

塗装・防食相談室の開設 —その役割と調査事例（その1）—

片脇清士*

1. まえがき

財団法人土木研究センターでは昨年11月から塗装・防食相談室を開設した。塗装や防食に特化したのは、これらに関する専門的なコンサルタント会社が少なく、また、これらに熟達した技術者が多くはおられないという現実があるためである。施設管理者が困っておられることを聞き、財団法人土木研究センターに所属する沢山の経験を有する技術者や研究者が橋梁や橋梁塗装に関する豊富な実績をもとに適切なアドバイスをしようとするものである。

2. 塗装・防食相談室の役割

2.1 塗装・防食相談室とは

塗装・防食相談室においては鋼道路橋の塗装や防食技術を対象として、例えば、

- (1) 塗装や耐候性鋼等の劣化（腐食）の原因を知りたい。
- (2) 劣化（腐食）の補修方法を教えて欲しい。
- (3) 塗装の塗替えの範囲や仕様を教えて欲しい。
- (4) 素地調整を含む塗替えの施工方法・品質管理等を教えて欲しい。

などの相談を受けることにしている。

(http://www.pwrc.or.jp/tosou_soudan.html参照)

塗装・防食相談室開設以来、国や自治体の施設管理者からいくつかの相談を受けており、ニーズの高いことをあらためて認識した。

2.2 相談事例増加の理由

相談や調査事例が増加してきた理由にはいくつか考えられる。

- (1) 鋼道路橋塗装・防食便覧（以下便覧という）が公刊され、塗装・防食の選択肢が広がり、選択には幅広い知識が必要となった。
- (2) 劣化やさびが激しい場合の防食塗装であるほど取り扱いが難しいこと。

(3) 現実の橋梁では、これまでに知られていないあるいはあまり注意していないさまざまな劣化事象が見受けられるようになり、便覧に記述されていないことがらについて対応する必要に迫られた。

(4) 道路橋長寿命化修繕計画の策定・実施に伴い橋梁のLCC（ライフサイクルコスト）を意識した塗装工事が増加している。

(5) 無理とむだのない塗装設計のためには、橋梁ごとの個別の詳細な条件を組み込むことが合理的であると認識され始めた。

3. 調査事例

財団法人土木研究センターでは、塗装・防食相談室を開設する以前から、塗装・防食に関して部分塗装、塗替え塗装等の塗装の品質管理・調査設計、耐候性鋼橋梁の劣化診断など、多くの事例に対応してきた。これらの成果も相談室の対応に活かしていきたいと考えている。

事例には、計画に関するもの、設計に関するものなどがあるが、ここでは塗装劣化原因とその対応、旧塗膜に問題を抱える場合の効果的な塗装方法についていくつかの事例を紹介する。

3.1 大きなはがれを生じた塗膜調査

近年増えている事例に、塗装のはがれがある。はがれはさびに比べて緊急性がないように誤解される。しかし、はがれは、一度に塗膜自体の数分の一の数ミクロンの厚さがなくなることであり塗膜による保護能力は大きく失われる。しかも、通常、ある程度広い面積で生じる。

このようなはがれは、海岸など条件の厳しいところで生じることが多い。このため、それだけでなく薄い皮膜が著しく減じるため、美観性だけでなく防食性も大きく低下させ塗装の寿命を縮めることになる。

最近のはがれの事例は、塩化ゴム系塗料を用いた塗膜が目立つが、そのはがれの原因は一律ではない。このため、その対応は原因に応じて実施する必要があり、素地調整や上に塗る塗料の種類も

変わってくる。最近、塗替え塗装工事はRc-Ⅲで発注されることが多くなったが、これで、はがれが抑止されるのか、はがれ再発のリスクがどの程度あるのかは確定されていない。ここでは、これまでに塗装の材料の変更や仕様の変更を考えなければならなかった幾つかの調査結果の事例を紹介する。

3.1.1 塩化ゴム系塗装+ジンクリッチ層の全面劣化の例

大きなはがれに関する調査例である。建設時の塗装系は以下の通りであった。

- ・ジンクリッチ1層
- ・塩化ゴム系下塗2層
- ・塩化ゴム系中塗1層
- ・塩化ゴム系上塗1層

その後15年ほどしての塗替時の塗装系は以下の通りであった。

- ・素地調整3種
- ・変性エポキシ樹脂塗料下塗2層
- ・ポリウレタン樹脂塗料用中塗1層
- ・ポリウレタン樹脂塗料上塗1層

塗替え塗装後数年でほぼ全面にはがれ（剥離）が拡大していた（写真-1）。はがれ以外の塗装は健全そうに見えたが、付着力調査を全面に行った結果、自然剥離していない部分も大半は付着性が低下していた。



写真-1 塗膜はがれの状況

詳細調査によれば、ジンクリッチプライマーと塩化ゴム系下塗との間からシート状に剥離していた。この剥離の原因は、塩化ゴム系下塗塗料が脆弱となったことによることが化学分析の結果わかった。さらにジンクリッチプライマーも脆弱化していたことから当該層を除去するため、鋼素地

まで全面をブラストすることにした。鋼素地まで清浄化することができたので、ジンクリッチペイントによる塗装系を選定し、長寿命化を求めることができた。

3.1.2 塩化ゴム系塗装+ジンクリッチ層の部分劣化の例

長大な海上橋にはがれが生じた事例である。現地調査の結果、建設時塗装系は以下の通りであった。

- ・ジンクリッチ1層
- ・塩化ゴム系下塗2層
- ・塩化ゴム系中塗1層
- ・塩化ゴム系上塗1層

その後10年ほどしての塗替時の塗装系は以下の通りであった。

- ・素地調整3種
- ・変性エポキシ樹脂塗料下塗2層
- ・ポリウレタン樹脂塗料用中塗1層
- ・ポリウレタン樹脂塗料上塗1層

塗替え数年後の調査ではほぼ全面に剥離が拡大していた。詳細調査によれば、ジンクリッチプライマー層において剥離していた。この事例は、調査事例①と似ていたが、事例①では全面的に塗膜が劣化していたのに対し、本事例では塗膜の劣化が部材毎に異なり、状況が違っていた。

精密に観察した結果、劣化状況の違いにより、補修に際しては塩化ゴム系下塗までケレンしジンクリッチ層は残す部分とジンクリッチ層まで全面除去する部分とに分けた。これは、脆弱な層がどこにあるかを判定することができたためである。ジンクリッチ層が健全であると判定した前者はRc-Ⅲ塗装系、そうでない後者はRc-I塗装系が望ましいとした。

前者の部分では、ジンクリッチ層は残すことによって、ブラスト処理が不要となり、コストを大きく削減することができた。後者の部分では、ブラスト処理することになったが、はがれの再発を効果的に防ぐことができ、ライフサイクルコストの節減に寄与した。なお、塗装後5年以上たったが、何らの変状もおきていない。

3.1.3 MIOエポキシ樹脂塗料に付着した汚れによる劣化の例

重防食系塗装であるC-1塗装系を適用した橋梁塗装である。建設時塗装系は以下の通りであった。

土研センター

- ・ジンクリッチ1層
- ・エポキシ樹脂塗料下塗2層
- ・MIOエポキシ樹脂塗料1層
- ・ポリウレタン系中塗1層
- ・ポリウレタン系上塗1層

都市郊外の橋梁において、10年後橋梁点検の際に、一部にはがれが見つかった。架設高さが高いため近接点検ができなかったため、その間にはがれは次第に広がっていた。はがれは全面ではなく部材ごとに偏ってみられた（写真-2）。



写真-2 塗膜はがれの状況

足場を用いて詳細な調査を行った結果（写真-3）、この損傷の原因がMIO塗料にあることがわかった。MIO塗料はMIO（Micaceous Iron Oxide：雲母状酸化鉄）顔料を多く含有した塗料であり、MIOは水分や酸素など腐食物質の進入を妨げるため防食性が向上する特徴があり、広く用いられた。塗膜表面にはMIO塗料特有の粗さが形成されるので塗り重ねる塗料との密着性が良いため、工場塗装と現場塗装との間隔が長期化する場合の対策として広く採用された経緯がある。



写真-3 塗膜断面調査

EPMA（Electron Probe Micro Analyzer：電子線マイクロアナライザー）による含有元素の分析

結果によれば、塗膜層間において塩分や汚れ成分が見つかり、これらに含まれた水分が気化し塗り重ねた塗膜を押し上げ、はがれの原因になったのではないかと推察された。MIO塗料は、塗膜表面が粗い特長を持つため、塩分、汚れなどが付着しやすくなること、いったん付着した場合には除去が困難であることは盲点であった。分析によれば、工場塗装と現場塗装の間の塗膜に塩分が集積しており、工場での塗装後、現地で塗装する時点までに、塩分、汚れが付着したとの結果を得た。

この橋梁ではジンクリッチ層はいたんでおらず、ジンクリッチ層は除去せずに、エポキシ樹脂塗料とMIOエポキシ樹脂塗料を除去する処理でよいことにした。また、はがれの見られない部材では付着力や塗膜の分析から内部に塩分、汚れが介在しないことを確かめた上で、旧塗膜面に面あらしを施して塗り重ねを行うこととし、素地調整費用を節約することができた。部材ごとに調査し素地調整の種類を、部材ごとにきめこまかに区分することで、塗装工事の節減ができた。

3.1.4 はがれに対する対策のまとめ

C-1塗装系における無機ジンクリッチペイントでは凝集破壊によるはがれも報告されている。これは、重防食塗装系にとってはさらに深刻な状況であるが、これもEPMAなどの詳細分析によって判定することができるようになった。このように、はがれの形態や原因は多岐にわたる。はがれの原因によっては全面塗替え、ブラスト適用の有無、ブラスト程度の種類、塗装系の変更などが必要となり、多額の費用が発生することもある。逆に、原因調査を的確に行えば、合理的な考えに基づいて塗装費用を節減することもできる。

3.2 早期さびの発生塗膜調査

高級な塗料であるふっ素樹脂塗料で塗替えた橋梁で塗替え後数年でさびが再発した。このような事例は、いくつか見られる。旧塗装系がA,B系の塗装系であり、塗替え時にc塗装系に変更したもので見られることが多い。

3.2.1 ふっ素系樹脂塗装での塗替えでの早期さびの例

海岸地区にある橋で、ふっ素樹脂塗料で塗替え後、数年でさびが再発したという事例である。

鋼道路橋塗装・防食便覧が発行されたことから、塗り替えにふっ素樹脂塗料を用いた橋梁が増えて

いる。管理者は、厳しい条件だからこそ長持ちする塗料を用いて、維持管理費用を長期にわたって軽減したいという気持ちがあるが、その期待を裏切るような事例である。

建設時塗装系は以下の通りであった。

- ・原板ブラスト
- ・長ばく型エッチングプライマー
- ・鉛系さび止め塗料2層
- ・フェノール樹脂MIO塗料1層
- ・塩化ゴム系塗料中塗1層
- ・塩化ゴム系塗料上塗1層

その後10年ほどしての塗替時の塗装系は以下の通りであった。

- ・素地調整3種
- ・変性エポキシ樹脂塗料下塗（鋼板露出部）
- ・変性エポキシ樹脂塗料下塗2層
- ・ふっ素樹脂塗料用中塗1層
- ・ふっ素樹脂塗料上塗1層

数年後の調査では下フランジ下面ほぼ全面にさびが拡大していた。詳細な調査によれば、素地調整3種+変性エポキシ樹脂塗料下塗（鋼板露出部）を中心にさびが発生し一部では断面欠損、腐食に至っている。

この変性エポキシ樹脂塗料下塗（鋼板露出部）の位置におけるEPMAによれば、塩素イオンが濃縮して介在していた。この塩分が塗膜下の局部腐食を促進させ、エポキシ樹脂塗料とふっ素樹脂塗料の膜に微小なわれを生じさせていた。

対策としては、さびの再発した部分を除去するブラスト処理を提案した。しかし、全体を再塗装する必要はなく、鋼素地が傷んだ範囲だけを工事する、部分的な塗装工事で対応することとした。

さびには、素地調整の良否、塗料の良否、施工の良否、施工時の条件、環境の腐食性、塗装系の組み合わせなど多くの発生原因がある。特に早期に発生するさびには原因がよくわからないまま、再塗装されているものもある。このような場合、さびの再発防止のためにも原因究明調査を行い、素地調整の種類や、下塗り塗料の選定を適切に行うべきである。

3.3 PCBを含む塗膜調査

塗替え塗装時に塗膜に含まれるPCBが測定されることがある。PCBの測定方法や量によってはその取り扱いが異なる。このような場合の塗替えを

適正に行うには、PCBに関する知識と、塗料に関する知識、廃棄物に関する知識のいずれが必要である。この問題の本質は、環境を汚染させない、作業者の安全、処理手続きが法律を遵守していることであり、これらを基に施工計画を詳細に立案し、それを遵守する体制の確立である。

PCBの取り扱いについては、たとえば、

除去対応の飛散防止仮設→無飛散確認試験→作業者への教育→塗膜除去→PCB含有汚染物の収集貯蔵→運搬→塗装工事→仮設撤去及び片付け→事後調査・分析

のプロセスが必要となる。

ここで工夫が必要なのは、素地調整の時点で除去・排出される塗膜や、素地調整に用いた資材の廃棄物の量をいかに最小化することである。

ややもすると塗膜を除去することに注目が向けられるが、塗膜のいたみ具合によって除去の方法も変わってくることから、法律の規制のもとで、専門家（化学、塗装等）の意見に基づき合理的で経済的な方法による対応が必要である。

以下、長期に経年した塗膜の調査、調査に用いる高度分析、調査によって得られる効果については次回に報告する。

参考文献

- 1) 鋼道路橋塗装・防食便覧、日本道路協会、2006
- 2) 鋼道路橋塗装・防食便覧資料集、日本道路協会、2010
- 3) Amy Forsgren, Corrosion control through organic coatings CRC Press, 2006
- 4) Determining the Overcoatability of Existing Coating Systems, 2010
- 5) Structural Steel Coatings for Corrosion Mitigation Missouri Department of Transportation, October 2010

片脇清士*



財団法人土木研究センター
土木研究アドバイザー、
工博、技術士（建設部門）
Dr. Kiyohi KATAWAKI