

防汚を目的とした外壁用塗装材料の耐久性に関する検討

The Durability of Top Coatings for Outer Walls and their Antifouling Properties

建築技術部	小久保正美	MASAMI KOKUBO
建築技術部	樋口 義次	YOSHITSUGU HIGUCHI
建築技術部	川西 毅	TAKESHI KAWANISHI
	蓮尾 孝一	KOICHI HASUO
	松田 拓	TAKU MATSUDA

防汚を目的とした外壁用塗装材料の耐久性、防汚性について検討した。その結果、低汚染型ふっ素樹脂系塗装材料は、耐候性、防汚性に優れていることが明らかになった。一方、光触媒塗装材料は、耐候性に劣る傾向があること、防汚性は優れているものの、シリコン樹脂系シーリング材から発生する汚れや金属の錆汁、汚染物を含んだ雨水（汚濁水）が伝わる壁面の汚れに対しては防汚効果が期待できにくいことがわかった。

キーワード：耐候性、防汚性、屋外暴露試験、ふっ素樹脂、光触媒

The durability of coatings for outer walls and their antifouling properties were examined. The studies indicated that low contamination type fluoro resin coatings had excellent weathering and antifouling properties. Alternatively photocatalyst coatings tended to have been inferior to weathering. Further to this, there are no antifouling properties resistant to staining from silicone resin and rust fluid.

Key Words: weathering, antifouling property, outdoor exposure test, fluoro resin, photocatalyst

1. はじめに

外壁用塗料として、常温乾燥型ふっ素樹脂系塗料やアクリルシリコン樹脂系塗料等、高耐候性塗料が使用されるようになってから約20年が経過する。

当初、これら高耐候性塗料は、塗替え周期の延長が可能となり、ランニングコストの低減を図る上で有効と考えられていた。しかし、高耐候性は実証されたものの、汚れやすいことが課題であった¹⁾。昨今では、塗料中に含有する低汚染化材料が塗膜乾燥過程で塗膜表面に配向され、大気中の水分や雨水等と反応して加水分解する、親水性を高めた高耐候性塗料^{2),3)}が開発され、主流となっている。またその一方で、多くの産業分野で注目されている光触媒を応用した塗装材料も上市されている⁴⁾が、実用化されてからの年月が浅く、その耐久性も十分に検証されているわけではない。

このような背景から、本研究は、防汚性を有する外壁用塗装材料の屋外暴露試験ならびに適用建物の実態調査を行い、耐久性を把握するとともに、防汚機能を発揮するための設計上の留意点を抽出することを目的とした。

2. 屋外暴露試験概要

(1) 評価対象塗装材料

表-1に試験体の概要を示す。評価の対象とした試験体は、高耐候性塗装材料5種類（従来型ふっ素樹脂系塗装材料1種類（記号a）、低汚染型ふっ素樹脂系塗装材料4種類（記号b, c, d, e））、光触媒塗装材料7種類（常温乾燥型光触媒塗装材料2種類（記号f, g）、アクリルシリコン樹脂系塗膜の上に光触媒塗装材料を施した試験体4種類（記号h, i, j, k）、焼付硬化型光触媒塗装材料1種類（記号l））の合計12種類とした。

表-1 評価対象塗装材料

塗装材料種別	硬化条件	記号
従来型ふっ素樹脂系 ^{*1}	常温乾燥	a
低汚染型ふっ素樹脂系	常温乾燥	b, c, d, e
光触媒	常温乾燥	f, g
アクリルシリコン樹脂系 +光触媒 ^{*2}	常温乾燥	h, i, j, k
光触媒 ^{*2}	焼付乾燥	l

*1 従来の低汚染機能の少ない塗装材（比較用）

*2 クリアタイプ。それ以外は白色系

(2) 試験体

試験体は、図-1に示すような500mm×150mm×1mmのアルミニウム板を45°に折り曲げたものを基板とし、表-1に示す塗装材料を塗布した(各試験体数1)。

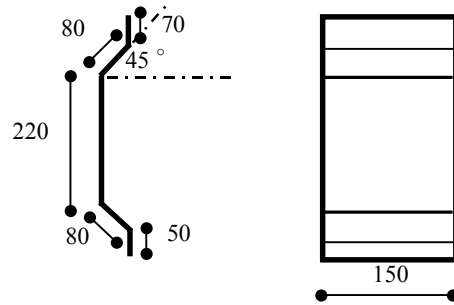


図-1 試験体形状

(3) 暴露方法

屋外暴露試験は、JIS K 5600-7-6 : 2002 (塗料一般試験方法第7部: 塗膜の長期耐久性第6節: 屋外暴露耐候性)に準拠し、当社技術研究所本館屋上(千葉県流山市)において、南面垂直暴露とした(写真-1)。

(4) 暴露開始時期

高耐候性塗装材料(記号a~e)は、2002年9月に開始した。また、光触媒塗装材料(記号f~l)は、高耐候性塗装材料の暴露試験を開始してから1.5年後の2003年4月に開始した。

(5) 評価項目および方法

表-2に評価項目およびその方法を示す。ここで、高耐候性塗装材料の評価時期は、暴露前および暴露後1.5年、3年とし、光触媒塗装材料は暴露前および暴露後1, 2, 6ヶ月, 1年, 1.5年とした。また、測定に当たっては、すべて雨水による洗浄が得られた後(降雨後5~7日経過)に行った。



写真-1 屋外暴露試験状況

表-2 評価項目および方法

評価項目	方 法
外 観	塗膜の変退色、光沢低下、割れ、剥がれ等を指触・目視観察した
光沢残存率 ^{*3}	JIS Z 8741:1997 鏡面光沢度 - 測定方法 - に準拠し、光沢度計(スガ試験機(株)製携帯光沢計 HA-GS)を用いて、60度鏡面光沢度を測定し、光沢残存率(%)にて評価した
明度差 ^{*3}	JIS Z 8730:2002 色の表示方法 - 物体色の色差に準拠し、携帯色彩色差計(ミノルタ(株)製CR-231測定径25mm)を用いて、明度差(ΔL*)にて評価した

*3 測定箇所は、試験体垂直平面部5箇所(上部2箇所, 中央部1箇所, 下部2箇所)とし、平均値を求めた

3. 適用建物の実態調査概要

(1) 調査対象建物

調査の対象とした建物は、東京都内および近郊における7件とした(表-3)。また、調査建物の選定に当たっては、極力、屋外暴露試験と同一塗料を施工したものとした。

(2) 調査方法

塗膜の割れ、剥がれや汚染状況、白亜化の有無等を目視および指触により調査した。

4. 屋外暴露試験結果および考察

(1) 屋外暴露試験結果

a) 外観

すべての試験体において、顕著な汚れは認められなかった。しかし、光触媒塗装材料は7試験体中5試験体で白亜化が確認された(表-4)。特にアクリルシリコン樹脂系塗膜の上に光触媒塗装材料を施した試験体では、早いもので暴露6ヶ月の時点で白亜化が生じており、暴露

表-3 調査建物概要

塗装材料種別	用 途	下地の種類	経過年数	建物記号
従来型ふっ素樹脂	事務所	ALC (新設)	13	A
低汚染型ふっ素樹脂	集合住宅	コンクリート (新設)	4	B ^{*4}
	事務所	ガラス (新設)	3	C
		トイレ	コンクリート (新設)	2
	事務所	コンクリート (塗替え)	3	E ^{*5}
	事務所	コンクリート (塗替え)	3	F ^{*5}
光触媒	事務所	コンクリート (塗替え)	3	G ^{*6}

*4 表-1のeと同一材料 *5 表-1のfと同一材料

*6 表-1のgと同一材料

表-4 光触媒塗装材料の白亜化確認時期

塗装種別	記号	暴露期間			
		6M	1Y	1.5Y	3Y
従来型ふっ素	a	○	○	○	○
低汚染型ふっ素	b-e	○	○	○	○
光触媒	f	○	○	×	-
	g	○	○	○	-
	h	×	×	×	-
アクリルシリコン+光触媒	i	○	○	○	-
	j	○	×	×	-
	k	×	×	×	-
光触媒	l	×	×	×	-

凡例：○健全 ×白亜化発生

1.5年では4試験体中3試験体で発生していた。このことは、光触媒の活性によりアクリルシリコン樹脂系塗膜が分解されたためである⁵⁾と考えられる。

b) 光沢残存率

図-2、図-3に高耐候性塗装材料（記号a～e）および光触媒塗装材料（記号f～l）の光沢残存率の経時変化をそれぞれ示す。

高耐候性塗装材料の光沢残存率は、暴露3年においてすべて80%以上と高い値を示している。

また、光触媒塗装材料の光沢残存率は、経時に伴い低下する試験体が多い。特に試験体f、h、k、lでは、暴露後1年までの低下が大きく、その後は横這いあるいは若干の増加を示しており、塗膜の白亜化に起因しているものと推測される。一方、試験体i、jでは、暴露初期段階（1ヶ月～2ヶ月）で低下し、その後上昇している。このことは、暴露初期の段階は、塗膜表面が親水化する時期である⁶⁾と考えられ、塗膜表面の微細な凹凸に起因しているのではないかとと思われる。

さらに、暴露1.5年で90%を超え、白亜化も生じていない試験体g、iの塗膜は健全であると判断できる。

c) 明度差

図-4、図-5に高耐候性塗装材料および光触媒塗装材料の明度差の経時変化をそれぞれ示す。

低汚染型塗装材料は、暴露3年で-1～-3と小さい値を示しており、銘柄間の差異はほとんどない。

それに対し光触媒塗装材料は、暴露1.5年で2～-5と防汚性が良好と判断できる範囲内にある⁷⁾ものの、銘柄による差異がある。中でも、白亜化が生じていない高光沢残存率（90%以上）を示す試験体g、iは、-2以上と小さく、防汚性を有する塗膜としての健全性も確認できた。一方、白亜化が生じている試験体（f、h、j、k、l）は、小さい値を示すものがあるが、このことは、塗膜表面の劣化物質が雨水により洗い流されたためであると推測でき、付着した汚れ物質も同時に流されたことも考えられる。

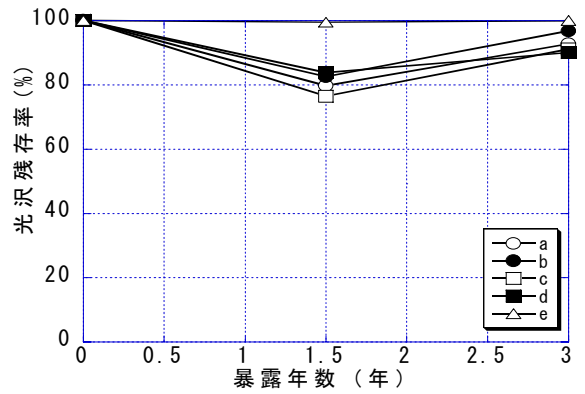


図-2 高耐候性塗装材料の光沢残存率

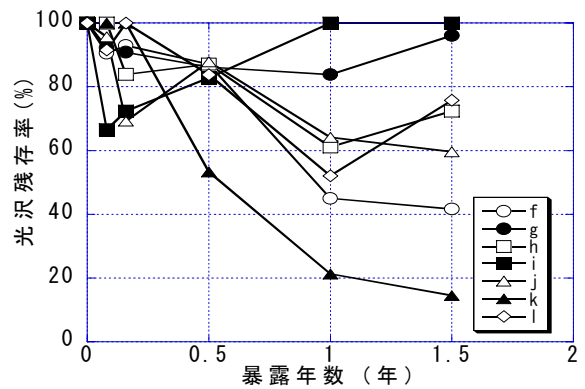


図-3 光触媒塗装材料の光沢残存率

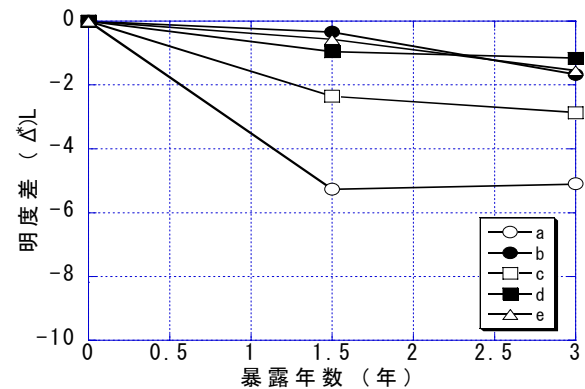


図-4 高耐候性塗装材料の明度差

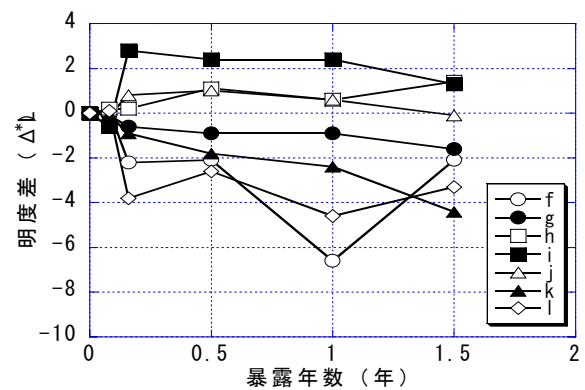


図-5 光触媒塗装材料の明度差

(2) 考察

高耐候性塗装材料のうち、低汚染型ふっ素樹脂系塗装材料は、防汚性および耐候性とも良好であり、両性能を有したバランスの取れた塗装材料と判断できる。

一方、光触媒塗装材料は、短期間で白亜化を生じるものが数多く存在するため、長期の耐候性に問題があることに注意すべきである。また、下地が有機塗膜の場合、光触媒の活性に起因すると思われる有機塗膜の分解が認められたことから、有機塗膜の保護と接着性を有する下塗材（バリアコート）にも配慮しなければならず、適用に当たっては、試験施工等により塗膜の経時変化を観察し、その結果を基に適否の判断を行う必要がある。

5. 適用建物の実態調査結果および考察

(1) 適用建物の実態調査結果

a) 従来型ふっ素樹脂系塗装材料（A建物）

A建物は、施工後13年を経過した一般地域に建つ建物である。

写真-2に外壁の汚れ状況を示す。方位に関係なく、外壁全体に雨ずじりの汚れが認められるが、白亜化は生じていない。

また、屋上パラペット笠木下端の外壁面は、汚染物が直接壁面に伝わらない納まりとなっているため、汚れはほとんど認められない。

b) 低汚染型ふっ素樹脂系塗装材料（B建物）

B建物（表-1中記号eの塗装材料を適用）は、施工後4年を経過した一般地域に建つ建物である。

写真-3に外壁サッシュ廻りの状態を示す。柱と壁の取合い部のシーリング材に雨ずじりの汚れが若干認められるが、それ以外の汚れはほとんど生じていない。

c) 光触媒塗装材料（C建物）

C建物は、施工後3年を経過した交通量の多い道路に面した場所に位置する建物で、ガラス部分にクリア塗装材料が施されている（写真-4）。

庇直下の壁面は、雨水がほとんど当たらず、洗浄効果が得られにくいため、ガラス表面に塵埃の蓄積が認められた。また、雨水が直接当たり、洗浄効果が得られる垂直壁面であっても、ガラス廻りにはシリコン樹脂系シーリング材から生じた未反応のシリコンによる汚染が見られたことから、光触媒塗装材料は、シリコンオイルを分解する機能を有していない^{8),9)}ことが確認できた。

d) 光触媒塗装材料（D建物）

D建物（表-1中記号fを適用）は、C建物と同一敷地内に建つ建物で、施工後2年を経過したものである。白亜化は生じていないが、落とし目地に顕著な汚れが確認



写真-2 A建物 外壁面の汚染状況



写真-3 B建物 外壁面の状況



写真-4 C建物 外壁面の状況



写真-5 D建物 落とし目地の汚れ状況

できた（写真-5）。この汚れは、外壁天端の水平部分に堆積した塵埃と雨水が混合し形成された汚濁水が、垂直部の落とし目地に直接伝わったために発生したと思われる。

e) 光触媒塗装材料 (E 建物)

E 建物は、施工後 3 年を経過した交通量の多い道路に面した所に位置する建物で、D 建物と同銘柄の塗装材料が施されている。白亜化は生じていないものの、汚濁水が底上部の水平面から庇鼻先の垂直面に流れたために生じた雨すじ状の汚れが認められた (写真-6)。

D 建物でも確認できたように、外壁やバルコニー壁の天端あるいは屋上パラペット笠木、底上部等、汚染物を含んだ雨水 (汚濁水) が、水平面から垂直面へ直接伝わるような部位では、防汚性能が発揮されにくいことが確認できた。

また、錆汁に対する分解機能もないと考えられるため、錆汁が生じにくいアルミニウムやステンレス部材を選定する配慮が必要である (写真-7)。

f) 光触媒塗装材料 (F 建物)

F 建物は、施工後 3 年を経過した交通量の多い道路に面し、D 建物および E 建物と同様の塗装材料を適用した建物である (写真-8)。壁面の汚れが若干認められ、微少な白亜化も確認された。屋外暴露試験でも、暴露後 1.5 年で白亜化が確認されており、D・E 建物で白亜化は生じていないものの、比較的短期間で塗膜の劣化が生じるのではないかと推測する。

g) 光触媒塗装材料 (G 建物)

G 建物 (表-1 中記号 g を適用) は、施工後 3 年を経過した交通量の多い道路に面した建物である。

外観上、白亜化や顕著な汚れは認められなかったが、雨水が直接当たらず、洗浄効果が得られない階段裏には塵埃の蓄積が確認できた (写真-9)。

(2) 考察

防汚性を有する塗装材料は、雨水による洗浄効果によりその性能が発揮されるため、雨水が直接当たる面に適用することが絶対条件となる。しかし、汚染物を含んだ雨水 (汚濁水) が、直接壁面を伝わるような部位に適用しても防汚の効果は期待できない。したがって、汚濁水が壁面へ付着しないように水返しや水切り等を設置する設計を行うことが重要である。

また、光触媒塗装材料の防汚性の特徴として、上記の汚れ現象以外にも、シリコンオイルや金属の錆に対する防汚性能は有していないため、現時点では、ガラスシール材として多用されているシリコン樹脂系シーリング材廻りの汚れは回避できないと考える。

一方、金属の腐食に伴う錆汁の汚染を回避するためには、錆汁が発生しにくいアルミニウムやステンレス部材を選定するなどの配慮が必要である。



写真-6 E 建物 庇鼻先の汚れ状況



写真-7 E 建物 錆汁による汚れ状況



写真-8 F 建物 外壁面の状況



写真-9 G 建物 塵埃の蓄積による汚れ状況

6. 設計上の留意点

適用建物の実態調査を行ったことは、屋外暴露試験では得られにくい納まり上の問題点等、意匠設計や材料設計を行うための実用上の留意点を抽出する上で有効であった。

また、上記の結果を基に防汚を目的とした外壁用塗装材料について、現時点で考えられる設計上の留意点を以下に記す。

(1) 塗装材料の選定

防汚を目的とした代表的な外壁用塗装材料には、低汚染型ふっ素樹脂系塗装材料と光触媒塗装材料がある。

今回実施した屋外暴露試験や適用建物の実態調査結果から、低汚染型ふっ素樹脂系塗装材料は、耐候性、防汚性のバランスが取れているだけでなく、銘柄による差異はほとんどないことが確認できたが、一方で光触媒塗装材料は、耐候性に劣ることや銘柄により性能に差異があることが明らかになった。したがって、今回得られた屋外暴露試験ならびに適用建物の実態調査結果から判断すると、現時点においては光触媒塗装材料よりも低汚染型ふっ素樹脂系塗装材料を選定することが望ましい。

(2) 形状・納まり

防汚性のある塗装材料は、壁面に付着した塵埃が雨水により洗浄されやすい塗膜表面を形成しているため、庇上裏や階段裏等の雨水が当たらない部位に適用しても、防汚効果は得られない。また、雨水が直接当たる部位であっても、突出部のある壁面のように汚染物を含んだ汚濁水が直接伝わるような納まりでは、防汚の効果はあまり期待できないため、汚濁水の移動経路に配慮した水切り計画を行う等の基本的な設計手法が要求される。

7. まとめ

防汚を目的とした外壁用塗装材料の屋外暴露試験および適用建物の実態調査より、以下のことが把握できた。

- (1) 低汚染型ふっ素樹脂系塗装材料は、耐候性、防汚性のバランスが取れており、銘柄による差異はほとんどない。
- (2) 光触媒塗装材料は、低汚染型ふっ素樹脂系塗装材料と比較すると、耐候性が劣るものが多い。また、有機塗膜に光触媒塗装材料を施す場合、上塗材の防汚性能や耐候性能に注意するだけでなく、下塗材（バリアコート）にも配慮しなければならない。したがって、このような場合には試験施工等を実施し、塗

膜の経時変化を観察した結果を基に、仕様の適否の判断を行う必要がある。

- (3) 光触媒による防汚性能の特徴として、汚染物を含んだ雨水（汚濁水）が壁面を伝わるような部位・納まりでは防汚の効果があまり期待できないこと、シリコン樹脂系シーリング材から生じる溶出オイルや錆汁の汚染に対しても、大きな期待はできないことが挙げられる。
- (4) 防汚性を付与した外壁塗装材料を適用する場合、その防汚性能を十分に発揮させるには、防汚の原理をよく理解するとともに、汚濁水による壁面の汚染を抑制できるような水切り計画を行う等、基本的な設計手法が要求される。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、塗装材料メーカーの方々に多大な御協力をいただいた。ここに記して深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 今泉勝吉ほか：外壁用仕上塗料の耐候性に関する考察（その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）、pp.437-438、1990.10
- 2) 才川圭一郎ほか：塗膜上に発生した雨筋汚れの評価方法に関する研究（その1）、日本仕上学会大会学術講演会研究発表論文集、pp.69-72、2001.10
- 3) 建設省土木研究所：官民連帯共同研究「構造物の防汚技術の開発」（構造物の防汚技術の開発に関する講習会テキスト）、1999.11
- 4) 藤嶋昭ほか共著：光クリーン革命、シーエムシー、1997.1
- 5) 三浦勇雄：建物外壁汚れの種類と防止策の現状、月刊建築仕上技術、VOL.29 NO.348、pp.36-39、2004.7
- 6) 久我辰彦ほか：水性光触媒塗料の耐久性に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道）、pp.1101-1102、2004.8
- 7) 犬飼達雄ほか：光触媒を利用した外装仕上材料の屋外暴露試験における防汚性評価、日本建築学会構造系論文集、pp.9-14、2003.2
- 8) 久保田浩：光触媒を応用した塗料の耐汚染性に関する評価、日本仕上学会大会学術講演会研究発表論文集、pp.69-72、2002.9
- 9) 三浦勇雄ほか：電気表面抵抗による建材の抗菌および防汚性能の評価に関する研究（その6）、日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、pp.65-66、2003.9