

## ◆ 報文 ◆

# 土木構造物の防汚技術に関する研究

寺田 剛\* 守屋 進\*\*

## 1. まえがき

近年、橋梁などの土木構造物は、自動車排ガス等による汚れが目立ち、景観・美観を損ねているとともに、トンネル内では、汚れによって視認性が低下することによる事故の増加が指摘されている。

このため、汚れにくい材料や汚れを落としやすい材料の開発、および効率的に汚れを除去する技術の開発が望まれている。これらの技術が開発されると、構造物を美しく維持するとともに、事故の抑制や安全性の確保、ならびに清掃回数の削減による経費の節減が可能となる。

そこで本研究では、土木構造物を美しい状態で維持するために汚れにくい材料や汚れを除去しやすい材料の開発、性能評価および汚れ評価試験方法の確立を目的とする「防汚材料の開発」と、既存構造物の汚れを効率的に除去する除去技術の開発、性能評価および汚れ除去技術の評価方法の確立を目的とする「汚れ除去技術の開発」を行った。これらの研究成果<sup>1)</sup>として、「汚れ評価方法の提案案」、「防汚材料の性能基準(案)」、「土木構造物用防汚材料の利用技術ガイドライン(案)」、「土木構造物の新汚れ除去技術の手引き」を作成した。

## 2. 共同研究実施体制

本研究は、一般公募した防汚材料を有するメー

カー 17 社、ならびに汚れ除去技術を有するメンテナンス会社 3 社の延べ 20 社と建設省土木研究所が共同研究で行った。共同研究に参画した会社名を表-1 に示す。本研究の全体研究内容を図-1 に示す。

## 3. 防汚材料の開発

### 3.1 研究方法

#### 3.1.1 暴露試験

防汚材料の評価は、屋外とトンネルで 2 回の暴露試験により行った。屋外暴露試験は、汚れ程度の少ないつくば(土木研究所構内)と汚れの著しい東京(東京都品川区大井南)で行った。つくば暴露は、降雨を受ける(雨有り)条件で、東京暴露は、降雨を受ける(雨有り)と降雨を受けない(雨無し)2 条件で行った。いずれも試験片は垂直に暴露した。トンネル暴露は、丸子薬科トンネル(静岡市国道 1 号静清バイパス、L = 2,027m、2 車線、交通量 26,400 台/日)の内装板上の内壁に試験片を取り付けて行った。

#### (1) 調査項目

試験片の調査は、未水洗部と水洗部で行った。測定は光学計測として、色彩測定、鏡面光沢度測定、拡散反射測定を、汚れ程度の官能評価として、グレースケール対比評価および目視官能評価を行った。目視官能評価は、暴露した試験片を汚れている順に一列にならべ(トンネル暴露はトンネ

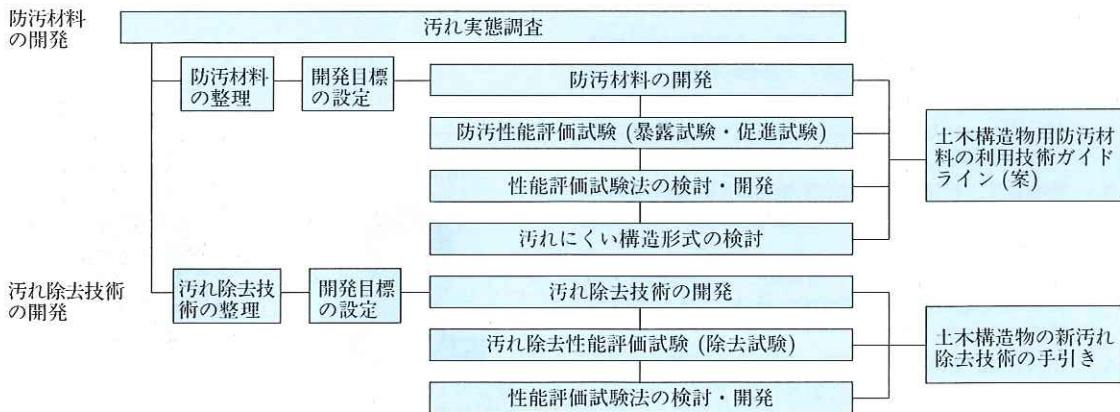


図-1 研究全体内容

表-1 共同研究「構造物の防汚技術の開発」参加会社一覧表  
(五十音順)

WG	会社名	WG	会社名
材料開発WG	アトミックス(株)	材料開発WG	(株)トウペ
	エスケー化研(株)		日鐵建材工業(株)
	関西ペイント(株)		日本ガイシ(株)
	(社)軽金属協会		日本ペイント(株)
	恒和化学工業(株)		日本油脂(株)
	神東塗料(株)		古河電気工業(株)
	積水樹脂(株)		ヨシモトポール(株)
	大同塗料(株)		ショーポンド建設(株)
	大日本塗料(株)		中国塗料(株)
	中国塗料(株)		(株)トータルサービス
汚れ除去WG		汚れ除去WG	

ル内で)、共同研究参加者(土木研究所、材料開発ワーキングメンバー)と道路管理者(建設省、日本道路公団、首都高速道路公団、東京都)が許容できる汚れ程度を評価した。

## (2) 防汚材料

防汚材料は、第1回暴露試験では屋外用91試験体、トンネル用62試験体、第2回暴露試験では第1回暴露試験に供した防汚材料より、更に汚れにくくなるよう親水性を高めるなどの改良を加えた屋外用106試験体、トンネル用62試験体を供試した。第2回暴露試験の防汚材料を樹脂系別に分類して図-2に示す。

### 3.1.2 促進試験の検討

防汚材料の性能評価は、使用する場所で暴露試験することが原則である。しかし、結果ができるまでに長時間かかるため、暴露試験結果と相関性が高く、誰にでも簡易かつ簡便・迅速に防汚材料の性能を評価できる促進試験方法を開発した。

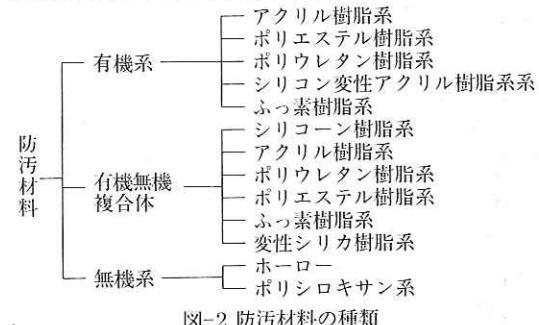


図-2 防汚材料の種類

## 3.2 試験結果

### 3.2.1 屋外暴露試験

第2回東京雨あり、東京雨なし暴露1年とつくば暴露2年の水洗、未水洗の明度差 $\Delta L^*$ の経時変

化を図-3~5に示す。明度差の値は、汚れを明暗の差として表したものであり、色差計で計った初期値の $L$ 値から測定値の $L$ 値を引いた値である。0に近い程汚れておらず、-10を越えると非常に汚れていることを表す指標である。東京雨ありでは未水洗の平均値を見ると、12ヶ月まで徐々に $\Delta L^*$ が低下しているが、12ヶ月の $\Delta L^*$ は-9と-10以上の値であり、あまり汚れはひどくなかった。これに対して、東京雨なしでは、暴露12ヶ月の未水洗 $\Delta L^*$ の平均値は-18と-10をはるかに下まわっており、汚れはひどかった。しかし、この未水洗部の汚れは水洗することによりきれいに落ちた。この中で-10以上と汚れが少なかった試料はホーロー2種と無機系塗料2種であった。また、つくばでは、東京雨あり、なしと比べると汚れは少なく、全ての防汚材料の $\Delta L^*$ は-10以上であった。なお、図-3~5において、 $\Delta L^*$ がプラスになっているものがあるが、測定法の誤差範囲

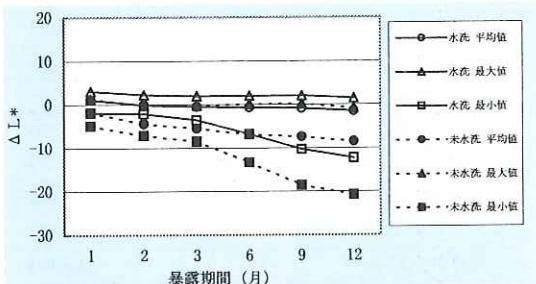


図-3 明度差の結果 (東京雨有り)

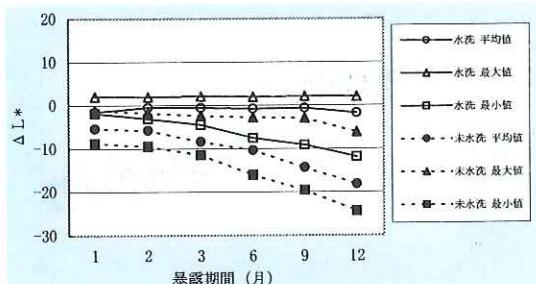


図-4 明度差の結果 (東京雨なし)

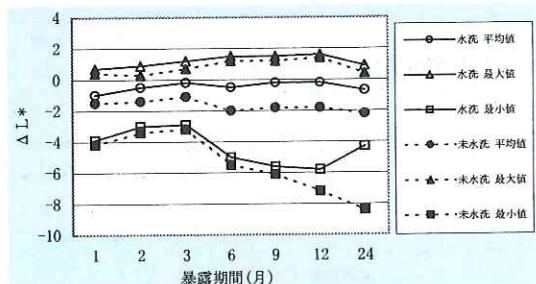


図-5 明度差の結果 (つくば雨有り)

であり、基本的にはプラスになることはない。

### 3.2.2 官能評価

つくば暴露2年、東京雨有り、東京雨なし暴露1年の全暴露試験片を東京暴露場一ヵ所に集めて、汚れている順に一列にならべ、44名で許容できる汚れ程度を評価した。官能評価順位と各測定項目の相関(寄与率)を表-2に、官能評価順位と明度差 $\Delta L^*$ の関係を図-6に示す。この結果、明度差 $\Delta L^*$ 、色差 $\Delta E^*$ 、 $L^*$ 値および写真判定がおおむね0.9と高い値を示した。

しかし、色差 $\Delta E^*$ は、黒色系である汚れ以外の色を評価してしまう可能性があり、 $L^*$ 値は初期値を考慮しないため公平に評価しない可能性がある。また、写真判定は、機器による測定ができる実構造物の汚れを簡便に評価する手法として

表-2 官能評価順位との相関(寄与率)

測定項目	第1回暴露試験	第2回暴露試験
明度差 $\Delta L^*$	0.9008	0.8993
色差 $\Delta E^*$	0.8962	0.8984
$L^*$ 値	0.9001	0.8729
$a^*$ 値	0.5626	0.4986
$b^*$ 値	0.7753	0.7570
60度光沢値	0.2526	0.0739
60度光沢保持率	0.4706	0.2862
グレースケール対比評価	0.8368	0.8377
写真判定評価(注)	—	0.8994

注) 第1回暴露試験片の中から10段階の汚れ度合いの写真を選定した汚れ評価標準シートを作成し、対比して評価した。

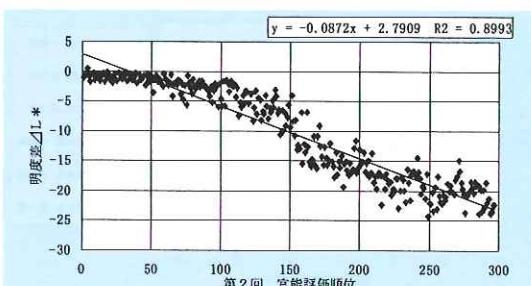


図-6 暴露試験の官能評価順位と明度の差関係

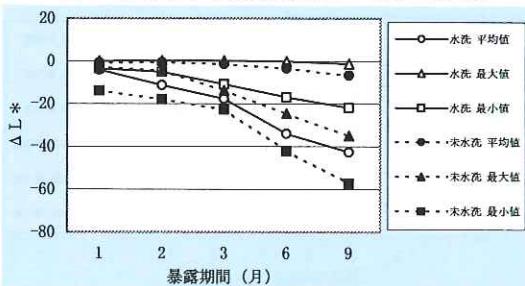


図-7 明度差の結果(トンネル)

実用性があると考えられる。このことから、初期値のばらつきの問題がない「明度差 $\Delta L^*$ 」と「写真判定」の2つを提案した。

### 3.2.3 トンネル暴露試験

第2回トンネル暴露9ヶ月の水洗、未水洗の明度差の経時変化を図-7に示す。防汚材料の $\Delta L^*$ の未水洗は平均で-42、最大値でも-35となりひどい汚れであった。しかし、水洗を行うと平均で-8まで回復した。

### 3.2.4 促進試験法の検討

第1回暴露試験片を用いて4通りの促進試験方法で試験を行い、適性を判定した。結果を表-3に示す。東京雨ありと高い相関を示したのは、水/カーボン(前処理無し)とターベン/カーボン汚れ促進試験であり、トンネルと高い相関を示したのはドライ汚れ促進試験であった。しかし、東京雨なしと相関のある試験法はなかった。これらの検討結果より、屋外環境の土木構造物に用いられる材料に対しては、汚れにくい材料であるかを評価する防汚材料評価促進試験方法I(案)(水/カーボン汚れ促進試験:水に懸濁したカーボンブラック汚染物質を試験板に吹き付け、乾燥して水洗後汚れ程度を $\Delta L^*$ で評価)を提案した。トンネル内に用いられる材料に対しては、清掃作業で容易に汚れ物質を除去出来る材料であるかを評価する防汚材料評価促進試験方法II(案)(ドライ汚れ促進試験:乾燥汚染物を試験板にふりかけ、水洗後汚れ程度を $\Delta L^*$ で評価)を提案した。

### 3.2.5 防汚材料の性能基準の提案

これまでの暴露試験や促進試験の結果、防汚材料を適用する場所により、「土木用防汚材料I種」、「土木用防汚材料II種」に分類し、表-4のように性能基準を定めた。

その根拠は以下の通りである。

I種は図-8に示すように東京雨有り未水洗と促進試験Iの間に高い相関があった。官能評価の結果から洗浄が必要を感じた人は、 $\Delta L^*$ で-8以下であった。

この $\Delta L^*$ を図-8にあてはめると、促進試験Iで-7以上となった。よって、土木用防汚材料I種の性能評価基準を-7以上と定めた。

また、土木用防汚材料II種は、図-9に示すようにトンネル暴露の水洗と促進試験IIの間に高い相関があった。トンネルでの官能評価の結果から、水洗後の汚れを許せないと感じる人は、 $\Delta L^*$ で

表-3 汚れ促進試験での相関性(寄与率  $R^2$ )

試験方法	試験条件	前処理の有無	東京雨あり		東京雨無し		丸子薬科		相関のある暴露条件( $R^2 > 0.7$ )
			水洗	未水洗	水洗	未水洗	水洗	未水洗	
水/カーボン 汚れ促進試験	乾燥温度(60 °C) 水洗方法(強水洗)	有	0.6	0.7	0.3	0.0	0.6	0.4	東京雨有り 未水洗
		無	0.6	0.8	0.3	0.0	0.5	0.4	
ターベン/カーボン 汚れ促進試験		有	0.2	0.8	0.1	0.0	0.1	0.0	東京雨有り未水洗
ドライ汚れ促進試験		有	0.6	0.3	0.3	0.0	0.8	0.2	トンネル水洗

表-4 土木用防汚材料の性能基準

適用場所	防汚材料の分類	防汚材料評価促進試験	性能基準
屋外土木構造物およびその付帯施設	土木用防汚材料I種	防汚材料評価促進試験方法I(案)	$\Delta L^* - 700$ 以上
トンネルおよびその付帯施設	土木用防汚材料II種	防汚材料評価促進試験方法II(案)	$\Delta L^* - 500$ 以上

$\Delta L^*$  は汚れの程度を評価する明度差を示し、JIS Z B 722 色の測定法に基づき色差計で測定する。

$\Delta L^*$  のマイナス値が大きいほど汚れていることを表す。

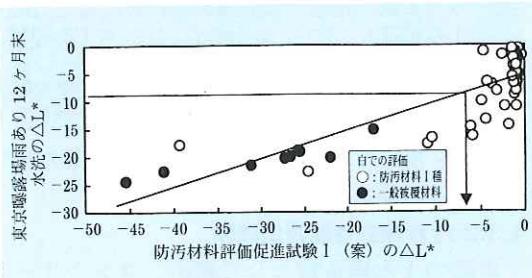


図-8 土木用防汚材料I種の散布図 n=54

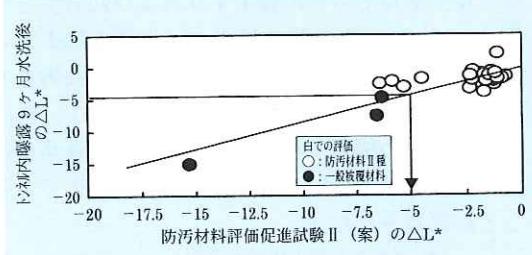


図-9 土木用防汚材料II種の散布図 n=34

-5 以下であった。この  $\Delta L^*$  を図-9 にあてはめると促進試験 II で -5 以上となった。よって、土木用防汚材料 II 種の性能基準を -5 以下と定めた。

### 3.2.6 土木構造物用防汚材料の利用技術ガイドライン(案)の作成

土木用防汚材料は表面を親水性にすることによって、汚れ成分である油性物質を表面に付着しにくくしたり、表面に着いても、雨や水洗によって汚れを落としやすくしたものである。この開発された防汚材料を土木構造物へ適用するための利用方法として防汚材料の規格基準、仕様、施工方

表-5 土木用防汚材料の性能基準

まえがき
1. 総則
1.1 適用範囲
1.2 用語の定義
2. 防汚材料
2.1 防汚材料の分類
2.2 防汚材料の選択方法
3. 施工
3.1 現場施工
3.2 工場施工品
4. 防汚材料の維持管理
付属資料-1 防汚材料評価促進試験
付属資料-2 汚れ評価基準シート
付録
付録-1 暴露場所
付録-2 汚れにくくするための構造上の配慮
付録-3 色調の選択

法などを記述した土木構造物用防汚材料の利用技術ガイドライン(案)の作成をした。目次を表-5 に示す。

## 4. 除去技術の開発

### 4.1 評価した汚れ除去技術

評価した 3 種類の新汚れ除去技術の写真を写真-1~3 に示す。また、表-6 に新汚れ除去技術の概要を示す。

### 4.2 試験方法

#### 4.2.1 現行清掃車での汚れ除去試験

丸子薬科トンネルにおいて、現在行っている清掃作業について、清掃車のスピードや清掃回数を変えた場合の汚れの除去程度を評価した。



写真-1 除去技術 A



写真-2 除去技術 B



写真-3 除去技術 C

#### 4.2.2 汚れ除去性能評価試験（除去試験）

共同研究会社3社より提案のあった3種類の新汚れ除去技術の性能を明らかにするために、2年間屋外暴露（東京暴露）した試験片を用いて汚れ除去前後の評価と実際の土木構造物（鋼橋桁、コンクリート橋台、トンネル内壁、コンクリート壁、レンガ調タイル、ガードレール、アルミニウム製手すりおよび防音壁）を対象として、3種類の除去技術の適用性を除去する前後の明度差を測定し検証した。各除去技術とも構造物や汚れの種類、汚れ度合いによって、洗浄剤やブラシの種類、吹き付け圧や水圧を適切に選択することによって、汚れをきれいに除去できることが確認された。

#### 4.3 試験結果

##### 4.3.1 現行清掃車での汚れ除去試験

現行清掃車の速度を半分にしたり、清掃回数を2倍にすることによって汚れ除去効果がどの程度向上するか試験を行ったが、5~10%の上昇しかなく、大きな効果は得られなかった。現行清掃車で

表-6 汚れ除去技術の概要

	技術概要	特徴及び留意点
除去技術A	数種類の洗浄剤を塗布することにより化学反応で汚れを分解し、最後に温水で汚れをすすぎ落とす工法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ブラシや圧力を使わないので処理面が傷つかない</li> <li>・80種類の洗浄剤によってどんな素材や汚れにも洗浄が可能</li> <li>・洗浄剤の改修が可能</li> <li>・汚れによって洗浄剤の種類を変えるため事前チェックが必要</li> </ul>
除去技術B	ドライアイスの粒を高圧空気で高速で噴射し、表面の付着物及び脆弱層を除去する方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水、洗剤、砂等を使用しないため残留物が出ない</li> <li>・ドライアイスの硬度が2~3のため処理面が損傷しない</li> <li>・残留物が残らないため次の工程に移れる</li> <li>・湿度が高い場合、結露が除去面につくので注意が必要</li> </ul>
除去技術C	円盤の中に高圧水の幅広平射ノズルと洗浄ブラシを同一円周上に配置し、その円盤を回転しながら移動し洗浄する工法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水とブラシを自動化しているため、作業効率、安全性作業環境が改善される</li> <li>・高圧水の洗浄だけでなく、ブラシも併用しているので高能率であり均一に洗浄できる</li> <li>・構造物によって作業者が変わるために、作業スペースが必要</li> </ul>

は時間をかけて丁寧に清掃しても除去効果の著しい改善は期待できないことが分かった。

#### 4.3.2 汚れ除去性能評価試験

実際の土木構造物として鋼桁、コンクリート橋台、コンクリート壁、レンガ調タイル、ガードレール、アルミニウム製手すりおよび防音壁を対象として、3種類の除去技術の適用性を除去する前後の明度差を測定し検証した。各除去技術とも構造物や汚れの種類、汚れ度合いによって、洗浄剤やブラシの種類、吹き付け圧や水圧を適切に選択することによって、汚れをきれいに除去できることが確認された。

表-7 新汚れ除去技術の手引き（案）目次

まえがき
1. 土木構造物と汚れ
1.1 汚れの種類と成分
1.2 汚れ除去とは
2. 現行の汚れ除去法
3. 新汚れ除去技術
3.1 新汚れ除去技術の適用範囲
3.2 新汚れ除去技術A
3.3 新汚れ除去技術B
3.4 新汚れ除去技術C
4. 新汚れ除去技術と現行清掃技術の比較
あとがき

表-8 土木用防汚材料の性能基準

材質	構造物	橋脚	橋桁	壁高欄	フェンス			外壁版	トンネル		擁壁	ガードレール	サイン・標識・ポール
					てすり	防音壁	透明板		内装版	覆工			
塗膜	常乾	◎	◎	◎	◎	◎	—	◎	—	◎	◎	○	◎
	焼付	—	—	—	◎	◎	—	◎	○	—	—	○	◎
コンクリート	◎	◎	◎	◎	◎	◎	—	—	—	◎	◎	—	—
プラスチック	—	—	—	—	—	—	○	◎	—	—	—	—	—
ホーロー	—	—	—	—	—	—	—	◎	○	—	—	—	—
タイル	◎	—	◎	—	—	—	—	◎	○	◎	◎	—	—
アルミ・ステンレス	—	—	—	—	◎	◎	—	◎	○	—	—	—	◎
ノッキ	—	—	—	—	◎	◎	—	—	—	—	—	○	◎
フィルム	—	—	—	—	—	—	—	◎	◎	—	—	—	◎

○：現行の清掃技術と新汚れ除去技術が対応可能な対象物を示す

◎：新汚れ除去技術が対応可能な対象物を示す

#### 4.3.3 汚れ除去技術の開発

土木構造物の汚れを既存清掃車と比較して効率的かつ効果的に除去でき、土木構造物を美しい状態に回復することができる3種類の新しい汚れ除去技術を開発することができた。従来の清掃技術はトンネル内壁やフェンスが主であったが、今回開発した新汚れ除去技術はほとんどの土木構造物および付属物に適用が可能である。

#### 4.2.4 土木構造物の新汚れ除去技術の手引き

開発した3種類の新汚れ除去についてとりまとめた「土木構造物の新汚れ除去技術の手引き」を作成した。目次(案)を表-7に、汚れ除去技術の適用範囲を表-8に示す。

#### 5. 謝辞

本共同研究の実施にあたっては、東京都立大学橋高助教授および日本道路公団技術部、首都高速道路公団保全施設部、阪神高速道路公団保全施設部の関係者に貴重なご意見をいただいたことをここに記して感謝します。また、防汚材料の暴露試験および実構造物を用いた汚れ除去試験の実施に当たり、多大なる御協力頂いた建設省関東地方建設局東京国道工事事務所金杉橋出張所および同中部地方建設局静岡国道工事事務所静清維持出張所の関係各位に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 建設省土木研究所化学研究室：共同研究報告書 第189,190,197～201号「構造物の防汚技術の開発」その1(第1回防汚材料の暴露試験結果), その2(汚れ除去技術の開発中間報告), その3(第2回防汚材料の暴露試験結果), その4(防汚材料評価促進試験方法), その5(土木構造物用防汚材料の利用技術ガイドライン(案)), その6(汚れ除去技術の開発最報告), その7(土木構造物の新汚れ除去技術の手引き)
- 日本道路公団大阪管理局速報資料, 1992.6

寺田 剛\*



守屋 進\*\*



建設省土木研究所  
材料施工部化学研究室  
研究員  
Masaru TERADA

同 化学研究室主任研究員  
Susumu MORIYA