

アカマツラミナの輪生節位置を分散させた垂直積層集成材の強度特性

柴田直明・伊東嘉文・橋爪丈夫

アカマツを用いて通常水平積層集成材を作製すると、引張側最外層ラミナの輪生節部分から容易に破壊されやすい。そこで、大型プロジェクト研究「地域産材を利用した高信頼性構造用材の開発」(1998~2002年度)の一環として、アカマツラミナの輪生節位置を分散させた垂直積層集成材を作製し、水平積層集成材と比較した。その結果、曲げヤング係数と曲げ強さの分布図における5%下限直線で評価すると、垂直積層集成材の曲げ強さは水平積層のものより約20%ほど改善されていた。

キーワード：アカマツ集成材、輪生節、欠点分散、垂直積層、曲げ強さ

1 緒言

アカマツは輪生節を有するため、通常水平積層集成材(図-1の上)を作製すると、引張側最外層ラミナの輪生節部分から容易に破壊されやすい。

そこで、アカマツラミナの輪生節位置を分散させた垂直積層集成材(図-1の下)を作製することにより、強度性能および信頼性の高い部材の開発を試みた^{1),2)}。

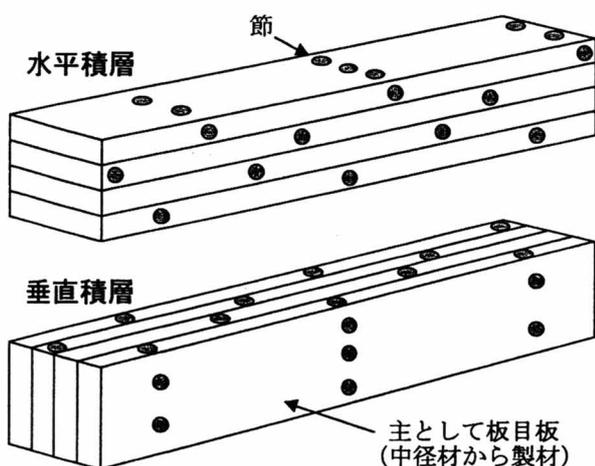


図-1 積層方向別のアカマツ集成材の模式図

なお、本試験は林野庁の大型プロジェクト研究「地域産材を利用した高信頼性構造用材の開発」(1998~2002年度)の一部として実施したものである。

2 試験の方法

2.1 2.4m長ラミナの作製と、動的ヤング係数の測定

本試験では、県内2箇所から得られたアカマツラミナ(3m長、人工乾燥材)を180枚使用した。この内、160枚は60cm前後の間隔で輪生節(単独

節の場合を含む)が存在するラミナ[以下、有節ラミナ]であり、20枚は無節かそれに近いラミナ[以下、無節ラミナ]であった。

これらは、まず断面2.63×11.0cmにモルダ仕上げした。次いで、有節ラミナは中央80cm内の最大集中節(目視)がラミナの一端から130cm部分にくるように調整して、2.4m長のラミナに鋸断した(図-2)。無節ラミナは、目切れ・丸身等の欠点部分を除去し、2.4m長ラミナとした。

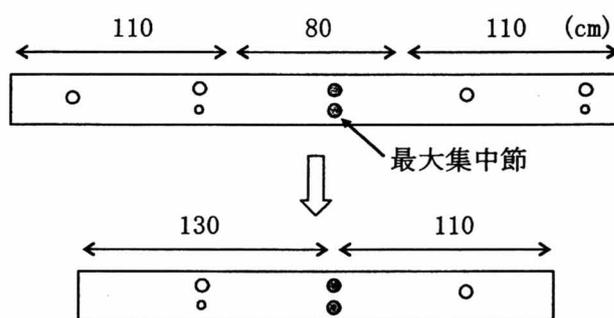


図-2 2.4m長有節ラミナの作製

2.4m長ラミナは3寸法を確認した上、重量と1次の縦基本振動数から動的ヤング係数[以下、Efr]を測定した。

2.2 4枚積層集成材の作製に向けた、2m長ラミナの調製と節径比の測定

有節ラミナ・無節ラミナ別に、Efrの上位から4枚ずつを組み合わせた。有節ラミナの場合は、原則として図-3のように節を分散させた上で2m長に鋸断した。無節ラミナの場合は、欠点部分を避けて2m長ラミナとした。

節については、集成材の曲げ試験における上部荷重点間距離(10.5×6=63cm)内において、最大集中節径比と最大材縁節径比を測定した。測定方

法はいずれも透過断面積法とし、節幅 0.5cm 未満は対象外とした。また、集中節については境界線上を含む一群までを、材縁節については材縁から 0.5cm までのものを対象とした。

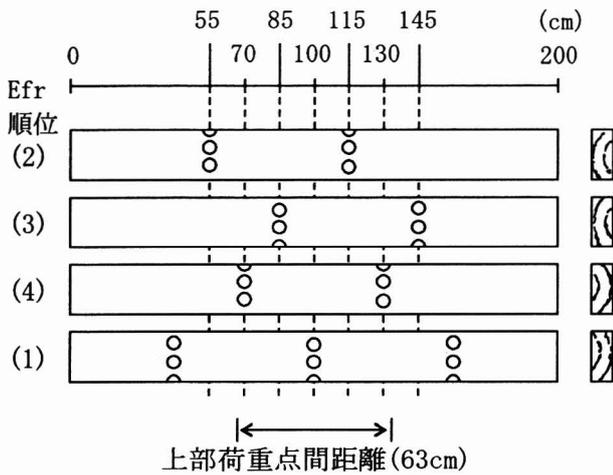


図-3 2m長有節ラミナの調製

2.3 4枚積層集成材 (10.5cm 角, 2m長) の作製と、Efr・節径比等の測定

2m長ラミナは水性高分子-イソシアネート系接着剤 (構造用) を用いて常法により積層・接着し、有節ラミナによる「有節集成材」40体と無節ラミナによる「無節集成材」5体を作製した。それぞれの集成材 No. は、構成ラミナの Efr の降順とした。

これらの集成材は、さらにラミナの幅方向のみを 10.5cm 幅にモルダ仕上げした。

次いで、各集成材について、3寸法、重量、Efr を測定した。

また、集成材の4面 (図-4 の a ~ d 面) について、上部荷重点間距離 (中央 63cm) 内の最大集中節径比を測定した。なお、集成材の集中節径比に限っては、集成材幅に対する節幅の比率として求めた。その他の測定条件は、2.2 と同様とした。

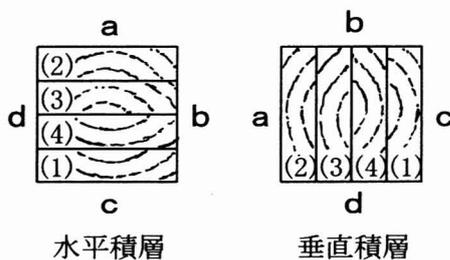


図-4 4枚積層集成材 (断面図)

2.4 4枚積層集成材の曲げ試験

集成材の曲げ試験は3等分点4点荷重方式とし、上部荷重点間距離 63cm、下部支点間距離 189cm で評価した。

集成材の曲げヤング係数 [以下、MOE] は、全数について、図-4 の a 面および b 面を上にして測定した。

曲げ強さ [以下、MOR] は、集成材 No. が奇数のものは a 面を上 (図-4 の水平積層)、偶数のものは b 面を上 (同、垂直積層) にして測定した。

3 結果と考察

3.1 供試ラミナと4枚積層集成材の諸データ

本試験に用いたアカマツラミナ 180 枚の諸データは、表-1 (付表-1) のようであった。

また、上記ラミナから作製したアカマツ 4枚積層集成材 45 体の諸データは、表-2 (付表-2) のようであった。

本試験の有節集成材は 2.2 のように調製したため、最大集中節径比は a 面と c 面、あるいは b 面と d 面で、ほぼ均等に作製できていた (表-2)。() 内には試験時の引張面における最大集中節径比も示したが、ほとんど偏りのないものとなっていた。

また、表-2 の有節集成材において a・c 面と b・d 面の最大集中節径比を比較すると、平均値・標準偏差とも b・d 面の方が小さくなる傾向が見られた。これは、輪生節を分散させた効果であると考えられる。

なお、本試験に用いたアカマツ有節ラミナにおける最大集中節径比の平均値は 36.0% であり (表-1)、アカマツとしては比較的小さかった³⁾。

3.2 4枚積層集成材の曲げ強度特性

3等分点4点荷重方式の曲げ試験から求めた有節集成材の MOE は、水平積層状態で 9.74 kN/mm²、垂直積層状態で 10.07 kN/mm² であり、表-1, 2 の Efr の値よりはやや小さかった。

また、水平積層状態で求めた MOE と垂直積層状態で求めた MOE とを比較すると、後者の方が若干大きい傾向があった [図-5, n=45, R²: 決定係数=(相関係数)²]。これは、水平積層集成材がほぼ同一等級構成集成材となっているのに対して、垂直積層集成材では成熟材部が試験体の上下部に多く (図-4 の「垂直積層」)、やや対称異等級構成的になっているためであると考えられる。

次に、集成材の MOE と MOR の関係を見ると、

表-1 供試ラミナの諸データ

ラミナの区分		密度 ^{a)} (g/cm ³)	Efr ^{a)} (kN/mm ²)	最大節径比(%) ^{b)}	
				集中節	材縁節
有節ラミナ (n=160)	平均値	0.484	10.44	36.0	15.3
	最大値	0.680	15.93	75.4	45.3
	最小値	0.410	6.17	1.4	0.0
	標準偏差	0.042	2.05	13.9	10.9
	変動係数(%)	8.7	19.6	38.7	71.4
無節ラミナ (n=20)	平均値	0.516	12.90	1.8	0.3
	最大値	0.575	15.54	15.0	5.0
	最小値	0.461	9.90	0.0	0.0
	標準偏差	0.033	1.84	3.8	1.1
	変動係数(%)	6.4	14.2	216	447

a) 2.4m長ラミナでの値

b) 集成材の曲げ試験における上部荷重点間距離(63cm)内の値

表-2 4枚積層集成材(10.5cm角, 2m長)の諸データ

集成材の区分		密度 (g/cm ³)	Efr (kN/mm ²)	最大集中節径比(%) ^{a)}			
				a面	b面	c面 ^{b)}	d面 ^{c)}
有節集成材 (n=40)	平均値	0.481	10.62	32.7	28.8	32.6 (32.3)	28.4 (28.8)
	最大値	0.545	15.04	62.8	64.6	72.3 (72.3)	48.7 (48.7)
	最小値	0.424	7.21	0.0	5.6	0.0 (4.8)	6.6 (12.2)
	標準偏差	0.029	1.94	15.8	11.9	16.6 (15.1)	11.0 (9.9)
	変動係数(%)	6.0	18.3	48.4	41.3	50.9 (46.6)	38.7 (34.2)
無節集成材 (n=5)	平均値	0.511	12.82	0.0	0.0	0.0	0.0
	最大値	0.545	15.79	0.0	0.0	0.0	0.0
	最小値	0.491	9.95	0.0	0.0	0.0	0.0
	標準偏差	0.023	2.18				
	変動係数(%)	4.5	17.0				

a) 集成材の曲げ試験における上部荷重点間距離(63cm)内の値

b) ()内は、水平積層状態で曲げ試験を実施した集成材20体分の値

c) ()内は、垂直積層状態で曲げ試験を実施した集成材20体分の値

引張面の最大集中節径比の影響が著しかった(図-6)。

また、有節集成材のみを対象としてそれぞれの近似直線を求めると、垂直積層集成材の方が相関が大きかった(図-7)。そこで、次のようにしてそれぞれの「5%下限直線」を求めた。

近似直線が $y = ax + b$ であるとき、

5%下限直線は $y = ax + b - K \times \text{標準誤差}$

ここで、ASTM D2915のTable 3 (75% Confidence, n=20)より、 $K=1.932$

その結果、5%下限直線は垂直積層集成材の方が約20%ほど高い位置にあった。このことは、輪生節位置を分散させた垂直積層集成材の優位性を示唆するものである。

なお、本報では単純な直線近似によって比較を

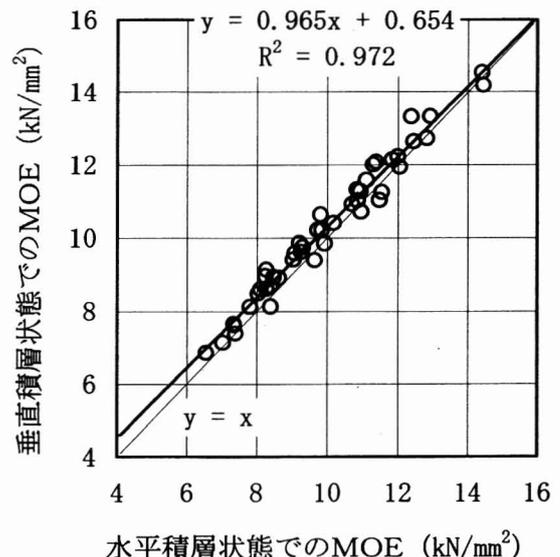


図-5 積層状態別のMOEの比較

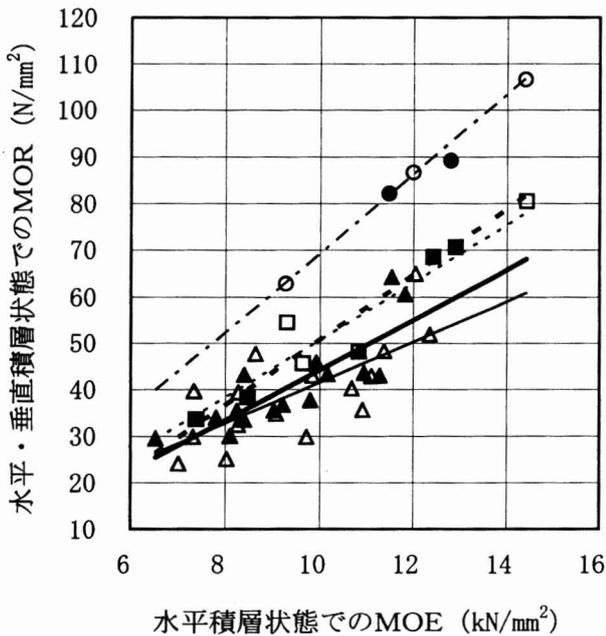


図-6 集成材の曲げ強度性能と近似直線

- , (線なし) : 無節集成材(垂直積層)
 - , 破線(太) : 有節集成材(垂直積層), GKDR \leq 20
 - ▲, 実線(太) : 有節集成材(垂直積層), 20<GKDR
 - , 1点鎖線 : 無節集成材(水平積層)
 - , 破線(細) : 有節集成材(水平積層), GKDR \leq 20
 - △, 実線(細) : 有節集成材(水平積層), 20<GKDR
- ここで, GKDR: 引張面の最大集中節径比(%)

したが, MOEとMORの関係はこのような直線近似以外についても検討されている⁴⁾。図-7のデータの場合は, 2次曲線で近似すると図-8のようになり, とともに相関が大きくなった。

有節集成材における各要素間の相関係数は, 表-3に示した。密度とMOEまたはMOR, MOEとMORの間に, 特に大きな相関が認められた。

ただし, 今回の試験体は比較的節が小さかったためか, 節(c)とMOR(a), 節(d)とMOR(b)の間には, 必ずしも大きな相関は認められなかった。

最後に, アカマツのように輪生節を有するラミナを使用した場合, 節の位置を分散させた垂直積層集成材を作製しても, 各ラミナ内では弱点である節が梁背方向に並んだ。このため, 曲げ試験では輪生節を含む面で2つに破断する例(写真-1の右)なども見られ, 必ずしも大幅には「ねばりのある部材」になし得なかった。

従って, 節分散効果をより大きく発現させるためには, 次のような改善が必要であると思われる。

- ① 今回は4枚積層としたが, 積層枚数をより多く

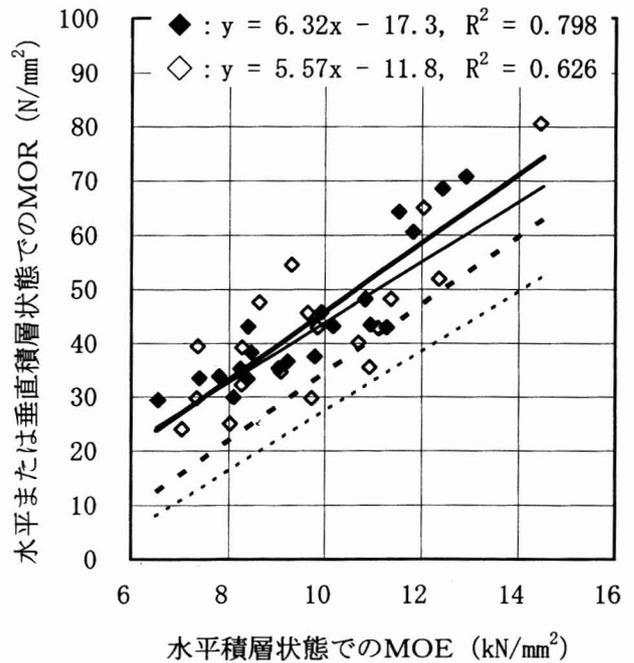


図-7 有節集成材の強度特性

- ◆ : 有節集成材(垂直積層)
 - ◇ : 有節集成材(水平積層)
- 実線: 近似直線(太: 垂直積層, 細: 水平積層)
式, R²: 近似直線データ(上: 垂直積層, 下: 水平積層)
破線: 5%下限直線(太: 垂直積層, 細: 水平積層)

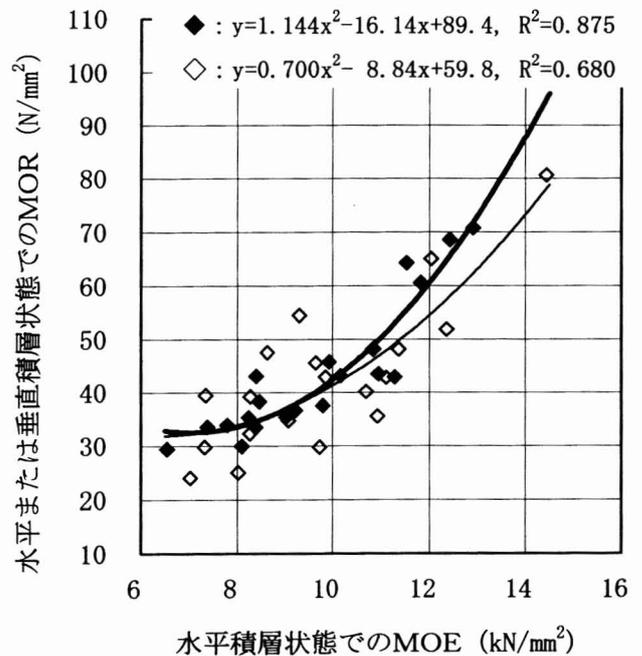


図-8 有節集成材の2次近似曲線

- ◆, 実線(太) : 有節集成材(垂直積層)
- ◇, 実線(細) : 有節集成材(水平積層)

表-3 有節集成材(40体)における相関係数*

	密度	節(c)	節(d)	MOE(a)	MOE(b)
密度	1				
節(c)	-0.176	1			
節(d)	-0.195	0.109	1		
MOE(a)	0.782 **	-0.375 *	-0.182	1	
MOE(b)	0.801 **	-0.329 *	-0.199	0.985 **	1
MOR(a)	0.558 *	-0.436	-0.375	0.791 **	0.736 **
MOR(b)	0.732 **	-0.365	-0.282	0.893 **	0.854 **

※ a~d面：図-4による（a面を上：水平積層，b面を上：垂直積層）

節(c)，節(d)：c面またはd面の最大集中節径比

MOE(a)，MOE(b)：a面またはb面を上にした時のMOE

MOR(a)，MOR(b)：a面またはb面を上にした時のMOR

MORのみ，(a)，(b)とも20体ずつ

＊，**：相関係数の有意性（有意水準5%，1%）

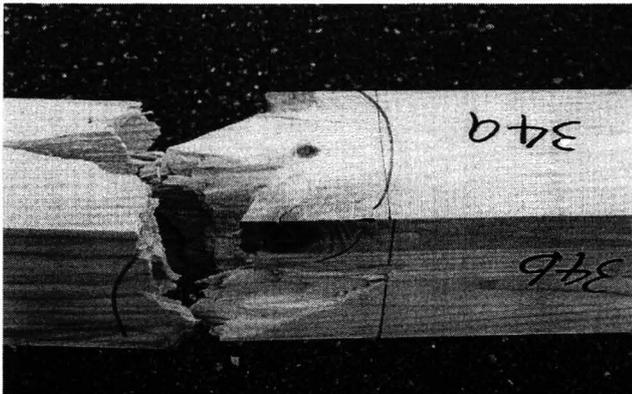


写真-1 垂直積層集成材における曲げ破壊形態の一例

する。集成材の幅・厚も12cm程度に広くする。

- ② 節分散型同一等級構成集成材を接着層に垂直に挽き割り，節分散型幅はぎラミナを作製する。そして，このラミナを対称異等級構成集成材（水平積層）の引張側最外層（および外層）に使用する。即ち，FJ分散型幅はぎラミナを引張側に用いたカラマツ集成材の場合と同様の構成にする（本研究報告P.104の図-3⁵⁾参照）。なお，本試験に用いたアカマツ有節ラミナにおける最大集中節径比の平均値は，上述（表-1）のように，アカマツとしては比較的小さかった。集中節径比の値がより大きかったならば，3.1および3.2の結果において，輪生節を分散させた効果がさらに明瞭になった可能性もあると思われる。

謝辞

測定補助をお願いした吉田祐美子氏，小沼美奈子氏らに，深く感謝いたします。

引用文献

- 1) 柴田直明・伊東嘉文・橋爪丈夫(2001) 地域産材を利用した高信頼性構造用材の開発ーアカマツラミナの輪生節位置を分散させた垂直積層集成材の強度特性ー，平成12年度長野林総セ業務報告，P.58-61
- 2) 柴田直明・伊東嘉文・橋爪丈夫(2001) アカマツラミナの輪生節位置を分散させた垂直積層集成材の強度特性，日本木材学会中部支部大会講演要旨集，P.24-25
- 3) 伊東嘉文・吉田孝久・橋爪丈夫(2004) アカマツ中目材による集成材の開発，本研究報告，P.71-94
- 4) 林知行(1989) 確立モデルによる集成加工材料の性能予測(第2報) ラミナMORの模擬乱数発生法，木材学会誌，35(12)，P.1144-1153
- 5) 柴田直明・橋爪丈夫・伊東嘉文(2004) FJ分散幅はぎラミナを引張側に使用したカラマツ集成材の強度特性，本研究報告，P.103-110

付表-1 供試ラミナの諸データ (表中のラミNo. : 図-3の上から1~4とした。幅×厚 : 11.0×2.63cmとした。その他は、2.1~2.2に記載)

集成材- ラミ No.	長さ m	重量 kg	密度 kg/m ³	縦振動数 Hz	Efr kN/mm ²	材縁最大 節径比 %	最大集中 節径比 %
1-1	2.400	4.204	605	1055	15.53	6.31	6.39
1-2	2.400	3.787	545	1090	14.93	11.82	16.82
1-3	2.400	3.217	463	1170	14.61	6.10	18.64
1-4	2.400	3.662	527	1145	15.93	13.04	32.20
2-1	2.400	3.742	539	1070	14.22	18.18	18.18
2-2	2.400	4.467	643	980	14.24	19.77	36.06
2-3	2.400	3.300	475	1130	13.98	0.93	23.14
2-4	2.400	3.807	548	1070	14.46	9.51	30.87
3-1	2.400	3.424	493	1105	13.87	6.62	23.39
3-2	2.400	4.718	680	935	13.69	9.66	21.04
3-3	2.400	3.695	532	1050	13.52	1.94	22.73
3-4	2.400	3.585	516	1080	13.88	13.07	28.59
4-1	2.400	3.349	482	1100	13.45	1.40	1.38
4-2	2.400	3.506	505	1070	13.32	15.97	31.95
4-3	2.400	3.951	569	1000	13.11	18.18	34.55
4-4	2.400	3.346	482	1100	13.43	11.15	25.32
5-1	2.400	3.361	484	1080	13.01	28.55	46.23
5-2	2.400	3.720	536	1025	12.97	28.18	48.64
5-3	2.327	3.267	485	1110	12.95	14.09	22.82
5-4	2.400	3.736	538	1025	13.02	0.00	40.45
6-1	2.400	3.359	484	1075	12.88	0.00	49.09
6-2	2.400	3.687	531	1025	12.85	5.39	15.36
6-3	2.400	3.678	530	1020	12.70	18.91	35.55
6-4	2.400	3.195	460	1105	12.95	8.09	14.60
7-1	2.400	3.310	477	1065	12.46	0.00	23.18
7-2	2.400	3.434	495	1050	12.56	2.66	11.68
7-3	2.400	3.523	507	1030	12.40	25.91	25.91
7-4	2.400	3.108	448	1105	12.59	3.20	25.00
8-1	2.400	3.455	498	1035	12.28	20.48	44.05
8-2	2.400	3.887	560	975	12.26	32.89	51.53
8-3	2.400	3.711	534	995	12.19	11.86	49.36
8-4	2.400	3.306	476	1060	12.33	10.81	30.88
9-1	2.400	3.584	516	1010	12.13	10.38	50.00
9-2	2.400	3.162	455	1075	12.13	16.48	28.30
9-3	2.400	3.239	466	1060	12.08	8.30	36.50
9-4	2.400	3.391	488	1040	12.17	24.97	45.50
10-1	2.400	3.194	460	1065	12.02	29.09	40.91
10-2	2.400	3.199	461	1065	12.04	17.27	46.06
10-3	2.400	3.693	532	990	12.01	10.84	39.09
10-4	2.400	3.389	488	1035	12.05	17.88	25.65
11-1	2.400	3.562	513	1005	11.94	9.07	16.75
11-2	2.400	3.936	567	955	11.91	30.86	39.95
11-3	2.400	3.383	487	1030	11.91	16.82	38.64
11-4	2.400	4.266	614	920	11.98	21.82	33.42
12-1	2.400	3.552	512	1005	11.90	0.00	20.91
12-2	2.400	3.511	506	1010	11.88	16.95	20.58
12-3	2.400	3.632	523	990	11.81	8.56	29.26
12-4	2.400	3.553	512	1005	11.91	7.86	18.74
13-1	2.400	3.069	442	1075	11.77	15.00	17.73
13-2	2.400	3.611	520	990	11.74	4.84	25.75
13-3	2.400	3.572	514	990	11.62	32.50	47.92
13-4	2.400	3.489	503	1010	11.81	5.97	20.97

集成材- ラミ No.	長さ m	重量 kg	密度 kg/m ³	縦振動数 Hz	Efr kN/mm ²	材縁最大 節径比 %	最大集中 節径比 %
14-1	2.400	3.277	472	1030	11.54	3.32	37.83
14-2	2.400	3.281	473	1020	11.33	7.43	16.07
14-3	2.400	3.684	531	960	11.27	32.22	53.25
14-4	2.400	3.000	432	1080	11.61	9.33	34.38
15-1	2.400	3.279	472	1015	11.21	4.04	16.70
15-2	2.400	3.338	481	1005	11.19	10.45	31.91
15-3	2.400	3.523	507	975	11.11	27.46	38.83
15-4	2.400	3.261	470	1020	11.26	26.22	57.41
16-1	2.400	3.364	485	995	11.05	13.91	33.09
16-2	2.400	3.026	436	1045	10.97	15.21	44.75
16-3	2.400	3.279	472	1000	10.88	6.69	35.91
16-4	2.400	3.306	476	1005	11.08	18.79	41.13
17-1	2.400	3.480	501	965	10.75	8.18	55.00
17-2	2.400	3.214	463	1000	10.67	21.33	38.37
17-3	2.400	3.064	441	1025	10.68	28.64	44.09
17-4	2.400	3.387	488	980	10.79	31.64	33.85
18-1	2.400	3.015	434	1030	10.61	24.36	41.23
18-2	2.400	3.361	484	975	10.60	9.07	57.34
18-3	2.400	3.431	494	965	10.60	8.92	37.17
18-4	2.400	2.991	431	1035	10.63	8.64	17.28
19-1	2.400	3.237	466	990	10.53	11.82	23.42
19-2	2.134	3.317	537	1035	10.48	0.00	19.09
19-3	2.400	3.149	454	1000	10.45	17.24	38.15
19-4	2.400	4.022	579	890	10.57	9.09	23.70
20-1	2.400	3.276	472	975	10.33	18.78	55.22
20-2	2.400	3.375	486	960	10.32	37.44	37.53
20-3	2.400	3.272	471	975	10.32	32.96	46.53
20-4	2.400	3.463	499	950	10.37	11.47	25.56
21-1	2.400	3.343	481	960	10.22	35.82	52.59
21-2	2.400	3.413	492	950	10.22	3.42	20.27
21-3	2.108	2.978	488	1085	10.22	15.12	21.57
21-4	2.400	3.125	450	995	10.27	14.04	20.94
22-1	2.400	3.464	499	940	10.16	0.00	42.27
22-2	2.400	3.404	490	945	10.09	9.85	31.99
22-3	2.400	3.248	468	965	10.04	20.91	26.99
22-4	2.400	3.299	475	965	10.19	26.53	49.73
23-1	2.400	3.136	452	980	9.99	0.00	45.00
23-2	2.400	3.192	460	970	9.97	5.29	34.45
23-3	2.400	3.467	499	930	9.95	0.00	32.27
23-4	2.400	2.957	426	1010	10.01	3.73	25.17
24-1	2.400	3.213	463	965	9.93	8.64	25.00
24-2	2.400	3.279	472	955	9.92	9.51	22.96
24-3	2.400	3.375	486	935	9.79	13.53	34.39
24-4	2.400	3.249	468	960	9.94	20.45	36.51
25-1	2.400	3.312	477	940	9.71	13.89	33.07
25-2	2.400	3.207	462	955	9.71	29.55	50.00
25-3	2.400	3.332	480	930	9.56	19.96	35.50
25-4	2.400	3.442	496	925	9.77	20.91	20.91
26-1	2.400	3.419	492	915	9.50	3.63	43.29
26-2	2.400	3.127	450	955	9.46	0.00	32.27
26-3	2.400	3.133	451	950	9.38	11.49	36.29
26-4	2.400	3.147	453	955	9.52	0.97	65.13

(付表-1 の続き)

集成材- ラミ No.	長さ m	重量 kg	密度 kg/m ³	縦振動数 Hz	Efr kN/mm ²	材縁最大 節径比 %	最大集中 節径比 %
27-1	2.400	3.328	479	920	9.35	0.00	40.00
27-2	2.400	3.146	453	945	9.32	14.71	32.73
27-3	2.400	2.933	422	975	9.25	11.38	25.47
27-4	2.400	3.338	481	920	9.38	7.98	29.92
28-1	2.400	3.584	516	880	9.21	1.73	46.27
28-2	2.400	3.555	512	880	9.14	0.00	19.55
28-3	2.400	3.465	499	890	9.11	6.22	40.58
28-4	2.400	3.723	536	865	9.24	28.18	20.36
29-1	2.400	3.044	438	940	8.93	20.22	37.24
29-2	2.400	3.509	505	875	8.92	20.32	55.85
29-3	2.400	3.240	467	910	8.90	37.09	64.31
29-4	2.400	3.177	458	925	9.02	11.02	28.33
30-1	2.400	3.626	522	860	8.90	0.97	11.04
30-2	2.016	2.724	467	1080	8.86	32.27	52.33
30-3	2.400	3.163	456	915	8.79	35.24	73.99
30-4	2.400	3.386	488	890	8.90	20.91	51.36
31-1	2.400	2.846	410	960	8.70	28.63	28.72
31-2	2.400	3.417	492	875	8.68	26.13	54.05
31-3	2.400	3.331	480	885	8.66	5.70	37.07
31-4	2.400	3.190	459	910	8.77	16.82	35.53
32-1	2.400	3.384	487	875	8.60	12.96	40.69
32-2	2.400	3.502	504	860	8.59	25.00	25.00
32-3	1.988	2.800	487	1055	8.57	1.76	26.27
32-4	2.400	2.936	423	940	8.61	1.80	28.09
33-1	2.400	3.378	487	870	8.48	0.00	30.91
33-2	2.400	2.863	412	940	8.39	28.05	48.09
33-3	2.400	3.374	486	865	8.38	24.36	52.85
33-4	2.400	3.008	433	925	8.54	17.10	48.90
34-1	2.400	3.352	483	860	8.23	33.18	60.35
34-2	2.400	3.637	524	825	8.21	17.27	31.82
34-3	2.400	3.180	458	880	8.17	19.24	75.43
34-4	2.400	3.426	493	855	8.31	36.82	36.82
35-1	2.400	3.473	500	835	8.04	3.15	37.66
35-2	2.400	3.089	445	885	8.03	20.91	55.00
35-3	2.400	3.114	448	880	8.00	0.00	33.18
35-4	2.400	3.012	434	900	8.10	11.99	30.56
36-1	2.400	3.204	461	865	7.96	35.70	35.63
36-2	2.400	3.272	471	855	7.94	0.00	22.73
36-3	2.400	3.044	438	885	7.91	24.27	59.20
36-4	2.400	3.143	453	875	7.99	12.27	25.80
37-1	2.400	3.111	448	870	7.81	14.05	31.77
37-2	2.400	3.161	455	860	7.76	5.91	46.82
37-3	2.400	3.198	461	855	7.76	32.99	66.96
37-4	2.400	3.076	443	880	7.90	13.12	54.39
38-1	2.400	2.944	424	875	7.48	29.07	31.77
38-2	2.400	3.335	480	820	7.44	28.13	28.09
38-3	2.400	2.939	423	870	7.38	11.82	41.19
38-4	2.400	3.348	482	825	7.56	6.64	23.92
39-1	2.400	2.992	431	860	7.34	26.36	53.23
39-2	2.400	3.018	435	855	7.32	26.82	48.91
39-3	2.400	2.983	430	850	7.15	29.55	47.73
39-4	2.400	2.935	423	870	7.37	20.50	70.05

集成材- ラミ No.	長さ m	重量 kg	密度 kg/m ³	縦振動数 Hz	Efr kN/mm ²	材縁最大 節径比 %	最大集中 節径比 %
40-1	2.400	2.944	424	840	6.89	9.85	36.53
40-2	2.400	3.192	460	805	6.86	45.25	55.64
40-3	2.400	3.095	446	775	6.17	41.82	41.82
40-4	2.400	3.049	439	840	7.14	27.56	62.63
41-1	2.400	3.990	575	1080	15.44	0.00	0.00
41-2	2.400	3.803	548	1095	15.13	0.00	15.00
41-3	2.400	3.732	538	1095	14.85	0.00	0.00
41-4	2.400	3.942	568	1090	15.54	0.00	0.00
42-1	2.400	3.646	525	1075	13.98	0.00	0.00
42-2	2.400	3.199	461	1145	13.92	0.00	5.91
42-3	2.400	3.396	489	1110	13.88	0.00	0.00
42-4	2.400	3.529	508	1105	14.30	5.00	5.00
43-1	2.400	3.633	523	1050	13.29	0.00	0.00
43-2	2.400	3.249	468	1100	13.05	0.00	0.00
43-3	2.400	3.546	511	1050	12.97	0.00	2.73
43-4	2.400	3.598	518	1060	13.42	0.00	0.00
44-1	2.400	3.700	533	995	12.16	0.00	0.00
44-2	2.400	3.646	525	1000	12.10	0.00	0.00
44-3	2.400	3.363	484	1010	11.38	0.00	6.36
44-4	2.400	3.771	543	1000	12.51	0.00	0.00
45-1	2.400	3.811	549	890	10.02	0.00	0.00
45-2	2.400	3.275	472	960	10.02	0.00	0.00
45-3	2.400	3.307	476	950	9.90	0.00	0.00
45-4	2.400	3.487	502	940	10.22	0.00	0.00
1-1 ~ 40-4 (有節ラミナ)							
n	160	160	160	160	160	160	160
平均	2.391	3.348	484	967	10.44	15.27	35.99
最大	2.400	4.718	680	1170	15.93	45.25	75.43
最小	1.988	2.724	410	775	6.17	0.00	1.38
標準偏差	0.054	0.299	42	81	2.05	10.90	13.91
変動係数 %	2.26	8.94	8.68	8.41	19.6	71.4	38.7
41-1 ~ 45-4 (無節ラミナ)							
n	20	20	20	20	20	20	20
平均	2.400	3.581	516	1040	12.90	0.25	1.75
最大	2.400	3.990	575	1145	15.54	5.00	15.00
最小	2.400	3.199	461	890	9.90	0.00	0.00
標準偏差	0.230	33	68	1.84	1.12	3.78	
変動係数 %	6.42	6.42	6.58	14.2	447	216	
1-1 ~ 45-4 (全体)							
n	180	180	180	180	180	180	180
平均	2.392	3.374	488	975	10.71	13.60	32.18
最大	2.400	4.718	680	1170	15.93	45.25	75.43
最小	1.988	2.724	410	775	6.17	0.00	0.00
標準偏差	0.051	0.301	42	83	2.16	11.32	17.03
変動係数 %	2.14	8.92	8.67	8.51	20.2	83.2	52.9

付表-2 4枚積層集成材の諸データ

(表中のMOE, MORの(a)(b) : 測定時の集成材上面を示す。その他は, 2.3~2.4に記載)

集成材 No.	破壊試験時 積層(上面)	a面の幅 m	b面の幅 m	長さ m	重量 kg	密度 kg/m ³	縦振動 数 Hz	Efr kN/mm ²	最大集中節径比(%)				MOE(a) kN/mm ²	MOE(b) kN/mm ²	Pmax kN	MOR(a) N/mm ²	MOR(b) N/mm ²
									a面	b面	c面	d面					
1	水平(a)	0.10504	0.10715	2.001	11.870	527	1335	15.04	0.0	14.0	19.0	14.0	14.44	14.19	51.40	80.6	
2	垂直(b)	0.10531	0.10719	2.001	12.291	544	1260	13.84	36.2	22.5	26.6	15.9	12.91	13.34	44.50	70.8	
3	水平(a)	0.10518	0.10717	1.999	12.280	545	1245	13.50	23.8	23.4	32.4	18.7	12.36	13.33	33.15	51.9	
4	垂直(b)	0.10506	0.10681	2.001	11.364	506	1285	13.38	0.0	32.8	31.4	13.1	12.43	12.65	42.76	68.6	
5	水平(a)	0.10508	0.10678	2.001	11.410	508	1275	13.23	31.4	24.3	41.9	48.7	12.04	11.95	41.20	65.0	
6	垂直(b)	0.10503	0.10700	2.000	11.240	500	1320	13.94	62.8	6.6	0.0	27.2	11.82	12.15	37.81	60.5	
7	水平(a)	0.10503	0.10637	2.000	10.772	482	1275	12.54	23.8	5.6	41.9	7.5	11.37	12.09	30.28	48.2	
8	垂直(b)	0.10515	0.10723	2.001	11.469	508	1235	12.42	45.7	22.5	26.6	39.3	11.28	12.01	26.94	42.9	
9	水平(a)	0.10506	0.10727	2.001	10.786	478	1265	12.26	52.3	36.5	22.8	36.5	11.11	11.59	27.41	42.9	
10	垂直(b)	0.10515	0.10739	2.001	10.895	482	1230	11.68	43.8	11.2	9.5	35.6	10.84	11.03	30.31	48.2	
11	水平(a)	0.10571	0.10648	2.000	12.248	544	1175	12.02	0.0	45.9	29.5	25.3	10.93	11.28	22.55	35.6	
12	垂直(b)	0.10504	0.10707	2.001	11.479	510	1205	11.86	23.8	30.9	39.0	34.6	11.54	11.26	40.16	64.3	
13	水平(a)	0.10519	0.10726	2.001	11.098	492	1220	11.72	5.7	24.3	13.3	24.3	10.84	11.34	30.83	48.1	
14	垂直(b)	0.10548	0.10703	2.001	10.725	475	1220	11.32	32.4	28.1	32.4	30.9	10.95	10.72	27.42	43.5	
15	水平(a)	0.10507	0.10682	2.000	10.817	482	1215	11.38	14.3	26.2	53.3	40.3	10.69	10.93	25.50	40.2	
16	垂直(b)	0.10502	0.10718	2.001	10.473	465	1225	11.18	31.4	20.6	40.9	35.6	9.79	10.64	23.53	37.6	
17	水平(a)	0.10505	0.10684	2.001	10.627	473	1195	10.82	52.3	64.6	33.3	45.9	9.72	10.22	18.87	29.7	
18	垂直(b)	0.10509	0.10676	2.001	10.343	461	1215	10.89	20.9	29.0	0.0	40.3	10.17	10.42	26.96	43.2	
19	水平(a)	0.10501	0.10624	2.000	11.384	510	1145	10.70	36.2	24.3	33.3	25.3	9.84	10.23	26.94	43.0	
20	垂直(b)	0.10503	0.10637	2.001	10.750	481	1165	10.45	53.3	34.6	20.0	33.7	9.92	9.87	28.43	45.8	
21	水平(a)	0.10506	0.10726	2.000	10.729	476	1165	10.34	46.6	43.1	20.9	21.5	9.07	9.59	22.19	34.7	
22	垂直(b)	0.10505	0.10704	2.001	10.823	481	1155	10.28	43.8	38.4	57.1	27.2	9.21	9.87	22.91	36.7	
23	水平(a)	0.10506	0.10679	2.001	10.305	459	1175	10.15	40.0	15.9	17.1	6.6	9.30	9.76	34.53	54.5	
24	垂直(b)	0.10505	0.10690	2.001	10.552	470	1145	9.86	17.1	34.6	41.9	23.4	9.03	9.42	22.11	35.4	
25	水平(a)	0.10521	0.10724	2.001	10.655	472	1160	10.17	41.9	37.5	4.8	32.8	9.64	9.40	29.21	45.6	
26	垂直(b)	0.10505	0.10650	2.001	10.321	461	1130	9.43	40.9	30.0	69.5	12.2	8.46	8.94	23.85	38.4	
27	水平(a)	0.10534	0.10738	2.001	10.247	453	1145	9.51	44.7	19.7	25.7	21.5	8.63	8.92	30.61	47.6	
28	垂直(b)	0.10533	0.10701	2.001	11.433	507	1095	9.73	49.5	35.6	57.1	30.9	8.24	8.98	22.20	35.3	
29	水平(a)	0.10520	0.10708	2.001	10.326	458	1120	9.20	24.7	21.5	40.0	30.0	8.26	9.15	20.63	32.3	
30	垂直(b)	0.10505	0.10677	1.975	10.698	483	1095	9.03	10.5	24.3	41.9	36.5	8.09	8.62	18.67	29.9	
31	水平(a)	0.10543	0.10678	2.001	10.234	454	1105	8.88	19.0	25.3	28.5	30.9	8.27	8.62	24.96	39.2	
32	垂直(b)	0.10504	0.10626	1.997	10.486	470	1105	9.16	37.1	20.6	32.4	30.0	8.40	8.70	26.76	43.1	
33	水平(a)	0.10518	0.10553	2.001	9.955	448	1115	8.92	27.6	38.4	40.0	30.9	8.02	8.50	15.55	25.1	
34	垂直(b)	0.10507	0.10632	2.001	10.912	488	1035	8.38	37.1	24.3	42.8	21.5	7.80	8.13	21.05	33.9	
35	水平(a)	0.10508	0.10657	2.001	10.191	455	1050	8.03	33.3	24.3	31.4	17.8	7.34	7.62	24.97	39.5	
36	垂直(b)	0.10510	0.10643	2.001	10.157	454	1085	8.56	40.0	30.9	18.1	24.3	8.39	8.14	20.79	33.4	
37	水平(a)	0.10510	0.10602	2.001	10.060	451	1065	8.20	43.8	34.6	44.7	48.7	7.32	7.66	18.63	29.8	
38	垂直(b)	0.10501	0.10607	2.001	10.059	451	1030	7.67	24.7	28.1	21.9	15.0	7.38	7.39	20.78	33.6	
39	水平(a)	0.10503	0.10533	2.000	9.378	424	1085	7.98	48.5	59.0	72.3	34.6	7.02	7.14	14.85	24.1	
40	垂直(b)	0.10507	0.10615	2.000	9.847	441	1010	7.21	46.6	38.4	47.6	48.7	6.53	6.86	18.26	29.4	
41	水平(a)	0.10503	0.10724	2.000	12.288	545	1345	15.79	0.0	0.0	0.0	0.0	14.41	14.55	68.16	106.7	
42	垂直(b)	0.10502	0.10712	2.000	11.112	494	1320	13.77	0.0	0.0	0.0	0.0	12.80	12.74	55.76	89.2	
43	水平(a)	0.10509	0.10682	2.001	11.281	502	1260	12.77	0.0	0.0	0.0	0.0	11.99	12.24	55.02	86.7	
44	垂直(b)	0.10502	0.10686	2.000	11.717	522	1190	11.83	0.0	0.0	0.0	0.0	11.47	11.04	51.25	82.2	
45	水平(a)	0.10504	0.10688	2.001	11.024	491	1125	9.95	0.0	0.0	0.0	0.0	9.27	9.63	39.95	62.9	

1~40 (有節集成材)

n	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	20	20
平均	0.10513	0.10675	2.000	10.792	481	1169	10.62	32.7	28.8	32.6	28.4	9.74	10.07	27.26	42.9	43.7	
最大	0.10571	0.10739	2.001	12.291	545	1335	15.04	62.8	64.6	72.3	48.7	14.44	14.19	51.40	80.6	70.8	
最小	0.10501	0.10533	1.975	9.378	424	1010	7.21	0.0	5.6	0.0	6.6	6.53	6.86	14.85	24.1	29.4	
標準偏差	0.00015	0.00049	0.004	0.674	29	82	1.94	15.8	11.9	16.6	11.0	1.83	1.82	8.23	13.5	12.6	
変動係数 %	0.1	0.5	0.2	6.2	6.0	7.0	18.3	48.4	41.3	50.9	38.7	18.8	18.1	30.2	31.6	28.9	

41~45 (無節集成材)

n	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	2
平均	0.10504	0.10698	2.000	11.484	511	1248	12.82	0.0	0.0	0.0	0.0	11.99	12.04	54.03	85.4	85.7
最大	0.10509	0.10724	2.001	12.288	545	1345	15.79	0.0	0.0	0.0	0.0	14.41	14.55	68.16	106.7	89.2
最小	0.10502	0.10682	2.000	11.024	491	1125	9.95	0.0	0.0	0.0	0.0	9.27	9.63	39.95	62.9	82.2
標準偏差	0.00003	0.00019	0.001	0.522	23	91	2.18	0.00	0.00	0.00	0.00	1.88	1.84	10.12	21.9	5.0
変動係数 %	0.0	0.2	0.0	4.5	4.5	7.3	17.0					15.7	15.3	18.7	25.6	5.8

1~45 (全体)

n	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	23	22
平均	0.10512	0.10677	2.000	10.869	484	1178	10.87	29.1	25.6	28.9	25.3	9.99	10.29	30.24	48.4	47.5
最大	0.10571	0.10739	2.001	12.291	545	1345	15.79	62.8	64.6	72.3	48.7	14.44	14.55	68.16	106.7	89.2
最小	0.10501	0.10533	1.975	9.378	424	1010	7.21	0.0	0.0	0.0	0.0	6.53	6.86	14.85	24.1	29.4
標準偏差	0.00014	0.00047	0.004	0.690	30	86	2.06	18.2	14.5	18.7	13.7	1.95	1.91	11.91	20.4	17.3
変動係数 %	0.1	0.4	0.2	6.3	6.1	7.3	19.0	62.5	56.5	64.6	54.4	19.6	18.6	39.4	42.2	36.3