

古建築の外装塗装の物性に関する研究（IV） —丹色塗装の屋外曝露試験(3)—

西浦 忠輝・岡部 昌子*・川野邊 涉

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いる。膠は耐水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久性（耐候性）が低く、環境条件の厳しい地域では頻繁な塗替えが必要である。しかし、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く、より耐久性に優れた材料がかなり応用されてきている¹⁾。そこで筆者らは、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を行うべく、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開始した。その第1報として、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い、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した²⁾。続いて同じ種類の試験片について、東京国立文化財研究所屋上（東京都台東区上野公園）で屋外曝露試験を行い、1年7カ月後および4年10カ月後の結果を報告した（この試験は継続中である）³⁾⁴⁾。さらにウェザオメーター試験の結果から数種類の塗料をピックアップして試験片を作製し、東京での屋外曝露試験と並行して、島根県簸川郡大社町日御崎の日御崎神社において屋外曝露試験を行った。当地は日本海に面し、潮風に曝される厳しい自然環境下にあるため、日御崎神社の屋外塗装は容易に劣化し、問題となっている場所である（図1）。本報は4年7カ月に亘る日御崎神社における屋外曝露試験の結果について報告するものである。

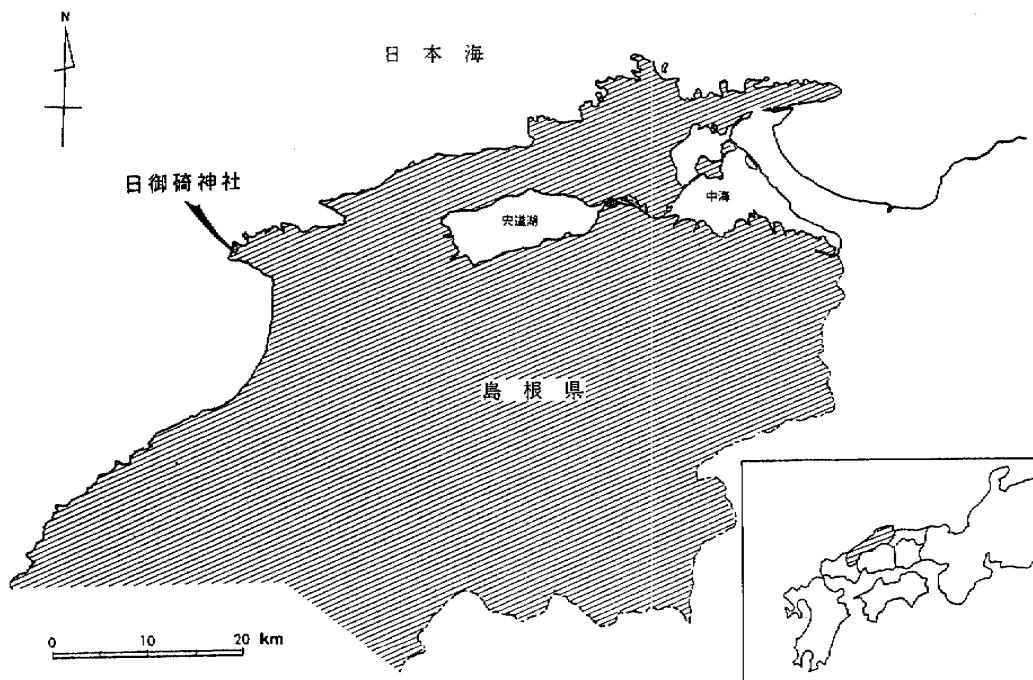


図1 日御崎神社位置図

* 文化財修復家

2. 実験

2-1 実験方法

2-1-1 試験材料

1) 基材(木材)

塗装試験片用の基材として次のa, bの2種類を用いた。

- a. スギ, ヒノキ, ケヤキの古材を12cm×50cm×1cmの板状に製材し, 表面をサンドペーパーで平滑にしたもの(柾目および板目材)。
- b. aの板とほぼ同寸に割断したヒノキの古材の片面のみ鉋で平滑にし, 反対の面は割り放したままの状態のもの(柾目材)。

2) 塗料

伝統的塗料である<膠+鉛丹>の他に, アクリル系, シリコーン系, フッソ系の規格品調色合成樹脂塗料, およびシリコーン系合成樹脂塗料のクリヤー(無色塗料)に鉛丹を混ぜたもの計5種類を試験に供した(表-1の網掛け部分)。前記したウェザオメーターによる人工劣化促進処理試験および東京国立文化財研究所(東文研)屋上屋外曝露試験に供した試験片は表-1に示す17種類であるが, 本試験に用いた合成樹脂塗料は, 先に行ったウェザオメーター試験の結果, 良好な耐久性を示したものを見抜きアップしたもので, いずれも油性(溶剤タイプ)である。丹塗は本来艶のないものであるので, シリコーン系およびフッソ系調色塗料については艶消しのものを用いた。

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

以下の3種類の塗装手板を作製した。いずれも塗布量は基材の木目が見えなくなり, かつ塗膜面がほぼ平滑になるまでの量とした。したがって塗布回数は各塗料の粘度, 手板の平滑度などによって異なり, 3~5回であった。塗装後は実験室内において常温で約2週間乾燥させた(図2)。

試験片①: 塗装は試験片の片側表面および側面, 木口面に行った。まず塗装する面の半分にプライマーを刷毛塗り(1回塗)し, プライマーの指触乾燥後, 塗装面全体に塗料を刷毛塗りした。但しG·T<膠+鉛丹>はプライマー処理をしていない。基材はaを用い, 各塗料につきスギ, ヒノキ各1枚, ケヤキ各2枚, 計4枚ずつ作製した。

試験片②: 一枚の手板に5種類の塗料を約2.5cmの間隔をあけて並べて塗布したものを作製した。5種類の塗料の塗布部位は5枚の

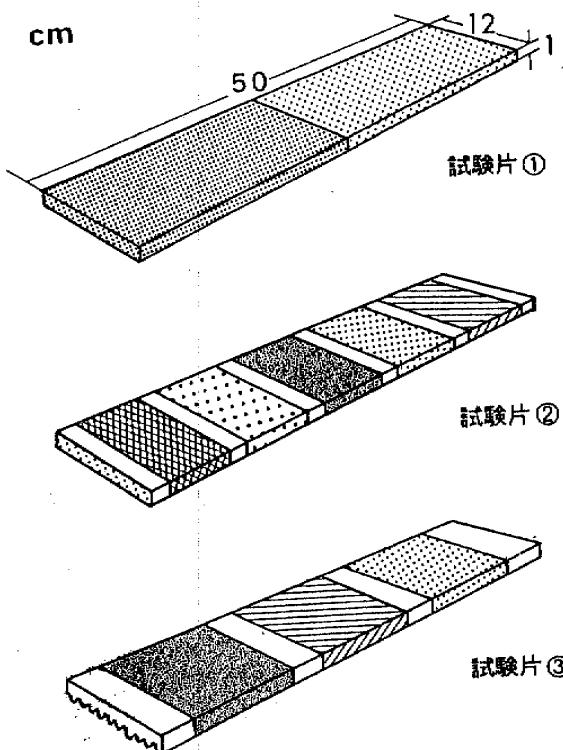


図2 塗装試験片

手板それぞれで変えた。これらにはプライマー処理をせず各塗料を片側表面と側面に塗布し、木口にはいずれもF'-Iを塗布した。基材はaを用い、スギ、ヒノキ各2枚、ケヤキ1枚である。

試験片③: A-I, S'-I, F'-Iを約2.5cmの間隔をあけて表から裏までぐるりと帯状に塗布したものを作製した。各手板で塗料の塗布部位を変えた。この2枚については木口への塗布をせず、プライマー処理もしていない。基材はbを用いた。

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	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

■ 部分は日御崎神社屋外曝露試験に供した試験片

2-1-3 屋外曝露試験

重文・日御崎神社（島根県簸川郡大社町日御崎）の一部である宗像神社を取り囲む池の東側に曝露台を仮設した。当地は岬の突端に位置し、日本海の潮風が直接吹きつける、自然環境の極めて厳しい特殊な場所である。曝露台は風をまともに受ける西向き、垂直に、高さは地上約1.5~2.5mに設置した。1989年12月、この特設曝露台に試験片を木ネジで固定し、1994年7月に取り外して詳細に調査した。曝露期間は4年7ヶ月であるが、その間に特に激しい潮風（海水を多量に含む）に曝される冬期を5回経ている（図3、4）。

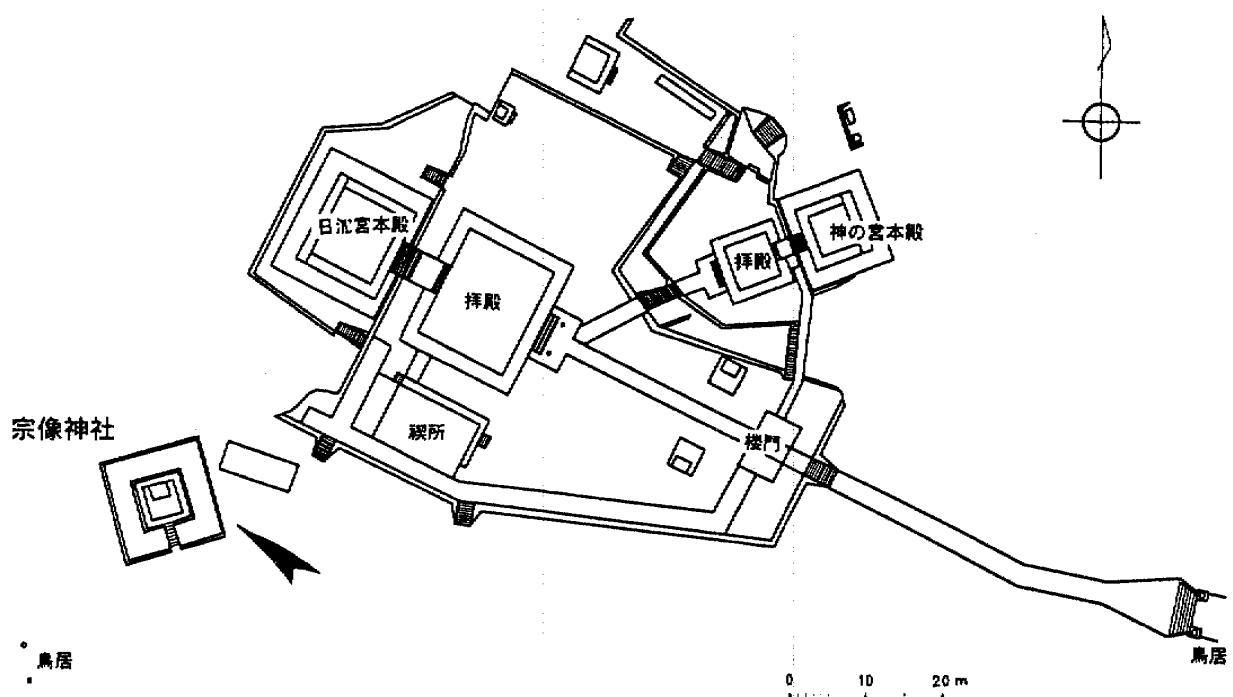


図3 日御崎神社曝露台仮設位置図

表2 日御崎神社屋外曝露4年7ヶ月後の劣化の形態と程度

試験片 ^{*1}	P	剥落	変色	褪色
G・T	P			
	C	×	○	×
A-I	P	○ ^{*2}	○	○
	C	▲	○	○
S'-I	P	○ ^{*3}	○	○
	C	○ ^{*3}	○	○
S・T-I	P	○ ^{*2}	○	▲
	C	○ ^{*2}	○	▲
F'-I	P	○ ^{*2}	○	○
	C	○ ^{*2}	○	○

○：ほぼ変化なし

○：軽微な変化

▲：明白な変化

×：顕著な変化

* 1 P: プライマー処理、C: 無処理

* 2 目やせあり

* 3 僅かにチョーキングあり

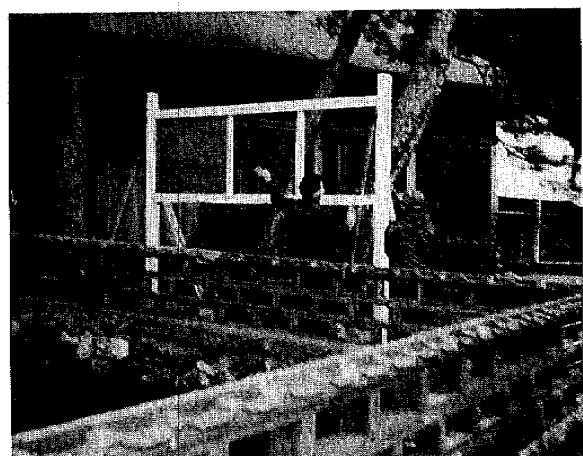


図4 仮設した曝露台

2-2 実験結果

2-2-1 日御崎神社屋外曝露試験結果

4年7カ月にわたる曝露の結果、各試験片とも表面(塗装面)に塵埃等による黒ずみや、鳥の糞と思われる白い汚れがある(一部の試験片には何かがぶつかってついたと思われる傷がある)。これらの汚れは、色変化等の判断に若干の影響をきたすため、剥離部など脆弱化した部分を除き、水で濡らした脱脂綿で軽く拭き取った。

各試験片の曝露後の状態を表-2、図-5、6に示す。

曝露4年7カ月後で最も耐候性に優れているのはS'-I, F'-IおよびA-Iのプライマー処理した部分である。A-Iのプライマーなしの部分では亀裂、剥落が見られる。S-T-Iでは褪色が進んでいる。最も耐候性に劣るのがG-Tであり、既に殆ど剥落している。劣化形態別にその特徴をあげれば次の通りである。

1) 剥落

目視観察ではS'-I, S-T-I, F'-Iは剥落、剥離、亀裂等の変化が全く見られず良好な結果を得た。しかしS'-Iは濡らした脱脂綿で軽く拭く時に、脱脂綿に僅かに塗料の色が付く。A-Iはプライマー処理部分では剥離・亀裂等が殆ど見られないが、無処理部分では亀裂および剥落が見られる。特に小面積に塗り分けをした試験片②の手板(プライマー無処理)については剥落が目立つ。しかし同じ小面積でも、試験片③のぐるりと帯状に塗布した試験片(プライマー無処理)においては剥落、亀裂等が全く見られない。尚試験片③では、S'-I, F'-Iとも、表面には変化が見られないものの、裏面(凹凸のある面)に木目に添った太い亀裂が生じており、これらの結果は作製した試験片③の2枚の手板に共通している。これに対し殆ど剥落し木地が露出しているのがG-Tである。G-Tの剥落の特徴は褐色化した顔料層が疎らに付着しており、この褐色化した表層の下に鮮やかな丹色層が残っている(特にスギ、ヒノキ材)。表層から次第に剥落しつつあり、現れた下層を指で軽く擦ると丹色が指に付着する。

剥落、亀裂等が見られない部分でも、目やせ(塗膜を通して木目が透けて見える状態)が観察された。S-T-I, F'-Iの場合は、ケヤキ材に塗布した試験片にのみ見られる。A-Iではケヤキ材、スギ材、ヒノキ材のどの場合も目やせが認められる。一方、S'-Iには目やせは殆ど見られない。

2) 変褪色

変色はいずれの塗料にも認められない。

褪色については、最も軽微なのはA-Iのプライマー処理した部分およびS'-I, F'-Iである。A-Iのプライマーなしの部分は光沢がやや失われ、褪色も少し見られる。一方、S-T-I, G-Tでは著しい褪色が見られる。G-Tは剥落の項に記したとおり、手板表面に僅かに残った顔料部分についての観察であるが、褪色して茶褐色になった表層の下に色変化が殆ど認められない鮮やかな丹色顔料が残存している。

塗布面積の大小(試験片①、試験片②および試験片③)による結果の差は認められない。

3) プライマーの効果

本曝露試験でプライマー処理の有無により有意の差が出たのはA-Iにおける剥落、褪色と光沢減少についてである。

2-2-2 東京での屋外曝露試験結果およびウェザオメーター試験結果との比較

日御崎神社での屋外曝露試験と並行して東京国立文化財研究所屋上でも屋外曝露試験を行っており、曝露1年7カ月後および4年10カ月後の結果について既に報告した³⁾⁴⁾。またこれに先立ち、3000時間に亘るウェザオメーター処理(温度42°C、湿度60%、60分間に12分間のスプレー)

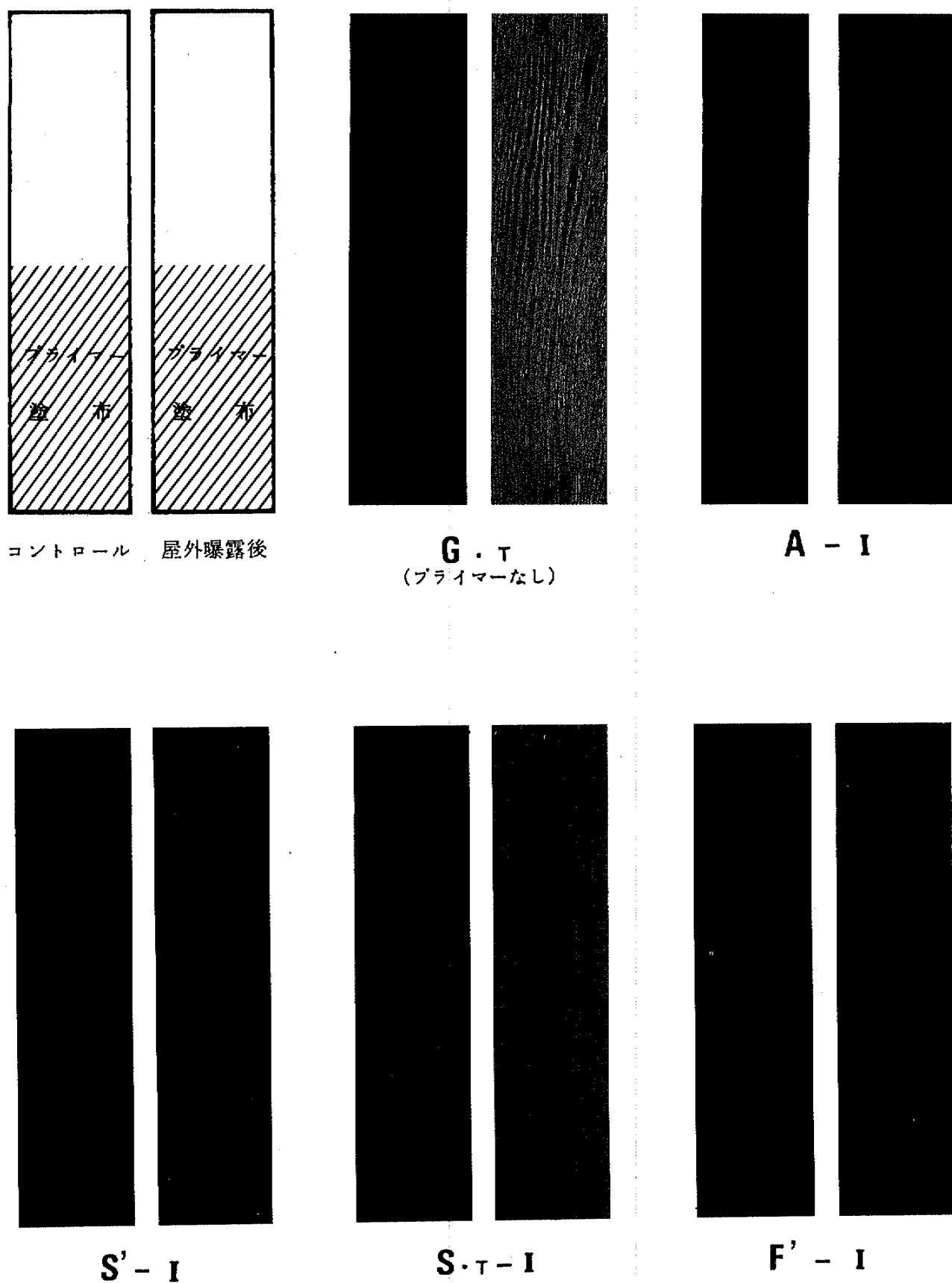


図5 屋外曝露4年7ヶ月後の状態（試験片①）

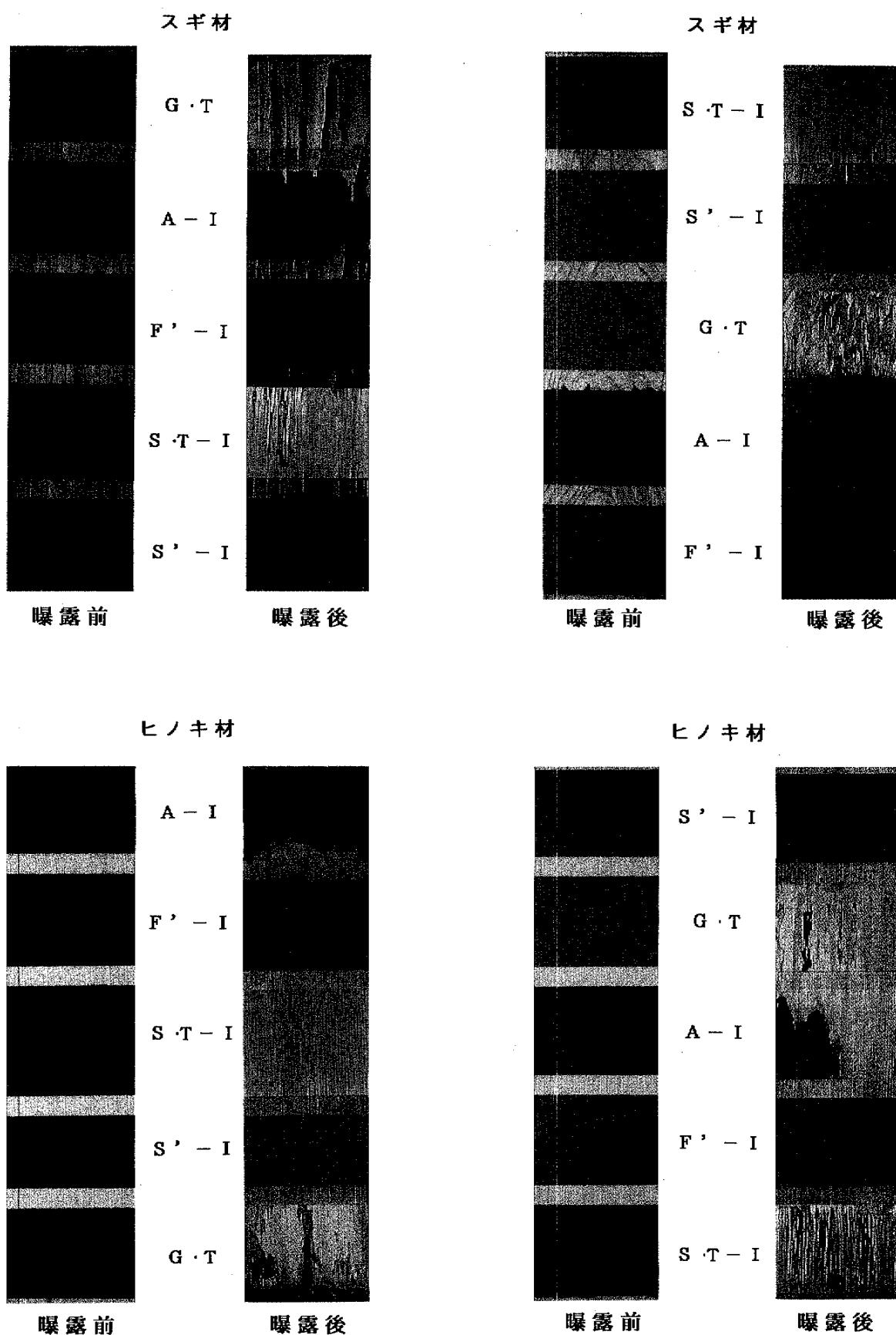


図6 屋外曝露4年7ヶ月後の状態(試験片②)

試験を行った²⁾。本条件でのウェザオメーター処理 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いる。

そこで今回の日御崎神社での 4 年 7 カ月の屋外曝露試験結果と比較、検討し得るデータとして、東文研屋上での 4 年 10 カ月の曝露試験結果およびウェザオメーター処理 1000 時間後の結果を取り上げ、比較してみるとこととする(表 3)。ただし、東文研屋外曝露およびウェザオメーター処理に供した試験片は、全て 65×150×5 mm のヒノキ材で、塗料の塗布は片側一面にのみである。

表 3 東文研屋外曝露試験結果とウェザオメーター試験結果の比較

試験片	東文研屋外曝露 4 年 10 カ月後			ウェザオメーター 1000 hrs
	剥落	変色	褪色	
G・T	P	×	—	—
	C	×	—	—
A-I	P	▲	◎	○
	C	×	—	—
S'-I	P	—	—	—
	C	○	○	○
S・T-I	P	○	×	▲
	C	○	×	▲
F'-I	P	—	—	—
	C	○	▲	○

◎：ほぼ変化なし ○：軽微な変化 ▲：明白な変化
 ×：顕著な変化 —：観察不能か無意味

G・T はいずれの試験でも殆ど剥落している。A-I では東文研屋外曝露で劣化が最も進行しており、プライマー処理した部分でも明らかな亀裂や剥落が見られる。ウェザオメーター処理では、プライマーナシの部分に剥落が認められる。

日御崎神社屋外曝露においては劣化が最も小さく、プライマーナシの部分で亀裂および一部剥落が見られる。S'-I ではいずれも殆ど変化が見られないが、東文研曝露の劣化がやや大きい。S・T-I の場合、劣化が最も著しいのは東文研曝露における変褪色であり、ウェザオメーター処理と日御崎神社曝露の結果は近似している。日御崎神社曝露では明らかな褪色が見られるが、変色は認められない。F'-I においても東文研曝露の変化が最も大きく、特に変色が顕著である。ウェザオメーター処理ではやや褪色が見られ、日御崎神社曝露では殆ど変化が見られない。

G・T <膠+鉛丹> はいずれの場合も劣化が著しく、比較できないものの、その他のものでは東文研屋外曝露による劣化が大きく、日御崎での屋外曝露による劣化が小さいと言うことができる。

2 カ所の屋外曝露試験の結果に差が出たことは、試験片を設置した環境条件の違いよりもむしろ、試験片の大きさの違い、木口面への塗料の塗布の有無などが影響したのではないかと考えられる。

2-2-3 総合知見

本試験の結果から得られる知見は次の通りである。

- ・<膠+鉛丹>の剥落が著しく、合成樹脂系塗料と比較してその耐久性は極めて低い。
- ・シリコーン系合成樹脂規格品調色塗料は殆ど変化が無く、耐候性に優れていると言える。しかし、同じシリコーン系合成樹脂塗料のクリヤーに鉛丹を混ぜたものは褪色が著しく、したがって耐候性に劣ると言わざるを得ない。
- ・アクリル系合成樹脂塗料ではプライマー処理が有効である。
- ・ケヤキ材に合成樹脂塗料で塗装した場合、スギ材、ヒノキ材に比べ、目やせを生じ易い。しかし、シリコーン系合成樹脂塗料で塗装した場合は殆ど目やせが生じない。このことからケヤキ材に塗装する場合は、シリコーン系合成樹脂塗料が適しているのではないかと考えられる。

3. 考察

近年種々の耐候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。そこで、ウェザオメーターによる長時間の人工的劣化促進処理試験を行った結果、これらの塗料は、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明らかとなった²⁾。しかし、ウェザオメーター処理試験はあくまでもシミュレーション実験であり、実際の耐候性を評価するためには、屋外曝露試験の結果の方が正しいことは言うまでもない。しかし屋外曝露試験は長期間を要するので、ウェザオメーター処理による人工劣化促進試験は实际上極めて有効な手段である。現在東文研屋上において、ウェザオメーター処理試験と同種の試験片による屋外曝露試験を継続しているが、既に曝露1年7カ月後および4年10カ月後の結果を得ており、人工劣化促進処理試験結果と同様、合成樹脂塗料の膠に比較しての高い耐久性が証明されつつある³⁾⁴⁾。しかし、ここで見られる剥落等の劣化状態が、実際の建物に塗装された場合でも同様に起こることは考え難い。それは、試験片が小さな手板に塗装されたものであるために、木口からの水の浸透の影響が大きいこと、塗装面が真南を向き、かつ太陽に正対しているために日射量が多いこと、さらに、雨に垂直に近い状態で曝されていること等から、実際よりもかなり厳しい条件で行っていると言うことができるからである。したがって、東京での曝露試験は、シミュレーションではなく、実際的な劣化促進比較試験と見るべきであろう。

一方、日御碕神社における曝露試験は、大きな手板表面(木口を含む)に塗装した試験片を用い、塗装面が地面に垂直になるように曝露台に設置するなど、東京での試験と比較して、実際の建造物への外装塗装の条件に近い形での曝露試験であると言うことができる。したがって、ウェザオメーター試験と東京での曝露試験の結果と、本試験の結果を総合して検討、考察することは、実際の耐候性を評価する上で有効であると言える。

さて本試験の結果からも、合成樹脂塗料が膠に比べ耐候性に優れていることが明らかとなった。そしていずれの塗料も程度の差こそあれ、ウェザオメーター試験、東文研屋外曝露試験とおおむね同様の劣化傾向を示している。しかし変色については異なり、本試験では、いずれの塗料についても変色が認められなかった。特にシリコーン系合成樹脂塗料のクリアに丹を混ぜたものについては、ウェザオメーター試験、東文研屋外曝露試験では著しく変色したのに対し、本試験では変色が認められなかった(但し褪色は顕著)。これは、注目すべき結果である。

参考文献

- 1) 西川杏太郎, 橋口清治, 西浦忠輝ほか「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) 西浦忠輝, 川野邊涉, 岡部昌子「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 - 」『保存科学』, 30, 21-30 (1991)
- 3) 西浦忠輝, 川野邊涉, 岡部昌子「古建築の外装塗装の物性に関する研究(II) - 丹色塗装の屋外曝露試験<1> - 」『保存科学』, 31, 69-77 (1992)
- 4) 西浦忠輝, 岡部昌子, 川野邊涉「古建築の外装塗装の物性に関する研究(III) - 丹色塗装の屋外曝露試験<2> - 」『保存科学』, 35, 21-31 (1996)

Studies on the Characteristics of Exterior Paintings
on a Historic Wooden Building(IV)
—Exposure Test of Minium-color Painting<3>—

Tadateru NISHIURA, Masako OKABE* and Wataru KAWANOBE

In many cases, the exterior of historic wooden temples and shrines is 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 the case of a severe environmental condition. Thus substitutions of a more durable material for animal glue have been considered and are actually used to some extent. However, there are few systematic studies on the characteristics of such new paintings. Therefore, an experimental test was carried out on the durability of minium-color paintings on wood.

Five 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 pigments other than minium. They were painted on wood pieces (50×12×1 cm). The test pieces had been exposed at the site of *Hinomisaki Shrine* which is located in the tip of a cape where environmental condition is very severe with a strong sea breeze since December 1989. After four years and seven months' exposure, the following findings were obtained by the test.

- Paint layer which consists of animal glue and minium exfoliated completely.
- Organo-silicone type resins showed very high durability as binder of paint. However, in case it was mixed with minium, the paint showed high degree of fading.
- Acrylic resin paints show good durability in case they were painted after primal coating.
- Paintings which consist of organo-silicone resin and minium did not show blackening in this test.
- Test results agree quite well with the results of weather-o-meter test and exposure test in Tokyo, though discoloration behavior is different.

* Private Restorer