

塗装・防食相談室の開設 —その役割と調査事例（その2）—

片脇清士*

1. はじめに

前号で報告したように、(財)土木研究センターでは昨年11月に塗装・防食相談室を開設した。既設道路橋などの塗装や防食に関して技術者が相談に答える所である。前号では、相談室へ期待される役割について、また、塗膜のはがれやさび、塗料などいくつかの相談・調査事例について紹介した。

本稿では、塗装技術の経緯や再塗装(塗り替え塗装)の課題、また、再塗装の際の調査方法や調査で使用する機器について紹介する。

2. 塗装技術の経緯

高度成長期に竣工した道路橋には供用後50年を経過したものも少なくない。これらの橋の多くは数回の塗替えを経て、写真-1に示すように10数の塗膜層となっているものもある。これらの塗替え塗装は、最近架設された橋と比べ、施工と塗装材料の両面で大きく異なっている。

鋼道路橋塗装便覧初版は1971年に発刊されたが、鋼道路橋塗装に適切な塗装系がほぼ固まるのは、その第二版の発行年1979年になる。この前後までは多様な塗装仕様が用いられており、その塗料の種類も多岐にわたった。



写真-1 10数の塗膜層となっている塗膜

また、当時の橋は、その塗装のプロセスが現在

と異なっている。新設時に工場でブラストし上塗りまで行うのは、きわめて最近のことであり、少し前までは下塗りまでが工場で、中・上塗りは現場で橋梁架設後に行っていた。その前は、現場に橋梁架設後、鋼材を黒皮のままにして、その上に塗装を下塗りから始めていた。

しかも、古い塗料は現在の塗料ほど性能が高くなく、前述したような施工条件と合わさって塗膜が脆弱となっていることも十分考えられる。

しかし、永年経過した塗膜が全てひどく傷んでいるというわけではない。穏やかな環境などでは塗り替えないままに20年余を経ても目立ったさびが生じていないこともある。このような塗膜は、その健全性を確認し有効に活用することが合理的であり、省資源にもつながることになる。

米国など海外では、塗替えの際の塗装設計時に塗膜調査が広く行われており、長寿命化とコスト削減のための有効な手法とされている。

3. 長期間経過した塗膜の調査

3.1 調査の必要性

塗膜の健全性は、外観だけから判断することは難しい。

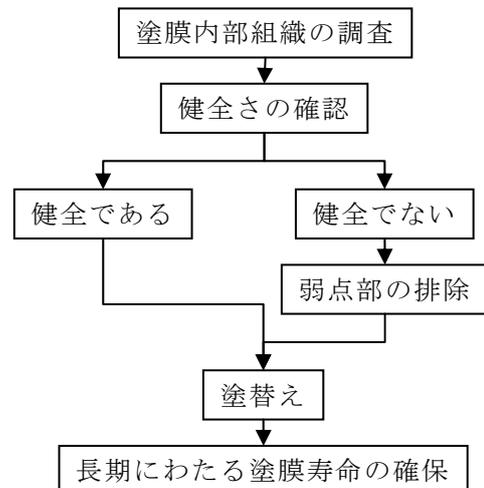


図-1 塗替えのフロー

内部が劣化している古い塗膜の塗替えにRc-III塗装系を用いると、旧塗膜の一部に弱点部を残

したままになり、Rc-Ⅲ塗装系に用いるエポキシ樹脂塗料などの優れた性能を十分に活かすことができない。塗膜の長寿命化のためには事前調査により弱点となる層や耐久性が期待できない塗膜を判定し、これらを除去する必要がある。古い塗膜においては、塗装工事時に付着した塩分などの除去処理が十分行われていない場合がある。以前の鋼道路橋塗装便覧には、工事時の品質管理規定に塩分処理が含まれていなかったからである。塩害地域にある橋梁においては塗膜層間に少なからぬ塩分が介在することがあり、これがはがれの一原因となることが知られている。

またこれまで多様な塗装仕様が用いられていたが、塗料には各々塗り重ねの特性があるため、不適切な組み合わせを避けることが重要であり、このためには塗装の履歴を正確に知る必要がある。

古い塗装は記録が残されていることが少なく、どのようなものを塗重ねてきたかを推定する必要がある。いくつかの調査手法の組合せで、古い塗装であってもその当時の施工条件や塗装材料を再現することができる手法が開発されている。橋梁の設計図が失われていて建設当時を推定する再現設計が可能となるように、塗膜はその歴史を塗膜自体に残していることを上手に利用した調査手法である。さらに、適切な塗替え塗装系を選定するには、より詳細な調査結果があることが望ましい。

3.2 塗膜調査の方法

塗膜調査の方法は、現場で塗膜の構成や劣化状況を判断するための簡易な方法と、表-1に示した塗膜内部組織まで調査する詳細な調査方法がある。後者の方法は、4. 調査のための高度分析に記述し、ここでは前者の簡易な方法を説明する。

表-1 詳細な試験・検査項目

項目	調査方法
鋼材素地調整の観察	顕微鏡観察
塗膜構成	顕微鏡観察、FT-IR分析
塗膜介在物の有無	EPMAによる元素分析

現場で簡易な調査を行うためには、ポータブルな機器を用いることが重要である。施工検査時に用いる膜厚計は、塗膜調査時にも有効である。非破壊検査であるため短時間で広い範囲を測定することが可能で、塗膜厚の変化から弱点となりやす

い箇所を判断することができ、スクリーニングに役立つ。現場で塗膜構成を知るために用いられるのは、ペイントインスペクションゲージである。これは、塗膜をV字形や円すい形に切り、切断された面を50倍程度のマイクロスコープで観察することで塗膜の厚さ、構成を知ることができる。また塗膜の強さは、アドヒージョンテスターの測定でもって判断することができる。これは、塗膜を上から引張り、その際の塗膜と塗膜、若しくは鋼素材との付着力や塗膜自体の強度を計るものである。



写真-2 膜厚計による測定状況

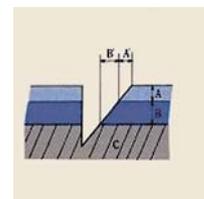


写真-3 ペイントインスペクション計による測定状況



写真-4 アドヒージョンテスターによる測定状況

土研センター

4. 調査に用いる高度分析

塗膜の高度分析調査では、表-2に示す調査方法を現地の塗膜や鋼材の劣化状況や調査目的に応じて組み合わせ、腐食原因物質の定量や、塗膜と鋼材の表面と内部の状況や形状、塗膜の機能（防食性）等について調査分析を行う。

原因究明調査には、EPMA（Electron Probe Micro Analyzer 電子線マイクロアナライザ）での塗膜等の成分分析やFT-IR（Fourier Transform Infrared Spectroscopy フーリエ変換赤外分光法）による塗膜の形態分析が効果的になることが多い。また、腐食促進試験器を用いて短期間で劣化状況の再現や、熱分析により塗膜の硬化過程を追跡することも行われる。

表-2 調査現象と分析手法

現象	分析手法
腐食の程度	レーザ顕微鏡、デジタル厚さ計により腐食深さを測定 促進試験機器+EPMAの組み合わせにより腐食形態を測定
ジンクリッチペイントの劣化過程	EPMAにより劣化過程を測定 促進試験機器+EPMAの組み合わせにより劣化過程を測定 促進試験機器+付着力試験器の組み合わせにより劣化過程を測定
エポキシ・ふっ素樹脂塗料の劣化過程	FT-IR、顕微鏡により塗料を分析 促進試験機器+FT-IRの組み合わせにより劣化過程を測定

EPMAは、電子顕微鏡（SEM）と波長分散型のX線分析装置を組み合わせた分析装置で、物体の表面の状態（元素の分布状況）をマッピングすることができる。また、塗膜への外部からの腐食物質（塩分等）の侵入状態を見ることができる。

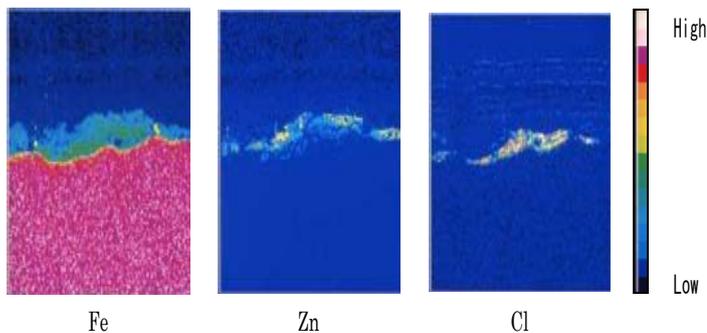


図-2 EPMAによって観察されたジンクリッチペイントのいたみ（われ）

EPMAによって観察されたジンクリッチペイントのいたみ（われ）観察事例を図-2に示す。ジンクリッチペイントが剥がれた部分の近傍の塗膜を観察したところ、ジンクリッチペイント部分にわれの原因となる塩分が測定されたものである。図-3は別の塗膜の例であるが、塗膜断面にClが介在している。この形態から見て、塗装時に塩分が混入したものと考えられる。

同様に、微細分析で塗膜の内部を分析すると塗膜下鋼材表面に汚染物が残っていることが確認できれば、塗装時の素地調整が不十分であったと推定することもできる。

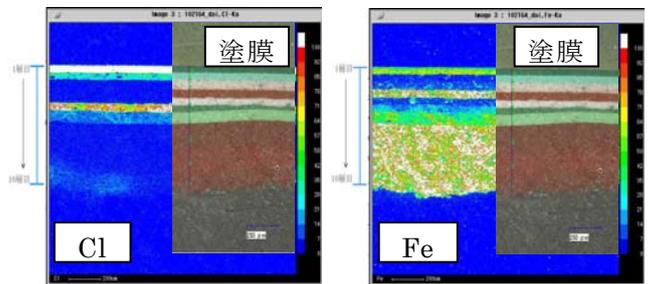


図-3 マッピングによるEPMA写真

このようにEPMAを用いることでさまざまな形態分析ができるようになり、腐食形態や劣化パターンの分析が定量的にできるようになった。図-4はFT-IRを用いた塗膜の種類同定事例を示す。エポキシ樹脂塗料とアルキド樹脂塗料とは、含有する樹脂化合物分子の赤外線吸収スペクトルが異なるので明瞭に区別することができ、劣化の状況も判断できる。

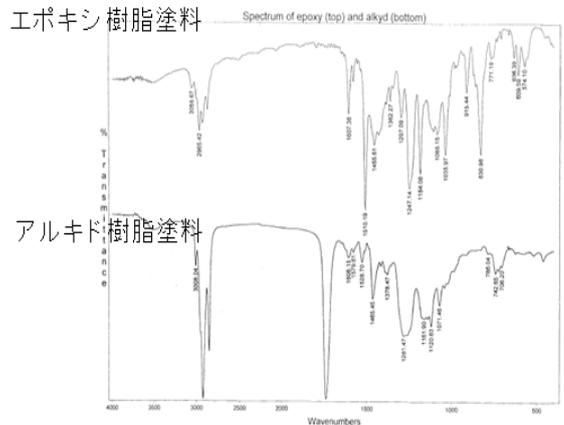


図-4 FT-IRを用いた塗膜の種類同定

5. 調査によって得られる効果

塗膜や鋼材の調査によって、同じ工事費用であっても塗装がより長寿命となりライフサイクルコストの低減につながる場合や、ほぼ同じ性能でありながら塗装工事費用が安くなるなど、多くの経済効果をもたらしている。

鋼道路橋塗装・防食便覧では、Rc-I 塗装系を推奨している。Rc-I 塗装系を用いた塗装工事は比較的高額であるため、安価ですむRc-III 塗装系を用いようとする発注機関もあるが、ライフサイクルコストの点で高いものについている場合がある。旧塗膜に損傷が現れているのに原因が不明なまま、3種ケレンを用いた塗装系を適用し、数年で塗膜が大きくはがれた事例である。本来ならば、20年～30年の寿命はあると思われるがわずかに10年余で再塗装せざるを得なくなったのは大きなムダといえよう。

橋梁管理者の関心が高い事例を表-3に示す。

表-3 事例と対策案

事例	塗装系	事象	対応(調査)	効果1	効果2	成果
大きなはがれを生じた塗膜	B-1 ほか	塗替え後数年ではがれ	原因究明と塗装仕様選定	○		再発防止
大きなはがれを生じた塗膜	C-2 ほか	塗替え後数年ではがれ	原因究明と塗装仕様選定		○	再発防止
早期さびの発生	Rc-III	塗替え後数年でさび腐食	原因究明と塗装仕様選定	○		再発防止
PCBを含む塗膜	B-1	PCBを含む塗膜の塗替	工事方法と施工管理		○	適切な処理
長期に経年した塗膜	A	Rc-III 塗装系の適用性確認	調査と塗装系の選定	○	○	適切な処理

効果1：調査によって同じ工事費用ではあるが長寿命となり、ライフサイクルコストが低減される

効果2：調査によって工事費用が安くなる

6. あとがき

(財) 土木研究センターでは、塗装・防食相談室における対応だけでなく、材料・構造研究部において、化学、塗装、橋梁構造の専門家集団が、中立的かつ総合的な観点から鋼橋塗装工事に関して計画から調査・設計、施工、施工・品質管理までの支援を行っている。

具体的には、目視による外観目視を始め、腐食や塗膜劣化、さらに腐食自他部材の板厚計測や付着塩分量調査の実施、それらの調査結果に基づく塗替えの要否・時期、塗替え範囲、塗替え方法の提案を行う。さらに、腐食が進行している部分がある場合、橋梁としての健全性の評価やその腐食部分に対する補強の要否や方法などについて診断・評価し提案を行っている。経済的で耐久性のある塗替え方法を検討されている方は、活用していただきたい。

参考文献

- 1) 片脇清士：橋と塗装－橋を美しくまもる、山海堂 1996
- 2) 片脇清士：40年の歩み－道路橋塗装の歩み（日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会創立40周年記念特集）、橋梁・鋼構造物塗装、Vol.34、No.2、2006
- 3) 片脇清士：道路橋塗替えに関する研究、道路保全技術センター講演会、2009年12月
- 4) 片脇清士：橋梁長寿命化修繕計画と塗装工事 橋梁・鋼構造物塗装、Vol.38、No.2、2010
- 5) 片脇清士、中野正則：最近の塗装劣化や塗装方法に関する事例、日本道路会議、2011

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. Kiyoshi KATAWAKI