

## 塗装木材の塗膜割れについて (第2報)

## 屋外ばくろによる合板上の塗膜耐久性

川 村 二 郎<sup>(1)</sup>Jiro KAWAMURA : Studies on Cracking of Paint Film coated on Wood II  
Durability of paint film on plywood under exterior weathering

**要 旨** : 本報は外装用合板の耐久性を向上させる目的で物理性の異なる4種類の塗料を、単板構成や裏割れ率の異なる10種類の合板に塗装した。これを6年間屋外にばくろし結果を比較検討したものである。耐久性の判定基準として塗膜および合板表面の劣化状態、吸水量、曲げヤング係数、曲げ強さ等を測定し、これらの総合的評価をおこなった。

測定の結果、自由塗膜の強度的性質(引張り強さ、静的ヤング係数、動的弾性係数)および物理的性質(ガラス転移温度、透水しゃ断性)の優れた塗料が塗膜耐久性が良く、フタル酸樹脂塗料、ビニルウレタン樹脂塗料等の塗膜耐久性が優れており、油ペイント、アクリル酢ビエマルジョン塗料は塗膜耐久性が劣っていることがわかった。また、合板表板の裏割れが塗膜耐久性に強く影響し、裏割れ率の大きい合板は塗膜耐久性が悪い。裏割れの塗膜耐久性に与える影響は、塗料の種類によって差があり、塗膜による透水しゃ断性の最も悪いアクリル酢ビエマルジョン塗料が他の塗料よりも強く影響を受けた。表板厚さと塗膜耐久性の間には裏割れほど顕著な傾向はみられなかったが水分による膨張、収縮率の大きい厚い表板のほうが塗膜耐久性が悪い。屋外ばくろによる合板の強度低下は、塗装合板より普通合板が大きく塗装合板間の比較では耐久性が優れた塗料ほど合板の強度保持率が高い結果を示した。

## I 緒 言

外装用合板に塗装し、6年間の屋外ばくろによって塗膜の耐久性を調べた。

合板の屋外耐久性を向上させる手段のひとつに、合板の表面を直接大気、太陽光線および風雨に触れさせない方法がある。

このために塗装あるいはレジンシートオーバーレイ<sup>1)2)</sup>などが多く採用されており、さらに、これらの効果を長期間持続させるために、単板に樹脂注入して水分による膨張、収縮を減少させた合板に塗装したり<sup>3)</sup>、オーバーレイ合板の上に塗装して好結果を得た報告がある<sup>4)5)</sup>。

現状では樹脂注入合板やオーバーレイ合板は、製造コストのうで特殊用途以外使われていない。

本研究は、一般の合板について屋外ばくろしたときの塗膜耐久性、特に、耐塗膜割れ性を向上させる目的で実験をおこなった。

実験に使用した塗料は、各種外装用塗料の物理的および機械的性質を調べ、その中からタイプの異なる4種類の塗料を選択した。

合板は表板の裏割れ率および単板厚さを変えた10種類を使用した。

4種類の塗料と10種類の合板を組み合わせで試験板を作り、屋外ばくろをおこない、塗膜耐久性と塗膜が合板を保護する効果を測定した。

## II 塗膜の機械的性質

本実験に使用する塗料を選択し、屋外ばくろ試験の結果を検討する目的で、自由塗膜の物理的および機械的性質を測定した。

## 1. 供 試 塗 料

外装用塗料として Table 1<sup>1)</sup> に示したものが市販されており、それぞれ各塗料はその性能に特徴がある。

この試験では塗膜の応力・ひずみ曲線を測定、検討して、その形から柔らかくて伸びが大きい塗膜、硬くて伸びが小さい塗膜、硬くて粘り強い塗膜の 3 種類とほかに外装用とし最も一般的に使われている油ペイント（柔らかくて比較的伸びが大きい）を加えて、4 種類の塗料を供試した。

供試塗料の概要は次のとおりである。

白亜鉛調合油ペイント（白亜鉛顔料 55 wt%，不揮発分 92.3 wt%，関西ペイント製、以下油ペイントと略す）。

フタル酸樹脂塗料（白亜鉛およびチタン白 40 wt%，不揮発分 64 wt%，関西ペイント製）。

ビニルウレタン樹脂塗料（顔料 35 wt%，イソシアネート 3 部を含む、不揮発分 42.7 wt%，日本ペイント製）。

アクリル酢ビエマルジョン塗料（顔料 20 wt%，不揮発分 40.2 wt%，大日本塗料製）。

Table 1. 市販されている木材用外装塗料

	塗 料 名	成 分	溶・希 釈 剤	特 徴
現 場 塗 装 用	ボイル油	あまに油，大豆油，しなきり油	テレピン，ミネラルターペン	酸化重合，透明，耐候性良
	オイルステイン	乾性油，石油樹脂，油ワニス，染料，顔料	ミネラルターペン，ボイル油	酸化重合，半透明，退色早い
	油性調合ペイント	ボイル油，顔料	ミネラルターペン，テレピン，ボイル油	酸化重合
	合成樹脂調合ペイント	乾・半乾性油変性アルキド樹脂，顔料	石油系，タール系	酸化重合，光沢・耐候・耐水性良
	油溶性フェノール樹脂塗料	ロジン，エステルガム，フェノール，乾性油	ミネラルターペン	
	フタル酸樹脂系塗料	脂肪酸，多塩基酸，多価アルコール	塗料用シンナー	酸化重合，長油性，耐候・光沢良
	アクリル樹脂系塗料	アクリル酸・メタアクリル酸エステル	エステル，エーテル，ケトン系	耐候性・耐黄変・光沢良
工 場 塗 装 用	スパーワニス	エステルガム，しなきり油	ミネラルターペン	酸化重合，耐水性・光沢・透明性良
	エマルジョン塗料（各種）	ビニル樹脂，アクリル系エステル等	水	蒸発乾燥，透水しゃ断性悪
	アクリルウレタン樹脂塗料	アクリル系樹脂，イソシアネート	} 酢エチ，酢ブチ，トルエン（ウレタングレード）	重合乾燥，二液型，耐候性良
	ビニルウレタン樹脂塗料	塩ビ，イソシアネート		重合乾燥，二液型，耐候性良
	油変性ポリウレタン樹脂塗料	脂肪酸変性アルキド樹脂，イソシアネート	酢エチ，キシレン，トルエン	酸化重合，透明，耐摩耗・耐候性良
	フタル酸樹脂系塗料			
	アクリル樹脂系塗料			酸化重合，中油性

## 2. 応力・ひずみ試験

## 実験方法

塗料を 250 $\mu$  厚になるようにガラス板に塗布し、硬化後はく離して自由塗膜とした。

この塗膜から幅 10 mm、長さ 100 mm のたんざく形試験片を各塗料 60 枚ずつ作った。試験片を 20°C、65% RH 下で調湿後、インストロンタイプ強度試験機 (島津製) を用いて、引張り速度 3 mm/min で測定した。そして、塗膜の引張り強さ、静的ヤング係数、伸び率、SS カーブ等を求めた。なお、各塗料 60 枚の試験片のうち半分は、カーボンアークタイプウェザーメーター (スガ試験機製) で、60 分間のうち 9 分間散水を 1 サイクルとして、100 サイクルばくろさせた後に同様の測定をおこなった。

## 実験結果

塗膜の応力・ひずみ曲線を Fig. 1, 新しい塗膜の引張り強さ、静的ヤング係数を Table 2 に示す。

Fig. 1 ウェザーメーター 100 時間ばくろによる  
塗膜の応力 ( $\sigma$ )・ひずみ ( $\epsilon$ ) 曲線の変化  
Effect of accelerated weathering machine (carbon arc) on the stress ( $\sigma$ )-strain ( $\epsilon$ ) diagrams of exterior paints.

実線: ばくろ前の塗膜

Unbroken line: Fresh paint films

破線: ばくろ後の塗膜

Broken line: Weathered paint films (for 100 hours by accelerated weathering machine)

P: 油ペイント Oil paint

Ph: フタル酸樹脂塗料 Phthalate resin paint

V: ビニルウレタン樹脂塗料

Vinyl urethane resin paint

A: アクリル酢ビエマルジョン塗料

Acryl vinyl acetate resin emulsion paint

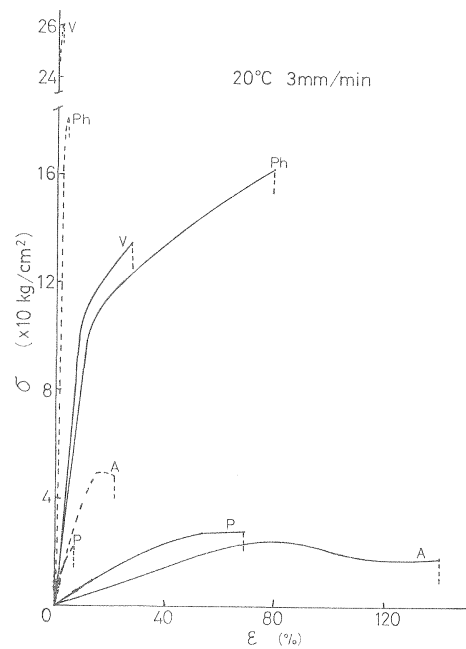


Table 2. 塗膜の引張り強さ ( $\sigma_t$ ), 静的ヤング係数 ( $E_s$ ), 23°C, 75% RH  
Tensile strength ( $\sigma_t$ ) and static Young's modulus ( $E_s$ )  
of paint films at 23°C, 75% RH

塗料 Paint	$\sigma_t$ (kg/cm <sup>2</sup> )			$E_s$ (kg/mm <sup>2</sup> )		
	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.
油ペイント Oil paint	19.3	22.6	24.7	0.60	0.70	0.77
フタル酸樹脂塗料 Phthalate resin paint	152.5	168.0	180.4	20.40	25.47	30.05
ビニルウレタン樹脂塗料 Vinyl-urethane resin paint	114.3	157.2	269.1	24.01	25.47	29.56
アクリル酢ビエマルジョン塗料 Acryl vinyl acetate emulsion paint	9.9	20.7	27.1	1.92	3.27	6.58

### (1) 新しい塗膜

油ペイントおよびアクリル酢ビエマルション両塗膜はヤング係数小さく、引張り強さは弱い、しかし、破壊伸びが大きい柔らかいタイプの塗膜である。特に、アクリル酢ビエマルション塗膜は塑性変形が非常に大きく、破壊伸びが140%をこえる値を示した。

フタル酸樹脂塗膜はヤング係数が高く、引張り強さが使用塗膜中最も強く、そして、破壊伸びが80%をこえるので破壊に要する仕事量が最大であり、強じんタイプの塗膜である。

ビニルウレタン樹脂塗膜は引張り強さは強いが、破壊伸びは使用塗料中最も小さく、約25%であり、硬いタイプの塗膜である。

### (2) ウェザーメーターで老化させた塗膜

一般に、塗膜形成機構の相違により、ばくろ中の応力一ひずみ特性は明確に区分される。すなわち、三次元構造をとる橋かけ型塗膜はばくろまたは乾燥日数の増加にともない、その引張り強さが増大し、その後老化による減少を示す。これに反し溶液型塗膜（線状高分子で硬化による分子量変化がないもの）では引張り強さの増加がみられず、減少だけを示す<sup>7)</sup>。

使用した塗膜のうち、フタル酸樹脂、ビニルウレタン樹脂およびアクリル酢ビエマルションは、ヤング係数および引張り強さが増大し、破壊伸びが減少した。しかし、油ペイントは橋かけ型塗料にもかかわらずウェザーメーター100サイクルのばくろでヤング係数のみの増加で、引張り強さの増加がみられず、破壊伸びが減少した。

このようにすべての塗膜はウェザーメーター100サイクルのばくろによって、硬い塗膜に変質した。

## 3. 動力学的試験

動力学的試験として、動的粘弾性測定装置を用い、自由塗膜の動的弾性率および損失弾性率を測定し、損失弾性率の極大からガラス転移温度( $T_g$ )を求めた。

### 実験方法

応力・ひずみ測定のとくとき同じ方法で自由塗膜を作り、幅3mm×長さ30mmのたんざく形試験片を各塗料5枚ずつ作製した。

動的粘弾性測定装置バイロン(DDV-II型、東洋ポールドウイン製)を使用し、試験片を装置に取り付け5時間アニールしてひずみを取り除いた。

常温より1°C/minで昇温させて、周波数110Hzで動的弾性率および損失弾性率を測定した。

### 実験結果

各種塗料の動的弾性率および損失弾性率の温度曲線をFig. 2-1, 2-2、動的弾性率および $T_g$ を試験片5個の平均値でTable 3に示す。

動的弾性率はビニルウレタン樹脂塗料およびフタル酸樹脂塗料が高く、アクリル酢ビエマルション塗料および油ペイントは1けたも低い。

$T_g$ は油ペイントが最も低く、常温付近にある。他の塗膜は37~41°Cの範囲にある。

動的弾性率からはビニルウレタン樹脂塗料、フタル酸樹脂塗料は他の塗料よりも硬い塗膜であることがわかる。

$T_g$ からは油ペイントが他の塗料より分子量が低いか、可塑剂的に働く低分子量の成分が多いことを示している。

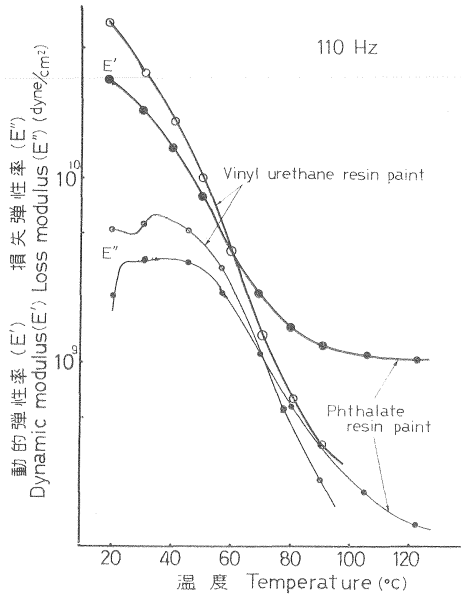


Fig. 2-1 フタル酸樹脂およびビニルウレタン樹脂塗料の動的弾性率, 損失弾性率の温度曲線

Dynamic modulus and loss modulus vs. temperature for phthalate resin paint, vinyl-urethane resin paint.

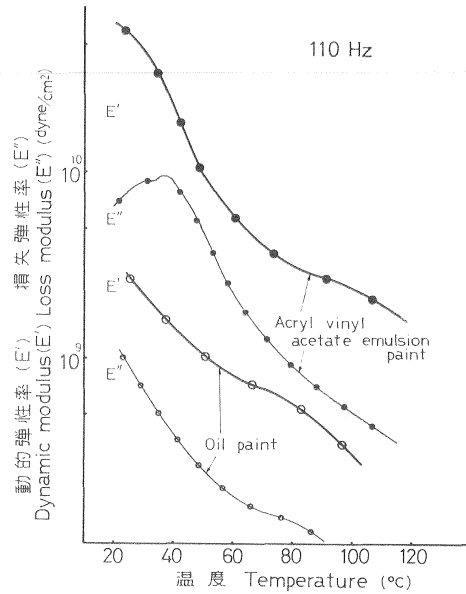


Fig. 2-2 油ペイントおよびアクリル酢ビエマルジョン塗料の動的弾性率, 損失弾性率の温度曲線

Dynamic modulus and loss modulus vs. temperature for oil paint, acryl vinyl acetate emulsion paint.

Table 3. 塗膜の動的弾性率 ( $E_d$ , 23°C), ガラス転移温度 ( $T_g$ )

Dynamic modulus ( $E_d$ ) and glass transition temperature ( $T_g$ ) of paint films

塗料 Paint	$E_d$ (dyne/cm <sup>2</sup> )	$T_g$ (°C)
油ペイント Oil paint	$2.88 \times 10^9$	25
フタル酸樹脂塗料 Phthalate resin paint	$3.07 \times 10^{10}$	41
ビニルウレタン樹脂塗料 Vinyl-urethane resin paint	$5.46 \times 10^{10}$	38
アクリル酢ビエマルジョン塗料 Acryl vinyl acetate emulsion paint	$6.02 \times 10^9$	37

#### 4. 硬化過程で発生する塗膜の内部応力

塗料は硬化するとき体積が収縮する, しかし, 素地と塗膜が付着しているため収縮が拘束され, 応力が発生する。このほか, 塗膜に熱をかけて強制乾燥すると熱膨張や収縮によって応力が発生する。これらが塗料の硬化過程で生ずる内部応力である。

本実験では, 恒温で塗料を硬化させることにより, 熱による塗膜の内部応力を無視し, 硬化過程での体積収縮により発生する塗膜の内部応力を求めた。

塗膜の内部応力が大きいと付着力や塗膜割れに対し悪影響をおよぼす<sup>8)</sup>。

Table 4. 硬化過程に発生する塗膜のひずみ ( $\epsilon$ ) および内部応力 ( $C_s$ ) (23°C)  
Strain ( $\epsilon$ ) and curing stress ( $C_s$ ) in curing process of  
paint film at 23°C

塗 料 Paint	$\epsilon$ $\times 10^{-2}$	$C_s$ (kg/mm <sup>2</sup> )
油ペイント Oil paint	1.13	0.0079
フタル酸樹脂塗料 Phthalate resin paint	2.75	0.7004
ビニルウレタン樹脂塗料 Vinyl-urethane resin paint	4.06	1.1117
アクリル酢ビエマルジョン塗料 Acryl vinyl acetate emulsion paint	0.83	0.0270

#### 実験方法

各塗料をガラス板に塗布し、23°C、48時間後、塗膜に標点をつけ、スクリュウコンパレーター（精度 1/1,000 mm）で標点間距離を測定した。

次に塗膜をガラス板からはく離する。塗膜は弾性ひずみの回復によって収縮するので、再度標点間距離を測定した。

両者の値よりひずみを求め、それに静的ヤング係数を乗じて、硬化過程における塗膜の内部応力とした。

各塗料 20 か所測定した。なお、測定中は温度を 23°C 一定にした。

#### 実験結果

硬化過程で発生した塗膜の内部応力 ( $C_s$ ) の平均値を Table 4 に示す。

ビニルウレタン樹脂塗料、フタル酸樹脂塗料は油ペイント、アクリル酢ビエマルジョン塗料よりも 2～3 けたも大きい  $C_s$  を示した。

$C_s$  の大きい塗料は静的ヤング係数および  $T_g$  が高く、硬い塗膜である。

$C_s$  の小さいアクリル酢ビエマルジョン塗料は静的ヤング係数が低く、比較的多孔質な塗膜を形成する<sup>9)</sup>ので応力緩和がおこりやすいためであろう。

油ペイントの  $C_s$  は最も小さい。この塗料も静的ヤング係数が低く、かつ、揮発成分が顕著に少ないために、硬化にともなう体積収縮がごくわずかなためと考えられる。

$C_s$  が塗膜耐久性に悪影響をおよぼすことから考えると、油ペイントおよびアクリル酢ビエマルジョン塗料はすぐれた塗料である。

### III 屋外ばくろ試験

予備試験によって選んだ 4 種類の塗料を 10 種類の合板に塗布し、屋外ばくろをおこない塗膜耐久性を測定した。

#### 1. 実験方法

##### 1.1 供試合板

単板：フィリピン産レッドラワン (*Shorea negrosensis*) のロータリー単板を用い、裏割れ率を変えるために、原木に 80°C、24 時間の煮沸処理を施し、裏割れ率を小さくした単板と無処理原木から製造した

Table 5. 表 単 板 の 裏 割 れ 率  
Percentage of lathe check ((depth of lathe check/thickness  
of veneer)×100) of face veneer for plywood

表 板 厚 さ Thickness of face veneer (mm)		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
裏 割 れ 率 Lathe check (Mark) (%)						
小 さ い Slight (l)	平 均 Ave.	13	34	24	22	18
	最 大 Max.	20	40	30	30	20
大 き い Deep (g)	平 均 Ave.	49	86	65	69	75
	最 大 Max.	70	90	80	80	80

Table 6. 表 単 板 の 裏 割 れ 密 度, 表 面 粗 さ  
Density of lathe check and surface roughness  
of face veneer for plywood

表 単 板 厚 さ Thickness of face veneer (mm)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
裏 割 れ 率 の 記 号 Mark of lathe check	1 g	1 g	1 g	1 g	1 g
裏 割 れ 密 度 (本/cm) Density of lathe check (Nos./cm)	6.5 6.5	8.0 5.0	12.0 4.5	10.0 6.5	8.5 5.0
表 面 粗 さ Surface roughness (×10 <sup>-2</sup> mm)	4 6	4 7	8 10	4 11	4 9

裏割れ率の大きい単板の2種類を準備した。

単板の裏割れ率〔(裏割れ深さ/単板厚さ)×100〕を Table 5, 裏割れ密度および面粗さ (最大粗さの10点平均値)を Table 6 に示す。両表とも測定数50個の平均値である。

合板の単板構成を Table 7 に示す。

合板:メラミン尿素共縮合樹脂接着剤を用い, 塗布量 390 g/m<sup>2</sup>, 圧締圧力 10 kg/cm<sup>2</sup> で1時間冷圧, さらに, 圧締圧力 8 kg/cm<sup>2</sup>, 110°C で6分間熱圧して5プライ合板を製造した。

塗装:合板表面を #120 サンドペーパーで研摩後, スプレー3回塗りで塗布量が 500 g/m<sup>2</sup> になるように塗装した。

塗料乾燥後, 合板表面上の膜厚を100倍率顕微鏡で測定した, その結果, 油ペイント 164~224 $\mu$ , フタル酸樹脂塗料 108~157 $\mu$ , ビニルウレタン樹脂塗料 132~142 $\mu$ , アクリル酢ビエマルジョン塗料 94~143 $\mu$  であった。

合板の膨潤, 収縮率

塗装素地となる合板の水分に対する動きを知るために, 表板繊維と直角方向の膨潤, 収縮を測定した。

長さ3cm×幅2cmの試験片を合板1種類につき5個ずつ準備し, 27°Cにした恒温そうの関係湿度を

Table 7. 合板の単板構成

Veneer construction

(mm)

合板の厚さ記号 Mark of plywood thickness	単板 Veneer					合板厚さ Thickness of plywood
	表板 Face	添心板 Cross band	心板 Core	添心板 Cross band	裏板 Back	
A	1.0	} 2.0	3.0	} 2.0	1.0	8.5~8.6
B	1.5		2.5		1.5	8.9~9.1
C	2.0		2.0		2.0	9.6
D	2.5		1.5		2.5	10.2~10.3
E	3.0		1.0		3.0	10.4~10.5

## 合板記号の説明

Explanation of mark of plywood

合板記号 Mark of plywood	表板厚さ Thickness of face veneer (mm)	表板の裏割れ率 Percentage of lathe check of face veneer (%)
Al	1.0	13
Ag	1.0	49
Bl	1.5	34
Bg	1.5	86
Cl	2.0	24
Cg	2.0	65
Dl	2.5	22
Dg	2.5	69
El	3.0	18
Eg	3.0	75

合板の全乾容積重

Specific gravity in oven dry of plywoods are 0.41~0.50 g/cm<sup>3</sup>.

40%にして試験片を平衡させた。次に、湿度を1%/minで上昇させ、最大値を95%にしてそこで平衡させた。さらに、95% RH から40% RH に下降させた。その間における合板の膨潤、収縮量を差動トランスを用いて測定した。

## 1.2 屋外ばくろ試験

ばくろ試験片：寸法は30 cm×30 cmの大きさとし、端の影響を極力なくするために4周および裏面をフタル酸エナメルで十分シールした。この塗装は毎年おこなった。

試験片数は合板1種類につき3枚、計150枚をばくろした。

屋外ばくろ：ばくろ試験片を林業試験場林産館屋上（東京目黒）に南面45°で設置した。屋外ばくろは6年間継続した。

屋外ばくろ中の測定項目：（1）普通合板および合板上塗膜の劣化状態の観察。所定期間ごとに肉眼、または5倍率のルーペで観察した。

塗膜耐久性を判定するには多くの観察項目があるが、本実験では塗膜割れ、はがれ、チョーキング（白亜化）を採用した。普通合板は亀裂、接着層のはがれを観察した。



（2）普通合板，塗装合板の吸水性の測定。合板や塗膜劣化にともなう吸水性の変化をみるため，屋外ばくろ前と6年後に，長さ5 cm×幅3.5 cmの試験片を各種5個ずつ作製した。JIS Z 2104の吸水量測定方法により，合板表面または塗膜面よりの吸水量を測定した。

（3）普通合板，塗装合板の機械的性質の測定。屋外ばくろ前後に曲げ強さおよび曲げヤング係数を測定した。試験片は長さ（表板の繊維方向）30 cm×幅6 cmとし，各種5個ずつ作製し，オートグラフ（島津製作所製）を使い，構造用合板日本農林規格に準じておこなった。

なお，曲げ試験はばくろ面を圧縮側にしておこなった。

## 2. 実験結果および考察

### 2.1 普通合板の膨張，収縮

普通合板の湿度変化に対する寸法変化率を示す。裏割れ率の小さい合板を Fig. 3，大きい合板を Fig. 4 に示す。

吸湿時間の経過にともない合板は膨張するが，片面が開放されている表板および裏板の動きが心板に比べて大きい。

Fig. 3 裏割れ率の小さい合板の湿度変化に対する寸法変化率

Dimension change according to humidity change of the plywoods composed of the face veneer with slight lathe checks.

A～E：合板記号  
Please refer to the Table 7 for details.

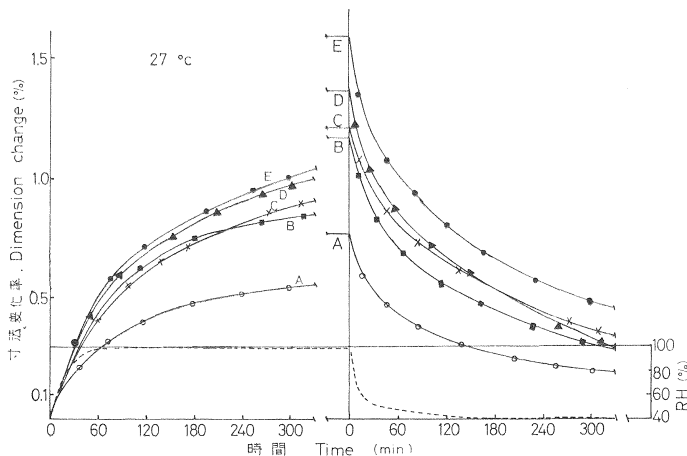
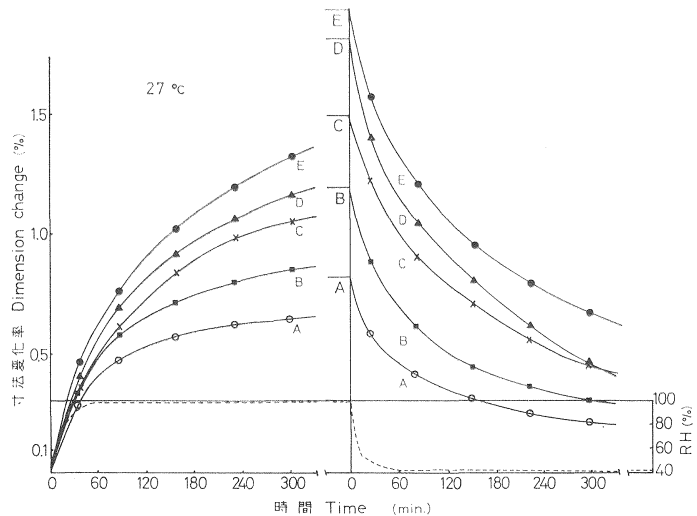


Fig. 4 裏割れ率の大きい合板の湿度変化に対する寸法変化率

Dimension change according to humidity change of the plywoods composed of the face veneer with deep lathe checks.

A～E：合板記号  
Please refer to the Table 7 for details.

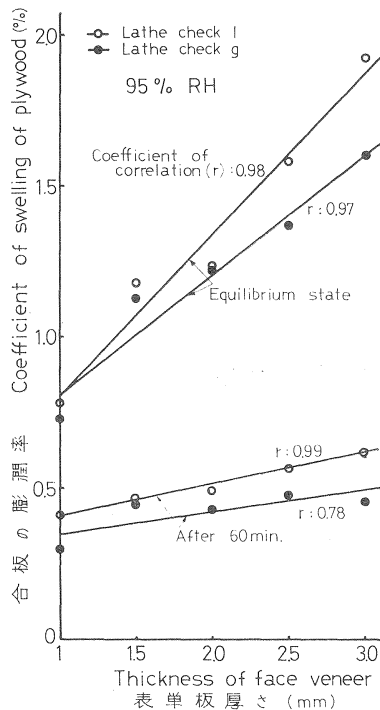


Fig. 5 表単板厚さと合板膨潤率の相関  
Relation between thickness of face veneer and coefficient of swelling of plywood.

#### 表板厚さの影響

表(裏)板が厚くなるほど合板の寸法変化率が大きくなる, この傾向は, 長時間経過後, 平衡に達したとき特に強く, 裏割れ率の大小に関係なく同じ傾向を示した。

合板が膨張および収縮する場合, 接着層で動きが抑制されているため, 表(裏)板は接着層を境にして扇形に膨張, 収縮を繰り返す。その結果, 表(裏)板が厚くなるほど合板表面における接着層による拘束効果が薄れ, 膨張および収縮率が増加したものと考えられる。

表単板厚さと合板膨潤率の相関を Fig. 5 に示す。吸湿開始より時間が経過するにしたがいほぼ 1 に近づき, 非常に高い相関があることがわかる。

吸湿過程初期は表板の表層部のみが膨張することが考えられ, 接着層による動き拘束効果が現れず, 表板厚さと膨張率の間の相関が低くなった。

乾燥過程では乾燥初期にも高い相関がみられる, これは基準長に乾燥状態 (27°C, RH 40% 平衡) を採用したためにおこった現象で, 一般の収縮試験のごとく湿潤状態を基準にすれば吸湿過程と同様な結果となる。

#### 裏割れ率の影響

同じ単板構成の合板を比較すると, 裏割れ率の大きい合板は小さいものより膨張, 収縮率が小さい。

裏割れ深さを変えるために原木の煮沸処理をしたものと無処理のものを使用した。これ以外はすべて同一条件で製造した合板を測定したので, この膨張, 収縮率の差は裏割れ率の大小が関係しているものと考えた。

合板が乾燥時, 裏割れ幅が拡大し, 湿潤時割れを閉じる。このように合板の膨張, 収縮に対して裏割れが干渉し, 裏割れ率が大きいものほど膨張, 収縮率が小さくなったと考えられる。

なお, 合板の膨張, 収縮率におよぼす表(裏)板厚さ, 裏割れ率の影響は吸湿, 脱湿を繰り返しても同じように現れた。

水分による合板の膨張, 収縮よりみて, 表(裏)板が薄く, 裏割れ率が大きい合板が動きが小さく塗装素地としてすぐれていると考えられる。

塗装合板の膨張・収縮は普通合板より速度が遅いだけで, 平衡値および傾向は同じである。

#### 2.2 屋外ばくろにおける普通合板, 塗装合板の耐久性

##### 普通合板の表面劣化

屋外ばくろ数日にして合板表面に亀裂が現れ, 日数の経過にともないその数と長さが増加していった。

屋外ばくろ 9 か月後, 合板の亀裂が木材構成要素のどの部分に発生したかを調べた。その結果, 合板表面に開口した道管およびその周辺部, 放射組織, 木繊維等すべての構成要素に発生したが, その形態は違っていた。

放射組織および道管周辺の亀裂は、屋外ばくろのごく初期より発生し、ばくろ日数の経過にともない大きい亀裂に発達し、また、その数も増加した。屋外ばくろ終了後、クロスセクションをとって観察したところ、大きい亀裂の大部分が単板の裏割れとつながっていた。

放射組織が屋外ばくろによって顕著に割れやすいことは数多くの報告でも認められている<sup>10)</sup>。

木繊維の亀裂は本数が少ないが、長さ、幅が大きかった。

屋外ばくろ 72 か月後、合板に多数発生した亀裂から雨水、空気（酸素）および紫外線などが内部まで浸透し、接着層が劣化した。そのうえ、木材質の劣化や腐朽が生じ、そのため、接着層がはく離した合板が多数みられ、なかには表板が完全にはがれたものも現れた。

合板の亀裂におよぼす表板厚さの影響は、全種類の合板に多数の亀裂が生じたのではっきりしなかった。また、裏割れ率が大きい合板に生じた亀裂は小さい合板に生じたものより形が大きかった。

普通合板を塗装せずに屋外にばくろすると、合板の種類に関係なく数日にして亀裂が発生し、月日の経過とともにその数が増加し、形が大きくなる。

#### 塗装合板の塗膜耐久性

塗膜の劣化現象として肉眼観察による塗膜のひび割れ、塗膜割れ、塗膜のはがれおよびチョーキングなどを採用し、日本塗料検査協会制定の塗膜評価基準<sup>11)</sup>、The Federation of Paint & Varnish Production Club (USA) の規格<sup>12)</sup>、製品科学研究所考案のます目による塗膜割れ測定法<sup>13)</sup>などを参照し、塗膜欠点のないものを 10、塗膜が完全に破壊したものを 0 とし、その間を 10 等分して Table 8 を作製した。塗膜劣化状態をこの表により評価した。実用上は評価点 5 で再塗装を必要とする塗膜状態である。

屋外ばくろを 6 年間続け、塗膜劣化の測定結果を Table 9 に示す。

塗膜劣化過程の例を Fig. 6, Fig. 7 に示す。

塗膜の劣化状態を塗料別にみると、油ペイントの場合、15～24 か月でひびおよび割れが発生した。この発生時期は供試塗料中最も早く、かつ、急激な劣化速度を示した。

24 か月を過ぎると合板表板の繊維方向に走っていたひびは割れに発達し、また、大きな塗膜割れの周辺はめくれあがり、はく離が生じた。当然塗膜割れ数も増加した。

このほか、塗膜自体の劣化が主原因でおこる方向性のない亀甲状の割れも発生した (Photo. 1 参照)。この割れは油ペイントのみに発生し、他の塗料には生じなかった。

屋外ばくろを 2 年間おこなうと、実用上再塗装が必要な塗膜劣化状態になった。

72 か月を過ぎると塗膜はほぼ破壊し、試験片面積の約 80% の塗膜がはく離した。そのため、合板素地が露出した。その部分には普通合板と同じような大きな亀裂が認められた。Ag, Dg, Eg 合板などに接着層のはく離が観察された。

Table 8. 塗膜劣化程度に対する評価点の基準  
Numerical exposure rating vs.  
grade of film failures.

評価点 Exposure rating	塗膜欠陥 Film failures ひび、割れ、はがれ、その他 Checking, cracking, flaking, etc.
10	Absent
9	} Slight failure
8	
7	
6	} Intermediate
5	
4	
3	} Bad failure
2	
1	
0	Complete failure

Table 9. 普通合板および塗装合板の屋外ばくろ結果

Exposure ratings of various paints on plywoods  
by exterior exposure testing

合板の種類 Kind of plywood	塗 料 Paint	ば く ろ 期 間 Exposure period (months)						
		4	9	15	24	33	48	72
Al	P	10	10	10	4	3	1	1
	Ph	10	10	10	10	9.3	9.3	9.3
	V	10	10	10	10	9.3	9	6.8
	A	10	10	10	8.5	7	6.5	2.5
Ag	P	10	10	10	3.3	2.3	1	1
	Ph	10	10	10	10	10	10	9.7
	V	10	10	10	9.7	9	9	6
	A	10	10	10	5	3	3	1
Bl	P	10	10	10	4	2.3	1	0.7
	Ph	10	10	10	10	10	10	9.7
	V	10	10	10	10	9	8.7	9
	A	10	10	9.5	9	8	7	5
Bg	P	10	10	10	8	3.3	1	1
	Ph	10	10	10	10	10	10	9.3
	V	10	10	10	10	9	8.7	7.3
	A	10	10	10	10	7.5	7.5	6
Cl	P	10	10	10	5	4	1	0.8
	Ph	10	10	10	10	10	10	9.7
	V	10	10	10	10	9.7	9	9.5
	A	10	10	10	10	8	8	7
Cg	P	10	10	9.7	3	3	1	0.7
	Ph	10	10	10	9.7	9.7	9.7	9.3
	V	10	10	10	8.7	3.3	3.3	5.7
	A	10	10	10	9.5	4	4	2.5
Dl	P	10	10	9.7	3	2.3	0.7	0.4
	Ph	10	10	10	10	9.7	9.7	9.3
	V	10	10	10	9.7	5.7	5.7	7.5
	A	10	10	10	9	9	7.5	9
Dg	P	10	10	9.3	4.3	2	0	0.3
	Ph	10	10	10	10	10	10	8.3
	V	10	10	10	9	5	9.3	7
	A	10	10	10	8	6.5	6.5	6.5
El	P	10	10	10	6	2.3	1	0.5
	Ph	10	10	10	10	9.3	9.3	9.3
	V	10	10	10	10	8	8	9
	A	10	10	10	8.5	4	4	5
Eg	P	10	10	9.3	3.3	2	0.3	0.2
	Ph	10	9	10	9	5.7	5.7	8.7
	V	10	9.7	10	8	3.3	6.8	3
	A	7.5	4	4	3	2	1	0

24か月後すべての塗料にチョーキングが発生  
 24 month : Chalking occurred in all paints.

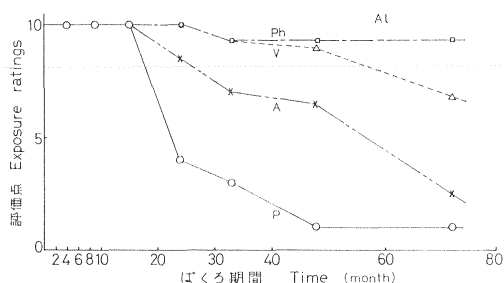


Fig. 6 屋外ばくろによる合板 (Al) 上塗膜の劣化発生経過  
Change of the failure of paint films on plywood (Al) by exterior exposure testing.

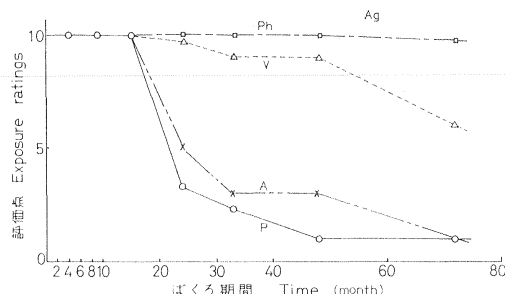


Fig. 7 屋外ばくろによる合板 (Ag) 上塗膜の劣化発生経過  
Change of the failure of paint films on plywood (Ag) by exterior exposure testing.

フタル酸樹脂塗料の場合、塗膜の劣化が供試塗料中最も少なかった。

屋外ばくろ 72 か月後でも表板繊維方向に沿った塗膜割れが数本観察された程度で、ひびやはく離は発生しなかった。

フタル酸樹脂塗料を塗ったすべての合板に、合板の亀裂、接着層のはく離等は認められなかった。

塗膜状態からみて、72 か月後でも再塗装の必要がなく、供試塗料中最もすぐれた塗膜耐久性を示した。

ビニルウレタン樹脂塗料の場合、24 か月を過ぎると表板の繊維方向に沿った塗膜割れが発生し、この割れは数は少ないが、長さと幅が大きかった。試験片全体としては 48 か月後も塗膜割れ数が比較的少なかった。しか

し、この時期になると被塗合板の影響が塗膜耐久性にはっきりと現れてきた、すなわち、表板が厚くなるほど塗膜割れ数が多くなり、割れが大きくなる傾向がみられた。そして、裏割れ率が高い合板は少ないものより塗膜割れ数が多く、その形状が大きかった。

上記のことから Eg 合板上の塗膜耐久性が最も劣った。

72 か月後、大きな塗膜割れの下の合板に亀裂が認められた。しかし、塗膜のはく離がなく、接着層のはくりが認められなかった。

Eg 合板を除けば 72 か月後でも再塗装の必要がない。

ビニルウレタン樹脂塗料はフタル酸樹脂塗料についてすぐれた塗膜耐久性を示した。

アクリル酢ビエマルジョン塗料は、24 か月目に合板の種類に関係なく、全試験片に表板の繊維方向に

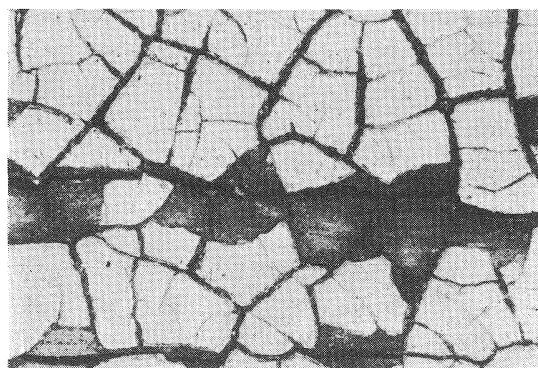


Photo. 1 油ペイント塗膜に発生した亀甲状の割れおよび剥離 (被塗合板表板に亀裂がみられる)  
DI 合板, 屋外ばくろ 72 か月後  
Alligatoring cracks and scaling of oil paint on plywood (DI) after 72 months exterior exposure (cracks of face veneer of plywood can be observed).

沿った塗膜割れが発生した。塗膜割れは時間の経過にともない、割れ数および形状が増大した。塗膜のはく離および塗膜割れの下に合板の亀裂も観察された。

33 か月後、ほとんどの合板は実用上再塗装が必要である。しかし、Eg 合板のみは 4 か月で早くも塗膜割れが生じ、その後も劣化が顕著に進行し、72 か月後塗膜が完全に破壊し、そしてはく離した。また、合板の接着層もはく離した。アクリル酢ビエマルジョン塗料を Eg 合板に塗ったものは、9 か月後に早くも再塗装が必要な塗膜劣化状態となった。

塗膜耐久性に対して塗料に順位をつけると、フタル酸樹脂塗料が最もすぐれ、ビニルウレタン樹脂塗料が次に良く、アクリル酢ビエマルジョン塗料、油ペイントは前 2 者より相当劣る。両者の比較ではアクリル酢ビエマルジョン塗料が油ペイントよりわずかに良い。

#### 塗膜耐久性に与える合板種類の影響

裏割れの影響 裏割れ率の大きいものは小さいものに比べ塗膜耐久性に悪影響をおよぼしている。しかし、裏割れの影響程度は塗膜の種類によって差があり、アクリル酢ビエマルジョン塗料は他の塗料よりも影響が大きかった。

表板厚さの影響 表板厚さと塗膜耐久性の間には顕著な影響がみられなかった。しかし、表板の最も薄い A 合板と最も厚い E 合板を比較すると、合板の膨張 および収縮率の大きい E 合板上の塗膜耐久性が劣っていた。

裏割れ率が大きく、かつ表板が最も厚い Eg 合板は裏割れと厚さの悪影響が重なり、塗膜耐久性が供試合板中で最も悪かった。

#### 屋外ばくろによる吸水性の変化

Table 10. 吸 水 量 測 定 結 果

Results of water absorption (g/cm<sup>2</sup>. 24hr×10<sup>-3</sup>)

普通合板, 塗装合板 Non-coated plywood, coated plywood	ばくろ 前 の 吸 水 量 Amount of water absorption before exterior exposure						屋外ばくろ 6 年後の吸水量 Amount of water absorption after 6 years exterior exposure					
	l			g			l			g		
	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.
裏 割 れ 記 号 Mark of lathe check												
普通合板 Non-coated plywood	27.7	34.5	39.5	27.8	33.4	39.0						
油ペイント塗装合板 Oil paint coated plywood	3.5	6.4	11.9	1.9	4.3	6.4	36.1	40.6	52.3	11.7	59.0	151.6
フタル酸樹脂塗装合板 Phthalate resin coated plywood	2.7	5.4	10.4	1.1	4.9	8.1	3.8	5.8	7.7	4.5	9.1	13.2
ビニルウレタン樹脂 塗装合板 Vinyl-urethane resin coated plywood	1.1	3.4	5.9	0.5	3.1	10.9	4.0	6.9	10.9	7.4	14.1	30.2
アクリル酢ビエマル ジョン塗装合板 Acryl vinyl acetate emulsion coated plywood	5.6	14.5	20.5	8.2	14.7	21.0	21.7	70.0	116.0	21.1	70.0	110.0

塗装の目的の一つに素地の保護がある。塗膜によって水分が素地に浸透するのを防ぐことによって、素地の耐久性を向上させる。それゆえ、塗膜が劣化すればこの効果が減少する。

屋外ばくろ前後の吸水量を Table 10, 屋外ばくろ前の普通合板の吸水量を基準とした塗膜の透水しゃ断率を Fig. 8 に示す。

ばくろ前 透水しゃ断率はビニールウレタン樹脂塗料が90%を示し、最良であった。フタル酸樹脂塗料および油ペイントは85%で2番目に良い。アクリル酢ビエマルジョン塗料は60%で最低の値を示した。

塗膜の湿気透過量について武田<sup>14)</sup>が、また、水透過量について MICHAELS<sup>15)</sup> がそれぞれ実験式を報告している。

それによれば透過量は拡散係数に比例し、膜厚に反比例する。

透水しゃ断率の測定結果は塗膜が厚いものほどすぐれた値を示した。

アクリル酢ビエマルジョン塗料は膜厚が最も薄いうえ、膜質が比較的多孔質のためにこのような結果となったと考えられる。

ばくろ6年後 屋外ばくろによって塗膜が劣化し、ひび、割れ、はがれ、チョーキングによる膜厚の減少などがおこるので透水しゃ断性が徐々に低下していく。それゆえ、屋外ばくろによる塗膜の複雑な劣化程度を総合的に定量するには透水しゃ断性を測定するのが有効であると考えられる。

屋外ばくろによる透水しゃ断性を塗料の種類についてみると、アクリル酢ビエマルジョン塗料、油ペイントは基準とした普通合板（ばくろ前）の吸水量より多く吸水し、透水しゃ断率がマイナスになった。

これは、両塗料の劣化が激しく、塗膜割れやはく離、合板自体の亀裂や接着層のはく離等が原因して透水量が著しく増加したと考えられる。

ビニールウレタン樹脂塗料の透水しゃ断性低下は約28%で、前記両塗料について低下が大きかった。

フタル酸樹脂塗料の透水しゃ断性の低下は最も少なく、約8%であり、耐候性が最もすぐれた塗料であった。

屋外ばくろによる透水しゃ断性の低下と塗膜耐久性の測定結果がよく一致した。

透水しゃ断性低下に与える裏割れの影響をみると、屋外ばくろ前は裏割れ率に関係なくほぼ同一の値をすべての塗料が示した。しかし、ばくろ6年後は裏割れ率の大きい合板は小さいものより油ペイント約50%、フタル酸樹脂塗料約10%、ビニールウレタン樹脂塗料約25%と大きく低下した。

この結果からみても裏割れ率の大きいものに塗膜割れ、はく離、合板の亀裂や接着層のはく離がより多いことを物語っている。

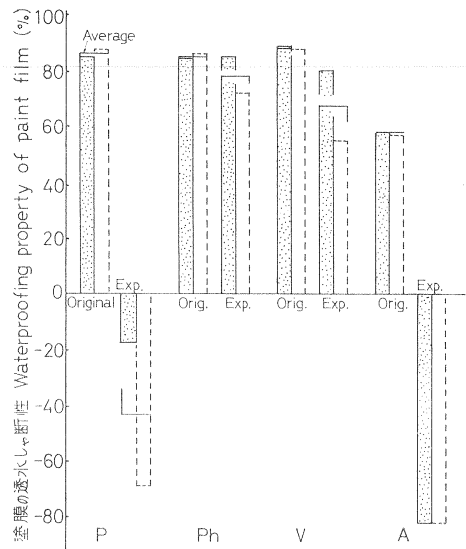


Fig. 8 6年間の屋外ばくろによる塗装合板の透水しゃ断率の変化

Change of waterproofing property of paint films on plywoods after six years of exterior exposure.

Original: ばくろ前 Before exposure, Exp.: ばくろ後 After exposure, (stippled): 裏割れ率小さいもの Slight lathe check, (dotted): 裏割れ率大きいもの Deep lathe check.

アクリル酢ビエマルジョン塗料は裏割れ率の大小による差がなかった。この塗料は新しい塗膜の透水しゃ断性が悪いうえに、劣化による塗膜の割れやはがれ、被塗合板の亀裂や接着層のはく離が多いために、24 時間後の吸水量が飽和に達するので差が現れなかったと考えられる。

塗膜の透水しゃ断性の低下に与える表板厚さの影響は、塗料の種類を問わず明らかでなかった。

#### 屋外ばくろによる普通合板および塗装合板の強度的性質の変化

屋外ばくろ 6 年後の曲げヤング係数 ( $E_b$ ) および曲げ強さ ( $\sigma_b$ ) を保持率 (ばくろ前に対する割合) で Table 11 に示す。

普通合板の保持率は平均で  $E_b$  40.7%,  $\sigma_b$  38.0% であった。これらの値は塗装合板に比べ約半分の値である。

普通合板は前述したごとく、屋外ばくろ 3 か月より表板に亀裂が発生し、年月の経過にともない発達し、そのため、亀裂部からより多くの雨水、光線および酸素などが、合板内部へ侵入し、塗装合板よりも接着層の劣化が早く、かつ大きかった。そのうえ、光線、酸素および腐朽菌などによる木材自体の大きな劣化とあいまって低い保持率を示したものと考えられる。

普通合板の Ag は表板がはく離したために測定ができなかった。

6 年間の屋外ばくろによる強度低下を平均値で比較すると、塗装合板は普通合板より保持率が高く、 $E_b$  2.09 倍および  $\sigma_b$  2.22 倍であった。

塗膜が合板を保護する効果が強度保持率に明瞭に現れた。

塗料種類別にみると、アクリル酢ビエマルジョン塗料の強度保持率は平均で  $E_b$  75.3%,  $\sigma_b$  75.0% で

Table 11. 屋外ばくろ 6 年後の普通合板および塗装合板の曲げヤング係数 ( $E_b$ ),  
曲げ破壊係数 ( $\sigma_b$ ) の保持率

Effect of various paints (P, Ph, V, A) on the exterior  
durability of modulus of elasticity in bending ( $E_b$ )  
and rupture in bending ( $\sigma_b$ ) of plywood

合 板 Plywood	ばくろ 6 年後 の 保 持 率 Retained after 6 years exposure (%)									
	$E_b$					$\sigma_b$				
	None	P	Ph	V	A	None	P	Ph	V	A
Al	66	91	98	90	85	45	86	110	96	91
Ag	0	87	95	87	78	0	95	99	81	59
Bl	60	87	100	87	87	46	98	113	85	107
Bg	32	84	88	91	88	30	93	76	77	78
Cl	46	88	90	87	80	49	103	107	97	89
Cg	33	84	89	83	82	44	87	83	73	79
Dl	47	85	90	92	84	49	84	84	74	87
Dg	35	74	89	86	77	47	63	99	97	84
El	45	87	90	92	92	46	79	90	91	76
Eg	43	72	98	85	0	24	50	91	69	0



あり、最も低い値を示した。この塗料の場合は透水しゃ断率が悪いうえに、塗膜劣化が大きいためにこのような結果となったと考えられる。Eg 合板は表板がはく離したので測定ができなかった。

油ペイントの強度保持率は平均で  $E_b$  83.9%,  $\sigma_b$  83.8% で、塗膜劣化が激しかったわりには好結果を示した。この塗料の乾燥機構が油の酸化重合のため、他の塗料より 30~40 倍の乾燥時間を必要とした。それゆえ、油が合板中に深く浸透し、オイルフィニッシュと同様な効果を発揮して<sup>16)</sup>、表面塗膜が早くこわれても表板の材質劣化を遅延させ、かつ、合板の撓水性を向上させるのでこのような結果を示したものと考えられる。

ビニルウレタン樹脂塗料およびフタル酸樹脂塗料の強度保持率は、平均でそれぞれ  $E_b$  88.0,  $\sigma_b$  84.0 および  $E_b$  92.7,  $\sigma_b$  95.2 を示し、すぐれた塗膜耐久性に比例して高い強度保持率を示した。

塗装合板の強度保持率は塗膜耐久性および透水しゃ断性が強く影響し、これらの性質がすぐれた塗料を塗装した合板が強度保持率も高かった。

強度保持率を合板の種類で比較すると、全塗料とも Eg 合板が悪かったほかは差が少なかった。

表板が同厚の合板間で比較すると裏割れ率が大きい合板は小さいものより悪い。

#### IV ま と め

屋外ばくろにおける塗膜耐久性を向上させ、その結果合板の耐久性を向上させる目的で実験をおこなった。

予備試験によって自由塗膜の機械的および物理的性質を測定したうえで 4 種類の塗料を選択し、10 種類の合板に塗装した。

この塗装合板と普通合板を屋外に 6 年間ばくろし、その間塗膜および合板表面の劣化状態、吸水量、曲げヤング係数および強さなどを測定した。その結果、

(1) 塗装合板の塗膜耐久性と他の実験項目との関連をわかりやすく一覧表 (Table 12) にして示す。

Table 12. 級分けによる合板上の塗膜耐久性、透水しゃ断性、強度保持率等と自由塗膜の物理的、機械的性質との関係

Relation between the grading of durability of paint films on plywood and that of physical, mechanical properties of free films

	塗料 Paint	P	Ph	V	A	備考 Note
塗 装 合 板 On plywood	Film durability	4	1	2	3	Exposed 6 years
	Waterproofing property	3	1	2	4	
	Retained after $\left\{ \begin{array}{l} E_b \\ \sigma_b \end{array} \right.$	3	1	2	4	Exposed 6 years
	6 years of	3	1	2	4	
自 由 塗 膜 Free film	Tensile strength	3	1	2	4	Static
	YOUNG's modulus	4	1	1	3	
	Dynamic modulus	4	2	1	3	
	$T_g$	4	2	1	3	
	Elongation	3	2	4	1	By tensile test
	Curing stress	1	3	4	2	

機械的および物理的性質の測定値は、いちばん高いものまたは大きいものを 1 とし→4 にグレードをつけた。ただし、内部応力のみは小さいほど塗膜耐久性がよいと言われているので<sup>8)</sup>、値の小さいものから大きいものへ 1→4 にグレードをつけた。

自由塗膜の強度、物理的性質のすぐれたものが塗膜耐久性がよく、塗膜耐久性のよいものは塗膜の透水しゃ断性および塗装合板の強度保持率が高い。

破壊伸びが大きい塗膜、硬化過程に発生する内部応力が小さい塗膜が付着性や耐塗膜割れ性がよいと言われているが、しかし、これに反する実験結果となった。合板の最大膨張、収縮率と屋外ばくろ後の塗膜の伸び率との差がないか、または、後者が大きければ塗膜割れが著しく少ないはずである。それゆえ、この問題は今後追求する。

(2) 合板の種類と塗膜耐久性の関係をみると、裏割れが塗膜耐久性に強く影響し、裏割れ率の大きい合板は小さいものより塗膜耐久性が悪い。

理由は、水分変化による塗装合板の膨張収縮は常に繰り返されている。その際、裏割れに応力集中がおこり、隣接部に木部割れや放射組織の割れが生じ、あたかも裏割れが伸びたように観察される。この割れが合板の亀裂となり、塗膜割れを作る。

この現象は裏割れ率の大きい合板は小さいものより顕著に現れ、前報<sup>17)</sup>でも同じことが認められた。

裏割れの塗膜耐久性に与える影響は塗料の種類で差があり、透水しゃ断性が最も悪いアクリル酢ビエマルジョン塗料が他の塗料より強く影響した。

表板厚さの塗膜耐久性に与える影響は、裏割れほど顕著な傾向はみられなかった。しかし、最も薄い 1 mm の表板と最も厚い 3 mm のものを比較すると、水分による膨張、収縮率の大きい 3 mm の表板は塗膜耐久性が悪い。

(3) 屋外ばくろによる塗膜の透水しゃ断性の低下は塗膜の劣化傾向とよく一致し、劣化が大きい塗膜の透水しゃ断性が悪い。

塗膜の劣化を総合的に定量するために、ばくろ中に塗膜の透水しゃ断性を測ることは有意義である。

(4) 屋外ばくろによる合板の強度的性質(曲げヤング係数、曲げ強さ)の変化をみると、塗装合板は普通合板より強度保持率が高く、屋外ばくろ 6 年後でほとんどの種類が 2 倍以上の値を示し、塗膜が素地を保護する効果が明瞭に認められた。

塗膜の劣化や透水しゃ断性の低下が強度保持率に影響し、劣化の大きい塗料を塗装した合板の強度保持率が低かった。

屋外ばくろによる合板の強度的性能の低下は、木材質の劣化とともに接着層の劣化が強く影響しているようである。

## 文 献

- 1) 川村二郎：木材工業，30，50～54，(1975)
- 2) 松本庸夫：林試研報，220，231～243，(1969)
- 3) TARKOW, H., and S. H. ISHAQ: For. Prod. J. 11, 203～208, (1961)
- 4) 中村 章・川村二郎：林試研報，148，125～140，(1963)
- 5) 川村二郎：林試研報，182，149～172，(1965)
- 6) ————：木材工業，32，289，(1977)

- 7) MARSHALL, N. J. : Official Digest, 29, 792, (1957)
- 8) 福山萬次郎 : 塗装の技術, 9, 3, 4, (1974)
- 9) 井上幸彦 : 塗料及び高分子, 誠文堂新光社, p. 110, (1963)
- 10) 金田 弘・満久崇磨 : 木材誌, 19, 4, 159, (1973) など
- 11) 日本塗料検査協会 : 塗膜の評価基準, (1970)
- 12) GARDNER, H. A. and G. G. SWARD : Physic. & Chem. Examination Paint Varnish Lacquer Color, Gardner Lab. INC, (USA) p. 202, (1950)
- 13) 工芸連合部会塗装技術分科会 : 塗膜評価方法の研究, (1975)
- 14) 武田文七 : 色材, 31, 7, 303, (1958)
- 15) MICHAELS, ALAN S. : Official Digest, 37, (1965)
- 16) 亀井益禎 : 塗装のデザインと技術, 森北出版, 310, (1964)
- 17) 中村 章・川村二郎 : 林試研報, 176, 187~214, (1965)

## Studies on Cracking of Paint Film coated on Wood II

### Durability of paint film on plywood under exterior weathering

Jiro KAWAMURA<sup>(1)</sup>

#### Summary

In the previous paper<sup>\*)</sup>, a paint film cracking on solid wood and plywood was reported.

In this paper, mechanical properties of paint films in static and dynamic modes were measured, and degradation of these properties of paint films under accelerating cyclic test was observed. On the basis of these results, the durabilities of plywoods coated exterior paints exposed under exterior weathering for six years were discussed.

Red lauan (*Shorea negrosensis*) rotary cut veneers were used. The veneers were graded into two groups according to the depth of lathe checks, slight (l) or deep (g). The depth of lathe checks were measured by microscopic observation of cross cut of face veneer.

The kinds of plywoods were tested in this experiment. By means of combination of different thickness veneers, the five-ply-plywoods having different thickness (8.5, 9.0, 9.6, 10.2 and 10.5 mm) were made. The bonding adhesive was melamine-urea resin. These plywoods were classified into two groups by the depth of lathe check of face veneer, respectively, slight (l) and deep (g). Depth of lathe check, density of lathe check, and surface roughness of face veneer, and veneer constructions were shown in Tables 5, 6 and 7.

Four kinds of exterior paints used in this investigation were as follows : the oil paint (55 wt % zinc oxide pigment, 92.3 wt % nonvolatile content) the phthalate resin paint (40 wt % zinc oxide pigment and titanium dioxide pigment, 64.0 wt % nonvolatile content), the vinyl urethane resin paint (35 wt % pigment, three wt % isocyanate, 42.7 wt % nonvolatile content)

Received October 20, 1977

(1) Wood Utilization Division

\*) Akira NAKAMURA, Jiro KAWAMURA : Bull. of The Gov. For. Exp. St. No. 176, pp. 187~214 (1965)

and the acryl vinyl acetate emulsion paint (20 wt % pigment, 40.2 wt % nonvolatile content). These paints were coated on the plywood surface by spray gun. They were applied 500 g/m<sup>2</sup> with three coats. Before coating, the plywood surface was sandpapered until fresh surface appeared.

#### Testing method :

Stress-strain behavior of paint films : The specimens having the size of 10 mm in width (W) by 100 mm in length (L) by 0.25 mm in thickness (T) were conditioned at 20°C and 65 % RH. Thirty fresh paint films and thirty paint films exposed by accelerated weathering machine (carbon arc type) for 100 hours were prepared for each kind of paint. An Instron type mechanical tester was used to determine the stress-strain curve, a tensile strength and a static modulus of the paint film.

Dynamic modulus and glass transition temperature ( $T_g$ ) of paint film : Five specimens having the size of 3 mm (W) by 30 mm (L) by 0.2 mm (T) were prepared for each paint. A nonresonance, forced vertical vibration instrument was used to determine the dynamic mechanical properties of paint film and  $T_g$  of the paint film.

Internal stress caused by shrinkage in curing process of paint films : The distance between two marks of paint film on glass was measured by a screw comparator (accuracy 1/100 mm). And then, after peeling the paint film from the glass, the distance between the two marks of the paint film was measured again. The internal stress of cured paint film was calculated from the strain of the shrinkage and the static modulus of the paint film.

Water absorbing test of the coated plywood : Five specimens having the size of 50 mm (L) by 35 mm (W) were prepared for each thickness of the coated plywood. The five sides of specimens except the coated surface were sealed completely with paraffin and vaseline sealer in order to prevent water penetration, and then the tests were carried out by JIS Z 2104.

Percentage of swelling and shrinkage of the plywood : Five specimens having the size of 30 mm (L) by 20 mm (W) were prepared for each thickness of the plywood. The specimens were allowed to reach the equilibrium state under the condition of 27°C and 40% RH, and then the relative humidity was raised at the rate of one % per min. until 95% RH. As the secondary step, the relative humidity was reduced at the same rate until 40% RH. The dimension changes of the specimens were measured by linear transformers under those conditions.

Exterior weathering test : Three specimens having the size of 30 cm by 30 cm were prepared for each thickness of the coated plywood. The sides except the coated surface of the specimens were sealed yearly with enamel. These specimens were exposed to the weather in a 45 degrees angle position against the level, facing south, in Tokyo for six years, from March 1969 to March 1975. Durability of the paint film (checking, cracking, flaking, chalking and etc.), modulus of elasticity, modulus of rupture in bending and resistance of water transmission were measured every year.

#### Results and discussion :

1. Static mechanical behaviors of the paint films : Results are shown in Table 2 and Fig. 1. In fresh paint films : The oil paint and the acryl vinyl acetate emulsion paint had low modulus, low tensile strength and very high elongation (about 70 to 140%) at break. Thus, these paints were characterized as soft types. The phthalate resin paint had high modulus, high tensile strength, high elongation at break and the highest energy requirement to break. This resin was characterized as tough type. The vinyl urethane resin paint had high modulus, high tensile strength but low elongation at break. This resin was characterized as hard

type.

In the paint films after exposing in accelerated weathering machine (carbon arc type) : The increase of the exposure time raised the modulus, but decreased the elongation at break. In the case of the phthalate resin paint, the vinyl urethane resin paint and the acryl vinyl acetate emulsion paint, the modulus and tensile strength were increased but the elongation at break was decreased by the exposure in weathering machine. In the case of the oil paint, the modulus was increased and the tensile strength and the elongation at break were decreased by the exposure in weathering machine. The hardness and brittleness of almost all paints changed rapidly by accelerated weathering.

2. Dynamic mechanical properties of the paint films : Dynamic modulus, the glass transition temperature ( $T_g$ ) and the internal stress in the curing process of the paint film are shown in Table 3, Fig. 2-1 and 2-2. The dynamic moduli of the phthalate and the vinyl urethane resin paints were roughly  $10^{10}$  dyne/cm<sup>2</sup>, and those of the oil paint and the acryl vinyl acetate emulsion paints were roughly  $10^9$  dyne/cm<sup>2</sup>. The glass transition temperature ( $T_g$ ) of the oil paint was 25°C, and those of the other paints were about 40°C. The internal stresses of the phthalate and the vinyl urethane resin paints, that had high dynamic moduli, were high and those of the acryl vinyl acetate emulsion and oil paints were low.

3. Swelling and shrinkage of the plywoods by moisture change : The swelling and shrinkage of the plywoods were correlated with face veneer thickness of the plywood. When the face veneer is thick, the swelling and shrinkage tend to become large. For instance, the swelling of the plywood having three millimeters face veneer was about 1.6%, while that of the plywood having one millimeter face veneer was about 0.75% (Figs. 3 and 4).

4. Water-proofing properties of the paints used for plywoods coating. Before weathering : The best value of the water-proofing was 90% for the vinyl urethane resin paint, and the worst value was 60% for the acryl vinyl acetate emulsion paint. It indicates that the water-proofing property depends upon the thickness of the paint film on the plywood in Fig. 8 apparently. After weathering for six years : The water-proofing properties of the acryl vinyl acetate emulsion paint and the oil paint on the plywoods were deteriorated more than the phthalate resin paint and the vinyl urethane resin paint. The weathered painted surfaces of the formers showed many film cracks, large flakes, cracks of the plywood and breakages reaching the glue layer. Close agreement between the deterioration of the water-proofing and the degradation value of the paint film is shown in Table 9.

5. Results of the exterior weathering test : Results are shown in Table 9. After three months exposure, many checks and cracks occurred on the non-coated plywood, and then developed rapidly as the weathering proceeded. After 72 months exposure, the glue layer of the plywoods were damaged due to furious cracks. The oil paint film on the plywoods were not so durable to the exterior weathering as the phthalate and the vinyl urethane resin paints, because checks, cracks and flakes which developed from the cracking and curling occurred earlier than in the case of the other paints, and the degradation rate was high. The life of phthalate resin paint film on the plywoods lasted longer than the life of the other paints for the exterior weathering. Ranking of the four paints used for this test are as follows : The best paint is the phthalate, the good paint is the vinyl urethane, the fair paint is the acryl vinyl acetate emulsion, and the poor paint is the oil paint. The lathe check of the face veneer had a considerable effect on the behavior of the paint films in the exterior. Moreover, the paint film failures as checking, cracking and flaking were related to the thickness of the clear

part from top of lathe check to surface. Since many film cracks occurred at the thin clear part of the face veneer, the effect of the face veneer thickness was little.

6. The conclusions from this experiment : Concerning the paint film, the resistance of water transmission, the tensile strength, the modulus and the Tg have an important relation on the durability of the coated plywood, and the paints having higher values of these properties are more advantageous than the paints having lower values of them (Table 12). On the basis of plywood coating, the principal factor is the lathe check of face veneer. The plywoods coated with the phthalate and the vinyl urethane resin paints, which make durable paint films, retain the modulus and the modulus of rupture in bending in high proportion after the weathering. The other paints having more poor durability were less effective on the protection of the coated plywoods against the weathering. This indicates that the durability of paint film is also effective on protection of the coated plywood.