

塗装工事における設計・施工の留意点

海岸近くの道路橋への Rc-I 塗装系の適用

片 脇 清 士

海岸近くの橋梁は腐食しやすく塗装劣化も早く、塗装橋の維持管理についてはご苦労が多いと聞いている。鋼道路橋塗装・防食便覧の改訂により、Rc-I 塗装系を塗替えに用いることができるようになった。この塗装系は重防食塗装であり、防食性が格段に向上すると期待されている。ところが、この塗装系はこれまでの塗替えとは異なる内容を含む塗装作業であることがわかってきた。本稿では海岸近くの道路橋へ Rc-I 塗装系を適用する際の塗装工事における設計・施工の留意点を紹介する。

キーワード：道路橋，塗装工事，Rc-I 塗装系，設計・施工の留意点，海岸

1. はじめに

海岸近くは、海からの潮風やしぶきをうけるところであり多少の塩分の多寡はあるが腐食的には過酷な環境である。道路橋のなかでもコンクリート橋では、飛来塩分マップで地域区分するなどして海岸近くの橋は特別扱いしている。鋼道路橋でも腐食して鋼材が減厚したり、欠損していたり、ひどい場合には、破断していることもある。錆びも層状に厚いといった例が多い。

鋼道路橋塗装・防食便覧の改訂により、Rc-I 塗装系を塗替えに用いることができるようになった^{1, 2)}。この塗装系は重防食塗装であり、防食性が格段に向上すると期待されている。ところが、この塗装系はこれまでの塗替えとは異なる内容を含む塗装作業であることがわかってきた。海岸近くの道路橋へ Rc-I 塗装系を適用する際の塗装工事における設計・施工の留意点を紹介したい。

2. 海岸近くの道路橋の腐食

腐食環境の厳しい状況下では塗替え塗装も一筋縄で

はいかない。海岸近くの橋梁では、塗装工事の不良が早期のさびにつながり、わずか数年後に発見されることもある（写真—1）。

失敗とは目標とする期間に至らないうちに再塗装が必要になることであろう。重防食塗装が目標とする期間が便覧などでは明示されていないが30～50年は期待しているようである。なのに、その半分程度の期間15～20年で、再塗装せざるを得なくなるのは塗替えの失敗といえるのではないか。

このような失敗の原因は何であろうか。コンクリート橋でさえも塩害で苦労しているのだから鋼橋が損傷しないわけがない。管理者はコンクリート橋よりも慎重に設計施工にあたるべきと思われる。管理者が適切に配慮すれば失敗は少なくなると期待されるし、実際に熱心な管理者がおられる事務所では塗装のもちが良いとも聞いている。塗装周期を5年延ばすだけでも塗装の年間維持費が1/4は軽減できることになり経済効果はきわめて大きい。

厚膜の塗装を用いる Rc-III 塗装系でも塗替え後早期にさびが再発したりしているのをしばしば見かける。



写真—1 塗装後数年して発見された不良工事 左：ウェッジの面取りをしていない，中：塗装時に十分にケレンしていなかった，右：さびの上から塗っていた



写真一2 早期さびを生じた塗装橋 (上塗りにはふっ素樹脂塗料)

Rc-I 塗装系であっても油断はできない (写真一2)。

これまでは失敗の原因をはっきりと究明することは難しかった。材料が悪いのか、施工が悪いのか、あるいは設計が悪いのか…などが、最近の調査技術の進歩により、なぜ失敗したかをかなりのレベルまで判断できるようになった。

たとえば、EPMA 分析では、工事不良塗装工事時にケレンが不十分であったこと、すなわち塗装時の品質管理が不足していたことを発見できる。写真一3は Rc-I 塗装工事でブラストしたものであるが数年のうちにさびが再発した事例を EPMA を用いて分析したものである。この EPMA 写真によれば、ブラストの仕上がりが悪いために、ジンクリッチペイントの膜が不均一になっていること、ブラスト時にさび取りが十分でなかったことがわかる。

ここで用いた EPMA 分析は4元素を同時に面分析することができる。ステージを移動させながら試料面の微小区画 (ピクセル) に電子線を当て、試料から放出される特性 X 線を同時に検出して、そこに含まれる元素の種類と濃度を求める。面分析は一定の面積内に含まれる複数のピクセルについて分析することができるので、いくつかの元素を比較するなどして原因の判定が容易となる。もともとはコンクリートの分析に用いていたものを鋼にも利用したものである (写真一4)。

筆者はここ数年少なからぬ鋼橋についてこのような調査を行ってきた。設計のミス、施工のミス、品質管



写真一4 4元素同時面分析型 EPMA (提供: 株式会社保全技術)

理・検査の甘さなど多くの原因が塗装寿命を縮めていることに気づいた。これらを少なくすることが橋梁塗装の長寿命化に根源的に寄与すると確信するようになった。地味な努力であるが、原因を明らかにしてそれらのひとつひとつをつぶしていけば、塗装が本来持っている性能を発揮させ全体を底上げすることにつながる。残念ながら、このようなことについて注意喚起する識者はまだ少ないようである。

3. Rc-I 塗装

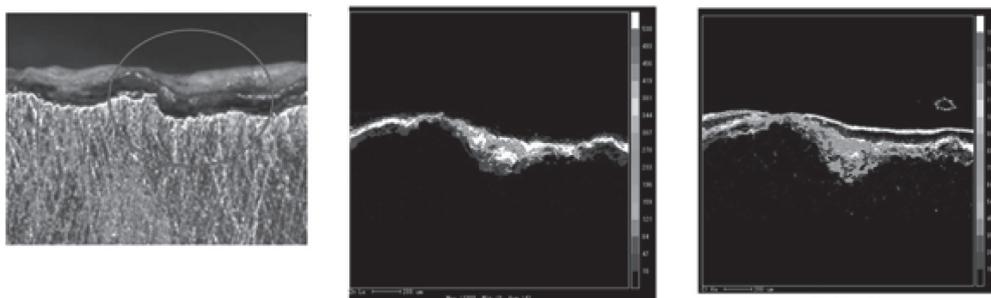
Rc-I 塗装は、旧塗膜をブラストし有機ジンクリッチペイント、エポキシ塗料上塗り塗料を塗装するシステムである (表一1)。

表一1 Rc-I 塗装系

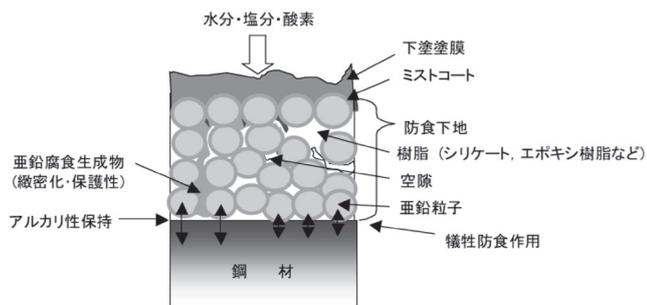
塗装工程	塗料名	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔
素地調整	素地調整程度1種		4時間以内
防食下地	有機ジンクリッチペイント	600	1日~10日
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	1日~10日
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	1日~10日
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	170	1日~10日
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	140	

なぜこれが防食性に優れているかといえば、まず、防食下地としてジンクリッチペイントを用いるからである (図一1)。

ジンクリッチペイントは他の塗料と異なり、電気化



写真一3 EPMA 分析で発見された工事不良 左: 鋼素地表面の拡大写真, 中: ジンクリッチペイントの性状, 右: 塩分の分布



図一 1 ジンクリッチペイントによる防食下地モデル³⁾

学的防食作用をもち、多少の腐食であれば発生を抑制する作用を持っている。次に、ブラストにより、いたんだ鋼材表面をまっさらにして新設と同じような鋼面とする。ミクロ的に観察すると経年した鋼面はさび部ではとてもひどいことになっている。腐食の再発をふせぐためには腐食の根となるさびをほぼ完全に除去する必要がある。ジンクリッチペイントとの付着を確保するために適当な粗度あらさをつける。ジンクリッチペイントにも種類があるが、防さび性能が高いものは付着の確保はむづかしい。さびの除去と粗さつけを同時にできるのは、いまのところブラストだけである。

ジンクリッチペイントが不良であったり、厚さが確保できないと電気化学的防食効果は低下する。ブラストが不良であれば、鋼材表面をまっさらにはできないし、腐食の根が残りさびが再発しやすくなる。Rc-I 塗装で期待ほどの効果が得られないときはこれらを疑うことになる。ブラストは世界的にみても鋼道路橋の素地調整の標準となっているが、このようなことからその仕上がりについては厳格な規定がなされている。

この Rc-I 塗装系は重防食塗装のひとつであるがわが国では長年月を経た実績はないので橋梁そのものの耐久性は確認されてはいない。が、重防食塗装を新設に用いた場合の耐久性については大型施設あるいは実橋で確認されている。表一 2 は筆者が設計や工事

に関係したものの一部をまとめたものである。現時点までに、長いものでは 30 年、少なくとも 20 年程度の実績は十分に得られている。20 年を経てもこれらに目立った損傷はほとんどないことから、重防食塗装が目標とする期間 30～50 年は期待できる。すなわち Rc-I 塗装系は、鋼素地を新設橋梁と同等にすることができれば、30～50 年は期待できることはこのような実績からも裏付けることができる。

4. 設計上の留意点

(1) 設計前調査

これまで、塗装設計においては「調査する」ということは少なかったが、海外の橋梁塗装では、専門家による調査がまず行われる慣習となっている。そう大きくない調査費用で設計が合理化できたりライフサイクルコストの低減ができるのだから安い支出といえよう。

設計前に（専門家による）調査が必要となるのは次の場合であろう。

- ・ 竣工後 50 年を経た橋梁
- ・ 前回塗装から 10 年以内にさびが再発した橋梁
- ・ 大きなはがれがみられる橋梁
- ・ さびやはがれが全体にみられる橋梁
- ・ 端部がとりわけいたんでいる橋梁
- ・ 大規模橋梁で Rc-III を選択する場合
- ・ 旧塗膜に塩化ゴム塗料を含む場合

とりわけ海岸近くの橋でこれらに当てはまる場合には、設計前調査は不可欠であろう。設計前に必要な調査項目を表一 3 に示す。

塗膜が多くの塗料から構成される複雑なものであること、その劣化原因が単純でないこと、損傷の再発を防ぐには化学的なデータが必要であることなどから、このような調査項目となる。専門家のアドバイスでこ

表一 2 大型施設あるいは実橋で確認された重防食塗装の耐久性

場所	暴露期間	上塗	耐久性の調査結果	種類	
海洋技術総合研究施設 (駿河湾沖)	1985～現在	U, F	30年近くの耐久性が確認された。さらに長期の耐久性が期待される。	大型施設	
沖縄建設材料耐久性試験施設 (沖縄県海岸)	1990～現在	U, F	20年以上の耐久性が確認された。		
大鳴門橋	1985～2004年～現在	U	20年前後で中・上塗りの塗り替え塗装を実施。 (予防保全的な塗替え)	橋梁	
瀬戸大橋	1988～現在	U			
明石大橋	1998～現在	F			さらに長期の耐久性が期待される。
生月大橋 長崎県海上	1991～現在	F			さらに長期の耐久性が期待される。

F：ふっ素樹脂塗料，U：ウレタン樹脂塗料

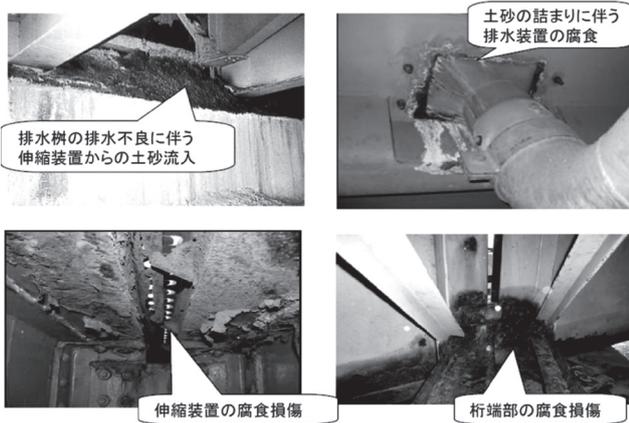
表一3 設計前に調査すべき項目 (海岸近くの橋梁塗装工事の場合)

分類	調査項目
目視観察	さび 腐食
	塗膜の劣化
	マイクロコアの採取
	塗装歴の確認
計器調査	付着性
	膜厚
	塗膜構成
	付着塩分
環境調査	飛来塩分
	ワッペン試験
マイクロコア分析	EPMA
	FT-IR
	特殊 (PCB など)
原因排除のための調査	漏水や排水不良

これらの項目から選ぶことができる。調査結果をもとにした専門家の診断から塗替えの方法や工法を選ぶことができ合理的な費用節減を図ることができる。

(2) 原因排除のための調査

塗装工事において見落とされがちなのは原因排除である。なぜ腐食したのかを調べると塗装の劣化だけが原因ではないことが多い。漏水、滞水、部品の劣化などが主原因となっていることが多く、塗替え塗装設計時にはこれらを含めた設計がなされるべきである (図一2)。

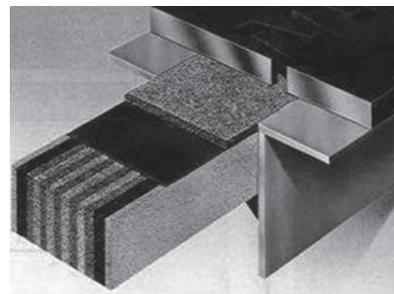


図一2 腐食の原因 漏水やみずまわりの不備

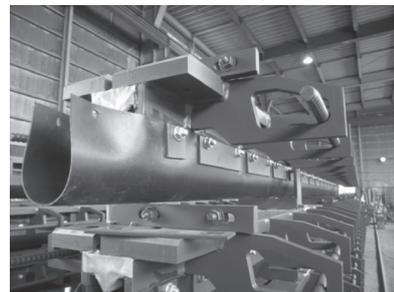
塗装工事とあわせて損傷原因を排除する工事を行う。これには、

- ①桁端部の風通しをよくする。
- ②泥、塵埃の堆積及び滞水を防止する。
- ③床版、伸縮装置、排水管からの漏水を防止する。
- ④排水管は、排水枘から鉛直に下ろし、鋼部材最下端からの突出長を十分確保する。

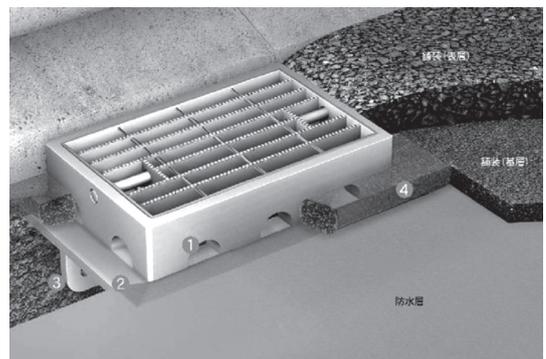
- ⑤横引き構造の排水処理とする場合は十分な排水勾配をつけて大口径の管を使用し、管のジョイントからの漏水対策を行う。
- ⑥床版に水抜き孔を設ける場合は、鋼桁に直接排水がかからない位置まで確実に導水する。
- ⑦非排水型伸縮装置を使用する。
- ⑧桁端に設置されている伸縮装置からの漏水を防ぐために、二重に止水を施すなどして伸縮装置からの漏水を完全に防ぐ。
- ⑨箱桁継手部は、フランジ端面や添接板の隙間から箱桁内に侵入するのでシール材で雨の侵入を防ぐ。桁端には、滞水を防ぐため集水用仕切板と排水孔を設ける。などがある (図一3)。



伸縮装置の非排水化



伸縮装置の二重止水



高機能排水枘

図一3 原因排除工法の例

(3) 設計

Rc-I 塗装工事には作業内容に幅があるので、いくつかのことがらを決定する必要がある。たとえば、プラスト作業に関する項目だけでも下記のようなものがある。

- ・ブラストの仕上がり (Sa, あらさ)
- ・腐食の激しさに対応してブラスト処理回数, 使用量
- ・構造物の形状に応じてブラスト処理回数, 使用量
- ・ブラスト工法の種類

これらは積算にかかわる項目でもあり, 塗装設計上のポイントでもある。

設計図書作成時にこれらが決定されていれば良いが, そうでない場合には, 足場架設後に腐食・塗膜調査を行ってブラスト作業の内容や工法選定のための判断をする。調査結果によっては設計変更がありうるので, 費用的にはゆとりしろをみておく必要がある。

腐食度合いが激しくなるほど, 複雑な構造ほど, 小部材となるほどブラスト効率は低下するので単価が上がらざるを得ない (現在のブラスト単価はさびのない状態での積算でないかと思われる)。

5. 施工上の留意点

契約から工事完了までの塗装工事のフローにおいて Rc-I 塗装工事にはこれまでの塗装とは異なる点がある (図-4)。

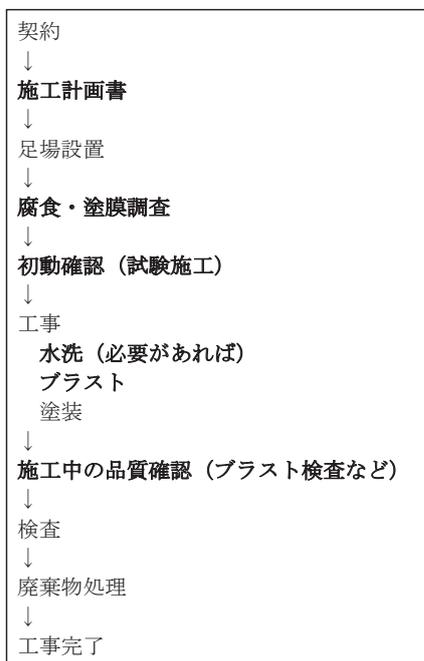


図-4 Rc-I 塗装工事のフロー
太字がこれまでの塗装工事と大きく異なるところ

(1) 施工計画書

塗装工事にかぎらず工事の首尾を決定する一番のポイントは協議の上施工計画書をきちんと作り上げることである。

Rc-I 塗装工事でも同じではあるが, 工事経験を共有する機会が少ないためもあるかブラストにおける

仕上がりに課題が多くトラブルのもとになっている。品質が確実に確保できるようにどのように施工するか, 工程内での管理レベルをどう明確に表現するかなどをきちんと決めておくべきである。ブラスト出来形検査要領などが管理者側で作成されていることが望ましい。

(2) ブラスト工事

ブラスト工事は機械化塗装である。大がかりであるだけでなく, 機械の設置場所の確保や騒音対策など特有のノウハウが必要である。機械工事による騒音や塵埃の問題も機器の改良や工事上の工夫によってかなりの水準にまで改善されてきたので, 経験ある施工者にとっては Rc-I 塗装工事は日常的なものとなってきた (写真-5)。



写真-5 Rc-I 塗装工事
ブラストに必要な大型機械が設置されている
(ショーボンド建設㈱提供)

工事者にとって現在の課題は, 品質と生産性の向上である。このために機器の配置, 人員の配置, 回収, 作業空間など様々な工夫がなされる。

(3) 初動確認と日々確認

本格施工の開始前に関係者立会 (発注者, 施工者, 立会者) により目標品質レベルの認識を共有し (ブラスト品質のレベル合わせ), 品質の可否水準を確認する (写真-6)。

Rc-I 塗装の場合には素地調整の仕上がりがかなめのひとつとなる。素地調整はやりやすいところはきれいにできるが, やりにくいところは大いに手間がかかる。ブラスト工事は過酷な現場なので, 暗がりや作業環境は良くない。このため, 工事中はブラスト作業員以外は立ち入ることもできない場合がある。塗ってしまえば, 素地調整の良し悪しはわからないところがつらいところである。これまでの現場経験では, 熟練したブラスト作業員であっても, し残しがあったりして手直しは不可避であった。

そこでどのように日々の確認 (検査) をするかが課



写真-6 本橋施工開始前に関係者立会（発注者、施工者、立会者）でブラスト仕上がりを確認。立会者はブラスト工事の品質管理に熟達した技術者

題となる。ある塗装工事では、立会者が日々のブラスト仕上がり検査に立ち会った。し残した部分や仕上がりが不足している部分にはその都度是正処置を指示し、速やかに処置を完了させた。

立会者はブラスト工事の品質管理に熟達した技術者であるため、指示が的確でしかも効果的であり、工事者も効率的に作業を終えることができると好評であった。写真-7は、地方整備局において第三者の立会者（土木研究センター検査員）に委託して行っている塗装工事における品質管理の例である。



写真-7 塗装工事における品質管理の例（提供：土木研究センター）
立会者が日々のブラスト仕上がり検査に立ち会っている

このような事例は海外の塗装工事では当たり前のように行われている。米国の橋梁塗装では認定を受けた塗装検査者が立会し検査するし手直しも指導する。第三者が検査できるように正当なフィーが払えるようなしくみがある。わが国でもたとえば、 m^2 あたり16,000円の塗装工事の場合では年間あたりの塗装消費費用が800円～1,000円と計算される。検査者の報酬として m^2 あたり1,000円払うことになっても、さらに1～2年長もちすればペイするという計算もなりたつのではないだろうか。検査が確実に行われれば数年どころか

それ以上長もちするのではないかとと思われる。

Rc-I 塗装工事において、塗膜厚さの検査のみですとするのはおかしい。塗装工の前の素地調整工が重要でありこれがうまくできていないと、高級な高耐久性塗料も無駄になる。10年余でさびが出るのに40年もつ上塗り塗料を用いるのは冗談でしかない。

Rc-I 塗装工事においては素地調整（ブラスト）以外の品質管理も重要であるが、これについては誌面の関係で省略するので、鋼道路橋塗装・防食便覧などを参考にされたい。

6. おわりに

Rc-I 塗装工事はその特徴を理解して適切な設計や施工が行われれば塗装寿命が大きく伸び、管理の手間や管理費用を大きく節減することができるすぐれものである。

環境の厳しい海岸近くの橋梁で Rc-I を適切に活用して塗装を長くもたせることができれば橋梁塗装の状況はかなり改善するのではないかと思う。本誌の読者には発注者の立場で塗装工事を指導される方が多いと聞いている。本小文が重要なインフラである橋梁の長寿命化に役立てば望外の喜びである。

なお、土木研究センターにおいては塗装・防食相談室を開設しているので活用して頂ければ良いのではないかと思う⁴⁾。例えば、塗装や耐候性鋼等の劣化（腐食）の原因が知りたい、劣化（腐食）の補修方法を教えて欲しい、塗装の塗替えの範囲や仕様を教えて欲しい、塗替え（素地調整を含む）の施工方法（品質管理等）を教えて欲しいなど、鋼道路橋の塗装や防食技術に関する困りごとの相談に応じている。

塗装・防食相談室のアドレス：

http://www.pwrc.or.jp/tosou_soudan.html

JICMA

《参考文献》

- 1) 鋼道路橋塗装・防食便覧 (社)日本道路協会 平成17年12月
- 2) 鋼道路橋塗装・防食便覧資料集 (社)日本道路協会 平成22年9月
- 3) 日本鋼構造協会編 重防食塗装 技報堂 2012年2月
- 4) 片脇清士 塗装・防食相談室の開設—その役割と調査事例—その1, その2 土木技術資料 2012年1月2月54巻1, 2号

【筆者紹介】

片脇 清士（かたわき きよし）
一般財団法人 土木研究センター
工博、技術士

