

令和元年度 木材製品の消費拡大対策のうち CLT 建築実証支援事業のうち
CLT 等木質建築部材 技術開発・普及事業

「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

2021 年 2 月
株式会社 長谷萬

「令和元年度 木材製品の消費拡大対策事業のうち C L T 建築実証支援事業のうち
C L T 等木質建築部材技術開発・普及事業」

「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」

目次

1. 事業概要	1
1.1 事業の背景と目的	1
1.1.1 事業の背景	1
1.1.2 本事業の目的	2
1.2 事業実施体制とスケジュール	3
1.2.1 実施体制	3
1.2.2 全体スケジュール	4
2. 事業内容	5
2.1 取り組み項目	5
2.2 板材を複数枚木ダボ接合したせん断試験	6
2.2.1 試験概要	6
2.2.2 試験体仕様	6
2.2.3 試験の実施概要	7
2.2.4 試験結果	7
2.3 DLT-コンクリート複合梁のせん断キーのせん断試験	15
2.3.1 試験概要	15
2.3.2 試験体仕様	15
2.3.3 試験の実施概要	16
2.3.4 試験結果	16
2.4 降伏接合型の接合具のせん断試験	21
2.4.1 試験概要	21
2.4.2 試験体仕様	21
2.4.3 試験の実施概要	22
2.4.4 試験結果	22
3. DLT の曲げ性能確認試験	29
3.1 木ダボ位置の違いによる DLT 梁の性能確認（梁の曲げ試験 1）	29
3.1.1 試験概要	29

3.1.2	試験体仕様	29
3.1.3	試験の実施概要	30
3.1.4	試験結果	32
3.2	木ダボ間隔の違いによる DLT 梁の強度性能確認（梁の曲げ試験 2）	53
3.2.1	試験概要	53
3.2.2	試験体仕様	53
3.2.3	試験の実施概要	54
3.2.4	試験結果	55
3.3	DLT－コンクリート複合梁の強度性能の確認（予備試験）	63
3.3.1	試験概要	63
3.3.2	試験体仕様	63
3.3.3	実施の実施概要	64
3.3.4	試験結果	65
3.4	DLT－コンクリート複合梁の強度性能の確認	72
3.4.1	試験概要	72
3.4.2	試験体仕様	72
3.4.3	試験方法と計測計画	74
3.4.4	ウェブ材および DLT の曲げヤング係数	75
3.4.5	荷重-変位のまとめ	85
3.5	DLT－コンクリート複合梁の長期性能の確認（クリープ試験）	99
3.5.1	試験概要	99
3.5.2	試験体仕様	99
3.5.3	試験の実施概要	100
3.5.4	試験結果（途中経過）	101
4.	DLT 耐力壁の面内せん断試験	103
4.1	面内せん断試験 1（鋼製接合具による軸組との接合）	103
4.1.1	試験概要	103
4.1.2	試験体仕様	103
4.1.3	試験の実施概要	104
4.1.4	試験結果	105
4.1.5	短期基準せん断耐力および倍率の試算	107
4.2	DLT 耐力壁の面内せん断試験 2（木ダボによる軸組との接合）	109
4.2.1	試験概要	109
4.2.2	試験体仕様	109
4.2.3	実施の実施概要	110
4.2.4	試験結果	111

4.2.5	短期基準せん断耐力および倍率の試算	113
5.	DLT パネルの音響性能確認	118
5.1	試験概要	118
5.2	試験体仕様	118
5.3	試験の実施概要	119
5.5	試験結果	120
6.	DLT の普及にむけて	126
6.1	DLT の活用手法について	126
6.2	DLT の利用範囲の拡大に向けて	129
7.	添付資料	130
	委員会議事録	130
8.	謝辞	141
9.	参考資料	141

1. 事業概要

本報告書では、令和元年度 木材製品の消費拡大対策事業のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業による「木ダボ積層材DLT（Dowel Laminated Timber)の普及に向けた性能評価と普及活動」について報告する。

事業名：「木ダボ積層材DLT（Dowel Laminated Timber)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2年5月9日～令和3年2月19日

1.1 事業の背景と目的

1.1.1 事業の背景

- 木ダボ積層材DLT（DLT: Dowel Laminated Timber）は、接着材を使用せず木ダボによって板材等を積層した床・壁・屋根用の面材である。また中小の製材事業者に適し、高付加価値型の多品種少量に適した木材製品で、欧州の山間部で小さな製材所、加工所、工務店がドイツ語で Brett Schuttapel と呼ばれる木ダボ積層材のサプライチェーンが構築されている。



写真 1.1 - 1 DLT 参考写真

- DLT の製造は板の配列、穿孔、ダボ挿入という単純な工程によるため、使用する板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となり、その結果生まれる意匠性の豊かさや吸音などの機能性の付加によって、製材品に付加価値を与えることができる。また素材段階での寸法許容範囲が広く、歩留りが良いため、現状よりさらに高い歩留を目指せる可能性がある。

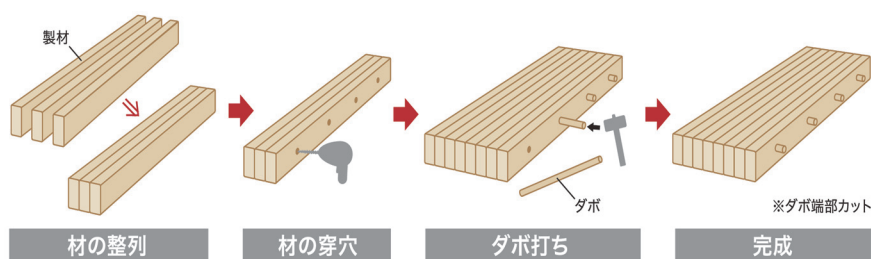


図 1.1 - 2 DLT 製造工程のイラスト

- 本事業は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）より実施した「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」の成果を踏まえ実施するものである。当該事業では以下を確認した。

1) 床版としての利用可能性

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、床版や屋根パネルとして使用が可能である。

2) 耐力壁としての利用可能性

面内せん断試験の結果より、耐力要素として利用が可能である。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。

3) 多様な意匠性の付与

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、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も活用出来る。

4) 地域の製材事業者での製造可能性

製材事業者による DLT の製作実証を通じ、専用の生産設備が無くとも、比較的簡単に製造できることを確認した。

1.1.2 本事業の目的

本事業の目的は令和元年度に実施した DLT 性能評価事業にて確認された下記の課題を踏まえ、DLT のより詳細な特性を把握することである。それにより、小規模建築の住宅や非住宅用途での床版や壁材として DLT の利用促進ならびに、設計の自由度を高めるためのロングスパン化への対応、さらに S 造や RC 造への DLT の活用に資する性能評価を通じて木材利用の拡大を図る。

- 1) DLT 普及のためにより詳しい複数枚接合によるせん断耐力、木ダボせん断耐力の確認。
- 2) DLT パネル同士の木ダボ接合、耐力壁の耐力性能の向上の検討。変形性能を許容する接合具の確認。
- 3) ロングスパン対応のため、材せいの大きいひき板での梁強度の確認、耐火性能や遮音性能向上のための RC との複合化。
- 4) DLT の断面形状による音響特性の確認。

1.2 事業実施体制とスケジュール

1.2.1 実施体制

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）
	花井厚周（株式会社竹中工務店 木造・木質建築推進本部 副部長）
	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 新事業推進部 部長）
	群馬県（群馬県森林環境部、群馬県林業試験場）
	長谷川泰治（株式会社長谷萬 代表取締役副社長）
オブザーバー	竹本央記（林野庁林政部木材産業課）
	松本陽子（林野庁林政部木材産業課）
	平原章雄（木構造振興株式会社）
事務局	鈴木康史（株式会社長谷萬）
	小林辰美（株式会社長谷萬）
	岡田剛士（株式会社長谷萬）

※ 本事業の実施にあたり、木-コンクリート複合材の曲げ試験について、法政大学デザイン工学部建築学科の2名（工藤 大河君、野村 直人君）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。

1.2.2 全体スケジュール

表 1.2 - 1 全体スケジュール

	2020								2021	
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
① 木ダボ接合せん断試験								→		
② 実大梁の曲げ試験								→		
③ DLT-コンクリート複合材曲げ試験				→		→				
④ 同 クリープ試験									→	
⑤ 耐力壁面内せん断試験					→			→		
⑥ 音響性能確認試験				→						
⑦ PR 普及活動								→		
⑧ 検討委員会				▽				▽		▽

委員会の開催日程

第 1 回 2020 年 6 月 12 日(金曜日) 14 : 00～15 : 30

株式会社長谷萬本社 会議室

第 2 回 2020 年 11 月 12 日(木曜日) 16 : 00～17 : 30

株式会社長谷萬本社 会議室

第 3 回 2021 年 2 月 4 日(木曜日) 14 : 00～15 : 30

株式会社長谷萬本社 会議室

2. 事業内容

2.1 取り組み項目

本事業では、令和元年度に実施した DLT 性能評価事業の成果を踏まえ、以下の取り組みを行った。

- ① 板材を複数枚木ダボ接合したせん断耐力の確認
- ② 降伏接合型の接合具のせん断試験
- ③ DLT－コンクリート複合梁のせん断キーのせん断試験
- ④ 木ダボ位置の違いによる DLT 梁の強度性能確認
- ⑤ 木ダボ間隔の違いによる DLT 梁の強度性能確認
- ⑥ DLT－コンクリート複合梁の強度性能の確認
- ⑦ DLT－コンクリート複合梁の長期性能の確認（クリープ試験）
- ⑧ DLT 耐力壁の面内せん断試験
- ⑨ DLT パネルの音響性能確認

2.2 板材を複数枚木ダボ接合したせん断試験

2.2.1 試験概要

- ・ 木ダボ積層材のより詳細なせん断性能を把握するため、板材を複数枚木ダボ接合したせん断試験を行い、剛性と耐力を確認する。
- ・ 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。

2.2.2 試験体仕様

- ・ 試験体は側材を3枚とした複数せん断試験体を繊維方向、繊維直交方向それぞれで行う。試験体概要をそれぞれ図2.2-1、図2.2-2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）』を参考にした。

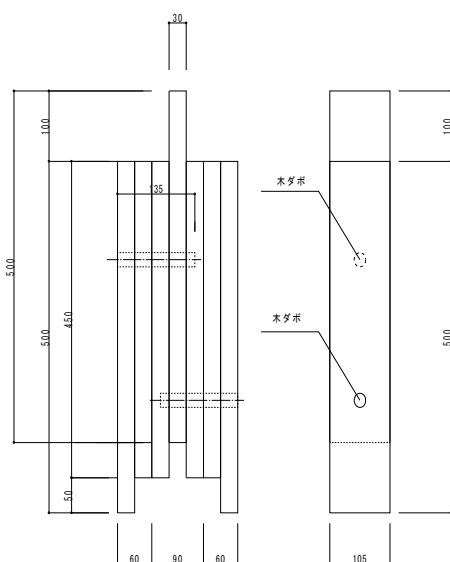


図2.2 - 1 試験体 A（繊維方向）

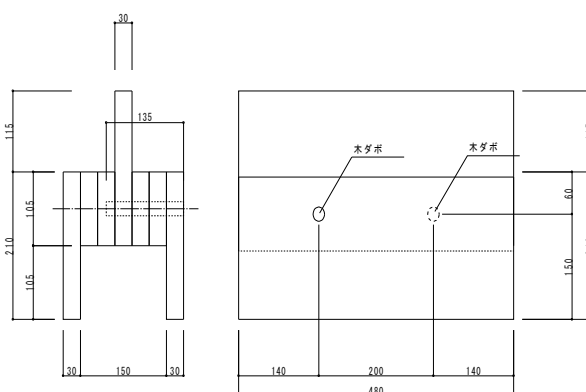


図2.2 - 2 試験体 B（繊維直交方向）

表 2.2 - 1 試験体の仕様

試験体	主材、側材	木ダボ	加工孔径	試験体数
A	スギ KD 30×105×450	φ 20mm	φ 19.5mm	6 体
	スギ KD 30×105×500			
B	スギ KD 30×105×480	φ 20mm	φ 19.5mm	6 体
	スギ KD 30×210×480			

主材、側材：群馬県産スギ KD 材 無等級材

木ダボ：欧州ブナ φ20mm たて溝つき、含水率 13%以下

2.2.3 試験の実施概要

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 2020 年 12月6,7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により強度を測定した。

側材の開き止めにクランプ金物を用いた。

2.2.4 試験結果

表 2.2 - 2 木ダボ接合部のせん断試験結果

試験体No.	最大荷重 (kN)	平均値 (kN)	平均値/2 (kN)	$P_{\max}$ 時 変位量(mm)	平均値 (mm)	0.4 $P_{\max}$ 時 変位量(mm)	平均値 (mm)	0.1 $P_{\max}$ 時 変位量(mm)	平均値 (mm)
A-1	15.487	14.280	7.14	12.948	12.989	1.711	1.508	0.137	0.113
A-2	12.920			13.322		1.752		0.034	
A-3	14.993			12.206		1.205		0.047	
A-4	14.102			11.789		1.446		0.192	
A-5	14.023			12.124		1.640		0.166	
A-6	14.153			15.545		1.292		0.102	
B-1	10.176	9.321	4.661	44.176	39.366	7.120	4.058	1.535	0.513
B-2	7.245			49.068		4.459		0.697	
B-3	7.856			33.211		2.329		0.145	
B-4	9.360			31.111		4.440		0.500	
B-5	11.943			47.495		3.254		0.113	
B-6	9.346			31.132		2.746		0.085	

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 A

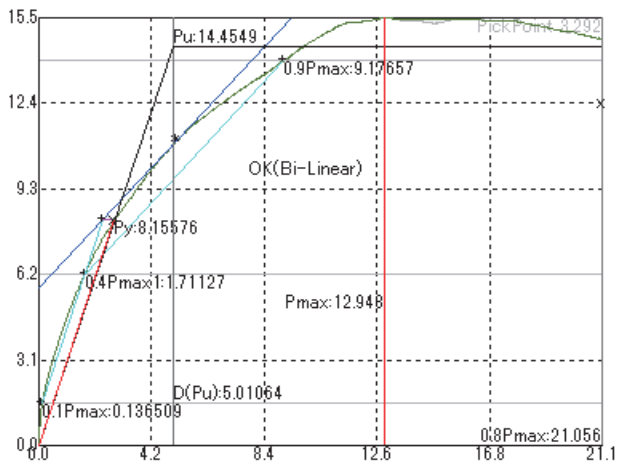


図2.2 - 3 試験体A-1 荷重 - たわみ曲線

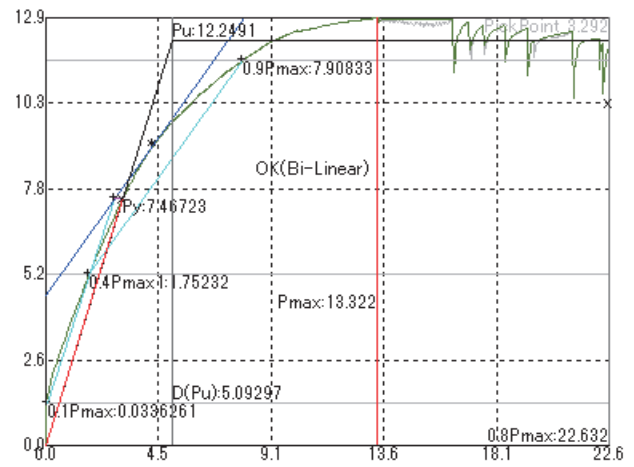


図2.2 - 4 試験体A-2 荷重 - たわみ曲線

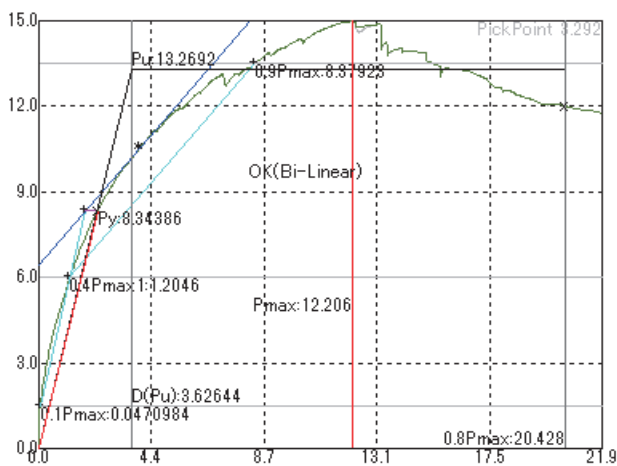


図2.2 - 5 試験体A-3 荷重 - たわみ曲線

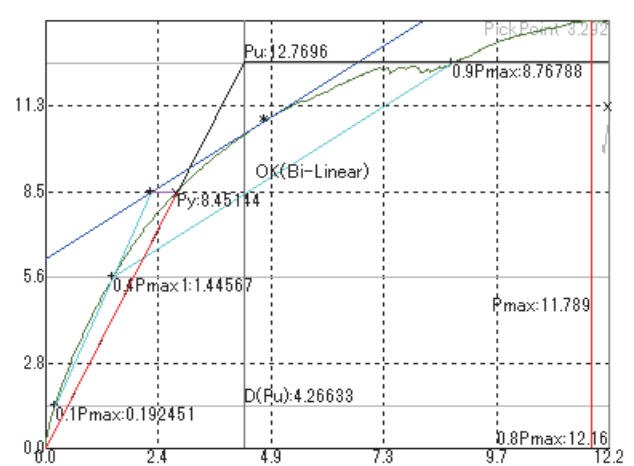


図2.2 - 6 試験体A-4 荷重 - たわみ曲線

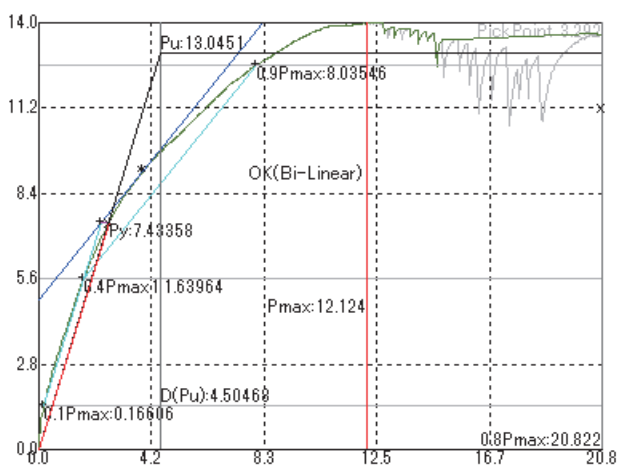


図2.2 - 7 試験体A-5 荷重 - たわみ曲線

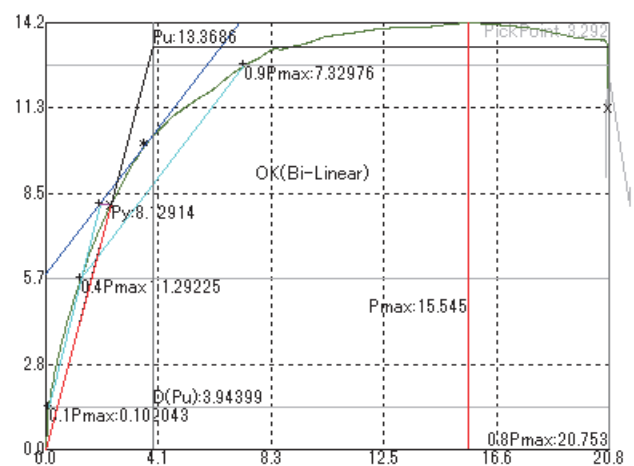


図2.2 - 8 試験体A-6 荷重 - たわみ曲線

試験体 B

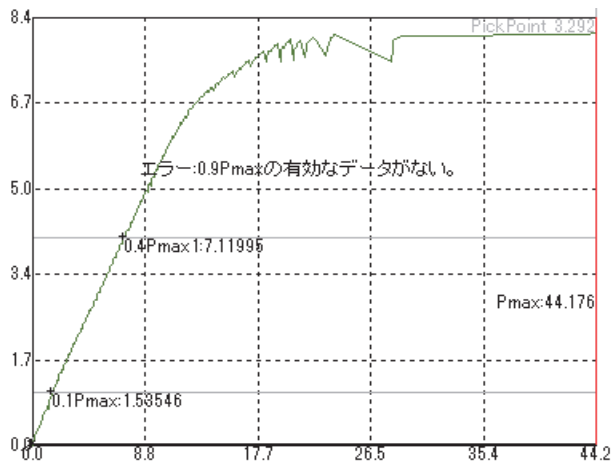


図 2.2 - 9 試験体B-1 荷重 - たわみ曲線

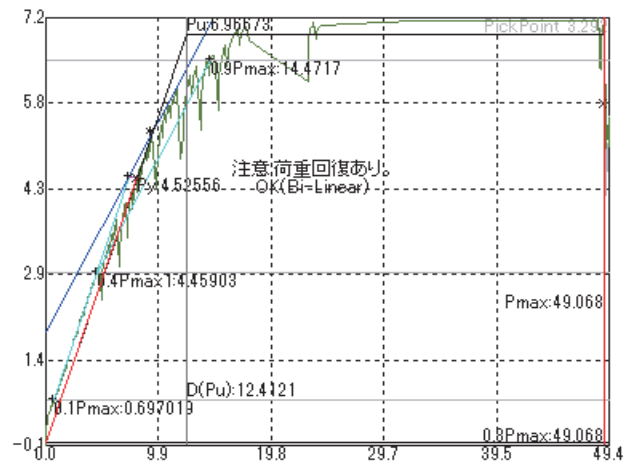


図2.2 - 10 試験体B-2 荷重 - たわみ曲線

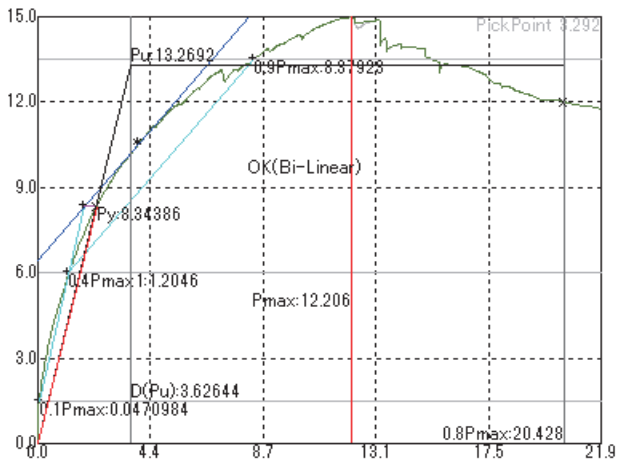


図2.2 - 11 試験体B-3 荷重 - たわみ曲線

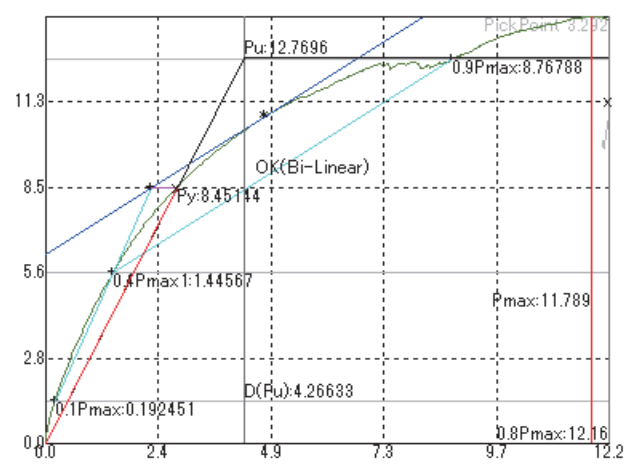


図2.2 - 12 試験体B-4 荷重 - たわみ曲線

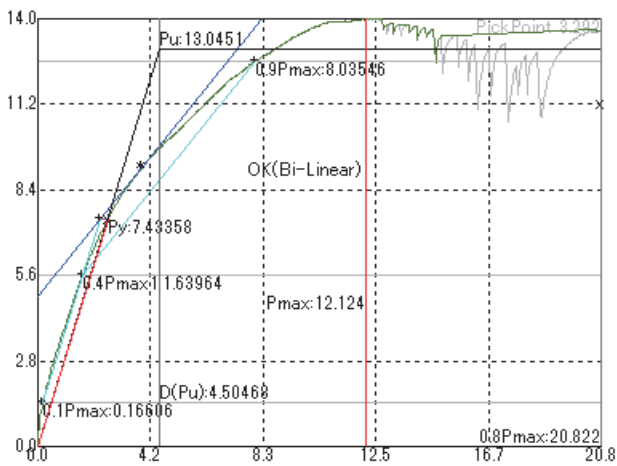


図2.2 - 13 試験体B-5 荷重 - たわみ曲線

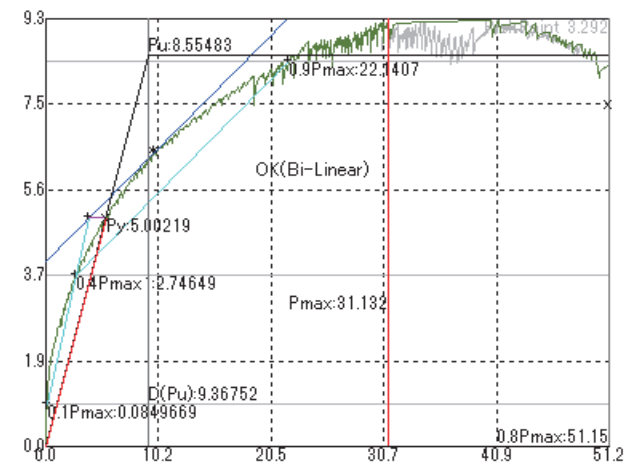


図2.2 - 14 試験体B-6 荷重 - たわみ曲線

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。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - c.v. \cdot K$$

$c.v.$: 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 2.2 - 3 短期接合耐力の算定(1本あたり)

項目 試験体	A			B		
	$P_y(\text{kN})$	$2/3P_{\max}(\text{kN})$	$P_{\max}(\text{kN})$	$P_y(\text{kN})$	$2/3P_{\max}(\text{kN})$	$P_{\max}(\text{kN})$
No.1	8.156	10.325	15.487	-	6.784	10.176
No.2	7.467	8.613	12.92	4.526	4.830	7.245
No.3	8.344	9.995	14.993	4.484	5.237	7.856
No.4	8.451	9.401	14.102	5.125	6.240	9.36
No.5	7.434	9.349	14.023	5.933	7.962	11.943
No.6	8.129	9.435	14.153	5.002	6.231	9.346
試験体数 n	6.000			6.000		
K	2.336			2.336		
平均値	7.283	8.588		4.678	5.755	
標準偏差	0.440	0.591		0.586	1.118	
変動係数	0.060	0.069		0.125	0.194	
ばらつき係数	0.860	0.839		0.708	0.547	
短期基準接合耐力(kN)	6.263	7.206		3.312	3.148	

表 2.2 - 4 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
A-1	8.1558	2.376	14.455	15.487	5.011	2.885	5.011	4.202	0.367
A-2	7.467	2.772	12.249	12.920	5.093	2.405	5.093	4.444	0.356
A-3	8.344	1.809	13.269	14.993	3.626	3.659	3.626	5.633	0.312
A-4	8.451	2.278	12.770	14.102	4.266	2.993	4.266	2.850	0.461
A-5	7.434	2.279	13.045	14.023	4.505	2.896	4.505	4.622	0.348
A-6	8.129	1.984	13.369	14.153	3.944	3.390	3.944	5.262	0.324
平均	7.997	2.250	13.193	14.280	4.408	3.038	4.408	4.502	0.362
標準偏差	0.440	0.333	0.738	0.886	0.581	0.437	0.581	0.969	0.053
B-1	-	-	-	10.176	-	-	-	-	-
B-2	4.526	7.276	6.967	7.245	49.068	0.561	12.412	3.953	0.381
B-3	4.484	3.573	7.067	7.856	46.009	0.960	7.362	6.250	0.295
B-4	5.125	6.376	7.995	9.360	31.275	0.654	12.220	2.559	0.493
B-5	5.933	4.267	10.041	11.943	51.150	0.934	10.753	4.757	0.343
B-6	5.002	3.946	8.555	9.346	51.150	0.913	9.368	5.460	0.317
平均	5.014	5.088	8.125	9.321	45.730	0.805	10.423	4.596	0.366
標準偏差	0.586	1.637	1.258	1.677	8.350	0.183	2.108	1.420	0.078

<試験結果と考察>

- 1) 木ダボ接合のせん断試験より側材を 1 枚、2 枚の降伏耐力 (P_y) は 3.81kN、3.47kN。終局耐力(平均値)が 5.86 kN に対して 5.74kN でおおむね近い値が得られている。側材を 3 材とした木ダボ接合では、降伏耐力 (P_y) は 3.99kN、終局耐力(平均値)が 6.59 kN となり、側材の枚数に比例し耐力が増していることが確認された。

表 2.2 - 5 木ダボ接合のせん断試験結果のまとめ

耐力 試験体	平均最大荷重 P_{max} (kN)	木ダボ1本当 たりの P_{max} (kN)	降伏耐力 P_y (kN)	木ダボ1本当 たりの P_y (kN)	終局耐力 P_u (kN)	木ダボ1本当 たりの P_u (kN)	短期基準せん断 耐力 P_a (kN/本)
繊維方向 (側材 1)	13.198	6.599	7.622	3.811	11.728	5.864	2.38
繊維方向 (側材 2)	12.93	6.465	6.943	3.472	11.482	5.741	2.9
繊維方向 (側材 3)	14.280	7.14	7.997	3.999	13.193	6.597	3.49
繊維直角方向(側材1)	7.552	3.776	5.077	2.539	6.552	3.276	1.19
繊維直角方向(側材2)	8.518	4.259	5.147	2.574	7.253	3.627	1.57
繊維直角方向(側材3)	10.42	5.21	5.445	2.723	8.12	4.06	2.2

- 2) 完全弾塑性で得られた初期剛性は繊維方向の試験体 側材 1 枚、3 枚で 1.593 kN/mm、1.519kN/mm であった。側材を 3 枚に増やすとせん断面が 3 箇所になるため、剛性は約 30% 程度になると予想したが、結果は繊維方向ではほとんど変わらない結果が得られた。繊維直角方向では側材 1 枚、3 枚で 0.761、0.484kN/mm で 60%程度であった。
- 3) 試験後の試験体を見ると、木ダボにはほとんどめりこみが生じていない。主材、側材のめりこみは再外層のめりこみ量が大きく、内層部はめりこみ量が小さい。主に再外層の側材のめりこみより終局に達したと考えられる。
- 4) 最大耐力の 40%に達した時点の 1 本当たりの変位量について、繊維方向 側材 1 枚では 0.628mm であったが側材 3 枚では 0.754mm となっており、せん断面が 3 箇所になっているが大差がない。
- 5) 単純せん断に比べ複数枚の木ダボ接合で木ダボのせん断耐力が増すことが確認された。このことから、床や壁で DLT を活用する場合、木ダボのせん断耐力の検討において積層の枚数の低減の考慮が不要で、単純せん断でよいこと判った。

< 試験写真 >

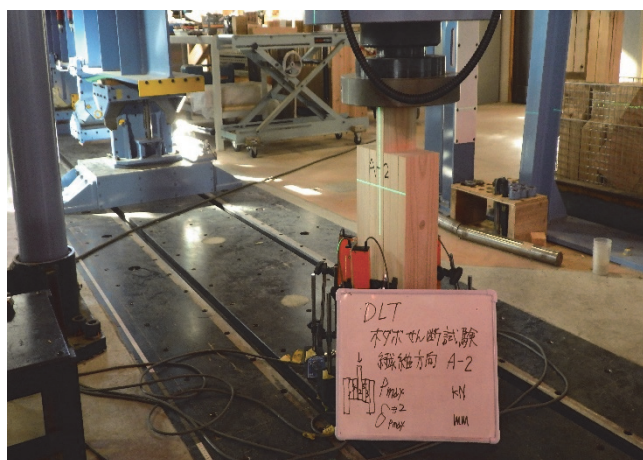


写真 2.2 - 1 試験体 A2 加力前



写真 2.2 - 2 試験体 A2 加力後



写真 2.2 - 3 試験体 A5 加力前

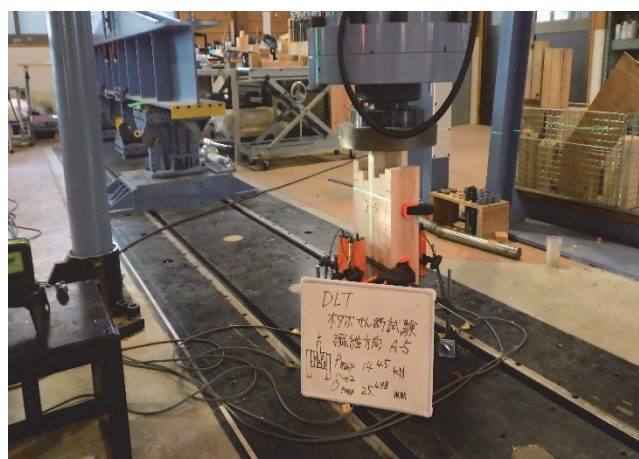


写真 2.2 - 4 試験体 A5 加力後

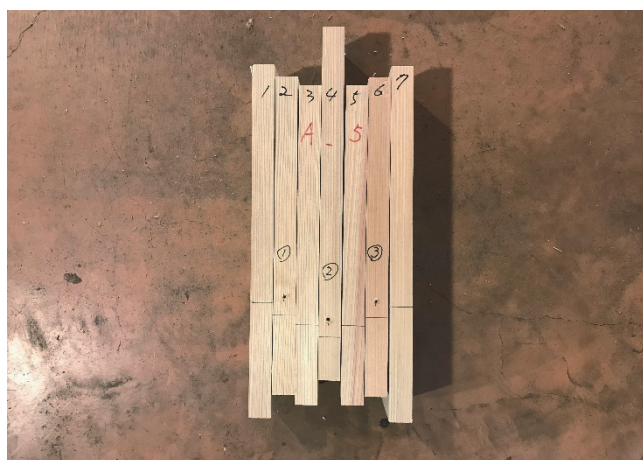


写真 2.2 - 5 試験体 A5 試験後



写真 2.2 - 6 試験体 A5 解体



写真2.2 - 7 試験体 B1 加力前



写真2.2 - 8 試験体 B1 加力後

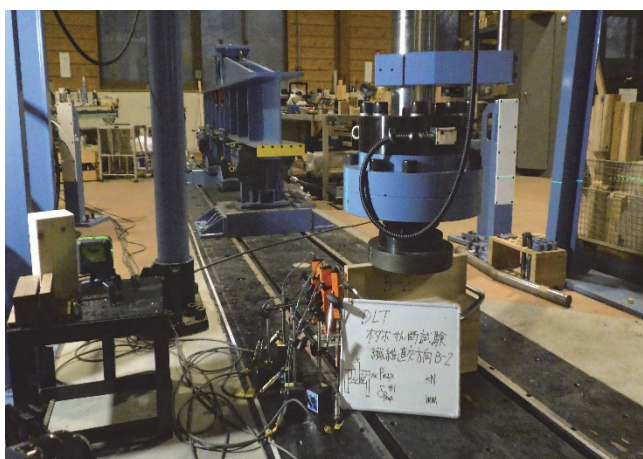


写真2.2 - 9 試験体 B2 加力前



写真2.2 - 10 試験体 B2 加力後



写真2.2 - 11 試験体 B2 試験後



写真2.2 - 12 試験体 B2 解体

2.3 DLT-コンクリート複合梁のせん断キーのせん断試験

2.3.1 試験概要

- DLT-コンクリート複合材（DLT-CC）では、複合化による曲げ剛性の向上が想定される。曲げ応力の伝達機構がTCCの剛性を左右することから、せん断キーに使用するビスタイプの接合具の剛性、強度を確認する。
- 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

- DLT-CCで使用するせん断キーの加力方向を、DLTの繊維方向とした試験体概要を図2.3-1 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。

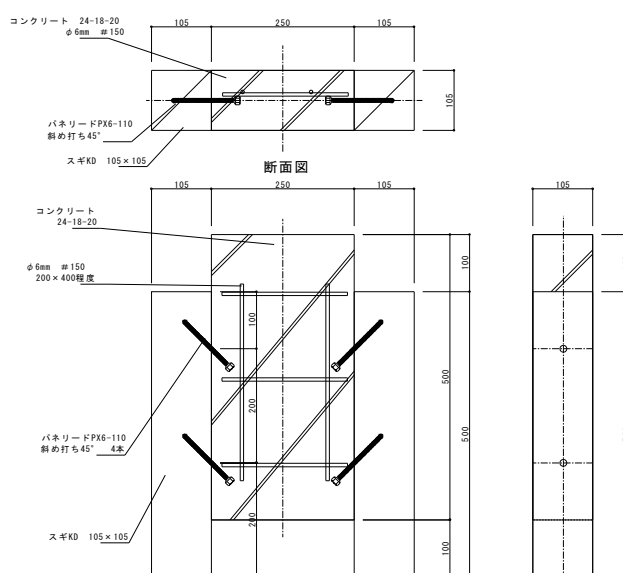


図 2.3 - 1 試験体姿図

表 2.3 - 1 接合部せん断試験 試験体の仕様

試験体	側材	主材	せん断キー	試験体数
1～6	スギKD 105×105	現場打ちコンクリート 24-18-20程度 φ6 #150	パネリード 4-PX6-110 斜め打ち	6体

側材：群馬県産スギ KD 材 無等級材

主材：現場打ちコンクリート 呼び強度 24kN/mm²、スランプ 18 cm、粗骨材の最大寸法 20 mm、割れ止め用 φ6mm@150 メッシュ入り

せん断キー：パネリード PX6-110 斜め打ち角度 45°

2.3.3 試験の実施概要

a. 試験内容 TCC せん断キーの圧縮せん断試験

b. 試験実施日 2020 年 11 月 25 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使用した。

2.3.4 試験結果

表 2.3 - 2 接合部のせん断試験結果

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)
1	44.017	48.759	0.023	0.113	0.19311	0.341
2	50.809		0.293		0.693686	
3	57.688		0.071		0.276799	
4	40.571		0.014		0.148708	
5	43.469		0.245		0.596741	
6	55.996		0.028		0.134232	

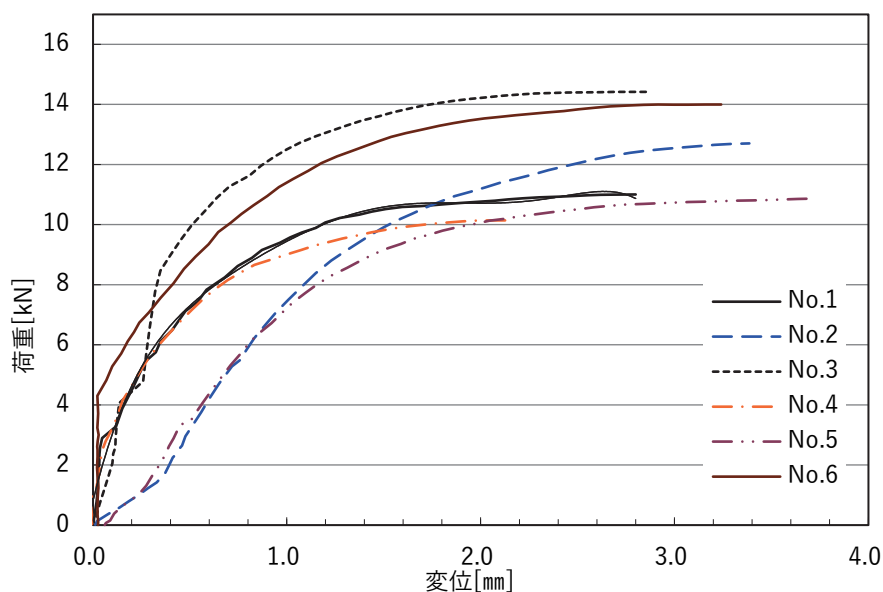


図 2.3 - 2 荷重 - 変位のグラフ

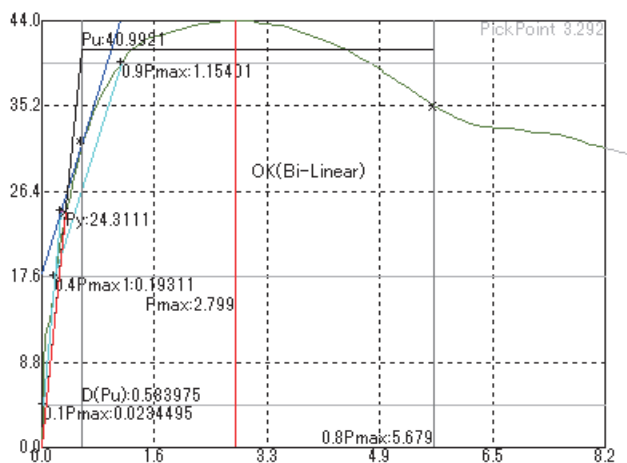


図2.3 - 3 試験体No.1 荷重 - たわみ曲線

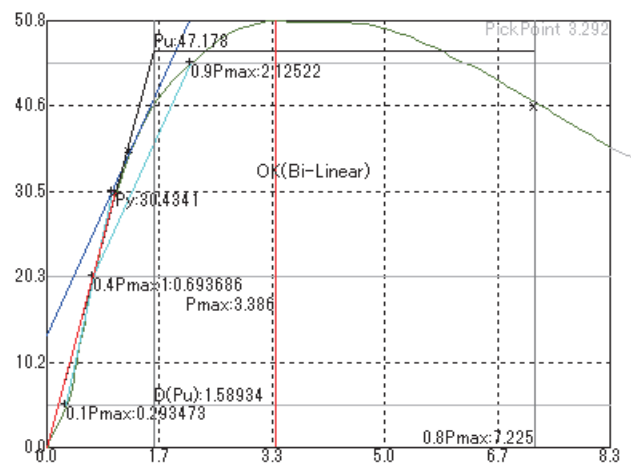


図2.3 - 4 試験体No.2 荷重 - たわみ曲線

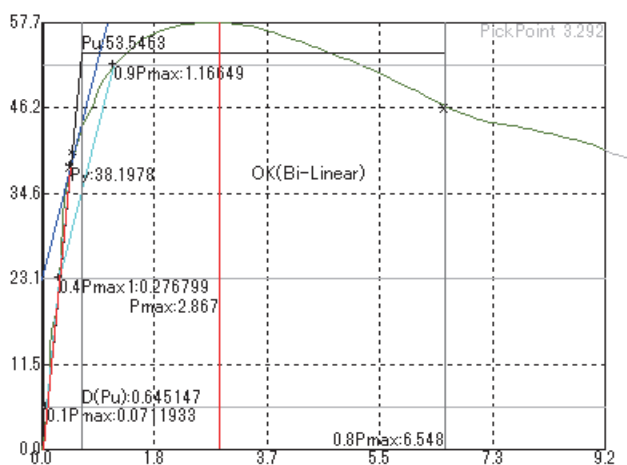


図2.3 - 5 試験体No.3 荷重 - たわみ曲線

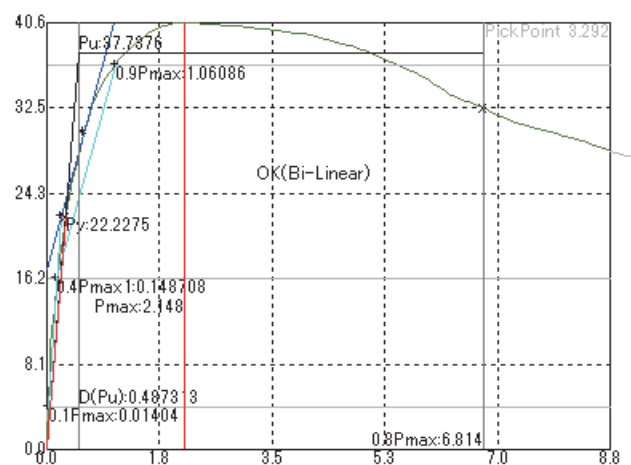


図2.3 - 6 試験体No.4 荷重 - たわみ曲線

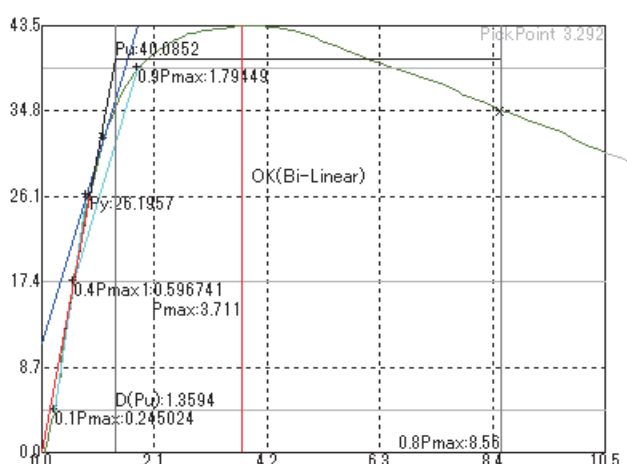


図2.3 - 7 試験体No.5 荷重 - たわみ曲線

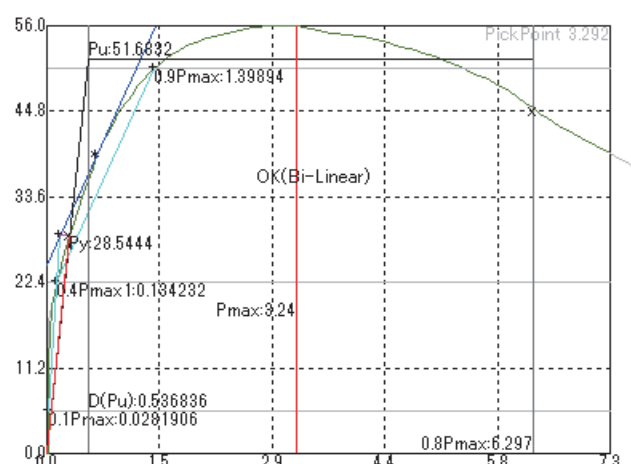


図2.3 - 8 試験体No.6 荷重 - たわみ曲線

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。

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。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - c.v. \cdot K$$

$c.v.$: 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2.3 - 3 短期接合耐力の算定（パネリード1本あたり）

	P_y (kN)	$2/3P_{\max}$ (kN)	$P_{\max}$ (kN)
No.1	6.078	7.336	11.004
No.2	7.609	8.468	12.702
No.3	9.549	9.615	14.422
No.4	5.557	6.762	10.143
No.5	6.549	7.245	10.867
No.6	7.136	9.333	13.999
試験体数 n	6		
K	2.336		
平均値	7.080	8.127	
標準偏差	1.413	1.188	
変動係数	0.200	0.146	
ばらつき係数	0.534	0.659	
短期基準接合耐力(kN)	3.779	5.352	

表 2.3 - 4 特性値算定結果（パネリード 1 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	塑性率 μ	構造特性 係数 Ds
No.1	6.078	0.279	10.248	11.004	0.584	17.549	9.725	0.233
No.2	7.609	0.959	11.795	12.702	1.589	7.421	4.546	0.352
No.3	9.549	0.456	13.387	14.422	0.645	20.750	10.150	0.228
No.4	5.557	0.215	9.434	10.143	0.487	19.360	13.983	0.193
No.5	6.549	0.834	10.021	10.867	1.359	7.372	6.297	0.294
No.6	7.136	0.173	12.921	13.999	0.537	24.068	11.730	0.211
平均	7.080	0.486	11.301	12.190	0.867	16.087	9.405	0.252
標準偏差	1.413	0.335	1.640	1.781	0.479	7.062	3.472	0.060

<試験結果の考察>

- 1) 試験結果より比較的変位のばらつきが大きい結果となった。荷重 - 変位のグラフより試験体 No.2とNo.5では他の試験体と異なり、加力初期に荷重の立ち上がりに比べ直線的に変位が生じていることが確認できる。接合部の耐力に影響してないが、この直線的な変位の増加は初期スリップによるものか不明である。
- 2) 試験後のNo.2とNo.5を除外した初期剛性の値の平均を算出すると、せん断キーのビス（パネリードPX6-110）の初期剛性は、20.0kN/mm²となる。

< 試験写真 >



写真 2.3 - 1 試験体 No.1 加力前



写真 2.3 - 2 試験体 No.1 加力後



写真 2.3 - 3 試験体 No.1 解体



写真 2.3 - 4 試験体 No.1 解体



写真 2.3 - 5 試験体 No.1 解体

2.4 降伏接合型の接合具のせん断試験

2.4.1 試験概要

- ・ 既往のDLT耐力壁の面内せん断試験の結果より、木ダボ接合は大きな変形を許容し、粘る特性が得られている。その特性を踏まえ、軸組みとの接合に靱性を有する接合具を使用する耐力壁を考案し、接合部の要素試験として、接合具の耐力、構造特性を確認する。

2.4.2 試験体仕様

- ・ 面内せん断試験の木ダボ同様の加工孔径 $\phi 19.5\text{mm}$ （試験体A）、鋼製ダボと加工孔径とのクリアランスを考慮した $\phi 20.0\text{mm}$ （試験体B）、さらに加工孔径を $\phi 21.0\text{mm}$ とし接着剤を併用した試験体（試験体C）を用意し試験体概要を図 2.4-1 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）』を参考にした。

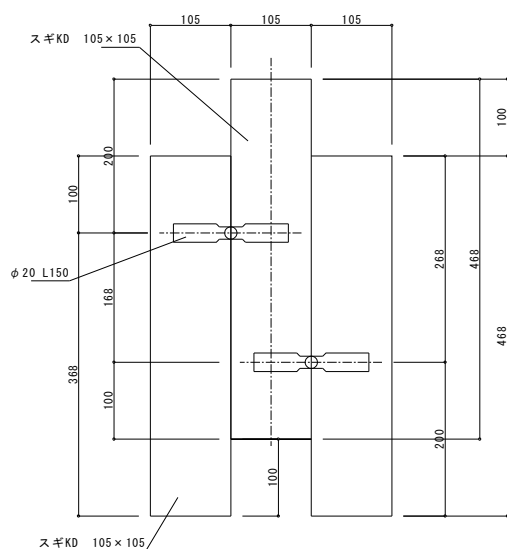


図 2.4 - 1 試験体姿図

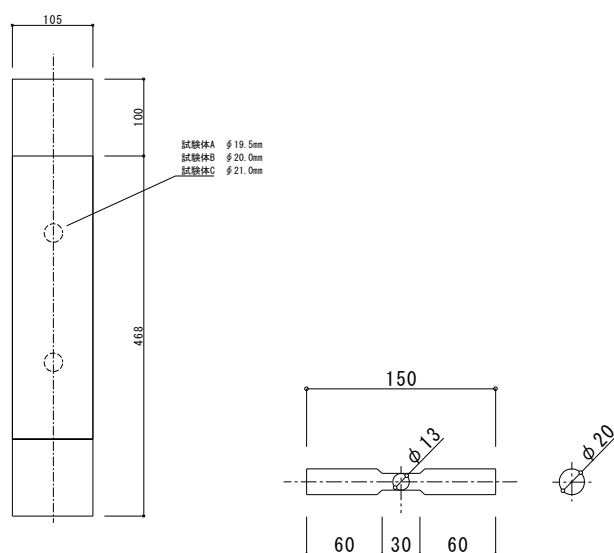


図 2.4 - 2 特殊鋼製ダボ姿図

表 2.4 - 1 試験体の仕様

試験体	主材、側材	鋼製ダボ	加工孔径	試験体数
A	スギKD 30×105	$\phi 20\text{mm}$	$\phi 19.5\text{mm}$	6体
B	スギKD 105×105	$\phi 20\text{mm}$	$\phi 20\text{mm}$	4体
C	スギKD 105×105	$\phi 20\text{mm}$	$\phi 21\text{mm}$ 接着剤併用	4体

主材、側材：群馬県産スギ KD 材 無等級材

鋼製ダボ：SNR4 0 0 B、外径 $\phi 20\text{mm}$ ×150、中央部 $\phi 13\text{mm}$ ×30mm

接着剤：ウレタン樹脂系無溶剤形 接着剤

2.4.3 試験の実施概要

- a. 試験内容 降伏型接合具のせん断試験
- b. 試験実施日 2020 年 12月7,8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
試験体 A,C 各一体は法政大学で実施した。
- d. 試験方法
変位計を取付け後に、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使用した。

2.4.4 試験結果

表2.4 - 2 降伏型接合具のせん断試験

試験体	最大荷重 $P_{\max}$ (kN)	平均値 (kN)	変位量(mm) $D(P_{\max})$	平均値 (mm)
A-1	29.729	29.818	51.255	57.291
A-2	34.332		66.498	
A-3	26.066		54.061	
A-4	30.922		46.726	
A-5	29.158		65.201	
A - 6※	28.7		60	
B-1	33.927	30.538	66.767	61.218
B-2	31.068		51.15	
B-3	29.501		68.631	
B-4	27.655		58.324	
C-1	25.509	27.848	64.926	63.78
C-2	30.683		63.327	
C-3	28.297		66.867	
C-4※	26.9		60.000	

※ A-6,C-4 は法政大学にて試験実施

試験体 A

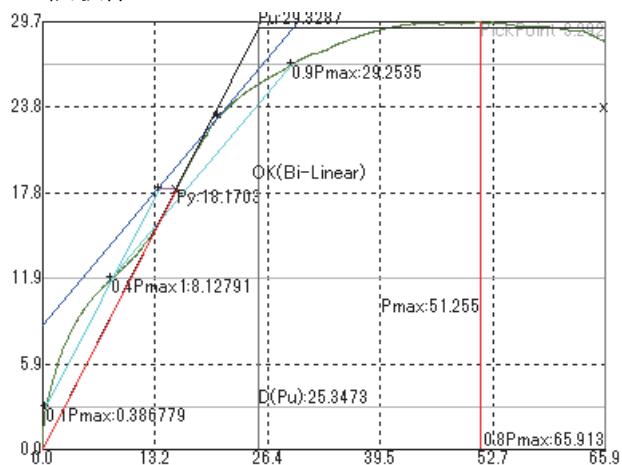


図 2.4 - 3 試験体 A-1 荷重 - たわみ曲線

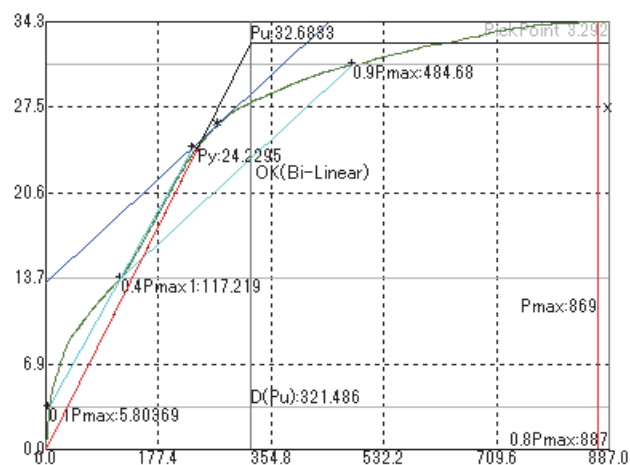


図 2.4 - 4 試験体 A-2 荷重 - たわみ曲線

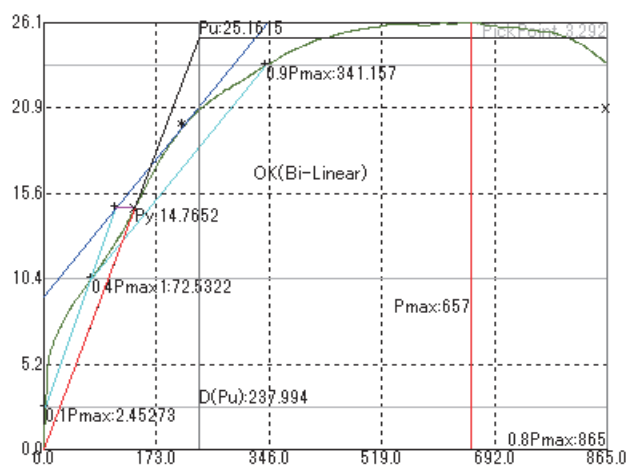


図 2.4 - 5 試験体 A-3 荷重 - たわみ曲線

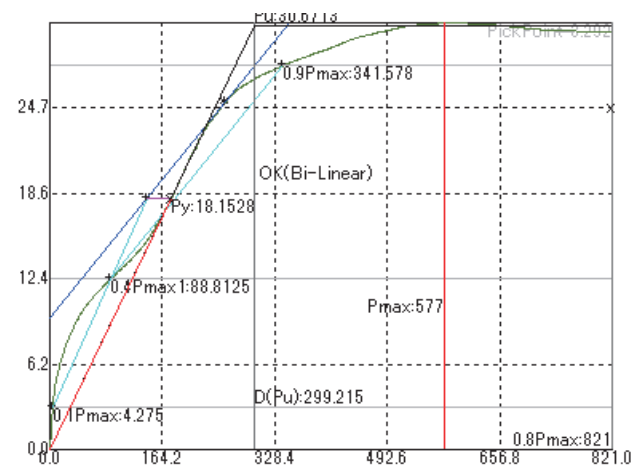


図 2.4 - 6 試験体 A-4 荷重 - たわみ曲線

試験体 B

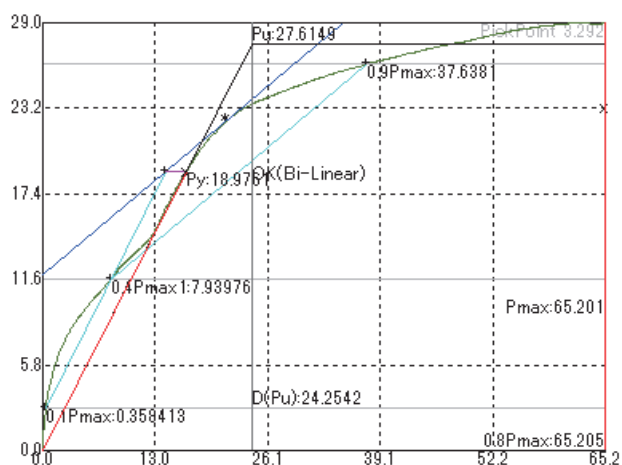


図 2.4 - 7 試験体 A-5 荷重 - たわみ曲線

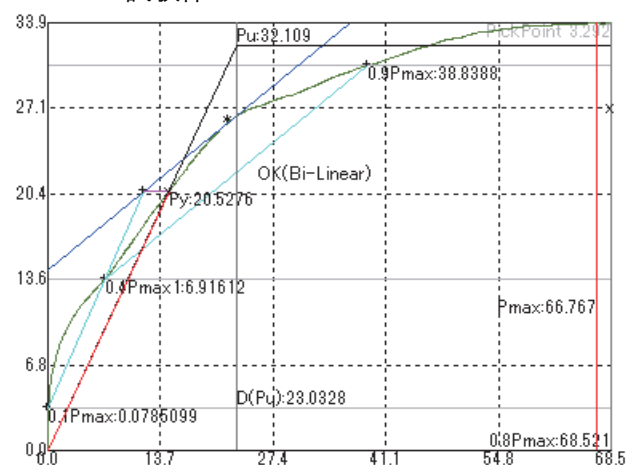


図 2.4 - 8 試験体 B-1 荷重 - たわみ曲線

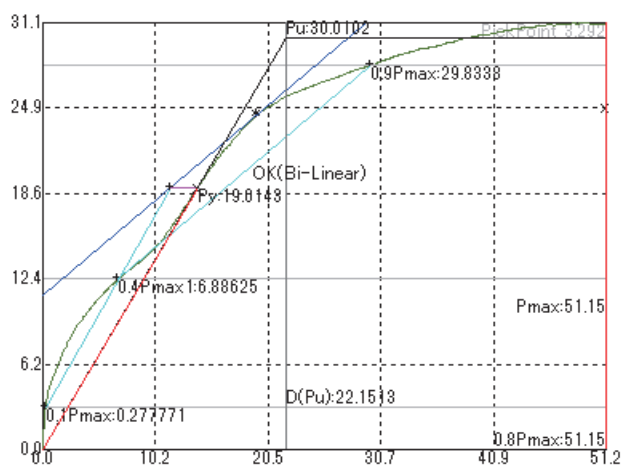


図 2.4 - 9 試験体 B-2 荷重 - たわみ曲線

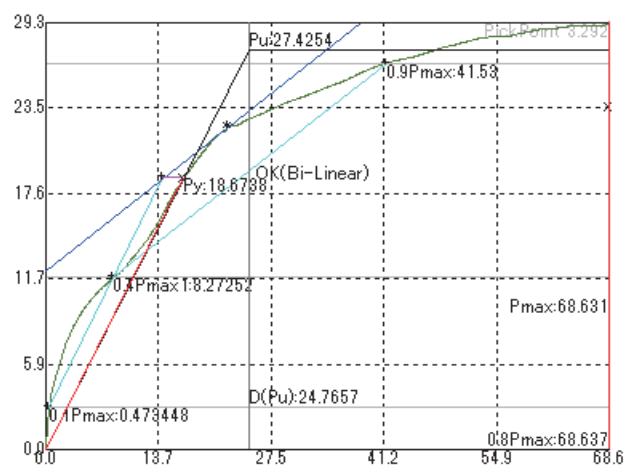


図 2.4 - 10 試験体 B-3 荷重 - たわみ曲線

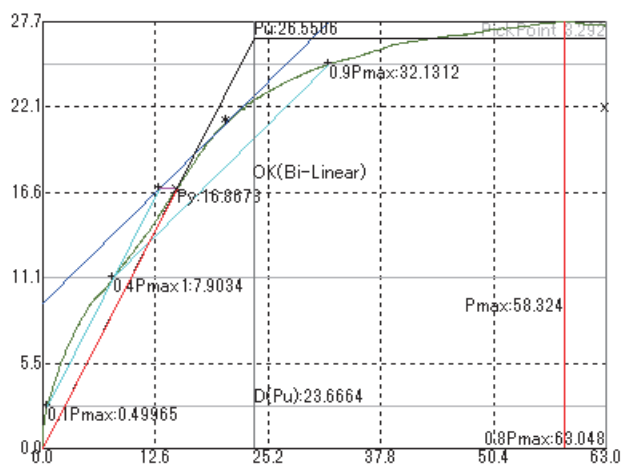


図 2.4 - 11 試験体 B-4 荷重 - たわみ曲線

試験体 C

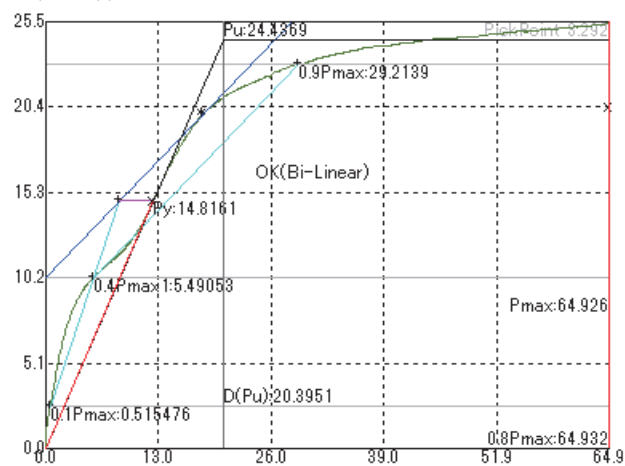


図 2.4 - 12 試験体 C-1 荷重 - たわみ曲線

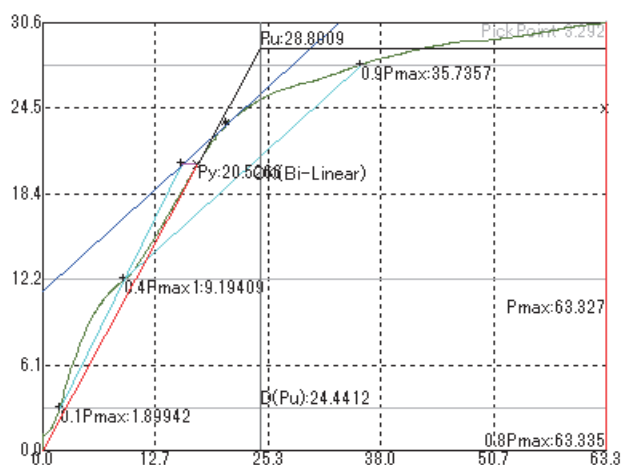


図 2.4 - 13 試験体 C-2 荷重 - たわみ曲線

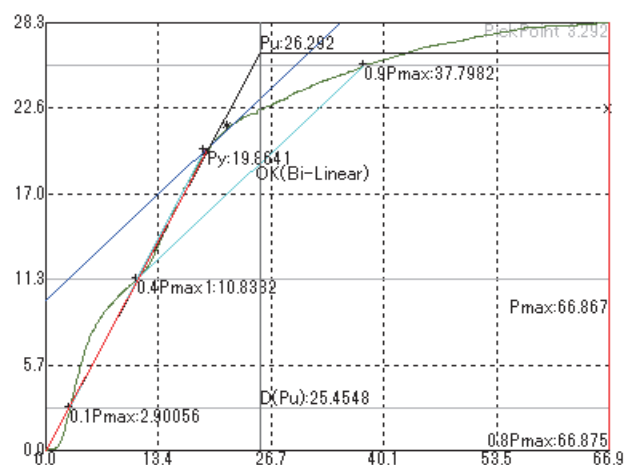


図 2.4 - 14 試験体 C-3 荷重 - たわみ曲線

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。

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。

③ 降伏耐力 P_y

④ 最大荷重 $P_{\max}$ の $2/3$ の値にばらつき係数を乗じた値による。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - c.v. \cdot K$$

$c.v.$: 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 2.4 - 3 短期接合耐力の算定（鋼製ダボ 1 本あたり）

	A			B			C		
	$P_y(\text{kN})$	$2/3P_{\max}(\text{kN})$	$P_{\max}(\text{kN})$	$P_y(\text{kN})$	$2/3P_{\max}(\text{kN})$	$P_{\max}(\text{kN})$	$P_y(\text{kN})$	$2/3P_{\max}(\text{kN})$	$P_{\max}(\text{kN})$
No.1	9.085	9.910	14.865	10.264	11.309	16.964	7.408	8.503	12.755
No.2	12.154	11.444	17.166	9.507	10.356	15.534	10.263	10.228	15.342
No.3	7.371	8.689	13.033	9.337	9.834	14.751	9.932	9.433	14.149
No.4	9.030	10.307	15.461	8.434	9.219	13.828	7.650	8.967	13.450
No.5	9.488	9.719	14.579						
No.6	9.54	9.600	14.4						
試験体数 n	6			4			4		
K	2.336			2.681			2.681		
平均値	9.445	9.945		9.386	10.180		8.813	9.283	
標準偏差	1.546	0.909		0.751	0.885		1.492	0.736	
変動係数	0.164	0.091		0.080	0.087		0.169	0.079	
ばらつき係数	0.618	0.787		0.785	0.767		0.546	0.788	
短期基準接合耐力 (kN)	5.833	7.823		7.371	7.807		4.812	7.310	

※ A-6,C-4 は法政大学にて試験実施

表 2.4 - 4 特性値算定結果（鋼製ダボ 1 本あたり）

	A（平均値）	B（平均値）	C（平均値）
加工仕様	$\phi 19.5$	$\phi 20$	$\phi 21 + \text{接着剤}$
最大荷重(kN) $P_{\max}$	14.917	15.269	13.912
降伏耐力(kN) P_y	9.445	9.386	8.813
降伏変位(mm) δ_y	7.954	7.582	8.137
終局変位(mm) δ_u	32.51	31.42	31.818
初期剛性(kN/mm) K	0.6	0.622	0.545
終局耐力(kN) P_u	14.257	14.512	13.066
降伏点変位(mm) δ_v	11.954	11.702	12.062
塑性率 μ	2.759	2.68	1.616

< 試験結果の考察 >

- 1) 本試験で使用した特殊鋼製ダボはDLT耐力壁の面内せん断試験で使用している。このダボの中央部の断面を小さく・剛性を低くしてダボ中央部分で曲げ降伏することで、木ダボの粘り強い接合に対して、特殊鋼製ダボの塑性変形による追従を想定し本試験を実施した。
- 2) 試験結果からは比較的ばらつきが大きい加工孔径の違いによる、特殊鋼製ダボの降伏耐力や特性値に顕著な違いが見られなかった。
- 3) 試験後の試験体の観察よりダボの端部 $\phi 20\text{mm}$ 部分でも若干のめりこみも確認されたが、特殊鋼製ダボの断面減少させた中央部で曲げ変形し主材、側材にめりこみが生じていた。
- 4) 主材と側材とせん断面に特殊鋼製ダボの中央部が位置することから、主材と側材のせん断面のせん断力が木ダボの中央部分の曲げとして作用し、曲げ変形によるめりこみが接合部の耐力や変位、剛性を支配したと想定される。

< 試験写真 >



写真 2.4 - 1 試験体 A-1 試験前



写真 2.4 - 2 試験体 A-1 試験後



写真 2.4 - 3 試験体 B-1 試験前



写真 2.4 - 4 試験体 B-1 試験後



写真 2.4 - 5 試験体 C-1 試験前



写真 2.4 - 6 試験体 C-1 試験後



写真 2.4 - 7 試験体 A-1 試験前



写真 2.4 - 8 試験体 A-1 試験後



写真 2.4 - 9 試験体 B-1 試験前



写真 2.4 - 10 試験体 B-1 試験後



写真 2.4 - 11 試験体 C-1 試験前



写真 2.4 - 12 試験体 C-1 試験後

3. DLT の曲げ性能確認試験

3.1 木ダボ位置の違いによる DLT 梁の性能確認（梁の曲げ試験 1）

3.1.1 試験概要

- ・ DLT で使用するひき板の材せいが 150 mm 程度までは木ダボを材中央に配置するが、材せいが大きくなる場合は木ダボ位置を材中央 1 列、または 2 段、もしくは千鳥打ちが可能であることから、木ダボ位置の違いによる構造性能を確認する。
- ・ 使用するひき板は個々のヤング係数（縦弾性係数）を計測し、曲げヤング係数順に“1（低い）”、“2（中程度）”、“3（高い）”の 3 種類に分類した。分類されたひき板を使用した試験体に二線荷重方式による曲げたわみ測定、集中加力、曲げ破壊の各試験を行う。

3.1.2 試験体仕様

断面寸法 180mm×240mm×4000mm の梁を 3 種類、各 3 体を用意。

表 3.1 - 1 試験体の仕様

試験体.	断面寸法	木ダボ位置	木ダボ間隔	試験体数
A	180×240×4,000	中央 1 段	@600mm	3 体
B	180×240×4,000	2 段	@600mm	3 体
C	180×240×4,000	千鳥	@600mm	3 体

ひき板：群馬県産スギ KD 材 無等級材

木ダボ：欧州ブナ $\phi 20\text{mm}$ たて溝つき、含水率 13% 以下

試験体 B、C の木ダボは縁あき 2.5d として 50 mm 確保し、千鳥打ち、2 段打ちとした。

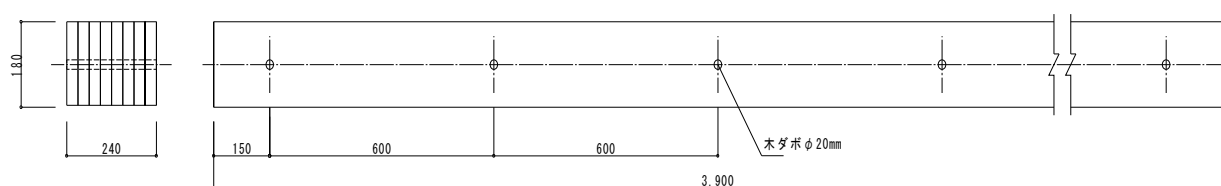


図 3.1 - 1 試験体 A 姿図

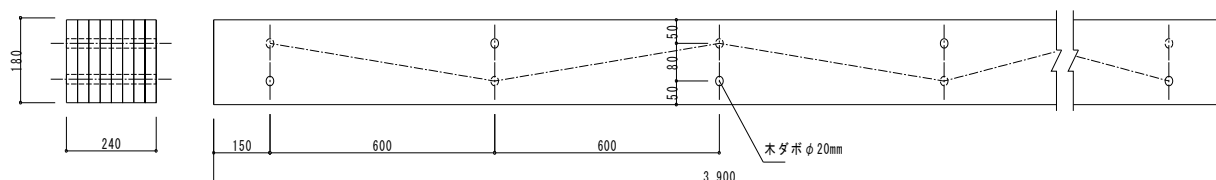


図 3.1 - 2 試験体 B, C 姿図

3.1.3 試験の実施概要

- a. 試験内容 180mm×240mm、L=4.0m 実大梁の曲げ試験
- b. 試験実施日 2020 年 12月1、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
 - 1) $0.4P_{max}$ 荷重載荷試験：3 等分点 4 点式曲げ（2 線荷重方式）
支点間距離 3,600mm、載荷速度 5mm/min

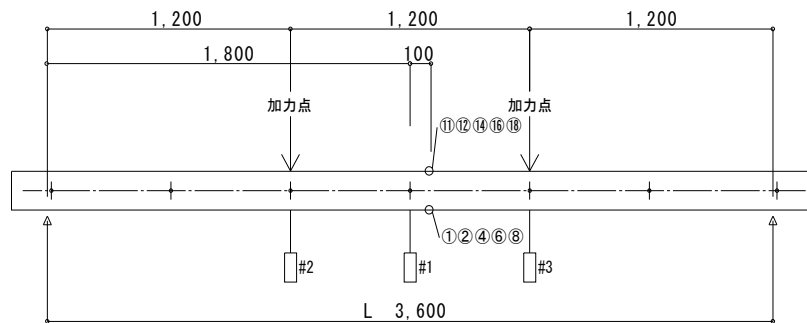


図 3.1 - 3 加力位置と変位計位置 (1)

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、枕木の固定ピンを抜き、加力盤を加力材に押し当て加力を開始する。
 - ④ 荷重が設定値に到達したら、加力を停止する。
- 2) 6kN 載荷試験：中央集中荷重（6 箇所）
支点間距離 3,600mm、載荷速度 5mm/min
集中荷重による堅木がひき板にめり込まないように加力は 6kN、堅木サイズ（29mm×29mm L120mm）とした。

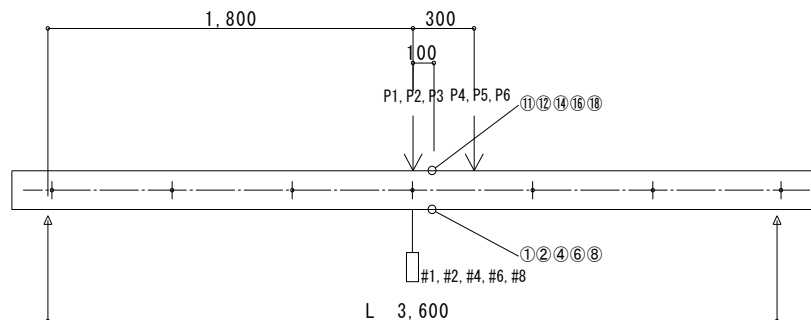


図 3.1 - 4 加力位置と変位計位置 (2)

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、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加力を開始する。
- ④ 荷重が設定値に到達したら、加力を停止し、荷重のかかったままの状態では梁を観察する。
- ⑤ 除荷後に別の載荷点へ移行して加力を繰り返す。

中央集中荷重 n 載荷位置はひき板 4→2→1 の順で行う。

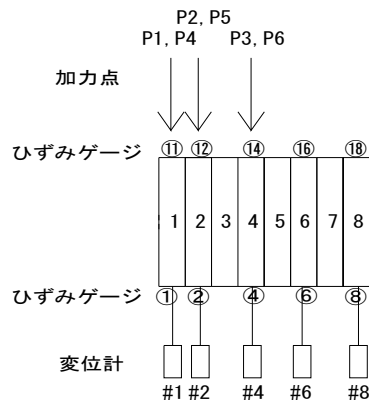


図 3.1 - 5 荷重位置と変位計、ひずみゲージ位置

3) 曲げ破壊試験：3等分点 4 点式曲げ（2 線荷重方式）

支点間 3,600mm、荷重点間 1,200mm、載荷速度 5mm/min

基本的な流れは 1) 試験と殆ど変わらない。

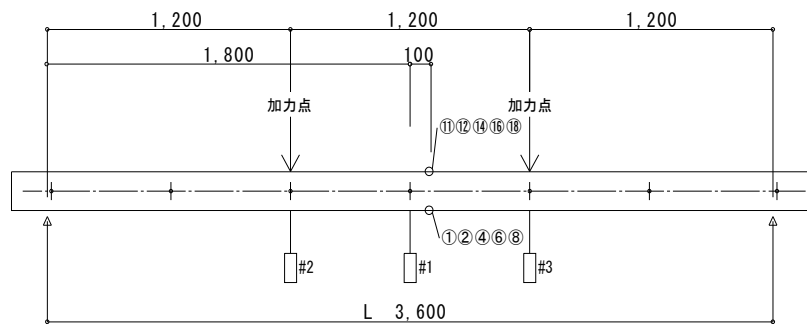


図 3.1 - 6 荷重位置と変位計位置図 (3)

3.1.4 試験結果

1) $0.4P_{\max}$ 荷重載荷：3等分点 4点式曲げ（2線荷重方式）

表 3.1 - 2 $0.4P_{\max}$ 荷重載荷 - 変位測定結果

計測値 試験体	荷重 (kN)	中央部変位 変位計1 (mm)	曲げヤング係数① (kN/mm ²)	平均曲げヤング係数 (kN/mm ²)	ひき板の平均曲げヤ ング係数② (kN/mm ²)	平均曲げヤング係数 (kN/mm ²)	①②の差
180 A1	19.178 4.77	24.0 5.8	5.620	6.966	6.034	7.84	-7%
180 A2	19.169 4.741	18.1 4.4	7.476		8.308		-11%
180 A3	19.175 4.83	17.4 4.4	7.803		9.173		-18%
180 B1	19.171 4.896	22.05 5.35	6.068	6.954	6.867	8.04	-13%
180 B2	19.167 4.866	19.55 4.7	6.836		7.806		-14%
180 B3	19.178 4.66	17.1 4.15	7.958		9.441		-19%
180 C1	19.168 4.689	20.5 5.1	6.674	7.447	7.229	8.52	-8%
180 C2	19.159 4.881	18.55 4.7	7.318		8.144		-11%
180 C3	19.189 4.721	16.25 3.95	8.350		10.178		-22%

※ 荷重と変位の値について上段：上限荷重時（ $0.4P_{\max}$ ）、下段：下限荷重時
（ $0.1P_{\max}$ ）での計測値を示す

3等分点 4点式曲げ

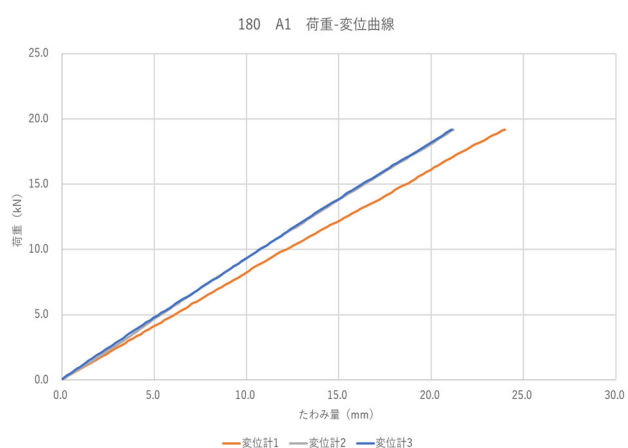


図 3.1 - 7 180 A1 たわみ測定結果

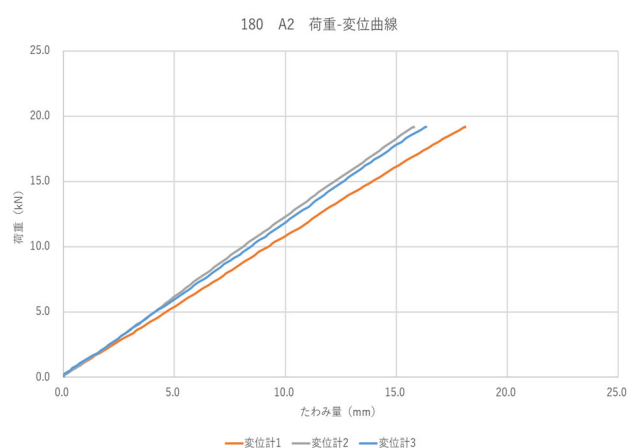


図 3.1 - 8 180 A2 たわみ測定結果

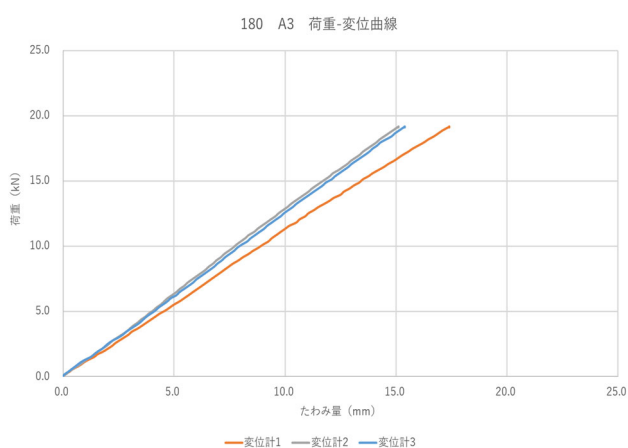


図 3.1 - 9 180 A3 たわみ測定結果

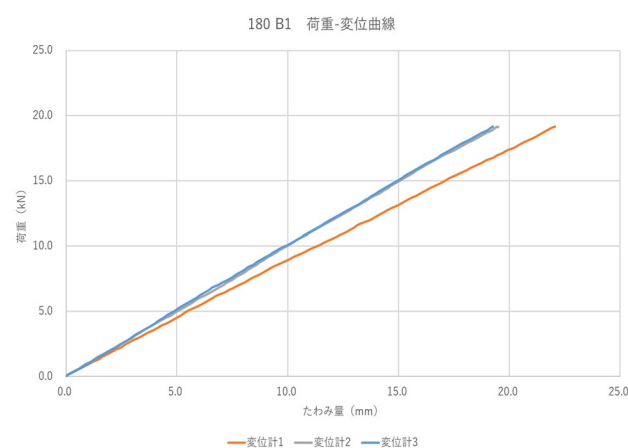


図 3.1 - 10 180 B1 たわみ測定結果

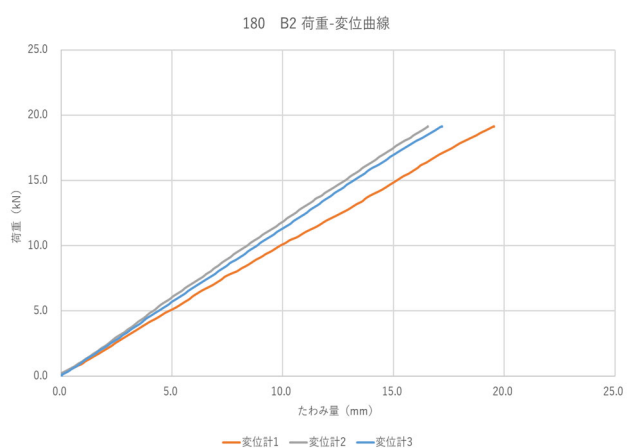


図 3.1 - 11 180 B2 たわみ測定結果

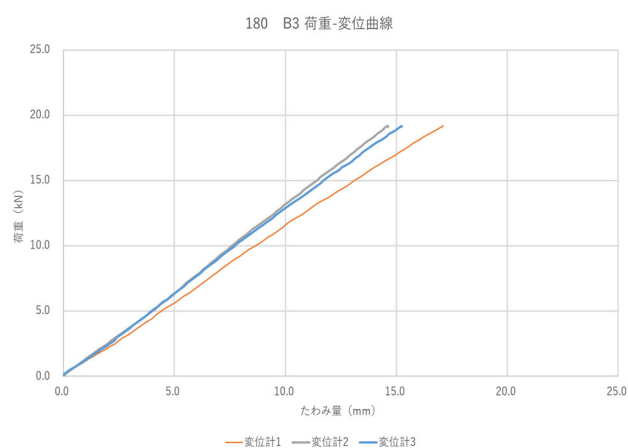


図 3.1 - 12 180 B3 たわみ測定結果

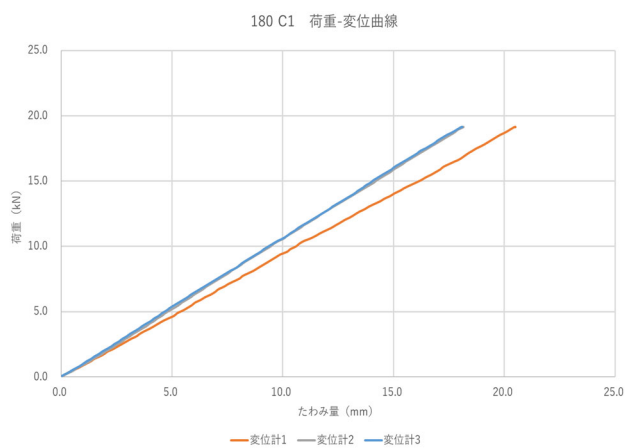


図 3.1 - 13 180 C1 たわみ測定結果

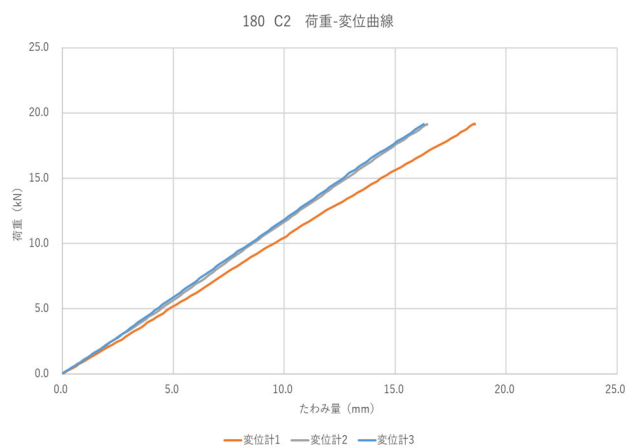


図 3.1 - 14 180 C2 たわみ測定結果

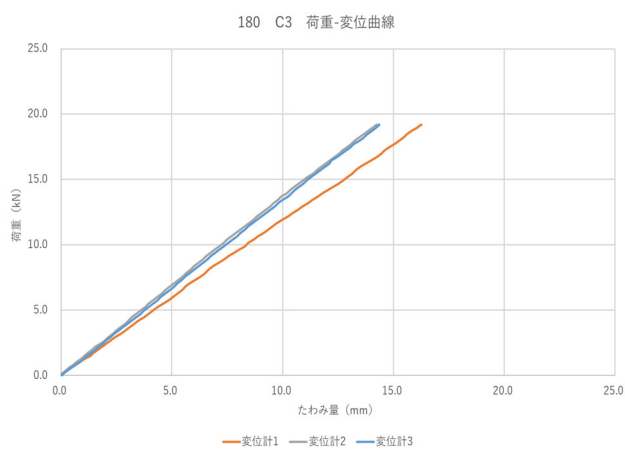


図 3.1 - 15 180 C3 たわみ測定結果

2) 6kN 載荷試験：中央集中荷重（6 箇所）

表 3.1 - 3 集中荷重 加力 - 変位測定結果（スパン 2 中央）

試験体名 荷重位置		荷重 (kN)	加力点変位 (mm) 1or2or4	曲げヤング係数 (kN/mm ²)
180-A-1 ①	上限荷重	6.092	14.70	26.42
	下限荷重	4.269	10.10	
180-A-1 ②	上限荷重	6.088	11.50	33.87
	下限荷重	4.208	7.80	
180-A-1 ④	上限荷重	6.086	7.95	50.79
	下限荷重	4.067	5.30	
180-A-2 ①	上限荷重	6.084	11.70	33.95
	下限荷重	4.276	8.15	
180-A-2 ②	上限荷重	6.081	8.65	48.09
	下限荷重	4.386	6.30	
180-A-2 ④	上限荷重	6.072	6.35	62.81
	下限荷重	4.282	4.45	
180-A-3 ①	上限荷重	6.097	11.35	36.40
	下限荷重	3.886	7.30	
180-A-3 ②	上限荷重	6.094	8.45	49.00
	下限荷重	3.889	5.45	
180-A-3 ④	上限荷重	6.076	6.35	69.98
	下限荷重	3.924	4.30	
180-B-1 ①	上限荷重	6.084	15.35	24.91
	下限荷重	4.104	10.05	
180-B-1 ②	上限荷重	6.086	10.80	36.11
	下限荷重	4.136	7.20	
180-B-1 ④	上限荷重	6.09	8.35	49.56
	下限荷重	4.12	5.70	

表 3.1 - 4 集中荷重 加力 - 変位測定結果（スパン 2 中央）(2)

試験体名 荷重位置		荷重 (kN)	加力点変位 (mm) 1or2or4	曲げヤング係数 (kN/mm ²)
180-B-2	上限荷重	6.087	13.35	29.28
①	下限荷重	3.957	8.50	
180-B-2	上限荷重	6.091	9.70	42.10
②	下限荷重	4.007	6.40	
180-B-2	上限荷重	6.087	7.15	54.70
④	下限荷重	4.159	4.80	
180-B-3	上限荷重	6.087	11.80	34.28
①	下限荷重	3.953	7.65	
180-B-3	上限荷重	6.088	8.35	50.13
②	下限荷重	3.832	5.35	
180-B-3	上限荷重	6.085	6.25	67.37
④	下限荷重	4.064	4.25	
180-C-1	上限荷重	6.087	11.50	34.35
①	下限荷重	4.438	8.30	
180-C-1	上限荷重	6.069	9.10	44.73
②	下限荷重	4.291	6.45	
180-C-1	上限荷重	6.094	7.45	57.30
④	下限荷重	4.074	5.10	
180-C-2	上限荷重	6.092	11.80	34.09
①	下限荷重	4.328	8.35	
180-C-2	上限荷重	6.082	8.40	44.58
②	下限荷重	4.243	5.65	
180-C-2	上限荷重	6.084	6.70	58.70
④	下限荷重	4.147	4.50	
180-C-3	上限荷重	6.095	8.95	47.39
①	下限荷重	3.927	5.90	
180-C-3	上限荷重	6.093	6.75	62.58
②	下限荷重	3.887	4.40	
180-C-3	上限荷重	6.102	5.65	78.07
④	下限荷重	3.877	3.75	

集中荷重裁荷：荷重位置 スパン中央（ダボ上）

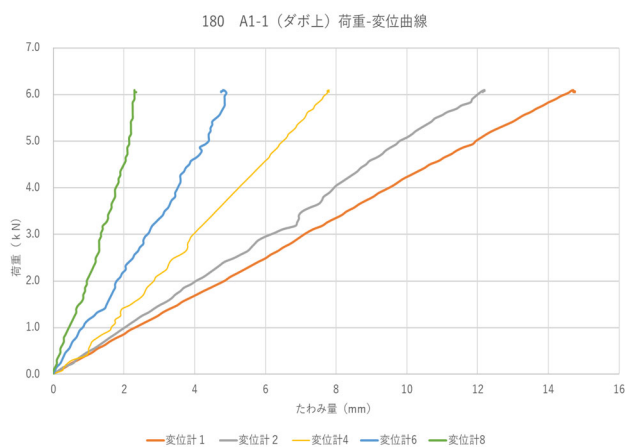


図 3.1 - 16 180 A1-P1 たわみ測定結果

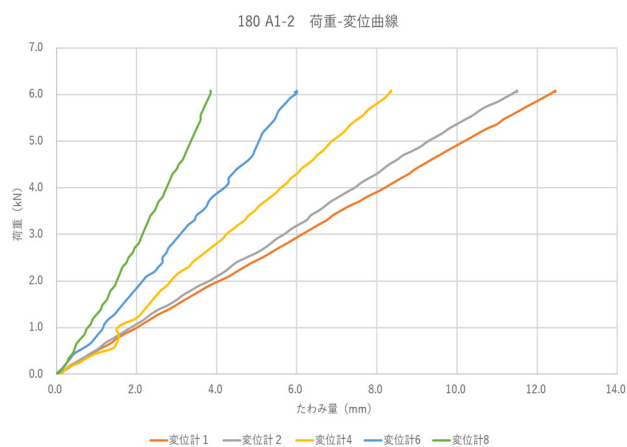


図 3.1 - 17 180 A1-P2 たわみ測定結果

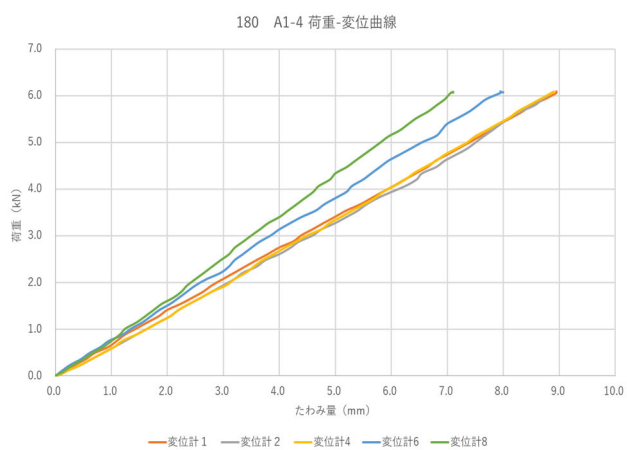


図 3.1 - 18 180 A1-P3 たわみ測定結果

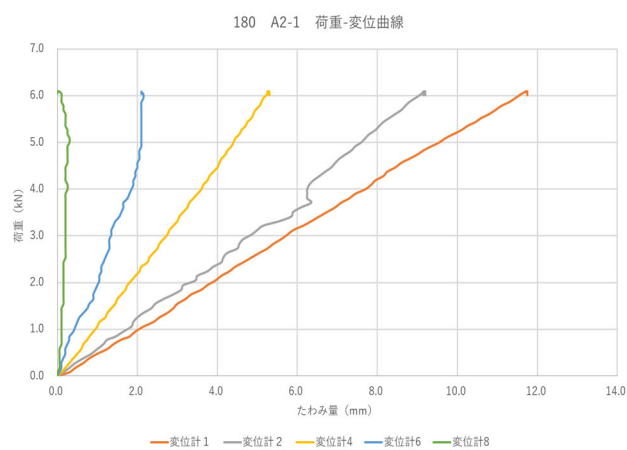


図 3.1 - 19 180 A2-P1 たわみ測定結果

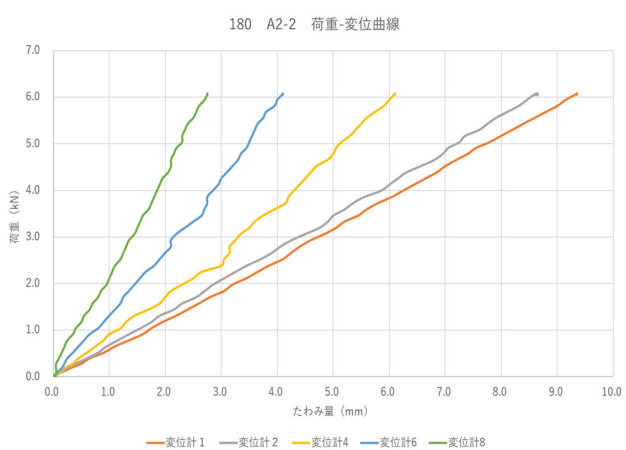


図 3.1 - 20 180 A2-P2 たわみ測定結果

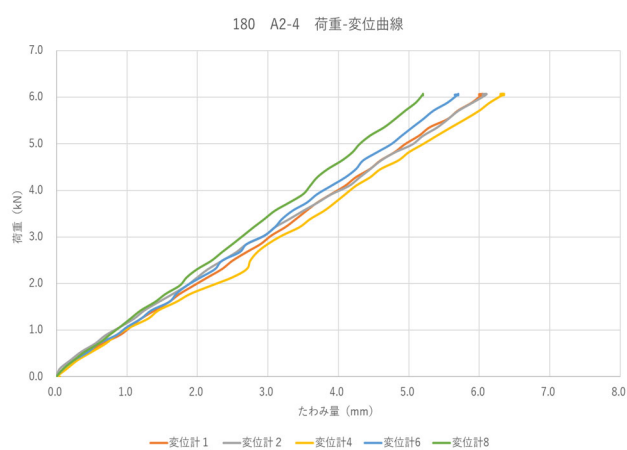


図 3.1 - 21 180 A2-P3 たわみ測定結果

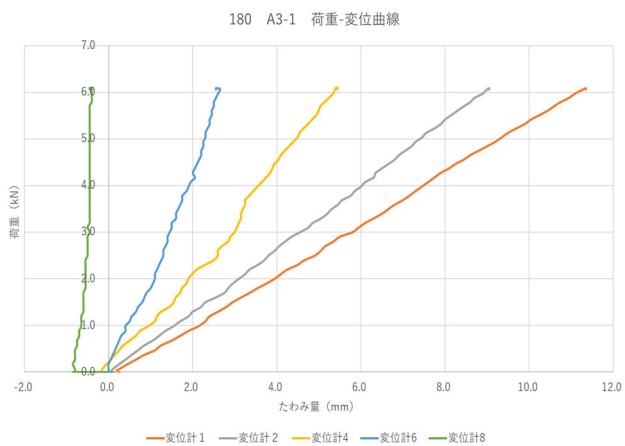


図 3.1 - 22 180 A3-P1 たわみ測定結果

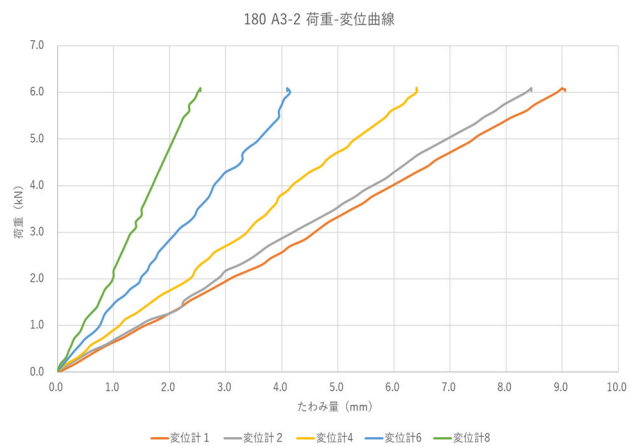


図 3.1 - 23 180 A3-P2 たわみ測定結果

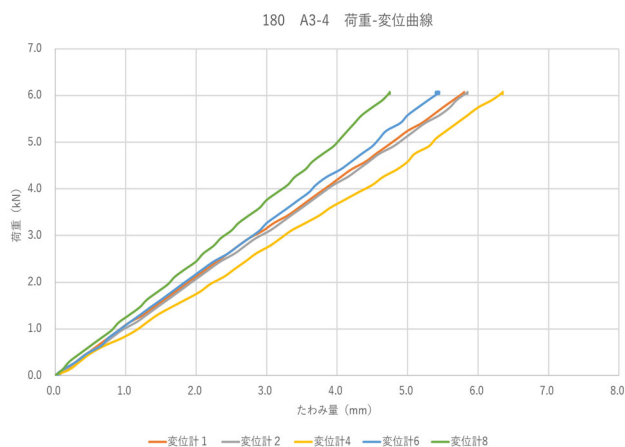


図 3.1 - 24 180 A3-P3 たわみ測定結果

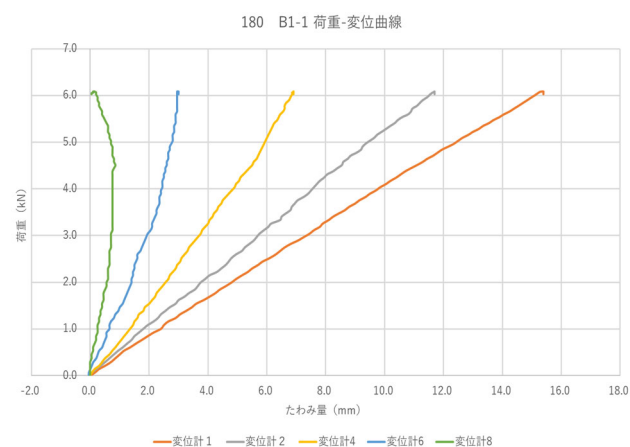


図 3.1 - 25 180 B1-P1 たわみ測定結果

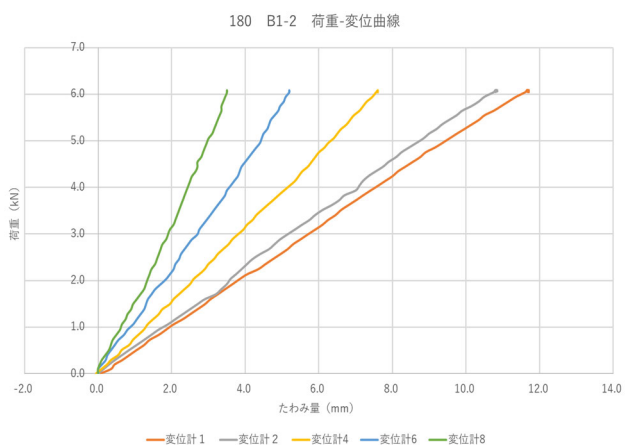


図 3.1 - 26 180 B1-P2 たわみ測定結果

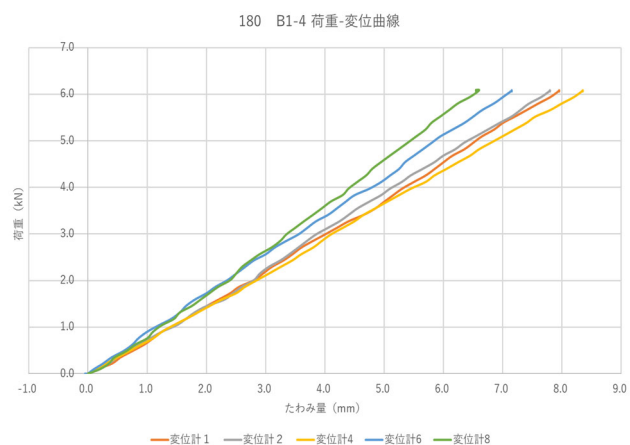


図 3.1 - 27 180 B1-P3 たわみ測定結果

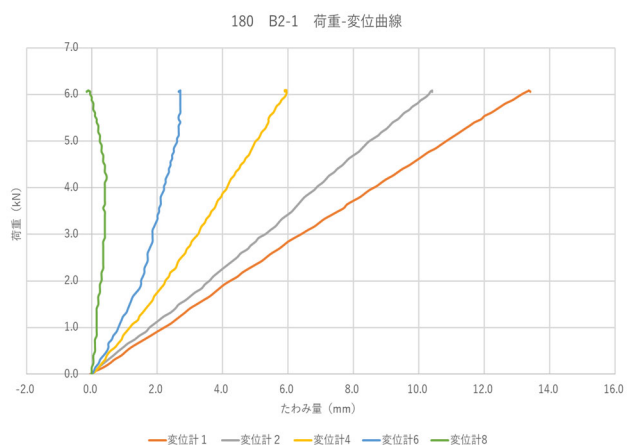


図 3.1 - 28 180 B2-P1 たわみ測定結果

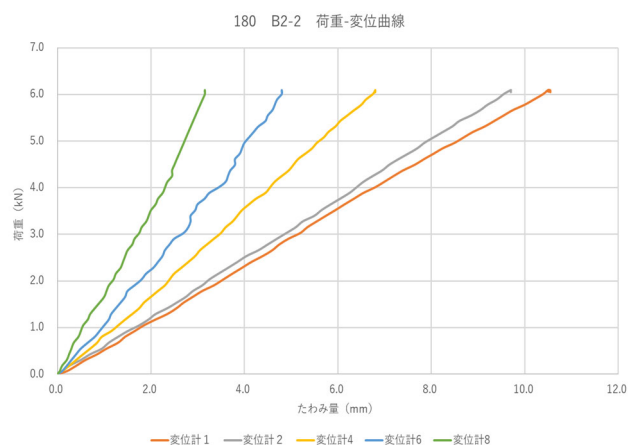


図 3.1 - 29 180 B2-P2 たわみ測定結果

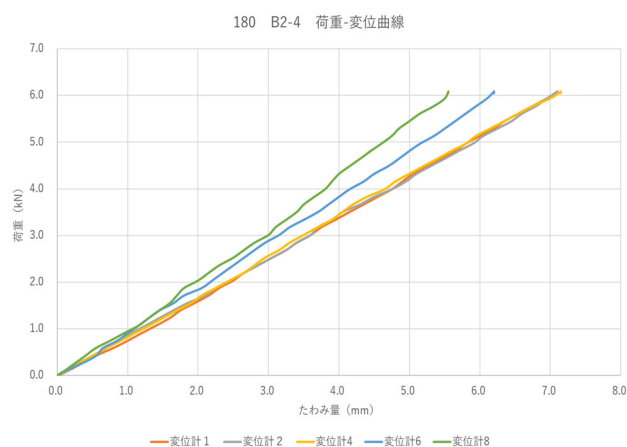


図 3.1 - 30 180 B2-P3 たわみ測定結果

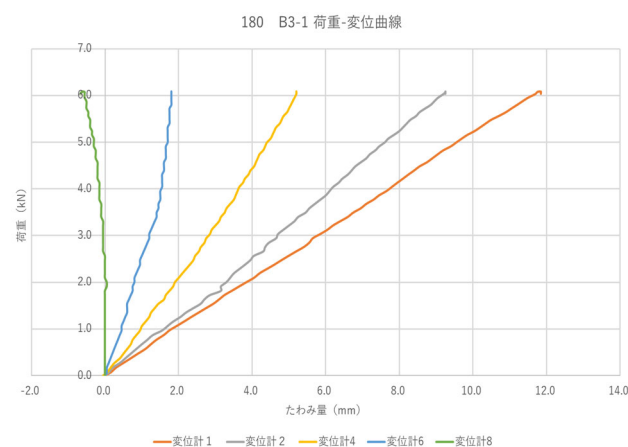


図 3.1 - 31 180 B3-P1 たわみ測定結果

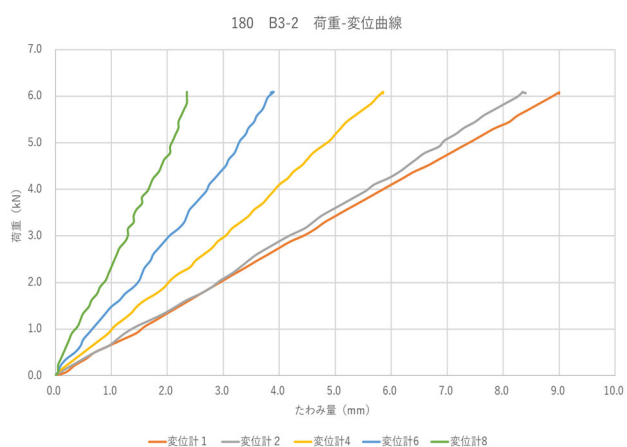


図 3.1 - 32 180 B3-P2 たわみ測定結果

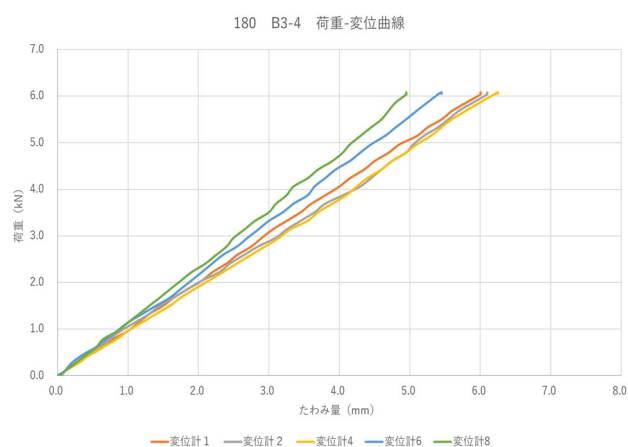


図 3.1 - 33 180 B3-P3 たわみ測定結果

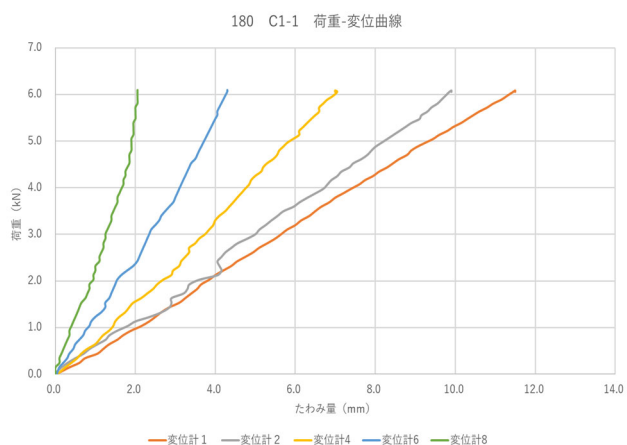


図 3.1 - 34 180 C1-P1 たわみ測定結果

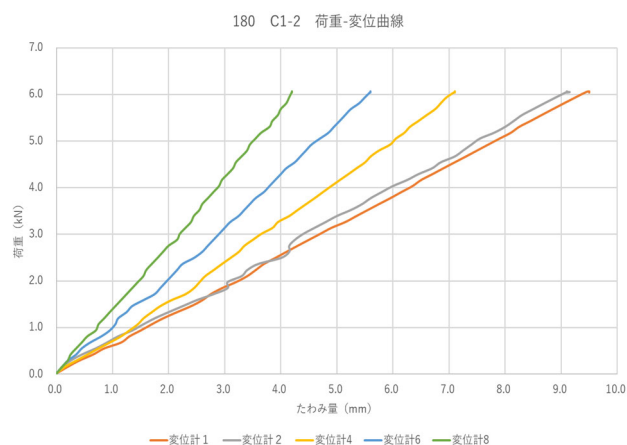


図 3.1 - 35 180 C1-P2 たわみ測定結果

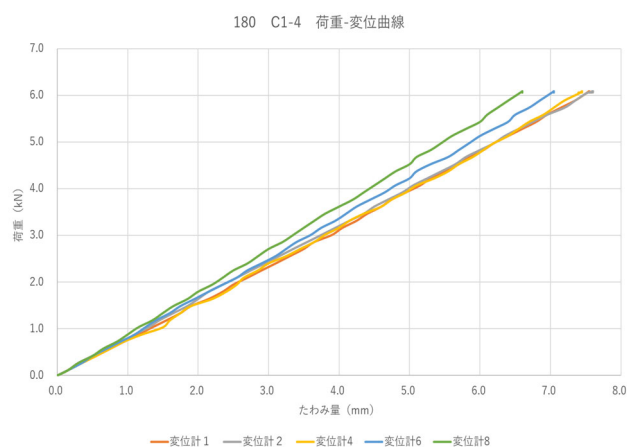


図 3.1 - 36 180 C1-P3 たわみ測定結果

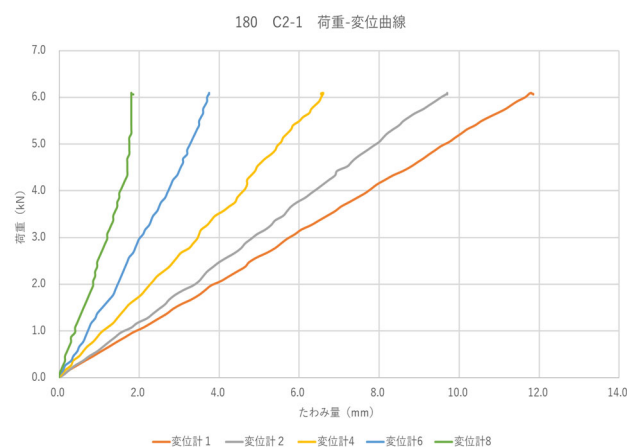


図 3.1 - 37 180 C2-P1 たわみ測定結果

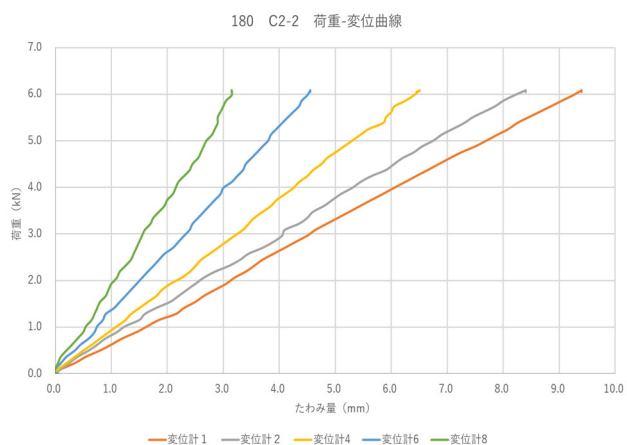


図 3.1 - 38 180 C2-P2 たわみ測定結果

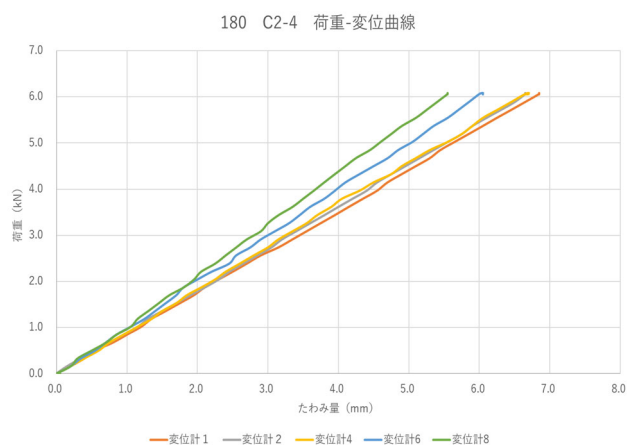


図 3.1 - 39 180 C2-P3 たわみ測定結果

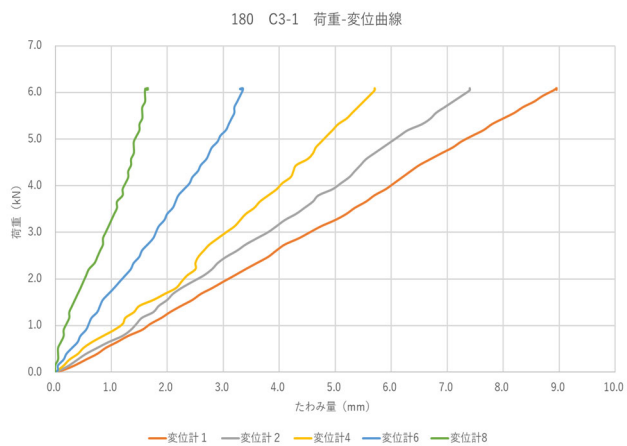


図 3.1 - 40 180 C3-P1 たわみ測定結果

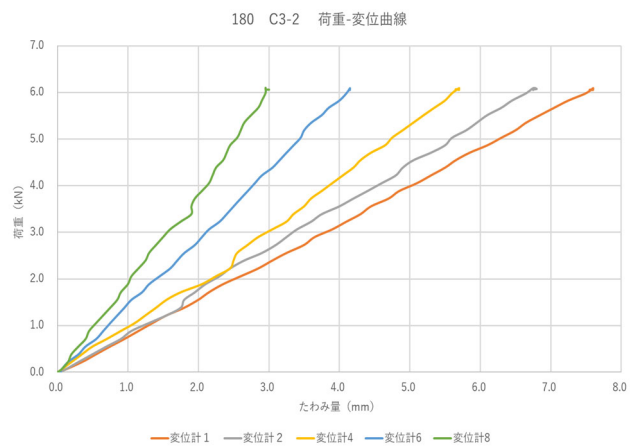


図 3.1 - 41 180 C3-P2 たわみ測定結果

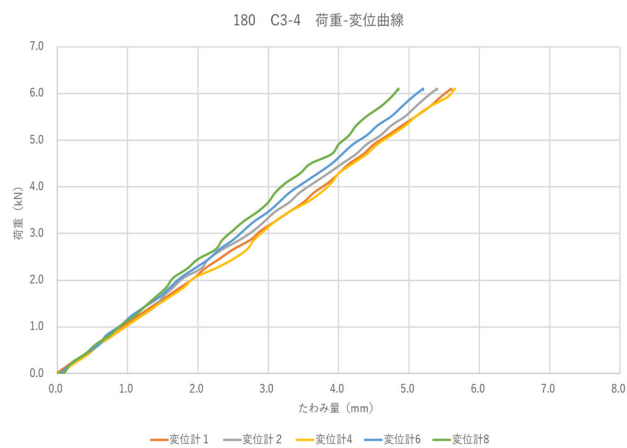


図 3.1 - 42 180 C3-P3 たわみ測定結果

集中荷重裁荷：スパン中央よりオフセット（ダボ間）

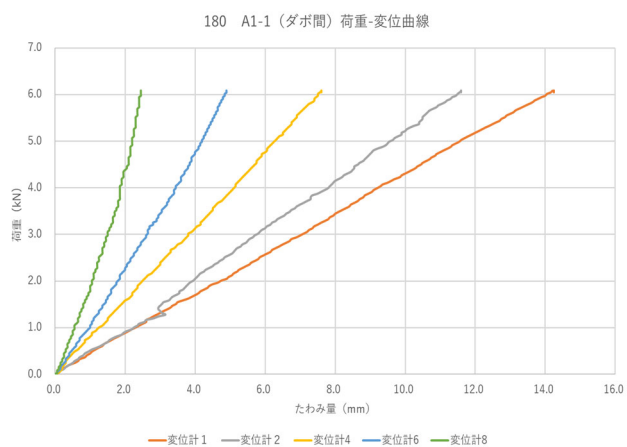


図 3.1 - 43 180 A1-P4 たわみ測定結果

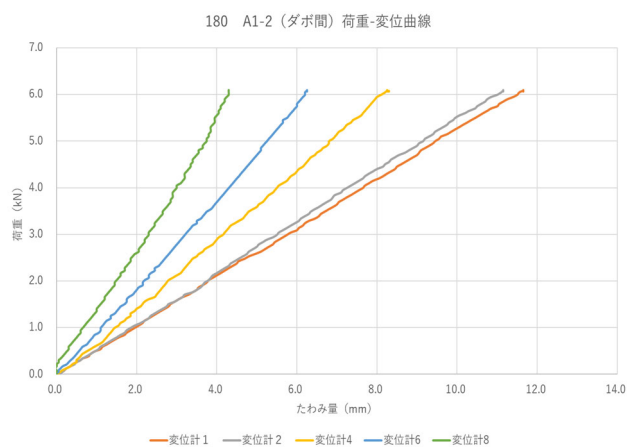


図 3.1 - 44 180 A1-P5 たわみ測定結果

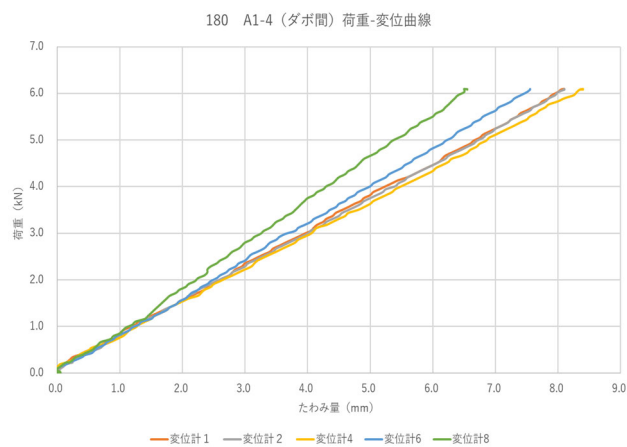


図 3.1 - 45 180 A1-P6 たわみ測定結果

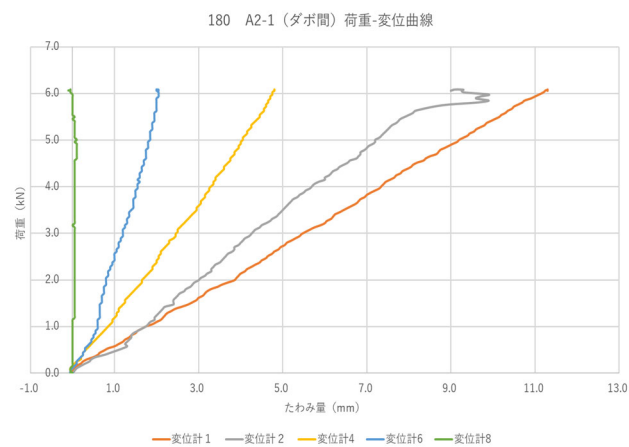


図 3.1 - 46 180 A2-P4 たわみ測定結果

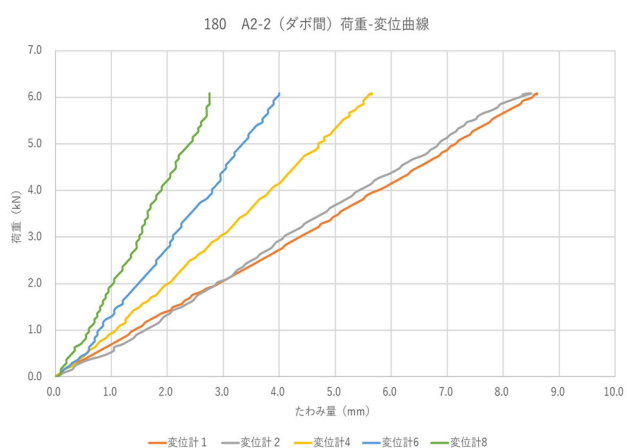


図 3.1 - 47 180 A2-P5 たわみ測定結果

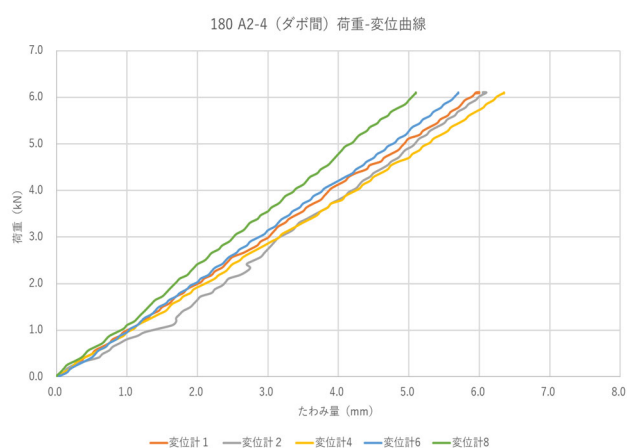


図 3.1 - 48 180 A2-P6 たわみ測定結果

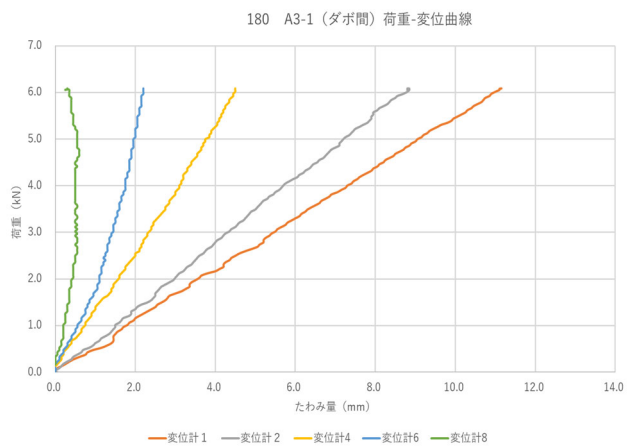


図 3.1 - 49 180 A3-P4 たわみ測定結果

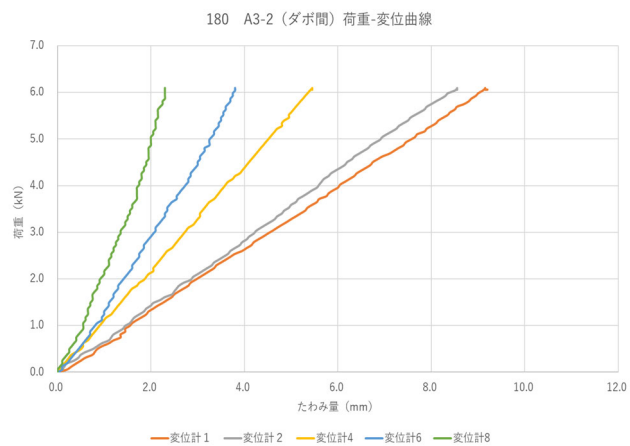


図 3.1 - 50 180 A3-P5 たわみ測定結果

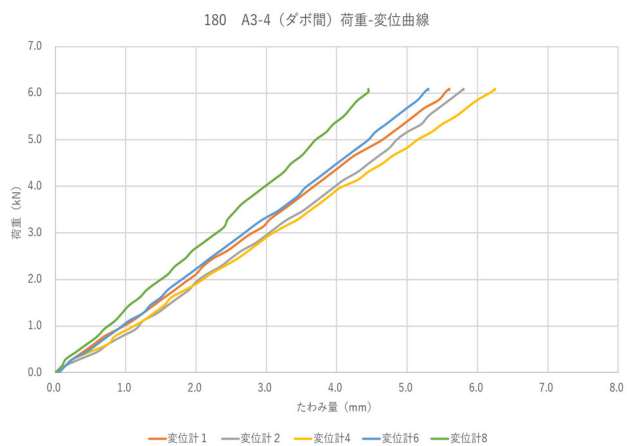


図 3.1 - 51 180 A3-P6 たわみ測定結果

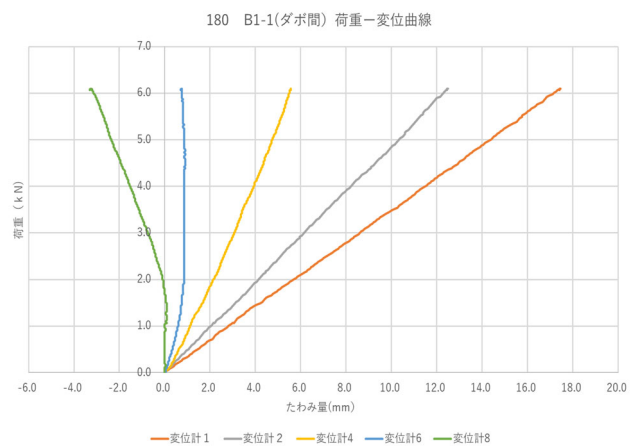


図 3.1 - 52 180 B1 P4 たわみ測定結果

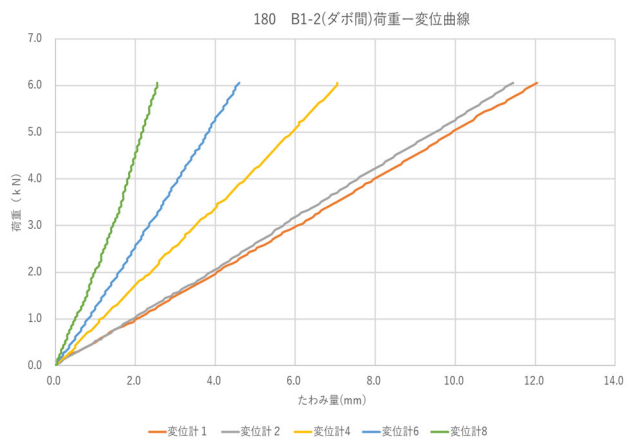


図 3.1 - 53 180B1 P5 たわみ測定結果

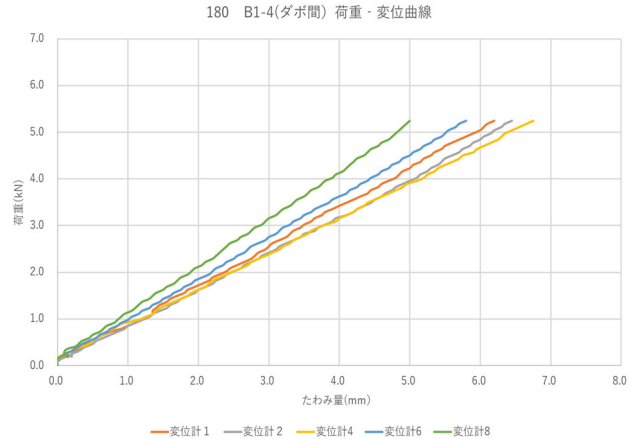


図 3.1 - 54 180 B1-P6 たわみ測定結果

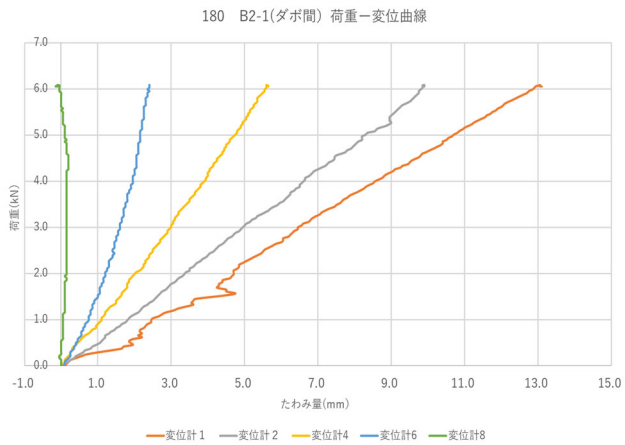


図 3.1 - 55 180 B2-P4 たわみ測定結果

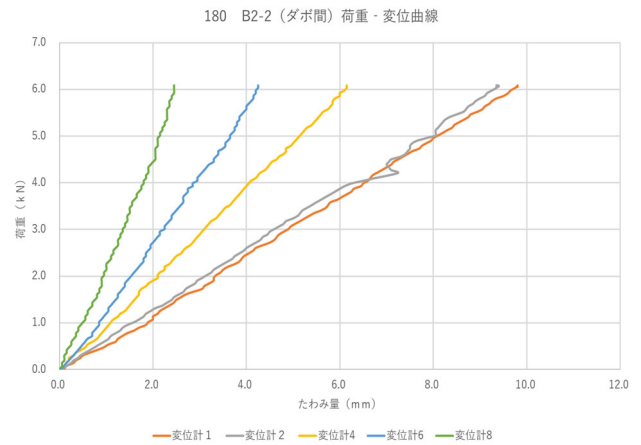


図 3.1 - 56 180 B2-P5 たわみ測定結果

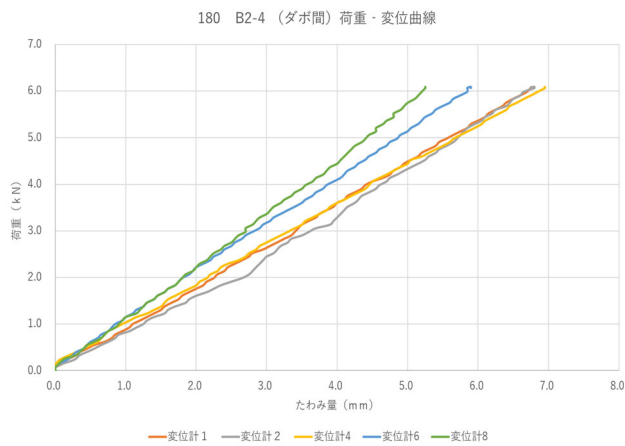


図 3.1 - 57 180 B2-P6 たわみ測定結果

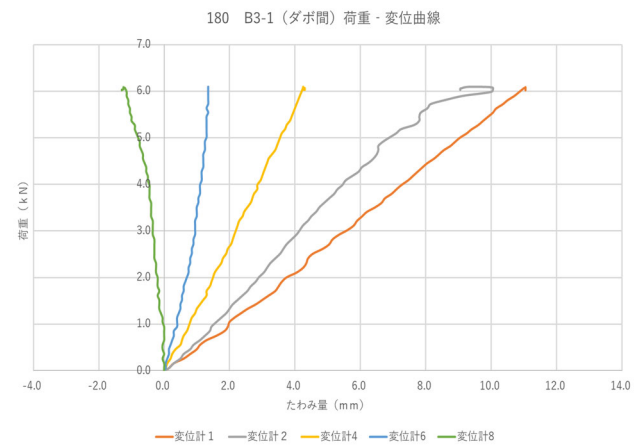


図 3.1 - 58 180 B3-P4 たわみ測定結果

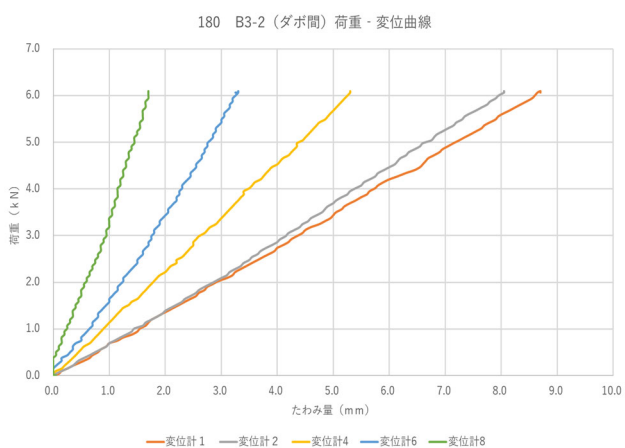


図 3.1 - 59 180 B3-P5 たわみ測定結果

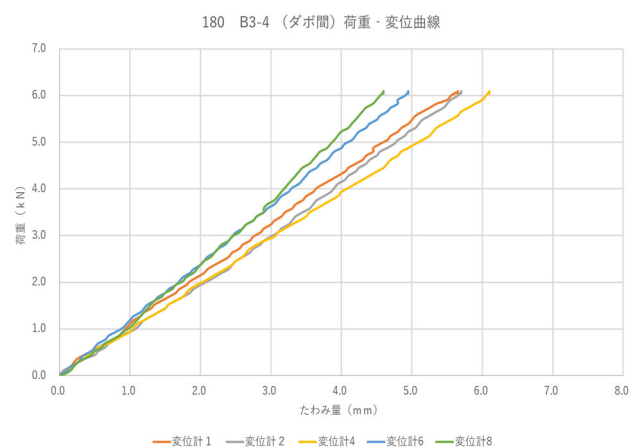


図 3.1 - 60 180 B3-P6 たわみ測定結果

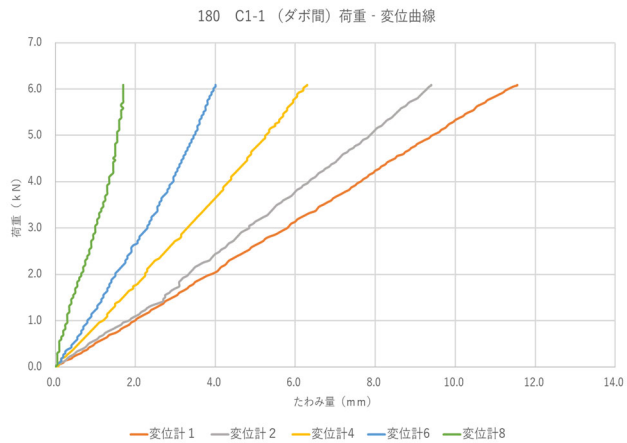


図 3.1 - 61 180 C1-P4 たわみ測定結果

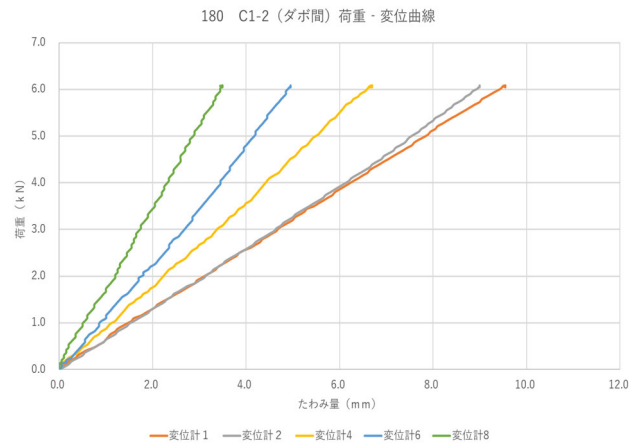


図 3.1 - 62 180 C1-P5 たわみ測定結果

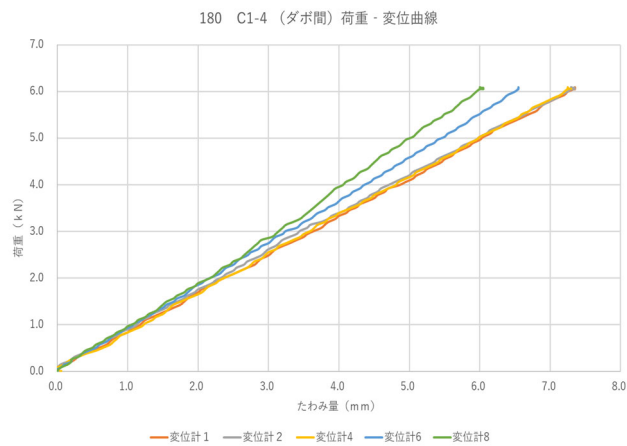


図 3.1 - 63 180 C1-P6 たわみ測定結果

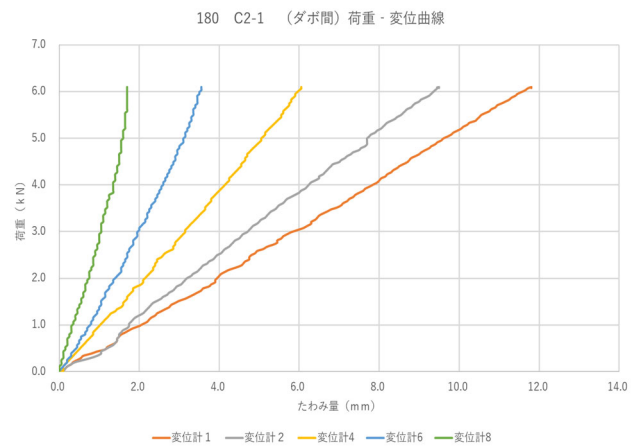


図 3.1 - 64 180 C2-P4 たわみ測定結果

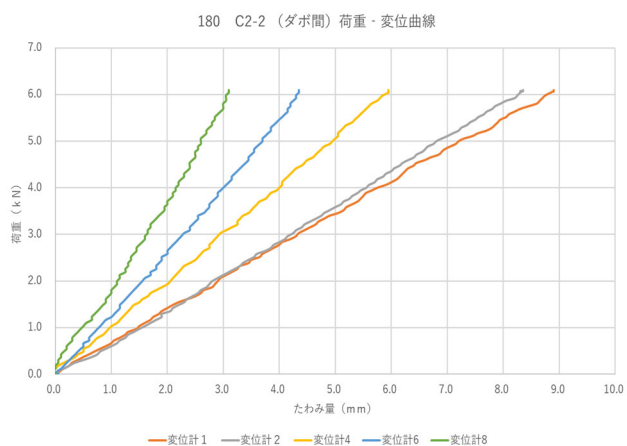


図 3.1 - 65 180 C2-P5 たわみ測定結果

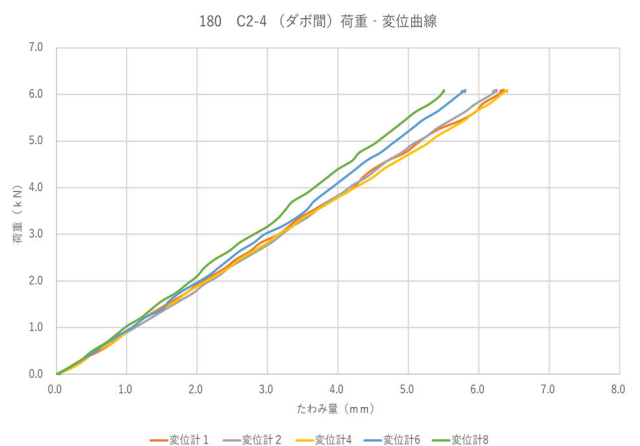


図 3.1 - 66 180 C2-P6 たわみ測定結果

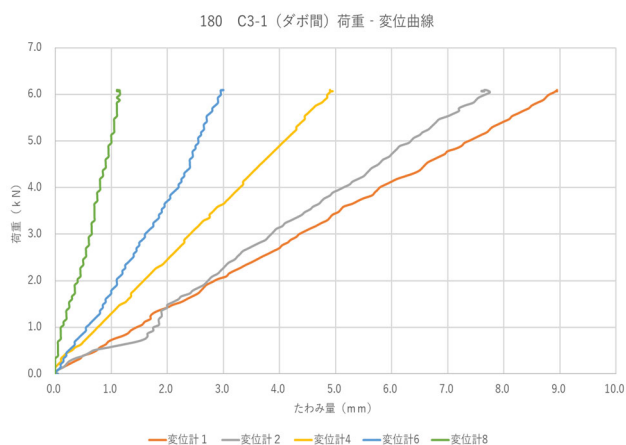


図 3.1 - 67 180 C3-P4 たわみ測定結果

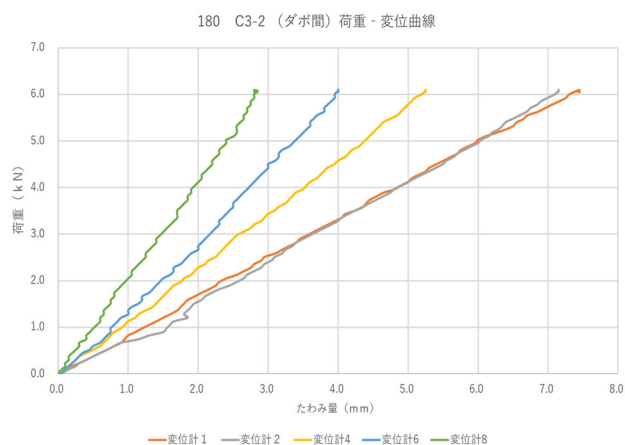


図 3.1 - 68 180 C3-P5 たわみ測定結果

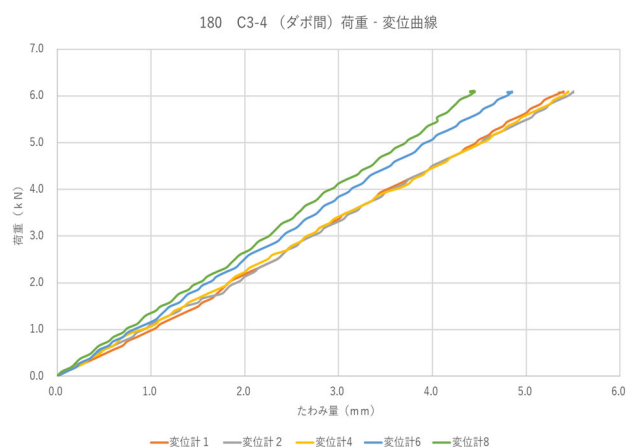


図 3.1 - 69 180 C3-P6 たわみ測定結果

3) 曲げ破壊試験

表 3.1 - 5 曲げ破壊荷重・変位

試験体	最大荷重 $P_{\max}$ (kN)	$0.1P_{\max}$ (kN)	$0.4P_{\max}$ (kN)	最大たわみ $\delta_{P_{\max}}$ (mm)	たわみ $0.1P_{\max}$ (mm)	たわみ $0.4P_{\max}$ (mm)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	試験1による曲 げヤング係数 (kN/mm ²)
180 A1	42.58	4.258	17.032	51.2	5.12193	19.5383	8.438	5.620
180 A2	81.196	8.12	32.478	69.1	6.85208	26.3479	11.897	7.476
180 A3	81.316	8.132	32.526	90.25	6.54861	25.274	12.405	7.803
180 B1	46.575	4.658	18.63	51.75	5.29141	19.4639	9.388	6.068
180 B2	54.496	5.45	21.798	90.05	5.24441	19.9906	10.557	6.836
180 B3	64.312	6.431	25.725	55.7	5.53554	20.3093	12.436	7.958
180 C1	59.767	5.977	23.907	60.4	6.49009	24.0815	9.706	6.674
180 C2	65.804	6.58	26.322	58.55	6.3889	23.2618	11.142	7.318
180 C3	83.377	8.338	33.351	63.3	6.45786	24.7801	13.000	8.350

表 3.1 - 6 特性値算定結果

試験体	最大荷重 P_{max} (kN)	降伏耐力 P_y (kN)	降伏変位 δP_y (mm)	終局耐力 P_u (kN)	終局変位 δ_v (mm)	初期剛性 K (kN/mm)
180 A1	42.58	27.512	31.365	40.574	46.681	0.869
180 A2	81.196	43.067	34.822	74.101	60.513	1.225
180 A3	81.316	52.764	40.808	80.301	62.213	1.291
180 B1	46.575	39.154	40.282	42.542	43.923	0.969
180 B2	54.496	35.317	32.184	46.842	42.820	1.094
180 B3	64.312	46.984	36.589	57.837	45.191	1.280
180 C1	59.767	33.051	33.053	58.879	59.144	0.996
180 C2	65.804	44.839	39.089	59.444	51.958	1.144
180 C3	83.377	43.440	32.170	78.495	58.481	1.342

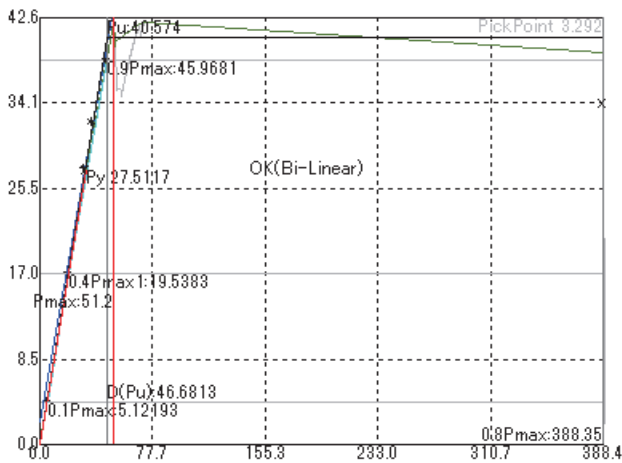


図 3.1 - 70 試験体 180 A1 曲げ破壊測定結果

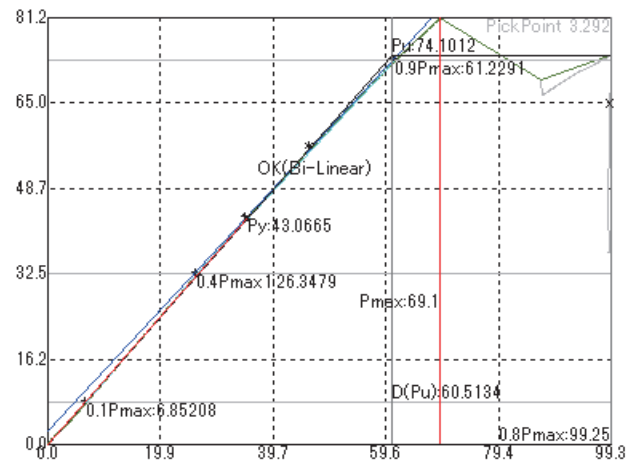


図 3.1 - 71 試験体 180 A2 曲げ破壊測定結果

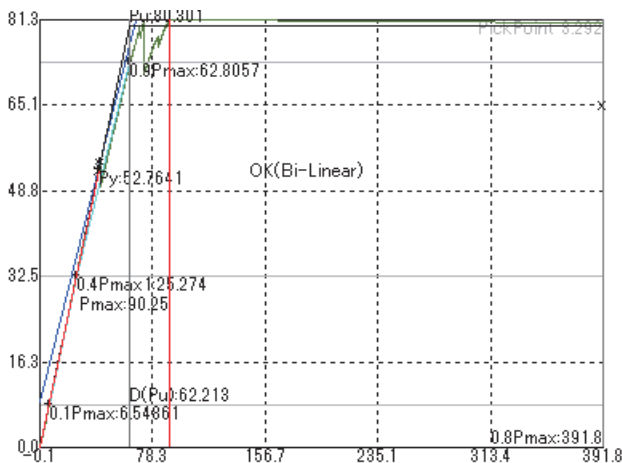


図 3.1 - 72 試験体 180 A3 曲げ破壊測定結果

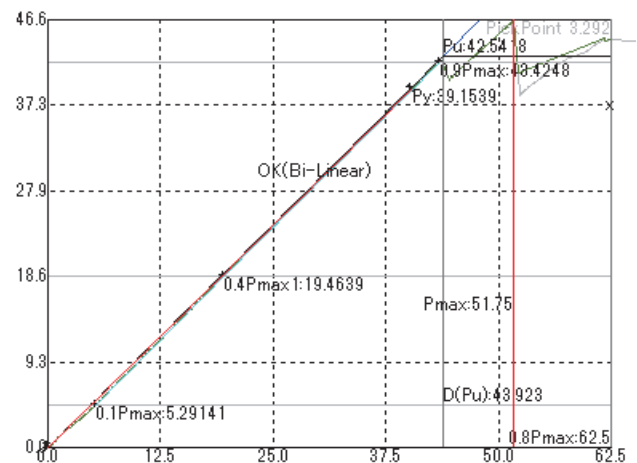


図 3.1 - 73 試験体 180 B1 曲げ破壊測定結果

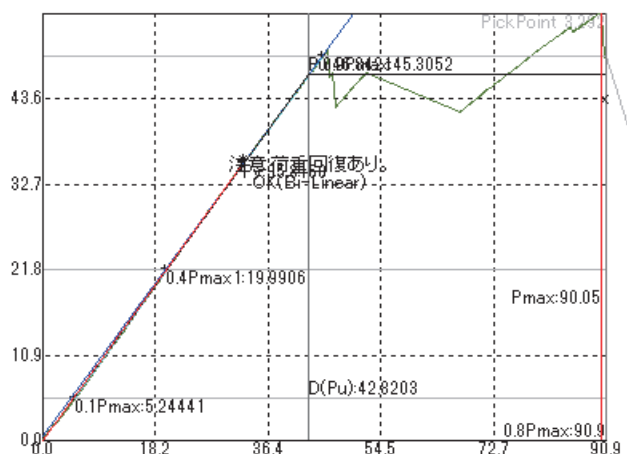


図 3.1 - 74 試験体 180 B2 曲げ破壊測定結果

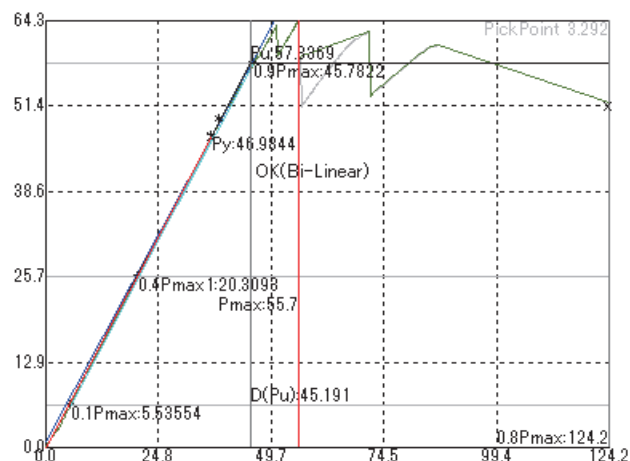


図 3.1 - 75 試験体 180 B3 曲げ破壊測定結果

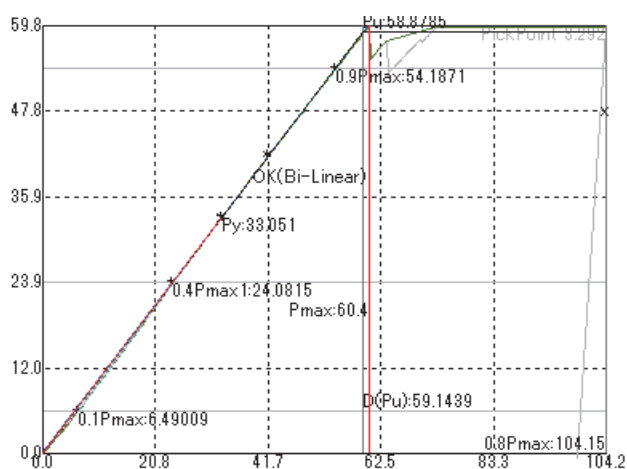


図 3.1 - 76 試験体 180 C1 曲げ破壊測定結果

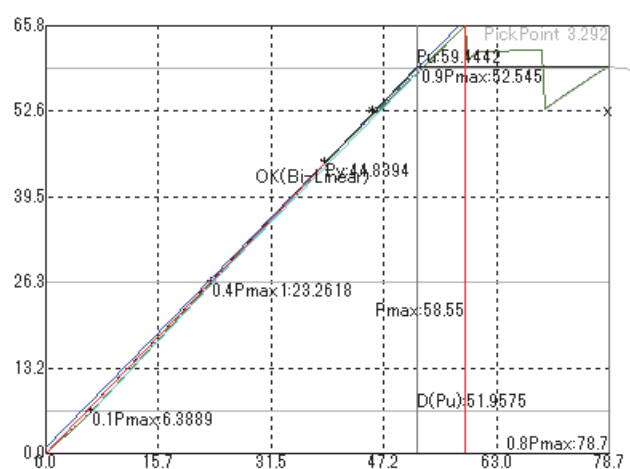


図 3.1 - 77 試験体 180 C2 曲げ破壊測定結果

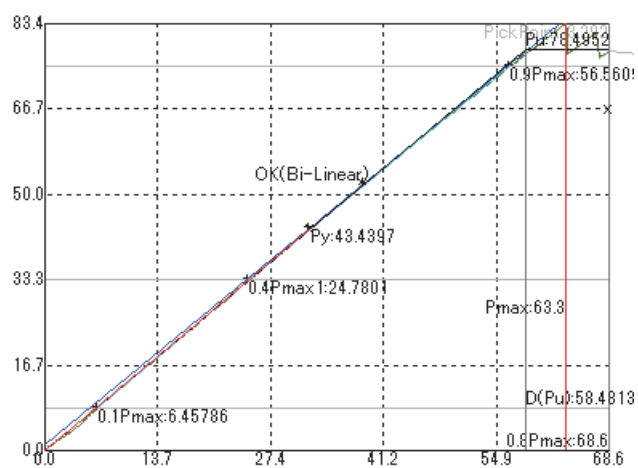


図3.1 - 78 試験体180 C3 曲げ破壊測定結果

<試験結果の考察>

- 1) 本事業では予め個々のひき板の曲げ性能を測定し、曲げ性能順に3グループに分類して試験体を製作した。各試験のA,B,Cの後の数字順にひき板の曲げ性能が高いグループであることを示す。 $0.4P_{\max}$ 荷重時変位測定結果(表 3.1-2)より、木ダボの位置に関係なくDLTを構成するひき板の平均曲げヤング係数より低い値を示していることが確認できる。DLTが $0.4P_{\max}$ 程度の荷重レベルでは変位計を取り付けたひき板の曲げ性能に影響されることが確認された。
- 2) 昨年度実施の事業ではひき板3枚に堅木(90mm×90mm×90mm)を介して集中荷重を加力し、木ダボの荷重分散効果を確認したが、本事業では最外層、外層、中央の個々のひき板に堅木(30mm×30mm×120mm)で集中荷重を加力した。試験結果より、試験で体A、Cとも加力位置がダボ上、ダボ間であっても変位に差が見られない。
- 3) 試験体Bでは最外層、外層のひき板への加力時に、加力したひき板に大きなたわみが生じ、加力と反対側のひき板で浮き上がりが大きくなることが確認された。試験Bは木ダボを千鳥に配置しており、木ダボ間での加力では加力を受けたひき板のたわみにより木ダボを押し下げ、加力と反対側のひき板を木ダボが持ち上げている。このような挙動から集中荷重を受けるような利用を想定される床用途では千鳥配置は避ける。
- 4) 曲げ破壊試験の結果より、DLTでは梁の下面(引張側)に節やその他の欠点を有する弱いひき板より破壊が生じている。この弱いひき板の破壊により一時的に加力低下するが、他のひき板が健全であるために木ダボによる荷重分配効果で荷重が回復し $P_{\max}$ の更新が確認された。その後、加力を継続し過半のひき板の破壊により降伏する。破壊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) 曲げ破壊試験の結果より求めた曲げヤング係数は、表 3.1-5で示すとおり静的荷重裁荷試験より求めた曲げヤング係数比で1.45~1.59倍の値を示し、木ダボによる荷重の伝達効果によるものと考えられる。

<試験写真>

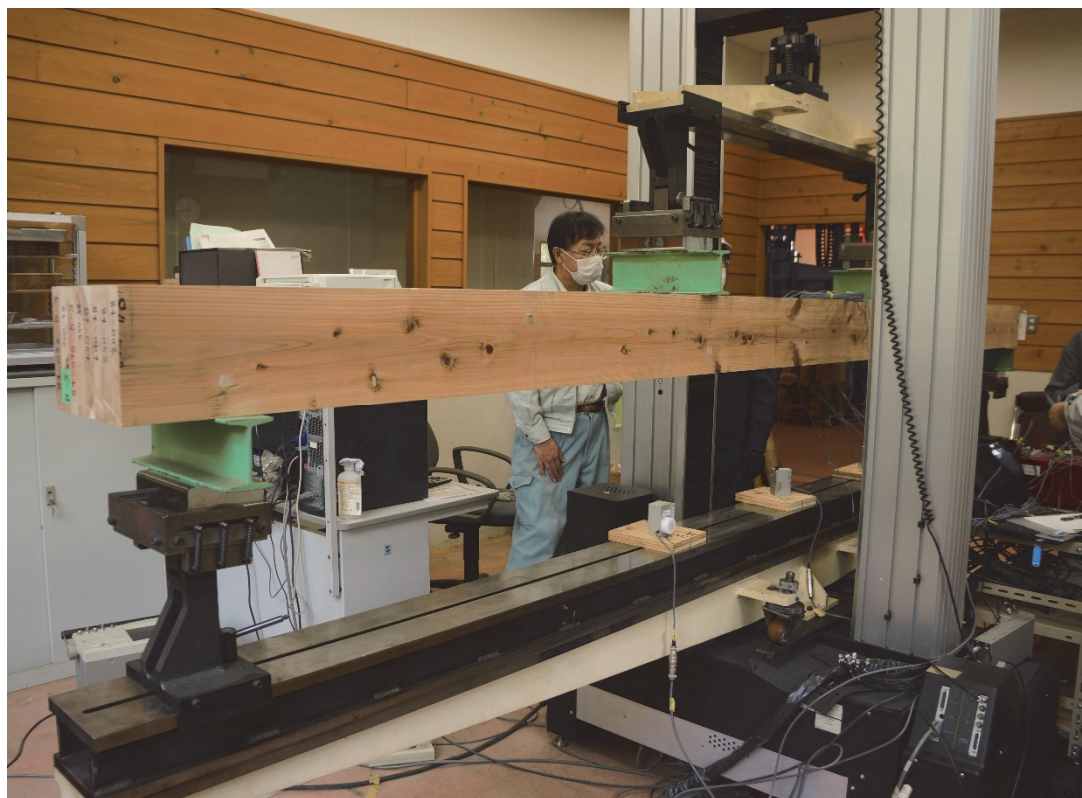


写真 3.1 - 1 曲げ試験 1 静ヤング測定 全景



写真 3.1 - 2 1点集中荷重 加力試験 全景



写真 3.1 - 3 曲げ破壊試験 全景



写真 3.1 - 4 曲げ破壊試験 180 C3 破壊状況



写真 3.1 - 5 曲げ破壊試験 180 C3 破壊状況の拡大



写真 3.1 - 6 曲げ破壊試験 180 C3 下面破壊状況の拡大

3.2 木ダボ間隔の違いによる DLT 梁の強度性能確認（梁の曲げ試験 2）

3.2.1 試験概要

- 令和元年度の DLT 梁の強度試験で木ダボ間隔を@600mm、@900mm とした DLT と、同断面寸法の同一等級構成集成材と比較した結果、同一断面寸法の同一等級構成集成材の平使いの材と同等の性能を有することを確認した。
- 本試験では個々のヤング係数（縦弾性係数）を計測したひき板を使用して、木ダボ間隔を@300mm、@600mm、@900mm で積層し、より詳細な検証を行う。

3.2.2 試験体仕様

断面寸法 120 (4×30) mm×105mm×4000mm、120 (4×30) mm×150mm×4000mm の梁を 2 種類、木ダボ間隔を@300、@600、@900 として各 3 体を用意。

表 3.2 - 1 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	120×105×4,000	@300mm	φ 19.5mm	3 体
A-2	120×105×4,000	@600mm	φ 19.5mm	3 体
A-3	120×105×4,000	@900mm	φ 19.5mm	3 体
A-4	120×150×4,000	@300mm	φ 19.5mm	3 体
A-5	120×150×4,000	@600mm	φ 19.5mm	3 体
A-6	120×150×4,000	@900mm	φ 19.5mm	3 体

ひき板：群馬県産スギ KD 材 無等級材

木ダボ：欧州ブナ φ 20mm たて溝つき、含水率 13%以下

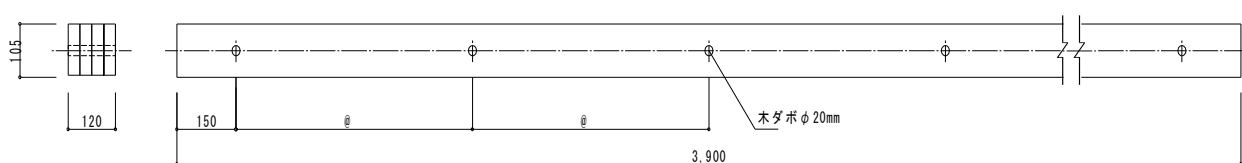


図 3.2 - 1 A1～A3 試験体姿図

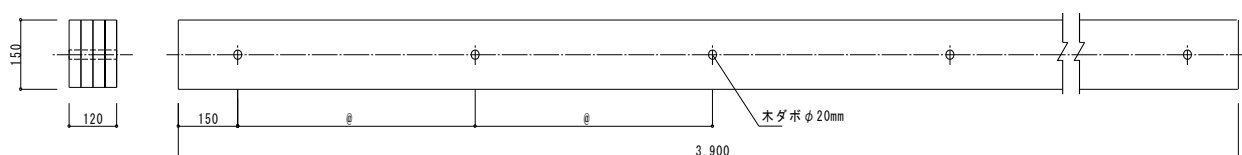


図 3.2 - 2 A4～A6 試験体姿図

3.2.3 試験の実施概要

- a. 試験内容 実大梁の曲げ試験
- b. 試験実施日 2020 年 11月25、26日
- c. 試験場所 群馬県林業試験場

実大強度試験機：インストロン・ジャパン(株) 万能試験機 定格最大試験力：曲げ 100kN

d. 試験方法

1) 0.4Pmax 荷重時変位量試験：

支点間距離 3,600mm、荷重点間 1,200mm、載荷速度 5mm/min

断面中央、スパン中央および加力点下に変位計を設置する。

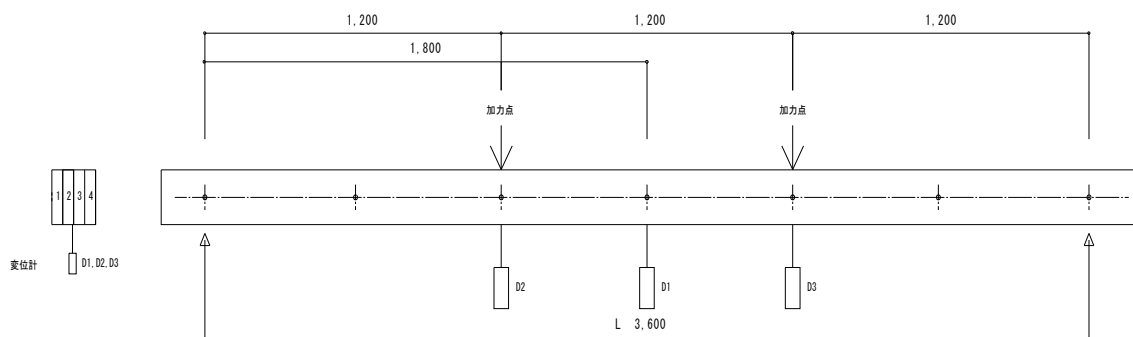


図 3.2 - 3 荷重位置、変位計 位置図

試験手順

- ① 曲げ試験機の支点間距離を調節する。
- ② 試験体を試験機に設置し試験機の X, Y 軸共に合わせ、試験体中心を確認する。
- ③ 変位計を取り付けた後、加力位置に加力盤を下す設置する。
- ④ 荷重が設定値に到達したら、加力を停止し荷重のかかったままの状態では梁を観察する。

2) 曲げ破壊試験：3等分点2点式曲げ（2線荷重方式）

曲げ破壊試験は各種より1体を選択し破壊試験を行う。

支点間 3,600mm、荷重点間 1,200mm、載荷速度 5mm/min

基本的な流れは殆ど変わらない。

3.2.4 試験結果

1) $0.4P_{max}$ 荷重時変位量試験

表 3.2 - 2 荷重-変位測定 1 (A1～A3)

計測値 試験体	荷重 (kN)	中央部変位 変位計1 (mm)	曲げヤング係数① (kN/mm ²)	平均曲げヤング係数 (kN/mm ²)	ひき板の平均 曲げヤング係数② (kN/mm ²)	平均曲げヤング係数 (kN/mm ²)	①②の差	
105 A1-1	2.879 0.715	39.3 9.7	5.23	7.91	4.866	7.87	7%	
105 A1-2	2.878 0.718	23.2 5.9	8.93		8.872		1%	
105 A1-3	2.88 0.727	21.5 5.4	9.56		9.883		-3%	
105 A2-1	2.883 0.719	31.2 7.75	6.60		6.531		8.49	1%
105 A2-2	2.879 0.715	23.35 5.9	8.87		8.917			-1%
105 A2-3	2.878 0.729	20.5 5.05	9.95		10.014			-1%
105 A3-1	2.88 0.717	26.85 6.65	7.66	7.165	9.15	6%		
105 A3-2	2.877 0.717	21.7 5.45	9.51	9.460		0%		
105 A3-3	2.878 0.718	18.3 4.65	11.32	10.814		4%		

※ 荷重と変位の値について、上段：上限荷重時、下段：下限荷重時での計測値を示す

表 3.2 - 3 荷重-変位測定 1 (A4~A6)

計測値 試験体	荷重 (kN)	中央部変位 変位計1 (mm)	曲げヤング係数① (kN/mm ²)	平均曲げヤング係数 (kN/mm ²)	ひき板の平均 曲げヤング係数② (kN/mm ²)	平均曲げヤング係数 (kN/mm ²)	①②の差
150 A4-1	5.839 1.456	27.9 6.85	5.11	6.43	4.923	6.39	4%
150 A4-2	5.842 1.457	21.55 5.25	6.60		6.611		0%
150 A4-3	5.838 1.483	18.8 4.7	7.58		7.634		-1%
150 A5-1	5.842 1.469	24.5 6	5.80	6.96	5.642	6.85	3%
150 A5-2	5.844 1.471	21.15 5.25	6.75		6.895		-2%
150 A5-3	5.842 1.468	17.2 4.3	8.32		8.006		4%
150 A6-1	5.843 1.473	22.55 5.5	6.29	7.43	6.314	7.38	0%
150 A6-2	5.841 1.47	20.25 5	7.03		7.054		0%
150 A6-3	5.844 1.454	16.1 4.1	8.98		8.757		2%

※ 荷重と変位の値について上段：上限荷重時、下段：下限荷重時での計測値を示す

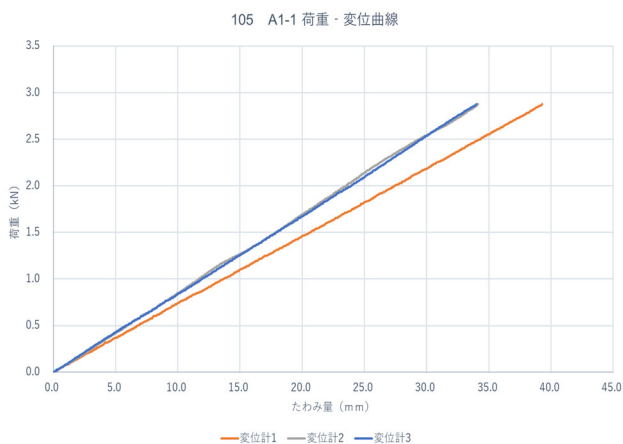


図 3.2 - 4 105 A1-1 たわみ測定結果

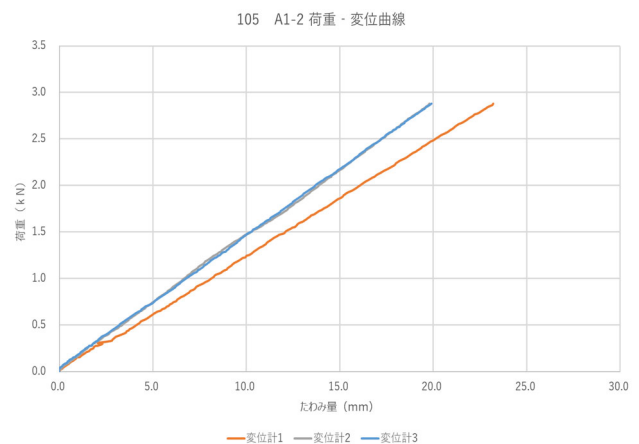


図 3.2 - 5 105 A1-2 たわみ測定結果

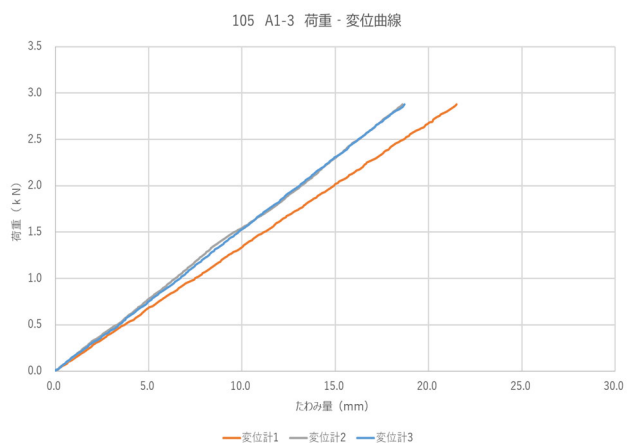


図 3.2 - 6 105 A1-3 たわみ測定結果

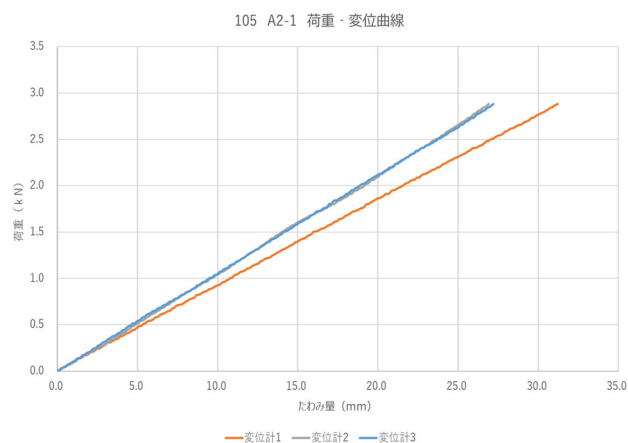


図 3.2 - 7 105 A2-1 たわみ測定結果

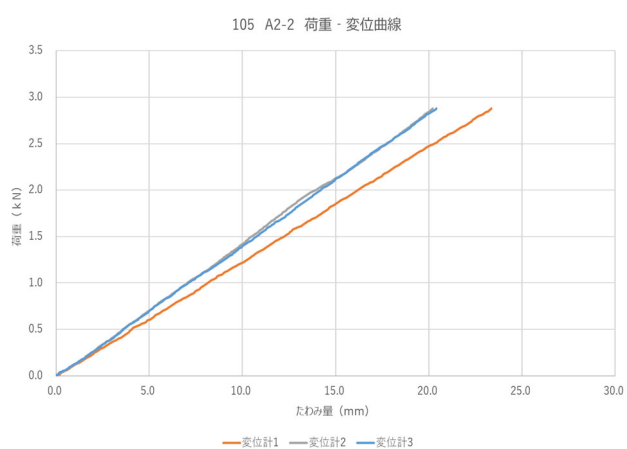


図 3.2 - 8 105 A2-2 たわみ測定結果

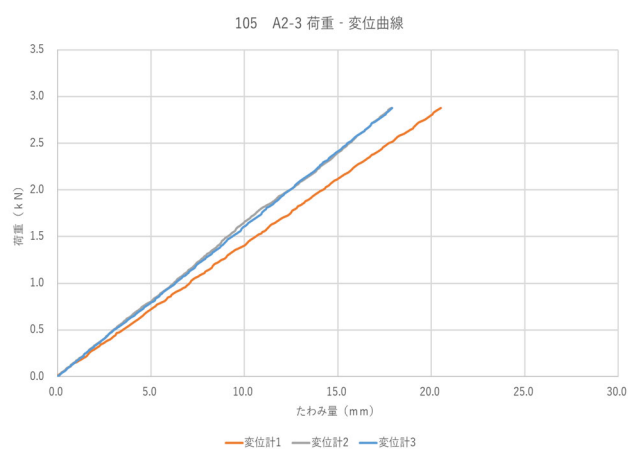


図 3.2 - 9 105 A2-3 たわみ測定結果

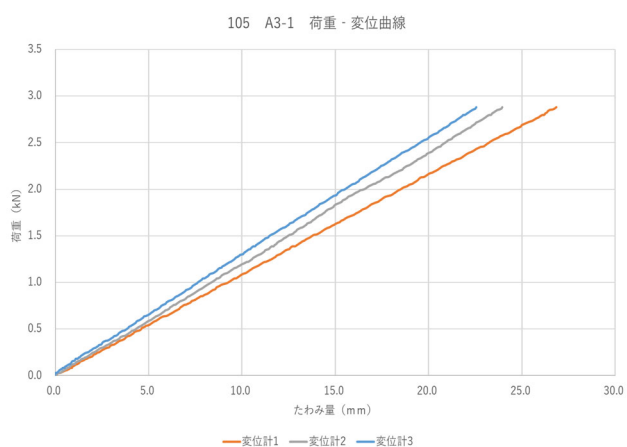


図 3.2 - 10 105 A3-1 たわみ測定結果

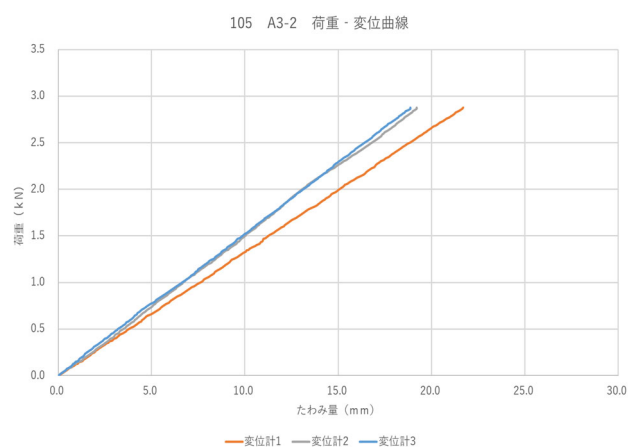


図 3.2 - 11 105 A3-2 たわみ測定結果

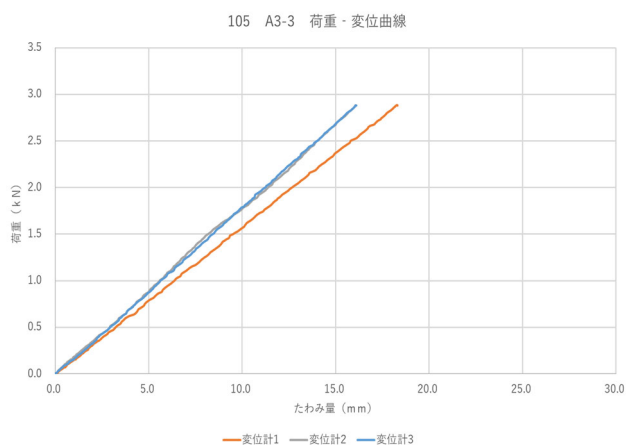


図 3.2 - 12 105 A3-3 たわみ測定結果

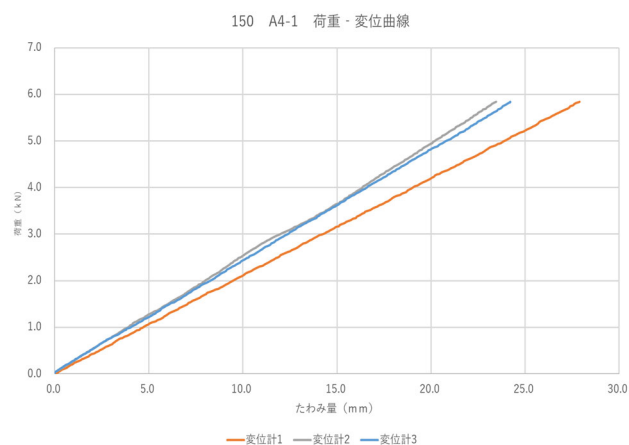


図 3.2 - 13 150 A4-1 たわみ測定結果

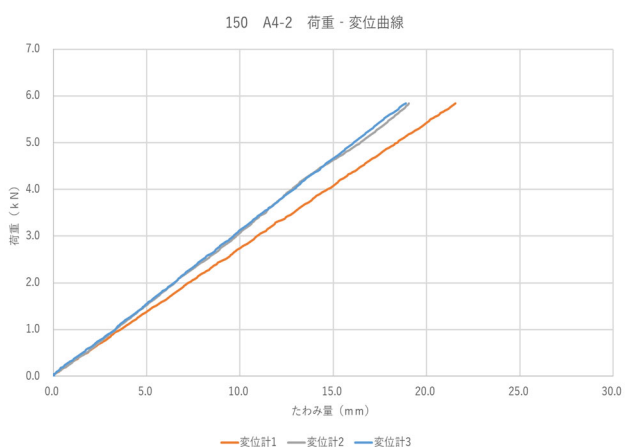


図 3.2 - 14 150 A4-2 たわみ測定結果

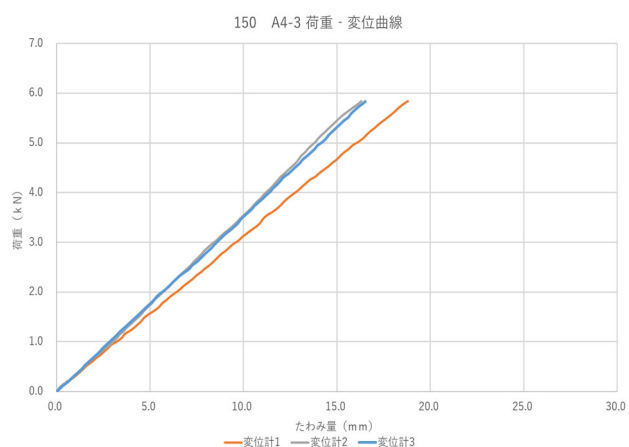


図 3.2 - 15 150 A4-3 たわみ測定結果

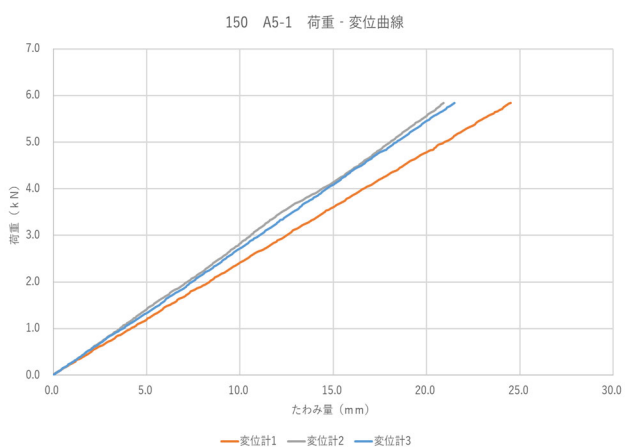


図 3.2 - 16 150 A5-1 たわみ測定結果

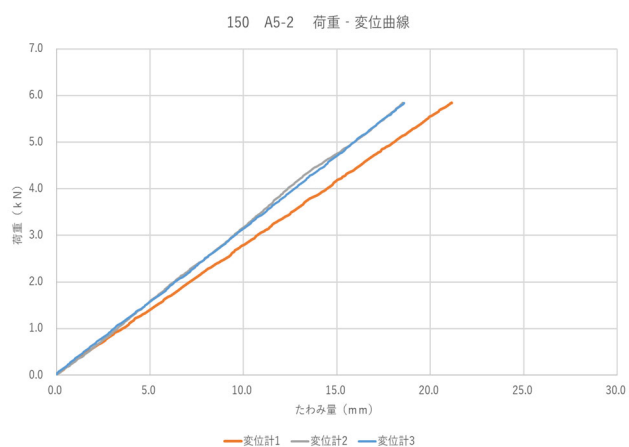


図 3.2 - 17 150 A5-2 たわみ測定結果

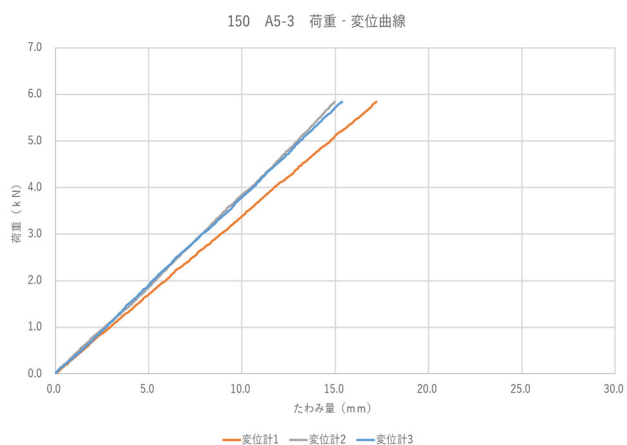


図 3.2 - 18 150 A5-3 たわみ測定結果

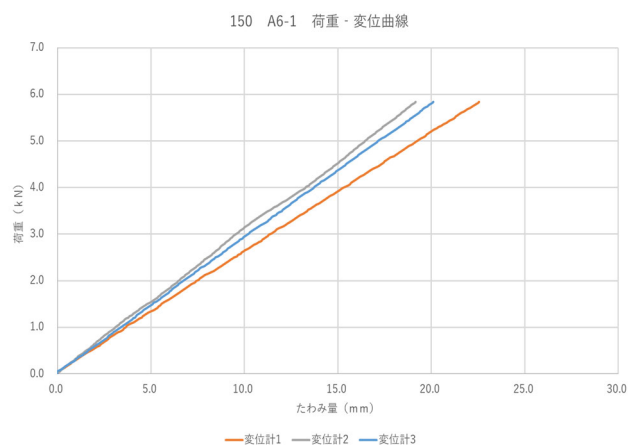


図 3.2 - 19 150 A6-1 たわみ測定結果

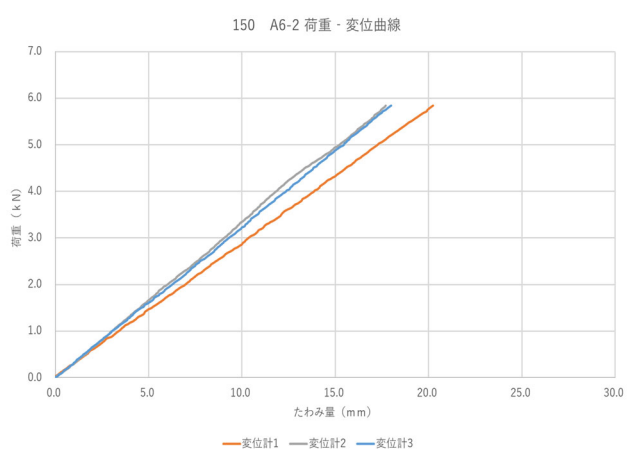


図 3.2 - 20 150 A6-2 たわみ測定結果

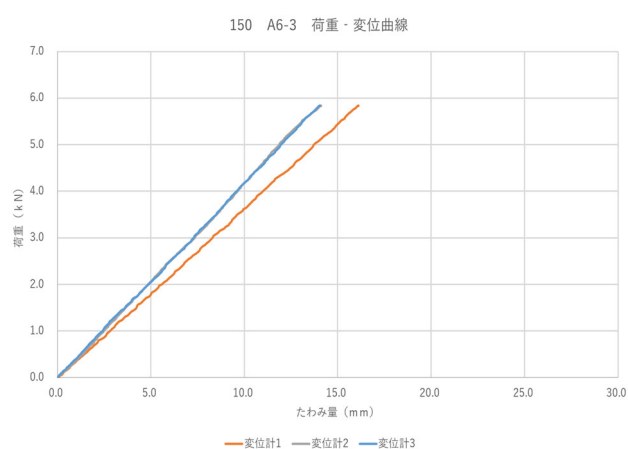


図 3.2 - 21 150 A6-3 たわみ測定結果

2) 曲げ破壊試験

表 3.2 - 4 曲げ破壊試験結果

試験体	最大荷重 $P_{\max}$ (kN)	最大たわみ $\delta_{P_{\max}}$ (mm)	作用モーメント (kN - mm)	曲げ強さ (N/mm ²)
105 A1-2	14.608	126.6	8,765	36.437
105 A2-2	16.81	165.5	10,086	41.93
105 A3-2	12.948	104.4	7,769	32.297
150 A4-2	18.989	73.918	11,393	23.209
150 A5-2	18.658	74.39	11,195	22.804
150 A6-2	19.428	72.033	11,657	23.745

表 3.2 - 5 特性値算定結果

試験体	最大荷重 $P_{\max}$ (kN)	降伏耐力 P_y (kN)	降伏変位 δ_{Py} (mm)	終局耐力 P_u (kN)	終局変位 δ_v (mm)	初期剛性 K (kN/mm)
105 A1-2	14.608	10.124	81.472	13.613	109.554	0.124
105 A2-2	16.81	10.883	90.463	15.419	128.166	0.120
105 A3-2	12.948	7.350	56.171	12.068	92.230	0.131
150 A4-2	18.989	12.147	46.394	18.022	68.836	0.262
150 A5-2	18.658	10.044	37.938	16.750	63.271	0.265
150 A6-2	19.428	10.005	35.833	17.869	63.999	0.279

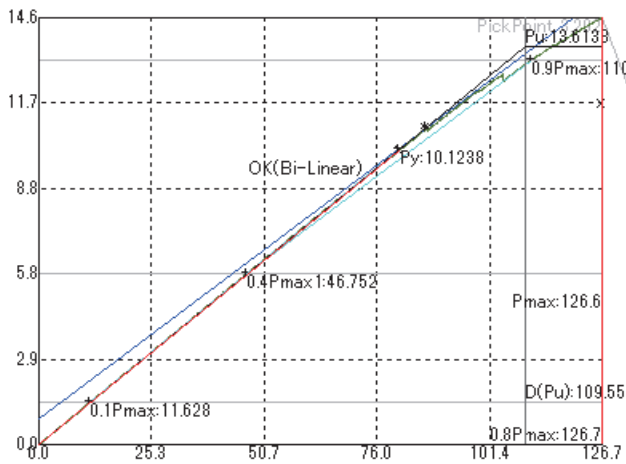


図 3.2 - 22 試験体 A1-2 荷重-変位曲線

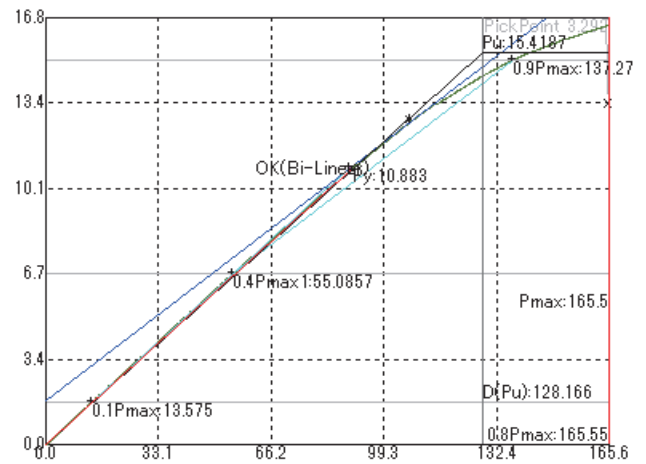


図 3.2 - 23 試験体 A2-2 荷重-変位曲線

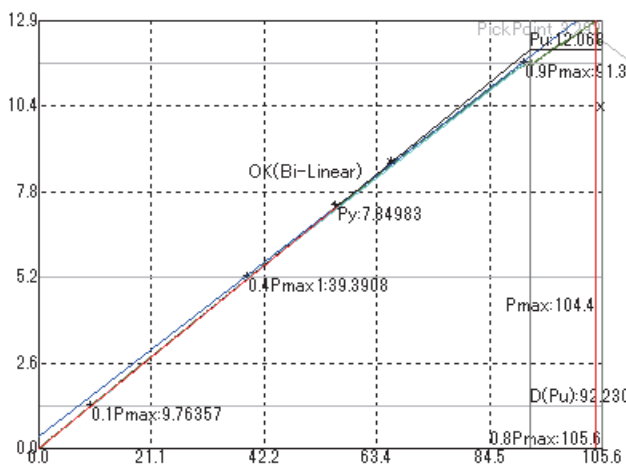


図 3.2 - 24 試験体 A3-2 荷重-変位曲線

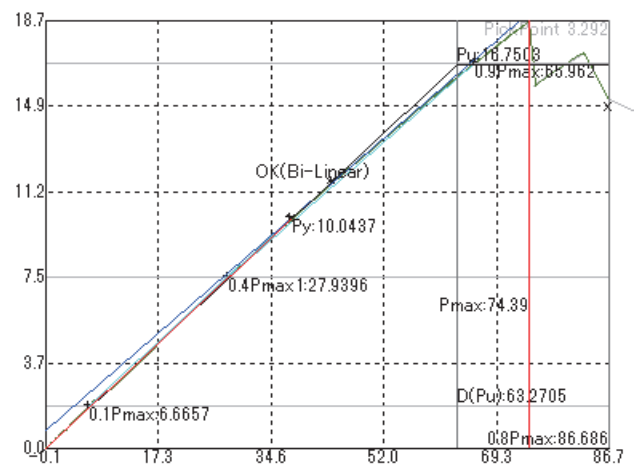


図 3.2 - 25 試験体 A4-2 荷重-変位曲線

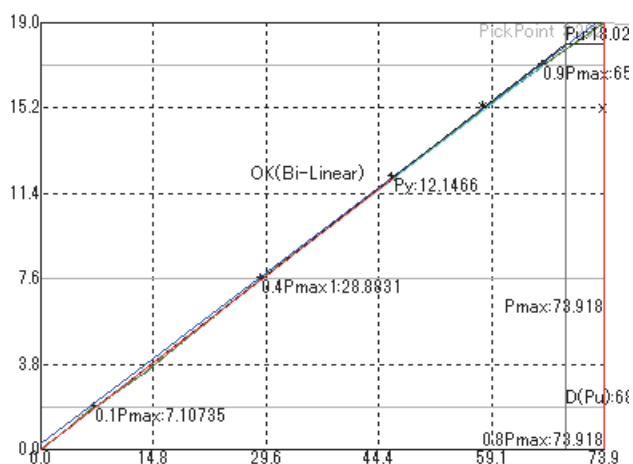


図 3.2 - 26 試験体 A5-2 荷重-変位曲線

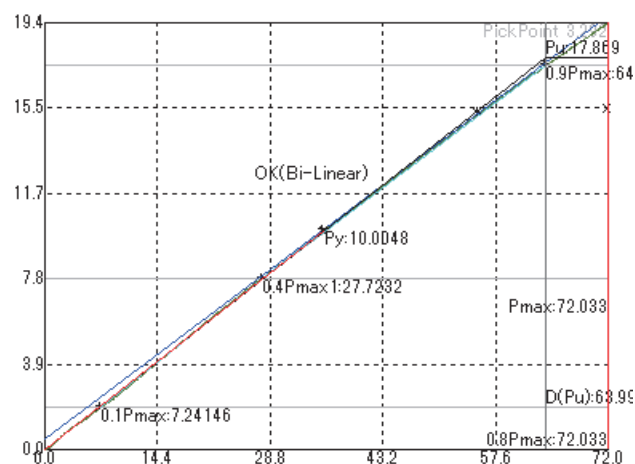


図 3.2 - 27 試験体 A6-2 荷重-変位曲線

< 試験結果の考察 >

- 1) 本試験では DLT で積層するひき板個々の縦弾性係数を計測し、縦弾性係数順に並べ替えて 3 グループ分けして試験体を製作している。0.4 P_{max} 荷重時変位量より DLT のヤング係数を求めた結果から、DLT のひき板の平均ヤング係数より若干低い値を示している。曲げ試験 1 の考察でも述べた通り DLT に変位計を取り付けたひき板とほぼ同程度の値を示している。
- 2) 曲げ破壊試験の結果より、DLT はひき板の引張側の節などの欠点を有するひき板から順に破壊が生じ、おおむね構成枚数の過半数が破壊すると DLT が降伏する。破壊はひき板の欠点により破壊が生じるため、部分的に破壊が生じて木ダボでは破壊は生じていない。
- 3) ダボ間隔を @300 mm、@600 mm、@900 mm 毎の平均曲げヤング係数を比較すると、木ダボ間隔が広くなるに従い平均曲げヤング係数が若干大きくなる傾向を示しているが、曲げ破壊試験の結果よりダボ間隔により曲げ強度に大きな差が生じない。
- 4) 試験後の試験体の観察より、木ダボ間隔が @300mm の試験体では破壊したひき板の木ダボ間で割裂が生じていることが確認されたが、@600mm、@900mm では同様の割裂は生じていないことから、木ダボの間隔は @600mm、または @900mm で良いと分かった。

<試験写真>



写真 3.2 - 1 試験体 A2-2 曲げ破壊の状況



写真 3.2 - 2 試験体 A2-2 曲げ破壊の状況 拡大

3.3 DLT-コンクリート複合梁の強度性能の確認（予備試験）

3.3.1 試験概要

- ・ S 造、RC 造のデッキプレートの代替材等、DLT の用途拡大を目的に DLT の上にコンクリートを打設した、DLT - コンクリート複合材（DLT-Concrete Composite ;以下 DLT-CC）の曲げ強度を確認する。
- ・ DLT-CC の曲げ試験に先立ち、木-コンクリート複合材（Timber-Concrete Composite;以下 TCC）の挙動を把握するため、ウェブに集成材 E105F300 を使用し、上フランジにコンクリート t50mm を打設した T 型梁で予備試験を行う。

3.3.2 試験体仕様

表 3.3 - 1 試験体の仕様

No.	上フランジ断面	ウェブ断面	せん断キー	試験体数
TCC105	コンクリート t50mm	105×105 E105F300	パネリード PX8×110@200	1 本
TCC180	現場打設 21-18-20	105×180 E105F300		1 本
TCC210	φ6mm@150 メッシュ	105×210 E105F300		1 本

ウェブ材 : オウシュウアカマツ集成材 E105F300 異等級対称構成

上フランジ材 : 現場打設コンクリート 配合強度 24 - 18 - 20。割れ止め用 φ6mm #150 入り

せん断キー : パネリード PX8×110 斜め打ち

コンクリートの水分による DLT の本体への影響を排除するため、DLT 上面に 12mm の合板を設置し、合板上からせん断キーのビスを打設

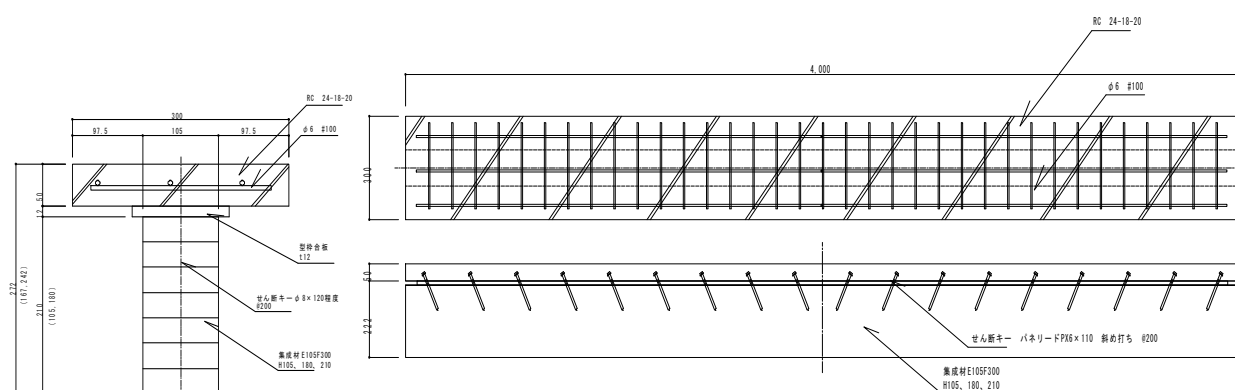


図 3.3 - 1 試験体姿図

ひずみゲージの設置

梁のスパン中央より 450mm フランジ上面 中央 1 箇所 (①)、端部 1 箇所 (②)、下面に 2 箇所 (③、④)、ウェブ側面 上部に 2 箇所 (⑤、⑥)、下部に 2 箇所 (⑦、⑧) 設置する。木部は節を避けてひずみゲージを接着し、各位置に生じる曲げひずみを計測する。

ひずみゲージ：PFL-30-11 株式会社東京測器研究所

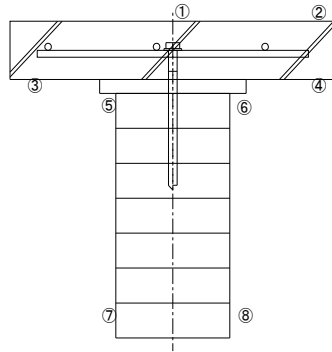


図 3.3 - 2 ひずみゲージ位置図

3.3.3 実施の実施概要

a. 試験内容 実大 TCC 梁の曲げ試験 (予備試験)

b. 試験実施日 2020 年 10 月 1、2 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

支点間距離 2,100mm (TCC105)、3,300mm (TCC180、210)、載荷速度 5mm/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 変位計を取り付け、試験体位置を試験機の X、Y 軸共に合わせ、中心を確認後に加力開始。
- ③ 試験体が曲げ破壊に達するまで加力を継続する。

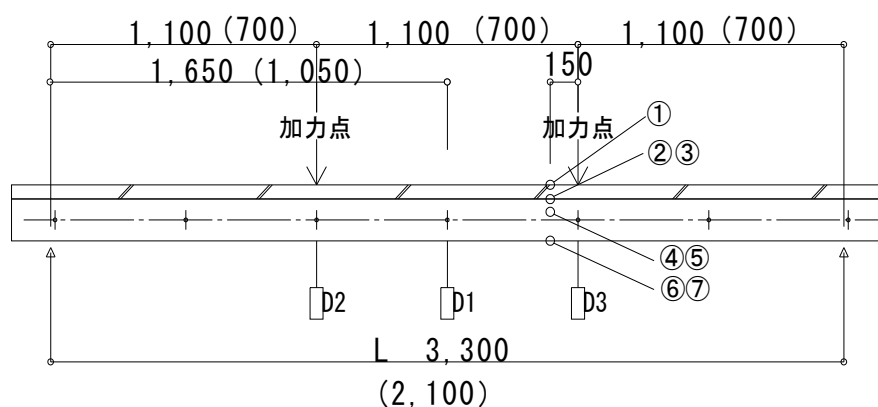


図 3.3 - 3 荷重載荷および変位計配置図

3.3.4 試験結果

表 3.3 - 2 試験結果

試験体	荷重 $P_{\max}$ (kN)	$P_{\max}$ 時たわみ (mm)	曲げヤング係数 E (N/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	降伏荷重 P_u (kN)
TCC105	32.07	23.9	3.587	18.246	30.1962
TCC180	55.04	52.9	5.739	23.399	46.4773
TCC210	85.64	68.65	9.603	28.903	78.8388

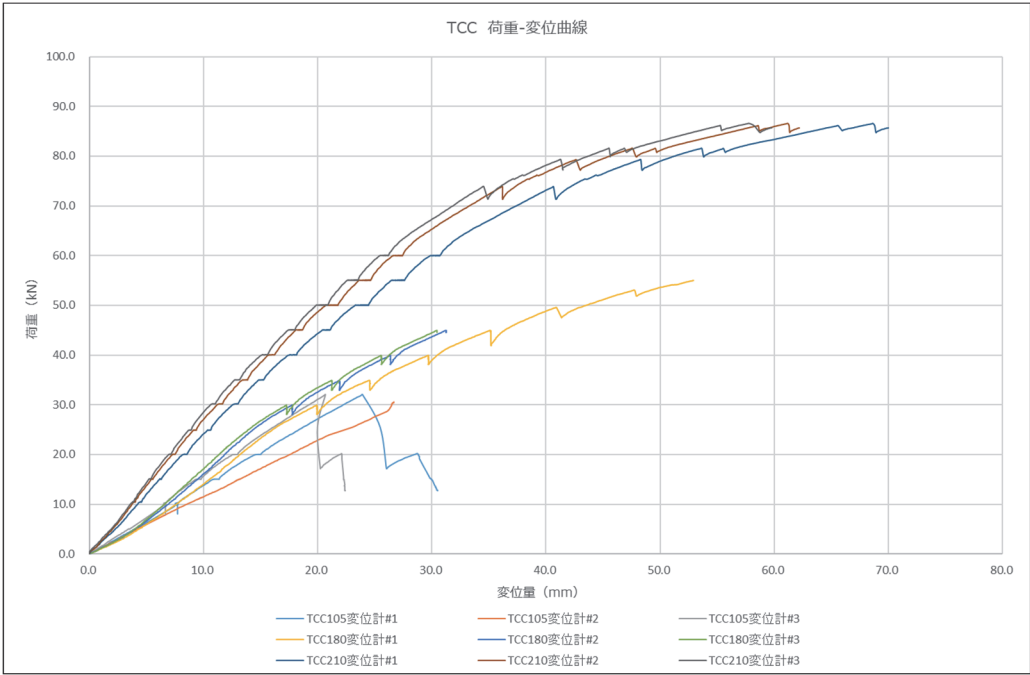


図 3.3 - 4 TCC 荷重-変位図

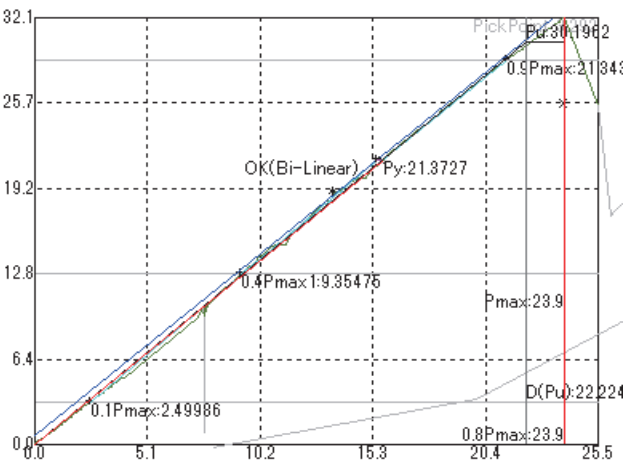


図 3.3 - 5 TCC105 荷重-変位曲線

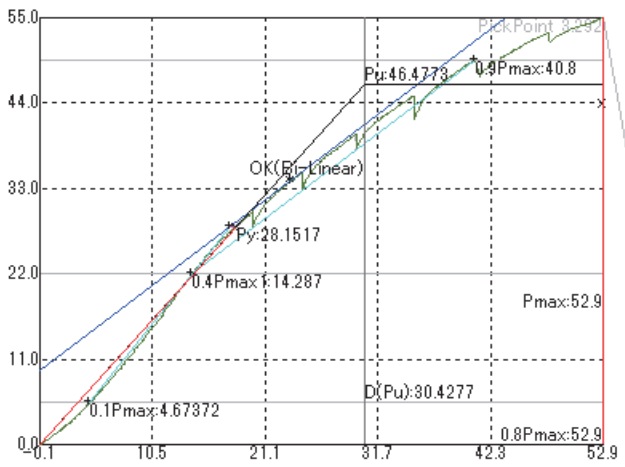


図 3.3 - 6 TCC180 荷重-変位曲線

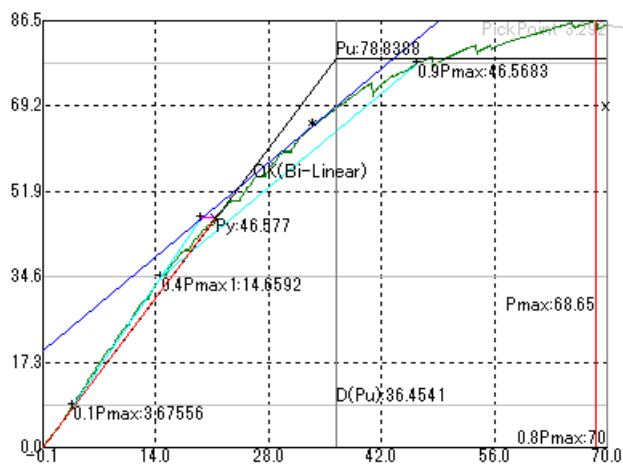


図 3.3 - 7 TCC210 荷重-変位曲線

表 3.3 - 3 P_{max} 時のひずみ

試験体	P_{max} (kN)	コンクリートのひずみ量(μm)				木材のひずみ量(μm)			
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
TCC105	32.06	-1501.4	-1105.2	1401.9	724.1	-1109	-1391.4	2167.7	2049.2
TCC180	55.04	-510.9	1293.8	149.7	-2563.9	-2454.9	2488.1	-28.4	2573.4
TCC210	86.5	-1192.4	-1320.3	82.4	306.1	-1614.2	-2432.2	177.2	-357.3

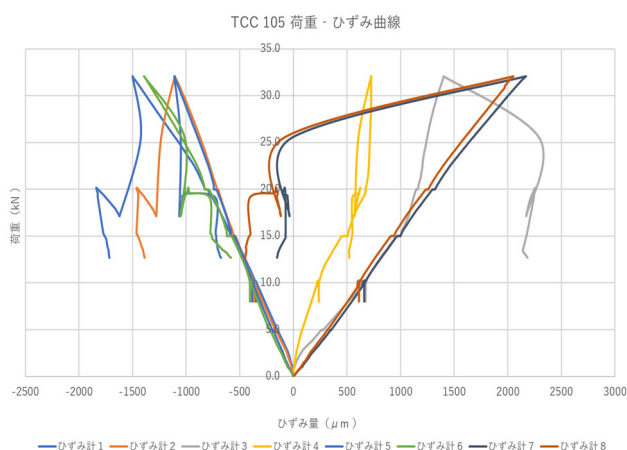


図 3.3 - 8 TCC105 荷重-ひずみ曲線

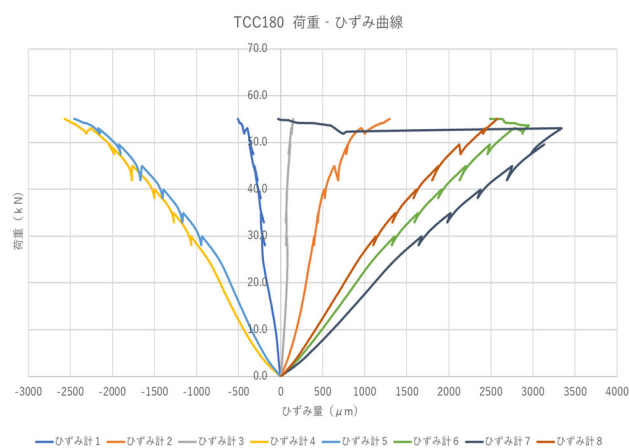


図 3.3 - 9 TCC180 荷重-ひずみ曲線

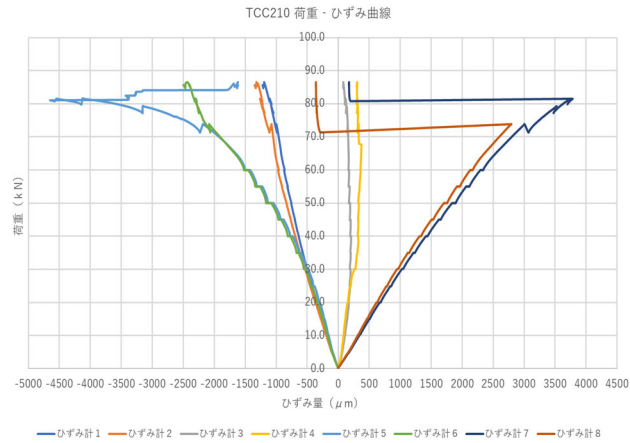


図 3.3 - 10 TCC210 荷重-ひずみ曲線

表 3.3 - 4 TCC105 $0.4P_{\max}$ 時の各部応力度

TCC105	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
ひずみ(μm)	-458.768	-463.507	828.436	336.493	-466.351	-486.256	823.697	767.773
応力度 (N/mm^2)	-10.10	-10.20	18.23	7.41	-4.90	-5.11	8.65	8.07

表 3.3 - 5 TCC180 $0.4P_{\max}$ 時の各部応力度

TCC180	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
ひずみ(μm)	-184.834	321.327	77.7251	-775.355	-650.237	978.199	1217.06	827.488
応力度 (N/mm^2)	-4.07	7.07	1.71	-17.06	-6.83	10.28	12.78	8.69

表 3.3 - 6 TCC210 $0.4P_{\max}$ 時の各部応力度

TCC210	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8
ひずみ(μm)	-563.033	-607.583	200	302.37	-586.73	-626.54	1199.05	1109.95
応力度 (N/mm^2)	-12.39	-13.37	4.40	6.66	-6.17	-6.58	12.60	11.66

表 3.3 - 7 ウェブ材の想定強度と試験結果の比較

試験体	スパン (mm)	ウェブ材の仕様	基準曲げ強度 $F_b(\text{N}/\text{mm}^2)$	想定 $P_{\max}$ ① (kN)	実測 $P_{\max}$ ② (kN)	対比
TCC105	2,100	オウシュウアカマツ 異等級対称構成 構造用集成材 E105F300	30	16.53	32.07	1.94
TCC180	3,300			30.92	55.04	1.78
TCC210	3,300			42.09	85.64	2.03

<試験結果の考察>

- ・ TCCによる効果を確認するため、ウェブ材にはヤング係数や曲げ強度が明らかなオウシュウアカマツ集成材 異等級対象構成集成材 E105F300を使用した予備試験の結果より、コンクリートとの複合化によるT型断面の曲げ剛性がオウシュウアカマツ集成材 異等級対象構成E105F300の矩形断面との単純比較では基準強度に対して、コンクリートとの複合化により純強度比較で1.78倍～2.0倍程度の強度の向上が確認された。
- ・ 試験体が破壊に至るまで上フランジ部のコンクリートが集成材と一体化しており、コンクリート部分が大きく変形しても圧縮破壊は確認されず、集成材とコンクリートとの一体効果が集成材の破断時まで確認された。
- ・ 試験終了後の試験体解体でせん断キーを確認したが、ビスの変形は見られないため、ビスが負担するせん断力は要素試験で求めた値より小さいと想定される。

<試験写真>



写真3.3 - 1 TCC105 加力前



写真3.3 - 2 TCC105 試験後



写真3.3 - 3 TCC180 加力前



写真3.3 - 4 TCC180 試験後



写真3.3 - 5 TCC210 試験後



写真3.3 - 6 破壊状況 拡大

3.4 DLT－コンクリート複合梁の強度性能の確認

3.4.1 試験概要

- ・ 集成材をウェブ材として TCC とした予備試験で、合成効果による強度および剛性の向上が確認された。次にウェブ材を DLT とし、フランジにコンクリートを打設した DLT－コンクリート複合材（DLT-Concrete Composite;以下 DLT-CC）の曲げ性能を確認する。

3.4.2 試験体仕様

- ・ 試験体の仕様一覧を表 3.4-1 に示す。上フランジのコンクリート厚さを予備試験と同じく 50mm とし、ウェブ材は幅 30mm のスギ KD 材を積層した DLT とした。コンクリートとウェブ材を接合するせん断キーは、パネリード PX6×110 斜め打ち@200 とした。
- ・ ウェブのせいを 105mm, 150mm の 2 種類、せん断キーに用いるビスの配列を 1 列@200, 2 列@200 の 2 種類それぞれ設定した。
- ・ 試験体図を図 3.4.1, 図 3.4.2 に示す。DLT の長さは 4,000mm, 支点間距離を 3,600mm とした。曲げ試験の結果から、最大荷重, 初期剛性を求める。
- ・ 試験で使用するウェブ材は、群馬県産スギ KD 材を用いた。予め 1 枚毎にヤング係数（縦弾性係数）を計測・区分し、さらに積層後のコンクリート打設前の状態で、弾性範囲内の荷重を加えて曲げヤング係数を計測した。ウェブとコンクリートの間には、厚 12mm の型枠合板を設置している。

表 3.4 - 1 試験体の仕様

試験体	上フランジ断面	ウェブ断面	せん断キー	列数	試験体数
DLT-CC 105 A-1	コンクリート t50mm 現場打設24-18-20 φ 6 mm@150メッシュ	7-30×105	PX6×110@200	1	計3体
DLT-CC 105 B-1					
DLT-CC 105 C-1					
DLT-CC 105 A-2		7-30×105	PX6×110@200	2	計3体
DLT-CC 105 B-2					
DLT-CC 105 C-2					
DLT-CC 150 A-1		7-30×150	PX6×110@200	1	計2体
DLT-CC 150 B-1					
DLT-CC 150 D-2					
DLT-CC 150 A-2		7-30×150	PX6×110@200	2	計4体
DLT-CC 150 B-2					
DLT-CC 150 C-1					
DLT-CC 150 D-1					

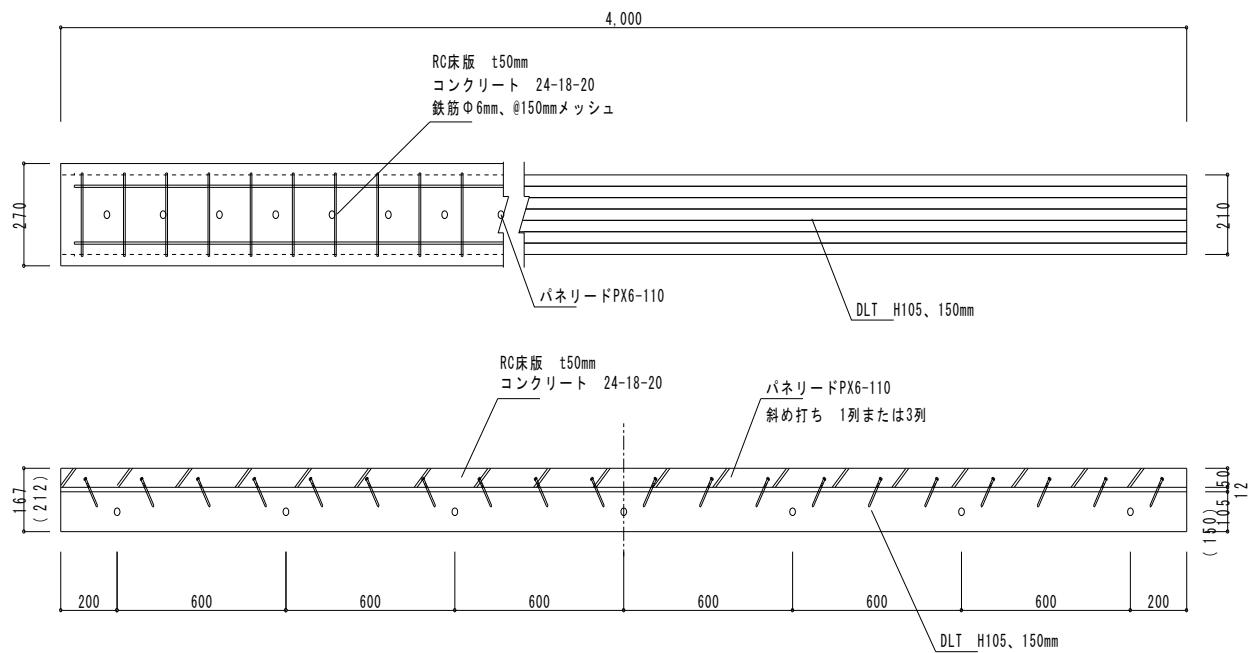


図 3.4 - 1 試験体姿図

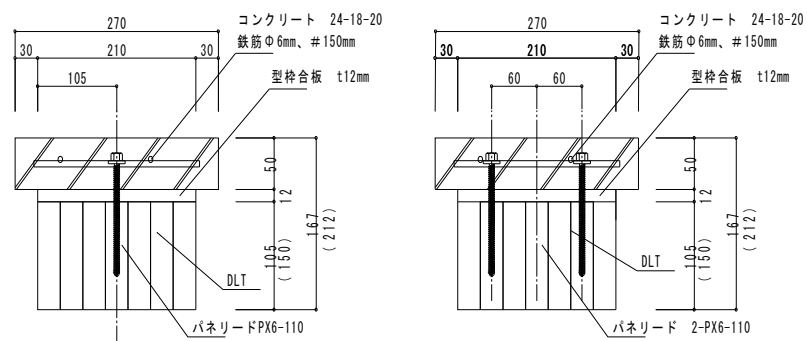


図 3.4 - 2 試験体断面図(せん断キー1列、2列)

3.4.3 試験方法と計測計画

a. 試験内容 実大 DLT-CC 梁の曲げ試験

b. 試験実施日 2020 年 11月25、26、27、30日、12 月 1 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

支点間距離 3,600mm、載荷速度 5 mm/min

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 変位計を取り付け、試験体位置を試験機の X、Y 軸共に合わせ、中心を確認後に加力開始。
- ③ 試験体が曲げ破壊に達するまで加力を継続する。

e. 計測計画

- 巻取り変位計を、荷重位置 2 か所およびスパン中央の DLT 中央下端に計 3 か所設置し、コンクリートと DLT との境界面における水平方向の相対変位を支点位置で計測した。
- ひずみゲージを、梁のスパン中央より 450mm の位置に、フランジ下面に 2 箇所（④、⑤）、上面に 3 箇所（①、②、③）、ウェブ側面 下部側面に 2 箇所（⑥、⑦）、下面に 3 箇所（⑧、⑨、⑩）に節を避けて接着し、各位置に生じるひずみを計測した。

ひずみゲージ：PFL-30-11 株式会社東京測器研究所

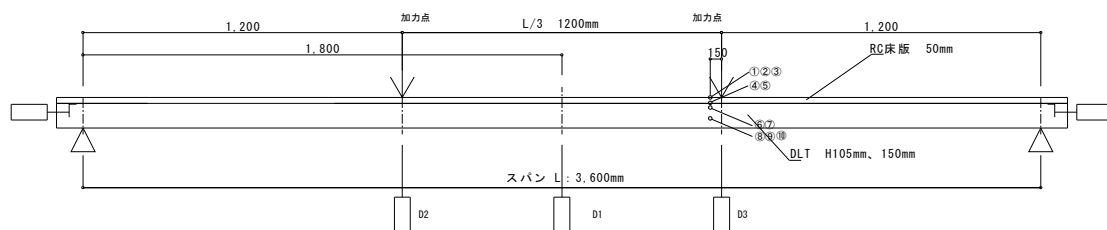


図 3.4 - 3 荷重載荷および変位計配置図

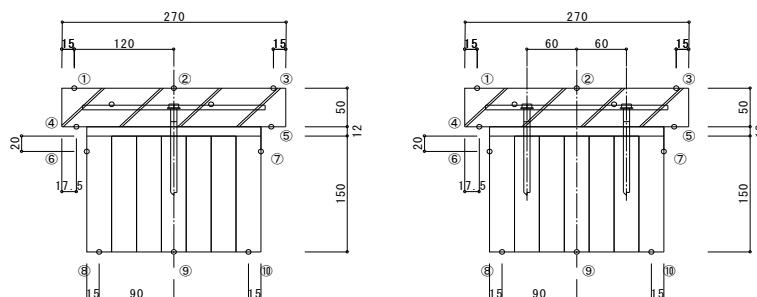


図 3.4 - 4 ひずみゲージ位置図

3.4.4 ウェブ材および DLT の曲げヤング係数

- ① ウェブ材のヤング係数測定結果一覧を表 3.4-2～表 3.4.5 に示す。動的ヤング係数は打撃法での測定値、静ヤング係数はウェブ材の曲げ試験から得た曲げヤング係数である。静ヤング係数の平均値は、DLT 試験体を構成する 7 材の平均値である。

表 3.4 - 2 ウェブ材のヤング係数(1)

DLT 試験体番号	ply	幅 (mm)	梁せい (mm)	長さ (mm)	重量 (kg)	密度	含水率 (%)	含水率 (%)	含水率 (平均) (%)	固有周波数 (Hz)	動的ヤング係数 (N/mm ²)	静ヤング係数 (N/mm ²)	静ヤング係数 平均
DLT-CC105-A-1	1	30	105	4,005	5.82	0.46	16.00	12.00	14.00	590	10,303	10,020	10,002
DLT-CC105-A-1	2	30	105	4,005	4.98	0.39	11.00	10.00	10.50	680	11,711	10,793	
DLT-CC105-A-1	3	30	105	4,005	4.84	0.38	12.00	10.50	11.25	630	9,770	9,443	
DLT-CC105-A-1	4	30	105	4,005	5.94	0.47	19.00	25.00	22.00	610	11,241	10,284	
DLT-CC105-A-1	5	30	105	4,005	4.96	0.39	14.50	11.50	13.00	640	10,332	9,908	
DLT-CC105-A-1	6	30	105	4,005	5.26	0.42	13.50	17.00	15.25	610	9,954	9,511	
DLT-CC105-A-1	7	30	105	4,005	5.26	0.42	14.50	14.50	14.50	630	10,617	10,052	
DLT-CC105-A-2	1	30	105	4,005	5.58	0.44	15.50	20.00	17.75	590	9,878	9,997	10,000
DLT-CC105-A-2	2	30	105	4,005	5.02	0.40	14.00	15.50	14.75	610	9,500	9,416	
DLT-CC105-A-2	3	30	105	4,005	5.46	0.43	13.00	18.00	15.50	620	10,674	10,099	
DLT-CC105-A-2	4	30	105	4,005	5.00	0.40	17.00	19.50	18.25	650	10,744	10,075	
DLT-CC105-A-2	5	30	105	4,005	4.90	0.39	13.00	11.50	12.25	680	11,523	10,944	
DLT-CC105-A-2	6	30	105	4,005	4.48	0.36	10.50	10.50	10.50	640	9,332	9,305	
DLT-CC105-A-2	7	30	105	4,005	4.96	0.39	10.00	20.00	15.00	640	10,332	10,167	
DLT-CC105-B-1	1	30	105	4,005	5.04	0.40	31.50	18.00	24.75	620	9,853	9,250	8,795
DLT-CC105-B-1	2	30	105	4,005	5.76	0.46	16.00	21.50	18.75	560	9,187	9,082	
DLT-CC105-B-1	3	30	105	4,005	4.44	0.35	12.00	13.00	12.50	650	9,540	9,009	
DLT-CC105-B-1	4	30	105	4,005	4.52	0.36	9.50	8.50	9.00	620	8,836	8,332	
DLT-CC105-B-1	5	30	105	4,005	4.66	0.37	10.00	10.50	10.25	610	8,819	8,493	
DLT-CC105-B-1	6	30	105	4,005	4.92	0.39	10.50	11.00	10.75	620	9,618	9,040	
DLT-CC105-B-1	7	30	105	4,005	5.54	0.44	12.50	11.00	11.75	530	7,914	8,360	
DLT-CC105-B-2	1	30	105	4,005	4.64	0.37	23.50	20.50	22.00	580	7,938	8,359	8,518
DLT-CC105-B-2	2	30	105	4,005	4.84	0.38	14.00	19.50	16.75	610	9,159	8,142	
DLT-CC105-B-2	3	30	105	4,005	4.84	0.38	10.00	12.50	11.25	560	7,719	8,726	
DLT-CC105-B-2	4	30	105	4,005	5.74	0.45	24.50	20.00	22.25	560	9,155	9,239	
DLT-CC105-B-2	5	30	105	4,005	5.04	0.40	13.00	10.00	11.50	560	8,038	8,270	
DLT-CC105-B-2	6	30	105	4,005	4.92	0.39	15.50	16.50	16.00	610	9,311	8,743	
DLT-CC105-B-2	7	30	105	4,005	5.60	0.44	24.00	20.50	22.25	550	8,615	8,145	

表 3.4 - 3 ウェブ材のヤング係数(2)

DLT 試験体番号	ply	幅 (mm)	梁せい (mm)	長さ (mm)	重量 (kg)	密度	含水率 (%)	含水率 (%)	含水率 (平均) (%)	固有周波数 (Hz)	動的ヤング係数 (N/mm ²)	静ヤング係数 (N/mm ²)	静ヤング係数 平均
DLT-CC105-C1	1	30	105	4,005	5.96	0.47	16.00	29.00	22.50	490	7,278	7,075	7,405
DLT-CC105-C1	2	30	105	4,005	5.40	0.43	16.50	10.50	13.50	520	7,426	6,900	
DLT-CC105-C1	3	30	105	4,005	4.70	0.37	11.50	10.50	11.00	570	7,766	7,297	
DLT-CC105-C1	4	30	105	4,005	5.26	0.42	12.00	15.50	13.75	530	7,514	7,454	
DLT-CC105-C1	5	30	105	4,005	5.08	0.40	12.00	11.00	11.50	560	8,102	7,890	
DLT-CC105-C1	6	30	105	4,005	5.00	0.40	12.00	23.00	17.50	520	6,876	7,209	
DLT-CC105-C1	7	30	105	4,005	4.70	0.37	10.50	10.00	10.25	590	8,321	8,010	
DLT-CC105-C2	1	30	105	4,005	5.60	0.44	13.00	23.50	18.25	490	6,838	7,891	7,427
DLT-CC105-C2	2	30	105	4,005	4.96	0.39	13.00	11.00	12.00	560	7,911	7,830	
DLT-CC105-C2	3	30	105	4,005	5.74	0.45	14.50	16.50	15.50	550	8,831	7,431	
DLT-CC105-C2	4	30	105	4,005	4.88	0.39	13.50	14.50	14.00	560	7,783	7,864	
DLT-CC105-C2	5	30	105	4,005	5.84	0.46	19.00	21.50	20.25	460	6,285	6,813	
DLT-CC105-C2	6	30	105	4,005	5.88	0.47	13.50	23.00	18.25	510	7,778	7,158	
DLT-CC105-C2	7	30	105	4,005	4.86	0.39	14.50	12.50	13.50	530	6,943	7,003	
DLT-CC105-D-1	1	30	105	4,005	5.32	0.42	21.00	27.50	24.25	450	5,479	5,981	6,103
DLT-CC105-D-1	2	30	105	4,005	5.56	0.44	21.50	29.00	25.25	440	5,474	5,468	
DLT-CC105-D-1	3	30	105	4,005	5.34	0.42	23.00	19.00	21.00	470	5,999	6,221	
DLT-CC105-D-1	4	30	105	4,005	5.08	0.40	17.50	13.00	15.25	540	7,534	6,812	
DLT-CC105-D-1	5	30	105	4,005	5.58	0.44	20.50	14.00	17.25	480	6,538	6,705	
DLT-CC105-D-1	6	30	105	4,005	5.68	0.45	18.00	19.50	18.75	510	7,513	5,990	
DLT-CC105-D-1	7	30	105	4,005	5.00	0.40	9.50	9.00	9.25	490	6,105	5,545	
DLT-CC105-D-2	1	30	105	4,005	5.20	0.41	15.50	14.00	14.75	460	5,596	6,406	6,084
DLT-CC105-D-2	2	30	105	4,005	4.70	0.37	18.00	10.50	14.25	510	6,217	5,691	
DLT-CC105-D-2	3	30	105	4,005	5.56	0.44	19.50	27.50	23.50	490	6,789	5,781	
DLT-CC105-D-2	4	30	105	4,005	5.20	0.41	11.50	16.00	13.75	490	6,350	6,074	
DLT-CC105-D-2	5	30	105	4,005	4.82	0.38	30.00	15.00	22.50	500	6,128	6,667	
DLT-CC105-D-2	6	30	105	4,005	4.74	0.38	10.00	11.50	10.75	490	5,788	5,481	
DLT-CC105-D-2	7	30	105	4,005	4.98	0.39	13.50	11.00	12.25	530	7,114	6,491	

表 3.4 - 4 ウェブ材のヤング係数(3)

DLT 試験体番号	ply	幅 (mm)	梁せい (mm)	長さ (mm)	重量 (kg)	密度	含水率 (%)	含水率 (%)	含水率 (平均) (%)	固有周波数 (Hz)	動的ヤング係数 (N/mm ²)	静ヤング係数 (N/mm ²)	静ヤング係数 平均
TCC150-A-1	1	30	150	4,085	7.46	0.41	16.00	13.50	14.75	580	9,112	8,814	8,724
TCC150-A-1	2	30	150	4,080	7.16	0.39	8.50	9.00	8.75	550	7,855	8,250	
TCC150-A-1	3	30	150	4,095	6.52	0.35	11.00	10.50	10.75	590	8,261	7,849	
TCC150-A-1	4	30	150	4,082	7.54	0.41	14.50	13.00	13.75	630	10,859	10,632	
TCC150-A-1	5	30	150	4,112	7.12	0.38	14.00	13.50	13.75	580	8,755	8,527	
TCC150-A-1	6	30	150	4,109	7.34	0.40	12.00	11.50	11.75	590	9,332	9,174	
TCC150-A-1	7	30	150	4,119	6.58	0.35	17.00	16.50	16.75	590	8,386	7,822	
TCC150-A-2	1	30	150	4,085	7.26	0.39	13.00	10.00	11.50	570	8,565	7,860	8,571
TCC150-A-2	2	30	150	4,120	8.42	0.45	29.50	28.00	28.75	550	9,328	8,053	
TCC150-A-2	3	30	150	4,120	7.38	0.40	12.00	10.50	11.25	570	8,781	8,482	
TCC150-A-2	4	30	150	4,080	7.54	0.41	11.50	12.00	11.75	570	8,884	8,640	
TCC150-A-2	5	30	150	4,165	6.20	0.33	11.50	9.50	10.50	590	7,990	7,991	
TCC150-A-2	6	30	150	4,075	7.18	0.39	15.50	13.00	14.25	600	9,363	9,262	
TCC150-A-2	7	30	150	4,083	7.40	0.40	14.00	15.50	14.75	600	9,669	9,709	
TCC150-B-1	1	30	150	4,080	7.48	0.41	14.00	14.00	14.00	500	6,782	7,275	7,524
TCC150-B-1	2	30	150	4,088	6.54	0.36	12.50	18.00	15.25	590	8,273	7,744	
TCC150-B-1	3	30	150	4,115	7.96	0.43	26.50	18.50	22.50	550	8,808	7,645	
TCC150-B-1	4	30	150	4,110	7.90	0.43	11.00	11.00	11.00	530	8,107	7,638	
TCC150-B-1	5	30	150	4,097	8.36	0.45	14.00	14.50	14.25	530	8,552	7,787	
TCC150-B-1	6	30	150	4,159	6.02	0.32	12.50	9.00	10.75	600	8,012	7,288	
TCC150-B-1	7	30	150	4,088	7.08	0.38	19.00	20.00	19.50	560	8,068	7,293	
TCC150-B-2	1	30	150	4,088	6.96	0.38	12.50	22.00	17.25	560	7,931	7,348	7,540
TCC150-B-2	2	30	150	4,136	6.84	0.37	15.00	12.00	13.50	570	8,170	7,427	
TCC150-B-2	3	30	150	4,060	6.72	0.37	12.00	12.00	12.00	570	7,879	7,633	
TCC150-B-2	4	30	150	4,140	6.72	0.36	15.00	10.50	12.75	570	8,035	7,392	
TCC150-B-2	5	30	150	4,090	7.38	0.40	13.00	9.00	11.00	540	7,824	7,592	
TCC150-B-2	6	30	150	4,058	6.46	0.35	11.50	10.50	11.00	580	7,839	7,597	
TCC150-B-2	7	30	150	4,116	6.62	0.36	10.50	29.50	20.00	580	8,148	7,794	

表 3.4 - 5 ウェブ材のヤング係数(4)

DLT 試験体番号	ply	幅 (mm)	梁せい (mm)	長さ (mm)	重量 (kg)	密度	含水率 (%)	含水率 (%)	含水率 (平均) (%)	固有周波数 (Hz)	動的ヤング係数 (N/mm ²)	静ヤング係数 (N/mm ²)	静ヤング係数 平均
TCC150-C-1	1	30	150	4,128	8.04	0.43	26.00	14.50	20.25	510	7,673	6,915	6,990
TCC150-C-1	2	30	150	4,066	7.04	0.38	12.00	10.00	11.00	550	7,697	6,855	
TCC150-C-1	3	30	150	4,100	9.00	0.49	22.50	17.50	20.00	490	7,875	7,154	
TCC150-C-1	4	30	150	4,090	7.32	0.40	15.50	13.00	14.25	540	7,760	6,998	
TCC150-C-1	5	30	150	4,060	5.94	0.33	9.50	8.50	9.00	600	7,717	6,995	
TCC150-C-1	6	30	150	4,119	7.42	0.40	19.50	12.50	16.00	490	6,523	7,240	
TCC150-C-1	7	30	150	4,062	6.52	0.36	10.00	10.50	10.25	540	6,865	6,774	
TCC150-C-2	1	30	150	4,080	7.42	0.40	10.50	11.00	10.75	490	6,461	7,105	6,958
TCC150-C-2	2	30	150	4,088	6.34	0.34	10.50	10.50	10.50	570	7,485	6,924	
TCC150-C-2	3	30	150	4,140	7.00	0.38	10.00	10.50	10.25	530	7,236	7,196	
TCC150-C-2	4	30	150	4,118	5.92	0.32	10.50	11.50	11.00	580	7,290	6,713	
TCC150-C-2	5	30	150	4,055	6.76	0.37	19.00	31.50	25.25	530	6,844	6,922	
TCC150-C-2	6	30	150	4,084	5.14	0.28	9.00	9.00	9.00	580	6,277	6,950	
TCC150-C-2	7	30	150	4,096	7.50	0.41	23.50	25.00	24.25	510	7,102	6,899	
TCC150-D-1	1	30	150	4,068	6.38	0.35	10.50	8.50	9.50	480	5,315	4,995	6,000
TCC150-D-1	2	30	150	4,077	7.00	0.38	10.50	18.50	14.50	520	6,860	6,656	
TCC150-D-1	3	30	150	4,062	6.62	0.36	14.00	10.00	12.00	540	6,970	6,181	
TCC150-D-1	4	30	150	4,141	6.72	0.36	11.00	9.50	10.25	470	5,464	6,136	
TCC150-D-1	5	30	150	4,140	6.50	0.35	10.50	11.00	10.75	530	6,719	6,403	
TCC150-D-1	6	30	150	4,140	6.84	0.37	9.00	7.50	8.25	500	6,293	6,623	
TCC150-D-1	7	30	150	4,180	7.00	0.37	9.50	9.50	9.50	440	5,035	5,009	
TCC150-D-2	1	30	150	4,070	6.32	0.35	11.50	14.50	13.00	480	5,268	5,078	5,855
TCC150-D-2	2	30	150	4,062	5.82	0.32	16.50	12.50	14.50	600	7,565	6,478	
TCC150-D-2	3	30	150	4,140	6.84	0.37	11.50	10.50	11.00	540	7,340	6,685	
TCC150-D-2	4	30	150	4,065	5.72	0.31	10.00	10.50	10.25	540	6,027	5,982	
TCC150-D-2	5	30	150	4,068	6.30	0.34	9.50	9.50	9.50	480	5,249	5,166	
TCC150-D-2	6	30	150	4,185	7.36	0.39	14.50	12.00	13.25	430	5,062	5,207	
TCC150-D-2	7	30	150	4,112	7.52	0.41	32.00	20.50	26.25	480	6,333	6,387	

- ② コンクリート打設前の DLT に弾性範囲内の荷重を加えて、曲げヤング係数を測定した。上限荷重 $P_{\text{上限}}$ は梁の想定曲げ強度から算出した最大荷重の 40% に設定した。

1) せい 105mm の場合

$$P_{\text{上限}} = 0.4 \times \frac{6M_u}{l} = 2.4 \frac{F_b Z}{l} = 2.4 \times 22.2 \times 210 \times \frac{105^2}{6} \times \frac{1}{3600} = 5.71 \text{ kN}$$

2) せい 150mm の場合

$$P_{\text{上限}} = 0.4 \times \frac{6M_u}{l} = 2.4 \frac{F_b Z}{l} = 2.4 \times 22.2 \times 210 \times \frac{150^2}{6} \times \frac{1}{3600} = 11.7 \text{ kN}$$

ここで、

- M_u : DLT の想定曲げ強度 (kN・m)
 F_b : スギ無等級材の曲げ基準強度 = 22.2 N/mm²
 Z : DLT の断面係数 = $BD^2/6$ (mm³)
 l : 試験体の支点間距離 (mm)

表 3.4-6, 3.4-7 に DLT の曲げヤング係数の値を示す。表内の曲げヤング係数は、次式で算出している。

$$\text{曲げヤング係数} = \frac{23}{1296} \frac{(P_{\text{上限}} - P_{\text{下限}})}{(\delta_{c\text{上限}} - \delta_{c\text{下限}})} \cdot \frac{1}{l}$$

ここで、

- $P_{\text{下限}}$: 下限荷重 = $P_{\text{上限}}/4$ (kN)
 $\delta_{c\text{上限}}$: 上限荷重時のスパン中央位置での鉛直変位 (mm)
 $\delta_{c\text{下限}}$: 下限荷重時のスパン中央位置での鉛直変位 (mm)
 I : DLT の断面二次モーメント (mm⁴)

表内の素材はウェブ材を示す。DLT 素材(7 枚)の平均値は、表 3.42～表 3.4 - 5 の静ヤング係数平均値に等しい。表内の変位計位置の素材の曲げヤング係数は、DLT の曲げ試験で、巻取り変位計を取り付けた素材の静ヤング係数である。

DLT の曲げヤング係数は、素材の曲げヤング係数平均値と比較して 2～5%程度の違いとなっており、105 せいの場合は DLT の値が素材平均値よりも高く (表 3.4 - 6)、150 せいの場合は DLT の値が素材平均値を下回る結果となった(表 3.4 - 7)。

150A-1 試験体の、変位計を取り付けた素材のヤング係数が DLT の曲げヤング係数と比較して、22%大きい値であるのに対して、素材の平均ヤング係数は 5%大きい値となっている。このことから、木ダボによる各素材の鉛直変位を平均化する効果が確認できる。

本試験では DLT 試験体毎に素材のヤング係数を揃える方針としているが、これを任意の組み合わせとした場合は、このヤング係数をみかけ平均化する効果が高まると考えられる。

表 3.4 - 6 DLT のヤング係数 (1)

試験体名	荷重 (kN)		中央変位 変位計1 (mm)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	DLT素材(7枚)の 平均値 (kN/mm ²)	DLT/素材 平均	変位計位置の素 材の曲げヤング 係数	DLT/素材
DLT-CC105-A-1	上限荷重	5.1984	20.80	10.182	10.002	1.8%	10.284	-1.0%
	下限荷重	1.3121	5.20					
DLT-CC105-A-2	上限荷重	5.2001	20.90	10.177	10.000	1.8%	10.075	1.0%
	下限荷重	1.2907	5.20					
DLT-CC105-B-1	上限荷重	5.1978	23.40	9.010	8.795	2.4%	8.332	8.1%
	下限荷重	1.2739	5.60					
DLT-CC105-B-2	上限荷重	5.1965	24.45	8.683	8.518	1.9%	9.239	-6.0%
	下限荷重	1.2983	6.10					
DLT-CC105-C-1	上限荷重	5.1965	27.85	7.587	7.405	2.5%	7.454	1.8%
	下限荷重	1.3078	6.90					
DLT-CC105-C-2	上限荷重	5.1974	27.40	7.723	7.427	4.0%	7.864	-1.8%
	下限荷重	1.2862	6.70					
DLT-CC105-D-1	上限荷重	5.2023	32.65	6.484	6.314	2.7%	6.812	-4.8%
	下限荷重	1.3157	8.15					
DLT-CC105-D-2	上限荷重	4.8101	30.70	6.371	6.084	4.7%	6.074	4.9%
	下限荷重	1.2017	7.55					

表 3.4 - 7 DLT のヤング係数 (2)

試験体名	荷重 (kN)		中央変位 変位計1 (mm)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	DLT素材(7枚)の 平均値 (kN/mm ²)	DLT/素材 平均	変位計位置の素 材の曲げヤング係 数(kN/mm ²)	DLT/素材
DLT-CC150-A-1	上限荷重	10.482	17.75	8.277	8.724	-5.1%	10.632	-22.1%
	下限荷重	2.659	4.50					
DLT-CC150-A-2	上限荷重	10.496	17.70	8.324	8.571	-2.9%	8.64	-3.7%
	下限荷重	2.569	4.35					
DLT-CC150-B-1	上限荷重	10.482	20.25	7.249	7.524	-3.7%	7.638	-5.1%
	下限荷重	2.674	5.15					
DLT-CC150-B-2	上限荷重	10.494	20.20	7.273	7.540	-3.5%	7.392	-1.6%
	下限荷重	2.66	5.10					
DLT-CC150-C-1	上限荷重	10.495	21.30	6.921	6.990	-1.0%	6.998	-1.1%
	下限荷重	2.596	5.30					
DLT-CC150-C-2	上限荷重	10.491	21.50	6.825	6.958	-1.9%	6.723	1.5%
	下限荷重	2.58	5.25					
DLT-CC150-D-1	上限荷重	8.743	20.50	5.994	6.000	-0.1%	6.136	-2.3%
	下限荷重	2.223	5.25					
DLT-CC150-D-2	上限荷重	10.494	25.30	5.829	5.855	-0.5%	5.982	-2.6%
	下限荷重	2.657	6.45					

試験結果

- ① DLT せい 105mm, ビス 1 列配置した各試験体の荷重－変位関係、および支点位置でのコンクリートと木の相対変位を図 3.4.5～図 3.4.10 に示す。

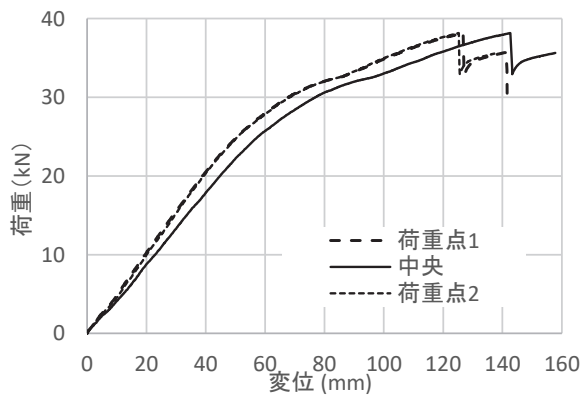


図 3.4 - 5 DLT-CC 105-A1 荷重-変位曲線

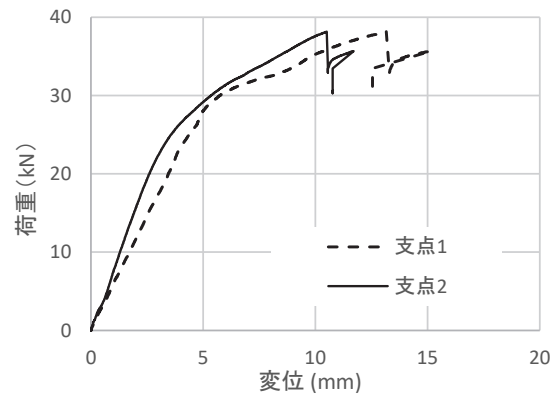


図 3.4 - 6 DLT-CC 105-A1
荷重-コンクリートと木の相対変位

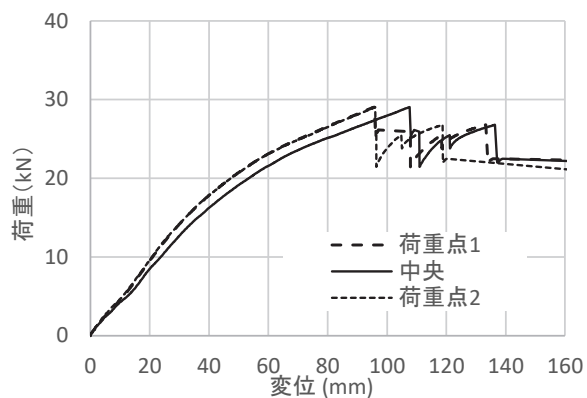


図 3.4 - 7 DLT-CC 105-B1 荷重-変位曲線

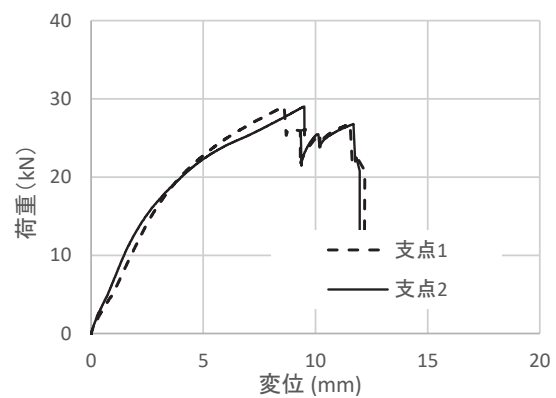


図 3.4 - 8 DLT-CC 105-B1
荷重-コンクリートと木の相対変位

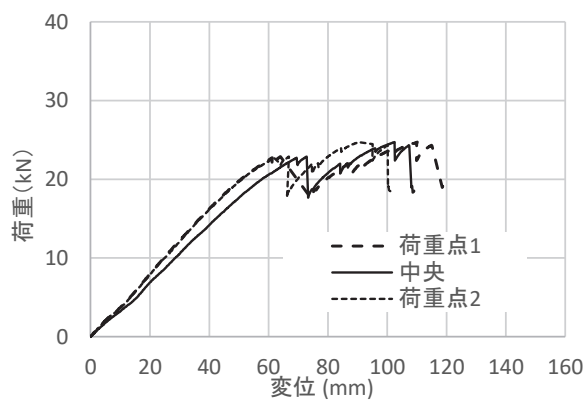


図 3.4 - 9 DLT-CC 105-C2 荷重-変位曲線

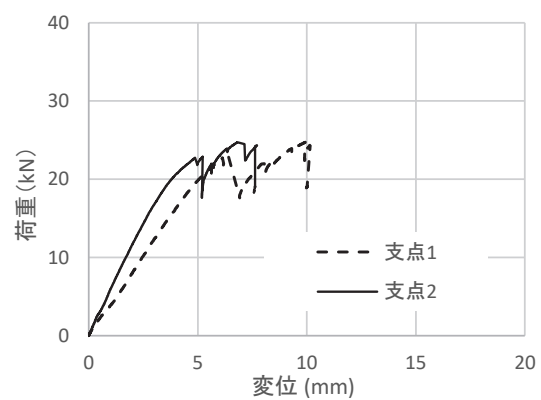


図 3.4 - 10 DLT-CC 105-C2
荷重-コンクリートと木の相対変位

- ② DLT せい 105mm, ビス 2 列配置した各試験体の荷重－変位関係、および支点位置でのコンクリートと木の相対変位を図 3.4 - 11～図 3.4 - 16 に示す。

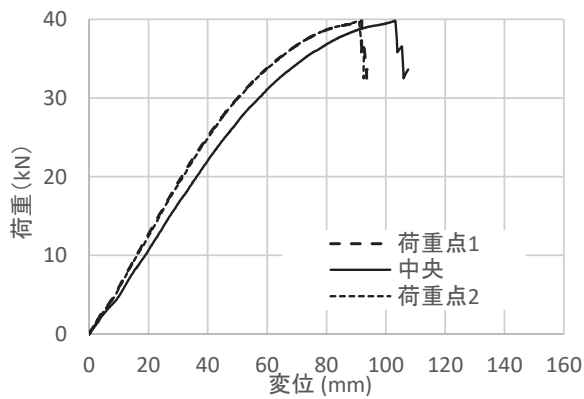


図 3.4 - 11 DLT-CC 105-A2 荷重-変位曲線

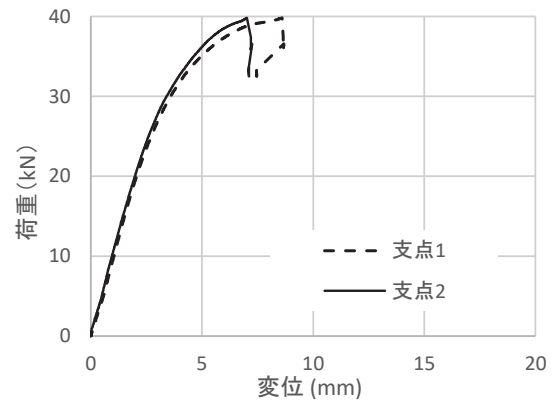


図 3.4 - 12 DLT-CC 105-A2
荷重-コンクリートと木の相対変位

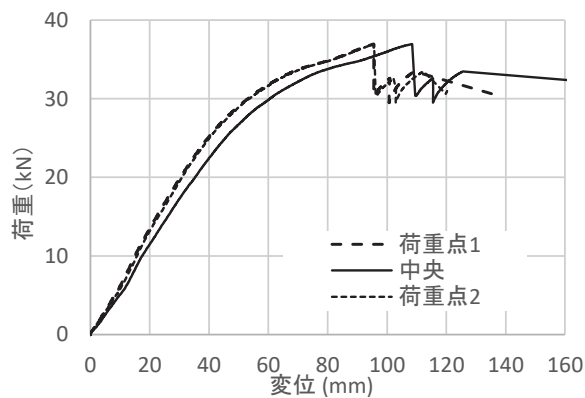


図 3.4 - 13 DLT-CC 105-B2 荷重-変位曲線

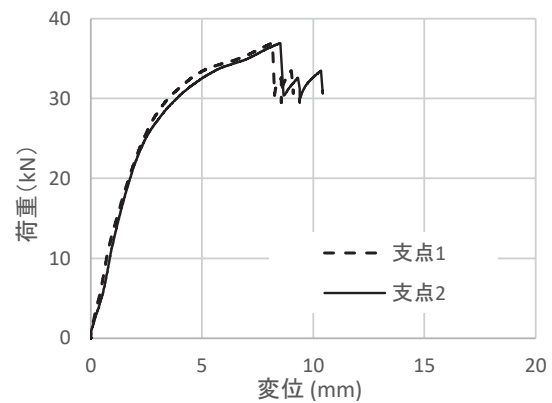


図 3.4 - 14 DLT-CC 105-B2
荷重-コンクリートと木の相対変位

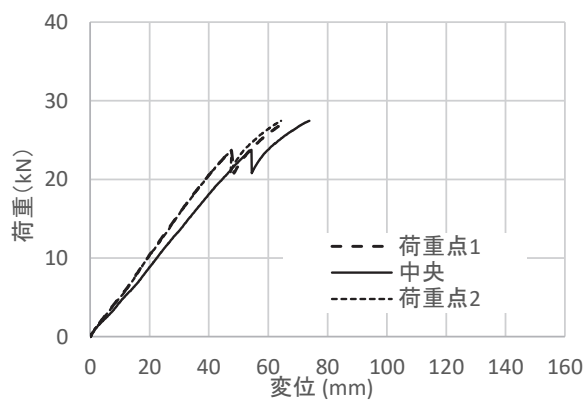


図 3.4 - 15 DLT-CC 105-D1 荷重-変位曲線

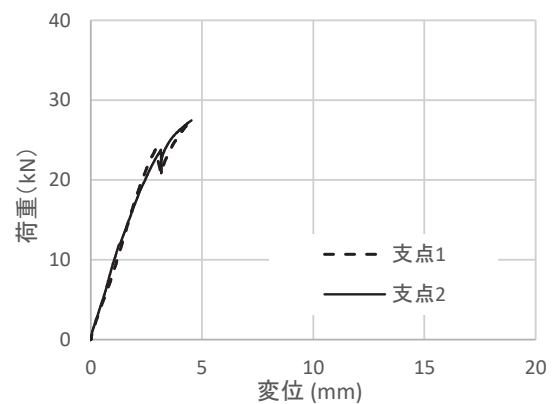


図 3.4 - 16 DLT-CC 105-D1
荷重-コンクリートと木の相対変位

- ③ DLT せい 150mm, ビス 1 列配置した各試験体の荷重－変位関係、および支点位置でのコンクリートと木の相対変位を図 3.4 - 17～図 3.4 - 20 に示す。

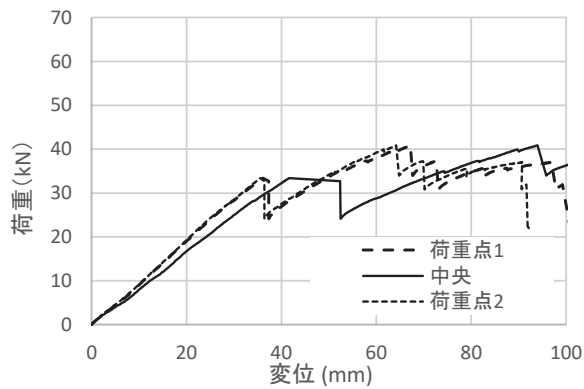


図 3.4 - 17 DLT-CC 150-B1 荷重-変位曲線

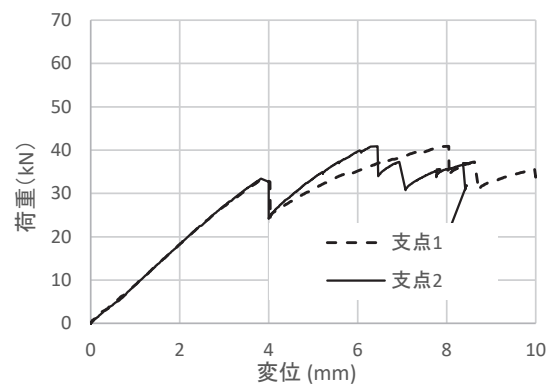


図 3.4 - 18 DLT-CC 150-B1
荷重-コンクリートと木の相対変位

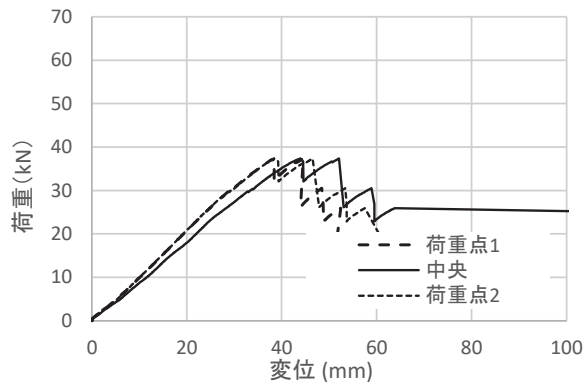


図 3.4 - 19 DLT-CC 150-D2 荷重-変位曲線

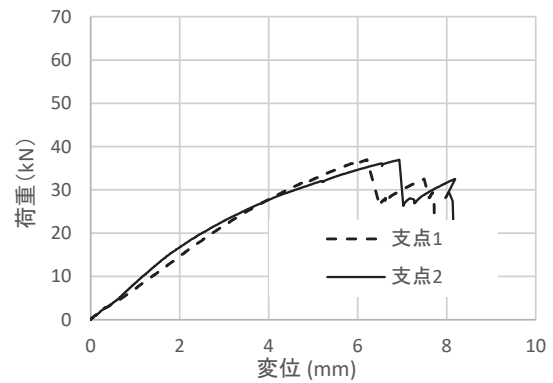


図 3.4 - 20 DLT-CC 150-D2
荷重-コンクリートと木の相対変位

- ④ DLT せい 150mm, ビス 2 列配置した各試験体の荷重－変位関係、および支点位置でのコンクリートと木の相対変位を図 3.4 - 21～図 3.4 - 28 に示す。

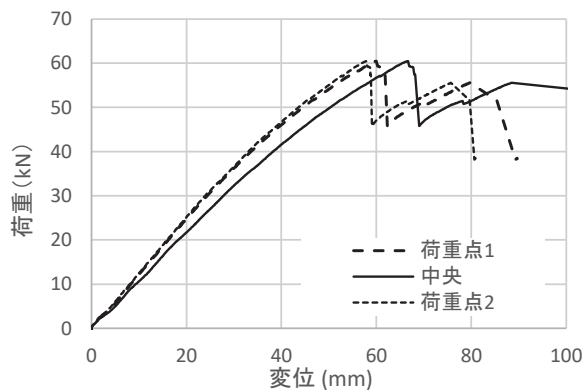


図 3.4 - 21 DLT-CC 150-A2 荷重-変位曲線

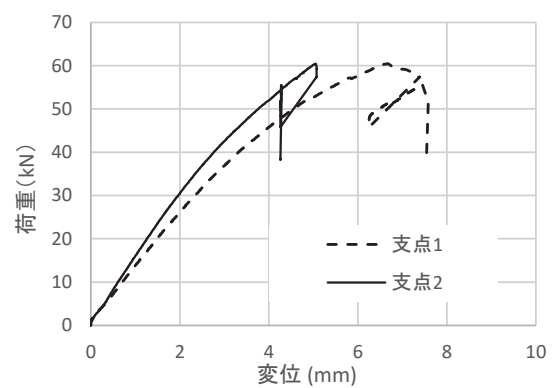


図 3.4 - 22 DLT-CC 150-A2
荷重-コンクリートと木の相対変位

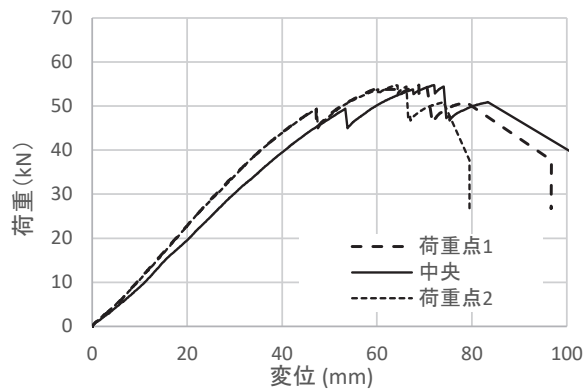


図 3.4 - 23 DLT-CC 150-B2 荷重-変位曲線

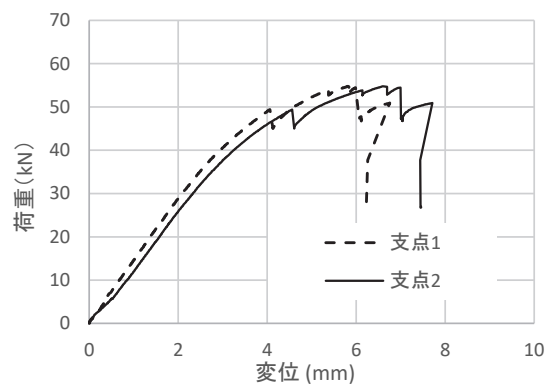


図 3.4 - 24 DLT-CC 150-B2
荷重-コンクリートと木の相対変位

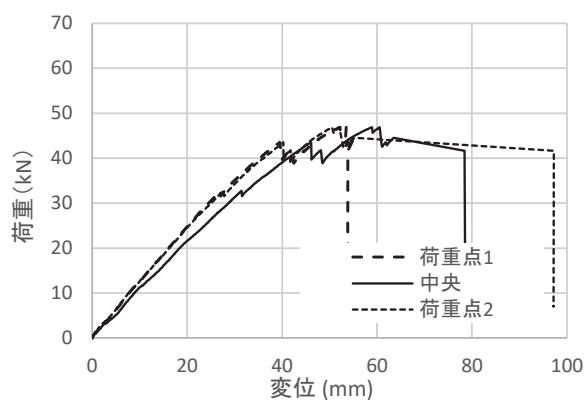


図 3.4 - 25 DLT-CC 150-C1 荷重-変位曲線

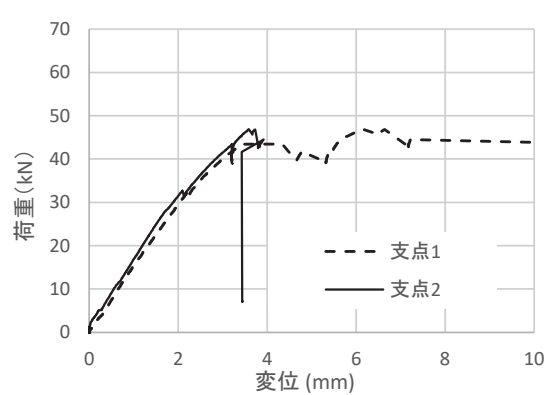


図 3.4 - 26 DLT-CC 150-C1
荷重-コンクリートと木の相対変位

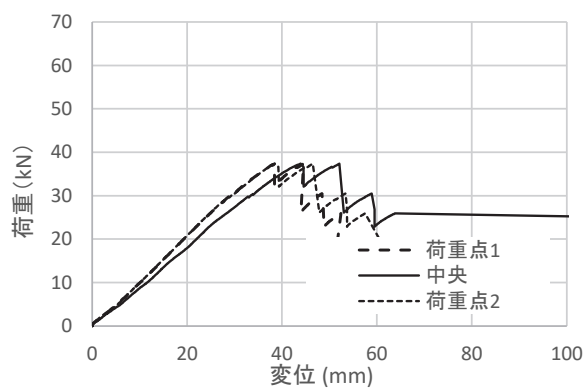


図 3.4 - 27 DLT-CC 150-D1 荷重-変位曲線

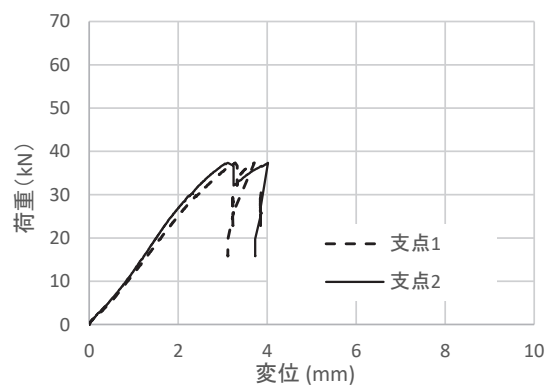


図 3.4 - 28 DLT-CC 150-D1
荷重-コンクリートと木の相対変位

3.4.5 荷重-変位のまとめ

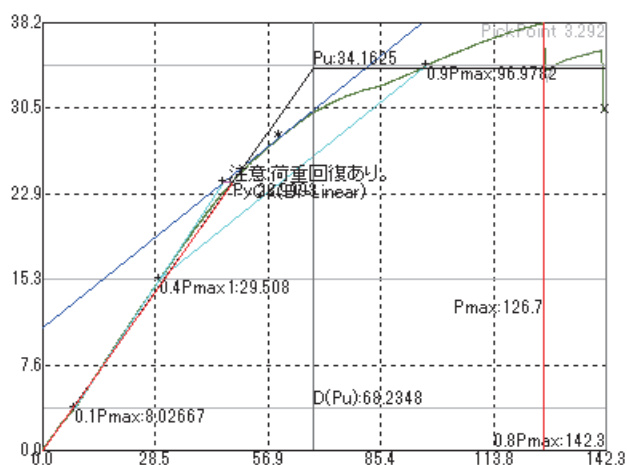


図 3.4 - 29 DLT-CC 105 A-1 荷重-変位曲線

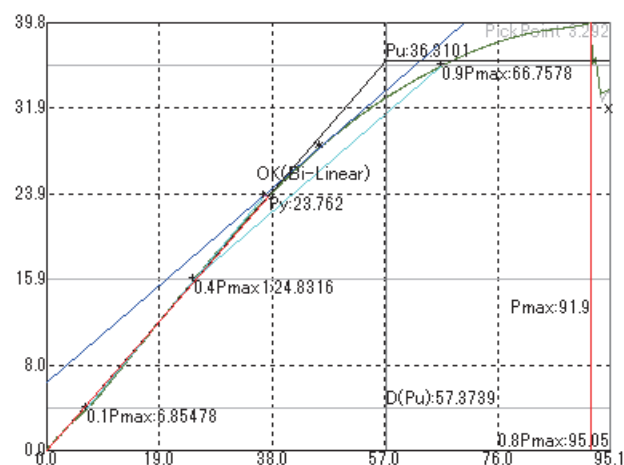


図 3.4 - 30 DLT-CC 105 A-2 荷重-変位曲線

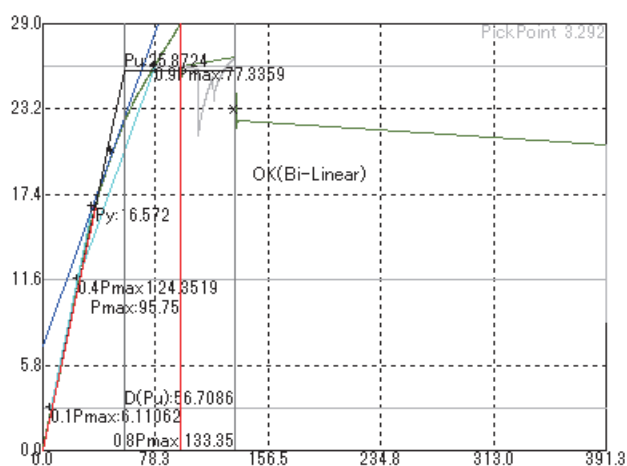


図 3.4 - 31 DLT-CC 105 B-1 荷重-変位曲線

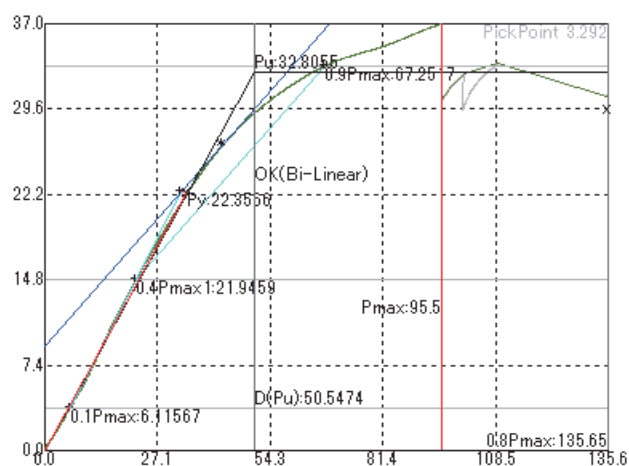


図 3.4 - 32 DLT-CC 105 B-2 荷重-変位曲線

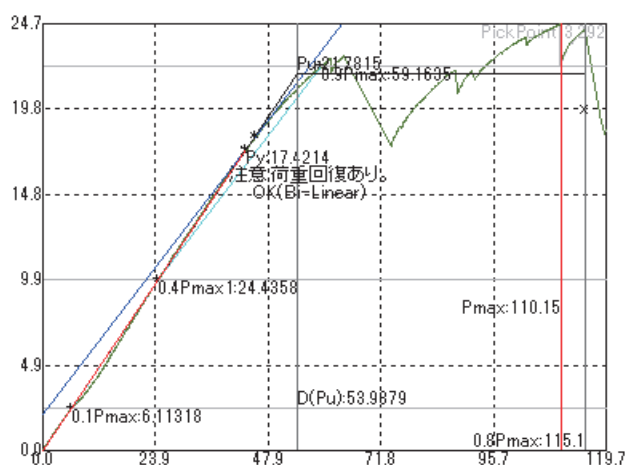


図 3.4 - 33 DLT-CC 105 C-2 荷重-変位曲線

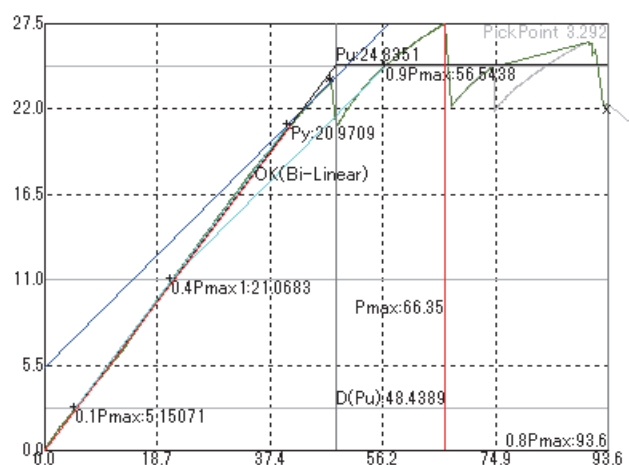


図 3.4 - 34 DLT-CC 105 D-1 荷重-変位曲線

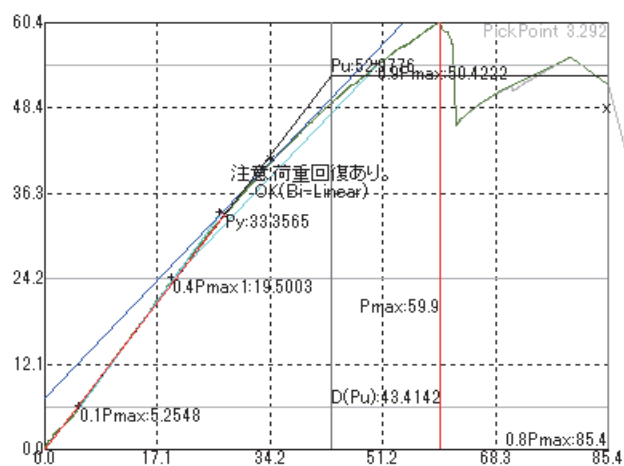


図 3.4 - 35 DLT-CC 150 A-2 荷重-変位曲線

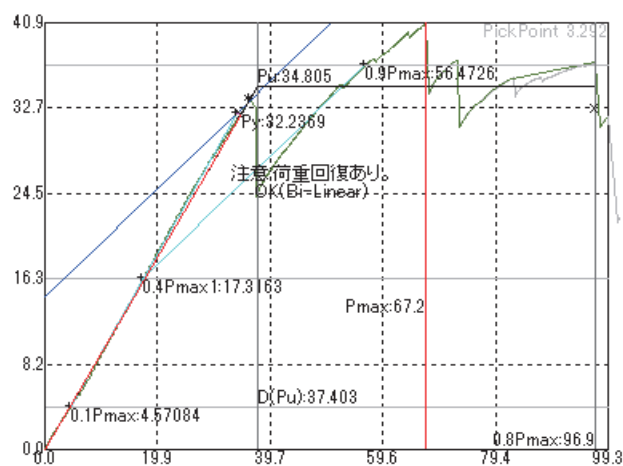


図 3.4 - 36 DLT-CC 150 B-1 荷重-変位曲線

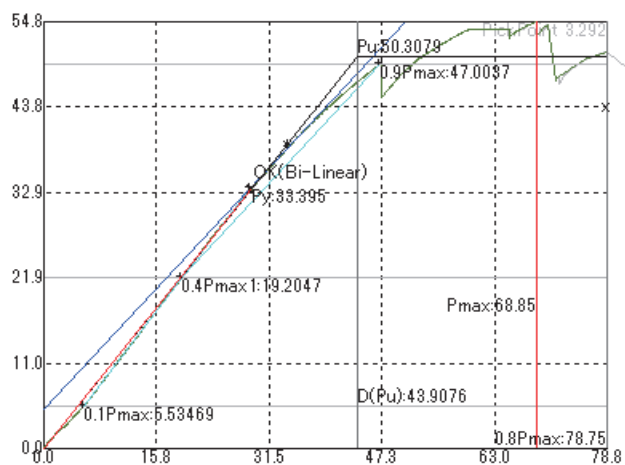


図 3.4 - 37 DLT-CC 150 B-2 荷重-変位曲線

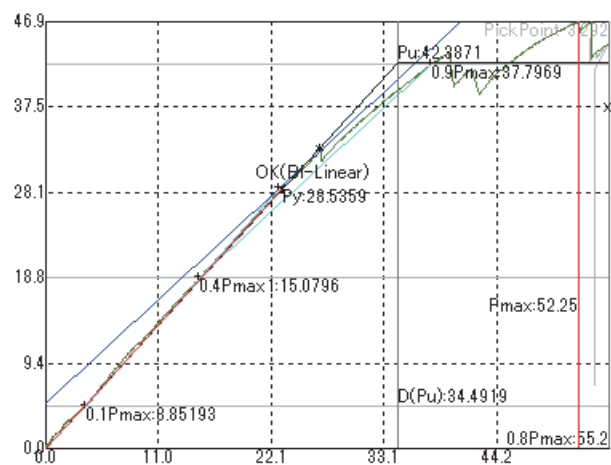


図 3.4 - 38 DLT-CC 150 C-1 荷重-変位曲線

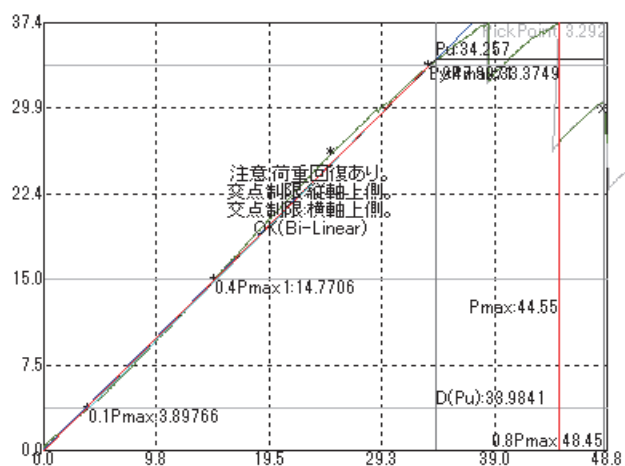


図 3.4 - 39 DLT-CC 150 D-1 荷重-変位曲線

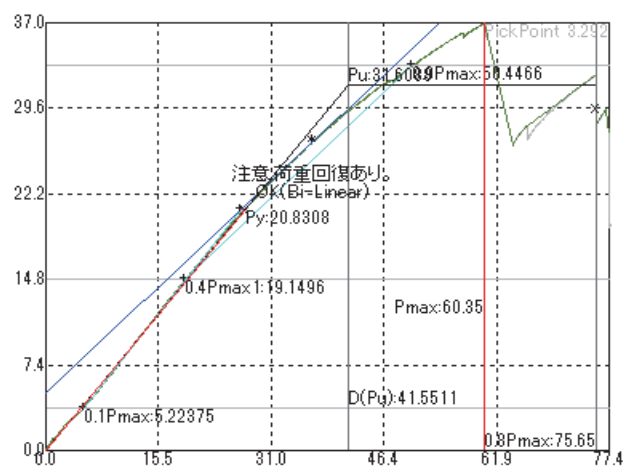


図 3.4 - 40 DLT-CC 150 D-2 荷重-変位曲線

- ① DLT せい 105mm, ビス 1 列配置した各試験体の荷重－ひずみ関係を図 3.4 - 41～図 3.4 - 43 に示す。

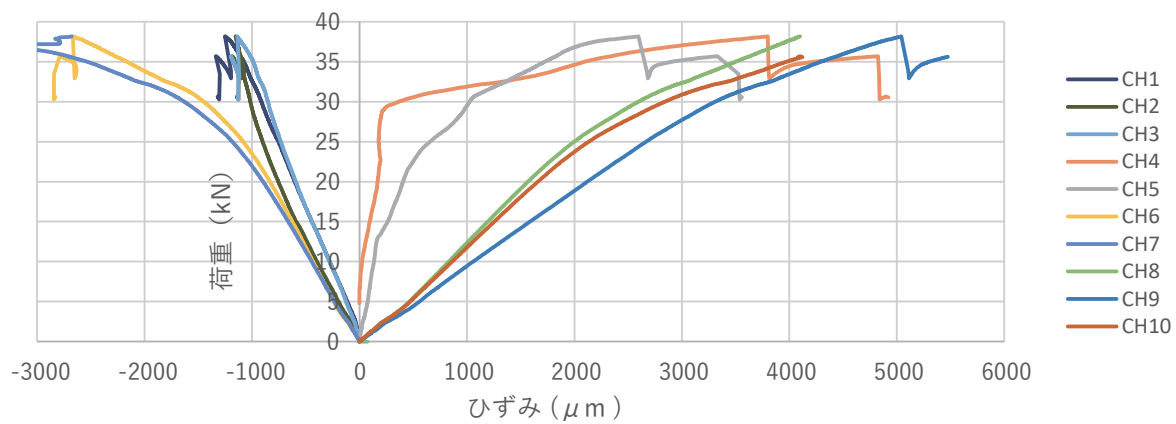


図 3.4 - 41 DLT-CC 105-A1 荷重-ひずみ関係

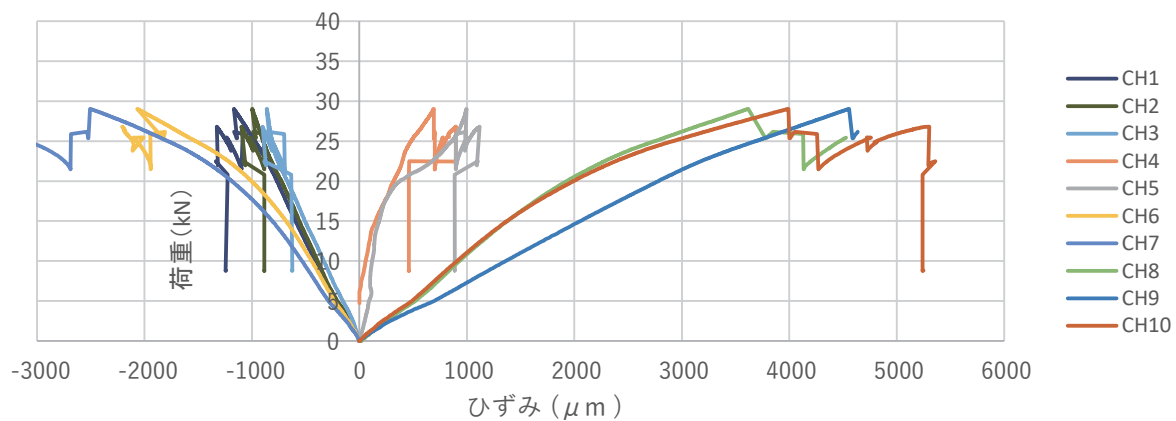


図 3.4 - 42 DLT-CC 105-B1 荷重-ひずみ関係

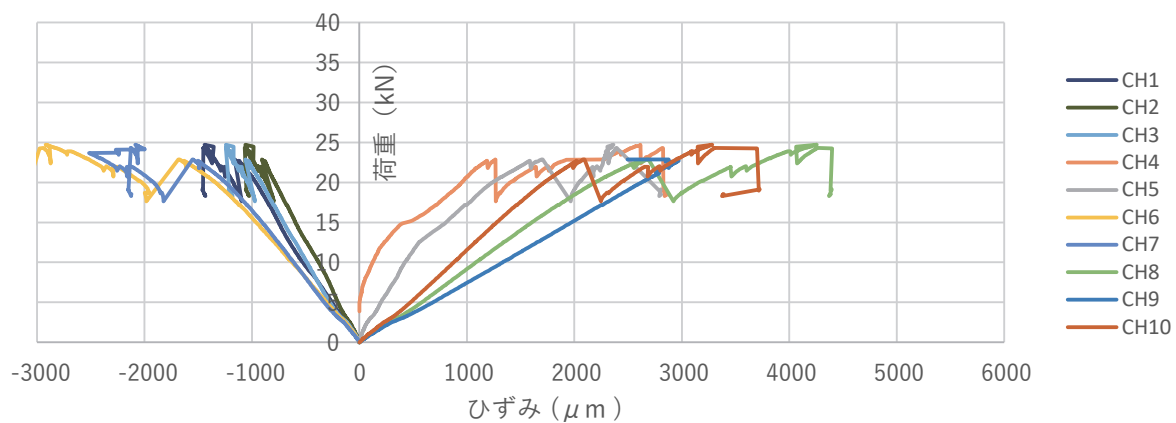


図 3.4 - 43 DLT-CC 105-C2 荷重-ひずみ関係

- ② DLT せい 105mm, ビス 2 列配置とした各試験体の荷重-ひずみ関係を図 3.4 - 44～図 3.4 - 46 に示す。

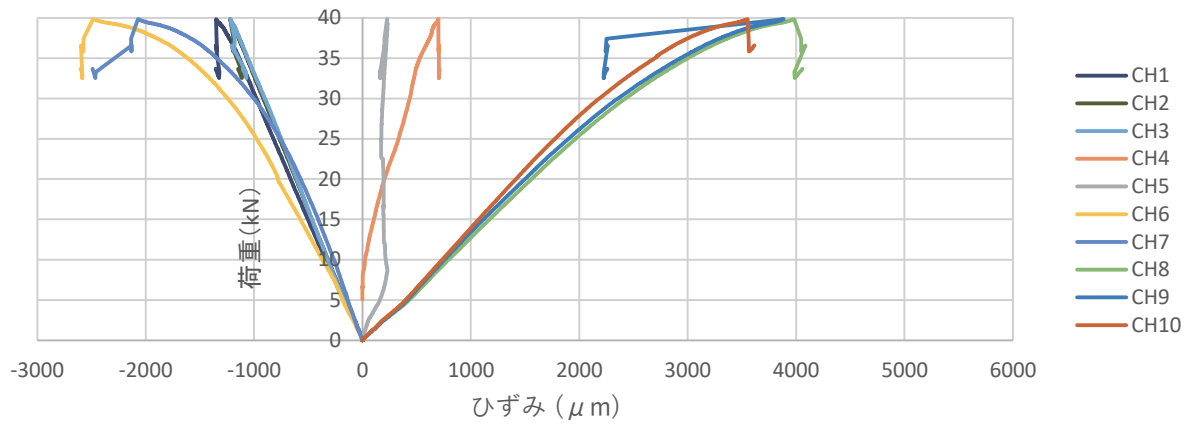


図 3.4 - 44 DLT-CC 105-A2 荷重-ひずみ関係

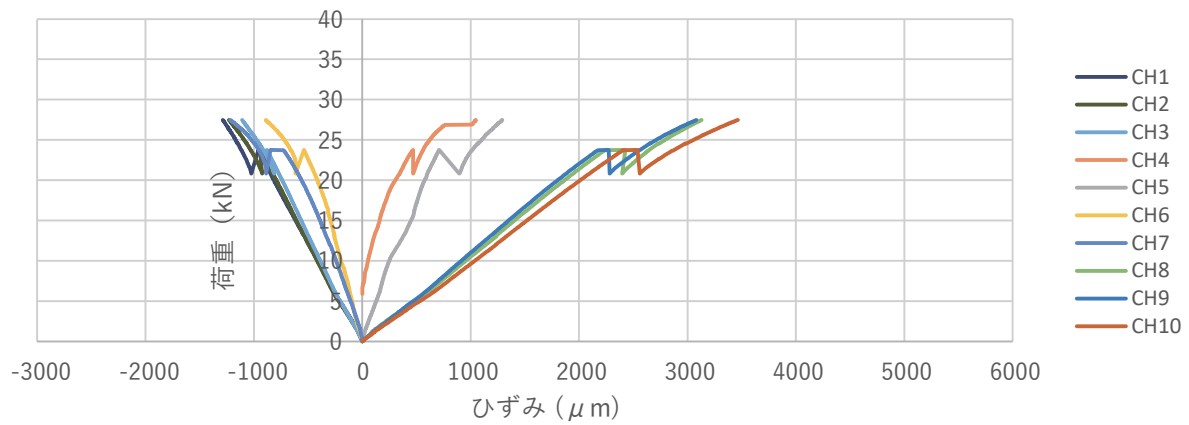


図 3.4 - 45 DLT-CC 105-B2 荷重-ひずみ関係

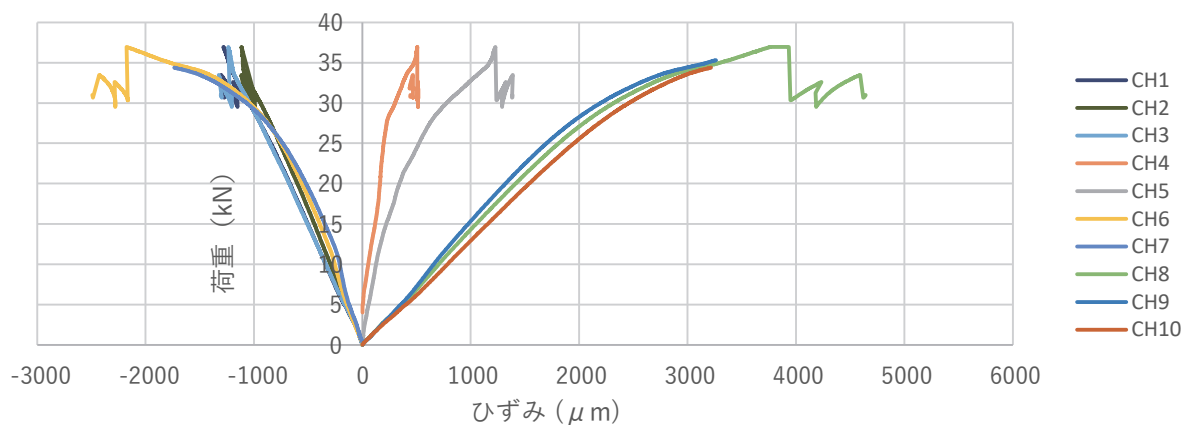


図 3.4 - 46 DLT-CC 105-D1 荷重-ひずみ関係

- ③ DLT せい 150mm, ビス 1 列配置した各試験体の荷重－ひずみ関係を図 3.4 - 47～図 3.4 - 48 に示す。

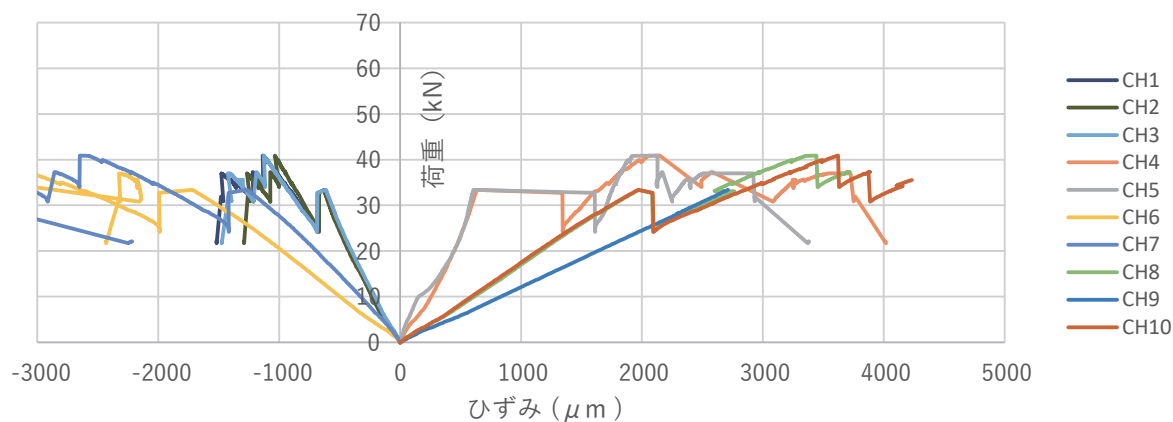


図 3.4 - 47 DLT-CC 150-B1 荷重-ひずみ関係

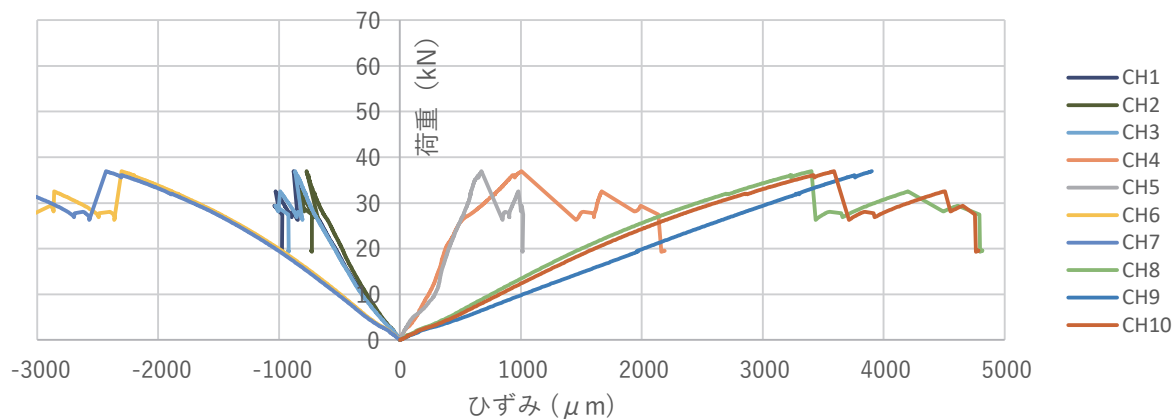


図 3.4 - 48 DLT-CC 150-D2 荷重-ひずみ関係

- ④ DLT せい 150mm, ビス 2 列配置とした各試験体の荷重－ひずみ関係を図 3.4 - 49～図 3.4 - 52 に示す。

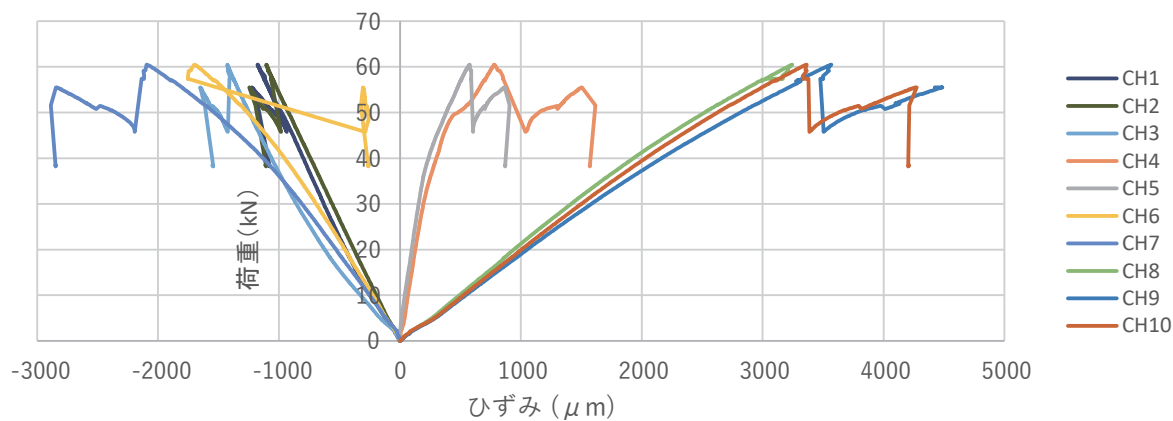


図 3.4 - 49 DLT-CC 150-A2 荷重-ひずみ関係

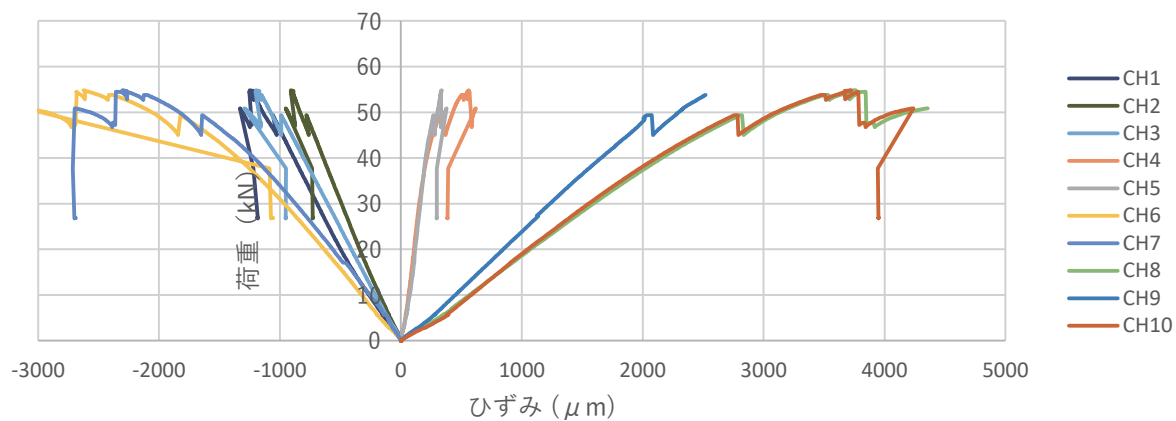


図 3.4 - 50 DLT-CC 150-B2 荷重-ひずみ関係

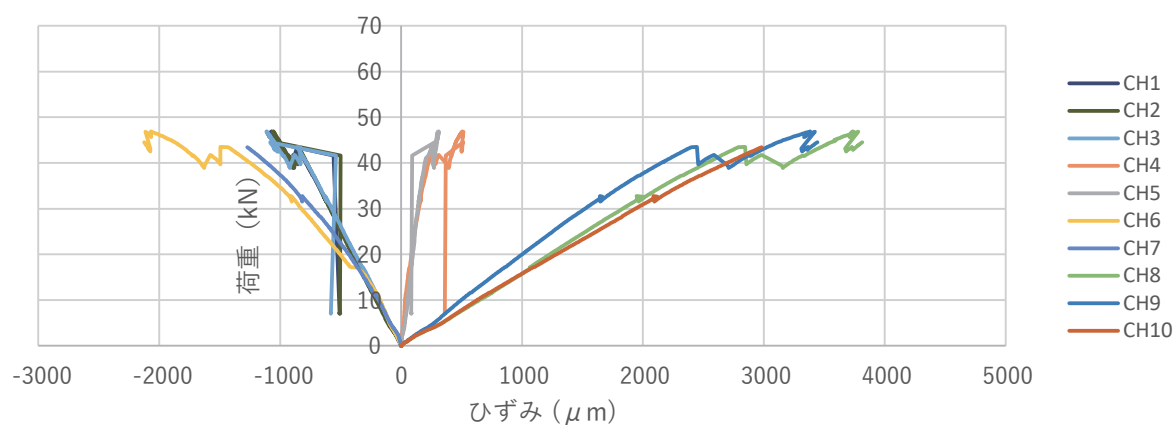


図 3.4 - 51 DLT-CC 150-C1 荷重-ひずみ関係

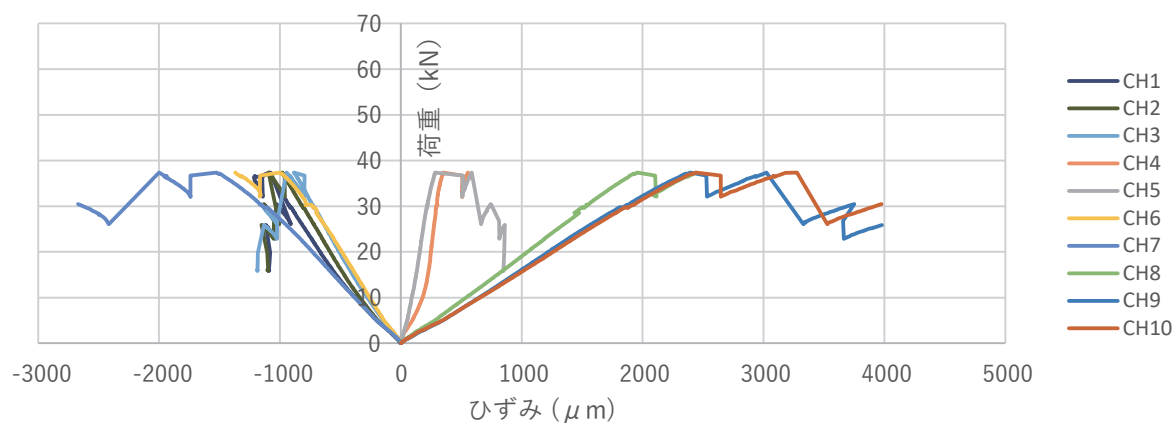


図 3.4 - 52 DLT-CC 150-D1 荷重-ひずみ関係

<DLT-CC の最大荷重>

DLT-CC 各試験体の最大荷重 P_{max} を表 3.4-8 に示す。コンクリートとの合成効果を確認するため、ウェブ材の曲げ耐力から推定した最大荷重 P_{max2} と比較する。

$$P_{max2} = 2 \times \frac{3M_u}{l} = \frac{6F_b Z}{l}$$

ここで、

- M_u : ウェブの曲げ耐力 (kN・m)
 F_b : スギの基準強度 (mm)
 ※無等級材の基準強度 22.2N/mm²を用いた計算値と比較する
 l : 梁のスパン
 Z : ウェブの断面係数 (=BD²/6) B=210mm, D=105 or150mm

P_{max} と P_{max2} を比較すると、ウェブせい 105mm の試験体で P_{max}/P_{max2} が 1.73～2.67 倍、ウェブせい 150mm の試験体で 1.28～2.07 倍である。ウェブせい 105mm の場合に荷重向上効果が大きい。

1 列打ちと 2 列打ちで比較すると、ウェブせい 105mm の試験体のうちウェブの平均ヤング係数が近い B-1 と B-2 では、 P_{max}/P_{max2} が 2.03 に対して 2.59 となっており、2 列打ちにより耐力が向上している。せい 150mm の試験体も同様に、B-1 と B-2 で比較すると、 P_{max}/P_{max2} が 1.27 に対して 1.61 となっており、同様に 2 列打ちによって荷重が上昇する効果が確認できる。

表 3.4 - 8 DLT-CC 試験体の最大荷重

試験体	ウェブ せい (mm)	ビス 列数	ウェブの平均 ヤング係数 (N/mm ²)	P_{max} (kN)	最大荷重時変位 (mm)					P_{max2} (kN)	P_{max}/P_{max2}
					荷重点 1	中央	荷重点 2	コンクリート・木変位差	コンクリート・木変位差		
DLT-CC 105 A-1	105	1	10,002	38.17	126.7	142.7	125.3	13.16	10.51	14.3	2.67
DLT-CC 105 B-1			8,795	29.03	95.75	107.6	96.05	8.61	9.5		2.03
DLT-CC 105 C-2			7,427	24.71	102.5	104.5	90.1	9.93	6.81		1.73
DLT-CC 105 A-2		2	10,000	39.84	91.9	103.25	90.95	8.61	7.02		2.79
DLT-CC 105 B-2			8,518	36.96	95.5	108.5	95.65	8.17	8.53		2.58
DLT-CC 105 D-1			6,314	27.46	66.35	73.9	64.3	4.51	4.53		1.92
DLT-CC 150 B-1	150	1	7,524	40.86	67.2	93.95	64.2	8.05	6.45	29.1	1.4
DLT-CC 150 D-2			5,855	36.95	60.35	68.1	60.25	6.21	6.94		1.27
DLT-CC 150 A-2		2	8,571	60.44	59.9	66.6	57.85	6.66	5.05		2.08
DLT-CC 150 B-2			7,540	54.79	68.85	72	63.95	5.82	6.61		1.88
DLT-CC 150 C-1			6,990	46.89	63.2	58.95	59.85	6.5	4.93		1.61
DLT-CC 150 D-1			6,000	37.38	44.55	52.1	46.5	3.71	4.02		1.28

<最大荷重時の変位>

DLT-CC 各試験体の最大荷重時の変位を表 3.4-9 に示す。ウェブせい 105mm の試験体では、中央変位がおよそ 100mm に達すると荷重低下し、ウェブせい 150mm の試験体では 50～71mm に達すると荷重低下した。

表 3.4 - 9 DLT-CC 試験体 最大荷重時の変位

試験体	$P_{\max}$ (kN)	中央変位 (mm)	荷重点変位 (mm)	荷重点変位 (mm)	コンクリート・木 変位差 (mm)	コンクリート・木 変位差 (mm)
DLT-CC 105 A-1	38.17	142.7	126.7	125.3	13.16	10.51
DLT-CC 105 B-1	29.03	107.6	95.75	96.05	8.61	9.5
DLT-CC 105 C-2	24.71	104.5	102.5	90.1	9.93	6.81
DLT-CC 105 A-2	39.84	103.25	91.9	90.95	8.61	7.02
DLT-CC 105 B-2	36.96	108.5	95.5	95.65	8.17	8.53
DLT-CC 105 D-1	27.46	73.9	66.35	64.3	4.51	4.53
DLT-CC 150 B-1	40.86	93.95	67.2	64.2	8.05	6.45
DLT-CC 150 D-2	36.95	68.1	60.35	60.25	6.21	6.94
DLT-CC 150 A-2	60.44	66.6	59.9	57.85	6.66	5.05
DLT-CC 150 B-2	54.79	72	68.85	63.95	5.82	6.61
DLT-CC 150 C-1	46.89	58.95	63.2	59.85	6.5	4.93
DLT-CC 150 D-1	37.38	52.1	44.55	46.5	3.71	4.02

<最大荷重時のひずみ>

DLT-CC 各試験体の最大荷重時のひずみを表 3.4-10, 表 3.4-11 に示す。

表 3.4 - 10 試験結果一覧（荷重—ひずみ量）（1）

	$P_{\max}$ (kN)	コンクリートのひずみ量 (μm)				
		ひずみ計1	ひずみ計2	ひずみ計3	ひずみ計4	ひずみ計5
DLT-CC 105A-1	38.17	-1250.7	-1151.2	-1136.2	4922.1	2596.2
DLT-CC 105A-2	39.84	-1351.2	-1222.5	-1219.7	761.5	226.3
DLT-CC 105B-1	29.03	-1168.1	-998.1	-861.0	814.1	996.2
DLT-CC 105B-2	36.96	-1280.8	-1112.7	-1236.6	518.3	1228.2
DLT-CC 105C-2	24.71	-1441.3	-1061.0	-1243.2	3116.4	2363.4
DLT-CC 105D-1	27.46	-1286.4	-1230.1	-1109.9	1182.2	1292.0
DLT-CC 150A-2	60.44	-1177.5	-1105.2	-1428.2	781.2	575.6
DLT-CC 150B-1	40.86	-1137.1	-1035.7	-1125.8	2146.5	2128.6
DLT-CC 150B-2	54.79	-1251.6	-909.9	-1199.1	561.5	337.1
DLT-CC 150C-1	46.89	-1070.4	-1056.3	-1110.8	504.2	310.8
DLT-CC 150D-1	37.38	-1076.1	-1094.8	-944.6	554.9	585.0
DLT-CC 150D-2	36.95	-879.8	-771.8	-867.6	1004.7	675.1

表 3.4 - 11 試験結果一覧（荷重—ひずみ量）（2）

	$P_{\max}$ (kN)	木材のひずみ量 (μm)				
		ひずみ計6	ひずみ計7	ひずみ計8	ひずみ計9	ひずみ計10
DLT-CC 105A-1	38.17	-2665.7	-2677.0	4098.6	5041.3	483.6
DLT-CC 105A-2	39.84	-2486.4	-2073.2	3982.2	3884.5	3554.0
DLT-CC 105B-1	29.03	-2068.5	-2507.0	3618.8	4555.9	3991.6
DLT-CC 105B-2	36.96	-2173.7	-2449.8	3932.4	3752.1	3949.3
DLT-CC 105C-2	24.71	-2918.3	-2085.5	4257.3	-189.7	3282.6
DLT-CC 105D-1	27.46	-891.1	-1219.7	3129.6	3082.6	3463.9
DLT-CC 150A-2	60.44	-1696.7	-2092.0	3245.1	3566.2	3361.5
DLT-CC 150B-1	40.86	-3668.5	-2649.8	3443.2	-203.8	3623.5
DLT-CC 150B-2	54.79	-2624.4	-2304.2	3761.5	-711.7	3725.8
DLT-CC 150C-1	46.89	-2069.5	-123.9	3737.1	3383.1	2911.1
DLT-CC 150D-1	37.38	-1370.0	-1998.1	2438.5	3025.4	3276.1
DLT-CC 150D-2	36.95	-2300.5	-2430.1	3401.9	3903.3	3588.7

<DLT-CC の剛性>

DLT-CC 各試験体の剛性を表 3.4-11 に示す。コンクリートとの合成効果を確認するため、ウェブ材の曲げ剛性 $(EI)_1$ と実験値 $(EI)_2$, $(EI)_3$ を比較した。

$$\Delta P = 0.4 \cdot P_{max} - 0.1 \cdot P_{max}$$

$$\delta(P) = \delta_c(P) - \frac{\delta_1(P) + \delta_2(P)}{2}$$

$$(EI)_1 = E_{スギ} \frac{BD^3}{12}$$

$$(EI)_2 = \frac{23}{1296} \frac{\Delta P}{\delta_c(0.4P_{max}) - \delta_c(0.1P_{max})}$$

$$(EI)_3 = \left(\frac{23}{1296} - \frac{5}{324} \right) \frac{\Delta P}{\delta(0.4P_{max}) - \delta(0.1P_{max})}$$

ここで、

P_{max} : 最大荷重 (kN)

δ_c : スパン中央の鉛直変位 (mm)

δ_1, δ_2 : 荷重位置での鉛直変位 (mm)

$\delta(P)$: スパン中央と荷重位置での鉛直方向相対変位 (mm)

$(EI)_1$: ウェブの曲げ剛性 (mm) $B = 210\text{mm}$, $D = 105 \text{ or } 150\text{mm}$

$E_{スギ}$: ウェブのヤング係数 (N/mm^2) ※曲げ試験で得られた値の平均値

$(EI)_2$: スパン中央の鉛直変位から求めた DLT-CC の曲げ剛性(N/mm^2)

$(EI)_3$: スパン中央と荷重位置での鉛直方向相対変位から求めた DLT-CC の曲げ剛性 (N/mm^2) ※せん断変形を含まない値

表 3.4 - 12 DLT-CC の剛性評価

試験体	ウェブ せい (mm)	ビス 列数	ウェブの平均ヤング係数 $E_{スギ}$ (N/mm^2)	0.1Pmax (kN)	0.4Pmax (kN)	0.1Pmax時鉛直変位 (mm)			0.4Pmax時鉛直変位 (mm)			ウェブの 曲げ剛性 $(EI)_1$ ($\times 10^{-11}$ N/mm^2)	TCCの 曲げ剛性 $(EI)_2$ ($\times 10^{-11}$ N/mm^2)	TCCの 曲げ剛性 $(EI)_3$ ($\times 10^{-11}$ N/mm^2)	$\frac{(EI)_3}{(EI)_1}$
						荷重点1	中央	荷重点2	荷重点1	中央	荷重点2				
TCC 105 A-1	105	1	10002	3.82	15.3	8.00	9.25	8.35	29.5	34.1	30.0	2.03	3.69	3.81	1.88
TCC 105 B-1			8795	2.90	11.6	6.10	6.55	5.60	24.4	27.5	24.0	1.78	3.30	3.62	2.03
TCC 105 C-2			7427	2.47	9.88	6.10	7.25	6.10	24.4	28.2	24.7	1.50	2.78	3.17	2.11
TCC 105 A-2		2	10000	3.98	15.9	6.85	8.30	7.05	24.8	28.8	25.1	2.03	4.55	5.06	2.50
TCC 105 B-2			8518	3.70	14.8	6.05	7.20	6.35	21.9	25.7	22.5	1.73	4.76	4.89	2.83
TCC 105 D-1			6314	2.75	11.0	5.10	6.15	5.20	21.0	24.3	21.2	1.28	3.57	4.04	3.16
TCC 150 B-1	150	1	7524	4.09	16.3	4.45	4.95	4.25	17.3	19.5	17.1	4.44	6.66	7.56	1.70
TCC 150 D-2			5855	3.70	14.8	5.15	5.80	5.10	19.1	21.6	19.2	3.46	5.56	6.65	1.92
TCC 150 A-2		2	8571	6.04	24.2	5.25	5.85	4.95	19.5	22.3	19.2	5.06	8.65	8.80	1.74
TCC 150 B-2			7540	5.48	21.9	5.45	6.20	5.35	19.2	22.1	19.3	4.45	8.15	8.66	1.94
TCC 150 D-1			5855	3.74	15.0	3.85	4.25	3.80	14.8	16.5	14.7	3.46	7.31	8.81	2.55
TCC 150 C-1			6990	4.69	18.8	3.85	4.55	3.70	15.0	17.3	15.2	4.13	8.57	10.48	2.54

<試験結果の考察>

- 1) DLT-CC の曲げ試験では、加力が増加すると、まずウェブ材のうち下面側に節などの欠点を有する材で曲げ破壊が生じた。しかし、これによって荷重低下することではなく、木ダボによって他の材に荷重が伝達されることで荷重が回復し、さらに荷重が上昇した。その後、次の材と破壊が進行しても全体の荷重低下にはつながらず、変位が増加する粘り強い特性が確認された。
- 2) DLT-CC の曲げたわみが大きくなった時点で、フランジのコンクリート下端に曲げひび割れが生じると想定されたが、ウェブ材が曲げ破壊した時点でもコンクリート下端に目視可能なひび割れは確認されず、その後さらに変形が進行し、荷重点の位置に目視できるひび割れが確認された。いずれの試験体でも、コンクリートは木材の曲げ変形によく追随し、コンクリートが先行破壊することは確認されなかった。
- 3) DLT-CC の最大荷重と、ウェブ材の DLT の曲げ耐力から算出した最大荷重と比較すると、ウェブ材の平均ヤング係数がおよそ $8,500\text{N/mm}^2$ 、せい 105mm の試験体では、ビス 1 列配置で 2.03 倍、ビス 2 列配置で 2.59 倍となった。また、ウェブ材の平均ヤング係数がおよそ $7,500\text{N/mm}^2$ 、せい 150mm の試験体では、ビス 1 列配置で 1.27 倍、ビス 2 列配置で 1.61 倍となった。1 列打ちと 2 列打ちの比較から、コンクリートとウェブ材を一体にするせん断キーの性能を向上すると、一体効果が高まり耐力が上昇すると考えらえる。
- 4) DLT-CC の曲げ剛性と、ウェブ材の DLT のみの曲げ剛性と比較すると、ウェブ材の平均ヤング係数がおよそ $8,500\text{N/mm}^2$ 、せい 105mm の試験体では、ビス 1 列配置で 2.03 倍、ビス 2 列配置で 2.83 倍となった。また、ウェブ材の平均ヤング係数がおよそ $7,500\text{N/mm}^2$ 、せい 150mm の試験体では、ビス 1 列配置で 1.70 倍、ビス 2 列配置で 1.93 倍となった。コンクリートとウェブ材をせん断キーで一体化することで、剛性の向上が確認された。1 列打ちと 2 列打ちの比較から、せん断キーの選択、性能向上により、さらに剛性の向上が可能と考えらえる。
- 5) ひずみの計測結果から、木材のひずみがおよそ $3000\mu\text{m}$ に達した時点で、いずれかのウェブ材が破壊した。コンクリートについてはウェブ材が破壊した時点でも、目視でひび割れが確認されていない。荷重低下時点でも、木材が大きく破壊したのに対してコンクリートは荷重点直下のコンクリート下端で目視可能なひび割れが観察されたが、いずれの試験体でも破壊は確認されなかった。

木 - コンクリート複合材は、一般的な鉄筋コンクリート梁における鉄筋に代わり木材が引張りを負担する。木材の比重はコンクリートの約 $1/5$ 程度であることから、DLT-CC による複合スラブとすることで軽量化が図れ、水平剛性の確保が可能となり木造以外の S 造、RC 造での DLT の利用が見込める。

< 試験写真 >



写真 3.4 - 1 DLT-CC 曲げ破壊試験 全景



写真 3.4 - 2 DLT-CC 105 A1 加力後 破壊状況



写真 3.4 - 3 DLT-CC 105 A2 加力後 破壊状況



写真 3.4 - 4 DLT-CC 105 B1 加力後 破壊状況



写真 3.4 - 5 DLT-CC 150 B1 加力後 破壊状況



写真 3.4 - 6 DLT-CC 150 C1 加力後 破壊状況

3.5 DLT－コンクリート複合梁の長期性能の確認（クリープ試験）

3.5.1 試験概要

- ・ DLT および、DLT-CC、TCC の長期の曲げ性能を確認するため、梁のクリープ試験により長期の加力に対する DLT、TCC、DLT-CC の曲げ性能とコンクリート複合化の効果を確認する。

3.5.2 試験体仕様

DLT、DLT-CC、TCC は下記の記の 3 体を用意。

表 3.5 - 1 クリープ試験体の仕様

試験体	上フランジ断面	ウェブ断面	せん断キー	試験体数
DLT150 C-2	—	7-30×150	—	1 本
DLT-CC 150 A-1	コンクリート t50mm φ6mm@150 メッシュ	7-30×150	1-PX6×110@200	1 本
TCC210		105×210	1-PX8×110@200	1 本

DLT : 群馬県産 スギ KD JAS 甲種 2 級同等

TCC ウェブ材：オウシュウアカマツ集成材 異等級対称構成 E105F300

上フランジ材：現場打設コンクリート 配合仕様 24 - 18 - 20。割れ止め用 φ6mm # 150 入り

せん断キー : TCC パネリード PX8×110、DLT-CC パネリード PX6×110 斜め打ち

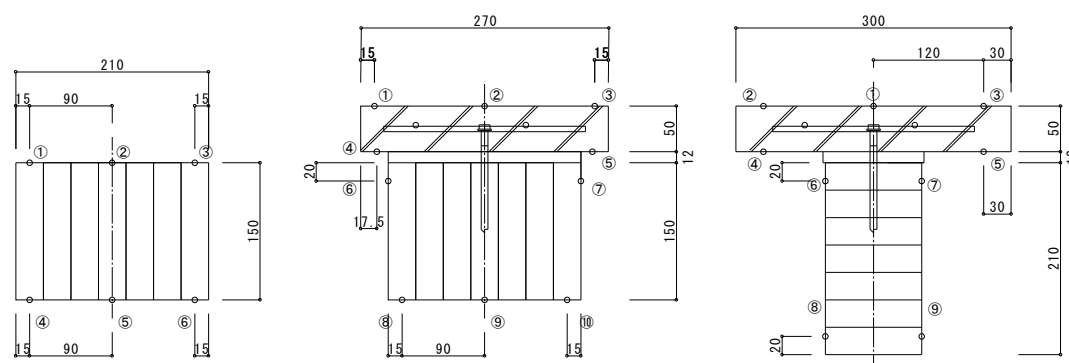


図 3.5 - 1 試験体断面、ひずみゲージ位置図

3.5.3 試験の実施概要

- a. 試験内容 実大梁のクリープ試験
- b. 試験実施日 2021 年 1月22日～ 継続中
- c. 試験場所 群馬県林業試験場
- d. 試験方法

クリープ試験によるたわみ量の計測

- ・ 試験体中央下部の変位計で中央たわみを測定するとともに、梁背方向の収縮や支点めりこみの影響を除去するため、2 カ所の支点変位も測定。
- ・ 評価対象としての全たわみは、支点収縮量の平均値を中央たわみから差し引いた値とした。

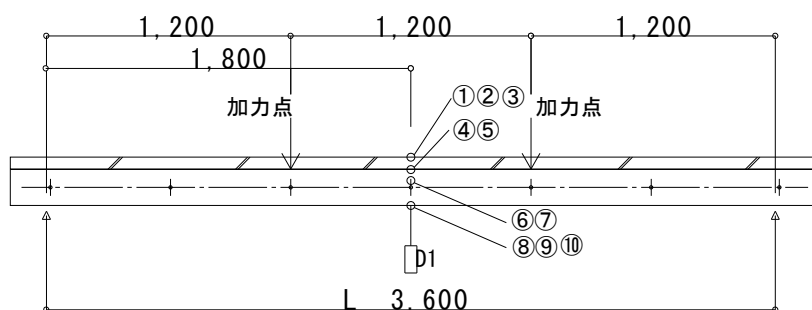


図 3.5 - 2 DLT150, DLT-CC 150 試験体図

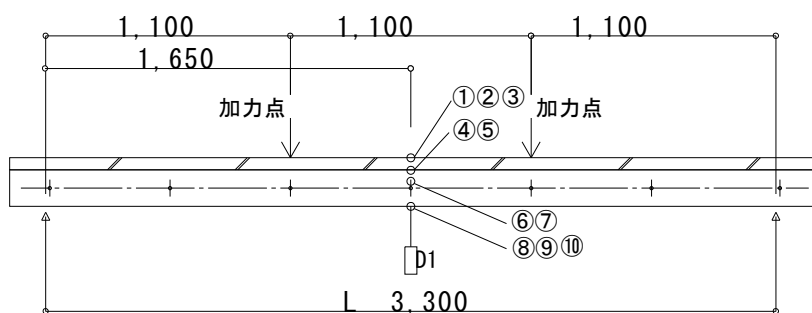


図 3.5 - 3 TCC 210 試験体図

表 3.5 - 2 クリープ試験条件および負荷荷重

試験体	材長 (mm)	B (mm)	H (mm)	スパン (mm)	加力点間 (mm)	想定曲げ強度 (N/mm ²)	負荷荷重 (kN)
DLT150 C-2	4,000	210	150	3,600	1,200	30.48	6
DLT-CC 150 A-1	4,000	210	150	3,600	1,200	45.71	6
TCC210	3,690	105	210	3,300	1,100	57.01	6

表 3.5 - 3 計測のインターバルの設定（最初の载荷からの）

インターバル	単位	回数	積算時間	期間
1	分	60	1	13 日
10	分	6	1	
60	分	71	71	
1440	分	10	240	
4320	分	無限回		終了まで

3.5.4 試験結果（途中経過）

クリープ試験 経過時間－たわみ量

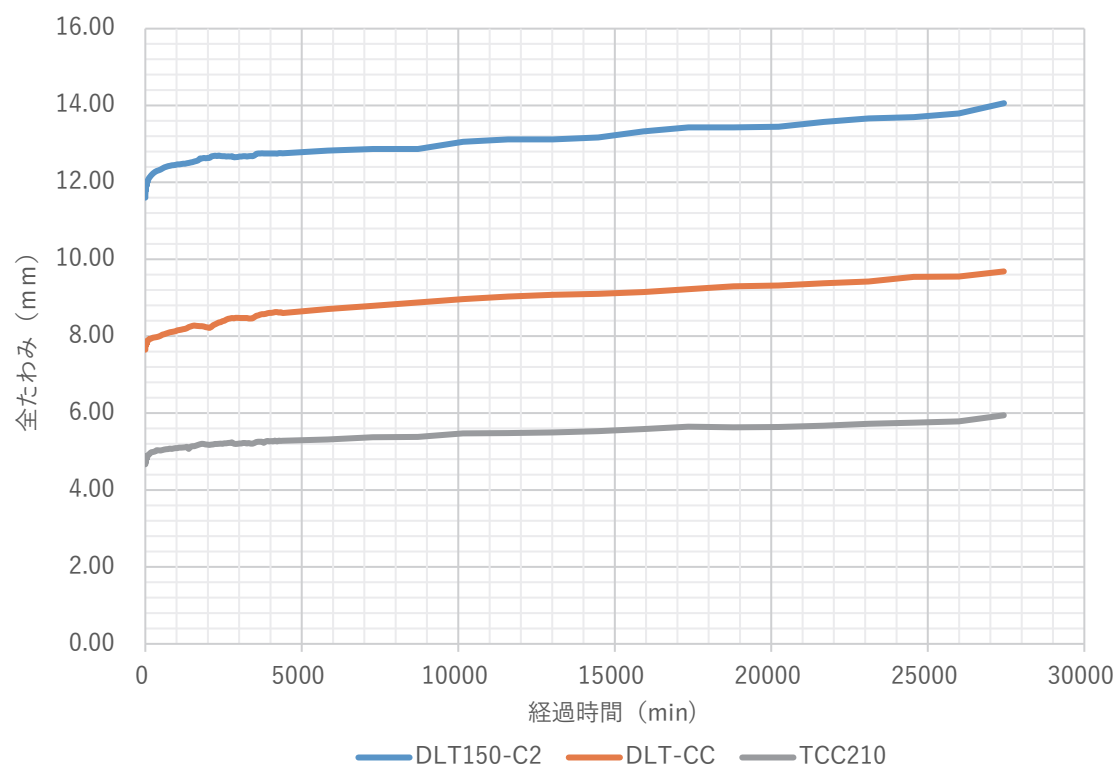


図 3.5 - 4 経過時間 - たわみ量

<試験写真>



写真 3.5 - 1 クリープ試験 試験体の設置状況



写真 3.5 - 2 クリープ試験 計測器設置状況

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KD材 乙種2級同等品

木ダボの品質：欧州ブナ $\phi 20.0\text{mm}$ 、たて溝付き、比重 0.65以上、 $M_c \leq 13\%$

木ダボ間隔：@200mm以下、端あき：140mm以上、木ダボ加工径： $\phi 19.5\text{mm}$

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 RH-40(40kN)、柱頭 PRH-40(40kN)、M12 $\times$ 110、NT、角座金

DLTの構成：積層材は105 $\times$ 210スギ平角材としDLTパネル幅を800mmに調整。木ダボは短ダボ（L60mm）を@200mmで配置

軸組との接合：特殊鋼製ドリフトピン（SNR400B $\phi 20$ L160）10本を使用

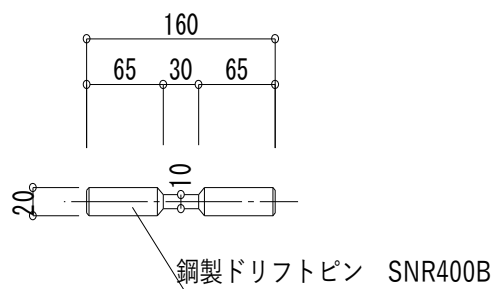


図4.1 - 2 特殊鋼製ドリフトピン姿図

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 2020 年 11月6日
- c. 試験場所 BX カネシン株式会社 試験場（東京都葛飾区）
- 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、1/50rad の正負変形時に行う。
- ② 繰り返し加力は、同ステップで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 1/15rad 以上に達するまで加力する。

4.1.4 試験結果

表 4.1 - 1 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)	
DLT2020-1	21.61	1/15	軸組とパネル接合部のせん断変形 パネル内部のスギ角材相互のせん断変形

表 4.1 - 2 最大荷重表

試験体記号	決定因子	$\gamma=1/120$ P (kN)	$2/3P_{\max}$ P (kN)	$2/3P_{\max}$ δ (rad)	$P_{\max}$ P (kN)
DLT2020-1	1/120	4.41	14.41	27.88	21.61

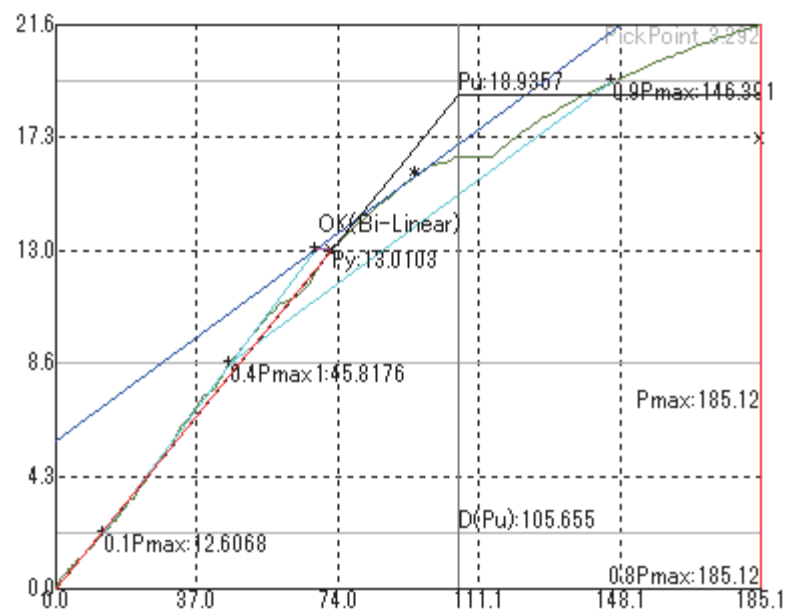


図 4.1 - 3 荷重 - 変形角曲線

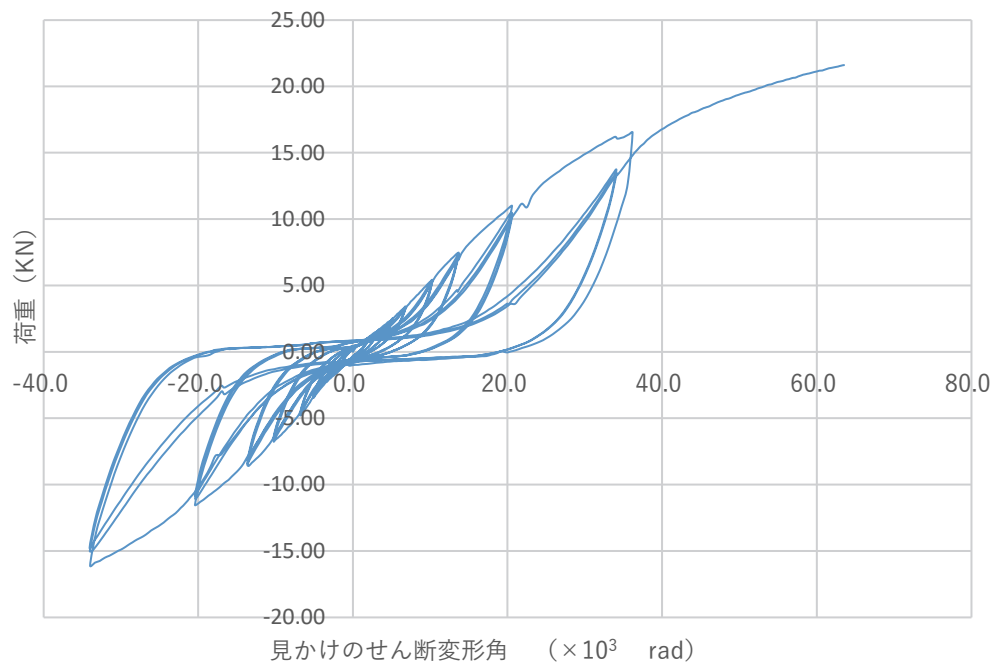


図 4.1 - 4 荷重-せん断変形角

< 試験写真 >



写真 4.1 - 1 面内せん断試験 加力前



写真 4.1 - 2 面内せん断試験 加力前

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、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 0.91m)

表 4.1 - 3 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	$0.2P_u/\sqrt{2\mu-1}$	$(2/3)P_{\max}$	$P(120)$		
13.01	5.99	8.67	3.88	3.88	2.18

※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。

表 4.1 - 4 試算した特性値

項目	特性値
試験体 No.	DLT2020-1
DLT パネル構成	4 - 105 × 200
壁長	0.91m
最大耐力 $P_{\max}$ (kN)	21.61
最大変形 $D(P_{\max})$ (mm)	185.12
最大耐力時変形角 (10^{-3}rad)	62.48
最大変形 $D(P_{\max})$ (mm)	185.12
最大耐力時変形角 (10^{-3}rad)	0.179
$D(0.8P_{\max})$: δ_u (mm)	18.93
初期剛性 K (kN/rad)	105.65
終局耐力 P_u (kN)	1.75
$D(P_u)$: δ_v (mm)	0.63

<試験結果の考察>

- ・ 本試験では、試験中の早期から DLT パネルの端部と軸材との間に隙間が生じていることが確認され、DLT パネルと軸組との接合でのせん断力の伝達が不十分であると推察された。試験後の試験体確認で軸材に特殊鋼製ダボのめりこみもわずかで、特殊鋼製ダボの変形もあまり確認されなかった。特殊鋼製ダボと加工孔径に 1 mm 程度のクリアランスを設けたため、特殊鋼製ダボが容易に動くことができたことが原因と推測される。
- ・ 本試験では特殊鋼製ダボの中央部を細く絞った形状としたため、DLT パネルと軸材との接合部のせん断面が密着していなかったために、DLT パネルと軸材との接合部でせん断面に作用すべき力が逃げた結果、試験の早期から軸材との隙間が確認され、DLT パネルと軸材へせん断力を伝達できなかった結果、せん断耐力が上がらなかったと言える。
- ・ DLT と軸組との接合には、穴径と木ダボ径のガタを木材のめり込みにより無くせる、木ダボ接合が好ましいといえる。

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KD材 乙種2級同等品

木ダボの品質：欧州ブナ ϕ 20.0mm、たて溝付き、比重 0.65以上、 $M_c \leq 13\%$

木ダボ間隔：@200mm以下、端あき：140mm以上、木ダボ加工径： ϕ 19.5mm

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 FH-60(60kN)、柱頭 PRH-25(25kN)、M12×110、NT、角座金
DLTの構成：積層材は105×210スギ平角材としDLTパネル幅を800mmに調整。木ダ

ボは短ダボ (ϕ L60mm) を@200mmで配置

軸組との接合：木ダボ (ϕ 20 L60mm) 13 本使用

4.2.3 実施の実施概要

a 試験内容 耐力壁の面内せん断試験

b 試験実施日 2021 年 1月8日

c 試験場所 ハウスプラス 横浜試験研究センター（神奈川県横浜市鶴見区）

面内せん断試験機：最大水平加力 100kN 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、1/50rad 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 1/15rad 以上に達するまで加力する。

4.2.4 試験結果

表 4.2 - 1 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)	
DLT2020-2	27.12	1/15	軸組みHDの接合部でネジのせん断変形。 軸組みと土台接合部でのねじ引抜、めり込み破壊。 パネルと土台接合部でのねじ引抜、めり込み破壊。

表 4.2 - 2 終局加力側の一定変形角時荷重

試験体記号	決定因子	$\gamma = 1/120$ P (kN)	$2/3P_{\max}$ P (kN)	$2/3P_{\max}$ δ ($\times 10^{-3}$ rad)	$P_{\max}$ P (kN)
DLT2020-2	$0.2P_U\sqrt{2\mu-1}$	10.60	18.08	24.20	27.12

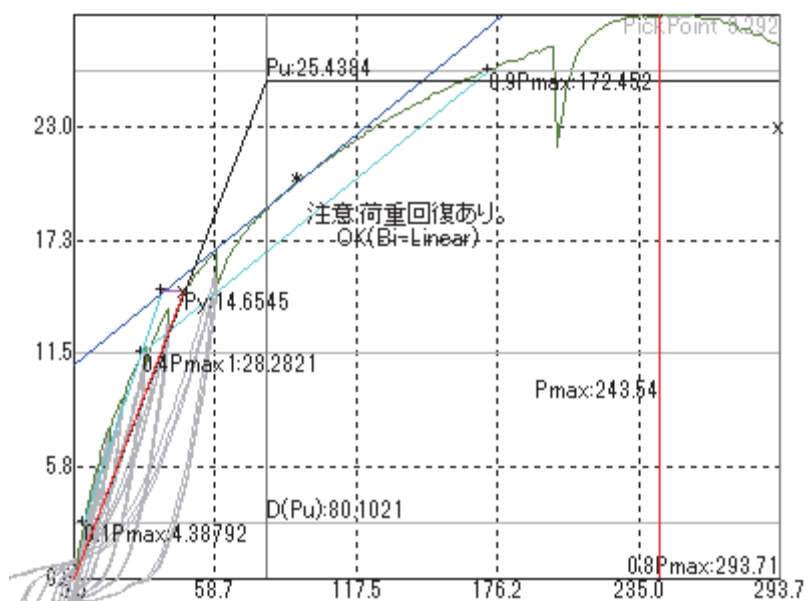


図 4.2 - 3 荷重 - 変形角曲線

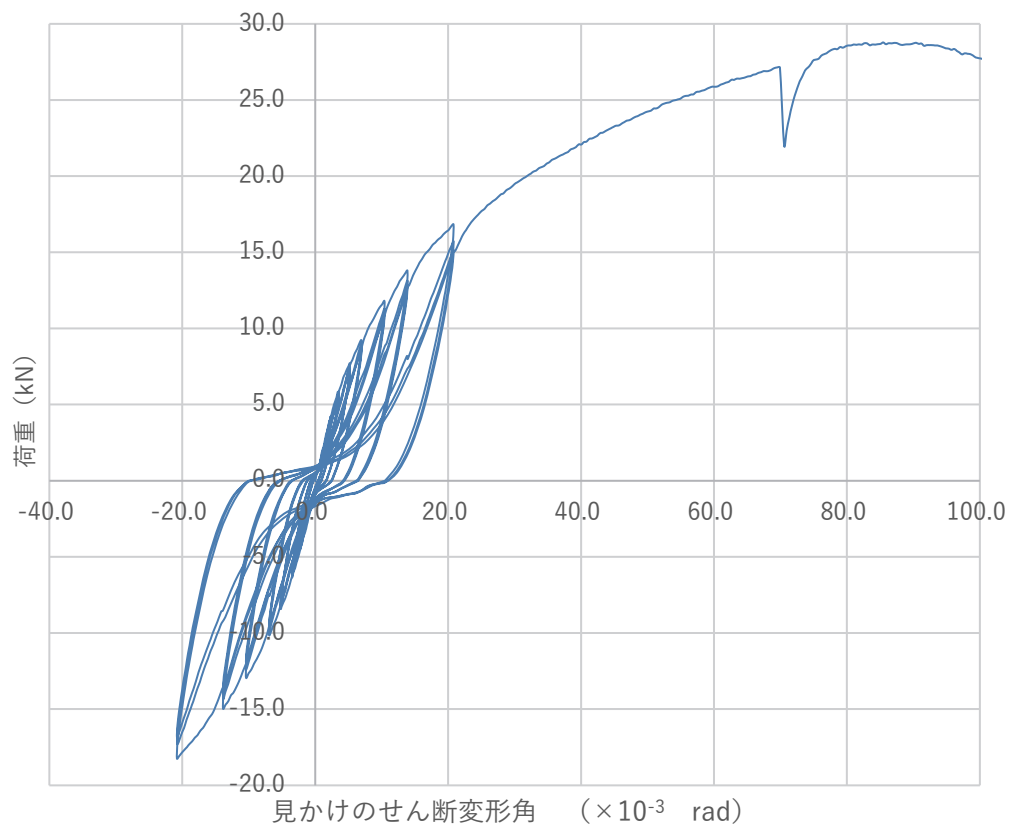


図 4.2 - 4 荷重 - せん断変形角

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 0.91m)

表 4.2 - 3 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	$0.2P_u\sqrt{2\mu-1}$	$(2/3)P_{\max}$	$P(120)$		
13.9	10.25	18.08	10.6	10.25	5.75

※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。

表 4.2 - 4 試算した特性値

項目	特性値
試験体 No.	DLT2020-2
DLT パネル構成	4 - 105 × 200
壁長	0.91m
最大耐力 $P_{\max}$ (kN)	27.12
最大変形 $D(P_{\max})$ (mm)	243.54
最大耐力時変形角 (10^{-3}rad)	66.67
$D(0.8P_{\max})$: δ_u (mm)	293.71
初期剛性 K (kN/rad)	1025.07
終局耐力 P_u (kN)	23.10
$D(P_u)$: δ_v (mm)	80.102
塑性率 $\mu = \delta_u / \delta_v$	2.96
構造特性係数 $Ds = 1/\sqrt{2\mu-1}$	0.45

表 4.2 - 5 試算した特性値のまとめ

試験	第1回	第2回
DLTパネル 構成	105×200,205	105×200,205
軸組みとの接合	特殊鋼製ダボ $\phi 20$	木製ダボ $\phi 20$
壁長	0.91m	0.91m
最大耐力 $P_{\max}$ (kN)	21.61	27.12
最大耐力時変形角 $\delta_{\max}$ (10^{-3}rad)	62.48	66.67
降伏耐力 P_y (kN)	13.01	13.9
降伏変形角 δ_y (10^{-3}rad)	24.5	13.56
終局耐力 P_u (kN)	18.93	23.1
終局変形角 δ_u (10^{-3}rad)	62.48	66.67
降伏点変形角 δ_v (10^{-3}rad)	35.66	22.53
剛性 K (MN/rad)	0.179	1.025
塑性率 μ	1.75	2.96
構造特性係数 Ds	0.63	0.45
$P_u \cdot 0.2 \cdot \sqrt{2\mu - 1}$ (kN)	5.99	10.25
$2/3 \cdot P_{\max}$ (kN)	14.41	18.08
1/120 rad時の P (kN)	3.88	10.60
短期基準せん断耐力 P_0 (kN)	3.88	10.25

<試験結果の考察>

- 1) 令和元年の DLT 耐力壁の面内せん断試験（壁長 1.82m）では、木ダボや軸組との接合方法は同条件で 30mm×105mm の DLT 耐力壁では基準せん断耐力は 3.11kN（壁倍率換算 0.8 倍）。105mm×105mm の DLT 耐力壁では基準せん断耐力 8.36kN（壁倍率換算 2.3 倍）の耐力が確認された。積層材の幅を 30mm から 105mm とすることで耐力壁の耐力が約 2.9 倍になり、DLT 耐力壁では構成材の幅が耐力壁のせん断変形、耐力が影響することを確認している。
- 2) これらの結果を踏まえ、本事業では積層材の幅を昨年度実施した 105mm から約 2 倍の 200mm、210mm としせん断変形、耐力を測定した。また DLT 耐力壁の粘り強く、大変形でも破壊しにくいという特徴を踏まえ、軸材との接合部に靱性が高く曲げ降伏する特殊鋼製ダボと、軸材を含めて木ダボで接合し DLT とする 2 つのタイプで面内せん断試験を実施した。試験結果より軸組との接合に特殊鋼製ダボを使用した試験 1 では基準せん断耐力 3.88kN、軸組との接合も木ダボとした試験 2 では基準せん断耐力は 10.25kN を確認した。実施結果は下表の通り。

表 4.2 - 6 試験特性値、基準せん断耐力、換算壁倍率

試験体	試験特性値(kN)				基準せん断耐力 P_o (kN)	換算壁倍率
	P_y	$0.2P_u\sqrt{(2\mu-1)}$	$(2/3)P_{max}$	$P(120)$		
DLT2020-1	13.01	5.99	8.67	3.88	3.88	2.18
DLT2020-2	13.9	10.25	18.08	10.6	10.25	5.75

- 3) 試験結果より、試験 2 の木ダボ接合では想定通りの耐力を得ることができ、短ダボの木ダボ接合で耐力壁を構成できることが確認された。一方、特殊鋼製ダボは軸材と穴径と鋼製ダボの径の関係から、初期ガタが生じ、接触面でせん断力の伝達が不十分で、期待したせん断耐力が得られなかった。
- 4) 試験後の破壊確認では、木ダボによる積層部や軸材との木ダボ接合部での破壊はなかった。一方、土台材のめりこみや土台接合部で使用したビスの引抜き、ホールダウン金物の軸材との接合部の耐力低下やホールダウンボルトの曲げなどが生じて破壊することが確認され、DLT との接合部や軸組周りの金物の改良により、さらに耐力が向上すると示唆される。
- 5) 令和元年度及び本事業の一連の試験結果より、DLT 耐力壁は構成材料の厚さにより耐力が変化することが分かった。この特性を踏まえ、DLT は適切な耐力の耐力壁として使用できる。

< 試験写真 >



写真 4.2 - 1 面内せん断試験 加力前



写真 4.2 - 2 面内せん断試験 加力後 (1/15 rad)



写真 4.2 - 3 最大加力時の柱脚部 (1/15 rad 時)



写真 4.2 - 4 試験後の軸組との木ダボ接合部

5.3 試験の実施概要

a 試験内容 DLT の吸音試験

b 試験実施日 2020 年 9 月 29 日

c 試験場所 株式会社ベル開発 試験室（岐阜県可児市）

d 試験方法 吸音試験は JIS A 1409（残響室法吸音率）に順じた吸音性能測定

残響音測定は残響室法吸音率測定に従って行う。具体的には Eyring-Knudsen の 残響公式より、試料無しの場合とありの場合の残響時間の違いから試料の吸音率を求めた。

残響時間の測定に際してはインパルス積分法による。5 本のマイクロホンによる同時測定を行い、その平均値を算出する。測定結果は PC で計算処理し吸音率を得た。

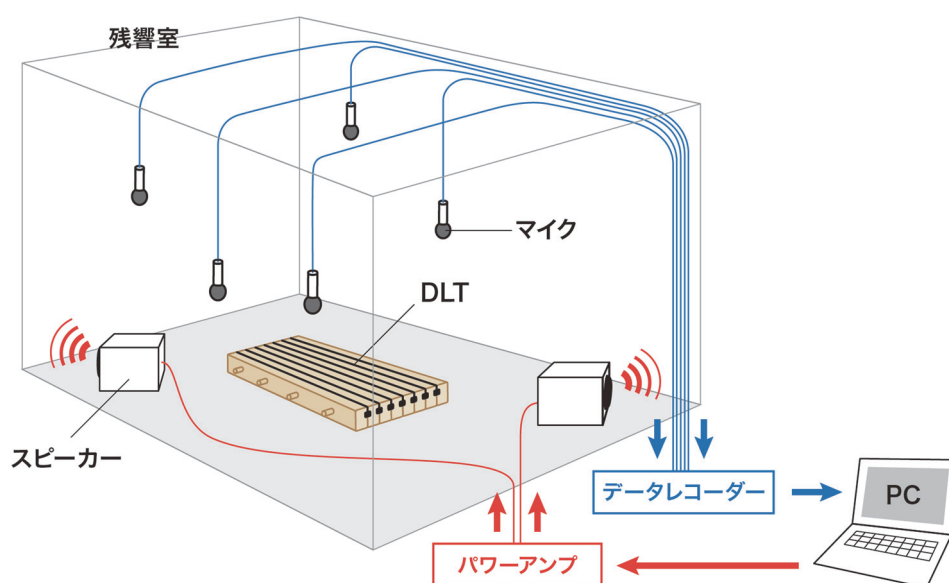


図 5 - 2 吸音試験のイメージ

図 表 5 - 2 吸音試験の仕様

試験方法	残響室法吸音率測定
温湿度	室温 25°C、湿度 65%
残響室形状	不整 5 角形
容積	7.6 m ³
表面積	23 m ²
帯域幅	1/3 オクターブ、250～80,000 [Hz]
使用ノイズ	T SP 信号
音源スピーカー	2 箇所
マイク点数	5 箇所
測定試料面積	1.03 m ²

5.5 試験結果

表 5 - 3 試験結果 (1)

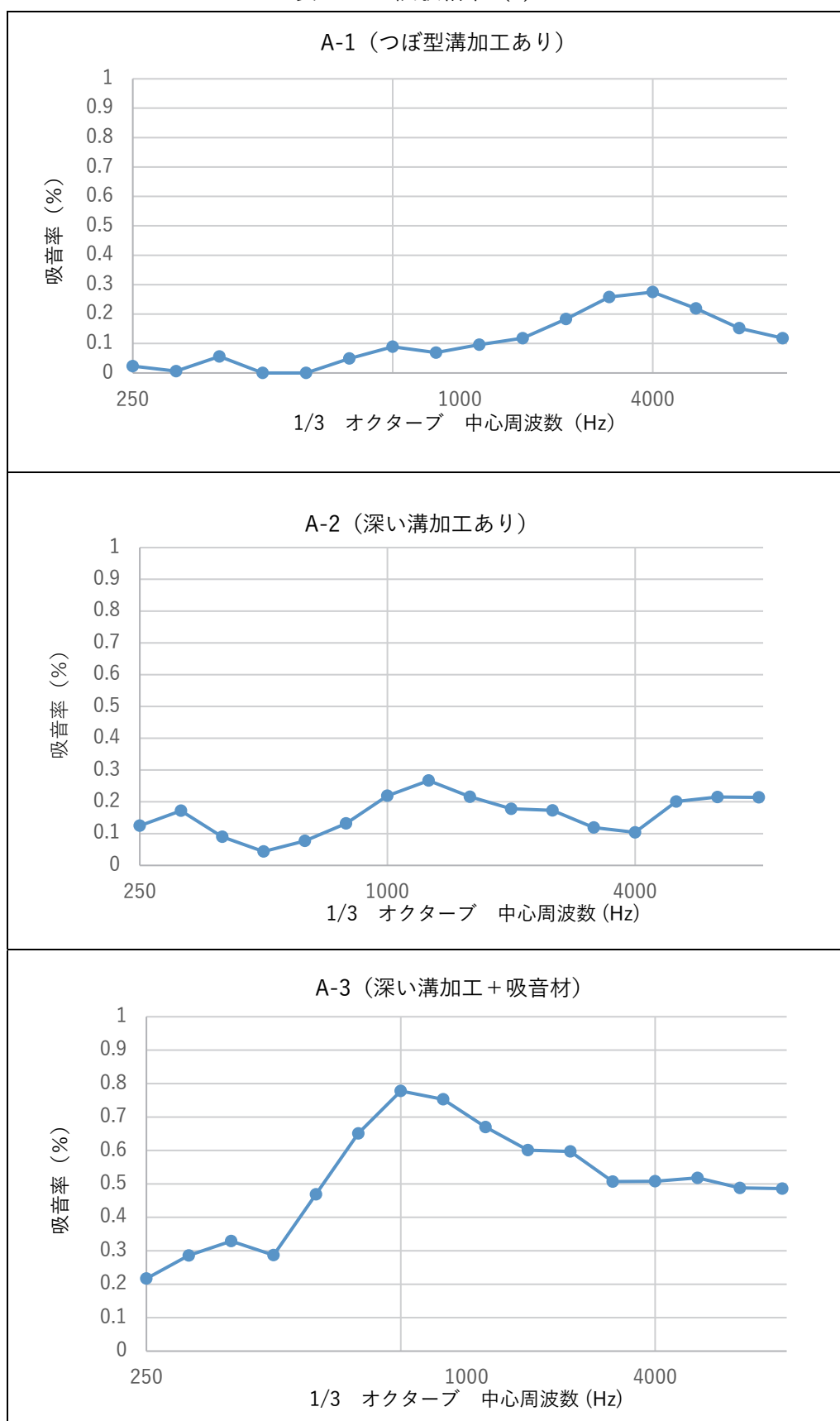
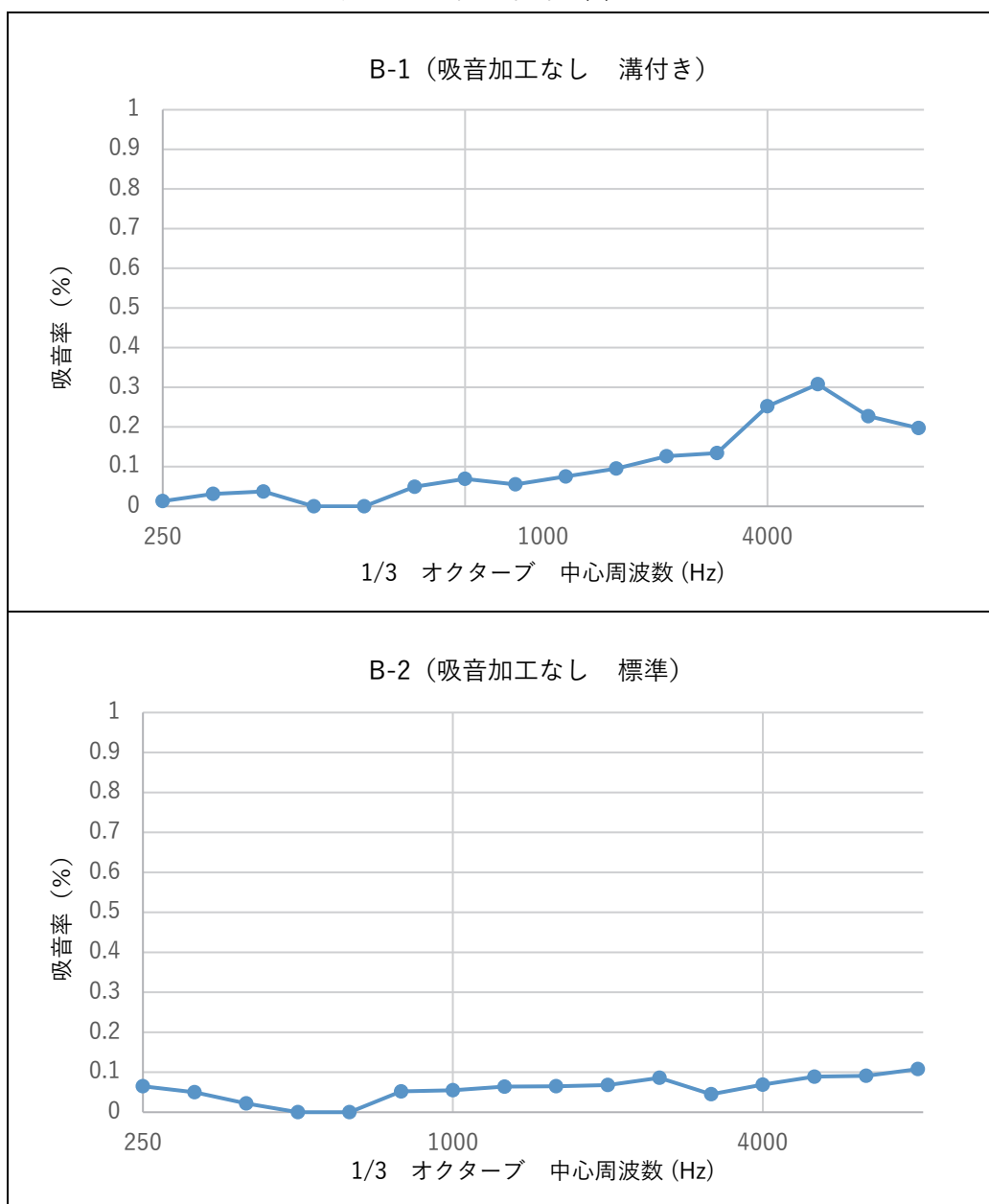


表 5 - 4 試験結果 (2)



DLT と一般建材の吸音率の比較

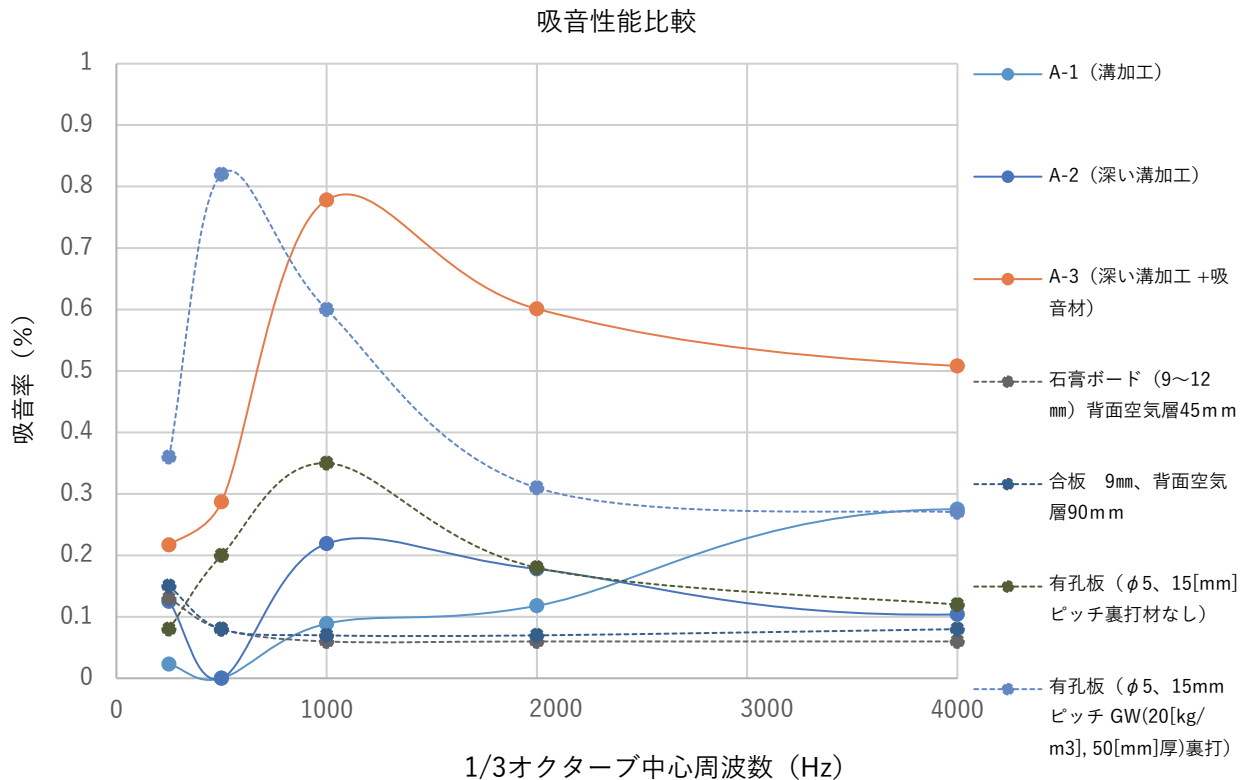
表 5 - 5 DLT と他の建材との吸音性能の比較表

材料名	厚さ [mm]	空気層 [mm]	1/3 オクターブ 中央周波数[Hz]					
			250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
A-1 (溝加工)	89	0	0.023	0	0.089	0.118	0.275	0.118
A-2 (深い溝加工)	140	0	0.125	0	0.219	0.178	0.104	0.214
A-3 (深い溝加工 +吸音材)	140	0	0.217	0.287	0.778	0.601	0.508	0.486
B-1 (吸音加工なし 溝付き)	89	0	0.013	0	0.069	0.095	0.252	0.197
B-2 (吸音加工なし 標準)	89	0	0.065	0	0.055	0.068	0.069	0.108

参考：一般的な吸音材（板状材、共鳴器型、多孔質材の吸音率）

材料名		厚さ [mm]	空気層 [mm]	1/3 オクターブ 中央周波数[Hz]					
				250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
石膏ボード		9~12	45	0.13	0.08	0.06	0.06	0.06	
合板		9	45	0.23	0.09	0.07	0.07	0.06	
合板		9	90	0.15	0.08	0.07	0.07	0.08	
有孔板（ ϕ 5、15[mm] ビッチ裏打材なし）		5	45	0.08	0.20	0.35	0.18	0.12	
有孔板（ ϕ 5、15mm ビッチ GW(20[kg/m ³], 50[mm]厚)裏打）		5	45	0.36	0.82	0.60	0.31	0.27	
グラスウール （フェルト）	16~24K	50	0	0.55	0.90	0.85	0.80	0.85	
グラスウール （フェルト）	16~24K	50	100	0.90	0.95	0.85	0.85	0.85	
ロックウール （ボード）	40~160K	50	0	0.75	0.95	0.90	0.85	0.90	
ロックウール （ボード）	40~160K	50	100	0.90	0.95	0.90	0.85	0.85	

表 5 - 6 DLT 試験体の吸音性能と他の吸音材との比較



<試験結果の考察>

- ・ B-1 試験体と A-1 試験体とでは、同じような吸音率と周波数のグラフが得られたこれは、両試験体で溝加工の形状（表面のスリット幅、深さ）が同寸法のためと考える。
- ・ 吸音材を有する A-3 試験体以外では、ほとんど吸音していない音域（500～630Hz：音階では B4～E5）がある。これは、この音域は木材が音を反射しやすい音域であると見込まれる。
- ・ A-1 試験体より深い溝加工を施した A-2 試験体では周波数全域で吸音率が向上しており、加工形状により吸音効果に差が生じることが確認できた。さらに不織布性の吸音材を組み合わせた試験体 A-3 では全域にわたり吸音率が向上しており、表 5 6 で示す「穴あき板 15mm + GW50mm」と吸収する周波数のピークは異なるが、吸音率は同等程度の高い吸音性能を有することが確認された。
- ・ 木材の特徴の一つに加工性の良さがあり、DLT は積層前のひき板や角材に加工することで吸音性能の向上が可能で、断面加工により意匠性だけでなく音響性能も向上でき、適用用途を拡大できる。
- ・ 吸音タイプの DLT を壁・天井材として使用すれば、構造兼現わしの意匠材として室内の不要な反響音を減らし、音圧レベルを下げることで、音響対策建材としても有効と見込まれる。

<試験写真>



写真 5 - 1 吸音試験室内観



写真 5 - 2 吸音試験体 A1



写真 5 - 3 吸音試験体 A1 断面



写真 5 - 4 吸音試験体 A2



写真 5 - 5 吸音試験体 A2 断面



写真 5 - 6 吸音試験体 A3

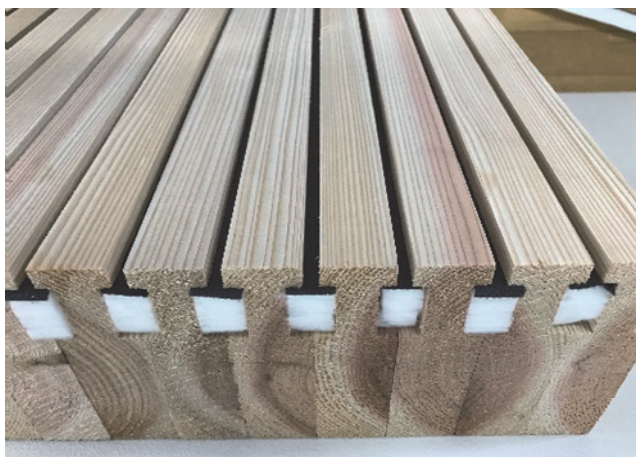


写真 5 - 7 吸音試験体 A3 断面



写真 5 - 8 吸音試験体 B1



写真 5 - 9 吸音試験体 B1 断面



写真 5 - 10 吸音試験体 B2

6. DLT の普及にむけて

6.1 DLT の活用手法について

1) 床パネルや屋根パネルとしての利用

- ・ 本事業で実施した木ダボ間隔の違い、木ダボ位置の違いによる DLT の基礎的試験および、偏荷重による梁の曲げ試験の結果より、DLT の構造特性についての把握が進んだ。DLT は接着せず木ダボだけで接合しているため、強度特性は構成するひき板の木材強度に由来する。そのため、DLT を床や屋根パネルなど構造用途で使用する場合は、素材の強度と品質が明確な JAS 材の利用が望ましい。
- ・ DLT では JAS で許容する丸みや入り皮つき材を、積層により有効に利用できる。丸み付や入り皮つきの比較的低質な素材を、他の素材と組み合わせることでさらに意匠性を高めることも可能で、木材利用の拡大だけでなく製材歩留まりの向上に寄与できる。
- ・ さらに DLT では、ひき板を積層前にあらかじめ表面加工することで、天井面に多様な意匠性を付与することが可能である。ひき板表面に吸音材を挟み込むことで吸音性能の向上が可能であり、機能性の現わし床パネル、屋根パネルとすることが可能である。また、構造材兼仕上げ材となることから、施工コストの低減にも有効である。
- ・ DLT を薄い板で積層する場合、積層面はひき板の柾目または、板柾目が現わし面となるため、節が現われることが板目に比べると少なく、節の少ない木材現わしの天井面を構成することができる。現わし面を板目にしたい場合は、正角材や角材を積層することで対応もできる。
- ・ なお、DLT を床や屋根パネルとして使用する場合は、構面を確保するため、構造用合板を併用する必要がある。また、内装制限が課せられる室内の天井では現わしで使うことができないため、注意が必要である。（なお、難燃処理、準不燃処理を施したひき板を積層する場合この限りではない。）

2) 耐力壁としての利用

- ・ 面内せん断試験の結果より、木ダボによる貫通せずに短い木ダボによる接合の DLT 耐力壁であっても壁倍率 5.7 倍相当程度の壁耐力を有することが確認された。軸組材と DLT を短い木ダボで接合することで、軸組一体型の DLT 耐力壁として活用できる。
- ・ 現状、壁倍率の認定を取得していないため告示仕様による壁量計算には対応できないが、これら試験結果より得られた特性値をもとに、許容応力度計算行えば耐力壁として使用できる。

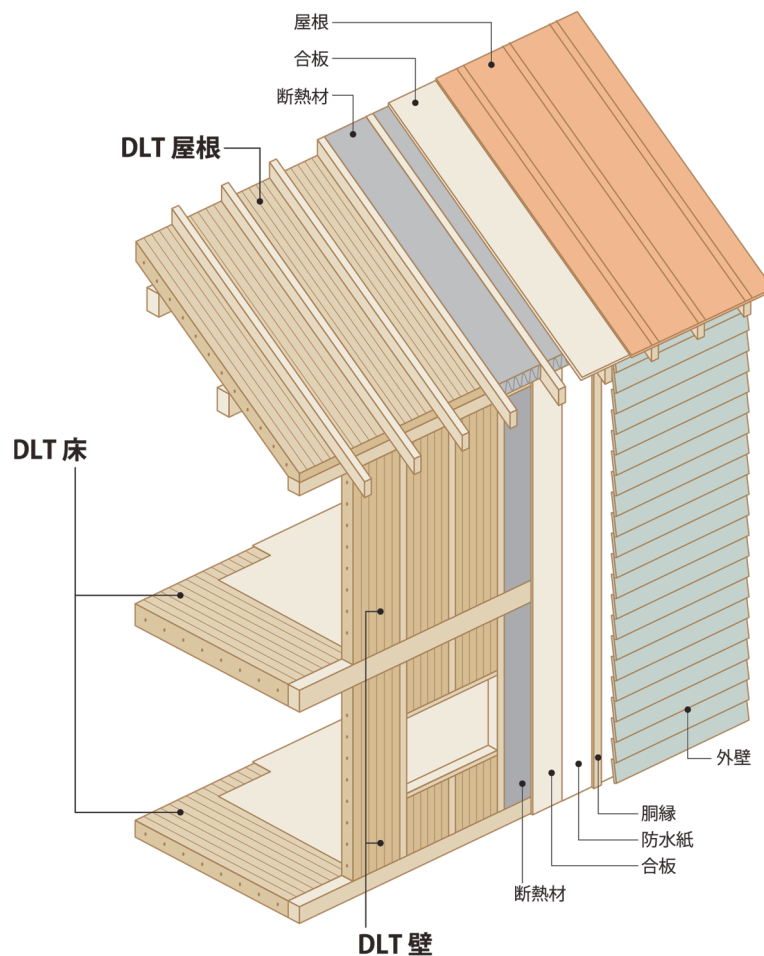


図 6 - 1 DLT 活用モデルの提案

3) コンクリートとの複合化 (DLT-Concrete Composite) による活用

- ・ 木ーコンクリート複合材 (Timber-Concrete Composite ; TCC) は、COST アクション FP1402/WG 4 よりまとめられた「Design of timber-concrete composite structures、Editors :Alfredo Dias, Jörg Schänzlin and Philipp Dietsch」を参考にした。
- ・ TCC によるメリットに以下があり、木材利用拡大にも寄与すると考えられる。
 - ① 剛性の向上、耐荷重性の向上
 - ② 遮音性の向上
 - ③ 水平剛性の向上
 - ④ 固定荷重の軽減
 - ⑤ 木材利用によるCO2排出削減
 - ⑥ プレファブ化による工期短縮
- ・ DLT とコンクリートを複合化 (DLT-Concrete Composite ;DLT-CC) で、DLT にてコンクリートの質量が加わり、重量衝撃音の軽減が見込まれるとともに、コンクリートの捨て型枠

として、鋼板のデッキプレートの代替材となる天井現わしの DLT- コンクリートの合成床版としての利用となる可能性が確認できた。

- ・ 不燃材料であるコンクリート（鉄筋コンクリート）との複合化により、木材単体と比べて耐火性能の向上が期待できる。
- ・ DLT パネル単体では床構面の面内剛性の確保が課題となるが、DLT-CC とすることでコンクリートによる水平剛性の確保が可能となる。DLT の利用用途は、木造の床パネルとしての利用に限らず、DLT-CC により S 造や RC 造での利用拡大の可能性はある。
- ・ CLT とコンクリートの複合化についての研究は数例あるが、製材を使用した木 - コンクリートの複合化は本事業による DLT-CC が初の試みである。今後はコンクリート厚、せん断キーの本数や組み合わせを変えて強度試験を実施し DLT-CC の最適な組み合わせを求める必要がある。

6.2 DLT の利用範囲の拡大に向けて

本事業の実施試験の結果を踏まえ、今後、公共建築物や都市部における DLT の利用拡大を図る上で、解決すべき課題を挙げる。

1) DLT 耐力壁の最適設計の検証

木ダボを用いて軸材と一体化した DLT 耐力壁で、壁倍率 約 5.7 倍相当の耐力を確認できた。試験結果の考察でも記したとおり、DLT 構成材料幅の組合せにより耐力壁の剛性に増減が生じる。これらを踏まえることで構成材料の組合せや軸組との接合方法など使用方法に応じた最適設計を提案できる。

2) DLT 水平構面の検証

DLT は床や屋根パネルにも活用できる。壁として一定の耐力を有していることを確認していることから、床や屋根で求められる水平構面についての耐力の確認と、横架材との接合方法について検証することで、DLT を活用用途に限定しない提案ができる。

3) DLT -コンクリート複合床版の検討

DLT とコンクリートの複合梁の曲げ試験で、曲げ剛性の向上が図れることが確認された。今後 DLT-CC を普及させるためには、より詳細な強度性能の確認が必要である。特に DLT（木）とコンクリートとのせん断力の伝達に必要なせん断キーが重要な構成要素である。せん断キーの要素試験を通じ、最適なせん断キーの評価・選定が必要である。

4) DLT の耐火性能の検証

- ・ DLT の利用拡大を図るためには、耐火性能を要求されない低層建築物のほかに、非住宅用途の大規模木造建築や、木造以外の S 造や RC 構造における DLT の適用が求められ、耐火性能の検証と確保が必要となる。
- ・ DLT は集成材や CLT 等の接着による積層材と異なり、木ダボにより接合・積層していることから、積層部分の隙間の影響の検証が必要となる。加熱による隙間からの燃えひろがり、木ダボへの熱の伝わりや、木ダボの燃焼の確認など加熱による基礎的な影響確認から検証が必要である。

7. 添付資料

委員会議事録

令和 2 年度 DLT 検討委員会第一回 議事録

日時 : 令和 2 年 6 月 12 日 (金) 14:00~15:30

会場 : 株式会社長谷萬

参加者 : 法政大学 網野先生、宮田先生

物林株式会社 大貫様

小井土製材株式会社 小井土様

株式会社竹中工務店 松崎様、花井様

群馬県 林業振興課 深町様 (リモート参加)、林業試験場 工藤様 (リモート参加)

林野庁 木材産業課 増田様 (リモート参加)

木構造振興株式会社 平原様

株式会社長谷萬 長谷川副社長、事務局 : 鈴木、小林、岡田 (記)

1. 事業主体挨拶 (長谷川)

DLT のような木質素材が少ない日本国内において、地域の製材工場や地域の林業の発展のため、DLT の国内普及をひとつの契機としたいと考えている。これからの木質素材に求められるものは、機能性に加え、意匠性といった付加価値を付与することが重要だと考えている。特に DLT の場合は、それを木材のみでの実現を目指す点で、独自性が際立っている。非住宅向け用途として木材への関心が高まっている中、そうした物件への使い方を検証することも重要だと考えている。DLT の高付加価値化と認知拡大、並びに普及に向けて、ご協力をお願いしたい。

2. 参加者紹介

3. 事業概要説明

本事業の目的及び達成すべき成果について、令和元年度林野庁助成金事業の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) 製材工場の大規模化が進むが、木材加工・流通体制の多様性確保のためには規模の追求だけでなく、中小工場の規模を活かした新しい高付加価値製品が求められる。
- (2) 川上、川中の収益向上のためには、製材歩留まり改善と付加価値付与が必要である。
- (3) ヨーロッパ山間部や北米では既に DLT の生産・活用が行われており、日本においても国内の実情に合わせた DLT 開発・活用には十分可能性がある。
- (4) 本事業の目的は、簡易な設備で生産が可能で、高付加価値・環境配慮・多品種少量型の DLT を広く活用できるよう技術検証を行い、情報を広く共有することで DLT の認知拡大を図り、以て国産材の利用普及拡大と川上・川中の中小製材事業者の高付加価値化を図る事である。

4. 委員長選出

宮田委員が選出された。

5. 委員会名称確認

本委員会名を「DLT 検討委員会」とする。

6. DLT 開発の目的と課題等の共有

昨年度 DLT 検討委員会で実施した試験について報告し、その内容から今年度の課題等を共有した。

7. 実施事業計画についての説明

(1) 木ダボ接合部のせん断試験

- ・ 複数枚を接合した場合の耐力評価を行う。
- ・ 繊維方向および繊維直角方向での実施を計画している。

(2) 梁の曲げ試験

- ・ 4m 超の材で、せいが 150mm を超える場合のダボ貫入位置を検討する。欧州や北米で行われているように、千鳥または 2 列に貫入する。

(3) DLT-RC 複合床版の曲げ試験

- ・ DLT と RC の複合床版での構造特性を調べるための曲げ試験を計画している。
- ・ CLT の RC 複合床版と異なり、DLT の上に直接コンクリートを打設するのではなく、耐水合板などを 1 枚敷いて行うべきだと考えている。理由は、CLT と異なり DLT は接着しておらず、打設したコンクリートが隙間から染み込んできて DLT の性能に影響を与える可能性は否定できない。場合によっては耐水合板の上に防水フィルムを張ることも検討する。
- ・ 耐水合板が、少なくとも 1 枚は必要だろう。
- ・ 防水フィルムだけではどうだろうか。私の経験では合板を敷いたことはなく、そのまま打設していた。
- ・ 職人の手間を削減することは非常に重要なので、そこは念頭に置いて進めるべきだ。
- ・ 複合床版を試す目的は曲げ剛性、曲げ耐力向上にあるが、その分重量が増える為、効果としてはあまり大きくないと予想できる。
- ・ 以前手がけた物件ではコンクリートを打設したが、目的はそこにせん断力を流すことと遮音性能の確保だった。
- ・ 曲げ方向のせん断を接合する必要があるだろうか。遮音を考慮するなら、ある程度遮音層があり浮いている方が良い。また、水平剛性を考慮すれば、このせん断キーを取る必要も無いのではないか。この案で進めると、曲げ性能向上の方向になるが、どうだろうか。
- ・ 水平構面を意図している。1 つは、RC スラブを使って耐火構造にし、木は捨て型枠で表しにする。そして RC 造の外壁に鉄筋コンクリートで平構面を取るというパターン。もう 1 つは、DLT に曲げ耐力を持たせ、遮音と水平構面のための RC 床と見做すパターンがあるだろう。
- ・ 欧州では Timber Concrete Composite の研究事例がある。せん断キーの効果など不明確なところがあるので、議論を深め試験体を決定したい。また、既往の文献には DLT そのものはあまり水平構面を構成できないというような記載もあり、それらを考慮すると RC 造で水平構面を構築する方法が考えられた。検討を積み重ねていく。
- ・ RC とハイブリッドにすると水平構面がどうしても合板では足りなくなるので、コンクリートを打設する前提で進めようと思う。施工性についても確認したい。

(4) DLT のクリープ試験

- ・ 群馬県林業試験場と具体的な試験方法を相談し進める。ある程度長期的な計測を想定している。

(5) 耐力壁 面内せん断試験

- ・ パネル同士の接合に昨年はビスを使用していたが、短いダボで可能か確認する。
- ・ DLT には変形が非常に大きくとも壊れにくい特性があるので、軸組部材との接合部で、それらの変形を許容する物が無いかメーカーに相談している。

(6) 音響特性確認

- ・ 予め溝を付け積層後に吸音材を入れる等の方法で性能確認を行いたいと考えている。
- ・ DLT を天井や壁に使用した場合の室内の反響音や残響の確認になるかと思うが、例えば上階からの音についてはどうか。以前 CLT の委員会では、打撃音の試験を行ったが、そのデータは流用できるだろうか。
- ・ その時試験された CLT が杉であればほぼ同じかと思われる。今回の試験体は 1m 角程度の試験体の吸音性能に特化し、反射音の吸音レベルを計るという試験で計画している。

8. 木ダボの国産化について

- ・ 木ダボは欧州ブナと記載があるが、木ダボも国産材で製作できないだろうか。
- ・ 国産化も可能だが、初期的な検討をしたところ DLT で必要なサイズ・長さの溝付きダボの生産者が今のところ見つからず、非常に高コストになることが分かった。その為、本事業ではテーマ化していないが、将来的には取り組みたいと考えている。

9. 普及活動について

- ・ 市場への普及と付加価値追及を考慮すると、これまでの議論のハード面の検証だけでなくソフト面の検証も検討してはどうか。
- ・ ソフト面の検証については別途ご相談させていただきたい。

10. 今後の事業スケジュールについて

次回 DLT 検討委員会は、10 月に開催予定。

以上

令和 2 年度 DLT 検討委員会第 2 回 議事録

日時 : 令和 2 年 11 月 12 日 (木) 16:00~17:30

会場 : 株式会社長谷萬

参加者 : 法政大学 宮田先生 (委員長)、網野先生

物林株式会社 大貫様

小井土製材株式会社 小井土様

林野庁 木材産業課 松本様 (リモート参加)

木構造振興株式会社 平原様 (リモート参加)

株式会社長谷萬 長谷川副社長事務局 : 鈴木、小林、藤橋、岡田 (記)

1. 第一回議事録確認

前回議事録について変更点がないことを確認した。

2. 実施試験結果の報告

(1) 実大梁の曲げ試験について

試験体仕様と試験方法、試験結果について説明。

- ・ 材せいの大きい 180 の DLT で木ダボを材中央に打ったもの、千鳥状に打ったもの、縦方向に 2 段に打ったものそれぞれについて曲げ試験を行い、DLT の曲げ強度、木ダボの荷重伝達効果を検証した。
- ・ 今回事業では素材の曲げヤング係数を計測したひき板を使用し木ダボで積層したが、積層材は素材の平均ヤング係数より若干低いことが確認された。それは、曲げヤング係数が低いひき板の影響によると思われる。
- ・ それぞれの試験体の材端部、その隣、材中央それぞれのひき板に 1 点集中加力を行い、木ダボの連結効果を確認する予定。
- ・ 昨年度の補助事業では 3 枚にまたがって集中加力を行ったが、今回はひき板 1 枚ずつに加力を行うことでより詳細に確認ができる。

(2) DLT-コンクリート複合梁の曲げ予備試験について

試験体仕様と試験方法、試験結果について説明。

- ・ 予備試験を行う理由は、木材の上にコンクリートを打設する事例が国内では非常に少なく、Design of Timber Concrete Composite Structure の文献を参考に、本試験の前に予備試験を行うこととした。
- ・ 試験体は上フランジにコンクリート 50mm、ウェブ部分に集成材とし、上下の接合せん断キーにパネリードを使用した。
- ・ コンクリートを打設する関係上、集成材の上に合板を敷き、コンクリートの水分の影響を受けないよう考慮した。
- ・ 予備試験結果より、コンクリート部分が圧縮を木部分が引張りを負担することにより梁の剛性が上がることが確認された。
- ・ 予備試験結果を反映し、11 月 27 日に実際にコンクリートを DLT に打設し、11 月末頃に DLT-コンクリート

複合床版の曲げ本試験を行い、その後にクリープ試験を行う予定。

- ・ 試験体の完成度が非常に高かった。50mm 厚のコンクリートに、ワイヤーメッシュが入っている程度で荷重をかけると、コンクリートに早期にひびが入り損傷が大きくなるのではないかと懸念していたが、そうはならなかった。
- ・ DLT は接着せず木ダボのみで接合しているため、水平剛性が非常に弱い、コンクリートとの複合化によってある程度確保できると用途が広がるだろう。
- ・ T 型の部分は一体化しコンクリートと木材をせん断キーで一体化している。
- ・ コンクリートに斜めビスを打った箇所は、過去の実験データから予測して計算しているので、要素試験を耐力を確認する。
- ・ コンクリート打設時に少し盛って打ち、ひび割れ防止程度で設置するワイヤーメッシュを置いているだけで、斜めビスとは結束していない。

(3) DLT 耐力壁 面内せん断試験について

試験体仕様と試験方法、試験結果について説明。

- ・ 昨年度実施した面内せん断試験では、105 角の材を木ダボで積層した。今回は、105×210 の杉材を使用して、材全体を貫通する木ダボではなく、短い木ダボで接合し面内せん断試験を行った。
- ・ 軸組と DLT は特殊鋼製ダボにより接合したが、鋼製ダボ径と加工穴径に若干のクリアランスにより接合部の剛性が低下したため、想定していた耐力より少し低い数値となった。
- ・ 木ダボの部分は、初期段階ではほとんど変形しなかった。すべて木ダボで接合していれば、おそらく壁倍率 5 倍程度が出ていたと思われる。
- ・ 特殊鋼製ダボのせん断試験を実施し、加工精度とせん断耐力の関係を調べる確認する。
- ・ 鋼製ダボ穴のクリアランスを無くす方法を検討する。接着剤を使用する方法もあるが、DLT のコンセプトを考えると接着剤併用は無いと考える。

(4) DLT の音響特性確認について

試験体仕様と試験方法、試験結果について試験体サンプルで説明。

- ・ DLT の表面に加工を施し、吸音性能の有無について試験を行い、ひき板に溝やツボ形の吸音加工を施すことで吸音性能が確認された。
- ・ 特に不織布を圧着した吸音材（20mm×30mm）を溝に入れた試験体では、各音域で非常に高い性能が確認された。この吸音材は、ひき板を積層する時に溝に差し込むようにして入れている。
- ・ 違う素材で実施されている。建物の用途によって様々な可能性が期待できる。
- ・ ひき板の状態で加工することは容易であろうと思われるので、その点でも期待感が持てる。吸音材メーカーによれば、発生する音に対して吸音性能を上げることも可能ということなので、今後は吸音材についても検討を進める。
- ・ 専用ライン不要で製造でき、また素材に付加価値が備わり高価格で展開できるのは素晴らしいと思う。

- ・ 普通の吸音材との比較があるといふ。

3. 一連の試験の目的、位置づけについて

- ・ DLT の目的は、1 つは製材の歩留まりを上げること。そのために良品質な板材も、そうでないものも使用できるとしている。また、ローテク型の商品開発に繋げるため、使う材の間口を広げることでハードルを下げている。一方で、将来的な対応可能性を広げるために DLT をベースにした技術開発を行うとして、コンクリート複合型の剛性や、耐力壁としての使い方を試験していると思う。ただし、その位置づけを常に認識しておかないと、いつの間に難解でハイテクな高性能のものを求めていく方向性になってしまい、「CLT や鉄骨造で良いのでは」といった話になりかねないと思う。
- ・ 今回実施した 4 つの試験のうち、曲げ試験と吸音試験については現行の DLT そのものの性能を評価しているが、木-コンクリート複合型と耐力壁については、現行の DLT をベースに別の開発を行う方向に進んでいるように感じる。それを実施すること自体は良いと思うが、DLT の普及戦略の中でどのように位置づけるのかについては、改めて確認する必要があるだろう。
- ・ JAS 制度では含水率や節など厳しく管理されるが、DLT では節などのばらつきを許容し欠点分散される。どの程度反りやねじれなどの欠点を許容することができるか検証する道筋もあるかもしれない。
- ・ 耐力壁の試験で、貫通させない木ダボによる耐力壁で耐力が得られた。大径木の利用が課題となる中、柱や梁に使用できないような材も意匠として壁にも使用できるという提案ができるだろう。

4. その他、今後の実施内容について

- ・ 11 月 24～25 日、実大梁の曲げ試験 2 を実施予定。これはダボピッチを変えたもので再試験。昨年度は 600mm と 900mm で実施したが、今年度はさらに細かく 300mm でも試験して性能確認を行う。
- ・ 11 月 26～30 日実施予定の DLT-コンクリート複合梁の強度試験については、予備試験結果を反映させ、本試験を実施予定。その後クリープ試験を行う。
- ・ 12 月 1 日～4 日、ダボを一行、千鳥、二段とした実大梁の曲げ試験 1 を実施予定。
- ・ 12 月 7～9 日、3 種類のせん断試験を実施予定。1 つは木ダボのせん断試験で。昨年実施したものよりも積層枚数を多くして詳細に確認する。その他に TCC で使ったものと同じせん断キーのせん断試験と、特殊鋼製ダボの接合部せん断試験を行う。
- ・ 2021 年 1 月 8 日に今回実施結果を反映させて再度面内せん断試験を行う予定。

以上

令和2年度 DLT 検討委員会 第3回 議事録

日時 : 令和3年2月4日(木) 14:00~15:30
会場 : 株式会社長谷萬
参加者 : 法政大学 宮田先生(委員長)
物林株式会社 大貫様
小井土製材株式会社 小井土様
株式会社竹中工務店 木造・木質建築推進本部 花井様
林野庁 木材産業課 松本様、竹本様(リモート参加)
株式会社長谷萬 長谷川、事務局:鈴木、小林、岡田(記)

1. 事業主体挨拶(長谷川)

これまでの事業の成果を活用し、DLTの普及に向けて少しずつ実践が開始されている。菅政権は2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略を掲げ、炭素固定化には木材が有効であることが更に認知されてきている。こうした木材活用についての追い風が吹く中、DLTは問題解決の手段の1つになり得ると考えている。引き続き皆様のご協力を賜りたい。

2. 実施結果の報告

(1) 木ダボ位置の違いによる DLT 梁の強度性能試験

事務局 資料説明。

- ・ 木ダボの配置による効果はそれほど確認できなかったが、破壊性状が集成材と異なることが分かった。DLTは、節が望ましくない位置にあった部材から徐々に破壊が起きるが、ひとつの材で破壊が起きても他の部材に荷重が伝達されて荷重が上がり続け、それによってさらに変形が進む。破壊までの吸収エネルギーが大きくなることが分かった。すなわち接着剤を使わずに欠点を分散することができる。
- ・ 製材を使いたいという要望が多く、またその要求性能も高いが、要求性能を高めずに、欠点を分散させることで多様な木材を活用できるということが DLT の利点と言えるだろう。

(2) 木ダボ間隔の違いによる DLT 梁の強度性能試験

事務局 資料説明。

- ・ 通常、幅に比べ材せいが大きい材では横座屈で強度が落ちるが、ダボを打つことで強度が変わらないということは、横座屈せず強度が維持されているか？
- ・ DLTでは密に材が並び、ダボで拘束されるため、横座屈はしない。強度が落ちていないというのは、横座屈をしない前提で低減せずに計算した部材の強度と比較して、落ちていないということである。一般的に使われている設計基準強度から想定した耐力に対して明らかに強度が上がっている、ということではない。

(3) DLT-コンクリート複合梁の強度性能の確認

事務局 資料説明。

- ・ 集成材にコンクリートを打設した試験体では、ビスを200mmピッチで配置するため、一体効果が DLT よりも強めに出た。材せい180mmの集成材にコンクリートを50mm打設すると、曲げ強度が2~3倍になる。コ

ンクリートとの複合で、曲げ強度を上げる効果は確実に期待できるかと思う。

- ・ DLT の場合は、DLT を構成する材すべてにビスを打っているわけではないので、集成材に比べると一体効果があまり出ていないが、それでも曲げ強度が 1.5 倍以上は確認できている。海外の事例では、構成材の材せいに凹凸をつけて、コンクリートとの付着を高める手法がある。DLT ならではのシステムとしてこのような方法を考案することはできるかもしれない。
- ・ 今回の試験では破壊性状が大変興味深かった。コンクリートの引張側に曲げが入るとひび割れが進展して、最終的にコンクリートの方に脆性的な破壊が起きるだろうと考えていたが、実際には変形が進行しても、コンクリートには多少目視でひび割れが確認できる程度で、最終的には DLT と同じく木材が曲げ破壊して終了した。今回の試験で、DLT と複合化したコンクリートは、変形に追従できるということが確認できたので、非常に有効な知見ではないかと思う。
- ・ 今回、モルタルが漏れないように合板を敷いたが、構造的には無視してよい。

(4) DLT-コンクリート複合梁の長期性能の確認（クリープ試験）

事務局 資料説明。

- ・ このデータは初期たわみの変動が安定した後の 2 日分の計測結果である。クリープ試験は委員会実施日時で 14 日続いており今後も継続する。できれば本年の梅雨明け頃までは継続したい。

(5) DLT 耐力壁の面内せん断試験

事務局 資料説明。

- ・ 木ダボの嵌合度によって、耐力壁の剛性が非常に影響を受ける。鋼製ダボは打ち込みのために、今回は穴をダボに対して 1mm 大きくしたが、そのために剛性が大きく下がっていた。木ダボは穴より木ダボの径が大きいいため、ガタが生じず、高い剛性が得られた。
- ・ 木ダボで嵌合する DLT 耐力壁の特長は、釘やビス、接着剤を一切使わない、木材だけで作る壁という点にある。こうした構成の耐力壁で、壁倍率 5 倍を確保できることが特徴だと考える。
- ・ 一連の検証で、改めて、木ダボ接合の嵌合度の重要性やメリットが示せたことは大変興味深い。この点を活かして DLT の PR や普及につなげていきたい。

(6) DLT パネルの音響性能確認

事務局 資料説明。

- ・ 実際に使用用途でよく発生する周波数のピークを想定した上で、DLT パネルの断面形状や吸音材の特性などを設計していくことが考えられる。
- ・ すべての音域に対して効果が無くても良いかもしれない。実際に使用する部屋や目的を想定し、必要な音域だけ吸音するなどでも十分意義はあるだろう。

3. 今後の課題について

(1) DLT 耐力壁の最適設計の検証

- ・ 主に製材の厚さで DLT 壁の剛性が決まり、DLT と軸組との接合部で壊れ始めるため、耐力が決まることが分かってきた。これらをふまえることで、普及に向けて最適な耐力壁の構成を提案できるようになると考えている。
- ・ 耐力壁や床として使えそうであることに可能性を感じた。遮音性能も踏まえると、界壁などで利用できる可能性があると考える。基準法で求められる性能や認定が決まっているため、そういったところにも今後挑戦していけ

たらと思う。

(2) DLT 水平構面の検証

- ・ DLT を床として利用する場合の、面内のせん断伝達に関しては確認していないが、耐力壁と同様、効果が期待できる。床での DLT の構造利用に向けては、水平構面の検証も必要となる。

(3) DLT-コンクリート複合床板の検討

- ・ 複合床板の性能は、コンクリートと DLT のせん断伝達するところに支配されてしまうため、そこを如何に上手く接合できるかが、普及に向けて重要である。
- ・ 今回良い成果が得られたと感じている。今後、製材の活用領域拡大を考えるに当たり、コンクリートとの混構造が鍵だと考えている。製材に地震力を負担させるとなると、製材に対する要求性能が高くなってくるが、コンクリートに地震力を負担させる考え方で複合利用することで、製材の利用拡大を図ることができると思う。ワイヤーメッシュを入れたコンクリートで水平剛性が確保できるのであれば、混構造で使いやすくなるだろう。水平構面の検討に取り組みたい。

(4) DLT の耐火性能の検証

- ・ 今後 DLT の利用領域拡大のためには、耐火性能の検証は避けられない。例えば、1 時間準耐火など、対象とレベルを絞り、検証を進めることが必要ではないか。最近 CLT、NLT とマスティンバーでの耐火性能確認が進んでいるが、DLT も同様の性能検証を行うことで、適材適所での木材利用につながると思われる。

(5) DLT の音響性、機能性の検証

- ・ 普及に向けて、性能面を掘り下げる必要があるだろう。
- ・ 網野先生が、構造性能など、単体の性能では無く、構造 + 音響 + α のように、複合的に性能を確保していかなければ、デザイナーや設計者、顧客が使いやすくなり、普及につながらないと仰っていた。今後は、例えば、遮音性と耐火性など、床や壁を構成するセットでの性能を示す必要があると考えている。

(6) 持続可能社会の実現に向けて

- ・ DLT を普及させるそもそもの目的は、林業生産者や製材工場に繋げて、地域分散型で DLT を生産することで、SDGs の実現に向けて、森林や林業で持続可能な社会を作りたいからである。従来は、「ここに使うために、これだけの性能が無ければならないから、木材の方を合わせる」という考え方で来ていたが、既にある木をいかに効率的に使うか、という逆の考え方に転換していきたい。SDGs で目指す目標に到達するための手段として DLT の普及を進め、木材利用を拡大していきたい。
- ・ 製材の作り手側にとって、DLT は非常にありがたい製品だ。製材工場で二級品と呼ばれる丸身等の製品であっても、DLT に活用することで意匠材として捉えられる点が素晴らしい。工場で見るときは二級品に見えるが、こうして出来上がった DLT を見ると、一級品に感じられる。木材活用に向けて、作り手の立場から DLT 普及に取り組んでいきたい。

以上

8. 謝辞

本事業は林野庁平成元年度補正予算による木構造振興株式会社「令和元年度 木材製品の消費拡大対策事業のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業」の採択を受けて実施致しました。本事業の推進にご協力頂きました関係者の方々に、心より感謝の意を表します。

また、本事業の各種検証の実施にあたり、群馬県林業試験場に多くのご協力、ご指導をいただきました。関係者の方々に改めて感謝の意を表します。

9. 参考資料

- ・ 株式会社長谷萬：林野庁 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)
- ・ 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）
- ・ 公益財団法人日本住宅・木材技術センター：構造用木材の強度試験マニュアル（2011年3月）
- ・ Alfredo Dias, Jörg Schänzlin and Philipp Dietsch：Design of timber-concrete composite structures、COST、2018
- ・ 宮田雄二郎：木ダボ積層板の水平せん断試験と力学特性の検証、日本建築学会技術報告集 第26巻 第64号, 940-945, 2020年10月
- ・ 工藤大河、野村直人：木-コンクリート複合材の開発、法政大学デザイン工学部建築学科 2021年度卒業論文
- ・ 汎 浩：ミゾ付き木ダボと鋼製ダボを使用したDLT耐力壁の実用化に向けた研究、法政大学デザイン工学部建築学科 2021年度卒業論文