

2024年9月5日(木)

第I部門

2024年9月5日(木) 9:00 ~ 10:20 会 A101(川内北キャンパス講義棟 A 棟) 橋梁一般 (施工)

座長：細見 直史 (N-PRO.)

9:30 ~ 9:40

[I-04]

レーザー照射による塗膜除去技術と蛍光X線分析装置を組み合わせた合理的な補修方法の提案

*夏堀 格¹、飯土井 剛¹、石川 雄貴¹、米山 悟²、古牧 雄二³、面 政也⁴ (1. 株式会社 復建技術コンサルタント、2. T&日本メンテ開発 株式会社、3. 株式会社 トヨコー、4. 東北大学未来科学技術共同研究センター)

第I部門

2024年9月5日(木) 9:00 ~ 10:20 会 A102(川内北キャンパス講義棟 A 棟) 維持管理 (1)

座長：永田 和寿 (名古屋工業大学)

9:00 ~ 9:10

[I-39]

鋼床版箱桁橋における塗膜剥離の原因推定および塗り替え範囲の検討 (その1)

*飯塚 洋介¹、物永 佳己¹、一瀬 八洋²、鶴見 沙耶香²、岡部 俊幸² (1. 名古屋高速道路公社、2. 鹿島道路 (株))

9:10 ~ 9:20

[I-40]

鋼床版箱桁橋における塗膜剥離の原因推定および塗り替え範囲の検討 (その2)

*物永 佳己¹、飯塚 洋介¹、一瀬 八洋²、鶴見 沙耶香²、岡部 俊幸² (1. 名古屋高速道路公社、2. 鹿島道路株式会社)

第VI部門

2024年9月5日(木) 9:00 ~ 10:20 会 A406(川内北キャンパス講義棟 A 棟) 施工技術 (1)

座長：梶 好延 (熊谷組)

10:10 ~ 10:20

[VI-131]

塗替え塗装工事におけるIH式塗膜除去工法を用いた旧塗膜除去の実施報告について

佐藤 征行¹、小松 大地¹、*下村 千遥¹ (1. 東日本高速道路株式会社)

第I部門

2024年9月5日(木) 10:40 ~ 12:00 Ⅲ A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (2)

座長：三浦 正純 (土木研究センター)

10:50 ~ 11:00

[I-47]

ブラストによる塩分除去効果の検証と塩分低減剤の試行

*中島 和俊¹、安波 博道¹、奥山 佳史²、伊藤 廉一郎³、小寺 健史⁴、藤川 祥汰⁵、水谷 健人⁵、今井 信一郎⁶ (1. 一般財団法人土木研究センター、2. 秋田県庁、3. 由利本荘市役所、4. 極東メタリコン工業株式会社、5. 大伸化学株式会社、6. オー・ジー株式会社)

11:20 ~ 11:30

[I-50]

前回調査から20年経過した耐候性鋼橋梁の腐食状況調査

*大藤 駿¹、蓮池 里菜¹、麻生 稔彦¹ (1. 山口大学大学院)

11:30 ~ 11:40

[I-51]

各種素地調整法で処理した溶融亜鉛めっき劣化鋼部材の表面性状

*余 カク江¹、貝沼 重信¹、楊 昊軒¹、吉野 恵²、龍岡 照久² (1. 九州大学大学院、2. 東京電力ホールディングス(株))

11:40 ~ 11:50

[I-52]

供用後20年が経過した太陽光発電を用いた桁内換気システムを有する橋梁の追跡調査

*神野 巧矢¹、石井 博典¹、加藤 遼二郎²、清川 昇悟²、中辻 亘² (1. 株式会社横河ブリッジホールディングス、2. 株式会社横河ブリッジ)

11:50 ~ 12:00

[I-53]

シート材料を用いた脱塩工法の試験施工

*前田 諭志¹、結城 洋一¹、白水 晃生²、水畑 穰³ (1. 株式会社横河ブリッジホールディングス、2. 株式会社横河ブリッジ、3. 神戸大学)

[共通セッション] 土木分野における計測・センシング技術の利用と可能性

2024年9月5日(木) 11:10 ~ 12:30 Ⅲ C408(川内北キャンパス講義棟C棟)

土木分野における計測・センシング技術の利用と可能性 (その3)

座長：渡邊 武志 (パシフィックコンサルタンツ)

11:40 ~ 11:50

[CS9-41]

点検効率化に向けた合いマークの非褪色性に関する実験的検討

*相澤 春太郎¹、鈴木 真¹、小手川 弘樹²、松本 倫毅²、宮川 豊章³ (1. 西日本高速道路エンジニアリング関西(株)、2. (一財)日本塗装検査協会、3. 京都大学)

第I部門

2024年9月5日(木) 13:00 ~ 14:20 Ⅲ A101(川内北キャンパス講義棟A棟)

橋梁一般 (測定・モニタリング) (2)

座長：鈴木 啓悟 (福井大学)

13:10 ~ 13:20

[I-18]

鋼橋塗替え時の下塗り塗装に対する赤外線での膜厚計測手法の検討

*坂本 達朗¹、鈴木 隼人² (1. 公益財団法人鉄道総合技術研究所、2. 建設塗装工業株式会社)

13:30 ~ 13:40

[I-20]

首都高速道路の腐食環境の調査

*上條 崇¹、岩井 渉¹、石原 陽介²、副島 直史² (1. 一般財団法人首都高速道路技術センター、2. 首都高速道路株式会社)

第V部門

2024年9月5日(木) 13:30 ~ 14:50 Ⅲ C201(川内北キャンパス講義棟C棟)

サステナビリティ (2)/環境配慮型コンクリート (1)

座長：高橋 恵輔 (UBE三菱セメント/香川大学)

13:30 ~ 13:40

[V-47]

環境遮断型フィルム (ボルトキャップ) の接着性能に関する検討

*中島 悠介¹、竹淵 敏郎¹、高瀬 颯真²、長坂 康史²、佐藤 大介³、小松崎 哲也³ (1. MKエンジニアリング株式会社、2. 川田工業株式会社、3. クレハエクストロン株式会社)

13:40 ~ 13:50

[V-48]

環境遮断型フィルム (ボルトキャップ) の紫外線抵抗性の検証

*高瀬 颯真¹、長坂 康史¹、竹淵 敏郎²、中島 悠介²、佐藤 大介³、小松崎 哲也³、田井 政行⁴ (1. 川田工業株式会社、2. MKエンジニアリング株式会社、3. クレハエクストロン株式会社、4. 琉球大学)

14:30 ~ 14:40

[V-53]

塗替えを重ねた鋼鉄道橋の塗膜の性能評価

*藤本 大輝¹、他谷 周一¹ (1. 東海旅客鉄道株式会社)

第VI部門

2024年9月5日(木) 13:30 ~ 14:50 皿 B204(川内北キャンパス講義棟 B棟)
アセットマネジメント (3)

座長：畑 明仁 (大成建設)

14:20 ~ 14:30

[VI-476]

機械学習を用いた鋼桁端部さび腐食箇所の補修優先順位の提案

*若槻 晃右¹、安藤 翠¹、坂根 英樹¹、堀川 真伸² (1. 阪神高速技術株式会社、2. 一般財団法人阪神高速先進技術研究所)

第I部門

2024年9月5日(木) 14:40 ~ 16:00 皿 A102(川内北キャンパス講義棟 A棟)
維持管理 (4)

座長：三浦 正純 (土木研究センター)

15:40 ~ 15:50

[I-67]

海洋環境を想定した腐食促進実験による無防食鋼板の腐食特性

*米田 翔一¹、廣畑 幹人¹、蔣 鋒¹ (1. 大阪大学)

第I部門

2024年9月5日(木) 14:40 ~ 16:00 皿 A106(川内北キャンパス講義棟 A棟)
継手 (4)

座長：平尾 賢生 (横浜国立大学)

15:10 ~ 15:20

[I-202]

乾式接合透明ボルトナット防錆キャップの屋外暴露試験

*上田 慎也¹、大久保 宣人¹、寺阪 剛²、杉浦 邦征⁴、富山 禎仁³、佐合 大¹、壽系 亘平¹、道上 隼人² (1. 高田機工株式会社、2. 共和ゴム株式会社、3. 国立研究開発法人 土木研究所、4. 国立大学法人 京都大学)

第VI部門

2024年9月5日(木) 15:10 ~ 16:30 皿 B103(川内北キャンパス講義棟 B棟)
橋梁 (4)

座長：鬮谷 亮太 (熊谷組)

16:10 ~ 16:20

[VI-261]

鋼桁の塗替塗装におけるIH工法を適用した塗膜剥離について

*西谷 公兵¹、須崎 滉太²、川崎 啓司¹ (1. オリエンタル白石株式会社、2. 西日本高速道路株式会社)

第VI部門

2024年9月5日(木) 15:10 ~ 16:30 Ⅲ C104(川内北キャンパス講義棟C棟)

検査技術 (4)

座長：武田 均 (大成建設)

15:40 ~ 15:50

[VI-586]

ハイパースペクトル計測による重防食塗装の劣化評価

*谷 晃徳¹、阪上 隆英¹、塩澤 大輝¹、小川 裕樹¹、春名 進佑¹、横井 芳輝²、杉山 剛史² (1. 神戸大学、2. 本州四国連絡高速道路 (株))

15:50 ~ 16:00

[VI-587]

赤外分光スペクトル情報の主成分解析による防食塗膜劣化の検知精度向上

*春名 進佑¹、阪上 隆英¹、塩澤 大輝¹、小川 裕樹¹、谷 晃徳¹、横井 芳輝²、杉山 剛史² (1. 神戸大学、2. 本州四国連絡高速道路 (株))

第VI部門

2024年9月5日(木) 15:10 ~ 16:30 Ⅲ C105(川内北キャンパス講義棟C棟)

補修・補強 (1)

座長：審良 郁夫 (オリエンタルコンサルタンツ)

16:00 ~ 16:10

[VI-625]

塗膜剥離剤による無機ジンクリッチペイントを残留させた塗替塗装の検討

*山崎 旬也¹、岡田 舜啓¹、上坂 健一郎¹、一宮 充²、作 周平³ (1. 首都高速道路株式会社、2. 株式会社ワイ・シー・イー、3. 大日本塗料株式会社)

2024年9月6日(金)

第V部門

2024年9月6日(金) 11:10 ~ 12:30 会 C306(川内北キャンパス講義棟C棟)
補修・補強 (材料) (5)

座長：子田 康弘 (日本大学)

11:20 ~ 11:30

[V-793]

特殊粘着シートを用いたタッチアップ用シール材の耐久性

*山崎 大輔¹、三村 典正²、松田 芳範³ (1. ショーボンド建設株式会社、2. ショーボンドマテリアル株式会社、3. 東日本旅客鉄道株式会社)

第VI部門

2024年9月6日(金) 11:10 ~ 12:30 会 C105(川内北キャンパス講義棟C棟)
補修・補強 (4)

座長：中澤 治郎 (パシフィックコンサルタンツ)

11:40 ~ 11:50

[VI-1246]

レーザーによる錆と塩分の清浄度に関する評価

*山田 創士¹、谷本 竜也¹、宮下 剛²、松村 政秀³、杉浦 邦征⁴、松本 理佐⁴ (1. 株式会社デーロス・ジャパン、2. 名古屋工業大学、3. 熊本大学、4. 京都大学)

12:20 ~ 12:30

[VI-1250]

塩化ゴム系塗装に対するIH塗膜除去工法の適用性検証

*大西 孝典¹、松原 拓朗¹、島崎 祥登¹、政門 哲夫²、稲葉 圭亮² (1. 首都高速道路株式会社、2. 日本エンジニアリング株式会社)

第I部門

2024年9月6日(金) 13:00 ~ 14:20 会 A105(川内北キャンパス講義棟A棟)
橋梁一般 (設計) (3)

座長：玉田 和也 (舞鶴工業高等専門学校)

13:00 ~ 13:10

[I-363]

鋼道路橋 (鋼箱桁橋) の防食ライフサイクルコストに関する一考察

*桜井 稚恵¹、村本 裕樹¹、高木 優任² (1. 株式会社 横河ブリッジ、2. 日本製鉄 株式会社)

13:20 ~ 13:30

[I-365]

桁端部にステンレス鋼を適用した鋼橋のライフサイクルコストの試算

*趙 茂伶¹、加藤 健太郎¹、結城 洋一¹、石井 博典¹、香川 眞治² (1. (株)横河ブリッジホールディングス、2. (株)檜崎製作所)

第I部門

2024年9月6日(金) 14:40 ~ 16:00 会 A102(川内北キャンパス講義棟 A棟)

維持管理 (9)

座長：中村 聖三 (長崎大学)

14:40 ~ 14:50

[I-272]

実橋における鋼桁の温度変化の大きさと頻度に関する基礎的検討

*岩井 将樹¹、服部 雅史¹ (1. 株式会社 高速道路総合技術研究所)

14:50 ~ 15:00

[I-273]

劣化した塗膜に防食シートを貼付した場合の防食性能に関する検討

*武中 宏樹¹、審良 善和²、山口 明伸²、神頭 峰磯³ (1. 鹿児島大学大学院、2. 鹿児島大学、3. 日本車輛製造株式会社)

15:00 ~ 15:10

[I-274]

重度腐食した耐候性鋼材へのAbrasive Water Jet Treatment (AWT工法)の全面導入

*豊田 雄介¹、貝沼 重信²、キム アラン²、池田 龍哉³、荒川 武彦⁴、田嶋 忠善⁵ (1. 西日本高速道路株式会社、2. 九州大学大学院、3. 池田工業株式会社、4. 株式会社スギノマシン、5. 株式会社富士技建)

15:10 ~ 15:20

[I-275]

シリコーンを用いた塗装の防食性に関する研究

*山田 泰佑¹、永田 和寿¹、米澤 璃佳¹、長松 孝俊³、杉浦 邦征² (1. 名古屋工業大学大学院、2. 京都大学大学院、3. 丸大鐵工株式会社)

15:40 ~ 15:50

[I-278]

さび層表面に付着した塩化物濃淡が近赤外線反射強度に与える影響

*植田 凌太郎¹、長谷 正基¹、蓮池 里菜¹、麻生 稔彦¹ (1. 山口大学大学院)

第V部門

2024年9月6日(金) 15:10 ~ 16:30 Ⅲ C305(川内北キャンパス講義棟C棟)

鋼材腐食 (3) / 防食 (1)

座長：高谷 哲 (京都大学)

15:50 ~ 16:00

[V-777]

防錆塗装システムの水系化 (1)

— 水系化仕様への試み —

*鈴木 昭仁¹、馬場 ひとみ¹、中山 文雄² (1. 株式会社ジェイアール総研エンジニアリング、2. 株式会社複合材料研究所)

16:00 ~ 16:10

[V-778]

「塩分吸着剤」配合防錆塗装の開発と性能試験 (3)

— 塗装システムの長期耐久性について —

*馬場 ひとみ¹、鈴木 昭仁¹、立松 英信¹、中山 文雄²、深田 修也³ (1. (株) ジェイアール総研エンジニアリング、2. (株) 複合材料研究所、3. イサム塗料 (株))

第I部門

2024年9月6日(金) 16:20 ~ 17:40 Ⅲ A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (10)

座長：八木 知己 (京都大学)

17:00 ~ 17:10

[I-283]

鋼桁の塗替え塗装時における付着塩分量管理手法に関する検討

*河尻 留奈¹、小塚 正博¹、坂井 香織¹、石河 義希² (1. 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社、2. 中日本高速道路株式会社)

第I部門

2024年9月6日(金) 16:20 ~ 17:40 会場 A106(川内北キャンパス講義棟 A 棟)

最適設計／維持管理 (11)

座長：山本 亨輔 (筑波大学)

16:50 ~ 17:00

[I-416]

高力ボルト継手・すき間部におけるAbrasive Water-Jet Treatmentの適用性に関する基礎的研究

*キム アラン¹、貝沼 重信¹、池田 龍哉²、豊田 雄介³ (1. 九州大学大学院、2. 池田工業(株)、3. 西日本高速道路(株))

17:10 ~ 17:20

[I-418]

ステンレス鋼と炭素鋼の接触腐食性状および抑制手法の検討

*蓮池 里菜¹、筒井 皓太²、麻生 稔彦¹ (1. 山口大学大学院、2. 高田機工株式会社)

17:30 ~ 17:40

[I-420]

ミャンマーにおける鋼橋の塗替え試験塗装後6年目の追跡調査

*西崎 到¹、橋本 国太郎²、杉浦 邦征³、富山 禎仁⁴、ウイント タンダー⁴ (1. 一般財団法人 土木研究センター、2. 神戸大学大学院、3. 京都大学大学院、4. 国立研究開発法人 土木研究所)

第V部門

2024年9月6日(金) 16:50 ~ 18:10 会場 C305(川内北キャンパス講義棟 C 棟)

防食 (2)

座長：田中 豊 (港湾空港技術研究所)

17:30 ~ 17:40

[V-783]

5年の屋外暴露による水性塗料の劣化進行度比較

*岩井 渉¹、石原 陽介²、副島 直史² (1. 一般財団法人首都高速道路技術センター、2. 首都高速道路株式会社)

17:40 ~ 17:50

[V-784]

飛来塩分の多い環境における撥水性クリヤー塗料の塩分付着性

*神頭 峰磯¹、山内 健一郎² (1. 日本車輛製造株式会社、2. 大日本塗料株式会社)

第VI部門

2024年9月6日(金) 16:50 ~ 18:10 Ⅲ C106(川内北キャンパス講義棟C棟)

鉄道 (12)

座長：中田 清博 (大成建設)

17:00 ~ 17:10

[VI-1302]

線路上空道路橋のPCB含有塗膜の除去について

*伊藤 未紗¹、松山 一紀¹ (1. 東鉄工業 (株))

17:50 ~ 18:00

[VI-1307]

沿岸部の鋼鉄道橋における早期劣化対策の検討および施工事例

*小野 裕介¹、森井 広樹¹ (1. 東日本旅客鉄道株式会社)

第I部門

2024年9月5日(木) 9:00 ~ 10:20 会 A101(川内北キャンパス講義棟A棟)

橋梁一般 (施工)

座長：細見 直史 (N-PRO.)

9:30 ~ 9:40

[I-04]

レーザー照射による塗膜除去技術と蛍光X線分析装置を組み合わせた合理的な補修方法の提案

*夏堀 格¹、飯土井 剛¹、石川 雄貴¹、米山 悟²、古牧 雄二³、面 政也⁴ (1. 株式会社 復建技術コンサルタント、2. T&日本メンテ開発 株式会社、3. 株式会社 トヨコー、4. 東北大学未来科学技術共同研究センター)

第I部門

2024年9月5日(木) 9:00 ~ 10:20 Ⅲ A101(川内北キャンパス講義棟A棟)

橋梁一般 (施工)

座長：細見 直史 (N-PRO.)

9:30 ~ 9:40

[I-04] レーザー照射による塗膜除去技術と蛍光X線分析装置を組み合わせた合理的な補修方法の提案

*夏堀 格¹、飯土井 剛¹、石川 雄貴¹、米山 悟²、古牧 雄二³、面 政也⁴(1. 株式会社 復建技術コンサルティング、2. T&日本メンテ開発 株式会社、3. 株式会社 トヨコー、4. 東北大学未来科学技術共同研究センター)

キーワード：鋼橋、維持管理、塗装塗替え、塩化物イオン、蛍光X線分析

鋼橋の維持管理において飛来塩分や凍結抑制剤の散布によって塩化物イオンが供給される環境下では塗膜の劣化が早く、塗装塗替え後早期に劣化が生じる事例がある。早期劣化の原因の一つとして、素地調整時に除去できなかった錆や塩化物イオンの影響が挙げられ、塗装塗替え時にはこれらを確実に除去することが求められる。

本稿では試験施工で得られた結果からレーザー照射による塗膜除去技術とハンドヘルド型蛍光X線分析計の組み合わせによって、塗膜除去後に残存する塩素の確認を即座に行い管理することで塗膜の早期劣化のリスクを低減する補修方法について提案した。

レーザー照射による塗膜除去技術と蛍光X線分析装置を組み合わせた合理的な補修方法の提案

(株)復建技術コンサルタント 正会員 ○夏堀 格, 飯土井 剛, 石川 雄貴
T&日本メンテ開発(株) 米山 悟, (株)トヨコー 古牧 雄二
東北大学未来科学技術共同研究センター 面 政也

1. はじめに

鋼橋の維持管理において飛来塩分や凍結抑制剤の散布によって塩化物イオンが供給される環境下では塗膜の劣化が早いことが知られている。塩化物イオンが塗膜の劣化に与える影響については既往の研究^{1),2)}により整理されており、素地調整時に除去できなかった塩分が塗膜の膨れやさび等を早期に引き起こすことや、下塗りから上塗りまでの塗装工程において、塗膜層間に150~190mg/m²程度の塩分が付着すると、塗膜の付着力が低下することが報告されていることから、塗装塗替えを実施する際は塩化物イオンを確実に除去することが重要である。

本稿ではレーザー照射による塗膜除去技術の塩分除去効果に着目し、撤去部材を対象に試験施工を実施した後に、ハンドヘルド型蛍光X線分析計を用いて塗膜除去後の表面付着塩化物イオン量を測定した結果について報告するとともに、これら2つの技術を組み合わせた合理的な補修方法について提案する。

2. レーザー照射による塗膜除去技術の概要

図-1 にレーザー照射による塗膜除去技術の概要図、図-2(a)に施工状況を示す。当該技術は表面上の一点に集光された高い強度のレーザービームを高速回転しながら円状に走査させ表面にある塗膜や錆を瞬間的に昇華、蒸散、熱破壊により除去する工法である。このレーザー照射によって塗膜や錆といった鋼材表面の構成物質が除去される現象はレーザーアブレーションと呼ばれており、近年注目を浴びている素地調整技術であることから、これらレーザーに関わる技術についての整理がなされている³⁾。特徴としては除去物以外の産廃物が出ないことや、塩分の除去が可能など挙げられる。

3. ハンドヘルド型蛍光X線分析計の概要

図-3 にハンドヘルド型蛍光X線分析計の概要図、

図-2(b)に測定状況を示す。当該分析計は蛍光X線分析を現場で行えるよう小型化した物であり、その場で鋼材の表面に付着した塩素の割合を測定することができる。測定原理の概要としては、X線を試料に照射した時に発生する蛍光X線は元素毎にそのエネルギーが決まっており、蛍光X線の強度は試料を構成する元素の量に関する。発生した蛍光X線のエネルギーや強度から、物質の成分元素や構成比率を分析することが可能となる。

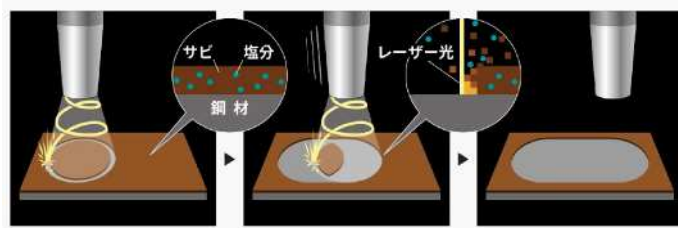


図-1 レーザー照射による塗膜除去技術の概要図



(a)塗膜除去状況 (b)各元素の測定状況

図-2 状況写真

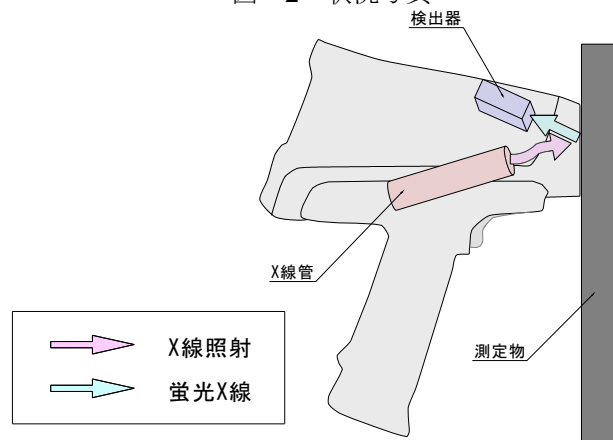


図-3 ハンドヘルド型蛍光X線分析計の概要図

キーワード 鋼橋, 維持管理, 塗装塗替え, 塩化物イオン, 蛍光X線分析

連絡先 〒980-0012 仙台市青葉区錦町一丁目7番25号 (株)復建技術コンサルタント TEL022-217-2033



図-4 平面部の施工前後の状況及び分析の結果

	施工前	施工後
塩素	0.64%	ND
クロム	0.02%	ND
鉛	2.08%	ND



図-5 ボルト周辺部の施工前後の状況及び分析の結果

	施工前	施工後
塩素	2.43%	ND
クロム	0.07%	0.09%
鉛	6.51%	ND

※NDは検出限界値以下を指す

4. 塗膜除去技術の効果検証

図-4及び図-5に試験施工の結果及び仕上がり面の蛍光 X 線分析の結果を示す。測定対象としては塩素のほかに、塗膜に含まれる有害物質に指定されているクロムと鉛についても着目し、施工前と施工後に各1点測定した。施工前と施工後の各元素の割合を比較すると、レーザーアブレーションによって各元素が減少したことが確認され、塩素以外の鉛についても除去効果があることが確認された。施工前に腐食が生じていた箇所においては供用期間中に塩化物イオンの供給があったものと推察されるが、腐食による錆は除去され、施工後の塩素の割合も検出限界値以下であったことから塗装塗替え後の早期劣化のリスクを低減できることが示唆された。また施工が難しいボルト周辺部においても平面部と同様の除去効果であった。

仕上がり面については、レーザーの回転跡が見受けられるものの除錆度についてはブラスト処理のIS08501-1 Sa2 1/2以上のサンプルと比較して、概ね同等であることが確認された。

5. 技術の組み合わせによる合理的な補修方法の提案

試験施工の結果からレーザー照射による塗膜除去技術では塩素、鉛を除去する効果があることが明らかとなった。また除去された元素の割合を定量的に把握する手法については、ハンドヘルド型蛍光 X 線分析計を

用いることで迅速に各元素の割合を把握することができる。これら試験施工で得られた成果より、2つの技術を組み合わせた合理的な補修方法として、レーザー照射による塗膜除去を実施した後に、ハンドヘルド型蛍光 X 線分析計で塩素、鉛が除去されたことを確認することで、劣化因子を確実に除去し塗装塗替え後の塗膜の早期劣化を抑制することができると思われる。

6. まとめ

試験施工から得られた結果を以下に示す。

- ・レーザーアブレーションによって塩素、鉛が除去されたことが確認された。
- ・2つの技術の組み合わせによる、塗膜の早期劣化抑制を目的とした補修方法を提案した。

謝辞：撤去部材を提供していただいた道路管理者に、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 富山禎仁, 西崎到：現場塗装時の塩分と鋼道路橋の塗膜性能に及ぼす影響に関する検討, 構造工学論文集 Vol.61A, 2015.3
- 2) 伊藤義人ほか：素地調整が異なる塗装鋼板の腐食劣化に関する基礎的研究, 土木学会論文集 No.766/I-68,291-307, 2004.7
- 3) 土木学会鋼構造委員会：レーザーによる鋼構造物表面の素地調整技術検討小委員会報告書, 2022.12

第1部門

2024年9月5日(木) 9:00 ~ 10:20 会 A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (1)

座長：永田 和寿 (名古屋工業大学)

9:00 ~ 9:10

[I-39]

鋼床版箱桁橋における塗膜剥離の原因推定および塗り替え範囲の検討 (その1)

*飯塚 洋介¹、物永 佳己¹、一瀬 八洋²、鶴見 沙耶香²、岡部 俊幸² (1. 名古屋高速道路公社、2. 鹿島道路(株))

9:10 ~ 9:20

[I-40]

鋼床版箱桁橋における塗膜剥離の原因推定および塗り替え範囲の検討 (その2)

*物永 佳己¹、飯塚 洋介¹、一瀬 八洋²、鶴見 沙耶香²、岡部 俊幸² (1. 名古屋高速道路公社、2. 鹿島道路株式会社)

第I部門

2024年9月5日(木) 9:00 ~ 10:20 Ⅲ A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理(1)

座長：永田 和寿 (名古屋工業大学)

9:00 ~ 9:10

[I-39] 鋼床版箱桁橋における塗膜剥離の原因推定および塗り替え範囲の検討
(その1)

*飯塚 洋介¹、物永 佳己¹、一瀬 八洋²、鶴見 沙耶香²、岡部 俊幸² (1. 名古屋高速道路公社、2. 鹿島道路(株))

キーワード：無機ジンクリッチペイント、凝集破壊、塗膜、剥離、箱桁

建設から約30年が経過した鋼床版箱桁橋の下フランジに、塗膜の剥離が発生した。本橋は、第1層から第4層までは工場で下塗りを行い、第5層および第6層は現場で中塗りと上塗りを実施する仕様である。

橋梁全体に吊り足場を設置し、塗膜表面に皮スキを当てて人力による剥離作業を行ったところ、箱桁の46ブロック中の6ブロックと鋼床版裏面の広範囲に塗膜剥離が確認された。

本報では、冷熱繰り返しの影響を受け難い箱桁下フランジに発生した塗膜剥離について、塗膜厚の調査や工場塗装の記録などから原因推定を行ったので報告するものである。

鋼床版箱桁橋における塗膜剥離の原因推定および塗り替え範囲の検討（その1）

名古屋高速道路公社
鹿島道路株式会社

○飯塚 洋介、物永 佳己
一瀬 八洋、鶴見 沙耶香、岡部 俊幸

1. はじめに

建設から約30年が経過した鋼床版箱桁橋の下フランジに、写真-1に示す塗膜の剥離が表-1に示す進展過程で発生した。本橋は、表-2に示すように第1層から第4層までは工場で下塗りを行い、第5層および第6層は現場で中塗りと上塗りを実施する仕様である。

橋梁全体に吊り足場を設置し、塗膜表面に皮スキを当てて人力による剥離作業を行ったところ、箱桁の46ブロック中の6ブロックにおいて広範囲に塗膜剥離が確認された。鋼床版裏面の塗膜剥離の原因は、過膜厚の影響や冷熱繰り返しの影響を受けた場合に発生し易いことがすでに指摘されているが、本報では、冷熱繰り返しの影響を受け難い箱桁下フランジに発生した塗膜剥離について、現場状況の調査や工場塗装時の記録などから原因推定を行ったので、以下のとおり報告する。



写真-1 塗膜の剥離状況
(2022年1月撮影)

表-1 塗膜剥離の進展過程

年月	点検方法	塗膜剥離の状況
1991年2月	-	無機ジंकクリッチペイントの施工
↓ 約26年		
2017年6月	近接目視	目視での塗膜剥離はなし
↓ 約4年		
2021年8月	近接目視	400×500mm、800×500mmの剥離が2ヶ所発生(塗膜剥離の顕在化)
↓ 約5カ月で剥離が拡大		
2022年1月	緊急点検	写真-1の大きな面積で剥離して落下

表-2 塗装仕様

施工区分	塗装工程	塗料名	塗装色	
工場塗装	二次表面処理	(ブラスト)	-	
	第1層	無機ジंकクリッチペイント	グレー	
			下塗り	サビ
				赤サビ
				シルバーグレー
現場塗装	第5層	中塗り	ポリウレタン樹脂塗料	グリーン
第6層	上塗り	ポリウレタン樹脂塗料	グリーン	

2. 調査内容

調査フローを図-1に示す。原因推定として「判定」と「究明」を行い、既往の文献などを参考に原因の推定を行う調査フローとした。

3. 塗膜片、現場状況の調査

(凝集破壊/層間剥離の判定)

塗膜片の断面観察結果を図-2に示す。

これは表-2に示す塗装仕様と合致しているが、今まで1度も塗り替えは行われていない。塗膜厚測定結果を表-3に示す。剥離部分の無機ジंकクリッチペイント（以下、無機ジंक）の膜厚93 μm は目標膜厚75 μm より過度に塗布されている。また、箱桁鋼材に付着している膜厚59 μm を加味した合計膜厚152 μm は、目標膜厚の2倍の厚さとなっている。

以上より、剥離面の両方に無機ジंकが残っていることから、今回の塗膜剥離は無機ジंक層内（箱桁鋼材側に近い面）で凝集破壊したことが想定される。

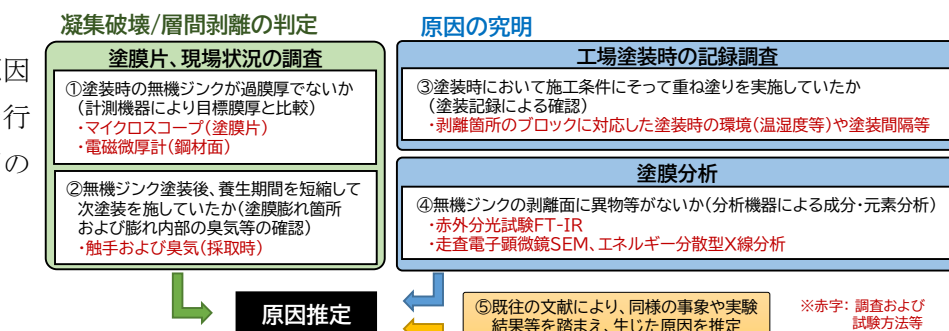


図-1 調査フロー図

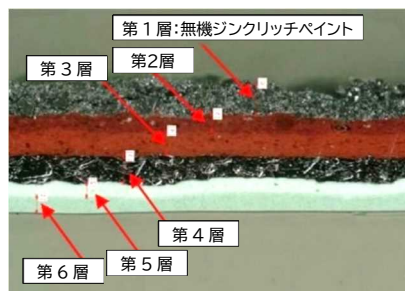


図-2 塗膜片の断面観察 (300倍)

表-3 塗膜厚測定結果

塗膜層			測定膜厚 (μm)	目標膜厚 (μm)
第1層	無機ジंकクリッチペイント	鋼材側	59	75
		塗膜片	93	
第2層	ミストコート(ジツカへの含浸層含む)		53	-
第3層	エポキシ樹脂塗料下塗り		66	60
第4層	エポキシ樹脂MIO塗料		78	60
第5層	ポリウレタン樹脂塗料中塗り		42	30
第6層	ポリウレタン樹脂塗料上塗り		50	25

キーワード 無機ジंकクリッチペイント, 凝集破壊, 塗膜, 剥離, 箱桁

連絡先 〒453-0804 名古屋市中村区黄金通 7-28-1

名古屋高速道路公社 工事課 TEL052-461-4116

一方、現場状況では塗膜片の無機ジंक面から、溶剤臭が感じられた。このことは、無機ジंक層内部の硬化が不十分な状態で次層塗装が行われた可能性が高い。また、現場にて剥離していない塗膜面を指で軽く押すと、目視では判別出来ない膨れが多数確認された。西森ら²⁾は、従来の塗膜剥離要因とされていた塗膜硬化時の内部応力の他に、鋼材と塗膜の線膨張係数が異なることで、塗膜が収縮・膨張して塗膜剥離が生じることを指摘している。このことから、これらの応力によって硬化が不十分で脆弱な無機ジंक層が徐々に破壊された可能性がある。加えて、経年劣化によって付着力が弱まったところに溶剤の気化もしくは塗装表面から水が浸透したことによって、塗膜が膨れた可能性も考えられる。なお、鋼材に錆は発生していないため、錆による膨れではない。

4. 工場塗装時の記録調査（原因の究明）

箱桁ブロック番号の平面配置図を図-3に、塗装記録の調査結果を表-4に示す。ブロック割については、G1桁をAブロック、G2桁をBブロックとし、橋軸方向に添接ボルトを境界としてブロック（橋軸方向に約10mピッチ）で分割した。A1～A6ブロックにおいて、気温5℃で湿度56%、塗り重ね間隔は2～4日となっており、気温が低い状況の中で塗装間隔が比較的短くなっていた。また工場内の湿度管理において湿度33%から50%以上に上げる必要があるが、工場内で部分的に不十分（湿度が50%以下）であった可能性も想定される。

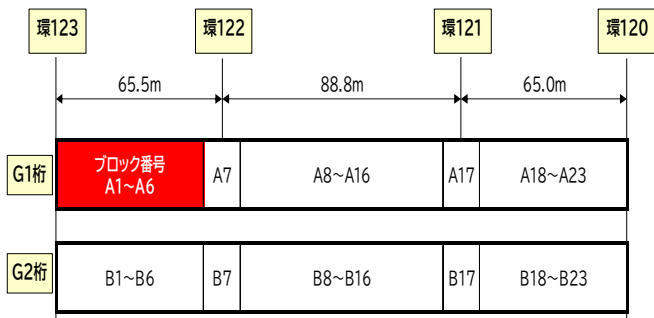


図-3 箱桁ブロック番号の平面配置図

表-4 箱桁の塗装記録の調査結果

無機ジंकリッチ ペイント施工日 (1991年)	無機ジंकリッチペイント施工時		塗り重ね間隔 (日)	ブロック番号 (赤着色:経年劣化またはクレン棒処理 による凝集破壊の発生ブロック)					
	平均気温※ (℃)	最低湿度※ (%)		A1	A2	A3	A4	A5	A6
2/18 ~ 2/20	5 (3)	56 (33)	2 ~ 4	A1	A2	A3	A4	A5	A6
2/20 ~ 2/25	5 (6)	55 (38)	7 ~ 12	A8	A16	A18~A23			
2/20	5 (6)	62 (38)	16	A17					
3/6 ~ 3/9	12 (9)	55 (44)	10 ~ 13	A7	A9~A15	B1	B17		
3/16 ~ 3/19	6 (12)	60 (49)	13 ~ 16	B5	B9~B14	B16	B18		
3/13 ~ 3/19	6 (14)	58 (46)	24 ~ 30	B6~B8	B15	B19~B22			
3/20	12 (16)	75 (67)	23	B2	B3	B4			
4/13	20 (17)	82 (44)	2	B23					

※ 平均気温と最低湿度の()内は、気象庁過去データ(大阪)の値を示す。

※※ 青色は、平均気温5℃以下、最低湿度50%以下、塗り重ね間隔2日程度以下の値を示す。

5. 塗膜分析（原因の究明）

塗膜片における無機ジंक面のFT-IR解析では、無機ジंकに含まれる炭酸カルシウムやシリケート由来の吸収が検出されたが、異物（油等の有機物）の付着は検出されなかった。また、SEM-EDX分析においても、無機ジंकの主成分である亜鉛（Zn）、炭素（C）、酸素（O）、ケイ素（Si）やカルシウム（Ca）が確認されたが、特異的な成分は検出されず、異物が混入した形跡は見られなかった。

6. まとめ（原因推定）

無機ジंकは湿気硬化型塗料のため、「低温、低湿度時」では無機ジंकの硬化が遅延する。また「無機ジंक層の塗膜厚が過剰」になると、塗膜表面のみ硬化が進行して塗膜内部に湿気の浸透が遅れ、無機ジंकの硬化が遅延する。その結果、無機ジंक層内部の硬化が不十分な状態のまま上塗りが施工されることになり、図-4に示すメカニズムにより塗膜剥離が生じたものと想定した。

上記を踏まえると、原因推定の結果は以下のとおり。

原因1：温湿度が低い時期に、塗り重ね間隔を短く施工

原因2：無機ジंक層の過膜厚

【謝辞】大日本塗料（株）黛様、柴原様には貴重な意見を賜りました。ここに深く謝意を示します。

参考文献 1)大賀ら：瀬戸大橋における無機ジंकリッチペイント凝集破壊の補修状況と原因推定、第34回日本道路会議、2021.6.

2)西森ら：塗膜剥離を抑制する新型変性エポキシ樹脂の開発、日本橋梁・鋼構造塗装技術協会、第22回技術発表大会予稿集

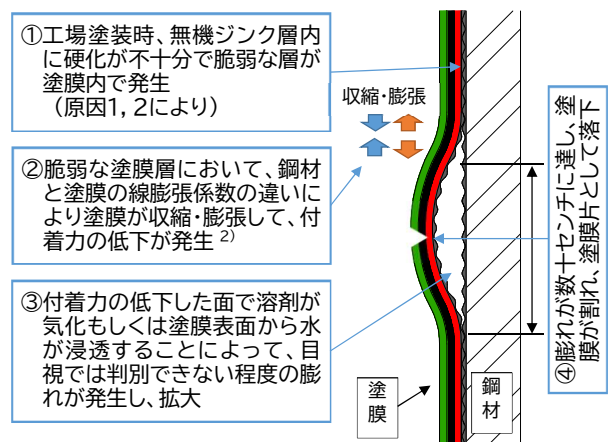


図-4 塗膜剥離が生じるメカニズム（想定）

第I部門

2024年9月5日(木) 9:00 ~ 10:20 Ⅲ A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理(1)

座長：永田 和寿 (名古屋工業大学)

9:10 ~ 9:20

[I-40] 鋼床版箱桁橋における塗膜剥離の原因推定および塗り替え範囲の検討
(その2)

*物永 佳己¹、飯塚 洋介¹、一瀬 八洋²、鶴見 沙耶香²、岡部 俊幸² (1. 名古屋高速道路公社、2. 鹿島道路株式会社)

キーワード：無機ジnkリッチペイント、凝集破壊、塗膜、剥離、箱桁

名古屋高速道路公社は、これまで塗り替え塗装において、目視点検などの結果に基づいて3種ケレンまたは4種ケレンを基本として工事を発注してきた。しかし、発注後に吊り足場を用いて現地調査を実施したところ、建設から約30年経過した鋼床版箱桁橋に塗装の剥離が生じていた。剥離は無機ジnkリッチペイントの凝集破壊と想定され、防食下地としての機能が著しく低下していると判断したことから1種ケレンを実施し、有機ジnkリッチペイントを用いた重防食塗装を行うこととした。名古屋高速道路公社では1種ケレンを採用することは初めてとなるが、1種ケレンを実施するにあたり、その適用範囲を決定した方法について述べる。

鋼床版箱桁橋における塗膜剥離の原因推定および塗り替え範囲の検討（その2）

名古屋高速道路公社
鹿島道路株式会社

○物永 佳己、飯塚 洋介
一瀬 八洋、鶴見 沙耶香、岡部 俊幸

1. はじめに

名古屋高速道路公社は、これまで塗り替え塗装において、目視点検などの結果に基づいて3種ケレンまたは4種ケレンを基本として工事を発注してきた。しかし、発注後に吊り足場を用いて現地調査を実施したところ、建設から約30年経過した鋼床版箱桁橋に塗装の剥離が生じていた。

剥離は無機ジンクリッチペイントの凝集破壊¹⁾（以下、凝集破壊）と想定され、防食下地としての機能が著しく低下していると判断したことから1種ケレンを実施し、有機ジンクリッチペイントを用いた重防食塗装を行うこととした。名古屋高速道路公社では1種ケレンを採用することは初めてとなるが、1種ケレンを実施するにあたり、その適用範囲を決定した方法について述べる。

2. 塗膜の劣化状況

劣化している塗膜を皮スキによって強制的に剥がした状況を写真-1、写真-2に、凝集破壊のブロック面積とその割合を表-1に示す。面積の算出に際しては、凝集破壊がブロック内のどこか一箇所でも生じている場合は、そのブロックの全面積を計上した。表-1に示すように、凝集破壊は鋼床版に発生する割合が高く、発生した面積の割合は鋼床版では58%、52%（環115～117、環120～123）と半分以上のブロックで生じている。

一方、箱桁では発生割合は0%、15%（同）と鋼床版と比較して少なく、環115～117では箱桁に全く発生していない。

3. 基盤目試験による評価

現時点では凝集破壊が生じていないブロックでも将来的に発生する可能性があるため、予防保全の観点から全面積の塗り替えが適切と考えられる。ただし、凝集破壊が生じない可能性や同様の事例が発生した場合において、必ず全面積を塗り替えることが経済的に望ましいとも限らない。

そこで、凝集破壊が生じているブロックにおいて基盤目法による付着性試験（以下、基盤目試験）を実施してみた。写真-3、写真-4に示すように、カッターを入れた際やセロハンテープを剥がした際に、無機ジンクリッチペイント（以下、無機ジンク）が脆弱な場合には、無機ジンク層の内部で剥がれる傾向が見られた。

このような脆弱な層を残したまま塗り替えを行うと、塗料の硬化収縮による内部応力などによって早期に塗膜剥離の発生が懸念される。そのため、図-1の補修フロー案に示すように、現時点で凝集破壊が発生していないブロックについても基盤目試験を実施し、凝集破壊が確認されたブロック（写



写真-1 鋼床版裏面の剥離状況



写真-2 下フランジの剥離状況

表-1 凝集破壊のブロック面積と割合

径間	部材	ブロック面積(m ²)			割合	
		凝集破壊有り	凝集破壊無し	全体	凝集破壊有り	凝集破壊無し
環115～117	鋼床版	2,900	2,100	5,000	58%	42%
	箱桁	0	3,400	3,400	0%	100%
	全体	2,900	5,500	8,400	34%	66%
環120～123	鋼床版	4,800	4,400	9,200	52%	48%
	箱桁	700	4,100	4,800	15%	85%
	全体	5,500	8,500	14,000	39%	61%

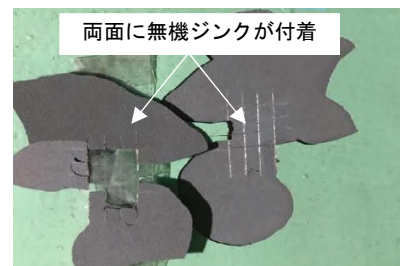


写真-3 凝集破壊ブロックでの基盤目試験（例1）

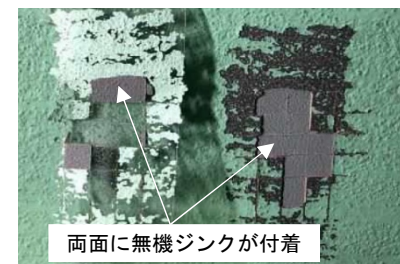


写真-4 凝集破壊ブロックでの基盤目試験（例2）

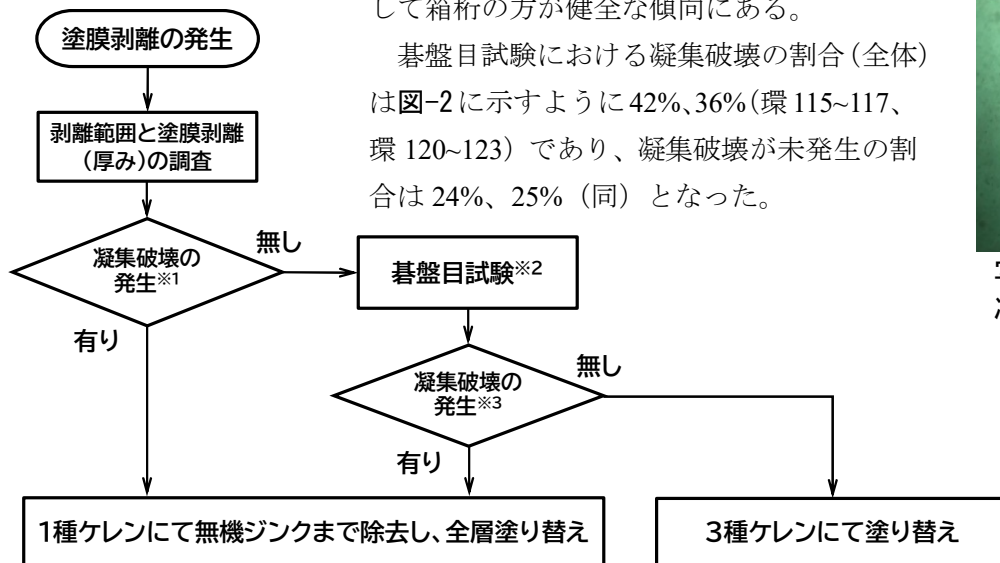
キーワード 無機ジンクリッチペイント、凝集破壊、塗膜、剥離、鋼床版
連絡先 〒453-0804 名古屋市中村区黄金通 7-28-1
名古屋高速道路公社 工事課 TEL052-461-4116

真-5)には無機ジンクを1種ケレンにて除去し全層塗り替え、凝集破壊が発生しないブロック(写真-6)については無機ジンクを残したまま3種ケレンにて塗り替えを行うこととした。なお、碁盤目試験は名古屋高速道路公社でも通常から実施している試験であるが、無機ジンクの健全性の評価に用いるのは今回が初めての試みである。

現場状況、碁盤目試験の結果を表-2に示す。鋼床版では2橋梁とも全ブロックで凝集破壊が確認され、無機ジンク層が脆弱な状態であるといえる。一方、箱桁については一部で凝集破壊が生じたものの、59%、73%(環115~117、環120~123)の割合で凝集破壊は未発生であり、鋼床版と比較

して箱桁の方が健全な傾向にある。

碁盤目試験における凝集破壊の割合(全体)は図-2に示すように42%、36%(環115~117、環120~123)であり、凝集破壊が未発生の割合は24%、25%(同)となった。



- ※1 現場にて、無機ジンク層の内部で剥がれている状況
- ※2 JIS K 5400 碁盤目法による付着性試験
- ※3 碁盤目試験にて9マス内、1マスでも無機ジンク層の内部で剥がれている状況

図-1 補修フロー案

表-2 碁盤目試験による凝集破壊のブロック面積と割合

単位：ブロック面積(m²)

径間	部材	現場状況		碁盤目試験				全体	
		凝集破壊	有り	凝集破壊	有り	凝集破壊	無し		
環115~117	鋼床版	2,900	58%	2,100	42%	0	0%	5,000	100%
	箱桁	0	0%	1,400	41%	2,000	59%	3,400	100%
	全体	2,900	34%	3,500	42%	2,000	24%	8,400	100%
環120~123	鋼床版	4,800	52%	4,400	48%	0	0%	9,200	100%
	箱桁	700	15%	600	12%	3,500	73%	4,800	100%
	全体	5,500	39%	5,000	36%	3,500	25%	14,000	100%

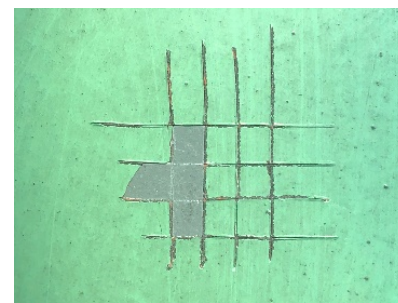
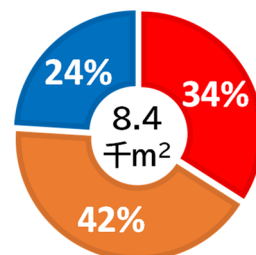


写真-5 碁盤目試験にて凝集破壊が発生したブロック

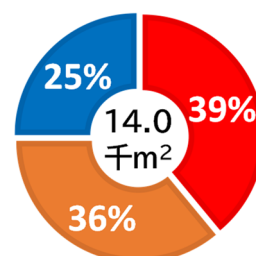


写真-6 碁盤目試験にて凝集破壊が未発生のブロック

- 凝集破壊有り
- 碁盤目試験にて凝集破壊有り
- 碁盤目試験にて凝集破壊無し



(1) 環115~117



(2) 環120~123

図-2 凝集破壊の発生割合

4. まとめ

今回、以下①、②の考え方を基本として、補修フロー案を「径間単位」もしくは「ブロック・部位毎」に分けて塗り替え範囲を決定した。

- ① 現場において、無機ジンクに凝集破壊が発生しているブロック
 - ② 現場で塗膜が剥がれていない範囲に碁盤目試験をした結果、無機ジンクに凝集破壊が発生したブロック
- なお、本現場では無機ジンクを残して3種ケレンで塗り替えした範囲が存在するが、そこは点検によって注意深く観察していく。

参考文献 1)大賀ら：瀬戸大橋における無機ジンクリッチペイント凝集破壊の補修状況と原因推定、第34回日本道路会議、2021.6.

第VI部門

2024年9月5日(木) 9:00 ~ 10:20 会場 A406(川内北キャンパス講義棟A棟)

施工技術 (1)

座長：梶 好延 (熊谷組)

10:10 ~ 10:20

[VI-131]

塗替え塗装工事におけるIH式塗膜除去工法を用いた旧塗膜除去の実施報告について

佐藤 征行¹、小松 大地¹、*下村 千遥¹ (1. 東日本高速道路株式会社)

第VI部門

📅 2024年9月5日(木) 9:00 ~ 10:20 📍 A406(川内北キャンパス講義棟A棟)

施工技術(1)

座長：梶好延(熊谷組)

10:10 ~ 10:20

[VI-131] 塗替え塗装工事におけるIH式塗膜除去工法を用いた旧塗膜除去の実施報告について

佐藤 征行¹、小松 大地¹、*下村 千遥¹ (1. 東日本高速道路株式会社)

キーワード：塗膜除去、IH式塗膜除去工法、塗替塗装

近年、東日本高速道路株式会社札幌管理事務所では、旧塗装の劣化が激しく腐食が著しい橋梁や鋼製橋脚の塗替え塗装を実施している。札幌自動車道創成川東高架橋塗替塗装工事において創成川東高架橋の鋼製橋脚の塗替え塗装の旧塗膜除去工法としてIH式塗膜除去工法を採用した。今回は工法選定経緯と施工に対しての評価を報告するものである。従来工法と比較するとIH式塗膜除去工法は施工費が高いという課題点はあるが、吊足場を設置しなくとも施工が可能な点や廃棄物の低減など利点もみられた。

塗替え塗装工事における IH 式塗膜除去工法を用いた旧塗膜除去の実施報告について

佐藤 征行¹、小松 大地¹、○下村 千遥¹（正会員）（1.東日本高速道路株式会社）

1. はじめに

東日本高速道路株式会社札幌管理事務所では、旧塗装の劣化が激しく腐食が著しい橋梁や鋼製橋脚の塗替え塗装を実施している。当事務所の管理する橋梁は鉛等有害物質を含む場合が多く、塗膜を湿潤な状態にした後、剥離剤による旧塗膜除去作業を実施している。

令和4年度に実施した、札幌自動車道創成川東高架橋塗替え塗装工事では、創成川東高架橋の鋼製橋脚の塗替え塗装の旧塗膜除去工法として IH 式塗膜除去工法（以下、「IH 工法」という）を用いて施工を行ったが、本論文ではその工法選定経緯と IH 工法での施工に対しての評価を報告するものである。

2. 橋脚塗替え塗装における課題点

塗替え塗装工事には吊足場などの固定足場を架設し施工を行うが、高速道路と並行する国道274号の建築限界の関係により、本工事で塗替え塗装を行う鋼製橋脚については固定足場の架設が不可能であった。

これは、剥離剤での旧塗膜除去作業を行う場合、吊足場内での作業高さを最低で0.5m確保する必要があるが、国道274号の路面から高速道路の鋼製橋脚下面までが約5.0mであり、吊足場の架設を実施した場合、路面から高さ4.5mに足場が設置されることとなる。重要物流道路に指定されている国道274号に対しては建築限界として路面から高さ4.8mを確保することが定められているため、吊足場が建築限界を侵してしまうことになる。

また、国道274号の交通規制（車線規制）は実施時間の制約（夜間21:00～翌6:00）があり、固定足場設置の期間中に建築限界を確保できない箇所について常時車線規制を行うといった対応方法もできない。

したがって固定足場の設置は不可能であった。

3. 旧塗膜除去工法の選定

剥離剤を用いた旧塗膜除去は、剥離剤塗布後の剥離期間中（24時間）の防災シートによる密閉養生が必要であり、シート養生の土台として固定足場は必要不可

欠である。前述の通り、固定足場の架設が不可能であり、剥離剤工法は使用不可となる。そこで、移動足場での作業が可能である旧塗膜除去工法を検討した。（表-1）

3-1. 工法選定結果

固定足場を必要としない工法として、IH工法とレーザー工法を比較した。IH工法は電磁誘導加熱（induction heating）により鋼材を加熱し、塗膜と鋼材面の接着を緩めることで塗膜を容易に除去する工法である。一方でレーザー工法は、塗装面に高出力のレーザー光線を照射し、旧塗膜を熔融・蒸散させる工法である。上記の2工種とも塗膜剥離剤使用時の除去のための養生期間が必要なく、また産業廃棄物の発生を抑制できる点が特徴である。

本工事では、経済性や施工時の鋼材面への影響（高温施工による鋼材面へ悪影響）、公共工事での使用実績等を考慮しIH工法を選定した。

IH工法といっても様々な機器が存在しており、用いる機器によってその施工速度や適した使用環境などが異なる。本工事では、高所作業車のバケット内の施工であるため使用機器がコンパクトで小断面の施工に適しているIH塗膜剥離機「MEKURERU（メクレル）」を用いて施工を実施した。（写真-1）



写真-1 IH塗膜剥離機「MEKURERU（メクレル）」

キーワード 塗膜除去、IH式塗膜除去工法、塗替え塗装

連絡先 〒003-0872 北海道札幌市白石区米里2条2丁目4-1 東日本高速道路(株) 北海道支社 札幌管理事務所

TEL 011-598-8039 FAX 011-598-8039

4. IH工法を用いた施工

IH工法を用いた施工に先立ち、協議会の主催する講習を受講する必要があるが、塗装作業員がそれぞれ参加し、施工方法と事故防止対策について机上と実技で指導を受けたうえで施工を行った。

実際の施工では、前述の通り並行する国道274号の交通規制の制約により、夜間に車線規制を行い高所作業車内で施工を行った。

実施工日数は、塗替塗装面積98㎡に対して11日間毎日施工量は9㎡/日であった。これは剥離剤塗布による施工量50㎡/日と比較すると施工能力が悪い結果である。

一方、本工法はIH塗膜剥離機を鋼材面に数秒程度当てた後にスクレーパー等で簡単に塗膜除去ができる工法であるため、剥離剤と同様に施工にあたり騒音がなく、除去に際しての粉塵等も出ない施工であった。

5. 総評

5-1. 利点

剥離剤工法と比較し、第一の利点は産業廃棄物関連である。剥離剤を用いるとすると塗替塗装面積当たり約1kg/㎡(過去工事実績による)の産業廃棄物の発生が予想されるが、本工事では約0.4kg/㎡であり廃棄物を低減した結果となった。これは剥離剤施工時の廃棄物と比較して約1/2の発生量である。また、廃棄物自体が乾燥しており、剥離剤を纏って汚泥化した廃棄物と比較し回収が容易という利点もあった。

また、剥離剤工法では一度で落としきれず何度も剥離剤塗布・かき落とし作業が必要となったが、塗膜厚に寄らず一度で塗膜を除去できることも利点といえる。

5-2. 課題・懸念点




懸念点としては、最下層の錆止めペイント等は加熱による軟化が生じにくく除去ができないため、別途ケレン作業による除去が必要な点である。さらに、IH工法では塗装の付着性を高める鋼材へのアンカーパターンの形成も不可能であるため、この点においてもケレン作業は必須である。また、現在において塗替塗装工事における普及率は低く、剥離剤工法と比べて施工費が高いことはIH工法選定における課題点といえる。

6. 終わりに

本工事では固定足場の設置が不可能なため、代替の塗膜除去工法としてIH工法を採用したが、今回のように施工条件が限られる場合の小断面施工において特に効果を発揮することが確認できた。さらに産業廃棄物関連での利点があることも確認することができた。

令和6年度においても今回のような建築限界がある高架橋でのIH工法の採用が決定している。吊足場設置可能範囲では吊足場内での剥離剤工法を採用し、それ以外はIH工法での塗膜剥離を行う予定である。今後、周辺環境を鑑みて吊足場設置不可能な工事ではIH工法は有効な選択肢となる。また、膜厚の厚い橋梁で施工を行う際には施工費等考慮し、剥離剤工法とIH工法を比較検討する余地があると考えられる。

表-1 旧塗膜除去工法の比較

	旧塗膜除去工法		
	塗膜剥離剤	IH工法	レーザー工法
実施写真			
概要	塗膜剥離剤を浸透、塗膜を科学的に膨張させ鋼材と旧塗膜との付着を弱めて除去する工法	電磁誘導加熱により鋼材と塗膜の層間剥離を発生させ、旧塗膜を除去する工法	レーザーを照射し、塗膜や錆、汚れを溶融・蒸散させ、塗膜を除去する工法
経済性	10,000円/㎡	40,000円/㎡	150,000円/㎡
産業廃棄物	除去した旧塗膜に加え、剥離剤自体も廃棄物となる	除去した旧塗膜のみ産業廃棄物となり、廃棄物の発生を抑制	蒸散した旧塗膜のみ産業廃棄物となり、廃棄物の発生を抑制
固定足場の有無	必要 ※剥離剤塗布後の剥離期間(塗布後24時間)は固定足場による密閉のシート養生・飛散防止対策が不可欠	不要 ※移動足場での作業が可能	不要 ※移動足場での作業が可能
実績	従来工法であり実績多	NEXCO実績あり	公共工事等での実績が非常に少ない
その他	-	-	非常に高温のレーザーのため、鋼材への影響が考えられる。
評価	× (施工不可)	○	△

第1部門

2024年9月5日(木) 10:40 ~ 12:00 会場 A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (2)

座長：三浦 正純 (土木研究センター)

10:50 ~ 11:00

[I-47]

ブラストによる塩分除去効果の検証と塩分低減剤の試行

*中島 和俊¹、安波 博道¹、奥山 佳史²、伊藤 廉一郎³、小寺 健史⁴、藤川 祥汰⁵、水谷 健人⁵、今井 信一郎⁶ (1. 一般財団法人土木研究センター、2. 秋田県庁、3. 由利本荘市役所、4. 極東メタリコン工業株式会社、5. 大伸化学株式会社、6. オー・ジー株式会社)

11:20 ~ 11:30

[I-50]

前回調査から 20 年経過した耐候性鋼橋梁の腐食状況調査

*大藤 駿¹、蓮池 里菜¹、麻生 稔彦¹ (1. 山口大学大学院)

11:30 ~ 11:40

[I-51]

各種素地調整法で処理した溶融亜鉛めっき劣化鋼部材の表面性状

*余 カク江¹、貝沼 重信¹、楊 昊軒¹、吉野 恵一²、龍岡 照久² (1. 九州大学大学院、2. 東京電力ホールディングス (株))

11:40 ~ 11:50

[I-52]

供用後20年が経過した太陽光発電を用いた桁内換気システムを有する橋梁の追跡調査

*神野 巧矢¹、石井 博典¹、加藤 遼二郎²、清川 昇悟²、中辻 亘² (1. 株式会社横河ブリッジホールディングス、2. 株式会社横河ブリッジ)

11:50 ~ 12:00

[I-53]

シート材料を用いた脱塩工法の試験施工

*前田 諭志¹、結城 洋一¹、白水 晃生²、水畑 穰³ (1. 株式会社横河ブリッジホールディングス、2. 株式会社横河ブリッジ、3. 神戸大学)

第I部門

2024年9月5日(木) 10:40 ~ 12:00 会 A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (2)

座長：三浦 正純 (土木研究センター)

10:50 ~ 11:00

[I-47] ブラストによる塩分除去効果の検証と塩分低減剤の試行

*中島 和俊¹、安波 博道¹、奥山 佳史²、伊藤 廉一郎³、小寺 健史⁴、藤川 祥汰⁵、水谷 健人⁵、今井 信一郎⁶ (1. 一般財団法人土木研究センター、2. 秋田県庁、3. 由利本荘市役所、4. 極東メタリコン工業株式会社、5. 大伸化学株式会社、6. オー・ジー株式会社)

キーワード：素地調整、ブラスト、塩分低減、残存塩分

耐候性鋼橋梁の桁端部に生じた異常腐食部を対象として、ブラストによる塩分の除去を試みたほか、塩分低減剤による低減効果を検証した。

ブラストによる塩分除去効果の検証と塩分低減剤の試行

(一財) 土木研究センター 正会員 ○中島 和俊
 (一財) 土木研究センター 正会員 安波 博道
 秋田県庁 正会員 奥山 佳史
 由利本荘市役所 伊藤 廉一郎

極東メタリコン工業株式会社 正会員 小寺 健史
 大伸化学株式会社 正会員 藤川 祥汰
 大伸化学株式会社 水谷 健人
 オー・ジー株式会社 今井 信一郎

1. はじめに

高度経済成長期には数多くの橋梁が建設され、建設後 50 年以上となる橋梁数は、今後急速に増加すると予測されている。このような橋梁群を適切に維持管理するため、ライフサイクルコストの低減を目的として防食塗料には長期耐久性が求められている。

一方、飛来塩分や凍結防止剤の影響を受けて異常腐食が生じた橋梁では、塩分を残したまま塗装すると早期に塗膜劣化が生じ、期待した耐久性を発揮できないことが知られており、素地調整後の塩分の除去・低減が大きな課題となっている¹⁾²⁾。

ここでは、耐候性鋼橋梁の桁端部に生じた異常腐食部を対象として、ブラストによる塩分の除去を試みたほか、塩分低減剤による低減効果を検証した結果を報告する。

2. 対象橋梁の状況と試行概要

対象とする橋梁は、東北地方の日本海沿岸部に建設された耐候性鋼橋梁で、海岸からの距離は直線距離で約 3km の位置にある。橋梁全体はさび外観評点 3~2 程度のさびが生じている状態であり、架橋環境から予想されるほど悪い状態ではない。一方、桁端部では伸縮装置や排水管からの漏水があり、局所的に評点 1 の層状剥離さびが生じる部分もあった。試験施工では評点 2 程度の部分と、評点 1 の部分を対象として、ブラストによるさび除去ならびに塩分低減効果を検証した。使用した機器は表 1 の通りである。

ブラスト時に使用した研削材は、鋼橋の塗替え塗装工事での使用実績が多いフェロニッケルスラグの標準粒径 0.3~0.8mm を基本とした。試験施工であり足場養生を極力減らすことを目的として、バキュームブラスト装置を用いた。研削材をリユースできる機器だが、塩分を分離できない可能性があるため、研削材は全て 1 回で使い捨てとしている。

表 1 使用した資機材

名称	規格・仕様	備考
バキュームブラスト	FDO-F3 型	吐出圧 0.5MPa 程度
研削材	フェロニッケルスラグ	粒径 0.3~0.8mm
塩分低減剤	ソルトリッパー-FM	KK-230044-A
表面付着塩分計	SNA-3000	電気伝導率法

塩分低減剤は高圧水洗に変わる塩分低減工法である³⁾。素地調整後のブラスト面に対して刷毛またはスプレーにより塗布し、概ね 1 日間放置して樹脂が硬化した後に引きはがす材料である。水が主材料であり、水に溶解した塩分を樹脂中に封じ込め、樹脂とともに剥離させる機構である。高圧水洗では短時間で水が流れ落ちるのに対し、水を樹脂で保持するため塩分の溶解に掛かる時間を確保できる特徴を有する。また、従来一般的に採用されていた高圧水洗に比べて単位面積当たりの使用水量が大幅に少ないため、足場養生を切り替えることなく使用できる。

今回の試行では、高圧水等を使用できない環境を想定し、ブラストと塩分低減剤のみによる残存塩分の低減効果を検証した。パターン 1 では、さび外観評点 2 (うろこ状さび) 程度を対象とし、ブラストを 10 回繰り返した後に塩分低減剤を塗布した。パターン 2 では、さび外観評点 1 (層状剥離さび) を対象とし、ブラストを 1 回行った後に塩分低減剤を塗布した。なお、ブラストの 1 回分は、それぞれの部位において Sa2 1/2 に達するまでに要した時間で管理している。残存塩分の測定は電導法による測定であり、ブラスト 1 回毎に異なる箇所測定した。

3. 試行結果

対象箇所の状態を写真 1・2 に、残存塩分量と施工時間の関係を図 1 に示す。また、パターン 1・2 以外の試行結果も取りまとめ、Sa2 1/2 に達するまでの施工時間と施工前塩分量の関係を図 2 に示す。

キーワード 素地調整, ブラスト, 塩分低減, 残存塩分

連絡先 〒110-0016 東京都台東区台東 1-6-4 (一財) 土木研究センター 材料・構造研究部 TEL03-3835-3609

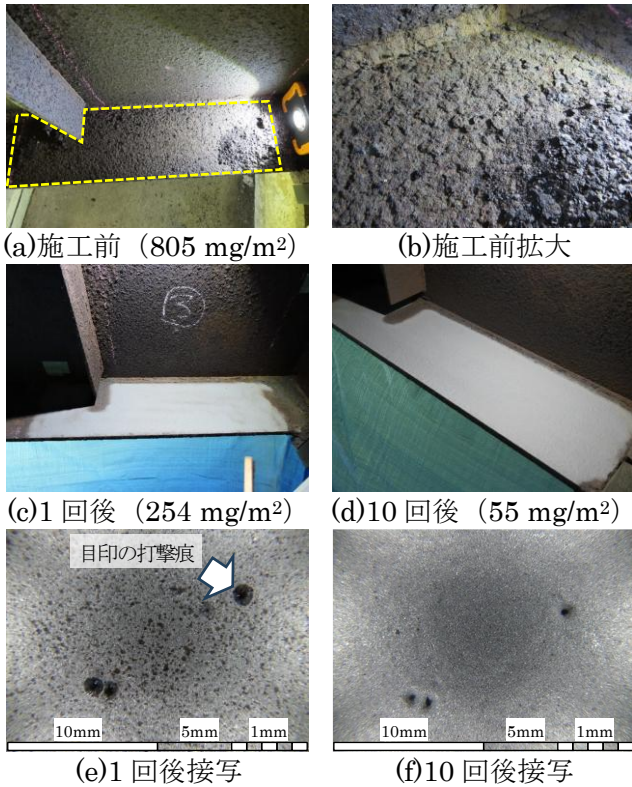


写真1 パターン1

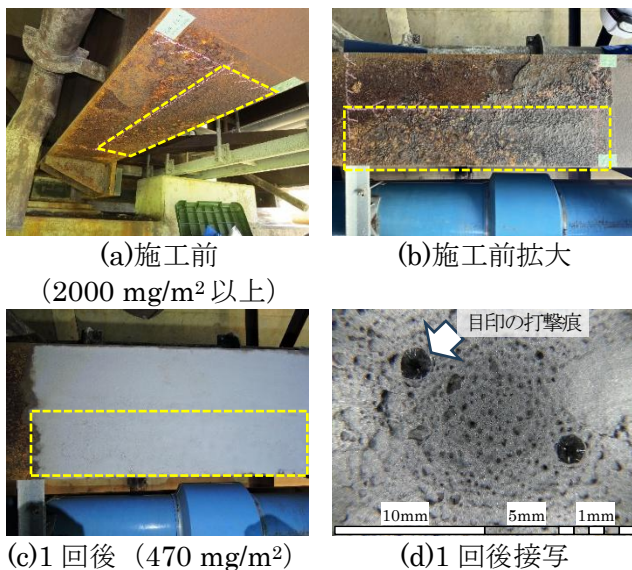


写真2 パターン2

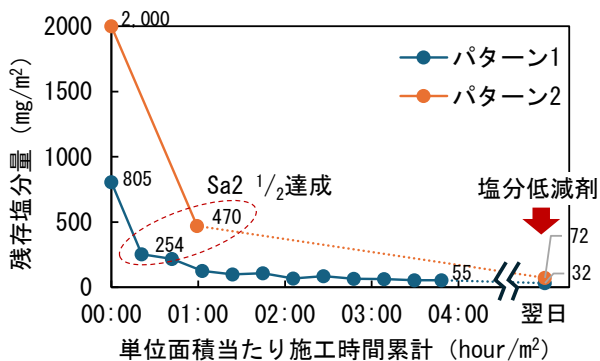


図1 ブラスト施工時間と残存塩分量の関係

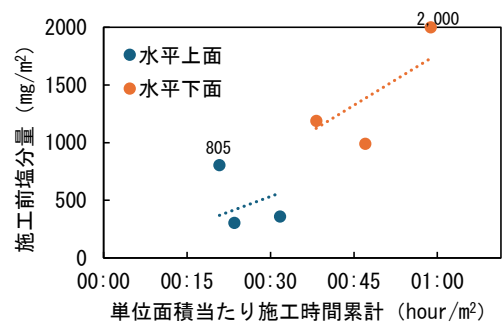


図2 ブラスト施工時間と施工前塩分量の関係

- これらの試行から得られた知見を以下に示す。
- ・塩害によって異常腐食を生じた場合、Sa2 1/2に達しても鋼材表面には多量の塩分が残存する。
 - ・Sa2 1/2の除錆度が得られても、局所的には直径0.1mm程度以下の微少なさび(孔食)が残存する。
 - ・複数回の施工を行い、外観上ではさびが無くなったとしても、塩分を50mg/m²以下に低下できない。
 - ・素地調整前の付着塩分量とSa2 1/2に達するまでの時間には相関が見られる。
 - ・塩分低減剤を塗布することにより、残存塩分量を低下させることができる。
 - ・ブラストを繰り返しても塩分が低下しなかったが、図3のように微細なさびの直径が研削材よりもさらに小さいことや、ブラストによって鋼材が変形し、さびが封入されてしまうことが考えられる。

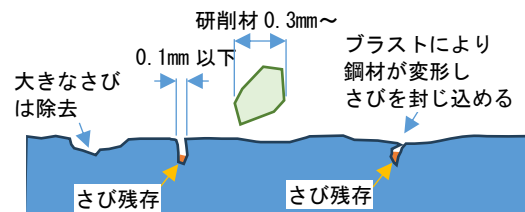


図3 塩分低減が困難な場合のイメージ

4. まとめ

異常腐食が生じた耐候性鋼橋梁を対象として、ブラストによる素地調整を行った。ブラストによる塩分除去の限界と、塩分低減剤による改善効果を検証した。

参考文献

- 1) 中島和俊ら；ブラスト素地調整における残存塩分除去対策の事例紹介，第19回技術発表大会予稿集，(社)日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会，2016.5
- 2) 落部圭史ら；ブラスト施工における残存塩分の管理値および施工効率に関する検討，土木学会全国大会第77回年次学術講演会，VI-388，2022.9
- 3) 坂本達朗ら；ブラストした腐食鋼材に残留する塩分の低減を目的とした塗布型可剥材料の性能評価，土木学会全国大会第77回年次学術講演会，I-43，2022.9

第I部門

2024年9月5日(木) 10:40 ~ 12:00 Ⅲ A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理(2)

座長：三浦 正純（土木研究センター）

11:20 ~ 11:30

[I-50] 前回調査から20年経過した耐候性鋼橋梁の腐食状況調査

*大藤 駿¹、蓮池 里菜¹、麻生 稔彦¹ (1. 山口大学大学院)

キーワード：耐候性鋼橋梁、外観評点、腐食

耐候性鋼橋梁は適切な環境で使用すれば鋼材表面に保護性さびが形成され維持管理コストの低減が可能となる。しかし、使用環境によっては保護性さびが形成されず腐食が進行する事例がある。無塗装耐候性鋼橋梁の建設は2000年前後にピークに迎え、以後は減少しているものの、2020年度においても新設鋼橋梁の14%を占めている。また、これまでに建設された耐候性鋼橋梁も大きなストックとなっており、これらの橋梁の腐食の進行に注意を払う必要がある。そこで本調査では、約20年前に腐食状況を調査した耐候性橋梁の追跡調査を実施し、腐食の進展状況を明らかにする。

前回調査から20年経過した耐候性鋼橋梁の腐食状況調査

山口大学大学院 学生会員 ○大藤 駿
山口大学大学院 正会員 蓮池里菜
山口大学大学院 フェロー会員 麻生稔彦

1. はじめに

耐候性鋼橋梁は適切な環境で使用すれば鋼材表面に保護性さびが形成され維持管理コストの低減が可能となる。しかし、使用環境によっては保護性さびが形成されず腐食が進行する事例がある。さらに、供用中に腐食環境が変化するとさび性状も変化すると考えられる。無塗装耐候性鋼橋梁の建設は2000年前後にピークに迎え、以後は減少しているものの、2020年度においても新設鋼橋梁の14%を占めている¹⁾。また、これまでに建設された耐候性鋼橋梁も大きなストックとなっており、これらの橋梁の腐食の進行に注意を払う必要がある。

そこで本調査では、約20年前に腐食状況を調査した耐候性橋梁の追跡調査を実施し、腐食の進展状況を明らかにする。

2. 調査内容

本調査は、山口県内の耐候性鋼橋梁について約20年前に調査した橋梁の内、接近が可能なものを中心に再調査を実施した。今回調査した橋梁を表-1に示す。対象橋梁のうち14橋が鈹桁橋、3橋が箱桁橋である。調査は20年前の調査内容が記載された調査票をもとに、前回調査箇所と同じ箇所を観察し状態を比較する。また、前回調査とは異なる箇所においても、異常さびなどの腐食の進行がみられる箇所を抽出する。今回の調査ではさびの外観評点、セロテープ試験、さび外観写真撮影、さび厚測定を実施した。

3. 調査結果

調査した橋梁は17橋であり、それぞれの橋梁のマクロ評価とミクロ評価を表-2に示す。また、表-

表-1 調査橋梁

橋梁名	橋長(m)	幅員(m)	構造形式	表面状態	離岸距離(km)	架設年(年)
A橋	30.0	17.3	鈹桁	裸	3.0	1995
B橋	17.4	16.0	鈹桁	表面処理	4.0	1997
C橋	30.0	不明	鈹桁	裸	2.0	1990
D橋	34.4	16.0	鈹桁	表面処理	1.0	1996
E橋	100.5	2.5	鈹桁	裸	5.5	1990
F橋	25.4	5.0	鈹桁	一部表面処理	2.0	1997
G橋	55.5	17.0	鈹桁	裸	3.0	1999
H橋	44.6	10.0	鈹桁	裸	4.0	1999
I橋	124.0	9.75	鈹桁	裸	26.0	1996
J橋	128.0	11.0	鈹桁	裸	3.0	1999
K橋	76.5	10.3	鈹桁	裸	13.5	1988
L橋	47.0	3.3	鈹桁	裸	15.0	1988
M橋	88.7	10.0	箱桁	裸	6.5	1993
N橋	29.5	8.0	鈹桁	裸	18.0	1996
O橋	57.7	8.0	箱桁	裸	20.0	1998
P橋	40.0	5.0~6.2	鈹桁	裸	7.0	1997
Q橋	58.0	8.0~8.5	箱桁	裸	20.0	1998

3はマクロ評価とミクロ評価別に前回評価と今回評価の推移を示している。なお、表-3中の「-」は接近不可能等で評価できないことを示す。ここでマクロ評価は橋梁全体についての外観評点であり、ミクロ評価では局所的な腐食の外観評点である。表-2より、前回調査よりミクロ評価が良くなった橋梁はF橋、H橋、K橋の3橋である。F橋は前回調査からマクロ評価は悪くなっているが、鋼材表面には保護性さびが生成されており、さび状態が安定している。H橋は、前回調査で床版ドレーンからの排水が桁端部に滞水し、うろこさびがみられた。しかし今回調査時は当該箇所には排水パイプが設置されており排水がみられず改善されていた。K橋の前回調査時にはすべての主桁ウェブに結露がみられ、赤さびがみられた。前回調査におけるミクロ評価は3であったものの、やや厳しい側に評価した恐れがある。一方で、前回調査からミクロ評価が悪くなった橋梁がI橋である。I橋は前回調査では赤さびを呈しており、すべての水平補剛材には結露による水みちがみられていた。今回の調査では桁端において、支点上補剛材すべてに層状剥離がみられた。伸縮装置か

キーワード 耐候性鋼橋梁, 外観評点, 腐食

連絡先 〒755-8651 山口県宇部市常盤台2丁目16-1 山口大学工学部 TEL0836-85-9323

表-2 調査結果

橋梁名	前回実施年	今回実施年	前回評価		今回評価		備考
			マクロ	ミクロ	マクロ	ミクロ	
A橋	2001	2022	2	1	2	1	補修塗装後に再腐食
B橋	2001	2022	4	5	4	-	接近困難のため遠望目視
C橋	2001	2022	4	-	4	-	接近困難のため遠望目視
D橋	2001	2022	2	4	-	-	塗装仕様(Rc-II)に変更
E橋	2001	2022	4	3	4	-	接近困難のため遠望目視
F橋	2001	2022	4	2	3	3	外桁下面是風化、裸面は保護性さびが生成
G橋	2001	2022	3	1	2	1	前回調査時の滞水、腐食が存在
H橋	2001	2022	4	2	4	4	補修改善により前回からの進行性なし
I橋	2001	2022	3	3	3	1	すべての桁の桁端に層状剥離あり
J橋	2001	2024	4	4	4	4	前回からの進行性なし
K橋	2001	2024	4	3	4	4	前回からの進行性なし
L橋	2003	2024	3	1	3	1	補修塗装後に再腐食
M橋	2001	2024	4	4	4	4	前回からの進行性なし
N橋	2001	2024	4	3	4	-	接近困難のため遠望目視
O橋	2001	2024	4	4	4	4	前回からの進行性なし
P橋	2001	2024	4	3	4	-	接近困難のため遠望目視
Q橋	2001	2024	4	3	4	4	前回からの進行性なし

らの漏水跡があったことから、漏水が原因で腐食が進行したものと考えられる。I橋の桁端部の状況を前回調査時と比較をして図-1に示す。また、前回調査から変わらずミクロ評価が悪い橋梁がA橋、G橋、L橋の3橋であった。A橋およびL橋では前回調査で明らかであった異常さびに対して補修塗装が実施されている。しかし、両橋とも塗膜下で腐食が進行しており、層状剥離さびが発生していた。これは塗装時の下地処理が不十分であり塩分が塗膜下に残ったためと考えられる。さらに、伸縮装置からの漏水の存在も強く疑われる。A橋の状況を図-2に示す。一方でG橋は前回調査した箇所と同様の箇所において滞水、および層状剥離が認められた。滞水は伸縮装置からの漏水が原因であると考えられる。全8本の主桁のうち6本において層状剥離さびが進行していた。

前回の調査は多くの場合架設後5年以内に実施されている。この調査から20年後の再調査でミクロ評価の悪化が2橋であったことから、不具合のある橋梁での異常さびは比較的早期に発現すると考えられる。

4. まとめ

本調査では、約20年経過した耐候性鋼橋梁の内、接近が可能な橋梁を中心に17橋の再調査を実施し、腐食の進展状況を明らかにした。調査の結果、異常さび(評点1, 2)の見られた橋梁は4橋であり、その内前回調査からミクロ評価が悪くなった橋梁は1橋、前回調査から変わらずミクロ評価の悪い橋梁は

表-3 評価推移

マクロ		前回						ミクロ		前回					
		5	4	3	2	1	-			5	4	3	2	1	-
今回	5							今回	5						
	4		11						4		4	2			
	3		1	2					3				1		
	2			1	1				2						
	1								1			1		3	
	-				1				-	1	1	3			1



図-1 I橋調査結果(左:2001年, 右:2022年)



図-2 A橋調査結果(左:2001年, 右:2022年)

3橋であった。

参考文献

- 1) (一社)日本橋梁建設協会：耐候性鋼橋の実績資料集,2020

第I部門

2024年9月5日(木) 10:40 ~ 12:00 Ⅲ A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (2)

座長：三浦 正純（土木研究センター）

11:30 ~ 11:40

[I-51] 各種素地調整法で処理した溶融亜鉛めっき劣化鋼部材の表面性状

*余 カク江¹、貝沼 重信¹、楊 昊軒¹、吉野 恵一²、龍岡 照久² (1. 九州大学大学院、2. 東京電力ホールディングス (株))

キーワード：素地調整、溶融亜鉛めっき、防食、腐食

送電鉄塔には溶融亜鉛めっき（以下、めっき）が防食仕様として一般的に採用されている。しかし、高度経済成長期に建設された亜鉛めっき仕様の送電鉄塔の一部で腐食が観察され、その腐食劣化に伴い塗装仕様に変更される場合がある¹⁻²。その耐久・防食性能は素地調整品質に依存する。しかし、先行研究では素地調整後の亜鉛めっきや腐食生成物の残留に加え、鋼部材の表面性状については明らかにされていない。そこで、本研究では腐食した送電鉄塔から採取した試験体を用いて、ブラスト、ディスクグラインダー、カップブラシおよび手動工具の4種類の素地調整による鋼素地の表面と断面をマイクロ스코プで観察することで比較・検討した。

各種素地調整法で処理した溶融亜鉛めっき劣化鋼部材の表面性状

九州大学大学院 学生会員 ○余 カク江
九州大学大学院 学生会員 楊 昊軒

九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信
東京電力ホールディングス(株) 正会員 吉野 恵一
東京電力ホールディングス(株) 非会員 龍岡 照久

1. はじめに 送電鉄塔には溶融亜鉛めっき（以下、めっき）が防食仕様として一般的に採用されている。しかし、高度経済成長期に建設された亜鉛めっき仕様の送電鉄塔の一部で腐食が観察され、その腐食劣化に伴い塗装仕様に変更される場合がある^{1,2)}。その耐久・防食性能は素地調整品質に依存する。しかし、先行研究では素地調整後の亜鉛めっきや腐食生成物の残留に加え、鋼部材の表面性状については明らかにされていない。そこで、本研究では腐食した送電鉄塔から採取した試験体を用いて、ブラスト、ディスクグラインダー、カップブラシおよび手動工具の4種類の素地調整によるめっき皮膜と鋼素地の表面と断面を顕微鏡で観察することで比較・検討した。

2. 試験方法 試験体は送電鉄塔から採取した亜鉛めっき仕様の板厚4mmのアンクル材から、100×50mmの寸法で採取した。なお、試験体を採取したアンクル材の表面は、亜鉛めっきの合金層が露出し、腐食している状態であった。この試験体に対して、それぞれブラスト（以下、ABT）、ディスクグラインダーによる電動研磨（以下、DG）、カップブラシによる電動研磨（以下、CB）およびパットによる手研磨（以下、NP）の4種類を用いて素地調整した。各素地調整に用いた機器と工具の外観観察結果を図-1に示す。ABTはハイスピードベンチュリノズル（SN156-550AP, kennametal社製、内径：7.9mm、長さ：148mm）用い、その投射の圧力、角度および距離をそれぞれ0.7MPa、60°および300mmとした^{3,4)}。研削材にはスチールグリッド（#70、モース硬度：10、JIS粒度指数：52.6、比重：7.4）を用いた。また、投射時間は表面粗さが変化しなくなる5s（10³mm²/s）として行った^{3,4)}。DGには不織布研磨材ディスク（CNSベベルブラック #120, 3Mスコッチ・ブライト）用い、その回転数、角度、および接触圧をそれぞれ1,200r/min、45°および30Nとした。また、この素地調整の再現性を確保し、試験体の素地品質のばらつきを極力低減するために、試験体の長手方向と幅方向にそれぞれ1ストロークの処理（50s/ストローク）を行った。CBについては、カップブラシ（UN-085 C2, ニシモ）を用い、その回転速度などの処理条件はDGと同様とした。NPについては、研磨材ナイロンパット（ファブロンミニ, 日本レヂボン）を用い、各試験体の処理時間を300s（16.7mm²/s）とした。なお、パットは試験体との接触圧を約30Nとし、接触面積を約5×10³mm²とした。

素地調整前の試験体の腐食状態、および素地調整後の表面性状を評価するために、デジタル顕微鏡（HRX-01, ハイロックス）を用いた。表面観察は試験体中央部の2.0×1.5mmの領域に対して140倍の倍率で行った。素地調整前後の断面観察は、顕微鏡を用いて行った。また、素地調整前の残存膜厚は、断面画像を用いて、めっき皮膜の断面積を長さで除す面積法、およびISO 1463-2021の平均値法⁵⁾で算出した。

3. 試験結果 素地調整前後における試験体の表面を図-2に示す。素地調整前の試験体は、茶褐色の鋼材由来の腐食生成物が多く、白灰色の亜鉛腐食生成物が点在していた。これは、めっき合金層の腐食が支配的であると考えられる。素地調整後については、ABT試験体の表面性状は他の試験体に比して、亜鉛めっきと腐食生成物がほとんど観察されなかったため、素地調整品質が最も高いと言える。DG試験体については、一方向の研削傷が観察されるが金属光沢があり、腐食生成物がほとんど観察されなかった。一方、CB試験体では金属光沢と研削傷はほとんど観察されず、茶褐色の腐食生成物が少量残留していた。NP試験体については、茶褐色の腐食生成物は多量に残留していた。素地調整前後における試験体を図-3に示す。面積法と平均値法で求めた素地調整前の試験体のめっき膜厚は、それぞれ22および31μmであり、JIS H8641に規定される新規溶融亜鉛めっき部材の平均膜厚の50%以下になっていた。また、めっき皮膜の下では鋼素地の腐食が観察された。ブラスト処理した試験体の表面起伏は、他の素地調整の場合に比して最も大きくなっていた。また、めっきが少量残留していた。これは、ブラスト処理するこ

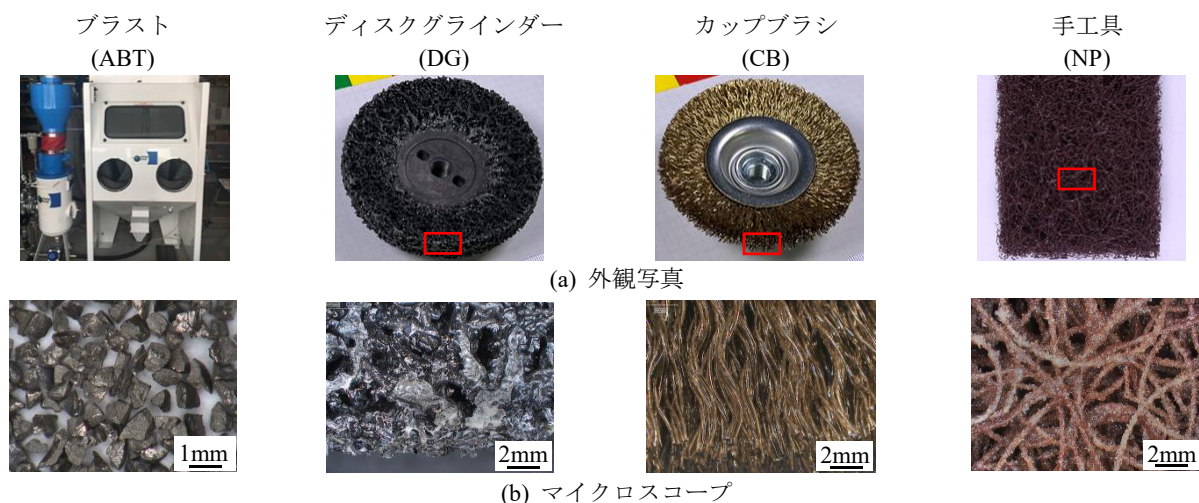


図-1 各素地調整の機器と工具の外観撮影

キーワード 素地調整 溶融亜鉛めっき 防食 腐食

連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡 744 番地 ウエスト 2 号館 1104 号室 TEL092-802-3392

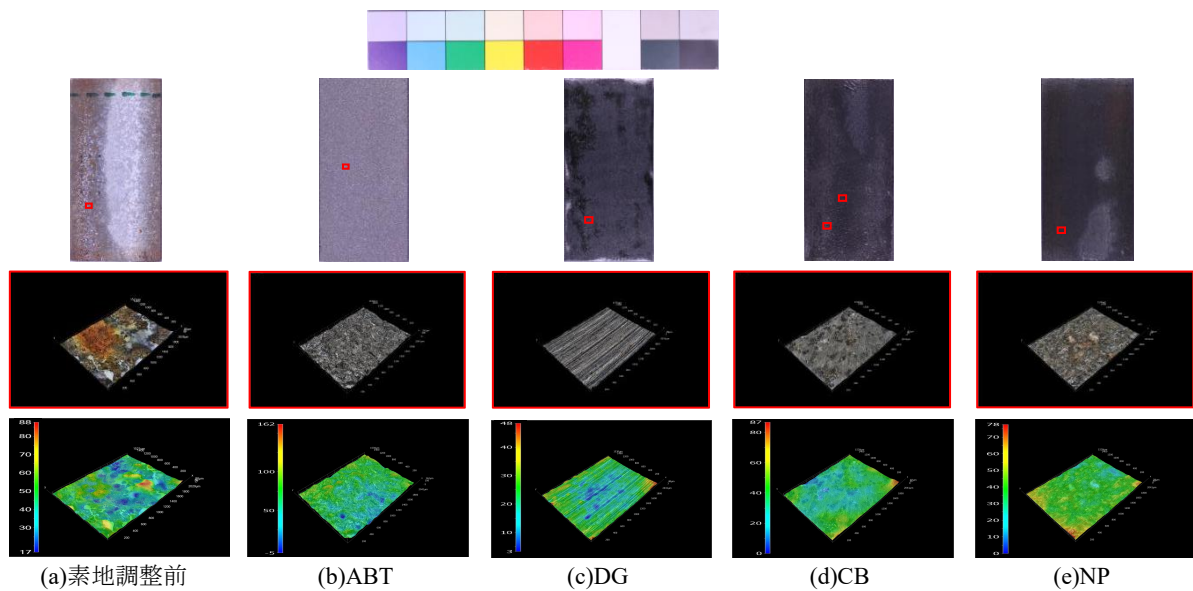


図-2 素地調整前後の試験体表面

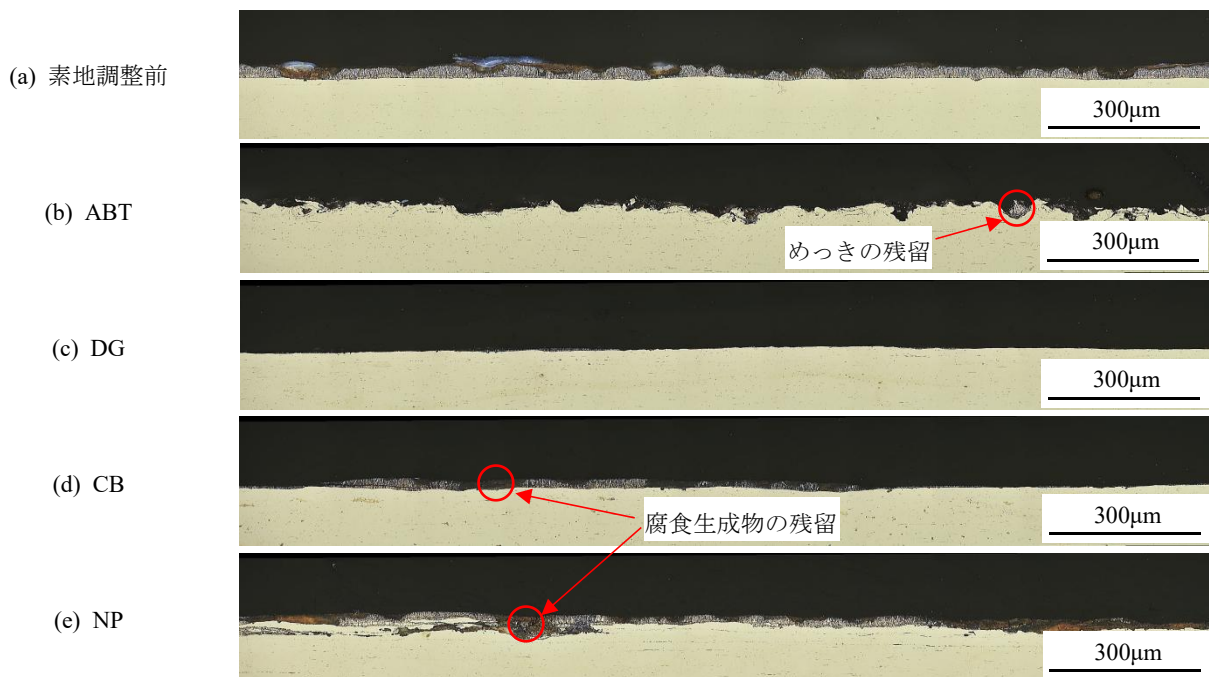


図-3 素地調整前後の断面観察

とで、合金層の腐食生成物は除去できるが、粘度の高い亜鉛めっきの完全除去は困難であったと考えられる。DG試験体は他の素地調整法に比して鋼素地の起伏がほとんどされなかった。また、めっきと腐食生成物の除去効果がCBとNPに比して優れ、めっきと腐食生成物の残留はわずかであった。CB試験体については、めっきと腐食生成物が部分的にしか除去できなかった。一方、NP試験体では、CB試験体に比してめっきと腐食生成物が多量に残留していた。したがって、NPによる素地調整法では、めっきと腐食生成物をほとんど除去できないと言える。

4. まとめ 1) ブラスト処理、ディスクグラインダーによる電動研磨、カップブラシによる電動研磨およびパットによる素地調整法では、いずれも熔融亜鉛めっきを完全除去できない。2) めっきと腐食生成物の除去効果は、ブラスト処理、ディスクグラインダーによる電動研磨、カップブラシによる電動研磨およびパットによる手研磨の順に低くなる。3) 鋼部材の表面起伏は、ブラスト処理した場合が最も大きくなり、ディスクグラインダーによる電動研磨の場合が最も小さくなる。

参考文献 1) 伊藤義人, 細井章浩, 北根安雄, 杉浦友樹, 栗田光二: 塗装補修された金属被覆鋼板の防食性能劣化特性に関する研究, 土木学会論文集 A1, Vol.68, No.2, pp.300-313, 2012. 2) 小林弘明, 森田晃一, 山下勝也, 片岡泰弘, 鋼板表面に付着した金属成分による塗膜欠陥部の耐食性改善効果, 材料と環境, Vol.69, No.10, pp.262-270. 3) 貝沼重信, キムアラン, 池田龍哉, 小寺健史: ブラスト処理の研削材と施工条件が鋼素地性状と研削材の残留度に及ぼす影響, 防錆管理, Vol. 63, No. 8, pp. 285-300, 2019. 4) A. Kim, S. Kainuma, and M. Yang: Surface characteristics and corrosion behavior of carbon steel treated by abrasive blasting, Metals, Vol.11, No.2065, 2021. 5) ISO 1463-2021 :Metallic and oxide coatings-Measurement of coating thickness-Microscopical method.

第I部門

2024年9月5日(木) 10:40 ~ 12:00 会場 A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理(2)

座長：三浦 正純（土木研究センター）

11:40 ~ 11:50

[I-52] 供用後20年が経過した太陽光発電を用いた桁内換気システムを有する橋梁の追跡調査

*神野 巧矢¹、石井 博典¹、加藤 遼二郎²、清川 昇悟²、中辻 亘² (1. 株式会社横河ブリッジホールディングス、2. 株式会社横河ブリッジ)

キーワード：太陽光発電、環境負荷低減、耐候性鋼橋梁、換気システム

耐候性鋼橋において、箱桁内の腐食環境は浸入水や結露等により箱桁外面と比べて厳しいことが多く、箱桁内面を塗装することが基本とされる。一方、商用電源を用いて箱桁内に乾燥空気を送気することで内面の塗装を省略した事例もある。これに対し、太陽光発電を用いた換気システムが開発された。本システムは商用電源を必要とせず、箱桁内面の塗装も省略できることから、建設・維持管理コストおよび環境負荷の低減に寄与できると考えられる。本システムを導入した耐候性鋼橋の20年目の調査を行った結果、さびの生成状態は、箱桁外面および内面ともに良好であり、換気システムによって箱桁内の乾湿繰返しを抑制できる可能性が示された。

供用後 20 年が経過した太陽光発電を用いた桁内換気システムを有する橋梁の追跡調査

(株) 横河ブリッジホールディングス 正会員 ○神野 巧矢 石井 博典
(株) 横河ブリッジ 正会員 加藤 遼二郎 清川 昇悟 非会員 中辻 亘

1. はじめに

耐候性鋼橋の箱桁内は、浸入水や結露等による相対湿度の上昇によって腐食環境が箱桁外面と比べて厳しくなることも多く、D-5 塗装仕様を適用することが基本とされる¹⁾。一方、箱桁内の相対湿度を一定以下（相対湿度 60%RH 以下）の乾燥状態に保って腐食を防止する桁内乾燥空気送気システムを導入し、箱桁内面の塗装を省略した事例²⁾もあるが、商用電源が必要となることが一つの課題であった。

これに対し、「太陽光発電を用いた箱桁内の換気システム（以下、換気システムと呼ぶ）」が開発され、2002 年に耐候性鋼橋である岩波橋に適用された。本システムは商用電源を必要とせず、箱桁内面の塗装も省略できることから、建設・維持管理コストおよび環境負荷の低減に寄与するシステムであると考えられる。岩波橋は供用後 20 年が経過したが、継続して追跡調査を実施しており、本稿では対象橋梁の 20 年目の調査結果について報告する。

2. 換気システムの概要

換気システムの概要を図-1 に、設置状況を写真-1, 2 に示す。換気システムは太陽電池モジュール、換気扇、および換気口で構成されており、太陽光発電によって作動する仕組みとなっているため、外部電源を必要としていない。また、湿度が高い雨天時や曇天時は、換気扇の稼働電力が足りないため換気扇は作動せず、晴天時にのみ必要発電量に達して換気扇が作動するように調整した非常に単純なシステムであり、故障にも強く、特別なメンテナンスを必要としないことも特徴である。

3. 橋梁概要

岩波橋の概要図を図-2 に示す。岩波橋は岐阜県高山市の双六渓谷に架かる橋長 60m の単純 RC 床版非合成箱桁橋である。架設位置が海岸から十分な距離のある位置であることから、箱桁外面は耐候性鋼

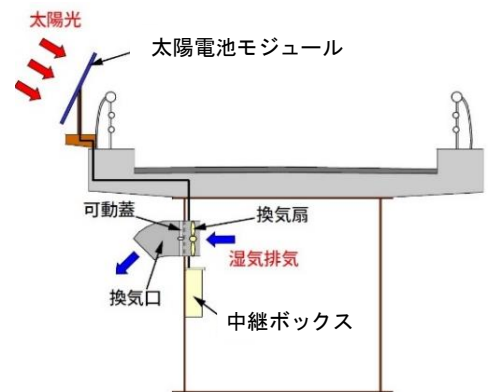


図1 換気システムの概要



写真-1 換気システム設置状況（外側）

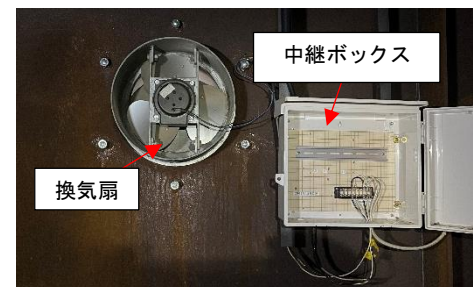


写真-2 換気システム設置状況（内側）

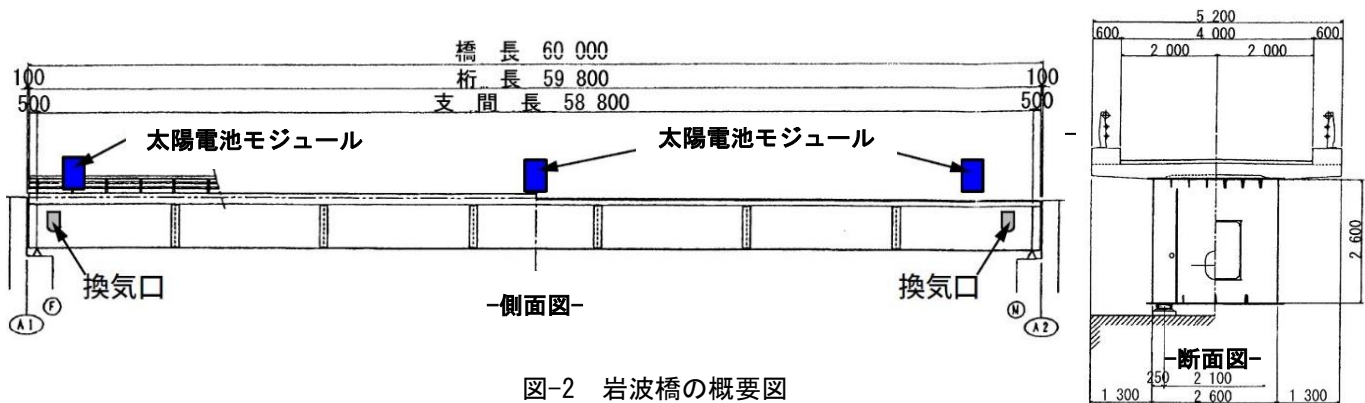


図-2 岩波橋の概要図

キーワード 太陽光発電, 環境負荷低減, 耐候性鋼橋梁, 換気システム
連絡先 〒261-0002 千葉県千葉市美浜区新港 88 (株) 横河ブリッジホールディングス TEL043-247-8411

(SMA400W, SMA490W)の裸仕様であり、箱桁内面は桁内換気システムを導入したことで塗装を省略している。

4. 調査項目と調査結果

調査項目は外観評定、セロテープ試験、さび厚および表面塩分とした。さび厚は電磁膜厚計を、表面塩分は表面塩分計を用いて測定した。測定位置は、A2 側換気口付近の箱桁外面と内面、支間中央および A1 側換気口付近の箱桁内面とした。なお、表面塩分量の測定は、外面を測定できた A2 側換気口付近のみ行った。調査の結果、測定位置による明確な差は見られなかったため、ここでは A2 側換気口付近の結果について報告する。

さびの生成状況を写真-3 に示す。ウェブ外面は色むらが少なく保護性さびを形成し、その他の部位は初期段階のさびと考えられる。特に、箱桁内の溶接部等では、一部地金が見えるほど発錆が少ない状況であった。外観評点としては、外面ウェブが評点 4、その他は評点 5 とした。

セロテープ試験の結果を写真-4 示す。粒子ランクは、箱桁外面および内面共に 3 (粒子の大きさは 1~5mm 程度) ~4 (粒子の大きさは 1mm 程度) に近い状態であり、状態の良いさびであった。

さび厚および表面塩分量の測定結果を表-1 に示す。なお、さび厚は 10 点測定した平均値を、表面塩分量は 1 点測定した結果を示す。さび厚はいずれの部位も 200 μ 未満であり、外観評点 5 相当りであった。表面塩分量についても、さびの状態が良い部位相当の塩分量りであった。箱桁外面と内面を比較すると、内面の表面塩分量が多い結果となったが、これは箱桁内に堆積した粉塵等の影響があったと考えられる。

以上より、本橋は供用後 20 年が経過したが、さび生成状況は良好であったと言える。外観評定の結果より、箱桁内面のさびは、外面のさびに比べて生成速度が緩やかなように思われるが、これは換気システムにより箱桁内の湿度が一定に保たれ、内面における乾湿の繰り返しが少なかった可能性がある。

5. まとめ

太陽光発電を用いた箱桁内換気システムを導入してから 20 年が経過した耐候性橋梁の追跡調査を実施した。その結果、20 年が経過した対象橋梁のさびの生成状態は、箱桁外面および内面ともに良好であった。また、20 年が経過しても換気システムは正常に稼働しており、換気システムによって箱桁内の乾湿の繰り返しを抑制できる可能性が示された。なお、本調査は、高山市役所上宝支所のご協力のもと実施させていただきました。ここに記して感謝の意を表します。



写真-3 さびの生成状況

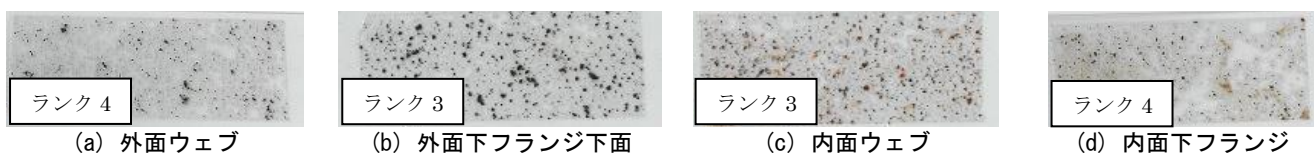


写真-4 セロテープ試験

表-1 さび厚および表面塩分量の測定結果

部位名	外面ウェブ	外面下フランジ 上面	外面下フランジ 下面	内面ウェブ	内面下フランジ
さび厚 (μ)	50.1	77.2	103.4	69.6	73.6
表面塩分量 (mg/m^2)	16.9	10.1	6.7	22.5	123.4

参考文献

- 1) 公益社団法人日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，平成 26 年 3 月
- 2) 金子他：乾燥空気による箱桁内防食—新尾道大橋—，橋梁と基礎，pp31-34，1999. 5

第I部門

2024年9月5日(木) 10:40 ~ 12:00 会場 A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (2)

座長：三浦 正純（土木研究センター）

11:50 ~ 12:00

[I-53] シート材料を用いた脱塩工法の試験施工

*前田 諭志¹、結城 洋一¹、白水 晃生²、水畑 穰³ (1. 株式会社横河ブリッジホールディングス、2. 株式会社 横河ブリッジ、3. 神戸大学)

キーワード：鋼橋、腐食、脱塩、シート

鋼橋の防食塗装は適宜塗替えが行われるが、塗装塗替え後に早期に腐食が発生する事例が報告されている。これは塩害を受けた橋梁に多くみられ、ケレン後の残留塩分が原因と考えられる。耐候性鋼橋梁における補修塗装でも同様の事例がみられ、維持管理上の大きな課題となっている。従来の脱塩工法として水洗いが行われているが、現場条件や排水の問題から適用が難しい場合も多く、より簡易で効果的な塩分除去手法が求められている。そこで、シート材料を用いる脱塩工法を新たに開発し、試験施工を行った。試験結果から、脱塩シートは水洗いと同等以上の脱塩効果を有し、さらに亜硝酸イオンによる防錆効果が付与されることを確認した。

シート材料を用いた脱塩工法の試験施工

(株)横河ブリッジホールディングス 正会員 ○前田 諭志 結城 洋一
 (株)横河ブリッジ 正会員 白水 晃生 神戸大学 水畑 穰

1. はじめに

鋼橋の塗装は、鋼部材の腐食を防ぐために適宜塗替えが行われるが、塗装塗替え後に早期に腐食が発生する事例が報告されている¹⁾。これは塩害を受けた橋梁に多くみられ、ブラストによる1種ケレンを行っても鋼素地面に塩分が残留していることが主要因と考えられる。耐候性鋼橋梁における補修塗装でも同様の事例がみられ、維持管理上の大きな課題となっている。これに対し、鋼素地の表面塩分量が基準値を下回るまでブラストと水洗いを繰り返し行い、塗替え塗装の品質確保を図った事例がいくつか示されている²⁾。しかし、水洗いは対象橋梁の現場条件や排水の問題から適用が難しい場合も多く、より簡易で効果的な塩分除去手法が求められている。本稿では、新たに開発したシート材料（以下、脱塩シート）を用いる脱塩工法（特願 2022-197032）について、その概要と試験施工の結果を報告する。

2. 脱塩シートと脱塩工法の概要

脱塩シートの施工概要を図-1に示す。脱塩シートは、イオン交換機能を有する層状複水酸化物を含んだゲルをシート状に加工したものである。施工時は、まず①亜硝酸イオンを含む溶液を鋼素地面に塗布し、次に②脱塩シートを貼付する。これにより、表面のみならず細かい孔食内にもイオン交換作用がおよび、塩化物イオンは脱塩シートに吸着されて亜硝酸イオンが鋼素地面に残留する。一定時間経過後、③塩化物イオンを吸着した脱塩シートを剥離することで、塩分が除去される。加えて、亜硝酸イオンの作用により不動態被膜が形成され、防錆効果が付与される。

脱塩シートの貼付および剥離は、水洗い等従来の脱塩工法と同様に、1回目のブラスト処理（以下、一次ブラスト）の後に行う。従来工法ではその後のターニングを除去するため、仕上げブラストを行ってから、防食下地が塗布される。しかしながら本工法では、前述の通り脱塩シート施工部は防錆効果が付与されており、ターニングが発生していなければ、仕上げブラストを省略することも考えられる。そのため、工程の短縮や、制約の緩和による施工コストの低減等にも期待できる。

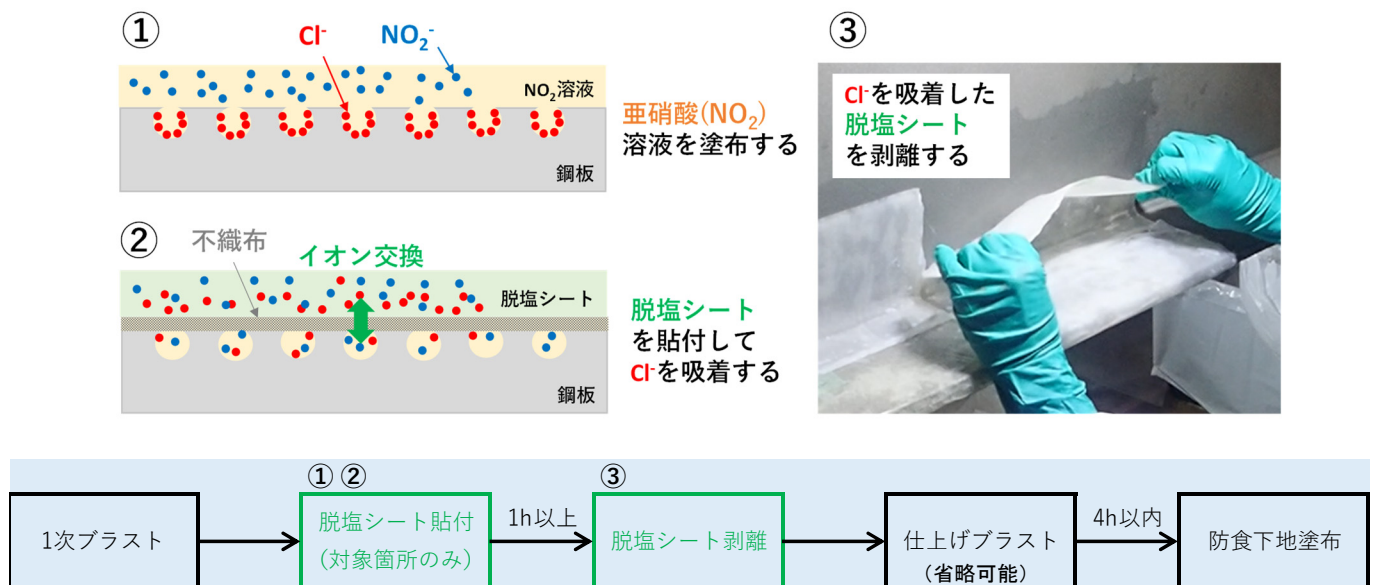


図-1 脱塩シートの施工概要

キーワード 鋼橋, 腐食, 脱塩, シート

連絡先 〒261-0002 千葉県千葉市美浜区新港 88 (株)横河ブリッジホールディングス TEL 043-247-8411

3. 試験施工

脱塩シートの効果を検証するため、塩害環境下で腐食した鋼橋の撤去部材（普通鋼）を用い、試験施工を行った。撤去部材の腐食状況および1次ブラスト後の表面状態を写真-1に示す。ブラスト後の表面には、比較的大きな凹凸や細かい孔食が確認できる。これに対して図-1に示した手順で脱塩シートを施工し、1次ブラスト後と仕上げブラスト後の表面塩分量を計測した。その際、仕上げブラストには塩分の再付着を避けるため新品の研削材を用いた。また、比較のため脱塩処理をしない試験片、水洗いにより脱塩処理した試験片についても同様に実施した。

従来、残存塩分量は比較的簡易な電気伝導率法により測定されることが多いが、電気伝導に寄与する亜硝酸イオンを鋼部材表面に作用させるため、この方法は適用不可である。そこで、代替法として塩素イオン検知管法を用いた。塩分計測には塩素イオン検知管（201SA, 光明理化学工業）を用いた。ただし、従来法（電気伝導率法）による計測値との互換性を確保するため、まず電気伝導率法用の表面塩分計（SSM-21P, 東亜ディーケーケー）で対象部位の測定を行い、その後セル内の溶液を採取して塩素イオン検知管により塩素イオン濃度 C [ppm] を計測した。鋼部材表面の単位面積当たりの塩分量 N [mg/m²] は式-1により算出した。³⁾

塩素イオン検知管法による計測結果を図-2に示す。脱塩処理なしの結果は、仕上げブラストによっても塩分量が低減する可能性があるが、一定量は残留することを示している。一方、脱塩シート処理を行った試験片では、初期の塩分量が他に比べて高いにも関わらず、仕上げブラスト後に塩分が検出されず、高い脱塩効果が確認できる。なお、同試験片の電気伝導率法による計測結果は、1次ブラスト後で110 [mg/m²]、仕上げブラスト後で346 [mg/m²]であった。上述の結果から、脱塩シートの施工により塩分が除去され、仕上げブラスト後も亜硝酸イオンが残留していることがわかる。

また、仕上げブラスト後の試験片を室内曝露し観察した。ターニングの状況を写真-2に示す。脱塩処理なしでは5日後時点で明らかなターニングが発生しているのに対し、脱塩シートを用いた場合は21日後でもほとんどターニングが発生しておらず、高い防錆効果が確認された。

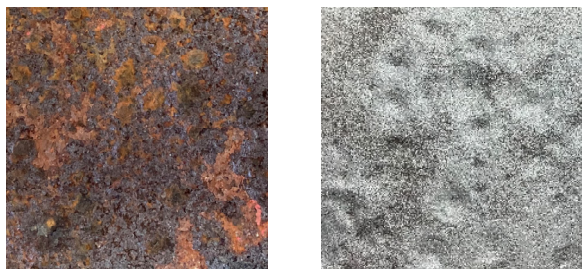


写真-1 腐食状況および1次ブラスト後表面例

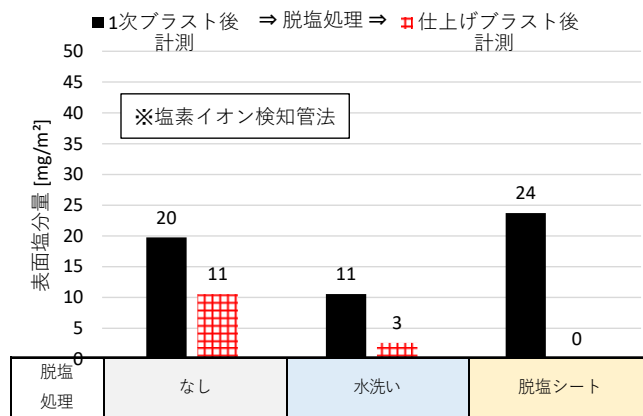


図-2 塩分計測結果

$$N = C \times L \times \frac{\text{NaCl}}{\text{Cl}} \times \frac{1}{M}$$

ここで

N : 塩分量 [mg/m²]

L : 脱イオン水量 [L] = 0.01

C : 塩素イオン濃度 [ppm]

NaCl : 塩化ナトリウムの分子量 58.5

Cl : 塩素の原子量 35.5

M : 塩分採取面積 [m²] = 0.00125

式-1 塩分量換算式³⁾

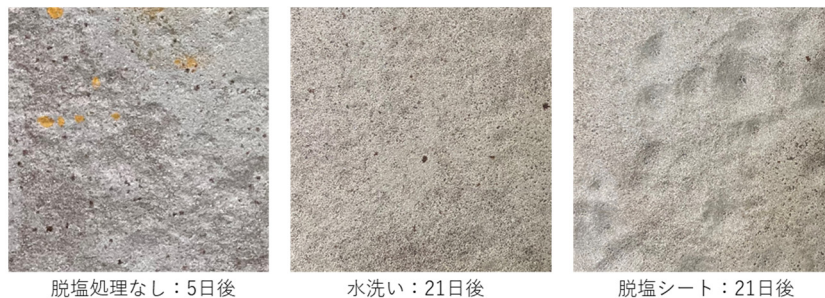


写真-2 ターニングの状況

参考文献

- 1) 中島ら：ブラスト素地調整における残存塩分除去対策の事例紹介, Structure Painting, Vol.44, pp.9-15, 2016.9. 2) 土木学会：鋼構造シリーズ 30 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, 2019.7. 3) 日本道路協会：鋼道路橋防食便覧, 2014.3

[共通セッション] 土木分野における計測・センシング技術の利用と可能性

2024年9月5日(木) 11:10 ~ 12:30 会場 C408(川内北キャンパス講義棟C棟)

土木分野における計測・センシング技術の利用と可能性 (その3)

座長：渡邊 武志 (パシフィックコンサルタンツ)

11:40 ~ 11:50

[CS9-41]

点検効率化に向けた合いマークの非褪色性に関する実験的検討

*相澤 春太郎¹、鈴木 真¹、小手川 弘樹²、松本 倫毅²、宮川 豊章³ (1. 西日本高速道路エンジニアリング関西 (株)、2. (一財) 日本塗装検査協会、3. 京都大学)

[共通セッション] 土木分野における計測・センシング技術の利用と可能性

2024年9月5日(木) 11:10 ~ 12:30 C408(川内北キャンパス講義棟C棟)

土木分野における計測・センシング技術の利用と可能性 (その3)

座長：渡邊 武志 (パシフィックコンサルタンツ)

11:40 ~ 11:50

[CS9-41] 点検効率化に向けた合いマークの非褪色性に関する実験的検討

*相澤 春太郎¹、鈴木 真¹、小手川 弘樹²、松本 倫毅²、宮川 豊章³ (1. 西日本高速道路エンジニアリング関西 (株)、2. (一財) 日本塗装検査協会、3. 京都大学)

キーワード：詳細点検、合いマーク、インク、紫外線

各種構造物を固定するボルトナットに付与する合いマークは、詳細点検作業の負担を軽減するだけでなく、外観目視によりの確にナットのゆるみを検出することができる。しかし市販のマーカで合いマークを付与しても消滅するケースが存在する。よって実橋および促進試験により対候性に関する追跡調査を実施し評価を行った。

点検効率化に向けた合いマークの非褪色性に関する実験的検討

西日本高速道路エンジニアリング関西(株) 正会員 ○相澤春太郎 (一財)日本塗料検査協会 非会員 小手川弘樹
 西日本高速道路エンジニアリング関西(株) 非会員 鈴木 真 (一財)日本塗料検査協会 非会員 松本 倫毅
 京都大学 フェロー会員 宮川 豊章

1. はじめに

橋梁付属物等を支持するボルトナットに対する詳細点検手法として、合いマークを適用している。合いマークには市販のペンタイプのマーカーが使用されているが、詳細点検の頻度は5年に1回であり、合いマークを付与しても次回の詳細点検時までには消失してしまうケースが報告されている。そこで実構造物のボルトナットに対して合いマークを付与し、視認性を外観目視にて評価する暴露試験を実施し、その結果を踏まえ、より厳しい環境を想定した促進耐候性試験を実施し、各種マーカーのインク非褪色性に関する比較検証を試みた。

2. 屋外暴露試験

合いマークとは、ボルト、ナット、座金およびプレート部等の対象物に、直接かつ連続的に書き込むマーキングのことである。点検時においてマーキングにずれが生じると、ナットが緩んでいることを外観目視により判断することができる。現在使用している市販マーカーにおいて、インクの非褪色性を検証すべく、鋼桁橋の主桁を連結する添接ボルト（下フランジ部）に対して試験的に合いマークを付与し暴露試験を行った。色については、点検時に視認性が良いことから多用されている赤色を選定した。添接ボルトは、風雨および日照の影響を受ける箇所を選定した。令和5年2月から約1年間の屋外暴露を行ったところ、**図-1**に示すように夏期においてマーカーが一部消失することがわかった。本実験結果から、長期間（5年以上）の非褪色性を有するマーカーの選定およびその耐用年数の確認が急務であることがわかった。



(左：令和5年2月，右：令和5年8月)
図-1 合いマークの状況

3. 促進耐候性試験

3-1. 試験概要

屋外暴露試験の結果から、インクを劣化させた主要因として日照による紫外線が考えられた。そこで紫外線を増幅させて照射する促進耐候性試験により、各種マーカーにおける非褪色性の確認を行った。

本試験に使用したマーカーは、暴露試験時に用いた市販のマーカー（以下、市販マーカー）に加え、非褪色性のある合いマーク専用のマーカーを2種類（以下、専用①および②）選定し、さらに専用マーカー①は赤色だけでなく紫外線に強いとされる黒色を選定した。試験方法はJIS K 5600-7-7に準拠したキセノンランプ法を採用した。**図-2**に示すふっ素樹脂塗料上塗を塗装した試験用鋼板に、マーカーのラインを付与し、**図-3**に示す促進耐候性試験機の中に格納して、紫外線を連続的に照射した。その間の各マーカーの変化（光沢、剥がれ、変色等）を外観

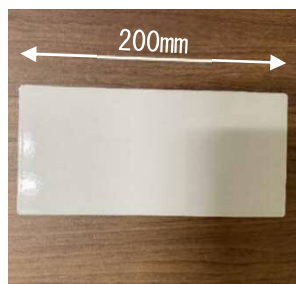


図-2 試験用鋼板



図-3 試験機

キーワード 詳細点検，合いマーク，インク，紫外線


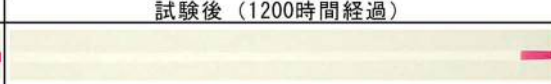






連絡先 〒598-0047 大阪府泉佐野市りんくう往来南2-2 西日本高速道路エンジニアリング関西(株) TEL072-469-5145

目視により評価し、さらに色差および光沢保持率による定量的な評価も実施した。色差とは、試験前後の色の变化を把握する指標で、数値が高くなるほど色の变化が大きいと言える。光沢保持率とは、塗装初期の光沢を100%とし、劣化後にその塗装が持つ光沢の割合のことを示す¹⁾。

3-2. 試験結果および考察

試験結果として、試験開始時および紫外線照射後1200時間経過時の試験片状況を表-1に示す。またマーカー毎の色差、光沢保持率の比較を図-4および図-5に記す。1200時間経過時の試験片に着目すると、市販マーカーについてはインクが完全消失した。また、専用マーカー②(赤)については、インクの消失はしていないものの、薄れを確認した。専用マーカー①(赤)および②(黒)については、インクの消失および薄れは確認されなかった。色差に着目すると、市販マーカーについて、70時間経過以降数値が上昇し、330時間経過した時点でインクが消失したため計測不可能となった。また、専用マーカー①(赤)について、160時間経過以降、数値が緩やかに上昇した。光沢保持率に着目すると、市販マーカーについて、70時間経過後、数値が急激に減少し、330時間経過した時点でインクが消失したため計測不可能となった。また、専用マーカー①(赤)について、330時間経過以降、数値が徐々に減少する結果となった。専用マーカー②(赤)および②(黒)については、数値の変化はほとんど見られなかった。

表-1 各種マーカーの状況

	試験開始時	試験後(1200時間経過)
市販マーカー(赤)		
専用マーカー①(赤)		
専用マーカー②(赤)		
専用マーカー②(黒)		

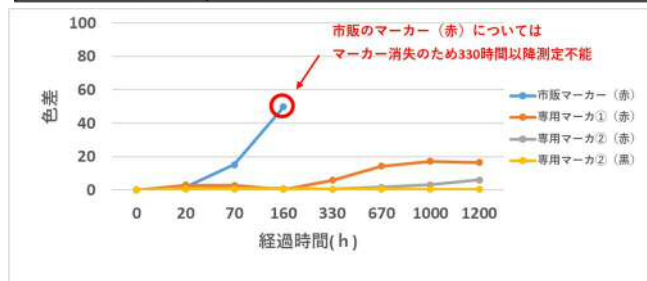


図-4 色差の比較

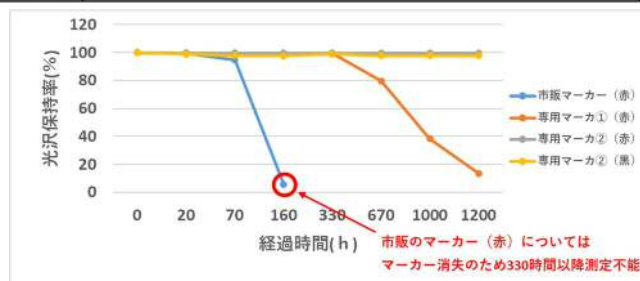


図-5 光沢保持率の比較

5. まとめ

本試験結果より、市販マーカーは合いマーク付与における専用マーカーと比較してインクの消失および薄れが生じやすく、また専用マーカー②に着目した場合、赤色に対して黒色の非褪色性が優ることがわかった。なお、本試験における試験時間は1200時間までとしていたため、キセノンランプ法による紫外線照射時間と屋外での暴露時間との相関性は一概には言えないが、少なくとも詳細点検の点検頻度には値しない。そのため、インクの非褪色性が高いマーカーの色、種類を選定するためには、本試験を継続して実施する必要がある。本試験を通じて得られた知見から、詳細点検時のナットのゆるみ検出に対する精度向上や、点検員の負担軽減および安全性の確保といった点検効率化の一助になると考える。

参考文献

- 1) 山田卓司：コンクリート構造物に用いられる表面被覆工法の耐久性評価手法に関する研究，京都大学大学院博士学位論文，2014.3

第1部門

2024年9月5日(木) 13:00 ~ 14:20 会場 A101(川内北キャンパス講義棟 A 棟)

橋梁一般 (測定・モニタリング) (2)

座長：鈴木 啓悟 (福井大学)

13:10 ~ 13:20

[I-18]

鋼橋塗替え時の下塗り塗装に対する赤外線での膜厚計測手法の検討

*坂本 達朗¹、鈴木 隼人² (1. 公益財団法人鉄道総合技術研究所、2. 建設塗装工業株式会社)

13:30 ~ 13:40

[I-20]

首都高速道路の腐食環境の調査

*上條 崇¹、岩井 渉¹、石原 陽介²、副島 直史² (1. 一般財団法人首都高速道路技術センター、2. 首都高速道路株式会社)

第I部門

2024年9月5日(木) 13:00 ~ 14:20 会場 A101(川内北キャンパス講義棟A棟)

橋梁一般 (測定・モニタリング) (2)

座長：鈴木 啓悟 (福井大学)

13:10 ~ 13:20

[I-18] 鋼橋塗替え時の下塗り塗装に対する赤外線での膜厚計測手法の検討

*坂本 達朗¹、鈴木 隼人² (1. 公益財団法人鉄道総合技術研究所、2. 建設塗装工業株式会社)

キーワード：赤外、膜厚、素地調整、エポキシ樹脂塗料

鋼橋の塗替え工事において、塗装の品質は塗装作業者の技能に左右されることや、塗膜の膜厚は防食性に大きく影響することから、広域かつ定量的な膜厚計測手法の確立が求められている。そこで、鋼橋塗装時の赤外線カメラによる膜厚計測手法の適用可能性の把握を目的として、実際の塗替え状況を模擬して塗装した塗膜の膜厚に対して、赤外線カメラ画像とカット式膜厚計や電磁式膜厚計での計測結果を比較した。その結果、赤外線カメラ画像から、塗装時の塗りむらや広域での膜厚分布を大まかに把握できることや、膜厚を定量的に把握するためには塗装前の鋼材の表面状態を把握する必要があることが分かった。

鋼橋塗替え時の下塗り塗装に対する赤外線での膜厚計測手法の検討

公益財団法人鉄道総合技術研究所 正会員 ○坂本 達朗
建設塗装工業株式会社 鈴木 隼人

1. 背景と目的

鋼橋の塗替え工事は手作業での塗装であり、塗装の品質は塗装作業者の技能に左右される。また、塗膜の膜厚は防食性に大きく影響することから、塗装の施工管理にあたり、広域かつ定量的な膜厚計測手法の確立が求められている。こうした状況に鑑み、筆者らは塗替え時の下塗りとして用いられ、鋼材の防食性に直接関与するエポキシ樹脂塗料を対象とした、赤外線カメラによる膜厚計測手法の適用可能性を検討している¹⁾。

本稿では、実施工条件での膜厚計測の可能性把握を目的として、実際の塗替え状況を模擬して塗装した塗膜の膜厚を赤外線カメラで計測した結果について報告する。

2. 試験方法

試験体は、鉄道総研所内に設置されている廃桁の切出し部材とした(図1)。塗装前の素地調整作業にはディスクサンダーを使用し、現場での標準的な仕上がりとして、全体的に腐食の生じた黒皮が残存し、部分的に金属光沢が存在する状態とした(図2)。こうした鋼材の表面状態の膜厚計測結果への影響を把握するため、切出し部材に加えて、

寸法70×75×3.2mmである黒皮鋼板、磨き鋼板、腐食鋼板の小型鋼板を準備した。黒皮鋼板はJIS G 3101に規定される熱間圧延鋼板を用い、磨き鋼板はJIS G 3141に規定されるブライト鋼板を用いた。腐食鋼板は、黒皮鋼板をJIS K 5600-7-9のサイクルAで1週間腐食させ、ダブルアクションサンダーで研磨したものとした(図3)。

使用する塗料は市販のエポキシ樹脂塗料とした。切出し部材に対する塗装方法は、塗装器具による塗りむらの影響を把握するため、スプレー、刷毛、ローラとし、高さ方向で3つに区分して膜厚が上から順に60~90 μ m、40~60 μ m、20~30 μ mとなるように塗装した(図1)。小型鋼板については自動塗装機を用いて全ての鋼板を一度に塗装し、1回あたりの塗布膜厚を25 μ mとして塗装回数を1~4回とすることにより、鋼材の表面状態が異なる膜厚25~100 μ mの小型塗装鋼板を作製した。

切出し部材における塗装後の膜厚計測は、カット式膜厚計による塗膜の断面観察および赤外線カメラによる撮影とした。上段、中段、下段の各段において、カット式膜厚計の計測を高さ、横方向とも約50mm間隔で実施した後に赤外線カメラ撮影を行い、撮影画像からカット式膜厚計での計測箇所近傍の約20×20mmの範囲を抽出し、各画素の輝度の平均値を算出した。小型塗装鋼板では、自動塗装機で全ての鋼板を一度に塗装したことで鋼板種での膜厚差は無いと仮定し、磨き鋼板による小型塗装鋼板の膜厚を電磁式膜厚計で計測するとともに、赤外線カメラ撮影を行い、中心から約40×40mmの範囲の各画素の輝度の平均値を算出した。



図1 廃桁の切出し部材の外観と施工箇所



図2 素地調整後の外観

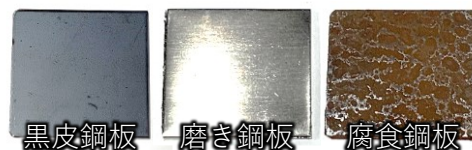


図3 表面状態の異なる小型鋼板の外観

キーワード 赤外線, 膜厚, 計測, 素地調整

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38

(公財) 鉄道総合技術研究所 材料技術研究部 防振材料研究室 TEL:042-573-7339

3. 試験結果と考察

塗装後の外観例と、各塗装箇所の赤外線カメラ画像を図4に示す。目視上では各段の膜厚の違いを確認し難いのに対して、赤外線カメラでは各段の輝度が異なっており、広域での膜厚分布を計測できる可能性を得た。また、ローラと刷毛は縦方向、スプレーは横方向に塗装しており、輝度の明暗が塗装方向に筋状に伸びている様子が上段の画像から確認できた。これにより、塗装器具の塗りむらを赤外線カメラから評価できることが示唆された。

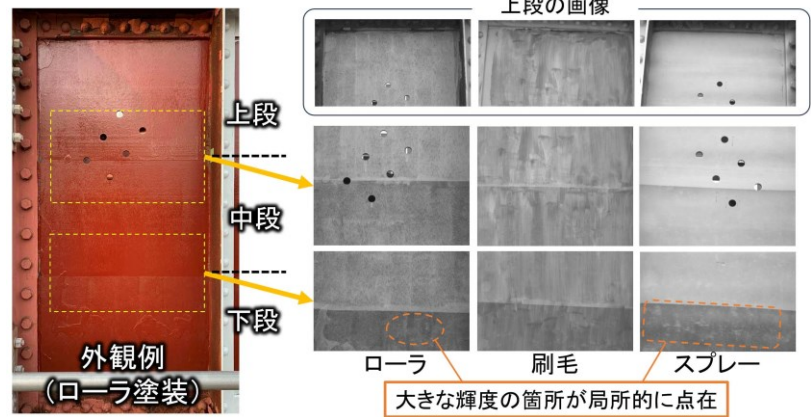


図4 塗装後の外観例と各塗装箇所の赤外線カメラ画像

ローラまたはスプレーの塗装箇所において、カット式膜厚計で計測した膜厚と、計測箇所近傍の赤外線カメラ画像の輝度と、カット式膜厚計による計測結果との関係を図5に示す。2次関数による回帰を行った結果、ローラの場合の決定係数は0.8013、スプレーの場合は0.9349となり、ばらつきはあるものの膜厚は輝度と相関しており、赤外線カメラの輝度から膜厚を推定できることが分かった。ばらつきが生じた要因の一つには、塗装方法による塗りむらや、塗装パターンの影響が挙げられる。また、下段で比較的膜厚の小さい箇所では、大きな輝度が塗りむらとは異なる形状で点在するのが確認された。これは、素地調整時の金属光沢箇所によるものと考えられる。ここで、各小型鋼板に塗装した場合の、膜厚と赤外線カメラ画像の輝度との関係を図6に示す。鋼板の表面状態によって膜厚と輝度の関係は異なっており、磨き鋼板の場合には総じて輝度が大きくなる傾向にあるなど、鋼板の表面状態が膜厚の計測結果に影響することが分かった。この結果から、鋼材の表面状態の違いがばらつきの一因の一つであると推定された。

4. まとめ

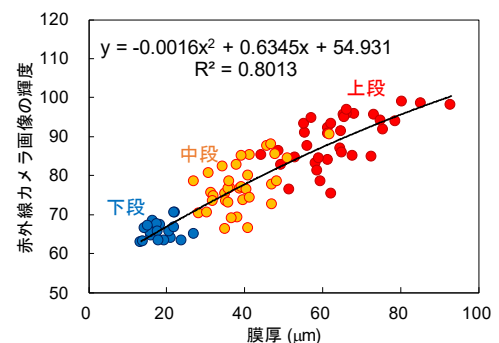
鋼橋塗装時の赤外線カメラによる膜厚計測手法の適用可能性を把握するため、実際の塗替え状況を模擬して塗装した塗膜の膜厚について、赤外線カメラ画像とカット式膜厚計や電磁式膜厚計での計測結果を比較した。得られた知見を以下に示す。

(1) 赤外線カメラ画像から、塗装時の塗りむらや広域での膜厚分布を大まかに把握できる。

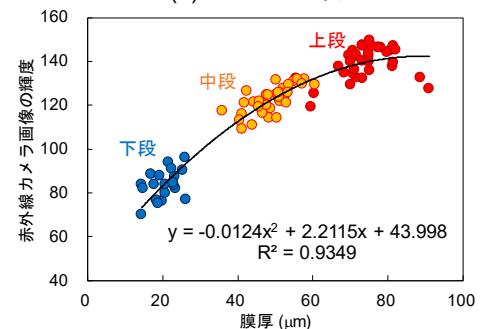
(2) 膜厚を定量的に把握するためには塗装前の鋼材の表面状態を把握する必要がある。

・参考文献

1) 坂本達朗：鋼構造物用下塗り塗料を対象とした赤外線による膜厚測定の基本検討、防錆防食技術発表大会講演予稿集、Vol.42、pp.37-40、2022



(a)ローラで塗装



(b)スプレーで塗装

図5 各塗装箇所の膜厚と輝度の関係

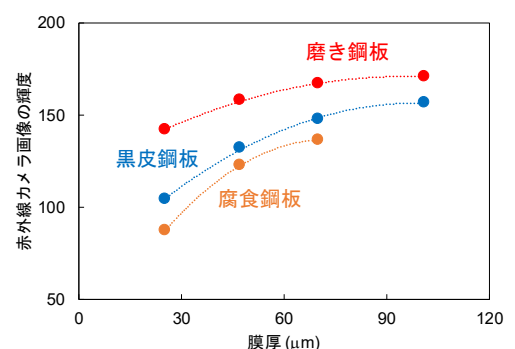


図6 各塗装小型鋼板の膜厚と輝度の関係

第I部門

2024年9月5日(木) 13:00 ~ 14:20 会場 A101(川内北キャンパス講義棟 A 棟)

橋梁一般 (測定・モニタリング) (2)

座長：鈴木 啓悟 (福井大学)

13:30 ~ 13:40

[I-20] 首都高速道路の腐食環境の調査

*上條 崇¹、岩井 渉¹、石原 陽介²、副島 直史² (1. 一般財団法人首都高速道路技術センター、2. 首都高速道路株式会社)

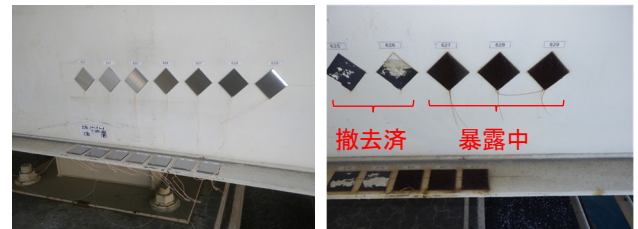
キーワード：橋梁、腐食環境、暴露試験、ワッペン試験

首都高速道路における鋼構造物の腐食損傷の進行速度は地域や構造部位によって様々であるが、その違いは定量的に調査されていない。本調査では、実橋の腐食速度および腐食環境を把握することを目的にワッペン試験片を実橋に設置して大気暴露させ、腐食による板厚減少量と暴露期間の関係を求めた。

首都高速道路の腐食環境の調査

一般財団法人首都高速道路技術センター 正会員○上條崇 同左 正会員 岩井渉
首都高速道路株式会社 正会員 石原陽介 同左 非会員 副島直史

1. はじめに 首都高速道路における鋼構造物の腐食損傷の進行速度（以下、腐食速度）は地域や構造部位によって様々であるが、その違いは定量的に調査されていない。本調査では、実橋の腐食速度および腐食環境を把握することを目的に無塗装鋼板（以下、ワッペン試験片）を実橋に設置して大気暴露させ（図-1）、腐食による板厚減少量と暴露期間の関係を求めた。ワッペン試験片は2017年から5年間暴露した。



(a) 設置時 (b) 5年後
図-1 ワッペン試験片

2. 調査内容与方法

(1) ワッペン試験片 ワッペン試験片は 50mm×50mm×2.5mm (SM490) の無塗装鋼板であり、首都高内の 17 地点 35 箇所を設置した（図-2）。設置にあたり、腐食の進行に影響を与えると考えられる5つの環境要因（表-1）を設定し設置箇所を選定した。また、1箇所につき主桁ウェブ及び主桁下フランジ上下面の3面にワッペン試験片を設置した。

(2) ワッペン試験片の回収 ワッペン試験片は、暴露期間が0.5, 1, 2, 3および5年になった時点で1枚ずつ回収した。回収後、腐食生成物を除去して腐食減耗量（減少した重量）を測定し板厚減少量に換算した。

3. 調査結果

(1) 5年後の板厚減少量 暴露開始から5年後の板厚減少量をまとめて図-3に示す。同図において地点名を赤枠で囲っている箇所は伸縮装置からの漏水箇所である。同図から、池-1114(内)の下フランジ上面は突出して板厚減少量が大いだが、これは、伸縮装置の破損部から落下した土砂、腐食片が大量に堆積していたこと、漏水があったことが影響していると考えられる。高架下条件に着目すると、海上は板厚減少量が大い。また、海上の中でも地点によって差がある。高架下条件が同じ場合、伸縮装置からの漏水があると桁端部の下フランジ上面の板厚減少量が大きくなる。一方、海上の大-96の下フランジ下面では、漏水がある場合よりも漏水がない場合に腐食速度が大きくなっており、漏水によって付着塩分が洗い流されている可能性がある。

(2) 高架下条件および漏水の有無 高架下条件で平均値をとった5年目板厚減少量を、漏水なしについて図-4(a)に、漏水



図-2 ワッペン試験片の設置箇所

表-1 環境要因

環境要因	区分
①地域区分	湾岸部, 郊外部, 都市部
②高架下条件	海上, 河川上, 道路上
③橋軸位置	桁端部, 支間中央
④橋直位置	外桁, 内桁
⑤漏水の有無	漏水部(伸縮装置), 一般部

キーワード 橋梁, 腐食環境, 暴露試験, ワッペン試験

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-10-11 虎ノ門PFビル

一般財団法人首都高速道路技術センター 構造技術部 鋼構造技術課 TEL03-3578-5761

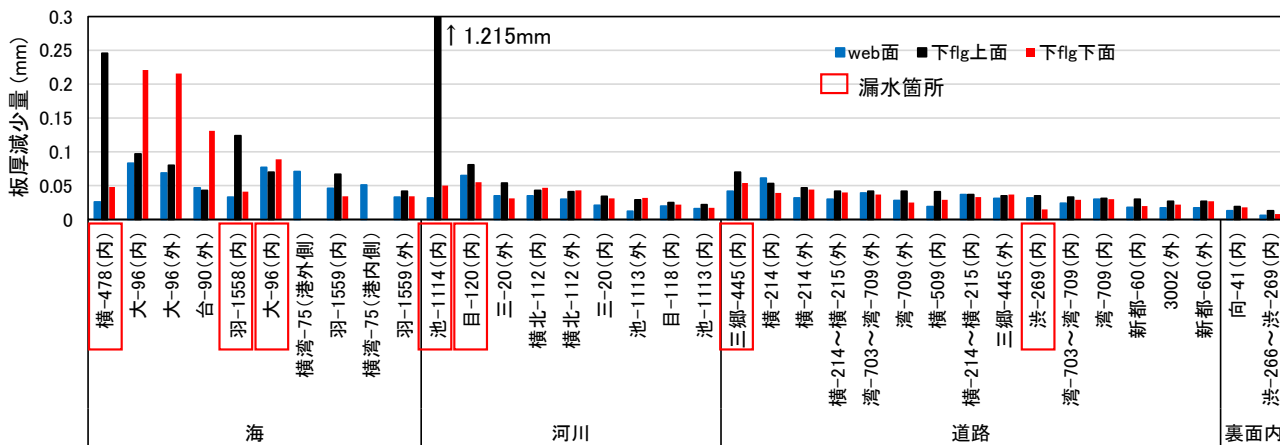


図-3 5年後の板厚減少量

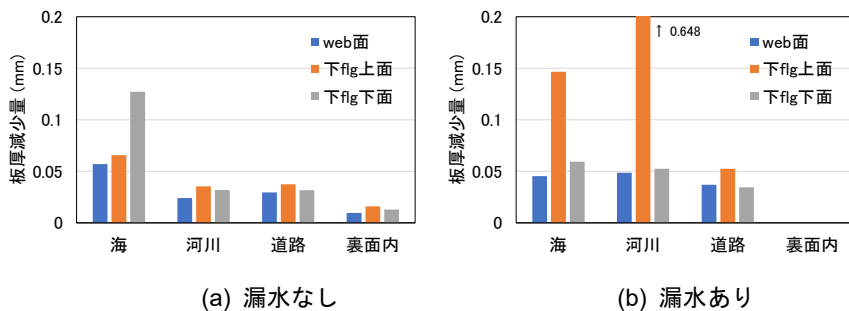


図-4 高架下条件および漏水有無による板厚減少量の平均値

表-2 腐食性カテゴリーの分類

(a) 漏水なし

		腐食性カテゴリー						計
		C1	C2	C3	C4	C5	CX	
海	web面		5	2				7
	下flg下面		2	2	1			5
	下flg上面		4	1				5
河川	web面		7					7
	下flg下面		7					7
	下flg上面		7					7
道路	web面		13					13
	下flg下面		13					13
	下flg上面		13					13
裏面内	web面		2					2
	下flg下面		2					2
	下flg上面		2					2
総計			77	5	1			83

(b) 漏水あり

		腐食性カテゴリー						計
		C1	C2	C3	C4	C5	CX	
海	web面		2	1				3
	下flg下面		2	1				3
	下flg上面				3			3
河川	web面		2					2
	下flg下面		1	1				2
	下flg上面				1	1		2
道路	web面		1					1
	下flg下面			1				1
	下flg上面			1				1
裏面内	web面		1					1
	下flg下面		1					1
	下flg上面		1					1
総計			11	5	4	1		21

(個所数)

ありについて図-4(b)に示す。同図(a)より、漏水なしの場合、腐食の速さは海上が最も速く、次いで河川と道路が同程度で、裏面内は腐食が遅い。海上では下フランジ下面の腐食が他の面よりも速いが、これはワッペン試験片設置の1~2年後に台風の接近があり、それによって下フランジ下面への飛来塩分が多くなったことが理由と考えられる。同図(b)より、漏水ありの場合、下フランジ上面の板厚減少量が大きくなる傾向があり、伸縮装置からの漏水が桁端部の下フランジ上面に滞水する影響と考えられる。また、ウェブ面の板厚減少量は漏水有無による差が小さい。海上の下フランジ下面では、漏水なしの板厚減少量が漏水ありの板厚減少量を上回っており、漏水によって付着塩分が洗い流されている可能性がある。

(3) 腐食性カテゴリー ワッペン試験の初期1年間の結果を、ISO 12944²⁾

に示される腐食性カテゴリーに分類した。腐食性カテゴリーはC1 (非常に低い腐食性) からCX (極度の腐食性) までの6段階である。分類した結果を表-2(a), (b)に示す。同表より、腐食性カテゴリーはC2 (低い腐食性) ~C5 (非常に高い腐食性) に分布し大部分はC2である。漏水があると腐食性カテゴリーが1~3ランク高くなる。また、漏水がない場合において、海上では他の桁下条件よりも腐食性カテゴリーが1~2ランク高くなる。

4. まとめ

- (1) ワッペン試験結果から、漏水がない場合の腐食の速さは海上が最も速く、次いで河川と道路が同程度である。裏面内は腐食が遅い。腐食速度は付着塩分と水の双方の影響を受けている。また、いずれの環境条件でも、土砂堆積と漏水がある場合に板厚減少量が大きくなる。
- (2) 首都高の腐食性カテゴリーはC2~C5で、大部分はC2である。ただし、飛来塩分や漏水の影響を受ける箇所では腐食性カテゴリーが高くなるので、耐久性の高い塗装仕様を採用するなどの対応が必要と考えられる。

参考文献 1) 気象庁: 過去の台風資料, <https://www.data.jma.go.jp/yoho/typhoon/index.html> 2) ISO: ISO 12944 Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by protective paint systems —, 2017.

第V部門

2024年9月5日(木) 13:30 ~ 14:50 会場 C201(川内北キャンパス講義棟C棟)

サステナビリティ (2)/環境配慮型コンクリート (1)

座長：高橋 恵輔 (UBE三菱セメント/香川大学)

13:30 ~ 13:40

[V-47]

環境遮断型フィルム（ボルトキャップ）の接着性能に関する検討

*中島 悠介¹、竹渕 敏郎¹、高瀬 颯真²、長坂 康史²、佐藤 大介³、小松崎 哲也³ (1. MKエンジニアリング株式会社、2. 川田工業株式会社、3. クレハエクストロン株式会社)

13:40 ~ 13:50

[V-48]

環境遮断型フィルム（ボルトキャップ）の紫外線抵抗性の検証

*高瀬 颯真¹、長坂 康史¹、竹渕 敏郎²、中島 悠介²、佐藤 大介³、小松崎 哲也³、田井 政行⁴ (1. 川田工業株式会社、2. MKエンジニアリング株式会社、3. クレハエクストロン株式会社、4. 琉球大学)

14:30 ~ 14:40

[V-53]

塗替えを重ねた鋼鉄道橋の塗膜の性能評価

*藤本 大輝¹、他谷 周一¹ (1. 東海旅客鉄道株式会社)

第V部門

2024年9月5日(木) 13:30 ~ 14:50 会場 C201(川内北キャンパス講義棟C棟)

サステナビリティ (2)/環境配慮型コンクリート (1)

座長：高橋 恵輔 (UBE三菱セメント／香川大学)

13:30 ~ 13:40

[V-47] 環境遮断型フィルム（ボルトキャップ）の接着性能に関する検討

*中島 悠介¹、竹淵 敏郎¹、高瀬 颯真²、長坂 康史²、佐藤 大介³、小松崎 哲也³ (1. MKエンジニアリング株式会社、2. 川田工業株式会社、3. クレハエクストロン株式会社)

キーワード：防錆、環境遮断型フィルム、ボルトキャップ、防食、複合サイクル試験、ボルト脱落防止

鋼橋の腐食損傷の多くは桁端部およびボルト接合部に発生する。筆者らは当該部位に対する防錆を目的として、塗装面を保護する環境遮断型フィルムとボルトキャップを開発してきた。本稿では、過年度から形状を改良したボルトキャップの概要と性能検証結果について報告する。

環境遮断型フィルム（ボルトキャップ）の接着性能に関する検討

MK エンジニアリング（株） ○中島悠介，竹渕敏郎
川田工業（株） 高瀬颯真，長坂康史
クレハエクストロン（株） 佐藤大介，小松崎哲也

1. はじめに

鋼橋の腐食損傷は，腐食環境が悪い桁端部および塗膜厚の確保が難しい添接板のこば面や高力ボルト部に多く見られる^{1,2)}。また，補修塗装によるメンテナンスでは，下地処理や塗装方法などに十分な留意が必要であるとともに，作業足場等の制約を受ける場合も多い。このことから，筆者らは該当部位に対する防錆効果の向上を目的として，塗装面を保護する環境遮断型フィルム（防錆フィルムおよびボルトキャップ）を開発してきた。今回，図-1 に示す過年度に実施した大気暴露試験³⁾を基に更なる施工性や視認性，紫外線抵抗性などの向上を目的にボルトキャップの形状を改良した。本稿では改良したボルトキャップの概要と各種試験結果について報告する。

2. ボルトキャップ形状

図-2 に適用する防錆フィルムと改良型ボルトキャップの写真を示す。改良したボルトキャップは，視認性を重視するため，透明性の高い素材と丸みを帯びた碗型形状を採用し，設置後の内部状況が容易に確認できるように配慮した。また，高力ボルトの頭部は六角タイプとトルシアタイプの2種類で形状が異なるものの，双方の頭部形状に拘らない碗型形状に統一することで汎用性の高い形状としている。更には，ボルトキャップの厚みを増加することで，耐久性を向上させるとともに，本体の剛性向上により，設置時の作業性を向上させ，安定した接着力を確保した。

3. ボルトキャップの施工法

ボルトキャップの施工は，母材面とボルトキャップのフランジ面を脱脂処理した後，ボルトキャップフランジ接触面に接着剤を塗布して母材に貼付する手順であり，設置までには特殊な作業を必要としない。接着剤の塗布においては，施工後の美観を考慮し，接着性を高める目的で，ヘラ等で接着剤を均す。



(a) フィルム (b) ボルトキャップ
図-1 過年度フィルム・キャップの暴露試験状況



図-2 防錆フィルムと改良型ボルトキャップ



(a) 試験機 (b) 設置状況
図-3 複合サイクル試験



図-4 複合サイクル試験前後の試験体

4. 接着接合部の検証試験

4.1 複合サイクル試験後の接着部強度試験

ボルトキャップ装着後の接着性能を確認するため，供用中の環境負荷を模擬した複合サイクル試験を実施し，その後，ボルトキャップの接着部強度試験を実施した。複合サイクル試験は，JIS H 8502「メッキの耐食性試験方法（中性塩水噴霧サイクル試験）」に準じ 8 時間（塩水噴霧 35°C；2 時間→乾燥 60°C-25%

キーワード 防錆，環境遮断型フィルム，ボルトキャップ，防食，複合サイクル試験，ボルト脱落防止
連絡先 〒154-0012 東京都世田谷区駒沢 2-16-1
MKエンジニアリング株式会社 TEL 03-6805-4950

RH ; 4 時間→湿潤 50°C-98%RH ; 2 時間) を 1 サイクルとし、500 時間 (8 年相当) の負荷試験を実施した。図-3 に使用した複合サイクル試験機と試験体の設置状況を示す。また、図-4 に複合サイクル試験前と試験後 (500 時間経過) の状況写真を示す。試験後のキャップには全体的に塩分の付着が見られ、特に接着剤を塗布したキャップフランジ付近に滞留していることが判る。しかし、いずれのボルトキャップにおいても、外面や接着部に異常は見られなかった。

図-5 に新規開発した専用の接着部強度試験機の概要図と試験状況写真を示す。試験機はスリットを入れた鋼管内にロードセルと手押しジャッキを挿入し、先端に押抜きピン (RB) を設置することで、鋼板に固定されたキャップの頭部を上方へ押抜き機構としている。表-1 に複合サイクル試験を実施していない試験体 (0 時間 3 体) と複合サイクル試験の試験体 (500 時間 3 体) の接着部強度試験結果を示す。また、図-6 にキャップ剥離状況の一例を示す。いずれの試験体も、ボルトキャップ接着部から剥離しており、最大荷重の平均は 0 時間で 2.57kN、500 時間で 2.21kN の接着強度が確認され、若干ながら強度の低下を示したものの、十分な接着強度を確保している。また、この強度のレベルはボルト本体の脱落を想定した場合でも、ボルトがキャップ内に留まり、外部への落下による第三者被害の防止にも期待できる。

4.2 振動による接着剤剥離の検証

交通振動状況下におけるボルトキャップの接着性能を検証するため、図-7 に示す板曲げ試験機での振動試験を実施した。試験では活荷重を想定した応力範囲 ($\pm 20\text{MPa}$) を設定し、試験体中央のひずみゲージで管理した。振動回数は 200 万回とし、試験後は接着部の目視確認と、図-8 に示すように試験体の浸水試験により接着部の損傷状況を確認した。試験後の目視確認において異常は見られず、浸水試験 (24 時間) でもキャップ内部への水の浸入は確認できなかった。この結果、交通振動状況下におけるボルトキャップの接着性能も問題ないことが確認できた。

5. おわりに

環境遮断型フィルム (ボルトキャップ) について施工性に配慮して形状の改良を行い、そのキャップ接着部の接着性能の検証結果を以下に示す。

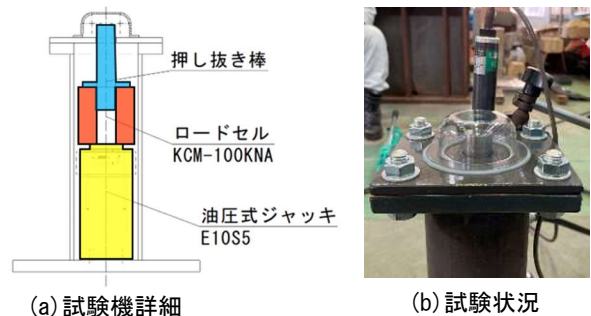


図-5 接着部強度試験



図-6 キャップ剥離

表-1 接着部強度試験結果

サイクル	ケース	最大荷重 (kN)	
		各試験値	平均値
0時間	1体目	2.50	2.57
	2体目	2.63	
	3体目	2.57	
500時間	1体目	2.0	2.21
	2体目	1.94	
	3体目	2.69	



図-7 振動試験状況 (200 万回実施)



図-8 浸水試験

- ・複合サイクル試験後の接着部強度に著しい低下はなく、十分な接着強度を確保していることが確認できた。
- ・活荷重による変動応力下でも剥離等の問題が生じないことを確認した。

謝辞

本研究の振動試験を実施するにあたり、名古屋大学 判治剛准教授より数々のご意見、ご助言を賜りました。ここに記して心より感謝申し上げます。

参考文献：

- 1) 下里ら：腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究，鋼構造論文集，Vol.59A，pp725-735，2013。
- 2) 土木学会：鋼構造物の長寿命化技術，2018。
- 3) 秋山ら：環境遮断型フィルムの防錆効果に関する暴露試験，第 75 回年次学術講演会 V-133，2020

第V部門

2024年9月5日(木) 13:30 ~ 14:50 C201(川内北キャンパス講義棟C棟)

サステナビリティ (2)/環境配慮型コンクリート (1)

座長：高橋 恵輔 (UBE三菱セメント/香川大学)

13:40 ~ 13:50

[V-48] 環境遮断型フィルム (ボルトキャップ) の紫外線抵抗性の検証

*高瀬 颯真¹、長坂 康史¹、竹淵 敏郎²、中島 悠介²、佐藤 大介³、小松崎 哲也³、田井 政行⁴ (1. 川田工業株式会社、2. MKエンジニアリング株式会社、3. クレハエクストロン株式会社、4. 琉球大学)

キーワード：防錆、環境遮断型フィルム、ボルトキャップ、腐食、暴露試験、紫外線

鋼橋の腐食損傷の多くは桁端部およびボルト接合部に発生する。よって、該当部位に対する防錆効果の向上を目的として、塗装面を保護する環境遮断型フィルム（防錆フィルムおよびボルトキャップ）を開発した。鋼橋の腐食損傷に対する紫外線や飛来塩分などの影響は適用する地域によって異なり、特に亜熱帯地域の環境は非常に厳しいと言える。本研究では改良したボルトキャップの素材と接着部における紫外線抵抗性の検証を行った。その結果、環境負荷試験後において十分な視認性と接着部の強度が確認できた。

環境遮断型フィルム（ボルトキャップ）の紫外線抵抗性能の検証

川田工業（株）○高瀬颯真，長坂康史 MK エンジニアリング（株）竹渕敏郎，中島悠介
クレハエクストロン（株）佐藤大介，小松崎哲也 琉球大学 田井政行

1. はじめに

鋼橋の腐食損傷の多くは桁端部およびボルト接合部に発生する^{1,2)}。よって、筆者らは該当部位に対する防錆効果の向上を目的として、塗装面を保護する環境遮断型フィルム（防錆フィルムおよびボルトキャップ）を開発してきた³⁾。しかし、紫外線や飛来塩分などの影響は適用する地域によって異なり、特に亜熱帯地域の環境は非常に厳しいと言える。よって、製品性能の更なる向上を目的にボルトキャップの素材を改良している。本稿では改良したボルトキャップとフィルムを用いたボルト添接部全体の保護事例を示し、また、ボルトキャップの素材と接着部における紫外線抵抗性に関する試験結果について報告する。

2. フィルムとボルトキャップ併用の施工例

改良したボルトキャップは単体で利用するだけでなく、フィルムと併せてボルト添接部全体の保護を行うことが可能である。図-1 にボルト添接部全体を保護した施工例を示す。フィルムは腐食しやすい添接板のコーナー部に加え、ボルト部に開口を設けて設置し、その表面にボルトキャップを接着接合させる構造としている。このように、ボルト添接部全体を保護することができるため、橋梁全体のライフサイクルを向上させることができると考えている。

3. 紫外線抵抗性試験の概要

国内全ての地域の紫外線対策として、ボルトキャップには紫外線吸収剤（以下、UVA 剤）の添加を行っている。この効果を確認するため、UVA 剤を添加したボルトキャップ素材の紫外線抵抗性試験（物性値検証）と UVA 剤の添加有無をパラメータとした紫外線照射後の接着部強度試験を実施した。

3.1 紫外線照射の条件

紫外線照射には図-2 に示す紫外線照射装置（メタルハライドランプ）を使用した。地上に到達する太陽光の紫外線の多くは波長が約 300~400nm であるた



(a) 施工例

(b) フィルム施工状況

(c) キャップ施工状況

図-1 フィルム・ボルトキャップの施工例

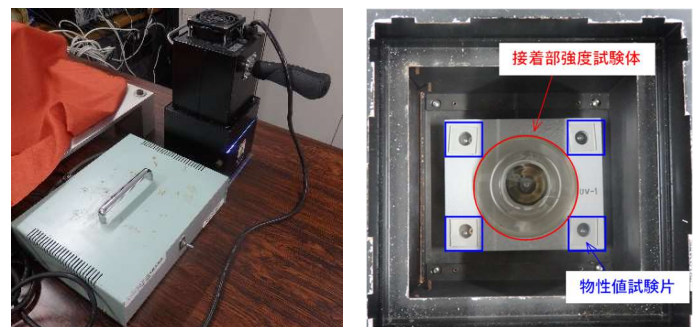


図-2 紫外線照射装置

図-3 試験体の設置状況



(a) 物性値試験片

(b) 接着部強度試験体

図-4 試験体詳細

め、その紫外線波長領域内である 365nm に設定し、紫外線照度は 500W/m^2 、試験時間は物性値検証で 1500 時間、接着部強度検証で 500 時間とした。太陽光の全国平均年間放射露光量は 4500MJ/m^2 であり⁴⁾、劣化に寄与する紫外線領域（300~400nm）の放射量は太陽光構成比 6.8% であることから 306MJ/m^2 となる。よって、試験条件より 1 年相当が $306,000,000\text{ (J)}$

キーワード 防錆，環境遮断型フィルム，ボルトキャップ，腐食，暴露試験，紫外線
連絡先 〒764-8520 香川県仲多度郡多度津町西港町 17
川田工業株式会社 四国工場 橋梁事業部開発部 TEL0877-32-5115

$/500 \text{ (W/m}^2\text{)} = 612,000 \text{ (s)} = 170 \text{ (h)}$ となり、物性値検証では約 8.8 年、接着強度検証では約 2.9 年に換算できる。

3.2 試験体形状と検証方法

各種試験体の形状と紫外線照射装置に設置した状態を図-3 に、試験体詳細を図-4 に示す。

ボルトキャップ素材の物性値検証は 20mm 角の材料 4 枚を用いて、紫外線照射後の素材の色相、光学特性、UV 透過率の検証を素材の元データと比較して評価する。

また、接着部強度検証は前項と同様の試験機を用いて、UVA 剤を添加したボルトキャップ 2 体 (UV-1, UV-2) と添加しないボルトキャップ 1 体 (N-UV) を紫外線照射後に接着部強度試験を実施する。試験体表面には橋梁一般外面塗装 (C-5 塗装系) を施し、ボルトキャップを塗装面に直接、接着接合している。

4. 試験結果

4.1 物性値の検証結果

紫外線照射前と比較して色相は全体的に殆ど変化が見られず、UV 透過率も照射前 4.2% であったものが照射後 5.1% (4 枚平均値) であった。光学特性として黄変や白濁が若干ながら見られたものの、視認性に影響する程では無かった。

4.2 接着部強度の検証結果

紫外線照射後の外観として、N-UV では 300 時間経過時にキャップ頭部に皺模様が、接着面の一部に変色した状態が確認されたのに対し、UV-1 及び UV-2 では確認できず、450 時間経過時に発生している。図-5 に 300 時間経過時の外観を比較して示す。

次に、紫外線照射 500 時間経過後の接着部強度試験の結果を表-1 に示す。紫外線照射前後は UV 試験体の平均で 2.1kN、N-UV 試験体で 2.5kN であり、いずれも大差ない結果となり、十分な接着性を証明できるデータが得られた。また、図-6 にキャップの剥離の状況を示す。紫外線照射前の UVA、N-UV と照射後の UV-1、UV-2 はキャップフランジと接着剤面での界面剥離であったが、照射後 N-UV は接着部での剥離前にキャップ素材が破壊した。これは、N-UV の素材表面が紫外線照射により劣化し、キャップ本体の破壊に至ったものと推定される。



(a) UV-1 外観 (b) N-UV 外観

図-5 300 時間経過の外観

表-1 接着部強度試験の結果

サイクル	ケース	最大荷重 (kN)
0時間	UVAキャップ	2.03
	N-UVキャップ	2.16
500時間	UV-1	2.31
	UV-2	1.94
	N-UV	2.50



(a) UV-1 (b) NUV

図-6 接着部剥離状況

5. おわりに

環境遮断型フィルム (ボルトキャップ) の紫外線抵抗性能の検証を目的とした検証結果のまとめを以下に示す。

- ・ボルトキャップ及び接着部への耐紫外線効果向上を目的に、UVA 剤を添加し、紫外線からの影響を最小限に抑える様に改良した。
- ・紫外線照射により、素材に僅かな変色は見られたが十分な視認性が確認でき、更には接着部の強度においても十分な接着性能を確認した。

参考文献：

- 1) 下里ら：腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究，鋼構造論文集，Vol.59A，pp725-735，2013。
- 2) 土木学会：鋼構造物の長寿命化技術，2018。
- 3) 秋山ら：環境遮断型フィルムの防錆効果に関する暴露試験，第 75 回年次学術講演会 V-133，2020.9
- 4) 日本工業規格：JIS D0205 自動車部品の耐候性試験方法

第V部門

📅 2024年9月5日(木) 13:30 ~ 14:50 📍 C201(川内北キャンパス講義棟C棟)

サステナビリティ (2)/環境配慮型コンクリート (1)

座長：高橋 恵輔 (UBE三菱セメント／香川大学)

14:30 ~ 14:40

[V-53] 塗替えを重ねた鋼鉄道橋の塗膜の性能評価

*藤本 大輝¹、他谷 周一¹ (1. 東海旅客鉄道株式会社)

キーワード：鋼鉄道橋、塗装、塗替え、付着力、押込み硬さ

既設の鋼鉄道橋では、防食性や経済性の観点から塗装塗替えが実施されており、必要に応じて健全な塗膜を残存させる方法を用いている。近年、既設鋼橋の供用年数が伸びるに従い、残存させた塗膜(以下、旧塗膜)の脆化・劣化が原因で割れや剥がれが散見されていることが報告されている。しかし、これまでに旧塗膜の脆化・劣化に関する評価事例は見られない。そこで今回、供用後約60年を経た東海道新幹線鋼橋において、2015年に当社が実施した付着性評価試験を同橋りょう・同手法で行い、8年経過後の状況を確認した。また、実橋の塗膜片を用いて押込み硬さ試験を行い、塗替え年度の異なる塗膜層の押込み硬さを確認したので報告する。

塗替えを重ねた鋼鉄道橋の塗膜の性能評価

東海旅客鉄道株式会社 正会員 ○藤本 大輝
東海旅客鉄道株式会社 正会員 他谷 周一

1. はじめに

既設の鋼鉄道橋では、防食性や経済性の観点から塗装塗替えが実施されており、必要に応じて健全な塗膜を残存させた状態で新たに塗装を塗り重ねる方法を用いている¹⁾。近年、既設鋼橋の供用年数が伸びるに従い、残存させた塗膜(以下、旧塗膜)の脆化・劣化が原因で割れや剥がれなどの変状が散見されていることが報告²⁾されている。しかし、これまでに旧塗膜の脆化・劣化に関する評価をした事例は見られない。そこで今回、供用後約60年を経た東海道新幹線鋼橋において、2015年に当社が実施した付着性評価試験³⁾を同橋りょう・同手法で行い、8年経過後の状況を確認した。また、実橋の塗膜片を用いて、押込み硬さ試験を行い、塗替え年度の異なる塗膜層の押込み硬さを確認したので報告する。

2. 付着性評価試験

2015年に実施した付着性評価試験から8年経過後の塗膜の付着力を同様な手法で測定し、旧塗膜の脆化・劣化程度を評価する。

(1) 対象橋りょうの概要

2015年に試験を実施した橋りょうを対象に9橋りょう12連を選定した。表1に各橋りょうの構造形式と塗替え後の経過年数を示す。塗替え後の経過年数は過去の試験時と同様である。これらの橋りょうの外表面は、建設時の塗装として、工場で黒皮を除去した後、鉛丹さび止めペイントを2層塗布した上で、現場での架設時に補修用下塗りの鉛丹さび止めペイントを塗布し、さらに長油フタル酸塗料を2層で仕上げている。現在までの塗替え回数は、多くて8回となっている。塗替えは、軽い素地調整(替ケレン4)後、表2に示す塗装系で実施している。

(2) 試験内容

付着性評価試験は、JIS K 5600-5-7「塗膜の機械的性質-付着性(プルオフ法)」に準じたアドヒジョン試験

を用いた。2液型エポキシ接着剤を用いてφ20mmのアルミニウム合金治具を塗膜に貼付け、専用工具で治具周辺の塗膜を除去した後に電動式の引張試験機で治具を引張り、塗膜が破断した際の応力と塗膜の破断箇所を記録した。試験箇所は、部材毎の塗膜劣化度が異なることを考慮し、下り線左側及び上り線右側の部材を対象に、①主桁もしくは縦桁の腹板両面、②調査対象部材の下フランジ下面とした(図1)。2015年の試験結果と比較できるように2015年の試験箇所の近傍で試験し、試験回数は、各箇所2回とした。

(3) 試験結果

前回と今回の連ごとの比較結果を図2に示す。なお棒グラフは平均値を示し、最大と最小値を線で表している。前回は0.58~9.83MPaで全体平均値5.71MPaに対して、今回は、0.1~7.91MPaで全体平均値3.87MPaであった。全体平均値を比較すると1.64MPa低下しており、9橋りょう12連の内6橋りょう9連で付着力が低下していた。塗膜の破断箇所は前回の試験同様、主に工場塗装時の鉛丹さび止めペイント近傍であった(図3)。

表1 対象橋りょう

橋りょう名	構造形式	経過年数
A	Gd(BOX)	6
B(1)	Gd(I)	6
B(2)	Gd(I)	6
C	Tt	7
D	Gd(BOX)	7
E	Gd(I)	7
F	Gd(I)	7
G	Tt	7
H(1)	Gd(I)	8
H(2)	Gd(I)	8
I(1)	Tt	8
I(2)	Tt	8

表2 塗装系

塗膜層	塗料名
第1層目	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料
第2層目	長油系フタル酸樹脂塗料中塗
第3層目	長油系フタル酸樹脂塗料上塗

※上路プレートガーダーを Gd、下路トラスを Tt と表記

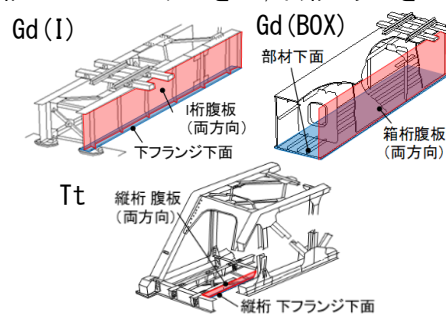


図1 構造形式による調査箇所概要

キーワード 鋼鉄道橋, 塗装, 塗替え, 付着力, 押込み硬さ

連絡先: 〒485-0801 愛知県小牧市大山 1545 番 33 総合技術本部技術開発部 土木構造物技術チーム TEL 0568-47-5370

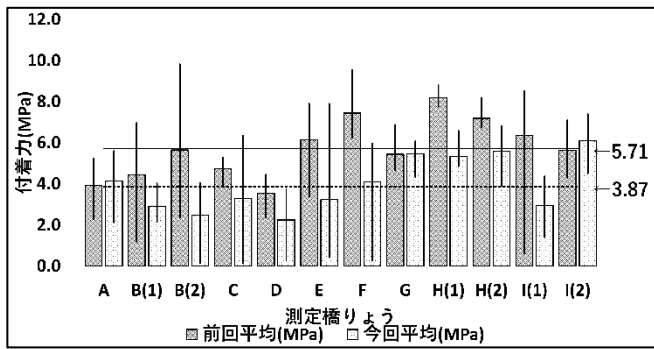


図2 付着性評価試験結果

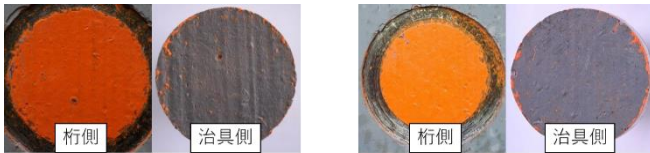


図3 塗膜破断面(左:前回,右:今回)

3. 押込み硬さ試験

本試験では、塗替え年度の異なる複数の塗膜層(塗装種別：鉛丹さび止めペイント2種,長油性フタル酸樹脂塗料中・上塗)の押込み硬さ(N/mm²)を測定し、旧塗膜の脆化・劣化程度を評価する。

(1) 試験橋りょう概要

試験片を3橋りょうから取得した。表3に採取した鋼材の部位,塗替え回数を示す。K,L橋りょうの塗装系は,付着性評価試験の対象橋りょうと同じであるがJ橋りょうは,供用後15年後に取り付けられた部材が試験片であることから塗替え回数が少ない。

(2) 試験内容

本試験は,ダイヤモンド圧子を材料に押し込み,硬さを測定するナノインデントを用いた。供試体は,試験片から塗膜を採取し,各塗膜層が見える断面を圧子の接触面となるように樹脂で固定した(図4)。埋込測定装置は,ELIONIX製 ENT-1100aを用いて,最大荷重を3mNとした。試験回数は,各塗膜層5回とした。塗装種別ごとの測定対象塗膜層の経過年数を表4に示す。

(3) 試験結果

塗装種別ごとの塗替え経過年数と押し込み硬さの関係を図5に示す。塗装種別ごとで押し込み硬さにバラつきは見受けられるものの,経年により押し込み硬さが上昇している傾向であることが確認された。

表3 対象橋りょう

橋りょう名	試験片採取部位	塗替え回数
J	連結材	3
K	主桁	6
L	主桁	8

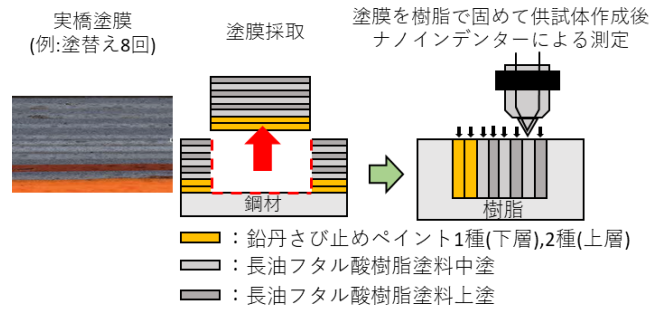


図4 押し込み硬さ試験概要(イメージ図)

表4 試験箇所

塗装種別	試験片取得橋りょう	測定対象塗膜層の経過年数
鉛丹さび止めペイント2種	J	44
	K	59
	L	
長油性フタル酸樹脂塗料中塗	L	5
		30
		39
		59
長油性フタル酸樹脂塗料上塗	L	5
		30
		55
		59

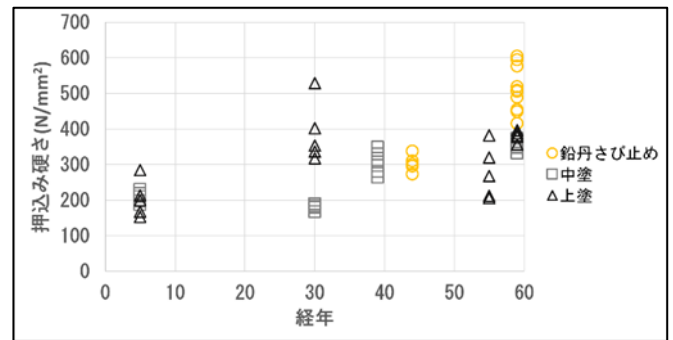


図5 押し込み硬さ試験結果

4. まとめ

旧塗膜の押し込み硬さは経年により硬くなる傾向であった。また,塗膜の付着力は経年により低下する傾向であることがわかった。これまでに評価事例のない旧塗膜の脆化・劣化について実橋の塗膜を用いた試験を通じて傾向を把握することができた。今後は,サンプル数を増やし,旧塗膜の脆化・劣化の進行程度を把握していきたいと考えている。

参考文献

- (公財)鉄道総合技術研究所:鋼構造物塗装設計施工指針 2013
- 鈴木慧,坂本達朗,鈴木隼人:塗膜のせん断方向の付着性に着目した塗膜健全性評価, 鉄道総研報告, VOL.35,No,11,2021
- 三條剛嗣,伊藤裕一,根岸裕,坂本達朗:既設鋼橋における塗膜付着力に関する検討, 土木学会第71回年次学術講演会,V-403,2016

第VI部門

2024年9月5日(木) 13:30 ~ 14:50 会場 B204(川内北キャンパス講義棟B棟)

アセットマネジメント (3)

座長：畑 明仁 (大成建設)

14:20 ~ 14:30

[VI-476]

機械学習を用いた鋼桁端部さび腐食箇所の補修優先順位の提案

*若槻 晃右¹、安藤 翠¹、坂根 英樹¹、堀川 真伸² (1. 阪神高速技術株式会社、2. 一般財団法人阪神高速先進技術研究所)

第VI部門

2024年9月5日(木) 13:30 ~ 14:50 B204(川内北キャンパス講義棟B棟)

アセットマネジメント (3)

座長：畑 明仁 (大成建設)

14:20 ~ 14:30

[VI-476] 機械学習を用いた鋼桁端部さび腐食箇所の補修優先順位の提案

*若槻 晃右¹、安藤 翠¹、坂根 英樹¹、堀川 真伸² (1. 阪神高速技術株式会社、2. 一般財団法人阪神高速先進技術研究所)

キーワード：機械学習、鋼桁端部腐食、補修優先順位、損傷発生抑制、損傷進行予測

構造物の老朽化に伴う損傷増加と人口減少に伴う担い手不足が予想される中で、要補修損傷の発生を抑制することが求められている。要補修損傷の発生抑制には、阪神高速道路において多数存在する鋼桁端部さび腐食損傷のうち、進行の早い箇所を特定し、補修していくことが効果的である。

補修箇所の選定には管理番号単位での補修優先順位が必要であるが、既往研究では、路線単位での絞り込みに留まっている。そこで本研究では、戦略的な補修計画を立案するために、機械学習モデルを用いて、定期点検結果から鋼桁端部のさび腐食損傷の進行を予測した。その結果、進行の早い鋼桁端部さび腐食損傷の場所を管理番号単位まで特定することができた。

機械学習を用いた鋼桁端部さび腐食箇所の補修優先順位の提案

阪神高速技術株式会社 正会員 ○若槻 晃右 正会員 安藤 翠 非会員 坂根 英樹
一般財団法人阪神高速先進技術研究所 正会員 堀川 真伸

1. はじめに

構造物の老朽化に伴う損傷増加と人口減少に伴う担い手不足が予想される中、将来の要補修損傷の発生を効率的かつ効果的に抑制することが求められている。要補修損傷とは、本検討では 2 次判定 A ランク損傷（対策が必要な損傷）¹⁾のことを指す。要補修損傷の発生を抑制するには、要補修損傷に進行させないこと、つまり、対策が必要となる前の段階で補修することが重要となる。既往検討²⁾では、要補修損傷に進行する損傷を過去の定期点検データから予測し、路線別の補修優先順位を導いているが、路線単位では補修対象箇所が多く、補修計画の実務に落とし込むのが容易でない。そこで本検討では、機械学習モデルを用いて損傷の進行を予測し、橋脚梁上構造物の管理番号（以下、管理番号）単位での補修優先順位を提案する。

2. 予測モデルの構築

対象損傷は鋼桁端部さび腐食損傷、対象路線は阪神高速道路内の 4 路線とした。鋼桁端部さび腐食損傷の発生に影響を及ぼす項目としては、前回点検における鋼桁端部さび腐食損傷の点検判定（1 次・2 次）・損傷位置・損傷数および伸縮装置の点検判定（1 次・2 次）・損傷位置・損傷種別毎の損傷数、資産情報、交通量が挙げられる。よって、これらの情報が含まれる、前回定期点検データ、資産データおよび交通量データを説明変数として入力し、今回点検で 2 次判定 A ランク損傷となる確率を目的変数として出力する予測モデルを構築した。予測モデルに用いた機械学習技術は、表形式データに対する予測精度が高いとされる勾配ブースティング決定木の一種である LightGBM を採用した。前々回点検結果がなかったため、学習データは予測対象路線以外のデータを使用した。つまり、路線 1 の予測モデルは、路線 2, 3, 4 のデータで学習した。

3. 予測モデルの精度検証

精度検証の流れを図-1 に示す。まず、2. で構築した予測モデルを用いて、損傷 ID 毎の 2 次判定 A ランク損傷へ進行する確率を算出した。次に、2 次判定 A ランク損傷へ進行する確率の高い順に並べ替え、上位 50 および 100 件に対して今回の点検結果と答え合わせをした。最後に、正解した数を数え、正解率として算出した。表-1 に 2 次判定 A ランク損傷へ進行する確率の高い上位 50 および 100 件における路線別正解率を示す。これより、路線によって正解率にばらつきはあるものの、無作為に補修箇所を選定（実績値）するより、予測モデルを用いて補修箇所を選定する方が上位 50 および 100 件共に正解率が高いことがわかる。

4. 予測モデルの解釈

説明変数の重要度から予測モデルを解釈する。重要度の算出には SHAP 値を用いた。表-2 に路線別の重要度上位 3 つを示す。全路線において、前回 1 次判定の重要度が最も大きかった。重要度は値が大きいほど、

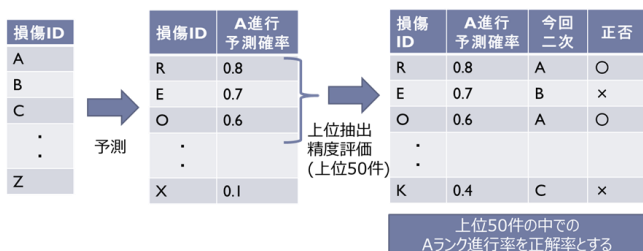


図-1 精度検証の流れ

表-1 路線別正解率

	上位50		上位100		実績値*
	正解数	正解率	正解数	正解率	
路線1	18	36%	29	29%	7.8%
路線2	26	52%	53	53%	6.3%
路線3	22	44%	41	41%	4.9%
路線4	20	40%	34	34%	7.6%

*各路線の全鋼桁端部さび腐食損傷の進行率

キーワード 機械学習, 鋼桁端部腐食, 補修優先順位, 損傷発生抑制, 損傷進行予測

連絡先 〒550-0005 大阪府大阪市西区西本町 1-4-1

阪神高速技術(株) 技術マネジメント部保全マネジメント課 TEL06-6110-7200

この説明変数が予測に与える影響が大きくなることを示している。全路線で重要度 1 位となった前回 1 次判定に対して、点検実績を確認した。表-3 は、前回点検 1 次判定で A, B, C ランクと判定された損傷のうち、今回点検で 2 次判定 A ランクに進行した損傷の割合を示したものである。前回 1 次 A→今回 2 次 A に進行している割合が路線 1, 2, 3, 4 の順に 30, 64, 35, 44%と、前回 1 次 B および C→今回 2 次 A に進行している割合に比べ高かった。説明変数の重要度 1 位に前回 1 次判定が全 4 路線で占めたのは、機械学習モデルがこれを学習したためと考える。図-2 は路線 2 における説明変数が予測に与える影響を可視化しており、前回 1 次判定の中でも A ランクが進行に大きく影響することがわかった。

5. 補修優先順位の提案

2. で構築した予測モデルを用いて、今回点検結果から次回点検結果を予測すると、管理番号毎に次回点検 2 次判定 A ランクと判定される損傷の個数が集計できる。したがって、その集計値の大きい管理番号順に補修する優先順位を提案した。表-4 に管理番号単位の補修優先順位 1~3 位を示す。特徴としては、今回 1 次判定 A ランク損傷の個数が多い管理番号が上位になる傾向があった。また、今回 1 次判定 A ランク損傷の個数が少なくても、今回 2 次判定 B ランク損傷の個数が多い管理番号については上位に挙がる傾向にあった。

6. おわりに

本検討では、機械学習モデルを用いて損傷の進行を予測し、管理番号単位での補修優先順位を提案した。その結果、次の 2 点が明らかとなった。第 1 に、本検討で構築した予測モデルにおいては、対象路線全てで、前回 1 次判定の重要度が大きく、特に前回 1 次 A であった損傷は、進行に大きく影響することがわかった。よって、今回 1 次 A と判定された損傷は、次回 2 次 A に進行する可能性が高いため、補修優先順位を高く設定する必要がある。また、管理番号単位で補修計画を立案する場合は、今回 1 次 A と判定された損傷数が多い管理番号の補修優先順位を高くする必要がある。第 2 に、前回 1 次判定以外は共通して重要度が大きいものがないため、各路線特有の傾向がある可能性が高いことがわかった。しかし、本モデルでは、学習データに予測対象路線のデータを用いていないため、路線独自の傾向を把握することが困難である。今後データが蓄積された段階で、予測対象路線のデータのみで学習させるモデルを構築し、路線傾向を把握することが可能となる。それにより補修優先順位の精度向上が期待できる。

参考文献

- 1) 阪神高速道路株式会社, 阪神高速技術株式会社: 道路構造物の点検要領, 2024.
- 2) 若槻晃右ら: 予知保全を想定した損傷分析による補修優先順位付け, 第 78 回年次学術講演会, 2023.

表-2 説明変数の重要度

	重要度の順位		
	1位	2位	3位
路線1	前回1次判定	前回措置前判定	交通量
路線2	前回1次判定	前回2次判定	車線番号別 前回2次B損傷数
路線3	前回1次判定	交通量	管理番号別 前回2次B損傷数
路線4	前回1次判定	曲線半径	車線詳細

表-3 前回 1 次から今回 2 次 A に進行した割合 (実績値)

	前回1次A →今回2次A	前回1次B →今回2次A	前回1次C →今回2次A
路線1	30%	8%	1%
路線2	64%	10%	1%
路線3	35%	7%	1%
路線4	44%	3%	1%

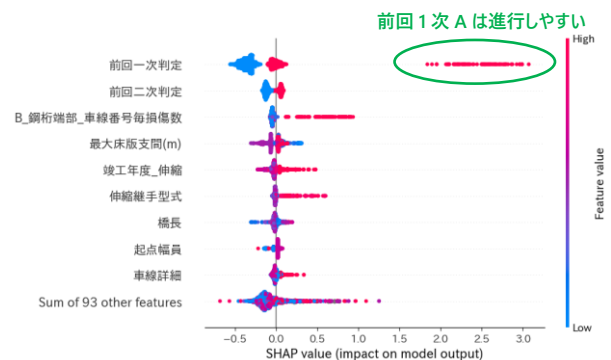


図-2 路線 2 における説明変数が予測に与える影響

表-4 管理番号単位の補修優先順位

補修 優先順位	路線1	路線2	路線3	路線4
1	路線1_BP-670	路線2_BP-30	路線3_BP-166	路線4_BP-143
2	路線1_BP-79	路線2_BP-85	路線3_BP-1	路線4_BP-196
3	路線1_BP-335	路線2_BP-4	路線3_上BP-27	路線4_上BP-3

第1部門

2024年9月5日(木) 14:40 ~ 16:00 会場 A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (4)

座長：三浦 正純 (土木研究センター)

15:40 ~ 15:50

[I-67]

海洋環境を想定した腐食促進実験による無防食鋼板の腐食特性

*米田 翔一¹、廣畑 幹人¹、蔣 鋒¹ (1. 大阪大学)

第I部門

2024年9月5日(木) 14:40 ~ 16:00 会場 A102(川内北キャンパス講義棟 A 棟)

維持管理 (4)

座長：三浦 正純（土木研究センター）

15:40 ~ 15:50

[I-67] 海洋環境を想定した腐食促進実験による無防食鋼板の腐食特性

*米田 翔一¹、廣畑 幹人¹、蔣 鋒¹ (1. 大阪大学)

キーワード：腐食、海洋環境、塩水浸漬、無防食鋼、バリオグラム

現行のJIS規格には、海洋環境に対応した腐食促進実験が無く、海洋環境における鋼材の腐食耐久性を評価するためには、長期の海中暴露実験を行う必要があった。本研究では、海洋環境を想定した腐食促進実験の実構造物への適用拡大を念頭に、本実験の基礎的な情報の取得を目的として、無防食鋼板を対象として一連の実験を実施した。その結果、供試体の上下でさびの形状に違いが確認されたが、腐食減厚量に有意な差は無かった。また、鋼板表面を対象として、セミバリオグラム分析を実施したところ、本実験による腐食表面の空間的相関性は、球形モデルでモデル化できることが示された。

海洋環境を想定した腐食促進実験による無防食鋼板の腐食特性

大阪大学 学生員 ○米田 翔一
 大阪大学 正会員 廣畑 幹人
 大阪大学 正会員 蔣 鋒

1. はじめに

港湾構造物の劣化要因の一つとして鋼部材の腐食が挙げられる。腐食が進行すると、部材の板厚が減少し、剛性、耐荷力が低下することにより、構造物の安全性に影響を及ぼす可能性がある。鋼部材の耐久性を評価するためには腐食実験を行うことが有効であるが、現行のJIS規格には、海洋環境に対応した腐食促進実験が無く、長期の海中暴露実験を行う必要があった。これに対し、新たな海洋環境の腐食促進実験として、海洋環境を模した有機被覆鋼材の標準腐食促進実験が開発され、2009年に刊行された「海洋環境における鋼構造物の耐久・耐荷性能評価ガイドライン」にまとめられている¹⁾。本実験に関する研究事例²⁾は少なく、本研究では、本実験の港湾鋼構造物への適用拡大に資するさらなる基礎的情報の取得を目的として、無防食鋼板の腐食特性を検討するための一連の実験を実施した。

2. 実験方法

実験装置の概要および実験の様子を図-1 および図-2 に示す。水槽内の溶液には3%塩化ナトリウム水溶液20Lを用いた。水槽の側面と底面に設置したヒーターにより水温を $50\pm 2^{\circ}\text{C}$ に保ち、水槽底面の空気吹き出し口より毎分2Lの空気を供給することで、溶存酸素量を維持する。

実験供試体として、溶接構造用圧延鋼材(SM400B)を使用した。供試体の寸法を図-3に示す。供試体は28, 56, 84日間の実験にそれぞれ4体を供した。溶液や気泡の流れを一定にするため、各実験期間終了後に空いた架台には供試体と同じ寸法のアクリル製のダミー板を立てかけた。また、水槽内の位置による腐食速度のばらつきを抑えるため、実験開始後7日間ごとに供試体の位置を入れ替えた。供試体の裏面と表面端部は防錆テープで保護し、片面のみの腐食を対象とした。実験後にはアルミナ粉末を用いたブラストにより表面のさびを除去し、レーザ変位計により表面形状を測定した。防錆テープにより保護した表面端部に3つの基準点を設け、全ての基準点を通る基準面に対する深さの差として腐食深さを求めた。なお、防錆テープと無保護部との境界を除き、供試体中央部 $120\text{mm}\times 40\text{mm}$ の範囲を対象に平均腐食深さを求めた。

3. 実験結果および考察

無防食供試体の各実験期間終了後の供試体表面の画像と、さび除去後の表面形状の測定結果を図-4に示す。供試体上部では、溶液の流れに沿って上向きにさびが形成されていたが、供試体下部では比較的薄いさびが形成されていた。また、架台との接触部分周辺で腐食の進行が速かった。

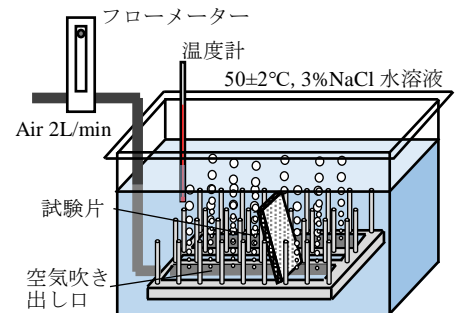


図-1 実験装置



(a) 空気の吹き込みなし



(b) 空気の吹き込みあり

図-2 実験の様子

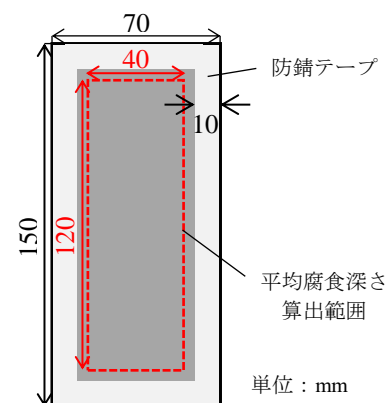


図-3 寸法および腐食深さ算出範囲

キーワード 腐食, 海洋環境, 塩水浸漬, 無防食鋼, バリオグラム
 連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL06-6879-7598

腐食促進実験による平均腐食深さの経時変化を図-5に示す。供試体上部、下部にはさびの形状に違いが確認されたが、供試体を上下に半分に分けた場合、それぞれの平均腐食深さは供試体全体の腐食深さの標準偏差の範囲内にあり、両者に有意な差は確認されなかった。腐食深さと経過時間の関係は、累乗関数で回帰できる。吉崎ら²⁾の無防食鋼板の海中暴露実験における、2.5年経過時点での腐食深さに到達するまでに本実験でかかった日数は71日であり、この結果から得られる本実験の腐食促進倍率は約12.9倍であった。

4. セミバリオグラム分析

平均腐食深さの算出範囲と同様の範囲を対象として等方性のセミバリオグラム（以下、バリオグラム）分析を行った。レーザ変位計による測定点より距離 h となる全点のペアの腐食深さ z を式（1）に代入することで経験バリオグラム $\gamma(h)$ を求めた。

$$\gamma(h) = \frac{1}{2|N(h)|} \sum_{i=1}^{N(h)} (z_i - z_k)^2 \quad (1)$$

経験バリオグラムより、モデルを用いて理論バリオグラム関数を模擬することで、空間統計量であるシルとレンジを算出できる。自然現象に関しては球形モデルが最もよく用いられる。本研究では球形モデルを用いることで理論バリオグラム関数を模擬できると仮定した。

バリオグラム分析の結果を図-6に示す。経験バリオグラムと球形モデルは概ね一致しており、本実験による腐食表面の空間的相関性は、球形モデルでモデル化できることが示された。全ての供試体において、測定間隔より小さい距離にある変動と測定誤差を表すナゲット効果はシルの25%以下であり、本実験による腐食表面には強い空間的自己相関があることが確認された。

5. まとめ

海洋環境を想定した腐食促進実験による鋼材の腐食特性を明らかにするため、無防食鋼板を対象として一連の実験を実施した。84日の腐食促進実験の結果、供試体の上下でさびの形状に違いが確認されたが、腐食減厚量に有意な差は無かった。また、本検討の範囲では、本実験の腐食促進倍率は実環境の約12.9倍であった。セミバリオグラム分析の結果、本実験による腐食表面の空間的相関性は球形モデルでモデル化できることが示された。また、本実験による腐食表面には強い空間的自己相関があることが確認された。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 22H01577 を受けて実施した。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) (公社)土木学会：海洋環境における鋼構造物の耐久・耐荷性能評価ガイドライン，付録I，2009。
- 2) 竹見潤也，廣畑幹人，北根安雄，伊藤義人：海水中環境を模擬した腐食促進実験による鋼溶接部の腐食劣化特性に関する基礎的研究，構造工学論文集，Vol.59A，pp.747-757，2013。
- 3) 吉崎信樹，守屋進：20年海洋暴露での鋼材腐食と一般塗装鋼材の劣化挙動について，土木学会論文集F，Vol.65，No.2，pp.222-229，2009。

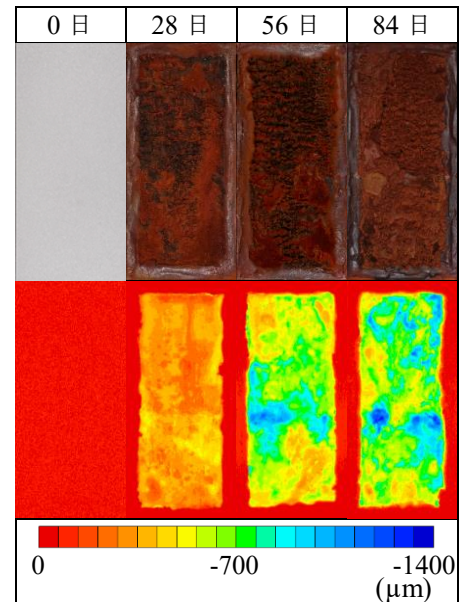


図-4 供試体の外観および表面形状

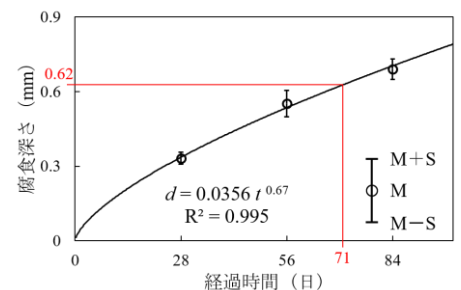


図-5 腐食深さの経時変化

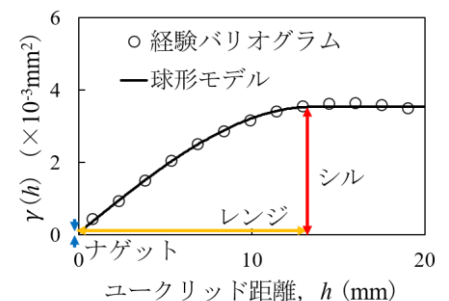


図-6 バリオグラム分析結果

第1部門

2024年9月5日(木) 14:40 ~ 16:00 会場 A106(川内北キャンパス講義棟A棟)

継手 (4)

座長：平尾 賢生 (横浜国立大学)

15:10 ~ 15:20

[I-202]

乾式接合透明ボルトナット防錆キャップの屋外暴露試験

*上田 慎也¹、大久保 宣人¹、寺阪 剛²、杉浦 邦征⁴、富山 禎仁³、佐合 大¹、壽系 亘平¹、道上 隼人²

(1. 高田機工株式会社、2. 共和ゴム株式会社、3. 国立研究開発法人 土木研究所、4. 国立大学法人 京都大学)

第I部門

2024年9月5日(木) 14:40 ~ 16:00 会場 A106(川内北キャンパス講義棟A棟)

継手(4)

座長：平尾 賢生 (横浜国立大学)

15:10 ~ 15:20

[I-202] 乾式接合透明ボルトナット防錆キャップの屋外暴露試験

*上田 慎也¹、大久保 宣人¹、寺阪 剛²、杉浦 邦征⁴、富山 禎仁³、佐合 大¹、壽系 亘平¹、道上 隼人²
(1. 高田機工株式会社、2. 共和ゴム株式会社、3. 国立研究開発法人 土木研究所、4. 国立大学法人 京都大学)

キーワード：高力ボルト、ボルトキャップ、屋外暴露試験、ポリカーボネート、EPDMゴム

鋼橋の継手部に使用するボルトは、ナット部およびネジ部の凹凸により高力ボルト継手において特に防錆塗装時に処理を施しにくく、また塗膜厚を確保しにくいことから、一般部に比べて腐食が進行しやすい傾向にあり、導入軸力の低下等により構造物としての耐久性を損なうことが懸念される。そこで、高力ボルト連結部の腐食耐久性を高め、鋼橋の長寿命化並びにライフサイクルコスト低減を目的として、乾式接合透明ボルトナット防錆キャップ(以下、ボルトキャップと称す)の開発を進めてきた。ここでは、ボルトキャップの屋外暴露試験の8ヶ月暴露後の途中経過観察結果について報告する。

乾式接合透明ボルトナット防錆キャップの屋外暴露試験

高田機工(株) 正会員○上田 慎也 大久保宣人
 正会員 壽系 亘平 佐合 大
 共和ゴム(株) 正会員 寺阪 剛 道上 隼人
 土木研究所 正会員 富山 禎仁
 京都大学 正会員 杉浦 邦征

1. 目的

鋼橋の継手部に使用する高力ボルトは、特にナット部およびネジ部の凹凸により防錆塗装時に処理を確実に施しにくく、また塗膜厚を確保しにくいことから、一般部に比べて腐食が進行しやすい傾向にある。そのため、導入軸力の低下等により構造物としての耐久性を損なうことが懸念される。そこで、高力ボルト連結部の腐食耐久性を高め、鋼橋の長寿命化並びにライフサイクルコスト低減を目的に、乾式接合透明ボルトナット防錆キャップ(以下、ボルトキャップという)の開発を進めてきた。耐候性を確認するため、CCT試験¹⁾、キセノンアークランプ法を用いた促進試験²⁾を行っているが、促進試験だけでは実環境における評価が困難である。そこで塩害の影響を受けやすい沖縄県で10年間の屋外暴露試験を行うことにした。ここでは、ボルトキャップの屋外暴露試験の8ヶ月暴露後の途中経過観察結果について報告する。

2. 防錆キャップの概要

ボルトキャップは、図1に示すように、ドーム型に成形した透明ポリカーボネートフレームとし、これに取り付けたEPDM(Ethylene Propylene Diene Methylene Linkage)ゴムパッキンによりナット部と固定する。設置時には、母材とゴムパッキンの間(ワッシャの周り)にEPDMゴムスポンジを設置し気密性及び水密性を確保するとともに、ボルトキャップの脱落に対するフェールセーフ機能として、隣接するボルトキャップのフレームをワイヤーで連結した。



図1 ボルトキャップの概要

3. 屋外暴露試験の概要

屋外暴露試験は沖縄県大宜味村の土木研究所の屋外暴露試験場で実施した。試験体は図2に示すような形状で全4ケース用意し、ボルト2本のうち片方のみボルトキャップを取り付けて、暴露試験所内の架台に設置した。試験体の種類を表1に示す。ケース1はF-11塗装されたボルトに対して、実橋梁での部分的な腐食を想定し、人為的にボルト軸部やナット部を研磨して錆を発生させたものである。ケース2は塗装作業の軽減を図るための方法としてボルトにF-11の上塗り1層のみを施したケースである。ケース3, 4はEPDMゴムスポンジの気密性及び水密性を検証するため、無塗装ボルトに対して、EPDMゴムスポンジの有無で比較を行った。試験体の設置状況を図3および図4に示す。長期暴露期間を設け、定期的にキャップ内のボルトの状態を目視で点検するとともに、1年ごとに、透明ポリカーボネートの変色や、EPDMゴムスポンジ、EPDMゴムパッキンの材料引張強さの確認を行い、屋外暴露がボルトキャップの材料特性に与える影響を確認する。

表1 試験体の種類

ケース名	ボルト部の仕様	ボルトキャップ	ゴムスポンジ
ケース1	F-11塗装, きず付	あり, なし	あり
ケース2	F-11塗装(上塗り1層)	あり, なし	あり
ケース3	無塗装	あり, なし	あり
ケース4	無塗装	あり, なし	なし

キーワード 高力ボルト, ボルトキャップ, 屋外暴露試験, ポリカーボネート, EPDM ゴム

連絡先 〒556-0011 大阪市浪速区難波中 2-10-70 高田機工株式会社 技術本部 技術開発部 TEL06-6649-5170

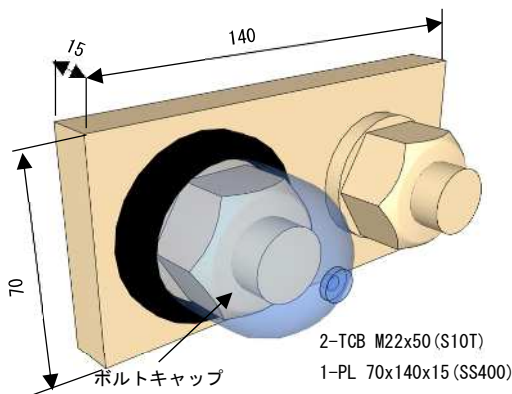


図2 試験体概要図

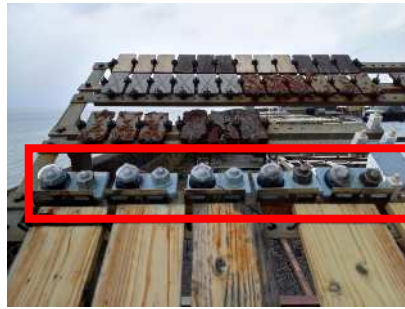


図3 試験体設置状況



図4 引張試験片設置状況

4. 試験結果

各試験体の、暴露開始時と8ヶ月経過後の外観比較を図5から図8に示す。ケース1, 2, 3について、ボルトキャップなしの方は相当の錆が発生しているのに対して、キャップありの方は錆の発生は見られなかった。ゴムスポンジなしのケース4については、キャップありのボルトにおいてもわずかに浮き錆が生じていた。このことから、ボルトキャップとゴムパッキンを設置することで錆の進行を防止できることが分かった。一方、ゴムスポンジなしのケースでは母材の凹凸によりゴムパッキンとの接触面に隙間が生じ、空気等の出入りが生じていると考えられることから、ゴムスポンジが気密性及び水密性の確保に寄与していることが確認できた。なお、1年毎の確認を予定している材料特性の初期値については、ゴムスポンジの引張強さは0.3MPaで、ゴムパッキンは12.0MPaであった。この結果は促進試験で用いたゴムスポンジ材料の初期値と同値である。



(a) 暴露開始時



(b) 8ヶ月経過後

図5 ケース1



(c) 暴露開始時



(d) 8ヶ月経過後

図6 ケース2



(e) 暴露開始時



(f) 8ヶ月経過後

図7 ケース3



(g) 暴露開始時



(h) 8ヶ月経過後

図8 ケース4

5. まとめ

屋外暴露試験を行い、ボルトキャップを取付けることでボルト部の錆の進行を抑えられることが確認できた。また、取付け後も中の様子を鮮明に確認できることから点検作業性を損なわないことが分かった。今後も引き続き暴露試験を継続するとともに、1年ごとに透明ポリカーボネートの変色及びEPDMゴムパッキン、EPDMゴムスポンジの引張試験を行い、材料特性の変化を確認していく予定である。

- 1) 壽系亘平ら：乾式接合透明ボルトナット防錆キャップの腐食促進に関する研究，第78回年次学術講演会概要集，2023.9
- 2.) 大久保宣人ら：乾式接合透明ボルトナット防錆キャップの耐候性に関する研究，第78回年次学術講演会概要集，2023.9

第VI部門

2024年9月5日(木) 15:10 ~ 16:30 会場 B103(川内北キャンパス講義棟B棟)

橋梁 (4)

座長：鬘谷 亮太 (熊谷組)

16:10 ~ 16:20

[VI-261]

鋼桁の塗替塗装におけるIH工法を適用した塗膜剥離について

*西谷 公兵¹、須崎 滉太²、川崎 啓司¹ (1. オリエンタル白石株式会社、2. 西日本高速道路株式会社)

第VI部門

2024年9月5日(木) 15:10 ~ 16:30 会場 B103(川内北キャンパス講義棟B棟)

橋梁(4)

座長：鬘谷 亮太 (熊谷組)

16:10 ~ 16:20

[VI-261] 鋼桁の塗替塗装におけるIH工法を適用した塗膜剥離について

*西谷 公兵¹、須崎 滉太²、川崎 啓司¹ (1. オリエンタル白石株式会社、2. 西日本高速道路株式会社)

キーワード：塗替塗装、塗膜剥離、剥離剤、IH工法

供用から40年以上経過した旭川橋では、冬季に凍結防止剤が散布されることや経年劣化から既設床版や鋼桁の塗膜は腐食劣化が進んでおり、リニューアル工事が実施された。本工事での塗替塗装は冬季の施工で、既設塗膜の剥離は剥離剤を用いた剥離で計画していた。剥離剤は低温下で使用すると塗膜へ浸透しにくくなる特徴から剥離性能が低下するが、本工事でも気温の低下とともに剥離性能の低下が確認された。そこで施工性や経済性を考慮し、部分的に剥離剤による剥離とIH工法を併用することにした。本稿ではIH工法を用いた塗膜剥離について、適用における留意点や施工時の対策について報告する。

鋼桁の塗替塗装における IH 工法を適用した塗膜剥離について

オリエンタル白石株式会社 正会員 ○西谷 公兵
 西日本高速道路株式会社 非会員 須崎 滉太
 オリエンタル白石株式会社 非会員 川崎 啓司

1. はじめに

中国自動車道の院庄 IC～落合 IC 間に位置する旭川橋は、供用開始から 40 年以上経過しており、冬季には凍結防止剤が散布されることから、既設 RC 床版や鋼桁の塗膜の腐食劣化が進んでいたため、PC 床版への取替えおよび塗替塗装がリニューアル工事として実施された。

本工事の塗膜剥離は、当初、剥離剤のみによる剥離で計画されていたが、冬季の施工であったことから施工性、経済性を考慮して、部分的に剥離剤と併用して IH 工法を用いることとした。本稿では、旭川橋の塗膜剥離において IH 工法を適用した事例を報告する。

2. 剥離剤と IH 工法の併用

施工で使用した剥離剤は、事前に 8 種類の材料を試験施工により比較し、剥離剤の塗布量、剥離回数が少ないものとして経済性および工程への影響を考慮した結果、塗布量 $1.0\text{kg}/\text{m}^2$ 、剥離回数 3 回の性能を有するものとした。試験施工状況を写真-1 に示す。また、塗膜剥離の作業期間が主に冬季であったことから、低温時や難剥離塗膜に対する剥離性能に優れたものを選定した。

本橋における剥離剤および IH 工法の作業範囲を図-1 に示す。塗膜の剥離作業は、P1 から P5 方向に行った。P1-P2、P3-P4 径間は剥離剤のみで施工し、P2-P4 径間は施工を行う日中の気温が低くなる日が多かったため、低温下では塗膜へ浸透しにくく剥離性能が低下する剥離剤の特徴を踏まえて、IH 工法との併用を検討した。検討にあたっては、剥離剤の塗布量や剥離回数、養生期間等を増やすとともに施工性や経済性を確認したうえで、IH 工法は剥離剤による剥離以上に足場内の養生等をする必要が無いことや、周辺環境への影響が少ないことも考慮し、IH 工法の併用を決定した。剥離剤による剥離は 3 回に対し、IH 工法の剥離回数は 1 回となった。部位ごとの使用範囲は、一般部には IH 工法を用い、添接部などの特殊部や狭隘部は剥離剤による剥離とした。



写真-1 剥離剤の試験施工状況

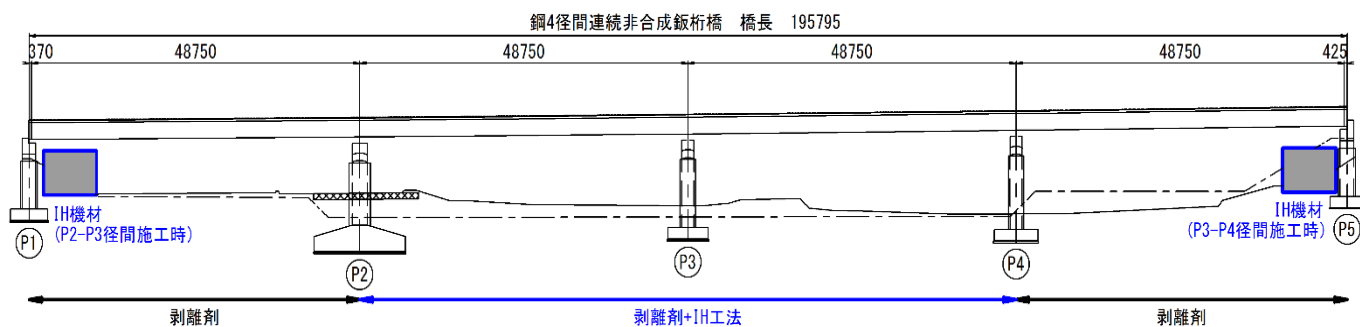


図-1 旭川橋における剥離剤・IH 工法の作業範囲

キーワード 塗替塗装, 塗膜剥離, 剥離剤, IH 工法

連絡先 〒810-0001 福岡県福岡市中央区天神 4-2-31 第2サンビル

オリエンタル白石株式会社 九州支店 TEL 092-761-6934

3. IH 工法

IH 工法とは、局所的な電磁誘導加熱を使用して、塗膜と鋼材表面の接合部を破壊することにより塗装を鋼材面から除去する工法である（図-2）。加熱部分の塗膜が浮き上がった後、スクレーパー等で除去する（写真-2）。特徴として、火気等を使用しないので火災の危険性が少ないこと、廃棄物は剥離した塗膜のみになるため産業廃棄物が少ないこと、厚塗りされた塗膜の剥離に効果的で膜厚が 13mm 程度の厚さまで剥離可能であること、および寒冷な環境でも塗膜剥離作業を行うことが可能であることが挙げられる。

IH 工法の適用における留意点と、施工時の対策および配慮を以下に述べる。

1つ目が、鋼材厚が 9mm 以上あることである。高温になることによって部材の変形や損傷が発生しないように鋼材厚が 9mm 以上あることが推奨されている（9mm より小さい場合はテストの必要あり）。本橋では桁のウェブ厚は 9mm であり、加熱エリアの鋼材温度が 200℃を超えないように確認しながら作業を行ったことで施工による部材の変形等は無かった。

2つ目が、主機やインダクションヘッド等を濡らさないことである。インダクションヘッドは橋下で使用するため水濡れしないが、屋外の風雨に曝される箇所に設置した主機周辺には仮設の屋根を設けて、豪雨や雷を除けば雨天時でも作業可能な環境を整えた。

3つ目が、機材設置スペースの確保と作業箇所までの距離に制限があることである（図-3）。IH 工法に必要な機材一式を設置するには約 6m² 程度のスペースを確保し、図-3 の主機から剥離作業箇所（インダクションヘッド）までの距離が水平方向に 100m 以内、鉛直方向に 60m 以内にする必要がある。また、長大橋の場合や地上のスペースが使用できない場合には、橋面上の道路を規制して機材を設置するか、足場上に設置することも可能であるが、足場上に設置する場合には機材重量（約 800kg）に耐えられる構造が必要であり、入念な計画が重要である。本工事では、地上に機材一式を設置したため、P2-P3 径間の施工時には P1 橋脚付近、P3-P4 径間の施工時には P5 橋脚付近に機材を設置した。

4. おわりに

IH 工法を適用することにより無事塗替塗装を完了できた。低温下で剥離剤を使用する場合には、剥離性能が低下し作業が難航する場合があるが、気温が低く、塗膜が厚い場合でも作業性能が低下しない IH 工法を剥離剤と併用することが経済性、効率性の観点から有効であると考えられる。本稿が、IH 工法の適用および施工時の計画の際の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 駒谷大三ほか：鋼トラス橋の塗膜除去における IH 工法適用，土木学会第 75 回年次学術講演会，VI-219，2020.8

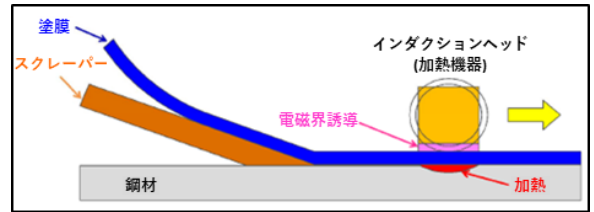


図-2 塗膜剥離概要図 (IH 工法)



写真-2 IH 工法による剥離状況

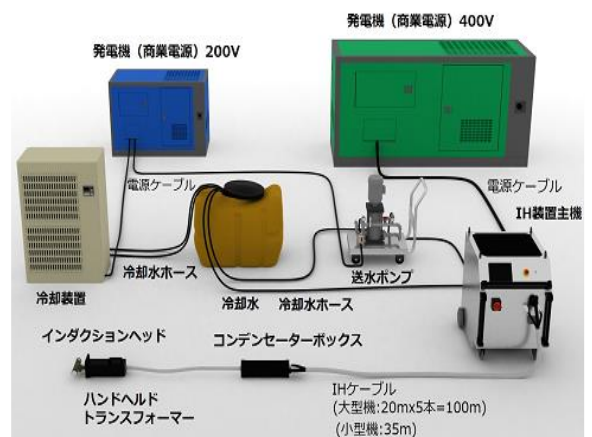


図-3 装置構成概要図

第VI部門

2024年9月5日(木) 15:10 ~ 16:30 会場 C104(川内北キャンパス講義棟C棟)

検査技術 (4)

座長：武田 均 (大成建設)

15:40 ~ 15:50

[VI-586]

ハイパースペクトル計測による重防食塗装の劣化評価

*谷 晃徳¹、阪上 隆英¹、塩澤 大輝¹、小川 裕樹¹、春名 進佑¹、横井 芳輝²、杉山 剛史² (1. 神戸大学、2. 本州四国連絡高速道路 (株))

15:50 ~ 16:00

[VI-587]

赤外分光スペクトル情報の主成分解析による防食塗膜劣化の検知精度向上

*春名 進佑¹、阪上 隆英¹、塩澤 大輝¹、小川 裕樹¹、谷 晃徳¹、横井 芳輝²、杉山 剛史² (1. 神戸大学、2. 本州四国連絡高速道路 (株))

第VI部門

2024年9月5日(木) 15:10 ~ 16:30 C104(川内北キャンパス講義棟C棟)

検査技術(4)

座長：武田 均 (大成建設)

15:40 ~ 15:50

[VI-586] ハイパースペクトル計測による重防食塗装の劣化評価

*谷 晃徳¹、阪上 隆英¹、塩澤 大輝¹、小川 裕樹¹、春名 進佑¹、横井 芳輝²、杉山 剛史² (1. 神戸大学、2. 本州四国連絡高速道路(株))

キーワード：近赤外線カメラ、ハイパースペクトル計測、分光特性、重防食塗装、長大鋼橋梁

鋼橋梁に施される重防食塗装について、塗膜層ごとの赤外分光特性の差を利用した中塗層の露出検出を行った。上塗層と中塗層には似た色彩の塗料が用いられており、目視観察による識別は困難である。そこで、近赤外ハイパースペクトルカメラを用いた塗膜表面の計測を行った。近赤外ハイパースペクトル計測では、近赤外線域を640バンドの波長域に分光して赤外画像を生成し、画像のピクセルごとに赤外スペクトル情報を取得できる。取得した赤外スペクトル情報から、上塗層と中塗層の赤外分光特性に顕著な差が生じる波長域を特定することで、目視観察では上塗層との識別が困難な中塗層露出部を検出することが可能となった。

ハイパースペクトル計測による重防食塗装の劣化評価

神戸大学 ○学生会員 谷 晃徳 正会員 阪上 隆英 正会員 塩澤 大輝
 神戸大学 小川 裕樹 学生会員 春名 進佑
 本州四国連絡高速道路(株) 正会員 横井 芳輝 正会員 杉山 剛史

1. 緒言

海峡部長大橋の鋼材表面には、図1に示すような重防食塗装が施されている。これは、無機ジンクリッチペイントによる犠牲防食層、エポキシ樹脂塗料による下塗および中塗、耐候性が高いフッ素樹脂塗料による上塗から構成される。本四連絡橋では、重防食塗装の維持管理において、現地での再施工が困難な犠牲防食層を

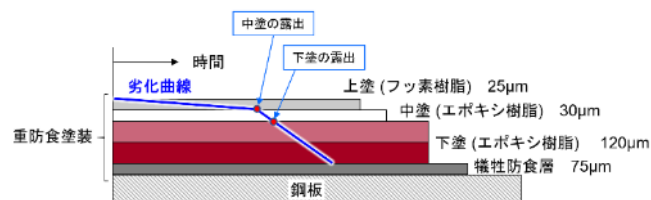


図1 重防食塗装の構成

保護するため、下塗が露出する前に塗替を行う予防保全を基本としている一方で、実構造物の塗膜厚さや劣化進行は面的に均一でないこと、上塗に比べて中塗の損耗速度は速いこと等から、塗装の健全性評価において中塗の露出を的確に検出することは重要となる。しかしながら、橋梁外観の調色を目的として上塗と中塗には似た色彩の塗料が用いられており、目視観察による識別は困難である。そこで、著者ら⁽¹⁾は、上塗と中塗の近赤外線領域における分光吸収特性の違いや上塗塗膜の吸収・透過特性を利用した、塗膜劣化検出技術や残存膜厚評価技術を開発してきた。本報では、赤外線の吸収・反射に関する分光特性が未知である重防食塗装に対しても中塗露出部の検出が可能となるよう、近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムを開発し、実橋梁の塗膜劣化評価に適用した結果を示す。

2. 計測原理

物質に吸収される赤外線の分光特性は、物質の化学構造によって異なることから、物質の構造解析や定性分析に用いることができる。一例として、重防食塗装試験片の上塗および中塗の分光吸収率を図2に示す。同図より、1500nmより長い波長域では、上塗および中塗は類似した分光吸収特性を示すのに対し、1500nmより短い波長域では上塗は中塗よりも高い赤外線吸収率を示す。したがって、1500nmよりも短い波長で近赤外線計測を行うことで、中塗露出部を良好なコントラストで識別できる。しかしながら、一般に、重防食塗装には化学成分が異なる様々な塗料が用いられている上、分光吸収特性が未知であるケースがほとんどである。そこで、本研究では、分光情報を計測・画像化できる近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムを用いて中塗露出部の検出を行った。

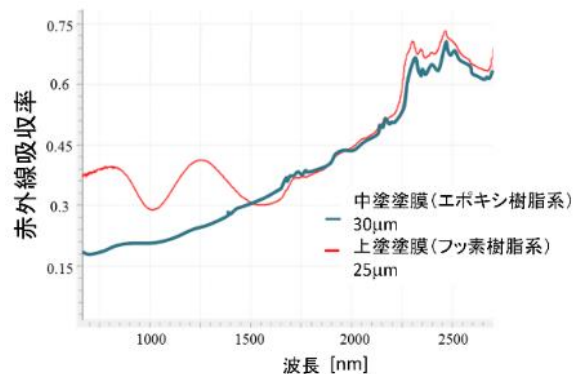


図2 フッ素樹脂系塗膜とエポキシ樹脂系塗膜の分光赤外線吸収特性

3. 近赤外ハイパースペクトルイメージングシステム

ハイパースペクトルイメージングは、分光計測と画像計測を組み合わせた技術である。ハイパースペクトルイメージングシステムでは、スリットを通過する縦1ラインの光束を分光器により分光し、赤外線イメージセンサの横ピクセル列を用いて計測する。システム全体を横方向に走査することで、2次元の位置情報(x,y)と各

キーワード 近赤外線カメラ, ハイパースペクトル計測, 分光特性, 重防食塗装, 長大鋼橋梁
 連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学工学研究科機械工学専攻

ピクセルの波長分光情報(λ)から構成される 3 次元のデータキューブを取得する。データキューブを解析することで、特定波長での赤外線強度を示す画像を構成し、この波長における材料の吸収・反射特性の差異を強調して画像表示することができる。このため、波長特性の可視化に基づく計測が可能となる。本研究で開発した近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムの外観を図 3 に示す。本システムでは、900~1700nm の近赤外線領域を 640 分割した波長ごとの赤外線強度データを取得することができる。

4. 計測結果

近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムを用いて、重防食塗装の上塗の喪失による中塗露出箇所の検出を行った。対象とした橋梁は 1999 年に供用が開始され、塗替塗装は実施されていない。供用から 24 年が経過し、上塗に部分的な劣化が確認できる箇所が見られる状況であった。計測の様子を図 4 に、計測結果の一例を図 5 にそれぞれ示す。図 5(a)は計測対象領域の可視画像、図 5(b)は全波長域で平均化された赤外線強度画像である。図 5(b)中の点 A (上塗残存部) および点 B (中塗露出部) について、ハイパースペクトルイメージングにより取得したそれぞれの赤外分光特性を図 5(c)に示す。赤外分光特性からは、1400nm 付近より短い波長では上塗と中塗のスペクトル差が大きい一方で、1400nm 付近より長い波長ではスペクトル差が小さくなるのがわかる。そこで、図 5(c)の赤枠で示す上塗と中塗のスペクトル強度の差が大きい 1222.2nm の波長における分光画像を構成した。これを図 5(d)に示す。図 5(d)の分光画像では、図 5(b)に示した平均化赤外線画像と比較して、中塗露出部のコントラストを強調して表示できていることがわかる。以上のことより、近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムを用いた計測を行うことで、分光吸収特性が未知である塗膜に対しても、中塗露出部の検出に最適な計測波長域を特定し、現場計測による精度の高い塗膜劣化検知を実現できることが明らかになった。

参考文献

(1)塩澤ほか, 近赤外線ハイパースペクトルイメージングによる重防食塗装の劣化検知, 土木学会第 78 回年次学術講演会講演概要集, 2023.



図 3 近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステム



図 4 現場計測の外観

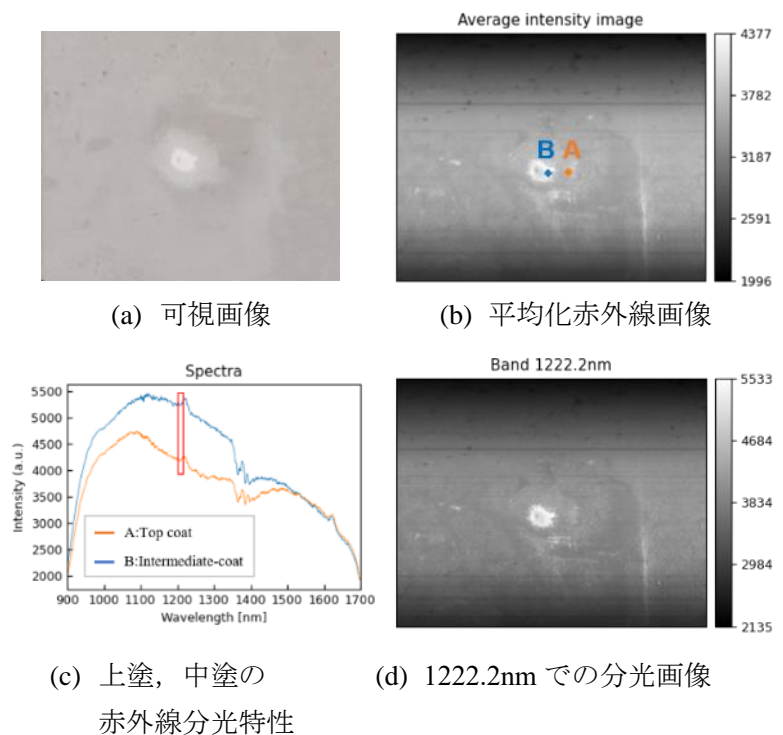


図 5 近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムによる防食塗膜劣化部位の検出結果

第VI部門

2024年9月5日(木) 15:10 ~ 16:30 血 C104(川内北キャンパス講義棟C棟)

検査技術(4)

座長：武田 均 (大成建設)

15:50 ~ 16:00

[VI-587] 赤外分光スペクトル情報の主成分解析による防食塗膜劣化の検知精度向上

*春名 進佑¹、阪上 隆英¹、塩澤 大輝¹、小川 裕樹¹、谷 晃徳¹、横井 芳輝²、杉山 剛史²(1. 神戸大学、2. 本州四国連絡高速道路(株))

キーワード：近赤外線カメラ、ハイパースペクトル計測、分光特性、重防食塗装、長大鋼橋梁

鋼橋梁に施される重防食塗装について、中塗層露出部の検出のため、近赤外ハイパースペクトルカメラによる計測を行った。計測したデータを分析するため、ノイズ処理や散乱光補正を施したのち、主成分解析(PCA)によってデータに含まれる特徴を抽出した。主成分解析は、膨大な波長情報から新たな変数を構成し、数学的な計算によってデータの特徴を抽出することで次元を削減するという手法である。主成分解析では、得られた特異値ごとにPC波形およびEOF画像が出力される。これらを分析することで、計測した赤外スペクトル情報から上塗層および中塗層の分光特性の顕著な特徴を抽出し、中塗層露出部の検出を容易に行うことが可能となった。

赤外分光スペクトル情報の主成分解析による防食塗膜劣化の検知精度向上

神戸大学 ○学生会員 春名 進佑 正会員 阪上 隆英 正会員 塩澤 大輝
 神戸大学 小川 裕樹 学生会員 谷 晃徳
 本州四国連絡高速道路(株) 正会員 横井 芳輝 正会員 杉山 剛史

1. 緒言

長大鋼橋梁に使用されている図1に示す重防食塗装の予防保全のため、著者らは⁽¹⁾、上塗と中塗の近赤外線分光特性の違いを利用した塗膜劣化検出技術を開発した。さらに別報⁽²⁾では、赤外線分光特性が未知な塗装に対しても、適切な波長域の選択による中塗露出部の検出が可能で、近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムを開発し、実橋梁の塗膜劣化評価に適用した。

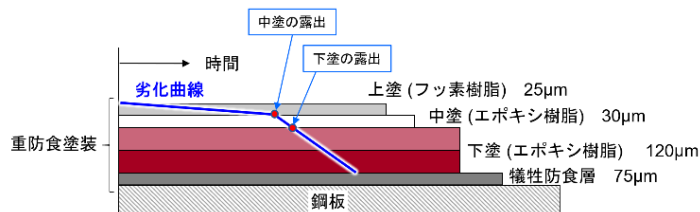


図1 重防食塗装の構成

ハイパースペクトルデータには、ランダムノイズや塗膜表面の状態による散乱効果、照明強度の不均一性による影響が含まれ、中塗露出箇所検出の誤差要因となっている。また、実際の橋梁の計測では、対象となるすべての部材を同様の採光条件で計測することは困難である。本報では、ハイパースペクトルデータに対するデータ解析として、スペクトルデータに対してランダムノイズやスペクトルのベースラインのばらつきの低減を目的とした前処理を適用し、主成分解析(PCA)を用いて、中塗露出箇所のより高精度な検出が可能か検証した。

2. 前処理および主成分解析(PCA)

ハイパースペクトルイメージングは、分光計測と画像計測を組み合わせた技術である。ハイパースペクトル装置では、縦1ラインの光束を分光器により分光し、これを赤外線イメージセンサの横ピクセル列を用いて計測し、さらに装置全体を横方向に走査することで、2次元の位置情報(x, y)と各ピクセルの波長分光情報(λ)で構成される3次元のデータキューブを取得する。本研究で開発した近赤外線ハイパースペクトルイメージングシステムでは、900~1700nmの近赤外線領域を640分割した波長ごとの赤外線強度データを取得している。別報⁽²⁾では、このデータキューブから、上塗と中塗の赤外線分光特性の差異が大きい波長を選択し、その波長における分光画像を構成することで中塗露出箇所を検出できることを示したが、データキューブの全てのデータを効果的に利用することにより、中塗露出箇所をより高精度に検出できるものと考えられる。

まず、スペクトルデータの解析精度を向上させるため、平滑化処理および散乱光補正処理の前処理を行った。平滑化処理とは、スペクトルデータに含まれるランダムノイズを低減する処理であり、本研究ではデータ全体に対して高速に処理を行うことが可能なSavitzky-Golay法⁽³⁾を用いた。散乱光補正処理は、計測対象の表面性状による散乱効果や照明強度の不均一性によりピクセルごとに異なるスペクトルのベースラインのばらつきを低減する処理であり、MSC(Multiplicative Scatter Correction)⁽⁴⁾を採用した。

次に、上塗および中塗の全波長域での前処理を行ったスペクトルデータに対して、多変量解析の探索的手法である主成分解析(PCA)を適用し、中塗層の露出箇所の強調が可能かどうか検証を行った。ここで、PCAとは、複数の変数間の共分散を少数の合成変数で説明し、共分散行列の固有値問題の解として得ることで、データの特徴を複数の変数で捉え強調するデータ解析手法である。具体的な処理として、図2に示すようにデータ

キーワード 近赤外線カメラ、ハイパースペクトル計測、分光特性、重防食塗装、長大鋼橋梁
 連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1 神戸大学工学研究科機械工学専攻

キューブを一つの行列 A に変換し、特異値分解することで3つの行列を得る。そのうち、行列 U は各列が EOF と呼ばれ、2次元に再構成することでデータキューブの特徴を2次元画像で抽出することが出来る。

3. 解析結果

実橋梁に対して得られた近赤外線ハイパースペクトル計測データ⁽²⁾に前処理を適用した。そして、前処理を適用したデータに対して PCA の適用を行った。計測対象とした領域のハイパースペクトル計測の解析結果を図3に示す。図3(a)には計測箇所の可視画像を、図3(b)には全波長域で平均化された赤外線画像を示している。そして、図3(c)には上塗塗料の健全な箇所である点 A および中塗層の露出が顕著に確認できる点 B から取得したスペクトルデータを示している。図3(d)には、図3(c)のスペクトルデータに対して前処理を適用したスペクトルデータを示している。図3(e)には前処理を適用したデータに対して PCA を適用した結果の一例を示している。

図3(c)を見ると、計測データのスペクトルデータにはノイズとスペクトル間の強度差があることがわかる。しかし、図3(d)の前処理を適用後のスペクトルを見ると、ノイズとスペクトル間の強度差を低減できていることが確認できる。そして、図3(e)を見ると、前処理を適用したデータに対して PCA を適用することによって中塗露出箇所をより強調できていることがわかる。この結果により、前処理を適用したデータに PCA を適用することで高精度に中塗層の露出箇所を検出できる可能性が示された。

参考文献

(1)阪上ほか, 近赤外線分光情報を用いた塗膜劣化評価法の提案ほか2編, 土木学会第73回年次学術講演会講演概要集, pp.51-56, 2018.(2)谷ほか, ハイパースペクトル計測による重防食塗装の劣化評価, 土木学会第79回年次学術講演会講演概要集, 2024. (3) Savitzky, Abraham, and Marcel JE Golay. "Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures." *Analytical chemistry* 36.8 (1964): 1627-1639. (4) H. Martens, S.A. Jensen, P. Geladi, "Multivariate linearity transformations for near infrared reflectance spectroscopy", in: O.H.J. Christie (Editor), *Proc. Nordic Symp. Applied Statistics*, Stokkland Forlag, Stavanger, Norway, 1983, pp. 205–234.

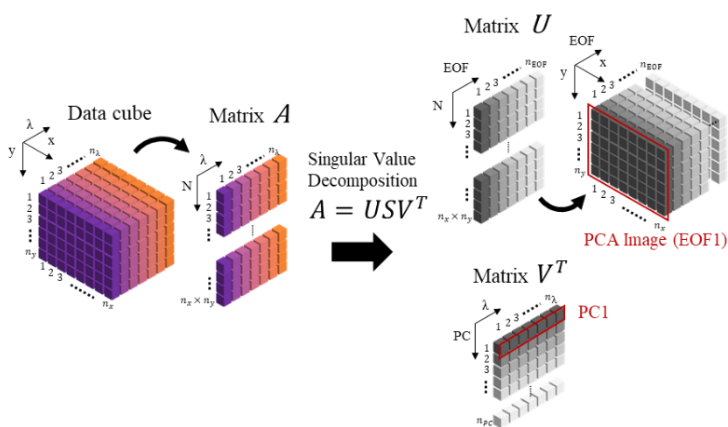


図2 PCAの概略図

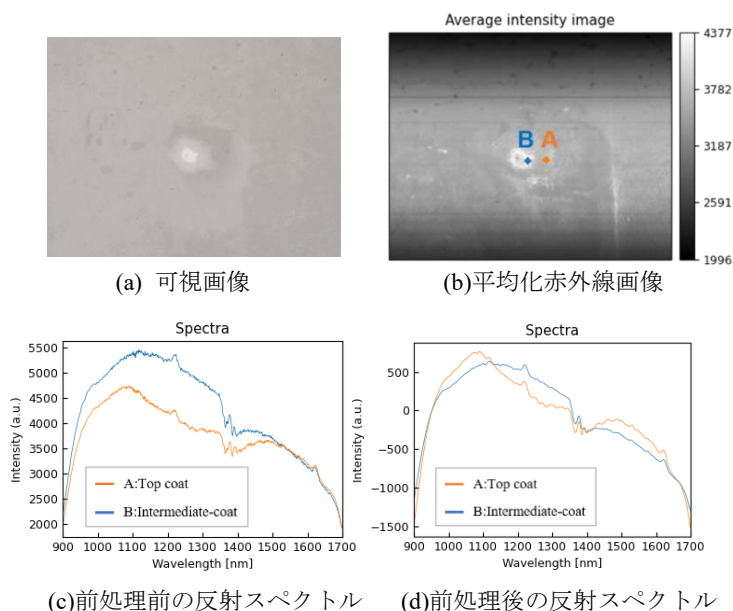


図3 ハイパースペクトルデータの解析結果

(e)PCAによる防食塗膜の劣化部位の検出結果

第VI部門

2024年9月5日(木) 15:10 ~ 16:30 会場 C105(川内北キャンパス講義棟C棟)

補修・補強 (1)

座長：審良 郁夫 (オリエンタルコンサルタンツ)

16:00 ~ 16:10

[VI-625]

塗膜剥離剤による無機ジンクリッチペイントを残留させた塗替塗装の検討

*山崎 旬也¹、岡田 舜啓¹、上坂 健一郎¹、一宮 充²、作 周平³ (1. 首都高速道路株式会社、2. 株式会社ワイ・シー・イー、3. 大日本塗料株式会社)

第VI部門

2024年9月5日(木) 15:10 ~ 16:30 血 C105(川内北キャンパス講義棟C棟)

補修・補強(1)

座長：審良 郁夫（オリエンタルコンサルタンツ）

16:00 ~ 16:10

[VI-625] 塗膜剥離剤による無機ジンクリッチペイントを残存させた塗替塗装の
検討

*山崎 旬也¹、岡田 舜啓¹、上坂 健一郎¹、一宮 充²、作 周平³ (1. 首都高速道路株式会社、2. 株式会社ワイ・シー・イー、3. 大日本塗料株式会社)

キーワード：塗替塗装、塗膜剥離剤、鋼橋、無機ジンクリッチペイント

防食下地に無機ジンクリッチペイントを使用した塗装系の供試体に塗膜剥離剤を用いて無機ジンクリッチペイント面まで露出させ付着力を測定するとともに、剥離剤の残存量を変化させて塗装を実施し付着力を測定したので報告する。

塗膜剥離剤による無機ジंकリッチペイントを残存させた塗替塗装の検討

首都高速道路株式会社 正会員 ○山崎 旬也, 岡田 舜啓, 上坂 健一郎
株式会社ワイ・シー・イー 一宮 充
大日本塗料株式会社 作 周平

1. はじめに

首都高速道路では、43年前の1981年より一部の外面塗装仕様に厚膜形無機ジंकリッチペイントが規定された¹⁾。このため防食下地に無機ジंकリッチペイント（以下、無機ジंकと称す。）が使用された多くの鋼橋が、今後塗替塗装の時期を迎える。無機ジंकは亜鉛による犠牲防食作用による強い防せい力を有するが、さびや塗膜とは密着しないので現場での塗替塗装に適用するのは難しいとされている²⁾。よって、無機ジंकを有する塗装系の塗替塗装は鋼材面まで素地調整を実施し、有機ジंकリッチペイントを塗装している。

一方で、塗膜剥離剤は塗膜の樹脂成分を軟化させ古い塗膜を除去するため、樹脂量が極端に少ない無機ジंकには適さないことが知られている。この特徴を活かして無機ジंकを健全な状態で残存させ塗替塗装を行うことができれば、塗替塗装の品質向上および費用縮減が図れる。

また、一般的に剥離剤による素地調整では、塗膜除去後に動力工具やブラストにより鋼材面を露出させるため、剥離剤の残存がその後の塗装に与える影響はないと考えられていた。しかし、本研究では無機ジंकを残存させた状態で塗装することを考えているため、剥離剤の残存が塗装に影響を与えるか確認する必要がある。

本稿では、防食下地に無機ジंकを使用した塗装系の供試体に剥離剤を用いて無機ジंक面まで露出させ付着力を測定するとともに、剥離剤の残存量を変化させて塗装を実施し付着力を測定したので報告する。

2. 塗膜剥離剤による素地調整

首都高速道路では剥離剤を使った塗膜除去作業中の火災事故を経験している。そのため、剥離剤は消防法の危険物および指定可燃物に該当しない水系剥離剤の中からNE-3（ネオス製）、アクアインプラス202N（JFEエンジニアリング製）の2種類を選定した。

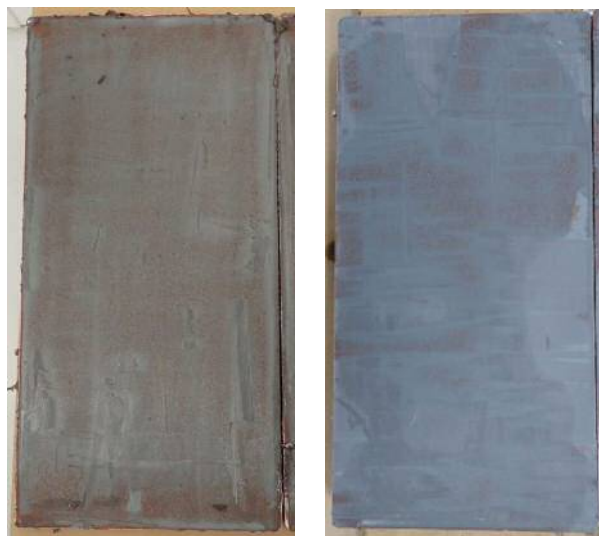
供試体は150mm×6mm×300mmの鋼板にブラスト処理し表-1の塗装を実施した後に、参考文献3)を参考に

表-1 塗替塗装前の塗装系

塗装系	塗装工程	塗料名	塗料規格	使用量 g/m ² 以上	回数	塗装方法	目標膜厚 μm	塗装間隔	施工
S-A	素地調整	原板ブラスト ISO Sa2 1/2							鋼橋工事等受注者
	調整	SPSS Sd2, Sh2						ブラスト	
	プライマー	無機ジंकリッチプライマー (ゼッターOL-HB)	SDK P-401	200	1	スプレー	20	後直ちに6ヶ月以内	
	素地調整	原板ブラスト ISO Sa2 1/2						が望ましいブラスト	
	調整	SPSS Sd2, Sh2						後直ちに	
	下塗第1層	厚膜型無機ジंकリッチペイント (ゼッターOL-HB)	SDK P-411	700	1	スプレー	75	2日~1ヶ月	
	ミストコート	エポキシ樹脂塗料(下塗)	SDK P-413	160	1		—	2日以内	
	コート	(エポニックス#30下塗 赤さび色)	SDK P-413	300	1		60	2日~1ヶ月	
	下塗第2層	エポキシ樹脂塗料(下塗)	SDK P-413	300	1		60	2日~1ヶ月	
	下塗第3層	エポキシ樹脂塗料(下塗)	SDK P-413	300	1		60	2日~1ヶ月	
中塗	エポキシ樹脂塗料(下塗)	SDK P-413	300	1	60		2日~1ヶ月		
中塗	ポリウレタン樹脂塗料中塗 (VトップH中塗 N-9.5淡目)	SDK P-422	170	1	30		2日~15日		
上塗	ポリウレタン樹脂塗料上塗 (VトップH上塗 N-9.5)	SDK P-431	140	1	25				

表-2 塗替塗装の塗装系

素地調整	工程	塗料名	塗料規格	使用量 g/m ² 以上	塗装方法	目標膜厚 μm	塗装間隔	
塗膜剥離剤	防食下地	水性有機ジंकリッチペイント (水性ゼッターEP-2HB)	SDK W-512	600 (250×2)	吹付 (エア)	75		
	下塗1	水性エポキシ樹脂塗料 (水性エポオール N-8.5)	SDK W-513	240 (200)		60	1日~10日	
	下塗2	水性エポキシ樹脂塗料 (水性エポオール N-7.0)	SDK W-513	240 (200)		60	1日~10日	
	中塗	水性エポキシ樹脂塗料中塗 (水性エポニックス中塗 N-9.5淡目)	SDK W-522	170 (140)		30	1日~10日	
	上塗	水性ふっ素樹脂塗料 (水性Vフロン#100H上塗IG N-9.5)	SDK W-534	140 (120)		25		



(a) CASE-2

(b) CASE-12

写真-1 塗膜除去後の状況

キーワード 塗替塗装, 塗膜剥離剤, 鋼橋, 無機ジंकリッチペイント

連絡先 〒220-0012 神奈川県横浜市西区みなとみらい3-2-9

首都高速道路(株) 神奈川局 土木保全設計課 TEL045-307-0532

促進劣化処理を行った。促進劣化処理は上塗塗装後に7日間以上の養生を行った後に、60℃加温下で7日間、2日間以上の養生を行い、塗膜中の揮発成分を除去させた。また、表-2に塗替塗装の塗装系を示す。

塗膜剥離作業は2種類の剥離剤とともに無機ジンクが露出するまで行い、塗膜の除去はスクレーパーにより実施した。写真-1に塗膜除去後の状況を示す。実験ケースは剥離剤の種類、ぬめり除去方法、水性有機ジンクリッチペイントの有無および剥離剤による素地調整を実施していないものも含めて17ケースの実験を行った(表-3)。なお、塗替塗装時には全てのケースで剥離剤が揮発し供試体表面は乾燥状態であった。

3. 塗膜剥離剤使用後の塗膜の健全性

各ケースの塗膜剥離後および塗替塗装後の付着力を測定した。付着力はプルオフ試験(JIS K5600-5-7)による測定を実施した。なお、塗替塗装後の塗膜は2で述べたものと同様の促進劣化処理を実施した後に付着力を測定した。塗膜除去後の付着力の測定結果を図-1に示す。剥離なしについては上塗り面にて試験を実施し、剥離剤を使用したCASE-2~17は無機ジンク面にて試験を実施している。また、CASE-2~17は剥離剤の違いによる各ケースの平均値を表している。剥離なしに比べ剥離剤による塗膜除去を行った方が付着力が高い結果となった。これは剥離なしの供試体では促進劣化処理が1回であるのに対し、塗膜除去を行った供試体は塗替塗装後に全ての箇所ですべてプルオフ試験をしているため促進劣化処理を2回行っている。これにより、無機ジンクの硬化が進んだため付着力が大きくなったと考えられる。また、剥離剤の違いによる付着力の差は見られなかった。試験後の破断面はほとんどが無機ジンク層の凝集破壊であった。

図-2に剥離剤の除去方法の違いによる塗替塗装後の付着力の結果を示す。CASE-1が剥離なし、CASE-2~11がNE-3、CASE-12~17がアクアインプラス202Nによる剥離を行った結果を示す。これも剥離剤なしに比べ剥離剤による塗替塗装を行った方が付着力が高い結果となった。また、剥離剤のぬめり除去方法の違いによる差はみられなかった。この試験においても破断面はほとんどが無機ジンク層の凝集破壊であった。このことから、剥離剤の残存量が塗装に与える影響は少ないと考えられる。

4. おわりに

素地調整に塗膜剥離剤を使用し、防せい力の強い無機ジンクを残存させることで塗替塗装の品質向上および費用削減を目的に供試体による実験を行った。塗膜剥離剤使用による無機ジンクの付着力は使用していないものに比べ大きくなっており、剥離剤による損傷は受けていないものと考えられる。また、塗膜剥離剤の残存量の多寡による付着力の差もなかった。今後は長期耐久性を確認するため複合サイクル試験を実施する予定である。

謝辞 株式会社ネオス、JFEエンジニアリング株式会社には、塗膜剥離剤をご提供いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献 1) 首都高速道路(株): 鋼橋塗装設計施工要領, 2021年10月 2) (公社) 日本道路協会: 鋼道路橋防食便覧, 平成26年3月 3) (公社) 鉄道総合技術研究所: 鋼構造物塗装設計施工指針, 2013年12月

表-3 実験ケース

CASE	塗膜剥離剤	塗替え塗装系	剥離剤ぬめり除去方法
1			— (塗替え塗装を実施せず)
2	NE-3	水性有機ジンク有り	弱アルカリ性洗浄剤 (メーカー推奨)
3			電解質アルカリイオン水+不燃性リムーバー
4			電解質アルカリイオン水(乾拭きあり)
5			電解質アルカリイオン水(乾拭きなし)
6			なし(ワイヤブラシ乾拭き)
7	NE-3	水性有機ジンク無し	弱アルカリ性洗浄剤 (メーカー推奨)
8			電解質アルカリイオン水+不燃性リムーバー
9			電解質アルカリイオン水(乾拭きあり)
10			電解質アルカリイオン水(乾拭きなし)
11			なし(ワイヤブラシ乾拭き)
12	アクアインプラス202N	水性有機ジンク有り	純正専用クリーナー (メーカー推奨)
13			電解質アルカリイオン水+不燃性リムーバー
14			なし(ワイヤブラシ乾拭き)
15			純正専用クリーナー (メーカー推奨)
16			電解質アルカリイオン水+不燃性リムーバー
17			なし(ワイヤブラシ乾拭き)

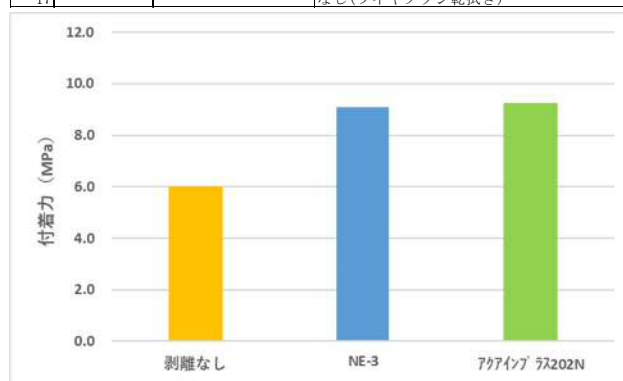


図-1 塗膜除去後の付着力

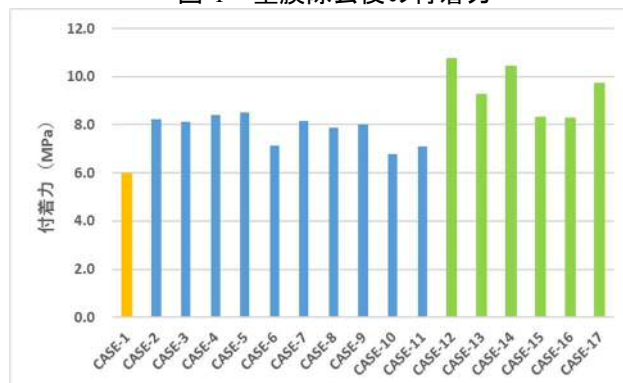


図-2 塗替塗装後の付着力

第V部門

2024年9月6日(金) 11:10 ~ 12:30 会場 C306(川内北キャンパス講義棟C棟)

補修・補強（材料）(5)

座長：子田 康弘（日本大学）

11:20 ~ 11:30

[V-793]

特殊粘着シートを用いたタッチアップ用シール材の耐久性

*山崎 大輔¹、三村 典正²、松田 芳範³ (1. ショーボンド建設株式会社、2. ショーボンドマテリアル株式会社、3. 東日本旅客鉄道株式会社)

第V部門

2024年9月6日(金) 11:10 ~ 12:30 C306(川内北キャンパス講義棟C棟)

補修・補強 (材料) (5)

座長：子田 康弘 (日本大学)

11:20 ~ 11:30

[V-793] 特殊粘着シートを用いたタッチアップ用シール材の耐久性

*山崎 大輔¹、三村 典正²、松田 芳範³ (1. ショーボンド建設株式会社、2. ショーボンドマテリアル株式会社、3. 東日本旅客鉄道株式会社)

キーワード：粘着剤、耐クリープ性能、引き剥がし強さ、防食性能、長期

鋼構造物の補修工事では、吊足場を設置する際にキャッチクランプを構造物本体に固定することがあるが、設置箇所の塗装が傷つくため、タッチアップをして補修する必要がある。ところが、本体の性能と同等にするには、たとえ小面積であっても同様の積層数が必用であり効率の悪いものであったため、容易にタッチアップできる補修材として、特殊粘着シートを用いたタッチアップ用シール材を開発した。実暴露にて耐久性を評価した結果、耐クリープ性能を有し、また、高い引き剥がし強さと防食性能を長期有していることを確認した。

特殊粘着シートを用いたタッチアップ用シール材の耐久性

ショーボンド建設 (株)	正会員	○山崎 大輔
ショーボンドマテリアル (株)	正会員	三村 典正
東日本旅客鉄道 (株)	フェロー	松田 芳範

1. 目的

鋼構造物の補修工事では、吊足場を設置する際にキャッチクランプを構造物本体に固定することがあるが、設置箇所の塗装が傷つくため、タッチアップをして補修する必要がある。ところが、本体の性能と同等にするには、たとえ小面積であっても同様の積層数が必用であり効率の悪いものであった。そこで、容易にタッチアップできる補修材として、特殊粘着シートを用いたタッチアップ用シール材を開発した¹⁾。粘着シートは図1に示すように厚い粘着剤とフッ素フィルムで構成され、貼り付けるだけで塗装の代替が可能である¹²⁾。粘着剤は半固形で粘性を有する特性から、わずかに圧力を加えるだけで貼付け面へ接着することができ、また、柔軟な性状から十分な変形性及び追従性を有し、ヒートショックに対しても強い特徴を持つ。その一方で接着剤のように硬化しないため、自重や風等が長期間作用した際の剥離やズレ等の懸念があった。そこで、長期の耐クリープ性能と引き剥がし強さ、および塗料としての基本性能である防食性能を実暴露にて評価した。

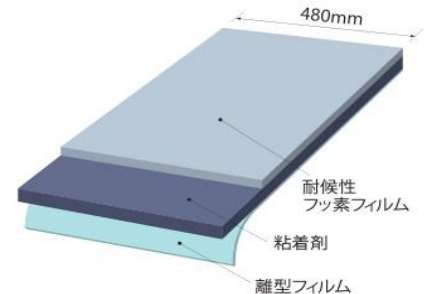


図1. 粘着シート構成



写真1. 橋梁外観

2. 試験方法

2. 1. 耐クリープ性能

東北地方に位置する供用中の鋼・コンクリート鉄道複合桁橋にて実施した(写真1)。写真2に試験体外観を示す。40×150mmのステンレス鋼板に40×100mmに成形した粘着シートの粘着部を貼り付け、それを塗替え塗装完了後12年経過した塗装面に貼り付けた。貼付け前に表面を水拭きし、汚れ等異物を除去した後に貼付けを行った。クリープ荷重として500gの錘を吊り下げ15年間暴露した。貼付け場所は、日陰となる端横桁のウェブと直射日光の影響を受ける西側に面した外桁外側ウェブとした。耐クリープ性能の評価は、クリープによるズレの目視観察とした。



写真2. クリープ試験体外観

2. 2. 引き剥がし強さ

図2に示すように粘着部端部を90°および135°方向に折り曲げ、引き剥がし時の抵抗荷重の測定を行った。測定では、錘を吊り下げするためのステンレス鋼板の穴を利用し、手持ち秤にて90°および135°方向に引張り、その際の最大荷重を引き剥がし強さとした。

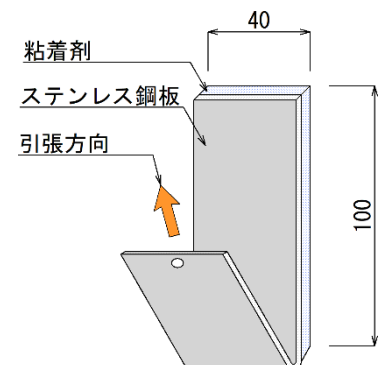


図2. 引き剥がし方法

2. 3. 防食性能

北関東地方の屋外にて、異なる表面処理を施した鋼板(SS400)表面に粘着シートを貼付け、表面処理の違いによる防食性能を確認した。表面処理はディ

キーワード 粘着剤, 耐クリープ性能, 引き剥がし強さ, 防食性能, 長期

連絡先 〒305-0003 茨城県つくば市桜1-17

ショーボンド建設株式会社 補修工学研究所 TEL029-857-8101

スクランダーによる2種ケレンとブラスト処理による1種ケレンの2種類とした。ブラストの研掃材にはアルミナを用い、Sa2.5程度の仕上がりとした。16年間暴露した後に粘着シート端部に5mm幅の切り込みを入れ、剥がした後の鋼材表面における腐食の有無を観察した。

3. 試験結果

3. 1. 耐クリープ性能

暴露後の外観写真を写真3に示す。試験体上部を観察すると貼付け直後からステンレス鋼板が下がり、粘着剤がずれて露出したような形跡はなく、日射や温度変化等による影響を受けても変形することはなかった。

3. 2. 引き剥がし強さ

引き剥がし強さの結果を表1に示す。引き剥がし抵抗幅40mmあたりで20kg程度の引き剥がし強さがあり、15年経過後も十分な付着特性を示した。引き剥がし強さの目標として、変状トンネル対策工設計マニュアル³⁾によれば、炭素繊維の接着後の耐風速性能の参考値が示されており、風速35m/sで耐え得る引き剥がし強さは引き剥がし角度90°にて幅50mm当たり250gであることから、粘着シートは十分な引き剥がし強さを有していることを確認した。

引き剥がし強さと引き剥がし角度に関係性が見られたが、中村ら⁴⁾によれば、引き剥がし強さは引き剥がし角度が120~150°で最も低くなることが示されており、本結果も同様の結果となった。実際に引き剥がし角度が小さくなる方向に80kg程度の荷重を負荷しても剥がれることはなかった。

3. 3. 防食性能

試験体を写真4に示す。16年経過後の粘着シートをはがした鋼材(SS400)表面には発錆は見られず良好な防食性能を示した。粘着剤が鋼材表面になじみ、長期間密着した状態であることを示していた。現場塗装とは異なり、工場製品であることから、膜厚が一定に確保されており、ピンホールが発生しないことも長期の防食性を発揮する要因の一つと考えられる。

4. まとめ

特殊粘着シートを用いたタッチアップ用シール材は耐クリープ性能を有し、また、高い引き剥がし強さと防食性能を長期有していることを確認した。タッチアップ用シール材(粘着シート)は、これまで煩雑であった塗装の小さな傷や剥がれ等の補修を容易にでき、鋼構造物の耐久性向上の一助になるものとする。



写真3. クリープ試験体接写

表1. 引き剥がし強さ

測定箇所		引き剥がし強さ (kg)	
		90°	135°
日陰面	No.1	25 以上	14.9
	No.2	22.0	22.0
	No.3	25 以上	20.0
日射面	No.1	25 以上	22.0
	No.2	23.0	20.0
	No.3	25 以上	25.0

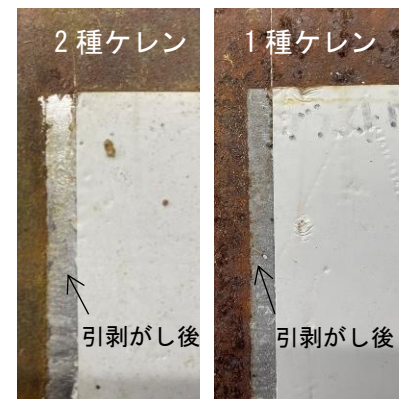


写真4. 鋼材表面の状況

参考文献

- 1)加藤 智丈ほか：タッチアップシール材の開発，令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会，V-328.
- 2)加藤 智丈ほか：除錆処理方法の違いによるタッチアップ用シール材の耐久性，令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会，V-180.
- 3)鉄道総合技術研究所：変状トンネル対策工設計マニュアル，p.300，1998.2.
- 4)中村 吉伸ほか：粘着強さにおよぼす剥離確度の影響の糸曳き現象からの検討，日本接着学会誌，Vol.53，No.1，2017.

第VI部門

2024年9月6日(金) 11:10 ~ 12:30 会場 C105(川内北キャンパス講義棟C棟)

補修・補強 (4)

座長：中澤 治郎 (パシフィックコンサルタンツ)

11:40 ~ 11:50

[VI-1246]

レーザーによる錆と塩分の清浄度に関する評価

*山田 創士¹、谷本 竜也¹、宮下 剛²、松村 政秀³、杉浦 邦征⁴、松本 理佐⁴ (1. 株式会社デーロス・ジャパン、2. 名古屋工業大学、3. 熊本大学、4. 京都大学)

12:20 ~ 12:30

[VI-1250]

塩化ゴム系塗装に対するIH塗膜除去工法の適用性検証

*大西 孝典¹、松原 拓朗¹、島崎 祥登¹、政門 哲夫²、稲葉 圭亮² (1. 首都高速道路株式会社、2. 日本エンジニアリング株式会社)

第VI部門

2024年9月6日(金) 11:10 ~ 12:30 Ⅲ C105(川内北キャンパス講義棟C棟)

補修・補強(4)

座長：中澤 治郎 (パシフィックコンサルタンツ)

11:40 ~ 11:50

[VI-1246] レーザーによる錆と塩分の清浄度に関する評価

*山田 創士¹、谷本 竜也¹、宮下 剛²、松村 政秀³、杉浦 邦征⁴、松本 理佐⁴ (1. 株式会社デーロス・ジャパン、2. 名古屋工業大学、3. 熊本大学、4. 京都大学)

キーワード：レーザー、塗装塗替、錆除去、塩分除去、維持補修、素地調整

鋼橋の塗替塗装は1種ケレンにより旧塗膜を撤去し、Rc-Ⅰ塗装系で再度塗装を行うことを標準としているが、新しい塗膜除去の方法としてレーザーを用いるケレン法が注目されている。本研究は塩害により部分的に発錆した鋼材に対しレーザーを使用して錆除去性能ならびに塗替塗装時の品質確保に影響を及ぼす残留塩分の除去性能(清浄度)について試験を行った。電動工具による2種ケレンでは凹部の錆を完全除去することはできなかったが、パルスレーザー100Wでは塩分をほぼ除去できることがわかった。またCWレーザーとパルスレーザーを併用することにより錆と塩分を迅速かつ確実に除去できることができた。

レーザーによる錆と塩分の清浄度に関する評価

(株) デーロス・ジャパン 正会員 ○山田 創士 正会員 谷本 竜也 正会員 森山 守
名古屋工業大学 正会員 宮下 剛 熊本大学 正会員 松村 政秀
京都大学 正会員 杉浦 邦征 正会員 松本 理佐

1. 目的

鋼橋の維持管理において一定期間毎に塗替塗装が実施されているが、鋼道路橋防食便覧¹⁾ではブラスト工法を用いた1種ケレンにより旧塗膜を撤去し、Rc-I塗装系で再度塗装を行うことを標準としている。しかし、ブラスト作業には、大掛かりな飛散養生設備や安全対策設備が必要であること、鋼橋桁端部や支承周辺の狭隘部では施工空間の制約から十分なケレン作業が困難であること、住宅が密集する市街地等では工事上の制約によって採用できない場合がある等の理由から、新しい塗膜除去の方法としてレーザーを用いるケレン法が注目されている。本研究では塩害により部分的に発錆した鋼材に対しレーザーを使用し、錆除去性能ならびに塗替塗装時の品質確保に影響を及ぼす残留塩分の除去性能（清浄度）について報告する。

2. 試験方法

2.1 供試体概要

- (1)鋼板寸法：縦 150 mm×横 75 mm×厚さ 6 mm
(2)鋼板材質：SS400
(3)鋼板の表面状況：塩害による厳しい腐食環境下を想定し、複合サイクル試験（K 5600-7-9 付属書 1（規定）サイクル D,6H,100 サイクル）にて発錆・腐食させた鋼板（腐食度 ISO8501-1:2007,C）を用いる。鋼板の表面状況と促進試験状況を図-1 に示す。



鋼板の表面状況



JIS K 5600-7-9 サイクル D

図-1 鋼板の表面状況と促進試験状況

2.2 試験方法

- (1)使用機材
(a)1500W CW レーザー
レーザー出力:1500W
連続波
(b)100W パルスレーザー
レーザー出力:100W
パルスエネルギー1.5mJ



(a)1500W CW レーザー



(b)100W パルスレーザー

図-2 レーザー機 1500W,100W の外観

(2)試験条件

発錆させた鋼材に対し、表-1 に示す A～E の 5 ケース、すなわち、CW1500W とパルス 100W による 2 種類のレーザーと比較のため電動工具による 2 種ケレンで素地調整を行い、錆除去性能および塩分除去性能（残留塩分）の確認を行った。残存塩分量は錆除去後、すみやかに電導度法により計測を行った。

表-1 試験条件

ケース	錆・塩分除去方法	枚数
A	レーザー (CW1500W)	3枚
B	レーザー (CW1500W+パルス100W)	3枚
C	レーザー (パルス100W)	3枚
D	サンダーケレン (2種ケレン)	3枚
E	処理なし	3枚

キーワード レーザー、塗装塗替え、錆除去、塩分除去、維持管理、素地調整
連絡先 〒921-8005 石川県金沢市間明町2丁目-70番地
(株) デーロス・ジャパン TEL 076-229-7260

3. 試験結果と考察

錆除去（素地調整）は目視により除錆度 Sa21/2 (ISO 見本版) と比較しながら錆除去性能（時間）を計測した。試験結果を表-2 にまとめている。図-3 には錆除去時間と残存塩分量を示す。

発錆した鉄板は ISO 見本版 C 相当であり、塩分量は電導法で測定できる最大値 1999 mg/m^2 を示していた。レーザー CW1500W（ケース A）において 0.5 分ほどで粗い錆を除去できたが、錆の完全除去に 1.0 分を要した。粗面は若干黒光りしており表面に薄い膜のような状態となっていた。パルス 100W（ケース C）では錆除去に 7 分を要したが、粗面に黒光りはなくきれいな鉄素地面が見られた。照射部の温度を測定したところ CW1500W が 180°C に対し、パルス 100W は 25°C と低温であったことから、酸化被膜が形成されずに錆が除去されたと推察される。

錆除去後、残存塩分量を測定すると CW1500W では残存塩分量にバラつきが見られ、鋼道路橋防食便覧¹⁾の基準値とされる 50 mg/m^2 未満を満足していなかった。一方、パルスレーザー 100W を行ったケース B, C では残存塩分量はほぼ 0 となりパルスレーザーは塩分除去に有効であることがわかった。これはパルスレーザー 100W の熱が極短時間に表面の非常に小さい体積のみを加熱し蒸発させることで塩分を同時に除去したものと推察している。電動工具による 2 種ケレンでは凹部の錆を完全除去することはできず、残存塩分量も 50 mg/m^2 未満を満足していなかった。






4. まとめ

今回の試験結果よりパルスレーザー 100W により発錆させた鋼板素地面の塩分をほぼ除去できることがわかった。パルスレーザー自体は低出力のため広範囲での作業性は不向きなことから、作業性・時間短縮を期待する場合には、ケース B のように高出力な CW1500W と併用するとより錆と塩分を迅速かつ確実に除去できることが確認できた。今後、素地調整した供試体に重防食塗料を施し、素地調整と塗膜に与える耐久性の影響についても引き続き整理する予定である。またレーザー施工能力の優位性（ボルト廻り・電動工具では困難な隅角部・狭隘部）および有害物質が含有する塗料除去への安全性についても検討を進める予定である。

参考文献

1) 日本道路協会：鋼道路橋防食便覧 平成 26 年 3 月

表-2 試験結果一覧

ケース	粗面状況	錆除去時間	残存塩分量 (mg/m^2)
A CW1500W		1分21秒	531
		1分03秒	647
		1分01秒	177.8
B CW1500W+ パルス 100W		1分34秒	0
		1分41秒	0
		1分30秒	0
C パルス 100W		6分30秒	0
		6分55秒	35
		7分09秒	0
D 電動工具 サンダー		1分16秒	427
		1分25秒	653
		1分26秒	1113
E 処理なし		-	1999
		-	1999
		-	1999

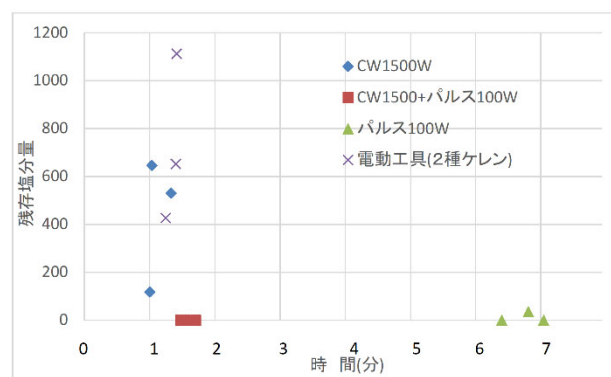


図-3 錆除去時間と残存塩分量

第VI部門

2024年9月6日(金) 11:10 ~ 12:30 Ⅲ C105(川内北キャンパス講義棟C棟)

補修・補強(4)

座長：中澤 治郎 (パシフィックコンサルタンツ)

12:20 ~ 12:30

[VI-1250] 塩化ゴム系塗装に対するIH塗膜除去工法の適用性検証

*大西 孝典¹、松原 拓朗¹、島崎 祥登¹、政門 哲夫²、稲葉 圭亮² (1. 首都高速道路株式会社、2. 日本エンジニアリング株式会社)

キーワード：塗装塗替、素地調整、IH塗膜除去工法、塩化ゴム系塗装

昭和40年代後半に建設された首都高速道路の鋼橋では、鋼材面にジンクリッチプライマー、下塗以降に塩化ゴム系塗料が塗布されている。これらの鋼橋の塗装塗替においては、効率的な塗膜除去が求められる。IH塗膜除去工法を用いて、塩化ゴム系塗料を効率的に除去することが可能であるかを確認するため、実橋にて試験施工を実施した。本稿では、塩化ゴム系塗装に対するIH塗膜除去工法の適用性について報告する。

塩化ゴム系塗装に対する IH 塗膜除去工法の適用性検証

首都高速道路株式会社 正会員 ○大西 孝典 松原 拓朗 島崎 祥登
日本エンジニアリング株式会社 正会員 政門 哲夫 稲葉 圭亮

1. はじめに

昭和56年～平成4年頃に建設された首都高速道路湾岸線では、鋼材面にンクリッチプライマー、下塗以降に塩化ゴム系塗料が塗布された塩化ゴム系塗装仕様が採用されている。塗替の際、ンクリッチプライマーについては、健全であれば除去する必要がないことから、下塗以降のみを除去可能とする工法があれば効率的な施工に繋がると考えられる。現状ではンクリッチプライマーを残存させる素地調整工法は動力工具を用いた工法が標準であるが、騒音の発生及び粉塵の飛散等が課題となっている。

そこで、動力工具と比較して粉塵や騒音の発生が極めて少ない IH 塗膜除去工法を用いて塩化ゴム系塗料の剥離が可能かを確認する試験施工を実施した。本稿では、その施工結果を報告する。

2. 試験概要

試験箇所は塩化ゴム系塗料が塗布されている湾岸線（東行き）の内桁と外桁とした。施工前に実施した事前調査にて既設塗膜の状態が健全であることを確認している。

試験における目標とする施工温度は、内桁、外桁ともに 100～200℃とした場合と 200～300℃とした場合の 2 ケースとした。施工後は残存塗膜の確認、付着塩分量及び引張付着力の確認を行った。また、塗替塗装後の引張付着力を確認するため、塗膜剥離後に防食塗料である水性有機ジンクリッチペイント及び水性無機ジンクリッチペイントを塗布し、引張付着力試験を実施した。本試験施工における試験ケースを表-1 に示す。

3. 試験結果

(1) 残存塗膜の確認

IH 塗膜除去工法施工後の外観を表-2 に示す。目標施工温度を 100～200℃とした場合、内桁、外桁ともに下塗である塩化ゴム系塗料が多く残存し、下塗を除去できた範囲（=有機ジンクリッチプライマーのみが残存している範囲）は 30%程度に留まり、200℃以下ではほとんど剥離しないことが確認された。目標施工温度を 200～300℃とした場合の内桁、外桁の下塗除去範囲はどちらも 10～20%程度に留まり、有機ジンクリッチプライマー面以外に焦げを確認した。ペイントボアラにより、焦げ部を確認したところ、焦げは塩化ゴム系塗料に生じていることが確認できた。



図-1 IH 塗膜除去工法の施工イメージ

表-2 試験ケース

試験ケース	箇所	目標施工温度	塗装仕様
No.1	内桁	100～200℃	水性有機ジンクリッチペイント
No.2		200℃	水性無機ジンクリッチペイント
No.3		200～300℃	水性有機ジンクリッチペイント
No.4		300℃	水性無機ジンクリッチペイント
No.5	外桁	100～200℃	水性有機ジンクリッチペイント
No.6		200℃	水性無機ジンクリッチペイント
No.7		200～300℃	水性有機ジンクリッチペイント
No.8		300℃	水性無機ジンクリッチペイント

表-2 残存塗膜状況（外観）

試験ケース	箇所	目標施工温度	外観写真	残存塗膜割合
No.1	内桁	100～200℃		有機ジンク:30% 下塗:70%
No.2				
No.3		200～300℃		有機ジンク:10% 下塗:30% 焦げ部:60%
No.4				
No.5	外桁	100～200℃		有機ジンク:20% 下塗:70% 焦げ部:5%
No.6				
No.7		200～300℃		有機ジンク:20% 下塗:40% 焦げ部:40%
No.8				

キーワード 塗装塗替, 素地調整, IH 塗膜除去工法, 塩化ゴム系塗装

連絡先 〒103-0015 東京都中央区日本橋箱崎町 43-5

首都高速道路株式会社 東京東局 土木保全設計課 TEL 03-5640-4865

(2) 残存塗膜の付着力

残存した各塗膜に対して引張付着力試験を行った。表-3より、有機ジンクリッチプライマー面、下塗面に対する引張付着力は13~15MPaが計測され、破壊は有機ジンクリッチプライマーの凝集破壊であったことから、十分な引張付着力を有していると考えられる。焦げ面については4~5MPa程度という結果であり、有機ジンクリッチプライマー面や塩化ゴム系塗料面と比較して著しく小さくなった。

(3) 付着塩分量

本試験施工箇所は沿岸部に位置していることから内桁、外桁の施工前後で電導度法による付着塩分量の計測を行った。表-3より、桁 (No.1~No.4) の施工前の付着塩分量は 805.7mg/m²であったのに対し、100~200℃施工 (No.1~No.2) 後は約 24.7mg/m²まで低減したが、200~300℃施工 (No.3~No.4) では1422.3mg/m²と増加する結果となった。外桁 (No.5~No.8) も同様に、100~200℃施工 (No.5~No.6) では付着塩分量が低減したが、200~300℃ (No.7~No.8) では増加した。この要因として、電導度法は表面に付着している塩分を溶出させた塩分溶出液の塩分濃度を計測する方法であり、今回は塩化ゴム系塗料が焦げた際に成分が変化し、塩分溶出液中の塩分濃度が増加した可能性がある。

(4) 塗装後の付着力

IH 塗膜除去工法にて塗膜除去を行った後、水性有機ジンクリッチペイント及び水性無機ジンクリッチペイントによる塗装を実施し、引張付着力を確認した。付着力の確認は有機ジンクリッチプライマー部、下塗部、焦げ部の全てで実施し、表-3より全箇所において2.0MPa以上を確保していることが確認された。内桁 (No.1~No.4) について着目すると、有機ジンクリッチプライマー部や下塗部の場合は100~200℃施工 (No.1, No.2) の方が200~300℃施工 (No.3, No.4) に比べて高い付着力を有していることを確認した。また、水性無機ジンクリッチペイント塗布面 (No.2, No.4) は水性有機ジンクリッチペイント塗布面 (No.1, No.3) と比較して付着力が小さい値となっており、水性無機ジンクリッチペイントの破壊は水性無機ジンクリッチペイントと残存塗膜の界面剥離、水性有機ジンクリッチペイントの破壊は水性有機ジンクリッチペイントと接着剤の界面剥離であった。焦げ部の付着力は、他の箇所と比較して小さい結果となった。

外桁についても内桁と同様な結果となっており、比較の結果、数値に大きな差異は見受けられなかった。

4. まとめ

塩化ゴム系塗装に対してIH塗膜除去工法を行い、下塗以降の塩化ゴム系塗料を除去することが可能かを確認するための試験施工を行った。試験施工の結果、200℃以下の施工では剥離が不十分であり、200~300℃程度の施工では塩化ゴム系塗料が焦げて残存してしまい、完全な下塗除去は難しいことが確認された。その後の残存塗膜の付着力試験では有機ジンクリッチプライマー面と下塗面については十分な付着力を有していることを確認したが、焦げ部の付着力は有機ジンクリッチプライマー面や下塗面と比較して著しく小さい傾向であった。以上より、防錆性能が高くない下塗及び焦げ面を残存させて新規塗料を塗り重ねることは、将来的に不具合が発生させる可能性が高く、避けるべきと考えられる。

残存塗膜の防食性能、経年変化については不明であることから、本試験施工箇所に関しては、引き続き経過観察を実施する予定である。

表-3 試験結果一覧

試験ケース	残存膜厚			塗膜除去後の付着力(5点平均)			付着塩分量		塗装後の付着力(5点平均)		
	有機ジンク	下塗	焦げ部	有機ジンク	下塗	焦げ部	施工前	施工後	有機ジンク	下塗	焦げ部
No.1	14.9~	29.6~	-	13.23MPa	13.89MPa	-	805.7mg/m ²	24.7mg/m ²	10.40MPa	10.13MPa	-
No.2	21.9μm	41.6μm	-						4.95 MPa	4.29 MPa	-
No.3	15.2~	31.5~	33.4~	15.40MPa	13.36MPa	4.82MPa		1422.3mg/m ²	8.58MPa	8.39MPa	7.90MPa
No.4	22.8μm	56.2μm	46.9μm						3.70 MPa	4.27 MPa	3.39 MPa
No.5	25.6~	39.9~	計測無し	14.75MPa	12.26MPa	計測無し	196.0mg/m ²	118.8mg/m ²	9.16 MPa	8.56 MPa	計測無し
No.6	35.8μm	56.7μm							4.17 MPa	3.72 MPa	計測無し
No.7	14.0~	26.2~	22.4~	13.53MPa	15.19MPa	4.69MPa		1108.8mg/m ²	7.59 MPa	7.53 MPa	7.24 MPa
No.8	28.0μm	45.6μm	35.4μm						5.56 MPa	4.30 MPa	2.23 MPa

第1部門

2024年9月6日(金) 13:00 ~ 14:20 会場 A105(川内北キャンパス講義棟A棟)

橋梁一般（設計）(3)

座長：玉田 和也（舞鶴工業高等専門学校）

13:00 ~ 13:10

[I-363]

鋼道路橋（鋼箱桁橋）の防食ライフサイクルコストに関する一考察

*桜井 稚恵¹、村本 裕樹¹、高木 優任² (1. 株式会社 横河ブリッジ、2. 日本製鉄 株式会社)

13:20 ~ 13:30

[I-365]

桁端部にステンレス鋼を適用した鋼橋のライフサイクルコストの試算

*趙 茂伶¹、加藤 健太郎¹、結城 洋一¹、石井 博典¹、香川 眞治² (1. (株)横河ブリッジホールディングス、2. (株)檜崎製作所)

第I部門

2024年9月6日(金) 13:00 ~ 14:20 A105(川内北キャンパス講義棟A棟)

橋梁一般 (設計) (3)

座長：玉田 和也 (舞鶴工業高等専門学校)

13:00 ~ 13:10

[I-363] 鋼道路橋 (鋼箱桁橋) の防食ライフサイクルコストに関する一考察

*桜井 稚恵¹、村本 裕樹¹、高木 優任² (1. 株式会社 横河ブリッジ、2. 日本製鉄 株式会社)

キーワード：鋼橋、箱桁、防食、ライフサイクルコスト、塗装周期延長鋼、金属溶射

インフラの高齢化に伴い、財源や人員等、限られたリソースを有効活用することが求められるようになり、構造物自体の長寿命化およびライフサイクルコスト (LCC) の低減は増々重要となっている。昨年度、実橋をモデルとした鋼桁橋の防食LCCの試算結果を報告したが、本稿ではさらに鋼箱桁橋における試算を行った。結果、既往成果と同様に塗装塗替え回数が防食LCCへ与える影響が大きい結果となった。また、塗替え回数の削減は、担い手不足の問題や環境負荷の低減にも繋がり、維持管理において非常に有用である。一方、環境や社会情勢等でコストにばらつきが生じるため、条件を適切にとらえ防食法を選定することが重要である。

鋼道路橋（鋼箱桁橋）の防食ライフサイクルコストに関する一考察

(株) 横河ブリッジ 正会員 ○桜井 稚恵, 村本 裕樹
日本製鉄(株) 正会員 高木 優任

1. はじめに 近年インフラ構造物の高齢化が進む中、その維持に必要な財源および担い手の確保が社会的な問題となっている。限られた予算と人員を効率的かつ効果的に活用するためにも、インフラ構造物のライフサイクルコスト(LCC)の低減は重要である。鋼橋においては、主部材を構成する鋼材の防食機能の維持が長寿命化において重要であり、この防食機能の維持が鋼橋のLCCへ大きく影響することは既知である。

過年度は、鋼桁橋に焦点をあて防食方法の違いによるLCCの定量的な評価および比較結果を文献1)に報告した。本稿では新たに、鋼箱桁橋における防食ライフサイクルコスト(以下、防食LCC)の評価および比較を行った結果を報告すると共に、過年度の鋼桁橋に関する知見と合わせて、防食法の違いによるLCCへの影響を考察する。

2. 検討概要 H29の道路橋示方書で求められる設計供用期間100年を想定し、表-1に示す規模や橋梁形式の異なる4橋をモデルに、一般に防食にかかる費用が大きくなる、厳しい環境(塩害地域)を想定した防食LCCの試算を行った。

表-1 検討の対象とした鋼道路橋(鋼箱桁橋)の諸元

	構造形式	橋長(m)	総幅員(m)	鋼重(t)	外面塗装面積(m ²)	外面塗装面積／鋼重(m ² /t)	備考
A橋	7径間連続細幅箱桁	445	12.0	1587	8128	5.12	規模大
B橋	単純細幅箱桁	52.5	11.2	202	823	4.08	規模小
C橋	5径間連続従来箱桁	199	21.5	1017	8370	8.23	規模大
D橋	単純従来箱桁	53.9	9.7	209	1167	5.58	規模小

(1)防食方法 本検討では、既往成果と同様に、塩害地域での鋼道路橋の一般的な防食手法である普通鋼に重防食塗装(C5塗装系)を施したものを基本ケースとし、塗装塗替え周期を延ばす効果があるとされる耐食性材料の塗装周期延長鋼にC5塗装系を施したケース、塗装塗替えが不要となる高耐食の被覆防食法である金属溶射(Al-Mg溶射)にC5塗装系を施したケースにて比較を行った。なお、各塗装系の仕様については、文献2)に従う。検討ケースの詳細を表-2に示す。

表-2 検討ケース

ケース	使用鋼材	表面被覆	推定耐久年数	塗替え仕様
①	普通鋼	重防食塗装(C5塗装系)	30年(塩害環境)	重防食塗装(Rc-I塗装系)
②	塗装周期延長鋼	重防食塗装(C5塗装系)	60年(塩害環境)	重防食塗装(Rc-I塗装系)
③	普通鋼	金属溶射(Al-Mg金属溶射) +重防食塗装(C5塗装系)	120年以上 (塩害環境)	—

各ケース供用期間中の防食機能維持のため、推定耐久年数毎に全面塗替えを行う。推定耐久年数は、既往成果と同様に、文献3)を参考とした。塗装周期延長鋼については、文献4)より塩害環境で普通鋼に比べ塗替え周期を約2倍に延長できる結果が得られているCORSPACE®の使用を想定し、推定耐久年数は普通鋼の2倍とした。塗替え塗装の仕様は一般的な重防食塗装(Rc-I塗装系)としている。

(2)概算工事費 概算工事費は、国土交通省土木工事積算基準(建設物価調査会)、土木工事積算基準マニュアル(建設物価調査会)に基づき算出する。初期建設費としては、実績を基に床版工を除く製作・架設工事費の予定価を見込んでいる。なお、架設は一般的なトラッククレーンベント架設に統一して算出した。また、鋼材エキストラの対象となる塗装周期延長鋼の鋼材価格は、建設物価を参照し、金属溶射+塗装の費用は、実績をベースに平均的な費用を採用した。また、塗替え費用には足場費用を加味するとともに、物価補正として文献5)より社会的割引率(本稿では年1.0%と仮定)を考慮している。

キーワード 鋼橋, 箱桁, 防食, ライフサイクルコスト, 塗装周期延長鋼, 金属溶射

連絡先 〒273-0026 千葉県船橋市山野町27 (株)横河ブリッジ TEL047-435-6277

3. 検討結果 各モデル橋のケース①の初期建設費を100%とした防食LCCの算出結果を図-1に示す。また、塗替え費用の中で足場費用が占める割合をグラフ横にそれぞれ括弧書きで示す。

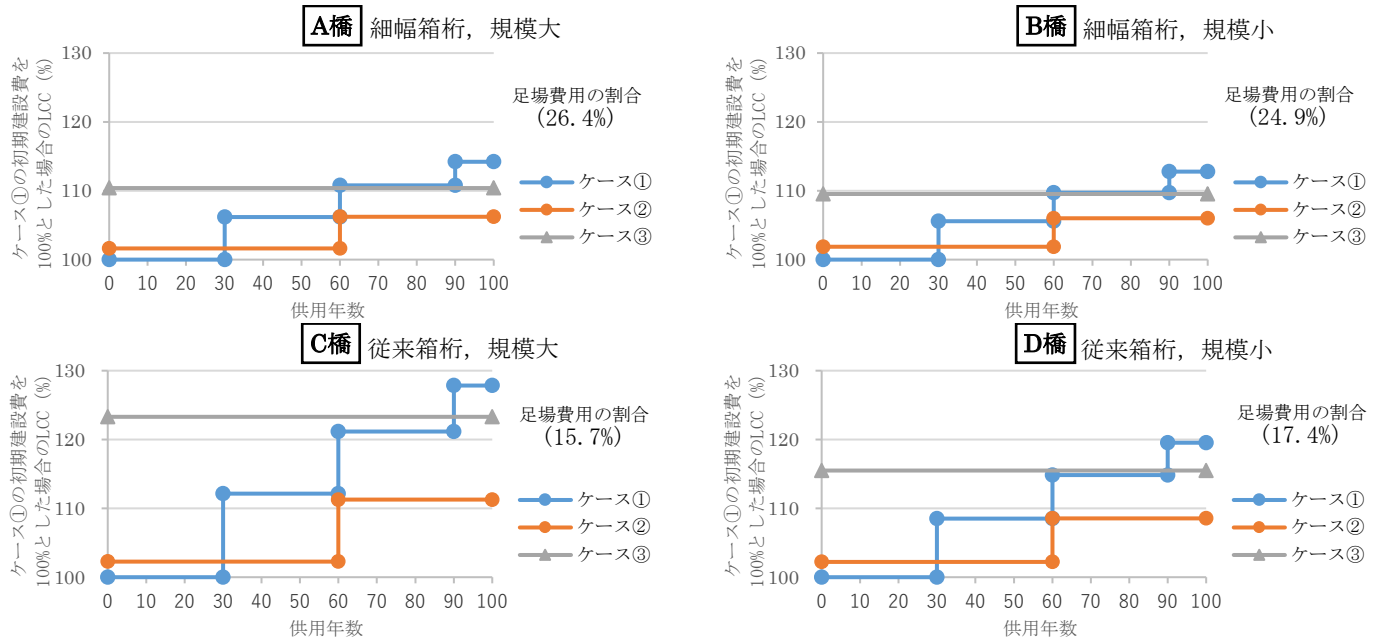


図-1 厳しい環境（塩害地域）を想定したモデル橋の防食LCCの比較

供用100年時点のLCCは、鋼桁橋と同様、全モデルで塗替え回数が最多となるケース①が最も高価となった。一方、鋼材エキストラ分による初期建設費のわずかな増加があるものの、塗替え回数をケース①の3回から1回に削減できるケース②が最安となった。今回は、箱桁の内外面に関わらず、全鋼材をCORSPACE®として算出したが、実際は、箱桁内部にある部材は普通鋼材を使用することから、初期建設費はさらに低減される。ケース③は、初期建設費が約10~23%増加し、これは塗替え2回相当となり、LCCに対しての優位性は認められなかった。また、細幅箱桁に比べ、従来箱桁の方がLCC増加率は大きくなる。これは単純に鋼重当たりの外面塗装面積の影響であり、縦桁などの床組み構造の合理化は箱桁における防食LCCの低減へも寄与する。一方、箱桁内部の合理化は、外面塗装面積とは無関係なため、鋼桁橋に比べ、合理化前後の鋼重当たりの外面塗装面積の差は小さい結果となった。

また、桁・箱桁で比較を行うと、一般に初期建設費は鋼重に比例するため、橋面積あたりの鋼重が重い箱桁の方がイニシャル値が大きく、最終のLCC増加率は桁に比べ、約半分と減少する結果となった。一方、既往成果にて、足場費が防食LCCの増加率に影響を及ぼすことを報告したが、足場費は橋面積に比例することから、構造形式による影響は無く、塗替え面積における足場費用の割合もほぼ同等であった。

4. まとめ 橋梁形式によらず、塗替え回数が防食LCCへ及ぼす影響は大きく、全てのモデルで塗装周期延長鋼の使用が防食LCC低減への寄与度が高い結果となった。また、塗替え回数の削減は、担い手不足問題の対処の1つとして有効であると同時に、環境負荷を低減することができる。以上より、鋼箱桁橋においても塗装周期延長鋼の適用は、防食LCCおよび維持管理の観点から非常に有用であると言える。一方、鋼桁橋の場合と同様に、架橋環境や橋の構造、社会情勢で各仕様のコストにばらつきは生じるため、条件を適切にとらえた多角的な視点での防食法の選定が重要である。そのためには、実績データの収集・検証が不可欠であり、今後も継続して検証を行いたい。

参考文献

- 1) 水口, 村本, 桜井, 高木: 鋼道路橋の防食ライフサイクルコストに関する一考察, 土木学会第78回年次学術講演会, I-372, 2023.9
- 2) 日本道路協会: 鋼道路橋防食便覧, 平成26年3月
- 3) 日本橋梁建設協会: 技術短信 No. 10, 令和2年9月改
- 4) 阪神高速道路, 日本製鉄: 高耐久性鋼材/Sn添加鋼(塗装周期延長鋼CORSPACE®)の防食性能評価に関する共同研究概要および鋼橋設計における材料の留意点, 令和2年3月
- 5) 国土交通省: 公共事業評価の費用便益分析に関する技術指針, 平成21年6月

第I部門

2024年9月6日(金) 13:00 ~ 14:20 Ⅲ A105(川内北キャンパス講義棟A棟)

橋梁一般 (設計) (3)

座長：玉田 和也 (舞鶴工業高等専門学校)

13:20 ~ 13:30

[I-365] 桁端部にステンレス鋼を適用した鋼橋のライフサイクルコストの試算

*趙 茂伶¹、加藤 健太郎¹、結城 洋一¹、石井 博典¹、香川 眞治² (1. (株) 横河ブリッジホールディングス、2. (株) 檜崎製作所)

キーワード：ステンレス鋼、桁端部、初期コスト、ライフサイクルコスト、塗装塗替え

鋼橋の桁端部に耐食性に優れるステンレス鋼を適用することで、耐久性の向上による省メンテナンス化やライフサイクルコスト (LCC) の低減が期待できる。一方、ステンレス鋼は材料価格が高いため、建設初期コストの増大によって、このような材料が採用されないことが懸念される。本研究では、桁端部にステンレス鋼を適用した場合の鋼橋のLCCを試算し、従来鋼橋とのコスト比較を行った。LCCの試算では初期コストと補修コストを対象とし、複数のケースを組み合わせ供用期間100年のコストを試算した。その結果、桁端ステンレス鋼橋は初期コストの増加率が従来鋼橋の5%以下、LCCの低減率も供用期間100年で10%以上見込めた。

桁端部にステンレス鋼を適用した鋼橋のライフサイクルコストの試算

(株) 横河ブリッジホールディングス 正会員 ○趙茂倫 加藤健太郎 結城洋一 石井博典
(株) 檜崎製作所 香川眞治

1. はじめに

鋼橋の桁端部は一般部に比べて著しい腐食が発生する場合があります。塗装の増し塗りや塗替え頻度の増加、当て板補強などの補修補強によって維持管理コストが増大し、これらが繰り返されることで維持管理効率も低下する。一方、耐食性に優れた材料であるステンレス鋼を桁端部に適用することで、鋼橋の耐久性の向上による省メンテナンス化やそれに伴うライフサイクルコスト（以降、LCC）の低減が期待できる。しかし、ステンレス鋼は従来の構造用鋼に比べて高価であるため、建設初期コストの増大を理由に、このような特徴を有する高性能鋼材が採用されないことが懸念される。そこで、本研究では図1に示すような桁端部にステンレス鋼を適用した場合の鋼橋の初期コストの増加率、および従来鋼橋における維持管理コストも考慮したLCCを試算することで、長期的な供用が期待される鋼橋のコスト比較を行った。

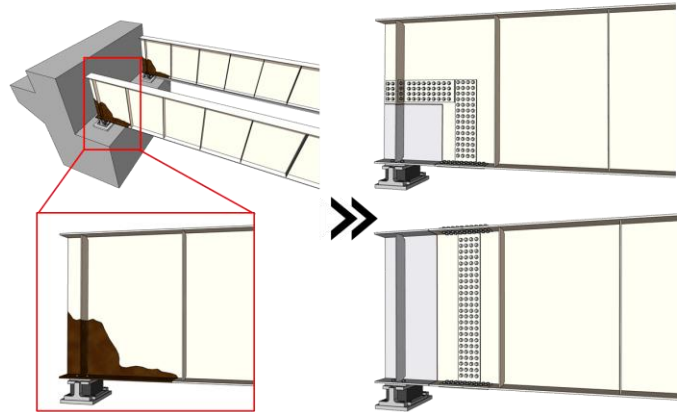


図1 ステンレス鋼を適用した主桁のイメージ



図2 桁端ステンレス鋼橋の主桁の概要（単位：mm）

2. 試算方法

本研究で対象とする鋼橋は4径間連続非合成2主桁桁橋とし、主桁形状は土木構造物標準設計¹⁾を参考に決定した。これらの諸元は橋長136m、幅員9m、ウェブ間隔6m、平均支間長34mとし、2主桁のみで鋼重70.7t、塗装面積1435m²とである。なお、後述する初期コストは、工事費実績²⁾に基づくA1で鋼部材すべてが含まれ、橋梁架設工事の積算³⁾に基づくA2およびA3で横桁や二次部材が試算範囲外であり、鋼重や塗装面積が小さく見積もられている。この鋼橋諸元にに基づき、鋼材をすべてSM490Yとした従来鋼橋（CB）、2主桁の桁端部（4か所）にステンレス鋼（SUS821L1）を適用した桁端ステンレス鋼橋（HS）および鋼材をすべてSUS821L1としたオールステンレス鋼橋（AS）のLCCを試算した。HSのステンレス鋼を適用する範囲である桁端部長さは、図2に示すように、桁端部から橋台天端の外側の第一補剛材までの範囲1700mmに、異材溶接線の配置を縦補剛材間隔の1/2（=700mm）で見込んだ2400mmとした。よって、HSのステンレス鋼の適用総長さは9.6m、鋼重および無塗装面積は約3.4%である。なお、従来の構造用鋼は重防食塗装を行い繰り返し補修され、ステンレス鋼は無塗装で補修しないこととした。

LCCを構成する要素には廃棄コストや社会的コストが含まれるが、本研究では（A）初期コストおよび（B）補修コストのみを対象とし、これらの複数のケースを組み合わせ、供用期間100年のLCCを試算した。

（A）初期コスト

初期コストはすべての対象橋梁でA1、A2およびA3の3ケースとした。A1は、日本橋梁建設協会による鋼道路橋の工事費実績（2022年版）²⁾である平成29年度から令和3年度の5年間の鋼橋上部工の契約金額に基づく。これより、支間長34mの連続鋼桁橋の単位面積当たりの工事費単価は、約180～250千円/m²であり、橋面積（=幅員×橋長）を乗じてA1とした。ただし、この工事費は費用の詳細が不明なため、HSおよびASのA1は、ミルメーカー提供の材料費および橋梁架設工事の積算³⁾に基づく工場塗装費を計算し、同様に計算したCBのこれら費用との差を加算することにした。A2は、橋梁架設工事の積算³⁾に基づいて、床版工事を除く架設工事および工場製作の費用のうち直接工事費のみを算出し、それらの合計とした。A3は、A2に間接工事費と一般管理費を加えたコストとした。これら費用に含まれる費目の詳細は文献3)を参照されたい。

各ケースの違いは参照元²⁾³⁾の違いによる試算方法であり、A1は橋梁上部工全体に着目し、A2およびA3は主桁のみに着目している。また、対象橋梁による違いはステンレス鋼の適用による材料費の増加および塗装費

キーワード ステンレス鋼、桁端部、初期コスト、ライフサイクルコスト、塗装塗替え

連絡先 〒261-0002 千葉県千葉市美浜区新港8 8 (株) 横河ブリッジホールディングス TEL043-247-8411

の減少で、ステンレス鋼の材料単価は炭素鋼の約 5.3 倍とした。架設工法はトラッククレーンベント工法とした。

(B) 補修コスト

補修コストは表 1 に示すように、CB が 3 ケース、HS および AS が各 1 ケースとした。B1~B3 は建設後 30 年ごとに全面塗替えを行うこととし、B1 は全面塗替えのみ、B2 は 30 年および 60 年で桁端部の当て板補修（4 か所）を追加、B3 は 30 年で桁端部の当て板補修（4 か所）と 60 年で桁端部取替補修（2 か所）を追加することを仮定した。B4 は建設後 45 年ごとにステンレス鋼を適用しない一般部のみ塗装塗替えを行い、B5 は塗装塗替えを行わないこととし、両ケースとも部材追加による補修がないと仮定した。これらの塗装塗替え周期は、鋼橋の供用環境および部材位置の塗膜寿命⁴⁾を参考に仮定した。以上の補修コストは、橋梁架設工事の積算³⁾に基づき、塗替え塗装の足場工や各補修工事費を含めて試算した。

3. 試算結果

図 3 には、初期コストごとに 5 ケースの LCC の試算結果を示す。同図の縦軸は、各ケースの累積コスト (LCC) を CB の各初期コスト A で除した値を示す。まず、HS の初期コスト A は CB に比べて約 1~5%の増加となる。これは、材料単価が従来の構造用鋼の約 5.3 倍となるステンレス鋼を桁端部に部分的に適用しても鋼重全体に占める割合が小さく、工場製作や架設工事の費用に対して材料費が十分に小さいためである。また、AS の初期コスト A は CB に比べて約 14~84%となり、試算方法の違いによって差がみられた。この理由は、A1 では橋梁上部工全体に着目したため、主桁に着目した A2 および A3 に比べて、初期コスト全体に対する材料費の割合が小さくなったことによる。

つぎに、HS の LCC は供用期間 100 年で、CB の補修コスト B1、B2 または B3 に比べて約 10~25%、約 11~25% または約 16~37%小さくなる。当て板補強を含む B2 が塗装塗替えのみの B1 と同程度である理由は、足場工の費用が補修コストの大部分を占め、塗装塗替えと当て板補強で足場が兼用できることにより、作業の追加に伴う工期や人工の増加が小さいためである。B3 に対しては、桁端部の取替えを含むため、最大で約 37%の低減となった。以上より、本研究の試算による桁端ステンレス鋼橋は、初期コストの増加率が従来鋼橋の 5%以下、LCC の低減率も供用期間 100 年で 10%以上見込めるといえる。

4. おわりに

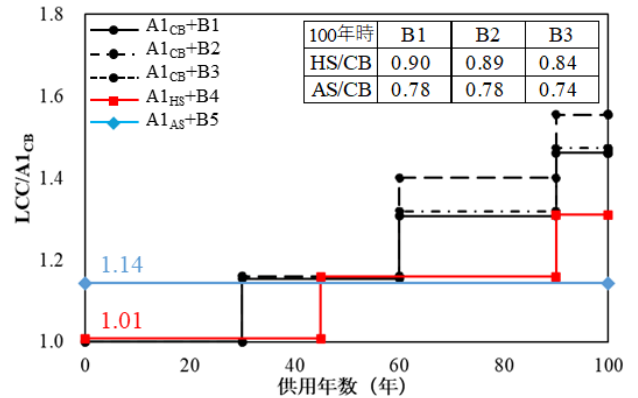
本研究では、桁端部にステンレス鋼を適用した鋼橋のライフサイクルコストを試算した。その結果、材料単価を従来の構造用鋼の約 5.3 倍とした桁端ステンレス鋼橋は、初期建設コストの増加率に比べて、LCC の低減率が大きく、耐久性および経済性に優れる鋼橋の構築が期待できた。

謝辞 本研究の実施にあたり、日鉄ステンレス（株）の関係者の皆様には鋼材に関する情報提供および試算条件への助言など、多大なご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

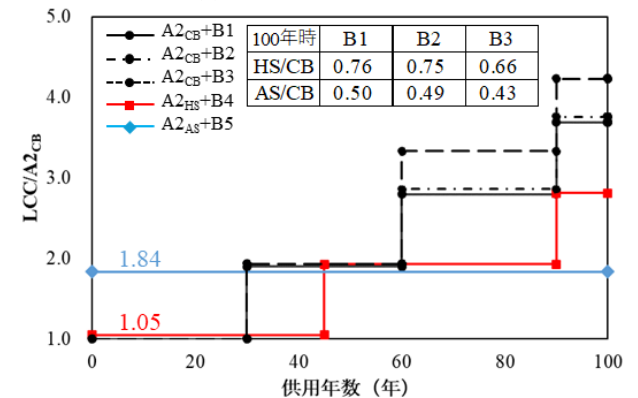
参考文献 1) 社団法人 全日本建設技術協会：建設省制定 土木構造物標準設計 23（単純プレートガーダー橋—その 1）主けた構造，1994。2) 一般社団法人 日本橋梁建設協会：2022 年版鋼道路橋の工事費実績【平成 29 年度～令和 3 年度実績】，2022。3) 一般社団法人 日本建設機械施工協会：橋梁架設工事の積算 令和 5 年度版，2023。4) 玉越隆史，横井芳輝，石尾真理：全国規模の道路橋点検データに基づく鋼橋の劣化の特徴，鋼構造論文集，第 21 巻，第 82 号，pp.99-113，2014。

表 1 補修コストのケース

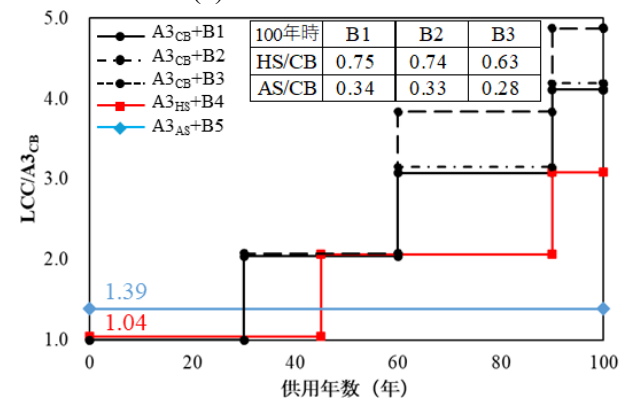
ケース	B1	B2	B3	B4	B5
橋梁	CB			HS	AS
塗装範囲	全面			桁端部以外	無塗装
塗替期間 ⁴⁾	30年			45年	-
補修	1回目	全面塗替 当て板補修	全面塗替 当て板補修	桁端部以外 局部塗替	-
	2回目	全面塗替 当て板補修	全面塗替 桁端取替	桁端部以外 局部塗替	-
	3回目	全面塗替	全面塗替	-	-



(a) A1 に基づく LCC



(b) A2 に基づく LCC



(c) A3 に基づく LCC

図 3 LCC の試算結果

第1部門

2024年9月6日(金) 14:40 ~ 16:00 会場 A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (9)

座長：中村 聖三 (長崎大学)

14:40 ~ 14:50

[I-272]

実橋における鋼桁の温度変化の大きさと頻度に関する基礎的検討

*岩井 将樹¹、服部 雅史¹ (1. 株式会社 高速道路総合技術研究所)

14:50 ~ 15:00

[I-273]

劣化した塗膜に防食シートを貼付した場合の防食性能に関する検討

*武中 宏樹¹、審良 善和²、山口 明伸²、神頭 峰磯³ (1. 鹿児島大学大学院、2. 鹿児島大学、3. 日本車輛製造株式会社)

15:00 ~ 15:10

[I-274]

重度腐食した耐候性鋼材へのAbrasive Water Jet Treatment (AWT工法)の全面導入

*豊田 雄介¹、貝沼 重信²、キム アラン²、池田 龍哉³、荒川 武彦⁴、田嶋 忠善⁵ (1. 西日本高速道路株式会社、2. 九州大学大学院、3. 池田工業株式会社、4. 株式会社スギノマシン、5. 株式会社富士技建)

15:10 ~ 15:20

[I-275]

シリコンを用いた塗装の防食性に関する研究

*山田 泰佑¹、永田 和寿¹、米澤 璃佳¹、長松 孝俊³、杉浦 邦征² (1. 名古屋工業大学大学院、2. 京都大学大学院、3. 丸大鐵工株式会社)

15:40 ~ 15:50

[I-278]

さび層表面に付着した塩化物濃淡が近赤外線反射強度に与える影響

*植田 凌太郎¹、長谷 正基¹、蓮池 里菜¹、麻生 稔彦¹ (1. 山口大学大学院)

第I部門

2024年9月6日(金) 14:40 ~ 16:00 会場 A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (9)

座長：中村 聖三 (長崎大学)

14:40 ~ 14:50

[I-272] 実橋における鋼桁の温度変化の大きさと頻度に関する基礎的検討

*岩井 将樹¹、服部 雅史¹ (1. 株式会社 高速道路総合技術研究所)

キーワード：鋼構造物、防食塗装、塗膜剥離、温度計測、頻度分析

高速道路における鋼橋の防食において、防食下地を無機ジンクリッチペイントとした塗装系が標準的に用いられている。その塗装系に塗膜剥離が生じることがある。この塗膜剥離は南側桁外面で顕著にあらわれる特徴があり、繰返しの温度変化に伴う塗膜の膨張・収縮により生じる内力が無機ジンクリッチペイント層の凝集破壊を引き起こすことが主要因と考えられている。実橋における鋼桁の温度変化が把握できれば、凝集破壊が生じるまでの期間が予測できる可能性がある。本検討では、鋼桁表面温度の計測結果と一般に公開されている気象データを基に、実橋における鋼桁の温度変化の大きさと頻度の推定を試みた。

実橋における鋼桁の温度変化の大きさと頻度に関する基礎的検討

(株)高速道路総合技術研究所 ○正会員 岩井 将樹, 正会員 服部 雅史

1. はじめに

高速道路における鋼橋の防食において、防食下地を無機ジンクリッチペイントとした塗装系が標準的に用いられている。その塗装系に、**図1**に示すような塗膜剥離が生じることがある。この塗膜剥離は南側桁外面で顕著にあらわれる特徴があり、繰返しの温度変化に伴う塗膜の膨張・収縮により生じる内力が無機ジンクリッチペイント層の凝集破壊を引き起こすことが主要因¹⁾と考えられている。既往の研究では、繰返し温度変化を与える促進試験（以下、ヒートサイクル試験）により、無機ジンクリッチペイント層の凝集破壊が再現されている²⁾。筆者らは、ヒートサイクル試験において無機ジンクリッチペイント層に生じる局部応力を、塗膜の線膨張係数を考慮した弾性有限要素解析により求め、凝集破壊が生じるまでのサイクル数との関係を**図2**のS-N線図に整理した³⁾。ここで、実橋における鋼桁の温度変化が把握できれば、凝集破壊が生じるまでの期間が予測できる可能性がある。今回、鋼桁表面温度の計測結果と一般に公開されている気象データを基に、実橋における鋼桁の温度変化の大きさと頻度の推定を試みた。

2. 実橋鋼桁温度計測

実橋塗膜の温度変化の性状を把握するため、**図1**の橋梁の鋼桁表面温度を計測した。計測は1年の中で気温の日較差が比較的大きい10月と月平均気温が最も低い1月の計2回実施した。計測対象は南側桁外面と北側桁外面である。計測に用いた機器を**表1**に示す。鋼桁の面的な表面温度分布の変化を捉えるため、赤外線サーモグラフィカメラを使用した。計測時間は概ね24時間とし、1日の中の最低温度及び最高温度を包括できるよう連続的に実施した。環境温度や日射が鋼桁温度に与える影響を検討するため、気温及び全天日射強度も計測した。なお、計測開始に先立ち南側桁外面と内面の表面温度を確認したところ、両者にはほとんど差がなかったことから、塗膜と鋼桁との間には温度勾配は生じないものと考えられる。

10月計測において、南側桁外面の表面温度が最高となった時の温度コンター図を**図3**に示す。**図1**と見比べると、張出し床版の影とならないウェブ下方の範囲かつ塗膜剥離が生じている箇所が高温となったことがわかる。最高温度点は支間中央部の垂直補剛材間の中間位置であり、この傾向は日射のある時間帯では変わらなかった。なお、塗膜剥離が生じている箇所は、塗装上塗りが健全である箇所と比べて黒に近い色となっており、吸熱性が高いことが表面温度に影響したと考えられる。また、日没後しばらくすると南側桁外面の温度分布は全体で概ね一様となった。ここで、南側桁外面の最高温度点を評価点とし、鋼桁表面の色の影響を除いた表面温度の性状を分析する。評価点における表面温度の時刻歴



図1 塗膜剥離の例

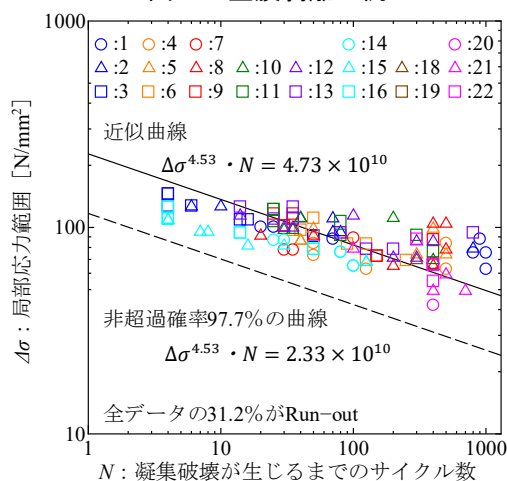


図2 S-N線図³⁾

表1 使用機器

名称	数量
赤外線サーモグラフィカメラ	2台
全天日射計	1台
日射計データロガー	1台
温湿度センサ	2台
温度データロガー	2台

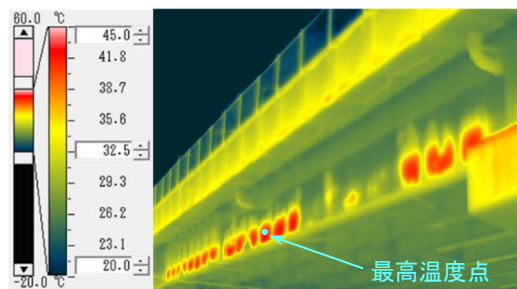


図3 温度コンター図(10月計測)

キーワード 鋼構造物, 防食塗装, 塗膜剥離, 温度計測, 頻度分析

連絡先 〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1 道路研究部 橋梁研究室 TEL 042-791-1943

を図4に示す。時刻歴には北側桁外面で評価点に対応する位置の表面温度、気温及び全天日射強度を併せて示している。南側桁外面の表面温度は日射強度の増加に伴い上昇し、日没中は気温と概ね一致した。一方で、日射の当たらない北側桁外面の表面温度は気温と概ね一致した。したがって、実橋鋼桁の表面温度は気温と日射の影響を強く受けると考えられる。そこで、南側桁外面の表面温度と気温との差を日射による鋼桁表面温度上昇量と仮定し、鋼桁温度の時刻歴から1時間毎の鋼桁表面温度上昇量と日射量を算出し、その関係を散布図にまとめた。結果を図5に示す。図中には1月計測の結果も示した。各々のプロットを線形近似した近似直線とその関係式(式(1)、式(2))を併せて示している。なお、近似曲線の切片は0としている。どちらの計測においても日射量と鋼桁温度上昇量に相関があると言える。一方で、近似直線の傾きは大きく異なる。計測時期によって環境温度や太陽と鋼桁との位置関係が異なることが影響していると考えられる。以降の検討では、年平均気温に近い10月の計測結果に基づく図5中の式(2)を用いる。

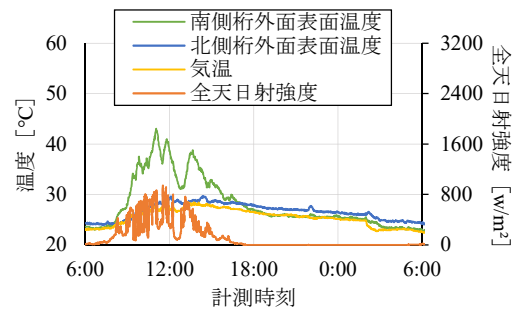


図4 鋼桁温度の時刻歴 (10月計測)

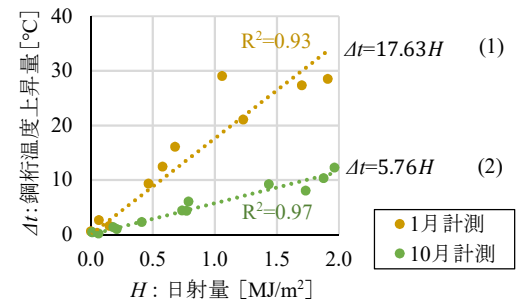


図5 日射量と鋼桁温度上昇量の関係

3. 鋼桁表面における年間温度推移の推定

気象庁が公開している気象データ⁴⁾から、南側桁外面の表面温度の推定を試みた。当該橋梁と同じ地域の観測所において2022.4.1~2023.3.31の1年間に観測した1時間毎の気温と日射量の観測データを推定に用いた。日射量に図5中の式(2)を適用して鋼桁温度上昇量を算出し、気温と足し合わせることで南側桁外面の表面温度とした。同様の計算を観測期間に渡って行い表面温度の年間推移を推定した。結果を図6に示す。図中には観測データの日射量と気温を併せて示している。年間の最高温度は7月上旬の56.9℃、最低温度は1月下旬の-3.6℃と算出された。

ヒートサイクル試験においては温度変化の大きさが一定であるのに対し、実環境においてはそれが変動する。鋼構造物の疲労設計では変動振幅応力を頻度分析して作成した応力範囲頻度分布を用いて疲労損傷の進行度を算出する⁵⁾。そこで、表面温度の年間推移についてレインフロー法により頻度分析を行い、温度変化の頻度分布を作成した。結果を図7に示す。1℃未満の温度変化は除外している。温度変化は年間で600回程度生じる結果が得られた。

今後は、図7に対応する局部応力の頻度分布を推定し、マイナー則に基づき図2の関係を適用することで、凝集破壊が生じるまでの期間の予測を試みる。さらに、実橋の損傷事例に照らしてこの手法の妥当性を確認していく。

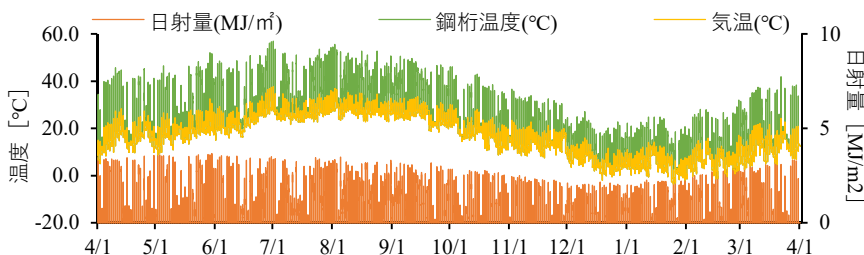


図6 推定した南側桁外面の表面温度の年間推移

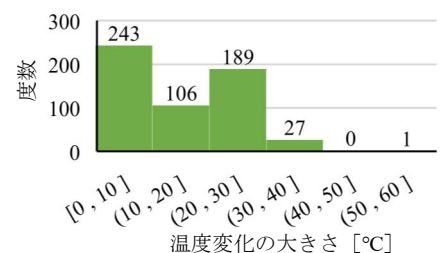


図7 温度変化の頻度分布

4. まとめ

日射による鋼桁温度上昇量と日射量との関係には相関があり近似直線で表現できる。この関係を一般に公開されている気象データに適用することで、実橋における鋼桁の年間の温度変化の頻度分布が推定できる。今後は、得られた温度変化の頻度分布に対応する局部応力の頻度分布を推定し、実橋において凝集破壊が生じるまでの期間を予測することを試みる。さらに、実橋の損傷事例に照らしてこの手法の妥当性を確認していく。

参考文献 1) 西森修次：塗膜剥離を抑制する新型変性エポキシ樹脂塗料の開発，(一社)日本橋梁鋼構造物塗装技術協会 Structure Painting, Vol.47, 2019/ 2) 西森修次，大捕秀基，坂口聡彦：線膨張係数に着目した塗料の新仕様提案，(一社)日本鋼構造協会，第42回鉄構塗装技術討論会発表予稿集，2019/ 3) 岩井将樹，服部雅史，西森修次，坂口聡彦：繰返し温度変化を受ける塗膜の剥離寿命評価に関する基礎的検討，第78回土木学会年次学術講演会講演概要集，2023/ 4) 気象庁ホームページ (<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etm/>)，気象庁/ 5) 鋼構造物の疲労設計指針・同解説 一付・設計例一 2012年改訂版，(一社)日本鋼構造協会，2012

第I部門

2024年9月6日(金) 14:40 ~ 16:00 会 A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (9)

座長：中村 聖三 (長崎大学)

14:50 ~ 15:00

[I-273] 劣化した塗膜に防食シートを貼付した場合の防食性能に関する検討

*武中 宏樹¹、審良 善和²、山口 明伸²、神頭 峰磯³ (1. 鹿児島大学大学院、2. 鹿児島大学、3. 日本車輛製造株式会社)

キーワード：防食シート、簡易補修、防食、塗装、耐久性

現在、鋼構造物に対する簡易補修として、シートを用いた防食が提案されている。筆者らは、軽微な腐食や早期に腐食が生じやすい箇所に対して防食シートを貼付することで、簡易補修および塗膜の保護を行うことを考え、新設構造物を想定した暴露試験では良好な結果が得られている。しかし、劣化が生じた塗膜に対して防食シートを適用した場合の防食性能および防食シートの耐久性については十分な知見が得られていない。そこで、屋外環境に一定期間暴露した塗装供試体に対し防食シートを貼付した場合の防食性能に関して実験的に検討を行った。本稿では、暴露35か月時点までの結果を報告する。

劣化した塗膜に防食シートを貼付した場合の防食性能に関する検討

鹿児島大学大学院 学生会員 ○武中 宏樹
 鹿児島大学 正会員 審良 善和, 山口 明伸
 日本車輛製造株式会社 正会員 神頭 峰磯

1. はじめに

現在、鋼構造物に対する簡易補修として、シートを用いた防食が提案されている。筆者らは、軽微な腐食や早期に腐食が生じやすい箇所に対して防食シートを貼付することで、簡易補修および塗膜の保護を行うことを考え、新設構造物を想定した暴露試験では良好な結果が得られている¹⁾。しかし、劣化が生じた塗膜に対して防食シートを適用した場合の防食性能および防食シートの耐久性については十分な知見が得られていない。そこで、屋外環境に一定期間暴露した塗装供試体に対し防食シートを貼付した場合の防食性能に関して実験的に検討を行った。本稿では、暴露35か月時点での結果を報告する。

2. 防食シートの概要

写真1に防食シートの外観、図1に防食シートの概要図を示す。防食シートは基材層と粘着層で構成される樹脂製シートである²⁾。基材層はフッ素系樹脂の層とアクリル系樹脂の層の2層で構成されており膜厚は50 μm となる。また、粘着層はアクリル樹脂系接着剤である。基材層の上層部にあたるフッ素系樹脂層は、屋外環境下での使用を考慮し、耐水性、耐塩水性、防汚性、耐候性の機能を付与向上させたものである。また、基材層の下層部にあたるアクリル系樹脂層は、粘着層との密着性を向上させるための層であるが、紫外線による塗膜の劣化抵抗性を向上させるため、紫外線吸着剤を含んだ樹脂層となる。防食シートは無色透明であるため、貼付したとしても部材の外観を損なうことのない材料である。

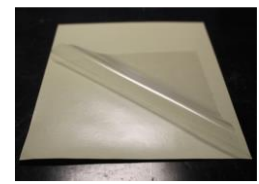


写真1 防食シート外観

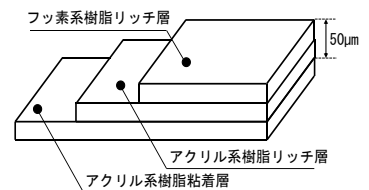


図1 防食シート概要図

3. 暴露試験

3.1 供試体の概要

図2に供試体の概要図を示す。塗装には、塗装系の違いが防食効果に及ぼす影響を検討するため、鋼構造物に一般的に用いられるA-5系とC-5系の2種類、比較用として無塗装供試体を準備した。なお、シートの変状がわかりやすいように上塗の色は白とした。塗装後、中央部に塗装疵を模した幅1mmのクロスカットを設けた。

3.2 暴露試験の概要

暴露試験は、屋外塩害環境（海上大気環境）と室内酸害環境（温泉（硫黄泉，pH3））の2環境で実施した。なお、塩害環境は日射の影響も評価するため、供試体両面を試験面とした。写真2に暴露の様子を示す。本試験では、塗装供試体クロスカット部の腐食および塗装面の劣化が防食シートの防食性能に与える影響を評価するために、防食シートの貼付時期は①暴露開始時、②暴露1年経過時、③暴露3年経過時および④暴露5年経過時とした。これは、5年に1度の定期点検を想定している。

3.3 検討項目

防食シートの防食性能および接着性の評価を行うためにクロスカット部の発錆状況と防食シートの剥がれ、膨れなどの変状について外観目視による定期観察を実施した。発錆状況の確認には、写真3および表1に示すように腐食状態を4区分に分類し、各供試体を整理した。

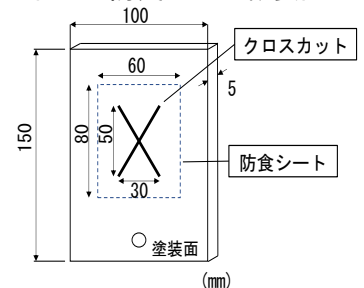


図2 供試体概要図



写真2 暴露試験実施状況

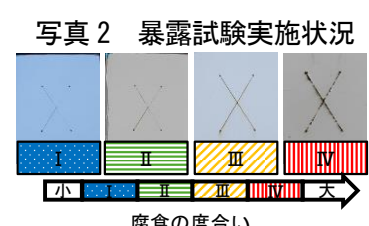


写真3 腐食区分

キーワード：防食シート，簡易補修，防食，塗装，耐久性

連絡先：〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学大学院海洋土木工学 PG TEL：099-285-8480

4. 結果および考察

4.1 塩害環境暴露供試体の結果

一例として、**図3**に塩害環境におけるA-5塗装系供試体の暴露35か月目までの経時変化を、**写真4**に暴露35か月目の供試体の外観写真を示す。A-5塗装系供試体では、防食シート貼付を行っていない供試体の全てで腐食区分Ⅲ以上に区分され、クロスカット部全体に腐食が進行している。一方で、防食シートの貼付を行った供試体では、貼付時期の違いによらず、腐食の発生および進行は生じていなかった。また、シート自体に外観上目に付くような剥離や膨れなどの変状が生じていないことから、防食シート自体の劣化も小さいものと考えられる。C-5塗装系では、防食シート貼付を行っていない供試体の表面側では腐食区分Ⅱに相当する腐食が発生し、腐食が進行しつつあるものの、裏面側では腐食区分Ⅰを維持したままであった。一方で、防食シート貼付を行った供試体では、いずれの条件においても腐食の発生はなかった。防食シートの接着についても、除錆の有無にかかわらず良好であった。

4.2 酸害環境暴露供試体の結果

図4に酸害環境におけるA-5およびC-5塗装系供試体の暴露35か月目までの外観の経時変化を**写真5**に示す。防食シートの貼付を行っていない供試体では、塗装系の違いによらず塩害環境よりも早く腐食が進行し、特に、A-5塗装系供試体では、全て腐食区分Ⅳに達した。一方で、防食シートの貼付を行った供試体においては腐食の発生は確認されなかった。防食シートの接着については、両塗装系においてシートの端部から水分の浸入が確認された。A-5塗装系供試体においては、暴露12か月経過時に防食シートの貼付を行った供試体で貼付から7か月経過した段階で水分が浸入したと思われる跡が確認された。貼付から24か月経過した現在では、シート端部から最大で10mmの範囲で水分の浸入が確認されている。その要因として、供試体表面に付着する水分量の違いと塗膜の劣化の程度の違いによるものと考えられる。塩害環境暴露場の年間平均湿度は78.8%、酸害環境暴露場の年間平均湿度は76.6%であり、同程度であるが酸害環境においては、冬季に結露が生じ、供試体表面は常に水滴が付着した状態であった。また、暴露12か月経過時に防食シートの貼付を行った供試体が非常に短期間で水分の浸入したことから、酸害環境暴露A-5塗装系供試体は暴露12か月時点ですでにチョーキングが生じていたことから、防食シートを貼付する際に、貼付面の清掃が十分に行えておらず、接着が不十分であった可能性が高い。

5. 結論

A-5、C-5塗装系ともに、塗膜に劣化が生じていたとしても、防食シートの貼付を行うことで腐食の発生、進行を抑えることが可能である。ただし、帯水を起こしやすい箇所や高湿度環境になりやすい狭隙部においては、防食シート端部から水分が浸入する可能性があり、貼付を行う際には劣化した塗膜の除去、脱脂を入念に行うことで、水分の浸入を抑えることができると考えられる。また、水分の浸入を想定し、あらかじめ防食シートの貼付範囲を広げて貼付することで保護対象箇所の防食状態を長期間維持することが可能となる。

参考文献

- 1) 武中宏樹 他:防食シートを用いた鋼構造物への簡易応急対策による防錆効果に関する検討, 防錆管理, Vol. 67, No. 7, pp25-30, 2023
- 2) 神頭峰磯 他: 鋼構造物塗装保護フィルムの施工性の検討, 令和元年度土木学会全国大会年次学術講演会予稿集, Vol. 74, V-321, 2019

表1 腐食区分ごとの状態

区分	状態
I	腐食なし
II	部分的な腐食あり
III	クロスカット部全体に腐食が進行
IV	腐食の進行とともに塗膜の膨れが進行

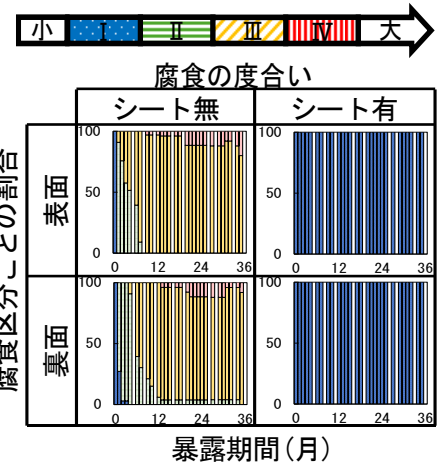


図3 A-5塗装系供試体の経時変化

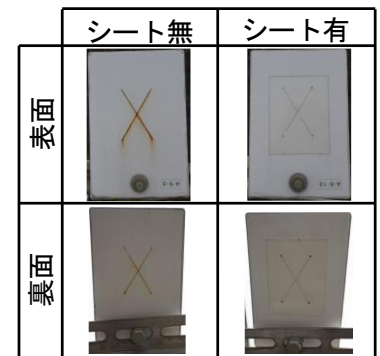


写真4 A-5塗装系供試体外観

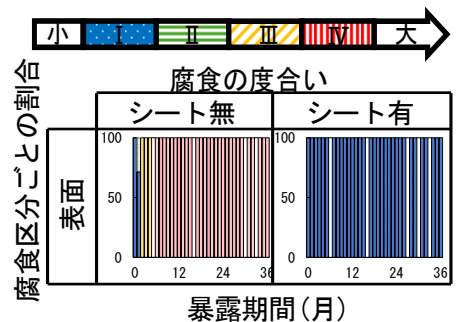


図4 A-5塗装系供試体の経時変化



写真5 A-5塗装系供試体外観

第I部門

2024年9月6日(金) 14:40 ~ 16:00 会 A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (9)

座長：中村 聖三 (長崎大学)

15:00 ~ 15:10

[I-274] 重度腐食した耐候性鋼材へのAbrasive Waterjet Treatment (AWT工法) の全面導入

*豊田 雄介¹、貝沼 重信²、キム アラン²、池田 龍哉³、荒川 武彦⁴、田嶋 忠善⁵ (1. 西日本高速道路株式会社、2. 九州大学大学院、3. 池田工業株式会社、4. 株式会社スギノマシン、5. 株式会社富士技建)

キーワード：耐候性鋼材、重度腐食、素地調整、除せい、除塩

重度腐食した耐候性鋼橋の適切な変状の診断は極めて難易度が高く、変状の進行度合いを過小評価し危険側の診断となる傾向にある。耐候性鋼橋に塩類が付着すると、塩類を完全除去しない限り腐食が促進する。尚且つ腐食の進行が非常に速く、塩類が供給される架橋環境では、現状の劣化の程度によらず防食仕様を塗装仕様に可能な限り早期に変更する必要がある。そこで、耐候性鋼材の粗さび除去と素地調整に特化した画期的なAWT工法を用いて重度腐食した耐候性鋼橋の補修工事を実施した。AWT工法の施工の結果、鋼素地の付着塩分量は品質管理基準値を満足し、適切な除せい度を得た。結果、実橋の補修工事においてAWT工法の有効性を確認できた。

重度腐食した耐候性鋼材への Abrasive Waterjet Treatment (AWT 工法) の全面導入

西日本高速道路(株) 正会員 ○豊田 雄介 九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信
九州大学大学院 正会員 キム アラン 池田工業(株) 正会員 池田 龍哉
(株)スギノマシン 非会員 荒川 武彦 (株)富士技建 非会員 田嶋 忠善

1. はじめに NEXCO 西日本では耐候性鋼橋は 80 橋程度存在し、1 割程度が塩害により発生した重度腐食が要因となり健全度 3 以上の診断結果となっている。しかしながら、耐候性鋼橋に発生する強固な異常さびの特性上、適切な変状の診断は極めて難易度が高く、変状の進行度合いを過小評価し危険側の診断となる傾向にある。一方、耐候性鋼橋に塩類が一度付着すると塩類は消費されずさび層内部に残存し続け、塩類を完全除去しない限り腐食が促進される。尚且つ腐食の進行が非常に速く、塩類が供給され続ける架橋環境では、現状の劣化の程度によらず防食仕様を無塗装から塗装仕様に可能な限り早期に変更する必要がある。NEXCO 西日本では、耐候性鋼材が抱えるこれらの問題を危険視しており、令和 5 年度から耐候性鋼橋の補修に本格着手している。この際、最重要となる除塩・除せいについては、従来施工されるチップング等による粗さび落としとブラストと水洗の繰り返し作業（以下、従来工法）ではなく、耐候性鋼橋の粗さび除去と素地調整に特化した画期的な AWT 工法¹⁾を標準工法として採用した。本件は、AWT 工法による耐候性鋼橋の補修工事を実施した 2 橋のうち 1 橋について報告する。

2. AWT 工法の概要 AWT 工法とは、超高压水流（約 230MPa）に研削材を混合した超高压混相流体を噴射し鋼素地の塩類を含むさびを高効率で除去する工法である。航空機や自動車のマルチマテリアルなどの切断に用いられる Abrasive Water-jet 工法を応用し開発した。AWT 工法はさび層に内在する割れに混相流体が侵入することによる水くさび作用でさび層を容易に剥離・除去できる。腐食孔底部に発生する 2 次腐食孔（深さ 500 μm 程度）にも混相流体が達し、極微小かつ複雑な鋼材底部まで塩類やさびを除去できる。除塩・除せいの効果が従来工法に比して飛躍的に高く、複数工程が必要とされた従来工法を僅か 1 工程に縮減できる画期的な工法である。

3. 対象橋梁 対象橋梁は、無塗装耐候性鋼材を用いた 3 径間連続非合成 4 主桁桁橋（1992 年供用）とした。当該橋梁の区間は冬季に凍結防止剤を散布し、2022 年時点でその散布量は年平均 16t/km（累積散布量 474t/km）となる。伸縮装置や床版打ち継ぎ目から浸入した凍結防止剤を含んだ漏水により図-1 に示すような重度腐食が発生している。2015 年に桁端部の一部は塗装仕様に変更されているが、6 年後の 2021 年の点検では既に図-2 に示す塗膜下腐食とみられる再劣化が確認されており、簡易の防錆処理により応急対策がなされた。また、重度腐食の進行を抑制するため 2020 年に高性能床版防水工が施工され床版漏水の対策は完了したが、既に部材に塩類が過剰に残存しており腐食の進行を抑えるには至っていない。今回の補修工事の対象範囲は、工事着手前に設置した吊り足場を利用し複数箇所の鋼材表面の塩類を表面付着塩類試験（JIS Z 0313）にて計測し決定した。結果、施工範囲は高濃度の塩類が確認された箇所と将来的に塩類が付着する箇所として、両桁端部の全部材（二次部材含む）と、全主桁全スパンの下フランジ下面から 100mm 高さの立ち上げ範囲までとし、総施工面積は 605m² となった。



図-1 床版漏水により上フランジに発生した重度腐食



(a) 補修塗装後の再劣化



(b) 点検時の応急補修

図-2 塗膜下腐食の状況（2021 年時点）

キーワード 耐候性鋼材, 重度腐食, 素地調整, 除せい, 除塩

連絡先 〒567-0871 茨木市岩倉町 1-13 西日本高速道路(株) TEL 06-7713-5885

また、AWT 工法の除塩効果を確認するため、施工前後の表面付着塩類量を計測した。施工前において全主桁を対象とし、桁端部は上フランジ下面、ウェブ両面、下フランジ上面、中央径間部では下フランジ上面、下フランジ下面、異常腐食部の計 104 地点とした。試験は表面塩分計を使用し、試料液の漏出が想定される重度腐食部は Bresle 法（攪拌時間 3 分）とした。施工後は代表地点の表面付着塩類量を Bresle 法（攪拌時間 10 分）で計測した。試験の結果、施工前の桁端部においては下フランジ上面に $1,600\text{mg/m}^2$ 、中央径間部では下フランジ上面で 800mg/m^2 、下フランジ下面で $1,100\text{mg/m}^2$ 、重度腐食部では上フランジ下面に $1,000\text{mg/m}^2$ 程度の塩類の存在を確認した。桁端部では伸縮装置からの漏水により下フランジ上面に塩類が供給・蓄積し、中央径間部では床版漏水と車両走行により巻き上げ飛来した凍結防止剤が堆積、構造上雨洗効果が働かず高濃度の塩類が蓄積したと推定する。

4. 施工結果 図-3 に AWT 処理前後の表面付着塩類量の一例、表-1 に AWT 工法の施工条件、図-4 に AWT 施工後の鋼素地の状況を示す。通常、塗替え塗装における素地調整の品質管理は、表面付着塩分量を 50mg/m^2 以下とする規定がある²⁾。AWT 施工後、重度腐食部を含む全箇所において表面塩分量は平均 30mg/m^2 以下、除せい度は Sa2 1/2（1 種ケレン相当）となり規格を十分に満足できた。但し、現行の表面塩分測定法による品質管理では、鋼素地を限定的な測点で局所的評価することになるため、素地調整した全領域に対する除塩の程度を評価できない。素地に塩類が残留している場合、素地調整後の早期に図-5 に示す塩由来のターニングが発生し³⁾、塗装下腐食発生の要因となる。過去の試験施工⁴⁾では、AWT 工法により表面付着塩類を 0mg/m^2 程度まで極限除去できれば、ターニングが長期間発生しないことを確認した。そのため、除塩の確認は表面塩分量の確認に加え、素地調整後に塩由来のターニングが生じないことを指標として品質管理することが望ましい。なお、本施工に関しては AWT 処理後に仕上げブラストを実施し、現行の品質管理基準である素地調整後 4 時間以内に塗装着手する点は十分に満足している。

5. まとめ 重度腐食した耐候性鋼橋の補修工事に AWT 工法を初採用した結果、従来工法で困難であった表面付着塩分量の規格値を容易に達成し、尚且つ適切な除せい度を得た。ただし、施工にあたり水処理など諸課題も確認されたため、引き続き耐候性鋼橋の補修工事を継続実施し AWT 工法の実績を増やし熟練度の高度化を目指す。また、素地調整の新たな品質管理手法の確立に向け、ターニングと付着塩類量の関係について今後研究を行っていく。

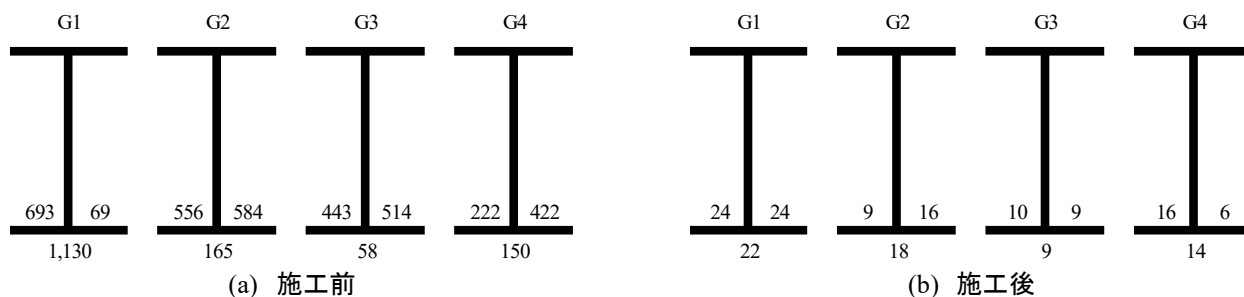


図-3 AWT 施工前後の表面付着塩類量の一例（P2～A2 支間部）（単位： mg/m^2 ）

表-1. AWT工法の施工条件

Nozzle type	AWT nozzle (Divergent)
Nozzle Diameter (mm)	2
Abrasive Materials	Garnet #80
Stand-off Distance (mm)	300
Abrasive Supply (g/min)	600
Pressure (Mpa)	230
Water flow (L/min)	11.9



図-4 AWT 処理後の鋼素地の状況



図-5 ターニング状況（ブラスト後 30 分）³⁾

<参考文献>

- 1) S. Park, S. Kainuma, M. Yang, A. Kim, T. Ikeda, Y. Toyota and T. Arakawa : Advancements in abrasive water-jet treatment for efficient surface cleaning and comprehensive corrosion removal in steel structures, Journal of Bridge Engineering, Vol.84, 108623, 2024.
- 2) 日本道路協会：鋼道路橋防食便覧 pp. II-145, 2014.
- 3) 土木学会：鋼構造シリーズ 30 大気環境における鋼構造物の防食性能の回復の課題と対策, pp.233, 2019
- 4) 豊田雄介, 貝沼重信, 池田龍哉, 荒川武彦, 小山朋：重度腐食した耐候性鋼材に対するアブレシブウォータージェットの実用性, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, 2022.

第I部門

2024年9月6日(金) 14:40 ~ 16:00 会 A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (9)

座長：中村 聖三 (長崎大学)

15:10 ~ 15:20

[I-275] シリコンを用いた塗装の防食性に関する研究

*山田 泰佑¹、永田 和寿¹、米澤 璃佳¹、長松 孝俊³、杉浦 邦征² (1. 名古屋工業大学大学院、2. 京都大学大学院、3. 丸大鐵工株式会社)

キーワード：シリコン、防食、腐食、塗料、促進劣化試験

鋼構造物の劣化原因の一つである腐食を防ぐことを目的として塗装が広く用いられている。しかし、ボルト接合部などの凹凸の多い箇所は適切な塗膜厚の確保が難しく、腐食弱点部となる。そこで粘性が高く、凹凸の多くても適切な塗膜厚の確保が可能であることに加え、耐候性、化学安定性、撥水性に優れたシリコンに着目した。先行研究によってシリコンの防食性が確認された。本研究では実施工におけるシリコンを使用した塗装仕様を確立するため、新たな塗装方法についての検討を行った。

シリコーンを用いた塗装の防食性に関する研究

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○山田 泰佑
 名古屋工業大学大学院 学生会員 米澤 璃佳
 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征

名古屋工業大学大学院 正会員 永田 和寿
 丸大鐵工(株) 長松 孝俊

1. 研究目的と背景

鋼構造物の劣化原因の一つである腐食を防ぐことを目的として塗装が広く用いられている。しかし、ボルト接合部などの凹凸の多い箇所は適切な塗膜厚の確保が難しく、腐食弱点部となる。そこで粘性が高く、凹凸の多くても適切な塗膜厚の確保が可能であることに加え、耐候性、化学安定性、撥水性に優れたシリコーンに着目した。先行研究によってシリコーンの防食性が確認された。

本研究では実施工におけるシリコーンを使用した塗装仕様を確立するため、新たな塗装方法についての検討を行った。

2. 実験概要

本研究では塗装パターンを変化させた試験体を用い、それぞれの塗装パターンにおける防食性について検証した。

2.1 試験体について

試験体は150mm×70mm×3.2mmのSS400鋼板を用いて作成した。鋼板両面をブラスト処理し、検討する塗装方法に従い、塗料の吹き付け塗布を行った。塗装の様子を写真-1に示す。

試験体下部には傷部からの腐食進行を評価するためのクロスカットを導入した。

2.2 試験体ケース

検討する試験体ケースは、鋼板に吹き付け可能なシリコーン材料であるfQcoonを塗布したCaseA、防食下地塗料塗布後にシリコーンを塗布したCaseB、C-5塗装系の下塗塗料まで塗布後にシリコーンを塗布したCaseC、C-5塗装系を塗布したCaseDの4ケースである。それぞれの試験体ケースの使用塗料、膜厚は表-1に示す。

2.3 促進劣化試験について

作成した試験体について、複合サイクル試験機



写真-1 塗装の様子

表-1 試験体ケース

CaseA	CaseB	CaseC	CaseD	膜厚(μm)
ブラスト処理				
無機ジンクリッチペイント				75
エポキシ樹脂塗料下塗(ミストコート)				—
エポキシ樹脂塗料下塗				120
フッ素樹脂塗料用中塗				30
フッ素樹脂塗料上塗				25
シリコーン				200



写真-2 複合サイクル試験機内部の様子

CYP-120Dを使用し、JIS K 5600-7-9にあるサイクルDの操作条件に基づいて促進劣化試験を行った。複合サイクル試験機内部の様子を写真-2に示す。

本実験では100cycle終了ごとに試験体を取り出し、写真撮影および外観観察を行った。また傷部周辺の

キーワード シリコーン, 防食, 腐食, 塗料, 促進劣化試験

連絡先 〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町 名古屋工業大学 TEL 052-735-5482

膨れ面積を画像解析により算出した。

3. 実験結果および考察

定期的な外観観察，膨れ面積測定の結果および考察を示す。

3.1 実験結果

試験体の外観を表-2，1616cycle 終了時のクロスカット部を表-3 に示す。ここでは，それぞれの試験体ケースから平均的な結果が見られる試験体を示した。また傷部における傷・膨れ面積を図-1 に示す。

1616cycle 終了時において CaseA から CaseD においてシリコンの剥がれ等は見られなかった。

平滑部に注目すると，CaseA では鋼板表面に腐食と思われる変色が見られた。CaseB～D では変色や膨れ等はなく，腐食が進行している様子は見られなかった。

傷部に注目すると，CaseA は 1616cycle 終了時，傷部から 5mm 程度まで塗膜下の腐食による塗膜の膨れが確認できた。グラフより腐食の進行速度は実験初期から速いことがわかる。CaseB は傷部のさび幅は増加しているものの，1616cycle 終了時において膨れ等は見られなかった。CaseC は傷・膨れ面積の増加はわずかで，腐食の進行は最も遅かった。Case4 は 800cycle 以降膨れが急激に増加しており，1616cycle 終了時には傷部周辺の 5mm から 15mm 程度の範囲に膨れが確認できた。

3.2 考察

シリコンの剥がれ等は見られず，シリコンと既存塗料の併用は可能であると考えられる。

800cycle 以前では，CaseA に比べて CaseB～D の腐食進行速度は遅く，防食下地の犠牲防食効果により腐食進行が抑制されていると考えられる。

800cycle 以降，CaseD では塗膜の膨れが急激に増加しているが，シリコンを塗布したものは膨れが広がりづらかった。シリコンを塗布すると，その撥水性により傷部から水分や塩分が塗膜下に侵入しづらいため，塗膜下の腐食進行が抑制され，膨れが広がりづらかったと考えられる。CaseC は最も腐食の進行が遅く，シリコンに加え，下塗塗料により腐食性物質が届きづらい塗装の構造となっているからであると考えられる。

4. 結論

本研究での結論を次に示す。

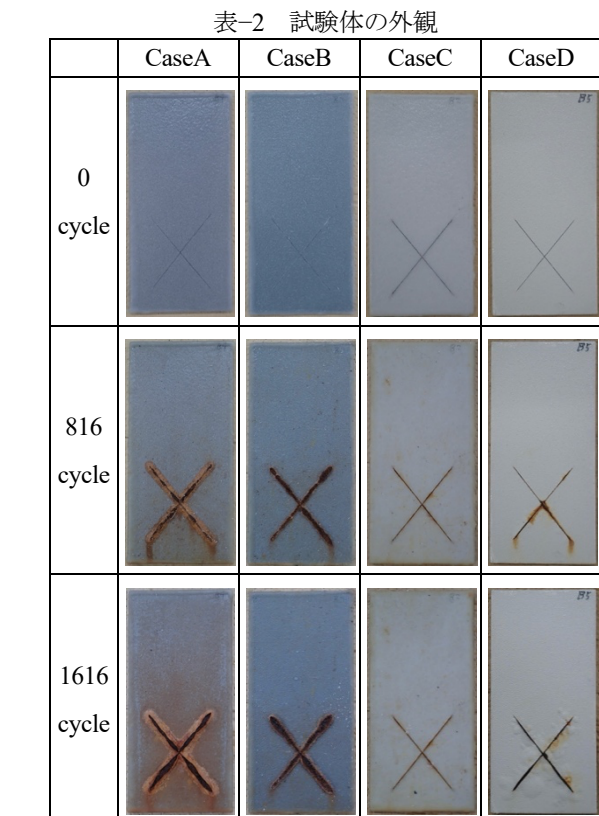


表-3 1616cycle のクロスカット部

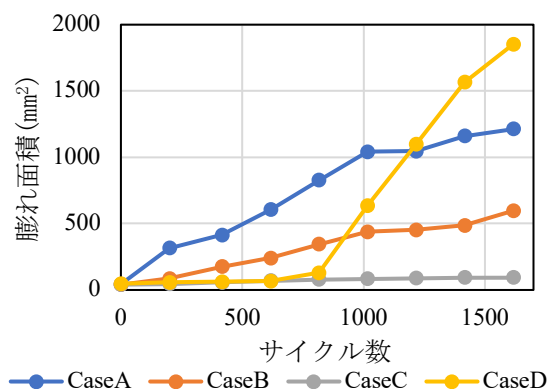
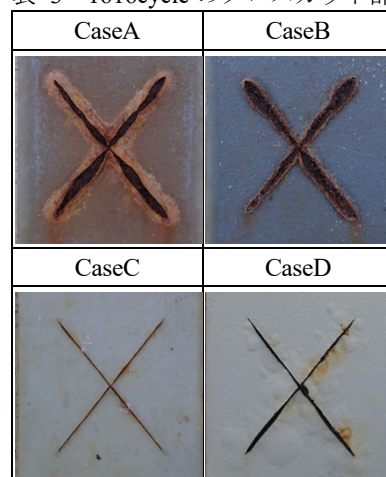


図-1 クロスカット部の傷・膨れ面積の推移

- 1) シリコンは既存塗料との併用が可能である。
- 2) CaseC で設定した，防食下地，下塗塗料，シリコンの組み合わせが最も優れた防食性を示した。

第I部門

2024年9月6日(金) 14:40 ~ 16:00 会 A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (9)

座長：中村 聖三 (長崎大学)

15:40 ~ 15:50

[I-278] さび層表面に付着した塩化物濃淡が近赤外線反射強度に与える影響

*植田 凌太郎¹、長谷 正基¹、蓮池 里菜¹、麻生 稔彦¹ (1. 山口大学大学院)

キーワード：近赤外線分析、EDS分析、腐食促進試験、腐食、反射強度

Clの付着個所，すなわち付着塩分の分布が検出できれば，局所的な腐食促進個所を特定できる可能性がある．これまで，EDS分析によるCl元素のマッピングと，近赤外線領域のハイパースペクトル（HS）反射強度のマッピングの比較から，近赤外線域での反射強度による，さび層上面に付着した塩化物分布可視化手法を検討し，その可能性を示してきた．この手法では，Cl分布の可視化に際し，その有無の判別に留まっているものの，局部腐食個所の特定に向けてはCl分布の濃淡を判別できることが望ましい．そこで本研究では，腐食促進時に供給する塩化物の濃度の違いが，HSから得られる反射強度に与える影響について検討を行う．

さび層表面に付着した塩化物濃淡が近赤外線反射強度に与える影響

山口大学大学院 学生会員 ○植田凌太郎 長谷 正基
 山口大学大学院 正 会員 蓮池 里菜
 山口大学大学院 フェロー会員 麻生 稔彦

1. はじめに

鋼橋に使用されている耐候性鋼材は、表面に塩化物 (Cl) が付着すると、防食性能を発揮する保護性さび層が生成されず、局部的な腐食が進行する。これらの局部的な腐食は鋼橋の耐力低下に直結することから、Cl の付着箇所、すなわち付着塩分の分布が検出できれば、局部的な腐食促進箇所を特定できる可能性がある。これまで、EDS 分析による Cl 元素のマッピングと、近赤外線領域のハイパースペクトル (HS) 反射強度のマッピングの比較から、近赤外線域での反射強度による、さび層表面に付着した塩化物分布可視化手法を検討し、その可能性を示してきた¹⁾。この手法では、Cl 分布の可視化に際し、その有無の判別に留まっているものの、局部腐食箇所の特定に向けては Cl 分布の濃淡を判別できることが望ましい。

そこで本研究では、腐食促進時に供給する塩化物の濃度の違いが、HS から得られる反射強度に与える影響について検討を行う。

2. 試験方法

試験片は 30mm×30mm、厚さ 2.3mm の耐候性鋼材 (SMA490 材) を用いた。試験片上面のみを観察対象とするため、防錆テープで試験片裏面にテーピングを施した。

2.1 腐食促進試験

図-1 に本研究で実施した腐食促進試験の乾湿サイクル²⁾を示す。供給溶液の Cl 濃度の違いが、反射強度に与える影響を検討するため、供給溶液には純水、0.1%塩化ナトリウム水溶液 (以下、0.1%塩水)、3%塩化ナトリウム水溶液 (以下、3%塩水) の 3 種類を用いた。0.1%塩水、3%塩水をピペットで供給する乾湿サイクルをそれぞれ 30cycle、12cycle 行い、塩化物を含むさび層を生成した後、2.2 に示す手順で HS マッピングを取得した。その後、図-2 に示すように純水の入ったシャーレに試験片を浸水し、同様の乾湿サイクル環境下に曝露することで、さび層表面の付着塩分の分布に濃淡をつけることを試みた。このとき、0.1%塩水試験片、3%塩水試験片共に、浸水および乾湿サイクルへの曝露を 21cycle 繰り返した。溶液の滴

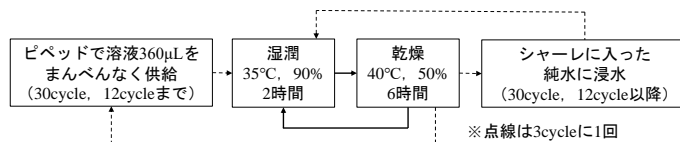


図-1 腐食促進試験の乾湿サイクル

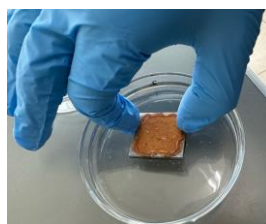
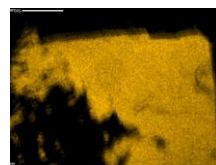


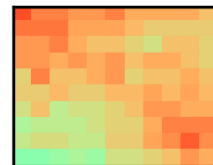
図-2 浸水腐食試験一例



図-3 撮影環境



(a) 元素マッピング (Cl)



(b) HS マッピング

図-4 比較画像¹⁾

定量は既往の研究²⁾を参考に、試験片面積に対し 40 $\mu\text{L}/\text{cm}^2$ となるように決定した。

2.2 表面分析

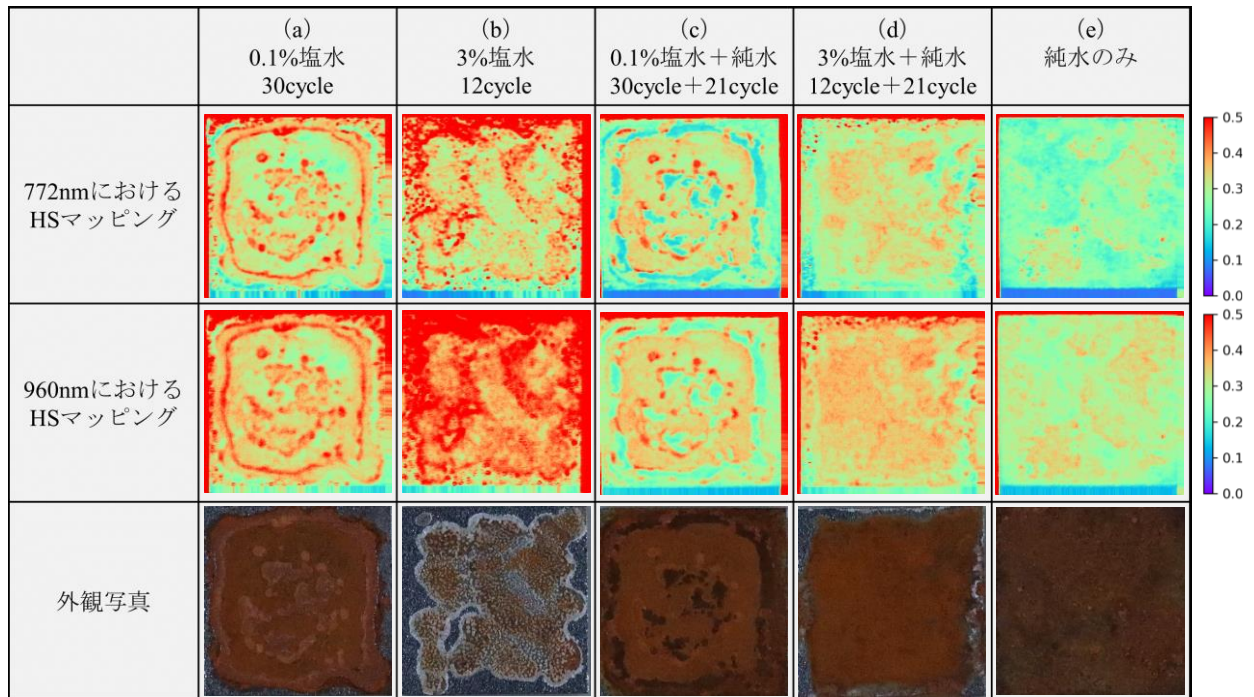
使用したハイパースペクトルカメラ (HSC) は、400-1000nm の波長を 3nm 間隔で 204 個のバンドに分光したスペクトルが取得可能である。光源にはハログゲンライト (500W) を使用し、被写体表面の照度が 400-700Lux になるよう光源を設置した。HSC は被写体の真上に設置し、被写体との距離は 18cm で固定した。図-3 に撮影環境を示す。本撮影条件では、試験片に対し 157pixel×157pixel の解像度となる。

図-4 に試験片上 2.0mm×2.5mm 範囲の Cl 元素マッピングと、近赤外線域である 979nm の HS マッピングの例を示す¹⁾。図-4 (a) の Cl 分布箇所 (黄色) と、図-4 (b) の反射強度の高い箇所が概ね一致しており、HS の反射強度から Cl 分布の可視化が可能と考えられる。本研究では HSC により取得した近赤外線域の波長帯の反射強度をマッピングすることで、表面付着塩化物の濃淡の可視化を試みる。

キーワード 近赤外線分析, EDS 分析, 腐食促進試験, 腐食

連絡先 〒755-8651 山口県宇部市常盤台 2 丁目 16-1 山口大学工学部 TEL0836-85-9323

表-1 各条件における HS マッピングと外観写真



3. 試験結果

表-1 (a) ~ (d) に、各条件における近赤外線域のうち低い波長域である 772nm, 高い波長域である 960nm における HS マッピング, 外観写真を示す。

表-1 (a), (b) 条件における 772nm, 960nm の HS マッピングと外観写真を比較すると、外観写真で赤茶色のさびが生成している腐食部、銀色の地鉄部ともに、反射強度が高くなった。特に試験片外側の地鉄部（銀色）は、試験片中央の腐食部（茶色）に比べて反射強度が高く、地鉄部で光源の光を強く反射したためと考えられる。

試験片内での Cl 濃度の差が HS マッピングに与える影響を検討するため、塩化物を含むさび層生成後に純水に浸水させた試験片の HS を取得し、マッピングした。純水浸水前後である表-1 (a), (c) の比較から、地鉄部の減少に伴い生成した試験片外側のさびは、0.1%塩水の供給により生成した試験片中央部のさびに比べて反射強度が低くなった。これは、Cl の付着量やさび厚が影響していることが考えられ、今後、EDS 分析およびさび厚測定による検討を進める。また、表-1 (b), (d) の比較から、3%塩水供給も同様の結果が得られた。

表-1 (c), (d), (e) 条件の外観写真を比較すると、目視ではさびの外観に大きな違いが見られない。一方、表-1 (c), (d), (e) 条件における 772nm, 960nm の HS マッピングを比較すると、純水<0.1%<3%の

順に反射強度が高くなっており、塩分濃度の高い供給溶液で生成したさび層ほど、反射強度が高くなっていると考えられる。また、マッピングに使用した波長について比較すると、近赤外線域の中でも低い波長域の波長である 772nm に比べて、高い波長域である 960nm で腐食部の反射強度が高くなっていた。Cl 分布の可視化に適した波長域の特定に向け、検討を進める。

4. まとめ

近赤外線域である 772nm, 960nm の HS マッピングにおいて、純水供給<0.1%塩水供給<3%塩水供給の順に反射強度が高くなり、供給する塩分濃度の増加に伴い、当該波長域の反射強度が強くなることが分かった。今後、分析した試験片のさび層表面付着塩分の分布を、EDS 分析による Cl 元素マッピングにより取得し、HS マッピングとの比較を進める。

本研究は科学研究費補助事業若手研究, (22K14309) の助成を受けたものである。

参考文献

- 植田凌太郎, 井上龍一, 蓮池里菜, 麻生稔彦: 鋼材に付着した塩化物の可視化に向けたハイパースペクトルイメージングの適用, 土木学会中国支部研究発表会概要集 Vol:75, I-18, 2023.2)
- 三木千尋, 市川篤司, 鶴飼真, 竹村誠洋, 中山武典, 紀平寛: 無塗装橋梁用鋼材の耐候性合金指標および耐候性評価方法の提案, 土木学会論文集 No.738/I-64, pp.271-281, 2003.

第V部門

2024年9月6日(金) 15:10 ~ 16:30 Ⅲ C305(川内北キャンパス講義棟C棟)

鋼材腐食 (3) / 防食 (1)

座長：高谷 哲 (京都大学)

15:50 ~ 16:00

[V-777]

防錆塗装システムの水系化 (1)

— 水系化仕様への試み —

*鈴木 昭仁¹、馬場 ひとみ¹、中山 文雄² (1. 株式会社ジェイアール総研エンジニアリング、2. 株式会社複合材料研究所)

16:00 ~ 16:10

[V-778]

「塩分吸着剤」配合防錆塗料の開発と性能試験 (3)

— 塗装システムの長期耐久性について —

*馬場 ひとみ¹、鈴木 昭仁¹、立松 英信¹、中山 文雄²、深田 修也³ (1. (株) ジェイアール総研エンジニアリング、2. (株) 複合材料研究所、3. イサム塗料 (株))

第V部門

📅 2024年9月6日(金) 15:10 ~ 16:30 📍 C305(川内北キャンパス講義棟C棟)

鋼材腐食(3)／防食(1)

座長：高谷 哲（京都大学）

15:50 ~ 16:00

[V-777] 防錆塗装システムの水系化（1）

ー 水系化仕様への試み ー

*鈴木 昭仁¹、馬場 ひとみ¹、中山 文雄² (1. 株式会社ジェイアール総研エンジニアリング、2. 株式会社複合材料研究所)

キーワード：塩分吸着剤、塩害環境、腐食、防錆

塩害環境下の鋼構造物のメンテナンスの課題を解決するために開発した「塩分吸着剤」配合塗装システムは、初期・塗替えを問わず十分な防錆性と耐久性を有することが確認されている。今後は、環境対策という社会的要請にも対応するため、環境に配慮した水系化を目指すこととし、本試みでは、水系として2種の塗装系を検討し、従来の弱溶剤系とともに、サイクル腐食試験を行った。その結果、水系の塗装系については、遮蔽性を向上することで、弱溶剤系と同等の性能を確保できること、また、施工短縮型の水系も、一定の性能を有することが確認され、弱溶剤から水系への見通しを得ることができた。

防錆塗装システムの水系化（1）

— 水系化仕様への試み —

ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 ○鈴木 昭仁
 ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 馬場ひとみ
 複合材料研究所 中山 文雄

1. はじめに

演者らは、「塩分吸着剤」を用いて、鋼構造物のメンテナンスの課題を解決する技術開発に取り組んでいる。これまでの検討^{1)~3)}により、「塩分吸着剤」配合塗装システムは、初期・塗替えを問わず十分な防錆性と耐久性を有することが確認された。このシステムの特徴は、下塗りに配合された「塩分吸着剤」の防錆効果によるものであり、今後は、環境対策という社会的要請にも対応するため、環境に配慮した水系化を目指すこととした。そこで、今回は、塗装システムの水系化の仕様による室内試験の結果を報告する。

2. 検討概要

(1) 塗装システム

本試験の各塗装系の構成塗装について表1に示す。共通して1, 2層目は、「塩分吸着剤」配合一材型ポリマーセメント系塗料とし、保護層の水系化について、2種の塗装系を試みた。

①WTP-1 塗装系：3層目は、密着性と、2層目の封孔処理的な機能の塗料にした結果、主剤と硬化剤の2材型水系エポキシ樹脂塗料とし、4層目は、単膜で物性や耐久性が確認されている水系弾性アクリルシリコン樹脂塗料とした。

②WTP-2 塗装系：3層目は、塗布間隔を大幅に短縮した3材型水系エポキシ樹脂塗料とし、4層目は耐候性に優れた2材型水系フッ素樹脂塗料とした。

また、先の検討で性能を確認した下塗りから中塗りまでの塗装構成と、4層目を弱溶剤型フッ素樹脂塗料としたものをTP塗装系とした。

(2) 性能確認試験

塗装システムの性能試験は、みがき鋼板に塗装した試験片を作製し、サイクル腐食試験により防錆性及び耐久性を検討した。

試験用鋼板は、冷間圧延鋼板（JIS G 3141 150×75×厚み 0.8mm 日本テストパネル株式会社製）を使用し、研磨紙（#60と#120）で全面10往復の素地調整を行い、エタノールで塵埃除去後20分乾燥させ、表1の構成で各塗材を塗布した。WTP-1とTPは、1日目は1, 2層目、2日目は3層目、3日目は4層目を塗布した。WTP-2については、1～4層を1日で塗布した。

試験方法は、JIS K 5600-7-9:2006 塗膜の長期耐久性 - サイクル腐食試験方法 - 塩水噴霧/乾燥/湿潤附属書1(規定)サイクルD（複合サイクル試験機（型式：CYP-90）[スガ試験機(株)製]）に準拠して360サイクル実施した。

試験片の塗膜劣化の評価については、一般部は塗膜の変状、切欠き部は360サイクル後に発生する周辺のおくれについて塗膜カット部からの片側最大幅を観察した。塗膜剥離後の鋼板面については、錆の片側最大幅を観察した。

キーワード 塩分吸着剤, 塩害環境, 腐食, 防錆

連絡先 〒186-0002 東京都国立市東1-4-13COI 国立ビル2階

(株)ジェイアール総研エンジニアリング 塩害対策技術部 TEL 042-501-2605

表1 各塗装系の塗装構成

塗装系	WTP-1	WTP-2	TP
1層目	「塩分吸着剤」配合一材型ポリマーセメント系下塗材 300g/m ²		
2層目	「塩分吸着剤」配合一材型ポリマーセメント系下塗材 240g/m ²		
3層目	2材型水系 エポキシ樹脂塗料 250g/m ²	3材型水系 エポキシ樹脂塗料 350g/m ²	弱溶剤形変性 エポキシ樹脂塗料 240g/m ²
4層目	2材型水系弾性 アクリルシリコン樹脂塗料 150g/m ²	2材型水系 フッ素樹脂塗料 150g/m ²	弱溶剤形 フッ素樹脂塗料 150g/m ²

表2 サイクルDの操作条件

段階	時間(h)	温度(°C)	湿度(%RH)
塩水噴霧	0.5	30±2	-
湿潤	1.5	30±2	95±3
熱風乾燥	2.0	50±2	-
温風乾燥	2.0	30±2	-

3. 試験結果

サイクル腐食試験と塗膜剥離後の試験片写真を表3に示す。

最初に、一般部の180サイクル経過後については、どの塗装系についても大きな違いは確認されなかった。

次に、360サイクル経過後については、WTP-1 塗装系では、わずかな膨れがあり、WTP-2 塗装系では、より多くの膨れが確認された。一方、TP 塗装系

では、塗膜の変状は確認されなかった。

また、360サイクル経過後の切欠き部周辺については、WTP 塗装系ではカット部から2mm程度の塗膜のふくれが確認され、WTP-2 塗装系については、局部的に大きなふくれがあった。TP 塗装系でも2mm程度の塗膜のふくれが確認された。

塗膜剥離後の鋼板面における切欠き中心からの片側錆幅については、WTP 塗装系では2mm程度の錆が確認され、WTP-2 塗装系については、局部的に3mm程度の箇所があった。TP 塗装系でも2mm程度の錆が確認され、局部的に3mm程度の箇所があった。

4. まとめ

本試験では、水系と施工短縮型水系を検討し、弱溶剤系とともに、みがき鋼板に塗装した試験片を作製し、360サイクルまでの室内試験を行った。水系化した塗装系では、若干の膨れが確認されたが、錆幅は、弱溶剤系と同程度の錆の進展であった。

水系塗装系について、一般部の遮蔽性を向上することで、弱溶剤系と同等の性能を確保できる基礎資料を得た。また、施工短縮型的水系は、主剤、硬化剤に水硬性粉体を安定的に加えることで、2層目と3層目、3層目と4層目の塗布間隔を大幅に短縮でき、その塗膜は一定の性能があることが確認された。

今後は、水系塗装系について、3層目と4層目の遮蔽性を向上する配合調整を行い、改良を行う予定である。

5. 今後の課題

本試験の結果、弱溶剤から水系への見通しを得ることができた。今後は、まず、配合による遮蔽性改良後、塗膜の性能について再試験を行い、次に、塩害環境下での塗替え塗装時に必要な防錆性と耐久性について、室内試験および暴露試験を行うことで防錆塗装システムの水系化を進めたいと考えている。

参考文献

- 1) 鈴木昭仁, 石井壮一郎, 立松英信, 中山文雄, 深田修也, 「塩分吸着剤」配合防錆塗料の開発と性能試験 (1) —下塗材について—, 土木学会 第73回年次学術講演会講演概要集, V-359, 2018.8
- 2) 鈴木昭仁, 石井壮一郎, 立松英信, 中山文雄, 深田修也, 「塩分吸着剤」配合防錆塗料の開発と性能試験 (2) —塗装システムについて—, 土木学会 第74回年次学術講演会講演概要集, V-181, 2019.9
- 3) 馬場ひとみ, 鈴木昭仁, 立松英信, 中山文雄, 深田修也, 「塩分吸着剤」配合防錆塗料の開発と性能試験 (3) —塗装システムの耐久性について—, 土木学会 第79回年次学術講演会 発表予定, 2024.9

表3 塩水噴霧試験と塗膜剥離後の状況

塗装系	WTP-1	WTP-2	TP
180 サイクル 経過			
360 サイクル 経過			
塗膜 剥離後			

第V部門

2024年9月6日(金) 15:10 ~ 16:30 C305(川内北キャンパス講義棟C棟)

鋼材腐食(3)／防食(1)

座長：高谷 哲（京都大学）

16:00 ~ 16:10

[V-778] 「塩分吸着剤」配合防錆塗料の開発と性能試験（3）

—塗装システムの長期耐久性について—

*馬場 ひとみ¹、鈴木 昭仁¹、立松 英信¹、中山 文雄²、深田 修也³ (1. (株) ジェイアール総研エンジニアリング、2. (株) 複合材料研究所、3. イサム塗料 (株))

キーワード：塩分吸着剤、塩害環境、腐食、防錆

塩害環境下の鋼構造物においては、塩分の影響で劣化した箇所はその表層に孔食を発生させることが多く、維持管理する上で深刻な問題となっている。演者らは、この腐食を抑えるために、腐食抑制効果を有する「塩分吸着剤」を配合した防錆塗料の開発を進めている。本研究では、塩害での腐食を模擬した腐食鋼板を準備し、「塩分吸着剤」配合塗装システムと、長期防錆型塗装の塗替え塗装の中から、鋼構造物塗替設計施工指針に示される（T-6/7）を施したものを作製し、塩害環境における防錆性と耐久性を比較するため、暴露試験を行った。その結果、「塩分吸着剤」配合塗装システムは、T-6/7塗装系に比べて、高い防錆性と耐久性が確認された。

「塩分吸着剤」配合防錆塗料の開発と性能試験（3）

— 塗装システムの長期耐久性について —

ジェイアール総研エンジニアリング	正会員	○馬場ひとみ
ジェイアール総研エンジニアリング	正会員	鈴木 昭仁
ジェイアール総研エンジニアリング		立松 英信
複合材料研究所		中山 文雄
イサム塗料		深田 修也

1. はじめに

演者らは、かねてから「塩分吸着剤」を鋼材の防錆塗料へ応用する検討を進めており、先の報告^{1),2)}で、セメント系の「塩分吸着剤」配合塗料を下塗材とした塗装系の防錆効果の確認試験を実施した。その結果、従来の塗装系と比較し、高い防錆性が確認された。今回は、塗替え塗装を想定し、「塩分吸着剤」配合塗装システムと従来の塗装系について、塩害環境での暴露試験（耐久性試験）を行った結果を報告する。

2. 検討概要

（1）塗装システム

本試験では、先の報告で性能を確認した下塗り及び中塗りによる塗装構成（TP-1 塗装系）を基本に、上塗りを高耐候性塗料として知られている厚膜型ポリウレタン樹脂塗料とし、本検討における TP-2 塗装系とした。なお、下塗りは、「塩分吸着剤」配合一材型ポリマーセメント系塗料、中塗りは、下塗材と一体化する調整を施した弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料である。

従来の塗装系としては、長期防錆型塗装の塗替え塗装で採用されるものの中から、鋼構造物塗替設計施工指針に示される T-6/7 塗装系とした。

（2）確認試験

塗装システムの耐久性試験は、塩害環境下での腐食を模擬した腐食鋼板を作製し、表 1 に示すそれぞれの塗装を施して、厳しい塩害環境である新潟県の日本海沿岸に近接した場所に暴露し、防錆性を確認した。

試験用鋼板は、冷間圧延鋼板（JIS G 3141 150×70mm ×厚み 4mm 日本テストパネル株式会社製）を使用し、

(a)5%NaCl 水溶液に 5 秒浸漬した後に、取り出して容器に入れ、容器ごと 60℃恒温槽に入れ 3 日間恒温槽内に放置し、4 日目に容器ごと取り出し蓋をしたまま 0.5 時間外部放置冷却後、(a)に戻り同操作を繰り返した。一連の操作を合計 8 週行い、図 1 に示す腐食鋼板とした。これに対して、電動工具を用いて全面をケレンした試験板を図 2 に示す。ケレン後はすみやかに水洗いし、両面に塗装を施した。

試験板は、電動工具で取り切れなかった錆が残った状態であり、この残存錆中には塩化物イオンが存在していると考えられる。また、塩害環境における塗替え塗装の防錆性を確認することが目的のため、試験片にはあえてカット部を入れずに暴露試験を行った。

表 1 両塗装系の塗装構成

塗装系	TP-2	塗布量 g/m ²	T-6/7	塗布量 g/m ²
1層目	「塩分吸着剤」配合一材型 ポリマーセメント系下塗材	100	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	100
2層目	「塩分吸着剤」配合一材型 ポリマーセメント系下塗材	180	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	180
3層目	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	250	厚膜型変性エポキシ樹脂系塗料	250
4層目	厚膜型ポリウレタン樹脂塗料上塗	140	厚膜型ポリウレタン樹脂塗料上塗	140



図 1 腐食鋼板

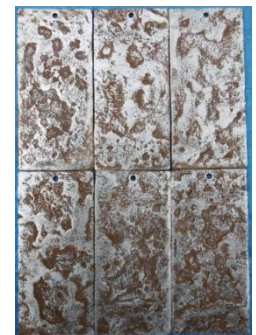


図 2 試験板

キーワード 塩分吸着剤, 塩害環境, 腐食, 防錆

連絡先 〒186-0002 東京都国立市東 1-4-13

(株) ジェイアール総研エンジニアリング 塩害対策技術部 TEL 042-501-2605

3. 結果

暴露試験片の表面の写真を図3~4に示す。2017年に試験片の設置を行い、約1年間隔で計6年間の経過観察を行った。

経過2年までは、両塗装系の塗膜に変状は確認されなかった。TP-2塗装系は、経過6年まで塗膜の割れ等の変状は確認されなかった。T-6/7塗装系は、経過4年で試験片の角部及び側面の一部に塗膜の割れが確認され、経過6年で、塗膜の割れが全体的に進行していることが確認された。

両塗装系の上塗りは同質材料であり塗膜の耐久性は同等と考えられるので、両塗装系の耐久性は、下塗りの防錆性が大きく影響すると考えられる。

TP-2塗装系では、下塗りの「塩分吸着剤」配合一材型ポリマーセメント系下塗材は、「塩分吸着剤」が塩化物イオンを吸着・固定化する機能を持つため、残存錆中の塩化物イオンを吸着・固定化することで、鋼材の腐食が抑制され、塗膜に変状が確認されなかったと考えられる。

一方、T-6/7塗装系では、下塗りの厚膜型変性エポキシ樹脂塗料は、外部からの劣化因子に対する遮蔽性はあるが、残存錆中の塩化物イオンに対する防錆性はない

ため、鋼材の腐食が進み、腐食膨張による塗膜の割れが発生したと考えられる。

以上より、TP-2塗装系では、鋼材の腐食が抑制されていた一方で、T-6/7塗装系では、鋼材の腐食が進行し、暴露試験6年で両塗装系の塗膜状態に大きな差が確認された。

4. まとめ

本試験では、塩害環境での塗替え塗装を模擬した暴露試験を行い、6年間の経過観察により、両塗装系の防錆性及び耐久性を確認した。TP-2塗装系は、従来のT-6/7塗装系に対して、高い防錆性を有していることが確認された。

5. 今後の課題

本試験の結果、腐食鋼板を用いた暴露試験での防錆性が確認されたが、最終的には、塩害環境下の実構造物に対する塗替え塗装における再劣化抑制が目的である。そのためには、実構造物の塗替え塗装に適用した場合の長期耐久性を確認し、重防食塗装に替わる新たな塗装システムとして実用化を進めたいと考えている。

参考文献

- 1) 鈴木昭仁, 石井壮一郎, 立松英信, 中山文雄, 深田修也, 「塩分吸着剤」配合防錆塗料の開発と性能試験 (1) - 下塗材について -, 土木学会 第73回年次学術講演会講演概要集, V-359, 2018.8
- 2) 鈴木昭仁, 石井壮一郎, 立松英信, 中山文雄, 深田修也, 「塩分吸着剤」配合防錆塗料の開発と性能試験 (2) - 塗装システムについて -, 土木学会 第74回年次学術講演会講演概要集, V-181, 2019.9

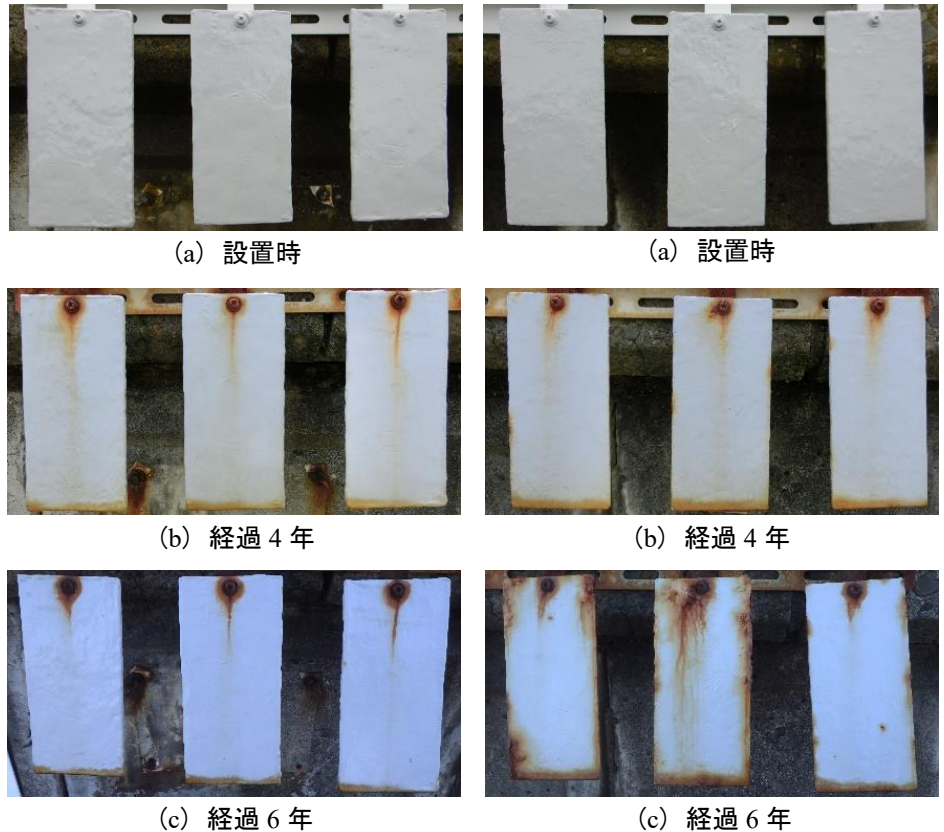


図3 経過観察 (TP-2 塗装系)

図4 経過観察 (T-6/7 塗装系)

第1部門

2024年9月6日(金) 16:20 ~ 17:40 会場 A102(川内北キャンパス講義棟 A 棟)

維持管理 (10)

座長：八木 知己 (京都大学)

17:00 ~ 17:10

[I-283]

鋼桁の塗替え塗装時における付着塩分量管理手法に関する検討

*河尻 留奈¹、小塚 正博¹、坂井 香織¹、石河 義希² (1. 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社、2. 中日本高速道路株式会社)

第I部門

2024年9月6日(金) 16:20 ~ 17:40 Ⅲ A102(川内北キャンパス講義棟A棟)

維持管理 (10)

座長：八木 知己 (京都大学)

17:00 ~ 17:10

[I-283] 鋼桁の塗替え塗装時における付着塩分量管理手法に関する検討

*河尻 留奈¹、小塚 正博¹、坂井 香織¹、石河 義希² (1. 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋株式会社、2. 中日本高速道路株式会社)

キーワード：蛍光X線、塩素、塩化物イオン、鋼橋、品質管理

鋼橋の塗替え塗装工事において、塗膜劣化を防ぐために付着塩分量の品質管理は重要である。本検討では、携帯型蛍光X線分析計に着目し、付着塩分量の管理方法を検討するとともに、管理のための標準試料作製方法を考案した。エアブラシによりSS400材の板にNaCl溶液を吹付けて付着量を変化させ、携帯型蛍光X線分析計とイオンクロマトグラフ法による塩分量の測定結果をグラフ化し、検量線を求めた。付着塩分量10~80mg/m²程度の結果が得られたことから、本手法は適用可能と考えられた。一方で、本手法の適用には相関係数は0.7以上であるものの、吹付け距離を変えるなどの検証を行う必要があった。

鋼桁の塗替え塗装時における付着塩分量管理手法に関する検討

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 金沢支店	正会員	○河尻 留奈
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 金沢支店	正会員	小塚 正博
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 金沢支店	正会員	坂井 香織
中日本高速道路(株) 金沢支社	正会員	石河 義希

1. 目的

鋼橋の塗替え塗装工事において、鋼材の素地面に塩分が付着したまま塗装を行うと塗膜劣化の原因となるために、付着塩分量の品質管理は重要である。鋼道路橋塗装・防食便覧によると、 $50\text{mg}/\text{m}^2$ 以下となるように管理することが推奨されている。当該便覧では付着塩分量の測定方法としてガーゼ拭き取り法、電導度法、ブレッセル法が規定されているが、狭隘部や凹凸部などの測定が困難などの課題がある。

本検討では、新しい付着塩分量の測定方法として携帯型蛍光 X 線分析計(以下、蛍光 X 線分析計)に着目し、付着塩分量の管理方法を検討するとともに、管理のための標準試料作製方法を考案した。

2. 蛍光 X 線分析計による測定

蛍光 X 線分析計は、分析対象に X 線を照射すると、元素ごとに固有の蛍光 X 線を検出器で読み取り、エネルギー強度とスペクトルから成分元素や含有量を分析する装置である。とくに携帯型は現地で結果を測定直後に確認することができ、数十秒と短時間で分析可能であることから様々な分野で利用されている。

蛍光 X 線分析計で測定される付着塩分量は元素の質量割合(%)であるため、換算式を用いて付着塩分量(mg/m^2)に変換する必要がある。そこで、本検討では塩分の付着量を変えた試験片を作製し、蛍光 X 線分析計により塩素(Cl)の量を測定する。その後、試験片を超純水に浸漬させて抽出した溶液をイオンクロマトグラフで分析し、水溶性塩化物イオン量(Cl⁻)を測定することによりその換算式(以下、検量線)を得ることとした。

2. 検討方法

2.1 試験片の作製

本検討の手順を図-1 に示す。塩分を付着させる試

験片は、 $125\text{mm}\times 125\text{mm}$ 、厚さ 3mm の SS400 材を用いた。塩分を均一に付着させるため、表面錆が表れている場合は除錆処理を行った。除錆処理は、JIS Z 2371:2015 「塩水噴霧試験方法」における付属書 JB(参考)腐食生成物の除去方法に準じて、20%クエン酸水素二アンモニウムを用いて実施した。

塩水は 10%の塩化ナトリウム水溶液(以下、NaCl 溶液)とし、エアブラシ(高儀社、アースマンシリーズ HCPP-110)を用いて試験片に吹付けた。表-1 に示すように、エアブラシによる吹付け時間を変化させて付着塩分量を調節し、それぞれ試験片を 2 枚ずつ作製した。また、エアブラシから霧状に塩水が噴霧されることから、逸散防止を目的に写真-1 に示すように囲いを設けて実施した。エアブラシの先端から試験

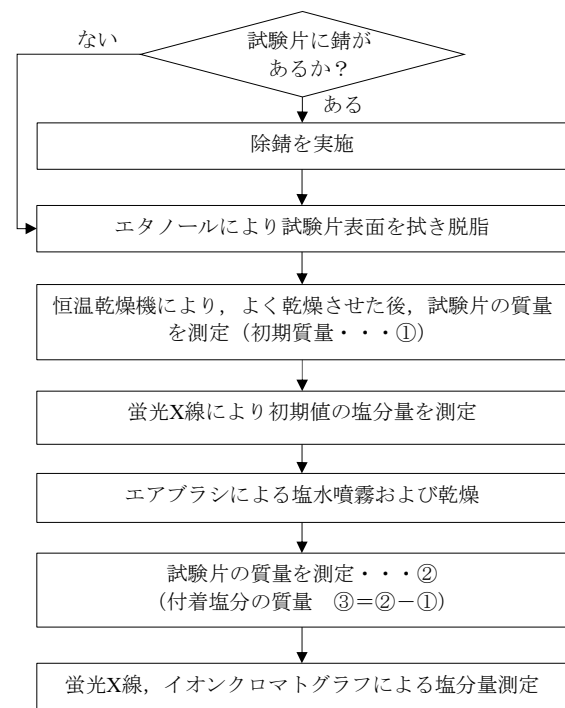


図-1 検討の手順

キーワード 蛍光 X 線, 塩素, 塩化物イオン, 鋼橋, 品質管理

連絡先 〒920-0027 石川県金沢市駅西本町 3-7-1

中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) TEL076-264-7872

片まで 750mm, 囲いの範囲を 260mm×400mm とした。なお, NaCl 溶液を吹付けた試験片は, 乾燥させた後に, 試験に用いた。

表-1 NaCl 溶液の吹付け時間

試料番号	吹付け時間(秒)	吹付け回数(回)	総吹付け時間(秒)
1		0	0
2		1	5
3		2	10
4		3	15
5	5	4	20
6		5	25
7		6	30
8		7	35
9		8	40
10		9	45

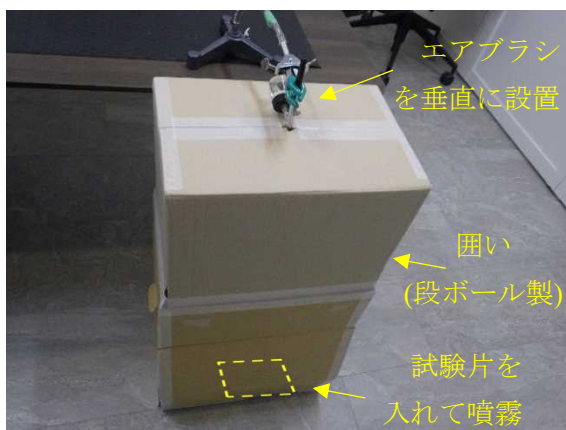


写真-1 エアブラシによる NaCl 溶液吹付け方法

2.2 蛍光 X 線分析計による付着塩分量測定

使用した蛍光 X 線分析計を写真-2 に示す。オリンパス社製「Vanta C シリーズ」を用いて, 図-2 に示すように, 試験片に付着した Cl (%) を 5 点測定し, 最大と最小を除いた残りの 3 点の平均値を付着塩分量とした。

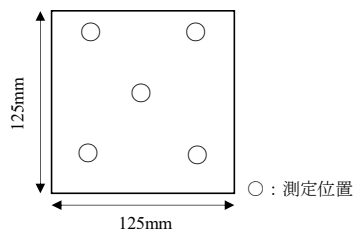


写真-2 蛍光 X 線分析計 図-2 測定位置

2.3 イオンクロマトグラフによる付着塩分量測定

試験片を 60℃ の温水に浸漬し, 抽出液をイオンク

ロマトグラフ法により塩化物イオン(Cl⁻)のイオン濃度(mg/l)を分析し, 試験片の面積である 0.0156m² で除して付着塩分量を算出した。

3. 検討結果

測定結果をグラフ化して得られた検量線を図-3 に示す。検量線は Microsoft Excel 2016 の線形近似の機能を使用して, 以下の式で表された。

$$y = 61.364x + 7.7787$$

1 回で吹付ける時間が長いほどばらつきが大きくなる傾向が認められた。これは, エアブラシの噴霧先を下に向けて吹付けるために, 吹付ける NaOH 溶液量が多くなるほど Cl の付着量に偏りが生じたことが一因と考えられる。試験片に均一に吹付けるためには, エアブラシの先端と試験片の距離などが関係していることが想定される。

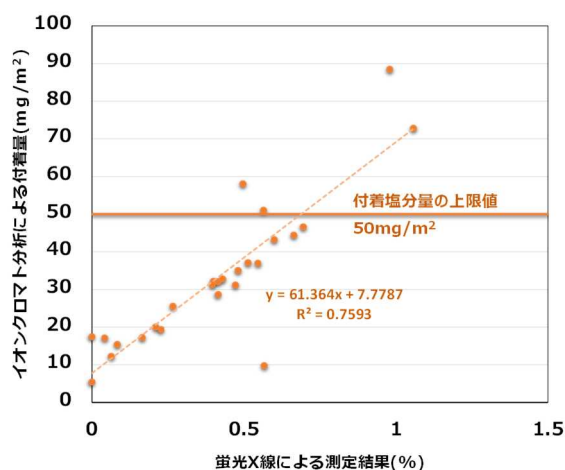


図-3 検量線

4. まとめ

本検討は, エアブラシにより SS400 材の板に NaCl 溶液を吹付けて付着量を変化させ, 蛍光 X 線分析計とイオンクロマトグラフ法による塩分量の測定結果をグラフ化し, 検量線を求めた。付着塩分量 10~80mg/m² 程度の結果が得られたことから, 適用可能と考えられる。しかしながら, 1 回の吹付け時間が長いほど測定結果のばらつきが大きくなる傾向があったことから, 本手法の適用には相関係数は 0.7 以上であるものの, 吹付け距離を変えるなど, 更なる検証を行う必要がある。

参考文献

1) (社)日本道路協会: 鋼道路橋塗装・防食便覧, pp.III-109-III-110, 2005.

第1部門

2024年9月6日(金) 16:20 ~ 17:40 会場 A106(川内北キャンパス講義棟A棟)

最適設計／維持管理 (11)

座長：山本 亨輔 (筑波大学)

16:50 ~ 17:00

[I-416]

高力ボルト継手・すき間部におけるAbrasive Water-Jet Treatmentの適用性に関する基礎的研究

*キム アラン¹、貝沼 重信¹、池田 龍哉²、豊田 雄介³ (1. 九州大学大学院、2. 池田工業(株)、3. 西日本高速道路(株))

17:10 ~ 17:20

[I-418]

ステンレス鋼と炭素鋼の接触腐食性状および抑制手法の検討

*蓮池 里菜¹、筒井 皓太²、麻生 稔彦¹ (1. 山口大学大学院、2. 高田機工株式会社)

17:30 ~ 17:40

[I-420]

ミャンマーにおける鋼橋の塗替え試験塗装後6年目の追跡調査

*西崎 到¹、橋本 国太郎²、杉浦 邦征³、富山 禎仁⁴、ウイント タンダー⁴ (1. 一般財団法人 土木研究センター、2. 神戸大学大学院、3. 京都大学大学院、4. 国立研究開発法人 土木研究所)

第I部門

2024年9月6日(金) 16:20 ~ 17:40 Ⅲ A106(川内北キャンパス講義棟A棟)

最適設計／維持管理 (11)

座長：山本 亨輔 (筑波大学)

16:50 ~ 17:00

[I-416] 高力ボルト継手・すき間部におけるAbrasive Water-Jet Treatmentの適用性に関する基礎的研究

*キム アラン¹、貝沼 重信¹、池田 龍哉²、豊田 雄介³ (1. 九州大学大学院、2. 池田工業(株)、3. 西日本高速道路(株))

キーワード：高力ボルト継手部、素地調整、Abrasive Water-jet Treatment、ガーネット

ボルト継手部の部材と添接板の界面に一旦、腐食が生じると従来技術では鋼素地調整ができない。その結果、鋼素地に塩類やさびが残留することで、塗替え塗装後もすき間腐食によるさびの膨張圧で塗膜が早期に割れ、腐食要因物質が侵入するため、腐食の進行が抑制できない。この腐食が著しく進行した場合、腐食部の添接板を部分切除して、新規の添接板に取り換える補修が行われている。したがって、塗替え塗装前にすき間部の素地調整を適切に行うことで、腐食進行を抑制することが重要になると言える。そこで、本研究では、ボルト継手部のモデル試験体を対象として、著者らが開発したAWTによる素地調整法の適用性を検討することを目的とした。

高力ボルト継手・すき間部における Abrasive Water-Jet Treatment の適用性に関する基礎的研究

九州大学工学部 正会員 ○キム アラン 九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信
池田工業(株) 正会員 池田 龍哉 西日本高速道路(株) 正会員 豊田 雄介

1. はじめに ボルト継手部の部材と添接板の界面に一旦、腐食が生じると従来技術では鋼素地調整ができない。その結果、鋼素地に塩類やさびが残留することで、塗替え塗装後もすき間腐食によるさびの膨張圧で塗膜が早期に割れ、腐食要因物質が侵入するため、腐食の進行が抑制できない。この腐食が著しく進行した場合、腐食部の添接板を部分切除して、新規の添接板に取り換える補修が行われている。したがって、塗替え塗装前にすき間部の素地調整を適切に行うことで、腐食進行を抑制することが重要になると言える。そこで、本研究では、ボルト継手部のモデル試験体を対象として、著者らが開発した Abrasive Water-Jet Treatment (以下、AWT)¹⁾ による素地調整法の適用性を検討することを目的とした。

2. 試験方法 試験体の形状・寸法を図-1に示す。試験体には板厚9mmの鋼板(JIS G3106 SM490A)を用いた。ボルト継手部の部材と添接板の界面にすき間腐食部を模擬するために、添接板を切削加工して、すき間 g を 0, 0.5, 1mm および 2mm になるように、機械加工(切削径: 50mm, 切削速度: 215m/min, 回転数: 1,369rev./min, 刃材質: サーメット, 切削精度: 0.02mm)した。鋼板は全面ブラスト処理後(研削材: スチールグリット, 投射圧力: 0.7MPa, Rzjis: 65.3 μ m, Ra: 18.0 μ m), 青ニススプレー(膜厚: 約 5 μ m)を塗布し、ボルト継手を高力ボルト(M22 F10T)で組み立てた。AWT 施工条件を表-1に示す。研削材にはガーネット(粒度: #80, かさ比重: 4.1, ビッカース硬度: 994, モース硬度: 7.5)を用いた。AWT 施工可能領域を検討するため、デジタル画像と顕微鏡で外観観察した。また、すき間部(評価面積: 137.5 \times 230mm)のAWT 施工領域について画像を2値化処理することで、青ニスの除去の有無における領域面積を算出した。鋼素地の表面性状を検討するため、触針式表面粗さ測定機(SJ-210, スタイル先端形状: 2 μ m R 60°, 測定力: 0.75mN, 測定速度: 0.5mm/s)を用いて線粗さを測定した。線粗さ Rzjis と Ra については、基線長を 10mm として 6 回測定し、その平均値を算出した。

3. 試験結果 各試験体に AWT 施工後の鋼素地の外観と顕微鏡画像を表-2に示す。 g が 0mm に比して 0.5, 1mm および 2mm において、すき間部の青ニススプレーが全体的に除去されている。また、面圧が高いボルトのワッシャー部のわずかなすき間部においても青ニスが除去されている。 g が 0mm においても、SP1の先端から最大約 70mm まで青ニスの色相が変化していることから、AWTの混相流体は、わずかなすき間であっても侵入すると言える。表-2に示す顕微鏡画像では、AWT後のすき間内と外部の鋼素地の表面性状は異なっている。すき間内部の場合、鋼素地の表面粗さの凸部が研削され、鋼素地の凹部には青ニスが残存している。その青ニスの除去された領域の面積は、76~84%であった。また、研削材も観察される。特に、 g が 0mm の研削材の残留量は、他の g に比して多い。これはすき間が小さいと混相流体の水流作用が阻害されるためと推察される。表-2に示す SP2

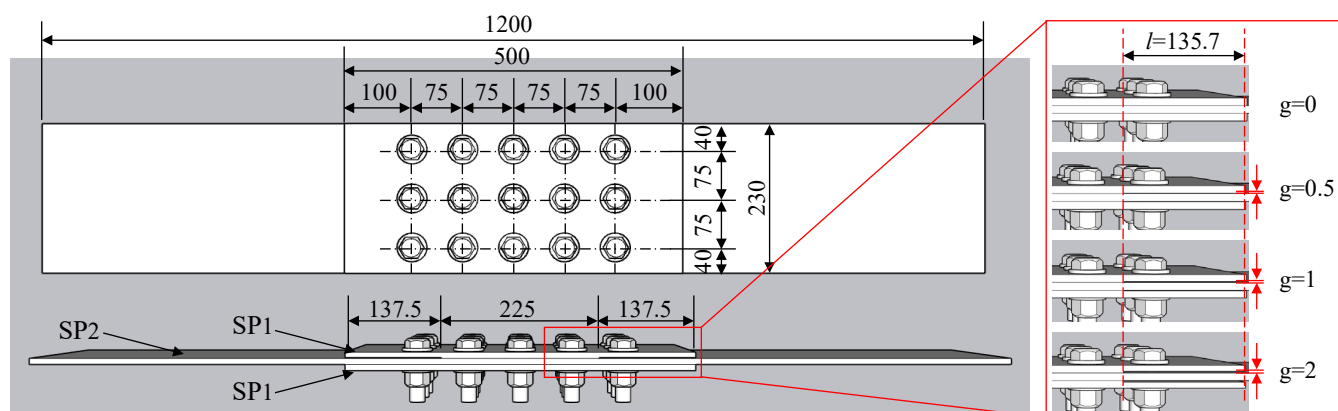


図-1 試験体の形状と寸法 (単位: mm)

表-1 AWT 施工条件

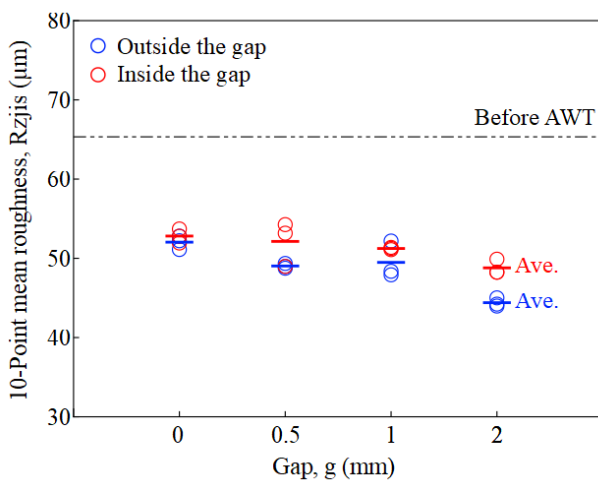
Nozzle diameter (mm)	Water flow (L/min)	Abrasive supply (g/min)	Pressure (MPa)	Stand-off distance (mm)	Angel (°)
5	11.9	600	230	300	30

キーワード 高力ボルト継手部, 素地調整, AWT, ガーネット

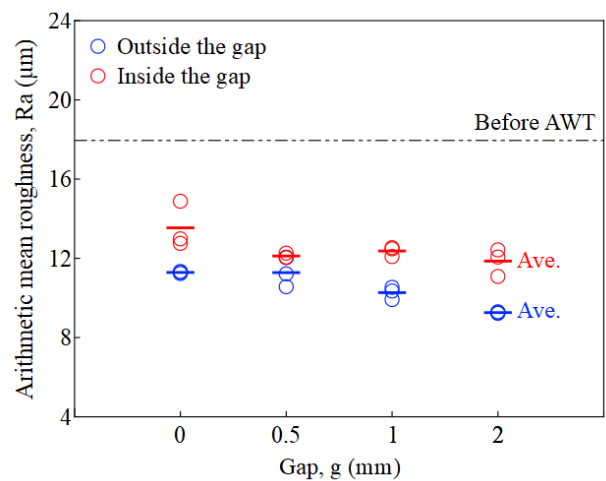
連絡先 〒819-0395 福岡市西区元岡744番地 九州大学 ウェスト2号館 1104号室 TEL 092-802-3392

表-2 AWT 後の試験体の外観とマイクروسコープ画像

g (mm)	SP 1		SP 2		
	Surface treatment	Inside the gap	Surface treatment	Inside the gap	Outside the gap
0					
0.5					
1					
2					



(a) Rzjis



(b) Ra

図-2 AWT 施工した SP2 の鋼素地の線粗さ

の g が 0.5, 1mm および 2mm の場合については、鋼板が局部的に減耗しており、 g が大きくなるほど鋼板表面の減耗が増加している。これは、AWT の混流体の局所渦がすき間の入り口付近で生じることによるエロージョン現象に起因すると推察される。AWT 後に SP2 のすき間内と外部における線粗さ Rz_{jis} と Ra を図-2 に示す。 Rz_{jis} と Ra は同傾向であり、AWT 後はいずれも AWT 前に比して小さくなっている。また、すき間外部が内部に比して小さくなり、 g の増加にしたがって、 Rz_{jis} と Ra が小さくなっている。前述のように、すき間が大きいほど、混相流体が侵入しやすくなり、鋼素地の起伏の凸部が研削されるため、線粗さが小さくなったと考えられる。 Rz_{jis} については、 g によらず 45~55 μm であり、鋼道路橋における Rz_{jis} の管理基準²⁾の 80 μm 以下を満足している。したがって、 g が 0.5mm 以上のすき間部には AWT による素地調整が有効であり、AWT はボルト継手のすき間部を素地調整する上で有効な方法であると考えられる。

4. まとめ 本研究では、ブラスト処理などの従来の素地調整法では不可能であったボルト継手部の部材と添接板の界面におけるすき間腐食部に対する AWT の適用可能性をボルト継手部のモデル試験体を用いて検討した。その結果、すき間が 0.5mm 以上であれば AWT を適用することで、すき間部の素地調整の実現可能性があることを示した。本研究ではすき間部に対する AWT の適用性を基礎的に検討したが、今後、すき間部を腐食させることで、腐食孔底部などの除塩・除せいに対する AWT の適用性を検討する予定である。

参考文献 1) S. Park, S. Kainuma, M. Yang, A. Kim, T. Ikeda, Y. Toyota, T. Arakawa : Advancements in abrasive water-jet treatment for efficient surface cleaning and comprehensive corrosion removal in steel structures, Journal of Building Engineering, Vol. 84,108623, 2023. 2) (公社) 日本道路協会 : 鋼道路橋防食便覧, 2014.

第I部門

2024年9月6日(金) 16:20 ~ 17:40 会場 A106(川内北キャンパス講義棟A棟)

最適設計／維持管理 (11)

座長：山本 亨輔 (筑波大学)

17:10 ~ 17:20

[I-418] ステンレス鋼と炭素鋼の接触腐食性状および抑制手法の検討

*蓮池 里菜¹、筒井 皓太²、麻生 稔彦¹ (1. 山口大学大学院、2. 高田機工株式会社)

キーワード：異種金属接触腐食、ステンレス鋼材、普通鋼材、耐候性鋼材

鋼橋の劣化要因の一つに腐食が挙げられ、鋼橋桁端部では桁中央部に比べ腐食が激しいという事例が報告されている。これに対し、普通鋼材（SM材）や耐候性鋼材（SMA材）に比べ高価だが、耐食性に優れたステンレス鋼材（SUS材）を桁端部にのみ適用することが考えられる。しかし、SM材やSMA材はSUS材に比べ卑な金属であるため、異種金属接触腐食の発生が懸念される。本研究ではこの異種金属接触腐食に対し、腐食促進試験と腐食数値解析から、その腐食性状、腐食範囲を明らかにすると共に、異種金属接触腐食を抑制可能な防食塗装範囲を検討する。

ステンレス鋼と炭素鋼の接触腐食性状および抑制手法の検討

山口大学大学院 正 会 員 ○蓮池 里菜
 高田機工株式会社 正 会 員 筒井 皓太
 山口大学大学院 フェロー会員 麻生 稔彦

1. はじめに

日本国内に架設されている橋梁の約 40%を占める鋼橋の劣化要因の一つに腐食が挙げられ、鋼橋桁端部では桁中央部に比べ腐食が激しいという事例が報告されている¹⁾。この対策として普通鋼材 (SM 材) や耐候性鋼材 (SMA 材) に比べ高価だが、耐食性に優れたステンレス鋼材 (SUS 材) を桁端部にのみ適用することが考えられる。しかし、SUS 材に比べ卑な金属である SM 材や SMA 材が電氣的に接続することで、異種金属接触腐食の発生が懸念される。

本研究では、鋼橋桁端部に SUS 材を適用した際に発生が懸念される異種金属接触腐食に対し、著者らが実施してきた腐食促進試験²⁾と腐食数値解析から、その腐食性状、腐食範囲を明らかにすると共に、異種金属接触腐食を抑制可能な防食塗装範囲を検討する。

2. 試験片および腐食促進試験

鋼種による腐食性状の違いを検討するため、SUS304 材および SUS821L1 材と SMA400 材の溶接接合試験片を作成した。塗装範囲の違いによる異種金属接触腐食の抑制効果を検討するため、無塗装と塗装範囲を溶接止端から 10mm、30mm および止端から 10mm+余盛 10mm の 20mm 塗装した試験片を作成した。図-1 に試験片断面図を、表-1 に試験片の条件を示す。また、図-2 に塗装範囲別の試験片上面図を示す。試験片表面のみを観察対象とするため、防食テープで試験片表面以外にテーピングを施した。

腐食促進試験では、湿潤を 2 時間、乾湿を 6 時間の合計 8 時間を 1cycle とする乾湿サイクル³⁾を適用した。Cl による腐食程度の違いを検討するため、0.1%、3%塩化ナトリウム水溶液 (以下、0.1、3%塩水) を 3cycle に 1 回供給する。腐食範囲を確認するため、図-2 に示す箇所にて 72cycle 毎にさび厚を測定した。

また、同試験片に対し、シミュレーションソフトウ

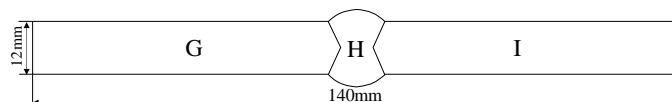


図-1 塗装範囲検討試験片断面図

表-1 試験片条件

	G	H	I	溶液		塗装(mm)
				0.1%塩水	3%塩水	
試験体10	SUS304	GFW309	SMA400	0.1%	3%	0
						10
						20
						30
試験体11	SUS821L1	GFW309	SMA400	0.1%	3%	0
						10
						20
						30
試験体12	SMA400	YM55C	SMA400	0.1%	3%	0
						10
						20
						30

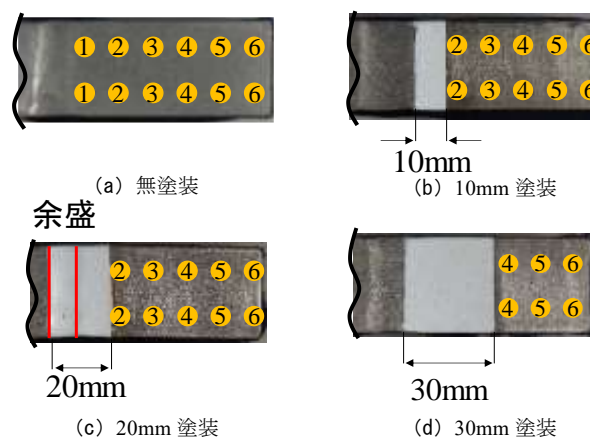


図-2 塗装範囲検討試験片上面図 (●: さび厚測定箇所)

表-2 解析条件

カソード	平衡電位	-0.2	V
	交換電流密度	1.0×10^{-3}	A/m ²
	ターフェル勾配	-0.12	V
アノード	平衡電位	-0.6	V
	交換電流密度	1.0×10^{-2}	A/m ²
	ターフェル勾配	4.0×10^{-2}	V
	限界電流密度	100	A/m ²
溶液	膜厚	3.0×10^{-4}	m
	電解質導電率	4.6	S/m

キーワード 異種金属接触腐食、ステンレス鋼材、普通鋼材、耐候性鋼材

連絡先 〒755-861 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院 創成科学研究科社会基盤工学分野
 TEL 0836-85-9328

エア COMSOL Multiphysics を使用し、有限要素解析による塗装範囲の検討を行った。表-2 にカソード、アノード、溶液の解析条件を示す。

3. 塗装試験片の異種金属接触腐食性状

図-3 に、3%塩水供給時の無塗装試験片の長手方向でのさび厚を示す。異種金属接触腐食の抑制を検討するため SMA 材同士の試験片を基準とすると、溶接部近傍から 50mm 地点 (No.5) の SUS821L1-SMA400 試験片を除き、全てにおいて異材溶接試験片のさび厚が SMA 材同士のさび厚より大きくなっており、異種金属接合により腐食が促進されていた。

図-4 に 3%塩水供給時の無塗装試験片の溶接止端 (図-3 No.1)、および塗装端部から 10mm 範囲の平均さび厚を示す²⁾。既報にて示す通り、鋼種によらず、塗装により腐食が抑制されていた。本結果に対し、異種金属接触腐食範囲の詳細な検討に向け、腐食数値解析を行った。図-5 に、無塗装試験片の腐食数値解析結果のうち、接合部近傍 4mm 範囲の拡大図を示す。腐食減耗量は接合部で最大値を示し、鋼材端部になるにつれ減少した。図-6 に、腐食数値解析により算出した、3%塩水でおおわれている試験片の 72 日後における溶接止端、および塗装端部の腐食減耗量を示す。また同図に、異材溶接試験片の溶接部端部および塗装端部のさび厚を示す。SUS 材と SM 材の接合試験片の腐食数値解析による腐食減耗量では、無塗装に対し、塗装 10mm, 20mm, 30mm において、0.30 倍、0.17 倍および 0.14 倍と抑制され、塗装範囲が大きいほど、その抑制効果は高くなった。実験結果と比較すると、塗装による腐食抑制効果は同様に確認されたものの、塗装範囲による抑制程度は解析結果において大きくなった。再現性向上に向け、解析条件の更なる検討が必要と考える。

4. まとめ

塗装範囲の異なる SUS 材-SMA 材接触試験片の腐食促進結果および、SUS 材-SM 材接触試験片の腐食数値解析結果より、SMA 材または SM 材側を 10mm 以上塗装することで異種金属接触腐食を抑制可能であった。今後、腐食促進試験に供した SUS 材-SMA 材接触試験片の腐食数値解析を進める。

参考文献

1) 名取暢, 西川和廣, 村越潤, 大野崇: 鋼橋の腐食事例調査とその分析, 土木学会論文集 No.668/I-54, pp.299-311, 2001.2) 浦拓海, 蓮池

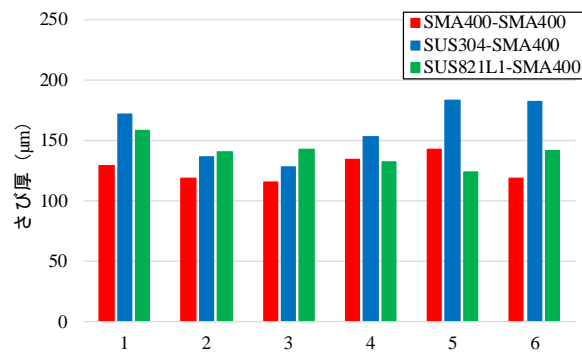


図-3 無塗装試験片の長手方向のさび厚 (3%塩水供給)

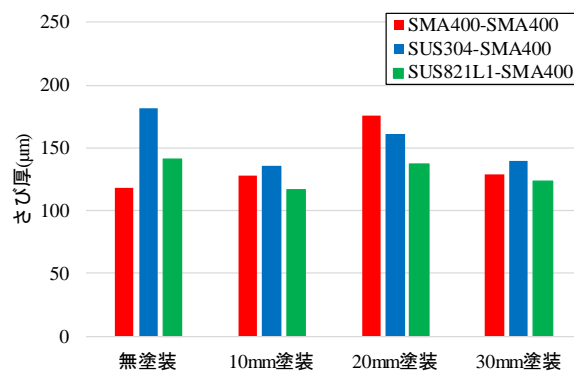


図-4 各塗装試験片のさび厚 (3%塩水)²⁾

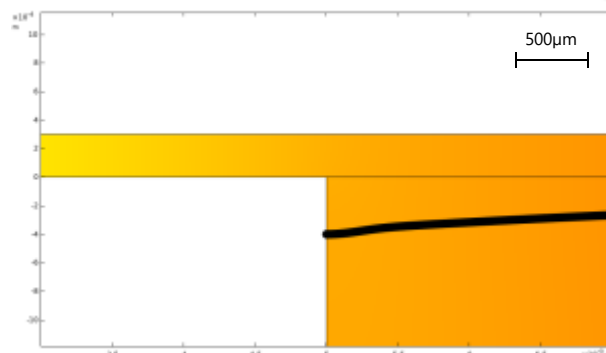


図-5 腐食数値解析による 72 日後の無塗装試験片 (拡大図)

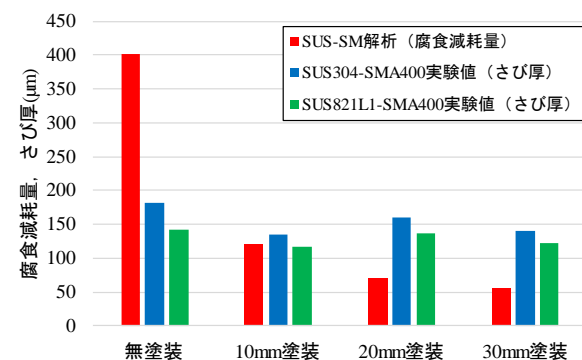


図-6 腐食数値解析結果および実験値

里菜, 麻生稔彦: ステンレス鋼に溶接された耐候性鋼の異種金属接触腐食範囲の非接触検出およびその抑制, 第 75 回土木学会中国支部研究発表会, I-19, pp.52-53, 2023.3) 三木千尋, 市川篤司, 鶴飼真, 竹村誠洋, 中山武典, 紀平寛: 無塗装橋梁用鋼材の耐候性合金指標および耐候性評価方法の提案, 土木学会論文集 No.738/I-64, pp.271-281, 2003.

第I部門

2024年9月6日(金) 16:20 ~ 17:40 会場 A106(川内北キャンパス講義棟A棟)

最適設計／維持管理 (11)

座長：山本 亨輔 (筑波大学)

17:30 ~ 17:40

[I-420] ミャンマーにおける鋼橋の塗替え試験塗装後6年目の追跡調査

*西崎 到¹、橋本 国太郎²、杉浦 邦征³、富山 禎仁⁴、ウイント タンダー⁴ (1. 一般財団法人 土木研究センター、2. 神戸大学大学院、3. 京都大学大学院、4. 国立研究開発法人 土木研究所)

キーワード：鋼橋、塗替え塗装、ミャンマー、試験施工

経済発展が著しい東南アジア諸国の鋼橋の維持管理には、適切な塗替え塗装が重要である。使用されている既存防食塗装系や建設された地域の気象環境や腐食環境、さらには塗替え塗装の施工条件などは、その国・地域で特有の場合も多いため、その各種条件に合った塗替え塗装に関する標準的手法の確立が必要である。筆者らはミャンマーの鋼橋塗替えに着目して上記の確立を目的とした研究を継続している。本報告では、比較的腐食環境条件が厳しくない地域に建設後19年経過した鋼橋を対象として、適切な塗替え塗装仕様の検討を目的とした試験塗装の中間報告を示す。

ミャンマーにおける鋼橋の塗替え試験塗装後約6年目の追跡調査

(一財) 土木研究センター 正会員 ○西崎 到 神戸大学大学院 正会員 橋本 国太郎
 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征 (国研) 土木研究所 正会員 富山 禎仁
 (国研) 土木研究所 正会員 ウィント・タンダー

1. はじめに

経済発展が著しい東南アジア諸国においても、インフラ鋼構造物の維持管理に関する様々な問題が発生している(例えば2018年ミャンマー、マウンミャ橋の崩落など)。これらの鋼橋の維持管理には適切な塗替え塗装が重要である。使用されている既存防食塗装系や建設された地域の気象環境や腐食環境、さらには塗替え塗装の施工条件などは、その国・地域で特有の場合も多いため、その各種条件に合った塗替え塗装に関する標準的手法の確立が必要である。筆者らはミャンマーの鋼橋塗替えに着目して上記の確立を目的とした研究を継続している。本報告では、比較的腐食環境条件が厳しくない地域に建設後19年経過した鋼橋を対象として、適切な塗替え塗装仕様の検討を目的とした試験塗装の中間報告を示す。

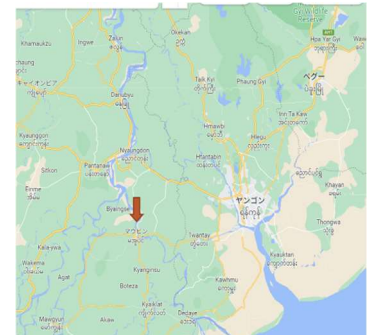


図-1 試験施工対象橋梁の位置

2. 試験塗装対象橋梁の概要

試験塗装対象橋梁はミャンマーの首都ヤンゴンの西55kmほどのデルタ地帯に位置するMaubin(マウビン)橋(図-1, 2)である。エーヤワディ川の支流のMyitmaka川に架かる4径間のトラス橋であり、1998年に建設された。Maubinの気候は熱帯モンスーン気候であり温湿度ともに高いが、床版下の鋼桁の表面付着塩分量の測定事例では、内桁下フランジ上面以外では $100\text{mg}/\text{m}^2$ 程度との報告がある。ミャンマー国内では、北部のインド洋沿岸地域(この地域に関する検討は別途実施している)に比較して腐食環境は比較的穏やかと考えられる。



図-2 試験施工対象のMaubin橋

Maubin橋の初期の塗装系は3層構成であり、鋼材面側から、鉛丹系さび止め塗料/MIO塗料/アルキド系上塗り塗料であることが、事前調査の結果から判明している。また、少なくとも1回は塗替え塗装が行われているが、これも事前調査の結果からMIO塗料/アルキド系塗料が塗装されていた。なお塗替え塗装時の素地調整方法は記録がなく不明であるが、活膜を残した塗り替え塗装方法であったことが推察される。

腐食や塗膜の状況についての事前調査では、塗膜表面にはく離やひび割れが顕著に認められるものの、鋼材の腐食が起きているのは部分的であり、直ちに塗替え塗装を行う必要がある状況ではなかった。

3. 塗替え試験塗装の概要

塗替え試験塗装はトラス橋の斜材の歩道面近くの部位(図-3)を用いた。T1とT2の2か所で実施したが、この報告ではT1の結果を報告する。事前に対象部位で実施したクロスカット試験では、

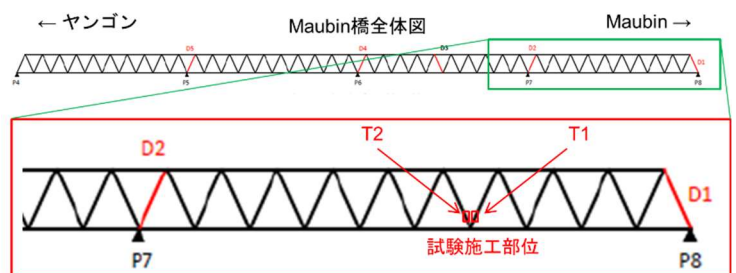


図-3 塗替え塗装の試験施工の実施位置

キーワード 鋼橋, 塗替え塗装, ミャンマー, 試験施工

連絡先 〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 (一財) 土木研究センター Tel:03-3835-3609

格子状のカットを入れた時点で MIO 塗料とアルキド塗料が剥落してしまいましたが、鉛丹塗料は残ることが多かったので、健全な鉛丹塗料は残すこととし、劣化した一部の鉛丹塗料およびその上の2層の除去を基本的な素地調整方針とした。できるだけ簡易な素地調整としたいため、手工具（スクレーパー、サンドペーパーおよび不織布研磨材）により素地調整を行った。塗替え塗装仕様は、表-1 に示す3種類を、現地で比較的容易に入手可能な塗装系として設定した。T1 の試験施工の部位は、図-4 に示すような範囲とし、1仕様あたり0.09m²程度とした。なお、A2 の第2層と第3層は（表-1 の赤字部分）、当初の計画では120 μ m の膜厚を60 μ m ずつ2回で塗る計画であったが、気温が予想より高く乾燥が早かったため、120 μ m を1回で塗布した。試験塗装は2018年5月（建設後20年目）に実施している。

表-1 試験施工の塗替え塗装仕様

ケース名	A1	A2	A3
素地調整	ハンドツール (スクレーパーおよびサンドペーパー処理#220)		
第1層	エポキシプライマー(80 μ m)	エポキシプライマー(80 μ m)	変性エポキシ(60 μ m)
第2層	ポリウレタン上塗(80 μ m)	エポキシ下塗(60 μ m)	変性エポキシ(60 μ m)
第3層		エポキシ下塗(60 μ m)	エポキシ中塗(30 μ m)
第4層		ポリウレタン上塗(80 μ m)	ポリウレタン上塗(25 μ m)
硬化時の膜厚	180 μ m	280 μ m	175 μ m
相当する塗装系	ISO12944 C3 A3-08	ISO12944 C4 A4-09	鋼道路橋防食便覧 Rc-III

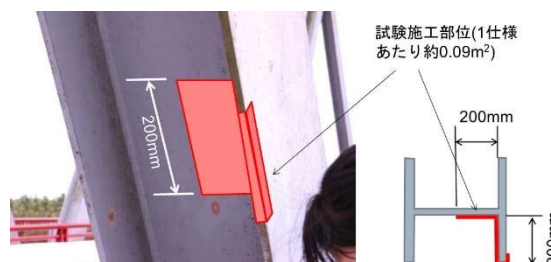


図-4 T1 の1仕様あたりの試験施工部位

4. 試験塗装から6年7か月後の調査結果

試験塗装の実施の6年7か月後、試験塗装部位に対して外観調査およびクロスカット試験を実施した。

外観観察からは試験塗装施工範囲の塗膜異常などは観察されなかった（図-5）。クロスカット試験は各仕様のフランジ部とウェブ部それぞれについて、3mmメッシュと5mmメッシュで実施した。A2とA3の部位については、素地調整時に鉛丹塗膜が完全に除去された部位があったために、その部位についての試験も追加して実施した。A1についてはカッターナイフで格子パターンを形成した時点で、3mmメッシュでは大半の塗膜が鉛丹の旧塗膜内で脱落し、テープはく離でほぼ全てのメッシュがはく離した。一方同じ仕様でも5mmメッシュの場合には、脱落・はく離ともにその程度はより少なかった（図-6）。これはウェブ部、フランジ部ともに同様の状況が観察された。

一方、A2およびA3については、クロスカット試験によるはく離は観察されなかった。A1とA2では第1層が同じ仕様であること、およびはく離発生部位が旧塗膜である鉛丹塗膜内が主であることから、A1のみではく離が観察されたのは、素地調整の段階で、鉛丹塗料の脆弱な部位が除去しきれなかったためと考えられる。A2やA3ではより高い付着耐久性が認められたことから、当該架設環境においては手工具による素地調整でも適切に塗替えを行える可能性があると考えられる。ただし、事前に活膜範囲を正しく見極めるための調査を行うなど、現地の実態に合わせた適切な塗替え塗装の手順を確立する必要がある。また、クロスカット試験では3mmメッシュでは5mmに比べ、付着性の評価がより厳しく評価された。より適切な条件について今後さらに検討したい。

5. 謝辞

本研究の実施にあたっては、ミャンマー国建設省、ヤンゴン工科大学、JFEエンジニアリング（株）より御協力を頂いた。また本研究は土木学会「インフラマネジメント技術国際展開研究助成」（2021年度採択）を受けて実施した。

参考文献 1) 大城雄希他、鋼構造年次論文報告集(CD-ROM)、第26巻、論文No.50、JSSC、2018.11.

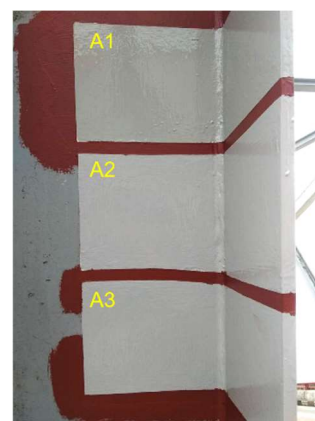


図-5 試験塗装から6年7か月後の状況

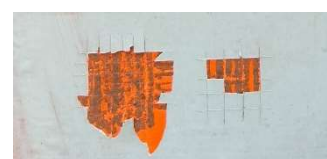


図-6 クロスカット試験の事例(A1ウェブ部、テープはく離後、3mmメッシュ(左)と5mmメッシュ)

第V部門

2024年9月6日(金) 16:50 ~ 18:10 会場 C305(川内北キャンパス講義棟C棟)

防食(2)

座長：田中 豊 (港湾空港技術研究所)

17:30 ~ 17:40

[V-783]

5年の屋外暴露による水性塗料の劣化進行度比較

*岩井 渉¹、石原 陽介²、副島 直史² (1. 一般財団法人首都高速道路技術センター、2. 首都高速道路株式会社)

17:40 ~ 17:50

[V-784]

飛来塩分の多い環境における撥水性クリヤー塗料の塩分付着性

*神頭 峰磯¹、山内 健一郎² (1. 日本車輛製造株式会社、2. 大日本塗料株式会社)

第V部門

2024年9月6日(金) 16:50 ~ 18:10 C305(川内北キャンパス講義棟C棟)

防食(2)

座長：田中 豊（港湾空港技術研究所）

17:30 ~ 17:40

[V-783] 5年の屋外暴露による水性塗料の劣化進行度比較

*岩井 渉¹、石原 陽介²、副島 直史² (1. 一般財団法人首都高速道路技術センター、2. 首都高速道路株式会社)

キーワード：塗料、暴露試験、塗膜調査、水性塗料

水性塗料の屋外暴露による長期的な耐久性の検証を目的として、水性塗料を塗布した試験片に対して20年間の大気暴露試験を行っている。塗装仕様は、現場塗装工事で想定される仕様とし、定期的に塗膜調査を行い、塗装仕様の違いによる劣化程度を比較している。本稿は、大気暴露試験開始から5年経過した時点で得られた結果を報告する。

5年の屋外暴露による水性塗料の劣化進行度比較

(一財) 首都高速道路技術センター 正会員 ○岩井 渉
 首都高速道路(株) 正会員 石原 陽介
 ” 非正会員 副島 直史

1. はじめに

首都高速道路(以下、首都高)では塗装塗替え工事中の二度の火災事故を受け、2017年8月から現場塗装工事における塗装仕様を可能な限り水性塗料とし、その後2019年7月に改訂された鋼橋塗装設計施工要領(以下、要領)によりすべての現場塗装仕様が水性塗料となった。塗装工事で使用される水性塗料は、複合サイクル試験等の促進試験により性能が確認されているが、大気暴露による長期的な耐久性は不明である。また、橋梁分野での採用実績が少ないため、劣化の過程についても不明である。以上のことから、水性塗料の長期耐久性の確認および将来の維持管理のためのデータ取得を目的として、水性塗料を塗布した試験片を製作し、20年間の大気暴露試験を2018年4月から行っている。本稿は、大気暴露開始から5年経過した時点の塗膜の劣化状況を報告するものである。

2. 大気暴露試験の概要

図-1に製作した試験片とその暴露状況を示す。試験片寸法は、300×150×3.2mmであり、鋼種はSS400である。同じ塗装仕様・メーカーの塗料を使用したものを14片製作後、2片を暴露開始時の初期値の調査に使用し、残り12片を暴露した。その後、暴露開始から1, 3, 5年後に2片ずつ試験片を回収して塗膜調査を行った。今後、10, 15, 20年後に調査を予定している。試験片の暴露は、(一財)日本ウエザリングテストセンターの銚子暴露試験場で行っている。

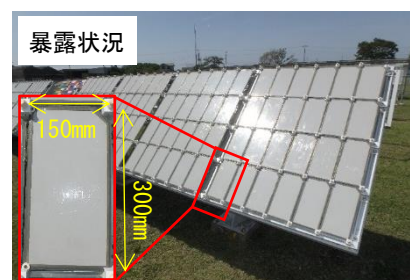


図-1 試験片暴露状況

表-1 塗装仕様

	溶剤	水系①	水系②
素地調整	サトデ イソシアナト-でケン		
下塗1	変性エポキシ樹脂塗料	水性エポキシ樹脂塗料	水性エポキシ樹脂塗料
下塗2	変性エポキシ樹脂塗料	水性エポキシ樹脂塗料	水性エポキシ樹脂塗料
中塗	ポリアクリル樹脂塗料	水性ポリアクリル樹脂塗料中塗	水性ポリアクリル樹脂塗料中塗
上塗	ポリアクリル樹脂塗料	水性ポリアクリル樹脂塗料	水性フッ素樹脂塗料

塗装仕様の一覧を表-1に示す。水系①および水系②は、要領に従った水性塗料を使用した塗替え塗装仕様である。溶剤は、水性塗料が採用される以前に使用されていた塗替え塗装仕様であり、水系①・水系②と比較することを目的としている。各塗

装仕様に対して、塗料メーカー3社の製品を用いて塗装したため、試験片の種類は9種類となる。塗替え時の素地は、長油性フタル酸樹脂系さび止め塗料を塗布した後、6カ月間の屋外暴露(以下、事前暴露)を行うことで劣化した塗膜を再現(以下、旧塗装部)しており、一部鋼材面を露出させたまま事前暴露することで、旧塗装部と鋼材発錆部(以下、錆部)が混在する状況を再現した(図-2)。

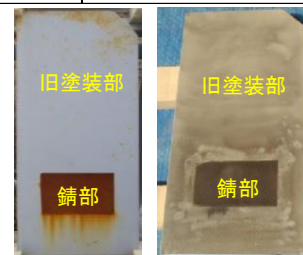


図-2 旧塗膜

3. 塗膜調査・評価方法

塗膜調査は、文献2)に従い、外観、付着力、鏡面光沢度を調査した。外観は目視にて確認し、塗膜の防食性として「錆、剥がれ、割れ、膨れ、傷」、景観性として「白亜化、変退色、上塗消耗、汚れ」の9項目に対して、劣化程度を0(健全)～3(劣化)の4段階で評価した。付着力は、アドヒージョンテストにより試験片1片当たり6点測定しており、旧塗装部で4点、錆部で2点とした。評価は、旧塗装部と錆部に対し、塗装仕様別、メーカー別に求めた平均値で行い、2.0N/mm²を閾値とした。鏡面光沢度は、ハンディ型光沢計を用いて測定した。測定した鏡面

キーワード 塗料, 水性塗料, 暴露試験, 塗膜調査

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門三丁目10番11号 虎ノ門PFビル
 (一財)首都高速道路技術センター 岩井 渉 TEL03-3578-5751

光沢度は、塗装仕様別、メーカー別に平均値を求め、暴露開始時の鏡面光沢度に対する比率（以下、光沢保持率）から劣化程度を評価した。

4. 暴露開始から5年後までの劣化状況

(1) 外観：暴露開始から5年後までに確認された劣化項目について、表-2に示す。5年後にA社の溶剤および水系①で錆の進行がみられ、図-3に示すような点錆が暴露面全体に広がっていた。

3年後以降にいずれの試験片も白亜化の進行がみられた。5年後の評価点は、溶剤が評価点3であり最も劣化していた。水系①と水系②は、評価点2~3であり同程度であった。

(2) 付着力：暴露開始から5年後までの付着性試験の結果を図-4に示す。付着力は、すべて2N/mm²以上であり、明確な低下は認められなかった。

(3) 光沢度：暴露開始から5年後までの光沢保持率の推移を図-5に示す。光沢保持率は、いずれの試験片も同様に低下しており、塗装仕様・メーカーの違いによる明確な差は認められない。光沢保持率の低下は、白亜化の進行により塗装表面の平滑性が失われることで生じていると考えられる。

5. まとめ

水性塗料を塗布した試験片に対して行っている大気暴露試験において、暴露開始から5年後までに行った塗膜調査の結果から確認できた点は、以下の通りである。

(1) 錆の進行：A社の溶剤と水系①において、5年後に明確な錆の進行がみられた。メーカーの違いによる差がみられるが、試験片毎の塗膜厚のばらつき等が影響した可能性も考えられるため、今後の劣化状況を確認する必要がある。

(2) 白亜化の進行と光沢保持率の低下：いずれの試験片も3~5年後に明確な白亜化の進行がみられ、光沢保持率も低下がみられた。要領では、上塗に水性ふっ素樹脂塗料を使用した水系②は、水性ポリウレタン樹脂塗料を使用した水系①よりも耐候性・耐久性が優れているとされているが、大気暴露試験による劣化状況は同程度であった。水性ふっ素樹脂塗料の劣化については、水系②の試験片の破壊調査等による原因分析を行う予定である。

今後も大気暴露試験を継続し、劣化傾向や耐久性を検証する予定である。

参考文献：1)久保田ら：塗替え塗装仕様の完全水性化に向けた取り組み、第33回日本道路会議
 2) (一社) 日本鋼構造協会：鋼構造物塗膜調査マニュアル（平成30年2月1日改正）

表-2 外観調査結果一覧

塗装仕様	メーカー	劣化項目	調査時点（暴露後の経過年数）		
			1年後	3年後	5年後
			評価点※		
溶剤	A社	錆	0	0	0~1
		白亜化	0	3	3
	B社	白亜化	0	3	3
		C社	白亜化	0	3
水系①	A社	錆	0	0	1~2
		白亜化	0	2	3
	B社	白亜化	0	2	2
		C社	白亜化	0	2
水系②	A社	白亜化	0	1	2
	B社	白亜化	0	2	3
	C社	白亜化	0	2	2

※ 2片で異なる評価点が得られた場合に「〇~〇」と記載。



図-3 錆の状況（水系①A社の例）

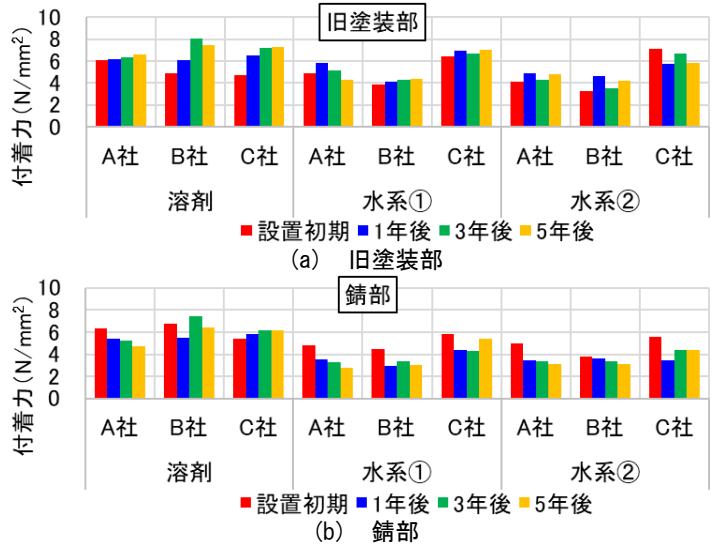


図-4 付着力の結果

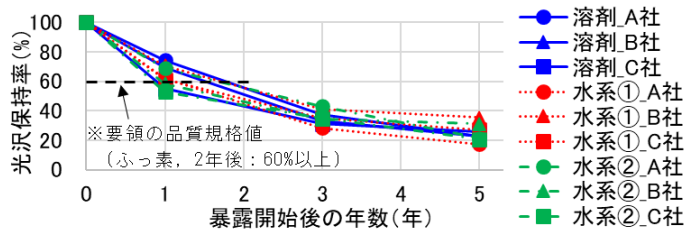


図-5 光沢保持率の推移

第V部門

2024年9月6日(金) 16:50 ~ 18:10 会場 C305(川内北キャンパス講義棟C棟)

防食(2)

座長：田中 豊（港湾空港技術研究所）

17:40 ~ 17:50

[V-784] 飛来塩分の多い環境における撥水性クリヤー塗料の塩分付着性

*神頭 峰磯¹、山内 健一郎² (1. 日本車輛製造株式会社、2. 大日本塗料株式会社)

キーワード：長寿命化、飛来塩分、付着塩分、塩分環境、撥水性

鋼橋は、重防食塗装が適用されており、一般的な塗装よりも腐食に対する抵抗性が強い。しかしながら、塗装表面に塩分が付着すると、潮解作用により空気中の水分を呼び込み、濡れ時間が長くなることで、腐食しやすい環境になってしまう。そのため、これまでに著者らは、塗装最終層にオーバーコートし、塗装面への塩分の付着を抑制する撥水性クリヤー塗料を開発した。本稿では、撥水性クリヤー塗料について、飛来塩分量が多い地域で4年8ヵ月間暴露試験を行い、塗装表面に付着する塩分量について検討した結果を報告する。

飛来塩分の多い環境における撥水性クリヤー塗料の塩分付着性

日本車輛製造株式会社 正会員 ○神頭峰磯
大日本塗料株式会社 正会員 山内健一郎

1. はじめに

鋼橋は、重防食塗装が適用されており、一般的な塗装よりも腐食に対する抵抗性が強い。しかしながら、塗装表面に塩分が付着すると、潮解作用により空気中の水分を呼び込み、濡れ時間が長くなることで、腐食しやすい環境になってしまう。そのため、これまでに著者らは、塗装最終層にオーバーコートし、塗装面への塩分の付着を抑制する撥水性クリヤー塗料を開発した。本稿では、撥水性クリヤー塗料について、飛来塩分量が多い地域で4年8ヵ月間暴露試験を行い、塗装表面に付着する塩分量について検討した結果を報告する。

2. 暴露試験の概要

2-1. 暴露試験環境

暴露試験は、北海道の海岸線から1km程度の距離にある橋梁の桁間に、試験体を4年8ヵ月間設置して行った。表-1に暴露期間中における試験地域の気象データを示す。暴露試験は、1年を通して行われ、11月から4月までを冬季期間、降雪のない5月から10月を夏季期間と分類した。試験地域は、海岸線に近く、風速が大きいため、海岸から多くの塩分が飛来する。また、冬季においては、橋梁上の道路に凍結防止剤を1回あたり20g/m²散布するため、通年において、橋梁の塗装面に塩分が付着しやすい環境である。

表-1 暴露試験を行った地域の気象データ

	気温(°C)			湿度 (%)	風速(m/s)		平均降雪 (cm)
	日平均	最高	最低		平均	最大	
冬季	2.7	19.4	-9.6	73	5.3	20.0	109.3
夏季	16.7	24.0	4.3	85	3.9	18.8	

2-2. 試験体

試験体は、幅450mm、長さ450mm、厚さ4.5mmの鋼板上に、表-2で示される上塗までの塗装工程で塗装したものを標準仕様とした。また、標準仕様の最終層に撥水クリヤーを塗装したものを撥水性クリヤー仕様とした。これら2種類の塗装仕様の試験体を治具に取り付け、図-1に示すように、橋梁の桁間に直立設置および水平設置した。

表-2 試験体の塗装仕様

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μm)
素地調整	ブラスト処理(ISO Sa2.5)	—	—
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	—
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
オーバーコート	撥水性クリヤー	80	15

2-3. 測定項目および測定方法

暴露試験の測定項目は、JIS Z 2382のドライガーゼ法を準用した飛来塩分量、および電気伝導率式表面塩分計を用いた試験体表面の付着塩分量とした。測定は、1年に2回行い、暴露期間全体のうち、冬季期間5回、夏季期間5回の合計10回測定した。

付着塩分量は、それぞれの試験体に対して5点測定し、その平均値を採用した。なお、付着塩分量の測定後は、試験体を洗浄して、試験体に塩分の付着がないことを確認して、暴露試験を継続した。

3. 試験結果

3-1. 飛来塩分量

表-3に暴露期間における飛来塩分量の測定結果を示す。表-3には、既往の結果¹⁾である飛来塩分量の少ない地域における結果も示した。なお、既往の結果¹⁾は愛知県で行った暴

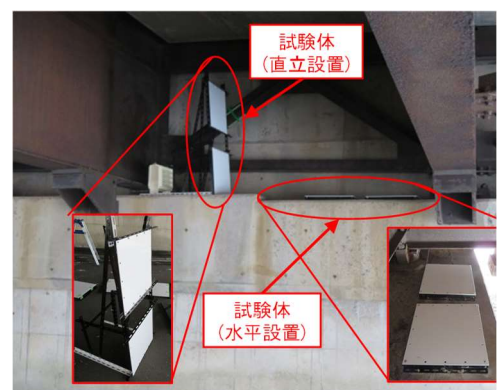


図-1 試験体の設置状況

キーワード 長寿命化, 飛来塩分, 付着塩分, 塩分環境, 撥水性

連絡先 〒475-0831 愛知県半田市11号地20番地

日本車輛製造株式会社 輸機・インフラ本部 技術計画室 TEL0569-47-6163

露試験結果である。今回の暴露試験の地域は、通期にわたり風が強く、海岸線からの距離も近いこと、既往の結果の 0.009mdd と比べて、飛来塩分量が3倍程度多い暴露環境であった。

表-3 に示す飛来塩分量を冬季と夏季で分類すると、凍結防止剤の散布がある冬季よりも夏季の方が大きくなる傾向となった。この地域では、冬季と夏季で風向きが大きく変わり、その影響を受けた可能性が考えられる。また、冬季においては、降雪の影響により、路面付近の塩分が飛散しない傾向にあったことも考えられる。

3-2. 付着塩分量

付着塩分量の測定結果を図-2 に示す。図-2 では、測定結果の付着塩分量を暴露期間で除して、1日あたりの付着塩分量として示した。図-2 から、直立設置の場合も水平設置の場合も付着塩分量は、撥水性クリヤーの方が少なくなった。通期の場合において、直立設置と水平設置を比較すると、標準仕様の付着塩分量は、水平設置は直立設置の3倍程度になっていることから、経時による塩分の堆積の影響が大きいことがわかる。

図-2 の結果から、標準仕様に対する撥水性クリヤーの付着塩分量低減率を飛来塩分量とともに図-3 に示した。また、図-3 には、既往の結果による付着塩分量低減率も示した。付着塩分量低減率は、直立設置の場合、飛来塩分量との相関性を示している。このことから、直立設置では、飛来塩分量が多くなるほど、付着塩分量低減率が増加する傾向になる。そのため、撥水性クリヤーは、塩分環境が厳しい状況において、より多くの塩分の付着を抑制すると考えられる。

一方、水平設置の場合における通期の付着塩分量低減率は、既往の結果と比較して5Pt程度低くなった。水平設置の場合は、塗装面に砂や塵埃などの堆積も伴うため、直立よりも低くなる傾向となる。また、塗装表面への砂や塵埃などの堆積量は、測定期間における風速や風向などの環境要因に影響されるため、飛来塩分量との相関性が低下すると考えられる。さらに、既往の結果における試験体は、暴露期間が30日程度と短く、本暴露試験の測定間隔が180日程度と異なったことも影響したと考えられる。しかしながら、今回の結果は、飛来塩分量が3倍程度増加している環境下で4年8ヵ月間の長期にわたる結果である。このことから、塗装表面に塗布した撥水性クリヤーが、長期間において撥水性クリヤー塗料の付着塩分に起因する砂や塵埃などの堆積も抑制する効果の維持が期待できると考えられる。

4. まとめ

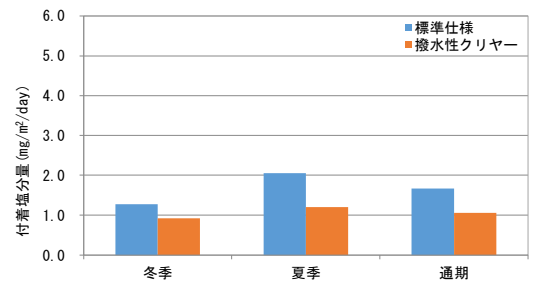
- ・撥水性クリヤーは、直立面に対して飛来塩分量が多くなるほど、付着塩分量の抑制効果が大きい傾向を示す。
- ・撥水性クリヤーは、水平面に対しても付着塩分量抑制効果を発揮する。
- ・撥水性クリヤーの付着塩分量抑制効果は、4年8ヵ月に及ぶ塩分の多い環境下においても維持される。

【参考文献】

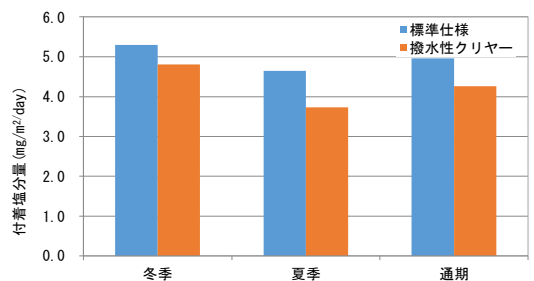
- 1) 土井一慶, 神頭峰磯, 山内健一郎: 重防食塗装系塗膜へ適用する撥水性クリヤー塗料の付着塩分量抑制効果と耐久性, 土木学会第72回年次学術講演会, V-594, pp.1187-1188, 2017.

表-3 飛来塩分の測定結果

	暴露期間 (日)	飛来塩分量 (mdd)
冬季平均	834	0.019
夏季平均	871	0.035
通期	1695	0.027
既往の結果	366	0.009



a) 直立設置の場合



b) 水平設置の場合

図-2 1日あたりの付着塩分量

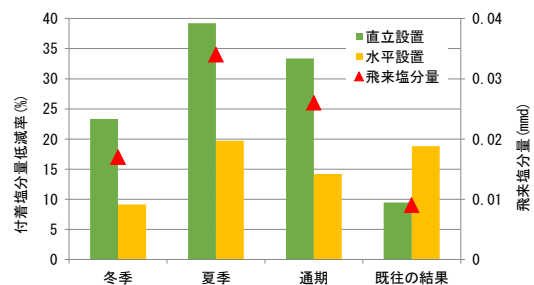


図-3 付着塩分量の低減率

第VI部門

2024年9月6日(金) 16:50 ~ 18:10 会場 C106(川内北キャンパス講義棟C棟)

鉄道 (12)

座長：中田 清博 (大成建設)

17:00 ~ 17:10

[VI-1302]

線路上空道路橋のPCB含有塗膜の除去について

*伊藤 未紗¹、松山 一紀¹ (1. 東鉄工業 (株))

17:50 ~ 18:00

[VI-1307]

沿岸部の鋼鉄道橋における早期劣化対策の検討および施工事例

*小野 裕介¹、森井 広樹¹ (1. 東日本旅客鉄道株式会社)

第VI部門

2024年9月6日(金) 16:50 ~ 18:10 C106(川内北キャンパス講義棟C棟)

鉄道(12)

座長：中田 清博 (大成建設)

17:00 ~ 17:10

[VI-1302] 線路上空道路橋のPCB含有塗膜の除去について

*伊藤 未紗¹、松山 一紀¹ (1. 東鉄工業 (株))

キーワード：PCB塗膜剥離、こ線道路橋塗替え

こ線道路橋等の線路上空に位置する構造物の改良・修繕工事を行う場合、鉄道の安全運行を確保しながら施工する必要があるため、鉄道特有の様々な制約条件を考慮した施工計画を検討することが重要となる。本稿では、線路上空道路橋の塗装塗替え工事に伴うPCB含有塗膜除去を行うにあたり、作業時間の制約、鉄道架線などが支障する作業条件の制約、騒音・粉じん等の環境面の配慮などの様々な条件を踏まえ、塗膜除去に必要な施工方法を検討した際の課題と結果の報告を行う。

線路上空道路橋の PCB 含有塗膜の除去について

東鉄工業(株) 正会員 ○伊藤未紗
東鉄工業(株) 松山一紀

1. はじめに

本工事は当初ロッキングピア構造の橋脚耐震補強工による RC 壁化,主桁補強,新設杓取り付けを行う計画であった。その工事に於いて既設鋼構造塗膜の分析調査(鉛,PCB 含有量調査)を行った結果,(表-1)

基準値を超える含有量であることが判明し,平成 13 年制定 PCB 特別措置法に基づき塗膜除去及び塗装塗替えを追加工事として施工することとなった。

分析項目	単位	結果	基準値
PCB	mg/Kg	0.76	0.15
鉛	mg/Kg	39000	20
クロム	mg/Kg	310	5

表-1 分析結果

しかし,当該塗膜除去工事の主たる範囲は,線路直上であり作業時間の制約や鉄道架線などが支障するため作業条件に制約があった。また隣接住居が存在することから騒音・粉じん等の環境面の配慮も必要であった。

本稿は後述する施工条件を踏まえ,塗膜除去工事に必要な施工方法を検討した際の課題と結果を報告する。

2. 施工条件と課題

塗膜除去工事の対象となる橋梁は,横浜市道環状 2 号線と JR 横浜線の交差箇所である新横浜陸橋(写真-1)の主桁,横桁,対傾構である。なお床版については,昭和 61 年~平成元年に RC 床版から鋼床版へ更新する補強工事が実施されており PCB 含有塗膜ではないことが判明している。



写真-1 施工前全景

一般的な橋梁塗替え工事の施工方法としては作業空間を確保するための吊足場の設置後に塗膜剥離・塗装となる。しかし,本工事の条件では施工箇所によって吊足場上での作業が可能な範囲もあるが,一部の範囲では鉄道施設(トロリ線・き電線)により吊足場設置の制約があるため,それら条件を考慮した入念な施工計画を検討する必要があった。

制約がある範囲としては主桁下フランジ・横桁下フランジ,対傾構でありその範囲を施工する吊足場を設置してしまうと鉄道の運行に支障となってしまう。また運行を確保しながらの施工において下記の課題解決が必要となった。

- ① 施工対象箇所は線路直上および架線近接のため夜間線閉および停電間合いによる作業時間となり,実作業はおおよそ 2 時間/日程度であり鉄道運行に支障となる仮設物の残置は不可。
- ② 鉛含有塗膜により湿式施工(塗膜剥離剤塗布)推奨(鉛中毒予防規則第 40 条第 1 号)であるが剥離剤の効果が有効となる時間(塗布後 6 時間~24 時間を目安に軟化)では作業時間が限られている夜間線閉間合いとの整合が取れない。
- ③ 剥離剤使用の場合,軟化膨潤状態の剥離した塗膜の落下物養生と飛散防止措置が困難。

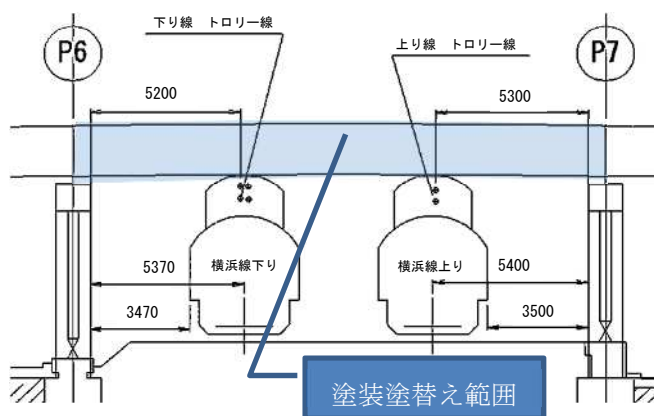


図-1 塗替え一般図

キーワード PCB 塗膜剥離, こ線道路橋塗替え

連絡先 東鉄工業(株)横浜支店 〒220-0023 神奈川県横浜市西区平沼 1-40-26 TEL045-290-8711

3. 課題検討

課題の解決に向けて以下の検討を行った。

- ① 鉄道運行に支障となる仮設物の残置がない施工方法として軌陸高所作業車を日々使用する計画を検討
- ② 剥離した塗膜が当日夜間作業時間帯で回収かつ粉塵等や騒音の発生の少ない施工方法を検討（機材の種類および使用スペース）
- ③ 剥離素地面の品質の確保（2種ケレン相当）
- ④ 必要実作業時間内で塗膜剥離および剥離物の回収までが完結するサイクルタイムの検討

4. 施工方法と検討内容

上記の課題の検討において今回検討した施工方法は「IH式塗膜剥離工法」についてである。

IH式塗膜剥離工法とは家電にも普及している電磁誘導加熱により鋼板を加熱する原理を利用した可搬式機材を塗膜面にあてる（写真-2）ことにより塗膜を軟化させ人力によるスクレーパー作業によって剥がし取る工法である。（図-2）

母材に120℃～150℃の熱を加えるため外気温の影響が少ないことや粉塵の発生が極めて少ない（フィルム状に塗膜が剥がれる 写真-3）という点が挙げられる。剥離後の素地面においても2種ケレン相当を満たす施工方法であった。

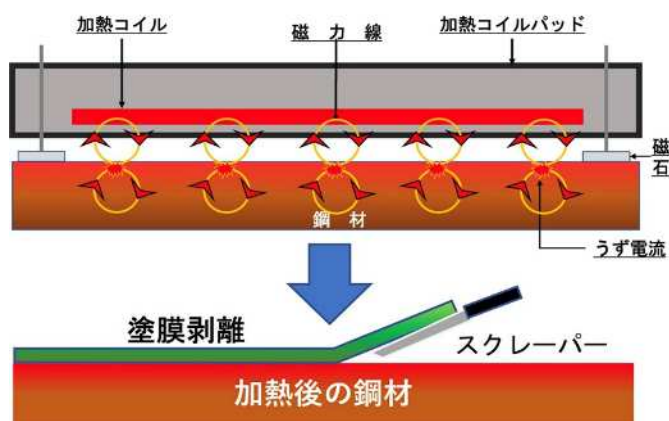


図-2 塗膜剥離イメージ



写真-2



写真-3

また必要な設備として、一般的なIH式塗膜剥離工法では発電機、冷却装置等大型でスペースの要するものであったが、使用機種選定を行い、発電機（25kVA）を直接軌陸ダンプに載せ、冷却装置を必要としないIH機器「エレクトロリムーバー」を採用し、軌陸ダンプと軌陸高所作業車を日々載線・移動を行う施工計画とした。（写真-4）



写真-4

5. 実施工時の考察

軌陸高所作業車で作業は、載線・移動およびその他準備作業を除くと、実作業時間は約110分であり、この時間であればIH式塗膜剥離工法による一晩での剥離作業はおおよそ6.5㎡程度可能であった。

環境面においては夜間作業時間帯の本施工で発生する騒音は主に発電機及び移動時の工事車両のエンジン音であり低レベルのものであった（用地境界60db以下）。

また当初懸念されていた粉塵及び剥離した塗膜の落下については塗膜がフィルム状かつ塊で回収できることにより大規模な設備を必要とせず掃除機で施工時間内の回収ができた。

品質面においても剥離素地面の膜厚計による測定により15μmが確認できた。（2種ケレン相当かつ膜厚30μm以下基準）

6. おわりに

様々な制約がある中で事前調査を行い、施工計画を立案することで、労働災害および公衆災害、工事に伴う鉄道の運行支障や夜間作業による苦情等の発生もなく工事を完了することができた。同様な現場条件での施工に本報告が参考になれば幸いである。

第VI部門

2024年9月6日(金) 16:50 ~ 18:10 Ⅲ C106(川内北キャンパス講義棟C棟)

鉄道(12)

座長：中田 清博 (大成建設)

17:50 ~ 18:00

[VI-1307] 沿岸部の鋼鉄道橋における早期劣化対策の検討および施工事例

*小野 裕介¹、森井 広樹¹ (1. 東日本旅客鉄道株式会社)

キーワード：局部腐食、塩害、ふっ素樹脂塗料、紫外線硬化型パッチ

鋼鉄道橋では一般的に25年程度での塗装塗替え周期を推奨している。しかし、前回の塗装塗替えから10年程度で塗装塗替えが必要と判定された橋りょうが散見された。それらに対する適切な対処方法を確認することが、塗替え塗装の延命化における課題である。本稿では、課題の解決に向けて、塗装早期劣化の原因と傾向の分析を実施し、代表的な3橋りょうについて、それぞれ異なる腐食対策工法を検討・適用した。適用した腐食対策工法は紫外線硬化型パッチ貼り付け、腐食・塗膜劣化が著しい部位とそれ以外の部位での塗装系の使い分け、プラストと一般塗装系を適用、である。今後それぞれの工法で防食効果が長期的に発揮されるか確認・比較する。

沿岸部の鋼鉄道橋における早期劣化対策の検討および施工事例

JR 東日本 正会員 ○小野 裕介
JR 東日本 正会員 森井 広樹

1. はじめに

鋼鉄道橋では一般的に25年程度での塗装塗替え周期を推奨している。しかし、前回の塗装塗替えから10年程度で塗装塗替えが必要と判定された橋りょうが散見された。それらに対する適切な対処方法を確認することが、塗替え塗装の延命化における課題である。本稿では、課題の解決に向けて、塗装早期劣化の原因と傾向の分析を実施し、代表的な3橋りょうについて、それぞれ異なる腐食対策工法を検討・適用した事例について報告する。

2. 塗装早期劣化の原因と傾向の分析

2022年4月の時点で塗装塗替えが必要な塗装劣化度に達した鋼橋463連のうち、塩害環境かつ塗装経年20年未満の39連について、桁の部位ごとに塗装劣化度や腐食箇所の分布状況を調査した。部位別の塗装劣化度や腐食箇所の分布状況調査結果の例を図-1に示す。調査の結果、21連について素地調整不足の影響とみられる局部腐食が発生していることが判明した。塩害環境では素地調整不足で桁に錆が残存した場合、錆内部の残存塩分および飛来塩分の影響で塗替え後早期に腐食が再発・進行してしまう。このため、局部腐食に対する素地調整を適切に実施しないと、塗装塗替えを実施しても再度塗装の早期劣化が発生すると推測した。一方、それらの桁は特定の部位に腐食箇所が集中している傾向があり、桁の全面的な腐食対策はそぐわないと判断した。以上の調査結果より、特に腐食の再発が顕著であり、局部腐食対策が必要と判断した3橋りょうを抽出し、塗装劣化や腐食の実態に応じたそれぞれ異なる局部腐食対策工法を検討し、適用した。

3. 対象構造物概要

局部腐食対策の施工対象橋りょうについての諸元

を表-1に、桁腐食状況を写真-1～3に示す。3橋りょうはいずれも沿岸部の飛来塩分の影響を受けやすい環境に位置している。

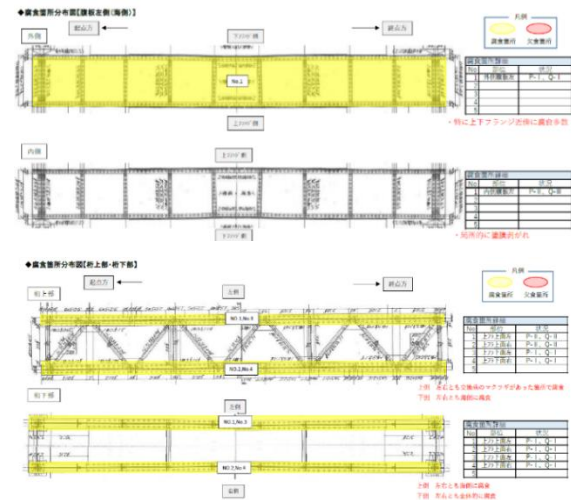


図-1 桁の部位別腐食・塗膜調査状況

表-1 施工対象橋りょう諸元

	A橋りょう	B橋りょう	C橋りょう
形式	上路板桁	上路板桁	上路板桁
図面番号	達第540号	達第540号	はふ512-14
取得年月	1927年12月	1929年4月	1916年12月



写真-1 桁腐食状況 (A橋) 写真-2 桁腐食状況 (B橋)



写真-3 桁腐食状況 (C橋)

キーワード 局部腐食, 塩害, ふっ素樹脂塗料, 紫外線硬化型パッチ

連絡先 〒260-0017 千葉県千葉市中央区要町1番29号 JR千葉現業ビル3階
東日本旅客鉄道株式会社 千葉土木設備技術センター TEL:043-252-7262

4. 腐食対策工法の適用事例

1) A 橋

A 橋は下フランジ上面とその周辺の腹板に腐食箇所が集中していた。その状況を踏まえ、下フランジおよび腹板の立ち上がり部にかけて紫外線硬化型パッチを貼り付け、酸素や塩分の供給を遮断することにより桁の腐食の進行を抑制する効果を期待した。紫外線硬化型パッチを貼り付ける箇所は、あらかじめ電動工具で素地調整を行い、パテで表面を整形した上で紫外線硬化型パッチを貼り付けた。パッチ施工後5年が経過した後に腐食発生・進行の有無をしたところ、パッチのひび割れ箇所が一部に確認された(写真-4)。今後、ひび割れの発生原因を検証する。一方、それ以外のパッチ貼付箇所では特段の変化が生じていない。



写真-4 パッチひび割れ状況

表-2 B 橋塗装系諸元 (腐食・塗膜劣化が著しい部位)

工程	塗料名
ケレン	I 種ケレン (全面ブラスト)
第1層 (防食下地)	有機ジンクリッチペイント
第2層	弱溶剤型変性エポキシ樹脂塗料下塗
第3層	弱溶剤型変性エポキシ樹脂塗料下塗
第4層	弱溶剤型ふっ素樹脂塗料中塗
第5層	弱溶剤型ふっ素樹脂塗料上塗

表-3 B 橋塗装系諸元 (その他部位)

工程	塗料名
ケレン	3種ケレン (替ケレン-2or3相当, 動力工具使用)
第1層	弱溶剤型変性エポキシ樹脂塗料下塗 (鋼材露出部のみ)
第2層	弱溶剤型変性エポキシ樹脂塗料下塗
第3層	弱溶剤型変性エポキシ樹脂塗料下塗
第4層	弱溶剤型ふっ素樹脂塗料中塗
第5層	弱溶剤型ふっ素樹脂塗料上塗

表-4 C 橋塗装系諸元

工程	塗料名
ケレン	I 種ケレン (全面ブラスト)
第1層	厚膜型変性エポキシ樹脂塗料
第2層	厚膜型変性エポキシ樹脂塗料
第3層	厚膜型変性エポキシ樹脂塗料
第4層	厚膜型ポリウレタン樹脂塗料上塗り

2) B 橋

B 橋は海側の桁の腹板や下フランジ上面・上フランジ上面に腐食箇所が集中していた。腐食対策として B 橋では当初桁全面へのブラストによる素地調整とふっ素樹脂塗料の適用を検討していたが、塗替え前の調査で桁の部位別の腐食・塗膜劣化状況を判定¹⁾した結果、桁全面にわたるふっ素樹脂塗料の採用はそぐわないと判断し、腐食・塗膜劣化状況に応じた素地調整方法および塗装仕様を採用した。腐食・塗膜劣化が著しい部位に対しては表-2 に示すようにブラストによる素地調整を行い (1 種ケレン)、第1層には防食塗装に用いられるジンクリッチペイント、表層には紫外線抵抗性の高いふっ素樹脂塗料を使用した²⁾。一方、それ以外の部位に対しては表-3 に示すように塗膜劣化箇所のみ電動工具による素地調整を行い (3 種ケレン)、第1層にはエポキシ樹脂塗料、表層には腐食・塗膜劣化が著しい部位の塗装と同様のふっ素樹脂塗料を使用した²⁾。今後、ケレン方法と塗装方法を部位ごとに分けても桁全体として防食効果が得られるか検証する。

3) C 橋

C 橋は海側の桁の腹板や下フランジ上面・上フランジ上面に腐食箇所が集中していた。C 橋では A 橋および B 橋との防食効果を比較するため、桁全面にわたりブラストによる素地調整を適用する一方で、ふっ素樹脂塗料を採用せず表-4 に示す鉄道総研規格の一般塗装系を適用した。これにより、ブラストのみで防食効果が得られるか今後検証する。

5. 今後の維持管理について

特定の部位で腐食・塗膜劣化が著しい3橋りょうにおいて、異なる方法で早期劣化対策をそれぞれ施工した。いずれも施工後の経過観察を行っている段階であり、防食効果が長期的に発揮されるか今後の検査において確認・比較していき、有効な防食効果を発揮されていることを確認できたならば、他の橋りょうでも採用し、有効な延命化対策として展開していきたい。また、今後はより容易に施工できるテープ系補修材を導入し、局部腐食対策工法として展開できるか検証していく。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：鋼構造物塗装設計施工指針，2013.12
- 2) 日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧，2005.12