

古建築の外装塗装の物性に関する研究(Ⅰ) —丹色塗装の人工劣化促進試験—

西浦忠輝・川野邊渉・岡部昌子*

1. はじめに

社寺等木造古建築の外装塗装は、漆塗装を除けば、ほとんどの場合天然顔料を膠水で溶いたものが伝統的に用いられてきている。膠は耐久性に劣るものであり、膠による塗装は風雨に曝される屋外条件下では耐水性(耐侯性)が低く、その美観を保つためには、必然的に一定期間毎に塗替えを行わねばならない。気象、環境条件の厳しい地域では、従って、頻繁な塗替えが必要となるが、伝統材料、伝統技術による塗装を短期間毎に行うのは容易なことではない。そこで、膠に替えて、より耐久性に優れた材料を用いることが検討され、実際にかなり応用されてきている¹⁾。しかしこれらの塗装材料の物性についてのシステムチックな研究は少なく、緊急の研究課題の一つとなっている。そこで筆者らは、かかる問題について研究を開始し、最初に古建築の代表的な外装塗装である丹色塗装の耐久性についての実験的研究を行った。本稿はその第1報であり、伝統材料である〈膠+鉛丹〉と、近年開発された耐久性の高い建築外装用塗料(主に有機顔料で着色された合成樹脂塗料)、およびこれらの合成樹脂塗料のクリヤー(顔料を含まない無色塗料)に鉛丹を混ぜたものについて、ウェザオメーターによる人工劣化促進処理試験を行って、その耐久性と劣化形態について検討、考察した結果を報告するものである。

2. 実験

2-1 実験方法

2-1-1 試験材料

1) 基材(木材)

ヒノキ古材(約100年前)の柾目材を150×65×5mmの手板にカットし、表面をサンドペーパーで平滑にしたものと塗装試験片用の基材とした。木材は平均年輪幅約1.5mmの細密な均質材で、ヤニ等の全く無い良質材である。

2) 塗料

塗料は〈膠+鉛丹〉の他に、アクリル系、シリコーン系、フッソ系、アクリルウレタン系、ポリエステル系の規格品調色合成樹脂塗料、およびこれら合成樹脂塗料のクリヤー(無色塗料)に鉛丹を混ぜたもので、表-1に示す17種類である。これらのうち水性のものは膠とポリエステル系の2種だけでその他はすべて油性(溶剤タイプ)である。

3) プライマー

プライマーは規格品を用いたが、その主成分は表-1に示す通りである。

2-1-2 試験片の作成

塗装は手板の片面にのみ行ったが、図-1に示すように、まず半面にプライマーを刷毛塗り(一回塗)した。そして、プライマーの指触乾燥の後、塗料を刷毛塗りした。

*文化財修復家

表-1 塗装試験片一覧

記号	塗料	プライマー
G-T	膠 ^{*1} + 丹	ブタジエンゴム系
A-I	アクリル系調色塗料(I)	エポキシ系
A-II	アクリル系調色塗料(II)	アクリル系
A-T-I	アクリル系無色塗料(I) + 丹	エポキシ系
A-T-II	アクリル系無色塗料(II) + 丹	アクリル系
S-I	シリコーン系調色塗料(I)	シリコーン系
S'-I	シリコーン系調色塗料(I) <艶消>	なし
S-II	シリコーン系調色塗料(II)	エポキシ系
S-T-I	シリコーン系無色塗料(I) + 丹	シリコーン系
S-T-II	シリコーン系無色塗料(II) + 丹	エポキシ系
F-I	フッソ系調色塗料(I)	フッソ系
F'-I	フッソ系調色塗料(I) <艶消>	なし
F-II	フッソ系調色塗料(II) ^{*2}	ブタジエン・ウレタン系 ^{*3}
F-T-I	フッソ系無色塗料(I) + 丹	フッソ系
AW	アクリルウレタン系調色塗料	アクリルウレタン系
AW-T	アクリルウレタン系無色塗料 + 丹	アクリルウレタン系
P-T	ポリエステル系無色塗料 <艶消> ^{*1} + 丹	ポリエステル系

*1 水性、他は全て油性

*2 スプレー塗装

*3 全面プライマー処理

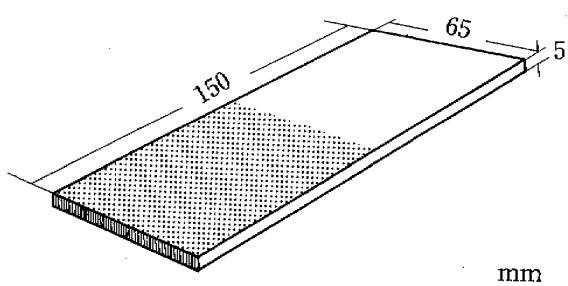


図-1 試験用木材手板とプライマー処理

塗布量は、基材手板の木目が完全に見えなくなり、かつ塗膜面が平滑になるまでとした。したがって、塗布回数は各塗料の粘度などによって異なり、2~5回であった。塗装後は実験室内において常温で1ヶ月以上乾燥させた。尚、F'-I, S'-Iについてはプライマー処理をしていない。また、F-2の場合は前面プライマー処理で塗料はスプレー塗装である（表-1 参照）。

塗装手板実験片は各塗料について10片ずつ作成し、そのうちの4片枚ずつを試験に供した。残りの各6片のうち2片はコントロール（無処理・比較対照用）として、冷暗所に保存し、他の4片は屋外曝露試験用として別途保存した。

2-1-3 人工劣化促進試験

試験片をサンシャインウェザオメーター（スガ試験器製）にセットし、下記の条件で、試験片の状態を観察しながら、3000時間劣化促進処理を行った。

- ・温 度：42℃
- ・湿 度：60%
- ・スプレー：60分間に12分間

この条件での処理では216時間が日本の標準気候下での屋外曝露1年間に相当するとされて

おり、計算上からは3000時間は約14年間の屋外曝露に相当することになる。しかし、これはあくまでも目安であり、単純に対応するものでないことは言うまでもない。

2-2 実験結果

ウェザオメーター処理時間と劣化度の関係を表-2に示す。また、3000時間処理後の試験片の劣化状態を図-2、表-3に示す。尚、本試験における同種試験片4片の間での劣化状態のバラツキは極めて小さかった。

表-2から明らかなように、ウェザオメーター処理に対する耐久性が最も優れているのはS-IIとF-Iで、それに次ぐのがS-I, S-I', F-I'であり、これらは全てシリコーン系、フッソ系の調色規格品塗料である。一方、耐久性が劣るのはG-T, A-I, A-II, A-T-I, A-T-II, S-T-I, P-Tで、特にG-Tは40時間未満で大きく剥離した。ただし、A-Iの劣化(剥離)はプライマー処理のない部分で著しく、プライマー処理した部分ではかなり良好である。

劣化形態別に劣化の進行度合いとその特徴を挙げれば次の通りである(表-2、表-3、図-2参照)。

(1) 剥落

3000時間処理後で亀裂、浮離、剥落などが全く見られないのはS-I, S'-I, S-II, S-T-II, F-I, F'-I, F-T-Iであり、これに対して大きく剥落したのはG-T, A-I, A-T-I, A-T-IIで、A-II, P-Tも一部剥落が始まった。しかし、A-I, とA-T-Iの場合、剥落はプライマー処理なしの部分に限られ、プライマー処理した部分では全く見られない。S-T-I, AW, AW-Tではチョーキングが起こった。

次に特に剥落が進行したものについてその経過を追う。

G-Tのプライマー処理なしの部分は40時間未満で大きく剥離し、その後徐々に剥落が進行して、300時間後では著しい木地露出を見た。しかし斑に残った顔料のその後の剥落は遅々としており、3000時間経過しても尚、極く小量の顔料が残存している。

A-I, A-T-Iのプライマー処理なしの部分については、300時間で亀裂、浮離、一部剥落が起り、1200時間で浮離(めくれ)部が剥落し、大きく木地が露出した。これに対し、プライマー処理した部分は3000時間後も亀裂だけで剥落は見られない。

A-T-IIは150時間で木目に添った筋状の剥離、剥落がはじまり、徐々に進行して木地が露出したが、プライマー処理した部分では剥落の進行はプライマー処理なしの部分に比べてかなり遅い。

A-II, P-Tは早くから亀裂が見られたが、2000時間に至り、初めて小部分が剥落した。

剥落のしかたとして特徴的なのは、G-T(プライマー処理なしの部分)の場合は急速に剥落して木地露出に至るもの、小量ではあるが顔料がなお残存するのに対して、その他の合成樹脂系塗料では、剥落部分では木地が完全に露出したことである。

尚、図-2から判るように剥落により露出した木地が白くなっているが、これは塗膜剥落後木地が直接曝され劣化したものでウェザオメーター処理で通常起こる現象である。

(2) 変色

A-I, A-II, S-I, S'-I, S-II, F-I, F'-I, F-II, AWについてみとめられる。G-T, P-Tには黒化および白化がみられる。A-T-I, A-T-II, S-T-I, S-T-II, F-T-I, AW-Tには黒化が見られる。このうちS-T-IIの場合プライマー処理した部分の変色は小さい。変色がみとめられるものは、何れも鉛丹を混ぜた塗料で

表-2 劣化促進処理時間と劣化度

試験片 ^{*1}		ウェザオメーター処理時間 (hrs)						
		40	200	450	700	1000	1400	3000
G-T	P	×	—					
	C	▲	▲	×	—			
A-I	P	○	○	○	○	○	○	△
	C	○	○	△	▲	▲	×	—
A-II	P	○	○	○	△	▲	×	—
	C	○	○	○	△	▲	×	—
A-T-I	P	○	○	○	○	△	△	▲
	C	○	○	△	▲	▲	×	—
A-T-II	P	○	○	○	△	△	▲	×
	C	○	△	▲	▲	▲	×	—
S-I	P	○	○	○	○	○	△	△
	C	○	○	○	○	○	△	△
S'-I	P							
	C	○	○	○	○	○	○	△
S-II	P	○	○	○	○	○	○	○
	C	○	○	○	○	○	○	○
S-T-I	P	○	△	△	△	△	▲	—
	C	○	△	△	△	△	▲	—
S-T-II	P	○	○	○	○	○	○	△
	C	○	○	○	△	△	△	▲
F-I	P	○	○	○	○	○	○	○
	C	○	○	○	○	○	○	○
F'-I	P							
	C	○	○	○	○	○	○	△
F-II	P	○	○	○	○	○	○	(▲) ^{*2}
	C							
F-T-I	P	○	○	△	△	△	▲	×
	C	○	○	△	△	△	▲	×
AW	P	○	○	○	○	○	○	×
	C	○	○	○	○	○	○	△
AW-T	P	○	○	○	△	△	▲	×
	C	○	○	○	△	△	▲	×
P-T	P	○	△	△	▲	▲	▲	—
	C	○	△	△	▲	▲	▲	—

○: 変化なし ○: 僅かに変化 △: かなり変化 ▲: 大きく変化 ×: 著しく変化

*1 P: プライマー処理, C: 無処理

*2 F-IIのみ2500時間で終了

表-3 劣化の形態と程度 (3000時間後)

試験片		剥落	変色	褪色
	P	×	—	—
G-T	C	×	×	△
	P	△*	○	○
A-I	C	×	○	○
	P	×	○	×
A-II	C	×	○	×
	P	△*	×	×
A-T-I	C	×	×	×
	P	△	×	×
A-T-II	C	×	×	×
	P	○	○	△
S-I	C	○	○	△
	P			
S'-I	C	○	○	△
	P	○	○	○
S-II	C	○	○	○
	P	△*	×	×
S-T-I	C	△*	×	×
	P	○	△*	○
S-T-II	C	○	×	△*

試験片		剥落	変色	褪色
	P	○	○	○
F-I	C	○	○	○
	P			
F'-I	C	○	○	△*
	P			
F-II	C	○	○	×
	P			
F-T-I	C	○	×	×
	P			
AW	C	△*	○	×
	P			
AW-T	C	△*	×	×
	P			
P-T	C	×	×	×
	P			

○:僅かな変化 △:かなりの変化 ×:著しい変化

*1 40時間未満でほとんど剥落 *2 白化および黒化

*3 亀裂

*4 黒化 (3000hrs では黒化部分も褪色)

*5 チョーキング *6 黒化

*7 部分的色とび

*8 暗色化

あり、鉛丹以外の顔料で調色した塗料には見られない。また白化が起きた2種はともに水性塗料である。

A-T-I, A-T-II, S-T-I, F-T-I, AW-T の場合コントロール片 (冷暗所保存) にもごく僅かながら黒化傾向がみとめられる。

(3) 褪色

A-I, S-II, F-I には変化がない。褪色の進行は、A-II, A-T-I, A-T-II, S-T-I, F-II, F-T-I, AW, AW-T, P-T で著しく、S-I, S'-I, S-T-II がこれに次ぐ。このうち S-T-I, S-T-II, F-T-I の場合には部分的に色のとびが見られる。これらは何れも鉛丹を混ぜた塗料であり、練り合わせのむらにより色とびが生じたものとも考えられる。

(4) 光沢

本来膠による丹塗り (G-T) は光沢のないものであるが、光沢のある合成塗料に関しては光沢の残存度合も耐久性考察の一つのファクターとなり得る (S'-I, F-T-I, P-T はもともと艶消しの塗料であり除外)。

3000時間後でもなお光沢を残しているのは S-II, F-I である。S-I, S-T-II, F-T-I では減少し、A-I, A-II, A-T-I, A-T-II, S-T-I, AW, AW-T では2000時間未満で光沢が失われた。

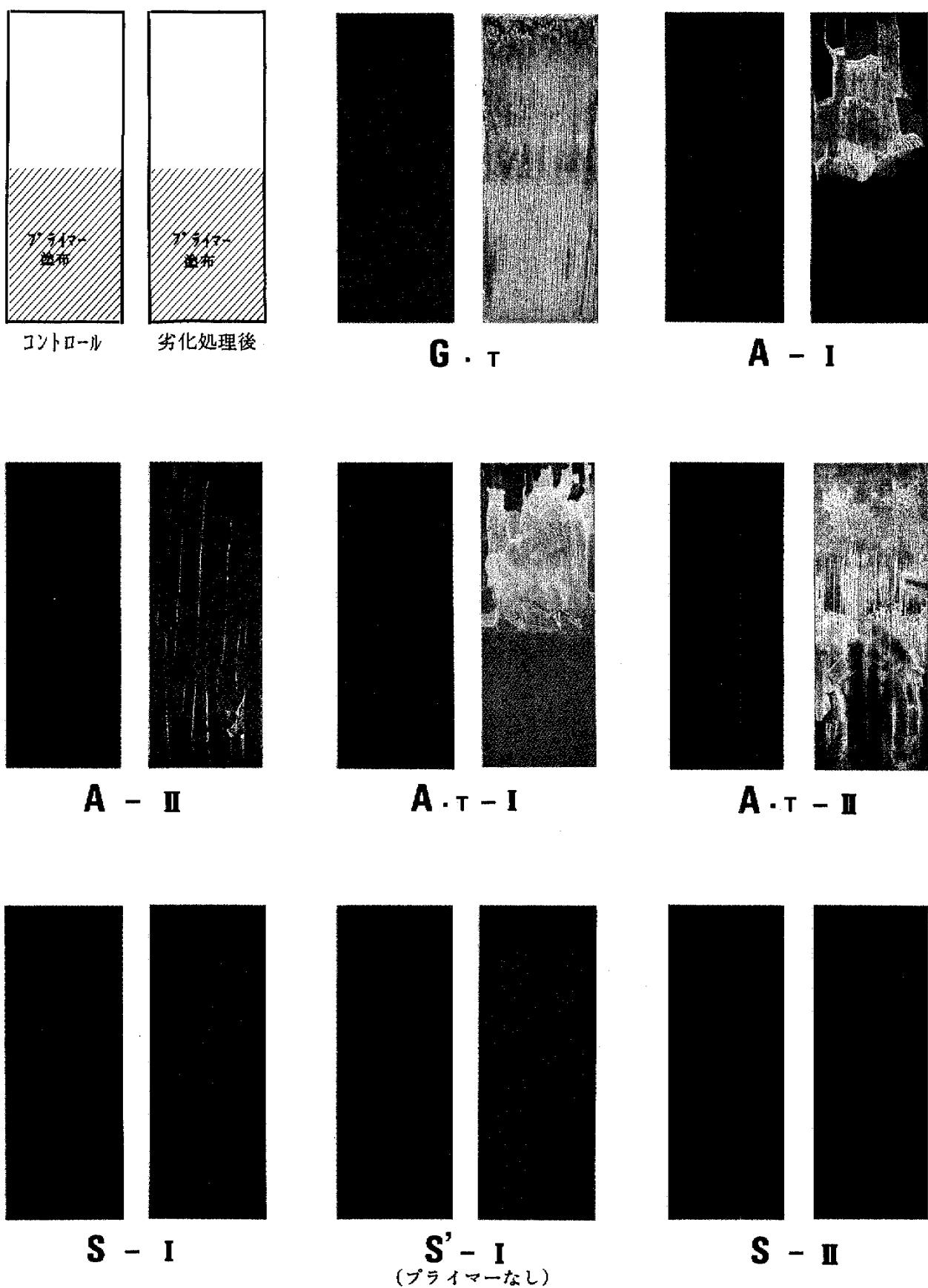


図-2(i) 劣化状態(劣化処理3000時間後)

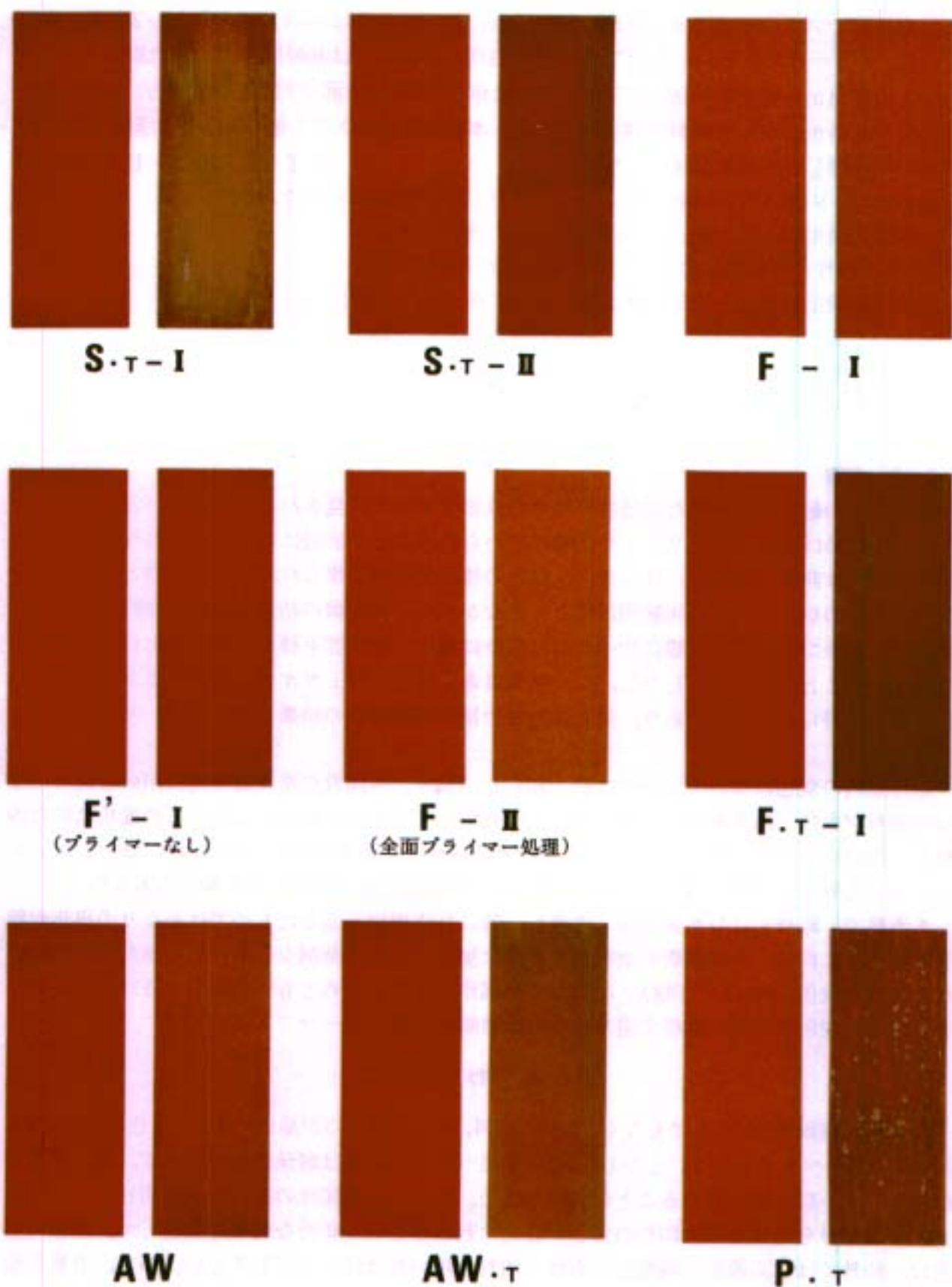


図-2(ii)劣化状態(劣化処理3000時間後)

本試験でプライマー処理の有無により結果に差が出たのは G·T, A—I, A·T—I, A·T—I, S·T—I である。G·T はプライマー処理した部分では 40 時間未満で丹塗膜はプライマーとの界面から完全に剥落し、プライマー自体も 500 時間未満で剥落した。一方、処理しない部分では僅かながらも顔料が残存していた。本試験結果から見る限り、G·T に関してはプライマー処理しない方が結果が良好であった。また、A—I, A·T—I, A·T—I では剥落防止の点で、S·T—I では変色防止の点でプライマー処理が有効であった。

以上の結果から得られる一般的知見は次の通りである。

- ・〈膠+鉛丹〉は容易に剥落し、その耐久性は極めて低い。
- ・合成樹脂塗料は、一般的に膠塗装に比べて耐久性が大幅に高い。
- ・鉛丹を顔料とする塗料は変色、褪色が起こり易く、特に合成樹脂塗料における黒化現象は特異である。鉛丹以外の顔料を用いた合成樹脂規格品塗料ではこの様な現象はない。
- ・プライマー処理は程度の差こそあれかなり有効である。

2—3 考察

近年種々の耐侯性に優れた建築物外装用合成樹脂塗料が開発され応用されている。しかし、これらの塗料は専らコンクリートや金属に用いられることを前提につくられており、木材に応用される例は非常に少ない。従って、これらの塗料が木材に塗られた場合、実際どの程度の耐久性があるのかについての実験例はほとんどなかった。本実験の結果、これら塗料は、木材に塗られた場合でも、高い（膠に比べればはるかに高い）耐久性を持っていることが一応証明されたということが出来る。しかし、この結果はあくまでもウェザオメーターによる劣化促進試験結果から得られたものであり、現在進行中の屋外曝露試験の結果と併せ検討、考察する必要があろう。

鉛丹顔料の変色については一般に良く知られており、中国敦煌莫高窟壁画に用いられている鉛丹顔料が黒色（黒茶褐色、黒紫褐色等）に変色しているのは有名である。この変色は鉛丹の酸化 ($Pb_3O_4 \rightarrow PbO_2$) によるものとされ、実際、分析の結果 PbO_2 が検出され、またシュミレーション実験により数カ月で $\langle Pb_3O_4 \rightarrow PbO_2 \rangle$ の反応が確認されたとの報告もある²⁾。

本実験で、鉛丹を含む塗装は全て変色し、特に合成樹脂と混ぜたものではかなりの黒化が観察された。これは、合成樹脂を塗料化する際に加えられる可塑剤など種々の添加剤（化学物質）が、鉛丹の酸化 ($Pb_3O_4 \rightarrow PbO_2$) に対して触媒作用をするためともいわれているが、定かではない。この変色の原因、過程を追求するのは興味ある研究テーマである。

3. おわりに

文化財の修理は、言うまでもなく、当初の材料、技法で行うのが原則であり、丹色塗装は〈膠+鉛丹〉で行うべきであろう。しかし、[2] で述べたように膠は耐侯性が低いので、膠に替えて耐侯性の高い膠着剤を用いることが検討された。しかし、耐侯性の高い合成樹脂ビヒクル（接着剤）に鉛丹を混ぜると、鉛丹の変色が容易に起こるという新たな問題が発生した。塗膜の変色は、鉛丹ではなく適正に調整した有機系顔料を用いればほとんど起きない。即ち、有機系顔料調色合成樹脂塗料（規格品）を用いることにより、耐侯性の高い安定した塗装が得られると考えられる。さらに、この場合、塗製作業も伝統技法は必要なく、スプレー塗装で簡便かつ均一に行うことが出来る。しかし、こうなると、材料も技法も当初と全く変わってしまうことになり、文化財修理の原則から、どこまで許されるかとの問題が当然に生じて来ることになる。かかる修理方針上の問題を検討する上での、正確かつ客観的な判断材料を提供するというのが、

本研究の大きな目的の一つであり、その意味からも、今後の研究の進め方について広い分野からの御意見等頂ければ幸いである。

文 献

- 1) 西川杏太郎、樋口清治ほか「丹塗り塗装の耐久性」『考古学、美術史の自然科学的研究』日本学術振興会 568-570(1980)
- 2) 唐玉民、孫儒側「敦煌莫高窟壁画顔料変色原因探討」『敦煌研究』第16期 18-24(1988)

Studies on the Characteristics of Exterior Paintings on a Historic Wooden Building (I)

—Weatherometer Deterioration Test of Minium-color Painting—

Tadateru NISHIURA, Wataru KAWANOBE and Masako OKABE*

In many cases, the exterior of historic wooden temples and shrines are painted in minium color. Traditionally the paint is a mixture of minium (red lead) and animal glue. Because of low durability of animal glue as a binder, the buildings should be repainted quite often, especially in case of ones which are located in a severe environmental condition. Thus substitutions of a more durable material for animal glue have been considered and actually done to some extent. However, there are few systematic study on the characteristics of such new paintings. Therefore, an experimental test was carried out on the durability of minium-color paintings on wood.

Seventeen kinds of paints, which are divided into three types, were tested. Those types are a mixture of animal glue and minium, a mixture of synthetic resin and minium, and a mixture of synthetic resin and pigment other than minium. They were painted on wood pieces ($15 \times 6.5 \times 0.5$ cm). Then the test pieces were artificially deteriorated in a weatherometer for 3,000 hours. And the following findings were obtained by the test :

- Paint layer, which consists of animal glue and minium, exfoliated very easily.
- Synthetic resin was by far a more durable binder than animal glue.
- Paintings which consist of synthetic resins and minium showed serious fading and color change, particularly blackening. However, the paintings which consist of synthetic resins and pigment other than minium showed little fading and no color change.
- Priming was effective for stabilizing the paintings to a greater or lesser extent.

Now, outdoor exposure test is underway using the same kind of test pieces. Better consideration can be made in the near future after getting the results of the test.

* Private Restorer