

塗装木材の内部応力に関する研究 IV

吸, 放湿下における木材用塗料塗膜の膨潤, 収縮性について

福 山 萬 治 郎

MANJIRO FUKUYAMA : Studies on the internal stresses in finished wood IV

On the swelling and shrinkage of paint films for wood coating under adsorption and desorption of water vapor

要旨：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ために、Table 1 に示す組成および配合比をもった4種の木材用塗料について、吸, 放湿下における塗膜の膨潤, 収縮率を測定した。

塗膜の膨潤, 収縮率は、アルミ帯片の片面に硬化塗膜を形成して両端支持はりにし、吸, 放湿下におけるスパン中央の最大たわみ量の変化を測定して(1)式からまず塗膜の膨潤または収縮応力(p)を求め、これと塗膜のヤング係数(E_1) (Fig. 1) から p/E_1 として計算した。

得られた主な結果を要約すると次の通りである。

1) 塗膜の膨潤または収縮応力の発生経過は Fig. 3 の通りで、その大きさの順位は アミノアルキッド>ポリウレタン>ポリエステル>ニトロセルロース・ラッカーである。

2) 塗膜の膨潤, 収縮率は Table 2, 発生経過は Fig. 5 の通りで、その大きさはいずれも ポリウレタン>アミノアルキッド>ポリエステル>ニトロセルロース・ラッカーである。

3) 測定した塗膜の膨潤率(いわゆる“みかけの膨潤率”)は吸湿水分の容積量にもとづくそれよりもはるかに小さく (Table 2, Table 3 参照), とくにこの傾向はニトロセルロース・ラッカーにおいて顕著である。

4) 塗膜内収縮応力(硬化ひずみ)の吸湿に伴う緩和量(ϵ)は Table 3 の通りで、相対湿度5→80%の場合に“みかけの膨潤率”に対して、ポリエステル:10.6%, ポリウレタン:5.2%, アミノアルキッド:12.0%, ニトロセルロース・ラッカー:32.7%に達する。

5) 塗膜の含水率 (Fig. 6) と膨潤率または収縮率との関係は Fig. 7 の通りで、吸, 放湿の開始部分を除くと近似的に直線関係が成り立つ。

6) 塗膜と木材との膨縮差にもとづく塗膜内内部ひずみの大きさは Table 4 の通りで、塗料の種類によっては塗膜にわれ発生の危険が認められる。

I 緒 言

前報^{1~5)}で述べたように、塗装木材の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クラックやはがれ、その他ふくれなど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り、製品の価値および品質を左右する重要な因子の一つになる。この応力は種々の原因によって生じた塗膜—木材界面の伸縮差に起因するが、塗膜厚さが木材のそれに比較してきわめて薄いために塗膜中に内部ひずみとなってあらわれたものである。

塗膜に発生する内部応力はその発生原因にもとづいて

- (1) 塗料の硬化過程に発生する応力(硬化ひずみ)
 - (a) 塗装時の塗液と木材との温度差に起因する応力
 - (b) 塗液膨潤成分の木材中への浸透にもとづく応力
 - (c) 硬化時の塗料の容積収縮にもとづく応力
 - (2) 温度変化に伴う木材と塗膜との線熱膨張係数の差にもとづく応力
 - (3) 木材の親水性ならびに塗膜の透湿, 透水性に起因する木材と塗膜との膨縮差にもとづく応力
- などに区別することができ^{1~5)}、前報^{1~3)}ではこれら

の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よく使用される4種の塗料について、塗料の硬化時に発生する収縮応力¹⁾、熱応力の原因となる塗膜の熱膨張²⁾、さらに木材表面に塗布した塗料の塗膜形成過程に発生する応力の経時変化³⁾などについて検討した。しかしながら前記(3)の応力に関してはなお明らかでないので、引き続きこの応力の検討を意図した。木材と塗膜との膨縮差にもとづく応力を知るためには、塗膜の吸、放湿性、吸水性ならびにそれに伴う膨潤、収縮性だけでなく、塗装木材の塗膜中における水分や水蒸気の拡散速度(透湿および透水性)、塗膜—木材界面における水分の相互移動、その他素地木材の膨潤または収縮速度など、各因子の影響や因子間の相互関係を明らかにする必要がある。

木材用塗料塗膜の吸湿性⁴⁾、塗膜および塗装木材の吸水膨潤性、並びにそれに伴う塗膜内ひずみの消長⁵⁾に関しては中戸らによって、また、塗膜の透湿性に関しては今村ら⁶⁾、佐道⁷⁾によってすでに検討されているが、本実験は前記(3)の応力を明らかにするための一手段として、また上記既往の研究⁶⁻⁹⁾との関連において塗膜の水分に対する特性を知るために、まず吸、放湿下における塗膜の膨潤、収縮性について検討したので、その結果を報告する。

なお、本研究は文部省科学研究費“塗装木材の内部応力に関する研究”(一般研究、昭和43年)の一部として行なったものであることを付記するとともに、測定にご協力いただいた福島崑君に謝意を表す。

II 膨潤、収縮率の測定法

吸、放湿下における単離塗膜の膨潤、収縮量を直接測定することは測定技術ならびに精度上きわめて困難であるが、前報^{1,2)}に示した塗膜の収縮応力や熱膨張量測定の場合と全く同様な方法を用いることによって、力学的に十分な精度で求めることができる。

すなわち、帯状の薄いアルミ板の上面に均一な厚みの硬化塗膜を形成して両端支持はりにし、吸、放湿下におけるスパン中央の最大たわみ量の変化を測定して、まず塗膜の膨潤または収縮応力(p)を次式から求める¹⁾。

$$p = \frac{1}{6h_1(h_1+h_2)} \cdot \frac{E_2 h_2^3}{R} \cdot \left\{ 1 + \frac{h_2^2}{3(h_1+h_2)^2} \right\} \dots (1-a)$$

ここに、 h_1 および h_2 は塗膜およびアルミ板の厚さ、 E_2 はアルミ板のヤング係数、 $R = \rho + \xi$ 、 $\rho = (l^2/8\delta) + (\delta/2)$ 、 δ はたわみ量、 $\xi = h_2^2/6(h_1+h_2)$ 、 l はスパンである。

ただし、塗装片に初期曲率 R_0 が存在する場合には、 $1/R$ の代わりに $(1/R - 1/R_0)$ を用いた次式による¹⁾。

$$p = \frac{E_2 h_2^3}{6h_1(h_1+h_2)} \cdot \frac{R_0 - R}{RR_0} \cdot \left\{ 1 + \frac{h_2^2}{3(h_1+h_2)^2} \right\} \dots (1-b)$$

したがって、塗膜の膨潤または収縮ひずみ(β)は上式から求めた応力(p)と塗膜のヤング係数(E_1)を用い、 $\beta = p/E_1$ で計算することができる。

なお、(1-a) または (1-b) 式の計算に必要な供試アルミ板のヤング係数(E_2)は、前報¹⁾に示した4点荷重方式(両自由端に負荷)を用いて、次式から求める¹⁾。

$$E_2 = \frac{3P(l_1-l)^2}{4\delta_0 b h_2^3} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots (2)$$

ここに、 l_1 は両荷重点間の距離、 l はスパン、 P は荷重、 δ_0 はスパン中央における最大たわみ量、 b はアルミ板の幅である。この方法で決定した本実験条件(温度:40°C)におけるアルミ板のヤング係数は $E_2 = 6.55 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ で前報¹⁾の値 ($E_2 = 6.65 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$) にほぼ類似する。

また、膨潤または収縮ひずみ(β)の計算に必要な塗膜のヤング係数(E_1)は、アルミ板の両面に均一な厚みの硬化塗膜を形成し、前記同様の負荷方式によって次式から算出する¹⁾。

$$E_1 = \frac{12}{b(H^3-h_2^3)} \cdot \left\{ \frac{P(l_1-l)}{2} \cdot \rho - \frac{E_2 b h_2^3}{12} \right\} \dots (3-a)$$

ここに、 H は塗装片の全厚さ、その他の記号は(1)および(2)式に示した通りである。なお、もし塗装片に初期曲率 ρ_0 が存在する場合には次式を用いる¹⁾。

$$E_1 = \frac{12}{b(H^3-h_2^3)} \cdot \left\{ \frac{P(l_1-l)}{2} \cdot \frac{\rho_0 \rho}{\rho_0 - \rho} - \frac{E_2 b h_2^3}{12} \right\} \dots (3-b)$$

本実験条件(温度:40°C, 相対湿度:5, 40, 80%)

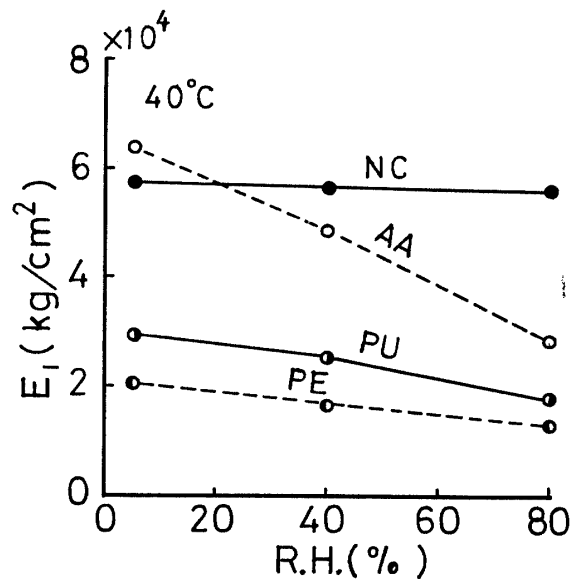


Fig. 1 Relationship between Young's modulus (E_1) and relative humidity (R.H.) of paint films at 40°C

Table 1 Composition and mixing ratio of paints used in this experiment

kind of paint (Mark)	Composition	Mixing ratio	Nonvolatile matter (%)
Polyester resin paint (PE)	Polyester varnish	100	100
	Polyester varnish diluent	10	
	Curing agent	1.0	
	Accelerator	0.5	
Polyurethane resin paint (PU)	Polyurethane clear base	100	44
	Polyurethane curing agent	100	45
Amino alkyd resin paint (AA)	Amino alkyd clear	100	52.5
	Amino alkyd curing agent	10	0
Nitrocellulose lacquer (NC)	Nitrocellulose lacquer clear	100	32
	Nitrocellulose lacquer thinner	50	0

における塗膜の平均のヤング係数は Fig. 1 の通りで、前報^{1,2)}の値とは若干異なるが、この理由はヤング係数に最も大きな影響を及ぼす塗料の硬化条件の相違ならびに測定温、湿度条件の差異に起因すると考え

られる。

III 実験方法

供試塗料は、木材用塗料として一般に使用されてい

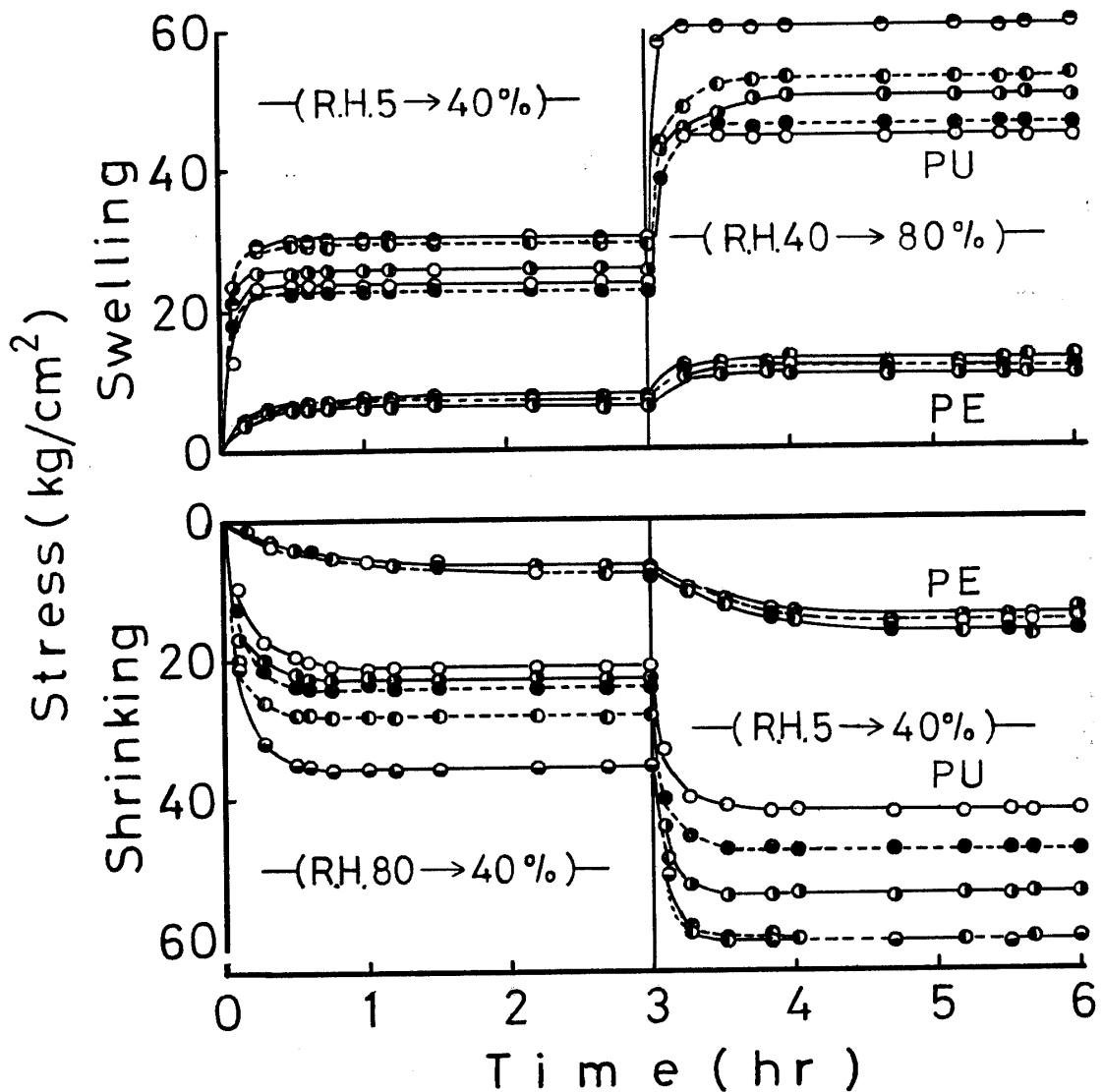


Fig. 2 Examples of swelling- and shrinking stress-time curves

る付加重合硬化型のポリウレタン樹脂塗料（以下PUと略す）、共重合硬化型のポリエステル樹脂塗料（以下PEと略す）、共縮合硬化型のアミノアルキッド樹脂塗料（以下AAと略す）ならびに溶剤揮散硬化型のニトロセルロース・ラッカー塗料（以下NCと略す）の4種で、いずれも常温硬化用に調整されたものであり、その組成および配合比の概略はTable 1に示す通りである。

また、供試アルミ板の寸法は前報^{1,2)}のそれと同様に幅：1.5cm、厚さ：0.01cm、長さ：15cmとし、塗布面をベンゼンとアセトンの等量混合液で清拭したのち6 milのドクター・ブレイドで片面に均一に塗布して十分硬化（室温で24hr乾燥→40°Cで24hr乾燥→

60°Cで24hr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。実験開始時における塗膜の平均厚さはPU：0.036mm、PE：0.075mm、AA：0.041mm、NC：0.016mmであった。

実験に際しては、温度40°C、相対湿度5%に調節した恒温恒湿容器内のナイフ・エッチ（スパン：8cm）上に前記アルミ塗装片をおき（塗布面側を上面）、約30分間装置内で調湿したのち、5%→40%→80%の相対湿度上昇時、および80%→40%→5%の下降時におけるスパン中央部の最大たわみ量の変化を読取顕微鏡（精度：1/100mm）で測定した。いずれの場合もたわみ量が一定に達したときをもって吸、放湿の平衡時とみなし、各塗膜について1サイクルの測定が完了する

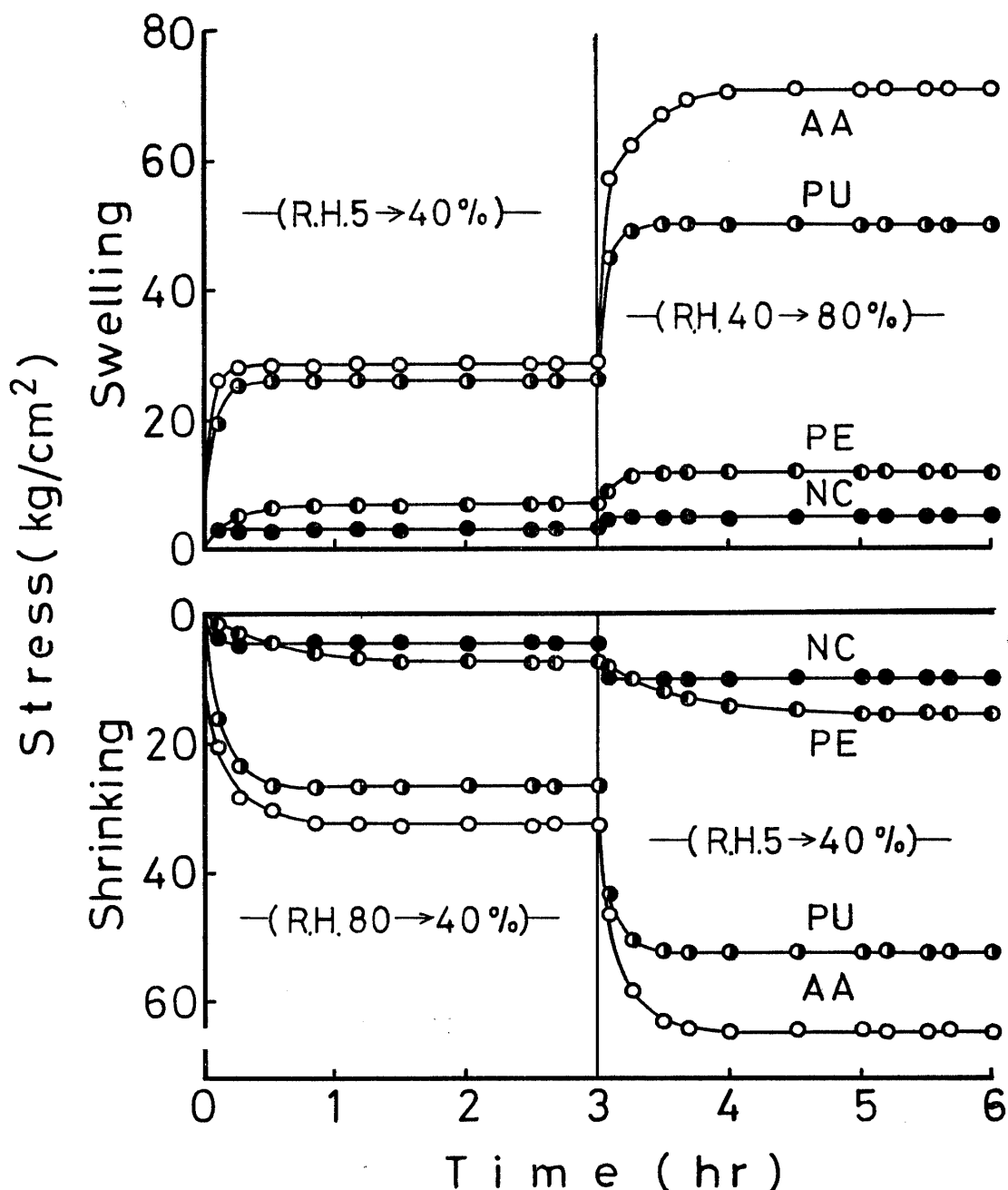


Fig. 3 Progress of swelling- and shrinking stress for each paint film

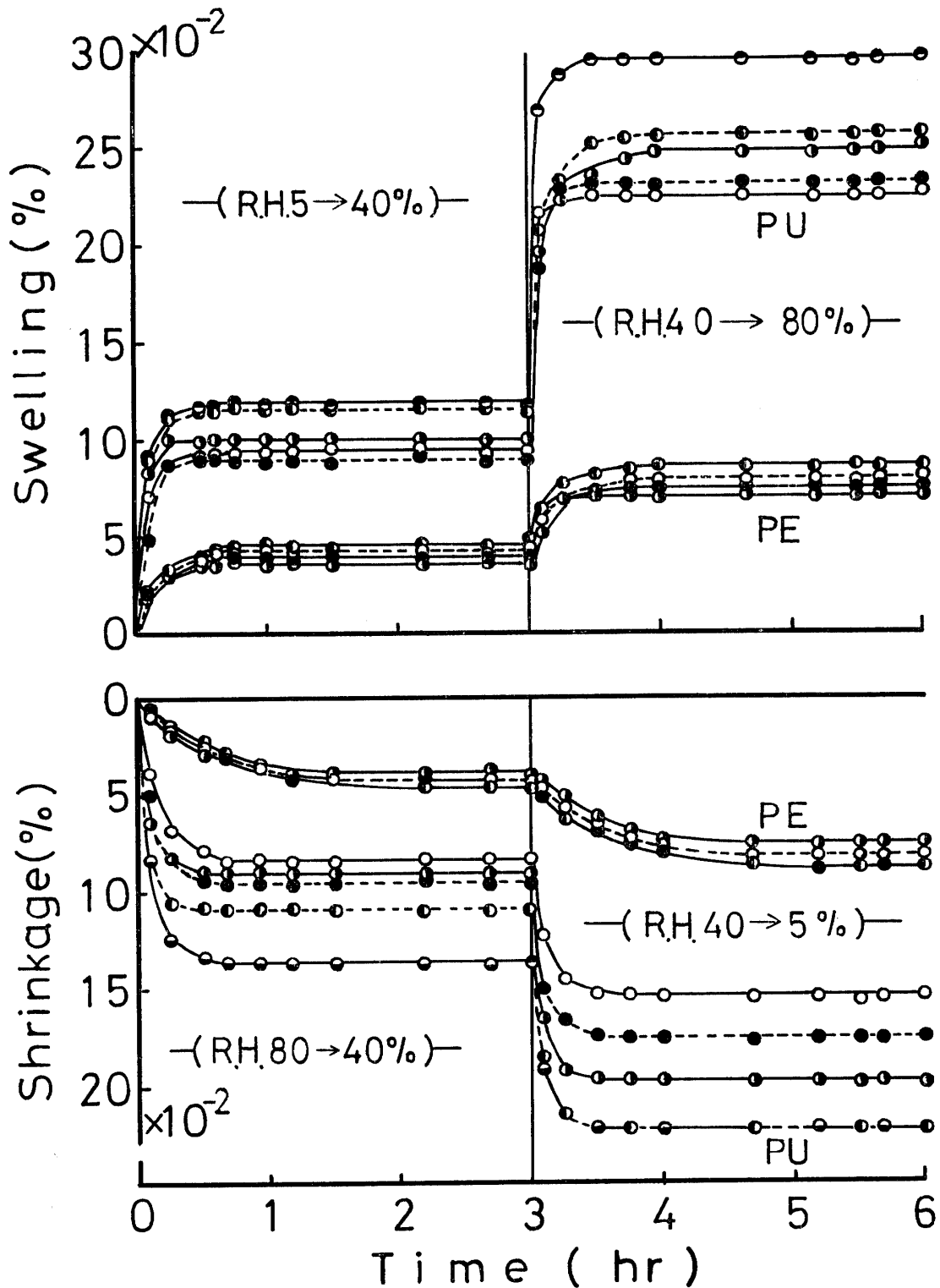


Fig. 4 Examples of swelling and shrinkage-time curves

ようにした。なお、相対湿度の調節にはシリカゲル、重クロム酸ナトリウムの飽和溶液ならびに蒸留水を用い、装置内の相対湿度は木材片の含水率を測定して吸着等温線から推定した。

IV 実験結果および考察

Fig. 2は前記の方法で求めた吸、放湿下における塗膜の膨潤および収縮応力(σ)の経時的变化の一例をPUおよびPE塗膜について示したものである。図によると、PE塗膜の場合は吸、放湿いずれの場合も、発生する応力が比較的小さく、試料間のバラツキも著しく少ないが、PU塗膜では発生した応力に対応して

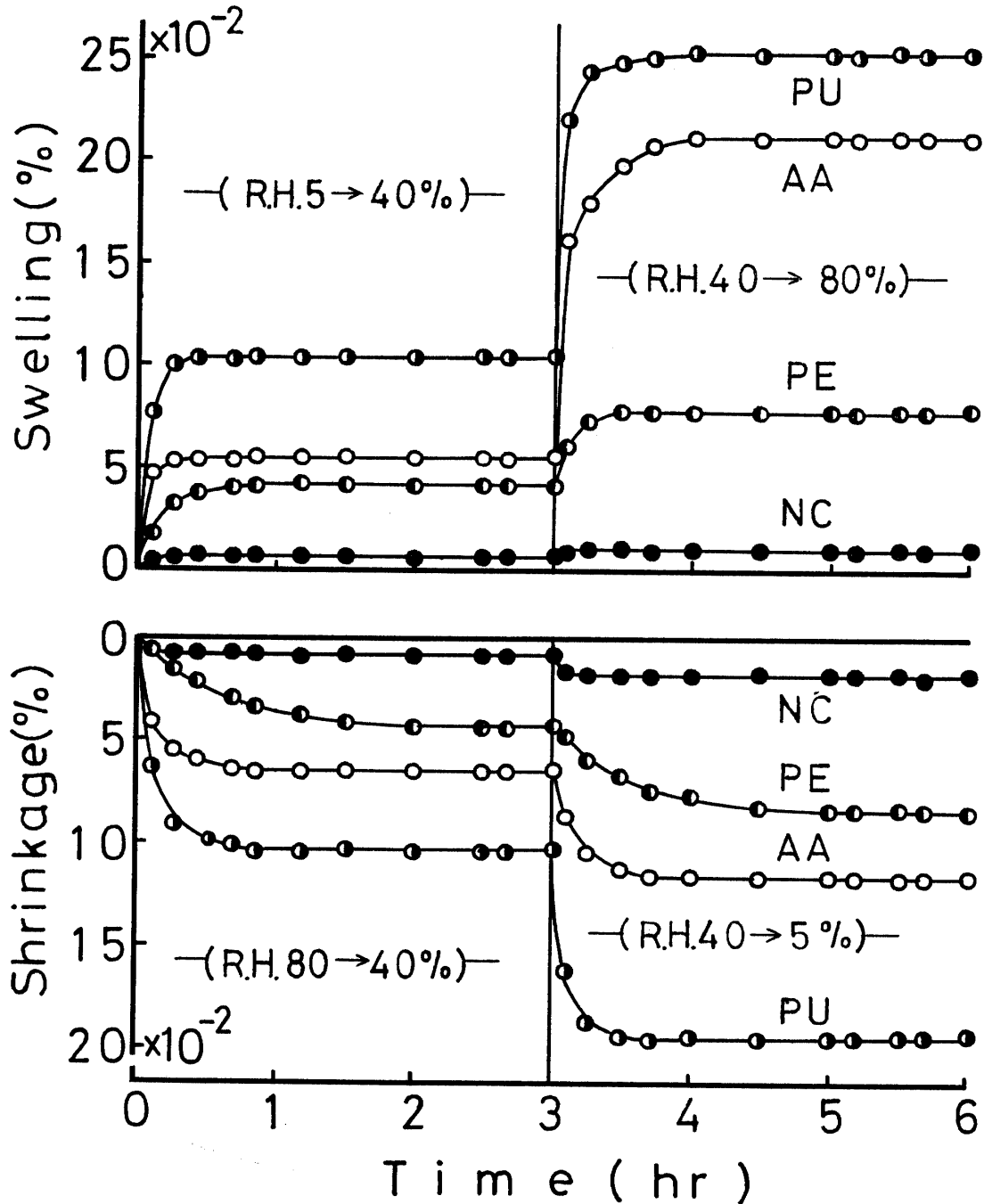


Fig. 5 Progress of swelling and shrinkage for each paint film

バラツキがかなり大きくなっている。NCおよびAA塗膜もこれらと全く同様な傾向を示し、供試塗料中最も低い応力を発生するNC塗膜はPE塗膜とほぼ同程度の、また最大の応力を発生するAA塗膜はPU塗膜にほぼ類似するバラツキを示している。なお、Fig. 3は吸、放湿下における4供試塗膜の応力の発生経過をそれぞれ4～6本の試料の平均値で示したものである。吸、放湿平衡への到達時間はNC塗膜が4～5分で最も早く、放湿下のPE塗膜が約90分で最もおそく、その他の塗膜はいずれも25～40分程度であり、こ

の傾向は中戸ら⁹⁾による塗膜中における吸湿水分の拡散速度の大きさの順位にほぼ類似する。Fig. 3によると、吸、放湿に伴う塗膜の膨潤および収縮応力の大きさの順序はいずれもAA>PU>PE>NCで、この傾向もまたFig. 1に示した塗膜ヤング係数の相対湿度による変化の程度の順位に類似し、両者いずれも塗膜の吸湿機構や塗膜内における水分の存在状態に関係のあることが理解できる。

Fig. 4は吸、放湿下におけるPUおよびPE塗膜の膨潤ならびに収縮経過をFig. 2と対応させて示した

ものであり、また Fig. 5 は同様な経過を4供試塗膜についてそれぞれ平均値を用いてあらわしたものである。同一供試塗料の場合には応力の発生経過と膨潤または収縮経過、その他バラツキの程度などは当然類似するはずであるが、塗料の種類が異なる場合には各塗料塗膜のヤング係数の値ならびに塗膜ヤング係数に及

ぼす相対湿度の影響の程度などに差異があるために、応力の発生経過と膨潤または収縮経過とは塗料相互間において必ずしも類似する傾向を示すとは限らない。この事実は、Fig. 3 および Fig. 5 におけるPU塗膜とAA塗膜の場合に明らかに認められるところである。

Table 2 Swelling and shrinkage of each paint film in water vapor

Paint film	Swelling (%)			Shrinkage (%)		
	R.H.5→40%	R.H.40→80%	R.H.5→80%	R.H.80→40%	R.H.40→5%	R.H.80→5%
PE	4.13×10^{-2}	3.67×10^{-2}	7.80×10^{-2}	4.45×10^{-2}	4.01×10^{-2}	8.46×10^{-2}
PU	10.21	15.00	25.21	10.32	9.17	19.49
AA	5.63	15.45	21.08	6.51	5.15	11.66
NC	0.57	0.27	0.84	0.81	0.94	1.75

Table 2 は、前記各相対湿度間で吸、放湿させた場合の塗膜の最大膨潤率および収縮率を4供試塗膜について示したものである。塗膜の膨潤率や収縮率が木材のそれよりも著しく低いことは Table 4 から明らかに認められるところであるが、Table 2 によるとその値は塗料の種類によってかなり異なり、膨潤または収縮率の大きさの順位は1~2の例外を除くとPU>AA>PE>NCである。また、膨潤、収縮率に最も密接な関係がある本供試塗膜の平衡含水率を吸着ばねばかりを用いて吸湿下で測定したのが Fig. 6 で、この図によると低湿度域 (<R.H. 30%) における塗膜の平衡含水率の大きさはAA>PU>PE≧NCであるが、R.H. 30%以上になるとNC塗膜の吸湿率が急激に増加し、R.H. 50%以上での平衡含水率の順位はAA>NC≧PU>PEとなる。したがって、本実験範囲 (R.H. 5~80%) の各相対湿度間における塗膜の含水率変化 (Δu) の大きさは Table 3 に示すようにAA>NC≧PU>PEとなり、この順位は塗膜内における吸湿水分の拡散速度の大きさの順位⁷⁾に類似す

るが、前記膨潤または収縮率の順位と比較すると、NC塗膜の場合は他の塗膜とはかなり異なる吸湿、膨潤性を示すことが理解できる。

一般に、AA塗膜およびPU塗膜の吸湿性ならびに膨潤、収縮率が高いのは、前者では架橋形成の不十分なところに残存するアミノ基、イミノ基、カルボニル基、水酸基などの親水性基に、後者では架橋度に密接な関係をもつ残存水酸基などの親水性基に水蒸気分子が吸着され、分子間に作用している2次的な牽引力が後述のように完全とは云えないまでもある程度軽減し、塗膜内分子の可動性がより大きくなったことによると解釈される。

NC塗膜の吸湿性が高湿度域において増加するのは、塗膜内分子の重合度が低く、しかも分子の凝集性が2次結合力であることに起因するが、膨潤率が吸湿、吸水⁸⁾いずれの場合においても低いのは、水蒸気分子が塗膜内分子の親水性基に吸着されても、分子間隔を十分おし広げることができなかったことによると推測される。

また、PE塗膜は吸湿性が低く、膨潤、収縮率もNC塗膜に次いで低いが、これは直鎖ポリエステルへのスチレンモノマーの架橋形成が密であり、しかもフェニル基を含む構造が塗膜を剛直にしていることによると思われる。これらの点に関しては再び後に触れることにする。

本供試塗料と同じ組成および配合比をもつ単離塗膜について吸水膨潤率を測定した中戸ら⁹⁾の結果によると、膨潤率の順位ならびにその大きさは、AA (膨潤率: 3.5%) > PU (膨潤率: 0.68%) > PE (膨潤率: 0.37%) > NC (膨潤率: 0.12%) で、順位につい

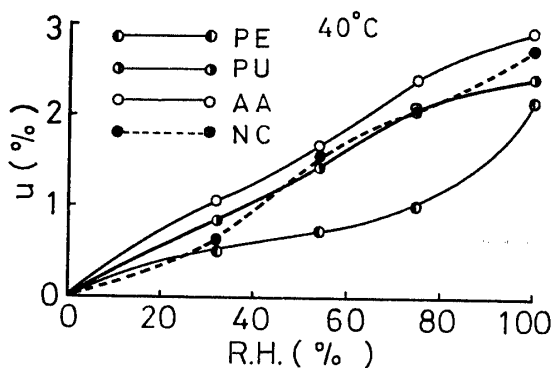


Fig. 6 Adsorption isotherms for water vapor by paint films at 40°C

ては本実験結果とほとんど差異はないが、膨潤率の大きさに関しては若干の相違が認められる。この場合、吸水に伴う塗膜の含水率変化は AA : 25%, PU : 4.7%, PE : 1.8%, NH : 1.2% で、Table 3 の R.H. 5→80% におけるそれ (Δu) と比較すると、AA 塗膜での差異は極端に大きい、その他の塗膜での差異は比較的僅少である。したがって、前記膨潤率における若干の差異は、吸湿、吸水性ならびに膨潤性に最も大きな影響を及ぼす塗膜の硬化の程度の差異によるほか、膨潤率の測定法などに起因すると思われる。

なお、Table 2 の場合について各塗膜それぞれの同一相対湿度間における膨潤率と収縮率を比較してみると、PE 塗膜ではいずれの場合も有意な差異はないが、PU, AA ならびに NC 塗膜では R. H. 40~80% 間、したがってまた R. H. 5~80% 間で差異が認められ、PU および AA 塗膜では膨潤率 > 収縮率であるが、NC 塗膜では反対に収縮率 > 膨潤率である。塗膜が吸湿する場合には後述のように硬化時に発生した収縮応力 (硬化ひずみ) の緩和が生じるので、一般には PU や AA 塗膜のように膨潤率 > 収縮率の関係にあるのが普通であると思われる。

試みに、Table 3 に示した収縮応力の緩和に伴う回復ひずみ (ϵ) を考慮して両者を比較しても前記の大小関係は全く変わらない。したがって、この相違はおそらく塗膜の硬化条件に関連しての吸、放湿機構の差異に起因するものと思われる。本実験では放湿時の平衡含水率を測定していないのでこれ以上論議することをひかえるが、この点についてはさらに検討する予定である。

一般に塗膜の吸湿膨潤性に関しては、上記のことに関連して本質的に次の2つの点が問題になるように思われる。その一つは、塗膜が吸湿した水分量に等しい容積分だけ容積膨潤を起こすか、どうかという点であ

り、他の一つは硬化中に発生した塗膜内部の収縮応力が吸湿の際にどの程度回復するかという点である。前者については吸湿水分の比重を1と仮定することにより塗膜の線膨張率 α を $\alpha = \Delta u \cdot r_0 / 3$ (ただし、 Δu : 塗膜の含水率変化、 r_0 : 塗膜の全乾比重) として、後者については収縮応力の緩和に伴う回復ひずみ ϵ を $\epsilon = p' / E_1$ [p' : 硬化時に発生する塗膜の収縮応力、 E_1 : 吸湿時における塗膜のヤング係数 (Table 1 参照)] としてそれぞれ計算することができる。

Table 3 は上式から求めた α と ϵ を各相対湿度範囲について示したものであるが、計算上における塗膜のみかけの膨潤率はもちろん両者の和で与えられるはずである。ただし、Table 3 の ϵ の計算には前記アルミ塗装片の硬化条件を考慮して本実験で求めた 40°C, R.H. 5% における硬化終了時の収縮応力値を用い、しかも R. H. 80% のヤング係数から求めた ϵ を総回復ひずみ量とみなしてこれを $\epsilon_{5 \rightarrow 80}$ 、R.H. 40% のヤング係数から求めたそれを $\epsilon_{5 \rightarrow 40}$ とし、両者の差を $\epsilon_{40 \rightarrow 80}$ であらわした。

以上のようにして求めた ϵ は、塗膜が吸湿する際に自動的に回復するひずみ、換言すると塗膜それ自体の膨潤ひずみ (塗膜の真の膨潤ひずみ) に常に付加される、いわゆる塗膜の“みかけの膨潤率”の一部をなすひずみと考えられる。この ϵ が塗膜の“みかけの膨潤率”に対して、どの程度の割合になるかを、たとえば Table 2 の R. H. 5→80% の場合についてみると、PE : 10.6%, PU : 5.2%, AA : 12.0%, NC : 32.7% になり、前記の理由で NC 塗膜の真の膨潤率がきわめて低く、PU 塗膜のそれは全く反対の傾向を示すことが認められる。

次に Table 3 の α であるが、この値を Table 2 の相対応する膨潤率と比較すると両者の間には著しい差異があり、いずれの場合も Table 2 の測定の方がは

Table 3 Linear expansion (α) of paint films and recovery (ϵ) of curing strain within each paint film accompanying adsorption of water vapor

Paint film	r_0 (g/cm ³)	R. H. 5→40%		R.H.40→80%		R. H. 5→80%		p' (kg/cm ²)	$\epsilon_{5 \rightarrow 40}$ (%)	$\epsilon_{40 \rightarrow 80}$ (%)	$\epsilon_{5 \rightarrow 80}$ (%)
		Δu (%)	α (%)	Δu (%)	α (%)	Δu (%)	α (%)				
PE	1.000	0.47	15.67×10^{-2}	0.72	24.00×10^{-2}	1.19	39.67×10^{-2}	1.06	0.631×10^{-2}	0.197×10^{-2}	0.828×10^{-2}
PU	1.000	0.91	30.33	1.20	40.00	2.11	70.33	2.13	0.832	0.483	1.315
AA	0.884	1.00	29.47	1.40	41.33	2.40	70.80	6.97	1.396	1.127	2.523
NC	0.857	0.86	24.57	1.30	37.13	2.16	61.70	1.54	0.271	0.004	0.275

r_0 : Specific gravity in oven dry condition of paint films

Δu : Change of moisture content with adsorption of water vapor

p' : Shrinking stress developed during the drying of paint films

るかに低い。とくに、この差異はNC塗膜において顕著であるが、いずれにしても塗膜は吸湿水分量に対応する容積分だけ膨潤していないことは両者の比較から明らかである。塗膜の吸、放湿性については今後さらに検討する予定であるが、この理由は水蒸気分子が塗膜内に残存する遊離の親水性基、または分子間において相互に水素結合している親水性基に吸着されるとしても、塗膜内の構成分子間に作用している2次的な牽引力がかなり強いために分子間隔を十分おし広げることができなかったことによると推測される。

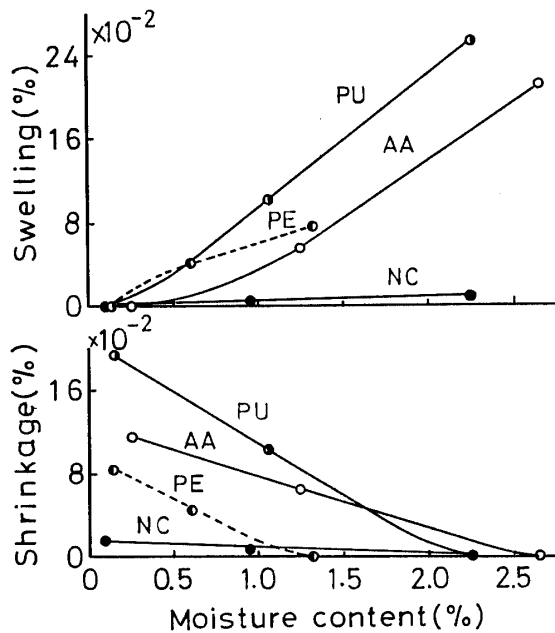


Fig. 7 Relationship between swelling, or shrinkage and moisture content

なお、Fig. 7は前記塗膜の吸着平衡含水率曲線が放湿の場合にも適合すると仮定し、Table 2に示したそれぞれR. H. 5%および80%にもとづく膨潤率または

収縮率と含水率との関係を図示したものである。この図によると、NC以外の塗膜では吸、放湿開始の初期において水分の変化量と膨潤、収縮量が対応しないため曲線状となるが、この部分を除くと前記吸湿水分の容積に関する問題はさておいて、かなりの範囲にわたって直線関係の成立することがうかがわれる。

最後に、塗装木材として塗膜が木材表面上に形成されているとき、塗膜と木材との膨縮差に起因していかなる程度のひずみが塗膜内部に発生するかを考えてみよう。

Table 2によると、塗膜の膨潤、収縮率は木材の繊維方向のそれと大差なく、半径ならびに接線方向のそれよりも著しく小さい。したがって、吸湿の場合には半径および接線方向の塗膜は引張力を、放湿の場合には反対に圧縮力をうけることが理解できる。

塗膜と木材との平衡含水率には著しい差異があるので (Fig. 6参照)、内部ひずみの計算には本実験における40°C, R. H. 5, 40, 80%の条件を用い、この場合の木材の平衡含水率をそれぞれ1.3, 7.0, 15.0%, また含水率1%増減に伴う日本産主要木材の平均の膨潤、収縮率を特殊な樹種を除いて

針葉樹材：半径方向 0.10~0.20%

接線方向 0.23~0.30%

広葉樹材：半径方向 0.15~0.23%

接線方向 0.30~0.43%

とし¹¹⁾、しかも塗膜および木材の両者が吸、放湿下でいずれも平衡に達したと仮定すると、塗膜内に発生する内部ひずみの大きさはTable 4のようになる。

Table 4から明らかなように、樹種、木材の繊維方向ならびに吸、放湿条件が等しい場合には供試塗料間の塗膜内内部ひずみの大きさにはほとんど差異はないが、木材それ自身の膨潤、収縮特性にもとづいて内部

Table 4 Internal strain within each paint film resulting from the difference of swelling and shrinkage between wood and paint film

A) Tensile strain within paint films

direction	Paint film	Softwood			Hardwood		
		R. H. (%)			R. H. (%)		
		5→40	40→80	5→80	5→40	40→80	5→80
T	PE	1.27~1.67	1.80~2.36	(3.07~4.03)	1.67~2.41	(2.36~3.40)	(4.03~5.81)
	PU	1.21~1.61	1.69~2.25	2.90~3.86	1.61~2.35	2.25~3.29	3.86~5.64
	AA	1.25~1.65	1.69~2.24	2.94~3.90	1.65~2.39	2.25~3.29	(3.90~5.68)
	NC	1.31~1.70	1.80~2.40	(3.14~4.10)	1.70~2.45	(2.40~3.44)	(4.10~5.88)
R	PE	0.53~1.10	0.76~1.56	1.29~2.66	0.81~1.27	1.16~1.80	1.98~3.07
	PU	0.47~1.04	0.65~1.45	1.10~2.49	0.75~1.21	1.05~1.69	1.81~2.90
	AA	0.51~1.08	0.64~1.45	1.16~2.53	0.79~1.25	1.05~1.69	1.84~2.94
	NC	0.56~1.13	0.80~1.60	1.36~2.73	0.85~1.31	1.20~1.84	(2.05~3.14)

B) Compressive strain within paint films

direction	Paint film	Softwood			Hardwood		
		R. H. (%)			R. H. (%)		
		80→40	40→5	80→5	80→40	40→5	80→5
T	PE	1.80~2.36 [%]	1.27~1.67 [%]	(3.07~4.03) [%]	(2.36~3.40) [%]	1.67~2.41 [%]	(4.03~5.81) [%]
	PU	1.74~2.30	1.22~1.62	2.96~3.92	2.30~3.34	1.62~2.36	3.92~5.70
	AA	1.77~2.33	1.26~1.66	3.03~3.99	2.33~3.37	1.66~2.40	(3.99~5.77)
	NC	1.83~2.39	1.30~1.70	(3.13~4.09)	(2.39~3.43)	1.70~2.44	(4.09~5.87)
R	PE	0.76~1.56	0.53~1.10	1.29~2.66	0.16~1.80	0.81~1.27	1.97~3.07
	PU	0.70~1.05	0.48~1.05	1.18~2.55	1.10~1.74	0.76~1.22	1.86~2.96
	AA	0.73~1.53	0.52~1.09	1.25~2.62	1.13~1.77	0.80~1.26	1.94~3.03
	NC	0.79~1.59	0.56~1.13	1.35~2.72	1.19~1.83	0.85~1.30	(2.04~3.13)

T : Tangential direction of wood

R : Radial direction of wood

ひずみの大きさは、広葉樹>針葉樹、接線方向>半径方向になることはいうまでもない。

本供試単離塗膜の引張強度試験⁶⁾によると、各塗膜の引張破壊ひずみは、PE : 3.1%、PU : 15.2%、AA : 4.3%、NC : 2.9%である。したがって、この破壊ひずみと Table 4 の塗膜内内部ひずみを比較することによって、塗膜にわれ発生の危険があるか、どうかを知ることができる。Table 4 の () 印は、塗膜にわれが発生すると考えられる場合で、これによると木材の半径方向の塗膜では広葉樹における NC 塗膜の R. H. 5⇔80% を除いて全くその危険はないが、接線方向の塗膜ではとくに広葉樹においてわれの危険のあることが理解できる。

引用および参考文献

- 1) 福山萬治郎(1966) : 京府大学報・農 18 : 78.
- 2) 福山・佐道(1966) : 京府大学報・農 16 : 88.
- 3) 福山・浦上(1967) : 京府大学報・農 19 : 65.
- 4) 福山萬治郎(1969) : 材料, 18 : 851.
- 5) 福山萬治郎(1970) : 木材工業25 : 110, 25 : 170.
- 6) 中戸・白石・梶田(1963) : 木材誌 9 : 217.
- 7) 中戸・青山・鈴木(1966) : 木材誌 12 : 85.
- 8) 今村・中戸・佐道(1968) : 木材誌 14 : 257.
- 9) 佐道健(1969) : 材料, 18 : 909.
- 10) 井上幸彦(1963) : “塗料及び高分子” 誠文堂新光社.
- 11) 日本木材加工技術協会編(1960) : “日本産主要木材” 日本木材加工技術協会.

Summary

In the present paper, the swelling and shrinkage of four kinds of paint films for wood coating, whose component and mixing ratio were indicated in Table 1, have been measured under adsorption and desorption of the water vapor as a clue to elucidate the internal stress developing within the paint films of the finished wood.

The swelling and shrinkage of paint films were determined by p/E_1 , in which p is the swelling- or shrinking stress of paint films calculated by eq. (1) from the maximum deflection at the center of span of aluminium strip with the cured paint films on one side under adsorption and desorption, and E_1 is Young's modulus of paint films (Fig. 1).

The results obtained are as follows :

- 1) The progress of the swelling- and shrinking stress of paint films is illustrated in Fig. 3, and the magnitudes of their stresses give the following decreasing order.

$$AA > PU > PE > NC.$$

- 2) The swelling and shrinkage of paint films used in this experiment are shown in Table 2, and the progress in Fig. 5. The order of the magnitudes of their values is found to be $PU > AA > PE > NC$.
- 3) The swelling amount of paint films in water vapor is further lower than that (α) obtained from the volume of water adsorbed without regard to paint films (see Tables 2 and 3). Especially it is found that this tendency is

remarkable in paint film of nitrocellulose lacquer.

- 4) The percentage of the recovery (ϵ) of the curing strain within paint film accompanying adsorption to apparent swelling is 10.6% for polyester, 5.2% for polyurethane, 12.0% for amino alkyd, and 32.7% for nitrocellulose lacquer in the case of the change of relative humidity of 5 to 80%, as shown in Table 3.
- 5) The relationship between the swelling or shrinkage and moisture content of paint films (Fig. 6) gives straight line except for the starting part on adsorption and desorption, as shown in Fig. 7.
- 6) The magnitudes of the internal strain within paint films are determined from the difference of the swelling or shrinkage between paint film and wood, as illustrated in Table 4. It is assumed from these results that there is a risk of the occurrence of crack in some kinds of paint films.