外壁面に発生する藻類の同定および藻類汚染方法の検討

建築物の外壁面における藻類汚染に関する研究

IDENTIFICATION OF FRESH-WATER ALGAE OF EXTERNAL BUILDING
WALLS AND STUDY ON AN EVALUATION METHOD FOR THE SOILING
BY FRESH-WATER ALGAE

Study on the soiling by fresh-water algae of external building walls

辻本吉寛*, 大羽伸和**, 須藤哲也***

Yoshihiro TSUJIMOTO, Nobukazu OHBA and Tetsuya SUDOH

We performed a series of studies to designate the algae which is the main factor of these soiling, and to establish methods which can evaluate materials in regard to soiling of external walls.

The following results became clear after this investigation. Soiling of external walls is usually caused by the fresh-water algae named *Protococcus Viridis* Agardh. We can evaluate the degree of growth of algae on the external materials by applying two independent tests, one is outdoor exposure test and the other one is indoor accelerated test in which we divided techniques for supplying moisture, nutriment and algae to samples.

Keywords : fresh-water algae, *Protococcus Viridis* Agardh, soiling, external walls

藻類, プロトコックス属, 汚染, 外壁

1. はじめに

建築物の外壁面の汚染のひとつに、藻類が発生するために緑色～暗緑色に汚れるという現象がある。この現象は近年、外壁材料の高級化志向にともなう表面形状の複雑化により目立つようになってきた。

これまでに汚染全体の分類および発生メカニズムについては仕入らの研究²⁾があり、塵埃などによる汚染については橋高らの一連の研究^{3), 4), 5)}において汚染程度の定量化方法ならびに屋外暴露および汚染促進試験装置を用いた評価方法が提案されている。また、黴による汚染については大島らの研究⁶⁾がある。

一方、富栄養化や魚網など水中での藻類汚染の評価方法や環境因子については多くの研究^{7), 8)}がある。

しかし、著者らが知る限りにおいて、外壁面での藻類汚染について藻類を特定し評価方法を提案しているものはない。

本研究の目的は、外壁面の汚染の原因となる藻類を特定し、藻類による汚染に関する外壁材料の評価方法を確立することにある。

2. 藻類の特定

2.1 試験概要

まず、外壁面の汚染原因となる藻類を特定すること、並びに、特定した藻類を促進試験に供試することを目的として、実際の外壁材料から採取した藻類の分離・培養および同定を行った。

(1) 採取

表1に示す個所の一般住宅の外壁面から藻類と思われる部分を採取した。No.1～4は外壁面の中央部分であり、No.5だけは水切りに接する（水分を含んでいる時間が長いと思われる）部分であった。

表1 藻類採取個所

No	場 所	下地材・仕上塗材の種類
1	山口県山口市	石綿スレート+合成樹脂エマルジョン系仕上塗材
2	滋賀県栗太郡	モルタル吹付（無塗装）
3	“	モルタル吹付+合成樹脂エマルジョン系薄付仕上塗材
4	静岡県小笠郡	7M+合成樹脂エマルジョン系薄付仕上塗材
5	京都府舞鶴市	石綿スレート+合成樹脂エマルジョン系薄付仕上塗材

* 積水ハウス総合住宅研究所

** 積水ハウス総合住宅研究所

*** 積水ハウス総合住宅研究所

Comprehensive Housing R & D Institute, Sekisui House, Ltd.

Comprehensive Housing R & D Institute, Sekisui House, Ltd.

Comprehensive Housing R & D Institute, Sekisui House, Ltd.

(2) 分離・培養

外壁面から採取した藻類と思われる部分を以下の手順に従い分離・培養を行った。

- ① 滅菌水中に採取した藻類を入れ1細胞ずつになるまで十分に攪拌し、ペニシリンとストレプトマイシンを各々0.01%加えたのち3時間静置した。
- ② 遠心分離器を用いて、攪拌・バクテリアなどとの分離・浮遊物の除去・滅菌水の注入を5回繰り返した。
- ③ ある程度分離された藻類細胞群をスライドガラス上に取り、微動装置を用い顕微解剖機(写真—1)に取り付けた極微スポイドを操作して、元気な藻類細胞を1個ずつ吸い取った。
- ④ 採取箇所ごとに、シャーレ中の寒天培地^(注1)に藻類細胞10個を1群として9群ずつ植え、20°Cで3000ルクスの蛍光灯照射14時間と暗黒10時間を繰り返すようにした培養室で3週間静置した。その間、数日ごとに顕微鏡で状況を観察して、バクテリアや黴の発生が認められる部分や藻類細胞が死滅している部分の寒天をくりぬいて除去した。
- ⑤ 増殖した藻類細胞群を少量の滅菌水に分散させ、再度分離・植え付け・培養を行った。
- ⑥ 順調に増殖した藻類細胞群のみを培養液^(注2)に入れ④の条件で培養を継続した。
- ⑦ 培養した藻類細胞について、透過イマルスキー式微分干涉顕微鏡を用いて観察を行った。

2.2 結果

外壁面の一般部から採取し分離・培養した4箇所の藻類について顕微鏡観察と文献9)、10)の比較検討を行った結果、いずれも写真—2と図—1に示すように「*Protococcus Viridis* Agardh^(注3)：緑藻植物門ヒビミドロ目プロトコックス科プロトコックス属」(以下、プロトコックス属という。)であることがわかった。

同様にして、外壁下端部の絶えず水分を含んでいた部

写真—1 顕微解剖機

写真—2 分離培養後の藻類の顕微鏡写真

図—1 文献9)に記載されたプロトコックス属

分から採取した藻類は「*Phormidium Foverolatum*：藍藻類ネンジュモ目ユレモ亜目ユレモ科フォルミジウム属」であることがわかった。

2.3 藻類の発生要因

プロトコックス属の発生に影響を及ぼす要因としては、プロトコックス属が分布していることと、温度・水分・栄養分など生育するための環境要因が考えられる。そこで、これらの要因について簡単な追加実験などの結果をもとに考察する。

(1) プロトコックス属の分布

プロトコックス属はもっともポピュラーな気生藻類のひとつで、日本中に分布しているといわれている^(注10)。

(2) 温度

プロトコックス属の温度に対する適応性を確認するために、所定の温度に保った培養液・培養室の中で藻類細胞を前述と同様に照射・暗黒を繰り返しながら72時間培養を行った。その結果、20~31°Cまでは順調に増殖したが、32°Cでは約24時間後から徐々に緑色が失われ72時間でほとんど死滅した。つまり、プロトコックス属の生育適応限界は31°Cである。したがって、温暖な地域の直射日光が当たらない北向きなどの外壁面はプロトコックス属の生育に適していると思われる。

(3) 水分

プロトコックス属は湿気を含んだ空気から水分を吸収する能力が大きく空気中で生育・増殖できる気生藻類の一つである^(注9)。したがって、湿度の高い日本ではどこでも発生し、その中でも降水量が多く緑などが多い地域の外壁面が最も生育しやすいと思われる。しかし、あまり長く水と接するような部位では、プロトコックス属に

かわって藍藻類などの他の藻類が生育し、これらの藻類によってプロトコックス属の生育が阻害されると思われる。

(4) 栄養分

プロトコックス属をはじめ藻類は、クロロフィルを持ち光合成により有機物を生成する自栄養生物であるが、外部から栄養分が供給されるとより活発に増殖する。栄養分の供給源としては、硝酸塩・アンモニウム塩やりん酸塩の形で雨水や塵埃に含まれている窒素(N)・りん(P)がある²¹⁾。

これらの要因をまとめると、日当たりの悪い外壁面はプロトコックス属にとって非常に発生・生育しやすい環境と思われる。このことと今回外壁面の中央部分から採取した藻類がいずれもプロトコックス属であったことから、今回藻類を採取した地域では建築物の外壁面において汚染の原因となる主な藻類はプロトコックス属であると判断できる。

3. 屋外暴露予備試験

3.1 試験概要

滋賀県・大阪府などの団地を調査した結果、施工後3～5年以降の住宅で藻類の発生が認められた。したがって、単に暴露するだけであれば、藻類が発生するまでに同等の期間を要すると思われる。そこで、自然環境に加えて水分と栄養分を人為的に与えて発生までの期間を短縮化した屋外暴露方法を考案するための予備試験を実施した。

(1) 試料

試料としては、表—2に示す塗料系や表面形状などの異なる9種類の外壁仕上塗材(下地材:アルミ)を用いた。試料のサイズは250×400 mm, N数は2とした。

表—2 試料/屋外暴露予備試験

塗料系	表面形状	塗装回数	塗料メーカー	防藻剤	略号
E	F	1	K	0	EF1K0
E	R	1	K	0	ER1K0
E	R	2	K	0	ER2K0
E	R	2	N	0	ER2N0
E	R	2	D	0	ER2D0
E	R	2	D	A	ER2DA
E	R	2	D	B	ER2DB
A	R	2	K	0	AR2K0
U	R	2	K	0	UR2K0

塗料系/E:合成樹脂(アクリル)エマルジョン系薄付仕上塗材、促進乾燥タイプ
 A:合成樹脂(アクリル)溶剤系薄付仕上塗材、常温乾燥タイプ
 U:合成樹脂(エポキシ)溶剤系薄付仕上塗材、常温乾燥タイプ
 表面形状/F:フラット 塗装回数/1:1回
 R:リッジ 2:2回
 塗料メーカー/K:K社 防藻剤/0:なし
 D:D社 A:ピリジン系
 N:N社 B:塩化芳香族尿素系

(2) 試験方法

① 試料の取付:試料は北向き・横一列・垂直にして、フェンスに固定した木製の試料台に釘で取り付けた。

・設置位置 地上から800 mm(下端部)

② 水分の供給:塩素系殺菌剤や鉄分を除去し雨水に近づけるために、水道水を活性炭ろ過器を通したのち、10 mm間隔に直径2 mmの穴をあけた塩化ビニル管から散水した。なお、散水時間は24時間タイマーで制御した。

・散水時間 30分/6時間

・散水量 1枚あたり8±1 l/分

③ 栄養分の供給:雨水に含まれるNやPといった栄養分を人為的に与えるために、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ を溶かした水溶液を1日1回洗浄瓶を用いて散布した。藻類の増殖にはP濃度1～5 ppm, N濃度5～10 ppmが適しているといわれており^{21),7)}、散水や雨水によりすぐに希釈されることを考慮して、P濃度10 ppm, N濃度18 ppmに調整した。供給量は1枚あたり約20 ml(試料全体を濡らす程度)とした。

④ 暴露期間:1988年3月1日～10月31日/8カ月

⑤ 暴露地:滋賀県栗太郡栗東町

⑥ 暴露環境²⁴⁾:

・平均温度 18.1°C

・平均湿度 75 % R.H.

・降水量(合計) 1477 mm

3.2 結果および考察

(1) 藻類の発生状況

試験結果を表—3に示す。なお、藻類発生ランクとは8カ月後の発生状況を外観より判断して0～3に区分した藻類の発生しやすさのランクである。また、下端部とは試料台の下枠に接している試料の端部付近の、水に接している時間が非常に長い部分を指す。

2カ月後ぐらいから徐々に藻類が発生し、8カ月後では防藻剤を含まない試料すべてに藻類が発生した。

塗料系としては、エマルジョン系強制乾燥タイプのラ

表—3 屋外暴露予備試験結果

略号	藻類発生 ランク
EF1K0	1
ER1K0	3
ER2K0	3
ER2N0	2
ER2D0	3
ER2DA	3
ER2DB	0
AR2K0	1
UR2K0	1

<藻類発生ランク>

0:試料に藻類の発生が認められない。

1:試料の下端部のみに藻類の発生が認められる。

2:試料面積の1/3未満に藻類の発生が認められる。

3:試料面積の1/3以上に藻類の発生が認められた。

ンクが溶剤系常温乾燥タイプのそれに比べて大きかった。表面形状としては、リシンのランクがフラットのそれに比べて大きかった。また、塗料メーカーでの差も若干認められた。これらの差が生じた原因は、水分・栄養分が供給されたときの保持しやすさの違いによるものと思われる。

試料の中で藻類がまったく発生しなかったのが防藻剤を混入した ER2DB のみであり、防藻剤には藻類の発生に対して大きな抑制効果が認められた。ただし、ER2DA では抑制効果がほとんど認められず、防藻剤の種類によりその程度が大きく異なった。

(2) 試験方法の妥当性および問題点

予備試験としては「藻類の発生しやすさ」を評価するデータが得られ、人為的に加えた水分や栄養分による促進効果も認められたことから、今回の方法は基本的には妥当な方法であったと考えられる。

しかし、以下の改善すべき問題点が見つかった。

- ① 栄養分の供給を人手に頼るため、休日などの関係で安定した供給ができなかった。
- ② 散水量が多すぎたために、十分に散水された部分よりその境界付近のほうが先に藻類の発生がみられた。
- ③ 活性炭ろ過器だけでは完全に水道管の錆を除去しきれなかった。

4. 屋外暴露試験

4.1 試験概要

予備試験の問題点を改善し評価方法を確立することを目的として、再度屋外暴露試験を行い、防藻剤を混入した外壁仕上塗材を含め藻類の汚染に関する外壁材料の評価を試みた。

(1) 試料

試料としては、表一4 に示す塗料メーカー・樹脂系および防藻剤の異なる 10 種類の外壁仕上塗材（下地材：石綿スレート）にコンクリートブロックなどの一般建材を加えた 16 種類の外壁材料・外装材料を用いた。試料のサイズは 150×400 mm、N 数は 2 とした。

(2) 試験方法

① 試料の取付：試料は、図一2 に示すように水分が供給されやすいようにわずかに傾斜させ（勾配：9/10）、北向き・横一列にして、フェンスに固定した塩化ビニル製の試料台にパッキング材を詰め込んで取り付けた。

・設置位置 地上から 800 mm（下端部）

② 水分・栄養分の供給：雨水に近い状態で均一に水分・栄養分を供給するために散水方法などを変更した。まず活性炭ろ過器およびミクロンフィルターを通した水道水を貯水タンクに、 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ を溶かした液を薬液タンクに貯めた。定量ポンプを用いてそれらを混合しながら散水量が均一になるように枝分かれさせた塩化ビニ

表一4 試料／屋外暴露試験

塗料系	表面形状	塗装回数	塗料メーカー	防藻剤	略号 または 名称
E	R	2	K	0	ER2K0
E	R	2	K	B	ER2KB
E	R	2	K	C	ER2KC
E	R	2	N	B	ER2NB
E	R	2	N	D	ER2ND
E	R	2	D	B	ER2DB
F	R	3	W	A	FR3WA
F	R	3	W	B	FR3WB
S	R	3	I	B	SR3IB
S	R	3	I	E	SR3IE
杉板 12mm厚					杉板
コンクリートブロック					コンクリートブロック
塩ビ鋼板（NS社）					塩ビ鋼板
カラー鉄板（NS社）					カラー鉄板
針葉樹合板（H社）					針葉樹合板
石綿スレート（NO社）					石綿スレート

塗料系/E：合成樹脂（アクリル）イマジョン系、促進乾燥タイプ
 F：合成樹脂（アクリル）イマジョン系、常温乾燥タイプ
 U：合成樹脂（アクリル）イマジョン系、常温乾燥タイプ
 表面形状/F：フラット 塗装回数/2：2回
 R：リシン 3：3回
 塗料メーカー/K：K社 防藻剤/O：なし
 D：D社 A：ピリジン系
 N：N社 B：塩化芳香族尿素系
 W：W社 C：トリアジン系
 I：I社 D：よう素・トリアジン混合系
 E：TBZ系

図一2 スプレーノズルによる散水

ルの配管に送り、図一2 に示すように配管に取り付けたスプレーノズルから霧状にして試料に散水した。栄養分を散水中に混入するため、P濃度およびN濃度は前回より薄くそれぞれ1および2ppmになるように調整した。散水時間・散水量は前回より小さくした。なお、散水時間は24時間タイマーで制御し、タンクや配管内での藻類の発生防止やスプレーノズルの詰まり防止のため、遮光および定期的な点検を行った。

- ・散水時間 5分/6時間
- ・散水量 1枚あたり 160±10ml/分

- ③ 暴露期間：1989年4月25日～9月25日／5カ月
 ④ 暴露地：滋賀県栗太郡栗東町下鈎
 ⑤ 暴露環境^(注4)：
 ・平均温度 21.9°C
 ・平均湿度 76 % R. H.
 ・降水量（合計）994 mm

4.2 結果および考察

(1) 藻類の発生状況

藻類の発生状況を表一5に示す。発生するまでの期間が予備試験の約1/2に短縮され、1カ月後ぐらいから徐々に藻類が発生しはじめ、5カ月では防藻剤を含まない試料すべてに藻類が発生した。また、ばらつきも小さかった。

予備試験と同様に、防藻剤には藻類の発生に対して大きな抑制効果が認められるが、防藻剤の種類などによりその程度が大きく異なった。これは、一概に防藻剤といっても元々防黴剤や除草剤などに使われていた薬剤を改質させていて全く性質が異なるうえ塗料への混入方法も異なるため、プロトコックス属などの特定の藻類に対する効果およびその効果の持続性の点で大きな差となって表れたと思われる。なお、塗料系などによる差は認められなかったが、これは塗料系などによる差よりも防藻剤の影響が大きいと思われる。

(2) 試験方法の妥当性

今回の屋外暴露試験において藻類の発生した試料の中から代表的なものについて、2. 藻類の特定と同じ方法にて藻類の採取・分離・培養および同定を行った。その結果、表一6に示すように仕上塗材・木材・コンクリー

表一6 屋外暴露試験で発生した藻類の種類

略号 名称または	部位	発生した藻類の種類
E O R 2 K	中央部	Protococcus Viridis Agardh
	下端部	Calothrix Brauni Synechococcus Phormidium Foverolatum
F A R 3 W	中央部	Protococcus Viridis Agardh
	下端部	Oscillatoria Subbrevis
杉板	中央部	Protococcus Viridis Agardh
	下端部	Calothrix Brauni Synechococcus Oscillatoria Subbrevis Phormidium Foverolatum
コンクリートブロック	中央部	Protococcus Viridis Agardh
	下端部	Chlorococcum echinozygotum Calothrix Brauni Oscillatoria Subbrevis Phormidium Foverolatum

部位／中央部：試料の中央部

下端部：試料台の下枠に接している試料の端部付近

ブロックといった材質の異なる試料でも中央付近ではプロトコックス属だけが発生し、水と接している時間が非常に長い下端部では「Phormidium Foverolatum, Oscillatoria Subbrevis：藍藻類ネンジュモ目ユレモ亜目ユレモ科フォルミジウム属、ユレモ属」などが発生していた。これは前述した実際の外壁面での現象と全く同じである。また前回に比べてさらに藻類の発生期間が短縮され、ばらつきも少なかった。したがって、本屋外暴露試験方法により、比較的短期間で藻類汚染を再現し外装材料を評価することが可能であると思われる。

表一5 屋外暴露試験結果

略号 名称または	藻類発生 ランク	<藻類発生ランク>
ER 2 K 0	3	0：試料に藻類の発生が認められない。
ER 2 K B	1	1：試料の下端部のみに藻類の発生が認められる。
ER 2 K C	1	
ER 2 N B	0	2：試料面積の1／3未満に藻類の発生が認められる。
ER 2 N D	2	
ER 2 D B	0	3：試料面積の1／3以上に藻類の発生が認められた。
FR 3 W A	3	
FR 3 W B	0	
SR 3 I B	0	
SR 3 I E	3	
杉板	3	
コンクリートブロック	3	
塩ビ鋼板	2	
カラー鉄板	2	
針葉樹合板	3	
石綿スレート	2	

5. 屋内促進試験

5.1 試験概要

屋外暴露試験は試験規模・場所・期間などに制約があるため、防藻剤のスクリーニングなど外装材料の相対的な性能比較を行う際には、より簡易的な評価方法が望まれる。そこで、簡易評価方法を確立することを目的として、藻類・温度・水分・栄養分を人為的に供給する屋内促進試験を実施した。

(1) 試料

試料の種類は屋外暴露試験と同じ。ただし、サイズは50×50 mm、N数は2とした。

(2) 前処理方法

経年により防藻剤が水に溶出することや紫外線のために変質することを想定して、恒温水槽とサンシャインウェザーメーターを用いて、表一7に示す5種類の前処理を行った。なお、No.1の前処理はごく初期の状態を想定して設定した。これは、屋外ではすぐに溶出する塗料中の防藻剤などのために、防藻剤を混入していない仕

表一 前処理方法

No	方法	温度[℃]	時間[hr]
1	温水浸漬	30	24
2	温水浸漬	60	240
3	温水浸漬	60	720
4	サソイソウエサ-メ-ター	63	150
5	サソイソウエサ-メ-ター	63	300

上塗材でも藻類が死滅することが確認されたためである。

(3) 屋内促進試験方法

① 藻類の供給：前述の外壁面から採取し分離・培養したプロトコックス属の細胞を、試料に噴霧器を用い150万個/cm²散布した。

② 栄養分・水分の供給：1日1回噴霧器を用い、試料に培養液を2×10⁻³ ml/cm²散布した。

③ 培養：20℃で3000ルクスの蛍光灯照射14時間と暗黒10時間を繰り返すようにした培養室で45日間培養した。

5.2 結果および考察

5日ごろから徐々に試料により発育状態に差が出はじめ、約30日後で増殖・死滅がはっきりしてきた。

45日後におけるプロトコックス属の増殖状態を外観より屋外暴露試験と同様に区別し、その値を屋外暴露試験と比較した結果を図一3に示す。

各試料間での藻類の発育状態の優劣は、いずれの前処理方法においても屋外暴露試験と同様の傾向がみられた。その中でも図一3に示すように屋外暴露試験5カ月後のランクとよく一致する前処理方法はNo.4であった。これに対し、No.1, 2は暴露初期に相当し全体的にランクが小さめに、No.3, 5は長期間の暴露に相当しランクが大きくなった。

したがって、本屋内促進試験方法により、外装材料の相対的な性能比較が可能であると思われる。また、ある期間有効な防藻剤でも長期間経過すれば溶出や変質などにより徐々に効力がなくなるとと思われる。

図一3 屋外暴露試験と屋内促進試験結果の比較

6. 結 論

本研究で得られた主な知見を以下に示す。

(1) 藻類の特定

今回調査した範囲では、建築物の外壁面において汚染の原因となる主な藻類は緑藻類のひとつであるプロトコックス属である。ただし、水分の溜まるような部分ではフォルミジウム属などの藍藻類が汚染の原因となる。

(2) 藻類汚染の評価方法

① 水分・栄養分を霧状にして散布する屋外暴露試験方法により、短期間で藻類汚染を再現し防藻剤の効力を含めた外装材料の評価が可能である。

② 水分・栄養分と同時にプロトコックス属の細胞を散布する屋内促進試験方法により、防藻剤のスクリーニングなど外装材料の相対的な性能比較が可能である。

(3) 防藻剤の効果

防藻剤には藻類の発生に対して大きな抑制効果があるが、防藻剤の種類や混入方法によりその程度が大きく異なる。

なお、藻類の発生程度をより客観的・定量的な方法による物理量で表すことなどについて今後検討を進めていく必要がある。

謝 辞

藻類の同定および屋内促進試験に際しご指導ご協力いただきました奈良女子大学植田勝己教授をはじめ植田研究室の方々に謝意を表します。また、まとめに際しご指導ご助言いただきました宇都宮大学上村克郎教授および橘高義典氏に謝意を表します。

注

- 寒天培地として、水100 ml中に寒天1 g、硝酸カリウム0.01 g、硫酸マグネシウム0.005 g、りん酸アンモニウム0.005 g、鉄EDTA液1 ccを含む培地を用いた。
- 培養液として、水1 l中に硝酸カルシウム0.3 g、硝酸カリウム0.2 g、グリセリン酸ナトリウム0.1 g、硫酸マグネシウム0.08 g、ビタミンB12 0.01 g、ぶどう糖2 g、ペプトン3 g、鉄EDTA液1 cc、トリス液1 ccを含む水溶液を用いた。
- Protococcus Viridis Agardh は別に Pleurococcus Vulgaris Nageli, Pleurococcuss Naegeli Chodat などの異名をもつ。
- 暴露期間における彦根地方気象台の気象データより求めた。

日本気象協会発行彦根地方気象台監修
滋賀県気象月報 昭和63年3月～10月、
平成元年4月～9月

参考文献

- 仕入豊和：建築材料の耐候性（表面劣化）と維持管理に関する調査研究，試源 No. 220，1985
- 仕入豊和，地濃茂雄，橘高義典：コンクリート壁面の汚れ，セメント・コンクリート No. 461，pp. 22～33，1985. 7
- 橘高義典：建築物外壁面の汚染の調査及び基礎的考察一

- 建築物外壁仕上材料の汚染の評価方法に関する研究（その1）—日本建築学会構造系論文報告集，第370号，pp.11～18，1986.12.
- 4) 橘高義典，上村克郎，小西敏正：屋外暴露による外壁材料の汚染—建築物外壁仕上材料の汚染の評価方法に関する研究（その2）—日本建築学会構造系論文報告集，第393号，pp.11～17，1988.11.
- 5) 橘高義典：外壁仕上材料の汚染の促進試験方法—建築物外壁仕上材料の汚染の評価方法に関する研究（その3）—日本建築学会構造系論文報告集，第404号，pp.15～24，1989.10
- 6) 大島 明：建築材料のかび抵抗性試験，建材試験情報 Vol.23, 1987.7
- 7) 日本下水道事業団試験部：富栄養化防止のための指標の開発と実用化，日本下水道事業団試験部報告書 No. 51-004, 1976
- 8) 花田 博，上村信夫，野中 忠：養殖生す網の汚れについての—評価法，水産増殖 Vol.36, 1988
- 9) G.M. Smith : the Fresh-Water Algae of the United, McGraw-Hill Book Company, 1950
- 10) 廣瀬弘幸ほか：日本淡水藻図鑑，内田老鶴圃，1977
- (1991年7月10日原稿受理，1992年1月8日採用決定)
-