

土木学会平成28年度全国大会
研究討論会 研-07 資料

鋼橋の長寿命化に向けて —防食技術の進むべき方向—

座長	貝沼 重信	九州大学
話題提供者	高木 千太郎	(一財)首都高速道路技術センター
	坂本 達朗	(公財)鉄道総合技術研究所
	下里 哲弘	琉球大学
	前田 博	(一社)日本橋梁建設協会
	貝沼 重信	九州大学

日 時	平成28年9月7日(水) 13:00~15:00
場 所	東北大学川内北キャンパス
教 室	B棟B200

鋼構造委員会

趣旨説明

鋼構造委員会幹事会

重要な社会資本である橋梁の高齢化が進む中、その長寿命化は喫緊の課題である。今後は、限られた予算の中で維持管理を着実に実施し、効果的・効率的に橋梁を長寿命化していくことが求められる。腐食は鋼橋の主な損傷原因となっており、防食機能を長期間維持し、不具合があればその機能を確実に回復していくことが長寿命化の実現に向けて大変重要である。このような状況を受け、様々な社会環境の変化に伴う要求性能の多様化にも応えつつ、鋼橋の防食機能を長期にわたって維持するための技術が研究・開発されてきている。本討論会では、鋼橋を対象として、防食技術の現状と課題について概観し、課題の打開策や進むべき方向について議論する。

座長・パネリストは、以下に示す方々をお願いした。

座長：

貝沼重信 氏（九州大学）＜土木学会鋼構造物の防食性能の回復に関する調査研究小委員会委員長＞

パネリスト：

高木千太郎 氏（首都高速道路技術センター）／鋼道路橋の防食の概要と課題

坂本達朗 氏（鉄道総合技術研究所）／鋼鉄道橋の防食に関する現状と課題

下里哲弘 氏（琉球大学）

／鋼橋の防食の高機能化－腐食弱点部（桁端部・高力ボルト）の防食技術の進むべき方向－
前田 博 氏（日本橋梁建設協会技術委員会防食部会）

／防食施工の現状と課題－鋼道路橋を対象として－
貝沼重信 氏（九州大学）／鋼橋の防食性能回復の取組

本討論会では、議論を集中するため、主要な鋼構造物である道路橋、鉄道橋を取り上げ、それぞれの防食技術の現状と課題、ならびに双方に共通する防食技術についての話題をできるだけ幅広く話題提供していただくこととした。本討論会において、鋼橋の防食技術に関する現状と課題、ならびに将来展望に関して有意義な議論が交わされ、防食技術の進むべき方向が示されることを期待するものである。

鋼道路橋の防食の概要と課題

一般財団法人 首都高速道路技術センター 上席研究員 高木千太郎

国内の道路橋は、約 72 万 3 千橋（平成 26 年 6 月末現在）である。ここに示す 70 万橋を超える道路橋の管理者別割合としては、国が 37,766 橋の 5.2%、高速道路株式会社が 23,077 橋の 3.2%、都道府県・政令市が 182,297 橋の 25.2%、市区町村が 480,355 橋の 66.4%と全数の 7 割弱の多くの道路橋を市区町村が管理している。

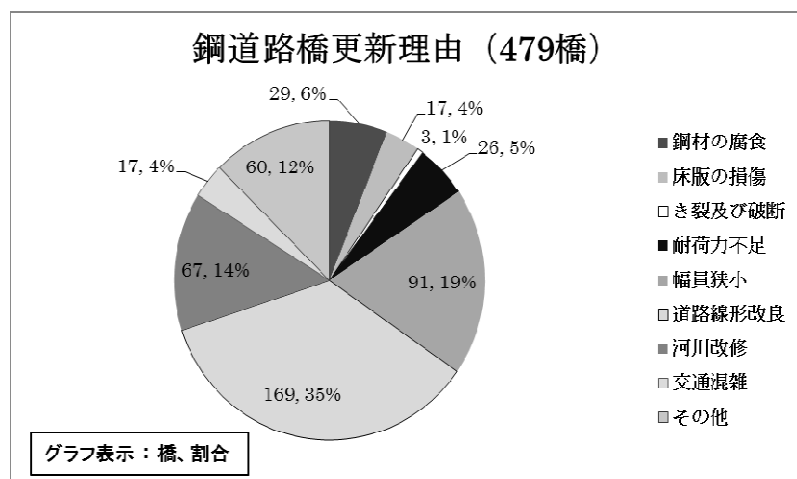


図-1 道路橋更新理由 (2008 年 4 月国総研)

ここで、国直轄の道路橋、各都道府県及び各政令指定都市が管理している道路橋のうち、平成 8 年 7 月 1 日から平成 18 年 6 月 30 日までの間に撤去または更新が行われた 1,342 橋を対象として調査した結果（国土技術政策総合研究所）¹⁾が以下である。調査総数 1,342 橋のうち、35.7%が鋼橋、36.1%が鉄筋コンクリート橋、24.9%がプレストレストコンクリート橋、その他が混合橋等となっている。そのうち、鋼橋 479 橋を対象として、立地条件を調べると、市街地が 19.2%の 92 橋、郊外の平地が 58.0%の 278 橋、山間部が 19.4%の 93 橋、海岸部（海岸線より 299m以内）が 2.9%の 14 橋、その他 0.4%の 2 橋と郊外の平地が半数以上となっている。次に、更新した理由を調べると、道路の線形改良が 35.2%の 169 橋、幅員狭小が 19.0%の 91 橋、河川改修が 14.0%の 67 橋、耐荷力の不足が 26 橋の 5.4%、鋼材の腐食が 29 橋の 6.1%となっている。やはり、機能的な理由が主であり、道路線形改良、幅員狭小、河川改修、交通混雑、都市計画が全体の 76.2%と四分の三以上を占めている。しかし、道路橋の損傷別に区分すると、総数が 66 橋ある中で、鋼材の腐食が 29 橋の 43.9%で第一位、床版の破損が 17 橋の 25.8%で第二位と以下に示す前回の調査とは逆転している。更新した橋梁の供用年数は、全橋種 201 件では平均供用年数 46.25 年、鋼道路橋では 42.76 年、鉄筋コンクリート道路橋では 52.21 年、プレストレストコンクリート橋が予想を反して 38.54 年となっている。なお、平成 9 年 10 月に土木研究所が今回と同様の調査 ²⁾を公表しているが、鋼道路橋の更新理由は、機能上の理由が 77.4%の 467 橋、上部工の損傷が 12.3%の 59 橋であり、上部工の損傷のうち、先にも示したように床版の損傷が 67.2%の 48 橋で第一位、鋼材の腐食が 26.0%の 18 橋で第二位である。

1. 道路橋の防食技術解説書の変遷

道路橋を対象とした防食技術解説書としては、塗装技術を中心に取りまとめた 1971 年（昭和 46 年）「鋼道路橋塗装便覧」が最初である。その後、2005 年（平成 17 年）には、道路橋の主たる防食法の塗装に加え、腐食速度を低下できる合金元素を加えた耐候性鋼材、塗替え不要な防食法として採用された溶融亜鉛めっき、めっきと同様な環境遮断タイプで溶射ガンによって施工する金属溶射を加えて取りまとめた「鋼道路橋塗装・防食便覧」が発刊された。鋼道路橋が使用される環境もスパイクタイヤの禁止から多量に凍結防止剤を散布する時代に移り変わり、海峡を跨ぐ飛来塩分の多い地域での長大橋の建設時代となり防食技術の重要性が認識される機会も増加した。2014 年（平成 26 年）3 月には、「鋼道路橋塗装便覧」、「塗膜劣化程度標準写真帳」、「鋼道路橋塗装・防食便覧」を統合した「鋼道路橋防食便覧」を発刊し、防食法だけでなく、環境対応にも触れる解説書となっている。

2. 道路橋の防食方法

鋼道路橋の腐食損傷に関して、防食原理や耐久性などの性能が明らかで実績のある塗装などの防食対策がある。具体的には、塗装、めっき、金属溶射など被覆による防食、鋼材を耐食性材料に変えた防食、環境改善による防食、電気防食などがある。防食法選定は、防食法の特性を把握し、橋梁の周辺環境との調和、経済性、維持管理性などを考慮して正しく選定し、その後必要な防食設計を行う。代表的な防食法である塗膜による被覆の場合は、一般外面の塗装仕様として耐久性に優れたC-5塗装系を主とし、良好な環境においてはA-5塗装系、内面用塗装仕様

表-1 一般外面の塗装仕様

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μm)	塗装間隔
製鋼工場	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa 2 1/2		4時間以内
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	(160)	(15)
橋梁製作工場	2次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa 2 1/2		4時間以内
	防食下地	無機ジンクリッチペイント	600	75
	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	160	—
	下塗	エポキシ樹脂塗料下塗	540	120
	中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30
	上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	140	25

注)1:使用量はスプレーの場合を示す。
 注)2:プライマーの膜厚は総合膜厚に加えない。
 注)3:製鋼工場におけるプライマーは膜厚にて管理する。

表-2 良好な環境における塗装仕様 A-5系

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μm)	塗装間隔
製鋼工場	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa 2 1/2		4時間以内
	プライマー	長ばく形エッチングプライマー	(130)	(15)
橋梁製作工場	2次素地調整	動力工具処理 ISO St 3		4時間以内
	下塗	鉛・クロムフリーさび止めペイント	170	35
	下塗	鉛・クロムフリーさび止めペイント	170	35
現場	中塗	長油性フタル酸樹脂塗料中塗	120	30
	上塗	長油性フタル酸樹脂塗料上塗	110	25

注)1:使用量は、工場塗装はスプレーの場合を、現場塗装ははけ・ローラーの場合を示す。
 注)2:プライマーの膜厚は総合膜厚に加えない。
 注)3:製鋼工場におけるプライマーは膜厚にて管理する。

対策としては、これまで用いられてきた防食材料には鉛化合物、六価クロム化合物及びPCBなどの有害物質を含むものがあるので、環境汚染や人的影響等が発生することのないように新設及び塗り替え時の適用や処理方法に十分留意して有害物質の処理を行うことに取り組んでいる。

3. 道路橋の防食に関する課題

鋼道路橋の場合、桁端部の著しい腐食や斜材の破断等高齢化による変状が顕在化する現状を踏まえ、新設、既設橋の維持管理、更新の各段階で将来に機能する適切で望ましい防食法を確立させ、ライフサイクルコストの低減を図ることが必要である。それには、新設橋で採用した防食法の施工データ、既設橋の点検・診断で得られた多くのデータを種々のデータ分析法、例えばデータマイニング技術などによって分析し、今後の防食法の選定、点検・診断、補修・補強などに生かし、誤った防食法適用による致命的な損傷や鋼部材の腐食を原因とした通行規制とならないようにすべきである。それとともに、道路橋の防食施工に関する事故、具体的には、塗り替え塗装による火災事故や旧塗膜に含有している有害物質処理に関する事故を防止することが必要である。さらに、飛来塩分の多い環境に架かる道路橋の防食には、従来の重防食塗装を超える新たな塗料や塗装技術の研究・開発、湿度改善装置による設備防食法及び環境に優しい塗料として水性塗装などの開発、試行を行うことが必要である。

参考文献：1) 玉越隆史ほか：橋梁の架替に関する調査結果 (IV)，国総研資料第 444 号，2008.4.

2) 西川和廣ほか：橋梁の架替に関する調査結果 (III)，土木研究所資料第 3512 号，1997.10.

鋼鉄道橋の防食に関する現状と課題

(公財) 鉄道総合技術研究所 坂本 達朗

1 はじめに

鋼鉄道橋に適用されている主な防食技術には、塗装、金属溶射、金属めっきなどの材料被覆のほか、腐食速度を抑制できる耐候性鋼材の適用などが挙げられる。この中でも、塗装は最も古くからの技術であり、広く適用されている。塗装した鋼鉄道橋では必要に応じて塗替えが行われるが、近年、これまでに見られなかった塗膜変状などが生じるなど、経年した鋼鉄道橋を中心とした塗装に関する課題が散見されている。この要因の一つに、鉄道橋の多くが長期間供用されており、防食に関する維持管理が適切に為されていなかったことが挙げられる。

本報では、初めに鋼鉄道橋における維持管理手法の概要について説明し、次いで防食塗装の課題として、旧塗膜の劣化および塗膜下での腐食について述べる。

2 鋼鉄道橋の維持管理手法の概要

鋼鉄道橋では安全性の確保を主目的として、2年を超えない範囲での目視による検査（通常全般検査）が行なわれる。また、構造種別や線区の実態に合わせて、部材に接近しての詳細な検査（特別全般検査）が必要に応じて行われる。

特別全般検査では詳細な検査を行なうために足場を架設することが多く、その場合には経済性の観点などから塗替えを同時に行なうのが一般的である。特別全般検査の検査周期は一律に定まっておらず、通常全般検査時に疲労損傷などの重大な変状またはその兆候が発見された場合や、塗替えが必要な段階までに塗膜劣化が進行した場合に実施される。

鋼鉄道橋の塗装技術における基準類として最初に作成されたのは1943年の土木工事標準仕方書である。その後、幾度の改訂や名称の変更を経て、現在では防食設計、塗装系、塗装施工、管理・検査などが記載された「鋼構造物塗装設計施工指針¹⁾」（以下、「塗装指針」と呼ぶ）が防食設計上の技術マニュアルとして各鉄道事業者に活用されている。

3 防食塗装における現状の課題

3.1 旧塗膜の劣化

鋼構造物の狭隘部や角部、添接部や部材下面などでは、図1に示すように比較的早期に塗膜変状や腐食が生じやすい。このことから、塗膜の劣化は構造物全体で均一に進行しないことが多く、旧塗膜を全て除去して全面を塗替えるのは経済的ではない。また、過去に国鉄で実施された現地塗替え試験では、

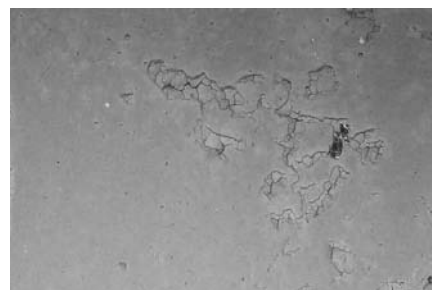


図1 局所的な塗膜劣化・腐食の例

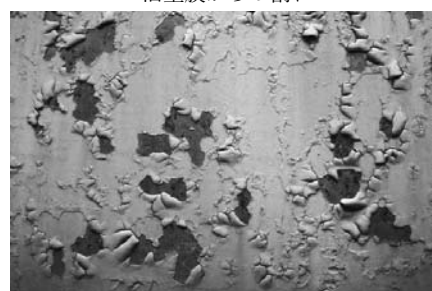
発錆部だけ鋼素地を露出させた方が塗膜欠陥の発生率が少ないという結論が出ている²⁾。これらを考慮して、鋼鉄道橋の塗替え工事では健全と考えられる塗膜を活膜と称して残す方法が一般的に採用されている。

しかしながら、複数回に渡って塗替えられた旧塗膜では経年での樹脂の加水分解や酸化等に伴う塗膜劣化のほか、塗り重ねる塗料が硬化・収縮する際の内部応力の増加などが要因と考えられている割れや剥がれが顕在化している（図2）。

こうした塗膜変状は比較的厚い旧塗膜が残存した箇所で見ることが経験的に知られており、せん断力などの作用によって容易に剥離するケースが多い。すなわち活膜とは言えない状態である。ただし、塗替え前の外観調査では上記の塗膜変状が見られず活膜と誤認される場合がある。したがって、付着力などの観点から塗膜の劣化程度を評価することが望ましいが、その評価の実施時期や、評価手法が煩雑であるなどの理由から、現状ではほとんど実施されていないのが現状である。



旧塗膜からの割れ



鋼素地からの剥がれ

図2 塗膜変状事例

3.2 塗膜下の腐食

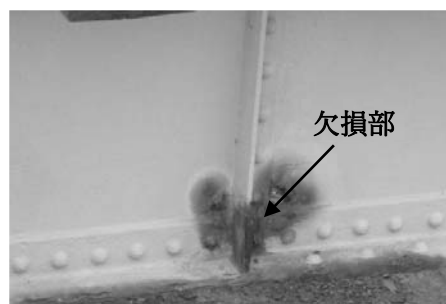
塗膜の耐久性は、鋼素地の状態に大きく影響する。このため、塗替え時には劣化した塗膜やさびを除去し、活膜の表面を清浄にするとともに適度なあらしさを付与する作業（素地調整）が行なわれる。特に「塗装指針」では、腐食箇所のさびを完全に除去することを基本としている。素地調整後の見本を図3に示す。

近年、塗装周期の延伸による維持管理費用の削減を目的に、橋梁の設置環境を問わず、長期防錆型塗装系が広く適用されている。しかしながら、前述のように塗膜劣化の進行程度は部位によって異なり、塗膜自体の耐久性に影響されないことが多い。沿岸部の橋梁のように腐食性の高い環境に設置された鋼鉄道橋では、大部分の塗膜は健全であるが局所的な腐食が進行し、全面的な塗替えを行なう前には部材の欠損に至るまで腐食が進行している場合が見



動力工具を用いて腐食箇所を除去した状態で鋼素地露出箇所にさびは残存していない。

図3 素地調整後の見本写真



欠損部

図4 腐食による部材の欠損事例

受けられる（図4）。

また、腐食の進行した箇所では鋼素地に凹凸が生じているために素地調整し難い。この場合、図5に示すようにさびが残存した状態で塗装することになる。腐食した部材においてさびが残存した状態で塗装すると、塗膜下での腐食が早期に進行して塗膜の劣化に至ることが経験的に知られている。図6に塗膜下での腐食例を示す。

これまで、鋼鉄道橋では全面塗装を基本とした塗替えを実施してきたが、上述したように、全面塗替えが困難な状態の鋼鉄道橋が増加しつつあり、このような鋼橋梁に対しては積極的に部分塗替えを行なう必要がある。

現状では著しい腐食箇所に対する措置を除き、部分塗替えが実施された事例はほとんど存在しない。このため2013年に改訂された「塗装指針」では、部分塗替えを実施する際の判定フローが導入されたほか、部分塗替えを実施することでの維持管理費用の低減効果例を示している。また、筆者らは部分塗替えを実施すべき腐食性の高い環境下の鋼鉄道橋を簡易に選定する手法を検討しており³⁾、個々の橋梁で個別の防食設計を導入することによる維持管理手法の適正化が期待される。

4 おわりに

本報では、鋼鉄道橋の防食に関する維持管理方法と主な課題について述べた。現状で指摘されている課題の多くは旧塗膜の取扱いや素地調整方法に関連しており、適切な塗装が困難な部位に対する塗装方法の構築や、適切な素地調整方法の確立などが求められている。その他にも、作業者の安全や環境への影響について従来以上に考慮する必要があると考えられる。今後はこのような施工技術に着目した研究開発および技術開発が必要と考えられる。

参考文献

- 1) (公財) 鉄道総合技術研究所：鋼構造物塗装設計施工指針，2013.
- 2) 為広，吉田，菅原，鈴木：橋けた塗装試験報告-宗の尻橋りょうの調査-，鉄道技術研究所速報，No.59-328，1959.
- 3) 坂本，貝沼：塗装さび鋼板を用いた塗装鋼構造物の腐食度評価に関する検討，防錆管理，Vol.60，No.5，pp.165-172，2016.

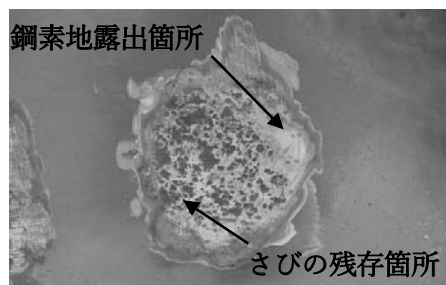


図5 素地調整後のさび残存例

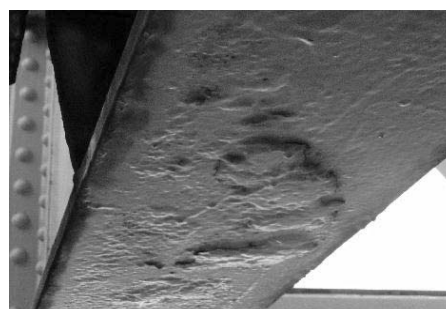


図6 塗膜下での腐食例



鋼橋の防食の高機能化

～腐食弱点部(桁端部・高力ボルト)の防食技術の進むべき方向～

琉球大学

下里 哲弘

§ 1: 鋼橋の腐食弱点部と研究の方向性



鋼橋の弱点その1: 塗装劣化・白亜化



紫外線劣化評価

鋼橋の弱点その3: 高力ボルト継手部



高力ボルトの新防食仕様の研究

鋼橋の弱点その2: 塗膜劣化と錆



塗膜寿命評価

鋼橋の弱点その4: 桁端部・支承部



支承部、桁端部構造と防食仕様の研究

耐久性に対する要求性能および照査



8.2.2 耐腐食性 鋼・合成構造物は設計供用期間中、想定される環境作用のもとで、鋼材の腐食により部材に要求される力学性能や機能を低下させてはならない。また、部材の破壊を生じさせてはならない。



鋼橋の強み

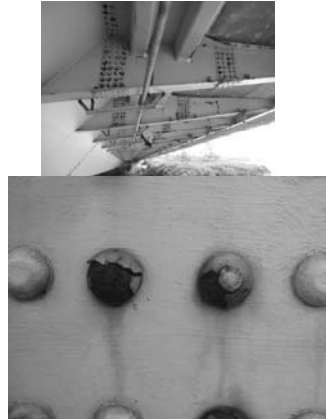
土木学会 鋼・合成標準示方書
総則編・構造計画編・設計編 2016

- 1、鋼橋の腐食の弱点は桁内端部と部材角部と限定的である。
★桁端部と高力ボルトの防食の高機能化で長寿命化が図れる。
- 2、劣化過程と劣化部位がわかりやすい。
★錆・腐食は表面から進行する。
→見える損傷・わかるダメージ度(保有耐力の評価可能)
- 3、鋼橋の腐食部位は、機能回復がしやすい。
★LCC思想は鋼橋にとって最大のチャンス

§ 2: 高力ボルト部の防食



ボルト部の錆・腐食

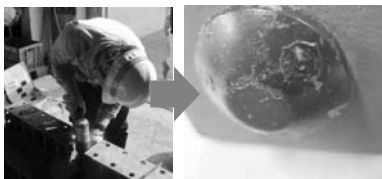


高力ボルトの腐食の要因



締付時の傷

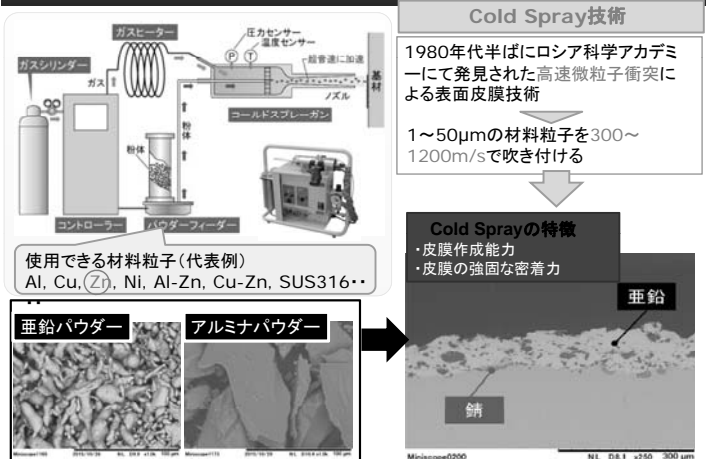
傷からの錆



締付時の傷

要因:
①ボルト締付時の傷
②ボルトのみ非重防食仕様。
【重防食=Zn処理】

高力ボルトの防食: Cold Spray工法の研究



Cold Spray工法 研究開発のコンセプトと性能検証



研究:腐食した鋼材に対するCold Spray表面処理技術の防食性能評価

噴き付け対象面の影響検証 ▶▶▶ 腐食弱点部(角部・エッジ部)への適用

腐食ボルト

CS施工

SEMIによる断面観察

拡大部

CS皮膜確認

約80μm

Al₂O₃ Fe₂O₃

・ボルト角部に約80μmの亜鉛皮膜が形成
・除錆効果を確認

腐食弱点部(角部・エッジ部)へ十分な膜厚を持った亜鉛皮膜の施工が可能である

Cold Spray工法の実装①



現場試験施工 平均飛来塩分量:0.11mdd <最大値:0.21mdd> 平均湿度:74.6% 平均温度:30.6℃



<CS工法施工状況>



Cold Spray工法の実装②



2015年12月:横桁のボルト継手部で試験施工

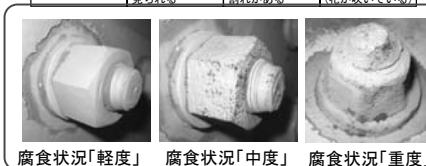


【腐食状況の凡例】

○:健全	○:軽度	○:中度	●:重度
腐食なし	若干の発錆が見られる	発錆に伴う塗膜剥れがある	層状錆の剥離(花が咲いている)



<CS工法施工状況>



全断面溶接(外面)



- ①腐食要因:飛来塩分の付着防止、薄膜部位なし
- ②塗装の寿命=塗膜の寿命



一般外面仕様 (伊良部大橋土筋橋脚仕様)

塗装工法	塗料名	方法	標準塗膜厚(μm)	目録標準(μm)	塗膜寿命年*
鋼材保護	製造/クボタ化成 ISO S&S6以上 9F				4年以内(5年)
金属溶射	アルミニウム(99.99%)・マグネシウム(0.01%)合金	ゾウ丹マシ	500	150以上	12年以内
射孔処理	金属溶射射孔処理剤	エアレス	200	-	10年以内
下塗り	エポキシ樹脂 下塗り	エアレス	140	120	10年以内
中塗り	エポキシ樹脂 中塗り	エアレス	170	30	10年以内
上塗り	エポキシ樹脂 上塗り	エアレス	140	25	10年以内

伊良部大橋(沖縄県宮古島市)
: 1ボックスの構造形式
: 外面部は全溶接を採用
: 吊金具省略⇒外面突起なし
⇒塗膜自体の寿命を100%期待

海上部での100年耐用仕様
●防食下地:アルマグ溶射
●溶射上面:エポキシ塗装
+フッ素塗装

犠牲防食効果の検証実験



恒温恒湿機

はけ塩水塗布

大(酸化しやすい) ← K Ca Na Mg Al Zn Fe Ni Sn Pb (H) Cu Hg Ag Pt Au → 小(酸化にくい)

亜鉛

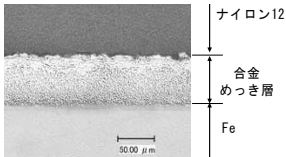
鋼

100μm

§3: 支承部の防食対策



支承部の対策 (琉大暴露場で9年暴露)



熔融亜鉛・アルミニウム・マグネシウム合金めっき (5%Al-1%Mg-Zn, 350g/m²以上)

ナイロン12樹脂を流動浸漬工法で粉体塗装膜 (250μm以上) を形成
 ⇒密着性が高く、耐候性に優れている。
 ⇒摩擦・摩耗特性に優れ、角部に所定膜厚形成され、キズ付きにくい。

トヨタ車のシートレール部、ココヨのダブルクリップに適用されている



a) ナイロン粉体仕様



b) ふっ素樹脂C5塗装仕様

支承部の対策: 沖縄の実橋で12年経過



・年間平均飛来塩分: 0.46mdd
 ・濡れ時間割合: 38.1%
 ・鋼材腐食速度: 0.03mm/y

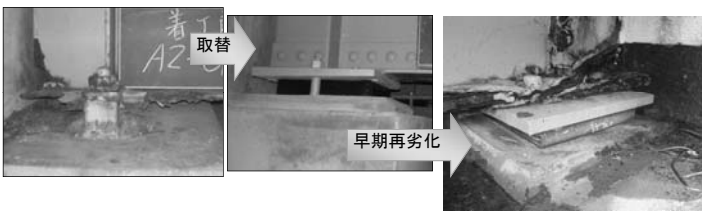


剥がれる亜鉛メッキ (落橋防止装置)



漏水した桁端部でのナイロン粉体支承部

§ 4: 桁端部: CS工法の実証研究



鋼桁端部・支承部の腐食・再腐食

<再劣化防止>

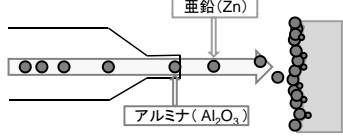
- 処理技術①: 錆・腐食の除去 (ブラスト処理)
- 処理技術②: 防食性の高い亜鉛粉体を鋼材面に付着 (重防食化)

Cold Spray工法 研究開発のコンセプトと性能検証

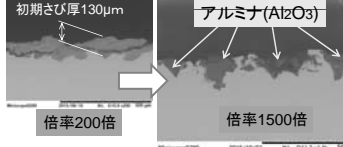


同時施工
 除錆 (アルミナ (Al₂O₃) によるブラスト効果) + 防錆 (亜鉛 (Zn) による犠牲防食効果)

研磨剤として錆を除去する役割

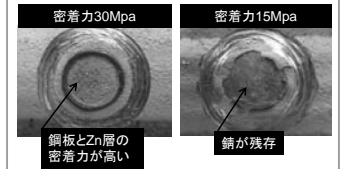
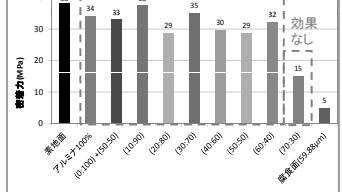


アルミナ100%にて施工



ブラスト効果+素地に密着を確認

アルミナ含有率別の密着力比較



開発技術の現場適用性検証の実施



研究: 腐食損傷 (再発) を受けた実橋梁での防食性能回復実証実験



CS防食皮膜と密着力の確認



電磁膜厚計

アドヒージョンテスター

平成28年度土木学会全国大会 研究討論会

鋼橋の長寿命化に向けて
— 防食技術の進むべき方向 —

2016年9月7日

一般社団法人 日本橋梁建設協会
技術委員会 防食部会 前田 博

社団法人 日本橋梁建設協会

防食施工の現状と課題 — 鋼道路橋を対象として —

社団法人 日本橋梁建設協会

点検の種類

1. 定期点検

- 1) 構造物の健全度を把握.
- 2) 機能低下の原因となる損傷の早期発見と評価.
- 3) 点検対象物に接近して定期的に行う.
- 4) 細部を目視あるいは簡単な計測により行う.

2. 詳細点検(臨時点検)

- 1) 塗膜の早期劣化や特異な変状が現れた場合に実施.
- 2) 損傷の要因分析・進行状態の把握.
- 3) 補修の要否や補修する場合の塗替え塗装系を検討するために詳細に行う.
- 4) 高度な専門知識・経験に基づく判断が必要.

社団法人 日本橋梁建設協会

塗膜の調査方法



社団法人 日本橋梁建設協会

塗膜の劣化例-1



さび



はがれ

社団法人 日本橋梁建設協会

塗膜の劣化例-2



白亜化



われ

社団法人 日本橋梁建設協会

塗膜の劣化例-3



ふくれ



変退色

社団法人 日本橋梁建設協会

塗替え塗装のポイント

塗替え塗装系

- 1) ライフサイクルコスト低減、環境対策、景観上の配慮などの観点から、塗替え塗装仕様は従来よりも耐久性に優れる重防食塗装系を基本とする。
 - ・プラスト工法+有機ジンクリッチペイント
 - ・エアレススプレー塗装
 - ・外面は弱溶剤形塗料、内面は無溶剤形塗料を使用



飛散防止処置、低飛散型スプレー、静電スプレー等の適用検討が必要

一般塗装系で旧塗膜のA, a, B, b塗装系が十分な塗膜寿命を有しており、橋の残存寿命が20年程度の場合には、鉛・クロムフリーさび止めペイントを用いる塗装仕様を適用可能。

社団法人 日本橋梁建設協会

塗替え塗装系

• Rc-I 塗装系(スプレー)

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	塗装間隔
素地調整	1種		4時間以内
下塗	有機ジンクリッチペイント	600	
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	1日~10日

社団法人 日本橋梁建設協会

塗替え塗装系

• Rc-III 塗装系(はけ, ローラー)

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	塗装間隔
素地調整	3種		4時間以内
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (鋼板露出部のみ)	(200)	
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	200	1日~10日
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	200	1日~10日
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	140	1日~10日
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	120	2日~10日

社団法人 日本橋梁建設協会

塗替え塗装系

• Rc-IV 塗装系(はけ, ローラー)

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	塗装間隔
素地調整	4種		4時間以内
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	200	
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	140	1日~10日
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	120	1日~10日

社団法人 日本橋梁建設協会

塗替え塗装仕様

旧塗膜と塗替え塗装系の組合せ

塗替え 塗装系	旧塗膜 塗装系*	素地調整	特徴
Rc-I	A, B a, b, c	1種	プラスト工法により旧塗膜を除去し、スプレー塗装する。
Re-III	A, B, C a, b, c	3種	工事上の制約によってプラストできない場合に適用する。耐久性はRc-I塗装系に比べて著しく劣る。
Rc-IV	C	4種	C塗装系の塗替えで下塗には劣化がおよんでない場合に適用する。
Rc-II	B b, c	2種	工事上の制約によってプラストできなく、かつ、ジンクリッチプライマーを用いたB塗装系の旧塗膜、又はC塗装系の局部補修に適用する。
Ra-III	A a	3種	A塗装系の塗替えで十分塗膜寿命を有していて、適切な維持管理体制がある場合や橋の残存寿命が20年程度の場合に適用する。
Rd-III	D d	3種	暗く換気が十分に確保されにくい環境の内面塗装に適用する。

社団法人 日本橋梁建設協会

全面塗替え

アーチ橋全景
(施工前)



アーチ橋全景
(施工完了)



社団法人 日本橋梁建設協会

全面塗替え

アーチ橋接写
(施工前)



アーチ橋接写
(施工完了)



社団法人 日本橋梁建設協会

全面塗替え

箱桁全景
(施工前)



箱桁全景
(施工完了)



社団法人 日本橋梁建設協会

部分塗替え 特殊例



縦桁Web
(施工前)



縦桁Web
(施工中)



縦桁Web
(施工完了)

社団法人 日本橋梁建設協会

塗替え塗装の施工

素地調整用工具



素地調整用動力工具の例

プラスト面形成動力工具

社団法人 日本橋梁建設協会

塗装に関する新技術

(1)環境に優しい塗装系
環境に優しい塗装仕様の例(一般外面用の塗替塗装系)
(素地調整程度1種、スプレー塗装)(溶剤削減率約90%程度)

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	目標 膜厚 (μm)	塗装間隔	
橋梁 橋梁 製作 工場	素地調整	1種		4時間以内	
	防食下地	水性有機ジンクリッチペイント	300	37.5	1日~10日
	防食下地	水性有機ジンクリッチペイント	300	37.5	1日~10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	40	1日~10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	40	1日~10日
	中塗	水性ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30	1日~10日
	上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	140	25	1日~10日

社団法人 日本橋梁建設協会

塗装に関する新技術

(1)環境に優しい塗装系
環境に優しい塗装仕様の例(一般外面用の塗替塗装系)
(素地調整程度3種、はけ・ローラー塗装)(溶剤削減率約90%程度)

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	目標 膜厚 (μm)	塗装間隔	
橋梁 橋梁 製作 工場	素地調整	3種		4時間以内	
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	180	(45)	1日~10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	180	(45)	1日~10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	(45)	1日~10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	(45)	1日~10日
	中塗	水性ふっ素樹脂塗料用中塗	170	(30)	1日~10日
	上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	140	(25)	1日~10日

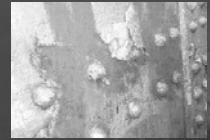
社団法人 日本橋梁建設協会

塗装に関する新技術

環境対応の現場塗膜除去技術:環境対応形塗膜剥離剤

環境対応形塗膜剥離剤は、塗膜を溶解して除去する従来の塗膜剥離剤とは異なり、塗膜をシート状に軟化させることから除去塗膜の回収が容易であり、高級アルコールを主成分とするため毒性及び皮膚刺激性が従来の塗膜剥離剤より低い。

プラストや電動工具による除去工法とは異なり、塗膜のダストや騒音がほとんど発生しない特徴を有する。



社団法人 日本橋梁建設協会

塗装に関する新技術

環境対応の現場塗膜除去技術:プラスト面形成動力工具

塗替え工事において、ディスクサンダーなどの動力工具では、局部的に発生した凹凸部のさびを完全に除去することは困難である。そのため、塗替え塗装を実施しても、本来の持っている塗膜の耐久性を十分に発揮できないことがある。

これらの問題を解決できる有効手段としてプラスト面形成動力工具があり、回転運動している特殊硬質ブラシのブラシ先端が鋼材面を叩きつけることによって、プラストに似た清浄面やアンカーパターンを形成でき、素地調整程度1種相当が得られる。



社団法人 日本橋梁建設協会

ご清聴ありがとうございました。

社団法人 日本橋梁建設協会



鋼橋の防食性能回復のための取り組み

九州大学 貝沼 重信

防食性能回復のための取り組み

鋼構造物の腐食要因・特性や性能回復の実状に則し、かつ化学、電気化学、材料科学、力学などの学際的視点に基づいた理にかなった防食性能回復

鋼構造物の防食性能の回復に関する調査研究小委員会

- 委員長 貝沼重信 (九州大学) 幹事長 内田大介 (三井造船)
- 幹事 (WG主査)
 永田和寿 (名古屋工業大学) 井口進 (横浜ブリッジホールディングス)
 塚本成昭 (阪神高速技術) 坂本達朗 (鉄道総合技術研究所)
 片山英資 (福岡北九州高速道路公社) 北根安雄 (名古屋大学)
 広野邦彦 (フジエンジニアリング) 細見直史 (東京鐵骨橋梁)
- 委員 50名

検討項目

- ① 部位レベルの腐食進行性と腐食環境の評価
- ② 腐食環境の改善
- ③ 鋼素地調整
- ④ 塗膜
- ⑤ 金属皮膜 (めっき, 溶射)
- ⑥ 耐候性鋼
- ⑦ 防食性能回復に関する新技術

① 部位レベルの腐食進行性と腐食環境の評価

腐食進行性評価
 鋼材腐食と塗膜劣化の経時性
 裸小片鋼板, めっき小片鋼板, SUS鋼板
 塗装小片鋼板 (素地調整度 (塩, さび))
 防食性能低下との関係のDB化

腐食環境モニタリング
 濡れと塩化物に着目
 Fe/Ag対センサ, 交流インピーダンスセンサ
 (同心リング型など), 地際センサ

裸鋼板 Znめっき SUS410
 塗装鋼板 ACMセンサ 同心リング

② 腐食環境の改善



マクロ環境 (周辺) 例) 植生, 飛来海塩など
 ミクロ環境 (部位) 例) 雨洗構造, 流水構造, 排水構造の見直しなど

腐食の進行性が低い構造 → 補修・補強時, 新設設計にフィードバック

構造改善が困難な場合 (塗膜耐久性, 素地調整品質が確保困難)
 → 部材の増厚, 部材角部: 円弧化, 鋼板角部: >2R, など

③ 鋼素地調整

素地調整の困難部位 (狭隙部) の明確化 (図化)
 → プラスト限界の把握

塗膜劣化, 腐食形態・程度や部位に応じた素地調整グレードの設定

各種方法の使い分けと併用方法
 手工具, 動力工具, プラスト, 新技術 (剝離剤, IH, レーザーなど)

根拠がある効果的な施工条件と品質管理
 例) プラスト後の塗装までの時間, 鋼素地のアンカーパターンなど

素地調整品質向上 落橋防止構造など, ボルト外す ボルト等部品は取り換え

④塗膜



塗膜自体の化学的劣化ではなく、腐食の影響で顕在化する塗膜劣化を対象

進行性の低い腐食を許容する評価基準 ←①腐食進行性評価など

塗膜劣化度の評価方法

外観の塗膜劣化・腐食状態による物理的評価(全面腐食を想定、塗膜減耗度)

→局部腐食や塗膜下腐食は評価困難

→実質的評価

電気化学的評価、付着性評価、鋼材腐食反応を塗膜発色により検知する塗料、テラヘルツ波による塗膜下腐食度評価など

塗膜下腐食の対処方法 例)重防食塗装の局部腐食、耐候性鋼

現行)徹底した素地調整を規定 しかし、実状と著しく乖離

鋼素地の状態(さび、内在塩 \circ 、塗膜付着塩?)と塗膜の耐久性の関係

部分塗替え 旧塗膜の残置度、素地調整度

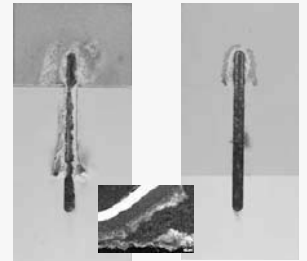
⑤金属皮膜(めっき, 溶射)

アルミニウムめっき



重ね部

突合せ部



皮膜の耐久性のみではなく、鋼材の防食性能にも着目
例)めっき 合金層までの劣化は許容

他の皮膜との重ね部・突合せ部の耐久性と防食性能
塗装と溶射、めっきと塗装、めっきと溶射、塗装と溶射
→耐久性と防食性能が低い場合の対策

⑥耐候性鋼



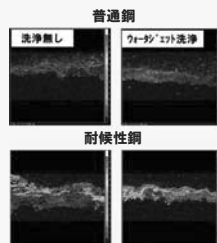
さび保護性の評価ではなく、腐食の進行性を評価
←腐食環境に応じて、さびの保護性が変化

異常さびではなく、腐食進行性評価による補修の判断
→補修の要否、補修範囲・対策の決定

鋼素地調整の困難部位の対処方法

例)孔食や強固なさび層の生成部
付着塩ではなく、内在塩の評価 水洗い効果?

塗装、溶射などによる補修方法



⑦防食性能回復に関する新技術

- ラボ試験により、物理的のみではなく、化学、電気化学的等の学際的な視点で防食機構が確認されている。
- 大気暴露環境で防食効果が確認されている。
- 実構造物において施工実施例があり、防食効果が確認されている。
- 査読付き論文に掲載されている等、学協会の評価を受けている。

例)大気中における犠牲陽極防食技術

