

集成材の適正接着条件の検討 (第2報)*

—縦つぎ材の製造条件—

柳川 靖夫

スギおよびヒノキの縦つぎ材の製造条件として、接着剤の種類、接着剤塗布方法と塗布量、および接着時雰囲気温度について検討した。スギでは、接着剤にフェノール・レゾルシノール樹脂接着剤および水性高分子ーイソシアネート系木材接着剤を使用し、ヒノキでは、水性高分子ーイソシアネート系木材接着剤を使用した。引張試験および曲げ試験を行った結果、スギの縦つぎ接着においては、接着時の雰囲気温度が10°Cであっても接着剤を両面塗布とすることにより15°Cおよび20°C接着時と同等の曲げ強度および引張強度を示した。片面塗布と両面塗布との比較では、曲げヤング係数と曲げ強度および曲げヤング係数と引張強度との相関において差が見られた。1次回帰式の決定係数は各雰囲気温度でいずれも両面塗布の方が大きく、両面塗布では安定した接着強度が得られていることが示唆された。一方、ヒノキでは、雰囲気温度および接着剤塗布量が縦つぎ材の強度に及ぼす影響は明確ではなく、曲げヤング係数と曲げ強度および曲げヤング係数と引張強度との相関はスギより低かった。この理由として、スギの強度はヒノキより相対的に低いため、スギ縦つぎ材では木材強度が破壊強度に関与する割合が高かったのに対し、ヒノキ縦つぎ材では接着強度が破壊強度に関与する割合が高かったためと推測された。

1. はじめに

集成材の曲げ強度に影響を及ぼす因子として縦つぎは重要であり、集成材において主たる縦つぎであるフィンガージョイントについては種々の研究が行われてきた¹⁻⁴⁾。それらでは、フィンガー形状や圧入圧等の影響が検討されている。一方、集成材の製造現場を鑑みると、縦つぎ材の強度に影響を及ぼすその他の因子として冬期低温時の接着および接着剤塗布量等が挙げられる。冬期低温時の接着では、接着時の雰囲気温度によっては接着不良による接着強度の低下が危惧される。また、接着剤は木口面に塗布されることから接着剤は木材中に浸透し易いと考えられ、塗布量が少ないと接着強度が低下することが危惧される。そこで本研究では、スギおよびヒノキについて縦つぎ接着時の雰囲気温度および接着剤塗布量(接着剤の塗布方法)を変化させて縦つぎ材を作製し、曲げ試験および

引張試験により縦つぎ材の強度を調べ、縦つぎ材の適正な製造条件について検討を加えた。

2. 材料と方法

2.1 試験体

2.1.1 縦つぎ材の作製

気乾のスギ40枚を幅110mm、厚さ25mm、長さ3000mmに調整し、縦振動法によりヤング係数を測定した。板材を長さ610mmに鋸断し、それぞれ12枚を1組とした12組に区分した。その際、各組のヤング係数の分布がほぼ等しくなるように配慮した。また、気乾のヒノキ20枚をスギと同寸法に調整し、ヤング係数を測定して長さ610mmに鋸断した後、12枚を1組とした6組に区分した。スギと同様に、各組のヤング係数の分布がほぼ等しくなるように配慮した。各板材は長さ方向の中央で鋸断し、フィ

表1 縦つぎ材の製造条件

樹種	スギ, ヒノキ
フィンガー形状	刃長: 10.7mm, 先端厚さ: 0.6mm, 底部の幅: 0.4mm, ピッチ: 4.0mm
接着剤	PRF, API
接着剤塗布方法	片面塗布, 両面塗布
縦つぎ時雰囲気温度	10°C, 15°C, 20°C
圧入圧	スギ: 3.5MPa, ヒノキ: 7.0MPa

注: PRF: フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤, API: 水性高分子ーイソシアネート系木材接着剤。

*本研究の一部は第68回日本木材学会年次大会(京都2018)において発表した。

ンガー加工に供した。

縦つぎ材の作製条件は、表1に示すとおりである。フィンガーの形状は、刃長10.7mm、チップ厚さ0.6mm、底部の幅0.4mmであり、ピッチは4.0mmであった。接着剤には、フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤（アイカ工業（株）製PR10/PRH10、以下PRF接着剤とする）および水性高分子－イソシアネート系木材接着剤

（株）オーシカ製PI5340/H-50、以下API接着剤とする）を使用した。両接着剤とも、主剤100部に対し硬化剤15部を添加して接着直前に調製した。なお、両接着剤は調製後10分以内で使用するように配慮した。接着剤塗布は刷毛により行い、片面塗布ではフィンガー加工材の一方の木口面に1.75g塗布し、両面塗布では両木口面にそれぞれ1.5gずつ塗布した。フィンガージョイントのピッチは4.0mmであり、材の幅は110mmであったことから縦つぎ材のフィンガー刃数は27となる。接着面はフィンガー側面のみとして接着面積を計算し、接着剤塗布量を平米あたりに換算すると、片面塗布では118g/m²、両面塗布では202g/m²となる。接着剤を塗布した後はフィンガー加工材を直ちに嵌合し、圧入圧を加えた。圧入圧は、スギ縦つぎ材では3.5MPaとしヒノキ縦つぎ材では7.0MPaとした。縦つぎ時の雰囲気温度は10℃、15℃、および20℃とし、縦つぎ接着後、10℃および15℃は6時間雰囲気温度中に静置した後室内（5～15℃）で養生した。20℃接着は20℃雰囲気中で養生した。

2.1.2 試験体の作製

縦つぎ材を1ヶ月以上養生した後、1枚の縦つぎ材よ

り幅方向に隣接して曲げ試験体および引張試験体を各1体ずつ採取した。曲げ試験体の形状を図1(a)に示す。曲げ試験体は幅70mm、厚さ20mm、長さ600mmとした。引張試験体はJIS Z2101に準拠して作製し、形状は図1(b)に示すとおりである。曲げ試験体および引張試験体とも、長さ方向の中央に縦つぎが位置するように作製した。試験体数は、各条件とも12体ずつとした。

2.1.3 曲げ試験および引張試験

曲げ試験体は20℃65%RH雰囲気中に1ヶ月以上静置した後、インストロン材料試験機を使用し、図2に示すとおりスパン480mm、荷重点間距離160mmの3等分4点荷重により曲げ試験を行った。なお、縦つぎがスパン中央に位置するように配慮した。スパン中央部のたわみは、レーザー式変位計（株）キーエンス製LB-60）で連続して測定した。曲げヤング係数（以下MOEとする）、曲げ比例限度応力、および曲げ強度（以下MORとする）を算出し、試験終了後に試験片を採取して含水率を測定した。

引張試験体は20℃65%RH雰囲気中に1ヶ月以上静置した後、アムスラー型材料試験機を使用して引張試験を行い、破壊荷重より引張強度を算出した。

3. 結果と考察

3.1 曲げ試験の結果

表2に、スギ縦つぎ材およびヒノキ縦つぎ材の曲げ試験の結果を示す。目切れや節が破壊原因となった試験体は除外した。片面塗布と両面塗布との間で1元配置の分散分析（以下分散分析とする）を行い、有意差が認めら

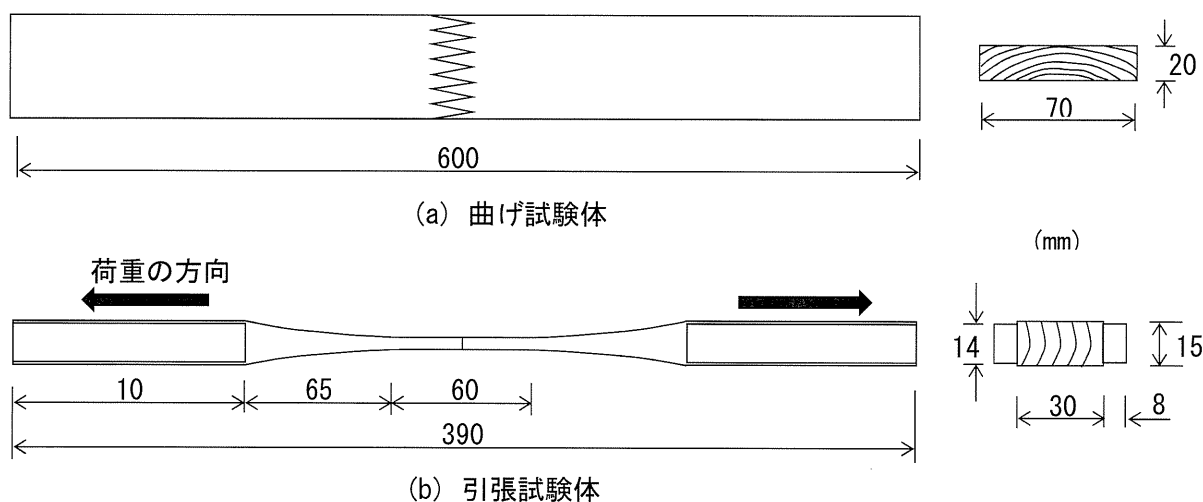


図1 試験体の形状

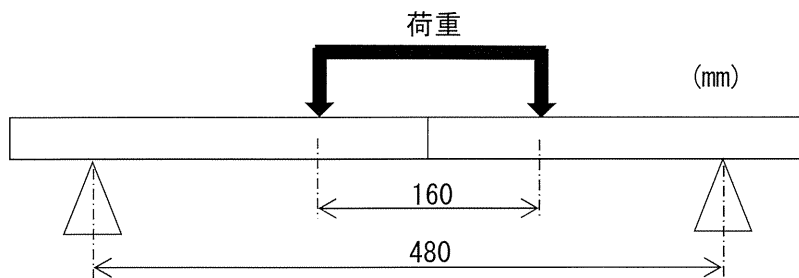


図2 縦つぎ材の曲げ試験

れた比較には下線を付記した。試験体の含水率は、いずれも約12%であった。

3.1.1 スギ縦つぎ材

片面塗布と両面塗布との間で MOR 平均値を比較すると、API 接着剤を使用し 15°C 雰囲気中で作製した試験体（以下 API・15°C 等と記する）のみ片面塗布の方が大きく、他の条件ではすべて両面塗布の方が大きかった。分散分析の結果、PRF・20°C のみで 5% 以下の水準で有意差が認められた。

図3には、各雰囲気温度での MOE と MOR との関係を、接着剤別および接着剤塗布方法別に示す。PRF 接着剤を使用した片面塗布（以下 PRF・片面等と記する）では、10°C および 20°C の 1 次回帰直線（以下回帰直線とする）は近接しているものの、15°C の傾きは小さい。これに対し PRF・両面では、各雰囲気温度の回帰直線は近接している。1 次回帰式の決定係数（以下決定係数とする）を比較すると、PRF・片面は 0.0952~0.8380 であるのに対し PRF・両面は 0.7782~0.9020 であり、両面塗布は相対的に片面塗布よりも大きかった。API 接着剤でも同様の結果が得られた。API・片面と API・両面の回帰直線を比較すると API・両面は各雰囲気温度で近接している。また、決定係数を比較すると API・片面が 0.3869~0.5586 であるのに対し、API・両面は 0.8142~0.8798 であり、相対的に API・両面の方が大きかった。以上のおり、片面塗布と両面塗布の間には MOE-MOR 相関で差が認められた。MOR の標準偏差および変動係数については、PRF 接着剤および API 接着剤とも片面塗布と両面塗布との間で明確な差は見られないことから、決定係数の差は MOR のばらつきに起因するとは考え難い。一般に木材の MOE-MOR 相関図における回帰直線の決定係数は高い。したがって、両面塗布の決定係数が片面塗布より高いことは、両面塗布では各雰囲気温度で片面塗布よりも高い接着強度が得られており、

そのため木材で破壊が発生する確率が片面塗布よりも高いことを示唆している。

3.1.2 ヒノキ縦つぎ材

表2に示すとおり、MOR 平均値を比較するとすべての雰囲気温度で片面塗布は両面塗布よりも大きかった。分散分析の結果、いずれの雰囲気温度でも片面塗布と両面塗布との間に有意差は認められなかった。

図4には、MOE-MOR 相関図を示す。ヒノキ縦つぎ材では、片面塗布および両面塗布とも各雰囲気温度の回帰直線はスギ縦つぎ材ほど近接していない。決定係数は、片面塗布が 0.2381~0.6419 であり両面塗布は 0.2632~0.4672 と、いずれもスギ縦つぎ材よりも小さい値であった。この結果より、ヒノキ縦つぎ材の MOR は、接着剤塗布方法や雰囲気温度の影響を受けることが小さいと考えられる。

3.2 引張試験の結果

表3に、引張試験の結果を示す。目切れや節が破壊原因となった試験体は除外した。片面塗布と両面塗布との間で分散分析を行い、有意差が認められた比較に下線を付記した。

3.2.1 スギ縦つぎ材

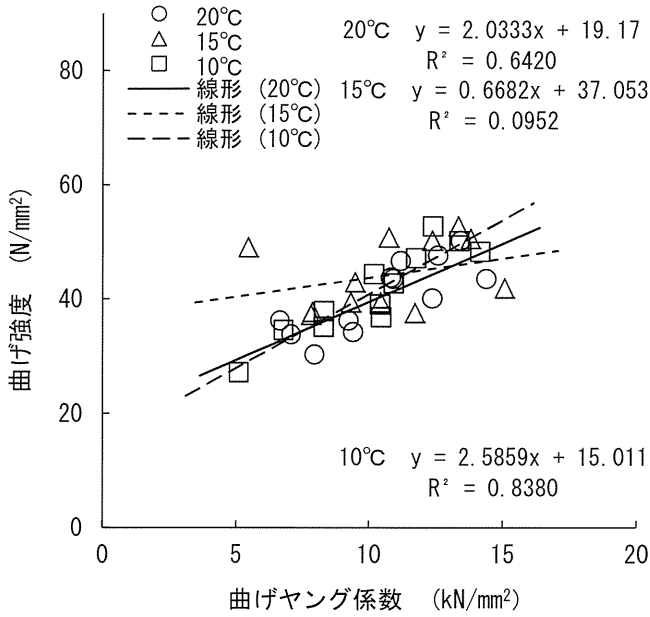
引張強度の平均値を比較すると、API・15°C を除き両面塗布は片面塗布よりも大きく、API・10°C では 1% 以下の水準で、PRF・15°C では 5% 以下の水準で有意差が認められた。

図5には、MOE-引張強度相関図を示す。ここで MOE は、試験体作製前の板材の値である。片面塗布と両面塗布とを比較すると、まず、両接着剤とも両面塗布の回帰直線の傾きは片面塗布よりも大きいことが挙げられる。これは、両面塗布では高い引張強度の試験体が出現したためである。次に、両面塗布の回帰式は接着剤および雰囲気温度にかかわらず近接しているのに対し、片面塗布では両接着剤とも 15°C の傾きは 10°C および 20°C とは顕著に

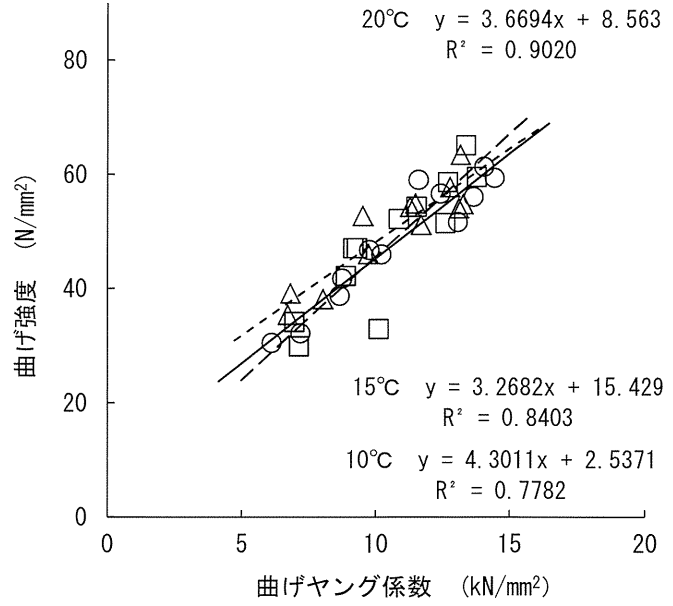
表2 縦つぎ材の曲げ試験の結果

接着条件	樹種		スギ				ヒノキ	
	接着剤		API		PRF		API	
	接着剤塗布方法		片面	両面	片面	両面	片面	両面
接着時雰囲気温度			10℃					
試験体数			12	12	12	12	11	11
密度	Av.	(g/cm ³)	0.43	0.42	0.42	0.42	0.54	0.55
	S.D.		0.08	0.05	0.06	0.06	0.04	0.04
曲げヤング係数	Max.		15.0	14.6	14.2	13.8	14.7	14.9
	Av.	(kN/mm ²)	10.9	10.7	10.2	10.5	12.3	12.5
	Min.		7.1	7.5	5.1	7.0	8.5	10.2
	S.D.		2.6	2.4	2.7	2.3	2.0	1.5
	C.V.	(%)	24	22	26	22	16	12
曲げ比例限度応力	Av.	(N/mm ²)	32.0	34.9	34.2	33.6	48.0	44.3
曲げ強度	Max.		61.8	71.3	52.7	65.1	73.6	76.3
	Av.	(N/mm ²)	44.3	51.4	41.3	47.9	64.4	64.0
	Min.		24.9	37.3	27.2	29.8	54.8	57.1
	S.D.		11.7	11.3	7.5	11.3	7.3	5.9
	C.V.	(%)	26	22	18	24	11	9
接着時雰囲気温度			15℃					
試験体数			12	12	12	12	11	11
密度	Av.	(g/cm ³)	0.41	0.43	0.43	0.42	0.52	0.51
	S.D.		0.06	0.06	0.05	0.07	0.04	0.04
曲げヤング係数	Max.		14.0	14.3	15.1	13.3	15.2	17.1
	Av.	(kN/mm ²)	10.8	10.2	10.6	10.6	12.5	12.8
	Min.		6.8	5.4	5.5	6.7	10.1	9.3
	S.D.		2.6	2.9	2.8	2.4	1.6	2.1
	C.V.	(%)	24	28	26	23	13	17
曲げ比例限度応力	Av.	(N/mm ²)	35.3	31.8	32.9	32.0	44.8	37.4
曲げ強度	Max.		68.3	54.7	52.8	63.4	69.9	74.4
	Av.	(N/mm ²)	51.1	44.5	44.1	50.2	63.5	59.5
	Min.		31.5	29.3	37.2	35.4	53.6	48.4
	S.D.		13.2	9.2	6.1	8.6	5.5	7.8
	C.V.	(%)	26	21	14	17	9	13
接着時雰囲気温度			20℃					
試験体数			12	12	12	12	11	11
密度	Av.	(g/cm ³)	0.42	0.43	0.42	0.42	0.51	0.51
	S.D.		0.05	0.06	0.06	0.07	0.04	0.04
曲げヤング係数	Max.		14.9	13.6	14.4	14.5	16.2	16.6
	Av.	(kN/mm ²)	10.2	10.8	10.5	10.8	13.0	13.0
	Min.		5.6	7.0	6.6	6.1	8.0	10.9
	S.D.		2.7	2.3	2.5	2.8	2.3	1.9
	C.V.	(%)	27	21	24	26	18	15
曲げ比例限度応力	Av.	(N/mm ²)	29.6	29.0	29.5	28.0	39.9	36.9
曲げ強度	Max.		64.6	63.0	50.2	61.3	70.7	69.1
	Av.	(N/mm ²)	48.5	50.5	40.5	48.3	59.0	55.9
	Min.		32.4	33.8	30.3	30.4	45.8	45.9
	S.D.		9.2	9.8	6.3	10.7	8.8	6.2
	C.V.	(%)	19	19	16	22	15	11

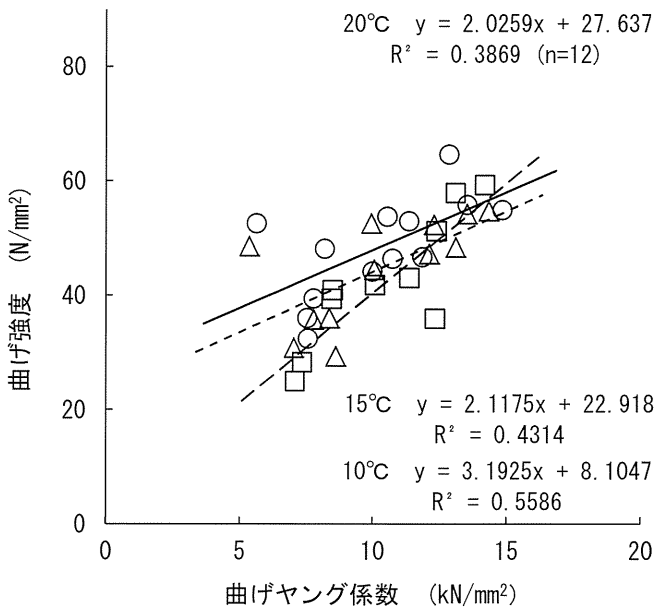
注：API、PRF：接着剤、表1を参照。Max：最大値、Av.：平均値、Min.：最小値、S.D.：標準偏差、C.V.：変動係数。_：1元配置の分散分析の結果5%以下の水準で有意差が認められた比較。
 _：同1%以下の水準で有意差が認められた比較。



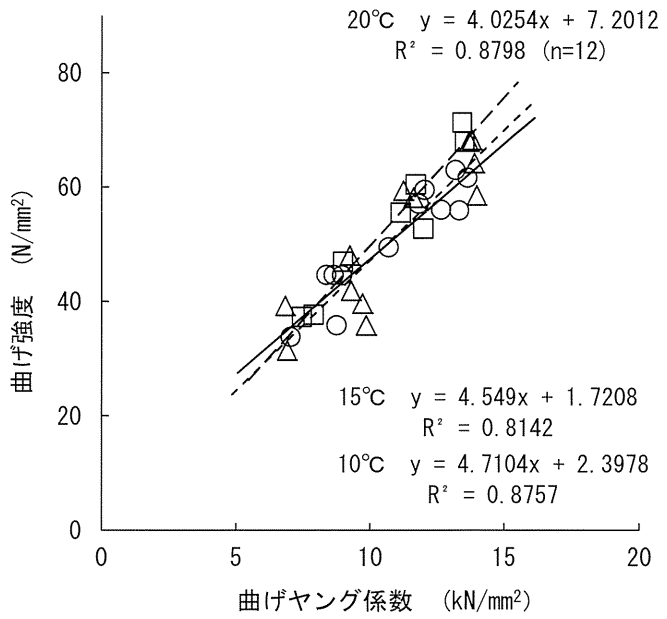
(a) PRF・片面塗布



(b) PRF・両面塗布



(c) API・片面塗布



(d) API・両面塗布

図3 スギ縦つぎ材の曲げヤング係数と曲げ強度との関係
注：n=12。PRF、API：接着剤、表1を参照。片面塗布、
両面塗布：接着剤塗布方法。10~20°C：接着時の雰囲気温度。

異なっている。更に、決定係数を比較すると全般的には両面塗布の方が高いと見なせる。この結果は曲げ試験と類似しており、引張試験の結果からも、両面塗布では片面塗布よりも安定した接着強度が得られていることが推測される。

3.2.2 ヒノキ縦つぎ材

表3に示すとおり、片面塗布と両面塗布とで引張強度平均値を比較すると、10℃のみ5%以下の水準で有意差が認められ、両面塗布は片面塗布よりも大きかった。一方、15℃および20℃では有意差は認められなかったものの、片面塗布の方が両面塗布よりも引張強度平均値は大きかった。この理由として、材質のばらつきが考えられる。

図6には、MOE-引張強度相関図を示す。MOEは試験体作製前の板材の値である。両接着剤とも、いずれの雰囲気温度においてもMOEと引張強度との相関は低かった。

以上の結果は曲げ試験の結果とも概ね一致しており、接着剤の塗布方法および接着時の雰囲気温度がヒノキ縦つぎ材の引張強度に及ぼす影響は小さいと考えられる。

3.3 曲げ強度と引張強度との関係

図7(a)に示すとおり、PRF・片面でのMORと引張強度との相関は低く、決定係数は0.0027~0.4228であっ

た。図7(b)に示すPRF・両面では、決定係数は各雰囲気温度において片面塗布よりも高く、20℃は0.8493であった。API・片面(図7(c))とAPI・両面(図7(d))とを比較しても同様であり、両面塗布の決定係数は各雰囲気温度において片面塗布よりも大きかった。

PRF接着剤とAPI接着剤とで決定係数を比較すると、片面塗布および両面塗布とも、各雰囲気温度において概ねAPI接着剤の方がPRF接着剤よりも大きかった。これは、スギ縦つぎ材においては、API接着剤の方がPRF接着剤よりも安定した接着強度が得られたことを示唆している。この理由として、接着剤浸透の影響が考えられる。すなわち、接着剤粘度はPRF接着剤よりもAPI接着剤の方が高いため、木口切削面に塗布された接着剤の浸透量はAPI接着剤の方がPRF接着剤よりも少なかったものと推測される。したがって、接着層に残留した接着剤成分はAPI接着剤の方がより多かったと考えられ、API接着剤の方が相対的に安定した接着強度を示したものと推測される。

ヒノキ縦つぎ材のMORと引張強度との相関を図8に示す。片面塗布(図8(a))および両面塗布(図8(b))とも、MORと引張強度との相関は低く、スギ縦つぎ材とは異なる結果が得られた。3.1.2および3.2.2で記したとおり、ヒノキ縦つぎ材でのMOE-MORおよびMOE-引張強

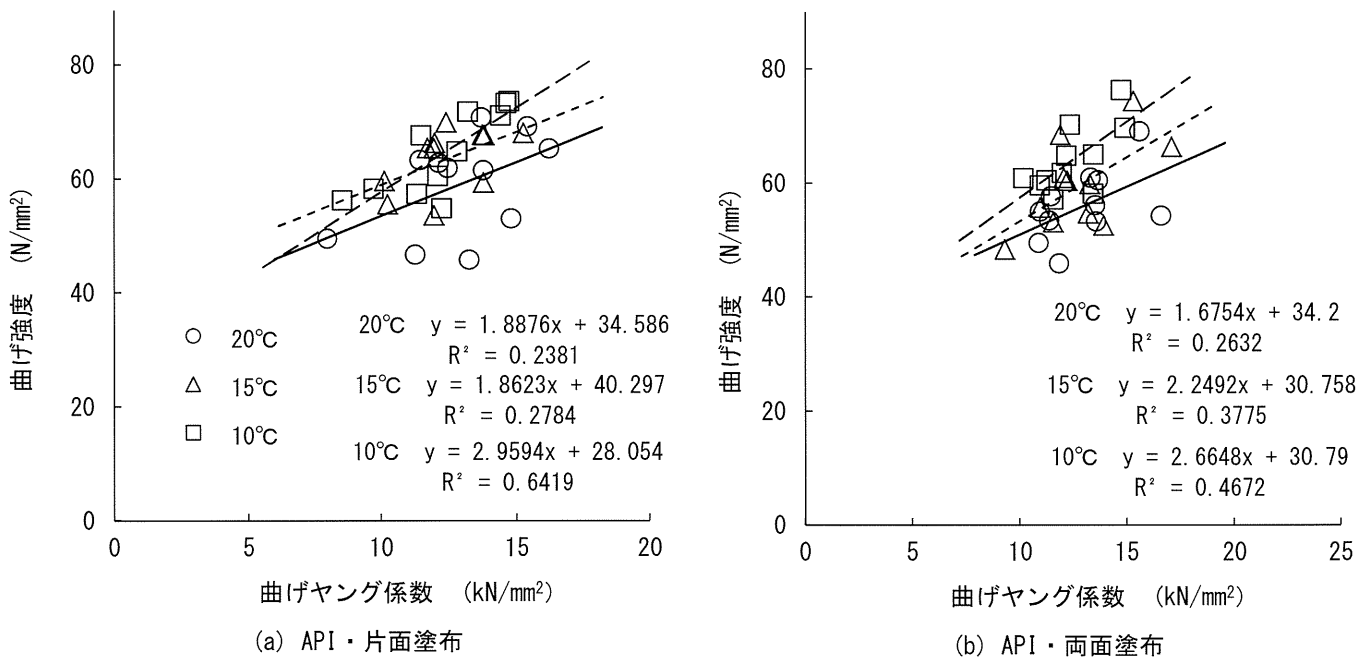


図4 ヒノキ縦つぎ材の曲げヤング係数と曲げ強度との関係

注：n=11。他は図3を参照。

表3 縦つぎ材の引張強度

樹種	スギ				ヒノキ	
	API		PRF		API	
接着剤	片面	両面	片面	両面	片面	両面
接着剤塗布方法	片面	両面	片面	両面	片面	両面
接着時雰囲気温度	10°C					
試験体数	12	12	9	10	11	11
Max.	51.4	77.3	54.6	75.0	70.6	90.8
Av. (N/mm ²)	<u>36.8</u>	<u>53.0</u>	41.1	43.9	<u>58.1</u>	<u>68.8</u>
Min.	21.9	32.3	23.8	30.3	49.8	46.8
S. D.	10.9	12.9	10.0	14.2	6.6	12.4
C. V. (%)	30	24	24	32	11	18
接着時雰囲気温度	15°C					
試験体数	12	12	12	12	10	11
Max.	76.7	51.4	51.8	71.4	74.7	69.1
Av. (N/mm ²)	52.4	43.3	<u>36.8</u>	<u>47.0</u>	59.0	55.4
Min.	30.5	33.5	20.4	30.2	44.3	43.5
S. D.	17.2	6.6	7.9	12.9	10.8	8.4
C. V. (%)	33	15	21	28	18	15
接着時雰囲気温度	20°C					
試験体数	12	12	12	11	11	11
Max.	72.7	81.1	56.6	69.3	81.7	77.6
Av. (N/mm ²)	46.2	52.1	41.0	49.0	63.6	57.4
Min.	23.4	28.2	28.6	26.8	48.3	39.8
S. D.	14.0	17.2	8.6	12.9	9.2	11.6
C. V. (%)	30	33	21	26	14	20

注：_：1元配置の分散分析の結果5%以下の水準で有意差が認められた比較。__：同1%以下の水準で有意差が認められた比較。他は表2を参照。

度の相関は低く、特にMOE-引張強度の相関は顕著に低かった。この理由として、ヒノキ材はスギ材よりも強度が高いため、破壊が接着層で発生する割合がスギ縦つぎ材よりも高かったことが考えられる。縦つぎ材の強度は、木材強度および接着強度により決まる。ヒノキ縦つぎ材では、接着強度が関与する割合がスギ縦つぎ材よりも高かったものと推測される。そのため、ヒノキ縦つぎ材のMOE-MOR およびMOE-引張強度の相関はスギ縦つぎ材よりも低く、これに伴いMOR-引張強度の相関も低くなったものと推測される。

4. 結論

縦つぎ材の適正な製造条件を検討するため、スギ縦つぎ材およびヒノキ縦つぎ材を、接着剤、接着剤塗布量（接着剤塗布方法）および接着時雰囲気温度を変化させて作製し、曲げ試験および引張試験を行った。スギ縦つぎ材は、接着剤を両面に塗布して作製することにより、接着時の雰囲気温度が低い場合であっても、曲げ強度および引張強度とも雰囲気温度が高い試験体と同等の値を示し

た。したがって、低温時にスギ縦つぎ材を製造する際には、接着剤塗布量を増加させることが望ましいと考えられた。また、フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤と水性高分子-イソシアネート系木材接着剤との差を、曲げヤング係数と曲げ強度との相関図を作成して比較した。1次回帰式の決定係数について片面塗布と両面塗布との間で比較したところ、フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤における片面塗布と両面塗布との間の差は、水性高分子-イソシアネート系木材接着剤よりも大きかった。この原因として、接着剤浸透の差が考えられた。ヒノキ縦つぎ材では、接着剤塗布方法および雰囲気温度が縦つぎ材の強度に及ぼす影響はスギ縦つぎ材ほど顕著ではなかった。また、曲げヤング係数と強度との相関はスギ縦つぎ材よりも低かった。一因として、ヒノキ材はスギ材より相対的に強度が高いため、接着強度が縦つぎ材の強度に及ぼす影響がスギ縦つぎ材よりも大きかったことが考えられる。

引用文献

- 1) 星通, 森稔: ミズナラの縦接ぎ接着有効率. 農林省林業試験場研報. 153, 73~93 (1963)
- 2) M. L. Selbo : Tensile strength of finger joints. Forest Prod. Jour. 13(9), 390-400(1963)
- 3) 堀江秀夫, 倉田久敬: 構造用フィンガージョイント材の強度性能 (第1報), 北林産試研報. 73, 1-33(1984)
- 4) 柳川靖夫: 大断面集成材用縦つぎ木材の製造条件. 奈良県林試研究報告. 20, 39-45(1990)

(2018年2月22日 受理)

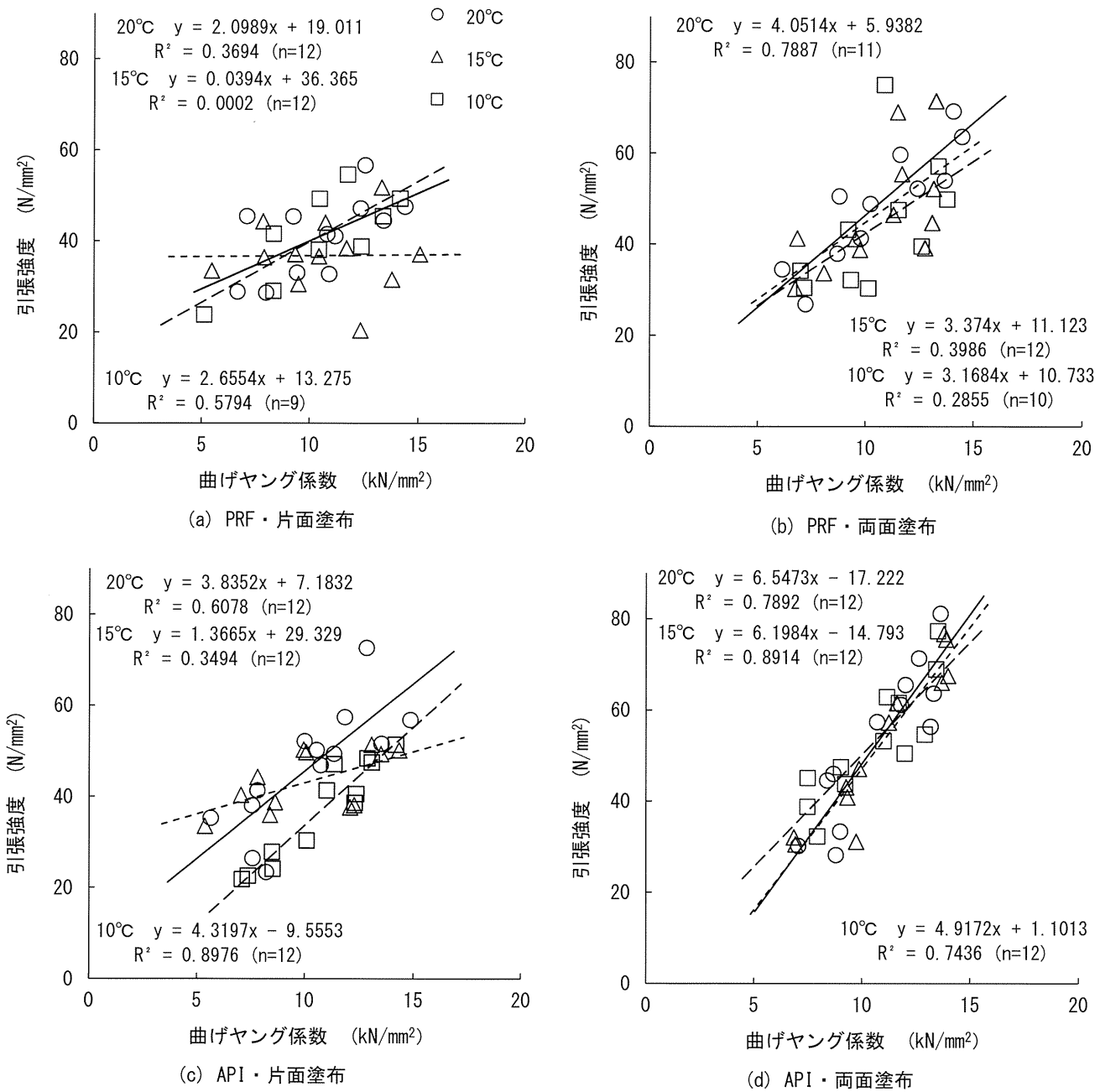


図5 スギ縦つき材の引張試験の結果
 曲げヤング係数と引張強度との関係
 注：図3を参照。

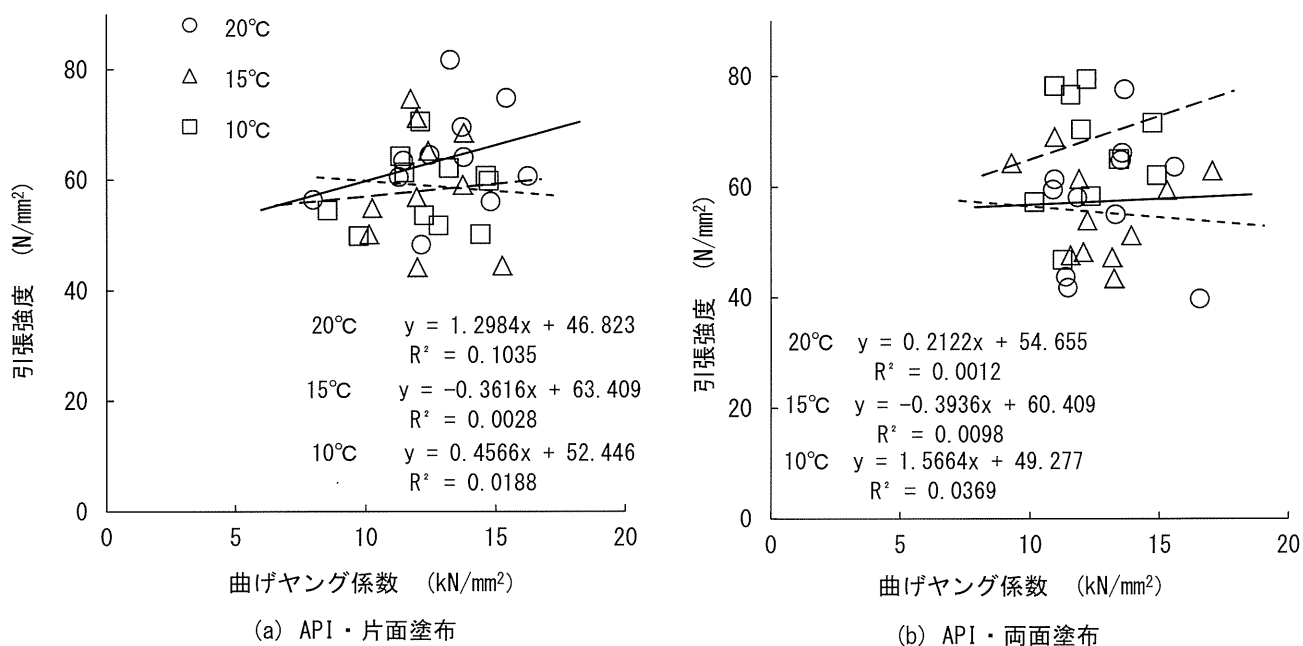
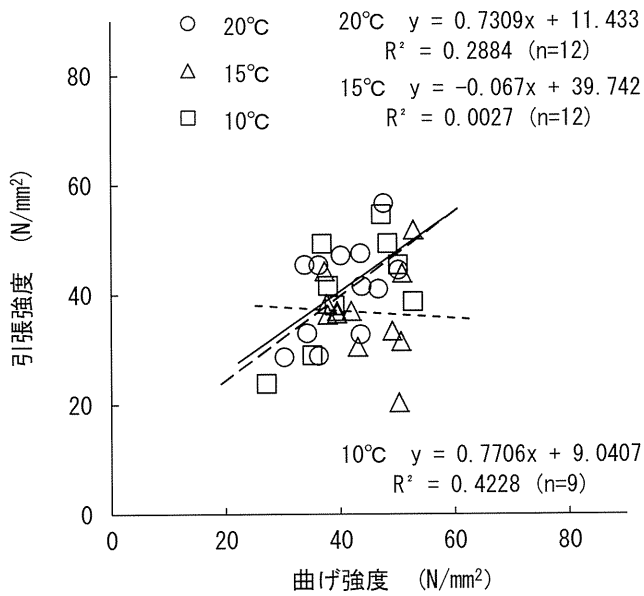
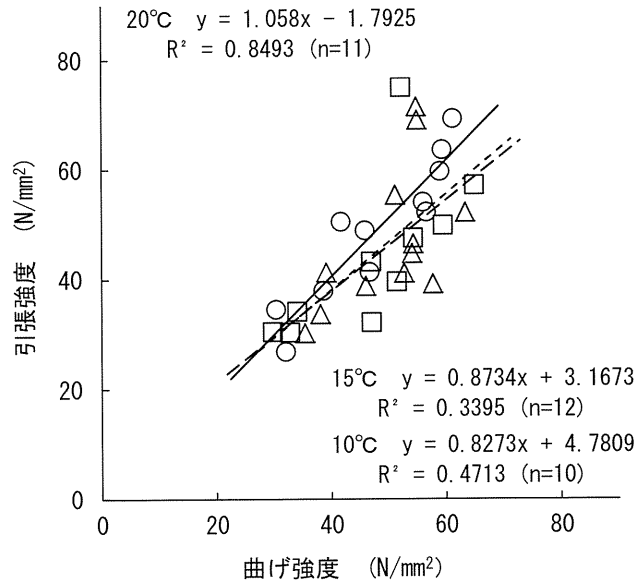


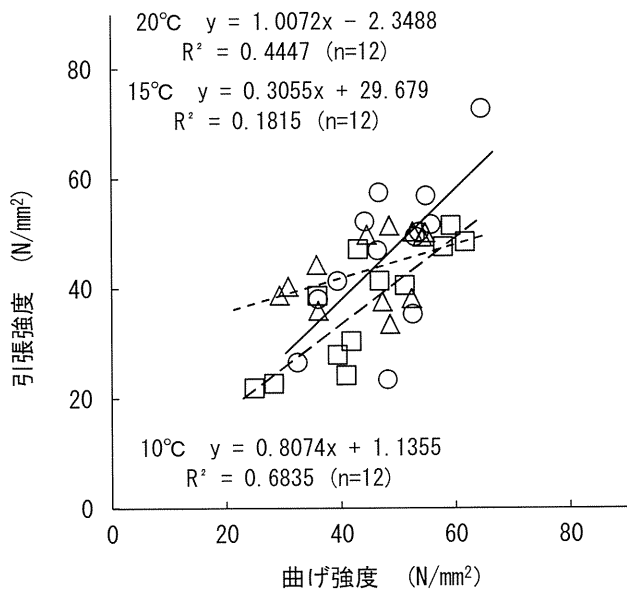
図6 ヒノキ縦つぎ材の引張試験の結果
 曲げヤング係数と引張強度との関係
 注：n=11。他は図3を参照。



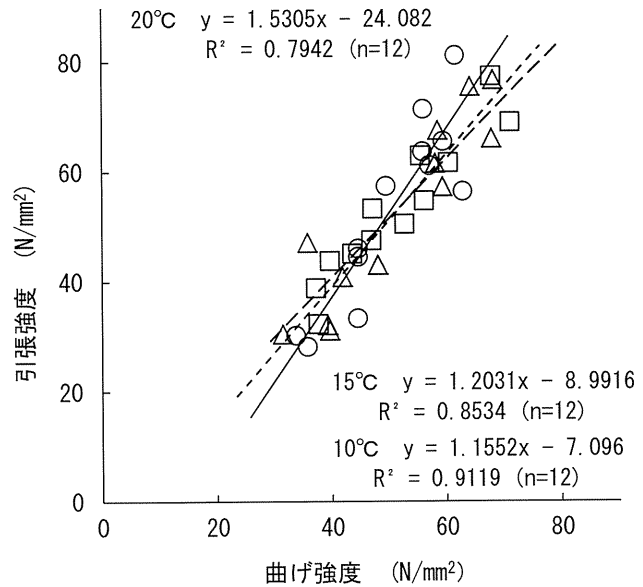
(a) PRF・片面塗布



(b) PRF・両面塗布



(c) API・片面塗布



(d) API・両面塗布

図7 スギ縦つぎ材の曲げ強度と引張強度との関係

注：図3を参照。

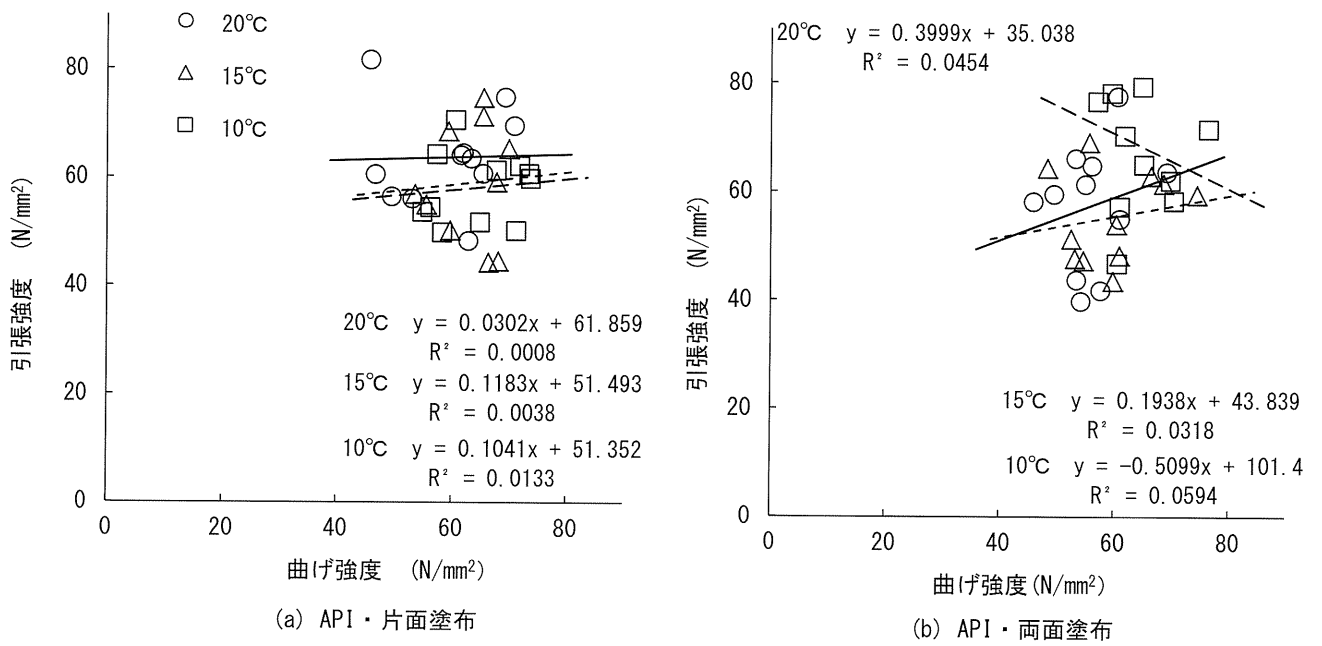


図8 ヒノキ縦つぎ材の曲げ強度と引張強度との関係

注：n=11。他は図3を参照。