

塗装の汚れ評価方法に関する研究

小座野 貴弘*

要 旨

外装材の性能評価指標の1つに汚れがあるが、塗装施工面の時間経過による汚れ具合を簡易に評価が可能な促進試験方法が確立していない。そこで(一社)日本建設業連合会では、外装用塗料の汚れ評価に関する適切な試験方法の提案を目的に「外装材の汚れ評価に関するWG」を立ち上げ、研究活動を行っている。まず汚れの実態を把握するため、乾燥形式、水溶系等溶媒、上塗り材の種類等32種をそれぞれ塗装した試験片を国内10箇所の暴露地に設置し2年間屋外暴露試験を行い、試験結果から暴露環境による汚れ具合を定量化しまた付着する汚れ物質を特定するなどし、促進試験方法を定める際のパラメータとすることを考えている。暴露試験では、一定期間毎に各塗装面に対して暴露前後の色、光沢度を測定し、色差、明度差、光沢保持率として評価を行う。暴露1年経過後迄の試験の結果、塗装種では汚れ具合を示す色差が水溶系塗料で大きかった。低汚染品型塗料は、期間中の色差の最大と最小値の差が小さかった。汚れの量を定量化する標準試験片を決めるために基材に用いた磨りガラス板、フッ素樹脂の PTFE 板では、その明度差と塗装試験片の平均の明度差との間に強い相関がみられた。

1. はじめに

建築物の基本性能としてこれまで安全性、衛生性、および快適性が重要視されてきているが、今後は環境への配慮の視点から建物の長寿命化や維持管理の容易性が重要な性能になってくると考えられる。そのため外装仕上材等建材の耐久性能は向上していくと考えられ、その場合に性能の差異を評価するために要する時間も長くなる可能性がある。したがって、比較的短時間で評価を行うことが可能な促進試験の重要性がより高まってきたと考える。

外装仕上材の汚れに対する促進試験方法に関しては、これまで建材試験センター法¹⁾、土木研究センター法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。一方後者については、方法は簡便であるものの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おり、必ずしも外装仕上材の評価に適した条件になっているとは言い難く、適用にあたって改良の余地があると考えられる。こうした状況から塗料メーカー各社は、独自の試験方法で自社製品を評価している例がみられる³⁾。そのため、建物建設時に塗料を選択するにあたり、ユーザは、防汚性能に関して適切な評価を行うことができていないのが実情であると考えられる。

そこで(一社)日本建設業連合会では、適切な試験方法を提案することを目的に所属する建設会社16社で「外装材の汚れ評価に関するWG」(以下、WG)を立ち上げ、研究活動を行っている。WGでは、建物に施工された塗装面に対して汚れ評価に関する考え方を整理した上で、汚れの

実態を把握するため、国内10箇所の暴露地に設置し2年間屋外暴露試験を行う。暴露する試験片として、32種をそれぞれ塗装したもの、さらに汚れの量を定量化する標準試験片を決めるため基材に用いた磨りガラス板、PTFE^{注1)}板を用意した。暴露試験結果から暴露環境による汚れの具合を定量化し、また付着する汚れ物質を特定するなどし、促進試験方法を定める際のパラメータとすることを考えている。暴露試験では、一定期間毎に各塗装面に対して暴露前後の色差、光沢度を測定し、色差、明度差、光沢保持率として評価を行う。

本報告では、本研究の全体概要を述べた上で、実施している屋外暴露試験の12ヶ月間の屋外暴露試験結果について報告する。

2. 全体概要

2.1 研究目的

汚れに関する促進試験方法の提案にあたり、次のような目的で研究を行っている。

- ① 塗装材料の種類による汚れ度合いの把握
- ② 暴露環境による汚れ度合いの把握
- ③ 暴露試験による汚れ具合の定量化
- ④ 汚れ物質の種類と塗膜汚れとの関係の把握
- ⑤ ①～④を考慮した汚れ促進試験方法及び指標の提示

2.2 研究の進め方

WGの活動期間を3年間とし、図-1に示すように、汚れの実態を把握するための屋外暴露試験を2年間実施して、そこで得られた知見に基づき、促進試

*技術研究所 建築技術開発部

験方法を提案する予定である。なお、本研究では藻・カビ、および目地シーリングの汚染を対象とする

汚れから除外している。

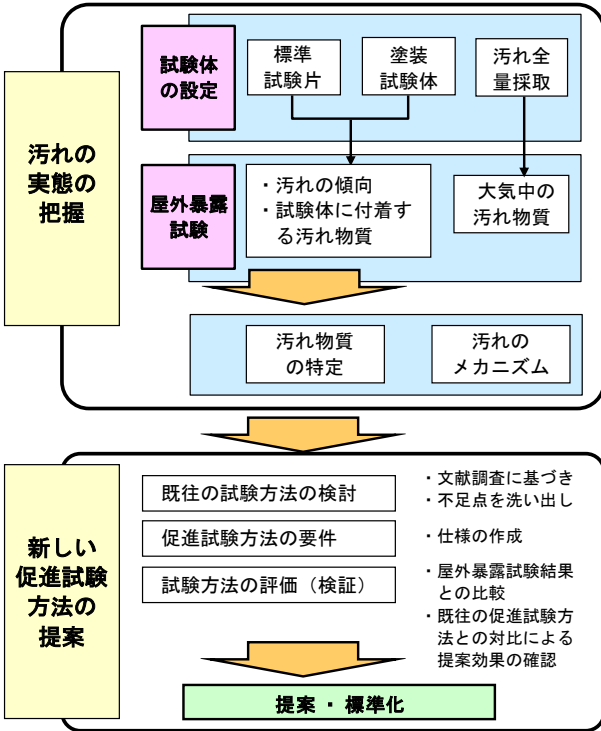


図-1 WGにおける研究の進め方

2.3 汚れ評価の検討内容

汚れ評価は、図-2に示すように「外力側」として汚れの原因となる物質について、地域に固有の特徴、および気象条件(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、および使用部位に分けて考えることができる。

2.3.1 外力側

暴露地としては、表-1、および図-3に示す国内

表-1 暴露地に関する情報

NO.	暴露地	汚染区分	暴露位置	備考
①	茨城県つくば市	田園地帯	実験棟(2F)屋上	西面に国道有
②	東京都清瀬市	都市部	実験棟屋上	黄砂の影響
③	埼玉県越谷市		駐車場	—
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	都市部	建屋屋上	—
⑧	大阪市此花区		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-3 暴露地の位置

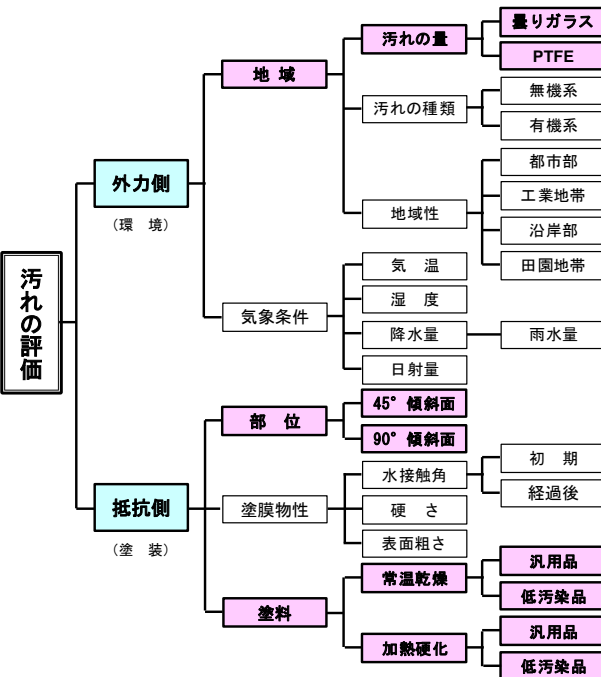


図-2 塗装の汚れ評価に関する考え方

表-2 暴露試験に用いた塗料の種類

硬化形式	溶媒の種類	硬さ	上塗り材の種類	製品			
				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		
		硬質	フッ素樹脂		6		
			アクリルシリコン樹脂	7			
			フッ素樹脂	8			
	弱溶剤系	弾性	無機有機ハイブリッド樹脂	9			
			ウレタン樹脂	10	11		
			アクリルシリコン樹脂	12			
		硬質	アクリルシリコン樹脂	13	14		
			フッ素樹脂	15	16		
			無機有機ハイブリッド樹脂	17			
			強溶剤系	弾性	アクリル樹脂	18	
					ウレタン樹脂	19	20
				硬質	アクリルシリコン樹脂	21	
					フッ素樹脂	22	23
加熱硬化形	溶剤系	弾性	アクリルシリコン樹脂	24			
			フッ素樹脂	25	26		
		硬質	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		
	粉体	硬質	高耐候性ポリエステル	31			
			フッ素樹脂	32			

*: 数字は試験体NO.を表す。暴露地⑦~⑩は○囲み数字のみ実施

10カ所を選定した。それぞれの地域の汚れ環境を評価する方法として、磨りガラス、および静電気による汚れの付着を考慮した PTFE の 2 つの耐候性の高い材質を用いて検討した。

2.3.2 抵抗側

塗装仕様は、表-2に示す32種類の塗装材料を用いた。一般的に現場塗装で用いられる常温乾燥形塗料から溶媒の種類で水系、弱溶剤系、強溶剤系を選定した。各々について塗膜の硬さの違いで弾性・硬質、上塗り材の種類、さらに工場塗装で用いられる加熱硬化形について、溶剤系と粉体の中から代表的な上塗り材の種類で選定した。また、同じ塗装種でも、例えば、メーカーで親水性コートなどの低汚染機能を付加した商品と謳っているものを「低汚染品」とここでは便宜的に名付けた。

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。

なお、本報告では、図-2中の太枠に色づけをした項目について検討した結果を報告する。

3. 屋外暴露試験

3.1 実験方法

図-4に試験板の形状と試験体の屋外設置方法を示す。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を同時に試験が可能な形状とした。耐食性、塗装密着性の向上を目的としてアロジン1000を用いた表面処理を行ったアルミ板を用意し、120×400×厚み1mm(一部2mm)を中央部分(200mm)で折り曲げたものとした。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。

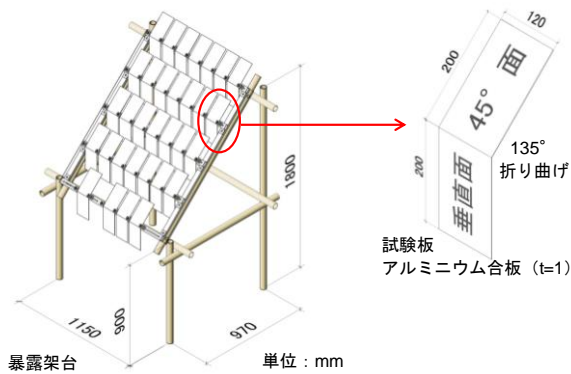


図-4 試験板の形状と試験体の屋外設置方法

3.2 評価方法

3.2.1 色差、明度差

45°面と垂直面の各試験体の上部・中央部・下部の計5カ所について色彩測色計(コニカミノルタ製 CR-400)を用いて測定した。垂直面については、雨筋が認められた場合に雨筋部分と雨筋がない部分をそれぞれ3~5カ所測定した。

同試験体において測定ヶ所ごとに暴露開始前の初期値と暴露経過1、3、6、12ヶ月後の値との差をそれぞれ色差(ΔE^*ab)、明度差(ΔL^*)とした。

3.2.2 光沢保持率

45°傾斜面と垂直面の各試験体表面の上部・中央部・下部の3箇所について光沢計(村上色彩技術研究所製 GMX-101)を用いて、60°鏡面光沢を測定した。暴露開始前の値を分母として、暴露経過1、3、6、12ヶ月後の値を分子にして求めた百分率を光沢保持率とした。なお、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。

4. 暴露12ヶ月後の試験結果

4.1 色差

図-5、図-6に、暴露1ヶ月後と12ヶ月後にお

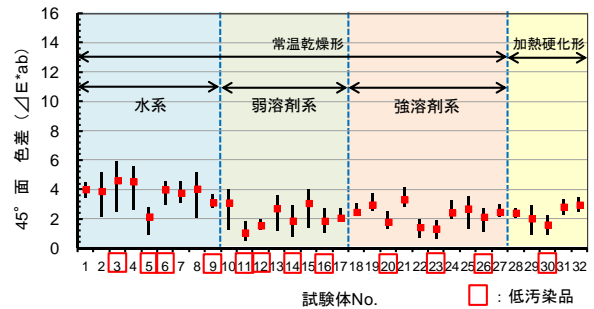


図-5 45°面の色差(ΔE^*ab)の結果(暴露1ヶ月時)

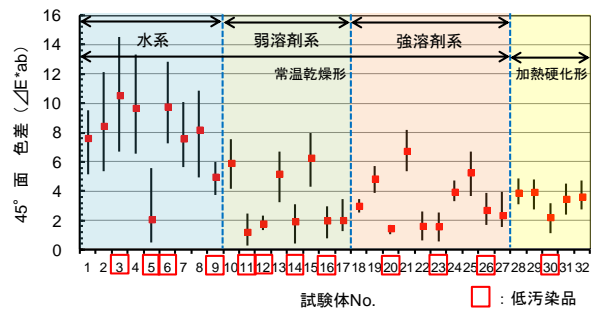


図-6 45°面の色差(ΔE^*ab)の結果(暴露12ヶ月時)

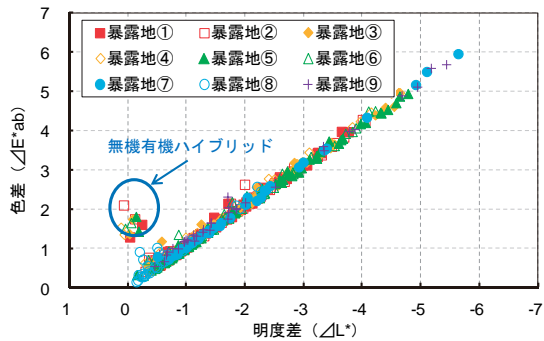


図-7 明度差(ΔL*)と色差(ΔE*ab)の関係

いて、塗装材料ごとに9暴露地における45°面の色差の最大・最小・平均値をそれぞれ示す。暴露1ヶ月後の色差の平均値は、弱溶剤系、強溶剤系、加熱硬化形に対して水系塗料が大きく、暴露12ヶ月後はさらにその差が大きくなり、最大値と最小値の較差も大きくなる傾向にあった。

図-7に、暴露1ヶ月後の明度差と色差との関係を示す。明度差と色差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に関しては明度差が0付近であり、材料の黄変と思われる色差の大きな値が認められた。

4.2 明度差

図-8に、塗装種ごとの暴露12ヶ月後の9暴露地における45°面の明度差の最大・最小・平均値を示す。塗装種間の明度差の大小関係は、色差と同じ傾向を示した。水系塗料のうち低汚染品は明度差が小さかった塗料が2品種のみであり、これら以外は汎用品よりも明度差が大きくなる結果となった。弱溶剤系、強溶剤系については、低汚染品の方が汎用品に比べて明度差が小さい傾向であった。また、加熱硬化形は、低汚染品、汎用品ともに明度差が小さい傾向であった。

図-9に塗装種ごとの暴露12ヶ月後の9暴露地における垂直面の明度差の最大・最小・平均値を示す。塗装種間の明度差の大小関係は45°面の結果と同じ傾向を示した。塗装種によらず低汚染品は、明度差の最大値と最小値の差が汎用品よりも小さく、試験体No.3、No.6を除くとその差は2以内であった。

4.3 光沢保持率

図-10、図-11に、塗装種ごとの暴露12ヶ月後の9暴露地における45°面と垂直面の光沢保持

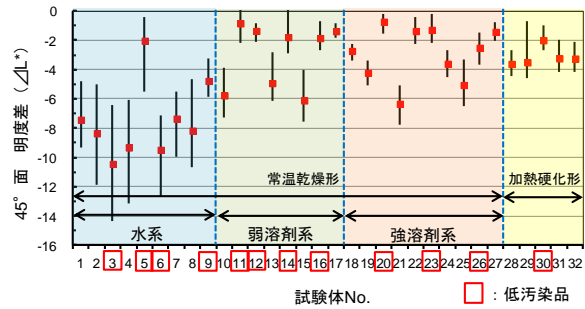


図-8 45°面の明度差(ΔL*)の結果(暴露12ヶ月時)

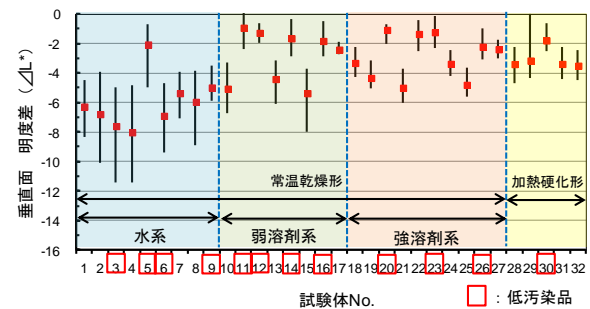


図-9 垂直面の明度差(ΔL*)の結果(暴露12ヶ月時)

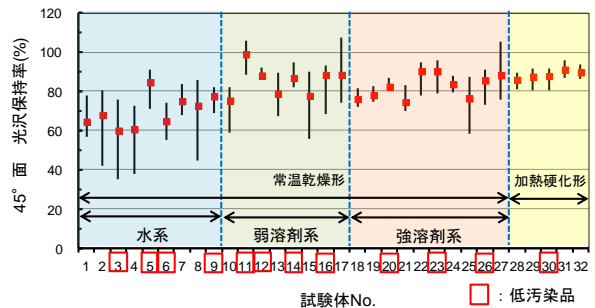


図-10 45°面の光沢保持率の結果(暴露12ヶ月時)

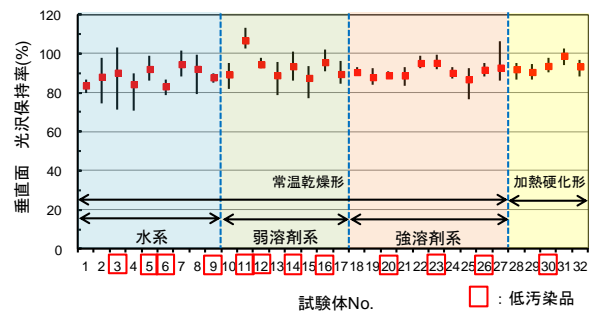


図-11 垂直面の光沢保持率の結果(暴露12ヶ月時)

率の最大・最小・平均値を示す。まず45°面では、水系塗料において最大値と最小値の較差が大きくなり、平均値が弱溶剤系、強溶剤系、加熱硬化形よりも低い傾向を示した。垂直面では、水系塗料において最大値と最小値の較差が大きかったが平均値は差がほとんどなかった。塗装種によらず、総じて低汚染品と汎用品で光沢保持率の差異も認められなかった。

4.4 暴露地ごとの汚れ方の傾向

次に、暴露地間の汚れ方の傾向を把握するため、45°面の光沢保持率と明度差の関係を見る。

図-12に明度差の較差の大きい暴露地⑤、図-13に光沢保持率低下が著しい暴露地⑦、図-14に明度差が小さい暴露地⑧について45°面の光沢保持率と明度差の関係を示す。光沢保持率は、暴露月数の経過とともに低い方へ、また明

度差は大きい方へ移行し、光沢保持率と明度差との関係は一樣に広がる傾向がみられた。しかし、各暴露地における拡がり方の傾向は同じではなく、図-12より両者の相関を示す近似線の傾きは0.311、図-13より同近似線の傾きは0.128であり、いずれも暴露地⑤の方が暴露地⑦よりも大きかった。暴露地⑧では、図-14から明度差の値そのものは小さいが、同近似線の傾きは、暴露地⑤と⑦の中間値である0.230を示した。

図-15に各暴露地における45°面光沢保持率と明度差との相関を示す近似線の傾き、および決定係数(R²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で0.20~0.22、暴露地①、⑧、⑨で0.23~0.24、暴露地②、③、⑤で0.28~0.32となったことからそれぞれ傾きが近い暴露地間では類似の傾向を示すと考えられる。このことは、これら暴露地間で汚れ物質の成分、または粒度等

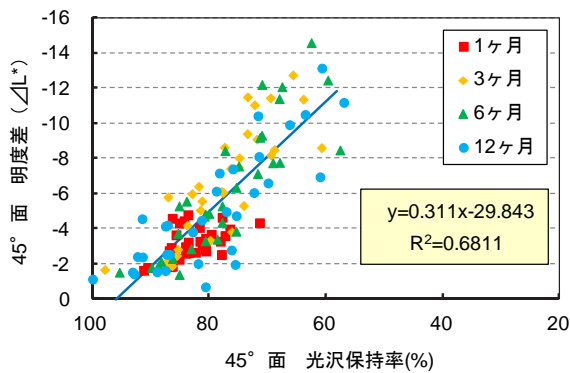


図-12 45°面の光沢保持率と明度差(ΔL*)の関係 (暴露地⑤)

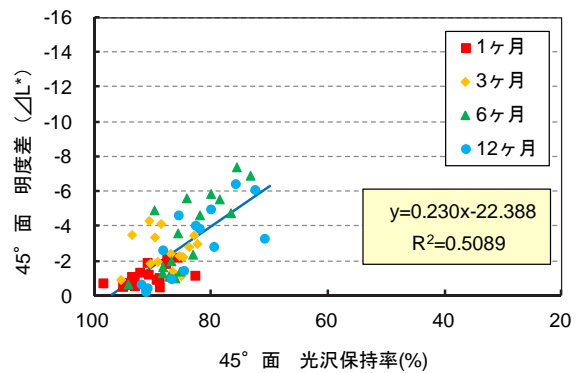


図-14 45°面の光沢保持率と明度差(ΔL*)の関係 (暴露地⑧)

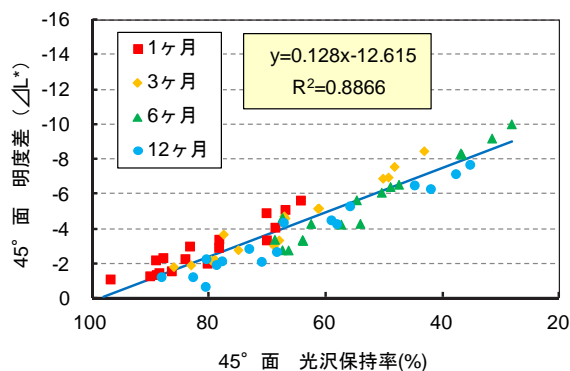


図-13 45°面の光沢保持率と明度差(ΔL*)の関係 (暴露地⑦)

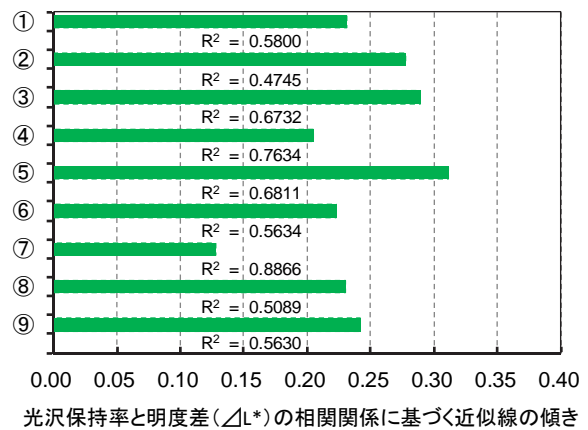


図-15 各暴露地の45°面の光沢保持率と明度差(ΔL*)の相関関係に基づく近似線の傾きと決定係数(R²値)

が共通していると示唆していると考えられる。また、光沢保持率の低下が著しい暴露地⑦の近似式における R^2 値は 0.8866 と高い値を示し、光沢保持率の低下と明度差との間に高い相関がみられた。45°面の明度差と垂直面の明度差の関係については、暴露地間の差異は認められなかった。その要因としては、汚れ物質の付着状態よりも、汚れ物質の種類による影響の方が大きいと考えられる。

5. 標準試験片選定のための屋外暴露試験

暴露環境の汚れ負荷量を定量的に評価する標準試験片の可否を検証するため、屋外環境下で変質しにくいと考えられる磨りガラス板と PTFE 板を選定し屋外暴露試験を行った。

5.1 試験方法

標準試験片の大きさは、70×150 mm、厚さは磨りガラス板が 3 mm、PTFE 板が 2 mm である。磨りガラス板は、表面に汚れが留まりやすい凹凸面を暴露面とし、PTFE 板は、静電気によって汚れが付着することを想定した。

いずれの標準試験片も、表面の状態を調整するため、暴露前に中性洗剤で洗浄後、よくすすいで乾燥させた。標準試験片は、塗装試験体を設置した近傍に水平上向きに暴露した。暴露状況例を写真-1に示す。

5.2 評価方法

暴露 1、3、6 ヶ月時に色彩測色計を用いて標準試験片表面を塗装試験体と同様に、測定内容により3カ所、または5カ所測定した。測定にあたって、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2枚重ねにした白紙を標準試験片の下に敷き下地の状態を揃えて測定した。

汚れ具合は、塗装試験体における評価と同様に明度差で整理し、複数箇所測定した結果の平均値をその試験片の値とした。

5.3 試験結果

図-16、図-17に、磨りガラス板とPTFE板についてそれぞれ設置した暴露地の各暴露 1、3、6 ヶ月後の明度差の変化を示す。

PTFE 板では、全般的に暴露経過月数による明度差の低下が大きく、汚れの付着状況が識別しや

すいと考えられる。一方、磨りガラス板は、暴露 3 ヶ月後においても明度差の低下が非常に小さかった。また、明度差 が-3 を下回るような領域では、暴露経過月数に対する明度差の低下割合が小さくなった。

5.3.1 暴露地による明度差の差異

図-16、図-17から暴露地による明度差の経時変化について、磨りガラス板と PTFE 板の両者に共通の傾向が認められた。

暴露地⑩(沖縄県宮古島)は、他の暴露地に比

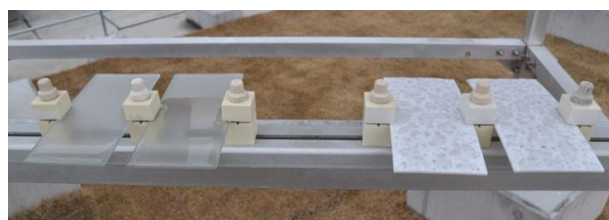


写真-1 標準試験片の暴露状況
(撮影: 暴露地⑤)

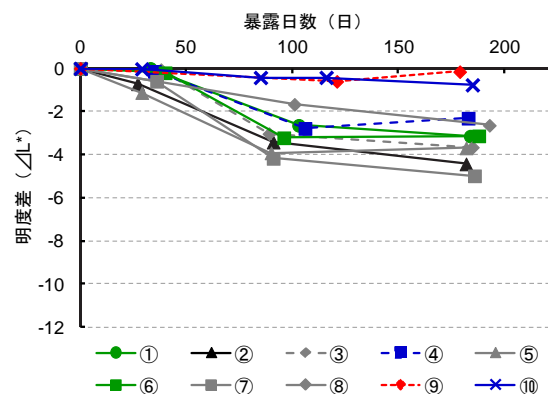


図-16 磨りガラス板の明度差(ΔL*)の経時変化

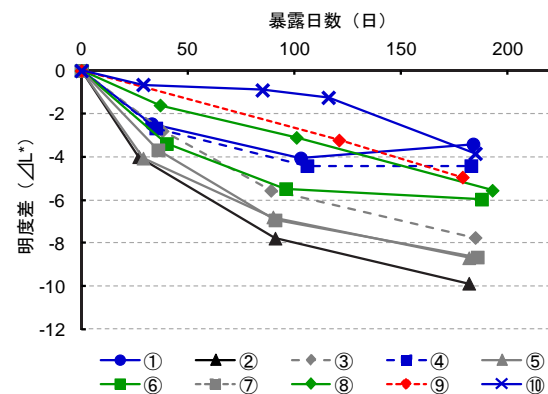


図-17 PTFE板の明度差(ΔL*)の経時変化

べ暴露期間による明度差の低下が小さかった。これは、周囲環境から汚れ物質が少ないため、汚れにくいと考えられる。一方、工業地帯である暴露地⑦は明度差の低下が大きかった。暴露地⑤は暴露地⑦に次いでこちらも明度差の低下が大きかった。暴露地⑤は表-1で都市部と位置づけたが、都市部でも東京湾岸沿いで工業地帯にも近いためと考えられる。他の都市部と位置づけた暴露地④、⑧、⑥、③の6ヶ月経過後の明度差の値は、暴露地⑩と⑤、⑦の間に位置した。暴露地②も都市部であるが、工業地帯の暴露地⑦のように明度差の低下が大きかった。暴露地②は都市部でも郊外で周囲に畑が点在しており、砂埃による影響が出ている可能性が考えられる。この結果から、汚れ物質の種類や量に対しては、地域性があるといえることができる。ただし、暴露地⑨については、磨りガラス板とPTFE板で明度差の低下に違いがみられた。磨りガラス板では暴露6ヶ月後の明度差の低下が暴露地⑩と同様かなり小さかった一方、PTFE板では都市部の暴露地と明度差が変わらなかったことから基材間の差異が大きく、汚れの付着機構に関係する可能性が考えられる。

5.3.2 試験片間の明度差の差異

図-18に、PTFE板と磨りガラス板の明度の関係を示す。なお図中には、磨りガラス板、PTFE板それぞれに原点を通る近似線を示した。

図-16でみられた磨りガラスの汚れの経時変化における特性が表れていた。これによれば、比較的汚れ付着が少ないと考えられる暴露1ヶ月(25~40日経過)後のデータにおいては、磨りガラス板はPTFE板に比べ明度差がかなり小さく、データのばらつきが大きめであった。暴露3ヶ月(90~100日経過)後のデータでは、両試験片の明度差には高い相関が見られ、磨りガラス板はPTFE板の明度差の半分程度の値であった。図-16の経時変化の傾きが小さくなる暴露6ヶ月(180日経過)後には、再びばらつきが大きくなり、磨りガラス板の明度差の変化も相対的にやや小さくなる傾向がみられた。

5.3.3 塗装試験体との比較

塗装試験体における汚れ具合と、磨りガラス板、PTFE板の汚れ具合の関係を見るため、図-19に、暴露3ヶ月後における暴露地ごとの塗装試験体による平均明度差(45°面、垂直面の区別無しにした平均)と磨りガラス板、PTFE板の平均明度差の

関係を示す。なお図中には、磨りガラス板、PTFE板それぞれに原点を通る近似線を示した。

いずれの標準試験片の明度差も塗装試験体の明度差の平均値との間に相関がみられ、明度差の値から塗装試験体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あることがわかった。

今後、塗装の種類や暴露地の環境、汚れ物質の成分等を変動因子として詳細に分析することにより、標準試験片として、磨りガラス板、もしくはは

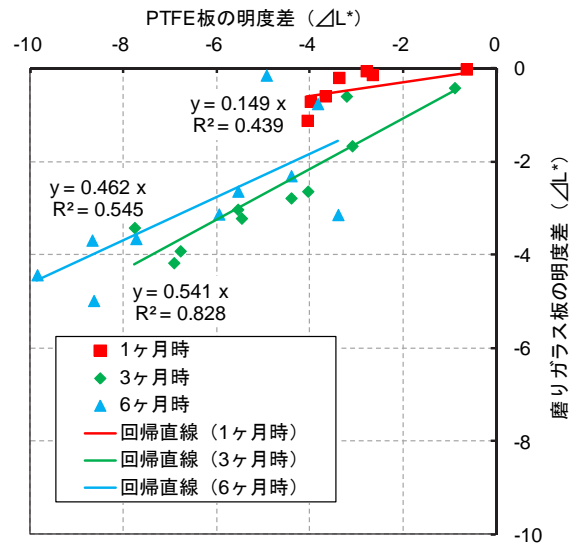


図-18 磨りガラス板とPTFE板の明度差(ΔL*)

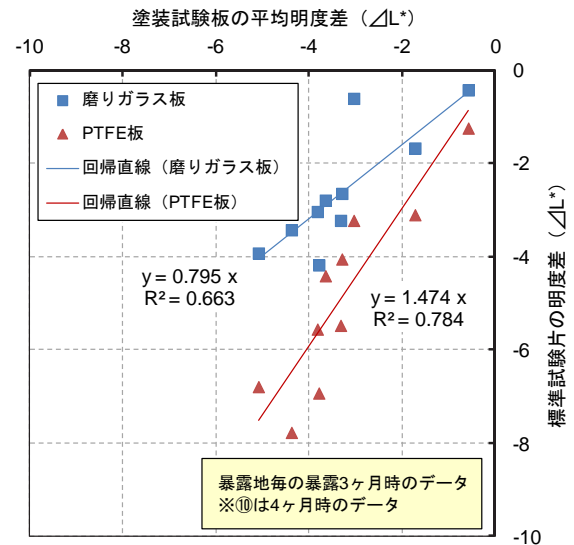


図-19 塗装試験板と標準試験片の明度差(ΔL*)の比較

PTFE 板の適性が明確になると考える。

6. まとめ

本報告では、外装材の汚れ評価に関する適切な試験方法を提案することを目的として、組織された WG において、32 種の塗料を各塗装した試験片、および汚れの量を定量化する標準試験片を決めるため基材に用いた磨りガラス板、PTFE 板を用意し、国内 10 箇所の暴露地に設置し実施した屋外暴露試験の 12 ヶ月後の試験結果について述べた。

その結果、

- ① 塗装種によって汚れの程度が異なり、水系塗料は他の溶媒系塗料に比べて明度差が大きい傾向にあった。
- ② 汚れにくい低汚染品は暴露 12 ヶ月後の垂直面において明度差の最大と最小の差はほとんどの塗料で 2 以内であった。
- ③ 明度差が大きくても低汚染品と汎用品の光沢保持率に差はみられなかった。
- ④ 暴露環境の汚れ負荷量を定量化する標準試験片としての磨りガラス板と PTFE 板は、暴露 3 ヶ月後の測定結果から各暴露地の両標準試験片の明度差と塗装試験体の平均明度差の間に高い相関関係があることがわかった。

今後は、暴露地ごとの磨りガラス板と PTFE 板の標準試験片の明度差について、降雨量、大気物質等の環境データ、汚れ物質の成分との関係について分析、整理を行う。そして、標準試験片としての適用範囲を明確にするとともに、外装用塗装材料の汚れの評価方法を検討していく予定である。

【謝 辞】

屋外暴露試験の実施にあたっては、日本大学生産工学部建築工学科 永井研究室、および日本建築仕上材工業会にご協力頂きました。ここに謝意を表します。

【注 釈】

- 1) 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。代表的な製品にテフロン、ナフロンがある。

【参考文献】

- 1) (一財) 建材試験センター: 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」、2002

2) (一財) 土木研究センター : 「防汚材料評価促進試験方法 I ~ IV」

3) (社) 建築業協会 材料施工専門部会 仕上材料研究会 材料データベース WG : 「ユーザーから見た建築材料の機能・性能比較」、月刊建築仕上技術、34 号、pp.36~48、2006.12