

〈資料〉

スギ接着重ね梁の曲げ強度試験

中田欣作・柳川靖夫・宮崎祐子・小野広治・久保 健

奈良県産スギ材の構造用製材品への用途拡大を目的として、上北山村産のスギ材から得られた正角材を使用した接着重ね梁の曲げ試験を行って、以下の結果を得た。

接着重ね梁は、高周波・蒸気複合乾燥したスギ正角材を2層重ねに接着したもの、およびこれに厚さ30mmのスギ材ラミナ1枚を接着し3層としたものを作製した。接着重ね梁の曲げ強さは、針葉樹の構造用製材の日本農林規格におけるスギ材の甲種構造用製材1級の基準曲げ強度をすべての試験体で上回っていた。しかし、それらは機械等級区分製材の基準曲げ強度を試験体18体のうち2つの試験体で下回った。2層接着重ね梁と3層接着重ね梁との比較では、曲げヤング係数は同等であったが、曲げ強さは後者のほうが高くなった。荷重とたわみの関係では、荷重が比例限度を越えると破壊に至る場合が多く認められた。

1. はじめに

一般住宅用における構造用の製材品には、主にベイマツやベイツガ等の外材が使用されており、スギ材はこれらに比べて価格が高く、かつ、強度的に劣るとされているため、あまり用いられていない。しかし、四国地方や九州地方では比較的安価にスギ材が供給できるため、スギ製材品が使用されている。

一方、「住宅の品質確保の促進等に関する法律（品確法）」が制定された後は、集成材が寸法精度や強度性能を保証できる材料として一般住宅にも使用されるようになってきている。

スギ製材品を梁材として用いるためには、大径の丸太が必要な平角材よりも中径の丸太から得られる正角材を用いた方が価格面で有利であると考えられる。これまでに、正角材を2層重ねあるいは3層重ねに接着して梁材を作製する試みが生材製材品を用いて行われている¹⁾。また、高温乾燥されたカラマツ正角材を用いた接着重ね梁の強度性能が検討されている²⁾。近年における接着重ね梁の研究の多くは、心持ち製材品に背割りを施さずに人工乾燥を行う技術が開発されたことによる^{3, 4)}。

本研究では、奈良県の上北山村産のスギ材から得られた正角材を高周波・蒸気複合乾燥した後2層重ねに接着して梁材を作製し、曲げ試験を行ってその強度性能を検討した。

なお、本試験は奈良県木材協同組合連合会の依頼を受けて行ったものである。

2. 材料と方法

2.1 供試材料

供試材料には上北山村産のスギ丸太から得られた幅12cm×厚さ12cm×長さ400cmの心持ち材の正角材50本を用いた。正角材は、生材状態で後述の曲げ剛性試験を行い、高周波・蒸気複合乾燥を行った後に再度曲げ剛性試験を行った。乾燥後の寸法は、幅11.6cm×厚さ11.6cm×長さ400cmとなった。図1に乾燥後の正角材を示す。

高周波・蒸気複合乾燥の条件は、乾球温度95℃での蒸煮処理15時間、乾球温度120℃、乾湿球温度差30℃で18時間の高温低湿処理の後、乾球温度85℃、乾湿球温度差5℃で144時間の高周波加熱を併用した蒸気乾燥を行った。



図1 乾燥後のスギ正角材

2.2 スギ接着重ね梁の作製

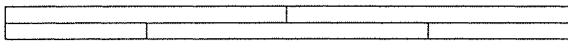
スギ接着重ね梁は図2に示すように、正角材を2層重ねて接着したもの（以下、2層接着重ね梁と略す。）お

よびこれに厚さ30mm、L90のスギ材通しラミナを1枚接着したもの（以下、3層接着重ね梁と略す。）を作製した。また、長さの中央部で縦継ぎした正角材と縦継ぎしない正角材を接着したもの（以下、Aの略号で示す。）、長さの中央部で縦継ぎした正角材と2箇所で縦継ぎした正角材を接着したもの（以下、Bの略号で示す。）、および縦継ぎしない正角材を接着したもの（以下、Cの略号で示す。）

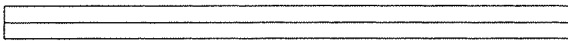
2層接着重ね梁A



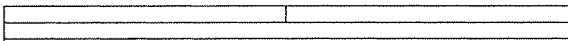
2層接着重ね梁B



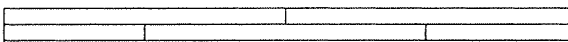
2層接着重ね梁C



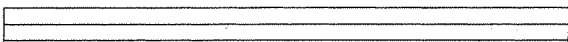
3層接着重ね梁A



3層接着重ね梁B

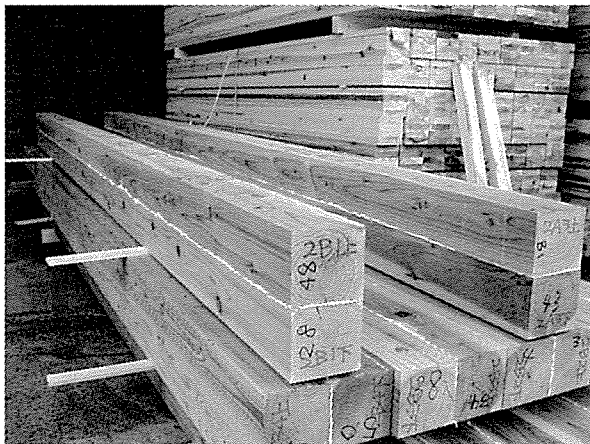


3層接着重ね梁C



図中の縦線は縦継ぎ位置を示す

積層接着後の2層接着重ね梁



積層接着後の3層接着重ね梁



図2 接着重ね梁の種類

す。）を作製した。

縦継ぎは、飯田工業(株)製フィンガーカッターでカットした正角材の両木口に大鹿振興(株)製、水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤TP-111を塗布し、圧縮圧4MPaで行った。積層接着は、正角材およびラミナに縦継ぎと同一の水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤を塗布量250g/m²で片面塗布し、回転プレスを用いて圧縮圧1MPa、圧縮時間60分/30℃で行った。モルダーでの仕上げ寸法は、2層接着重ね梁および3層接着重ね梁ではそれぞれ幅10.5cm×厚さ21.0cmおよび24.0cm×長さ400cmとした。

同様の丸太から作製したスギ材通しラミナを用いて製造したE85-F255等級およびE95-F270等級のスギ異等級対称構成中断面構造用集成材を同様に作製した。積層数は7および8プライとし、寸法は幅10.5cm×厚さ21.0cmおよび24.0cm×長さ400cmとした（以下、集成材21cmおよび集成材24cmと略す。）。

試験体数は1条件あたり3体とした。

2.3 曲げ試験

(株)東京衡機製造所製実大木材試験機を用いて、図3の要領で曲げ試験を行った。荷重条件は、正角材ではス

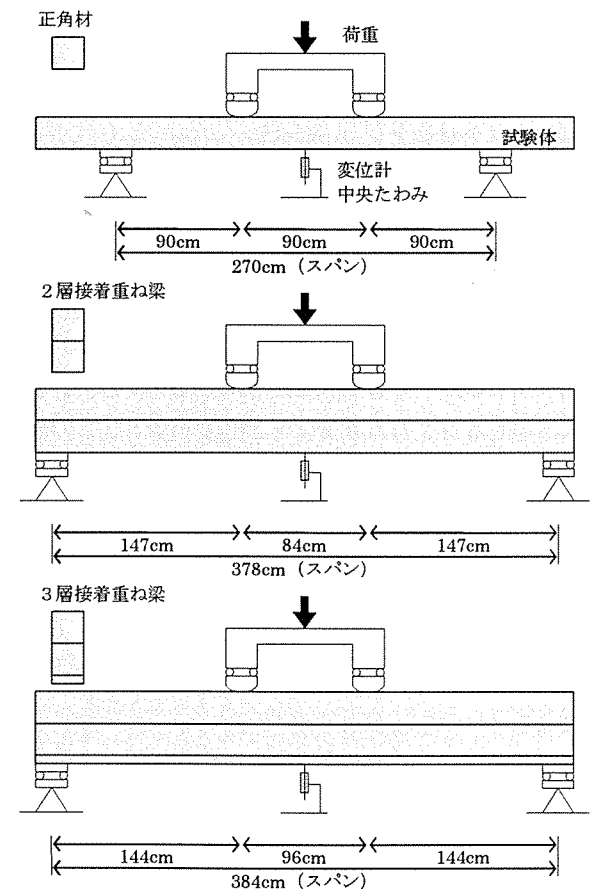


図3 曲げ試験の条件

パン270cmの3等分点4点荷重、接着重ね梁ではスパン378cmおよび384cmの4点荷重とした。油圧配管上に設置した(株)東京測器研究所製、ひずみゲージ式圧力計PW-300により荷重を、(株)東京測器研究所製、ひずみゲージ式ワイヤー変位計DP-500CS (DP-500Cの分解能を2倍にしたもの。)によりスパン中央部のたわみ量を、1秒間隔で測定した。正角材ではスギ甲種構造用製材1級の長期許容応力度の9.9N/mm²に相当する荷重まで加力する曲げ剛性試験を行い、接着重ね梁では試験体が破壊するまで加力を行う曲げ破壊試験を行った。

曲げ破壊試験後に、荷重点付近から厚さ2~3cmの試験片を2枚採取し、全乾法により含水率を測定した。密度は試験体全体の重量および体積より求めた。

なお、動的ヤング係数を調べるために、曲げ剛性試験の前に、供試材料の一端をプラスチックハンマーで打撃し、FFTアナライザーでその打撃音を周波数分析して固有振動周波数を測定した。

また、飯田工業(株)製グレーディングマシーン

MGFE-251型を用いて、幅13cm×厚さ3.3cm×長さ400cmのラミナの曲げヤング係数を求めた。荷重条件は、スパン120cmの中央集中荷重であった。

3. 結果と考察

3.1 正角材の曲げヤング係数

表1に正角材の曲げヤング係数および動的ヤング係数を示す。乾燥後の正角材の曲げおよび動的ヤング係数は生材時のそれらよりそれぞれ19.6%および17.7%高くなった。乾燥後の正角材の含水率は10%であり、繊維飽和点である含水率28%から見ると含水率低下は18%である。したがって、今回の試験では正角材全体の含水率が1%低下すると曲げヤング係数が1%高くなった。曲げヤング係数と動的ヤング係数を比較すると、生材時および乾燥後では前者のほうがそれぞれ4.6%および6.0%高かった。

図4に生材時と乾燥後における曲げヤング係数により

表1 正角材の曲げヤング係数および動的ヤング係数

	密度		含水率		曲げヤング係数		動的ヤング係数	
	生材時 (g/cm ³)	乾燥後 (g/cm ³)	生材時 (%)	乾燥後 (%)	生材時 (kN/mm ²)	乾燥後 (kN/mm ²)	生材時 (kN/mm ²)	乾燥後 (kN/mm ²)
平均値	0.58	0.39	64.3	10.3	6.76	8.07	6.46	7.61
標準偏差	0.09	0.03	16.7	1.9	1.21	1.44	1.20	1.44
変動係数(%)	14.6	7.1	26.1	18.8	18.0	17.8	18.6	18.9
最大値	0.81	0.46	111.3	19.5	10.30	12.75	10.62	12.40
最小値	0.43	0.32	35.8	8.5	4.11	5.06	4.49	4.87
範囲	0.38	0.14	75.5	11.0	6.18	7.68	6.13	7.54

試験体数は50体

表2 接着重ね梁の曲げ強度性能

種類	縦継ぎ ^{a)}	機械等級	本数	厚さ (cm)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	曲げヤング 係数 (kN/mm ²)	比例限度 (N/mm ²)	曲げ強さ (N/mm ²)	最大 節径比 (%)	集中節径比 (%)
2層接着重ね梁	A		3	21.0	0.42	10.7	8.49	27.2	36.3	22.2	14.6
2層接着重ね梁	B		3	21.0	0.39	10.7	7.84	29.7	40.3	14.6	0.0
2層接着重ね梁	C		3	21.0	0.40	11.0	7.72	33.3	38.7	16.5	6.0
集成材21cm		E85-F255	3	21.0	0.37	12.8	9.21	32.4	52.2	0.0	0.0
集成材21cm		E95-F270	3	21.0	0.39	13.0	10.76	37.3	55.5	0.0	0.0
3層接着重ね梁	A		3	24.0	0.40	11.0	7.69	38.3	49.1	11.4	10.8
3層接着重ね梁	B		3	24.0	0.40	11.0	7.50	33.6	37.0	17.5	27.3
3層接着重ね梁	C		3	24.0	0.40	10.7	7.36	37.2	47.0	14.9	0.0
集成材24cm		E85-F255	3	24.0	0.38	12.7	9.27	33.7	49.8	0.0	0.0
集成材24cm		E95-F270	3	24.0	0.39	12.8	10.33	38.3	56.6	0.0	0.0

a) 図2参照。A：縦継ぎ材1本、B：縦継ぎ材2本、C：縦継ぎなし

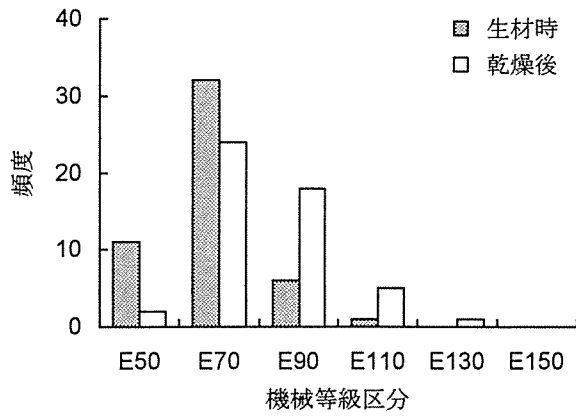


図4 機械等級区分した正角材50体の出現頻度

機械等級区分した正角材の出現頻度を示す。正角材の生材時における機械等級区分の範囲はE50～E110等級であったが、乾燥材のそれはE50～E130等級となった。また、全体の70%の正角材の等級が1ランクアップした。このように、乾燥により多くの製材品の機械等級区分が向上するといえる。

3.2 接着重ね梁の曲げ強度性能

表2に接着重ね梁の曲げ強度性能を示す。2層接着重ね梁の曲げヤング係数および曲げ強さは、それぞれ7.72

～8.49kN/mm²および36.3～40.3N/mm²であり、縦継ぎの種類や有無による違いが認められない。これらより、本試験で行った圧縮側の中央部での縦継ぎおよび引張り側の中央部を避けた縦継ぎは強度性能の低下を生じさせないと言える。

3層接着重ね梁の曲げヤング係数および曲げ強さは、それぞれ7.36～7.69kN/mm²および37.0～49.1N/mm²であり、2層接着重ね梁と比較すると、曲げヤング係数は同等であったが曲げ強さは高くなった。これは、3層接着重ね梁では曲げ試験の引張り側に通しラミナを接着しているが、ラミナの曲げ強さが接着重ね梁全体の曲げ強さを決定しており、その曲げ強さは正角材のそれよりも高かったためと考えられる。曲げヤング係数については、正角材の厚さに比べてラミナの厚さが薄いために、性能の向上は期待できないと言える。なお、3層接着重ね梁Bの曲げ強さは他の種類のそれらよりもやや低くなったが、これは節径比が大きかったためと考えられる。

集成材と3層接着重ね梁を比較すると、3層接着重ね梁、E85-F255等級の集成材、E95-F270等級の集成材の順に曲げヤング係数および曲げ強さが高くなった。最外層のラミナの等級は、それぞれL90、L100、L110であり、これは、ラミナの強度性能の違いによるものと言える。

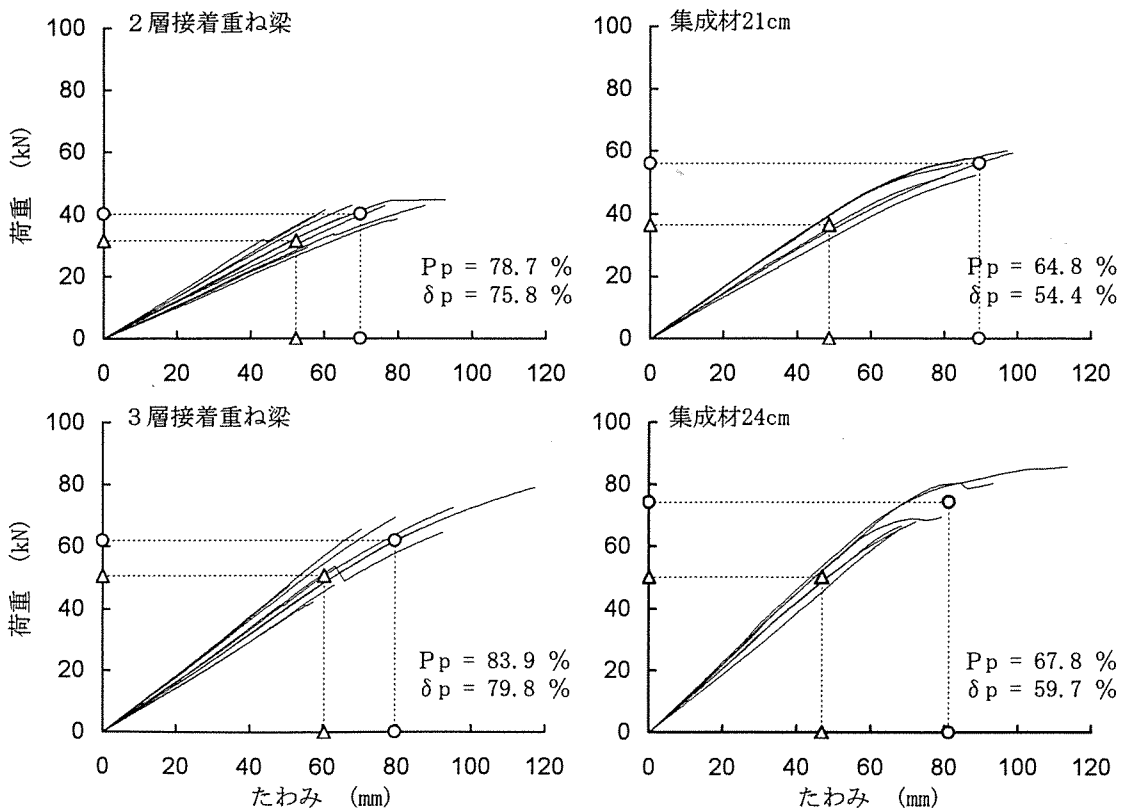


図5 曲げ破壊試験での荷重－たわみ曲線

○：最大荷重の平均値、△：比例限度の平均値、Pp：荷重での比例限度比率、δp：たわみでの比例限度比率

なお、接着重ね梁の全試験体の曲げヤング係数と曲げ強さの平均値は、それぞれ2層では8.02kN/mm²と38.4N/mm²、3層では7.52kN/mm²と44.4N/mm²となった。

図5に曲げ破壊試験での荷重-たわみ曲線を示す。接着重ね梁では、荷重およびたわみでの比例限度比率は約80%であり、荷重が比例限度を越えると破壊に至る場合が多く認められた。集成材では、荷重での比例限度比率は約2/3、たわみでの比例限度比率は約1/2である。一般的な製材品においては、これらの比率は、それぞれ60~70%および50~60%であり⁵⁾、接着重ね梁のそれらは一般的な値より高く、やや脆性的な破壊を示すと言える。この原因のひとつには、試験体の含水率が通常の気乾材よりも低いことがあげられる。集成材では、含水率の影響は認められない。

図6に接着重ね梁の曲げ強さとヤング係数との関係を示す。接着重ね梁の曲げ強さは、針葉樹の構造用製材の日本農林規格に対応した基準強度と比較すると、スギ材の甲種構造用製材1級の基準曲げ強度をすべての試験体で上回っていた。しかし、それらは機械等級区分製材の基準曲げ強度を試験体18体のうち2つの試験体で下回った。

表3に接着重ね梁とそれを構成する正角材およびラミナの曲げヤング係数を示す。ここでは、個々の部材のヤング係数の比による等価断面を考えて中立軸を決定し、個々の部材の剛性の重ね合わせにより接着重ね梁全体のヤング係数を推定した。また、個々の部材では曲げ試験の条件が異なるために、測定された曲げヤング係数にお

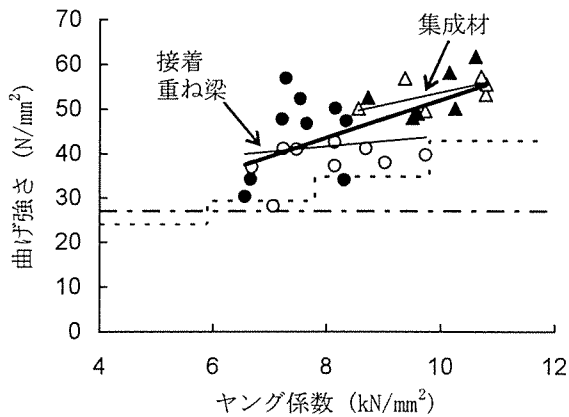


図6 曲げ強さとヤング係数との関係

○：2層接着重ね梁、●：3層接着重ね梁、△：集成材21cm、▲：集成材24cm、太い直線はすべての試験体の回帰直線、細い直線は接着重ね梁および集成材の回帰直線、破線は機械等級区分製材の基準曲げ強度、一点鎖線は甲種構造材1級の基準曲げ強度

けるせん断影響の程度が異なる。そこで、以下に示す補正式によりせん断影響を含まない純粹の曲げヤング係数を求めた。

$$E = E_M(1 + \phi)$$

接着重ね梁および集成材の4点曲げ試験

$$\phi = 2.4 \times \frac{E}{G} \times \frac{h^2}{3L^2 - 4a^2} \quad 6)$$

ラミナの中央集中曲げ試験

$$\phi = \frac{6}{5} \times \frac{E}{G} \times \frac{h^2}{L^2} \quad 7)$$

$$\frac{E}{G} = 16 \text{ と仮定した}$$

E：純粹の曲げヤング係数

E_M：曲げヤング係数の測定値

L、a：曲げ試験におけるスパンおよび支点と荷重点の距離(cm)

h：梁せい(cm)

G：せん断弾性係数

接着重ね梁のヤング係数の実験値と計算値との比の平均値は0.92となり、ほぼすべての試験体で実験値の方が小さくなった。これは、接着重ね梁では、元の正角材の断面がモルダー加工により小さくなっており、正角材は心持ちであるため丸太の外周部に当たる最もヤング係数の高い部分が削りとられたためと考えられる。

4. 結論

奈良県産スギ材の構造用製材品への用途拡大を目的として、上北山村産のスギ材から得られた正角材を使用した接着重ね梁の曲げ試験を行い、以下のような結論を得た。

① 上北山村産のスギ材から得られた正角材の乾燥後の曲げヤング係数は8.07kN/mm²であり、生材時と比較すると19.6%増加した。乾燥後の正角材の機械等級区分の範囲はE50~E130であり、乾燥に伴って70%の正角材の等級が1ランクアップした。

② 2層接着重ね梁の曲げヤング係数および曲げ強さは、それぞれ8.02kN/mm²および38.4N/mm²であった。これに厚さ30mmのラミナを接着し3層とすることにより、それぞれ7.52kN/mm²および44.4N/mm²となり、曲げヤング係数は同等であったが曲げ強さは増加した。

③ 接着重ね梁の曲げ強さは、針葉樹の構造用製材の日本農林規格に対応した基準強度と比較すると、スギ材の甲種構造用製材1級の基準曲げ強度をすべての試験体で上回っていた。しかし、それらは機械等級区分製材の基準曲げ強度を試験体18体のうち2つの試験体で下回った。

表3 接着重ね梁のヤング係数の予測

種類	縦継ぎ ^{a)}	曲げヤング係数(kN/mm ²)								計算値	比
		接着重ね梁		上側の正角材		下側の正角材		ラミナ			
		E_M	E	E_M	E	E_M	E	E_M	E		
		(X)								(Y)	(X/Y)
2層接着重ね梁	A	7.06	7.41	7.81	8.03	7.84	8.06			8.04	0.92
		8.69	9.12	8.74	8.98	8.88	9.13			9.05	1.01
		9.73	10.21	9.78	10.05	10.46	10.75			10.39	0.98
2層接着重ね梁	B	7.23	7.59	7.80	8.02	7.86	8.08			8.05	0.94
		8.14	8.54	8.25	8.48	8.34	8.57			8.52	1.00
		8.14	8.54	9.28	9.54	10.20	10.48			9.99	0.85
2層接着重ね梁	C	6.68	7.01	7.31	7.51	7.96	8.18			7.84	0.89
		7.47	7.84	8.29	8.52	8.86	9.11			8.81	0.89
		9.02	9.47	9.10	9.35	10.49	10.78			10.03	0.94
3層接着重ね梁	A	7.21	7.65	7.48	7.69	7.46	7.67	9.37	9.51	8.19	0.93
		7.53	7.99	8.14	8.37	8.44	8.67	9.47	9.61	8.78	0.91
		8.34	8.85	9.28	9.54	10.10	10.38	9.14	9.27	9.64	0.92
3層接着重ね梁	B	6.56	6.96	7.31	7.51	7.33	7.53	9.06	9.19	7.99	0.87
		7.64	8.11	8.14	8.37	8.06	8.28	9.28	9.41	8.65	0.94
		8.31	8.82	8.94	9.19	9.05	9.30	9.10	9.23	9.22	0.96
3層接着重ね梁	C	6.66	7.07	7.26	7.46	7.56	7.77	9.46	9.60	8.12	0.87
		7.28	7.73	7.97	8.19	8.47	8.70	9.46	9.60	8.69	0.89
		8.15	8.65	8.88	9.13	10.23	10.51	9.53	9.67	9.56	0.91
平均値		7.77	8.20	8.33	8.55	8.74	9.00	9.32	9.45	8.86	0.92

a) 図2参照。A：縦継ぎ材1本、B：縦継ぎ材2本、C：縦継ぎなし、
 E_M ：曲げヤング係数の測定値、 E ：純粋の曲げヤング係数

④ 接着重ね梁では、荷重が比例限度を越えると破壊に至る場合が多く認められた。また、接着重ね梁における荷重およびたわみの比例限度比率は、一般的な製材品の値より高かった。

引用文献

1) 平嶋義彦、鴛海四郎、井上明生、小野 泰、小松幸平：正角材を用いた接着重ね梁の曲げ性能。木材工業。43, 62-67 (1988)

2) 吉田孝久、伊東嘉文、橋爪丈夫：接着重ね梁（ツインビーム）の開発：カラマツ接着重ね梁の製造と曲げ強度性能。長野県林森セ研報。18, 111-123 (2004)

3) 寺西康浩、小野広治、岡崎 且、山本泰司、上田 守：高周波加熱併用乾燥法の実用化試験（第3報）：スギ柱材を乾燥する際の適正な高周波特性と効率的な高周波印加時期の検討。奈良県森技セ研報。30, 47-52 (2000)

4) 吉田孝久、橋爪丈夫、中嶋 康、武田孝志：カラマツ心持ち正角材の強度特性に及ぼす高温乾燥の影響（I）：曲げ強度特性。木材工業。54, 122-125 (1999)

5) 中田欣作、小野広治、寺西康浩、大前善則：高周波・蒸気複合乾燥を施したスギ製材品の強度性能。奈良県森技セ木材加工資料。31, 7-14 (2002)

6) 日本住宅・木材技術センター：構造用木材の強度試験法。東京。日本住宅・木材技術センター、2000.

7) 澤田 稔：木材の変形挙動。材料。359, 838-847 (1983)

(2004年12月28日受理)