

シラン系表面含浸材によるコンクリート壁面防汚対策に関する暴露試験について

(独) 土木研究所寒地土木研究所 道北支所 ○藤田裕司
(独) 土木研究所寒地土木研究所 耐寒材料チーム 遠藤裕丈
(独) 土木研究所寒地土木研究所 道北支所 高玉波夫

トンネルや都市部の橋梁等のコンクリート壁面では車両の排気ガスによる表面の汚れが生じている。このため交通安全や景観・美観面からも極力汚れが付きにくく、付着した場合も除去しやすい対策が求められてきた。また、昨今の財政事情が厳しいことから、経済的で効率的な維持管理を可能なものとする必要があった。一般的にコンクリート表面への汚れのつき具合は水の存在と密接に関係していると考えられる。そこで、吸水抑制効果を有するシラン系表面含浸材に着目して、含浸材によるコンクリート壁面の防汚効果に関する暴露試験を行った。

その結果、無塗布と比べて含浸材塗布を行うことにより、洗浄作業による汚れを落としやすくするなどの効果が確認された。

キーワード：コンクリート、シラン系表面含浸材、防汚対策、維持・管理

1. はじめに

トンネルや都市部の橋梁等のコンクリート壁面では車両の排気ガス等による表面の汚れが目立ち、景観・美観を損ねるだけでなく、交通安全上も汚れによって視認性が低下するなどの課題を有していた。このため維持管理費の縮減の観点から、比較的安価で汚れにくい材料や汚れを除去しやすい材料の適用が望まれていた。

一般的に汚れの付き具合は水の存在と密接に関係しており、水の存在によって汚れの付き方の度合いが変わってくる。コンクリート表面も同様で、表面部分の吸水をいかに抑えるかが、汚れ対策の重要な要素であると言える。そこで、防汚対策として吸水抑制機能を発揮するシラン系表面含浸材に着目して検討を行った。

シラン系表面含浸材は、図-1に示すとおり、コンクリートの表面及び空隙の内壁に撥水機能を有する疎水基を固着させ、外部からの吸水の抑制を図ることを目的に使用される材料である¹⁾。

現在、コンクリート部材の凍害、凍害・塩害の複合劣化抑制対策として幅広く使用されているが、防汚効果について検証がなされた事例は比較的少ない。

そこで今回、シラン系表面含浸材の防汚効果について、その効果を調査するため、実際に供用されている道路トンネルの側部にシラン系表面含浸材を塗布したコンクリート供試体を設置し暴露試験を行い、防汚効果の追跡調査を行った。

本報告では、暴露開始から半年後に行った試験結果について報告する。

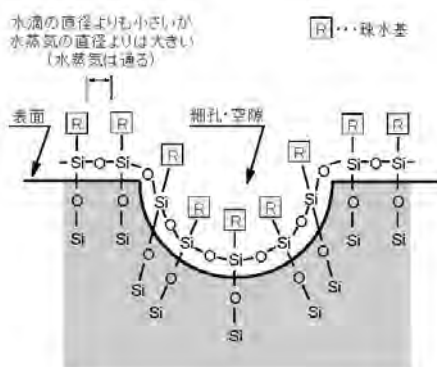


図-1 シラン系の構造状態の概念

2. 試験概要

2.1 塗布材料の選定

表-1に今回選定した材料を示している。シラン系表面含浸材は水系、溶剤系、無溶剤系の3種類に分類される。水系は主成分が水で希釈されたもの、溶剤系は有機溶剤で希釈されたもの、無溶剤系は水系、溶剤系、いずれも該当しないものを指している¹⁾。なお、今回の試験では、環境負荷に与える影響が小さく、トンネル内での使用から難燃性の高い材料として水系の製品を使用することと

した。なお、比較のため、防汚対策として使用されているシリコン樹脂塗料も評価に加えた。

2.2 配合・供試体

表-2にコンクリート供試体の配合を示す。

配合はトンネルの覆工コンクリートの標準仕様であるT-1P²⁾に準じている。図-2に供試体の寸法を示す。寸法は10cm×10cm×40cmとし、左半分に材料を塗布し、右半分は無塗布（比較用）とした。

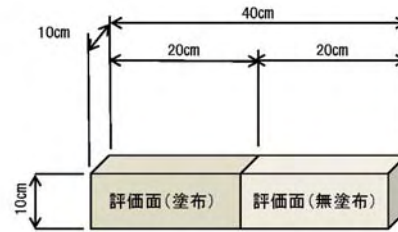


図-2 供試体寸法

2.3 試験箇所

本試験ではコンクリート壁面が自動車の排気ガスで汚れやすい旭川・札幌間にある国道のトンネル内を試験箇所を選定した。このトンネルは延長1,805m、総幅員9.5m（車道3.5m×2、路肩0.5m×2、監査歩廊0.75m×2、歩道無）、内空寸法B=10.0m、H=6.5mで、日当たり交通量は2万台を超えている²⁾³⁾。図-3にトンネル平面図略図を示す。供試体の設置場所は、トンネル内に2箇所ある方向転換所のうち、札幌側の方向転換所内とした。転換所内における設置場所は札幌側（以下記号1と記す）、旭川側（以下記号2と記す）の2箇所とした。設置方法は図-4、写真-1に示すように別途作製した木製取付台を壁面にボルトで固定し、その内側に据付けた。

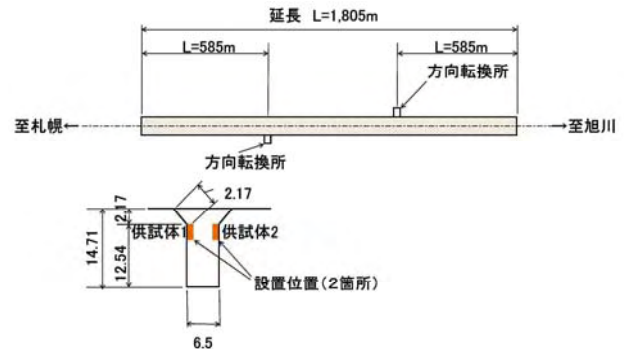


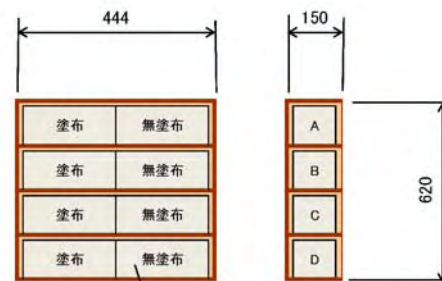
図-3 トンネル平面図略図

表-1 塗布材料

材料記号	有効成分(%)		塗布量 (kg/m ²)
	シラン	他成分	
A	20	22	200
B	65	-	300
C	80	-	200
D	(シリコン樹脂塗料)		300

コンクリート供試体
取付台正面図

側面図



供試体コンクリート 10cm×10cm×40cm

図-4 取付台構造図

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	骨材最大径 (mm)	セメント	単位量(kg/m ³)			
			W	C	S	G
55	25	普通	162	270	873	1009

空気量4.5%、スランプ15cm



取付台の位置

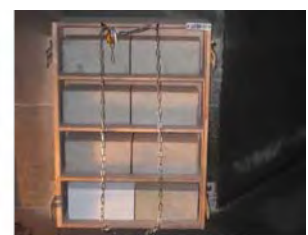


写真-1 取付台の設置状況

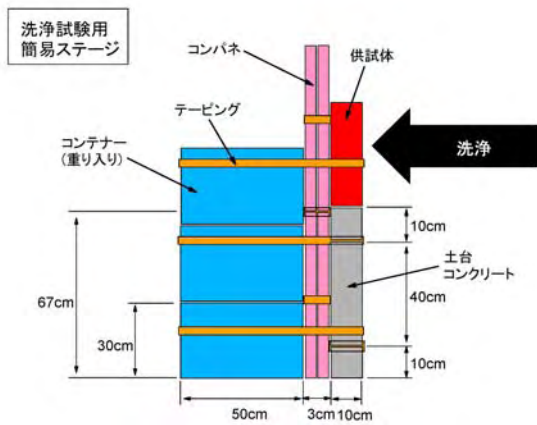


図-5 洗浄試験実施要領図



写真-2 洗浄試験の状況



写真-3 測定に使用した色彩色差計

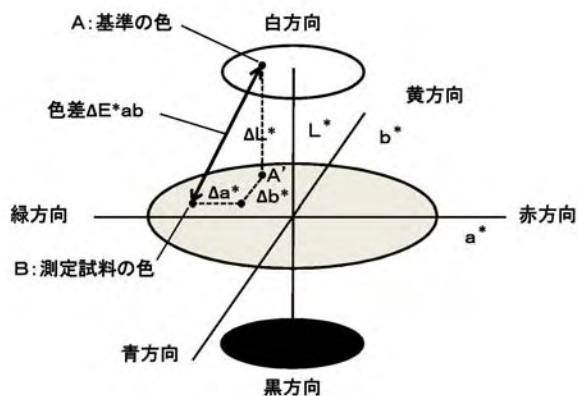


図-6 L*a*b*表色系の概念図

2.4 洗浄試験

洗浄試験は、旭川道路事務所構内において行った。図-5に洗浄試験の実施要領図を示す。事務所構内に洗浄試験用の簡易ステージを組み立て、現場から回収した供試体をステージに据え付け、実際のトンネル清掃業務で使

Yuji Fujita, Hirotake Endoh, Namio Takadama



写真-4 暴露直後の供試体

左：供試体 1 (札幌側)

右：供試体 2 (旭川側)



写真-5 半年後の供試体

左：供試体 1 (札幌側)

右：供試体 2 (旭川側)

用されている洗浄車を用いて供試体の洗浄水とブラシによる洗浄作業を行った。写真-2に洗浄試験の状況を示す。

2.5 色差測定

コンクリート表面の汚れの程度を色彩色差計による色差測定を行い、定量的に評価した。写真-3に使用した色彩色差計を示す。色彩色差計は、基準色と試料の色差を様々な表色系により測定するものであるが、今回は図-6に示すような人の感覚と比較的共通した色差値を示すことができる表色系の一つであるL*a*b*表色系を使用した。L*値は明るさを、a*値は赤-緑の軸を、b*値は黄-青の軸を表す混色系の表色系である。これは日本の工業分野での色彩管理における色差の測定に最も広く用いられている表色系である⁴⁾。

測定は各供試体の塗布、無塗布面毎に各々4cm間隔に5点行い色差の平均値 Δ_{ave} を算出した。以下に式を示す。

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (式)$$

$$\Delta_{ave} = \Delta E^*_{ab} / N \quad (式)$$

$$N = 5 (\text{本試験})$$

3. 試験結果

3.1 洗浄試験前の状況

暴露開始直後の供試体暴露面の状況を写真-4、約半年後の状況を写真-5に示す。半年後の棚には排気ガスによる



図-7 方向転換所の風の流れ

煤塵が蓄積していた。札幌側に据付けた供試体（写真左側）には煤塵の付着がほとんど見られなかったのに対し、旭川側の供試体（写真右側）には煤塵が多く付着していた。この要因として、トンネル内における風の流れの影響が考えられたため、風向・風速計を用いて風の流れを調査した。図-7に結果を示す。方向転換所では車道から風が吹き込んでいること、その風は方向転換所内で反時計回りに流れていることが確認された。このことは、車道から流れてきた煤塵は供試体2に溜まり易いことを示し、煤塵の付着状況と風向き結果は一致していた。また、供試体2における煤塵の付着状況は、取り付け台の据え付け金具近傍に据え付けられた上段と下段の供試体が最も顕著であった（写真-5）。これは、金具によって煤塵の流れがガードされたことが理由に考えられる。

3.2 洗浄後の目視調査

洗浄後の供試体の全体状況を写真-6、B-2部の拡大写真を写真-7に示す。札幌側（写真左側）のA-1、B-1、旭川側（写真右側）のA-2、B-2においては無塗布面（供試体右半分）より塗布面（供試体左半分）の方が黄土色の汚れ（写真上で白い部分）は比較的多くとれていることが確認出来た。このことはシランによる効果があったことを示しており、シランが汚れの付着を抑えられていることが分かった。なお、札幌側はAとB、旭川側はAとCの半分およびBの汚れが集中的にとれ、それ以外の面はこれらに比べると汚れの落ち方が小さいが、これはブラシが供試体全体に均等に当たらなかった（写真-2）ことによる。次年度以降の洗浄試験では、ブラシが供試体全体に当たるよう試験方法に改良を加えていきたい。

拡大

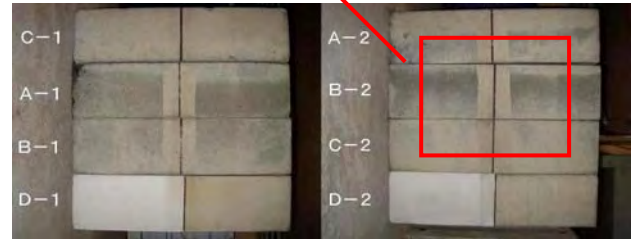


写真-6 洗浄後の供試体
(左；札幌側、右；旭川側)



写真-7 洗浄後の供試体（B-2部拡大）

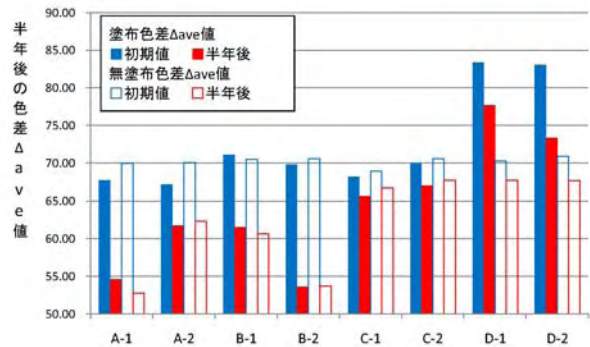


図-8 半年後の色差 Δave 値

3.3 色彩色差計による測定結果

暴露前に測定した色差の初期値と暴露後半年を経過した洗浄後の色差の測定結果を図-8に示す。

(1) 初期値の色差 Δave について

A、B、C供試体の Δave は、A供試体の塗布面が67とやや低い値であったが、概ね70前後で塗布面、無塗布面による差は殆どみられなかった。D供試体の塗布面のみは白色系の塗料材のため Δave は83と、他より20%程度大きい値を示していた。

(2) 半年後洗浄後の色差 Δave について

半年後洗浄後の Δave は初期値と比べ、塗布面、無塗布面とも全供試体で低い値となった。A-1、B-2供試体は20%前後、A-2、B-1は10%前後、C-1、C-2供試体は4%程度低かった。D-1供試体の塗布面は、D-2より Δave がやや高いが、無塗布面はほぼ同程度であった。

4.考察

洗浄後の目視調査より、供試体A、Bにおいて無塗布より塗布の方が汚れが取れていることが確認された。しかし、図-8に示した暴露洗浄後の Δ_{ave} の値を見ると、塗布・無塗布の値の差がほとんど無い結果が示されている。一般的に、色彩差計によって、表面含浸材塗布前後のコンクリート面の色差を測定しても、測定値が大きく変化するほどのデータが得にくいと言われており⁹⁾、これについては本研究の結果と対応している。また、A-1、B-2供試体の洗浄後 Δ_{ave} の方がA-2、B-1供試体の洗浄後 Δ_{ave} より値が低かったが、これはコンクリート本来の色が黒色に近いものであるため、暴露期間中に表面に付着した明るめの黄土色の汚れが後者の供試体に比べて前者の供試体の方が多く取れたために Δ_{ave} が低い値を示したものと考えられる。さらに、いずれの供試体も、 Δ_{ave} は暴露前の初期値に比べて洗浄後の方が小さい傾向が示された。これは暴露前にコンクリートを実験室内に養生・保管した際、明度の高い埃が表面に付着し、その影響で初期値の Δ_{ave} が高い値を示したこと、ならびに、洗浄後にこれらの汚れが落ちて前述同様、コンクリート本来の黒色が露出したことで結果的に洗浄後の Δ_{ave} が低下したと推測される。

このことから、今後暴露を継続すると、図-9に示すイメージ図のように、撥水・吸水抑制機能が保持されている含浸材塗布供試体は洗浄後に付着した汚れが比較的多くとれ、元の状態近くに戻るために Δ_{ave} は経年的な変動が小さく、ほぼ一定の値で推移するのに対し、親水性である無塗布供試体は品質低下の進行によって付着した汚れが次第に取れにくくなり、 Δ_{ave} は経年的に上昇していくように予想される。防汚効果の性能評価は、この Δ_{ave} の経年的な変化の割合で判定することが適当であるように思われる。この考え方の妥当性を検証するには、今後も引き続き調査を行っていく必要がある。

5.まとめ

シラン系表面含浸材によるコンクリート壁面防汚対策に関して暴露試験を行ったが、暴露後半年を経過した時点での調査結果と課題について以下のとおり整理した。

- (1) 暴露後の供試体に付着した煤塵は札幌側より旭川側の方が顕著で方向転換所内の風の流れが関係していることが分かった。これは供試体を設置した箇所により汚れの付き具合に差が出るということであり、次回は供試体の配置を変えて暴露試験をする必要がある。
- (2) 目視調査において供試体の汚れの取れ具合効果は含浸材塗布の方が含浸材無塗布のものより確認できた。しかし、全体的に見れば取れ具合にむらがあることも確認された。これはトンネル清掃車を使った洗浄試験においてブラシの当て方によるものと考えられる。今後、洗浄試験においてむらなく供試体を洗浄出来るように改良し

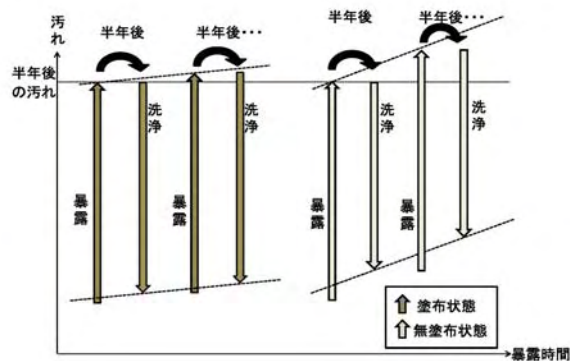


図-9 汚れと暴露時間のイメージ

なければならない。

(3) 色差測定に関して、 Δ_{ave} 初期値に比べ洗浄後 Δ_{ave} 値が低い結果となった。これは供試体を養生・保管中に明度の高い埃が表面に付着して Δ_{ave} 初期値が高くなったこと、洗浄後に汚れが落ちてコンクリート本来の黒色が露出したことで洗浄後 Δ_{ave} が低下したと推測される。以上のことから、暴露を継続していくと、無塗布供試体 Δ_{ave} より塗布供試体 Δ_{ave} の方が上昇が少ないと予想され、今後は Δ_{ave} 値の経年的な変化で防汚性能効果を判定していく必要がある。

6.おわりに

今回の暴露試験により、現段階では大きな差ではないが、シラン系表面含浸材にはコンクリート壁面に対しての防汚効果を示す傾向がみられた。このため、これにより洗浄回数が減らすことが出来れば、維持・管理コストの低減に繋がることが期待される。

今後は、暴露の経年調査をさらに継続し、防汚効果の調査を進めていく予定である。

謝辞: 今回の調査にあたり、資料の提供、現地への立入などご協力頂いた旭川開発建設部関係者の方々へ謝意を表する。

参考文献

- 1) 北海道開発局：北海道開発局道路設計要領、平成21年4月
- 2) 北海道開発局：橋梁、トンネル、立体横断施設、覆道等現況調書（平成20年4月1日現在）
- 3) 北海道土木技術会：北海道の道路トンネル第2集、平成5年6月31日
- 4) 大日精化工業(株)ホームページ
(<http://www.daicolor.co.jp/index.html>)：色彩知識
- 5) 土木学会：表面保護法 設計施工指針（案）、平成17年4月