

論文 コンクリートの景観評価に及ぼす汚れ物質の影響

市坪 誠^{*1}・田澤栄一^{*2}・竹村和夫^{*3}・河合研至^{*4}

要旨：コンクリートの汚れに対する評価メカニズムを解明するための基礎的研究として、汚れ評価に対する視距離及び背景の意匠に着目し、試料を用いた3種類（スス、真菌類及び藻類）の汚れ試験と官能検査及び実構造物（ダム）を対象とした汚れ景観評価等を行った。その結果、3種の汚れ間の尺度化（藻類：ススに対し汚れが気になり難い、カビ：ススに対し小さい色差で非常に汚れが気になる）が把握された。近景における背景（素地面）の影響として、赤色の着色及び未着色のセメント系材料は高彩度の着色素地面より汚れが目立たないことが理解できた。また、自然景観に立地するダムにおいて表面テクスチャの計画設計及びメンテナンスは汚れに対する景観評価の向上に有効である。

キーワード：汚れ、汚れ付着物質、モルタルの色彩、官能検査、景観評価

1. はじめに

近年、景観・美観上の意識の高まりとともに、コンクリート構造物の汚れ対策が問われている。ここで汚れを物質付着による表面色彩の変化と定義すると、汚れ物質は非生物系と生物系の2つに大別できる[1]。前者の非生物系の汚れには車の煤煙（スス）、塵埃等が挙げられ、その汚染程度の表示量等多様な研究報告がなされている[2]。しかし生物系（真菌類、藻類等）の汚れに関してはその重要度にも関わらずほとんど研究されておらず、生物系及び非生物系汚れの対応も十分検討されていないのが実状である。著者らは汚れ問題の解明を汚染機構[3]及び評価機構[4]の2方向から検討しており、両者の対応もまた重要となる。

そこで本研究では構造物の汚れ評価に対する視距離及び背景の意匠の関与を明らかにすることを目的として、モルタル試料を用いた3種類（スス、真菌類（カビ）、藻類）の汚れ試験及び官能検査を行い汚れ物質間の評価の違いの検討を行った。そして実構造物（ダム）の景観評価を用いて躯体表面の意匠計画（色彩及び仕上げ手法）の有効性について検討を行った。つまり、汚れの主要因であるスス、カビ、藻類間の相対的評価（尺度化）を行うと同時にそれぞれの汚れ表示量の検討を行った。また、自然景観内に位置する生物系汚れが付着したコンクリート構造物の景観向上の検討も併せて行った。

2. 実験概要

2. 1 汚れの尺度化

(1) 供試体の作成

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、 $W/C=40\%$ 、 $S/C=1$ 、 $20 \times 20 \times 4$ cmのモルタル供試体を作成した。着色モルタルは、赤色、黄色及び茶色の顔料をセメ

*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）

*4 広島大学助教授 工学部第四類、工博（正会員）

ント量の5%添加した。御影調については化粧型枠を用いて型枠転写により作成した。そして7日水中養生後汚れ付着を行った。汚れのうちススは車(トラック)の排気口から直接試料に吹付け、真菌類(カビ)はCladosporium cladosporioides(糸状菌)、藻類はKlebsormidium flaccidum(緑藻類)といった一般の壁面に存在する生物を使用し、試料表面に様に塗布した。各汚れ物質とも未汚れ試料との色差が異なる7種類の試料を作成した。試料表面を接触型色彩色差計(ミノルタカメラ機:CR-300)を用いて標準の光(D₆₅)で3ヶ所測定しその平均値を求めた[5,6]。

(2) 官能検査手法

乾燥状態における3種(スス、カビ及び藻類)の汚れ物質間の尺度化を一对比較法を用いて行った。それぞれの汚れ物質について未汚れ試料との色差が約10及び20の試料計6個から2個を取り出し、そのどちらの試料がより「汚れている」かの判断を全ての組合せについて行った。カビ及び藻類それぞれ7種類の汚れ試料においても「汚れている」の感性を用いて汚れ試料間の尺度化を行った。また、コンクリート素地面の色彩の影響として、無着色試料と着色及び仕上げ試料とにススの汚れ(明度:38)を付着させ「汚れが目立つ」の評価を用いて尺度化を行った。ここで汚れ試料は同じ寸法の未汚れ試料と共に呈示し、2組の表面性状の差を比較し判断を行った。被験者は呉高専男女学生20名(18歳~20歳)とした。屋外環境下での試料の視覚特性(物体色)は光源、設置角度等環境条件に直接影響されることから[7]、日陰環境下(曇り:照度約3000 lx)で試料設置角度は垂直面とした。視点位置は「近景(ディテールが分かる景観)」[8]を対象として試料正面より5mの位置から20名同時に行った。ここで全検査結果はThurstone-Mostellerの検定により危険率1%で内的整合性が認められた。

2. 2 実構造物の汚れ景観評価

(1) 試料の作成

広島県内のダムのうち17体の写真350枚を「近景」及び「遠景(ディテールが判断できない景観)」[8]から撮影した。さらに汚れ評価に及ぼすダム躯体の表面テクスチャ(色彩、仕上げ)を検討するためCGにより合成写真を作成した。これら景観の中から景観構成要素[4]を考慮し22枚の写真(試料)を選定した。

(2) 汚れ評価に対する解析

既往の研究から汚れに関する形容詞を200個選出し、これを6個の形容詞対にまとめSD評価を行った(図-1)。被験者は建設関係者男女15名(20代~50代)とした。分散分析結果から個人差の寄与率が全て7%以下と小さく被験者の一致性は高いと判断し解析には

平均値を用いた。これら評価結果と7つの景観構成要素(表面テクスチャ、汚れ色差、周囲色差、ダム占有率、緑視率、吹付部占有率及びダム配置)とをもとに多変量解析[4]を行った。つまり、因子分析を行い感性の因子構造を明確にした後、感性和景観要素との対応を数量化I類を用いて分析し各感性に及ぼす景観要素の重みを求めた。ここで汚れ色差及び周囲色差は色彩色差計(ミノルタカメラ機:CR-321)により写真上のダムを測定しそれぞれ白色及び周囲景観(緑または空)との差とした。占有率は視野内(試料全面積)に各要素(ダム、緑等)の占める面積を百分率で示した。ダム配置とは視点とダムとの位置関係を把握するため視野内のダム形状を示した。

問1	
非常に 汚れが目立つ	どちらでも ない
非常に 汚れが好ましい	非常に 汚れが目立たない
趣がある	趣がない
汚れを落とした 方がよい	汚した方がよい
景観が好き (好ましい)	景観が嫌い (好ましくない)

問2				
非常に 汚れている	かなり 汚れている	汚れて いる	少し汚 れている	汚れて いない

図-1 評価シート

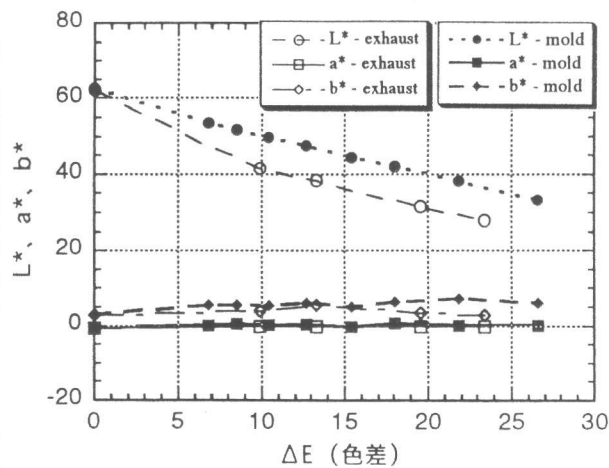


図-2 色差に対する色変化 (スス、カビ)

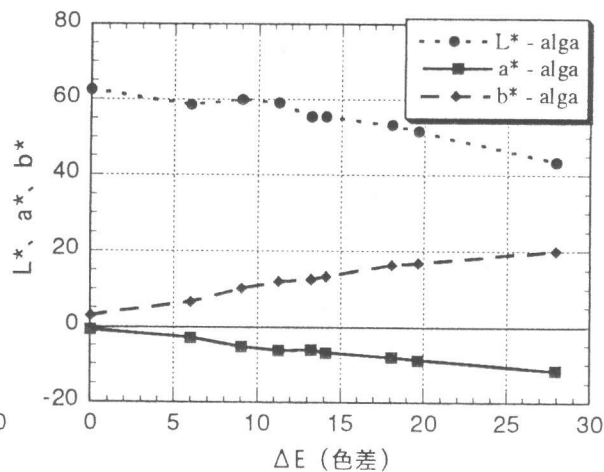


図-3 色差に対する色変化 (藻類)

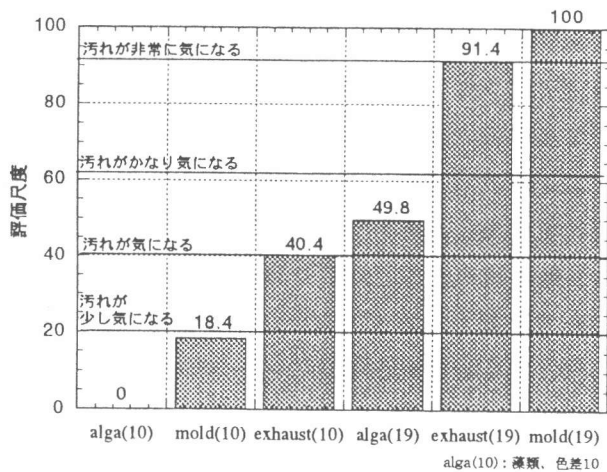


図-4 汚れ物質に対する評価

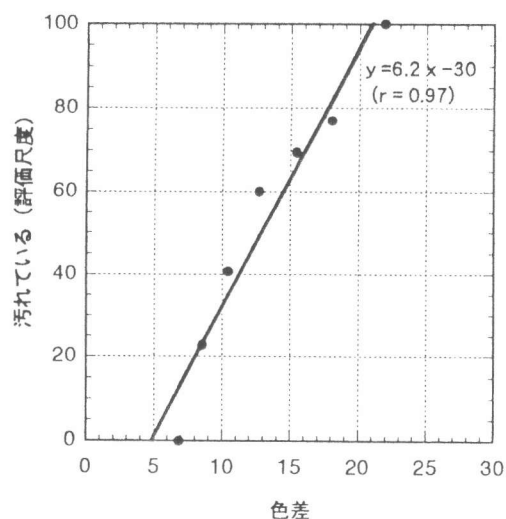


図-5 「汚れている」と色差との対応 (カビ)

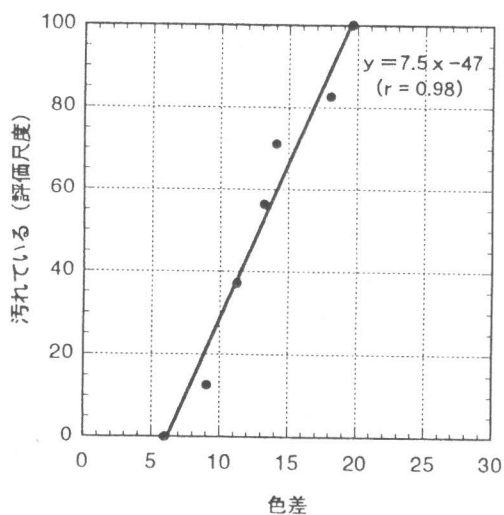


図-6 「汚れている」と色差との対応 (藻類)

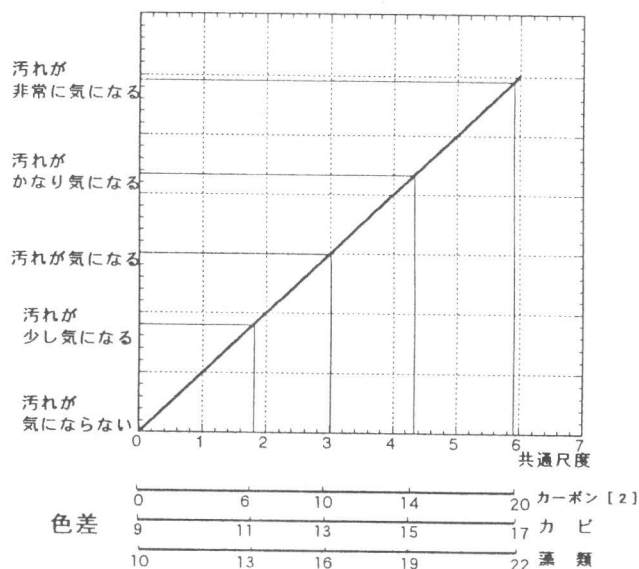


図-7 汚れ評価に及ぼす付着物質の影響

3. 結果及び考察

3. 1 汚れ物質の種類及び汚れ程度が評価尺度に及ぼす影響

スス、カビ及び藻類を付着させた試料表面の色変化を図-2、3に示す。スス及びカビの汚れは色差の増加に伴い直接 L^* （明度）が減少することから汚れ量の増加は明度差の増加による。しかし、藻類の汚れは色差の増加に伴い明度の減少、 a^* の減少（緑方向）及び b^* の増加（黄方向）が把握された。つまり、藻類の汚れは明度差及び彩度（ $\sqrt{a^{*2}+b^{*2}}$ ）差の増加による。

3種の汚れ物質間の尺度化を図-4に示す。縦軸は評価尺度値を示し、最大値を100、最小値を0としている。尺度値が大きいほど「汚れている」ことを示す。カビ及びススの汚れに対し藻類の汚れは低い値となった。ここで上村ら[2]はカーボンを主体とした汚れの「汚れが気になる」程度を色差10、「汚れが非常に気になる」を20としており、これを適用すると「汚れが気になる」程度は図中の尺度位置に表された。ここでカビ及び藻類それぞれにおける汚れ試料間の尺度化を図-5～7に示す。両汚れとも評価尺度と色差とは直線関係となり、これに上記汚れ程度の尺度値を適用した。ススに対するカビの汚れは「汚れが気になる」色差は10から13へと高くなり、「汚れが非常に気になる」値は20から17へと低くなった。これよりカビの汚れは色差が13程度に進行するまで汚れと認識され難いものの、一旦認識されると小さい色差変化で「非常に気になる」汚れと判断される。ススに対する藻類の汚れ程度は汚れが気になる色差は10から16へと高くなった。これより藻類の汚れは色差が16程度に進行するまで「汚れている」と認識され難く、汚れの付着量に対して「汚れが気になり難い」と判断される。

コンクリート素地面の色彩の影響を図-8に示す。汚れが目立たない背景は、赤色、未着色（ノーマル）、御影調、茶色、黄色の順序となった。未汚れ試料の彩度及び未汚れ試料と汚れ試料との色差から、赤色及びノーマルは高彩度（茶色及び黄色）の素地面に対し色差による判断以上に汚れが目立たないと判断される。つまり、近景領域で見せる対象となり得る都市内のコンクリート表面（建物のファサード等）は、水の介在により「地（濡れない素地面）」と「図（濡れによる汚れ付着部分）」の状態（よだれ状の汚れ等）[9]にならないよう撥水材（剤）等を有効に使用するとともに、材料のエージングを前提とした素地色彩の選定も重要と考えられる。

3. 2 汚れ要素がダム景観評価に及ぼす影響

5尺度の相関行列を求め因子分析の結果を表-1に示す。因子軸は2軸となり、「趣がない」を代表因子とする軸を不快因子、「汚れを落とした方がよい」を代表因子とする軸を汚染因子と名付けた。ここで「汚れている」という感性を含めた6尺度の偏相関係数を求めた結果、「汚れている」は「汚

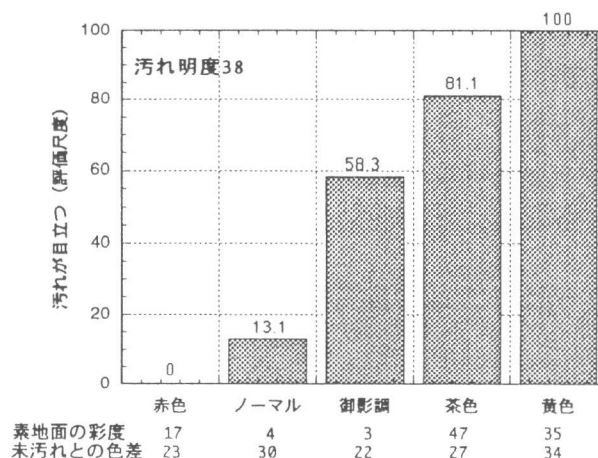


図-8 ススの付着に対する背景の影響

表-1 因子負荷表

形容詞対	因子負荷量	
	I	II
趣がある-趣がない	0.951	0.182
景観が好き(好ましい)-景観が嫌い	0.934	0.098
汚れが好ましい-好ましくない	0.756	0.158
汚した方がよい-落とした方がよい	0.058	0.888
汚れが目立たない-汚れが目立つ	0.205	0.693

れが目立つ」と86%の対応となり（1%で有意）汚染因子に含まれる結果となった。これよりダムの汚れは不快因子及び汚染因子を念頭に整備する必要がある。

6つの感性それぞれに対し数量化I類を用いて汚れ要素を結びつけた。ここでは紙面の都合上「汚れている」の結果を表-2に示す。決定係数（ R^2 ）は95%となり、これら7つの要素でこの感性を十分に説明できる。表内上位4番目までの順位は偏相関値が高い順序を示しており感性に対する景観要素の重みを説明し

ている。「汚れている」と感じさせるアイテムは、1)汚れ色差が60以上であること、2)ダム配置が逆三角形であること、3)吹付コンクリート占有率が0%及び10%以上であること、4)緑視率は30%以下であること等である。以下、各要因の内容を具体的に考察する。

汚れ色差が60以上であるとき「汚れている」と判断される。ここで汚れ色差とは汚れの汚染度を相対的に把握するため汚れ色彩と白色との差を示している[10]。ダムは生物（特にカビ）を主体とした汚れのため[11]、汚れ付着量が多く明度が下がるほど「汚れている」と判断される。ダム配置が逆三角形であるとき、即ちダム下流遠景からダム（放流部）を見るとき「汚れている」と判断される。つまり、コンクリートの材質感及び汚れ模様が把握される近景や中景とは異なり、表面の大まかな状態（汚れているか否か等）しか理解できない遠景のダムは、ダムそのものが景観の一構成要素となり周囲景観との調和が特に重要と考えられる。また、吹付法面及び緑の両占有率が景観評価要素の上位にくることから、堤体周辺の切土法面はダムのエージングを念頭に置いて樹木により自然回復（緑化）を行うことが必要と考えられる。

他の感性に及ぼす上位アイテムを表-3に示す。ダム表面テクスチャ及び汚れ色差が上位アイテムとなった。特に表面テクスチャは重要なアイテムとなり、黄色の着色及び御影調仕上げがプラスイメージに結びつく結果となった。これより自然景観内に立地する大規模な土木構造物は汚れることを前提に表面テクスチャの計画設計を行い景観向上を図る必要があると思われる。また、汚れ色差の低減がプラスイメージに結びつくことから、汚れに対するメンテナンスにより景観向上が図れるものと考えられる。

表-2 「汚れている」に及ぼす上位アイテム

順位	アイテム	カテゴリー	レンジ	偏相関係数	スコア
1	汚れ色差	60以下 60~80 80以上	0.666	0.927	0.448 -0.198 -0.218
2	ダム配置	逆三角形 直角三角形 長方形	1.009	0.909	-0.815 0.194 0.111
3	吹付コンクリート占有率	0% 1~10% 10%以上	0.900	0.865	-0.043 0.796 -0.104
4	緑視率	15%以下 15~30% 30%以上	0.575	0.853	-0.429 -0.006 0.146

$R^2=0.95$ スコア内（プラス：汚れていない、マイナス：非常に汚れている）

表-3 感性に影響する景観構成要素

順位	不快因子			汚染因子		
	趣がない ($R^2=0.68$)	景観が嫌い ($R^2=0.83$)	好ましくない ($R^2=0.75$)	落とした方がよい ($R^2=0.71$)	汚れが目立つ ($R^2=0.91$)	汚れている ($R^2=0.95$)
1	テクスチャ*	テクスチャ	テクスチャ	テクスチャ	汚れ色差	汚れ色差
2	汚れ色差	汚れ色差	緑視率	汚れ色差	ダム配置	ダム配置
3	ダム占有率	ダム占有率	ダム占有率	周囲色差**	テクスチャ	吹付占有率
4	ダム配置	緑視率	汚れ色差	ダム配置	吹付占有率	緑視率

*テクスチャ：表面テクスチャ（色彩、仕上げ）

**周囲色差：ダム汚れ部と周囲緑部との色差

4. 結論

以上のことから、次のような結論が得られた。

- (1) スス及びカビの汚れは明度差の増加に直接影響され、藻類の汚れは明度差及び彩度差による。
- (2) カビ、藻類の汚れ表示量として色差の妥当性が認められた。また、3種の汚れ（スス、カビ及び藻類）間の相対的な評価尺度から、ススに対し藻類の汚れは汚れが気になり難く、カビの汚れは一旦認識されると小さい色差で非常に汚れが気になると判断される。
- (3) 近景における背景（素地面）の影響として、赤色の着色及び未着色のセメント系材料は高彩度の着色素地面より汚れが目立たないと判断される。
- (4) ダム躯体の汚れは不快因子及び汚染因子を念頭に整備する必要がある。
- (5) ダム景観において汚れ感性に及ぼす主要な景観要素は表面テクスチャ及び汚れ色差である。
- (6) (3)(5)の結果より、自然景観に立地するダム（コンクリート構造物）において表面テクスチャの計画設計及びメンテナンスは汚れに対する景観評価の向上に有効である。

謝辞 本研究の実施に際し呉高専校長長町三生先生にご指導頂きました。また、戸田工業(株)今井知之氏、東海ゴム工業(株)高智武徳氏及び鹿島建設(株)難波信由氏に御協力を頂くと共に、広島大学大学院小竹森浩氏、呉高専板垣竜太郎氏及び山崎努氏の協力を得ました。ここに記して感謝の意を表します。なお本論文作成の一部には計測リサーチコンサルタント助成金の援助を得ました。

【参考文献】

- [1] L. G. W. Verhoef : Soiling and Cleaning of Building Facades, Chapman and Hall, pp. 65-123, 1988
- [2] 上村克郎、小西敏正、橘高義典、石上真司 : 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
- [3] 小竹森浩、田澤栄一、河合研至、市坪誠 : 微生物によるコンクリートの表面汚染機構に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集 第17巻 第1号、pp. 273-278、1995
- [4] 市坪誠、竹村和夫、勇秀憲 : コンクリートの汚れ特性と景観評価、セメント・コンクリート論文集 No. 48、pp. 666-671、1994
- [5] JIS Z 8729 : $L^*a^*b^*$ 表色系及び $L^*u^*v^*$ 表色系による物体色の表示方法、1980
- [6] JIS Z 8730 : 色差表示方法、1980
- [7] 市坪誠、田澤栄一、竹村和夫、河合研至 : モルタルの色調変化に及ぼす表面形状の影響、コンクリート工学年次論文報告集 第17巻 第1号、pp. 279-284、1995
- [8] 京都大学工学部土木工学教室構造力学研究室 : 平成3年度報告書 土木構造物の景観設計に関する調査研究、(株)建設技術研究所・(社)システム総合研究所、pp. 11-14、1992
- [9] 市坪誠、田澤栄一、竹村和夫 : 表面処理されたモルタルの汚れ色彩特性、コンクリート工学年次論文報告集 第16巻 第1号、pp. 883-888、1994
- [10] 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回年次学術講演会講演概要集 第5部、pp. 494-495、1992
- [11] 山田衛、佐々木和実 : コンクリートダム表面の変色の原因について、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集 第4部、pp. 160-161、1992