

# 集成材に関する研究 第10報

## 集成材の異樹種接着

### 一剥離促進試験によるミズナラ—エゾマツ 集成材の剥離発生の傾向について—

椋 代 純 輔<sup>(1)</sup>  
森 屋 和 美<sup>(2)</sup>

#### 緒 言

集成材は、荷重によつて生ずる応力状態に応じて種々の強度等級の挽板を配置できることを、長所の1つとしている。

たとえば梁において、外側に中心より強度の高い挽板を接着して、より強度を高めることが可能で、異樹種接着はこの点で意義を有する。

接着においては、初期における接着強度試験のみで接着性能の良否を論ずることは危険であり、その耐久性をも検討しておかねばならない。

一般に木材の接着における剥離は、接着剤の老化による接着力の低下と、平衡含水率変化にともなう木材中に生ずる応力によつて起こると考えられている。特に異樹種接着の場合には、樹種の材質の相違が著しいと、それにともなう内部応力が剥離に大きく影響すると考えられている。

このような剥離発生についての研究は、金属—金属接着では幾多行なわれているが、木材—木材接着の場合には多くの解決困難な課題—たとえば破壊の機構、乾燥中の内部応力等々—を含んでいるため、ほとんど行なわれていない現状である。

しかしながら、剥離発生の傾向をはあくしておくことは、集成材製造の際の適正な挽板の組合せ条件を見いだすための基礎資料として必要なことであるため、概略的にでもその傾向を検討しようと試みた。

そこでこの実験は、ミズナラ材を外側材にエゾマツ材を内側材にした3枚積層の集成材で、水の注入—乾燥のサイクルによる剥離促進試験によつて生じた剥離を実験Ⅰによつて観察し、さらに実験Ⅱによつて剥離発生の傾向を知るため、促進試験の乾燥過程において試片を種々な状態で乾燥し、その時生じた剥離の状態を、これと関連ある2つの実験、および接着における内部応力について研究された文献の結果と関連せしめて考察した。

この実験を行なうにあたり種々ご教示いただいた小倉木材部長、中村材質改良科長、寺沢乾燥研究室長、菅野接着研究室長ならびにご協力いただいた西原技官に感謝する。

#### 実 験 I

##### A. 実 験 方 法

Table 1 に示すような比重で、厚さ 2 cm のミズナラ (Japanese white oak, *Quercus mongolica* FISHER

---

(1) (2) 木材部材質改良科接着研究室員

var. *grosseserrata* REHD. et WILS.) とエゾマツ (Japanese EZO spruce, *Picea jezoensis* CARR.) を用い、フェノール-レゾルシノール 共縮合樹脂接着剤 (日本ライヒホルド社製 プライオーヘン TD 453) で十分な接着性能を発揮せしめるような接着条件を用いて、板目の場合には木表、木裏を Fig. 1 に示すような向きにして、ナラ板目—エゾマツ板目—ナラ板目、ナラ柾目—エゾマツ板目—ナラ柾目、ナラ板目—エゾマツ柾目—ナラ板目、ナラ柾目—エゾマツ柾目—ナラ柾目の組合せによる3枚積層集成材を製作した。これより Fig. 2, 3 のような7.0cm長さの試片 (以下促進試片と呼ぶ) 2個と、3mm厚さの試片を Fig. 1 のように採取した。

Specimen for measuring of elastic modulus and swelling length

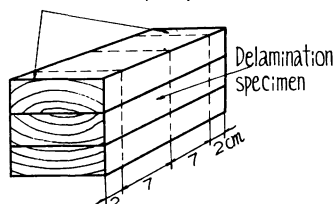


Fig. 1 試験用集成材  
Test specimen.

促進試片2個は、そのままの状態 ASTM D 1101—53 に準拠した方法で真空—加圧のサイクルによつて完全に水を注入した後、両木口面にゴムの被覆を行なつて ASTM D 1101—53 に準拠した乾球 30°C、湿球 18°C、風速 1 m/sec の恒温恒湿室で、Table 2 のように被覆の状態を変化させながら乾燥した。このサイクルを2回繰り返して側面における接着層の剝離状態を観察した。

ASTM D 1101—53 による剝離促進試験は、試片になんら被覆を行なわず乾燥し、剝離を木口面で測定する規定になつ

Table 1. 挽板の材質および剝離量  
Characteristic of lamination and amount of delamination.

試片記号 Marks of specimen	木理の組合せ <sup>1)</sup> Combination of grain	比重 Specific gravity	年輪密度 Density of annual rings	曲げヤング係数の数 <sup>2)</sup> $E_o, E_s$ of bending modulus $\perp$ to grain $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	ナラおよびエゾマツの膨張量 <sup>2)</sup> Swelling length of oak and EZO spruce (mm)	剝離量 <sup>3)</sup> Amount of delamination	
						No. 1 試片 No. 1 specimen (cm <sup>2</sup> )	No. 2 試片 No. 2 specimen (mm <sup>2</sup> )
TT 1	NT ET NT	0.56 0.42 0.56	8	6.3 5.4 4.8	2.8 2.9 3.7	100	180
TT 2	NT ET NT	0.59 0.42 0.59	9	6.2 3.3 6.3	4.3 3.1 3.8	150	110
TT 3	NT ET NT	0.61 0.43 0.62	8	6.6 4.3 6.5	5.0 2.3 4.1	30	0
TT 4	NT ET NT	0.64 0.41 0.64	9	6.0 4.2 7.1	4.4 2.1 4.6	0	40
TT 5	NT ET NT	0.69 0.44 0.69	9	6.2 4.0 6.9	4.4 3.3 3.9	280	345
TT 6	NT ET NT	0.72 0.45 0.72	8	6.8 3.5 8.5	4.4 3.2 3.7	490	630
RT 1	NR ET NR	0.57 0.42 0.57	8	11.1 3.0 12.1	1.3 2.8 1.1	300	260

試片記号 Marks of specimen	木理の組合せ <sup>1)</sup> Combination of grain	比重 Specific gravity	年輪密度 Density of annual rings	曲げヤング係数 <sup>2)</sup> $E_o, E_s$ of bending modulus $\perp$ to grain $\times 10^3 \text{ kg/cm}^2$	ナラおよびエゾマツの膨張量 <sup>2)</sup> Swelling length of Oak and EZO spruce (mm)	剝離量 <sup>3)</sup> Amount of delamination	
						No. 1 試片 No. 1 specimen (mm <sup>2</sup> )	No. 2 試片 No. 2 specimen (mm <sup>2</sup> )
RT 2	NR ET NR	0.61	7	11.0	1.6	550	320
		0.42		4.2	2.8		
		0.62		13.2	1.8		
RT 3	NR ET NR	0.65	8	13.3	1.8	190	280
		0.41		4.4	3.3		
		0.66		12.1	1.5		
RT 4	NR ET NR	0.68	7	12.6	1.6	420	250
		0.44		2.9	3.3		
		0.68		10.9	2.3		
RT 5	NR ET NR	0.71	8	9.8	1.6	55	140
		0.44		4.5	2.4		
		0.70		10.2	1.6		
RR 1	NR ER NR	0.56	4	10.0	1.7	0	0
		0.37		6.7	0.4		
		0.56		9.7	1.3		
RR 2	NR ER NR	0.59	4	10.7	1.3	0	20
		0.38		3.2	0.6		
		0.59		10.9	1.4		
RR 3	NR ER NR	0.64	5	11.6	1.2	0	0
		0.38		2.4	1.1		
		0.64		11.0	1.2		
RR 4	NR ER NR	0.69	4	12.5	1.5	35	0
		0.38		4.6	1.0		
		0.69		12.5	1.5		
RR 5	NR ER NR	0.72	4	12.2	1.8	0	0
		0.39		2.6	0.6		
		0.72		12.6	1.8		
RR 6	NR ER NR	0.73	5	13.0	1.9	0	35
		0.39		5.1	1.1		
		0.74		13.7	1.5		
TR 1	NT ER NT	0.58	5	6.0	3.2	0	0
		0.37		6.8	1.1		
		0.58		6.2	4.0		
TR 2	NT ER NT	0.62	4	6.7	3.6	80	210
		0.38		3.2	0.6		
		0.63		8.9	3.6		
TR 3	NT ER NT	0.66	5	7.4	4.5	30	15
		0.39		6.7	1.1		
		0.67		6.9	4.8		
TR 4	NT ER NT	0.70	4	8.6	4.0	0	0
		0.39		5.1	1.1		
		0.71		6.9	4.5		

Remarks : 1) NT ; Oak, flat grain, ET ; Spruce, flat grain, NR ; Oak, edge grain, ER ; Spruce, edge grain.

2) Widthwise bending modulus and swelling length was measured on specimens as shown in Fig. 3, and was averaged. Bending modulus was measured under dry condition.

3) Amount of delamination is shown by method shown in Fig. 4.

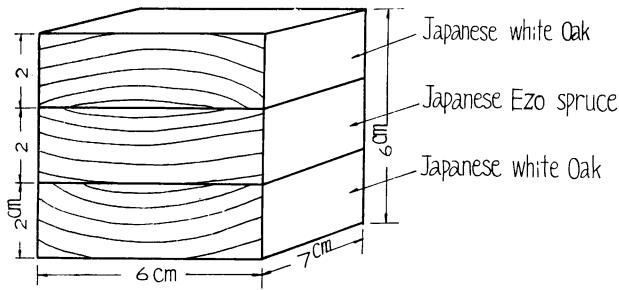


Fig. 2 剥離促進試片  
Accelerated delamination test specimen.

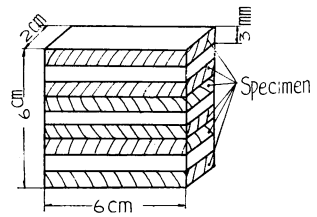


Fig. 3 弾性および膨張量  
測定用試片  
Specimen for measuring of  
elastic modulus and swelling  
length in widthwise.

Table 2. 試片の被覆条件  
Condition of cover treatment of accelerated delamination test specimen.

乾燥日程 Period of drying (day)	試片の被覆条件 Cover treatment of specimen
1	木口の全面を被覆し、上下面側面は被覆せず。 Whole area of end face was covered, top and bottom face and edge face was not covered.
2	上に同じ Do.
3	木口面で上下面より 0.5 cm 被覆をとる。 Cover of 0.5 cm length from top and bottom side was taken off.
4	上下面より 1.0 cm 被覆をとる。 Cover of 1.0 cm length from top and bottom side was taken off.
5	上下面より 1.5 cm 被覆をとる。 Cover of 1.5 cm length from top and bottom side was taken off.
6	上下面より 2.0 cm 被覆をとる。 Cover of 2.0 cm length from top and bottom side was taken off.

Drying condition was based on ASTM D 1101—53.

ているが、この場合の乾燥はほとんど木口面から行なわれるため、乾燥によつて生ずる応力状態は集成材が実際に使用されて上下面および側面より乾燥が行なわれる場合と多分に異なると考えられたので、このような被覆を行なつた。

しかし、乾燥条件がかなり厳しいので乾燥開始後 3 日以降は乾燥による試片の重量減が非常に少なくなるので、Table 2 のように被覆を徐々に取り除いて乾燥を促進することとしたが、この除去の方法については後記する。

3 mm 厚さの試片は、材質の一指標として弾性係数および収縮膨張量をとるため、重錘をかけて気乾状態（含水率 12 %）の曲げ弾性係数を測定した後、完全に飽水として気乾状態（含水率 12 %）から飽水状態までの膨張量を測定した。

## B. 実験結果および考察

促進試片では乾燥過程中側面の接着層に沿って剝離状態のような破壊を生じたので、観察した結果これは接着層中または接着層と木材の界面での破壊による剝離ではなく、接着界面に沿うエゾマツの繊維がごく薄くミズナラ側に付着し、ミズナラとエゾマツを接着した常態ブロック剪断試験のときの木部破断部分に認められるようなエゾマツ側の木部破断を生じていることが認められた（以下この報告中における剝離とは、このような状態の接着層に沿うエゾマツ側の破壊をいう。後掲の Fig. 11 参照）。

このような剝離は、最初試片の側面の接着層に沿った部分のみに現われて、しだいに接着層に沿って内部へ進行した。そしてこの剝離は最初に試片の側面以外の接着層に沿ったところに発生するようなことは認められなかった。

そこでこの剝離の長さ  $l$  を側面で測定し、深さを両木口面で測定して  $a, b$  とし、剝離量を次式で表わすこととした (Fig. 4 参照)。

$$\text{剝離量 } D = \frac{a+b}{2} \cdot l$$

なお深さを測定するとき、木口面に深さ方向の剝離の認められない場合には、検討した結果はほぼ 1 mm 程度と見なすことが妥当と思われたので、すべて 1 mm と見なした。その結果は、曲げ弾性係数および膨張量とともに Table 1 に示す。

この Table 1 から見られるように、エゾマツに板目を配したものは柾目を入れたものより多分に剝離が多く、中でもミズナラの柾目と組み合わせたものは極端に多い。

剝離を生ずる時期について見れば、ナラ柾目—エゾマツ板目—ナラ柾目の組合せのものは乾燥初期に剝離を生じ、その他のものは乾燥終期に生ずるものが多かった。

エゾマツ板目を用了ものの剝離は、必ずエゾマツの木表側で生じた（後掲の Fig. 11 参照）。

外側材の比重との関係を見れば、ナラ板目—エゾマツ板目—ナラ板目の場合には外側材の比重が高いほど剝離量も多い。

一般に、剝離は主として挽板相互の収縮膨張差によつて生ずる応力に左右されと考えられているが、それ以外に乾燥による含水率傾斜のため生ずる応力にも相当影響されるのではないかと考えられた。このような応力については A. G. H. DIETZ, Henry GRINSFELDER, Eric REISSNER<sup>1)</sup> の研究がある。

すなわち、挽板を 2 枚積層した場合について、木材の異方性をも考慮して数学的に解析している。

(1) 厚さの等しい同じ性状の 2 枚の板が接着されていて、一方の材のみが一様に含水率増加、または

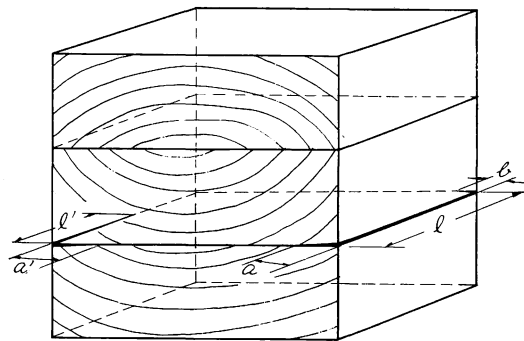


Fig. 4 剝離測定法  
Diagram illustrating amount of delamination.

$$\text{Amount of delamination} = \frac{a+b}{2} \cdot l + \frac{a'}{2} \cdot l'$$

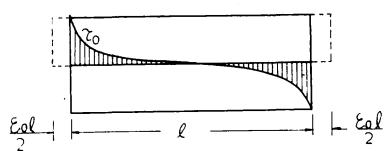


Fig. 5 一方の挽板が一様に膨張するために生ずる剪断応力

The two-layer beam with one lamination tending to expand or contract uniformly because of uniform change in moisture content.

面の剪断弾性係数

この場合は接着層には剪断応力のみ起こり、接着層に垂直な応力は生じない。

(2) (1)の場合と同じ構成で接着されているが、含水率変化は上下面より放物線状に生じている場合 (Fig. 6 参照)

この場合は板が湾曲しようとするため、接着層に垂直な応力を生ずる。

$$\sigma_{omax} = 0.45\epsilon_0 \sqrt{E_x \sqrt{2E_y G_{xy}}} \dots \dots \dots (2)$$

$\sigma_{omax}$  ; 材の両端において接着層がうける最大垂直応力

この場合には接着層には剪断応力は生じない。

(1), (2)の場合、16%の含水率変化をうけたときの応力を、米国产材について Table 3 のように計算している。

この結果は種々の仮定のもとで解かれたものであつて、もちろんこのままの計算式が実際の場合に適合

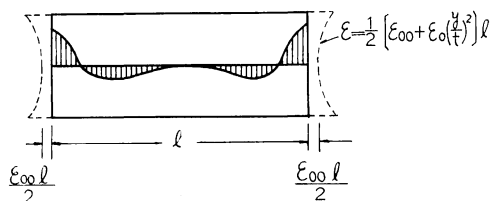


Fig. 6 上下面より含水率変化をうけたときに生ずる垂直応力

The two-layer beam with parabolic change in moisture content.

されるものではないが、上下面よりの含水率傾斜による引張応力も相当に高いことを示している。

本実験で前記のように、乾燥過程にゴム被覆を上下面よりはずして乾燥を促進した理由は、このような応力を促進せしめるためであつた。

上記の解析における2つの場合以外に、側面よりの含水率傾斜に基づく接着層に垂直な応力も考えられる。

以上のように、剝離に関係する応力には、外側

Table 3. 含水率 16 % 変化によつて生ずる応力

樹 種	第 1 の場合 剪断応力 psi		第 2 の場合 垂直応力 psi	
	桁 目—桁 目	板 目—板 目	桁 目—桁 目	板 目—板 目
ト ネ リ コ (Ash)	1850	2160	1740	3020
ベ イ マ ツ (Douglas fir)	660	880	940	1580
マ ホ ガ ニ ー (Mahogany)	1060	1150	910	1720
ナ ラ (Oak)	1660	2020	1360	3240
ス プ ル ー ス (Spruce)	420	550	550	1130
ウ オ ル ナ ッ ト (Walnut)	1590	1590	1330	2130

材と内側材との膨張収縮率の差に基づく応力と、乾燥過程中における含水率傾斜に基づく内部応力とが考えられるので、これらと剝離との関係を検討するため、次のように種々の被覆状態の試片について乾燥過程中被覆状態を変化せしめて剝離発生の傾向を検討した。

## 実 験 II

### A. 実 験 方 法

2 cm 厚さのミズナラの板目、柾目の種々な比重の挽板と、同じく 2 cm 厚さのエゾマツの板目、柾目の挽板を用いて、ナラ板目—エゾマツ板目—ナラ板目、ナラ柾目—エゾマツ板目—ナラ柾目、ナラ板目—エゾマツ柾目—ナラ板目、ナラ柾目—エゾマツ柾目—ナラ柾目の 4 種類の組合せの 3 枚積層集成材を Fig. 7 のように実験 I におけると同様にして接着し、これより Fig. 8 のような促進試片 4 個と、Fig. 9 に示すような 3 mm 厚さの試片を両端より採取した。

促進試片 4 個は実験 I と同様にして水の注入処理をした後、乾燥時に Table 4 に示すように No. 1 ~ No. 4 の被覆処理を行ない、乾燥日程にともなつて各試片の被覆状態を変化せしめた。乾燥条件は実験 I と同様である。

そして水の注入、乾燥にともなう寸法変化を測定した。

試片の寸法変化測定位置は Fig. 10 のように、I—I', I'—I', II—II', II'—II', III—III', III'—III', IV—IV', IV'—IV', V—V', V'—V' である。

この促進試験は、実験 I におけると同様にして水の注入、乾燥の過程を 1 サイクルとして 2 サイクル行ない、1 サイクルの終わりと 2 サイクルの終わりに剝離を測定した。

3 mm 厚さの試片は、実験 I と同様にして気乾状態 (含水率 12%) の曲げ弾性係数を測定した後、完全に飽水して気乾状態 (含水率 12%) より飽水状態までの膨張量を測定した。

### B. 実験結果および考察

この実験においても、実験 I の場合と同様な剝離状態を示し、剝離箇所はエゾマツ側面の接着層に沿う

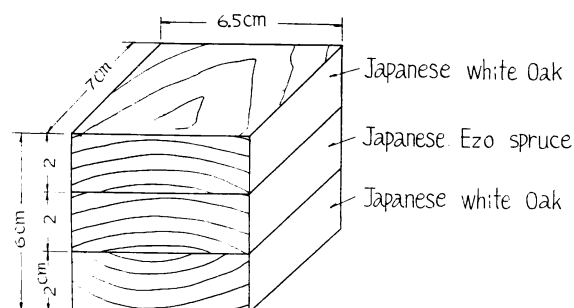


Fig. 8 剝離促進試片  
Accelerated delamination test specimen.

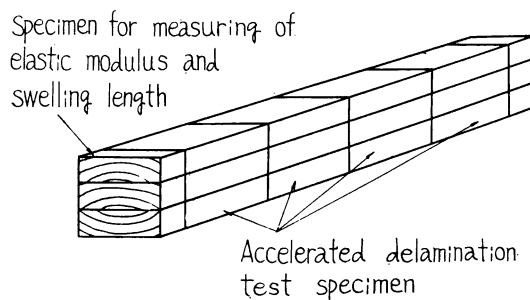


Fig. 7 試験用集成材  
Test specimen.

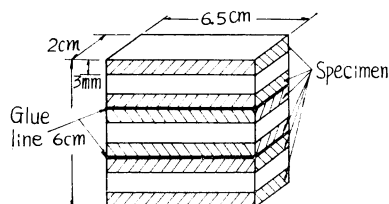


Fig. 9 弾性および膨張量測定用試片  
Specimen for measuring of elastic modulus and swelling length in widthwise.

部分であつた (Fig. 11 参照, 後掲)。

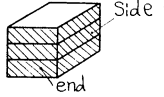

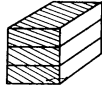
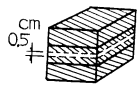
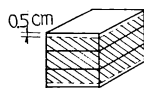

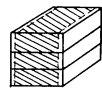
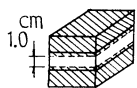
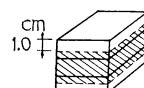

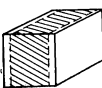
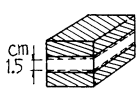
各サイクルの乾燥開始より剝離を生じたときまでの日数とともに, 剝離量を Table 5 (後掲) に示す。

ナラ材およびエゾマツ材の曲げ弾性係数および膨張量も, 同表に示してある。

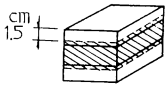




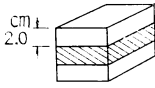

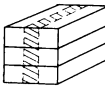

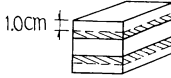
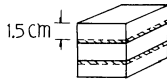
各処理条件の試片の寸法変化は, Table 6 (後掲) に示す。

この実験で認められるような, エゾマツの接着層に沿つた端面の破壊を考えるにあつては, 3 枚積層

Table 4. 各 試 片 の 乾 燥 条 件  
Drying condition of accelerated delamination test specimen.

乾燥日程 Period of drying (day)	試 片 の 処 理 番 号 No. of cover treatment of specimen			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
1	<p>木口および側面の全面を被覆し, 上下面は被覆せず。 Whole area of end and side face of specimen was covered, and top and bottom face was not covered.</p> 	<p>木口の全面を被覆し, 上下面, 側面は被覆せず。 Whole area of end face was covered, top and bottom face and edge face was not covered</p> 	<p>木口および上下面の全面を被覆し, 側面は被覆せず Whole area of end and top and bottom face was covered, edge face was not covered.</p> 	<p>エゾマツのコア材の木口および側面の中央部分 0.5 cm のみ被覆せず。 Center parts of 0.5 cm length at spruce core was not covered,</p> 
2	上に同じ Do.	上に同じ Do.	上に同じ Do.	上に同じ Do.
3	<p>木口および側面で上下面より 0.5cm 被覆をとる。 Cover of 0.5 cm length from top and bottom side was taken off.</p> 	<p>木口面で上下面より 0.5cm 被覆をとる。 Cover of 0.5 cm length from top and bottom side was taken off.</p> 	<p>木口および上下面で側端面より 0.5cm 被覆をとる。 Cover of 0.5 cm length from edge side at end and top and bottom face was taken off.</p> 	<p>コア中央の木口面および側面で 1.0cm 被覆をとる。 Cover of 1.0 cm length at center of core was taken off.</p> 
4	<p>上下面より 1.0cm 被覆をとる。 Cover of 1.0 cm length from top and bottom side was taken off.</p> 	<p>上下面より 1.0cm 被覆をとる。 Cover of 1.0 cm length from top and bottom side was taken off.</p> 	<p>側端面より 1.0cm 被覆をとる。 Cover of 1.0 cm length from edge side was taken off.</p> 	<p>コア中央の木口および側面で 1.5cm 被覆をとる。 Cover of 1.5 cm length at center of core was taken off.</p> 



乾燥日程 Period of drying(day)	試片の処理番号 No. of cover treatment of specimen			
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
5	上下面より1.5cm被覆をとる。 Cover of 1.5 cm length from top and bottom side was taken off. 	上下面より1.5cm被覆をとる。 Cover of 1.5 cm length from top and bottom side was taken off. 	側端面より1.5cm被覆をとる。 Cover of 1.5 cm length from edge side was taken off. 	コア中央の木口および側面で2.0cm被覆をとる。 Cover of core was taken off. 
6	上に同じ Do.	上に同じ Do.	上に同じ Do.	上下面の被覆をとる。 Cover over top and bottom face was taken off. 
7	上下面より2.0cm被覆をとる。 Cover of 2.0 cm length from top and bottom side was taken off. 	上下面より2.0cm被覆をとる。 Cover of 2.0 cm length from top and bottom side was taken off. 	側端面より2.0cm被覆をとる。 Cover of 2.0 cm length from edge side was taken off. 	木口および側面で上下面より0.5cm被覆をとる。 Cover of 0.5 cm length from top and bottom side was taken off. 
8	—	—	—	上下面より1.0cm被覆をとる。 Cover of 1.0 cm length from top and bottom side was taken off. 
9	—	—	—	上下面より1.5cm被覆をとる。 Cover of 1.5 cm length from top and bottom side was taken off. 

注：処理条件 No. 1, No. 2, No. 3 の試片では第1サイクルは第6日で終了し、第2サイクルは第7日で終了。各サイクルの終了時に剝離を測定した。処理条件 No. 4 の試片では第1サイクル、第2サイクルともに第9日で終了し、その時に剝離を測定した。

Remarks : Drying of specimens of treatment number No. 1, No. 2, No. 3 was ended on 6th day at 1st cycle and ended on 7th day at 2nd cycle. Drying of specimens of treatment number No. 4 was ended on 9th day at 1st and 2nd cycle. Delamination was measured at end of each cycle. Drying condition was based on ASTM D 1101—53.

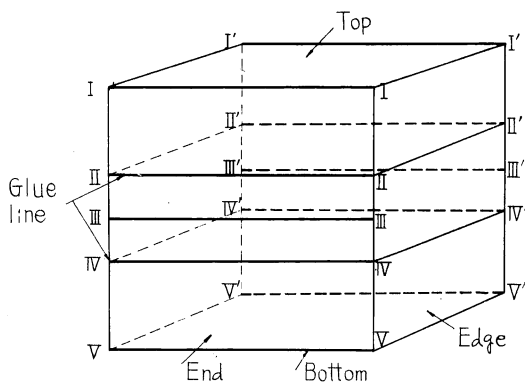


Fig. 10 寸法変化の測定位置

The line measured dimensional change.

two values of I - I and I - I', II - II and II' - II', III - III and III' - III', IV - IV and IV' - IV', V - V and V' - V' was averaged.

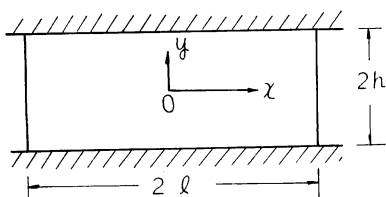


Fig. 12 金属間に接着された合成樹脂板

Low elastic material glued between two rigid materials.

$$\tau_{xy}/E\Delta\alpha t = \sum_{i=1}^{\infty} 8(-)^{i+1}\lambda_i \left\{ b \sinh \lambda_i x - x \cosh \lambda_i x \right\} \times \sin \lambda_i y / \pi (2i-1) e^{\lambda_i b} \dots \dots \dots (5)$$

ここで  $\lambda_i = (2i-1)\pi/2h$  ( $i=1, 2, 3, \dots$ )

$\sigma_x$  ; Fig. 12 において板の座標 0 点より  $x, y$  方向におのおの  $x, y$  なる距離にある点の  $x$  方向の  $y$  軸に垂直な応力

$\sigma_y$  ; Fig. 12 において板の座標 0 点より  $x, y$  方向におのおの  $x, y$  なる距離にある点の  $y$  方向の  $x$  軸に垂直な応力

$\tau_{xy}$  ; Fig. 12 において板の座標 0 点より  $x, y$  方向におのおの  $x, y$  なる距離にある点の  $xy$  面の剪断応力

$E$  ; 合成樹脂板の弾性係数

$\Delta\alpha$  ; 金属と合成樹脂板の収縮率の差

$t$  ;  $T_1 - T_2$   $b$  ;  $l/h$  で  $b \gg 1$

そして  $X = \frac{b-x}{2h}$ ,  $Y = y/h$  の比較値をとり、図に示すと Fig. 13 のようになる。

この結果は、木材—木材の接着の場合に外側材と内側材との弾性係数の差がさほど大きくはないので、本実験の条件と多少異なるとはいえ、傾向においてかなりの類似性があると考えられる。

Fig. 13 における結果は、外側材の膨張量が内側材の膨張量よりも大きい場合に膨潤せしめて、内側材

された場合、外側材と内側材の膨張収縮率の相違によつて内側材中に生ずる応力の状態を考えねばならないが、これについては小島・井上<sup>2)</sup>の研究がある。

すなわち、この研究では弾性係数の高い剛体とみられるような金属の間に、弾性係数の低い合成樹脂板を接着した場合、温度変化による収縮差によつて板内に生ずる応力を平面応力問題として次のように解析している。

合成樹脂板の寸法および座標を、Fig. 12 のようにとる。いま温度  $T_1$  において接着され、そのときは無歪であつたとし、温度  $T_2$  以下がつたために板内に応力が生じたとすれば、

このときの応力は次式で示される。

$$\sigma_x/E\Delta\alpha t = 1 - \sum_{i=1}^{\infty} 8(-)^{i+1} \left\{ (1 + \lambda_i b) \cosh \lambda_i x - \lambda_i x \sinh \lambda_i x \right\} \times \cos \lambda_i y / \pi (2i-1) e^{\lambda_i b} \dots \dots \dots (3)$$

$$\sigma_y/E\Delta\alpha t = \sum_{i=1}^{\infty} 8(-)^{i+1} \left\{ (\lambda_i b - 1) \cosh \lambda_i x - \lambda_i x \sinh \lambda_i x \right\} \times \cos \lambda_i y / \pi (2i-1) e^{\lambda_i b} \dots \dots \dots (4)$$

が引張されている状態の場合の内側材中の応力状態を示している。すなわち、 $x$  方向の  $\sigma_x$  は引張、 $y$  方向の  $\sigma_y$  は端面の接着層で最大圧縮応力となり、 $\tau_{xy}$  も端面の接着層で最大を示す。

外側材の膨張量が内側材よりも小さい場合に、膨潤せしめられて内側材が圧縮されている状態の場合には  $\sigma_x$  は圧縮となり、 $\sigma_y$  は端面の接着層で最大引張応力となり、 $\tau_{xy}$  も端面の接着層で最大を示す。

このように、引張応力  $\sigma_y$  および剪断応力  $\tau_{xy}$  が端面の接着層において最大を示すことは、剥離が端面の接着層付近で起こる可能性を明らかにしている。

本実験において、水の注入後の膨潤状態におけるエゾマツ材の応力状態を考えるにあたって、上式(3)、(4)、(5)中で指標としてとられている  $E_s \Delta l$  の代わりに、次のような  $E_s \Delta l$  をとつた。

$E_s$  ; エゾマツの気乾時(含水率12%)の曲げ弾性係数

$\Delta l$  ; (接着後の試片に水を注入して膨潤せしめたときにおけるエゾマツの接着層部分の気乾時よりの膨張量) - (接着前のエゾマツ挽板に水を注入したときの気乾時よりの膨張量)

この  $E_s \Delta l$  の値を Table 5 に示す。

この数値と剥離との関係について見れば、 $E_s \Delta l$  が負の場合のナラ柾目—エゾマツ板目—ナラ柾目の組合せのときには、No. 2, No. 3 の処理条件の試片の剥離は必ず乾燥過程の初期に生じ、その値の大なるものほど大きな剥離量を示す。

$E_s \Delta l$  が正の場合の、ナラ板目—エゾマツ板目—ナラ板目の組合せの No. 2 の処理条件の試片では、剥離は乾燥終期に現われている。そして剥離量と  $E_s \Delta l$  値との関係は、 $E_s \Delta l$  が負の場合ほど明りようではない。

ナラ柾目—エゾマツ柾目—ナラ柾目およびナラ板目—エゾマツ柾目—ナラ板目の組合せのものについては、剥離量が非常に少なく、その傾向は把握しがたい。

ここで内部応力を外側材と内側材との膨張収縮の差異によつて接着層付近に生ずる応力と、乾燥過程中に含水率傾斜によつて生ずる応力とに分解して考え、これら応力と各処理条件の試片の剥離との関係について前記の文献に示された結果を参考にして考察して見よう。

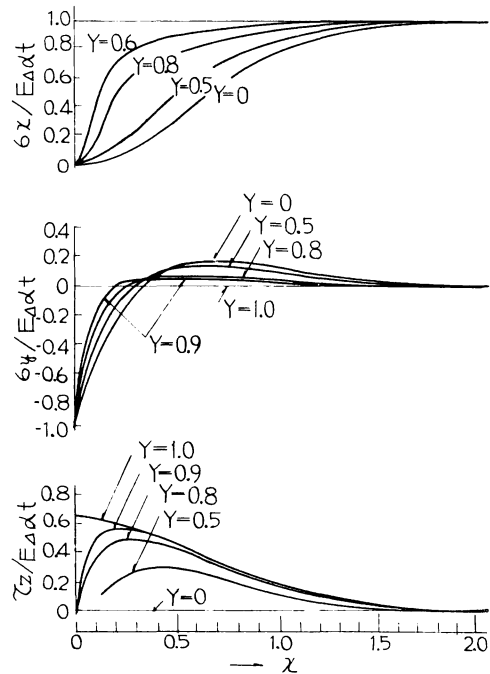


Fig. 13 内層材の端面近辺の応力分布  
Stress distribution in plastic lamination of 3 ply material composed of metal-plastic-metal.

$\sigma_x$  ; Stress perpendicular to  $y$  axis shown in Fig. 12 and shown by formula (3).

$\sigma_y$  ; stress perpendicular to  $x$  axis and shown by formula (4).

$\tau_{xy}$  ; Shear stress on  $x y$  plane and shown by formula (5).

$Y$  shows  $\frac{y}{h}$  in formula (3), (4), (5).

$X$  shows  $(b-x)/2h$

$Y=0$  at center in thickness wise.

$Y=1$  at glue line.

$X=0$  at edge of plastic lamination.

内側材にエゾマツ板目を用いた試片は剝離量が多く、その傾向がよく現われているので、エゾマツ板目を用いた試片について考察する。

(1) 外側材と内側材との収縮膨張の差異に基づく剪断応力について見れば、No. 4 の処理条件の試片で、エゾマツ材部分のみ乾燥せしめた場合、Table 6 に示すように I, II, IV, V の長さは注水後とほぼ同じであつて、幅方向の寸法変化はほとんどなく、III のみが著しく減少し、ナラ板目—エゾマツ板目—ナラ板目の場合には 1 mm 近くも減少しているものもあり、剪断応力は注水後のそれよりもはるかに増大していると考えられるにもかかわらず、剝離は全然認められなかつた。そしてエゾマツ木口面の中央付近で厚さ方向の割れを生じ、さらにエゾマツ側面の接着層に近い部分で厚さ方向の潰れではないかと思われるものを生じたものもある。これはエゾマツ材の乾燥によつて幅方向の引張応力が増大し、側面では圧縮応力が増大したために生じたと考えられる。したがつて外側材と内側材の収縮膨張の差による剪断応力によつて剝離が生ずるとは考えられない。

そこで側面における接着層に垂直な応力を考えることにより、この実験で生じた剝離の発生の現象を下記のように説明することができる。

(2) ナラ板目—エゾマツ板目—ナラ板目の組合せの No. 1 の処理条件の試片について見れば、 $E_s d/l$  値は負で、注水後エゾマツ側面は外方に向かつて凸状を示して試片幅方向に圧縮応力を受けているため、前記のように側面の接着層付近は接着層に垂直な引張応力を受けている。Table 6 の寸法変化に見られるように、注水後促進試片の上下面から外側材の厚さの 3/4 まで乾燥しても II, III, IV の寸法変化はほとんどないので、促進試片の上下面より外側材の厚さの 3/4 まで乾燥しても、この引張応力の値は注水後と変わらない。この引張応力に Dietz らによつて示されたような上下面よりの乾燥の含水率傾斜によつて外側材が外方に湾曲しようとするための引張応力と、被覆を除いたために側面よりの乾燥による含水率傾斜のための引張応力とが加わることになるが、後者の引張応力は木口面の被覆も同時にとつて乾燥しているため低いと考えられる。

上下面よりの乾燥による引張応力が外側材のどの程度の深さまで乾燥したときに最大となるかを次のような実験によつて求めて見た。すなわち、Fig. 14 に示すような試片を 2 種類の比重のナラ板目板および板目板より 4 個ずつ採取して、促進試片と同じ方法で水を注入して飽水にした。その後、Table 7 のような促進試片 No. 1 の処理条件の外側材部分の処理と同じ乾燥方法で上下面より乾燥した。下面はアルミ塗料により被覆した。

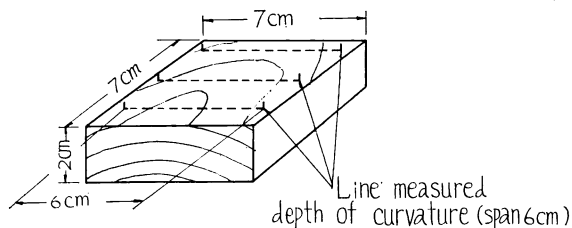


Fig. 14 表面からの乾燥によつて生ずる幅方向の湾曲を測定した試片

The specimen for measuring of curvature of lamination caused by drying from surface.

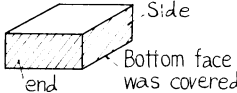
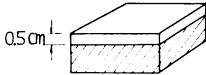
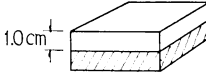
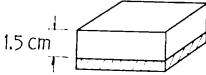
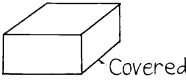
乾燥温度、湿度等は促進試片の場合と同一である。そしてこの試片の両木口面より 1 cm 内方および長さ方向の中央における幅方向の湾曲の矢高をスパン 6 cm の中央で測定した。結果は Fig. 15 に示す。

各値は、各比重 4 個の試片の両木口面および長さ方向の中央における矢高量の平均値である。

この矢高量はナラ挽板の厚さの 3/4 ま

Table 7. 表面からの乾燥によつて生ずる幅方向の湾曲を測定した試片の乾燥条件

Drying condition of specimens for measuring of curvature of lamination caused by drying from one surface.

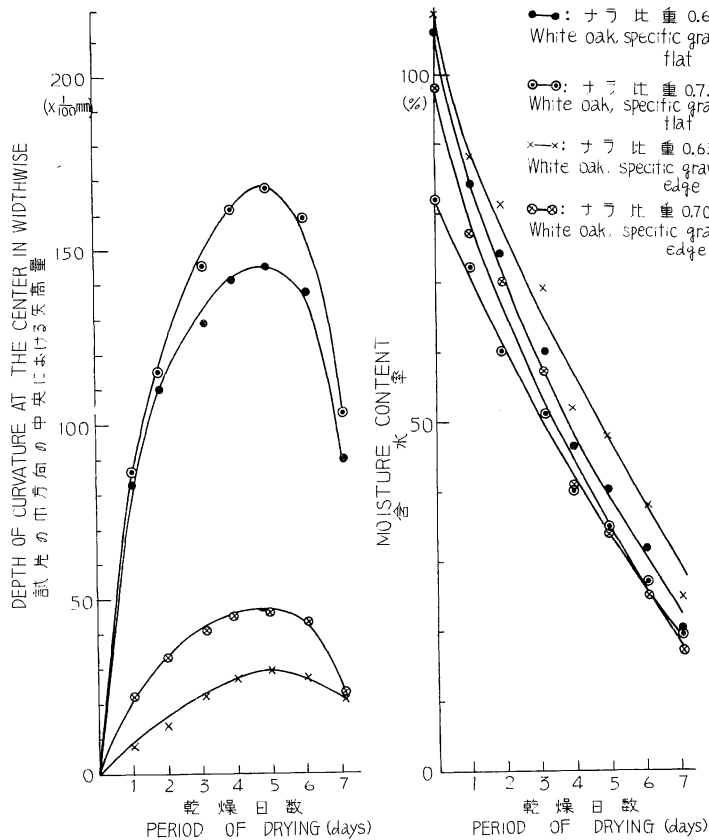
乾燥日程 Period of drying (day)	試片の処理条件 Cover treatment of specimen
1	<p>下面, 側面および木口全面を被覆し上面のみあける。 Whole area of end, side and bottom face was covered, top face was not covered.</p> 
2	上に同じ Do.
3	<p>側面および木口面の被覆を上面より 0.5 cm とる。 Cover of 0.5 cm length from top side was taken off.</p> 
4	<p>側面および木口面の被覆を上面より 1.0 cm とる。 Cover of 1.0 cm length from top side was taken off.</p> 
5	<p>側面および木口面の被覆を上面より 1.5 cm とる。 Cover of 1.5 cm length from top side was taken off.</p> 
6	上に同じ Do.
7	<p>側面および木口面の被覆を 2.0 cm とる。 Cover of 2.0 cm length from top side was taken off and only bottom face was covering.</p> 

Remarks : This treatment was same as treatment of outer lamination of No. 1 specimen shown in Table 4.

Specimen is shown in Fig. 14.

Drying condition was based on ASTM D 1101—53.

で被覆をとつて乾燥したとき, すなわち, 乾燥開始後 5 日で最大に達しているので引張応力も 5 日で最大に達したと考えられる。



凡 例 Remarks.

Test specimen : Thickness 2 cm, width 7 cm, length 7 cm.

Treatment of specimen : After impregnation of water by vacume-pressure cycle method, drying according to schedule shown in Table 7.

Measuring method of curvature : The depth of curvature at curvature was measured in widthwise with dial gauge (reference Fig. 14).

Fig. 15 上面よりの乾燥によつて外側材に生ずる湾曲の幅方向の矢高量と乾燥日数との関係

The relation of period of drying and depth of curvature of outer lamination caused by drying from surface according to Table 7.

さて、ナラ柾目—エゾマツ板目—ナラ柾目の組合せの No. 1 の処理条件の RTA 1, RTB 1, RTC 2 の試片は、上下面より外側材の 3/4 まで被覆をとつて乾燥したとき、すなわち、乾燥開始後 5 日目に生じており、これは上記の矢高量が最大となる時期とよく一致する。

ナラ板目—エゾマツ板目—ナラ板目の No. 1 の処理条件の試片においては、 $E_d A I$  値は正で、被覆を 3/4 までとつたとき、II, IV の収縮量が III の収縮量よりわずかに多い。したがつて、エゾマツ端面の接着層付近の接着層に垂直な応力は、注入後の圧縮応力よりも多少減少している。

この応力に、前記のような上下面よりの乾燥によつて生ずる引張応力と被覆を除いたために側面の乾燥によつて生ずる引張応力が加わることになるが、側面よりの乾燥による引張応力は、木口面をあけて乾

燥しているので非常に低いと考えられる。

剝離を生じた TTD3 の試片では、注水後の  $E_s dI$  値は比較的低いため端面に生じた圧縮応力は低く、外側材の比重が高いため上下面よりの乾燥によつて生じた引張応力も高く剝離しやすかつたと考えられ、乾燥開始後5日目に剝離を生じているので、上下面よりの乾燥によつて生じた引張応力が剝離に大きく影響したと考えられる。

また、外側材全部の被覆をとつて上下面よりの乾燥によつて生ずる引張応力が減少した7日目に剝離を生じた TTB1, TTC1 の試片では、Table 6 のように剝離時にはII, IVの収縮量がIIIの収縮量よりも大きく、エゾマツ端面は外方に向かつて凸状となり、端面は引張応力となる。そして、これに前記の上下面よりの乾燥による引張応力が加わるために、剝離を生じたと思われる。

このように Dietz らが指摘したように、上下面からの乾燥による含水率傾斜によつて生ずる試片端面の接着層に垂直な引張応力は、明らかに剝離の一要因となると思われる。

(3) No. 1 と No. 4 の処理条件の試片を比較して見よう。

No. 4 の試片では、まずエゾマツ部分のみ乾燥し、このときのII, IVの長さは注水後とほとんど同じであるが、IIIは非常に収縮している。

その後上下面よりの乾燥によつて生じた引張応力は、No. 1 の試片と同程度と考えられるにもかかわらず、剝離したものはない。これはNo. 4 の試片は、まずエゾマツ材部分のみ乾燥しているため、端面はNo. 1 の試片より高い圧縮応力または低い引張応力を受けているので、この応力と上下面よりの乾燥によつて生ずる引張応力との和がNo. 1 の試片よりも低いこと、およびNo. 1 の試片のエゾマツ端面が湿潤状態で強度が低いためであろう。なお、エゾマツ部分のみ乾燥したためナラ外側材の接着面側も多少含水率の減少をきたしていることも考えられるが、エゾマツ部分のみ乾燥したときのII, IVの寸法変化はわずかであるので、その影響は僅少であろうと考えられる。

(4) ナラ柱目—エゾマツ板目—ナラ柱目の組合せのNo. 2 の処理条件の試片について見れば、 $E_s dI$  値は負で、Table 6 の寸法変化に見られ

るように、注水後にエゾマツ材端面は外方に向かつて凸状を示し、端面の接着層に垂直な引張応力は、注水後に最大である。その後の乾燥に伴つてII, IVの長さよりもIIIの長さの方が多く減少し、エゾマツ材はしだいに内部に向かつて落ち込んでゆくため、引張応力はしだいに減少する。No. 3 の処理条件の試片についてもNo. 2 の場合と同様なことがいえる。

次にNo. 2 およびNo. 3 の試片では、この引張応力に試片側面よりの乾燥による含水率傾斜によつて生ずる端面の接着層に垂直な引張応力が加わることになる。

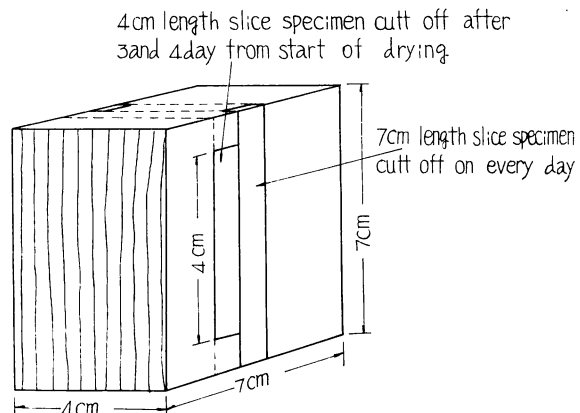

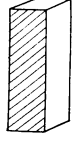
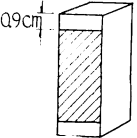
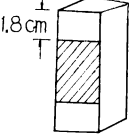


Fig. 16 側面よりの乾燥によつて側面表面に現われる応力を試験するための試片  
The specimen for test on stress developed on edge surface by drying from edge.

Table 8. 側面よりの乾燥によつて側面の表面に生ずる応力を測定するための試片の被覆条件  
Cover treatment of specimen for measuring of stress set up on side surface by drying from side face.

乾燥日程 Period of drying (day)	試 片 の 被 覆 条 件      Cover treatment of specimen	
	White oak specimen	EZO spruce specimen
1	木口の全面を被覆し上下面、側面は被覆せず。 Whole area of end face was covered, top and bottom face and edge face was not covered. 	木口の全面を被覆し上下面、側面は被覆せず。 Whole area of end face was covered, top and bottom face and edge face was not covered. 
2	上 に 同 じ Do.	上 に 同 じ Do.
3	木口面で上下面より0.9 cm 被覆をとる。 Cover of 0.9 cm length from top and bottom side was taken off. 	上 に 同 じ Do.
4	木口面で上下面より1.8 cm 被覆をとる。 Cover of 1.8 cm length from top and bottom side was taken off. 	上 に 同 じ Do.

The method of removal of cover on oak specimen corresponded to the method of removal of cover on outer lamination in No. 2 specimen.

Drying condition was based on ASTM D 1101—53.

この応力について、次のような実験を行なつた。

ナラおよびエゾマツの角材より Fig. 16 に示すような板目、柾目材をおのおの4個ずつ採取し、促進試片と同様にして飽水とした。その後木口面を被覆して促進試片と同じ乾燥条件で乾燥したが、ナラの木口の被覆は No. 2 の処理条件の促進試片の被覆を変化せしめたと同じ条件に相当するよう Table 8 のように変化せしめ、エゾマツは木口面に被覆したままとした。各乾燥過程時において Fig. 16 のように約 2.0 mm 厚の薄片を両表面より1枚とつて、切断前と切断後の長さを測定した。

スライス片の長さは試片の幅の長さの 7 cm とし、ナラのみは3日、4日目に幅方向の中央で 4 cm 長さの試片をも採取した。そして長さの変化を切断前のスライス片長との比の歪量で表わした。スライス片の含水率とともに測定して Fig. 17 に示す。

No. 2 の試片では、側面よりの乾燥によつて生ずる引張応力はナラ外側材の応力状態に支配されると考えられるので、乾燥開始より2～3日まで上昇して最大値となり、そしてその値は外側材に柾目をを用いた場合には、試片側面に板目が現われるので高く、ナラ板目外側材に表面割れを生じたものもあることより見て、エゾマツの破壊による剝離を起こさせる程度に達すると思われる。

したがつて、前記のこれら2つの引張応力の和は、乾燥開始後1～2日に大きくなり、この時期に剝離を生ずるのであろう。なお No. 2 の試片では上下面よりの乾燥による引張応力も加わるが、乾燥初期なので



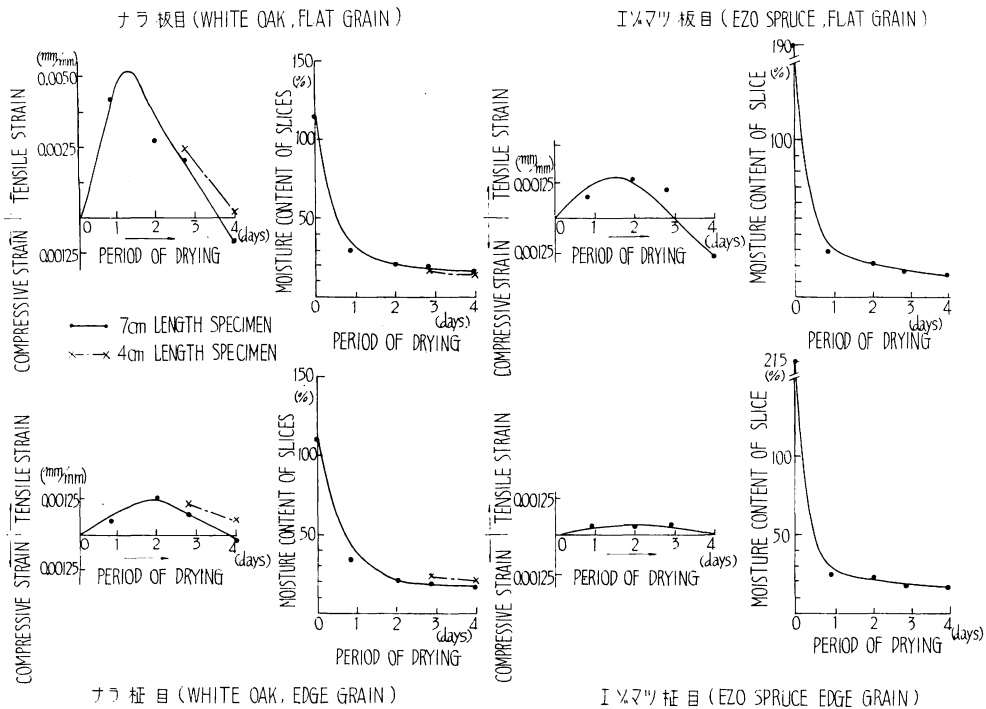


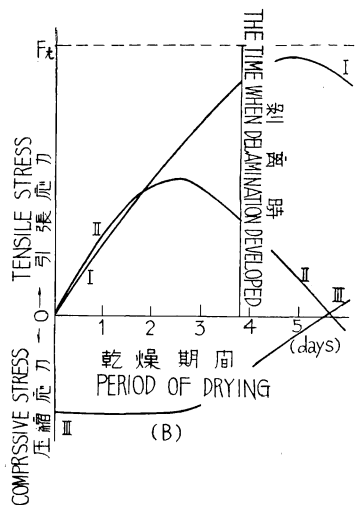
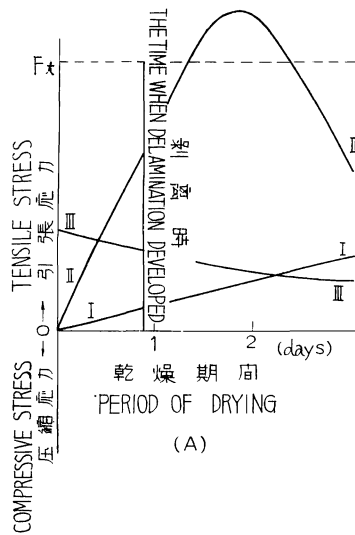
Fig. 17 試片側面よりの乾燥によって側面表面に現われる応力と乾燥日数との関係  
The relation between period of drying and strain developed on edge surface by drying from edge face (reference Fig. 16 and Table 8.).

その値は小さいだろう。

すなわち、No. 2 と No. 3 の剝離について見れば、いずれの試片でも乾燥開始後 1～2 日の同一時期に起こり、剝離量もほぼ同程度であるので、No. 2 の試片は主として、側面よりの乾燥による引張応力と、ナラ外側材がエゾマツ内側材の膨張を抑制しているためにエゾマツ材端面の接着層に生じている引張応力とによつて剝離せしめられたと考えられる。そして後者の引張応力値の指標である  $E_s \Delta l$  値は、乾燥開始後 1～2 日では注入後の値と大きな相違はないので、前記のように注入後の  $E_s \Delta l$  値が大きければ剝離量も多いという傾向が見られるのであろう。

(5) ナラ板目—エゾマツ板目—ナラ板目の組合せの No. 2 の処理条件の試片では、 $E_s \Delta l$  値は正で、Table 6 にその寸法変化を示すように注水後はエゾマツ材端面は外方に向かつて凹型の変形を示し、エゾマツ材の端材の接着層では圧縮応力の最大値を示し、乾燥とともにナラ材の幅方向の収縮によつて II, IV の長さは III の長さよりも減少が大きく、エゾマツ材端面はしだいに試片側方に向かつて凸型の変形へ移るため、圧縮応力はしだいに減少する。そして乾燥開始後 4～5 日では、圧縮応力値の指標である  $E_s \Delta l$  値は注入後の  $E_s \Delta l$  値より大きく変化した値となる。一方側面よりの乾燥による含水率傾斜によつて生ずる引張応力は、Fig. 17 のように乾燥開始後 2～3 日で最高となり、その後乾燥の進行とともに減少する。上下面よりの乾燥による引張応力は、前記のように外側材の厚さの 3/4 まで被覆を取り除いて乾燥するまで増大し、この値は比較的高いと考えられる。

すなわち、TTD 3 の No. 2 の処理条件の試片について見れば、No. 1 の処理条件の試片の剝離は 2 サイ



Remarks :

$F_t$  : 内層材端面の接着層における引張強度

Tensile strength of inner lamination on the glue line at the edge of specimen.

I—I : 試片の上下面よりの乾燥によつて外側材が湾曲せんとして生ずる内層材端面の接着層に垂直な引張応力

Tensile stress perpendicular to glue line at the edge of inner lamination which set up by tending to bending of outer lamination caused by drying from top and bottom face.

II—II : 試片側面からの乾燥によつて生ずる内層材端面の接着層に垂直な引張応力

Tensile stress perpendicular to glue line at the edge of inner lamination which set up by drying from edge face.

III—III : 外層材と内層材の膨張収縮差によつて生ずる内層材端面の接着層に垂直な応力

Stress perpendicular to glue line at the edge of inner lamination which set up in inner lamination by the difference of swell and shrinkage between the outer lamination and inner lamination.

Fig. 18 No. 2 処理試片に剝離を生ずる時の模式図

Schematic diagrams illustrating the time when delamination developed in No. 2 cover treatment specimen.

Case of (A) ; Oak, edge grain-spruce, flat grain-oak, edge grain.

Case of (B) ; Oak, flat grain-spruce, flat grain-oak, flat grain.

クル目に生じており、またエゾマツ材端面は湿润状態にあつて強度も低いので直接比較にならないが、剝離量は No. 2 の試片のその約 3/4 程度であり、また他の No. 2 の試片でも剝離を乾燥開始より 4～5 日後に生じており、上下面よりの乾燥による矢高量が最大となる時期と一致しているので、No. 2 の試片でも上下面よりの乾燥によつて生ずる引張応力の影響は比較的大きかつたと思われる。このように考えれば前記のように注入後の  $E_s A l$  値と剝離量との関係は明確には認められないことが理解されよう。

それゆゑ、これら 3 つの応力の和が高くなつた乾燥開始後 4～5 日に剝離を生じたと考えられる。

以上のごとく、内側材にエゾマツ板目を用いた場合に生じた剝離の発生状態について考察したが、集成

材が実際に使用されたときの使用条件に最も近い処理をした No. 2 の試片の場合について剝離発生の様式図を示せば、Fig. 18 のごとくであらうと考えられる。

内側材にエゾマツ柾目を用いた組合せのものは剝離量が少なく、その傾向を把握することは困難であるが定性的にはエゾマツ板目を用いた試片について記したと同様なことがいえるのではないと思われる。

内側材に板目を用いたものが、柾目のものより剝離しやすいという原因は、内側材に板目を用いた場合エゾマツ端面の接着層に近い春材と秋材との境界付近より破壊が生じ、しだいに内方の接着層に向かって進行するのが認められた試片もあるので、内側材に板目を用いた場合に端面に春材と秋材が表われ、応力集中を生じやすいということにあるのではなかろうか。

剝離促進試験によつてナラーエゾマツ—ナラ集成材に生ずる剝離発生傾向を直接実験的に応力を求めて検討することが望ましいが、それには幾多の困難があるため、これと関連のある文献に発表されている結果を参考として考察した。

緒言において記したように、剝離発生現象を検討するには幾多の大きな未解決の問題を含んでいることはいうまでもないが、本実験で行なつた剝離促進試験における条件と、実際の使用条件下における状態との関連等も残された問題である。

本報告で記したように、ナラーエゾマツ—ナラ集成材における剝離は、接着層中や接着界面におけるいわゆる接着剝離ではなく、接着界面に近い部分のエゾマツ材中の破壊による剝離であると認められたことは、接着剤の使用条件等の単なる接着技術の問題ばかりでなく、被接着材の組合せにも十分な注意が必要であることを明らかにしているといえよう。

## 摘 要

本実験は、ASTM D 1101—53 に準拠した注入—乾燥のサイクルで、試片の木口面を被覆して、その被覆を上下面より漸次除去して側面に現われる剝離を測定する剝離促進試験によつてフェノール—レゾルシンノール接着剤で接着されたナラーエゾマツ—ナラ集成材の剝離発生傾向について検討を加えた。

その結果は次のごとくである。

1. 促進試験の乾燥過程中、側面の接着層に沿つた部分に剝離が生じたが、その剝離は接着層中、または接着界面の破壊による剝離ではなく、エゾマツ内側材の接着面に近い部分の木部破断による剝離であることが認められた。
2. このような剝離を生じた箇所は、板目エゾマツ内側材の場合には木表側に限られていた。
3. エゾマツ内側材に板目を用いた場合に剝離量が多く、柾目の場合には極端に少ない。
4. 剝離発生時期について見れば、ナラ柾目—エゾマツ板目—ナラ柾目の場合には乾燥開始より1～2日、ナラ板目—エゾマツ板目—ナラ板目の場合には4～5日であつた。
5. 外側材の比重との関係について見れば、ナラ板目—エゾマツ板目—ナラ板目の場合には外側材に比重の高いものを用いたほど剝離量も多かつた。

6. 試片に水を注入した後、ナラ外側材によつてエゾマツ内側材の膨張が抑止されている量、またはエゾマツ内側材が伸張されている量を  $\Delta l$  とし、エゾマツ材の弾性係数を  $E_s$  とすれば、 $E_s \Delta l$  値と剝離量との関係を見れば、ナラ柾目—エゾマツ板目—ナラ柾目の場合にはこの  $E_s \Delta l$  値の高いほど剝離量も多い傾向が見られた。

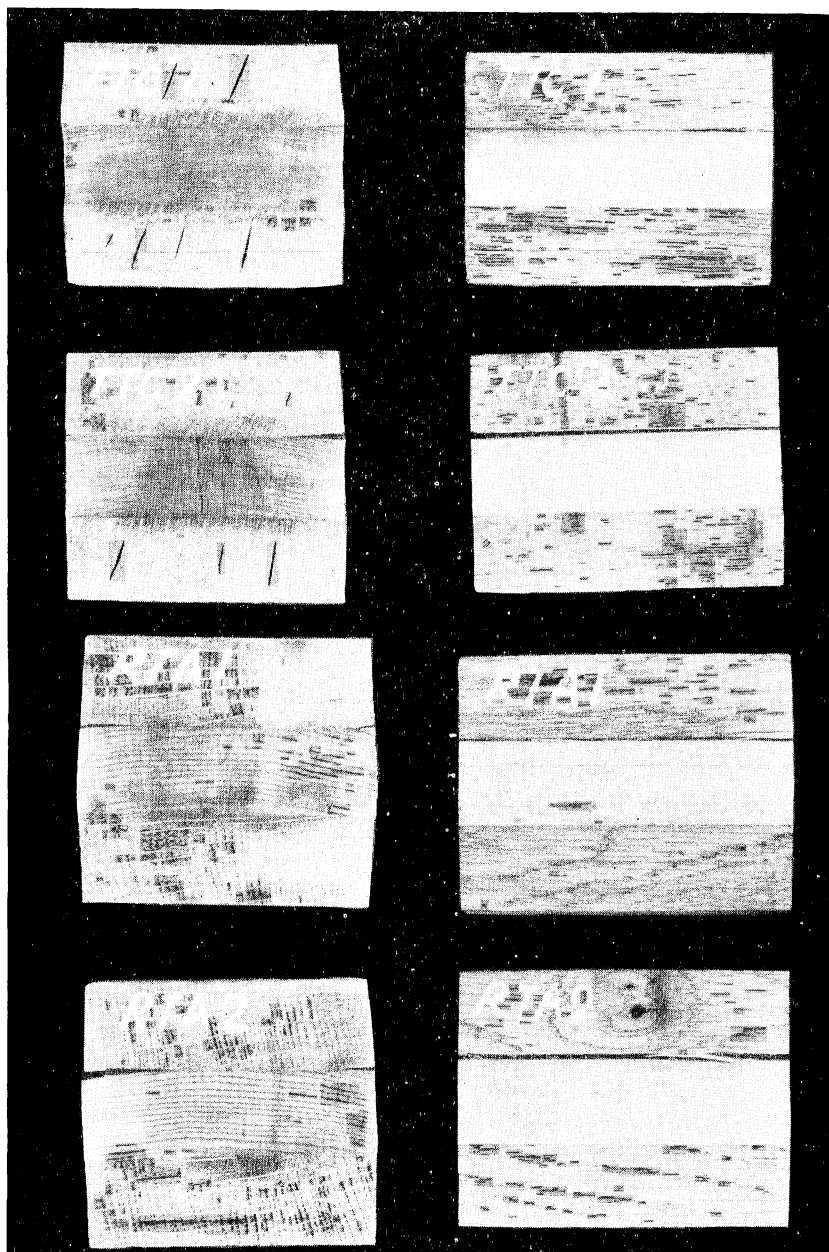


Fig. 11 促進試片の  
Delamination of

TTC' 試片は Table 5 における

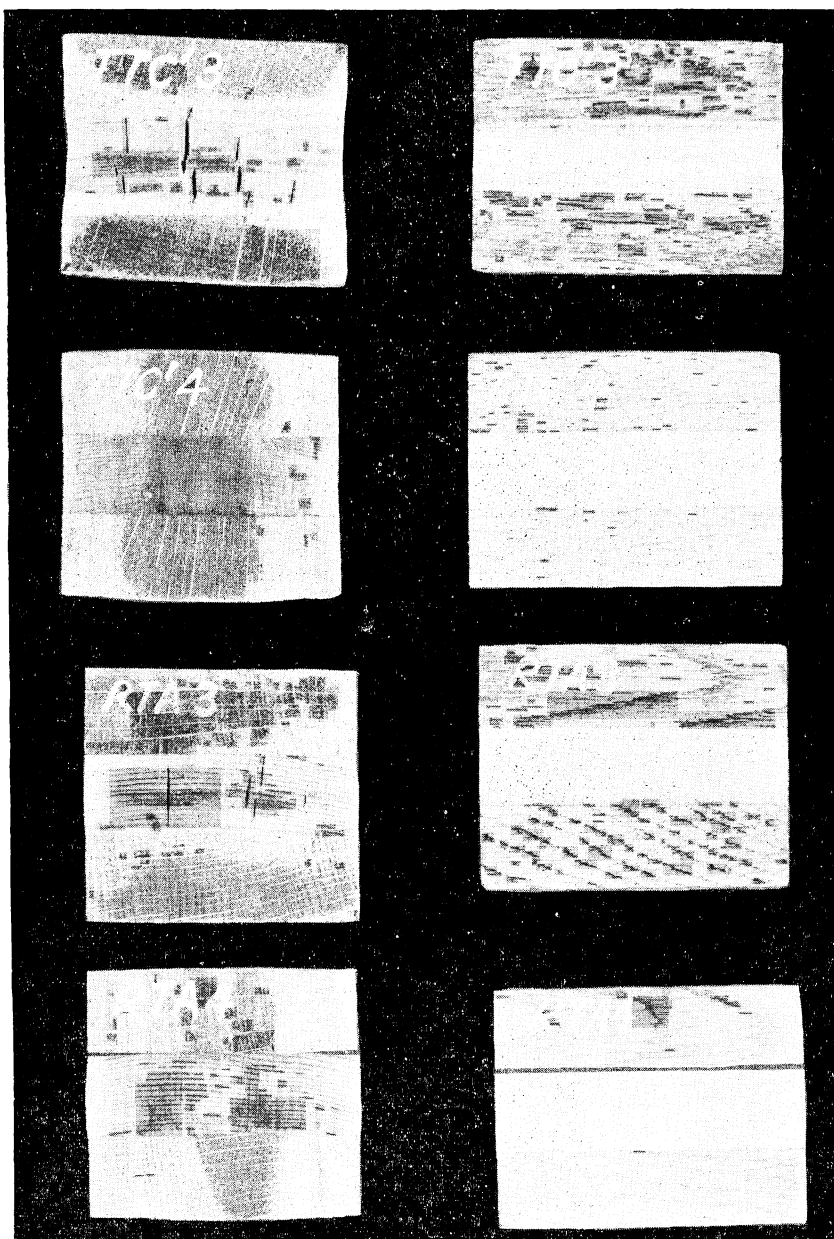
TTC' specimen shown in photograph is TTC 1 specimen shown in Table 5

TTC' 1 および RTA 1 は No. 1 処理試片

TTC' 2 および RTA 2 は No. 2 処理試片

TTC' 3 および RTA 3 は No. 4 処理試片

TTC' 4 および RTA 4 は No. 3 処理試片



# 剥離状況

Accelerated specimen.

TTC 1 試片で RTA 試片は RTA 1 試片である。

and RTA specimen is RTB 1 specimen shown in Table 5.

TTC' 1 and RTA 1 specimen is No. 1 cover treatment specimen.

TTC' 2 and RTA 2 specimen is No. 2 cover treatment specimen.

TTC' 3 and RTA 3 specimen is No. 4 cover treatment specimen.

TTC' 4 and RTA 4 specimen is No. 3 cover treatment specimen.

Table 5. 促進試験  
Amount of delamination of

	試片記号 Marks of specimen	木理の組合せ <sup>1)</sup> Combi- nation of grain	比重 Specific gravity	年輪密度 Density of annual rings	曲げヤング係数 <sup>2)</sup>	ナラおよび エゾマツ材 の膨張量 <sup>2)</sup>	剝離試片の接着層 におけるエゾマツ 材の膨張量 <sup>3)</sup>	$\Delta l$  $= \Delta l_2 - \Delta l_1$  (cm)	$E_s \cdot \Delta l^4)$  $\times 10^3$  kg/cm	
					$E_o, E_s$ of bending modulus $\perp$ to grain $\times 10^3$ kg/cm <sup>2</sup>	Swelling length of Oak and EZO spruce $\Delta l_1$ (mm)	Swelling length of EZO spruce on the glue line of accelerated delamination test specimen $\Delta l_2$ (mm)			
Series I	TTA 1	NT	0.52	10	6.1	3.2	3.3	0.03	0.13	
		ET	0.43		4.3	3.0				3.5
		NT	0.51		3.3	3.1				
	TTB 1	NT	0.64	10	6.5	4.1	3.8	0.04	0.15	
		ET	0.45		3.8	3.4				3.9
		NT	0.64		3.4	3.5				
	TTC 1	NT	0.73	11	8.4	5.0	4.6	0.16	0.86	
		ET	0.43		5.4	3.0				4.3
		NT	0.73		4.0	3.1				
	RTA 1	NR	0.67	10	12.7	1.5	2.1	-0.13	-0.64	
		ET	0.45		4.9	3.4				2.3
		NR	0.67		5.6	3.6				
	RTB 1	NR	0.76	10	14.4	1.9	2.4	-0.11	-0.56	
		ET	0.45		5.1	3.5				2.6
		NR	0.77		3.9	3.6				
Series II	TTA 2	NT	0.50	8	5.7	2.9	3.2	-0.02	-0.10	
		ET	0.45		4.7	3.4				3.1
		NT	0.48		5.1	3.4				
	TTB 2	NT	0.59	7	6.3	3.5	3.5	0.01	0.03	
		ET	0.45		3.3	3.4				3.6
		NT	0.59		3.1	3.3				
	TTC 2	NT	0.63	7	6.6	3.7	4.3	0.10	0.41	
		ET	0.45		4.1	3.3				4.6
		NT	0.63		3.8	3.6				
	TTD 2	NT	0.67	7	7.3	4.8	4.2	0.08	0.42	
		ET	0.44		5.3	3.4				4.3
		NT	0.67		4.2	3.5				
	TTE 2	NT	0.70	7	8.9	4.2	4.2	0.07	0.34	
		ET	0.45		4.9	3.5				4.4
		NT	0.70		4.8	3.7				
	TTF 2	NT	0.76	6	8.5	5.4	4.5	0.12	0.56	
		ET	0.45		4.7	3.3				4.6
		NT	0.77		3.9	3.7				
RTA 2	NR	0.49	6	10.2	1.3	2.0	-0.10	-0.26		
	ET	0.44		2.6	3.0				2.4	
	NR	0.52		2.8	3.3					
RTB 2	NR	0.67	6	10.9	1.9	2.6	-0.06	-0.27		
	ET	0.45		4.5	3.2				2.7	
	NR	0.67		3.6	3.3					

## 片 の 剝 離 量

accelerated test specimens.

No. 1 処 理 試 片 <sup>5)</sup> Treatment No. 1 specimen				No. 2 処 理 試 片 <sup>5)</sup> Treatment No. 2 specimen				No. 3 処 理 試 片 <sup>5)</sup> Treatment No. 3 specimen			
1 cycle		2 cycle		1 cycle		2 cycle		1 cycle		2 cycle	
剝離までの乾燥日数 <sup>6)</sup> Period of drying required to delamination (days)	剝離量 Amount of delamination (mm <sup>2</sup> )	剝離までの乾燥日数 <sup>6)</sup> Period of drying required to delamination (days)	剝離量 Amount of delamination (mm <sup>2</sup> )	剝離までの乾燥日数 <sup>6)</sup> Period of drying required to delamination (days)	剝離量 Amount of delamination (mm <sup>2</sup> )	剝離までの乾燥日数 <sup>6)</sup> Period of drying required to delamination (days)	剝離量 Amount of delamination (mm <sup>2</sup> )	剝離までの乾燥日数 <sup>6)</sup> Period of drying required to delamination (days)	剝離量 Amount of delamination (mm <sup>2</sup> )	剝離までの乾燥日数 <sup>6)</sup> Period of drying required to delamination (days)	剝離量 Amount of delamination (mm <sup>2</sup> )
	0		0	5	60		190		0		0
	0	7	40		0	5	70		0		0
	0	7	30	3	450		750		0		0
5	175		215	2	1090		1540	2	865		1260
5	45		70	1	1165		1420	1	1125		1175
	0		0		0	5	80		0		0
	0		0	5	75		380		0		0
	0		0		0	5	60		0		0
	0		0	5	25		85		0		0
	0		0	5	75		195		0		0
	0		0		0	5	90		0		0
	0		0		0		0	3	70		90
	0		0		0		0		0		0

試片記号 Marks of specimen	木理の組合せ <sup>1)</sup> Combination of grain	比重 Specific gravity	年輪密度 Density of annual rings	曲げヤング係数 <sup>2)</sup> $E_o, E_s$ of bending modulus $\perp$ to grain $\times 10^3$ kg/cm <sup>2</sup>	ナラおよびエゾマツ材の膨張量 <sup>2)</sup> Swelling length of Oak and EZO spruce $\Delta l_1$ (mm)	剝離試片の接着層におけるエゾマツ材の膨張量 <sup>3)</sup> Swelling length of EZO spruce on the glue line of accelerated delamination test specimen $\Delta l_2$ (mm)	$\Delta l$ $= \Delta l_2 - \Delta l_1$ (cm)	$F_s - \Delta l^{(4)}$ $\times 10^3$ kg/cm
RTC 2	NR	0.74	6	13.1	2.3	2.7 2.9	-0.08 -0.08	-0.42 -0.44 ave. -0.43
	ET	0.45		5.2 5.5	3.5 3.7			
	NR	0.72		14.7	2.0			
Series III	TTA 3	NT	7	6.7	4.7	4.0 3.3	0.13 0.06	0.36 0.25 ave. 0.31
		ET		2.8 4.1	2.7 2.7			
		NT		7.6	3.8			
	TTB 3	NT	7	6.8 3.1	4.3 2.7	3.7 3.5	0.10 0.07	0.31 0.26 ave. 0.29
		ET		3.7	2.8			
		NT		7.5	4.9			
	TTC 3	NT	7	7.6 3.6	6.2 2.7	5.1 3.6	0.24 0.08	0.87 0.34 ave. 0.61
		ET		4.3	2.8			
		NT		8.1	4.3			
	TTD 3	NT	7	8.2 3.0	4.3 2.9	4.0 4.0	0.11 0.11	0.33 0.30 ave. 0.32
		ET		2.7	2.9			
		NT		9.1	5.2			
	RTA 3	NR	7	8.0 4.1	2.3 3.4	1.9 2.4	-0.15 -0.10	-0.61 -0.32 ave. -0.47
		ET		3.2	3.4			
		NR		8.8	2.3			
	RTB 3	NR	7	9.7 3.1	1.6 2.8	1.7 1.4	-0.11 -0.13	-0.34 -0.48 ave. -0.41
		ET		3.7	2.7			
		NR		7.6	1.3			
	RTC 3	NR	8	13.1 2.7	1.4 2.6	1.4 1.7	-0.12 -0.10	-0.32 -0.31 ave. -0.31
		ET		3.1	2.7			
		NR		11.2	1.7			
	RTD 3	NR	7	13.3 3.2	1.4 2.7	1.5 1.5	-0.12 -0.13	-0.38 -0.47 ave. -0.42
		ET		3.6	2.8			
		NR		11.9	1.2			
Series I	RRA 1	NR		9.8 1.7	1.7 0.6	1.0 1.1	0.04 0.05	0.07 0.20 ave. 0.14
		ER		3.9	0.6			
		NR		7.9	1.8			
	RRB 1	NR		10.5 2.2	1.2 0.8	1.1 1.1	0.03 0.03	0.07 0.03 ave. 0.05
		ER		1.1	0.8			
		NR		10.8	1.3			
	RRC 1	NR		13.8 3.3	1.6 0.5	1.0 1.1	0.05 0.06	0.17 0.29 ave. 0.23
		ER		4.9	0.5			
		NR		10.8	2.2			
	RRD 1	NR		13.5 2.7	1.4 0.6	0.9 0.9	0.03 0.03	0.08 0.14 ave. 0.11
		ER		4.5	0.6			
		NR		12.9	1.5			
	RRE 1	NR		12.7 2.3	1.9 0.6	1.4 1.1	0.08 0.05	0.18 0.13 ave. 0.16
		ER		2.6	0.6			
		NR		12.5	1.7			



No. 1 処理試片 <sup>5)</sup> Treatment No. 1 specimen				No. 2 処理試片 <sup>5)</sup> Treatment No. 2 specimen				No. 3 処理試片 <sup>5)</sup> Treatment No. 3 specimen			
1 cycle		2 cycle		1 cycle		2 cycle		1 cycle		2 cycle	
剥離までの乾燥日数 <sup>6)</sup> Period of drying required to delamination (days)	剥離量 <sup>6)</sup> Amount of delamination ( $mm^2$ )	剥離までの乾燥日数 Period of drying required to delamination (days)	剥離量 Amount of delamination ( $mm^2$ )	剥離までの乾燥日数 Period of drying required to delamination (days)	剥離量 Amount of delamination ( $mm^2$ )	剥離までの乾燥日数 Period of drying required to delamination (days)	剥離量 Amount of delamination ( $mm^2$ )	剥離までの乾燥日数 Period of drying required to delamination (days)	剥離量 Amount of delamination ( $mm^2$ )	剥離までの乾燥日数 Period of drying required to delamination (days)	剥離量 Amount of delamination ( $mm^2$ )
5	85		90	1	750		950	1	1125		1150
	0		0	4	120		350		0		0
	0		0	4	10		180		0		0
	0		0	4	140		560		0		0
	0	5	560	4	140		875		0		0
	0		0		0	2	320		0	2	50
	0		0		0	1	130		0	1	70
	0		0		0	3	10		0		0
	0		0		0	1	150			1	103
	0		0		0		0		0		0
	0	7	15		0	4	15		0		0
	0	7	5		0		0		0		0
	0		0		0		0		0		0
	0		0	4	15		30		0		0

試片記号 Marks of specimen	木理の組合せ <sup>1)</sup> Combination of grain	比重 Specific gravity	年輪密度 Density of annual rings	曲げヤング係数 <sup>2)</sup> $E_o, E_s$ of bending modulus $\perp$ to grain $\times 10^3$ $kg/cm^2$	ナラおよびエゾマツ材の膨張量 <sup>2)</sup> Swelling length of Oak and Ezo spruce $\Delta l_1$ (mm)	剥離試片の接着層におけるエゾマツ材の膨張量 <sup>3)</sup> Swelling length of Ezo spruce on the glue line of accelerated delamination test specimen $\Delta l_2$ (mm)	$\Delta l$ $= \Delta l_2 - \Delta l_1$ (cm)	$E_s \cdot \Delta l^{4)}$ $\times 10^3$ $kg/cm$
Serie II	TRA 1	NT	0.53	5.6	3.1			
		ER	0.40	3.8	0.6	2.1	0.15	0.45
		NT	0.54	2.2	0.6	2.2	0.16	0.35
	TRB 1	NT	0.68	5.2	4.2			ave. 0.40
		ER	0.38	—	—	2.6	0.21	0.67
			0.67	3.2	0.5	2.9	0.24	0.62
	TRC 1	NT	0.73	7.1	5.3			ave. 0.65
		ER	0.37	2.6	0.5	3.5	0.28	0.45
		NT	0.73	8.1	5.4	3.8	0.31	0.81
Serie II	RRA 2	NR	0.59	10.1	1.5			
		ER	0.39	1.7	0.7	1.1	0.04	0.07
		NR	0.59	3.0	0.5	0.9	0.04	0.12
	RRB 2	NR	0.73	10.2	1.3			ave. 0.10
		ER	0.37	12.9	2.2	1.3	0.06	0.18
		NR	0.73	3.0	0.7	1.1	0.04	0.07
	TRA 2	NT	0.63	1.8	0.7			ave. 0.13
		ER	0.39	12.6	1.8	2.5	0.19	0.27
		NT	0.63	6.1	4.1	2.9	0.23	0.41
	TRB 2	NT	0.68	6.6	4.3			ave. 0.34
		ER	0.39	7.4	5.2	3.0	0.22	0.57
		NT	0.68	2.6	0.8	3.1	0.23	0.48
	TRC 2	NT	0.71	2.1	0.8			ave. 0.53
		ER	0.38	7.5	4.6	2.4	0.19	0.30
		NT	0.71	8.3	5.8	3.1	0.26	0.55
		ER	0.38	1.6	0.5			ave. 0.42
		NT	0.71	2.1	0.5			
		NT	0.71	8.4	5.1			

処理試片で剥離したものはなかった。

Delamination of treatment No. 4 Specimen was not recognized. No. 4

- Remarks 1) NT ; Oak, flat grain, ET ; Spruce, flat grain, NR ; Oak edge grain, ER ;
- 2) Widthwise bending modulus and swelling length was measured on specimens spruce lamination was averaged on upper specimen and lower specimen.
- 3) Each widthwise swelling length was measured on upper glue line II, II' and
- 4)  $E_s$  ; Bending modulus under dry condition.
- 5) Reference Table 4.
- 6) The period of drying from start of drying to development of delamination in

No. 1 処 理 試 片 <sup>5)</sup> Treatment No. 1 specimen				No. 2 処 理 試 片 <sup>5)</sup> Treatment No. 2 specimen				No. 3 処 理 試 片 <sup>5)</sup> Treatment No. 3 specimen			
1 cycle		2 cycle		1 cycle		2 cycle		1 cycle		2 cycle	
剥離までの乾燥日数 <sup>6)</sup> Period of drying required to delamination (days)	剥離量 <sup>6)</sup> Amount of delamination (mm <sup>2</sup> )	剥離までの乾燥日数 <sup>6)</sup> Period of drying required to delamination (days)	剥離量 <sup>6)</sup> Amount of delamination (mm <sup>2</sup> )	剥離までの乾燥日数 <sup>6)</sup> Period of drying required to delamination (days)	剥離量 <sup>6)</sup> Amount of delamination (mm <sup>2</sup> )	剥離までの乾燥日数 <sup>6)</sup> Period of drying required to delamination (days)	剥離量 <sup>6)</sup> Amount of delamination (mm <sup>2</sup> )	剥離までの乾燥日数 <sup>6)</sup> Period of drying required to delamination (days)	剥離量 <sup>6)</sup> Amount of delamination (mm <sup>2</sup> )	剥離までの乾燥日数 <sup>6)</sup> Period of drying required to delamination (days)	剥離量 <sup>6)</sup> Amount of delamination (mm <sup>2</sup> )
	0		0		0		0		0		0
	0		0		0		0		0		0
	0		0		0	4	40		0		0
	0		0		0		0		0		0
	0		0		0	2	30		0		0
	0		0		0	4	20		0		0
	0		0		0	4	25		0		0
	0		0		0		0		0		0

Spruce, edge grain.

as shown in Fig. 9. In the case of Oak each value was averaged and each value of Bending modulus was measured under dry condition.

lower glue line IV, IV' of accelerated test specimen shown in Fig. 10 and was averaged.

each cycle. Amount of delamination is measured by method shown in Fig. 4.

Table 6—A. 促進試片の寸法変化  
Dimensional change of accelerated specimen.

試片 番号 No. of specimen	測定位置 No. of measured line	No. 1 処理試片 Treatment No. 1 specimen			No. 2 処理試片 Treatment No. 2 specimen			No. 3 処理試片 Treatment No. 3 specimen			No. 4 処理試片 Treatment No. 4 specimen		
		膨張量 Swelling length (mm)			膨張量 Swelling length (mm)			膨張量 Swelling length (mm)			膨張量 Swelling length (mm)		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(4)	(3)
TTA 1	I	3.7	2.3	—	3.4	2.4	2.4	3.4	3.0	—	3.4	3.4	—
	II	3.5	3.5	—	3.3	3.0	3.0	3.4	2.6	—	3.4	3.3	—
	III	3.5	3.5	—	3.4	3.1	3.1	3.3	2.6	—	3.5	2.6	—
	IV	3.4	3.2	—	3.5	2.8	2.8	3.4	2.6	—	3.5	3.4	—
	V	4.0	1.7	—	3.9	1.9	1.9	3.9	2.6	—	4.0	4.0	—
TTB 1	I	3.6	1.8	1.7	3.8	2.2	2.2	3.8	3.6	—	4.0	4.0	—
	II	3.7	3.7	3.3	3.8	3.3	3.3	3.5	2.9	—	4.0	4.0	—
	III	3.8	3.8	3.7	3.9	3.7	3.7	3.8	2.8	—	3.8	2.8	—
	IV	4.3	4.3	3.4	4.1	3.4	3.4	3.9	2.7	—	4.0	3.8	—
	V	4.0	2.5	1.8	4.3	2.2	2.2	4.0	2.8	—	3.9	3.9	—
TTC 1	I	5.0	2.5	2.0	4.8	—	3.0	4.8	3.4	—	5.0	5.0	—
	II	4.7	4.4	3.2	4.6	—	4.2	4.4	3.0	—	4.4	4.3	—
	III	3.7	3.7	3.7	3.6	—	3.3	3.5	2.6	—	3.5	2.9	—
	IV	4.4	4.4	3.3	4.3	—	3.8	4.5	2.8	—	4.5	4.3	—
	V	5.3	2.5	1.9	5.4	—	3.2	5.3	3.9	—	5.5	5.5	—
RTA 1	I	2.0	0.9	0.9	1.7	—	1.3	1.8	—	1.8	2.0	1.9	—
	II	2.0	1.9	1.9	2.1	—	2.1	2.0	—	2.0	1.8	1.8	—
	III	3.4	3.4	3.4	3.5	—	3.2	3.6	—	3.3	3.4	2.8	—
	IV	2.5	2.5	2.5	2.4	—	2.2	2.5	—	2.2	2.6	2.5	—
	V	1.9	0.8	0.8	1.9	—	1.6	1.9	—	1.8	2.0	2.0	—
RTB 1	I	1.9	0.6	0.6	1.7	—	1.7	1.7	—	1.7	1.9	2.1	—
	II	2.3	2.3	2.3	2.4	—	2.4	2.5	—	2.5	2.4	2.4	—
	III	3.8	3.7	3.7	3.8	—	3.6	3.7	—	3.5	3.7	3.0	—
	IV	2.8	2.7	2.7	2.7	—	2.6	2.7	—	2.6	2.7	2.6	—
	V	2.2	0.5	0.5	2.1	—	1.8	2.1	—	2.1	2.0	2.0	—
TTA 2	I	2.9	1.9	—	2.9	1.7	1.7	3.2	3.0	—	3.2	3.2	—
	II	3.1	3.0	—	3.2	2.7	2.7	3.4	2.6	—	3.4	3.4	—
	III	3.8	3.8	—	3.9	3.5	3.5	4.0	2.5	—	3.9	3.0	—
	IV	3.2	3.2	—	3.1	3.1	3.1	3.0	2.3	—	3.3	3.2	—
	V	2.9	1.8	—	2.9	1.8	1.8	3.0	2.6	—	3.3	3.3	—
TTC 2	I	3.9	1.3	—	3.8	1.8	1.8	4.1	3.4	—	4.0	4.0	—
	II	3.9	3.5	—	4.3	3.2	3.2	4.3	3.2	—	4.4	4.4	—
	III	3.9	3.9	—	4.0	3.5	3.5	4.0	2.9	—	4.1	3.0	—
	IV	4.6	4.5	—	4.6	3.8	3.8	4.7	3.4	—	4.6	4.5	—
	V	4.6	2.3	—	4.9	2.7	2.7	4.6	4.0	—	4.7	4.7	—
TTE 2	I	3.7	1.8	—	3.7	1.8	1.8	3.8	3.1	—	3.9	4.0	—
	II	4.1	4.1	—	4.2	3.7	3.7	4.2	3.0	—	4.2	4.2	—
	III	3.9	3.9	—	3.9	3.6	3.6	4.0	2.8	—	4.1	3.1	—
	IV	4.2	4.2	—	4.3	3.9	3.9	4.5	3.1	—	4.6	4.4	—
	V	5.8	3.9	—	5.8	4.1	4.1	6.0	4.4	—	6.0	6.0	—
TTF 2	I	4.8	2.0	—	4.6	2.2	2.2	4.6	4.0	—	4.7	4.7	—
	II	4.5	3.9	—	4.5	3.2	3.2	4.5	3.1	—	4.5	4.4	—
	III	4.2	4.0	—	3.9	3.4	3.4	4.0	2.8	—	4.0	2.9	—
	IV	5.0	4.4	—	4.6	3.7	3.7	4.6	3.1	—	4.7	4.5	—
	V	5.9	2.5	—	5.5	1.5	1.5	5.5	4.2	—	5.6	5.6	—
RTA 2	I	1.9	0.6	—	1.9	0.6	—	1.6	—	1.4	1.8	1.8	—
	II	1.9	1.8	—	2.0	1.2	—	1.7	—	1.2	1.9	1.9	—
	III	3.0	3.0	—	3.1	2.7	—	3.2	—	2.6	3.1	2.5	—
	IV	2.3	2.3	—	2.4	2.2	—	2.3	—	1.7	2.3	2.3	—
	V	1.6	0.3	—	1.8	2.5	—	1.7	—	1.5	1.6	1.6	—
RTC 2	I	3.0	0.7	0.7	2.9	—	2.3	2.8	—	2.5	2.8	2.8	—
	II	2.6	2.5	2.5	2.7	—	2.6	2.5	—	2.4	2.5	2.4	—
	III	3.8	3.7	3.7	3.5	—	3.4	3.6	—	3.3	3.7	2.8	—
	IV	2.5	2.5	2.5	2.9	—	2.9	2.6	—	2.5	2.8	2.8	—
	V	2.0	0.3	0.3	2.0	—	1.7	2.1	—	2.1	2.2	2.3	—
TTA 3	I	4.0	1.6	—	4.2	—	2.2	4.1	2.8	—	3.9	3.9	—
	II	3.6	3.2	—	3.8	—	3.4	3.8	2.6	—	3.6	3.4	—
	III	2.8	2.7	—	3.0	—	2.6	2.9	1.9	—	2.9	1.9	—
	IV	2.9	2.9	—	3.1	—	2.9	3.0	2.3	—	2.9	2.8	—
	V	2.8	1.0	—	3.0	—	1.5	2.9	2.2	—	2.9	2.9	—

試片 番号 No. of specimen	測定位置 No. of measured line	No. 1 処理試片 Treatment No. 1 specimen			No. 2 処理試片 Treatment No. 2 specimen			No. 3 処理試片 Treatment No. 3 specimen			No. 4 処理試片 Treatment No. 4 specimen		
		膨 張 量 Swelling length (mm)			膨 張 量 Swelling length (mm)			膨 張 量 Swelling length (mm)			膨 張 量 Swelling length (mm)		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(4)	(3)
TTC 3	I	5.2	2.0	—	5.3	—	3.5	5.1	3.7	—	5.2	5.2	—
	II	5.0	4.1	—	5.0	—	4.0	4.9	3.1	—	4.8	4.7	—
	III	3.0	2.9	—	3.2	—	2.8	3.0	2.0	—	3.1	2.2	—
	IV	3.6	3.6	—	3.6	—	3.5	3.6	2.5	—	3.6	3.5	—
	V	3.8	1.7	—	3.7	—	2.1	3.8	2.7	—	3.8	3.8	—
TTD 3	I	3.3	1.4	1.4	3.4	—	2.1	3.4	2.9	—	3.4	3.4	—
	II	4.0	3.9	3.9	4.0	—	3.7	3.8	3.0	—	3.9	3.9	—
	III	3.2	3.2	3.2	3.2	—	2.9	3.2	2.4	—	3.1	2.3	—
	IV	4.1	4.0	4.0	4.1	—	3.7	4.1	2.7	—	4.1	3.9	—
	V	5.0	1.7	1.7	4.9	—	3.2	5.1	3.2	—	5.1	5.1	—
RTA 3	I	2.3	0.8	—	2.1	0.9	1.8	2.1	1.8	—	2.2	2.2	—
	II	1.9	1.8	—	1.9	1.5	1.9	2.0	0.9	—	1.9	1.7	—
	III	3.2	3.0	—	3.1	2.6	2.8	3.0	1.8	—	3.2	3.1	—
	IV	2.4	2.3	—	2.4	1.9	2.3	2.2	1.3	—	2.3	2.3	—
	V	2.3	0.9	—	2.0	0.8	1.7	2.0	1.7	—	2.1	2.1	—
RTB 3	I	1.5	0.5	—	1.7	0.5	1.3	1.6	1.1	1.5	1.6	1.6	—
	II	1.8	1.6	—	1.7	1.4	1.6	1.5	0.6	1.5	1.6	1.4	—
	III	2.5	2.5	—	2.6	2.1	2.5	2.7	1.3	2.4	2.6	1.6	—
	IV	1.5	1.5	—	1.4	1.1	1.4	1.5	0.8	1.5	1.6	1.4	—
	V	1.3	0.4	—	1.7	0.4	1.2	1.3	1.1	1.3	1.5	1.5	—
RTD 3	I	1.4	0.2	—	1.4	0.3	1.0	1.4	0.8	1.4	1.5	1.5	—
	II	1.5	1.3	—	1.5	1.1	1.5	1.6	0.7	1.6	1.7	1.6	—
	III	2.5	2.4	—	2.6	2.0	2.5	2.6	1.5	2.2	2.6	1.6	—
	IV	1.4	1.4	—	1.5	1.2	1.5	1.7	1.0	1.7	1.7	1.6	—
	V	1.1	0.1	—	1.1	0.2	0.8	1.1	0.9	1.0	1.1	1.1	—

注) 欄中の (1), (2), (3), (4) は次式によつて示された値である。

(1); (膨水後の測定位置 I, II, III, IV, V の長さ) — (気乾時の I, II, III, IV, V の長さ)

(2); (上下面より, または側面より 1.5 cm 被覆をとつて乾燥した 5 日後の I, II, III, IV, V の長さ) — (気乾時の I, II, III, IV, V の長さ)

(3); (剝離が現われ始めた時の I, II, III, IV, V の長さ) — (気乾時の I, II, III, IV, V の長さ)

(4); (エゾマツ材のみを乾燥した 5 日後の I, II, III, IV, V の長さ) — (気乾時の I, II, III, IV, V の長さ)

各値は 1 サイクル時に測定した値で, 2 サイクル目に剝離したものは 1 サイクル時の相当する時点における値を示した。ただし No. 1 試片で 2 サイクルの 7 日目に剝離したものはそのときの値である。

Remarks) Value of (1), (2), (3), (4) shown in column is as follows;

(1); (Length of measured line I, II, III, IV, V shown in Fig. 10 after wates impregnation) - (Length of I, II, III, IV, V under dry condition)

(2); (Length of I, II, III, IV, V after 5 days of periods of drying when cover of 1.5 cm length from top and bottom face or both edge side was taken off) - (Length of I, II, III, IV, V under dry condition)

(3); (Length of I, II, III, IV, V on the day when delamination developed) - (Length of I, II, III, IV, V under dry condition)

(4); (Length of I, II, III, IV, V after 5 days of periods of drying when inner lamination was dried) - (Length of I, II, III, IV, V under dry condition)

Each value was measured at first cycle and value (3) of dimensional change of specimen which delamination developed at second cycle shows value measured on the same day of period of drying at first cycle, but value (3) of No. 1 specimen which delamination developed after 7 days of periods of drying at second cycle shows value measured on 7 days of periods of drying at second cycle.

Table 6—B. 促進試片の寸法変化

Dimensional change of accelerated specimen.

試片番号 No. of specimen	測定位置 No. of measured line	No. 1 処理試片 Treatment No. 1 specimen			No. 2 処理試片 Treatment No. 2 specimen			No. 3 処理試片 Treatment No. 3 specimen			No. 4 処理試片 Treatment No. 4 specimen		
		膨張量 Swelling length (mm)			膨張量 Swelling length (mm)			膨張量 Swelling length (mm)			膨張量 Swelling length (mm)		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(4)	(3)
RRA 1	I	1.6	0.5	—	1.7	0.7	—	1.6	1.2	—	1.8	1.8	—
	II	1.0	1.0	—	1.1	0.9	—	1.0	0.5	—	1.0	1.0	—
	III	0.7	0.7	—	0.8	0.7	—	0.7	0.5	—	0.7	0.5	—
	IV	1.1	1.0	—	1.2	0.7	—	1.1	0.3	—	1.1	1.0	—
	V	2.0	0.6	—	2.0	0.5	—	2.0	1.1	—	2.0	2.0	—
RRB 1	I	1.3	0.1	0.1	1.2	0.2	0.3	1.3	0.8	—	1.2	1.2	—
	II	1.1	1.0	0.9	1.1	0.8	0.9	1.1	0.5	—	1.0	0.9	—
	III	1.1	1.1	1.0	1.2	0.9	1.0	1.1	0.4	—	0.9	0.5	—
	IV	1.2	1.1	0.9	1.1	0.9	1.0	1.1	0.4	—	1.0	1.0	—
	V	1.3	0	0	1.3	0.2	0.3	1.3	0.8	—	1.4	1.5	—
RRC 1	I	1.5	0.2	0	1.6	0.3	—	1.5	1.0	—	1.5	1.5	—
	II	1.1	1.0	0.4	1.0	0.7	—	1.0	0.3	—	1.1	1.1	—
	III	0.4	0.3	0.3	0.5	0.5	—	0.5	0.2	—	0.5	0.2	—
	IV	1.0	0.9	0.3	1.1	0.8	—	1.1	0.3	—	0.9	0.8	—
	V	2.1	0.4	0.3	2.2	0.6	—	2.2	1.2	—	2.1	2.1	—
RRE 1	I	1.8	0.4	—	1.8	—	0.5	1.7	1.2	—	1.8	1.8	—
	II	1.2	1.2	—	1.4	—	1.2	1.3	0.5	—	1.4	1.4	—
	III	0.9	0.9	—	0.8	—	0.8	0.7	0.3	—	0.9	0.6	—
	IV	1.2	1.2	—	1.1	—	1.0	1.2	0.4	—	1.3	1.2	—
	V	1.6	0.4	—	1.5	—	0	1.6	0.8	—	1.6	1.6	—
TRA 1	I	3.2	1.0	—	3.1	1.2	—	3.2	2.2	—	3.3	3.3	—
	II	1.9	0.5	—	2.1	1.4	—	2.1	1.2	—	2.0	2.0	—
	III	0.8	0.8	—	1.0	0.9	—	1.0	0.7	—	0.8	0.6	—
	IV	2.1	1.7	—	2.2	1.8	—	2.1	1.5	—	2.1	2.0	—
	V	4.0	1.3	—	4.0	1.9	—	3.9	2.7	—	4.0	4.0	—
TRC 1	I	4.9	2.4	—	4.8	2.3	3.2	5.2	4.1	—	5.2	5.2	—
	II	3.5	3.4	—	3.5	3.0	3.5	3.5	2.5	—	3.4	3.2	—
	III	2.3	2.3	—	2.3	2.2	2.3	2.3	1.7	—	1.8	1.6	—
	IV	4.0	3.7	—	3.8	2.7	3.8	3.6	2.4	—	3.7	3.7	—
	V	5.5	1.8	—	5.3	2.1	3.0	5.3	3.7	—	5.2	5.2	—
RRA 2	I	1.6	0.3	—	1.6	0.4	—	1.6	1.1	—	1.7	1.7	—
	II	1.2	1.0	—	1.1	0.8	—	1.2	0.5	—	1.1	1.1	—
	III	0.9	0.9	—	0.8	0.7	—	0.9	0.3	—	0.9	0.7	—
	IV	0.9	0.8	—	0.9	0.7	—	0.9	0.2	—	0.9	0.9	—
	V	1.0	0	—	1.2	0.1	—	1.0	0.4	—	1.1	1.3	—
RRB 2	I	2.3	0.5	—	2.3	0.6	1.7	2.3	1.5	—	2.1	2.1	—
	II	1.3	1.3	—	1.3	1.1	1.3	1.2	0.7	—	1.3	1.1	—
	III	0.9	0.9	—	1.0	0.9	1.0	0.9	0.4	—	0.9	0.6	—
	IV	1.4	1.3	—	1.1	0.8	1.1	1.2	0.4	—	1.3	1.1	—
	V	1.9	0.2	—	1.9	0.3	1.0	1.9	1.2	—	2.0	2.0	—
TRA 2	I	3.7	1.5	—	3.6	1.2	1.6	3.8	2.5	—	3.6	3.6	—
	II	2.5	2.3	—	2.5	1.9	2.3	2.5	1.7	—	2.4	2.3	—
	III	1.7	1.7	—	2.0	1.7	2.0	2.1	1.7	—	1.8	1.6	—
	IV	2.6	2.4	—	2.9	2.0	2.5	2.9	1.9	—	2.6	2.6	—
	V	3.9	1.3	—	3.6	1.1	1.6	4.0	2.2	—	4.0	4.0	—
TRB 2	I	4.4	1.6	—	4.5	1.6	2.1	4.5	3.0	—	4.6	4.6	—
	II	2.9	2.6	—	2.9	1.9	2.5	3.1	1.8	—	3.2	3.2	—
	III	1.8	1.8	—	2.0	1.6	2.0	2.0	1.5	—	1.9	1.6	—
	IV	2.8	2.0	—	3.0	1.8	2.4	2.8	1.4	—	3.2	3.2	—
	V	4.3	1.3	—	4.0	1.0	1.6	4.2	2.4	—	4.4	4.4	—
TRC 2	I	5.7	2.8	—	5.7	2.4	—	5.8	3.3	—	5.6	5.6	—
	II	2.9	2.7	—	2.8	1.4	—	3.0	2.0	—	2.8	2.8	—
	III	1.0	1.0	—	1.0	0.8	—	1.0	1.0	—	0.8	0.7	—
	IV	3.3	3.2	—	3.2	1.7	—	3.1	2.4	—	3.0	3.0	—
	V	4.4	1.2	—	4.5	1.3	—	4.6	3.1	—	4.6	4.6	—

注: A表と同じ。

Remarks: Do. to Table 6—A.

7. ほぼ同一条件と見られる促進試片4個について、試片に種々な被覆を行なつて剝離を生ぜしめ、その発生する傾向をこれと関連ある2つの実験結果および既往において発表されている文献の結果を参考として考察した結果、その発生の傾向は Fig. 18 に示された模式図のごとくであろうと考えられた。

## 文 献

- 1) DIETZ, A. G. H., Henry GRINSFELDER and Eric REISSNER : Glue-line Stresses in Laminated wood. A. S. M. E., 5, (1946)
- 2) 小島陽之助・井上幸彦 : 接着層における残留応力の解析, 工業化学雑誌, 1, (1958)  
KOBATAKE, Y. and Y. INOUE : Appl. Sci. Res., 6, (1957)
- 3) BIKERMAN, J. J. : The science of adhesive joint. (1961)
- 4) McMILLEN, J. M. : Stresses in wood during drying. F. P. L., 1652, (1958)
- 5) YOUNGS, R. L. and C. B. NORRIS : A method of calculating internal stresses. 2133, (1958)
- 6) KEYLWERTH, R. : Untersuchungen über freie und behinderte Quellung -II-, Holz als Roh- und Werkstoff, 8, (1962)
- 7) SELBO, M. L. : Effect of mixing flat and vertical grain in laminated white oak beams. F. P. L., R. 1718, (1948)

### The Study on Laminated Wood (X).

#### On the tendency of development of the delamination in the laminated wood composed of hardwood (Japanese white oak) and softwood (Japanese EZO spruce) by the accelerated test.

Junsuke MUKUDAI and Kazumi MORIYA

(Résumé)

Test 1 in this investigation was carried out for the purpose of observing the delamination developed in 3-ply laminated wood, composed of two species (Japanese white oak was used for outer laminations and Japanese EZO spruce was used for an inner lamination) and glued with phenol-resorcinol resin adhesive, by accelerated delamination test, and furthermore, Test 2 was carried out for investigation of the outline of the relation between inner stress and delamination.

#### TEST 1

##### A. Test method.

Two accelerated delamination test specimens, two bending modulus and swelling length test specimens were cut from the laminated beam shown in Fig. 1.

Both specimens are shown in Fig. 2 and Fig. 3.

Water-impregnating and drying of accelerated delamination test were carried out in accordance with ASTM D1101-53, but accelerated test specimens were covered with rubber band on both end faces during drying, and the condition of covering was changed in accordance with the schedule shown in Table 2.

The delamination test specimen of ASTM D 1101-53 is not covered on the surface and is mostly dried rather from end faces than from other faces. Such a condition of drying is different

from conditions obtaining in actual practice in which long laminated wood is mostly dried from top and bottom faces and edge faces under exterior use.

For this reason, it is desirable that the whole area of the end faces of specimen be covered, but as the condition of drying specified in ASTM D 1101-53 was severe because of low humidity, after more than 3 days from the start of drying, the weight of the specimen covered on the whole area of end faces had scarcely decreased at all by drying. Therefore the method in which the cover is gradually taken off after 2 days from start of drying was adopted in this test.

The cover was taken off gradually from top and bottom side so that the development of normal stress perpendicular to glue line was accelerated by drying from top and bottom faces.

The cycle consisting of impregnating and drying was repeated twice. The amount of delamination was measured on edge faces at the end of second cycle by the method shown in Fig. 4.

As the indicator of lamination characteristic, bending modulus was measured in drying condition (Moisture content 12 %) and swelling length from moisture content 12 % to water impregnated condition was measured.

#### B. Results

The amount of delamination, bending modulus and swelling length of each lamination are shown in Table 1.

The delamination appeared along the glue line on outside of inner lamination at edge surface at first, and this delamination was developing towards the inside of specimen along glue line (reference Fig. 11).

The delamination developed by this test was not the delamination which developed in the glue line or on the gluing surface; it was the wood-failure in EZO spruce lamination, the thin fiber layer of EZO spruce along the glue line adhered to the gluing surface of white oak.

The following test was carried out to investigate the relation between the delamination and the inner stress set up in laminated wood during drying.

### TEST 2

#### A. Test method.

Four accelerated delamination test specimens, two bending modulus and swelling length test specimens, were cut from a laminated beam shown in Fig. 7.

Both specimens are shown in Fig. 8, 9.

The accelerated test was carried out in accordance with ASTM D 1101-53. Four types of specimens covered with rubber band on faces and removing condition of cover are shown in Table 4.

The cycle, consisting of impregnating and drying, was repeated twice.

In each cycle, number of days from start of drying to development of delamination on edge face of specimens were counted.

The amount of delamination was measured at the end of each cycle by the same method as in TEST 1.

Dimensional change was measured on the line shown in Fig. 10.

Bending modulus and swelling length were measured by the same method as in TEST 1.

#### B. Results.

Results are shown in Table 5 and Table 6.

DIETZ, GRINSFELDER and REISSNER reported that, in the case of 2-ply laminated wood, the maximum shear stress resulted from difference of shrinking and swelling between two lamina-



tions, and the maximum normal stress perpendicular to glue line set up by moisture content gradient that results from drying of top and bottom faces are shown by the formula (1), (2).

On the other hand, KOBATAKE and INOUE reported that, in the case of 3-ply composed of rigid material and low elastic material, the stress in the low elastic inner lamination resulted from difference of shrinking between the two materials is shown by the formula (3), (4), (5). The shear stress  $\tau_{xy}$  and the normal stress  $\sigma_y$  perpendicular to glue line are concentrated on glue line at edge of specimen, and in the case of restraining swell of inner lamination, normal stress perpendicular to glue line tensile (reference Fig. 12, 13).

Although these results are introduced in the case of gluing between the rigid material and low elastic material, such as metal and plastics, it seems that the tendency of development of inner stress shown in these results is similar to one of inner stress that is set up in the case of gluing between hardwood having high elastic modulus and soft wood having low elastic modulus.

Concentration of shear and tensile stress set up on glue line at the edge shows probability of the delamination developing along the glue line at the edge face.

As substitution for  $E\Delta\alpha l$  shown in formula (3), (4), (5),  $E_s\Delta l$  shown in Table 5 was used as indicator in this test.

Value of  $E_s\Delta l$  is shown in Table 5.

The relation between the value of  $E_s\Delta l$  and the tendency of development of delamination was as follows :

(1) In the case of No. 2 specimen which is composed of oak edge grain-spruce flat grain-oak edge grain and its  $E_s\Delta l$  is minus, the  $\sigma_y$  shown in formula (4) was tensile stress on glue line at the edge, and period of drying from start of drying to development of delamination was 1-2 days.

The more the amount of delamination was, the more the value of  $E_s\Delta l$  became.

(2) In the case of No. 2 specimen which is composed of oak flat grain-spruce flat grain-oak flat grain and its  $E_s\Delta l$  is plus, the  $\sigma_y$  shown by formula (4) was compressive stress, and period of drying required to delaminate was 4-5 days; the relation between value of  $E_s\Delta l$  and amount of delamination was not recognized distinctly.

(3) In the case of specimen in which edge grain spruce was used, the relation was not recognized distinctly because of the meager amount of delamination.

Keeping the results of these DIETZ's and KOBATAKE's reports in mind, in the case of TT and RT specimen, which used inner lamination of spruce flat grain, and a comparatively distinct tendency of development of delamination was recognized, the following results are introduced :

(1) In the case of No. 4 cover treatment specimen which dried only inner lamination, in spite of increasing of shear stress on glue line, the delamination was not recognized everywhere in all specimens but the checks at width-wise center part of EZO spruce was recognized and collapse compressed thicknesswise was recognized at the part near glue line on edge face.

Therefore, it seems that delamination was not dependent upon the shear stress set up by the difference of shrinkage and swell between outer and inner lamination.

Then, taking into consideration the normal stress perpendicular to glue line at the edge of inner lamination, the tendency of development of delamination can be explained as follows :

(2) In the case of No. 1 treatment specimen of RT specimens which combination of grain was oak edge grain-spruce flat grain-oak edge grain and  $E_s\Delta l$  was minus, the normal stress perpendicular to glue line at edge as shown by formula (4) was tensile stress after impregnation

of water, and the value of tensile stress was almost constant during 5 days drying for the reason that after drying of 5 days the dimension of II, III, IV was almost constant as shown in Table 6.

On the other hand, the tensile stress set up by drying from top and bottom face as shown by formula (2), became maximum after drying of 5 days according to Fig. 15 showing the results of the test carried out on relation between the period of drying and the depth of width-wise curvature of oak lamination resulting from drying from one face (reference Fig. 14, 15 and Table 7).

The time maximum tensile stress was set up, concurred with the time when delamination developed.

In the case of No. 1 treatment specimen of TT specimens which combination of grain was oak, flat grain-spruce, flat grain-oak, flat grain and  $E_s d l$  was plus, the normal stress perpendicular to glue line at the edge as shown by formula (4) was compressive after water impregnation, and the compressive stress decreased slightly after drying of 5 days because after drying of 5 days the length of II, IV shrank slightly more than the length of III as shown in Table 6.

In the case of TTD3 specimen, the total normal stress perpendicular to glue line was compressive stress mentioned above plus tensile stress set up by drying from top and bottom face. Therefore it seems that the delamination developed after drying of 5 days when maximum tensile stress was set up by drying from top and bottom face.

In the case of TTB1 specimen which delamination developed after drying of 7 days when all covers on outer lamination were taken off, the length of II and IV shrank more than the length of III after drying of 7 days. Therefore normal stress shown by formula (4) was tensile stress after 7 days drying.

It seems that delamination developed after drying of 7 days, because the normal stress after drying of 7 days was the tensile stress mentioned above plus tensile stress set up by drying from top and bottom face.

(3) We will consider now the relation between the tendency of development of the delamination of No. 1 specimen and one of No. 4 specimen in which the cover treatment of the outer lamination after 6 days of drying was the same as treatment of No. 1 specimen.

It seems that the relation was as follows :

In the case of No. 4 specimen, the length of III shrank much more than the length of II, IV after 5 days drying, because of drying of the inner lamination, therefore the normal stress perpendicular to glue line at the edge as shown by formula (4) became higher compressive stress after 5 days drying.

In spite of the tensile stress set up by drying from top and bottom face in No. 4 specimen being almost the same as in No. 1 specimen, the delamination did not develop because normal stress shown by formula (4) was higher compressive stress as mentioned above.

Gluing face side of oak lamination of No. 4 specimen might be dried somewhat by drying of the inner lamination, but decrease of the length of II, IV after drying of the inner lamination was slight, therefore it seems that the tensile stress set up by drying from top and bottom face was almost the same as in the case of No. 1 specimen.

(4) Now let us consider the tendency of development of delamination of No. 2 specimen in which the combination of grain was oak, edge grain-spruce, flat grain-oak, edge grain. The normal stress shown by formula (4) was the tensile stress perpendicular to glue line at the edge

after water impregnation.

This tensile stress decreased after drying of 2 days for the reason that the length of III shrank more than the length of II and IV.

On the other hand, the tensile stress perpendicular to glue line at the edge was set up by drying from both faces.

The relation between such a tensile stress and the periods of drying is given in Fig. 17 showing the results of the test carried out on the relation between the recovered strain of the slice cut off from the stock specimen and the periods of drying.

The tensile stress set up by drying from side face became maximum after 2 days drying, and it set up in the specimen composed of edge grain outer lamination higher than the tensile stress set up in the specimen composed of flat grain outer lamination. Assuming that the surface check on top or bottom face of any flat grain oak outer lamination arises under this drying condition, it seems that this tensile stress set up in specimen composed of edge grain outer lamination attained so high a degree as to cause the delamination resulting from the failure of EZO spruce to develop.

Apparently the delamination that developed after drying of 1~2 days was almost dependent upon total tensile stress which these two tensile stresses added, because the amount of delamination of No. 2 specimen and No. 3 specimen was almost the same, and the tensile stress resulting from drying of top and bottom face was low during drying of 1~2 days according to Fig. 15.

The tendency of development of delamination is shown in Fig. 18 A.

(5) In the case of No. 2 specimen in which the combination of grain was oak, flat grain-spruce, flat grain-oak, flat grain, the normal stress shown by formula (4) was compressive stress perpendicular to glue line at the edge after water impregnation.

The compressive stress decreased after drying of 4~5 days, because the length of II and IV shrank more than the length of III.

The tensile stress perpendicular to glue line at the edge set up by drying from both side faces decreased after drying of 4~5 days, according to the results shown in Fig. 17.

On the other hand Fig. 15 shows the tensile stress set up by drying from top and bottom face became maximum and was high after 5 days drying.

It seems that the delamination developed after drying of 4~5 days was dependent upon total tensile stress which these three stress mentioned above added, especially the tensile stress set up by drying from top and bottom face, because in the case of TTD 3 the amount of delamination of No. 1 specimen was about 3/4 of delamination of No. 2 specimen.

The tendency of development of delamination is shown in Fig. 18 B.

In the case of RR and TR specimen using the inner lamination of spruce edge grain, the tendency of development of the delamination was not recognized distinctly because of the insignificant amount of delamination, but the description mentioned above will apply.

These findings are the results of the investigation on the delamination of laminated wood composed of oak outer lamination and Spruce inner lamination, and of course do not necessarily apply to tendency of delamination of laminated wood composed of species different from species used in this test.

Test condition of No. 2 treatment specimens is similar to the condition of practical exterior use, but is somewhat different in that the accelerated test method was used, and especially

because of removing of cover on end faces. Therefore, the relation between the results of this test and those derived from practical use must be investigated.

It is necessary to emphasize that such an investigation on the delamination of laminated wood contains many problems which are not yet fully solved, such as mechanism of failure and analysis of inner stress set up by drying and wetting etc., therefore investigation must be carried out also in these respects.