

外壁用塗料の屋外暴露試験 (沖縄地方での5年間の結果)

Outdoor exposure test on external wall coating in Okinawa - 5 years Results

和田 高清*
Wada Takakiyo

石川 雄一**
Isikawa Yuichi

荒井 光興*
Arai Mitsuoki

要 約

外壁用塗料のうち、高耐候性と称されている材料について10年間の屋外暴露試験を計画し、現在までに5年間の経過した。暴露地は沖縄県糸満市で、供試塗料は、高耐候性塗料として、ふっ素系、アクリルシリコン系およびシリコン系を、また比較用の従来塗料としてアクリル系およびアクリルウレタン系を選定した。

暴露5年後までの結果では、ふっ素系やアクリルシリコン系などは、従来塗料に比べて高い耐候性を示す傾向にあり、ふっ素系とアクリルシリコン系を比較すると、ふっ素系の方がより高い耐候性を示した。ただし、ふっ素系やアクリルシリコン系の一部には、従来塗料よりも耐候性が劣るものも確認された。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 実験概要
- § 3. 実験結果および検討
- § 4. まとめ
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

外壁用塗料は、従来は竣工時における美装を主目的に選定されることが多かったが、最近では建築物の耐久性を重要視するようになり、躯体に対する保護機能や塗膜

自体の耐久性並びに美観保持の観点から耐候性が要求されるようになってきた。このような背景の下、高耐候性が期待できる常乾形の外壁用塗料が開発されてきており、その中でもふっ素系並びにアクリルシリコン系の高耐候性と称される外壁用塗料（以下高耐候性塗料）は使用量が増加している。これらの高耐候性塗料は従来塗料の2～3倍もの長期にわたって、光沢低下および変退色等の劣化が少なく、所要の美観が保持されるといわれている。ただし、コスト的にも従来のアクリル系等の塗料に比べて高価であるため、採用にあたっては、期待される耐候性が長期にわたって維持されることが必要条件と判断される。しかし、実験計画の時点では、高耐候性塗料の性能把握が不十分であった。そこで市販の高耐候性塗料のうち、実績の多い銘柄を選定し、材料選定上のデータ入手を目的に屋外暴露実験により性能評価を試みた。

* 技術研究所建築技術課

** 技術研究所技術部

§ 2. 実験概要

2-1 試験対象塗料

試験対象塗料の樹脂種類には、高耐候性塗料としてふっ素系、アクリルシリコン系（シリコン系を含む）を、比較用の従来塗料として、アクリル系とアクリルウレタン系を選定した。表-1に樹脂種類、略号の関係を示す。

また、試験対象塗料の選定では、樹脂種類のほか、硬質・軟質の塗膜タイプ、白色・茶色の2色を選定し、表-2に示す塗料製造メーカー26社66銘柄132商品を試験対象塗料とした。そのうち、高耐候性塗料は、ふっ素系が37銘柄、アクリルシリコン系（シリコン系を含む）が20銘柄である。比較用塗料は、使用実績の多い銘柄から選定し、アクリル系4銘柄、アクリルウレタン系5銘柄とした。

2-2 試験体の作製

試験体下地板は、繊維補強セメント板（JIS A 5403）とし、厚さ3mmで70mm×150mmの形状とした。この下地板を各塗料製造メーカーに送付し、各社の標準仕様により塗装した。

なお、塗装色は白色（昭和62年版日本塗装工業会標準見本色見本帳：M1-1036）および茶色（同：M28-161）を標準とし、初期光沢度はほとんどの試験体で75～90%の範囲であった。

試験体は各3枚ずつ作製し、そのうち2枚を屋外暴露に1枚を冷暗所で保管し、測定時の比較用保存板とした。

2-3 暴露地および暴露方法

(1) 暴露地

暴露地は、沖縄県本島南端の糸満市とした。沖縄県を暴露地とした理由は、紫外線量等の気象条件が厳しく、屋外暴露による劣化がより早期に生じる可能性があったため、暴露場所によっては10年程度の暴露期間では顕著な劣化傾向が確認できない可能性があった。表-3に沖縄気象台ほかでの気象データを示す。

(2) 暴露方法

暴露方法は、JIS A 1410「プラスチック建築材料の屋外暴露試験方法」に準拠したが、試験体の暴露角度は、実際の外壁面を想定して地面に垂直とし、方位は南向きとした。暴露した場所は、2階建建物の屋上で、写真-1に試験体の暴露状況を示す。なお、試験体の設置は、1年毎に上下位置を移動させ、設置位置の上下関係から生じる汚れ等による試験結果への影響を極力少なくするよう配慮した。

2-4 測定項目および評価方法

測定項目並びに評価方法を表-4に示す。

表-1 樹脂種類と略号の関係¹⁾

名称	略号	ベース樹脂	架橋構造
ふっ素系	Fr	フッ素エチレン・ビニル共重合体	ウレタン
	Fra	フッ素エチレン・ビニル共重合体、アクリルとのNAD	ウレタン
	Fs	フッ素エチレン・アクリル共重合体	ウレタン
	Ff	フッ素オレフィン共重合体	ウレタン
	Fkl	エチレン・テトラフッ素エチレン、トリフルオロエチレン、トリフルオロエチレンの3元共重合体	なし
アクリルシリコン系	As	アクリルシリコン	シリケート
	Sau	シリコン変性アクリル共重合体	ウレタン
	Sse	シリコン変性アクリル共重合体	シリケート

表-2 試験対象塗料¹⁾

区分	種 類		タイプ	記号	銘 柄 数	
					白 色	茶 色
高 耐 候 性	ふっ素 樹脂系	Fr	硬質	FrH	18社19商品	18社19商品
			軟質	FrS	12社13商品	12社13商品
		Fra, Fs, Ff, Fkl	硬質	F H	5社 5商品	5社 5商品
	アクリルシリコン 樹脂系	As	硬質	AsH	10社10商品	10社10商品
			軟質	AsS	4社 4商品	4社 4商品
		Sau, See	硬質	S H	3社 3商品	3社 3商品
			軟質	S S	3社 3商品	3社 3商品
			比 較 用	アクリル 樹脂系	A	硬質
軟質	A S	2社 2商品				2社 2商品
アクリルウレタン 樹脂系	Au	硬質		AuH	2社 2商品	2社 2商品
		軟質		AuS	3社 3商品	3社 3商品
合 計					28社132商品	

表-3 沖縄およびつくばにおける気象条件²⁾

項目 観測地	年平均 気温 (℃)	年平均 相対湿度 (%)	年積算 降水量 (mm)	年積算 全天日射量 (MJ/m ²)	年積算 紫外線量 (MJ/m ²)
那 覇	23.4	74	2008	4774	262
つくば	16.5	61	1712	4177	180

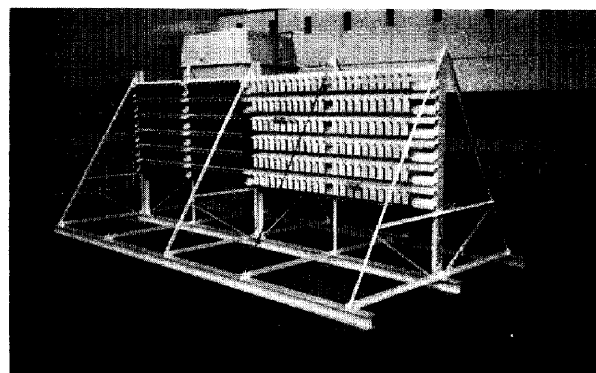


写真-1 試験体の暴露状況

表面状態の評価として、目視観察による汚れ、ふくれ、割れ、剥がれ、並びに指触およびセロテープへの付着による白亜化の程度を測定する。

また、光沢計並びに色差計により、光沢度並びに表面色を測定し、初期値に対する光沢残存率、色差を求めることとした。

測定は、暴露台から試験体を取り外し室内で行い、各2枚の暴露試験体について表面状態、光沢度および表面色を測定する。次に試験体各1枚を軟質スポンジを用いて水洗い後、測定を行うこととした。すなわち、試験体のうち1枚は測定を行う毎に水洗いを行うが、もう1枚は水洗いを行わずに暴露を継続することになり、洗浄の有無による汚れおよび劣化の違いを確認することにした。

§ 3. 試験結果および検討

本報告では、実際の外壁面に近い条件である測定時に水洗いを行っていない試験体での結果について検討する。

3-1 表面状態

表面状態の測定では、ふくれ、割れおよびはがれの塗膜の劣化、並びに汚れの付着程度を目視で観察するほか、白亜化の発生状況を測定した。このうち、ふくれ、割れ、はがれは、樹脂種類・硬軟のタイプ・色等に関わらず、一部の銘柄で確認されているが、これらは、銘柄個々の

問題または粗悪品とも考えられ、詳細な検討を行うには及ばないと判断した。よって、汚れおよび白亜化の発生状況についてのみ以下に示す。

(1) 汚れ

暴露地周辺は、交通量も少なく、大気汚染の少ない清浄な環境といえる。そのためか全体傾向としては非常に汚れが少ない。

表-5 汚れの判断基準³⁾

劣化現象	診 断 基 準	デ グ リー
汚 れ	なし ほとんどなし 認められる 顕著に認められる	CT0 CT1 CT3 CT5

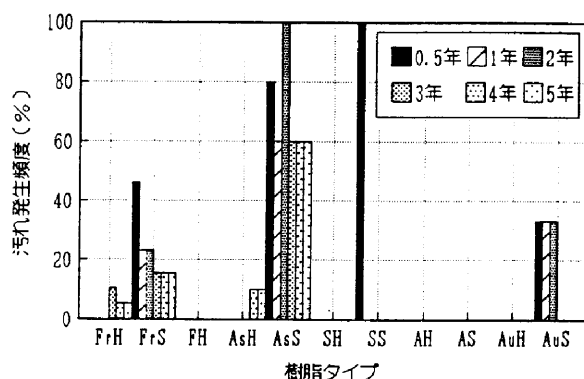


図-1 汚れの発生割合 (白色試験体 CT3 以上)

表-4 測定方法¹⁾

項 目		方 法	備 考
色 差		JIS Z 8730 色差表示方法により表面色 (X, Y, Z) を測定し ΔE (Lab) で表示する。	表面色は、試料面の最低3ヶ所を測定しその平均値とする。
光沢残存率		JIS K 5400 6・7に準拠し60度及び20度の鏡面光沢度を測定し、光沢度に対する百分率を光沢残存率として表示する。	光沢度は、試料面の最低3ヶ所 (60度光沢度の各測定値がその平均値の±10%以内の箇所) を測定しその平均値とする。
表 面 状 態	白亜化 (CK0~CK5)	セロテープに付着する粉体量から白亜化度を判定する。	白亜化測定は、指触検査にて白亜化が認められる場合にのみ実施する。
	汚 れ (CT0~CT5)	建設省総プロ「外装塗り仕上の劣化診断指針」の1次診断用デグリーに準拠し、保存版との相対比較により劣化度を決定する。 また写真撮影により表面状態を記録する	特異な劣化現象が認められた場合にのみ実施する。
	ふくれ (B0~B5)		
	割 れ (C0~C5)		
	はがれ (S0~S5)		

特に茶色試験体でこの傾向が顕著である。表-5に汚れの判断基準を示すが、白色試験体では、一部にCT3と判断されるものが確認されている。図-1に水洗い前の白色試験体におけるCT3以上の汚れが生じた割合の経年変化を樹脂種類・硬軟タイプ別に示す。

汚れの発生状況および傾向は下記の通りである。

- ①汚れは、軟質タイプに多く発生しており、硬質タイプはほとんど汚れていない。
- ②一般にふっ素系は汚れやすいといわれることが多いが、本実験ではそのような傾向は認められない。
- ③汚れは暴露初期に比較的多く確認されたが、暴露期間の経過とともに汚れが目立つ試験体の割合は減少傾向にある。暴露期間の経過により軟質塗膜が硬化して汚れが付着しにくくなっている可能性も考えられる。
- ④塗膜が白亜化すると降雨等で表面が洗い流されるためか、汚れが付きにくくなる傾向にある。

(2) 白亜化

白亜化の診断基準を表-6に示す。また、図-2に白色試験体、図-3に茶色試験体の樹脂系別での白亜化発生割合（CK1以上）の経年変化を示す。

白亜化の発生状況および傾向は下記の通りである。

- ①色による比較では、茶色よりも白色のほうが白亜化発生割合が多い。
- ②白色試験体では、暴露3年後においてすべての樹脂種類にわたって白亜化が確認されている。また茶色試験体ではふっ素系のみ暴露5年後でも白亜化を生じていないが、その他の樹脂系では暴露3年後で確認されている。
- ③暴露5年後での白亜化発生状況について樹脂種類別の比較をすると、白色試験体では、ふっ素系で50%、アクリルシリコン系で95%となる。これは、比較用のアクリル系が暴露2年後で、またアクリルウレタン系が暴露3年後で100%割合で白亜化しているよりは良好である。茶色試験体では、ふっ素系は白亜化が生じておらず、劣化程度が少ないと判断できるが、アクリルシリコン系では50%が白亜化を生じている。
- ④高耐候性塗料の白亜化による劣化程度からは、白色・茶色ともにアクリルシリコンで顕著な劣化傾向が認められる。
- ⑤白色試験体においては、ふっ素系で暴露3年後で、アクリルシリコン系で2～3年後で、それぞれ20%および50%の割合で白亜化が確認されている。これらの結果から、高耐候性塗料の中で銘柄による性能差がある可能性を感じる。
- ⑥白亜化は光沢残存率と関連して発生する傾向にあり、

表-6 白亜化の判断基準³⁾

劣化現象	診断基準	デグリー
白 亜 化	つかない	CK 0
	粉状物がほとんどつかない	CK 1
	粉状物がつく	CK 3
	粉状物が顕著につく	CK 5

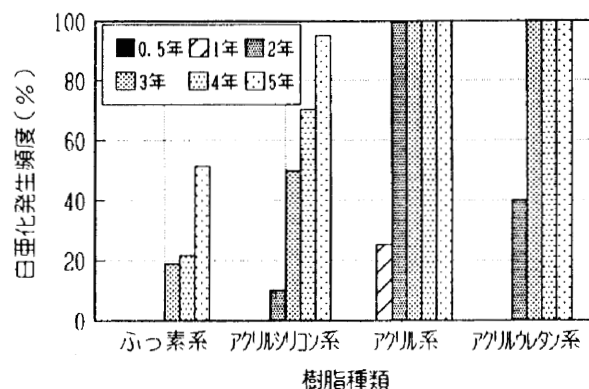


図-2 白亜化発生割合（白色試験体 CK1以上）

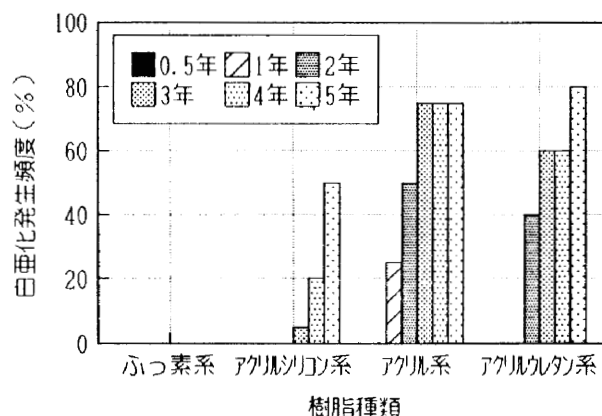


図-3 白亜化発生割合（茶色試験体 CK1以上）

ほとんどの試験体において、未洗浄での光沢残存率が60%程度まで低下するとCK1程度の白亜化が確認され、光沢残存率が30%程度でCK5の著しい白亜化に進展する傾向を示している。

3-2 光沢残存率

(1) 樹脂種類による比較

樹脂種類別の光沢残存率の経年変化を白色、茶色に分けて、図-4、図-5に示す。

光沢残存率の経年変化は下記の通りである。

- ①高耐候性塗料は、比較用の従来塗料に比べて、高い光沢残存率を示している。
- ②ふっ素系とアクリルシリコン系では、アクリルシリコン系の光沢低下が顕著である。白色では暴露2年後まではほぼ同様な傾向で光沢が低下していたが、暴露3年以降は明らかにアクリルシリコン系の光沢残存率が

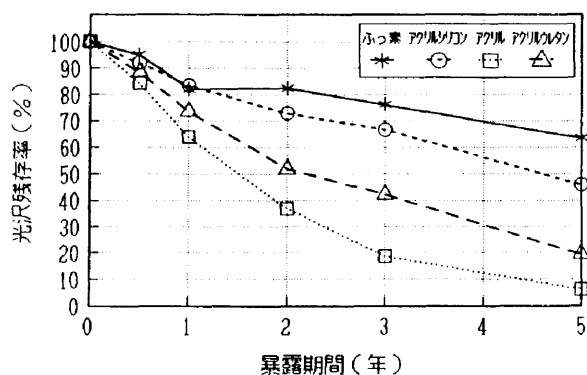


図-4 光沢残存率の経年変化 (白色 樹脂種類)

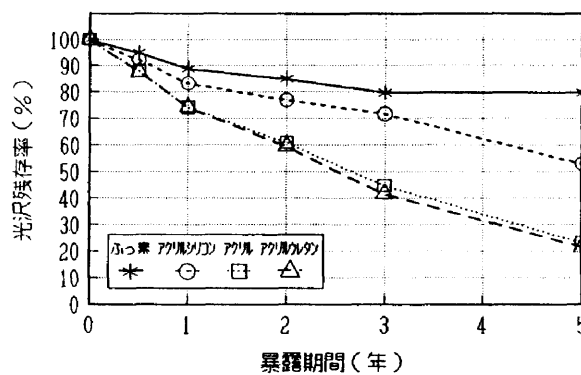


図-5 光沢残存率の経年変化 (茶色 樹脂種類)

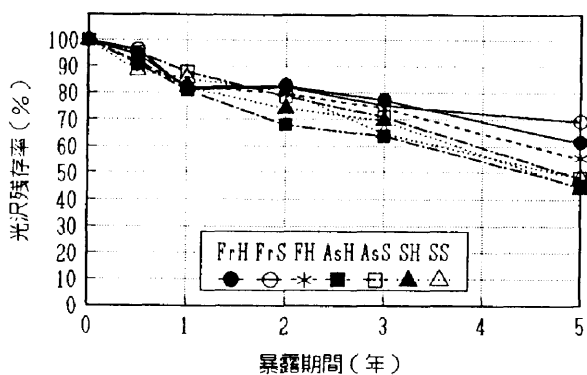


図-6 光沢残存率の経年変化 I (白色 樹脂タイプ別)

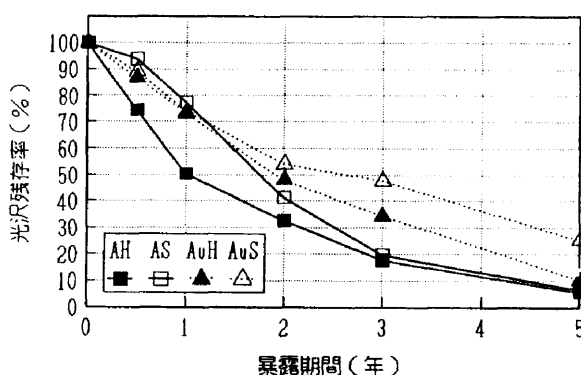


図-7 光沢残存率の経年変化 II (白色 樹脂タイプ別)

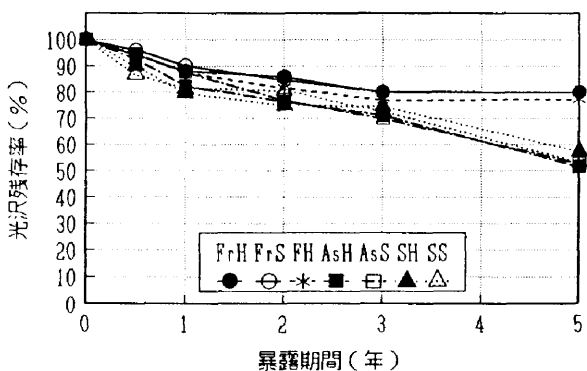


図-8 光沢残存率の経年変化 I (茶色 樹脂タイプ別)

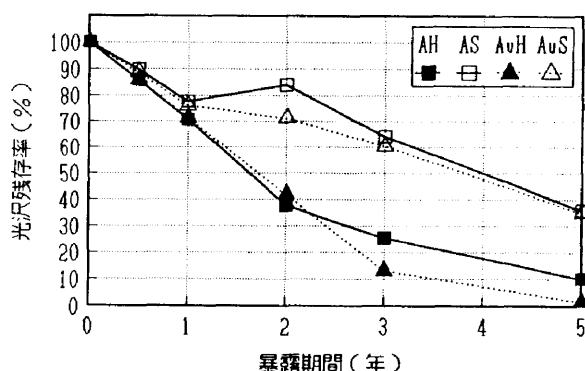


図-9 光沢残存率の経年変化 II (茶色 樹脂タイプ別)

低下傾向を示している。茶色では暴露1年後からアクリルシリコン系の方が光沢残存率が低くなっているが、暴露3年後までは僅かな差であった。しかし、フッ素系が暴露2年後から5年後までほとんど光沢が低下していないのに対し、アクリルシリコン系では5年後に著しい光沢低下を示している。

- ③アクリル系およびアクリルウレタン系は、暴露期間の経過に従って光沢が低下し、暴露5年後では白色・茶色ともに光沢残存率が20%程度以下まで低下している。

白色ではアクリルウレタン系の方が光沢低下が少ないが、茶色ではほぼ同様の傾向を示している。

(2) 硬軟タイプによる比較

樹脂タイプ別の光沢残存率の経年変化を高耐久性塗料について図-6、図-8に、従来塗料について図-7、図-9に示す。

樹脂タイプ別の光沢残存率の経年変化は下記の通りである。

- ①暴露5年後の光沢残存率は、白色試験体では、フッ素

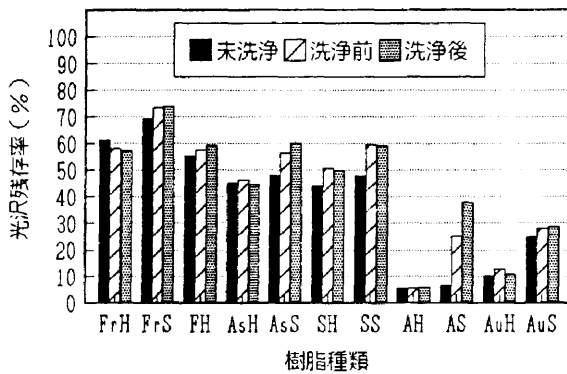


図-10 光沢残存率 (白色 5年後 洗浄の有無)

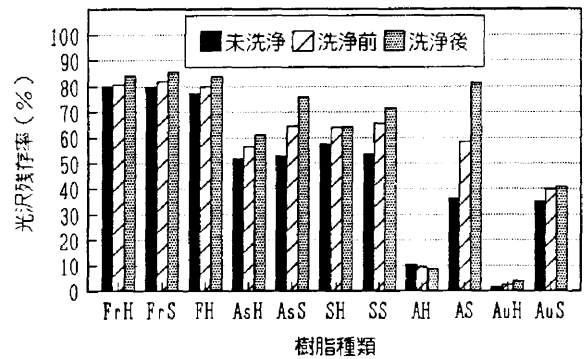


図-11 光沢残存率 (茶色 5年後 洗浄の有無)

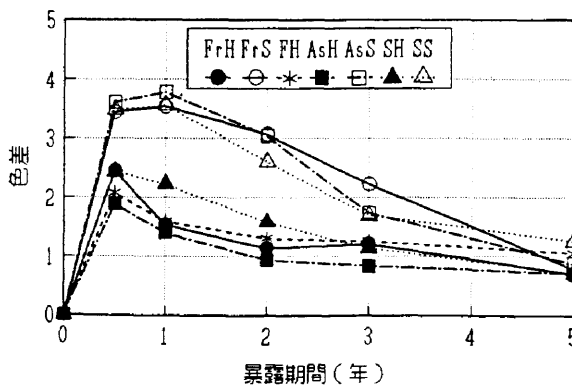


図-12 色差の経年変化 I (白色 樹脂タイプ別)

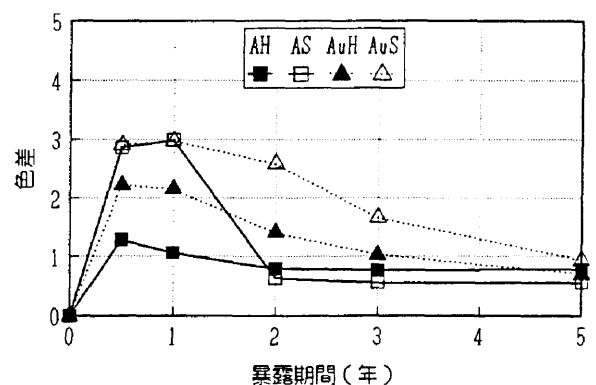


図-13 色差の経年変化 II (白色 樹脂タイプ別)

系、アクリルシリコン系とも硬質より軟質タイプの方が高い光沢残存率を示している。これに対し茶色では硬質・軟質ともにほぼ同程度である。

- ②樹脂・タイプ別に分類した場合においても、アクリルシリコン系よりもフッ素系の方が、明らかに光沢残存率が高い傾向にある。

(3) 洗浄の有無による比較

暴露5年後における樹脂タイプ別の光沢残存率を、洗浄を行わない試験体、洗浄を行う試験体での洗浄前後について、図-10、図-11に示す。

洗浄の有無による光沢残存率は下記の通りである。

- ①フッ素系に関しては、硬軟タイプに関わらず、洗浄の有無、洗浄前後での光沢残存率の差は僅かである。
- ②アクリルシリコン系では、測定時に洗浄を行っている試験体の方が洗浄しないものより、光沢残存率が高い傾向にあり、特に軟質タイプで顕著である。
- ③比較用の従来塗料では、白色・茶色ともにアクリル系の軟質タイプで洗浄している試験体の方が明らかに光沢残存率が高く、またこの傾向は洗浄前後の光沢残存率でも同様である。ただし、アクリル系の軟質は2銘

柄のみの結果であり、採用した銘柄特有の性質である可能性が高い。

- ④暴露地の環境は、非常に清浄であり、付着する主な汚れ物質は砂塵等と推定される。暴露地の環境によっては、この実験結果と異なる傾向を示す可能性もあると考えられる。

3-2 色差

(1) 樹脂種類・硬軟タイプでの比較

樹脂種類・硬軟タイプ別の色差の経年変化を、高耐候性塗料について図-12、図-14に、また従来塗料について図-13、図-15に示す。

樹脂種類・硬軟タイプ別の色差の経年変化は下記の通りである。

- ①白色試験体の色差は暴露1年後までは増加したが、その後は次第に低下している。また軟質タイプの色差が大きい傾向を示しており、汚れの影響と判断できる。
- ②茶色試験体の傾向は白色とは異なり、暴露1年後以降は、色差次第に増加している。これは、経年により変退色を生じているためで、光沢低下の少ないフッ素系では色差がほとんど変化していないのに対し、光沢低

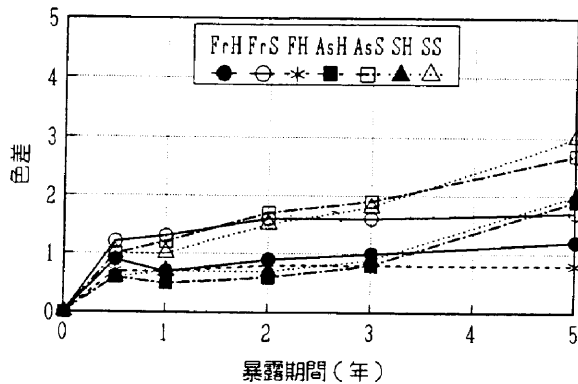


図-14 色差の経年変化Ⅰ（茶色 樹脂タイプ別）

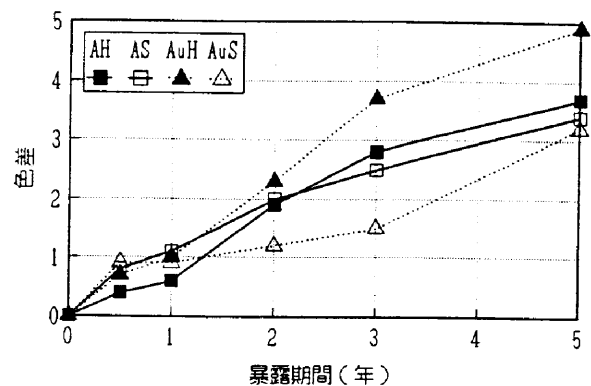


図-15 色差の経年変化Ⅱ（茶色 樹脂タイプ別）

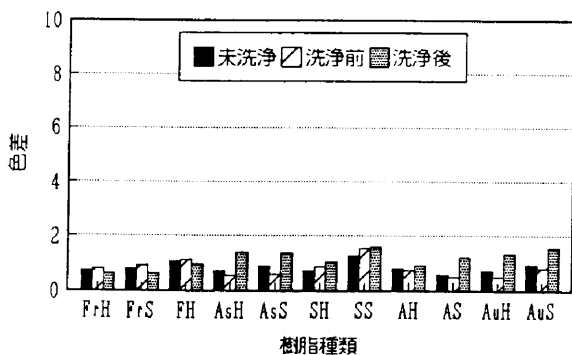


図-16 色差（白色 5年後 洗浄の有無）

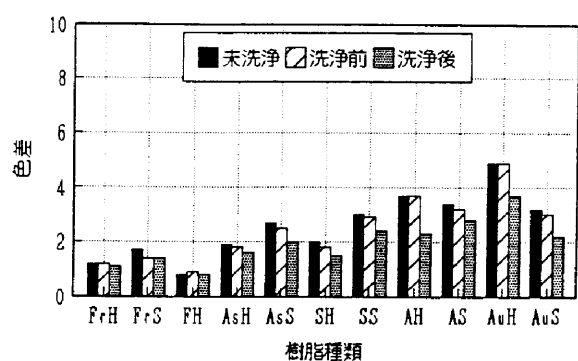


図-17 色差（茶色 5年後 洗浄の有無）

下の大きい従来塗料およびアクリルシリコン系では色差が増加しており、特に暴露3年後から5年後での増加が顕著である。ただし、白色と同様に軟質タイプの色差の方が硬質より大きい傾向にあり、汚れの影響を受けているようだが、その程度は白色に比べ小さい。

- ③白色試験体では、白亜化が生じるまで劣化が進行すると、色差の値は低下する傾向を示している。これは、汚れと同様に白亜化により降雨時に表面の汚れや白亜化した塗膜が洗い流されるためと推定できる。これに対し茶色試験体では、白亜化が生じるまで劣化すると変退色が顕著となり、結果として色差は増加している。白色では汚れが影響し、茶色等の有彩色では劣化による変退色が色差の値と関連していると判断できる。

(2) 洗浄の有無による比較

暴露5年後における樹脂種類・硬軟タイプ別の色差を、洗浄を行わない試験体、洗浄を行う試験体での洗浄前後について、図-16、図-17に示す。

洗浄の有無による色差の傾向は下記の通りである。

- ①白色・茶色ともに、洗浄しないものと1年毎に洗浄したものとの色差の差は顕著には認められない。これは、暴露地の清浄な環境に影響されている。

- ②白色試験体では、ふっ素系は洗浄による色差の変化はほとんど認められない。アクリルシリコン系および従来塗料において、洗浄後に僅かに色差が大きくなる傾向を示している。これに対し、茶色では洗浄後に色差が低下する傾向を示している。暴露初期においては白色も茶色と同様に洗浄後に色差が低下していたので、経年劣化による変化とも考えられる。

§ 4. まとめ

高耐候性塗料の屋外暴露試験について、暴露5年後までの検討結果をまとめて以下に列記する。

- ①高耐候性塗料は従来塗料に比べ、明らかに光沢低下や色差が小さい傾向にある。
- ②アクリルシリコン系はふっ素系より耐候性が劣る傾向にある。
- ③硬質・軟質のタイプ別での比較では、軟質の方が光沢低下や色差が小さい傾向を示した。ただし、軟質は周辺環境が汚染されている場合には、汚れにより光沢や美観が低下する可能性も考えられる。
- ④色別で光沢残存率を比較すると、樹脂種類・硬軟タイプ

プに関わらず、茶色試験体の方が光沢低下が少ない。
茶色は光沢が低下するとともに色差が大きくなる。

- ⑤ふっ素系，アクリルシリコン系の一部には従来塗料と同程度以下の光沢残存率，色差しか保持しない銘柄が確認された。材料選定上注意を要すると判断される。
- ⑥ふっ素系は汚れやすいと指摘されることが多いが，沖縄での結果ではそのような傾向は認められず，軟質タイプが汚れやすい傾向にあった。

§ 5. おわりに

本研究は，社団法人建築業協会での「高耐候性材料評価研究会」で行った研究成果の一部であり，研究成果を纏めて，B C S方式高耐候性塗料評価基準（案）が提案されている。最後に関係各位に感謝を位を表します。

参考文献

- 1) 岩井，矢野ほか：外壁用塗料の耐候性に関する研究
その1～その4，日本建築学会大会，1991，9
- 2) 日本気象協会：オゾン層気象年鑑，1994年版
- 3) (財)国土開発技術研究センター編：外装仕上げの耐久性向上技術