

二枚張の挽板積層材の動的粘弾性 におよぼす接着剤の影響^{*1}

祖父江信夫^{*2}, 岩崎吉男^{*2,*3}

Effect of Adhesives on Dynamic Viscoelasticity of Laminated Lumber of Two-ply Sawn Laminae^{*1}

Nobuo SOBUE^{*2} and Yoshio IWASAKI^{*2,*3}

This paper deals with the effect of adhesives on the dynamic viscoelasticity of laminated lumber of two-ply sawn laminae. The dynamic modulus E' and the logarithmic decrement λ were measured at 200 Hz by the method of free vibration. The wood species used were red meranti (*Shorea* sp.) and spruce (*Picea* sp.). Nine different commercial adhesives which varied in rigidity from brittle to elastomeric were tested (Table 1).

No decrease of E' was found by gluing the laminae. A remarkable increase of λ occurred in the case of polyurethane, but for the other adhesives the increase was less than seven percent (Figs. 3-5 and Table 3). These results showed that the vibrational properties of laminated lumber of two-ply sawn laminae are nearly equivalent to those of solid wood within the limits of all of the adhesives used in this study, except polyurethane.

二枚張の挽板積層材の動的粘弾性におよぼす接着剤の影響を調べるため、自由減衰法によって動的弾性率 E' と対数減衰率 λ を測定した。樹種はメランチとスプリースを用い、固有振動数は約 200 Hz であった。接着剤には剛性の大きいレゾルシノール接着剤から剛性の小さいポリウレタン接着剤まで幅広く剛性に違いがある 9 種類の市販の接着剤を用いた。

供試接着剤を用いた限りでは、接着による E' の低減はみられず、接着剤の種類による差もなかった。 λ では、ポリウレタン接着剤を用いた場合に接着によって明瞭な増加がみられたが、その他の接着剤では 7% 以下のわずかな増加であった。

1. 緒言

接着はりの動的粘弾性に関する検討は従来あまり報告されていないが、最近では例えば佐道ら¹⁾によるエラストマー接着剤のエネルギー吸収性と関連した報告がみられる。これは接着剤のエネルギー吸収性を積極的に床根太と床板の接合など構造接着へ利用しようとするものである。これに対して、接着剤によるエネルギー損失があ

ると好ましくない用途もある。例えばピアノ、ギター等の響板は素材のもつ特有な動的粘弾性を高度に引き出そうとするもので、この様な場合にはエネルギー損失の増大はマイナスの効果となる。

本研究は後者の様な用途に利用する場合を考え、接着剤が接着はりの動的粘弾性におよぼす影響について、剛性の大きいレゾルシノール接着剤から剛性の小さいポリウレタン接着剤まで幅広い特性を持った市販の接着剤 (9 種類) を用いて検討した。

2. 実験方法

2.1. 供試ラミナ

使用したラミナはスプリース (*Picea* sp.) およびレツ

^{*1} Received December 17, 1980.

^{*2} 名古屋大学農学部 School of Agriculture, Nagoya University, Nagoya 464

^{*3} 現在, ユアサ建材(株): Yuasa Industry Co., Ltd., Yoshihama, Takahama 444-13

ドメランチ (*Shorea* sp.) の柁目木取りののこ挽ラミナで、気乾比重はそれぞれ 0.49 および 0.42 である。

供試ラミナの寸法は長さ 50 cm (繊維方向)、幅 5 cm、厚さ 0.5 cm である。またコントロール用試験片として、二枚張積層材と同寸法となる様な長さ 50 cm、幅 5 cm、厚さ 1 cm の試験片も採取した。ラミナの採取方法は Fig. 1 のとおりである。ラミナの採取枚数は各接着剤について 6 枚 (積層材 3 枚分)、コントロール用試験片 1 枚とした。

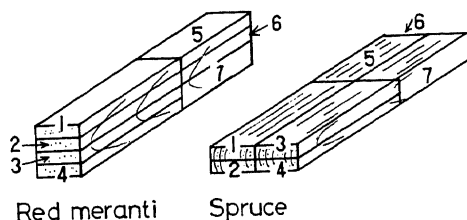


Figure 1. Sampling of specimens.

1-6: laminae, 7: control specimen.

2.2 供試接着剤

9種類の市販の接着剤を用いた。Table 1 に種類および接着条件を示す。ユリア樹脂および変性酢ビエマルジョン接着剤の場合はホットプレスで熱圧縮し、他の場合は Fig. 2 に示す治具によって圧縮した。コントロール用試験片は圧縮時の履歴が積層材の場合と同じになるように、ラミナといっしょに圧縮した。

2.3 動的粘弾性の測定

両端自由はりの自由減衰振動法³⁾により、動的弾性率 E' および対数減衰率 λ を測定した。

電磁的方法によって試験片を共振状態にしてから瞬間的に励振を停止し、たわみの時間変化を非接触変位計によって検出してビググラフに画かせた。試験片の固有振動数は共振状態のときエレクトロニックカウンターで測定し、ラミナで約 100 Hz、その他で約 200 Hz であった。

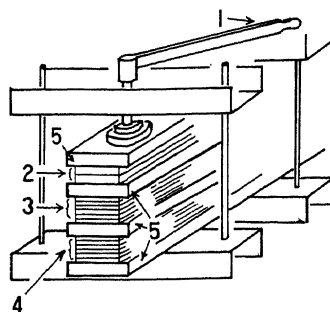


Figure 2. Press.

1: torque wrench, 2: control specimens, 3: laminae (red meranti), 4: laminae (spruce), 5: rigid wood boards.

なお、測定時における試験片の含水率は 7%~12% であった。

3. 結果と考察

3.1 動的弾性率 E'

ラミナ、コントロール用試験片および積層材の E' の測定結果を Fig. 3 にヒストグラムで示す。図中で上側がラミナおよび圧縮前のコントロール用試験片、下側が積層材および圧縮後のコントロール用試験片の E' の分布である。図中で升目を塗りつぶした印はコントロール用試験片を表わし、番号は Table 1 の接着剤の種類番号に対応している。また、ラミナ、圧縮前と圧縮後のコントロール用試験片および積層材の E' の平均値と標準偏差を Table 2 に示す。スプルースではラミナと積層材の E' の分布に二つの山が見られ、コントロール用試験片に比べて分散は大きい。

さて、接着はりの動的粘弾性におよぼす接着剤の影響を調べるため、ここでは積層材とそれに用いた各々のラミナとの E' の比較を行う。

しかし、たわみ振動法の場合には試験片に貼付した鉄

Table 1. Adhesives used.

Adhesives		Gluing conditions
1	Resorcinol resin	320 g/m ² , 25°C, 10 kg/cm ² , 2 days
2	Polyvinyl acetate emulsion	220 g/m ² , 22°C, 10 kg/cm ² , 2 days
3	Epoxy resin	300 g/m ² , 22°C, 5 kg/cm ² , 2 days
4	Nitrocellulose	200 g/m ² , 22°C, 5 kg/cm ² , 2 days
5	Casein	300 g/m ² , 22°C, 10 kg/cm ² , 2 days
6	Urea-formaldehyde resin	300 g/m ² , 120°C, 10 kg/cm ² , 9 minutes
7	Polyvinyl acetate emulsion (modified)	220 g/m ² , 70°C, 10 kg/cm ² , 9 minutes
8	Polyurethane	80-140 g/m ² , 22°C, 5 kg/cm ² , 1 day
9	Synthetic rubber	100-120 g/m ² , 22°C, 5 kg/cm ² , 1 day

片が付加質量として加わるため見掛けの動的弾性率が小さくなる³⁾ので、試験片厚さの異なるラミナと積層材との E' を直接比較することはできない。そこで、ラミナの採取位置に隣接するところから寸法が積層材と同一となる様なコントロール用試験片を採取し、この試験片

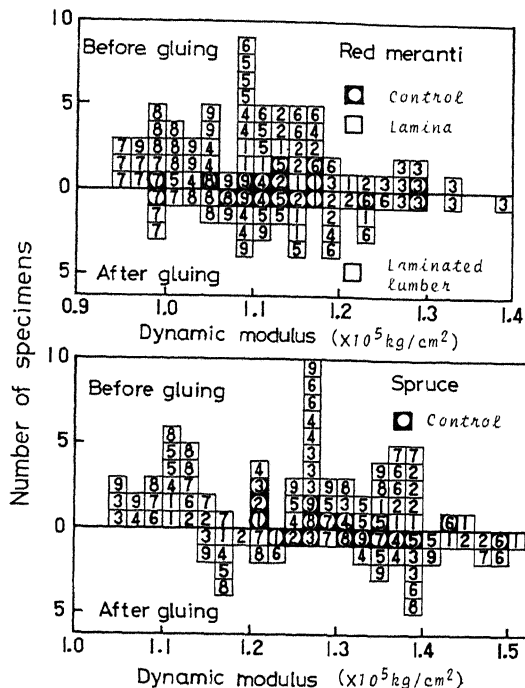


Figure 3. Histogram of dynamic modulus.

Note: The numbers correspond to the adhesive numbers in Table 1. The dynamic modulus in CGS units should be multiplied by 9.8×10^{10} dyne/cm².

の E' の値を媒介として間接的に比較する必要がある。Table 2の結果では、ラミナの E' の平均値は圧縮前のコントロール用試験片のそれに比べて3~4%小さいが、この原因が全て貼付鉄片にあるとは言えない。他の原因として E' の周波数依存性が考えられる。しかし、これらの影響を分離することは容易でないで、ここではこれらが複合されて見掛け上 E' を低減させるものと考え、以下では上記の比の値を E' の低減係数 $\alpha_{E'}$ と呼ぶ。

$$\alpha_{E'} = \frac{\text{ラミナの } E' \text{ の平均値}}{\text{圧縮前のコントロール用試験片の } E' \text{ の平均値}} \quad (1)$$

$\alpha_{E'}$ をメランチとスプルースについて求めると、それぞれ0.97, 0.96であった。

つぎにコントロール用試験片の E' を圧縮前と圧縮後とで比べると、圧縮後のほうが平均値はいくぶん大きい。これは、一定湿度条件のもとで積層材を製造することができなかったために季節変化によって生じた試験片の含水率低下と、圧縮による試験片密度の増加が影響したものと考えられる。

そこで、これらの影響を取り除いて接着による E' の変化を検討するため、次の様な E' の変化係数 $\beta_{E'}$ を定義した。

$$\beta_{E'} = \frac{E'_L}{E'_l} \left[\alpha_{E'} / \frac{E'_{CC}}{E'_{CO}} \right] \quad (2)$$

ここで動的弾性率 E' の添字 L , l , CO , CC はそれぞれ積層材、ラミナ、圧縮前および圧縮後のコントロール用試験片を示す。また括弧内の補正係数の分子は鉄片および周波数特性に関する補正、分母は含水率変化および密度変化に関する補正である。

$\beta_{E'}$ はTable 3に示すようにメランチで0.99~1.03 (av.

Table 2. Mean values and standard deviations of dynamic modulus E' and logarithmic decrement λ .

Specimens			Red meranti		Spruce	
			Mean value	sd*	Mean value	sd*
E'	Lamina		1.09×10^5 kg/cm ²	0.093×10^5 kg/cm ²	1.23×10^5 kg/cm ²	0.115×10^5 kg/cm ²
	Control	Before compression	1.12	0.079	1.28	0.069
		After compression	1.13	0.082	1.33	0.076
	Laminated lumber		1.14	0.097	1.32	0.118
λ	Lamina		1.67×10^{-2}	0.167×10^{-2}	2.67×10^{-2}	0.227×10^{-2}
	Control	Before compression	1.40	0.082	2.32	0.104
		After compression	1.41	0.068	2.10	0.124
	Laminated lumber**		1.42	0.078	2.13	0.141

* : Standard deviation.

** : Excluding polyurethane.

The dynamic modulus in CGS units (cm.g.sec.) should be multiplied by 9.8×10^{10} dyne/cm².

Table 3. The values of $\beta_{E'}$, and β_{λ}^* .

Adhesives	$\beta_{E'}$			β_{λ}		
	Red meranti	Spruce	Mean	Red meranti	Spruce	Mean
1	1.01	0.99	1.00	1.07	1.01	1.04
2	0.99	0.97	0.98	1.02	1.02	1.02
3	1.03	0.93	0.98	0.98	1.00	0.99
4	1.02	0.99	1.01	1.04	1.05	1.05
5	1.01	0.99	1.00	—	1.02	(1.02)**
6	1.00	1.00	1.00	0.97	1.06	1.02
7	1.01	1.00	1.01	1.03	1.01	1.02
8	1.01	0.99	1.00	1.45	1.50	1.50
9	1.02	0.99	1.01	1.06	1.03	1.04
(Mean)	1.01	0.98	1.00	1.02***	1.03***	1.03***

* : See equations 2 and 3 respectively.

** : Spruce only.

*** : Eliminated the values of polyurethane adhesive 8 from the calculations.

1.01), スプルースで0.93~1.00 (av. 0.98), 総平均で1.00となり, 供試接着剤を用いた接着では E' の低減はみられず, また接着剤の種類による差違も認められなかった。

3.2 対数減衰率 λ

Fig. 4, 5に対数減衰率の測定結果を示す。図の表示方法は動的弾性率の場合と同様である。

ラミナ, 圧縮前および圧縮後のコントロール用試験片および積層材の λ の平均値と標準偏差をTable 2に示す。ただし, ポリウレタン接着剤の場合は明らかに他に

比べて λ の値がばらつくので除外して求めた。

積層材の λ の分散はラミナのそれより小さく, 接着することによって λ が安定したと思われる。

ラミナと圧縮前のコントロール用試験片とでは λ の分布に明瞭な差が見られ, E' の場合と同様な効果に起因すると思われる影響が現れている。この λ の増加係数 α_{λ} を E' と同様に両者の平均値の比として計算すると, メランチ, スプルースでそれぞれ1.19および1.15となり, E' の場合より変化割合は大きい。

そこで, 動的弾性率の場合と同様な考え方で接着によ

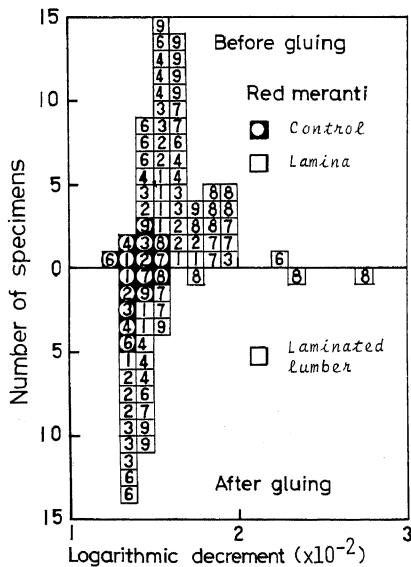


Figure 4. Histogram of logarithmic decrement (red meranti).

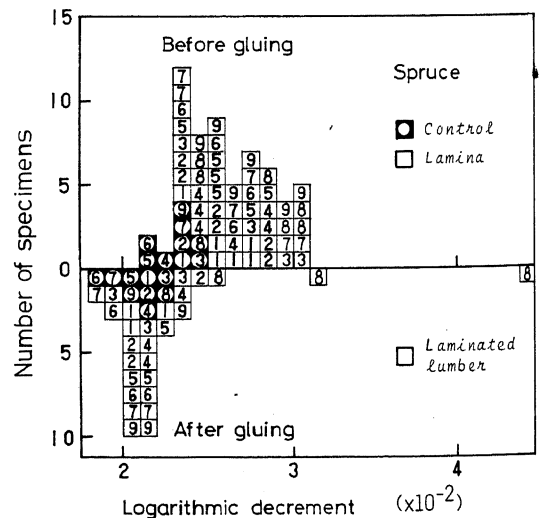


Figure 5. Histogram of logarithmic decrement (spruce).

る対数減衰率の変化係数 β_λ を次式で定義する。

$$\beta_\lambda = \frac{\lambda_L}{\lambda_i} \left[\alpha_i / \frac{\lambda_{CC}}{\lambda_{CO}} \right] \quad (3)$$

ここで、対数減衰率 λ の添字は E' の場合と同様である。

β_λ の結果を Table 3 に示す。ポリウレタン接着剤を用いた場合には明瞭な λ の増加が認められた。しかし、 E' でみる限りでは他の接着剤とほとんど差がないので重大な接着不良があったとは考えられないが、塗布量のむらがある場合に比べて多く λ のばらつきが大きいことから E' では検出されない軽度の接着不良か接着むらが影響した部分があった可能性も考えられる。他の接着剤の場合はラミナの樹種によって多少ばらつくので両樹種の平均値で各接着剤の β_λ をみると最高5%程度の増加がみられるが、接着の影響はわずかである。

高分子物質は、一般にガラス転移温度 T_g 付近で E' の減少と損失正接 $\tan\delta$ (λ は $\tan\delta$ に比例する、 $\lambda = \pi \cdot \tan\delta$) のピークを示すことが知られている。本研究に用いた接着剤は、レゾルシノール樹脂やユリア樹脂の様に $\tan\delta$ のピークを示さないもの、 T_g が室温よりやや高い酢ビ⁵⁾、 T_g が室温より高い変性酢ビ、エポキシ樹脂⁶⁾、ニトロセルロース⁷⁾、カゼイン、また T_g が室温より低い合成ゴム⁸⁾であった。そのため、室温付近で $\tan\delta$ が大きな値とならず、またラミナ厚さに対して接着層が薄かったために、素材と積層材の λ が近い値を示したものと考えられる。

最近Holz⁴⁾はPVAC、カゼインを用いた接着はりの動的弾性率と振動減衰定数 η' (= 対数減衰率/ π)を80~8 kHzの範囲で検討し、接着による η' の増加が0~10%程度となることを報告している。これは本実験の結果ともほぼ一致している。

4. 結 言

メラントおよびスプールの挽板単板(まさ目木取り、0.5 cm 厚)の二枚張積層材を9種類の市販の接着剤を用いて作製し、動的弾性率、対数減衰率におよぼす接着剤の影響を試験体の固有振動数約200 Hzで検討した。

その結果、接着による動的弾性率の低下はみられなかった。また、対数減衰率はポリウレタン接着剤を用いた場合に接着によって約50%の増加を示したが、他の接着剤では最高でも7%のわずかな増加であった。

すなわち、本実験に用いた接着剤のうちポリウレタン接着剤を除けば、挽板の二枚張積層材の動的弾性率、対数減衰率は、低周波域の振動では素材とほぼ同等であることがわかった。

謝 辞

本研究の実施にあたり、接着剤のご提供と種々のご助言を頂いたコニシ株式会社・井上雅雄氏に謝意を表します。また、本研究は昭和54年度文部省科学研究費による奨励研究の課題の一部として行った。

文 献

- 1) 佐道 健, 武沢 宏, 土屋昌一, 中戸莞二: 木材誌 **24**, 294 (1978)
- 2) 坪井忠二: “振動論”, 現代工学社, p. 164 (1973)
- 3) 片岡明雄, 小野晃明: 木材誌, **21**, 543 (1975)
- 4) D. Holz: *Holztechnologie*, **20**, 201 (1979)
- 5) 水町 浩: 日本接着協会誌, **7**, 74 (1971)
- 6) N. Shito: *J. Poly. Sci.: Part C*, **23**, 569 (1968)
- 7) 藤井光雄ら: “化学便覧・応用編”, 日本化学会編集, 丸善, p. 664 (1965)