

V-1-2 鋼橋塗替え塗装の高度化に関する研究(2)

研究予算：運営費交付金(道路整備勘定)
研究期間：平15～平17
担当チーム：材料地盤研究グループ(新材料)
研究担当者：西崎 到、守屋 進

【要旨】

橋梁などの鋼構造物の耐久性を確保するためには、塗装など被覆による防食が不可欠である。しかし、完成した社会資本ストックの増大とともに維持管理費の削減が求められている。このため、より耐久性の高い塗料の使用による塗装間隔の延長化など、その維持管理の効率化が重要な課題となっている。そのため、塗り重ね回数を低減して塗装コストを削減できる新規塗料の性能評価試験と耐久性評価試験、および塗着効率の良い塗装方法による新規塗料の施工性に関する検討を行った。

キーワード：鋼橋塗装、塗装コスト、性能評価試験、耐久性評価試験、塗装方法

1. はじめに

橋梁などの鋼構造物の耐久性を確保するためには、塗装など被覆による防食が不可欠である。完成した社会資本ストックの増大とともに維持管理費の削減が求められているため、より耐久性の高い塗料の使用による塗装間隔の延長化など、その維持管理の効率化に関する技術開発が重要な課題となっている。このため、塗り重ね回数を低減して塗装コストを削減できる新規塗料の性能評価試験と耐久性評価試験、および塗着効率の良い塗装方法による新規塗料の施工性に関する検討を行った。

2. 新規塗料の評価試験

2.1 新規塗料

鋼橋は約7万橋のストックがあり、その大半は塗装が施され鋼材の防食および着色による景観機能が付与されていた。塗装の大多数は、一般塗装系(鋼道路橋塗装便覧のA塗装系)が塗装されている。この塗装系は10年前後で塗替え塗装が行われれば鋼橋はその機能を長期間維持することは可能である。しかしながら、経済情勢の変化と鋼橋ストックの増大により適切な間隔で塗替え塗装が行うことが困難となってきたことから、塗り替え周期の延長化が求められている。しかしながら、スパイクタイヤの禁止による塩化カルシウムや塩化ナトリウムなどの鋼材の腐食を促進する塩化物を含む凍結防止剤の散布量の増大にともない、塗膜の劣化も早まっているのが現状である。鋼橋塗装のLCCを削減するためには、これまで海峡横断橋や海岸線付近の海上橋など

に適用されていた耐久性に優れた重防食塗装系(鋼道路橋塗装便覧のC塗装系)の一般橋梁への適用が有効で、塗替え周期が3～5倍に延長され鋼橋塗装のLCCを削減することが期待される。

重防食塗装系は、一般塗装系に比べて塗り重ね回数(A塗装系4、C塗装系6回)が多いこと、並びに塗料が高価であることから、その塗装費(材料費と塗装工費、ただし、足場は橋梁の形状、設置状況、規模により異なるので足場費等を含めない)は、ほぼ2倍となる。重防食塗装系を広く普及させて鋼橋塗装のLCCを削減するために塗装費の低減が求められている。

このため、重防食塗装系の防食性能と耐久性を維持したうえで、塗り重ね回数を削減するなどして塗装費の削減を目指した新規塗装系を実用化するため表-1に示した34種類の塗装系を考案し、その防食性能並びに耐候性の評価を行った。

新設の一般外面用塗装系は鋼道路橋塗装便覧のC2とC4塗装系、内面用塗装系はD4、塗替えの一般外面用塗装系はc3の素地調整程度2種と3種を基準として、新規塗装系はこれらと同等以上の防食性能と耐候性などの性能を有し、かつ耐久性も有していると考えられることを条件に選定した。また、近年の環境問題を考慮して、有害重金属の防錆顔料を含まないこと、並びに大気汚染物質のひとつである揮発性有機溶剂量(VOC)をできるだけ削減することとした。

表-1 新規塗料を用いた塗装系

塗装系No.	対応塗装系	コスト指数	塗装系						合計膜厚
			第1層目	第2層目	第3層目	第4層目	第5層目	第6層目	
便覧C4	一般外面	100	無機ゾリッチェイント (75μm)	ミストコート (-)	エポキシ樹脂塗料下塗 (60μm)	エポキシ樹脂塗料下塗 (60μm)	ふっ素樹脂塗料用中塗 (30μm)	ふっ素樹脂塗料上塗 (25μm)	250μm
便覧C2	一般外面	100	無機ゾリッチェイント (75μm)	ミストコート (-)	エポキシ樹脂塗料下塗 (60μm)	エポキシ樹脂塗料下塗 (60μm)	ポリウレタン樹脂塗料用中塗 (30μm)	ポリウレタン樹脂塗料上塗 (25μm)	250μm
便覧D4	内面	100	変性エポキシ樹脂塗料 (120μm)	変性エポキシ樹脂塗料 (120μm)					240μm
便覧c3 (2種)	一般外面塗替え (2種)	100	有機ゾリッチェイント (30μm)	変性エポキシ樹脂塗料下塗 (60μm)	変性エポキシ樹脂塗料下塗 (60μm)	ふっ素樹脂塗料用中塗 (30μm)	ふっ素樹脂塗料上塗 (25μm)		240μm
便覧c3 (3種)	一般外面塗替え (3種)	100	変性エポキシ樹脂塗料下塗 (63μm)	変性エポキシ樹脂塗料下塗 (60μm)	ふっ素樹脂塗料用中塗 (30μm)	ふっ素樹脂塗料上塗 (25μm)			240μm
C-1	一般外面/便覧C4	91.7	無機ゾリッチェイント (75μm)	ミストコート (-)	変性エポキシ樹脂塗料下塗 (125μm)	厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗 (50μm)			250μm
C-2	一般外面/便覧C4	87.2	無機ゾリッチェイント (75μm)	ミストコート (-)	変性エポキシ樹脂塗料下塗 (88μm)	厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗 (50μm)			213μm
C-3	一般外面/便覧C4	84.3	無機ゾリッチェイント (75μm)	ミストコート (-)	変性エポキシ樹脂塗料下塗 (63μm)	厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗 (50μm)			188μm
C-4	一般外面/便覧C4	81.4	無機ゾリッチェイント (75μm)	ミストコート (-)	変性エポキシ樹脂塗料下塗 (38μm)	厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗 (50μm)			163μm
C-5	一般外面/便覧C4	87.9	無機ゾリッチェイント (75μm)	ミストコート (-)	変性エポキシ樹脂塗料下塗 (125μm)	無機質系塗料上塗 (30μm)			230μm
C-6	一般外面/便覧C4	91.8	無機ゾリッチェイント (75μm)	ミストコート・下塗兼用塗料 (100μm)	厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗 (50μm)				225μm
C-8	内面/便覧D4	66	変性エポキシ樹脂塗料 (200μm)						200μm
D-2	一般外面/便覧C2	68.5	高摩擦有機ジンクリッチェイント (75μm)	厚膜エポキシ樹脂塗料下塗 (120μm)	厚膜ポリウレタン樹脂塗料上塗 (75μm)				270μm
D-3	一般外面/便覧C4	73.5	高摩擦有機ジンクリッチェイント (75μm)	厚膜エポキシ樹脂塗料下塗 (120μm)	厚膜ふっ素樹脂塗料上塗 (50μm)				245μm
D-4	一般外面/便覧C4	86.4	高摩擦有機ジンクリッチェイント (75μm)	厚膜エポキシ樹脂塗料下塗 (120μm)	高耐候ふっ素樹脂塗料上塗 (25μm)	高耐候ふっ素樹脂塗料上塗 (25μm)			245μm
D-5	一般外面/便覧C2	84.9	高摩擦有機ジンクリッチェイント (75μm)	弱溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗 (60μm)	弱溶剤形エポキシ樹脂塗料下塗 (60μm)	弱溶剤形ポリウレタン樹脂塗料用中塗 (30μm)	弱溶剤形ポリウレタン樹脂塗料上塗 (25μm)		205μm
K-3	一般外面/便覧C2	79.0	無機ゾリッチェイント (75μm)	ミストコート (-)	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗 (120μm)	下塗上塗兼用塗料 (55μm)			250μm
K-6	一般外面/便覧C4	65.0	高摩擦有機ゾリッチェイント (75μm)	エポキシ樹脂塗料下塗 (120μm)	下塗上塗兼用塗料 (55μm)				250μm
K-14	一般外面/便覧C4	91	無機ゾリッチェイント (75μm)	ミストコート (-)	弱溶剤可溶厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗 (125μm)	弱溶剤可溶厚膜型ふっ素樹脂塗料上塗 (50μm)			250μm
K-15	一般外面/便覧C4	77.9	高摩擦有機ゾリッチェイント (75μm)	弱溶剤可溶厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗 (125μm)	ふっ素樹脂塗料上塗 (50μm)				250μm
N-2	一般外面/便覧C4	96.3	無機ゾリッチェイント (75μm)	ミストコート (-)	省検査膜厚制御塗料 (120μm)	ふっ素樹脂塗料用中塗 (30μm)	ふっ素樹脂塗料上塗 (25μm)		250μm
N-2.1	内面/便覧D4	92.7	省検査膜厚制御塗料 (240μm)						240μm
N-3	一般外面/便覧C4	96	ポリウレタ専用プライマー (40μm)	ポリウレタ樹脂塗料 (1500μm)	ふっ素樹脂塗料上塗 (25μm)				1565μm
N-3.1	一般外面/便覧C4	93.5	有機ジンクリッチェイント (30μm)	ポリウレタ専用プライマー (40μm)	ポリウレタ樹脂塗料 (1000μm)	ふっ素樹脂塗料上塗 (25μm)			1095μm
N-4	一般外面塗替え (3種)	64.4	厚膜形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (100μm)	弱溶剤形厚膜ポリウレタン樹脂塗料上塗 (50μm)					150μm
N-4.1	一般外面塗替え (2種)	71.8	有機ジンクリッチェイント (30μm)	厚膜形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (100μm)	弱溶剤形厚膜ポリウレタン樹脂塗料上塗 (50μm)				180μm
N-7	一般外面/便覧C4	91.5	高摩擦有機ゾリッチェイント (75μm)	省検査膜厚制御塗料 (120μm)	ふっ素樹脂塗料用中塗 (30μm)	ふっ素樹脂塗料上塗 (25μm)			250μm
S-1	一般外面/便覧C4	82.3	無機ゾリッチェイント (75μm)	ミストコート (-)	低溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (120μm)	シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗 (60μm)			255μm
S-2	一般外面/便覧C4	71.1	高摩擦有機ゾリッチェイント (75μm)	低溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (120μm)	シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗 (60μm)				255μm

C-1~C-4は、便覧C4塗装系の第3, 4層を変性エポキシ樹脂塗料1層にし、第5, 6層を厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗り1層にして2層削減し塗装コストを8.3~18.6%削減を目指した塗装系である。変性エポキシ樹脂塗料の膜厚を防食性能に及ぼす最適膜厚を探索するために125~38 μ mに変化させた。C-5は、C-1の上塗りを無機質系に替えてVOCを大きく削減し塗装コストを12.1%削減した塗装系である。C-6は、ミストコートと下塗りを兼用させて1層とし、上塗りを厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗りし塗装コストを8.2%削減したものである。C-8は、内面用塗装系で変性エポキシ樹脂塗料を1層(200 μ m)とし塗装コストを34%削減した塗装系である。

D-2は、無機ジンクリッチペイントの代わりにミストコートが不要な高摩擦有機ジンクリッチペイントとし、厚膜エポキシ樹脂塗料を適用してエポキシ樹脂塗料を1層減らし、ポリウレタン樹脂塗料中・上塗りを厚膜化してさらに1層減らし、塗装コストを便覧C2塗装系に対して31.5%削減した塗装系である。D-3は、D-2の厚膜ポリウレタン樹脂塗料をより耐候性に優れている厚膜ふっ素樹脂塗料とし、塗装コストを便覧C4塗装系に対して26.5%削減した塗装系である。D-4は、D-3の厚膜ふっ素樹脂塗料をさらに耐候性を向上させた高耐候ふっ素樹脂塗料2回塗りとして塗装コストを13.6%削減した塗装系である。D-5は、便覧C2塗装系の無機ジンクリッチペイントを高摩擦有機ジンクリッチペイントとし、エポキシ樹脂塗料以降を臭気対策のため弱溶剤形塗料とし塗装コストを15.1%削減した塗装系である。

K-3は、便覧C4塗装系のエポキシ樹脂塗料2回を厚膜形エポキシ樹脂塗料にして1層減らし、下上兼用塗料でさらに1層減らし塗装コストを21%削減した塗装系である。K-6は、便覧C4塗装系の無機ジンクリッチペイントの代わりに高摩擦有機ジンクリッチペイントとし、厚膜エポキシ樹脂塗料を適用して1層エポキシ樹脂塗料を減らし、さらに下上兼用塗料とし塗装コストを35%削減した塗装系である。K-14は、便覧C4塗装系の防食下地は無機ジンクリッチペイントのままとして下塗り、上塗りをともに弱溶剤形厚膜形塗料とし塗装コストを9%削減した塗装系である。K-15は、K-14の無機ジンクリッチペイントを高摩擦有機ジンク

リッチペイントとし、塗装コストを22.1%削減した塗装系である。

N-2は、便覧C4塗装系のエポキシ樹脂塗料下塗り(2回)を、塗膜厚が一定以上にならないと安定した色調とならない特徴を持たせて、膜厚測定が不要な省検査膜厚制御塗料とし、塗装コストを3.7%削減した塗装系である。N-21は、便覧D4塗装系(内面用)を省検査膜厚制御塗料とし塗装コストを7.3%削減した塗装系である。N-3は、超厚膜形のポリウレタン樹脂塗料にふっ素樹脂塗料上塗りとし、塗装コストを4%削減した塗装系である。N-31は、N-3に防食下地として有機ジンクリッチペイントを入れポリウレタン樹脂塗料の膜厚を2/3とし、塗装コストを6.5%削減した塗装系である。N-4は、素地調整程度3種での塗替え用として厚膜形下塗りに弱溶剤形厚膜ポリウレタン樹脂塗料とし、塗装コストを35.6%削減した塗装系である。N-41は、N-4の素地調整程度2種で防食下地に有機ジンクリッチペイントとし、塗装コストを28.2%削減した塗装系である。N-7は、便覧C4塗装系の無機ジンクリッチペイントを高摩擦有機ジンクリッチペイントとし、下塗りを省検査膜厚制御塗料とし塗装コストを8.5%削減した塗装系である。

S-1は、便覧C4塗装系のエポキシ樹脂塗料下塗り2回を低溶剤形変性エポキシ樹脂塗料とし、シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗りとし、塗装コストを17.7%削減した塗装系である。S-2は、S-1の無機ジンクリッチペイントを高摩擦有機ジンクリッチペイントとし、塗装コストを28.9%削減した塗装系である。

2.2 性能評価試験

新規塗料を用いた塗装系の性能は、防食性能と耐候性で評価した。

2.2.1 防食性能

防食性能は、暴露試験と促進劣化試験を行った。暴露試験は、わが国のほぼ平均的な気象条件であるつくばと、厳しい腐食環境条件の沖縄で実施した。促進劣化試験は、土研式とJIS式の2とおりの複合サイクル試験を実施した。土研式は、「(30 $^{\circ}$ C/95%RH 湿潤) \times 1h ~ (30 $^{\circ}$ C/5%NaCl 塩水噴霧) \times 2h ~ [(50 $^{\circ}$ C/20%RH 乾燥) \times 1.5h ~ (50 $^{\circ}$ C/95%RH 湿潤) \times 1.5h] \times 6回 ~ (50 $^{\circ}$ C/20%RH 乾燥) \times 1.5h ~ (30 $^{\circ}$ C/20%RH 乾燥) \times 1.5h」の24時間を1サイクルとして250サイクルの試験を実施した。JIS

式は、JIS K 5621 に準拠し、「(30℃/5%NaCl 塩水噴霧)×0.5h～(30℃/95%RH 湿潤)×1.5h～(50℃/熱風乾燥)×2h～(30℃/温風乾燥)×2h」の6時間を1サイクルとして1000サイクルの試験を実施した。

実環境における塗膜の耐久性を評価するため、標準的な腐食環境であるつくばの建設材料研究施設と厳しい腐食環境である沖縄県大宜味村にある沖縄建設材料研究施設で暴露試験を行った。一般塗装系と異なり、重防食塗装系の塗膜は強固であり腐食因子を透過しにくいので、塗膜の一般的な耐食性試験法である塩水噴霧試験では塗膜性能を評価することはできない。このため、重防食塗装系の弱点である塗膜に外的な要因で傷が付いた場合を想定して、そこからの塗膜の劣化や鋼材の腐食を促進する方法を採用した。すなわち、塗装した試験片の一部に鋼素地に達するクロスカット(傷)を付け、クロスカット部からの塗膜ふくれ幅を評価した。

表-2 防食性能試験結果

塗装系記号	暴露試験後ふくれ幅				付着力試験(沖縄暴露)		促進劣化試験	
	つくば		沖縄		アドヒージョン試験結果	ごぼん目試験	ふくれ幅	
	表	裏	表	裏			土研式	JIS式
C-1	0.3	0	0	0	1.8	5/9	2mm	4mm
C-2	0.3	0.3	0.8	0.8	1.5	8/9	2.5mm	4mm
C-3	1.5	1	2.3	4.8	2.8	9/9	2.5mm	3mm
C-4	1.8	1.3	2.3	6	2.8	8/9	2.5mm	5mm
C-5	0.5	0	0.3	0.3	1.8	5/9	2mm	3mm
C-6	0.8	0.5	0.3	0.8	2.0	8/9	1.5mm	2mm
C-8	0	0	7.5	2.5	7.0以上	9/9	5mm	7mm
D-2	5	0.5	10	7.5	2.2	8/9	6mm	3mm
D-3	4	1.3	0.5	7.5	5.5	9/9	8mm	5mm
D-4	3.5	0	4	9	2.8	4/9	8mm	5mm
D-5	4.3	1.8	5	7.5	3.5	9/9	10mm	4mm
K-3	0	0	0	0	1.8	9/9	3mm	4mm
K-6	1	0	2.5	7.5	2.5	9/9	4mm	3mm
K-14	0.5	0.5	0	0	3.0	9/9	4mm	3mm
K-15	1.3	0.8	1.5	1	3.0	9/9	4.5mm	4mm
N-2	1.5	1.5	1	0.5	2.0	3/9	OK	3mm
N-21	0	0	0	0	4.8	9/9	11mm	8mm
N-3	0	0	18	14	6.0	9/9	13mm	5mm
N-31	0	0	25	15	5.5	9/9	2mm	0mm
N-4	4	2.5	33	33	5.5	9/9	26mm	20mm
N-41	2	2	19	17	4.0	9/9	17mm	12mm
N-7	2.3	3.5	45	29	3.2	9/9	25mm	13mm
S-1	0	0	1	0.5	6.2	8/9	2mm	4mm
S-2	1.8	0.5	3	7.5	4.0	9/9	16mm	5mm

試験片は縦300mm、横200mm、厚さ3.2mmの鋼板に表-1の新規塗料をそれぞれ規定の厚さに塗装し鋼

材素地に達する縦100mmの傷を入れて、南面に向けて暴露している。塗膜の耐食性は傷からの塗膜下腐食の進行程度を塗膜のふくれ幅の測定で評価した。傷のない一般部は、ふくれ、はがれ、われ、さびなどの塗膜外観調査を経過時間ごとに計測して塗膜の劣化傾向を評価した。また、暴露3年後に沖縄暴露試験片の塗膜の付着力をアドヒージョン試験とごぼん目試験で評価した。防食性能の試験結果を表-2に示す。これより、現時点で全ての試験項目で比較塗装系とほぼ同程度の防食性能があると考えられる新規塗装系は、全体の1/3程度であった。なお、いずれの塗装系も試験片の一般部には、ふくれ、はがれ、われ、さびは生じておらず良好であった。

2.2.2 耐候性

塗膜の耐候性は、暴露試験と促進耐候性試験(キセノンランプ法)を行った。キセノンランプ法は、「(ブラックパネル温度 65±2℃/95±3%湿潤)×18分～(ブラックパネル温度 65±2℃/60～80%RH 乾燥)×102分」の120分を1サイクルとして、2000時間行った。暴露試験片の評価は、塗膜のつやの程度を表す光沢保持率と、色彩の変化の程度を表す色差、および塗膜の汚れ程度を表す明度差で行った。促進耐候性試験(キセノンランプ法)の評価は、光沢保持率で行った。その耐候性の試験結果を表-3に示す。これより、3年間の暴露試験で比較塗装系より光沢保持率が劣ったのは24仕様中6仕様であった。色差は2仕様であった。明度差は1仕様であった。また、促進耐候性試験(キセノンランプ法)で比較塗装系より光沢保持率が劣ったのは24仕様中2仕様であった。すなわち、比較塗装系とほぼ同程度の耐候性があると判定された新規塗装系は、全体の3/4程度であった。

2.2.3 塗膜物性

塗膜の基本的な性能である塗膜物性試験を行った。塗膜物性試験は、塗膜の酸素透過性、水蒸気透過性、塗膜抵抗、および塗膜力学特性として塗膜の応力緩和能を測定した。その結果を表-4に示す。防食性能に及ぼす塗膜物性値の関係は、暴露試験がまだ3年しか経過していないため、関連性が明確となっていない。今後、暴露年数を経るにつれて塗膜物性値と防食性能の関係が明らかになると考えられる。

表-3 耐候性試験結果

塗装系記号	光沢保持率				色差				明度差				キセノン(光沢保持率)
	つくば		沖縄		つくば		沖縄		つくば		沖縄		
	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏	表	裏	
C-1	95.8	97.3	56.2	86.8	0.68	0.33	1.64	0.97	-0.51	0.00	-0.34	0.25	98.6
C-2	94.8	98.3	64.7	94.8	0.82	0.36	1.64	0.97	-0.68	-0.06	-0.19	-0.09	98.9
C-3	95.9	96.0	56.8	92.0	0.83	0.33	1.65	0.98	-0.61	-0.20	-0.24	-0.39	98.5
C-4	93.9	94.7	61.0	93.2	0.83	0.42	1.64	1.17	-0.61	-0.06	0.01	-0.53	97.8
C-5	95.6	89.7	84.3	96.1	0.63	1.20	0.74	0.99	-0.49	-0.61	0.73	-0.28	98.3
C-6	96.6	98.6	34.0	94.2	0.84	0.20	1.53	1.05	-0.71	0.01	-0.18	0.14	96.8
C-8	7.7	20.3	7.7	8.9	4.66	4.95	3.10	3.73	-2.63	-1.06	-1.24	-0.67	-
D-2	28.0	84.2	5.7	76.4	1.88	1.04	2.31	1.54	-1.09	-0.40	-0.33	0.15	63.7
D-3	93.2	96.3	29.1	85.8	1.09	0.29	2.18	0.78	-1.03	0.04	-0.67	0.09	65.1
D-4	96.2	101.1	77.4	91.6	1.52	0.57	1.38	3.34	-1.44	-0.52	-0.26	-3.32	98.6
D-5	59.1	94.5	23.7	90.8	1.95	1.66	1.37	1.62	-1.28	-0.65	0.39	-0.37	88.1
K-3	87.2	97.0	59.2	87.5	0.49	0.64	1.22	0.42	0.06	-0.11	0.25	-0.29	87.8
K-6	83.4	95.3	60.4	93.9	0.27	0.44	0.56	0.99	-0.12	-0.03	0.35	-0.91	85.7
K-14	90.7	96.6	61.7	95.4	1.04	0.47	2.21	1.12	-0.59	-0.13	-0.93	-0.17	94.0
K-15	92.0	96.6	64.6	91.5	1.24	0.35	2.31	2.13	-0.79	-0.05	-0.88	-1.77	96.7
N-2	103.3	109.4	38.6	102.4	1.16	0.67	0.74	1.88	-1.13	-0.62	-0.47	-1.85	92.6
N-21	7.5	31.5	8.6	15.7	8.18	2.26	8.42	6.63	-0.07	-0.54	0.14	-2.10	-
N-3	70.5	104.3	40.3	109.4	0.74	0.61	0.55	0.95	-0.66	0.17	0.19	-0.89	113.9
N-31	69.7	109.8	29.7	118.9	0.89	0.51	0.39	0.86	-0.84	-0.35	0.16	-0.52	108.5
N-4	50.7	96.6	23.8	121.1	0.43	1.08	0.74	1.03	-0.35	-0.96	0.64	-0.03	-
N-41	53.9	92.8	26.6	77.8	0.33	0.83	1.43	1.01	0.23	-0.41	0.45	0.35	-
N-7	97.4	108.1	42.4	99.0	1.18	0.49	0.51	0.17	-1.17	-0.38	-0.31	0.17	88.9
S-1	72.5	88.3	3.1	88.9	0.82	0.44	0.93	1.01	-0.58	-0.06	0.50	0.33	87.5
S-2	77.7	88.9	3.4	84.3	0.62	0.53	0.76	0.87	-0.42	-0.20	0.23	0.36	88.8

表-4 塗膜物性試験結果

塗装系記号	酸素透過性 酸素透過係 数 ($\times 10^{-11}$)	応力緩和		水蒸気透過性 透過度 ($g/m^2 \cdot 日$)	塗膜抵抗値(Ω)	
		貫入力 (kgf/cm^2)	応力の半 減期		初期	2年目
便覧C-4	0.80	75.5	70時間以上	2.6	1.45E+10	1.44E+10
便覧D-4	0.9	62.2→31.1	49分	13	9.1E+09	2.2E+09
便覧c-1(3種)	0	60.6→30.3	69秒	1.1	2.8E+07	3.2E+09
便覧c-1(2種)	0	77.6→38.7	23秒	1.1	9.6E+10	4.0E+09
C-1	2.69	119.6→59.7	17分	2	4.26E+11	6.21E+10
C-4	0.39	153.6→85	60時間以上	12.5	1.47E+11	4.11E+10
C-5	0.92	72.2→47	60時間以上	6.8	1.90E+11	1.45E+10
C-6	3.58	130.3→84.3	20時間以上	7.5	3.38E+11	7.53E+10
C-8	0.77	71→41.6	20時間以上	20	2.76E+10	1.09E+09
D-2	10.98	41.9→21	19分	13	7.23E+11	6.51E+10
D-3	1.87	136.5→85.6	20時間以上	6	1.37E+11	2.02E+10
D-4	1.12	63→56.5	70時間以上	3.8	4.00E+12	5.63E+12
D-5	1.29	59.3→29.7	19分	8.5	3.91E+07	5.20E+07
K-3	0.84	107.4	70時間以上	5.5	3.61E+09	6.67E+09
K-6	同上	同上	同上	同上	3.63E+09	4.58E+09
K-14	9.71	54.8	11秒	11.3	3.68E+11	3.06E+11
K-15	同上	同上	同上	同上	5.40E+11	1.36E+12
N-2	0	91.2→45.4	36分	6.5	1.1E+11	6.1E+10
N-21		76.4→38.2	1時間34分	13.7	2.2E+09	1.4E+10
N-3		6.9→3.9	70時間以上		6.9E+11	5.1E+11
N-31		5.9→3.3	70時間以上		5.3E+12	8.4E+11
N-4	2.52	21.6→10.8	7秒	5.6	9.2E+10	3.5E+09
N-41	1.69	23.9→11.7	6秒	7.5	3.7E+10	6.3E+09
N-7	0	72.8→36.3	1時間5分	3.1	3.8E+10	6.1E+09
S-1	0.68	53.2→26.6	23分	5.6(1.1)	7.98E+10	4.03E+10
S-2					1.18E+10	2.37E+10

3. 塗着効率の良い塗装方法

3.1 塗料飛散の少ない塗装機の現状調査

新設塗装では、工場塗装が主となるためスプレー塗装が行われている。しかし、塗替え塗装は現場塗装のため塗料の飛散による周囲への影響のためスプ

レー塗装はほとんど行われていない。現場塗装では、塗装工の老齢化の進行により熟練塗装工の不足(塗装技術の低下)が進んでいる。均質な塗膜が得られないと、いくら性能の高い塗料でもその性能を十分に発揮することができず、その耐久性は著しく低下してしまう。このためにも現場塗装の機械化を推進することが必要である。

現場塗装の機械化を進めるには、塗料の飛散を少なくすることが不可欠である。このため、塗料飛散が少なく効率よく塗膜を形成する現場スプレー塗装機について現状と要求性能の調査を行った。

その結果、静電式エアレス塗装機と補助エアを組み合わせた塗装機の開発が有望であることが分かった。このため、今後被塗物に良く付着する塗料微粒子の大きさの検討並びにエアアシストエアレス(霧化エア併用式)の検討、静電塗装の検討、導電性飛散防護メッシュシートの実用化などを総合的に検討する必要があることが明らかとなった。

3.2 新規塗料の施工性と塗着効率のよい塗装機の施工試験

朝霧暴露場(静岡県富士宮市)に設置してある実大桁試験体(高さ 1.8×幅 1.5×長さ 6.5m; 鋸桁)を用いて新規塗料の施工性試験を行った。また、このとき塗着効率のよいエアレス塗装機の施工試験も行った。ブラスト処理表面粗度 Rz45~98 μ m (Sa2程度)で旧塗膜(エポキシ樹脂系塗料)を除去した試験体に、今回の表-1の新規塗装系のなかで代表的な新規塗料である弱溶剤形有機ジンクリッチペイント、弱溶剤形厚膜エポキシ樹脂塗料、弱溶剤形中上兼用塗料、弱溶剤形厚膜ふっ素樹脂塗料の新規塗料4種と、比較として従来型の厚膜形有機ジンクリッチペイント、厚膜変性エポキシ樹脂塗料下塗、厚膜ポリウレタン樹脂塗料、厚膜ふっ素樹脂塗料を組み合わせて塗装系として塗装した。施工性試験に適用した塗装系を表-5に示す。試験体の施工面を写真-1に示す。

第1層目(有機ジンクリッチペイント)はエアレス塗装機で、第2,第3層目はエアアシストエアレス塗装機で塗装を行った。塗装作業は、塗料がだれることもなく作業性に問題はなかった。エアアシストエアレス塗装作業も各塗料とも通常のエアレス塗装機と大差ない塗装作業性であることが確認された。塗膜の外観や表面状態等の仕上り性も良好であった。また、エアアシストエアレス塗装機は、エアレス塗装機に比べて塗料ミスの飛散がほとんど感じられない程

度であった。

3.3 素地調整前処理法の検討

鋼道路橋塗装のLCCを低減するため、一般塗装系塗膜を重防食塗装系に塗り替えることが有効である。この際、ジンクリッチペイントを塗布するためには、一般塗装系塗膜を完全にはがすことが不可欠である。しかしながら、電動工具による素地調整程度2種では、非常に効率が悪く実用的でない。ブラスト処理が最も効率よく確実に旧塗膜を除去できるが、塗替え塗装では、周辺への塗膜ダストの飛散や騒音などの環境負荷が大きく、塗膜を含んだ研掃材の処理費用を要するなどの欠点がある。このため、現場素地調整の前処理として、塗膜をはく離剤で除去する方法について検討した。その結果、従来の塩化メチレンなどの人体に悪影響を及ぼす成分を含まない高級アルコール系のはく離剤の開発に成功した。このはく離剤は、塗膜に浸透して塗膜を軟化させるので、塗膜ダストの飛散がなく、塗膜だけを除去することが可能である。試験施工時の塗膜の軟化状況を写真-2に示す。ただし、さびは除去できないので、さび部は、塗膜除去後に電動工具で処理する必要がある。

4. まとめ

鋼橋塗装の維持管理費の削減を図るためには、耐久性に優れた重防食塗装系の適用が有効と考えられ、塗替え周期の延長によるLCC削減が期待されるが、塗重ね回数が多いなどの課題があった。本研究では重防食塗装系の防食性能と耐候性を維持したうえで、塗重ね回数を削減するなどして塗装費の削減を目指した34種類の新規塗装系を考案し、その防食性能並びに耐候性の評価を行った。その結果、従来の重防食塗料と同程度の防食性能を有していると思われる塗装系は、このうちの1/3程度、また同程度の耐候性を有していると思われる塗装系は3/4程度であった。今後、さらにこれらの試験を継続して新規塗料の耐久性を見極める必要がある。また、4種類の新規塗料について施工性試験を行った結果、従来の塗料とほとんど変わらないことが確認された。

塗着効率の良い塗装方法としてエアアシストエアレス塗装機は、塗料の飛散が少ない塗装機であることが確認された。

塗替え時の素地調整による塗膜ダストの飛散を防止するための前処理として、塗膜をはく離剤で除去する方法について検討し、従来の塩化メチレンなど

の人体に悪影響を及ぼす成分を含まない高級アルコール系のはく離剤の開発に成功した。

表-5 塗着効率の良い塗装機による施工性試験を行った新規塗装系

塗装工程	塗装系1	塗装系2	塗装系3	塗装系4
素地調整	サンドブラスト Sa 2程度 (表面粗度 Rz45~98 μm)			
第1層目	弱溶剤形有機ジンクリッチペイント 75 μm		厚膜形有機ジンクリッチペイント 75 μm	
第2層目	弱溶剤形厚膜エポキシ樹脂塗料下塗 120 μm		厚膜形変性エポキシ樹脂塗料下塗 120 μm	
第3層目	弱溶剤形中上兼用塗料 55 μm	弱溶剤形厚膜ふっ素樹脂塗料 50 μm	厚膜ポリウレタン樹脂塗料 55 μm	厚膜ふっ素樹脂塗料 50 μm

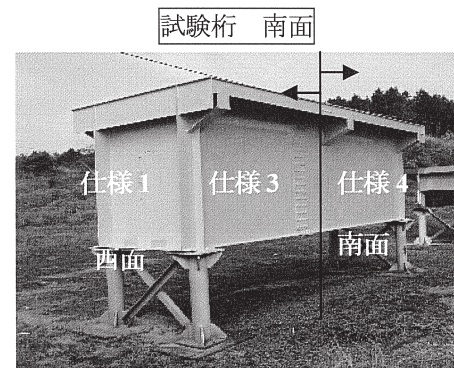
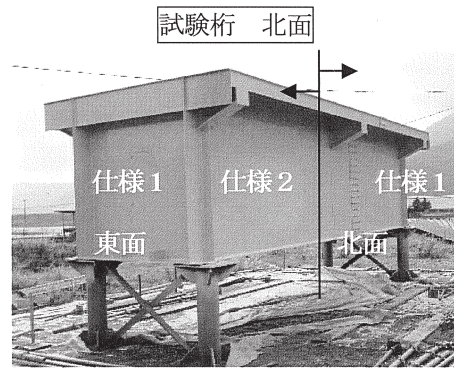


写真-1 新規塗料施工試験体

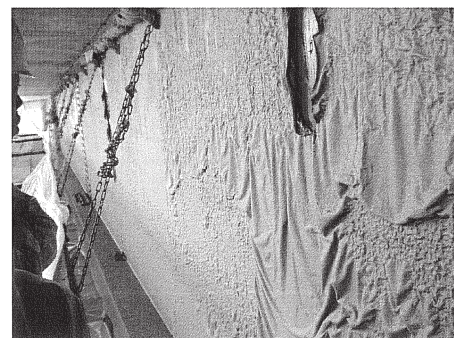


写真-2 はく離剤による塗膜の軟化状況