

塗膜の長期耐久性評価

(財) 日本ウエザリングテストセンター新発電塗料系分科会

(社) 日本橋梁鋼構造物塗装技術協会

福島 稔

1. まえがき

構造物の環境対策として塗装の色彩に対する要求は非常に高い。この効果を保持するためには塗料の耐候性の確保が必要である。

耐候性については、多くの研究報告が出されているが、光沢低下による評価が多く変色に関する資料が不十分で、促進試験と暴露試験の対比も十分に行われていない。

このため今回、屋外構造物に使用される長期耐候性塗料を中心とし、各種の色彩による長期試験を行って光沢低下と変色の両面からの耐候性を明らかにした。また、暴露と促進耐候性試験の関係につき検討し、促進耐候性試験により暴露結果が予測できることを見出して耐候性の判定基準を作成した。

この研究は、新発電システムの標準化に関する調査研究（財団法人日本ウエザリングテストセンター）のうち塗料系分科会として行われた一部で、とくに外観変化を中心に塗料を実際に利用する場合に必要な観点から報告書を作成した。

2. 試験の概要

新発電システムの標準化に関する調査研究塗料系分科会は、塗装の耐久性について財団法人日本ウエザリングテストセンターが設置した研究会において行われた。研究は、1991年から2002年の11年にわたって実施されて、当初計画した研究は終了したが一部の試験片の暴露は継続し、2003年からは新しく「塗膜の耐減耗性の研究」を実施している。

本研究は「塗膜の外観変化の定量化基準の開発」として行ったもので、試験内容の概要は次のようである。

供試塗料

一般塗料による耐候性の評価	長油性フタル酸樹脂塗料	9色
	ポリウレタン樹脂塗料	9色
高耐候性塗料による耐候性の評価	ポリウレタン樹脂塗料	6色
	ふっ素樹脂塗料	13色

暴露試験の地域と方法

暴露地	施設	暴露角度
銚子	日本ウエザリングテストセンター、一般環境、標準地	30度
宮古島	日本ウエザリングテストセンター、亜熱帯環境、標準地	20度

促進試験

試験	試験機
サンシャインカーボンアーク灯促進試験	スガ試験機（株）製 WEL-SUN-DC型 デュースイクル・サンシャインスーパー・ロングライフ
キセノン灯促進試験	スガ試験機（株）製 WEL-6X-HCH-BEC型 キセノンアーク灯式耐候性試験機
QUV灯試験	

測定内容

観察及び測定項目	観察及び測定方法
測定の前処理	試験片の表面を柔らかい刷毛で軽く払ったものを洗浄前とし、水拭きしたものを洗浄後とする。
塗膜の色 目視法	保存試験片と比較して調べる。
塗膜の色 計測法	JIS K 5600 4.5 による。ただし、測定装置は別に定め、測定はその都度保存試験片と試験片とについて行い色差を求める。
鏡面光沢度	JIS K 5600 8.6 による。
塗膜の外観	異常がある場合は、JIS K 5600 8.1 により測定する。

3. 試験結果

3.1 一般塗料による耐候性の評価

試験に用いた塗料の種類は、

- ①長油性フタル酸樹脂塗料
- ②ポリウレタン樹脂塗料

とし、それぞれ表 1 に示す色彩で試験片を作成した。

表 1 塗料片の色彩

	グレー P1-1004
青濃彩 P18-846	青淡彩 P18-846 淡
緑濃彩 P32-557	緑淡彩 P32-557 淡
黄濃彩 P34-346	黄淡彩 P34-346 淡
赤濃彩 P33-145	赤淡彩 P33-145 淡

試験は次のような暴露試験と促進試験とを行った。

暴露試験：①銚子、②宮古島

促進試験：①キセノン灯、②サンシャインカーボン灯、③QUV 灯

3.1.1 測定の前処理方法

暴露された試験片には各種の汚染物が付着し塗膜劣化測定に影響を及ぼし、ばらつきの原因になっている。このため、次の 2 種類の前処理を行ってその影響を調べた。

- 1) 柔らかい刷毛で軽く払う
- 2) 水拭き洗浄を行う。

刷毛で払った試験片は、表面の付着物は除去されたが塗膜に食い込んだ付着物が残った。水拭きでは目に見える付着物はすべて除去された。

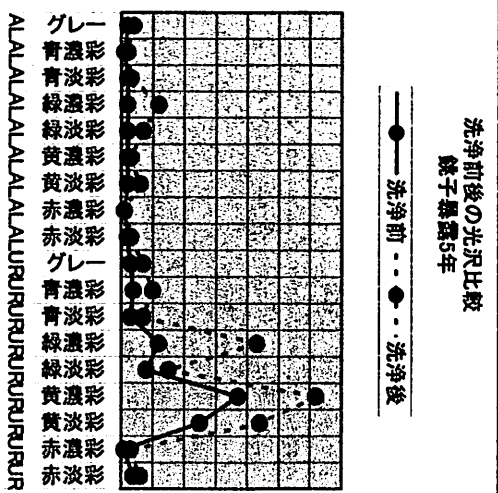
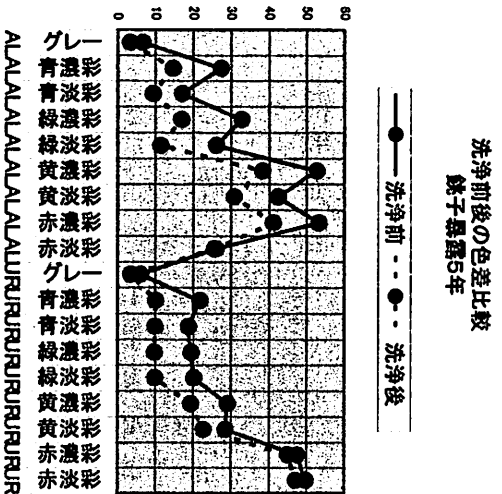
長油性フタル酸樹脂塗料とポリウレタン樹脂塗料について各 9 色間の変化について前処理間の相関性を調べた結果を表 2 に示す。

表 2 前処理方法間の相関性

塗料の種類	暴露地	色差測定		光沢測定	
		暴露 1 年	暴露 5 年	暴露 1 年	暴露 5 年
長油性フタル酸樹脂塗料	銚子	0.98	0.94	0.94	0.52
	宮古島	0.98	0.92	0.97	0.35
ポリウレタン樹脂塗料	銚子	0.97	0.98	0.73	0.94
	宮古島	0.97	0.80	0.73	0.75

各色間の前処理による差異を図1に示す。

図1 各色間の変化の比較



長油性フタル酸樹脂塗料の暴露5年光沢以外の相関係数は0.6以上で洗浄前後の測定値には相関性があった。暴露5年光沢で相関性が失われたのは、図1に見るように長油性フタル酸樹脂塗料の光沢が0に収斂したためであることが分かった。

前処理に洗浄を行っても支障のないことが認められたので、本報告では、色差は洗浄あり、光沢は洗浄なしで評価解析した。

3.1.2 暴露による塗膜の劣化状況

暴露試験の経年結果を図2に示す。

光沢低下と色差の両面でポリウレタン樹脂塗料は長油性フタル酸樹脂塗料より優れている。両塗料の耐候性を光沢が20と色差が20になるまでの期間で比較すると、ポリウレタン樹脂塗料は長油性フタル酸樹脂塗料の4倍程度の耐候性を示した。

暴露地と色彩別の暴露2年間の結果を、図3に光沢変化を図4に色差を示す。
光沢低下と色差ともに銹子暴露より宮古島暴露の方が大きく暴露環境は厳しかった。
色彩別では、グレー、青、緑系は変色が少なかったが、赤、黄系は変色が大きかった。

図2 暴露による経年変化

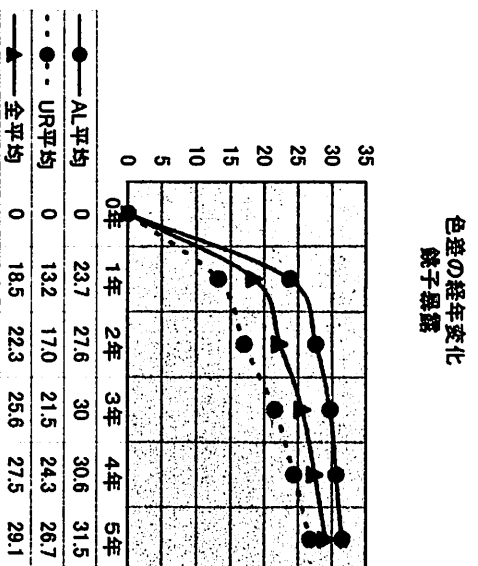
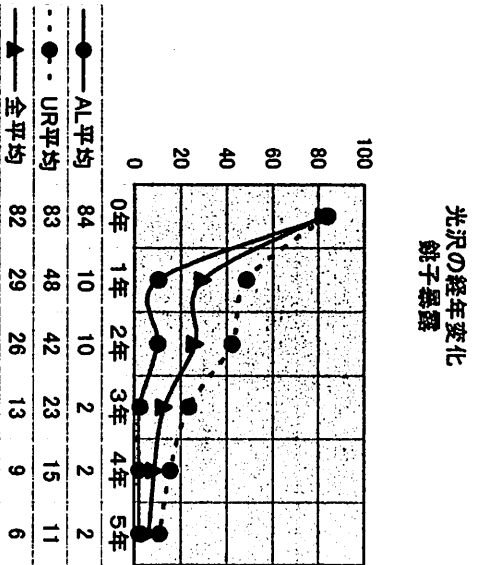


図6 サンシャインカーボン灯試験

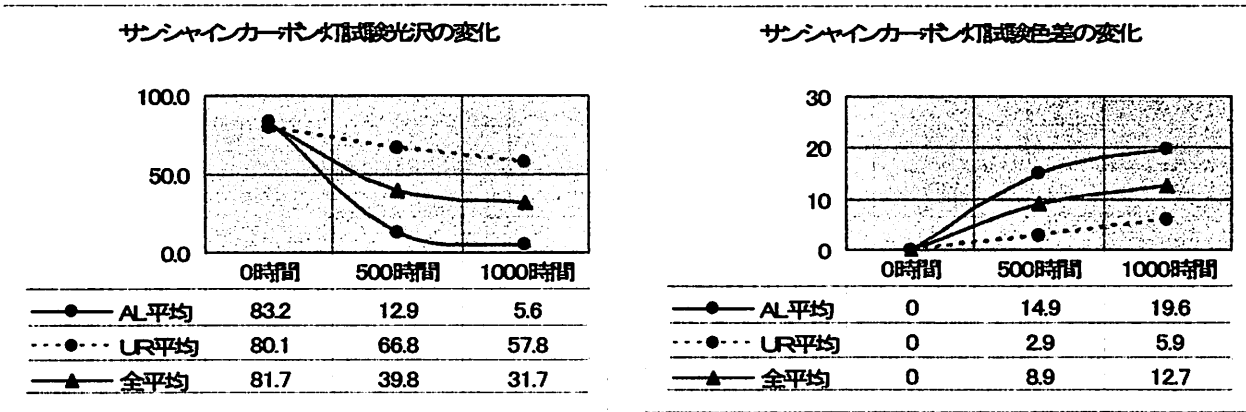
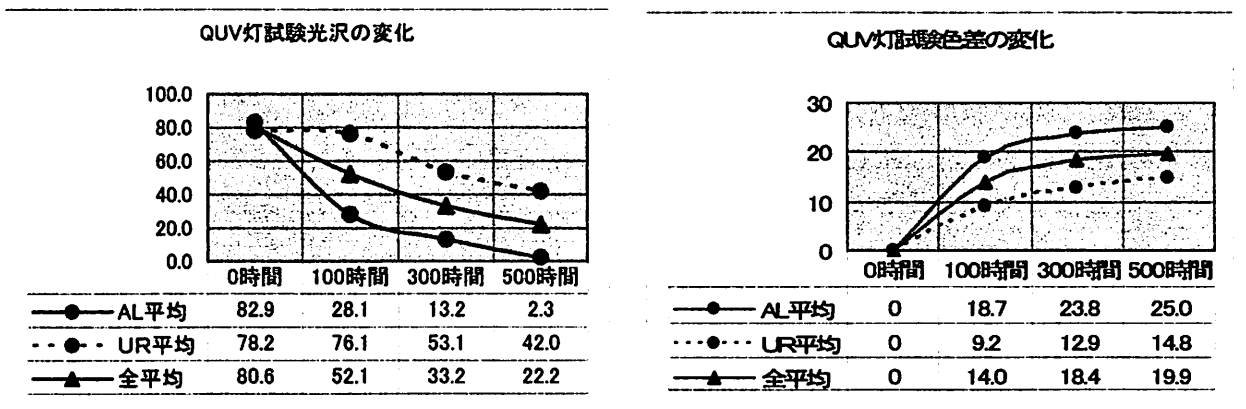


図7 QUV 灯試験



促進試験による劣化の大きさの順位は次のようである。

QUV 灯 500 時間>サンシャインカーボン灯 1000 時間>キセノン灯 1000 時間

3.1.4 促進試験と暴露試験の相関性

18 色の色彩について促進試験と暴露試験の相関性を求めた結果を表 3 に示す。

表 3 促進試験と暴露試験の相関係数

	キセノン灯 1000 時間		サンシャインカーボン灯 1000 時間		QUV 灯 500 時間	
	光沢	色差	光沢	色差	光沢	色差
銹子 1 年	0.98	0.96	0.86	0.83	0.8	0.75
銹子 3 年	0.73	0.78	0.65	0.64	0.33	0.57
銹子 5 年	0.43	0.68	0.41	0.55	0	0.5

相関性が認められたのは、キセノン灯では光沢は 3 年まで色差は 5 年まで、サンシャインカーボンアーク灯では光沢は 3 年まで色差は 3 年まで、QUV 灯では光沢は 1 年まで色差は 1 年まで、でキセノン灯が暴露との相関がもっとも良く QUV 灯は長い暴露期間との相関が劣った。

3.2 高耐候性塗料による耐候性の評価

一般塗料の試験に引き続いて高耐候性塗料の耐候性の評価を行った。

試験に用いた塗料は、ふっ素樹脂塗料 13 色とポリウレタン樹脂塗料 6 色の合計 19 色で、塗料の種類と色彩を表 4 に示す。

表 4 供試塗料

塗料 色彩	ふっ素樹脂塗料		ポリウレタン樹脂塗料	
	濃彩	淡彩	濃彩	淡彩
グレー	—	○	—	—
青	○	○	○	—
緑	○	○	—	—
黄	○	○	○	—
赤	○	○	—	—
赤+青	○	○	○	○
黄+青	○	○	○	○

試験は次のような暴露試験と促進試験を行った。

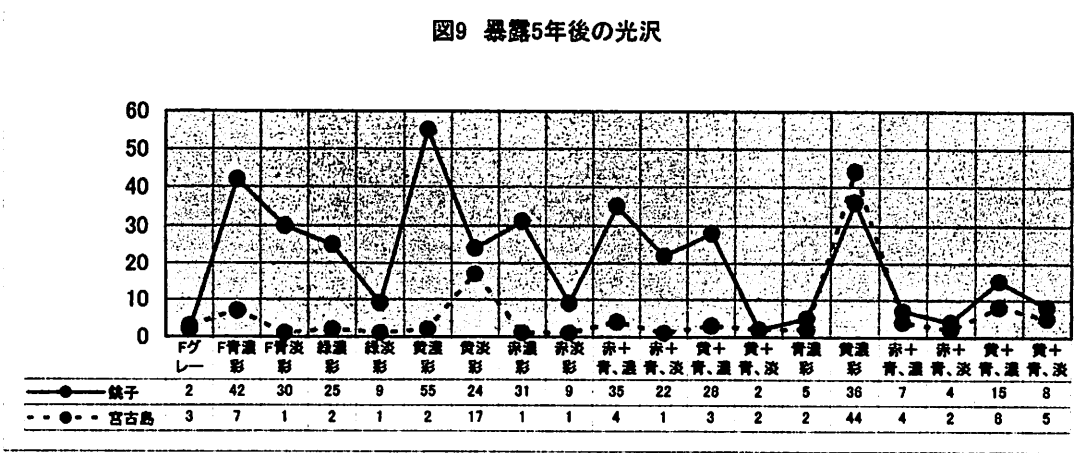
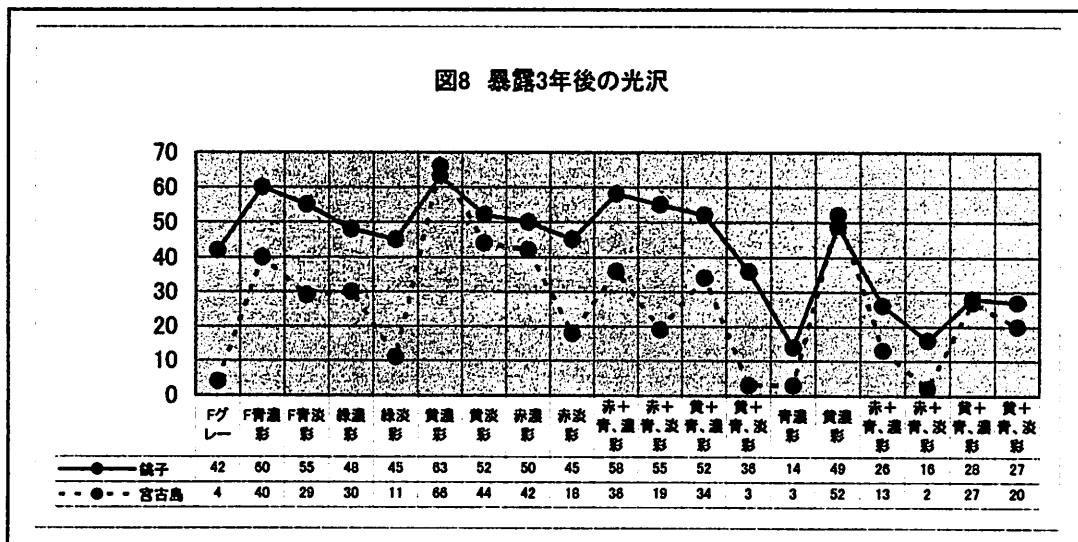
暴露試験:①銚子、②宮古島

促進試験:①キセノン灯、②サンシャインカーボン灯

測定前処理は、光沢測定は刷毛で軽く払った状態、色差測定は水拭きの状態とした。

3.2.1 暴露による塗膜の劣化状況

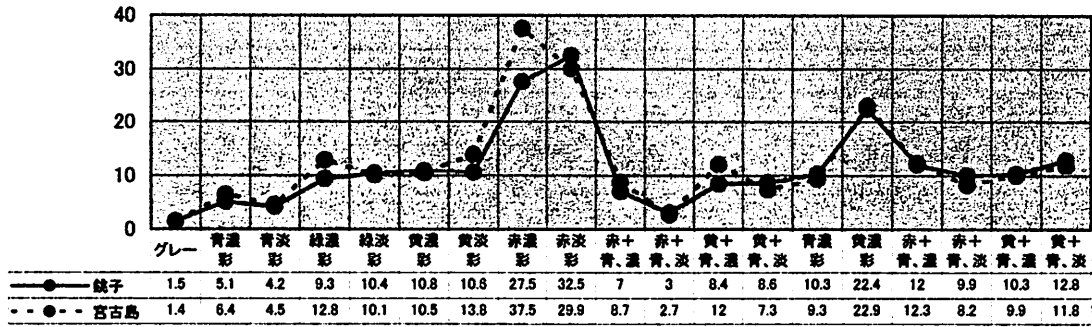
各試料の銚子暴露と宮古島暴露の光沢の状態を図8と図9示す。



3.

各資料の銚子暴露と宮古島暴露の色差を図 10 に示す。

図10 暴露5年後の色差



光沢については銚子に比べて宮古島の低下が大きく暴露5年では大きな差を生じた。色差は各色がほぼ同じ変化を示し宮古島のほうがやや変化が大きかった。銚子暴露5年の結果から光沢低下について塗料種と色彩をランク分類した。

表5 光沢低下の大きさの分類（銚子暴露5年の結果による）

ランク	光沢値	塗料種と色彩	
		ふっ素樹脂塗料	ポリウレタン樹脂塗料
A	50以上	青濃彩、黄濃彩	黄濃彩
B	30～50	青淡彩、緑濃彩、赤濃彩、赤+青濃彩、黄+青濃彩	
C	30～10	黄淡彩、赤+青淡彩	黄+青濃彩、赤+青濃彩、黄+青淡彩
D	10以下	グレー、緑淡彩、赤淡彩、黄+青淡彩	青濃彩、赤+青淡彩

(1) 光沢値は実構造物を見た場合の印象から次のように分類した。

- A：高い光沢感がある
- B：十分な光沢感がある。
- C：わずかな光沢感がある。
- D：光沢が失われている。

(2) 色彩により光沢の低下には大きな差があり、顔料の活性度や粒子形の影響が大きい。

(3) 同じ色彩では、濃彩に比べ淡彩の光沢低下が大きい。

(4) 色彩が異なればポリウレタン樹脂塗料よりもふっ素樹脂塗料の光沢低下が大きい場合もあった。

銚子暴露5年の結果から色差変化につき塗料種と色彩をランク分類した。

表6 色の変化の大きさの分類（銚子暴露5年の結果による）

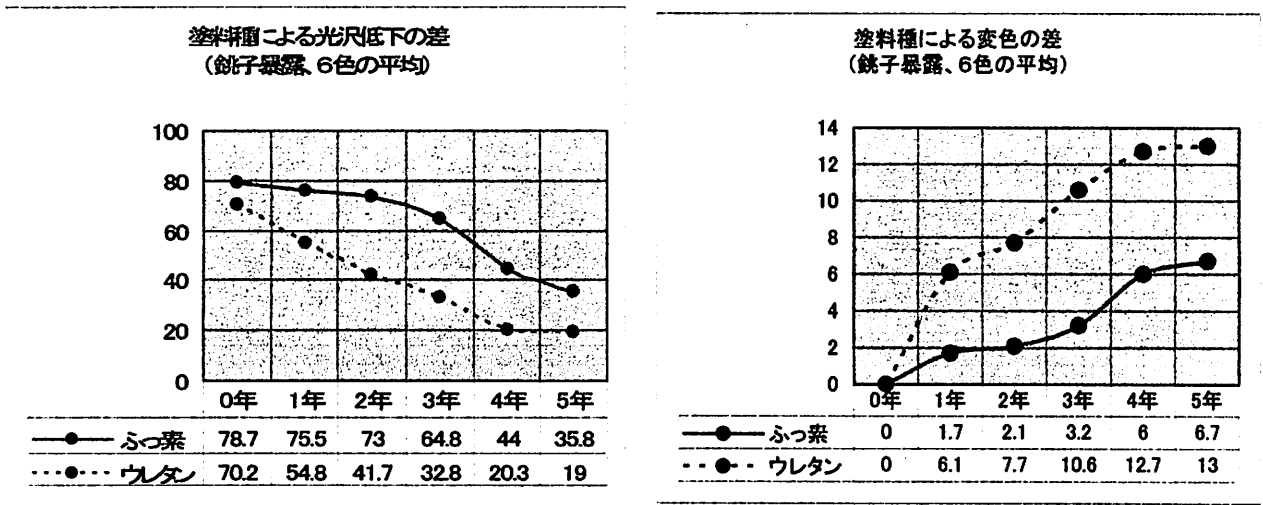
ランク	色の変化 色差	塗料種と色彩	
		ふっ素樹脂塗料	ポリウレタン樹脂塗料
A	0～10	グレー、青濃彩、青淡彩、緑濃彩、赤+青濃彩、赤+青淡彩、黄+青濃彩、黄+青淡彩	

B	10~20	緑淡彩、黄濃彩、黄淡彩、	青濃彩、赤+青淡彩 黄+青濃彩、黄+青淡彩
C	20~30	赤濃彩	赤+青濃彩
D	30~	赤淡彩	

- (1) 同じ塗料種でも、色彩により変色は大きく異なる。
- (2) グレーと青系は変色が少なく、黄系と緑系は中間で、赤系は変色が大きい。
- (3) 色彩が異なればポリウレタン樹脂塗料よりもふっ素樹脂塗料の変色が大きい場合もある。

共通する6色の平均により、ふっ素樹脂塗料とポリウレタン樹脂塗料の耐候性を比較した結果を図11に示す。

図11 塗料種による耐候性の差



6色すべてにおいて、ふっ素樹脂塗料はポリウレタン樹脂塗料より光沢低下と変色が少ない。その違いはふっ素樹脂塗料の曝露5年の状態に達する年数で見ると、光沢低下は2.5年、変色は1.5年で、ふっ素樹脂塗料はポリウレタン樹脂塗料に対して、光沢保持で2倍、色彩保持で3倍強の耐候性を示した。

3.2.2 曝露と促進試験の相関性

曝露と促進試験の結果の相関性を、19種類の塗料の変化から求め、表7に光沢の低下に関する相関性を示し、表8に色の変化に関する相関性を示す。

曝露結果は銹子曝露の値により示すが、宮古島曝露でも同様の相関性が得られている。

表7 光沢の低下に関する曝露と促進試験の相関性

促進試験 時間 曝露期間	キセノンアーク灯式促進試験				サンシャイン灯式促進試験			
	1000 (74.5)	2000 (71.6)	3000 (66.2)	4000 (62.7)	1000 (72.2)	2000 (63.7)	3000 (53.2)	4000 (48.4)
1年(68.7)	0.89	0.85	0.84	0.77	0.86	0.69	0.58	0.64
2年(61.5)	0.78	0.71	0.71	0.63	0.72	0.54	0.47	0.56
3年(54.2)	0.68	0.60	0.60	0.52	0.55	0.32	0.26	0.35
4年(33.5)	0.39	0.29	0.29	0.23	0.23	0.01	-0.03	0.35
5年(25.5)	0.24	0.17	0.27	0.14				

- (1) 太字は、相関性が認められた組み合わせ（相関係数が 0.6 以上）である。
- (2) () 内の数値は、19 種類の塗料の光沢の平均値を示す。
- (3) 暴露期間が長くなるにつれて促進試験との相関性は低くなり、暴露 4 年以上と相関する促進試験はなかった。
- (4) 促進試験 4000 時間の結果は、キセノンアーク灯式促進試験では暴露 2 年間、サンシャイン灯式促進試験では暴露 3.5 年程度に相当する。
- (5) 促進試験の促進効率はサンシャイン灯式促進試験のほうがキセノンアーク灯式促進試験より大きかったが、暴露との相関性はキセノンアーク灯式促進試験のほうが高かった。

表 8 色の变化に関する暴露と促進試験の相関性

促進試験 時間 暴露期間	キセノンアーク灯式促進試験				サンシャイン灯式促進試験			
	1000 (1.9)	2000 (2.2)	3000 (3.6)	4000 (4.7)	1000 (2.0)	2000 (2.8)	3000 (4.8)	4000 (5.9)
1 年(3.2)	0.91	0.94	0.90	0.88	0.92	0.95	0.83	0.72
2 年(4.4)	0.83	0.89	0.87	0.89	0.85	0.88	0.77	0.62
3 年(6.6)	0.69	0.77	0.80	0.83	0.72	0.74	0.66	0.47
4 年(9.9)	0.49	0.53	0.56	0.62	0.47	0.49	0.48	0.62
5 年(11.3)	0.47	0.47	0.53	0.58				

- (1) 太字は、相関性が認められた組み合わせ（相関係数が 0.6 以上）。
- (2) () 内の数値は、19 種類の塗料の色の变化（色差 ΔE^*ab ）の平均を示す。
- (3) 暴露期間が長くなるにつれて促進試験との相関性は低くなり、暴露 4 年以上と相関する促進試験は 4000 時間だけであった。
- (4) 促進試験 4000 時間の結果は、キセノンアーク灯式促進試験では暴露 2 年間、サンシャイン灯式促進試験では暴露 2.5 年程度に相当する。
- (5) 促進試験の促進効率はサンシャイン灯式促進試験はキセノンアーク灯式促進試験より大きかったが、暴露との相関性はキセノンアーク灯式促進試験のほうがやや高かった。

暴露期間が長くなるほど促進試験との相関性が低くなるが、その理由は促進試験の劣化は 4000 時間後でも顕著ではなく、まだ直線的に変化しているのに対して、曝露結果は 4 年後で限界値に達するものがあり変化が少なくなったためである。例えば、暴露 5 年の場合急激に変色の大きかったふっ素樹脂塗料赤濃彩と赤淡彩を除外すると、キセノン試験 2000 時間と暴露 5 年間との相関係数は 0.47 から **0.86** に上昇する。

曝露結果による劣化度は塗料の種類により異なるが、曝露途中で順位が入れ替わることは少ないので 2 年程度の短い曝露年数の結果から耐候性を評価することはできると考えられる。

4. 耐候性基準の作成

キセノン灯試験と暴露との相関性が得られたので、その結果を利用して耐候性基準を作成した。

主旨

現状の JIS では光沢については数値化規定しているが変色については実質的に規定がないに等しい。このため、試験結果に基づいて光沢と変色の両方について数値化規定を作成した。

種類

塗膜の耐候性を、一般塗料と長期耐候性塗料に分類し、それぞれ試験後の光沢と色の变化

の程度で評価して、次のように1種から3種に分類した。

種別	一般塗料の評価	長期耐候性塗料の評価
1種	耐候性に優れている	長期耐候性に優れている
2種	耐候性を有する	長期耐候性を有する
3種	屋外の使用に適さない	長期耐候性を有さない

品質

一般塗料の品質はキセノンアーク灯促進試験 1000時間の結果が表のとおりとする。

60度鏡面光沢度	70以上	70未満 50以上	50未満 20以上	20未満
色差				
10未満	1種	1種	2種	2種
10以上 20未満	1種	2種	2種	3種
20以上	3種	3種	3種	3種

長期耐久性塗料の品質はキセノンアーク灯促進試験 2000時間の結果が表のとおりとする。

60度鏡面光沢度	70以上	70未満 50以上	50未満 20以上	20未満
色差				
2未満	1種	1種	2種	2種
2以上 5未満	1種	2種	2種	3種
5以上 10未満	2種	2種	2種	3種
10以上	3種	3種	3種	3種

解説

この規格で今回試験した塗料の耐候性を分類すると次のようになる

	一般塗料	長期耐久性塗料
1種	ポリウレタン グレー、青濃彩、 青淡彩、緑濃彩、緑淡彩、黄濃彩、 黄淡彩、赤濃彩、赤淡彩	ふっ素 全13色 ポリウレタン 黄+青淡彩
2種	フタル酸 グレー、青淡彩、緑濃彩、 緑淡彩	ポリウレタン 青濃彩、赤+青濃彩、 赤+青淡彩、黄+青濃彩
3種	フタル酸 青濃彩、黄濃彩、黄淡彩、 赤濃彩、赤淡彩	ポリウレタン 黄濃彩

現状 JIS の耐候性規格は次のようで、

塗料の種類	試験条件	光沢	色の変化
ポリウレタン樹脂塗料 JIS K 5565・5567	キセノン灯 500時間	保持率が 70%以上	色の変化の程度が見 本品に比べて大きく ないこと
ふっ素樹脂塗料 JIS K 5658・5659	キセノン灯 1000時間	保持率が 80%以上	

5. おわりに

耐候性について明らかにし塗料の耐候性基準も作成することができた。これが塗料を有効に使用するための一助になれば幸いである。また、この報告書の作成にあたり、技術的に深くご指導とご支持とを頂きました委員長であった吉田豊彦氏と日本ウエザリングテストセンター下谷正夫氏並びに委員各位に厚く御礼申し上げます。