

劣化外力を指標とした外装塗装仕上げの耐候性評価に関する研究

Study on Weatherability Evaluation Method Indicated by Environmental Deterioration Factors for Exterior Finishing Coatings

和田 環 富田 洸
澤田 瑞恵 巴 史郎

要 約

塗膜が受ける劣化外力をポリエチレンリファレンス試験片の化学結合（カルボニル基）の変化量として指標化したカルボニルインデックス（CI）を用い、外装塗装仕上げの耐候性評価に適用するため3地域の屋外暴露試験と促進耐候性試験を実施して検討した。さらに、美観維持のリファレンシャルサービスライフの考え方にに基づき、塗膜表面劣化の限界状態を定義し CI 積算値を指標とした耐用年数推定方法を検討し、その妥当性を実建物の外装塗装仕上げの経年劣化状態と対比して確認した。その結果、CI 積算値を指標とすることで、屋外暴露試験と促進耐候性試験の耐候性データが同一関係式で評価ができること、CI 積算値による耐用年数推定方法は概ね妥当であることが明らかとなった。

目 次

- I. はじめに
- II. 劣化外力の指標化
- III. 劣化外力を指標とした耐候性評価
- IV. 耐用年数推定と妥当性評価
- V. おわりに

I. はじめに

建物の長寿命化の志向により、長期の共用期間中の維持管理費用低減や改修工事などで発生する環境負荷を低減することが求められている。高耐候性外装塗装仕上げは有効な対策の一つであるが、選定するには、耐候性品質が重要な指標となる。耐候性品質は屋外暴露試験や促進耐候性試験で評価されるが、前者は実環境下での塗膜の劣化現象を再現するのに少なくとも10年以上の試験期間を要する。そのため、エネルギー強度の高い人工光源で塗膜劣化を促進させる後者が一般的に用いられる。しかし、促進耐候性試験は実環境との関連付けが明確でないことから、耐候性データから耐用年数を合理的に推定する手法が必要とされていた。

本研究では、外装塗装仕上げの耐候性を合理的に評価する方法として、塗膜が受ける劣化外力の大きさや期間が塗膜の劣化程度に影響するという考えに基づき、既往の研究^{1, 2, 3)}で用いたポリエチレン標準試験片の化学変化量を劣化外力の指標として、促進耐候性試験の屋外環境との関連付け、耐用年数推定を検討した結果について報告する。

II. 劣化外力の指標化

Table 1 ポリエチレンリファレンス試験片
(Polyethylene Reference Specimen)

項目	内容
材料	トランス形ビニレン基（波数 965cm ⁻¹ ）を含み、965cm ⁻¹ の吸光度と2020cm ⁻¹ の吸光度の比が1.0~1.3の高密度ポリエチレン
作製方法	高密度ポリエチレンのペレットを表面温度が170±5℃に設定した加熱用圧縮成型機で90秒間予熱した後、60秒間圧縮を行う。その後、表面温度が30~40℃の冷却用圧縮成型機で60秒間冷却する。
寸法	長さ：45±2mm, 幅：15±2mm, 厚さ：0.20±0.02mm
吸光度比	A1715cm ⁻¹ /A2020cm ⁻¹ 0.05以下

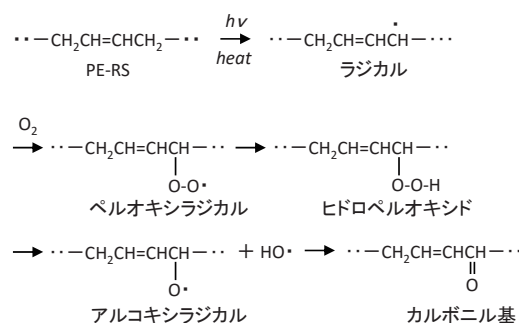


Fig. 1 PE-RS の反応機構
(Reaction Mechanism of PE-RS)

1. 標準試験片

Table 1 にポリエチレンリファレンス試験片（以下、PE-RS）の概要を示す。PE-RS は、日本ウエザリングテストセンターのJWTCS規格⁴⁾のトランス形ビニレン基（-CH=CH-）が導入された高密度

キーワード: 塗装材料, 耐候性, 劣化外力, 促進耐候性試験, 屋外暴露試験, カルボニルインデックス, 色差, 光沢保持率
Keywords: coating material, weatherability, environmental deterioration factor, accelerated weathering test, outdoor exposure test, carbonyl index, color difference, gloss retention

ポリエチレンを使用した。

Fig. 1 に PE-RS の反応機構を示す。紫外線・熱の外力によりポリエチレン分子鎖に生じた活性なラジカル (・) を起点に空気中の酸素が反応して、ペルオキシラジカル (ROO・), ヒドロペルオキシド (ROOH), アルコキシラジカル (RO・) などの反応中間体を経て、安定な基底状態のカルボニル基 (>C=O) に変化する。劣化外力の指標は、生成したカルボニル基の量とした。

2. 劣化外力の測定

劣化外力は、PE-RS を塗装試験体と同じ条件に暴露し、暴露後の PE-RS をフーリエ変換赤外分光光度計 (FT-IR, サーマフィッシュヤ社製 Nicolet iS10) で測定して定量化した。

Fig. 2 に屋外暴露試験の劣化外力の測定例を示す。1 ヶ月暴露した PE-RS (a) を FT-IR 分析の透過法 (b) で測定し、IR スペクトル (c) を求める。暴露後に生成される 1715cm^{-1} の >C=O と 2020cm^{-1} (-CH₂-) のベースラインからのピーク高さを、(1)式に代入しカルボニルインデックス (以下 CI と略す) を算出した。なお、促進耐候性試験の場合は、試験機内で 100 時間暴露した時の CI を求めた。

$$CI = A_{1715} / A_{2020} \quad (1)$$

ここに、CI : カルボニルインデックス値

A₁₇₁₅ : 1715cm^{-1} 付近の吸光度 (ピーク高さ)

A₂₀₂₀ : 2020cm^{-1} 付近の吸光度 (ピーク高さ)

3. 屋外暴露試験場の劣化外力測定結果

Table 2 に屋外暴露試験地と試験条件を示す。屋外暴露試験は、鹿島技術研究所西調布実験場の建物屋上の暴露架台と劣化環境が厳しいと想定される (一社) 日本ウエザリングテストセンターの銚子および宮古島の暴露試験場で行った。Fig. 3 に 2012 年と 2013 年の月毎の CI と年間の累積 (以下、CI 積算値) の測定結果を示す。各暴露地ともに月毎の CI には季節変動があり、夏季は大きく冬季は小さい。2012 年と 2013 年で若干の差はあるが、年間の CI 積算値でみると 2012 年と 2013 年の差はほとんどない。暴露地では宮古島の CI 積算値が大きく、次いで銚子、西調布の順に小さくなった。

III. 劣化外力を指標とした耐候性評価

1. 実験概要

実験の全体像を Fig. 4 に示す。外装塗装仕上げの 10 種類の塗装試験体を用いて、暴露環境の異なる 3 地域での屋外暴露試験と促進耐候性試験を実施し、それぞれの劣化外力を CI 積算値で整理することにより、塗膜表面の色差や光沢保持率の変化が同一評価軸で評価可能かを検討した。

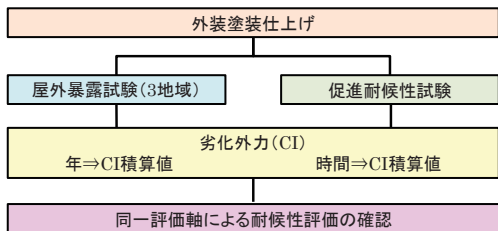


Fig. 4 実験全体像

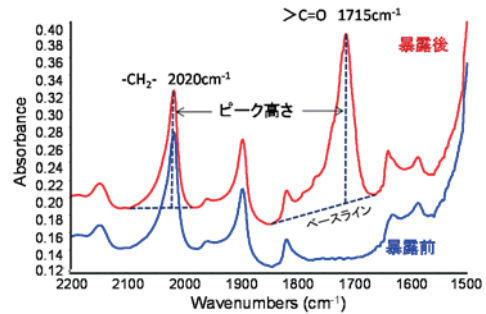
(Overall of Experimental Picture)



(a) PE-RS の暴露



(b) FT-IR 分析



(c) 暴露前後の FT-IR スペクトル

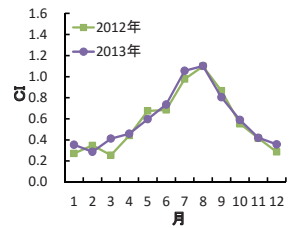
Fig. 2 劣化外力の測定

(Measurement of Environmental Deterioration Factor)

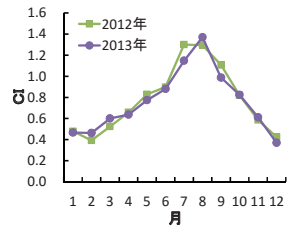
Table 2 屋外暴露試験地と試験条件

(Outline of Outdoor Exposure Test and Test Condition)

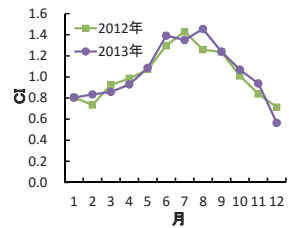
場所	所在地 (緯度・経度)	方位・角度	試験期間
西調布	35.38.55.164, 139.31.44.423	南面、45 度	2011/5~2016/5
銚子	35.43.50.072, 140.45.06.687	南面、30 度	2011/5~2016/5
宮古島	24.44.14.637, 125.19.37.468	南面、20 度	2011/5~2016/5



(a) 西調布



(b) 銚子



(c) 宮古島

Fig. 3 屋外暴露環境の CI 測定結果

(Results of CI for Outdoor Exposure Environment)

(1) 塗装試験体

本研究で用いた外装塗装仕上げの塗装試験体を Table 3 に示す。塗装材料は、常温乾燥形 (No.1~5) および加熱硬化形 (No.6~10) の 10 種類で No.1~5 は白色 (N9.5), No.6~10 は無彩色グレー (N7) である。なお、常温乾燥形はセメント系素地への施工を考慮してフレキシブル板を下地とし、加熱硬化形はアルミ建材への塗装を考慮しアルミ板を下地とした。

(2) 試験方法

(a) 耐候性試験

屋外暴露試験は、Table 2 の暴露試験地で 2011 年 5 月~2016 年 5 月までの 5 年間実施した。促進耐候性試験はスガ試験機社製スーパーキセノンウェザーメーター SX75 を使用し、JIS K 5600-7-7「塗料一般試験方法-第 7 部: 塗膜の長期耐久性-第 7 節: 促進耐候性および促進耐光性 (キセノンランプ法)」に規定する試験条件 (方法 1, サイクル A) で行った。

(b) 試験体

屋外暴露試験の塗装試験体は、塗膜表面に付着した粉塵などの汚れを取り除くため、水を湿した紙製ウエスで水拭きを行った。促進耐候性試験は、試験体表面が清浄であったため水拭きをしない状態で測定した。

(c) 色差・光沢保持率の測定

試験体中央部 3 ヶ所で分光測色計 (コニカミノルタ社製 CM600d) を用いて色 (L*a*b*表色系) を、また、光沢計 (同社 GM268) を用いて 60 度鏡面光沢度を測定した。(2)(3)式より求めた色差 (ΔE^*ab) と光沢保持率 (GR) で耐候性を評価した。

$$\Delta E^*ab = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (2)$$

ここに、 ΔE^*ab = 試験後の色差

ΔL^* = 試験後の明度 L - 試験前の明度 L

Δa^* = 試験後の色度 a - 試験前の色度 a

Δb^* = 試験後の色度 b - 試験前の色度 b

$$GR(\%) = G_1 / G_0 \times 100 \quad (3)$$

ここに、GR = 光沢保持率

G_1 = 試験前の 60 度鏡面光沢度

G_0 = 試験後の 60 度鏡面光沢度

(d) 塗膜の化学分析

塗膜表面について FT-IR の ATR 法 (ダイヤモンドクリスタル, 測定深さ 2 μ m) で 4000~750 cm^{-1} のスペクトルを測定した。

2. 試験結果

(1) CI 積算値による色差 (ΔE^*ab) の評価

Fig. 5 に各塗装試験体の屋外暴露試験 3 地域と促進耐候性試験 (以下, XWOM) の色差データを CI 積算値で整理した結果を示す。また、同図中に屋外暴露試験 3 地域と促進耐候性試験の全データを線形回帰分析により求めた近似線と決定係数 R^2 を示す。

No.1~3 の屋外暴露試験の結果では、各暴露地で CI 積算値 10 以下に大きいピークがあり、西調布 > 銚子 > 宮古島で大きく、CI 積算値 10 以上で各地の色差は同一線上に近似する傾向がある。これは、No.1~3 の塗膜は屋外環境の塵埃により汚れやすいことが色差に影

Table 3 塗装試験体一覧
(List of Coating Test Peace)

No.	塗装系	種類	艶	色	下地
1	常温乾燥	弱溶剤系アクリル樹脂塗料	あり	N9.5	フレキシブル板
2		溶剤系アクリル樹脂塗料	あり	N9.5	
3		水性アクリルシリコン樹脂塗料	あり	N9.5	
4		溶剤系アクリルシリコン樹脂塗料	あり	N9.5	
5		溶剤系ふっ素樹脂塗料	あり	N9.5	
6	加熱硬化	ポリエステル粉体塗料(NCO)	あり	N7	アルミ板
7		ポリエステル粉体塗料(HAA)	あり	N7	
8		溶剤系熱可塑性ふっ素樹脂塗料	3分艶	N7	
9		溶剤系熱硬化性ふっ素樹脂塗料	あり	N7	
10		熱硬化性ふっ素樹脂粉体塗料	あり	N7	

NCO: イソシアネート, HAA: β -ヒドロキシアルキルアミド

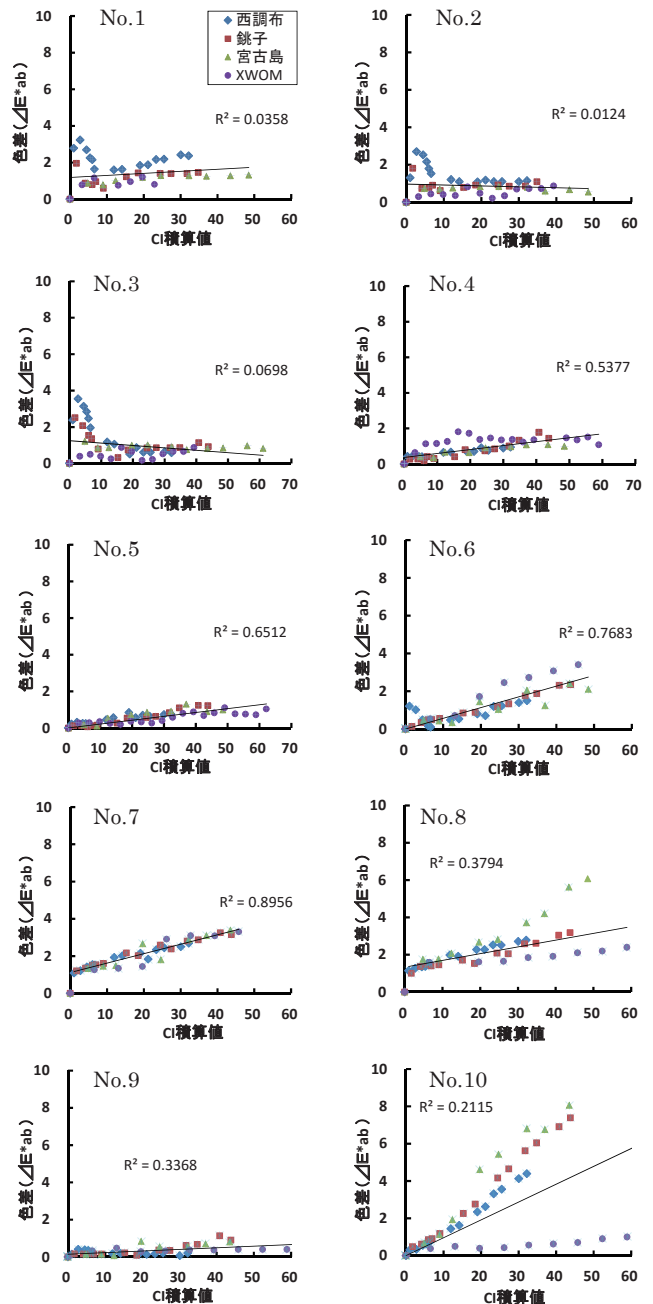


Fig. 5 CI 積算値による色差の結果
(Results of ΔE^*ab Arranged by CI Integrated Value)

響し、CI 積算値が大きくなると付着していた汚れは塗膜表面の樹脂劣化とともに除かれ、塗膜劣化が支配的となり各地の値は近似したと考えられる。

XWOM の結果は、屋外暴露試験とほぼ同じように CI 積算値とともに増加する。No.1~3 は CI 積算値 10 以上で XWOM と屋外暴露試験とにも近似し、No.4~7 は決定係数 R^2 が高く、概ね CI 積算値で色差の評価ができるものと考えられる。しかし、No.8、No.10 のふっ素樹脂塗装系は XWOM と暴露地の値が異なる傾向を示した。これについては、次の光沢保持率の結果と合わせて考察する。

(2) 光沢保持率 (GR)

Fig. 6 に各塗装試験体の屋外暴露試験 3 地域と促進耐候性試験の光沢保持率データを CI 積算値で整理した結果を示す。また、同図中に屋外暴露試験 3 地域と促進耐候性試験の全データを線形回帰分析により求めた近似線と決定係数 R^2 を示す。

ふっ素樹脂系塗装試験体 (No.5, No.8, No.9, No.10) を除いた塗装試験体は同じように推移し、各暴露地と XWOM の光沢保持率変化は決定係数 R^2 が 0.7 以上の高い値を示した。一方、ふっ素樹脂系は、XWOM の光沢保持率が高い値で推移するのに対し、暴露地ごとで光沢保持率が異なり、特に宮古島での光沢低下が顕著であり、色差と同じ傾向であった。

ふっ素樹脂塗膜では、紫外線の最大波長エネルギー $411\text{KJ/mol}^{(5)}$ に対して、ふっ素樹脂の主鎖 ($-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$) の結合エネルギー $414\text{KJ/mol}^{(5)}$ が大きく、ブレンドあるいは共重合されている樹脂の炭化水素 ($-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$) の結合エネルギーは $379\text{KJ/mol}^{(5)}$ と小さいので、ふっ素樹脂以外のブレンドあるいは共重合されている樹脂の劣化が進行すると推測される。そこで、XWOM と屋外暴露試験の劣化を化学結合の変化量で確認した。

Fig. 7 に各ふっ素樹脂塗膜表面の試験前の FT-IR スペクトルを示す。図中に ↓ で示すふっ素樹脂の主鎖 ($-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$) の $1100\sim 1200\text{cm}^{-1}$ の C-F 伸縮のピーク高さを基準に、No.8 は 1720cm^{-1} の C=O 伸縮のピーク高さ (ブレンドしている樹脂)、No.5, 9, 10 は 1460cm^{-1} 付近の CH_2 変角のピーク高さ (共重合しているビニルエーテルの結合) との比を求め、XWOM と屋外暴露 (2~4 年) が受けた劣化外力 (CI 積算値) との関係性を調べた。

Fig. 8 に CI 積算値とピーク高さ比の関係性を示す。XWOM のピーク高さ比は CI 積算値の増加とともに低下し、C-F 結合に対して C=O 結合や CH_2 結合の量が減少する。各暴露地のピーク高さ比は XWOM に近似し、すべてのピーク高さ比は CI 積算値で同一の関係式で示すことができる。また、その他の塗装系についてもピーク高さ比は CI 積算値と同一関係式で示され光沢保持率とも対応した。

したがって、ふっ素樹脂塗料での屋外暴露試験でみられる色差や光沢保持率の挙動は塗膜表面の化学結合には依存していないと判断できる。屋外暴露試験の条件を確認すると、3 暴露地で暴露角度が異なり暴露角度が小さい宮古島では堆積物が残存しやすいことや試験前に水拭きで塗膜表面を擦りつけているなどの別の外力が加わったことがあり、測定面の物理的な影響も考えられるが、今後詳細な検討が必要である。

IV. 耐用年数推定と妥当性評価

1. 耐用年数の推定

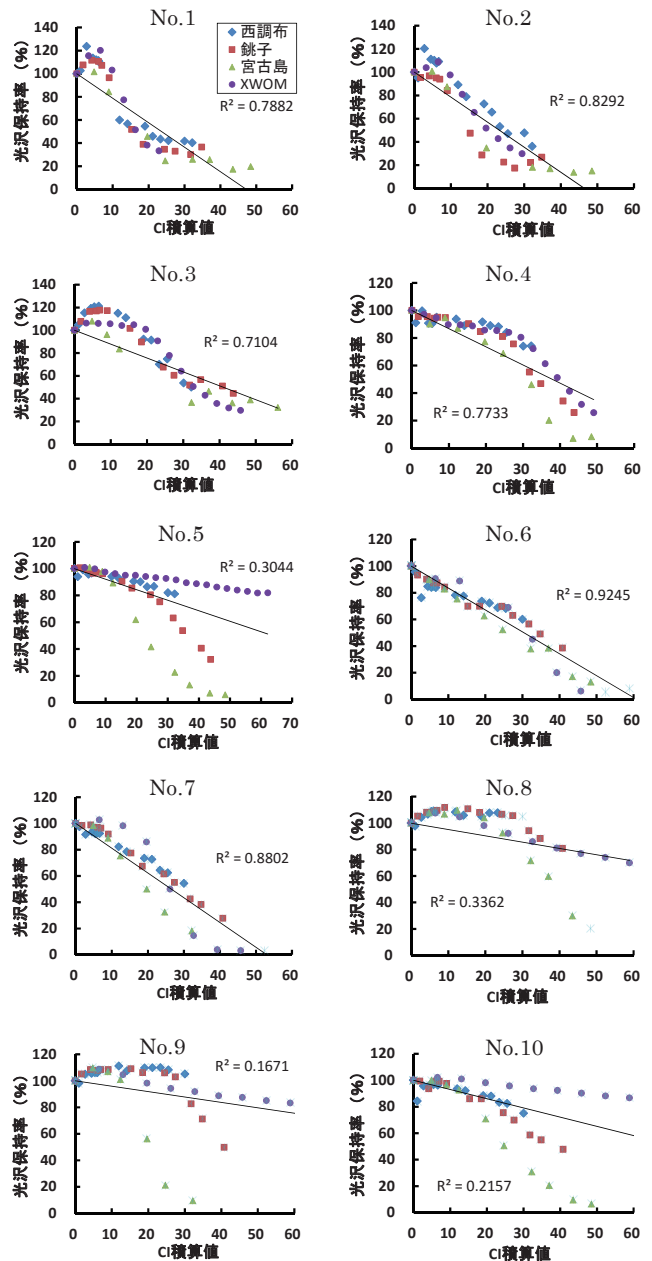


Fig. 6 CI 積算値による光沢保持率の結果 (Results of Gloss Retention Arranged by CI Integrated Value)

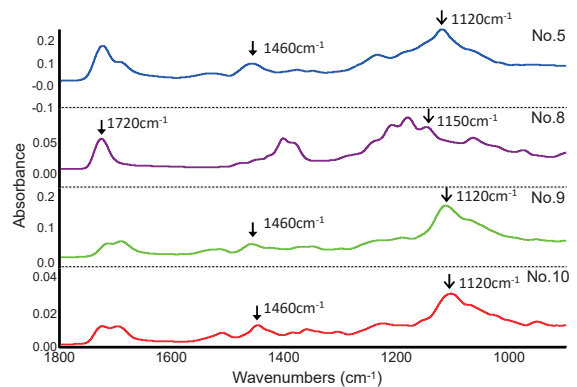


Fig. 7 ふっ素樹脂塗膜の FT-IR スペクトル (試験前) (FT-IR Spectrums for Various Fluorine Resin Coatings)

耐用年数は、(社)建築業協会(BCS)材料施工専門部会 仕上材料研究会 耐久性WGの成果⁶⁾の美観維持のリファレンシャルサービスマニュアルを基準に、塗膜表面劣化の限界状態を光沢保持率が30%に低下した状態とした。また、光沢保持率30%は塗膜表面の粉状化現象(チョーキング、白亜化)に対応することから、実建物調査での白亜化度(JIS K 5600-8-6)3程度に相当するとしている⁷⁾。CI積算値を指標とした耐用年数推定方法は、前述の塗膜表面劣化に至るCI積算値を促進耐候性試験より求め、地域の年間CI積算値と方位の係数で除した(4)式を用いた。

$$\text{耐用年数} = \frac{\text{塗膜劣化のCI積算値}}{\text{地域の年間CI積算値} \times \text{方位} \cdot \text{角度係数}} \quad (4)$$

ここに、塗膜劣化のCI積算値：促進耐候性試験で塗膜表面光沢が光沢保持率30%に低下した時間のCI積算値、地域の年間CI積算値：実環境下でポリエチレンリファレンスを南面45度に暴露して月ごとのCIを1年間積算した値、方位の係数：NEDOの日射量データベースより算出した南面45度を1に対する比率とした。

2. 評価方法

評価は、実建物調査での経年後の塗膜状態と促進耐候性試験より(4)式で求めた耐用年数との関係を比較することで行った。

Table 4 に建物調査の一覧を示す。実建物調査は、BCSの耐久性WGで行ったふっ素樹脂塗料およびアクリルシリコン樹脂塗料の物件調査⁸⁾の中で塗料製品名がわかる3種類の塗料(FU, AS1, AS2)が施工された建物に加え、塗料会社の施工実績の中からアクリルウレタン樹脂塗料(AU)にて都内で施工された建物を対象とした。Table 4 には各建物に使用された塗料と調査時の経過年数、塗膜劣化状態を示す白亜化度の結果を示した。ここで、白亜化度0~2を塗膜が健全な状態、3~5を塗膜表面劣化として区別した。

Table 5 に地域年間CI積算値と方位係数を示す。建物が所在する東京都と埼玉県の間年CI積算値は、それぞれ2012年6月~2013年5月の期間に東京都港区、埼玉県さいたま市のビルの屋上でPE-RSを南面45度に暴露して月ごとのCIを測定し、12カ月のCIを積算した値をそれぞれ地域の年間CI積算値とした。

3. 調査結果

FU, AS1, AS2, AUの促進耐候性試験のCI積算値と光沢保持率の結果をFig. 9に示す。これより、各塗料の光沢保持率30%に達するCI積算値を求め、それぞれの塗膜劣化のCI積算値をFU:182, AS1:82, AS2:110, AU:60とした。(4)式より各塗料の塗膜劣化のCI積算値とTable 5の施工された場所の年間CI積算値、方位係数から建物の方位別の耐用年数推定値を求めた。

Fig. 10に方位毎に求めた耐用年数推定値と調査時の経過年数を示す。ここで、方位別に建物調査で白亜化度が3~5と判定されたものを白抜き記号で識別した。この結果から調査時の経過年数が耐用年数推定値を越える場合に白亜化度が3~5の判定に代わることが確認できる。したがって、CI積算値を指標として促進耐候性試験の塗膜表面劣化の限界状態から求める耐用年数推定方法は概ね妥当であると考えられる。また、CI積算値は紫外線や温度の影響を指標化しているので、実建物においてこれらの影響を受けにくい部位では、耐用年数推定値は安全側の評価になると考えられる。

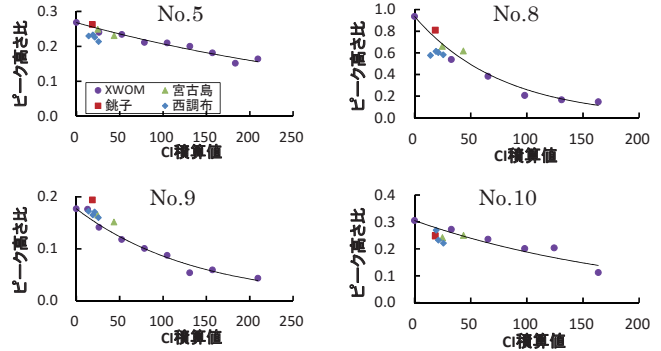


Fig. 8 CI積算値とピーク高さ比の関係 (Relationships between CI Integrated Value and Peak Height Ratio)

Table 4 建物調査の一覧 (Lists of Building Survey)

物件	場所	方位	経過年数(年)	上塗材の種類	塗料	白亜化度
A	東京都新宿区	西	1.5	溶剤系常温硬化形ふっ素樹脂塗料	FU	0
		北	1.1	溶剤系アクリルシリコン樹脂塗料	AS1	0
B		南	5			0
C	埼玉県狭山市	東	1.4	溶剤系アクリルシリコン樹脂塗料	AS2	1
		西	1.4			1
		北	1.4			0
		南	1.4			5
D	東京都港区	東	1.4			5
		西	1.4			5
		南	1.4			5
E	東京都青梅市	南	8			3
		北	8			0
F	東京都新宿区	東	7	水系アクリルウレタン樹脂塗料	AU	0
		西	7			0
		南	7			0
		北	7			0
G	東京都練馬区	東	6			0
		西	6			0
		南	6			0
		北	6			0

Table 5 地域年間CI積算値と方位係数 (Annual CI Integrated Value and Orientation Coefficient)

地域年間CI積算値	埼玉県	12.0
	東京都	13.5
方位(垂直面)係数	南	0.69
	東・西	0.58
	北	0.45

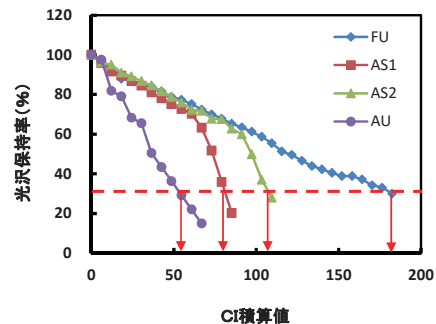


Fig. 9 促進耐候性試験結果 (Results of Accelerated Weathering Test)

V. おわりに

常温乾燥形塗料と加熱硬化形塗料の10種類の塗装試験体を対象に屋外暴露試験と促進耐候性試験を行い、それぞれの試験環境下で塗膜が受ける劣化外力指標をポリエチレンリファレンス試験片から得られるCI積算値として、CI積算値による耐候性評価への適用性を検討した。さらに、促進耐候性試験の耐候性データからCI積算値により推定した耐用年数を実建物調査データと対比し、その妥当性を評価した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- a. 各暴露地の色差・光沢保持率の変化をCI積算値で一義的に評価できる。
- b. ふっ素樹脂塗料の屋外暴露試験の色差と光沢保持率はCI積算値とは相関しないが、塗膜表面の化学結合変化とCI積算値は相関する。
- c. CI積算値を劣化外力の指標とすることで促進耐候性試験と屋外暴露試験のそれぞれの耐候性データを同一関係式で示すことができる。
- d. BCSで提案された美観維持のリファレンシャルサービスライフの基準に従い、CI積算値を指標とした耐用年数推定方法を提案した。促進耐候性試験で得られたCI積算値と建物の年間CI積算値、方位係数から求めた推定耐用年数は、実建物の塗膜劣化状態と対応する。

以上から、CI積算値を指標とする耐候性評価法は耐用年数推定方法として有効であると考えられる。ただし、ふっ素樹脂塗料の屋外暴露試験の色差や光沢が異なる原因については継続して調べる必要がある。

参考文献

1) 富板 崇; 屋外暴露試験におけるポリエチレン試料の特性変化予測 高分子系建築材料の耐久性予測モデル (その1), 日本建築学会構造系論文集 第410号, 1990, pp.9-17.

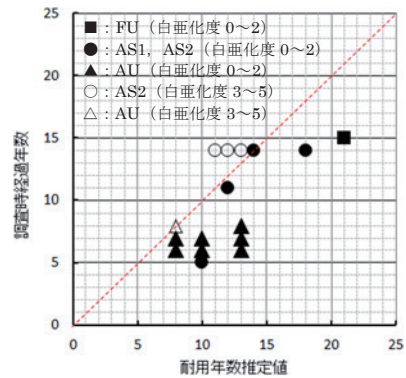


Fig. 10 耐用年数推定値と調査時経過年数 (Relationship between Estimation Data and Survey Data)

2) 富板 崇; ポリエチレン標準試料を用いた紫外線と熱の相乗劣化予測マップ 高分子系建築材料の耐久性予測モデル (その2), 日本建築学会構造系論文集 第507号, 1998, pp.9-13.

3) 高根, 樫野, 渡辺, 富板; 耐候性評価用リファレンス試験片による屋外暴露環境の定量評価, 日本建築学会構造系論文集 第578号, 2004, pp.13-20.

4) 日本ウエザリングテストセンター; JWTC4001: ポリエチレンリファレンス試験片, 2009.

5) 高柳敬志; 防錆管理, 54 (12), 2009, p.453

6) 添田智美ほか; 外装用塗料・仕上塗材の標準耐用年数に関する調査研究 その6 美観上の塗装仕様別リファレンシャルサービスライフの設定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2009.8, pp.1067-1068.

7) 山田人司ほか; 外装用塗料・仕上塗材の標準耐用年数に関する調査研究 その7 白亜化と光沢保持率の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2009.8, pp.1069-1070.

8) (社)建築業協会材料施工専門部会仕上材料研究会耐久性 WG, 外装塗料・仕上塗材のリファレンス耐用年数に関する調査研究 終了報告書, 2010.11.

Study on Weatherability Evaluation Method Indicated by Environmental Deterioration Factors for Exterior Finishing Coatings

Tamaki Wada, Koh Tomita, Mizue Sawada and Shiro Tomoe

In order to develop a weathering estimation method for exterior coatings using the carbonyl index (CI) obtained from polyethylene reference specimens as an environmental deterioration factor, the authors performed outdoor exposure tests in three regions and accelerated weathering tests. They also examined a service life calculation method using CI-integrated values for exterior coatings based on the referential service life in terms of aesthetics. The estimated service life of exterior coatings was tested using a survey of actual buildings.

The results showed that weathering test data for accelerated weathering tests and outdoor exposure tests, such as color difference and gloss retention, can be evaluated in the same relation by using CI-integrated values and that the calculation of service life using a method based on CI-integrated values is valid.