

# コンクリート表面の汚れパターンの 視覚的評価に関する実験的研究

冬川一宏<sup>1</sup>・窪田陽一<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 埼玉大学大学院 理工学研究科 (〒338 埼玉県浦和市下大久保255)  
<sup>2</sup>正会員 工博 埼玉大学教授 工学部建設工学科 (〒338 埼玉県浦和市下大久保255)

経年変化に伴う構造物の汚れの印象はその発生状況によって異なる。本論文では、橋梁や擁壁などのコンクリート構造物の表面に発生する汚れの発生状況に関する調査を行い、その調査結果をもとに汚れの発生状況を分類した。次に、分類した汚れのパターンを模式的に再現して汚れの度合に関する視覚的評価についての心理実験を行い、それぞれの汚れパターンがどの程度きたなく感じられるかという感覚量を尺度化した。

*Key Words* : concrete surface, pattern of discoloration, visual evaluation

## 1. はじめに

### (1) 汚れの定義

時間の経過に伴う構造物表面の視覚的変化の一つに汚れがある。本研究では汚染物質の付着による構造物表面の視覚的変化を総称して「汚れ」とする。

### (2) 汚れのメカニズム

コンクリート表面の汚れの原因となる汚染物質には、塵埃、構造物の金属部の錆や材料の成分、藻類やかび類などの生物などが挙げられ<sup>1)</sup>、汚染物質の付着に対しては雨水の影響が特に大きい<sup>2)~9)</sup>。材料の成分や錆、構造物の上面に堆積した塵埃などは雨水によって下方の壁面に流されて付着する。また、濡れている面は大気中の塵埃も付着しやすく、生物の生育も促される。一方、雨水が汚れに直接かかると逆に汚れが洗い流される場合もある<sup>3), 6)</sup>。

北村ら<sup>7)~9)</sup>はコンクリート製の橋梁と法面の汚れを対象に汚れ過程のメカニズムを整理し、汚れの程度を明度で捉えて、時間と汚れの進行の関係を得るとともに、汚れの進行速度に影響を与える要因の分析も行っている。汚れの進行速度は、構造物周辺の汚染物質の多さや構造物表面での汚染物質の付着しやすさ、生物の生育のしやすさなどによって決まるが、雨水が多く流れるコンクリート面は汚染物質の付着量も多く、汚れが早く進行する。

### (3) 汚れの認識

汚染物質が付着した場所では視覚的な変化が生じ、変化していない場所と対比して、「図」と「地」の判断<sup>10)</sup>

により汚れが認識されると考えられる<sup>11)</sup>。そして、一般に汚れの方が図になる場合が多く、汚染物質の付着量、つまり視覚的変化量が汚れの程度として認識される。汚れの発生状況は構造物表面の各位置での汚染物質の付着状態(種類, 付着量)を視覚的に捉えた結果である。

仕入、橋高ら<sup>11), 12)</sup>は建築物外壁面に見られる汚れの発生状況を形状と模様によって分類し、外壁面の形態との関連性について述べている。外壁面の形態が雨水のかかり方や流れ方に影響することから、汚れの発生状況も外壁面の形態によって決まり、形状や模様というパターンとして捉えることができるものと思われる。

コンクリート構造物は形態や表面処理が多様であるために汚れの発生状況も様々であるが、逆に類似する条件下では発生する汚れのパターンも類似すると予想される。

### (4) 汚れの印象

汚れは一般に「きたない」という印象を持たれ、構造物の美観を損なう大きな原因になるが、汚れの印象は発生状況によって異なると思われる。橋高ら<sup>13)~15)</sup>は、建築物のファサードの汚れを対象に「どの程度汚れているか」、「どの程度好ましいか」について評価実験を行い、汚れていても好ましいと評価されるのは今のところコンクリートよりも木や天然石などの天然材料を用いた建物に多いという。しかし、コンクリート製の土木構造物においても、汚れが醜いものになることは避けねばならない。

また、一般に汚れの程度や面積が大きい方が、よりきたなく感じられるであろうが、汚れに対する評価は程度や面積の他にパターンによっても異なると思われる<sup>16)</sup>。

## (5) 本研究の目的

汚れの対策として表面の洗浄、被覆剤や表面保護剤の塗り替えの他、汚れ難い表面仕上塗り材の使用などが考えられるが、完全に汚れを防ぐことは困難である。汚れの発生パターンは構造物の形態や表面処理などのデザインに影響を受けることから、逆に構造物のデザインによってパターンを誘導することも、ある程度可能であると思われる。汚れを防止するのではなく、きたなく感じられないようにデザインして取り込むことも汚れの対策の一つといえる。

本研究では、コンクリート構造物について、汚れを構造物のデザイン上考慮すべき要因として取り込むという観点から、橋梁と擁壁を主として現地調査を行い、汚れの発生状況をパターンとして捉えて分類を試み、パターンと構造物のデザインとの関係について考察を行った。次に、汚れがきたなく感じられる度合がパターンによってどのように異なるかについて評価実験を行い、その上で各パターンごとに、汚れの面積、程度、コンクリート面の形の違いが評価に及ぼす影響についても把握することを試みた。なお、評価は現地調査結果に基づいて分類した汚れのパターンを模式的に再現し、人工的に汚して作製した供試体を用いて実施した。

## 2. 汚れの発生状況に関する現地調査

### (1) 調査の目的

構造物表面での雨水のかかり方や流れ方は、構造物の形態や表面処理などのデザインに大きく影響を受けるために、汚れの発生状況も構造物のデザインによって決まり、パターンとして捉えることができるものと思われる。

本調査は、デザインが多様であるコンクリート構造物について、汚れの発生状況をパターンとして捉えて分類し、構造物のデザインとの関係について考察するとともに、汚れの印象についても考察することを目的とした。

### (2) 調査の概要

調査の対象と汚れが発生している箇所の調査事例数は橋梁468ヶ所、擁壁57ヶ所、建築物の外壁面24ヶ所、塀20ヶ所の他、ストリートファニチャーなどについても調査した。調査地域は埼玉県南部・東部、東京都北部、多摩ニュータウン、千葉県幕張地区である。また、調査はコンクリートの表面が濡れていないと考えられる時に実施したが、雨天時に再調査した事例については構造物表面での雨水の挙動を目視し、汚れに対する雨水の影響について考察した。調査期間は1994. 6. 23~1994. 12. 8である。

### (3) 調査結果に基づく汚れパターンの分類

調査した汚れのパターンは形状と模様で区別して分類

した。「汚れの形状」は汚れている範囲全体の形状を表し、「汚れの模様」は汚れている範囲の中での程度の違い（濃淡など）が生み出すものである。つまり、ある形状の汚れの中に、ある模様が存在するということである。

写真-1, 2はそれぞれ、汚れの形状、模様について分類した調査事例である。図-1, 2はそれぞれの汚れの模式図であり、汚れの部分は黒、コンクリートの部分は白で示した。また、それらの調査事例数を表-1に示す。

## (4) 汚れの形状

一般にコンクリート表面での雨水の流下到達点は各場所でも異なり、汚れの下部が嚙状になる。このような汚れの形状を「よだれ状」（写真-1a）、図-1a）としたが、橋梁の張り出し部側面などの低い面では、雨水が面の最下部まで到達して「全面」（写真-1b）、図-1b）の汚れとなる場合も多い。

「くさび状」（写真-1c）、図-1c）の汚れは雨水が狭い範囲でのみ流下する場合や、流量が周囲に比べて特に多い部分で発生する。構造物のデザインとの関係としては、上面の高欄の脚や笠石の縦目地、橋銘板などの突出部、側面の縦目地や入隅部などから発生していた。目地内や突出部の端部では流量が多くなる。また、突出部に堆積した汚染物質によっても、その下方は汚れの程度が大きくなる。その他に構造物上面の先端の欠損部からも「くさび状」の汚れが発生していた。また、構造物から排水管が出ている場合は、以上のような突出部としての影響の他に、構造物表面に流れる排水も「くさび状」の汚れの原因になる。

「長方形上」（写真-1d）、図-1d）の汚れは建築物では庇の下部などで、降雨による除去作用を受け難い場合や雨水が流れ込む場合に発生する<sup>11), 12)</sup>。このような形態を有する土木構造物は少ないと思われるが、勾配が鉛直より下方を向いている面に横目地が存在する場合、目地部で雨水の流下が途切れて落下すると、目地の上方のみに汚れが発生し「長方形上」の汚れとなる。一方、鉛直面の横目地部では雨水の流下挙動が不均一になりがちであり、また、目地材の成分が流出する場合もある。

「長方形下」（写真-1e）、図-1e）の汚れは突出部や地面ではね返った雨水により汚染物質が運ばれて発生するようである。擁壁や橋脚に発生しても、構造物の大きさに対して汚れの面積が小さいために汚れが気にならないことが多いが、ベンチなど小さなものに発生していると気になることが多い。

「目地沿い」（写真-1f）、図-1f）の汚れはブロック積み擁壁の目地に沿って汚れが発生しているものであるが、縦目地では目地に沿って左右に汚れが発生するのに対して、斜め方向の目地では汚れが下方にはみ出してきたなく感じられる場合が多い。また、横目地部では雨水

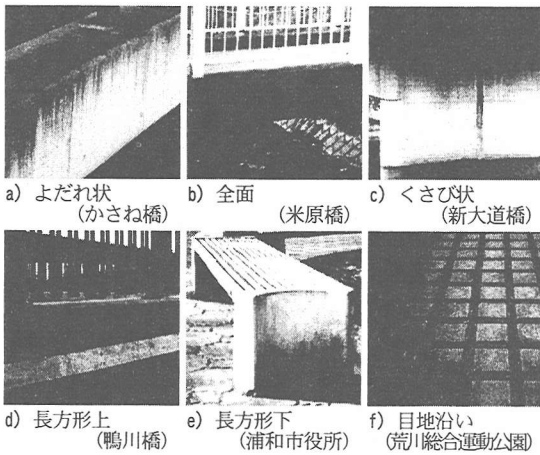


写真-1 汚れの形状の調査事例

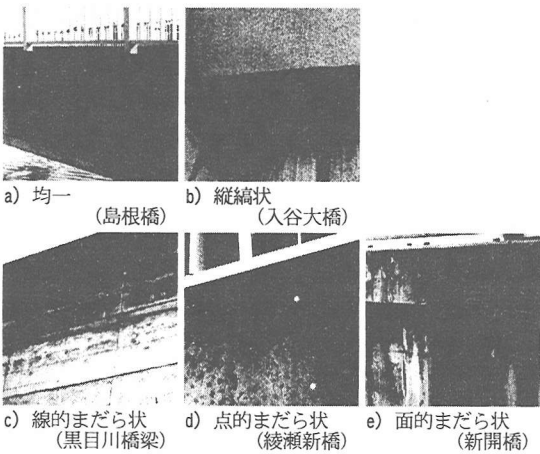


写真-2 汚れの模様の調査事例

の流れが不均一になりがちである。

以上の他、パターンとして捉え難い汚れは「その他」とした。例えば橋梁では、水仕舞の不良により橋脚に雨水が不均一に流れ込んで汚れが発生しているものが見られた。

### (5) 汚れの模様

「縦縞状」(写真-2b)、(図-2b))の模様は、雨水の流下跡に生じた線状の汚れを面全体として見た結果である。縞の幅、間隔、程度は事例によって異なり、図-3のような経過が考えられる。つまり、汚れ発生初期の段階では汚れの本数が少なく程度も小さいが、経時的に汚れの本数が増加して未汚染部が減少し、汚れが重なる部分では程度が増加する。汚れが更に進行すると汚れの隙間が無くなり「均一」(写真-2a)、(図-2a))な汚れに近づく。

また、橋梁の張り出し部側面では、高欄の脚の下方に「くさび状」の汚れが発生している事例が多く見られたが、北村ら<sup>7)~9)</sup>によると汚れの程度には限界値があるとい

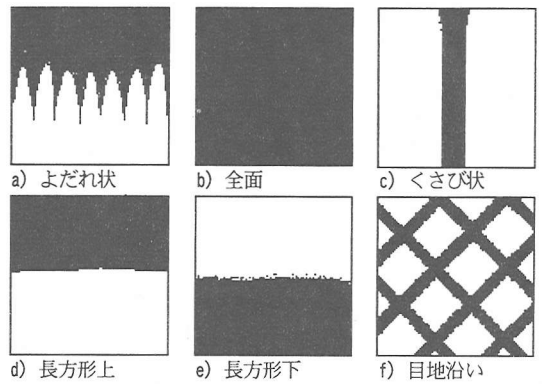


図-1 汚れの形状の模式図

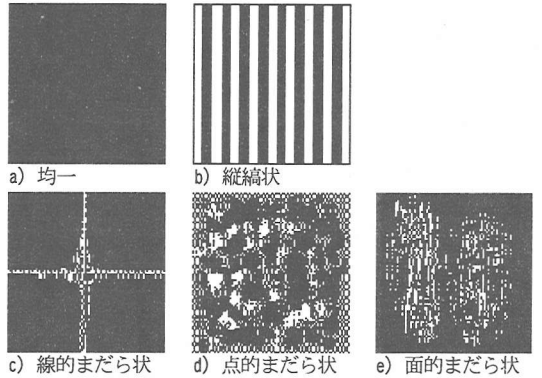


図-2 汚れの模様の模式図

表-1 汚れのパターン(形状、模様)の調査事例数

汚れの模様 \ 汚れの形状	汚れの模様						合計
	a) 均一	b) 縦縞状	c) 線的まだら状	d) 点的まだら状	e) 面的まだら状	f) その他	
a) よだれ状	33	91	4	2	13	0	143
b) 全面	30	59	16	6	67	0	178
c) くさび状	147	55	5	5	23	0	235
d) 長方形上	4	10	0	1	6	0	21
e) 長方形下	2	0	0	0	3	0	5
f) 目地沿い	0	0	0	0	0	11	11
g) その他	0	0	0	0	0	11	11
合計	216	215	25	14	112	22	604



図-3 模様の経時的変化の模式的表現(縦縞状)

うことで、最終的には面全体で汚れが限界値に達して「くさび状」の汚れが目立たなくなり、「均一」な模様になると予想される。また、雨水の流下量が局所的に多くなる部分が少ないほど、汚れの程度が低い段階(汚れの初

期の段階)で「均一」な模様になると考えられる。鉛直より上を向いている面では、雨水が直接かかりやすく、濡れる機会が多いため汚れは確実に進行するであろうが、面全体が濡れるために「均一」な模様になりやすい。

「まだら状」の汚れは3種類に分類した。打ち継ぎ目地に沿って濃淡が生じている汚れを「線のまだら状」(写真-2c, 図-2c)とした。はつり仕上などの粗いコンクリート面では細かいまだら状になる。これを「点的まだら状」(写真-2d, 図-2d)とした。大まかなまだら状を「面的まだら状」(写真-2e, 図-2e)とした。鉛直よりも下を向く面では雨水の流下挙動が不均一になりがちで、たれ状の大まかなまだらになることが多い。また、2. (4)で述べたブロック積み擁壁の「目地沿い」の汚れについては、更に汚れが進行して<sup>10)</sup>ブロック面も汚れている事例もあるが、各ブロックの汚れ方が異なると擁壁全体では「面的まだら状」に見える。ただし、はつり仕上やブロック積み擁壁の面は凹凸部に生じる陰影のために、平滑な面よりも汚れが目立ちにくい。また、白色のエフロレンセスや緑色の藻類などは、塵埃による黒い汚れと同一面に発生すると色相的にまだら状になる。「まだら状」の汚れも経時的に「均一」な汚れに近づくのであろうが、コンクリートの表面状態などによっては、汚れが限界値に達しても濃淡が残る場合もあるようである。

汚れの形状で「目地沿い」、「その他」に分類した事例は汚れの模様も「その他」とした。

## (6) まとめ

以上により、コンクリート構造物に見られる汚れの発生パターンを形状と模様で区別して分類した。

雨水の流下範囲は他の部分に比べて汚染物質の付着量が多くなるようである。また、雨水の流下挙動は構造物のデザインに影響を受けるので、汚染物質の付着範囲、つまり汚れの形状は構造物のデザインによって決まる場合が多い。また、汚れの範囲内での汚染物質の付着状態、つまり汚れの模様は、初期の段階では「縦縞状」や「まだら状」であっても、経時的に「均一」な模様になることが多いようである。

したがって、汚れの形状は(経時的に汚れの範囲が多少拡大することはあっても)主に構造物のデザイン的特徴によって比較的初期の段階で決まり、汚れの模様が程度の増加とともに経時的に変化するものと思われる。また、汚れの程度の増加に伴って、汚れと未汚染部との境界が明確になり、汚れもより認識しやすくなる。

上記から、構造物のデザインによって誘導できるのは、主に汚れの形状であると思われる。しかし、汚れの発生状況の将来予測のためには、汚れの模様の経時的変化を把握することも重要である。

## 3. 汚れパターンの評価実験

### (1) 実験の目的

一般に汚れの程度や面積が大きい方が、よりきたないと感じられるであろう。しかし、汚れの印象はパターンによっても異なると思われる<sup>16)</sup>ため、本実験ではまず2. (3)で分類した汚れのパターンに関して、各パターンがどの程度きたなく感じられるかについて評価を行った。次に、同じパターンでも汚れの面積や程度が変わると、きたなく感じられる度合いがどのように異なるかを評価した。また、同じパターンでも「地」として見えるコンクリート面の形が異なると評価も変わるのではないかと考え、コンクリート面の形の見え方の違いによる評価も行った。

なお、実際の汚れは程度、色相、面積などが複雑であり、各要因の影響を組み合わせる体系的に評価することが困難と考えられるため、人工的に汚れを発生させてパターンを模式化した供試体に対して評価を行った。模式化したパターンは、抽象化されたものではあるが、本実験においては汚れた部分(範囲)の全体的な形態の違いが評価に及ぼす影響に着目することを主目的とした。

### (2) 実験の概要

#### a) 評価項目

本実験における評価項目は次の4つである。

- ① 汚れのパターンの評価(実験1)
- ② 汚れの面積の評価(実験2~5)
- ③ 汚れの面積と程度の評価(実験6~9)
- ④ コンクリート面の形の見え方の評価(実験10, 11)

①は各パターンがどの程度きたなく感じられるかを把握するための実験である。実験の供試体は2. (3)で分類した汚れのパターンの中から代表的と思われるものを模式化した。②では同じパターンで面積が異なると評価がどう変わるかを探った。一方、③では同じパターンで面積とともに汚れの程度も変化させた。また、①~③の供試体は縦長に使用したが、コンクリート面の形の見え方の違いを評価するために、④では横長の供試体にパターンを発生させた。

#### b) 評価方法

評価は一対比較法を適用し、汚れに対する印象として「きたなさ」を評価することにした。つまり、被験者に汚れパターンを発生させた供試体を2枚ずつ提示し、「どちらがきたなく感じるか」を判断してもらった。本実験における各個人データの中で三すくみ数が最大可能数を越えたものは結果的に一つもなく、個人のデータとしてはすべて信頼できるといえる。

解析にはThurstoneの比較判断の法則に基づく方法(ケースV)を用い、解析結果についてMostellerの方法により内的整合性を検定した。したがって、本実験によ

り構成される評価尺度は、各実験の供試体群の中でそれぞれの汚れが「どの程度きたなく感じられるか」を表す相対的な値である。なお、評価尺度の値は各実験において最小値を0、最大値を100としてあり、値が大きい方がよりきたなく感じられる汚れであることを意味する。

### c) 供試体の作製

供試体は実際の汚れの発生過程を考慮して、コンクリート板に汚染物質を含んだ水を流すことによって発生させた。汚染物質には墨汁を用いたが、その理由は色相が実際の汚れに多く見られる黒であることと、液体であるために汚染水の濃度が調整しやすいことである。コンクリート板は市販のものを用い、寸法は実験1の供試体が高さ50cm、幅30cm、実験2～9の供試体が高さ45cm、幅28cm、実験10、11の供試体が高さ30cm、幅60cmである。汚れの程度の物理量としては、汚染前と汚染後の平均色差が汚れに対する感覚尺度と高い相関が得られたという研究<sup>18) 19)</sup>があるが、本実験においては輝度を用いた。「図」と「地」の分化において、両者の輝度差が重要である<sup>10)</sup>といわれていることによる。また、供試体の作製時に汚染水の流下量の増加に伴い輝度が低下していくことが確認されたため、汚れの程度として輝度は適用可能であると判断した。

### d) 輝度・照度の測定

同一の汚れでも、その輝度は照度によって変わるので、全ての供試体において面の照度を一定にして輝度を測定した。即ち、夜間に室内照明を利用し、供試体面の照度を一定に保って、同一場所で各供試体の輝度を測定することにした。また、供試体がそれほど大きくないことから、面の中で照度に大きなばらつきはないと考え、供試体の端の長辺方向3点、短辺方向2点の計6点の照度測定をした。6点の平均は211lxであり、以下の文章に記述されている輝度はすべて照度が211lxの時の値である。

一方、輝度は表面の材質などによって照度よりもばらつきがあると思われ、何点位測定すればよいかをあらかじめ検定した。まず、汚染前のコンクリート表面の輝度に対しては、実験1用の12枚の中の5枚について、4cm間隔で長辺方向11点、短辺方向7点の計77点の測定をしてこれを母集団とした。この測定点の中から、全面に均等に渡るように6、12、15、18、20、24点を標本として抽出して母平均の検定を行った。5%棄却域での検定により、12点以上の測定でその供試体の平均値を表せるという結果が出たが、検定枚数が少ないことから安全側をとって24点測定することにした。他の実験の供試体と汚染後の汚れの輝度についても同様の検定を行った。

### e) 実験における条件

汚れの程度として輝度を測定しているため、各被験者に対する供試体の提示中は面の照度を一定にする必要がある。よって、被験者に対する供試体の提示は夜間に埼

玉大学建設工学棟内で室内照明を利用して実施した。提示中の供試体面の照度は178～181lxであった。被験者から供試体までの距離は2.5～3mであった。被験者とその数は埼玉大学建設系の職員と学生で、実験1、10、11が20人、実験2、4、6、8が24人、実験3、5、7、9が22人である。

## (3) 汚れのパターンの評価 (実験1)

### a) 供試体

実験1は各汚れパターンがどの程度きたなく感じられるかを把握するために実施した。写真-3に実験1の供試体を示す。また、汚れの各部の名称を図-4のように定義し、汚れの各部の寸法を表-2に示す。実験1のパターンは主に汚れの形状を考慮したものである。汚れの様子は汚れの範囲内での程度のばらつき(濃淡)により生じ、濃淡があった方がいっそう汚れとして認識しやすいが、汚れの形状の評価に際して、濃淡による模様が評価に及ぼす影響まで考慮すると実験計画が複雑になるため、本研究においては汚れ部分内の輝度を一定にして濃淡を無くした。実際の汚れでも、経時的に「均一」に見える状態に近づくことも多く、実験1の供試体は汚れとして認め得る部分の全体形状に着目することを想定している。また、同様の理由から汚れの輝度と汚れ部分の面積も全ての供試体で等しくし、形状以外の条件が一定になるようにした。汚れの輝度と汚染前の供試体の輝度はそれぞれ平均34.03cd/m<sup>2</sup>、5.55cd/m<sup>2</sup>であった。

A1～A5、B1、B2は汚れの下部を櫛状にした。これは2.(3)のパターン分類では「よだれ状」に含まれるが、各供試体内での汚れの面積を一定としたために、A1、A4、B1、B2は順に汚れの幅が小さくなる分、縦方向に長くなる。実際の構造物では、コンクリート面の一部にしか雨水が流れないことにより、A4、B1、B2のような形状の汚れが発生する場合もある。また、このような汚れのうちB1、B2のように供試体に対して汚れの幅が小さいものはB3とともに「くさび状」と見なすことができる。C1～C4は「くさび状」の汚れが複数存在するもので、汚れの幅は等分割したが、縞の細かいC3、C4などは、視距離によっては「縦縞状」の模様(形状は「全面」)の汚れにも見える。このように、視距離によって汚れの捉えられ方が異なる場合があるため、今回は全てほぼ同じ距離から見るようにした。また、A5は同一面内で複数の箇所にも汚れが発生しているものを想定した。

A1～A5、B1、B2の櫛状部分は図-4の左図のように同形状の三角形にした。実際の汚れでは、櫛状部の幅や長さは雨水の流下挙動の違いによってある程度ランダムになるが、同一の汚れの範囲内では雨水の流下挙動にそれほど差はなく櫛状部の形状も近似している場合が多いこと、また、実際の汚れのランダムな形状を定量的に取り扱う

表-2 供試体の汚れの寸法 (実験1)

供試体 No.	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	C1	C2	C3	C4
汚れの長さ(mm)	150	150	150	200	200	429	474	500	500	500	500	500
櫛状部の長さ(mm)	40	80	120	40	40	40	40					
櫛状部の幅(mm)	15	15	15	15	15	15	15					
汚れの幅(mm)	300	300	300	225	112	105	95	90	30	30	10	5
汚れの間隔(mm)					75				50	20	20	10
汚れの本数									3	3	9	18

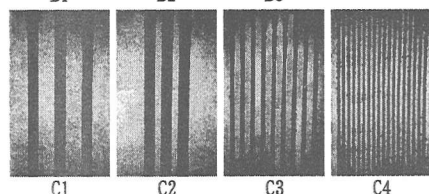
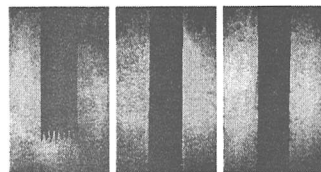
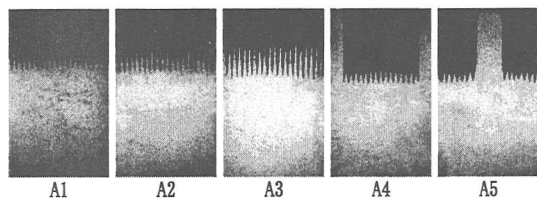


写真-3 評価実験の供試体 (実験1)

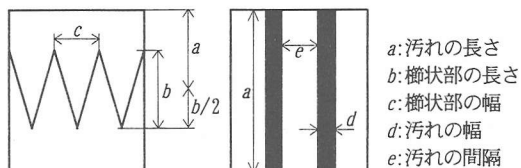


図-4 汚れの各部の名称

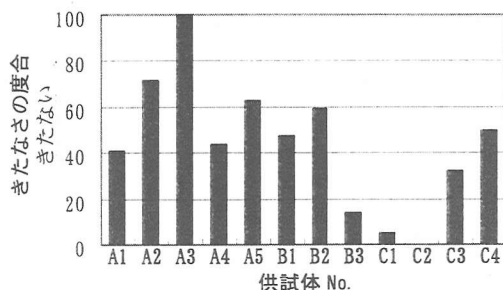


図-5 汚れのパターンの評価結果 (実験1)

ことは計測上の困難を伴うことから今回の実験では一様化した。また、雨水の流下はコンクリートに吸水され徐々に減少しながら起こるので、実際の汚れの櫛状部も各辺は完全に直線ではなくても鋭角な三角形に近い。ただし、櫛状部の形状の影響を把握するためにA2, A3は櫛状部の長さを他の供試体と異なるものにした。

また、「くさび状」の汚れの幅も上下方向で一定にした。実際の汚れにおいてはこの幅も完全には一定でないが、雨水は一般にほぼ真下流れていくので、通常の視距離から眺める限りでは、ほぼ鉛直に見えるものが多い。更に、実際の汚れでは境界が不明確なものもあるが、汚れの程度の増加とともに境界が明確になる場合が多い。本研究においては汚れが各パターンで進行している場合を想定して、汚れの範囲内の輝度を一定にしたために、各供試体は汚れと未汚染部の2色で構成されており、両者の境界は明確である。また、境界が多少明確でない汚れでも、パターンとして捉える際には、何らかの境界を認識しているものと考えられる。

#### b) 結果と考察

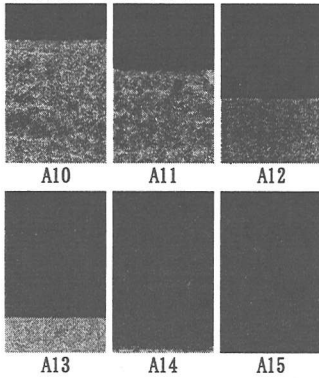
図-5のグラフは実験1の解析結果から得られた各供試体の評価尺度、つまり「きたなさ」の度合いを表す。供試体A1~A5, B1, B2のように最下部が櫛状になっているも

のは評価尺度値が大きく全般にきたないと判断されている。B1, B2に比べてB3の評価尺度値が低いのも、汚れが供試体の最下部まで発生し、櫛状部がないためと思われる。また、A1, A2, A3を比べると櫛状部が長くなるにつれて評価尺度値も上昇している。最下部が櫛状になっている汚れはきたなく感じられ、櫛状部の形状も評価に影響している。汚れがコンクリート面の最下部まで発生している方がきたなさの度合いが減少することが期待できる。

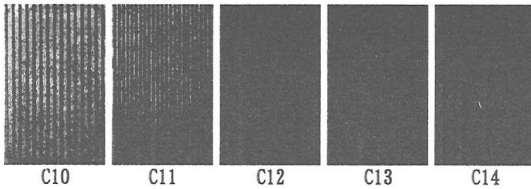
A1, A4, A5については、水平方向で全ての箇所から汚れが発生しているA1よりも、一部に発生しているA4はきたなく感じられ、複数の箇所に発生しているA5はよりきたなく感じられたようである。また、鉛直方向でも、供試体の最下部まで汚れが発生しているB3の方が、途中までしか発生していないB1, B2よりも評価尺度値が低い。

C1とC2を比較すると、汚れがまとまっているC2の方が評価尺度値が減少している。視知覚心理学の分野で、複数の図がまとまって見える現象を「群化」という。「近接の要因」は群化現象が起こる一因であり、他の条件が一定ならば、近い距離にあるものがまとまって見える傾向がある<sup>10)</sup>。C1より汚れの間隔の小さいC2が、よりまとまって見えるのは、近接の要因による群化が関係しているからであろう。ただし、B3, C2ではB3の方がまとまっているにも関わらず、評価尺度値が大きい。またC1~C4では、縞が細かく分割されている方が評価尺度値が大きい

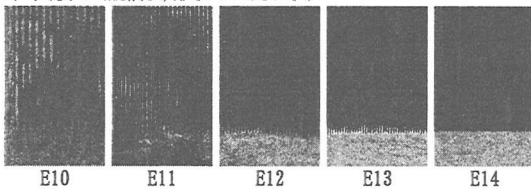
a) 実験2 (よだれ状)



b) 実験3 (縦縞状)



c) 実験4 (縦縞状, 形状: よだれ状)



d) 実験5 (くさび状)

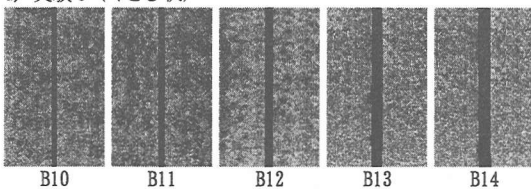


写真-4 評価実験の供試体 (実験2~5)

い、C1~C4 のような同一面に汚れが複数発生している場合には、群化の他にも複数の図の相互関係の影響が考えられ、実験2以降の結果も含めて考察する必要がある。

(4) 汚れの面積の評価 (実験2~5)

a) 供試体

実験2~5は汚れの面積の大小によって、評価がどのように異なるかを把握するために実施した。写真-4に各実験の供試体を示す。実験2はA10~A15の順に「よだれ状」の汚れの長さを増やした。櫛状部の長さは40mm、幅は6mmとした。実験3は「縦縞状」の汚れであり、各汚れの幅は一定(6mm)で、C10~C14の順に汚れの本数を増やした。実験4は「よだれ状」の形状の汚れに「縦縞状」の模様が生じているものを想定した。汚れの幅と本数の変化は実験3と等しい。実験5はB10~B14の順に「くさ

表-3 供試体の汚れの寸法 (実験2~5)

a) 実験2

供試体No.	A10	A11	A12	A13	A14	A15
汚れの長さ(mm)	85	170	255	340	425	450

b) 実験3

供試体No.	C10	C11	C12	C13	C14
汚れの間隔(mm)	13	6	3	1	0
汚れの本数	15	23	31	40	(46.7)

c) 実験4

供試体No.	E10	E11	E12	E13	E14
汚れの間隔(mm)	13	6	3	1	0
汚れの本数	15	23	31	40	(46.7)

d) 実験5

供試体No.	B10	B11	B12	B13	B14
汚れの幅(mm)	10	15	20	25	30

び状」の汚れの幅を増やした。表-3に各供試体の汚れの寸法を示す。汚れの輝度は各供試体とも約5cd/m<sup>2</sup>とした。

b) 結果と考察

図-6に実験2~5の解析結果を示す。実験2の供試体は、それぞれ汚れの長さが異なる。一般に汚れが長い方が、よりきたないと感じるであろうが、汚れの長さとのコンクリート面の長さとの相対的關係によっても評価は異なると思われる。よって、図-6a)は「汚れの長さ/供試体の長さ」を横軸にとった。次に、図-7に示すように、実験3, 4の供試体の幅は280mm、汚れの幅はそれぞれ6mmであり、各供試体の汚れの本数をnとすると、各供試体は汚れの幅の合計6n(mm)が異なる。よって、図-6b), c)は「汚れの幅の合計/供試体の幅」を横軸にとった。また、実験5は供試体の幅に占める汚れの幅の変化量が小さいので、図-6d)は汚れの幅を横軸にとった。

図-6a)を見ると、汚れの長さの増加(汚れの面積の増加)に伴い評価尺度値も上昇するが、A13より長いA14は評価尺度値が低下し、全面が汚れているA15は更に評価尺度値が低下している。1.(3)で、図と地の判断により汚れが認識され、汚れが図になる場合が多いと述べたが、汚れに対して「地」の存在しないA15や「図」に対して「地」の面積が極端に小さいA14は汚れが認識され難く、また、認識され難い汚れはその度合の評価も変化するものと推測される。つまり、供試体に対する汚れの占有面積率がある値(本実験ではA13)を越えると、汚れが認識され難くなり、評価尺度値も下がるものと思われる。

図-6b), c)では、全面が汚れているC14はやはり評価尺度値が下がっている。E14も実験1のA1, A4, A5の関係と同様に、汚れが水平方向の全範囲で発生している(汚れの隙間が無い)ために評価尺度値が低いものと思われる。

また、実験3, 4のような縦縞状の模様は「融合現象」<sup>20)</sup>により汚れの色と未汚染部の色が混色され、汚れている部分が多いほど、より濃い灰色に見える。よって、汚れの本数の増加を汚れ部分の面積の増加ではなく、汚れの程度の増加と捉えていることになる。C14より薄く見える

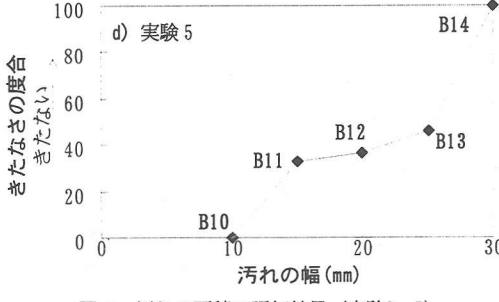
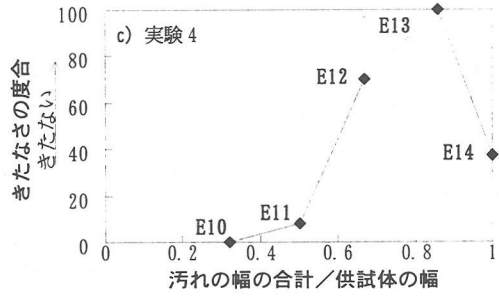
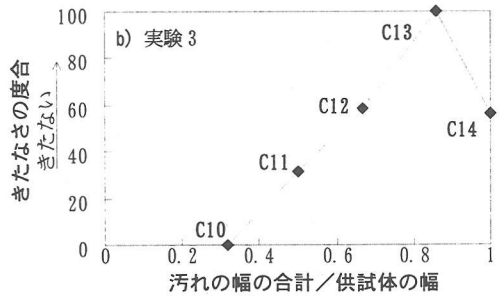
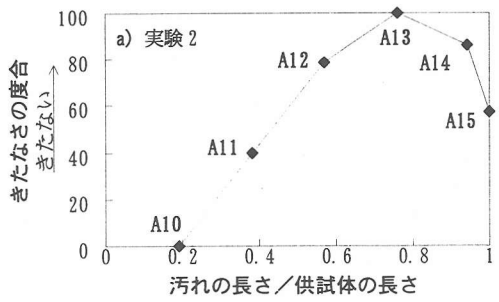


図-6 汚れの面積の評価結果 (実験2~5)

C13の方が評価尺度値が高いのは、本実験の視距離では完全に混色されず縞が認識できるため、「縦縞状」のパターンとしての影響も評価に含まれるからであろう。しかし、C10~C13では汚れの本数の増加に伴って評価尺度値も上昇しており、汚れの程度が評価基準として特に大きく影響したようである。また、視距離を大きくしてC13の縞が確認できなくなれば、C14より評価尺度値が下がることも予想される。E10~E14についても同様である。  
 ・実験5については図-6d)を見ると、面積が最大のB14まで評価尺度値は上昇し続けている。これは汚れの面積の大小を基準に評価されたようであるが、「全面」の汚

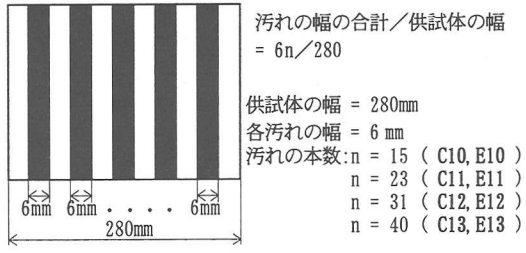


図-7 実験3,4のグラフの横軸の説明

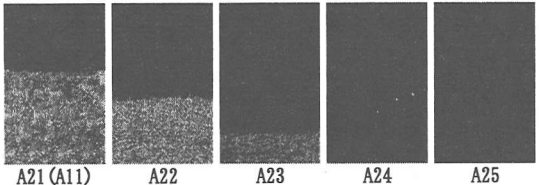


写真-5 評価実験の供試体 (実験6)

表-4 供試体の汚れの輝度 (実験6~9)

a) 実験6					
供試体No.	A21	A22	A23	A24	A25
汚れの輝度 (cd/m <sup>2</sup> )	5.03	11.44	14.54	16.57	16.91
b) 実験7					
供試体No.	C21	C22	C23	C24	
汚れの輝度 (cd/m <sup>2</sup> )	5.11	9.88	13.17	14.70	
c) 実験8					
供試体No.	E21	E22	E23	E24	
汚れの輝度 (cd/m <sup>2</sup> )	4.99	9.77	12.84	14.52	
d) 実験9					
供試体No.	B21	B22	B23	B24	
汚れの輝度 (cd/m <sup>2</sup> )	5.00	10.31	13.61	15.70	

れまで評価の対象に加えれば、実験2~4と同様にグラフの途中に評価尺度値のピークができるものと推測される。

(5) 汚れの輝度と面積の評価 (実験6~9)

a) 供試体

写真-5に実験6の供試体を示す。A21~A25の汚れの寸法は、それぞれ実験2のA11~A15と等しいが、A21~A25の順に面積の増加とともに、輝度が高くなっている。実験6は汚れの輝度と面積が両方異なる汚れの評価を行った。なお、供試体の表面全体の平均輝度はA21~A25ともに等しい(約16.97cd/m<sup>2</sup>)。実験7~9も同様に、それぞれ実験3~5と対応しており、供試体の表面全体の平均輝度を一定に保って、汚れの輝度と面積を変化させた。表-4に各供試体の汚れの輝度を示す。供試体C21~C24, E21~E24, B21~B24の表面全体の平均輝度は、それぞれ約14.74cd/m<sup>2</sup>, 約16.64cd/m<sup>2</sup>, 約25.60cd/m<sup>2</sup>である。

b) 結果と考察

図-8に実験6~9の解析結果を示す。図-8a), c)ではそれぞれA22, E22で評価尺度値が増加した後、減少傾向を示している。これらの評価には輝度と面積の両方が影響したようであるが、図-8b)も含めて輝度の影響の方が大



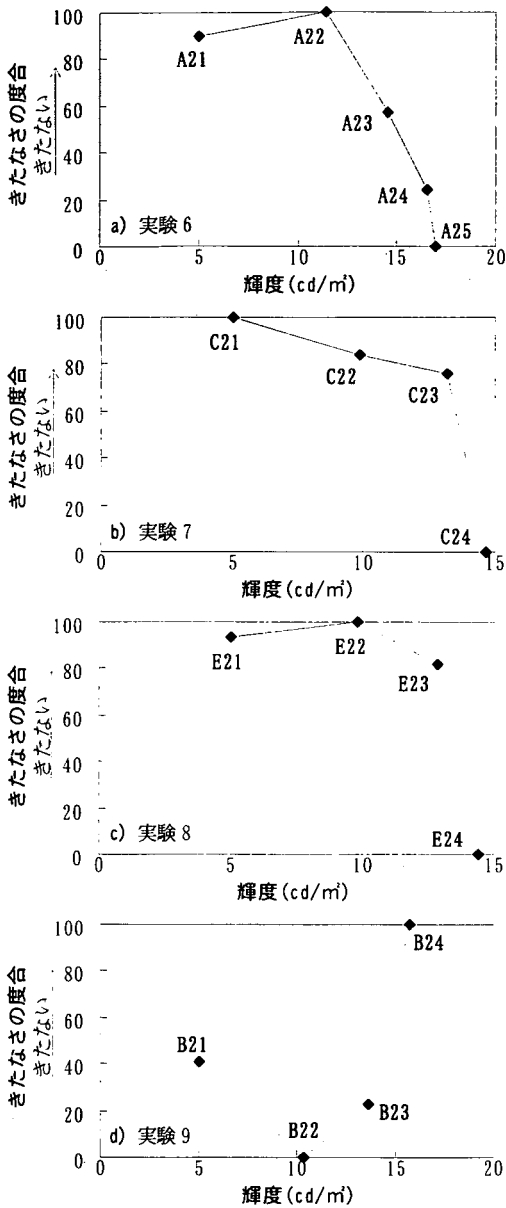


図-8 汚れの面積と輝度の評価結果 (実験6~9)

きいようである。また実験 7, 8 の「縦縞状」の模様において、融合現象は縞が細かい他に 2色が近接するほど生じやすくなる傾向がある<sup>20)</sup>。このため、例えば実験 3, 4 の C13, E13 に比べて、それぞれ汚れの輝度が高い (図と地の輝度差が小さい) C23, E23 は、より縞が認識し難い。

図-8d)の実験 9 の「くさび状」の汚れは、図-6d)の実験 5 と同様に他の 3 種類のパターンの実験結果と異なった傾向が見られる。輝度、面積どちらにも単調な傾向は示していないことから輝度と面積がともに影響したものと思われるが、この実験では面積の影響が大きいようである。このように複数の要因が変化する場合、各

表-5 供試体の汚れの寸法 (実験10, 11)

a) 実験10 (汚れの幅: 6mm)

供試体No.	F11	F12	F13	F14
汚れの間隔(mm)	6	3	1	0
汚れの本数	50	67	86	(100)

b) 実験11 (汚れの本数: 50本)

供試体No.	G11	G12	G13	G14
汚れの幅(mm)	6	8	10	(12)
汚れの間隔(mm)	6	4	2	0

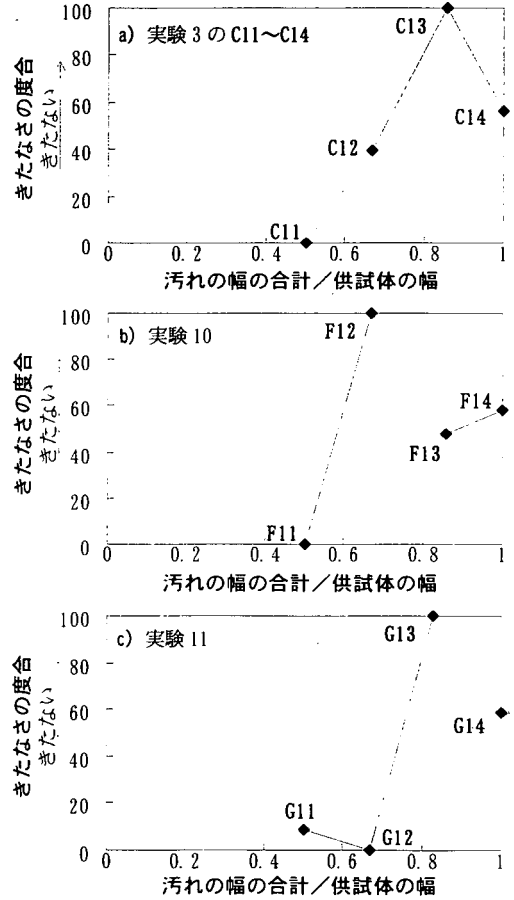


図-9 コンクリート面の形の見え方の評価結果 (実験3のC11~C14, 実験10, 11)

要因が評価に影響するが、実験 6~9 の中では輝度の影響が大きいようであるので輝度をグラフの横軸にとった。

## (6) コンクリート面の形の見え方の評価 (実験 10, 11)

### a) 供試体

同じパターンの汚れでも「地」として見えるコンクリート面の形によって汚れの印象が異なる場合があると思われる。実験 10, 11 は「縦縞状」の汚れを横長の供試体に発生させて実験 3 (縦長の供試体) と評価結果を比較した。実験 10 の F11~F14 はそれぞれ実験 3 の C11~C14 と汚れの寸法 (幅と間隔) が等しく、各汚れの幅は一定に

して汚れの本数を変えたものである。一方、実験 11 の供試体は汚れの本数は一定 (50 本) にして汚れの幅を変化させた。表-5 に各供試体の汚れの寸法を示す。また、汚れの輝度は実験 3 と同じく各供試体とも約 5cd/m<sup>2</sup>とした。

#### b) 結果と考察

図-9 に実験 3 の C11~C14 と実験 10, 11 の解析結果を示す。グラフの横軸は実験 3, 4 (図-6b), c) と同様に「汚れの幅の合計/供試体の幅」とした。図-9a), b) を比較すると F13 の評価尺度値が低い。F13 が実験 3 の C13 と異なるのは、供試体が横長であることや供試体の幅が大きい分、C13 よりも汚れの本数が多いことであるが、コンクリート面の形の見え方が評価に及ぼす影響については、他のパターンも含めて更に検討する必要がある。なお、全面が汚れている F14, G14 より評価尺度値が大きい供試体があるという点では実験 3 の結果と同じである。

#### (7) 内的整合性の検定

実験 1~11 の解析結果について、Mosteller の方法により内的整合性の検定を行った。検定結果を表-6 に示す。実験 1, 3 において、内的整合性が認められる有意水準が 1%未満となったが、全体的に見て、本実験の尺度構成に Thurstone の模型を用いたのは妥当であるといえる。

#### (8) まとめ

汚れのパターンを模式的に再現した供試体を用いて、汚れのきたなさの度合とパターンとの関係について評価を行った。また、各パターンにおいて汚れの程度 (輝度)、面積、コンクリート面の形の見え方の評価を行った。

汚れの面積については面積が大きいほどきたなく感じられるようであるが、「全面」の汚れではきたなさの度合が減る。汚れは未汚染部との視覚的な差により認識されるが、未汚染部がなく比較ができない「全面」の汚れは実際の汚れの程度ほどには気にならないようである。

また、実験 1 の A1, A4, A5 や B1~B3 についても、水平方向に汚れの隙間が無い A1 や汚れが供試体の最下部まで発生している B3 は、きたなさの度合が減ることがわかる。

実験 3, 4 のような「縦縞状」の模様は、融合現象によって汚れの色と未汚染部の色が混色された状態に見える傾向がある。混色の度合は縞の細かさや視距離によるが、汚れ範囲内での縞の本数の増加は、汚れ部分の面積の増加というよりも、むしろ融合による汚れの程度の増加として捉えられる。

ここで「縦縞状」の汚れは縞を構成する個々の汚れを同時に知覚した際に群化によりそれらの汚れを一つのまとまりとして捉えるために「縦縞状」の模様として認識される。また、群化には種々の要因があり各要因の影響度によって群化の起こりやすさが異なるが、複数の汚れを一つのまとまりとして捉えると、それらの汚れ全体を

表-6 内的整合性の検定結果 (実験 1~11)

実験No.	自由度	$\chi^2$	内的整合性
実験1	55	83.190	0.8%有意
実験2	10	22.690	1%有意
実験3	6	18.605	0.5%有意
実験4	6	6.237	5%有意
実験5	6	12.141	5%有意
実験6	6	13.499	1%有意
実験7	3	1.597	5%有意
実験8	3	3.922	5%有意
実験9	3	3.583	5%有意
実験10	10	16.960	5%有意
実験11	10	5.940	10%有意

(各汚れの間の未汚染部も含めて)「汚れの範囲」と感じるようになる。実験 3 の汚れも供試体全体に汚れが発生しているように見えるようである。実験 1 の C1, C2 についても汚れ部分の面積が等しいにもかかわらず C2 の方がきたなく感じられたのは、それぞれ 3 本の「くさび状」の汚れをまとめて捉えた場合、C2 の方が広い範囲で汚れているように見えること、つまり汚れの面積が大ききく感じられることが関係しているようである。C3, C4 は更に評価尺度値が大きいが、これらも汚れが供試体全体に発生しているように見えることが関係しているであろう。

ただし、複数の汚れが存在するという事は、汚染物質の付着状態が複雑であるということであり、パターンの複雑さも評価に影響すると思われる。また、実験 6~9 は汚れの輝度と面積がともに異なるもの同士を比較評価したが、一方の要因のみに影響を受けるのではなく、どちらの影響が大きいかは場合によって異なるであろう。

以上のように、汚れの評価に影響を及ぼす要因として、汚れの程度、面積、パターンなどが挙げられ、どの要因の影響が大きいかは個々の汚れによって異なるが、汚れの評価に際しては汚染物質の付着状態に対する群化、融合などの視覚現象も影響しているようである。

#### 4. おわりに

本研究では、コンクリート構造物に多く見られる汚れの発生状況を形状と模様のパターンとして捉えて分類し、構造物の部位との関係について考察を行った。また、分類結果をもとに汚れを模式的に再現して、きたなさの度合に関する評価を試み、尺度構成を行った。

構造物表面を雨水がどのように流れるかはそのデザインによる。そのため、汚れの形状は構造物のデザインによって決まることが多く、デザインの特徴が類似する箇所では、発生する汚れの形状も類似する。また、汚れの範囲内で程度の増加とともに汚れの模様が変化していく。

一般に汚れの面積や程度が大きい方が、よりきたなく感じられるが、群化や融合等の視覚現象により、汚れの面積や程度が実際のものとは異なって見えると評価も変わる

る。また、コンクリート面全体が汚れていると汚れが認識され難く、きたなさの度合が減少することなどから、汚れに対する評価はコンクリート面の状態（面積、輝度、形など）との相対的關係、更には構造物の背景となる周囲の環境によっても変わるものと思われる。醜い汚れが発生しない構造物を造ることは、ある程度可能であると考えられるが、汚れの将来予測に際しては、以上のような視覚現象が存在することも考慮しなければならない。

また、実験 6~9 のように面積と輝度がともに異なる汚れ同士を比較した場合、評価基準としてどちらの影響が大きいかは場合によって異なるようである。しかし、今回は汚れを模式的に再現した供試体を使用し、各実験の供試体数も少ないことから、差異が比較的明確な汚れ同士を比較評価したことになる。汚れに対する評価基準としてどの要因が大きいかは、より複雑な発生状況を呈する実際の汚れを対象にして更に検討する必要がある。

汚れの発生状況は汚れの程度の分布状態を視覚的に認識したものであるから、汚れの程度の分布状態を定量化できれば実際の汚れに対する評価も可能となる。また、実際の汚れを対象にすれば、複雑な形状のコンクリート面や周囲の環境との関係についても評価できるが、現地での評価は困難であるので、実際の汚れに対する評価方法は別途見出す必要がある。汚れの程度として用いた輝度についても、心理量とある程度関連があることがわかったが、実際の汚れを対象に更に検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 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, pp. 52-58, 1986. 7.
- 2) 石川広三: 外壁面の汚れ性状に関する調査-降雨による壁面の濡れ条件の評価のための基礎的研究-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 33-34, 1974. 10.
- 3) 地濃茂雄: モルタル・コンクリート外壁面の汚れに関する考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 709-710, 1990. 10.
- 4) 田中秀人, 橋高義典, 上村克郎, 小西敏正, 金子和人: 建築物外装材料の汚染に及ぼす諸因子, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 711-712, 1990. 10.
- 5) 大内秀幸, 橋高義典, 上村克郎, 小西敏正: 建築外壁材料の汚染に関する研究(その2) 材料の汚染と回復性について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 707-708, 1990. 10.

- 6) 天野賢治, 橋高義典, 上村克郎, 小西敏正: 建築外壁材料の汚染と回復性の評価について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 353-354, 1991. 9.
- 7) 新谷景一, 蛭川嘉寿, 北村眞一: コンクリート構造物表面の時間変化-よごれについて-, 土木学会第 40 回年次学術講演梗概集, pp. 379-380, 1985.
- 8) 皆川朋子, 北村眞一, 佐藤俊明: コンクリートの汚れ過程の分析-のり面工と橋梁-, 土木計画学研究・講演集 No. 15(1), pp. 169-176, 1992. 11.
- 9) 北村眞一, 皆川朋子, 佐藤俊明: のり面工と橋梁におけるコンクリートの汚れ過程の分析, 土木学会論文集 No. 506/IV-26, pp. 35-44, 1995. 1.
- 10) 大山正編: 知覚, 講座心理学 4, 1977.
- 11) 橋高義典: 建築物外壁面の汚染の調査および基礎的考察-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.
- 12) 仕入豊和, 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. 10.
- 13) 橋高義典, 上村克郎: 建築物外壁材料の美観性の評価に関する研究-建築物ファサードの汚れと古風美の評価について-1990 年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp. 165-168.
- 14) 橋高義典: コンクリート構造物を美しく老いさせる《コンクリートの美学考》, セメント・コンクリート No. 570, pp. 131-135, 1994. 8.
- 15) 外壁の“エイジング” 汚れても美しい建築がある, 日経アーキテクチャ No. 505, pp. 82-111, 1994. 11. 7.
- 16) 仕入豊和, 橋高義典, 風間真也: コンクリート系壁面の汚れ程度の表示方法について(その2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 355-356, 1980. 9.
- 17) 渡邊直幸, 佐藤俊明, 北村眞一, 皆川朋子: コンクリートブロック積み擁壁のデザインに関する一考察, 土木計画学研究・講演集 No. 14(1), pp. 761-766, 1991. 11.
- 18) 小野英哲, 馬場浩, 吉岡丹: -合成高分子系床仕上材料のよごれ促進試験器の設計・試作-合成高分子系床仕上材料のよごれ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 344 号, pp. 1-8, 1984. 10.
- 19) 上村克郎, 小西敏正, 橋高義典, 石上真治: 外壁面仕上材料の汚染程度の表示量について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 385-386, 1986. 8.
- 20) 小磯稔: 色彩の科学, 1972.

(1995. 11. 30受付)

## VISUAL EVALUATION ON THE PATTERNS OF DISCOLORATION ON CONCRETE SURFACE

Kazuhiro FUYUKAWA and Yoichi KUBOTA

The impression of aging differs with the pattern of appearance. In this paper, the investigation was conducted on the patterns of discoloration observed on surfaces of bridges and retaining walls, the pattern of discoloration were categorized into several groups. A series of psychological experiments was conducted on visual evaluation for the degree of discoloration, their degrees have been expressed by numerical scales.