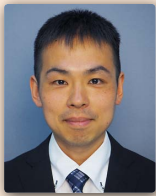


鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

腐食しやすい環境に架設された鋼橋を効率的に防食する

腐食しやすい環境に架設された鋼橋では、腐食箇所を塗り替えても塗膜下からの腐食が早期に生じやすいことが知られています。これを防ぐためには、高品質な素地調整方法を用いて塗り替えることが必要となります。しかしながら、1回あたりの塗り替え施工費用が高額になるため、高品質な素地調整方法を適用すべき腐食しやすい鋼橋を選別することが求められます。ここでは、腐食しやすい鋼橋の選定手法と、塗り替えに関するライフサイクルコスト(LCC)を考慮した塗り替え施工方法について紹介します。



坂本 達朗
Tatsuro Sakamoto
材料技術研究部
防振材料研究室
主任研究員
【専門分野】高分子材料、電気化学



鈴木 実
Minoru Suzuki
材料技術研究部
防振材料研究室
主任研究員
【専門分野】高分子材料、高分子化学



山中 翔
Sho Yamanaka
材料技術研究部
防振材料研究室
研究員
【専門分野】高分子材料、燃焼工学



小林 裕介
Yusuke Kobayashi
構造物技術研究部
鋼・複合構造研究室
主任研究員
【専門分野】鋼構造、複合構造

はじめに

鋼橋の主要な材料である鋼材は、そのままの状態で使用すると腐食するため、塗装によって腐食を防ぐ(防食といえます)のが一般的です。

腐食した鋼材を塗り替える場合、さびを残して塗装すると塗膜下で腐食が再び進行するため、塗装の前に素地調整作業を行い、さびを十分に除去する必要があります。しかしながら、腐食が進行して鋼材表面に大きな凹凸が生じると、その部分のさびはグラインダーなどの一般的な動力工具では除去しにくく、ブラスト工法(☞参照)を用いるのが現状でもっとも効果的な素地調整方法になります(図1)。

ただし、ブラスト工法を用いる場合、動力工具を用いる場合と比較して素地調整費用が高額になります。このため、ブラスト工法を適用すべき鋼橋と、従来通りの素地調整方法で問題のない鋼橋を選別する方法が必要になります。また、素地調整方法が異なると塗膜下の腐食の進行程度が変わるため、次に塗り替える時期も変わってきます。したがって、ブラスト工法のような高

☞ ブラスト工法

高圧空気を用いて、研削材とよばれる砂状の小さな材料を鋼材表面に衝突させることにより、鋼材表面に付着する塗膜やさびを除去する方法です。

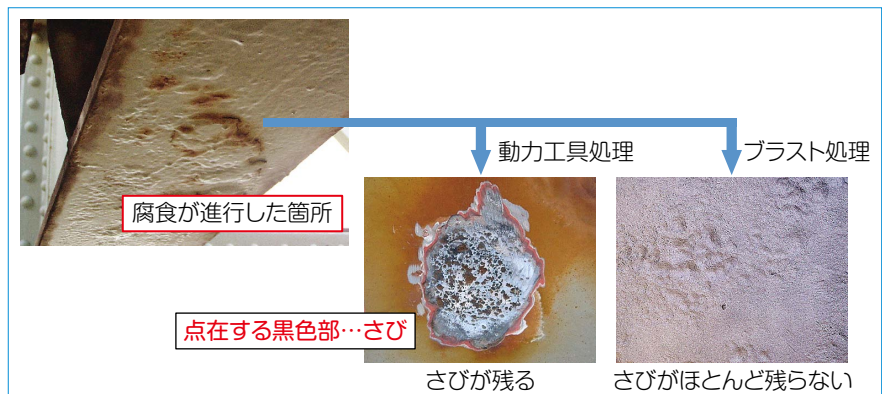


図1 腐食箇所に対する動力工具処理とブラスト処理の違い¹⁾

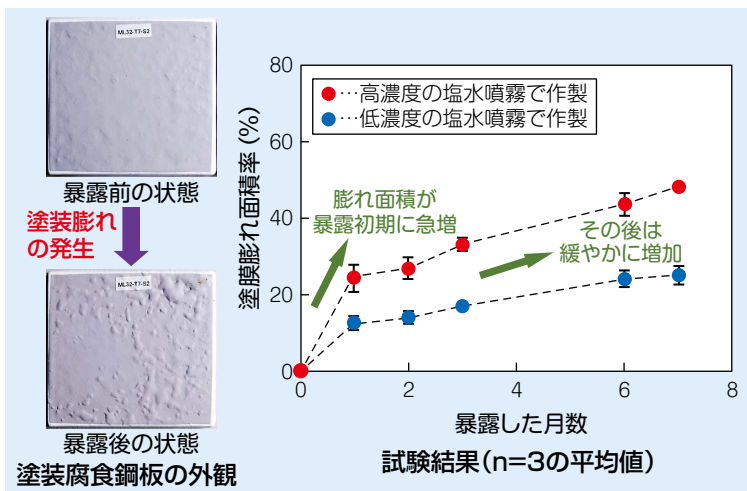


図2 暴露した月数と塗膜膨れ面積率の関係

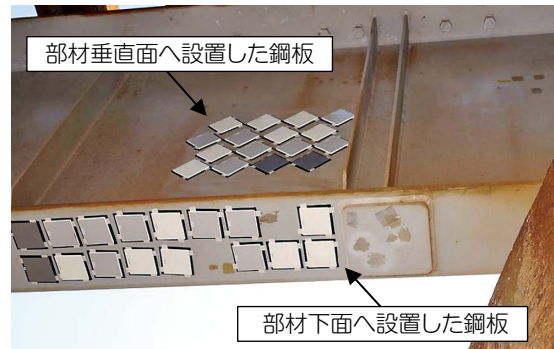


図3 実鋼橋への塗装腐食鋼板の設置例

額な素地調整方法を検討する場合には、1回あたりの塗り替え施工費用ではなく、鋼橋の使用期間内での塗り替え施工費用の総額、すなわち塗り替えに関するライフサイクルコスト (LCC) を考慮して、従来の素地調整方法と比較する必要があります。

腐食しやすい鋼橋の選定方法

プラスト工法の適用が必要な鋼橋とは、動力工具を用いた素地調整では早期に塗膜下での腐食が進行してしまうような腐食しやすい鋼橋を指します。このような鋼橋を選定するためには、さびを残して塗装した場合の塗膜下での腐食速度を把握することが重要となります。ただし、塗膜下の腐食速度には温度や濡れ時間などのさまざまな環境因子が複雑に影響しており、数値的な解析によって腐食速度を見積もることは非常に困難です。

そこで、さびが残った状態の上に塗装した小型の試験片 (以下、塗装腐食鋼板といいます) を作製し、鋼橋の部

材に設置・暴露することで、その部材に塗膜下腐食が生じた場合の進行程度を推定する手法を考案しました。

塗装腐食鋼板の概要

塗装腐食鋼板の寸法は約70mm角としてなるべく軽量とし、落下しにくいようにしました。さびの発生には塩水噴霧試験装置 (☞参照) を用いて、鋼板間でのばらつきを極力小さくしました。このとき、さびの発生量を変えることを目的に、低濃度と高濃度の2種類の塩水を使用しました。さびの除去には金属ブラシを用い、高濃度の塩水噴霧で作製した鋼板の方が多くのさびが残る条件としました。さびの上への塗装には、実際の塗り替え状態を模擬するため、鉄道橋の防食で多くの実績を持つ塗装仕様を用いました。

作製した塗装腐食鋼板の腐食挙動を把握するため、腐食しやすい環境での暴露試験を実施し、塗膜下での腐食の進行にともなって増加した塗膜膨れの面積率 (以下、塗膜膨れ面積率といいます) を画像解析によって算出しました (図2)。その結果、高濃度の塩水噴霧によって作製した塗装腐食鋼板の方が全体的に大きな膨れ面積率となり、塗装前に残したさびの量が多いほど腐食しやすいことがわかりました。腐食の傾向としては双方の塗装腐食鋼板と

も暴露初期の段階で塗膜膨れ面積率が急激に増加し、その後は緩やかに増加する傾向がみられました。鋼材の腐食速度は、さび中に塩分 (塩化物イオン) を含む場合に大きくなります²⁾。暴露した塗装腐食鋼板においても、残存するさび中に比較的塩分を多く含む部分で塗膜膨れが早期に生じ、その後はあまり塩分を含まない部分で徐々に腐食が進行したと考えられます。

実鋼橋への塗装腐食鋼板の設置

続いて、沿岸に架設されており、過去に塗膜下腐食がみられるなど腐食しやすい鋼橋である3橋の鋼橋と、腐食しにくい環境に置かれている鋼橋部材に対して塗装腐食鋼板を設置し、塗装腐食鋼板の腐食挙動に差を生じるかを調査しました。塗装腐食鋼板の設置例を図3に示します。このように、部材の下面や垂直面など、面方向の異なる複数の部材面に塗装腐食鋼板を設置しました。調査の結果、腐食しにくい環境に置かれている鋼橋部材ではほとんど塗膜膨れが発生しないのに対して、腐食しやすい3橋の鋼橋では塗膜膨れが発生し、とくに日照の影響を受ける海側を向いた部材面に設置した塗装腐食鋼板がもっとも腐食しやすいことがわかりました。この要因として、腐食を促進する因子である塩分が海から飛

☞ 塩水噴霧試験装置

塩水を連続的に噴霧する装置。金属の腐食性を評価するために用いられます。試験片に絶えず塩水が作用するように、試験片に直接塩水を噴射するのではなく、試験機内を塩水で霧状にする構造になっています。

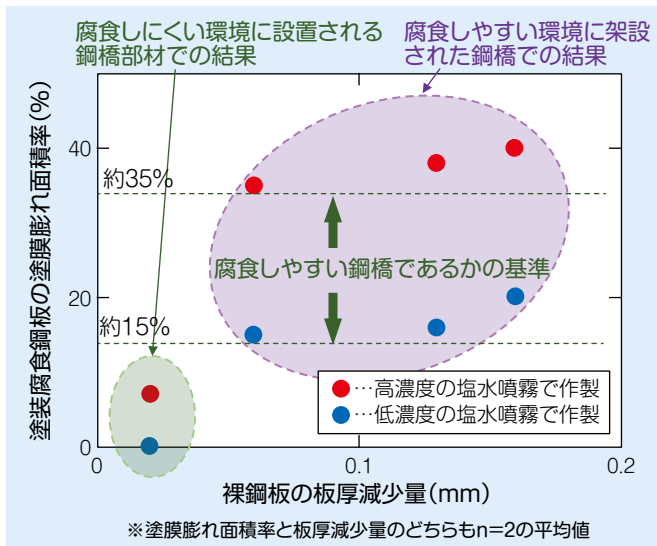


図4 裸鋼板の板厚減少量と塗膜膨れ面積率の関係

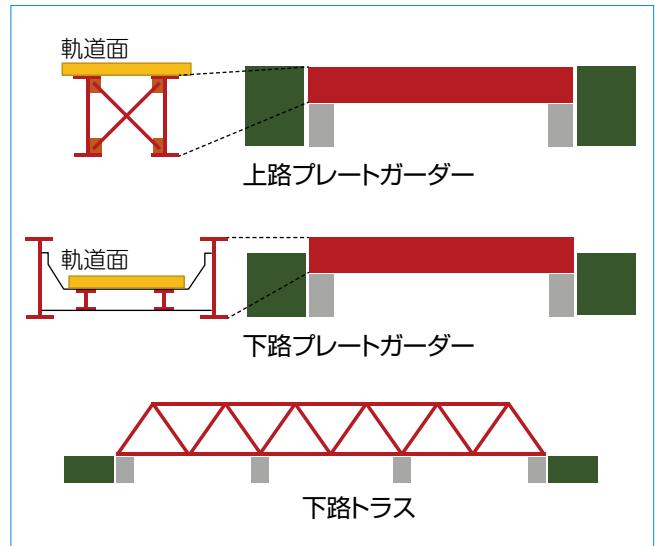


図5 モデル鋼橋の構造形式

来したことや、日照によって部材の温度が上昇することで腐食速度が大きくなったことなどがあげられます。

各鋼橋または鋼橋部材の調査結果の一例として、1年間設置した場合の塗装腐食鋼板の膨れ面積率を縦軸に、環境評価のために設置した裸鋼板（塗装腐食鋼板と同じ寸法）の板厚減少量を横軸にしたものを図4に示します。腐食しやすい環境ほど裸鋼板の板厚減少量は大きくなるため、裸鋼板の板厚減少量の増加とともに塗装腐食鋼板の膨れ面積率も増加することが予想されます。しかしながら、腐食しやすい環境における塗装腐食鋼板の膨れ面積率には大きな違いがみられませんでした。これは図2で示したように、塗装腐食鋼板の塗膜膨れ面積率の増加傾向は、塗膜下腐食が進行しても徐々に緩やかになっており、裸鋼板とは異なる腐食挙動であったことが原因と考えられます。

図4より、塗装腐食鋼板の膨れ面積率は腐食しやすい環境であれば同じような値になり、鋼橋を選定する目安にしやすいことがわかりました。本試験では腐食しやすい環境の鋼橋において、低濃度の塩水噴霧で作製した塗装腐食鋼板では15%程度、高濃度の塩水噴

霧で作製した塗装腐食鋼板では35%程度の膨れ面積率になりました。これらの値は、腐食しやすい鋼鉄道橋であるかを判断する基準の一つとして活用することができると考えられます。以上の結果から、ブラスト工法を適用し、LCCを考慮するべきである腐食しやすい鋼橋を選定する目的が立ちました。

塗り替えに関するLCC評価法

次に、塗り替えに関するLCCの算出方法について説明します。

1回あたりの塗り替え施工費用の主な項目として、素地調整費用、塗装費用、塗料費用、足場架設費用、保安費用があります。この費用と、構造物の使用年数と、塗り替えた塗膜に期待できる耐久年数から計算できる塗り替え周期を考慮することでLCCが算出できます。なお、LCCを算出するには将来に渡る費用を積み上げていく必要があります。ここでは、将来にかかる費用を現在の価値に置き換える方法である現価法を用いました。一般的には、将来にかかる費用は現在の価値からすると安くなる設定にしておき、この計算でも同じ考え方を用いることとしました。

モデル鋼橋への適用

このようなLCCの観点による素地調整方法別の費用対効果を検討するため、モデル鋼橋を対象として塗り替えに関するLCCを計算しました。モデル鋼橋は、鋼鉄道橋として一般的な形式である上路プレートガーダー、下路プレートガーダー、下路トラスの3種類としました(図5)。LCCの計算にあたっては、素地調整方法によって大きく費用が変化する項目である、塗料費用、素地調整費用、塗装費用、足場架設費用を対象としました。

塗り替え施工条件の設定

塗り替え施工条件の設定にあたり、鋼材がかなり腐食しているものとして、素地調整方法を動力工具処理またはブラスト工法のいずれかとしました。さらに、動力工具を使用する場合にはさびを完全に除去するまで素地調整を行う条件を追加しました。以下に、各条件の施工概要について説明します。

条件①：動力工具処理

一般的な施工条件であり、劣化した塗膜やさびを除去してから塗り替えます。ただし、この条件では腐食が進行した鋼材のさびがある程度残ってしま

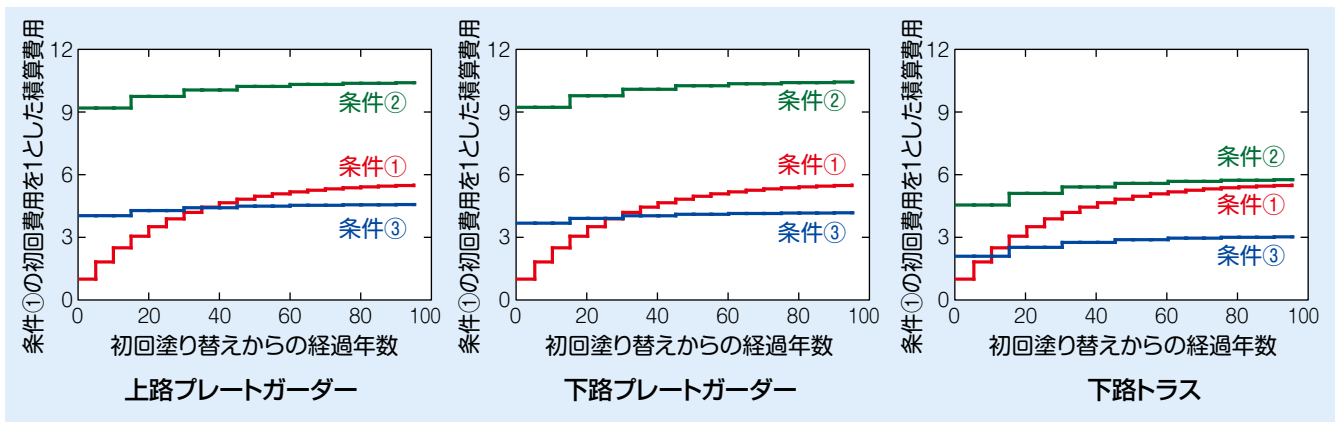


図6 モデル鋼橋の構造形式によるLCC算出結果

うため、塗膜下での腐食が進行し、鋼材の板厚が減少します。構造物の安全性にかかわるような板厚の減少が懸念される場合には、部材の補修・補強工事が必要となることから、ここではあまり腐食が進行しないうちに塗り替えることとし、塗り替え周期を5年に設定しました。

条件②：動力工具処理だが完全にさびを除去

動力工具を用いて素地調整しますが、初回の塗り替え施工時に入念な素地調整によってさびをほとんど除去し、2回目以降の塗り替え施工時では条件①を適用する条件です。ただし、小型部材を用いた素地調整試験の結果、さびをほとんど除去するためには通常20倍程度の時間を要しました。このため、素地調整費用を条件①よりも高額に設定しました。塗り替え周期は、さびが生じていない鋼材面に塗装した際の塗膜の耐久性調査事例³⁾を参考として15年に設定しました。

条件③：ブラスト工法

初回の塗り替え施工時にブラスト工法を用いて鋼橋全体の塗膜やさびを除去し、2回目以降の塗り替えでは条件①を適用する条件です。塗り替え周期は条件②と同じ15年に設定しました。

モデル鋼橋での試算結果

これらの条件に基づき、初回の塗り替えから100年間の施工費用を積算した結果を図6に示します。すべてのモデル鋼橋において、初回の塗り替え施工費用がもっとも小さいのは一般的な施工方法の条件①になりました。ただし、この条件は腐食の進行によって部材の板厚減少が懸念されます。また、塗り替えを考慮してLCCを算出した場合には条件③よりも高額となりました。このような逆転は、足場面積の大きい下路トラスにおいて早い時期に起こることがわかりました。条件②については、年数の経過とともに費用の差は小さくなるものの、初回の塗り替え施工費用が高額であるため、設定期間内におけるLCCは全条件の中でもっとも高くなりました。

以上の結果から、腐食しやすい鋼橋であっても、使用する年数があまり長くない鋼橋については、腐食は進行してしまいますが一般的な施工条件である条件①で塗り替えするのがもっとも経済的であることがわかりました。一方、長期間に渡って供用したい鋼橋では、ブラスト工法である条件③を用いることにより、鋼材をあまり腐食させずにLCCを低減できる可能性があることがわかりました。

おわりに

腐食しやすい環境に架設された鋼橋を効率的に防食する方法として、LCCの観点から適切な塗り替え施工方法を選択する方法を紹介しました。ここではブラスト工法を採用できることを前提で説明しましたが、鉄道で使用される鋼橋には鋼材の上に直接まくらぎやレールを設置した構造のものが多く、粉塵や飛散物を環境中に排出しないようにするための養生が難しい場合があります。今後はこのような鋼橋を対象に、ブラスト工法を使用する際の適切な作業方法の提案や、ブラストと同程度の素地調整能力を期待できる工法の提案などを行い、腐食した鋼橋の維持管理方法の効率向上に取り組んでいく予定です。**RRR**

文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鋼構造物塗装設計施工指針，p.III解-7，鉄道総合技術研究所，2013
- 2) 田中誠：鉄道総研式複合サイクル試験による塗膜性能評価，防錆管理，Vol.47, No.6, pp.205-214, 2003
- 3) 坂本達朗，園佳寿郎，後藤宏明，江成孝文，橋本康樹，山本基弘，吉田陽一，木村武久，真田祐介：実橋りょうに適用した長期耐久型塗装系の追跡調査（その1），鉄構塗装技術討論会発表予稿集，Vol.35, pp.1-6, 2012