

## 論文 コンクリート表面の汚れに及ぼす生態系物質の影響

市坪 誠\*1・森永 力\*2・河合研至\*3・田澤榮一\*4

**要旨：**コンクリート表面の汚れ付着物質は生態系と非生態系に分類される。従来著者らは打設直後から生態系物質（細菌類を主とする微生物群）の繁殖の可能性を指摘し、生態系汚染機構の構築を行ってきた。これを踏まえ、本論文はコンクリート表面の具体的な汚れ付着物質を明らかとするため、屋外に暴露されたコンクリート構造物表面の調査を行い、生態系付着物質の同定を行った。また、汚れ原因と汚れ色彩との対応を行い、生態系付着物質が汚れ評価に及ぼす影響を把握した。

**キーワード：**コンクリート, 汚れ, 生態系物質, 防汚対策, 景観

### 1. はじめに

構造物の寿命を判断する一つの指標として、耐久性に限らず外観の美観性も指摘される。

構造物外壁の汚れは美観性評価においてマイナスとなり、その判断は汚れ色差及び汚れ占有率等といった汚れ性状による<sup>1)</sup>。また、汚れ原因として生態系物質と非生態系物質とが挙げられ<sup>2)</sup>、これらの複合的な作用により汚れと認識される状態がコンクリート表面で形成されていくものと思われる。このことから、構造物の美観診断、防汚対策を行う上で、汚れ原因と汚れ評価との対応を理解することが今後求められる。

しかし、既設コンクリート構造物の生態系汚れ物質の調査及び同定は未だ少なく、なかでも汚れ評価との対応はほとんど研究されていない。

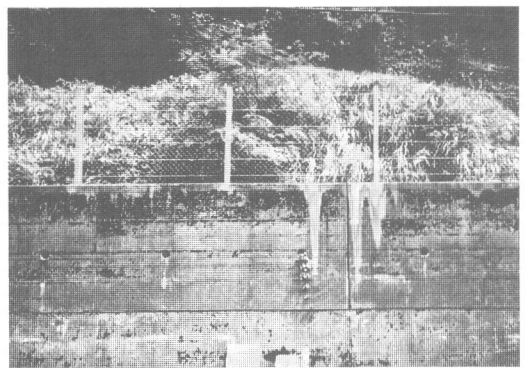
そこで、本研究はコンクリート表面の汚れ付着物質を明らかとするため、屋外暴露された既設コンクリート構造物表面の調査を行い、生態系付着物質を同定した。また、汚れ原因と汚れ評価との対応を明らかとするために、生態系付着物質が汚れ色彩に及ぼす影響を検討し、汚れ原因（判断）物質としての生態系物質の有効性について検討を行った。

### 2. 調査概要

#### 2.1 調査場所

調査実施にあたり国道沿いを現地踏査し、調査対象は立地地区、躯体種類、汚れ概況等を考慮して9構造物を選定した（写真—1、表—1）。

試料採取場所として、上記構造物表面から汚れ性状が一般的と思われる26地点を選定した（表—2）。ここでいう汚れ性状とは、汚れ形状、汚れ模様及び汚れ色相とする。汚れ物質の付着部分を目視観察により材料表面の色度に変化した部分として、その境界線及び境界線内の付着の仕方を汚れ形状及び模様と呼んでいる<sup>3) 4)</sup>。



写真—1 採取場所（擁壁）

\*1 呉工業高等専門学校助教授 環境都市工学科 工博（正会員）

\*2 広島県立大学教授 生物資源学部 工博（非会員）

\*3 広島大学助教授 工学部第4類（建設系） 工博（正会員）

\*4 広島大学教授 工学部第4類（建設系） 工博（正会員）

また、汚れ粗さは目視観察及び躯体手触りにより、汚れ程度は目視判定によりそれぞれ4段階で判定している。

## 2.2 試料表面の色度測定

コンクリート表面の汚れに対する景観評価に際し、評価試料から求めた白色を基準とした色差は有効な評価物理量となる<sup>1)</sup>。

そこで供試体表面の測色は接触型色彩色差計を用いてL\*a\*b\*表色系による測定(JIS Z 8729)とこれをもとに白色との色差( $\Delta E^*_{ab}$ ) (JIS Z 8730)を求めた。

## 2.3 試料採取及び分析方法

非生物のうち煤塵はコンクリート表面をこすり取る機械的除去法で採取したのち顕微鏡観察を行い4段階で判定している。

蘚類の同定は屋外での形状観察より明らかとした。藻類については、屋外での生育状況では同定が困難な種が多いことから、機械的除去法で採取したのちBBM寒天平板培地で培養し形態が明らかとなった状態で観察を行った。真菌類(主に糸状菌)については、滅菌した綿棒でコンクリート表面をなぞり馬鈴薯ブドウ糖寒天培地に塗抹して採取を行い1週間培養して分離し同定を行った。

表-1 調査対象構造物

調査地	A	B	C	D	E	F	G	H	I
構造物	擁壁	擁壁	トンネル	擁壁	ダム	トンネル	橋梁	擁壁	橋梁
場所	松江地区 (島根県宍道町・国道9号線)	松江地区 (島根県掛合町・国道54号線)	三次地区 (島根県赤名町・国道54号線)	三次地区 (広島県布野村・国道54号線)	三次地区 (広島県八千代町)(国道54号線から1.5km離れる)	広島地区 (広島県可部町・国道54号線)	広島地区 (広島県広島市・国道2号線(西広島バイパス))	広島地区 (広島県坂町・国道31号線)	広島地区 (広島県坂町・国道31号線(広島県道路))
施工年	—	1966	1964	1971	1974	1983	1973	1970	—
立地部	臨海部	山間部	山間部	山間部	山間部	山間部	市街地・臨海部	臨海部	市街地
周辺部	北向き・潮風の影響、上部に草	西向き、上部に草木	上部に草木	西向き、上部に草木	南西向き	南向き、上部に草木	北向き・潮風の影響大	南向き・潮風の影響大	西向き

表-2 試料採集場所の汚れ状況

	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	E1	E2	E3	F1	F2	F3	G1	G2	G3	H1	H2	H3	I1	I2	
汚れ形状	α1	α2	α5	α3	α3	α3	α1	α1	α4	α3	α3	α7	α1	α1	α1	α1	α1	α4	α1	α6	α1	α4	α3	α3	α4	α7	
汚れ模様	β1	β1	β3	β3	β1	β1	β3	β1	β1	β3	β1	β3	β1	β2	β2	β2	β2	β1	β3	β3	β1	β1	β3	β1	β1	β4	
色相	黒、黒緑	緑	淡黒	黒茶	灰	黒	黒	淡黒	黒茶	黒、赤紫	灰	深緑	黒	赤紫	茶	黒	赤紫	緑	緑	黒茶	黒	深緑	赤紫	灰	黒、赤紫	白	
占有率(%)	100	20	60	30	10	60	90	100	5	80	15	5	80	10	10	60	25	5	30	30	40	30	40	30	50	50	
表面粗さ	X4	X2	X2	X3	X3	X3	X3	X3	X3	X3	X3	X2	X3	X3	X3	X2	X2	X2	X4	X4	X4	X4	X4	X4	X2	X1	
汚れ程度	Y4	Y2	Y3	Y3	Y1	Y3	Y4	Y3	Y3	Y3	Y1	Y2	Y3	Y3	Y2	Y3	Y3	Y2	Y3	Y3	Y3	Y3	Y3	Y3	Y1	Y3	Y1
L*	53.7	61.5	62.1	63.8	71.5	55.5	46.4	59.4	52.3	43.7	72.5	47.2	53.2	63.4	77.9	34.3	62.5	73.6	55.1	53.9	51.5	39.4	56.6	64.8	56.4	73.3	
a*	2.8	-7.2	2.8	1.7	4.3	3.0	0.5	2.0	-2.3	-0.3	2.4	17.9	-1.4	2.8	1.5	-0.0	2.9	0.4	-1.0	2.1	0.5	-1.1	1.1	2.45	3.6	2.1	
b*	-7.8	15.8	-6.9	-7.1	-7.7	-9.3	-6.5	-6.3	-5.0	-5.7	-8.0	-3.4	-4.5	-6.0	-8.6	-7.8	-6.2	-4.3	-1.3	-3.4	-8.8	2.8	1.9	-1.7	-3.0	-8.4	
$\Delta E^*_{ab}$	40.0	35.1	31.7	29.8	23.6	38.7	46.4	34.7	41.2	49.2	22.4	50.2	39.7	30.9	20.7	58.5	31.1	19.9	37.3	39.1	42.1	52.8	36.0	28.1	36.4	22.0	

凡例

[汚れ形状] α1:壁全体, α2:よだれ状, α3:逆よだれ状, α4:くさび状, α5:雲型状, α6:帯状, α7:その他

[汚れ模様] β1:均一, β2:たてしま, β3:まだら, β4:その他

[表面粗さ] X1:つるつる, X2:少しざらざら, X3:ざらざら, X4:細骨材露出

[汚れ程度] Y1:ほとんど汚れていない, Y2:少し汚れている, Y3:汚れている, Y4:非常に汚れている

### 3. 結果及び考察

#### 3.1 コンクリート表面の付着物質

##### (1) 藻類及び蘚苔類

コンクリート表面に付着する生態系物質のうち藻類及び蘚苔類の調査結果を示す(表-3)。

広島、三次及び松江といった構造物設置場所による差異はほとんど見られないのに対し、日照が強く湿潤状態を長く保てない箇所(A1, B3, C1, D1, E1, E2, F1, F2, G1, H2及びI1)では藍藻類のグロエオカプサ(*Gloeocapsa*)が多く認められた。降雨がほとんど掛からない場所でも藍藻類が認められた。

構造物が北向きであったり上部に草木が繁り日照が弱い等湿潤状態を長く保てる箇所(A2, G1及びH1)では、緑藻のクレブソルミジウム(*Klebsormidium flaccidum*)が非常に多く認められた(写真-2)。特にC3のような常時湿

っている箇所では藍藻類のフォルミジウム(*Phormidium* spp.)の生育が顕著となり茶褐色～緑褐色の厚さ数mmの皮膜状態が認められた。

降雨時の流水作用が強い箇所(B2, D2及びH3)では、付着藻類の量及び種類ともに減少しており、表面が洗浄されている様が微生物

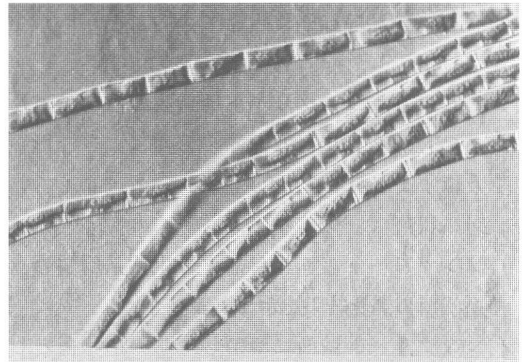


写真-2 クレブソルミジウム

表-3 藻類及び蘚苔類の分析結果

	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	E1	E2	E3	F1	F2	F3	G1	G2	G3	H1	H2	H3	I1	I2
[地衣類]																										
ASCOLIENS 子の地衣綱																										
Endocarpon sp.																				●						
不明種	+	◎	◎	+	+	○	○			◎	○		◎	+		◎	+		+		◎					
[藻類]																										
CYANOPHYCEAE 藍藻類																										
Gloeocapsa sp.1	●		+		○	○	◎	○		●			◎	●		○	●		○				●	+	◎	+
Gloeocapsa sp.2						◎										+	+					+		+		
Gloeocapsa spp.				◎		◎			◎	◎	○		◎	+	+						○					
Myxosarcina sp.	+	+	+		+	+	+			+	◎				+	+	+	+	+		+	◎	○	○	+	+
Tolypothrix byssoidea	+		◎	+	+						○	+			◎	+	+	+	+		+	◎	+	+	+	+
Phormidium spp.				+	+	+			●							+	+							+	+	+
CHLOROPHYCEAE 緑藻類																										
Gloeocystis sp.				○		+					+											○				
Chlorella ellipsoidea			+	+	○						+							+								
Chlorella luteoviridis		○	+					+										●			+					
Stichococcus bacillaris				+	○	+																				
Klebsormidium flaccidum	○	●	◎	○		+	●	◎								○	○		●	+	+	●	+	+		
Diplosphaera chodatii	+		+		+		+				+															
Dilabifilum sp.			◎	○	○		+	○	○																	
[コケ類]																										
BRYOPSIDA 蘚綱																										
Bryum capillare													◎													
Bryum argenteum													○													
Grimmia apocarpa	◎												◎													
Didymodon constrictus				◎		○																				

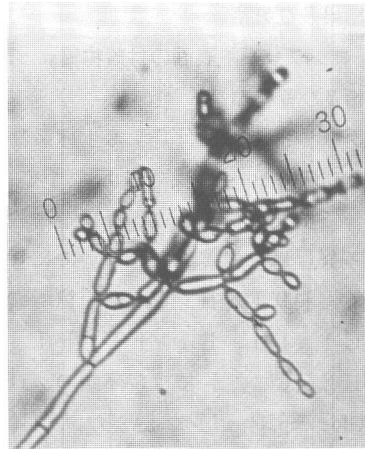
[凡例] ●:非常に多い, ◎:多い, ○:少ない, +:稀

検出状態からも理解された。

これより、構造物の周辺環境の影響が藻類等の繁殖に大きく作用することが理解できた。

また、コンクリート表面が赤紫色に見える箇所では *Gloeocapsa* sp.1, 黒色の箇所ではトリボスリックス (*Tolypothrix byssoidea*)、緑色の所ではクロレラ (*Chlorella luteoviridis*) やクレブソルミジウム等緑藻類が優占していることが明らかとなった。

これより、コンクリート構造物の汚れ付着及びその色彩変化に対し藻類の繁殖は大きな影響を及ぼすことが示唆された。

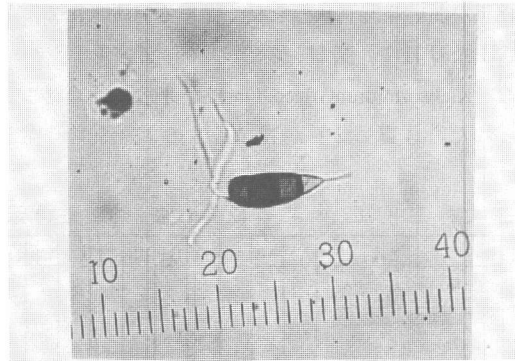


写真—3 クラドスポリウム (単位:  $\mu\text{m}$ )

(2)糸状菌

コンクリート表面に付着する生態系物質のうち糸状菌の調査結果を示す(表—4)。

コンクリート壁面に繁殖しやすい糸状菌としてはクラドスポリウム (*Cladosporium* sp.: 暗緑色~黒色(写真—3)), アスペルギルス (*Aspergillus* sp.: 黒, 緑等), トリコデルマ (*Trichoderma* sp.: 濃緑色), オウリョウバシリウム (*Aureobasidium* sp.: 黒褐色~黒色) が指摘されており<sup>1) 5)</sup>, 今回の調査でもこれらの菌類が多数確認された。これらは空气中及び土壌



写真—4 ペスタロチオプシス (単位:  $\mu\text{m}$ )

表—4 糸状菌の分析結果

	A1	A2	B1	B2	C1	C2	D1	D2	E1	E2	E3	F1	F2	G1	G2	H1	H2	H3	I1	I2	検出率 (%)
<i>Pestalotiopsis</i> sp.			○	○		○	○	○				○	○			○	○	○	○	○	61
<i>Cladosporium</i> sp.		○				○				○			○		○			○		○	39
<i>Penicillium</i> sp.	○	○	○	○																○	28
<i>Pithomyces</i> sp.							○			○		○	○	○							28
<i>Fusarium</i> sp.	○	○	○			○															22
<i>Trichoderma</i> sp.							○			○			○	○							22
<i>Arthrinium</i> sp.	○															○	○				17
<i>Ulocladium</i> sp.		○								○							○				17
<i>Humicola</i> sp.									○	○				○	○						17
<i>Aspergillus</i> sp.								○		○			○								17
<i>Aspergillus terreus</i>													○		○						11
<i>Nigrospora</i> sp.				○													○				11
<i>Helminthosporium</i> sp.		○																			6
<i>Cephalophora</i> sp.								○													6
<i>Myrothecium</i> sp.																○					6

[凡例] ○: 検出

中に普遍的に分布するものであり、風によって運ばれた孢子がコンクリート表面に付着し繁殖したものと考えられる。

ここで、本調査で最も多く検出されたのはペスタロチオプシス (*Pestalotiopsis* sp.) であった(写真-4)。この菌は植物病原菌で孢子が木の樹皮や葉に付着しその基物を栄養源として繁殖する。土木用コンクリート構造物はその周囲に草木が繁殖している場合が多いため、風により孢子が飛来したものと考えられる。前述したように、この菌の繁殖は樹皮や葉の上でのみ確認されており、今回コンクリート表面上でこの菌が分離されたのは藻類等と共生していることが考えられた。

### (3) 煤塵 (ばいじん)

コンクリート表面に付着する非生態系物質のうち煤塵の調査結果を示す(表-5)。

これより、煤塵付着は構造物設置場所によら

ずそのほとんどの箇所認識された。特に、C, D, F, H及びIの各地点では煤塵量が多い結果となった。また、汚れ程度はその交通量及び大型車混入率に影響されるものの<sup>6)</sup>、本調査の中で最も交通量の多いG地点表面の煤塵量は少ないと判断された。この箇所は他の調査箇所に対し車道との距離が離れていることから(約20m)、躯体表面の塵埃付着程度は沿道からの設置距離に影響されることが示唆された。

### 3.2 汚れ評価に及ぼす生態系付着物質

コンクリート表面に付着する主要汚れ物質と汚れ評価指標(色差)との関係について重回帰分析を用いて分析した結果を示す(表-6)。

決定係数は73.3%と高くこれら7つの付着物質で色差を十分説明できる。

偏回帰係数の正負の結果より、*Cladosporium* sp., *Nigrospora* sp., *Cephalophora* sp.及び *Phormidium* spp.の存在は汚れ色差を下げる(明度を上げる)

表-5 煤塵の分析結果

	Δ1	Δ2	Δ3	B1	B2	B3	C1	C2	C3	D1	D2	D3	E1	E2	E3	F1	F2	F3	G1	G2	G3	H1	H2	H3	I1	I2
煤塵	+	+	○	+	○	○	◎	●	◎	◎	◎		○	+	+	◎	◎	◎	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎

[凡例] ●:非常に多い, ◎:多い, ○:少ない, +:稀

表-6 汚れ評価に及ぼす付着物質の分析結果

重回帰式										
	偏回帰係数	標準偏回帰係数	F 値	T 値	P 値	判定	標準誤差	偏相関	単相関	
<i>Cladosporium</i> sp.	-8.4631	-0.4004	5.4824	2.3415	0.0373	*	3.6144	-0.5600	-0.2998	
<i>Nigrospora</i> sp.	-11.2497	-0.3348	4.3899	2.0952	0.0580		5.3693	-0.5175	-0.1948	
<i>Cephalophora</i> sp.	-22.3457	-0.4831	8.3549	2.8905	0.0136	*	7.7308	-0.6407	-0.3025	
<i>Tolythrix byssoidea</i>	6.2586	0.3089	3.4642	1.8612	0.0874		3.3626	0.4733	0.3112	
<i>Phormidium</i> spp.	-6.8214	-0.3228	4.0311	2.0078	0.0677		3.3975	-0.5015	-0.3196	
<i>Klebsormidium flaccidum</i>	5.6880	0.2764	2.8029	1.6742	0.1199		3.3975	0.4351	0.4113	
煤塵	8.2413	0.3540	5.2413	2.2894	0.0410	*	3.5998	0.5514	0.2514	
定数項	58.9377		10.4320	3.2299	0.0072	**	18.2477			

\*\* : 1%有意 \* : 5%有意

#### 精度

決定係数	0.7333
修正済決定係数	0.5778
重相関係数	0.8564
修正済重相関係数	0.7601

#### 分散分析表

要因	偏差平方和	自由度	平均平方	F 値	P 値	判定
回帰変動	1490.384656	7	212.9120937	4.714674684	0.0094	**
誤差変動	541.9133441	12	45.15944535			
全体変動	2032.298	19				

\*\* : 1%有意 \* : 5%有意

傾向にあることが理解できた。これに対し、*Tolypothrix byssoidea*, *Klebsormidium flaccidum* 及び煤塵の存在は色差を上げることが理解できた。

標準偏回帰係数の結果より、色差の値を決定する重要な付着物質は *Cephliophora* sp., *Cladosporium* sp., 煤塵, *Nigrospora* sp., *Phormidium* spp.の順序であることが理解できた。つまり、付着物質の中でも糸状菌(カビ)が重要であると同時に、煤塵及び藻類と複合的な汚れ生成作用が行われていることが理解できた。

なお解析を行うに際し、サンプル数は 20 と少なかったものの有意水準 0.01 (信頼度 99%) で分析の精度は良い結果となった。

これより、汚れ評価の主要付着物質及びその重要性が把握され、今後のコンクリート構造物の防汚対策として生態系付着物質に対する考慮が必要とされた。

#### 4. 結論

以上のことから、次のような結論が得られた。

(1) コンクリート構造物表面の生態系汚れ原因物質として、18 種類の藻類・蘚苔類及び 15 種類の真菌類(糸状菌)が同定された。

(2) コンクリート構造物の周辺環境は生態系付着物質(特に藻類)の繁殖に大きく作用することが理解できた。

(3) コンクリート表面に繁殖する糸状菌(カビ)として、従来指摘のなかったペスタロチオプシスが同定され最も多く検出された。

(4) 汚れ評価に及ぼす生態系付着物質として、糸状菌が重要であると同時に、煤塵及び藻類と複合的な汚れ生成作用が行われていることが理解できた。

(5) 以上より、コンクリート構造物の防汚対策は、周囲環境を踏まえた上で糸状菌を中心とした生態系物質に対する考慮が必要とされた。

#### 謝辞

本研究は建設省中国地方建設局中国技術事務所(以下、中国技術事務所と略す)で実施の現地調査及び培養試験結果によりました。資料公開に際し、中国技術事務所長高倉寅喜氏、同調査試験課長吉野好明氏、同水質試験係長濱本隆氏にご助力を頂きました。防汚検討において、中国技術事務所をはじめコンクリート防汚対策調査打合せ協議会の方々にご協力を頂くとともに、(株)大広エンジニアリング寺西修治氏には貴重な御助言を頂きました。ここに付記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 市坪 誠, 田澤榮一, 河合研至, 竹村和夫: コンクリート表面の付着物質が景観評価に及ぼす影響, セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp.92-97, 1996
- 2) 仕入豊和, 地濃茂雄, 橋高義典: コンクリート壁面の防汚, セメント・コンクリート No.461, pp.22-33, 1985
- 3) 仕入豊和, 地濃茂雄, 橋高義典: 建築物外壁面の汚れの分類表示について—建築物外壁面の汚れに関する研究—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.481-482, 1982
- 4) 市坪 誠: コンクリート表面の汚れに関する研究—第 1 報—土木用コンクリート構造物の汚染状況, 高知高専学術紀要第 34 号, pp.39-45, 1991
- 5) 村石房男, 芦澤 達, 大槻 武: 新築建物の防カビ設計・仕様, アイオーエム, 1991
- 6) 市坪 誠, 竹村和夫, 小松孝二, 田澤榮一: トンネル坑口の景観設計に関する一考察, セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp.173-178, 1997