

省工程型塗装系の施工性および耐久性に関する検討

○ [土] 鈴木 慧 [土] 坂本 達朗（鉄道総研）

Workability and Durability of Process-saving Repainting System for Steel Structures

○Akira Suzuki, Tatsuro Sakamoto (Railway Technical Research Institute)

In recent years, the paint defects like crack and stripping are found in early stage after painting on steel structures. In order to improve these subjects, the authors proposed process-saving repainting system. This system relax internal stress of old film by reducing painting process. In this paper this system was applied to a steel railway bridge and the authors evaluated the workability and durability. It was found that controlling film thickness with the paint used in this system is difficult. Through 2 years outdoor exposure, the paint coats indicated equivalent or higher performance as compared to conventional one.

キーワード：鋼鉄道橋, 省工程型塗装系, 施工性, 耐久性

Key Words : steel railway bridge, process-saving repainting system, workability, durability

1. 背景

近年、塗替え施工を行った鋼鉄道橋に対して塗膜の割れや浮きが早期に発生する場合がある。この要因の 1 つに、下層の劣化した旧塗膜に内部応力が蓄積し変状の起点となることが挙げられる。これは旧塗膜上に塗り重ねた塗膜の硬化・収縮を要因とするものである。筆者らはこのような内部応力の増加を抑制する方法として、旧塗膜上への塗り重ね回数を減らした塗替え塗装系（以下、省工程型塗装系）を提案した。過去に実施した室内での促進耐候性試験などにおいては、省工程型塗装系の耐久性は現行の塗装系と同程度であることを確認している¹⁾。その一方で屋外の実構造物に対する施工性や耐久性については未だ検討されていない。本稿では省工程型塗装系の概要を述べるとともに、

実構造物に対する省工程型塗装系の施工性評価および、塗装後の追跡調査による塗膜の耐久性評価の結果について述べる。

2. 省工程型塗装系の概要

表 1 に省工程型塗装系と、鋼鉄道橋の一般的な耐久型塗替え仕様である塗装系 T-7 の概要を示す。塗装系 T-7 では 1 層目から 3 層目に 1 回あたりの目標膜厚が 60μm となる厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料を用いるのに対して、省工程型塗装系では 1 回あたりの目標膜厚が 90μm となるハイソリッド型厚膜変性エポキシ樹脂塗料を 1～2 層目に採用している。このため、素地調整により鋼素地が露出した箇所では 2 回の塗り重ね回数で従来と同じ膜厚を確保できる。さらに省工程型塗装系では、3 層目に耐候性と付着性を兼

表 1 各塗装系の概要

塗装系	工程	塗料名	区分 ^{注1}	標準塗布量 [g/m ²]	目標膜厚[μm]	
					1層	合計
省工程型 塗装系Ⅰ	第1層	ハイソリッド型厚膜変性エポキシ樹脂塗料	補修	300	90	230
	第2層	ハイソリッド型厚膜変性エポキシ樹脂塗料	補修	300	90	
	第3層	シリコン変性エポキシ樹脂塗料上塗	全面	150	50	
省工程型 塗装系Ⅱ	第1層	ハイソリッド型厚膜変性エポキシ樹脂塗料	補修	300	90	230
	第2層	ハイソリッド型厚膜変性エポキシ樹脂塗料	全面	300	90	
	第3層	シリコン変性エポキシ樹脂塗料上塗	全面	150	50	
塗装系 T-7	第1層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	補修	200	60	230
	第2層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	全面	200	60	
	第3層	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	全面	200	60	
	第4層	厚膜型ポリウレタン樹脂系塗料上塗	全面	150	50	

注1：補修：鋼露出部のみに塗料を塗布する条件、全面：塗装面全体に塗布する条件

ね備えたシリコン変性エポキシ樹脂塗料上塗を採用した。同塗料は塗装系 T-7 で使用される厚膜型ポリウレタン樹脂塗料上塗と比べて劣化した塗膜との付着性に優れるため旧塗膜上に直接塗装でき、塗装箇所の膜厚増加を抑制することが可能である²⁾。これより本施工試験では 3 層目のみを全面塗とした仕様を省工程型塗装系 I として設定したほか、シリコン変性エポキシ樹脂塗料の付着性に関して実環境下での知見がないことから 2 層目も全面塗りとした仕様である省工程型塗装系 II を同時に設定した。なお、表中の標準塗布量とは被塗面への塗布量だけでなく塗装器具に残存する塗料量を考慮して算出された値であり、実際の被塗面への塗布量はこれよりも少ない量となる。

3. 実橋りょうへの塗装試験

3.1 対象橋りょうおよび塗替え施工の概要

図 1 に示す対象鋼橋は太平洋沿岸に架設された下路プレートガーダ形式の鋼鉄道橋であり、架設年は 1957 年、前回の塗替えから約 15 年が経過している。残存する旧塗膜の膜厚は約 500 μ m であり、複数回の塗替え履歴を有している。

塗装系の塗分け範囲の概要を図 2 に示す。起点側から見て右側を山側主桁、左側を海側主桁と呼ぶ。塗装系には塗料製造メーカ 2 社（以降、A 社および B 社）の省工程型塗装系 I および II に加えて、比較のため先の 2 社と異なる塗料製造メーカ 1 社（以降、C 社）の塗装系 T-7 を合わせた全 5 条件を採用した。山側、海側両主桁に横桁で区切られた 5 区画を設定し、図中に示すように各塗装系を適用した。なお、本試験での評価対象は主桁の上フランジおよび腹板とした。

足場架設後の作業工程は以下の通りである。1 日目に素地調整を行い、さびおよび主桁の割れや浮きといった塗膜変状が発生している箇所の塗膜を除去した後に 1 層目の塗装を施した。それ以降は 1 日に 1 層ずつ塗装を行った。主な塗装方法はいずれの塗料についても同様であり、比較的平坦な部分ではローラ、リベットが使用される部分では刷毛を用いた。

4. 調査

4.1 施工性評価

施工性の調査項目は塗装後の外観調査および乾燥後の膜厚測定とした。膜厚は塗膜が硬化するまで測定できないため、塗装から約 2 ヶ月後に実施した追跡調査時に測定した。測定箇所は塗装前に得た旧塗膜残存箇所の記録を元に、各主桁の腹板内側面および上フランジ上面の旧塗膜が残存していない箇所とした。電磁式膜厚計を用いて当該箇所を 5 回測定し、その平均値と表 1 の目標膜厚との比較により施工性を評価した。

4.2 耐久性評価

塗装試験後、当該橋りょうに対し塗膜状態の追跡調査を実施した。調査項目は塗膜の耐久性を評価するのに一般的



図 1 橋りょう外観

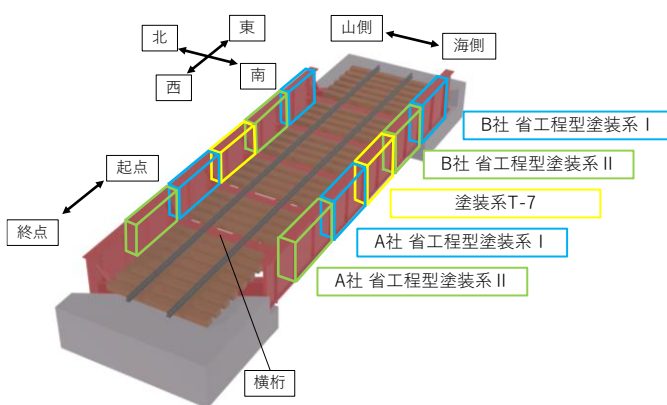


図 2 塗装概要

な項目である、上塗り塗膜の測色、光沢度測定および鋼素地または旧塗膜に対する付着性評価とした。調査はこれまでに塗装 2 か月後、1 年 2 か月後、2 年後の 3 回実施した。

(1) 測色

塗膜表面の色相の変化程度から、上塗り塗膜の耐久性を評価した。測定は JIS K5600-4-5 に基づき、昼光を模擬した照明 (D65 光源) における色彩値 (L^* , a^* , b^* 表色系) を測定した。なお本試験で適用した 2 種類の省工程型塗装系の上塗り塗膜は同種のため、省工程型塗装系 II の条件は測定を省略した。測定箇所は塗装系ごとに山側主桁の上フランジ上面および腹板内側面、また海側主桁の腹板内側面とし、塗装表面の水拭き前後で測定した。紙面上で色相を再現して視覚的に評価するため、当該箇所における 3 回の測定結果を平均し、三刺激値 (XYZ 表色系) に変換することで得られた色相を比較した。

(2) 光沢度測定

塗膜表面の光沢の変化程度から、上塗り塗膜の耐久性を評価した。測定は JIS K 5600-4-7 に基づいた塗膜の光沢度測定とし、同測定の一般的な試験条件である入射角 60°での測定値を表面光沢度とした。測色と同様に省工程型塗装系 II の測定は省略した。測定箇所は前項の測色と同様とし、塗膜表面の水拭き前後で測定した。当該箇所における 3 回の測定結果を平均し、初回に当たる塗装 2 か月後の測

定値を基準とし、これに対する割合（光沢保持率）を算出して光沢の変化程度を評価した。

(3) 付着性評価

被塗面に対する塗装系の付着性評価のため、JIS K 5600-5-7 に準じたアドヒジョン試験を実施した。対象箇所は塗膜表面にアルミニウム合金治具を接着剤で貼り付け、治具周辺の塗膜を除去した後、電動式の試験機で治具を垂直に引張ることによって塗膜を破断させた。このときに得られた破断時応力と破断状態から塗膜の健全性を評価した。測定箇所は塗装系ごとに山側主桁の上フランジ上面および腹板内側面とし、各箇所でも2点測定した。3.1 節で記載したように評価箇所は部分的に旧塗膜が残存しているため、旧塗膜の有無による破断状況の差を確認するため、上フランジ上面においては旧塗膜が残存する箇所を対象とし、腹板内側面においては旧塗膜を除去した箇所を対象とした。

5. 調査結果

5.1 施工性評価

塗装後の外観調査の結果、塗装初期にみられる塗膜欠陥はいずれの塗装系においても確認されなかった。

膜厚測定結果を図 3 に示す。いずれの塗装系においても鋼露出部における各塗料の目標膜厚の合計は表 1 に示すように 230 μ m である。省工程型塗装系ではこの目標値に至らない測定箇所があったものの、いずれも鋼構造物塗装設計施工指針³⁾の新設塗装時における膜厚の下限合格判定値（目標膜厚の 75%以上）は満足しており、施工品質上の大きな問題にはならないと言える。ただし、膜厚の薄い箇所では約 200 μ m、厚い箇所では約 400 μ m であるなど、従来の仕様である塗装系 T-7 と比較して膜厚のばらつきが大きくなる傾向があった。この要因の一つに、同塗装系で使用する塗料が従来塗料と異なる施工性を有することが挙げられる。また、膜厚測定箇所の塗装はローラによるものであり、新設塗装時の塗装方法であるエアレススプレーと比較して塗膜表面の不陸が大きく、膜厚測定結果に影響したことが挙げられる。以上から同塗装系を用いた場合、使用塗料の塗膜のバラつきを定量化し、不陸を抑制する施工管理方法を構築するのが望ましい。

5.2 耐久性評価

(1) 測色

水拭き前後の結果に有意な差は見られなかったため、表 2 に各塗装系の水拭き後の測定値から算出した色相を示す。塗装後 2 年経過時点でも、省工程型塗装系 I、塗装系 T-7 とともに初期の色相から顕著な変化は認められず、本調査期間内での塗膜表面の色相の変化程度において、省工程型塗装系と従来塗装系で有意な性能の違いは生じていないと考えられる。

(2) 光沢度測定

測色と同様、水拭き前後の結果に有意な差異は見られなかったため、表 3 に各塗装系の水拭き後の光沢保持率を示す。

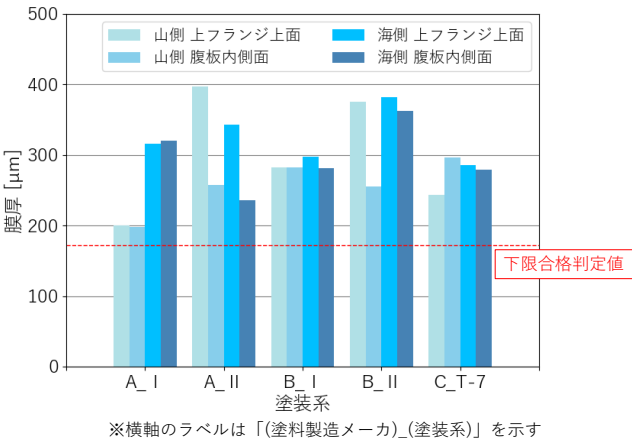


図 3 膜厚測定結果

表 2 測色結果

塗装系		測定部位		2か月後	1年2か月後	2年後
A社	省工程型 塗装系Ⅰ	山側主桁	上フランジ上面			
			腹板内側面			
		海側主桁	腹板内側面		-	
B社		山側主桁	上フランジ上面			
			腹板内側面			
		海側主桁	腹板内側面		-	
C社	T-7	山側主桁	上フランジ上面			
			腹板内側面			
		海側主桁	腹板内側面		-	

表 3 光沢度測定結果

塗装系		測定部位		光沢保持率[%]		
				2か月後	1年2か月後	2年後
A社	省工程型 塗装系Ⅰ	山側主桁	上フランジ上面	100	84.8	63.4
			腹板内側面	100	103.2	60.8
		海側主桁	腹板内側面	100	－	76.0
B社		山側主桁	上フランジ上面	100	88.6	114.9
			腹板内側面	100	111.0	123.8
			海側主桁	腹板内側面	100	－
C社	T-7	山側主桁	上フランジ上面	100	137.2	50.3
			腹板内側面	100	113.4	99.4
		海側主桁	腹板内側面	100	－	123.0

す。塗装後 2 年経過時点で A 社の省工程型塗装系 I および塗装系 T-7 の条件で、初期から光沢保持率が低下した部材が確認されたが、B 社の省工程型塗装系 I は初期の水準を維持していた。塗装系ごとに比較すると平均的には A 社の省工程型塗装系 I で光沢保持率が低い傾向にあったが、全ての測定結果のうち光沢保持率が最も低いのは塗装系 T-7 の上フランジ上面であり、光沢の変化程度における耐久性の優劣は現時点ではつけがたく、今後も光沢度測定を継続する必要がある。

(3) 付着性評価試験

旧塗膜が残存した箇所におけるアドヒジョン試験結果を表 4 に示す。いずれの塗装系も初期に当たる 2 か月経過時の破断時応力は比較的ばらつきが小さいものの、1 年 2 か月以降は同一の塗装系で同時期に測定した値が 5 MPa 以上異なるなどばらつきが大きい条件が見られるようになった。これについては測定の原理上、対象塗膜の不陸程度や旧塗膜の状態に影響を受けていることが原因と考えられる。

が、経時に伴い付着状況が変化した可能性も考慮し、今後
も測定を継続した上で傾向を見出す必要がある。塗装系で
比較すると、省工程型塗装系ⅠとⅡでは設計上旧塗膜上へ
の塗り重ね回数が少ない省工程型塗装系Ⅰの方がより旧塗
膜への内部応力の影響を抑制でき、破断時応力が大きくな
ることが予想されたものの、本試験期間内の結果からは両
者の差は見出されなかった。ただしこれらの省工程型塗装
系を適用した箇所の破断時応力は、塗装系 T-7 の適用箇所
と比較するといくぶん高い傾向にあり、省工程型塗装系は
従来塗装系に対して、塗り重ねによる旧塗膜への影響は多
少なりとも改善できたと考えられる。また、破断箇所はい
ずれも接着剤と塗膜表層間、もしくは旧塗膜と鋼素地間
であり、本試験で塗装した塗膜と旧塗膜との付着性は確保
されていると考えられた。

鋼材露出部に各塗装系を適用した箇所のアドヒジョン試
験結果を表 5 に示す。本試験では旧塗膜が存在しないた
め、初期のみならず 1 年 2 か月以降も破断時応力のばらつ
きは少ない傾向にある。省工程型塗装系と塗装系 T-7 は初
期から同程度の破断時応力を示すものが多く、塗装後 2 年
経過時にも同等の水準で推移していることから、測定時に
おいてはいずれも健全な状態にあると推定される。

6. まとめ

旧塗膜からの変状発生を抑制を目的として提案した省工
程型塗装系について、実構造物に対する塗装の施工性評価
および追跡調査による耐久性評価を実施した。

施工性評価の結果、塗装初期にみられる塗膜欠陥は確認
されず、問題なく施工できていることを確認した。その一
方で、塗料使用量が若干多いことや、塗装箇所によって膜

厚のばらつきが生じやすいことが分かり、不陸を抑制する
施工管理方法を構築するのが望ましいことが分かった。

耐久性評価の結果、省工程型塗装系の上塗り塗膜の色相
の変化程度は従来塗装系と同程度であり、光沢の変化程度
についても本試験結果から優劣は付かなかった。付着性
については塗り重ねによる旧塗膜への影響を従来塗装系よ
りも抑制できる可能性を得るとともに、鋼素地に対して従
来塗装系と同等以上の付着性を維持していることが明らか
になった。今後、継続的に追跡調査を実施して、更に長期間
での耐久性評価を実施する予定である。

謝辞

本調査の実施にあたり、鋼橋塗装の調査・研究を目的に
設立している長期防錆対策研究会に参画する塗料メーカお
よび施工メーカの皆様に多大なご協力をいただいたことに
感謝の意を表します。また、現場の確保や施工試験の調整
に多大なご協力をいただいた西日本旅客鉄道株式会社の皆
様に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 坂本ら：ハイソリッド型塗料を用いた長期耐久型塗替え
塗装系の検討，第 33 回鉄橋塗装技術討論会発表予稿集，
2010
- 2) 山中ら：高腐食性環境下の塗装鋼橋における部位別の腐
食度および塗膜耐久性に関する検討，防錆防食技術発表
大会講演予稿集，Vol.37，pp.121-126，2017
- 3) （公財）鉄道総合技術研究所：鋼構造物塗装設計施工指
針，2013

表 4 アドヒジョン試験結果 旧塗膜上塗装箇所

塗装系		n	2か月後		1年2か月後		2年後	
			破断時応力 [MPa]	破断箇所	破断時応力 [MPa]	破断箇所	破断時応力 [MPa]	破断箇所
A社	省工程型 塗装系Ⅰ	1	7.6	A/T	14.7	A/T	6.4	A/T, O
		2	7.1	A/T	19.5	A/T	7.4	A/T, O
	省工程型 塗装系Ⅱ	1	7.0	O	9.4	O	9.0	A/T, O
		2	6.0	O	16.4	O	14.7	A/T
B社	省工程型 塗装系Ⅰ	1	8.9	A/T, O	7.6	O	7.0	O
		2	7.9	A/T	9.6	O	9.6	A/T, O
	省工程型 塗装系Ⅱ	1	8.7	A/T	12.7	A/T	8.3	A/T, O
		2	9.3	A/T	13.6	A/T	11.1	A/T, O
C社	T-7	1	5.3	O	12.0	A/T, O	5.6	O
		2	4.6	O	5.9	A/T, O	4.6	A/T, O

A/T：接着剤/塗膜表層間，O：塗膜/素地間

表 5 アドヒジョン試験結果 鋼材露出部塗装箇所

塗装系		n	2か月後		1年2か月後		2年後	
			破断時応力 [MPa]	破断箇所	破断時応力 [MPa]	破断箇所	破断時応力 [MPa]	破断箇所
A社	省工程型 塗装系Ⅰ	1	9.4	A/T	11.0	A/T	9.7	A/T, O
		2	10.0	A/T	11.5	A/T	9.3	A/T, O
	省工程型 塗装系Ⅱ	1	10.9	A/T	9.0	A/T	14.6	A/T, O
		2	11.5	A/T, O	15.7	A/T	14.5	A/T, O
B社	省工程型 塗装系Ⅰ	1	10.8	A/T	13.1	A/T	10.4	A/T, O
		2	10.7	A/T	11.7	A/T	12.6	A/T
	省工程型 塗装系Ⅱ	1	9.5	A/T	10.4	A/T	9.4	A/T, O
		2	9.3	A/T	11.3	A/T	9.3	A/T, O
C社	T-7	1	11.2	A/T	9.5	A/T	9.0	A/T
		2	10.7	A/T	8.3	A/T	8.7	A/T

A/T：接着剤/塗膜表層間，O：塗膜/素地間