5 種類の木材保存剤でラミナを処理したスギ集成材の 屋外暴露試験による接着耐久性評価 (第 1 報) 接着せん断強さと木部破断率の変化^{*1}

柳川靖夫^{*2}

Evaluation of Bond Durability by Outdoor Exposure Test of Sugi Glued-Laminated-Timber Using Laminae Treated with 5 Wood-Preservatives I. Bond shear-strength and wood-failure ratio^{*1}

Yasuo YANAGAWA^{*2}

To investigate the influence of preservatives on bond durability of glued-laminated-timber (GLT), sugi (*Cryptomeria japonica* D.Don) laminae were impregnated with five kinds of wood preservative (ACQ, NCU, CUAZ2, NZN, and AAC), and 5-ply GLTs of low and high density were fabricated using resorcinol-formaldehyde (RF) and phenol-resorcinol-formaldehyde (PRF) resin adhesives. They were subjected to 10 years of outdoor exposure testing, and after 1, 3, 5, and 10 years of exposure, block-shear tests were conducted. As the result, bond shear-strength decreased with exposure duration regardless of adhesive resin in GLT treated with ACQ, NCU, and CUAZ2, which contain copper as the main ingredient. The rate of decrease of bond shear-strength of GLTs treated with ACQ, NCU and CUAZ2 was greater when using RF than when using PRF. Comparing the bond shear-strengths of high and low density GLTs, it was recognized that decrease of bond shear-strength was greater for high density than for low density GLTs. Decrease of wood-failure ratio with exposure duration was low for all GLTs.

Keywords : outdoor-exposure-test, glued-laminated-timber, sugi, wood-preservative, bond shear-strength

木材保存剤が集成材の接着耐久性に及ぼす影響を調べるため、5種類の木材保存剤（ACQ, NCU, CUAZ2, NZN, AAC）でスギラミナを処理した後、レゾルシノール樹脂接着剤およびフェノール・レゾルシノール樹脂接着剤を使用して、高密度および低密度の5プライ集成材を作製し、10年間の屋外暴露試験に供した。暴露1, 3, 5, および10年後に試験片を採取してブロックせん断試験を行い、接着層の接着せん断強さおよび木部破断率を測定した。その結果、ACQ, NCU, およびCUAZ2で処理した集成材の接着せん断強さは、いずれの接着剤でも暴露に伴い低下し、レゾルシノール樹脂接着剤での接着せん断強さ低下率は、フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤の低下率よりも大きかった。高密度と低密度との間で接着せん断強さを比較すると、ACQ, NCU, およびCUAZ2を使用した集成材では、高密度の接着せん断強さの低下が大きくなる傾向が見られた。暴露による木部破断率の低下はいずれの集成材でも小さかった。

^{*1} Received January 10, 2018; accepted April 10, 2018. 本報の一部は第66回日本木材学会大会（2016年3月, 名古屋）において発表した。

^{*2} 奈良県森林技術センター Nara Forest Research Institute, Takatori 635-0133, Japan
Corresponding author; Y. Yanagawa (yanagawa@narinshi.pref.nara.jp)

1. 緒 言

屋外環境下で使用される集成材には、耐久性を増す措置を施すことが望ましい。その手法として、集成材あるいはラミナを木材保存剤（以下薬剤）で処理することが挙げられる。この中ラミナを薬剤で処理した集成材では、薬剤が内部にも存在することから耐久性は顕著に向上すると考えられるものの、薬剤が集成材の接着耐久性に影響を及ぼすことが懸念される^{1, 2)}。屋外環境下で使用する集成材には、レゾルシノール樹脂接着剤（以下 RF 接着剤）あるいはフェノール・レゾルシノール樹脂接着剤（以下 PRF 接着剤）が使用されている。RF 接着剤および PRF 接着剤の屋外における接着耐久性については、小西が屋外暴露試験を実施しており³⁾、両接着剤を使用した試験体のはく離率に大きな差は認められなかったことを報告している。しかし、暴露期間が6年と比較的短く、接着層のせん断強さ（以下接着せん断強さとする）の変化については検討されていない。また、RF 接着剤および PRF 接着剤に対する薬剤の影響の相違について検討した報告は見受けられない。集成材の屋外使用を鑑みた際、RF 接着剤と PRF 接着剤の接着耐久性を接着強度について検討することが望ましく、また、それぞれの接着剤に対する薬剤の影響の相違を明らかにする必要がある。

以上の観点から、著者等は5種類の薬剤でラミナを処理した後に RF 接着剤および PRF 接着剤を使用して集成材を作製し、複数の試験により接着耐久

性を調べた。まず、短期間で結果を得られる試験として、10 mm 幅および25 mm 幅のブロックせん断試験片を使用した促進劣化試験（以下ブロック促進劣化試験）を行った⁴⁾。次に、屋外暴露試験の試験期間短縮を図るため、10 mm 幅および25 mm 幅のブロックせん断試験片を使用した2年間の屋外暴露試験（以下短期暴露試験）を実施した⁵⁾。更には、実大集成材を使用して10年間の屋外暴露試験（以下長期暴露試験）を行った。本報では長期暴露試験の結果として、暴露に伴う接着せん断強さおよび木部破断率の変化、RF 接着剤と PRF 接着剤との接着耐久性の相違、および集成材密度と接着耐久性との関係について報告する。

2. 材料および方法

2.1 試料の作製

Table 1 に、作製した集成材の構成および製造条件を示す。

幅110 mm、厚さ25 mm、長さ3000 mm のスギ (*Cryptomeria Japonica* D. Don) ラミナ120枚を、低密度および高密度に2区分した。区分したそれぞれ60枚のラミナを、さらに密度分布がほぼ等しくなるよう5枚を1組とした12組に分けた。各組の平均密度は、低密度区分は0.35～0.38 g/cm³であり、高密度区分は0.42～0.44 g/cm³であった。両密度区分のそれぞれ10組を薬剤処理に供し、残りの2組は無処理（以下 Control）とした。使用した薬剤は、銅・第4級アンモニウム化合物系（以下 ACQ）、ナフテ

Table 1. Manufacture conditions of sugi glued-laminated-timbers.

Materials		
Dimensions	Width: 110mm, depth: 110mm, length: 2000mm, 5 ply	
Density ^{a)}	L: Low	0.35 ~ 0.38g/cm ³
	H: High	0.42 ~ 0.44g/cm ³
Wood preservative, impregnated weight of laminae (kg/m ³) ^{b)}	ACQ: Ammonical copper quaternary	34.3
	NCU: Emulsion type copper naphthanate	10.1
	CUAZ2: Copper azole	15.8
	NZN: Emulsion type zinc naphthanate	21.5
	AAC: Alkyl ammonium compound	20.2
Adhesives	Control: Non treated	—
	PRF: Phenol-resorcinol-formaldehyde resin	
Pressing conditions	RF: Resorcinol-formaldehyde resin	
	Spreading rate	300g/cm ² / One side
	Pressing pressure	0.7MPa
	Pressing time	PRF: 24hrs/30℃ RF: 6hrs/30℃

Note: ^{a)}: Calculated values based on laminae's density before wood-preservatives treatment. ^{b)}: Average substantial value.

ン酸銅（乳剤，以下NCU），銅・アゾール化合物系（以下CUAZ2），ナフテン酸亜鉛（乳剤，以下NZN），および第4級アンモニウム化合物系（以下AAC）であった。1薬剤あたり，低密度および高密度とも，2組10枚ずつを加圧注入処理に供した。工程は，①前減圧4 kPa・30分，②加圧注入1.28 MPa・120分，③後減圧4 kPa・30分，とした。薬剤の注入量はTable 1に示すとおりである。注入後2ヶ月間風乾した後に乾燥機で15%以下まで乾燥し，さらに1ヶ月間風乾した。これらラミナは，接着直前に厚さ22 mmに調整した。

RF接着剤には，アイカ工業（株）製のPRX-353 AWH/PRX-350Bを使用した。主剤（PRX-353 AWH）および硬化剤（PRX-350B）とも液状であり，主剤100部に対し硬化剤は30部添加した。PRF接着剤には，アイカ工業（株）製のPR-10/PRH-10Aを使用した。主剤（PR-10）におけるレゾルシノールとフェノールの比は約3：1であり，硬化剤（PRH-10A）は粉末で主剤100部に対し15部添加した。接着剤は片面に300 g/m²塗布し，コールドプレスを使用して圧縮した。圧縮圧力は0.7 MPaとし，PRF接着剤を使用した集成材は30℃雰囲気中で24時間圧縮し，RF接着剤では30℃雰囲気中で6時間圧縮した。集成材の作製条件は，接着剤2種類，薬剤6種類，および密度区分2種類の計24種類であり，それぞれ1体ずつの集成材を作製した。解圧後20℃以上の雰囲気中に1ヶ月以上静置した後，幅105 mm，厚さ110 mm，長さ2000 mmに調製した。

2.2 屋外暴露試験およびブロックせん断試験

試験地の様子をFig. 1に示す。高さ1000 mmのステンレス製の枠上に，集成材の木口面を南北に向け，接着層を水平として固定した。暴露開始前に，木材保護塗料（以下保護塗料，（株）コシイブレザ

ービング製，ステンブーフ）を集成材全面に塗布した。以後，暴露3年後および6年後に下面を除き再塗布し，木口面は毎年塗布した。暴露の開始は2004年10月29日であり，終了は2014年10月28日であった。2004～2014年の試験地の気象として，Table 2に近隣の五條市の気温および降水量を示す。暴露1，3，5，および10年後（以下，単に1年等と記す）に，Fig. 2に示すとおり南側木口面より長さ260 mmの試験体を取り，ブロックせん断試験片を12個採取した。試験片は20℃ 65% RH 雰囲気中に恒量となるまで静置した後ブロックせん断試験に供した。なお，暴露前の集成材からもブロックせん断試験片を取り，同様に試験を行った（以下0年）。試験は集成材の日本農林規格に準拠して行い，東京衡機製造所製アムスラー型材料試験機を使用し，荷

Table 2. Climate of exposure site.

Year	Temperature ^{a)} (°C)		Precipitation (mm/year)
	Min.	Max.	
2004	2.9	27.3	1363
2005	2.1	26.5	1028
2006	2.5	26.8	1370
2007	4.3	26.7	1189
2008	2.5	26.2	1304
2009	3.5	25.2	1502
2010	3.5	27.4	1550
2011	1.5	26.3	1620
2012	2.5	26.3	1452
2013	2.4	26.9	1478
2014	3.0	25.4	1106

Note: Climate of Gojo city.

Exposure started on October 29, 2004 and was finished on October 28, 2014. ^{a)}: Daily average value.

Fig. 1. Outdoor exposure test.

Fig. 2. Preparation of block-shear-test pieces.

重速度は毎分9.8 kN 以下とした。接着せん断強さ、木部破断率および含水率を測定した。

3. 結 果

3.1 全試験片の接着せん断強さ

Table 3 に PRF 接着剤の全試験片の結果を、Table 4 には RF 接着剤の全試験片の結果を示す。平均値、標準偏差、および0年の平均値に対する各暴露年数の平均値の比(以下接着せん断強さ残存率)を示した。含水率は、いずれも約12%であった。

銅は、RF 接着剤やフェノール樹脂接着剤の接着耐久性に影響を及ぼすことが報告されている^{1, 2)}。著者等が実施したブロック促進劣化試験⁴⁾ および短期暴露試験⁵⁾でも、同様の結果が得られている。長期暴露試験では、銅を含む薬剤、すなわち ACQ, NCU, および CUAZ2 で処理した集成材(以下単に ACQ 等と記し、銅系集成材と総称する)では、PRF 接着剤を使用して作製した集成材(以下 PRF 使用等とする)および RF 使用とも、暴露期間に伴い接着せん断強さ残存率は低下し、標準偏差は増加した。

一方、銅を含まない NZN, AAC, および Control (非銅系集成材と総称する)では、PRF 使用および RF 使用とも接着せん断強さの低下はわずかであり、10年における接着せん断強さ残存率は0.95~1.00であった。また、暴露に伴う標準偏差の増加は銅系集成材よりも小さかった。この結果は、ブロック促進劣化試験⁴⁾ および短期暴露試験⁵⁾とは異なる。例え

ば、短期暴露試験の PRF を使用した10 mm 幅試験片では、銅系集成材の接着せん断強さ残存率は24ヶ月暴露後で0.58~0.71であり、非銅系集成材では0.62~0.83であった⁵⁾。一方、長期暴露試験では、Table 3 に示すとおり銅系集成材の PRF 使用での接着せん断強さ残存率は0.58~0.71であり、短期暴露試験の PRF を使用した10 mm 幅試験片の結果と近似していた。しかし、長期暴露試験の非銅系集成材の PRF 使用では、接着せん断強さ残存率は0.95~0.96であり、短期暴露試験の PRF を使用した10 mm 幅試験片よりも高かった。

ブロック促進劣化試験、短期暴露試験および長期暴露試験間の結果の相違については次報で報告する。

3.2 接着剤の比較

PRF 接着剤は、フェノール含有量が全樹脂量の50%を超えないのであれば、性能低下は確認されなかったことが報告されている³⁾。本研究でも、PRF 接着剤の耐久性は RF 接着剤とほぼ同等と予想される。Table 5 に、各薬剤において PRF 使用および RF 使用の間で接着せん断強さに関して1元配置の分散分析(以下分散分析)を実施した結果を示す。

0年では、NZN および Control で有意な差が認められ、平均値を比較するといずれも PRF 使用の方が大きかった。これは、主としてラミナ木理や強度のばらつきの影響と考えられる。例えば、木理については試験片接着面における晩材と早材の比率の相違等が考えられる。このため、密度が近接していても接着せん断強さはばらつき、その結果差が生じたものと推測される。因みに、本研究の1試験体の

Table 3. Average shear-strength and residual ratio of glued-laminated-timber using Phenol-resorcinol-formaldehyde resin (PRF) adhesive.

Year ^{a)}	0	1	3	5	10
Average value (Standard deviation)					
ACQ ^{b)}	9.2(1.1)	8.6(1.4)	7.9(1.5)	8.0(1.6)	5.4(2.1)
NCU	9.4(1.1)	8.5(1.3)	8.0(1.4)	8.0(1.5)	6.3(2.2)
CUAZ2	9.6(1.1)	8.6(1.7)	7.7(1.8)	7.9(2.1)	6.8(2.2)
NZN	9.2(1.3)	9.1(1.1)	9.1(1.3)	9.4(1.2)	8.9(1.4)
AAC	9.1(1.1)	9.0(1.5)	8.8(1.2)	10.9(1.5)	8.8(1.3)
Control	9.5(0.8)	9.6(1.0)	9.2(1.1)	10.4(1.1)	8.9(1.2)
Residual ratio of average value					
ACQ	—	0.93	0.85	0.87	0.58
NCU	—	0.90	0.85	0.85	0.67
CUAZ2	—	0.90	0.81	0.83	0.71
NZN	—	0.99	0.99	1.02	0.96
AAC	—	0.98	0.97	1.20	0.96
Control	—	1.02	0.98	1.11	0.95

Note: Results of phenol-resorcinol-formaldehyde resin adhesive. ^{a)}: Exposure duration. ^{b)}: Wood preservatives, see Table 1.

Table 4. Average shear-strength and residual ratio of glued-laminated-timber using Resorcinol-formaldehyde resin (RF) adhesive.

Year ^{a)}	0	1	3	5	10
Average value (Standard deviation)					
ACQ ^{b)}	8.9(1.4)	8.0(1.1)	7.4(1.3)	6.8(1.6)	4.1(2.1)
NCU	9.2(1.0)	8.5(0.8)	7.6(1.3)	7.2(1.2)	5.0(1.8)
CUAZ2	9.4(1.0)	9.0(1.3)	7.6(1.2)	7.2(1.7)	4.9(2.6)
NZN	8.9(0.9)	8.8(0.9)	8.7(1.0)	9.1(1.0)	8.8(1.3)
AAC	9.0(1.4)	9.0(1.0)	9.2(1.5)	10.5(1.2)	8.7(1.3)
Control	8.7(1.7)	8.6(1.2)	8.5(1.1)	9.0(1.3)	8.5(1.2)
Residual ratio of average value					
ACQ	—	0.91	0.84	0.77	0.47
NCU	—	0.92	0.83	0.78	0.54
CUAZ2	—	0.96	0.81	0.76	0.52
NZN	—	1.00	0.98	1.04	1.00
AAC	—	1.00	1.02	1.17	0.97
Control	—	0.98	1.06	1.03	0.97

Note: Results of resorcinol-formaldehyde resin adhesive. ^{a, b)}: See Table 2.

Table 5. Result of analysis of variance between adhesives.

Year ^{a)}	ACQ ^{b)}	NCU	CUAZ2	NZN	AAC	Control
0	—	—	—	**	—	**
				PRF>		PRF>
1	**	—	—	*	—	**
	PRF>			PRF>		PRF>
3	**	—	—	**	—	**
	PRF>			PRF>		PRF>
5	**	**	**	—	*	**
	PRF>	PRF>	PRF>		PRF>	PRF>
10	**	**	**	—	—	**
	PRF>	PRF>	PRF>			PRF>

Note: **: Significant at 1% level, *: significant at 5% level. PRF>: Result of comparison of average shear-strength between PRF and RF, PRF and RF see Table 1. ^{a)}: Exposure duration. ^{b)}: Wood preservative, see Table 1.

同一接着層の変動係数 ($n=12$) を Control の 0 年において調べたところ 3～30 であり、ばらつきが認められた。

10 年では、銅系集成材および Control で有意な差が認められ、平均値比較ではいずれも PRF 使用の方が大きかった。このうち、Control についてはすべての暴露年で差が認められたことから、10 年での差もラミナ木理の影響が考えられる。しかし、銅系集成材では 0 年では有意差が無かったこと、加えてブロック促進劣化試験⁴⁾ および短期暴露試験⁵⁾ でも類似した結果も得られたことから、10 年での差は接着剤に起因するものと推測される。

横軸を暴露期間あるいは促進劣化の処理回数とし、縦軸を接着せん断強さとした図の傾きより、接着せん断強さの低下率を見積もる試みが報告されている⁶⁾。著者等も、横軸を暴露期間の平方根とし、縦軸を接着せん断強さとした図の一次回帰直線の傾きを接着せん断強さの低下率とみなし、種々比較した結果を報告した⁷⁾。本研究でも、全試験片の結果より同様の解析を行い、一次回帰直線の傾き（以下傾き）および決定係数を求めた。結果を Table 6 に示す。

銅系集成材の傾き (A) を接着剤間で比較すると、いずれも RF 使用は PRF 使用よりも大きく、接着剤の間で接着せん断強さ低下率に差が認められた。一方、非銅系集成材の接着せん断強さ低下率は小さく、PRF 使用と RF 使用との間で明確な差は認められなかった。

以上のとおり、銅系集成材の RF 使用で接着せん断強さの低下が最も大きかった。この理由として、

Table 6. Results of linear-regression analysis of shear-strength.

W.P. ^{a)}	PRF		RF	
	A	R ²	A	R ²
ACQ	-1.096	0.819	-1.416	0.890
NCU	-0.885	0.911	-1.248	0.924
CUAZ2	-0.851	0.951	-1.416	0.924
NZN	-0.064	0.163	0.011	0.006
AAC	0.115	0.022	0.100	0.028
Control	-0.068	0.021	-0.124	0.019

Note: Linear-regression analysis with horizontal axis is square root of exposure duration and longitudinal axis is average shear-strength. “A” is inclination of linear-regression line, and R² is coefficient of determination. ^{a)}: Wood preservative, see Table 1. PRF, RF: Adhesives, see Table 1.

樹脂成分がレゾルシノールのみである RF 接着剤では、銅が硬化に及ぼす影響が PRF 接着剤よりも大きかったことが考えられる。なお、以上の結果はブロック促進劣化試験⁴⁾ および短期暴露試験⁵⁾ の結果とも一致している。

3.3 密度と接着耐久性

Table 7 に、密度別に接着せん断強さ平均値を示す。0 年は平均値であり、他は接着せん断強さ残存率である。高密度と低密度との間で分散分析を行い、有意差が認められた比較には下線を付記した。

0 年では、すべての組合せで 5 % 以下の水準で有意差が認められ、平均値を比較すると、いずれも高密度は低密度よりも大きかった。1 年以降、この差は概ね変化しなかったものの、ACQ の 10 年のみ、PRF 使用および RF 使用とも、有意差が認められなかった。これは、高密度で接着せん断強さの低下が大きかったためである。10 年に着目すると、NCU, CUAZ2, および Control の RF 使用では、Table 6 に示すとおり高密度の接着せん断強さ残存率は低密度より低かった。一般に、密度の高い木材ほど膨潤・収縮量は増加する⁹⁾。本研究でも、屋外暴露中の高密度の膨潤・収縮は低密度より大きく、これに伴い高密度の接着層に発生した応力は低密度より相対的に大きかったため、高密度の接着せん断強さの低下が大きくなったものと推測される。なお、これらの結果は既報⁸⁾ とも一致している。

3.3 木部破断率

Table 8 に木部破断率の推移を示す。暴露期間中の木部破断率の変化はわずかであり、また、暴露 10 年後の低下も小さく、薬剤間で差は認められなかった。PRF 使用での 10 年における木部破断率平均値

Table 7. Shear-strength of glued-laminated-timber according to density.

Ad ^{a)}	Year ^{b)}	Unit	ACQ ^{c)}		NCU		CUAZ2		NZN		AAC		Control	
			L ^{d)}	H	L	H	L	H	L	H	L	H	L	H
PRF	0	(N/mm ²)	<u>8.7</u>	<u>9.6</u>	<u>8.8</u>	<u>9.9</u>	<u>9.2</u>	<u>10.0</u>	<u>9.1</u>	<u>9.3</u>	<u>8.3</u>	<u>9.9</u>	<u>9.1</u>	<u>9.8</u>
	1	—	<u>0.92</u>	<u>0.91</u>	<u>0.91</u>	<u>0.91</u>	<u>0.84</u>	<u>0.95</u>	0.99	0.99	<u>1.00</u>	<u>0.97</u>	<u>1.02</u>	<u>1.01</u>
	3	—	<u>0.80</u>	<u>0.87</u>	<u>0.82</u>	<u>0.88</u>	<u>0.78</u>	<u>0.83</u>	<u>1.05</u>	<u>0.94</u>	<u>0.98</u>	<u>0.96</u>	<u>0.95</u>	<u>1.00</u>
	5	—	<u>0.88</u>	<u>0.55</u>	<u>0.81</u>	<u>0.90</u>	<u>0.76</u>	<u>0.89</u>	1.03	1.01	<u>1.21</u>	<u>1.20</u>	<u>1.10</u>	<u>1.10</u>
	10	—	0.62	0.59	<u>0.59</u>	<u>0.75</u>	<u>0.63</u>	<u>0.77</u>	0.94	0.98	<u>0.96</u>	<u>0.96</u>	<u>0.94</u>	<u>0.95</u>
RF	0	(N/mm ²)	<u>8.1</u>	<u>9.6</u>	<u>8.5</u>	<u>9.8</u>	<u>8.9</u>	<u>9.9</u>	<u>8.5</u>	<u>9.2</u>	<u>8.5</u>	<u>9.5</u>	<u>7.8</u>	<u>9.6</u>
	1	—	<u>0.93</u>	<u>0.89</u>	<u>0.93</u>	<u>0.92</u>	<u>0.91</u>	<u>1.00</u>	<u>1.01</u>	<u>0.98</u>	<u>1.00</u>	<u>0.99</u>	<u>0.99</u>	<u>0.98</u>
	3	—	<u>0.81</u>	<u>0.85</u>	<u>0.79</u>	<u>0.87</u>	<u>0.80</u>	<u>0.81</u>	<u>0.95</u>	<u>1.01</u>	<u>0.97</u>	<u>1.06</u>	<u>0.99</u>	<u>0.97</u>
	5	—	<u>0.77</u>	<u>0.77</u>	<u>0.79</u>	<u>0.79</u>	0.78	0.75	<u>1.00</u>	<u>1.06</u>	<u>1.20</u>	<u>1.15</u>	<u>1.06</u>	<u>1.01</u>
	10	—	0.47	0.46	0.56	0.54	0.56	0.50	<u>0.96</u>	<u>1.02</u>	<u>0.97</u>	<u>0.97</u>	<u>0.98</u>	<u>0.96</u>

Note: $n=24$. 0 year is average value, and 1~10 year are residual ratio of average value. Under lines reveal the results of analysis of variance between L and H, —: significant at 5% level, —: significant at 1% level. ^{a)}: Adhesives, see Table 1. ^{b)}: Exposure duration. ^{c)}: Wood preservative, see Table 1. ^{d)}: Density, see Table 1.

は94~96%であり、同じく RF 使用では89~98%であった。既報⁸⁾と同様に、木部破断率と接着せん断強さとの相関は明確ではなく、接着せん断強さの低下と比較して木部破断率の低下は小さかった。

4. 結 論

5種類の木材保存剤をスギラミナに注入し、レゾルシノール樹脂接着剤およびフェノール・レゾルシノール樹脂接着剤を使用して5プライの集成材を作成した。それらを10年間の屋外暴露試験に供し、随時接着層のせん断強さ（接着せん断強さ）を測定して接着耐久性を調べた。その結果、銅を成分に含む3種類の木材保存剤で処理した集成材の接着せん断強さはいずれも低下したのに対し、それ以外では低下はわずかであった。接着剤間で比較したところ、銅を成分とする木材保存剤で処理した集成材では、いずれもレゾルシノール樹脂接着剤を使用した方が接着せん断強さの低下は大きかった。この理由として、レゾルシノールの硬化反応に対する銅の影響の差が考えられた。集成材の密度と接着耐久性との関係を調べた結果、接着せん断強さの低下が大きかった銅を主成分とする木材保存剤を使用した集成材では、高密度の方が接着せん断強さの低下は大きかった。これは、含水率変化に伴う膨潤・収縮量は高密度の方が低密度より大きいことから、寸法変化に伴い接着層に発生した応力も高密度ほど大きかったためと推測された。

文 献

- 1) Vick, B. C., Groot, C. De R., Youngquist, J.: Compatibility of nonacidic waterborne preservatives with phenol-formaldehyde

Table 8. Results of wood-failure ratio of each glue-layer.

W.P. ^{a)}	Year ^{b)}	PRF				RF			
		GL				GL			
		1	2	3	4	1	2	3	4
ACQ	0	99	98	93	99	96	100	100	100
	1	98	95	98	96	98	100	99	98
	3	96	96	95	92	92	95	93	90
	5	87	93	88	74	95	95	94	87
	10	97	96	98	92	97	94	98	96
NCU	0	99	100	99	99	99	99	99	99
	1	98	99	99	100	99	97	98	99
	3	87	90	92	84	91	95	91	89
	5	88	88	95	90	87	91	94	88
	10	93	95	99	97	93	97	98	97
CUAZ2	0	100	99	99	100	98	99	100	100
	1	92	89	93	92	92	95	91	97
	3	83	89	92	93	85	90	89	91
	5	93	93	93	92	87	87	93	96
	10	95	97	97	94	91	83	83	99
NZN	0	99	97	96	98	99	97	100	99
	1	94	96	93	95	92	91	95	91
	3	95	94	93	92	93	90	92	95
	5	93	91	93	88	95	94	95	94
	10	93	90	98	94	98	91	92	93
AAC	0	100	98	98	100	100	96	98	100
	1	94	92	98	99	99	99	94	100
	3	91	89	93	94	96	90	92	94
	5	92	92	98	96	93	94	94	95
	10	97	95	97	97	98	98	99	99
Control	0	98	97	99	98	98	99	99	99
	1	93	96	93	98	99	95	98	93
	3	92	93	88	91	98	93	95	91
	5	96	97	94	91	93	95	91	93
	10	96	98	95	96	98	98	98	99

Note: Average value, $n=48$. ^{a)}: Wood preservatives, see Table 1. ^{b)}: Exposure duration. PRF, RF: Adhesives, see Table 1. GL: Glue-layer, see Fig. 1.

- adhesive. *Forest Prod. J.* **40**(2), 16-22 (1990).
- 2) 宮崎淳子, 中野隆人, 平林 靖, 岸野正典: 接着性能に及ぼす防腐薬剤の影響. 木材学会誌 **45**(1), 34-41 (1999).
 - 3) 小西 信: 集成材用接着剤 (I). 木材工業 **29**(3), 96-99 (1974).
 - 4) 柳川靖夫, 増田勝則: 促進劣化試験および屋外曝露試験で評価した木材保存剤処理集成材の接着耐久性 (第1報) 促進劣化試験で評価した接着耐久性. 木材学会誌 **57**(5), 265-275 (2011).
 - 5) 柳川靖夫, 増田勝則: 促進劣化試験および屋外曝露試験で評価した木材保存剤処理集成材の接着耐久性 (第2報) 屋外暴露試験で評価した接着耐久性および促進劣化試験との関係. 木材学会誌 **57**(5), 265-275 (2011).
 - 6) 往西弘次: 日本木材学会研究分科会報告書 木材の科学と利用技術 1. 接着耐久性, 1989, pp. 51-58.
 - 7) 柳川靖夫, 満名香織, 和田 博: スギ集成材の10年間屋外暴露の結果 (第2報) セン断強度の分布形と低下速度. 木材学会誌 **60**(1), 28-34 (2014).
 - 8) 柳川靖夫: スギ集成材の10年間屋外暴露の結果 (第1報) セン断強度および木部破断率. 木材学会誌 **59**(5), 255-260 (2013).
 - 9) 北原覺一: 実用木材加工全書. “木材物理”, 森北出版, 東京, 1976, pp. 40-42.