

# 塗装木材の内部応力に関する研究 II

## 木材用塗料塗膜の熱膨張について

福山 萬治郎・佐道 健

MANJIRO FUKUYAMA and TAKESI SADOH : Studies on the internal stresses in finished wood.

### 2. On the thermal expansion of paint films for wood coating.

**摘要** 塗装木材の塗膜内部に発生する内部応力を明らかにすることを目的として、前報<sup>1)</sup>と同じ組成および配合比の4種の木材用塗料を用い、熱応力の起因となる塗膜の熱膨張について測定した。

得られた主な結果は次の通りである。

1) 塗膜の熱膨張と温度との間には直線関係が成立し、温度上昇時と下降時の直線は実験誤差の範囲内でほぼ一致する (Fig. 1)。

2) 本供試塗料塗膜の線熱膨張係数はいずれも  $0.23 \sim 0.34 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$  の範囲内にあり、塗料の種類による差異は認められない (Table 1)。しかも、この値は木材の半径方向の線熱膨張係数にほぼ等しい (Table 1, 2)。

3) 木材塗装の際、塗膜内部に発生する熱応力は木材繊維に平行方向の塗装塗膜において最も著しいが (Table 3)、単離塗膜の引張試験結果<sup>4)</sup>から考えると塗膜にクラックが発生する危険に対してははかかなり安全であり、塗膜の収縮応力を考えあわせてもアミノアルキッド樹脂塗料以外はこの危険が少ないように思われる (Table 4)。

## I 緒 言

木材塗装において、塗膜内部に発生する内部応力は塗膜の密着性を不安定にして剥離やクラックの危険を増大させるばかりでなく、塗装木材のそりの原因にもなる。

このような内部応力は、既述のように<sup>1)</sup> (1) 塗装の際の木材の膨潤応力と硬化の際の塗料の収縮応力、(2) 硬化温度から室温にまで冷却する際の熱応力、ならびに (3) 塗装木材の吸・放湿にもとづく膨潤または収縮応力などに区別することができ、前報<sup>1)</sup>ではこれら内部応力を明らかにするために、木材用塗料として一般に使用される4種類の塗料について、まず硬化時における塗膜の収縮応力を検討したが、引き続き同じ目的で熱応力の原因となる塗膜の熱膨張について検討したので、それらの結果を報告する。

## II 熱膨張係数の測定法

単離塗膜の熱膨張量を直接測定することは測定技術ならびに精度上極めて困難であるので、本実験では塗

膜の収縮応力測定の場合と全く同様な方法を用いて決定することにした。

すなわち、帯状の薄いアルミ板の片面に均一な厚みの硬化塗膜を形成して両端支持梁にし、温度上昇または下降時におけるスパン中央の最大たわみ量の変化を測定して前報<sup>1)</sup>の(1)式からまず塗膜の熱応力 ( $p$ ) を求め、これと塗膜のヤング係数 ( $E_1$ ) から熱ひずみ ( $\varepsilon$ ) ( $\varepsilon = p/E_1$ ) を計算した。このようにして得た塗膜の熱ひずみは塗膜とアルミ板の熱膨張量の差に起因して発生すると考えられるので、両者の線熱膨張係数と熱ひずみの間には次式が成立し、これから塗膜の線熱膨張係数を算出することができる。

$$\text{すなわち、} \quad l_0(\alpha_P - \alpha_A) \cdot \Delta t = l_0 \cdot \varepsilon$$

$$\text{したがって、} \quad (\alpha_P - \alpha_A) \cdot \Delta t = \varepsilon$$

ここに、 $l_0$  は塗膜およびアルミ板のものの長さ、 $\alpha_P$  および  $\alpha_A$  はそれぞれ塗膜およびアルミ板の線熱膨張係数 ( $\alpha_A = 2.3 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ )<sup>2)</sup>、 $\Delta t$  は温度差である。

なお、塗膜の熱応力 ( $p$ ) の計算に必要な本実験条件  $30 \sim 60^{\circ}\text{C}$  におけるアルミ板のヤング係数 ( $E_2$ ) には前報<sup>1)</sup>で示した Fig. 4 の実測値 ( $30^{\circ}\text{C}$ :  $6.79 \times 10^5$

kg/cm<sup>2</sup>, 40°C: 6.65×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>, 50°C: 6.50×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>, 60°C: 6.44×10<sup>5</sup>kg/cm<sup>2</sup>) を, また熱ひずみ(ε)の計算に必要な同温度条件下における塗膜ヤング係数(E<sub>t</sub>)には前報<sup>1)</sup>の(4)式による実測値の平均値(E<sub>t</sub>)の温度依存性が明らかでないので, R. H. 5%, 30~60°C間の全平均値を採用(ポリエステル樹脂塗料: 6.25×10<sup>4</sup> kg/cm<sup>2</sup>, ポリウレタン樹脂塗料: 6.60×10<sup>4</sup> kg/cm<sup>2</sup>, アミノアルキッド樹脂塗料: 5.26×10<sup>4</sup>kg/cm<sup>2</sup>, ニトロセルロースラッカー塗料: 12.83×10<sup>4</sup> kg/cm<sup>2</sup>)を用いることにした. 前報<sup>1)</sup>で述べたように, 前記塗膜ヤング係数の値は乾燥単離塗膜の引張ヤング係数<sup>2)</sup>のそれよりもやや大きい, 試験の性質上本実験ではすべてこの値を用いて計算することにした.

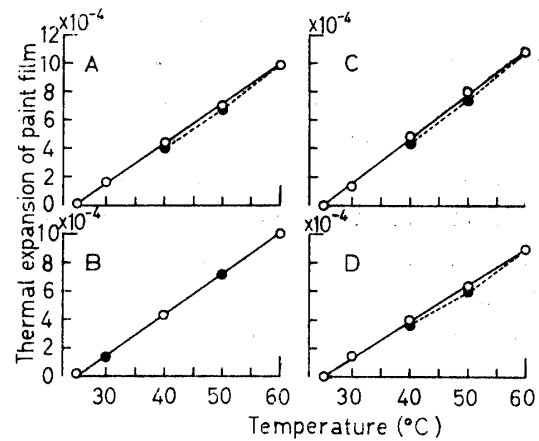
### III 実験方法

供試塗料の種類, 組成ならびに配合比は前報<sup>1)</sup>のTable 2に示した通りであり, また供試アルミ板の寸法も前報<sup>1)</sup>のそれと全く同様(幅: 1.5cm, 長さ: 15cm, 厚さ: 0.01cm)にし, 塗装面をベンゼンとアセトンの等量混合液で清拭したのち 3 mil のドクター・ブレードで片面に均一に塗布して十分硬化(室温, R. H. 65%, 12hr 乾燥→40°C, 1hr 乾燥→120°C, 40min~1hr 乾燥)させ, シリカゲルのデシケーター内で調湿したのち供試した.

実験に際しては, 温度 25°C, 関係湿度 5% に調節した恒温, 恒湿容器内のナイフ・エッジ(スパン: 8 cm)上に前記塗装片をおき, 25°C→60°Cの温度上昇時および60°C→40°Cの温度下降時におけるスパン中央部の最大たわみ量の変化を顕微鏡(精度: 1/100mm)で測定した. なお, 実験中の関係湿度の調節にはすべてシリカゲルを用いた.

### IV 実験結果および考察

前記の方法で求めた 25°C を基準とする塗膜の熱膨張( $\alpha_A \cdot \Delta t + \epsilon_{\Delta t}$ ,  $\Delta t$  は 25°C を基準とする温度差,  $\epsilon_{\Delta t}$  は 25°C を基準とする熱ひずみ)と温度との関係は Fig. 1 に示す通りである. この図によると, 各塗料いづれの場合にも温度と熱膨張との間



A: Polyester resin paint  
B: Polyurethane resin paint  
C: Amino alkyd resin paint  
D: Nitrocellulose lacquer

Fig. 1 Relation between thermal expansion of paint film and temperature.

Table 1. Average coefficients of linear thermal expansion of paint films at various temperatures.

Temperature (°C)	Coefficient of linear thermal expansion (1/°C)			
	Polyester resin paint	Polyurethane resin paint	Amino alkyd resin paint	Nitrocellulose lacquer
25~30	0.29 × 10 <sup>-4</sup>	0.26 × 10 <sup>-4</sup>	0.28 × 10 <sup>-4</sup>	0.32 × 10 <sup>-4</sup>
30~40	0.31	0.28	0.29	0.24
40~50	0.27	0.32	0.31	0.23
50~60	0.28	0.31	0.32	0.23
60~50	0.34	0.33	0.27	0.24
50~40	0.28	0.24	0.32	0.28
Average	0.30	0.29	0.30	0.26

Table 2. Average coefficients of linear thermal expansion ( $\alpha$ /°C) of various woods per degree centigrade from 0 to 50°C.<sup>3)</sup>

Species	$\gamma_o^*$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$\alpha_t$	$\alpha_r$	$\alpha_l$
Douglas fir	0.51	0.45 × 10 <sup>-4</sup>	0.27 × 10 <sup>-4</sup>	0.035 × 10 <sup>-4</sup>
Sitka spruce	0.42	0.35	0.24	0.035
White fir	0.40	0.32	0.22	0.039
Redwood	0.42	0.36	0.24	0.046
Sugar maple	0.68	0.38	0.28	0.041
Yellow birch	0.66	0.39	0.32	0.036
Yellow-poplar	0.43	0.31	0.27	0.036
Cottonwood	0.43	0.34	0.23	0.032
Range		0.31~0.45	0.22~0.32	0.032~0.046

\* Specific gravity in oven dry

には直線関係が成立し、温度上昇時と下降時の直線は実験誤差の範囲内でほぼ一致することが認められる。

なお、Table 1 は各温度における平均の線熱膨張係数を供試塗料について示したものである。この表によると塗膜の線熱膨張係数は各温度間において、しかも温度上昇時と下降時において若干の差異があるが、いずれの場合にも明らかな一定の傾向がなく、また塗料の種類による差異も認められない。

Table 2 は既往の文献<sup>3)</sup>から引用した木材の線熱膨張係数を示したものであるが、Table 1 および Table 2 から塗膜の線熱膨張係数は木材の半径方向のそれにほぼ等しく、切線方向のそれよりもやや小さく、繊維方向のそれよりも著しく大きいことが認められる。

したがって、木材塗装の際に塗膜と木材との熱膨張の差に起因して塗膜内部に発生する熱応力は、木材繊維に平行方向の塗装塗膜において最も著しく、しかも温度上昇の場合には木材繊維に平行方向の塗膜は圧縮力を、切線方向のそれは引張力を、温度低下の際にはそれぞれ前記と反対方向の力をうけることが理解できる。

さらに、Table 1 および Table 2 の結果から、温度が 1°C だけ上昇または低下した際に木材の切線お

よび繊維両方向の塗膜に発生する熱ひずみならびに熱応力 (= 熱ひずみ × 塗膜ヤング係数) を計算してみると Table 3 の通りで、木材繊維に平行方向の塗装塗膜に発生する熱ひずみや熱応力は切線方向のその 2 ~ 10 倍にも達することが認められる。

なお、前記木材繊維に平行方向の塗装塗膜に発生する 1°C あたりの熱ひずみや熱応力を、本供試塗料の乾燥単離塗膜について測定した引張破壊ひずみ、引張比例限度ならびに引張破壊応力 (Table 4)<sup>4)</sup> と比較すると、ポリエステル樹脂塗料だけは 60~80°C の温度変化によってほぼ引張比例限度に達するが、他の塗料は温度が 100°C 程度変化してもなお引張比例限度以下にあり、熱ひずみの面から考えても塗膜にクラック発生の危険は全くないものと思われる。

さらに、前記 100°C の温度変化による熱応力やひずみ以外に、前報<sup>1)</sup>で示した塗膜の収縮応力 (乾燥条件: 60°C, 30%, 塗装回数: 1 回) (Table 4 参照) を考えあわせてもアミノアルキッド樹脂塗料以外は塗膜のクラックに対してかなり安全なように思われる。ただし、アミノアルキッド樹脂塗料だけは著しく高い応力に達し、その値は同塗料の破壊応力付近にも及ぶので、塗膜にクラックが発生する危険は相当増大すると考えられる。

Table 3 Thermal Strain and thermal stress per degree centigrade developing in the paint films along tangential and longitudinal directions of finished wood.

Kind of paint	Tangential direction		Longitudinal direction	
	Thermal strain × 10 <sup>-4</sup>	Thermal stress (kg/cm <sup>2</sup> )	Thermal strain × 10 <sup>-4</sup>	Thermal stress (kg/cm <sup>2</sup> )
Polyester resin paint	0.03~0.18	0.3~1.8	0.22~0.31	2.2~3.1
Polyurethane resin paint	0.02~0.21	0.1~1.4	0.19~0.30	1.3~1.9
Amino alkyd resin paint	0.01~0.18	0.1~0.9	0.22~0.29	1.2~1.5
Nitrocellulose lacquer	0.01~0.13	0.1~1.7	0.20~0.29	2.4~2.6

Table 4. Results of tension test for dry peeled paint films<sup>4)</sup> and shrinking stress in the paint films developing during drying.<sup>1)</sup>

Kind of paint	Breaking strain <sup>4)</sup> (%)	Stress at <sup>4)</sup> proportional limit (kg/cm <sup>2</sup> )	Breaking <sup>4)</sup> stress (kg/cm <sup>2</sup> )	Shrinking* stress (kg/cm <sup>2</sup> )
Polyester resin paint	3.3	180	200	4.3
Polyurethane resin paint	15.4	295	350	2.2
Amino alkyd resin paint	2.2	300	330	80.9
Nitrocellulose lacquer	1.3	410	480	12.9

\* Average values of shrinking stress (60°C, 30%, first coat) cited from Table 4 of previous report.<sup>1)</sup>

### 引用および参考文献

- 1) 福山萬治郎(1966) : (1)京府大学報・農 18 : 78.
- 2) 井上敏 他編(1953) : 岩波理化学辞典, 岩波55.
- 3) 梶田 茂編(1961) : 木材工学, 養賢堂 249.
- 4) 中戸・白石・梶田(1963) : 木材誌 9 : 217.
- 5) 中戸・青山・鈴木(1966) : 木材誌 12 : 85.

### Summary

In this paper the thermal expansion of the paint films for wood coating is determined and the internal stress developing in finished wood is discussed in the relation to the thermal expansion. The kinds of paints used in this experiment and the measurement method of thermal expansion of paint films are the same as described in the previous paper.<sup>1)</sup>

Results obtained are as follows :

1) The thermal expansion of paint films increases almost linearly with increasing temperature (Fig. 1).

2) The coefficients of linear thermal expansion of paint films are in the range of  $0.23 \sim 0.34 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$  (Table 1), and these values are nearly consistent with those of wood in the radial direction without regard to the species (Table 2).

3) The thermal stress developing in the paint films by the difference between the thermal expansions of wood and paint film is considerably large along the fiber direction of wood (Table 3), but the value seems to make safe from the crack of paint film (Table 4).