

【WG報告】

塗装の汚れ評価方法に関する研究 ～ 屋外暴露試験

技術研究部会 材料施工専門部会 外装材の汚れ評価に関するWG

1. はじめに

環境問題が注目され、建物の高耐久化が要求されるようになったことで、外装仕上材等の建材の耐久性能が向上し、性能評価にかかる時間がより長くなることが予想される。そこで、比較的短時間で評価を行うことのできる促進試験の重要性がより高まってきた。

ここで外装材の「汚れ」に着目してみると、促進試験方法に関しては、建材試験センター法¹⁾、土木研究所法²⁾などが提案されている。前者については、汚れのメカニズムを忠実に再現しているが、高価な装置を必要とすることから、あまり実施されていない。また後者については、方法は簡便であるが、トンネルや透光板等、土木構造物およびその付帯設備に使用される材料を対象としているため、建築系の仕上材料の評価には適していない。その結果、メーカー各社は独自の試験方法で自社製品を評価しており³⁾、ユーザーとして同じ土俵で適切な評価を行うことができないのが実状である。

そこで、2012年7月に、(一社)日本建設業連合会では、適切な試験方法を提案すべく、

「外装材の汚れ評価に関するWG」(以下、WG)を立ち上げ、表1に示す16社が参加して活動を行った。

ここでは、WGにおける活動概要、塗装の汚れ評価の考え方およびそれに基づいて実施した屋外暴露試験^{4)～6)}について報告する。

2. 汚れ評価の考え方

まず、汚れの実態を把握するために屋外暴露試験を2年間実施して、そこで得られた知見を基に、促進試験方法を提案することとした。なお、藻・カビおよびシーリング汚染は、ここで

は対象から除外している。

汚れ評価は図1に示すように、「外力側」と

表1 WG参加会社(順不同)

◎戸田建設	佐藤工業	五洋建設	大日本土木
○鹿島建設	安藤・間	銭高組	長谷工コーポレーション
○清水建設	奥村組	鉄建建設	フジタ
大林組	鴻池組	東急建設	三井住友建設

◎: 主査、○: 副主査

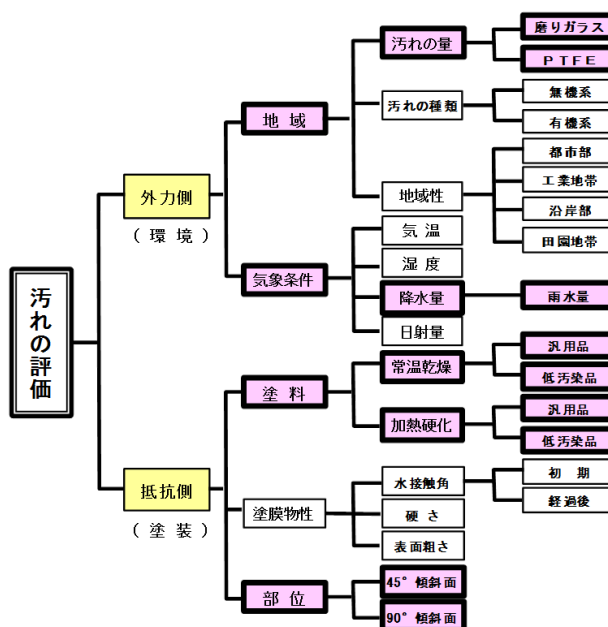


図1 塗装の汚れ評価の考え方

表2 屋外暴露試験の暴露地

No.	暴露地	汚染区分	暴露箇所	備考
①	茨城県つくば市	田園地帯	実験棟(2F)屋上	西面に国道
②	東京都清瀬市	都市部	実験棟屋上	黄砂あり
③	埼玉県越谷市		実験ヤード	-
④	千葉県習志野市		建屋(1F)屋上	-
⑤	江東区越中島		実験棟(5F)屋上	東京湾岸から約3km
⑥	東京都調布市	工業地帯	実験場屋上	-
⑦	江東区新木場	工業地帯	建屋屋上	-
⑧	大阪市此花区	都市部	建屋(1F)屋上	-
⑨	福岡県福岡市		建屋(4F)屋上	-
⑩	沖縄県宮古島市	沿岸部	暴露試験場	海岸から2km, 海拔50m

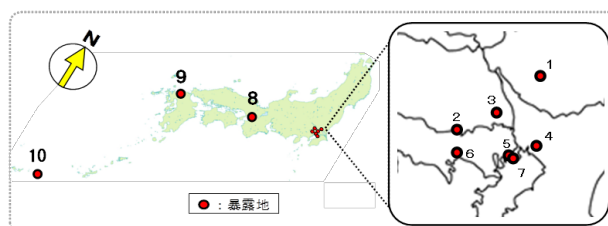


図2 暴露地の位置

して汚れの原因となる物質の、地域に固有の特徴や気象条件（気温、湿度、雨、日射等）と「抵抗側」として塗料の種類・種別、塗膜物性、使用部位とに分けて考えることができる。

暴露地としては、表 2 および 図 2 に示す 10 カ所を選定した。

3. 屋外暴露試験

3.1 試験方法

本研究では、塗装試験体と標準試験片の 2 種類を使用した。前者は各種塗装の汚れ具合を、また後者は各暴露地の汚れ程度を調べるためのものである。

塗装試験体の形状と屋外暴露方法を 図 3 に示す。120 × 400 × 1mm（一部、2mm）のアルミニウム板（アロジン 1000 処理）を中央部分（端から 200mm）で折り曲げ、汚れ付着を観察する傾斜部と雨筋汚れを観察する垂直部とを同時に試験ができるものとした。

用いた塗装材料は、表 3 に示す 32 種類である（暴露地⑦～⑩は、17 種類）。現場塗装で一般的に用いられる常温乾燥形塗料について水系、弱溶剤系、強溶剤系を選定し、それぞれについて弾性・硬質の塗膜硬さの違い、樹脂系の違い、汎用品と低汚染品を比較できるようにした。また、工場塗装で用いられる加熱硬化形についても、溶剤系と粉体の中から代表的な樹脂系等を選定した。

また、それぞれの地域の塗装試験体は、南向きの専用の暴露架台に、塗装面が傾斜角 45° と垂直面が表向きとなるように設置した。塗膜の汚れ評価は、南向きの暴露で 45° 面傾斜部と 90° 面垂直部について評価を行った。

一方、標準試験片としては、磨りガラスおよび PTFE（フッ化エチレン樹脂またはポリテトラフルオロエチレン。商品名としては、テフロン、

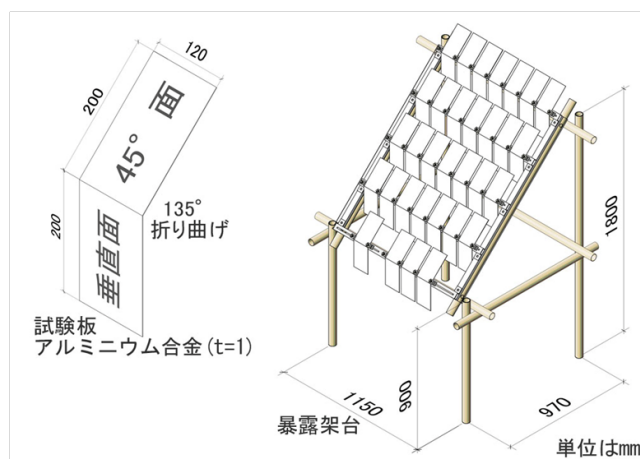


図 3 塗装試験体の形状と屋外暴露方法

表 3 塗装の種類 数字は試験体 No.

硬化形式	溶媒	硬さ	上塗り材の種類	汎用品*	低汚染品*
常温乾燥形	水系	弾性	アクリル樹脂	1	
			ウレタン樹脂	2	3
			アクリルシリコン樹脂	4	5
			フッ素樹脂	6	
		硬質	アクリルシリコン樹脂	7	
			フッ素樹脂	8	
			無機有機ハイブリッド樹脂	9	
			ウレタン樹脂	10	11
	弱溶剤系	弾性	アクリルシリコン樹脂	12	
			アクリルシリコン樹脂	13	14
			フッ素樹脂	15	16
		硬質	無機有機ハイブリッド樹脂	17	
			アクリル樹脂	18	
	強溶剤系	弾性	ウレタン樹脂	19	20
			アクリルシリコン樹脂	21	
			フッ素樹脂	22	23
			アクリルシリコン樹脂	24	
硬質		フッ素樹脂	25	26	
		無機有機ハイブリッド樹脂	27		
		ウレタン樹脂	28		
		フッ素樹脂	29	30	
加熱硬化形	溶剤系	硬質	高耐侯性ポリエステル	31	
			フッ素樹脂	32	
	粉体				

ナフロンが有名。静電気による汚れの付着を考慮) の 2 つの耐候性の高い材質を用いた。

測定は、以下の項目について、暴露経過 1、3、6、12、18、24 ヶ月に行った。

3.2 評価方法

(1) 色差 (ΔE^*ab)、明度差 (ΔL^*)

45° 傾斜面と垂直面のそれぞれの塗装面について、色彩測色計（コニカミノルタ製、CR-400）を用い、それぞれ上部・中央部・下部の計 5 カ所を測定した。垂直面について雨筋が認められた場合、雨筋部分は 3 カ所、雨筋がない部分は 5 カ所測定し、初期値との差を取り塗装試験体の ΔE^*ab と ΔL^* を求めた。

(2) 光沢保持率

45° 傾斜面と垂直面のそれぞれについて、光沢計（村上色彩技術研究所製、GMX-101）を用い、試験面の中央で上部・中央部・下部の計3カ所について、60度鏡面光沢を測定し、光沢保持率を求めた。

4. 結果

4.1 色差と明度差との関係

図4に、1ヶ月時において、塗装材料ごとに求めた45°面の ΔE^*ab の最大・最小・平均を示す。 ΔE^*ab の平均値は水系塗料が弱溶剤系、強溶剤系、加熱硬化形よりも大きかった。

図5に暴露1ヶ月時の ΔL^* と ΔE^*ab との関係を示す。 ΔL^* と ΔE^*ab はほぼ対応する関係にあるが、弱溶剤系と強溶剤系の無機有機ハイブリッドは ΔL^* の低い値で材料の黄変と思われる ΔE^*ab の大きな値が認められた。

4.2 塗装種類による違い

(1) 明度差

図6に、6ヶ月時において塗装材料ごとに求めた45°面の ΔL^* の最大・最小・平均を示す。

水系塗料の低汚染品については、 ΔL^* が小さい材料は1品種のみであり、これ以外は汎用品よりも ΔL^* が大きく、防汚性に劣っていた。弱溶剤系、強溶剤系、加熱硬化形の低汚染品および加熱硬化形の汎用品は ΔL^* が小さい傾向にあった。

図7に、6ヶ月時において塗装材料ごとに求めた垂直面の ΔL^* の最大・最小・平均を示す。塗装材料間の ΔL^* の大小関係は45°面の結果と同じ傾向を示した。特に、 ΔL^* の最大と最小の較差については、汎用品の ΔL^* の最大と最小の差は大きいのに対し、低汚染品は2以内と小さかった。

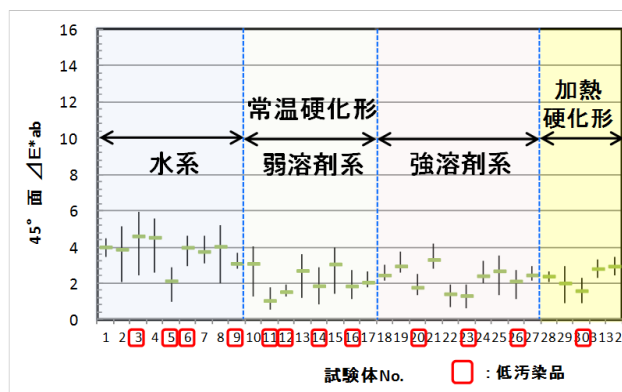


図4 45°面の ΔE^*ab

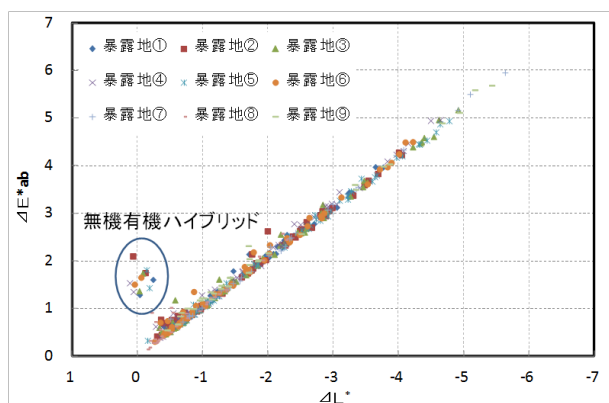


図5 明度差 (ΔL^*) と色差 (ΔE^*ab) との関係

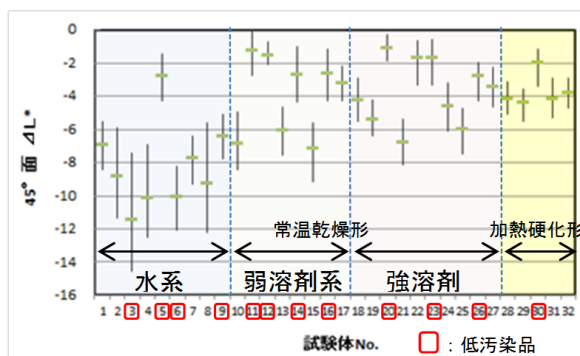


図6 45°面の明度差 ΔL^*

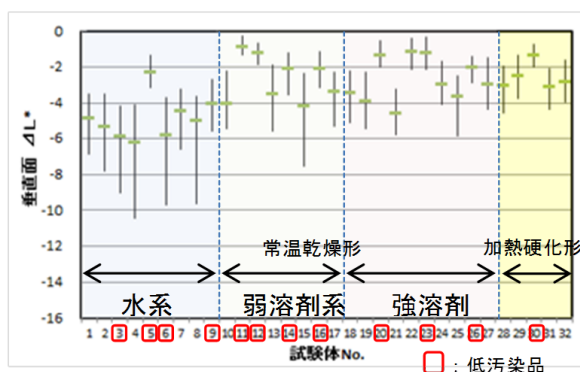


図7 垂直面の明度差 ΔL^*

図 8 および図 9 に、18ヶ月時における塗装材料ごとの ΔL^* の最大・最小・平均を、45°面と垂直面とについてそれぞれ示す。

45°面においては、6ヶ月時に比べて全体的に値が小さくなっているのに対して、垂直面においては、値が大きくなっている。これは、45°面に付着した汚れ物質がその後、降雨によって流れ落ちて垂直面に移るために、垂直面は45°面よりも汚れが遅れて現れたと推察される。

(2) 光沢保持率

図 10 および図 11 に、6ヶ月時において塗装材料ごとに求めた45°面と垂直面の光沢保持率の最大・最小・平均を示す。また、図 12 および図 13 には、18ヶ月における45°面と垂直面の光沢保持率の最大・最小・平均を示す。

45°面では、経時にもなって全体的にやや低下する傾向があった。特に、水系のNo. 1～4、強溶剤系のNo.18～20で顕著であった。

垂直面では、水系塗料の最大と最小の較差が

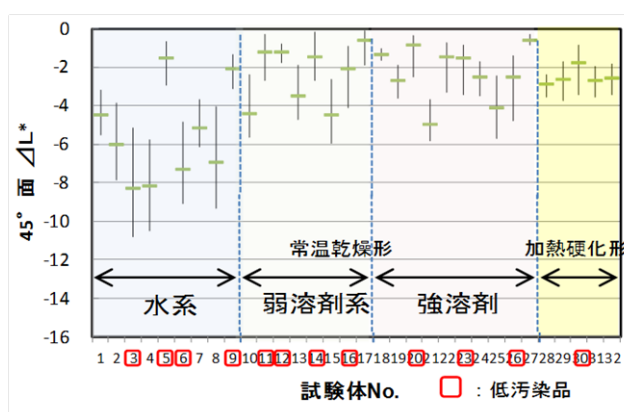


図 8 45°面の明度差 (18ヶ月)

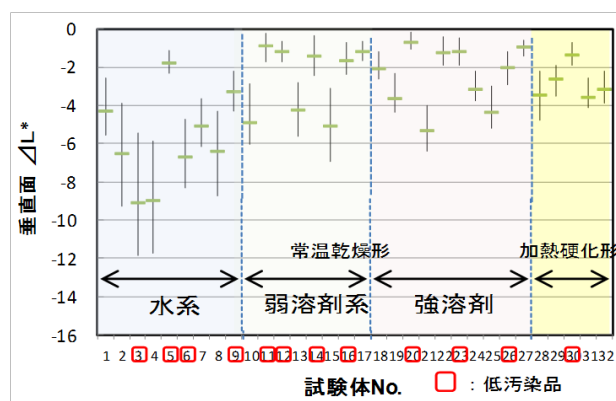


図 9 垂直面の明度差 (18ヶ月)

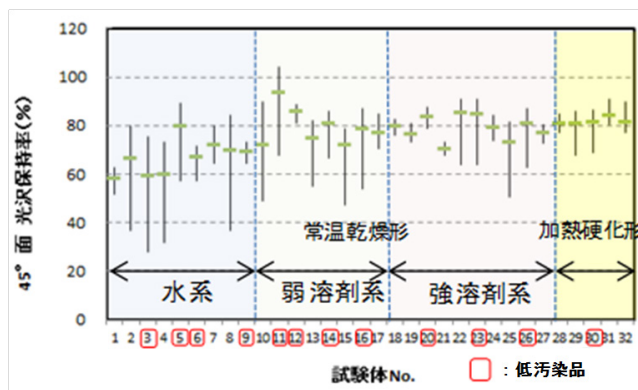


図 10 45°面の光沢保持率 (6ヶ月)

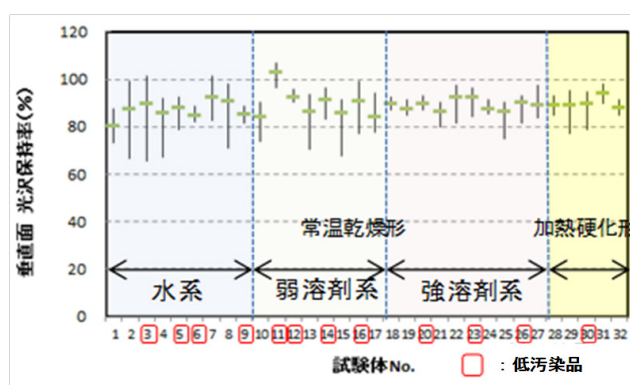


図 11 垂直面の光沢保持率 (6ヶ月)

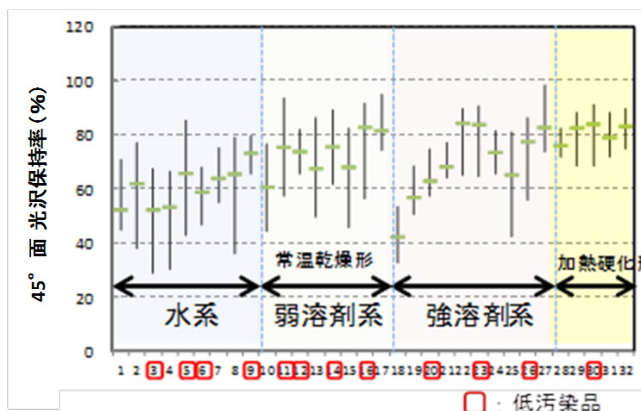


図 12 45°面の光沢保持率 (18ヶ月)

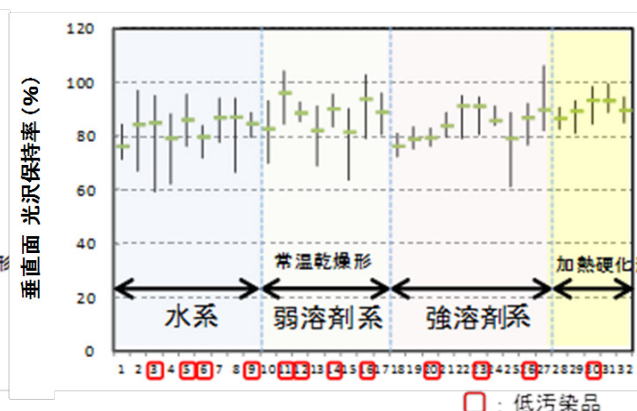


図 13 垂直面の光沢保持率 (18ヶ月)

やや大きいですが、平均値の差は小さかった。

さらに、低汚染品については、45°面の水系でやや低下が大きかった。垂直面では低汚染品と汎用品とで大きな差は見られなかった。

4.3 暴露地による違い

(1) 明度差

図14および図15に各暴露地における1ヶ月、3ヶ月、6ヶ月および12ヶ月時の45°面および垂直面の ΔL^* の最大・最小・平均を示す。

45°面の ΔL^* では、すべての暴露地で暴露月数の経過とともに最大と最小の較差は広がった。その差は暴露地ごとで違う傾向を示し、暴露地②、③、⑤の ΔL^* の較差は大きく、暴露地①、⑦および⑧の ΔL^* の較差は小さかった。また、各暴露地で3ヶ月または6ヶ月をピークとして ΔL^* の平均値は回復する傾向にあった。

垂直面の ΔL^* の平均値は45°面より小さく、暴露月数の経過とともに最大と最小の較差は広がり、 ΔL^* の平均値は3ヶ月以降の変化が小さかった。

これら各暴露地間の違いは、暴露地ごとの汚れの付着量に差があることによると考えられる。

(2) 光沢保持率

図16および図17に、暴露地ごとの45°面および垂直面の光沢保持率の最大・最小・平均を示す。

45°面は垂直面よりも光沢保持率の低下が大きかった。

45°面では、暴露地⑦が際立って小さかった(60%前後)のを除くと、暴露地による平均の差は小さく、①~⑥が80%程度を、⑨と⑩は85%程度を示した。

垂直面では、⑦が80%程度を示した他は、

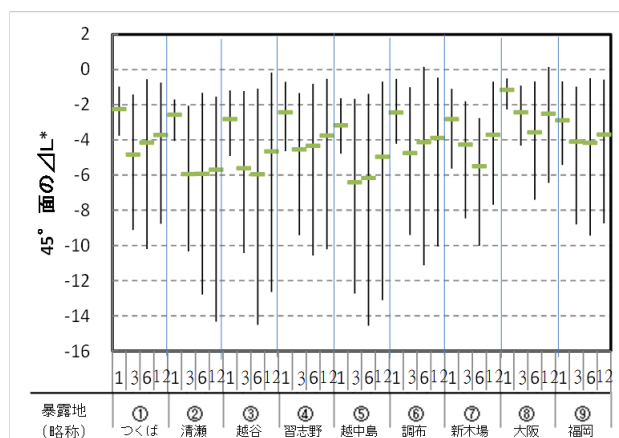


図14 暴露地別の45°面の ΔL^*

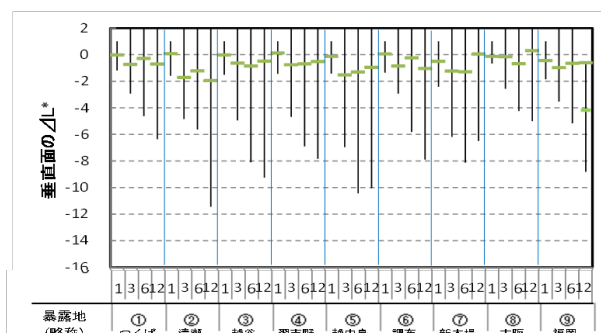


図15 暴露地別の垂直面の ΔL^*

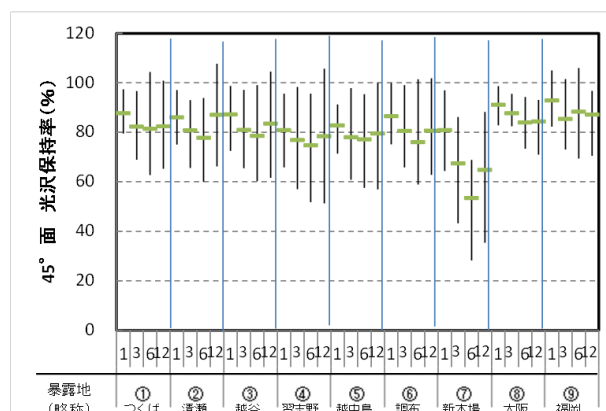


図16 暴露地別の45°面の光沢保持率

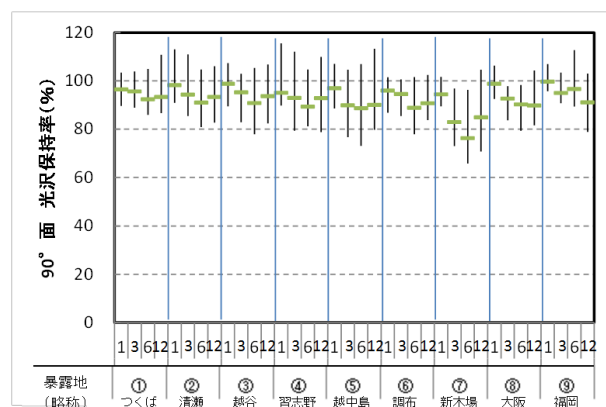


図17 暴露地別の垂直面の光沢保持率

90～100%と差はほとんどなかった。

(3) 暴露地ごとの汚れ方の傾向

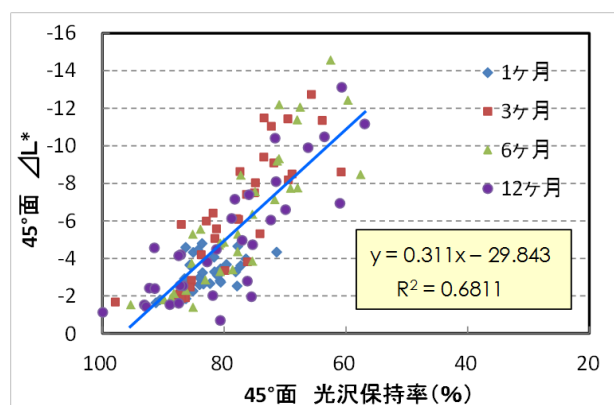
各暴露地の45°面の光沢保持率と ΔL^* との関係について、[図18](#)に示す。(A)は ΔL^* の較差が大きいタイプ〔暴露地⑤〕を、(B)は光沢保持率の低下が著しいタイプ〔暴露地⑦〕を、(C)は ΔL^* が小さいタイプ〔暴露地⑧〕である。暴露月数の経過とともに、光沢保持率と ΔL^* との関係は一様に広がる傾向にある。しかし、各暴露地の広がり方は同じではなく、(A)〔⑤〕の近似線の傾きは大きく(0.311)、(B)〔⑦〕は近似線の傾きが小さい(0.128)傾向を示した。(C)〔⑧〕は ΔL^* の値は小さいが近似線の傾きは暴(A)と(B)の間(0.230)を示した。

[図19](#)に各暴露地の45°面光沢保持率と ΔL^* との関係の近似線の傾きおよび R^2 値を示す。近似線の傾きから、暴露地⑦を除くと暴露地④、⑥は0.20～0.22、暴露地①、⑧、⑨は0.23～0.24、暴露地②、③、⑤は0.28～0.32となり、暴露地によって類似の傾向を示すと考えられる。このことは、汚れ物質の成分または粒度等が共通しているものと考えられる。また、光沢保持率の低下の著しい暴露地⑦の近似式の R^2 値(0.8966)は高い傾向を示し、光沢保持率の低下と ΔL^* との間に高い相関がみられた。45°面の ΔL^* と垂直面の ΔL^* との関係については暴露地間の違いは認められず、汚れ物質の種類、汚れ物質の付着状態が影響しているものとする。

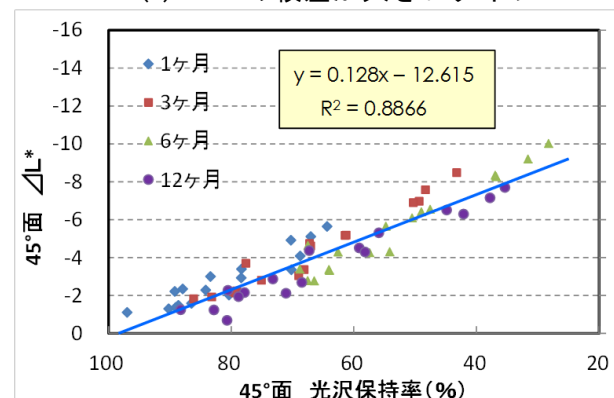
5. 標準試験片選定のための屋外暴露試験

5.1 試験方法

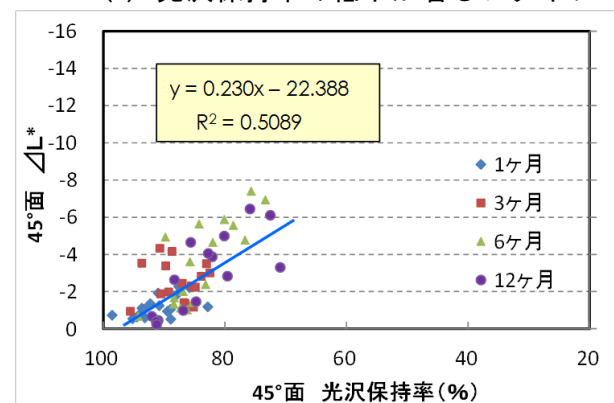
標準試験片は70×150mmで、厚さは磨りガラス板が3mm、PTFE板が2mmである。磨りガラス板は表面で汚れを定着させるため、凹凸面を暴露面とした。PTFE板は静電気による汚



(A) ΔL^* の較差が大きいタイプ



(B) 光沢保持率の低下が著しいタイプ



(C) ΔL^* の較差が小さいタイプ

図18 光沢保持率と ΔL^* との関係

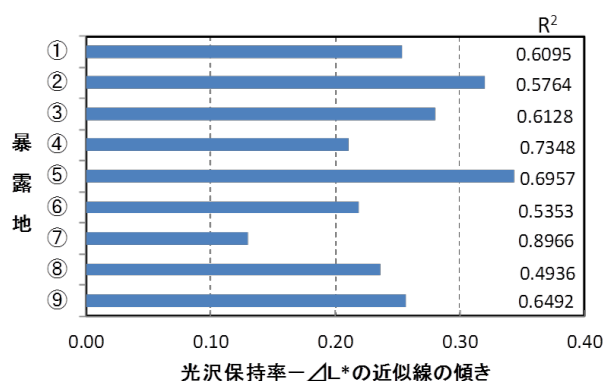


図19 光沢保持率と ΔL^* との関係の近似線の傾きと R^2 値

れの付着を考慮した。いずれの標準試験片も、暴露前に中性洗剤で洗浄し、よくすすぎ、乾燥させて表面の状態を調整した。標準試験片は塗装試験体の近くに、水平上向きに暴露した。暴露状況の例を写真1に示す。

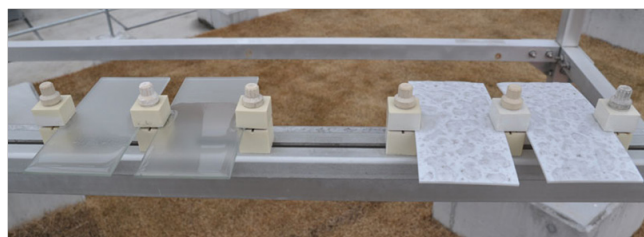


写真1 標準試験片の暴露状況

5.2 評価方法

暴露 1、3、6ヶ月時に色彩測色計を用い、標準試験片の特定された箇所を5ヵ所測定した。なお、各々の測定では暴露地ごとに毎回同じ色彩測色計を用いた。汚れ具合は ΔL^* で整理し、複数箇所の平均値を測定値とした。測色にあたって、いずれの標準試験片も光を透過するために、裏面を湿ったウエス等で清掃した上で、磨りガラス板では測定器の白色校正板を、PTFE板では白紙を2枚重ねにして標準試験片の下に敷き下地の状態を揃えて測色した。測定後の標準試験片は、表面が汚れたまま暴露架台に戻し暴露を継続した。

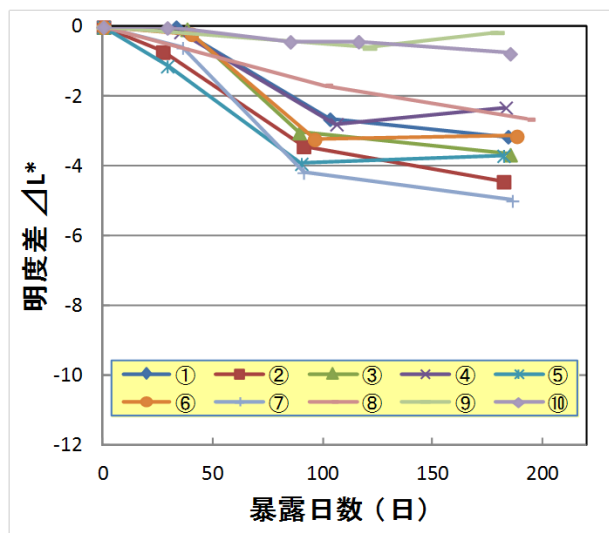
5.3 結果と考察

磨りガラス板とPTFE板の ΔL^* の変化を図20に示す。全般的にPTFE板の ΔL^* の低下が大きく、汚れの付着状況が識別しやすい。

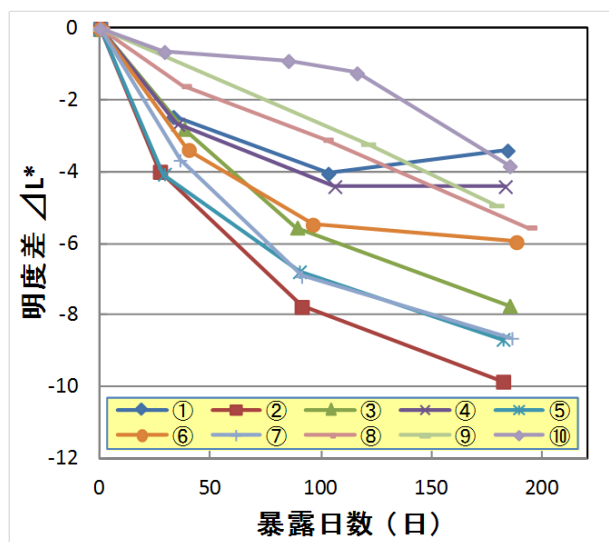
磨りガラス板は90日以降では ΔL^* の低下割合が非常に小さいものも多く、暴露地によっては横ばいになる状態が見られ、汚れ物質が飽和しているように見受けられる。磨りガラス板の凹凸面で物理的に定着される汚れの特性が表われているものと思われる。

PTFE板は暴露期間が長くなるにつれて ΔL^* の低下の割合が小さくなる傾向を示すものもあるが、磨りガラス板ほど明確ではない。

図20の(1)と(2)とを比べると、比較的汚れが少なめの⑨⑩、中程度の④⑧、多めの①③⑥、さらに多めの②⑤⑦と暴露地を大まかに組分けできるが、それぞれの順序が入れ替わって



(1) 磨りガラス板



(2) PTFE板

図20 磨りガラス板とPTFE板の ΔL^* の変化

いる。暴露地ごとに汚れ物質の種類や構成が異なっていることが考えられ、それらの付着・定着機構の違いから両者の不整合が生じていると推察される。

各暴露地の磨りガラス板とPTFE板の ΔL^* との相関を、測定時ごとの原点を通る回帰直線

と併せて、[図 21](#)に示す。[図 20](#)で見られた磨りガラス板の汚れ経過の特性が表れており、比較的汚れの少ない暴露 1 ヶ月時（25～40 日）のデータでは磨りガラス板は PTFE 板に比べて ΔL^* がかなり小さく、データのばらつきが大きめである。3 ヶ月時（90～100 日）のデータでは両試験片の ΔL^* には良い相関が見られ、磨りガラス板は PTFE 板の半分程度の ΔL^* である。[図 20](#)の経時変化の傾きが小さくなる 6 ヶ月時（180 日）には両者の関係が再びばらつくようになり、磨りガラス板の ΔL^* の変化も相対的にやや小さくなった。

各暴露地の塗装試験板の平均的な汚れ具合を表す値として、全塗装試験板の ΔL^* のデータを 45° 面と垂直面の区別無く平均した値を [表 4](#) に示す。[図 21](#)で磨りガラス板と PTFE 板で良い相関性が見られた暴露 3 ヶ月時について、暴露地ごとの塗装試験板の平均 ΔL^* と標準試験片の ΔL^* との関係を [図 22](#) に示す。いずれの標準試験片の ΔL^* も塗装試験板の ΔL^* 平均値と相関が見られ、塗装試験板に対して磨りガラス板はやや汚れにくく、PTFE 板は汚れやすいという特性が得られた。今後、塗装の種類や暴露地、汚れ物質等を変動因子として詳細に分析することで、標準試験片の適性が明確になると考える。

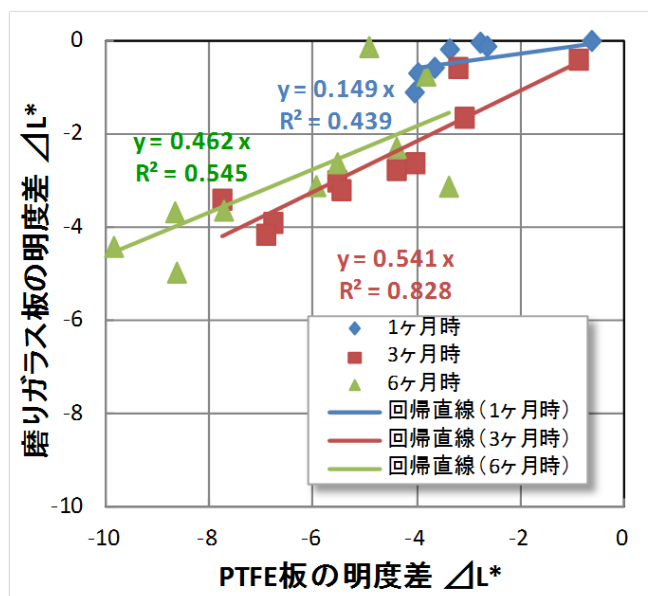


図 21 磨りガラス板と PTFE 板との ΔL^* の相関

表 4 塗装試験体の ΔL^* の平均値

暴露期間	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩※
1 ヶ月	-1.48	-1.62	-1.79	-1.55	-2.02	-1.55	-2.05	-0.74	-1.95	-
3 ヶ月	-3.30	-4.38	-3.82	-3.65	-5.09	-3.32	-3.79	-1.73	-3.04	-0.58
6 ヶ月	-3.22	-4.58	-4.94	-3.79	-5.52	-3.35	-4.80	-2.84	-3.22	-

※ ⑩は 4 ヶ月時のデータ

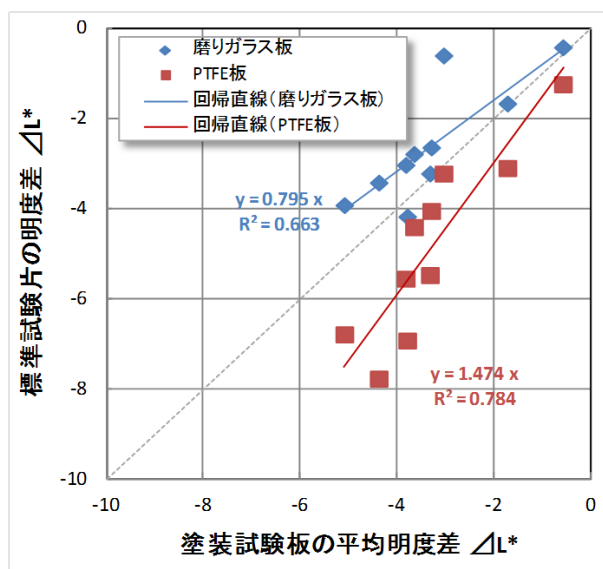


図 22 塗装試験体と標準試験片の ΔL^* の関係

6. まとめ

32 種類の塗料を施工した塗装試験体を用いて、国内 10 ヶ所にて屋外暴露試験を行った。

その結果、以下の知見が得られた。

- ・塗料の種類における性能差が確認された。
- ・いずれの塗料とも、汚れは 6 ヶ月経過まで増大し、その後、減ることが確認された。
- ・暴露地別では、一部を除いて類似した傾向が見られた。
- ・暴露地による汚れの程度を調べるために標準試験片を採用し、塗装試験体の汚れとの相関が得られた。

【謝辞】

本研究において、塗装試験体の作製にあたっては、日本建築仕上材工業会 技術委員会のご協力を、また、屋外暴露試験の実施および測定にあたっては、日本大学生産工学部建築工学科 永井香織准教授ならびに研究室の学生諸氏にご協力いただきました。ここに、謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 建材試験センター規格 (JSTM)J 7602:2003
「建築用外壁材料の汚染促進試験方法」
- 2) 国立研究開発法人 土木研究所：土木試験方法 (PWTM - 3 - 2000 pr)
- 3) (社)建築業協会：「ユーザーから見た建築材料の機能・性能比較」、2006.12、月刊建築仕上技術
- 4) 板谷ほか：塗装の汚れ評価方法に関する研究 その 1～4、日本建築学会

学術講演梗概集 (材料施工)、 pp.845～852、2014.9

- 5) 小座野ほか：塗装の汚れ評価方法に関する研究その 5～8、日本建築学会学術講演梗概集 (材料施工)、 pp.875～887、2015.9

- 6) 板谷ほか：塗装の汚れ評価方法に関する研究その 1～2、日本建築仕上学会 研究発表論文集、 pp.87～94、2014.10.