

[1146] 表面処理されたモルタルの汚れ色彩特性

市坪 誠*1・田澤榮一*2・竹村和夫*3

1. まえがき

近年、コンクリート構造物の塩害・凍害・中性化・アルカリ骨材反応等といった早期劣化や損傷が社会的な問題にまで発展している。中でも、水（海水、降雨水等）に直接接するような土木構造物は過酷な環境下にあり、耐久性に限らず美観上も多大な影響を受けている[1]。しかも、土木用コンクリート構造物を美観という観点から評価するとき、その表面における「汚れ」が見る人の感性にマイナスのイメージを与えていることが明らかとなっている[2]。にもかかわらず、土木用コンクリート構造物における「汚れ」対策はほとんど確立されていないといってよい。そこで、「汚れ」についてその原因を解明し対策を研究することは、耐久性の面から材料表面・内部機能の変状を判断する上で重要であり、美観・衛生面から汚れ除去の対策や設計当初における汚れ防止の手段及び維持管理上有意義となる。

本研究は、市販されている防カビ材及び防水、撥水効果のある材料をモルタル表面に塗布し、1年間、日陰・日向（ひなた）および水中の各環境下で曝露することにより、表面処理しないモルタル及び漆喰（しっくい）供試体との汚れによる色彩変化について検討を行うものである。ここで、対象とした「汚れ」とは生物（藻類、菌類等）の付着による表面性状の変化としている。さらに、乾燥状態及び湿潤状態の色彩特性を比較することにより材料の「濡れ」が表面の色彩調和に及ぼす影響についても検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料と曝露環境

モルタルの作成に当たっては、セメントは普通ポルトランドセメント、砂は豊浦産標準砂を使用し、W/C=50%、S/C=2とした供試体 10×10×1.5cmを作成した（図-1）。漆喰は市販のものを用い、漆喰と水との重量比を1:1とした。モルタルおよび漆喰の練り混ぜはホバート型ミキサによった。防水・撥水作用の表面処理材（剤）5種類と防カビ材2種類を組み合わせることで試料を作成した（表-1）。また、試料JはCO₂インキュベータ（CO₂濃度5% 1週間曝露）により中性化を行った。

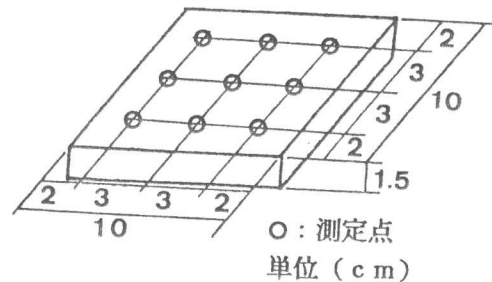


図-1 供試体寸法と測定点

表-1 曝露用供試体

記号	材料	会社	塗装系	記号	材料	会社	塗装系
A	モルタル	O	金属塩+無機溶媒系	G	モルタル	P+R	試料B+防カビ材Y
B	モルタル	P	金属塩+樹脂系	H	モルタル	S	シリコン系(灰色)
C	モルタル	Q	シラン化合物系	I	モルタル	S	ポリシロキサン系
D	モルタル	O+R	試料A+防カビ材X	J	モルタル	-	なし(中性化)
E	モルタル	O+R	試料A+防カビ材Y	K	モルタル	-	なし
F	モルタル	P+R	試料B+防カビ材X	L	しっくい	-	なし

*1 呉工業高等専門学校助手 土木工学科、工修（正会員）
 *2 広島大学教授 工学部第四類、工博（正会員）
 *3 呉工業高等専門学校教授 土木工学科、工博（正会員）

曝露環境として、日陰（校舎北側、日中ほとんど日が射さない）、日向（ひなた）（校舎南側、日中日が射す）および水中（池の中）の3カ所で行った。ここで、塗仕上げ材で処理された材料も材齢1年以内で効果がなくなる例が報告されているため[3]、本研究の曝露期間は1年とした。

2.2 試料表面の色度測定 (JIS Z 8729, 8730)

汚れ試料及び未汚れ試料を色彩色差計（ミノルタカメラ機：CR-321）を用いてL*a*b*表色系とマンセル値とで表した。そして色差（ΔE）をHunterの色差式（次式）により求めた。

$$\Delta E = \{ (L_0^* - L_n^*)^2 + (a_0^* - a_n^*)^2 + (b_0^* - b_n^*)^2 \}^{1/2}$$

(L₀^{*}, a₀^{*}, b₀^{*}) : 曝露前の値、(L_n^{*}, a_n^{*}, b_n^{*}) : 曝露開始n週間後の値

2.3 色彩調和

色彩調和には、「色相」、「明度・彩度」および「色調（トーン）」の3通りがあり、それぞれ類似調和、中間調和および反対（対比）調和がある[4]。色相調和は2色間の色の距離を角度（対比度）で表し検討した。明度・彩度の調和は横軸に彩度差、縦軸に明度差をとり調和範囲を曲線で区画し検討した[5]。色調調和はJIS Z 8102によりトーンの種類を行い評価した。

3. 色彩変化からの評価

3.1 色彩からの検討

日陰環境下での経時変化を図-2に示した[6]。試料Hを除く曝露前のモルタルの色相（Hue）は、2.5Y～7.5Y（黄系）となった。曝露開始後すぐに5.0GY（黄緑系）へと色相は変化し、30週以降には再び黄系（2.0Y～7.0Y）へと変化した。上記モルタルの明度（Value）は、5.7～7.2の間でほとんど変化しなかったのに対し、彩度（Chroma）は、0.4から1.0前後へと高くなりばらつく傾向にあった。以上より試料Hを除くモルタルの色彩（三

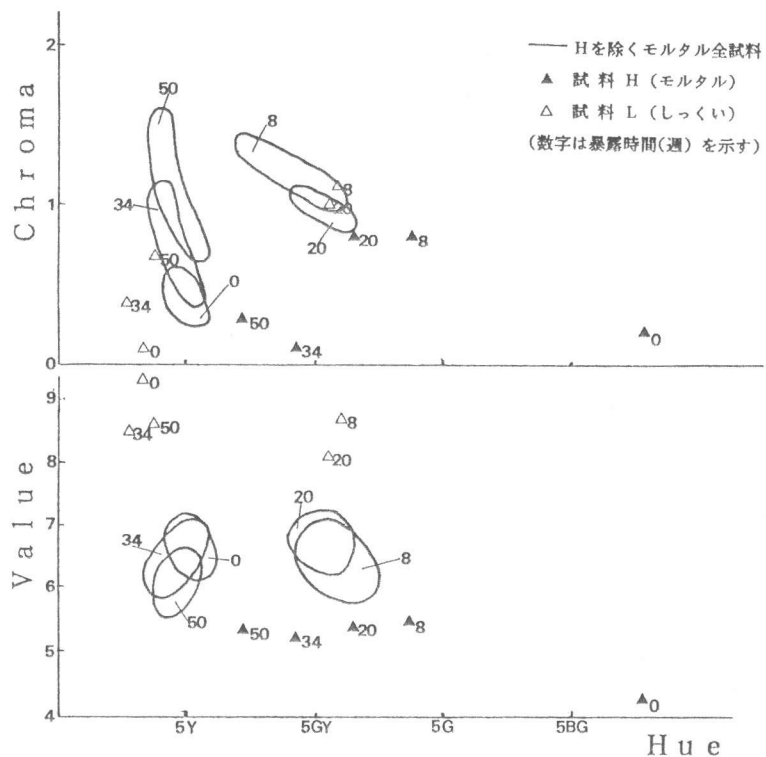


図-2 マンセル色度図-日陰曝露-

属性)は表面の処理・無処理に係わらず色相、明度で同様な挙動をとり、彩度は高くなることが理解できた。試料Hは塗布材の色の影響により曝露前、青みがかった灰色(0.4B 4.3/0.2)であったが、曝露1年後には(9.3Y 5.4/0.3)となりモルタル本来の色である黄系の灰色(5.0Y 5.0/1.0)へと近づく傾向にあった。漆喰の色彩変化において、色相は上記モルタルと同様の傾向にあったが、明度及び彩度はそれぞれ0～1.2, 8.0～9.5の範囲で変化した。

日向環境下でも日陰と同様な経時変化となった。両環境下とも生物の付着は目視観察から認められなかったため、紫外線、熱等による材料の劣化（色退色）が色彩変化の主因と判断された。

水中曝露での経時変化を図-3に示した。試料Hを除くモルタルの色相は、1年を通じ 2.5Y~7.5GY（黄系~黄緑系）の範囲内で変化した。曝露1年後の色相の中心は付着生物の色の影響を直接受け黄緑系（9Y）となった。また明度は、曝露開始後 7.0から1年後 5.0前後へと下がり、彩度は 0.4から1.6前後へと高くなり、付着生物の色の影響にあった。

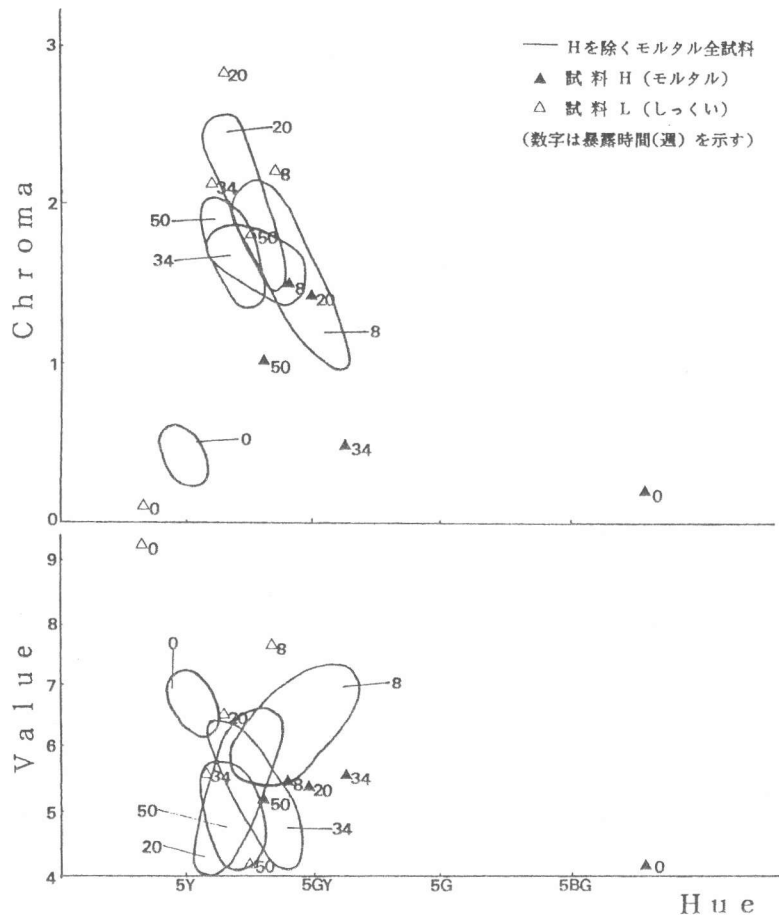


図-3 マンセル色度図-水中曝露-

試料Hは曝露前、青みがかった灰色から1年後には（2.4Y 8.6/0.6）となり上記モルタルの色彩へと近づく傾向にあった。漆喰の色彩変化は曝露前の黄系の白色（1.3Y 9.3/0.1）から三属性とも上記モルタルと同様の色彩変化の傾向にあった。

3.2 汚れ付着からの検討

曝露前の乾燥試料を基準とした色差の経時変化から汚れ付着程度の検討を行った[7]。日陰曝

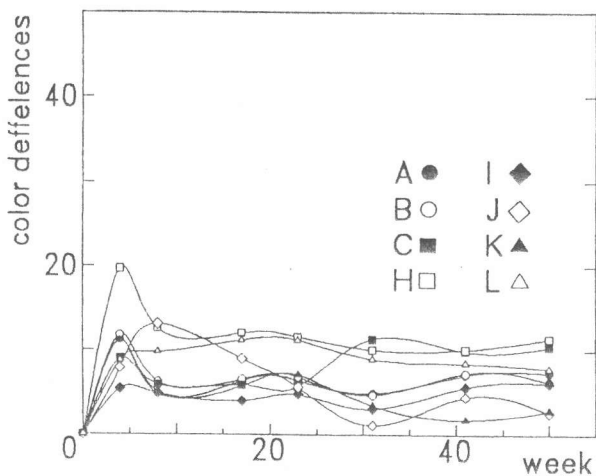


図-4 日陰曝露での色差

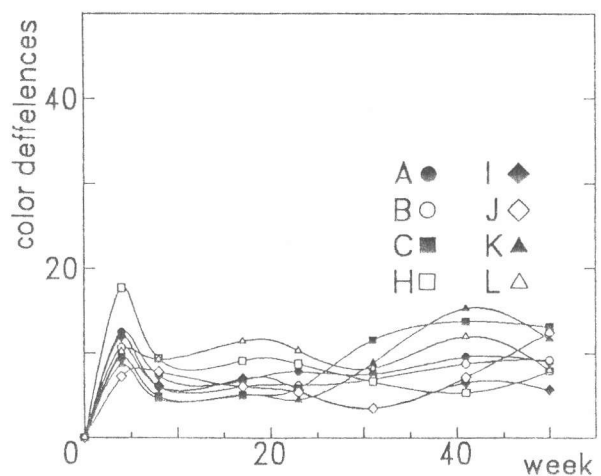


図-5 日向曝露での色差

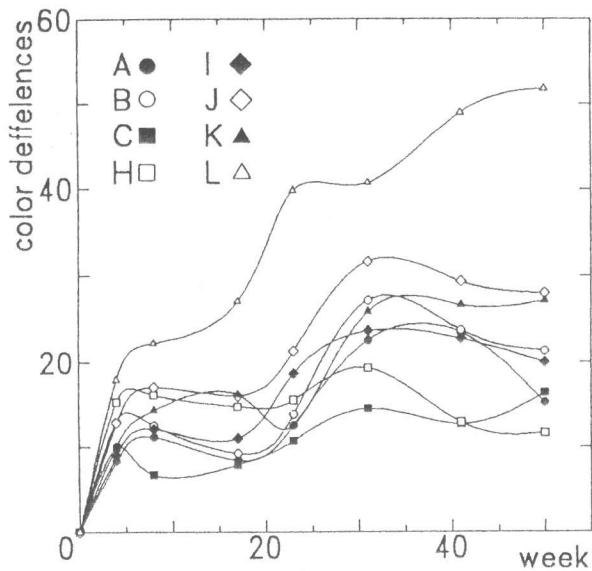


図-6 水中曝露での色差

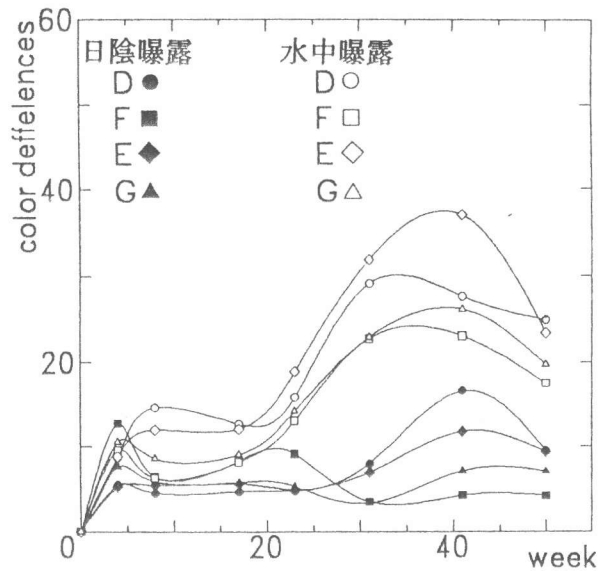


図-7 防カビ材の効果

露（図-4）、日向曝露（図-5）とも色差は上記色相変化の影響を直接受けて材齢4週目にピークとなることがわかった。1年後の色差は両曝露環境とも表面処理の有無に関わらず同様の傾向となり、その値は日向曝露の方が若干高くなった。

水中曝露（図-6）のモルタル（A～K）の値は14～26となり、表面処理しないK、Jが若干大きな値となった。特に曝露前中性化したJは他の試料と比較して常に大きな値となった。中性化していないKの色差は曝露1年後にJとほぼ同じ値となり、生物（汚れ）が同程度付着したことが理解できた。水中曝露は常に水が供給される環境であることから表面処理されたA～Iにおいても生物（藻類）の付着が認められたが、色差の値やその変動が小さいことから試料C及び試料Hの防汚効果が認められた。また、モルタルに比べて漆喰（L）は54と約2倍となり生物付着量が突出した。

図-7よりDとE、FとGとの比較から防カビ材Xの有効性が認められた。しかし、防カビ材を混入したことによる生物付着に対する抵抗性の効果は顕著に表れなかった。

3.3 色彩調和からの検討

実建造物の汚れ実態はコンクリート部を「地」、汚れを「図」とした形で示される[8][9]（図-8）。

そこでまず晴天時を考慮し、日陰曝露の乾燥試料を「地」、水中曝露（乾燥）の乾燥試料を「図」とした色彩調和を検討した（表-2）。試料C及びHの三調和は1年を通じ全て類似調和となり、色彩調和の面からも防汚効果が確認された。表面が無処理の試料J及びKは20週以降、明度・彩度の調和において対比調和となり特に明度差が大となった。このことは2つの色が互いに影響して違いが強調され[10]、実建造物面では汚れがより明るく見え、コンクリート面がより暗く見えることとなる。

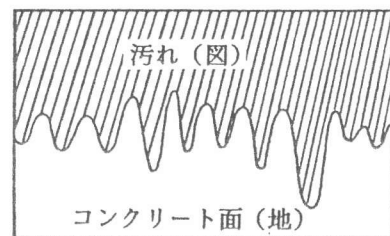


図-8 地と図

漆喰試料Lにおいては明度・彩度の調和が34週以降、色調調和が50週以降に対比調和となった。これより景観上大面積となる壁面等において色の面積が大きいほど明度、彩度とも上がって見え

ること（面積効果）[10]から漆喰における生物の汚れは好ましくないと判断された。

そうして雨天時に雨水が壁面を流れる場合を考慮し、日陰曝露の乾燥試料を「地」、水中曝露の湿潤試料を「図」とした色彩調和を検討した（表-3）。試料Cの三調和は晴天時と同様1年を通じ全て類似調和となり防汚効果が確認された。試料Hは30週前後で明度・彩度の調和において対比調和となり付着生物の濡れによる影響が表れた。表面が無処理の試料J及びKは曝露前の明度・彩度の調和において、モルタルの濡れが明度差に直接表れ対比調和となることが理解できた。30週以降の明度・彩度及び色調の対比調和は付着生物の色の影響によった。

漆喰試料Lも明度・彩度の調和および色調調和において30週以降、対比調和となった。

以上のことからモルタル表面における生物の付着は濡れという作用により色彩上のバランスが崩れることが理解できた。このことは、見る人の目には快いものとしては映らず汚れているという感性で判断されるものと思われる。

表-2 日陰環境下での色彩調和—晴天時—

週		0	8	20	34	50
C	色相調和 (対比度)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦
	明度・彩度調和 (明度差/彩度差)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦
	色調調和 (図/地)	0/0	0.6/0.1	0.1/0.5	0.4/0.7	0.2/0.8
	色調調和 (図/地)	ライトグレイ/ライトグレイ	ライトグレイ/ライトグレイ	ライトグレイ/ライトグレイ	グレイッシュ/グレイ	グレイッシュ/グレイ
H	色相調和 (対比度)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦
	明度・彩度調和 (明度差/彩度差)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦
	色調調和 (図/地)	0/0	0/0.7	0/0.6	0.4/0.4	0.2/0.7
	色調調和 (図/地)	グレイ/グレイ	グレイ/グレイ	グレイ/グレイ	グレイ/グレイ	グレイ/グレイ
J	色相調和 (対比度)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦
	明度・彩度調和 (明度差/彩度差)	㊦	㊦	▲	▲	▲
	色調調和 (図/地)	0/0	0.2/0.5	2.5/1.4	2.7/1.2	2.5/1.0
	色調調和 (図/地)	ライトグレイ/ライトグレイ	グレイッシュ/グレイ	ダークグレイッシュ/ライトグレイ	グレイ/ライトグレイ	ダークグレイッシュ/ライトグレイ
K	色相調和 (対比度)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦
	明度・彩度調和 (明度差/彩度差)	㊦	○	▲	▲	▲
	色調調和 (図/地)	0/0	1.4/0.3	2.0/1.1	2.1/1.1	2.3/1.0
	色調調和 (図/地)	ライトグレイ/ライトグレイ	グレイ/グレイ	グレイッシュ/ライトグレイ	グレイ/ライトグレイ	ダークグレイッシュ/ライトグレイ
L	色相調和 (対比度)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦
	明度・彩度調和 (明度差/彩度差)	㊦	○	○	▲	▲
	色調調和 (図/地)	0/0	1.0/1.1	1.5/1.8	2.8/1.7	4.3/1.2
	色調調和 (図/地)	ホワイト/ホワイト	ライトグレイッシュ/ホワイト	グレイッシュ/ライトグレイ	グレイッシュ/ホワイト	ダークグレイッシュ/ホワイト

㊦：類似調和 ○：中間調和 ▲：対比調和

表-3 日陰環境下での色彩調和—雨天時—

週		0	8	20	34	50
C	色相調和 (対比度)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦
	明度・彩度調和 (明度差/彩度差)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦
	色調調和 (図/地)	0.1/1.0	0.1/0.3	0.6/0.7	0.8/1.7	1.6/1.9
	色調調和 (図/地)	ライトグレイ/ライトグレイ	ライトグレイ/ライトグレイ	グレイッシュ/ライトグレイ	ダークグレイッシュ/グレイ	ダークグレイッシュ/グレイ
H	色相調和 (対比度)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦
	明度・彩度調和 (明度差/彩度差)	○	㊦	㊦	▲	○
	色調調和 (図/地)	1.3/0.1	0.3/0.7	0.1/0.5	3.3/0.6	1.0/1.2
	色調調和 (図/地)	グレイ/グレイ	グレイ/グレイ	グレイ/グレイ	ブラック/グレイ	グレイ/グレイ
J	色相調和 (対比度)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦
	明度・彩度調和 (明度差/彩度差)	▲	○	▲	▲	▲
	色調調和 (図/地)	2.2/0.5	1.7/0.4	2.7/1.5	4.9/0.2	2.5/1.0
	色調調和 (図/地)	グレイ/ライトグレイ	ダークグレイッシュ/グレイ	ダークグレイッシュ/ライトグレイ	ブラック/ライトグレイ	ブラック/ライトグレイ
K	色相調和 (対比度)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦
	明度・彩度調和 (明度差/彩度差)	▲	▲	▲	▲	▲
	色調調和 (図/地)	2.0/0.2	2.5/0.6	3.0/1.0	4.9/0.2	2.3/1.0
	色調調和 (図/地)	グレイ/ライトグレイ	ダークグレイッシュ/ライトグレイ	ダークグレイッシュ/ライトグレイ	ブラック/ライトグレイ	ブラック/ライトグレイ
L	色相調和 (対比度)	㊦	㊦	㊦	㊦	㊦
	明度・彩度調和 (明度差/彩度差)	㊦	○	○	▲	▲
	色調調和 (図/地)	10.1	36.4	29.5	16.2	13.0
	色調調和 (図/地)	0.1/0.1	1.3/2.1	1.2/2.5	6.4/0.1	4.3/1.2

㊦：類似調和 ○：中間調和 ▲：対比調和

4. 結 論

本研究ではモルタル表面の材料特性を変化させ、付着した汚れ物質の色彩特性について検討を行った。さらに、濡れが及ぼす影響についても検討を行った。本研究で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 日陰、日向の両環境下で1年を経過したモルタル試料は、表面の処理、無処理に係わらず色相、明度で同様な挙動をとり、彩度は高くなった(色相は黄系、明度は6前後、彩度は1前後)。この色彩変化は色退色の影響といえた。
- (2) 水中曝露の試料は、表面の処理、無処理に係わらず汚れ(藻類)が付着し、その色彩は付着生物の色に左右された(色相は黄緑系、明度は5前後、彩度は1.6前後)。
- (3) 曝露前の乾燥試料を基準とした水中曝露における色差の経時変化から、表面処理のない中性化したモルタル試料は生物付着が特に大と判断された。また、モルタルに比べて漆喰は約2倍と突出した値となった。
- (4) 晴天時の汚れ色彩調和において、表面が無処理の試料は20週以降明度差が著しく大となり、明度・彩度の調和において対比調和となった。特に、漆喰試料Lは30週以降、明度・彩度の調和、色調調和から景観上大面積となる壁面には適さないと判断された。
- (5) 雨天時の汚れ色彩調和において、表面が無処理の試料は30週以降、明度・彩度調和と色調調和が対比調和となり晴天時に比べて色彩上のバランスが崩れることが理解できた。
- (6) 曝露前(0週)のモルタルの吸水(濡れ)は明度差に直接影響し、色彩のバランスを崩す一因となった。

参考文献

- 1) 仕入豊和, 他2名: コンクリート壁面の汚れ、セメント・コンクリートNo. 461、pp. 22-33、July 1985
- 2) 市坪 誠: 土木用コンクリート構造物の汚れに関する基礎的研究、土木学会第47回年次講演会 V-232 pp. 494-495、1992
- 3) 仕入豊和, 地濃茂雄: コンクリート表面の汚れとその対策、コンクリート工学 Vol. 24, No. 7、pp. 52-58、July 1986
- 4) 近藤恒夫: 景観色彩学-醜彩から美観へ-、理工図書、pp. 26-31、1986
- 5) 近藤恒夫: 色彩学、理工図書、pp. 96-126、1985
- 6) カラープランニングセンター編: 環境色彩デザイン-調査から設計まで-、美術出版社、pp. 53-74、1984
- 7) 市坪 誠: コンクリート表面の汚れに関する研究(第3報-小型試料による評価物理量の推定)、高知高専学術紀要 第37号、pp. 161-168、1993
- 8) 細川護熙, 中村良夫: 景観づくりを考える、技報堂出版、pp. 310-312、1990
- 9) 田澤榮一, 他2名: 土木用コンクリート構造物の汚染状況に対する調査、第42回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集、pp. 520-521、1989
- 10) 新 雅夫, 他2名: 建築環境工学一問一答、明現社、pp. 193-200、1992