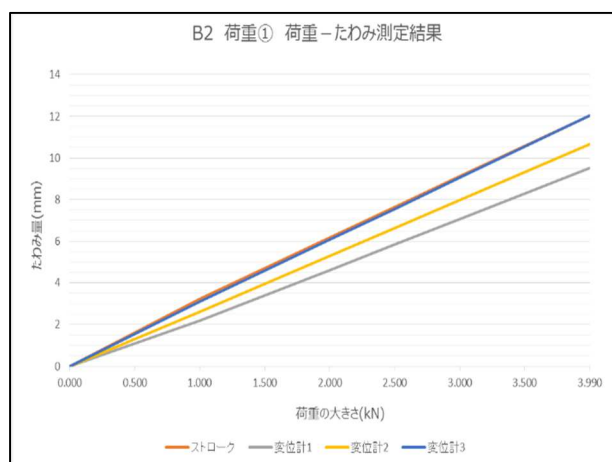


図- 28-1 試験体 B2 荷重① たわみ測定結果

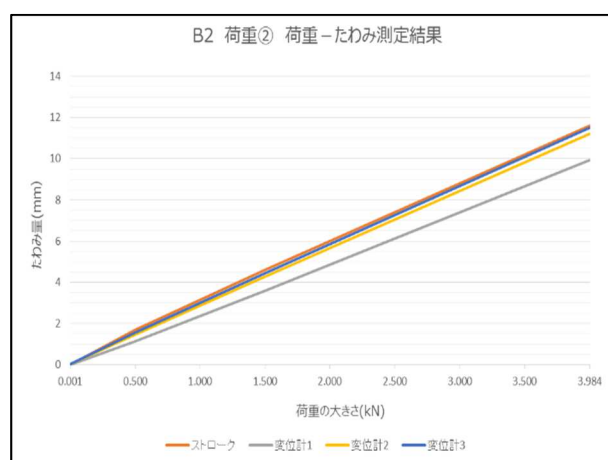


図- 28-2 試験体 B2 荷重② たわみ測定結果②

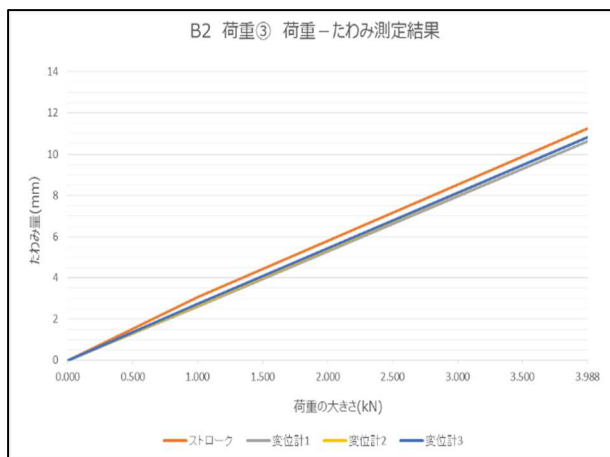


図- 28-3 試験体 B2 荷重③ たわみ測定結果

試験体 B3

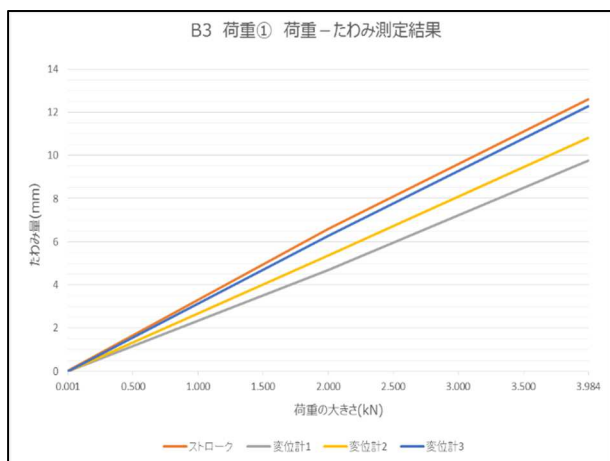


図- 29-1 試験体 B3 荷重① たわみ測定結果

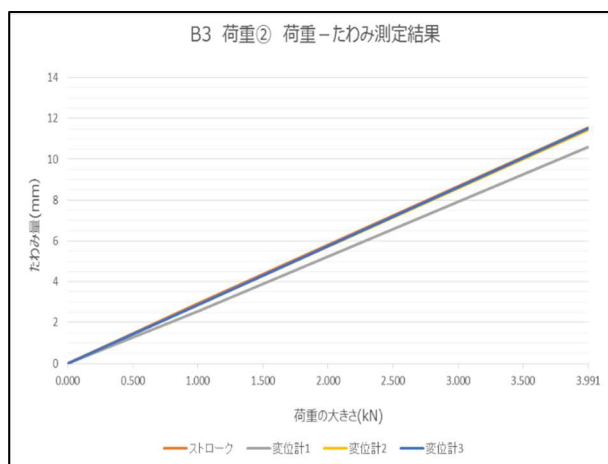


図- 29-2 試験体 B3 荷重② たわみ測定結果

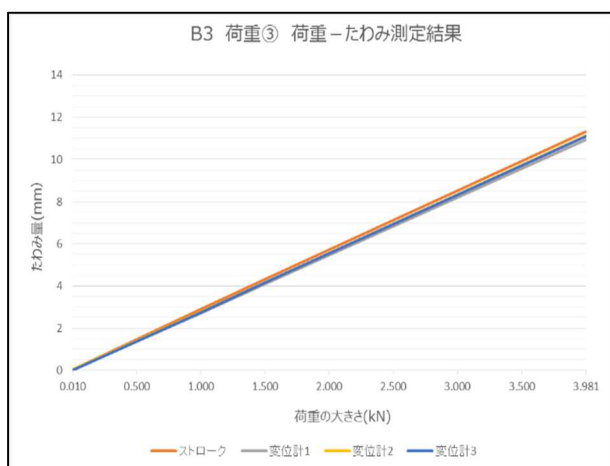


図- 29-3 試験体 B3 荷重③ たわみ測定結果

荷重位置による各試験体のたわみの比較

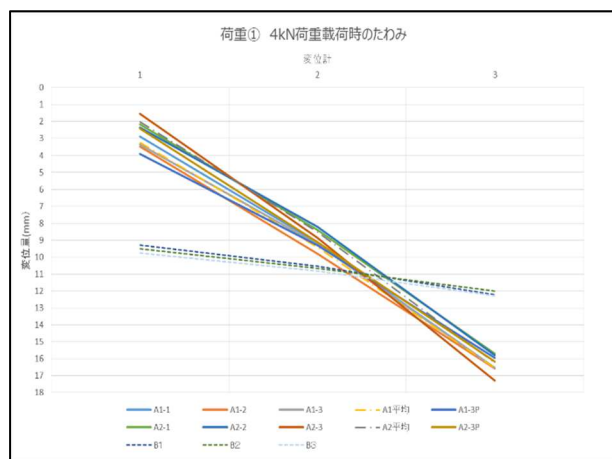


図- 30-1 荷重①のたわみの比較

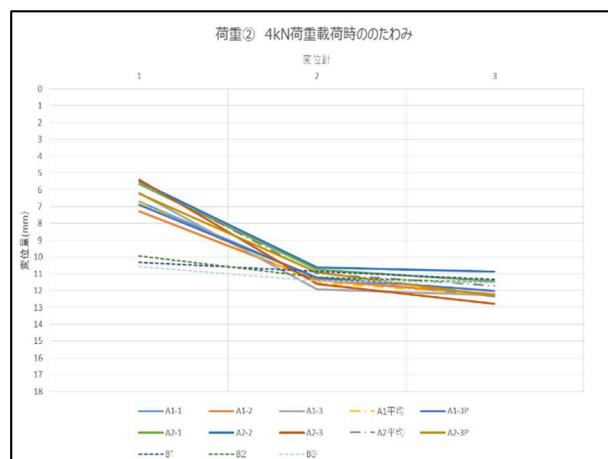


図- 30-2 荷重②のたわみの比較

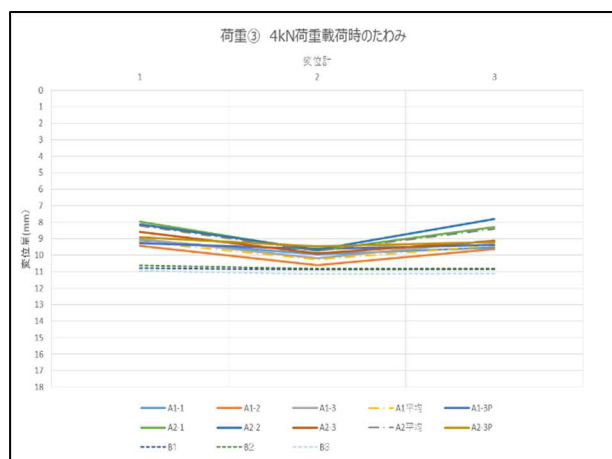


図- 30-3 荷重③のたわみの比較

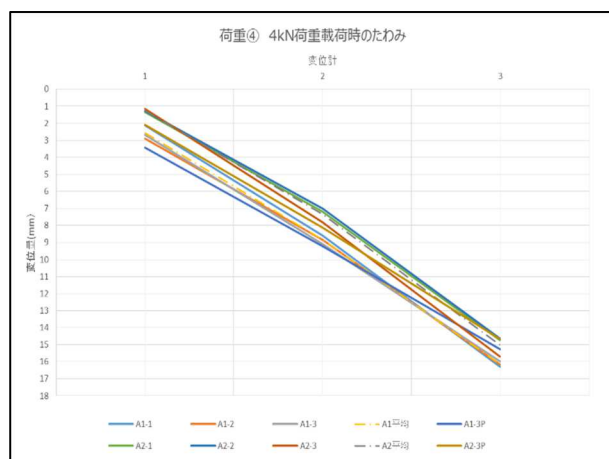


図- 30-4 荷重④のたわみの比較

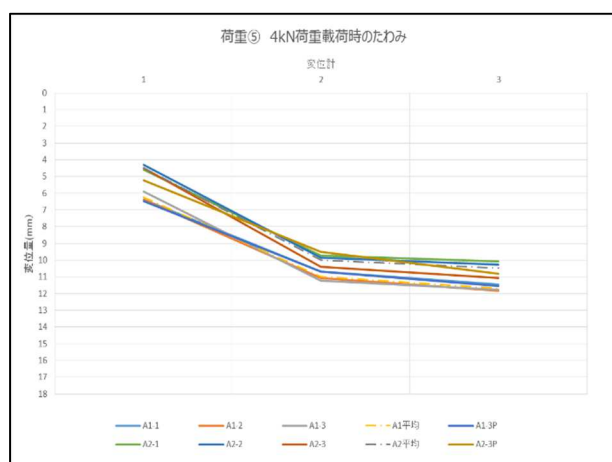


図- 30-5 荷重⑤のたわみの比較

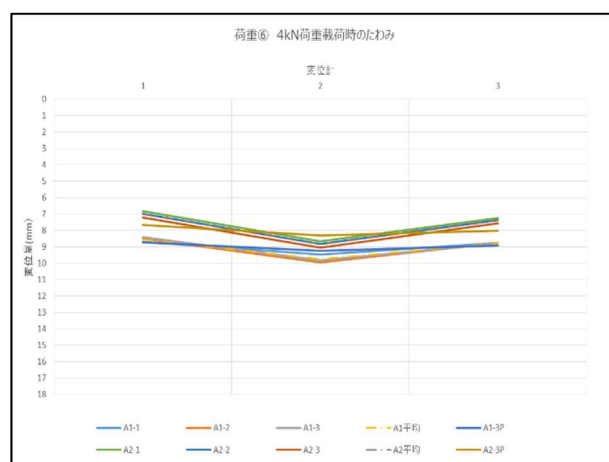


図- 30-6 荷重⑥のたわみの比較

2) 試験 2 曲げ破壊試験

各試験体の曲げ破壊試験の結果を以下に示す。

試験体 A1、A2

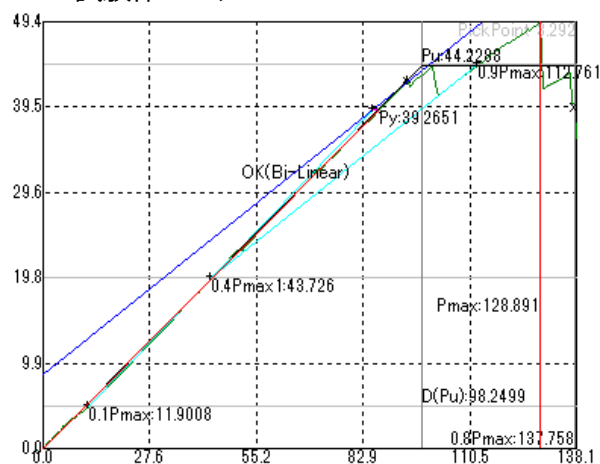


図- 31-1 試験体 A1-1 荷重-たわみ曲線

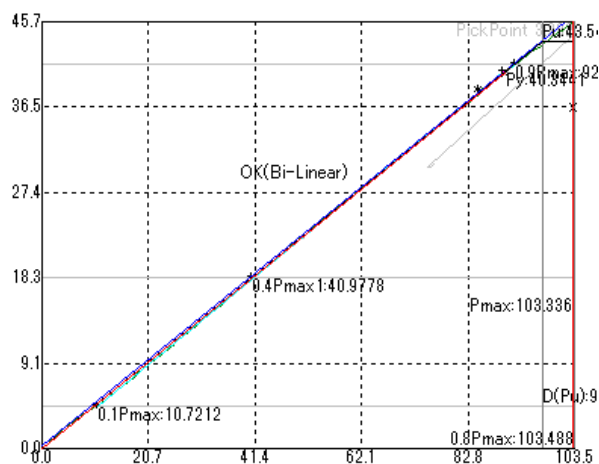


図- 31-2 試験体 A1-2 荷重-たわみ曲線

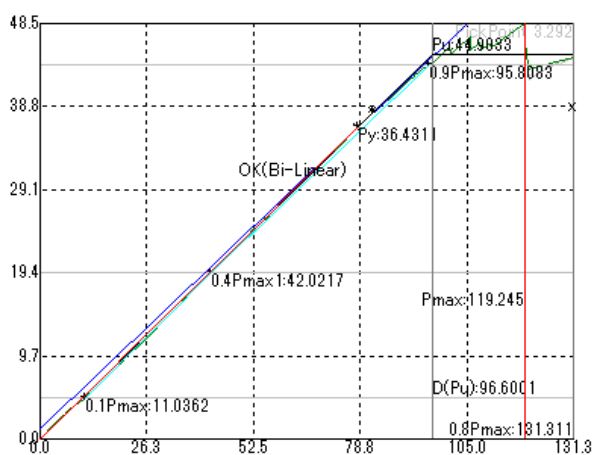


図- 31-3 試験体 A1-3 荷重-たわみ曲線

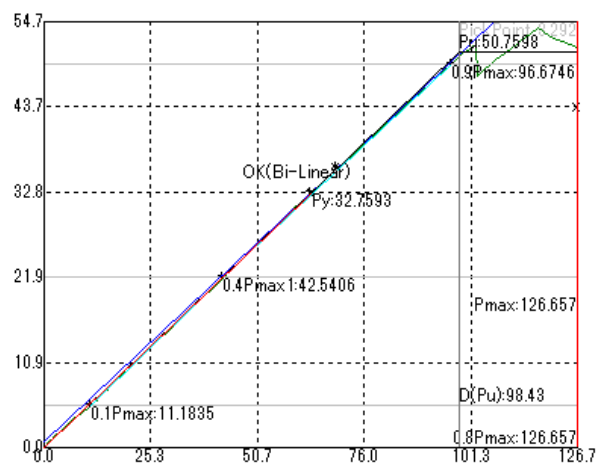


図- 31-4 試験体 A2-1 荷重-たわみ曲線

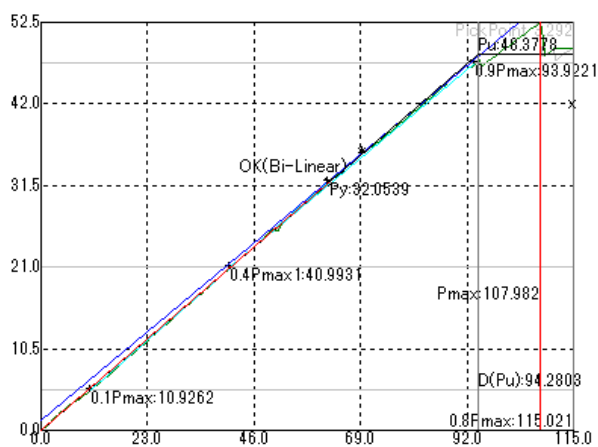


図- 31-5 試験体 A2-2 荷重-たわみ曲線

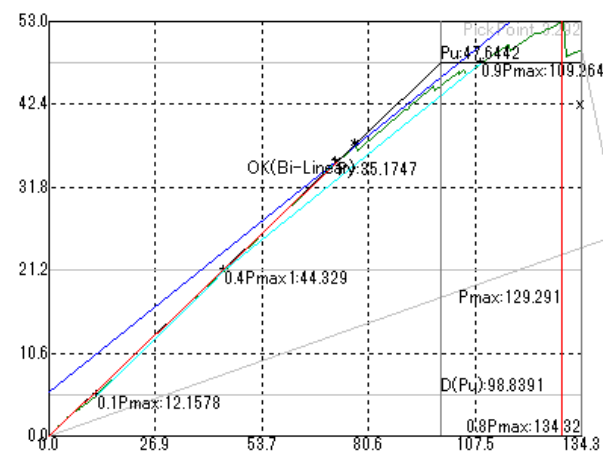


図- 31-6 試験体 A2-3 荷重-たわみ曲線

試験体 B1、B2、B3

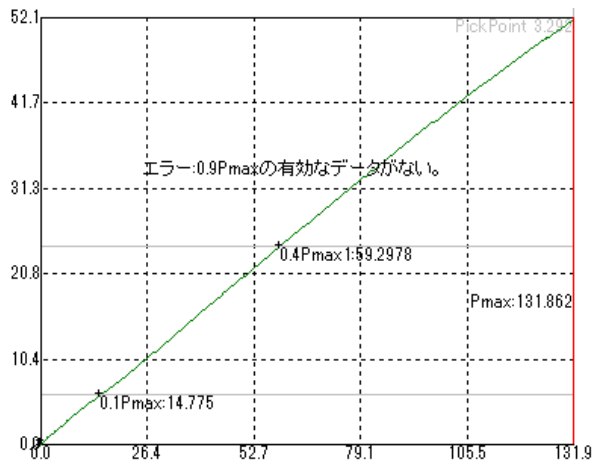


図- 32-1 試験体 B1 曲げ破壊 荷重-たわみ曲線

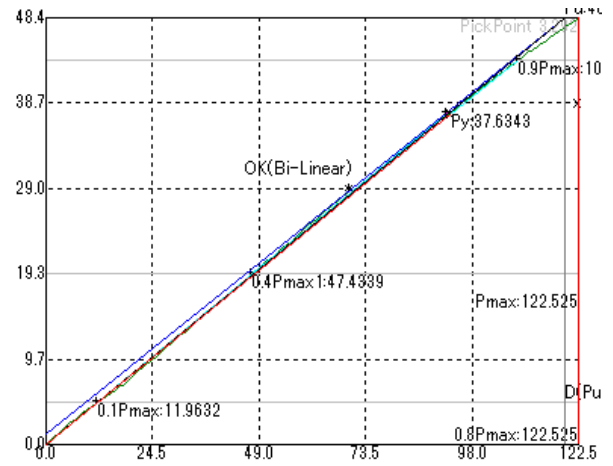


図- 32-2 試験体 B2 曲げ破壊 荷重-たわみ曲線

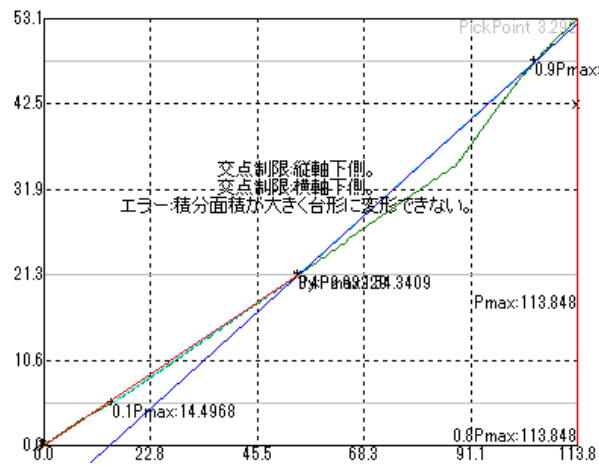


図- 32-3 試験体 B3 曲げ破壊 荷重-たわみ曲線

表- 20 試験結果一覧

試験体	試験1 曲げたわみ試験					試験2 曲げ破壊試験	
	4kN載荷時の変位量(mm)					最大荷重	平均値
	載荷位置	変位計 1	変位計 2	変位計 3	平均値	(kN)	(kN)
A1-1	A1-1-①	2.867	9.145	16.56	9.524	49.386	47.852
	A1-1-②	6.7	11.25	12.321	10.09		
	A1-1-③	9.084	9.959	9.532	9.525		
	A1-1-④	2.137	8.587	16.297	9.007		
	A1-1-⑤	6.392	10.674	11.45	9.505		
	A1-1-⑥	8.706	9.471	8.761	8.979		
A1-2	A1-2-①	3.484	9.817	16.566	9.956	45.661	
	A1-2-②	7.263	11.371	12.209	10.281		
	A1-2-③	9.442	10.591	9.623	9.885		
	A1-2-④	2.909	8.836	16.152	9.299		
	A1-2-⑤	6.386	11.063	11.852	9.767		
	A1-2-⑥	8.517	9.963	8.771	9.084		
A1-3	A1-3-①	3.351	9.247	16.542	9.713	48.509	
	A1-3-②	6.179	11.916	12.264	10.12		
	A1-3-③	8.995	10.178	9.098	9.424		
	A1-3-④	2.687	9.102	15.974	9.254		
	A1-3-⑤	5.909	11.224	11.772	9.635		
	A1-3-⑥	8.415	9.838	8.777	9.01		
A1-3 合板敷き	A1-3-①	3.9	9.314	15.95	9.721	—	—
	A1-3-②	6.884	11.212	12.014	10.037		
	A1-3-③	9.255	9.618	9.377	9.417		
	A1-3-④	3.425	9.205	15.253	9.294		
	A1-3-⑤	6.474	10.687	11.555	9.572		
	A1-3-⑥	8.726	9.246	8.912	8.961		
A2-1	A2-1-①	2.17	8.4	15.715	8.762	54.668	53.374
	A2-1-②	5.655	10.737	11.445	9.279		
	A2-1-③	7.952	9.714	8.284	8.65		
	A2-1-④	1.331	7.204	14.722	7.752		
	A2-1-⑤	4.599	9.728	10.088	8.138		
	A2-1-⑥	6.817	8.671	7.24	7.576		
A2-2	A2-2-①	2.362	8.228	15.802	8.797	52.455	
	A2-2-②	5.491	10.624	10.881	8.999		
	A2-2-③	8.132	9.66	7.795	8.529		
	A2-2-④	1.273	7.011	14.648	7.644		
	A2-2-⑤	4.292	9.87	10.28	8.147		
	A2-2-⑥	6.971	8.818	7.375	7.721		
A2-3	A2-3-①	1.541	8.875	17.287	9.234	52.998	
	A2-3-②	5.396	11.587	12.781	9.921		
	A2-3-③	8.573	9.876	9.125	9.191		
	A2-3-④	1.159	7.804	15.71	8.224		
	A2-3-⑤	4.507	10.396	11.085	8.663		
	A2-3-⑥	7.216	9.038	7.58	7.945		
A2-3 合板敷き	A2-3-①	2.403	9.128	16.188	9.24	—	—
	A2-3-②	6.232	10.89	12.291	9.804		
	A2-3-③	8.913	9.465	9.209	9.196		
	A2-3-④	2.093	8.143	14.662	8.299		
	A2-3-⑤	5.24	9.512	10.82	8.524		
	A2-3-⑥	7.666	8.292	8.033	7.997		

試験体	試験1 曲げたわみ試験					試験2 曲げ破壊試験	
	4kN載荷時の変位量(mm)					最大荷重	平均値
	載荷位置	変位計 1	変位計 2	変位計 3	平均値	(kN)	(kN)
B-1	B1-①	9.303	10.527	12.215	10.682	60.582	54.027
	B1-②	10.321	10.861	11.336	10.839		
	B1-③	10.774	10.893	10.839	10.835		
B-2	B2-①	9.52	10.656	12.02	10.732	48.361	
	B2-②	9.94	11.205	11.509	10.885		
	B2-③	10.62	10.817	10.821	10.753		
B-3	B3-①	9.767	10.815	12.275	10.952	53.139	
	B3-②	10.576	11.424	11.512	11.171		
	B3-③	10.947	11.128	11.099	11.058		

<試験結果の考察>

- 1) 4kN 荷重時変位量より集成材では荷重載荷の位置にかかわらず、各計測ポイントで同程度の変位が計測されたが、木ダボ積層材では、端部に載荷した荷重点①、中央に載荷した荷重点②、その中間部に載荷した荷重点③の結果のいずれも、木ダボによる荷重分散効果が確認された。
- 2) 曲げ破壊試験の結果から、木ダボ積層材の最大荷重および剛性は、同一等級構成のスギ集成材と同程度の性能が確認され、木ダボ積層材を床梁に使用する上で十分な曲げ性能が確認された。
- 3) A-2(木ダボ間隔@900)と A-1 (木ダボ間隔@600) の 4kN 試験体の変位量および、最大荷重を比較すると、ダボ直上に載荷した場合はその差が小さいことが確認された。ダボとダボの間に載荷した場合、ダボ間の中央変位は A-2 試験体が大きくなった。
- 4) 曲げ破壊試験について、木ダボ積層材では構成材の下側に存在する節の位置で破壊が生じて、荷重低下するが、その他の構成材に荷重が分配されて、ある程度荷重を保持する傾向が確認された。その後、加力を続けても変形だけが増加したため、その時点で荷重載荷を停止して試験終了とした。その状態であっても木ダボの先行破壊は確認されなかった。
- 5) 木ダボ積層材では構成材がどれか破壊した時点で耐力低下した後も、ある程度荷重を保持したのに加えて、除荷後に変位が戻る復元力を示した。それに対して集成材の A2 試験体では、破壊して耐力低下した時点で一気に荷重が解放され荷重を保持することはできなくなり、復元力は確認されなかった。したがって、最大荷重の比較では、集成材が木ダボ積層材を上回るが、破壊までのエネルギーでの比較では、木ダボ積層材が上回る可能性が確認された。

<試験写真>



写真-5-1 試験状況（集中荷重の荷重載荷）



写真-5-2 荷重載荷部の拡大

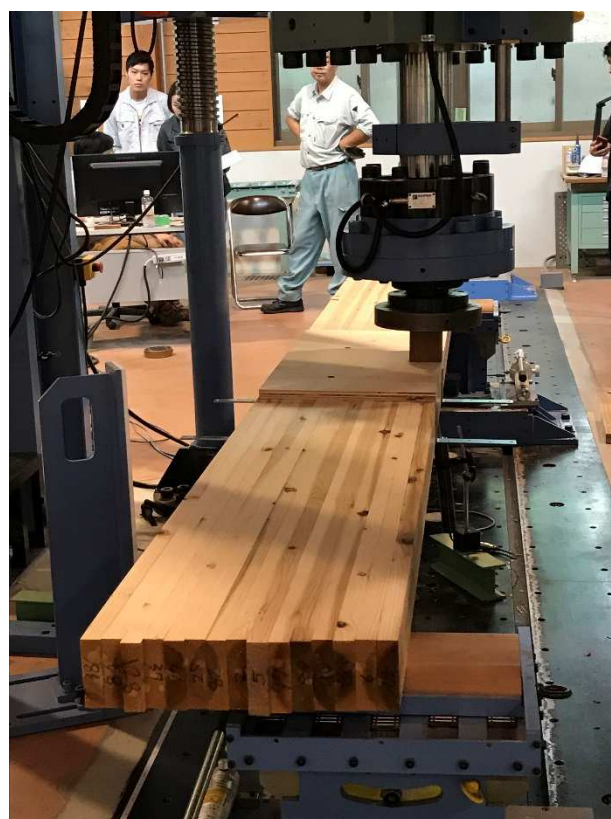


写真-5-3 24mm 合板の上からの载荷状況



写真- 5-4 試験体 A1-1 曲げ破壊の状況

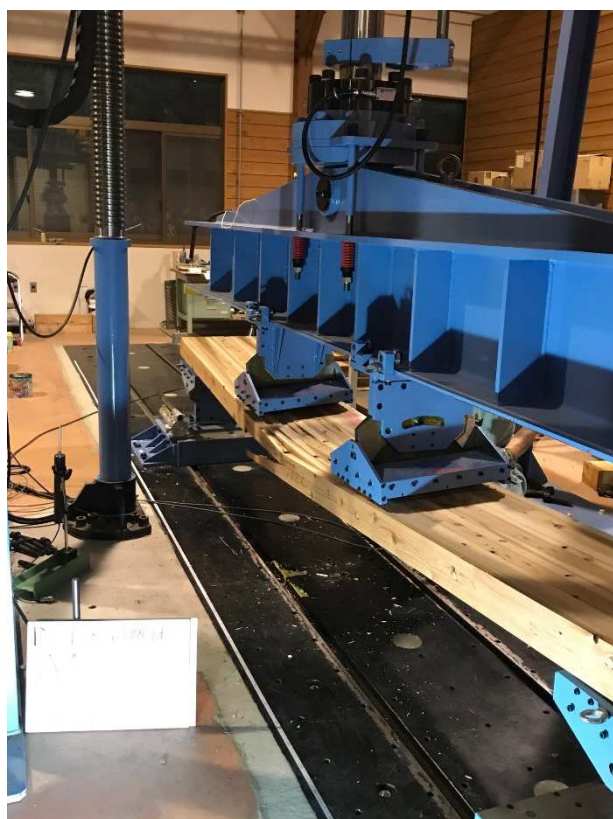


写真- 5-5 試験体 A1-2 曲げ破壊の状況



写真- 5-6 試験体 A1-3 曲げ破壊の状況 拡大



写真- 5-7 試験体 A1-2 曲げ破壊の状況



写真- 5-8 試験体 A2-1 曲げ破壊状況



写真- 5-9 試験体 A2-2 曲げ破壊の状況

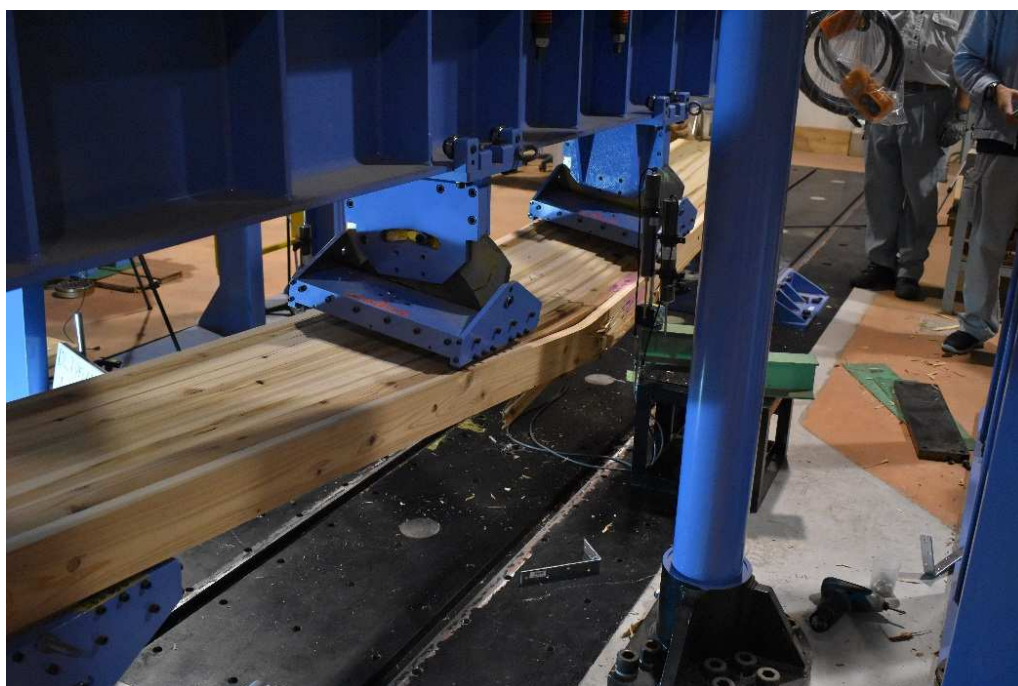


写真- 5-10 試験体 A2-3 曲げ破壊状況

試験体 B1、B2、B3 曲げ破壊試験



写真-5-11 曲げ破壊試験の状況



写真-5-12 試験体 B1 曲げ破壊状況



写真-5-13 試験体 B2 曲げ破壊状況



写真-5-14 試験体 B3 曲げ破壊状況

3.2 木ダボ積層材の曲げ試験（2）

3.2.1 試験概要

- ・ 曲げ試験（１）の結果を元に梁の中央部の上下面にひずみゲージを設置し、実大 DLT の曲げ試験（平使用の梁の曲げ試験）を行い木ダボ接合による荷重伝達の詳細を確認する。
- ・ 積層材で使用するラミナ L4.0mより切り出した L0.8m の板で曲げ試験を行い、実大梁の構成要素の曲げ性能を確認する。
- ・ 構造用集成材の日本農林規格 曲げ試験 B に準じて①H 鋼を載せて梁の曲げたわみ量を計測する。
- ・ 構造用集成材の日本農林規格 曲げ試験 B に準じてスパン中央の試験体端部、梁中央部と中間部に荷重載荷してたわみ測定を行う。ダボの真上とダボ間でたわみ量が違うことが考えられるので、ダボ間とダボ真上の各 3 箇所の計 6 箇所に荷重載荷する。たわみ測定試験後に曲げ破壊試験（梁断面端部への集中荷重載荷による）を行い破壊特性を検証する。

3.2.2 試験体仕様

a. 試験体仕様

断面寸法 105mm×450mm×3200mm の梁を 3 体を用意。

表- 21 A3 試験体の仕様

No.	断面寸法	木ダボ間隔	加工孔径	試験体数
A-3	105×450×3,200	@600mm	φ19.5mm	3

使用ラミナ：予めグレーディングされたスギ KD 材 E70 以上 30×105 L4.0m を使用

木ダボ：欧州ブナ 比重 0.67 以上 直径 φ20mm

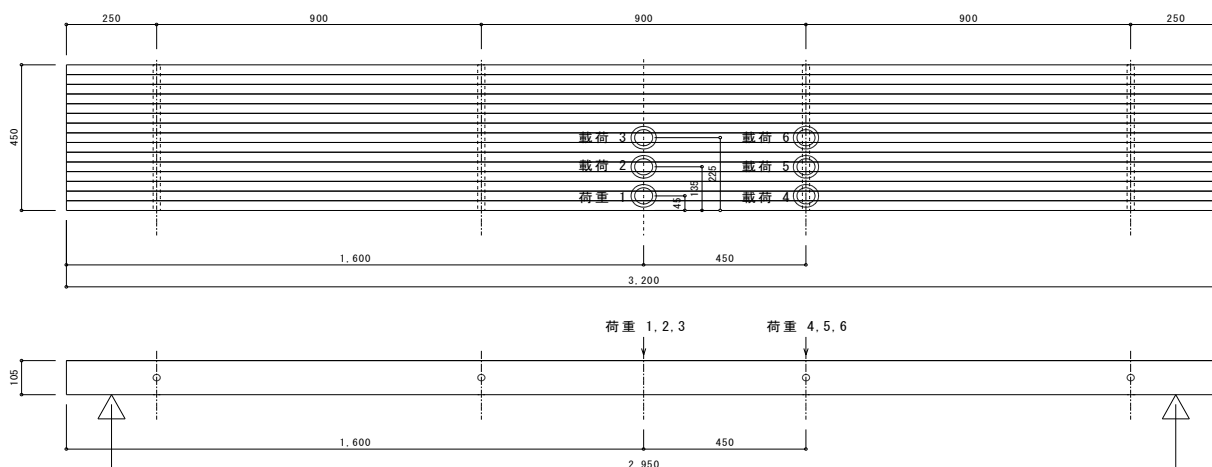


図- 33 A3 試験体姿図

ひずみゲージの設置

梁のスパン中央 下面に 15 箇所（No.1～No.15）、上面に 8 箇所（No.16～No.23）にひずみゲージを接着し、各ラミナに生じる曲げひずみを計測する。

梁の上面のひずみゲージは加力部と重ならないようにずらして貼る。

ひずみゲージ：PFL-30-11 株式会社東京測器研究所

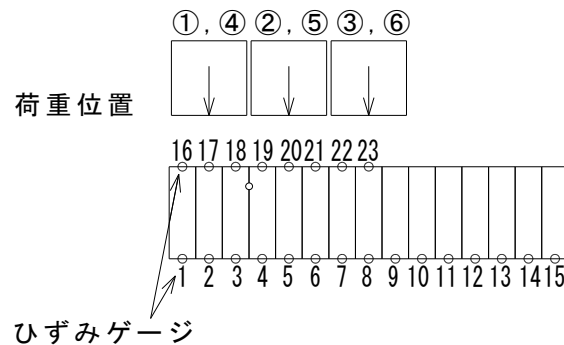


図- 34 ひずみゲージ位置図

3.2.3 試験の実施概要

a. 試験内容 105mm×450mm,L=4.0m 実大梁の曲げ試験

b. 試験実施日 2019 年 7月11日

c. 試験場所 群馬県林業試験場

実大強度試験機：SAH-100 前川試験機（株） 定格最大試験力：曲げ 500KN

d. 試験方法

1) 梁の曲げたわみ量の計測

支点間距離 2,950mm、載荷速度 1KN/min

簡易試験手順

- ① 曲げ試験機の枕木をピンで固定し、支点間距離を調節する。
- ② 梁の位置を試験機の X, Y 軸共に合わせ、中心を確認する。
- ③ 変位計を取り付ける。梁中央に H 鋼（H-75×150、L= 1.2m 15.62kg）を積載する。
- ④ 準備が整い次第、枕木の固定ピンを抜き、加力盤を H 鋼に押し当てた後に荷重載荷を開始する。
- ⑤ 載荷速度 1KN/min で加力を行い載荷荷重 15kN に到達したら、加力をストップし試験終了。

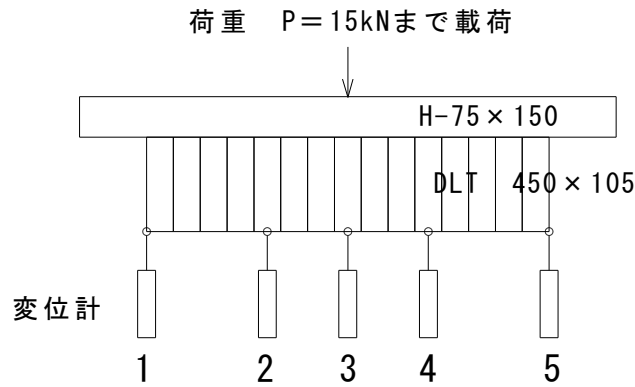


図- 35 荷重載荷および変位計配置図

2) 4kN 荷重時変位量試験：中央集中荷重（6 箇所）

支点間距離 2,950mm、載荷速度 1kN/min

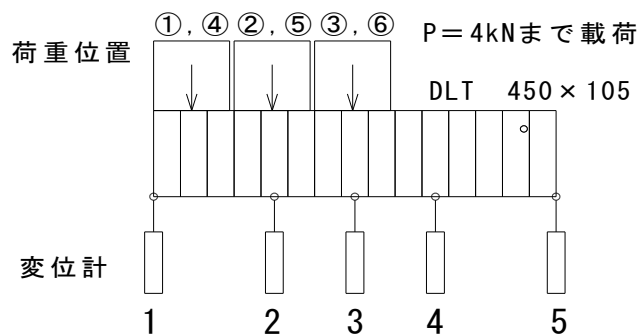


図- 36 荷重配置および変位計配置図

簡易試験手順

- ① 曲げ試験機の枕木をピンで固定し、支点間距離を調節する。
- ② 梁の位置を試験機の X, Y 軸共に合わせ、中心を確認する。
- ③ 変位計を取り付けた後、加力位置に 90mm×90mm、H90mm の堅木を設置する。
- ④ 準備が整い次第、枕木の固定ピンを抜き、加力盤を堅木に押し当てた後に荷重載荷を開始する。載荷荷重 4kN に到達したら、加力をストップし、荷重のかかったままの状態では梁を観察する。
- ⑤ 除荷し、別の載荷点への移行準備へと移る。試験終了。

3) 曲げ破壊試験：中央集中荷重

支点間距離 2,950mm、载荷速度 20mm/min

たわみ測定試験実施後に集成材の日本農林規格 曲げ試験 B に準じて加力位置①に加力盤下に 90mm×90mm、H90mm の堅木を設置して荷重载荷して破壊が認められるまで荷重载荷する。

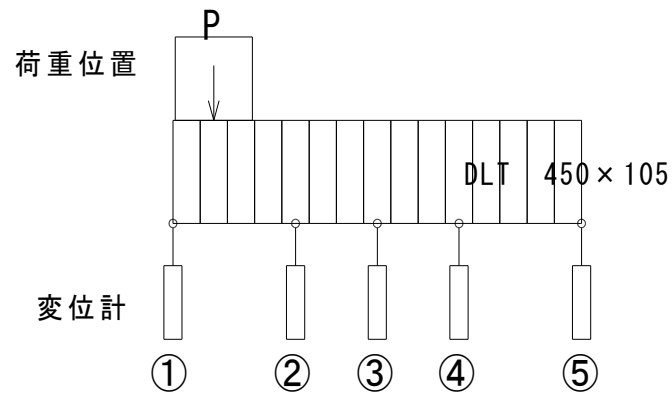


図- 37 荷重配置および変位計配置図

基本的な流れは変位量試験と同じ。

3.2.4 試験結果

1) H 鋼 15kN 荷重時変位量試験

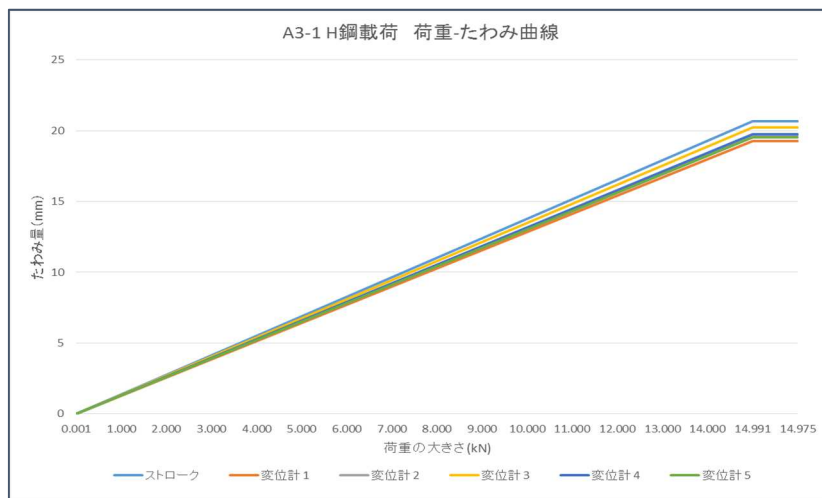


図- 38-1 試験体 A3-1 H 鋼載荷 荷重-たわみ曲線

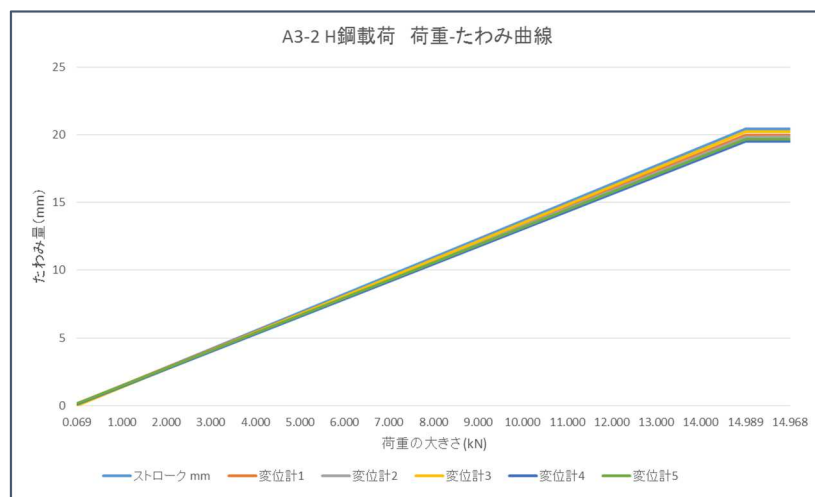


図- 38-2 試験体 A3-2 H 鋼載荷 荷重-たわみ曲線

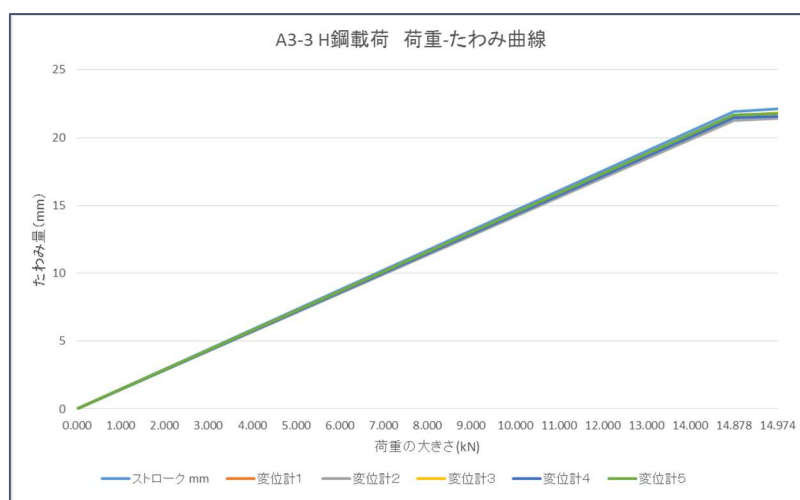


図- 38-3 試験体 A3-3 H 鋼載荷 荷重-たわみ曲線

2) 4KN 荷重時変位量試験

試験体 A3-1

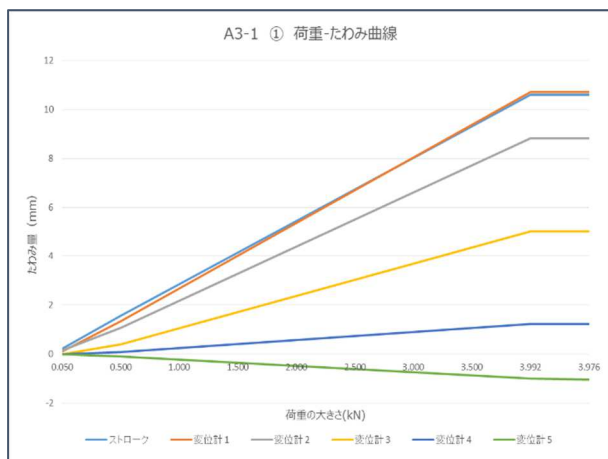


図- 39-1 試験体 A3-1 荷重① たわみ測定結果

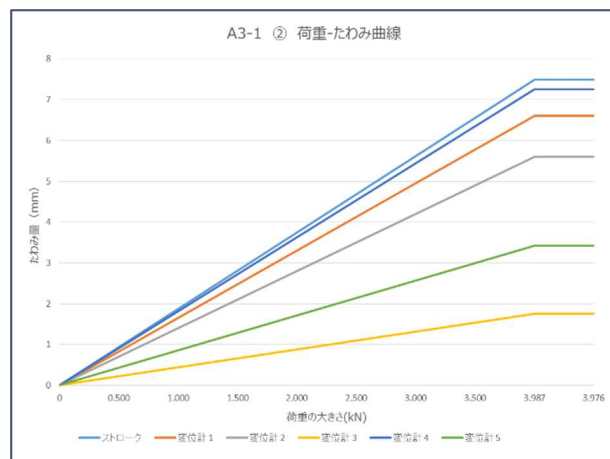


図-39-2 試験体 A3-1 荷重② たわみ測定結果

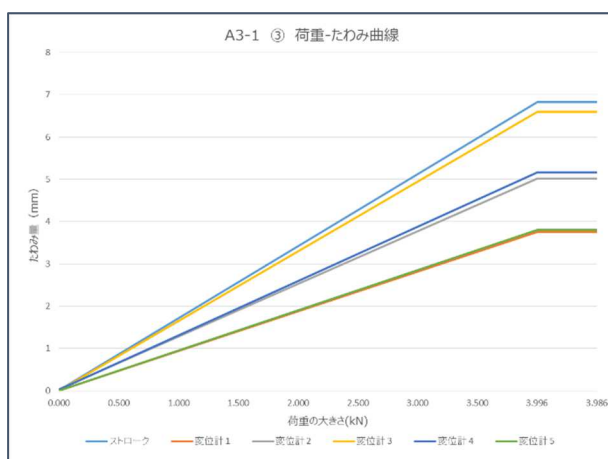


図-39-3 試験体 A3-1 荷重③ たわみ測定結果

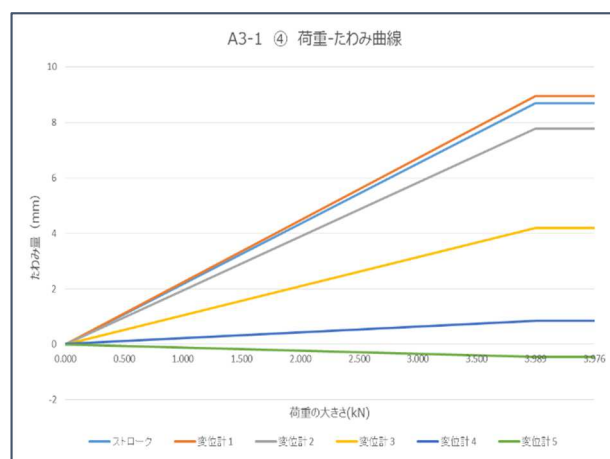


図-39-4 試験体 A3-1 荷重④ たわみ測定結果

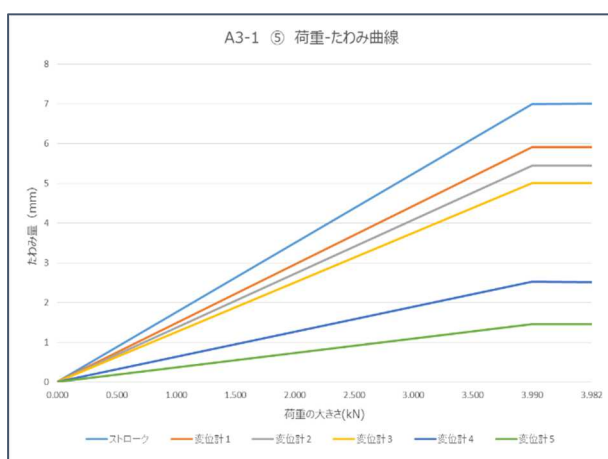


図-39-5 試験体 A3-1 荷重⑤ たわみ測定結果

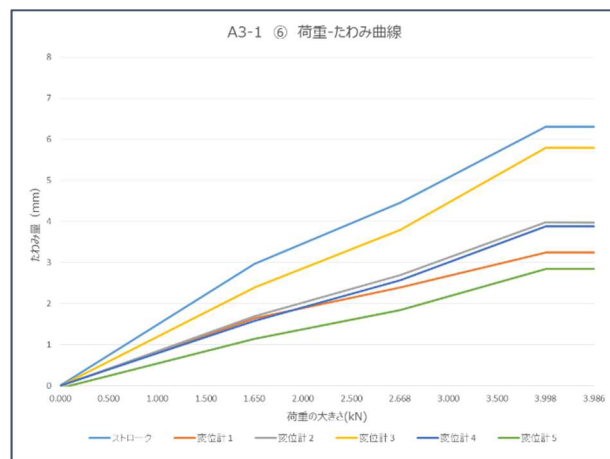


図-39-6 試験体 A3-1 荷重⑥ たわみ測定結果

試験体 A3-2

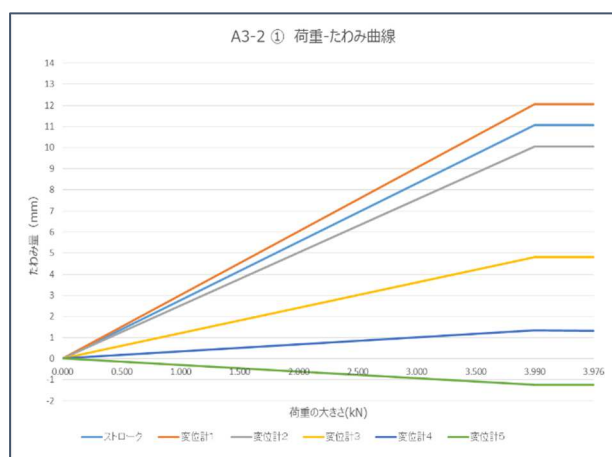


図- 40-1 試験体 A3-2 荷重① たわみ測定結果

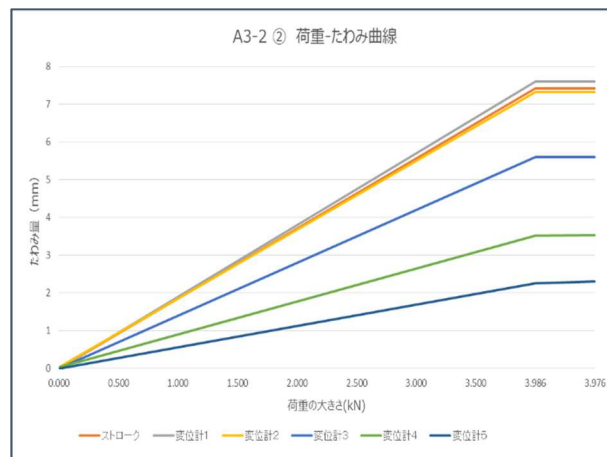


図- 40-2 試験体 A3-2 荷重② たわみ測定結果

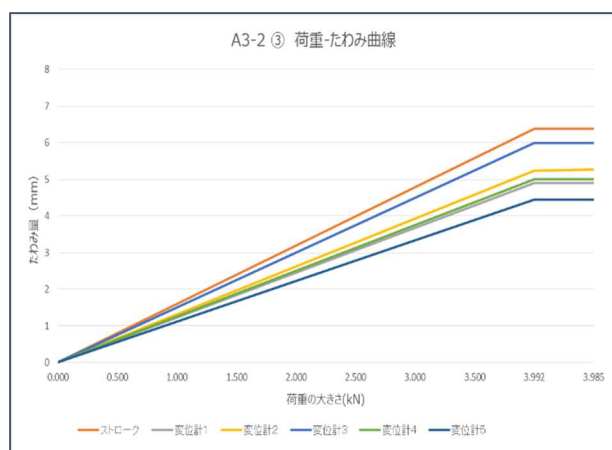


図- 40-3 試験体 A3-2 荷重③ たわみ測定結果

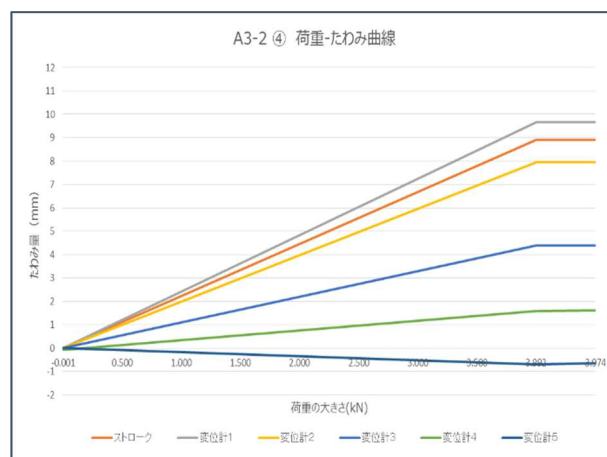


図- 40-4 試験体 A3-2 荷重④ たわみ測定結果

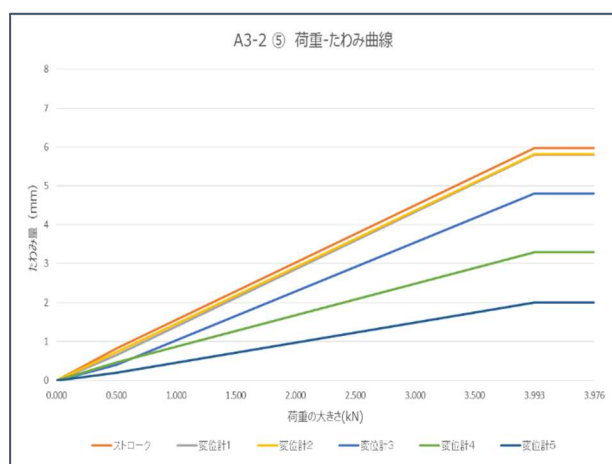


図- 40-5 試験体 A3-2 荷重⑤ たわみ測定結果

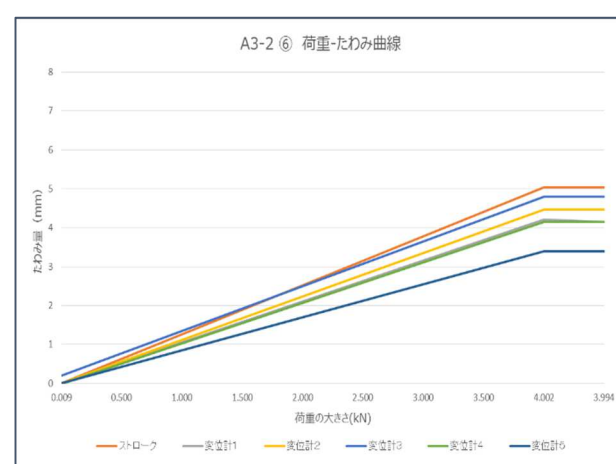


図- 40-6 試験体 A3-2 荷重⑥ たわみ測定結果

試験体 A3-3

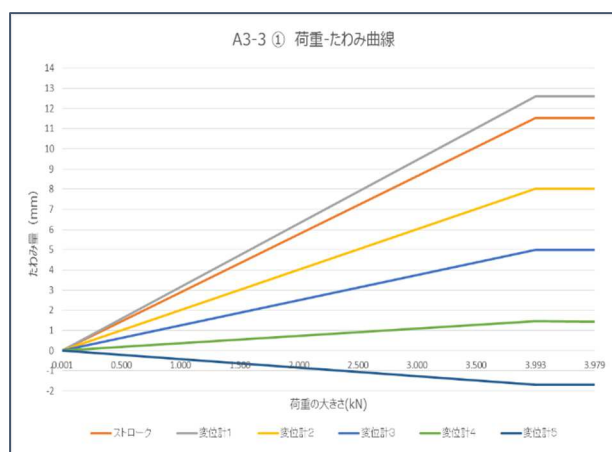


図- 41-1 試験体 A3-3 荷重① たわみ測定結果

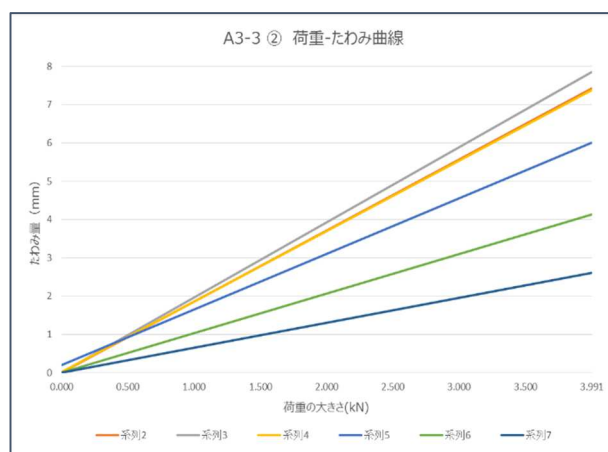


図- 41-2 試験体 A3-3 荷重② たわみ測定結果

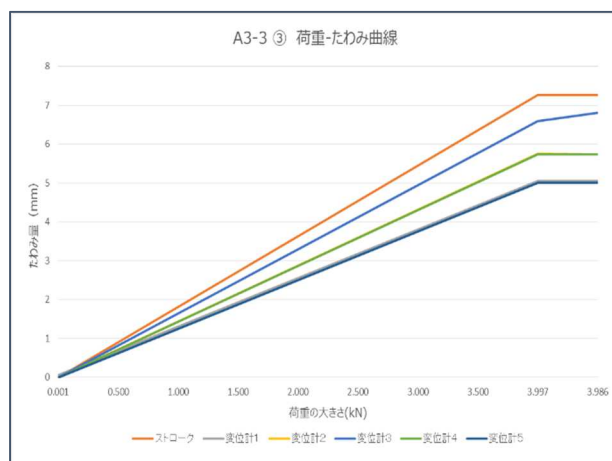


図- 41-3 試験体 A3-3 荷重③ たわみ測定結果

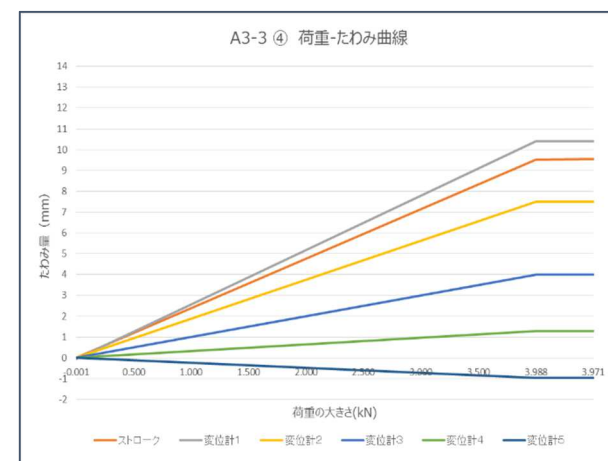


図- 41-4 試験体 A3-3 荷重④ たわみ測定結果

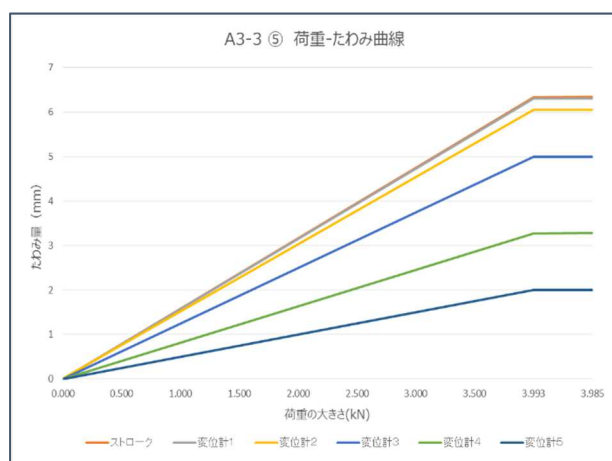


図- 41-5 試験体 A3-3 荷重⑤ たわみ測定結果

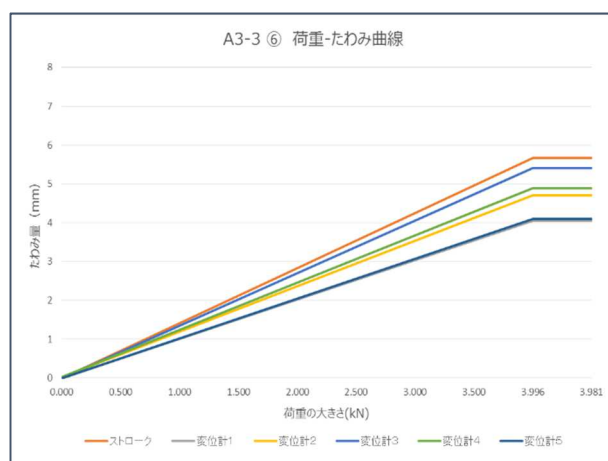


図- 41-6 試験体 A3-3 荷重⑥ たわみ測定結果

3) 曲げ破壊試験

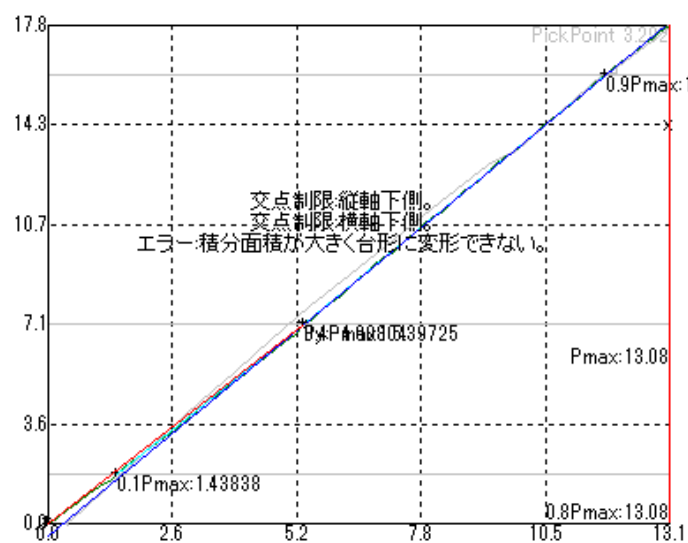
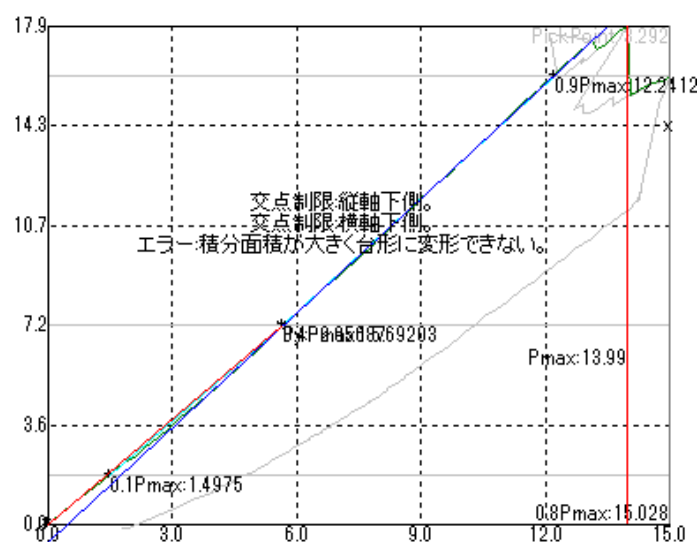
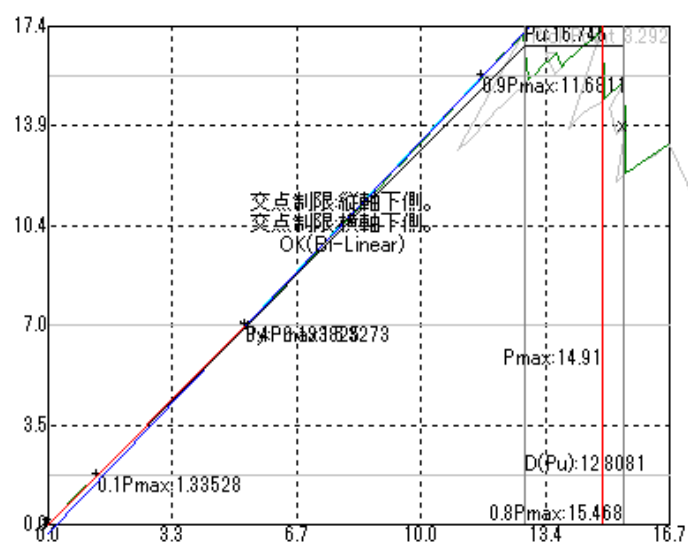


表- 22 木ダボ積層材の曲げ試験の結果一覧

試験体No.	荷重条件	荷重 (kN)	変位①(mm)	変位②(mm)	変位③(mm)	変位④(mm)	変位⑤(mm)
A3-1	H鋼 積載	14.991	19	20	20	20	20
	集中荷重 1	3.992	11	9	5	1	0
	集中荷重 2	3.987	7	7	6	3	2
	集中荷重 3	3.996	4	5	7	5	4
	集中荷重 4	3.989	9	8	4	1	0
	集中荷重 5	3.993	5	6	5	3	1
	集中荷重 6	3.998	3	4	6	4	3
	破壊時	17.412	49	0	20	0	-6
A3-2	H鋼 積載	14.992	20	20	20	20	20
	集中荷重 1	3.990	12	10	5	1	0
	集中荷重 2	3.990	8	7	6	4	2
	集中荷重 3	3.992	5	5	6	5	4
	集中荷重 4	3.992	10	8	4	2	0
	集中荷重 5	3.993	6	4	5	4	3
	集中荷重 6	4.002	4	4	5	4	3
	破壊時	17.900	66	0	18	0	-14
A3-3	H鋼 積載	14.994	21	22	22	22	22
	集中荷重 1	3.993	13	8	5	1	0
	集中荷重 2	3.991	8	7	6	4	3
	集中荷重 3	3.997	5	6	7	6	5
	集中荷重 4	3.998	10	8	4	1	0
	集中荷重 5	3.993	6	6	5	3	2
	集中荷重 6	3.996	4	5	5	5	4
	破壊時	17.842	65	0	17	0	-17

ひずみ計測結果

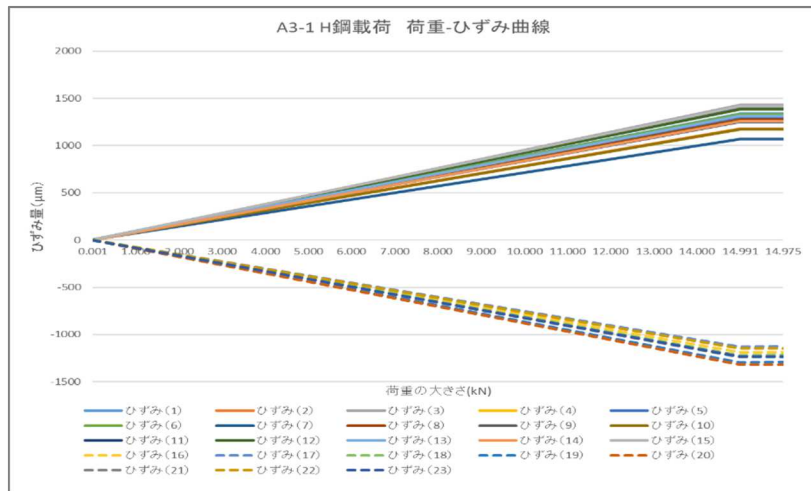


図- 43-1 試験体 A3-1 H鋼載荷 荷重-ひずみ曲線

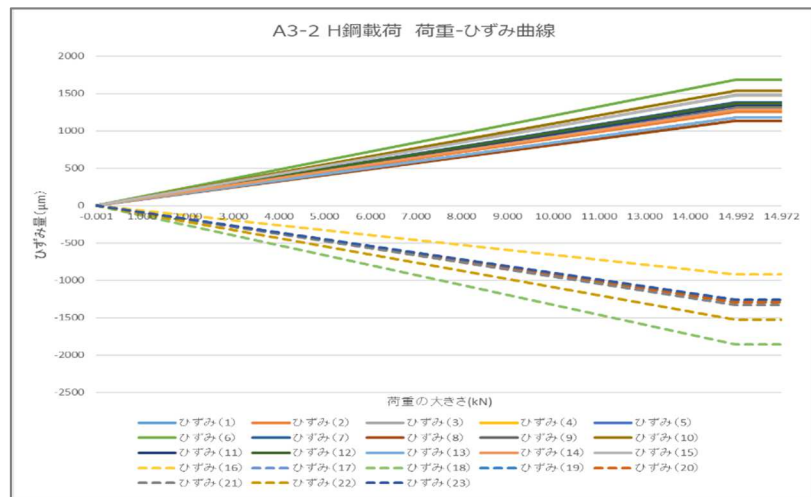


図- 43-2 試験体 A3-2 H鋼載荷 荷重-ひずみ曲線

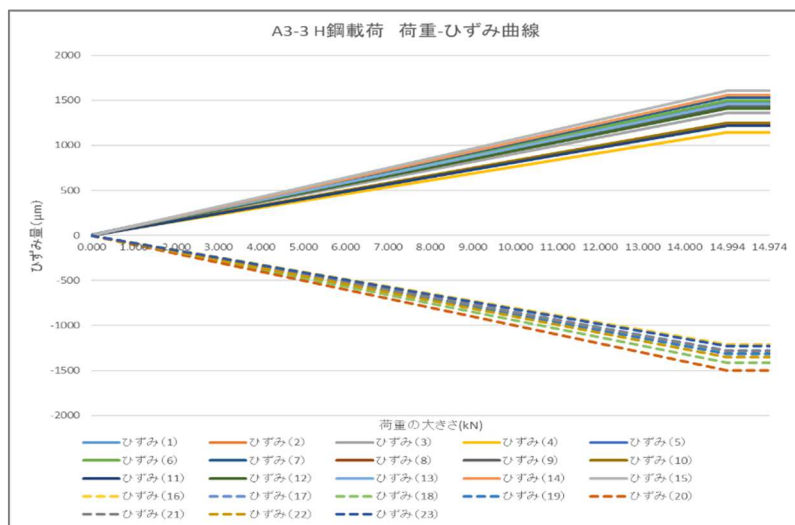


図- 43-3 試験体 A3-3 H鋼載荷 荷重-ひずみ曲線

試験体 A3-1

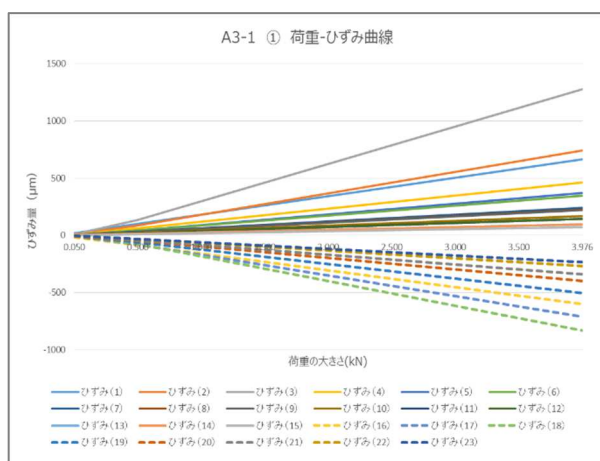


図- 44-1 試験体 A3-1 荷重① ひずみ測定結果

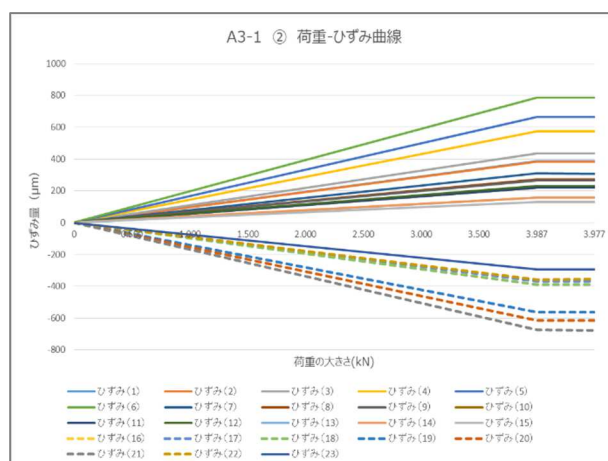


図- 44-2 試験体 A3-1 荷重② ひずみ測定結果

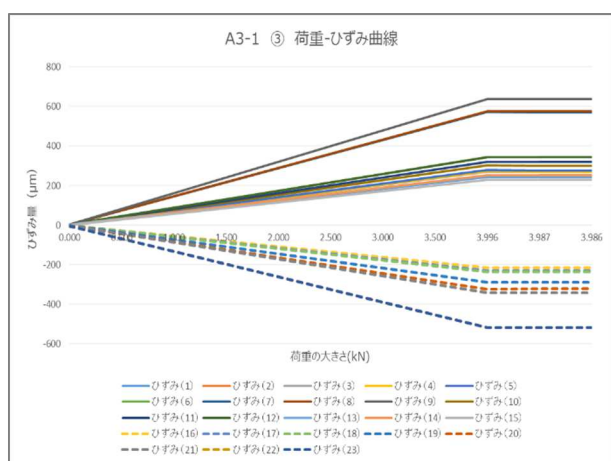


図- 44-3 試験体 A3-1 荷重③ ひずみ測定結果

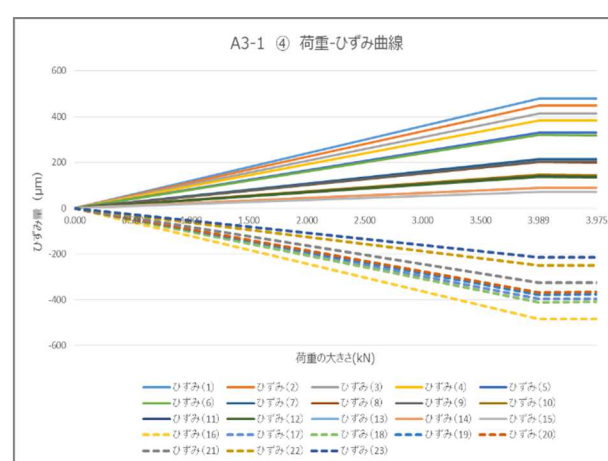


図- 44-4 試験体 A3-1 荷重④ ひずみ測定結果

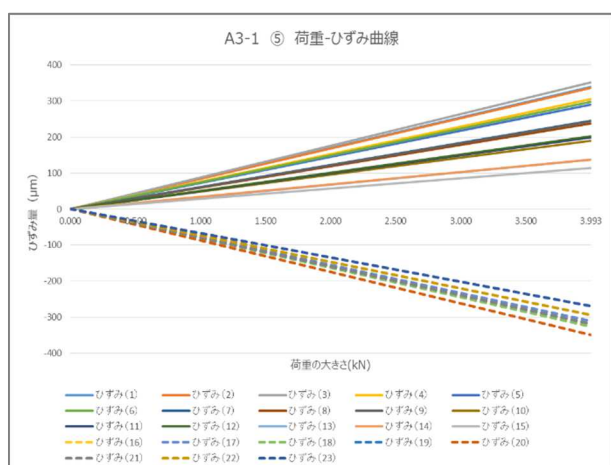


図- 44-5 試験体 A3-1 荷重⑤ ひずみ測定結果

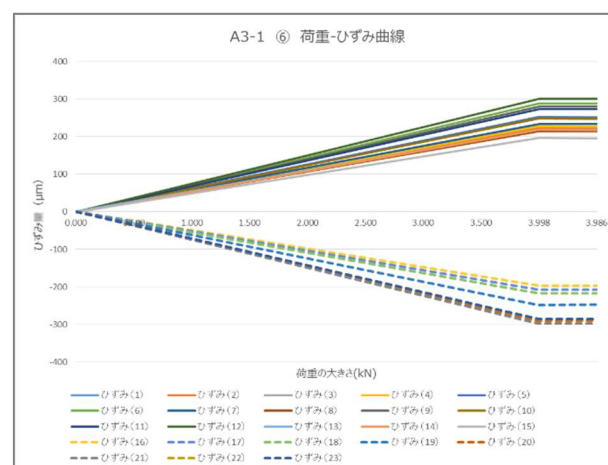


図- 44-6 試験体 A3-1 荷重⑥ ひずみ測定結果

試験体 A3-2

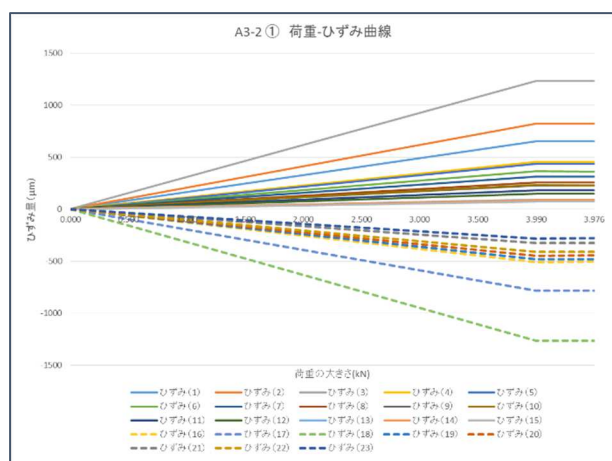


図- 45-1 試験体 A3-2 荷重① ひずみ測定結果

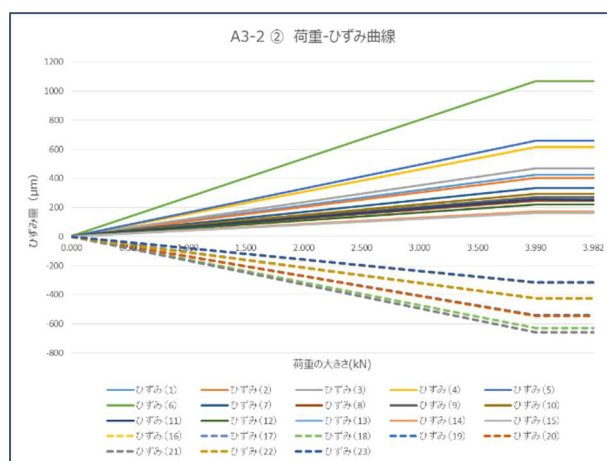


図- 45-2 試験体 A3-2 荷重② ひずみ測定結果

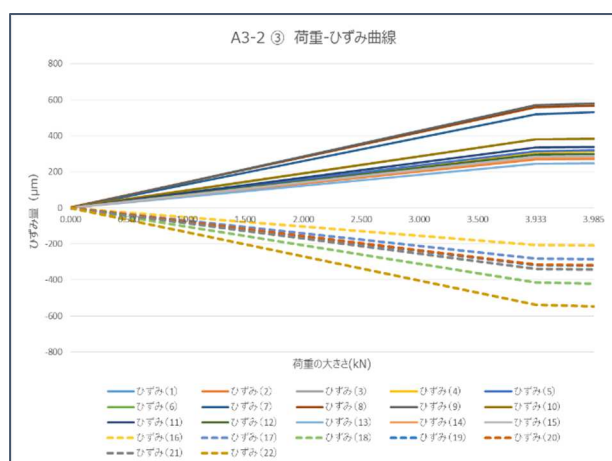


図- 45-3 試験体 A3-2 荷重③ ひずみ測定結果

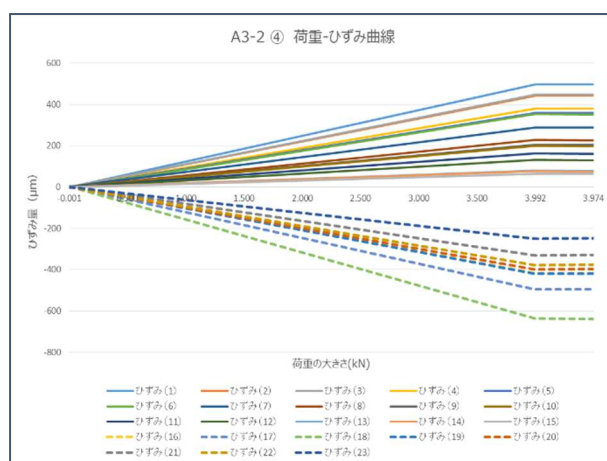


図- 45-4 試験体 A3-2 荷重④ ひずみ測定結果

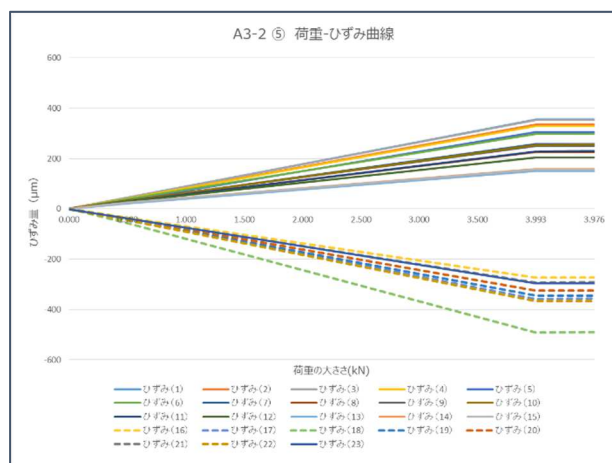


図- 45-5 試験体 A3-2 荷重⑤ ひずみ測定結果

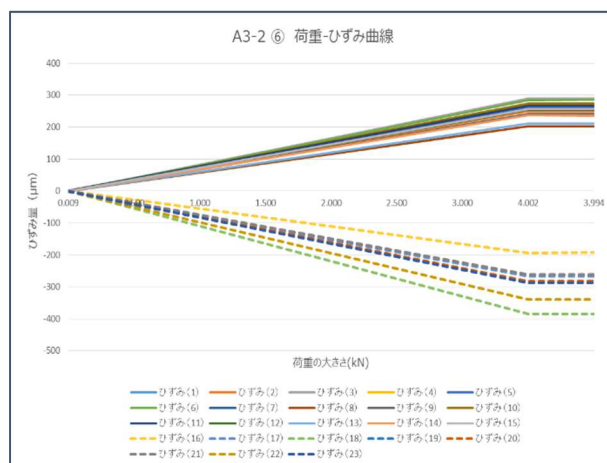


図- 45-6 試験体 A3-2 荷重⑥ ひずみ測定結果

試験体 A3-3

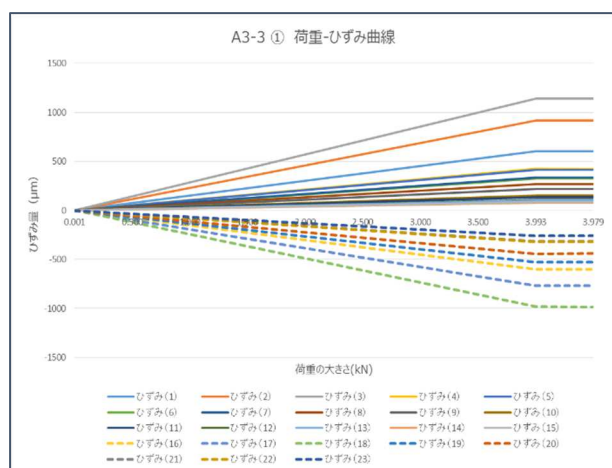


図- 46-1 試験体 A3-3 荷重① ひずみ測定結果

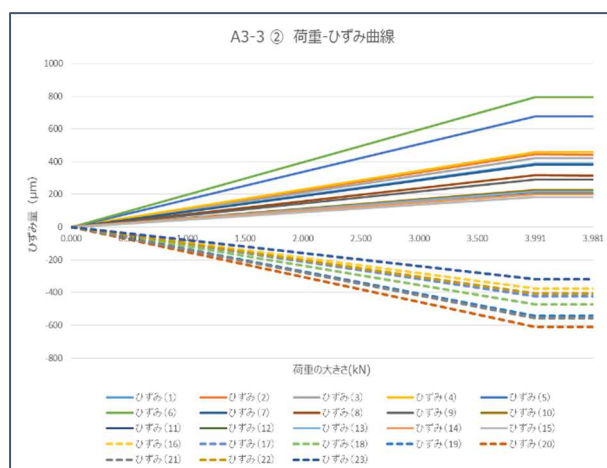


図- 46-2 試験体 A3-3 荷重② ひずみ測定結果

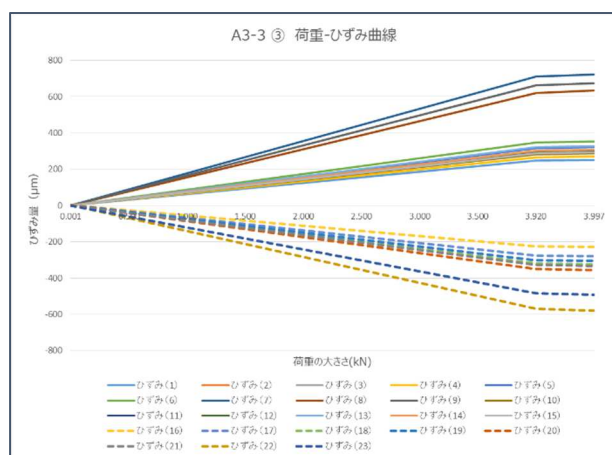


図- 46-3 試験体 A3-3 荷重③ ひずみ測定結果

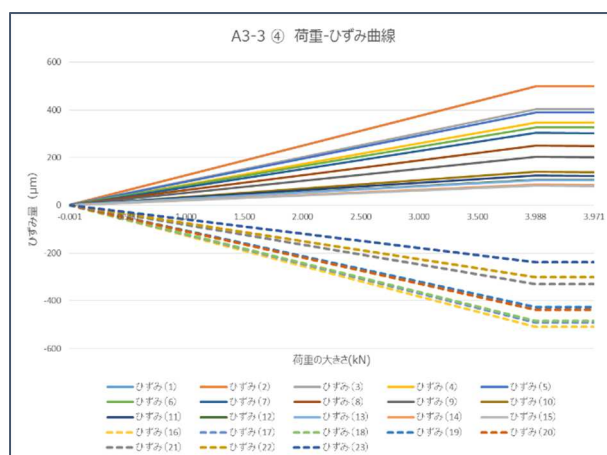


図- 46-4 試験体 A3-3 荷重④ ひずみ測定結果

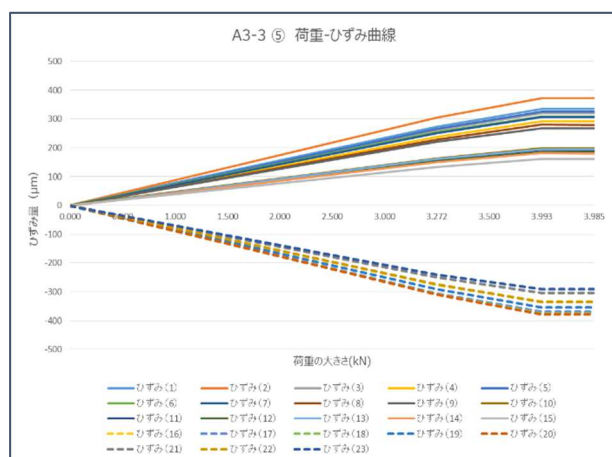


図- 46-5 試験体 A3-3 荷重⑤ ひずみ測定結果

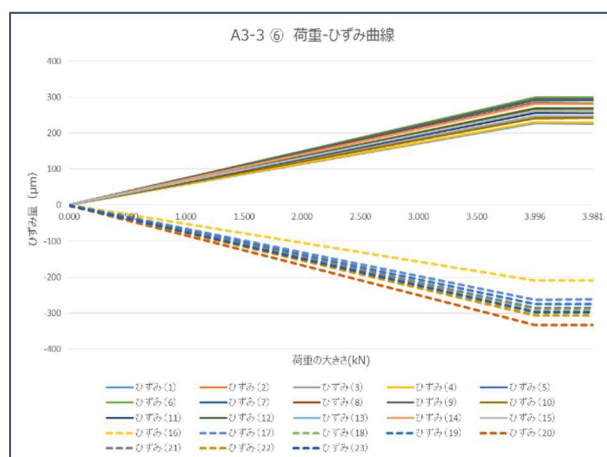


図- 46-6 試験体 A3-3 荷重⑥ ひずみ測定結果

ひずみ測定結果

表- 23 試験体 A3-1 荷重-ひずみ測定結果

試験体No. 試験種類 荷重、ひずみ	A3-1							
	鋼材積載	4kN載荷変位測定						曲げ破壊
		荷重①	荷重④	荷重②	荷重③	荷重⑤	荷重⑥	
荷重(kN)	14.991	3.992	3.989	3.987	3.996	3.993	3.998	17.412
ひずみ計(1)(μm)	1,339	663	479	388	245	340	223	2,945
ひずみ計(2)(μm)	1,179	742	449	384	251	337	223	3,682
ひずみ計(3)(μm)	1,430	1,280	414	435	270	352	248	5,819
ひずみ計(4)(μm)	1,281	462	385	575	272	306	228	1,921
ひずみ計(5)(μm)	1,300	373	331	667	278	291	252	1,654
ひずみ計(6)(μm)	1,329	349	320	788	345	299	288	1,479
ひずみ計(7)(μm)	1,071	243	215	309	572	246	234	1,032
ひずみ計(8)(μm)	1,276	230	201	273	576	237	215	971
ひずみ計(9)(μm)	1,392	221	206	266	637	244	280	820
ひずみ計(10)(μm)	1,173	167	147	221	302	189	248	654
ひずみ計(11)(μm)	1,254	147	140	220	321	199	273	544
ひずみ計(12)(μm)	1,385	146	136	231	345	202	300	548
ひずみ計(13)(μm)	1,313	96	88	157	250	138	219	365
ひずみ計(14)(μm)	1,256	96	89	158	253	138	218	314
ひずみ計(15)(μm)	1,419	74	72	131	228	114	196	236
ひずみ計(16)(μm)	-1,185	-601	-484	-363	-216	-323	-197	-2,714
ひずみ計(17)(μm)	-1,127	-713	-395	-368	-231	-311	-208	-3,365
ひずみ計(18)(μm)	-1,220	-833	-410	-390	-235	-327	-217	-2,448
ひずみ計(19)(μm)	-1,293	-507	-377	-562	-289	-319	-248	-2,193
ひずみ計(20)(μm)	-1,318	-402	-367	-615	-323	-349	-291	-1,830
ひずみ計(21)(μm)	-1,237	-342	-324	-676	-342	-318	-298	-1,492
ひずみ計(22)(μm)	-1,147	-272	-250	-357	-517	-294	-286	-1,116
ひずみ計(23)(μm)	-1,232	-237	-215	-295	-518	-269	-285	-994

表- 24 試験体 A3-2 荷重-ひずみ測定結果

試験体No. 試験種類 荷重、ひずみ	A3-2							
	鋼材積載	4kN載荷変位測定						曲げ破壊
		荷重①	荷重④	荷重②	荷重③	荷重⑤	荷重⑥	
荷重(kN)	14.992	3.990	3.990	3.992	3.992	3.993	4.002	17.900
ひずみ計(1)(μm)	1,286	653	425	285	498	355	264	4,119
ひずみ計(2)(μm)	1,259	823	403	273	443	335	250	5,547
ひずみ計(3)(μm)	1,478	1,234	469	318	448	353	290	5,667
ひずみ計(4)(μm)	1,331	455	616	314	380	331	270	1,847
ひずみ計(5)(μm)	1,300	437	657	319	359	306	263	1,999
ひずみ計(6)(μm)	1,683	364	1,069	385	353	298	286	1,756
ひずみ計(7)(μm)	1,382	313	336	531	289	258	239	1,204
ひずみ計(8)(μm)	1,133	259	247	568	228	226	203	942
ひずみ計(9)(μm)	1,178	229	272	579	205	251	241	739
ひずみ計(10)(μm)	1,538	232	295	385	199	256	274	722
ひずみ計(11)(μm)	1,339	180	255	338	162	230	267	502
ひずみ計(12)(μm)	1,366	151	222	300	131	206	255	345
ひずみ計(13)(μm)	1,179	91	165	248	80	151	212	202
ひずみ計(14)(μm)	1,281	87	173	282	78	160	237	161
ひずみ計(15)(μm)	1,474	73	164	287	65	156	257	93
ひずみ計(16)(μm)	-923	-508	-320	-208	-417	-274	-194	-2,793
ひずみ計(17)(μm)	-1,278	-785	-426	-287	-495	-358	-266	-2,181
ひずみ計(18)(μm)	-1,861	-1,265	-631	-420	-638	-491	-384	-3,642
ひずみ計(19)(μm)	-1,297	-482	-542	-322	-421	-345	-284	-2,253
ひずみ計(20)(μm)	-1,295	-446	-547	-319	-398	-325	-282	-2,074
ひずみ計(21)(μm)	-1,332	-327	-660	-343	-330	-293	-261	-1,458
ひずみ計(22)(μm)	-1,526	-410	-426	-547	-378	-367	-340	-1,506
ひずみ計(23)(μm)	-1,259	-281	-315	-599	-251	-297	-287	-1,054

表- 25 試験体 A3-2 荷重-ひずみ測定結果

試験体No.	A3-2							
試験種類	鋼材積載	4kN載荷変位測定						曲げ破壊
荷重、ひずみ		荷重①	荷重④	荷重②	荷重③	荷重⑤	荷重⑥	
荷重(kN)	14.994	3.993	3.991	3.997	3.988	3.993	3.996	17.842
ひずみ計(1)(μm)	1,425	605	388	251	499	334	228	3,501
ひずみ計(2)(μm)	1,477	920	443	305	499	372	270	5,429
ひずみ計(3)(μm)	1,360	1,142	422	308	403	319	249	6,171
ひずみ計(4)(μm)	1,144	424	459	270	347	291	231	2,026
ひずみ計(5)(μm)	1,481	417	676	322	390	326	283	2,006
ひずみ計(6)(μm)	1,498	326	793	354	327	309	299	1,589
ひずみ計(7)(μm)	1,531	336	381	724	303	307	293	1,339
ひずみ計(8)(μm)	1,414	270	316	633	250	280	284	962
ひずみ計(9)(μm)	1,442	221	292	675	203	268	295	751
ひずみ計(10)(μm)	1,249	152	225	287	140	198	243	523
ひずみ計(11)(μm)	1,221	135	214	294	124	193	256	424
ひずみ計(12)(μm)	1,410	108	205	300	108	186	269	336
ひずみ計(13)(μm)	1,456	104	218	327	107	196	282	284
ひずみ計(14)(μm)	1,560	81	200	308	87	182	281	181
ひずみ計(15)(μm)	1,608	83	183	293	83	162	262	121
ひずみ計(16)(μm)	-1,213	-598	-377	-228	-510	-334	-210	-3,143
ひずみ計(17)(μm)	-1,278	-769	-424	-280	-492	-368	-263	-2,722
ひずみ計(18)(μm)	-1,414	-984	-473	-324	-485	-374	-292	-835
ひずみ計(19)(μm)	-1,315	-527	-542	-306	-428	-354	-275	-2,490
ひずみ計(20)(μm)	-1,498	-442	-610	-355	-438	-379	-333	-2,230
ひずみ計(21)(μm)	-1,285	-316	-558	-332	-330	-304	-287	-1,503
ひずみ計(22)(μm)	-1,353	-321	-407	-579	-303	-336	-306	-1,284
ひずみ計(23)(μm)	-1,228	-259	-321	-492	-240	-291	-299	-924

ラミナの曲げたわみ測定結果

表- 26 ラミナの曲げたわみ測定結果

試験体 No	Pmax (N)	ΔP (N)	ΔY (mm)	MOE(kN/mm ²)	Eグレード	備考
1	1569.13	1176.85	1.84	4.18	E50	
4	1569.12	1176.84	2.89	2.66	#N/A	髄を含む
5	1569.18	1176.88	1.35	5.68	E50	
6	1569.09	1176.82	1.60	4.81	E50	
7	1569.20	1176.90	1.38	5.59	E50	
8	1569.17	1176.88	1.29	5.94	E50	
9	1569.10	1176.83	1.32	5.84	E50	
10	1569.33	1177.00	1.43	5.39	E50	
11	1569.10	1176.82	1.05	7.29	E70	
14	1569.10	1176.82	1.37	5.62	E50	
15	1569.10	1176.82	1.15	6.71	E70	
16	1569.19	1176.90	1.27	6.05	E50	
18	1569.05	1176.77	1.21	6.35	E70	
19	1569.11	1176.83	1.34	5.73	E50	
20	1569.10	1176.83	1.25	6.16	E70	
21	1569.09	1176.82	1.27	6.07	E50	
22	1569.10	1176.82	1.52	5.05	E50	
23	1569.09	1176.82	1.32	5.83	E50	
24	1569.11	1176.83	1.15	6.70	E70	
25	1569.12	1176.84	1.28	5.99	E50	
26	1569.12	1176.84	1.28	6.01	E50	
27	1569.10	1176.83	1.20	6.43	E70	
28	1569.12	1176.84	1.18	6.50	E70	
29	1569.15	1176.86	1.27	6.06	E50	
30	1569.15	1176.86	1.23	6.26	E70	
31	1569.18	1176.89	1.25	6.17	E70	
32	1569.13	1176.85	1.28	6.01	E50	
33	1569.09	1176.82	1.23	6.24	E70	中心に髄を含む
34	1569.12	1176.84	1.12	6.85	E70	
35	1569.09	1176.82	1.40	5.49	E50	
36	1569.11	1176.84	1.11	6.93	E70	
37	1569.09	1176.82	1.31	5.85	E50	
38	1569.12	1176.84	1.57	4.90	E50	
39	1569.13	1176.85	1.38	5.56	E50	
40	1569.15	1176.86	1.21	6.36	E70	
41	1569.18	1176.89	1.74	4.42	E50	中心に髄を含む
42	1569.12	1176.84	1.69	4.56	E50	
43	1569.09	1176.82	1.27	6.05	E50	
44	1569.19	1176.89	1.34	5.73	E50	
45	1569.10	1176.82	1.29	5.96	E50	
46	1569.13	1176.85	1.18	6.52	E70	
47	1569.10	1176.83	1.42	5.42	E50	
48	1569.11	1176.83	1.59	4.84	E50	
49	1569.12	1176.84	1.19	6.47	E70	
50	1569.11	1176.83	1.27	6.07	E50	

試験体寸法 幅 105mm、せい 30mm、スパン 420mm

曲げヤング係数は $MOE = \Delta PL^3 / (48I \cdot \Delta y)$ より求めた

＜試験結果の考察＞

- 1) H 形鋼をスパン中央に配置して各構成材に均等载荷した結果、5 か所に設置した変位計の計測値はほぼ等しい結果となった。これより構成材のヤング係数のばらつきは大きくないと判断される。A3-1 試験体では荷重 15kN 時に、変位が 20mm であったため(表-22)、支点間距離 2,950mm、断面 450×105mm から、木ダボ積層材のヤング係数を逆算すると 9,240N/mm² となった。それに対して、構成材について別途行った曲げ試験で得られたヤング係数は概ね 5,000～6,500 N/mm² の範囲であったため(表-26)、木ダボ積層材の曲げ試験であられたヤング係数が構成材単体のヤング係数より 1.5 倍程度大きいことが確認された。その要因について、曲げ試験の支点条件等確認したが、試験方法については原因が特定されなかった。木ダボによる積層効果については、木ダボが構成材のせい中心に配置しており、中立軸に近い位置であることから、曲げ剛性を高める効果は低いと考えられる。したがって、木ダボ積層材の曲げヤング係数が大きくなる明確な要因は特定できていない。
- 2) 木ダボ積層材の偏荷重に対する曲げ剛性について、木ダボによる一体効果を検証した。スパン中央に集中荷重で 4kN を、幅方向端部 3 材に加えた"集中荷重 1"の結果、試験体 A3-1 の荷重直下の変位で 11mm であった(表-22)。一体効果を見捨てて 3 材の断面 90×105mm と H 形鋼を配置した均等载荷で得られたヤング係数 9240 N/mm² から変位量を計算すると 26.7mm となる。したがって、一体効果により 26.7mm が 11mm となり、0.41 倍低減されている。したがって、今回の試験条件では、3 材の幅 90mm に加わる集中荷重に対するたわみの検討では、90mm の倍である 180mm 程度の有効幅を考慮できることが確認された。
- 3) 木ダボ積層材の偏荷重に対する曲げ終局耐力について、木ダボによる一体効果を検証した。3 材のみの曲げ耐力をスギの曲げ基準強度を 22 N/mm² として計算し、それとスパンから破壊荷重を計算すると、4.93kN となる。それに対して A3-1 試験体の破壊荷重は 17.4kN である(表-22)。3 材で計算した破壊耐力に対して、木ダボで一体にすることにより 3.5 倍の耐力向上が確認できた。したがって、今回の試験条件では曲げ破壊に対して 90×3.5=315mm 程度の協力幅を考慮できることが確認された。
- 4) ひずみの測定結果より、ひずみは加力箇所でも大きく、そのほかの箇所では荷重点から遠ざかるほど小さな値となった。これは木ダボによる荷重伝達を反映する結果となったが、ひずみゲージ近辺に存在する節の影響を強く受けた箇所も確認された。

<試験写真>



写真-6-1 H 鋼荷重載荷時の状況



写真-6-2 集中荷重載荷時の状況



写真- 6-3 集中荷重載荷時の状（荷重位置の拡大）

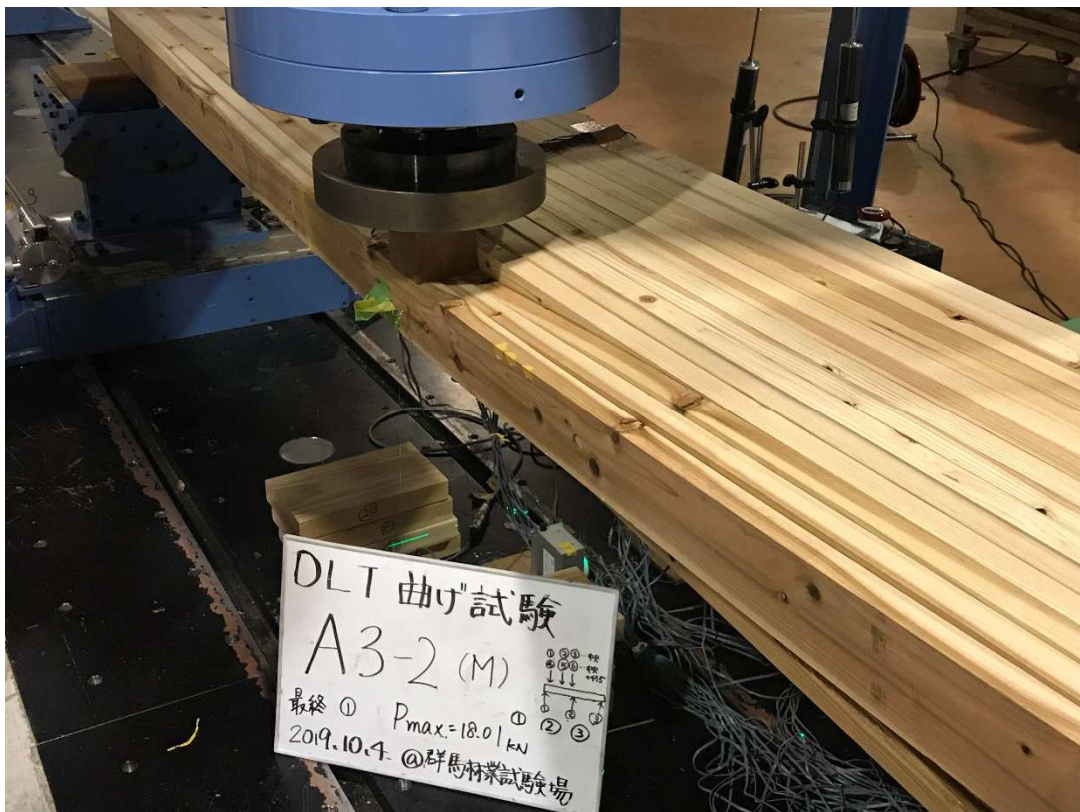


写真-6-4 曲げ破壊の状況 1



写真-6-5 曲げ破壊の状況 2

4. 面内せん断試験

4.1 面内せん断試験 (TYPE1)

4.1.1 試験概要

- 木ダボ構造材を在来軸組工法の耐力壁として用いることを想定し、面内せん断試験を行い許容耐力および各特性特性値、破壊性状を確認する。構成材を 30×105mm とした試験体を TYPE1 とし、試験体図を図-47 に示す。

4.1.2 試験体仕様

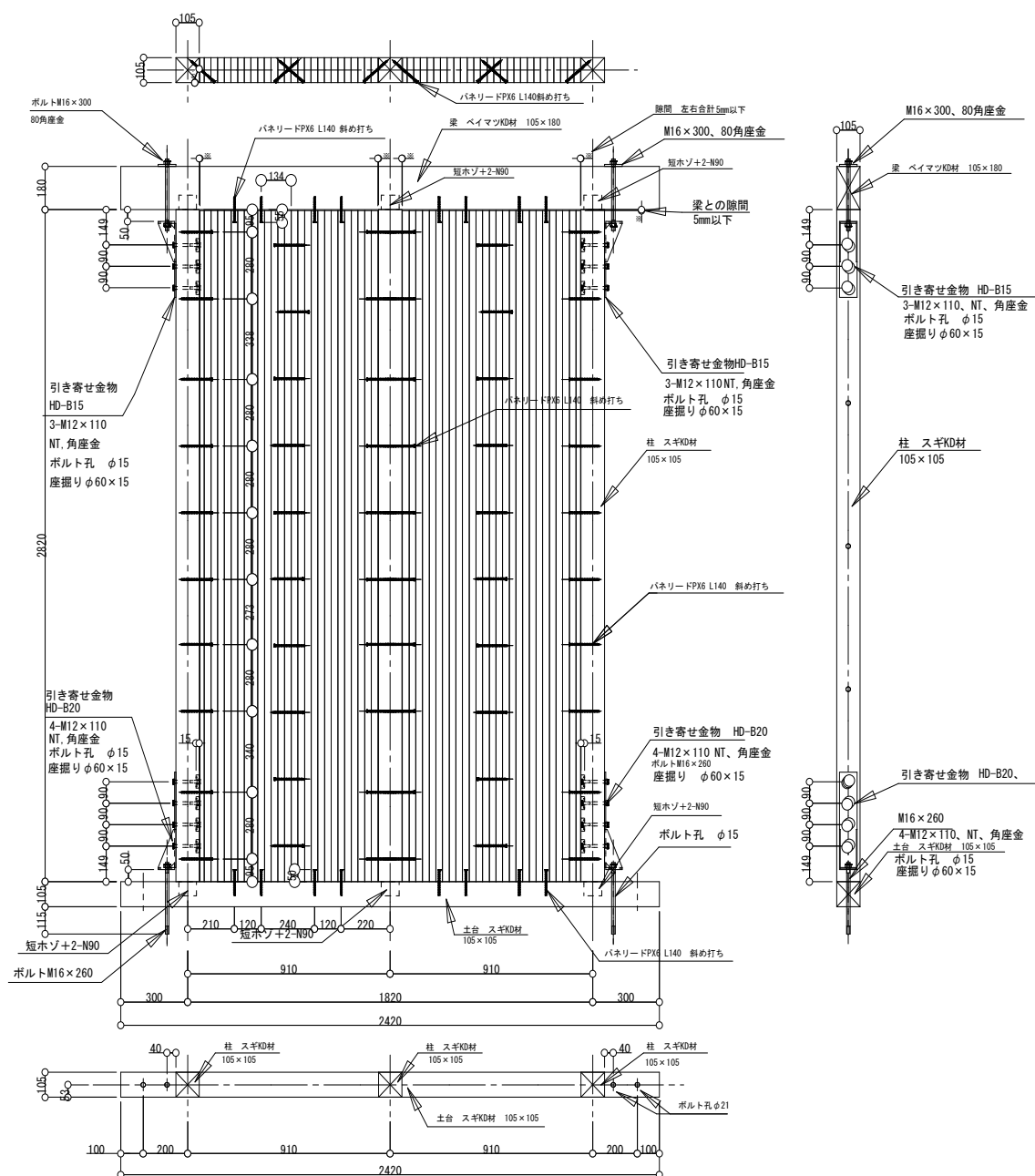


図- 47 試験体図(TYPE1)

試験体の仕様

DLTパネルの仕様

ラミナの品質：群馬県産スギ 乙種2級の品質を有する木材、比重 0.37以上、 $Mc \leq 20\%$

木ダボの形状：直径 $20.0\text{mm} + 0.5\text{mm}$ 、 -0mm 、たて溝付き

木ダボの品質：European Beech（欧州ブナ） 比重 0.65以上、 $Mc \leq 13\%$

木ダボ間隔：@600mm以下、端あき：140mm以上、木ダボ本数：1パネル当たり5本

木ダボ加工径： $\phi 19.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$

パネル幅はプレーナーにより調整し、2材あわせで $W800 + 3.0\text{mm}$ 、 -0mm とする

軸組み材

柱：スギ KD 材 105×105 構造用製材の J A S 2 乙種構造材 3 級程度

土台：スギ KD 材 105×105 構造用製材の J A S 2 乙種構造材 3 級程度

梁：ベイマツ KD 材 105×180 構造用製材の J A S 2 乙種構造材 3 級程度

DLT パネルの接合

柱・土台・桁の接合：柱脚 HD-B20、柱頭 HD-B15、 $M12 \times 110$ 、NT、角座金

ボルト孔 $\phi 15\text{mm}$ 、座掘り $\phi 60\text{mm} \times 15\text{mm}$

接合：パネリードPX6 L140 先孔加工 $\phi 3\text{mm}$ 、斜め打ち 45°

注意）指定位置に節がある場合は節を避け留めつけ、パネリードは貫通させない

4.1.3 試験の実施概要

- a. 試験内容 耐力壁の面内せん断試験
- b. 試験実施日 2019 年 7月29日
- c. 試験場所 公益財団法人日本住宅・木材技術センター
面内せん断試験機：最大水平加力 200KN

d. 試験方法

載荷方法：面内せん断試験 無載荷式

- ① 加力方法は正負交番繰り返し加力とし、繰り返しの原則は、見掛けのせん断変形角が $1/450$ 、 $1/300$ 、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$ 、 $1/50\text{rad}$ の正負変形時に行う。
- ② 繰り返し加力は、同一ステップで3回の繰り返し加力を原則とする。
- ③ 最大荷重に達した後。最大荷重の 80% の荷重に低下するまで加力するか、試験体の変形角が $1/15\text{rad}$ 以上に達するまで加力する。
- ④ 載荷式の積載荷重は 200N/m 程度とする。

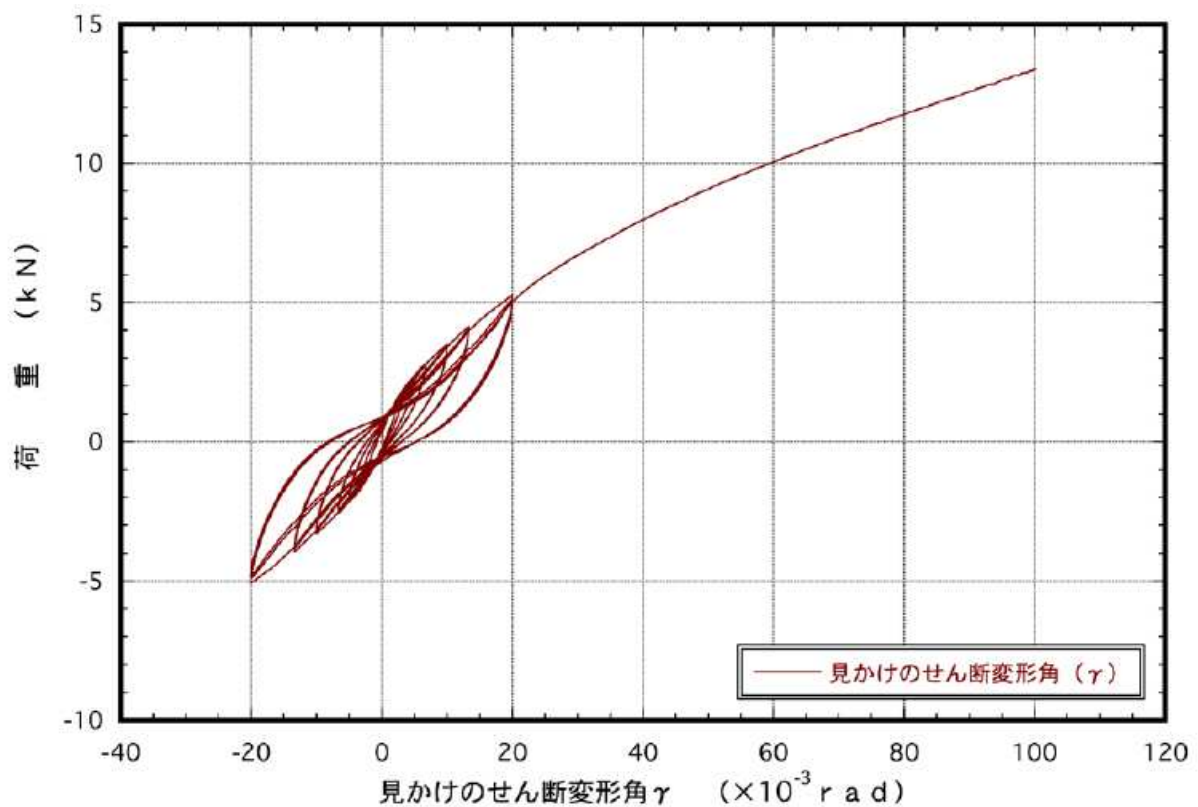
4.1.4 試験結果

表- 27 試験結果の概要

試験体 記号	最大荷重時		主な破壊状況
	最大荷重 (kN)	変形角 γ (rad)	
HP	13.39	1/10	軸組みとパネルの接合部でネジの引き抜けおよび破断。 軸組みとパネル接合部のせん断変形。 パネル間およびパネル内部のスギ相互のせん断変形。

表- 28 終局加力側の一定変形角時荷重

試験体 記号	一定変形角 γ ($\times 10^{-3}$ rad) 時荷重 (kN)										
	1	2	3	5	8	10	15	20	30	40	60
HP	0.91	1.37	1.76	2.36	3.09	3.5	4.41	5.27	6.69	7.97	10.05



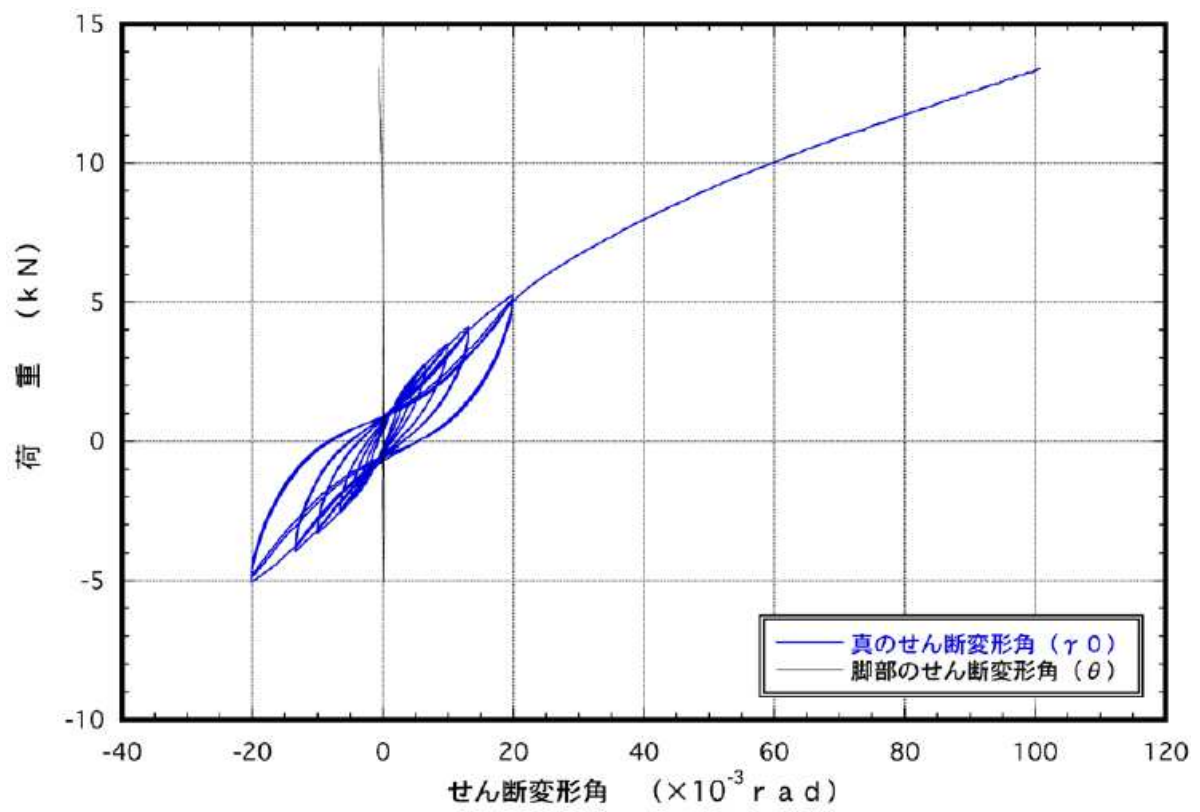


図- 49 荷重-せん断変形角曲線



写真-7-1 面内せん断試験 加力前



写真- 7-2 面内せん断試験 加力後

4.1.5 短期基準せん断耐力および倍率の試算

- (1) 包絡線は終局加力側の荷重-見かけのせん断変形角曲線より作成する。
- (2) 上記の包絡線から完全弾性体モデルにより降伏耐力等の特性値を算定し、
- (3) 短期基準せん断耐力 P_0 は、次に掲げる値のうち最も小さい値とする。
 - ① 降伏耐力 P_y
 - ② 終局耐力 P_u を $1/\sqrt{2\mu-1}$ で除し、0.2 を乗じた値
 - ③ 最大耐力 P_{max} の $2/3$
 - ④ 見かけのせん断変形角 $1/120\text{rad}$ 時の耐力

短期基準せん断耐力 P_0 から求める壁倍率は

試算壁倍率 = $P_0 \times (1/1.96) \times (1/L)$ より求める。

ここで、 P_0 ; 短期基準せん断耐力 (kN)

1.96 ; 倍率 = 1.0 の基準値 (kN/m)

L ; 壁長 (m) (ここでは 1.82m)

表- 29 試算した倍率

試験特性値[kN]				基準せん断耐力 P_0	換算壁倍率
P_y	$0.2P_u/\sqrt{2\mu-1}$	$(2/3)P_{max}$	$P(120)$		
5.07	3.11	7.1	3.16	3.11	0.8

※) 上記倍率にはばらつき係数および低減係数 α を乗じていない。

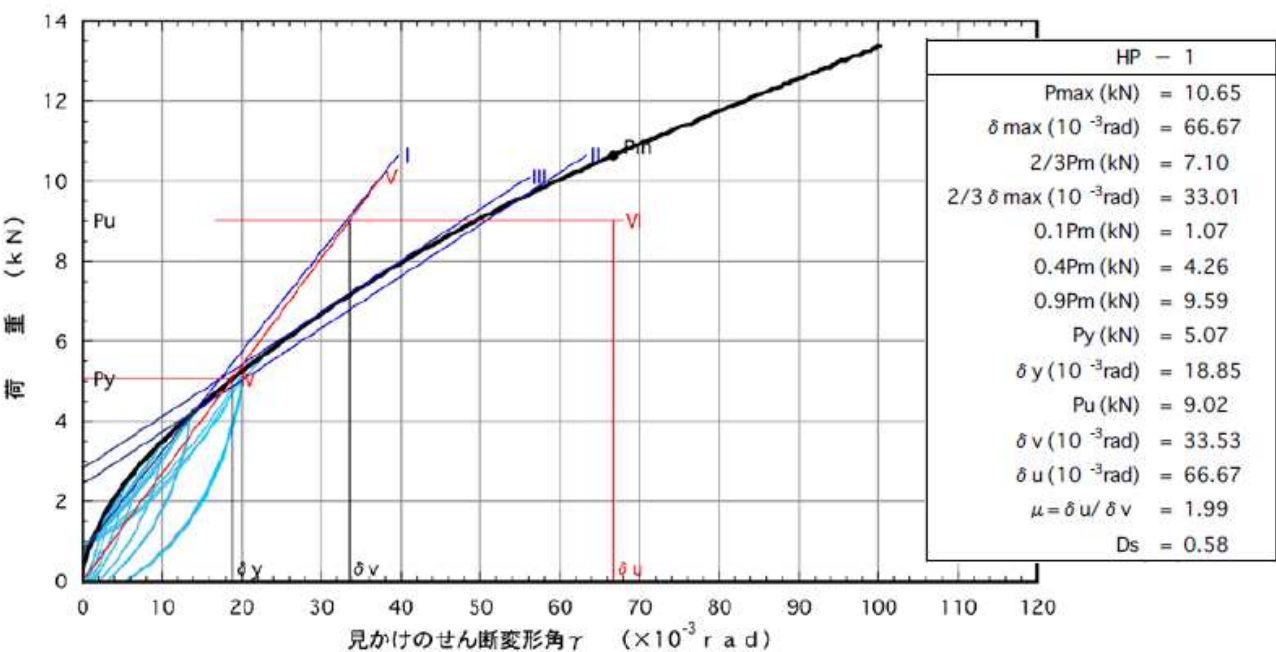


図- 50 荷重-見かけの変形角曲線

表- 30 試算した特性値

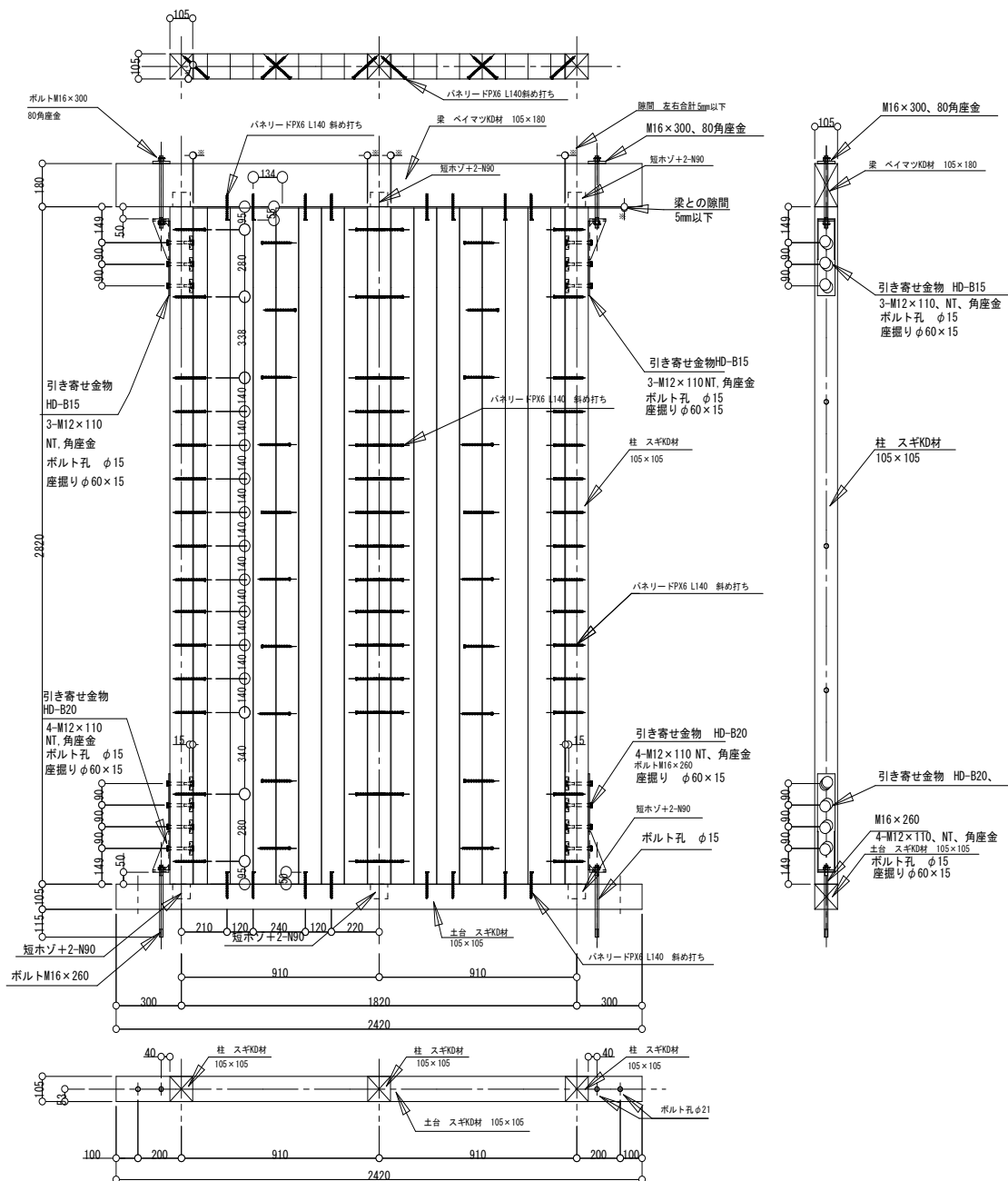
試験	第1回
DLTパネル 構成	30×105
試験方法	無載荷式
壁長	1.82m
試験体記号	HP
最大耐力 Pmax (kN)	10.65
最大耐力時変形角 $\delta_{\max}$ (10^{-3}rad)	66.67
降伏耐力 Py (kN)	5.07
降伏変形角 δ_y (10^{-3}rad)	18.85
終局耐力Pu(kN)	9.02
終局変形角 δ_u (10^{-3}rad)	66.67
降伏点変形角 δ_v (10^{-3}rad)	33.53
剛性 K (MN/rad)	0.27
塑性率 μ	1.99
構造特性係数 Ds	0.58
$P_u \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2\mu - 1}$ (kN)	3.11
$2/3 \cdot P_{\max}$ (kN)	7.1
一定変形時耐力 (kN)	
見かけ 1/300rad	1.87
見かけ 1/200rad	2.36
見かけ 1/120rad	3.16
真 1/300rad	1.90

4.2 面内せん断試験 (TYPE 2)

4.2.1 試験概要

- 木ダボ構造材を在来軸組工法の耐力壁として用いることを想定し、面内せん断試験を行い許容耐力および各特性特性値、破壊性状を確認する。TYPE1 の面内せん断試験結果をもとに、剛性を向上するため構成材を 105mm × 105mm とした試験体 TYPE2 を設定した。試験体図を図-51 に示す。

4.2.2 試験体仕様



試験体の仕様

DLTパネルの仕様

ラミナの品質：群馬県産スギ 乙種2級の品質を有する木材、比重 0.37以上、 $Mc \leq 20\%$

木ダボの形状：直径 $20.0\text{mm} + 0.5\text{mm}$ 、 -0mm 、たて溝付き

木ダボの品質：European Beech（欧州ブナ） 比重 0.65以上、 $Mc \leq 13\%$

木ダボ間隔：@600mm以下、端あき：140mm以上、木ダボ本数：1パネル当たり5本

木ダボ加工径： $\phi 19.5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$

パネル幅はプレーナーにより調整し、2材あわせで $W800 + 3.0\text{mm}$ 、 -0mm とする

軸組み材

柱：スギ KD 材 105×105 構造用製材の J A S 2乙種構造材 3級程度

土台：スギ KD 材 105×105 構造用製材の J A S 2乙種構造材 3級程度

梁：ベイマツ KD 材 105×180 構造用製材の J A S 2乙種構造材 3級程度

DLT パネルの接合

柱・土台・桁の接合：柱脚 HD-B20、柱頭 HD-B15、 $M12 \times 110$ 、NT、角座金

ボルト孔 $\phi 15\text{mm}$ 、座掘り $\phi 60\text{mm} \times 15\text{mm}$

接合：パネリードPX6 L140 先孔加工 $\phi 3\text{mm}$ 、斜め打ち 45°

注意）指定位置に節がある場合は節を避け留めつけ、パネリードは貫通させない

4.2.3 試験の実施概要

a 試験内容 耐力壁の面内せん断試験

b 試験実施日 2019 年 7月29日

c 試験場所 公益財団法人日本住宅・木材技術センター

面内せん断試験機：最大水平加力 200KN 試験方法

d 試験方法

載荷方法：面内せん断試験 無載荷式

- ① 加力方法は正負交番繰り返し加力とし、繰り返しの原則は、見掛けのせん断変形角が $1/450$ 、 $1/300$ 、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$ 、 $1/50\text{rad}$ の正負変形時に行う。
- ② 繰り返し加力は、同一ステップで3回の繰り返し加力を行うことを原則とする。
- ③ 最大荷重に達した後。最大荷重の 80% の荷重に低下するまで加力するか、試験体の変形角が $1/15\text{rad}$ 以上に達するまで加力する。
- ④ 載荷式の積載荷重は 200N/m 程度とする。

4.2.4 試験結果

表- 31 試験結果の概要

試験体 記号	最大荷重時		主な破壊状況
	最大荷重 (kN)	変形角 γ (rad)	
H105	31.39	1/9	軸組みとパネルの接合部でネジの引き抜けおよび破断。 軸組みとパネル接合部のせん断変形。 パネル間およびパネル内部のスギ相互のせん断変形。

表- 32 終局加力側の一定変形角時荷重

試験体 記号	一定変形角 γ ($\times 10^{-3}$ rad) 時荷重 (kN)										
	1	2	3	5	8	10	15	20	30	40	60
H105	2.1	3.23	4.2	5.9	8.13	9.46	12.06	14.18	17.32	20.03	24.90

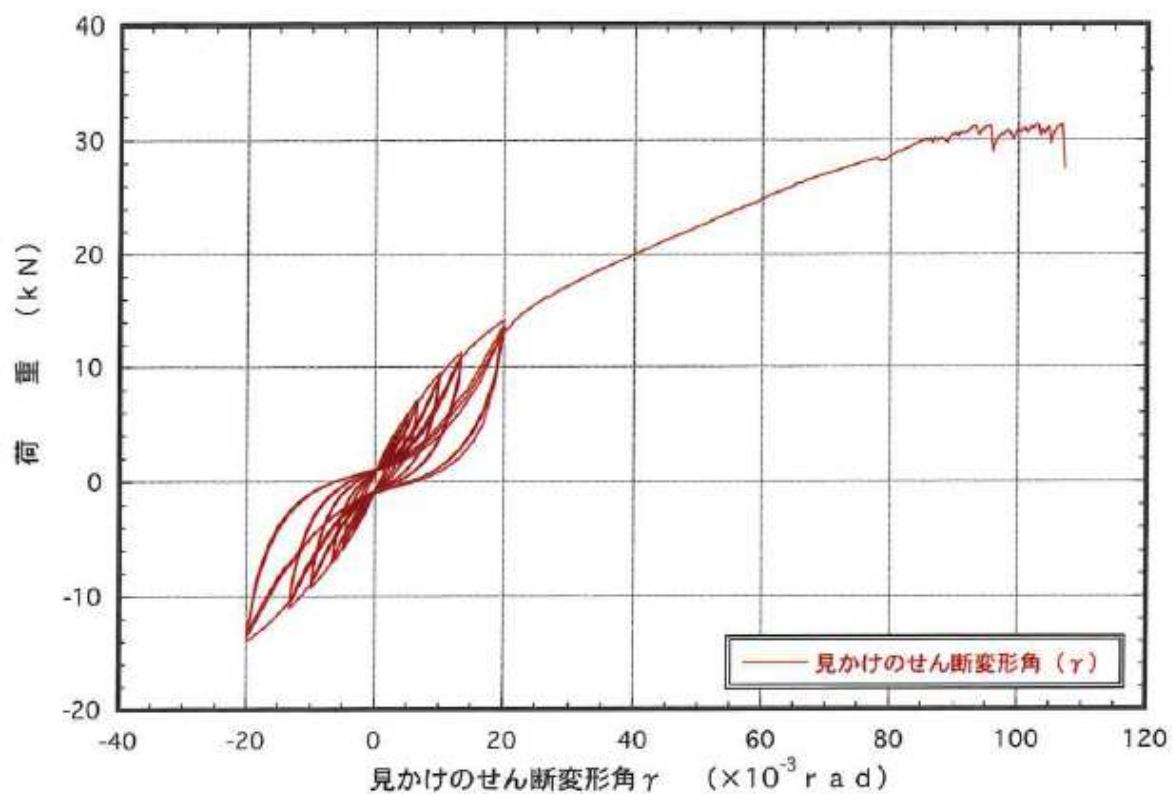


図- 52 荷重-変形角曲線

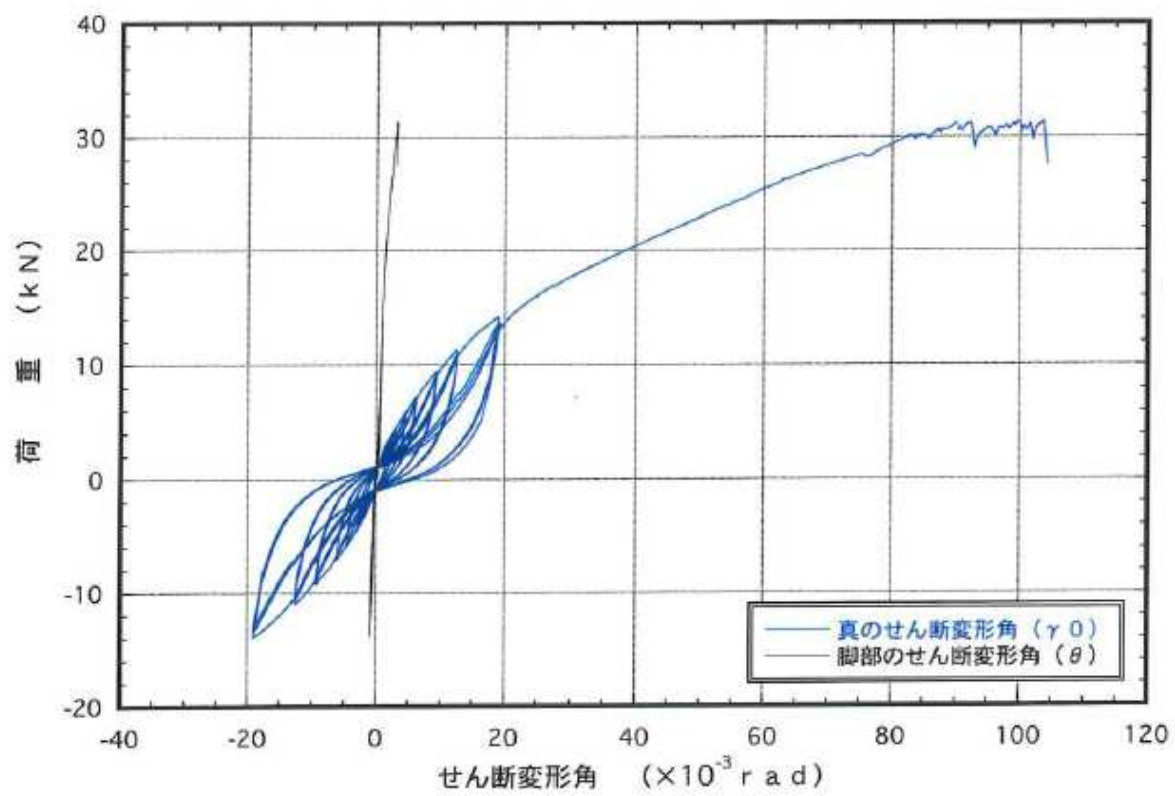


図- 53 荷重-せん断変形角曲線

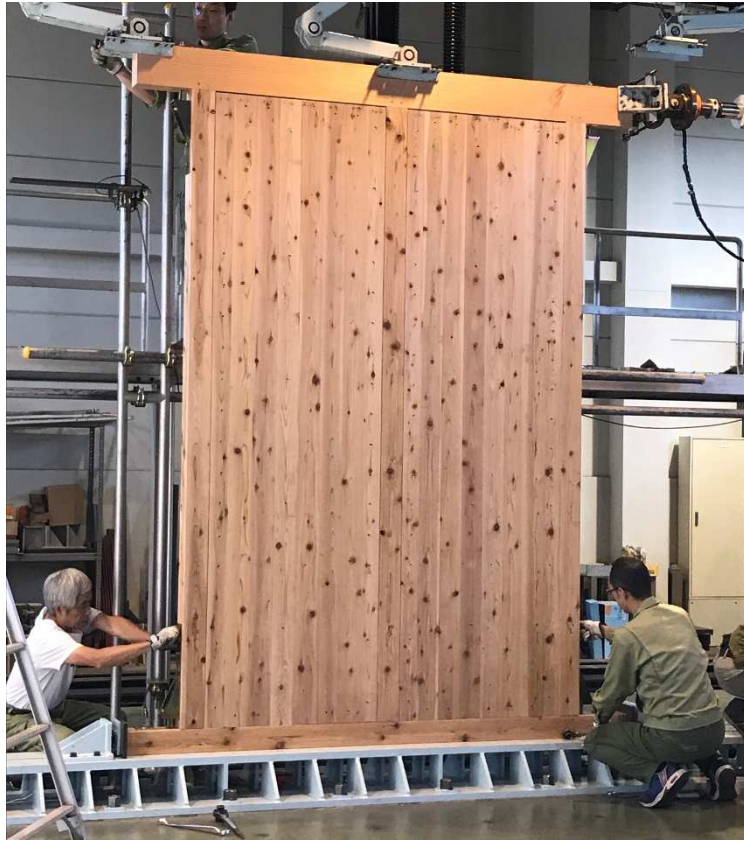


写真- 8-1 面内せん断試験 加力前



写真- 8-2 面内せん断試験 加力後

4.2.5 短期基準せん断耐力および倍率の試算

- (1) 包絡線は終局加力側の荷重-見かけのせん断変形角曲線より作成する。
- (2) 上記の包絡線から完全弾性体モデルにより降伏耐力等の特性値を算定し、
- (3) 短期基準せん断耐力 P_0 は、次に掲げる値のうち最も小さい値とする。

- ① 降伏耐力 P_y
- ② 終局耐力 P_u を $1/\sqrt{2\mu-1}$ で除し、0.2 を乗じた値
- ③ 最大耐力 P_{max} の $2/3$
- ④ 見かけのせん断変形角 $1/120\text{rad}$ 時の耐力

短期基準せん断耐力 P_0 から求める壁倍率は

試算壁倍率 $= P_0 \times (1/1.96) \times (1/L)$ より求める。

ここで、 P_0 ; 短期基準せん断耐力 (kN)

1.96 ; 倍率 = 1.0 の基準値 (kN/m)

L ; 壁長 (m) (ここでは 1.82m)

表- 33 試算した倍率

試験特性値[kN]				基準せん断耐力 P_0	換算壁倍率
P_y	$0.2P_u/\sqrt{2\mu-1}$	$(2/3)P_{max}$	$P(120)$		
12.73	8.4	17.67	8.36	8.36	2.3

※) 上記倍率にはばらつき係数および低減係数 α を乗じていない。

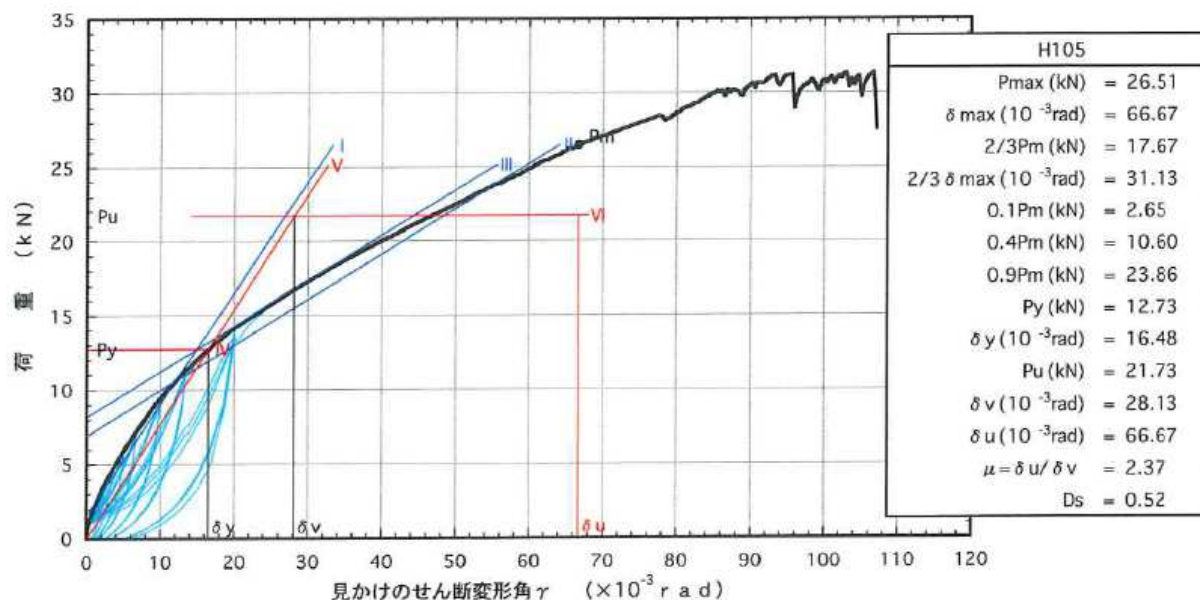


図- 54 荷重-見かけの変形角曲線

表- 34 試算した特性値

試験	第1回	第2回
DLTパネル 構成	30×105	105×105
試験方法	無載荷式	無載荷式
壁長	1.82m	1.82m
最大耐力 Pmax (kN)	10.65	26.51
最大耐力時変形角 $\delta_{\max}$ (10^{-3}rad)	66.67	66.67
降伏耐力 Py (kN)	5.07	12.73
降伏変形角 δ_y (10^{-3}rad)	18.85	16.48
終局耐力Pu(kN)	9.02	21.73
終局変形角 δ_u (10^{-3}rad)	66.67	66.67
降伏点変形角 δ_v (10^{-3}rad)	33.53	28.13
剛性 K (MN/rad)	0.27	0.77
塑性率 μ	1.99	2.37
構造特性係数 Ds	0.58	0.52
$P_u \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2\mu - 1}$ (kN)	3.11	8.4
$2/3 \cdot P_{\max}$ (kN)	7.1	17.67
一定変形時耐力 (kN) 一定変形時耐力 (kN)		
見かけ 1/300rad	1.87	4.49
見かけ 1/200rad	2.36	5.9
見かけ 1/120rad	3.16	8.36
真 1/300rad	1.90	4.84

<試験結果の考察>

- DLT の構成材を 30×105mm とし、外径 20mm の木ダボ 5 本で接合した試験体 TYPE1 は、面内せん断試験の結果、基準許容耐力は $0.2P_u / D_s$ で決まり、壁倍率換算で 0.8 倍の耐力が確認された（表-35）。1/120rad 時の耐力は同じく 0.8 倍であるため壁剛性は高くない。しかし 1/10rad 時を超えても耐力低下しない高い変形性能を示した。構成材の幅が 30mm の場合、1/10rad 変形時でも木ダボのせん断変形は 3mm 程度であり、まだ木ダボの降伏点変位に達していない。そのため耐力壁の荷重変形曲線も明確な降伏点を示さず、耐力壁の D_s 値は 0.58 と大きくなった。
- 試験体 TYPE1 の終局時、DLT パネル同士のせん断変位が 3mm であったのに対し、柱と DLT パネル 間は 9mm であることが確認された。これは柱の幅が構成材の幅の 3.5 倍であることから生じた変位差と考えられる。またパネル内部の構成材相互のせん断変形より、DLT パネル同士の斜めビス接合部のせん断変位が大きいことが確認された。これは木ダボに対して斜めビス接合の剛性が低いことで生じた変位差と考えられる。
- 柱脚の傾きは、圧縮側柱と中央の柱はほぼ同じ傾きをしめしたが、ホールダウン金物で接合した柱の傾きは他 2 つの柱より小さいことが確認された。
- DLT の構成材を 105×105mm とし、外径 20mm の木ダボ 5 本で接合した試験体 TYPE2 は、面内せん断試験の結果、基準許容耐力は剛性で決まり、壁倍率換算で 2.3 倍の耐力が確認された（表-35）。積層材の幅を 30mm から 105mm へ 3.5 倍にすることで、壁の剛性が 2.9 倍になった。また TYPE1 と同様に 1/10rad 時を超えても耐力低下しない高い変形性能を示した。構成材の幅が 105mm になると、1/10rad 時に柱の傾きも 1/10rad となり、木ダボのせん断変形が 10.5mm になって降伏点変位を超えるが、木ダボに対して剛性の低い斜めビス接合部に変形が集中したため、木ダボ接合部が降伏点変位に至らず、TYPE1 同様に耐力壁の荷重変形曲線が明確な降伏点を示さなかった。したがって耐力壁の D_s 値は 0.52 と大きくなった。
- 試験終了後、耐力壁を解体して木ダボ接合部を観察したところ、木ダボのせん断変形はほぼ確認できず、構成材の角がめりこんでできた線状の跡が残る程度であった。また構成材側のダボ穴についても、ダボがめりこんだ跡がわずかに確認される程度で、明らかなめり込みは確認されなかった。一方、ビスは「くの字」に曲げ変形していることが確認された。

表- 35 試験特性値、基準せん断耐力、換算壁倍率

構成材	試験特性値[kN]				基準せん断耐力 P_0	換算壁倍率
	P_y	$0.2P_u\sqrt{2\mu-1}$	$(2/3)P_{max}$	$P(120)$		
30×105	5.07	3.11	7.1	3.16	3.11	0.8
105×105	12.73	8.4	17.67	8.36	8.36	2.3

5. DLT の製作実証

5.1 製作実証の概要

- ・ 木ダボ構造体の製造治具を木材流通の川上側である小井土製材に持ち込み、DLT を実際に製作して未利用材の付加価値の向上、歩留まりの向上に役立つことを確認した。

5.2 実施内容

- a. 実施内容 小井土製材にて用意した下記の 2 種類の材料で試作を実施した。

- ① 入り皮や丸身があるスギ 2 × 4 材 L2.8m 10 枚
- ② 断面寸法、長さが不揃いのスギ (2)、ヒノキ (2)、カラマツ (3)、ケヤキ (2 枚)、ベイツガ (1 枚)

製造方法は弊社 館林工場で実施している製造方法に準じて製作した。

- b. 実施日 2019 年 10 月 29 日 (火曜日)
- c. 実施場所 小井土製材株式会社 (群馬県甘楽郡下仁田町大字東野牧 2 4 7 0)
- d. 参加者 大貫委員、小井土委員
小井土製材 社員
長谷萬 中澤、藤井、釜本、小林
長谷川萬治商店 佐々木、千葉

5.3 実施結果

- ・ 最初に事務局より組み立ての概要を説明。長谷川萬治商店 佐々木、千葉より手本を示し、実際に小井土社長と社員の 2 名で圧締治具へ材料の挿入・圧締、ドリル治具を使用してロングドリルによる孔あけ、ダボの打ち込み搬出まで一連の作業を実施した。
- ・ 初めての製作で不慣れなために孔あけ加工の精度に若干の甘さがあったものの、大過なく製作でき当社の考案による製造治具により山側の製材所でも製造可能であることが実証できた。
- ・ 異樹種材による DLT の製造では異樹種材の比重の違いにより、ドリル孔あけの加工速度が異なり、その速度差が如実に手ごたえとして伝わることも確認された、異樹種材の積層材は色目や材質によって意匠的に面白いものが出来、内装用途への利用可能性が感じられた。

実証 1 （スギ 2x4 材）実施状況の写真

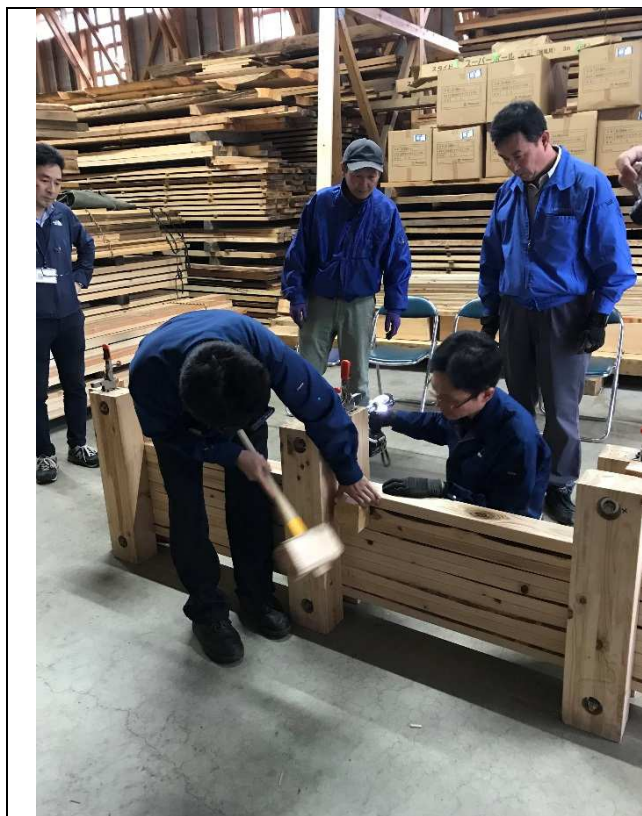


写真-9-1 積層・圧締の状況



写真-9-2 積層・圧締の状況



写真-9-3 積層・圧締途中での確認（大貫委員）

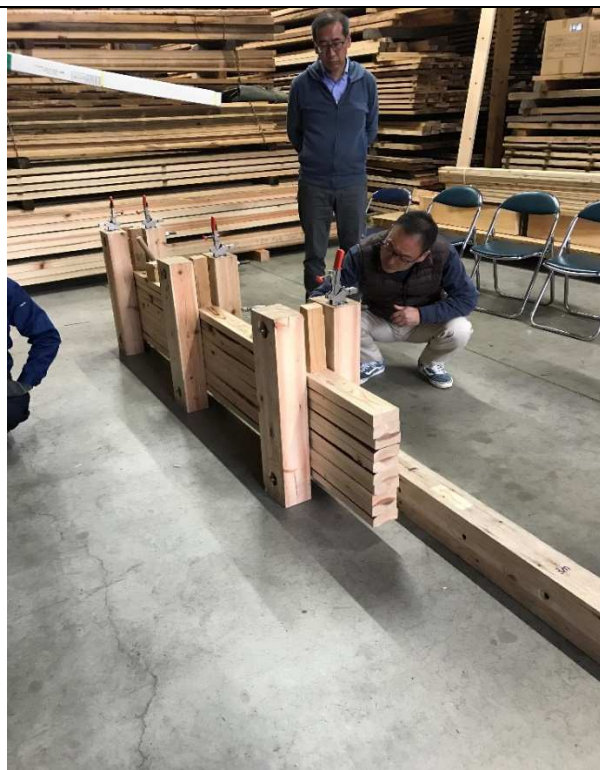


写真-9-4 積層・圧締途中での確認（大貫委員）



写真-9-5 小井土委員による孔あけ加工



写真-9-6 小井土委員による孔あけ加工



写真-9-7 小井土製材 社員による孔あけ加工

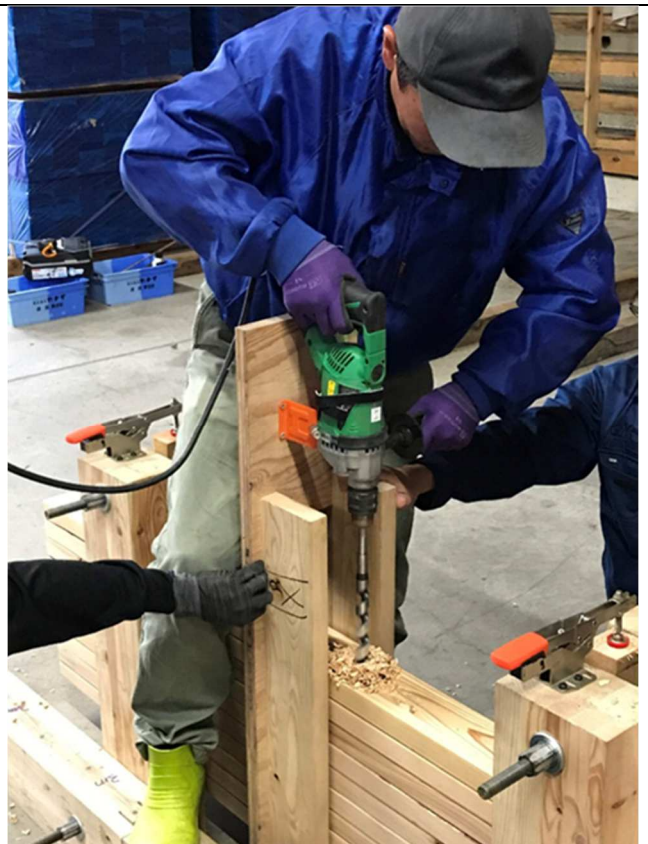


写真-9-8 小井土製材 社員による孔あけ加工



写真-9-9 小井土委員による木ダボ打ち込み



写真-9-10 小井土製材 社員による木ダボ打ち込み

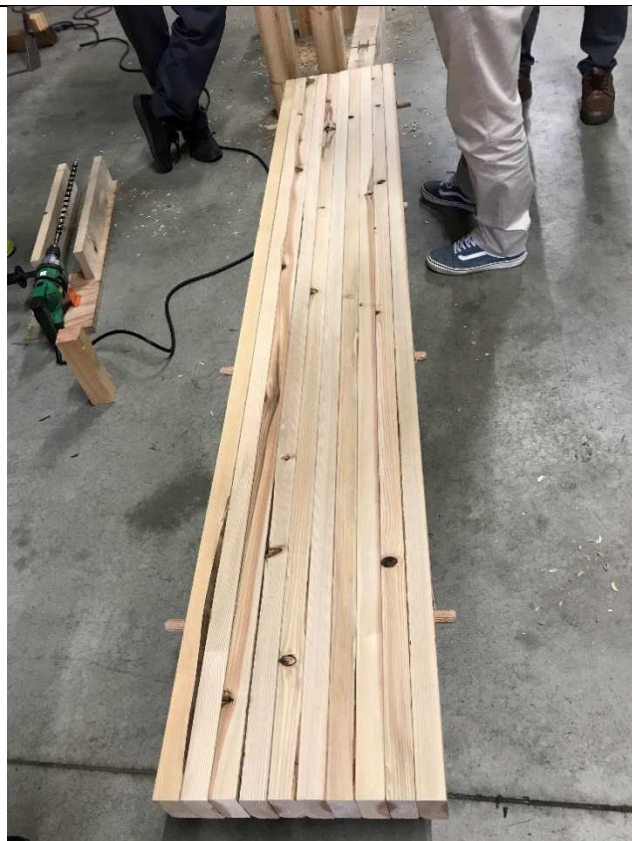


写真-9-11 木ダボ積層材の外観



写真-9-12 木ダボ積層材の外観確認（大貫委員、小井土委員）

実証 2 （異樹種材の積層）実施状況の写真

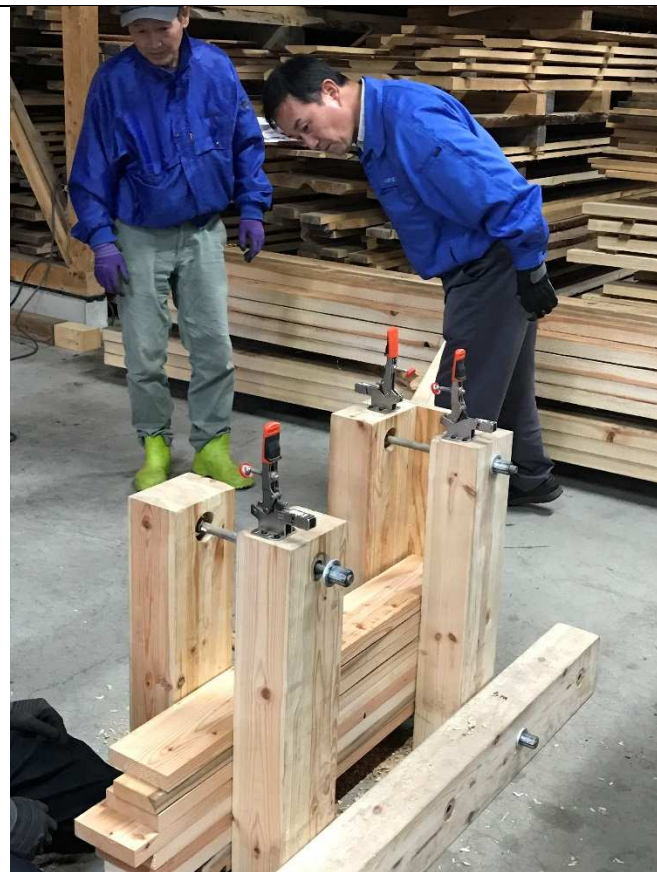


写真-9-13 異樹種の積層状況

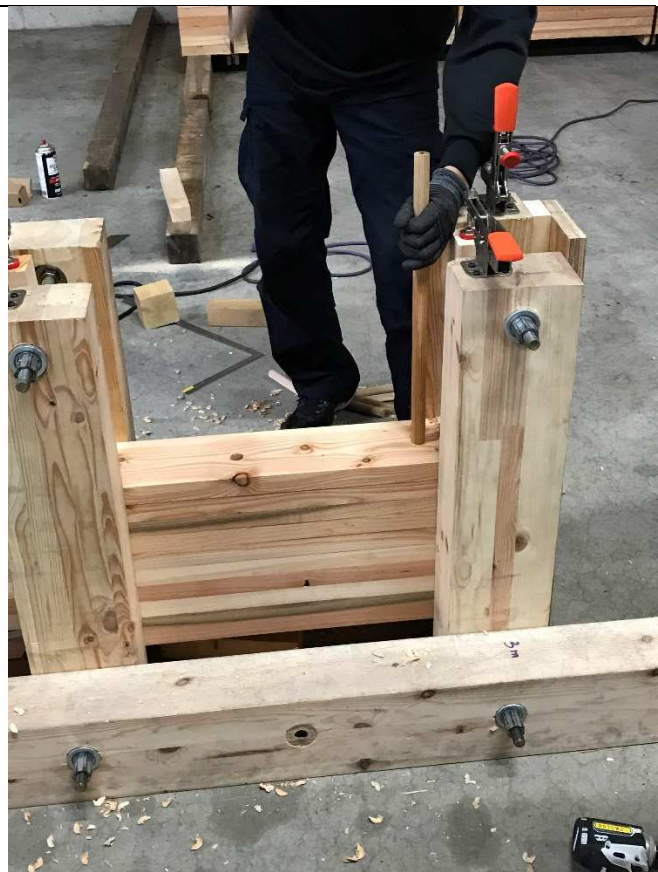


写真-9-14 異樹種の積層状況



カラマツ	ベイツガ	ケヤキ	カラマツ	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	ケヤキ	カラマツ
------	------	-----	------	----	-----	----	-----	-----	------

写真-9-15 異樹種積層材の外観（表側）



写真-9-16 異樹種積層材の外観（裏側）



写真-9-17 異樹種積層材、スギ積層材の外観の確認（表側）



写真-9-18 異樹種積層材、スギ積層材の外観の確認（裏側）

実施後のディスカッションでの発言

- ・ 当社では最終製品としてオガコ（木粉）を製造、販売しており、DLT が当社での歩留まり向上に直結するか
の判断は難しいが、付加価値の向上に直結することは確かだろう。
- ・ 付加価値を向上できても製造手間やコストが過大であれば問題と考えていたが、このような簡易な方法であれば大きなコストをかけずに付加価値向上できると思われる。
- ・ 他の製材所では、これまでは出荷しなかった低級の J A S 材やノン J A S 材などを DLT に加工することで歩留まり向上が可能であると思われる。
- ・ 皮の部分もある意味で価値とみなせる。すべてをモルダーにかけてつるつるにした材の必要はない。今回の治具のように大きな設備投資がいらず、金属も使わないので朽ちたら燃やせる。ローテクだからやれるのが DLT の良いところと感じる。
- ・ 天井や床、壁材など住宅建築だけでなく、用途としては、公共施設系もあるのではないかな。倉庫や、事務所といった非住宅用途や、建築に限らずに土木系の資材でも使えるのではないかな。
- ・ 認知度を上げることでマーケットは色々考えられるだろう。県庁をはじめとする行政への働きかけなどにより、地場の木材を使って、自分たちで作れるといった、地産地消が可能であると思われる。

6. DLT の断面形状の検討

DLT は板面の品質が低い材料であっても積層面から露出せず、見えがかりとなる板厚側の節や丸身、入り皮などが意匠的な特長となることから、DLT の利用は未利用材の有効活用や付加価値向上につなげることができる。

製材の日本農林規格（JAS）では材面の品質（節や丸身、割れ、年輪幅、など）によって等級区分されるが、躯体で使用する場合、木材現しとしない利用でも外観が重要視されることが多いため、JAS 規格に該当する製品であっても節や丸身、入り皮混じりが未利用となる傾向がある。DLT はそうした未利用材活用の一手法として期待できる。

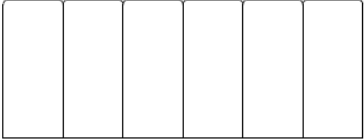
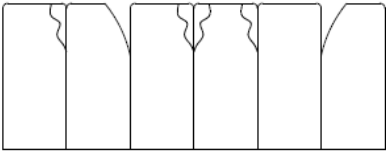
DLT は接着剤を使用せず木ダボだけで板材や正角材等を積層し製造する。積層する木材断面に加工することで、多様な意匠性を持たせられることが出来る。

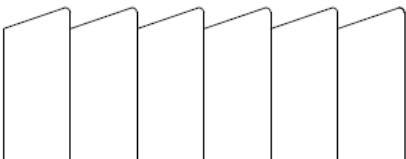
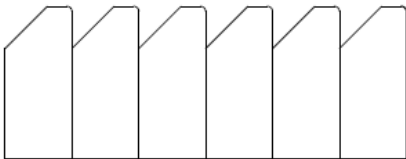
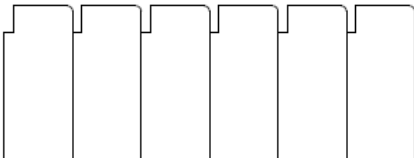
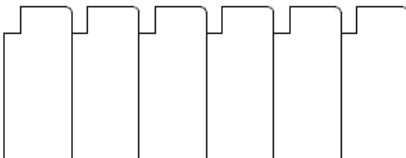
DLT は、ラミナの断面を加工した後で木ダボ接合すればよいため、大規模な設備は不要である。また、接着剤を用いる集成材とは異なり、積層後のモルダー加工が必須ではない点が特徴である。

また、材同士の接合に、釘などの金属系の接合材を使用しないため、積層後に切断加工による寸法調整や穴あけ加工が容易な点も特徴として挙げられる。

ここでは断面形状を検討したサンプル製作例を示す。

表- 36 DLT の断面形状例

フラット 	丸身、入り皮混じり 
 加工しないひき板の積層。	 丸身や入り皮交じりのひき板により、均質でない、ラフな印象。

斜め加工 1 	斜め加工 2 
 ひき板端部の斜め加工で表面に変化をつけた場合。	 平面を残し、斜めに深く削る場合。凸凹を強調。
溝加工 1 	溝加工 2 
 側面に溝をつけたひき板の積層。それぞれのひき板が強調される。	 側面の溝幅を広げたひき板の積層。より凹凸が強調される。

7. DLT の普及にむけて

7.1 DLT の活用手法について

1) 床版や屋根としての利用

- ・ 接着剤や釘を使用せず、製材を木ダボだけで積層した木材 100%でも、均等荷重による梁の曲げ試験の結果よりスギ DLT は同断面のスギ集成材 E65F255 同一等級構成の平使いと同等程度の曲げ性能が確認された。また、偏荷重による梁の曲げ試験の結果から、木ダボの一体効果が確認された。水平構面を確保するために面材併用が必要であるが、床版や屋根として使える。
- ・ DLT を天井現しの床パネルとして使用することによるメリットとして、① 天井高が高い室内空間を確保できる。②床兼天井仕上げが一体となることで施工コストを軽減できる。
- ・ 床や屋根パネルとして使用する場合は平構面の確保のため、構造用合板を併用する必要がある。

2) 耐力壁としての利用

- ・ 面内せん断試験の結果より、正角材（105×105）DLT 壁パネルは 2.2 倍程度の壁耐力が確認されており壁に活用できる。構造用面材併用で壁面パネルや、内装間仕切り壁への利用も可能である。
- ・ 壁倍率を取得していないため告示仕様による壁量計算に対応していない。そのため耐力壁として使用する場合は試験結果より得られた特性値をもとに許容応力度計算をする必要がある。

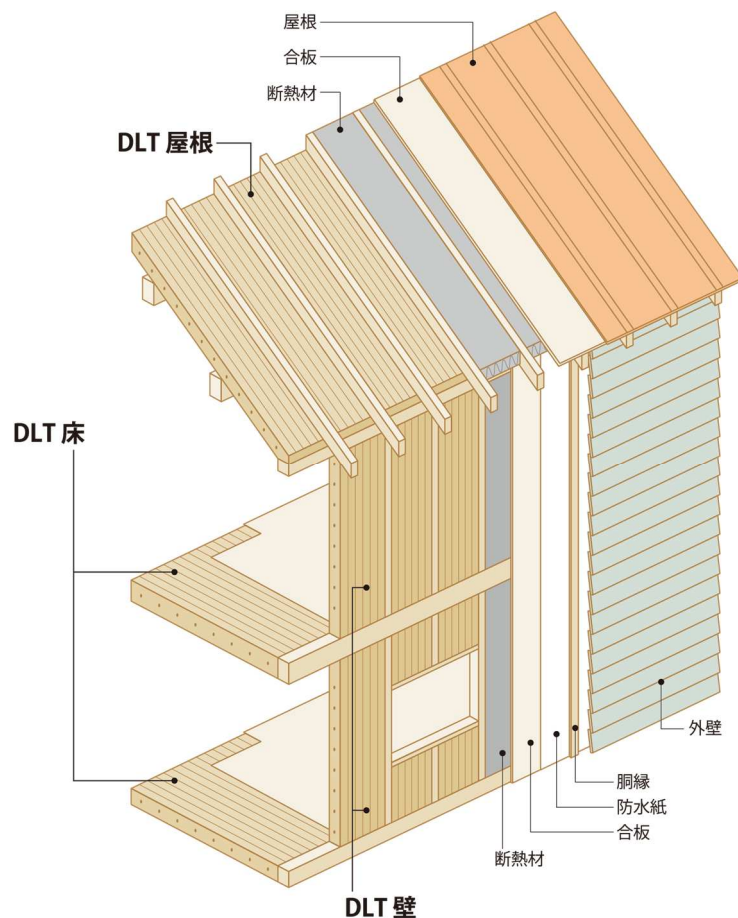


図- 55 DLT 活用モデルの提案

スギ DLT 床パネルとして下表のスパン表を提案する。DLT はスギ材に限定せずヒノキやカラマツ、SPF でも製作可能である。

表- 37 （参考）スギ DLT 床パネルのスパン表

用途・積載荷重 \ スパン		3m	4m
住宅	1,800 (N/m ²)	89mm以上	120mm以上
非住宅	2,900 (N/m ²)	105mm以上	140mm以上

計算条件：スギ製材 JAS 甲種 2 級同等 KD 材

前章「6. DLT の断面形状の検討」で示した製作したサンプル例のとおり、DLT は積層する木材断面の加工により、多様な意匠性を持たせられる。DLT はそうした意匠性の特徴を活かし、小規模低層の住宅用途に限定せず、居室あたりの床面積が広い非住宅用途の中大規模木造での天井現しの床用途として活用出来る。

また「5.DLT の製作実証」で示した通り、DLT は大規模な生産設備が不要で、川上側の製材業者でも比較的簡単に製造できた。そうした製造面の特徴を活かし、DLT は建築用途に限定せず、例えば災害時の仮設橋や林道のフォワーダー等の仮橋など仮設的な土木用としての活用も提案できる。

7.2 DLT 利用拡大のための課題

本事業の実施試験の結果を踏まえながら、今後、公共建築物や都市部における木造建築で DLT の利用拡大を図る上での課題を挙げる。

① DLT パネル同士のダボ接合による連続化

DLT パネルはドリルの長さなどの加工上の制約から、穿孔長さの制約（約 500～600mm）があり、それに従って製作パネルの幅に制限が生じる（最大幅 500～600mm）その為、パネル幅を大きくするにはパネル同士の接合が必要となる。本事業ではパネル同士の現場接合を斜めビス接合としたが、木ダボ接合に対して斜めビス接合は剛性の剛性が下回ったため、耐力壁面内せん断試験で剛性が低いビス接合部の変位が大きくなった。そこでパネル同士の接合時の耐力、剛性の均等化を図るためには、DLT パネル同士の接合も「木ダボ接合」が可能にできるよう、剛性に不連続の生じないパネル同士の連続化の手法確立が必要である。

② DLT の断面形状による音響特性の把握

DLT は木材断面を加工した木材の積層が可能である。本事業では DLT の断面形状についても検討した。建物の用途によっては音響に対する配慮や対策も必要となる。DLT の形状を音響性能に利用するため、断面加工したラミナの DLT の吸音性能を確認する。木材のみの場合と「木＋吸音材」との複合で吸音性を確認する。

③ DLT -コンクリート複合床版の検討

DLT の利用拡大には住宅だけでなく、学校や店舗や事務所など特殊建築物での利用が効果的である。既に CLT でも実践されているが、木床版の上に現場打ちコンクリートを打設する複合構造は、合成効果による曲げ剛性の向上、および高剛性の水平構面を構成できる構造上の合理性がある。また、上階の音を下階に伝え難くする遮音性能の向上も期待できることから、RC 造や S 造での DLT 活用も期待できる。

④ DLT の耐火性能の検証

本事業では耐火性能を要求されない低層建築物を中心とした一般住宅や非住宅での使用を想定したが、DLT の利用拡大を図るためには大規模木造や、木造以外の S 造、RC 造に DLT を適用させる上で耐火性能の検証・確保が不可欠である。1 時間耐火構造の床、天井、屋根、間仕切壁の検証が必要である。

8. 添付資料

委員会議事録

第一回 DLT 性能評価取得及び普及に向けた検討委員会 議事録

日時：2019年5月15日(水) 14:00～16:00

会場:株式会社 長谷萬本社 第1会議室
東京都江東区富岡2-11-6 長谷萬ビル

参加者：

法政大学 網野先生、宮田先生、網野研究室 田中様、宮田構造設計事務所 杉村様
元林野庁 大貫様
小井土製材株式会社 小井土社長
林野庁 木材産業課 平山様
株式会社長谷萬 長谷川副社長、鈴木本部長、中澤部長、小林副部長、釜本

1. 事業主体挨拶(長谷川副社長)

昨今の世の中の動きを見てみると、自立循環型の社会を各国が築いていくことが、ますます重要になってくると思われる。特に森林資源が豊富な日本では、いかにうまく森林資源を活用して、豊かな社会を築いていくかが重要である。本事業で進める木ダボ接合を用いた新素材の開発は、そうしたことにつながる第一歩になると確信している。技術開発とともに普及に向け用途の開発や提案も重要になると捉えている。本技術確立・普及に向けて、ご協力をお願いしたい。

2. 出席者紹介

3. 事業概要説明、背景・目的

本事業の目的及び達成すべき成果について、19/3/6 提出の林野庁補助事業課題提案書の抜粋資料により共有した。また、以下を共有した。

(1) 本事業採択の主な理由は下記の二点であった。

- ・ DLT が地域の木材・製材活用につながる点。
- ・ 都市部だけではなく地域の製材事業者も委員メンバーに入っている点。

(2) 豊かな森林の造成、林業の振興、山村地域の活性化の実現が林野庁の目的であり目指すところである。木材産業とはそのための一手段である。本事業もその一環であるから、林業振興や山村地域の活性化に寄与しない部材開発では意味がない。山元へより多く還元できる部材開発を目指すということを共有されたい。

(3) 20 年位前、間伐の推進が急務であり、そして大量に伐出される間伐材の需要開発が重要な課題であった。その間伐材を、その頃国産材がほとんど使われていなかったエンジニアードウッド(集成材、合板など)に使うことを推進してきた。しかし、山元への還元が十分ではない状況にある。

DLT は、既存の製材工場で生産が可能で、製材歩留まりの向上も期待できることから、山元へより多くの還元が可能となる。既存の設備の活用で、多額の設備投資も必要としないのであれば、早く広い普及が期待できる。

- (4) 製材歩留まり向上策として、意匠材に用いるDLT のラミナにはノンJAS 材も利用するが、構造用として壁倍率を取得する場合は、JAS2 級以上のラミナを用いることで、全体として製材歩留まりを向上させる。
- (5) 用途について、普及・導入の第一歩として、エンドユーザーに親しみやすく、設計が容易な木造戸建て住宅への活用を想定する。将来的には中大規模建築の部材など広く活用できるように進めていきたい。
- (6) 耐力壁としての性能評価を取得するが、広く普及させることも目的であるので、耐力性能の高さを追求するのではなく、安価で、設計しやすく、施工しやすいという部分に重きを置き、性能評価を進める。

4. 委員長選出

宮田先生が選出された。

5. 委員会名称確認

本委員会名「木ダボ接合構造体の普及に向けた性能評価取得と普及活動」、略称を「DLT 検討委員会」とする。

6. 計画説明

弊社での進捗状況について報告し、今後の実施計画(案)を説明、確認した。

(1) 商品の意匠バリエーションについて

小井戸製材にて製品検品段階で取り除かれた丸味付き、皮付き材を600mm 程度に切断し並べた DLT の意匠性の高さを紹介。

- ・ フラットフェイスのみでなく入り皮や丸み付きなどのバリエーションを増やし、お客様の要望に合わせて柔軟に対応できることが強みになる。この形だったらいくら追加したらできるといった形で付加価値を高めていくことが可能。
- ・ 皮付や丸み付き材が混ざると意匠性が高くなる。
- ・ 意匠バリエーションのみでなく、将来的には機能バリエーションにも富んだ商品を目指したい。

(2) 実施試験の計画について

- ・ 実施計画案を作成し、住木センター、群馬林業試験場にヒアリングを実施した段階である。住木センターから、先に壁倍率予備試験を行い、どこが弱くどこを検討すべきかを明

確にしてから本試験に臨むほうが結果的に効率的であるとのアドバイスがあり、それに従った形で進める。

(3) 製作方法について

- ・ 製作治具について、プロトタイプの木製治具ができています。治具同士が固定されていないためにねじれが発生する部分が課題であるが、添え木を通してねじれを解消できる。治具に上下用クランプ機能を付け加えればほぼ完成となる。
- ・ 現時点では木ダボ径20mmに対し、ダボ穴径19.5mmまでは手打ち可能なことが確認できている。
- ・ 現在は材料を固定し、ドリルを移動することでダボ穴を開けている。ダボ穴の精度を上げるためには、ドリルを固定し、材料を移動させてダボ穴を開ける治具の開発が必要となるのではないかと。
- ・ ツーバイ材として使用する材長は2336mmが一般的であるが、DLTの床製品として使用するためには3000mm・4000mm程度が良いと考えられる。ツーバイ材だけでなく間柱材も使用するべきではないかと。
- ・ 2階床で使用する場合は3.6m程度のスパンを確保する必要がある。

(4) 歩留まりについて

- ・ 以前(20 年位前)は、押角(おしかく)材が利用されていたことなどから、製材歩留まりは60%近くあった。現状では40~45%程度はないかと。
- ・ 現在は、丸みや入り皮の材料を減らそうと予め木取りしているため、結果的に歩留まりは落ちている。DLTでそのような材料も使用することによって、木取りも変わり歩留まり向上が見込めそうだ。

7. 着手内容

(1) 実施試験について

- ・ 使用する木ダボは輸入広葉樹を使用する。直径20mm長さ600mmの溝付き材で一本あたり150円。国内で広葉樹の木ダボを製作する場合一本あたり400円以上と考えられるため、当面は輸入材を使用するものとする。
- ・ 木ダボは輸入材でよろしいか？また木ダボ接合せん断試験は配布資料の試験案でよろしいか？木ダボは溝付のみ、木ダボの加工孔径は20mm、19.5mm、19mmとし耐力など比較したい。
- ・ 広葉樹の出材状況から国内調達是非常に難しいと思われる。木ダボは輸入材で問題ないのではないかと。

- ・ 木ダボせん断試験は試験案の通りで問題ない。
- ・ 含水率20%以下のラミナでDLTパネルを製作しても、乾燥している冬では含水率が8%近くに低下することもあり、ラミナ同士に隙間が開くことを前提とするべきで乾燥によりどの程度隙間が出るか検討する。
- ・ 実大曲げ試験についてはDLTパネルの根太使用を前提としてDLTパネルの平使いの曲げ強度を確認する。また木ダボのせん断耐力・挙動の確認のため縦使いでの梁の曲げ試験も行う。

(2) 耐力壁について

- ・ 耐力壁ではDLTパネル同士の連結も必要となるがどのように考えるか？壁パネルであれば足元を固定することで、それぞれを独立させる。
- ・ ダボを打ち込む際に全てを打ち込まずに余長を残し、もう一方のパネルから出ているダボをそこに連結させる。この場合手加工での連結は困難となるので基本的には独立させる。
- ・ 耐力壁の実験スケジュールから開発工程を逆算し接合案を検討する必要がある。
- ・ 第二回の委員会開催までに要素試験・予備試験の結果をあげるために試験日程の調整を行う。
- ・ 試験体図面は宮田構造事務所でも作図協力する。

(3) その他

- ・ DLTパネルの製材所での製作実証は予定を早めたほうが良い。
- ・ 普及開発については進行に合わせて適宜webにて情報公開を行う。
- ・ 実証事業や普及活動でパンフレット作など計上しているが、費用変更がある場合は30%以内の増減であれば問題ないが、相談いただければ対応する。事業報告。報告書提出は期限の1ヵ月以内なので早めの報告をお願いする。

8. 次回までの課題

- (1) 試験体図面作成
- (2) 要素試験・耐力壁予備試験・実大曲げ試験の実施
- (3) 実施した試験の試験結果算出
- (4) DLTパネル制作

第二回 DLT 性能評価取得及び普及に向けた検討委員会 議事録

日時：2019年8月8日(木) 14:00～16:00

会場：長谷萬本社2F第1会議室

東京都江東区富岡2-11-6 長谷萬ビル

参加者：

法政大学 宮田先生(委員長)、網野先生、田中様、稲葉様

物林株式会社 国産材戦略室 大貫室長

小井土製材株式会社 小井土社長

林野庁 木材産業課 平山様

株式会社長谷萬 長谷川副社長、鈴木本部長、藤井本部長付、中澤部長、小林、釜本

1. ご挨拶・事務連絡

1) 事業主体挨拶(長谷川副社長)

- ・ 皆様のご協力のおかげで、残すところ10月の本試験・耐力試験になっている。いろいろと面白い結果、予想していなかった結果があると聞いている。そういうところが分かれば本当に意義のある取り組みになると思っている。課題があると思うが、引き続きご協力をお願いしたい。

2) 出席者紹介

3) 第一回議事録確認

- ・ 前回議事録について変更点、疑問点等がないことを確認した。

2. 要素試験、実大曲げ試験、壁耐力予備試験結果速報

1) 木ダボ接合部のせん断試験について

試験方法について試験体のサンプルを用いて説明、また試験結果についてデータを用いて説明した。

- ・ 木ダボ接合部のせん断試験では孔径の違いによる剛性の違いを検証した。試験結果よりダボ孔φ19.0mmではφ19.5mmやφ20.0mmに比べて剛性が落ちることが分かった。これはダボ径φ20.0mmに対してダボ孔径φ19.0mmであるため、打ち込み時にダボが圧縮されダボ径が縮小しているためだと考えられる。
- ・ 試験体のダボは手動で打ち込んだ。孔径φ19mmではわずか3枚を貫通させるだけでも大変苦労しており、加工時の打ち込みやすさを考えてもダボ孔径φ19.5mm以上が良いと考える。

2) 実大梁の曲げ試験について

試験方法について実大梁の破壊試験の動画を視聴しながら確認し、試験結果についてデータを用いて説明した。

- ・ 床で使用される場合に梁の端部に荷重がかかる場合を想定し、梁の幅方向にラミナ3枚相当の面積(90mm×90mm)に偏荷重をかけて木ダボ接合における変位差を検証した。

- ・ 荷重点を移動させ荷重点(変位 3)と反対側(変位 1)、梁中心(変位 2)それぞれのたわみ量を計測し、木ダボ接合による荷重分散の効果を確認した。集成材は接着により一体になっており荷重載荷位置以外の計測点でも同じ程度のたわみが生じるが、DLT では計測点でたわみ量が異なるが木ダボによる荷重分散・伝達の効果が確認された。
- ・ 破壊試験における DLT と集成材の違いとして、集成材は接着しており 1 つの断面なので一定の荷重がかかると全破壊するのに対して、DLT はラミナごとに破壊されるため粘りがあり安全な壊れ方といえる。
- ・ 最大荷重は木ダボピッチが @600mm の梁より @900mm の梁の方が大きい、木ダボによる影響があるのか？
- ・ 木ダボ自体はあまり強度に影響しないと考えられる。動画でも確認されたが破壊は欠点(節)から破壊が生じていることから、製材の欠点の位置、程度の問題ではないかと思われる。
- ・ 木ダボのせん断試験から求めた木ダボの剛性、梁の曲げ試験結果から、今後は梁としてのシミュレーションできるようにしたい。
- ・ 試験結果より木ダボピッチは @600mm と @900 mm とで大きな強度差がないことから、床用途として使用する場合は @900 mm で進めたい。
- ・ ダボ間隔 @900mm の試験体では曲げ試験時は一点荷重により部材ごとのずれが生じたが、合板を貼ることでパネルが一体となりずれが生じにくくなる。
- ・ 実際の運用上では床で使用する場合は DLT 梁の上に合板を釘打ちし千鳥配置で使用する形が多いだろう。

3) 面内せん断試験の予備試験について

試験体について写真で説明、また試験結果についてデータを用いて説明した。

- ・ 実験の結果、一般的に容易に入手可能な間柱材を想定した壁倍率は 0.8 倍程度であったが、変位が 300mm 程度まで変位しても破壊しなかった。
- ・ 壁の耐力は耐力、剛性、粘りから決まる。DLT の壁は耐力(4.0)、剛性(0.8)、粘り(0.8)程度である。
- ・ 基本的には幅と剛性が比例する。今回は幅 30 mm で試験を行ったので、幅を 120 mm にすると理論上は 4 倍の剛性となり倍率は $4 \times 0.8 = 3$ 倍程度になる。幅を増やせば耐力は上げられる。
- ・ DLT 壁の最大の特徴は耐力が小さいが変位が大きくても破壊しない粘ることで壁として強いことがわかる。DLT 耐力壁は変形量が 300mm (1/10rad) 程度まで変形させても破壊しなかったが、現行の壁の評価方法はここまでの粘りを評価しないので低倍率となっている。一方で面材耐力壁などは高い耐力が発生するが変形・粘りが弱く、変形量が 30mm (1/100rad) 程度で破壊する。

3. DLT パネル組立て、壁の施工方法について

加工治具やパネル組立、壁の施工方法について写真、動画にて説明した。

- ・ 加工治具は横方向の固定はできているが、縦方向は動かないのか。
- ・ 現時点ではまっすぐ孔開けができていない部分がある。水平儀を取り付けるなどしてなるべく合わせるようにしているが、まだ改善の余地がある。
- ・ 耐力壁の接合方法は、ほぞやダボを上下方向に入れず、ビスだけで留めるような形を選択した。従来の軸組、軸組工事の中でパネルを立ててビスで固定することで、手もかからず施工も従来の形でできるのではないかと考えた。
- ・ パネル製作は事務局で作業した場合 1 モジュール 40 分程度。今後は実際に山側の小井土製材で製作実証も行っていきたい。

4. 材料含水率について

予備試験では一般的に容易に入手可能な間柱材で試験を行った。材料の幅を大きくすると壁倍率が高くなるが、材の活用のし易さの観点では薄い材の方が望ましいことから、どのような選択をするべきか、断面寸法と含水率、想定壁倍率の資料を使用して検討した。

- ・ 住木センターから含水率については $Mc \leq 15\%$ とすべきとのアドバイスをいただいている。 $Mc \leq 20\%$ とすると壁倍率の低減率が大きくなる。含水率 15% でやろうとすると、製材の方で 105 角 15% はそうとう難しいとの話もあり、本事業での方針を確認したい。
- ・ DLT 耐力壁は意匠的に見せる壁でもあり、芯持ち材の乾燥問題、入手性も踏まえ生産者としてご意見はいかがか？
- ・ 一般的にも杉の芯持ち材は乾燥が難しい樹種とされている。当社(小井戸製材)では柱材の乾燥もしているが、材によって乾きやすさが違う。木材の内部割れや木地色などを生かせるようにあえて高温乾燥を行っていない。

$Mc \leq 15\%$ を目標に杉 105 角を乾燥したときは $Mc \leq 15\%$ となる材はだいたい 50% 程度。 $Mc > 15\%$ のものは再乾燥するか試験体以外の用途で使用可能なので問題はない。

大径材から芯去り材を切り出すと乾きやすい。そのような方法もあるのではないかと。

- ・ コストと倍率との関係から、バランスの良い部材の厚さにゆくゆく収斂すると思われる。大径材から芯去り材をとるような仕様は難しいのではないかと。

耐力がどこまで出るかは、DLT を耐力壁として認知を得るところで大切なところと考える。まず $Mc \leq 15\%$ の 105 角で倍率 2 倍が出るか検証を進めてはどうか。

その後、 $Mc \leq 20\%$ の部材でも検証を進めていくステップはどうか。

- ・ DLT の大きな目的は製材歩留まりの向上なのでその本質を見失わない選択をするべき。なるべく早く普及が見込めるもので検証を進めたいという思いがある。

終着点として製材歩留まりの向上につながるのであればどちらを選んでも問題ないと思う。

- ・ テザイン的な効果や、ハネ材を使えるなど、いろいろな可能性があるところが DLT の面白いところである。あえて低倍率の方が最初はむしろ望ましいのではないかと。壁倍率を出そうと考えればやりようがある。

- ・ 構造設計者として構造設計をする場合、内壁として壁倍率 2.0 倍程度であれば使用する可能性も出てくるだろう。
- ・ 倍率は合板のほうがコスト面で有利。耐力壁として倍率だけに重きを置くのではなく、生産者側が主体的に価格を決定し易くなるような意匠性のある部品の方が価値を発揮できるのではないかと思う。
- ・ DLT の使い方のあくまでも一つ手法として壁利用の開発をするべきだろう。壁に関してはすでに縦ログなど既存の仕様があり、すみわけが課題となる。バラエティの一つとして数値を持つという考えで進めたいということだが、製材工場の立場から言えば、やはり普通の作り方で出てくる材をうまく利用できたら良いと考える。
- ・ ダボ打ちというローテクでこういう製品を作れるという可能性をうまく表すようなものができたらいと思う。
- ・ 住木センターに面取り材の扱いについて聞くと、JAS2 級材であれば面取りの有無は問題ないということで、JAS2 級材として工場が認定・出荷していれば、壁用途でも丸身つきなどかなりの材が使える可能性がある。
- ・ DLT の基本的な使用用途はその特性から床なのだろうと考えるが、ある顧客や設計者が DLT を壁でも使いたい、耐力壁が必要となったとき、例えば 105 幅の材で、Mc15%にすれば、壁倍率約 2 倍まで見込めるというような裏付けをデータで持っておく、という理解でよいのか？
- ・ そういった観点から今回はこうするというのであればよいと思う。
- ・ 参加者に確認した上で、 $Mc \leq 15\%$ の 105 角で進めていくこととした。

⇒その後、委員各位のご了解を頂き、実施試験内容を変更した。

5. 本試験に向けた方向付け

- ・ 予備試験とラミナ仕様が変更になったので、予算と時間が許すのであれば予備試験を再度行うべきである。
- ・ 検討する

6. 普及啓発活動について

- ・ 普及活動として長谷萬のホームページに情報を掲載していく。現時点では DLT が林野庁の補助事業として採択された旨について掲載済み。

7. その他、次回以降のスケジュール

1) 繊維直行方向の木ダボせん断試験

- ・ 実験済みの木ダボ接合のせん断試験は壁として使用した場合の木ダボのせん断と同等。床梁として使用した場合の木ダボのせん断と同等な要素試験も実行すべき。
- ・ 現時点では 8 月末から 9 月頭にかけて実験を行う予定。

2) 本試験用のラミナについて

- ・ $Mc \leq 15\%$ の 105 角杉材を小井土製材で用意していただきたい。
- ・ 本試験に向けて早めに用意する。

- ・ 本試験に向けて早めに用意する。
- 3) 小井土製材での製作実証
 - ・ DLT パネルが製材所でも製作可能なことを小井土製材で実証したい。いつ頃なら製作可能か。
 - ・ 本試験で使用するラミナが用意し終わってから予定したい。

8. 次回までの課題

- 1) 詳細試験計画作成
- 2) 追加予備試験用 試験体作成
- 3) 本試験用 試験体図面作成
- 4) 本試験用 試験体作成
- 5) 追加予備試験・本試験の実施
- 6) 実施した試験の試験結果算出

上記の結果報告と方向性確認のため第3回検討委員会を実施する。

(開催時期:10月中旬見込み)

以上

第三回 DLT 性能評価取得及び普及に向けた検討委員会 議事録

日時：2019 年 12 月 3 日(火) 14:00～15:00

会場：長谷萬本社 2F 第1会議室

東京都江東区富岡2-11-6 長谷萬ビル

参加者：

法政大学 宮田先生(委員長)、網野先生、田中様、稲葉様

物林株式会社 国産材戦略室 大貫室長

小井土製材株式会社 小井土社長

林野庁 木材産業課 竹本課長補佐

株式会社長谷萬 長谷川副社長、鈴木部長、藤井本部長付、小林副部長、高橋、釜本

1. ご挨拶・事務連絡

1) 事業主体挨拶(長谷川副社長)

これまでの性能評価試験は良い結果が出ている。今後これを普及に向けた活動に移していきたい。引き継ぎ、ご協力をお願いしたい。

2) 第二回議事録確認

前回議事録について確認し、内容について了承された。

前回の検討委員会(2019 年 8 月 8 日)以降、委員各位に承認頂き、試験内容を以下2点変更している。

- ① DLT の床用途として比較的良い結果が出ているので、壁倍率の認定取得は急がずに、各種試験の充実を図ることとした。追加試験として木ダボ接合部の繊維直角方向のせん断試験、ビスのせん断試験、木ダボ接合部の耐久性試験、ひずみゲージを貼った実大梁の曲げ試験、105mm 正角材での耐力壁の面内せん断試験を実施した。
- ② 8/8 第2回委員会での 105mm 正角材 含水率 15%以下で壁の面内せん断試験を行うという方向から、含水率 20%以下での試験に変更した。これは実施済みの板厚 30 mm、含水率 20%以下の耐力壁の面内せん断試験の結果と線形補間ができるようにしてデータの有効活用をする為である。

2. 実施試験結果の説明

1) 105mm 正角材での耐力壁面内せん断試験について

試験結果について報告書のデータを用いて説明した。

- ・ 先ほどの説明の通り、試験体の含水率は 20%以下となっている。
- ・ 前回の DLT 積層材の断面寸法 30×105 において壁倍率は 0.8 だった。今回の DLT 積層材の断面寸法 105×105 では、壁倍率 2.3 とほぼ目論見通りの結果となった。
- ・ 耐力壁の試験回数は1回ずつではあるが、木ダボのせん断性能値から耐力壁の剛性を計算にて算出できるようになる。

- ・ DLT の場合、特定の変形量(変形角)に達した時点での木ダボの変形量をあらかじめ推測できる。105 mmで 1/120 の変形だと約 1 mmの変形になり、木ダボが 1 mm変形した時の剛性値を使うとちょうど計算できる。30 mmの場合は 105 mmの 1/3 なので約 0.3 mmの剛性値を使うと計算ができる。
- ・ 今まででは一つの初期剛性値だけで計算していたが、材の見つけ巾による剛性を実験結果に照らして直すとより正確になる。前回はおそらく材の見つけ巾に比例すると見ていたが今回は単純に比例になっていない。木ダボを連続して打ち込む事が影響するのではないかと想定していたが、木ダボの変形量に応じた剛性を採用することより、耐力壁について設計式で算出できる。
- ・ 今回宮田委員長からご指示を頂いたが、ビスで接合する箇所のビス本数は、木ダボ剛性と合わせて設定しなければならない。
- ・ DLT パネルをビスで接合している箇所があるが、ビスと木ダボで剛性を比較するとビスの剛性が 1/1.5 程度弱かったので、試験の直前でビス本数を 1.5 倍に増やした。パネルの接合部ではビス本数を割り増ししていない箇所があり他よりも大きなずれが生じた。ビスの剛性も木ダボの剛性に合わせることで耐力を計算できる。

2) 木ダボ接合部のせん断試験について

試験方法について報告書にて確認、試験結果についてデータを用いて説明した。

- ① 木ダボ接合部のせん断試験(繊維直角方向のせん断耐力)
 - ・ 繊維直角方向は繊維方向のせん断耐力の 1/2 程度の結果となった。これは杉の繊維方向の違いによる支圧強度の差に相当すると推定している。
- ② ビス接合部のせん断試験
 - ・ ビスの斜め打ちは垂直打ち(メーカー値)に対して約 0.75 倍(直角方向)、約 0.6 倍(繊維方向)となった。
- ③ 木ダボ接合部の耐久性試験
 - ・ 30 mm幅の材では事故的水掛かりで耐力低下はなく、乾湿の繰り返しで 7 割ほどに耐力が低下した。これは乾湿の繰り返しにより材の隙間が増えたためと想定している。
 - ・ 105 mm幅の材では事故的水掛かりで若干低下があったが乾湿繰り返しでは低下がなかった。断面寸法がある程度ある材の場合、水掛かりによる寸法変化が生じにくい使い方であれば耐力低下はないと考えられる。
 - ・ 壁倍率を取得する場合は、事故的水掛かりや乾湿繰り返しによる耐力低下を考慮して倍率が定められている。DLT は接着剤や釘などを使用しておらず、水掛かりにより耐力低下の影響に懸念があったので、このような試験をした。
 - ・ 試験の結果から多少の耐力の低下は認められるが、低下していない部分もある。常時水

掛かりがないような箇所であれば、事故的な水掛かりが一時的にあったとしても耐力が大きく低減することはないと言え、安心して使っていただける根拠になる。

- ・ これら試験により、接合部および木材の性能から、耐力壁と床の剛性を計算するための基礎的なデータを確認できた。今後、これにより計算式やモデル化の妥当性を確認することができるだろう。

3) 実大梁の曲げ試験について

試験方法について報告書にて確認、試験結果についてデータを用いて説明した。

- ・ 各測定点でのたわみの挙動から木ダボの連結効果は確認された。
- ・ 3本のラミナに荷重がかかるようにしているが、DLT の中心側のラミナにひずみ大きい傾向がでているデータとなった。今後は宮田委員長、網野委員に意見を伺いながら原因を探りたい。
- ・ (ひずみゲージの近くに)節がなかったか？
- ・ 節は避けてひずみゲージを設置している。3 体とも似たような結果になっており、木ダボの効果により生じている現象の可能性はある。
- ・ 節がゲージの近くにあるとあきらかにひずみが大きくなるが、3 体で傾向が出ているのであれば確認したい。
- ・ DLT を設計するときに材の断面係数($\frac{BH^2}{6}$)を計算するが、梁のせい(H)はそのままだが梁幅(B)は全部の幅を見ることはできない為、ある幅で計算する。設計上は単位幅の 1メートルで設計するが、ピアノの足のような重量物が来た場合、1メートルにならして計算は出来ない。本来ならラミナ何本を木ダボにて連結すれば安全かという話になる。そのデータが今回の試験により得られた。
- ・ ひずみゲージ 1～23 というのは、どこの部分を指しているのか？
- ・ 試験体の下面に 15 枚、上面に 8 枚のひずみゲージを貼り付けている。番号 1～15 は梁の下面に、16～23 番は梁の上面側に貼ったゲージの番号になる。上面に設置したゲージはマイナス数値出ているが圧縮側になる。上面にも 15 枚貼れればよかったが、計測チャンネル数に制限がある関係で上面は集中荷重で影響の出やすいエリアに 8 枚設置した。
- ・ 必ずしもひずみゲージ3にひずみが集中しているわけではないように思う。荷重①のときにひずみゲージ3に数値出ている。同じ荷重点の荷重④の時にはひずみゲージ1に数値が出ている。よって必ずしも平らにひずんでいるわけではないという印象。

- ・ ひずみゲージ設置位置と、節の位置に関連性がある可能性がある。シミュレーションをすると3番目に顕著なひずみが出るか検証できる。
- ・ 生き節周辺では木繊維の角度が 30 度くらいに傾斜していて、ヤング係数が弱くなるはずだ。ただこの領域になると材料学の範疇になり、今回の試験の範疇から外れるだろう。
- ・ ひずみデータだけでは判断できないこともあるので、総合的に判断していく。

4) 製材業者での DLT 製作実証について

DLT 普及に向けて製材業者が自ら製造できるか、小井戸製材での製作実証の結果について報告書の写真で説明。

- ・ 実際に小井戸製材倉庫内で、自身で製作実施した。治具の効果もあり非常にスムーズに行えた。ダボ穴とダボ径のバランスが適切。ゆると強度が出ないし、きつすぎると加工性が悪くなる。
- ・ 材として少しランクが落ちるような材でも DLT にすることで新たな用途が生まれ売ることが出来るようになる。製材工場によってはロス品をすべてチップに加工する事で歩留まりをよくしているところもあるが、材の歩留まりに変化はなくても、付加価値の歩留まり、価値歩留まりを向上させることができるはずだ。
- ・ こういった製品の製作は大規模量産型の大型工場ではおそらくやらないだろう。地方の小型の工場が DLT 生産に参入して材に付加価値をつける。それにより材の仕入れ価格の向上や、立木の価格の向上につながれば大いに意味がある。
- ・ 異樹種による積層材を作成してみて何か課題はあったか。もしくは製作後に課題は出たか。
- ・ 製品として問題はない。現在も倉庫に立てかけて保管しているが、辺材部分で若干の反りが発生しているが自然な反りの範疇である。ケヤキ材など硬めの木も含まれており、ドリル実施時にやや不安があったが製作時でも問題はなかった。材の中もそれぞれ異なり、色のコントラストもあり見た目が良い。
- ・ 大量生産時にはプレカット工場などに入れて製造という方向なのだろうか。
- ・ DLT は大量生産ではなく需要にあわせた生産と、その使い方との組み合わせになるのかと考える。

3. その他、次回以降のスケジュールについて

- 1) 今後の残課題は、この事業での成果の取りまとめと報告書の作成と、普及に向けた情報発信の2点になる。

- 2) 情報の発信は、以前もお伝えした通り、広く周知するために WEB ページによる発信を主体に考えている。現在、準備に着手しており、次回委員会の前には、WEB ページでご覧頂けるように進める予定。
- ・ 具体的にどうやって WEB 発信するのか。
 - ・ 今回は長谷萬の WEB サイトに、本事業のバナーと、補助事業の内容と結果報告のみに焦点を当てたページを作り、広く情報を発信する。
- 3) 次回委員会は、報告書の内容を確認頂く場として、2 月末をめどに実施したい。そこで内容を確認頂き、報告書の製本に向かいたい。

以上

第四回 DLT 性能評価取得及び普及に向けた検討委員会 議事録

日時：2020年2月21日(金) 14:00～15:20

会場：長谷萬本社 2F 第1会議室

東京都江東区富岡2-11-6 長谷萬ビル

参加者：

法政大学 宮田先生(委員長)

小井土製材株式会社 小井土社長

株式会社長谷萬 長谷川副社長、鈴木部長、藤井本部長付、小林副部長、高橋、釜本

欠席者：

法政大学 網野先生

物林株式会社 国産材戦略室 大貫室長

林野庁 木材産業課 竹本課長補佐、平山様

1. ご挨拶

1) 事業主体挨拶(長谷川副社長)

皆様のおかげで無事に各種試験も終わり、概ねレポートもまとめられている。ただ DLT の普及に向けての残課題があり、来年度に向けては林野庁が公募している次年度の補助事業の活用を検討している。引き続き、ご協力をお願いしたい。DLT など木質素材が内装を含めより一層使われる可能性がある。今後は普及に向けて、各地の製材所による DLT 製造の後押し出来るようなプラットフォームを作らなければと考えている。

2. 試験報告の web ページ開設について

- ・ 既にご連絡の通り本事業の成果報告のウェブサイトを開示した。トップページで DLT の概要説明と実施試験を紹介し、各試験のページに移動出来る。各試験結果について PDF 版のダウンロードも可能だ。本事業は 3 月 24 日までの事業期間だが、今後もホームページ上で情報公開し DLT の普及に役立てたい。ウェブページについて、何かご意見があれば頂きたい。
- ・ DLT のより広い普及に向けて、DLT を使用している建物のイメージ図などがあると、ユーザーは DLT の活用を想像しやすいと思う。
- ・ Web サイトは速報版なので、ご意見を反映させ、改善を加えて行きたい。2 月末までにご意見を頂き、事業期限までに反映させたい。また WEB ページのアクセス解析を実施し、閲覧者の傾向をつかんでいくこととする。

3. 成果報告書について

本日の確認とご意見をふまえて報告書を修正し、3月上旬に印刷物として製本した報告書として配布する予定だ。

1) 構成について

成果報告書は8つの章で構成している。第1章は事業概要。第2章から第5章は実施試験結果をまとめており、前回委員会までに内容の報告・確認をしている。本日は新たに作成した第1章 事業概要、第6章 DLT の断面形状の検討、第7章 DLT の普及に向けた課題整理の3章について確認したい。

2) 各章の内容説明

第1章 事業概要

- ・ 約1年前の補助金申請時の内容に、肉付けした内容となる。

1.1 事業の背景と目的

- ・ 日本の森林資源に関する背景、製材工場状況、ヨーロッパでの DLT 状況から、DLT は中小の製材事業者に適した高付加価値型の多品種少量生産に適した木材製品である。

1.2 DLT について

- ・ DLT の紹介、歴史的背景等を記載した。ユリウス・ナッテラー氏が開発したブレットシュタッペルに DLT や NLT が含まれる。NLT は DLT 同様に簡単に作れる優位性があるが、釘を使用しており、積層後の切削加工の実施や、現場での加工が難しいという特徴がある。その後開発された DLT の製造方法、メリット、特徴を記載した。DLT は従来の構造用集成材や CLT などのエンジニアリングウッドと同様に多くの木材を利用出来る。

1.3 事業内容

- ・ DLT の技術的検証と普及を図り、国産材の利用拡大と中小製材所の高付加価値化につなげるため、各種試験および DLT 製作実証を実施し、DLT 断面形状を検討した。

1.4 事業実施体制とスケジュール

- ・ 実施体制は報告書案に表記した通り。また法政大学の建築学科学生の中田さん、稲葉さんが卒論内容で DLT を扱っており、その内容も一部抜粋して記載した。その点に問題ないか念のため再確認をしたい。なお実施スケジュールは添付の通りになる。
- ・ 特に問題ない。

第6章 DLT の断面形状の検討

- ・ DLT の断面形状は報告書に記載の6種が全てではなく、あくまで断面形状の一例を紹介している。DLT は板面の品質が低い材料であっても積層面から露出しないので、丸身、入り皮など未利用材を活用出来る。JAS 品であっても実用上では節があるとかなかなか使われない傾向があるが、DLT は未利用材の活用の一手法として期待出来る。
- ・ DLT は接着剤を使用せず木ダボだけで製造出来る。積層する木材断面を加工し、多様な

意匠性を持たせられる。斜め加工や、溝加工した上で積層した断面形状例を資料とサンプルで確認した。表面の形状によって音響、音の低減効果が期待出来るので、来年度はこの点を実証し、付加価値のアップにつなげたい。

- ・ CLT や他の面材、集成材などは接着後に DLT のような断面加工を施すことは難しい。DLT はひき板を積層前にモルダーに通し断面加工出来るため、長尺材の製造も可能とある。断面形状によって音響性能に利点がある形状も製作出来ると思われる。
- ・ 接着した製品との違いは？接着剤使用の製品は断面加工して意匠性の向上は出来ないのか。
- ・ 接着剤を使用する集成材などでも、ラミナを事前加工して、接着し貼り合わせる事は可能だ。ただし接着剤のはみだしを処理する等の後作業が発生する。
- ・ CLT の場合は大きな板状に接着・積層してから加工となり、断面加工には大規模な設備が必要になる。一方、DLT は一枚一枚のラミナ段階で加工が出来るので、モルダー等の加工設備を有する製材所でも製造可能である。
- ・ 既存の集成材の製造設備では、断面形状で意匠性を出すことは不可能ではないが容易ではないと言えそうだ。専門家が見ても理解、納得出来る説明を加えて欲しい。NLT と DLT の相違点は釘と木ダボ以外に何か。
- ・ DLT はパネルの寸法コントロールがし易い点が挙げられる。NLT は釘打ち後に切断加工が難しいため、後からの寸法調整が困難である。一方、DLT は製作後に削ればよい。
- ・ NLT は内層部の接合材が後で見えなくなるので、製造時に釘のうち忘れや打ち損じ防止が重要だが、DLT は木ダボが外側に出てくるので、その点は確認が容易となる。
- ・ DLT は現場で木材を配置、孔あけ、木ダボを打ち込み積層することは難しいが、NLT は釘打ちだけなので現場でも製造出来るという特徴がある。
- ・ CLT の場合、CLT になってからひき板の方向に合わせて溝加工をするのは難しいだろう。DLT はひき板の状態で削るため、繊維方向を活かした美観に出来る。
- ・ DLT と同様に板を並べ接着剤を塗布しクランプで固定したら大断面集成材のように製造可能か？
- ・ 製造は不可能とは言えないが接着剤の乾燥時間や、はみ出た接着剤の切削が課題となる。DLT であれば 4 メートルの材でも 30 分程度で製造出来、断面仕上げによるが切削仕上げを省略出来る。
- ・ CLT を溝加工する場合、事前に削った板を積層する方法なら大規模設備は不要と思われる。大盤を製造後、溝加工する場合では大規模設備が必要。DLT は 1 枚 1 枚板を削って束ねるというシンプルな製造方法になるので製造が簡単。
- ・ 釘ではなく木ダボを使ううえの利点と、大規模設備がなくても、接着剤とクランプで少量を製造出来るのではという質問に対する見解も付記して欲しい。
- ・ 事前に溝加工し製品を接着しても、最後に削る必要があり、CLT では大規模設備が必要

になる。DLT は大規模設備不要となる点がメリットと言えるだろう。

- ・ 他の製品でも出来るのではと指摘を受けることを想定し、DLT の特徴をしっかりと伝えて欲しい。
- ・ DLT の加工サンプルのような溝をつけた断面形状が製造可能なのか？
- ・ 報告書では製造可能なものを今回提示した。コスト評価は含まれていないため、実際には切削コストと付加価値との比較となる。
- ・ サンプルでは杉の心材部、辺材部を選択して相互に配置したものを作成したが、量産ベースではひき板の選別が難しいだろう。
- ・ 製造側としても、選ぶのは難しい。何回も作り直しが生じてしまうだろう。
- ・ 溝加工の断面形状は、ピッチ幅が異なるものを製造可能なのか？こういったスリットが見えるデザインは建築家が関心を持つと思う。
- ・ 溝加工のピッチ幅が異なるものは製造可能だ。
- ・ 音響に配慮が必要な内装材にも適しているのではないかな。

第7章 DLT の普及に向けて

7.1 DLT 活用方法について

- ・ 曲げ試験の結果より、スギ DLT は平使いのスギ集成材 E65F255 (同一等級構成) と同等程度の曲げ性能が確認されたとしている。
- ・ DLT を天井現しの床パネルとして使用するメリットは、天井ふところの施工手間を省略でき、かつ、天井高が高い空間を確保出来る点と、床兼天井仕上げが一体となる事で施工コストを削減出来る点である。ただし床パネルや屋根パネルとして使用する場合は、水平構面の確保のため、構造用合板を併用する必要がある。
- ・ 面内せん断試験の結果より、正角材 (105×105) DLT パネルでは 2.2 倍程度の壁耐力が確認された。壁に活用出来るが、耐力壁として使用する場合は、壁倍率を取得していないので試験結果より得られた剛性を考慮した許容応力度設計が必要になる。
- ・ 報告書のイメージ図は DLT の活用モデルの提案である。欧州では DLT の床勝ちになっているが、日本では木造の仕様規定に従う場合、柱を通す必要があり梁・壁勝ちの絵としている。
- ・ 床勝ちか梁勝ちかは、現時点では梁勝ちの納まりの絵とするという事でよいと思う。床勝ち仕様については今後開発すべきテーマだろう。
- ・ 今回のまとめでは、耐力壁としての使用の場合、剛性を考慮した許容応力度設計が必要となるという事でよい。ただ一般の設計者にはかなり難しい運用と言え、やはり大臣認定が無いと使い難いという指摘を受ける可能性がある。
- ・ DLT 耐力壁を広く普及させるという目的のためには、当社が認定を取得するというよりも、協会のような公的な組織・団体をつくりそこで大臣認定を取得する方法が望ましいと考えて

いる。

- ・ 梁の曲げ性能試験の結果から、DLT は集成材と同等の曲げ性能が確認されたというまとめ方は、専門家からするとあたりまえの話に思えるが、一般の方向けとしては、少々わかりにくいかもしれない。
- ・ 接着剤で一体化している集成材に比べ、木ダボで接合されている DLT は荷重によりひき板が横方向に転び耐力が減少することを想定していたが、木ダボの拘束効果により集成材の弱軸と同等の性能が発揮された。
- ・ 集成材と DLT の曲げ試験について、例えばH型鋼により DLT 梁に均等に荷重が分散される場合では、ほとんど結果は変わらないと思う。曲げ性能というと均等に荷重を掛けた時となる。これをパネル端部に荷重をかけると DLT は木ダボが変形して曲がってしまう。一方、集成材は若干傾くが曲がらない。こうなると集成材の方が性能は良いという事になる。「均等荷重については曲げ性能が同等であると確認され、偏荷重に対しては木ダボによる一体効果が得られると確認された。」という表現が良いと思う。
- ・ 天井現しの床パネルで使える事が DLT のメリットだと思うが、実施設計では配管が課題となる。
- ・ 欧州の DLT メーカーへのヒアリングでは、ラミナ方向の一部にせいの低い部分を作り、パネル面から少し一段引っ込んだスペースを作り対処するようだ。ラミナに直行する経路は不可としている。実施設計で配管スペースの余地を設定する必要があるだろう。
- ・ スギ DLT 床パネルのスパン表についてはどうか？
- ・ 屋根の場合は、もう少しスパンが長く出来るだろう。
- ・ 屋根は床に比べ長いスパンになるが、材が4メートル以上になると原木の調達面での配慮が必要になる。この点は小井戸委員に意見を求めたい。また仮に材を長くできる場合に、せいをどこまで大きく出来るか、スギで 2x6,2x8 のような材が出来るかの検討が必要となる。
- ・ 山側としては原木で4メートル以上になると簡単にはいなくなる。せいが大きくなった場合、ダボが2列もありえるのか。
- ・ ダボ2列に関しては、来年度に試験が出来るように申請する予定だ。
- ・ スギの場合、2x8 までなら出来るが、2x10 や 2x12 になると、断面は取れても長さが難しいだろう。6m程度の長さが容易に出てくればスギでも検討出来るが、容易ではない。そこで、まずはSPFで検討し、きちんと出来る事が確認できれば、スギでも用途が見えてくと思う。
- ・ 国産材では長いものが特殊となりがちで、造材から異なってくる。
- ・ その点も今後相談したい内容だ。現状では基本 4 メートルが前提となる。その長さであれば大径材を用いてせいは高く出来るが断面性能が上がるだけとなる。その条件で曲げ試験を実施する必要があるのか。

- ・ 今回の製作実証ではヒノキやカラマツ材を使用している。カラマツはねじれるので住宅には使いにくい印象があり、過去に捻じれた苦い経験もある。北海道では乾燥を工夫してねじれないように使っている。DLT なら、お互いに拘束してねじれても問題なく、カラマツが利用可能というストーリーが成り立てば非常に面白いと思う。
- ・ 製作実証時の、両端がカラマツの DLT が小井戸製材に保管されている。写真の右側は木裏が外側。左側は木表が外側を向いている。カラマツに限らずだが、外装側は木裏にした方が反りを抑制出来ると思う。保管している DLT において反りは顕著ではない。
- ・ カラマツではヤニの問題もある。ヤニツボにあたるとヤニは出てくる。脱脂乾燥しているが、もっとオーバーサイズで製材しているので、乾燥後の製材後に大きなヤニツボにあたると、再びヤニが出る。ただその美観からカラマツが好きな人は多いと思う。

7.2 DLT 利用拡大のための課題について

① DLT パネル同士のダボ接合による連続化

- ・ スイス、ドイツでは製作幅は60cm だ。これはダボ孔加工やダボ打ちの難易度、DLT が作られ始めた当時の機械の加工幅からきている。60cm より長い幅のパネルが必要な場合、DLT パネル同士を接合する必要があり、欧州では DLT パネルを連結させている。その手法を確立させたい。

② DLT の断面形状による音響特性の把握

- ・ この断面で曲げ性能試験は必要か。
- ・ おそらく必要ないと思う。断面の欠損を考慮した断面性能で検討すれば良く不要である。
- ・ はりせいの大きい DLT の場合、ダボを上下にずらして配置する事が出来る。普通、重ね張りとしてせん断接合すれば、はりせいが大きくとれるので、ずらして接合し、その際に下部の余分をつかえれば意匠的にも費用的にも面白い。はりせいが高い場合のバリエーションとして可能性がある。
- ・ うまく効かせるには工夫が必要になる。一度実証して効果の確認が必要。

③ DLT コンクリート複合床版の検討

- ・ DLT の上にコンクリートとつなげるようなボルトかスリット溝が必要となる。その上でコンクリートを流し込み一体の構造にして強度を出す仕組みだ。
- ・ これは RC 造と接合する時に有効ではないか。RC 造の壁式工法の床を DLT で作る。床を DLT で作ると、コンクリートに比べ剛性が明らかに低くなるので、床をコンクリートで打ちたくなる。床をコンクリートで打って、小梁も RC にすると型枠が必要になるが、DLT 自体をコンクリートの型枠替わりにし、小梁をなくせば RC 造の壁式構造と DLT とのハイブリッドになる。鉛直荷重は DLT で負担して、面内剛性はコンクリートで受ける。RC の耐震壁との接合はコンクリートとなる。

- ・ これら①から③までは来年度の林野庁の公募事業に盛り込みたいと考えている。

④ DLT の耐火性能の検証

- ・ DLT を普及するうえで耐火試験は必要になってくるが、耐火性能については認定が必要

となる。ロードマップとしては来年以降かと考えている。ただ、当社一社で実施するには少々荷が重く、協会か団体かどのような座組で進めるか、検討を開始したところだ。

4. 全体講評

- ・ 今回の事業でかなり有効なデータが取れた。床、壁、木ダボのデータが取れ、報告書としてはこれで十分と思う。来年度も継続して普及に向けた試験データを得られるとよい。今後の展望としては、壁倍率の大臣認定の取得や工法の確立が求められる。
- ・ 一年でここまで試験等が進んだ事は評価出来る。今後、製造時に効率をどう上げるかは課題だ。音響の数値も気になる所。群馬県民会館の耐震改修が近いうちに見込まれるが、群馬県産材で、音響特性が活かしたら素晴らしい。ただ耐火や不燃の話が出てくるのでその点は課題となる。そうしたニーズには材やダボを不燃化处理する等が検討事項となるのではないかな。
- ・ DLT の良さを活かす手法に、天井材として仕上げ材に使う用途がある。音響効果が確認できればさらに良い。木造のコンサートホールは音響がいいという研究もされている。構造部を全て木にする必要はないが、内装材として木を使いたい。スパンが飛ばせる事や曲線を作るような事は、非構造材の方が容易だろう。改修工事に天井として DLT が使えれば用途も広がるのではないかな。
- ・ 皆様、ありがとうございました。約一年間の取り組みで国産 DLT の一歩になる有意義な結果が出た。DLT はきちんと強度も出て、面白い特性もわかった。元々はフレキシビリティや作りやすさを前面に出そうとしていたが、ほかにも特徴があり大いに可能性を感じる木質素材だ。コンクリートとの複合は網野先生の長年のテーマであり、ぜひ来年実現したい。

以上