

論文 打放しコンクリート建物外壁の汚染の実態調査

池尾陽作^{*1}・米澤敏男^{*2}・三井健郎^{*3}

要旨: 打放しコンクリート建物外壁の汚染の実態調査を行ない、汚染の発生状態を部位、形状、発生源、汚染程度によって分類し、さらに、汚染箇所の色を測定を行なった。その結果、部位により汚染源や汚染形状には特徴があること、打放しコンクリート面の汚染には塵埃の付着による汚染だけでなく、ペーストの流出による表面の劣化や施工時の不具合による汚染も存在することがわかった。また、経過年数とともに汚染源が多くなる傾向が認められ、汚染源の相互作用により汚染が増大することが推測された。打放しコンクリートの汚染程度の指標として色差同様、汚染部の明度が有効であることが認められた。

キーワード: 汚れ、打放しコンクリート、外壁

1. はじめに

コンクリート打放し仕上げは素材感、力量感のある仕上げとして多くの建築物に用いられているが、汚れなどの外観変化を生じやすく構造物の美観を損ないやすいことが指摘されている¹⁾。汚れに関しては、これまでに汚れの原因の分類や見え方^{2),3)}、汚染物質の付着等^{4),5)}について研究がなされている。

コンクリートは多孔質であり水分の影響を受けやすいことや、内部の可溶成分が溶出して表面に固着する可能性があるなど、他の仕上げ材料とは異なる性質を有している。そのため、コンクリートの汚れを検討する場合、コンクリート固有の性質を考慮に入れる必要があり、コンクリート特有のエフロレッセンスを含めた汚れの調査⁶⁾も行われている。しかし、打放しコンクリート表面の汚染と建物の経過年数の関係や、コンクリート表面の変質と汚染の関係などについて詳細な調査や分析に関する研究は十分に行われていない。

本研究では、汚染物質の付着だけでなく材料の変質にともなうコンクリート表面の色の変化も汚染として考え、打放しコンクリート建物の汚

染の実態調査を実施し、汚染の分類および汚染発生機構の推定を行うことによりコンクリート表面の汚染の実態を明らかにした。

2. 調査対象建物

調査建物は、コンクリート打放し仕上げ外壁面を有する建築物とした。調査した建物の立地は、いずれも市街地であり、首都圏 20 件、関西圏 13 件である。また、調査建物は竣工後 3 年から 41 年経過しており、図-1 に示したような分布になっている。

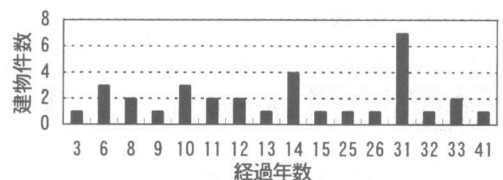


図-1 調査建物の経過年数

各調査建物において、外壁面を東、西、南、北の 4 方位に分け、それぞれを一調査面とした。北東面、南西面などは東西南北の主方位に近い方位面に分類した。調査した壁面の総数は 101 面であった。

*1(株)竹中工務店 技術研究所 研究開発部 研究員, 工修(正会員)

*2(株)竹中工務店 技術研究所 研究開発部 主任研究員, Ph.D(正会員)

*3(株)竹中工務店 技術研究所 研究開発部 主任研究員, 工修(正会員)

3. 調査方法

打放しコンクリート建物の外壁面を 2~4 名の観察者が目視により観察、記録するとともに写真撮影を行ない、外壁の色の測定も行なうことにより調査を行なった。調査した外壁面を橋高²⁾の方法を参考にして汚染状態別に分類した。

(1)汚染発生部位

汚染の発生部位を、図-2 に示す 9 種類の部位に分類した。

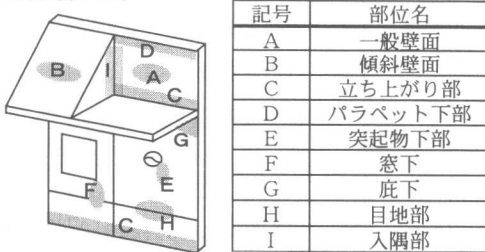


図-2 汚染発生部位の分類

各調査面において、汚染発生部位ごとに汚染の有無を確認した。同一調査面の中で同一汚染発生部位が複数ある場合は、そのうちの最も汚れている箇所について汚染形状、汚染発生源及び汚染度の評価を行い、汚染箇所数として 1 箇所と数えた。

(2)汚染形状

汚染形状を目視により判断し、図-3 に示す 5 つの形状に分類した。

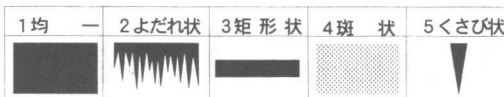


図-3 汚染形状の分類

(3)汚染発生源

目視評価により、汚染発生源と考えられる付着物質あるいは変色原因を判断し、表-1 のように分類した。また、付着物質の判断にあたっては表-2 の関係⁴⁾を参考にした。カビや藻類といった微生物による汚染については目視ではっきりと判断できるものに限定了。汚染発生源種類は同一汚染箇所で見れば、推定されるものを最大 3 種類まで計上した。

表-1 汚染源の分類

	汚染発生源
1	塵埃(気流)
2	塵埃(雨水)
3	微生物
4	エフロレッセンス
5	ペースト流出
6	施工時の不具合

表-2 汚れの色相と付着物質⁴⁾

汚れの色相	主な付着物質
黒	カビ,煤煙等
黒・緑	カビ,藻類等
緑	地衣類,コケ,藻類等
茶褐色	土粒子等

(4)汚染度評価

調査を行なった汚染発生部位について、2~4 名の調査員による目視での官能評価を行ない、汚染の程度を表-3 に示すような汚染度 0~5 の 6 段階に分類した。

表-3 汚染度の分類

汚染度	汚染状態
0	汚れていない
1	少し汚れている
2	やや汚れている
3	汚れている
4	かなり汚れている
5	非常に汚れている

(5)外壁面の色の測定

汚染部分の色の測定を携帯型色彩計 (Gardner 社製) を用いて行った。図-4 に示すように汚染部分と未汚染部分とで最も色の対比が大きいと思われる部分について、測定を行い測定値 L^* , a^* , b^* より色差を求めた。測定は 1 カ所につき横方向に 3cm 間隔に 3 点、縦方向に 3cm 間隔に 3 点の計 9 点とした。

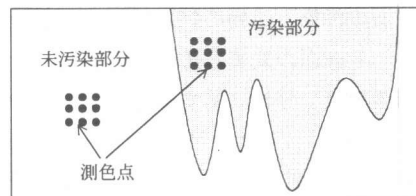


図-4 外壁の色の測定箇所

4. 調査結果

調査した 101 外壁面のうち、分類した汚染発生部位のすべてが汚染度 0 と判断された調査面

は7面であり、大半の調査面に何らかの汚れが生じていた。

4.1 汚染発生部位と汚染の関係

図-5に各部位における汚染度の発生比率を示す。また、図中には各汚染度の発生比率と汚染度を乗じて足した加重平均値を算定し、平均汚染度として示した。傾斜壁面、立ち上がり部、パラペット下部、突起物下部及び窓下部の汚染度が高い傾向にあり、何らかの汚染が認められる汚染度1以上の割合が80%以上を占めている。特に、傾斜壁面は平均汚染度が約4.0と高く、汚れやすい部位といえる。また、入隅部は今回の調査の範囲では汚染は観察されなかった。

図-6に各部位における汚染源の発生比率を示す。全体的に雨水による塵埃の汚れが多くを占めている。特に、立ち上がり部、パラペット下部、突起物下部、窓下部において雨水による塵埃の割合が高くなっている。これは、パラペット下部や突起物下部では上部水平面に堆積した塵埃が、また、窓下部では窓に付着した塵埃が雨水により流され下部の垂直面に付着するためであると考えられる。立ち上がり部では、壁面前面の水平面に堆積した塵埃が雨水により跳ね返り付着する汚れが多いためであると推測される。底下部は他の部位に比べ気流による塵埃汚れが多い。また、雨水の回り込みによる塵埃汚れや、ひび割れの存在によるエフロレッセンス汚れも目立った。目地部では雨水による塵埃汚れやエフロレッセンスが多くなっている。これは、目地部分に堆積した塵埃が雨水により運ばれて目地下部の壁面に付着する場合や、目地にひび割れが存在し、それが原因でエフロレッセンスが発生するケースが多いためと思われる。一般壁面では、他の部位に比べ種々の汚染源が同じ程度の割合で混在している。

図-7に各部位における汚染形状の発生比率を示す。また、写真-1に代表的な汚染の例を部位別、形状別に示す。図-7においてパラペット下部ではよだれ状、突起物下部ではくさび状、傾斜壁面では均一、立ち上がり部では矩形状が多

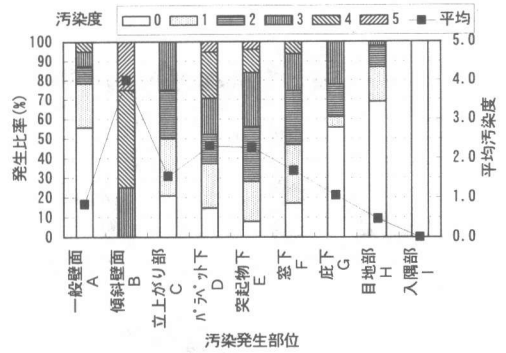


図-5 各部位における汚染度の発生比率

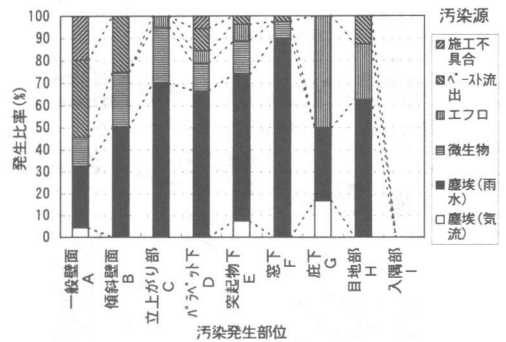


図-6 各部位における汚染源の発生比率

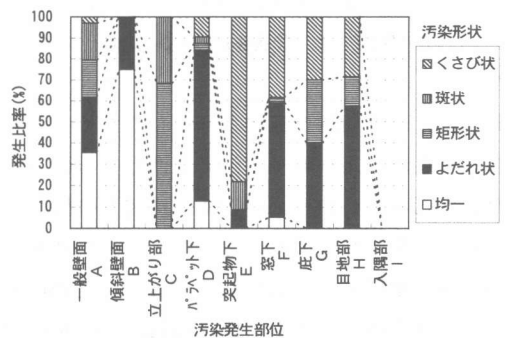
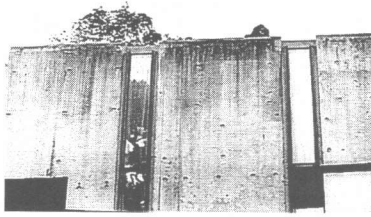
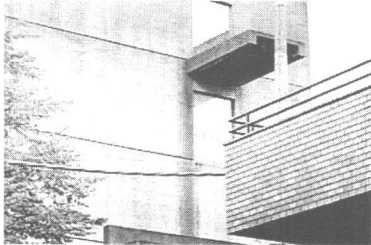


図-7 各部位における汚染形状の発生比率

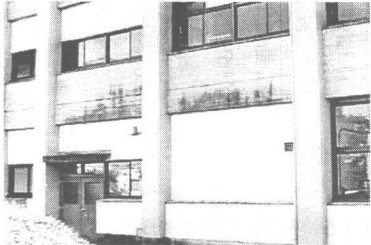
くを占めており、部位により汚染形状に特徴がみられる。これらの特徴は汚染源と関係が深いと考えられる。パラペット下部、突起物下部、窓下部では上部から雨水によって塵埃がもたらされる割合が高く、雨水が平均的に流れてきた場合はよだれ状に、局所的に流れていた場合はくさび状になると考えられる。また、立ち上がり部では、雨水の跳ね返り高さに限界があることが矩形状になる原因であると思われる。傾斜



パラペット下部：塵埃(雨水), よだれ状



突起物下部：塵埃(雨水), くさび状



一般壁面：微生物, 斑状

写真-1 代表的な汚染の例

壁面では、全面的に塵埃が堆積しやすく、雨も全面に受けるため均一に汚染が進行するのではないかと考えられる。一般壁面は種々の形状が平均的に発生している。これは、垂直な壁面では塵埃の堆積する場所がないため、よだれ状やくさび状等の雨水による塵埃汚れに起因する汚染形状が少ないことが影響していると考えられる。

4.2 汚染発生源と汚染の関係

図-8に各方位における汚染源の発生比率を示す。すべての方位で雨水による塵埃汚れの比率が高くなっており、次いで微生物及びペースト流出による汚れの比率が高くなっている。方位別では北面において微生物による汚れが多く、南面では少なくなっている。これは、北面は直射日光にさらされないため湿気が多く、微生物の生育に適した環境になっており、一方、南面

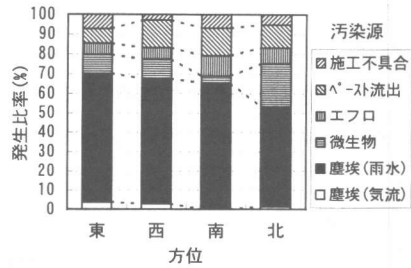


図-8 各方位における汚染源の発生比率

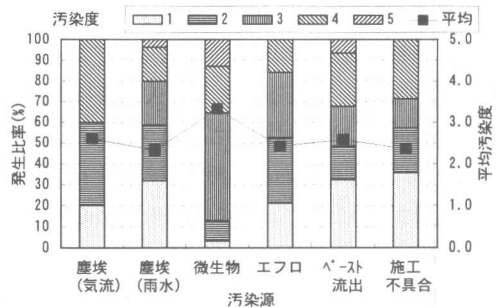


図-9 汚染源別の汚染度の発生比率

は乾燥しやすく微生物の生育しにくい環境になっていることが考えられる。その他の汚染源では方位による差は小さい。汚染源のうち、エフロレンス、ペースト流出はセメント材料特有の汚染源といえる。コンクリート表面におけるペーストの流出は、雨水、特に酸性雨によりペースト分が洗い流されることによって進行すると考えられ、コンクリート表面の劣化とも考えることができる。ペーストの流出によってコンクリート表面が汚れて見えるのは、表面が粗くなることによってコンクリート表面の反射率が変化することや、表面への骨材の出現、あるいはセメント水和物の組織や組成変化等による色の変化が原因ではないかと思われる。打放しコンクリートの汚染源の特徴として、さらに施工に関連した不具合の存在があげられる。今回の調査では、不完全な補修やコールドジョイント等に関連したものが汚れとして目についた。

図-9に汚染源別の汚染度の発生比率を示す。微生物による汚染の場合、汚染度3以上の割合が高く、平均汚染度も他の汚染源に比べ高くな

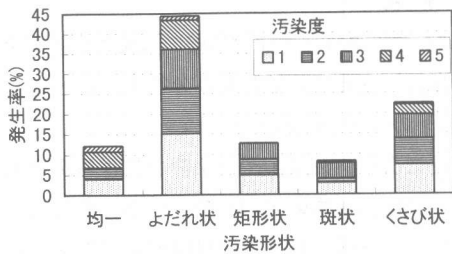


図-10 汚染形状別の汚染発生率

っている。それ以外の汚染源の平均汚染度にはあまり差はない。建物の汚染のほとんどが無彩色の汚れであるが、微生物汚染の中の藻類による汚れの場合は緑色である。そのため、他の無彩色の汚れよりも目立ち、汚染度が高くなっているのではないと思われる。

4.3 汚染形状と汚染の関係

図-10 に汚染度 1 から 5 に判定された汚染箇所について汚染形状別の発生率を示す。よだれ状の汚れが最も多く、次いでくさび状が多くなっており、この 2 つの汚染形状が全体の約 7 割を占めている。この 2 つの汚染形状は、上部から雨水が流れ落ちた場合の濡れ形状と一致しており、雨水によってもたらされる汚染が多いことを示している。その他の形状の発生率は、ほぼ同じになっている。

4.4 経過年数と汚染の関係

汚染源のうち、施工の不具合は経過年数とは関係ないと考えられるため、施工に関連した汚れを除いた場合について検討を行なった。図-11 に経過年数別の汚染源の発生比率を示す。経過年数が浅い場合、雨水による塵埃汚れの割合が高くなっているが、年数を経るにつれて雨水による塵埃汚れの割合が減少し、いくつかの汚染源が混在するようになる傾向がある。特に、20 年以上経過した建物ではペースト流出、エフロレッセンス及び微生物による汚れの割合が大きくなっている。ペースト流出が増加するのは、コンクリート表面が風雨の影響を長期間にわたって受ける間に少しずつ進行するためだと考えられる。また、微生物による汚染が多くなるの

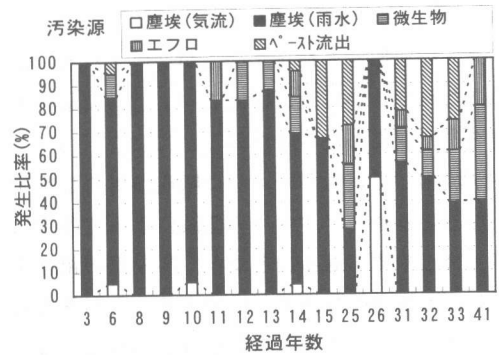


図-11 経過年数別の汚染源の発生比率

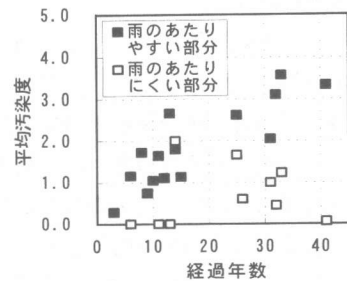


図-12 経過年数と平均汚染度の関係

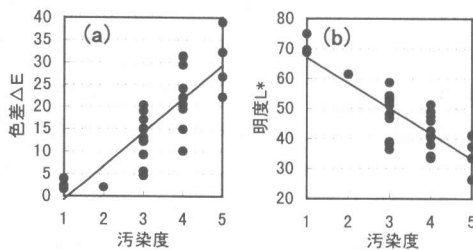
は、コンクリート表面のアルカリ分が中性化とペーストの流出により低減することと、ペーストの流出で組織がポーラスになり水分を吸収しやすくなるため、微生物が生育しやすい環境になることが原因だと考えられる。

図-12 に雨がかりの有無で層別した場合の経過年数と平均汚染度の関係を示す。雨のあたりやすい部分と雨のあたりにくい部分で傾向が異なっている。雨のあたりやすい部分は経過年数とともに平均汚染度が大きくなっており、汚染が進行していく傾向がみられるが、雨のあたりにくい部分では、経過年数と平均汚染度に明確な関係がみられない。また、雨のあたりやすい部分は、雨のあたりにくい部分に比べ全体的に平均汚染度が高くなっている。このように、雨がかりの有無によって汚染の傾向に違いが生じるのは、打放しコンクリート表面の汚染に及ぼす雨水の影響が大きいためと考えられる。雨水の影響としては、塵埃の運搬だけでなく、微生物の生育に必要な水分や栄養の供給、エフロレ

ッセンスの発生に必要な水分の供給、及び、ペーストの流出をもたらすことがあげられる。雨のあたりやすい部分では、このような雨水の影響を長期間にわたり受けることにより、ペーストが流出して表面が粗くなり塵埃が付着しやすくなることや、アルカリの低減によって微生物が生育しやすくなることなど、汚染源の相互作用による複合的な汚染が進行することが考えられ、このことが汚染の増大につながっていると推測される。

4.5 汚染と色の関係

調査を行なった汚染箇所のうち、33箇所について色の測定を行なった。図-13に汚染度と色差の関係、及び汚染度と汚染箇所の明度の関係を示す。ここで、色差と明度の違いは、色差は汚染部分と未汚染部分の色の差を表した値であるのに対し、明度は汚染部分の明るさを表した絶対値という点である。汚染度と色差の関係では、ばらつきはあるものの汚染度が高くなるにつれて色差も大きくなる傾向が認められた。この関係は橘高の結果²⁾と一致しており、打ち放しコンクリート表面の場合も汚染の程度を示す指標として、色差は有効であると判断できる。汚染度と汚染箇所の明度の関係では、汚染度が高くなるにつれて明度が小さくなっており、汚染度と明度には比例関係があることを示している。また、ばらつきは色差と同程度になっている。このことから、打ち放しコンクリートの場合、汚染の程度の指標には色差と同様、汚染部分の明度を用いることが可能であると考えられる。



(a)汚染度と色差 (b)汚染度と明度

図-13 汚染度と色差及び明度の関係

5. まとめ

打放しコンクリート建物外壁の汚染の実態調査を行ない、汚染の分類および分析を行なった結果、以下のことがわかった。

- (1) 部位により、汚染源や汚染形状には特徴があり、上部に塵埃の堆積しやすい部分を持つパラペット下部や窓下部等は雨水の影響によりよだれ状やくさび状の汚れが発生しやすい。
- (2) 打放しコンクリート表面の汚染には塵埃や微生物の付着による汚染、エフロレッセンスのほか、ペースト分の流出による表面劣化及び施工時に発生した不具合に関連した汚染も存在する。
- (3) 年数が経過するほど汚染源が多くなるとともに汚染が進行する。汚染の進行にはコンクリート表面の経年的な変質と塵埃等の付着による相互作用が関係していることが考えられた。
- (4) コンクリートの汚染に及ぼす雨水の影響は大きく、汚染源の多くに雨水が関与している。
- (5) 打放しコンクリートの汚染程度の指標として色差と同様、汚染部の明度も有効である。

参考文献

- 1) 仕入豊和：コンクリートの美観と仕上げ，セメント・コンクリート，No.526，pp.1-9，1990
- 2) 橘高義典：建築物外壁面の汚染の調査および基礎的考察，日本建築学会構造系論文報告集，第370号，pp.11-18，1986
- 3) 池永博威ほか：外壁の汚れの見え方に及ぼす観察距離の影響に関する研究，日本建築学会構造系論文報告集，第465号，pp.11-18，1994
- 4) 仕入豊和ほか：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
- 5) 長滝重義ほか：コンクリート構造物の汚れに影響を及ぼす要因とその評価手法，セメント・コンクリート論文集，No.46，pp.386-391，1992
- 6) 地濃茂雄ほか：コンクリート表層部の劣化と補修に関する考察，コンクリート構造物の補修工法に関するシンポジウム論文報告集，pp.23-30，1996.10