

鋼道路橋C-5塗装系における課題とその対策について

Field-application Test of the Painting System C-5 Specified in “Painting Manual for Steel Highway Bridges by Japan Road Association 2005”



関西ペイント販売(株)
建設塗料本部
防食技術部
奥 俊治
Shunji
Oku



独立行政法人
土木研究所
材料地盤研究グループ(新材料)
守屋 進
Susumu
Moriya



関西ペイント販売(株)
建設塗料本部
防食技術部
多木洋一
Yoichi
Taki

1. はじめに

わが国は、戦後一貫して国民生活を向上させるために各種社会基盤の充実を計ってきた。その結果、膨大な量の道路施設が整備されてきた。その中でも道路橋は、社会経済活動を支える道路網を構成する重要な構造物である。このため、道路橋の架け替えや大規模な補修による一時的な機能の損失は、経済活動への外部不経済が大きい。また、我が国は、少子高齢化の進展により今後経済の大幅な成長は望めないことから、既設橋は可能な限りの延命化をはかり、新設橋は耐久性に優れた防食法を採用することで、その維持管理コストを削減して鋼橋防食のライフサイクルコスト(LCC)低減が求められている。しかし、防食LCCの削減に際しては、維持管理コストを削減するため初期コストが上昇することがある。このため、LCCを削減するためには、塗膜性能を保持したまま工程短縮を実現することで、コストを縮減させることが重要なテーマである。2005年12月に改訂された『鋼道路橋塗装・防食便覧』では、「LCC低減」および「コスト縮減」の考え方にに基づき、新たにC-5塗装系が設定された。今回、独立行政法人 土木研究所と協同でこのC-5塗装系の冬期塗装作業性を確認し、その中で検討した結果および知見について報告する。

2. C-5塗装系における課題

2.1 C-5塗装系の概要

従来のC-4塗装系と、C-5塗装系仕様をそれぞれ表1、表2に示す。表2のC-5塗装系では、従来のC-4塗装系の下塗りがエポキシ樹脂塗料を60 μ m(2回塗り)で塗装されていたものを、厚膜形エポキシ樹脂塗料120 μ m(1回塗り)に変更することで、塗装コストを削減し初期コスト縮減が図られている。

2.2 C-5塗装系でのピンホールの発生条件とそのメカニズム

これらC-4およびC-5塗装系は、その犠牲防食機能に優れている防食下地として、無機ジンクリッチペイントを塗装している。この無機ジンク塗膜は、空隙(以下ポイドと称す)が多い多孔質な塗膜(図1)となるため、次工程でエポキシ樹脂塗料下塗を直接塗り重ねると、ポイドから空気の置換が起り、塗膜表面に直径0.1~1.0mm程度の気泡が抜けた跡(ピンホール)が発生する(写真1、写真2)。このため、無機ジンク塗膜中のポイドを下塗塗料で置換した後、ピンホールの発生を抑制するためのミストコート塗装工程が必要となる。

ミストコートには、通常エポキシ樹脂塗料下塗を使用する

表1 C-4塗装系

塗 装 工 程	塗 料 名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚(μ m)	塗装間隔	
前 処 理	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2		4時間以内	
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	160		(15)
工場塗装	2次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2		6ヶ月以内	
	防食下地	無機ジンクリッチペイント	600	75	4時間以内
	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	160	—	2日~10日
	下塗	エポキシ樹脂塗料下塗	240	60	1日~10日
	下塗	エポキシ樹脂塗料下塗	240	60	1日~10日
	中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30	1日~10日
	上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	140	25	1日~10日

“鋼道路橋塗装便覧”(1990)を参考¹⁾

表2 C-5 塗装系

塗 装 工 程		塗 料 名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚(μm)	塗装間隔
製鋼工場	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2			4時間以内
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	160	(15)	
橋梁製作工場	2次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2			6ヶ月以内
	防食下地	無機ジンクリッチペイント	600	75	4時間以内
	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	160	—	2日～10日
	下塗	エポキシ樹脂塗料下塗	540	120	1日～10日
	中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30	1日～10日
	上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	140	25	1日～10日

“鋼道路橋塗装・防食便覧” (2005)を参考²⁾

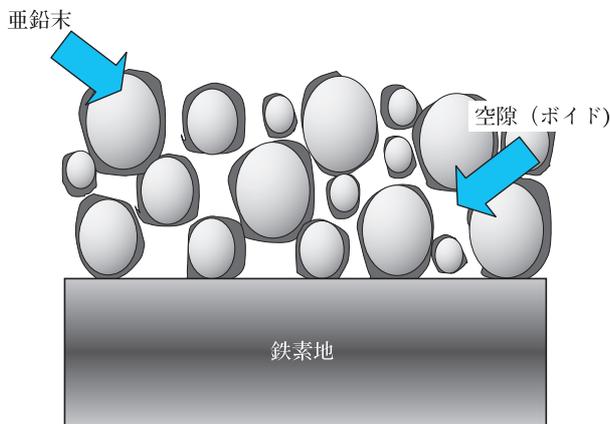


図1 無機ジンクリッチペイントの塗膜のモデル図

が、過希釈することで封孔処理機能を付与している。しかしながら、C-4塗装系においてもミストコートの効果が不十分な場合には、ピンホールを発生することがあり、その頻度は冬期に高くなる傾向にあった。これは、冬期(低温条件下)において塗装されたミストコート塗膜の硬化が遅く、次工程の下塗塗料中の溶剤によりミストコート塗膜が膨潤し、ジンク塗膜内まで下塗塗料が浸透することによって、ピンホールが発生すると考えられる(図2)。また、同様のメカニズムでC-5塗装系でもピンホールが発生する可能性があり、特に次工程の下塗塗料の1回あたりの塗付量が増えたことにより、塗着直後の塗膜中の溶剤量が増えたため、ミストコート塗膜が膨潤しやすいと考えられる(表3)。

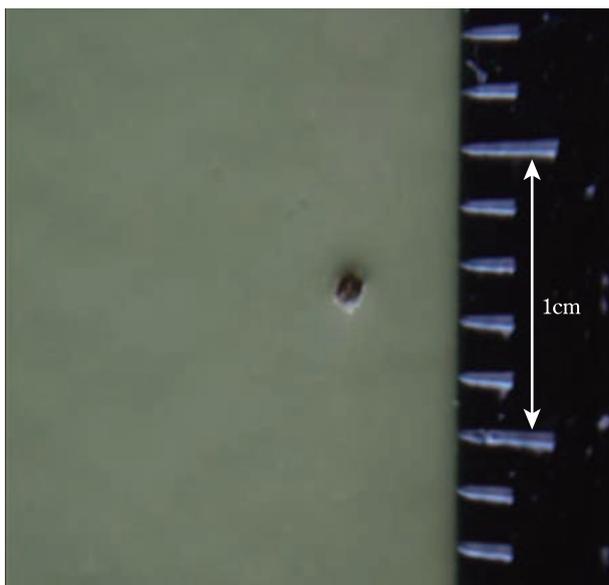


写真1 塗膜表面にあるピンホール

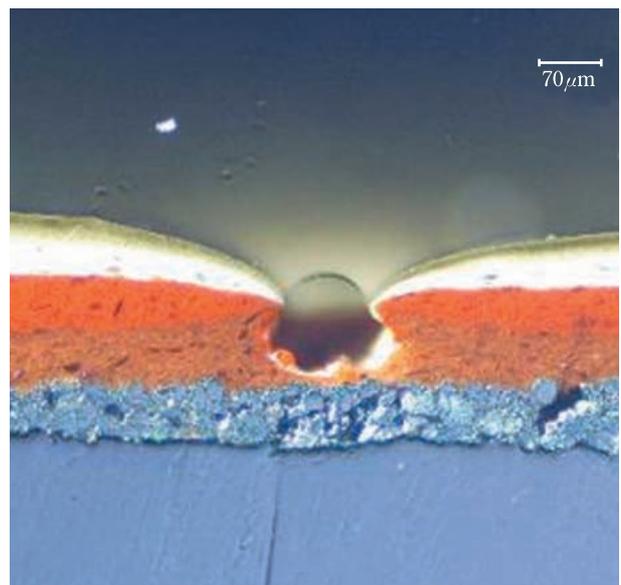


写真2 ピンホールの形状(断面)

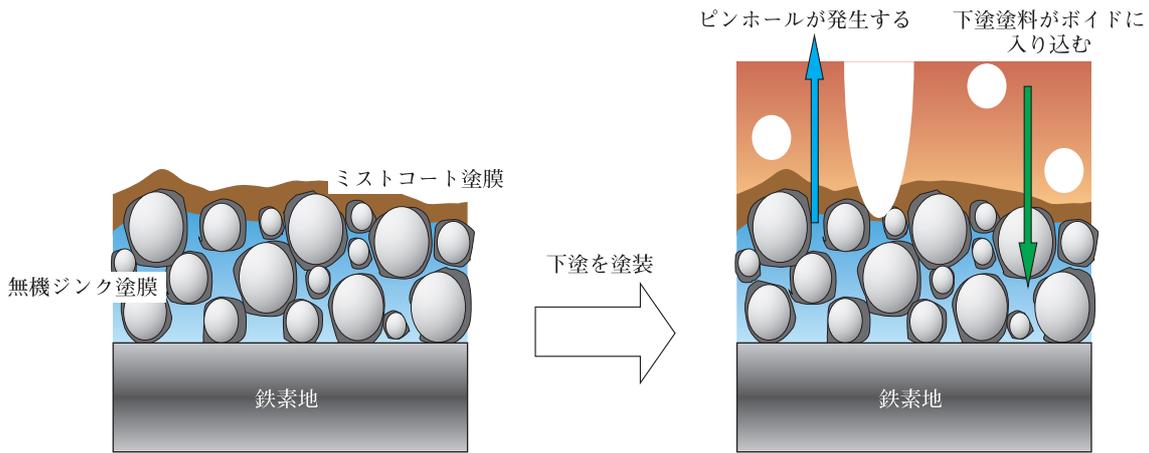


図2 ピンホール発生メカニズム

表3 下塗の塗付量と溶剤量の比較

	C-4 塗装系	C-5 塗装系
下塗 塗付量	300 g/m ²	540 g/m ²
溶剤量 (10%希釈)	174 g/m ²	324 g/m ²

3. 課題の対策に向けて

3.1 試験塗装の実施

ピンホールの発生を抑制できる安定した塗装系の確立を目的として試験塗装を計画し、実施した。

今回試験塗装を実施した独立行政法人 土木研究所の朝霧材料観測場（静岡県富士宮市）は、標高1000 mに近い高地に位置し、ピンホールが発生し易い低温条件下での塗装を行うことができる。また、実機に近い塗装を行うための試験体として、材料観測場内に設置されている模擬橋梁桁（高さ1.2 m、横6.2 m 北面及び南面を塗装）を使用した（写真3）。

試験塗装は、平成19年11月13日に無機ジンクリッチペイントを塗装し、約一週間後の19日にミストコートを塗装した後、22日まで1日1工程の塗装（下塗・中塗・上塗）を実施した。その時の外気温湿度条件について表4に示す。各条



写真3 模擬橋梁試験体の全景

件は、塗装する時間により上下したが、特に北面での気温は8～14℃と低温条件であった。

表4 塗装工程と外気温湿度データ

	塗装工程	防食下地	ミストコート	下塗	中塗	上塗
	塗装日	11月13日	11月19日	11月20日	11月21日	11月22日
北側	気温 (°C)	14.0	11.2	8.2	9.6	8.8
	鋼板温度 (°C)	12.8	10.5	7.6	7.5	8.0
	露点 (°C)	-3.0	-5.0以下	0.5	-5.0以下	-5.0以下
	相対湿度 (%)	30.2	30.5	57.0	26.0	26.0
南側	気温 (°C)	18.5	14.3	15.4	13.4	12.2
	鋼板温度 (°C)	17.6	13.8	11.0	12.6	11.9
	露点 (°C)	1.0	-3.0	4.0	-3.0	-4.0
	相対湿度 (%)	30.5	30.6	48.0	31.5	30.6

新技術

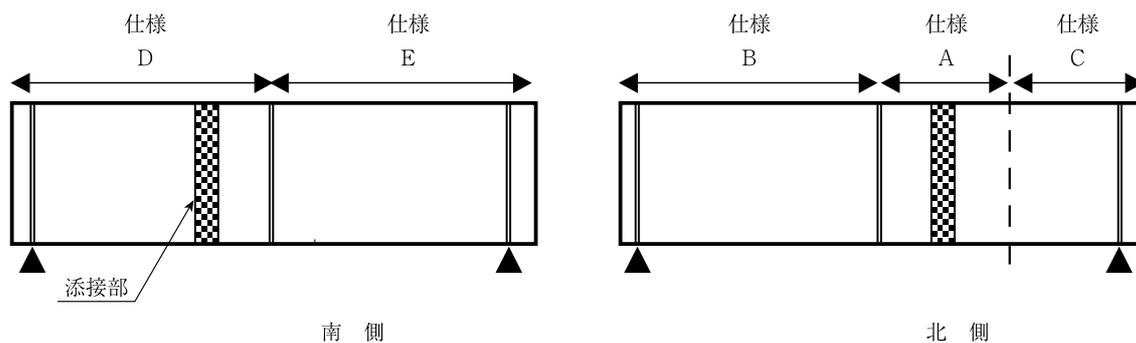


図3 試験塗装の塗り分け図

表5 使用機材の内容

塗装機	グラコ プレジデント 30:1
1次圧	4.0 MPa
スプレーガン	精和エアレスガン
ガンフィルター	100×
Suc.フィルター	80×
攪拌機	電動攪拌機

塗料ホース	5m×4/8"
チップ(*)	ジンク 519
	ミストコート 415 / 417 / 513
	下塗り 419 / 515
	中塗/上塗 515
1次ろ過	寒冷紗
ラインフィルター	なし
沈降防止	なし

(*)チップに関しては塗料種により変更した

試験塗装に供試した仕様を以下に示す。耐溶剤性を向上させたミストコート用塗料-1、-2および空隙率を低減させた無機ジンクリッチペイントを用いた仕様を検討した。

- 仕様A:C-4塗装系 下塗2回塗装(比較)
- 仕様B:C-5塗装系 仕様Aと同じミストコート塗料を塗装(標準)

- 仕様C:C-5塗装系 無機ジンクリッチペイント(従来)とミストコート用塗料-1の組み合わせ
 - 仕様D:C-5塗装系 無機ジンクリッチペイント(従来)とミストコート用塗料-2の組み合わせ
 - 仕様E:C-5塗装系 空隙率低減型無機ジンクリッチペイントとミストコート用塗料-2の組み合わせ
- 実際の塗装は、図3に示すような塗り分けを行い、本試験塗装に使用した機材は、表5の通りである。

表6 試験塗装の仕様とそのテスト結果

	工 程				結 果	
	厚膜形無機ジンク (75 μm)	ミストコート (160 g/m ²)	厚膜形下塗 (120 μm)	中塗・上塗 (30+25 μm)	ミストコート塗膜のラビング試験結果	下塗塗装後のピンホール
仕様A(比較) 旧便覧、C-4塗装	厚膜形無機ジンクリッチペイント(従来)	ミストコート用塗料(従来)	現行・エポキシ下塗(60 μm 2回塗り)	ふっ素樹脂塗料(中塗、上塗)	× (塗膜の溶解あり)	○ (発生なし)
仕様B(標準) C-5塗装	厚膜形無機ジンクリッチペイント(従来)	ミストコート用塗料(従来)	現行・厚膜エポキシ下塗(120 μm 1回塗り)	ふっ素樹脂塗料(中塗、上塗)	× (塗膜の溶解あり)	× (発生あり)
仕様C C-5塗装(現ジンク/改ミスト)	厚膜形無機ジンクリッチペイント(従来)	ミストコート用塗料-1	現行・厚膜エポキシ下塗(120 μm 1回塗り)	ふっ素樹脂塗料(中塗、上塗)	○ (塗膜の溶解なし)	○ (発生なし)
仕様D C-5塗装(現ジンク/改ミスト)	厚膜形無機ジンクリッチペイント(従来)	ミストコート用塗料-2	現行・厚膜エポキシ下塗(120 μm 1回塗り)	ふっ素樹脂塗料(中塗、上塗)	○△ (塗膜の一部が溶解)	△ (発生少)
仕様E C-5塗装(改ジンク/改ミスト)	厚膜形無機ジンクリッチペイント(空隙率低減)	ミストコート用塗料-2	現行・厚膜エポキシ下塗(120 μm 1回塗り)	ふっ素樹脂塗料(中塗、上塗)	○△ (塗膜の一部が溶解)	○ (発生なし)

新技術

3.2 試験塗装の結果

試験塗装の結果を表6に示す。

比較のC-4塗装系では、ピンホールの発生が見られなかったのに対し、C-5塗装系では、ピンホールが発生した。これはC-5塗装系において下塗が一度に120 μm 塗装されることにより、60 μm で2工程を塗装するC-4塗装系に比べ、塗装後の下塗塗膜中の溶剤量が増えたため、ミストコート塗膜への接触時間が長くなったためである。その影響により、塗膜が膨潤することでジंक層内のポイドに下塗塗料が浸透し、発生したためと考えられる。以上のことから、溶剤揮発分が少なく、塗着後の溶剤量が増える冬期の塗装や下塗の厚塗りにおいては、同様なピンホールが発生する可能性が高くなると推測される。

このようなピンホールの発生に対して、ミストコート用エポキシ樹脂塗料の耐溶剤性を向上させたミストコート用塗料-1を塗装することにより、ピンホールの発生を抑制することができた。また、試験塗装時において、ミストコートを塗装した翌日にエポキシ用シンナーを含ませたガーゼでミストコート塗膜の表面を手で10往復ラビングし、耐溶剤性を確認した(図4)。その結果、ピンホールが発生した仕様Bの従来のミストコート膜は、溶剤に溶解したが、耐溶剤性を向上させたピンホールの発生を抑制できたミストコート用塗料-1(仕様C)では、塗膜の溶解はほとんど見られなかった(写真4)。

また、防食下地である無機ジंकリッチペイントの塗膜内のポイドを減少させた塗料(仕様E)も、ピンホールの発生を抑制することが確認できた。

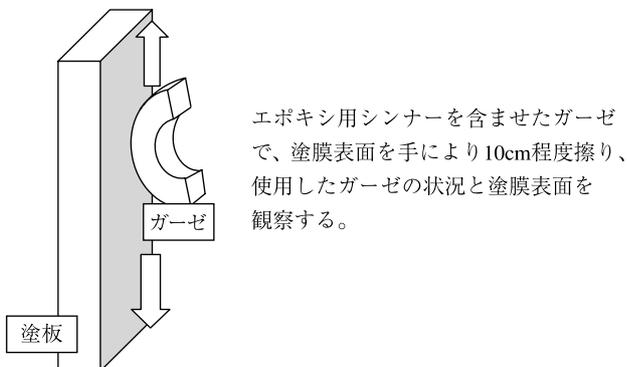


図4 ラビング試験の概要

	仕様A(従来仕様)	仕様C(ミストコート用塗料-1)
ラビング試験		
下塗塗装後のピンホール	× (発生あり)	○ (発生なし)

写真4 ラビング試験後の塗膜の状態

4. まとめ

朝霧高原材料観測場での試験塗装より、下記の知見が得られた。

- (1) 『鋼道路橋塗装・防食便覧』のC-5塗装系では、C-4塗装系に比べ、低温環境下においてピンホールが発生する可能性が高い。
- (2) ミストコートに適用するエポキシ樹脂塗料の耐溶剤性を向上させることで、ピンホールの発生を抑制できた。
- (3) 無機ジंकリッチペイントのポイドを減少させることにより、ピンホールの発生を抑制することができた。但し、塗料品質として道路示方書に規定される亜鉛末の含有量および粒径を満足していることが前提となる(表7)。

表7 道路示方書に規定された内容

項目	条件
接触面片面あたりの最小乾燥塗膜厚	30 μm 以上
接触面の合計乾燥塗膜厚	90~200 μm
乾燥塗膜中の亜鉛含有量	80wt%以上
亜鉛末の粒径(50%平均粒径)	10 μm 程度以上

5. おわりに

C-5塗装系が、『鋼道路橋塗装・防食便覧』の改訂で設定されたことにより、各地でC-5塗装系による新設橋梁の塗装が多く実施されている。今回の試験施工で得られた知見より、安定した作業性を確保できる塗装系が確立できると考える。

参考文献

- 1) 日本道路協会：“鋼道路橋塗装便覧”、P.22-23、丸善、(1990)
- 2) 日本道路協会：“鋼道路橋塗装・防食便覧”、P.II-32、丸善(2005)
- 3) 道路指示方書(I 共通編・II 鋼橋編)・同解説、P.470、丸善、(2002)