

高塗着スプレー塗装設計施工要領の概要について

名古屋高速道路公社 保全施設部
保全課 浅野 哲男

1. はじめに

名古屋高速道路は、昭和46年に建設に着手し、昭和54年に10.9kmを第1期供用して、現在では供用延長53.3km、日交通量約23万台のご利用をいただいている都市内高速道路である。

供用延長中4.7kmが橋梁構造であり、施工時の制約からほとんどが鋼桁構造で、橋脚は約560基が鋼製となっている。

供用延長の増加や供用年数の経過に伴う維持管理費用が増加する中で、限られた予算で最大のサービスを可能とする維持管理のマネージメントが要件となっており、塗替え塗装においても、効率的な施工が可能で低コスト、環境にも優しい施工法が望まれていた。

本稿は、公社において平成10年度より試験施工を実施してきた成果をもとに、平成16年度より全面的に採用する予定の高塗着スプレー塗装法の設計施工要領（以下「要領」と略す）を定めたので、その概要について報告する。

2. 要領制定の背景と新工法の採用

1) 鋼構造物の塗替え塗装の現況と課題

名古屋高速道路での塗替え塗装は、鋼構造物外面を図-1に示すように昭和62年に開始し、平成15年度末で約110万㎡となっている。

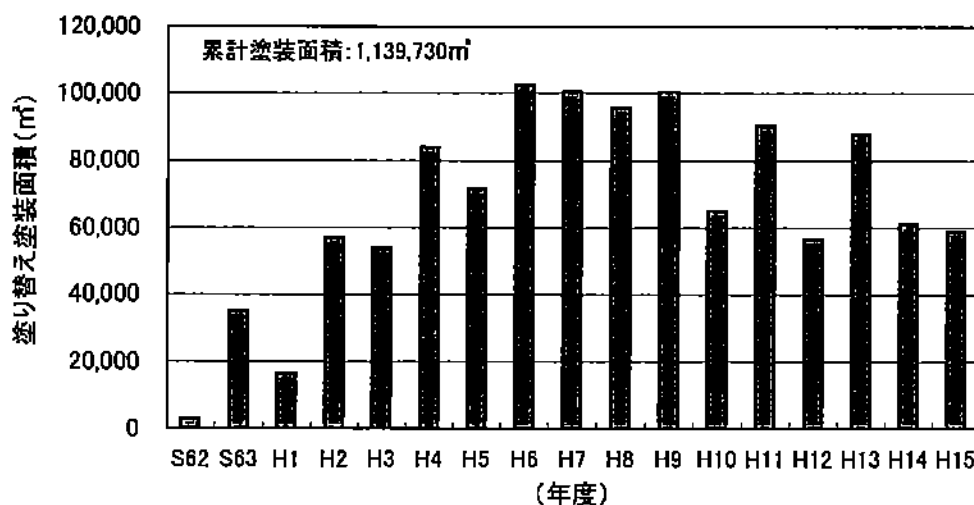


図-1 塗替え塗装の実績

塗替え塗装系は、塗装設計施工基準（名古屋高速道路公社）（以下「公社基準」と略す）の規定により、標準塗装系として下塗りに変性エポキシ樹脂塗料を、中・上塗りにポリウレタン樹脂塗料を使用する N-04R 系を採用しているが、ジャンクション等高架下の条件が厳しく塗替え補修の工期や経費が標準部より大幅に大きくなる個所や塗替え周期を特に長期化することが望ましい個所には中・上塗りにふっ素樹脂塗料を使用する N-06 系を採用することとしている。

工事の標準的な工程は、第 1 四半期内に工事契約し、8 月中旬までに工事施行に必要な協議を平面道路管理者および交通管理者と行い、9 月末までには落下防護工を施工、その後、塗膜調査等施工に必要な調査を実施して、11 月末には塗替え塗装を完了し、年内または遅くとも翌年 1 月には落下防護工の解体を完了している。

塗替え塗装の施工法は、塗料の飛散が少なく第三者等周辺環境に及ぼす影響が少ないはけ塗り工法を採用してきたが、維持管理費縮減の社会的要請、熟練技能者の不足、また、同一足場を利用した複合工事を可能とする塗装期間の短縮化等に対応できる新たな塗装法が望まれていた。

2) 高塗着スプレー塗装法の採用

工場塗装で使用するエアレススプレー塗装法は、施工性は良いが、塗料の飛散が少ない屋内などの防風設備が整備された場所、または、仮に塗料が飛散しても工場内であるため問題とならない場所での施工に限定され、現場塗装での採用は不可能である。

そこで、エアレススプレー塗装法を都市内建造物の塗替え塗装の現場条件でも施工可能とするよう次の観点から改良^{※1}が図られた。

(1) 塗料飛散の原因である風の影響を少なくする塗装機器の開発

→塗料ミストの粒径分布の限定化

- ・風で飛散しやすい小粒径塗料ミストは排除
- ・塗膜外観が悪い大粒径ミストは排除

→風で流されないよう塗料ミスト流を包み込むよう補助エアで防護

→静電気力を利用した塗料ミストの飛散防止（塗着効率の改善）

⇒ノズルの改良、補助エアを付与した静電エアレススプレー機^{※2}

(2) 塗料ミストの施工個所外への飛散防止を図る

→ノズルから噴出する塗料ミスト幅（パターン幅）の調整が可能

→飛散防止シートによる養生の向上

⇒パターン幅の調整可能な機器、養生方法の向上^{※2}

この改良された施工法は「高塗着スプレー塗装法」と呼び「塗着効率をエアレススプレー塗装よりも高めるため、エアレススプレーに補助エアを加えた静電塗装機を使用し、かつ現場外に飛散するスプレーミストによる周辺環境の悪化や第三者被害が無いよう飛散防止用メッシュシートで作業現場を防護する塗装方法」として現場塗装に採用するものである。

3. 高塗着スプレー塗装の試験塗装について

公社において実施した試験塗装の経緯を表-1に示す。

平成15年度には工事实態調査のほかに標準使用量算定のための屋内実験を実施した。この実験は同一塗料を用いて、エアレススプレー塗装と高塗着スプレー塗装をそれぞれの最適条件で施工して塗着効率を算出するもので、吹き付け距離は200mm,300mm,500mmの3種類、塗料はそれぞれ弱溶剤形の変性エポキシ樹脂塗料下塗とポリウレタン樹脂塗料上塗の2種類とした。

塗装は、レシプロ自動塗装装置により吹き付けノズルを毎分60mの速度で鉛直上向きに2.1m移動させ、被塗面は十分に広い面積の背面板を準備して、一辺30cmの正方形の試験片5枚をその中央に張り付け、水平横向きに毎分2mの速度で移動させて、それぞれの移動と同時に吹き付けた。

塗着効率は乾燥塗膜の重量と吹き付け塗料中の固形分重量の比率として、測定結果より次式で求めた。

$$TE=10^4 * W * V * L / (NV * D * S)$$

TE：塗着効率（％）

V：コンベア速度（背面板移動速度）＝2m／分

L：レシプロストローク長＝2.1m

D：単位時間あたりの吐出量（g／分）

S：試験片の塗装面積（㎡）＝0.09㎡

NV：塗料中の固形分率（％）

W：試験片に付着した乾燥塗膜重量

表-1 高塗着スプレー試験塗装の概要

年度	施工数量	測定項目	結果	備考	
平成10年度	鋼桁 340㎡	塗着効率	中塗りで89% 上塗りで88%	目標値とした80%を確保。	
		吹き付け作業の施工能力	中塗りで3.6ml/分 中塗りで4.0ml/分	施工面積が少なかったため、目標5.0ml/分を下回ったが、はけ塗りに比べて大幅に改善された。	
		膜厚、塗装外観	規定値以上を確認		
		塗料の飛散	飛散防止用メッシュシートで、防護できたことを確認		
平成11～12年度	鋼桁 12,200㎡	工事实態調査	日当たり平均施工能力：440㎡		
平成13～14年度	鋼桁、鋼脚 35,600㎡	施工性、安全管理の確認	高塗着スプレー塗装法に起因する事故なし。	平成14年度：鋼製橋脚740㎡	
平成15年度	鋼桁、鋼脚 52,000㎡	工事实態調査	日当たり平均施工能力：640㎡	平成15年度：鋼製橋脚860㎡ 安全点検シートによる管理。	
		標準使用量の算定 吹き付け距離と塗着効率	吹き付け距離300mm	塗着効率（％）	
			エアレス	高塗着	差分
	変性エポキシ樹脂塗料（下塗）		90.7	97.3	6.6
	ポリウレタン樹脂塗料（上塗）	83.0	88.1	5.1	

試験塗装条件を表-2に、実験データの一例を表-3に、変性エポキシ樹脂塗料下塗の塗着効率を図-2に、ポリウレタン樹脂塗料上塗の塗着効率を図-3に示す。

表-2 試験塗装条件

塗装手段	エアレススプレー		高圧電機スプレー	
	A社		A社	
試験塗料	ポリウレタン上塗	変性エポキシ下塗	ポリウレタン上塗	変性エポキシ下塗
塗料希釈率	20%	20%	8%	5%
実塗料NV値	0.64	0.68	0.66	0.68
塗料粘度	100mPa·s	180mPa·s	220mPa·s	600mPa·s
原液電機抵抗	∞	∞	∞	∞
希釈液電気抵抗	∞	∞	∞	∞
ノズル	07C07	09C07	20C13	30C13
実噴出量(g/min)	データシートに記載			
液圧力	15MPa	15MPa	6MPa	5MPa
ラップエア圧			0.4MPa	0.4MPa
ウエット塗膜厚	75μm	150μm	75μm	150μm
目録ドライ膜厚	25μm	60μm	25μm	60μm
荷電電圧	—	—	0/-60kV	0/-60kV
コンパ速度	2m/min	2m/min	2m/min	2m/min
吹付け距離(mm)	200/300/500	200/300/500	200/300/500	200/300/500
備考	上昇行程片吹きのみ		上昇行程片吹きのみ	

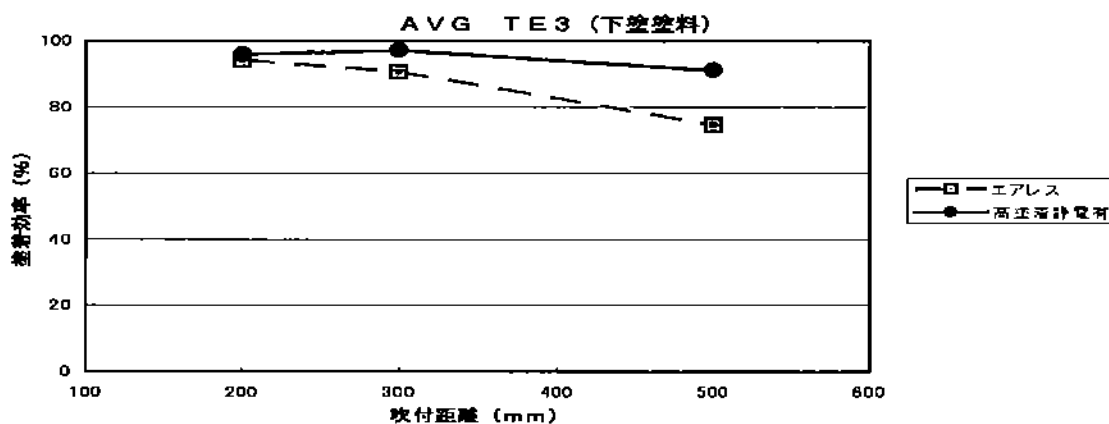


図-2 変性エポキシ樹脂塗料下塗の塗着効率

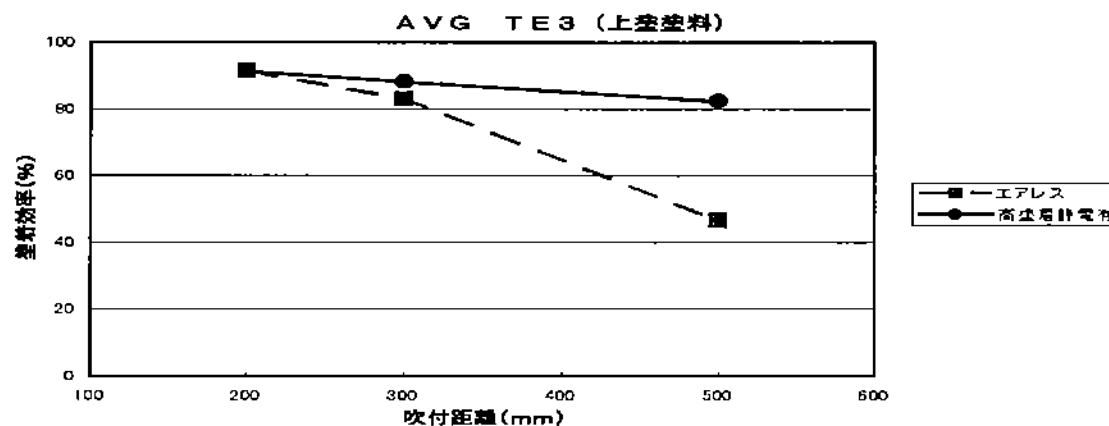


図-3 ポリウレタン樹脂塗料上塗の塗着効率

表-3 実験データの一例

塗料	吹き付け 距離	施工方法	NO.	板重量	総重量	塗料重量	吐出量 D(g/分)	吹付量 (g/m ²)	NV(%)	塗着効率 TE(%)	AVG_TEAVG3_TE	膜厚平均	全平均厚 (μ m)	備考	
変性工ポキシ塗装下塗	300mm	エアレス	8	210.844	220.467	9.623	784.0	186.7	0.58	98.5	91.3	52.6	51.0		
			9	210.455	219.362	8.907	784.0		0.58	91.2		51.3			
			10	210.883	219.608	8.725	784.0		0.58	89.4		51.9			
			11	212.041	220.985	8.944	784.0		0.58	91.6		52.2			
			12	212.220	220.581	8.361	784.0		0.58	85.6		47.0			
			32	211.169	221.821	10.652	751.2		0.68	96.7		59.4			
	33	210.165	221.163	10.998	751.2	0.68	99.8	65.9							
	34	210.876	221.381	10.505	751.2	0.68	95.3	63.5							
	35	210.608	221.397	10.791	751.2	0.68	97.9	77.7							
	36	211.579	222.311	10.732	751.2	0.68	97.4	69.6							
	ポリウレタン塗装上塗	300mm	エアレス	20	211.553	213.807	2.254	294.4	70.1	0.54	66.0	80.9	18.1	18.7	
				21	211.390	214.355	2.965	294.4		0.54	86.8		18.1		
22				211.491	214.539	3.048	294.4	0.54		89.3	18.9				
23				211.939	214.651	2.712	294.4	0.54		79.4	18.0				
24				211.414	214.236	2.822	294.4	0.54		82.7	20.5				
62				210.888	215.472	4.584	361.6	0.65		91.1	25.8				
63		210.401	214.608	4.207	361.6	0.65	83.6	30.9							
64		210.993	215.712	4.719	361.6	0.65	93.8	29.6							
65		211.136	215.533	4.397	361.6	0.65	87.4	26.3							
66		211.523	215.846	4.323	361.6	0.65	85.9	32.0							

高塗着スプレー塗装の塗着効率はエアレススプレー塗装に比べ、吹き付け距離 300mm でポリウレタン樹脂塗料上塗は約 5% 上回る 88%、変性エポキシ樹脂塗料下塗で約 6% 上回る 97% である。

吹き付け距離が 300mm から 500mm になると塗着効率は低下し、エアレススプレーの低下量が多い。高塗着スプレー塗装は吹き付け距離 500mm でも上塗で 82%、下塗で 91% であり、上塗の塗着効率は下塗より低い。

塗料の標準使用量は、エアレススプレーと高塗着スプレー塗装の塗着効率の比較からエアレススプレーの設計値を基に次式により算出する。

$$B = A * |1 - (b - a) / 100|$$

B：高塗着スプレー塗装の標準使用量 (g/m²)

A：エアレススプレー塗装の標準使用量 (g/m²)

変性エポキシ樹脂塗料下塗：300 g/m² (目標膜厚 60 μm)

ポリウレタン樹脂塗料上塗：140 g/m² (目標膜厚 25 μm)

a：エアレススプレー塗装の塗着効率 (%)

b：高塗着スプレー塗装の塗着効率 (%)

過去の試験施工での塗着効率から算出した使用量を、実態調査で得られた値も併せて、変性エポキシ樹脂塗料下塗を図-4 に、ポリウレタン樹脂塗料上塗を図-5 に示す。

この比較から高塗着スプレー塗装の標準使用量は、次のように設定した。なお中塗塗料は、塗着効率を上塗りと同値とした。

変性エポキシ樹脂塗料下塗：270 g/m² (目標膜厚 60 μm)

ポリウレタン樹脂塗料中塗：160 g/m² (目標膜厚 30 μm)

ポリウレタン樹脂塗料上塗：130 g/m² (目標膜厚 25 μm)

この実験によるポリウレタン樹脂塗料上塗試験片の塗膜外観写真を示す。吹き付け距離 500mm は、表面がゆず肌上の凹凸が大きく、外観検査では不合格とした。塗着効率および塗膜外観から、吹き付け距離は 300mm 以内と規定した。

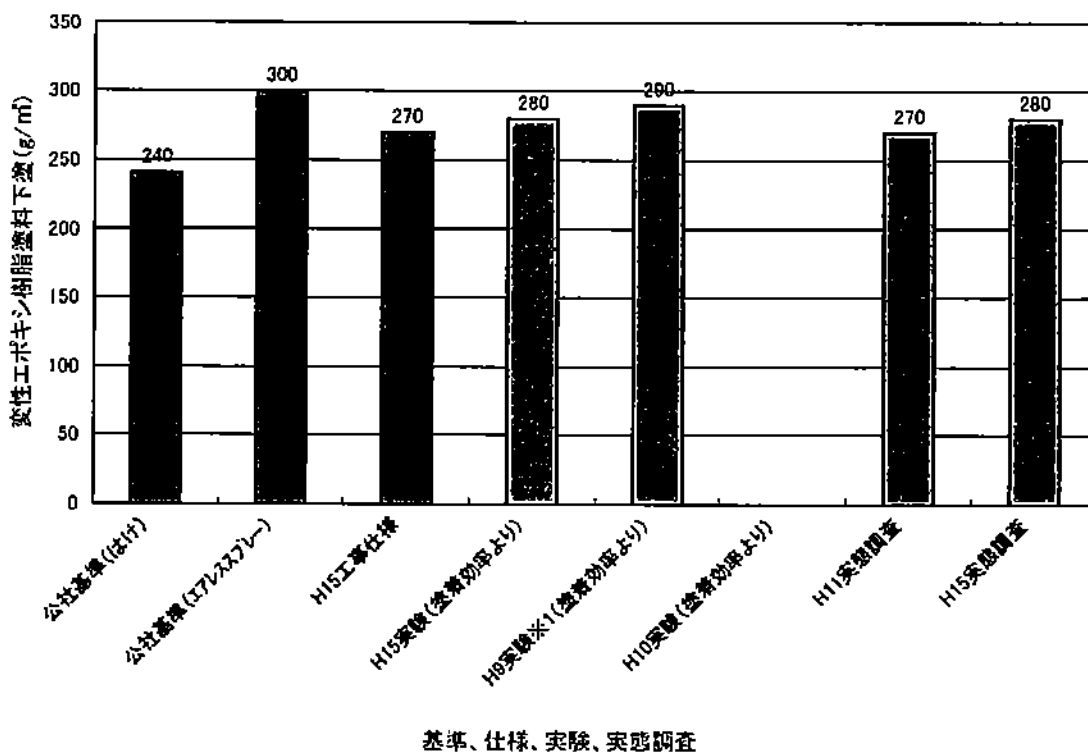


図-4 変性エポキシ樹脂塗料下塗使用量 (g/m²)

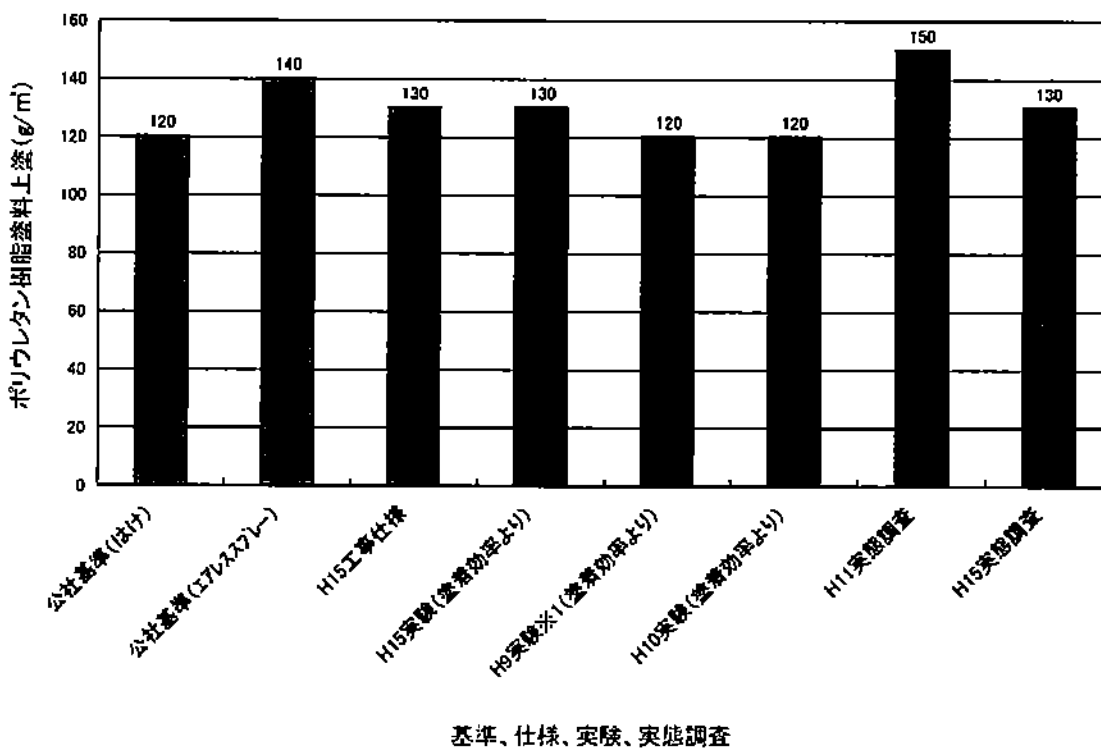
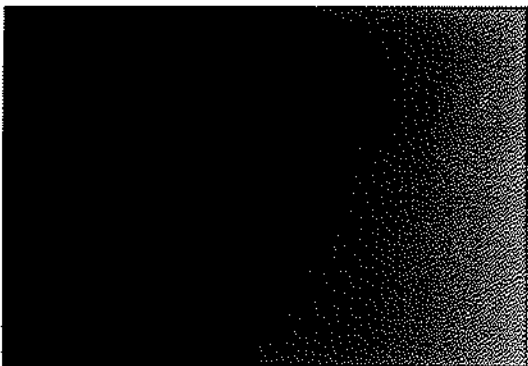


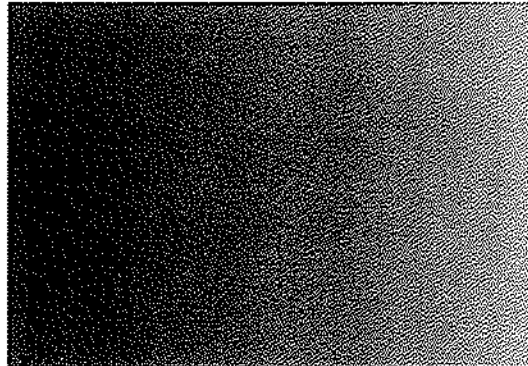
図-5 ポリウレタン樹脂塗料上塗使用量 (g/m²)

【塗装外観写真】

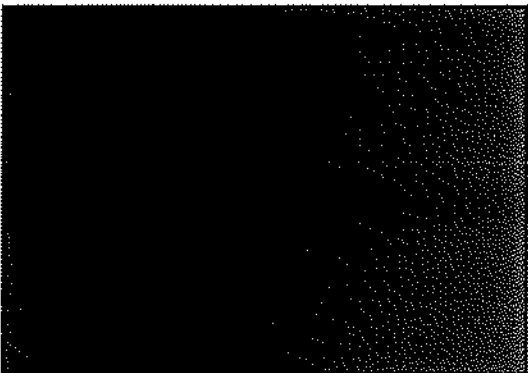
<上塗りエアレス 吹き付け距離 300mm>



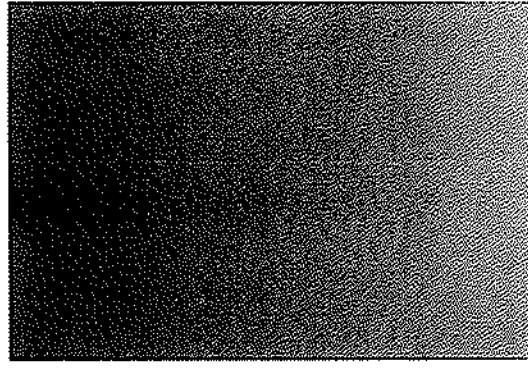
<下塗りエアレス 吹き付け距離 300mm>



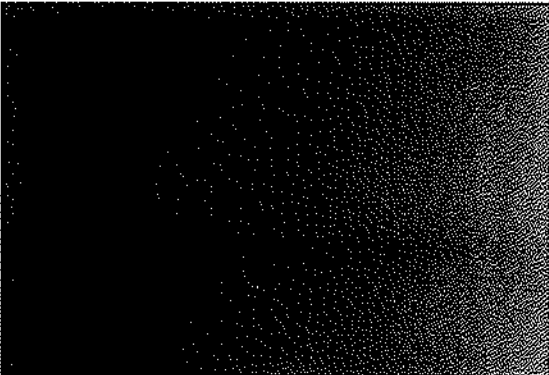
<上塗り高塗着スプレー 吹き付け距離 200mm>



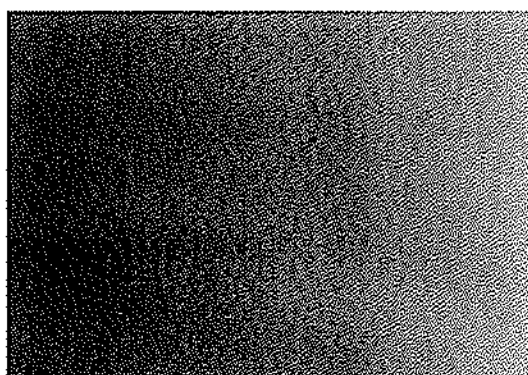
<下塗り高塗着スプレー 吹き付け距離 200mm>



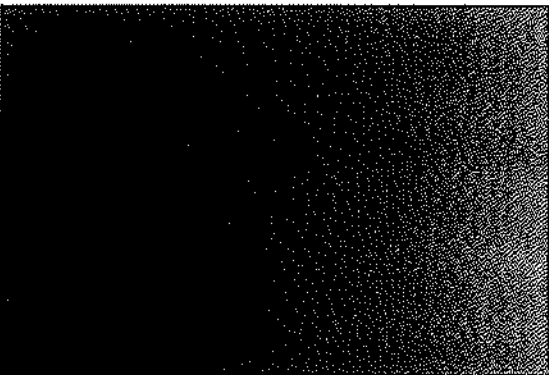
<上塗り高塗着スプレー 吹き付け距離 300mm>



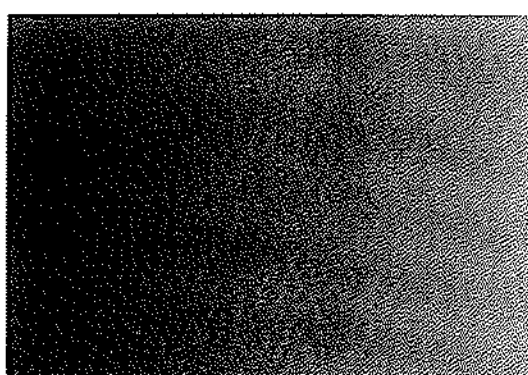
<下塗り高塗着スプレー 吹き付け距離 300mm>



<上塗り高塗着スプレー 吹き付け距離 500mm>



<下塗り高塗着スプレー 吹き付け距離 500mm>



4. 要領の概要

1) 主な規定事項

- (1)この要領は高塗着スプレー塗装法独自の事項を定め,その他の事項は公社基準によることとした。
- (2)対象はこれまでの試験塗装の実績から「塗替え塗装」に限定した。
- (3)塗料の標準使用量は屋内実験で得た塗着効率および現場での実態から定めた。
- (4)試し吹きを行って作業性,希釈率、塗膜外観、塗膜厚を確認することとした。
- (5)静電塗装機は安定した施工には十分な吐出能力が必要なことから、施工量の2倍（3リットル/分）以上の能力の機種を選定することとした。
- (6)塗料（スプレーミスト）が現場外へ飛散しないよう、スプレー方向を規定するとともに飛散防止用メッシュシートで塗装位置を覆うように定めた。
- (7)静電気による火災事故を防止するため安全管理について定め、チェックシートによる点検を義務つけた。

2) 要領の概要

第1章 一般事項

1. 1 適用範囲

この基準は、名古屋高速道路の鋼構造物外面の塗替え塗装を高塗着スプレー塗装法で実施する工事に適用する。

1. 2 用語の定義

高塗着スプレー塗装法	塗着効率をエアレススプレー塗装よりも高めるため、エアレススプレーに補助エアーを加えた静電塗装機を使用し、かつ現場外に飛散するスプレーミストによる周辺環境の悪化や第三者被害が無いよう飛散防止用メッシュシートで作業現場を防護する塗装方法
静電塗装機	スプレーガンの先端にある電極に高電圧をかけることにより噴霧された塗料（スプレーミスト）にマイナス極性の静電気を帯電させ、接地状態にある被塗物（鋼構造物）との間に生じる静電気力を利用して塗料を効率よく付着させる塗装機器で、スプレーガン、塗料ポンプ、静電コントローラーとコンプレッサーから構成される。
塗着効率	実際に被塗物に塗着した塗料の乾燥固形分重量と、その塗装に使用した塗料の乾燥固形分重量の比率
スプレーパターン	被塗物から一定の離れた位置で塗料を噴霧した際の塗着塗料の形状
スプレーミスト	スプレー塗装時に生じる浮遊塗料粒子
オーバースプレーミスト	被塗物に塗着せず、空中に飛散する塗料粒子
スプレーガン	スプレー塗装時に使用するピストル状の器具
ノズル	スプレーガンの先端にある塗料の吐出口

第2章 設計

2.1 塗装系

一般部の塗替え塗装系は表-1を適用する。

表-1 一般部の塗替え塗装系

塗装系 記号	素地 調整	塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μm)	塗装間隔 (20°C)	
N-04R	3 種 ケ レ ン	素地調整	さび、劣化塗膜を除去し、鋼材面を露出させる。 ただし、劣化していない塗膜(活膜)は残す。			3時間 以内	
		補修塗り	変性エポキシ樹脂塗料下塗	(240)	(60)	1日 ~10日	
		第1層	下塗	変性エポキシ樹脂塗料下塗	270	60	1日 ~10日
				変性エポキシ樹脂塗料下塗	270	60	1日 ~10日
		第3層	中塗	ポリウレタン樹脂塗料中塗	160	30	1日 ~10日
		第4層	上塗	ポリウレタン樹脂塗料上塗	130	25	1日 ~10日
		4 種 ケ レ ン	第1層	下塗	変性エポキシ樹脂塗料下塗	270	60
	第2層		中塗	ポリウレタン樹脂塗料中塗	160	30	1日 ~10日
	第3層		上塗	ポリウレタン樹脂塗料上塗	130	25	1日 ~10日

(注1) 塗装間隔は、20°Cの場合を示す。気温が低い場合は、乾燥程度を確認するため、塗面を人指指で押し、塗面に指紋によるへこみが付かず、塗膜の動きが感じられないことを確認する。

(注2) 現場継手部は、下塗りを1層増す。

(注3) 補修塗りは、素地調整で鋼材面が露出した部分に適用し、はけ塗りとする。

(注4) 塗料は、沿道環境等を考慮し、弱溶剤形塗料の使用を原則とする。

2.2 塗料の調合

(1) 塗替え塗装に使用する2液性塗料は、混合後に一定の熟成時間をおきかつ可使時間内に使用でき、施工速度に対応した数量を供給できるようにしなければならない。

(2) 各塗料に適合する希釈溶剤を用いて塗料ごとの適正な希釈率で希釈し、試し吹きを行って、施工性、品質を確認すること。

第3章 施工

3.1 気象条件

高塗着スプレー塗装作業位置において、強風時は塗装作業を中断すること。

3.2 塗装方法

(1) 静電塗装機

- ① 塗装機の塗料の吐出能力は 3 リットル/分以上で1回塗りで所要の塗膜厚が得られ、塗着効率および塗膜外観が良好な塗装機を使用する。
- ② 機器の取り扱いが機器ごとに定められた方法に従うこと。

(2) 鋼材露出部や端部・現場継ぎ手の凹凸部など、スプレー塗装で均一で所要の膜厚の確保が困難な部位は、原則としてはけ塗りによる先行塗装を行うこと。

(3) 上塗り塗装については、スプレーミストが上塗り塗装済みで指触乾燥以上したところに付着しないようにするものとする。

(4) 原則として、スプレーする角度は被塗面に対し直角とし、吹付け距離は300mm以内に保つ。

(5) 飛散防護メッシュシートのある方向にスプレーしてはならない。

3.3 スプレーミストの飛散防止

発生するスプレーミストの作業場外への飛散による第三者被害の防止および周辺環境の影響を防ぐため、原則として、施工位置を覆うように飛散防止用メッシュシートを使用すること。

第4章 安全管理

4.1 静電気火災事故の防止

(1) 機材のアースの設置

本塗装システムに使用する次の機材は、アースを確実に設置し点検して使用しなければならない。

- ① スプレー塗装ガン
- ② 静電コントローラー
- ③ 塗料ポンプ
- ④ コンプレッサー
- ⑤ 塗料の調合や機材の洗浄場所の受け容器
- ⑥ 飛散防止用メッシュシート

(2) 作業者の帯電防止措置

作業者は、綿製もしくは帯電防止加工の衣類を着装し、作業中に表面電位計で測定して帯電レベルが常時1 kV以下になるようにしなければならない。

また地面にアースした導体制の握り棒（以下「アース棒」という）を作業箇所付近に設置して、次に示す作業時には、アース棒を素手で強く握り、静電気を放電させなければならない。

- ① 作業員が現場に入場する時
- ② スプレー塗装作業場所や塗料の混合場所、機材洗浄場所などに接近する時

4. 2 作業者の安全の確保

- (1) 作業場は火気厳禁とする。
- (2) 塗装位置や塗料攪拌場所には消火器を設置すること。
- (3) 塗装作業時に発生する溶剤蒸気の濃度を測定し、管理値以下であることを確認すること。
- (4) 床版下面付近など閉塞的な空間での塗装については、換気、照明設備を設置すること。

4. 3 点検

工事ごとに点検者を定め、作業内容に応じて作成したチェックシートに基づき点検すること

5. 終わりに

平成 15 年度工事で実施した実態調査では、日施工能力は 4 工区平均で 600 m²を上回り高効率施工が実証された。またこれまでの試験施工では高塗着スプレー塗装法に起因する事故は幸いにも発生していない。今後とも安全性を確保しつつ、既往の施工法より低コストで所要の品質が確保され工程短縮にも寄与できるより有用な技術として更なる改良を図って行きたい。

本要領案策定にあたり協力していただいた橋塗協および関係の方々に感謝いたします。

【参考文献】

- ※ 1 福島稔：現場小飛散スプレー塗装の開発と市場導入
第 5 回技術発表大会予稿集（平成 14 年 5 月）（社団法人 日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会）、pp47～60
- ※ 2 杉本久外：塗替え塗装時の塗料飛散を防止する高塗着スプレーシステム、防錆管理（2001 年 5 月）、pp19～23