

光触媒を応用した外装仕上げ材の耐久性と防汚性の評価

屋外暴露 10 年の結果

久保田浩*¹・高橋愛枝*¹

Keywords : photocatalyst, ceramic tile, coating, outdoor exposure test, durability, stain resistance

光触媒, タイル, 塗料, 屋外暴露試験, 耐久性, 防汚性

1. はじめに

二酸化チタンの光触媒作用（汚れ防止、環境浄化、抗菌など）を応用した仕上げ材が多数商品化されている。二酸化チタンは紫外線が当たることにより、2種類の活性酸素を生成して有機物の汚れを分解する分解機能と、さらに親水基による親水性により付着した塵埃を雨水により洗い流す親水機能で、汚れを除去するメカニズムとされている。本報では、光触媒作用の汚れ防止効果に着目し、建築用の外装仕上げ材の内、タイルと塗料について屋外暴露試験を実施している^{1),2),3),4),5)}。屋外暴露 10 年が経過したので、耐久性と防汚性の評価を行った。

2. 供試材料

2.1 タイル

タイルの供試材料を表-1に示す。光触媒タイル2銘柄と、比較用として光触媒機能を有していない表面を親水化した親水化タイル1銘柄と通常タイル1銘柄の計4銘柄とした。いずれも市販されている材料である。50二丁タイルとし、色は白色で、艶消しのマット釉タイルとした。

2.2 塗料

塗料の供試材料を表-2に示す。光触媒塗料1銘柄と、比較用の低汚染タイプのふっ素樹脂塗料3銘柄である。光触媒塗料に関しては、二酸化チタンの含有量が少ない汚れ防止タイプ（記号PS）と、二酸化チタンの含有量が多い環境浄化タイプ（記号PN）の2種類について検討を行った。また、PS-2のみ焼付け塗料で、それ以外は常温乾燥形塗料である。ふっ素樹脂塗料に

表-1 タイルの供試材料

Table 1 Test materials of ceramic tile

記号	種類	製造所
A-1	光触媒タイル	a
A-2	光触媒タイル	b
B	親水化タイル	c
C	通常タイル	c

表-2 塗料の供試材料

Table 2 Test materials of coating

記号	種類	製造所	機能	色
PS-1	光触媒塗料	a	汚れ防止	クリヤー
PS-2	光触媒塗料	b	汚れ防止	クリヤー
PS-3	光触媒塗料	c	汚れ防止	クリヤー
PS-4	光触媒塗料	d	汚れ防止	クリヤー
PS-5	光触媒塗料	e	汚れ防止	クリヤー
PS-6	光触媒塗料	f	汚れ防止	クリヤー
PS-7	光触媒塗料	g	汚れ防止	白
PN-1	光触媒塗料	h	環境浄化	白
PN-2	光触媒塗料	i	環境浄化	白
PN-3	光触媒塗料	j	環境浄化	白
PN-4	光触媒塗料	k	環境浄化	白
FS-1	ふっ素樹脂塗料	a	汚れ防止	白
FC-1				クリヤー
FS-2	ふっ素樹脂塗料	i	汚れ防止	白
FC-2				クリヤー
FS-3	ふっ素樹脂塗料	l	汚れ防止	白
FC-3				クリヤー

関しては、ソリッド（白、記号FS）とクリヤー（つや消し、記号FC）の2種類の検討を行った。

3. 試験体

3.1 タイル

タイル試験体の形状を図-1～2に示す。図-1の試験体1は、シーリング材の種類の違いによる検討で、

*1 技術センター建築技術研究所建築構工法研究室

シリコン系、変成シリコン系、ポリサルファイド系2種類（金属氧化物硬化形とイソシアネート硬化形）、ポリイソブチレン系の計5種類を用いて、屋根面から流れた水がシーリング材を通してタイル面に流れる形状とした。いずれも2成分形のシーリング材である。また、比較用としてシーリング材なしも作製した。

図-2の試験体2は、方位と暴露角度の違いによる検討で、タイルを南面と北面に向け、壁面と斜壁を想定し、水平面より30度と90度に傾けた状態で、壁面の中央には1成分形シリコン系シーリング材を打設して、シーリング材による影響も検討できる形状とした。

3.2 塗料

塗料試験体の形状を図-3に示す。雨筋汚れが付きやすいように、100×200×1mmのアルミ板の上部を水平面より30度に折り曲げた試験体について、各塗料製造所の標準仕様で塗装した。ただし、クリアーに関しては、一般的な塗料で白色に塗装した後クリアーを塗装した。

4. 試験方法

4.1 暴露方法

暴露状況を写真-1～2に示す。神奈川県横浜市にある当社技術センター屋上にて、屋外暴露試験を行った。タイル試験体1は、南面に向けた状態で、タイル試験体2は、南面および北面に向けた状態で暴露試験を行った。塗料試験体は、南面および北面に向けた状態で暴露試験を行った。暴露地は、北西面が片側2車線の有料道路に面しており、料金所が近くにあるため、非常に汚れやすい環境にある。

4.2 測定方法

4.2.1 タイル

外観の目視観察を実施し、色彩色差計（ミノルタ社製、CR-300）を用いて、明度（ L^* ）を測定し、暴露前と暴露後の明度差（ ΔL^* ）を求めて、汚れの評価を行った。

4.2.2 塗料

外観を目視により観察し、塗膜の膨れ、割れ、はがれ、白亜化についてJIS K 5600（塗料一般試験方法）に準じて評価した。また、光沢計（ミノルタ社製、GM-60）を用いて、60度鏡面光沢度を測定し、暴露前後の変化量として光沢保持率を求めた。タイルと同様に明度の測定を実施した。さらに、走査型電子顕微鏡（日立ハイテクノロジーズ社製、S-4100）を用いて塗膜表面の観察を実施した。

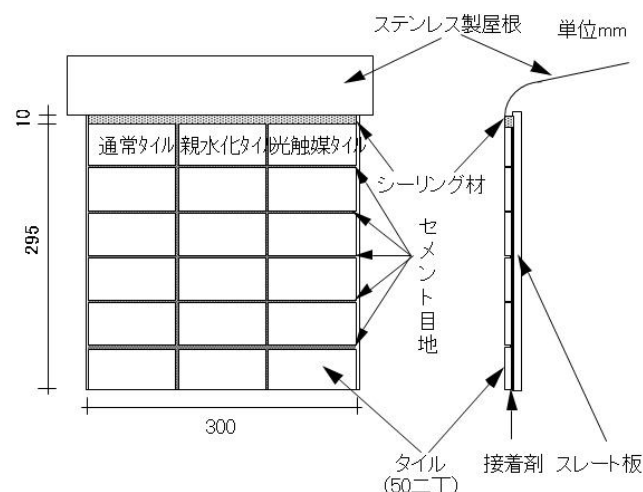


図-1 タイル試験体1
Fig.1 Test piece 1 of ceramic tile

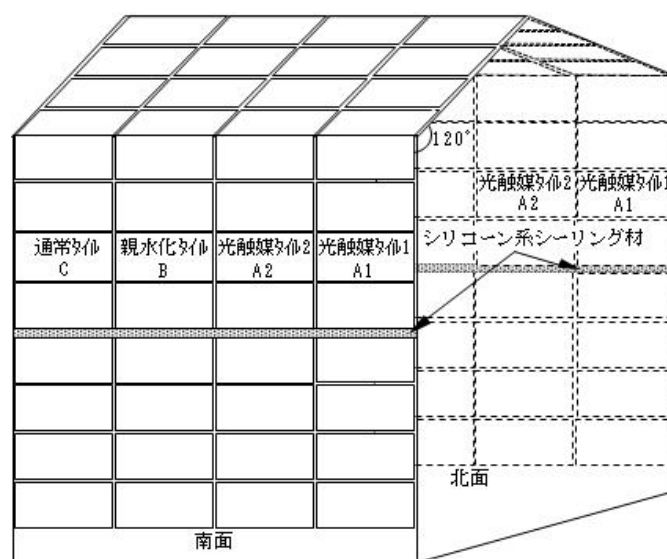


図-2 タイル試験体2
Fig.2 Test piece 2 of ceramic tile

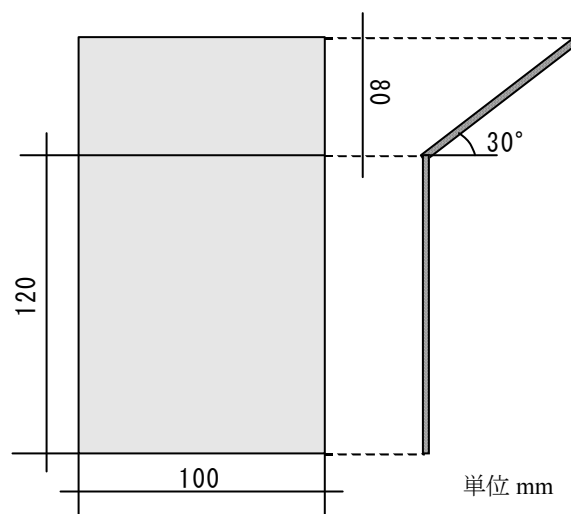


図-3 塗料試験体
Fig.3 Test piece of coating



写真-1 タイル試験体1の暴露状況
Photo1 Outdoor exposure test of ceramic tiles (Test piece 1)



写真-2 塗料試験体の暴露状況
Photo2 Outdoor exposure test of coatings

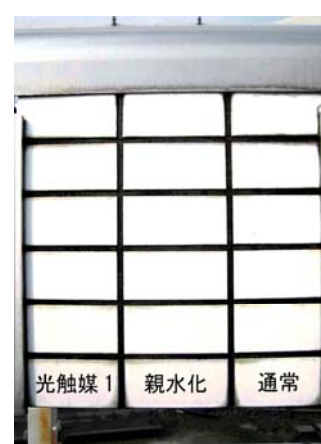


暴露 2 年

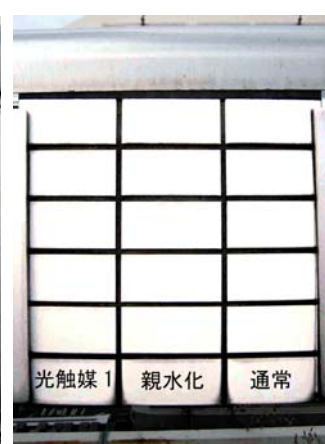


暴露 10 年

写真-3 シリコン系シーリング材下部の状態
Photo3 Test result of ceramic tiles under silicone sealant



シールなし



ポリイソブチレン系

写真-4 シールなしとポリイソブチレン系シーリング材下部の状態 (暴露 10 年)
Photo4 Test result of ceramic tiles under polyisobutylene sealant and non sealant (After 10 years exposure)

5. 試験結果および考察

5.1 タイル

5.1.1 シーリング材種類の違い

試験結果を写真-3～4および図-4～5に示す。

目視観察の結果、異常は認められなかった。

シーリング材の種類による差は、シリコン系シーリング材直下の全てのタイルは、暴露半年以内で明度差が-10 以下であり、汚れが顕著であることが分かった。しかし、親水化タイルは明度差が-4 以上であり数値上は汚れていないように見えるが、これはタイルの中央部で測定しているためで、実際には写真-3に示すように上部が汚れていた。その他のシーリング材は、汚れはほとんどなく、差が認められなかった。

したがって、シーリング材で汚れが問題になるのはシリコン系シーリング材のみであった。

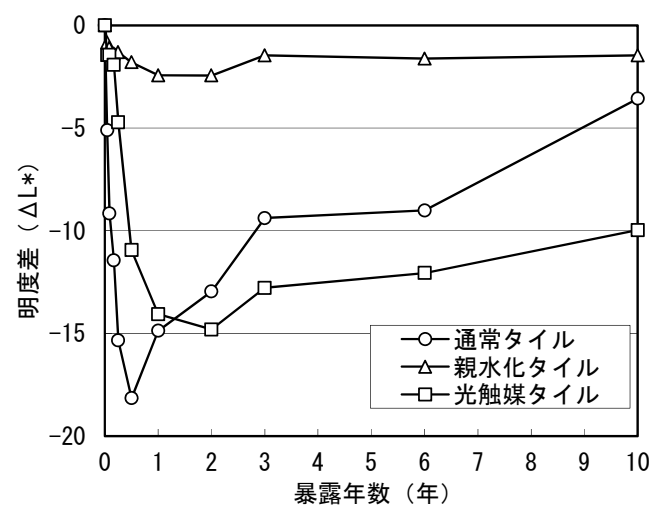


図-4 シリコン系シーリング材直下の試験結果(試験体1)
Fig.4 Test result of ceramic tiles under silicone sealant(Test piece 1)

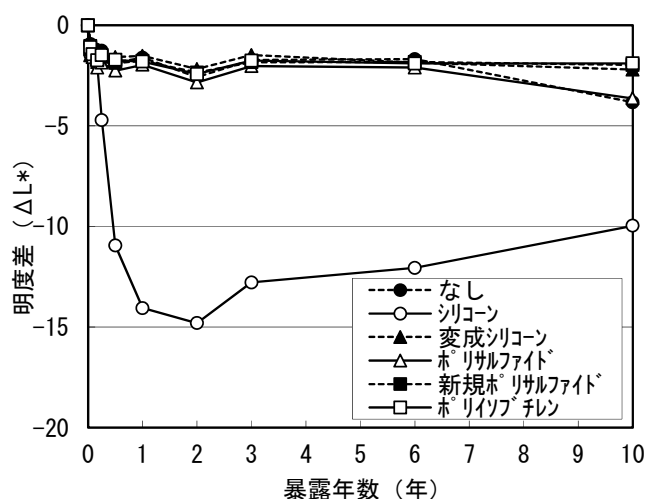


図-5 光触媒タイルの試験結果(試験体1)

Fig.5 Test result of photocatalytic ceramic tile (Test piece 1)

5.1.2 方位と暴露角度の違い

試験結果を写真-5～6および図-6～8に示す。

目視観察の結果、異常は認められなかった。

タイルの種類による差は、シリコン系シーリング材下部では暴露2年で光触媒タイル1と親水化タイルおよび通常タイルの明度差(ΔL^*)は汚れが顕著と感じる-10以下であり、最下部のタイルでは北面の暴露5年で光触媒タイル2と通常タイルの明度差が-10以下であった。暴露10年ではバラツキが認められるが、光触媒タイル2と親水化タイルの明度差はほとんどが-10以上であったが、光触媒タイル1と通常タイルの明度差は-10以下が多く認められた。したがって、シリコン系シーリング材下部では、親水化タイルと光触媒タイル2は防汚効果が若干あるが、光触媒タイル1はほとんど防汚効果がないことが分かった。

シーリング材の影響がない30度面と90度面は、暴露5年までは明度差は汚れが目立たないと感じる-4以上で差が認められなかったが、暴露10年では銘柄間に差が認められ、光触媒タイル2と親水化タイルの明度差はほとんどが-4以上であったが、光触媒タイル1と通常タイルの明度差は-4以下が多く認められた。したがって、シリコン系シーリング材の影響がない一般部では、暴露5年まではほとんど汚れは目立たないが、暴露10年で光触媒タイル1と通常タイルの汚れが目立つ結果であり、親水化タイルと光触媒タイル2は防汚効果があることが分かった。

方位による差は、暴露5年までは北面の方がやや汚れやすく、暴露10年で南面の方が汚れやすい傾向があるが、ほとんど差はなかった。



写真-5 北面のシリコン系シーリング材下部の状態(試験体2)

Photo5 Test result of ceramic tiles under silicone sealant at north direction (Test piece 2)

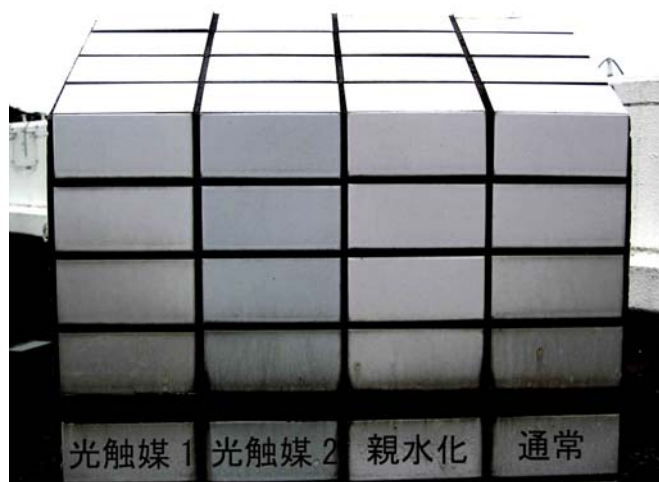


写真-6 北面の一般部の状態(試験体2)

Photo6 Test result of ceramic tiles under non sealant at north direction (Test piece 2)

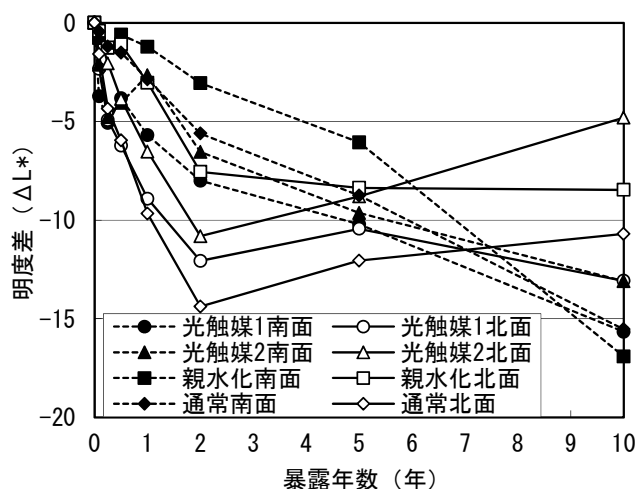
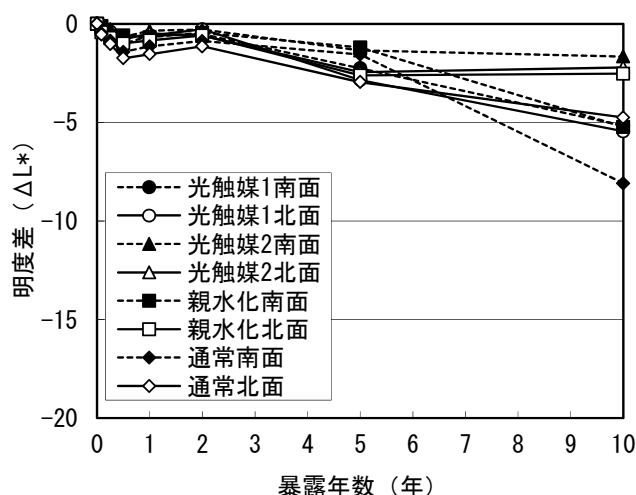


図-6 シリコン系シーリング材直下の試験結果(試験体2)

Fig.6 Test result of ceramic tiles under silicone sealant (Test piece 2)

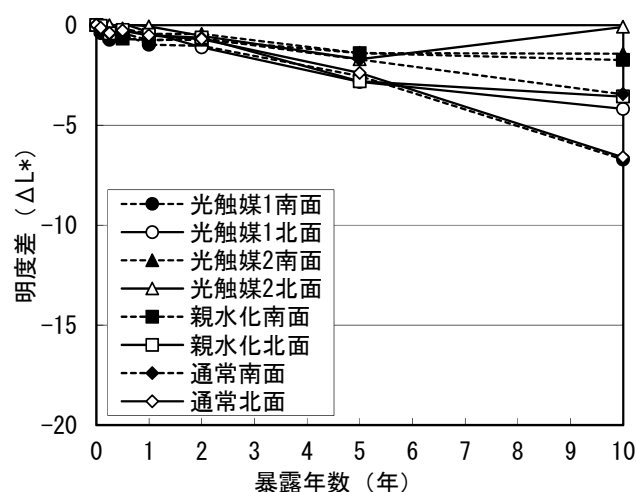
30 度面と 90 度面の暴露角度による差は、シリコーン系シーリング材の影響がない一般部ではほとんど認められなかった。

以上のことから、タイルそのものは汚れが付きにくい材料であるが、淡彩色のタイルでは種類によっては経年で汚れがやや目立つことが分かった。



図－7 30 度の試験結果 (試験体 2)

Fig.7 Test result of ceramic tiles for 30° exposure (Test piece 2)



図－8 90 度の試験結果 (試験体 2)

Fig.8 Test result of ceramic tiles for 90° exposure (Test piece 2)

5.2 塗料

5.2.1 外観

屋外暴露 10 年の外観の観察結果を表－3 に、暴露後の状態を写真－7～9 に示す。

光触媒塗料は、膨れは認められなかった。しかし、記号 PS-3 に割れが認められ、11 銘柄中 8 銘柄にはがれが生じていた。特に、環境浄化タイプ (記号 PN) は、4 銘柄中 3 銘柄は塗膜が消失していた。白亜化は、2 銘柄 (記号 PS-1, PS-2) に生じていなかった。しかし、記号 PS-2 は、僅かにはがれが認められた。また、記号

PN-3 は目視で確認できるほど汚れが顕著であった。これは、今回の試験体の中で表面の凹凸が大きいので、汚れが付着しやすいと考える。外観上の異常は認められなかったのは記号 PS-1 のみであった。他の銘柄はいずれもはがれや白亜化が顕著であり、光触媒塗料は耐久性に劣ることが分かった。

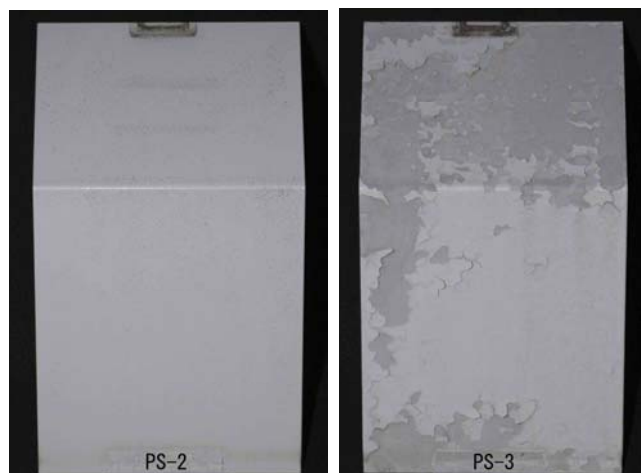
ふっ素樹脂塗料は膨れや割れおよびはがれなどの異常が認められなかった。しかし、ソリッドは白亜化が進行していることが分かった。

表－3 外観の観察結果

Table3 Observation result of externals

記号	劣化の等級			
	膨れ	割れ	はがれ	白亜化*
PS-1	0	0	0	0
PS-2	0	0	1(S2)b	0
PS-3	0	4(S5)c	5(S5)b	×
PS-4	0	0	5(S5)b	×
PS-5	0	0	0	5
PS-6	0	0	5(S5)b	×
PS-7	0	0	5(S5)b	×
PN-1	0	0	5(S5)b	×
PN-2	0	0	5(S5)b	×
PN-3	0	0	0	2
PN-4	0	0	5(S5)b	×
FS-1	0	0	0	3
FC-1	0	0	0	—
FS-2	0	0	0	4
FC-2	0	0	0	—
FS-3	0	0	0	4
FC-3	0	0	0	—

* : ×は、はがれが大きいために測定不可
—は、クリアーのため測定していない



PS-2 (暴露 10 年)

PS-3 (暴露 10 年)

写真－7 光触媒塗料の南面暴露の結果 1

Photo7 Test result of photocatalytic coating at south direction exposure

5.2.2 光沢

光沢保持率の結果を図-9に示す。全面にはがれが生じていた材料については、はがれが生じた時点から試験結果は図に記載していない。

水洗後のデータで比較すると、光沢保持率が80%を超えているのは、光触媒塗料である記号PS-1とふっ素樹脂塗料であるクリアタイプの記号FC-3の2銘柄のみであった。また、光触媒塗料である記号PS-2とPS-3、ふっ素樹脂塗料であるクリアタイプの記号FC-1とFC-2は60%を超えていた。

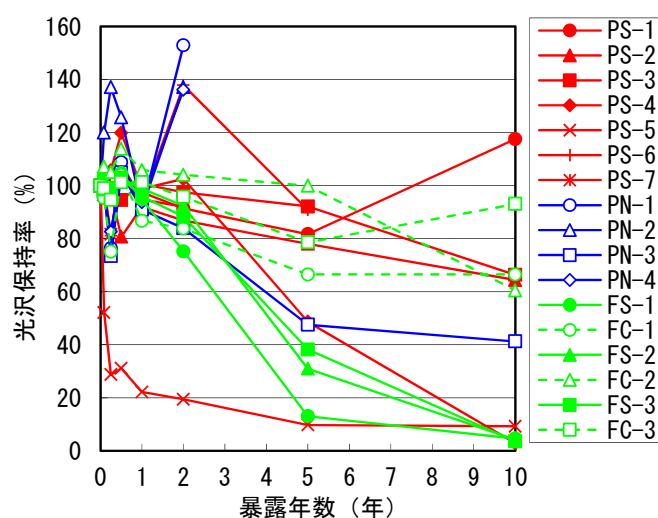


図-9 光沢保持率の南面30度の試験結果

Fig.9 Test result of gloss remaining rate for 30° exposure at south direction

5.2.3 明度差

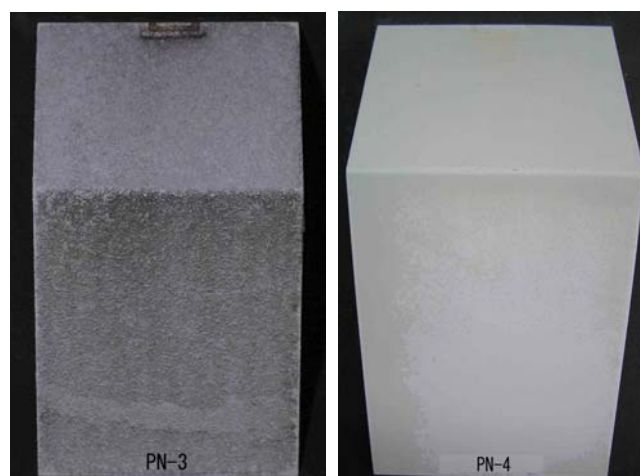
明度差の結果を図-10に示す。

光触媒塗料は、記号PN-3以外は汚れが目立たないと感じられる ΔL^* が-4以上であることから防汚性が高いことが分かった。しかし、記号PN-3は汚れが顕著と感じられる ΔL^* が-10以下であり、目視観察の結果とも一致していた。

ふっ素樹脂塗料は、暴露5年までは銘柄間に差が認められ、記号FC-1が防汚性に劣っていたが、暴露10年ではほとんど差が認められなかった。これは表面が白亜化して汚れが洗い流されやすくなったためである。

方位による差は、汚れがやや目立つ銘柄($\Delta L^* \leq 4$)については暴露2年までは南面より北面がやや汚れやすい傾向が認められたが、暴露5年以降は差がほとんどなかった。

暴露角度による差は、ふっ素樹脂塗料は、暴露1年までは30度面は90度面よりも汚れが付きやすかったが、光触媒塗料には差が認められなかった。

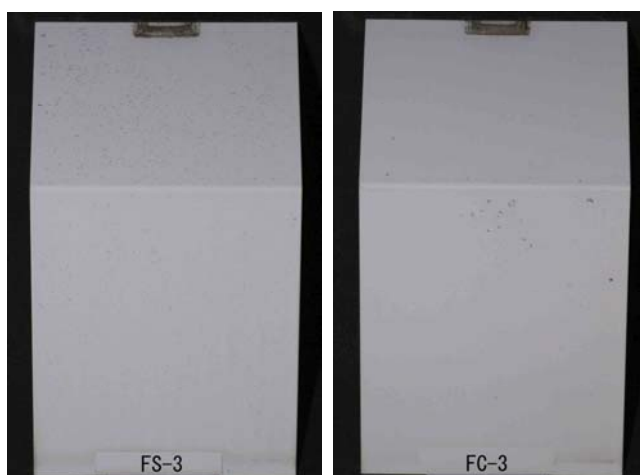


PN-3 (暴露10年)

PN-4 (暴露5年)

写真-8 光触媒塗料の南面暴露の結果2

Photo8 Test result of photocatalytic coating at south direction exposure



FS-3 (暴露10年)

FC-3 (暴露10年)

写真-9 ふっ素樹脂塗料の南面暴露の結果

Photo9 Test result of fluoro resin coating at south direction exposure

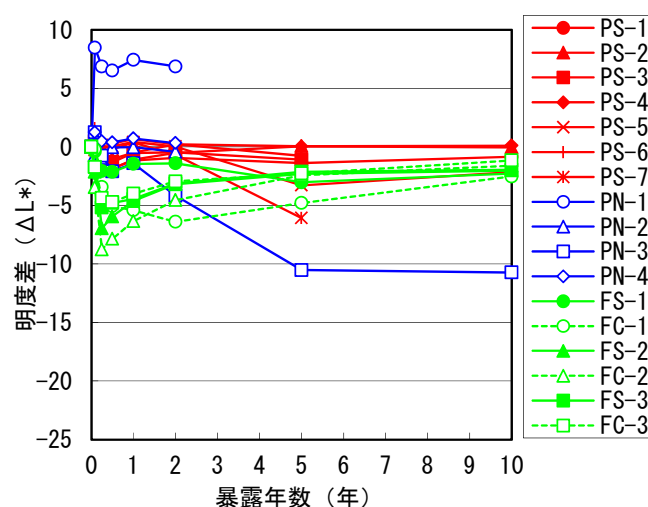


図-10 明度差南面30度の試験結果

Fig.10 Test result of brightness difference for 30° exposure at south direction

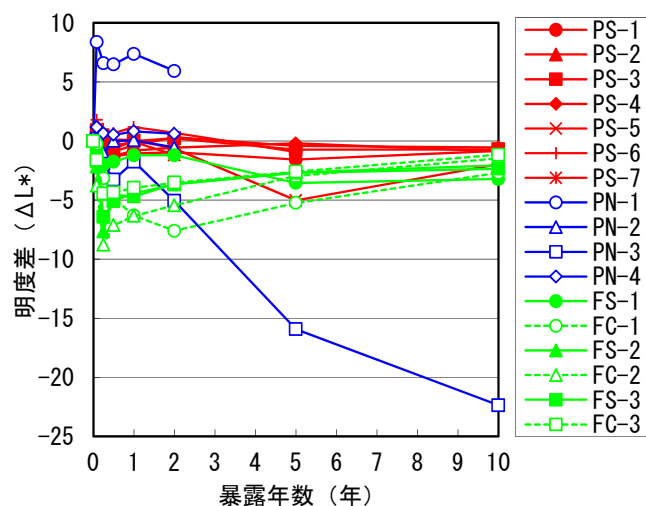


図-11 明度差北面30度の試験結果

Fig.11 Test result of brightness difference for 30° exposure at north direction

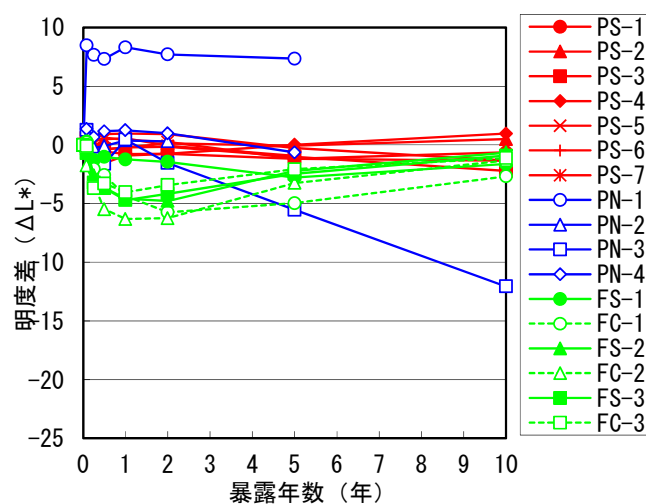


図-12 明度差南面90度の試験結果

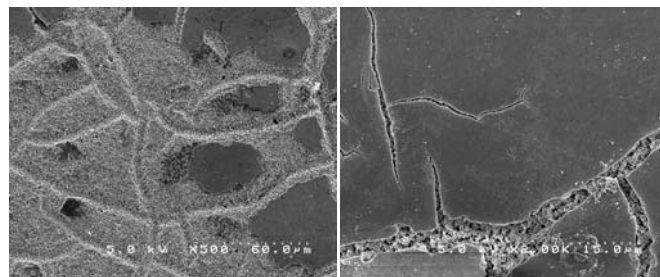
Fig.12 Test result of brightness difference for 90° exposure at south direction

5.2.4 電子顕微鏡観察

電子顕微鏡観察の結果を写真-10～13に示す。写真-10より光触媒塗料に肉眼では確認できない割れが発生し、はがれが生じていることが分かった。また、写真-11より光触媒塗料の下塗膜が劣化しているのが分かり、ひび割れ部は特に著しいことが分かった。さらに、写真-12より写真-10～11と同様に、光触媒塗料にはがれが生じ、光触媒塗料の下塗膜が劣化していることが分かった。したがって、光触媒塗料は始めに塗膜に割れが生じ、割れが生じた部分の下塗膜が劣化し、はがれを生じて劣化していると推定される。

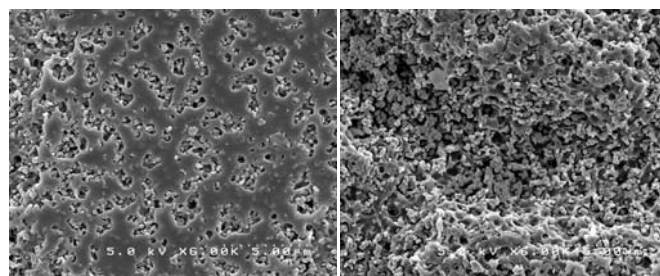
ふっ素樹脂塗料に関しては、白亜化は生じているが、塗膜に割れなどは発生しておらず、部分的に劣化は生

じているが、健全な部分が残っていることが分かった。したがって、ふっ素樹脂塗料は極表層のみの劣化であると考えられる。クリアーも同様に極表層のみの劣化であることが分かった。



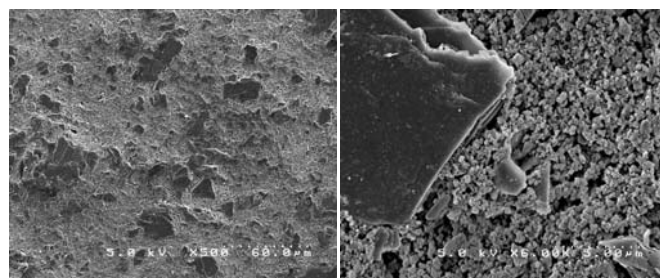
500倍

2000倍

写真-10 PS-4表面の電子顕微鏡写真
Photo10 Electron micrograph of PS-4 surface

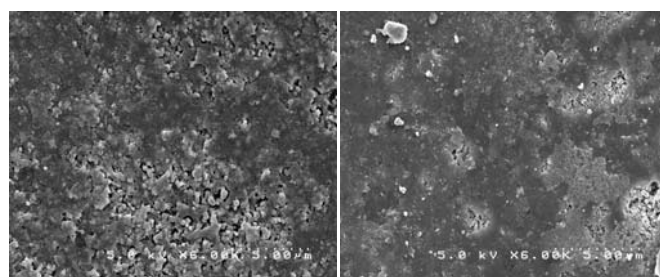
6000倍

6000倍

写真-11 PS-4表面の電子顕微鏡写真
Photo11 Electron micrograph of PS-4 surface

500倍

6000倍

写真-12 PN-1表面の電子顕微鏡写真
Photo12 Electron micrograph of PN-1 surface

FS-3 6000倍

FC-3 6000倍

写真-13 FS-3とFC-3表面の電子顕微鏡写真
Photo13 Electron micrograph of FS-3 and FC-3 surface

6. まとめ

6.1 タイル

光触媒タイルの試験結果のまとめを以下に示す。

- ① 目視観察の結果、異常は認められなかった。
- ② シリコン系シーリング材に起因する汚れに対しては、ほとんど効果がない。
- ③ 光触媒タイル 2 と親水化タイルは防汚性に優れているが、光触媒タイル 1 は通常タイルと同程度の防汚性しかない。

以上のことから、光触媒タイルは、耐久性は問題ないが、シリコン系シーリング材に起因する汚れに対してはほとんど効果がなく、塵埃等の汚れが目立つ材料があることが分かった。タイルは、それ自身は汚れが付きにくい材料であるが、淡彩色のタイルでは汚れが目立つタイルが認められることから、通常のタイルではなく光触媒タイル 2 や親水化タイルなどの汚れにくいタイルを選定する必要がある。

6.2 塗料

光触媒塗料の試験結果とこれまでに得られた知見^{1),2),3),4),5)}をまとめた結果を以下に示す。

- ① 現場施工用の常温乾燥形塗料では、ほとんどの材料が 5 年未満の耐久性しかない。現在市販されている塗料では PS-3 は 5 年以上の耐久性があるが 10 年の耐久性はない。
- ② 焼付け塗料は、5 年以上の耐久性があるが 10 年の耐久性はない。
- ③ 防汚性能に関しては、防汚効果は非常に高い。
- ④ 塗装直後より、肉眼では確認できない微細なひび割れが発生している材料がある。
- ⑤ 塗膜の上に塗装する場合は、光触媒塗膜表面に浅い割れが認められるケースや、下の塗膜が光触媒

作用により劣化が促進されるケースがあるので、避けた方がよい。

- ⑥ 光触媒塗料は膜厚が薄く、躯体保護効果がない。
- ⑦ 光触媒塗料と比較すると、低汚染タイプのふっ素樹脂塗料の方が総合的に優れている。

以上のことから、光触媒塗料は、外壁に適用する場合、現場施工用の常温乾燥形塗料は、ほとんどが 5 年未満の耐久性しかないことが明らかになった。5 年以上の耐久性があり防汚性が高いのは 2 銘柄のみであり、これらも 10 年の耐久性はないことが分かった。したがって、10 年以上の耐久性がある低汚染タイプのふっ素樹脂塗料の方が総合的に優れている。また、光触媒塗料を採用する場合はタイルや石およびガラスなどの無機物に工場で焼付け塗装することが望ましい。

参考文献

- 1) 久保田浩：光触媒を応用した外壁仕上材料の耐汚染性に関する研究 その 1 外装タイルの屋外暴露試験，日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1 材料施工，pp.379-380，2002.8
- 2) 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，日本建築仕上学会 2002 年大会学術講演会研究発表論文集，pp.69-72，2002.9
- 3) 久保田浩：光触媒を応用した外壁仕上材料の耐汚染性に関する評価，大成建設技術センター報，Vol.35，pp.3-1-6，2002.10
- 4) 高橋愛枝，久保田浩：光触媒を応用した塗料の耐汚染性と耐久性に関する評価（屋外暴露 5 年の結果），日本建築学会大会学術講演梗概集，A-1 材料施工，pp.1113-1114，2006.9
- 5) 高橋愛枝，久保田浩：光触媒を応用した外壁仕上材料の防汚性と耐久性に関する評価，日本建築仕上学会 2006 年大会学術講演会研究発表論文集，pp.95-98，2006.10