

5 心去り平割材を利用した高剛性・高強度梁桁材の乾燥及び強度性能

木材部 今井信、吉田孝久、奥原祐司、山口健太

カラマツ及びスギ大径A材丸太の成熟材部から平割材を製材し、乾燥後の形質変化とEfrを測定した。また、平割材を利用した接着重ね梁Cタイプ及び、構造用集成材を作製し、その曲げ強度試験を実施した。

平割材の縦反りは、乾燥前は木表側に、乾燥後は木裏側に反る傾向が確認され、縦反りの大きさは、カラマツ<スギであった。曲がり量は、カラマツ、スギとも乾燥後に大きくなっていた。ねじれの方向は、カラマツは、S旋回、Z旋回が同程度発生し、スギは、S旋回が多く発生した。ねじれの平均値は、カラマツ 4.6mm/4m、スギ 1.2mm/4mとなり、スギのねじれは、利用上支障の無い程度であった。平割材のEfr平均値は、カラマツ 15.76kN/mm²、スギ 8.77kN/mm²であった。

平割材を利用した接着重ね梁Cタイプカラマツ7体では、MOEが13.80kN/mm²~19.26kN/mm²、MORが、66.8N/mm²~115.1N/mm²と高くなり、EfrとMORに高い相関があった。スギ11体においても、MOEは8.1~11.6kN/mm²、MORは34.7~64.6N/mm²と製材品と比較して高い性能を示し、せん断破壊した4体を除くとEfrとMORに高い相関があった。

また、平割材を利用した構造用集成材においては、カラマツでは、対称異等級構成、E170-F495、E150-F435、同一等級構成、E150-F465、E135-F405などの、高い等級区分の集成材が作製できた。スギでは、対称異等級構成E95-F270、同一等級構成E75-F270などの強度等級が作製できた。曲げ強度試験では、いずれも各等級区分の基準値を上回った。

キーワード：大径材、平割材、接着重ね梁、高剛性、高強度、構造用集成材

1 試験の目的

大径A材丸太の外側から製材される平割材は、そのほとんどが成熟材部であり繊維傾斜が小さいため、ネジレの発生が心持ち材に比べて小さく、ヤング係数が高いことが明らかになっている。

本課題においては、大径A材丸太から「心持ち梁桁材」、「心去り梁桁材」、「枠組壁工法で利用される210材・208材」を横架材として製材した外周部から木取られる平割材の乾燥特性と、これらを利用した接着重ね梁Cタイプおよび構造用集成材を作製し、その強度特性を検討した。

2 試験の方法

2.1 試験体

大径A材丸太から「心持ち梁桁材」、「心去り梁桁材」、「210材・208材」をそれぞれ主製品として製材し、その外周部から製材される平割材を試験体とした。試験体の木取り方法の詳細は、「1 供試した大径材の諸元及び木取り方法と歩止り」に記載している。

図5-1に心持ち木取りからの製材を示し、心去り木取りからの製材を図5-2に、210材木取りからの製材を図5-3に示す。

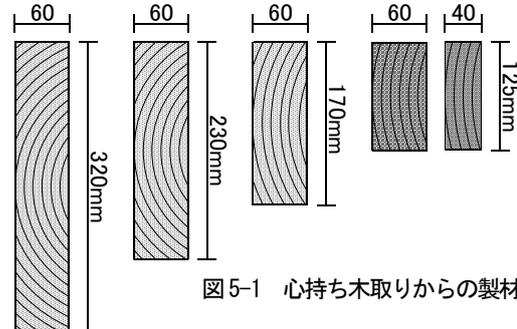


図5-1 心持ち木取りからの製材

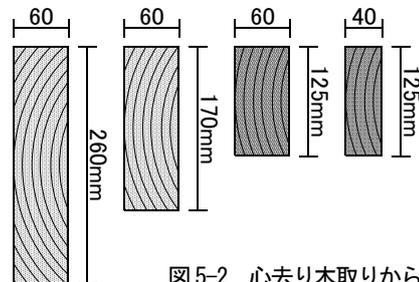


図5-2 心去り木取りからの製材

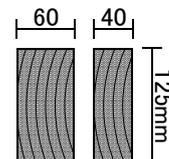


図5-3 210材木取りからの製材

2.2 試験体の乾燥

心持ち及び心去り木取りからの製材は、それぞれ主製品の乾燥を先に行うため、栈積みの状態で1か月から3か月間天然乾燥を実施した（写真5-1）。その後、表5-1に示す中温乾燥スケジュールで乾燥した。一方、210材木取りからの製材は、210・208材と同一乾燥機で乾燥した後、1か月から2か月養生した（写真5-2）。

上記の乾燥後、接着重ね梁Cタイプ及び構造用集成材の作製前に、乾燥後の形質等を測定した。測定項目は、寸法、重量、縦振動周波数、そり、曲がり、ねじれ、含水率計含水率等とした。なお、乾燥前（製材直後）の測定については、乾燥後の測定項目の中で、反り、曲がり、ねじれ以外を測定した。しかし、カラマツ心持ち木取りの一部（製材寸法 40×125mm）、スギ心持ち木取り製材の全部においては測定しなかった。

乾燥測定後の平割材の一部を用いて、接着重ね梁Cタイプ及び構造用集成材を作製し、曲げ強度試験を実施した。全乾法含水率については、曲げ試験終了後、非破壊部から含水率試験片を切り出し、全乾法含水率を測定した。

2.3 試験体の作製及び曲げ試験の方法

2.3.1 接着重ね梁Cタイプの作製

平割材のうち、製材寸法 60×170mm を中心材として、製材寸法 60×125mm を上下材として使用して、梁せい 240mm、梁はば 105mm の接着重ね梁Cタイプを作製した（図5-4、写真5-3）。

平割材の組み合わせは、中心の平割材 2 枚は同一機械等級で構成した。また、上下 2 枚も同一機械等級を組み合わせで作製した。作製は、「信州型接着重ね梁Cタイプ」の製造工場である斎藤木材工業ナガト工場で行った。接着剤はレゾルシノール・フェノール樹脂、塗布量 325g/m²、圧縮圧力 10kg/cm² で作製した。なお、圧縮は、上下からの 1 回のみとして、中心材の接着は、はみ出し防止の側圧のみとした。

試験体数は、使用できる平割材の枚数で作製できる最大の数とした。カラマツは 7 体、スギは 11 体作製した。

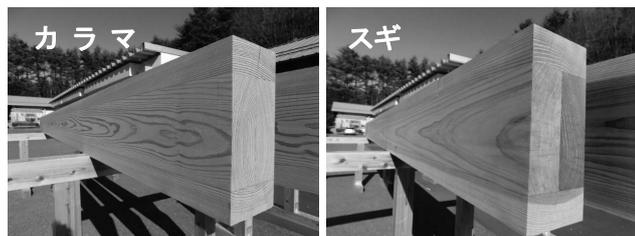


写真5-3 接着重ね梁Cタイプ

表5-1 平割材の乾燥スケジュール

蒸気式中温乾燥				
乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)	温度差 (°C)	処理時間 (h)	備考
80	80	0	8	蒸煮処理
80	75	5	12	中温乾燥
80	70	10	18	
80	65	15	20	
80	60	20	24	
80	50	30	180	
0	0	0	2	クーリング
70	63	7	24	調湿(EMC:10.3%)
			288	時間
合計			12	日間



写真5-1 栈積み天然乾燥の実施状況



写真5-2 210材木取りからの製材の乾燥

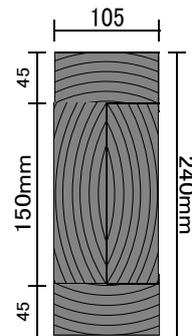


図5-4 接着重ね梁Cタイプの断面

2.3.2 構造用集成材の作製

構造用集成材は、平割材のうち製材寸法 40×125mm を使用し、製品寸法：梁せい 240mm、梁はば 105mm の構造用集成材を作製した (図 5-5、写真 5-4)。構造用集成材のラミナの等級構成は、対称異等級構成と同一等級構成で作製した。接着剤はレゾルシノール・フェノール樹脂、作製は、斎藤木材工業ナガト工場で行った。

試験体数は、使用できる平割材の枚数で作製できる最大の数とした。カラマツは 10 体、スギは 5 体作製した。

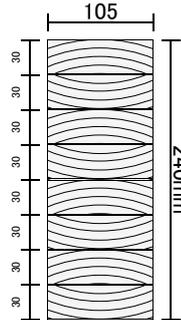


図 5-5 構造用集成材の断面

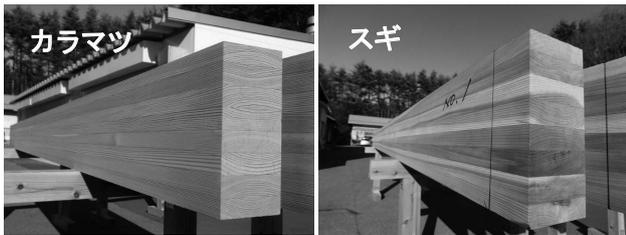


写真 5-4 構造用集成材

2.3.3 曲げ強度試験

接着積層後、縦振動周波数及び T.G.H 法により E_{off} と G_b を測定し、実大材曲げ試験機 UH-1000Kna (島津製作所) を用いて曲げ強度試験を行った。支点間距離 3900mm (梁せいの 16.25 倍)、荷重点間距離 1300mm の 3 等分点 4 点荷重方式、載荷速度は 15mm/min で実施し、荷重を加え始めてから試験体が破壊するまでの時間は 1 分以上となるように行った。荷重点および支点の幅はともに 200mm である。曲げ試験の様子を写真 5-5 に示した。

たわみの計測は、中央部において、全スパンのたわみと、ヨークを用いてモーメントが一定になる荷重点間のたわみを測定した (写真 5-6)。最大荷重 F_{ult} から曲げ強さ (F_b) (5-1 式) を求め、また、荷重と全スパンのたわみから「見かけの曲げヤング係数 (E_m) (5-2 式)」を、荷重と曲げモーメント一定区間のたわみの関係から「真の曲げヤング係数 (E_b) (5-3 式)」を算出した。

$$F_b = \frac{aF_{ult}}{2Z} \quad (5-1 \text{ 式})$$

ここで、

- F_b : 曲げ強さ (N/mm^2)
- a : 支点から荷重点までの距離
- F_{ult} : 最大荷重
- Z : 断面係数 ($(幅 \times 高さ^2)/6$)

$$E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)(F_2 - F_1)}{48I(w_2 - w_1)} \quad (5-2 \text{ 式})$$

ここで、

- E_m : せん断変形の影響を含んだ曲げヤング係数 (kN/mm^2)
- a : 支点から荷重点までの距離
- L : 試験スパン
- $F_2 - F_1$: 荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分。
 F_1 は F_{ult} (最大荷重) の約 10%、 F_2 は約 40% とする。
- I : 断面 2 次モーメント ($(幅 \times 高さ^3)/12$)
- $w_2 - w_1$: $F_2 - F_1$ に対応する変形の増分。

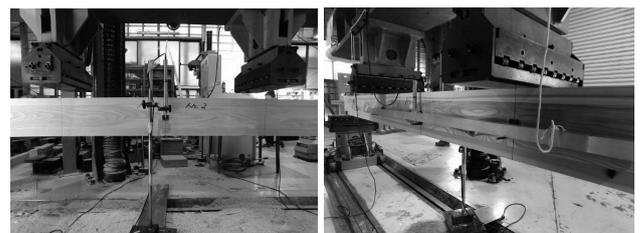
$$E_b = \frac{a\ell^2(F_2 - F_1)}{16I(w_2 - w_1)} \quad (5-3 \text{ 式})$$

ここで、

- E_b : せん断変形の影響を含まない曲げヤング係数 (kN/mm^2)
- a : 支点から荷重点までの距離
- ℓ : 荷重点間内の変位量測定区間の長さ
- $F_2 - F_1$: 荷重変形曲線の直線部分の荷重の増分。
 F_1 は F_{ult} (最大荷重) の約 10%、 F_2 は約 40% とする。
- I : 断面 2 次モーメント ($(幅 \times 高さ^3)/12$)
- $w_2 - w_1$: $F_2 - F_1$ に対応する変形の増分。



写真 5-5 曲げ強度試験の実施状況



全スパン

モーメント一定区間

写真 5-6 たわみ測定の様子

3 試験の結果

3.1 平割材の乾燥特性

各木取りから製材された平割材について、乾燥前後の形質を製材寸法別に示した。40×125mm 平割材を表 5-2 に、60×125mm 平割材を表 5-3 に、60×170mm 平割材を表 5-4 に、60×230mm 平割材を表 5-5 に、60×320mm 平割材を表 5-6 にそれぞれ示した。

次に、平割材の縦反りの乾燥前後の変化を図 5-6, 7 に示し、平割材の曲がりの乾燥前後の変化を図 5-8, 9 に示した。また、平割材の乾燥後のねじれの方向を図 5-10, 11 に示した。

表 5-4 60×170mm 平割材の乾燥前後の形質変化

カラマツ 60×170mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦反り (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)		ねじれ (度/4m)		割れ (cm/2面4m)	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
平均値	11.77	14.45	40.3	8.6	4.8	5.8	2.1	4.3	5.4	1.9				0
標準偏差	2.4	2.5	8.7	2.8	2.7	3.2	1.8	3.2	4.3	1.5				0
変動係数 (%)	20.6	17.6	21.5	32.0	55.9	54.9	84.2	75.6	80.5	81.1				0
最小値	9.12	11.61	26.5	4	2	1	0	0	0	0				0
最大値	16.05	19.58	57.5	13	11	13	5	11	15	5.4				0
データ数	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18				18

スギ 60×170mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦反り (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)		ねじれ (度/4m)		割れ (cm/2面4m)	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
平均値	7.56	8.90	67.4	10.8	8.8	4.5	1.5	4.8	1.1	0.4				0
標準偏差	2.2	2.1	20.7	1.1	4.8	5.4	1.6	6.0	1.6	0.6				0
変動係数 (%)	29.4	24.0	30.7	10.2	55.0	119.9	108.9	125.8	141.0	140.9				0
最小値	4.43	5.65	41	9	3	0	0	0	0	0				0
最大値	10.79	11.79	117	13	20	20	4	18	5	1.7				0
データ数	16	15	16	15	16	15	16	15	15	15				15

表 5-2 40×125mm 平割材の乾燥前後の形質変化

カラマツ 40×125mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦反り (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)		ねじれ (度/4m)		割れ (cm/2面4m)	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
平均値	13.20	16.40	36.7	8.4	7.0	7.1	2.1	3.8	3.4	1.6				13
標準偏差	2.5	2.8	9.5	2.2	5.8	5.1	1.9	3.0	3.3	1.6				28
変動係数 (%)	18.8	16.9	26.0	26.0	81.8	71.6	88.8	79.0	99.5	99.5				218
最小値	8.24	11.45	18	4	0	0	0	0	0	0				0
最大値	18.64	23.36	60.5	15.5	28	25	9	15	11	5.3				112
データ数	74	68	74	68	74	68	74	68	68	68				68

表 5-5 60×230mm ほか平割材の乾燥前後の形質変化

カラマツ 60×230mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦反り (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)		ねじれ (度/4m)		割れ (cm/2面4m)	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
平均値	12.77	15.75	44.3	8.1	5.6	3.6	2.2	3.6	4.6	1.2				73
標準偏差	2.0	2.5	8.4	2.0	2.8	2.6	2.0	3.5	4.4	1.1				87
変動係数 (%)	16.0	15.7	18.9	25.1	48.9	70.1	92.9	97.6	95.5	95.6				120
最小値	9.59	11.76	28	3.5	0	0	0	0	0	0.0				0
最大値	17.03	21.14	61.5	12.5	11	9	8	16	15	3.9				302
データ数	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34				34

スギ 40×125mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦反り (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)		ねじれ (度/4m)		割れ (cm/2面4m)	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
平均値	7.85	8.99	61.3	10.3	10.0	7.0	2.0	4.2	0.7	0.3				0
標準偏差	1.6	1.8	14.3	0.6	6.9	4.7	2.0	4.0	1.2	0.6				0
変動係数 (%)	20.5	20.3	23.3	6.0	68.5	66.6	98.4	93.8	169.4	169.5				0
最小値	4.45	5.09	40	9.5	0	0	0	0	0	0				0
最大値	11.08	13.29	96.5	11.5	38	17	8	20	4	1.9				0
データ数	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33				33

スギ 60×240mm ほか	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦反り (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)		ねじれ (度/4m)		割れ (cm/2面4m)	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
平均値	6.23	7.19	64.6	10.9	9.1	9.7	1.4	6.5	1.5	0.4				0
標準偏差	2.1	2.3	18.4	1.4	9.2	5.4	1.4	6.5	2.6	0.7				0
変動係数 (%)	33.8	32.6	28.5	12.9	101.1	55.8	100.3	101.0	174.5	178.0				0
最小値	3.57	4.25	38.5	10	0	3	0	1	0	0				0
最大値	10.81	12.41	104.5	15	39	19	4	26	9	2.4				0
データ数	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15				15

表 5-3 60×125mm 平割材の乾燥前後の形質変化

カラマツ 60×125mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦反り (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)		ねじれ (度/4m)		割れ (cm/2面4m)	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
平均値	12.90	15.66	34.9	9.6	6.2	7.6	3.6	3.7	3.9	1.9				5
標準偏差	2.1	2.4	5.4	2.9	3.6	4.0	2.3	1.7	4.2	2.0				22
変動係数 (%)	16.2	15.2	15.4	30.1	57.8	52.2	63.6	45.9	106.8	106.7				432
最小値	10.47	13.04	22.5	3.5	0	0	0	0	0	0				0
最大値	16.86	20.01	44.5	14.5	12	18	12	8	12	5.7				116
データ数	30	29	30	29	30	29	30	29	29	29				29

表 5-6 60×320mm 平割材の乾燥前後の形質変化

カラマツ 60×320mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦反り (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)		ねじれ (度/4m)		割れ (cm/2面4m)	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
平均値	10.23	13.02	37.0	5.0	2.2	5.5	1.2	9.2	20.3	3.8				59
標準偏差	1.6	1.8	7.1	0.8	2.5	4.5	1.8	10.9	6.2	1.1				102
変動係数 (%)	15.7	13.7	19.1	16.7	114.6	82.7	157.3	119.2	30.6	30.2				173
最小値	7.80	10.32	28.5	4	0	2	0	3	14	2.6				0
最大値	12.82	15.85	46	6	5	14	4	31	32	5.9				261
データ数	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6				6

スギ 60×320mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦反り (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)		ねじれ (度/4m)		割れ (cm/2面4m)	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
平均値	7.50	8.67	64.6	10.4	9.0	6.3	2.3	2.9	1.4	0.6				0
標準偏差	1.4	1.6	19.6	0.4	4.9	5.0	2.3	4.5	2.8	1.3				0
変動係数 (%)	18.4	17.9	30.3	4.2	55.1	79.5	178.5	153.0	203.5	202.6				0
最小値	5.05	6.16	23.5	9.5	0	0	0	0	0	0				0
最大値	11.03	12.38	103.5	11.5	23	23	12	27	15	7.0				0
データ数	38	38	38	38	38	38	38	38	38	38				38

スギ 60×320mm	Efr (kN/mm ²)		含水率計含水率 (%)		縦反り (mm/4m)		曲がり (mm/4m)		ねじれ (mm/4m)		ねじれ (度/4m)		割れ (cm/2面4m)	
	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後	乾燥前	乾燥後
平均値	—	8.81	—	11.4	—	4.3	—	2.2	1.7	0.3				0
標準偏差	—	1.5	—	1.4	—	3.2	—	2.4	2.4	0.4				0
変動係数 (%)	—	16.5	—	12.4	—	74.3	—	108.8	144.1	144.2				0
最小値	—	5.89	—	9.5	—	0	—	0	0	0				0
最大値	—	10.93	—	15.5	—	13	—	8	7	1.3				0
データ数	—	18	—	18	—	18	—	18	18	18				18

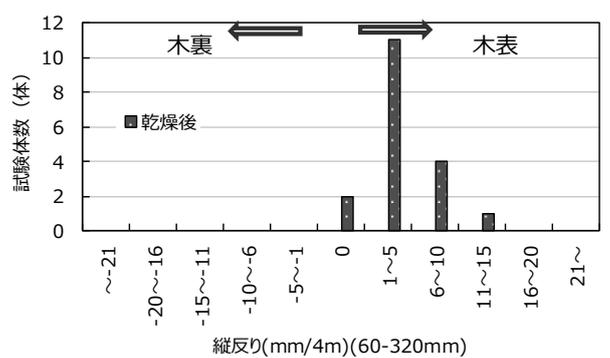
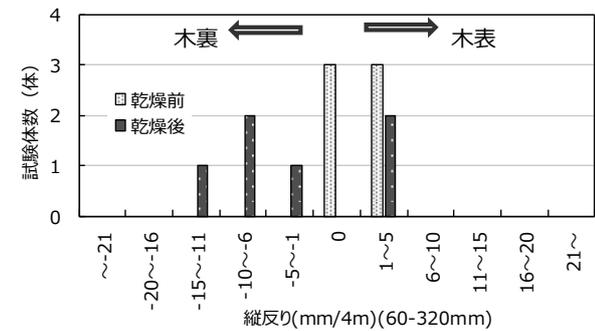
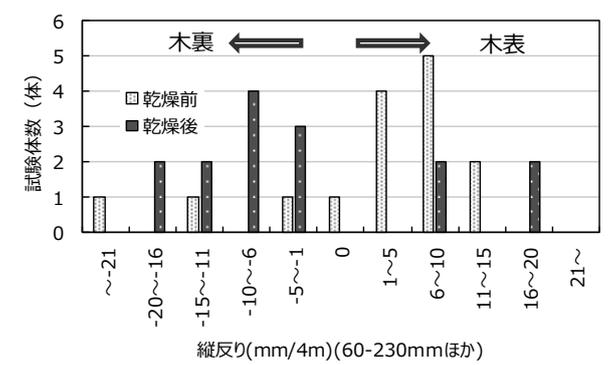
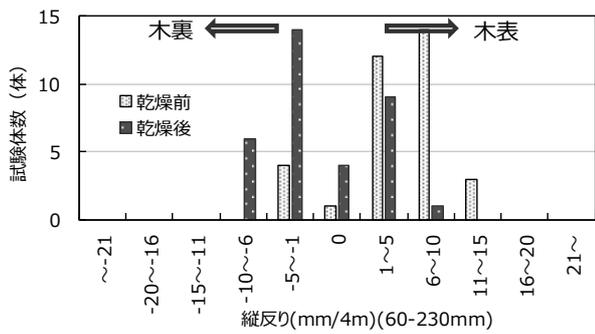
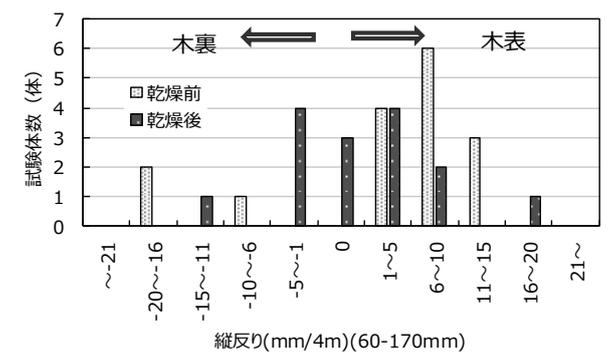
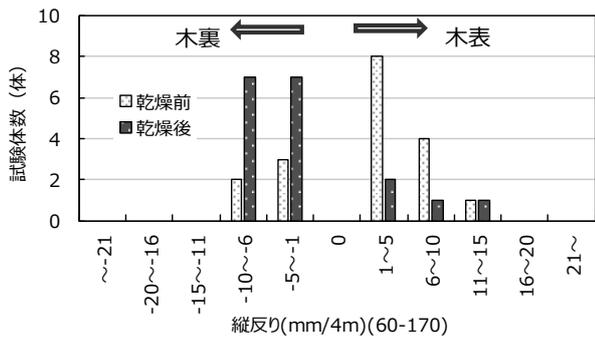
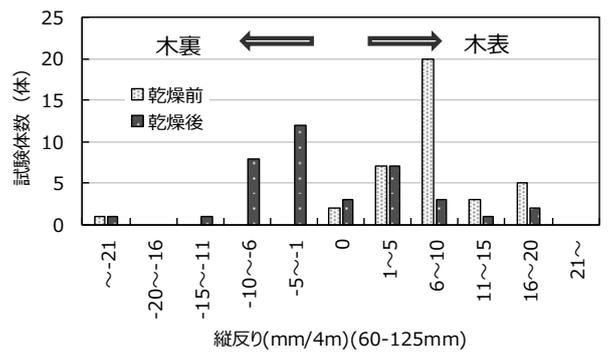
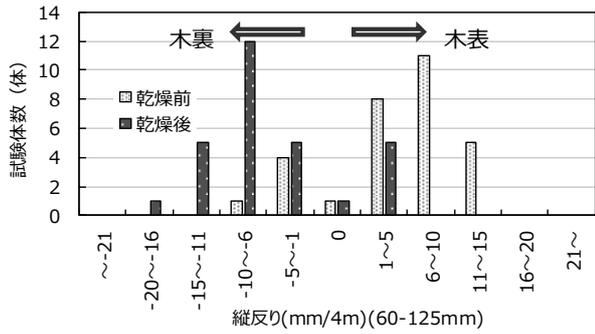
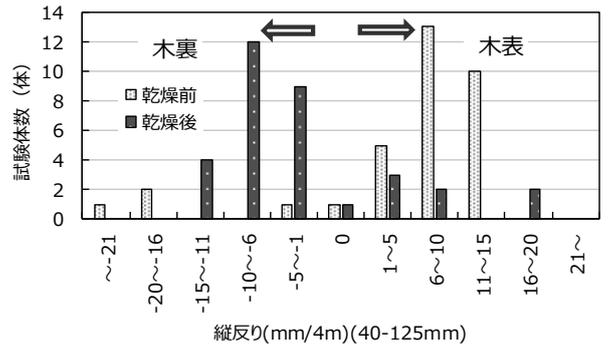
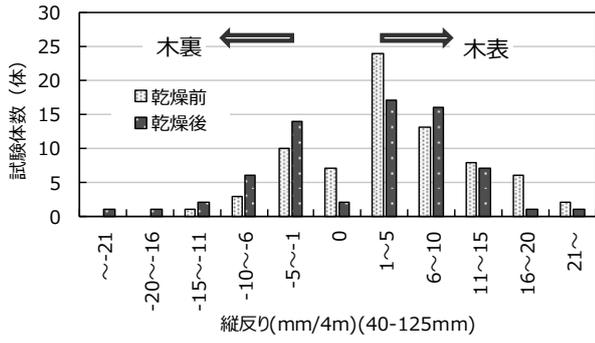


図5-6 平割材の縦反りの変化 (カラマツ)

図5-7 平割材の縦反り変化 (スギ)

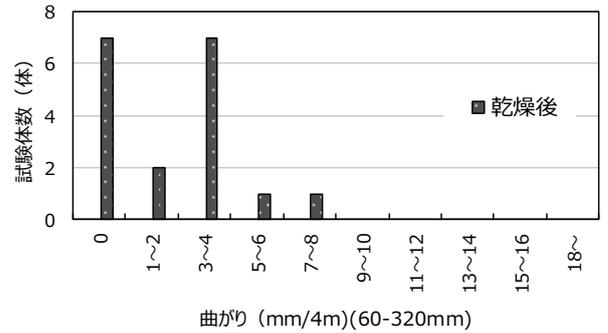
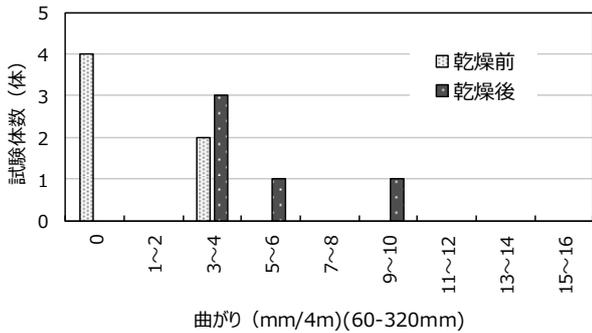
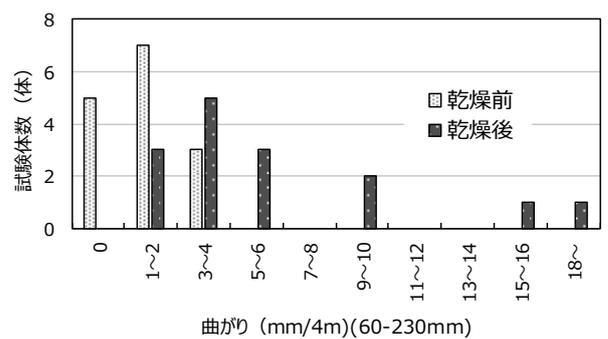
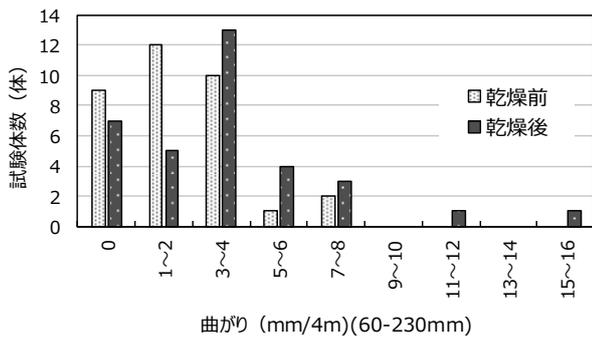
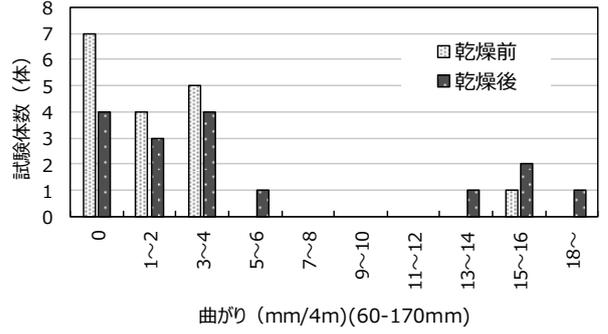
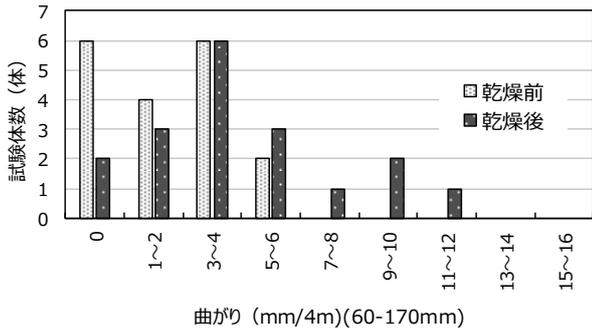
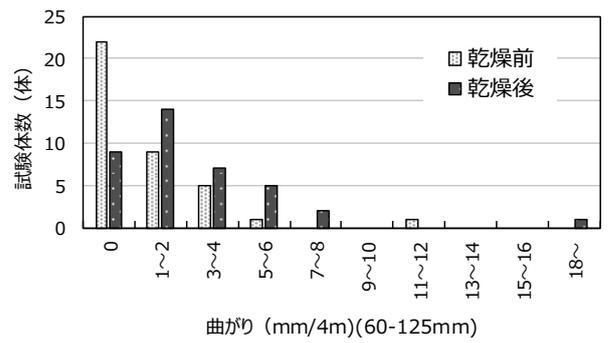
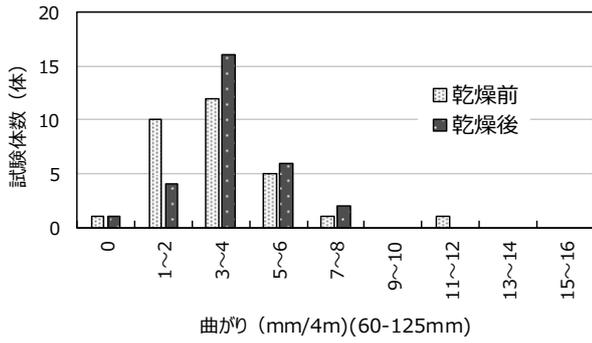
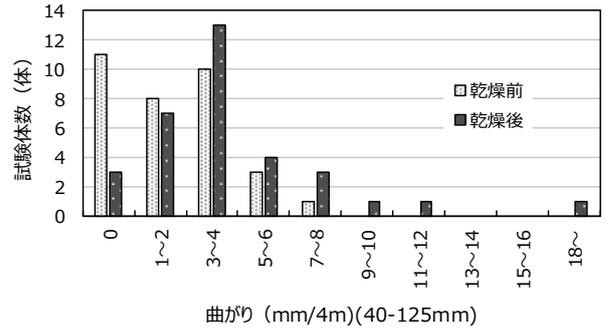
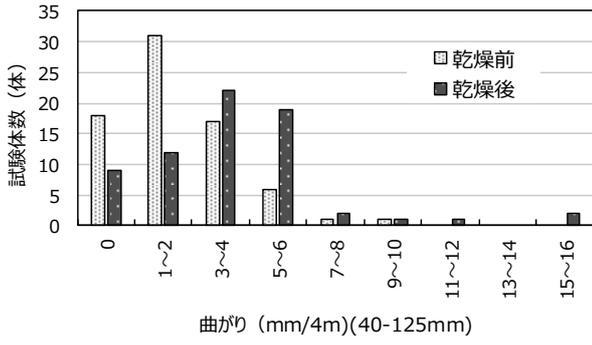


図5-8 平割材の曲がりの変化 (カラマツ)

図5-8 平割材の曲がりの変化 (スギ)

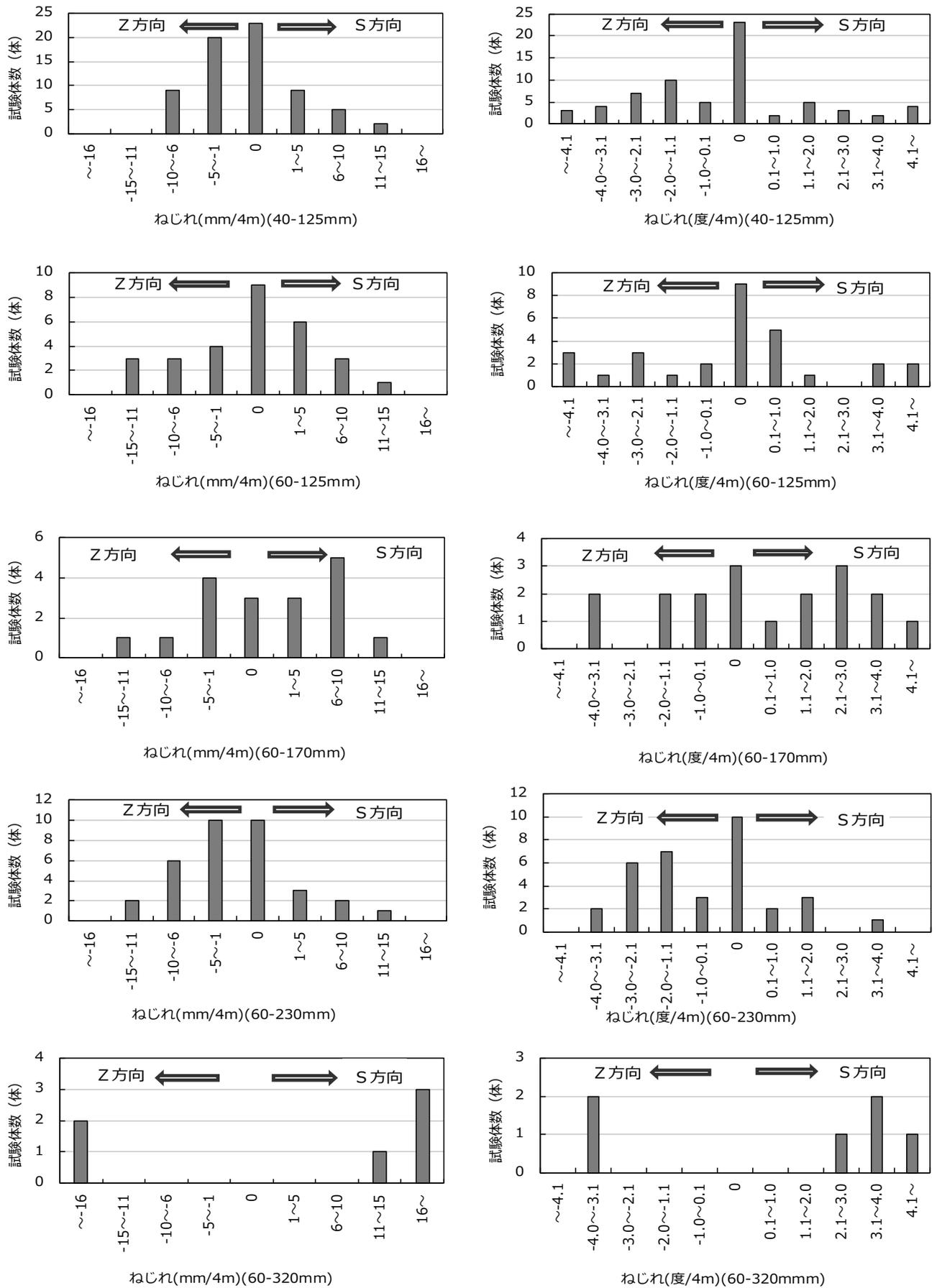


図5-10 平割材のねじれ (カラマツ)

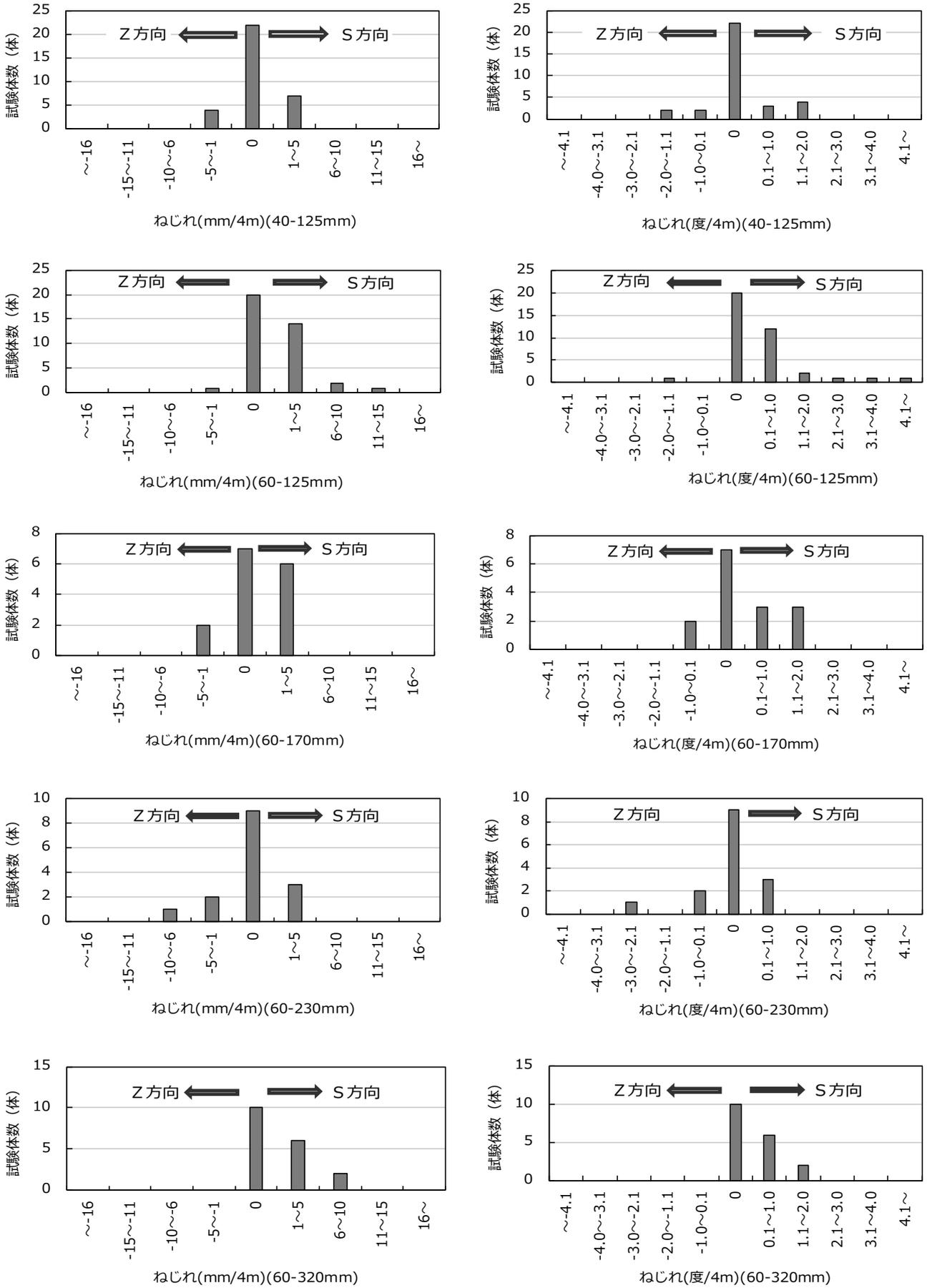


図5-11 平割材のねじれ (スギ)

3.2 平割材のEfr

乾燥後の平割材のEfrを、樹種別及び平割材の寸法別に表5-7に示す。また、カラマツの度数分布を図5-12に示し、スギのそれを図5-13に示す。

なお、乾燥前（製材直後）の計測値がない平割材については、乾燥前後の形質変化の集計からは除いたが、乾燥後の平割材のEfrの分布には含めて集計した。

丸太のEfrとその丸太から製材された平割材のEfrの関係を図5-14~17に示した。大径A材丸太から「心持ち梁桁材」、「心去り梁桁材」、「210材・208材」をそれぞれ主製品として製材した外周部から製材した平割材であるため、総じて丸太Efrより高い傾向にあった。

表5-7 平割材のEfr

カラマツ 平割材の種類	カラマツ平割材Efr(kN/mm ²)				
	40-125	60-125	60-170	60-230	60-320
平均値	16.23	15.66	14.45	15.75	13.02
標準偏差	2.72	2.38	2.55	2.47	1.79
変動係数 (%)	16.78	15.20	17.62	15.67	13.71
最小値	11.45	13.04	11.61	11.76	10.32
最大値	23.36	20.01	19.58	21.14	15.85
データ数	93	29	18	34	6

スギ 平割材の種類	スギ平割材Efr(kN/mm ²)				
	40-125	60-125	60-170	60-230	60-320
平均値	9.16	8.79	8.80	7.19	8.81
標準偏差	1.70	1.54	1.84	2.35	1.46
変動係数 (%)	18.53	17.56	20.95	32.63	16.54
最小値	5.09	6.16	5.65	4.25	5.89
最大値	13.29	12.38	11.79	12.41	10.93
データ数	53	54	29	15	18

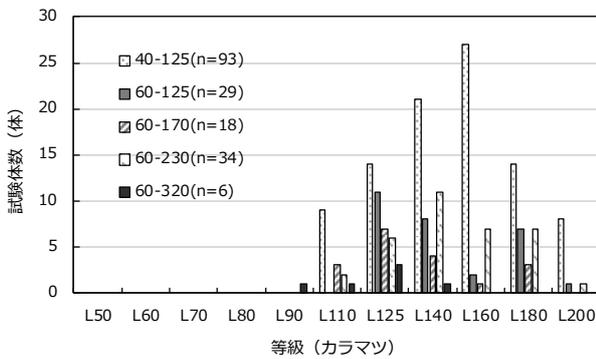


図5-12 平割材のEfr (カラマツ)

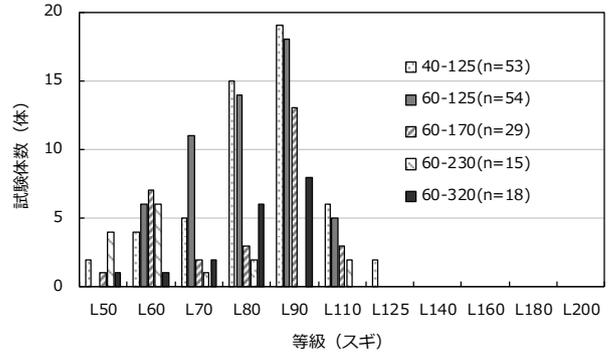


図5-13 平割材のEfr (スギ)

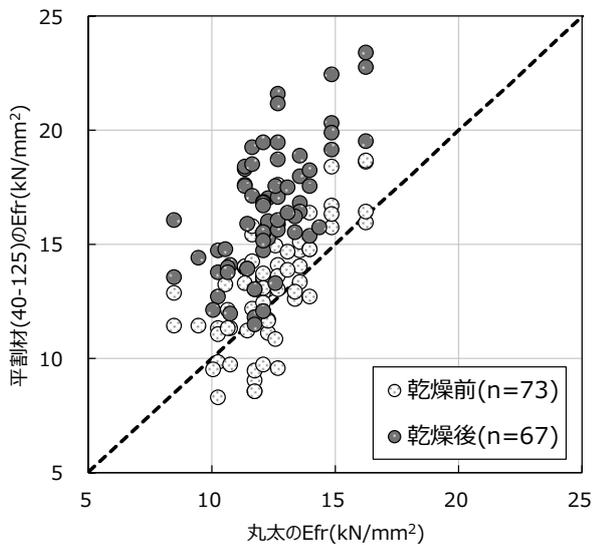


図5-14 丸太のEfrと平割材のEfrの関係 (カラマツ-1)

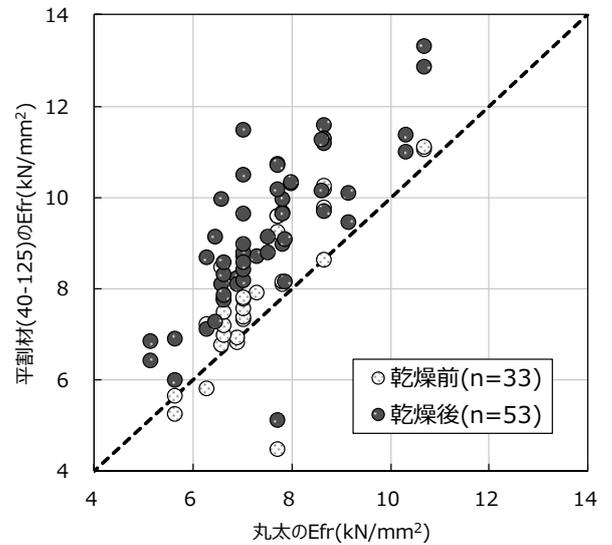


図5-15 丸太のEfrと平割材のEfrの関係 (スギ-1)

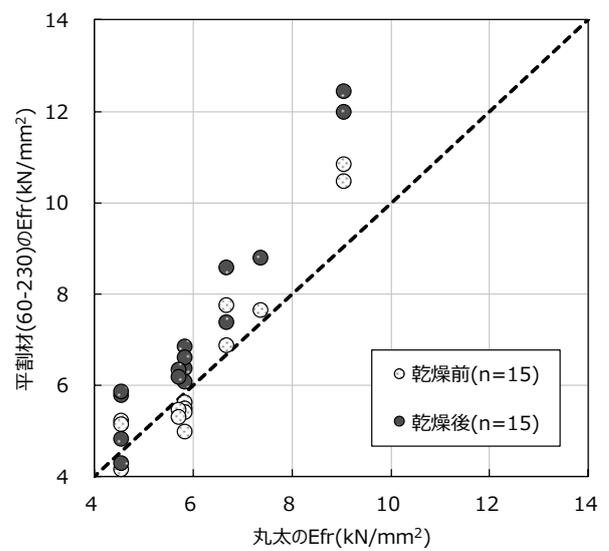
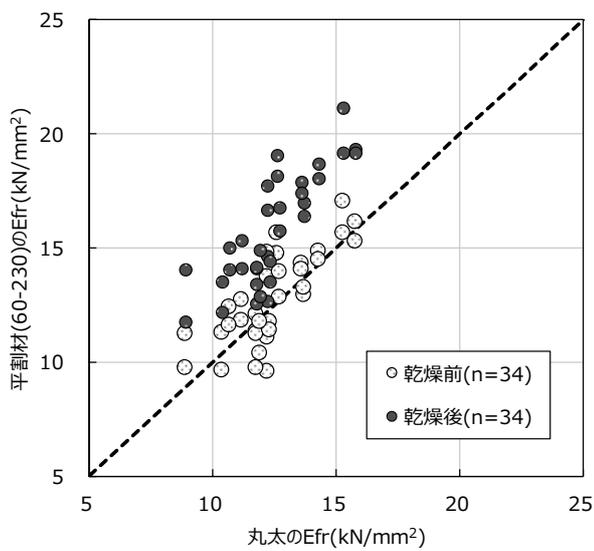
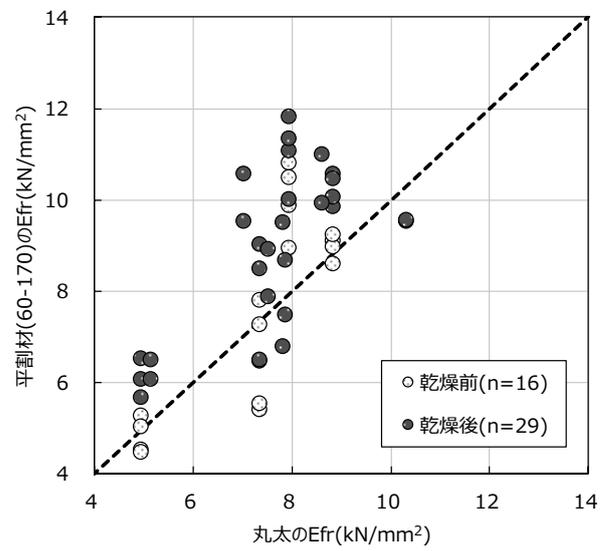
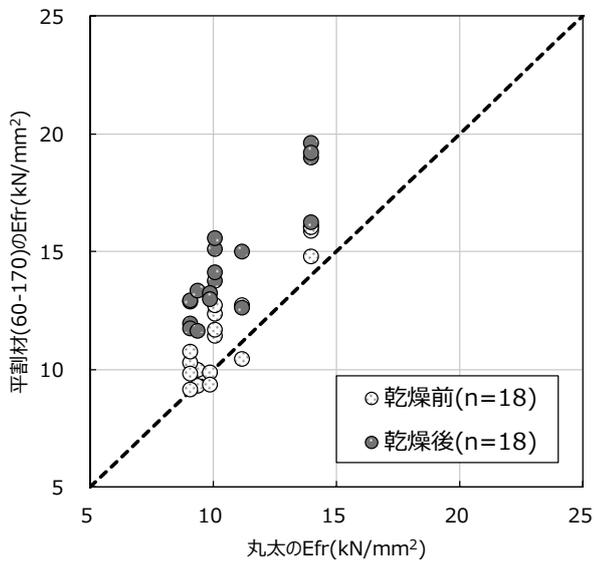
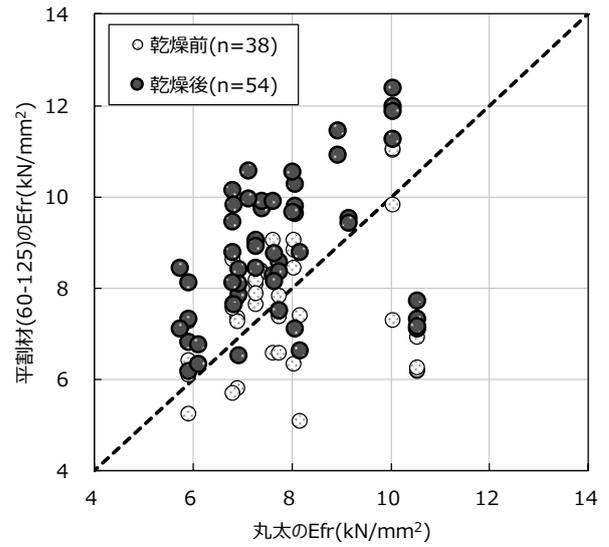
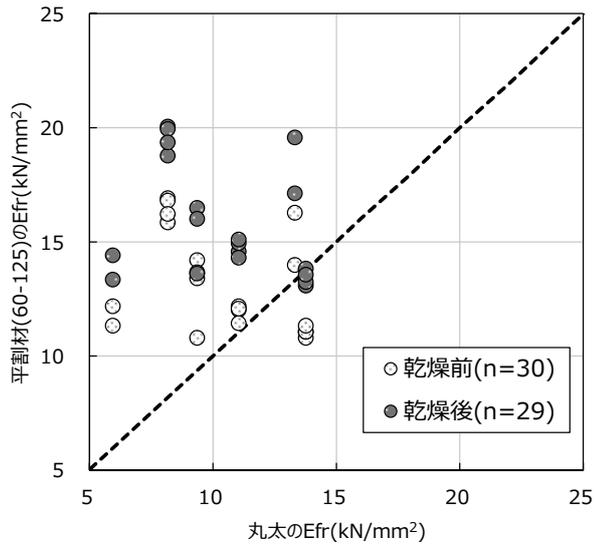


図5-16 丸太のEfr と平割材のEfr の関係 (カラマツ-2)

図5-17 丸太のEfr と平割材のEfr の関係 (スギ-2)

3.3 接着重ね梁Cタイプの強度特性

カラマツ接着重ね梁 7 体の曲げ試験結果の概要を表 5-8 に示した。また、Efr と見かけの MOE の関係を図 5-18 に、Efr と真の MOE の関係を図 5-19 に、Efr と MOR の関係を図 5-20 に示す。

さらに、カラマツ接着重ね梁 7 体の平割材の Efr 及び E 等級、L 等級の組み合わせと重ね梁の Efr、曲げ強さ、見かけ MOE と真の MOE、曲げ試験後の断面写真を図 5-21 に、各試験体の破壊の様子を写真 5-8 示す。

表 5-8 接着重ね梁Cタイプカラマツの曲げ試験結果の概要

試験体No.	曲げ強さ (N/mm ²)	Efr (kN/mm ²)	全スパンヤング係数 (kN/mm ²)	一定スパンヤング係数 (kN/mm ²)	含水率計含水率 (%)	全乾法含水率 (%)	破壊形態
1	115.1	19.99	18.12	19.26	14.8	10.8	曲げ
2	101.1	18.53	17.21	18.56	12.5	10.2	曲げ
3	89.5	16.83	16.41	17.08	10.9	9.2	曲げ
4	86.8	15.41	15.03	15.88	11.3	10.3	上部圧縮
5	77.3	15.34	14.31	14.96	10.4	9.2	曲げ
6	72.6	14.53	13.82	14.61	9.3	9.0	曲げ
7	66.8	13.78	13.13	13.80	8.8	9.6	曲げ

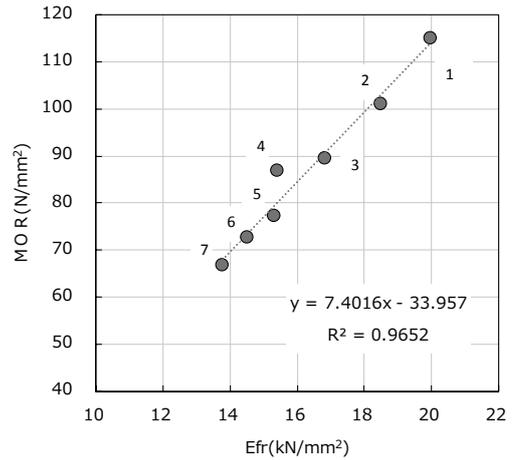


図 5-20 カラマツ接着重ね梁Cタイプの Efr と MOR の関係

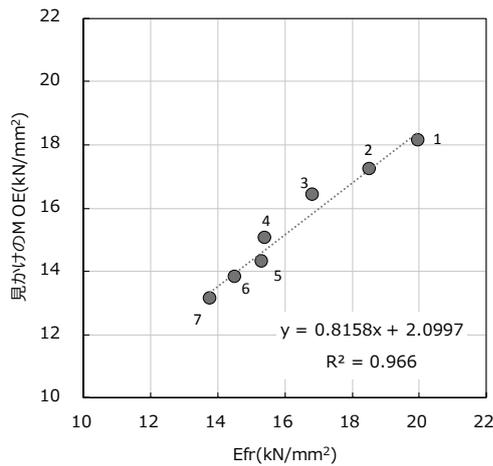


図 5-18 カラマツ接着重ね梁Cタイプの Efr と見かけの MOE の関係

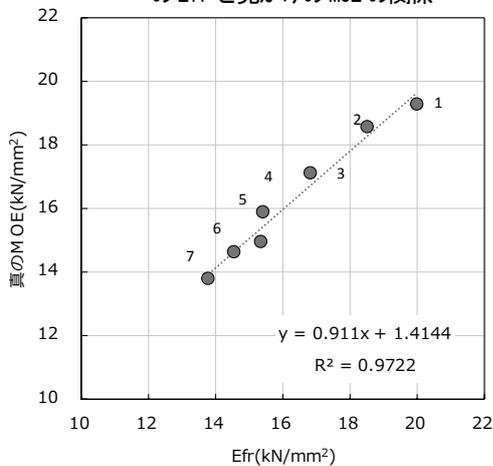


図 5-19 カラマツ接着重ね梁Cタイプの Efr と真の MOE の関係



写真 5-8 接着重ね梁Cタイプカラマツの破壊形態

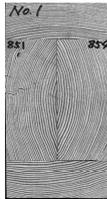
No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
外層2 Efr	19.91	19.32	18.74	16.45	15.25	14.92	14.38
中心1 Efr	19.13	16.19	15.06	14.09	13.28	12.89	11.69
中心2 Efr	18.96	15.51	14.96	13.70	12.95	12.82	11.61
外層1 Efr	20.01	19.56	18.76	18.03	15.98	15.07	14.53
外層2 E等級	E150	E150	E150	E150	E150	E150	E150
中心1 E等級	E150	E150	E150	E150	E130	E130	E110
中心2 E等級	E150	E150	E150	E130	E130	E130	E110
外層1 E等級	E150	E150	E150	E150	E150	E150	E150
外層2 L等級	L180	L180	L180	L160	L140	L140	L140
中心1 L等級	L180	L160	L140	L140	L125	L125	L110
中心2 L等級	L180	L140	L140	L125	L125	L125	L110
外層1 L等級	L200	L180	L180	L180	L140	L140	L140
曲げ強さ (N/mm ²)	115.1	101.1	89.5	86.8	77.3	72.6	66.8
Efr (kN/mm ²)	19.99	18.53	16.83	15.41	15.34	14.53	13.78
見かけヤング係数 (kN/mm ²)	18.12	17.21	16.41	15.03	14.31	13.82	13.13
真のヤング係数 (kN/mm ²)	19.26	18.56	17.08	15.88	14.96	14.61	13.80
曲げ試験後の試験体断面							

図5-21 カラマツ接着重ね梁Cタイプの平割材の組み合わせと曲げ試験結果

次に、スギ接着重ね梁 11 体の曲げ試験結果の概要を表5-9に示す。また、Efr と見かけの MOE の関係を図5-22に、Efr と真の MOE の関係を図5-23に、Efr と MOR の関係を図5-24に示す。

さらに、スギ接着重ね梁 11 体の平割材の Efr 及び E 等級、L 等級の組み合わせと重ね梁の Efr、曲げ強さ、見かけ MOE と真の MOE、曲げ試験後の断面写真を図5-25に示す。

図5-24に示す回帰式は、せん断破壊を除いている。

表5-9 スギ接着重ね梁Cタイプの曲げ試験結果の概要

試験体No.	曲げ強さ (N/mm ²)	Efr (kN/mm ²)	全ス/バンヤング係数 (kN/mm ²)	一定ス/バンヤング係数 (kN/mm ²)	含水率計含水率 (%)	全乾法含水率 (%)	破壊形態
1	64.6	11.91	11.06	11.61	11.9	11.2	曲げ
2	63.6	11.42	10.78	11.58	11.0	9.9	上部圧縮
3	43.3	10.74	10.26	10.72	11.3	9.1	せん断
4	53.5	10.48	9.71	10.54	11.1	9.4	せん断
5	62.1	10.43	9.98	10.43	10.6	9.3	曲げ
6	60.7	9.78	9.49	9.88	11.1	10.0	曲げ
7	58.0	9.63	9.09	9.56	14.3	11.1	せん断
8	52.3	9.28	8.73	9.21	10.4	8.6	曲げ
9	34.7	8.62	7.77	8.11	11.4	10.2	せん断
10	50.1	8.01	8.14	8.39	10.3	8.8	曲げ
11	42.7	7.51	7.82	8.37	9.6	8.5	曲げ

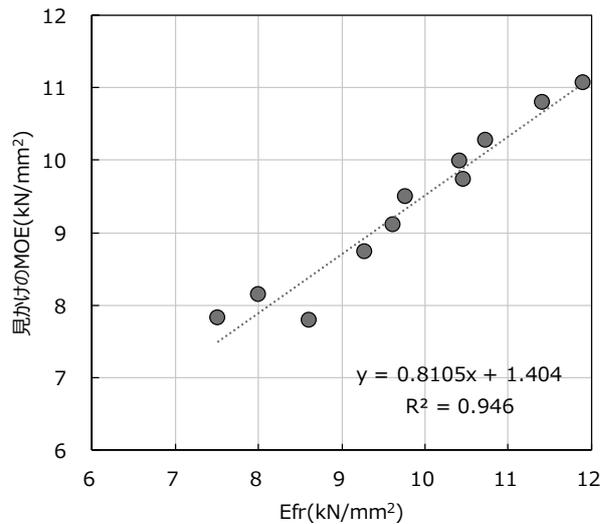


図5-22 スギ接着重ね梁CタイプのEfr と見かけのMOEの関係

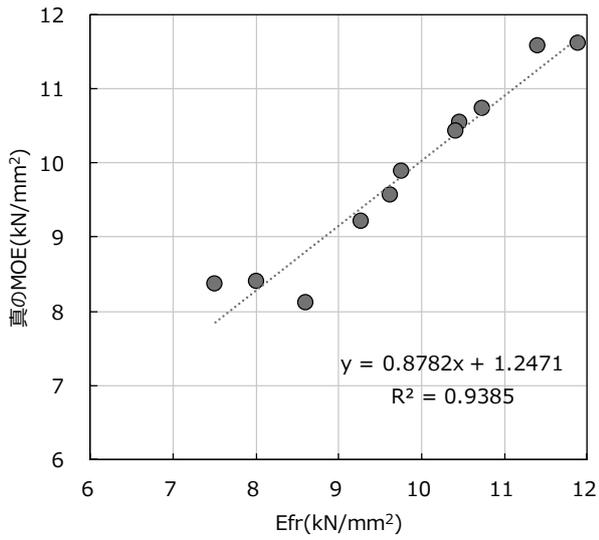


図5-23 スギ接着重ね梁CタイプのEfrと真のMOEの関係

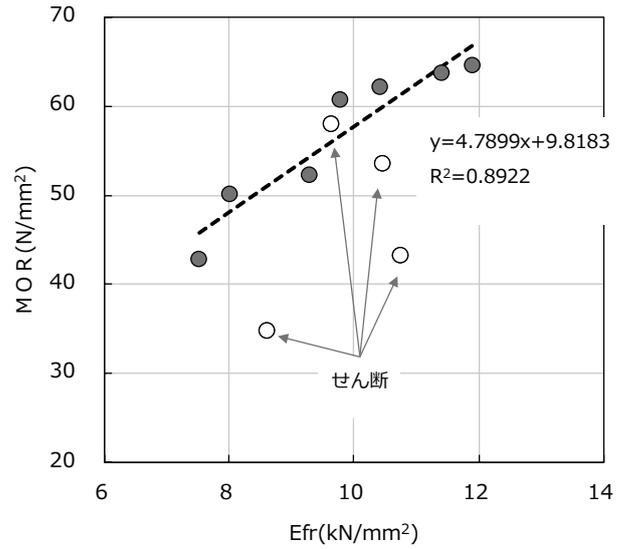


図5-24 スギ接着重ね梁CタイプのEfrとMORの関係

No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
外層2 Efr	11.98	11.43	10.91	10.52	9.95	9.90	9.74	9.63	9.44	9.03	8.91
中心1 Efr	11.79	11.05	10.55	10.05	9.90	9.52	9.51	9.00	8.66	7.86	6.49
中心2 Efr	11.32	10.99	10.43	9.99	9.84	9.52	9.48	8.88	8.46	6.77	6.47
外層1 Efr	12.38	11.88	11.24	10.56	10.26	9.90	9.77	9.65	9.52	9.41	8.99
外層2 E等級	E130	E110	E110	E110	E110	E110	E90	E90	E90	E90	E90
中心1 E等級	E110	E110	E110	E110	E110	E90	E90	E90	E90	E90	E70
中心2 E等級	E110	E110	E110	E110	E110	E90	E90	E90	E90	E70	E70
外層1 E等級	E130	E130	E110	E110	E110	E110	E90	E90	E90	E90	E90
外層2 L等級	L110	L110	L100	L100	L90	L90	L90	L90	L90	L90	L80
中心1 L等級	L110	L110	L100	L100	L90	L90	L90	L90	L80	L70	L60
中心2 L等級	L110	L100	L100	L90	L90	L90	L90	L80	L80	L60	L60
外層1 L等級	L110	L110	L110	L100	L100	L90	L90	L90	L90	L90	L80
曲げ強さ (N/mm²)	64.6	63.6	43.3	53.5	62.1	60.7	58.0	52.3	34.7	50.1	42.7
Efr (kN/mm²)	11.91	11.42	10.74	10.48	10.43	9.78	9.63	9.28	8.62	8.01	7.51
見かけヤング係数 (kN/mm²)	11.06	10.78	10.26	9.71	9.98	9.49	9.09	8.73	7.77	8.14	7.82
真のヤング係数 (kN/mm²)	11.61	11.58	10.72	10.54	10.43	9.88	9.56	9.21	8.11	8.39	8.37
曲げ試験後の試験体断面											

図5-25 スギ接着重ね梁Cタイプの平割材の組み合わせと曲げ試験結果

3.4 構造用集成材の強度特性

カラマツ構造用集成材 10 体の曲げ試験結果の概要を合わせと集成材の Efr、曲げ強さ、見かけ MOE と真の MOE、曲げ試験後の断面写真を図 5-27 に示す。また、表 5-10 に、Efr と MOR の関係を図 5-26 に示す。また、集成材の構成ラミナの Efr 及び E 等級、L 等級の組み

表 5-10 構造用集成材カラマツの曲げ試験結果の概要

区分	試験体No.	強度等級	曲げ強さ (N/mm ²)	Efr (kN/mm ²)	全スパンヤング係数 (kN/mm ²)	一定スパンヤング係数 (kN/mm ²)	含水率計含水率 (%)	全乾法含水率 (%)	破壊形態
対称異等級	1	E170-F495	73.9	17.36	18.06	19.24	13.8	10.9	せん断
	2	E150-F435	72.1	15.21	16.12	17.05	11.0	10.3	せん断
	3	E150-F435	71.3	16.19	17.04	18.38	9.9	8.4	せん断
同一等級	4	E150-F540	88.1	18.84	16.88	17.68	9.8	10.9	せん断
	5	E150-F540	76.0	18.79	17.18	18.43	9.6	8.2	せん断
	6	E135-F405	66.2	16.26	14.33	14.96	14.9	11.4	せん断
	7	E135-F405	63.4	16.51	14.92	15.92	11.9	11.2	曲げ
	8	E135-F405	79.9	16.88	14.74	15.67	8.4	7.9	上部圧壊
	9	E135-F405	61.6	16.50	14.31	14.91	7.5	8.0	曲げ
	10	E120-F375	39.3	14.91	13.01	14.01	8.8	8.6	フシ曲げ

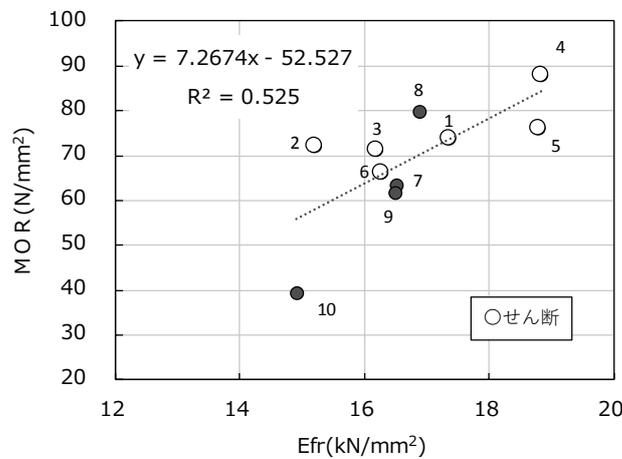


図 5-26 カラマツ構造用集成材の Efr と MOR の関係

No.	対称異等級			同一等級						
	① E170-F495	② E150-F435	③ E150-F435	④ E150-F540	⑤ E150-F540	⑥ E135-F405	⑦ E135-F405	⑧ E135-F405	⑨ E135-F405	⑩ E120-F375
強度等級										
ラミナEfr	20.5	18.5	18.9	16.3	17.6	15.4	14.8	15.2	14.1	13.6
ラミナEfr	16.2	14.8	14.8	17.3	17.2	14.7	15.8	15.7	15.3	12.6
ラミナEfr	13.3	11.4	11.8	15.7	17.2	14.9	14.5	14.9	15.6	12.8
ラミナEfr	13.6	11.8	11.5	16.1	16.2	15.4	15.4	14.6	14.4	13.2
ラミナEfr	12.7	11.9	11.6	17.4	16.5	14.9	14.7	14.7	15.7	12.5
ラミナEfr	13.8	11.0	12.2	17.0	16.5	15.0	15.1	15.9	15.2	12.5
ラミナEfr	16.8	15.5	15.4	17.8	17.5	15.8	15.5	14.5	14.6	12.8
ラミナEfr	20.2	18.3	19.7	16.2	17.2	14.8	15.7	15.2	14.0	13.7
ラミナL等級										
ラミナL等級	L200	L180	L180	L160	L160	L140	L140	L140	L140	L125
ラミナL等級	L160	L140	L140	L160	L160	L140	L140	L140	L140	L125
ラミナL等級	L125	L110	L110	L140	L160	L140	L140	L140	L140	L125
ラミナL等級	L125	L110	L110	L160	L160	L140	L140	L140	L140	L125
ラミナL等級	L125	L110	L110	L160	L160	L140	L140	L140	L140	L125
ラミナL等級	L160	L140	L140	L160	L160	L140	L140	L140	L140	L125
ラミナL等級	L200	L180	L180	L160	L160	L140	L140	L140	L140	L125
曲げ強さ (N/mm ²)	73.9	72.1	71.3	88.1	76.0	66.2	63.4	79.9	61.6	39.3
Efr (kN/mm ²)	17.36	15.21	16.19	18.84	18.79	16.26	16.51	16.88	16.50	14.91
見かけヤング係数 (kN/mm ²)	18.06	16.122	17.043	16.883	17.181	14.329	14.924	14.736	14.307	13.01
真のヤング係数 (kN/mm ²)	19.24	17.05	18.38	17.68	18.43	14.96	15.92	15.67	14.91	14.01
曲げ試験後の試験断面										

図 5-27 カラマツ構造用集成材のラミナ構成と曲げ試験結果

スギ構造用集成材 5 体の曲げ試験結果の概要を表 5-11 に、Efr と MOR の関係を図 5-28 に示す。また、集成材の構成ラミナの Efr 及び E 等級、L 等級の組み合わせと集成材の Efr、曲げ強さ、見かけ MOE と真の MOE、曲げ試験後の断面写真を図 5-29 に示す。

表 5-11 スギ構造用集成材曲げ試験結果の概要

区分	試験体No.	強度等級	曲げ強さ (N/mm ²)	Efr (kN/mm ²)	全スパンヤング係数 (kN/mm ²)	一定スパンヤング係数 (kN/mm ²)	含水率計含水率 (%)	全乾法含水率 (%)	破壊形態
対称異等級	1	E95-F270	61.9	10.17	10.71	11.31	10.5	9.5	せん断
	2	E85-F255	67.0	8.97	9.28	9.78	10.3	9.8	上部圧壊
同一等級	3	E75-F270	48.7	9.60	8.99	9.55	10.3	9.8	曲げ
	4	E65-F255	31.5	8.52	7.94	8.20	10.4	9.6	曲げ
(対称異等級)	5	E85-F300	70.2	11.20	10.42	10.98	10.5	9.5	曲げ

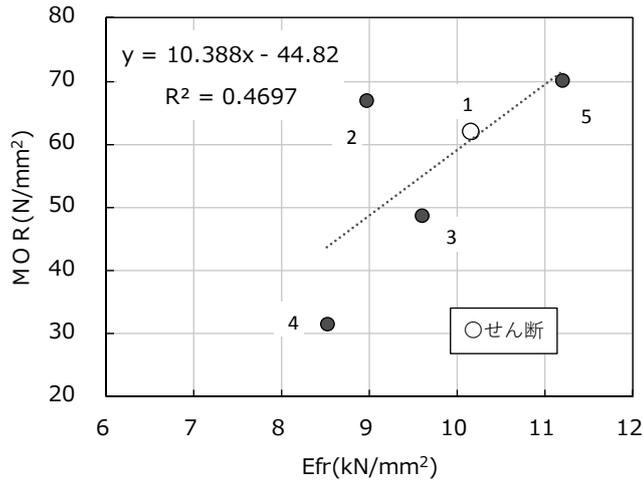


図 5-28 スギ構造用集成材の Efr と MOR の関係

No.	対称異等級		同一等級		対称異等級
	①	②	③	④	
強度等級	E95-F270	E85-F255	E75-F270	E65-F255	E85-F300
ラミナEfr	11.3	10.4	8.8	7.9	10.4
ラミナEfr	9.4	8.6	8.9	7.5	9.9
ラミナEfr	7.4	6.2	8.4	7.1	9.0
ラミナEfr	7.1	6.8	8.0	7.7	9.5
ラミナEfr	7.0	6.9	8.1	7.3	9.2
ラミナEfr	7.9	6.4	8.8	7.1	9.0
ラミナEfr	9.7	8.1	8.6	7.4	9.9
ラミナEfr	11.7	10.2	8.2	7.5	10.0
ラミナL等級	L110	L100	L80	L70	L100
ラミナL等級	L90	L80	L80	L70	L90
ラミナL等級	L70	L60	L80	L70	L90
ラミナL等級	L70	L60	L80	L70	L90
ラミナL等級	L70	L60	L80	L70	L90
ラミナL等級	L90	L80	L80	L70	L90
ラミナL等級	L110	L100	L80	L70	L100
曲げ強さ (N/mm ²)	61.9	67.0	48.7	31.5	70.2
Efr (kN/mm ²)	10.17	8.97	9.60	8.52	11.20
見かけヤング係数 (kN/mm ²)	10.71	9.28	8.99	7.94	10.42
真のヤング係数 (kN/mm ²)	11.31	9.78	9.55	8.20	10.98
曲げ試験後の試験断面	写真 1	写真 2	写真 3	写真 4	写真 5

図 5-29 構造用集成材スギラミナ構成と曲げ試験結果

4 まとめ

課題1の「心持ち木取り」「心去り木取り」「208材・210材木取り」の各木取りの主製品を製材したその外周部から、Cタイプ接着重ね梁向けの平割材（製材断面寸法；40×125mm、60×125mm、60×170mm、60×230mm、60×320mmの5種類）及び高強度集成材向けのラミナ（製材断面寸法；40×125mm）を製材した。これらの製材品について乾燥特性を調査した後に各製品を作製し、その性能評価を行った。その結果、

- (1) 平割材は80°C12日間の蒸気式中温乾燥で、カラマツ及びスギは10%前後の含水率に仕上がった。
- (2) 平割材の縦そりは、乾燥前は木表側に、乾燥後は木裏側にそる傾向が確認された。
- (3) 縦そりの大きさは、カラマツ<スギであった。
- (4) 曲がりには、カラマツ、スギとも乾燥後に大きくなっていた。
- (5) カラマツのねじれは、S旋回、Z旋回が同程度発生した。60×230mmの平割材では、Z旋回が多く発生していた。また、60×320mmの平割材では、ねじれが大きくなる傾向が確認された。
- (6) スギのねじれは、カラマツに比べて小さく平均2mm以下で利用上支障にはならない程度であった。また、S旋回も多く発生していた。
- (7) カラマツ平割材のE_{fr}は、乾燥前後で約1.2倍強高くなった。また、乾燥後のE_{fr}の平均値は、40×125mmで16.23kN/mm²、60×125mmで15.66kN/mm²、60×170mmで14.45kN/mm²、60×230mmで15.75kN/mm²、60×320mmで13.02kN/mm²であった。
- (8) スギ平割材のE_{fr}は、乾燥前後で約1.1倍強高くなった。また、乾燥後のE_{fr}の平均値は、40×125mmで9.16kN/mm²、60×125mmで8.79kN/mm²、60×170mmで8.80kN/mm²、60×230mmで7.19kN/mm²、60×320mmで8.81kN/mm²であった。
- (9) 接着重ね梁Cタイプカラマツ7体の曲げ試験の結果では、E_{fr}の高い平割材を組み合わせることによって、MOEが13.80kN/mm²~19.26kN/mm²、MORが66.8N/mm²~115.1N/mm²と高くなった。
- (10) E_{fr}と見かけのヤング係数、E_{fr}と真のヤング係数に高い相関が確認され、E_{fr}とMORにも高い相関があった。
- (11) 接着重ね梁Cタイプスギ11体の曲げ試験の結果では、MOEが8.11kN/mm²~11.61kN/mm²、MORが34.7N/mm²~64.6N/mm²となった。

- (12) E_{fr}と見かけのヤング係数、E_{fr}と真のヤング係数に高い相関が確認された。また、せん断破壊した4体を除くとE_{fr}とMORにも高い相関があった。
- (12) 構造用集成材カラマツは、対称異等級構成集成材3体、同一等級構成集成材7体合計10体を作製した。
- (13) 対称異等級構成集成材3体の強度等級は、E170-F495を1体、E150-F435を2体を作製し、同一等級構成集成材の強度等級は、E150-F465を2体、E135-F405を4体、E120-F375を1体作製した。
- (14) 支点と荷重点間の距離を十分確保できなかったため、6体がせん断で破壊したが、全ての試験体で基準値を上回った。
- (15) 構造用集成材スギは、対称異等級構成集成材3体、同一等級構成集成材2体合計5体を作製した。
- (16) 対称異等級構成集成材3体の強度等級は、E95-F270、E85-F255、E85-F300、各体を作製し、同一等級構成集成材の強度等級は、E75-F270、E65-F255、各1体を作製した。
- (17) 支点と荷重点間の距離を十分確保できなかったため、1体がせん断で破壊したが、全ての試験体で基準値を上回った。