

平成29年度 林野庁委託事業

都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業

CLT 等接合部データ収集
FJで接合されたCLTの性能確認等
研究成果報告書

平成30年3月

山佐木材株式会社

平成 29 年度林野庁委託事業 都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業

CLT 等接合部データ収集

FJ で接合された CLT の性能確認等 研究成果報告書

平成 30 年 3 月発行

〒893-1206 鹿児島県肝属郡肝付町前田 972 番地

山佐木材株式会社

TEL 0994-31-4141 FAX 0994-31-4142

目次

	頁
第1章 はじめに	1
1-1. 事業の背景と目的	(1)
1-2. 検討方法と実施計画	(1)
1-3. 検討体制	(3)
第2章 CLTの最適嵌合圧評価実験	4
2-1. 実験の目的と必要性	(4)
2-2. 試験体および試験方法	(4)
2-3. 結果および考察	(8)
2.4. 適正嵌合圧の提案	(13)
2.5. フィンガー切削機ならびに嵌合機	(14)
第3章 フィンガージョイントを用いた縦(横)継ぎCLTパネルの曲げ強度性能の確認…	16
3-1. 目的	(16)
3-2. フィンガージョイントで接合されたCLTパネル同士の面外曲げ試験	(16)
3-2-1. 試験方法	(16)
3-2-2. 評価方法	(19)
3-2-3. 試験体	(20)
3-2-4. 結果および考察	(21)
3-3. フィンガージョイントで接合されたCLTパネル同士の面内曲げ試験	(34)
3-3-1. 試験方法	(34)
3-3-2. 試験体	(35)
3-3-3. 結果および考察	(36)
第4章 縦(横)フィンガージョイント接合CLTパネルのせん断性能の確認	46
4-1. 目的	(46)
4.2. 面内せん断試験でC法(逆対称せん断試験法)を選択する根拠	(46)
4-3. フィンガージョイントで接合されたCLTパネル同士の面内せん断試験	(48)
4-3-1. 試験方法	(48)
4-3-2. 試験体	(50)
4-3-3. 測定結果の評価法	(50)
4-3-4. 結果および考察	(51)
4-4. フィンガージョイントで接合されたCLTパネル同士の面外せん断試験	(63)
4-4-1. 試験方法	(63)

4-4-2.	試験体	(64)
4-4-3.	測定結果の評価法	(64)
4-4-4.	結果および考察	(65)
第5章	フィンガージョイントで接合されたCLTパネル同士の縦圧縮試験	75
5-1.	目的	(75)
5-2.	試験方法	(75)
5-3.	試験体	(76)
5-4.	測定結果の評価法	(76)
5-5.	結果および考察	(77)
第6章	縦継ぎ幅矧ぎプライで製造したCLTパネルの性能把握	89
6-1.	目的	(89)
6-2.	幅矧ぎプライ1枚のフィンガージョイント接合部の面外曲げ試験	(89)
6-2-1.	目的	(89)
6-2-2.	試験方法	(89)
6-2-3.	試験体	(91)
6-2-4.	測定値の評価法	(91)
6-2-5.	結果および考察	(92)
6-3.	縦継ぎ幅矧ぎプライで製造したCLTパネルの面外曲げ試験	(98)
6-3-1.	目的	(98)
6-3-2.	試験方法	(98)
6-3-3.	試験体	(100)
6-3-4.	測定値の評価方法	(101)
6-3-5.	結果および考察	(102)
第7章	実験的研究に関するまとめ	110
第8章	活用に係る効果の取りまとめ	111
引用・参考文献		112
付録 I～VI		113
委員会議事録		227

第1章 はじめに

1-1. 事業の背景と目的

我が国の CLT は、小幅パネルが大半を占めている。しかし、今後の CLT 建築・CLT の更なる普及促進のためには、CLT パネルの大型化も必要である。

巨額の資本を必要とする大版 CLT パネル製造工場を造る方向とは別に、現状の小幅 CLT パネルを縦、横方向に予め工場等でフィンガー接合して、パネルを大型化するという方法も一つの選択枝として考えるに値する。また、別の選択枝として、幅矧ぎ接合されたラミナ（以後、幅矧ぎプライと呼ぶ）を強軸方向にフィンガー接合して大型プライを作成し、任意寸法の CLT パネルを製造する方法についても、その実現可能性を実験的に検証する。

本事業では、その具体的な方法として、フィンガー長 50mm のラージフィンガージョイントおよびフィンガー長 24mm のノーマルフィンガージョイントで小幅 CLT パネルを縦・横方向に大型化した場合のフィンガー接合性能、フィンガー接合によって大型化された幅矧ぎプライで製造された CLT パネルの曲げ強度性能を実験的に把握する事を目的とする。

1-2. 検討方法と実施計画

[検討方法]

最初に、林野庁、学識経験者、CLT 生産者、機械開発業者等から構成される検討委員会を立ち上げ、以下に示す各項目の性能把握と結果のとりまとめを進めるために必要となる試験研究課題を策定し、それぞれの課題担当を決定したうえで事業をスタートさせた。

ア. フィンガージョイントを用いた縦（横）継ぎ CLT の性能把握

国内外における、集成材の現場接合で実績のあるフィンガージョイント接合を用いた接合形式の性能把握を行う。一般的には、製品接合の際にはラージフィンガーが用いられるが、フィンガーの長さの違いについてもデータ収集を行う。

[試験研究課題]

- CLT の最適嵌合圧評価実験（野田委員）
- フィンガージョイントで接合された CLT-CLT パネルの面外曲げ試験（中原委員）
- フィンガージョイントで接合された CLT-CLT パネルの面内曲げ試験（中原委員）
- フィンガージョイントで接合された CLT-CLT パネルの面内せん断試験（中谷委員）
- フィンガージョイントで接合された CLT-CLT パネルの面外せん断試験（中谷委員）
- フィンガージョイントで接合された CLT-CLT パネルの縦圧縮試験（中谷委員）

イ. 縦矧ぎプライを用いた CLT の性能把握

幅矧ぎ材の利用を想定した場合、製造可能な幅矧ぎプライの大きさに CLT パネルの大きさが依存するため、幅はぎプライの縦矧ぎについても性能を把握する。

[試験研究課題]

- 幅矧ぎプライ 1 枚の FJ 接合部の面外曲げ試験（中原委員）
- フィンガージョイントで縦接合した幅矧ぎプライで製造した CLT の面外曲げ試験（中谷委員）

ウ. 活用に係る効果の取りまとめ

今回の性能把握によって得られた実証データに基づき、設計、国内輸送、施工までの実際の活用に係る効果の検討を行う。

[実施計画]

試験実施場所は鹿児島県工業試験場および宮崎県木材利用技術センターの 2 カ所をお願いし、各試験課題の実施場所と実施予定時期を下記のように設定した。

課題内容	H29 年						H30 年		
	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月
CLT の最適嵌合圧評価実験（鹿児島工試）		○							
FJ 接合 CLT パネルの曲げ強度性能（鹿児島工試）				←→					
FJ 接合 CLT パネルの面内せん断性能（宮崎木試）					←→				
FJ 接合 CLT パネルの面外せん断（鹿児島工試）				←→					
FJ 接合 CLT パネルの縦圧縮試験（宮崎木試）					←→				
幅矧ぎプライ 1 枚の FJ 接合部の面外曲げ試験（鹿児島工試）							←→		
FJ 接合幅矧ぎプライで製造した CLT の面外曲げ試験（宮崎木試）							←→		
WG・委員会	○				○				
報告会									○
報告書									○

1-3. 検討体制

都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業
(CLT 等接合部データ収集) 委員名簿

	氏 名	所 属
委員長	小松 幸平	京都大学名誉教授
委員	槌本 敬大	(国研) 建築研究所 材料研究グループ 上席研究員
委員	野田 康信	(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室 主任研究員
委員	溝口 祥司	(株) 太平製作所 執行役員 大阪事業部 技術営業部長
委員	中谷 誠	宮崎県木材利用技術センター 構法開発部 主任研究員
委員	中原 亨	鹿児島県工業技術センター 地域資源部 研究員
オブザーバー		
林野庁	藤本 達之	林野庁木材産業課 住宅資材技術専門官
事業主体	佐々木 幸久	山佐木材株式会社 代表取締役
	稲田 達夫	山佐木材株式会社 顧問
	塩崎 征男	山佐木材株式会社 技術本部長
	村田 忠	山佐木材株式会社 CLT 部長
	西牧 聡	山佐木材株式会社 CLT 部リーダー
	小松 賢司	山佐木材株式会社 工務チーム
会計	佐々木 真理	山佐木材株式会社 総務課長

第2章 CLTの最適嵌合圧評価実験

2-1. 実験の目的と必要性

フィンガージョイントは木材の縦接合法として最も強度的な信頼性の高いスカーフジョイントの生産効率性と材料歩留まりの向上を目的として開発されたもので、現在では集成材ラミナの標準的な縦接合法として定着している。

既往の研究¹⁾から、フィンガージョイントの最適嵌合圧は接合部を嵌合させた際に測定される荷重-嵌合量曲線の直線域における荷重値の下限値～中間値間の適切な値が選択されてきた。その理由は、荷重が大きすぎると嵌合される木材に何らかの損傷が発生する場合が多く、逆に荷重が低すぎると接着面に十分な圧縮圧力が伝達されない危険性があるためであった¹⁾。また、実際のフィンガ接合材の製造工程や現場でのフィンガ接合の事を考えると、高い圧力を掛けることが困難な場合も多いので、直線域の下限値に近い応力が実務的な意味での最適嵌合圧として採用されてきた。

本事業においては、これまでに経験したことのないCLTという新しい材料をフィンガ接合する場合の最適嵌合圧を知る必要があったため、上述した嵌合圧に関する従来からの経験をふまえて、多くの実験に先立ってCLTフィンガージョイントの最適嵌合圧を評価する実験を実施した。

2-2. 試験体および試験方法

試験に供した材料は5層5プライのスギCLT（平均密度0.423 g/cm³、含水率12.1%）で、Mx60Aである。構成ラミナの厚さは30mmで、CLTの断面は150×150mmとし、強軸（K）および弱軸（J）の2条件とした。試験体の長さは嵌合後に全長がおおよそ500mmとなるように、250mmの部材の片側の断面をフィンガ加工したもの同士を嵌合した。フィンガの長さは50mmおよび24mmである。それぞれのフィンガの木型を図2.2.1に示す。以下、50mmフィンガをラージ（LF）、24mmフィンガをノーマル（NF）と表記する。

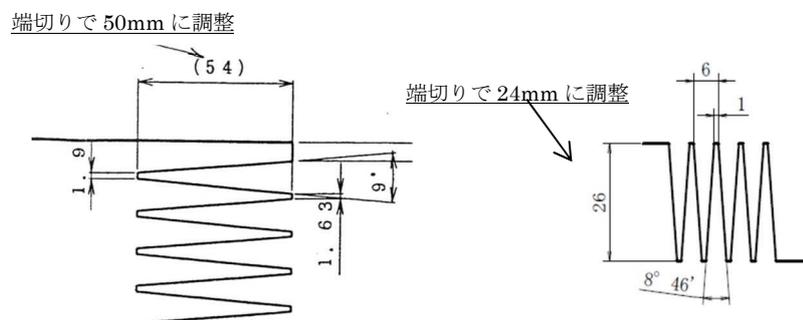


図2.2.1 フィンガの木型

(左：LFフィンガ長50mm、右：NFフィンガ長24mm)

フィンガーの切削方向は、積層面に平行な水平フィンガーとした。フィンガー加工した材の側面の様子を図2. 2. 2に示す。



図2. 2. 2フィンガー加工した CLT の側面の様子

幅矧ぎ位置への配慮をせず、節などによってフィンガーが欠損したものも含めて、嵌合試験に供した。



図2. 2. 3接着剤塗布の様子（フィンガー加工したラミナを楯として使用）

嵌合試験は、実際の接着条件を想定してレゾルシノール樹脂接着剤に硬化剤を混ぜて実施した。接着剤は住友林業クレスト社製エスレジソ SR-160 に硬化剤 NA を 100 : 15 で混

合したものである。製糊は試験体毎に実施し、塗布から嵌合までの所要時間を10分以内とした。塗布量は接着層面積あたり $250\text{g}/\text{m}^2$ とし、フィンガー形状を考慮した表面積に対して、この半分をそれぞれの面に塗布するものとして、LF 試験体では片面 27g 、NF 試験体では片面 20g を最低塗布量として定め、台はかりを用いて塗布前後の重量差から塗布量を記録した。実際の塗布量は、LF 試験体は $28.7\sim 48.5\text{g}$ 、NF 試験体では $24.2\sim 38.5\text{g}$ であった。塗布の様子を図2. 2. 3に示す。

嵌合後は直ちに嵌合試験に供した。なお、LF 試験体、NF 試験体ともに、図2. 2. 4-a)、b)に例示するように直交層のフィンガーが著しく折損していたものもあったが、それらも含めて、嵌合試験に供した。



a) LF 弱軸試験体

b) NF 強軸試験体

図2. 2. 4 直交層のフィンガーが著しく折損した嵌合試験体の例

試験は鹿児島県工業技術センター所有の油圧万能材料試験機（島津製作所製）を用い、加圧盤を固定して加力した。試験の様子を図2. 2. 5に示す。



図2. 2. 5 嵌合試験の様子

標点間距離がおおよそ 2 部材の嵌合中心から 200mm 程度となる位置に、両側から変位計をねじ止めすることで、2 部材の相対変位を計測した。加力速度は 2mm/min とし、最大荷重の 5%低下をもって加力を終了とした。なお、嵌合試験の所要時間は、塗布から嵌合まで 4 分 40 秒から 9 分 45 秒、加力開始から終了までは 4 分 20 秒から 9 分 21 秒であり、いずれも塗布から強度試験完了までを 20 分以内で実施した。

表 2. 2. 1 に供試嵌合試験体の仕様を示す。

表 2. 2. 1 供試嵌合試験体の仕様 (Mx60A-5L5P)

試験体		組合	層	Ply	せい	幅	全長※	数量
					<i>b</i>	<i>d</i>	<i>L</i>	
					(mm)			
50mm ラージフィンガー	嵌合圧試験	強・強	5	5	150	150	500	6
	嵌合圧試験	弱・弱	5	5	150	150	500	6
24mm ノーマルフィンガー	嵌合圧試験	強・強	5	5	150	150	526	6
	嵌合圧試験	弱・弱	5	5	150	150	526	6

※長さ 275mm の 2 部材のそれぞれの片側をフィンガーで切削したものを嵌合するため、実際の嵌合後の全長にはばらつきがある。

2-3. 結果および考察

図2.3.1、図2.3.2に試験終了後の様子を示す。弱軸試験体においては、最外層が外側に孕み出し、積層接着面に沿って亀裂が入るものがあった。荷重変形曲線を図2.

3.3～図2.3.6に直線域の荷重値とともに示す。すべての曲線において、S字を描いており、一方のフィンガー先端が他方のフィンガー底部に接触したのちに、荷重が再上昇して最大耐力を迎え、その後、フィンガー底部が割裂することにより、終局を迎えるものがほとんどであった。



図2.3.1 加力終了時の様子

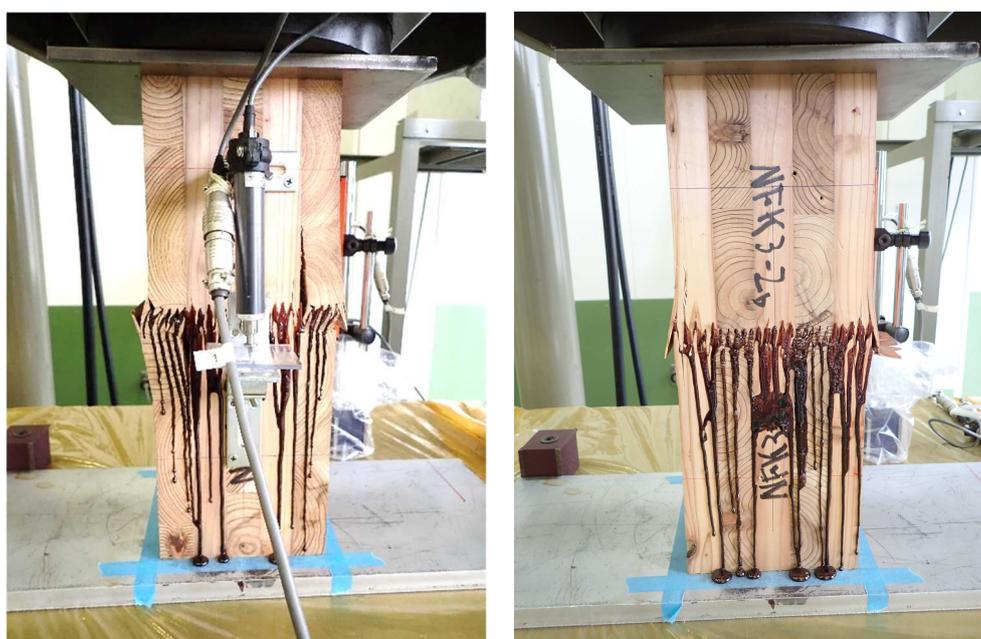


図2.3.2 FJ 近くの変形の例 (左 : NF 弱軸、右 : NF 強軸)

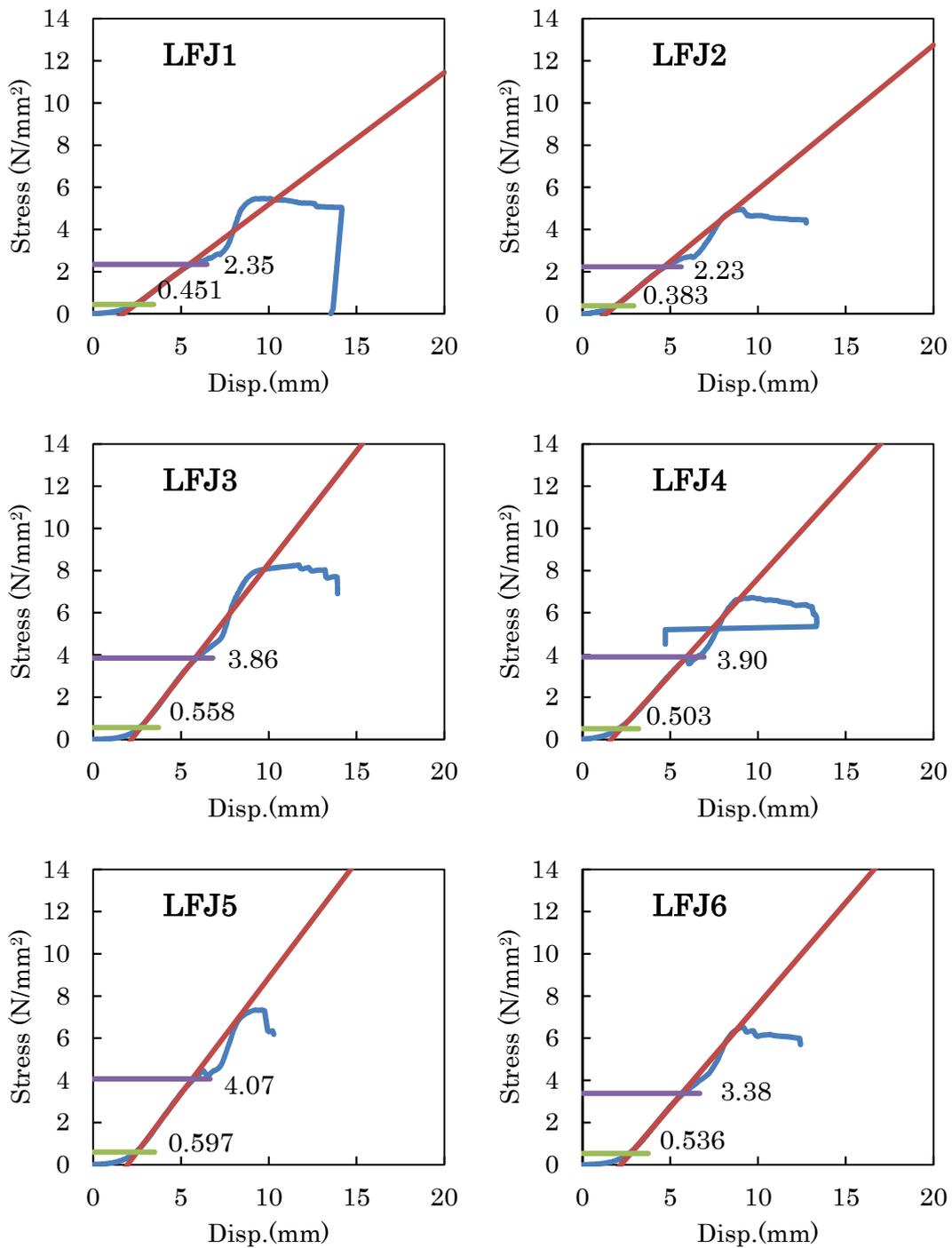


図2. 3. 3ラージフィンガー弱軸の荷重-変形曲線

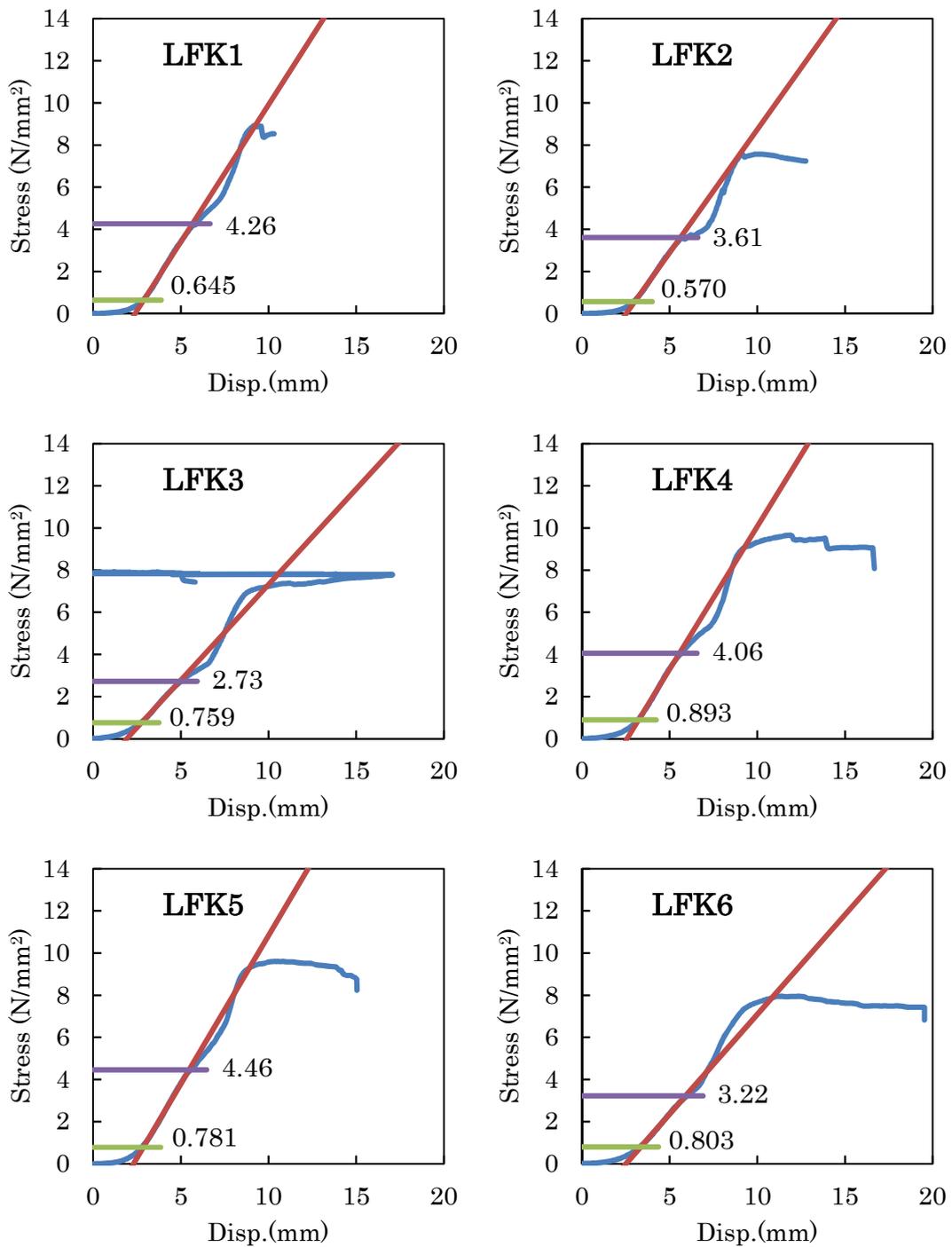


図 2. 3. 4 ラージフィンガー強軸の荷重-変形曲線

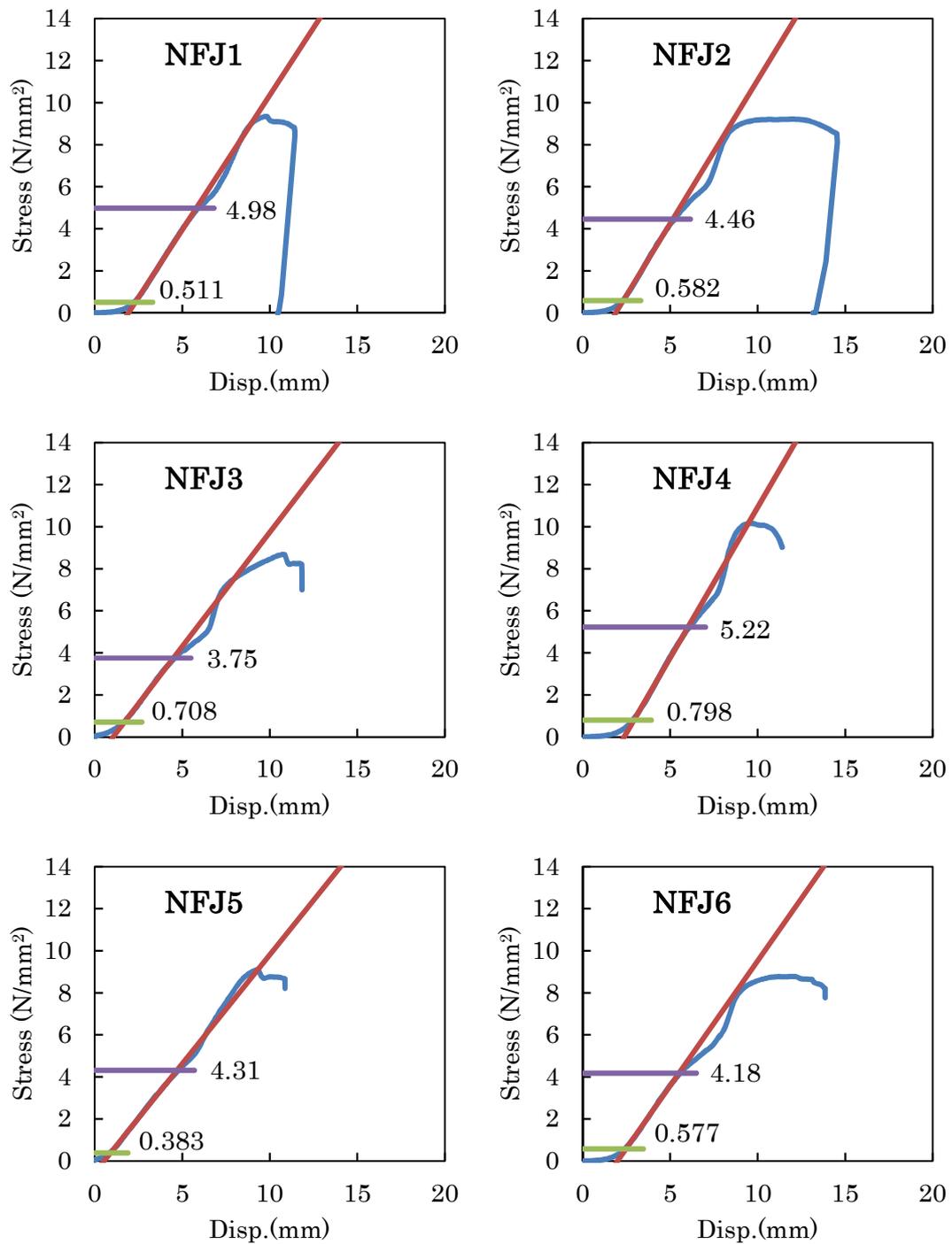


図2. 3. 5 ノーマルフィンガー弱軸の荷重-変形曲線

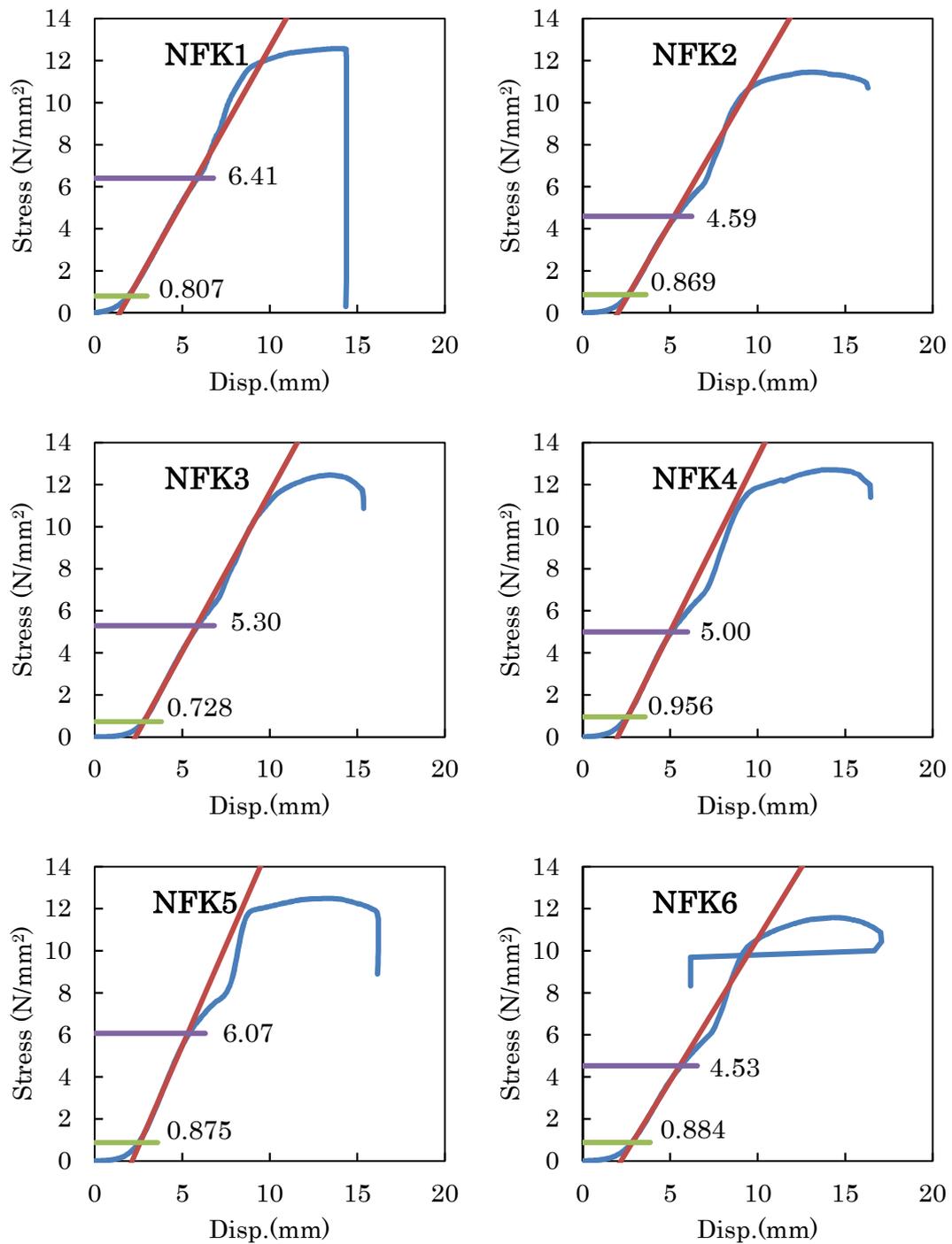


図2. 3. 6 ノーマルフィンガー強軸の荷重-変形曲線

2.4 適正嵌合圧の提案

CLT 同士をフィンガージョイントする場合には、その断面の大きさゆえに、通常のラミナの縦継ぎに採用されている嵌合圧を用いると嵌合装置が非常に大がかりなものになる。そのため、できる限り低い荷重での嵌合が望まれるが、どの程度まで低い値であっても、十分な接合強度が得られるかについて不明である。

ラミナの縦継ぎでは、直線域の上限と下限の平均値が適正とされているが、ここでは、直線域の下限側に着目し、6体の直線域下限の95%上側許容限界値を嵌合圧として採用することとした。ここで、木口面積当たり（150×150mmで割った値）の応力換算の一覧とそれぞれのばらつきが正規分布であると仮定した場合の許容限界値を表2.4.1に示す。

表2.4.1 嵌合試験の結果（直線域一覧 単位：N/mm²）

ラージ、弱軸					ラージ、強軸				
σ_{max}	直線域				σ_{max}	直線域			
	下限	中間	上限			下限	中間	上限	
LFJ1	5.47	0.451	1.40	2.35	LFK1	8.93	0.645	2.45	4.26
LFJ2	4.95	0.383	1.31	2.23	LFK2	7.58	0.570	2.09	3.61
LFJ3	8.26	0.558	2.21	3.86	LFK3	7.91	0.759	1.74	2.73
LFJ4	6.71	0.503	2.20	3.90	LFK4	9.66	0.893	2.48	4.06
LFJ5	7.33	0.597	2.33	4.07	LFK5	9.60	0.781	2.62	4.46
LFJ6	6.51	0.536	1.96	3.38	LFK6	7.95	0.803	2.01	3.22
Ave.	6.54	0.505	1.90	3.30	Ave.	8.60	0.742	2.23	3.72
Min.	4.95	0.383	1.31	2.23	Min.	7.58	0.570	1.74	2.73
Max.	8.26	0.597	2.33	4.07	Max.	9.66	0.893	2.62	4.46
C.V.(%)	18.4	15.3	24.7	23.3	C.V.(%)	10.6	15.6	17.9	15.1
50%下限値	6.90	0.528	1.77	3.06	50%下限値	8.88	0.776	2.13	3.53
95%下側許容限界値	3.72	0.324	0.868	1.396	95%下側許容限界値	6.47	0.471	1.44	2.170
95%上側許容限界値	9.36	0.685	2.93	5.20	95%上側許容限界値	10.7	1.012	3.02	5.28

ノーマル、弱軸					ノーマル、強軸				
σ_{max}	直線域				σ_{max}	直線域			
	下限	中間	上限			下限	中間	上限	
NFJ1	9.34	0.511	2.74	4.98	NFK1	12.6	0.807	3.61	6.41
NFJ2	9.21	0.582	2.52	4.46	NFK2	11.4	0.869	2.73	4.59
NFJ3	8.68	0.708	2.23	3.75	NFK3	12.5	0.728	3.01	5.30
NFJ4	10.2	0.798	3.01	5.22	NFK4	12.7	0.956	2.98	5.00
NFJ5	9.12	0.383	2.35	4.31	NFK5	12.5	0.875	3.47	6.07
NFJ6	8.77	0.577	2.38	4.18	NFK6	11.6	0.884	2.71	4.53
Ave.	9.22	0.593	2.54	4.48	Ave.	12.2	0.853	3.08	5.31
Min.	8.68	0.383	2.23	3.75	Min.	11.4	0.728	2.71	4.53
Max.	10.2	0.798	3.01	5.22	Max.	12.7	0.956	3.61	6.41
C.V.(%)	5.77	24.6	12.0	11.5	C.V.(%)	4.48	9.08	14.6	12.2
50%下限値	9.37	0.636	2.45	4.32	50%下限値	12.4	0.876	2.97	5.08
95%下側許容限界値	7.97	0.252	1.86	3.227	95%下側許容限界値	10.9	0.672	2.20	3.500
95%上側許容限界値	10.5	0.934	3.22	5.74	95%上側許容限界値	13.5	1.034	3.96	7.13

LF 試験体、NF 試験体の強軸方向では、いずれも直線域下限の 95%上側許容限界値は、 1N/mm^2 をわずかに超えたが、個別のデータにおいては、 1N/mm^2 を上回るものはなかった。LF、NF の別においては、NF の方が高い傾向にあるが、弱軸方向のばらつきが特に大きい。最大荷重の差にも表れているように強軸と弱軸の違いにより荷重変形特性が異なるため、最適嵌合圧を設定する際には、フィンガー形状のみならず、材料側の仕様に応じて個別に設定する必要性がうかがえるが、今回の実験範囲に関しては、直線域で嵌合したことを担保するための条件として 1N/mm^2 以上が一つの目安となる。一方、直線域上限側については、LF 試験体の弱軸方向で 1.4N/mm^2 程度と直線域が狭い条件があった。嵌合時に材料が損傷する可能性もあるため、過剰な嵌合圧がかからないことに対しても配慮が必要である。

以上の考察より、本事業に設置された委員会では全ての供試体の嵌合圧を 1N/mm^2 とすることにした。

2.5 フィンガー切削機ならびに嵌合機

2. 4 節で示したように、本事業で供試される全試験体のフィンガー接合部は 1N/mm^2 の嵌合圧力で圧入することが決定された。それと平行して、本事業では全試験体のフィンガー切削とフィンガー嵌合を行う専用の機械を整備・試作した。

フィンガー切削に関しては、既設のフィンガー切削機を本事業の研究で使用する 50mm ラージフィンガーや幅 1m の大きな試験体を切削可能なように機能を整備したものをを用いて実施した。図 2. 5. 1-a)、b)は幅 1m の幅矧ぎプライを 50mm フィンガーカッターを用いて切削している状況を示す。



a) フィンガー切削部分を含む切削機の状況 b) 試験体側から見たフィンガー切削機械

図 2. 5. 1 本事業用に機能を整備したフィンガー切削機

一方、フィンガー嵌合機に関しては、専用の嵌合試験機を試作した。図 2. 5. 2 に試作した嵌合試験機の製作図面を示す。

試作嵌合機には最大圧縮力 500kN の油圧シリンダー（理研 D5-500VC）が 2 個装着されており、最大 1000kN の圧縮力を掛けてフィンガー接合された試験体を嵌合することができる。

図2. 5. 3に試作した嵌合機で試験体を嵌合している状況を示す。

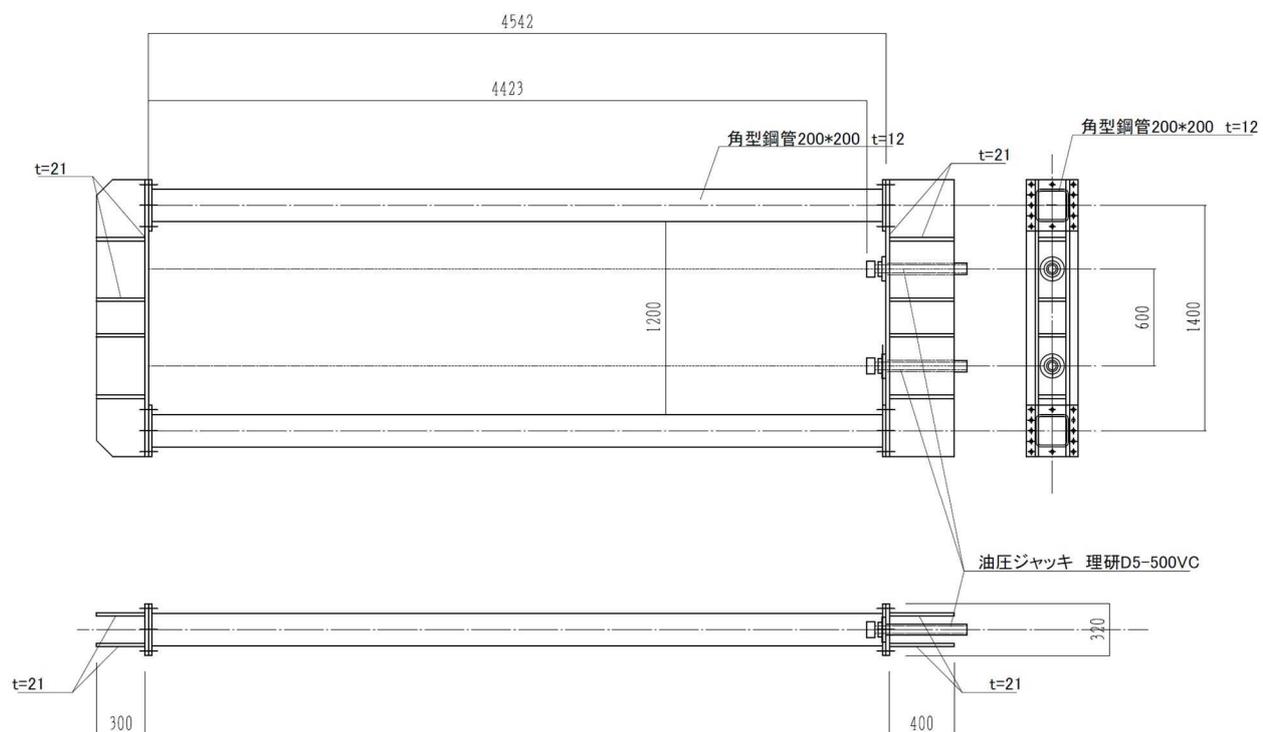


図2. 5. 2 試作フィンガー用嵌合試験機



図2. 5. 3 試作嵌合機による試験体の嵌合状況

第3章 フィンガージョイントを用いた縦（横）継ぎ CLT パネルの曲げ強度性能の確認

3-1. 目的

本章で実施する実験の目的は、以下に示す各設定パラメータが小幅 CLT パネル同士を縦方向並びに横方向にフィンガージョイントで接着接合した製品の面外曲げ強度性能にどのように影響を及ぼすかを実験によって確認することにある。

[設定パラメータ]

- CLT の種類：3 層 3 プライ、5 層 5 プライ、5 層 7 プライ（ノーマルフィンガーのみ）
- フィンガー長さ：24mm（ノーマルフィンガー）、50mm（ラージフィンガー）
- 接合方向：強軸－強軸（縦方向接合）、弱軸－弱軸（横方向接合）

[共通条件]

- CLT の JAS 強度等級：Mx60A（スギ）
- 接着剤：フェノールレゾルシノール樹脂接着剤(RF)
- 嵌合圧：1 N/mm²
- 载荷速度：強軸－強軸接合試験体、6mm/分、弱軸－弱軸接合試験体、8mm/分
- 試験体数：各 6 体

3-2. フィンガージョイントで接合された CLT パネル同士の面外曲げ試験

3-2-1. 試験方法

本来であれば CLT の JAS 規格²⁾で規定された曲げ試験法に準拠するのが望ましい。しかしながら、本事業では下記に示す理由から、住宅木材技術センター（編）の「構造用木材の強度試験マニュアル」³⁾で規定された図 3. 2. 1 に示す試験法に準拠して試験を行う。

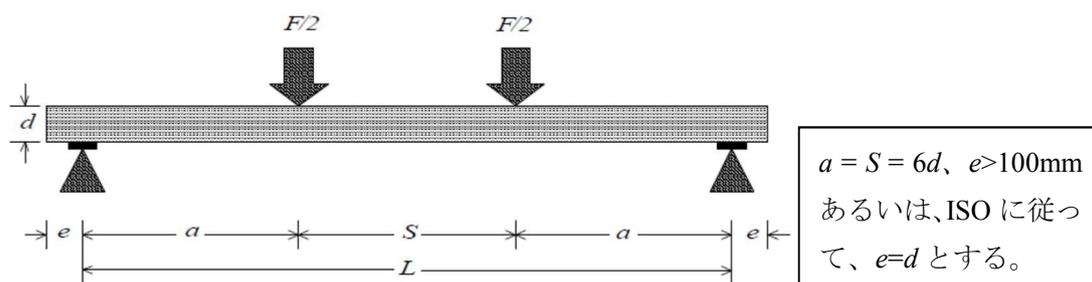


図 3. 2. 1 「構造用木材の強度試験マニュアル」²⁾による曲げ試験法の概念

試験法を「構造用木材の強度試験マニュアル」³⁾に準拠する理由は、CLT の FJ 切削や嵌合工程に使用する機械の寸法上の制限から、FJ 接合するスパン半長をできるだけコンパクトに納める必要があったためである。また、これまでの山佐木材の自社試験の試験体仕様との共通性を保つために、CLT の幅は面外曲げの場合は $b=300\text{mm}$ 、面内曲げの場合の「梁せい」

は、ラミナ 2 枚分の $d(h)=240\text{mm}$ とした。

具体的な面外曲げ試験のセットアップイメージ例として、5 層 5ply 強軸方向同士の FJ 接合試験体の場合を図 3. 2. 2-(a)に、実際の写真を図 3. 2. 2-(b)に示す。

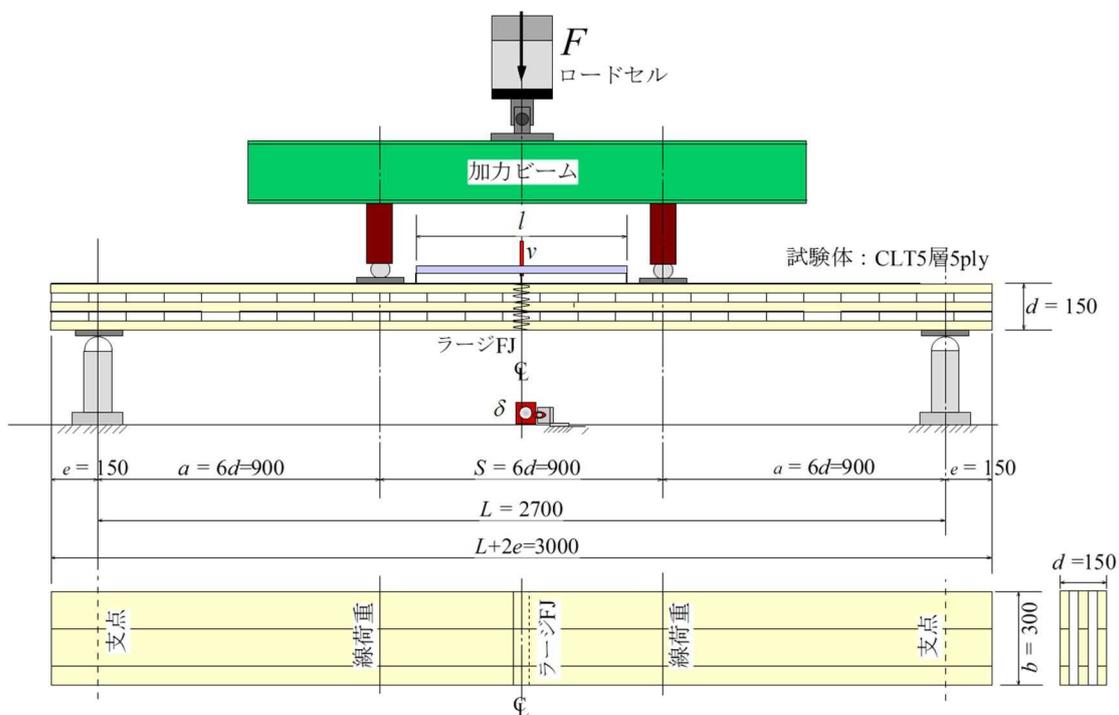


図 3. 2. 2-(a) 強軸方向同士を FJ 接合した CLT パネルの面外曲げ試験 (FJ が中央)



図 3. 2. 2-(b) FJ 接合した CLT パネルの面外曲げ試験 (FJ を中央に配した場合)
(鹿児島県工業試験場)

一方、FJ の位置を意図的に加力点直下に配置した試験体（記号として-AS が付く）のセットアップイメージと実際の写真を図3. 2. 3-(a)、(b)に示す。

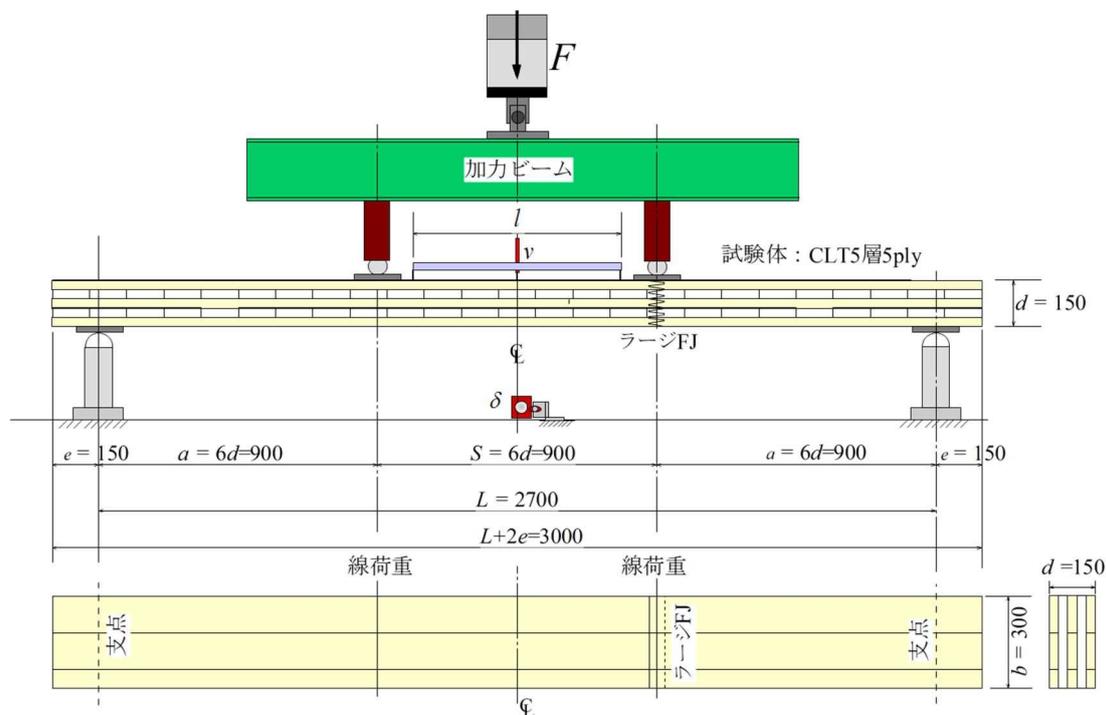


図3. 2. 3-(a) 強軸方向同士をFJ接合したCLTパネルの面外曲げ試験(FJを加力点直下)



図3. 2. 3-(b) FJ接合したCLTパネルの面外曲げ試験 (FJを加力点直下に配した場合) (鹿児島県工業試験場)

3-2-2. 評価方法

FJ 接合された CLT パネルの面外曲げ試験性能の評価は、「構造用木材の強度試験マニュアル」³⁾に準拠して行った。

[曲げ強さ]³⁾

曲げ強さ f_m (N/mm²) は式(3.2.1)算出した。

$$f_m = \frac{a \cdot F_{ult}}{2Z} \quad \dots(3.2.1)$$

ここで、(図 3. 2. 2 または 図 3. 2. 3 参照)

a : 支点から荷重点までの距離(mm)

F_{ult} : 最大荷重 (N)

Z : 断面係数(mm³)、矩形断面では $bd^2/6$

d : 材せい (mm)

b : 材幅 (mm)

[せん断変形の影響を含んだ曲げヤング係数 E_m]³⁾

スパン中央の全体たわみを測定し、式(3.2)によりせん断影響を含んだ曲げヤング係数 E_m (kN/mm²) を算出した。

$$E_m = \frac{a \cdot (3L^2 - 4a^2)(F_2 - F_1)}{48I(\delta_2 - \delta_1)} \quad \dots(3.2.2)$$

ここで (図 3. 2. 2 または 図 3. 2. 3 参照)、

a : 支点から荷重点までの距離(mm)

L : 全スパン (mm)

I : 断面 2 次モーメント。矩形断面では $bd^3/12$ (mm⁴)。

F_1 : 荷重変形曲線の直線部分の荷重。 F_1 は最大荷重の 10% の値 (kN)

F_2 : 荷重変形曲線の直線部分の荷重。 F_2 は最大荷重の 40% の値 (kN)

δ_1 : F_1 に対応するスパン中央たわみ (mm)

δ_2 : F_2 に対応するスパン中央たわみ (mm)

[せん断変形の影響を含まない曲げヤング係数 E_b]³⁾

曲げモーメント一定区間内に置かれた袴式測定器具で測定されたたわみ v を用いて、式(3.2.3)によりせん断影響を含まない曲げヤング係数 E_b (kN/mm²) を算出した。

$$E_b = \frac{a \cdot l^2 \cdot (F_2 - F_1)}{16I(v_2 - v_1)} \quad \dots(3.2.3)$$

ここで (図3. 2. 2 または図3. 2. 3 参照)、

I : 断面2次モーメント。矩形断面では $bd^3/12$ (mm^4)

d : 材せい (mm)

b : 材幅 (mm)

l : せん断変形の無い一定モーメント区間に置かれた袴式測定器具のスパン (mm)

F_1 : 荷重(F)-変形(v)曲線の直線部分の荷重。 F_1 は最大荷重の 10%の値 (kN)

F_2 : 荷重(F)-変形(v)曲線の直線部分の荷重。 F_2 は最大荷重の 40%の値 (kN)

v_1 : 袴式測定器具で F_1 時に測定されたたわみ (mm)

v_2 : 袴式測定器具で F_2 時に測定されたたわみ (mm)

3-2-3. 試験体

表3. 2. 1～表3. 2. 3にフィンガー接合されたCLT-CLTパネルの面外曲げ試験体の仕様を示す。ただし、第1回委員会において、「FJ部を荷重点直下に置いた試験体についても実験してはどうか」という意見が出されたので、5層5ply ($d=150\text{mm}$)の場合に限って、表3. 2. 3に示すFJが荷重点直下に来た場合の試験体を追加した。

表3. 2. 1 $l=50\text{mm}$ ラージフィンガージョイント試験体

試験体	構成	層	ply	せい	幅	材端	a	S	全長	数量	
				d	b	e	$=6d$	$=6d$	$L+2e$		
(mm)											
1	MGM-KL90	強-強	3	3	90	300	90	540	540	1800	6
2	MGM-JL90	弱-弱	3	3	90	300	90	540	540	1800	6
3	MGM-KL150	強-強	5	5	150	300	150	900	900	3000	6
4	MGM-JL150	弱-弱	5	5	150	300	150	900	900	3000	6

表3. 2. 2 $l=24\text{mm}$ ノーマルフィンガージョイント試験体

試験体	構成	層	ply	せい	幅	材端	a	S	全長	数量	
				d	b	e	$=6d$	$=6d$	$L+2e$		
(mm)											
1	MGM-KN90	強-強	3	3	90	300	90	540	540	1800	6
2	MGM-JN90	弱-弱	3	3	90	300	90	540	540	1800	6

3	MGM-KN150	強-強	5	5	150	300	150	900	900	3000	6
4	MGM-JN150	弱-弱	5	5	150	300	150	900	900	3000	6
5	MGM-KN210	強-強	5	7	210	300	210	1260	1260	4200	6
6	MGM-JN210	弱-弱	5	7	210	300	210	1260	1260	4200	6

表 3. 2. 3フィンガージョイントを片側の荷重点直下に配置する試験体(追加)

面外曲げ試験体	構成	層	ply	せい	幅	材端	a	S	全長	数量	
				d	b	e	$=6d$	$=6d$	$L+2e$		
(mm)											
1	$l=50\text{mm}$ ラージフィンガー MGM-KL150-AS	強-強	5	5	150	300	150	900	900	3000	6
2	$l=50\text{mm}$ ラージフィンガー MGM-JL150-AS	弱-弱	5	5	150	300	150	900	900	3000	6
3	$l=24\text{mm}$ ノーマルフィンガー MGM-KN150-AS	強-強	5	5	150	300	150	900	900	3000	6
4	$l=24\text{mm}$ ノーマルフィンガー MGM-JN150-AS	弱-弱	5	5	150	300	150	900	900	3000	6

*AS : Anti-symmetrical の意味

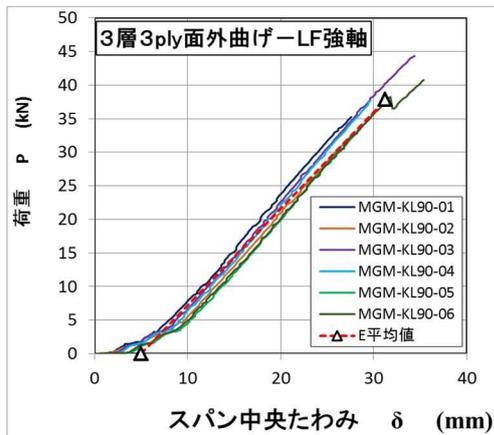
3-2-4. 結果および考察

図 3. 2. 4～図 3. 2. 17 に各グループ 6 体の試験体で実測された荷重—スパン中央たわみの関係と実測ヤング係数と実測曲げ強度の平均値を用いて推定した荷重—スパン中央たわみの平均的直線関係を各グループでの代表的な破壊性状とともに示す。

表 3. 2. 4 に全ての試験条件の面外曲げ強さとせん断の影響を含んだ曲げヤング係数の平均値をまとめて示す。

表 3. 2. 5～表 3. 2. 15 に各グループにおける個々の試験体 6 体の曲げ強さ、曲げヤング係数、そして破壊性状をそれぞれ示す。

なお、個々の試験体における荷重—変形関係、並びに破壊形態の写真は付録 I に示した。

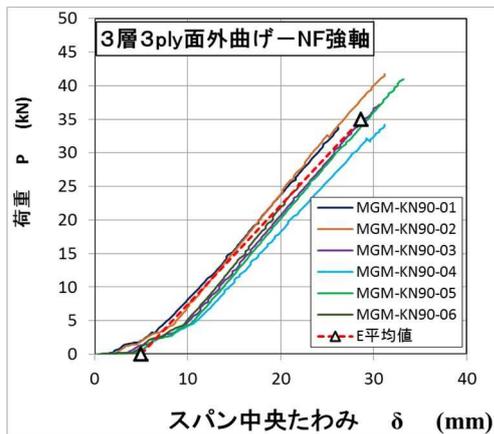


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 4 3層3ply-LF-強軸

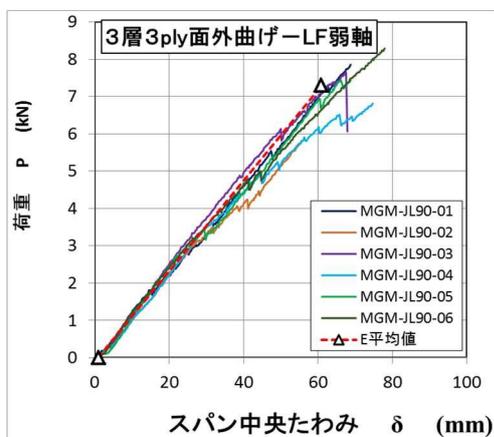


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 5 3層3ply-NF-強軸

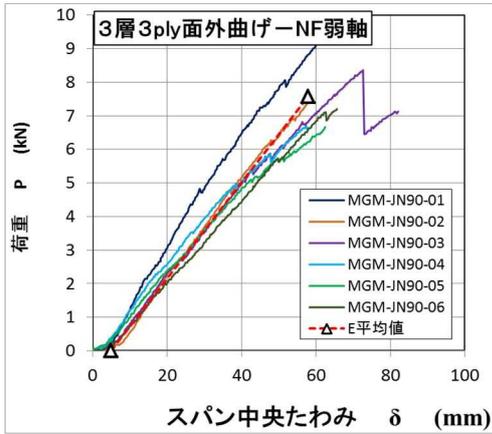


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 6 3層3ply-LF-弱軸

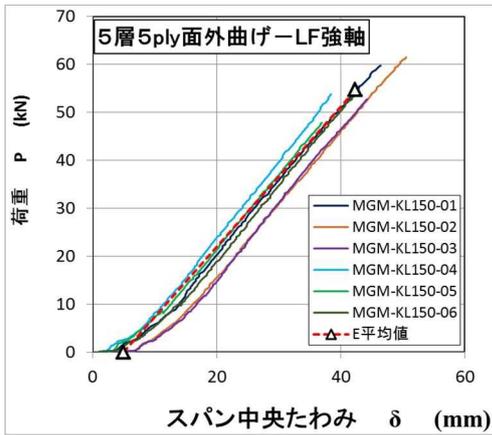


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 7 3層 3ply-NF-弱軸

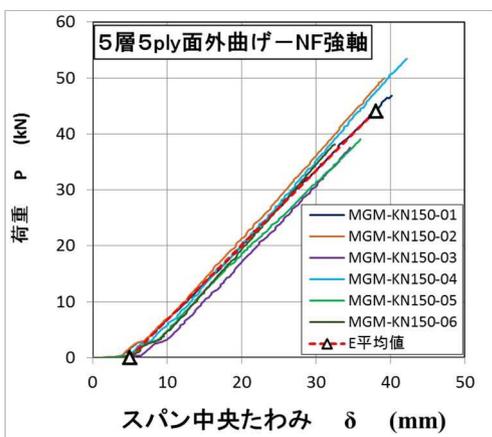


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 8 5層 5ply-LF-強軸

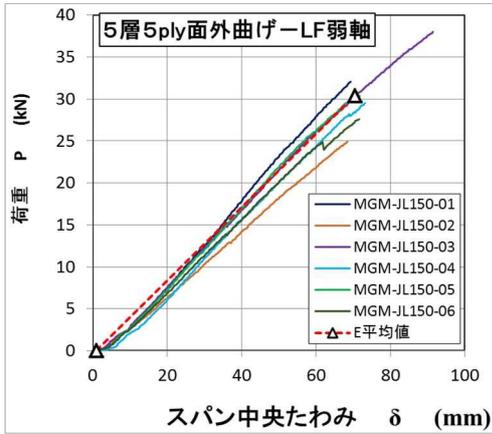


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 9 5層 5ply-NF-強軸

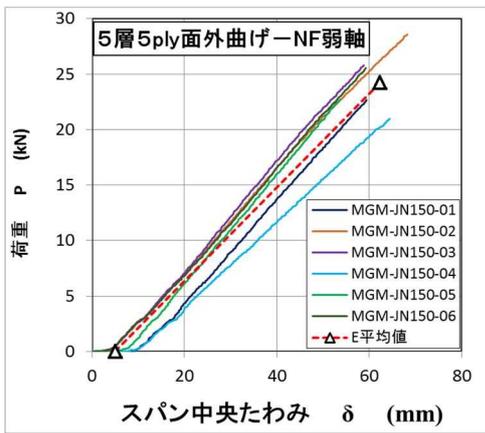


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 1 0 5層 5ply-LF-弱軸

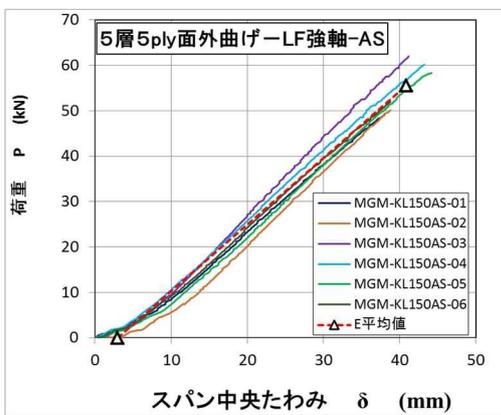


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 1 1 5層 5ply-NF-弱軸

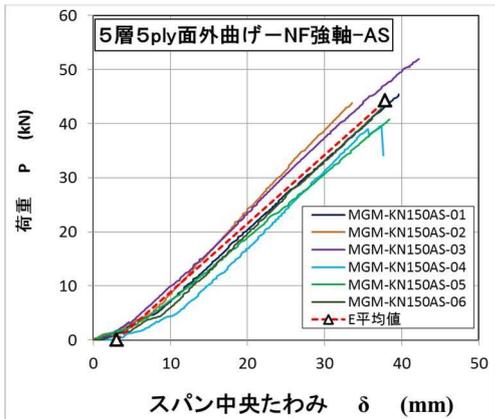


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 1 2 5層 5ply-LF-強軸-AS

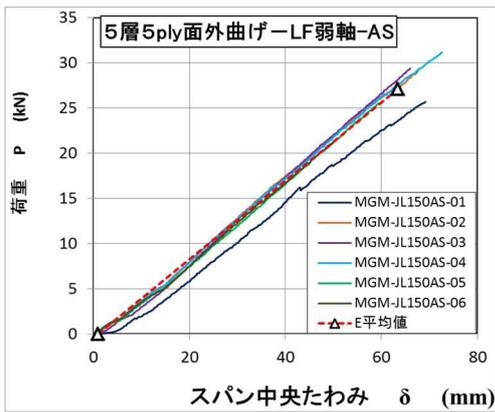


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 1 3 5 層 5 ply - NF - 強軸 - AS

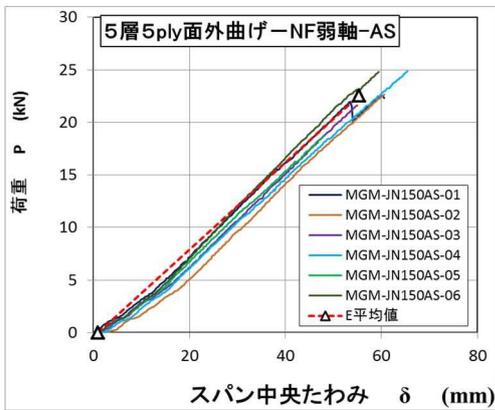


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 1 4 5 層 5 ply - LF - 弱軸 - AS

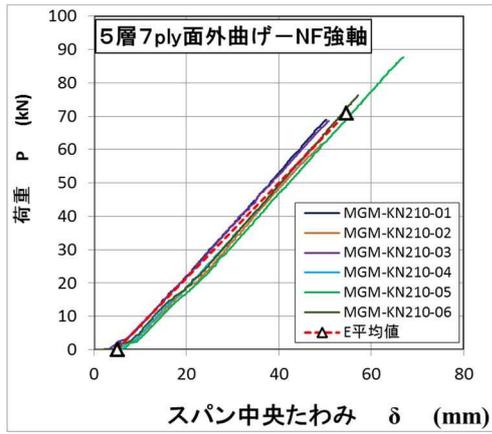


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 1 5 5 層 5 ply - NF - 弱軸 - AS

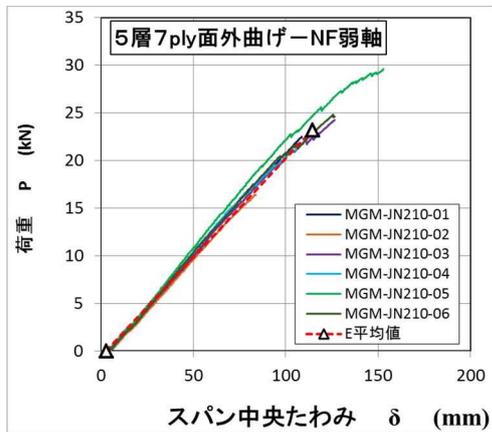


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 1 6 5層7ply-NF-強軸



(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 2. 1 7 5層7ply-NF-弱軸

表 3. 2. 4 に全ての試験条件の面外曲げ強さとせん断の影響を含んだ曲げヤング係数の平均値をまとめて示す。

表 3. 2. 4 全試験条件の面外曲げ強さと曲げヤング係数の平均値

試験体名	フィンガー形状	構成	層	Ply	曲げヤング 係数 (kN/mm ²)	面外曲げ 強さ (N/mm ²)
KN90	ノーマルフィンガー	強軸	3	3	6.13	23.30
JN90		弱軸			0.59	5.04
KL90	ラージフィンガー	強軸			5.97	25.23
JL90		弱軸			0.50	4.87
KN150	ノーマルフィンガー	強軸	5	5	5.52	17.63
JN150		弱軸			1.75	9.70
KL150	ラージフィンガー	強軸			6.07	21.89
JL150		弱軸			1.81	12.16
KN150	ノーマルフィンガー	強軸 AS	5	5	5.25	17.71
JN150		弱軸 AS			1.72	9.03
KL150	ラージフィンガー	強軸 AS			6.07	22.21
JL150		弱軸 AS			1.80	10.83
KN210	ノーマルフィンガー	強軸	5	7	5.91	20.27
JN210		弱軸			0.86	6.63

AS : FJ の位置を加力点直下に配した試験体

表 3. 2. 5 ~ 表 3. 2. 11 にパラメータ別の 6 体の試験結果を示す。

表 3. 2. 5 3層 3 ply-強軸の場合

ラージフィンガー			ノーマルフィンガー		
	Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)		Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)
1	5.98	23.7	1	5.71	19.8
2	5.71	21.9	2	6.45	28.0
3	6.07	29.7	3	6.10	24.9
4	6.08	25.1	4	5.71	22.9
5	6.03	23.8	5	6.27	27.2
6	5.94	27.2	6	6.53	17.1
平均	5.97	25.23	平均	6.13	23.30
標準偏差	0.14	2.83	標準偏差	0.36	4.27
5%下限値	5.65	18.63	5%下限値	5.29	13.33
50%下限値	5.93	24.39	50%下限値	6.02	22.03

表 3. 2. 6 3層 3 ply-弱軸の場合

ラージフィンガー			ノーマルフィンガー		
	Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)		Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)
1	0.43	5.2	1	0.82	6.2
2	0.53	3.9	2	0.65	4.9
3	0.54	5.1	3	0.53	5.5
4	0.51	4.5	4	0.58	4.5
5	0.52	5.0	5	0.50	4.4
6	0.49	5.5	6	0.48	4.8
平均	0.50	4.87	平均	0.59	5.04
標準偏差	0.04	0.59	標準偏差	0.13	0.69
5%下限値	0.41	3.49	5%下限値	0.30	3.42
50%下限値	0.49	4.69	50%下限値	0.55	4.84

表 3. 2. 7 5層5ply-強軸の場合

ラージフィンガー			ノーマルフィンガー		
	Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)		Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)
1	5.98	23.8	1	5.18	18.7
2	5.91	24.5	2	5.67	20.0
3	6.16	21.1	3	5.52	15.0
4	6.33	21.5	4	5.73	21.3
5	6.00	19.1	5	5.20	15.6
6	6.02	21.3	6	5.81	15.2
平均	6.07	21.89	平均	5.52	17.63
標準偏差	0.15	1.99	標準偏差	0.27	2.73
5%下限値	5.71	17.26	5%下限値	4.88	11.26
50%下限値	6.02	21.30	50%下限値	5.44	16.82

表 3. 2. 8 5層5ply-弱軸の場合

ラージフィンガー			ノーマルフィンガー		
	Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)		Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)
1	2.02	12.8	1	1.73	9.0
2	1.52	9.9	2	1.77	11.4
3	1.83	15.2	3	1.85	10.3
4	1.85	11.8	4	1.47	8.3
5	1.89	12.2	5	1.92	9.0
6	1.75	11.0	6	1.76	10.2
平均	1.81	12.16	平均	1.75	9.70
標準偏差	0.17	1.79	標準偏差	0.15	1.13
5%下限値	1.42	7.97	5%下限値	1.39	7.05
50%下限値	1.76	11.63	50%下限値	1.70	9.36

表3. 2. 9 5層5ply-強軸-AS(FJが荷重点直下)の場合

ラージフィンガー			ノーマルフィンガー		
	Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)		Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)
1	5.77	19.8	1	5.13	18.2
2	6.15	20.1	2	5.94	17.6
3	6.80	24.9	3	5.30	20.9
4	5.96	24.2	4	5.28	15.9
5	5.94	23.3	5	4.57	16.4
6	5.78	20.9	6	5.30	17.2
平均	6.07	22.21	平均	5.25	17.71
標準偏差	0.38	2.21	標準偏差	0.44	1.77
5%下限値	5.17	17.06	5%下限値	4.23	13.57
50%下限値	5.95	21.56	50%下限値	5.12	17.18

表3. 2. 10 5層5ply-弱軸-AS(FJが荷重点直下)の場合

ラージフィンガー			ノーマルフィンガー		
	Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)		Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)
1	1.65	10.2	1	1.73	9.1
2	1.86	11.6	2	1.69	9.1
3	1.88	11.8	3	1.71	8.6
4	1.83	12.4	4	1.64	9.9
5	1.78	10.3	5	1.72	7.5
6	1.79	8.6	6	1.81	9.9
平均	1.80	10.83	平均	1.72	9.03
標準偏差	0.08	1.40	標準偏差	0.06	0.90
5%下限値	1.60	7.56	5%下限値	1.59	6.93
50%下限値	1.77	10.42	50%下限値	1.70	8.76

表 3. 2. 1 1 5層 7ply-ノーマルフィンガーの場合

強軸			弱軸		
	Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)		Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)
1	5.90	19.7	1	0.85	6.4
2	5.80	17.6	2	0.83	4.7
3	5.95	19.6	3	0.84	6.9
4	6.01	17.8	4	0.86	6.3
5	5.88	25.1	5	0.92	8.4
6	5.93	21.8	6	0.87	7.1
平均	5.91	20.27	平均	0.86	6.63
標準偏差	0.07	2.82	標準偏差	0.03	1.21
5%下限値	5.75	13.69	5%下限値	0.79	3.81
50%下限値	5.89	19.43	50%下限値	0.85	6.27

図 3. 2. 1 8 に面外曲げ試験で実測された曲げ強度値と CLT の告示 5 6 2 号⁵⁾で規定された(3.2.4)式による CLT パネルの曲げ基準強度との比較を示す。

$$F_b = \sigma_{b-oml} \cdot \frac{I_A}{I_0} \times 0.4875 \quad \text{N/mm}^2 \quad \dots(3.2.4)$$

図 3. 2. 1 9 に面外曲げ試験で実測された曲げヤング係数と告示解説本⁵⁾で規定された(3.2.5)式による CLT パネルの見かけの曲げヤング係数との比較を示す。

$$E_b = \frac{\sum (E_i \cdot I_i + E_i \cdot A_i \cdot z_i^2)}{I_0} \quad \text{kN/mm}^2 \quad \dots(3.2.5)$$

ここで、

σ_{b-oml} : 強軸方向の基準強度を計算する場合は外層ラミナの曲げ強度、弱軸方向の基準強度を計算する場合は外層に最も近い内層ラミナの曲げ強度 (N/mm²)

$$I_A = \frac{\sum (E_i \cdot I_i + E_i \cdot A_i \cdot z_i^2)}{E_0} \quad (\text{mm}^4)$$

A_i : 一方の外層から数えて i 番目の層の断面積 (mm^2)

E_i : 一方の外層から数えて i 番目の層のラミナのヤング係数 (直交層は $E_i = 0$)
(kN/mm^2)

I_i : i 番目の層の断面二次モーメント (mm^4)

z_i : i 番目の層の重心と CLT パネルの中立軸との距離 (mm)

A_0 : CLT パネルの断面積 (mm^2)

I_0 : CLT パネルの断面二次モーメント (mm^4)

E_0 : 強軸方向の基準強度を計算する場合は外層ラミナのヤング係数、弱軸方向の基準強度を計算する場合は外層に最も近い内層ラミナのヤング係数 (kN/mm^2)

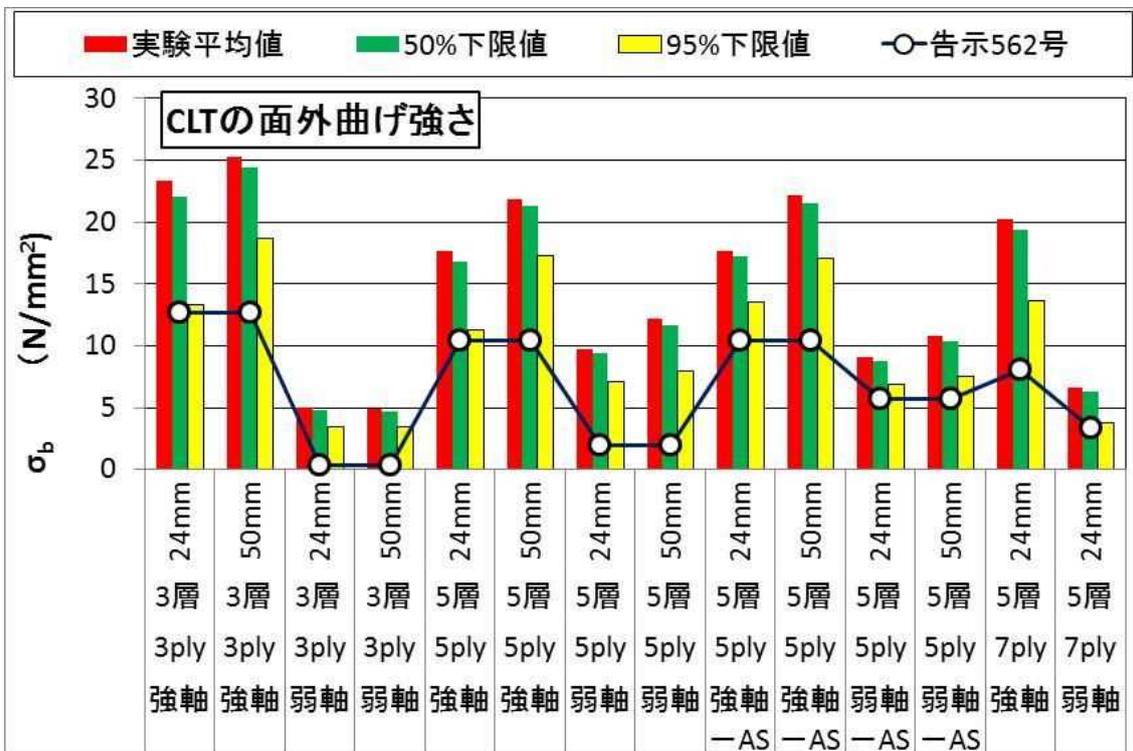


図3. 2. 18 面外曲げ強度実測値と CLT 告示562号による基準強度との比較

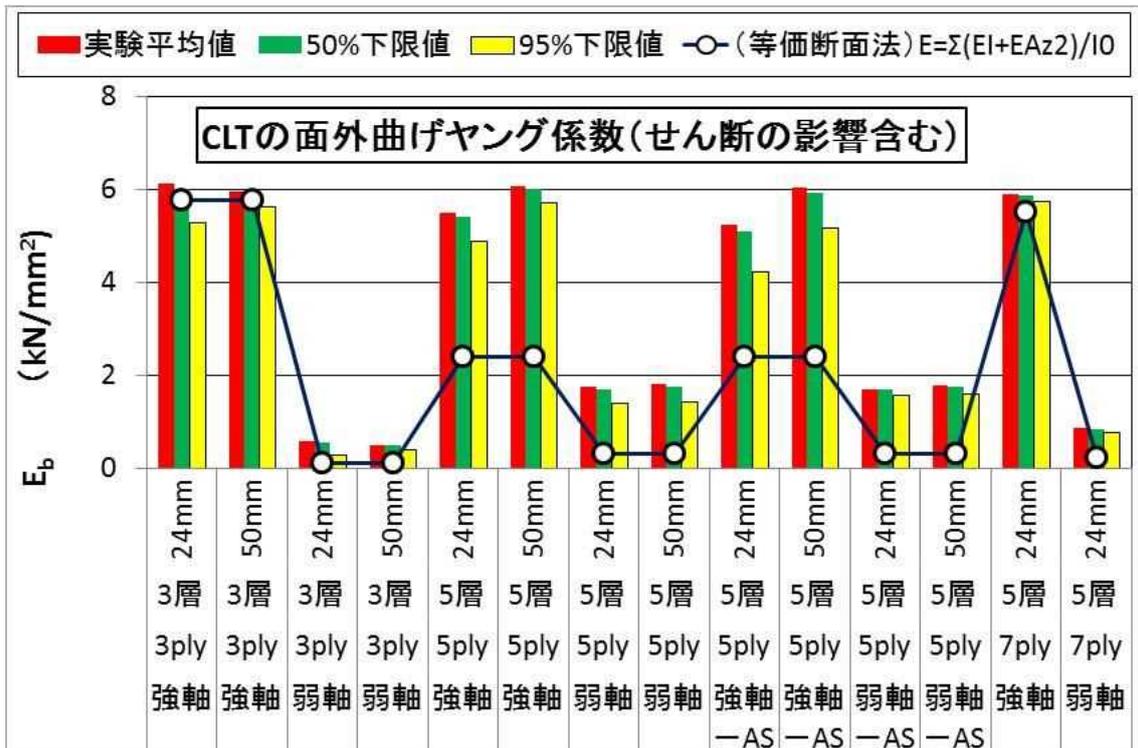


図3. 2. 19 面外曲げヤング係数の実測値と等価断面法による推定値との比較

FJ 接合された CLT パネルの面外曲げ接合強度の結果としては；

- LF 接合の方が、NF 接合をやや上回る傾向が認められた。
- 実測 FJ 接合強度は、告示 5 6 2 号の基準強度を上回った
- FJ の位置を加力点直下に置いても、スパン中央に置いても、曲げ強度値そのものに変わりは見られなかった。

一方、面外曲げヤング係数に関しては；

- LF 接合と NF 接合の違いは明確ではなかった。
- 実測 FJ 接合の曲げヤングは、等価断面法で求まるヤング係数を概ね上回ったが、ほぼ同じ値を取るもの(3 層 3P)もあった。

3-3. フィンガージョイントで接合された CLT パネル同士の面内曲げ試験

3-3-1. 試験方法

試験方法は住宅センターの「構造用木材の強度試験マニュアル」³⁾ に準拠する。ただし、上述した理由からスパンを短くするため、マニュアルで認められている、 $a = (6 \pm 1.5)d$ 、 $S = (6 \pm 1)d$ の範囲内で、 $a = 5d$ 、 $S = 5d$ の条件で面内曲げ試験を行う。また、梁せい d は梁せい方向の幾何学的対象性を確保するために、最低限度ラミナ 2 枚分とし、 $d = 2 \times 120\text{mm} = 240\text{mm}$ とした。具体的な面内曲げ試験のセットアップイメージ例として、5 層 5ply 強軸方向同士の FJ 接合試験体の場合を図 3. 3. 1-(a)に、実際の写真を図 3. 3. 1-(b)に示す。

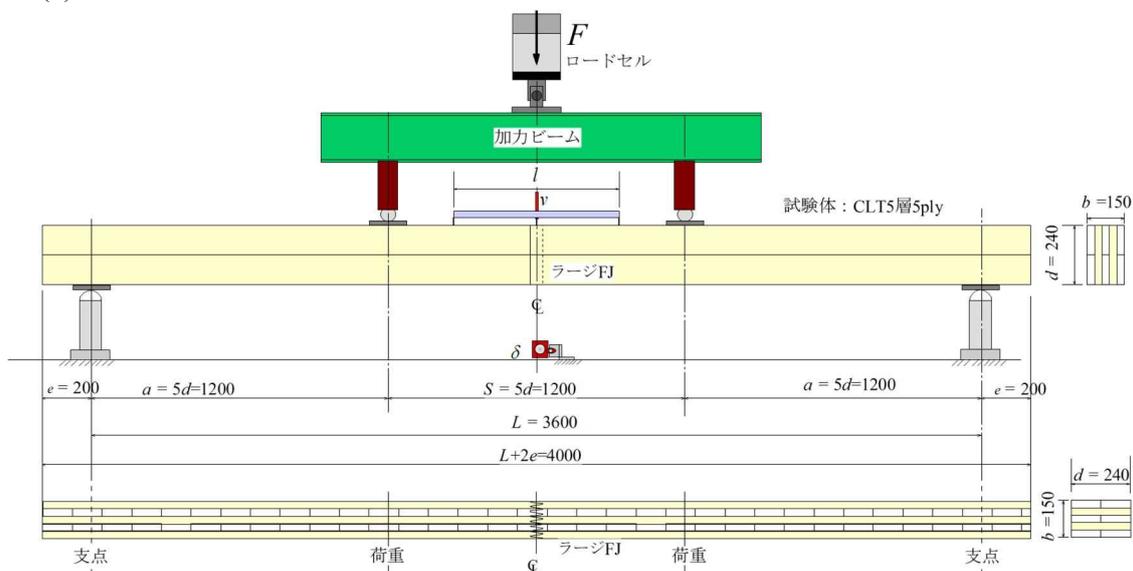


図 3. 3. 1-(a)強軸方向同士の FJ 接合した CLT パネル面内曲げ試験



図 3. 3. 1-(b) CLT パネル面内曲げ試験 (鹿児島県工業試験場)

試験結果の評価は、3-2-2 節で詳述した「構造用木材の強度試験マニュアル」³⁾に規定された方法に準拠して行った。

3-3-2. 試験体

表 3. 3. 1、表 3. 3. 2 にフィンガー接合された CLT-CLT パネルの面内曲げ試験体の仕様を示す。

表 3. 3. 1 $l=50\text{mm}$ ラージフィンガージョイント試験体

試験体	構成	層	ply	せい	幅	材端	a	S	全長	数量	
				d	b	e	$=5d$	$=5d$	$L+2e$		
(mm)											
1	MNM-KL90	強-強	3	3	240	90	200	1200	1200	4000	6
2	MNM-JL90	弱-弱	3	3	240	90	200	1200	1200	4000	6
3	MNM-KL150	強-強	5	5	240	150	200	1200	1200	4000	6
4	MNM-JL150	弱-弱	5	5	240	150	200	1200	1200	4000	6

表 3. 3. 2 $l=24\text{mm}$ フィンガージョイント試験体

試験体	構成	層	ply	せい	幅	材端	a	S	全長	数量	
				d	b	e	$=5d$	$=5d$	$L+2e$		
(mm)											
1	MNM-KN90	強-強	3	3	240	90	200	1200	1200	4000	6
2	MNM-JN90	弱-弱	3	3	240	90	200	1200	1200	4000	6
3	MNM-KN150	強-強	5	5	240	150	200	1200	1200	4000	6
4	MNM-JN150	弱-弱	5	5	240	150	200	1200	1200	4000	6
5	MNM-KN210	強-強	5	7	240	210	200	1200	1200	4000	6
6	MNM-JN210	弱-弱	5	7	240	210	200	1200	1200	4000	6

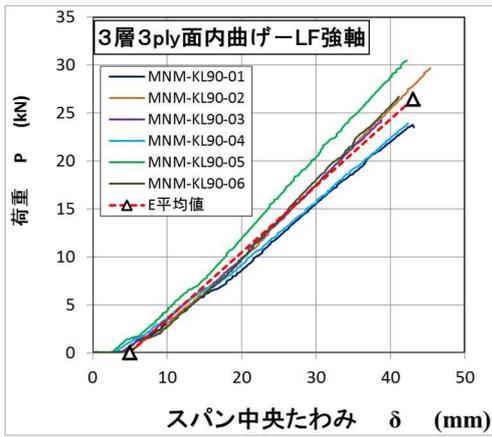
3-3-3. 結果および考察

図3.3.2～図3.3.11に各グループ6体の試験体で実測された荷重－スパン中央たわみの関係と実測ヤング係数と実測曲げ強度の平均値を用いて推定した荷重－スパン中央たわみの平均的直線関係を各グループでの代表的な破壊性状とともに示す。

表3.3.3に全ての試験条件の面内曲げ強さとせん断の影響を含んだ曲げヤング係数の平均値をまとめて示す。

表3.3.4～表3.3.8に各グループにおける個々の試験体6体の曲げ強さ、曲げヤング係数、そして破壊性状をそれぞれ示す。

なお、個々の試験体における荷重－変形関係、並びに破壊形態の写真は付録Ⅱに示した。

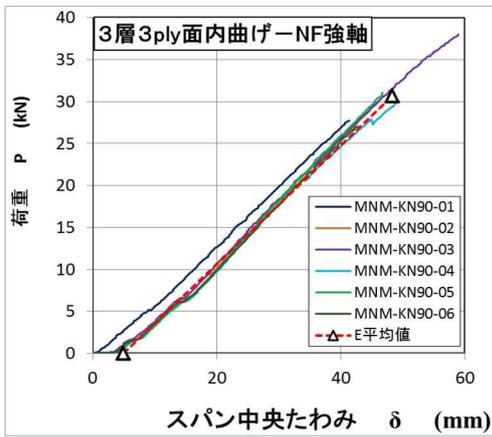


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 3. 2 3層3ply-LF-強軸

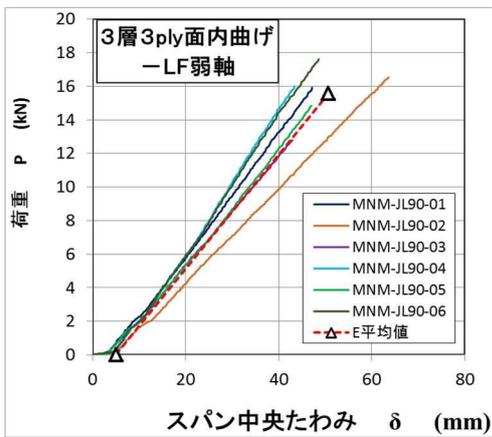


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 3. 3 3層3ply-NF-強軸

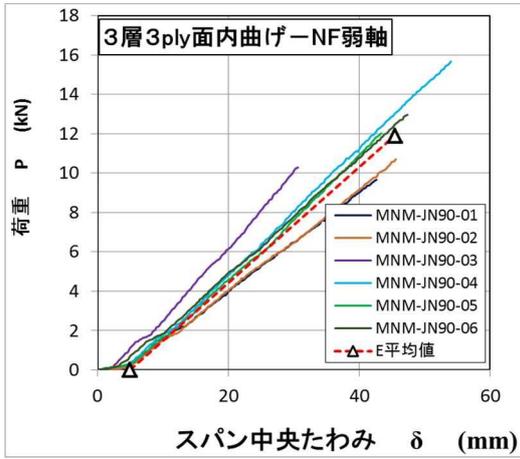


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 3. 4 3層3ply-LF-弱軸

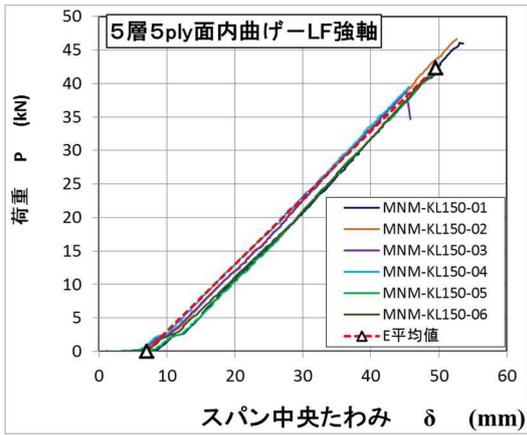


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 3. 5 3層 3ply-NF-弱軸

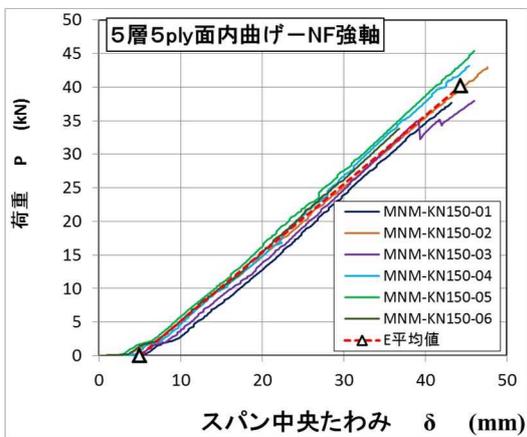


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 3. 6 5層 5ply-LF-強軸

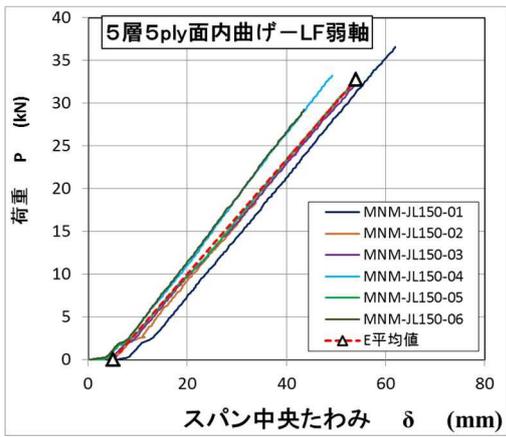


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 3. 7 5層 5ply-NF-強軸

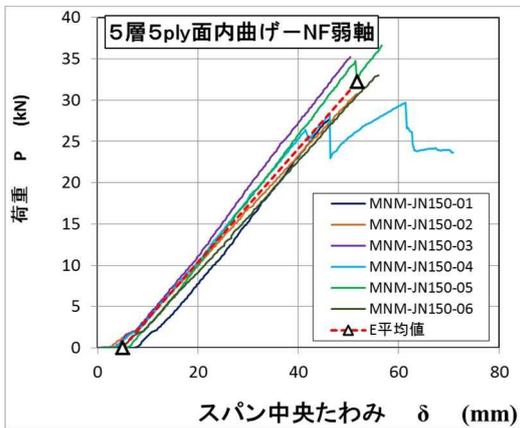


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 3. 8 5 層 5 ply-LF-弱軸

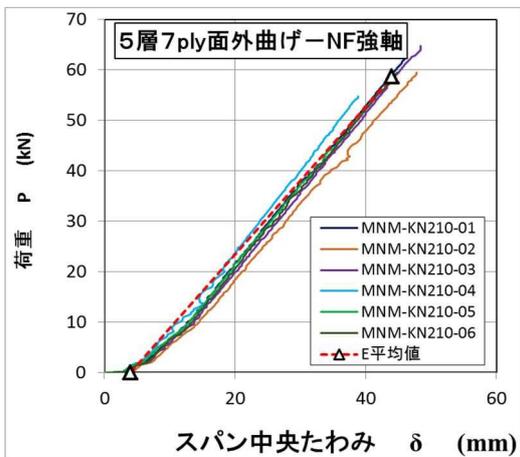


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 3. 9 5 層 5 ply-NF-弱軸

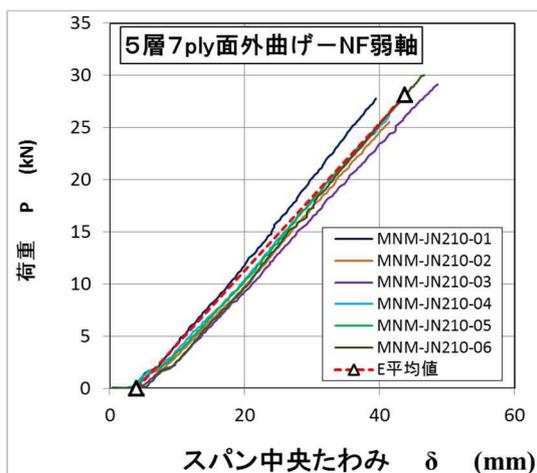


(a) 荷重-たわみの関係



(b) 代表的な破壊形態

図 3. 3. 10 5 層 7 ply-NF-強軸



(a) 荷重-たわみの関係

(b) 代表的な破壊形態

図 3. 3. 1 1 5層7ply-NF-弱軸

表 3. 3. 3 に全ての試験条件の面内曲げ強さとせん断の影響を含んだ曲げヤング係数の平均値をまとめて示す。

表 3. 3. 3 全試験条件の面内曲げ強さと曲げヤング係数の平均値

試験体名	フィンガー形状	構成	層	Ply	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	面内曲げ強さ (N/mm ²)
KN90	ノーマルフィンガー	強軸	3	3	5.65	21.32
JN90		弱軸			2.35	8.26
KL90	ラージフィンガー	強軸			5.55	18.38
JL90		弱軸			2.72	10.82
KN150	ノーマルフィンガー	強軸	5	5	4.90	16.75
JN150		弱軸			3.30	13.43
KL150	ラージフィンガー	強軸			4.77	17.64
JL150		弱軸			3.20	13.65
KN210	ノーマルフィンガー	強軸	5	7	5.02	17.46
JN210		弱軸			2.42	8.36

表3. 3. 4～表3. 3. 8にパラメータ別の6体の試験結果を示す。

表3. 3. 4 3層3ply-強軸の場合

ラージフィンガー			ノーマルフィンガー		
	Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)		Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)
1	4.90	16.53	1	5.18	19.31
2	5.85	20.63	2	5.86	20.90
3	5.62	16.88	3	5.64	26.46
4	4.85	16.67	4	5.70	20.83
5	6.15	21.04	5	5.92	21.60
6	5.95	18.54	6	5.64	18.82
平均	5.55	18.38	平均	5.65	21.32
標準偏差	0.55	2.04	標準偏差	0.26	2.73
50%下限値	5.39	17.77	50%下限値	5.58	20.51
5%下限値	4.26	13.62	5%下限値	5.05	14.95

表3. 3. 5 3層3ply-弱軸の場合

ラージフィンガー			ノーマルフィンガー		
	Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)		Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)
1	2.75	10.97	1	1.90	6.74
2	2.15	11.46	2	2.03	7.43
3	2.61	8.89	3	2.93	7.15
4	2.98	11.11	4	2.51	10.90
5	2.63	10.28	5	2.44	8.33
6	3.20	12.22	6	2.27	9.03
平均	2.72	10.82	平均	2.35	8.26
標準偏差	0.36	1.14	標準偏差	0.37	1.54
50%下限値	2.61	10.48	50%下限値	2.24	7.81
5%下限値	1.88	8.16	5%下限値	1.49	4.67

表 3. 3. 6 5層5ply-強軸の場合

ラージフィンガー			ノーマルフィンガー		
	Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)		Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)
1	4.95	19.25	1	4.81	15.71
2	4.82	19.50	2	4.62	17.92
3	4.75	16.17	3	4.98	15.83
4	4.60	16.46	4	5.07	18.00
5	4.82	17.17	5	4.98	18.96
6	4.68	17.29	6	4.91	14.08
平均	4.77	17.64	平均	4.90	16.75
標準偏差	0.12	1.41	標準偏差	0.16	1.84
50%下限値	4.73	17.22	50%下限値	4.85	16.20
5%下限値	4.49	14.34	5%下限値	4.51	12.46

表 3. 3. 7 5層5ply-弱軸の場合

ラージフィンガー			ノーマルフィンガー		
	Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)		Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)
1	3.17	15.25	1	3.40	11.58
2	3.10	13.63	2	2.92	12.92
3	3.02	13.58	3	3.57	14.71
4	3.42	13.83	4	3.36	12.38
5	3.02	13.46	5	3.47	15.25
6	3.49	12.17	6	3.10	13.75
平均	3.20	13.65	平均	3.30	13.43
標準偏差	0.20	0.98	標準偏差	0.25	1.40
50%下限値	3.14	13.36	50%下限値	3.23	13.01
5%下限値	2.73	11.36	5%下限値	2.72	10.15

表 3. 3. 8 5層7ply-ノーマルフィンガーの場合

強軸			弱軸		
	Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)		Em (kN/mm ²)	fm (N/mm ²)
1	5.08	18.60	1	2.63	8.36
2	4.74	17.74	2	2.33	7.65
3	4.96	19.38	3	2.26	8.69
4	5.27	16.37	4	2.38	7.83
5	4.99	14.88	5	2.41	8.63
6	5.07	17.77	6	2.50	9.02
平均	5.02	17.46	平均	2.42	8.36
標準偏差	0.17	1.61	標準偏差	0.13	0.53
50%下限値	4.97	16.98	50%下限値	2.38	8.21
5%下限値	4.61	13.69	5%下限値	2.11	7.12

図 3. 3. 1 2 に面内曲げ試験で実測された曲げ強度値と CLT の告示 5 6 2 号で規定された⁵⁾CLT の基準強度 (3.3.1)式との比較を示す。

$$F_b = \sigma_{b-oml} \cdot \frac{A_A}{A_0} \times 0.6 \quad \dots(3.3.1)$$

図 3. 3. 1 3 に面内曲げ試験で実測された曲げヤング係数と告示解説本⁵⁾に掲載された等価断面法で算定される見かけの曲げヤング係数(3.3.2)式との比較を示す。

$$E_b = \frac{\sum(E_i \cdot A_i)}{A_0} \quad \dots(3.3.2)$$

ここで、

σ_{b-oml} : 強軸方向の基準強度を計算する場合は外層ラミナの曲げ強度、弱軸方向の基準強度を計算する場合は外層に最も近い内層ラミナの曲げ強度 (N/mm²)

$$A_A = \frac{\sum(E_i \cdot A_i)}{E_0} \quad (\text{mm}^2)$$

A_i : 一方の外層から数えて i 番目の層の断面積 (mm²)

E_i : 一方の外層から数えて i 番目の層のラミナのヤング係数 (直交層は $E_i = 0$) (kN/mm^2)

A_0 : CLT パネルの断面積 (mm^2)

E_0 : 強軸方向の基準強度を計算する場合は外層ラミナのヤング係数、弱軸方向の基準強度を計算する場合は外層に最も近い内層ラミナのヤング係数(kN/mm^2)

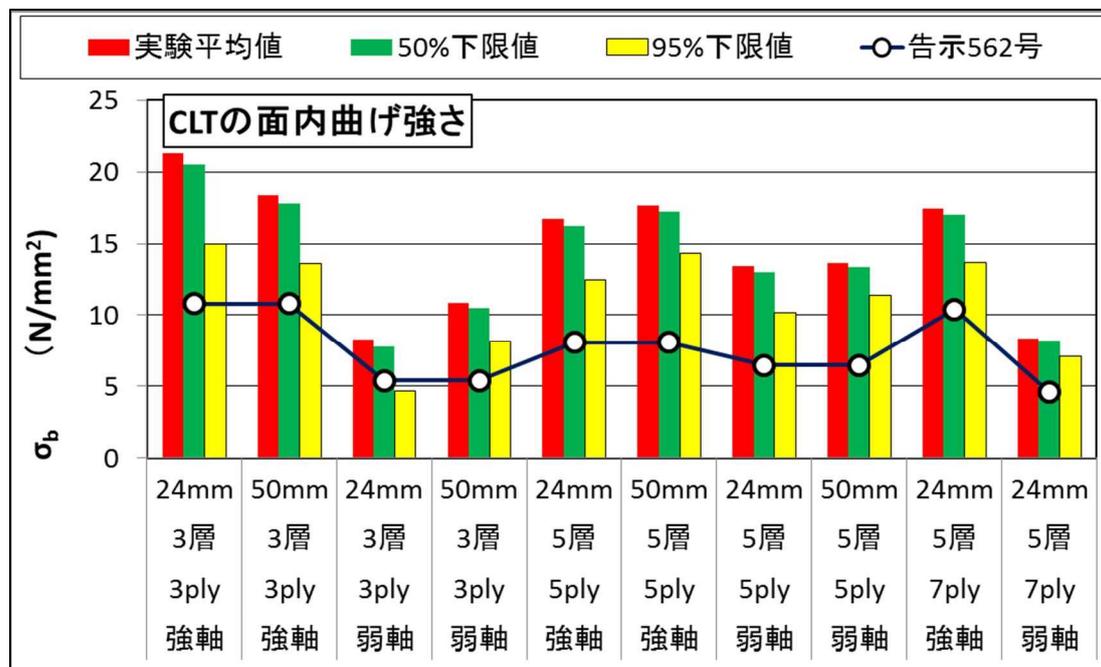


図 3. 3. 1 2 面内曲げ実測強度値と CLT 告示 5 6 2 号による基準強度との比較

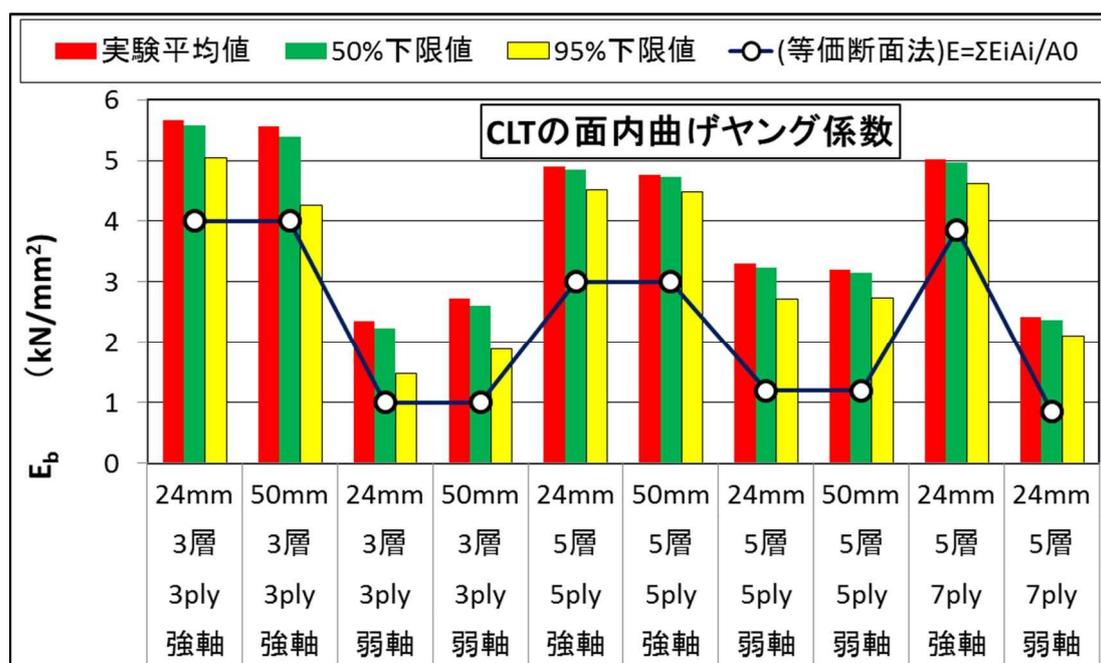


図 3. 3. 1 3 面内曲げヤング係数の実測値と等価断面法による推定値との比較

面内曲げ強度の結果としては；

- 3層3Pをのぞき、LF接合が、NF接合をやや上回る傾向にあった。
- 実測FJ接合強度は、告示562号の基準強度を十分上回った。

一方、面外曲げヤング係数に関しては；

- LF接合とNF接合の違いは余り明確ではないが、しいて言えば、少しNF接合の方が、LF接合より高い傾向にあった。
- FJ接合の実測曲げヤング係数は、等価断面法で求まるEを全て上回った。

第4章 縦（横）フィンガージョイント接合 CLT パネルのせん断性能の確認

4-1. 目的

本章で実施する実験の目的は、以下に示す各設定パラメータが小幅 CLT パネル同士を縦方向並びに横方向にフィンガージョイントで接着接合した製品のせん断強度性能にどのように影響を及ぼすかを実験によって確認することにある。

[設定パラメータ]

- CLT の種類：3 層 3 プライ、5 層 5 プライ、5 層 7 プライ（ノーマルフィンガーのみ）
- フィンガー長さ：24mm（ノーマルフィンガー）、50mm（ラージフィンガー）
- 接合方向：強軸－強軸（縦方向接合）、弱軸－弱軸（横方向接合）

[共通条件]

- CLT の JAS 強度等級：Mx60A（スギ）
- 接着剤：フェノールレゾルシノール樹脂接着剤(RF)
- 嵌合圧：1 N/mm²
- 载荷速度：強軸－強軸接合試験体、2mm/分、弱軸－弱軸接合試験体、1mm/分
- 試験体数：各 6 体

4.2 面内せん断試験で C 法（逆対称せん断試験法）を選択する根拠

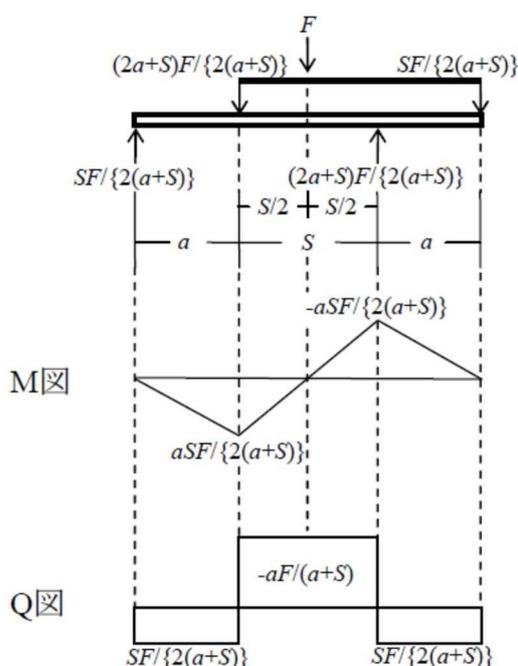


図4. 2. 1 C法の曲げモーメント・せん断力の状態³⁾

既往の CLT に関する実験報告書⁴⁾を見ると、JAS²⁾が規定している3点曲げによってせん断性能を評価した場合、低位等級や弱軸方向の CLT において、最外層での曲げ、引張破壊が先行する傾向が報告されている。そこで、本委員会では、曲げ破壊が起こる可能性の低い逆対称せん断試験法に着目し、住木センターの「構造用木材の強度試験マニュアル」³⁾に新たに収録された C 法（逆対称せん断試験法）によって、FJ 接合 CLT パネルの面内せん断性能を評価する。

C 法では、曲げモーメントおよびせん断力の分布状態は図4. 2. 1³⁾のようになる。外力 F の作用点直下に FJ 接合部を配置すると、曲げモーメントがゼロの位置でせん断応力が最大となるので、FJ を優先的にせん断破壊させるのに有利となる。

最大せん断力は $Q = aF/(a+S)$ で、最大せん断応力 f_s は材の中立軸に発生し、(4.2.1)式で表される。

$$f_s = \frac{3Q}{2A} = \frac{3a \cdot F}{2A(a+S)} \quad \dots(4.2.1)$$

また、このときの最大曲げ応力 f_b は以下の式から算出できる。

$$f_b = \frac{a \cdot S \cdot F}{2(a+S)Z} = \frac{3a \cdot S \cdot F}{A \cdot d(a+S)} \quad \dots(4.2.2)$$

ここで、標準荷重条件³⁾として $a=S=3d$ とおけば、

$$f_s = \frac{3F}{4A}、 \quad f_b = \frac{9F}{2A} \text{ となって、 } f_s/f_b < 1/6 \text{ であればせん断で破壊することになる } ^3)。$$

一方、JAS²⁾で規定されている短スパン3点曲げ試験法(A法³⁾)では、 $f_s/f_b < 1/12$ というC法の2倍のせん断/曲げ強度比が保証されない限りせん断で破壊することはない。この事から分かるように、短スパン3点曲げ試験法によるせん断評価法は、「曲げ先行破壊を伴うせん断耐力」を評価する可能性があり、本委員会では、安定してせん断破壊が発生する可能性が高いC法(逆対称せん断試験法)によってFJ接合CLTパネルの面内せん断性能を評価することとした。

4-3. フィンガージョイントで接合された GLT パネル同士の面内せん断試験

4-3-1. 試験方法

試験は、宮崎県木材利用技術センターの実大曲げ試験機（(株)東京衡機、容量 1000kN）を用いて実施した。各種フィンガージョイントは試験体中央部となるように配置した。試験方法は「逆対称せん断試験法」とし、強軸は各スパンを $a=S=2d=480\text{mm}$ 、弱軸は各スパンを $a=S=1.5d=360\text{mm}$ とした。

各試験方法の概要と写真を図 4. 3. 1～図 4. 3. 4 に示す。また、試験体中央部における変位計及びひずみゲージの位置を図 4. 3. 5 と図 4. 3. 6 に示す。加力スピードは強軸試験体が 2.0mm/min、弱軸試験体が 1.0mm/min とした。

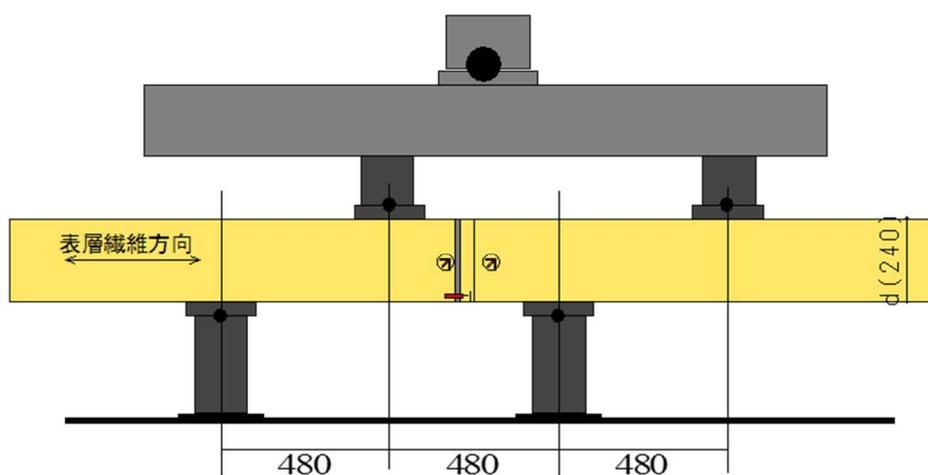


図 4. 3. 1 強軸試験方法概要

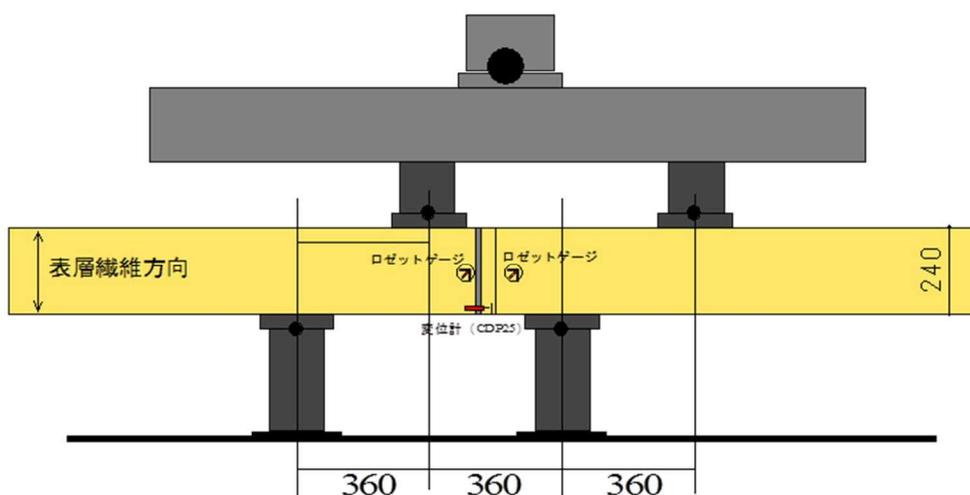


図 4. 3. 2 弱軸試験方法概要



図 4. 3. 3 強軸試験風景



図 4. 3. 4 弱軸試験風景

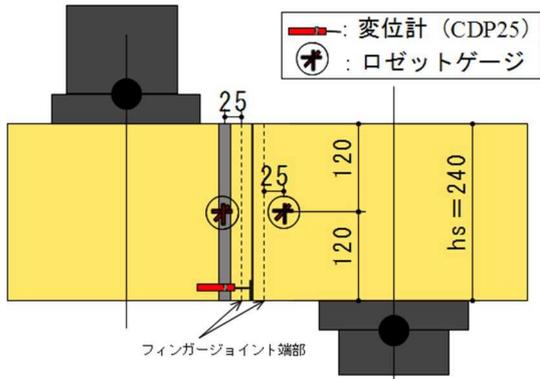


図 4. 3. 5 試験体中央部における変位計及びひずみゲージの位置

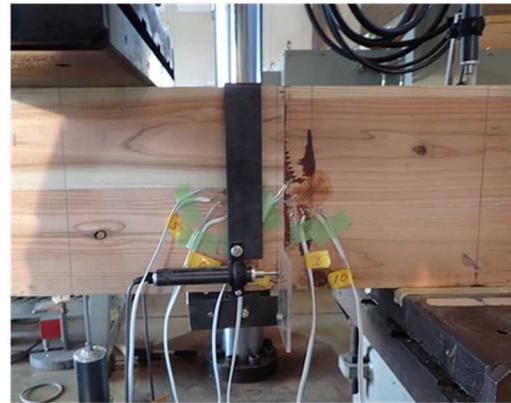


図 4. 3. 6 試験体中央部における変位計等の取り付け状況

4-3-2. 試験体

試験体の仕様を表4. 3. 1に示す。

表4. 3. 1 試験条件と試験体数

試験体名	フィンガー形状	構成	層	ply	厚さ mm	幅 mm	試験体数
KN90	ノーマル(24mm)	強軸	3	3	90	200	6
JN90		弱軸					6
KL90	ラージ(52mm)	強軸					6
JL90		弱軸					6
KN150	ノーマル(24mm)	強軸	5	5	150	200	6
JN150		弱軸					6
KL150	ラージ(52mm)	強軸					6
JL150		弱軸					6
KN210	ノーマル(24mm)	強軸	5	7	210	200	6
JN210		弱軸					6

4-3-3. 測定結果の評価法

最大せん断力 Q は (4.3.3)式により、最大せん断応力 f_s は (4.3.4)式により算出した (図4. 3. 1 参照)。

$$Q = \frac{a \cdot F}{(a + S)} \quad \dots(4.3.3)$$

$$f_s = \frac{3Q}{2A} = \frac{3a \cdot F}{2A(a; S)} = \frac{3F}{4A} \quad \dots(4.3.4)$$

ここで、 A : 試験体の断面の面積 $= b \times h_s$ (mm²)

せん断ひずみ γ_g は、試験体のフィンガージョイントの左右に取り付けた2枚のロゼットゲージの測定値から(4.3.5)式により算出した。また、バックアップの値として試験体中央の変位計からせん断ひずみ γ_s を(4.3.6)式により算出した。

$$\gamma_g = 2\varepsilon_{45} - (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}) \quad \dots(4.3.5)$$

$$\gamma_s = \frac{\delta}{h_s} \quad \dots(4.3.6)$$

ここで、 δ : 変位計測定値

せん断応力度 τ は(4.3.7)式により算出した。

$$\tau = 1.5 \frac{Q}{A} \quad \dots(4.3.7)$$

せん断弾性係数 G は、2枚のロゼットゲージから得られた測定値の平均値をせん断ひずみとし、最大せん断応力度の0.1倍と0.4倍におけるせん断応力度とせん断ひずみの関係から(4.3.8)式により算出した。

$$G = \frac{(\tau_2 - \tau_1)}{(\gamma_2 - \gamma_1)} \quad \dots(4.3.8)$$

ここで、

τ_1 : 最大せん断応力の10%の値

τ_2 : 最大せん断応力の40%の値

γ_1 : F_1 時に測定されたせん断ひずみ

γ_2 : F_2 時に測定されたせん断ひずみ

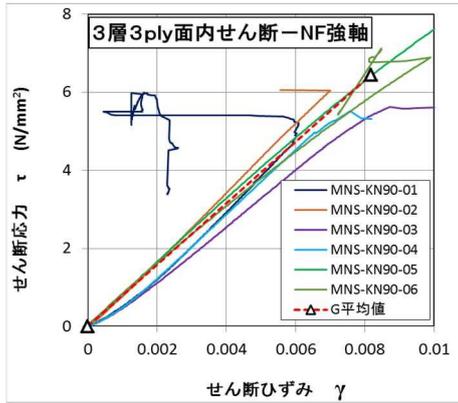
4-3-4. 結果および考察

図4.3.7～図4.3.16にパラメータ事の6体の試験体で実測されたせん断応力—せん断ひずみ(2組のロゼットゲージの平均値)の関係と代表的な破壊性状を示す。

表4.3.2に全ての試験条件のせん断強さとせん断弾性率の平均値をまとめて示す。

表4.3.3～表4.3.12にパラメータ別の6体の試験体のそれぞれせん断強さとせん断弾性率、そして破壊性状を示す。

なお、個々の試験体におけるせん断応力—せん断ひずみの関係、並びに破壊形態は付録IIIに示した。

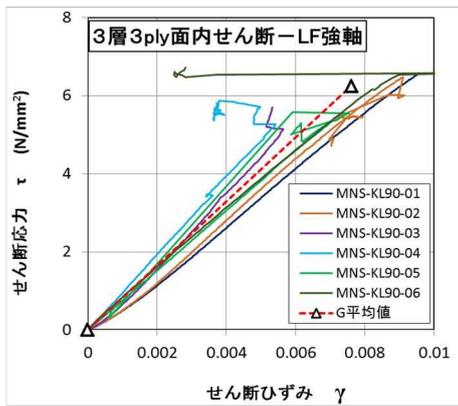


(a) せん断応力ーせん断ひずみの関係

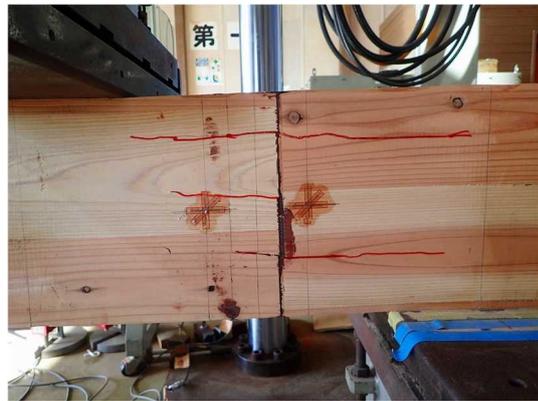


(b)代表的な破壊形態

図 4. 3. 7 3層3ply-NF-強軸

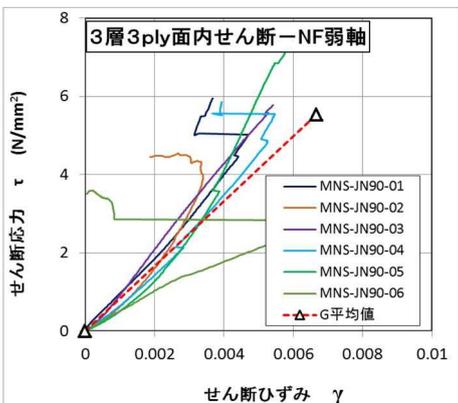


(a) せん断応力ーせん断ひずみの関係



(b)代表的な破壊形態

図 4. 3. 8 3層3ply-LF-強軸

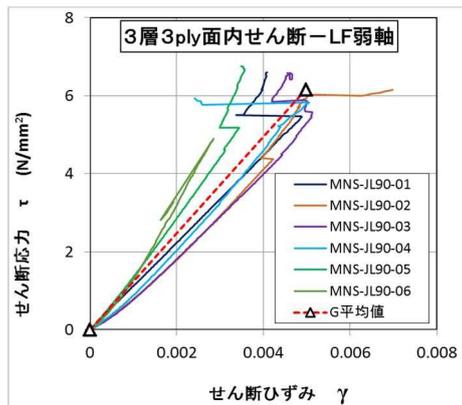


(a) せん断応力ーせん断ひずみの関係



(b)代表的な破壊形態

図 4. 3. 9 3層3ply-NF-弱軸

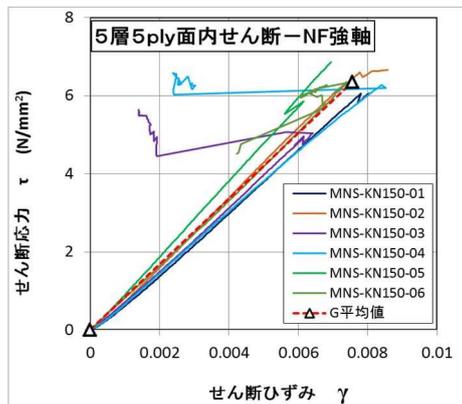


(a) せん断応力ーせん断ひずみの関係



(b)代表的な破壊形態

図 4. 3. 1 0 3層3ply-LF-弱軸

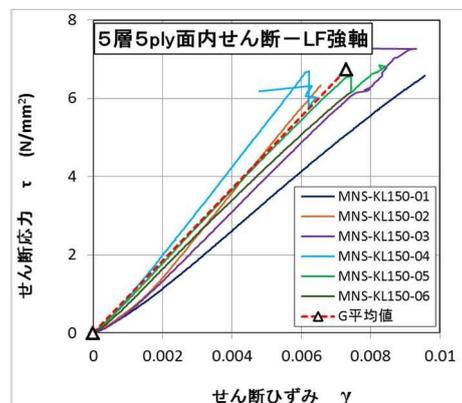


(a) せん断応力ーせん断ひずみの関係



(b)代表的な破壊形態

図 4. 3. 1 1 5層5ply-NF-強軸

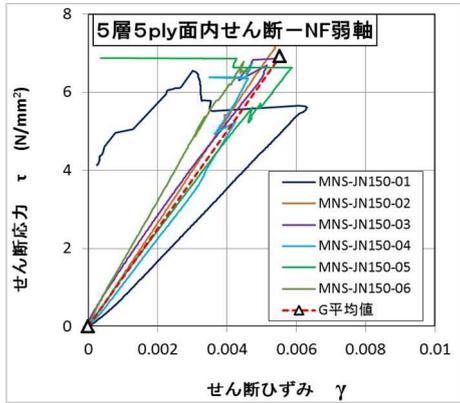


(a) せん断応力ーせん断ひずみの関係



(b)代表的な破壊形態

図 4. 3. 1 2 5層5ply-LF-強軸

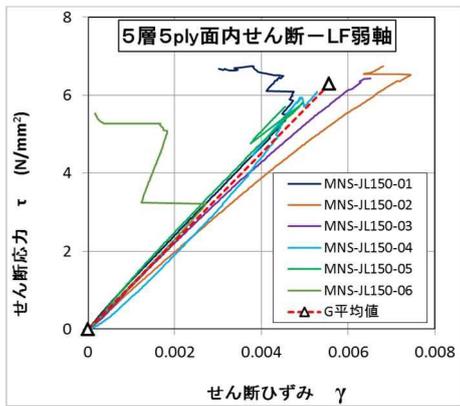


(a) せん断応力ーせん断ひずみの関係



(b)代表的な破壊形態

図 4. 3. 1 3 5層5ply-NF-弱軸

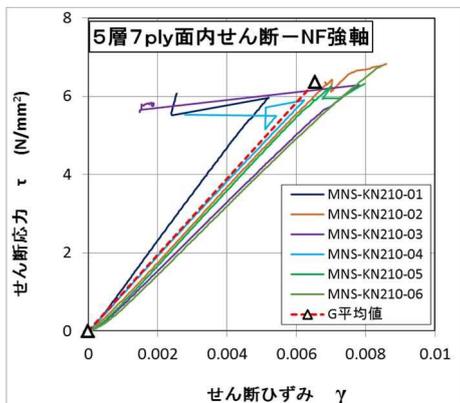


(a) せん断応力ーせん断ひずみの関係



(b)代表的な破壊形態

図 4. 3. 1 4 5層5ply-LF-弱軸

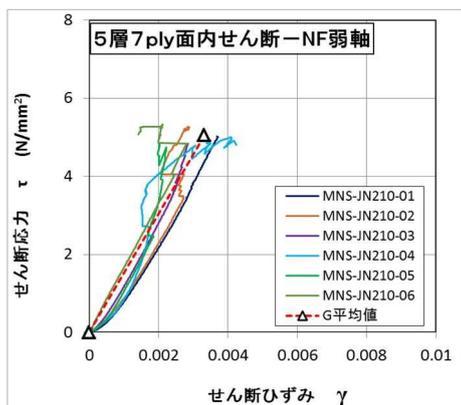


(a) せん断応力ーせん断ひずみの関係



(b)代表的な破壊形態

図 4. 3. 1 5 5層7ply-NF-強軸



(a) せん断応力-せん断ひずみの関係

(b) 代表的な破壊形態

図 4. 3. 1 6 5層7ply-NF-弱軸

表 4. 3. 2 全ての試験結果のまとめ (平均値)

試験体名	フィンガー形状	構成	層	Ply	せん断強さ (N/mm ²)	せん断弾性率 (kN/mm ²)
KN90	ノーマルフィンガー	強軸	3	3	6.44	0.79
JN90		弱軸			5.53	0.83
KL90	ラージフィンガー	強軸			6.24	0.82
JL90		弱軸			6.15	1.24
KN150	ノーマルフィンガー	強軸	5	5	6.36	0.84
JN150		弱軸			6.92	1.25
KL150	ラージフィンガー	強軸			6.74	0.92
JL150		弱軸			6.29	1.13
KN210	ノーマルフィンガー	強軸	5	7	6.37	0.97
JN210		弱軸			5.05	1.52

表4. 3. 3 試験結果1 (KN90：ノーマルフィンガージョイント、強軸、3層3プライ)

試験体名	構成	厚さ (mm)	幅 (mm)	密度 (kg/m ³)	せん断強さ (N/mm ²)	せん断弾性率 (kN/mm ²)	破壊性状
01	強軸	90.8	240	394	5.99	0.79	せん断
02	強軸	90.9	240	418	6.05	0.87	曲げ
03	強軸	90.7	240	404	5.94	0.69	せん断
04	強軸	90.5	239	412	5.78	0.79	曲げ
05	強軸	90.2	241	319	7.75	0.83	せん断
06	強軸	90.4	241	328	7.13	0.76	せん断
		平均値		379	6.44	0.79	
		標準偏差			0.73	0.05	
		50%下限値			6.22	0.77	
		5%下限値			4.73	0.66	

表4. 3. 4 試験結果2 (JN90：ノーマルフィンガージョイント、弱軸、3層3プライ)

試験体名	構成	厚さ (mm)	幅 (mm)	密度 (kg/m ³)	せん断強さ (N/mm ²)	せん断弾性率 (kN/mm ²)	破壊性状
01	弱軸	90.0	241	417	5.96	0.91	せん断
02	弱軸	90.2	240	420	4.55	0.44	曲げ
03	弱軸	90.8	240	419	5.78	1.16	曲げ
04	弱軸	89.9	240	419	5.86	0.92	せん断
05	弱軸	90.6	240	414	7.43	1.06	せん断
06	弱軸	91.6	240	429	3.60	0.48	せん断
		平均値		420	5.53	0.83	
		標準偏差			1.20	0.27	
		50%下限値			5.17	0.75	
		5%下限値			2.72	0.19	

表4. 3. 5 試験結果3 (KL90: ラージフィンガージョイント、強軸、3層3プライ)

試験体名	構成	厚さ (mm)	幅 (mm)	密度 (kg/m ³)	せん断強さ (N/mm ²)	せん断弾性率 (kN/mm ²)	破壊性状
01	強軸	89.7	240	400	6.59	0.71	せん断
02	強軸	90.0	240	395	6.48	0.78	せん断
03	強軸	90.0	240	431	6.24	0.93	曲げ
04	強軸	90.3	239	392	5.87	0.97	せん断
05	強軸	90.4	240	415	5.57	0.78	曲げ*1
06	強軸	90.5	239	397	6.72	0.76	せん断
		平均値		405	6.24	0.82	
		標準偏差			0.41	0.09	
		50%下限値			6.12	0.79	
		5%下限値			5.29	0.60	

* 1 : 大きな節と材質の腐れのような部分あり。

表4. 3. 6 試験結果4 (JL90: ラージフィンガージョイント、弱軸、3層3プライ)

試験体名	構成	厚さ (mm)	幅 (mm)	密度 (kg/m ³)	せん断強さ (N/mm ²)	せん断弾性率 (kN/mm ²)	破壊性状
01	弱軸	90.1	240	408	6.60	1.12	せん断
02	弱軸	90.2	239	398	6.16	1.03	曲げ
03	弱軸	90.0	240	416	6.58	1.06	せん断
04	弱軸	90.2	240	398	5.93	1.13	せん断
05	弱軸	90.2	240	405	6.75	1.48	せん断
06	弱軸	90.2	240	402	4.89	1.59	曲げ
		平均値		405	6.15	1.24	
		標準偏差			0.63	0.22	
		50%下限値			5.97	1.17	
		5%下限値			4.68	0.72	

表 4. 3. 7 試験結果 5 (KN150 : ノーマルフィンガージョイント、強軸、5 層 5 プライ)

試験体名	構成	厚さ (mm)	幅 (mm)	密度 (kg/m ³)	せん断強さ (N/mm ²)	せん断弾性率 (kN/mm ²)	破壊性状
01	強軸	151	240	424	6.06	0.77	曲げ
02	強軸	150	240	446	6.66	0.88	曲げ
03	強軸	150	240	440	5.64	0.79	曲げ
04	強軸	151	240	421	6.58	0.79	せん断
05	強軸	150	240	453	6.87	0.97	曲げ
06	強軸	150	240	440	6.33	0.84	せん断
平均値				437	6.36	0.84	
標準偏差					0.41	0.07	
50%下限値					6.24	0.82	
5%下限値					5.41	0.68	

表 4. 3. 8 試験結果 6 (JN150 : ノーマルフィンガージョイント、弱軸、5 層 5 プライ)

試験体名	構成	厚さ (mm)	幅 (mm)	密度 (kg/m ³)	せん断強さ (N/mm ²)	せん断弾性率 (kN/mm ²)	破壊性状
01	弱軸	150	240	425	6.54	0.92	せん断
02	弱軸	150	240	428	7.70	1.35	せん断
03	弱軸	151	240	423	6.85	1.33	せん断
04	弱軸	151	240	406	6.76	1.16	せん断
05	弱軸	150	240	413	6.88	1.21	曲げ
06	弱軸	151	240	411	6.79	1.54	曲げ* ¹
平均値				418	6.92	1.25	
標準偏差					0.37	0.19	
50%下限値					6.81	1.19	
5%下限値					6.06	0.81	

* 1 : せん断破壊と同時に曲げも発生した。

表 4. 3. 9 試験結果 7 (KL150 : ラージフィンガージョイント、強軸、5 層 5 プライ)

試験体名	構成	厚さ (mm)	幅 (mm)	密度 (kg/m ³)	せん断強さ (N/mm ²)	せん断弾性率 (kN/mm ²)	破壊性状
01	強軸	150	240	416	7.12	1.01	曲げ
02	強軸	151	240	411	6.34	0.96	曲げ
03	強軸	151	240	420	7.28	0.88	せん断
04	強軸	151	240	433	6.69	1.09	曲げ
05	強軸	151	240	413	6.84	0.72	曲げ
06	強軸	151	240	423	6.19	0.88	曲げ
		平均値		419	6.74	0.92	
		標準偏差		7.34	0.39	0.12	
		50%下限値			6.63	0.89	
		5%下限値			5.83	0.65	

表 4. 3. 10 試験結果 8 (JL150 : ラージフィンガージョイント、弱軸、5 層 5 プライ)

試験体名	構成	厚さ (mm)	幅 (mm)	密度 (kg/m ³)	せん断強さ (N/mm ²)	せん断弾性率 (kN/mm ²)	破壊性状
01	弱軸	149	240	417	6.74	1.17	せん断
02	弱軸	149	241	414	6.74	0.98	曲げ
03	弱軸	149	240	420	6.43	1.13	せん断
04	弱軸	149	240	412	6.08	1.09	曲げ
05	弱軸	149	240	425	5.84	1.24	曲げ
06	弱軸	149	240	412	5.87	1.17	せん断
		平均値		417	6.29	1.13	
		標準偏差		4.80	0.37	0.08	
		50%下限値			6.17	1.11	
		5%下限値			5.41	0.94	

表 4. 3. 1 1 試験結果 9 (KN210 : ノーマルフィンガージョイント、強軸、5 層 7 プライ)

試験体名	構成	厚さ (mm)	幅 (mm)	密度 (kg/m ³)	せん断強さ (N/mm ²)	せん断弾性率 (kN/mm ²)	破壊性状
01	強軸	209	240	405	6.08	1.22	せん断
02	強軸	209	240	415	6.83	0.95	せん断
03	強軸	209	240	414	6.28	0.88	せん断
04	強軸	209	240	407	5.90	0.97	曲げ
05	強軸	209	240	410	6.32	0.94	せん断
06	強軸	209	240	422	6.78	0.88	せん断
		平均値		412	6.37	0.97	
		標準偏差		5.45	0.34	0.12	
		50%下限値			6.26	0.94	
		5%下限値			5.56	0.70	

表 4. 3. 1 2 試験結果 10 (JN210 : ノーマルフィンガージョイント、弱軸、5 層 7 プライ)

試験体名	構成	厚さ (mm)	幅 (mm)	密度 (kg/m ³)	せん断強さ (N/mm ²)	せん断弾性率 (kN/mm ²)	破壊性状
01	弱軸	208	240	431	5.02	1.34	曲げ
02	弱軸	208	240	430	5.26	1.32	せん断
03	弱軸	207	240	433	4.84	1.50	曲げ
04	弱軸	208	239	432	5.00	1.77	曲げ
05	弱軸	208	241	426	4.85	1.57	曲げ
06	弱軸	208	240	428	5.33	1.62	せん断
		平均値		430	5.05	1.52	
		標準偏差		2.45	0.19	0.16	
		50%下限値			5.00	1.47	
		5%下限値			4.61	1.15	

図4. 3. 1 7に面内せん断試験で実測されたせん断強度値と CLT の告示5 6 2号⁵⁾で規定された(4.3.9)式によって算定される CLT のせん断基準強度との比較を示す。

$$F_s = \text{Min} \begin{cases} 2.7 \\ F_s' \end{cases}$$

$$F_s' = \frac{1.5b \cdot n_{ca}}{t_{gross} \cdot \left\{ \left(1 - \frac{1}{m^2} \right) + \frac{16}{3} \left(\frac{1}{m} - \frac{1}{m^2} \right) \right\}} \quad \dots(4.3.9)$$

図4. 3. 1 8に面内せん断試験で実測されたせん断弾性係数と告示解説本⁵⁾で規定された(4.3.10)式で示されるせん断弾性係数との比較を示す。

$$G=0.5 \text{ kN/mm}^2 \text{ (すべての CLT で共通)} \quad \dots(4.3.10)$$

ここで、

b : ラミナの幅 (mm)

n_{ca} : CLT パネルの直交接着層の数

t_{gross} : CLT パネルの厚さ (mm)

m : 各層のラミナの幅方向の数の最小値

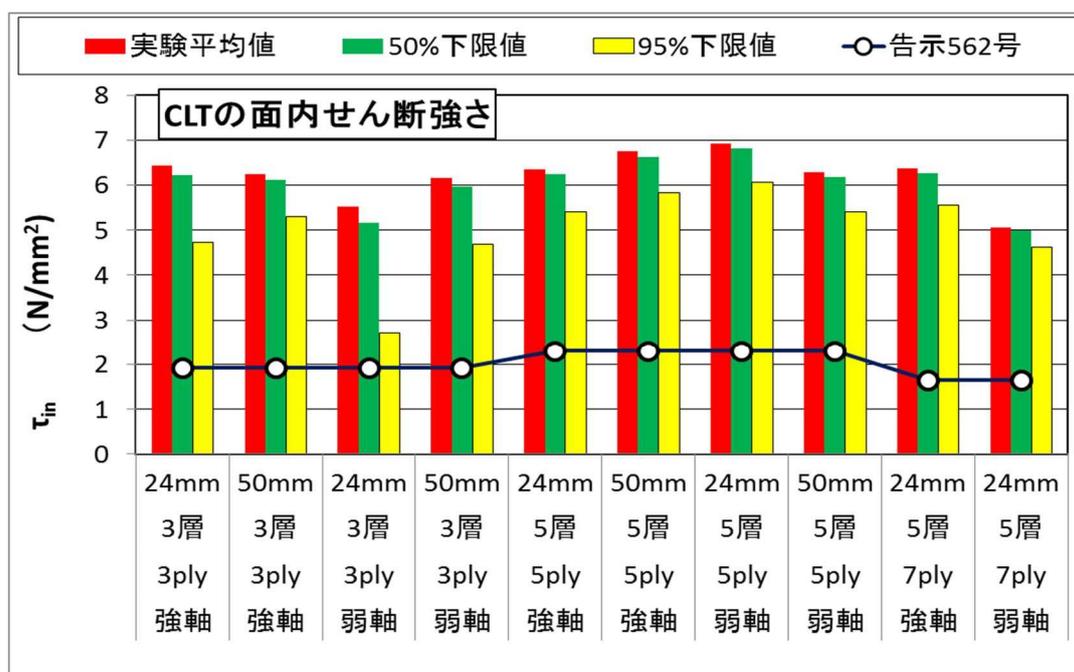


図4. 3. 1 7 面内せん断強度実測値と CLT 告示5 6 2号による基準強度との比較

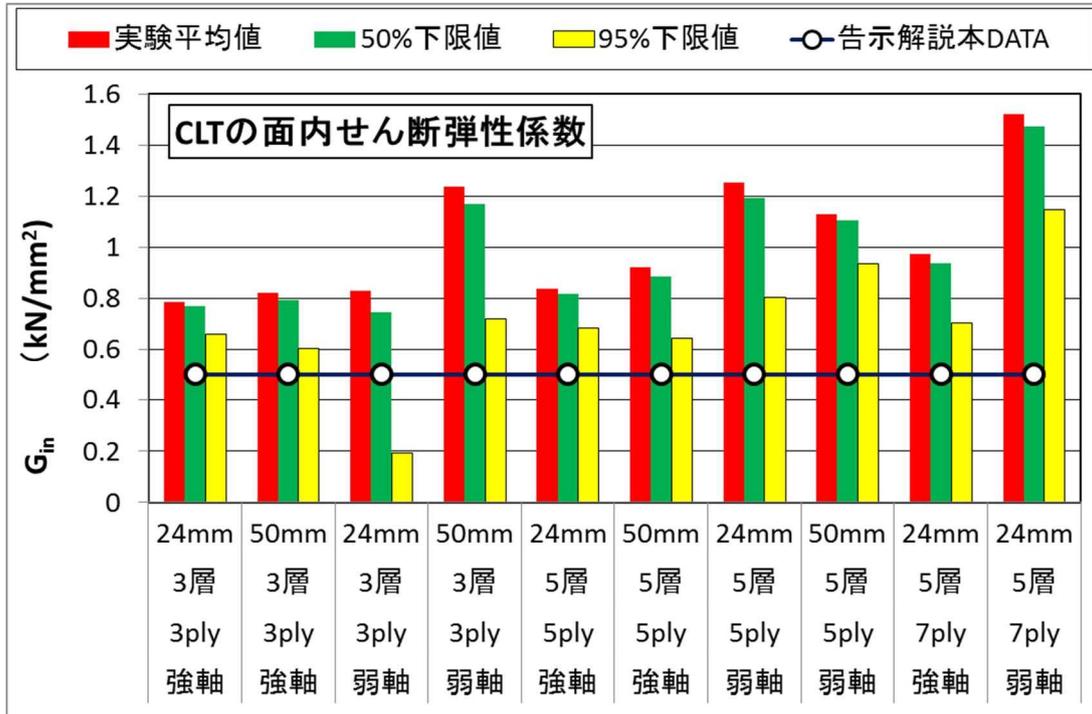


図4. 3. 1 8 面内せん断弾性係数の実測値と告示解説本⁵⁾に掲載された値との比較

面内せん断強度の結果としては；

- 平均値で比べると LF 接合と NF 接合との違いは明らかではないが、5%下限値においては、LF 接合が NF 接合をやや上回る傾向にあった。
- 実測 FJ 接合の面内せん断強度は、告示 5 6 2 号の基準強度を全て上回った。

一方、せん断弾性係数に関しては；

- LF 接合と NF 接合の違いは明確ではない。
- 5 L 7 P-NF 弱軸接合のせん断弾性係数が最も大きい値を示した。
- FJ 接合の実測せん断弾性係数の平均値は、全て告示解説書の値 0.5kN/mm² を上回ったが、3 L 3 P-NF 弱軸接合で 5%下限値が 0.5 kN/mm² を下回った。

4-4. フィンガージョイントで接合された CLT パネル同士の面外せん断試験

4-4-1. 試験方法

CLT の面外せん断性能は、弱軸層のローリングシアー強度によって決定されるため、CLT の面内せん断強度よりもかなり低い荷重で破壊することが知られている。従って、FJ 接合された CLT パネルの面外せん断については、JAS²⁾で規定されている短スパン中央集中荷重方式によるせん断試験法（構造用木材の強度試験マニュアル³⁾では A 法と呼ぶ）を用いて評価した。

図4. 4. 1-(a)に A 法のイメージを、図4. 4. 1-(b)に実際の試験の写真を示す。

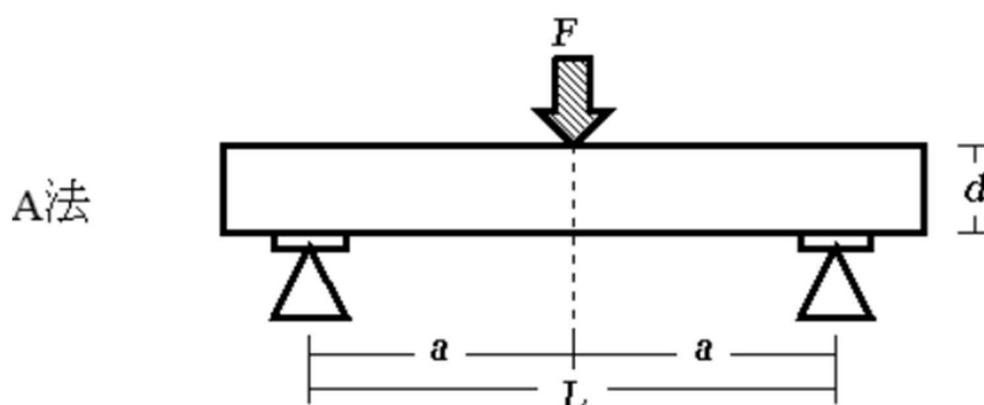


図4. 4. 1-(a) 面外せん断試験法 (A 法)³⁾



図4. 4. 1-(b) FJ 接合した CLT パネルの面外せん断試験法（鹿児島県工業試験場）

4-4-2. 試験体

表4.4.1、表4.4.2にフィンガー接合された CLT-CLT パネルの面外せん断試験体の仕様を示す。

表4.4.1 $l=50\text{mm}$ ラージフィンガージョイント試験体

試験体	構成	層	ply	せい	a	幅	材端	全長	数量	
				d	$=3d$	b	e	$L=2a+2e$		
(mm)										
1	MGS-KL90	強-強	3	3	90	270	240	90	720	6
2	MGS-JL90	弱-弱	3	3	90	270	240	90	720	6
3	MGS-KL150	強-強	5	5	150	450	240	150	1200	6
4	MGS-JL150	弱-弱	5	5	150	450	240	150	1200	6

表4.4.2 $l=24\text{mm}$ フィンガージョイント試験体

試験体	構成	層	ply	せい	a	幅	材端	全長	数量	
				d	$=3d$	b	e	$L=2a+2e$		
(mm)										
1	MGS-KN90	強-強	3	3	90	270	240	90	720	6
2	MGS-JN90	弱-弱	3	3	90	270	240	90	720	6
3	MGS-KN150	強-強	5	5	150	450	240	150	1200	6
4	MGS-JN150	弱-弱	5	5	150	450	240	150	1200	6
5	MGS-KN210	強-強	5	7	210	630	240	210	1680	6
6	MGS-JN210	弱-弱	5	7	210	630	240	210	1680	6

4-4-3. 測定結果の評価法

A 法によるせん断耐力の評価は(4.4.1)式で行う。

$$f_s = \frac{3Q_{ult}}{2A} = \frac{3F_{ult}}{4b \cdot d} \quad \dots(4.4.1)$$

ここで、

F_{ult} : 最大荷重 (N)

b : 幅(mm)

d : せい(mm)

4-4-4. 結果および考察

図4.4.2～図4.4.11にパラメータごとの6体の試験体で実測された中央集中荷重－荷重点たわみの関係を示す。なお、面外せん断試験体については、全ての試験体の写真が揃っていないので、各グループの破壊形態の代表写真は省略するが、典型的な曲げ破壊の写真とローリングシアー破壊の場合の破壊形態図4.4.12および図4.4.13を示す。

表4.4.3に全ての試験条件のせん断強さの平均値をまとめて示す。

表4.4.4～表4.4.13にパラメータ別の6体の試験体のそれぞれのせん断強さを示す。

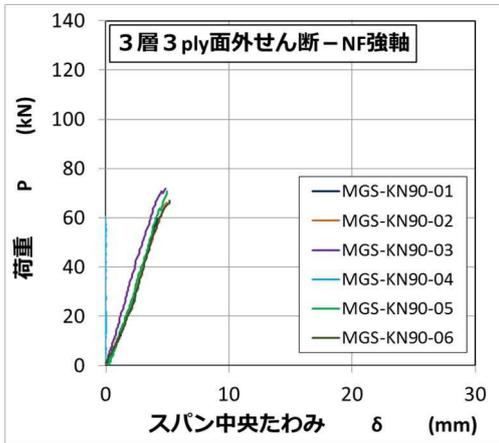


図 4. 4. 2 3層3ply-NF-強軸

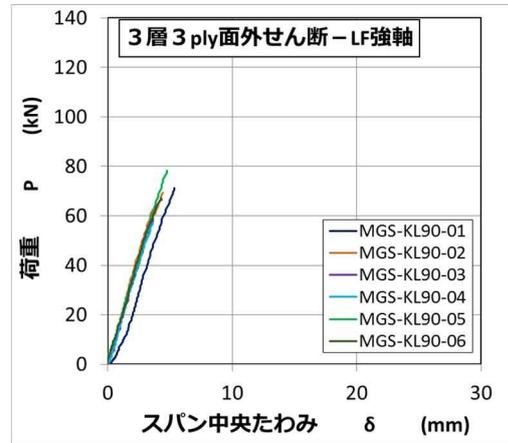


図 4. 4. 3 3層3ply-LF-強軸

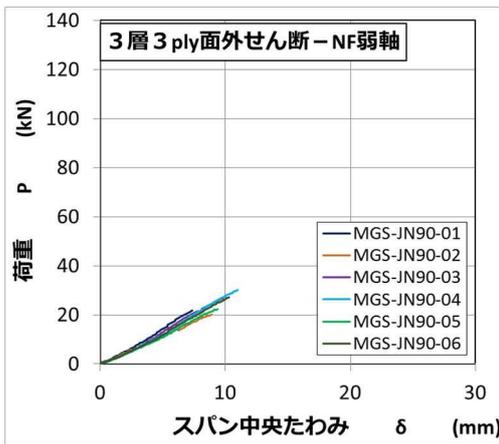


図 4. 4. 4 3層3ply-NF-弱軸

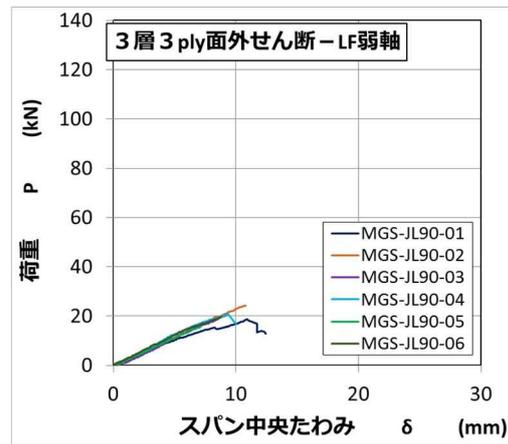


図 4. 4. 5 3層3ply-LF-弱軸

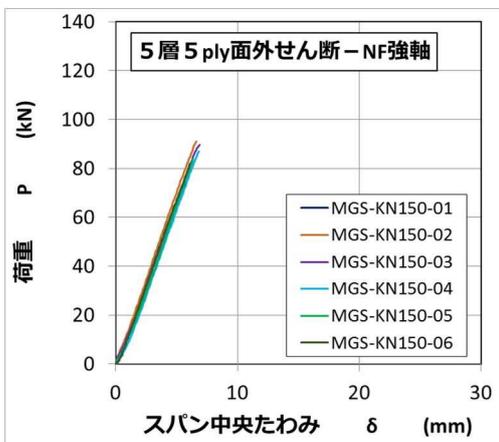


図 4. 4. 6 5層5ply-NF-強軸

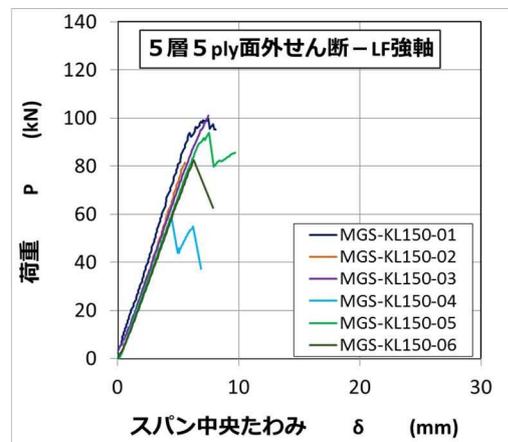


図 4. 4. 7 5層5ply-LF-強軸

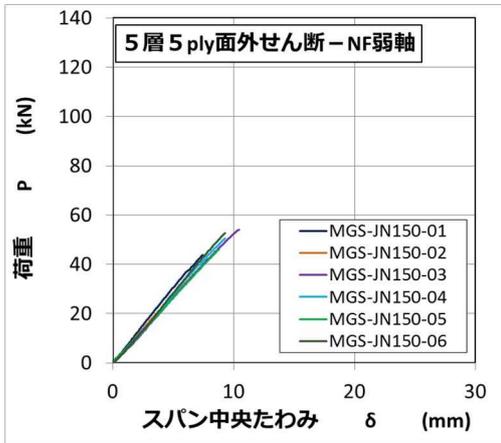


図 4. 4. 8 5層 5 ply - NF - 弱軸

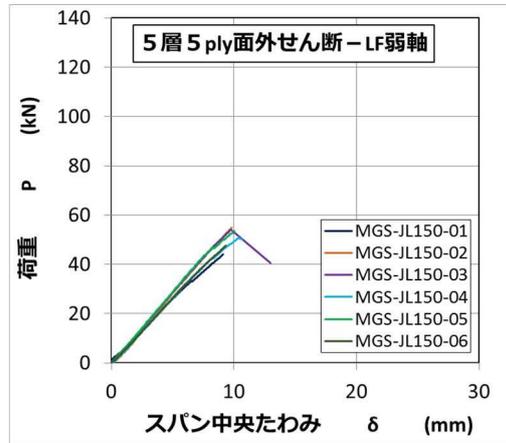


図 4. 4. 9 5層 5 ply - LF - 弱軸

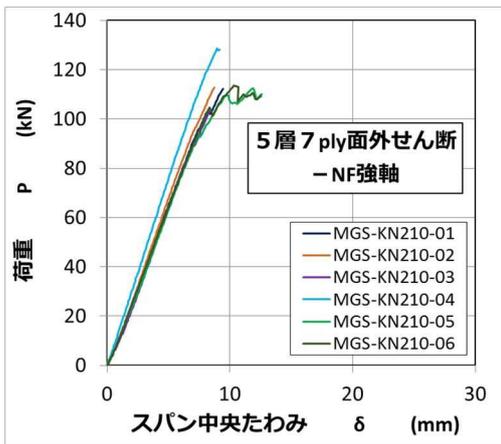


図 4. 4. 10 5層 7 ply - NF - 強軸

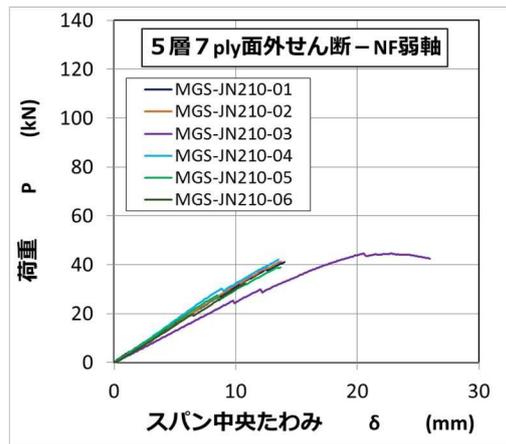


図 4. 4. 11 5層 7 ply - NF - 弱軸



図 4. 4. 12 曲げ破壊の例



図 4. 4. 13 ローリングシアー破壊の例

表 4. 4. 3 全ての試験条件における面外せん断強さの平均値等

試験体名	構成	層	ply	フィン ガー 形状	面外せん断強さ			
					平均値	標準偏差	50% 下限値	95% 下限値
					N/mm ²			
MGS-NK90	強軸	3	3	24mm	2.29	0.176	2.24	1.88
MGS-LK90	強軸	3	3	50mm	2.33	0.276	2.25	1.68
MGS-NJ90	弱軸	3	3	24mm	0.88	0.109	0.85	0.63
MGS-LJ90	弱軸	3	3	50mm	0.69	0.098	0.66	0.46
MGS-NK150	強軸	5	5	24mm	1.76	0.129	1.72	1.46
MGS-LK150	強軸	5	5	50mm	1.79	0.333	1.70	1.02
MGS-NJ150	弱軸	5	5	24mm	1.02	0.088	0.99	0.81
MGS-LJ150	弱軸	5	5	50mm	1.06	0.090	1.03	0.85
MGS-NK210	強軸	5	7	24mm	1.69	0.122	1.66	1.41
MGS-NJ210	弱軸	5	7	24mm	0.60	0.063	0.58	0.45

表 4. 4. 4 3層 3ply 面外せん断—NF 強軸

試験体名	面外せん断強さ
	N/mm ²
MGS-KN90-01	2.07
MGS-KN90-02	2.30
MGS-KN90-03	2.49
MGS-KN90-04	2.10
MGS-KN90-05	2.46
MGS-KN90-06	2.32
平均値	2.29
標準偏差	0.18
50%下限値	2.24
5%下限値	1.88

表 4. 4. 5 3層3ply 面外せん断—LF 強軸

試験体名	面外せん断強さ
	N/mm ²
MGS-KL90-01	2.47
MGS-KL90-02	2.41
MGS-KL90-03	2.05
MGS-KL90-04	1.98
MGS-KL90-05	2.72
MGS-KL90-06	2.34
平均値	2.33
標準偏差	0.28
50%下限値	2.25
5%下限値	1.68

表 4. 4. 6 3層3ply 面外せん断—NF 弱軸

試験体名	面外せん断強さ
	N/mm ²
MGS-JN90-01	0.76
MGS-JN90-02	0.84
MGS-JN90-03	0.93
MGS-JN90-04	1.04
MGS-JN90-05	0.78
MGS-JN90-06	0.94
平均値	0.88
標準偏差	0.11
50%下限値	0.85
5%下限値	0.63

表 4. 4. 7 3層3ply 面外せん断—LF 弱軸

試験体名	面外せん断強さ
	N/mm ²
MGS-JL90-01	0.65
MGS-JL90-02	0.84
MGS-JL90-03	0.73
MGS-JL90-04	0.72
MGS-JL90-05	0.54
MGS-JL90-06	0.68
平均値	0.69
標準偏差	0.10
50%下限値	0.66
5%下限値	0.46

表 4. 4. 8 5層5ply 面外せん断—NF 強軸

試験体名	面外せん断強さ
	N/mm ²
MGS-KN 1 5 0-01	1.55
MGS-KN 1 5 0-02	1.90
MGS-KN 1 5 0-03	1.87
MGS-KN 1 5 0-04	1.81
MGS-KN 1 5 0-05	1.75
MGS-KN 1 5 0-06	1.70
平均値	1.76
標準偏差	0.13
50%下限値	1.72
5%下限値	1.46

表 4. 4. 9 5層 5 ply 面外せん断-LF 強軸

試験体名	面外せん断強さ
	N/mm ²
MGS-KL150-01	2.08
MGS-KL150-02	1.70
MGS-KL150-03	2.10
MGS-KL150-04	1.21
MGS-KL150-05	1.96
MGS-KL150-06	1.72
平均値	1.79
標準偏差	0.33
50%下限値	1.70
5%下限値	1.02

表 4. 4. 10 5層 5 ply 面外せん断-NF 弱軸

試験体名	面外せん断強さ
	N/mm ²
MGS-JN150-01	0.91
MGS-JN150-02	0.95
MGS-JN150-03	1.13
MGS-JN150-04	1.05
MGS-JN150-05	0.96
MGS-JN150-06	1.10
平均値	1.02
標準偏差	0.09
50%下限値	0.99
5%下限値	0.81

表 4. 4. 1 1 5層 5 ply 面外せん断-LF 弱軸

試験体名	面外せん断強さ
	N/mm ²
MGS-JL150-01	0.92
MGS-JL150-02	1.14
MGS-JL150-03	1.13
MGS-JL150-04	1.06
MGS-JL150-05	1.12
MGS-JL150-06	0.99
平均値	1.06
標準偏差	0.09
50%下限値	1.03
5%下限値	0.85

表 4. 4. 1 2 5層 7 ply 面外せん断-NF 強軸

試験体名	面外せん断強さ
	N/mm ²
MGS-KN210-01	1.67
MGS-KN210-02	1.68
MGS-KN210-03	1.54
MGS-KN210-04	1.91
MGS-KN210-05	1.68
MGS-KN210-06	1.69
平均値	1.69
標準偏差	0.12
50%下限値	1.66
5%下限値	1.41

表 4. 4. 1 3 5層 7 ply 面外せん断—NF 弱軸

試験体名	面外せん断強さ
	N/mm ²
MGS-JN150-01	0.61
MGS-JN150-02	0.61
MGS-JN150-03	0.66
MGS-JN150-04	0.63
MGS-JN150-05	0.58
MGS-JN150-06	0.48
平均値	0.60
標準偏差	0.06
50%下限値	0.58
5%下限値	0.45

図 4. 4. 1 4 に面外せん断試験で実測されたせん断強度値と CLT の告示 5 6 2 号⁵⁾で規定された(4.4.2)式によって算定される CLT のせん断基準強度との比較を示す。

$$F_s = 0.9 \text{ N/mm}^2 \quad (\text{全ての CLT で共通}) \quad \dots(4.4.2)$$

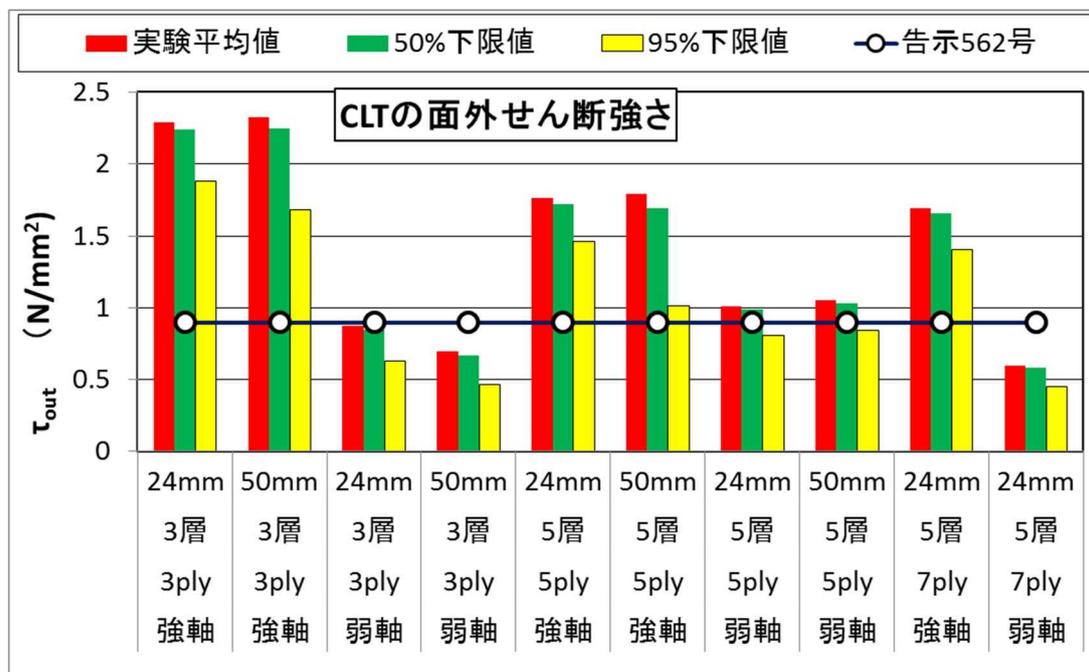


図 4. 4. 1 4 面外せん断強度実測値と CLT 告示 5 6 2 号による基準強度との比較

FJ 接合された CLT パネル接合部の面外せん断強度の結果としては；

- 曲げ破壊が先行するが多かった。
- FJ 接合実測せん断強度は、告示 5 6 2 号の基準強度を下回るものもあった。特に 3 層 3 ply-弱軸の場合は LF 接合の場合も NF 接合の場合も、曲げ破壊が先行し、平均値においても告示の基準強度を下回る結果となった。
- CLT の強度評価法の中で、せん断性能の評価法が最も難しいことを再認識した。その理由は、曲げ応力とせん断応力の両方が同時に作用する短スパン 3 点曲げ試験法等の場合、CLT の弱軸層での先行破壊がどうしても避けられない場合が多く、純粋なせん断破壊を先行させることが難しいためである。
- 今回の面外せん断試験において試験体が曲げ破壊した割合は、以下の通りでる。
3L3P 試験体：100%
5L5P 試験体：95.8% (MGS-150-KL-5 のみせん断破壊あり)
5L7P 試験体：75% (MGS-210-JN-3, KN-5, KN-6 の 3 体でせん断破壊あり)
- 純粋なせん断破壊を常に発生させるためには、木質材料の面内せん断用に開発された特別の治具（例えば合板用のツーレールシアー法など）を用いた試験法の採用などを検討する必要がある。

第5章 フィンガージョイントで接合された CLT パネル同士の縦圧縮試験

5-1. 目的

本章で実施する実験の目的は、以下に示す各設定パラメータが小幅 CLT パネル同士を縦方向並びに横方向にフィンガージョイントで接着接合した製品の縦圧縮強度性能にどのように影響を及ぼすかを実験によって確認することにある。

[設定パラメータ]

- CLT の種類：3 層 3 プライ、5 層 5 プライ、5 層 7 プライ（ノーマルフィンガーのみ）
- フィンガー長さ：24mm（ノーマルフィンガー）、50mm（ラージフィンガー）
- 接合方向：強軸－強軸（縦方向接合）、弱軸－弱軸（横方向接合）

[共通条件]

- CLT の JAS 強度等級：Mx60A（スギ）
- 接着剤：フェノールレゾルシノール樹脂接着剤(RF)
- 嵌合圧：1 N/mm²
- 载荷速度：強軸－強軸接合試験体、6mm/分、弱軸－弱軸接合試験体、8mm/分
- 試験体数：各 6 体

5-2. 試験方法

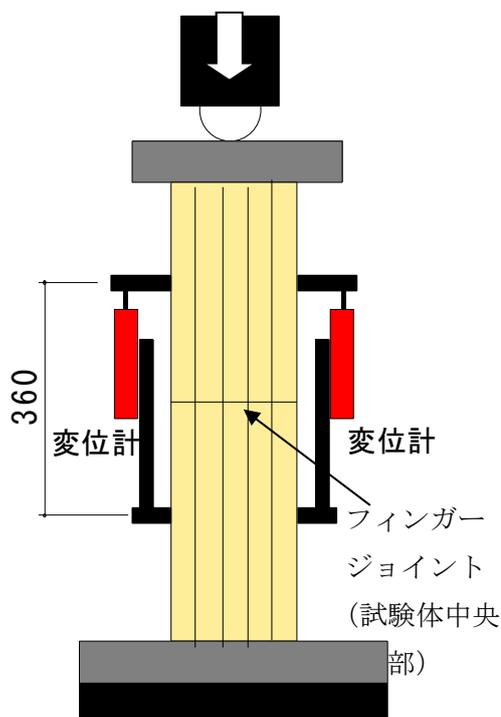


図 5. 2. 1 圧縮試験概要



図 5. 2. 2 圧縮試験風景

試験には、宮崎県木材利用技術センターの実大圧縮試験機（（株）前川試験機製作所、容量 2000kN）を用いて実施した。圧縮変位の測定は、試験体の両側面において、試験体中央のフィンガー部から上下に 180mm（標点間距離を 360mm）の位置に変位計と変位計受けを取り付けて行った。変位計は CDP50（東京測器研究所）を用いた。試験方法の概要を図 5. 2. 1、試験風景を図 5. 2. 2 に示す。

5-3. 試験体

試験体の仕様を表 5. 3. 1 に示す。

表 5. 3. 1 試験条件

試験体名	フィンガー形状	構成	層	P l y	厚さ mm	幅 mm	試験体数
CNK90	ノーマル(24mm)	強軸	3	3	90	200	6
CNJ90		弱軸					6
CLK90	ラージ(52mm)	強軸					6
CLJ90		弱軸					6
CNK150	ノーマル(24mm)	強軸	5	5	150	200	6
CNJ150		弱軸					6
CLK150	ラージ(52mm)	強軸					6
CLJ150		弱軸					6
CNK210	ノーマル(24mm)	強軸	5	7	210	200	6
CNJ210		弱軸					6

5-4. 測定結果の評価法

【縦圧縮強さ】

縦圧縮強さ f_{c0} は以下の式から算出した。

$$f_{c0} = \frac{F_{ult}}{A} \quad \dots(5.4.1)$$

ここで、

F_{ult} : 縦圧縮最大荷重(N)

A : 試験体横断面の面積 = $b \times d$ (mm²)

【縦圧縮ヤング係数】

縦圧縮ヤング係数の評価は、以下の方法により行った。

縮みは相対する2材面の材長方向の中央（必ずFJ 接合部を含むこと）で測定し、その平均値を用いた。縦圧縮ヤング係数 E_c は式(5.4.2)から算出した。

$$E_c = \frac{l \cdot (F_2 - F_1)}{A(w_2 - w_1)} \quad \dots(5.4.2)$$

ここで、

A : 試験体横断面の面積 = $b \times d$ (mm²)

l : 標点間距離(mm)

F_1 : 荷重(F)-変形(w)曲線の直線部分の荷重。 F_1 は最大荷重の 10%の値 (kN)

F_2 : 荷重(F)-変形(w)曲線の直線部分の荷重。 F_2 は最大荷重の 40%の値 (kN)

w_1 : 測定器具で F_1 時に測定された変位 (mm)

w_2 : 測定器具で F_2 時に測定された変位 (mm)

5-5. 結果および考察

表5. 5. 1に各試験条件の縦圧縮強さと縦ヤング係数の平均値を示す。表5. 5. 2～表5. 5. 11に試験条件ごとに各試験体の結果を示す。図5. 5. 1～図5. 5. 12にグループごと6体の試験体で実測された荷重－変形の関係を示す。図5. 5. 12～図5. 5. 17に主な破壊性状を示す。また、個々の試験体における荷重－変形関係、並びに破壊形態は付録IVに示した。

表5. 5. 1 試験結果のまとめ (平均値)

試験体名	フィンガー形状	構成	層	ply	縦圧縮強さ	縦圧縮ヤング係数
					N/mm ²	kN/mm ²
CNK90	ノーマルフィンガー	強軸	3	3	16.6	5.19
CNJ90		弱軸			10.9	2.55
CLK90	ラージフィンガー	強軸			18.0	4.94
CLJ90		弱軸			10.5	2.68
CNK150	ノーマルフィンガー	強軸	5	5	18.1	4.78
CNJ150		弱軸			11.8	2.65
CLK150	ラージフィンガー	強軸			18.1	4.66
CLJ150		弱軸			13.5	2.62
CNK210	ノーマルフィンガー	強軸	5	7	21.0	5.53
CNJ210		弱軸			8.31	1.95

表 5. 5. 2 試験結果 1 (CNK90 : 24mm フィンガージョイント、強軸、3 層 3 プライ)

試験体名	構成	層	Ply	厚さ mm	幅 mm	密度 kg/m ³	縦圧縮 強さ	縦圧縮 ヤング係数
							N/mm ²	kN/mm ²
01	強-強	3	3	90.2	200	395	17.8	4.90
02	強-強	3	3	90.5	200	421	14.6	5.13
03	強-強	3	3	90.9	200.1	424	16.5	4.99
04	強-強	3	3	90.4	200.1	379	14.9	5.42
05	強-強	3	3	90.8	199.2	423	16.3	4.73
06	強-強	3	3	90.0	199.9	417	19.9	5.94
平均値						410	16.6	5.19
標準偏差						16.9	1.79	0.40
50%下限値							16.1	5.07
5%下限値							12.5	4.25

表 5. 5. 3 試験結果 2 (CNJ90 : 24mm フィンガージョイント、弱軸、3 層 3 プライ)

試験体名	構成	層	Ply	厚さ mm	幅 mm	密度 kg/m ³	縦圧縮 強さ	縦圧縮 ヤング係数
							N/mm ²	kN/mm ²
01	弱-弱	3	3	90.0	200	410	10.1	2.24
02	弱-弱	3	3	90.2	200	417	11.4	3.23
03	弱-弱	3	3	90.0	200	445	10.2	1.81
04	弱-弱	3	3	89.8	200	419	12.0	2.94
05	弱-弱	3	3	90.2	200	409	11.1	2.56
06	弱-弱	3	3	90.1	200	401	10.9	2.55
平均値						417	10.9	2.55
標準偏差						14.1	0.66	0.46
50%下限値							10.7	2.42
5%下限値							9.4	1.49

表 5. 5. 4 試験結果 3 (CLK90 : ラージフィンガージョイント、強軸、3 層 3 プライ)

試験体名	構成	層	Ply	厚さ mm	幅 mm	密度 kg/m ³	縦圧縮 強さ	縦圧縮 ヤング係数	
							N/mm ²	kN/mm ²	
01	強-強	3	3	90.9	200	428	18.2	4.45	
02	強-強	3	3	91.1	200	441	19.0	5.08	
03	強-強	3	3	91.1	201	442	19.8	4.98	
04	強-強	3	3	91.2	200	428	17.2	5.14	
05	強-強	3	3	90.6	200	436	16.1	5.33	
06	強-強	3	3	91.0	200	434	17.6	4.64	
						平均値	435	18.0	4.94
						標準偏差	5.7	1.20	0.30
						50%下限値		17.6	4.85
						5%下限値		15.2	4.23

表 5. 5. 5 試験結果 4 (CLJ90 : ラージフィンガージョイント、弱軸、3 層 3 プライ)

試験体名	構成	層	Ply	厚さ mm	幅 mm	密度 kg/m ³	縦圧縮 強さ	縦圧縮 ヤング係数	
							N/mm ²	kN/mm ²	
01	弱-弱	3	3	90.4	200	416	9.65	2.20	
02	弱-弱	3	3	90.4	200	430	11.1	2.89	
03	弱-弱	3	3	90.2	200	437	10.7	2.74	
04	弱-弱	3	3	90.1	200	422	9.66	2.26	
05	弱-弱	3	3	90.3	200	415	11.0	3.63	
06	弱-弱	3	3	90.2	200	416	11.0	2.39	
						平均値	423	10.5	2.68
						標準偏差	8.3	0.62	0.49
						50%下限値		10.3	2.54
						5%下限値		9.1	1.54

表 5. 5. 6 試験結果 5 (CNK150 : ノーマルフィンガージョイント、強軸、5 層 5 プライ)

試験体名	構成	層	Ply	厚さ mm	幅 mm	密度 kg/m ³	縦圧縮 強さ	縦圧縮 ヤング係数	
							N/mm ²	kN/mm ²	
01	強-強	5	5	150	200	429	18.8	4.57	
02	強-強	5	5	151	200	431	18.6	4.20	
03	強-強	5	5	150	200	444	17.8	4.86	
04	強-強	5	5	151	200	441	17.8	5.19	
05	強-強	5	5	150	200	447	18.4	4.65	
06	強-強	5	5	151	200	438	17.2	5.18	
						平均値	438	18.1	4.78
						標準偏差	6.3	0.54	0.35
						50%下限値		17.9	4.67
						5%下限値		16.8	3.96

表 5. 5. 7 試験結果 6 (CNJ150 : ノーマルフィンガージョイント、弱軸、5 層 5 プライ)

試験体名	構成	層	Ply	厚さ mm	幅 mm	密度 kg/m ³	縦圧縮 強さ	縦圧縮 ヤング係数	
							N/mm ²	kN/mm ²	
01	弱-弱	5	5	150	200	415	11.7	2.45	
02	弱-弱	5	5	150	200	418	11.6	2.78	
03	弱-弱	5	5	149	200	417	11.9	2.74	
04	弱-弱	5	5	149	200	410	11.8	2.92	
05	弱-弱	5	5	149	200	419	11.9	2.78	
06	弱-弱	5	5	150	200	399	11.9	2.23	
						平均値	413	11.8	2.65
						標準偏差	7.0	0.12	0.23
						50%下限値		11.8	2.58
						5%下限値		11.5	2.11

表 5. 5. 8 試験結果 7 (CLK150 : ラージフィンガージョイント、強軸、5 層 5 プライ)

試験体名	構成	層	Ply	厚さ mm	幅 mm	密度 kg/m ³	縦圧縮 強さ	縦圧縮 ヤング係数	
							N/mm ²	kN/mm ²	
01	強-強	5	5	150	200	428	17.3	4.42	
02	強-強	5	5	151	200	441	19.3	4.83	
03	強-強	5	5	151	200	442	16.0	4.39	
04	強-強	5	5	150	200	428	21.3	4.70	
05	強-強	5	5	151	200	436	14.5	4.67	
06	強-強	5	5	150	200	434	20.4	4.93	
						平均値	435	18.1	4.66
						標準偏差	5.7	2.41	0.20
						50%下限値		17.4	4.60
						5%下限値		12.5	4.19

表 5. 5. 9 試験結果 8 (CLJ150 : ラージフィンガージョイント、弱軸、5 層 5 プライ)

試験体名	構成	層	Ply	厚さ mm	幅 mm	密度 kg/m ³	縦圧縮 強さ	縦圧縮 ヤング係数	
							N/mm ²	kN/mm ²	
01	弱-弱	5	5	150	200	416	13.2	2.54	
02	弱-弱	5	5	150	200	430	13.6	2.51	
03	弱-弱	5	5	150	200	437	13.1	2.62	
04	弱-弱	5	5	150	200	422	14.3	3.00	
05	弱-弱	5	5	149	200	415	13.7	2.59	
06	弱-弱	5	5	150	200	416	12.8	2.47	
						平均値	423	13.5	2.62
						標準偏差	8.3	0.47	0.18
						50%下限値		13.3	2.57
						5%下限値		12.4	2.21

表 5. 5. 1 0 試験結果 9 (CNK210 : ノーマルフィンガージョイント、強軸、5 層 5 プライ)

試験体名	構成	層	Ply	厚さ mm	幅 mm	密度 kg/m ³	縦圧縮 強さ	縦圧縮 ヤング係数	
							N/mm ²	kN/mm ²	
01	強-強	5	7	209	200	419	18.9	5.31	
02	強-強	5	7	211	200	423	21.1	5.12	
03	強-強	5	7	213	200	432	21.2	5.70	
04	強-強	5	7	211	200	442	21.8	5.90	
05	強-強	5	7	209	199	425	20.0	5.53	
06	強-強	5	7	213	200	433	22.4	5.55	
						平均値	429	20.9	5.52
						標準偏差	7.75	1.17	0.25
						50%下限値		20.6	5.44
						5%下限値		18.2	4.92

表 5. 5. 1 1 試験結果 10 (CNJ210 : ノーマルフィンガージョイント、弱軸、5 層 5 プライ)

試験体名	構成	層	Ply	厚さ mm	幅 mm	密度 kg/m ³	縦圧縮 強さ	縦圧縮 ヤング係数	
							N/mm ²	kN/mm ²	
01	弱-弱	5	7	213	200	425	8.20	1.85	
02	弱-弱	5	7	213	200	426	8.40	1.98	
03	弱-弱	5	7	211	200	435	7.87	2.11	
04	弱-弱	5	7	211	200	428	7.93	1.87	
05	弱-弱	5	7	213	200	434	7.59	1.74	
06	弱-弱	5	7	210	200	439	9.52	2.04	
						平均値	431	8.25	1.93
						標準偏差	5.1	0.62	0.13
						50%下限値		8.07	1.89
						5%下限値		6.80	1.64

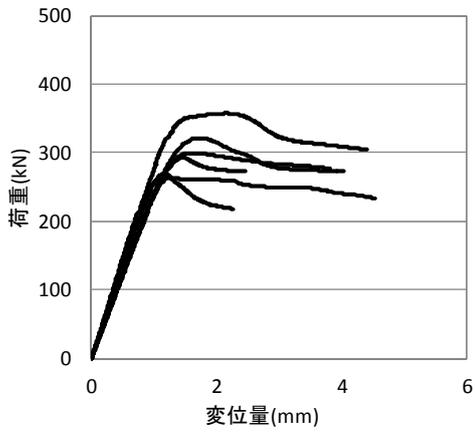


図 5. 5. 1 CNK90 試験結果

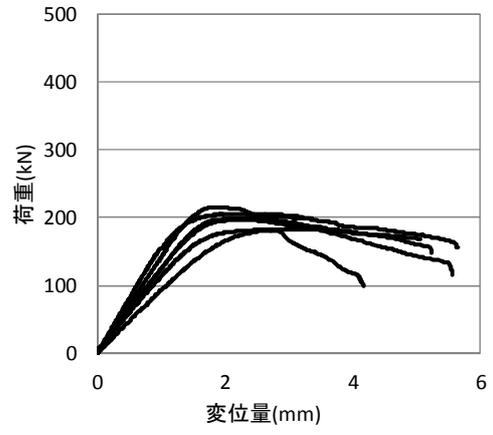


図 5. 5. 2 CNJ90 試験結果

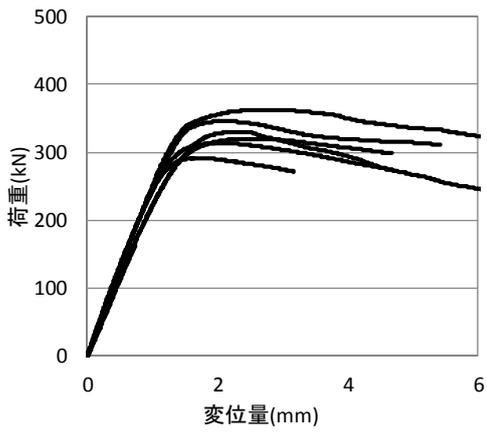


図 5. 5. 3 CLK90 試験結果

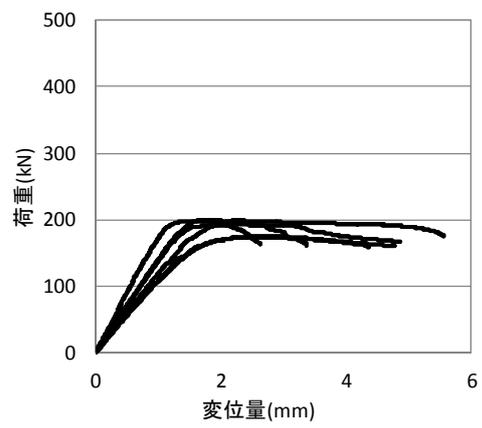


図 5. 5. 4 CLJ90 試験結果

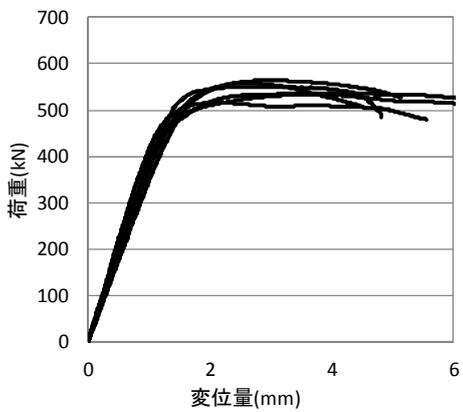


図 5. 5. 6 CNK150 試験結果

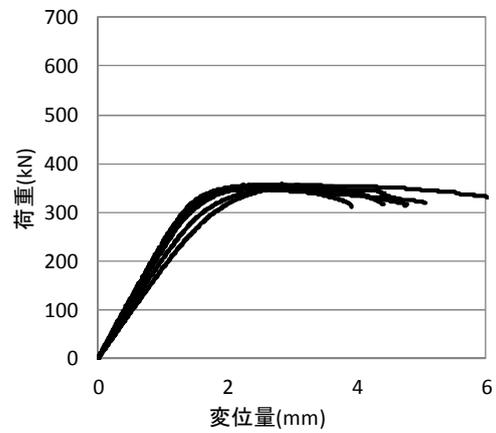


図 5. 5. 7 CNJ150 試験結果

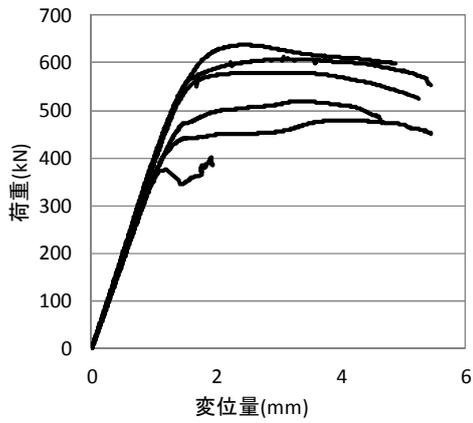


図 5. 5. 8 CLK150 試験結果

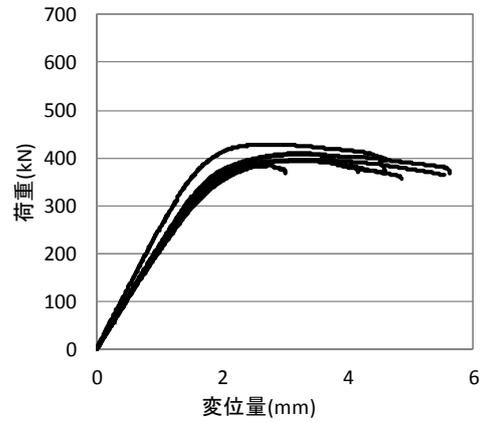


図 5. 5. 9 CLJ150 試験結果

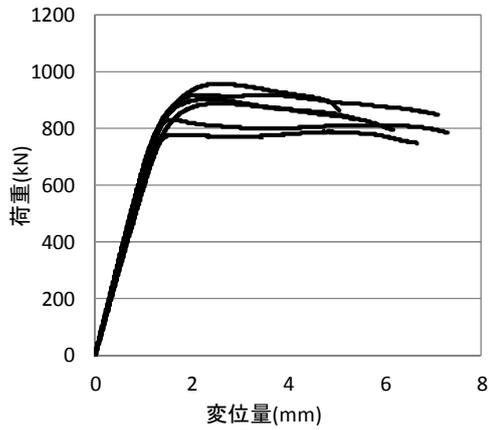


図 5. 5. 10 CNK210 試験結果

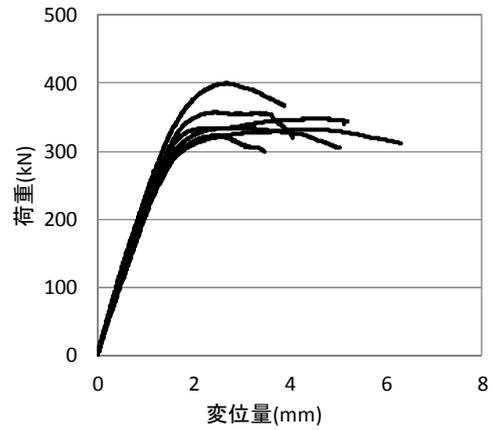


図 5. 5. 11 CNK210 試験結果

図 5. 5. 12～図 5. 5. 17 に主な破壊性状を示す。破壊性状は、フィンガー端部における圧縮破壊、フィンガー頂部が谷部を押すことで生じる CLT の割裂破壊が見られた。



図 5. 5. 12 ラージフィンガー端部における圧縮破壊 (CLK90)



図 5. 5. 13 ラージフィンガー頂部から CLT 割裂破壊 (CLJ90)



図 5. 5. 14 ノーマルフィンガー頂部から CLT 割裂破壊 (CNJ90)



図 5. 5. 15 ノーマルフィンガー頂部からの CLT 割裂破壊 (CNJ150)

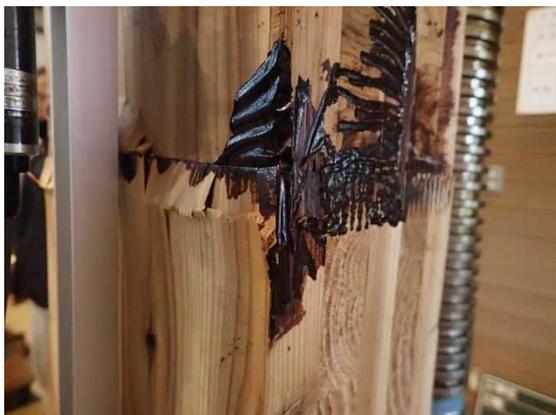


図 5. 5. 16 ノーマルフィンガー頂部における CLT の圧縮破壊 (CNK150)



図 5. 5. 17 ラージフィンガー頂部からの CLT 割裂破壊 (CLK150)

図5. 5. 18に縦圧縮試験で実測された圧縮強度値と CLT の告示562号⁵⁾で規定された(5.5.1式)によって算定される CLT の縦圧縮基準強度との比較を示す。

$$F_c = \sigma_{c-oml} \cdot \frac{A_A}{A_0} \times 0.75 \quad \dots(5.5.1)$$

図5. 5. 19に縦圧縮試験で実測された圧縮ヤング係数と告示解説本⁵⁾で規定された(5.5.2)式で算定される縦圧縮ヤング係数との比較を示す。

$$E = \frac{\sum(E_i \cdot A_i)}{A_0} \quad \dots(5.5.2)$$

ここで、

σ_{c-oml} : 強軸方向の基準強度を計算する場合は外層ラミナの圧縮強度、弱軸方向の基準強度を計算する場合は外層に最も近い内層ラミナの圧縮強度 (N/mm²)

$$A_A = \frac{\sum E_i \cdot A_i}{E_0} \quad (\text{mm}^2)$$

A_0 : CLT パネルの断面積 (mm²)

E_0 : 強軸方向の基準強度を計算する場合は外層ラミナのヤング係数、弱軸方向の基準強度を計算する場合は外層に最も近い内層ラミナのヤング係数 (kN/mm²)

A_i : 一方の外層から数えて i 番目の層の断面積 (mm²)

E_i : 一方の外層から数えて i 番目の層のラミナのヤング係数 (直交層は $E_i = 0$) (kN/mm²)

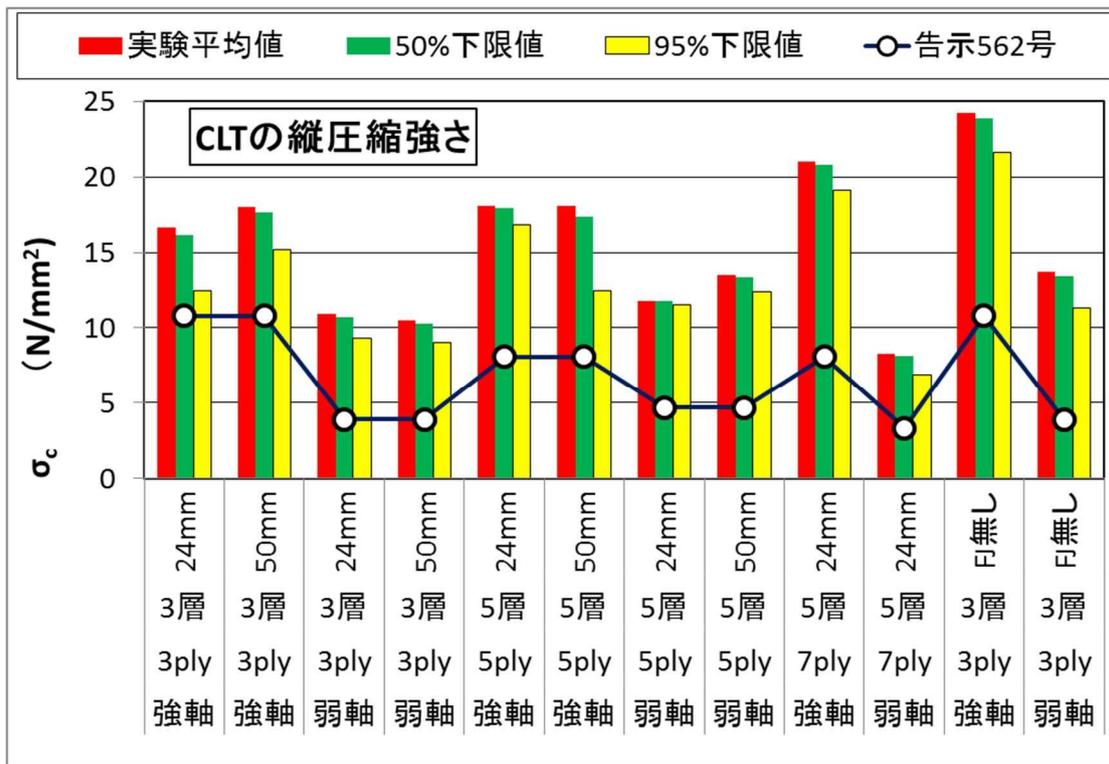


図5. 5. 18 縦圧縮強度実測値と CLT 告示562号による基準強度との比較

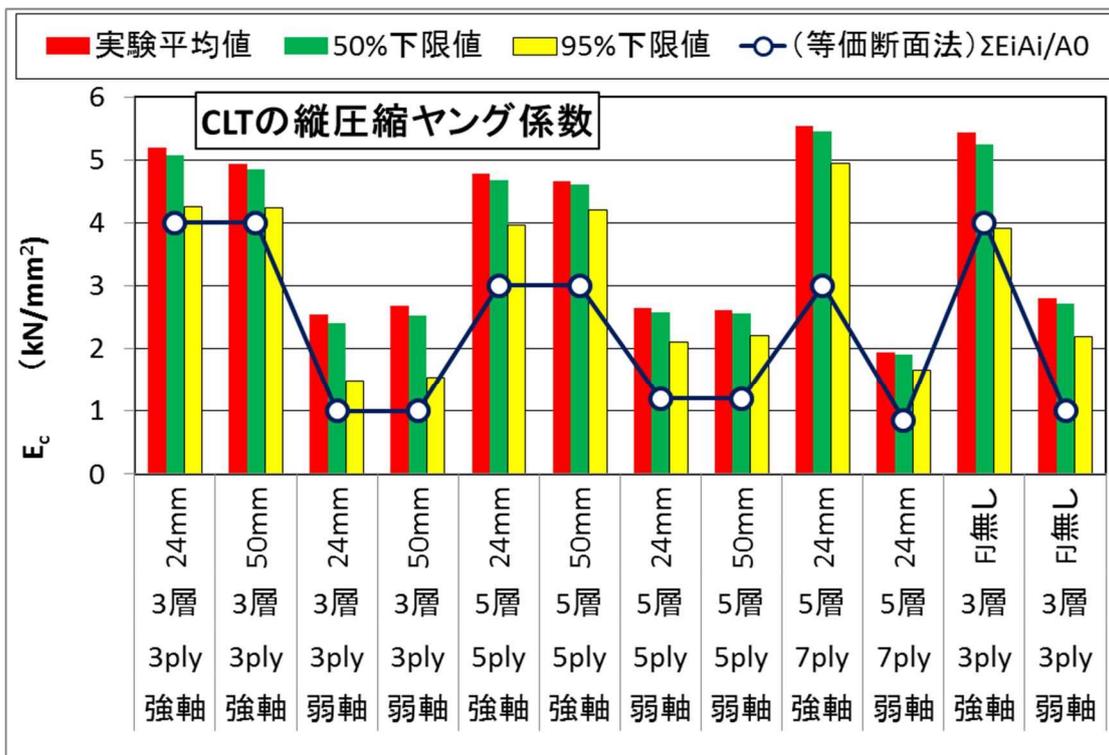


図5. 5. 19 縦圧縮ヤング係数実測値と告示解説本⁵⁾に掲載された値との比較

縦圧縮強度の結果としては；

- LF 接合と NF 接合とを比較すると、僅かではあるが LF 接合が NF 接合を上回る傾向にあった。
- FJ 接合のない CLT の強軸方向縦圧縮強度は FJ 接合された試験体よりも高いが、弱軸方向に関しては FJ 接合の影響はないように思える。
- 実測 FJ 接合の縦圧縮強度は、告示 5 6 2 号の基準強度を全て十分上回った。

一方、縦圧縮ヤング係数に関しては；

- 平均値的には LF 接合のヤング係数の方がむしろ NF 接合のヤング係数よりも低くなる傾向にある。
- FJ 接合の実測縦圧縮弾性係数は、全て告示解説書で示される計算値を上回った。

第6章 縦継ぎ幅矧ぎプライで製造した CLT パネルの性能把握

6-1. 目的

我が国の CLT 製造方式はラミナを幅矧ぎ接着して CLT を製造する方式と幅矧ぎ接着しないで製造する方式の 2 種類に大別される。

ラミナを幅矧ぎ接着して CLT を製造する方式の特徴を活用してより大型の CLT を製造しようとする場合、まず幅矧ぎプライ（必要枚数のラミナを幅矧ぎ接着した幅広の板）を予めフィンガージョイントで更に強軸方向に縦接合して要求寸法にプライを拡大し、拡大された幅矧ぎプライ同士を直交積層して最終的に大型の CLT を製造するという新しい方法も考えられる。

本章では、この FJ で縦継ぎされた幅矧ぎプライの接着接合性能の評価、ならびに FJ によって拡大された幅矧ぎプライを直交積層して製造された CLT パネルの曲げ性能に及ぼすフィンガー接合部の配置の影響を実験的に明らかにすることを目的とする。

6-2. 幅矧ぎプライ 1 枚のフィンガージョイント接合部の面外曲げ試験

6-2-1. 目的

本節では以下の固定パラメータを設定のうえ、24mmNFJ と 50mmLFJ の 2 種類のフィンガーで接合された幅矧ぎプライで製造される CLT パネルの曲げ性能を支配する FJ 接合部の基礎強度データを収集することにある。

[固定パラメータ]

- ・ 樹種：スギ Mx60A 用プライ (M30 幅矧ぎプライ、M60 幅矧ぎプライ)
- ・ 幅矧ぎプライ：厚さ 30mm のラミナを幅方向に 5 枚幅矧ぎ接着した製品
- ・ 接合方向：強軸－強軸（縦方向接合）
- ・ 接着剤：フェノールレゾルシノール樹脂接着剤(RF)
- ・ 試験体数：各 6 体

6-2-2. 試験方法

CLT の JAS²⁾に準拠した面外曲げ試験を行う。図 6. 2. 1 に試験法の概要を示す。

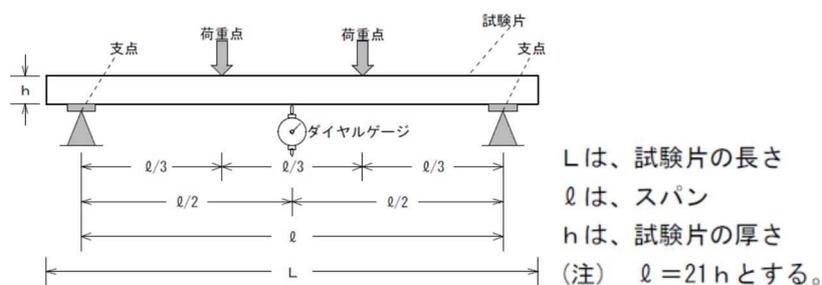


図 6. 2. 1 幅矧ぎプライ 1 枚の面外曲げ試験法の概要（JAS²⁾に準拠）

図6. 2. 2-(a)にFJ接合された幅矧ぎプライの面外曲げ試験のセットアップ図を示す。また、図6. 2. 2-(b)に実際の試験装置の写真を示す。

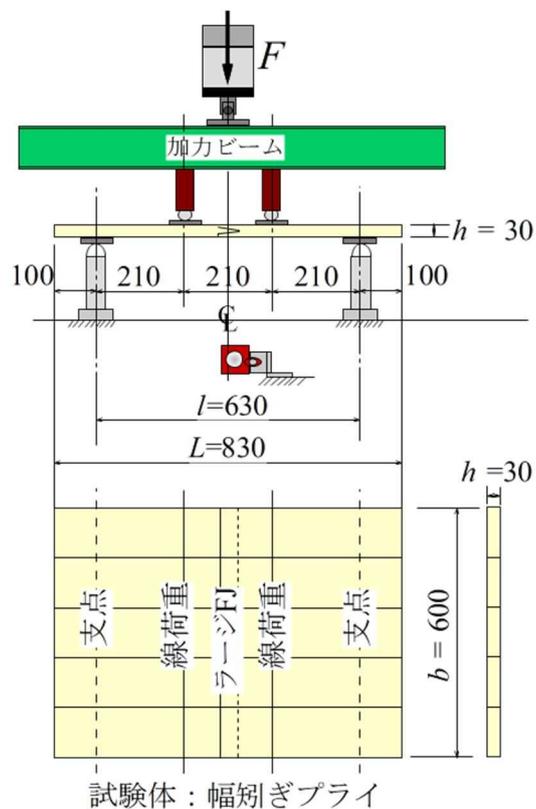


図6. 2. 2-(a) FJ接合された幅矧ぎプライの面外曲げ試験のセットアップ図



図6. 2. 2-(b) 幅矧ぎプライの面外曲げ試験の状況 (鉄パイプ部分が加力点) (鹿児島県工業試験センター)

6-2-3. 試験体

表6. 2. 1、表6. 2. 2にFJ接合された幅矧ぎプライの面外曲げ試験の組み合わせと各部寸法を示す。

表6. 2. 1 $l=50\text{mm}$ LF ジョイント試験体

試験体	構成	せい	幅	材端	全長	数量	
		h	b	e	$L=l+2e$		
(mm)							
1	M30 幅矧ぎプライ	強-強	30	600	100	830	6
2	M60 幅矧ぎプライ	強-強	30	600	100	830	6

表6. 2. 2 $l=24\text{mm}$ NF ジョイント試験体

試験体	構成	せい	幅	材端	全長	数量	
		h	b	e	$L=l+2e$		
(mm)							
1	M30 幅矧ぎプライ	強-強	30	600	100	830	6
2	M60 幅矧ぎプライ	強-強	30	600	100	830	6

6-2-4. 測定値の評価法

CLT の JAS²⁾に準拠して、以下の式で曲げヤング係数と曲げ強さを評価する。
[せん断たわみの影響を含んだ曲げヤング係数]

$$E_m = \frac{23\Delta P \cdot l^3}{108b \cdot h^3 \cdot \Delta_y} \quad \dots(6.2.1)$$

[曲げ強さ]

$$f_b = \frac{P_b \cdot l}{b \cdot h^2} \quad \dots(6.2.2)$$

ここで (図6. 2. 2参照)、

P_b : 最大荷重 (N)

l : スパン (mm)

b : 試験片の幅 (mm)

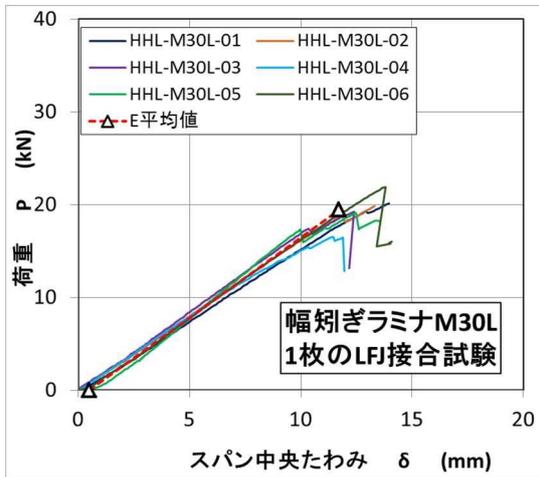
h : 試験片の厚さ (せい) (mm)

ΔP : 比例域における上限荷重と下限荷重の差 (P_{max} の 10% と 40% 値で代用してもよい)

Δy : 上限荷重に対するたわみと下限荷重に対応するたわみの差 (mm)

6-2-5. 結果および考察

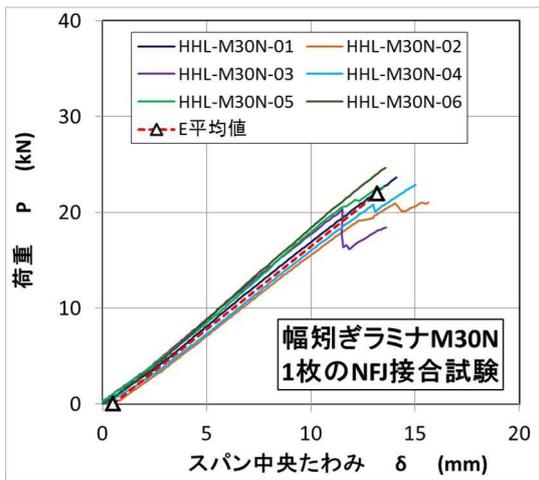
図 6. 2. 3 ~ 図 6. 2. 6 の-(a)に各グループ 6 体の試験体で得られた荷重-スパン中央たわみの実測関係と、実測されたヤング係数ならびに FJ 接合プライの曲げ破壊係数の平均値を用いて推定された荷重-スパン中央たわみ間の線形関係を、各-(b)に代表的な破壊形態の写真を示す。また、表 6. 2. 3 に全試験結果のまとめを示す。なお、個々の試験体における荷重-スパン中央たわみの関係、並びに破壊形態は付録 V に示した。



(a) 荷重-スパン中央たわみの関係

(b) 代表的な破壊形態

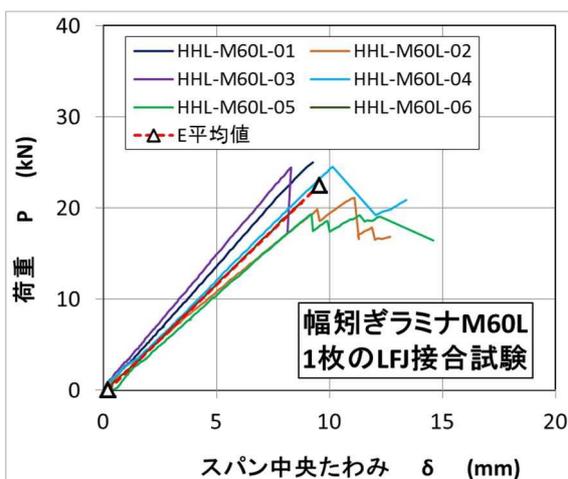
図 6. 2. 3 HHL-M30L 試験体



(a) 荷重-スパン中央たわみの関係

(b) 代表的な破壊形態

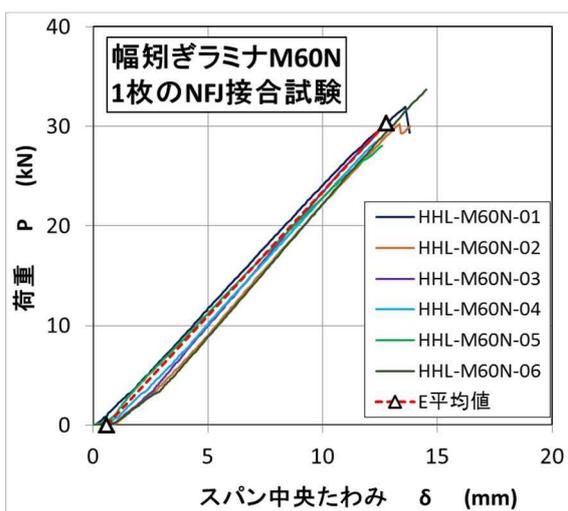
図 6. 2. 4 HHL-M30N 試験体



(a) 荷重—スパン中央たわみの関係

(b) 代表的な破壊形態

図 6. 2. 5 HHL-M60L 試験体



(a) 荷重—スパン中央たわみの関係

(b) 代表的な破壊形態

図 6. 2. 6 HHL-M60N 試験体

表 6. 2. 3 幅矧ぎプライ 1 枚に関する接合試験結果のまとめ

試験体 グループ名	曲げ強さ (N/mm ²)				曲げヤング係数 (kN/mm ²)			
	平均値	標準偏差	50% 下限値	5% 下限値	平均値	標準偏差	50% 下限値	5% 下限値
M30-KL	22.70	2.05	22.09	17.92	5.70	0.56	5.53	4.39
M30-KN	25.63	2.33	24.94	20.20	5.69	0.32	5.60	4.95
M60-KL	26.22	2.86	25.37	19.55	7.90	0.98	7.61	5.62
M60-KN	35.37	2.54	34.62	29.44	8.19	0.39	8.07	7.27

表6. 2. 4～表6. 2. 7に各グループ6体の結果を示す。

表6. 2. 4 HHL-M30KL (ラージフィンガー)

試験体名	曲げ強さ	曲げヤング係数
	N/mm ²	kN/mm ²
HHL-M30KL-01	23.53	5.15
HHL-M30KL-02	23.14	6.47
HHL-M30KL-03	22.44	5.57
HHL-M30KL-04	19.27	5.18
HHL-M30KL-05	22.28	6.29
HHL-M30KL-06	25.54	5.51
平均値	22.70	5.70
標準偏差	2.05	0.56
50%下限値	22.09	5.53
5%下限値	17.92	4.39

表6. 2. 5 HHL-M30KN (ノーマルフィンガー)

試験体名	曲げ強さ	曲げヤング係数
	N/mm ²	kN/mm ²
HHL-M30KN-01	27.56	5.63
HHL-M30KN-02	24.52	5.44
HHL-M30KN-03	23.70	5.77
HHL-M30KN-04	22.80	5.34
HHL-M30KN-05	26.47	5.71
HHL-M30KN-06	28.74	6.24
平均値	25.63	5.69
標準偏差	2.33	0.32
50%下限値	24.94	5.60
5%下限値	20.20	4.95

表 6. 2. 6 HHL-M60KL (ラージフィンガー)

試験体名	曲げ強さ	曲げヤング係数
	N/mm ²	kN/mm ²
HHL-M60KL-01	29.16	8.74
HHL-M60KL-02	24.62	6.76
HHL-M60KL-03	28.51	9.34
HHL-M60KL-04	28.59	7.64
HHL-M60KL-05	22.54	7.10
HHL-M60KL-06	23.92	7.83
平均値	26.22	7.90
標準偏差	2.86	0.98
50%下限値	25.37	7.61
5%下限値	19.55	5.62

表 6. 2. 7 HHL-M30KN (ノーマルフィンガー)

試験体名	曲げ強さ	曲げヤング係数
	N/mm ²	kN/mm ²
HHL-M60KN-01	37.32	8.20
HHL-M60KN-02	35.30	8.23
HHL-M60KN-03	34.36	8.67
HHL-M60KN-04	33.19	7.63
HHL-M60KN-05	32.73	7.86
HHL-M60KN-06	39.32	8.53
平均値	35.37	8.19
標準偏差	2.54	0.39
50%下限値	34.62	8.07
5%下限値	29.44	7.27

図 6. 2. 7 に縦継ぎ幅矧ぎプライ 1 枚の曲げ試験で実測された接合部の曲げ強度値と CLT の告示 5 6 2 号⁵⁾で規定された(6.2.3)式によるラミナの曲げ強度値との比較を示す。

$$\sigma_{b-oml} = \begin{cases} 27.0 \text{ (M60A)} \\ 19.5 \text{ (M30A)} \end{cases} \text{ N/mm}^2 \quad \dots(6.2.3)$$

図6. 2. 8に縦継ぎ幅矧ぎプライ1枚の曲げ試験で実測された接合部の曲げヤング係数と(6.2.4)式に示す CLT の JAS²⁾で規定されたラミナのヤング係数値との比較を示す。

$$E = \begin{cases} 6.0 & (\text{M60A}) \\ 3.0 & (\text{M30A}) \end{cases} \text{ kN/mm}^2 \quad \dots(6.2.4)$$

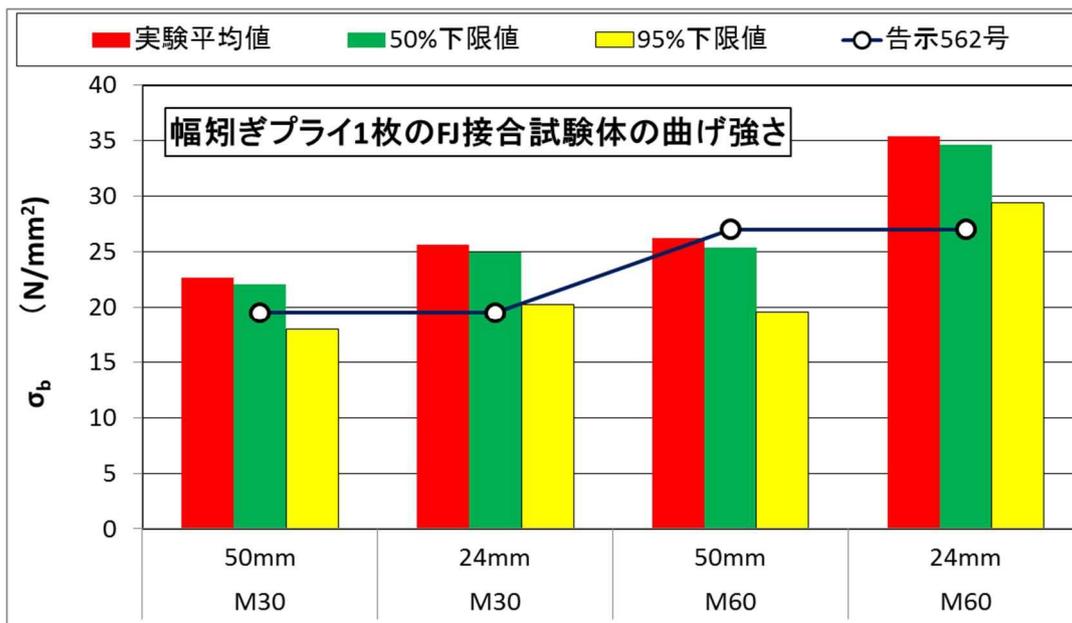


図6. 2. 7 縦継ぎ幅矧ぎプライ1枚の実測曲げ強度値と告示規定値との比較

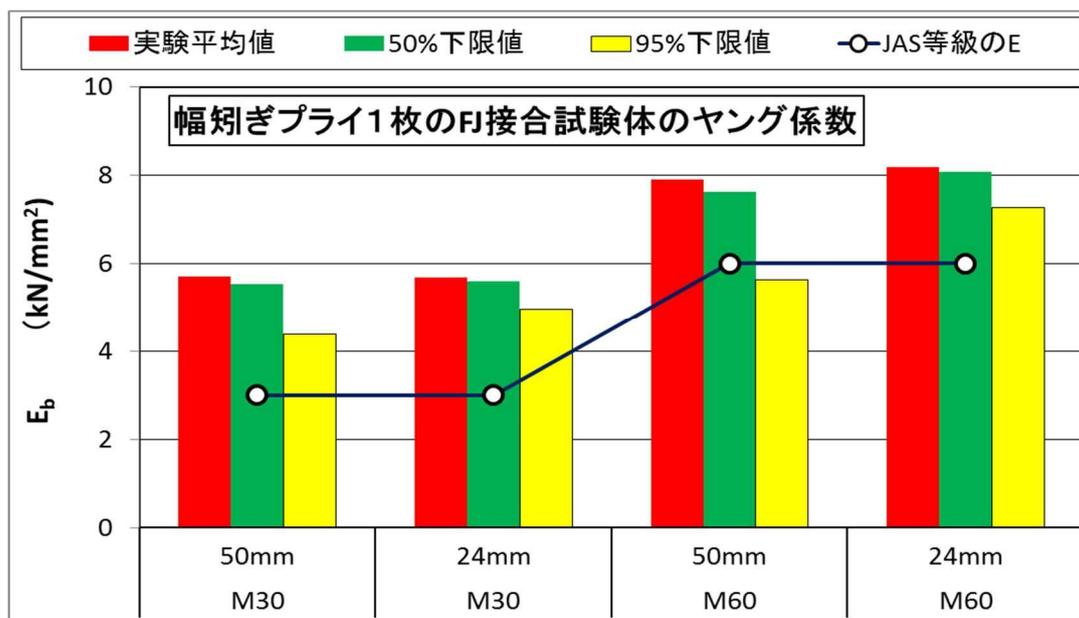


図6. 2. 8 縦継ぎ幅矧ぎプライ1枚の実測曲げヤング係数と JAS 規定値との比較

縦継ぎ幅矧ぎプライ接合部の曲げ強度の結果としては；

- LF 接合と NF 接合とを比較すると、明らかに NF 接合の方が LF 接合を上回る傾向が認められた。
- この原因は、試験体を嵌合接着した際、上下面や側面から十分な圧力を掛けられない状態で接合したため、最外層の接着面の接合がやや不十分となり、スカーフ長さの大きな LF において曲げ強度への影響が大きく現れたのではないかと推察される。
- 実測 FJ 接合の曲げ強度は、告示 5 6 2 号のラミナ強度を概ね満足した。

一方、曲げヤング係数に関しては；

- 強度の場合と同様に、NF 接合の方が LF 接合を上回る傾向が認められた。
- FJ 接合の実測縦圧縮弾性係数は、全て JAS の規定値を上回った。

6-3. 縦継ぎ幅矧ぎプライで製造した CLT パネルの面外曲げ試験

6-3-1. 目的

本節で実施する実験の目的は、以下に示すパラメータが縦継ぎ幅矧ぎプライで製造した CLT パネルの曲げ強度性能に対し如何に影響を及ぼすかを実験的に確認することにある。

[試験パラメータ]

- ・フィンガー長さ：24mm（ノーマルフィンガー）、50mm(ラージフィンガー)
- ・フィンガージョイントの位置：スパン中央に集中、一定モーメント区間内で乱に配置

[共通条件]

- ・CLT の JAS 強度等級：Mx60A（スギ）
- ・CLT の構成：5 層 5 プライ
- ・接合方向：強軸－強軸（縦方向接合）
- ・接着剤：フェノールレゾルシノール樹脂接着剤(RF)
- ・試験体数：各 3 体

6-3-2. 試験方法

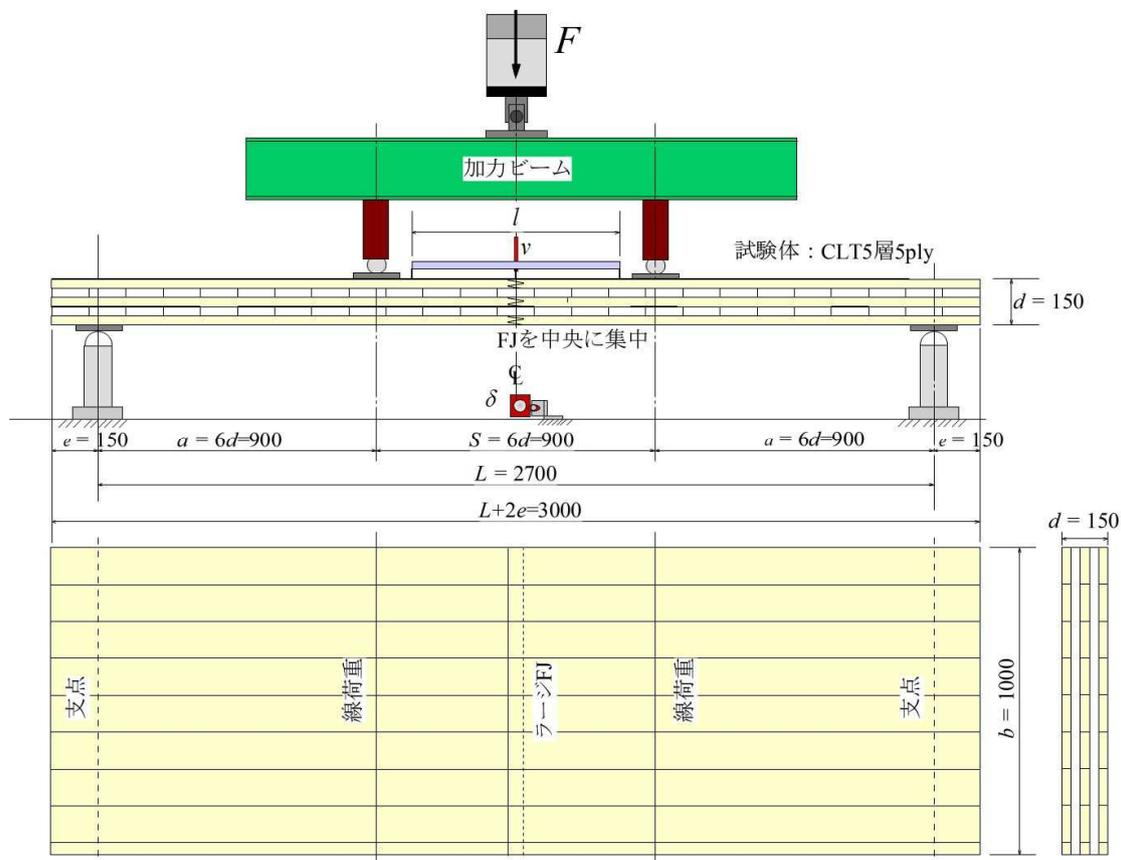


図 6. 3. 1-(a) 幅矧ぎプライで製造した CLT の面外曲げ試験（FJ を中央に集中）



図6. 3. 1-(b) CLT パネルの面外曲げ試験 (FJ を中央に集中) の状況
(宮崎県木材利用技術センター)

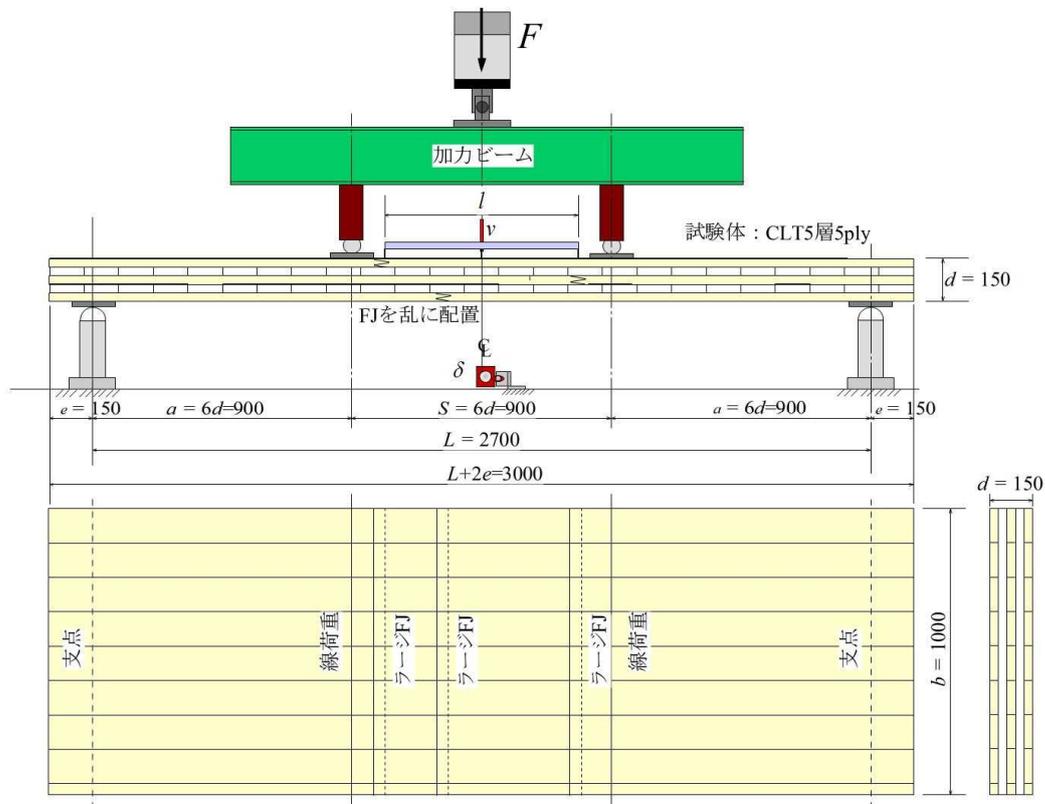


図6. 3. 2-(a) 縦継ぎ幅矧ぎプライで製造した CLT の面外曲げ試験 (FJ を乱に配置)



図6. 3. 2-(b) CLT パネルの面外曲げ試験（FJ を乱に配置）の状況
（宮崎県木材利用技術センター）

試験は住木センターの「構造用木材の強度試験マニュアル」³⁾に準拠して、 $a=6d$ 、 $S=6d$ の条件で面外曲げ実験を実施した。

図6. 3. 1-(a)に強軸FJを中央に集中させた場合のCLTの面外曲げ試験のセットアップ図を、同図-(b)に実際の試験状況写真を示す。

図6. 3. 2-(a)に強軸FJをモーメント一定区間内に乱に配置した場合のCLTの面外曲げ試験のセットアップ図を、同図-(b)にその実際の試験状況写真を示す。

6-3-3. 試験体

表6. 3. 1にFJ縦接合した幅矧ぎプライで製造したCLTの面外曲げ試験の組み合わせと各部寸法を示す。

表6. 3. 1-(a) $l=50\text{mm}$ ラージフィンガージョイント試験体

試験体呼称とFJの配置			せい	幅	材端	a	S	全長	数量
			d	b	e	$=6d$	$=6d$	$L+2e$	
(mm)									
1	PBLR	強軸FJは乱に配置	150	1000	150	900	900	3000	3
2	PBLC	強軸FJ中央に集中	150	1000	150	900	900	3000	3

表 6. 3. 1-(b) $l=24\text{mm}$ フィンガージョイント試験体

試験体呼称と FJ の配置			せい	幅	材端	a	S	全長	数量
			d	b	e	$=6d$	$=6d$	$L+2e$	
			(mm)						
1	PBNR	強軸 FJ は乱に配置	150	1000	150	900	900	3000	3
2	PBNC	強軸 FJ 中央に集中	150	1000	150	900	900	3000	3

6-3-4. 測定値の評価方法

[曲げ強さ]³⁾

曲げ強さ(f_m)は以下の式から算出する。

$$f_m = \frac{a \cdot F_{ult}}{2Z} \quad \dots(6.3.1)$$

ここで (図 6. 3. 1、図 6. 3. 2 を参照)

a : 支点から荷重点までの距離(mm)

F_{ult} : 最大荷重 (N)

Z : 断面係数(mm^3)、矩形断面では $bd^2/6$

d : 材せい (mm)

b : 材幅 (mm)

[せん断変形の影響を含んだ曲げヤング係数 E_m]²⁾

スパン中央の全体たわみを測定し、次の式によりせん断影響を含んだ曲げヤング係数 E_m を算出する。

$$E_m = \frac{a \cdot (3L^2 - 4a^2)(F_2 - F_1)}{48I(\delta_2 - \delta_1)} \quad \dots(6.3.2)$$

ここで (図 6. 3. 1、図 6. 3. 2 を参照)、

a : 支点から荷重点までの距離(mm)

L : 全スパン (mm)

I : 断面 2 次モーメント。矩形断面では $bd^3/12$ (mm^4)。

F_1 : 荷重変形曲線の直線部分の荷重。 F_1 は最大荷重の 10% の値 (kN)

F_2 : 荷重変形曲線の直線部分の荷重。 F_2 は最大荷重の 40% の値 (kN)

δ_1 : F_1 に対応するスパン中央たわみ (mm)

δ_2 : F_2 に対応するスパン中央たわみ (mm)

[せん断変形の影響を含まない曲げヤング係数 E_b]³⁾

曲げモーメント一定区間に置かれた袴式測定器具で測定されたたわみ v を用いて、次の式によりせん断影響を含まない曲げヤング係数 E_b を算出する。

$$E_b = \frac{a \cdot l^2 \cdot (F_2 - F_1)}{16I(v_2 - v_1)} \quad \dots(6.3.3)$$

ここで (図 6. 3. 1、図 6. 3. 2 を参照)、

I : 断面 2 次モーメント。矩形断面では $bd^3/12$ (mm^4)

d : 材せい (mm)

b : 材幅 (mm)

l : せん断変形のない一定モーメント区間に置かれた袴式測定器具のスパン (mm)

F_1 : 荷重(F)-変形(v)曲線の直線部分の荷重。 F_1 は最大荷重の 10%の値 (kN)

F_2 : 荷重(F)-変形(v)曲線の直線部分の荷重。 F_2 は最大荷重の 40%の値 (kN)

v_1 : 袴式測定器具で F_1 時に測定されたたわみ (mm)

v_2 : 袴式測定器具で F_2 時に測定されたたわみ (mm)

6-3-5. 結果および考察

図 6. 3. 3～図 6. 3. 6 に各グループ 3 体の試験体で得られた荷重-スパン中央たわみの実測関係と、実測されたヤング係数ならびに曲げ破壊係数の平均値を用いて推定された荷重-スパン中央たわみ間の線形関係を示す。なお、個々の試験体における荷重-スパン中央たわみの関係、並びに破壊形態は付録 VI に示した。

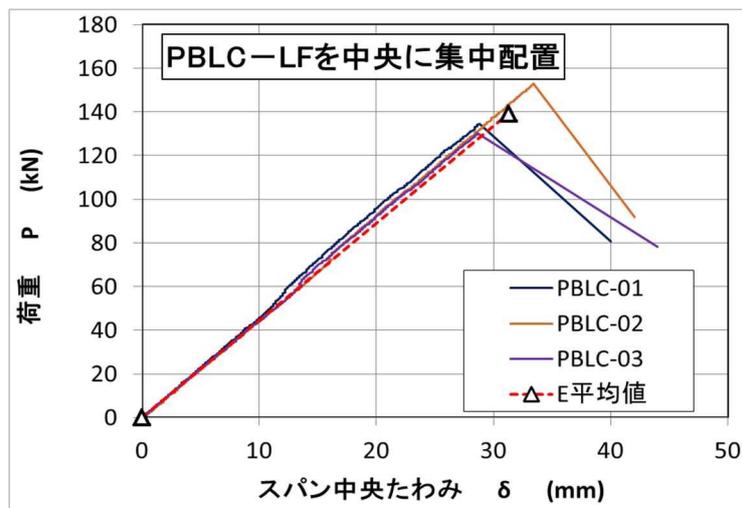


図 6. 3. 3 PBLC の荷重-スパン中央たわみの関係 (LFJ を中央に集中配置)

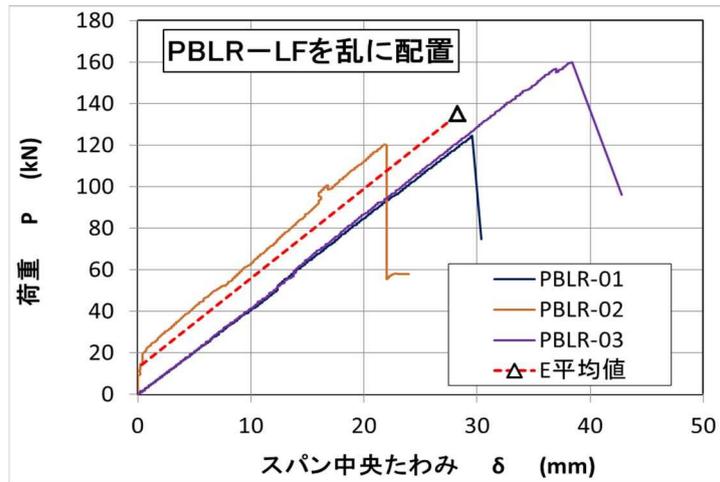


図 6. 3. 4 PBLR の荷重—スパン中央たわみの関係 (LFJ を乱に配置)

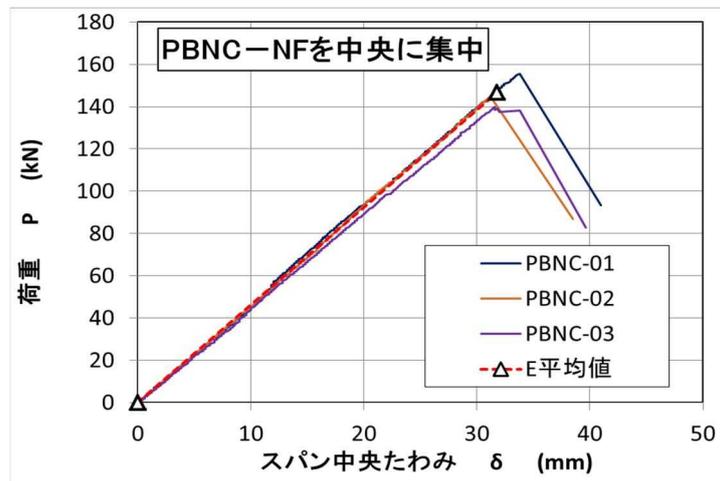


図 6. 3. 5 PBNC の荷重—スパン中央たわみの関係 (NFJ を中央に集中配置)

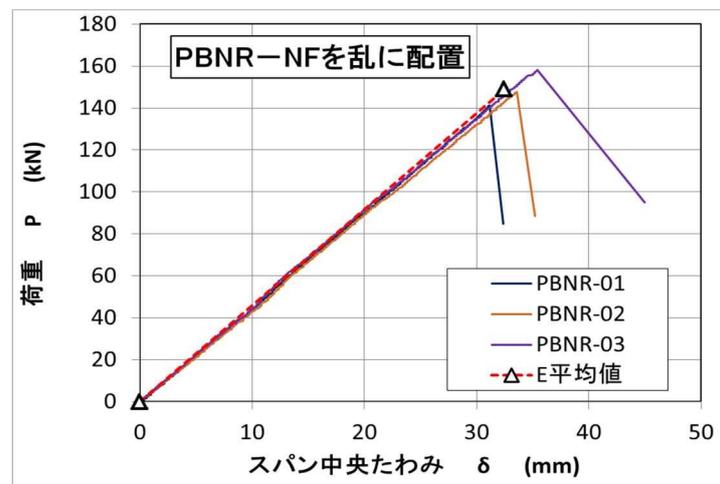


図 6. 3. 6 PBNR の荷重—スパン中央たわみの関係 (NFJ を乱に配置)

図6. 3. 7～図6. 3. 14に各グループにおける代表的な破壊形態の写真を示す。破壊性状はセンター配置及びランダム配置ともに、引張側の最外層プライの縦継ぎフィンガー部からの引張破壊であった。特に、センター配置試験体は、試験体が完全に二つに分離する曲げ破壊を生じるものも多く見られた。



図6. 3. 7 破壊性状全体 (PBNC-01)



図6. 3. 8 フィンガー根元部の引張破壊及び一部ラミナ縦継ぎ部での破断 (PBNC-01)



図6. 3. 9 破壊性状全体 (PBNR-03)



図6. 3. 10 最外層プライにおけるフィンガー部の引張破壊 (PBNR-03)



図6. 3. 11 破壊性状全体 (PBLC-02)



図6. 3. 12 プライ縦継ぎフィンガージョイントの引張破壊 (PBLC-02)



図6. 3. 13 破壊性状全体 (PBLR-01)



図6. 3. 14 最外層プライの縦継ぎフィンガー部より引張破壊 (PBLR-01)

表6. 3. 2に全試験結果のまとめを示す。

表6. 3. 2 縦継ぎ幅矧ぎプライで製造した CLT の面外曲げ試験結果のまとめ

試験体 グループ名	曲げ強さ (N/mm ²)				曲げヤング係数 (kN/mm ²)			
	平均値	標準偏差	50% 下限値	5% 下限値	平均値	標準偏差	50% 下限値	5% 下限値
PBLC	16.70	1.49	16.00	11.99	5.52	0.16	5.45	5.02
PBLR	16.19	2.62	14.96	7.93	5.36	0.28	5.22	4.47
PBNC	17.61	0.97	17.15	14.54	5.73	0.19	5.64	5.14
PBNR	17.88	1.02	17.40	14.65	5.70	0.09	5.66	5.43

表6. 3. 3～表6. 3. 6に各グループ3体の結果を示す。

表6. 3. 3 PBLC (ラージフィンガー中央に集中配置)

試験体名	曲げ強さ	見かけの曲げヤング係数	真の曲げヤング係数
	N/mm ²	kN/mm ²	
PBLC-01	16.10	5.70	5.80
PBLC-02	18.40	5.48	5.92
PBLC-03	15.60	5.39	6.03
平均値	16.70	5.52	5.92
標準偏差	1.49	0.16	0.12
50%下限値	16.00	5.45	5.86
5%下限値	11.99	5.02	5.55

表 6. 3. 4 PBLR (ラージフィンガー乱に配置)

試験体名	曲げ強さ	見かけの曲げヤング係数	真の曲げヤング係数
	N/mm ²	kN/mm ²	
PBLR-01	14.95	5.05	5.53
PBLR-02	14.42	5.60	6.30
PBLR-03	19.20	5.42	5.36
平均値	16.19	5.36	5.73
標準偏差	2.62	0.28	0.50
50%下限値	14.96	5.22	5.49
5%下限値	7.93	4.47	4.15

表 6. 3. 5 PBNC (ノーマルフィンガー中央に集中配置)

試験体名	曲げ強さ	見かけの曲げヤング係数	真の曲げヤング係数
	N/mm ²	kN/mm ²	
PBNC-01	18.67	5.92	6.14
PBNC-02	17.38	5.74	6.17
PBNC-03	16.77	5.54	5.89
平均値	17.61	5.73	6.07
標準偏差	0.97	0.19	0.15
50%下限値	17.15	5.64	5.99
5%下限値	14.54	5.14	5.58

表 6. 3. 6 PBNR (ノーマルフィンガー乱に配置)

試験体名	曲げ強さ	見かけの曲げヤング係数	真の曲げヤング係数
	N/mm ²	kN/mm ²	
PBNR-01	16.96	5.72	6.50
PBNR-02	17.70	5.61	6.08
PBNR-03	18.98	5.78	6.12
平均値	17.88	5.70	6.23
標準偏差	1.02	0.09	0.23
50%下限値	17.40	5.66	6.12
5%下限値	14.65	5.43	5.50

図6.3.15に縦継ぎ幅矧ぎプライで製造した CLT パネルの面外曲げ試験で実測された曲げ強度値と CLT の告示562号⁵⁾で規定された(6.3.4)式による CLT パネルの曲げ基準強度値との比較を示す。

$$F_b = \sigma_{b-oml} \cdot \frac{I_A}{I_0} \times 0.4875 \quad \text{N/mm}^2 \quad \dots(6.3.4)$$

図6.3.16に縦継ぎ幅矧ぎプライで製造した CLT パネルの面外曲げ試験で実測された見かけの曲げヤング係数と告示解説本⁵⁾で規定された(6.3.5)式による CLT パネルの見かけの曲げヤング係数との比較を示す。

$$E_b = \frac{\sum (E_i \cdot I_i + E_i \cdot A_i \cdot z_i^2)}{I_0} \quad \text{kN/mm}^2 \quad \dots(6.3.5)$$

ここで、

σ_{b-oml} : 強軸方向の基準強度を計算する場合は外層ラミナの曲げ強度、弱軸方向の基準強度を計算する場合は外層に最も近い内層ラミナの曲げ強度 (N/mm²)

$$I_A = \frac{\sum (E_i \cdot I_i + E_i \cdot A_i \cdot z_i^2)}{E_0} \quad (\text{mm}^4)$$

A_i : 一方の外層から数えて i 番目の層の断面積 (mm²)

E_i : 一方の外層から数えて i 番目の層のラミナのヤング係数 (直交層は $E_i = 0$) (kN/mm²)

I_i : i 番目の層の断面二次モーメント (mm⁴)

z_i : i 番目の層の重心と CLT パネルの中立軸との距離 (mm)

A_0 : CLT パネルの断面積 (mm²)

I_0 : CLT パネルの断面二次モーメント (mm⁴)

E_0 : 強軸方向の基準強度を計算する場合は外層ラミナのヤング係数、弱軸方向の基準強度を計算する場合は外層に最も近い内層ラミナのヤング係数 (kN/mm²)

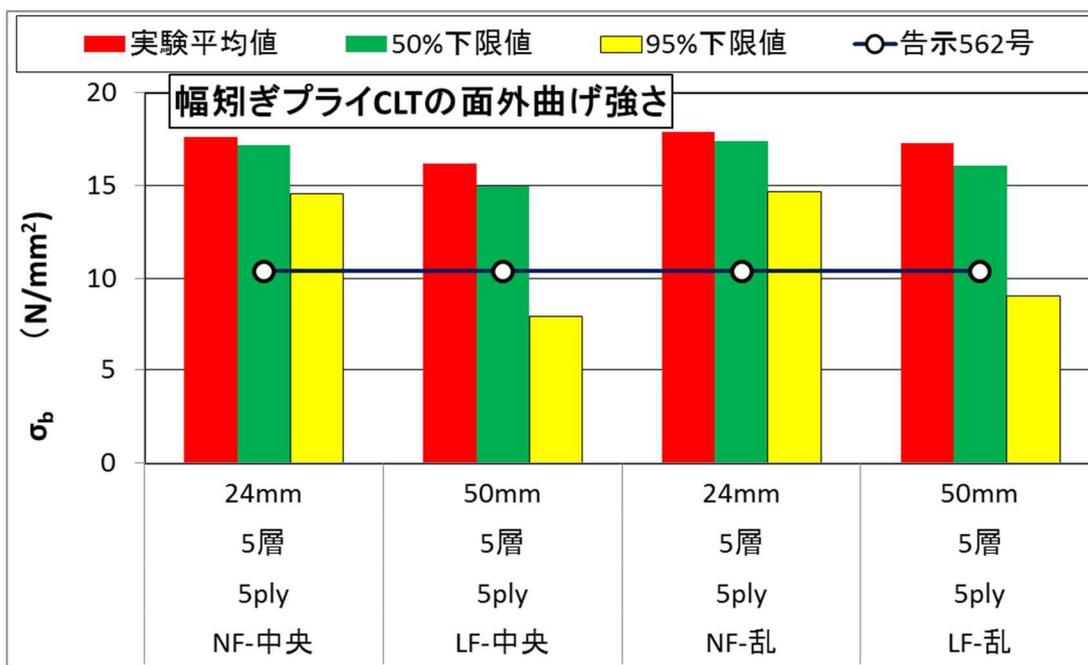


図 6. 3. 1 5 面外曲げ強度実測値と CLT 告示 5 6 2 号による基準強度との比較

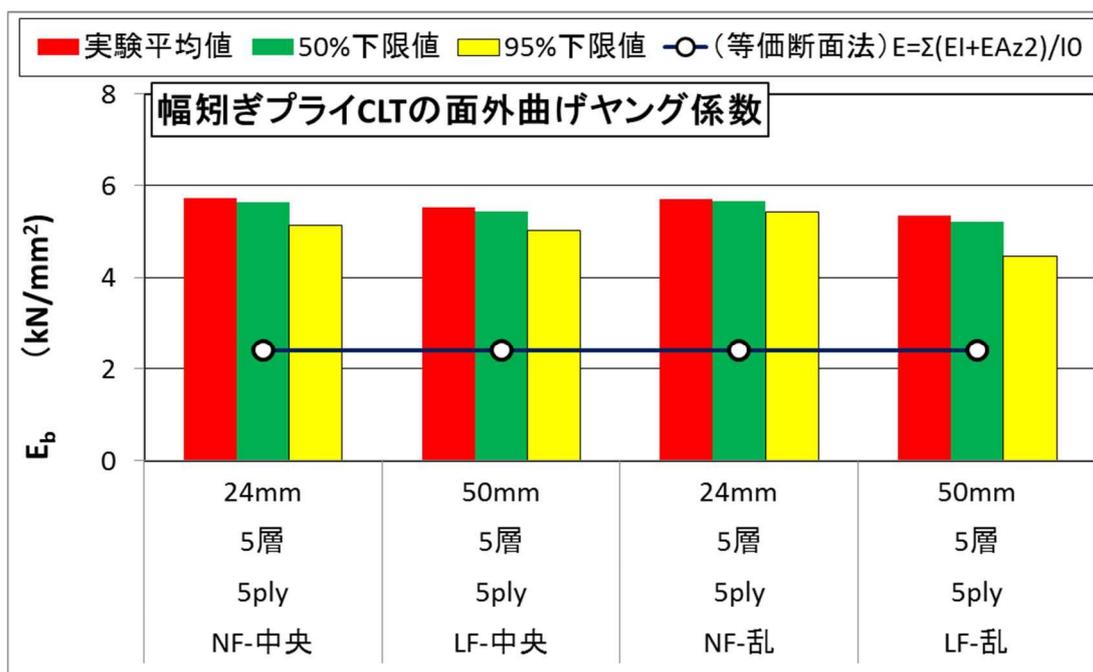


図 6. 3. 1 6 面外曲げヤング係数の実測値と等価断面法による推定値との比較

縦継ぎ幅矧ぎプライで製造した CLT パネルの面外曲げ強度の結果としては；

- NF 接合の方が、LF 接合に比べてバラツキが少なく安定した強度性能を示す傾向にあった。
- 実測 CLT パネルの曲げ強度値の平均値は、いずれも告示 5 6 2 号の基準強度を上回った。
- しかし、5%下限値に関しては、LFJ 接合のバラツキが大きく、告示値を下回った。
- FJ の配置に関しては、乱配置の方が一度に試験体が 2 つに破断するような極めて脆性的な破壊形態は観察されず、脆性的ではあるものの、安定した性能を示した。
- FJ の中央集中配置は極めて脆性的でかつ危険な破壊性状を示した。

一方、面外曲げヤング係数に関しては；

- LF 接合と NF 接合の違いは明確ではない。
- FJ の配置の影響は認められない。
- 実測 CLT パネルの曲げヤングは、いずれも告示で規定される評価式で計算されるヤング係数を上回った。

第7章 実験的研究に関するまとめ

本事業で実施した実験的研究の成果は以下のようにまとめられる。

- CLT を FJ で嵌合する場合の最適嵌合圧を、フィンガージョイントの種類（ラージフィンガージョイント、ノーマルフィンガージョイント）、接合の方向（強軸方向、弱軸方向）に関わらず一律 1N/mm^2 と定めた。
- FJ 接合された CLT パネルの面外、面内曲げ性能は、5% 下限値で一部例外的な値が認められたものの、平均値的にはいずれも告示 562 号で規定された基準強度や弾性係数の値を上回った。
- 曲げ性能にかんしては、LF 接合の方が NF 接合よりも若干高い性能を示す傾向があった。
- FJ 接合された CLT パネルの面内せん断強度は告示 562 号の基準強度を十分上回った。
- 一方、FJ 接合された CLT パネルの面外せん断強度は告示 562 号の基準強度を下回るものもあった。その原因の一つとして、短スパン 3 点曲げで曲げ破壊が先行したことが考えられた。
- 幅矧ぎプライの縦接合性能は NF 接合の方が、LF 接合よりもバラツキが少なく、安定した性能を発揮し、JAS で規定された性能を上回った。
- 縦継ぎ幅矧ぎプライで製造した CLT の曲げ強度の平均値は FJ の位置に関わらず、告示 562 号の基準強度を上回った。
- 縦継ぎ幅矧ぎプライで製造した CLT の曲げヤング係数の平均値は告示 562 号で規定された性能を上回った。
- 以上の成果より、本事業で最初に設定した嵌合圧 1N/mm^2 という値は、CLT パネル同士の縦接合並びに幅矧ぎプライの縦接合において、現場での接合も含めて、広く応用可能な最適嵌合圧値であろうと考えられる。

第8章 活用に係る効果の取りまとめ

CLT の普及にあたって、第2次ロードマップによると、H32 年度には 10 万 m³ の年間生産体制の構築という目標がある。

これらを実現するには、先行きが不透明な CLT の市場形成の段階においては、既存生産業者、加工業者間の連携によって加工供給量を段階的に増やしていくことが不可欠である。その後、将来 50 万 m³ の市場に向けて生産体制が再構築されていくと考えている。CLT の特長は、大版化されたパネルを工場によって最終段階にまで加工することで現場工期を短縮できる点にあるが、国内においては、保有加工機の性能、輸送の問題で海外事例をそのまま持ち込むことが困難である。本開発はこのような中において、現有施設を主に活用して普及を目指す際の一手段と位置づけている。

設計にあたっては、幅広く設計者に使用してもらうには、ある程度の規格寸法を提示する必要がある。コストダウンの観点からも、部材サイズ、加工形状、運搬形態などの規格化、標準化が不可欠である。各社異なる小幅パネルのサイズ統一は困難であるが、接合することによる最終の大版パネルの規格化は可能と考えている。その際、端材が再利用されるなど歩留りの向上にも寄与することが考えられる。

また、各地に存在するプレカット工場にパネル接合機が導入された場合、さらに供給力が増し、小幅パネル（JAS 品）のストック機能にもなるのではないかと考える。この機能により、生産工場においては想定年間生産量が確保できるようになり、安定した稼働によってコストを最小限化することが可能になる。

運搬においては、言うまでもなくトラック幅を上限とした効率の良いサイズにして輸送することも可能になる。施工に関しても、パネル数が半減することに伴い、揚重回数が減ることは明らかで工期短縮の効果が見込め、さらに、接合がしやすい床、屋根パネルにおいては、従来であればつなぎ目に打ち込むビスや鋼板などの材料、作業手間、受け材なども省略できる可能性をもつと考えている。

引用・参考文献

- 1) 堀江秀夫・倉田久敬：構造用フィンガージョイント材の強度性能（第1報）、林産試験場研究報告、73号、pp.1-34、（1984年3月）
- 2) 直交集成板の日本農林規格、制定：平成25年12月20日農林水産省告示第3079号
- 3) (財)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作成委員会（飯島泰男委員長）：構造用木材の強度試験マニュアル、2011年3月.
- 4) たとえば、日本 CLT 協会：CLT の普及のための総合的データの収集・蓄積および検討成果報告書、平成25年度林野庁補助事業木材利用技術整備等支援事業、平成26年3月。
- 5) (財)日本住宅・木材技術センター・日本 CLT 協会（企画）（編集）：2016年公布・施行 CLT 関連告示解説書、第4章直交集成板の許容応力・材料強度の解説、2016.

付録Ⅰ－「フィンガージョイントで接合された CLT パネル同士の面外曲げ試験」で測定された全試験体の荷重－スパン中央変位の関係とそれぞれの試験体における終局状況	115
付録Ⅱ－「フィンガージョイントで接合された CLT パネル同士の面内曲げ試験」で測定された全試験体の荷重－変位の関係とそれぞれの試験体における終局状況	145
付録Ⅲ－「フィンガージョイントで接合された CLT パネル同士の面内せん断試験」で測定された各試験体の応力－ひずみ関係とそれぞれの試験体における終局状況	167
付録Ⅳ－「フィンガージョイントで接合された CLT パネル同士の縦圧縮試験」で測定された全試験体の荷重－変位の関係とそれぞれの試験体における終局状況	189
付録Ⅴ－「幅矧ぎプライ 1 枚のフィンガージョイント接合部の面外曲げ試験」で測定された全試験体の荷重－変位の関係とそれぞれの試験体における終局状況	211
付録Ⅵ－「縦継ぎ幅矧ぎプライで製造した CLT パネルの面外曲げ試験」で実測された各試験体の荷重とモーメント一定区間のたわみの関係及び破壊性状	221

付録－ I

以下に

3-2. フィンガージョイントで接合された CLT パネル同士の面外曲げ試験

で測定された全試験体の荷重－スパン中央変位の関係とそれぞれの試験体における終局状況（試験状況）を示す。

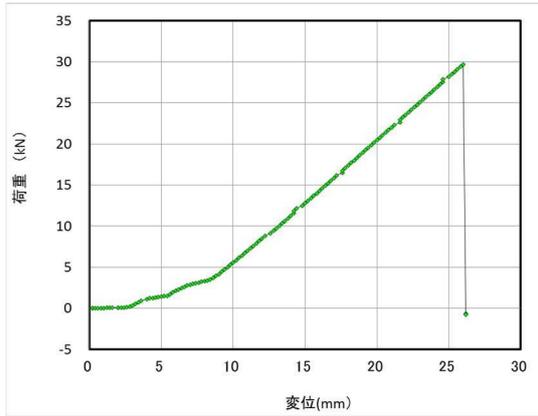


図 I. 1-(a) MGM-NK90-01 試験結果



図 I. 1-(b) MGM-NK90-01 破壊性状

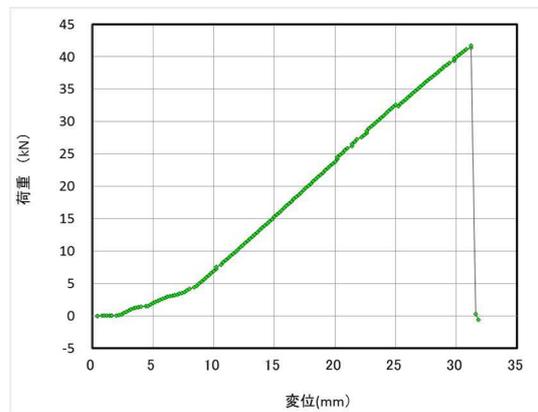


図 I. 2-(a) MGM-NK90-02 試験結果



図 I. 2-(b) MGM-NK90-02 破壊性状

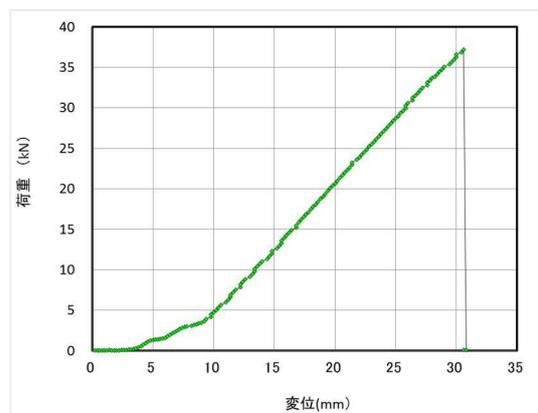


図 I. 3-(a) MGM-NK90-03 試験結果



図 I. 3-(b) MGM-NK90-03 破壊性状

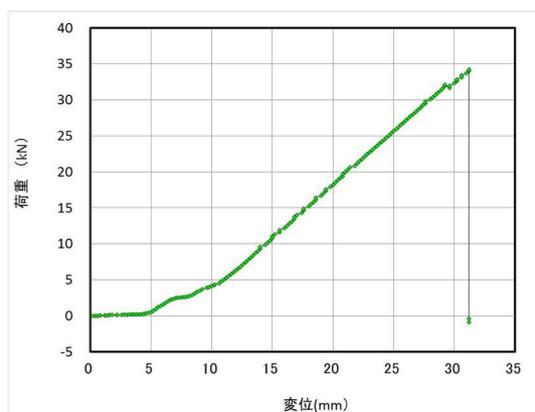


図 I. 4-(a) MGM-NK90-04 試験結果



図 I. 4-(b) MGM-NK90-04 破壊性状

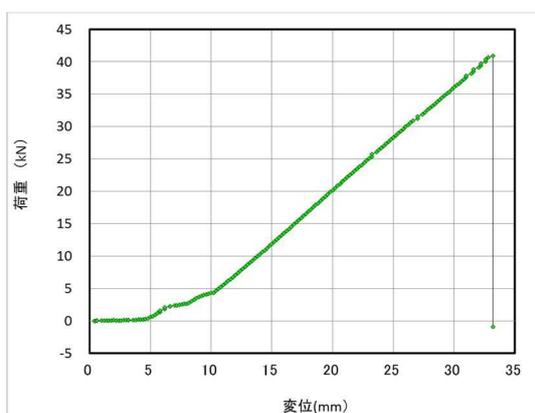


図 I. 5-(a) MGM-NK90-05 試験結果



図 I. 5-(b) MGM-NK90-05 破壊性状

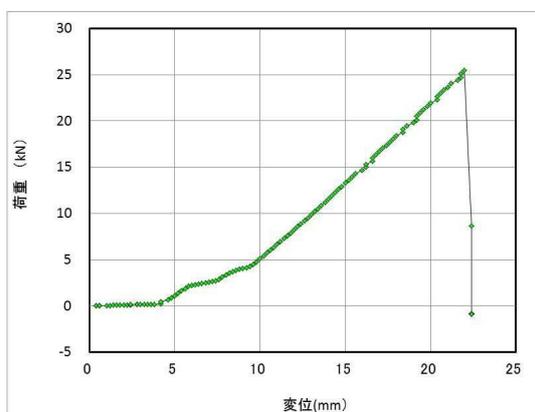


図 I. 6-(a) MGM-NK90-06 試験結果



図 I. 6-(b) MGM-NK90-06 破壊性状

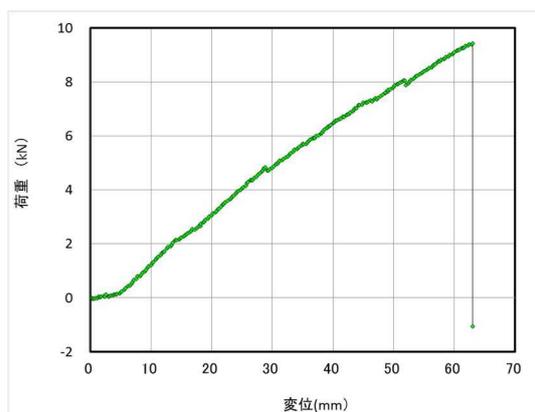


図 I. 7-(a) MGM-NJ90-01 試験結果



図 I. 7-(b) MGM-NJ90-01 破壊性状

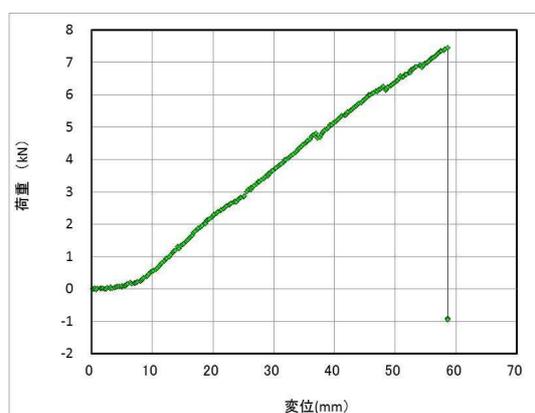


図 I. 8-(a) MGM-NJ90-02 試験結果



図 I. 8-(b) MGM-NJ90-02 破壊性状

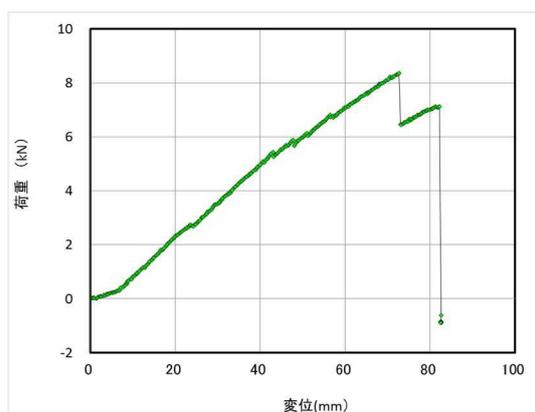


図 I. 9-(a) MGM-NJ90-03 試験結果



図 I. 9-(b) MGM-NJ90-03 破壊性状

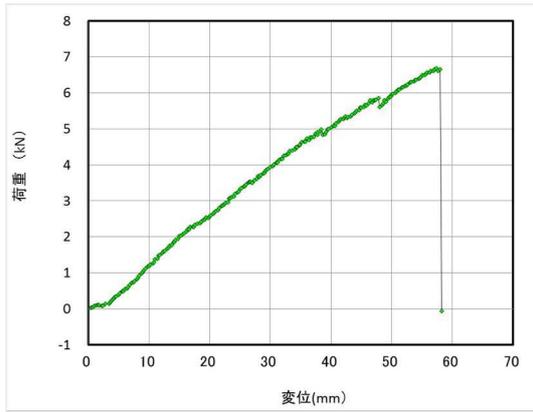


図 I. 1 0-(a) MGM-NJ90-04 試験結果



図 I. 1 0-(b) MGM-NJ90-04 破壊性状

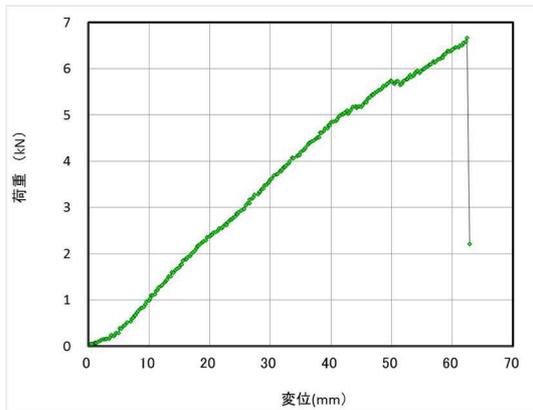


図 I. 1 1-(a) MGM-NJ90-05 試験結果



図 I. 1 1-(b) MGM-NJ90-05 破壊性状

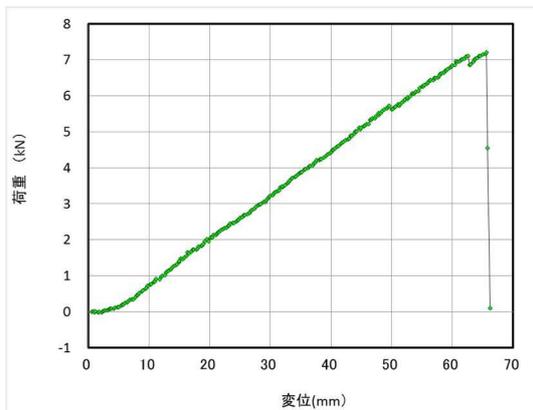


図 I. 1 2-(a) MGM-NJ90-06 試験結果



図 I. 1 2-(b) MGM-NJ90-06 破壊性状

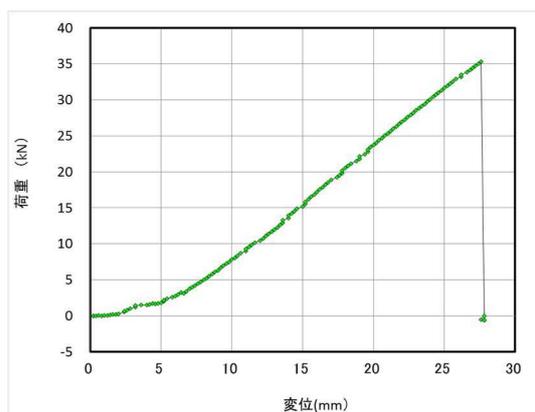


図 I. 1 3 -(a) MGM-LK90-01 試験結果



図 I. 1 3 -(b) MGM-LK90-01 破壊性状

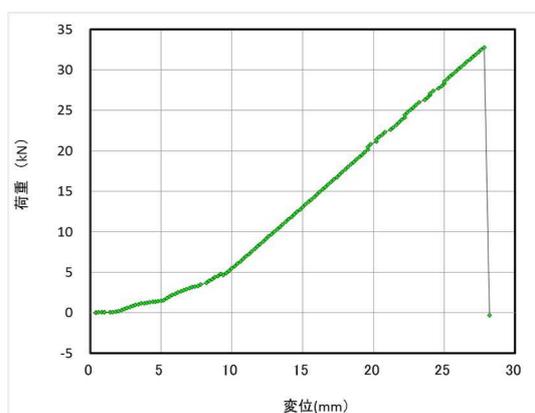


図 I. 1 4 -(a) MGM-LK90-02 試験結果



図 I. 1 4 -(b) MGM-LK90-02 破壊性状

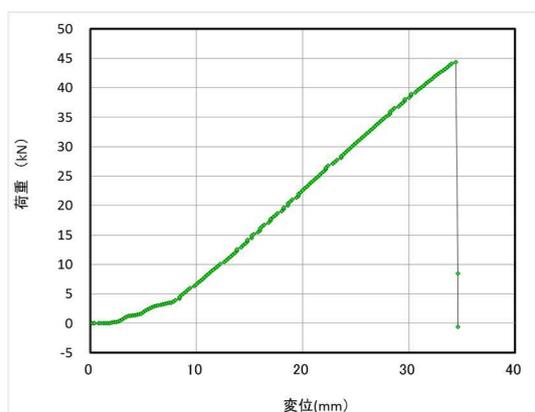


図 I. 1 5 -(a) MGM-LK90-03 試験結果



図 I. 1 5 -(b) MGM-LK90-03 破壊性状

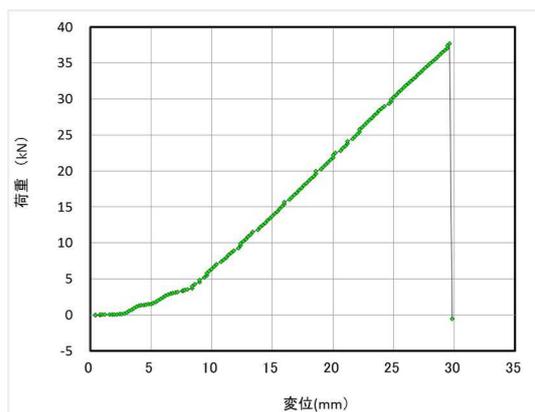


図 I. 16-(a) MGM-LK90-04 試験結果



図 I. 16-(b) MGM-LK90-04 破壊性状

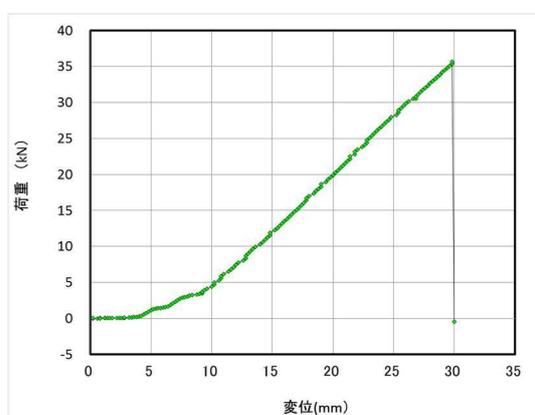


図 I. 17-(a) MGM-LK90-05 試験結果



図 I. 17-(b) MGM-LK90-05 破壊性状

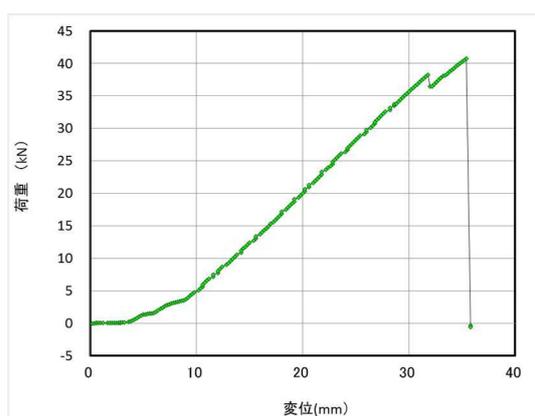


図 I. 18-(a) MGM-LK90-06 試験結果



図 I. 18-(b) MGM-LK90-06 破壊性状

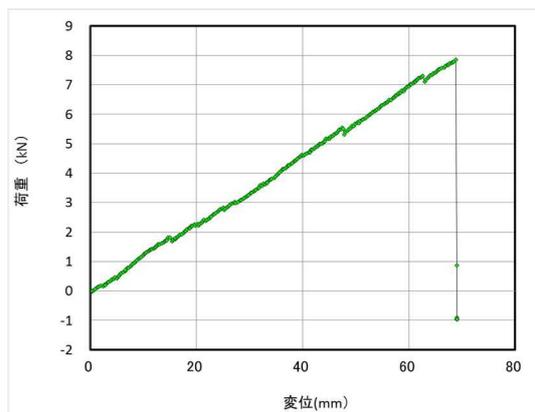


図 I. 19-(a) MGM-LJ90-01 試験結果



図 I. 19-(b) MGM-LJ90-01 破壊性状

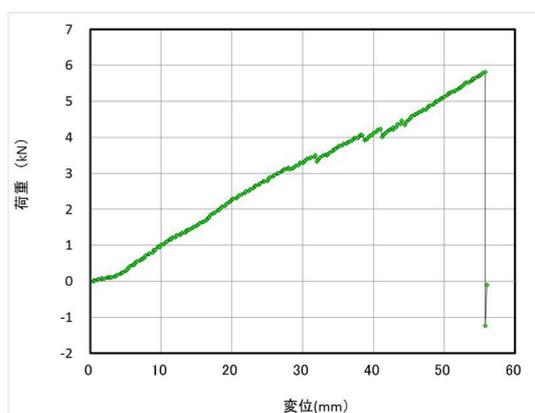


図 I. 20-(a) MGM-LJ90-02 試験結果



図 I. 20-(b) MGM-LJ90-02 破壊性状

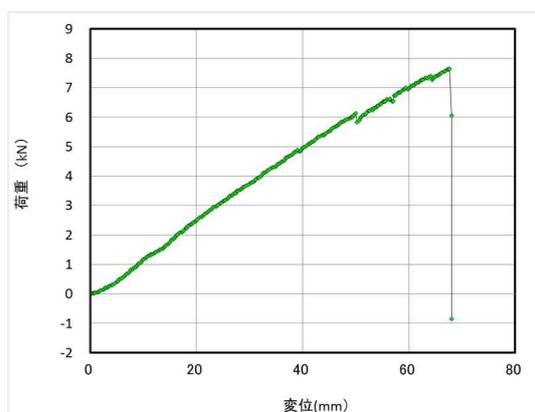


図 I. 21-(a) MGM-LJ90-03 試験結果



図 I. 21-(b) MGM-LJ90-03 破壊性状

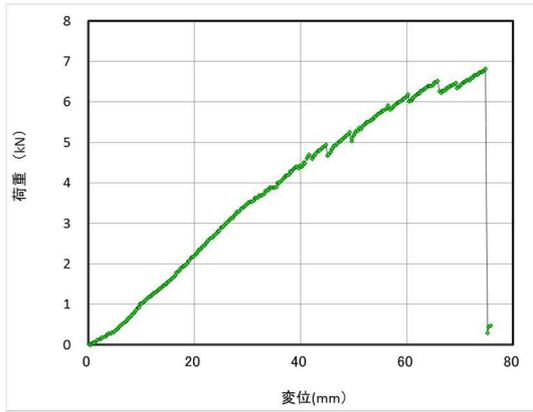


図 I. 2 2-(a) MGM-LJ90-04 試験結果



図 I. 2 2-(b) MGM-LJ90-04 破壊性状

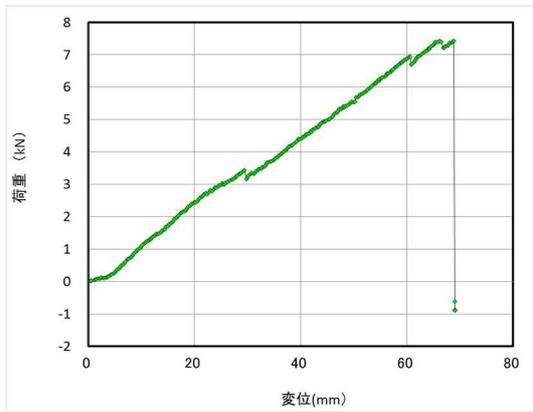


図 I. 2 3-(a) MGM-LJ90-05 試験結果



図 I. 2 3-(b) MGM-LJ90-05 破壊性状

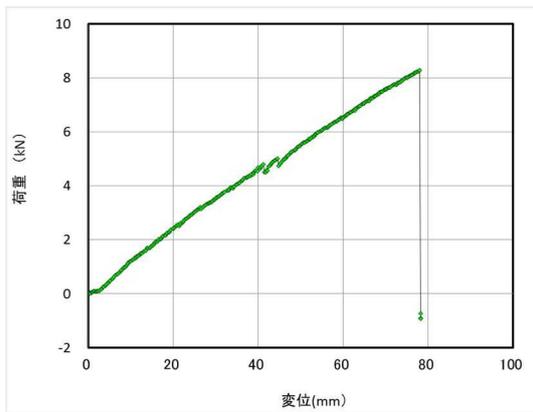


図 I. 2 4-(a) MGM-LJ90-06 試験結果



図 I. 2 4-(b) MGM-LJ90-06 破壊性状

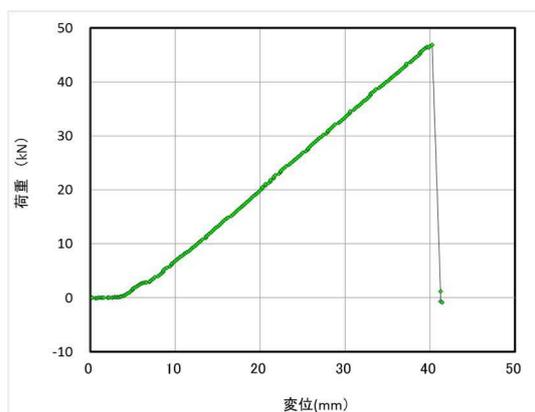


図 I. 2 5-(a) MGM-NK150-01 試験結果



図 I. 2 5-(b) MGM-NK150-01 破壊性状

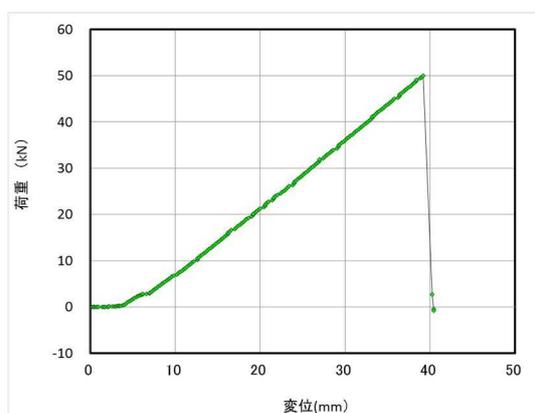


図 I. 2 6-(a) MGM-NK150-02 試験結果



図 I. 2 6-(b) MGM-NK150-02 破壊性状

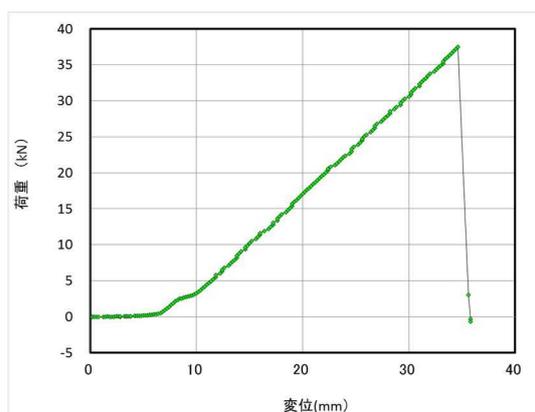


図 I. 2 7-(a) MGM-NK150-03 試験結果



図 I. 2 7-(b) MGM-NK150-03 破壊性状

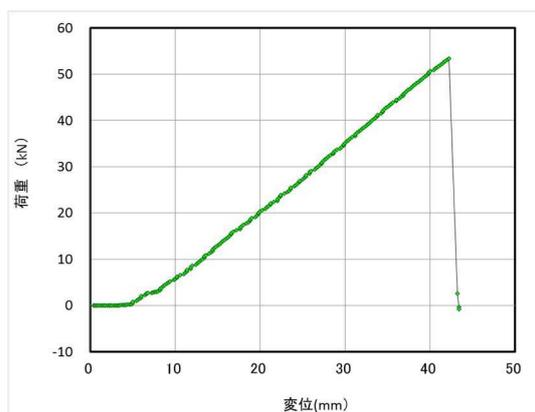


図 I. 28-(a) MGM-NK150-04 試験結果



図 I. 28-(b) MGM-NK150-04 破壊性状

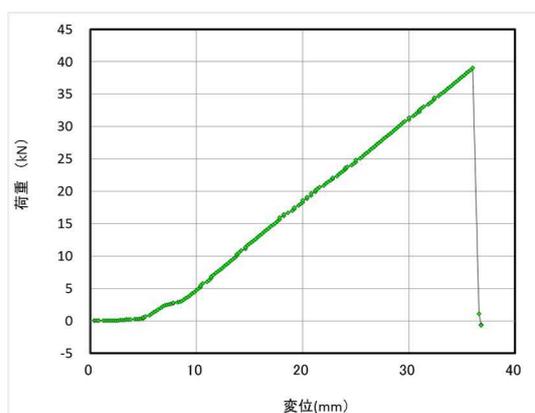


図 I. 29-(a) MGM-NK150-05 試験結果



図 I. 29-(b) MGM-NK150-05 破壊性状

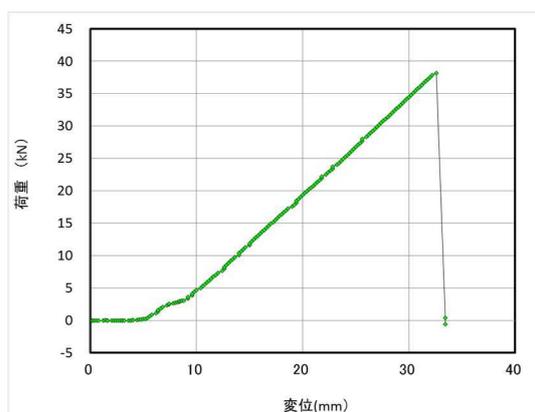


図 I. 30-(a) MGM-NK150-06 試験結果



図 I. 30-(b) MGM-NK150-06 破壊性状

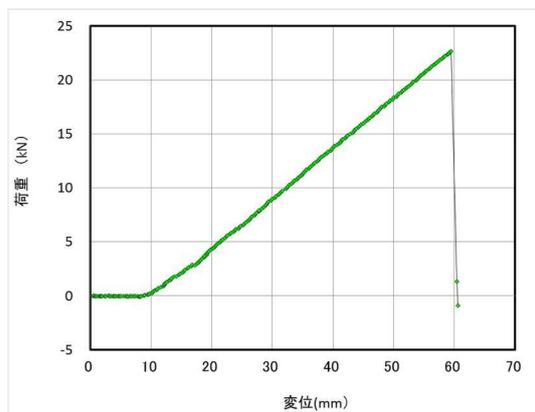


図 I. 3 1-(a) MGM-NJ150-01 試験結果



図 I. 3 1-(b) MGM-NJ150-01 破壊性状

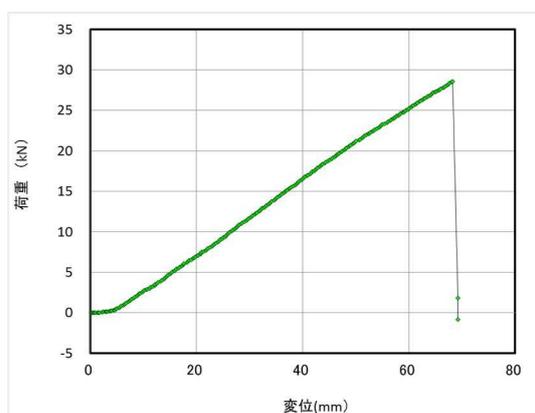


図 I. 3 2-(a) MGM-NJ150-02 試験結果



図 I. 3 2-(b) MGM-NJ150-02 破壊性状

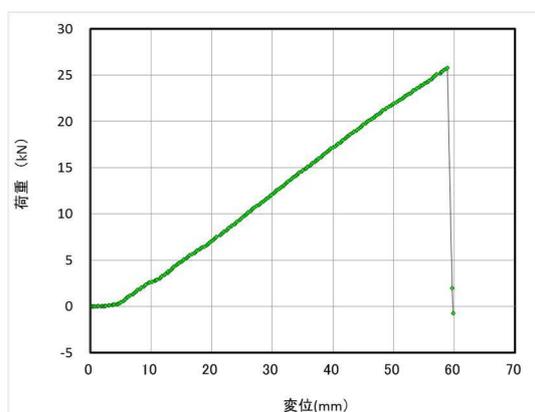


図 I. 3 3-(a) MGM-NJ150-03 試験結果



図 I. 3 3-(b) MGM-NJ150-03 破壊性状

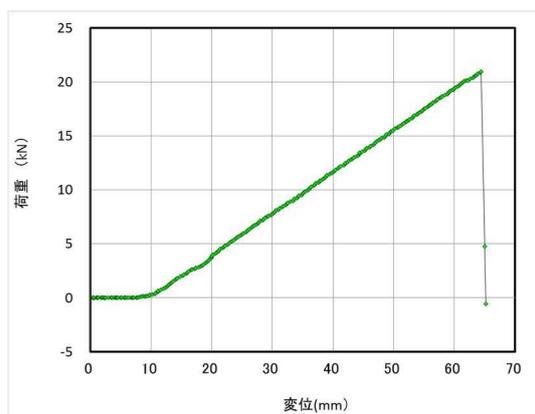


図 I. 3 4-(a) MGM-NJ150-04 試験結果



図 I. 3 4-(b) MGM-NJ150-04 破壊性状

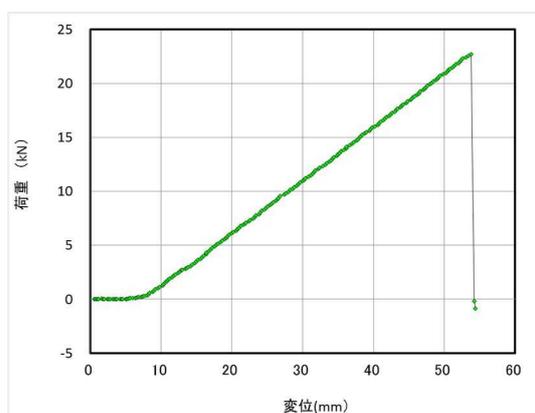


図 I. 3 5-(a) MGM-NJ150-05 試験結果



図 I. 3 5-(b) MGM-NJ150-05 破壊性状

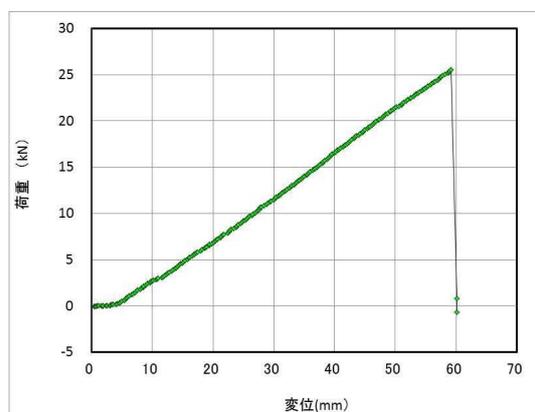


図 I. 3 6-(a) MGM-NJ150-06 試験結果



図 I. 3 6-(b) MGM-NJ150-06 破壊性状

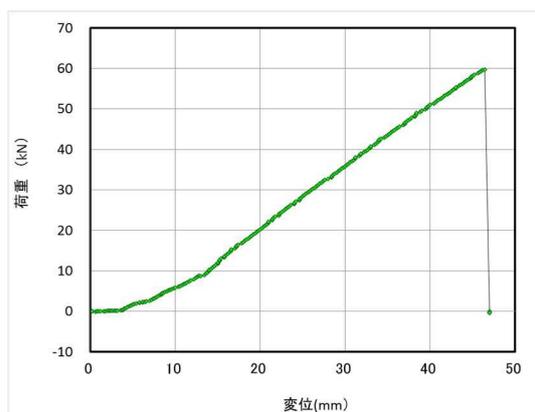


図 I. 3 7-(a) MGM-LK150-01 試験結果



図 I. 3 7-(b) MGM-LK150-01 破壊性状

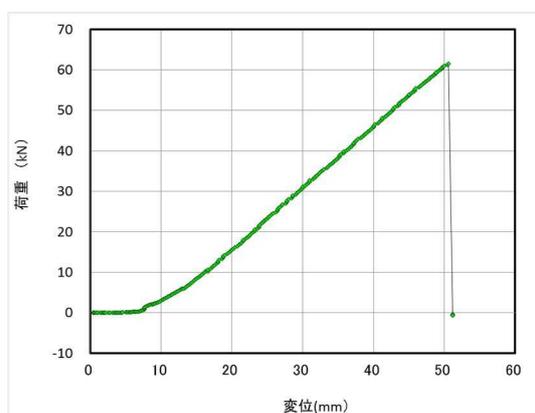


図 I. 3 8-(a) MGM-LK150-02 試験結果



図 I. 3 8-(b) MGM-LK150-02 破壊性状

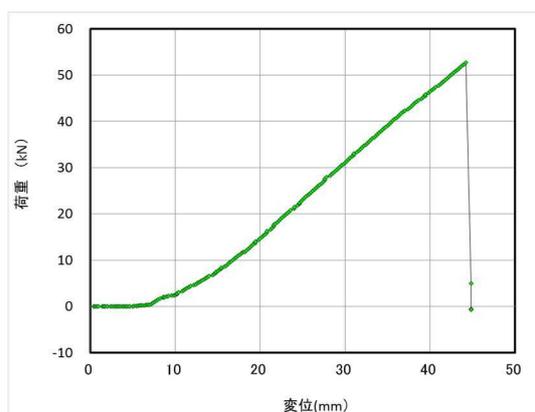


図 I. 3 9-(a) MGM-LK150-03 試験結果



図 I. 3 9-(b) MGM-LK150-03 破壊性状

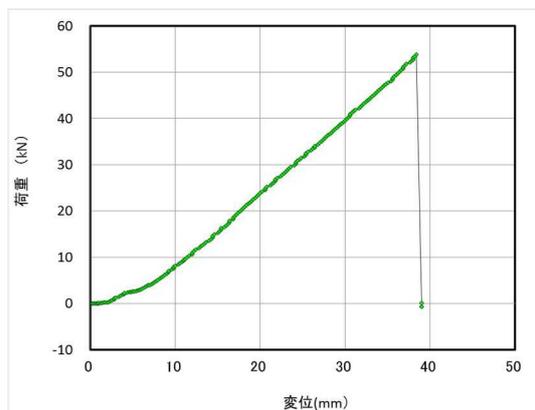


図 I. 4 0-(a) MGM-LK150-04 試験結果



図 I. 4 0-(b) MGM-LK150-04 破壊性状

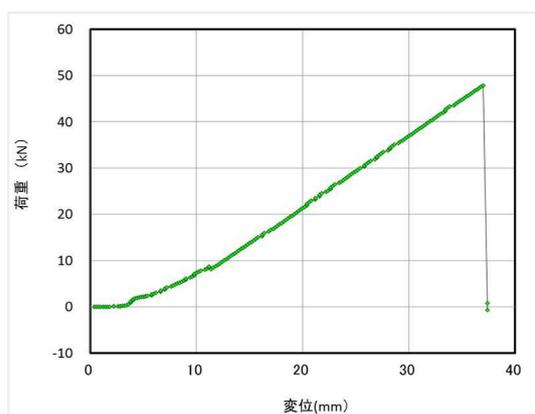


図 I. 4 1-(a) MGM-LK150-05 試験結果



図 I. 4 1-(b) MGM-LK150-05 破壊性状

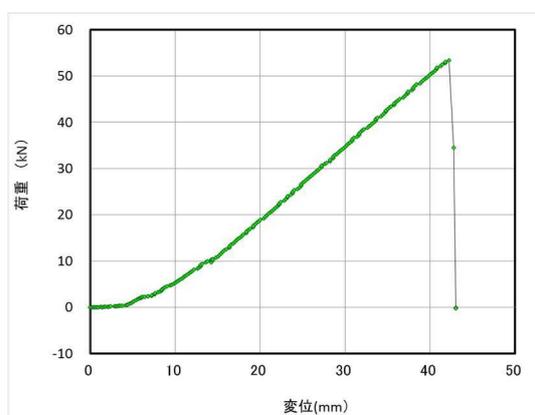


図 I. 4 2-(a) MGM-LK150-06 試験結果



図 I. 4 2-(b) MGM-LK150-06 破壊性状

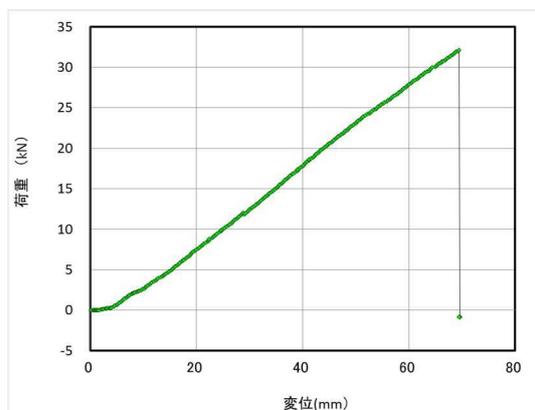


図 I. 4 3-(a) MGM-LJ150-01 試験結果



図 I. 4 3-(b) MGM-LJ150-01 破壊性状

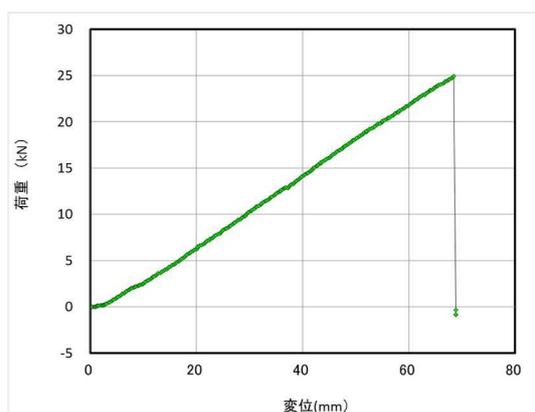


図 I. 4 4-(a) MGM-LJ150-02 試験結果



図 I. 4 4-(b) MGM-LJ150-02 破壊性状

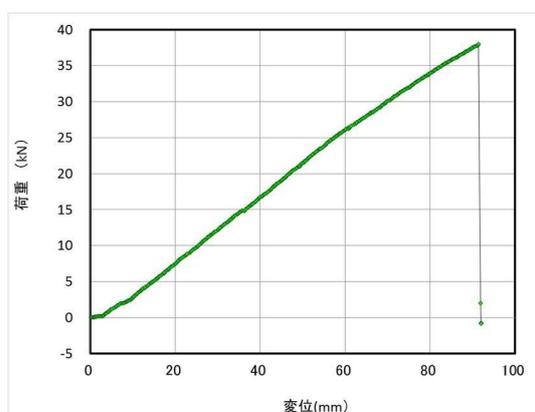


図 I. 4 5-(a) MGM-LJ150-03 試験結果



図 I. 4 5-(b) MGM-LJ150-03 破壊性状

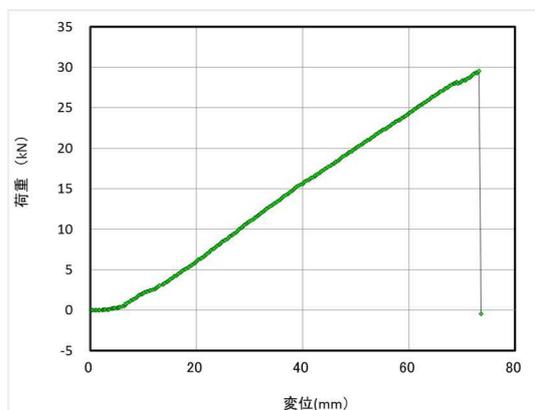


図 I. 4 6-(a) MGM-LJ150-04 試験結果



図 I. 4 6-(b) MGM-LJ150-04 破壊性状

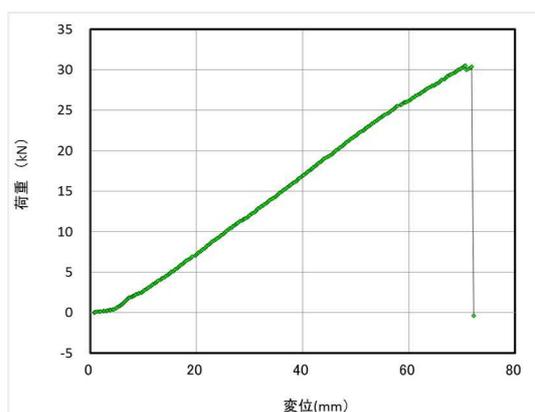


図 I. 4 7-(a) MGM-LJ150-05 試験結果



図 I. 4 7-(b) MGM-LJ150-05 破壊性状

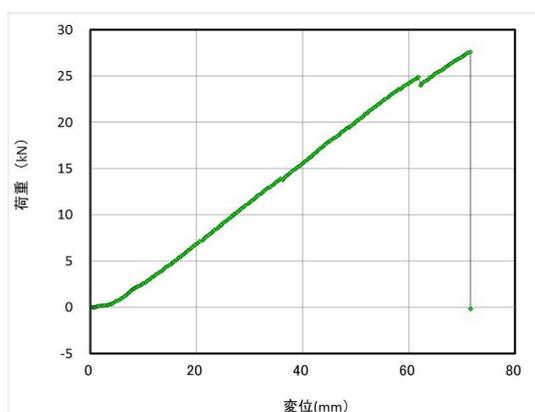


図 I. 4 8-(a) MGM-LJ150-06 試験結果



図 I. 4 8-(b) MGM-LJ150-06 破壊性状

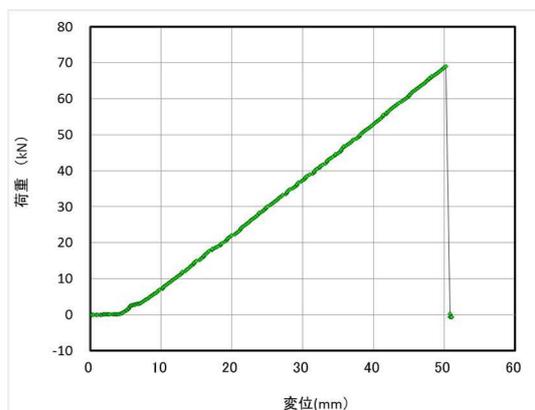


図 I. 49-(a) MGM-NK210-01 試験結果



図 I. 49-(b) MGM-NK210-01 破壊性状

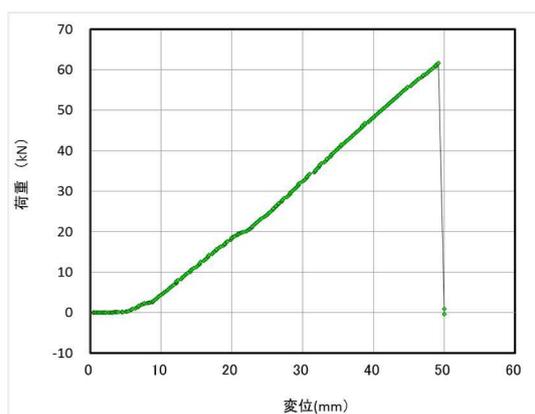


図 I. 50-(a) MGM-NK210-02 試験結果



図 I. 50-(b) MGM-NK210-02 破壊性状

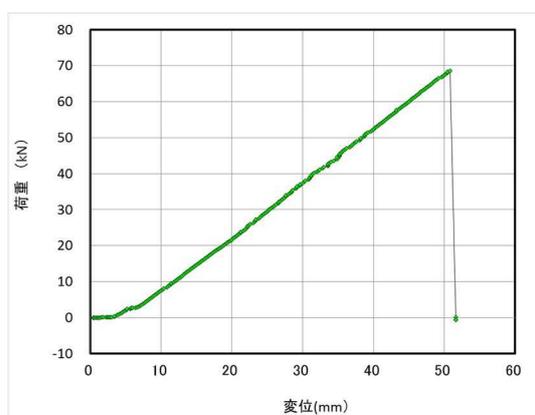


図 I. 51-(a) MGM-NK210-03 試験結果



図 I. 51-(b) MGM-NK210-03 破壊性状

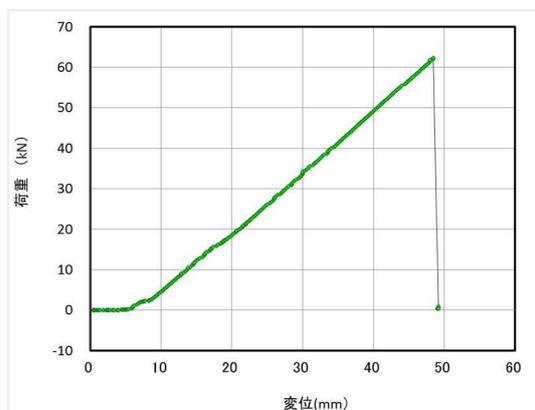


図 I. 5 2-(a) MGM-NK210-04 試験結果



図 I. 5 2-(b) MGM-NK210-04 破壊性状

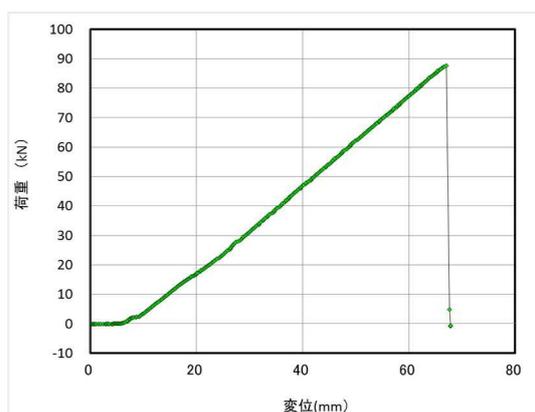


図 I. 5 3-(a) MGM-NK210-05 試験結果



図 I. 5 3-(b) MGM-NK210-05 破壊性状

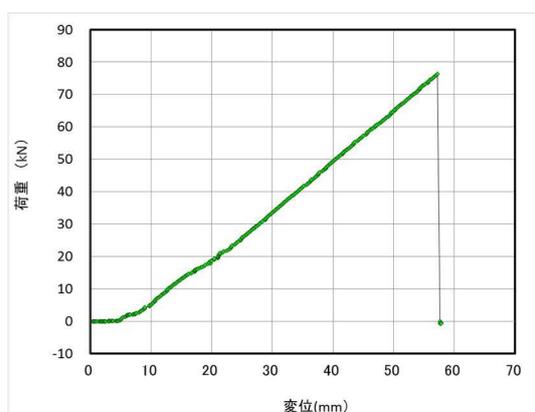


図 I. 5 4-(a) MGM-NK210-06 試験結果



図 I. 5 4-(b) MGM-NK210-06 破壊性状

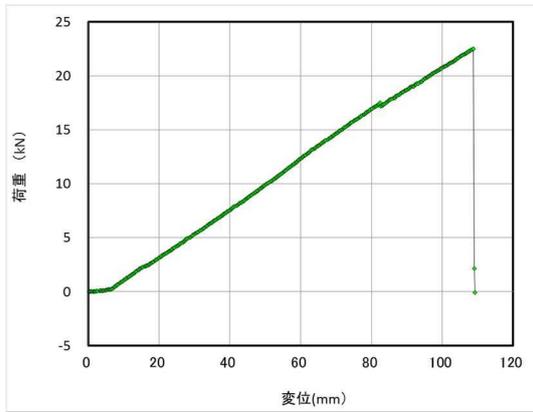


図 I. 55-(a) MGM-NJ210-01 試験結果



図 I. 55-(b) MGM-NJ210-01 破壊性状

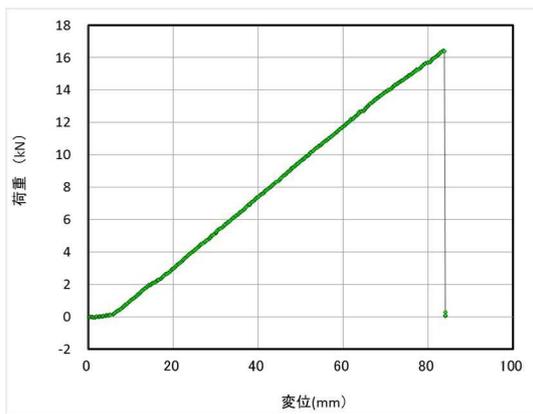


図 I. 56-(a) MGM-NJ210-02 試験結果



図 I. 56-(b) MGM-NJ210-02 破壊性状

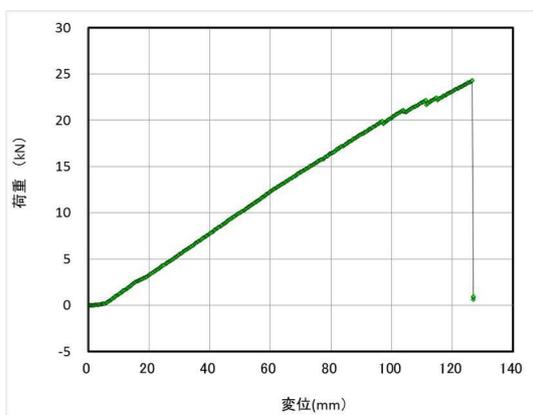


図 I. 57-(a) MGM-NJ210-03 試験結果



図 I. 57-(b) MGM-NJ210-03 破壊性状

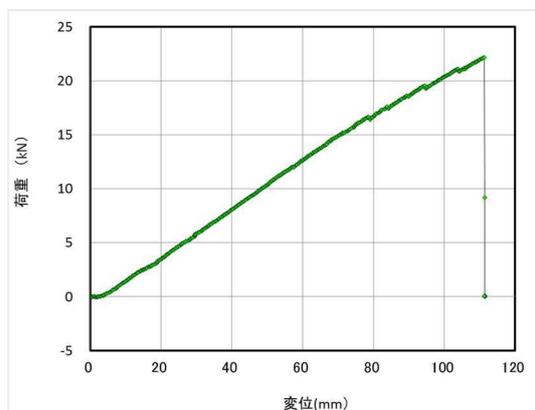


図 I. 58-(a) MGM-NJ210-04 試験結果



図 I. 58-(b) MGM-NJ210-04 破壊性状

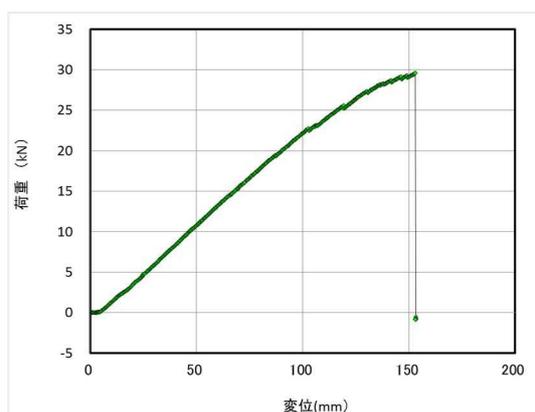


図 I. 59-(a) MGM-NJ210-05 試験結果



図 I. 59-(b) MGM-NJ210-05 破壊性状

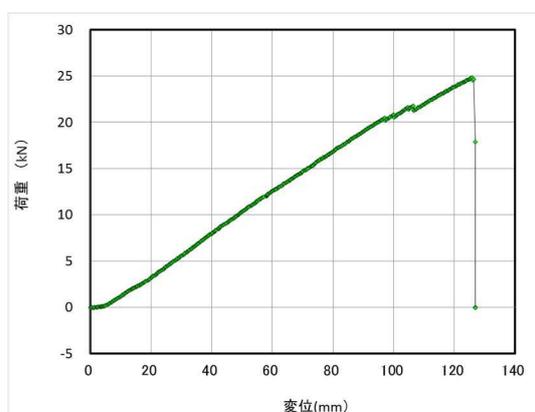


図 I. 60-(a) MGM-NJ210-06 試験結果



図 I. 60-(b) MGM-NJ210-06 破壊性状

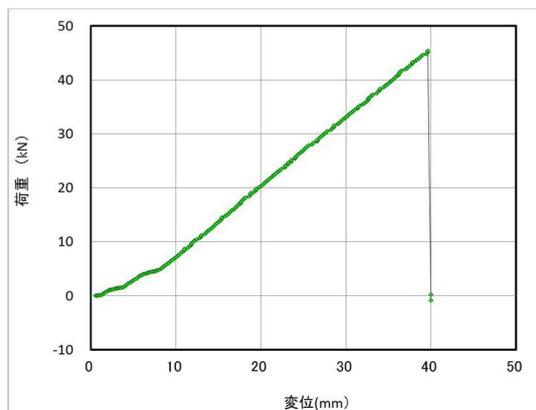


図 I. 6 1-(a) MGM-NK150AS-01 試験結果



図 I. 6 1-(b) MGM-NK150AS-01 破壊性状

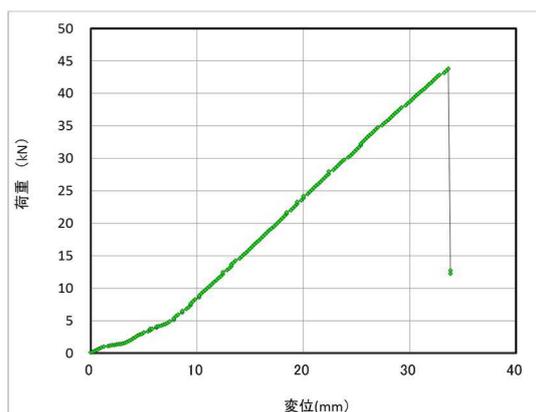


図 I. 6 2-(a) MGM-NK150AS-02 試験結果



図 I. 6 2-(b) MGM-NK150AS-02 破壊性状

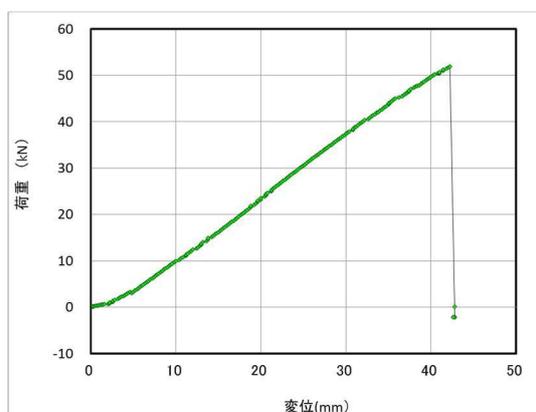


図 I. 6 3-(a) MGM-NK150AS-03 試験結果



図 I. 6 3-(b) MGM-NK150AS-03 破壊性状

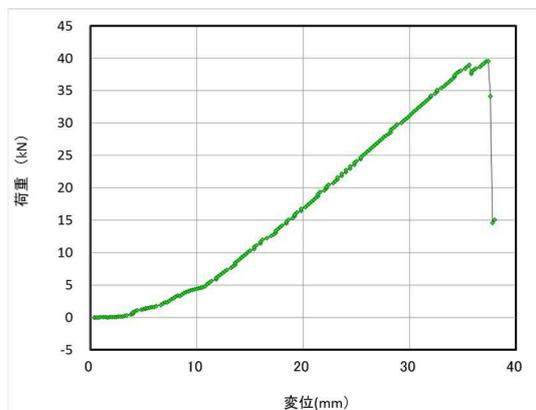


図 I. 6 4-(a) MGM-NK150AS-04 試験結果



図 I. 6 4-(b) MGM-NK150AS-04 破壊性状

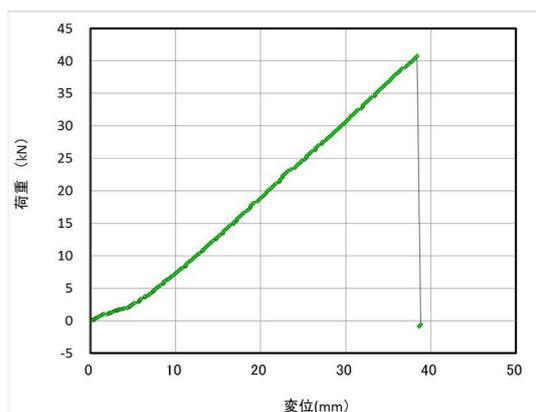


図 I. 6 5-(a) MGM-NK150AS-05 試験結果



図 I. 6 5-(b) MGM-NK150AS-05 破壊性状

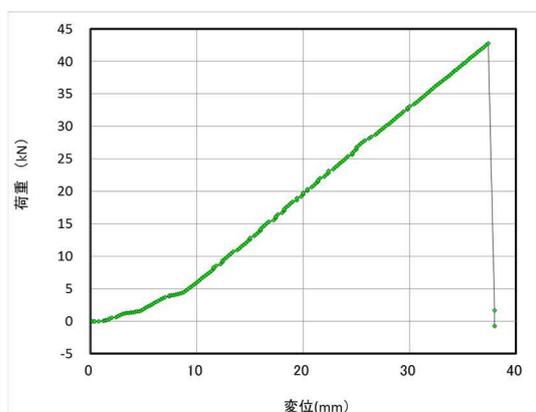


図 I. 6 6-(a) MGM-NK150AS-06 試験結果



図 I. 6 6-(b) MGM-NK150AS-06 破壊性状

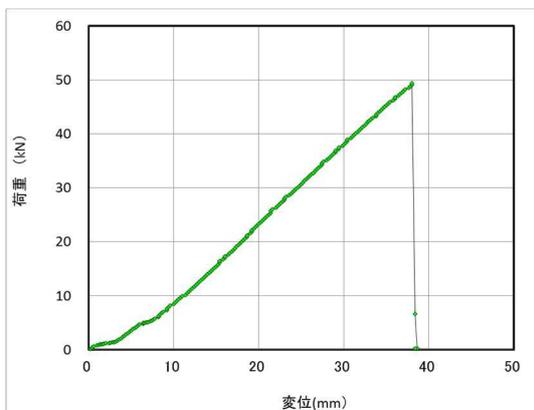


図 I. 6 7-(a) MGM-LK150AS-01 試験結果



図 I. 6 7-(b) MGM-LK150AS-01 破壊性状

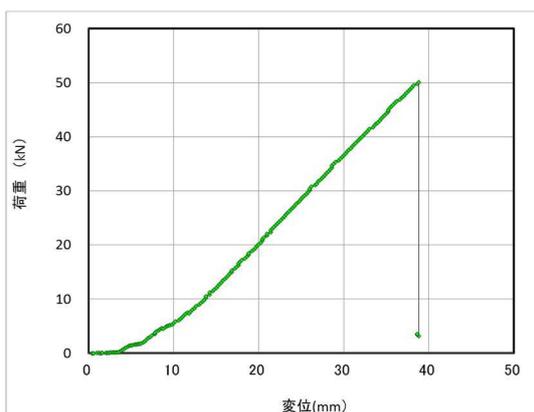


図 I. 6 8-(a) MGM-LK150AS-02 試験結果



図 I. 6 8-(b) MGM-LK150AS-02 破壊性状

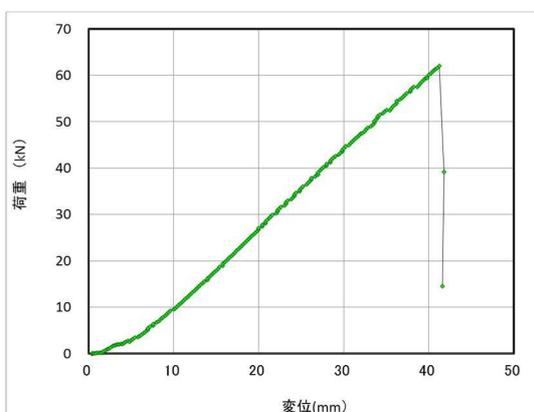


図 I. 6 9-(a) MGM-LK150AS-03 試験結果



図 I. 6 9-(b) MGM-LK150AS-03 破壊性状

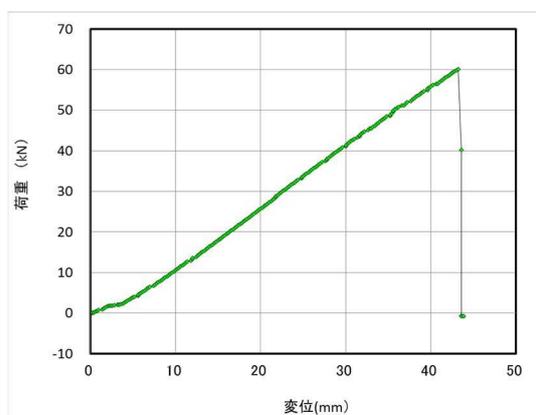


図 I. 7 0-(a) MGM-LK150AS-04 試験結果



図 I. 7 0-(b) MGM-LK150AS-04 破壊性状

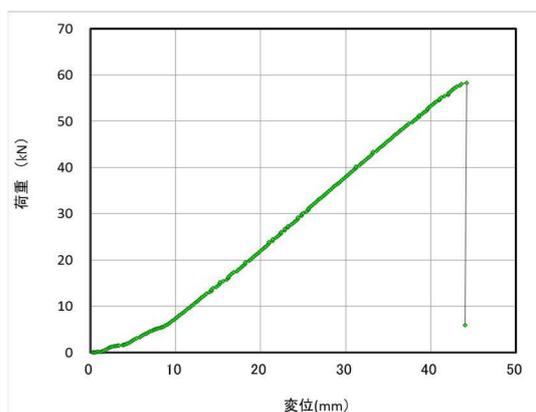


図 I. 7 1-(a) MGM-LK150AS-05 試験結果



図 I. 7 1-(b) MGM-LK150AS-05 破壊性状

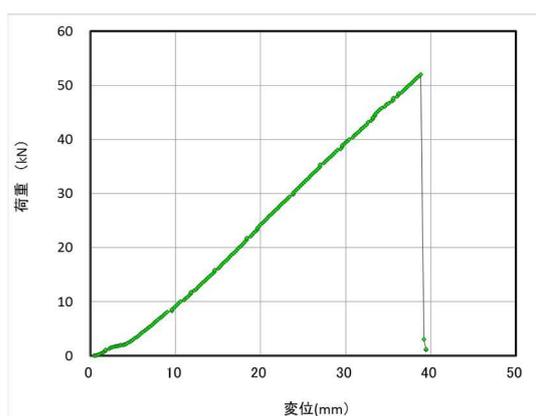


図 I. 7 2-(a) MGM-LK150AS-06 試験結果



図 I. 7 2-(b) MGM-LK150AS-06 破壊性状

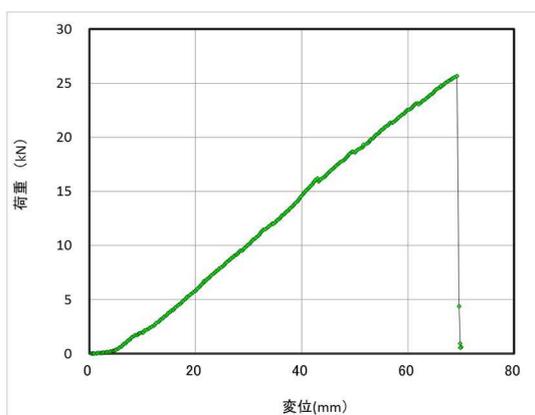


図 I. 7 3-(a) MGM-LJ150AS-01 試験結果



図 I. 7 3-(b) MGM-LJ150AS-01 破壊性状

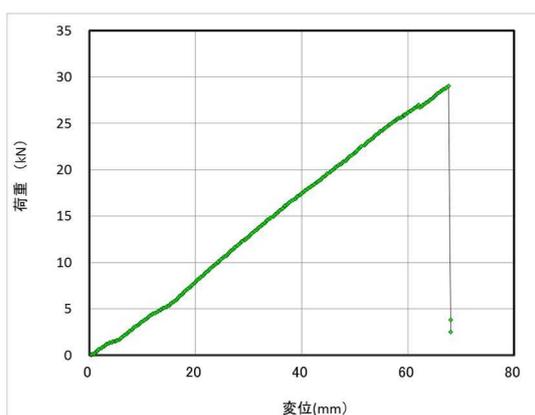


図 I. 7 4-(a) MGM-LJ150AS-02 試験結果



図 I. 7 4-(b) MGM-LJ150AS-02 破壊性状

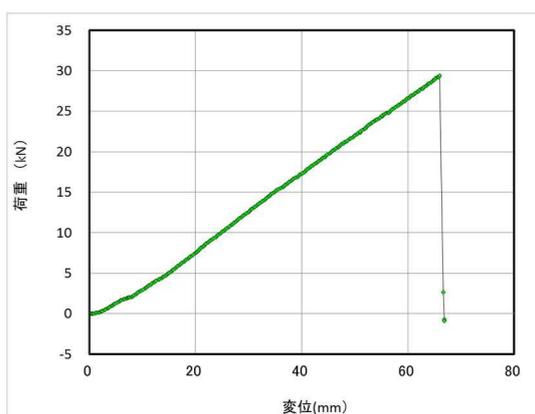


図 I. 7 5-(a) MGM-LJ150AS-03 試験結果



図 I. 7 5-(b) MGM-LJ150AS-03 破壊性状

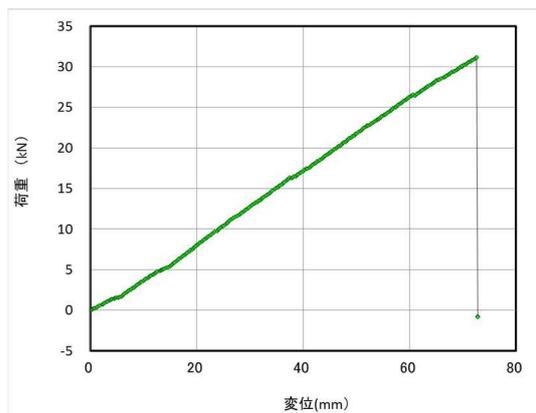


図 I. 76-(a) MGM-LJ150AS-04 試験結果



図 I. 76-(b) MGM-LJ150AS-04 破壊性状

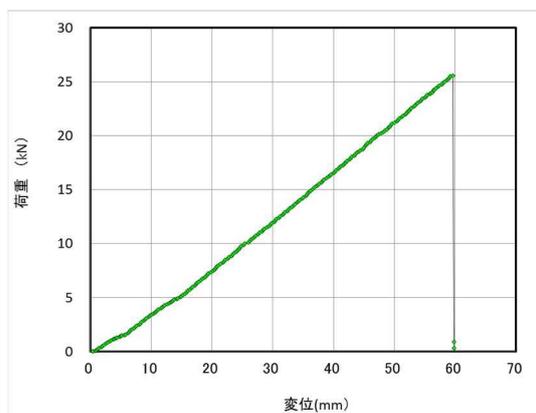


図 I. 77-(a) MGM-LJ150AS-05 試験結果



図 I. 77-(b) MGM-LJ150AS-05 破壊性状

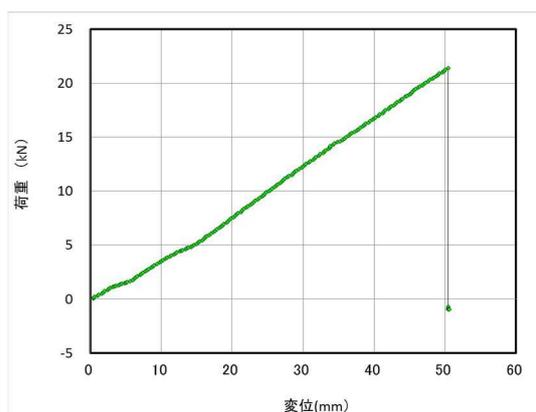


図 I. 78-(a) MGM-LJ150AS-06 試験結果



図 I. 78-(b) MGM-LJ150AS-06 破壊性状

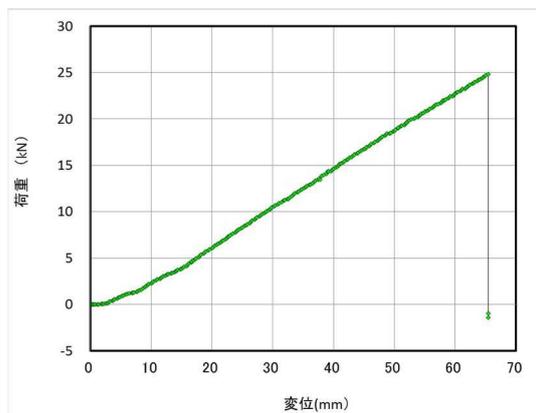


図 I. 8 2-(a) MGM-NJ150AS-04 試験結果



図 I. 8 2-(b) MGM-NJ150AS-04 破壊性状

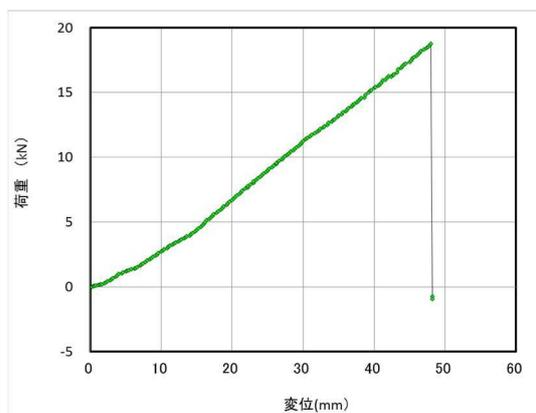


図 I. 8 3-(a) MGM-NJ150AS-05 試験結果



図 I. 8 3-(b) MGM-NJ150AS-05 破壊性状

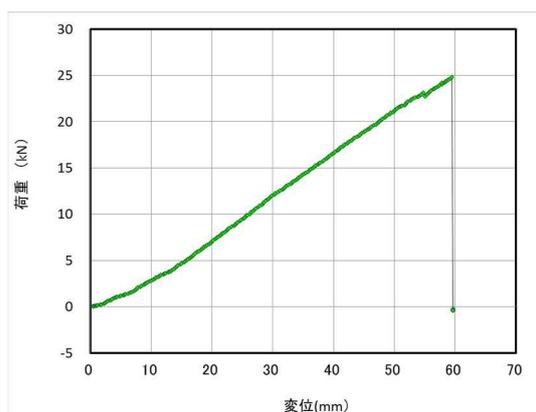


図 I. 8 4-(a) MGM-NJ150AS-06 試験結果



図 I. 8 4-(b) MGM-NJ150AS-06 破壊性状

付録－Ⅱ

以下に

3-3. フィンガージョイントで接合された CLT パネル同士の面内曲げ試験

で測定された全試験体の荷重－変位の関係とそれぞれの試験体における終局状況を示す。

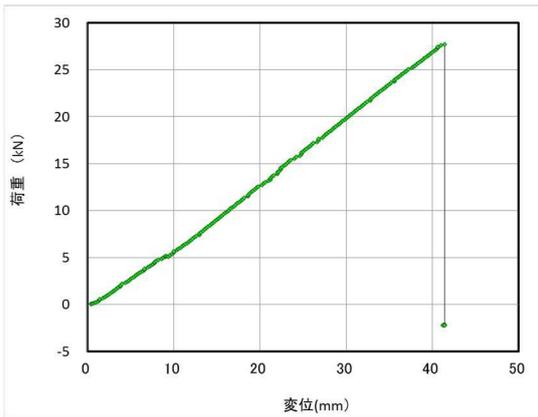


図 II. 1-(a) MNM-NK90-01 試験結果



図 II. 1-(b) MNM-NK90-01 破壊性状

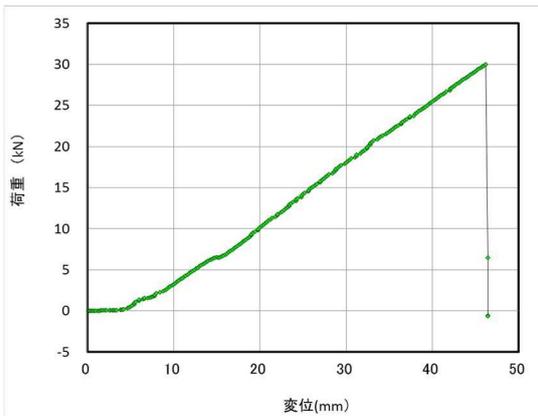


図 II. 2-(a) MNM-NK90-02 試験結果



図 II. 2-(b) MNM-NK90-02 破壊性状

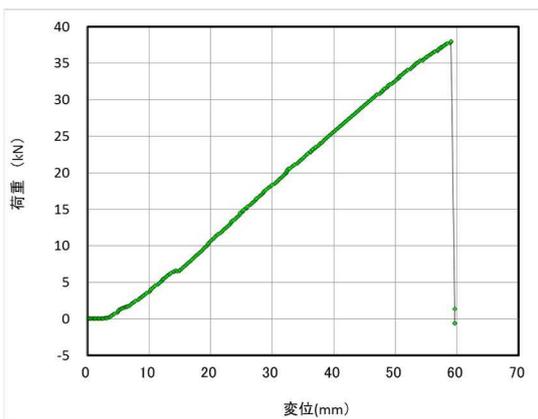


図 II. 3-(a) MNM-NK90-03 試験結果



図 II. 3-(b) MNM-NK90-03 破壊性状

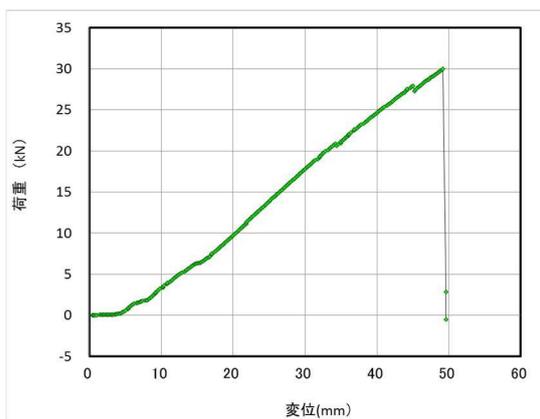


図 II. 4-(a) MNM-NK90-04 試験結果



図 II. 4-(b) MNM-NK90-04 破壊性状

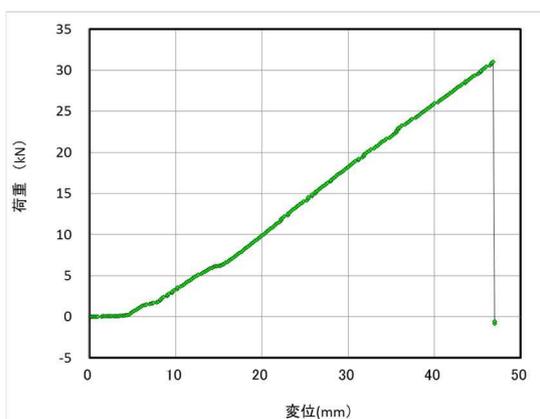


図 II. 5-(a) MNM-NK90-05 試験結果



図 II. 5-(b) MNM-NK90-05 破壊性状

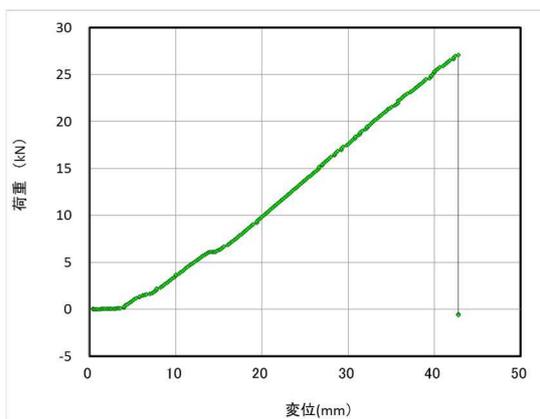


図 II. 6-(a) MNM-NK90-06 試験結果



図 II. 6-(b) MNM-NK90-06 破壊性状

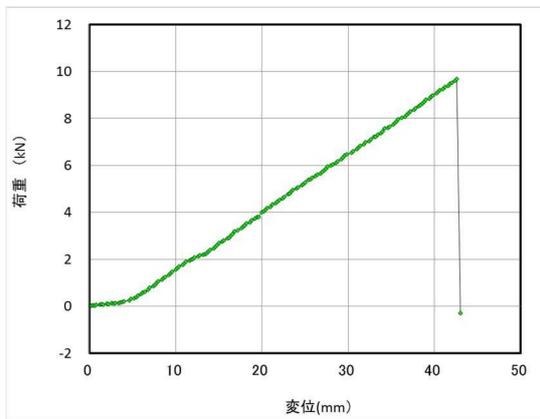


図 II. 7-(a) MNM-NJ90-01 試験結果



図 II. 7-(b) MNM-NJ90-01 破壊性状

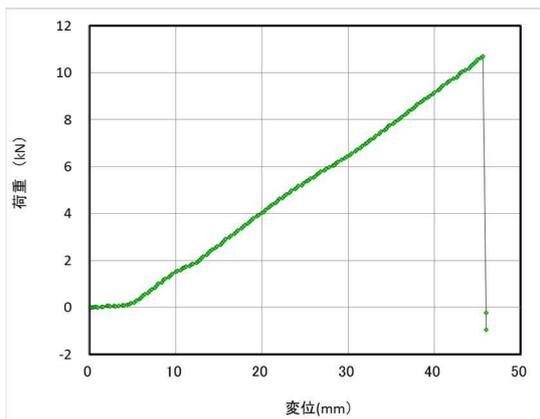


図 II. 8-(a) MNM-NJ90-02 試験結果



図 II. 8-(b) MNM-NJ90-02 破壊性状

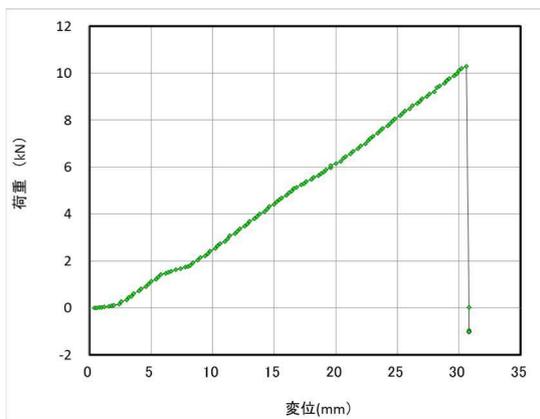


図 II. 9-(a) MNM-NJ90-03 試験結果



図 II. 9-(b) MNM-NJ90-03 破壊性状

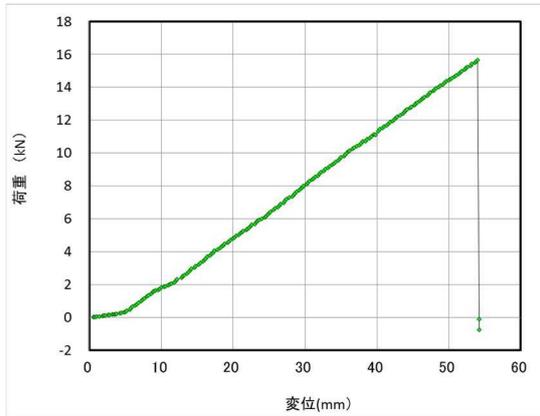


図 II. 10-(a) MNM-NJ90-04 試験結果



図 II. 10-(b) MNM-NJ90-04 破壊性状

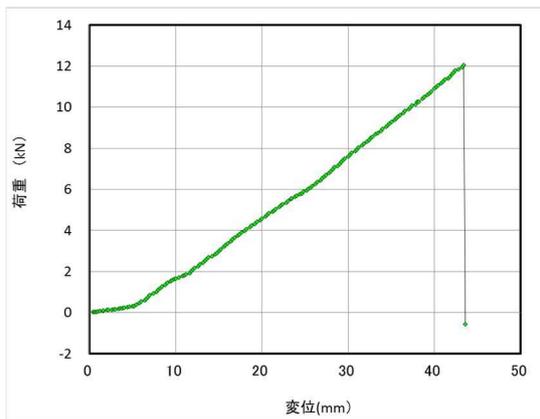


図 II. 11-(a) MNM-NJ90-05 試験結果



図 II. 11-(b) MNM-NJ90-05 破壊性状

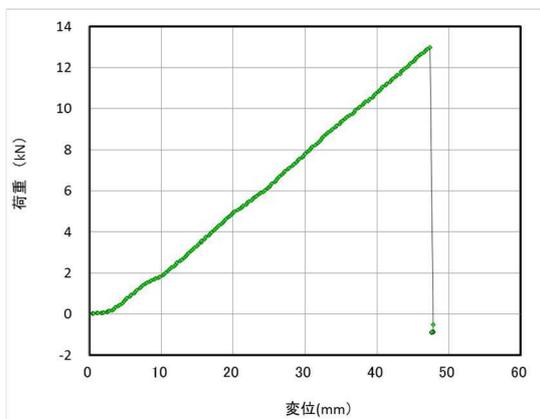


図 II. 12-(a) MNM-NJ90-06 試験結果



図 II. 12-(b) MNM-NJ90-06 破壊性状

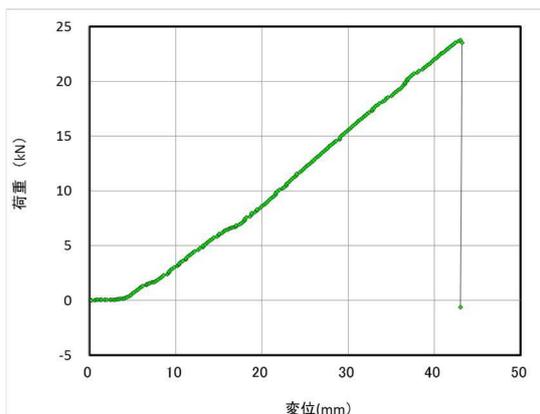


図 II. 13-(a) MNM-LK90-01 試験結果



図 II. 13-(b) MNM-LK90-01 破壊性状

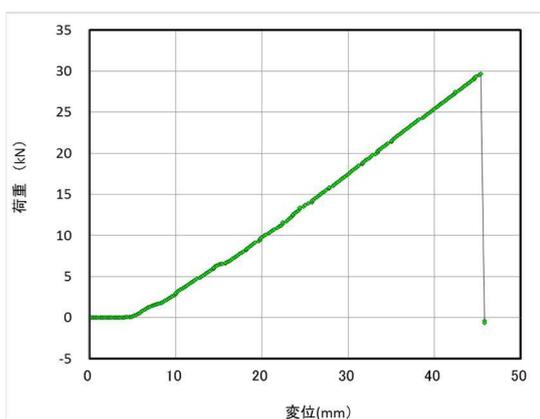


図 II. 14-(a) MNM-LK90-02 試験結果



図 II. 14-(b) MNM-LK90-02 破壊性状

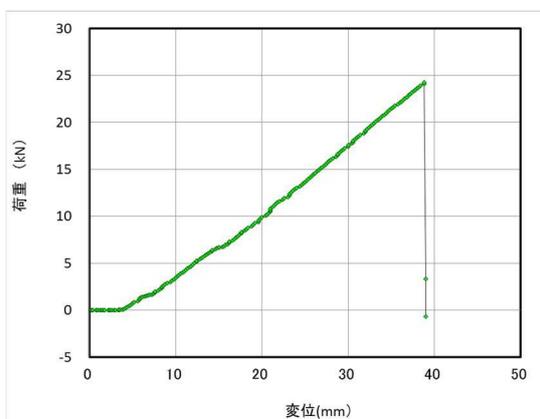


図 II. 15-(a) MNM-LK90-03 試験結果



図 II. 15-(b) MNM-LK90-03 破壊性状

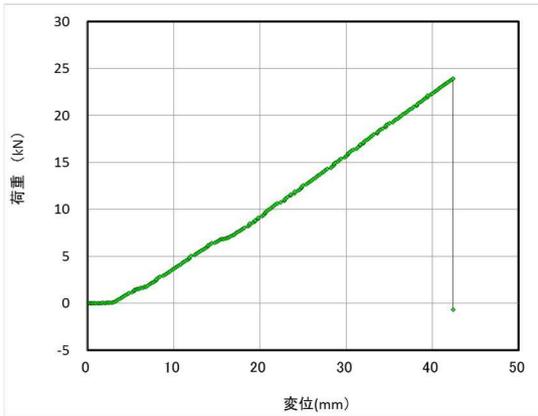


図 II. 1 6 -(a) MNM-LK90-04 試験結果



図 II. 1 6 -(b) MNM-LK90-04 破壊性状

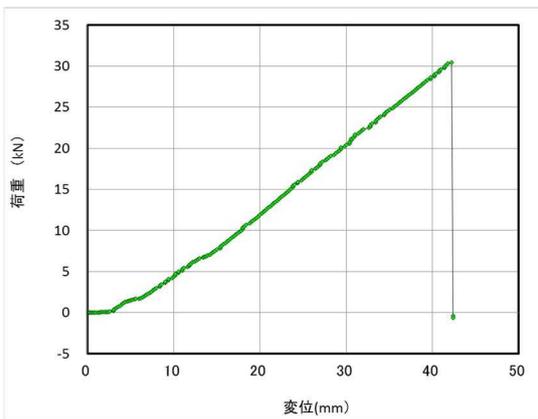


図 II. 1 7 -(a) MNM-LK90-05 試験結果



図 II. 1 7 -(b) MNM-LK90-05 破壊性状

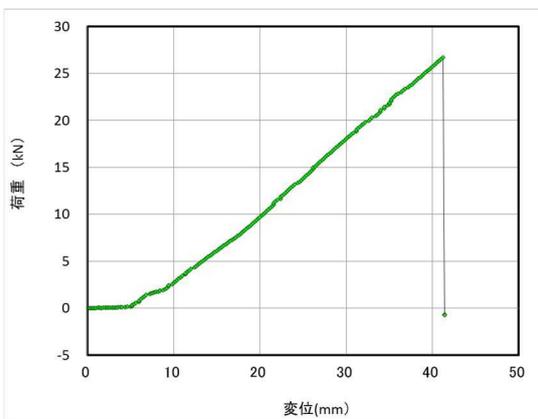


図 II. 1 8 -(a) MNM-LK90-06 試験結果



図 II. 1 8 -(b) MNM-LK90-06 破壊性状

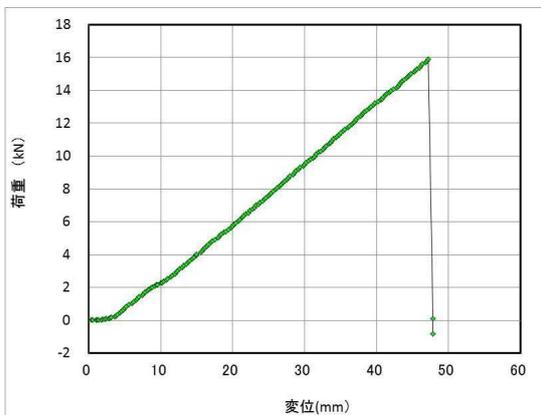


図 II. 19-(a) MNM-LJ90-01 試験結果



図 II. 19-(b) MNM-LJ90-01 破壊性状

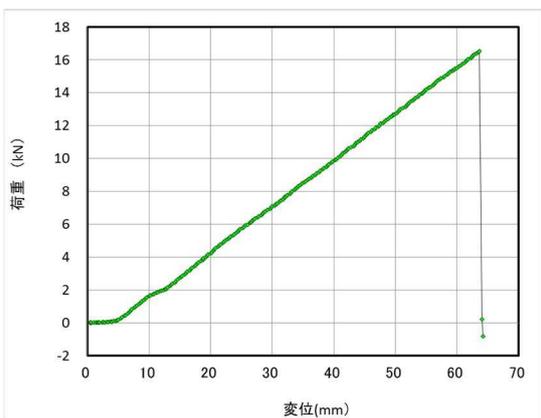


図 II. 20-(a) MNM-LJ90-02 試験結果



図 II. 20-(b) MNM-LJ90-02 破壊性状

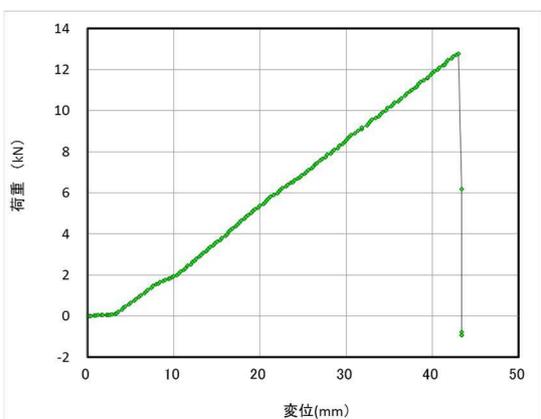


図 II. 21-(a) MNM-LJ90-03 試験結果



図 II. 21-(b) MNM-LJ90-03 破壊性状

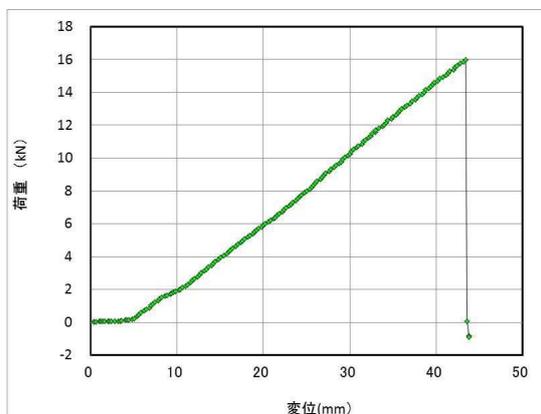


図 II. 2 2-(a) MNM-LJ90-04 試験結果



図 II. 2 2-(b) MNM-LJ90-04 破壊性状

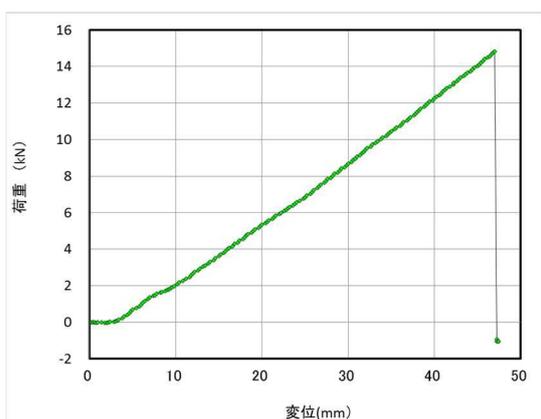


図 II. 2 3-(a) MNM-LJ90-05 試験結果



図 II. 2 3-(b) MNM-LJ90-05 破壊性状

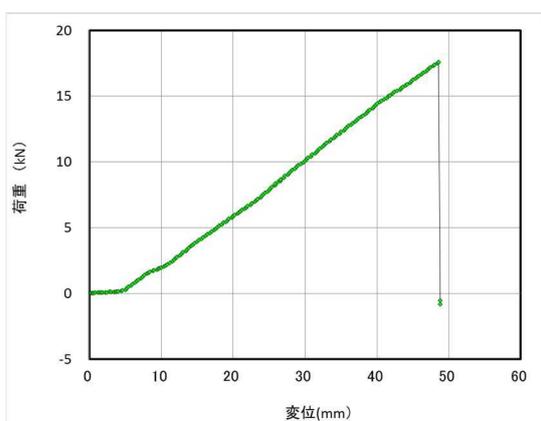


図 II. 2 4-(a) MNM-LJ90-06 試験結果



図 II. 2 4-(b) MNM-LJ90-06 破壊性状

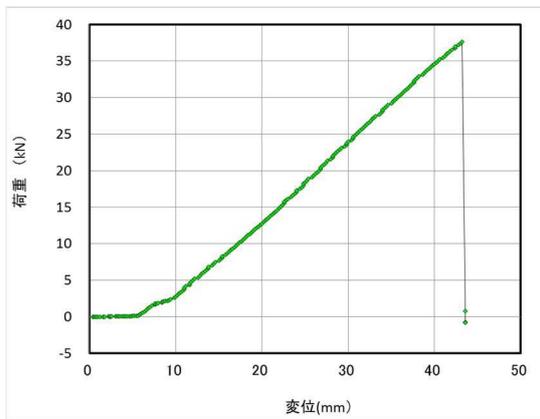


図 II. 25-(a) MNM-NK150-01 試験結果



図 II. 25-(b) MNM-NK150-01 破壊性状

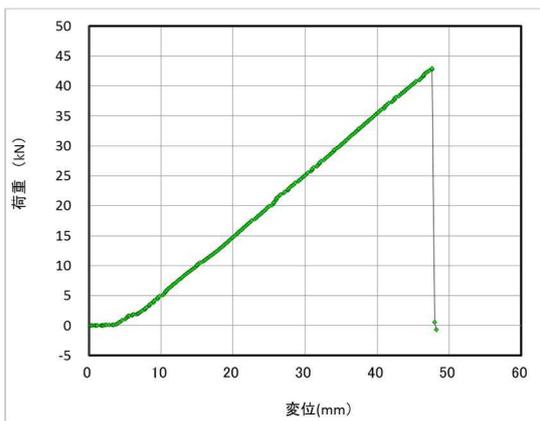


図 II. 26-(a) MNM-NK150-02 試験結果



図 II. 26-(b) MNM-NK150-02 破壊性状

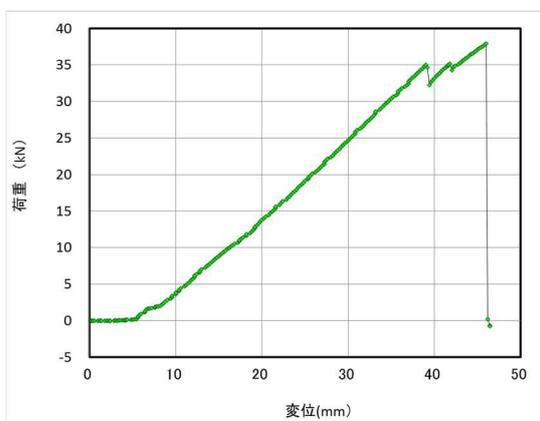


図 II. 27-(a) MNM-NK150-03 試験結果



図 II. 27-(b) MNM-NK150-03 破壊性状

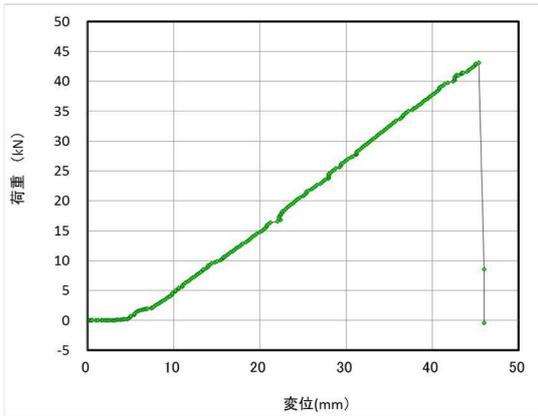


図 II. 28-(a) MNM-NK150-04 試験結果



図 II. 28-(b) MNM-NK150-04 破壊性状

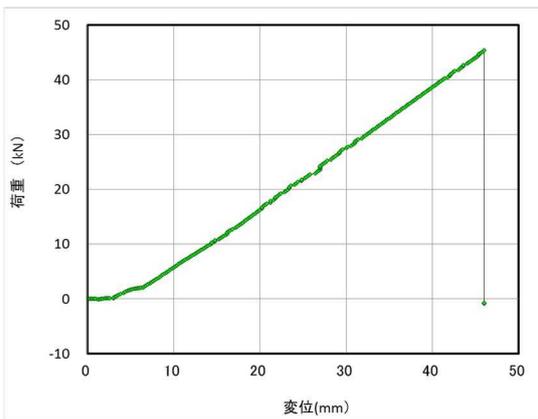


図 II. 29-(a) MNM-NK150-05 試験結果



図 II. 29-(b) MNM-NK150-05 破壊性状

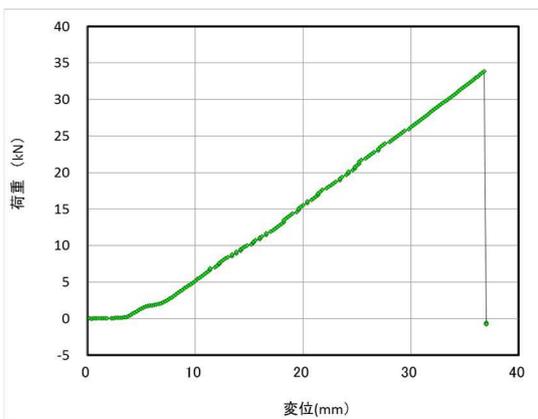


図 II. 30-(a) MNM-NK150-06 試験結果



図 II. 30-(b) MNM-NK150-06 破壊性状

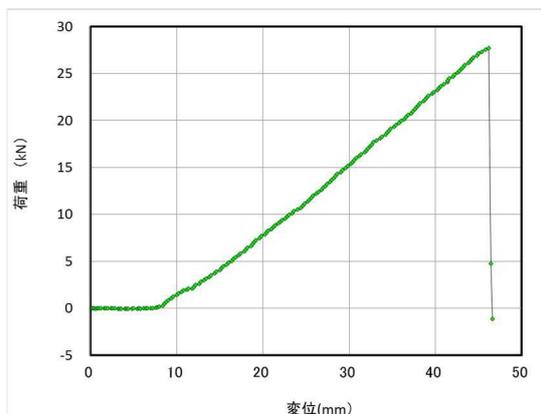


図 II. 3 1-(a) MNM-NJ150-01 試験結果



図 II. 3 1-(b) MNM-NJ150-01 破壊性状

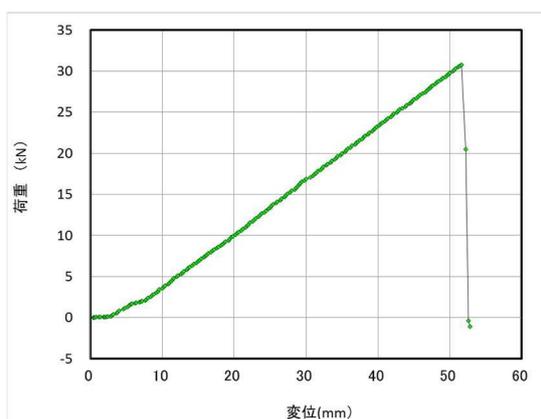


図 II. 3 2-(a) MNM-NJ150-02 試験結果



図 II. 3 2-(b) MNM-NJ150-02 破壊性状

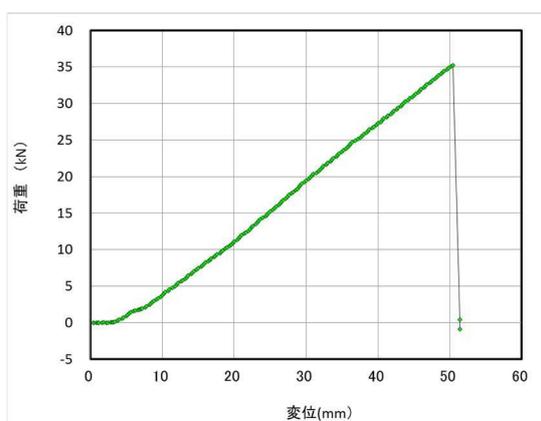


図 II. 3 3-(a) MNM-NJ150-03 試験結果



図 II. 3 3-(b) MNM-NJ150-03 破壊性状

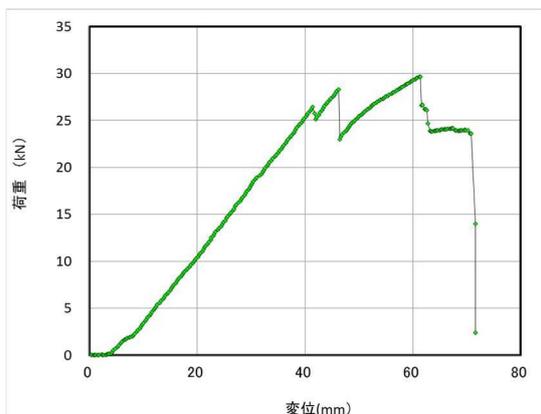


図 II. 3 4-(a) MNM-NJ150-04 試験結果



図 II. 3 4-(b) MNM-NJ150-04 破壊性状

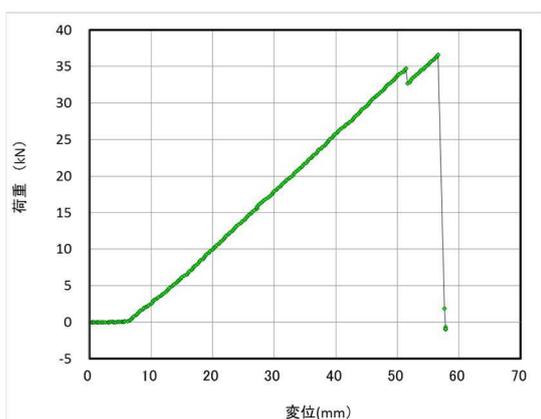


図 II. 3 5-(a) MNM-NJ150-05 試験結果



図 II. 3 5-(b) MNM-NJ150-05 破壊性状

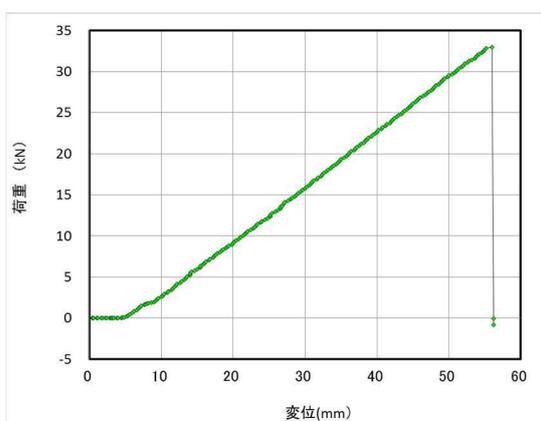


図 II. 3 6-(a) MNM-NJ150-06 試験結果



図 II. 3 6-(b) MNM-NJ150-06 破壊性状

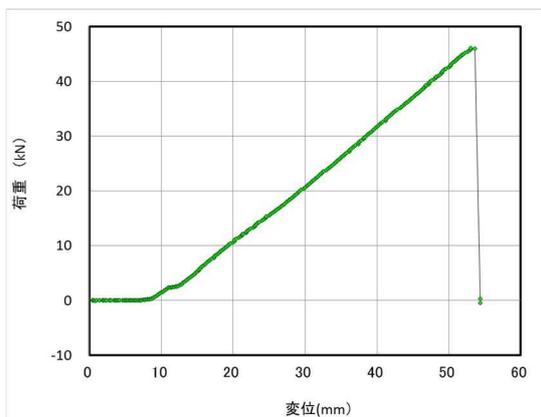


図 II. 37-(a) MNM-LK150-01 試験結果



図 II. 37-(b) MNM-LK150-01 破壊性状

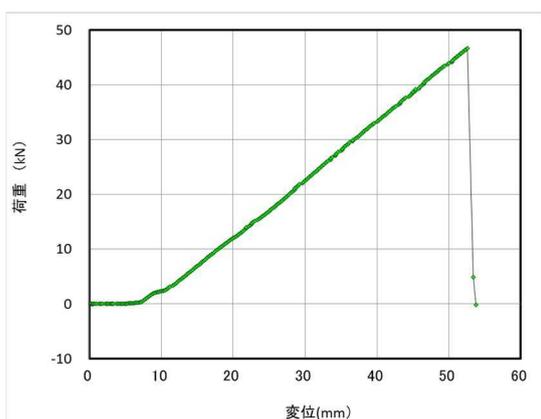


図 II. 38-(a) MNM-LK150-02 試験結果



図 II. 38-(b) MNM-LK150-02 破壊性状

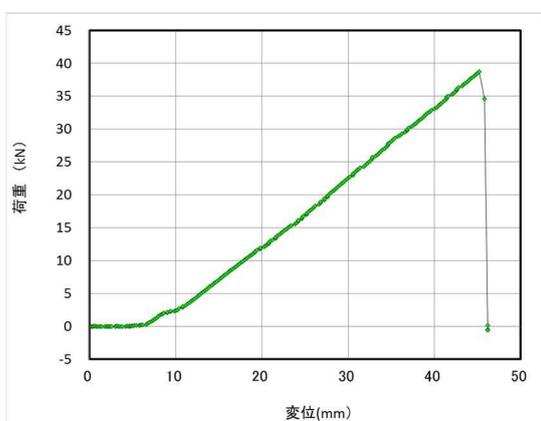


図 II. 39-(a) MNM-LK150-03 試験結果



図 II. 39-(b) MNM-LK150-03 破壊性状

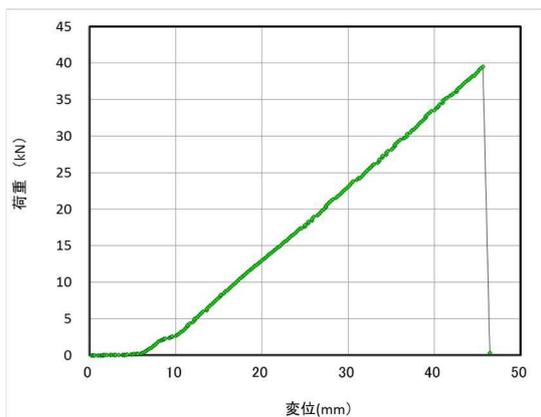


図 II. 40-(a) MNM-LK150-04 試験結果



図 II. 40-(b) MNM-LK150-04 破壊性状

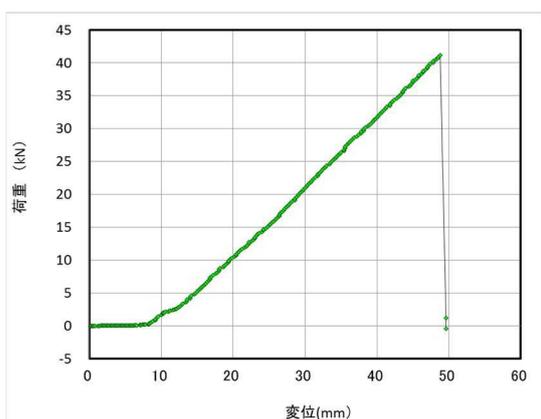


図 II. 41-(a) MNM-LK150-05 試験結果



図 II. 41-(b) MNM-LK150-05 破壊性状

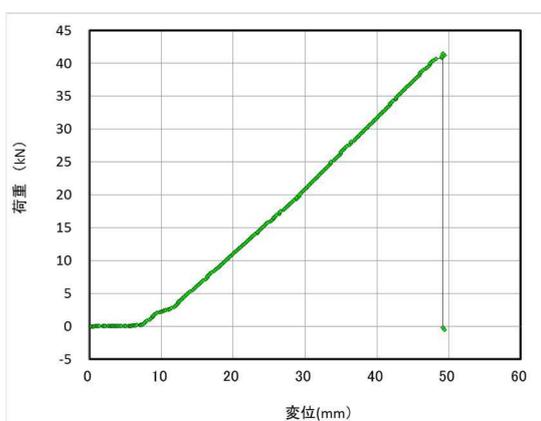


図 II. 42-(a) MNM-LK150-06 試験結果



図 II. 42-(b) MNM-LK150-06 破壊性状

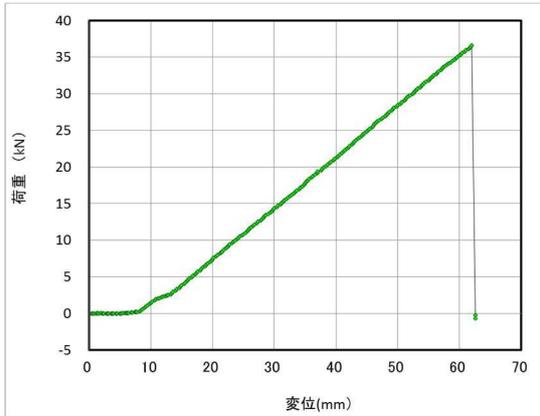


図 II. 4 3-(a) MNM-LJ150-01 試験結果



図 II. 4 3-(b) MNM-LJ150-01 破壊性状

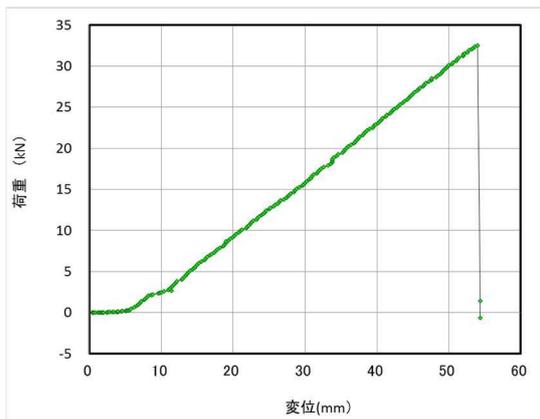


図 II. 4 4-(a) MNM-LJ150-02 試験結果



図 II. 4 4-(b) MNM-LJ150-02 破壊性状

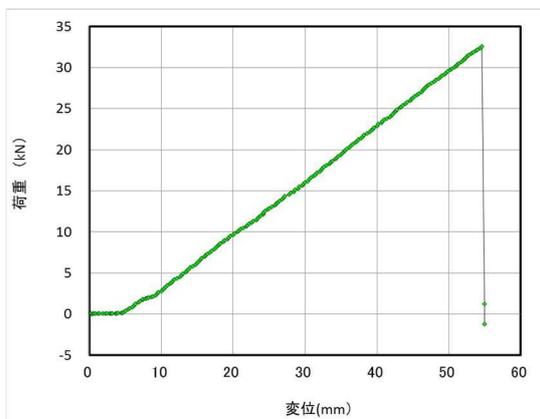


図 II. 4 5-(a) MNM-LJ150-03 試験結果



図 II. 4 5-(b) MNM-LJ150-03 破壊性状

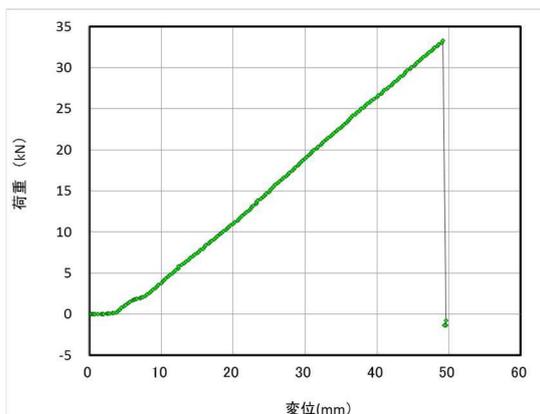


図 II. 4 6-(a) MNM-LJ150-04 試験結果



図 II. 4 6-(b) MNM-LJ150-04 破壊性状

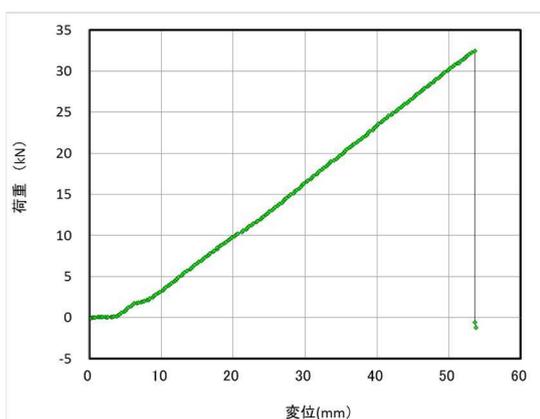


図 II. 4 7-(a) MNM-LJ150-05 試験結果



図 II. 4 7-(b) MNM-LJ150-05 破壊性状

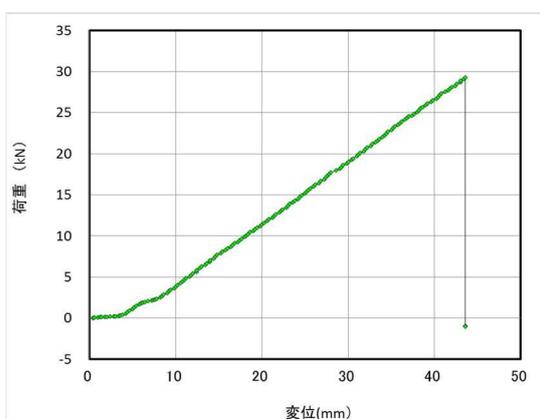


図 II. 4 8-(a) MNM-LJ150-06 試験結果



図 II. 4 8-(b) MNM-LJ150-06 破壊性状

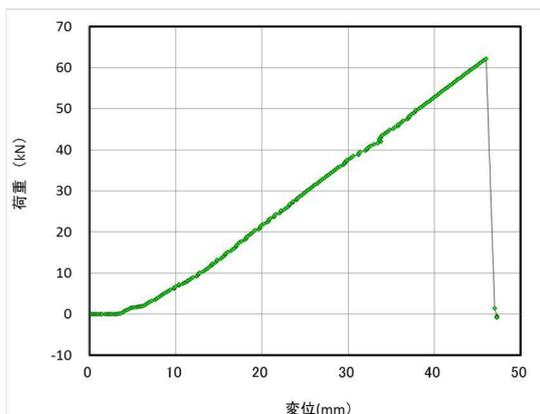


図 II. 49-(a) MNM-NK210-01 試験結果



図 II. 49-(b) MNM-NK210-01 破壊性状

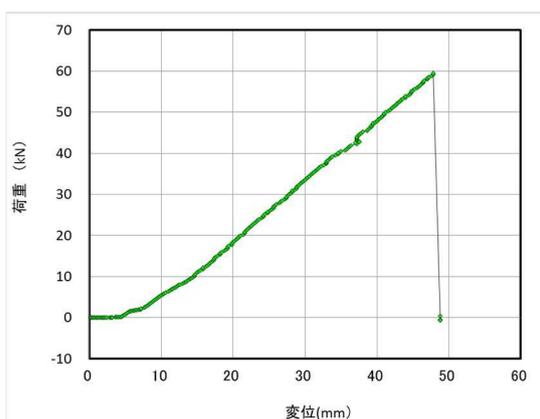


図 II. 50-(a) MNM-NK210-02 試験結果

無し

図 II. 50-(b) MNM-NK210-02 破壊性状

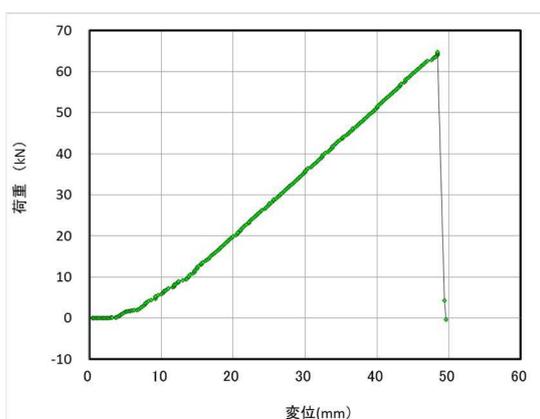


図 II. 51-(a) MNM-NK210-03 試験結果

無し

図 II. 51-(b) MNM-NK210-03 破壊性状

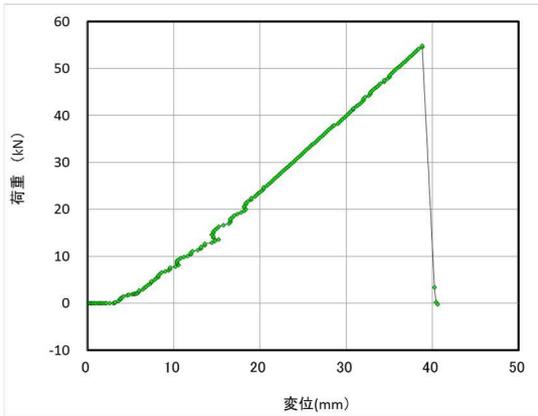


図 II. 5 2-(a) MNM-NK210-04 試験結果



図 II. 5 2-(b) MNM-NK210-04 破壊性状

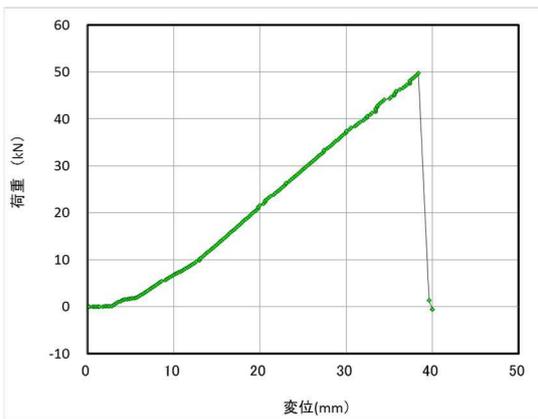


図 II. 5 3-(a) MNM-NK210-05 試験結果



図 II. 5 3-(b) MNM-NK210-05 破壊性状

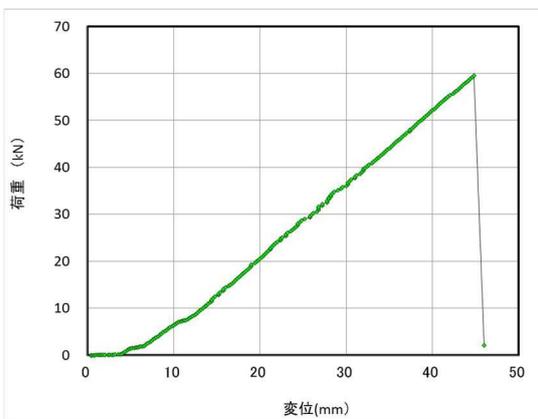


図 II. 5 4-(a) MNM-NK210-06 試験結果



図 II. 5 4-(b) MNM-NK210-06 破壊性状

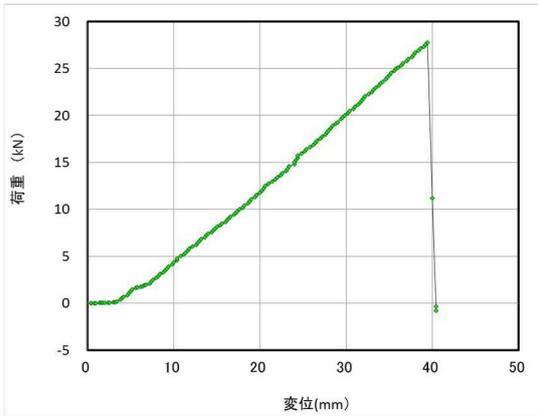


図 II. 5 5-(a) MNM-NJ210-01 試験結果



図 II. 5 5-(b) MNM-NJ210-01 破壊性状

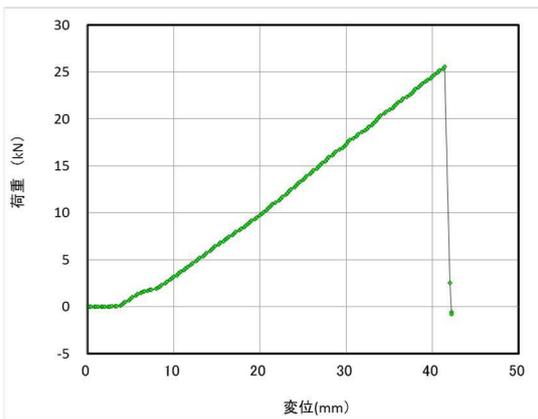


図 II. 5 6-(a) MNM-NJ210-02 試験結果



図 II. 5 6-(b) MNM-NJ210-02 破壊性状

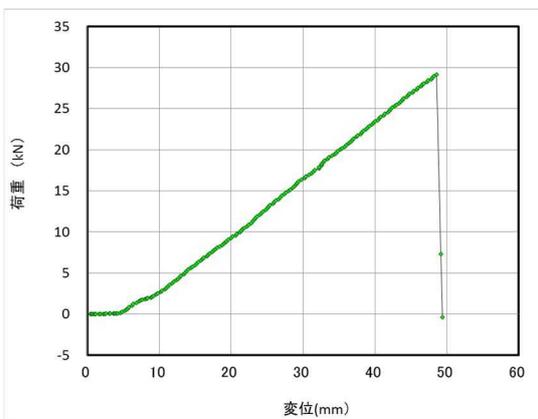


図 II. 5 7-(a) MNM-NJ210-03 試験結果



図 II. 5 7-(b) MNM-NJ210-03 破壊性状

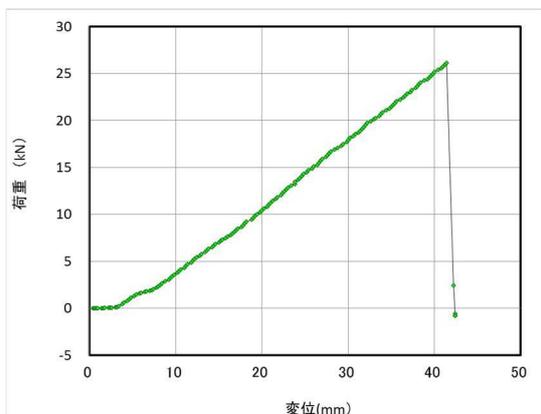


図 II. 5 8-(a) MNM-NJ210-04 試験結果



図 II. 5 8-(b) MNM-NJ210-04 破壊性状

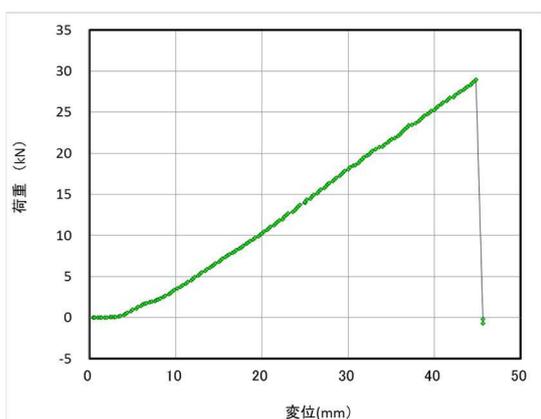


図 II. 5 9-(a) MNM-NJ210-05 試験結果



図 II. 5 9-(b) MNM-NJ210-05 破壊性状

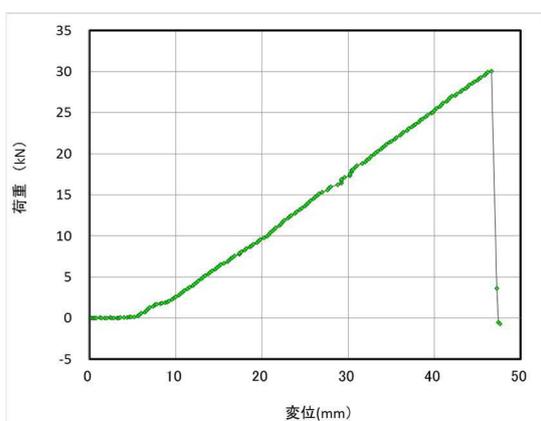


図 II. 6 0-(a) MNM-NJ210-06 試験結果



図 II. 6 0-(b) MNM-NJ210-06 破壊性状

付録－III

以下に

4.3 フィンガージョイントで接合された CLT パネル同士の面内せん断試験

に示された各試験体の応力－ひずみ関係、および最終破壊時の写真を示す。

ただし、せん断応力とせん断ひずみの定義は (4.3.5) 式～(4.3.7)に示す通りである。

せん断応力 τ は梁の断面中央の最大応力で本文(4.3.7)式より、

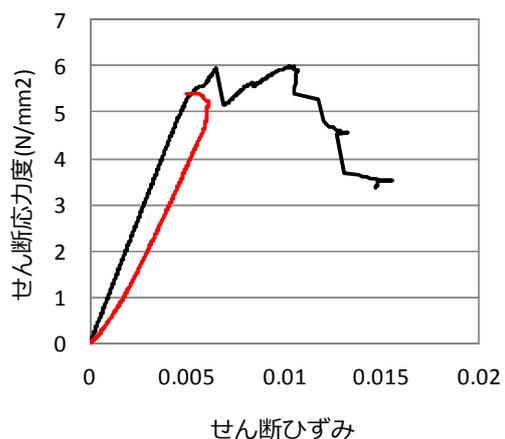
$$\tau = 1.5 \frac{Q}{A} \quad \dots(4.3.7)$$

せん断ひずみの内、図中に赤線で示すひずみは 2 枚のロゼットゲージの測定値より算出した平均のせん断ひずみは本文 (4.3.5)式より、

$$\gamma_g = 2\varepsilon_{45} - (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}) \quad \dots(4.3.5)$$

また、黒線は本文 (4.3.6) 式より、それぞれ算出した値である。

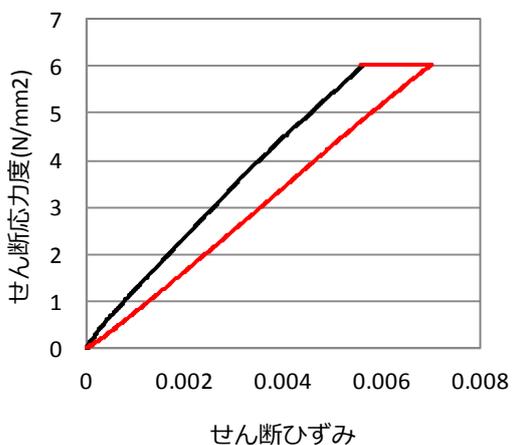
$$\gamma_s = \frac{\delta}{h_s} \quad \dots(4.3.6)$$



図III-1-(a)MNS-KN90-01 試験結果



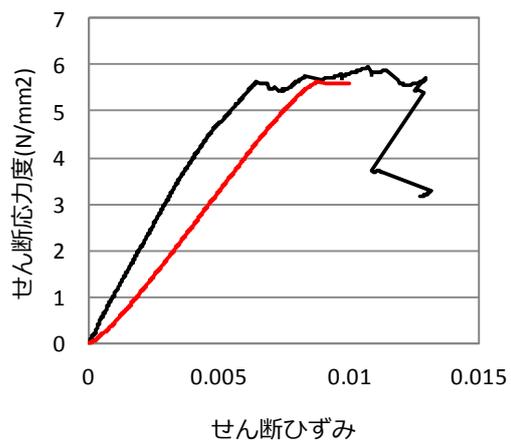
図III-1-(b)MNS-KN90-01 破壊性状



図III-2-(a)MNS-KN90-02 試験結果



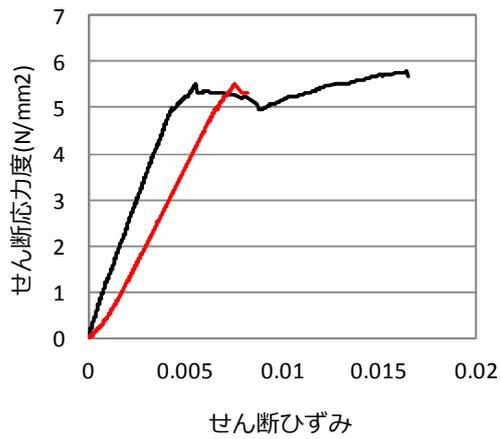
図III-2-(b)MNS-KN90-02 破壊性状



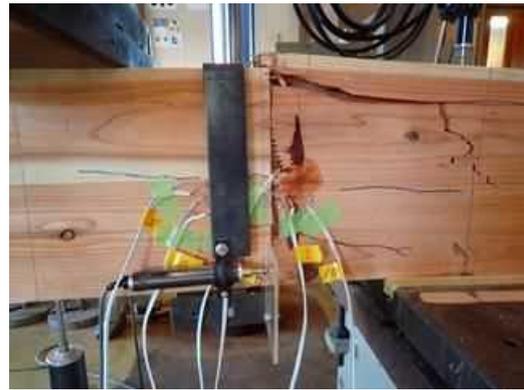
図III-3-(a)MNS-KN90-03 試験結果



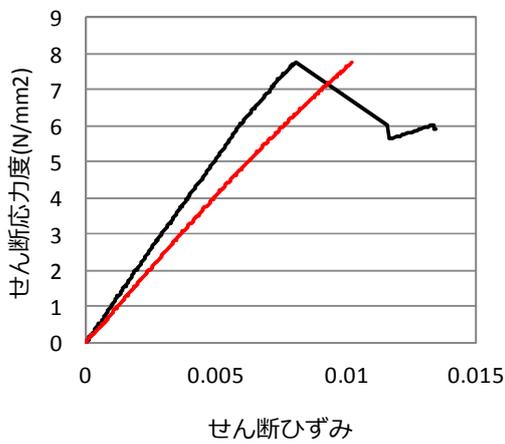
図III-3-(b)MNS-KN90-03 破壊性状



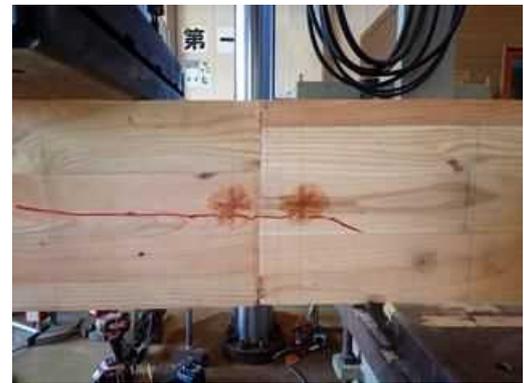
図III-4-(a)MNS-KN90-04 試験結果



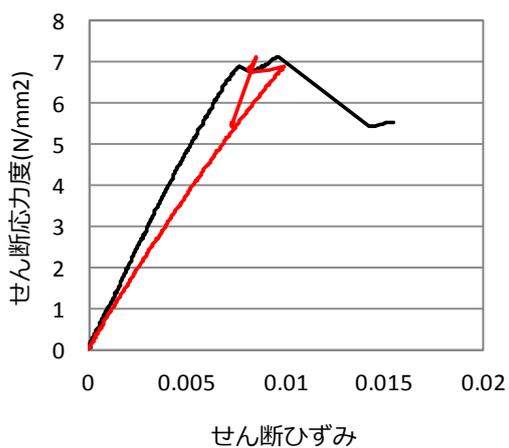
図III-4-(b)MNS-KN90-04 破壊性状



図III-5-(a)MNS-KN90-05 試験結果



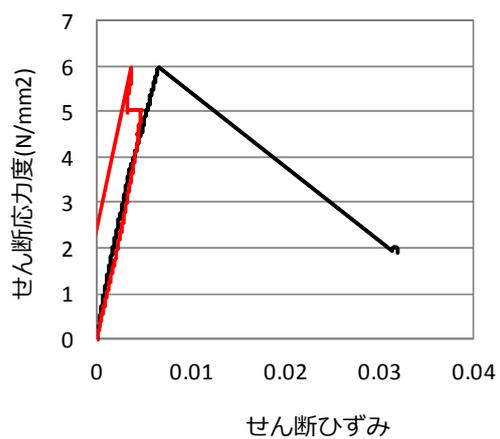
図III-5-(b)MNS-KN90-05 破壊性状



図III-6-(a)MNS-KN90-06 試験結果



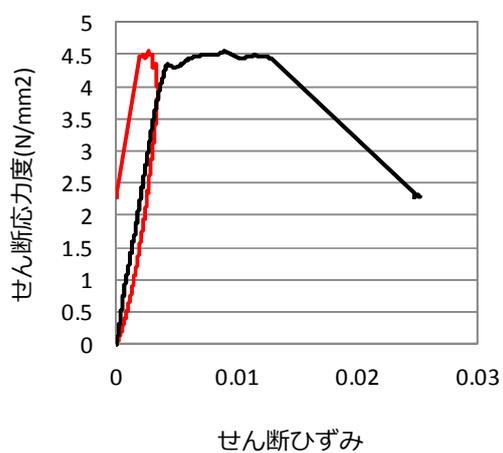
図III-6-(b)MNS-KN90-06 破壊性状



図III-7-(a)MNS-JN90-01 試験結果



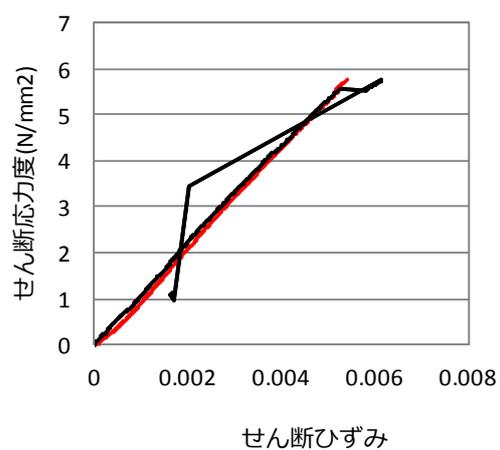
図III-7-(b)MNS-JN90-01 破壊性状



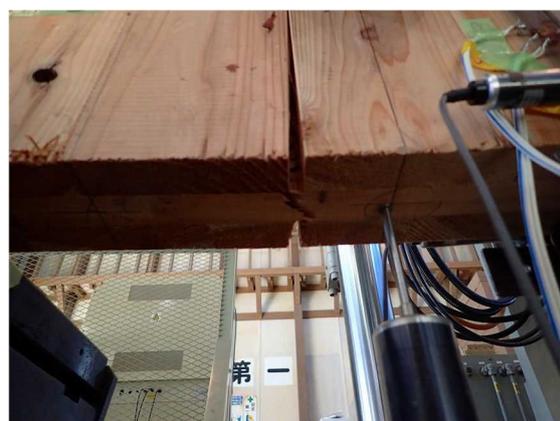
図III-8-(a)MNS-JN90-02 試験結果



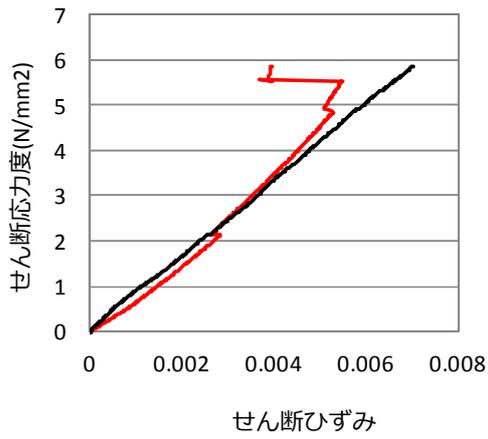
図III-8-(b)MNS-JN90-02 破壊性状



図III-9-(a)MNS-JN90-03 試験結果



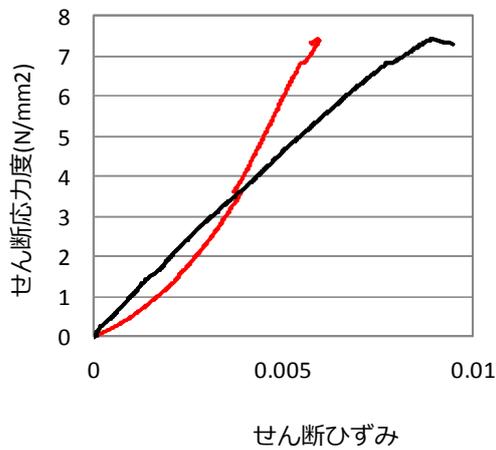
図III-9-(b)MNS-JN90-03 破壊性状



図III-10-(a)MNS-JN90-04 試験結果



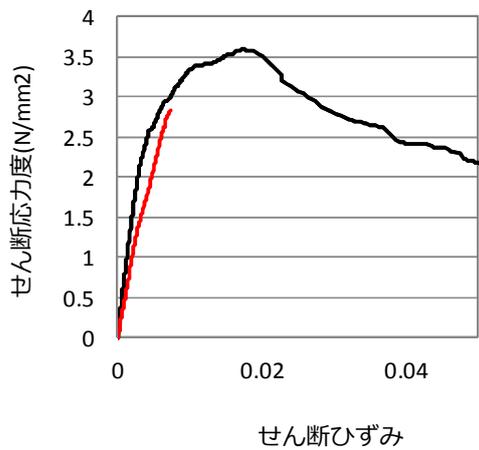
図III-10-(b)MNS-JN90-04 破壊性状



図III-11-(a)MNS-JN90-05 試験結果



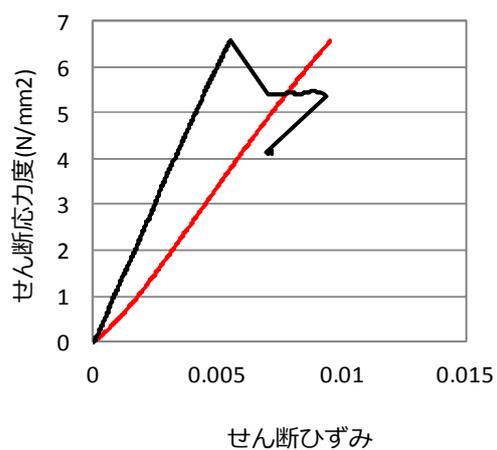
図III-11-(b)MNS-JN90-05 破壊性状



図III-12-(a)MNS-JN90-06 試験結果



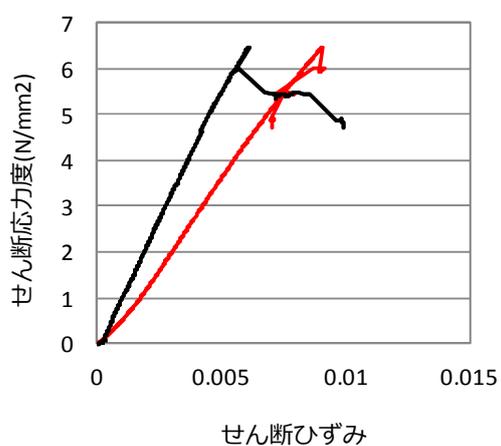
図III-12-(b)MNS-JN90-06 破壊性状



図III-13-(a)MNS-KL90-01 試験結果



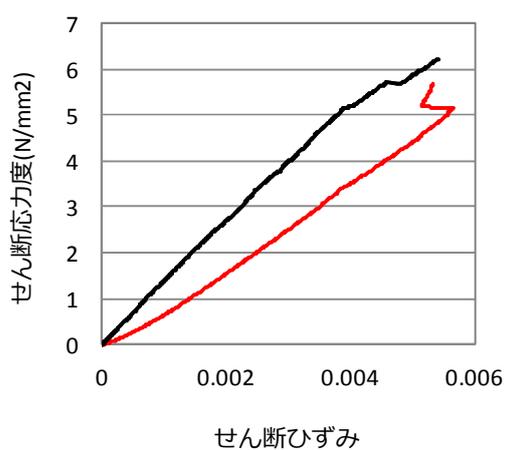
図III-13-(b)MNS-KL90-01 破壊性状



図III-14-(a)MNS-KL90-02 試験結果



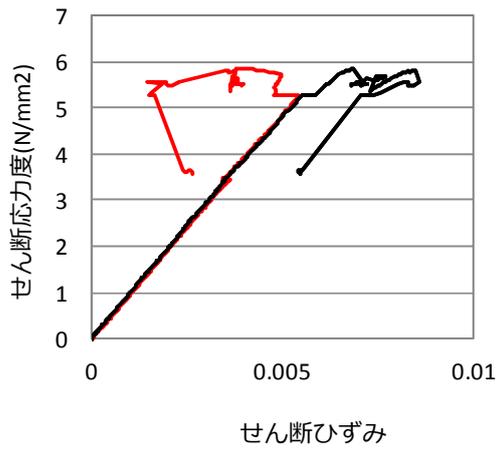
図III-14-(b)MNS-KL90-02 破壊性状



図III-15-(a)MNS-KL90-03 試験結果



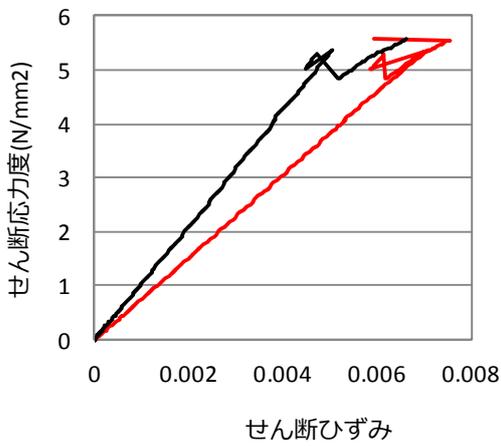
図III-15-(b)MNS-KL90-03 破壊性状



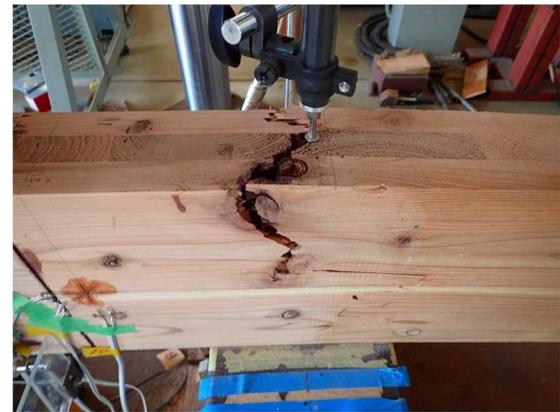
図III-16-(a)MNS-KL90-04 試験結果



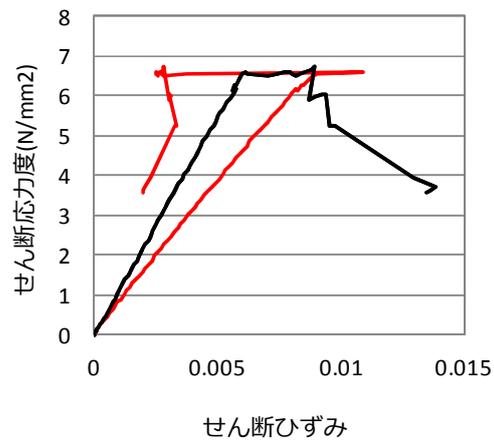
図III-16-(b)MNS-KL90-04 破壊性状



図III-17-(a)MNS-KL90-05 試験結果



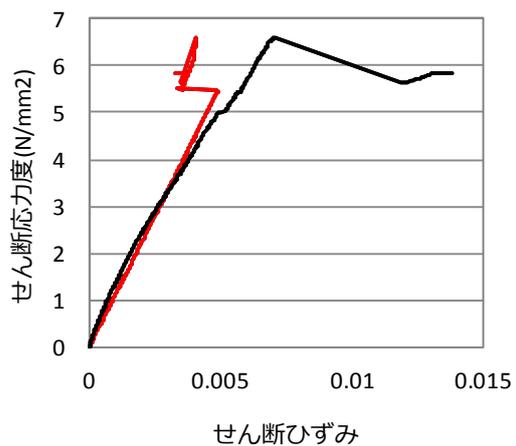
図III-17-(b)MNS-KL90-05 破壊性状



図III-18-(a)MNS-KL90-06 試験結果



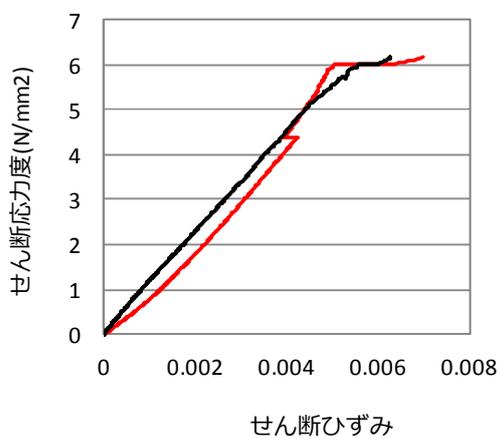
図III-18-(b)MNS-KL90-06 破壊性状



図Ⅲ-19-(a)MNS-JL90-01 試験結果



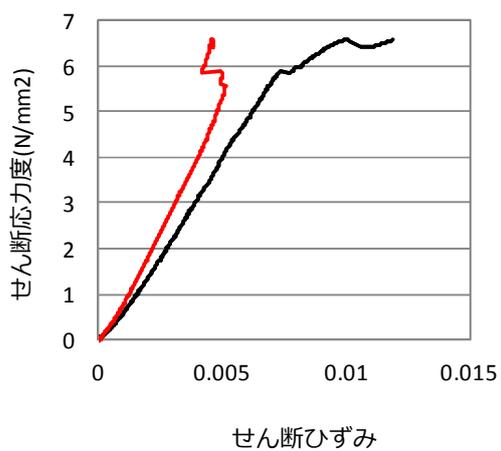
図Ⅲ-19-(b)MNS-JL90-01 破壊性状



図Ⅲ-20-(a)MNS-JL90-02 試験結果



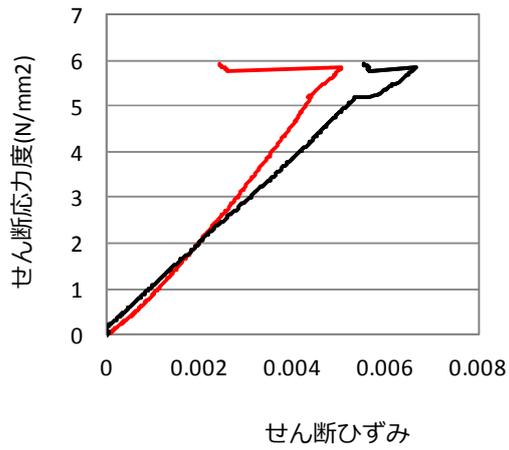
図Ⅲ-20-(b)MNS-JL90-02 破壊性状



図Ⅲ-21-(a)MNS-JL90-03 試験結果



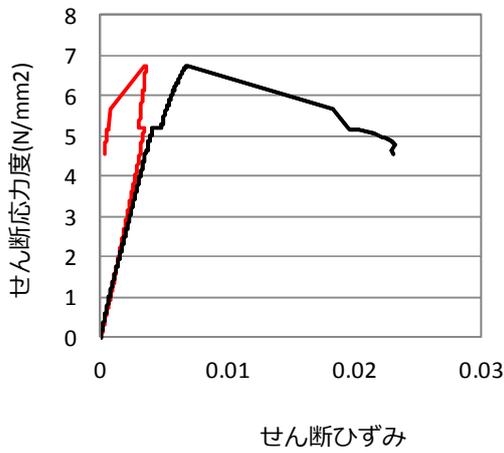
図Ⅲ-21-(b)MNS-JL90-03 破壊性状



図III-22-(a)MNS-JL90-04 試験結果



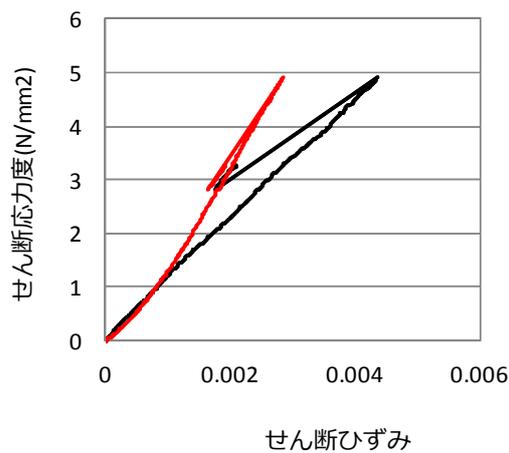
図III-22-(b)MNS-JL90-04 破壊性状



図III-23-(a)MNS-JL90-05 試験結果



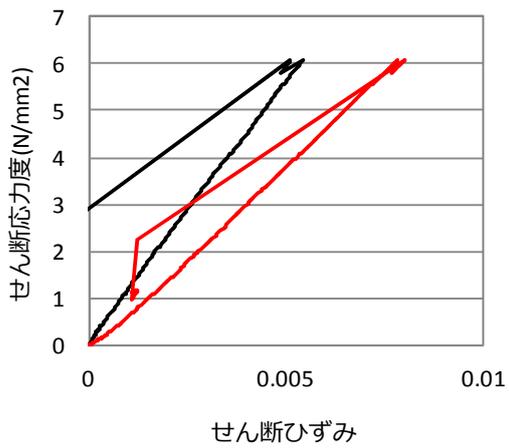
図III-23-(b)MNS-JL90-05 破壊性状



図III-24-(a)MNS-JL90-06 試験結果



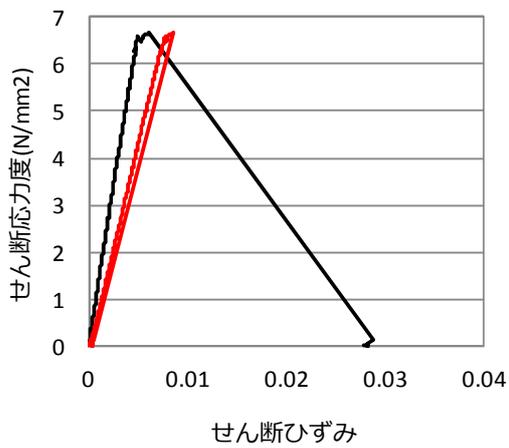
図III-24-(b)MNS-JL90-06 破壊性状



図III-25-(a)MNS-KN150-01 試験結果



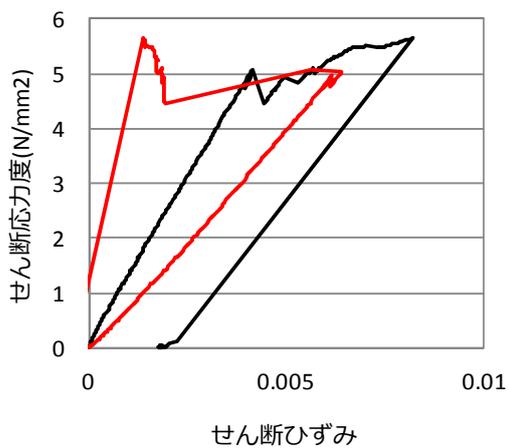
図III-25-(b)MNS-KN150-01 破壊性状



図III-26-(a)MNS-KN150-02 試験結果



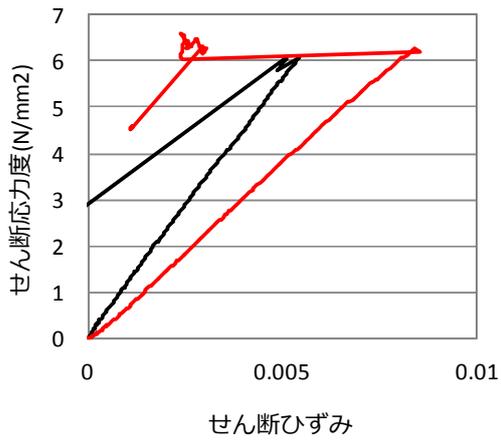
図III-26-(b)MNS-KN150-02 破壊性状



図III-27-(a)MNS-KN150-03 試験結果



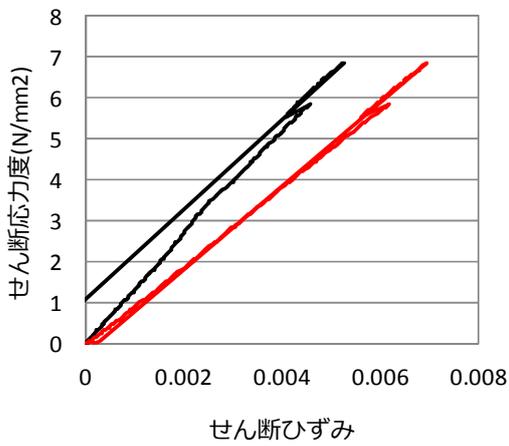
図III-27-(b)MNS-KN150-03 破壊性状



図III-2-(a)MNS-KN150-04 試験結果



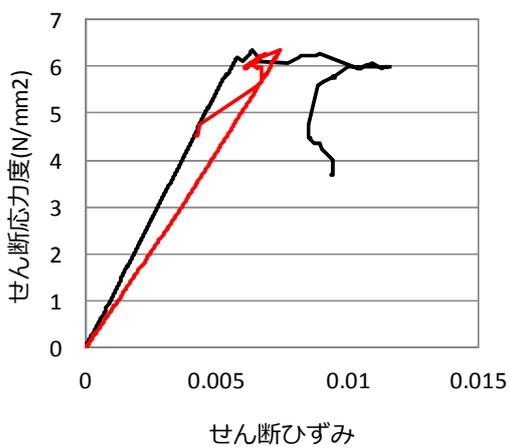
図III-28-(b)MNS-KN150-04 破壊性状



図III-29-(a)MNS-KN150-05 試験結果



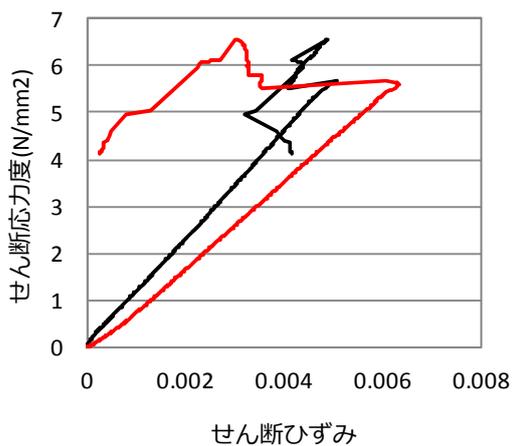
図III-29-(b)MNS-KN150-05 破壊性状



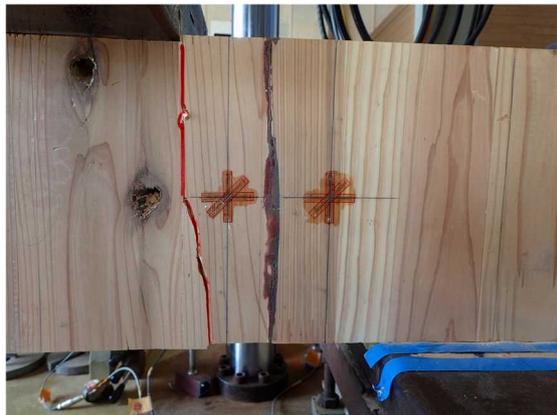
図III-30-(a)MNS-KN150-06 試験結果



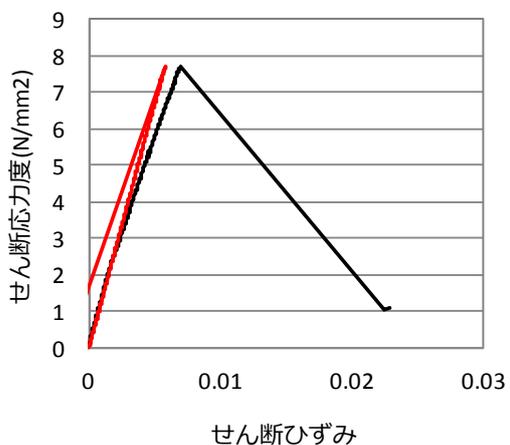
図III-30-(b)MNS-KN150-06 破壊性状



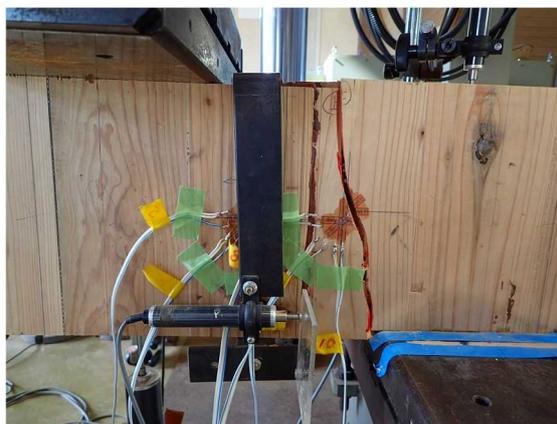
図III-3 1-(a)MNS-JN150-01 試験結果



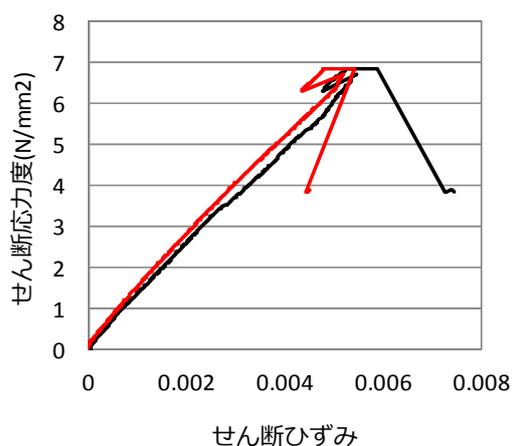
図III-3 1-(b)MNS-JN150-01 破壊性状



図III-3 2-(a)MNS-JN150-02 試験結果



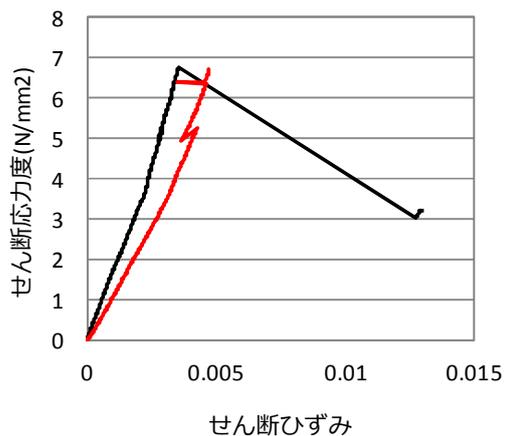
図III-3 2-(b)MNS-JN150-02 破壊性状



図III-3 3-(a)MNS-JN150-03 試験結果



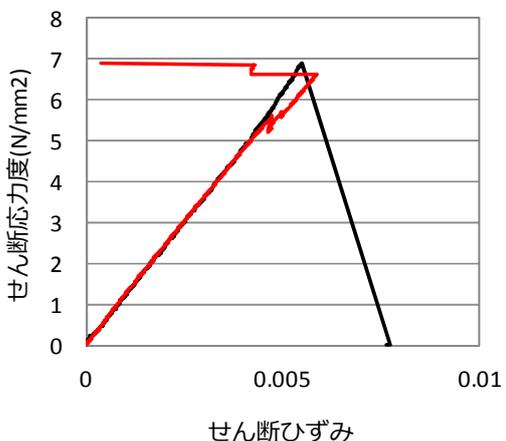
図III-3 3-(b)MNS-JN150-03 破壊性状



図III-34-(a)MNS-JN150-04 試験結果



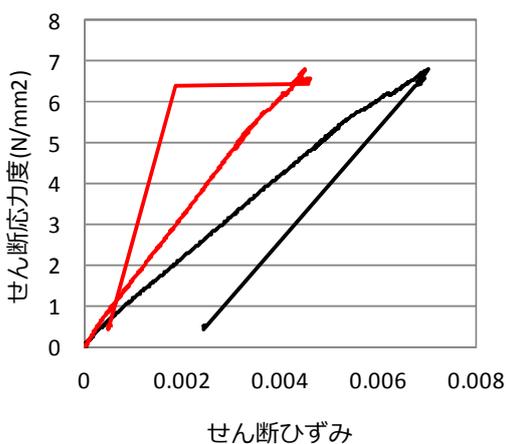
図III-34-(b)MNS-JN150-04 破壊性状



図III-35-(a)MNS-JN150-05 試験結果



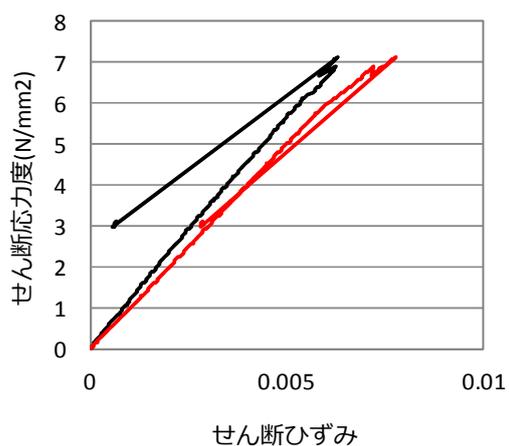
図III-35-(b)MNS-JN150-05 破壊性状



図III-36-(a)MNS-JN150-06 試験結果



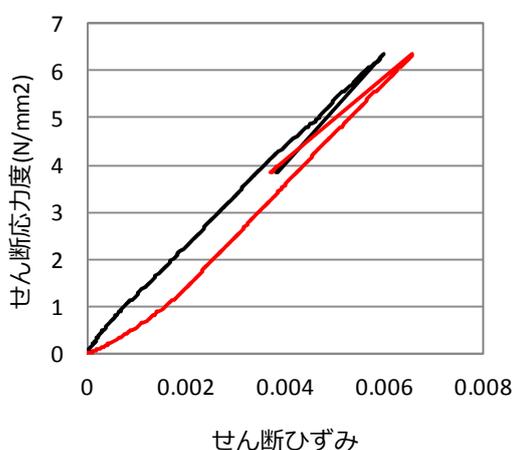
図III-36-(b)MNS-JN150-06 破壊性状



図III-37-(a)MNS-KL150-01 試験結果



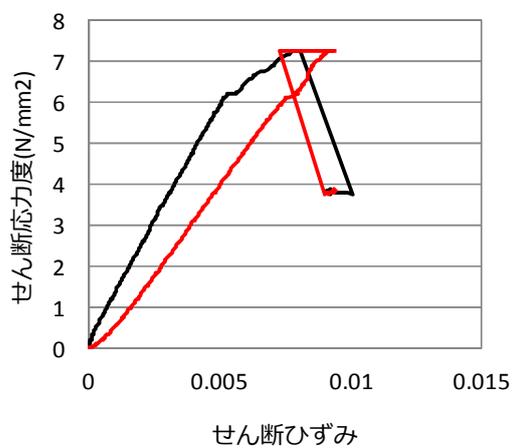
図III-37-(b)MNS-KL150-01 破壊性状



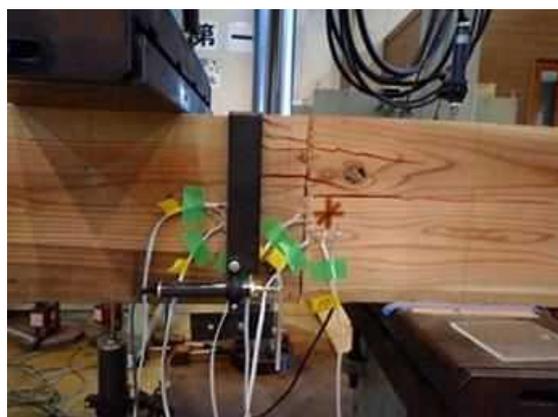
図III-38-(a)MNS-KL150-02 試験結果



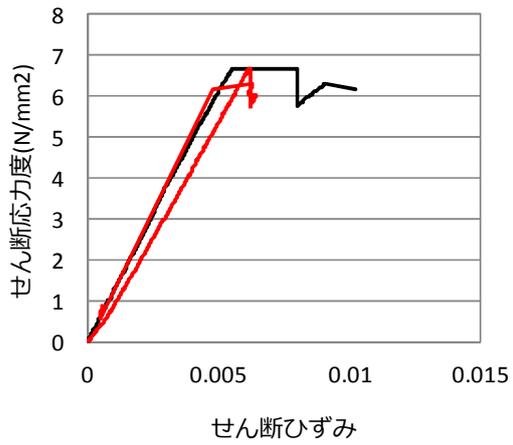
図III-38-(b)MNS-KL150-02 破壊性状



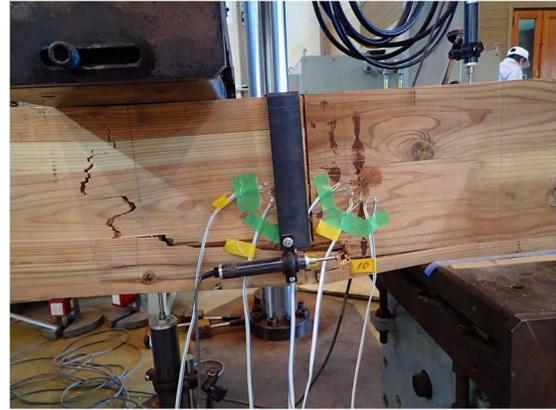
図III-39-(a)MNS-KL150-03 試験結果



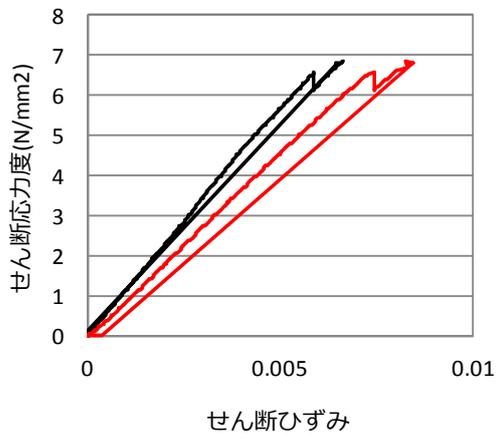
図III-39-(b)MNS-KL150-03 破壊性状



図III-40-(a)MNS-KL150-04 試験結果



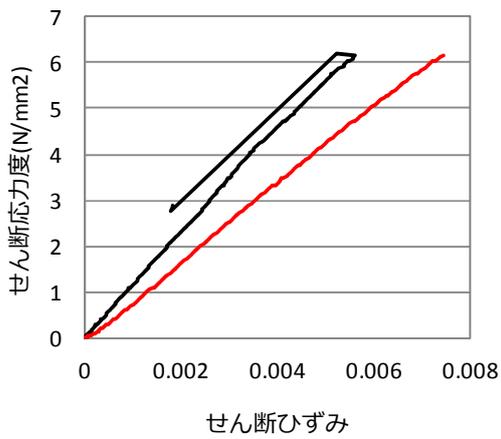
図III-40-(b)MNS-KL150-04 破壊性状



図III-41-(a)MNS-KL150-05 試験結果



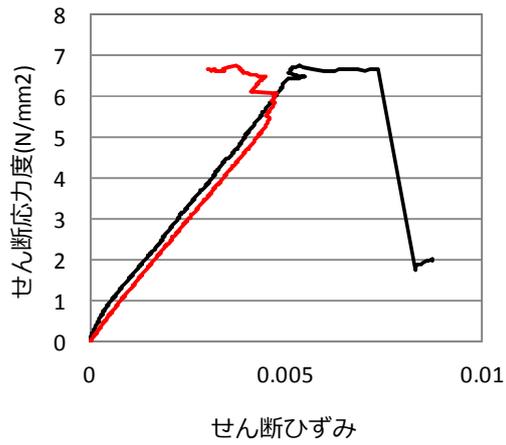
図III-41-(b)MNS-KL150-05 破壊性状



図III-42-(a)MNS-KL150-06 試験結果



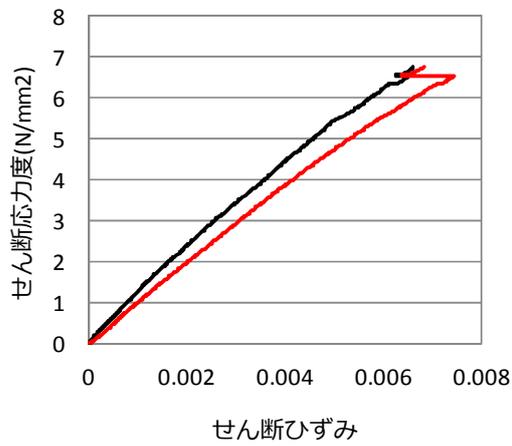
図III-42-(b)MNS-KL150-06 破壊性状



図III-43-(a)MNS-JL150-01 試験結果



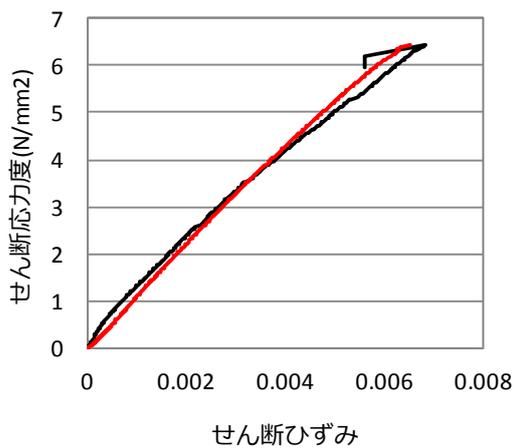
図III-43-(b)MNS-JL150-01 破壊性状



図III-44-(a)MNS-JL150-02 試験結果



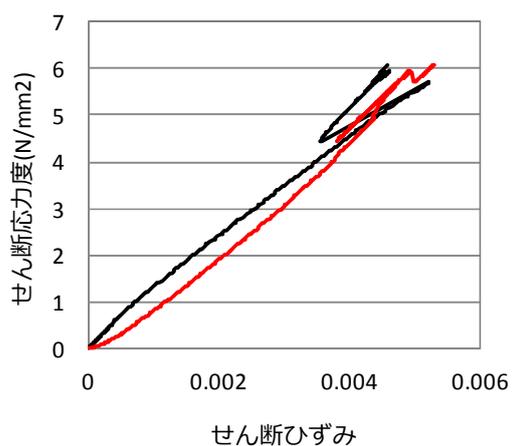
図III-44-(b)MNS-JL150-02 破壊性状



図III-45-(a)MNS-JL150-03 試験結果



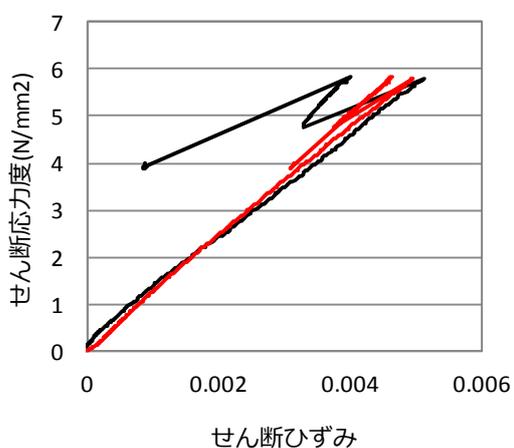
図III-45-(b)MNS-JL150-03 破壊性状



図III-46-(a)MNS-JL150-04 試験結果



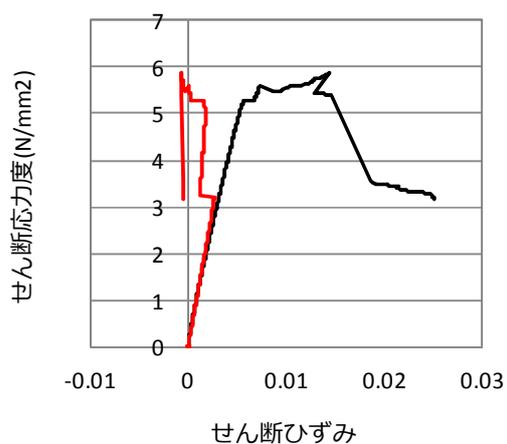
図III-46-(b)MNS-JL150-04 破壊性状



図III-47-(a)MNS-JL150-05 試験結果



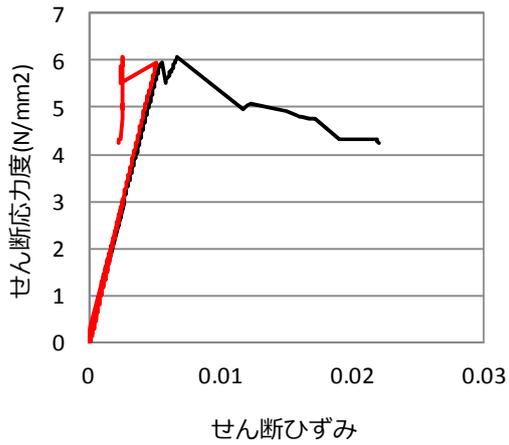
図III-47-(b)MNS-JL150-05 破壊性状



図III-48-(a)MNS-JL150-06 試験結果



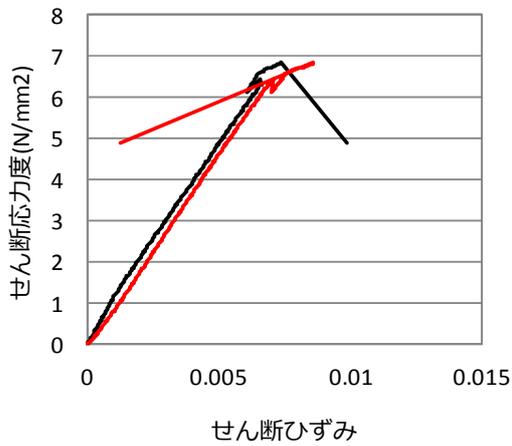
図III-48-(b)MNS-JL150-06 破壊性状



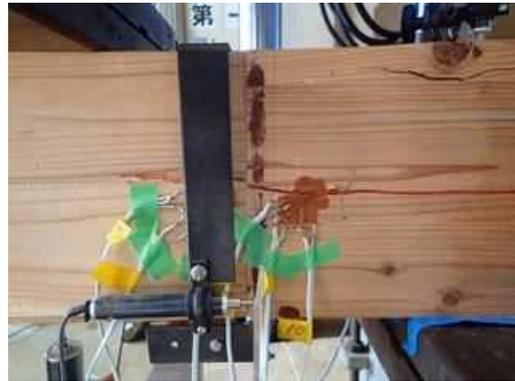
図III-49-(a)MNS-KN210-01 試験結果



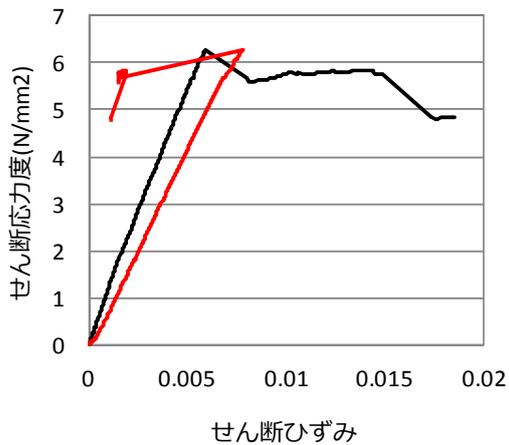
図III-49-(b)MNS-KN210-01 破壊性状



図III-50-(a)MNS-KN210-02 試験結果



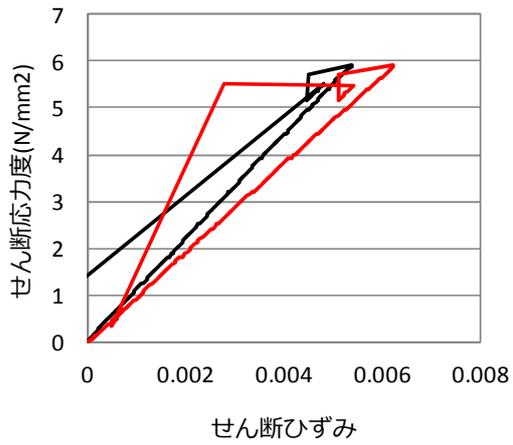
図III-50-(b)MNS-KN210-02 破壊性状



図III-51-(a)MNS-KN210-03 試験結果



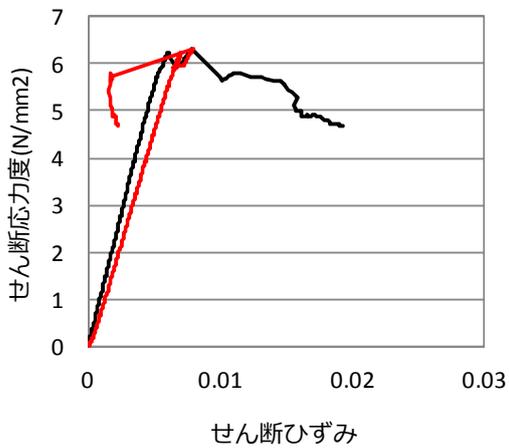
図III-51-(b)MNS-KN210-03 破壊性状



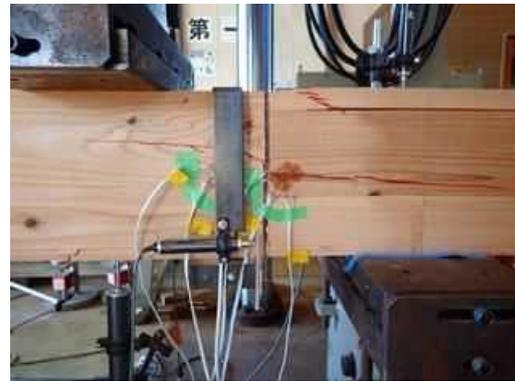
図III-5 2-(a)MNS-KN210-04 試験結果



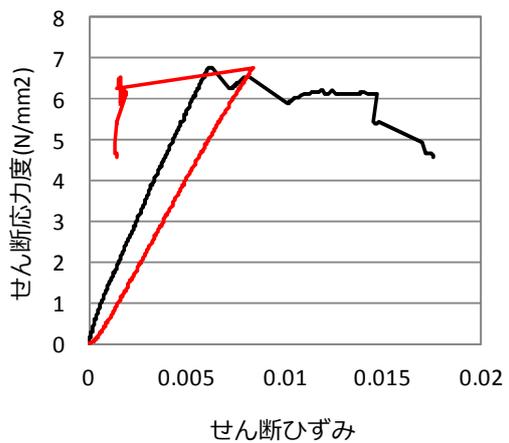
図III-5 2-(b)MNS-KN210-04 破壊性状



図III-5 3-(a)MNS-KN210-05 試験結果



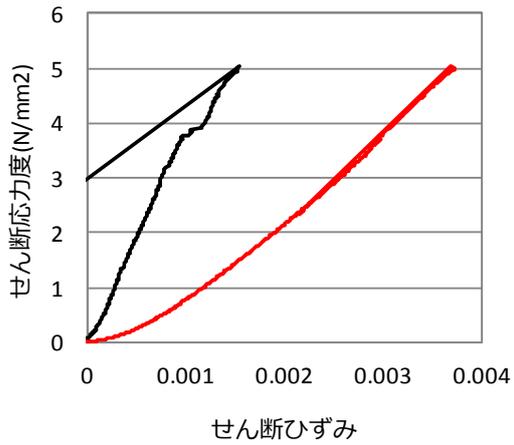
図III-5 3-(b)MNS-KN210-05 破壊性状



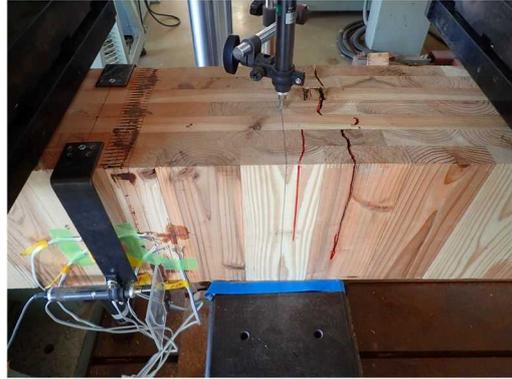
図III-5 4-(a)MNS-KN210-06 試験結果



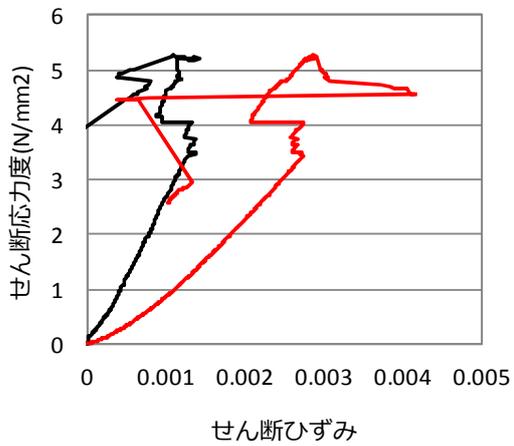
図III-5 4-(b)MNS-KN210-06 破壊性状



図III-55-(a)MNS-JN210-01 試験結果



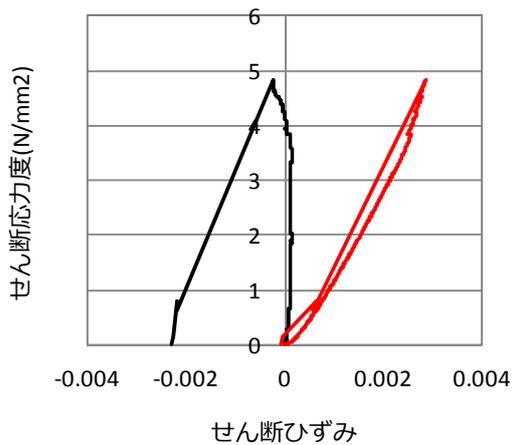
図III-55-(b)MNS-JN210-01 破壊性状



図III-56-(a)MNS-JN210-02 試験結果



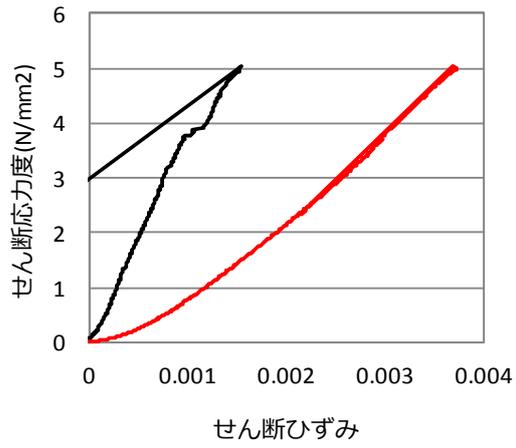
図III-56-(b)MNS-JN210-02 破壊性状



図III-57-(a)MNS-JN210-03 試験結果



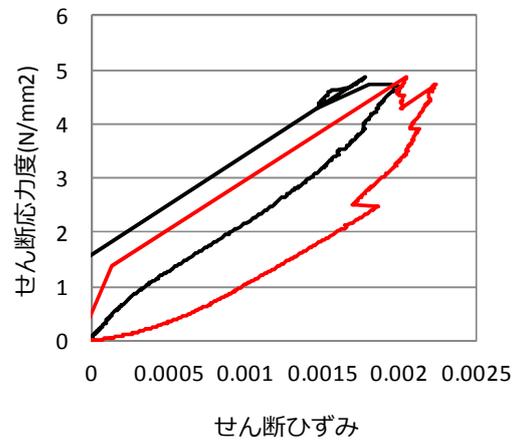
図III-57-(b)MNS-JN210-03 破壊性状



図III-58-(a)MNS-JN210-04 試験結果



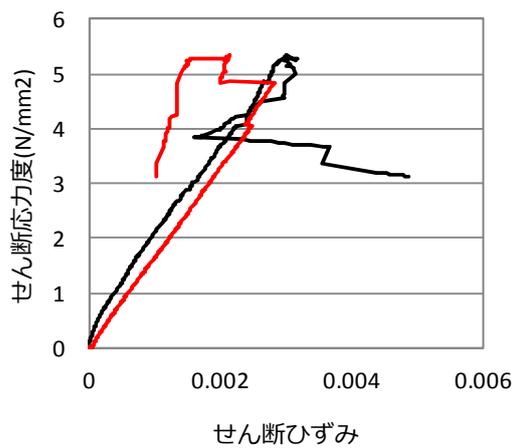
図III-58-(b)MNS-JN210-04 破壊性状



図III-59-(a)MNS-JN210-05 試験結果



図III-59-(b)MNS-JN210-05 破壊性状



図III-60-(a)MNS-JN210-06 試験結果



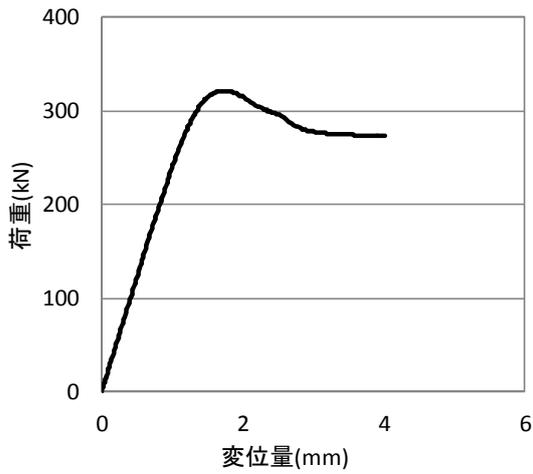
図III-60-(b)MNS-JN210-06 破壊性状

付録－IV

以下に

第 5 章 フィンガージョイントで接合された CLT パネル同士の縦圧縮試験

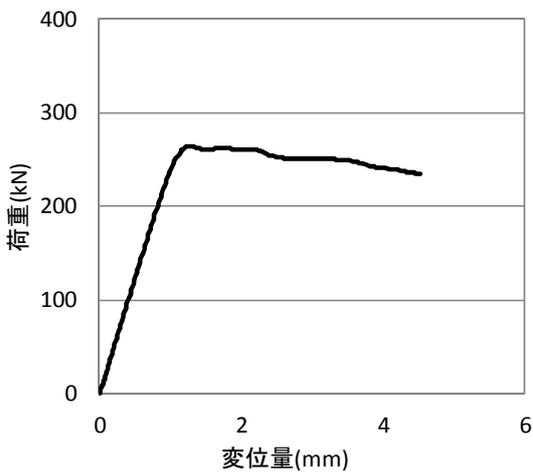
で測定された全試験体の荷重－変位の関係とそれぞれの試験体における終局状況を示す。



図IV. 1-(a) CNK90-01 試験結果



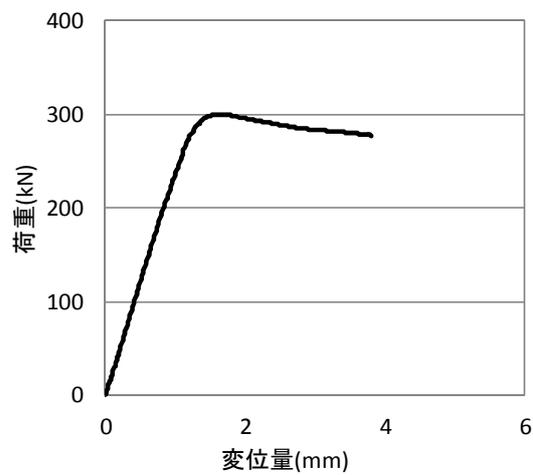
図IV. 1-(b) CNK90-01 破壊性状



図IV. 2-(a) CNK90-02 試験結果



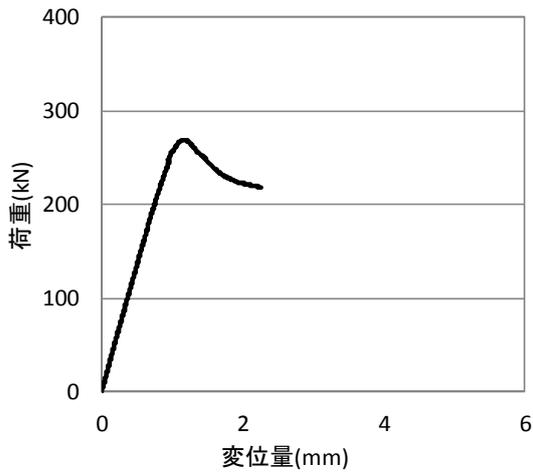
図IV. 2-(b) CNK90-02 破壊性状



図IV. 3-(a) CNK90-03 試験結果



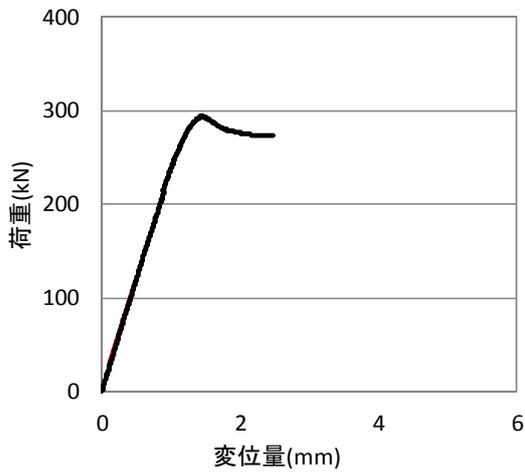
図IV. 3-(b) CNK90-03 破壊性状



図IV. 4-(a) CNK90-04 試験結果



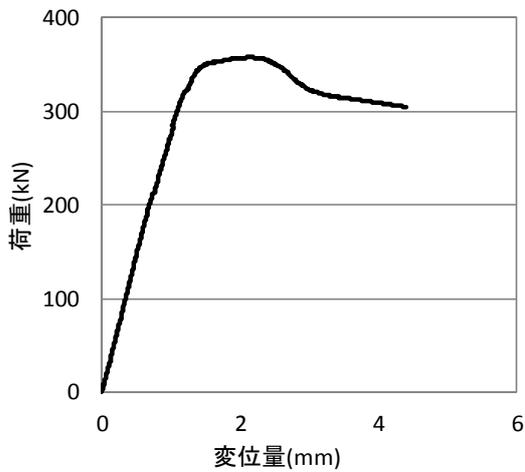
図IV. 4-(b) CNK90-04 破壊性状



図IV. 5-(a) CNK90-05 試験結果



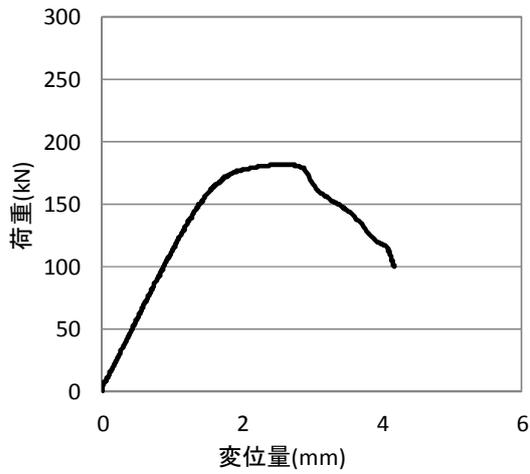
図IV. 5-(b) CNK90-05 破壊性状



図IV. 6-(a) CNK90-06 試験結果



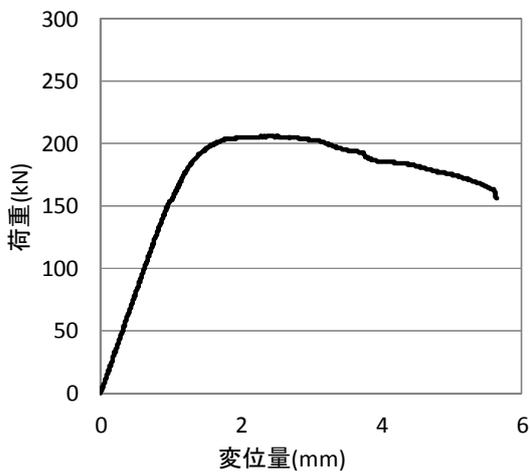
図IV. 6-(b) CNK90-06 破壊性状



図IV. 7-(a) CNJ90-01 試験結果



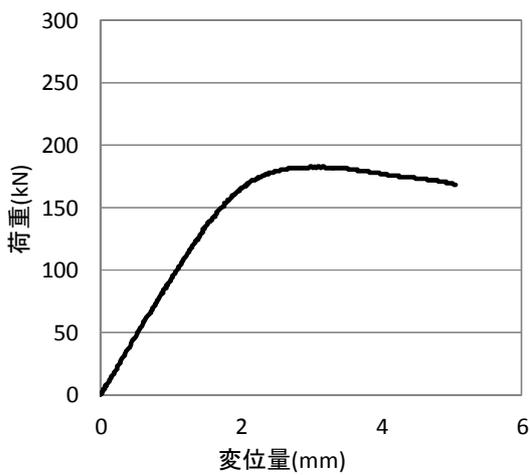
図IV. 7-(b) CNJ90-01 破壊性状



図IV. 8-(a) CNJ90-02 試験結果



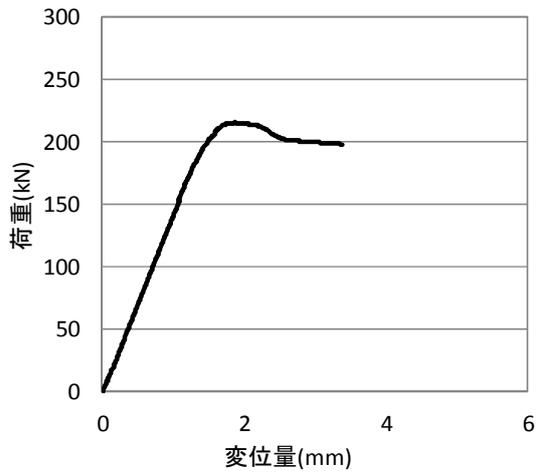
図IV. 8-(b) CNJ90-02 破壊性状



図IV. 9-(a) CNJ90-03 試験結果



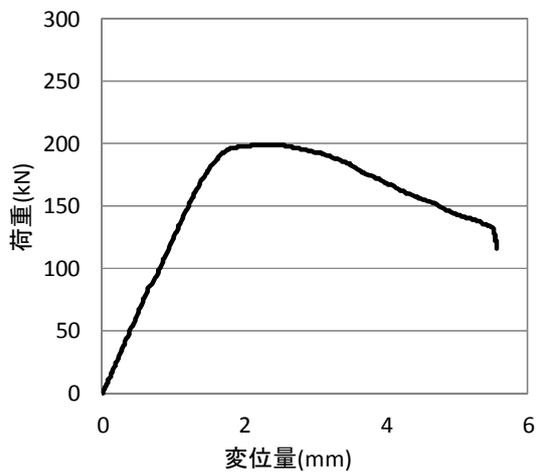
図IV. 9-(b) CNJ90-03 破壊性状



図IV. 10-(a) CNJ90-04 試験結果



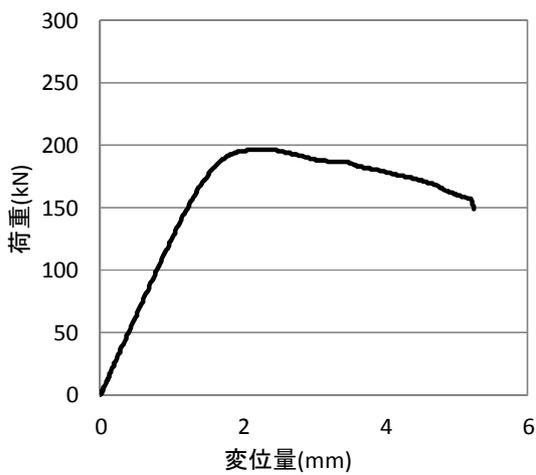
図IV. 10-(b) CNJ90-04 破壊性状



図IV. 11-(a) CNJ90-05 試験結果



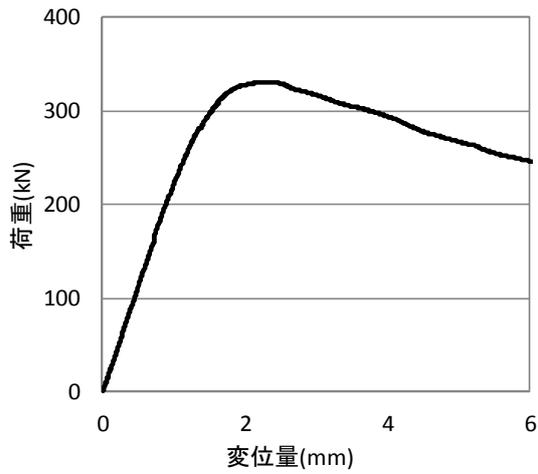
図IV. 11-(b) CNJ90-05 破壊性状



図IV. 12-(a) CNJ90-06 試験結果



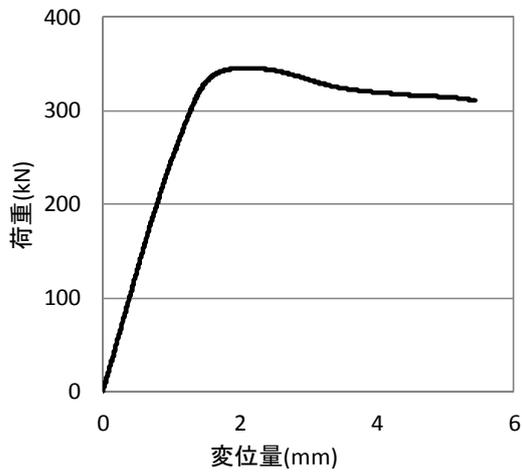
図IV. 12-(b) CNJ90-06 破壊性状



図IV. 1 3-(a) CLK90-01 試験結果



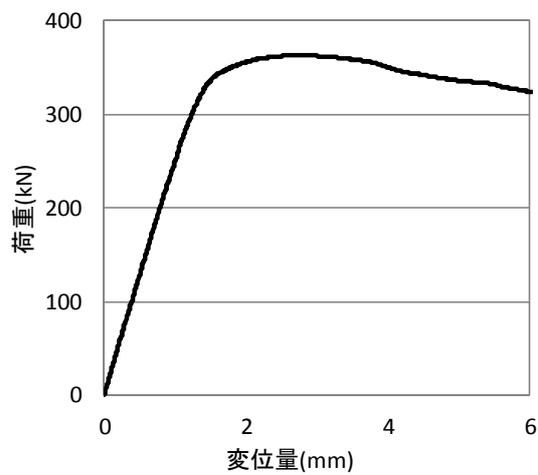
図IV. 1 3-(b) CLK90-01 破壊性状



図IV. 1 4-(a) CLK90-02 試験結果



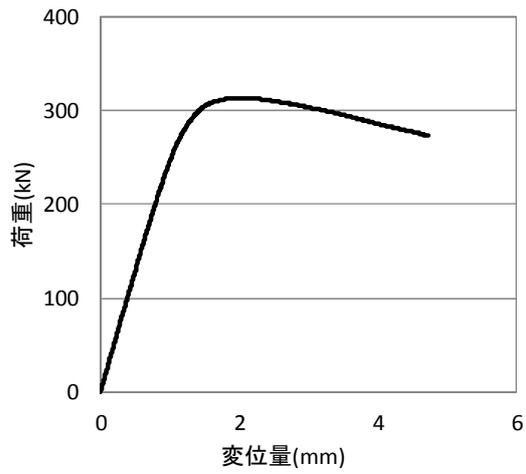
図IV. 1 4-(b) CLK90-02 破壊性状



図IV. 1 5(a) CLK90-03 試験結果



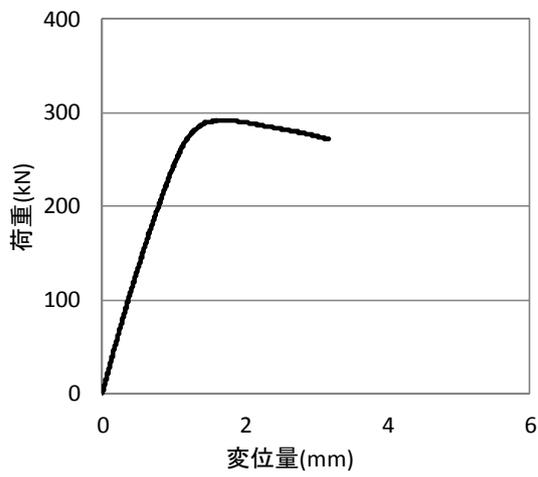
図IV. 1 5-(b) CLK90-03 破壊性状



図IV. 1 6 -(a) CLK90-04 試験結果



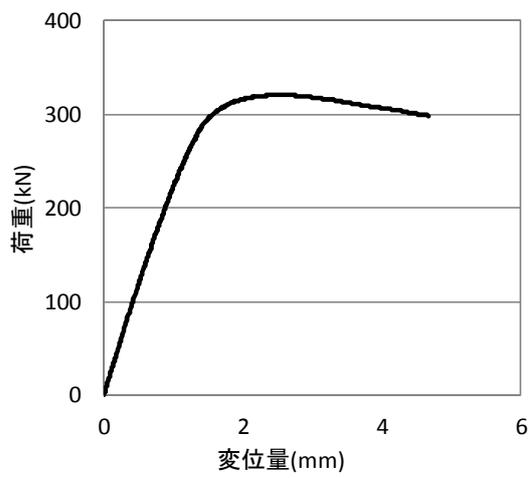
図IV. 1 6 -(b) CLK90-04 破壊性状



図IV. 1 7 -(a) CLK90-05 試験結果



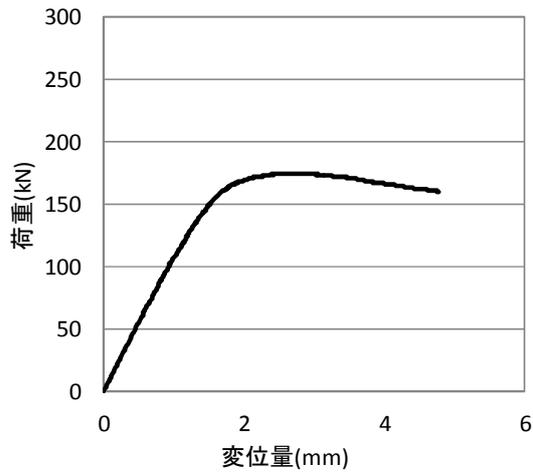
図IV. 1 7 -(b) CLK90-05 破壊性状



図IV. 1 8 -(a) CLK90-06 試験結果



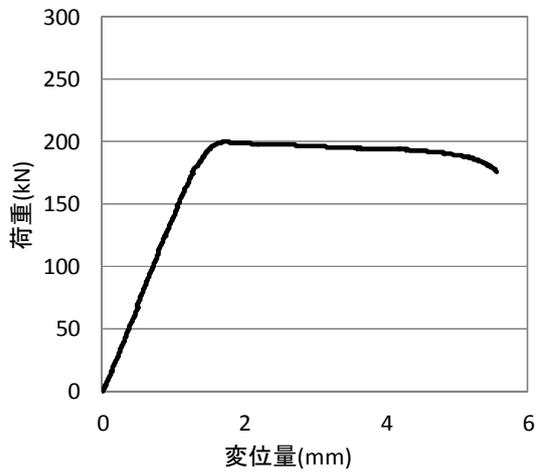
図IV. 1 8 -(b) CLK90-06 破壊性状



図IV. 19-(a) CLJ90-01 試験結果



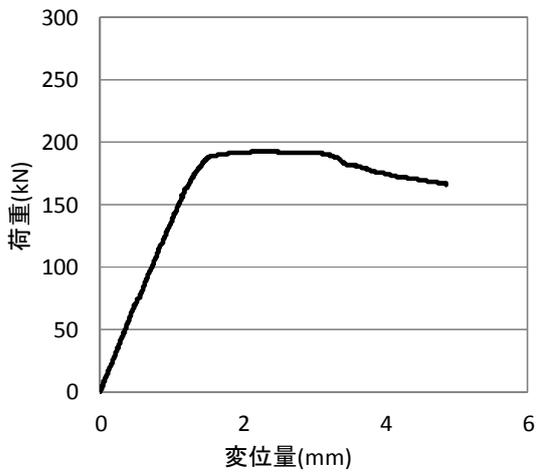
図IV. 19-(b) CLJ90-01 破壊性状



図IV. 20-(a) CLJ90-02 試験結果



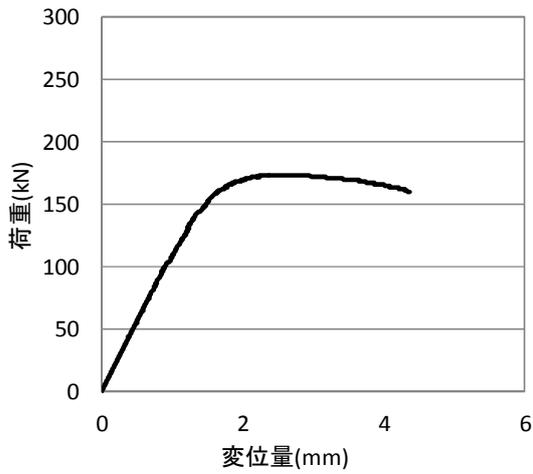
図IV. 20-(b) CLJ90-02 破壊性状



図IV. 21-(a) CLJ90-03 試験結果



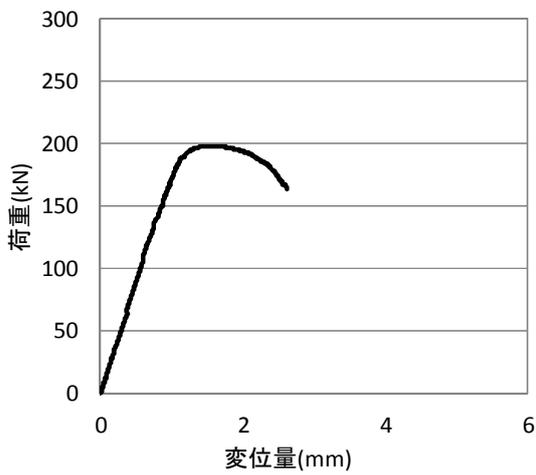
図IV. 21-(b) CLJ90-03 破壊性状



図IV. 2 2-(a) CLJ90-04 試験結果



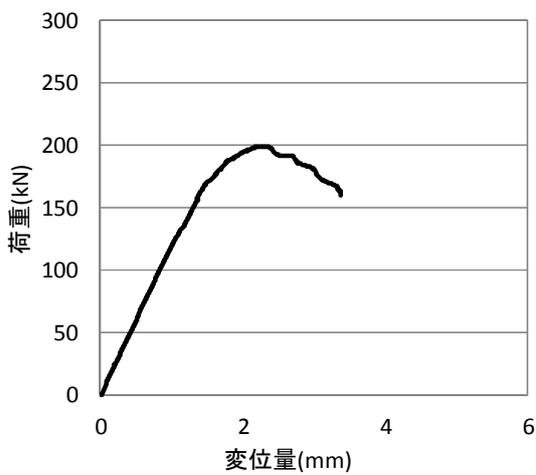
図IV. 2 2-(b) CLJ90-04 破壊性状



図IV. 2 3-(a) CLJ90-05 試験結果



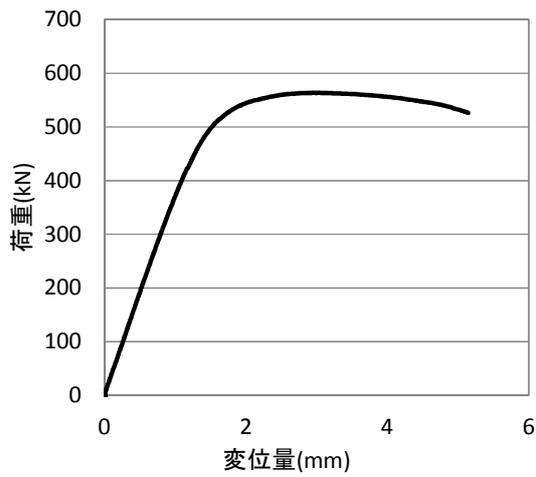
図IV. 2 3-(b) CLJ90-05 破壊性状



図IV. 2 4-(a) CLJ90-06 試験結果



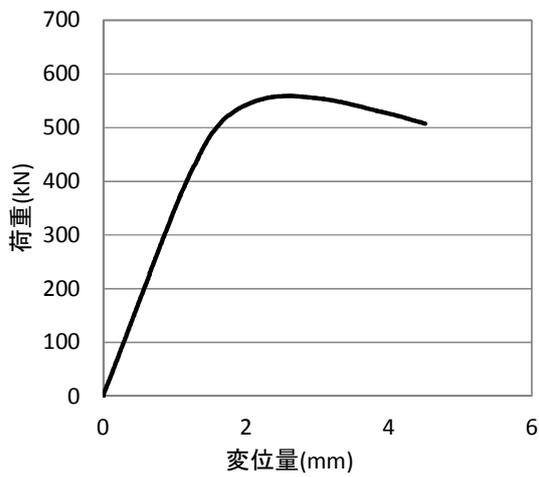
図IV. 2 4-(b) CLJ90-06 破壊性状



図IV. 2 5-(a) CNK150-01 試験結果



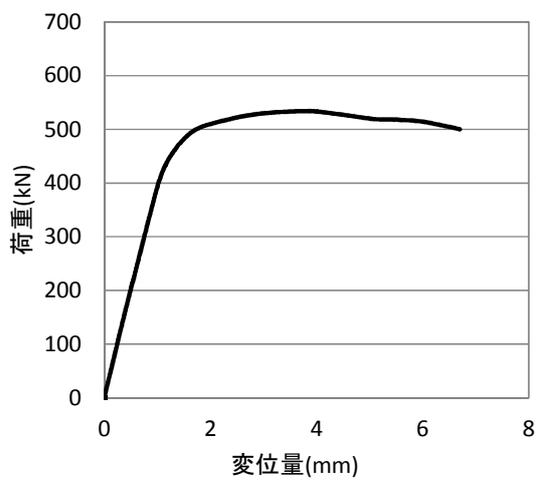
図IV. 2 5-(b) CNK150-01 破壊性状



図IV. 2 6-(a) CNK150-02 試験結果



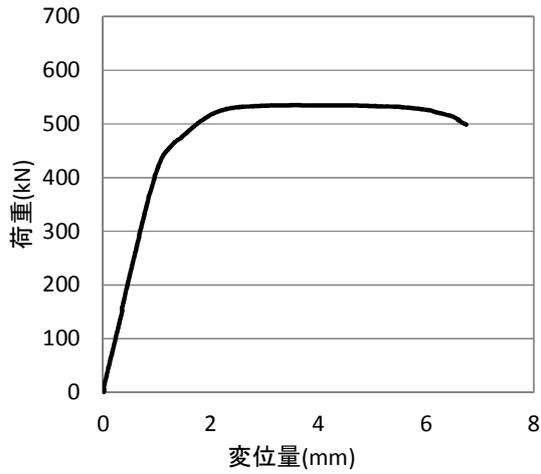
図IV. 2 6-(b) CNK150-02 破壊性状



図IV. 2 7-(a) CNK150-03 試験結果



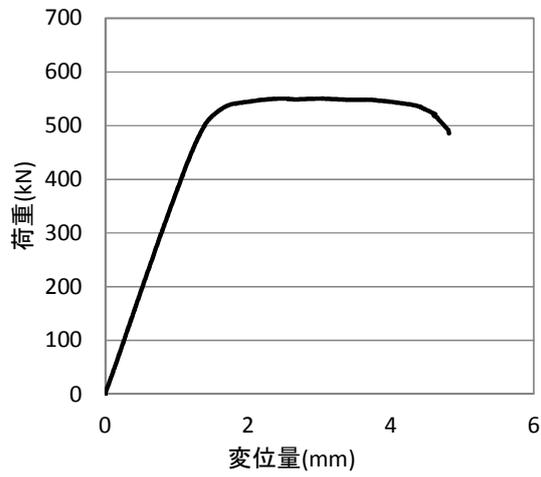
図IV. 2 7-(b) CNK150-03 破壊性状



図IV. 2 8-(a) CNK150-04 試験結果



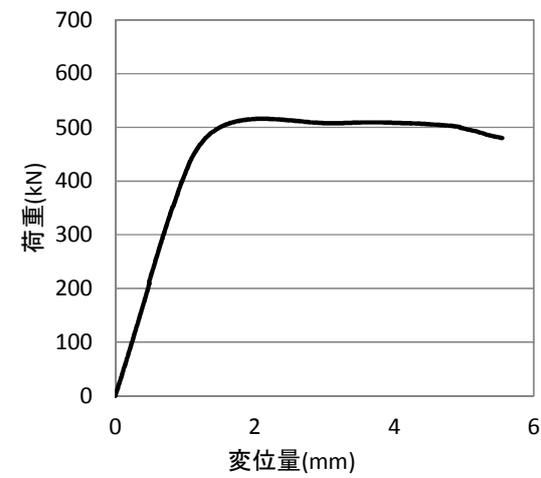
図IV. 2 8-(b) CNK150-04 破壊性状



図IV. 2 9-(a) CNK150-05 試験結果



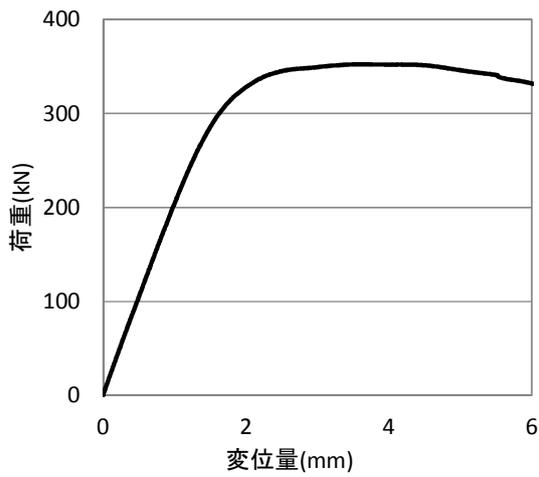
図IV. 2 9-(b) CNK150-05 破壊性状



図IV. 3 0-(a) CNK150-06 試験結果



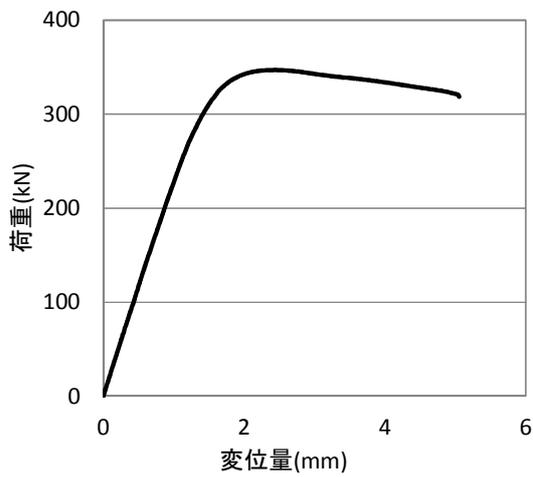
図IV. 3 0-(b) CNK150-06 破壊性状



図IV. 3 1-(a) CNJ150-01 試験結果



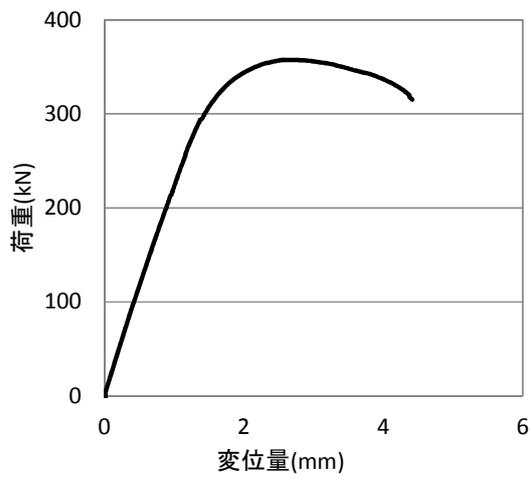
図IV. 3 1-(b) CNJ150-01 破壊性状



図IV. 3 2-(a) CNJ150-02 試験結果



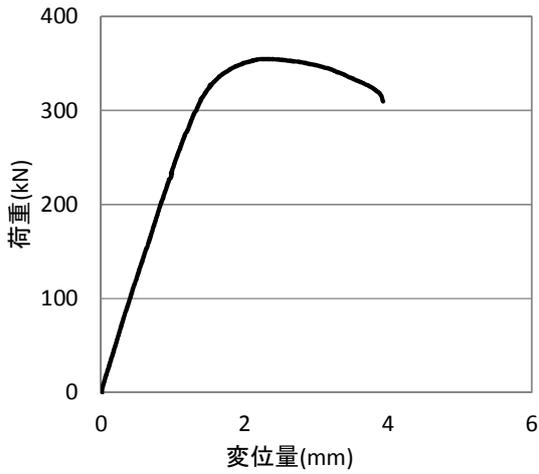
図IV. 3 2-(b) CNJ150-02 破壊性状



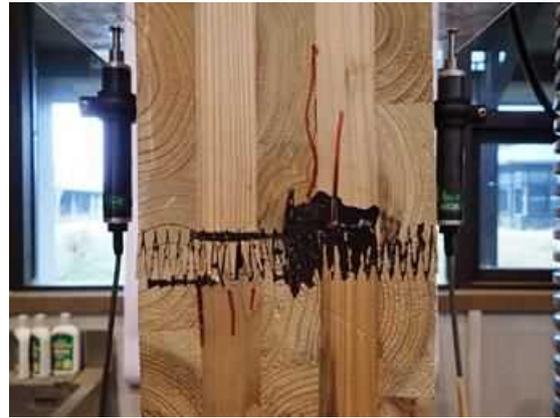
図IV. 3 3-(a) CNJ150-03 試験結果



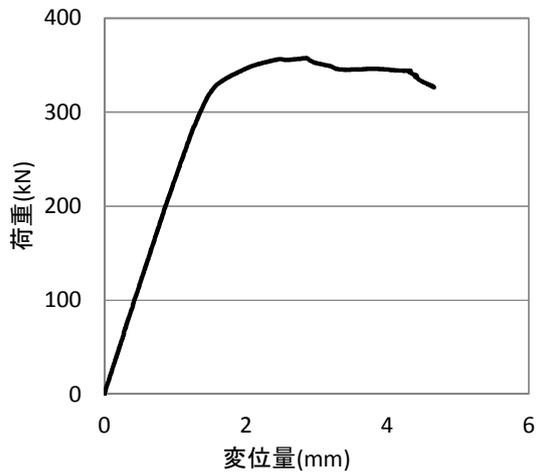
図IV. 3 3-(b) CNJ150-03 破壊性状



図IV. 3 4-(a) CNJ150-04 試験結果



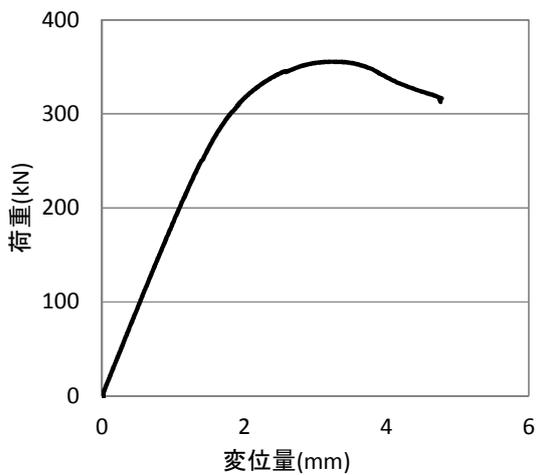
図IV. 3 4-(b) CNJ150-04 破壊性状



図IV. 3 5-(a) CNJ150-05 試験結果



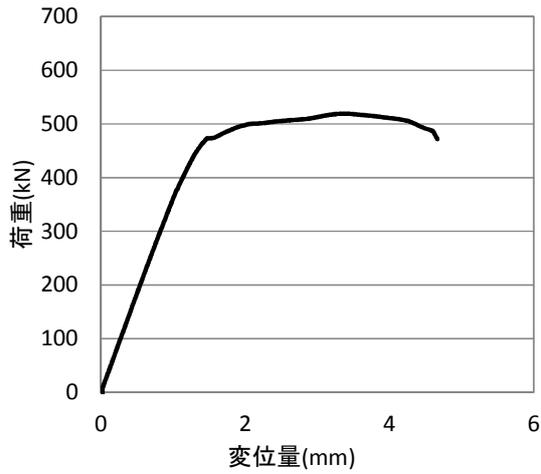
図IV. 3 5-(b) CNJ150-05 破壊性状



図IV. 3 6-(a) CNJ150-06 試験結果



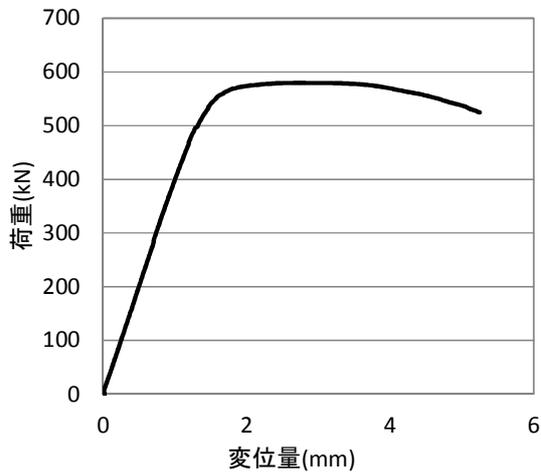
図IV. 3 6-(b) CNJ150-06 破壊性状



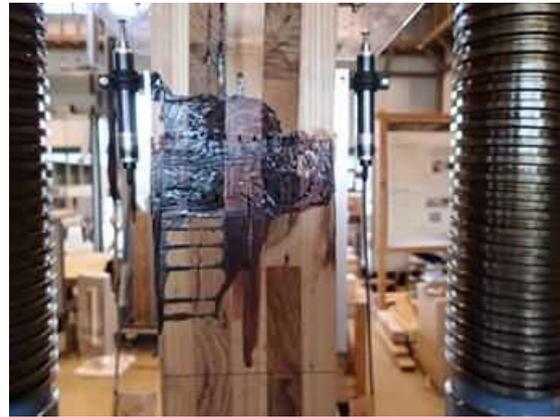
図IV. 3 7-(a) CLK150-01 試験結果



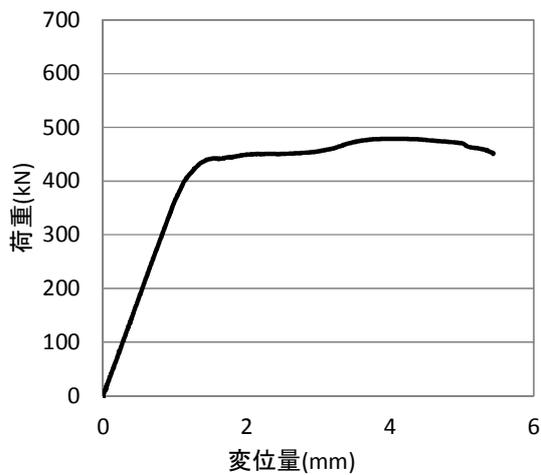
図IV. 3 7-(b) CLK150-01 破壊性状



図IV. 3 8-(a) CLK150-02 試験結果



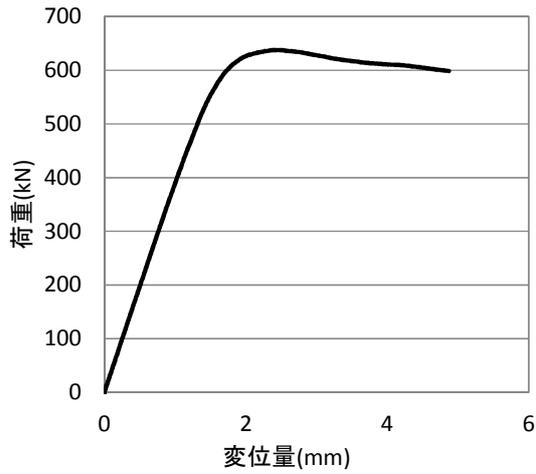
図IV. 3 8-(b) CLK150-02 破壊性状



図IV. 3 9-(a) CLK150-03 試験結果



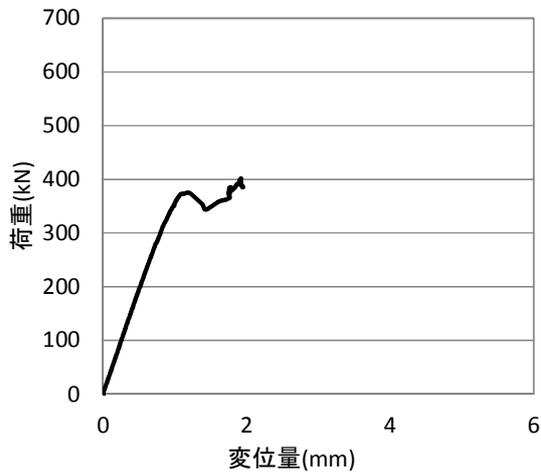
図IV. 3 9-(b) CLK150-03 破壊性状



図IV. 4 0-(a) CLK150-04 試験結果



図IV. 4 0-(b) CLK150-04 破壊性状



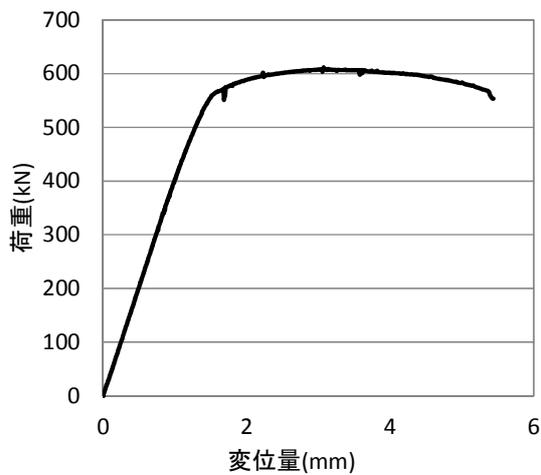
図IV. 4 1-(a) CLK150-05 試験結果



図IV. 4 1-(b) CLK150-05 破壊性状

(最外層が割裂による剥離破壊)

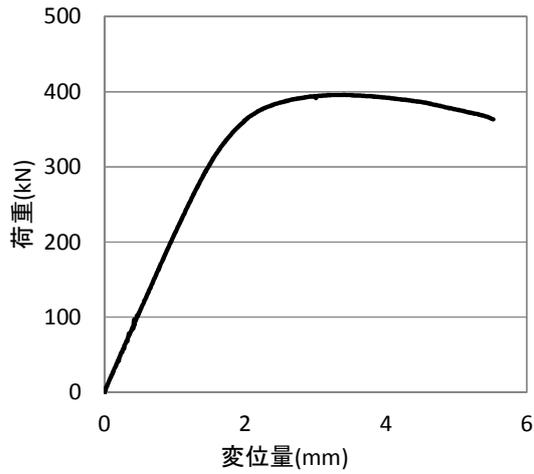
*変形測定は加力途中で修了



図IV. 4 2-(a) CLK150-06 試験結果



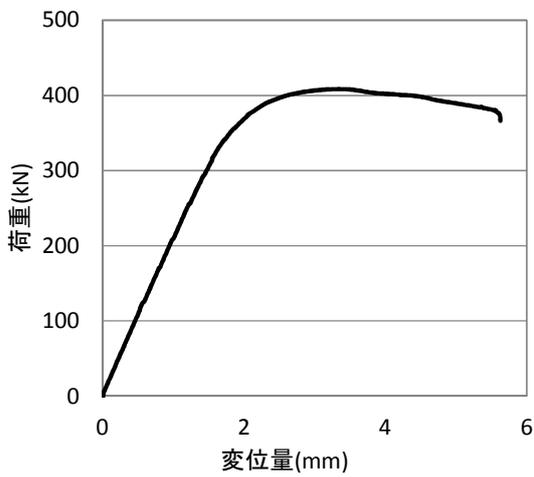
図IV. 4 2-(b) CLK150-06 破壊性状



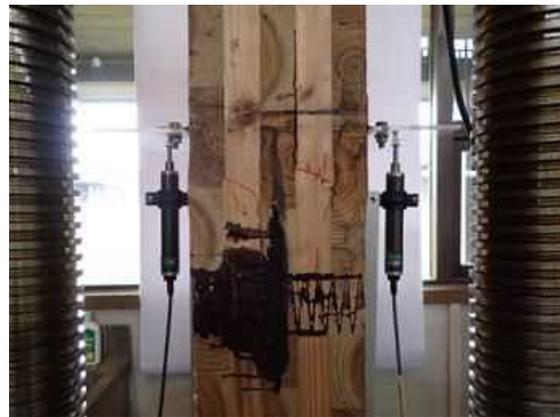
図IV. 4 3-(a) CLJ150-01 試験結果



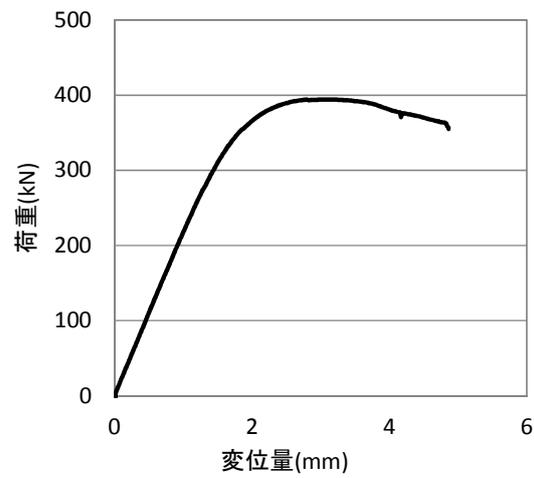
図IV 4 3-(b) CLJ150-01 破壊性状



図IV. 4 4-(a) CLJ150-02 試験結果



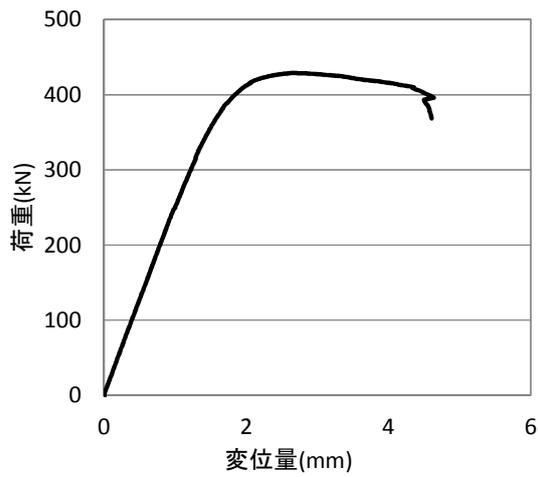
図IV. 4 4-(b) CLJ150-02 破壊性状



図IV. 4 5-(a) CLJ150-03 試験結果



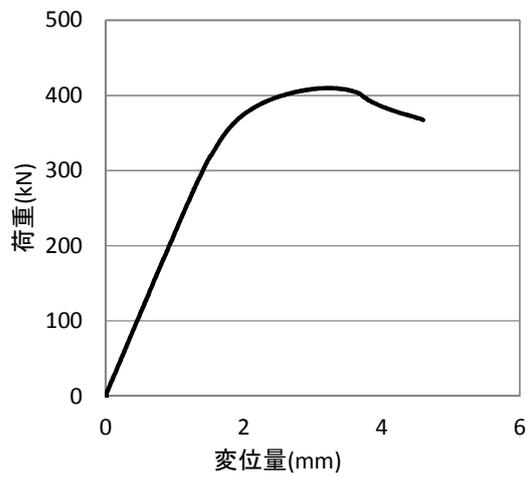
図IV. 4 5-(b) CLJ150-03 破壊性状



図IV. 4 6-(a) CLJ150-04 試験結果



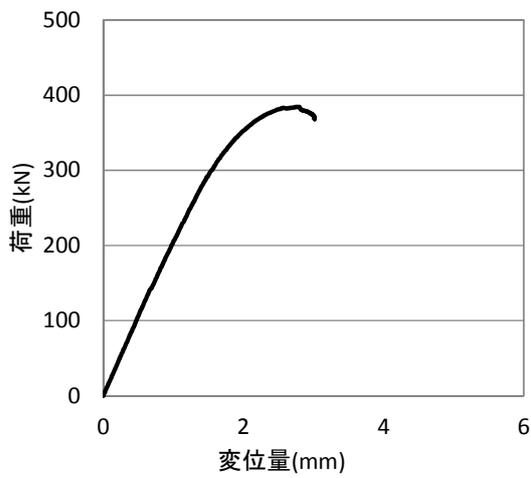
図IV. 4 6-(b) CLJ150-04 破壊性状



図IV. 4 7(a) CLJ150-05 試験結果



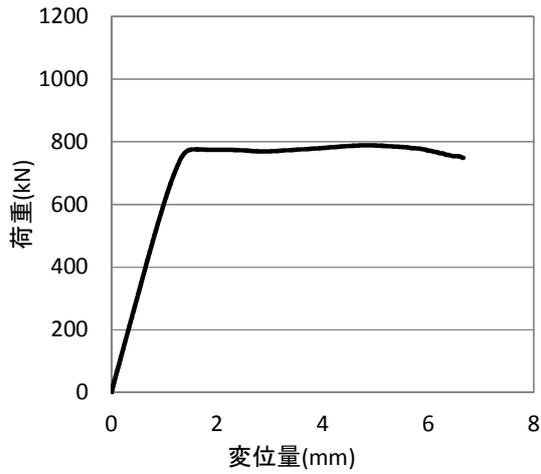
図IV. 4 7-(b) CLJ150-05 破壊性状



図IV. 4 8-(a) CLJ150-06 試験結果



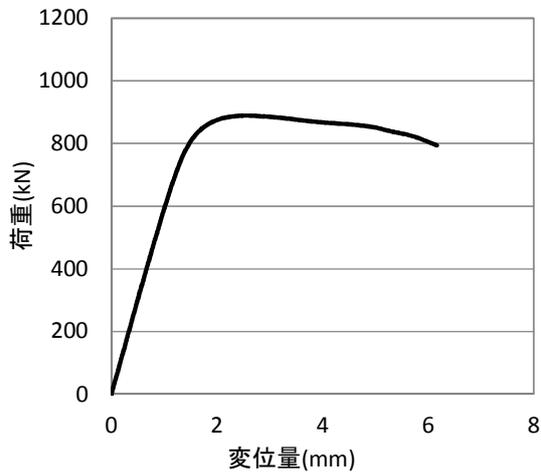
図IV. 4 8-(b) CLJ150-06 破壊性状



図IV. 49-(a) CNK210-01 試験結果



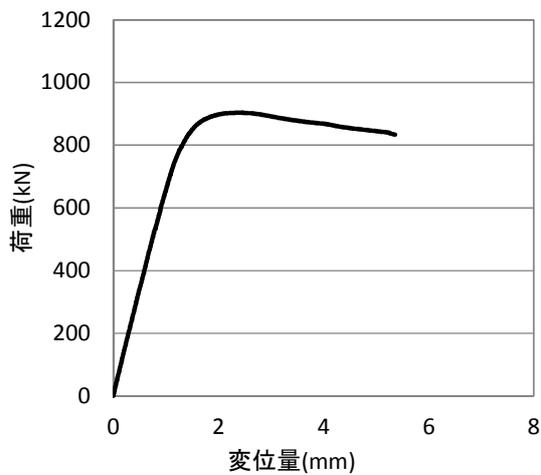
図IV. 49-(b) CNK210-01 破壊性状



図IV. 50-(a) CNK210-02 試験結果



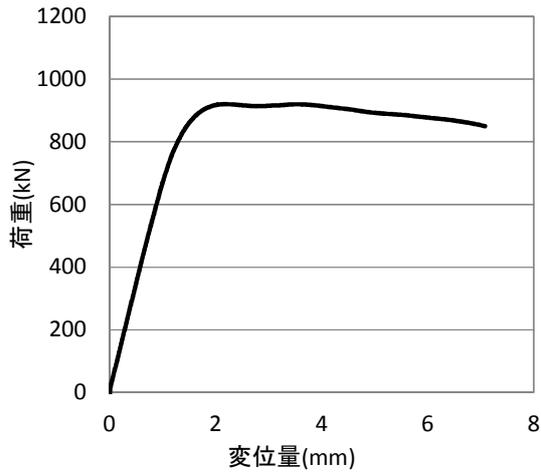
図IV. 50-(b) CNK210-02 破壊性状



図IV. 51-(a) CNK210-03 試験結果



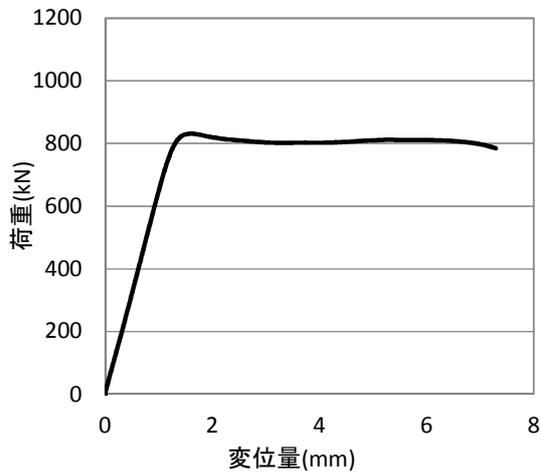
図IV. 51-(b) CNK210-03 破壊性状



図IV. 5 2-(a) CNK210-04 試験結果



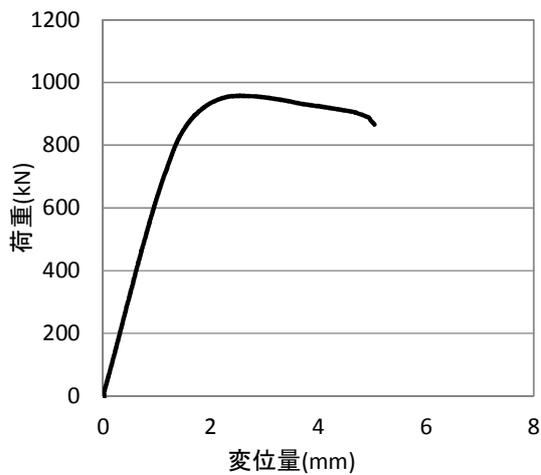
図IV. 5 2-(b) CNK210-04 破壊性状



図IV. 5 3-(a) CNK210-05 試験結果



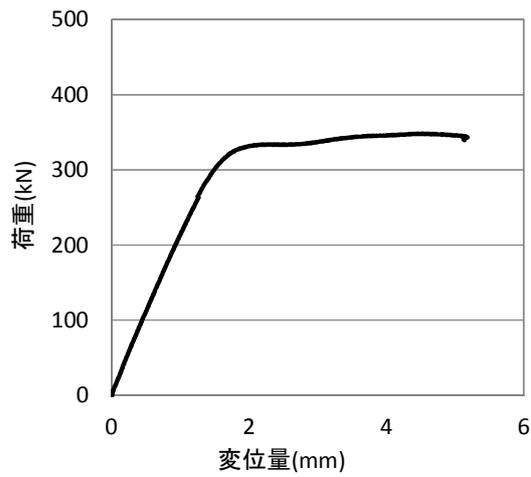
図IV. 5 3-(b) CNK210-05 破壊性状



図IV. 5 4-(a) CNK210-06 試験結果



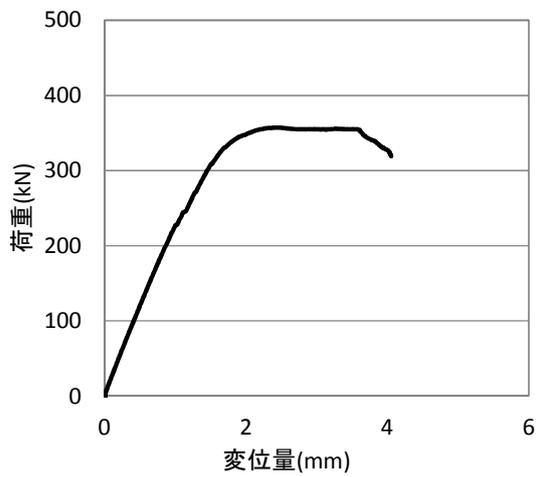
図IV. 5 4-(b) CNK210-06 破壊性状



図IV. 5 5-(a) CNJ210-01 試験結果



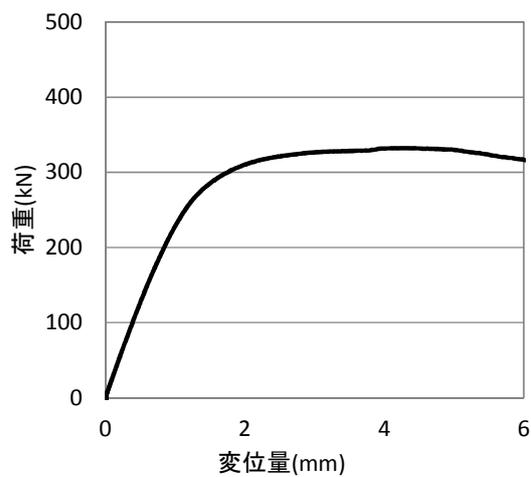
図IV. 5 5 (b) CNJ210-01 破壊性状



図IV. 5 6-(a) CNJ210-02 試験結果



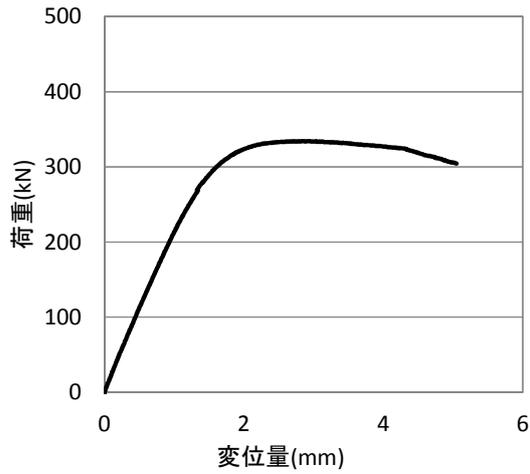
図IV. 5 6 -(b) CNJ210-02 破壊性状



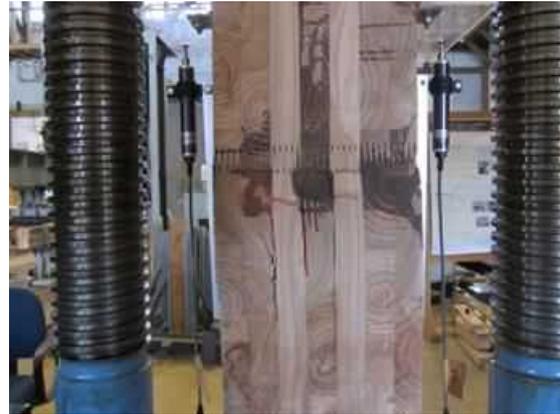
図IV. 5 7-(a) CNJ210-03 試験結果



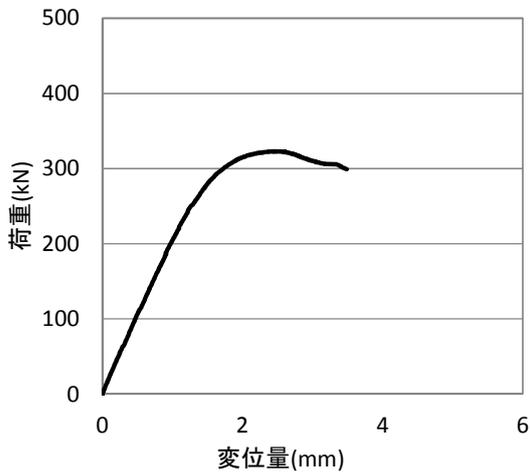
図IV. 5 7-(b) CNJ210-03 破壊性状



図IV. 5 8-(a) CNJ210-04 試験結果



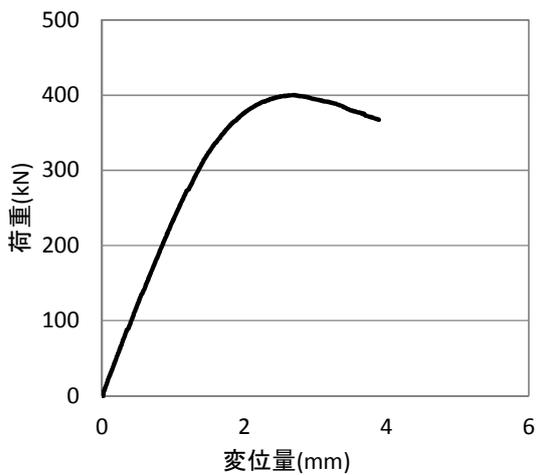
図IV. 5 8-(b) CNJ210-04 破壊性状



図IV. 5 9-(a) CNJ210-05 試験結果



図IV. 5 9-(b) CNJ210-05 破壊性状



図IV. 6 0-(a) CNJ210-06 試験結果



図IV. 6 0-(b) CNJ210-06 破壊性状

付録－V

以下に

6-2. 幅矧ぎプライ 1 枚のフィンガージョイント接合部の面外曲げ試験

で測定された全試験体の荷重－変位の関係とそれぞれの試験体における終局状況を示す。

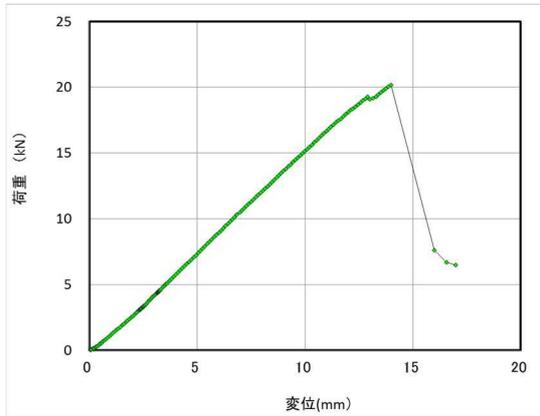


図 V. 1-(a) M30L-01 試験結果



図 V. 1-(b) M30L-01 破壊性状

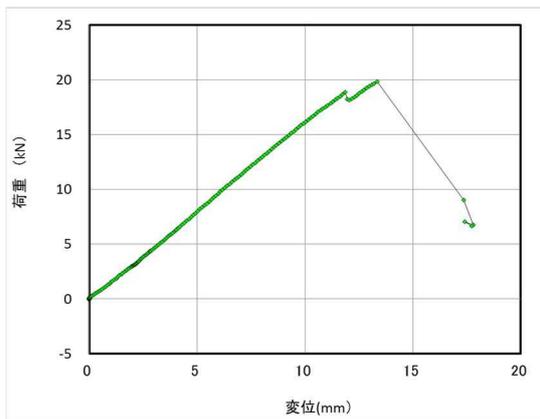


図 V. 2-(a) M30L-02 試験結果



図 V. 2-(b) M30L-02 破壊性状

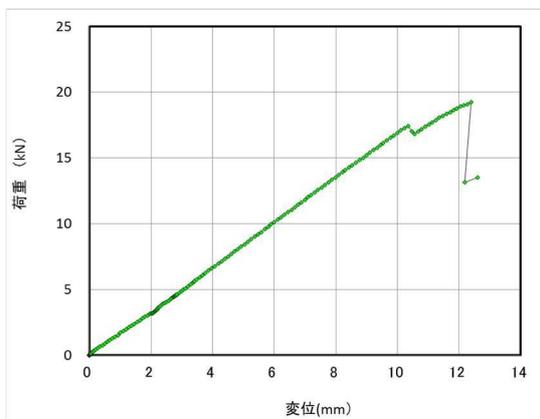


図 V. 3-(a) M30L-03 試験結果



図 V. 3-(b) M30L-03 破壊性状

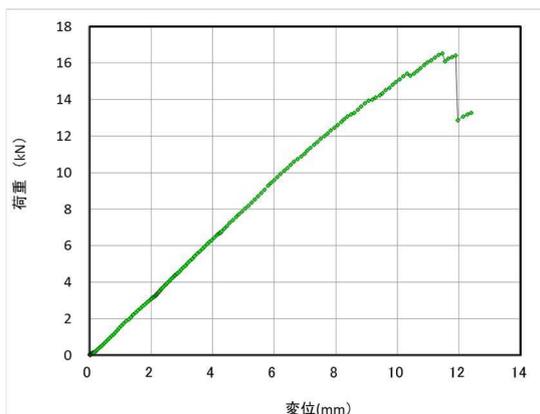


図 V. 4-(a) M30L-04 試験結果



図 V. 4-(b) M30L-04 破壊性状

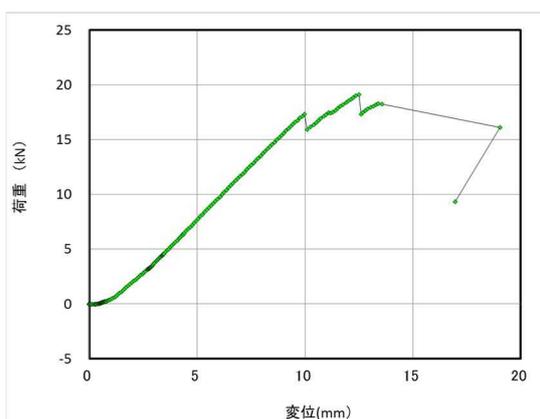


図 V. 5-(a) M30L-05 試験結果



図 V. 5-(b) M30L-05 破壊性状

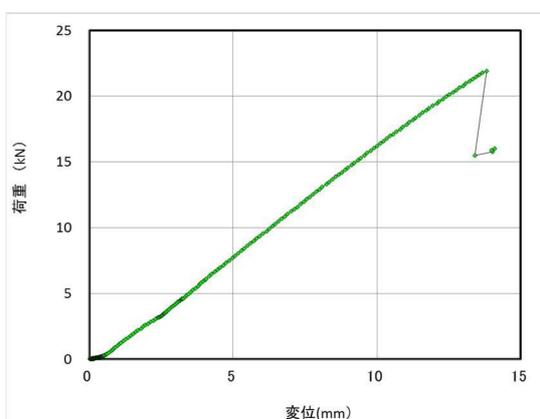


図 V. 6-(a) M30L-06 試験結果



図 V. 6-(b) M30L-06 破壊性状

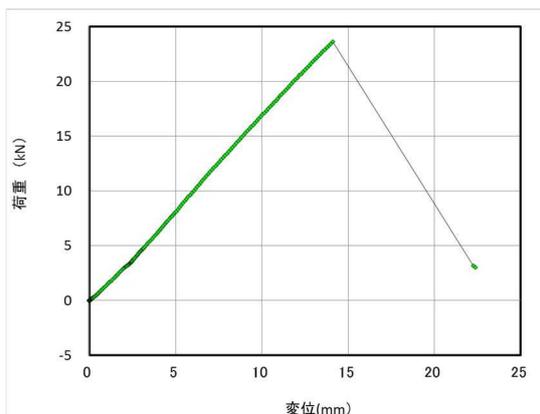


図 V. 7-(a) M30N-01 試験結果



図 V. 7-(b) M30N-01 破壊性状

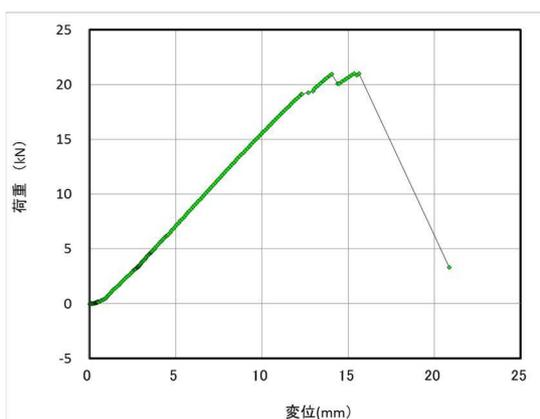


図 V. 8-(a) M30N-02 試験結果



図 V. 8-(b) M30N-02 破壊性状

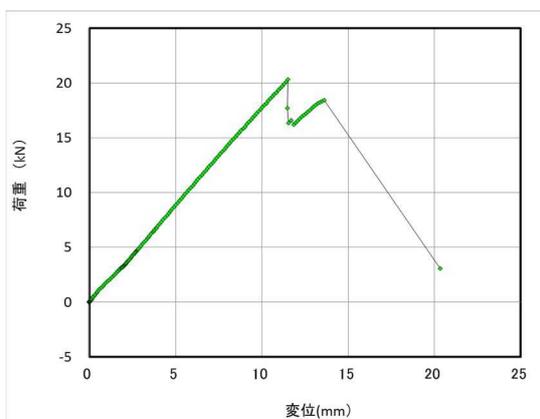


図 V. 9-(a) M30N-03 試験結果



図 V. 9-(b) M30N-03 破壊性状

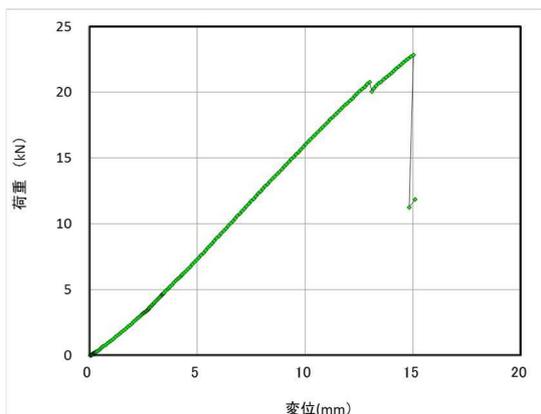


図 V. 1 0-(a) M30N-04 試験結果



図 V. 1 0-(b) M30N-04 破壊性状

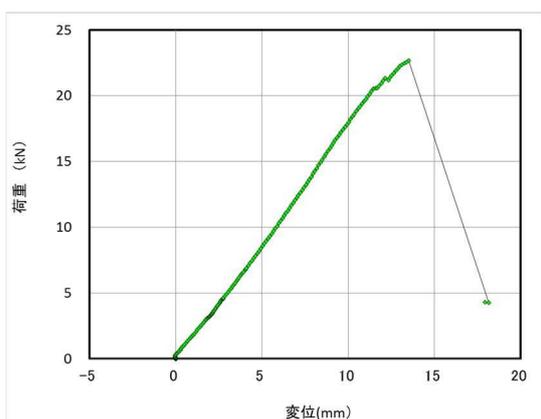


図 V. 1 1-(a) M30N-05 試験結果

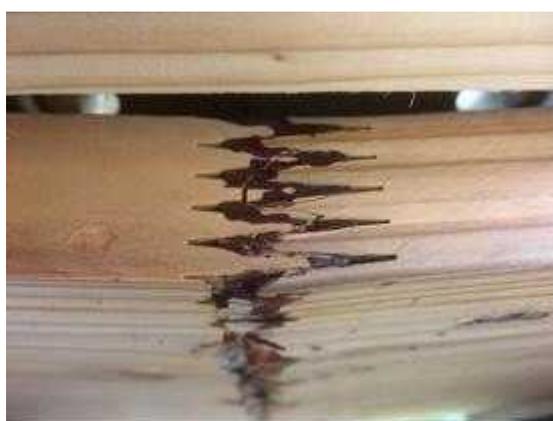


図 V. 1 1-(b) M30N-05 破壊性状

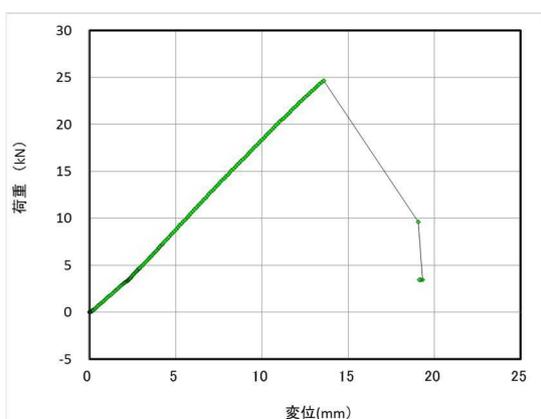
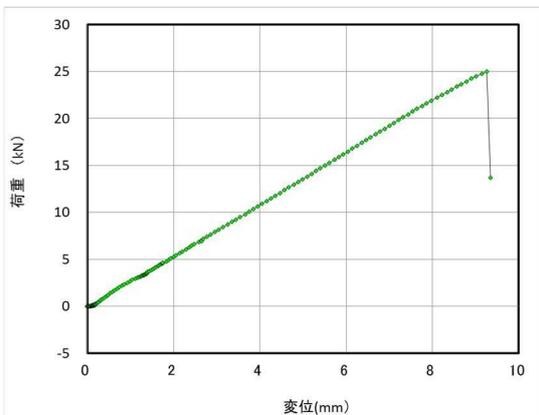


図 V. 1 2-(a) M30N-06 試験結果



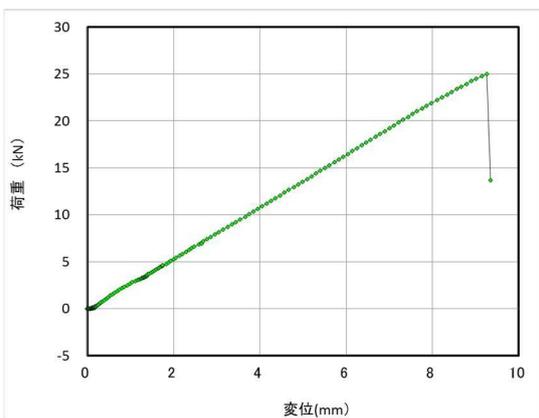
図 V. 1 2-(b) M30N-06 破壊性状



図V. 13-(a) M60L-01 試験結果



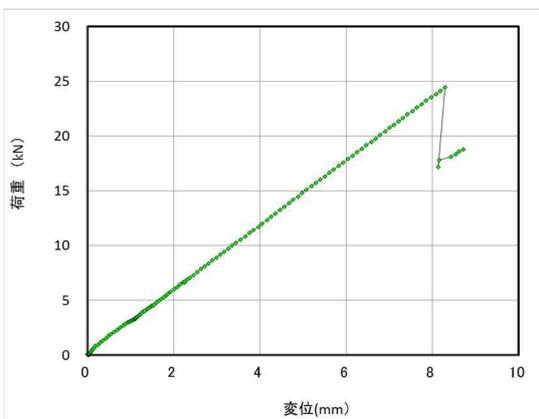
図V. 13-(b) M60L-01 破壊性状



図V. 14-(a) M60L-02 試験結果



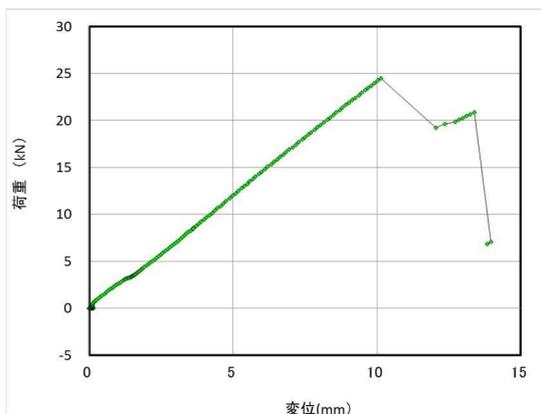
図V. 14-(b) M60L-02 破壊性状



図V. 15-(a) M60L-03 試験結果



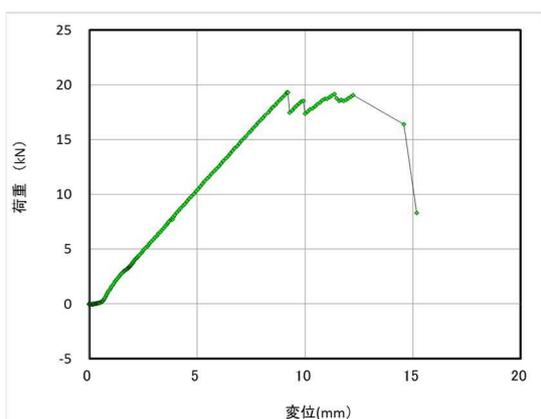
図V. 15-(b) M60L-03 破壊性状



図V. 16-(a) M60L-04 試験結果



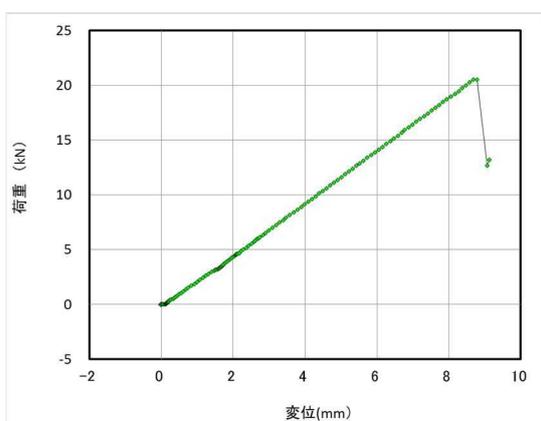
図V. 16-(b) M60L-04 破壊性状



図V. 17-(a) M60L-05 試験結果



図V. 17-(b) M60L-05 破壊性状



図V. 18-(a) M60L-06 試験結果



図V. 18-(b) M60L-06 破壊性状

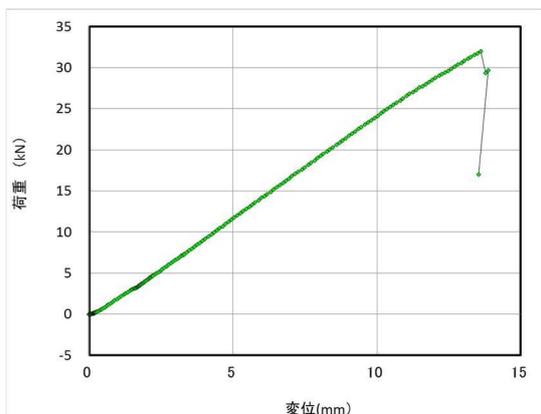


図 V. 19-(a) M60N-01 試験結果



図 V. 19-(b) M60N-01 破壊性状

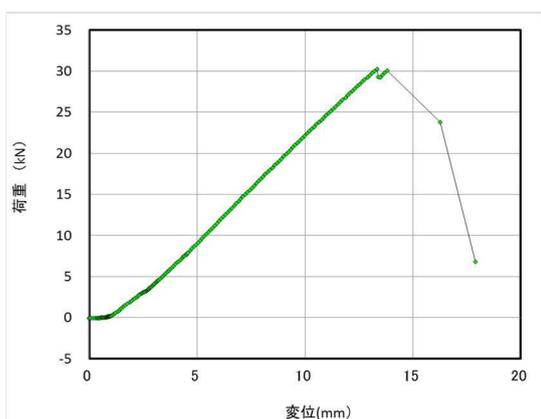


図 V. 20-(a) M60N-02 試験結果



図 V. 20-(b) M60N-02 破壊性状

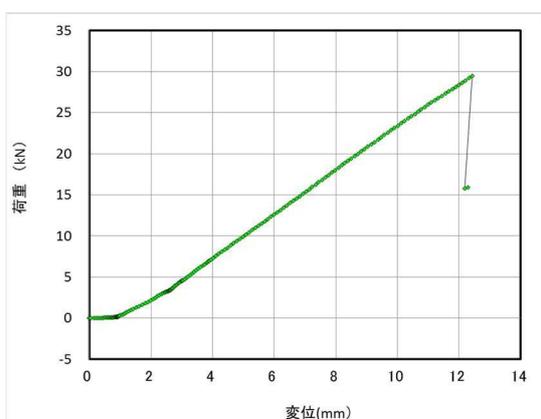


図 V. 21-(a) M60N-03 試験結果



図 V. 21-(b) M60N-03 破壊性状

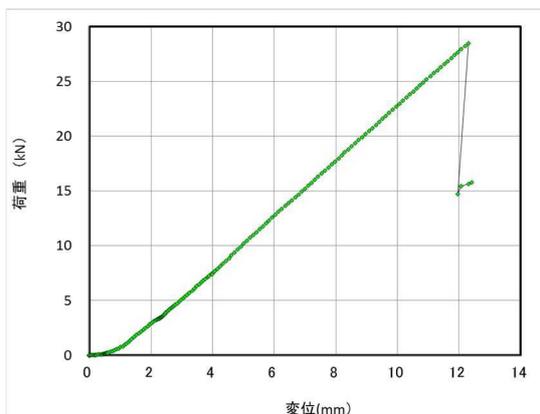


図 V. 2 2-(a) M60N-04 試験結果



図 V. 2 2-(b) M60N-04 破壊性状

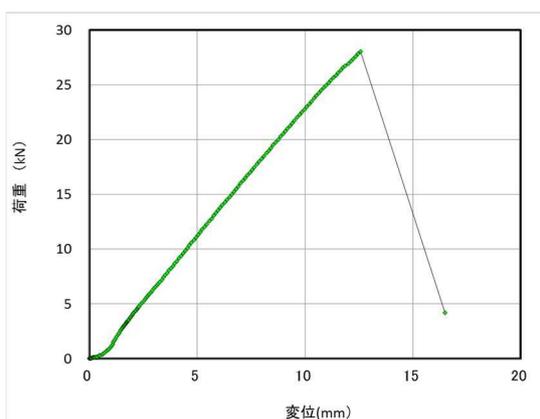


図 V. 2 3-(a) M60N-05 試験結果



図 V. 2 3-(b) M60N-05 破壊性状

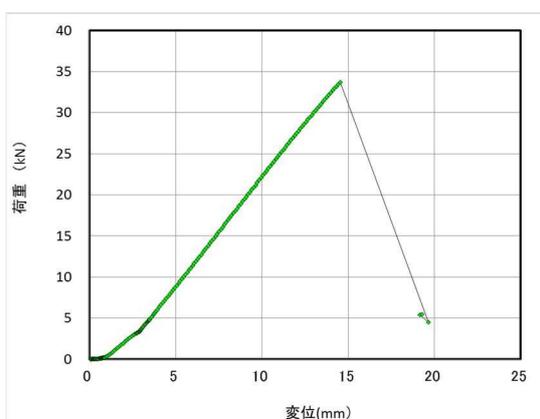


図 V. 2 4-(a) M60N-06 試験結果



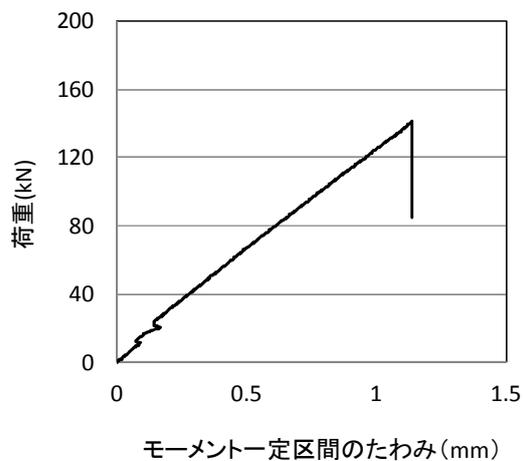
図 V. 2 4-(b) M60N-06 破壊性状

付録VI

以下に

6-3. 縦継ぎ幅矧ぎプライで製造した GLT パネルの面外曲げ試験

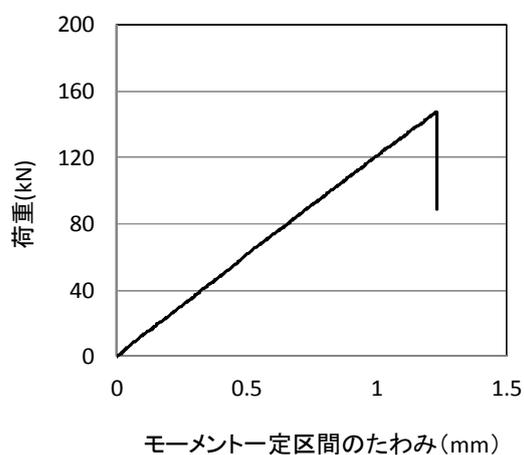
で実測された各試験体の荷重とモーメント一定区間のたわみの関係及び破壊性状を示す。



図VI. 1-(a)荷重とたわみの関係 (PBNC-01)



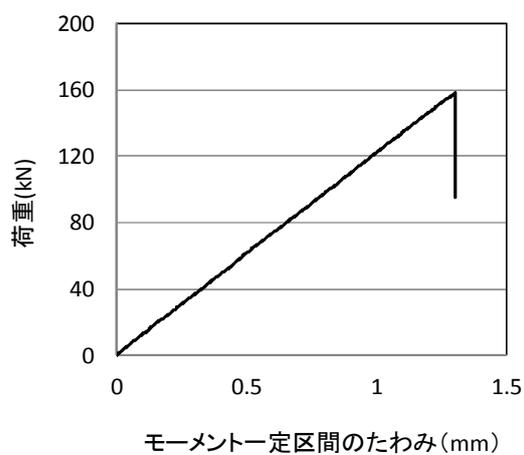
図VI. 1-(b) プライ縦継ぎ部の破壊 (PBNC-01)



図VI. 2-(a)荷重とたわみの関係 (PBNC-02)



図VI. 2-(b) プライ縦継ぎ部の破断 (PBNC-02)



図VI. 3-(a)荷重とたわみの関係 (PBNC-03)



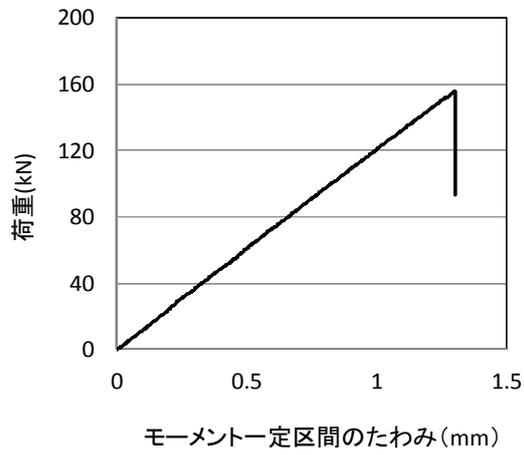
図VI. 3-(b) 片側面におけるプライ縦継ぎフィンガーからの破壊 (PBNC-03)



図VI. 4-(c)他方の側面におけるラミナ縦継ぎフィンガーからの破壊 (PBNC-03)



図VI. 4-(b) 試験体の底面におけるラミナ縦継ぎフィンガーの引張破壊 (PBNC-03)



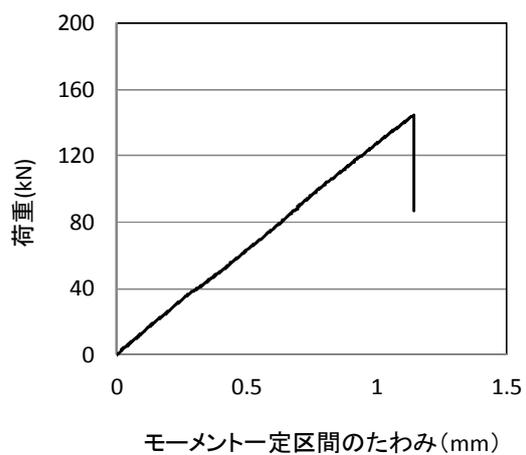
図VI. 5-(a)荷重とたわみの関係 (PBNR-01)



図VI. 5-(b) 片側面最外層プライ縦継ぎフィンガーの引張破壊 (PBNR-01)



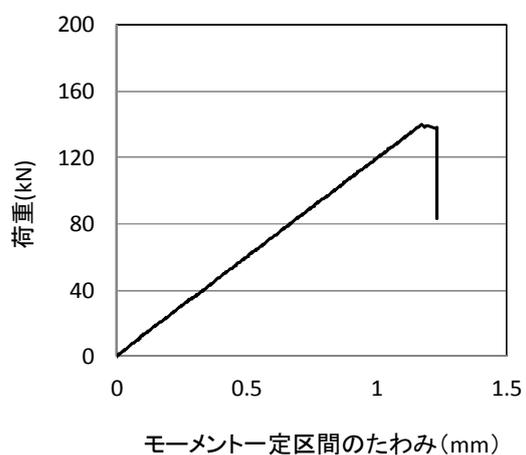
図VI. 5-(c) 片側面ラミナ縦継ぎフィンガーの引張破壊 (PBNR-01)



図VI. 6-(a)荷重とたわみの関係 (PBNR-02)



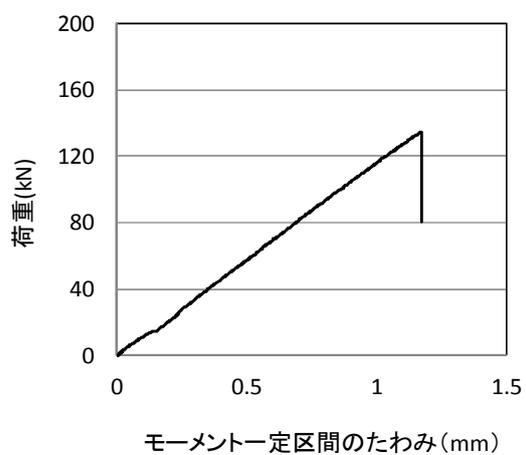
図VI. 6-(b) 最外層プライ縦継ぎフィンガ一部での引張破壊 (PBNR-02)



図VI. 7-(a)荷重とたわみの関係 (PBNR-03)



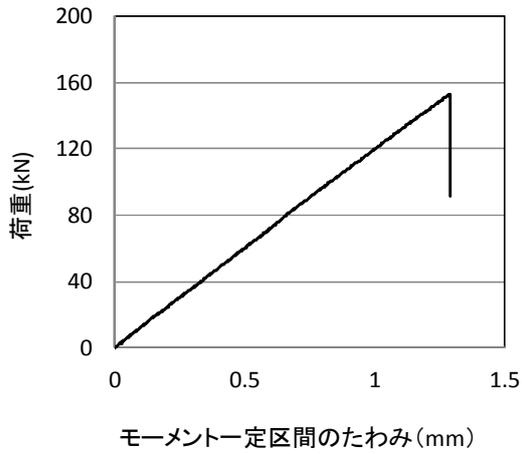
図VI. 7-(b) 最外層プライ縦継ぎフィンガ一部での引張破壊 (PBNR-03)



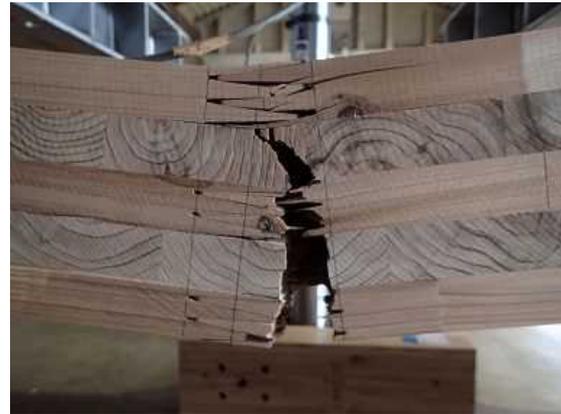
図VI. 8-(a)荷重とたわみの関係 (PBLC-01)



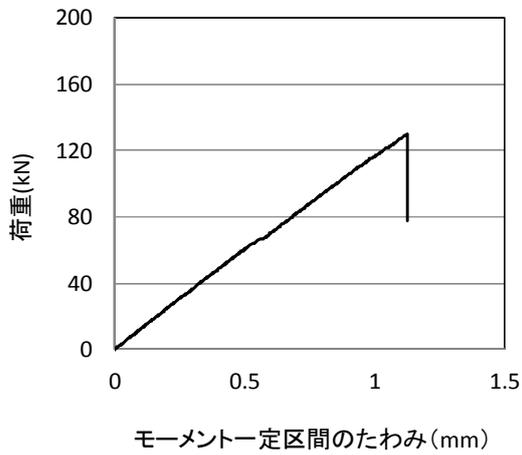
図VI. 8-(b) プライ縦継ぎフィンガー部の引張破壊 (PBLC-01)



図VI. 9 -(a)荷重とたわみの関係 (PBLC-02)



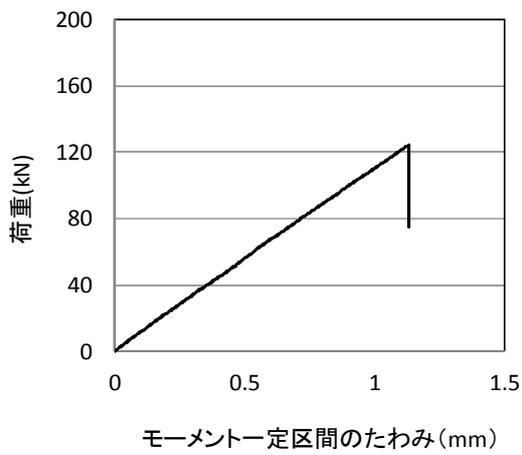
図VI. 9 -(b) プライ縦継ぎフィンガー部の引張破壊 (PBLC-02)



図VI. 10 -(a) 荷重とたわみの関係 (PBLC-03)



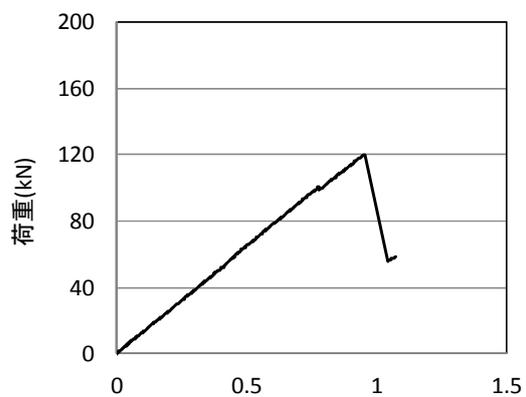
図VI. 10 -(b) プライ縦継ぎフィンガー部の引張破壊 (PBLC-03)



図VI. 11 -(a) 荷重とたわみの関係 (PBLR-01)



図VI. 11 -(b) 最外層プライ縦継ぎフィンガー部での引張破壊 (PBLR-01)

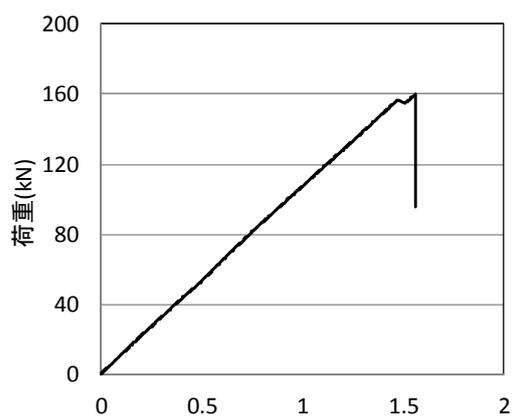


モーメント一定区間のたわみ(mm)

図VI. 1 2-(a) 荷重とたわみの関係 (PBLR-02)



図VI. 1 2-(b) 最外層プライ縦継ぎフィンガー部での引張破壊 (PBLR-02)



モーメント一定区間のたわみ(mm)

図VI. 1 3-(a) 荷重とたわみの関係 (PBLR-03)



図VI. 1 3-(b) 最外層プライ縦継ぎフィンガー部での引張破壊 (PBLR-03)

都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業

CLT 等接合部データ収集 第 1 回委員会議事録

山佐木材（株）

日時：平成 29 年 7 月 14 日（金） 午前 9 時～12 時

場所：山佐木材株式会社 下住工場
 （〒893-1206 鹿児島県肝属郡肝付町前田 2090 TEL：0994-31-4141）

- 議事 1) 本事業の説明
 2) 試験計画案
 3) 製作方法
 4) その他 次回開催等

添付書類

- 資料 1-1 仕様書、費用内訳、スケジュール案
 資料 1-2 試験研究計画書案
 資料 1-3 LFJ-CLT 製作方法
 資料 1-4 幅はぎラミナ FJ 試験結果まとめ
 資料 1-5 ラージフィンガー加工写真

出席者名簿：

	所 属	氏 名	出欠
委員長	京都大学名誉教授	小松 幸平	出
委員	建築研究所	槌本 敬大	出
〃	森林総合研究所	野田 康信	出
〃	(株)太平製作所	溝口 祥司	出
〃	宮崎県木材利用技術センター	中谷 誠	出
〃	鹿児島県工業技術センター	中原 亨	出
オブザーバー	林野庁木材産業課	藤澤 将志	出
〃	(株)太平製作所	成田 光将	出
〃	HMS	平野 芳治	出
事業主体	山佐木材(株)	佐々木 幸久	出
〃	山佐木材(株)	稲田 達夫	出
〃	山佐木材(株)	塩崎 征男	欠
〃	山佐木材(株)	村田 忠	出
〃	山佐木材(株)	西牧 聡	欠
〃	山佐木材(株)	桐野 昭寛	出
〃	山佐木材(株)	津曲 龍	出
〃	山佐木材(株)	小松 賢司	出
〃	山佐木材(株)	佐々木 真理	出

(順不同、敬称略)

以下 議事録

【挨拶】

- ・ 委員長 小松幸平先生
- ・ 事業主体 山佐木材（株）代表取締役 佐々木幸久
- ・ 林野庁 木材産業課 藤澤課長補佐

【事業の概要説明】（資料 1-1）

1. 委員会の目的

- ・ 多くの工場で製造可能な小さな CLT を作り、大きくつないで使う。または究極的には現場でつないで使う。
- ・ 接続方法はフィンガージョイントと定め、あらかじめフィンガージョイントの性能を調べる。

2. 林野庁 木材産業課 藤澤課長補佐 挨拶

- ・ CLT の設計施工がしやすくなること設計の自由度が高くなることに期待。
- ・ CLT の需要が大きくなっていくよう、機運を育てていく。
- ・ 当委員会が CLT の設計施工者を育て、技術開発をすすめ、コストを縮減していく助けになることを期待

3. 事業の概要、スケジュール（申請段階で）

- ・ 予算 1500 万円。CLT で 50m³ 程度の試験体量
- ・ 報告は平成 30 年 2 月に行う。報告会という形が望ましい。
- ・ 事業の終了は平成 30 年 3 月 12 日、報告書が必要。

【FJ(LFJ)-CLT 製作方法】（資料 1-3、1-4、1-5）

1. CLT を大きくする方法は以下の 2 通り

- (1) 出来上がった CLT パネルを FJ によって接続する。第一案とする。
- (2) 幅矧ぎパネルを FJ によって延長し、大きなプレス機で圧縮する。第二案とする。

2. フィンガージョイントについて

- ・ ラージフィンガージョイント（LFJ）とはフィンガー長さが 50mm 以上と定義される。今回使用するカッターはフィンガー長さ 52mm。
- ・ ノーマルタイプのフィンガージョイント（NFJ）は、今回は長さ 24mm の仕様とする。
- ・ LFJ のフィンガーカッターの切削可能サイズは材背 150 が最大。よって製作可能な LFJ 試験体は 3L3P、5L5P。NFJ 試験体は 3L3P、5L5P、5L7P である。

【試験計画案】（資料 1-2）

1. CLT-CLT 同士の FJ 試験（第一案）

(1). 全試験体の共通仕様

- ・ 接合方法は強軸-強軸、弱軸-弱軸とする。強軸-弱軸は試験体数削減のため行わない。
- ・ ヨーロッパの規準でも日本の規準でもラミナの弱軸（横方向）の強度は 0 とされている。
- ・ CLT での試験の前にラミナ単位での要素試験をするべきか。（オプション案）
- ・ LFJ 試験体は 3L3P、5L5P。NFJ 試験体は 3L3P、5L5P、5L7P とする。

(2). 曲げ試験

(2) - 1. 面外曲げ試験

- ・ 試験体の加力点間隔は住木センター「構造用木材の強度試験マニュアル」5d 以上…に準拠する。→ 6d を採用（3 等分点 4 支点曲げ）
- ・ 幅は 300mm で行う。寸法効果（小さな試験体で得た実験値に対して、材が大きくなると実験値より小さな値：危険側になりやすい）を考慮して試験体はあまり小さくしない。
- ・ 加力速度：強軸は 6mm/分（10 分/1 体）、弱軸は 8mm/分（15 分/1 体）他の試験も同様？
- ・ 試験体は

LFJ	3L3P	強軸-強軸	6 体	合計 24 体	
		弱軸-弱軸	6 体		
	5L5P	強軸-強軸	6 体		
		弱軸-弱軸	6 体		
FJ	3L3P	強軸-強軸	6 体		合計 36 体
		弱軸-弱軸	6 体		
	5L5P	強軸-強軸	6 体		
		弱軸-弱軸	6 体		
	5L7P	強軸-強軸	6 体		
		弱軸-弱軸	6 体		

- ・ ジョイント部分が加力点直下にくる試験体も追加したい。（5L5P のみ）

LFJ	5L5P	強軸-強軸	6 体	合計 24 体
		弱軸-弱軸	6 体	
NFJ	5L5P	強軸-強軸	6 体	
		弱軸-弱軸	6 体	

(2) - 2. 面内曲げ試験

- ・ 試験体は

LFJ	3L3P	強軸-強軸	6 体	合計 24 体	
		弱軸-弱軸	6 体		
	5L5P	強軸-強軸	6 体		
		弱軸-弱軸	6 体		
NFJ	3L3P	強軸-強軸	6 体		合計 36 体
		弱軸-弱軸	6 体		
	5L5P	強軸-強軸	6 体		
		弱軸-弱軸	6 体		
	5L7P	強軸-強軸	6 体		
		弱軸-弱軸	6 体		

(3). せん断試験

(3) - 1. 面内せん断試験

- ・せん断試験は住木センターの「構造用木材の強度試験マニュアル」に準拠して逆対称せん断試験法（C法）で行う。
- ・面内せん断試験を優先的に行う。
- ・大きな荷重が予想されるので宮崎木材利用技術センターで行う。
- ・試験体は

LFJ	3L3P	強軸-強軸	6体	合計 24 体	
		弱軸-弱軸	6体		
	5L5P	強軸-強軸	6体		
		弱軸-弱軸	6体		
NFJ	3L3P	強軸-強軸	6体		合計 36 体
		弱軸-弱軸	6体		
	5L5P	強軸-強軸	6体		
		弱軸-弱軸	6体		
	5L7P	強軸-強軸	6体		
		弱軸-弱軸	6体		

(3) - 2. 面外せん断試験

- ・面外せん断試験はスパンが小さいので積極的に端材を利用する。
- ・試験体は

LFJ	3L3P	強軸-強軸	6体	合計 24 体	
		弱軸-弱軸	6体		
	5L5P	強軸-強軸	6体		
		弱軸-弱軸	6体		
NFJ	3L3P	強軸-強軸	6体		合計 36 体
		弱軸-弱軸	6体		
	5L5P	強軸-強軸	6体		
		弱軸-弱軸	6体		
	5L7P	強軸-強軸	6体		
		弱軸-弱軸	6体		

(4). 縦圧縮試験

- ・縦圧縮試験も試験体が小さいので積極的に端材を利用する。
- ・大きな荷重が予想されるので宮崎木材利用技術センターで行う。
- ・試験体は

LFJ	3L3P	強軸-強軸	6体	合計 24 体	
		弱軸-弱軸	6体		
	5L5P	強軸-強軸	6体		
		弱軸-弱軸	6体		
NFJ	3L3P	強軸-強軸	6体		合計 36 体
		弱軸-弱軸	6体		
	5L5P	強軸-強軸	6体		
		弱軸-弱軸	6体		
	5L7P	強軸-強軸	6体		
		弱軸-弱軸	6体		

(5) 嵌合圧評価試験

- ・全ての試験より先にFJの最適嵌合圧評価試験を行う。嵌合試験においては試験現場でフィンガーに接着剤を塗布し試験体を組合わせて木口に方向から加力する。荷重変形曲線を取り安定している角度（直線域）を求めて最適圧縮圧力を決める。
- ・接着剤はレゾのみとする。
- ・嵌合試験の次は曲げ試験が良いか。
- ・試験体は

LFJ	5L5P	強軸-強軸	6体	合計 24体
		弱軸-弱軸	6体	
NFJ	5L5P	強軸-強軸	6体	
		弱軸-弱軸	6体	

2. FJした幅矧ぎラミナの積層接着による大盤CLTの試験（第二案）

- ・プライ（幅矧ぎパネル）の縦継ぎはJASの現状では認められていない。（ラミナはok）
- ・縦方向だけをFJする。（横方向は並べるだけで良い=現状の幅矧ぎパネルの使い方と同じ）
- ・ノーマルフィンガーがメインで、ラージフィンガーである必要はあるのか。
- ・マイクロフィンガー（4mm～7mm等）を試すことはどうか。
- ・幅矧ぎラミナ面外曲げ試験体（案）

LFJ	30mm 幅矧ぎラミナ	強軸-強軸	6体	合計 12体
NFJ	30mm 幅矧ぎラミナ	強軸-強軸	6体	

- ・CLT面外曲げ試験体（案）

LFJ	5L5P	強軸-強軸	FJを乱に配置	6体	合計 24体
			FJを中央に配置	6体	
NFJ	5L5P	強軸-強軸	FJを乱に配置	6体	
			FJを中央に配置	6体	

3. 試験場の分担

- ・現時点では以下の予定とする。

試験	試験体数	試験場
最適嵌合圧評価試験	24	鹿児島県工業技術センター
FJ接合CLT面外曲げ試験	84	鹿児島県工業技術センター
FJ接合CLT面内曲げ断試験	60	鹿児島県工業技術センター
FJ接合CLT面外せん断試験	60	鹿児島県工業技術センター
FJ接合CLT面内せん断試験	60	宮崎木材利用技術センター
縦圧縮試験	60	宮崎木材利用技術センター
幅矧ぎラミナFJ面外曲げ試験	12	鹿児島県工業技術センター
幅矧ぎラミナFJ積層CLT面外曲げ試験	24	宮崎木材利用技術センター

4. 接着剤について

- ・フェノールレゾルシノール樹脂接着剤（RF）：信頼性高い。冷圧では硬化時間が長い。
- ・水性ビニルウレタン樹脂接着剤（API）：製造者側が好む傾向
- ・エポキシは候補に入れる必要があるか？
- ・大規模な建築の場合耐火性能を要求されるので接着部が外部に曝される FJ の場合熱に弱いエポキシは使いにくいのでは。（RH 工法は建前上は内部になるので OK）むしろポリウレタンでは？
- ・接着（現場接着）は住木センター規準に基づく。
- ・レゾの硬化時間と温度の関係曲線は既往のもので良い。
- ・圧縮圧力：5kgf/cm²（面積は見附面積とする。フィンガーの面積で計算すると数字が大きすぎて現実的ではない。）

5. 話合いで出た意見等

- ・極力端材を利用できるよう木取りする。
- ・試験場所の分担：荷重の大きな試験は全て宮崎木材利用技術センターとする。
- ・ノーマルフィンガーとラージフィンガーのカッターの軸径が異なるので同一の軸に取り付けられるように加工機を製作すること。
- ・FJ プレスは木口を油圧で押す方法が量産には良いだろう。
- ・試験体を量産する上で FJ プレスに高周波を利用するべきではないか。
- ・FJ においては長期性能が重要だが、考慮する必要があるのでは。
- ・DOL の装置を持っているのは広島、建築研究所、北林産試か。
- ・委託事業の仕様書の中には施工現場で大型化を図るとの記述あり、なので当委員会の中でもその目的を考慮する必要がある。
- ・山佐木材で特異的に出来ることに留まらず、全国の工場に波及性のある技術を打ち出せることを考慮するべき。
- ・より早く製品化できること、全国の後発の製造者ために基礎データを積むこと、実験の種類と方法を確立すること
- ・小盤 CLT の FJ による大型化案に対して幅矧ぎパネル FJ による大型化はほとんどの工場が持っていない大型プレスが必要であるが、今後どちらの方式の波及も考えてテーマははっきり 2 本立てとすべきでは

【LFJ-CLT 製作方法】（資料 1-3、1-4、1-5）

【LFJ 加工機見学】

【その他】

都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業

CLT 等接合部データ収集 第 2 回委員会議事録

山佐木材（株）

日時：平成 29 年 12 月 20 日（水） 午後 2 時～5 時

場所：山佐木材株式会社 下住工場
 （〒893-1206 鹿児島県肝属郡肝付町前田 2090 TEL：0994-31-4141）

- 議事 1) 試験経過報告
 2) その他 次回開催等

添付書類

- 資料 2-1 第 1 回委員会議事録（案）
 資料 2-2 試験研究計画書（最終案）
 資料 2-3 試験体一覧および進捗状況
 資料 2-4 CLT の最適嵌合圧評価実験（野田）
 資料 2-5 CLT 試験体の製作方法（小松賢司）
 資料 2-6 FJ で接合された CLT-CLT パネルの面外曲げ試験（中原）
 資料 2-7 FJ で接合された CLT-CLT パネルの面内せん断試験（中谷）
 資料 2-8 FJ で接合された CLT-CLT パネルの縦圧縮試験（中谷）

出席者名簿：

	所 属	氏 名	出 欠
委員長	京都大学名誉教授	小松 幸平	出
委員	建築研究所	槌本 敬大	出
〃	森林総合研究所	野田 康信	出
〃	(株) 太平製作所	溝口 祥司	出
〃	宮崎県木材利用技術センター	中谷 誠	出
〃	鹿児島県工業技術センター	中原 亨	出
オブザーバー	林野庁木材産業課	藤本 達之	出
〃	HMS	平野 芳治	出
事業主体	山佐木材(株)	佐々木 幸久	出
〃	山佐木材(株)	稲田 達夫	欠
〃	山佐木材(株)	塩崎 征男	欠
〃	山佐木材(株)	村田 忠	欠
〃	山佐木材(株)	西牧 聡	欠
〃	山佐木材(株)	桐野 昭寛	出
〃	山佐木材(株)	小松 賢司	出
〃	山佐木材(株)	佐々木 宏昌	出
〃	山佐木材(株)	佐々木 真理	出

(順不同、敬称略)

以下 議事録

【挨拶】

- ・ 委員長 小松幸平先生
- ・ 事業主体 山佐木材（株）代表取締役 佐々木幸久
- ・ 林野庁 木材産業課 藤本住宅資材技術専門官

【資料確認】小松委員長

- ・ 資料 2-1 7/14 実施、第 1 回委員会議事録案
- ・ 資料 2-2 7/30 作成 試験計画（最終案）
- ・ 資料 2-3 試験体一覧および進捗状況

【試験経過報告】

1. CLT の最適嵌合圧評価実験（森林総研 野田）
 - ・ 北林産試 堀江氏の報告例にならい荷重-変位曲線の直線域の下限値付近の応力を最適嵌合圧とする。
 - ・ 嵌合圧は CLT 試験体の木口面積あたりの応力とする（フィンガーの表面積ではなく）。
 - ・ 直線域の暫定圧締圧範囲としては、
 - ラージフィンガー弱軸 0.69~0.94 MPa
 - ラージフィンガー強軸 1.03~2.1 MPa
 - ノーマルフィンガー弱軸 0.95~2.61 MPa
 - ノーマルフィンガー強軸 1.05~2.74 MPa
 - ・ 機械の能力等を考慮して推奨値は 1~1.2 MPa
2. CLT 試験体の製作方法（山佐木材 小松賢司）
 - ・ 試験体製作は急いでいるが全体のスケジュールに対して大幅に遅れている。
 - ・ 嵌合圧は全ての試験体共通で 1 MPa とする。
 - ・ 接着剤の塗布量については目視により十分に塗られていることを確認。
 - ・ 寒冷な時期の製作なので接着環境の温度に注意している。
 - ・ 弱軸フィンガーが切削時に割れやすい。LF については 2 回切りしている。
3. FJ で接合された CLT-CLT パネルの面外曲げ試験（鹿児島県工業技術センター中原）
 - ・ 曲げ強さは強軸 LFJ では平均値で 20N/mm² を超え、告示 562 号の基準強度を大きく上回った。
 - ・ フィンガーなしの CLT 強度に対しては 70%程度の性能か。
 - ・ LF が NF より強かった。NF は嵌合圧を高くしてみてもどうか。
 - ・ クリープを検討する必要はないか。
4. FJ で接合された CLT-CLT パネルの面内せん断試験（宮崎県木材利用技術センター中谷）
 - ・ 現在 12 体試験済み
 - ・ 逆対称 4 点曲げの支点間隔が大きいため曲げ破壊する。せん断破壊せず試験が難しい。
 - ・ 支点間隔を小さくすることでせん断破壊が起こりやすくなった。
 - ・ せん断強さは 5N/mm² 強出ている。良い成績と言えるのではないか。
 - ・

5. FJで接合されたCLT-CLTパネルの縦圧縮試験（宮崎県木材利用技術センター中谷）

- ・ 60 中 48 体試験済み
- ・ LF と NF による違いはほとんどない。
- ・ 平均値で強軸で平均 15 N/mm² 弱軸で 10N/mm² を超えている。

・

【その他 次回開催等】

1. 今後の試験スケジュールについて

- ・ 試験体の製作は残り 130 体程度
- ・ CLT-CLT の試験体の製作は 1 月半ばまでかかりそう。
- ・ CLT-CLT の試験は 1 月中に完了を目標にする。
- ・ 大版 CLT の曲げ試験の実施目標は 2 / 1 3 の週。

2. 委員会について

- ・ 次回委員会は恐らく実施しない。

・

3. 報告会について

- ・ 3 / 1 2 までに報告会を設けること
- ・ 波及効果が目的なのでネット上での成果の公開では足りない。

・

4. 報告書について

- ・ 3 / 1 2 が完了報告期限
- ・ 3 月の頭までに試験場からの報告書提出が望ましい。

・

【委員会終了後 関係者協議にて】

1. 大版 CLT の試験数

- 4 仕様（ノーマル FJ 中央、ノーマル FJ 乱配置、ラージ FJ 中央、ラージ FJ 乱配置、）
各 6 体ずつ→各 3 体ずつに変更。

平成 29 年度林野庁委託事業 都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業

CLT 等接合部データ収集

FJ で接合された CLT の性能確認等 研究成果報告書

平成 30 年 3 月発行

〒893-1206 鹿児島県肝属郡肝付町前田 972 番地

山佐木材株式会社

TEL 0994-31-4141 FAX 0994-31-4142