

鋼橋の塗替え後の早期劣化事例の紹介

三浦正純・中島和俊・高柳紘貴

1. はじめに

鋼は大気環境下では熱力学的に不安定であり、必ず安定な酸化物になろうとする、すなわち、腐食反応が進行する。このため、長期に亘って利用されるインフラ構造物の構造材料として用いる場合には、何らかの腐食対策（防食）が施されている。鋼橋では塗料による被覆防食が最も一般的であり、定期的に塗替えられているが、塗替え後早期に劣化している事例も見られる。その要因としては、塗膜そのものの欠陥、素地調整の不良、施工方法に起因した欠陥など複数考えられる。本稿では鋼橋の維持管理に携わる現場技術者の参考となるよう、鋼橋塗膜の腐食損傷要因について解説するとともに、塗替え後早期に劣化が確認された事例をもとに、塗装仕様に着目した腐食進行パターンの違いについて紹介する。

2. 鋼橋の一般的な腐食損傷とその発生要因

鋼道路橋における塗膜劣化・腐食損傷は、特定の部位に集中して生じるのが一般的であり、橋梁全体が均一に腐食することはない。橋梁は多数の部材で構成されており、結果として様々な腐食環境が形成されている。漏水の影響を受けやすく風通しの悪い桁端部や、トラス格点部など塵埃等が堆積しやすい部位など、湿潤状態となりやすい部位では腐食損傷が発生しやすい¹⁾。

ボルト・ナット部や部材端の角部などでは、部材の平面部に比べて所定の塗膜厚を確保することが困難であるため、平面部に比べて早期に塗膜劣化・腐食損傷が発生することが多い（写真-1）。

塗装の塗替え後においても、腐

食環境が厳しい部位では早期の再腐食が発生しやすい。部材エッジ部も同様であるが、腐食によって減肉が進んだ部位では、エッジがより鋭くなるため、塗膜厚はさらに薄くなり早期に発錆しやすい（写真-2）。

足場クランプ設置箇所は、足場撤去前に簡易な素地調整でタッチアップ塗装され、早期に再腐食する場合がある。下フランジに等間隔で足場クランプ跡が発錆している事例は多い（写真-3）。

塩害環境で腐食した橋梁の塗替えにおいて素地調整が不十分な場合、さびや塩分が残存した腐食ピットを起点として塗膜下で腐食が進行し、早期にさびが目立つようになる（写真-4）。

あて板補修時の防食に対する配慮不足で隙間腐食が進行する事例



写真-1 ボルト部の腐食



写真-2 エッジ部の腐食



写真-3 クランプ跡の腐食

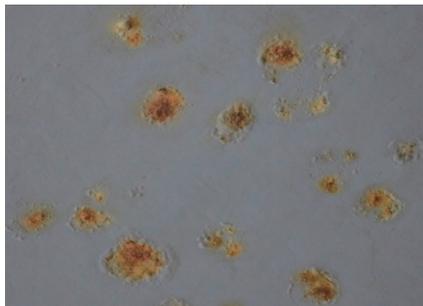


写真-4 腐食ピットを起点とした発錆



写真-5 当て板補修箇所の隙間腐食

が多い。写真-5の事例では、ボルト数不足のため、隙間腐食が進行し当て板が孕みだしている。当て板補修時は、接合面の防食に留意して隙間腐食を発生させないようにすることが重要である。

3. 塗替え塗装仕様

鋼道路橋の塗替えでは、素地調整方法が異なる Rc - I ~ Rc - IV のいずれかの塗装仕様²⁾を用いることが多い。次節において塗装仕様の違いによる腐食進行パターンの違いを紹介するが、それに先立ち塗替え塗装仕様について簡単に紹介する。

(1)Rc - I 塗装系（以下「Rc - I」という。）

塗膜耐久性に優れた重防食塗装系の一つであり、塗替えにあたって最も優先的に採用される塗装仕様である。素地調整には1種ケレン（ブラスト）を用い、旧塗膜や錆を除去する。防食下地には耐食性に優れた有機ジンクリッチペイントを、下塗りには環境遮断性に優れたエポキシ樹脂塗料を、上塗りには耐候性に優れたふっ素樹脂塗料が用いられる。

(2)Rc - II 塗装系

Rc - I に類似するが、素地調整に2種ケレン（動力工具）を用いて旧塗膜や錆を除去する方法。錆を十分に除去することはできず、効率が悪いため大面積の施工には不向きとされている。

(3)Rc - III 塗装系（以下「Rc - III」という。）

素地調整に3種ケレン（動力工具）を用いて防錆効果を失った塗膜（死膜）や錆を除去し健全な塗膜は残す。防食下地の有機ジンクリッチペイントは使用しない。鋼橋の塗替えで過去には最も一般的に用いられてきたが、Rc - I に比べて塗膜の耐久性は大幅に劣るため、現在では工事上の制約などで Rc - I が適用できない場合に用いられる。

(4)Rc - IV 塗装系

旧塗膜が重防食塗装系などで防食下地が劣化していない場合で、上塗りだけを再塗装するもの。景観維持を目的とする場合や、瀬戸大橋などの長大橋で用いられるが、一般橋ではあまり使用されていない。用いられる4種ケレンは、除錆作業を必要とせず面粗しや清掃を行うものである。

(5)その他の塗装

近年、ブラスト施工が困難な場合における対応策として、素地調整が簡略化できるとされている「さび面塗料」の採用事例が多い。さび面に対し

て適用可能とする塗料は、インターネットで検索すると20種類以上が確認され、さび面塗料、素地調整補助剤、錆転換型塗料といった様々な名称で販売されている。

鉄の酸化生成物である「さび」は酸素の貯蔵庫として働き、塗膜下での鉄の腐食反応を推進する役割を担っている。さび面塗料はこのさびが関与した腐食反応を抑制することを目的としているが、その効果について、腐食抑制メカニズムに基づく根拠の提示が十分ではないと考えられる。また、その適用性（どのような環境でも適用できるのか）について十分な情報が得られておらず、これまでの施工事例での評価を蓄積する必要がある。

4. 事例にみる塗装仕様の違いによる腐食進行パターンの違い

(1)Rc - I の早期劣化の特徴

Rc - I で塗り替えられた橋梁では、早期に全体的にさびが顕在化することはほとんど認められない。しかし、エッジ部や足場クランプ跡など局所的なさびの発生は比較的多く観察される。特に飛来塩分の影響を大きく受ける橋梁において顕著に認められる。特徴的なさび発生状況を以下に示す。

エッジ部やボルト・ナット部では、塗替え後1,2年後で軽微なさびが発錆している場合も多い（写真-6）。その他、添接板の隙間部（写真-7）や杓回りの下フランジ下面、当て板補修部端面で早期に発錆する場合がある。ただし、平面部の腐食



写真-6 添接部の腐食（沿岸部、2年経過）



写真-7 添接板隙間の腐食（沿岸部、4年経過）

土研センター

はほとんど見られない。

これらの早期劣化は、素地調整（さび除去）が難しい部位で発生しており、いかに素地調整が重要かを示している。また、マイルドな飛来塩分環境にある山間部の橋梁に比べ、沿岸部の橋梁に早期劣化が顕著となっている。

(2) Rc-IIIの早期劣化の特徴

Rc-Iでは一般平面部で早期にさびが顕著になることは基本的にないが、Rc-IIIでは、塗替え時のさび除去が不十分なため、エッジだけでなく平面部でも早期にさびが目立つ場合がある。

Rc-IIIで塗替え後、わずか1年しか経過していないが、下フランジ端部には顕著なさびが発生した事例を写真-8に示す。沿岸部の厳しい腐食環境に架設されており、塗替え時にエッジ部等では著しい腐食が進行していたものと推定される。3種ケレンではさびを十分に除去できず、塩分を含むさびの上から塗装したため、早期に再腐食したと判断できる。

写真-9も沿岸部でRc-IIIで塗替えられた事例だが、7年経過時点では平面部でも腐食が目立ってきている。ただし、山間部などマイルドな塩分環境にある橋梁では、平面部での早期腐食はほとんど見られない。Rc-Iでは沿岸部でも平面部の腐食進行はまれであり、Rc-IIIの防食性能はRc-Iに比べて低いことがわかる。



写真-8 エッジ部の腐食（沿岸部、1年経過）

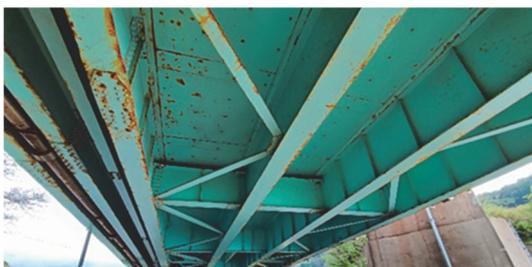


写真-9 平面部の腐食（沿岸部、7年経過）

(3) さび面塗料の早期劣化の特徴

さび面塗料が採用された橋梁の事例を以下に示す。さび面塗料で塗替え後9年経過した山間部の橋梁では、写真-10に示すように、腐食はほとんど認められず良好な塗膜状態が維持されていた。

しかし、腐食環境が厳しい沿岸部の橋梁では、塗替え後1年で下フランジ端面でのさびが目立ち始めていた。（写真-11）。また、冬の季節風が強く、厳しい腐食環境の沿岸部にある橋梁では、塗替え後6年でエッジ部や添接部だけでなく、ウェブ面を含む橋梁全体で顕著な腐食が進行していた（写真-12）。



写真-10 健全な状態（山間部、9年経過）



写真-11 下フランジ端面の腐食（沿岸部、1年経過）



写真-12 全面的な腐食（沿岸部、6年経過）

(4) 塗装仕様間の比較

同一橋梁において、Rc-Iとさび面塗料の2種類の塗装仕様で施工されている事例を紹介する。

北陸で日本海より約7kmに位置する橋梁で、下り線がRc-I、上り線がさび面塗料でほぼ同時に施工された。塗替え後10年経過時点において、

Rc- I ではクランプ跡やエッジ部でのみ腐食が認められている（写真-13）。

一方、さび面塗料では平面部（ウェブ）でも発錆が認められ、エッジ部の腐食もRc- I より広い範囲で発生していた（写真-14）。

関東の太平洋より約0.2kmに位置する橋梁では、第1径間がRc- I で塗替えられ、その2年後に第2径間がさび面塗料で塗替えられた。

Rc- I 施工4年後では、足場クランプ跡からの腐食が目立つものの、平面部にさびはほとんど発生していない（写真-15）。一方、さび面塗料施工径間では経過年数が半分の約2年であるにもかかわらず、エッジ部だけでなく、平面部でも顕著な腐食が進行していた（写真-16）。



写真-13 Rc- I 塗替え10年後



写真-14 さび面塗料塗替え10年後



写真-15 Rc- I 塗替え4年後



写真-16 さび面塗料塗替え2年後

5. おわりに

Rc- I で塗替え塗装された橋梁では、塗替え時に著しい腐食が進行していた箇所や、部材エッジ部など素地調整の品質が確保しにくい部位で早期の塗膜劣化・発錆が認められており、素地調整の品質が早期発錆に大きく寄与していることがわかる。Rc-IIIで塗替え塗装された橋梁においてもRc- I と同様の部位で早期に発錆する傾向にあるが、Rc-IIIでは平面部でも早期発錆している場合があるのに対し、Rc- I では平面部の早期発錆は認められず、ブラストによる素地調整の効果が大きいと考えられる。

塗替え塗装後の早期発錆を防ぐには、素地調整の品質向上に加え、エッジ部のR加工、特に腐食進行部のエッジ処理（シャープエッジ切断やR加

工）が重要となる。また、足場クランプの盛替え手順を定めておくことが必要である。

さび面塗料は十分な素地調整が行えない箇所での活用が期待されるが、さびの状態や環境条件によっては期待通りの防食性能が発揮されていない事例も認められた。今後、さび面塗料を適切に活用できるようにするためには、素地の状態（さびの性状）も加味した性能評価手法の確立が望まれる。

参考文献

- 1) 大気環境における鋼構造物の防食性能回復の課題と対策、土木学会、2019.
- 2) 鋼道路橋防食便覧、日本道路協会、2014

三浦正純



(一財)土木研究センター
材料・構造研究部 部付部長、
博士（工学）
Dr. MIURA Masazumi

中島和俊



(一財)土木研究センター
材料・構造研究部 主幹研究員
NAKASHIMA Kazutoshi

高柳紘貴



(一財)土木研究センター
材料・構造研究部 主任研究員
TAKAYANAGI Hiroataka