

# 外装仕上材の汚れ防止性能評価

## — その 2 曝露 1 年結果と汚れ予測 —

### Performance of Low Pollution Paints for Building Envelops

#### - Part 2 An Exposition One-year Result and Expectation of Dirt -

中村裕介\* 茂木正史\* 小河義郎\*

#### 要 旨

建物の長寿命化やメンテナンスフリーといった観点から建物外観の汚れ防止を目的とした塗料が汎用化しつつあるが、性能について統一された評価基準がない。そこで複数メーカーの製品について汚れ防止性能や特性を比較することを目的に、58 種類の塗料を対象に屋外曝露試験を行っている。本報告は屋外曝露 1 年により得られたデータの分析結果と短期間での評価方法について述べたものである。

キーワード：屋外曝露、水接触角、雨筋汚れ、早期評価

#### 1. まえがき

外装仕上塗材に対して長寿命化やメンテナンスフリーという観点から長期耐久性が望まれるようになり、約 20 年前にアクリルシリコン樹脂塗料やふっ素樹脂塗料が登場した。耐久性向上により塗替え期間が大幅に延びると美観維持も必要となり、現在では耐久性に汚染防止性能を付加した材料が開発されている。また環境保護や化学物質過敏症の問題から有機溶剤を低減した弱溶剤系塗料や水系塗料へのシフトが進んでいる。(図-1、図-2)

本研究では市販されている低汚染型塗料について、汚れ防止性能や特性を評価している。前報<sup>1)</sup>では速報版として屋外曝露 6 ヶ月までの試験結果を報告した。本報は曝露 1 年までの試験結果を報告するとともに、現行で多種ある銘柄のほか、新規開発される商品にも対応すべく、短期間で汚れを予測するための評価方法について考察する。

#### 2. 低汚染化の原理

低汚染型塗料は図-3 に示すように、樹脂に複合したセラミック成分などにより親水基である OH 基を生成し塗膜表面に親水層を形成させる。この親水層により排気煤煙など親油性汚染物質が付着しにくくなり、図-4 のように雨水が汚れ物質の下に入り込んで洗い流すセルフクリーニング効果が生じる。ただし親水層の形成は塗料塗布後、数ヶ月を要する。

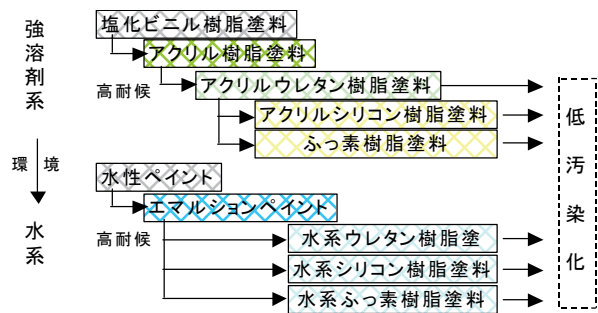


図-1 建築用塗料の流れ

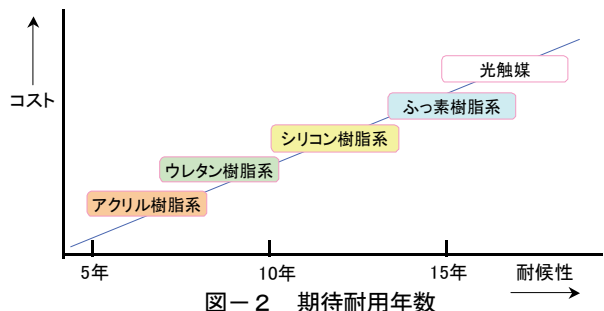


図-2 期待耐用年数

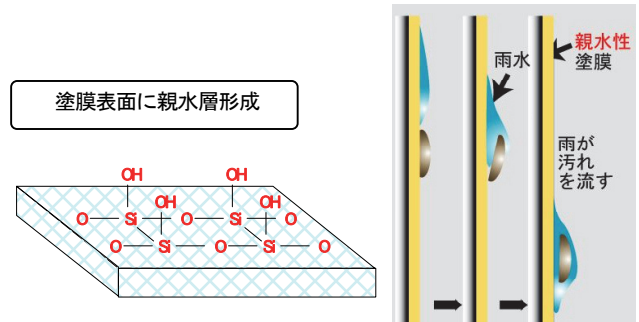


図-3 塗膜表面のメカニズム

図-4 自己洗浄効果

\*技術研究所

3. 試験概要

3.1 試験体

試験体は比較用の一般塗料を含み 58 種類、うち光触媒は5種類を選定した。表-1に試験体材料一覧を示す。試験体は写真-1の通り白色とし、上部に傾斜を設けて垂直面に雨筋汚れを発生しやすい形状とした。曝露試験は大型車の通行量の多い相模原市の国道16号沿いにあるRC造3階建て建築物屋上に、写真-2のように南向きに設置して行った。

3.2 測定方法

曝露開始から1ヶ月毎に測定を行い、曝露前の初期値と比較することで評価した。以下に各評価項目を示す。

a. 明度差

明度差は明度の変化が少ない、すなわち0に近いほど汚れにくい事を表す。土木用防汚材料I種<sup>2)</sup>では屋外土木構造物およびその付帯設備で $\Delta L^* - 7$ 以上を性能規準に規定している。本試験では試験体傾斜部と最下部拭取り後を対象として、汚れの蓄積と洗浄回復性を確認した。明度測定状況を写真-3に示す。なお表-2に示す米国NBS(国家標準局)の定める色差感覚 $\Delta E^*$ は対象色が無彩色(白黒)の場合に $\Delta L^*$ と等しく、色差の絶対値を表している。明度差は下式より求めた。

$$\text{明度差 } \Delta L^* = \text{曝露後の明度 } L_1^* - \text{初期明度 } L_0^*$$

b. 光沢保持率

耐久性を表す光沢保持率は数値の大きいほど高耐候性であることを示す。JIS A 6909「建築用仕上げ塗材」では80%以上を耐候形として定めている。光沢度の測定状況を写真-3に示す。光沢保持率は下式より求めた。

$$\text{光沢保持率}(\%) = \text{曝露後の光沢度} / \text{初期光沢度} \times 100$$

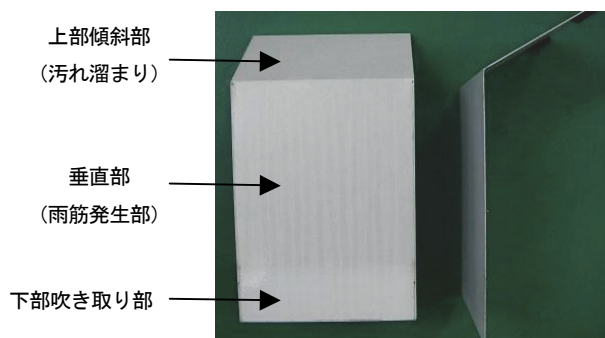


写真-1 試験体形状と計測部位



写真-2 屋外曝露試験外観(相模原)と沿道の状況

表-1 試験体材料と記号名

	樹脂系	溶媒	種類	記号
低汚染型塗料	ふっ素樹脂	溶剤系	5	FO1~FO5
	ふっ素樹脂 (弾性)	溶剤系	2	FOD1、FOD2
	ふっ素樹脂	弱溶剤系	1	Fo1
	ふっ素樹脂	水系	3	FW1~FW3
	アクリルシリコン樹脂	溶剤系	5	SO1~SO5
	アクリルシリコン樹脂(弾性)	溶剤系	1	SOD
	アクリルシリコン樹脂	弱溶剤系	2	So1、So2
	アクリルシリコン樹脂	水系	6	SW1~SW6
	アクリルウレタン樹脂	溶剤系	5	UO1~UO5
	アクリルウレタン樹脂(弾性)	溶剤系	2	UOD1、UOD2
	アクリルウレタン樹脂	弱溶剤系	6	Uo1~Uo6
	アクリルウレタン樹脂	水系	3	UW1~UW3
	アクリル樹脂・ウレタン樹脂	水系	2	AU1~AU2
	光触媒	-	5	P1~P5
一般塗料	セミックハイブリッドアクリルシリコン樹脂	水系	1	SH
	ふっ素樹脂	溶剤系	3	FN1~FN3
	アクリルシリコン樹脂	溶剤系	3	SN1~SN3
	アクリルウレタン樹脂	溶剤系	2	UN1~UN2
	エマルジョンペイント	水系	1	EN
	合計		58	



写真-3 明度・光沢度計測(色差計・光沢計)

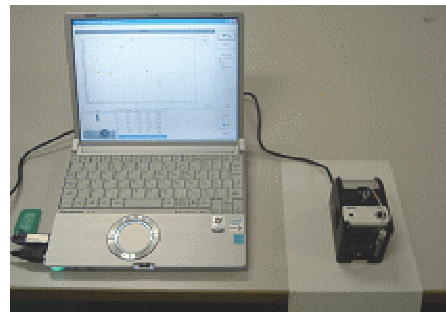


写真-4 水接触角計測

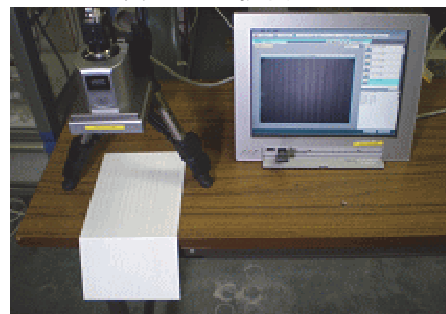


写真-5 雨筋汚れ計測

表-2 色差の感覚

$\Delta E^*$	色差の感覚	
0~0.5	Trace	かすかに感じられる
0.5~1.5	Slight	わずかに感じられる
1.5~3.0	Noticeable	かなり感じられる
3.0~6.0	Appreciable	目立って感じられる
6.0~12.0	Much	大きい
12以上	Very much	非常に大きい

c. 水接触角

水接触角は塗膜表面の親水性を表し、低接触角であるほど水の広がりによるセルフクリーニング効果が高いと言える。測定は塗膜表面に精製水 4.0 $\mu$ l を滴下させ、均衡状態となった水滴の塗膜となす角度を計測する。測定状況を写真-4 に示す。

d. 雨筋汚れ

雨筋汚れの評価も明度差により判断するが、従来の色差計では試験体に発生した雨筋をうまく捉える事ができず、正確に計測することができなかった。そこで光学カメラとLED照明を搭載したリアルカラー視覚センサの画像処理評価を採用することとした。測定状況を写真-5 に示す。

e. 総合的な汚れ評価

最終的に壁面などが汚れていると判断するのは人間の感覚となるため、試験体の総合的な汚れを主観評価により判断して順位付けを行った。被験者に対しては詳しい説明を行わずに、屋外で無作為に並べた試験体を汚れていると感じる順に抽出して貰い、その順位を記録した。

4. 試験結果

4.1 明度差

図-5 は現在市場の主流となっているアクリルシリコン樹脂系塗料の溶媒別明度差の試験結果である。曝露1年で溶剤系(SO)は-6.1~-2.0 と銘柄間の性能に差が開いた。予想に反し弱溶剤系(So)は-2.0 以上と溶剤系よりも汚れ難い結果であった。弾性溶剤系(SOD)は汚れの非常に目立つ-8.5 となった。水系(SW)ではSW2を除いて-5.5 以下と汚れやすく、一般塗料の溶剤系(SN)-5.2~-4.2 と比較しても耐汚染性能は低いことが分かった。

光触媒(P)や水系無機のセラミックハイブリッド(SH)は図-6 に示す通り、-3.9 となったP2を除いて-1.0 以上と耐汚染性能が非常に優れていることが分かった。全試験体中最も汚れたものは、一般塗料の水系(EN)-9.0 であったので、低汚染型塗料の汚染防止性能は認められる。

樹脂別では図-7 に示す通り、光触媒>ふっ素>アクリルシリコン>アクリルウレタンとなったが、同じ樹脂系の中でも性能に幅があり、低汚染型でも一般塗料より劣るものもあることが明らかとなった。

4.2 洗浄による明度の回復

図-8 にアクリルシリコン樹脂系塗料の試験体下部を水拭洗浄した前後の明度差を示す。洗浄により明度差+1~+5 ポイント向上したが、回復量は試験体に関らず同じ傾向にあり、平均+3.6 ポイントであった。

4.3 光沢保持率

図-9 にアクリルシリコン樹脂系塗料の溶媒別の光沢

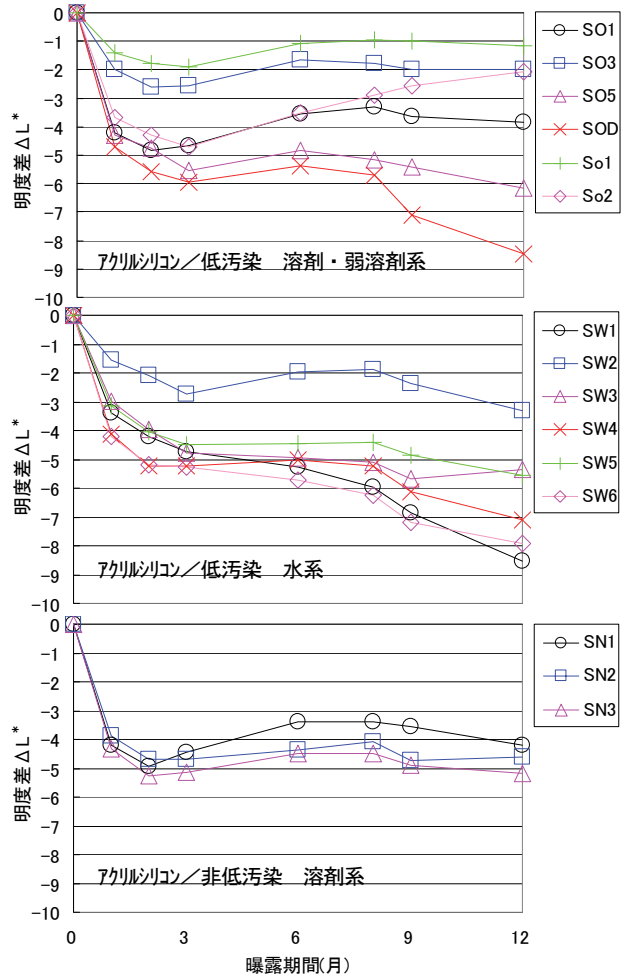


図-5 アクリルシリコン樹脂系の溶媒別明度差

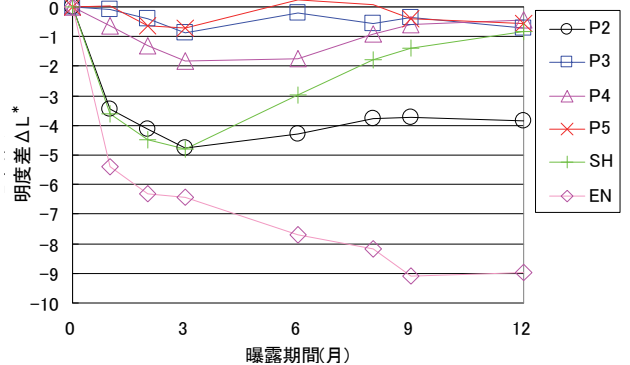


図-6 光触媒と非低汚染水系塗料の明度差

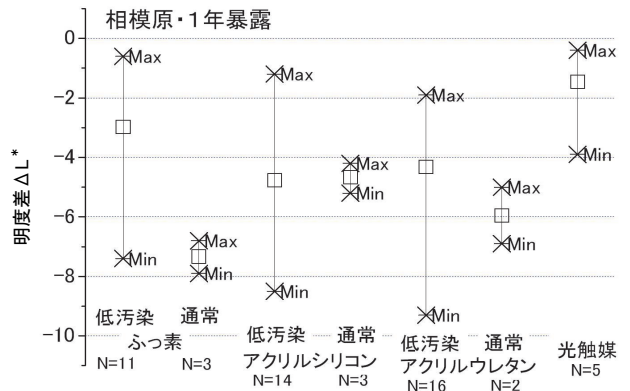


図-7 塗料別の明度差

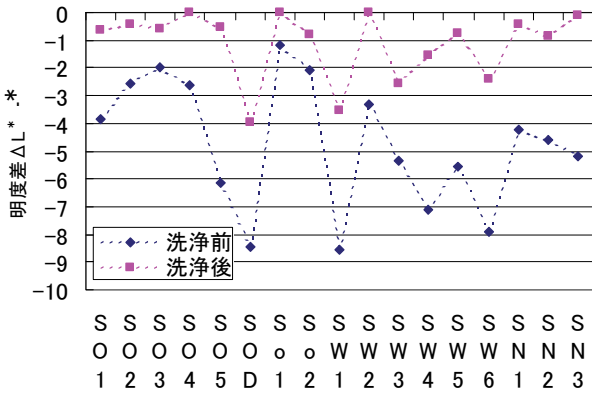


図-8 明度の洗浄回復 (アクリルシロン・曝露1年)

保持率の試験結果を示す。アクリルシロンは高耐候性塗料でもあるため曝露1年では全体的にそれほど低下しなかった。溶媒別に見ると溶剤系(SO)74%~80%、弱溶剤系(So)79%~88%、明度差が大きく低下した弾性溶剤系(SOD)でも74%以上であった。水系(SW)ではSW6を除き71%~85%、非低汚染型の溶剤系(SN)でも73%~81%と大きな差異は現れなかった。

図-10に樹脂別の結果を示すが、平均値ではふっ素>アクリルシロン>アクリルウレタンとなり、図-2のような一般的な耐候性の差は認められるものの、個別に比較するとふっ素よりもアクリルシロンのほうが高い光沢保持率を示す試験体もあった。ただしこれらは汚れた部位をそのまま計測しているためであり、本質的な耐候性を示すものではなく、表面の汚れ度合いを含んだ指標になっていると考えられる。

なお明度差および光沢保持率について、曝露開始から3ヶ月まで大幅に低下した要因は期間中の降水量が非常に少なく、表面に付着した粉塵等の汚れが雨水によって洗われずに蓄積したためと考えられる。

#### 4.4 洗浄による光沢の回復

図-11にアクリルシロン樹脂系塗料の試験体下部を水拭洗浄したときの光沢保持率を示す。洗浄後は全ての試験体で80%以上となった。また平均回復量は19.5%であった。

#### 4.5 水接触角

図-12にアクリルシロン樹脂系塗料の溶媒別の水接触角の試験結果を示す。明度差(図-5)と同じ傾向となり、溶剤系(SO)では明度差の低い順のSO5、SO1、SO3と合致している。弱溶剤系(So)も同様であった。水系(SW)でも耐汚染性能の優れていた(明度差の高い)SW2は、接触角35度となり、同じ水系の他試験体と比較すると15度以上差が開いている。また、非低汚染型の溶剤系(SN)は38~47度と高親水性であったため、汚れにくかったこと(明度差大)の裏づけとなった。

図-13の光触媒(P)やセラミックハイブリッド(SH)では、明度差も低かった(汚れやすい)P2を除いて21度以下と高親水性であった。ただし曝露6ヶ月を過ぎてから急激に効果をあらわしたP4などの例外もある。

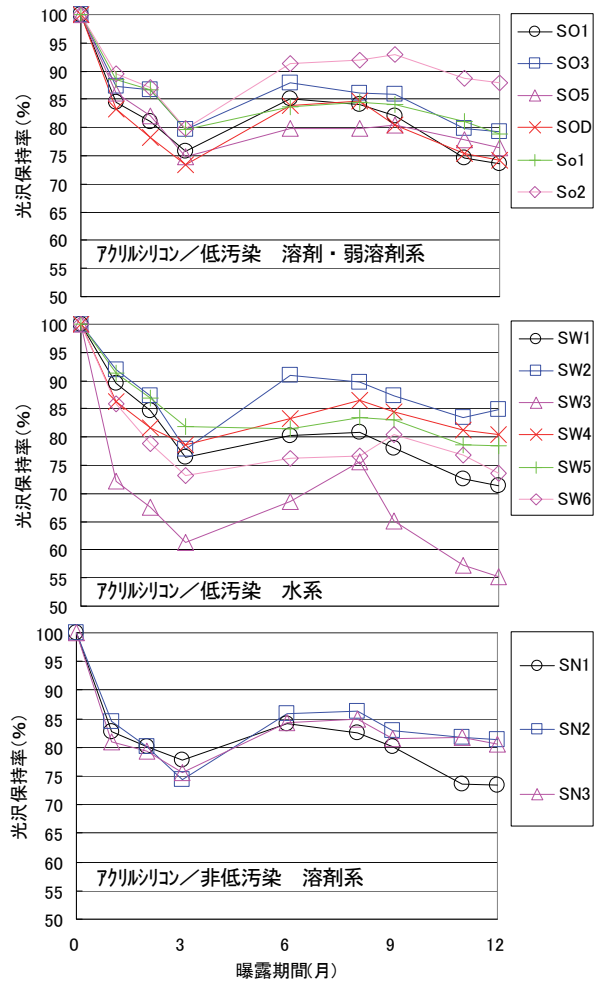


図-9 アクリルシロン樹脂系の溶媒別光沢保持率

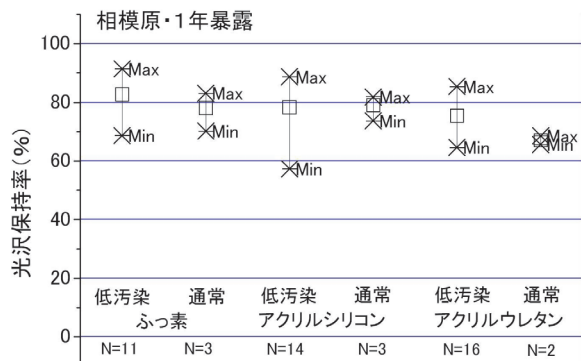


図-10 塗料別の光沢保持率

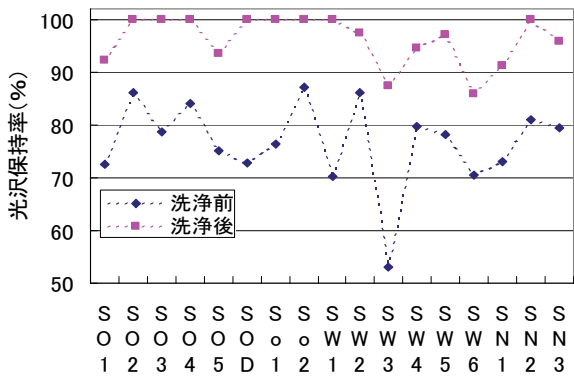


図-11 光沢保持率の洗浄回復 (アクリルシロン・曝露1年)



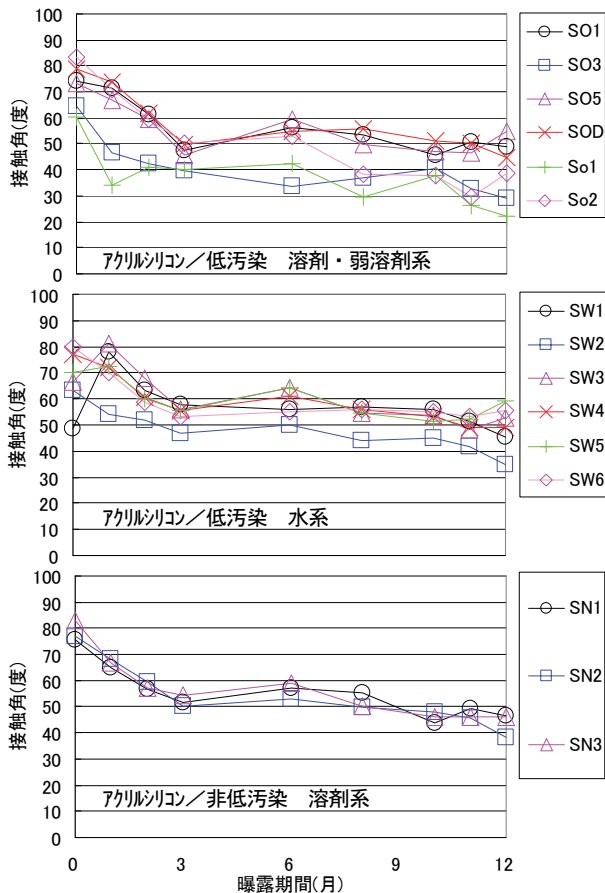


図-12 アクリル系樹脂系の溶媒別接触角

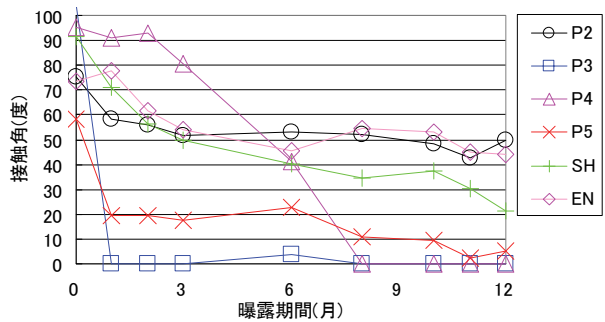


図-13 光触媒と非低汚染水系塗料の接触角

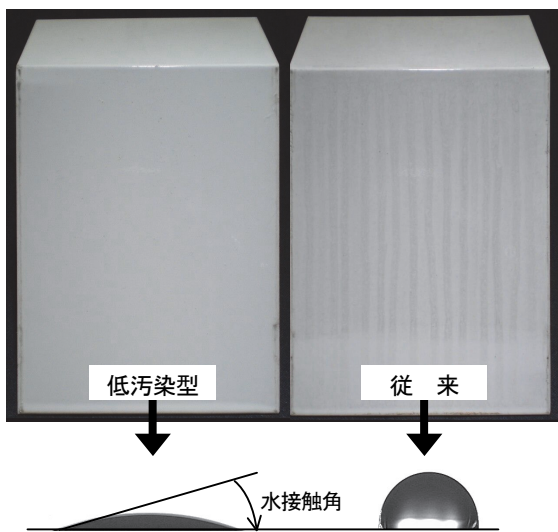


写真-6 水接触角と曝露1年汚れ

接触角の差による曝露1年後の汚れの差を一例として写真-6に示す。ここから塗膜表面の親水性は雨筋汚れの発生と高い相関があることが伺える。

#### 4.6 雨筋汚れと主観評価の相関

雨筋汚れの目立ち方が総合的な汚れを感じさせる主要因と考えられるため、汚れの主観評価との相関を求めた。図-14に全試験体の主観評価による汚れの順位付けと明度の関係を示す。ここで雨筋あり試験体の明度L\*とは雨筋の汚れている部分のみの値である。明度L\*は数値の高いほど白色で汚れていないことを表す。また主観順位は汚れていないと感じる順である。

雨筋汚れは曝露1年で全58種類の試験体のうち57%に相当する33種類に発生した。傾向としては汚れ部分の明度が下がるほど主観順位も低くなったが、明度に関わらず雨筋汚れの発生しなかった25種類の試験体よりも雨筋汚れが発生した33種類のほうが主観順位は低かった。特に試験体中最下位の明度52を示した試験体でも雨筋汚れがないため順位は16位と高評価を得た。これは試験体を隣同士に並べれば色の違いを認識できるが、個別に見ても比較対象がないため変色の判別ができないためと推察される。

次に雨筋汚れの発生した試験体33種類について、雨筋の汚れた部分と汚れていない部分の明度差の関係を図-15に示す。その結果、主観順位と82%の高い相関を得た。このことから雨筋明度差が汚れの感覚を決める主要因であるといえる。

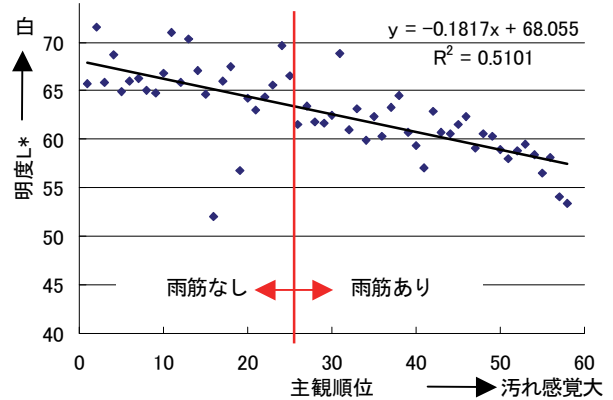


図-14 主観順位と明度

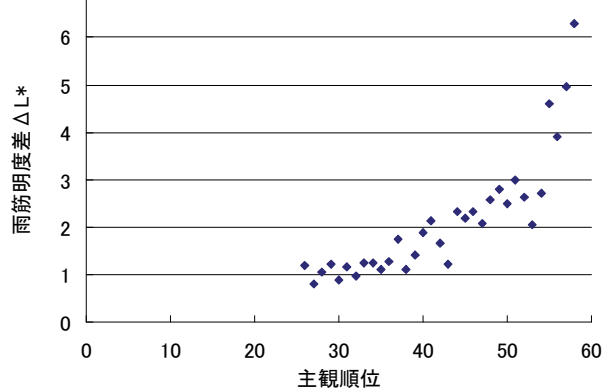


図-15 雨筋汚れの明度差と主観順位

5. 短期間評価方法 (の検討)

雨筋汚れは、屋根や外壁に付着して溜まった汚れ物質が雨水によって洗い流される際に、雨水が積極的に流れ落ちる部位が存在してしまうために発生すると予想される。そこで雨筋発生再現実験を行った。実験状況を写真-7に示す。実験では雨水の流れ経路を見やすくするためにメチレンブルー溶液を使用した。実験手順は試験体上部の傾斜部にメチレンブルー溶液を噴霧して垂直面で溶液が流れ落ちる経路を観察した。繰り返し実験を行った結果、高接触角(低親水性)試験体では同じ部位が青色となり、逆に低接触角のものでは全面的に青色となることが分かった。



写真-7 雨筋汚れ発生再現実験

次に曝露1ヶ月と1年の水接触角の関係を図-16に示す。全体に水接触角は曝露時間の経過とともに徐々に小さくなる傾向にあり、1ヶ月の結果から1年予測が可能と考えられる。また曝露1ヶ月の水接触角と雨筋汚れの明度差の関係を図-17に示すが、初期接触角が45度以下では1年後でも汚れが付きにくく、雨筋が発生しないことが分かった。ただし新材料の場合、光触媒P4(図-13)のように数ヶ月経ってから急激に低下するものもあるため、親水層が何ヶ月程度で表面に形成されるか見極めるために継続した観測も必要である。

これらの結果から、これまでの性能評価では曝露期間が必要で評価に長時間かかる問題であったが、初期接触角でおおよその耐汚染性能の評価ができるものと推察される。

6. まとめ

各メーカーの低汚染型塗料について汚れ防止性能や特性を同一条件で評価した。曝露1年結果から以下を確認し、外装仕上げ塗材を選定する際の判断指標となる資料を作成することができた。

- ① 汚れ防止性能は、塗料別に光触媒が圧倒的に優れており、樹脂種別ではふっ素>アクリルシリコン>アクリルウレタン、溶媒別には溶剤系>弱溶剤系>水系であったが、銘柄間のばらつきが大きい
- ② 汚れの主観評価には雨筋汚れが支配的となる
- ③ 曝露1ヶ月程度の初期の水接触角が汚れやすさの指標となり、また、初期から水接触角が低ければ雨筋汚れは発生しない

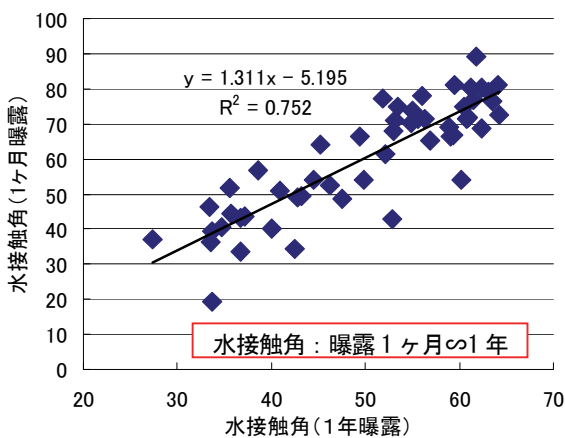


図-16 水接触角の経年変化

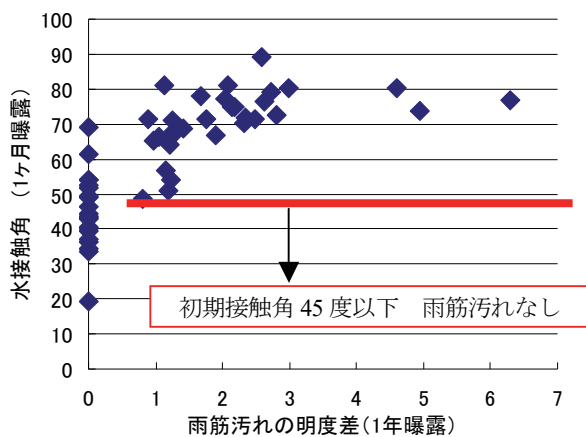


図-17 水接触角と雨筋汚れの関係

7. あとがき

今後は耐汚染性能の短期間評価のための促進試験に関する検討を進めたい。また耐久性や汚染防止性などの信頼性の面から溶剤系が根強い状況にあるが、環境面から今後の高性能水系塗料に注目したい。

本研究を遂行するにあたり塗装材料メーカーの方々にご多大なご協力を賜った。ここに深く感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 茂木他、「外装仕上材の汚れ防止性能の評価—その1 曝露6ヶ月までの試験結果—」、奥村組技術研究年報、No. 32
- 2) 建設省土木研究所「構造物の防汚技術の開発」、財土木研究センター、1999. 11