

平成28年度補正 林野庁委託事業

CLT建築物等普及推進委託事業 (CLTの性能データ収集・分析) 成果報告書

平成29年12月

国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所

一般社団法人日本CLT協会

広島県立総合技術研究所 林業技術センター

公益社団法人日本木材加工技術協会

平成 28 年度補正林野庁委託研究
「CLT 建築物等普及推進委託事業（CLT の性能データ収集・分析）」
成果報告書

目 次

1. 事業計画	1
1.1 事業目的	1
1.2 事業実施内容	1
1.3 事業の実証性	3
1.4 事業実施スケジュール	3
1.5 事業実施上の留意事項	3
1.6 事業実施者	3
1.7 事業費予算額	3
1.8 同種業務の経験・実績	4
1.9 その他	4
2. 供試した CLT の仕様	5
3. CLT の面外曲げ性能に関する検討	6
3.1 CLT の面外曲げ性能の測定方法	6
3.2 CLT の面外曲げ性能の測定結果	8
3.3 CLT の面外曲げ性能に影響を及ぼす因子の検討	14
4. CLT の長期挙動性能に関する検討	20
4.1 検討の目的	20
4.2 試験体	20
4.3 試験方法	20
4.4 応力レベルの決定	21
4.5 ヒノキ CLT の長期性能の測定結果	22
5. 計画の推進状況	24
5.1 第一回推進委員会（メール審議）	24
5.2 現地検討会	26
5.3 第二回推進委員会	27
6. 付属データ	29

1. 事業計画

1.1 事業目的

欧州で近年開発されたクロス・ラミネイティド・ティンバー（CLT）は、我が国でも国産材の新しい利用法として期待が高く、その製造や利用技術開発に関する研究が急速に進められている。平成 25 年 12 月には近年開発された新しい木質材料としては異例の速さで「直交集成板の日本農林規格（JAS 規格）」も制定され、また、CLT を一般的な建築材料として普及するために制定が急がれてきた建築関係基準等も平成 28 年 3 月 31 日に制定された。

これまで木材があまり使われてこなかった非住宅や中高層建築等などの分野で利用できる可能性が広がるなど、木材の新たな需要や新しい産業分野の創出、新たな経済循環の形成が期待される CLT の普及を加速することにより、CLT 製造コストの低減を図り、新たな需要を生み出す好循環を構築していく必要がある。

しかしながら、CLT は強度の異方性を持つひき板が構成要素であり、さらにその繊維方向を直交させながら積層接着した材料である。したがって、荷重の種類や荷重が加えられる面・方向によって力学的挙動が異なるが、その機構は十分には明らかになっていない。そのため、JAS 規格で認められた製造条件の範囲内であっても、CLT 構造に関する建築関係基準等のなかでは、利用が除外されている仕様の製品が存在する。

そこで本提案では、CLT 構造に関する建築関係基準等において制限されている仕様の製品に関する強度データの収集・分析を行い、CLT を一般的な建築材料として普及する取組を加速させることを目的とする。

1.2 事業実施内容

平成 28 年 3 月 31 日に制定された建築関係基準によれば、強度試験データが不足しているために「直交集成板の日本農林規格」（以下 JAS 規格と記す）の適用範囲でありながら、適用の範囲外として扱われている仕様の製品がある。これは、早急なデータ整備を行うため、標準的な仕様の製品として、わが国で主要な樹種であるスギを検討対象の中心としてきた背景がある。そこで、本提案ではヒノキを対象樹種とし、曲げ性能を強度性等として採り上げ、短期挙動に関する試験データの整備を行うと共に、長期挙動に関する知見を得る。曲げ性能(強度・弾性係数)の測定方法は直交集成板の JAS 規格に準じることとし、曲げ長期挙動については試験体寸法・加力条件を曲げ性能の測定に準ずる。曲げ性能については統計的下限値を導出することを目的とする。

1.3 事業の実証性

以下、事業の実証性について、実施内容の詳細を示す。

①試験体仕様

対象樹種：ヒノキ

対象構成：5 層 5 プライ

対象等級：Mx90 または S90

対象ラミナ厚さ：30±6mm

②測定項目

曲げ性能(強度・弾性係数)、曲げ長期挙動

③測定条件

曲げ性能については直交集成板の JAS 規格に準じ、

試験体寸法：幅 300mm×長さ 23t(t：試験体公称厚さ)

加力条件：3 等分点 4 点曲げ(曲げスパン；21t、加力スパン；7t)

加力速度：14.7MPa/min

とする。

曲げ長期挙動については試験体寸法・加力条件を曲げ性能の測定に準ずる。

④試験体数

曲げ性能は統計的下限値を導出できるよう 10～16 体、曲げ長期挙動については事業実施期間に合わせ 1 体以上とする。

⑤曲げ性能の分析

曲げ性能測定時に、試験体の両側面において、加力点および加力スパン中央部の中立軸線上における変形を測定する。同時に測定する荷重と同期計測することで、荷重－変形曲線を得、比例限における傾きから弾性係数を最大荷重から曲げ強度を算出する。

⑥曲げ長期挙動の分析

曲げ性能の分析において測定した破壊荷重より応力レベルを決定し、事業実施期間内で破壊が予測される応力レベルの荷重を載荷し、変形量の変形量の経時変化を測定する。

⑦性能の把握・確認方法

曲げ性能については、曲げ強度の統計的下限値、曲げ弾性係数の平均値をもって性能の把握を行う。曲げ長期挙動については、実施期間内で破壊が生じた場合は既存の荷重継続期間に掛かる実験データとの比較を行い、既存データとの整合について確認する。実施期間内で破壊が生じなかった場合、変形増大係数を導出し、既存データとの整合について確認する。

共同事業体における事業の実施分担は以下の通りである。

試験体の製造：一般社団法人日本 CLT 協会

曲げ性能の導出：広島県立総合技術研究所林業技術センター

曲げ長期挙動の把握：国立研究開発法人森林総合研究所

学識経験者による委員会開催・運営、報告書取りまとめ：公益社団法人日本木材加工技術協会

1.4 事業実施スケジュール

本提案の事業期間とスケジュールは以下の通りとする。

課題内容	H28 12	H29 1	2	3
委員会開催	○			○
試験体仕様の決定	○			
試験結果の検討				○
試験体の製造		○ → →		
曲げ性能の導出			○ → →	
曲げ長期挙動の把握				○ →
報告書作成				○

1.5 事業実施上の留意事項

得られた知見については、学会等における公表を前提とし、告示化・規格化等に速やかに資するよう配慮する。事業実施内容は下記の学識経験者による委員会において検討し、林野庁の指示の下、決定する。

委員会：

(委員) 安村 基	静岡大学農学部 生物資源科学科
(委員) 中島 史郎	国立大学法人 宇都宮大学
(委員) 青木 謙治	東京大学大学院農学生命科学研究科
(委員) 槌本 敬大	国立研究開発法人 建築研究所
(委員) 中川 貴文	国土交通省 国土技術政策総合研究所
(委員) 尾方 伸次	公益財団法人日本合板検査会

1.6 事業責任者

共同事業体責任者：国立研究開発法人森林総合研究所

事業全体の管理、曲げ長期挙動の把握を行う。

共同事業体構成員 1：一般社団法人日本 CLT 協会

試験体の製造・管理を行う。

共同事業体構成員 2：広島県立総合技術研究所林業技術センター

曲げ性能の導出を行う。

共同事業体構成員 2：公益社団法人日本木材加工技術協会

学識経験者による委員会の開催・運営、報告書取りまとめを行う。

1.7 事業費予算額

12,477,348円

1.8 同種業務の経験・実績

(関連する業務の知見や経験について)

提案者はわが国唯一の森林・林業・木材産業を総合的に研究する国立研究開発法人であり、林野庁委託事業、農林水産省農林水産技術会議委託プロジェクト、農林水産省農林水産技術会議農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業等、多数の事業を中核・参画機関として実施している。

1.9 その他

本提案書に記載されていない事項又は疑義が生じた場合は、速やかに林野庁と協議を行う。

得られたデータについては、学術研究成果としての取り扱い（公表・発表）を林野庁の指導に基づき、適切に対処する。

2. 供試した CLT の仕様

供試した CLT の仕様は以下の通りである。

樹種：ヒノキ

構成：5 層 5 プライ

等級：直交集成板の日本農林規格に定める Mx90

ラミナ厚さ： $30 \pm 6\text{mm}$

寸法：長さ 3450mm×厚さ 150mm×幅 300mm

3. CLT の面外曲げ性能に関する検討

3.1 CLT の面外曲げ性能の測定方法

面外曲げ試験の前に、非破壊試験について、つぎのとおり行った。

ア) 動的試験方法

せん断弾性係数の簡便な非破壊評価方法として、動的弾性係数の測定を試みた。

測定は、たわみ振動法(T.G.H.法)^{3.1)}、および縦振動法により行った。

たわみ振動法(T.G.H.法)では、スパンを試験体の長さの 0.552 倍の距離の台に置き、試験体中央部材面を上から、または端部上面から、ハンマーで打撃し、打撃か所の下面方向からマイクロフォンで高次の固有振動数を測定した。

イ) 動的試験評価方法

たわみ振動法(T.G.H.法)では、試験体長さ、断面 2 次半径、密度を求め、せん断分布定数(1.2)、せん断弾性係数の初期値(0.8Gpa)を設定する。つぎに、振動次数 n に依存する係数 m_n と F_{mn} 、1 から 6 次程度までの曲げ固有振動数、各 n における見かけの曲げヤング係数を求める。さらに各 n におけるプロット用の系列 X 、 Y を求め、その 1 次回帰式 $Y=aX+c$ とプロットが一致するとき、傾き a と切片 c が次の関係となる。

$$a = -1.2 \left(\frac{E_{fr-t}}{G_{fr-t}} \right), \quad c = E_{fr-t} \quad (3.1-1)$$

E_{fr-t} : 真の曲げヤング係数

G_{fr-t} : せん断弾性係数

縦振動法では次の式により縦振動ヤング係数を計算した。

$$E_{fr} = (2fl)^2 \rho \quad (3.1-2)$$

E_{fr} : 縦振動ヤング係数

f : 固有振動数

l : 材長

ρ : 密度

ウ) 非破壊試験結果

非破壊試験の結果を表 3.1 に示す。

表 3.1 縦振動法、たわみ振動法（T.G.H.法）によるヤング係数とせん断弾性係数

5層5ply強軸 厚150mm 試験体No	ヤング係数 E _{fr} kN/mm ²	TGH E _{TGHf} kN/mm ²	TGH G _{TGHf} kN/mm ²
1-1-1	7.87	10.07	0.402
1-1-4	7.37	10.03	0.392
1-1-7	6.85	9.80	0.375
1-2-2	7.03	9.88	0.387
1-2-5	7.70	10.14	0.398
1-3-3	7.89	10.28	0.377
1-3-6	7.37	9.92	0.371
2-1-1	6.72	8.96	0.376
2-1-4	6.87	8.95	0.367
2-1-7	6.62	8.86	0.348
2-2-2	6.60	8.08	0.353
2-2-5	6.60	8.95	0.318
2-3-3	6.57	8.86	0.312
2-3-6	6.97	8.61	0.352
3-1-1	7.24	9.14	0.310
3-2-3	6.83	8.32	0.325
最小値	6.57	8.08	0.310
平均値	7.07	9.30	0.360
最大値	7.89	10.28	0.402
標準偏差	0.45	0.71	0.031
変動係数%	6.4	7.6	8.5

E_{fr}：縦振動法による縦弾性係数（単位 kN/mm²）

E_{TGHf}：たわみ振動法による面外方向の曲げヤング係数（単位 kN/mm²）

G_{TGHf}：たわみ振動法による面外方向のせん断弾性係数（単位 kN/mm²）

つぎに面外曲げ試験の方法について説明する。面外曲げ試験に供した CLT は、ヒノキ 5 層 5ply で、幅 300mm、厚さは 150mm、長さは厚さの 23 倍の 3450mm である。

静的面外曲げ試験は、支点間を厚さの 21 倍（3150mm）、荷重点間を厚さの 7 倍（1050mm）とし、3 等分点 4 点荷重方式で行った。変形量については、試験体側面の両面で、見かけの曲げヤング係数測定のため支点間の変形量を、真の曲げヤング係数測定のため荷重点間内側 1000mm の距離で変形量を測定した。また、試験機操作側の試験体側面に、支点と荷重点間の中央（支点から 525mm 荷重点方向）の 3 層目にターゲットを、また外層に変位計を取り付け、平行層の変形量を測定した。さらに、この測定面には支点と荷重点間の中央付近、試験体の中心付近の各ラミナに、接着層近くに一軸ひずみゲージ、ラミナの厚さ方向の中央に三軸ひずみゲージ、もう一方の接着層近くに一軸ひずみゲージを貼り、各ひずみ量を測定した（図 3.1 および写真 3.1 から写真 3.4 参照）。なお、直交層へのひずみゲージ貼り付けについては、木口からゲージ用接着剤が浸み込まないように、下地処理として、木口表面に α シアノアクリレート系樹脂用硬化促進剤を少しの量を吹きつけ、ゲージ用接着剤を薄く塗布した。

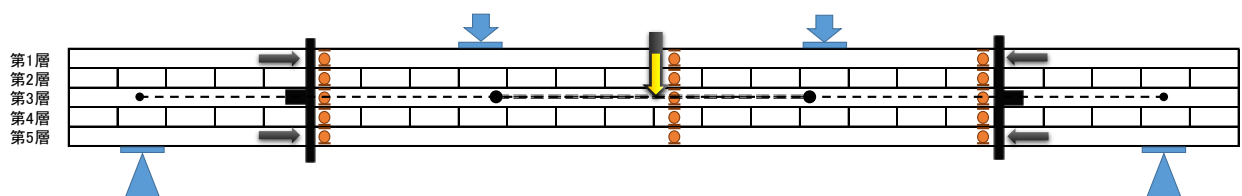


図 3.1 荷重点、変位計、ひずみゲージ取り付け概要



写真 3.1 側面左側変位計とひずみゲージ

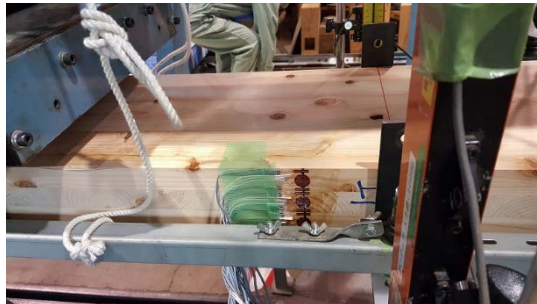


写真 3.2 側面中央変位計とひずみゲージ



写真 3.3 側面中央ひずみゲージ



写真 3.4 側面右側変位計とひずみゲージ

3.2 CLT の面外曲げ性能の測定結果

面外曲げ試験結果を表 3.2、静的ヤング係数と動的ヤング係数の比及び E/G を表 3.2 に、T.G.H.法ヤング係数と真の曲げヤング係数の関係を図 3.2 に、見かけの曲げヤング係数と曲げ強度の関係を図 3.3 に、比例限度変位と最大荷重時変位の比と強度の関係を図 3.4 に、比例限度変位と最大荷重時変位の比及び比例限度強度と曲げ強度の比の関係を図 3.5 に示す。また、参考として、資料 6.1 に荷重－変位量曲線を示す。

表 3.2 面外曲げ試験結果

5層5ply強軸 厚150mmヒノキ 試験体No	密度 kg/m ³	Pmax kN	Pmax変位量 mm	MOR N/mm ²	みかけEm MOE kN/mm ²	真 Eb MOE kN/mm ²	比例限度強度 N/mm ²	比例限度変位 mm	仕事量 kN・mm	含水率 %	破壊形態
1-1-1	523	80.9	78.9	37.6	9.22	9.79	32.2	50.4	3852	12.1	曲げ: FJ1,K2
1-1-4	526	81.5	65.8	37.9	8.83	9.34	28.9	47.0	2846	12.2	曲げ: FJ2,K1
1-1-7	513	77.0	66.5	35.9	8.43	9.11	29.8	51.2	2754	13.7	曲げ: K1,FJ2
1-2-2	517	86.3	82.0	40.0	8.56	9.39	33.0	55.5	4131	12.3	曲げ: FJ1,K2
1-2-5	530	81.3	71.3	37.8	8.75	9.53	33.1	54.5	3277	13.1	曲げ: FJ1,K2
1-3-3	538	83.5	67.8	38.9	8.94	9.68	34.2	55.2	3063	13.4	曲げ: FJ2,K1
1-3-6	517	89.2	79.6	41.6	8.72	9.78	30.8	50.8	3993	13.9	曲げ: FJ1,K1
2-1-1	517	78.2	96.6	36.2	7.55	7.95	27.5	52.5	4738	13.5	曲げ: FJ1,K2
2-1-4	519	74.2	92.8	34.4	7.75	8.52	28.8	53.4	4394	13.6	曲げ: FJ1,K2
2-1-7	510	72.1	66.9	33.4	7.54	8.15	29.9	57.0	2564	13.5	曲げ: FJ1,K1
2-2-2	504	71.5	81.1	33.2	7.19	7.97	30.0	59.8	3431	13.7	曲げ: FJ1,K2
2-2-5	508	66.8	62.8	31.0	7.31	7.92	27.8	54.7	2184	13.6	曲げ: FJ1,K1
2-3-3	516	74.4	68.4	34.5	7.61	8.31	29.9	56.6	2696	13.8	曲げ: FJ1,K2
2-3-6	498	85.3	95.6	39.5	7.92	8.48	28.9	52.4	4956	13.4	曲げ: K2
3-1-1	476	74.3	67.4	34.5	8.06	8.72	28.5	50.8	2729	12.7	曲げ: FJ1K2
3-2-3	471	78.6	85.0	36.4	7.47	7.98	31.6	60.3	3901	11.7	曲げ: FJ1
最小値	471	66.8	62.8	31.0	7.19	7.92	27.5	47.0	2184	11.7	
平均値	511	78.4	76.8	36.4	8.11	8.79	30.3	53.9	3469	13.1	
最大値	538	89.2	96.6	41.6	9.22	9.79	34.2	60.3	4956	13.9	
標準偏差	17.8	6.1	11.3	2.9	0.7	0.7	2.0	3.5	834.4	0.7	
変動係数%	3.5	7.7	14.7	7.8	8.1	8.2	6.6	6.6	24.1	5.3	
5%下限値	対数正規分布			31.1							

※ 5%下限値：信頼水準 75%の 95%下側許容限界値（対数正規分布）

破壊形態：FJ はフィンガージョイント破壊、K は節破壊、数値は個所数、
記載順が破壊順

表 3.3 静的ヤング係数と動的ヤング係数の比及び E/G

試験体No	見かけ/ Efr kN/mm ²	真/TGH ETGHf kN/mm ²	Etgh/TGH GTGHf kN/mm ²
1-1-1	1.17	0.97	25.0
1-1-4	1.20	0.93	25.6
1-1-7	1.23	0.93	26.1
1-2-2	1.22	0.95	25.5
1-2-5	1.14	0.94	25.5
1-3-3	1.13	0.94	27.2
1-3-6	1.18	0.99	26.7
2-1-1	1.12	0.89	23.8
2-1-4	1.13	0.95	24.4
2-1-7	1.14	0.92	25.5
2-2-2	1.09	0.99	22.9
2-2-5	1.11	0.88	28.2
2-3-3	1.16	0.94	28.4
2-3-6	1.14	0.99	24.4
3-1-1	1.11	0.95	29.5
3-2-3	1.09	0.96	25.6
最小値	1.09	0.88	22.9
平均値	1.15	0.94	25.9
最大値	1.23	0.99	29.5
標準偏差	0.04	0.03	1.75
変動係数%	3.7	3.3	6.8

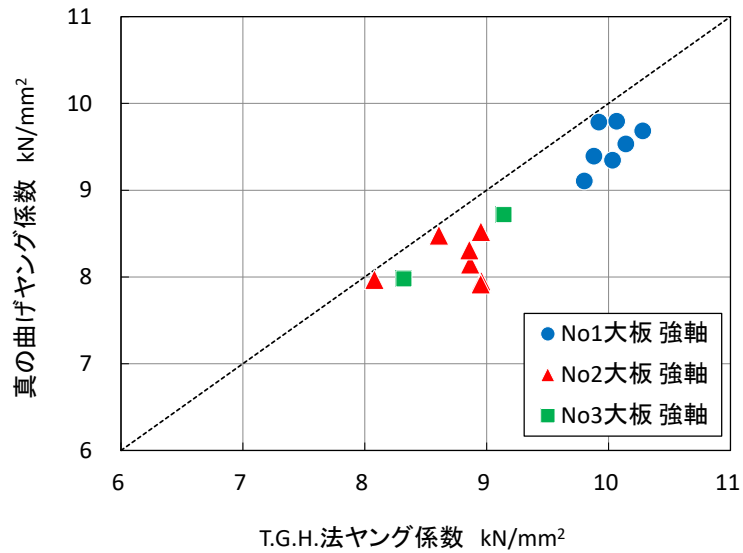


図 3.2 T.G.H. 法ヤング係数と真の曲げヤング係数の関係

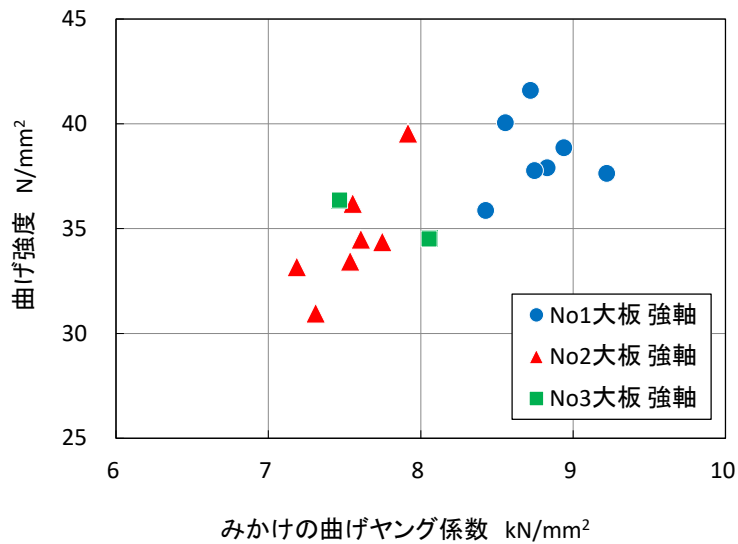


図 3.3 みかけの曲げヤング係数と曲げ強度の関係

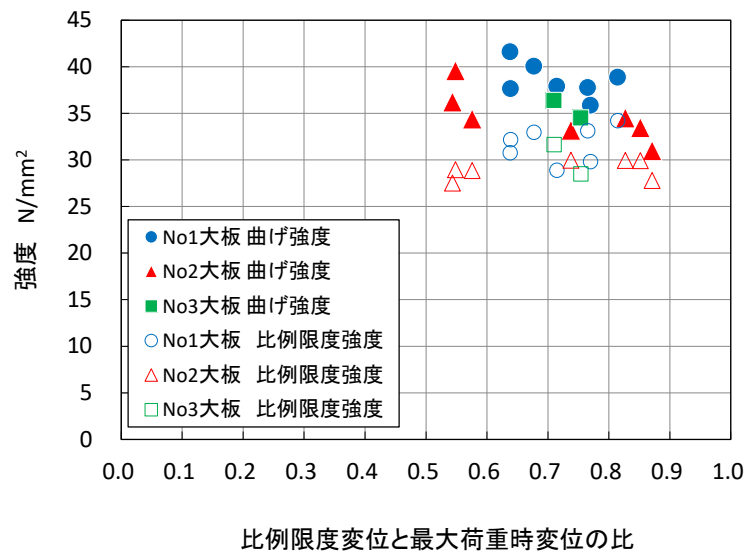


図 3.4 比例限度変位と最大荷重時変位の比と強度の関係

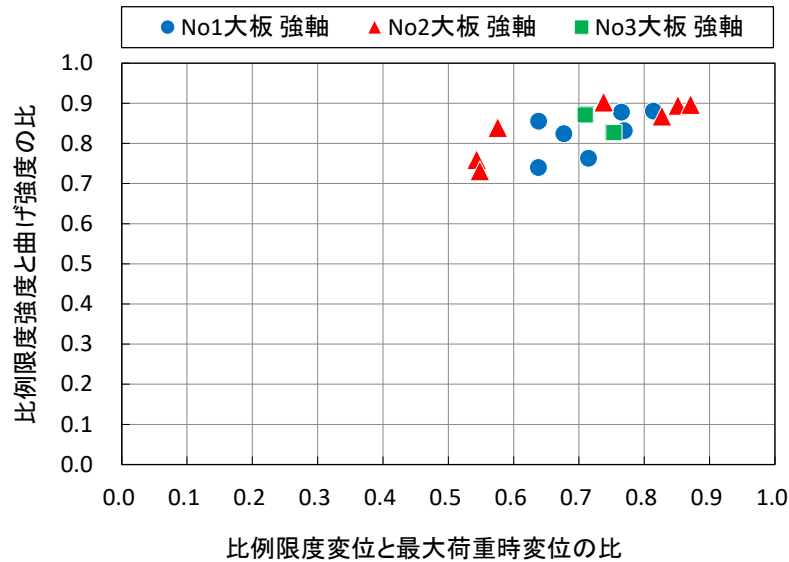


図 3.5 比例限度変位と最大荷重時変位の比及び比例限度強度と曲げ強度の比の関係

表 3.2 から試験体の密度平均値は 511kg/m^3 、全乾法による含水率平均値は 13.1% であった。また、最大荷重平均値は 78.4kN 、曲げ強度平均値は 36.4N/mm^2 、見かけの曲げヤング係数平均値は 8.11kN/mm^2 、せん断の影響の無い区間の真の曲げヤング係数平均値は 8.79kN/mm^2 となった。せん断の影響のある区間の曲げヤング係数の 8% 大きい値であった。

表 3.3 から見かけの曲げヤング係数と縦振動ヤング係数の比は平均値で 1.15%、真の曲げヤング係数と T.G.H.法のヤング係数の比は平均値で 0.94 と比較的近くなり、T.G.H.法により、真の曲げヤング係数が推定可能であると判断された。また、T.G.H.法による E/G は平均値で 25.9 と一般的な製材品よりも高い値となった。

図 3.2 の T.G.H.法ヤング係数と真の曲げヤング係数の関係から、真の曲げヤング係数が少し低めになっていること、また、No1 の真の曲げヤング係数が高めであることが分かった。

図 3.3 のみかけの曲げヤング係数と曲げ強度の関係から、No2、No3、No1 の順に見かけの曲げヤング係数と曲げ強度とも高くなっていることが分かった。

図 3.4 の比例限度変位と最大荷重時変位の比と強度の関係から、比例限度変位と最大荷重時変位の比に関わらず、比例限度強度はほぼ一定であるが、比例限度変位と最大荷重時変位の比が高くなるほど曲げ強度は、低くなる傾向があることが分かった。また、図 3.5 の比例限度変位と最大荷重時変位の比及び比例限度強度と曲げ強度の比の関係から、比例限度変位が最大荷重時変位に近い試験体ほど、比例限度強度と曲げ強度も近い値となる傾向があることが分かった。

破壊形態について、写真 3.5 から写真 3.21 に示す。試験体 16 体のうち 14 体が引張側平行層（外層）ラミナの水平フィンガージョイントを起因とする曲げ破壊であった。残り 2 体は最初に節が破壊した。



写真 3.5 No1-1-1 破壊状況



写真 3.6 No1-1-4 破壊状況



写真 3.7 No1-1-7 破壊状況



写真 3.8 No1-2-2 破壊状況



写真 3.9 No1-2-5 破壊状況



写真 3.10 No1-3-3 破壊状況



写真 3.11 No1-3-6 破壊状況



写真 3.12 No2-1-1 破壊状況



写真 3.13 No2-1-4 破壊状況



写真 3.14 No2-1-7 破壊状況



写真 3.15 No2-2-2 破壊状況



写真 3.16 No2-2-5 破壊状況



写真 3.17 No2-3-3 破壊状況



写真 3.18 No2-3-6 破壊状況



写真 3.19 No3-1-1 破壊状況



写真 3.20 No3-2-3 破壊状況

3.3 CLT の面外曲げ性能に影響を及ぼす因子の検討

試験体側面に取り付けた変位計及びひずみゲージのデータから、面外曲げ性能に影響を及ぼす因子と考えられる層内せん断のなんらかの指標を評価できないか検討した。まず、試験体側面に取り付けた変位量測定による平行層の動きについて、2、3 の試験体の例を図 3.6 から図 3.10 に示す。

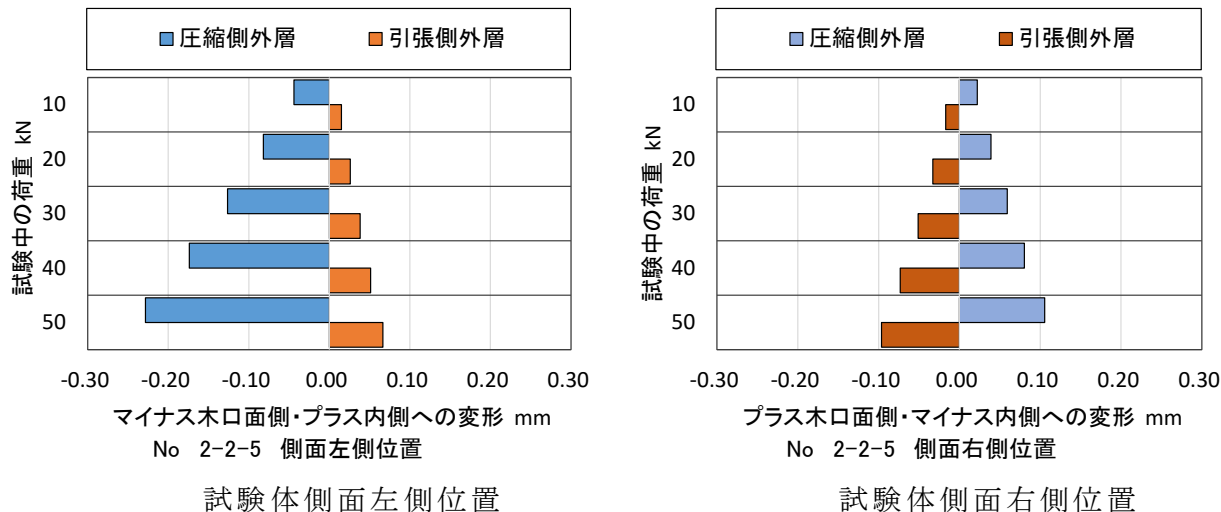


図 3.6 曲げ強度が一番低かった No2-2-5 試験体の側面変位量

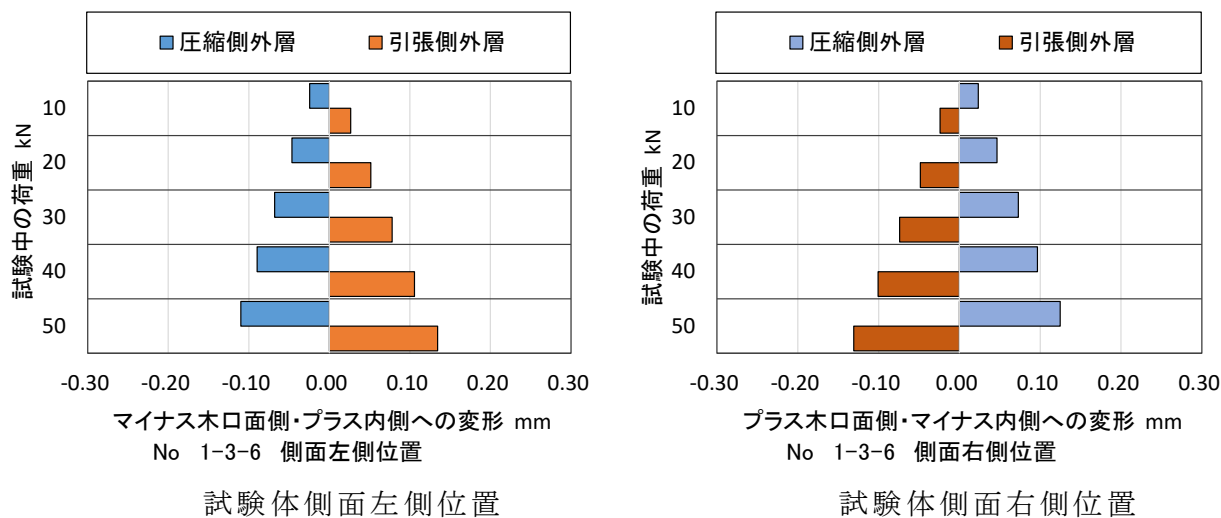


図 3.7 曲げ強度が一番高かった No1-3-6 試験体の側面変位量

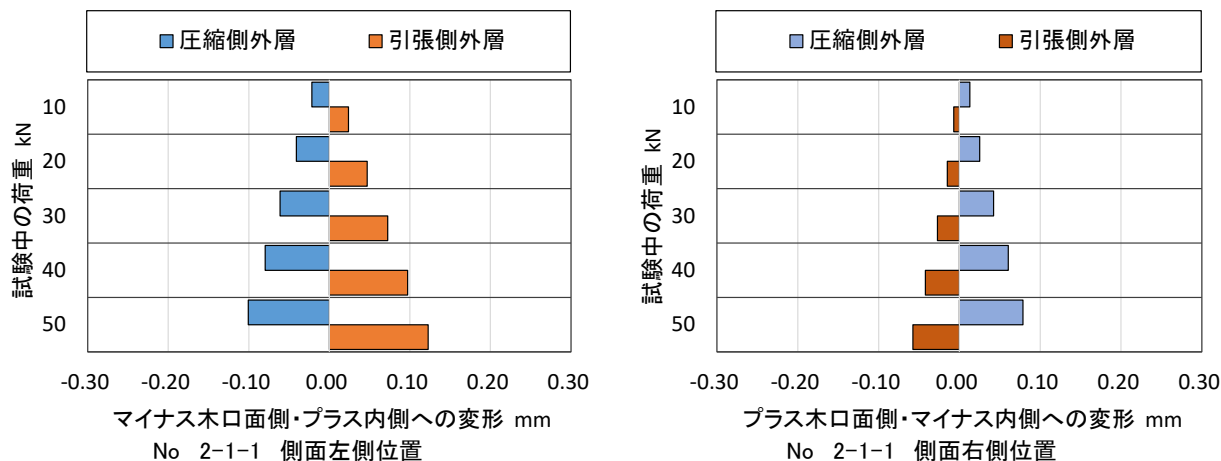


図 3.8 比例限度強度が一番低かった No2-1-1 試験体の側面変位量

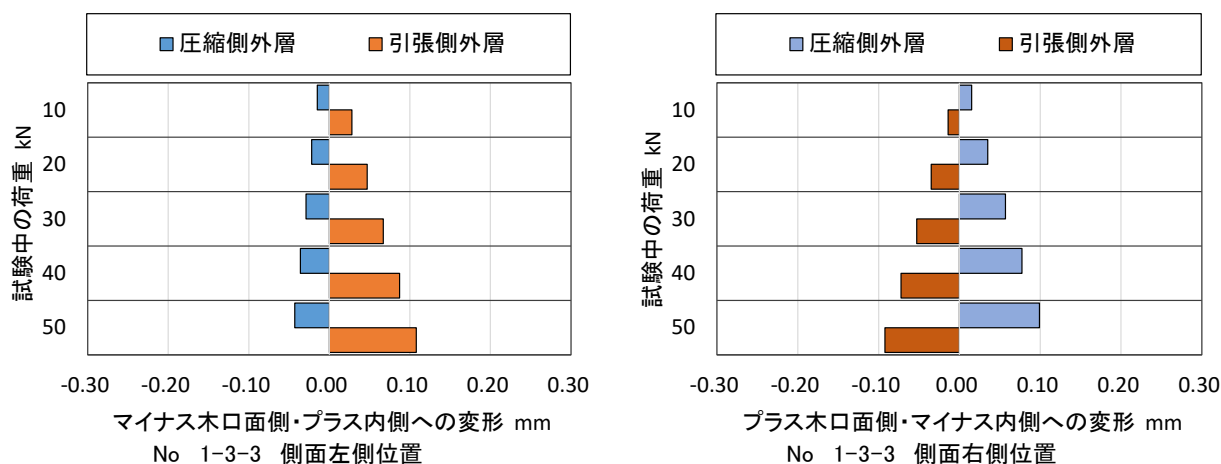


図 3.9 比例限度強度が一番高かった No1-3-3 試験体の側面変位量

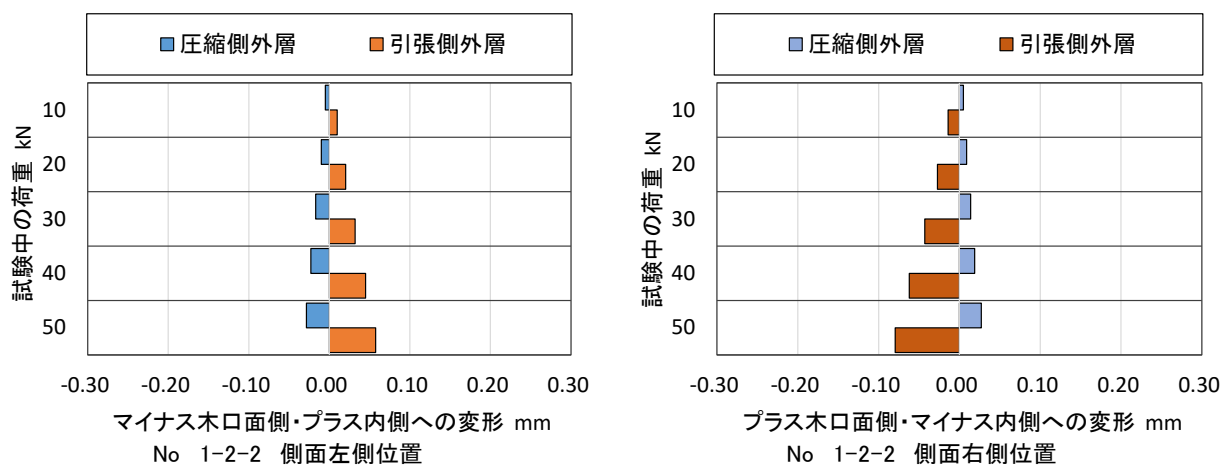


図 3.10 側面変位量が一番少なかった No1-3-3 試験体の側面変位量

試験体の平行層を上から 1 層目、3 層目、5 層目とすると、3 層目に固定したターゲットを中心に載荷 50kN 時には、1 層目は試験体外側木口面方向に最大 0.23mm (No2-2-5) の、また、5 層目は試験体中心部方向に最大 0.17mm (No3-1-1) のずれが生じていた。どの試験体においても変位量の大小にかかわらず、このような変位方向であった。この結果から、2 層目、4 層目の直交層が微妙なずれを一定の方向で変形していると考えられた。

しかし、試験体ごとの変位量の違いは、曲げ強度 (資料 6.2 参照) や比例限度強度の高低によって比較しても、一定の傾向があるとは考えられなかった。つぎに、試験体側面に貼り付けたひずみゲージによる評価の目的について説明する。それは、水平方向に貼ったゲージによって、厚さ方向の圧縮や引張ひずみがどのような状況になっているか、ひずみ量の大きさがどの程度か、実測値と計算値を比較するためである。また、3 軸ゲージによる主ひずみの方向を調べることで、ラミナ側面にどのような方向で応力が働いているかを確認することができると考えたからである。この 2 種類のデータから、載荷時初期から曲げ破壊に至るまで、仮に最終破壊形態が層内せん断破壊に至らなくても、ラミナがどのような変形をしているのかを突き止めることが可能ではないかと考えた。

以上のことから、一つの評価の例として No1-3-3 について図 3.11 で説明する。図中の左図の上の「左側」とは、試験体を試験機の操作盤から見て、左側の支点と荷重点の間の中央付近のことを示す。左図では、この付近に貼り付けた水平方向のひずみゲージにより、試験体の厚さ方向の圧縮や引張ひずみ量を図化したものである。また、「中側」とは荷重点間の中心付近、「右側」とは操作盤から見て右側の支点と荷重点の間の中央付近のことである。左図で「圧縮」とあるのは、ひずみゲージは圧縮の場合にマイナスが表示されるので、マイナス側を「圧縮」と表現した。「引張」については、プラス表示されるため、プラス側を「引張」とした。凡例の中で「計算値」とは、 $\text{ひずみ} = \text{モーメント} \div (\text{断面係数} \times \text{曲げヤング係数})$ を計算したもので、圧縮最大ひずみ、引張最大ひずみを計算して、この 2 点を直線で結んだ。なお、計算においての仮定は、材料は等方・等質性を有しフックの法則に従う、変形を受ける前に平面であった横断面は変形後も平面を保ち、試験体の水平軸と直交することとしている。また、曲げヤング係数は、見かけの曲げヤング係数を使った。

図中で中程の写真については、左図のグラフの縦軸に合わせて、各ラミナとそれぞれに貼り付けたひずみゲージの状況を見ることができるようにした。

右図では、各ラミナ側面の主ひずみの角度が分かるように赤の矢印で表現した。赤の矢印と直交方向（点線）が、せん断破壊が起こりうる面（線）となる。したがって、図中では 1 層目は主ひずみの角度は約 90 度で、ラミナが上下に割裂する向きであり、2 層目から 4 層目は、主ひずみは左上・右下方向で、破壊時には右上がりの方向にせん断破壊が起こる可能性がある。5 層目は、主ひずみの角度ほぼ 180 度で水平方向に引っ張られており、90 度方向に引張破壊が起こると想定される。

さらに具体的には、図 3.11 の左図では、ひずみゲージ実測値について圧縮側では 1 層目が計算値よりひずみ量が大きく、2 層目直交層でも圧縮傾向が強かった。これは変位計でのずれが左側木口面に向けて生じていたことから推定して、ラミナに左向きの回転力がかかっていたのではないかと考えられた。また、引張側においても 4 層目の引張ひずみが大きめで、変位計の測定で 5 層目が中心に向けてずれていることから、4 層目に左向きの回転力がかかっているように見られた。3 層目は 2 層目と 4 層目に合わすように圧縮から引張に転じていた。この図では中心軸は、ずれていなかった。また、計算値は、実測値より小さめであり、計算の仮定条件が適合していないと考えられた。

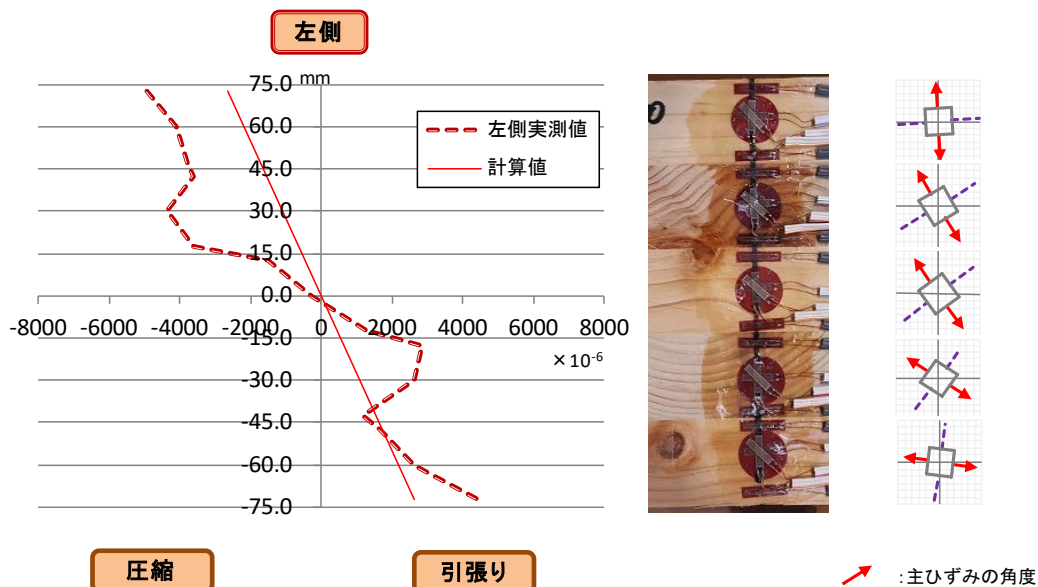


図 3.11 No1-3-3 比例限度荷重時における水平方向のひずみ量（左図）及び主ひずみの方向（右図）の例

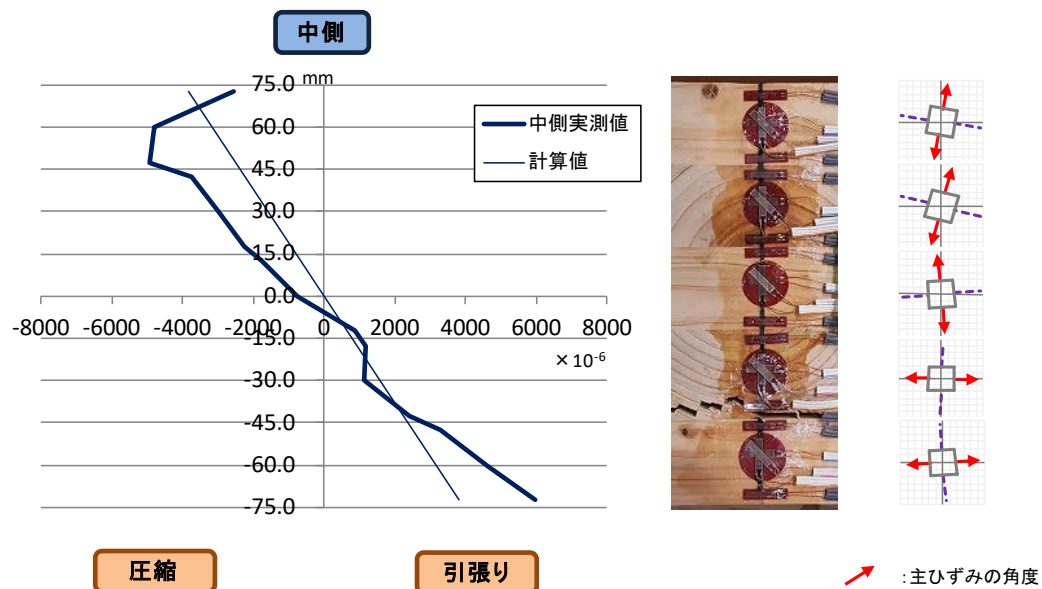


図 3.12 No1-3-3 比例限度荷重時における水平方向のひずみ量（左図）及び主ひずみの方向（右図）の例

図 3.12 に図 3.11 と同様に No1-3-3 の荷重点間中心部付近の比例限度のひずみ量などを示す。図 3.12 の左図から、1 層目は一番外側のひずみゲージのひずみ量が少なく（この原因はどこか近辺で応力の開放が起こっているのかもしれない）、全体的に圧縮から引張とひずみ量が平均的に推移しているように見える。ただし、計算値とは適合していない。仮にこの計算で真の曲げヤング係数を代入した場合は、ひずみ量の計算値はさらに低めとなる。右図では、1 層目から 3 層目までは上下方向に主ひずみの方向があり、4 層目、5 層目は水平方向に引張力が働いていることが分かる。

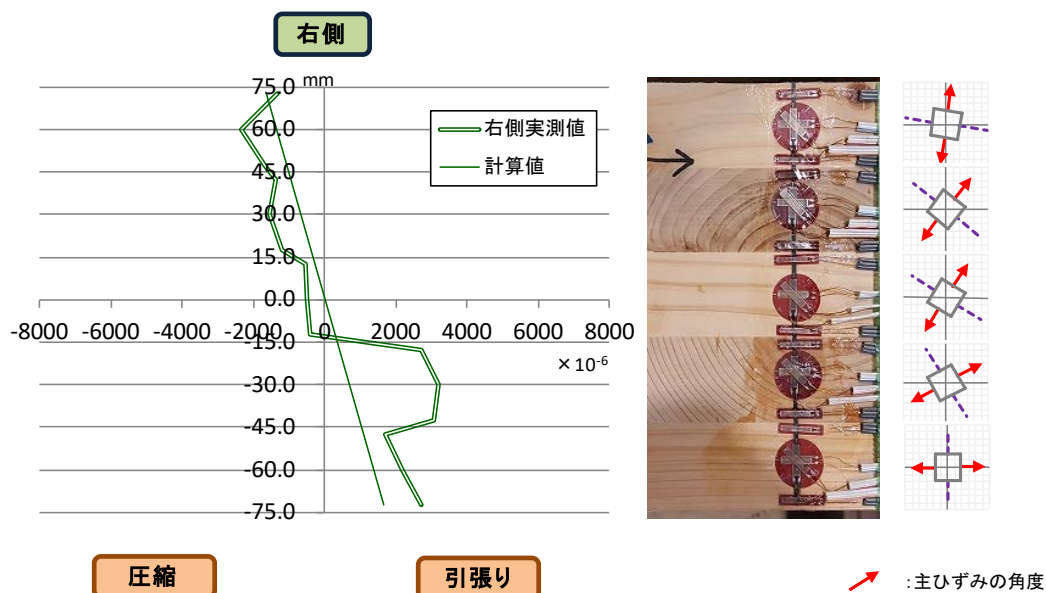


図 3.13 No1-3-3 比例限度荷重時における水平方向のひずみ量（左図）及び主ひずみの方向（右図）の例

図 3.13 に図 3.11 と同様に No1-3-3 の荷重点と右側支点間の中央付近の比例限度のひずみ量などを示す。図 3.13 の左図では、4 層目の直交層で大きく引張ひずみが発生している。この部分を除けば実測値と計算値は比較的適合しているようである。

つぎに図 3.14 に示すのは、これまでの図と同じ比例限度荷重時の図ではあるが、図 3.11 の左図で見るのとは、直交層の引張と圧縮が逆のパターンである。資料 6.3 を見ていただければ分かるが、ひずみには様々なパターンがあり、ひずみゲージを貼り付けた位置には、圧縮・引張などの力が局所的に働いているようである。

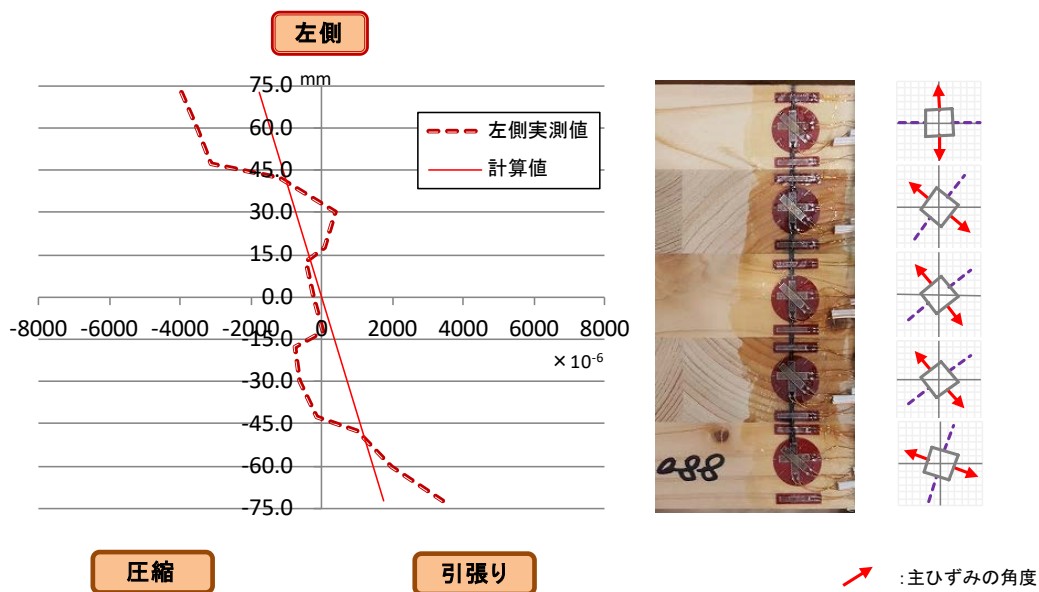


図 3.14 No1-3-6 比例限度荷重時における水平方向のひずみ量（左図）及び主ひずみの方向（右図）の例

また、計算値が実測値と合致していないようなので、試行的に 1 層目と 5 層目のみの断面係数を入力してみると、比較的よく適合したようである（図 3.15、資料 6.4 参照）。

様々なデータをより詳細に分析してみないと分からないが、幅はぎのない CLT 梁は一般的には等方・等質性を有した平面を保った梁と同様な曲げ状態とはなるが、直交層において層内せん断の影響があり、圧縮・引張ひずみは大きめの値を示す、と言えるであろう。

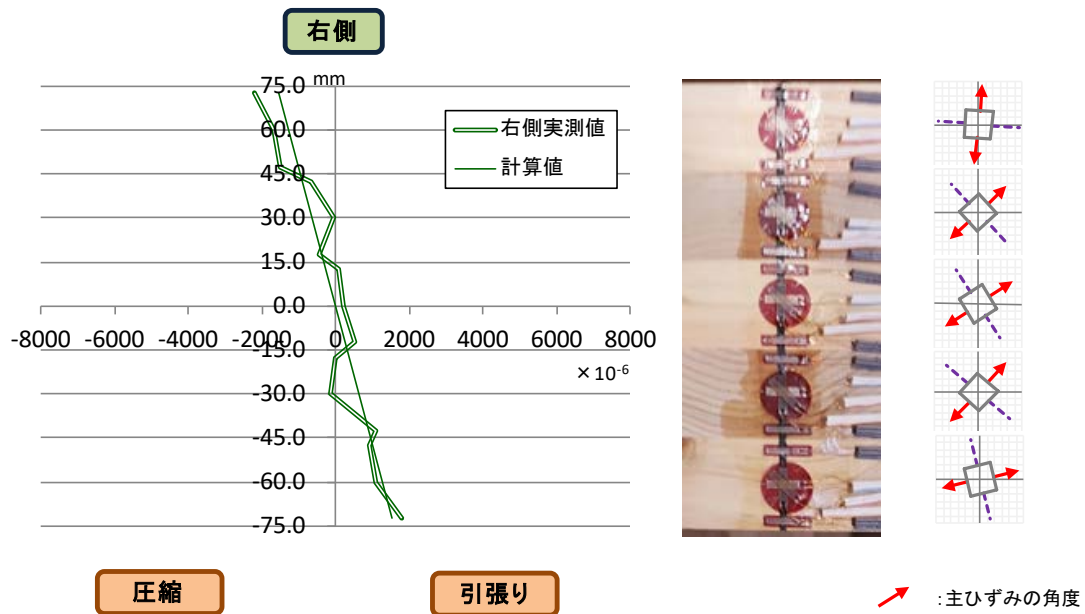


図 3.15 No1-3-3 比例限度荷重時外層のみの断面係数で計算した例

文献

3.1) 久保島吉貴：未発表資料

4. CLT の長期挙動性能に関する検討

4.1 検討の目的

木質材料は粘弾性体であることから、木質材料を用いた建築物に荷重等の外力が長期間作用すると、変形の増大や最悪の場合、建築物の倒壊を招く恐れがある。したがって、想定する建物の使用期間に合わせて、作用する外力による影響を適切に構造的設計に反映できるよう、材料の強度等級や断面寸法を選択する必要がある。直交集成板の JAS 規格によると、CLT は、ひき板又は小角材をその繊維方向を互いにほぼ平行にして幅方向に並べ又は接着したものを、主としてその繊維方向を互いにほぼ直角にして積層接着し 3 層以上の構造を持たせた一般材であり、製材や集成材と構造が異なっている。このことにより CLT の長期載荷荷重に対する性能が製材や集成材と異なる可能性がある。特に、CLT は主応力方向と繊維方向が直交する層(直交層)を有するため、適切な材料選択のためには、材料の断面構成が強度性能に与える影響を定量的に評価する必要がある。

本節では、CLT の建築関係基準の整備等に必要となる長期挙動について、JAS 規格に規定される異等級構成を基本とする CLT の長期挙動データに係る試験を行い、その結果を国土交通省の建築関係基準の整備に活用できるよう整理することを目的とする。研究方法としては、建築基準法において定められている指定建築材料ごとの技術基準(測定方法等)に準じ、一定の温湿度環境下において一定の外力が作用する場合の CLT の長期変形挙動の測定を実施し、建築物の設計に資する長期挙動データの収集を行う。ここでは、面外曲げの長期的かつ継続的に作用する荷重に対する CLT の力学的な性状を採り上げ、知見を得ることを目的として、クリープ試験及びクリープ破壊試験を実施した。

4.2 試験体

クリープ破壊試験とクリープ変形試験に供した試験体の仕様と寸法は以下に示す通りとした。

樹種：ヒノキ

構成：5 層 5 プライ

等級：直交集成板の日本農林規格に定める Mx90

ラミナ厚さ：30±6mm

寸法：長さ 3450mm×厚さ 150mm×幅 300mm

4.3 試験方法

クリープ破壊試験を以下に記す載荷条件及び荷重量により実施した。

加力方法：3 等分点 4 点加力

支点間距離(厚さの 21 倍)：3150mm

荷重点間距離：1050mm

載荷荷重：曲げ試験により得られた最大荷重より決定

試験体数：2 体

4.4 応力レベルの決定

載荷する荷重の応力レベルは、短期曲げ試験により得られた試験体の最大荷重の平均値を元に決定した。建築基準法において定められている指定建築材料ごとの技術基準に従うと、3 応力レベル以上、各応力レベル 10 試験体以上を要するため、これまでの検討では、主として最大荷重の 90%、80%、70%に相当する荷重を各応力レベル 10 体ずつの試験体に載荷する方式を採用していた。本事業は、昨年度事業にて検討した応力レベルの水準を増やし、応力レベルと破壊時間の相関性を高める方針に従った。

応力レベル決定の過程は以下の通りである。

短期曲げ試験によるヒノキ Mx90-5-5 の試験体 16 体の最大荷重は、平均 78.4kN、標準偏差 6.07kN(COV7.7%)であった。応力レベルを最大荷重の 66～94%の範囲で 2%括約の数値とした。試験装置は、てこによる増力装置を介して重錘のデッドロードを 50 倍に拡大載荷するが、重錘の最小荷重は 1.0kg であることから、算出された荷重にもっとも近い重錘重量を選択することとした、例えば、応力レベル 66%の場合、算出される荷重は 45.46kN すなわち、4638.88kg となる。したがって、載荷すべき重錘重量は 92.77kg であるが、これを 1.0kg 括約に丸め、93kg 載荷するものとした。このとき、実際の応力レベルは 66.16%に相当する。図 4.1 に設定した応力レベルと実際の応力レベルの関係を示す。両者は良い一致を示しており、本試験条件において応力レベルを 2%括約で設定することは妥当であると言える。

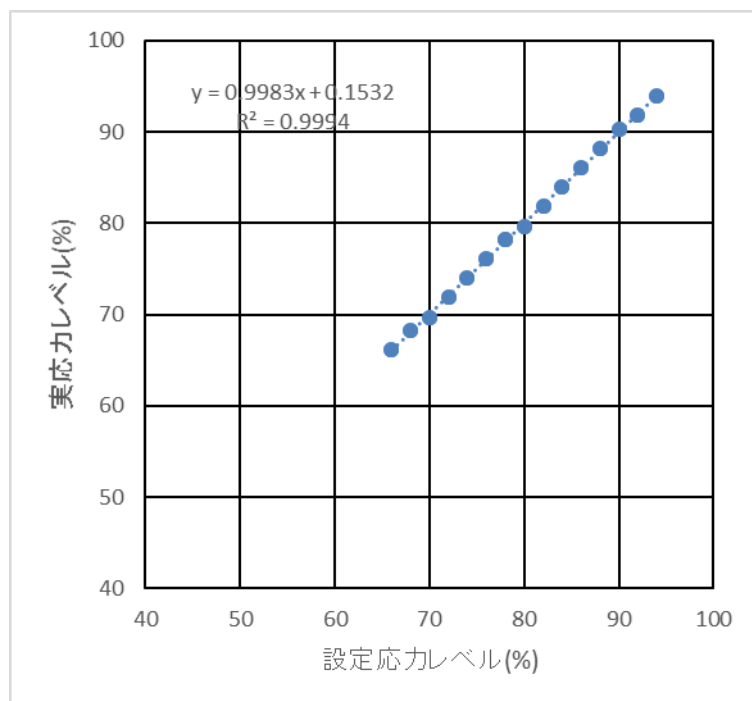


図 4.1 設定応力レベルと実応力レベルの関係

4.5 ヒノキ CLT の長期性能の測定結果

写真 4.1 にクリープ破壊試験の実施風景を示す。5 台の測定装置のうち 2 台にヒノキ 5 層 5ply 試験体を設置している状況である(なお、残り 3 台にはスギ 7 層 7ply 試験体を設置している)。試験空間が狭く、他の測定結果に影響を与えうるため、全ての試験体が破断するまで試験体の入れ替えを行うことは困難である。図 4.2 に測定中の 2 試験体変形量の経時的変化を示す。応力レベル 80% の場合、加力開始直後の中央部変形量は約 44.4mm 真の変形量は 5.67mm であった。67.4 時間後にはそれぞれ 49.1mm、6.33mm に増大している。応力レベル 90% の場合、加力開始直後の中央部変形量は約 51.0mm 真の変形量は 6.50mm であった。65.6 時間後にはそれぞれ 68.2mm、8.67mm に増大している。



写真 4.1 長期挙動試験の状況

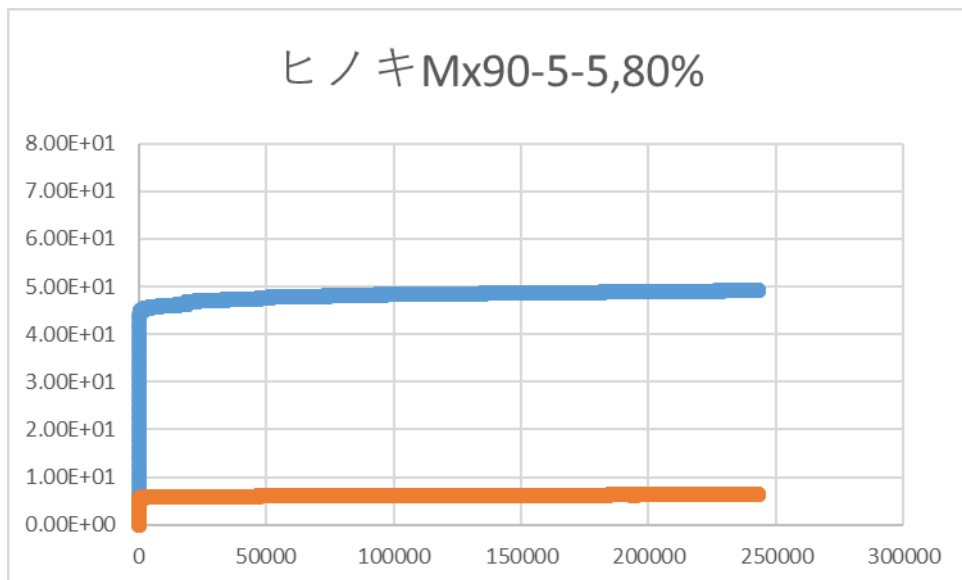
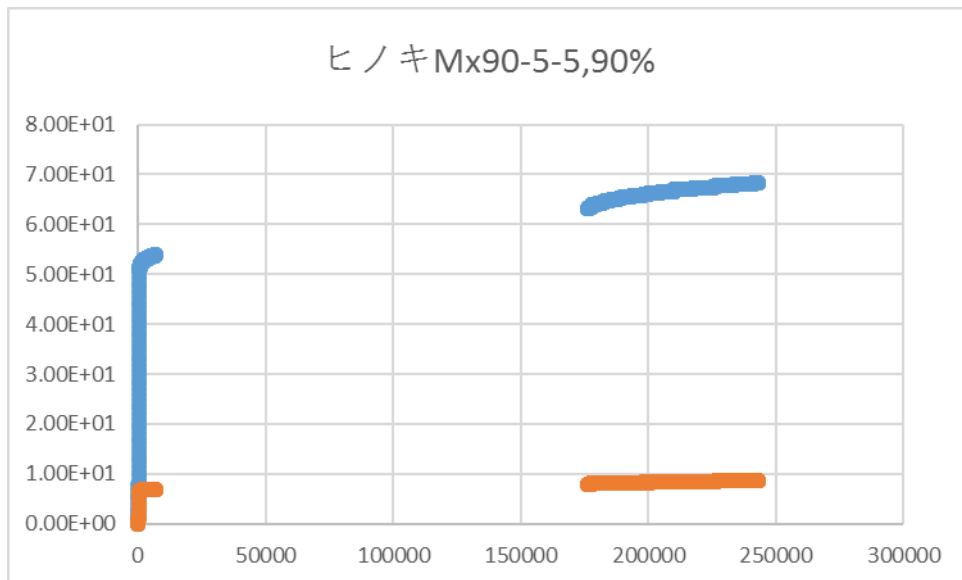


図 4.2 長期挙動試験時の変形量の変化

5. 計画の推進状況

5.1 第一回推進委員会（メール審議）

平成 29 年 2 月 20 日、事務局より有識者委員、課題担当者宛にメール審議を依頼した。

有識者委員：

安村 基	静岡大学農学部 生物資源科学科
中島 史郎	国立大学法人 宇都宮大学 地域デザイン科学部
青木 謙治	東京大学大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻
槌本 敬大	国立研究開発法人 建築研究所 材料研究グループ
中川 貴文	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部
尾方 伸次	公益財団法人日本合板検査会

参画機関（課題担当者）：

藤田 和彦	広島県立総合技術研究所林業技術センター
村田 忠	一般社団法人日本 CLT 協会
坂部 芳平	〃
孕石 剛志	〃
渋沢 達也	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
宮本 康太	〃
塔村 真一郎	〃

送付資料：

資料 1：CLT 建築物等普及促進委託事業に係る企画書

資料 2：工程表

審議事項：

本来であれば事業開始にあたり、第一回の推進会議を実施すべきところですが、以下の通り、メールによる持ち回り審議といたします。

経緯

本事業は H29 年度への繰り越し可能として公募・採択されたところですが、繰越手続事業責任者である森林総研担当者から委託元へ照会したところ、繰越手続きを履行期限の 3/17 までに行う必要があること、また、延長可能期限は 12 月末までであること、当該手続きを実施するためには有識者会議開催が必須であること、さらに、履行期限までに当該手続きを終えるためには、2/20 の週前半までに有識者会議を開催する必要があるとのことであった。

これを受けて、2/14 に有識者会議委員を選定、委員就任依頼を送付した。委員就任承諾の受領が 2/20 となったため、推進会議開催の日程調整不可と判断された。このため、会議に替え、以下の議題についてメール審議をお願いした。

議題 1：事業目的の承認

「資料 1：企画書・経費内訳書」を添付した。

本事業ではこれまで強度データ特に長期挙動に関するデータがないヒノキを用いた CLT を対象とし、長期挙動データを導出することを目的としている。

議題 2：事業内容

上記資料 1 に記述があるが、本事業では、

- ①ヒノキ Mx90 または S90 の 5 層 5ply を対象
- ②JAS 規格に準ずる試験条件にて最大 16 体を用いて曲げ破壊荷重の導出
- ③上記結果を元に応力レベルを決定
- ④少なくとも 1 体の長期挙動を測定
- ⑤履行期限との兼ね合いで DOL となるかクリープとなるか成り行きを内容としている。

ここでは上記の検討項目についてご審議下さい。

議題 3：事業計画の承認

「資料 2：森林総研_繰越工程表」を添付した。

試験体仕様の決定、試験体の製造、試験については重複期間があり、各工程の区分は同時進行となる可能性がある。

上記の議題 1～3 について、ご質問・ご意見がございましたら、本メールの送付先全員宛にてお寄せ下さい。参画機関におかれても、ご意見等ございましたらお願いいたします。
先の経緯の関係から 2/22 中を締切りとさせていただきます。

審議結果：

審議内容について、委員の先生方から特段の意見はなかったことから、全ての議題について承認をいただいたと判断した。これにより、2/23 に審議終了とした。

5.2 現地検討会

期 日：平成 29 年 6 月 16 日

場 所：広島県立総合技術研究所林業技術センター三次高平施設
(広島県三次市十日市町)

参加者：青木謙治（委員、東京大学）、尾方伸次（委員、日本合板検査会）、
渋沢龍也、宮本康太、末定拓時、宮武敦（課題担当、森林総合研究所）、
中島拓之、孕石剛志（課題担当、CLT 協会）、
黒田尚宏（事務局、日本木材加工技術協会）

現地施設等概要：

① 林業技術センター・三次高平施設

広島県立総合技術研究所林業技術センターは、昭和 23 年に広島県林業研究指導所として発足し、平成 9 年に広島県立林業技術センターに改組され、木材実験棟が開設されている。平成 21 年に広島県三次庁舎に移転し、木材実験棟のある旧施設は三次高平施設となっている。

② 木材実験棟

木材実験棟には、実大強度試験機（曲げ 500kN）、実大引張り試験機（最大 500kN）、壁体せん断試験機（最大 100kN、試料寸法最大 4m×3m）、圧縮試験機（2000kN）など、木材・木質材料の強度試験を行うための実験機器が整っている。実験棟以外の旧研修施設や食堂スペースには多数のクリープ試験機が設置されている。強度関連の機器以外では、安全・安心な乾燥材生産技術の開発に使用された木材乾燥機や、木材の不燃化等高機能化技術の開発に使用された注入缶なども設置されている。

実施内容：

林野庁委託事業「CLT の性能データ収集・分析」に係る現地検討会を開催・出席し、有識者委員を交えて CLT の強度試験について検討を行うとともに研究打ち合わせを行った。については、初日に研究打ち合わせが行われ、本年度事業の内容についての概説と質疑応答を実施した。二日目には CLT の強度試験の視察と試験体仕様、試験方法・結果に関する確認を行った。本年度の試験対象であるヒノキ試験体を現認し、試験時に試験体の変形に加え、各層の引張・圧縮・せん断ひずみが測定され、試験の実施状況は的確であることが確認された。また、CLT の JAS 規格について今後の改正方向等、意見交換が行われた。

5.3 第二回推進委員会

平成 28 年度補正林野庁委託事業
「CLT 建築物等普及促進委託事業（CLT の性能データ収集・分析）」
第二回推進委員会 議事録

日 時： 平成 29 年 10 月 11 日（水）10:00～12:00

場 所： 林友ビル 6 階小会議室（東京都文京区後楽 1-7-12）

議 題：

- 1) 開会
- 2) 委員・オブザーバー紹介
- 3) 本年度事業について
 - (1) 面外曲げ試験結果の説明と検討（資料 1）
 - (2) 長期挙動試験結果の説明と検討（資料 2）
- 4) 総合討論・報告書の作成方針の確認
- 5) その他

資 料：資料 1 面外曲げ性能
資料 2 長期性能評価

委員名簿（順不同、敬称略）

委 員：	安村 基	静岡大学農学部 生物資源科学科
	中島 史郎	国立大学法人 宇都宮大学
	青木 謙治	東京大学大学院農学生命科学研究科
	槌本 敬大	国立研究開発法人 建築研究所
	中川 貴文	国土交通省 国土技術政策総合研究所
	尾方 伸次	公益財団法人日本合板検査会

オブザーバー：	井口 真輝	林野庁木材産業課 木材製品技術室
	原 章仁	〃

課題担当者：	藤田 和彦	広島県立総合技術研究所林業技術センター
	村田 忠	一般社団法人日本 CLT 協会（代 桐野昭寛）
	坂部 芳平	〃 （代 西妻）
	孕石 剛志	〃
	渋沢 龍也	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
	宮本 康太	〃

事務局：	黒田 尚宏	公益社団法人日本木材加工技術協会
	海老原 徹	〃

議 事

3) 本年度事業について

(1) 面外曲げ試験結果の説明と検討 (資料 1)

広島県林業技術センターの藤田氏より曲げ試験結果について報告があった。

面外曲げ試験に供した C L T は、ヒノキ 5 層 5 プライ (Mx90) で、幅 300mm、厚さ 150mm、長さ 3,450mm である。曲げ試験の前に、たわみ振動法と縦振動法により非破壊試験を行った。

たわみ振動法による曲げヤング係数の値は、原板 1、2、3 で原板 1 が大きい値を示した。

曲げ試験は、スパンを厚さの 21 倍とし、3 等分点 4 点荷重方式で行った。曲げ破壊は、FJ より破壊した。また、FJ の無いところは節から破壊が発生し、破壊形態は全部が曲げ破壊を示した。

曲げ試験結果 (表 1.1.2) を見ると、原板の密度の平均値は、原板 1 が 524 kg/m^3 、原板 2 が 510 kg/m^3 、原板 3 が 473 kg/m^3 であり、原板 1 がヤング係数、最大荷重 (P_{\max}) とともに大であった。

(2) 長期挙動試験結果の説明と検討 (資料 2)

森林総合研究所の渋沢氏より長期挙動試験結果の説明があった。

クリープ破壊試験は、曲げ試験と同様の寸法の試験体を用い、スパン 3,150mm とし、3 等分点に載荷した。応力レベルは、短期曲げ試験により得られた試験体の最大荷重の平均値を基に決定し、応力レベルは 80% と 90% の 2 水準とし、試験体数は 2 体である。図は、6.4 トン (応力レベル 80%)、7.2 トン (応力レベル 90%) をかけ始めてから今までのデータを示す。青はせん断変形を含むスパン中央の変形を、オレンジは真の曲げ変形量を示すが、それぞれの変形量は増大している。

4) 総合討論・報告書の作成方針の確認

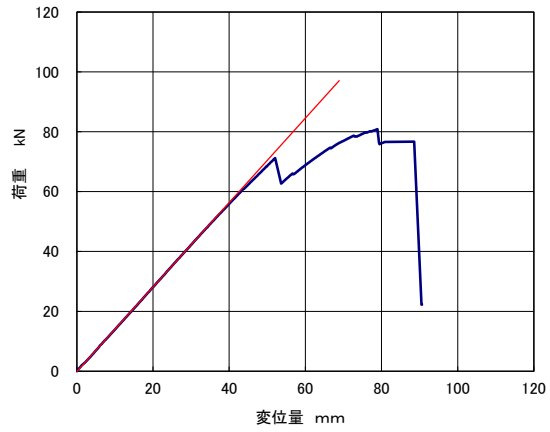
欠席の委員には、本日の資料を送ってメール審議を行うこととした。

報告書の原稿締め切りは 11 月末とし、12 月 20 日までに報告書を仕上げる。

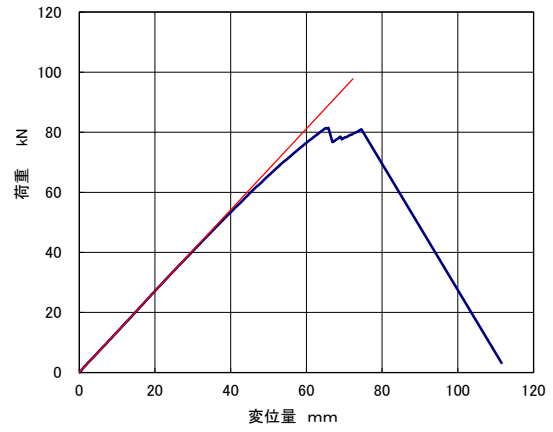
付属データ

6. 付属データ

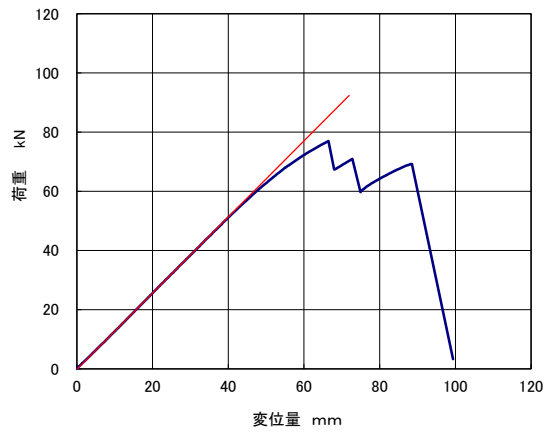
資料 6.1 荷重－変位量曲線



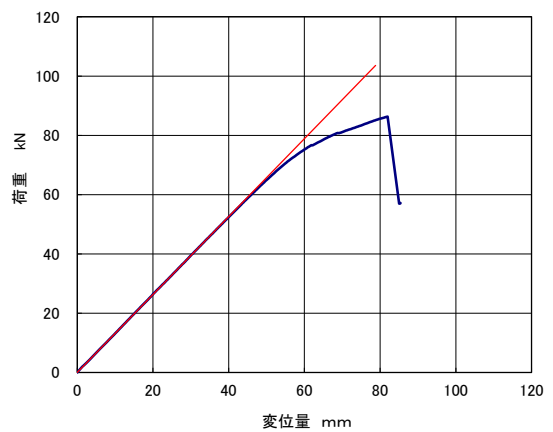
No. 1-1-1



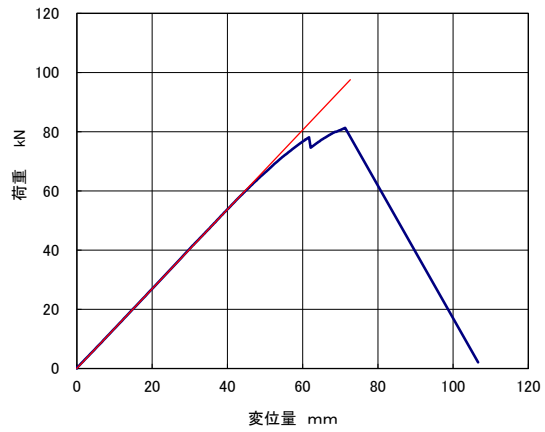
No. 1-1-4



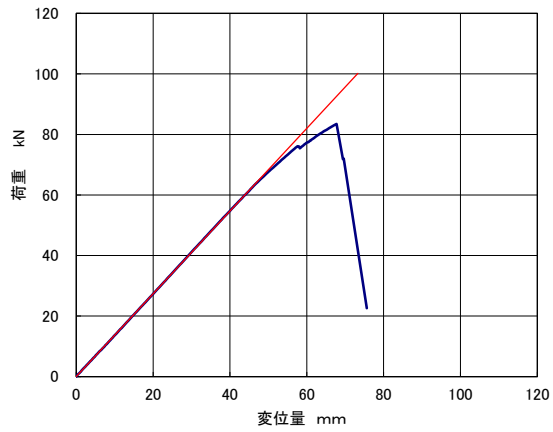
No. 1-1-7



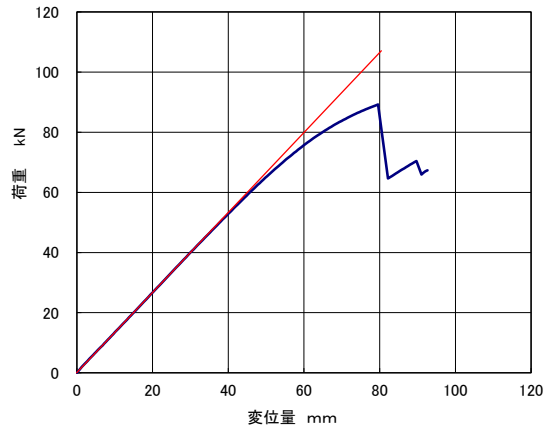
No. 1-2-2



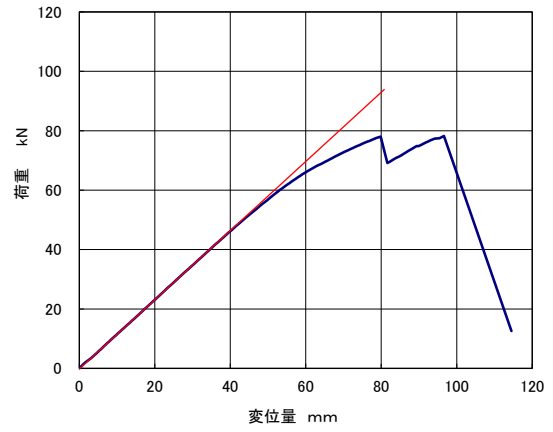
No. 1-2-5



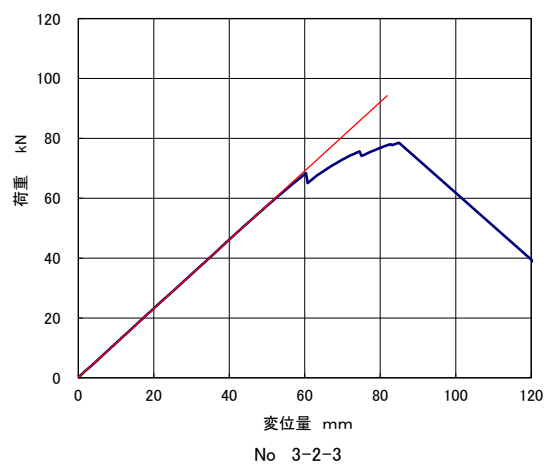
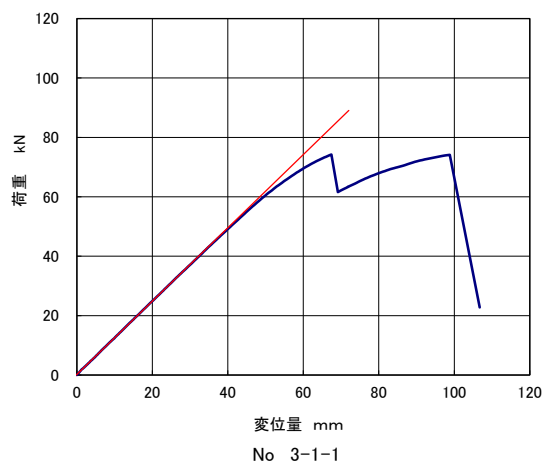
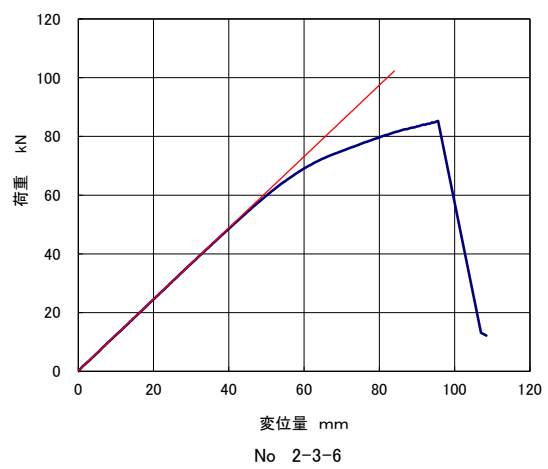
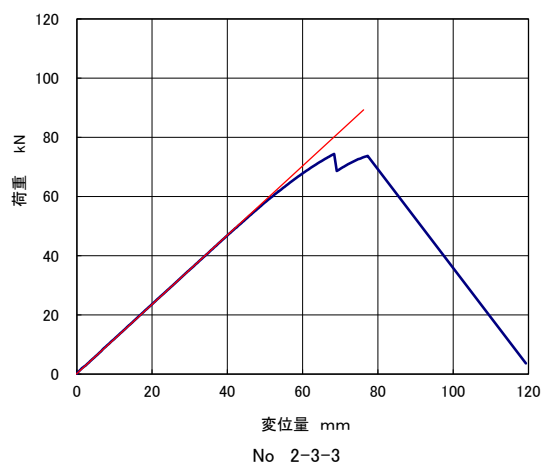
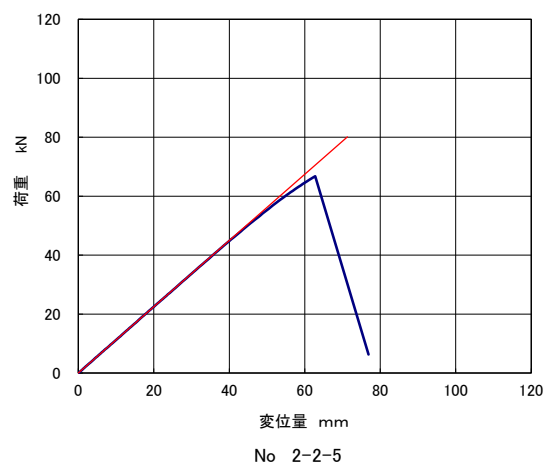
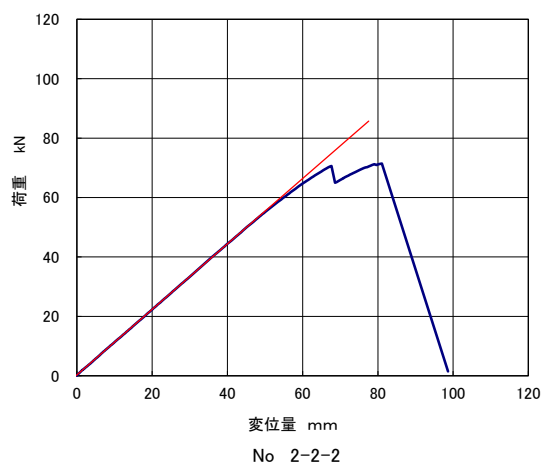
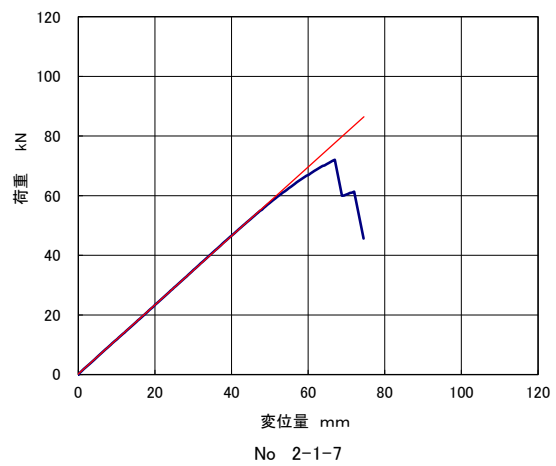
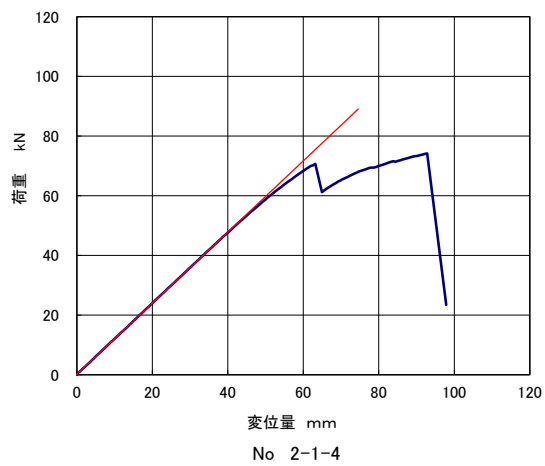
No. 1-3-3



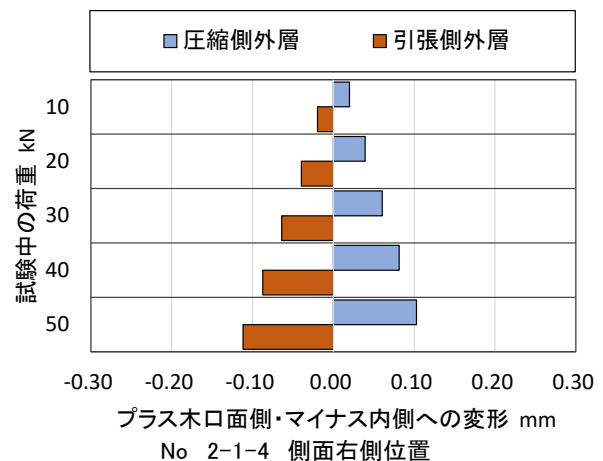
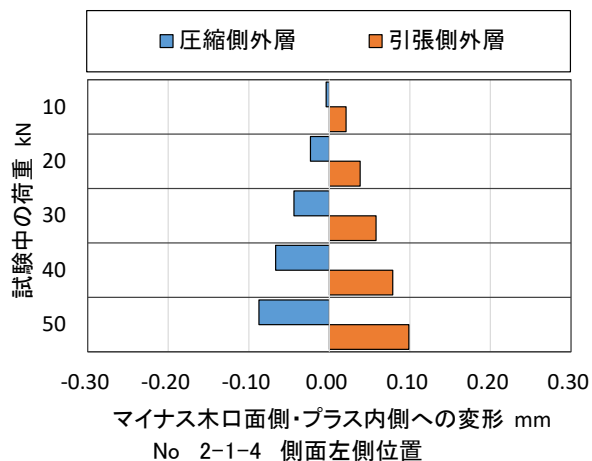
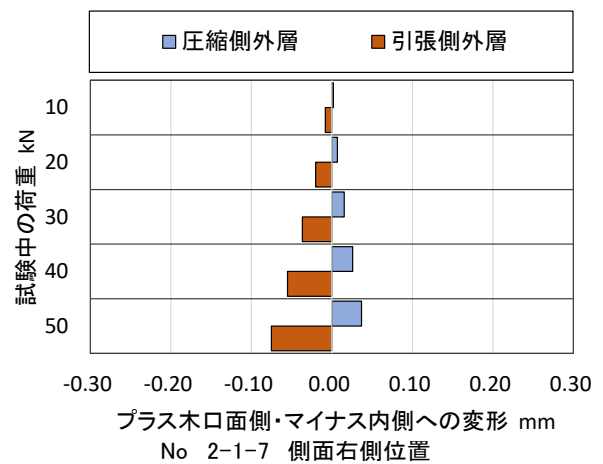
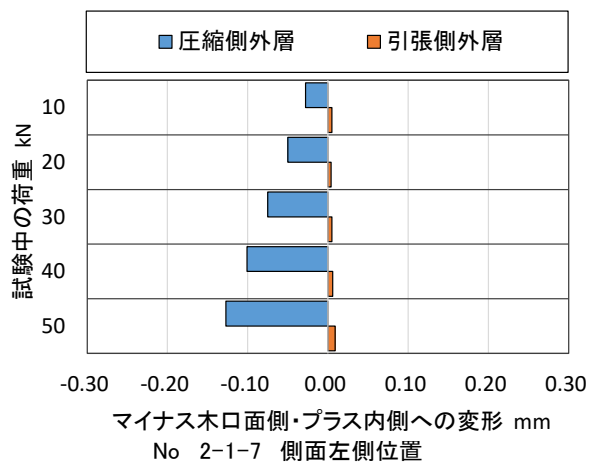
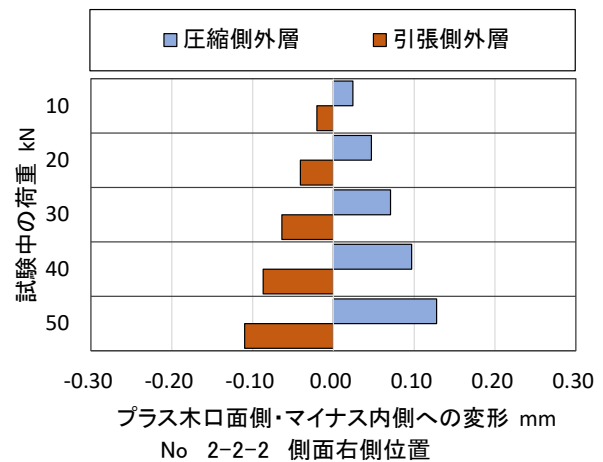
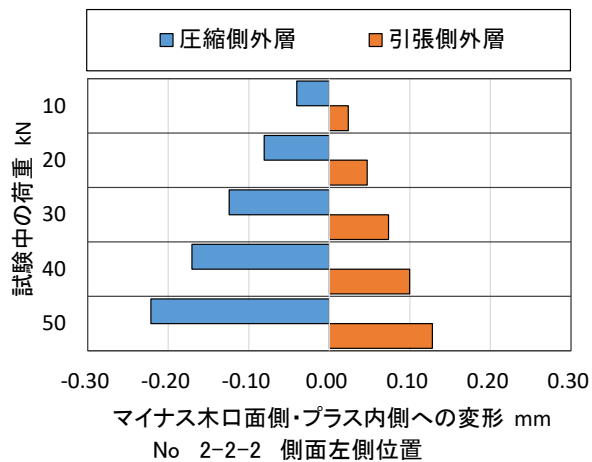
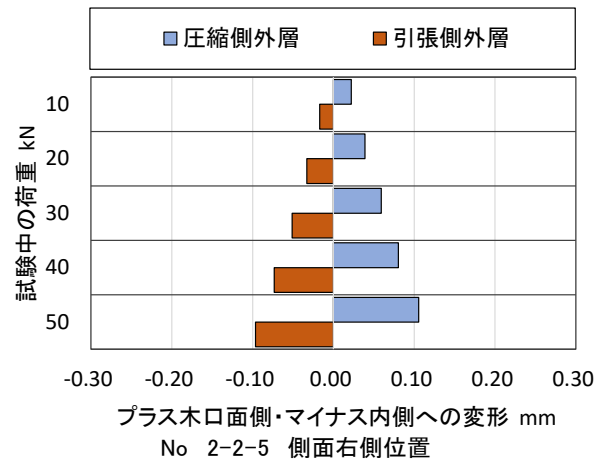
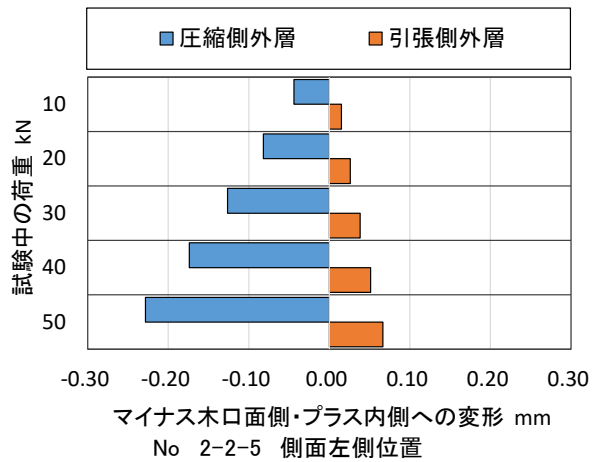
No. 1-3-6

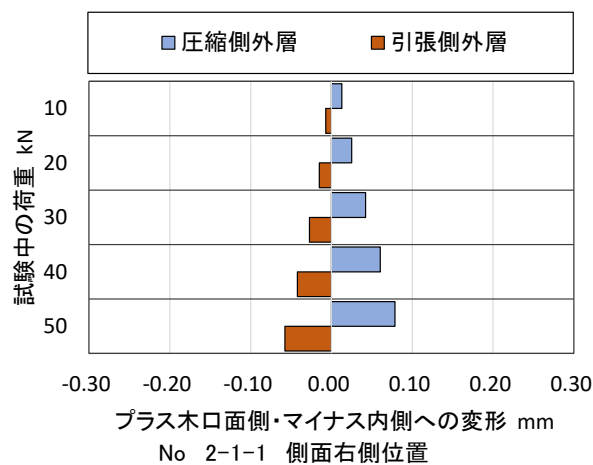
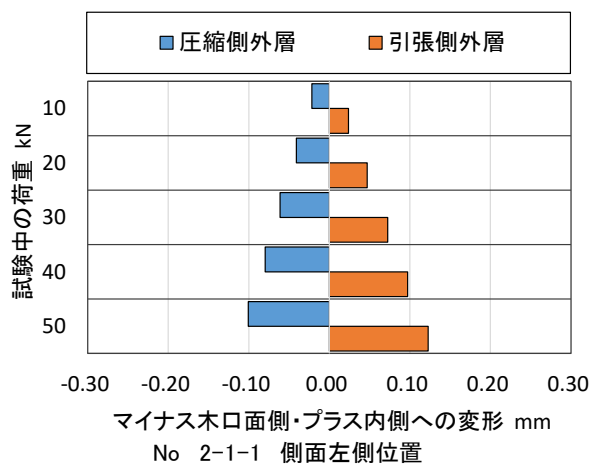
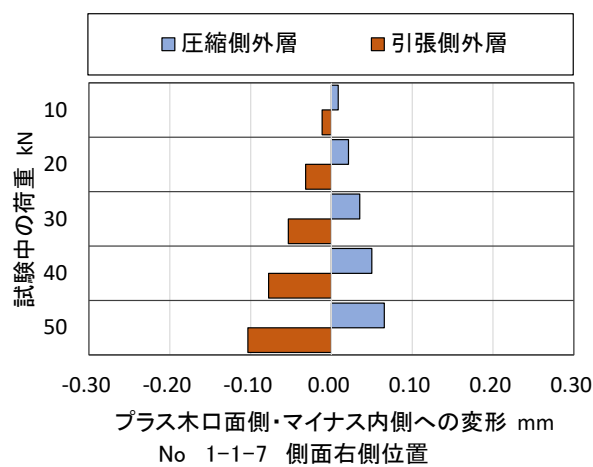
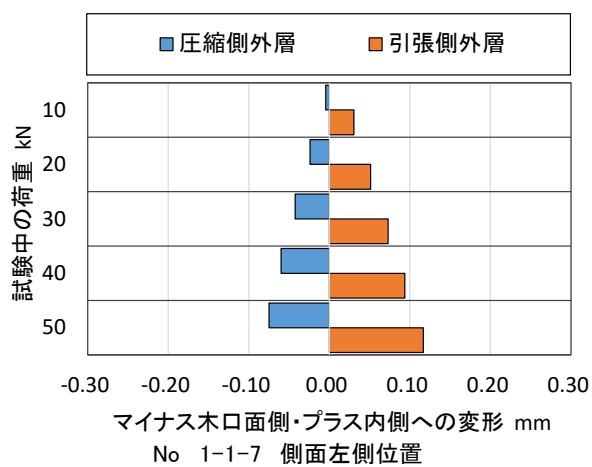
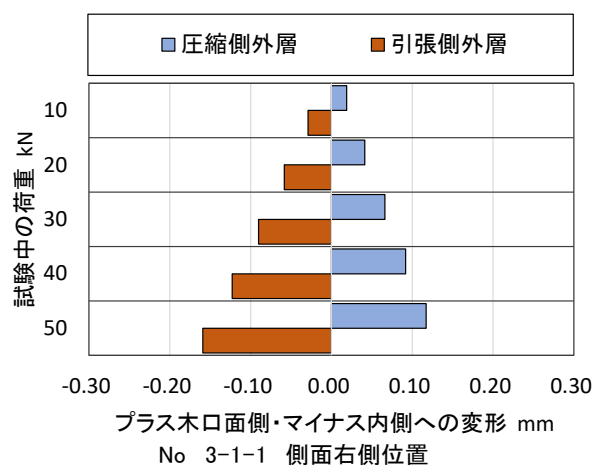
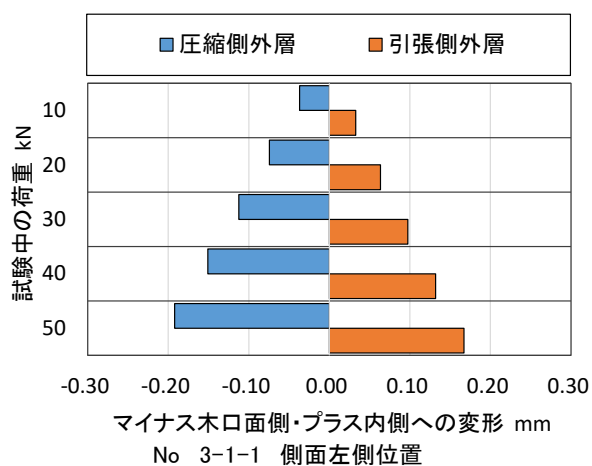
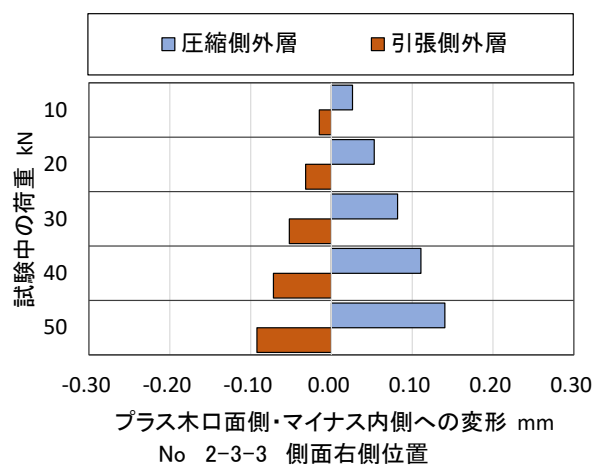
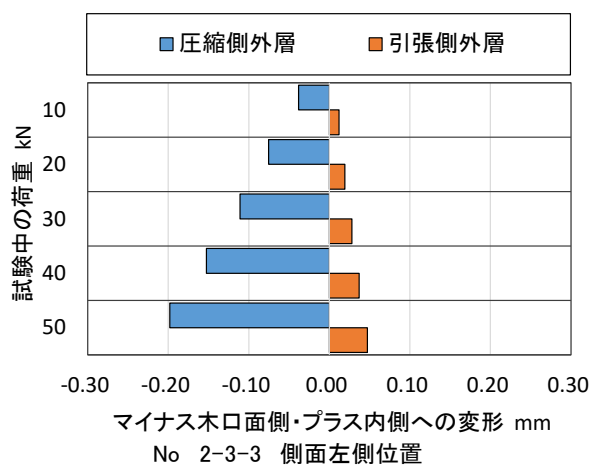


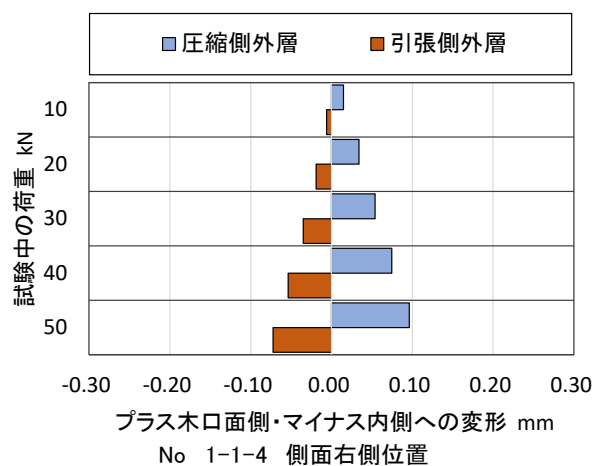
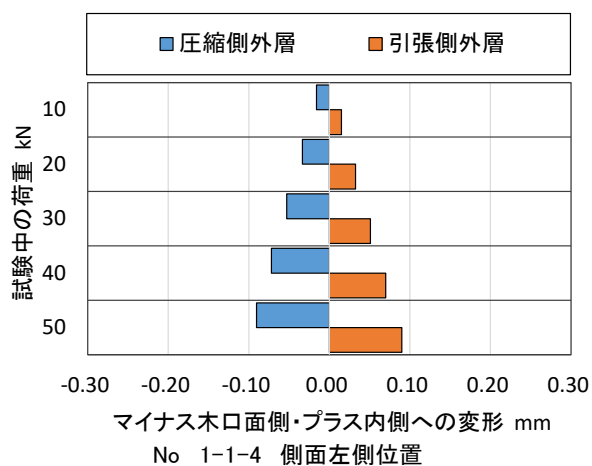
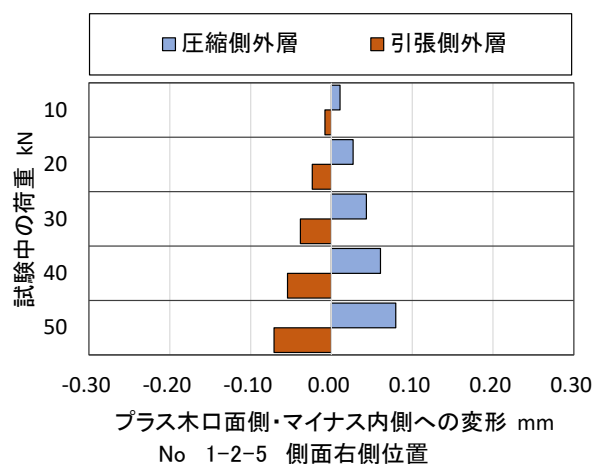
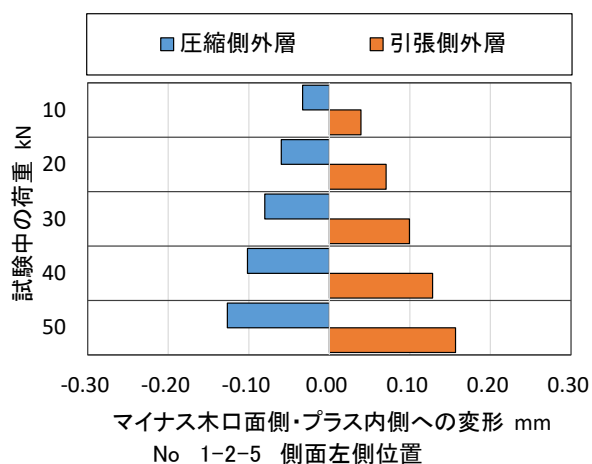
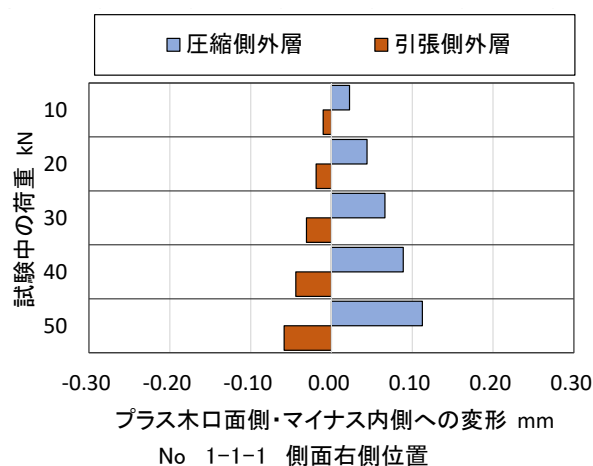
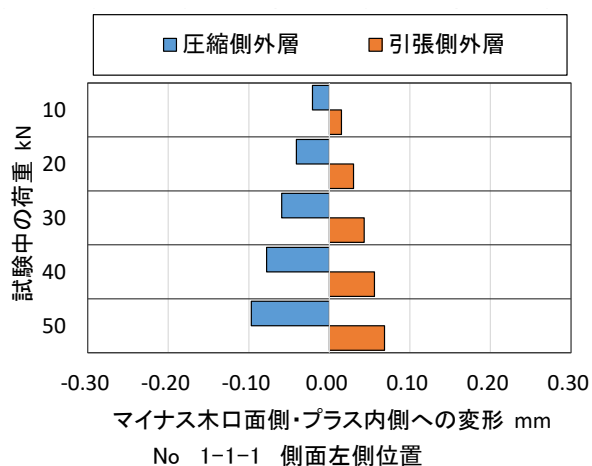
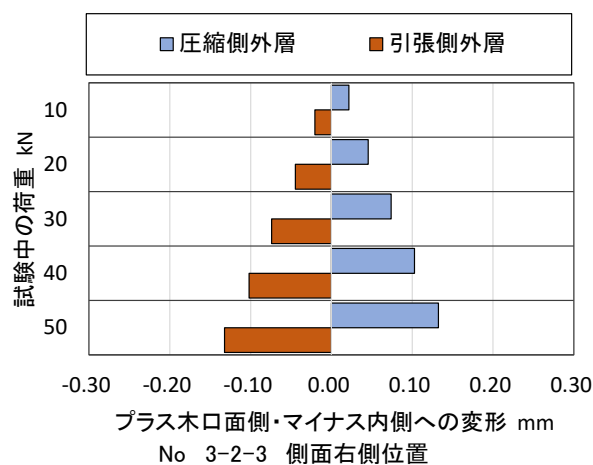
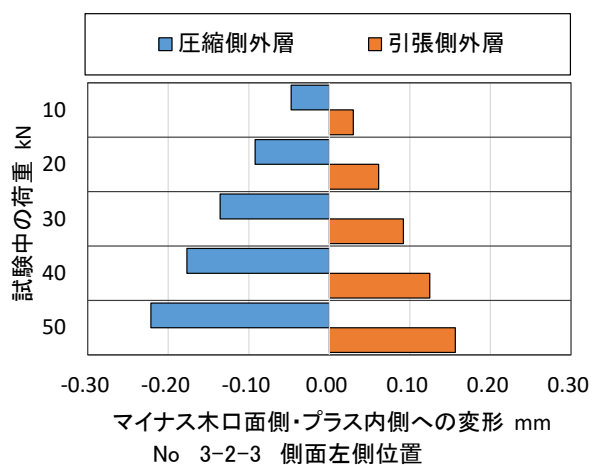
No. 2-1-1

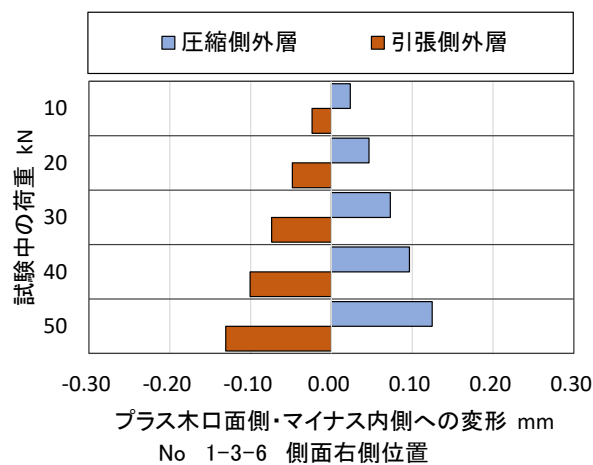
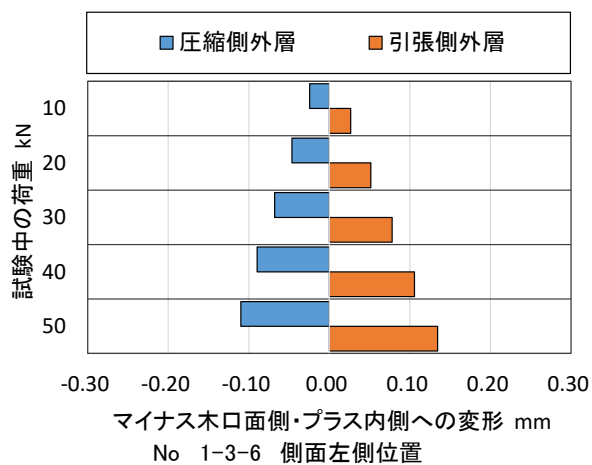
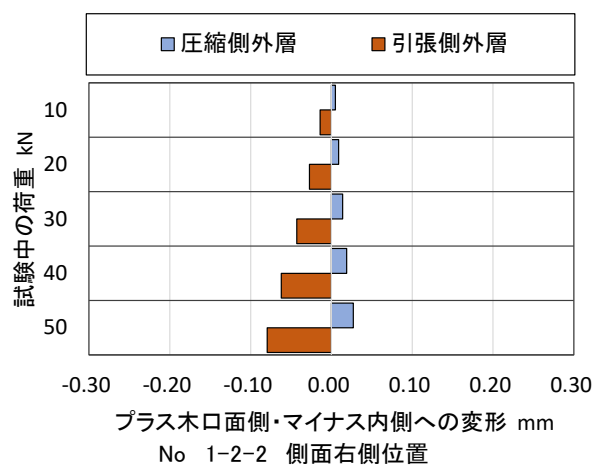
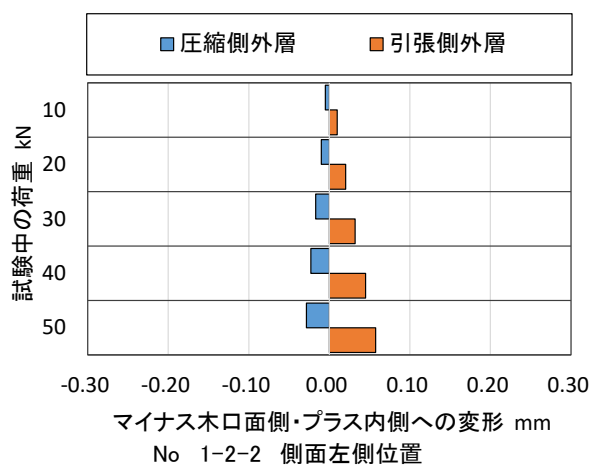
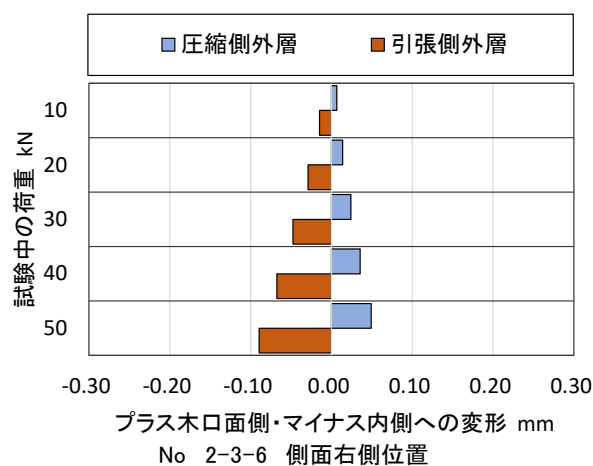
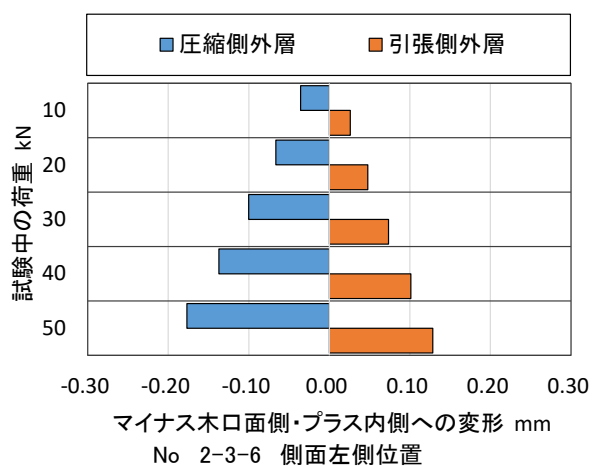
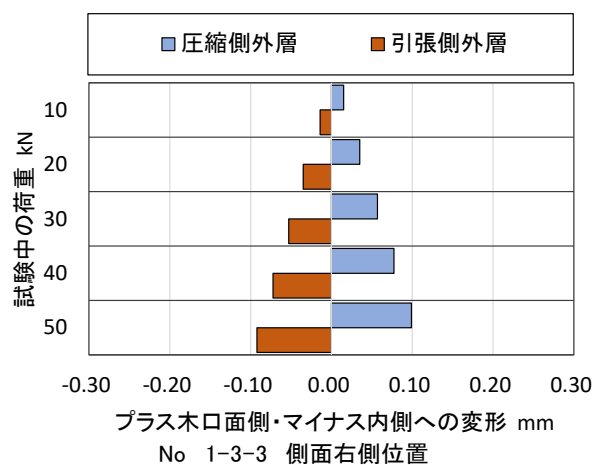
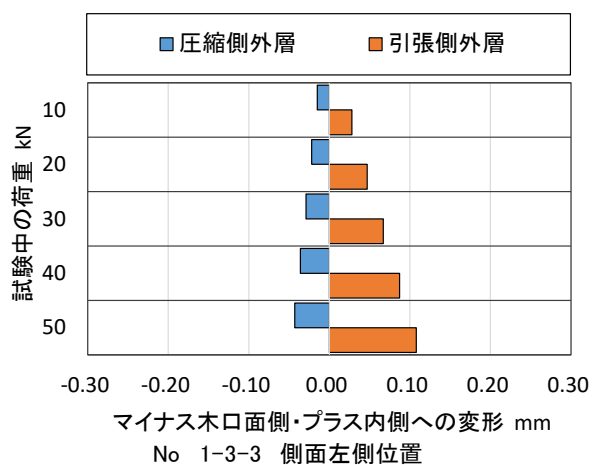


資料 6.2 試験体側面の曲げ試験時各荷重における変位量（曲げ強度昇順）





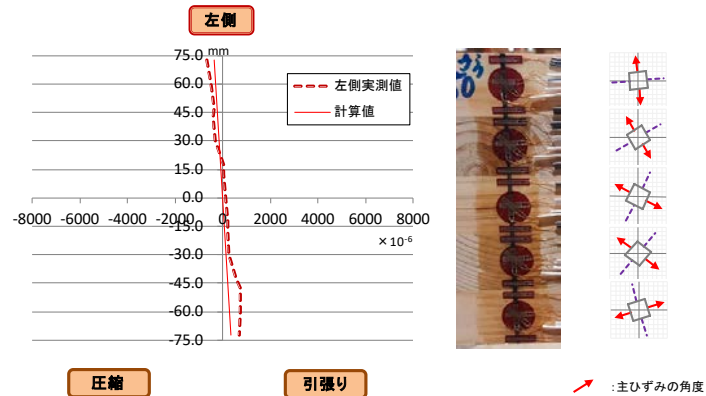




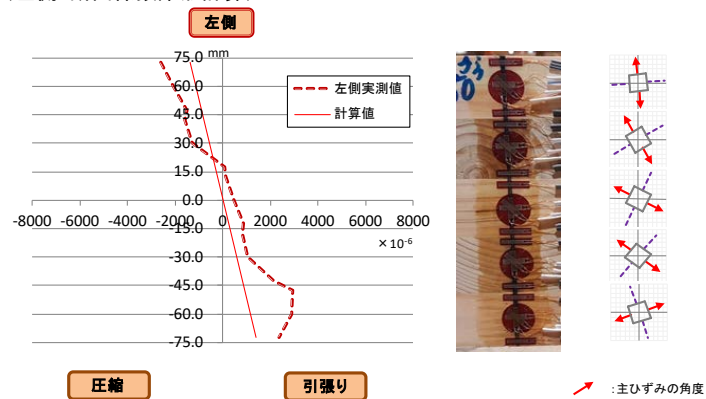
資料 6.3 各試験時の荷重による水平方向のひずみ量（左図）
及び主ひずみの方向（右図）

No1-1-1 左側

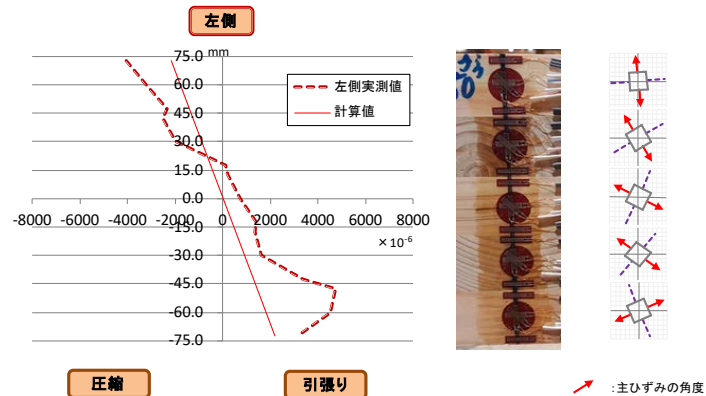
10kN時(左側:断面係数矩形計算)



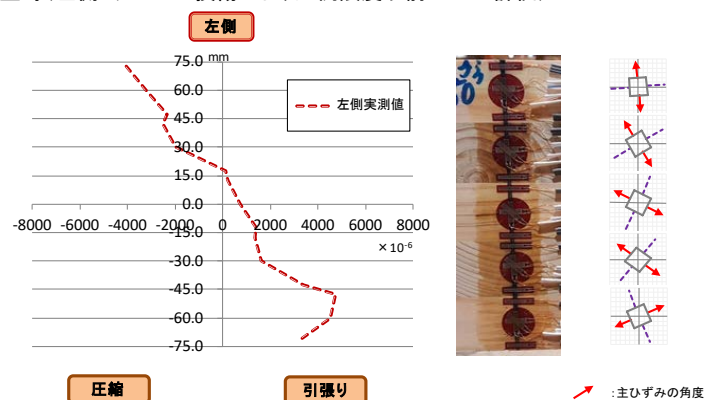
40kN時(左側:断面係数矩形計算)



比例限度荷重時(左側:ゲージの損傷により比例限度以前62kNで評価)

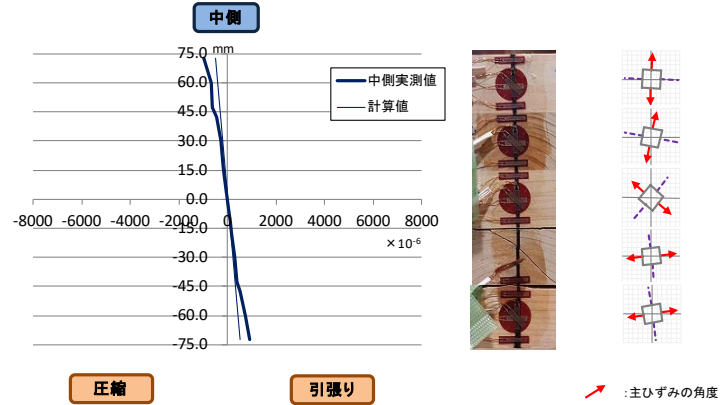


最大荷重時(左側:ゲージの損傷により比例限度以前62kNで評価)

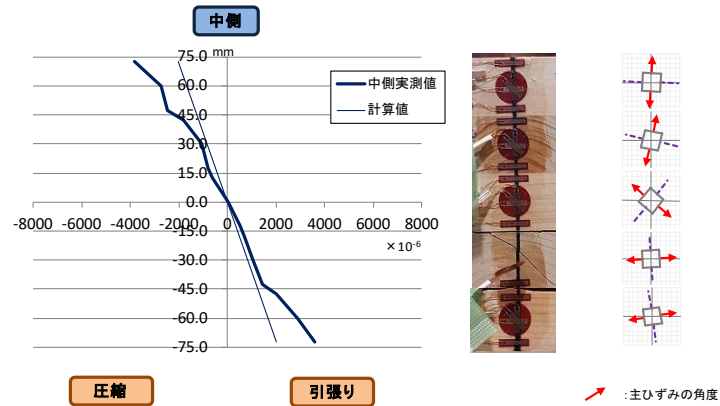


No1-1-1 中央

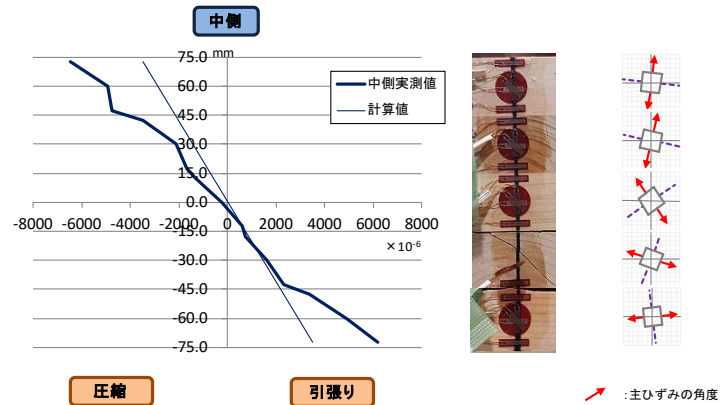
10kN時(中央:断面係数矩形計算)



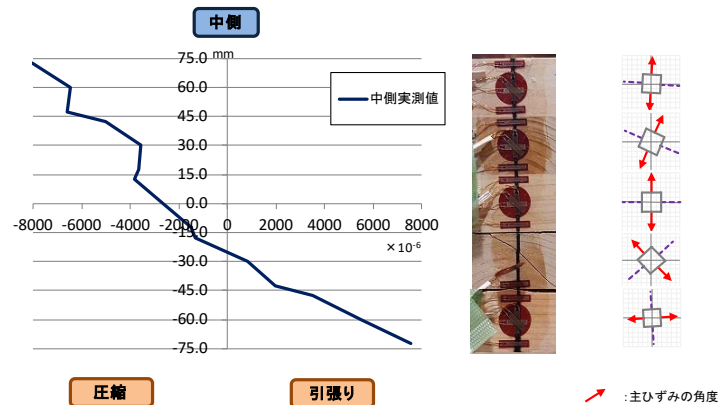
40kN時(中央:断面係数矩形計算)



比例限度荷重69kN時(中央:断面係数矩形計算)

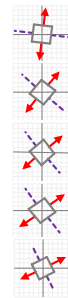
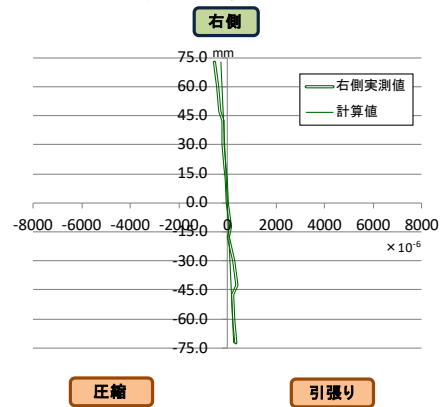


最大荷重81kN時(中央)



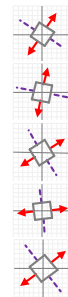
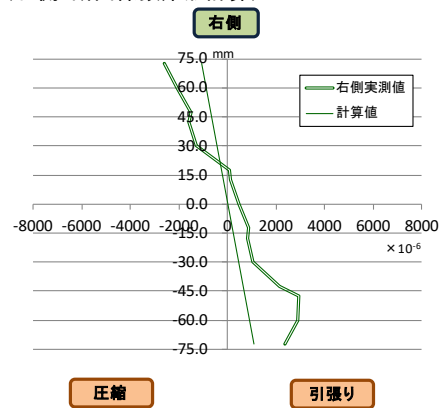
No1-1-1 右側

10kN時(右側:断面係数矩形計算)



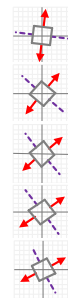
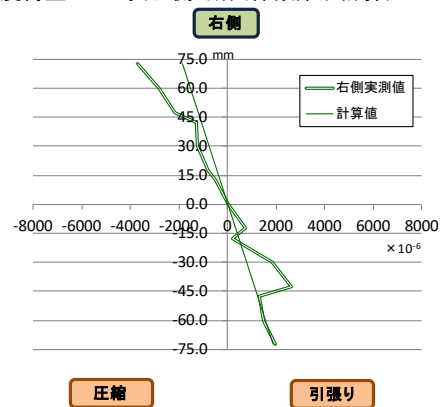
主ひずみの角度

40kN時(右側:断面係数矩形計算)



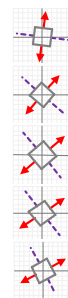
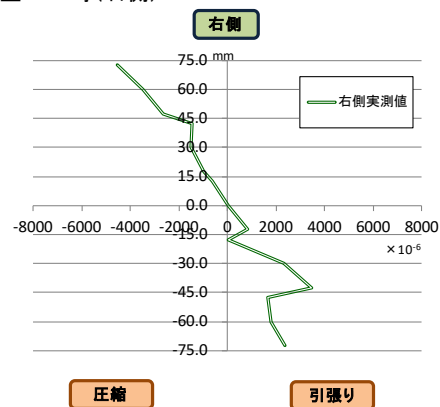
主ひずみの角度

比例限度荷重69kN時(右側:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

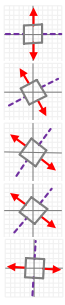
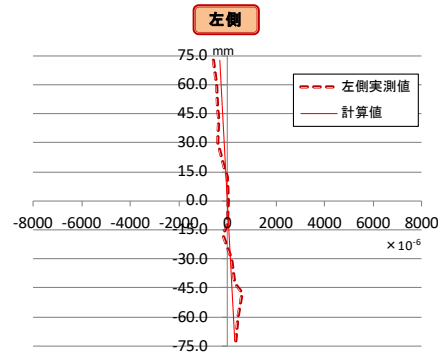
最大荷重81kN時(右側)



主ひずみの角度

No1-1-4 左側

10kN時(左側:断面係数矩形計算)

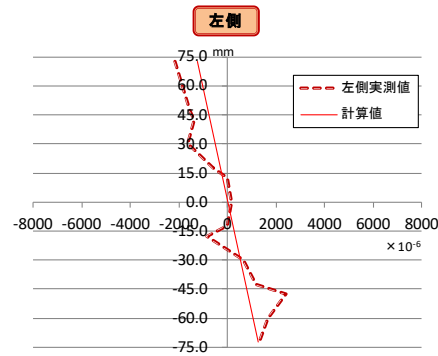


圧縮

引張り

主ひずみの角度

40kN時(左側:断面係数矩形計算)

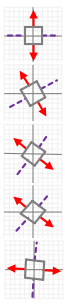
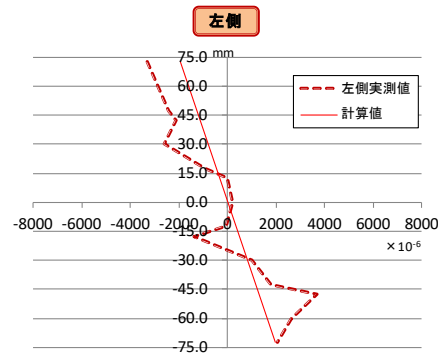


圧縮

引張り

主ひずみの角度

比例限度荷重62kN時(左側:断面係数矩形計算)

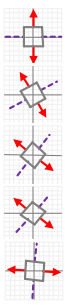
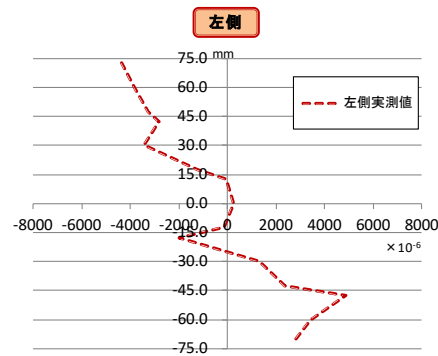


圧縮

引張り

主ひずみの角度

最大荷重81kN時(左側)



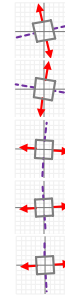
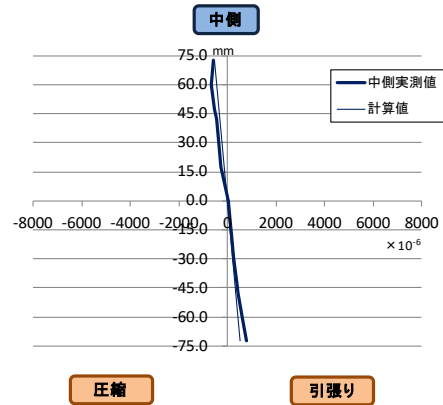
圧縮

引張り

主ひずみの角度

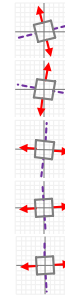
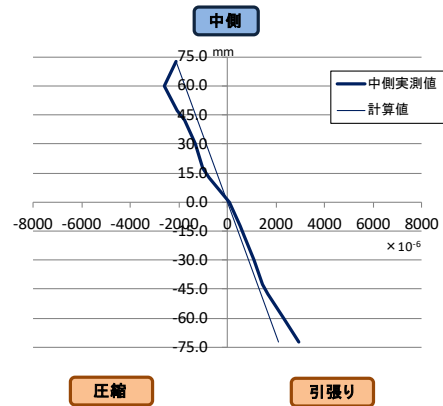
No1-1-4 中央

10kN時(中央:断面係数矩形計算)



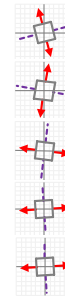
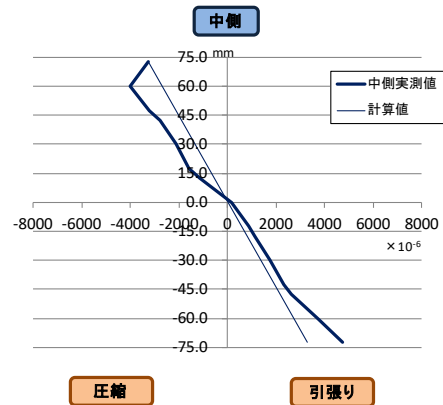
主ひずみの角度

40kN時(中央:断面係数矩形計算)



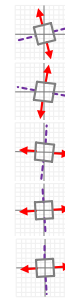
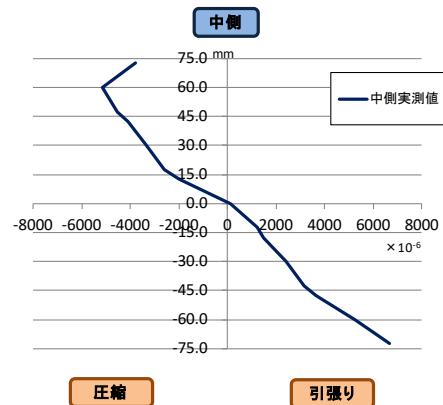
主ひずみの角度

比例限度荷重62kN時(中央:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

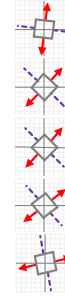
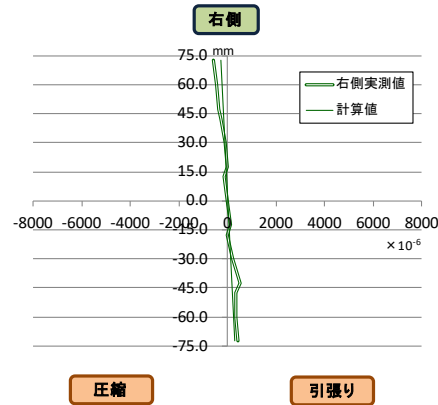
最大荷重81kN時(中央)



主ひずみの角度

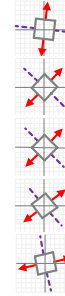
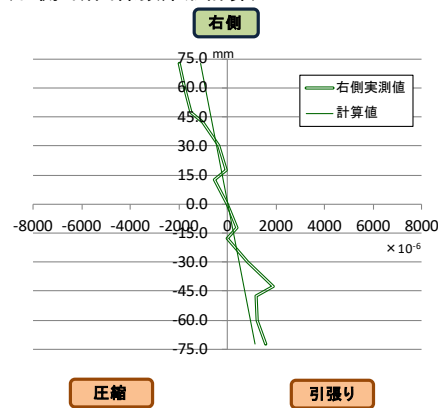
No1-1-4 右側

10kN時(右側:断面係数矩形計算)



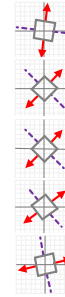
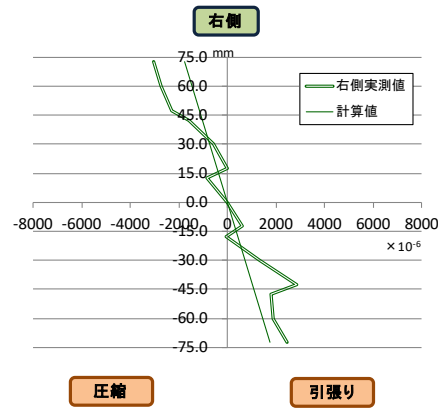
主ひずみの角度

40kN時(右側:断面係数矩形計算)



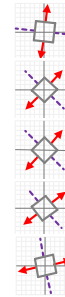
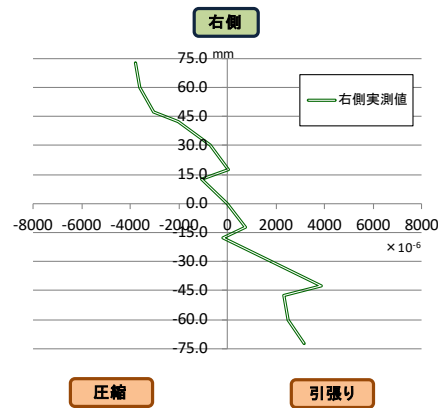
主ひずみの角度

比例限度荷重62kN時(右側:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

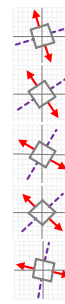
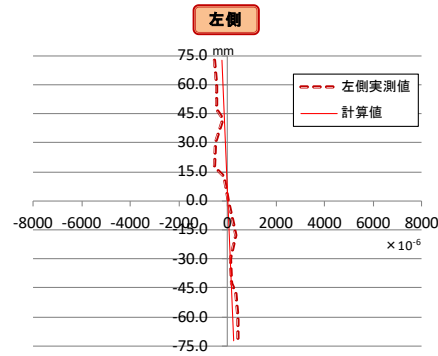
最大荷重81kN時(右側)



主ひずみの角度

No1-1-7 左側

10kN時(左側:断面係数矩形計算)

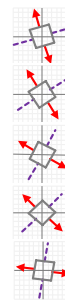
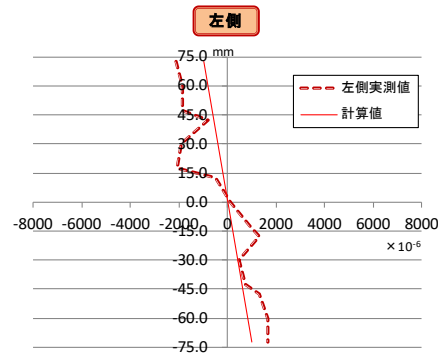


圧縮

引張り

→ :主ひずみの角度

40kN時(左側:断面係数矩形計算)

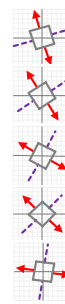
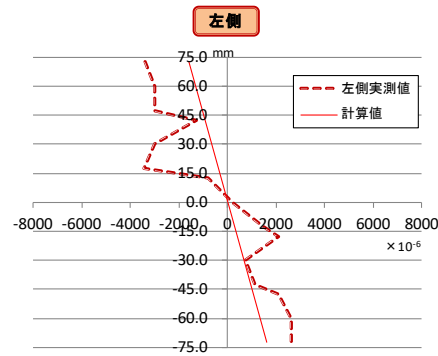


圧縮

引張り

→ :主ひずみの角度

比例限度荷重64kN時(左側:断面係数矩形計算)

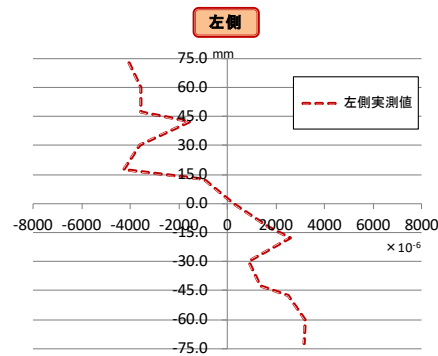


圧縮

引張り

→ :主ひずみの角度

最大荷重77kN時(左側)



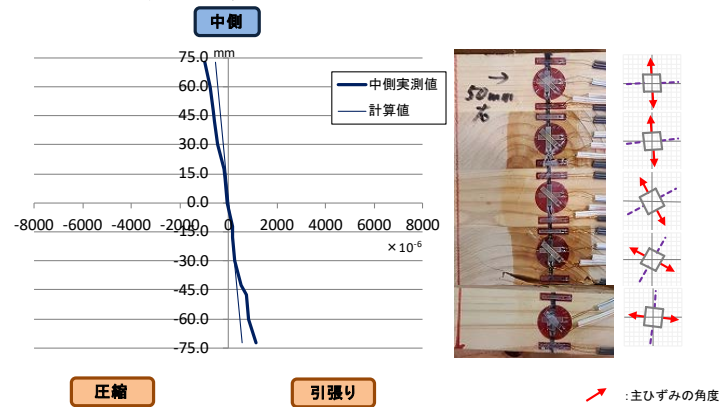
圧縮

引張り

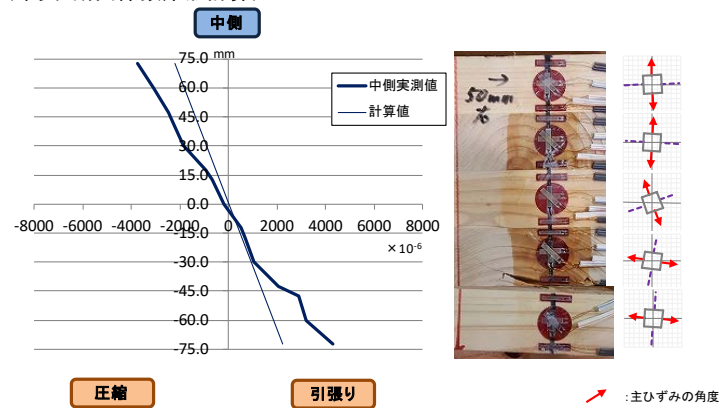
→ :主ひずみの角度

No1-1-7 中央

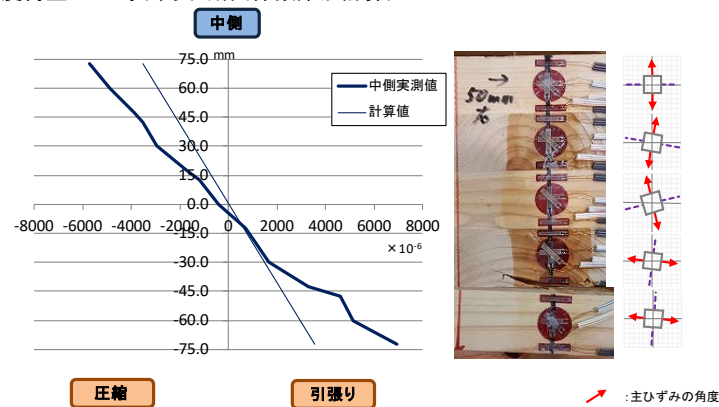
10kN時(中央:断面係数矩形計算)



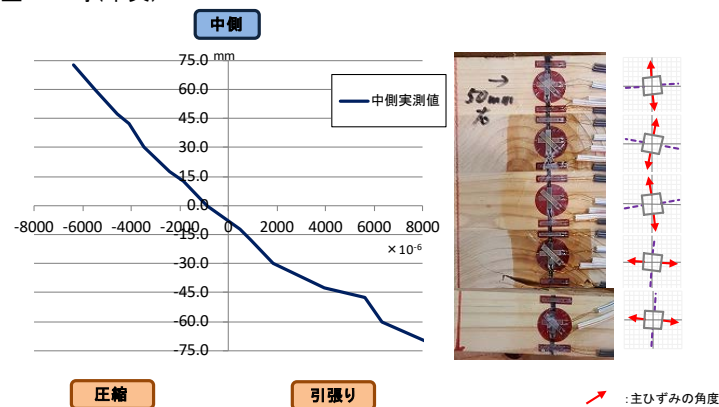
40kN時(中央:断面係数矩形計算)



比例限度荷重64kN時(中央:断面係数矩形計算)

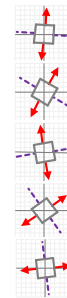
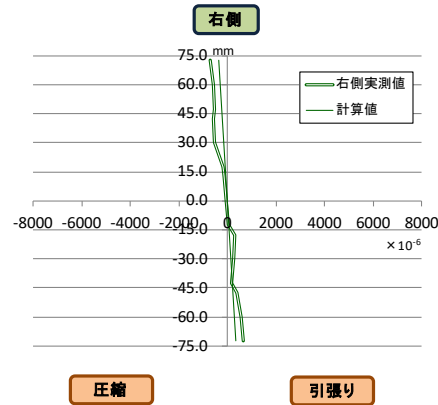


最大荷重77kN時(中央)



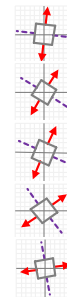
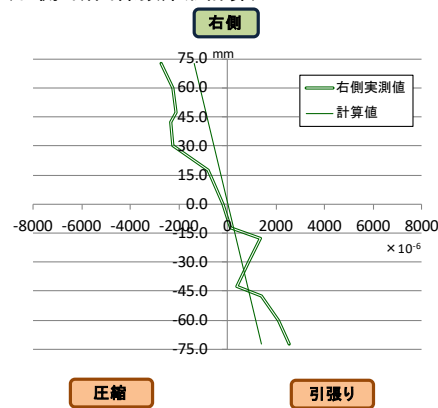
No1-1-7 右側

10kN時(右側:断面係数矩形計算)



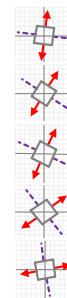
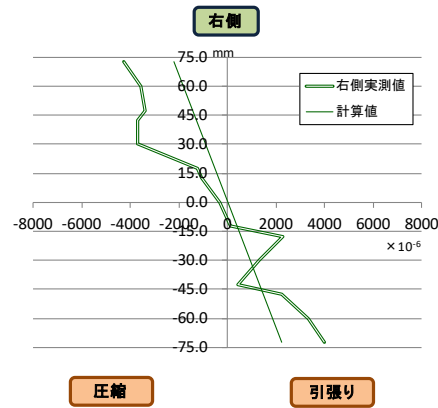
主ひずみの角度

40kN時(右側:断面係数矩形計算)



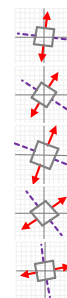
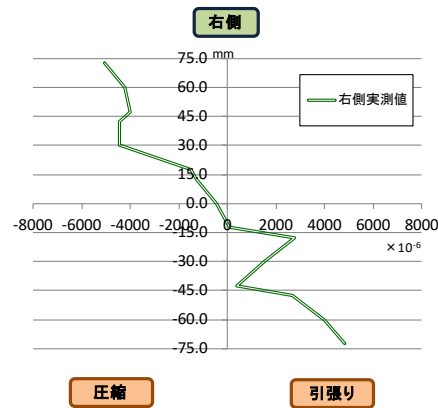
主ひずみの角度

比例限度荷重64kN時(右側:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

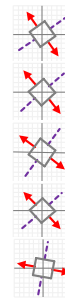
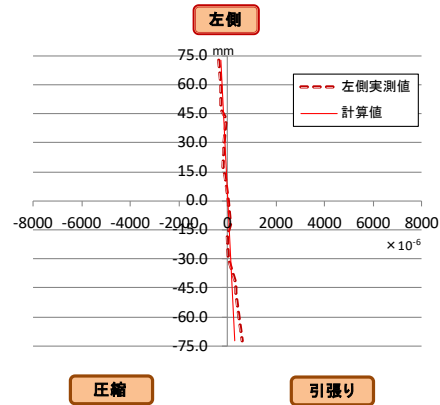
最大荷重77kN時(右側)



主ひずみの角度

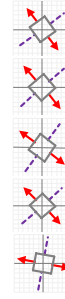
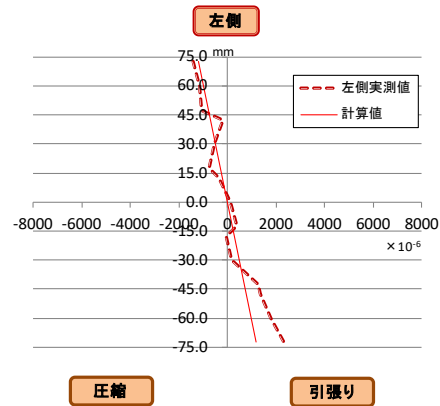
No1-2-2 左側

10kN時(左側:断面係数矩形計算)



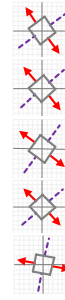
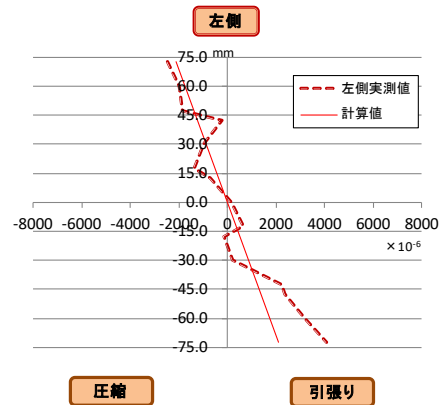
主ひずみの角度

40kN時(左側:断面係数矩形計算)



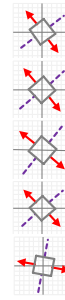
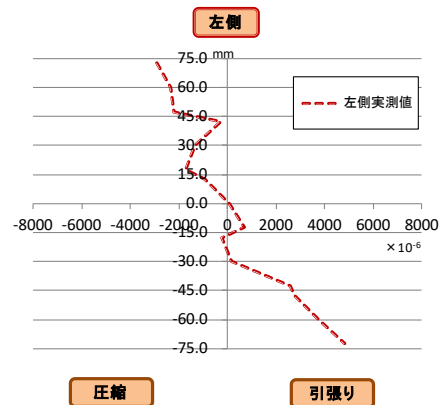
主ひずみの角度

比例限度荷重71kN時(左側:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

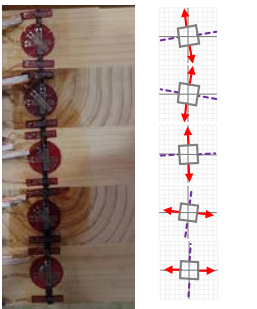
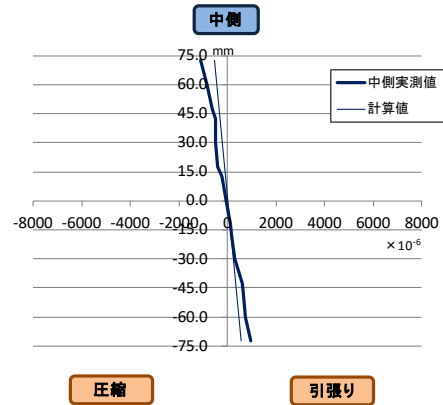
最大荷重86kN時(左側)




主ひずみの角度

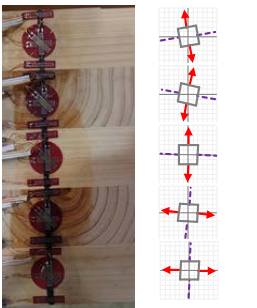
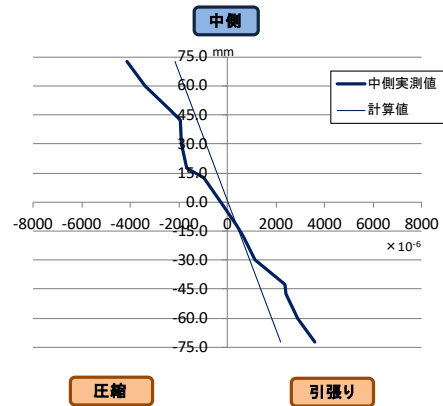
No1-2-2 中央


10kN時 (中央: 断面係数矩形計算)



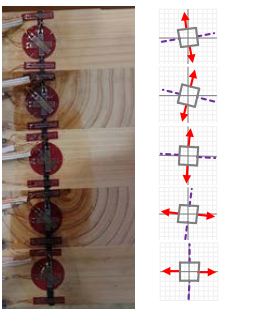
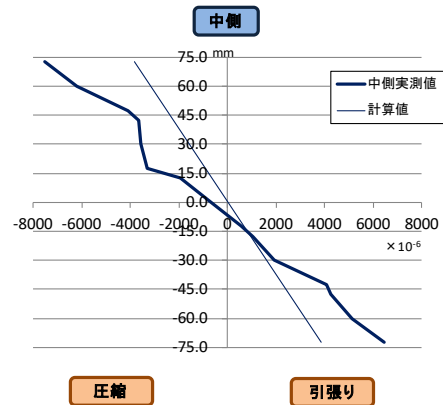
 :主ひずみの角度


40kN時 (中央: 断面係数矩形計算)



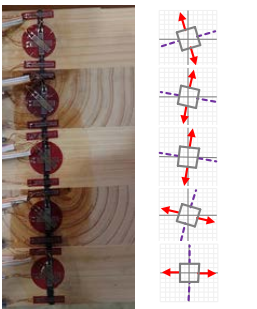
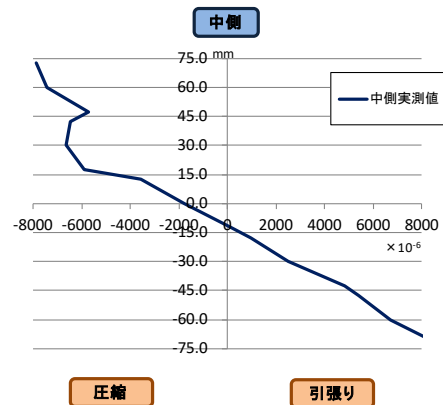
 :主ひずみの角度


比例限度荷重71kN時 (中央: 断面係数矩形計算)



 :主ひずみの角度

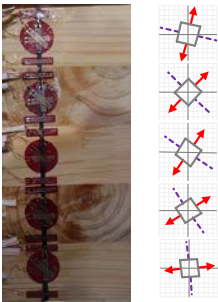
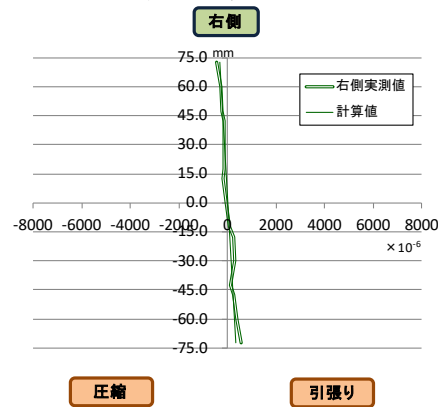
最大荷重86kN時 (中央)



 :主ひずみの角度

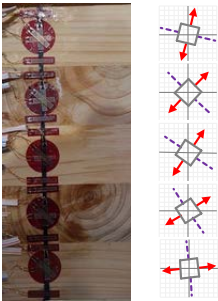
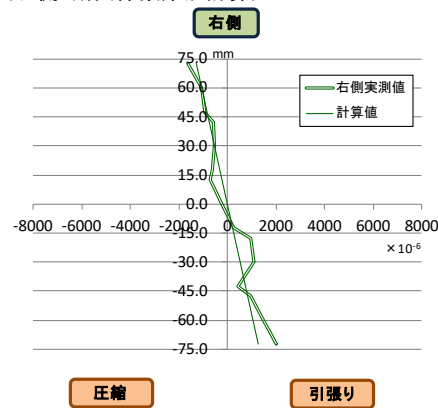
No1-2-2 右側

10kN時(右側:断面係数矩形計算)



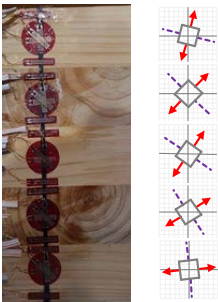
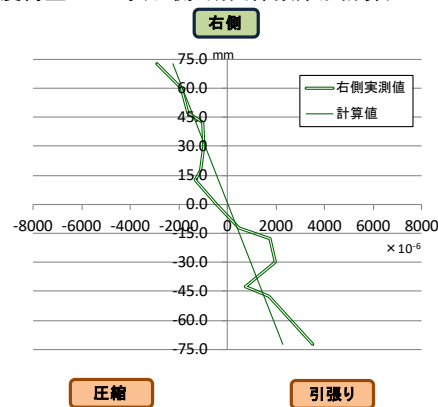
主ひずみの角度

40kN時(右側:断面係数矩形計算)



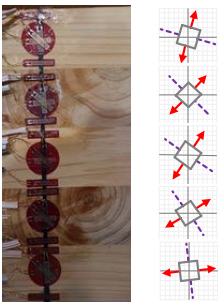
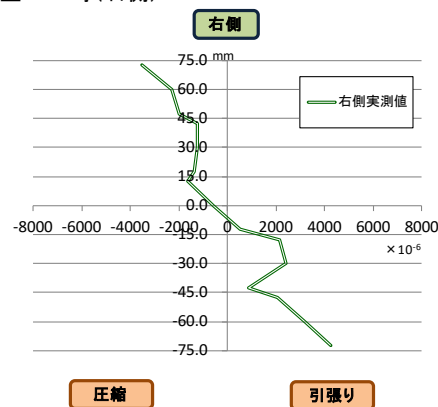
主ひずみの角度

比例限度荷重71kN時(右側:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

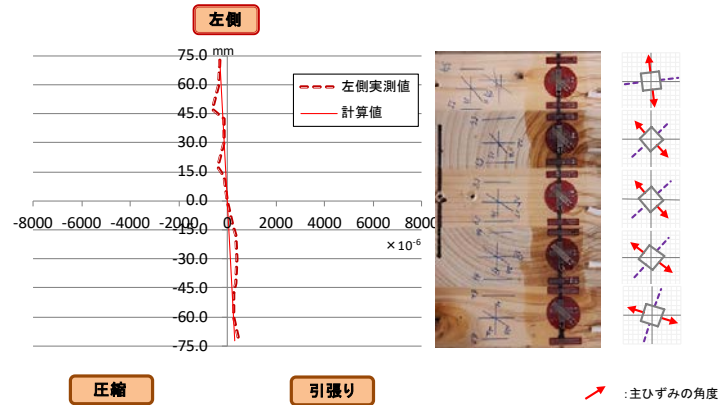
最大荷重86kN時(右側)



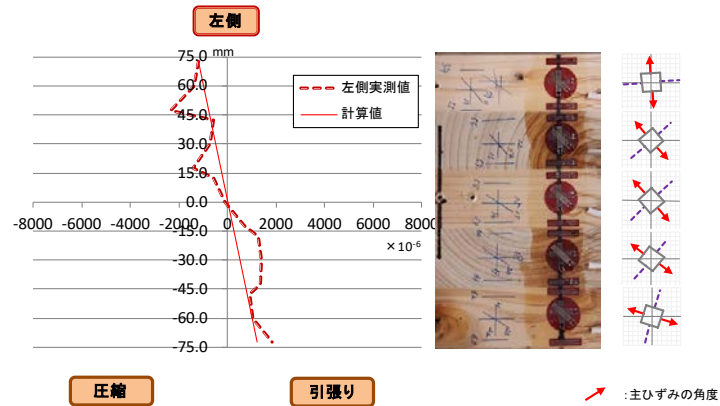
主ひずみの角度

No1-2-5 左側

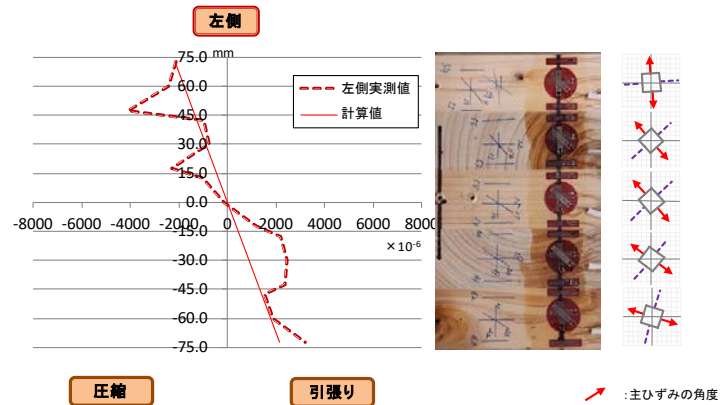
10kN時(左側:断面係数矩形計算)



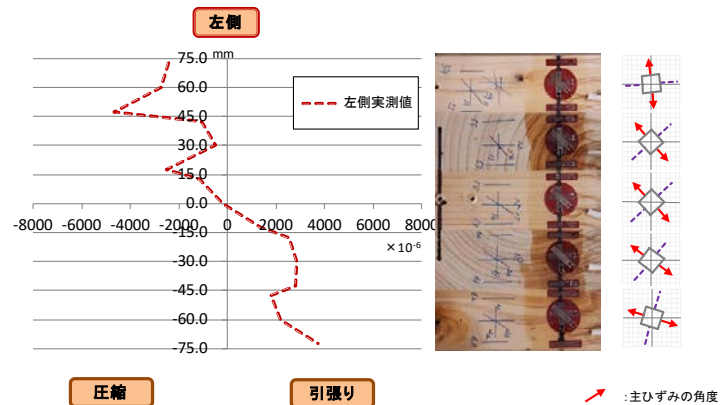
40kN時(左側:断面係数矩形計算)



比例限度荷重71kN時(左側:断面係数矩形計算)

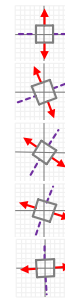
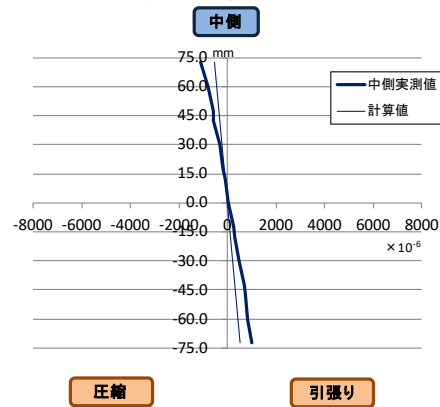


最大荷重81kN時(左側)



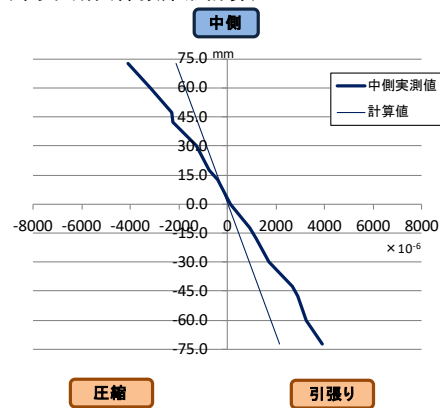
No1-2-5 中央

10kN時(中央:断面係数矩形計算)



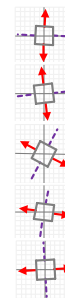
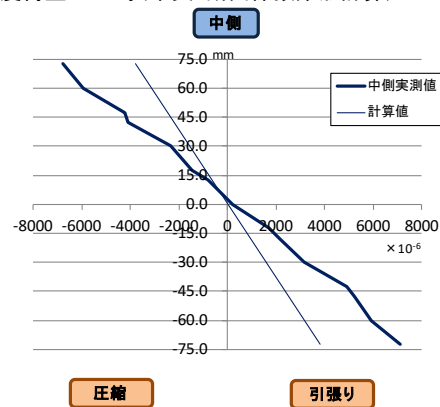
主ひずみの角度

40kN時(中央:断面係数矩形計算)



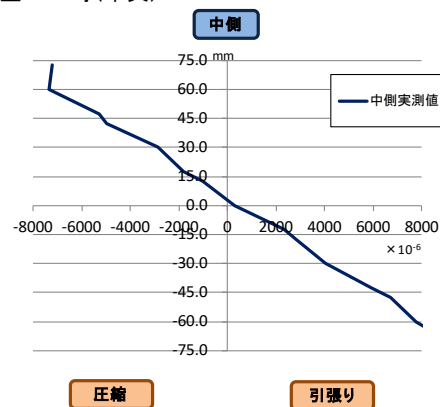
主ひずみの角度

比例限度荷重71kN時(中央:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

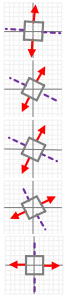
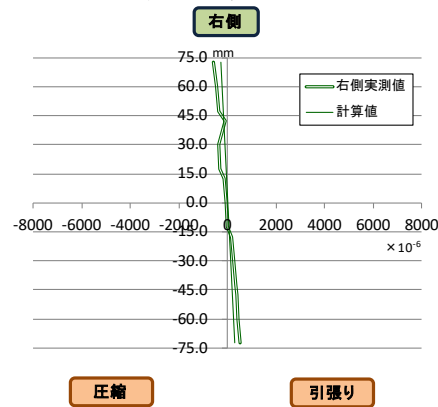
最大荷重81kN時(中央)



主ひずみの角度

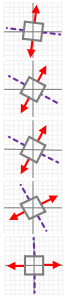
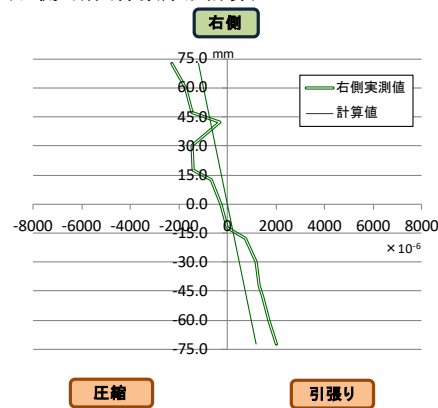
No1-2-5 右側

10kN時(右側:断面係数矩形計算)



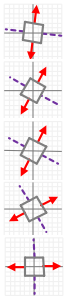
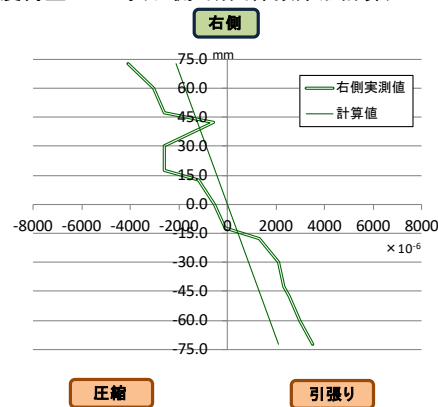
:主ひずみの角度

40kN時(右側:断面係数矩形計算)



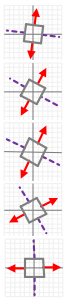
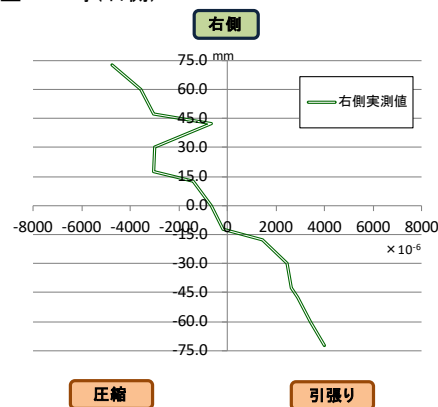
:主ひずみの角度

比例限度荷重71kN時(右側:断面係数矩形計算)



:主ひずみの角度

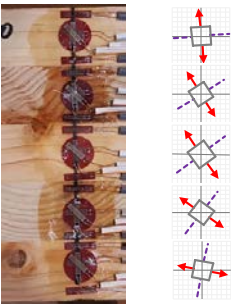
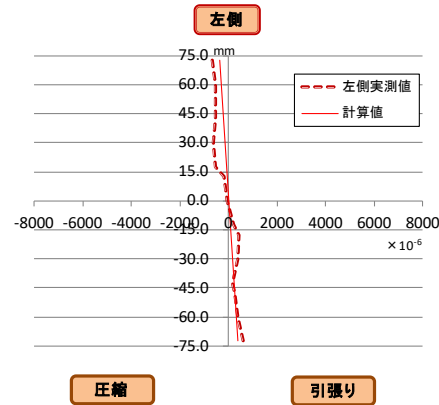
最大荷重81kN時(右側)



:主ひずみの角度

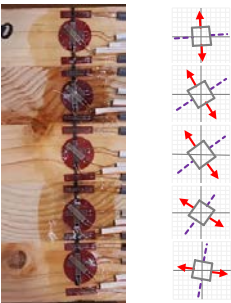
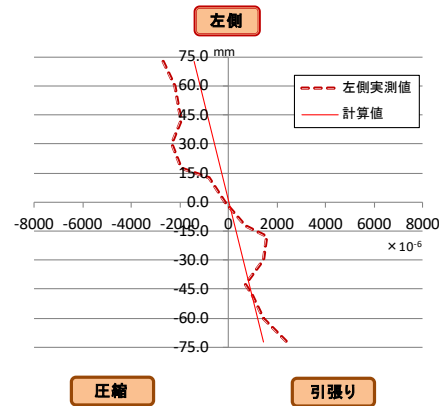
No1-3-3 左側

10kN時(左側:断面係数矩形計算)



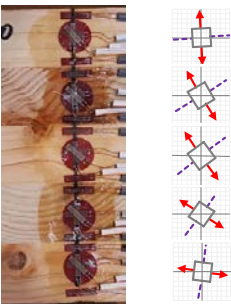
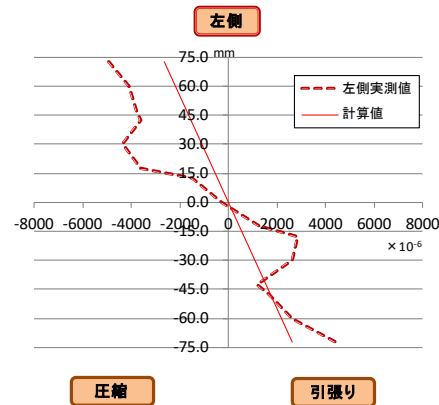
:主ひずみの角度

40kN時(左側:断面係数矩形計算)



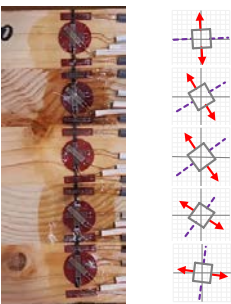
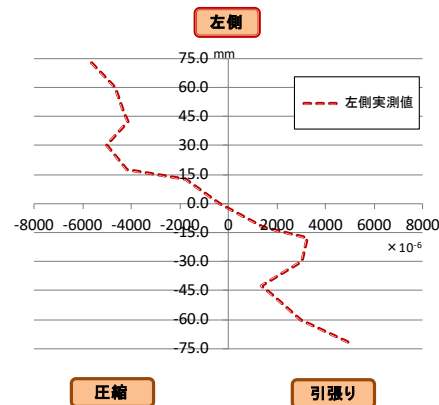
:主ひずみの角度

比例限度荷重73kN時(左側:断面係数矩形計算)



:主ひずみの角度

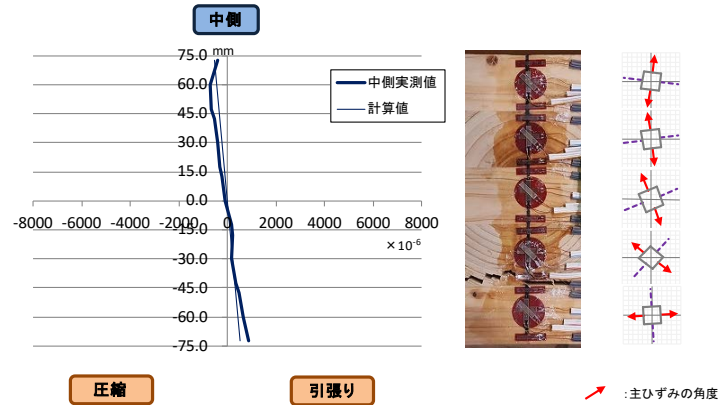
最大荷重83kN時(左側)



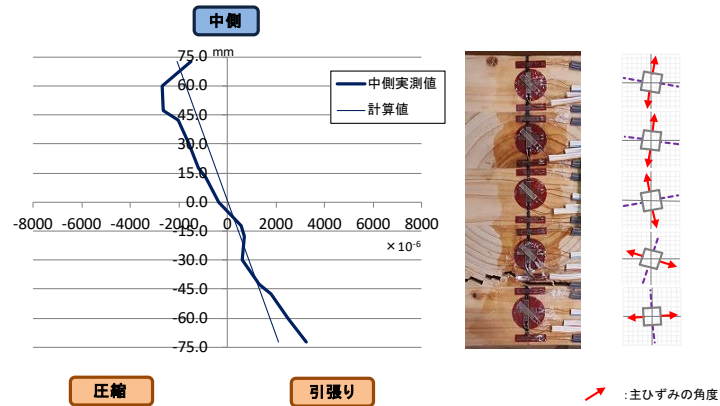
:主ひずみの角度

No1-3-3 中央

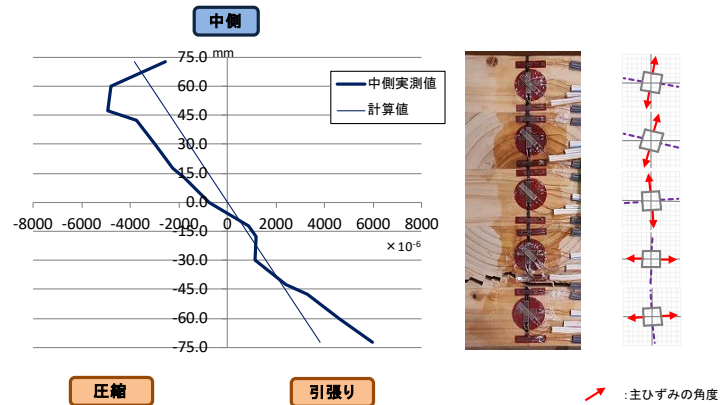
10kN時 (中央: 断面係数矩形計算)



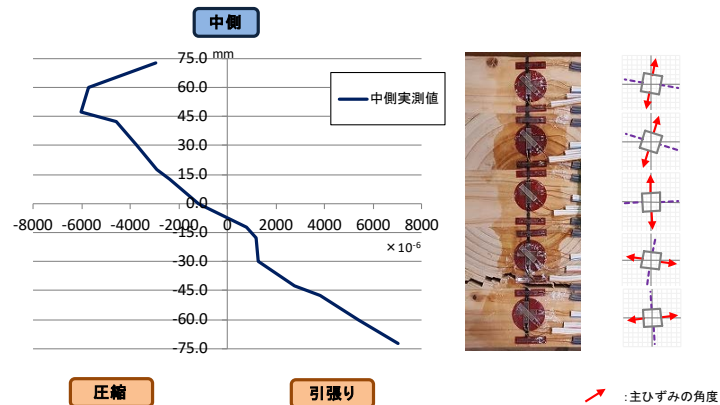
40kN時 (中央: 断面係数矩形計算)



比例限度荷重73kN時 (中央: 断面係数矩形計算)

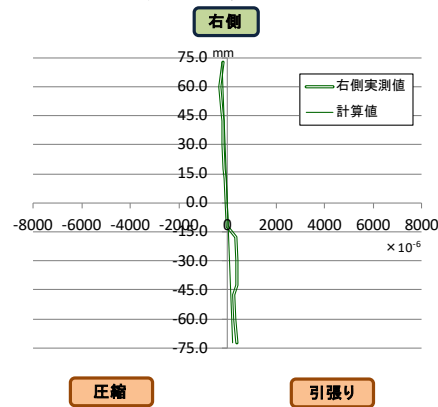


最大荷重83kN時 (中央)



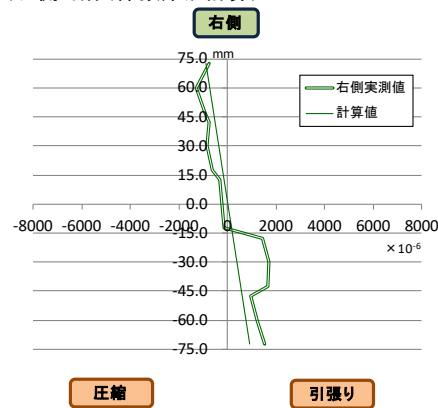
No1-3-3 右側

10kN時(右側:断面係数矩形計算)



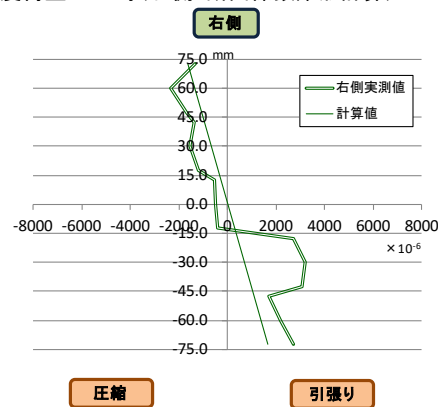
主ひずみの角度

40kN時(右側:断面係数矩形計算)



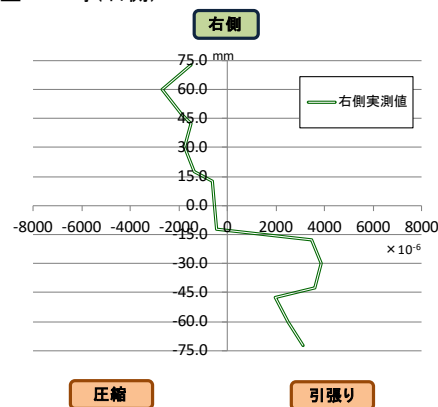
主ひずみの角度

比例限度荷重73kN時(右側:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

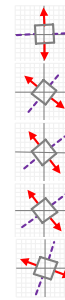
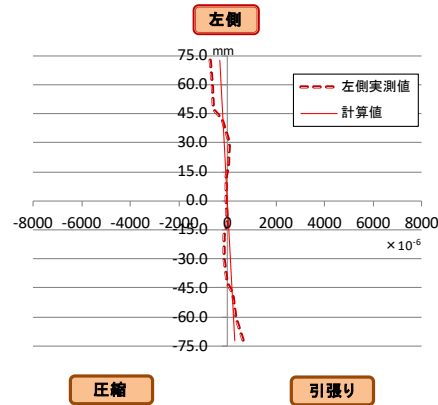
最大荷重83kN時(右側)



主ひずみの角度

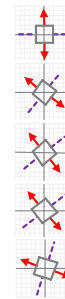
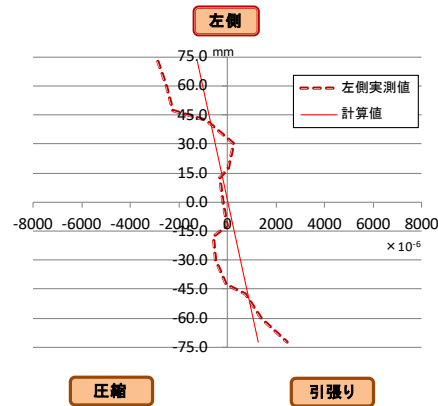
No1-3-6 左側

10kN時(左側:断面係数矩形計算)



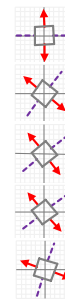
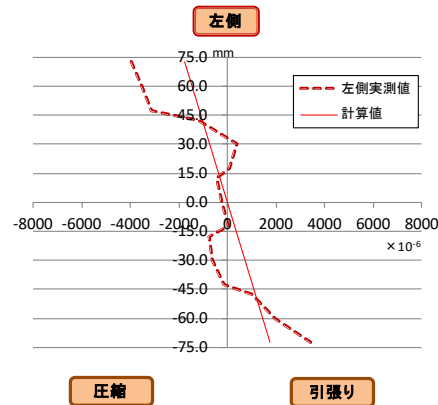
↗ :主ひずみの角度

40kN時(左側:断面係数矩形計算)



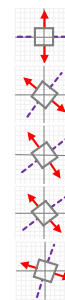
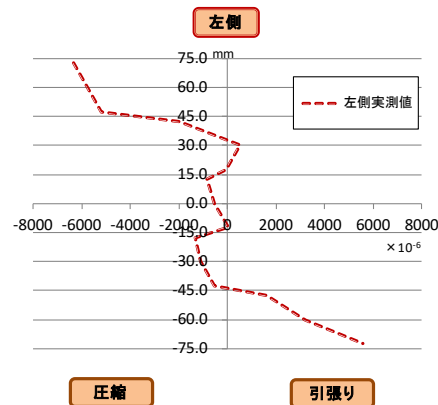
↗ :主ひずみの角度

比例限度荷重56kN時(左側:断面係数矩形計算)



↗ :主ひずみの角度

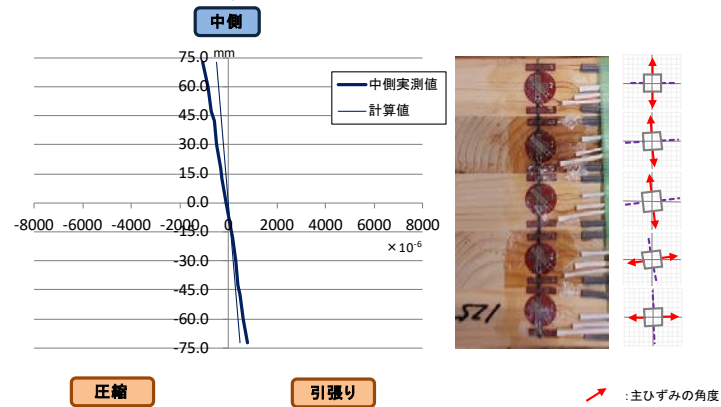
最大荷重89kN時(左側)



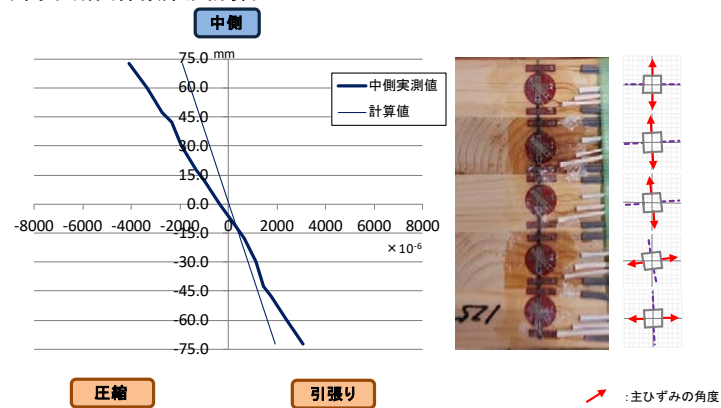
↗ :主ひずみの角度

No1-3-6 中央

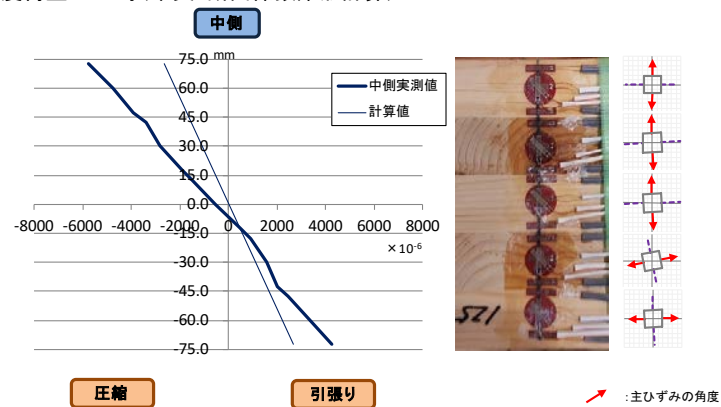
10kN時(中央:断面係数矩形計算)



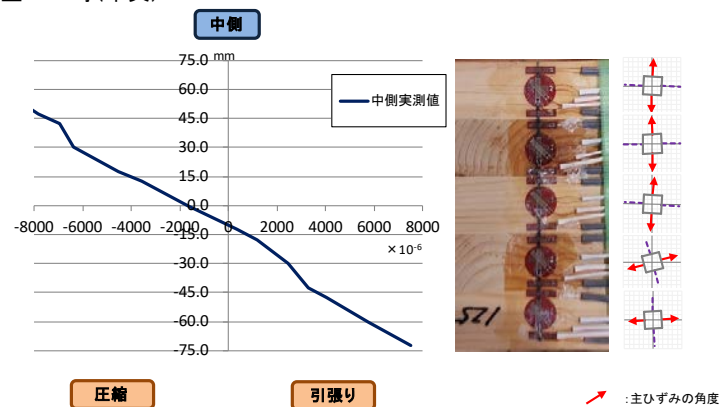
40kN時(中央:断面係数矩形計算)



比例限度荷重56kN時(中央:断面係数矩形計算)

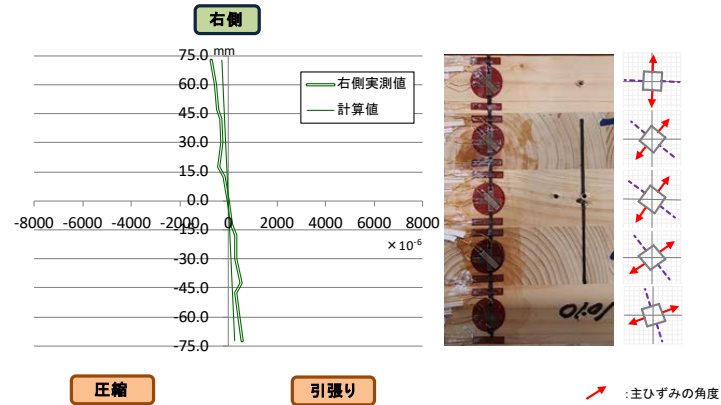


最大荷重89kN時(中央)

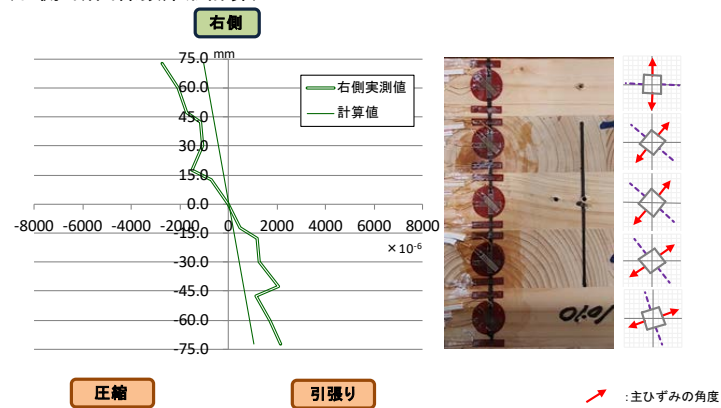


No1-3-6 右側

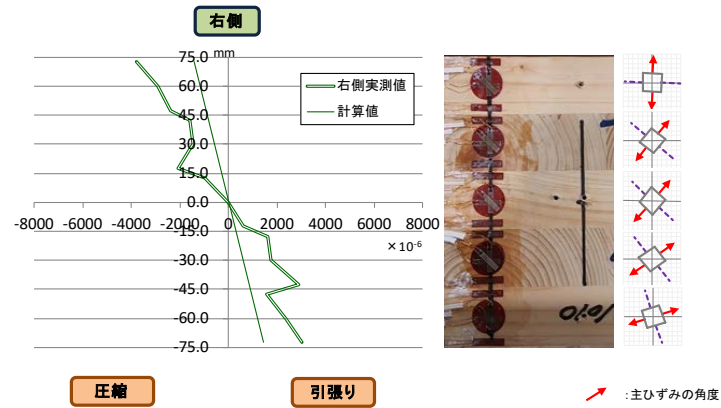
10kN時(右側:断面係数矩形計算)



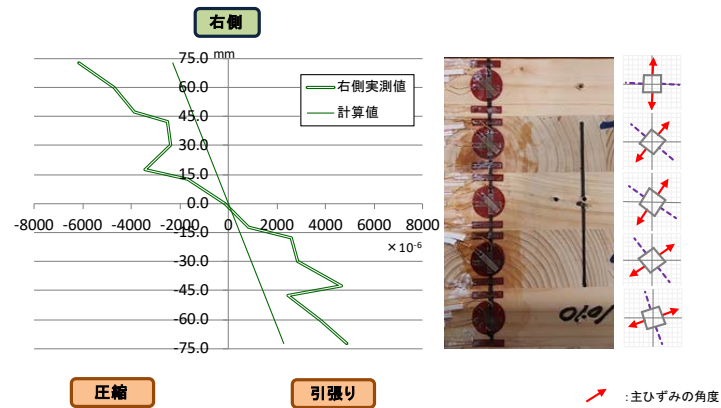
40kN時(右側:断面係数矩形計算)



比例限度荷重56kN時(右側:断面係数矩形計算)

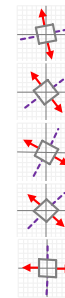
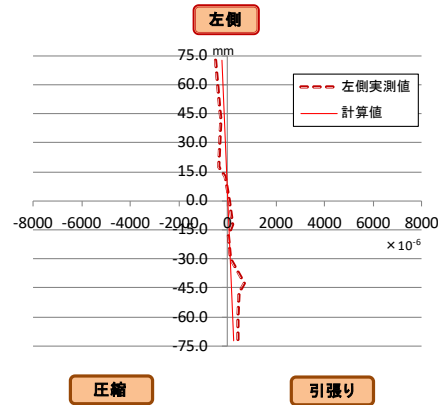


最大荷重89kN時(右側)



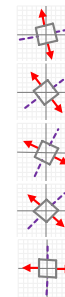
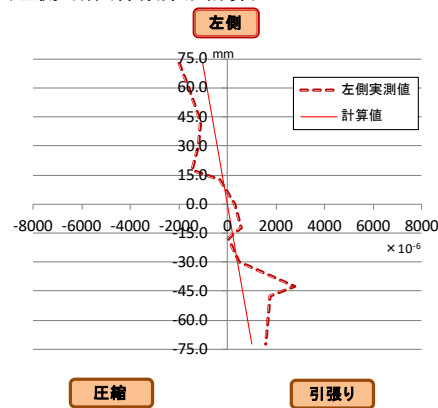
No2-1-1 左側

10kN時(左側:断面係数矩形計算)



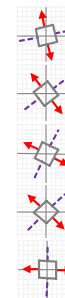
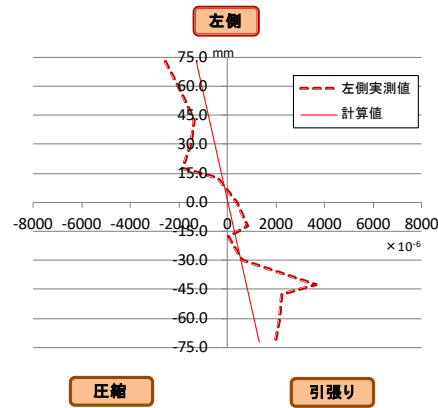
主ひずみの角度

40kN時(左側:断面係数矩形計算)



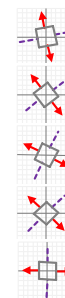
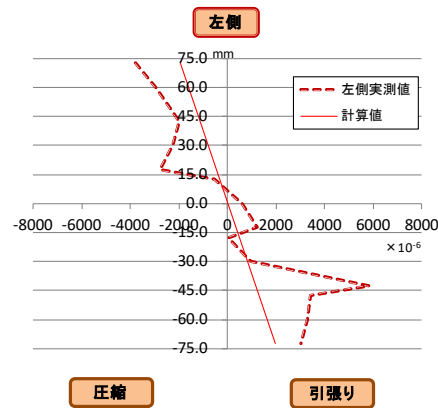
主ひずみの角度

比例限度荷重52kN時(左側:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

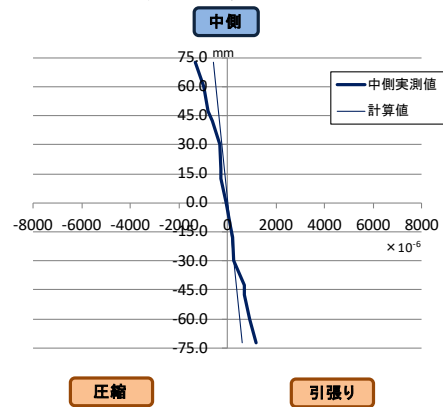
最大荷重78kN時(左側)



主ひずみの角度

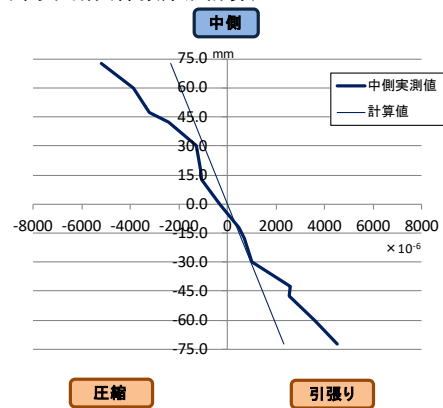
No2-1-1 中央

10kN時(中央:断面係数矩形計算)



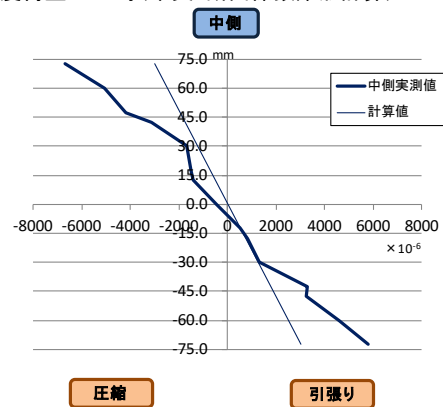
主ひずみの角度

40kN時(中央:断面係数矩形計算)



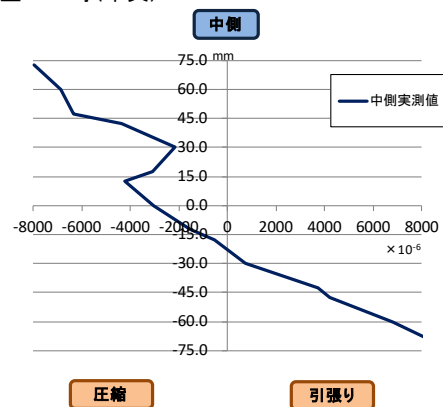
主ひずみの角度

比例限度荷重52kN時(中央:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

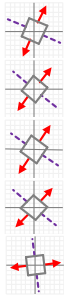
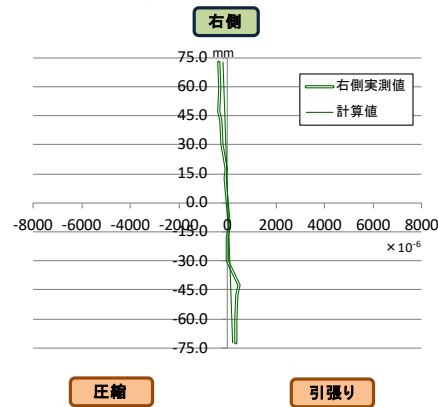
最大荷重78kN時(中央)



主ひずみの角度

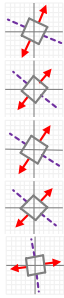
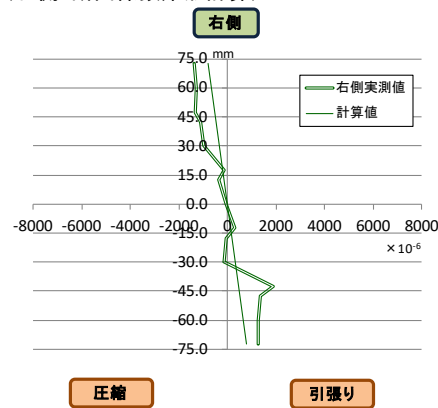
No2-1-1 右側

10kN時(右側:断面係数矩形計算)



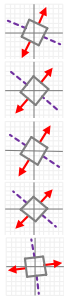
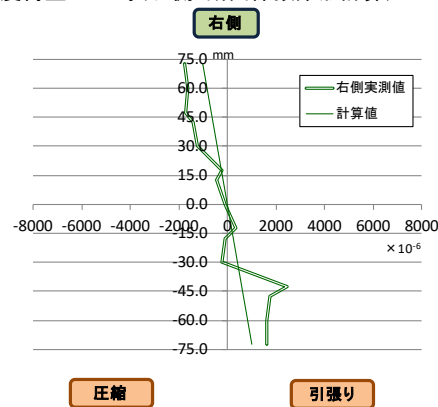
主ひずみの角度

40kN時(右側:断面係数矩形計算)



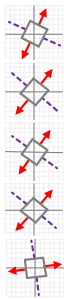
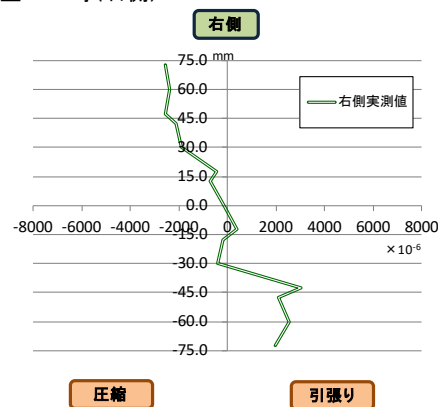
主ひずみの角度

比例限度荷重52kN時(右側:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

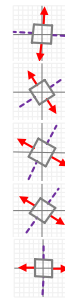
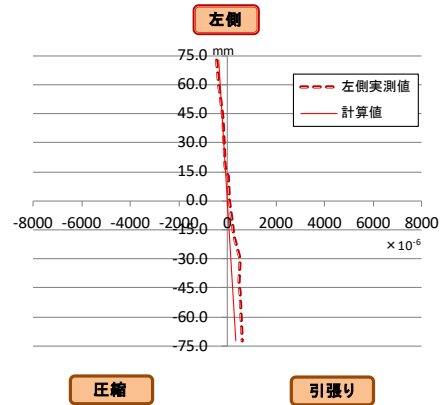
最大荷重78kN時(右側)



主ひずみの角度

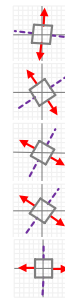
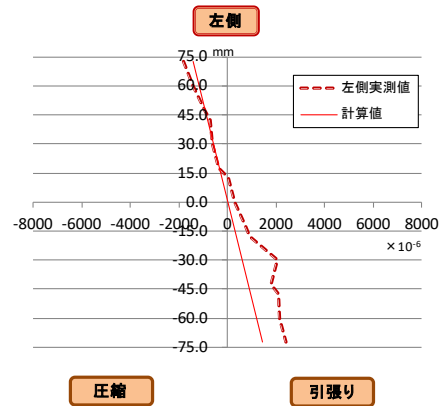
No2-1-4 左側

10kN時(左側:断面係数矩形計算)



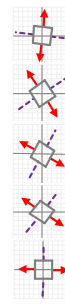
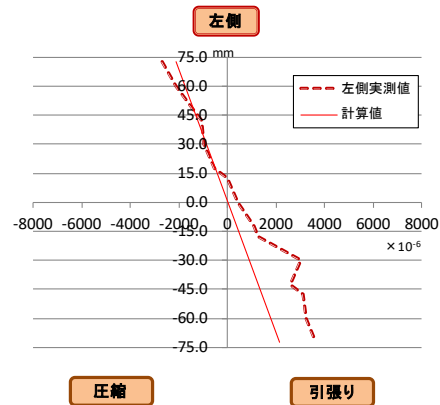
↗ :主ひずみの角度

40kN時(左側:断面係数矩形計算)



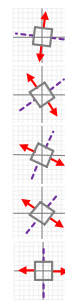
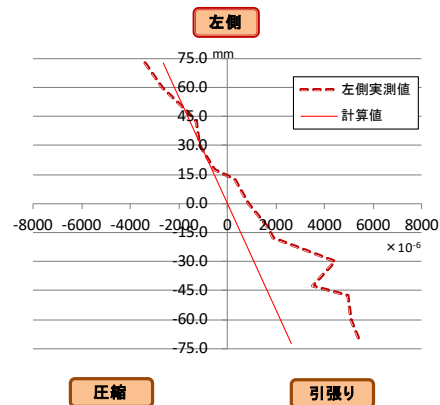
↗ :主ひずみの角度

比例限度荷重60kN時(左側:断面係数矩形計算)



↗ :主ひずみの角度

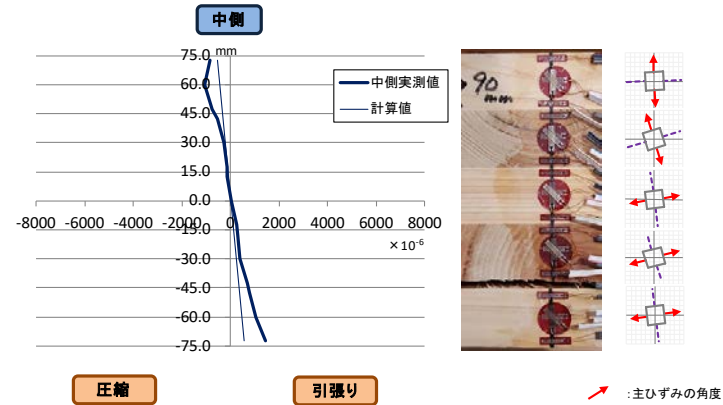
最大荷重74kN時(左側)



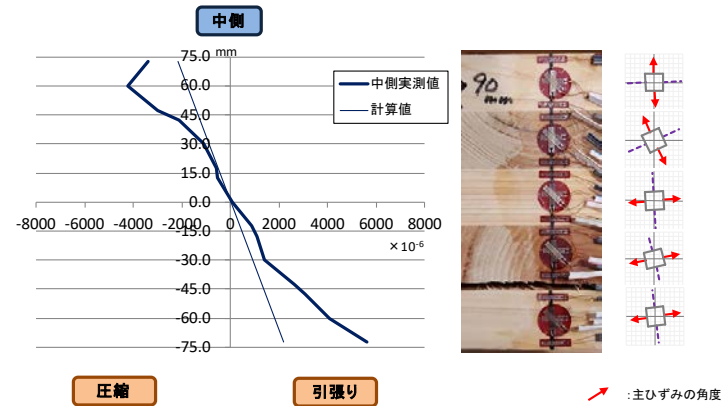
↗ :主ひずみの角度

No2-1-4 中央

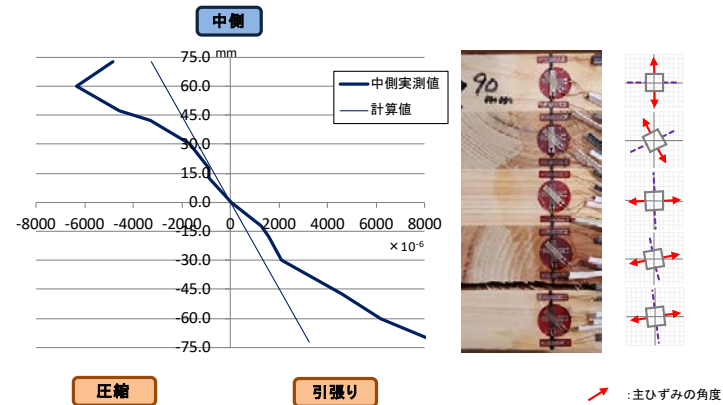
10kN時(中央:断面係数矩形計算)



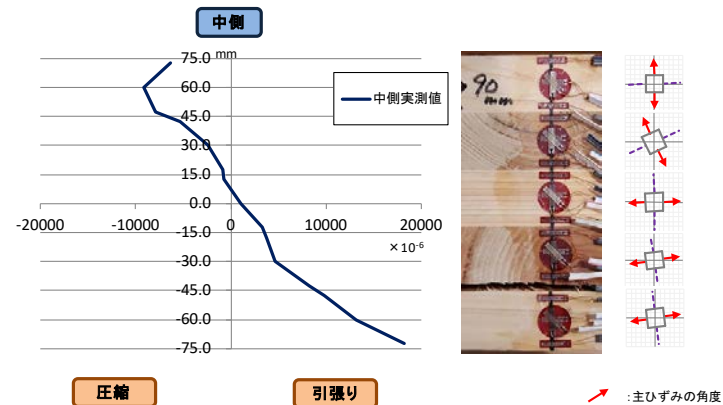
40kN時(中央:断面係数矩形計算)



比例限度荷重60kN時(中央:断面係数矩形計算)

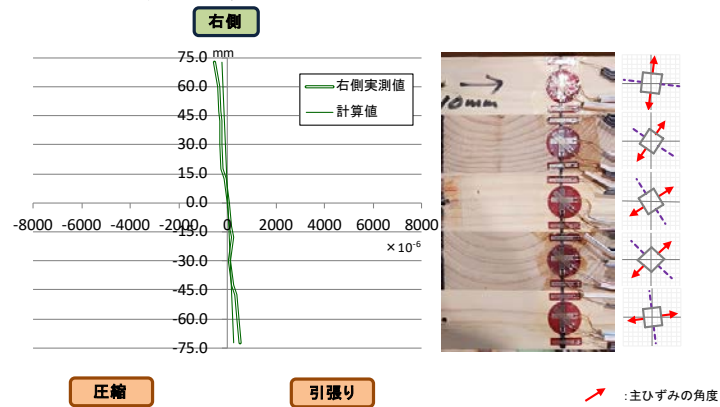


最大荷重74kN時(中央)

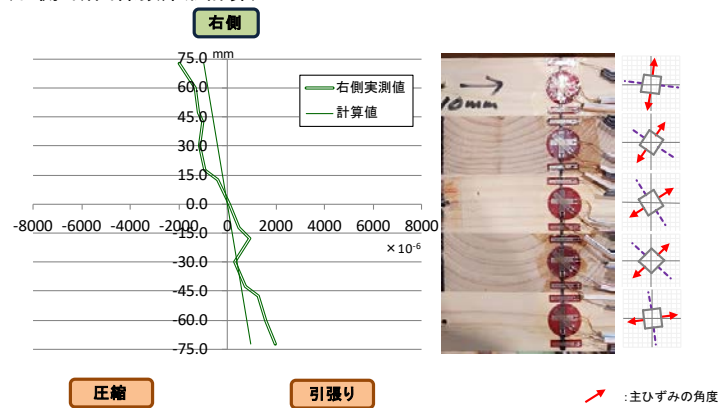


No2-1-4 右側

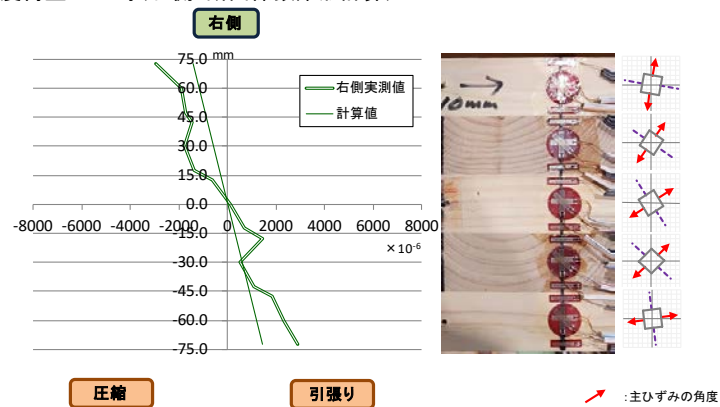
10kN時(右側:断面係数矩形計算)



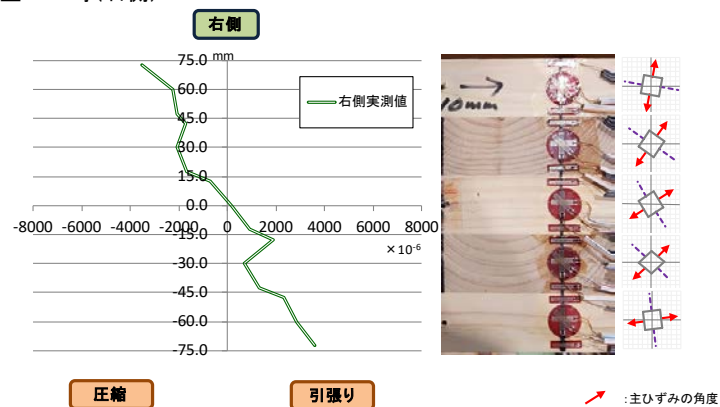
40kN時(右側:断面係数矩形計算)



比例限度荷重60kN時(右側:断面係数矩形計算)

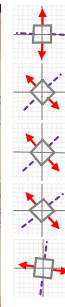
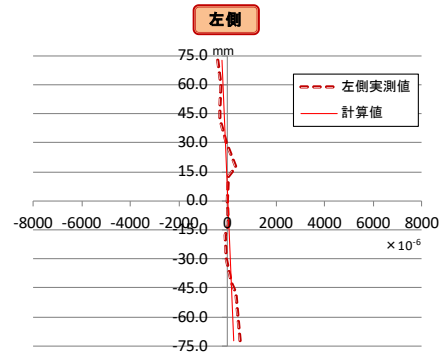


最大荷重74kN時(右側)



No2-1-7 左側

10kN時(左側:断面係数矩形計算)

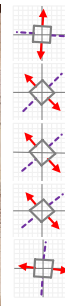
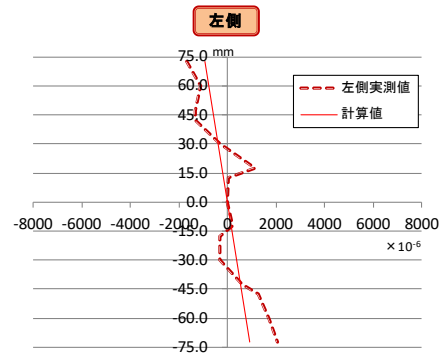


圧縮

引張り

主ひずみの角度

40kN時(左側:断面係数矩形計算)

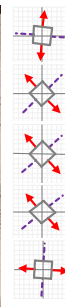
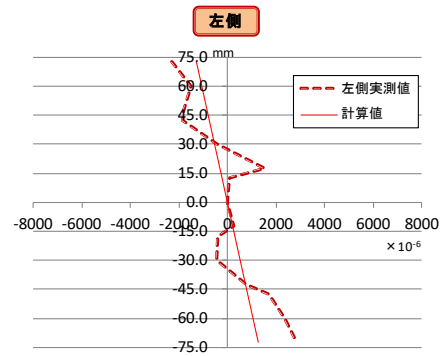


圧縮

引張り

主ひずみの角度

比例限度荷重55kN時(左側:断面係数矩形計算)

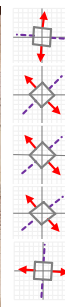
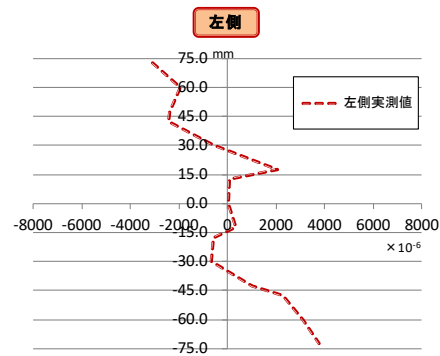


圧縮

引張り

主ひずみの角度

最大荷重72kN時(左側)



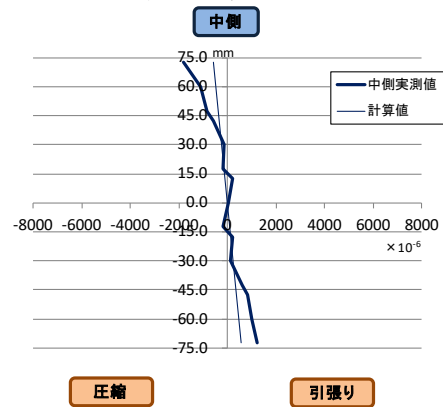
圧縮

引張り

主ひずみの角度

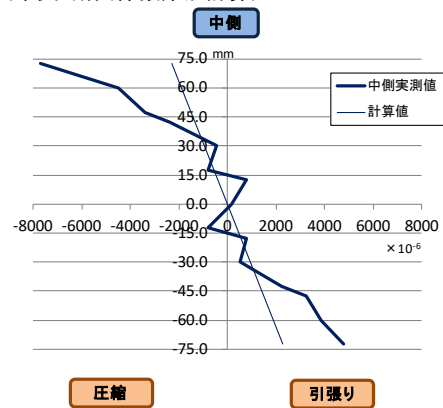
No2-1-7 中央

10kN時(中央:断面係数矩形計算)



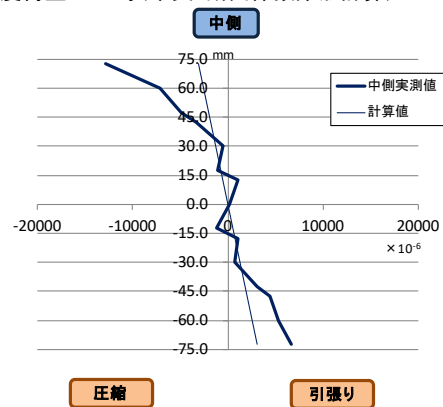
主ひずみの角度

40kN時(中央:断面係数矩形計算)



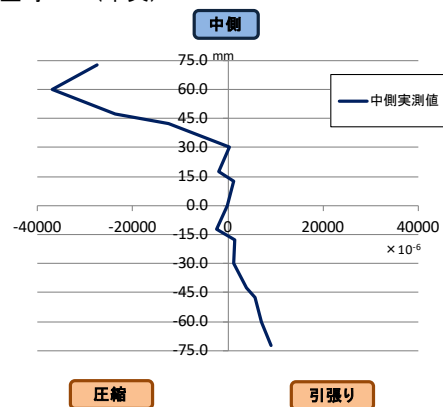
主ひずみの角度

比例限度荷重55kN時(中央:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

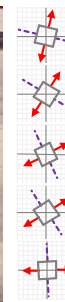
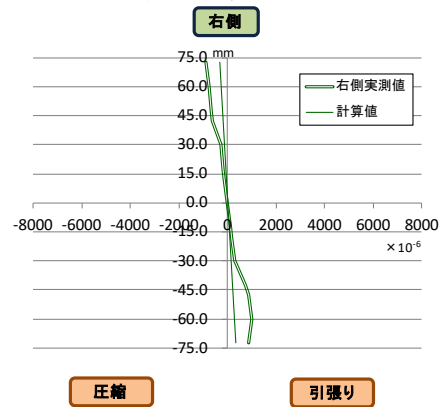
最大荷重時72kN(中央)



主ひずみの角度

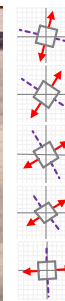
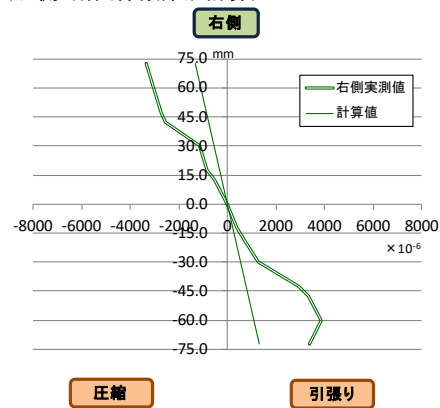
No2-1-7 右側

10kN時(右側:断面係数矩形計算)



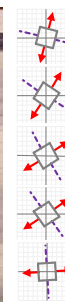
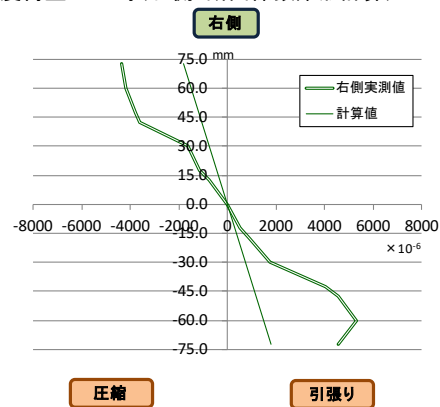
主ひずみの角度

40kN時(右側:断面係数矩形計算)



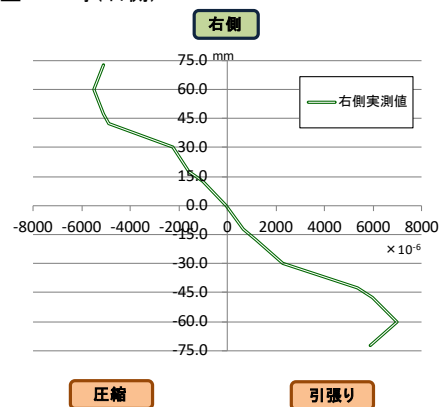
主ひずみの角度

比例限度荷重55kN時(右側:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

最大荷重72kN時(右側)

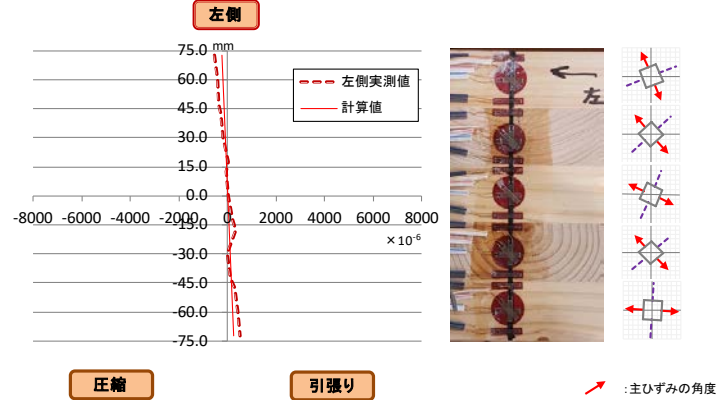


主ひずみの角度

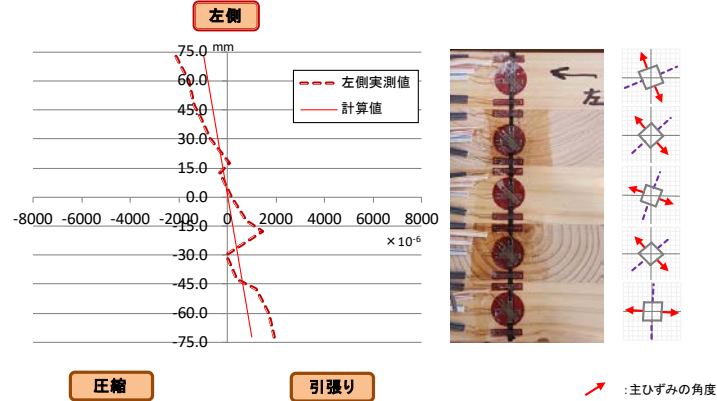
No2-2-2 はゲージデータ一部収集不能のため評価ができなかった。

No2-2-5 左側

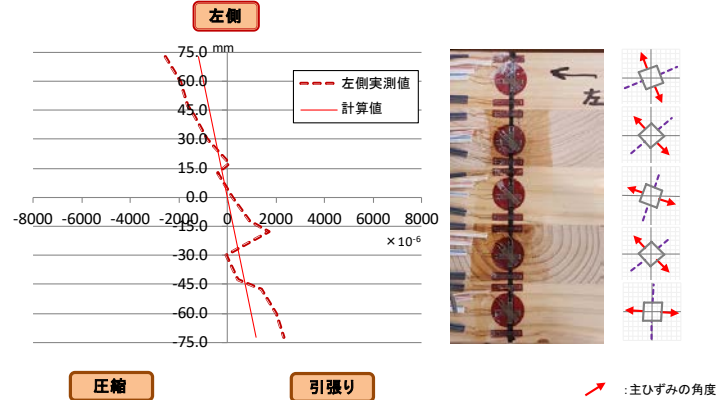
10kN時(左側:断面係数矩形計算)



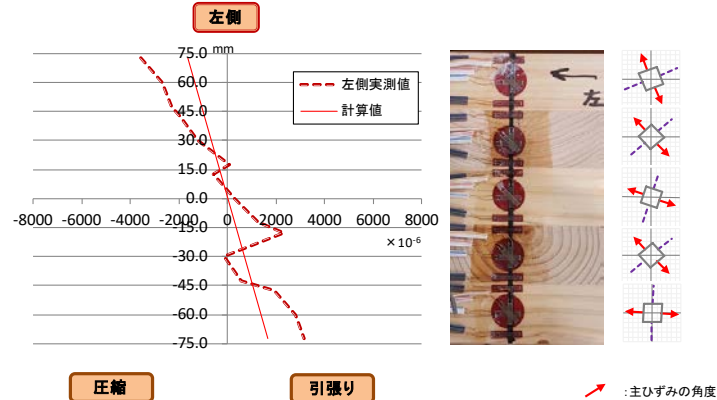
40kN時(左側:断面係数矩形計算)



比例限度荷重48kN時(左側:断面係数矩形計算)

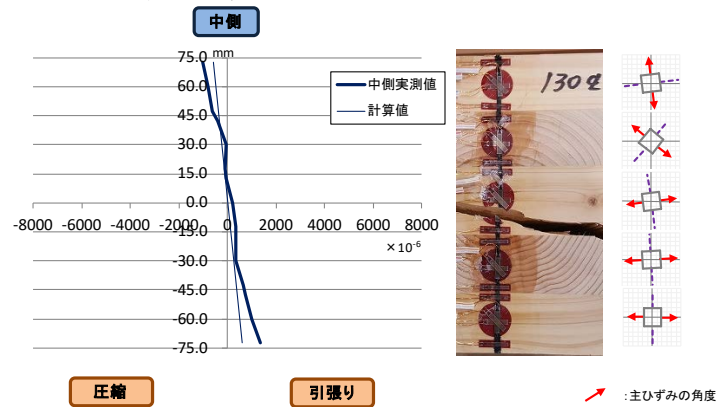


最大荷重66kN時(左側)

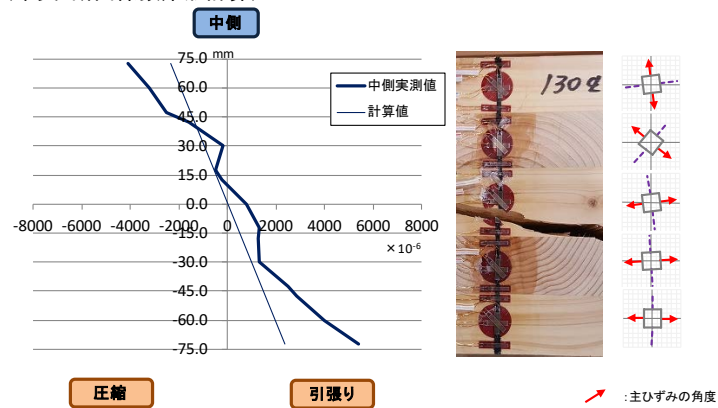


No2-2-5 中央

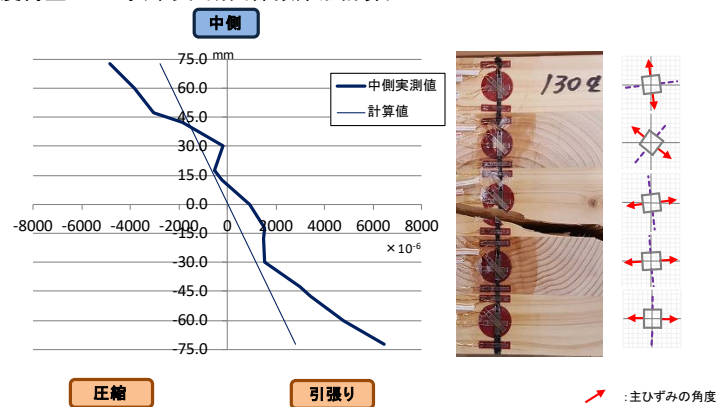
10kN時(中央:断面係数矩形計算)



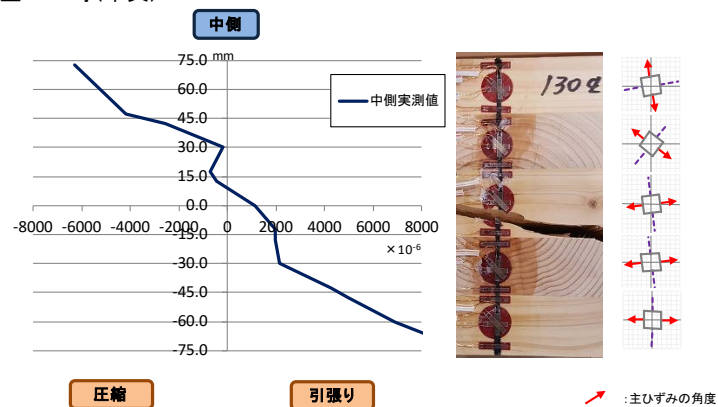
40kN時(中央:断面係数矩形計算)



比例限度荷重48kN時(中央:断面係数矩形計算)

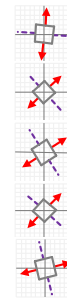
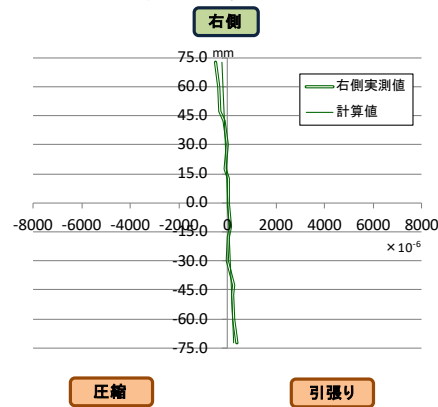


最大荷重66kN時(中央)



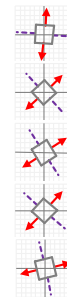
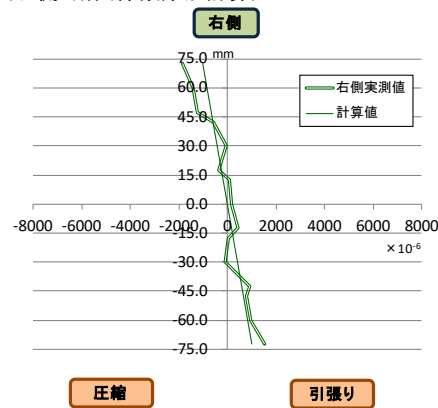
No2-2-5 右側

10kN時(右側:断面係数矩形計算)



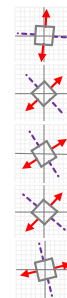
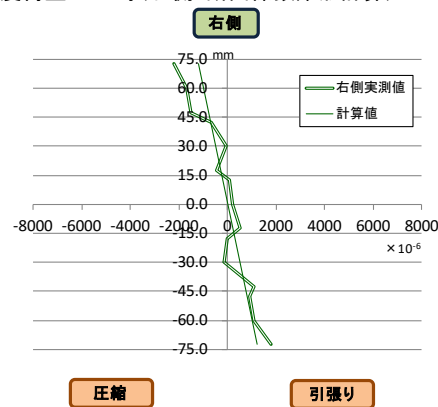
主ひずみの角度

40kN時(右側:断面係数矩形計算)



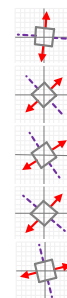
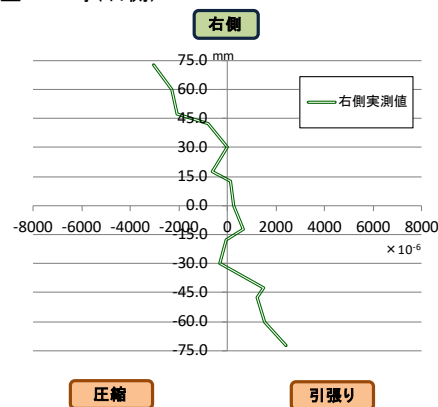
主ひずみの角度

比例限度荷重48kN時(右側:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

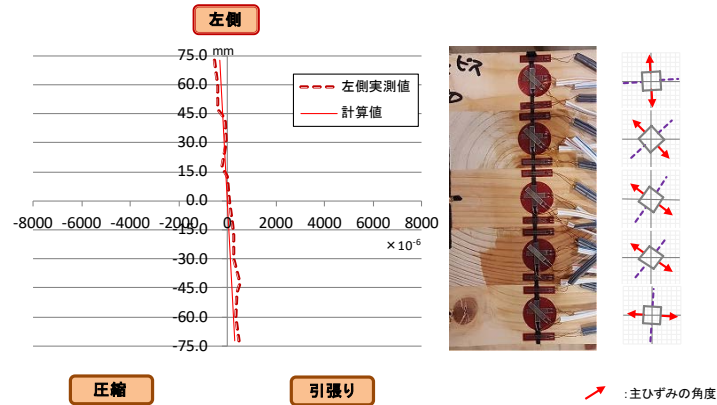
最大荷重66kN時(右側)



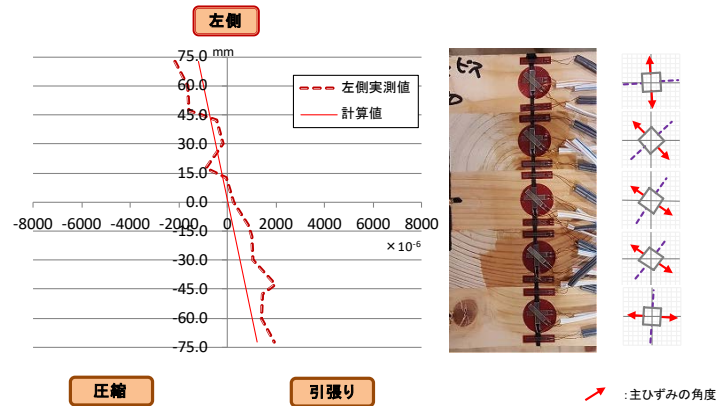
主ひずみの角度

No2-3-3 左側

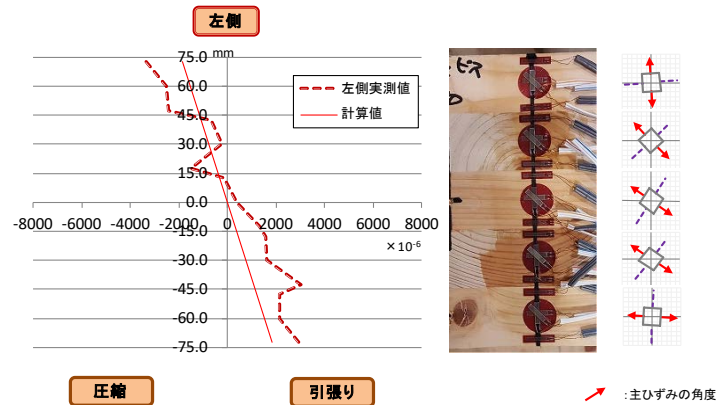
10kN時(左側:断面係数矩形計算)



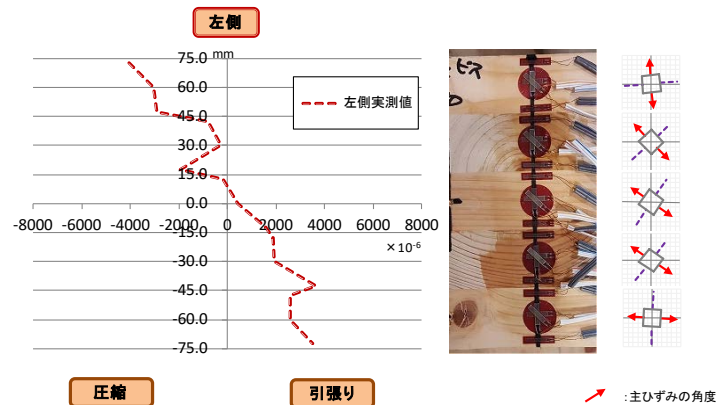
40kN時(左側:断面係数矩形計算)



比例限度荷重62kN時(左側:断面係数矩形計算)

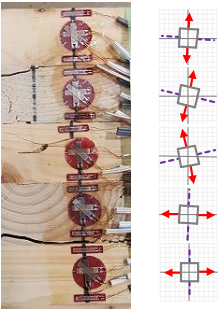
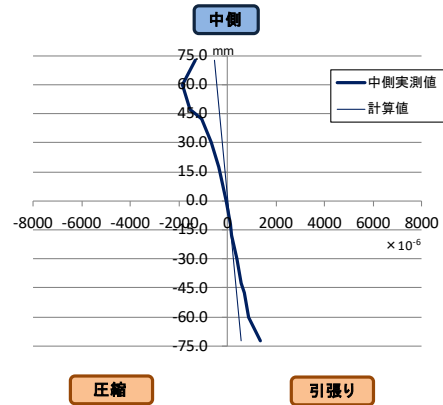


最大荷重74時(左側)



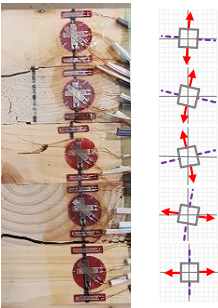
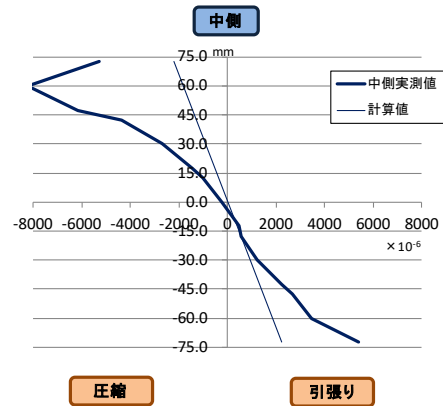
No2-3-3 中央

10kN時(中央:断面係数矩形計算)



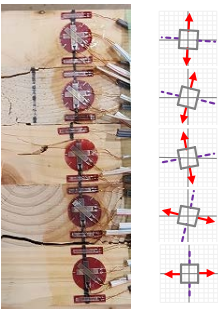
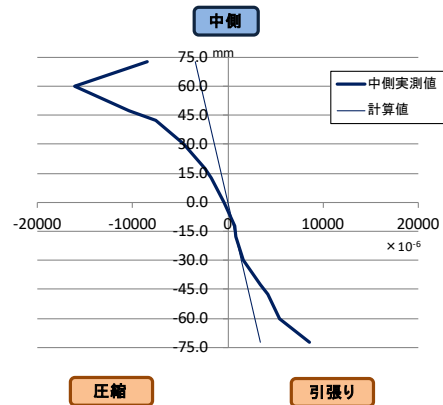
:主ひずみの角度

40kN時(中央:断面係数矩形計算)



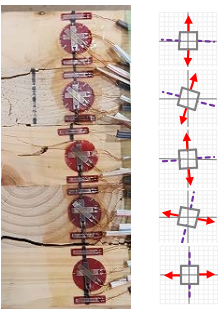
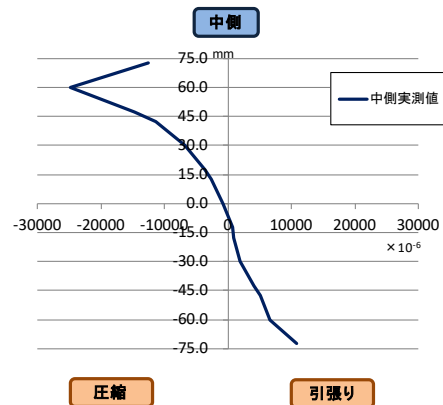
:主ひずみの角度

比例限度荷重62kN時(中央:断面係数矩形計算)



:主ひずみの角度

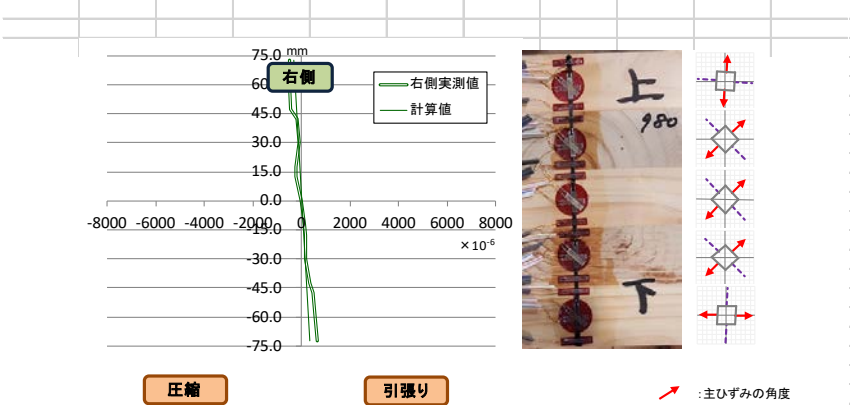
最大荷重74kN時(中央)



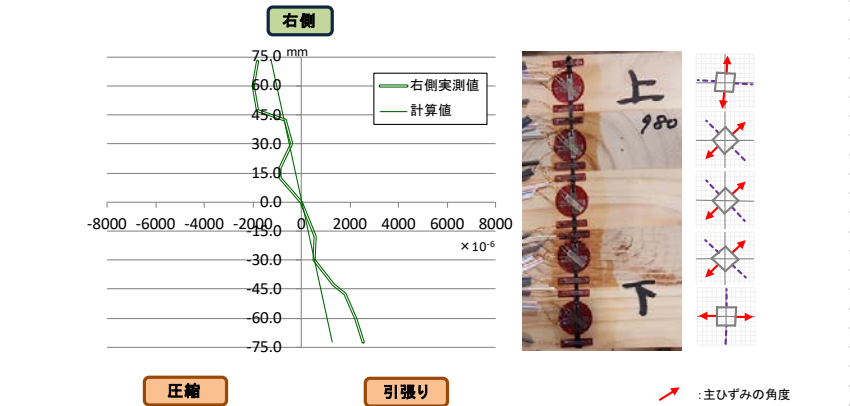
:主ひずみの角度

No2-3-3 右側

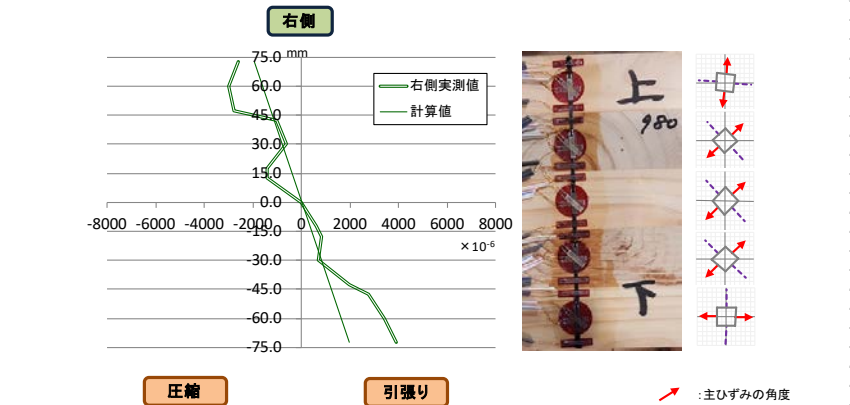
10kN時(右側:断面係数矩形計算)



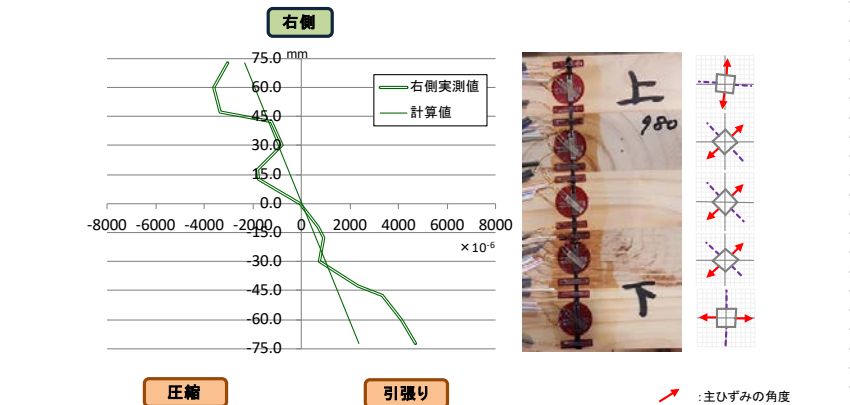
40kN時(右側:断面係数矩形計算)



比例限度荷重62kN時(右側:断面係数矩形計算)

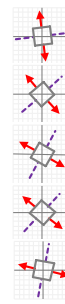
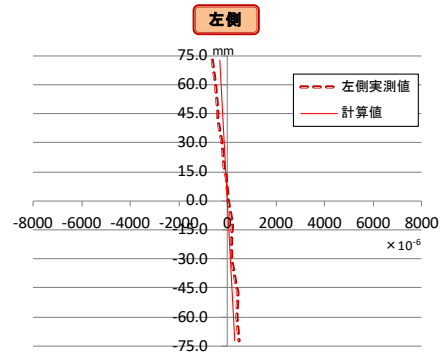


最大荷重74kN時(右側)



No2-3-6 左側

10kN時(左側:断面係数矩形計算)

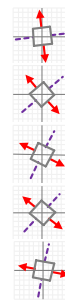
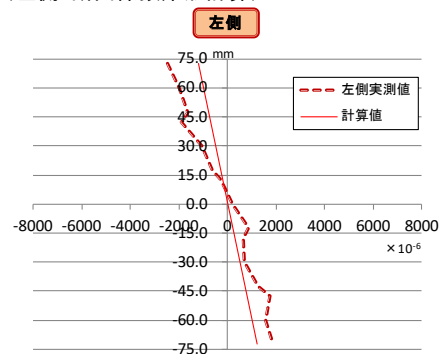


圧縮

引張り

主ひずみの角度

40kN時(左側:断面係数矩形計算)

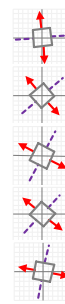
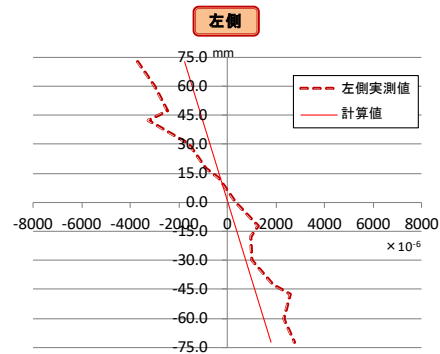


圧縮

引張り

主ひずみの角度

比例限度荷重60kN時(左側:断面係数矩形計算)

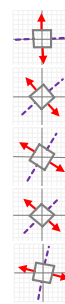
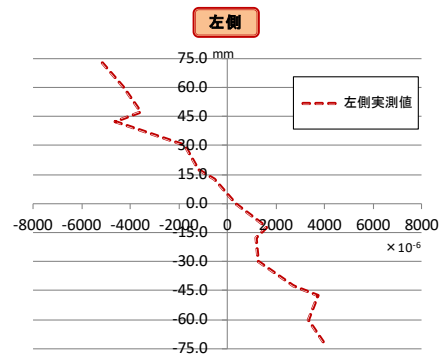


圧縮

引張り

主ひずみの角度

最大荷重85kN時(左側)



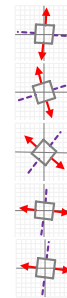
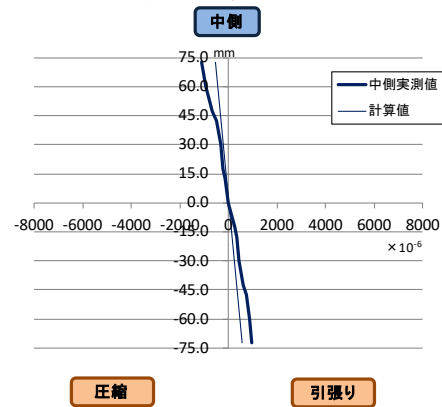
圧縮

引張り

主ひずみの角度

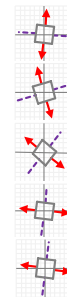
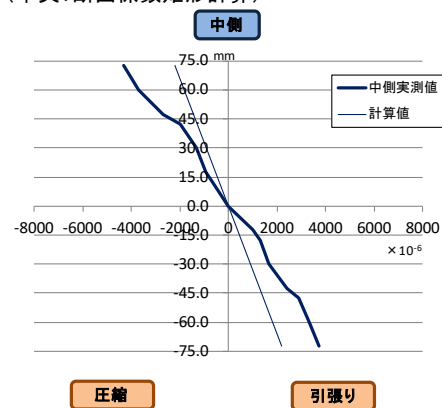
No2-3-6 中央

10kN時(中央:断面係数矩形計算)



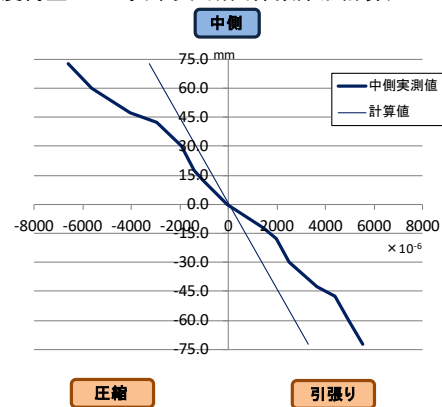
主ひずみの角度

40kN時(中央:断面係数矩形計算)



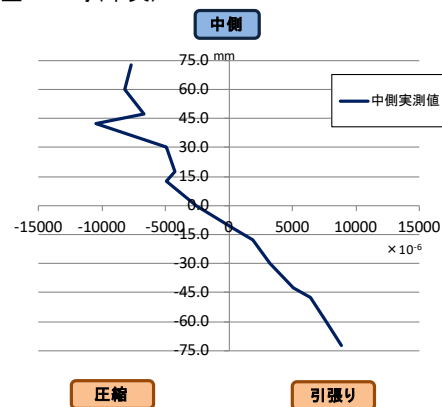
主ひずみの角度

比例限度荷重60kN時(中央:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

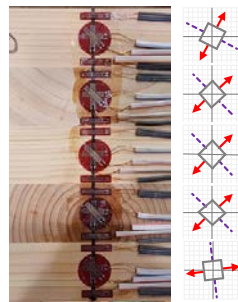
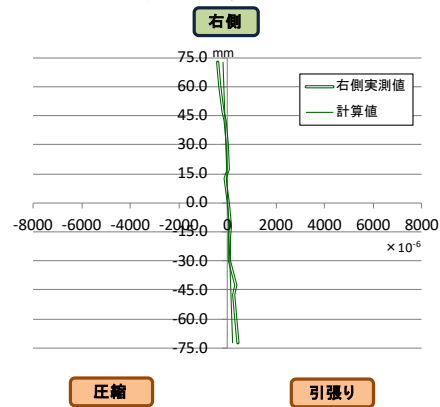
最大荷重85kN時(中央)



主ひずみの角度

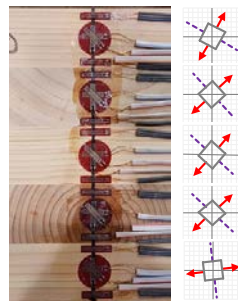
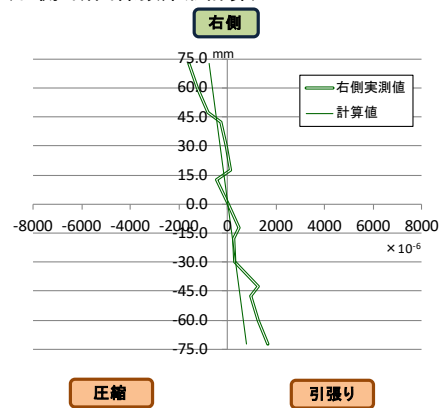
No2-3-6 右側

10kN時(右側:断面係数矩形計算)



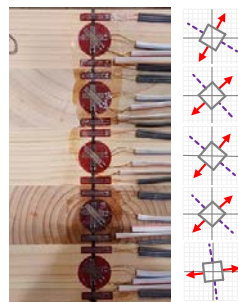
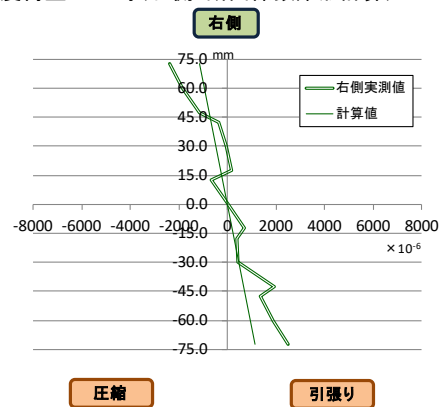
↗ :主ひずみの角度

40kN時(右側:断面係数矩形計算)



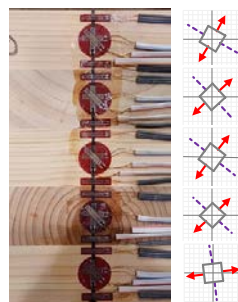
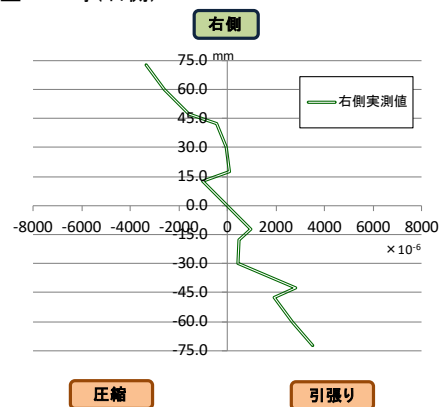
↗ :主ひずみの角度

比例限度荷重60kN時(右側:断面係数矩形計算)



↗ :主ひずみの角度

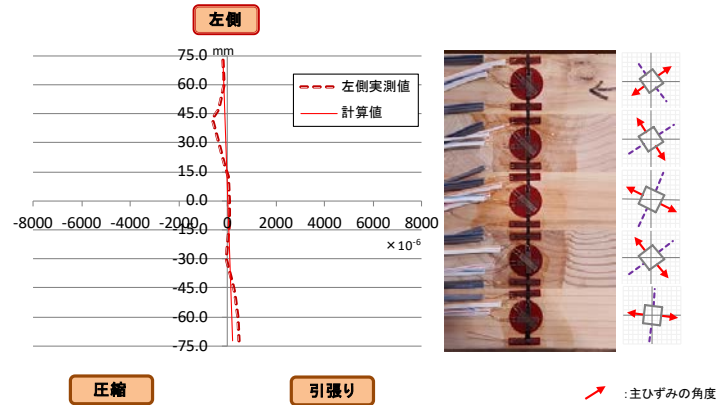
最大荷重85kN時(右側)



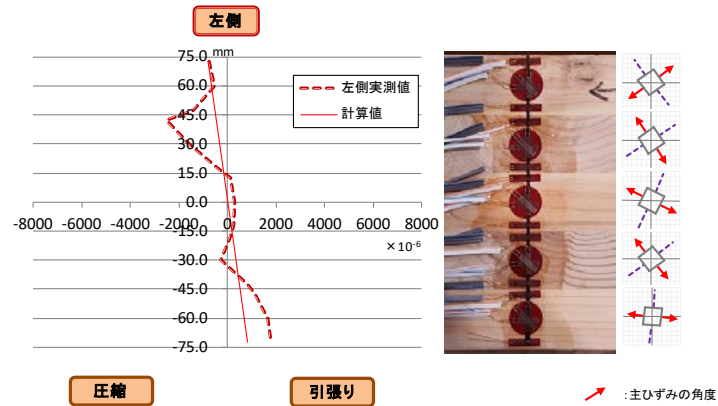
↗ :主ひずみの角度

No3-1-1 左側

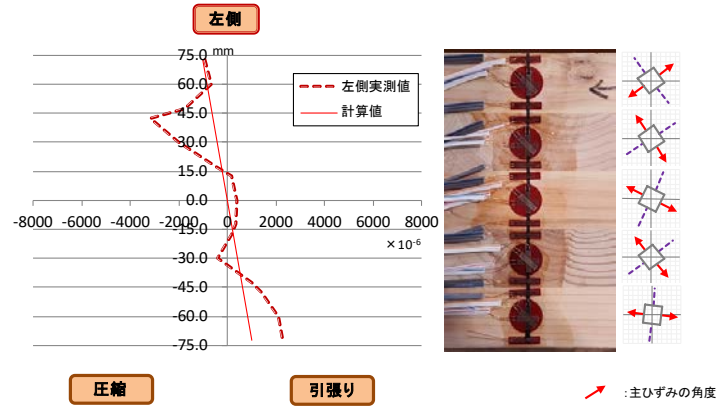
10kN時(左側:断面係数矩形計算)



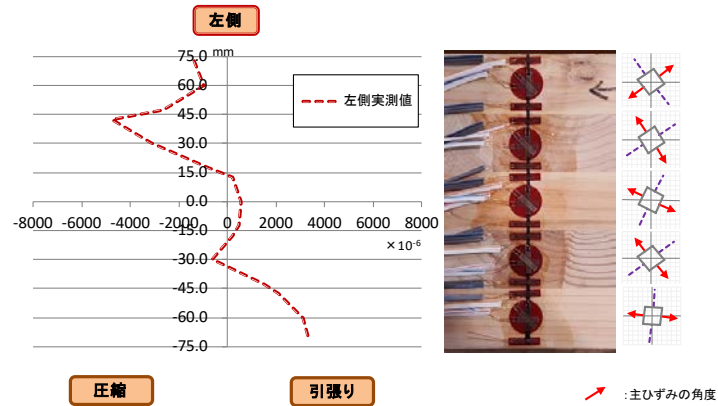
40kN時(左側:断面係数矩形計算)



比例限度荷重50kN時(左側:断面係数矩形計算)

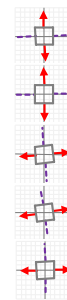
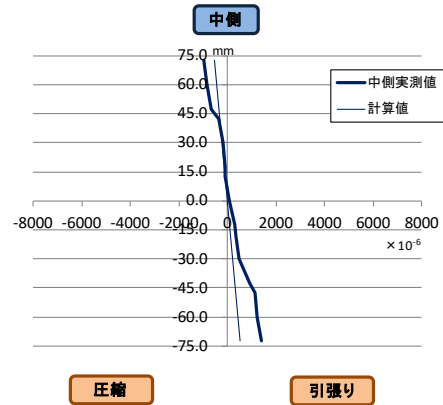


最大荷重74kN時(左側)



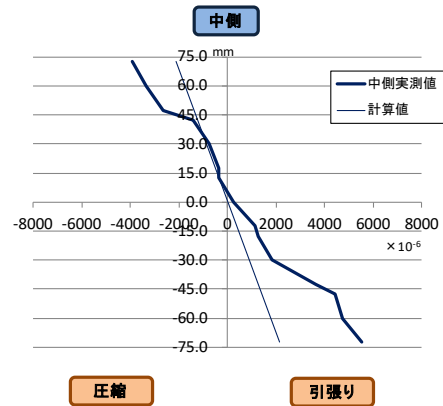
No3-1-1 中央

10kN時(中央:断面係数矩形計算)



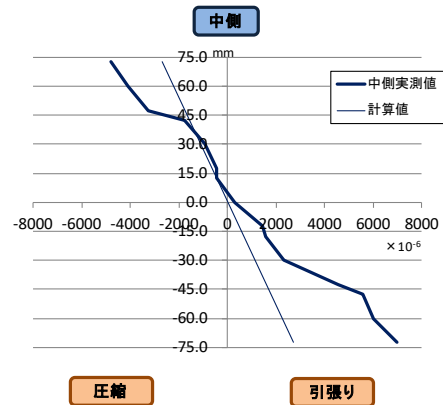
主ひずみの角度

40kN時(中央:断面係数矩形計算)



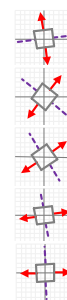
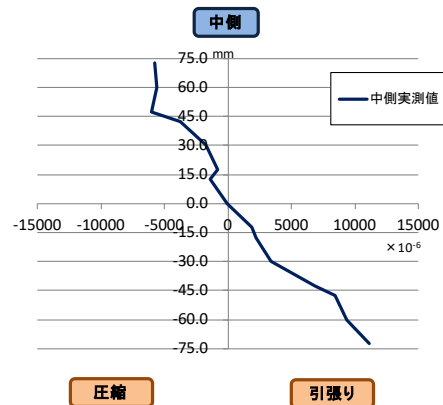
主ひずみの角度

比例限度荷重50kN時(中央:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

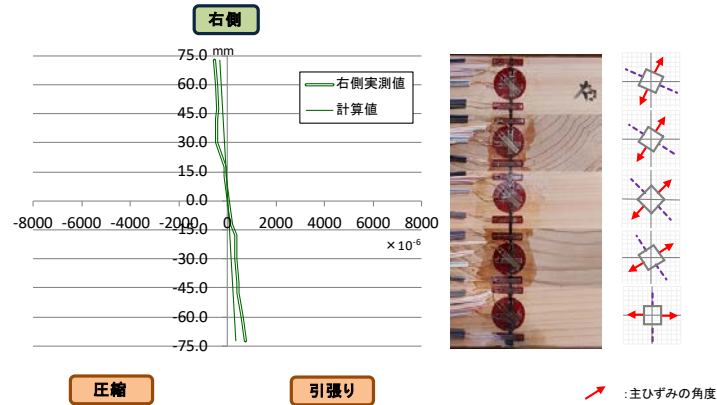
最大荷重74kN時(中央)



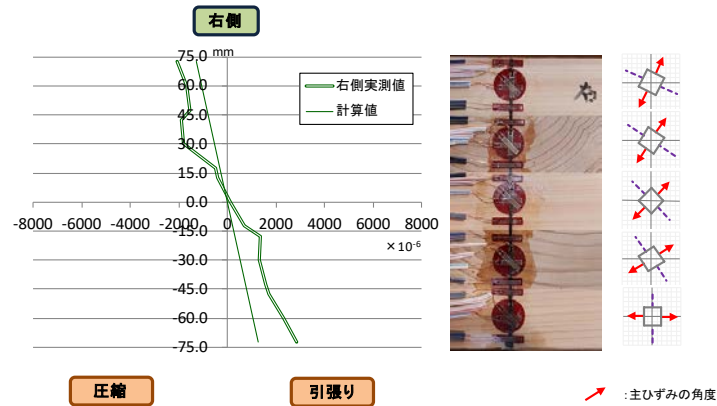
主ひずみの角度

No3-1-1 右側

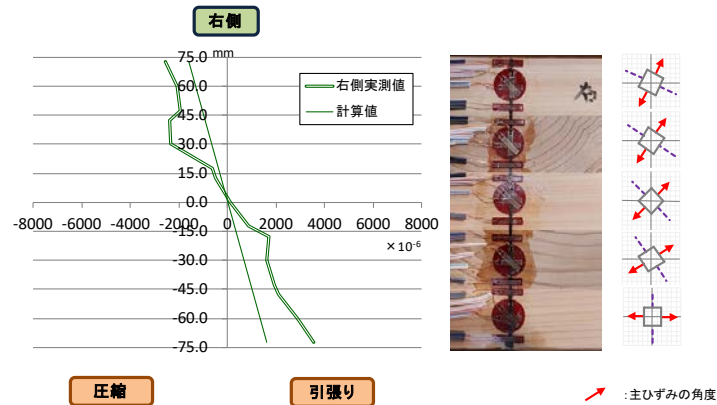
10kN時(右側:断面係数矩形計算)



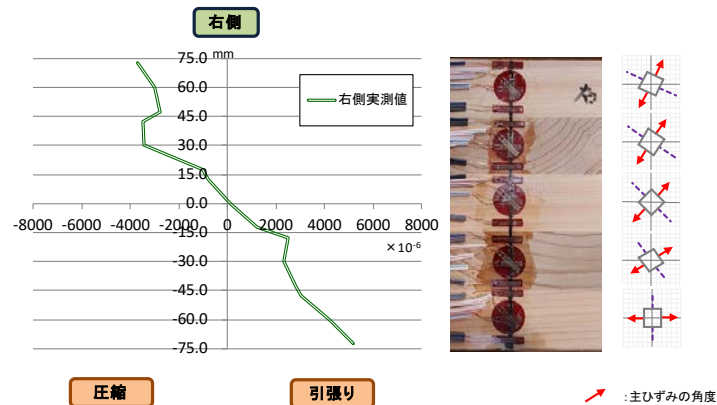
40kN時(右側:断面係数矩形計算)



比例限度荷重50kN時(右側:断面係数矩形計算)

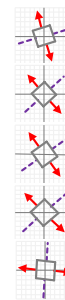
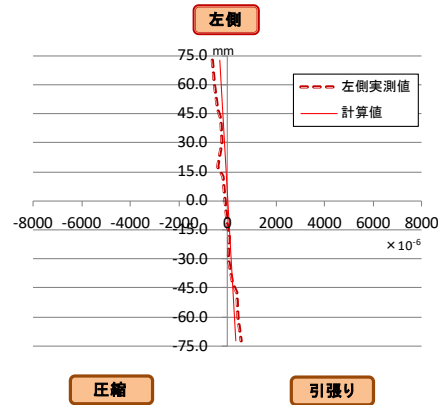


最大荷重74kN時(右側)



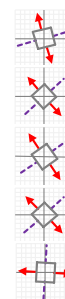
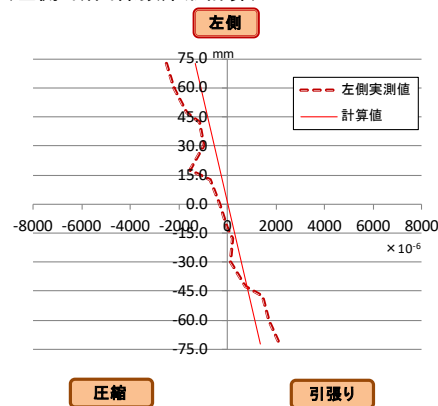
No3-2-3 左側

10kN時(左側:断面係数矩形計算)



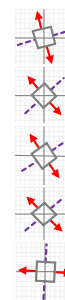
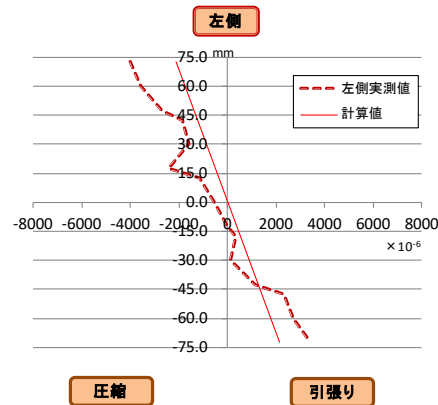
主ひずみの角度

40kN時(左側:断面係数矩形計算)



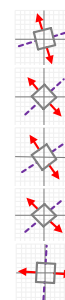
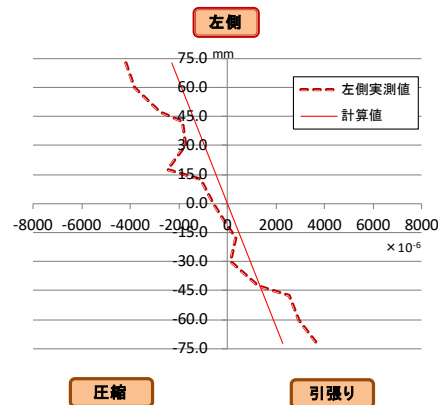
主ひずみの角度

比例限度荷重64kN時(左側:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

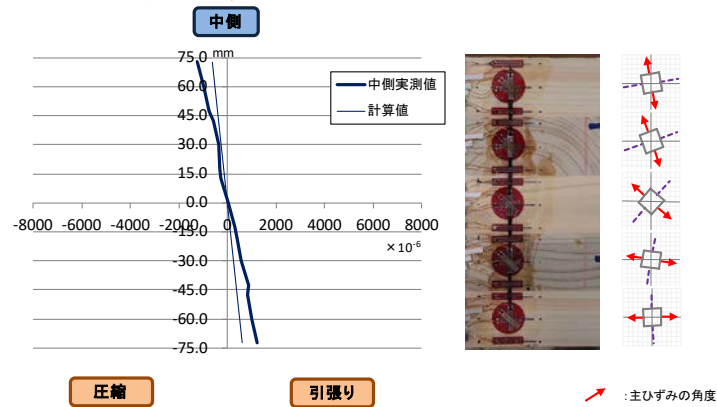
最大荷重手前68kN時(左側)



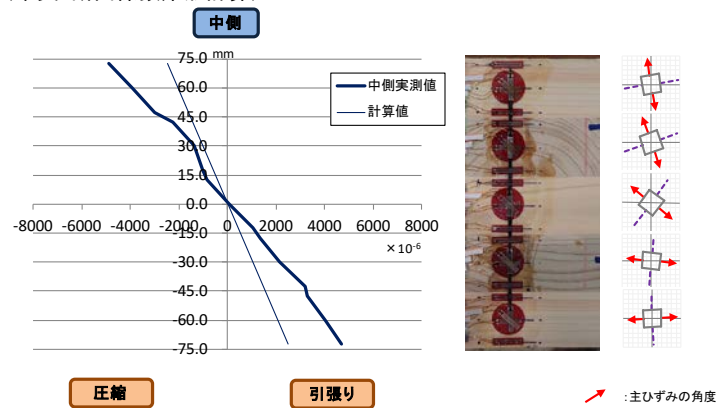
主ひずみの角度

No3-2-3 中央

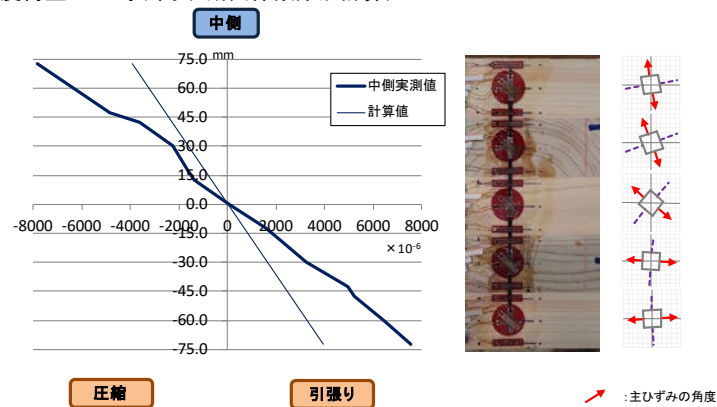
10kN時(中央:断面係数矩形計算)



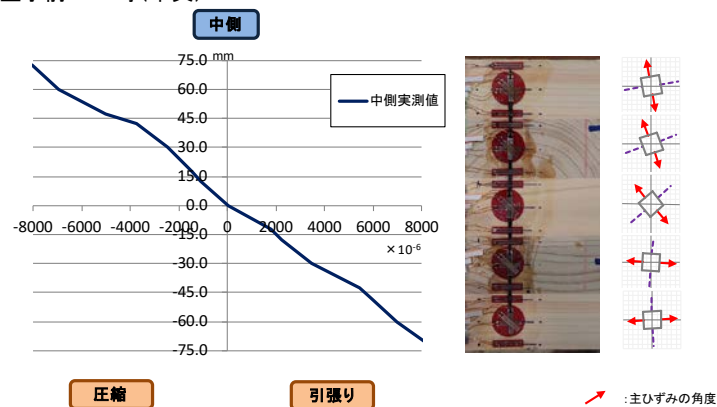
40kN時(中央:断面係数矩形計算)



比例限度荷重64kN時(中央:断面係数矩形計算)

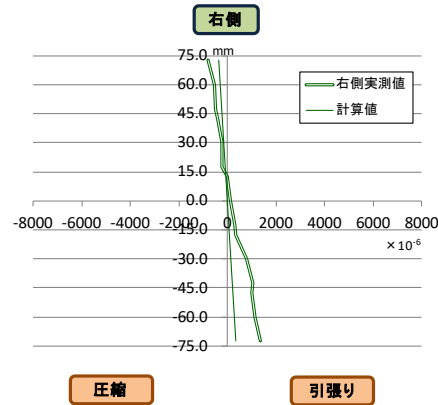


最大荷重手前68kN時(中央)



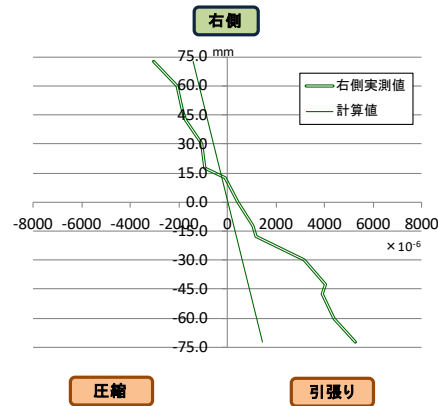
No3-2-3 右側

10kN時(右側:断面係数矩形計算)



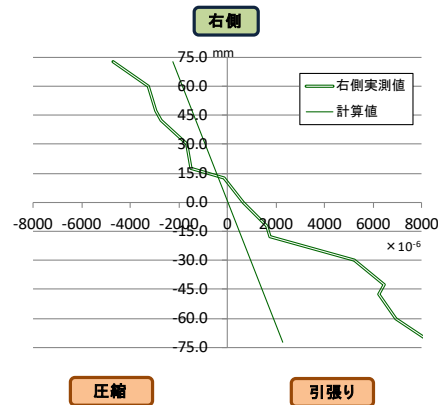
主ひずみの角度

40kN時(右側:断面係数矩形計算)



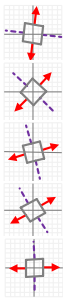
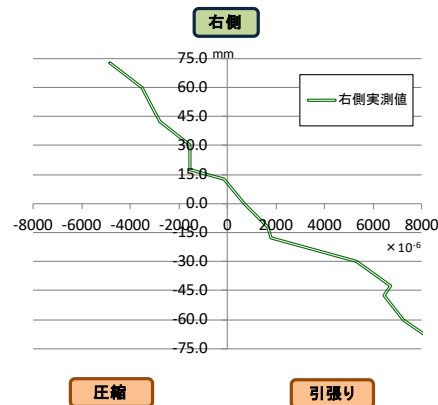
主ひずみの角度

比例限度荷重64kN時(右側:断面係数矩形計算)



主ひずみの角度

最大荷重手前68kN時(右側)

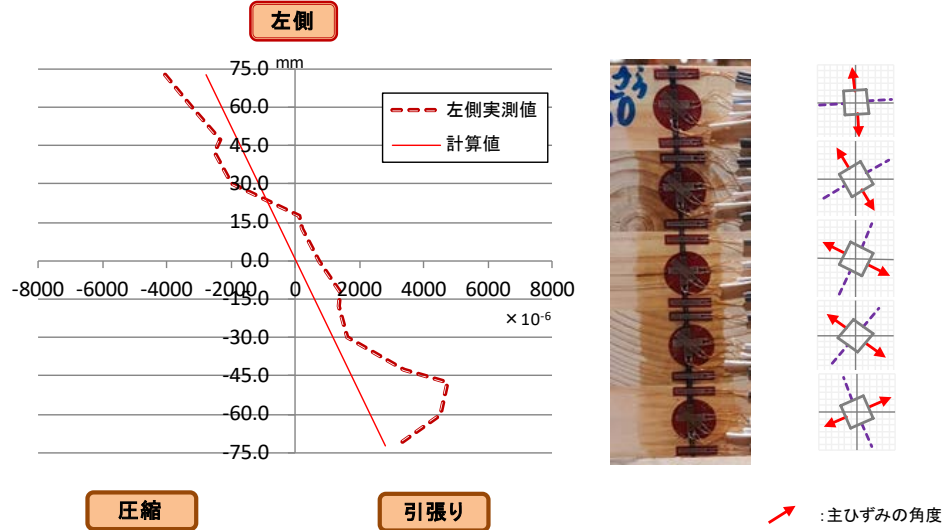


主ひずみの角度

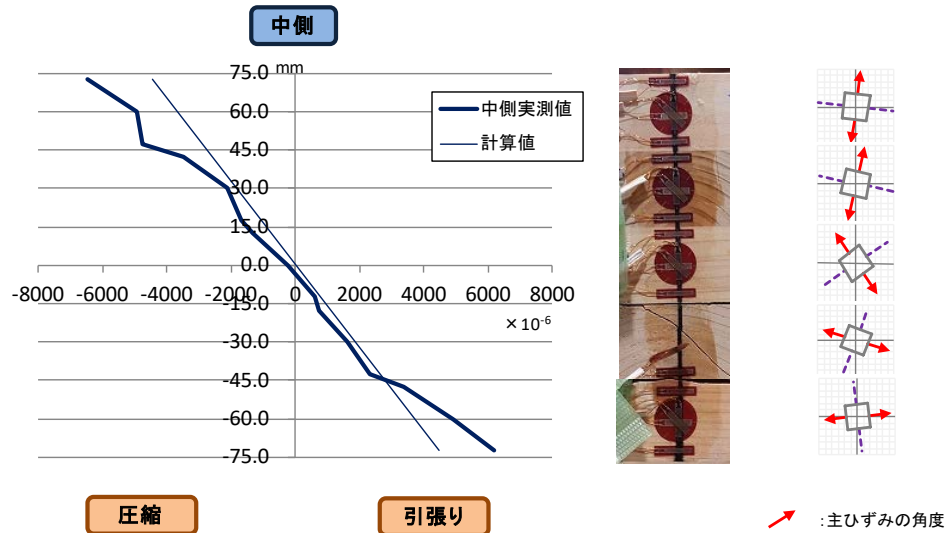
資料 6.4 各試験時の荷重による水平方向のひずみ量（左図）及び主ひずみの方向（右図）

－断面係数を外層のみで計算した場合－

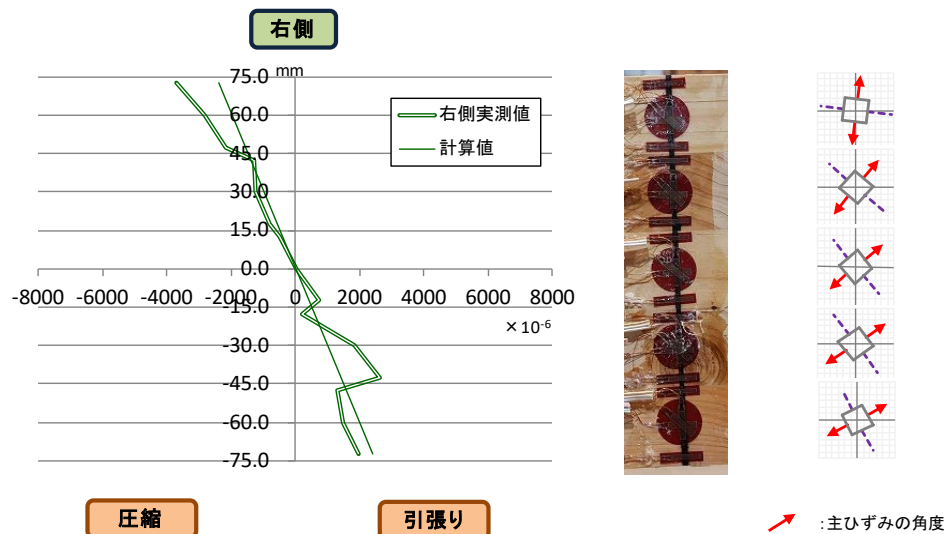
No1-1-1 比例限度以前荷重63kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



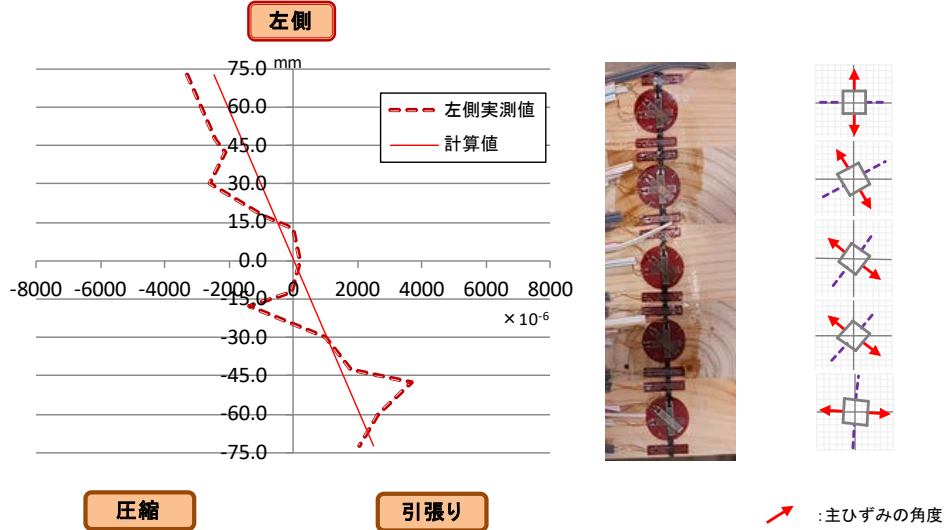
No1-1-1 比例限度荷重69kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



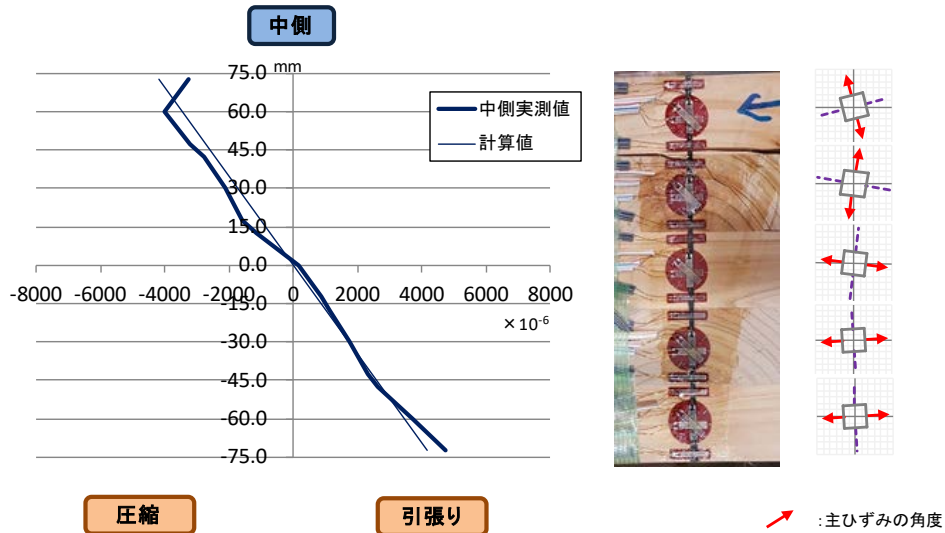
No1-1-1 比例限度以前荷重63kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



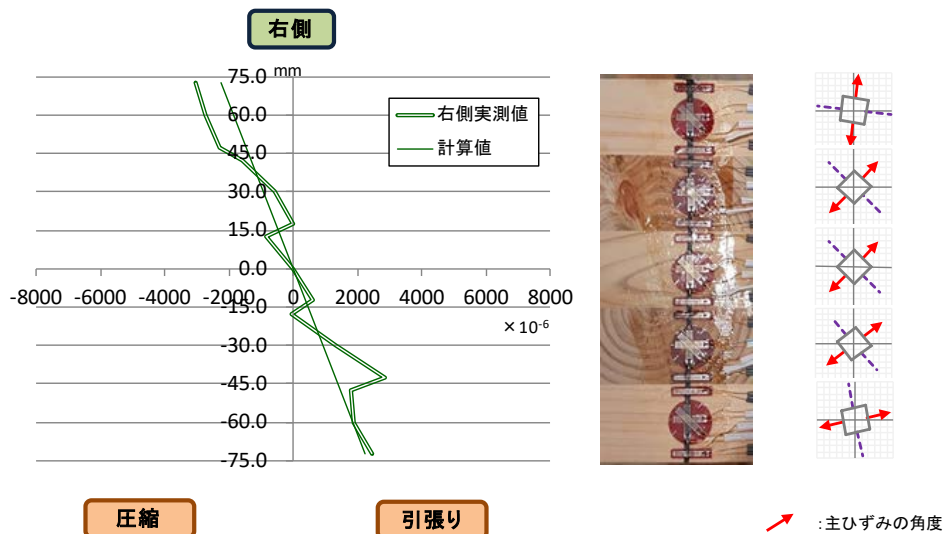
No1-1-4 比例限度荷重62kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



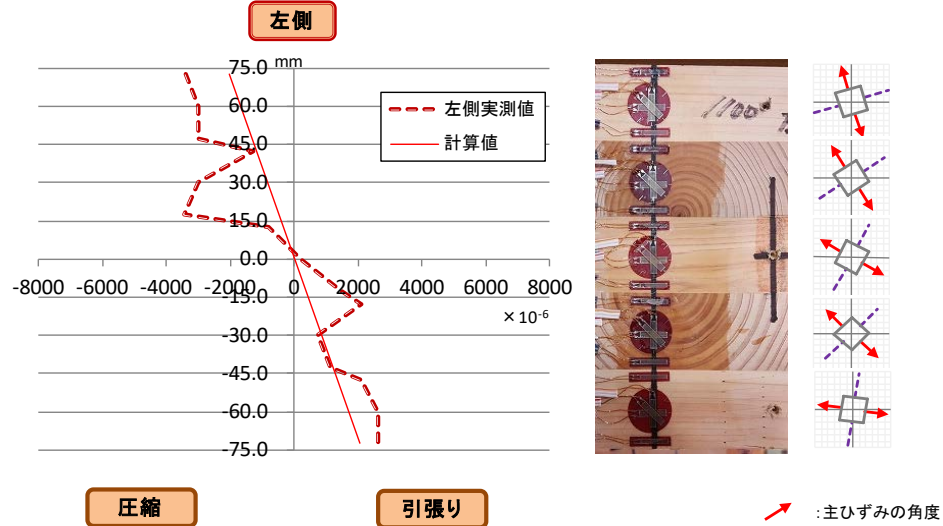
No1-1-4 比例限度荷重62kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



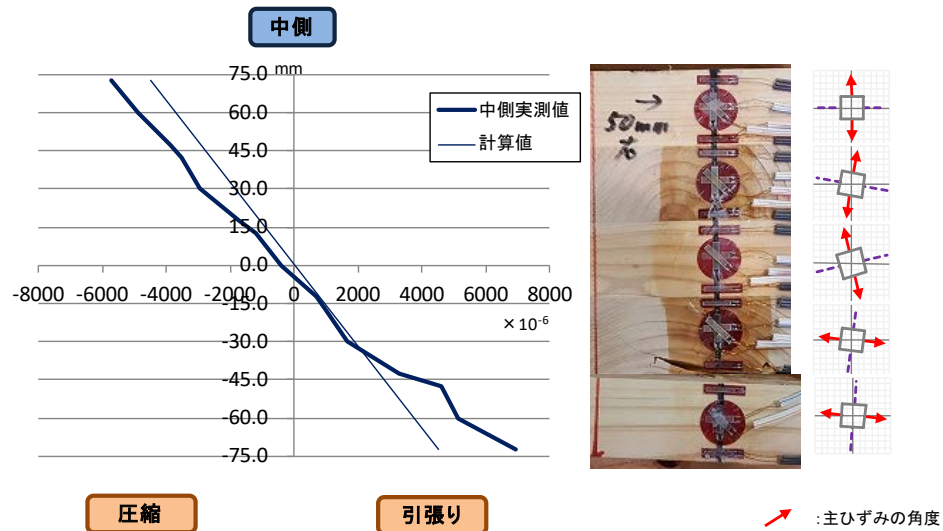
No1-1-4 比例限度荷重62kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



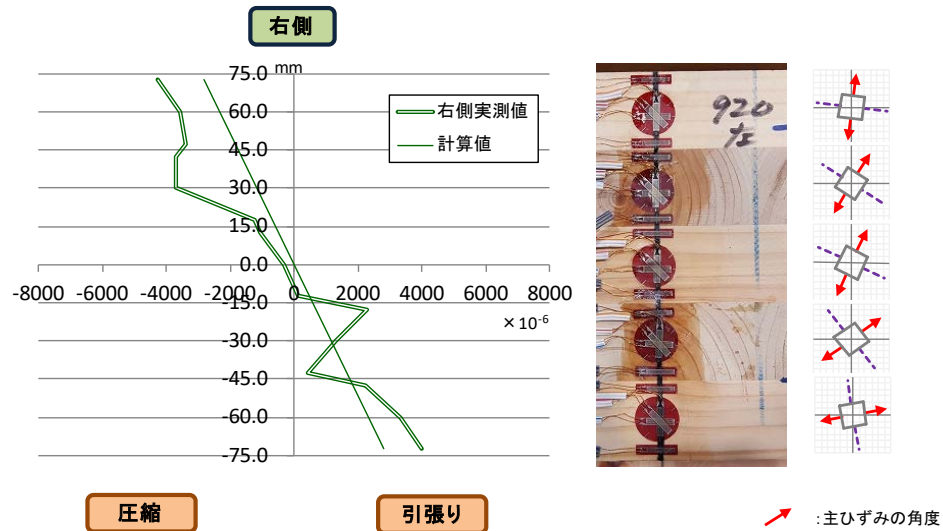
No1-1-7 比例限度荷重64kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



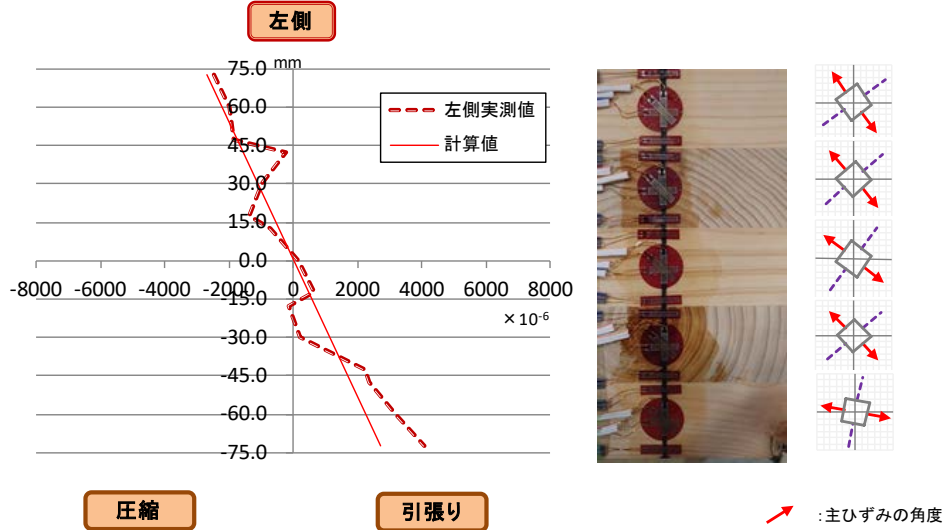
No1-1-7 比例限度荷重64kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



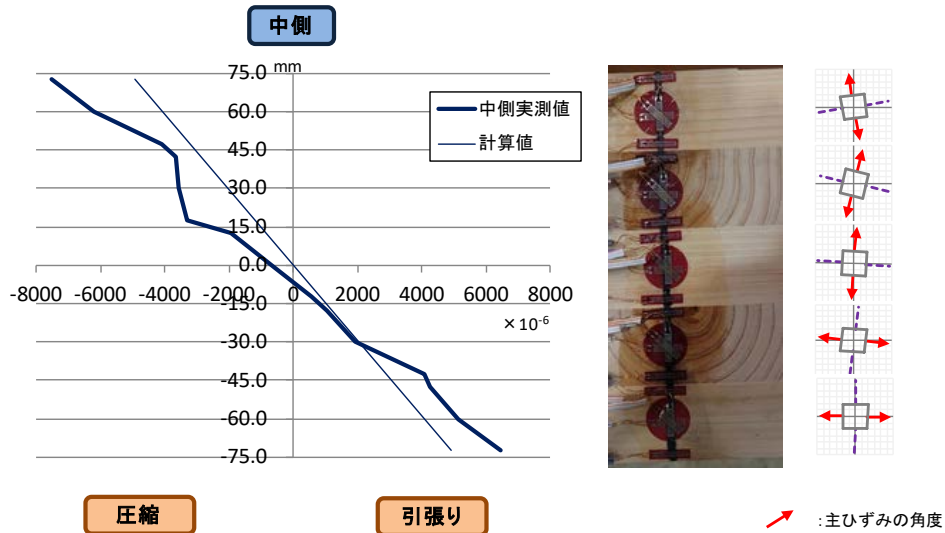
No1-1-7 比例限度荷重64kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



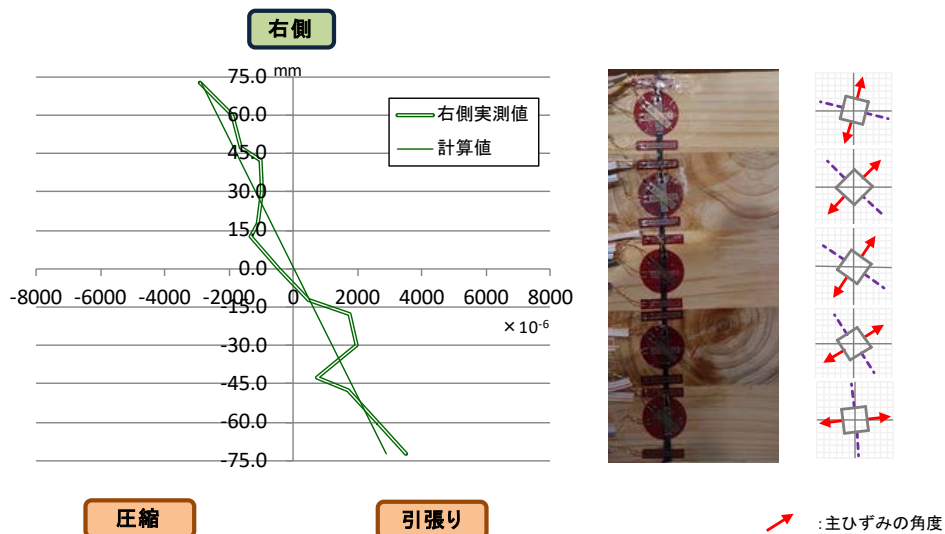
No1-2-2 比例限度荷重71kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



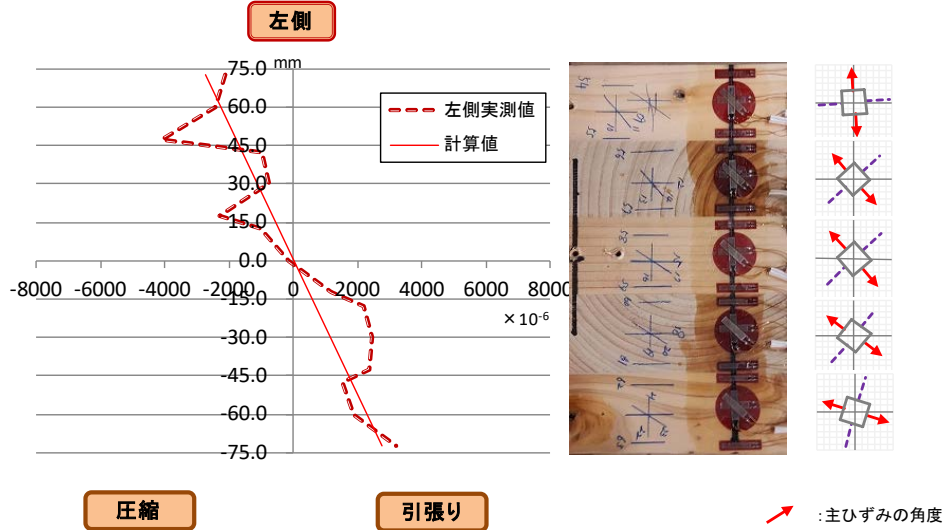
No1-2-2 比例限度荷重71kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



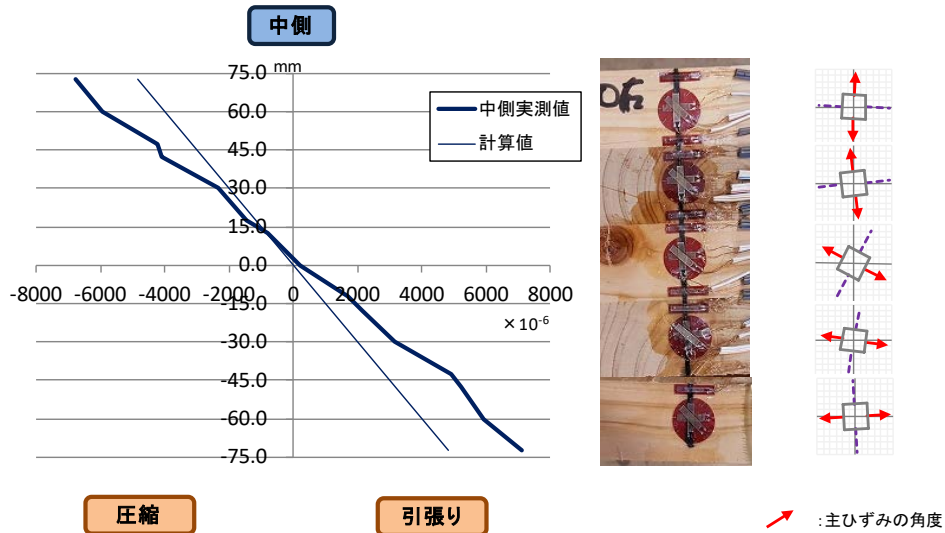
No1-2-2 比例限度荷重71kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



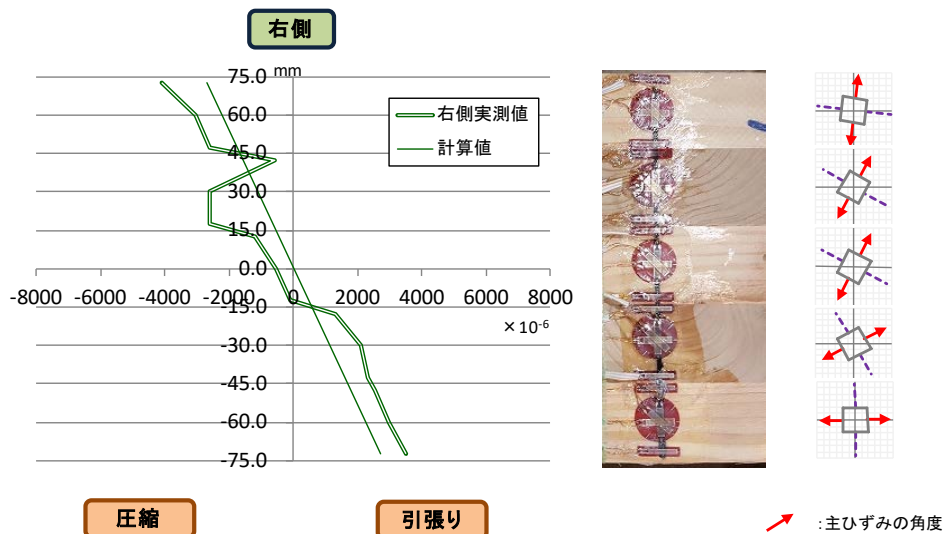
No1-2-5 比例限度荷重71kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



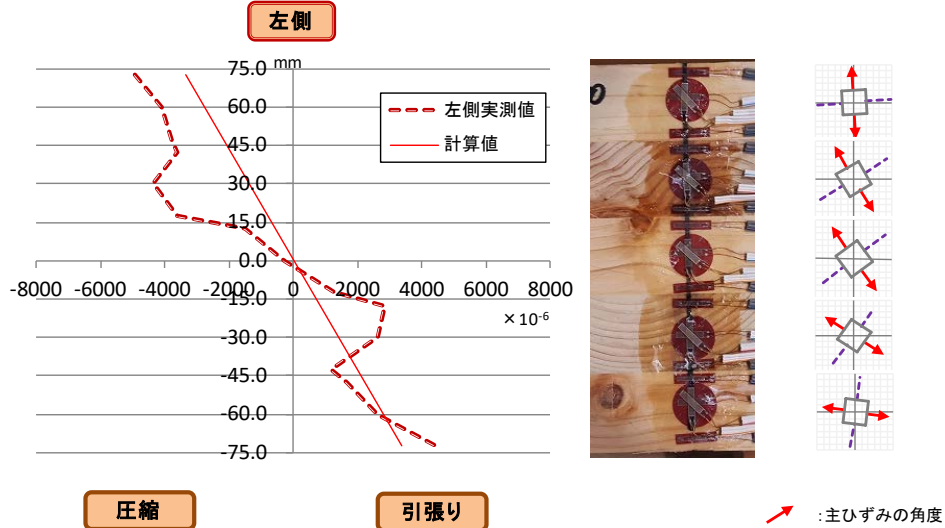
No1-2-5 比例限度荷重71kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



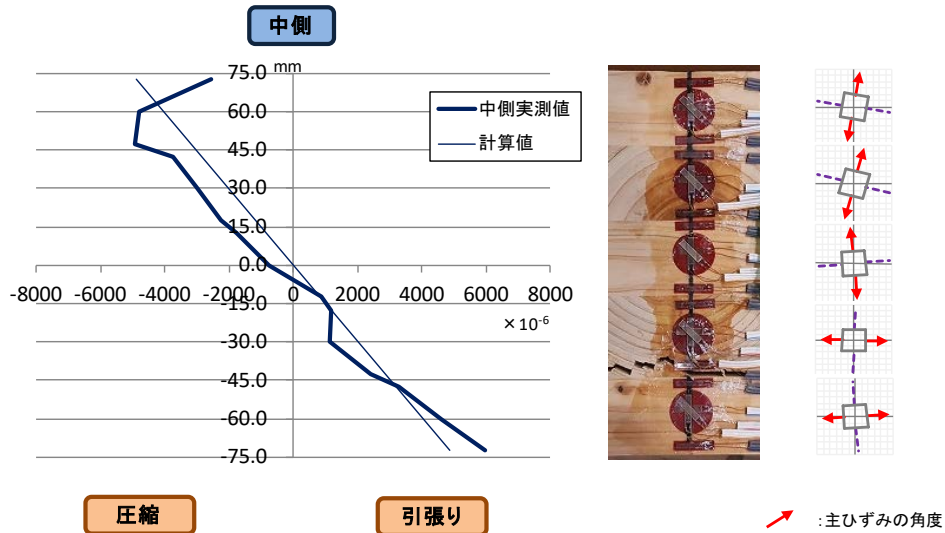
No1-2-5 比例限度荷重71kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



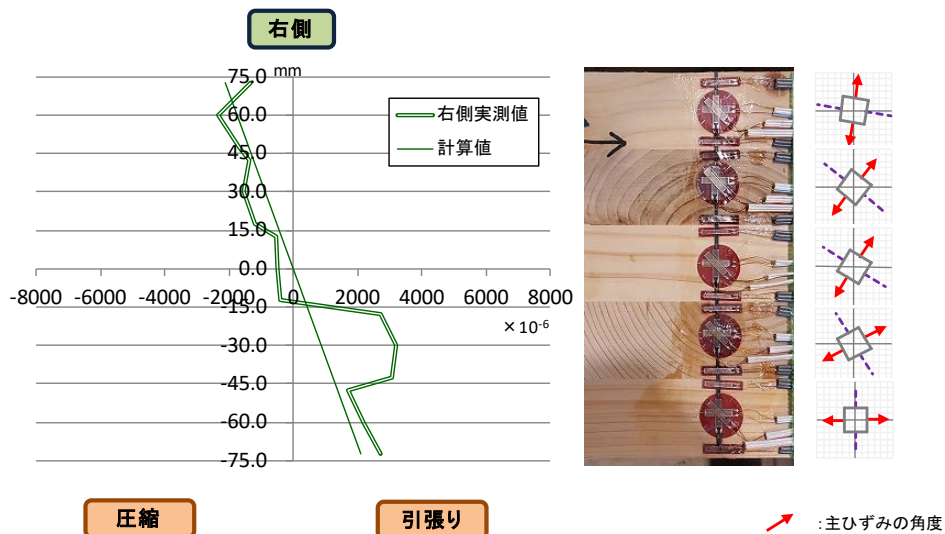
No1-3-3 比例限度荷重73kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



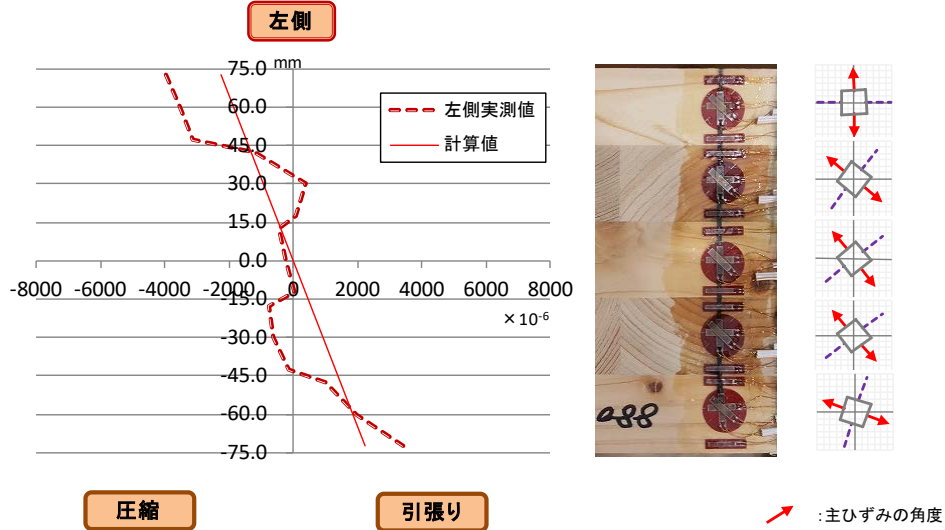
No1-3-3 比例限度荷重73kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



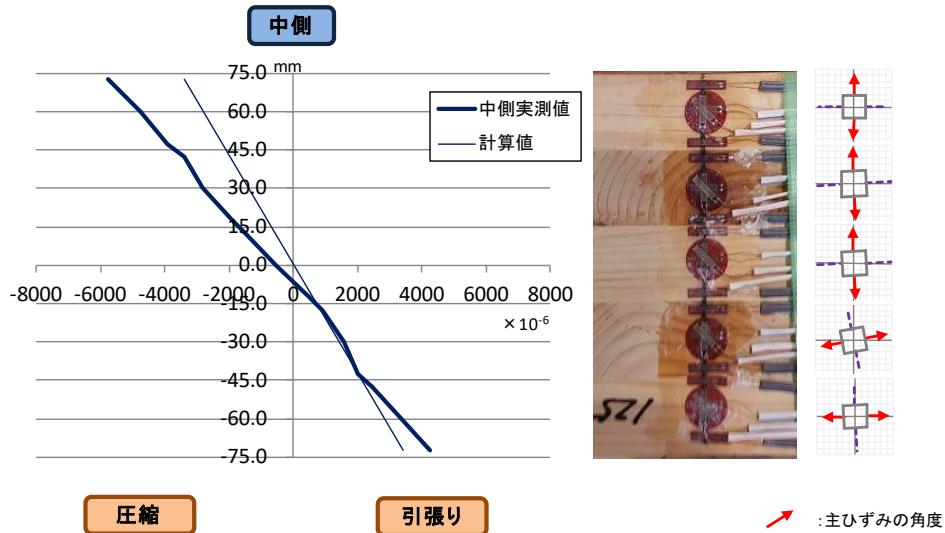
No1-3-3 比例限度荷重73kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



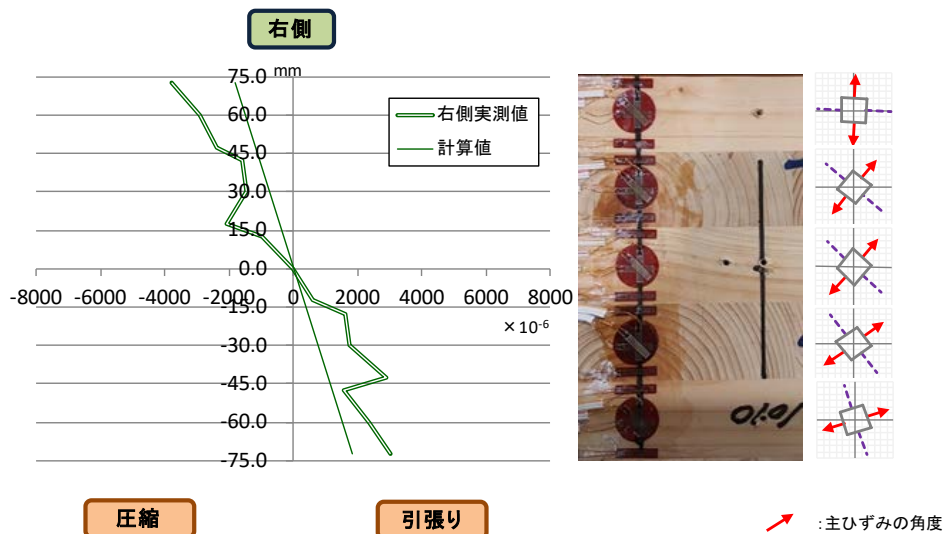
No1-3-6 比例限度荷重56kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



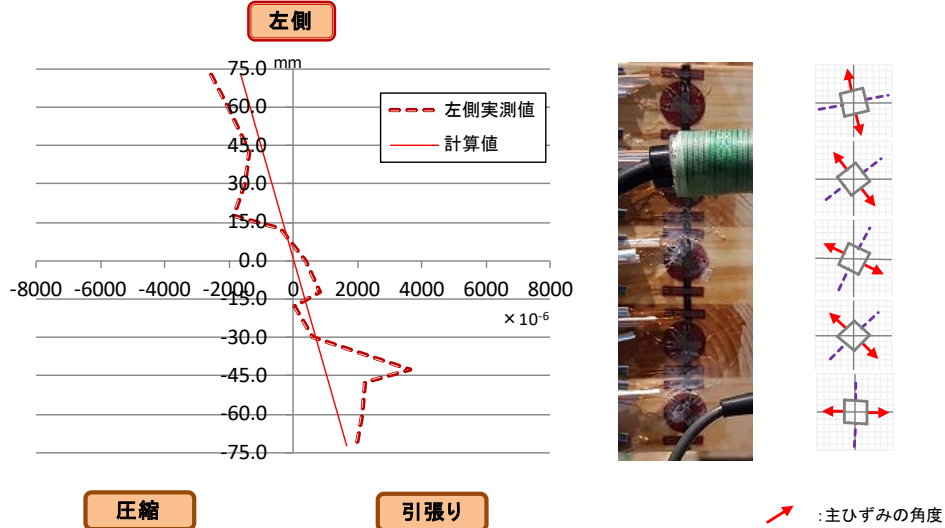
No1-3-6 比例限度荷重56kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



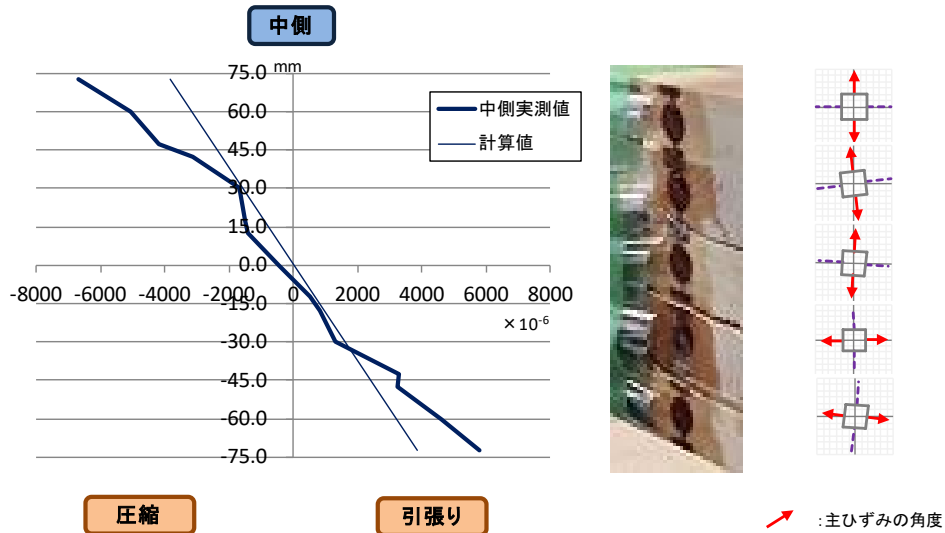
No1-3-6 比例限度荷重56kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



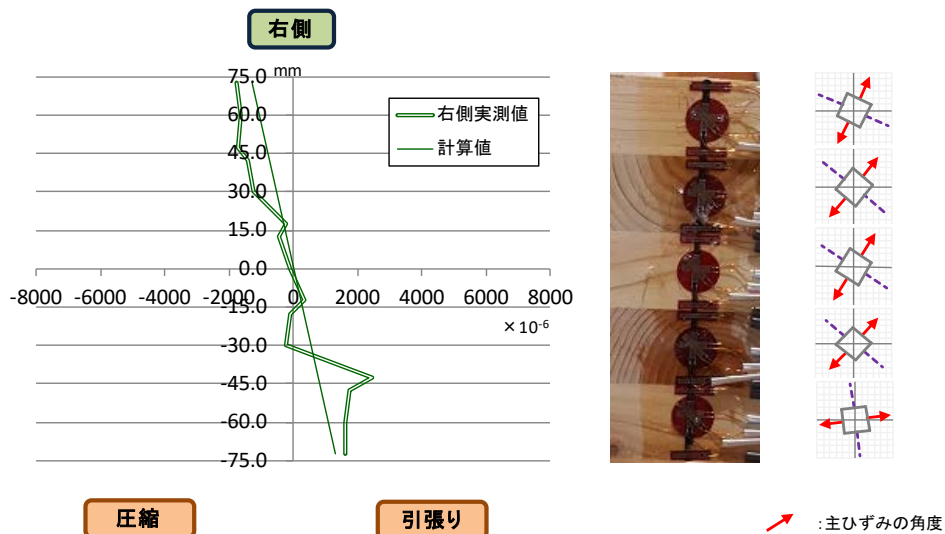
No2-1-1 比例限度荷重52kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



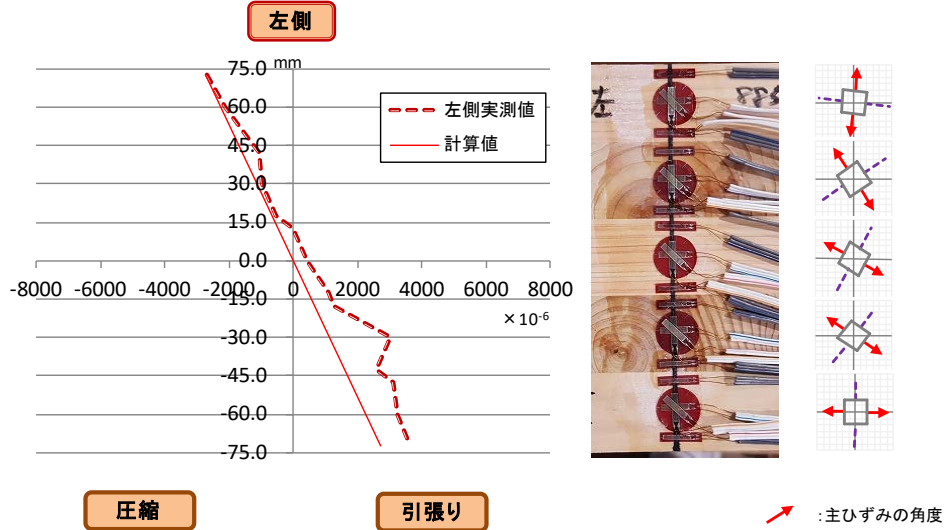
No2-1-1 比例限度荷重52kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



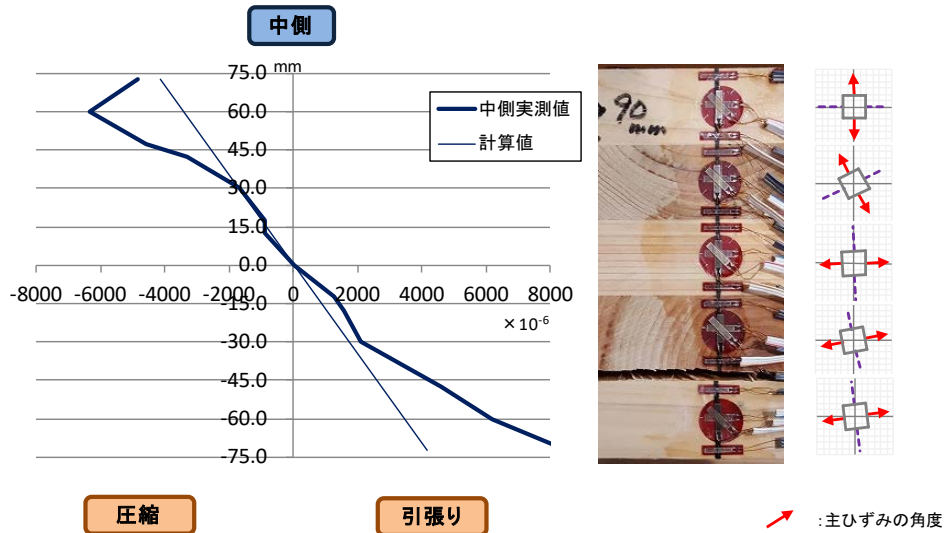
No2-1-1 比例限度荷重52kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



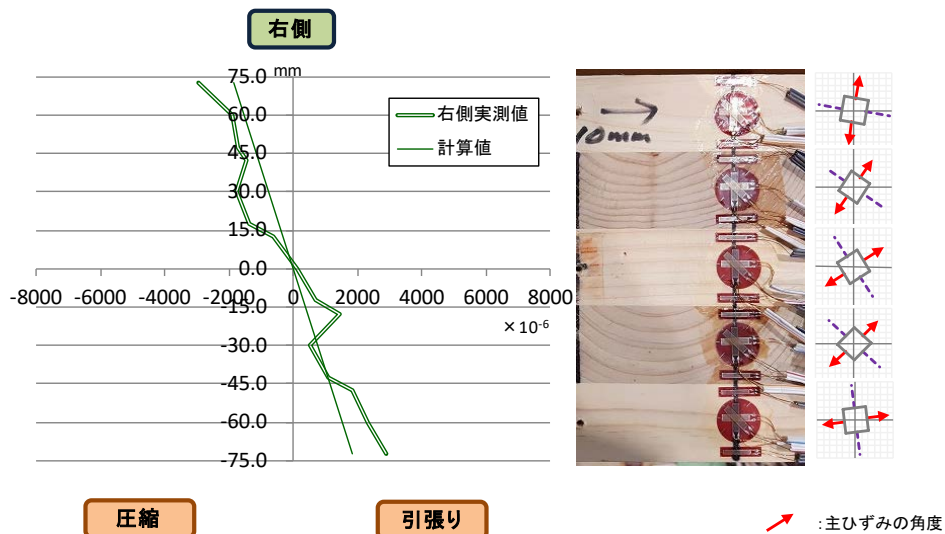
No2-1-4 比例限度荷重60kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



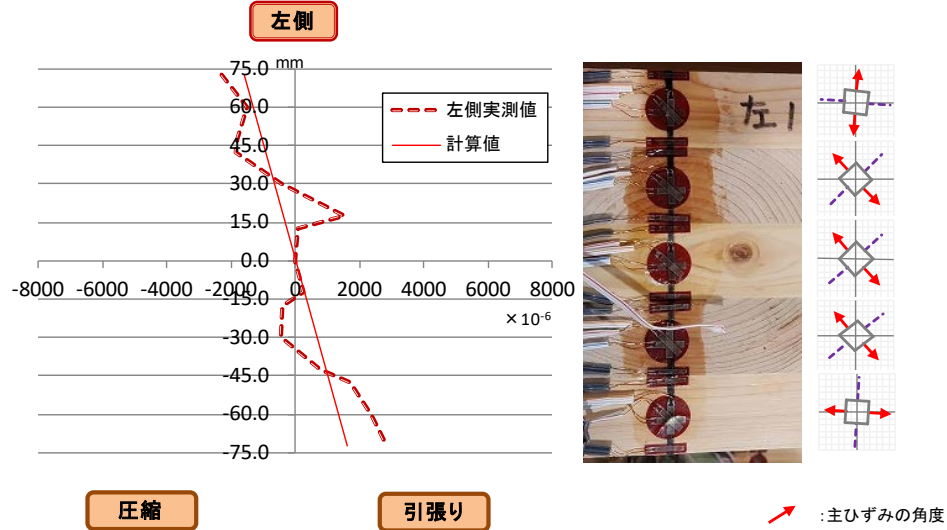
No2-1-4 比例限度荷重60kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



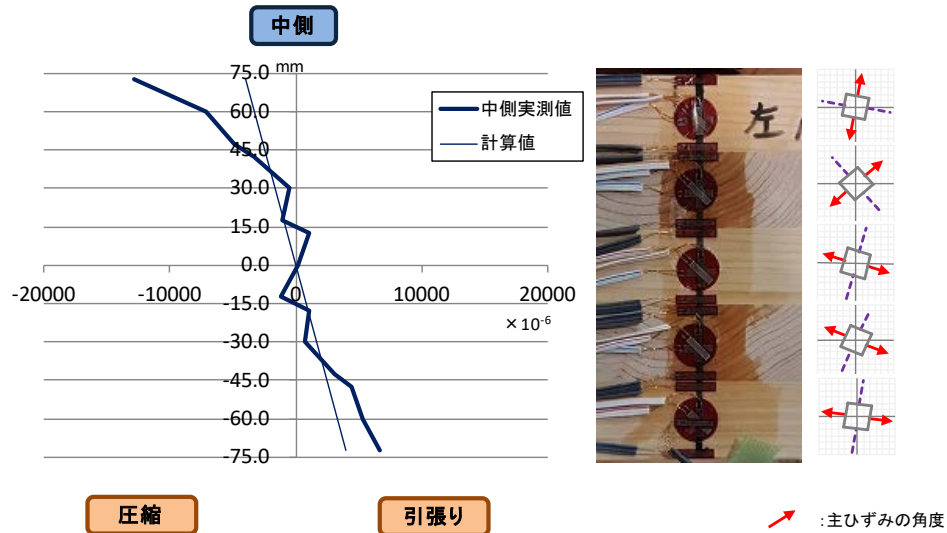
No2-1-4 比例限度荷重60kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



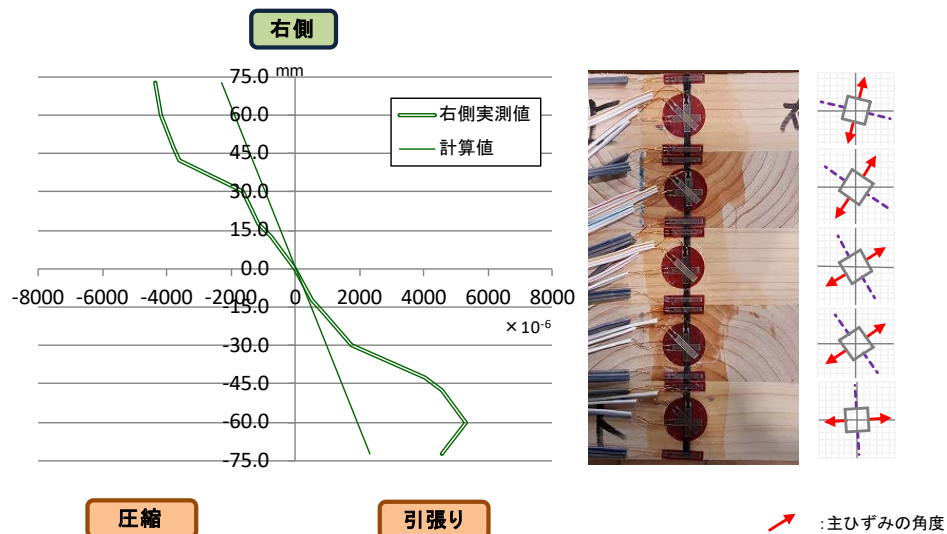
No2-1-7 比例限度荷重55kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



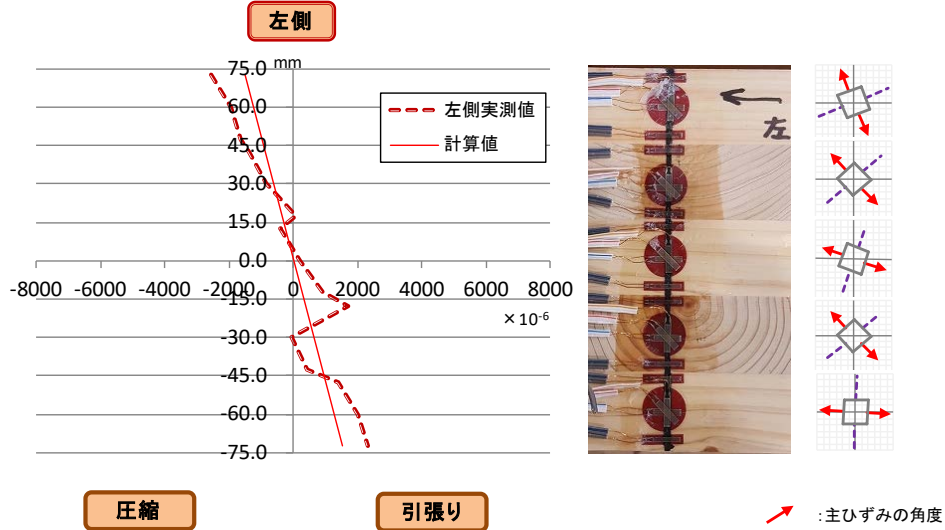
No2-1-7 比例限度荷重55kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



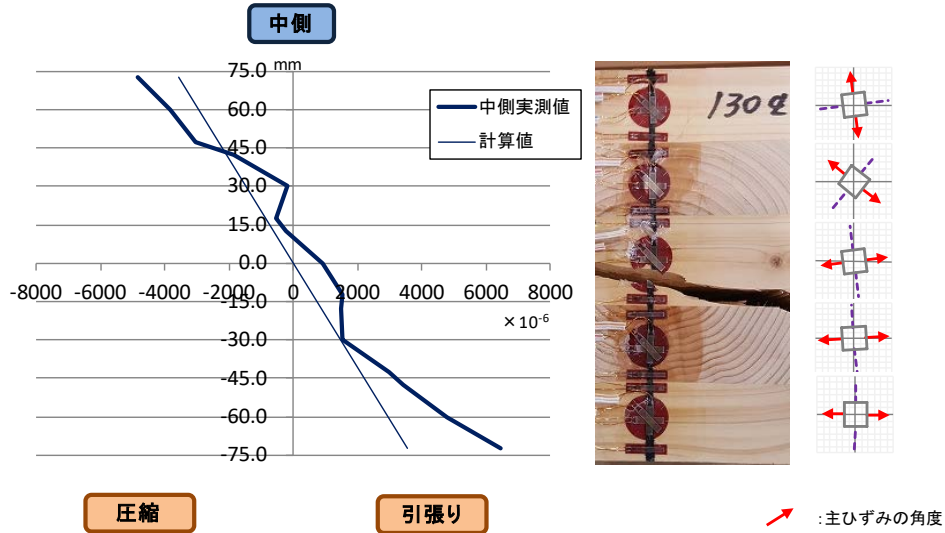
No2-1-7 比例限度荷重55kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



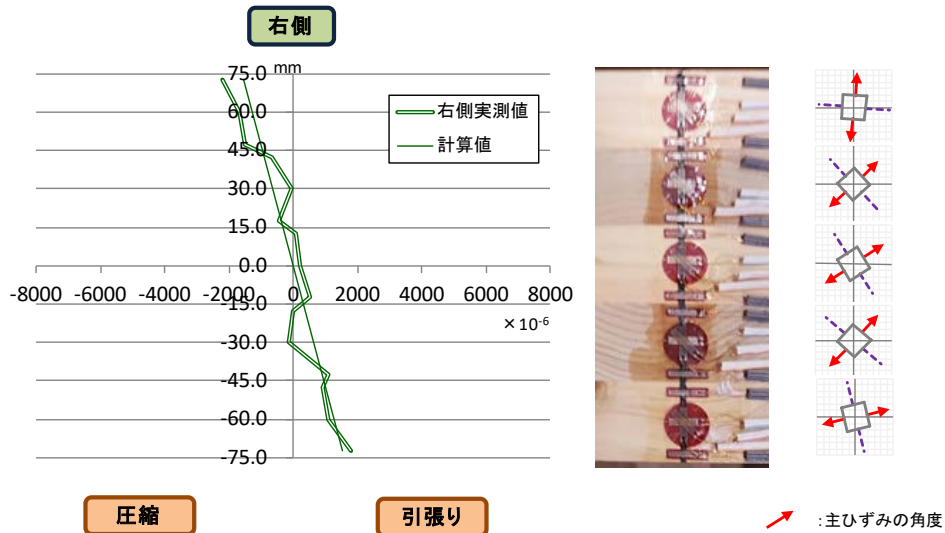
No2-2-5 比例限度荷重48kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



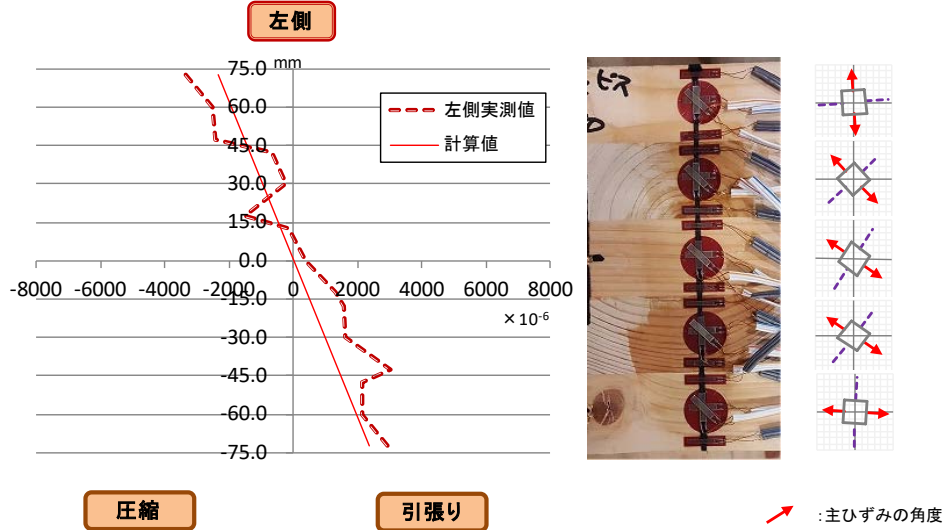
No2-2-5 比例限度荷重48kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



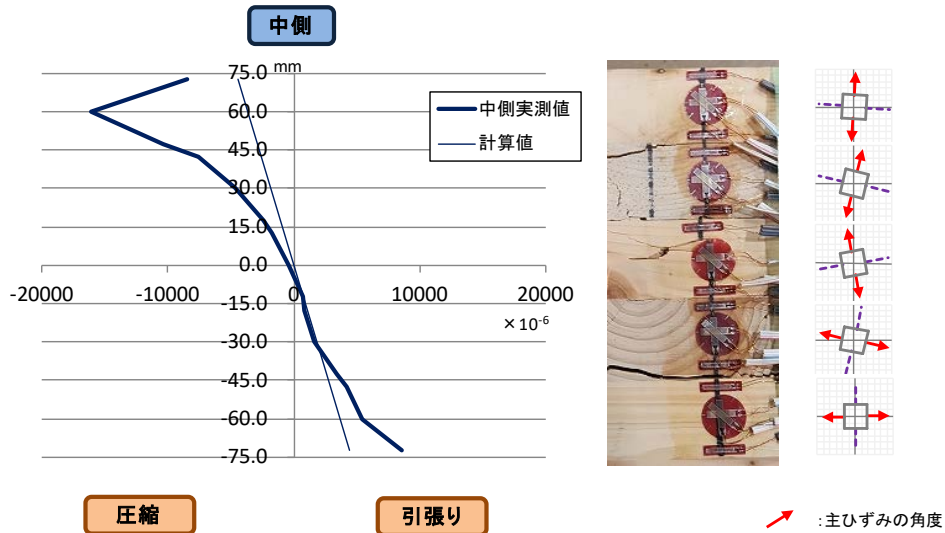
No2-2-5 比例限度荷重48kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



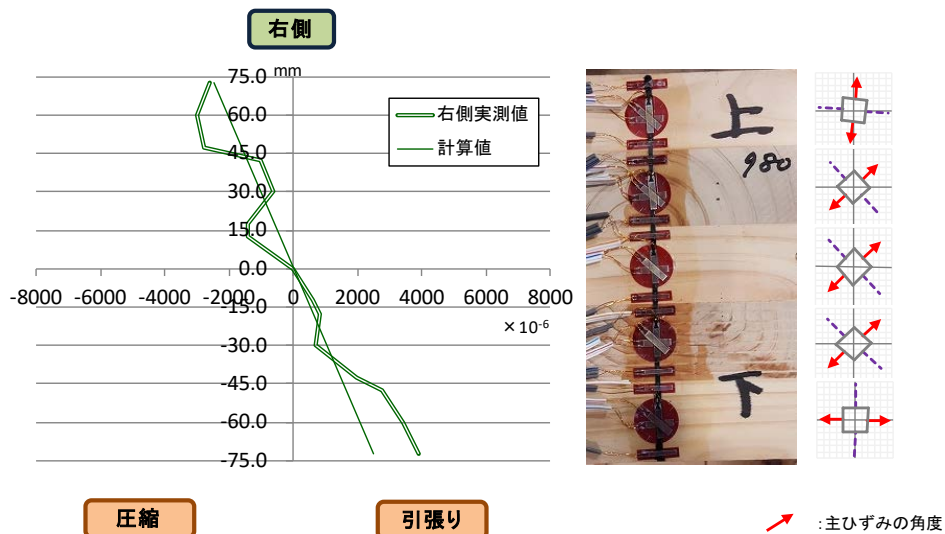
No2-3-3 比例限度荷重62kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



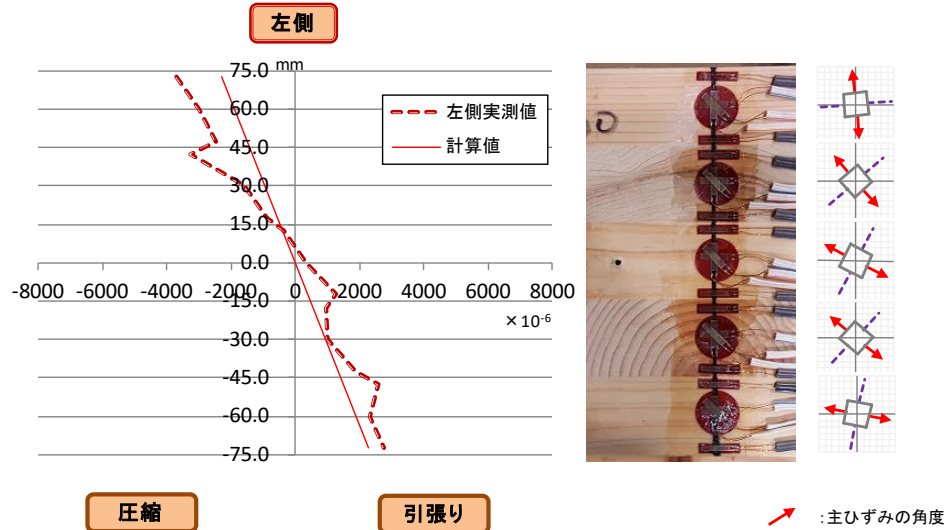
No2-3-3 比例限度荷重62kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



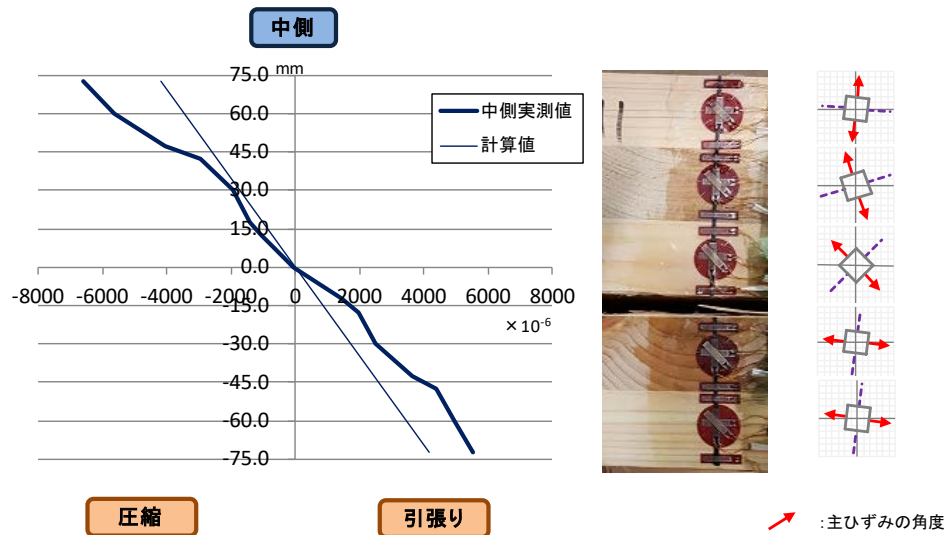
No2-3-3 比例限度荷重62kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



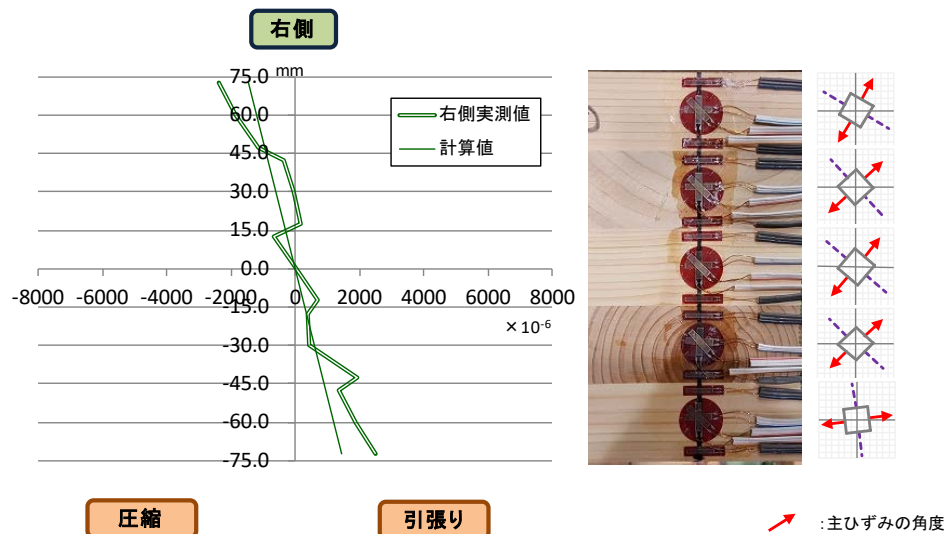
No2-3-6 比例限度荷重60kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



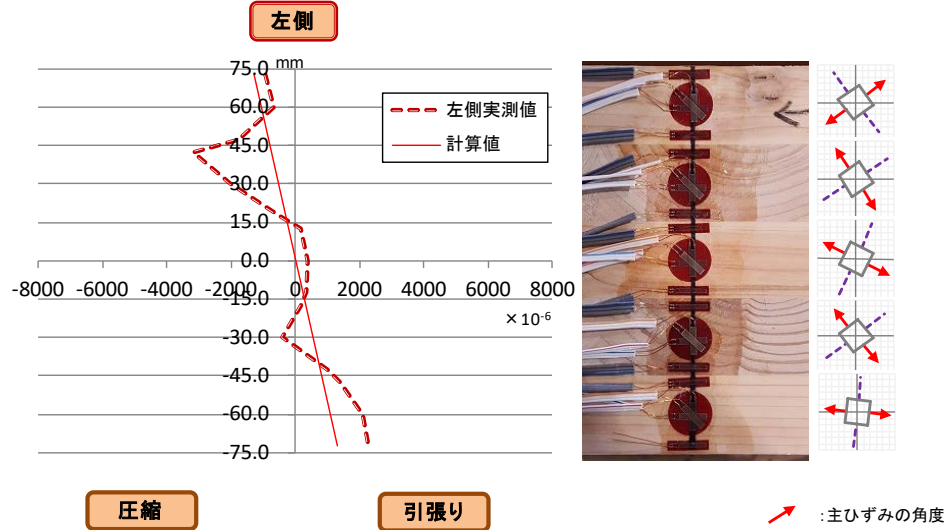
No2-3-6 比例限度荷重60kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



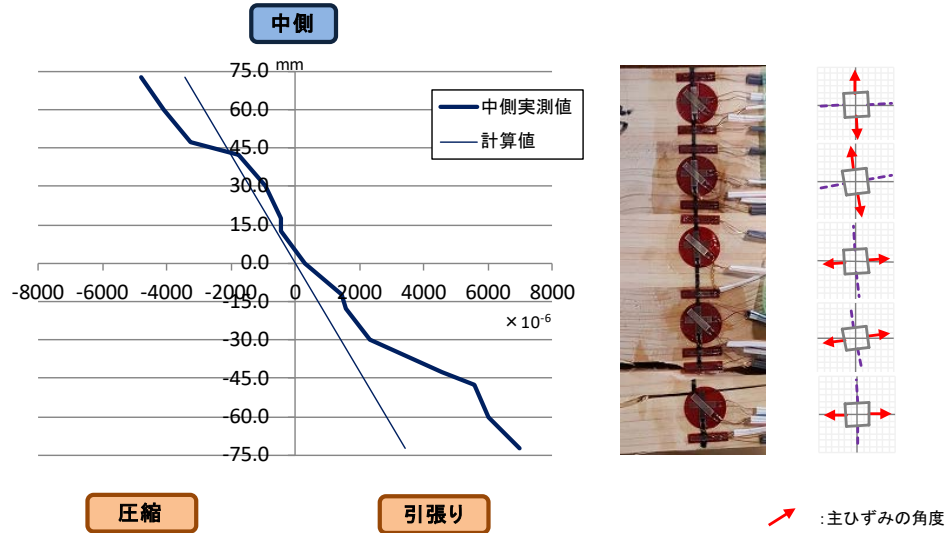
No2-3-6 比例限度荷重60kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



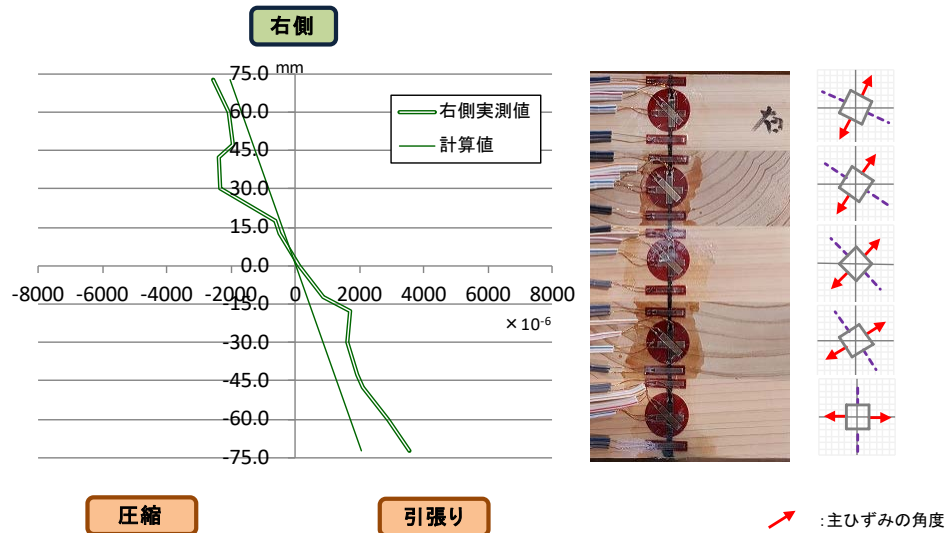
No3-1-1 比例限度荷重50kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



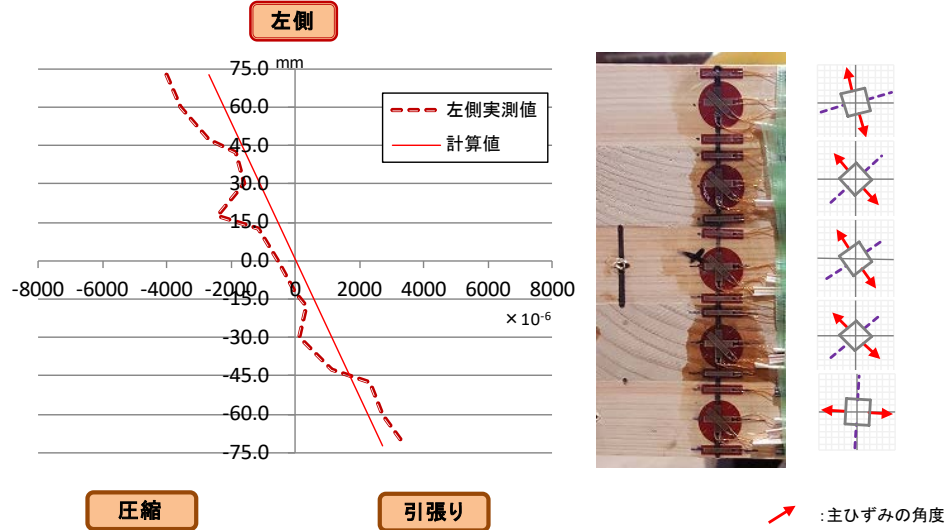
No3-1-1 比例限度荷重50kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



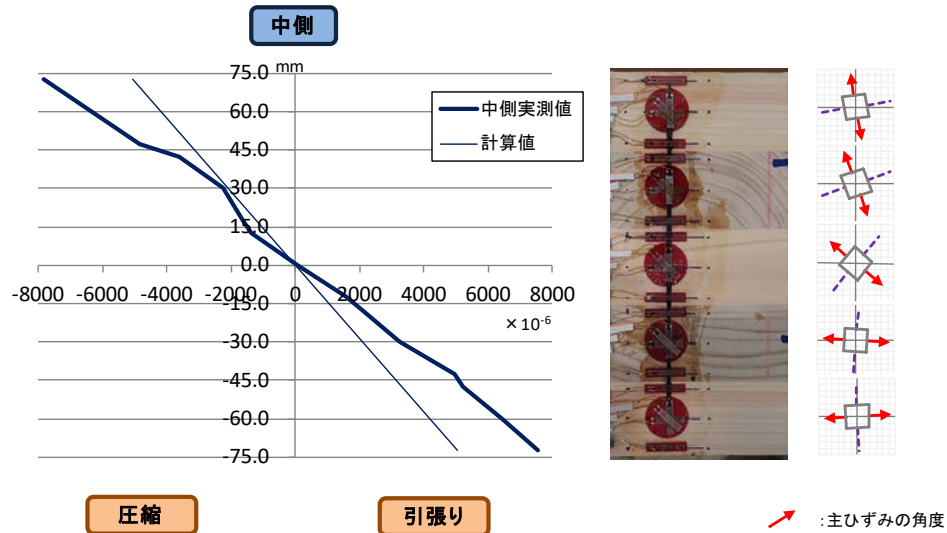
No3-1-1 比例限度荷重50kN時(右側:断面係数外層のみで計算)



No3-2-3 比例限度荷重64kN時(左側:断面係数外層のみで計算)



No3-2-3 比例限度荷重64kN時(中央:断面係数外層のみで計算)



No3-2-3 比例限度荷重64kN時(右側:断面係数外層のみで計算)

