

## 北緯 28 度以南の南西諸島で実施する屋外暴露試験の劣化促進性

○北川将司\*<sup>1</sup> 近藤照夫\*<sup>2</sup> 木口忠広\*<sup>1</sup>

## 1. はじめに

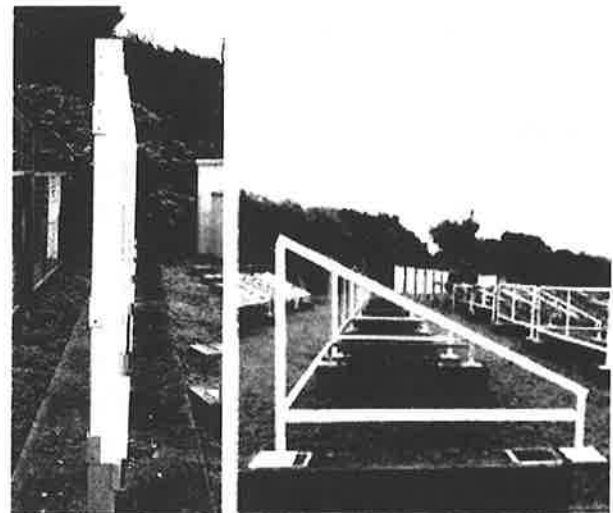
建築用アルミニウム合金材料の表面仕上げである加熱硬化形塗装に対しては、環境に対する配慮から、塗装時に VOC（揮発性有機化合物）を排出しない粉体塗料の適用可能性に関する研究成果が多数報告されている<sup>1~2)</sup>。

特に、粉体塗料の耐候性については、沖縄県を含む北緯 28 度以南の南西諸島で実施された試験結果に基づいた評価方法が詳細に検討されている<sup>3)</sup>。2018年に発行された日本建築仕上学会編「建築用アルミニウム合金材料 粉体塗装仕様標準指針・同解説」では、耐候性評価には屋外暴露試験の条件として、北緯 28 度以南の南西諸島において、暴露の方位と角度を「南面 20~30 度」と規定されている<sup>4)</sup>。しかし、実際の建築物の鉛直壁面は 90 度であり、屋外暴露試験より日射の時間は短く、強度は小さくなるため、穏やかな劣化の進行であるとされている<sup>5)</sup>。

本報では、沖縄県伊計島において暴露角度 27 度で評価した結果を 90 度（鉛直面）で評価した結果と比較して、塗膜に対する暴露角度の劣化促進性を検討する。また、沖縄県伊計島と愛知県小牧市において、鉛直面で暴露試験をした結果を比較して、北緯 28 度以南の南西諸島で実施する屋外暴露試験が本州に立地する建築外装に対して、どの程度の劣化促進性を有するかを検討する。

## 2. 試験片の作製

評価対象とした塗料および暴露時期を表 1 に示す。暴露試験は、2010 年と 2012 年の 2 回に分けて開始している。また、沖縄県で実施している試験片の設置状況を写真 1 に示す。



① 暴露角度 90 度（鉛直面） ② 暴露角度 27 度  
写真 1 沖縄県での試験片の設置状況

硬化塗膜の 60 度鏡面光沢度は 25±5 に、色調は灰色（マンセル表色系:N7）に統一している。

試験片素地はアルミニウム合金板材 A3003P-H24 で、寸法は暴露角度 27 度では 100×300×t2mm、鉛直面では 1,000mm×1,500mm×t3mm としている。素地調整には、塗料 A と B は 6 価クロム系化成皮膜処理、塗料 C は陽極酸化皮膜処理を採用している。

素地調整が終了した後、所定の塗膜厚となるように塗装を施して、所定の温度で加熱している。

## 3. 屋外暴露試験

実施場所は表 2 に示すように、北緯 28 度以南に位置する沖縄県うるま市伊計島と、北緯 35 度の愛知県小牧市である。伊計島における暴露実験

表 1 評価対象とした塗料および暴露試験の開始時期

No	塗料	沖縄県うるま市伊計島		愛知県小牧市
		暴露角度 27度	鉛直面(90度)	鉛直面(90度)
A	溶剤系熱可塑性樹脂塗料	2012年8月開始	2010年9月開始	2010年11月開始
B	熱硬化形樹脂粉体塗料	2012年8月開始	2010年9月開始	2010年11月開始
C	二層分離形複合樹脂粉体塗料	2012年8月開始	2012年10月開始	-

Accelerated degradation coating of outdoor exposure test in Nansei Islands in south of 28 degrees north latitude  
KITAGAWA Masashi\*<sup>1</sup>, KONDO Teruo\*<sup>2</sup>, KIGUCHI Tadahiro\*<sup>1</sup>

台は海岸から約 20m 離れた位置に設置しており、海塩粒子濃度が高い過酷な環境条件である。

表 2 屋外暴露試験の場所

No	場所	海岸からの距離
1	沖縄県うるま市伊計島	約20m
2	愛知県小牧市	約20km

#### 4. 実験結果

本検討においては、評価対象とした塗膜の光沢保持率が 30%以下に低下するまでの暴露期間を比較して、劣化促進性を評価している。

##### 4. 1 暴露角度の違いによる劣化促進性の検討

沖縄県伊計島で実施した暴露角度 27 度と鉛直面 (90 度) による試験結果として、3 種類の塗膜における光沢保持率の経時変化を図 1~図 3 に示す。

図 1 に示す溶剤系熱可塑性ふっ素樹脂塗料では、暴露角度 27 度の試験片は暴露期間が 24 ヶ月を経過した後に光沢が大きく低下しており、60 ヶ月を経過すると 10%以下となっている。一方、鉛直面 (90 度) の場合には 60 ヶ月を経過した後に光沢が大きく低下しており、102 ヶ月を経過すると 10%程度となっている。光沢保持率が 30%以下まで低下する暴露期間を比較すると、27 度暴露による劣化の促進性は 2 倍程度であると判断できる。

また、図 2 に示す熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料では、暴露角度 27 度の試験片は 36 ヶ月を経過した後に光沢が大きく低下しており、60 ヶ月を経過すると 20%程度となっている。一方、鉛直面 (90 度) の場合には 66 ヶ月を経過した後に光沢が大きく低下しており、108 ヶ月を経過すると、20%程度となっている。光沢保持率が 30%以下まで低下する暴露期間を比較すると、27 度暴露による劣化の促進性は 1.8 倍程度であると判断できる。

一方、二層分離形複合樹脂粉体塗料では、2つの角度で暴露した結果の図 3 において、光沢保持率が未だ 50%以上を保持しており、評価を継続している。図 3 を図 1 と図 2 の結果と比較すると、既報<sup>(例えば、6)</sup>に示されている結果と同様に、二層分離形複合樹脂粉体塗料の耐候性は顕著に優れていることが明らかである。

##### 4. 2 暴露場所の違いによる劣化促進性の検討

沖縄県伊計島と愛知県小牧市で実施した鉛直面 (90 度) による屋外暴露試験の結果として、2 種類の塗膜における光沢保持率の経時変化を図 4 と 5 に示す。

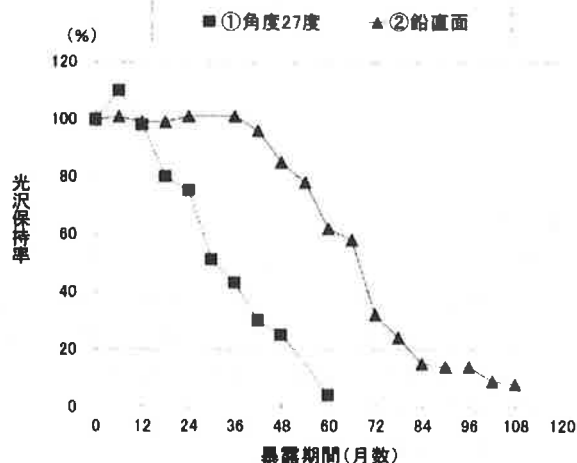


図 1 溶剤系熱可塑性ふっ素樹脂塗料の暴露角度による光沢保持率の経時変化

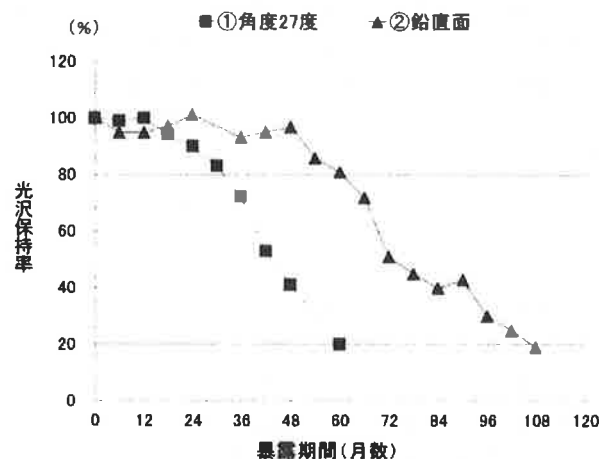


図 2 熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料の暴露角度による光沢保持率の経時変化

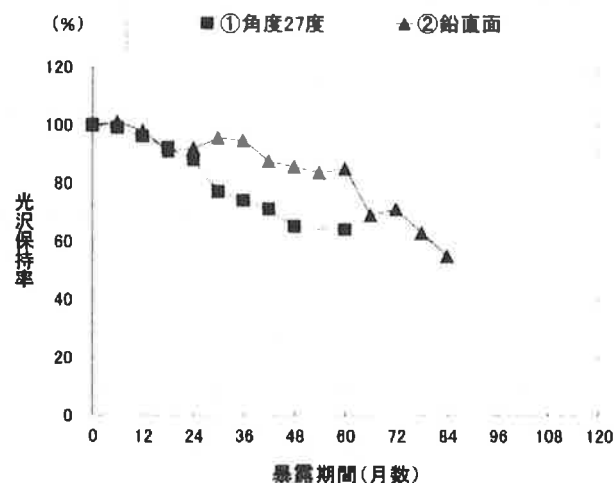


図 3 二層分離形複合樹脂粉体塗料の暴露角度による光沢保持率の経時変化

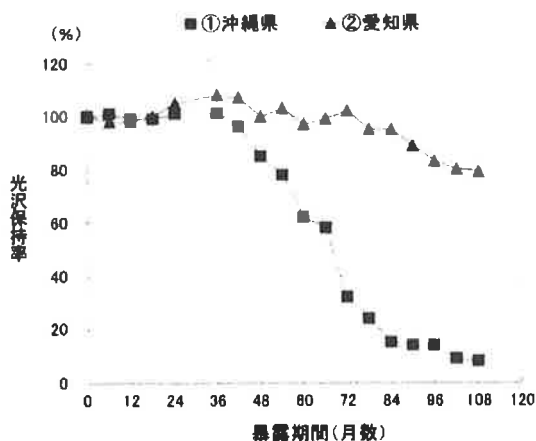


図4 溶剤系熱可塑性ふっ素樹脂塗料の鉛直面上における光沢保持率の経時変化

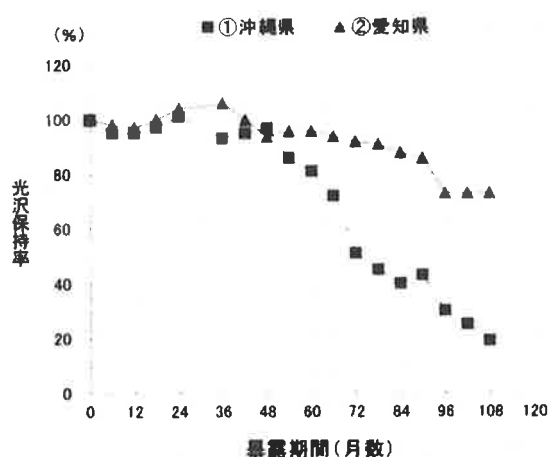


図5 熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料の鉛直面上における光沢保持率の経時変化

溶剤系熱可塑性ふっ素樹脂塗料と熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料は、沖縄県伊計島で鉛直面暴露をした場合には、前者が78、後者が108ヶ月を経過すると、光沢保持率が20%以下まで低下している。一方、愛知県小牧市で暴露している場合には、108ヶ月を経過した後も光沢保持率が70%以上を保持しており、評価を継続している。

現時点までの結果においても、北緯28度以南の南西諸島における屋外暴露試験による耐候性評価は、顕著な劣化促進性があることが明らかである。

## 5. 考察

### 5.1 角度の違いによる塗膜劣化の促進

沖縄県うるま市宮城島における傾斜角度30度と鉛直面(90度)における平均日射量の月間変動を(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)による日射に関するデータベース<sup>7)</sup>から引用して、図6に示す。

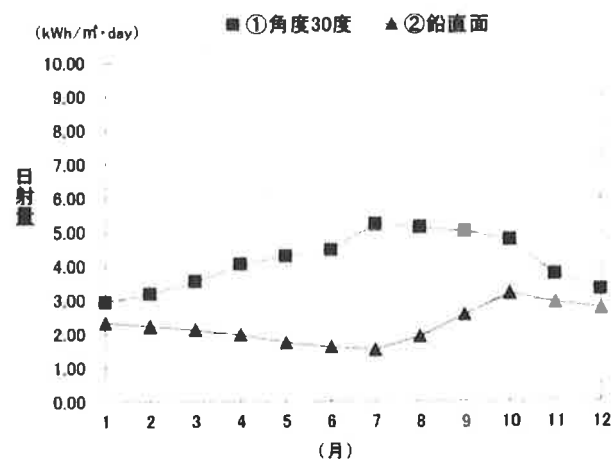


図6 沖縄県宮城島における傾斜角度による平均日射量の月間変動

傾斜角度30度の面は鉛直面(90度)より年間を通じて日射量が多く、特に4月から9月においては、両者の差が拡大している。4.1で述べているように、溶剤系熱可塑性ふっ素樹脂塗料と熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料については、27度暴露が鉛直面に対して、塗膜劣化において2倍程度の促進性を示している。このような結果は、27度においては日射量が多くなること、および日射量の増加による塗膜表面温度が上昇することによって、塗膜の劣化が促進されると判断できる。

### 5.2 暴露場所の違いによる塗膜劣化の促進

屋外暴露試験をしている各々の場所に最も近い気象庁データ<sup>8)</sup>は、沖縄県那覇市と愛知県名古屋市である。これらの地域における暴露試験期間中である2010年から2019年の気象データの年間合計量もしくは年平均値を表3に示す。

表3 気象庁データ<sup>8)</sup>からの抜粋による比較

都市	那覇市	名古屋市
項目		
全天日射量 (MJ/m <sup>2</sup> ・年)	5306.3	5302.7
平均気温 (°C)	23.4	16.4
平均湿度 (%)	74.0	65.0
降水量 (mm/年)	2321.3	1649.4

2つの暴露試験場所における全天日射量に差は認められないが、平均気温と平均湿度は那覇市の方が名古屋市より顕著に高く、年間降水量は1.4倍になっている。

4. 2 で述べたように、塗膜劣化は伊計島の方が小牧市よりも顕著である。このような塗膜劣化の差異には、気温や湿度、降水量が大きな影響を与えていると判断される。米国南フロリダと沖縄県宮古島での暴露試験の結果から、水分（降水量や湿度）による塗膜劣化の促進を論じている既往の研究<sup>9)</sup>を支持するものである。塗膜中に含まれる白色顔料である酸化チタンが紫外線や水分を供給されて、光触媒反応による有機塗膜の酸化劣化を生じさせて、劣化を促進していると推定できる。水分以外の要因としては、気温や海塩粒子の影響も考えられる。特に、海塩粒子については、上記の研究<sup>9)</sup>で論じているように、潮解性（吸湿）による素地の腐食や塗膜面の劣化に影響を与えると考えられる。さらに、既報<sup>10)</sup>では、伊計島と直線距離で 10km 程度しか離れていない藪地島で暴露した場合には、伊計島で暴露した同一試験片よりも塗膜劣化が緩やかである。暴露した後の塗膜表面を分析した結果から、海塩粒子由来と考えられる Na や Cl などの元素の検出は、海岸からの距離が長い藪地島で少ないことを明らかにしている。本報の暴露試験を実施した愛知県小牧市は海岸からの距離が 20km 程度であり、伊計島の 20m と比べて大幅に離れている。したがって、海塩粒子による塗膜の劣化に対する影響は、伊計島と比較して著しく軽微であると考えられる。

このような複合的な要因が作用して、沖縄県伊計島では塗膜の劣化が促進されると判断できる。

## 6. まとめ

本報では、沖縄県伊計島で実施した暴露角度の違いによる塗膜の劣化促進性を検討している。

さらに、沖縄県伊計島と愛知県小牧市で鉛直面に設置した試験片の暴露試験結果から、北緯 28 度以南の南西諸島で実施している屋外暴露試験が、本州に立地する建築外装に対して、どの程度の劣化促進性があるのかを検討している。

その結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 溶剤系熱可塑性ふっ素樹脂塗料と熱硬化形ふっ素樹脂粉体塗料の硬化塗膜を角度 27 度で暴露した場合には、鉛直面と比べて塗膜劣化に対する促進性が 2 倍程度である。角度が小さくなると日射量が増加するため、塗膜の劣化を促進させると判断できる。
- (2) 二層分離形複合樹脂粉体塗料の硬化塗膜は、未だ高い光沢保持率を示しており、上記 2 種類の塗料より耐候性に優れている。暴露角度の違いによる塗膜劣化の促進性に関する検討には、継続的な屋外暴露が必要である。

- (3) 沖縄県伊計島で鉛直面に屋外暴露して 108 ヶ月間を経過した後は、光沢保持率が 20%以下まで低下している。一方、愛知県小牧市で暴露した場合には、光沢保持率が 70%以上を保持している。このような差を生じる要因には、暴露試験場所の気象条件（平均気温、平均湿度、降水量）の違いおよび海岸からの距離による海塩粒子濃度の差が影響していると考えられる。

今後も屋外暴露試験による塗膜の耐候性評価に関する検討を継続していく。

## 【参考文献】

- 1) 近藤, 鈴木 (晃), 後藤: 建築用アルミニウム合金材料に対する環境に配慮した加熱硬化形塗装仕様の検討 その 2 粉体塗料に関する性能評価, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 巻, 第 677 号, pp. 1015-1020, 2012 年
- 2) 近藤, 鈴木 (誠), 鈴木 (晃), 後藤: 建築用アルミニウム合金材料に対する環境に配慮した加熱硬化形塗装仕様の検討 その 3 クロムフリー系化成処理皮膜に施した粉体塗装の性能評価, 日本建築学会構造系論文集, 第 80 巻, 第 718 号, pp. 1841-1848, 2015 年
- 3) 近藤, 鈴木 (誠), 北川, 後藤: 環境保全に配慮した焼付け塗装仕様の検討 その 31 粉体塗装仕様の標準化に関する基本的な考え方と概要, 日本建築士学会 2018 年大会学術講演会研究発表論文集, pp. 29-32
- 4) 日本建築士学会編: 建築用アルミニウム合金材料 粉体塗装仕様標準指針・同解説 (2018)
- 5) 近藤, 伊井, 村井, 郷田, 鈴木 (誠): 粉体塗装アルミニウム合金製建築材料の耐久性評価-実態調査の結果に基づく解析-, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 巻, 第 682 号, pp. 1839-1844, 2012 年
- 6) 北川, 近藤, 木口: 二層分離形構造をもつ複合樹脂粉体塗料の耐候性評価 その 2 屋外暴露試験片の表面分析, 日本建築士学会 2016 年大会学術講演会研究発表論文集, pp. 193-196
- 7) (国研) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: <https://www.nedo.go.jp/library/nissharyou.html>
- 8) 国土交通省 気象庁 HP: <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- 9) 近藤 (照), 鈴木 (誠), 近藤 (旭), 後藤, 佐藤: 米国屋外暴露試験場の実態調査および沖縄県宮古島と南フロリダにおける暴露試験比較, 日本建築学会技術報告集, 第 23 巻, 第 54 号, pp. 391-396 (2017)
- 10) 北川, 近藤 (照), 後藤, 近藤 (豊), 野浦: 環境保全に配慮した焼付け塗装仕様の検討 その 27 粉体塗料を塗付した屋外暴露試験片の分析, 日本建築士学会 2016 年大会学術講演会研究発表論文集, pp. 181-184

\*1 大日本塗料(株)

\*2 ものつくり大学 名誉教授 博士(工学)