

## 木外装材における筋状よごれの評価

日大生産工(院) ○愛甲 晟大 日大生産工 大橋 英実  
日大生産工 下田 ありさ 日大生産工 永井 香織

### 1. はじめに

外壁は様々な環境要因から、経年とともによごれる。中でも雨水が流下することによって発生する写真 1 に示す筋状のよごれ(以下、雨筋よごれとする)は美観性を損ねる要因の 1 つである。雨筋よごれの評価方法には、色彩測定や、官能検査等がある。しかし、色彩と官能検査の結果に相関性が見られない報告<sup>2)</sup>がある。

本研究は、雨筋よごれの評価方法を色彩測定、官能検査方法等から検討し、人が感じる印象を定量的に測定できるより正確な評価方法を把握することを目的としている。

本報告では、塗料の種類及び塗料色を変更した木材供試体を1年8か月屋外暴露し、雨筋よごれの目立ちやすさについて、色彩測定及び官能検査を行い、それぞれの評価手法の信頼性について述べる。



写真 1 雨筋よごれの事例

### 2. 実験概要

#### 2.1 供試体概要

供試体概要を表 1 に示す。供試体形状は縦 450mm×横 220mm×厚さ 20 mm の杉材とした。素地は無垢材及び熱処理木材の 2 種類とし、仕上方法は無塗装、クリア色の造膜塗料 A、含浸塗料 B、低汚染塗料 C とした。また、グレー色の含浸塗料 B、低汚染塗料 C を加えた計 12 種類とした。

表 1 供試体概要

分類	No.	基材	表層	色
木材	供試体1	杉・製材	無塗装	素地
	供試体2		半造膜塗料A	クリア
	供試体3		含浸塗料B	
	供試体4		低汚染塗料C	
	供試体5	杉・熱処理木材	無塗装	素地
	供試体6		半造膜塗料A	クリア
	供試体7		含浸塗料B	
	供試体8		低汚染塗料C	
	供試体9	杉・製材	含浸塗料B	グレー
	供試体10		低汚染塗料C	
	供試体11	杉・熱処理木材	含浸塗料B	
	供試体12		低汚染塗料C	

### 2.2 試験概要

屋外暴露試験の様子を写真 2、暴露試験装置を図 1 に示す。屋外暴露試験は、JIS K 5600-7-6 (屋外暴露耐候性試験)に準拠し、供試体に対して垂直に設置した波板から雨水が供試体表面を伝うような形状とした、雨筋よごれを強制的に発生させる装置を日本大学生産工学部津田沼キャンパス 5 号館屋上にて南向きに設置し、2023.11.2～2025.7.2 の 1 年 8 ヶ月行ったものとした。

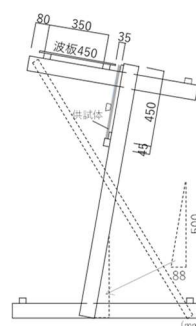


写真 2 屋外暴露試験 図 1 暴露試験装置

### 2.3 雨筋よごれの評価方法

#### 2.3.1 色彩測定

##### (1) 色彩測定箇所

色彩測定箇所を図 2 に示す。測定箇所の高さを統一し、図 2 に示すように雨筋よごれが発生している箇所と発生していない箇所の色彩を分光測色計(K 社製 CM-A267)を用い、それぞれ 6 ヶ所測定し平均値を算出した。

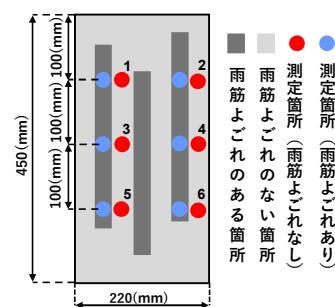


図 2 色彩測定箇所

##### (2) 分光測色計の設定

雨筋よごれは外壁の突出部直下に発生しやすい<sup>3)</sup>。突出部がある高さは様々であるが、2m 以上の高さにある底下や窓下の壁面に発生するよごれはメンテナンスが難しい。そこで、2m 以上の壁面に発生する雨筋よごれを対象に色彩測定を行うため、分光測色計の設定を直射日

光が当たらない屋外環境と同等の D65 光源、視野角 2°とした。

### (3) 雨筋よごれの程度の算出方法

雨筋よごれの程度は、色差を用いて表す。色差は雨筋よごれが発生していない箇所を基準とし、雨筋よごれが発生している箇所との色差(以下、 $\Delta E$  とする)をこれまで多く用いられてきた CIE76 式(1)によって算出した。また、人間は彩度の高い色の違いに対する感覚が低く、色の違いを識別しにくくなるといった特有の認識領域がある<sup>4)</sup>。これが原因で分光測色計による色差測定と人の目による評価が異なる。そこで、より人の認識へ近づけるため、測定結果と視感評価との相違を補正した新しい色差式である CIEDE2000 式(2)を用いて色差(以下、 $\Delta E_{00}$  とする)も算出し、雨筋よごれの評価に有効か検証した。

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

$\Delta L^*$ :明度差  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ :色度

$$(\Delta E_{00}) = \{(\Delta L') / (k_L \cdot S_L)\}^2 + \{(\Delta C') / (k_C \cdot S_C)\}^2 + \{(\Delta H') / (k_H \cdot S_H)\}^2 + \{R_T(\Delta C') / (k_C \cdot S_C) \cdot (\Delta H') / (k_H \cdot S_H)\} \quad \dots(2)$$

$\Delta L'$ :明度差  $\Delta C'$ :彩度差  $\Delta H'$ :色相  
 $S_L, S_C, S_H$ :重係数

$K_L, K_C, K_H$ :パラメトリック係数  
 $R_T$ :ローテーション関数

## 2.3.2 官能検査

### (1) 供試体の検査環境

検査員の条件を表 2、官能検査の供試体の高さや被験者までの距離を図 3、SD 法の 6 段階評価を表 3 に示す。

官能検査は、M101～M106 を対象として行った A グループと、供試体 M107～M112 を対象として行った B グループの 2 グループで行った。どちらのグループでも、供試体の中心高さは床面から 1830mm、供試体の背面にはホワイトボードを設置し、供試体間同士は 270mm の間隔をあけた。また、被験者から供試体までの水平距離は視野角が 2°となるように、1525mm とした。検査場所は日本大学生産工学部津田沼キャンパス 37 号館の 101 号室とし、被験者は A グループでは、男性 90 人、女性 36 人、B グループでは、男性 80 人、女性 46 人の正常視力である 19～24 歳の本学学生 126 人とした。雨筋よごれの印象評価は、官能検査に先立って、雨筋よごれとはどういうものかを説明し、好みを判断するものではないことを説明した後、被験者に供試体のよごれの「目立ちやすさ」について、表 3 に示す 6 段階の SD 法で評価した。官能検査結果は評点の平均値を用いた。

表 2 検査員条件

	男(名)	女(名)	合計(名)	視覚状態
Aグループ	90	36	126	異常なし
Bグループ	80	46		

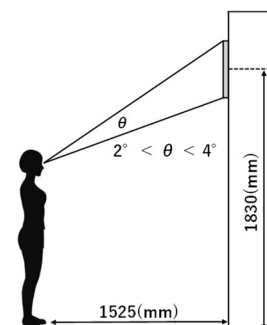


図 3 官能検査方法

表 3 6 段階評価

よごれの目立ちやすさ	点数
全く目立たない	1
目立たない	2
どちらかというが目立たない	3
どちらかというが目立つ	4
目立つ	5
非常に目立つ	6

## 3. 結果及び考察

### 3.1 官能検査結果

#### (1) 官能検査結果の分散分析

グループAにおける官能検査結果の分散分析及びP値について表4、グループBにおける官能検査結果の分散分析結果及びP値について表5に示す。ここでいうP値とは、帰無仮説が正しいとした場合に、観測したデータと同じかそれ以上に極端な結果が得られる確率を示す。また、この値が0.05以下ならば、偶然による可能性が低いため、統計的に有意であると判断する。

Aグループ及びBグループの検査員間におけるP値は、それぞれ $0.160 \geq 0.05$ 、 $1 \geq 0.05$ で有意差が認められない。一方で、Bグループの試験体間におけるP値は、 $1 \geq 0.05$ で有意差が認められないが、Aグループの試験体間のP値は $2 \times 10^{-9} \leq 0.05$ で有意差が認められる。このことから、製材を素地とした場合よりも、熱処理木材を素地とした場合の方が、雨筋よごれが見えづらくなることが確認された。また、本検査では、評価者人数が100人超であり、検査員間に有意性が見られないことから、Aグループ及びBグ

表 4 官能検査の分散分析結果(A グループ)

要因	平方和	自由度	不偏分散	F0	P
試験体間	24.83201	5	4.9664	11.384	$2.2 \times 10^{-9}$
検査員間	88.356	125	0.7068	1.6202	0.1610
誤差	272.67	625	0.4363		
総計	386	755			

表 5 官能検査の分散分析結果(B グループ)

要因	平方和	自由度	不偏分散	F0	P
試験体間	30.566	5.0000	6.1132	0.2057	0.96000
検査員間	75.804	125.00	0.60643	0.0204	1.0000
誤差	18572	625.00	29.715		
総計	18678	755.00			

ループを同条件で検査したものとみなすこととする<sup>5)</sup>。

## (2) グループ内における多重比較

Aグループでは試験体間の有意差が見られる。一方で、Bグループでは試験体間の有意差が見られない。そこで、Bグループ内のどの群間に有意差が認められないかを調べるため、Nemenyi法<sup>6)</sup>で多重比較を行った。Bグループにおける多重比較結果を図4に示す。各群間におけるP値を示し、有意差がある可能性が高いところを赤、有意差が無い可能性が高いところを青で塗りつぶしている。図4より、本官能検査においては、塗装した熱処理木材に付着する雨筋よごれの評価は難しいことを確認した。これは、図5に示すように、素地が製材である場合と熱処理木材である場合では、素地が熱処理木材である場合の方が、L値が全体的に低く、よごれの色により近い色であったことから、雨筋よごれの評価が難しかったことが考えられる。また、よごれの色と木材への付着状態の評価方法については、今後も検討する必要がある。

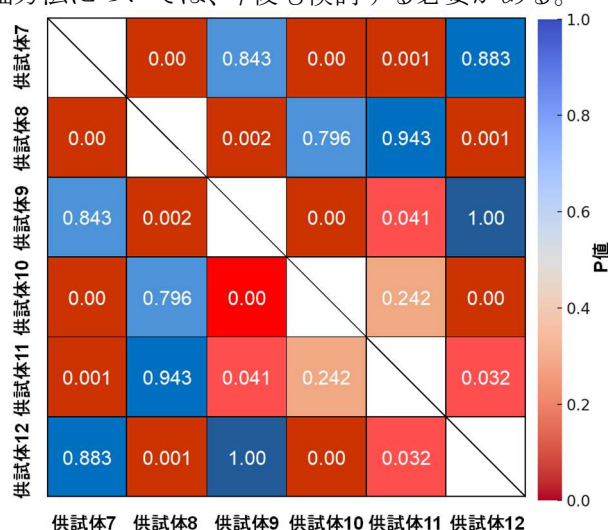


図4 グループBにおける多重比較

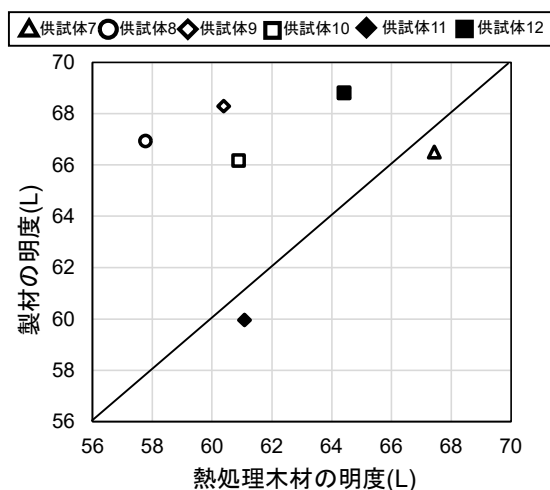


図5 製材と熱処理木材のL値の関係

## 3.2 色差結果

### 3.2.1 $\Delta E$ 及び $\Delta E_{00}$ の雨筋よごれの評価

$\Delta E$ と $\Delta E_{00}$ の相関を図6に示す。 $\Delta E$ の値はどの供試体においても、 $\Delta E_{00}$ よりも大きい値を示す。また、 $\Delta E$ の値が大きくなるにつれて、 $\Delta E_{00}$ の値が、指数関数的に増加していくことが確認された。このことから、雨筋が発生していない箇所を基準とした雨筋が発生している箇所の色差を求める際は、 $\Delta E$ 、 $\Delta E_{00}$ のどちらの色差算出方法でも有効であることが確認された。

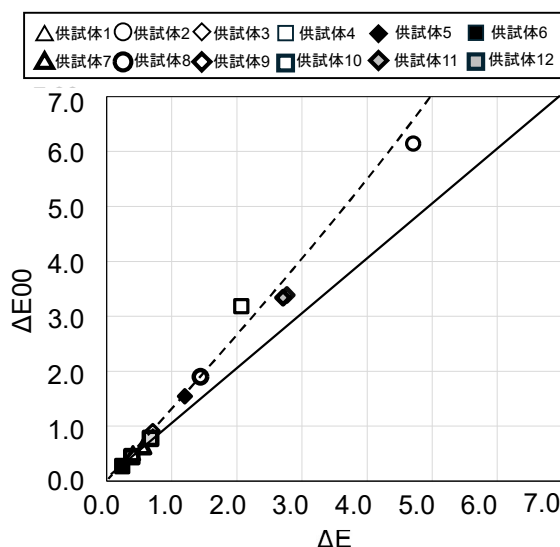


図6  $\Delta E$ と $\Delta E_{00}$ の相関

### 3.2.2 製材に塗装を施した場合

#### (1) 塗料色によるよごれの評価

$\Delta E$ 、 $E_{00}$ および官能検査結果を表6に示す。クリア色の含浸塗料を施した供試体3とグレー色の含浸塗料を施した供試体5は、 $\Delta E$ 及び $\Delta E_{00}$ においては、供試体5 > 供試体3で値が大きいが、官能検査結果では、その順位が逆転し、供試体3が供試体5よりも0.48点大きい。一方、クリア色の低汚染塗料を施した供試体4とグレー色の低汚染塗料を施した供試体6は、 $\Delta E$ 及び $\Delta E_{00}$ においては供試体4 > 供試体6で値が大きく、官能検査も同様の順序であることが確認された。

表6  $\Delta E$ 、 $\Delta E_{00}$ 官能検査結果

順位	色差( $\Delta E_{00}$ )	官能検査結果(平均点)	色差( $\Delta E$ )
1	供試体2 (4.71)	供試体2 (5.12)	供試体2 (6.14)
2	供試体4 (2.07)	供試体6 (4.92)	供試体4 (3.18)
3	供試体5 (1.20)	供試体3 (4.75)	供試体5 (1.54)
4	供試体3 (0.71)	供試体4 (4.68)	供試体3 (0.91)
5	供試体1 (0.41)	供試体1 (4.62)	供試体1 (0.51)
6	供試体6 (0.24)	供試体5 (4.62)	供試体6 (0.27)

#### (2) 塗料種によるよごれの評価

クリアの造膜塗料を施した供試体2、含浸塗料を施した供試体3、低汚染塗料を施した供試体4は、 $\Delta E$ 及び $\Delta E_{00}$ においては、供試体2 > 供試体4 > 供試体3で値が大きいが、官能検査

査結果では、供試体 4 と供試体 3 の順位が逆転し、供試体 3 が供試体 4 よりも 0.52 点大きい。一方、グレー色の含浸塗料を施した供試体 5、低汚染塗料を施した供試体 6 は、 $\Delta E$  及び  $\Delta E_{00}$  においては供試体 5 > 供試体 6 で値が大きく、官能検査も同様の順序であることが確認された。

### (3) 塗装した製材に関する考察

表 6 より、色差の順位は官能検査結果の順位とほとんど合致していたが、供試体 3 及び供試体 4 に関しては、色差の順位と官能検査の順位が逆転している。そこで、各供試体のばらつきを色彩測定値より検討する。供試体 3 及び供試体 4 の測定箇所 6 箇所における  $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$  及び平均、標準偏差を表 7 に示す。色彩測定の 6 点の平均は供試体 3 では  $\Delta L^*$  が 1.48、 $\Delta a^*$  が 0.31、 $\Delta b^*$  が 0.80 となり低いが、供試体 4 では  $\Delta L^*$  が 3.01、 $\Delta a^*$  が 1.08、 $\Delta b^*$  が 3.07 となり高く、供試体 4 は供試体 3 よりも  $\Delta E_{00}$  及び  $\Delta E$  の値は大きくなった。標準偏差は供試体 3 では  $\Delta L^*$  が 0.34、 $\Delta a^*$  が 0.20、 $\Delta b^*$  が 0.41 となり低いが、供試体 4 では  $\Delta L^*$  が 1.33、 $\Delta a^*$  が 0.60、 $\Delta b^*$  が 1.45 となり、供試体 3 より全ての項目においてばらつきが大きいことがわかる。

表 7 供試体 3 及び供試体 4 の色差測定結果

測定箇所	供試体3			供試体4		
	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$
1	1.97	0.58	1.30	5.35	1.95	5.19
2	1.63	0.48	0.98	2.44	1.33	2.54
3	0.96	0.17	0.51	2.35	1.29	3.32
4	1.39	0.45	1.21	1.41	0.17	0.80
5	1.21	0.01	0.10	2.32	0.44	2.15
6	1.74	0.17	0.73	4.16	1.31	4.39
平均	1.48	0.31	0.80	3.01	1.08	3.07
標準偏差	0.34	0.20	0.41	1.33	0.60	1.45

また、クリア色をベースとし、含浸塗料を施した供試体 3 は木材の劣化による変色が生じ、クリア色をベースとし、低汚染塗料を施した供試体 4 は木材の劣化による変色が塗料により抑制され、木材供試体表層の木目が損なわれなかった。模様の変化はよごれに伴う不快感を緩和することから、供試体 4 の雨筋よごれは人の目にはよごれとして認識されにくかったと考えられる。これより、供試体の木目柄による雨筋よごれの評価基準を今後検討していく必要がある。



写真3 供試体3 写真4 供試体4  
3.2.3 熱処理木材に塗装を施した場合

### (1) 塗料色によるよごれの評価

$\Delta E$ 、 $\Delta E_{00}$ および官能検査結果を表8に示す。

塗料色による官能検査結果は色差結果と全体的に合致していないことが確認された。

表 8  $\Delta E$ 、 $\Delta E_{00}$  官能検査結果

順位	色差( $\Delta E_{00}$ )	官能検査結果(平均点)	色差( $\Delta E$ )
1	供試体9 (2.77)	供試体8 (5.40)	供試体9 (3.39)
2	供試体11 (2.71)	供試体10 (5.15)	供試体11 (3.34)
3	供試体8 (1.44)	供試体11 (4.96)	供試体8 (1.90)
4	供試体12 (0.68)	供試体9 (4.71)	供試体12 (0.78)
5	供試体7 (0.57)	供試体12 (4.70)	供試体7 (0.63)
6	供試体10 (0.39)	供試体7 (4.60)	供試体10 (0.44)

### (2) 塗料種によるよごれの評価

塗料の種類による官能検査結果は色差結果と全体的に合致していないことが確認された。

### (3) 塗装した製材に関する考察

色差と官能検査には全体的に相関性が見られなかった。分散分析結果同様、評価者が対象物を評価しづらかったためだと考える。

## 5. まとめ

本報告より得られた知見を以下に示す。

- (1) 素地を熱処理木材とした供試体に発生する雨筋よごれは官能検査で、評価にばらつきがあり、検討が必要である。
- (2)  $\Delta E$  の値が大きくなるにつれて、 $\Delta E_{00}$  の値が指数関数的に増加していくことが確認された。
- (3) 官能検査において、素地を製材とした供試体に発生する雨筋よごれの  $\Delta E$  と  $\Delta E_{00}$  の順位は、相関関係であることが確認された。
- (4) 色彩測定結果と官能検査結果は、クリア色の含浸塗料を施した供試体 3 と低汚染塗料を施した供試体 4 を除き、相関性がみられた。
- (5) 官能検査結果は供試体の木目に左右される可能性があり、木目が強い木材の雨筋よごれの評価は検討の必要がある。

### 【謝辞】

本研究にご協力いただいた日本大学生産工学部の小林奈央樹教授及び、住友林業株式会社、本学学生の皆様に深く感謝いたします。

### 【参考文献】

- 1) 落部鮎美ら：建築外装材料の美観性維持に関する研究、2006年度日本建築学会大会学術講演梗概集(関東)、p1083-1084、2006.09
- 2) 仲村匡司：木材の見えと木質内装、2012年木材学会誌 Vol.58 No.1, p1-10
- 3) M.R.Luo, G. Cui, B. Rigg : The Development of the CIE 2000 Colour-Difference Formula: CIEDE2000, Article in Color Research & Application · October 2001, p340-350
- 4) 日本科学技術連盟：官能検査ハンドブック, p229
- 5) 川瀬雅也ら：生物工学, p94, p208
- 6) Hollander, M., & Wolfe, D. A. 1999 年, p1-P42
- 7) 石神忍ら：外壁材料のよごれの評価に及ぼす材料の模様の影響、1997年日本建築学会構造系論文集 62巻 495号 p21-27