

道路構造物の汚れに関する検討

THE STUDY IN THE STAIN OF ROAD STRUCTURES

徳永法夫*、西村昂**、日野泰雄**、是澤元博***、尾松豪紀****

Norio TOKUNAGA and Takashi NISHIMURA and Yasuo HINO and Motohiro KORESAWA and Hidetoshi OMATU

- * 阪神高速道路公団 保全施設部 (大阪市中央区久太郎町4-1-3 大阪センタービル)
- ** 大阪市立大学 工学部 土木工学科 (大阪市住吉区杉本3-3-138)
- *** 株式会社長大 地域環境計画部 (大阪市西区新町二丁目20番地6号)
- **** 株式会社メロエエンジニアリング 調査設計課 (名古屋市中村区名駅南1-24-21 三井ビル別館)

It wouldn't be maintained the landscape that the long life painting aiming at cutting down cost of the maintain and administration on the urban elevated road, if the urban elevated road stained. As a result of investigating and analyzing the stain adhering to the road structures, we considered that the stain are classified two kinds. One is relation with rainwater, the other is non-relation with rainwater. We considered that the stain by rainwater, the stain by a water leak from the expansion joint, and the stain by the exhaust gas are problems. Therefore we analysed and studied the stain measure by low polluting paint, cleaning, the plan of structure and color. And we examined it.

Key words: stain, road structure, measure

1. まえがき

道路構造物は様々な景観対策が実施されており、低コストで、美観を長期的に保つことができる維持管理手法の確立が求められている。道路構造物のメタルの大部分は塗料で被覆されているため、維持管理に要するコストを低減することを目的とした塗装の長寿命化が推進されている。しかし、後日塗装面に汚れが付着し、長寿命に対応する景観性が維持できないことが現状である。

そこで本稿では、道路構造物の汚れに着目し、汚れの実態と汚れ対策のあり方について考察を行った。

2. 塗料の長寿命化とコスト

道路構造物の塗装の塗替コストを減少できれば維持管理に要するコストの増大を抑えることも可能であると考えられる。そこで、塗装仕様ごとに清掃を加味しない場合の塗替コストの比較を行った。

橋梁の寿命を100年と仮定した場合、塗装仕様ごとの塗装経費と1年当たりの保全費を試算し、各仕様ごとの期待年数で塗り替えたとした場合の総塗装経費を表-1、図-1に示した。

期待年数の高い仕様は、新設時の経費は高いが100年間の総経費を考えた場合はコスト的に有利であると考えられた。しかしながら、汚れの付着により期待年数の前に塗替する場合も無いわけではないため、汚れ対策の検討が必要であると考えられる。

表-1 各仕様ごとの総塗装経費

仕様	新設時 経費	期待 年数	塗替 費用 (1回)	塗替費用(100年)		100年間 総塗装経費
				回数	費用	
長油性フタル酸 樹脂塗料	6,503	5~6	6,578	16.7	109,853	116,356
ポリウレタン 樹脂塗料	13,157	14~16	8,162	6.7	54,685	67,842
アクリルシリコン 樹脂塗料	13,340	18~20	8,345	5.3	44,228	57,568
ふっ素 樹脂塗料	13,640	20以上	8,645	4.3	37,173	50,813

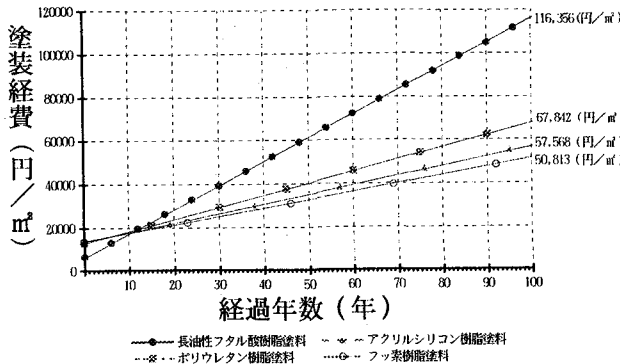


図-1 各塗装仕様ごとの総塗装経費

3. 道路構造物の汚れの実態

汚れ対策を検討するために、対象となる汚れを特定する必要がある。そこで、道路構造物に付着する汚れの原因、組成、およびメカニズムについて調査検討を行った。

3.1 道路構造物に付着する汚れの原因

高架道路構造物は、それぞれの形状や材料により多彩な表情を持っている。また、これらに付着する汚れも様々な形態を呈する。汚れの形態を原因別に分類すると、水に関係する汚れ、水に関係しない汚れに大きく分類することができる¹⁾。

道路構造物の汚れの原因を調査するため、都市内高速道路環状線において、目視調査で確認された道路構造物の92箇所の汚れについて、汚れの概要、原因について調査を行った。表-2に結果を示す。

表-2 汚れの原因

水の関与	汚 れ の 事 例	汚れの原因	調査数(%)
大	雨水の流れによる汚れ	雨水	33/92(36)
	ジョイント部の漏水による汚れ	雨水	21/92(23)
	褐色の汚れ	錆汁	21/92(23)
	白色の汚れ	遊離石灰	9/92(10)
	緑色の汚れ	藻、カビ	6/92(7)
小	雨水の当たらない部分の汚れ	塵埃	19/92(21)
	排気ガスによる汚れ	排気ガス	2/92(2)
	突起物付近の汚れ	――	2/92(2)
	凹凸面の汚れ	凹凸面	2/92(2)
その他	ハトの糞	ハトの進入	3/92(3)
	塗料の劣化による汚れ	塗膜の劣化	5/92(5)
	排気口上部の汚れ	排出物	2/92(2)

水が関係する汚れは主に雨水やジョイント部からの漏水が流れたスジ状の汚れであり、全体の汚れの中の約6割を占めており、最も多く見られる汚れである。コンクリート面等に見られる水に関係するスジ状の汚れには褐色、緑色、白色と様々な色が見られる。(photo. 1～2)

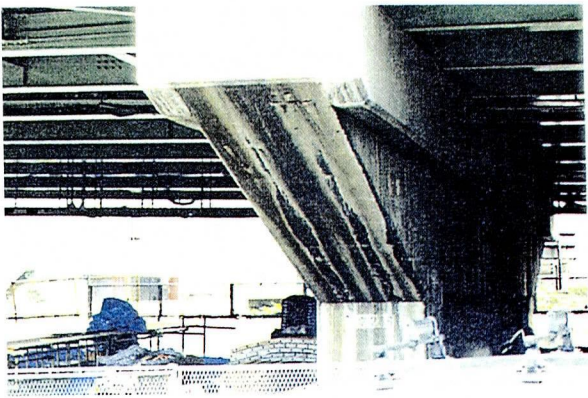


photo. 1 橋脚に見られる雨水の流れによる汚れ

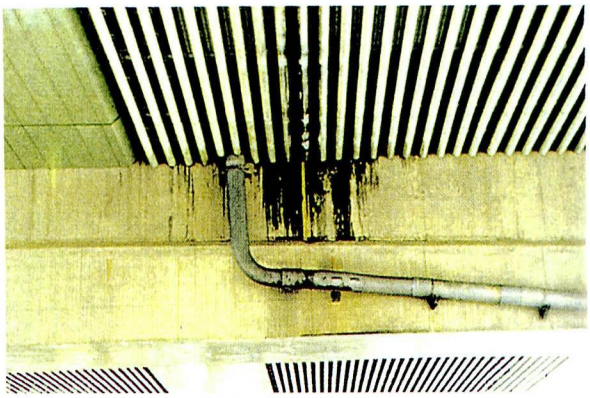


photo. 2 ジョイント部からの漏水による汚れ

水が関係しない汚れは均一なくすみや排ガスによる黒色の汚れ等があり、突起物や貼紙防止塗料の凹凸面のように道路構造物の形態によって汚れの付着の仕方が異なっている。(photo. 3～4)

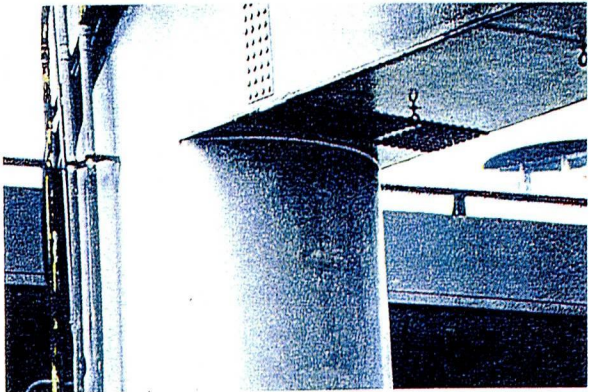


photo. 3 雨水が当たらない部分の均一な汚れ

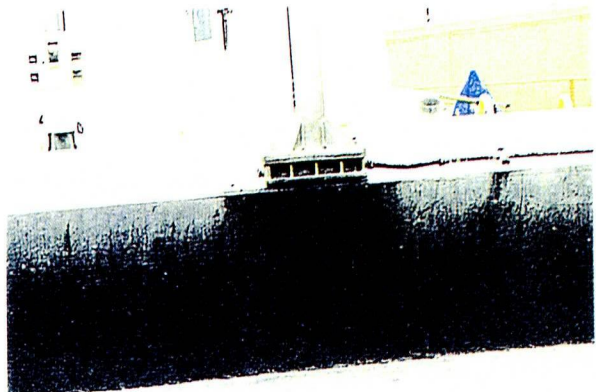


photo. 4 排ガスによる黒色の汚れ

以上の汚れの原因より、道路構造物に付着している汚れの中で量的にも質的にも特に問題となる汚れは以下の3つであると考えられる。

- ①橋脚等に見られる雨水の流れによる汚れ
- ②ジョイント部からの漏水による汚れ

③排ガスによる黒色の汚れ

これらの汚れの中で、①や②のような水に関係する汚れは全体の約6割を占めていることから、水周りの汚れ対策が必要であると考えられる。

3.2 道路構造物に付着する汚れの組成

道路構造物に付着する汚れの組成を調査するため、都市内高架道路の桁及び入路高欄に付着していた汚れとディーゼル自動車の排煙機中に付着していた微粒子を採集した。

これらの採集した検体を

- ・有機元素分析法によるC・H・N・灰分の定量分析
- ・親油性、親水性成分分析
- ・蛍光X線分析
- ・ガスクロマトグラフ質量分析

にて分析した¹⁾。

表-3～表-5に結果を示す。

表-3 鋼桁の汚れ

炭 素	17.0 %
水 素	2.0 %
窒 素	0.98 %
灰 分	65.4 %
親油性成分	76.8 %
親水性成分	23.2 %

表-4 鋼桁および排ガス中粒子に含まれる無機元素

検 出 元 素		鋼 桁 (相 対 量)	排 ガ ス 粒 子 (相 対 量)
Si	珪素	+++++	+++
S	イオウ	++++	++++
Ca	カルシウム	+++	++
Al	アルミニウム	+++	++
Fe	鉄	+++	+
K	カリウム	++	
Cl	塩素	++	
Mg	マグネシウム	++	
Na	ナトリウム	++	
Ti	チタン	++	
P	リン	+	
Zn	亜鉛	+	

注) +++++ 極めて多量
 ++++ 多量
 +++ やや多量
 ++ 少量
 + 微量

表-5 鋼桁及び排ガス中粒子に含まれる有機物

鋼 桁	排ガス中粒子
Propanoic acid, 2-methyl, 1-(1,1 dimethyl ethyl)-2-methyl-1.3-propanediyl estel	Propanoic acid, 2-methyl, 1-(1,1 dimethyl ethyl)-2-methyl-1.3-propanediyl estel
Hexadecanoic acid	
Octadecanoic acid	
1,2-Benzendicarboxic acid, bis(2-ethyl hexyl)estel	1,2-Benzendicarboxic acid dibthyl estel
n-C ₁₇ ～C ₃₃ パラフィン + 多環芳香族	n-C ₁₉ ～C ₂₂ パラフィン + 多環芳香族

表-3より、道路構造物の汚れは無機元素が多く含まれ、親油性成分が全体の約8割を占めていた。

また、道路構造物に付着した汚れと排ガス中粒子に含まれる汚れを比較すると、以下のような結果になった。

- ①いずれもイオウが多く検出された。
- ②同じ構造のエステルが検出された。また、極めて似た構造のエステルについても検出された。
- ③同分子量のパラフィンが検出された。
- ④多環式芳香族炭化水素(PAH)が検出された。

これらのことから都市内高架道路に付着する汚れは、自動車排気ガス（特にディーゼル車）と密接な関係があり、親油性成分比率が高かった。

3.3 汚れのメカニズム

都市内高架道路の汚れは大気中または排ガスからの微粒子等が付着している^{2) 3) 4)}。曝露試験後の試験片を走査型電子顕微鏡で表面観察を行った結果、汚れた試験片には10μm以下の黒色粉状粘着物が付着しており、その集合で汚れとなる黒い表面を形成していた。

汚れ微粒子が道路構造物表面に付着する作用には、Van der Waals力、吸着水膜による付着力、静電気吸引力、複合力の4種の付着力が関与する⁵⁾。また、汚れの形態別に見ると雨スジ汚れには表面張力、突起物周辺の汚れには特に静電気吸引力と空気の流れの影響が考えられる。

また、汚れ粒子に働く除去力Zは洗浄圧力Pに比例し、粒子径Rの二乗に比例する。すなわち、 $Z \propto PR^2$ で表現される。したがって、洗浄圧力が同じ場合は、粒子径が小さくなる程、除去力として作用する力は小さくなる。即ち、粒子の小さいもの程洗浄しにくい⁶⁾。

以上のことより、都市内道路構造物に付着する汚れは、付着粒子が小さく、除去することが容易ではない汚れであると考えられる。

4. 汚れ対策のあり方

都市内高架道路は都市景観の一部として様々な修景対策が求められているが、周辺の土地利用と関連して、美観維持が求められる度合が異なると考えられる。そのため、都市内高架道路の構造特性やその地域の地域特性を十分に理解した上で汚れ対策を進めていく必要がある。

表-6に構造特性、地域特性の要素の組み合わせに従い、各箇所における整備内容のレベル設定を示した景観整備対象地域の整備水準表を示す。この整備内容のレベルは「道路景観整備マニュアル案（昭和63年、建設省）」に基づき、レベルⅠは公団規定色による塗装・清掃を中心とした整備、レベルⅡは特殊色による塗装を中心とした整備と付属物等の設置位置の工夫、レベルⅢはカバーリングを中心とした整備と素材の工夫や彩色を中心とした絵・模様による特殊整備を行うものとした。

表-6 整備水準表

高速道路の特性（構造特性）													
特 化 部										一般部			
整備水準表		ランプ部		カーブ部		道路交差部		道路並走部		一般部			
		中心	周辺	中心	周辺	中心	周辺	中心	周辺			中心	周辺
高速道路周辺地域の特性（地域特性）	特化部	駅	商	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	
			他	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
		公園・オープンスペース	商	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
			他	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
		河川・橋	商	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
			他	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
		プロムナード	商	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ
			他	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	①	①
		その他	商	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ
			他	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	①	①
		一般部	商	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	①	Ⅰ	Ⅰ
			他	Ⅱ	①	Ⅱ	①	Ⅱ	①	①	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ

表-6より、レベルⅡ、Ⅲの地域が景観対策が必要であり、美観維持が強く求められる地域であると考えられる。そのため、レベルⅡ、Ⅲの地域は道路構造物に付着する汚れに対する対策の必要性が高いと考えられる。

道路構造物の汚れ対策の方法としては、

- ①汚れを付着させない。
- ②付着した汚れを落とす。
- ③汚れを目立たせない。

の3方法があると考えられる。

上記のような考えに基づいた汚れ対策の具体的な方法には、耐汚染性塗料・材料による汚れ対策、清掃による汚れ対策、構造設計・色彩設計による汚れ対策があると考えられる。

5. 道路構造物の汚れ対策

5.1 耐汚染性塗料・材料による汚れ対策

都市内道路構造物の汚れ対策は、前述「2. 道路構造物の汚れの実態」より、

- (1) 降雨の影響を受ける部位での汚れ対策
 - (2) 降雨の影響を受けない部位での汚れ対策
- の2つに分類して検討する必要がある。

(1) 降雨の影響を受ける部位での汚れ対策

道路構造物の中で降雨の影響を受ける部位については、降雨により汚れが除去される塗料が存在すれば、根本的な汚れ対策となると考えられる^{7) 8)}。

平成6年度に都市内高速道路の入路（日平均通行台数：12,200台/日、大型車混入率：32%）で実施した曝露試験の結果より、現在、塗料メーカーで開発されている耐汚染性塗料の中には、降雨による洗浄効果により、ほぼ初期状態まで汚れが除去される塗料があった⁹⁾。したがって、道路構造物の中で降雨の影響を受ける箇所に、耐汚染性塗料等を使用すれば、清掃を行わなくても初期の景観を維持でき、維持管理が容易になると考えられる。

(2) 降雨の影響を受けない部位での汚れ対策

道路構造物の中で降雨の影響を受けない部位は、橋脚、桁裏面等数多く存在する。また、これらの部位は、特殊色による塗装や素材の工夫や彩色を中心とした絵・模様による塗装及びカバーリング等による修景対策が実施されることの多い部位でもある。前述の耐汚染性塗料は、降雨による洗浄効果により、汚れを除去するものであるため、降雨の影響を受けない部位では降雨による洗浄効果を期待することはできない。

平成6年度に都市内高速道路の入路で実施した曝露試験より⁹⁾、開発されている耐汚染性塗料の大部分は、水拭きは勿論のこと、乾拭きにおいても、汚れを容易に落とすことができると考えられる。

以上のことより、降雨の影響を受けない部位での汚れ対策としては、近年開発された耐汚染性塗料と清掃を組み合わせることにより、対応することが短期的に実現可能な汚れ対策と考えられる。

5.2 清掃による汚れ対策

「4.1 耐汚染性塗料・材料による汚れ対策」より、雨のあたらない場所において清掃が効果的な汚れ対策になり得るということが示唆された。そこで、汚れ対策として清掃を扱うために、現在の清掃方法についてまとめる。

現在、都市内高架道路の路面清掃は人力や機械による湿式及び乾式清掃が行われており、清掃の実施にあたっては、交通量や現状に応じて清掃頻度が決定されている。

参考として表-7に都市内高速道路公団等における標準的な部位別の清掃頻度、清掃方法及び使用洗剤を示す。

表-7 清掃頻度及び清掃方法

		清掃頻度	清掃方法 (使用洗剤)
路面	本線	25回/月*	湿式機械清掃
	出入路	4回/月*	機械清掃
		3回/週*	人力清掃
トンネル	タイル壁面	1回/月	湿式機械清掃、乾式人力清掃
	内装板	1回/2ヶ月	機械清掃、乾式人力清掃
高欄	本線		湿式機械、人力清掃 (中性洗剤)
	入路	4回/年	湿式機械清掃、人力清掃 (エルミー)
桁		基本的に実施しない	
橋脚		基本的に実施しない	
橋梁ジョイント		1回/年	湿式機械清掃
遮音壁		1回/月	湿式機械清掃 (エルミー)
ガードレール		1回/年	湿式機械清掃、人力清掃
排水管		2回/月*、1回/年	湿式機械清掃、人力清掃
排水溝		1回/年	乾式人力清掃
排水柵		2回/月*	乾式人力清掃
橋梁集水柵		1回/年	乾式、湿式機械清掃
照明灯		1回/年*	乾式人力清掃
案内標識		1回/年	湿式人力清掃 (中性洗剤)
料金所ブース		1回/月	湿式機械清掃 (エルミー)
		6回/月*	湿式人力清掃 (ガラスマイベツト)

※ 交通量40,000台/日の場合

都市内高速道路における道路清掃の現状は、主に道路利用者の安全、円滑な通行のための路面清掃とトンネル壁面等のような内部景観と安全面を対象とした部位と付属物の清掃が行われている。外部景観の対象である汚れた橋脚、高欄側面等の清掃は余り行われていないのが現状である。

次に、清掃は特殊な付属物以外は機械による湿式清掃が行われており、排ガスの影響を受けやすい部分では洗剤による清掃も行われている¹⁰⁾。

以上のように、現在の清掃は景観を保持するという目的で行われていないため、今後は清掃を汚れ対策の一つとして考えていくか検討が必要であると考えられる。また、清掃をするためには足場の設置や交通規制が必要であり、清掃コストの低減のためにも清掃の機械化・自動化、レベルについて検討する必要がある。

5.3 構造設計・色彩設計による汚れ対策

構造設計・色彩設計による汚れ対策として検討するために、道路構造物の汚れを水の関係する汚れと水の関係しない汚れに分類し、それぞれ基本方針を立てた。

水に関係する汚れに対する基本方針は、

- ①雨水の回り込みを防ぐために水を切る。
- ②水平面の水は排水施設を設置する。
- ③清掃の容易さを考慮し、外面に流さず内側へ排水する。

水に関係しない汚れに対する基本方針は、

- ①汚れを目立たなくする。
- ことが上げられる。

上記の基本方針に基づいた汚れ対策として、橋脚に見られる雨水の流れによるスジ状汚れやジョイント部からの漏水による汚れ等の水周りの汚れに対しては垂直面の水切りやジョイント部の構造改良等による本体構造、添架物の工夫により汚れ対策が可能であると考えられる。

また、雨の当たらない場所での均一に付着した汚れには清掃による対策が主であるが、汚れが目立ちにくい色彩による処理、表面のテクスチャー処理により、汚れのムラ等を目立たせなくする処理が考えられる。

以下に構造・色彩による汚れ対策のイメージ図を示す。

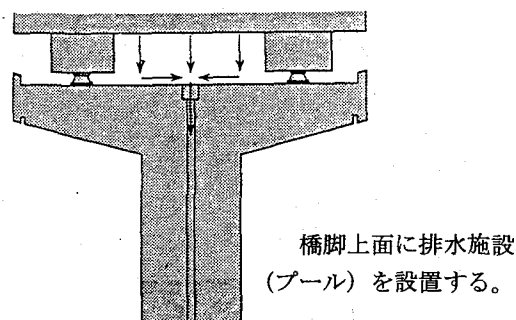


図-2 構造による汚れ対策のイメージ図

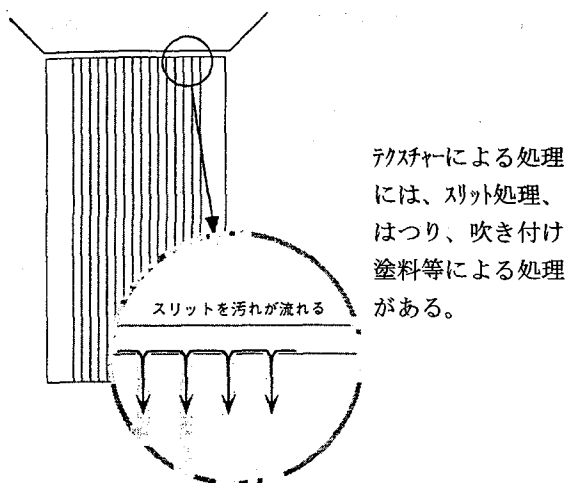


図-3 色彩・テクスチャーによる汚れ対策のイメージ図

以上のような構造・色彩による汚れ対策は今後、施工性、コスト等を踏まえた現実的な対策の選定手法の確立が必要であると考えられる。

6. まとめ

塗装の塗替コストは期待年数の高い仕様の方が、新設時の経費は高いが100年間の総経費を考えた場合はコスト的に有利であると考えられる。しかし、汚れの問題を解決しなければ、都市部等の汚れが付着しやすい環境では使用できる場所を制限される可能性もある。そこで、道路構造物に付着する汚れについて調査を行った結果、都市内高架道路構造物に付着している汚れは、親油性成分の比率が高く、付着粒子が小さいことより、除去しにくい汚れであると考えられた。また、汚れの中で特に問題となるのは橋脚等に見られる雨水の流れによるスジ状汚れ、ジョイント部からの漏水による汚れ、排ガスによる黒色の汚れであった。

道路構造物の汚れ対策については降雨の影響を受ける部位と受けない部位に分類して検討した。

降雨の影響を受ける部位については、耐汚染性塗料等を使用することによって初期の景観を維持できる可能性があることが明らかになった。

また、降雨の影響を受けない部位については、拭き取りによる汚れ除去性が高いことから、近年開発された耐汚染性塗料と清掃とのを組み合わせを考える必要がある。

現在行われている清掃は道路機能を維持するための路面清掃、トンネル壁面等を対象とした部位と付属物の清掃が行われており、景観的な影響が大きい橋脚や高欄等の清掃は余り実施されていない。

構造・色彩による汚れ対策としては水まわりの汚れに対する本体構造や添架物の工夫、均一な汚れに対する色彩、表面のテクスチャー処理が考えられる。

現在、町づくりにともなって様々な景観対策が進められている。しかし、優れたデザインを取り入れても、後日汚れ等により、目的とする美観を維持することができない場合も多い。よって、景観設計においては、投資と効果、および効果の持続性について考慮すべきであると

考えられる。

したがって、本研究が今後の道路構造物の景観設計において一つの参考になるものであると考える。これからの土木設計は単に標準仕様の材料を使用するのではなく、目的にあった材料を選ぶ時代であると考えられる。

参考文献

- 1) 徳永法夫、尾松豪紀：都市部における道路構造物の汚れ対策、防錆管理、Vol. 40, No. 4, 1996
- 2) 橋高義典、仕入豊和、上村克郎：コンクリート表面への懸濁微粒子付着に関する研究、コンクリート工学論文集、1992. 7
- 3) 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、S61. 12
- 4) 橋高義典、上村克郎、小林敏正：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、S63. 1
- 5) 坂下攝：入門粉体トラブル工学 実践的粉粒体プロセス設計、1985. 12
- 6) 橋高義典：コンクリート構造物の美観維持、コンクリート工学、Vol. 34, No. 2, 1996. 2
- 7) 片脇清士：汚れ対策の重要性和塗装の役割、鋼橋塗装、VOL. 21, No. 4, 1993
- 8) 片脇清士、寺田剛、西崎到：耐汚染性に優れた高耐久性被覆材料に関する研究、第20回日本道路会議論文集
- 9) 徳永法夫、尾松豪紀：道路構造物の汚れ対策 第18回鉄構塗装技術論会発表予稿集、平成7年9月
- 10) 井上幹夫、高田尚、時枝寛之：透光性遮音壁による清掃と点検の機械化、1995年

(1997年9月26日受付)