

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

北村真一¹・皆川朋子²・佐藤俊明³

¹正会員 工博 山梨大学助教授 工学部土木環境工学科 (〒400山梨県甲府市武田4-3-11)

²正会員 工修 建設省土木研究所 環境部河川環境研究室 (〒305茨城県つくば市旭1番地)

³正会員 日本ナチュロック(株) (〒107東京都港区北青山1丁目3-3三橋ビル4F)

本論文では、のり面工及び橋梁を対象として、コンクリート表面の汚れ過程を明らかにし、デザインのための基礎的知見を得た。表面の汚れ過程は物質の付着と生物の成長でロジスティック曲線を仮定し、時間との関係を推定した。汚れは明度1~4の限界値へ10~20年で進行し、その要因は時間経過(生物の成長)と生物生息環境条件(表面デザイン)であることを数量化1類により検証した。

Key Words : concrete discoloration, slope protection, bridge, grows-model,

1. はじめに

コンクリート構造物に限らずあらゆる構造物は、外部で風雨にさらされる時、表面の風化(劣化)と色彩の変化(変色・汚れ)が現象として生じる。特に土木構造物の場合、長期に渡り存在し続けるため、年月に伴う一定の指向性を持った外観変化は設計を行う際に考慮すべき重要な項目であると考えられる。

景観材料としてコンクリートを考えると、施工時においては明度や輝度が高いため周辺環境とは際だっている。新しい時は美しくても、時とともに汚れも目立ってくる。さらに、石材や煉瓦のような年月の経過とともに味わい、趣がでて良くなる「エージング効果」を得ることは難しい。施工時の景観対策としては、塗装、着色コンクリートの利用、表面処理(はつり、割り肌、目地等)やタイル・煉瓦・石材などの張り付け(埋め込み)などが挙げられるが、土木構造物の多くはコンクリートを打ち放したままで、年月に伴う外観変化に配慮した設計はあまりなされていない。今後、汚れに対してどの様に考え、対策を講じていくかは、材料の景観問題の一つとして位置づけられる。

コンクリートの汚れについては、その汚れの状態や構造物の種類によって、防止する・取り込むの2つの対策がある。建築学の分野においては、汚れを防止する視点から、仕入らの一連の研究^{2)~5)}がある。土木の分野では松浦らが河川景観設計の観点から、コンクリート護岸を風景になじませるために、汚れ

を取り込むことに着目して検討を行っている⁶⁾。また、ダムの表面の汚れの主な原因の菌類(かび)を同定した研究もある⁷⁾。

既往の研究では、汚れの原因を明らかにしたものは多いが、汚れの進行速度を実際に時を経た構造物から測定して実証したものは、近年の森林の中の砂防ダムにおいて写真から明度を測定し、約20年で明度5以下になるとされている研究²⁰⁾や、河川護岸について写真から明度を測定し、年月の経過によって明度は約5に落ち着き、周囲の植生と比べ目立たなくなると位置づけている研究²¹⁾があるが少ない。また、汚れの進行速度と構造物条件との関係を実証的に示した研究は見あたらない。

そこで本論文では、今後も土木材料の主流を占めるであろうコンクリートについて、のり面工及び橋梁を対象として、年月の経過に伴う外観変化(汚れ)を考慮した設計を行う上での基礎的知見を得るために、未だ十分に明らかにされていない以下の項目の解明を目的としている。

- ①コンクリート表面の汚れの過程のメカニズムについて整理する。
- ②コンクリート表面の汚れの時間変化を明らかにする。
- ③コンクリート表面の汚れの進行速度に影響を及ぼす要因を明らかにする。

本論文ではまず2章で汚れを計測する方法について述べ、3章では調査結果をふまえて汚れ過程のメカニズムの仮説を設定する。そして4章では最も影

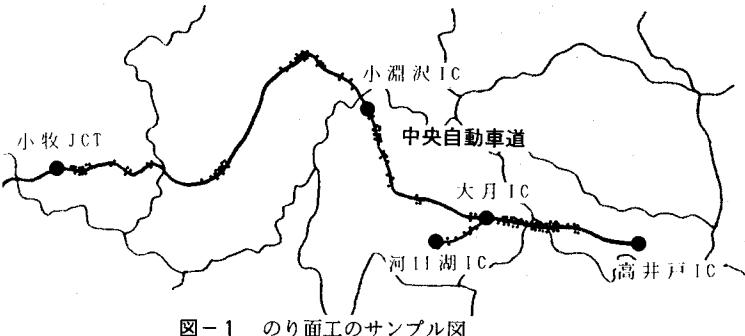


図-1 のり面工のサンプル図

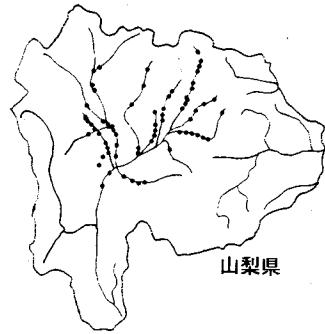


図-2 橋梁のサンプル図

影響の大きい時間要因を取りあげて汚れの時間変化の実態を明らかにした結果を示す。5章では時間以外の要因の影響分析の結果を示し、3章で設定した仮説を考察している。6章ではこの結果からコンクリート表面処理のデザインに対する示唆をまとめた。

なお、本研究は新谷らの研究⁸⁾及び皆川らの研究⁹⁾を基礎にしている。

2. 調査対象及び方法

(1) 調査対象

調査対象としては、施工年次が明らかであること、施工条件が比較的類似していること等を考慮して、中央自動車道の山岳区間ののり面工と、甲府盆地内に架設された橋梁とした（写真-1、-2）。

のり面工の調査区間は、高井戸IC～小淵沢IC（14.95km）、大月IC～小牧JCT（194.5km）である。サンプル数295、種類は吹き付け、ブロック積み擁壁など7種類であった。

橋梁は原則として同じ年のサンプルを3カ所含み、盆地内に分散するようにコンクリート桁橋83サンプルとした（図-1、-2）。

なお、サンプルの経過年数は最長でのり面工が20年、橋梁が48年であった。

(2) 調査方法

まず、コンクリート表面の汚れ過程を把握するため、既存研究及び関連文献をまとめた上で、対象としたコンクリート表面の汚れについて目視による観察を行った。

次に汚れの時間変化を捉えるため、汚れの程度の測定として測色を行った。のり面工は大きく分けて①コンクリート吹き付け、②フリーフレーム、③コンクリートブロック積み擁壁、④現場打ちコンクリートにタイプ分けされる。中央自動車道では、のり面工の多くは2～3タイプが複合されているので、測色はまずタイプ別に分けて行い、別のデータとして扱う。次に一つのタイプの面でも汚れは均一ではないので、局所的な水みちやエフロレッセンスなど



写真-1 中央自動車道沿いののり面工（吹き付け）



写真-2 第一川田橋（平等川）

の特殊な部分はのぞき、面全体が一様でなければ汚れの程度の面積割合の最も多い部分を代表値とした。測色は、のり面工に直接色見本を当てて測るのを原則とし、不可能な場合は高速道路の反対側など出来るだけ近くで目視により色見本と比べて測った。橋梁の汚れの測定位置は、南面する側の上桁の側面とした。この面はほとんどの橋梁で濃淡のある縦縞模様に汚れており、水みちやエフロレッセンスなど特殊な部分はのぞいて、縞などの部分の色と面積を測定し、最も面積割合の大きい部分の色を代表値とした。測色はのり面工と同様に行った。汚れの程度の表現には、最も代表的な色表示体系であるマンセル表色系（色相・明度・彩度で表現）を用いた。

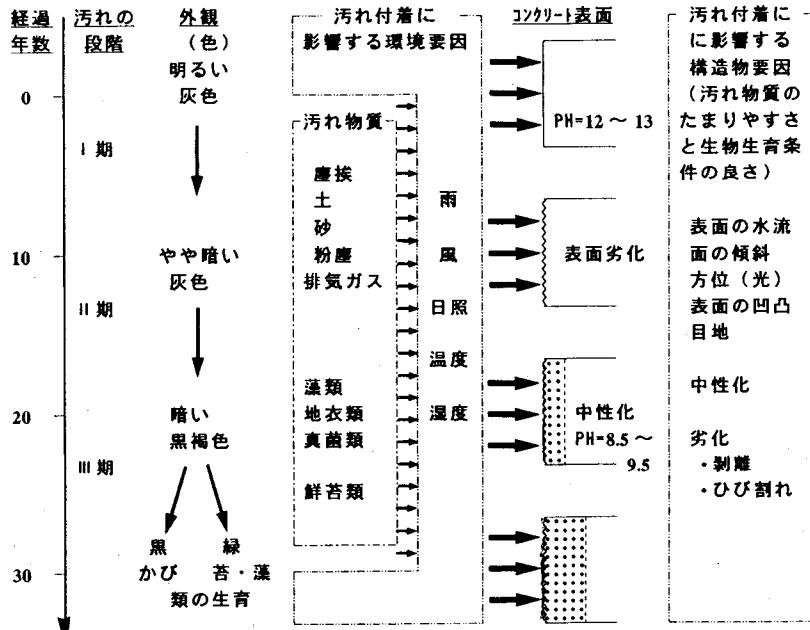


図-3 コンクリート表面の汚れ過程の仮説

調査期間は、のり面工が1984.12.19～1985.2.11、橋梁が1984.11.18～1984.12.9である。

また、汚れの進行速度に影響を及ぼす要因を分析するため、調査対象とした構造物の建設年、方位、日照条件、周辺の状況等を調査し、あわせて写真撮影を行った。

3. コンクリート表面の汚れ過程

(1) 汚れ過程のメカニズム

のり面工と橋梁を対象とした調査及び仕入らの既存研究を整理し、コンクリート表面の汚れの過程について考えられる仮説を図-3に示す。

汚れは、土、砂、塵埃等の付着によるものと、藻類・鮮苔類・地衣類・真菌類(かび)の繁殖等の生物的なものに大別される。付着物質によるマクロ的にみた汚れの進行過程は、以下の3期に分けられる。

I期：表面の凸凹がある場合、凹部に汚れが溜り始める。表面が平滑なものは、表面の劣化が進むに従い、凹部等の汚れの下地づくりがなされる。

II期：表面劣化が進行しつつ凹部に汚れが溜っていく。

III期：全面的に汚れが溜り、溜るのと剥離が平衡状態に達する。

また、汚れの進行状況により汚れの見えは、I IIの様な不均一な汚れとIIIの均一化した汚れに大きく分けられる。不均一な汚れは汚れた部分が無意味な模様となるため景観的にきたなく見られがちである。

生物的な汚れが生じるか否かは、生育に必要な水分・栄養分、日照条件等に制約されるため、同じ構造物でも部分ごとに大きく異なるといえる。鮮苔類は、土粒子等が凹部に堆積し、雨水を保持するような条件の下で生育が観察された。今回調査対象としたのり面工については、経過年数が20年以下と短いためか、苔類はほとんど観察されなかつたが、橋梁については20年以上経過したもの多くに苔類の生育がみられた。コンクリート表面で苔類が生育する迄には長期間を要するものと思われる。藻類は、常に湿度が高いところ、あるいは水みちに沿って生育が見られ、容易に生育を始めるが、乾藻に弱いため鮮苔類と比べてライフサイクルが短い。藻類が乾燥により死滅すると黒色に変化し、汚れとして目立つ。仕入によると、真菌類(かび)はこれを栄養分に繁殖するとしている。地衣類は、鮮苔類と共生するものと、風化が進んだ乾燥した面に土粒子等の付着物を伴わず直接生育するダイダイゴケが観察された。

(2) 汚れ過程の色彩の変化

のり面工の汚れの色相はマンセル値の5Y, 10Y, 5Y R, 10YRである。ほとんど灰色に近く、ほんのわずか黄または橙が混ったもので、また明度は9.0～5.0の範囲で分布し、彩度は1から2の間で非常に低く渋い色であった。のり面工は経過年数20年以下で、その汚れは大半が土、砂等の付着と菌類など生物によるものであった。

橋梁の汚れは色相が建設後(5Y, 10Y)黄色系から(5YR, 10YR)橙系へ変わり、さらに(5GY, 10GY)黄

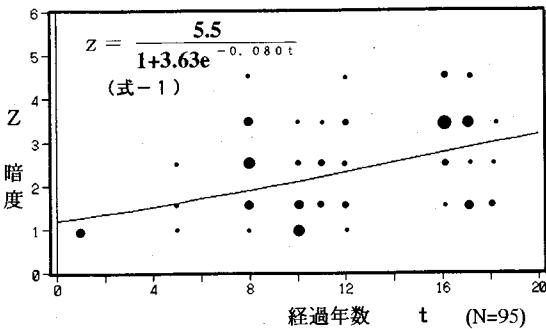


図-4 吹き付け擁壁（日向側）の汚れの経年変化

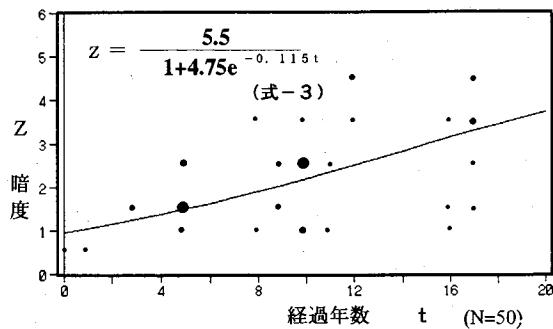


図-6 ブロック積み擁壁（日向側）の汚れの経年変化

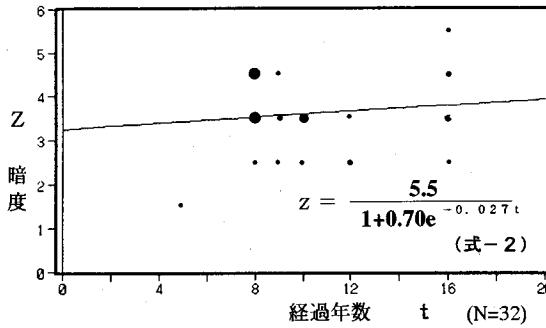


図-5 吹き付け擁壁（日陰側）の汚れの経年変化

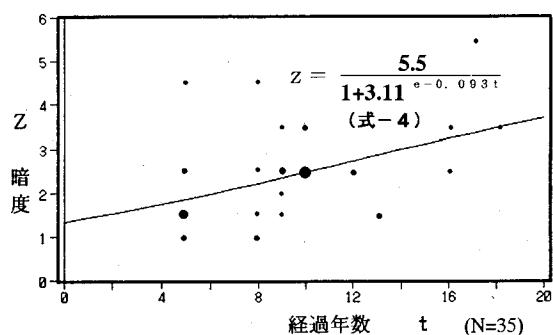


図-7 ブロック積み擁壁（日陰側）の汚れの経年変化

緑系へ変化した。明度は9.5から5.0の範囲で分布し、彩度は1と低かった。

橋梁の場合15年から20年を経ると苔が生えてくるものが見られた。色相が灰色に近い橙からGY（黄緑）系に変わるのはこのためである。

このようにコンクリート表面の色彩変化は色相のわずかな変化と明度の大幅な変化である。仕入の論文²⁾にも示されているように、明度の変化を指標に汚れの程度を表すのは妥当であると判断される。

4. コンクリート表面の時間変化

調査結果より経過年数をx軸、汚れの程度を表す明度を成長曲線のあてはめのため暗度（9.5—明度=暗度）と定義し直してy軸にプロットしたグラフを図-4～8に示す。

経過年数は構造物の完成年次から調査年までとした。のり面工の完成年次は、そののり面工が含まれる工事区間の竣工年次を使用した。工期は1年～3年の幅がありその間にのり面工が造られており、1～2年の誤差が生じる。橋梁は竣工年次をもって完成年次とした。小橋の場合は経過年数の誤差は一年以内であるが、長大橋になると上部工の建設と竣工年に時期的な差が出る場合もあり、誤差が1年以上になる場合も考えられる。

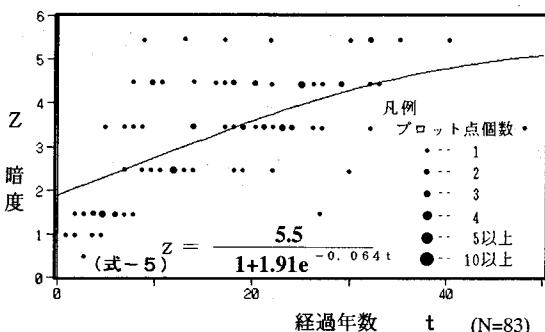


図-8 橋梁の汚れの経年変化

グラフからは次の4点が読み取れる。

- ①汚れていく速度は一定ではない。
- ②吹き付け擁壁（日陰）以外は初期はおよそ暗度1～2（明度8.5～7.5）である。
- ③暗度5.5付近（明度4.0）で定常状態に達する。
- ④同じ経過年数でも汚れの程度のバラツキが大きい。

汚れの過程としては、

- I) コンクリートは初期は表面がアルカリ性で生物が生育しにくく、また風化がないので緩やかに汚れが進行するが、
- II) 時とともに風化が進み、急速にはこりや生物の自然界の黒さの限界値へ近づいて

表-1 のり面工の汚れの要因の仮説

要 因		変 量
のり面工の特性	①経過年数 時間の経過と共に付着物が増加して汚れる。 ②汚れ物質の付着しやすい 表面が凸凹しているほど汚れが溜まり易く汚れ易い。 ③明度の初期値 測定対象のり面工の初期値の明度が低いほど汚れ要因として働く。	・施工年 ・表面処理 (ブロックの違い)
周辺環境の特性	①流下懸濁水の影響 対象のり面工上部の土地利用により、懸濁水の性質を決める。 ②付着物質の性質 付着物質の性質の違いが汚れやすさを決める。 ③大気の状態、地形の状態 山の谷間や標高が高いところは霧が発生しやすく汚れやすい。 ④付着物質の量 交通量が多いほど大気中の塵埃等が多く汚れやすい。	・のり面工上部の状態 ・周辺の土地利用 ・地形 ・気候(標高) ・交通量

Ⅲ) 定常状態へ達する
ことが考えられる。

このことから汚れの成長曲線としてロジスティック曲線(成長曲線)を仮定し推定した(式-1~5)。いずれも分散分析では有意であった。なお、分母のパラメーター-5.5は、コンクリートの初期明度9.5から実際に測色した苔やかび類の最も低かった明度約4.0を引いたもので、汚れたコンクリート表面の限界暗度として仮定している。

のり面工を種類別にみると、吹き付け擁壁は測定值のばらつきが大きい。これは表面に凹凸があり、一様でなく、汚れの付着しやすさも部分的に異なるためと考えられる。また、日陰側の初期暗度が高いのは経過年数が8年までのサンプルが少ないことが原因と考えられる。そのためこれだけ他のケースと異なった推定値を示している。ブロック積み擁壁については、日向側と日陰側で汚れの成長に大きな差が見られなかった。橋梁については、のり面工よりも汚れの成長がやや遅い。その要因としては、橋梁は、のり面工と比べて汚れ物質を含んだ雨水が流れにくうことによると思われる。

汚れ速度はロジスティック曲線の傾きから最も速い時期でおよそ一年間に0.1暗度が上昇(明度が低下)する(ただし、吹き付け擁壁の日陰側を除く)。よって、初期の暗度1から平均的にはおよそ40年で暗度5の定常状態近くへと推移することが明らかになった。しかし、実際には同じのり面工でも環境条件の相違によって早いものは10年~20年で定常状態へ近づいている。デザインや条件を操作すれば10年程度で定常状態へ達することも可能である。

以上、コンクリートの汚れの成長と経過年数との関係が概ね明らかになった。しかし、実測値のばらつきは大きく、汚れには経過時間以外に様々な要因が関与していると考えられ、これを次節においてさらに検討する。

5. 汚れ要因の考察

汚れは表面のテクスチャや劣化の程度に大きく依存し、劣化しやすい条件下では汚れやすいと推察される。J.W.Simpsonは、「構造物の外壁処理」¹⁾の中でコンクリートの全体の劣化について、技量(W)、環境(E)、使用(U)、使用の要因と設計の要因(D)、材料の本来の性質(P)の関数を用いて次のように示している。

$$\text{全体の劣化} = f[(D), (W), (E), (U)] \cdot [(P)]$$

さらに、環境(E)の要因が最大の因子で、特に外部表面上での微気候が果たす役割の重要性を強調している。以上を考慮し、判断可能なコンクリート表面の汚れの進行速度に影響を与える要因を抽出し、分析を行う。

(1) 汚れ要因の抽出

のり面工と橋梁の汚れの進行速度に関与する要因としては、構造物の①経過年数(生物の成長)、②デザインと表面状態の構造物自身の特性、構造物周辺の①微気候、②付着物質の性質の周辺環境の特性が挙げられる(表-1, 2)。また、施工の技量について対象サンプルに大きな差はないものと考えた。

のり面工については、調査対象が高速道路沿いにあるため自動車の粉塵や排気ガスが多い、のり面工上部の状態の影響が大きいと思われるためこれを考慮して変量を選定した。また、橋梁については河川上に存在している構造物であるため、水(湿気、水蒸気)の影響、河岸の植生の影響が大きいと思われるためこれを考慮して変量を選定した。

(2) 汚れ要因の分析

汚れの程度を表現したマンセル表色系の明度を外的基準として数量化理論I類を適用し、汚れ要因について分析した。本分析は、主に黑色物質(塵埃、

表-2 橋梁の汚れ要因の仮説

要 因	変 量	
橋梁の特性	①経過年数 時間の経過と共に付着物が増加して汚れる。 ②デザインの違い デザインが流下水の流れを決め、水道になるところほど汚れる。 ③気象の受け易さ 川幅が広いと風の影響を受け易いため汚れる。 日照条件により汚れ方が異なる。 ④水面からの近さ 水面に近いほど水蒸気が多く汚れやすい。	・竣工年 ・高欄の形式 ・橋梁の長さ ・架設方位 ・川底からの高さ
周辺環境の特性	①地形の状態 地形による気象の違いが汚れが汚れに影響する。 ②付着物質の性質 付着物質の性質の違いが汚れやすさを決める。 ③日照条件 隙になるところは水分を保ち易く汚れが付着しやすい。 ④河川と植生からの水蒸気の供給 湿度が高いと汚れが付着しやすい。 ⑤付着物質の量 交通量が多いほど大気中の塵埃等が多く汚れる。	・地域、地形 ・周辺の土地利用 ・日陰の有無 ・河川の水量及び植生 ・道路の規格

土粒子等)の付着や黒褐色の生物類の死骸や生育による明度低下に影響を及ぼす要因を明らかにするものである。

a) のり面工

数量化理論I類適用結果を表-3に示す。表中のアイテムは偏相関係数の大きい順に、カテゴリーはウエイトの小さい順(汚れやすい)にその値を示した。説明の良さを図る尺度である重相関係数は0.623で、サンプル数が295であることを考慮すると、低くないと判断される。各アイテムの説明度は、竣工年、表面処理、交通量の影響が大きいことが寄与度を示す偏相関係数より読み取れ、これらの要因が重複するほど汚れると考えられる。

次に、それぞれの要因のカテゴリーについて、ウエイトの値から判断する。竣工年は、竣工が古いほど(年月が経過するほど)汚れる傾向にあり、これは、既に4で明らかにした、表面処理の違い(擁壁の種類)は、汚れやすさに影響を与え、多少凹凸があるスプリットンブロック擁壁や、ざらざらしている吹き付け工は汚れやすく、表面が平滑なモルタルブロック擁壁や、平滑な打ち放し擁壁は汚れにくいと判断される。交通量は、竣工年に比例した累積台数を変量としたため、台数が多いほど汚れると予想されたが、100,000~300,000台において最も汚れやすいと説明されている。これは、竣工年と相関が高くその影響と考えられる。周辺の土地利用は、果樹地帯は汚れやすく、畑地帯は汚れにくい。これは風による土の舞い上がりかたなど付着物質の量の違いによるものと思われる。地形については、切り土面、盆地といった山岳部ののり面工は汚れやすく、平地が汚れにくい。山間の森林地域は生物生育条件が良い

表-3 数量化理論I類による汚れ要因分析結果

-のり面工- サンプル数: 295

重相関係数: 0.623

(-汚れてる 汚れていない+)

アイテム	カテゴリー	サンプル数	ウエイト	偏相関係数
施工年	S.41-S.45	82	-0.640	
	S.46-S.50	93	0.140	0.491
	S.51-S.55	105	0.138	
	S.56-S.59	15	1.672	
表面処理	モルタルブロック*	36	-0.250	
	吹き付け	128	-0.191	
	スプリットンブロック	57	0.0505	0.329
	滑面ブロック	15	0.0550	
	その他	32	0.537	
	打ち放し	27	0.700	
交通量	100,000~300,000台	126	-0.361	
	300,000~600,000台	73	0.00396	0.320
	40,000~100,000台	96	0.471	
周辺の土地利用	果樹園(葡萄・桃)	9	-0.402	
	市街・住宅地	30	-0.255	0.147
	山林	211	0.0200	
	畑	15	0.119	
	その他	22	0.163	
地形	切り土	20	-0.212	
	盆地	16	-0.191	0.138
	谷間	113	-0.0241	
	片側山	114	0.0824	
	平地	32	0.119	
のり面工上部の状態	平坦:草	12	-0.368	
	道路	17	-0.189	
	他ののり面工	13	-0.0774	0.106
	斜面:草+低木	30	-0.0592	
	平坦:草+低木	17	0.00256	
	斜面:草	89	0.00503	
	斜面:中木	82	0.0445	
	土	8	0.136	
	平坦:中木	27	0.158	
標高	700m以下	242	-0.0413	0.032
	700m以上	53	0.165	

*) モルタル面の正方形・八角形のブロック

ことによると思われる。のり面工上部の土地利用については、斜面であるより平坦地又は道路である方が風や汚れ物質の上からの流れなどの影響を受けやすく汚れやすいと思われる。標高については、説明力は小さく、汚れにあまり影響していない。

b) 橋梁

数量化理論I類適用結果を表-4に示す。のり面工と同様に、表中のアイテムは偏相関係数の大きい順に、カテゴリーはウェイトの小さい順にその値を示した。重相関係数は0.858で、サンプル数とカテゴリー数を考慮しても低くないと判断される。偏相関係数より、竣工年、高欄の形式、地域・地形、周辺の土地利用の影響が大きいことが読み取れる。竣工年は古いほど、つまり経過年数が多いほど汚れる要因として働く。高欄の形式は、コンクリートの枠組み+金属製の柵の組合せのものが汚れやすく、金属製のものは汚れにくいという結果になっている。これは、測定位置より上部（高欄）のデザインにより決定される水みどり、高欄の金属の塗装やコンクリートの成分を含んだ雨水が関与していると考えられる。地域・地形は扇状地山麓や都市部よりも山間部、丘陵地が汚れやすい。これもあり面工同様、生物生育条件が山間部の方が良いものと思われる。周辺の土地利用は市街地や桃畠が汚れやすく、畑、葡萄畠が汚れにくい。これも風による土やほこりなど付着物質量の違いによるものと考えられる。川の状況は、河岸の植生が微生物の生育条件を良くしていることが読み取れる。

c) まとめ

のり面及び橋梁の結果から汚れ要因の影響は①経過年数の示す時間的要因と②デザイン及び周辺の地形、土地利用など生物生育環境条件とが大きいことが明らかになった。この結果は汚れ要因の仮説を検証したものと判断できる。

6. 汚れとデザインの考察

本研究の結果からデザインと汚れの関係の考察を行う。まず本論文では以下のような立場をとっている。構造物が汚れたほうがよいかどうかは、構造物の種類や立地条件によるのではなく、あくまで構造物の施主やデザイナーが汚れをどう扱いたいか、すなわちコンセプト（デザインの目標）の設定により決まると考える。従って、ここでは汚れを取り扱う方法としては、①汚れを積極的に取り込む場合、②汚れを防止するため、汚れにくくする、または清掃や塗り替えなど管理する場合とに大別される。

以下、仮想ないいくつかの具体例に沿って考察を行ふ。

表-4 数量化I類による汚れ要因の分析－橋梁－
サンプル数：83 重相関係数：0.858

アイテム	カテゴリー	（－汚れている 汚れてない+）		
		サンプル数	ウェイト	偏相関係数
竣工年	S.41-S.52 -S.40 S.53-S.59	31 34 18	-0.685 -0.253 0.656	0.770
高欄の形式	コンクリート+金属バー A コンクリート+金属バー B コンクリート 金属（柵） 金属（ガーリレーム） 金属（上記以外）	6 15 6 12 32 12	-0.951 -0.410 -0.388 0.056 0.125 0.791	0.502
地域・地形	山間部 丘陵地 小盆地の扇状地 扇状地山麓 都市部	19 14 12 19 19	-0.552 -0.391 -0.111 0.446 0.464	0.453
周辺の 土地利用	市街地 果樹園（桃） 水田 山林 その他 畑 果樹園（葡萄）	7 9 13 10 13 16 13	-0.548 -0.409 -0.221 -0.107 0.040 0.180 0.705	0.450
河川の状況	水量：少 河岸：植生 水量：少 河岸：土砂 水量：多 水量：ほとんどなし	17 36 8 22	-0.564 -0.074 0.268 0.459	0.447
架設方位	NW N-S E-W NE	17 25 27 14	-0.403 -0.068 -0.067 0.741	0.422
橋梁の高さ	5m- -3m 3m-4m 4m-5m	23 14 28 18	-0.416 0.027 0.136 0.298	0.329
道路	国道 市町村道 県道	14 21 8	-0.435 0.025 0.116	0.261
日陰の有無	有り 無し	14 69	-0.325 0.066	0.188
橋梁の長さ	40m-100m 100m- 20m-40m - 20m	15 17 24 27	-0.213 -0.067 0.068 0.100	0.160

土木構造物の場合は管理が難しく、特にのり面のように汚れの防止が非常に困難な構造物もある。従って、明度の低い自然環境の中では汚れを取り込み早期にコンクリートの明度を下げ、周辺の明度に合わせることが考えられる。そのためには生物の生息しやすい環境条件を整え、要因分析で明らかになった対策を講ずればよい。

例えばのり面の場合、斜面全体で雨を受けるので、早く均一に汚れさせるためにコンクリートの表面を不規則にする処理がよく、吹き付けたままにする

（写真-1）、表面をはつり仕上げにする、割肌仕上げのコンクリートブロックを使う（写真-3）などがある。また橋梁の場合、鉛直面と水平面から構成されることが多いので、鉛直面に不規則によだれ状な

どの水みちができやすい。そこで、自履や桁にスリットやメッシュ模様を付けて水みちを作り早期に汚れる部分と、面全体がゆっくり汚れる部分とに分けて模様を見せるなど汚れをデザインに取り込むことが考えられる（写真-4）。

一方、都市の中では場所によるが、建物と接していたり、高架橋など目立つため、汚れを防止することが望まれることがある。例えばのり面のように、全面で雨や塵埃を受ける場合は、打ち放しや樹脂塗装やタイル張りなど、表面を出来るだけ滑らかに処理することによって汚れ物質の付着を防止し、あわせて生物生息条件を悪くする方法が効果的である。他に、抗菌・防かび薬剤塗布、混和剤や吹き付け剤など、化学的溶剤やセラミック塗装などの表面処理の方法も開発されている。これらは、コンクリートの質感を損なわずに、塩害などの悪条件下で効果を発揮することができるものもあり、耐久性やコスト面を考慮しても必要性と利用可能性は高いと思われる。

橋梁の場合は、鉛直面の水みち処理が重要であるが、自履や桁のわずかな張り出しと水切りをつけて水みちを防止したり（写真-5）、水はパイプで処理しコンクリートの表面を伝わらないようにすることが考えられる。

さらに仕上げを黒っぽくしたい場合に、擁壁の表面の黒いブロックや自然石埋め込みブロックを使い、目地に塗装をしなくても水みちとすることで、時とともに一様な黒っぽい表面に仕上げることも考えられる（写真-6）。

清掃や塗り替えなどの管理は、打ち放しコンクリートでは、明度が1低下するおよそ10年を目安に行うことも考えられる。

汚れ対策としては進行を速めたり遅くしたりできるがなくすることはできない。汚れの発生や、管理などを考慮した構造物デザインのコンセプトを設定するのが望ましい。

また、汚れてしまったコンクリートの表面処理においては、汚れたことがよいと施主が判断すればそれでよいが、修景をはかりたい場合には、①構造物の造りなおし、②表面をけずって補修（ビル等）、③表面を洗う（石造物では多い）、④他の素材で覆う（首都高速道路六本木付近など）、⑤表面を塗装する（横浜市根岸線関内駅）、⑥樹木などで隠すなどの方法が考えられ実際に行われている。

7.まとめ

本研究では、中央自動車道沿いののり面工と甲府盆地の橋梁を対象にコンクリートの汚れ過程を把握し、時間の経過に伴う汚れの程度を明度で捉え、汚れの進行速度に影響を与える要因の分析を行った。

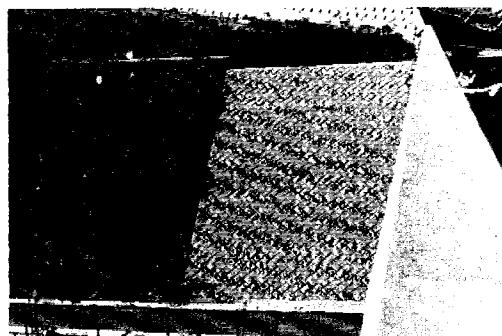


写真-3 割りブロックの擁壁で汚れを促進させ、周囲の緑となじませる。（中央自動車道）



写真-4 上からの汚れ水を流れやすくし、早期に汚してなじませる。（中央自動車道）

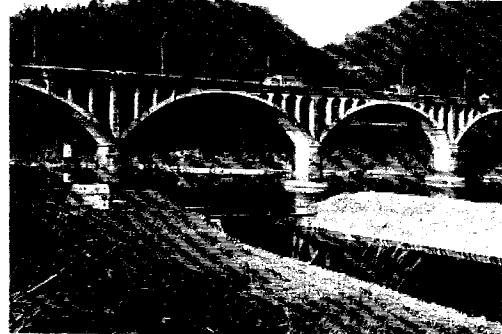


写真-5 橋の桁のわずかな張り出しによって下部の汚れを遅らせ、白色を保っている。（小倉橋 相模川）

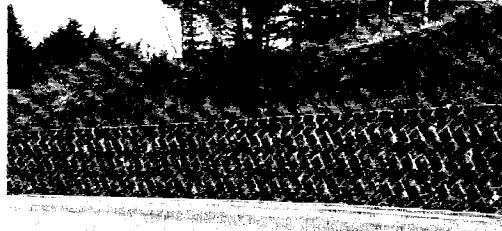


写真-6 施工時は目地のパターンが白く出ているが、時とともに汚れて全体が一様の面になり、デザインが変化する。（富士スバルライン）

その結果、次のことが明らかになった。

- ①汚れ過程のメカニズムについて整理し、時間と汚れの関係を明らかにした。
- ②のり面工及び橋梁のコンクリート表面の明度に着目した汚れの成長はモデル曲線としてロジスチック曲線で表現され、明度4.0付近（暗度=9.5—明度=5.5）で定常状態に達する。
- ③中央自動車道沿いののり面工及び甲府盆地内の橋梁を対象とした汚れ要因の数量化理論Ⅰ類の分析結果より、影響の大きい要因としては、

- I) 時間の経過、
- II) 高欄の形式や表面処理などのデザイン、
- III) 周辺の土地利用や地形すなわち生物の生育環境条件、であることが明らかになった。

本研究では、のり面工と橋梁のコンクリート表面の汚れの過程について定量的に把握することができた。この結果は中部日本の内陸地域の気候条件下でのものであり、地域が異なれば結果が異なることは十分予想される。例えば高温多湿地域ではかびや苔やシダの成長も格段に速いであろうし、より黒い種類が存在する可能性も無いとは言えない。乾燥地域では汚れはかびよりも塵埃によるものの方が大きいかもしれない。今後異なる地域や他の構造物でのスタディと、汚れの取り込みや防止のための構造物細部のデザイン的な検討が必要であろう。

謝辞：本研究を進める上で、資料を提供して頂いた日本道路公団、山梨県庁各位、並びに調査・分析に当り協力頂いた新谷景一氏（東京都庁）、蛭川嘉寿氏（タケダ理研工業）、松枝 豊氏（片平エンジニアリング）、渡邊直幸氏（住宅・都市整備公団）に謝意を表する次第です。

引用・参考文献

- 1) J.W.Simpson · P.J.Horbin: The Weathering and Performance of Building Materials, Medical and Technical England 1970. 松尾新一郎監訳：「構造物の外壁処理」、化学工業社、1972.
- 2) 仕入豊和、風間真也、橘高義典：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1、その2）、日本建築学会講演、pp.353-356、1980.
- 3) 仕入豊和、橘高義典：建築物外壁面の汚染に及ぼす流下懸濁水の影響（その1、その2）、日本建築学会講演、pp.309-312、1985.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 松浦茂樹・島谷幸宏：明度からみた護岸景観、土木学会講演、pp.464-465、1987.
- 7) 山田 衛、佐々木和実：コンクリートダム表面の変色原因について、土木学会講演、pp.160-161、1992.
- 8) 新谷景一、蛭川嘉寿、北村真一：コンクリート構造物表面の時間変化—汚れについて、土木学会講演、pp.379-380、1985.
- 9) 皆川朋子、北村真一、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)-1、pp.169-176、1992.
- 10) 渡邊直幸、佐藤俊明、北村真一、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、
- 11) 渡邊直幸、佐藤浩史、佐藤俊明、北村真一：コンクリートブロック積み擁壁の視知覚特性、土木計画学研究講演集No.15(1)-2、pp.989-994、1992.
- 12) 松井勇：材料表面の濡れとよごれに関する研究（材料表面の乾燥について）、日本建築学会講演、pp.389-390、1986.
- 13) 上村克朗、小西敏正、橘高義典、上林正、堀文雄：外壁仕上材の汚染促進試験方法の検討、日本建築学会講演、pp.697-698、1987.
- 14) 上村克朗、小西敏正、橘高義典、村田修：建築材料の表面状態と汚染性について—（その1）表面粗さの影響—日本建築学会講演、pp.133-134、1988.
- 15) 橘高義典、上村克朗：建築外壁材料の汚染に関する研究（その1）庇下部壁面材料促進試験方法、日本建築学会講演、pp.705-706、1990.
- 16) 大内秀幸、橘高義典、上村克朗、小西敏正：建築外壁材料の汚染に関する研究（その2）材料の汚染と復性について、日本建築学会講演、pp.707-708、1990.
- 17) 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、日本建築学会講演、pp.709-710、1990.
- 18) 大島明、松井勇：屋外暴露による建築外装材料のかび汚染について、日本建築学会講演、pp.735-736、1990.
- 19) 辻本吉寛、大羽伸和、須藤哲也：建築物外壁面の藻類による汚染把握の現象把握と評価方法に関する研究、日本建築学会講演、pp.397-398、1991.
- 20) 水山高久、中野陽子：砂防ダムコンクリートの明度の経年変化、新砂防、Vol.41、No.5、pp.30-31、1989.
- 21) 建設省河川局河川計画課、土木研究所：水辺空間の評価に関する研究、第41回建設省技術研究会、pp.835-842、1988.

(1993. 9. 7受付)

AN ANALYSIS OF THE PROCESS OF CONCRETE DISCOLORATION : IN THE CASE OF SLOPE PROTECTION AND BRIDGES

Shinichi KITAMURA, Tomoko MINAGAWA and Toshiaki SATO

The purpose of the study is to reveal the mechanism, the process and cause that concrete discoloration over a period of time. Based on the survey of the color and the age of slope protection of Chuo Express way and the bridges in Yamanashi prefecture, the fitting of logistic curve as the growth-model of discoloration and the analysis of speed of discoloration by the quantification method type I were done. The result is as follows: ① the relation between discoloration and time can be estimated by logistic curve and it takes about 10–20 years for concrete surface to become dark color (value is about 4.0), ② the speed of discoloration and the slope protection and bridge concrete is influenced by the characteristics of the structures and their environment, i.e.: time, texture, design, location, landscape, sunshine, traffic.