

Structure Painting

2026 Vol.54

橋梁・鋼構造物塗装



一般社団法人

日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会

JAPAN ASSOCIATION OF STRUCTURE PAINTING CONTRACTORS

www.jasp.or.jp

Structure Painting

Vol.54 橋梁・鋼構造物塗装

2026年9月

CONTENTS	page
●巻頭言	
地球の最大危機は温暖化……………榎谷 幹義…………	1
●技術報告	
京葉線荒川放水路橋りょう塗替塗装工事の報告 ……………木谷 雄一・加賀谷 慎吾・持永 健次郎・前田 邦彦…………	2
重防食塗装試験片の35年屋外暴露試験結果報告 ……………飯尾 翔磨・藤本 貴正・後藤 宏明…………	14
植物由来の研削材を用いた脆弱塗膜部補修の取組み……………二村 大輔…………	19
鋼橋塗装の持続的な長寿命化戦略 ……………蔵治 賢太郎・石田 和久・牧山 大祐・佐野 優里奈…………	25
鋼構造物塗装に関するISO国際規格の動向と今後の展望 ……………田邊 弘往…………	31
●よもやま話	
橋屋のひとりごと……………半野 久光…………	40
橋塗協だより……………	43
会員名簿……………	50
広告……………	53

「Structure Painting」がホームページでカラー閲覧できます。

Vol.35, No.1 (平成19年3月発行)以降の「Structure Painting—橋梁・鋼構造物塗装—」が
当協会ホームページ (<https://www.jasp.or.jp>) で閲覧できます。

地球の最大危機は温暖化

(一社) 日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会

会長 植谷 幹義



巻頭言の執筆にあたり一言ご挨拶を申し上げます。平素は会員・賛助会員の皆様をはじめ関係各位におかれましては、橋塗協の事業に格別のご理解とご協力を賜り、厚く御礼申し上げます。

私は今年の2月にフィリピンのボラカイ島というマリン・ビーチリゾートに観光で行きました。滞在したホテルは韓国資本が開発・運営しているホテルのようで、利用案内書には韓国語・英語・中国語の三か国語でした。テレビも70chほどありましたが、いちばん最後に国際NHKという殆どが外国語の放送でした。

そんなわけで滞在中はYouTubeで音楽を聴いたり、国会答弁の動画など見たりして過ごしていました。その中で大変に興味深い動画があったのでご紹介します。この動画は2013年2月12日の衆議院予算委員会での元東京都知事の故石原慎太郎氏が18年ぶりに日本維新の会で国政に復帰した時のものです。故石原氏は故安倍晋三内閣総理大臣に対し、『政治家の哲学としてご記憶頂きたい』と語り始めたものです。

以下は故石原氏の国会での質問です。『私が自民党の代議士の頃40年近く前に、ブラックホールを見つけたホーキングという天才的な宇宙学者の講演を聞きました。その時に質問が許されて、ある宇宙専門の学者の一人が「あなたはこの宇宙に、地球並みの文明を持った惑星が幾つぐらいあるとお考えですか」と質問したら、ホーキングは直ぐに「2ミليون（200万）」と答えた。そうしたら、ある人がまた手を上げて「それだけたくさんの文明の進んだ惑星があるのに、何で我々はハリウッド映画ではなくて実際の宇宙船とか宇宙人に、この地球で出会うことがないのでしょうか」と言ったら、ホーキングは「それは違う、せめて地球並みの文明を持ったら、そういう惑星は非常に自然の循環が悪くなって宇宙時間で言うと瞬間的に生命が消滅する」と言ったので、私（故石原氏）はびっくりして、ホーキングは神様ではありませんが一応天才ですから、私は挙手して質問をしました。「あなたの言う宇宙時間の瞬間的というのは地球時間でどれくらいですか」と言ったら「100年」と言いましたな。あれから40年経っちゃった。まあ、彼の予言が正しいとするならあと60年しかない。もう地球はもたない、あなた方はもたない。～略～そして過去のG8でこの環境問題を余り深刻に討論されていない』という発言でした。ようするに13年前に40年前の話をしている訳ですから、現在からは

53年前の話です。もしこの予言が正しければ、あと約50年で地球上の生命体は消滅するということです。

私は橋塗協の会長に就任して4年目になりますが、ことあるごとに言い続けていることが地球の温暖化の危機についてです。災害と言えば、日本で近い将来に必ず起きると言われている南海トラフ地震・首都直下地震や富士山の噴火などの話をよく耳にします。それは大変な災害であることに間違いありませんし、日本においては復興に何十年も掛かることになると思います。しかし地球規模で考えれば局地的であり、必ず立ち直ることができる災害です。それでは地球の温暖化の末路はどうでしょうか。氷の融解による海面上昇で居住地や耕作地などの平地は水没し、残った陸地でも沸騰化した地球の酷暑からの逃げ場もなく、干ばつなどによって生態系が破壊されれば、植物が育たなくなり、食物連鎖が崩壊し生命体が絶滅する話ですから比較にならない大災害だと私は思っています。

今年（2026年）6月中旬～7月上旬にかけてヨーロッパ各地で40℃を遥かに超える猛暑が続き、アメリカの建国250周年のワシントンD.Cでも40℃に迫る気温を記録しました。日本では今年から40℃を超える日を酷暑日と呼ぶことが気象庁から発表されています。私たち橋塗協の会員は橋梁塗装を生業としていて、夏期の屋外での作業は熱中症のリスクが大いにあります。特に鉛やPCBなどの有害物を含有している塗膜の剥離を伴う塗替え工事は、通気性の無い防護服や全面マスクなどの着用が必要となる作業であり、過酷さを極めていきます。現在は技術的な対策によって熱中症などを回避していますが、5年後・10年後の日本の夏が恐ろしく感じます。

温暖化による乾燥によって世界中で大規模な森林火災が発生し、大量のCO₂（二酸化炭素）が排出されています。また、シベリアなどの永久凍土が溶けだしてCO₂の20～30倍の温室効果のあるCH₄（メタンガス）が大量に噴出している現状をどう捉えるのか。もう、後戻りが出来ない寸前まで来ていると思います。いや、ホーキング博士の予言は既に当たってしまっているように思えます。人類が温室効果ガスの排出削減を急がなければ、地球環境は取り返しのつかない事態に陥る危険性があります。世界のリーダーたちは経済優先の政策ではなく、地球環境に配慮した政策を真剣に話し合い直ちに実行に移して頂きたいと願います。

京葉線荒川放水路橋りょう塗替塗装工事の報告

木谷 雄一¹⁾ 加賀谷 慎吾²⁾ 持永 健次郎³⁾ 前田 邦彦⁴⁾

1 はじめに

本稿で紹介する荒川放水路橋りょうは、JR 東日本京葉線新木場～葛西臨海公園間に位置し、同線の新木場～南船橋間延伸開業に伴い、1985 年に当時の鉄建公団により建設された。本橋は、東京湾沿岸部に位置し、橋長 845.6m、側径間部の上路ゲルバートラスと中央径間部の下路ランガーアーチからなる全 7 連の橋りょうである（写真-1）。

供用開始後、塗替塗装工事は本工事まで 31 年間に渡り施工されておらず、しかも塩害環境下にあることから、経年による塗膜の減耗や塩害による局部的な腐食等が見られた。本工事は、建設後初めてとなる塗替塗装工事である。そのため施工に際しては、塗替塗装時の素地調整や塗装方法など品質管理や過去に経験の無い足場仮設方法が課題となった。

ここでは、2016 年度から 2024 年度まで約 9 年間に渡って実施した本橋の塗替塗装工事について報告するものである。

2 橋りょう概要

2.1 塩害環境

本橋は、荒川放水路が東京湾に注ぐ河口部に位置し、最も下流に位置する橋りょうである。このため、飛来塩分の影響を受けやすい環境下にある。

しかし、塗替塗装工事前に実施した実橋の表面の付着塩分調査の結果、大半の箇所では $50\text{mg}/\text{m}^2$ を下回っていた。これは、降雨などにより表面付着塩分が洗い流されていたためと推察された。ただし、トラス下弦

材の上面部分では、 $200\text{mg}/\text{m}^2$ を上回る表面付着塩分量が観測された箇所もあり、局所的には塩分を含む雨水が滞水し残留していたことが確認された。

2.2 新設塗装時の塗装仕様

本橋の新設塗装時の塗装仕様を表-1 に示す。第 1 層には、厚膜型無機ジンクリッチペイントを採用し、亜鉛による犠牲防食効果を期待する塗装系となっている。また、上塗りは、ポリウレタン樹脂塗料を採用し、高い耐候性を期待したものであった。

表-1 新設塗装時の塗装仕様¹⁾

工程	塗料名	標準使用量 (g/m^2)	目標塗膜厚 (μm)
工場 塗装	第1層 厚膜型無機ジンクリッチペイント	スプレー 700	75
	第2層 ミストコート (第3層の塗料を約50%希釈したもの)	スプレー 150	—
	第3層 厚膜型エポキシ樹脂系塗料下塗	スプレー 300	60
	第4層 厚膜型エポキシ樹脂系塗料下塗	スプレー 300	60
	第5層 ポリウレタン樹脂塗料用中塗	スプレー 160	30
	第6層 ポリウレタン樹脂塗料上塗	スプレー 140	30
計			255

2.3 塗膜劣化状況

(1) 上塗り塗膜の損耗

工事着手前の状況であるが、直射日光が当たる部材に対しては、上塗り塗膜の損耗が進行しており、中塗



写真-1 荒川放水路橋りょう 全景

※工事着手前撮影

- 1) 株式会社 J-BIS メンテナンス 東京支店 千葉営業所
2) 株式会社 J-BIS メンテナンス 東京支店 東京 3 グループ
3) 株式会社 J-BIS メンテナンス 湾岸工事所
4) 株式会社 J-BIS メンテナンス 本社 施工推進部

り、下塗り塗膜が露出している箇所が見られた(写真-2)。なお、橋りょう新設時には、本橋が沿岸部に位置することから長期防錆仕様の塗装系が採用されている。この長期防錆型塗装系では、最下層の厚膜型無機ジンクリッチペイント層を確実に保護することが重要であり、一般に上塗り、中塗りの損傷が確認された時点で塗替塗装を実施することが適切である。

(2) ボルト・ナット部の腐食

塗膜厚が薄くなりやすいボルト・ナット部では、腐食が進行していた(写真-3)。

(3) 塗膜の亀甲状割れ

厚膜型無機ジンクリッチペイントの塗膜には、亀甲状あるいは柵目状の塗膜割れが発生していた

(写真-4、5)。これは、後述する工場で施工された厚膜型無機ジンクリッチペイントの硬化不良に起因すると推定された凝集破壊であった。

(4) 凝集破壊による塗膜剥がれ

下路ランガーアーチの橋門構、垂直材、横桁フランジ上面等においても、厚膜型無機ジンクリッチペイント塗膜の硬化不良を要因とする凝集破壊による塗膜剥がれが見られた(写真-6、7)。

(5) 局部的な円形の塗膜消失・塗膜ふくれ

トラス下弦材の上面には、局部的に円形の塗膜損失や塗膜のふくれが発生していた(写真-8、9)。この変状の特徴として、鋼材が露出している範囲が直径20cm程度まで広がっている場所も見られた。この鋼材露出



写真-2 上塗り塗膜の摩耗



写真-3 ボルト・ナット部の腐食



写真-4 塗膜の亀甲状割れ



写真-5 塗膜の亀甲状割れ (拡大)



写真-6 凝集破壊による塗膜剥がれ
(ランガーアーチ橋門構)

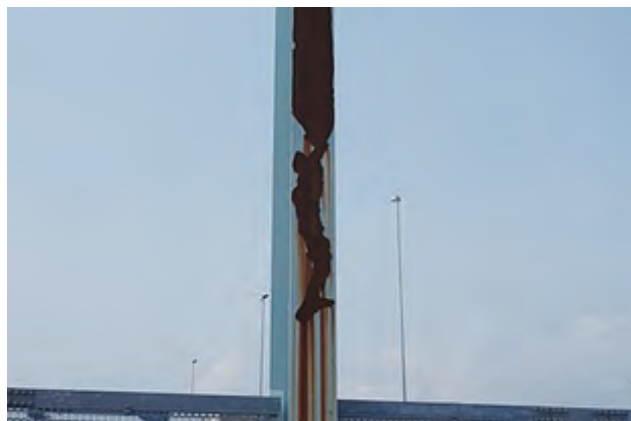


写真-7 凝集破壊による塗膜剥がれ (吊り材)



写真-8 円形の塗膜喪失



写真-9 円形の塗膜ふくれ

箇所では比較的厚い層状錆が形成され、鋼材面の凹凸が大きく進行していた。

これは、本橋の桁架設時に行った塗膜補修箇所や初期塗装の欠陥部に塩分を含んだ雨水が滞留し腐食が進行して発錆したこと、あるいは、厚膜型無機ジンクリッチペイントの硬化不良が原因と想定された。なお、こうした腐食箇所では、錆と鋼材の界面に塩化物イオンが存在し、素地調整時にこれが除去できない場合は、塗替塗装後に早期に再腐食が生じることが懸念された。

3. 施工

3.1 工事工程と業務の流れ

本橋の塗替塗装工事は、図-1 に示すように2016年度に1連目の上路トラス上部の塗替塗装工に着手し、2024年度に4連目の中央径間部のランガーアーチ部の足場撤去を終えるまでの約9年間をかけて施工した。

本工事に関わる一連の業務の流れを図-2 に示す。

塗替塗装工の工事計画を策定するにあたり、発注者により事前検討がなされ、本工事における塗装仕様

工 種 塗装面積 (合計82,024.1㎡)		2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度
1連目 (上路トラス上部) 9,075㎡	足場仮設撤去工									
	塗替塗装工									
1連目 (上路トラス下部) 5,029㎡	足場仮設撤去工									
	塗替塗装工									
	検査・鋼桁補修工									
3連目 (上路トラス下部) 5,624.9㎡	足場仮設撤去工									
	塗替塗装工									
	検査・鋼桁補修工									
3連目 (上路トラス上部) 2連目 (上路トラス上部・下部) 16,645㎡	足場仮設撤去工									
	塗替塗装工									
	検査・鋼桁補修工									
7連目 (上路トラス上部) 8,009㎡	足場仮設撤去工									
	塗替塗装工									
	検査・鋼桁補修工									
6連目 (上路トラス上部・下部) 7,387㎡	足場仮設撤去工									
	塗替塗装工									
	検査・鋼桁補修工									
5連目 (上路トラス上部・下部) 7連目 (上路トラス下部) 19,887㎡	足場仮設撤去工									
	塗替塗装工									
	検査・鋼桁補修工									
4連目 (ランガーアーチ上部) 3,362㎡	足場仮設撤去工									
	塗替塗装工									
	検査・鋼桁補修工									
4連目 (ランガーアーチ下部) 7,005.2㎡	足場仮設撤去工									
	塗替塗装工									
	検査・鋼桁補修工									

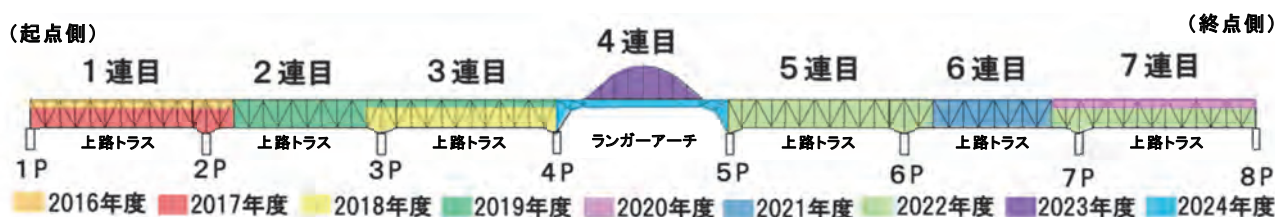


図-1 全体工程表

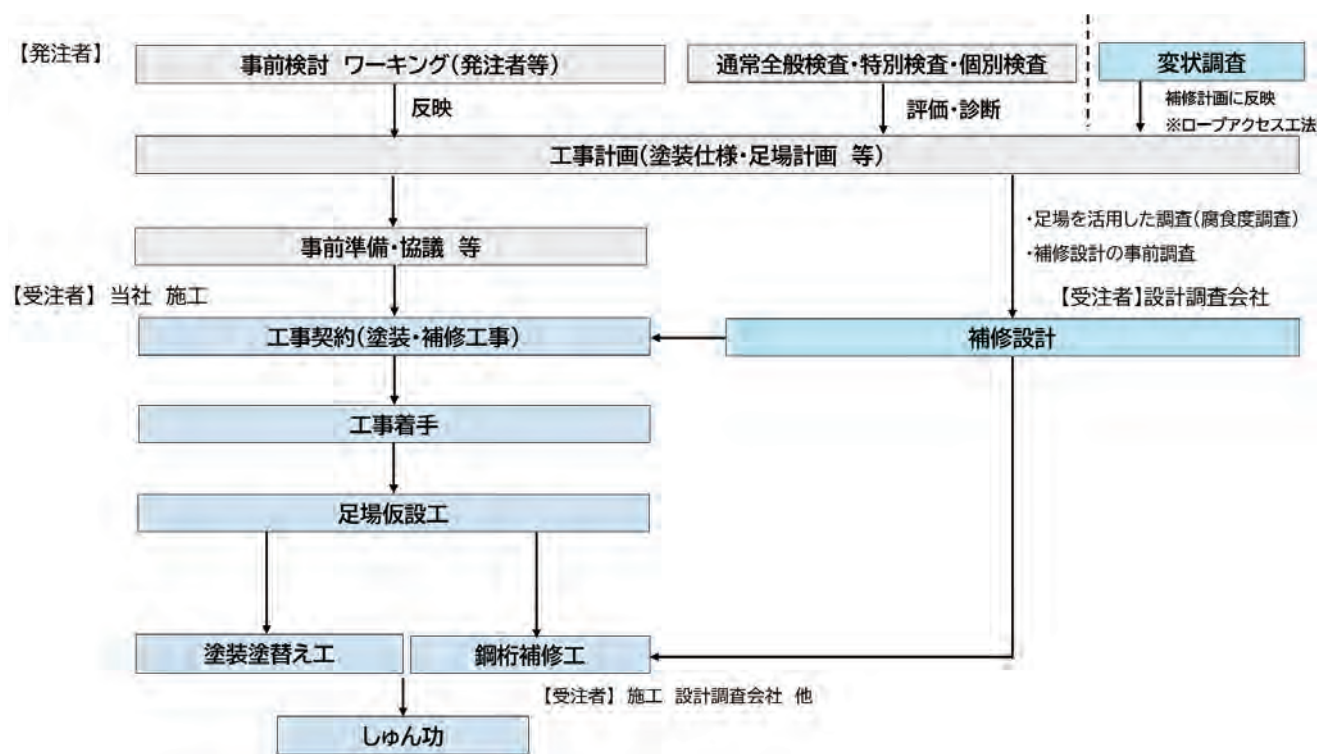


図-2 本工事の業務の流れ

や足場仮設計画が決定された。

また、本橋の塗替塗装工にあわせ、塗装足場を活用した鋼桁部に発生した疲労き裂等の損傷部の補修を行う計画も併せて策定した。この鋼桁部の補修計画の策定に先立ち、設計調査会社によってロープアクセスによる変状調査を行った。塗装足場の仮設後、この調査結果を活用した詳細調査に基づき、鋼桁部に発生した疲労き裂等の損傷部に対する補修設計を実施している。

3.2 塗替塗装仕様と品質管理

本工事における塗替塗装仕様は、長期間の防食性を

表-2 塗替塗装仕様（局部腐食箇所に応用）¹⁾

塗装系	工程	塗料名	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (20℃)
J-6	第1層	厚膜型エポキシ樹脂 ジンクリッチペイント	はけ 300	1H~7D
	第2層	厚膜型エポキシ樹脂 ジンクリッチペイント	はけ 300	
	第3層	厚膜型変性エポキシ樹脂系 塗料	はけ 200	2D~1M
	第4層	厚膜型変性エポキシ樹脂系 塗料	はけ 200	24H~7D
	第5層	ポリウレタン樹脂塗料用中塗 (H65-80B、淡彩)	はけ 130	24H~7D
	第6層	ポリウレタン樹脂塗料上塗 (H65-70B、淡彩)	はけ 110	24H~15D

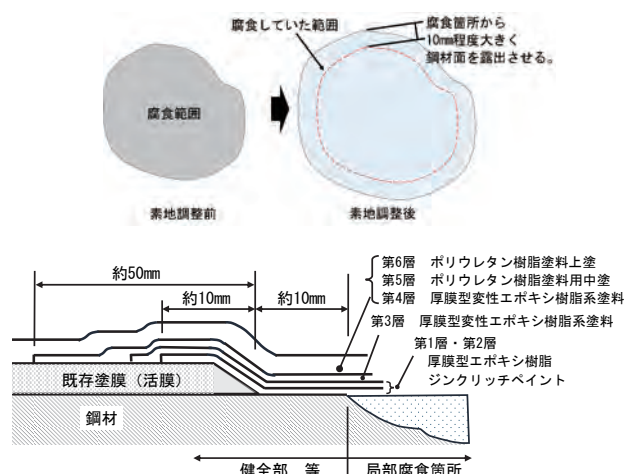
表-3 塗替塗装仕様（健全部に適用）¹⁾

塗装系	工程	塗料名	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (20℃)
J-6	第4層	厚膜型変性エポキシ樹脂系 塗料	はけ 200	24H~7D
	第5層	ポリウレタン樹脂塗料用中塗 (H65-80B、淡彩)	はけ 130	
	第6層	ポリウレタン樹脂塗料上塗 (H65-70B、淡彩)	はけ 110	24H~15D

確保できる塗装系および素地調整方法を採用し、塗膜の状況に応じて2種類の仕様を適用した。腐食が見られる箇所等で既存塗膜のほとんどを除去した箇所には、全6層からなる塗装仕様（表-2）を適用した。健全部や上塗り塗膜の損耗のみの軽度の劣化程度の箇所には、この塗装仕様のうち第4層から第6層までの3層の塗装仕様（表-3）を適用した。

表-4 品質管理項目

項目	塗料名
補修塗り箇所の特長	発錆している箇所と下塗塗膜に至る変状が推定されている箇所を補修塗り箇所とする。
補修塗り箇所の素地調整範囲	腐食箇所から10mm程度大きく鋼材面を露出させる。境界の既存塗膜は若干傾斜をつけて角張らないようにする。
既存塗膜との塗り重ね部の処理	既存塗膜に対して第1層目と第2層目は10mm、第3層から第6層目は50mm重なるよう塗装する。
付着塩分量の管理	塩分量が50mg/m ² 以下であることを確認する。



なお、局部腐食箇所は、表-2の仕様を適用し、鋼素地を露出させた後に第1層から補修塗りを実施した。これに加え、補修塗り箇所の特長、素地調整範囲、塗り重ね方法、塗替塗装中の付着塩分量調査等について品質管理項目を設定した（表-4）。

3.3 仮設工

(1) 概要

本橋の仮設工事における足場構造は、橋りょうの桁部材の構造形式に応じて選定した。

1～3連目および5～7連目の上路トラス桁構造部における足場は、主に軌道桁を塗装するための上部吊り足場とトラス桁を主に塗装する下部吊り足場のそれぞれを構築した（図-3）。上部吊り足場はパネル式吊り足場とし、下部吊り足場はトラス部材等から吊った下面足場と単管パイプで構成する構造とした（写真-10、11）。

また、4連目の中央径間ランガーアーチ部の線路上となる範囲については、抱込み足場とアーチ上部吊り足場による足場構造とした（写真-12、13）。

このランガーアーチ部の線路より下側部分の足場の検討にあたっては、桁下に航路が設定されているため高い位置に桁が架設されていること、加えて細い部材

上での作業が求められること、足場資材の搬入距離が長くなること、さらには構造上部材が急角度に設置されており、足場材との取り合いに詳細な検討が求められること等の課題があった。

なお、橋りょう兩岸の陸上部には、日々の作業員の出入り、および足場等の資材搬入出用に用いる昇降設備を枠組み足場により設置した（写真-14）。

(2) 足場計画における課題と対策

①長距離の足場資材運搬

本橋の前後は高架橋構造となっており、線路内に容易に立ち入ることが困難である。このため、橋りょう終点側の端部に昇降設備兼用の構台を設置した。橋りょうには全延長にわたり、強風対策として防風柵が設置されていたが、発注者と協議のうえ、一部区間を工事中一時撤去することで資材搬入口とした。なお、構台上への揚重は、構台脇の作業ヤードに設置したクレーンを用いて行った。

アーチ部上部足場等の軌道面から上側で用いる足場資材は、夜間のき電停止時間帯に線路上を利用して行った。構台上に荷揚げした足場資材を搬入口から線路上に配置したトロ台車に積載し、施工箇所まで運搬した。

軌道面から下側で使う足場資材も同様に、線路上を



写真-10 上部吊り足場

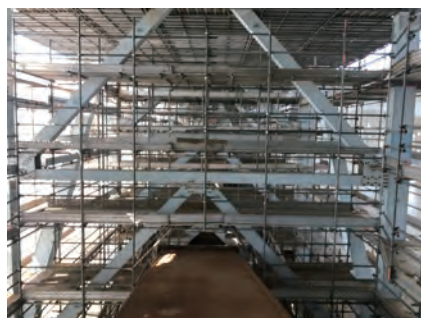


写真-11 下部吊り足場



写真-14 昇降設備 (枠組み足場)

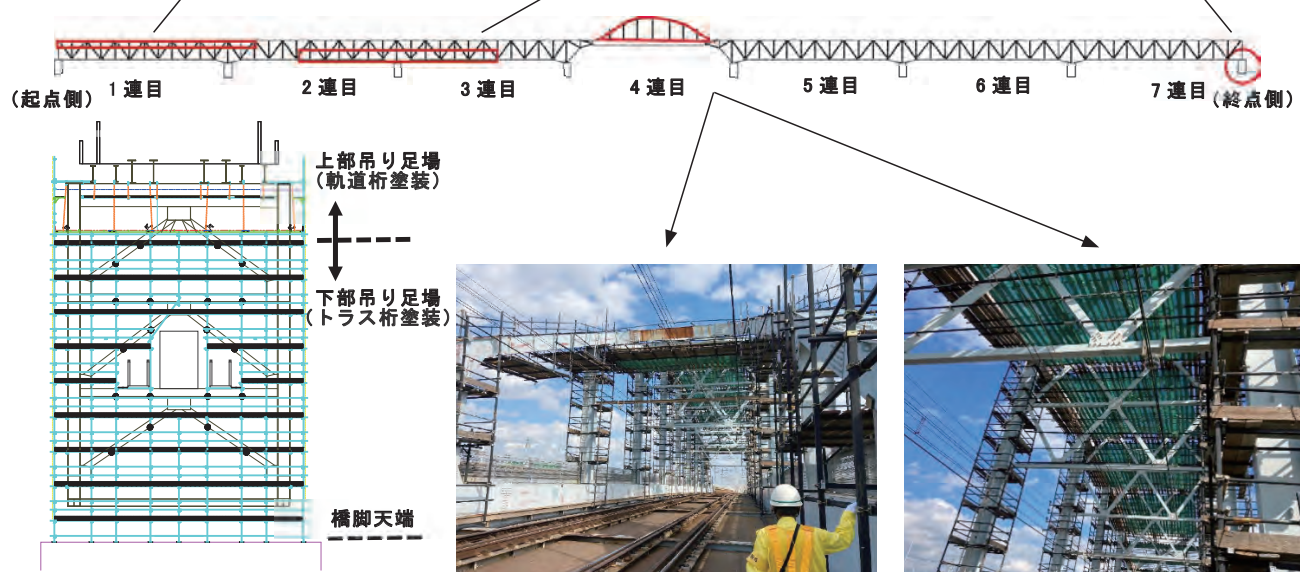


図-3 足場構造 (1-3 5-7 連目)



写真-12 抱込み足場



写真-13 アーチ上部吊り足場

運搬することを検討した。しかし、線路上から軌道を越えて使用箇所へ足場資材を吊り下ろす作業のリスクと手間が大きいことから、トラス桁内部に2段の通路を仮設することとした。

通路は荷揚げ用構台から施工位置まで設置し、これらの通路を用いて足場資材の水平運搬をすることとした。本橋の中央径間部4連目のランガー桁部では、構台から約500mの距離を運搬する必要があるため、作業員の負担軽減と効率化を目的に通路内にローラーコンベアを設置し、省力化と効率化を実現した(写真-15、16、17、18 図-4、5)。

②ランガーアーチ部の下部足場計画

本橋の中央径間部のランガーアーチ部下部の足場計画が最大の課題であった。

図-6に示すようにランガーアーチ部を支える下部ト

ラス部材の橋脚天端からランガー桁支承部分までの高さは約20m、これを構成する下弦材の設置角度が約40°となっていた。橋脚も水面上から5m以上の高さがあり、高所かつ急な傾斜を有する下弦材とそれを連結するトラス連結部材や斜材への足場資材の設置方法の検討を行った。この箇所に適用する工法としては、以下の4工法を比較した。

- 第1案：橋りょう吊り足場として使用実績の多いチェーン吊り足場を用いる工法
- 第2案：水面に台船を配置し、台船上に足場を組み立てる工法
- 第3案：トラス部材に直接足場部材を固定する部分足場工法
- 第4案：ワイヤー吊り足場工法

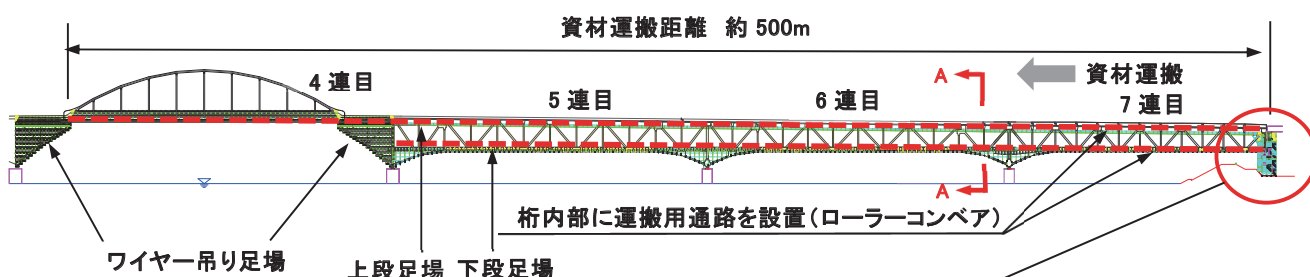


図-4 側面図

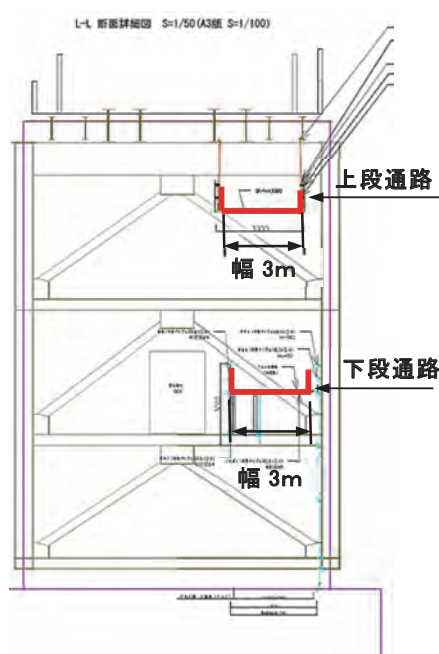


図-5 A-A 断面図

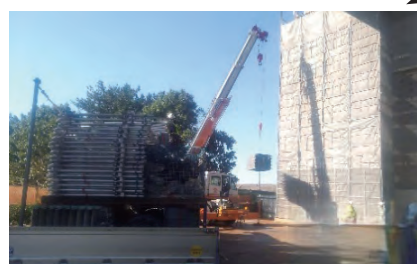


写真-15 クレーンによる資材搬入

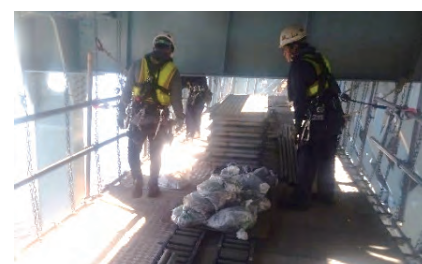


写真-16 資材搬入 (上段通路)



写真-17 資材搬入 (下段通路)

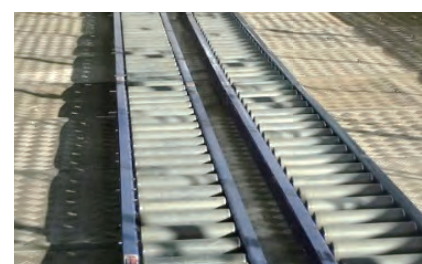


写真-18 ローラーコンベア

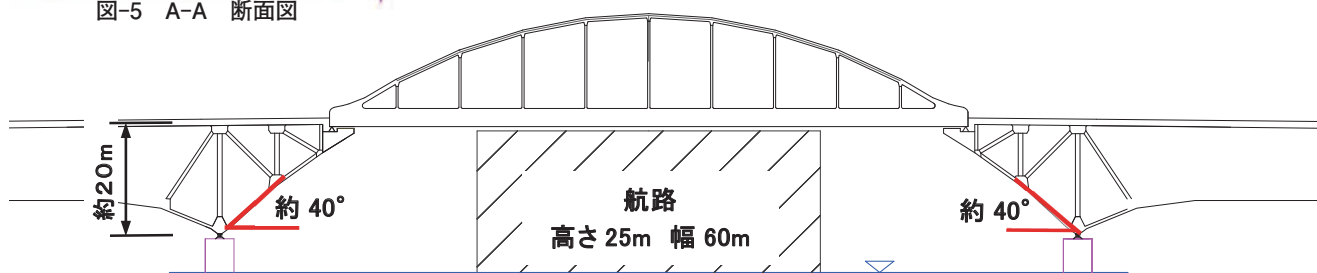


図-6 中央径間ランガーアーチ部

表-5 足場形式比較

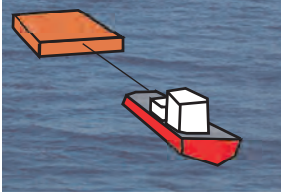
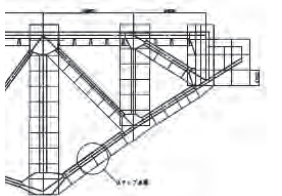
比較案	第1案 チェーン吊り足場	第2案 台船を利用した足場	第3案 部分足場（専用足場）	第4案 ワイヤー吊り足場
	・トラス上部からチェーンで足場を吊り下げる（在来工法） ・チェーンが重く、設置作業時のリスクが大きい 	・台船で資材を運搬、橋脚上の仮構台から足場を組み上げる ・作業の都度、台船を回航する手間がある 	・トラス部材に足場部材を直接固定する ・対傾構等の斜材への固定が課題である(専用の固定具の開発が必須) 	・上部軌道桁等からワイヤーで足場部材を吊り支持する構造 ・チェーンに比べ軽量である 
工期	○	×	△	△
コスト	○	×	×	○
安全性	×	○	○	○



写真-19 ワイヤー吊り足場①

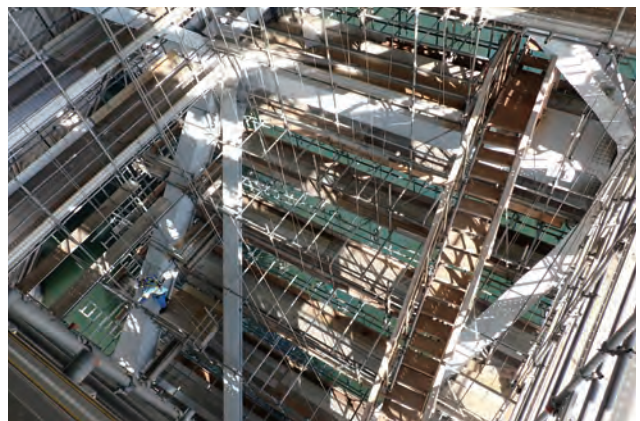


写真-20 ワイヤー吊り足場②

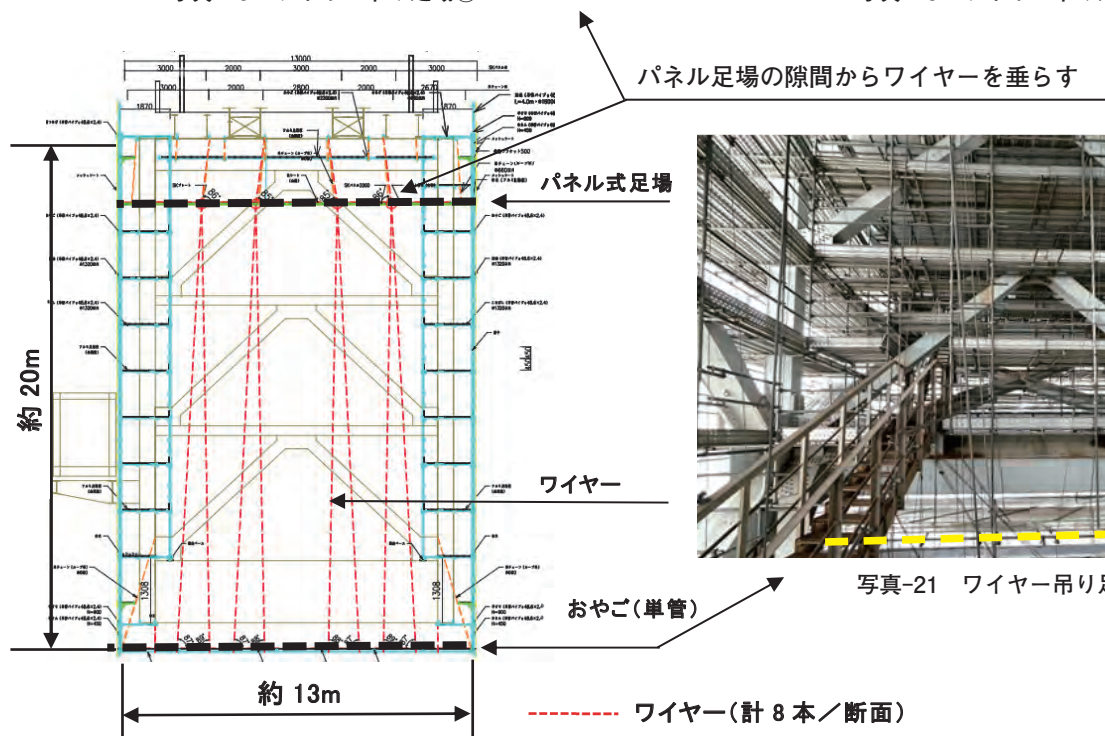


図-7 足場設置状況

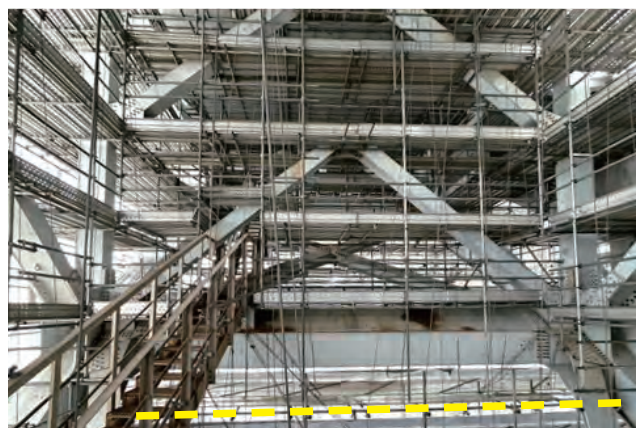


写真-21 ワイヤー吊り足場③

足場の組み立て作業の安全性を大前提に、工期および経済性の観点で比較検討を行った結果、第4案のワイヤー吊り足場工法を採用した(表-5)。

ワイヤー吊り足場は、トラス桁上部の桁部材に吊元を確保したワイヤーに足場となる単管(おやご)を順次吊り下げ、これを元に足場を構築していく工法である。本橋りょうの規模に応じて、1段につき8本のワイヤーを配置したが、おやごを水平に保ちつつそれぞれのワイヤーの長さを調整し、これを所定の高さに納めていく作業が課題となった。足場の組み立ては、足場工の作業員同士が呼吸を合わせ、微調整を繰り返しながら慎重な作業を繰り返した。作業に着手した当初は、1段を組み立てるのにほぼ1日を要する状況であったが、習熟を重ねることで、最終的にはおやご1段を2時間程度で設置できるまでになった。この結果、最上段までの足場設置を予定された工程内に無事完了させることができた(写真-19、20、21、図-7)。

③河川を往来する大型船舶の航路確保への対応

本橋の中央径間部のランガーアーチ部直下の河川には、大型船舶が往来する航路が設定されているため、本工事で設置する足場材が航路を支障しないように十分な離隔を確保(図-6)することと、船舶が航行できる範囲を示すために、橋りょう側面に設置された橋梁灯と橋梁標の移設が課題となった。

航路を管理する所轄の海上保安部と協議を重ね、橋梁灯については、本工事で設置した足場材の側面下部に移設し、視認性を確保することとした。橋梁標については足場外面に仮移設し、同様に視認性の確保に留意した。

4 塗替塗装工

4.1 素地調整工の選定

主に下弦材上面に発生していた局部的な発錆部(写真-8、9)は、孔食内部に錆や塩分が残留しやすく、従来から用いられてきた動力工具(ディスクサンダー)(写真-22)による素地調整では十分な錆や塩分の除去が困難であった。

このため、素地調整の錆や塩分を確実に除去する方法として、在来の動力工具の代替として、ブラストに近い清浄面が得られるとされる縦回転式動力工具(写真-23)、および、粉塵の飛散を吸収可能とする小

型バキュームブラスト(写真-24)を選定し、素地調整試験を実施した。試験施工終了後、それぞれの鋼材表面の除錆状況の評価と塩分量測定を行い、素地調整の状況を検証した。

また、塩分除去の効果を高める方法として、それぞれの工具による施工と高圧洗浄を併用した場合の塩分除去の程度についても検証を行った。

素地調整試験の対象とする鋼部材の腐食状態は、素地調整法による塩分除去効果が腐食程度に応じて比較検討できるよう、層状錆の形成が少なく表面近傍のみの腐食している「薄錆部」と、こぶ錆状の厚い層状錆に覆われた「こぶ錆部」とした。

4.2 評価結果²⁾

(1) 素地調整面の評価

縦回転式動力工具は、薄錆部では十分な除錆効果を示したが、こぶ錆部では孔食内部に固着錆が残存した。一方、小型バキュームブラストでは正常な除錆面が得られ、こぶ錆部においても良好な除錆状態が確認された(表-6)。

(2) 付着塩分量測定結果

除錆後に行った残存塩分量測定の結果から、縦回転式動力工具を薄錆部に用いた場合では残留塩分量を低減できたものの、こぶ錆部では高圧洗浄を併用しても高い残留塩分量が確認された。一方、小型バキュームブラストによる除錆後は薄錆部、こぶ錆部ともに高い塩分除去効果を示し、高圧洗浄を併用することでさらに残留塩分量が低減した(表-7)。

(3) 検証結果

縦回転式動力工具は薄錆部には適用可能であるものの、こぶ錆部では十分な塩分除去が困難であることが確認された。

このため、局部的発錆部の素地調整方法は小型バキュームブラストを採用した。また、施工前の塗膜上の表面塩分量が50 mg/m²を超える場合は、高圧洗浄を実施した後に素地調整を行うこととした。

4.3 凝集破壊による変状

(1) 変状概要

塗装工事を進める中で、3連目下部の部材表面の一部において、見た目の変状はないものの僅かな衝撃で



写真-22 動力工具 (ディスクサンダー)



写真-23 縦回転式動力工具



写真-24 小型バキュームブラスト(作業中)

表-6 素地調整面の評価結果

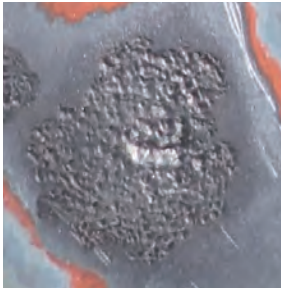
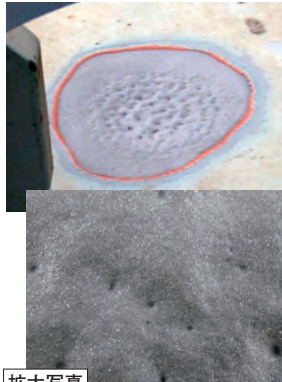
	薄錆部		こぶ錆部	
	素地調整前	素地調整後	素地調整前	素地調整後
縦回転式動力工具				 拡大写真
	- 部分的に孔食形態を示す - 錆は除去され固着錆は観察されない		- 部分的に孔食が進展し、凹凸が著しい - 孔食の中心部には固着錆が除去できず残存している - ブラシ回転方向の背面側は凹凸が著しいため、ブラシが十分に当たらない箇所が存在する。	
小型バキュームブラスト				 拡大写真
	- 部分的に孔食形態を示す - 錆は除去され固着錆は観察されない		- 部分的に孔食が進展し、凹凸が著しい - 孔食の中心部は穿孔し、深い腐食孔となっているが、表面から固着錆は観察されない	

表-7 付着塩分量調査結果

試験対称	試験位置	試験内容	塩分量測定値
縦回転式動力工具	薄錆部	縦回転式動力工具無し (塩分量 初期値)	26mg/m ²
		縦回転式動力工具のみ	38mg/m ²
		高圧洗浄+縦回転式動力工具	24mg/m ²
	こぶ錆部	[高圧水洗+縦回転式動力工具] 1 回完了時	620mg/m ²
		[高圧水洗+縦回転式動力工具] 2 回繰り返し	290mg/m ²
小型バキュームブラスト	薄錆部	ブラスト無し (塩分量 初期値)	31mg/m ²
		ブラストのみ	17mg/m ²
	こぶ錆部	[高圧水洗+ブラスト] 2 回繰り返し	29mg/m ²
		[高圧水洗+ブラスト] 3 回繰り返し	17mg/m ²



写真-25 凝集破壊による変状① (塗膜割れ)



写真-26 凝集破壊による変状② (塗膜剥がれ)

容易に塗膜が剥がれる変状が確認された。

この変状は、工場塗装の1層目である厚膜型無機ジンクリッチペイント層の凝集破壊が原因であることが分かった (写真-25、26)。

なお、厚膜型無機ジンクリッチペイントは樹脂と水分が反応して硬化する特性があるが、工場塗装時に

- i 過度な厚塗り
- ii 低湿度環境下での塗装
- iii 規定の塗装間隔の逸脱

が生じる場合に樹脂と水分の硬化不良が発生し、塗膜内において塗膜の一部が破断し、凝集破壊に至ることが知られている (図-8)。

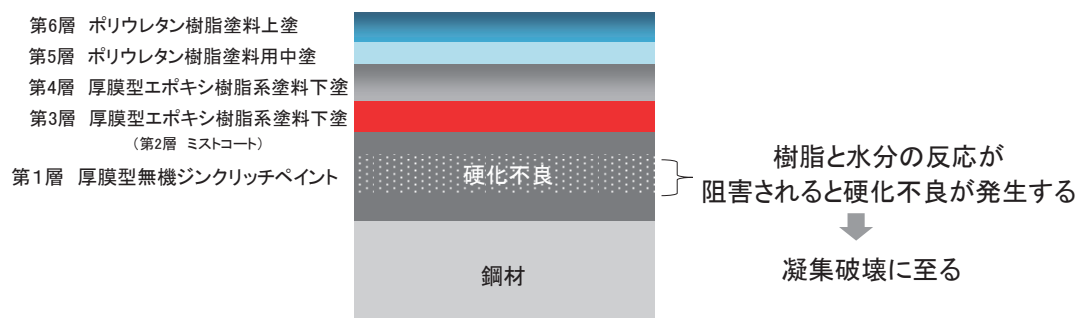


図-8 凝集破壊

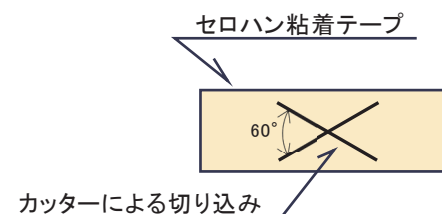
表-8 クロスカット法による調査結果

調査結果	評価点1 全体的な剥がれ	評価点2 交差部のみ剥がれる	評価点3 健全な塗膜状態
調査結果			
	4% (72箇所)	7% (125箇所)	約90% (約1,600箇所)
対応方法	脆弱な塗膜を除去する	脆弱な塗膜あるいは活膜を見極め、脆弱な塗膜を除去する	塗膜表面を軽く研磨する

クロスカット法 (※JIS K5400(1990) に準拠)

【調査手順】

- ①洗浄スプレーで塗膜表面を洗浄
- ②塗膜表面にカッターナイフで塗膜にクロス状の切り込みを入れる (交角約 60°)
- ③セロハン粘着テープを貼り、全て密着させた後にテープを垂直に引き剥がす
⇒セロハン粘着テープを引き剥がした後の塗膜の剥離状態により評価を行い、その評価点 (1～3) に応じた対応法を判断する。



剥離状態				評価点1 以上の剥離が 発生した状態
評価点	3	2	1	0

表-9 クロスカット法

(2) 変状箇所の付着力調査

この変状箇所の塗膜の付着力を把握するために、プルオフ法（JIS K 5600-5-7 に準拠）による塗膜の付着力試験を実施した。

塗膜剥がれが見られた箇所の近傍と健全な塗膜を有する部材面で調査を行った。この結果、塗膜剥がれが見られた箇所近傍の塗膜の付着力は 1.1MPa ～ 1.24MPa、これに対して健全な塗膜面での付着力は 11.45MPa ～ 11.41MPa であり、塗膜剥がれが見られる箇所の近傍は付着力が著しく低いことを確認した。

(3) 変状箇所の特定と対処方法

凝集破壊による塗膜剥がれ箇所は広範囲に点在して発生していたことから、簡易に対策すべき箇所を評価・把握する方法として、クロスカット法を採用した。

クロスカット法は、既に塗膜割れが発生している箇所および凝集破壊を生ずる可能性があると考えられた下弦材、下横構、横桁等の各部材面の全 1,792 箇所に対して実施した。なお、クロスカット法による判定基準を図-9 に示す。

調査の結果、評価点 1 となった変状箇所は全体の 4% (72 箇所)、評価点 2 は 7% (125 箇所) であった。評価点に応じた対処方法は、評価点 1 の箇所は脆弱な塗膜を除去し、評価点 2 の箇所は電動工具で素地調整する中で塗膜除去の可否を判断することとし、評価点 3 の箇所は健全であるため塗膜表面を軽く研磨し活膜は残すこととした（表-8）。

なお、凝集破壊で剥がれた面の残存塗膜については、犠牲防食作用を有する厚膜型無機ジンクリッチペイントを残すことが塗膜の防食性に大きく寄与するものと考え、鋼材面まで露出させないこととした。

このため、凝集破壊後に鋼材に残存した厚膜型無機ジンクリッチ層を残した上に塗装を行う場合の塗膜の付着性を確認することとした。評価点 1 と判断した箇所においては、残存した厚膜型無機ジンクリッチペイントに部分塗替え時の塗装系の 1 層目である厚膜型有機ジンクリッチペイントを塗装し、付着力試験を実施した。

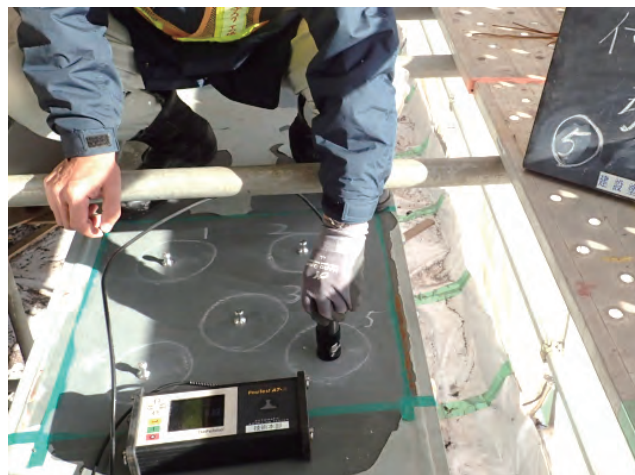


写真-27 プルオフ法による塗膜の付着力試験

この結果、5 箇所の試験箇所について、いずれの箇所でも付着力が 10MPa を超えていたことが確認され、脆弱な塗膜層を除去できれば無機ジンクリッチペイントを残存していても塗膜の付着性は確保できることが分かった（写真-27）。

4.4 塗替塗装工の経過観察

本工事で行った局部腐食箇所および凝集破壊による塗膜割れの変状箇所に対する素地調整および塗装工事が適正であったか確認するために、2025 年に追跡調査を行った。

2017 年に小型バキュームブラストにより素地調整した局部腐食箇所の経過観察をした結果、良好な状態であることを確認した。

また、2018 年に凝集破壊による塗膜割れが発生していた下弦材等の施工箇所の経過観察をした結果、塗膜割れや剥がれ等の変状は見られず、良好な状態であることを確認した（写真-28、29）。

Ⅴ 鋼桁部に発生した疲労き裂等への補修工事

本橋における塗替塗装工事中に、発注者による橋りょうの検査が実施された。

これは、塗替塗装工事の足場を有効に活用して行わ



写真-28 経過観察結果（局部腐食箇所）



写真-29 経過観察結果（凝集破壊箇所）

れ、至近距離から綿密な目視検査がなされた。この検査により鋼桁部に発生している疲労き裂や支承のばたつきなどの変状が詳細に把握された。

この検査結果に基づいて必要な補修工事が計画され、塗替塗装工事と並行して工事が実施された。主な施工内容は、補剛材の上端部に発生した疲労き裂に対する鋼板による当板補強、支承に発生したばたつきを抑制するためのライナープレート挿入等であった(写真-30、31)。

6 おわりに

本工事は、本橋の供用開始後初めて実施された塗替塗装工事であった。

工事計画段階においては、新設塗装時の塗装仕様に長期防錆型の塗装系が採用されていたことや、塗膜の劣化が著しく進んでいた箇所や凝集破壊とされる塗膜変状が多く発見され、素地調整工方法や塗替塗装仕様

など品質管理を適切に行うための検討に苦慮した。

また、本橋は高所でかつ河川上の長大橋りょうであること、ゲルバー形式など複雑な構造であったこともあり、構造的に安全な足場計画に加えて、施工においては作業員の安全性と、鉄道橋りょうであることから安全な列車運行の確保が必要となった。工事完了後の荒川放水路橋りょうの全景を写真-32に示す。

この約9年間の長期間に渡る工事を無事に完了することができたことは、発注者である JR 東日本からの適切な指示と指導に加え、計画段階より本工事に携わった関係者の皆様のご支援、日々の工事を安全に無事に進めた協力会社の皆様の成果であり、この場を借りて深く感謝申し上げる。

今後は本工事で培った経験と知見を活かし、引き続き、これからの鋼橋のメンテナンス工事に活かし、取り組んでいきたいと考えている。



写真-30 疲労き裂に対する当板補強



写真-31 支承ライナープレート挿入



写真-32 工事完了後の荒川放水路橋りょう

【参考文献】

- 1) 公益財団法人 鉄道総合技術研究所：鋼構造物塗装設計施工指針 1993
- 2) 鈴木周一、江成孝文、持永健次郎：長期防錆型塗装系の局部発錆に対する素地調整法の検討 Structure Painting 2018 年 9 月

重防食塗装試験片の 35 年屋外暴露試験結果報告

飯尾 翔磨¹⁾ 藤本 貴正²⁾ 後藤 宏明³⁾

1 はじめに

高速道路における鋼橋の防食は、重防食塗装仕様が標準的に用いられている。重防食塗装仕様はジンクリッチペイントの防食下地を有し、腐食因子の遮断性に優れた下塗、耐候性に優れた上塗から構成される塗装仕様であり、新設塗装の場合、厳しい腐食環境においても 30 年以上の耐久性が期待されている¹⁾。しかし、重防食塗装が施工されてから 30 年以上経過した塗膜の調査事例の報告は少ない。実環境における塗膜の耐久性を評価するにあたっては大気暴露試験が有効である。

大気暴露試験は、塗装等の防食技術を実施した試験片を実環境に大気暴露し、目視による外観観察、写真撮影などを行うことで、劣化の有無や程度を継続的に観察する調査である。実環境における耐久性を直接確認する方法であり信頼性が高いが、結果が出るまで非常に長い期間を要する。

株式会社高速道路総合技術研究所（以下、NEXCO 総研）では、重防食塗装仕様の耐久性を評価するため、図-1 に示す腐食環境が異なる 3 箇所において、1988 年から重防食塗装を施した試験片の屋外暴露試験を実施している。本稿では、暴露開始から 35 年経過後の調査結果について報告する。

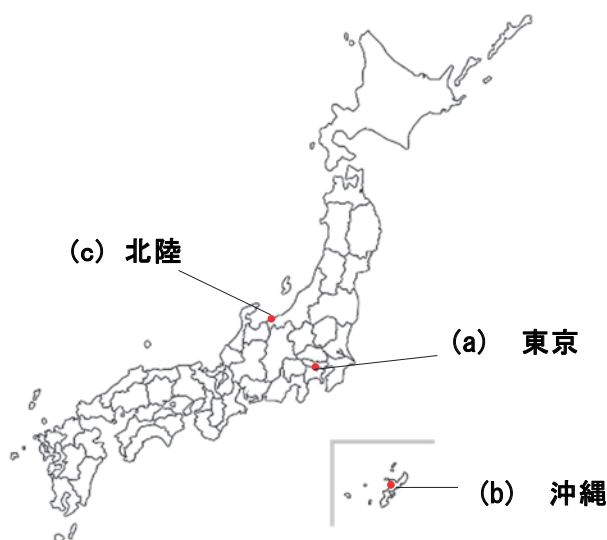


図-1 屋外暴露試験場

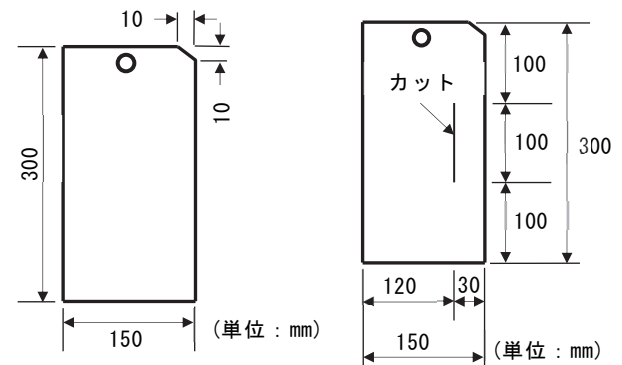
2 調査方法

2.1 試験片

暴露試験片の基板、塗装手順及び塗装仕様は次のとおりである。

(1) 基板

基板の寸法、形状を図-2(a)に示す。寸法 300mm×150mm×6mm のSS41（現SS400）の一般構造用圧延鋼材に両面ショットブラスト処理したものを基板に用いた。



(a) 基板の形状・寸法 (b) 試験片へのカットの位置

図-2 試験片

(2) 塗装手順

塗装手順を表-1に示す。これは本調査を開始した当時、新設橋梁の塗装においては、工場で下塗まで塗装し、その後架設現場まで運搬し、現場で中塗と上塗を塗装するのが一般的であったため、それに準じた手順とした。

表-1 試験片の塗装手順

手順	内容
1	ショットブラスト処理（表面粗さ 60 μ m）
2	無機ジンクリッチプライマー塗付（dry 膜厚 15 μ m）
3	屋外暴露1か月 （（一財）日本塗料検査協会 東支部（神奈川県藤沢市）屋上）
4	サンドブラスト処理（ISO Sa 2・1/2）
5	下塗塗装
6	屋外暴露6か月（東京、沖縄、北陸暴露場）
7	水洗
8	中塗・上塗塗装

- 1) 株式会社高速道路総合研究所 研究員
- 2) 株式会社高速道路総合研究所 主任研究員
- 3) 一般財団法人 日本塗料検査協会 技術開発部 技術開発部長

(3) 塗装仕様

試験片の塗装仕様を表-2に示す。塗装仕様はジンクリッチペイントの種類・膜厚、下塗の種類、上塗の種類等を変化させた全54仕様を設定したが、本稿においてはジンクリッチペイントの種類およびジンクリッチペイントの膜厚に着目した7仕様について記載する。

気候が温暖で穏やかな腐食環境の代表地区として選定した。

沖縄は、東経 127° 57'34"、北緯 26° 32'00"、海岸からの距離約 600m、(沖縄自動車道許田料金所構内(沖縄県名護市許田))に位置し、亜熱帯地域で高温多湿なうえ、海塩粒子の飛来のある、鋼構造物の腐食が著しく、腐食環境の厳しい地区を代表して選定した。

表-2 試験片の塗装仕様

仕様番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
下塗第1層	H-IZ-E (75)	H-OZ (75)	—	H-IZ-E (75)	H-IZ-E (30)	H-OZ (75)	H-OZ (30)
ミストコート	E(S) (—)	—	—	E(S) (—)	—	—	—
下塗第2層	E(S) (60)	E(S) (60)	E(S) (60)	E(S) (60)	E(S) (60)	E(S) (60)	E(S) (60)
下塗第3層	E(S) (60)	E(S) (60)	E(S) (60)	—	—	—	—
中塗	U(N) (30)	U(N) (30)	U(N) (30)	U(N) (30)	U(N) (30)	U(N) (30)	U(N) (30)
上塗	U(U) (30)	U(U) (30)	U(U) (30)	U(U) (30)	U(U) (30)	U(U) (30)	U(U) (30)
合計膜厚 (μm)	255	255	180	195	150	195	150

表中の記号 H-IZ-E：無機ジンクリッチペイント、H-OZ：有機ジンクリッチペイント、E(S)：エポキシ樹脂塗料下塗

U(N)：ポリウレタン樹脂塗料用中塗、U(U)：ポリウレタン樹脂塗料上塗、括弧内数字は膜厚 (μm)、—：工程なし

仕様①～③はジンクリッチペイントの種類に着目した仕様であり、防食下地が無機ジンクリッチペイント、有機ジンクリッチペイントまたはジンクリッチペイント無し(エポキシ樹脂塗料)となっている。

仕様④～⑦はジンクリッチペイントの膜厚に着目した仕様であり、無機ジンクリッチペイントまたは有機ジンクリッチペイントの膜厚が75 μm または30 μm となっている。なお、試験促進を目的に、下塗第3層は省略している。

すべての試験片について、表面と裏面の両面に塗装を施した。

また、塗膜を十分に乾燥させた後に、試験片の表面には図-2(b)に示す位置にプラスチック用カッターを用いて鋼素地に達するカットを入れた。

なお、高速道路の鋼橋における重防食塗装(C-5)の仕様は、試験片①が最もその仕様に近く、中塗りおよび上塗がそれぞれふっ素樹脂塗料用中塗およびふっ素樹脂塗料上塗となっている。



(a) 東京



(b) 沖縄



(c) 北陸

図-3 各暴露場の試験片設置状況

2.2 屋外暴露試験

屋外暴露試験場および暴露架台については、以下の通りである。各屋外暴露試験場の試験片設置状況を図-3に示す。

(1) 暴露試験場

大気暴露試験を実施した箇所は腐食環境の異なる東京、沖縄及び北陸の3箇所を選定した。

東京は、東経 139° 25'28"、北緯 35° 34'26" (NEXCO 総研社屋上(東京都町田市忠生1-4-1))に位置し、

北陸は、東経 137° 43'21"、北緯 37° 00'02"、海岸からの距離は約 50m（北陸自動車道親不知高架橋下（新潟県糸魚川市大字外波））に位置し、日本海からの強い潮風による多量の高塩粒子飛来があり、冬期は積雪のため凍結防止剤の散布が行われる鋼構造物の腐食が著しく進行するような腐食環境を代表して選定した。

各暴露場の腐食環境は、1989 年に調査しており、飛来塩分量は大きい順に北陸、沖縄、東京であり、無塗装鋼板の腐食量も大きい順に北陸、沖縄、東京である²⁾。

(2) 暴露架台

暴露台は、幅 2000mm×長さ 1320mm の鋼製で地面からの設置高さを 750mm とした。なお、試験片は水平暴露方式とした。

2.3 評価方法

試験片は、図-4 に示すように一般部とカット部に区分して評価を行った。

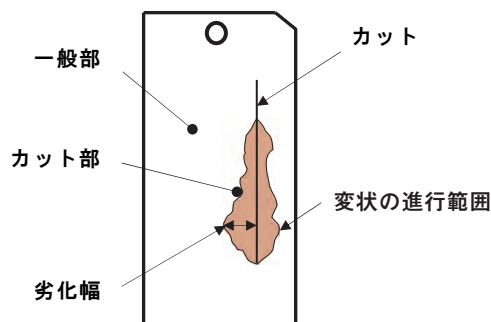


図-4 試験片

一般部については、さび、膨れ、割れ、はがれ等の変状の有無を確認し、（一財）日本塗料検査協会の塗膜の評価基準 A³⁾ に準じ、評価及び点数付けを行った。複数の変状が混在する場合は、一番顕著な変状を評価するため、変状毎の点数の内一番低いものを基準点とした。その他の変状の点数については、10 点から差し引いた値を算出し、その値を 1/2 倍して基準点から差し引くことで複数の変状を考慮した評価点とした。

表-3 劣化幅の評価点数換算表

劣化幅 (mm)	評価点
0～0.5未満	10
0.5～1.0未満	9
1.0～2.5未満	8
2.5～4.0未満	7
4.0～6.0未満	6
6.0～7.5未満	5
7.5～9.0未満	4
9.0～14.0未満	3
14.0～18.0未満	2
18.0～20.0未満	1
20.0～	0

カット部については、カットを起点とした変状の平面的な進行範囲を劣化幅（片側の最大幅）と定義し、ノギスを用いて劣化幅を計測し、表-3 の劣化幅の評価点数換算表により評価点を算出した。

各仕様の屋外暴露 35 年時点の評価点に着目することで、各仕様の耐久性について相対的に評価する。

3 結果と考察

35 年暴露後の試験片の調査結果を表-4 に示す。

3.1 ジンクリッチペイントの種類

仕様①～③のカット部について、無機ジンクリッチペイントの仕様は、暴露箇所にかかわらず評価点が 7 点となっており、劣化幅は 3mm 程度であった。有機ジンクリッチペイントの仕様は、沖縄および北陸の評価点は 0 点、東京は 1 点となっていた。劣化幅は、最も評価の高い東京でも 19.6mm であり、暴露箇所にかかわらず無機ジンクリッチペイントの仕様と比べると劣化幅は広がっていた。

ジンクリッチペイント無しの仕様は、いずれも評価点が 0 点であり、有機ジンクリッチペイントの仕様と比べてさらに劣化幅が広がっていた。特に沖縄および北陸はカット部からの腐食が進行し、試験片が欠損していた。

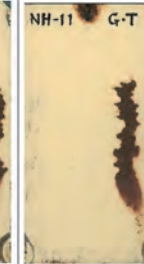
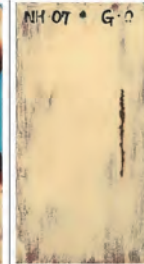
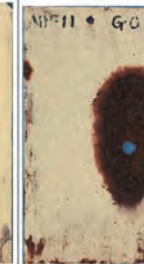
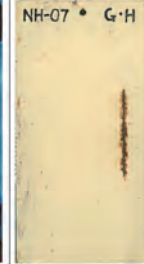
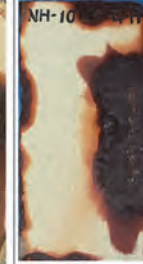
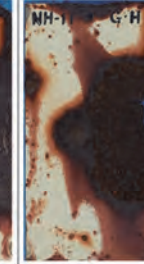
これらより、ジンクリッチペイントの種類による暴露 35 年後の防食性能は、無機ジンクリッチペイント、有機ジンクリッチペイント、ジンクリッチペイント無しの順に良好であることが確認できた。

無機ジンクリッチペイントの防食性能が最も良好であったのは、無機ジンクリッチペイントに含まれる亜鉛末と鋼材との接触面積が有機ジンクリッチペイントの場合と比べて大きいこと、犠牲防食作用が強く作用した⁴⁾ためと考えられる。また、有機ジンクリッチペイントにおいても、有機ジンクリッチペイントに含まれる亜鉛末による犠牲防食作用が一定程度寄与したと考えられる。有機ジンクリッチペイントはバインダーであるエポキシ樹脂が劣化し、有機ジンクリッチペイント層内の亜鉛末が鋼素地と電気的に短絡することで犠牲防食が作用するとされており、ジンクリッチペイントの傷部で露出した少量の亜鉛末が消耗・消失した後は犠牲防食作用が発現しないとされている⁵⁾。

本試験では、後述の通り一般部において上塗の顕著な消耗・消失が確認されていないことから、有機ジンクリッチペイントのバインダーであるエポキシ樹脂の紫外線等による劣化は抑制されており、有機ジンクリッチペイント層内の亜鉛末は、カット部で露出したものを除いて、鋼素地と電気的に短絡せず、カット部で露出した亜鉛末の消耗後は犠牲防食がほとんど作用しなかった可能性がある。

なお、一般部については、沖縄を除いて 10 点の評価となっており、全体として高い点数を維持していた。

表-4 35年暴露後の試験片の調査結果

仕様番号		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
東京	外観							
	一般部評価	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし	変状なし
	一般部評価点	10点	10点	10点	10点	10点	10点	10点
	カット部評価	膨れ・はがれ ・さび 3.3mm	膨れ・はがれ ・さび 19.6mm	膨れ・はがれ ・さび 26.4mm	膨れ・はがれ ・さび 2.9mm	膨れ・はがれ ・さび 4.1mm	膨れ・はがれ ・さび 32.8mm	膨れ・はがれ ・さび 17.8mm
	カット部評価点	7点	1点	0点	7点	6点	0点	2点
沖縄	外観							
	一般部評価	変状なし	はがれ大8 (中/下)	はがれ大9 (中/下)	はがれ大8 (中/下)	はがれ小9 (中/上)	はがれ小9 (中/上)	膨れ6VS はがれ小9 (中/上) さび8
	一般部評価点	10点	8点	9点	8点	9点	9点	4.5点
	カット部評価	膨れ・はがれ ・さび 3.1mm	膨れ・はがれ ・さび 26.4mm	はがれ・さび 55.9mm	はがれ・さび 3.7mm	膨れ・さび 2.3mm	はがれ・さび 11.7mm	はがれ・さび 31.6mm
	カット部評価点	7点	0点	0点	7点	8点	3点	0点
北陸	外観							
	一般部評価	変状なし	変状なし	変状なし	膨れ8S さび8	膨れ8S さび8	変状なし	さび4
	一般部評価点	10点	10点	10点	7点	7点	10点	4点
	カット部評価	はがれ・さび 2.9mm	膨れ・はがれ ・さび 46.5mm	さび 92.7mm	膨れ・さび 6.8mm	膨れ・はがれ ・さび 26.9mm	膨れ・はがれ 割れ・さび 44.2mm	膨れ・はがれ ・さび 79.8mm
	カット部評価点	7点	0点	0点	5点	0点	0点	0点

これは上塗の耐候性が寄与していると考えられる。

これらより、暴露箇所にかかわらず無機ジンクリッチペイントの仕様は、一般部ではほとんど変状がなく、カット部においても軽微な変状であることから、35年以上の耐久性を有するといえる。

3.2 ジンクリッチペイントの膜厚

仕様④～⑦のカット部について、無機ジンクリッチ

ペイント 75μm の仕様は、東京および沖縄の評価点が7点であり、北陸は5点であった。無機ジンクリッチペイント 30μm の仕様は、東京が6点、沖縄が8点であり、北陸は0点であった。東京と北陸においては、75μm の仕様と比べて点数が下がっており、膜厚が大きいほうが防食性能が高いことが確認できた。

有機ジンクリッチペイント 75μm の仕様は、東京および北陸は0点であり、沖縄は3点であった。

有機ジンクリッチペイント 30 μ m の仕様は、東京が 3 点であり、沖縄および北陸は 0 点であった。有機ジンクリッチペイントにおいても、膜厚が大きいほうが防食性能が高いことが確認できた。したがって、ジンクリッチペイントの種類にかかわらず、ジンクリッチペイントの膜厚は大きいほど防食性能が高いことが確認できた。これは、膜厚が大きいほど、単位面積当たりの亜鉛末の量が多く、犠牲防食作用が長く働くためであると考えられる。

また、無機ジンクリッチペイント 30 μ m と有機ジンクリッチペイント 75 μ m の仕様を比較すると、無機ジンクリッチペイント 30 μ m の評価点が高い傾向である。これは、無機ジンクリッチペイントは層内の亜鉛末がカット部に継続的に溶解・供給されるのに対して、有機ジンクリッチペイントは層内の亜鉛末が、カット部で露出したものを除いて、銅素地と電氣的に短絡せず、カット部で露出した亜鉛末の消耗後は犠牲防食がほとんど作用しなかったため⁵⁾ であると考えられる。

したがって、鋼道路橋防食便覧⁶⁾ 等のジンクリッチペイントの標準膜厚は 75 μ m であるが、無機ジンクリッチペイントは標準膜厚の半分程度の薄膜であっても標準膜厚の有機ジンクリッチペイントよりも長期的

な防食性能が高いと言える。鋼橋の塗替塗装においては、既存の塗膜をすべて除去し有機ジンクリッチペイントを下塗第 1 層とする塗替塗装仕様とする場合があるが、無機ジンクリッチペイントの劣化や消耗が軽微である場合、無機ジンクリッチペイントを残存させた塗替塗装仕様とすることで、塗替え後も無機ジンクリッチペイントの高い防食性能を維持することができ、塗装による防食のライフサイクルコストを低減させることができる可能性がある。

4 まとめ

重防食塗装仕様の試験片について、屋外暴露開始から 35 年経過後の調査を実施した。

その結果、防食下地を無機ジンクリッチペイントとした重防食塗装仕様は、北陸や沖縄のような腐食性の高い環境においても 35 年の耐久性を有することを確認できた。また、無機ジンクリッチペイントは標準膜厚の半分程度の薄膜であっても標準膜厚の有機ジンクリッチペイントよりも防食性能は高く、塗替塗装の際に無機ジンクリッチペイントを残存させた塗装仕様とすることで防食性能を維持することができ、ライフサイクルコストの低減に貢献できる可能性がある。

【参考文献】

- 1) (社) 日本鋼構造協会：重防食塗装－防食原理から設計・施工・維持管理まで－、2012
- 2) 藤原博、田原芳雄：新設鋼道路橋に適用する重防食塗装系に関する研究、土木学会論文集、No.563、I-39、pp.23-34、1997
- 3) (財) 日本塗料検査協会：塗膜の評価基準 A、1970
- 4) 水島健太郎：ジンクリッチペイントの基礎と最近の話題、色材協会誌、Vol.88、No.2、pp.51-55、2015
- 5) 貝沼重信、井上凌、楊沐野：ジンクリッチ塗膜の傷部に対する防食特性に関する電気化学的検討、土木学会論文集 A1、Vol.77、No.3、pp.439-454、2021
- 6) (公社) 日本道路協会：鋼道路橋防食便覧、2014

植物由来の研削材を用いた脆弱塗膜部補修の取組み

二村 大輔¹⁾

■ はじめに

福岡高速道路（以下「福岡高速」という）の一部の鋼橋では、塗膜剥離が多発しており、強風発生後に沿線の第三者敷地内に剥離塗膜片が飛散する事案が発生している（写真-1）。そのため、防食の観点では直ちに補修する必要はないが、塗膜剥離対策としての補修が必要となっている。この要因として、主に MIO 層（雲母状酸化鉄顔料を多く含有した塗料）と現地塗装との間での剥離や、経年劣化による塗膜の脆弱化の進行が推察される。

脆弱塗膜の除去作業には動力工具を用いるのが一般的であるが、作業者の感覚に頼るため、仕上がりの品質を一定に保つことが難しい。そのため、脆弱層が残存する可能性があり、将来的な再剥離リスクが残る。

一方、ブラスト施工では、圧力や研削材の硬度をコントロールすることで、塗膜の除去程度を一定に保ち、脆弱層のみを選択的に除去できる可能性がある。しかし、ブラスト施工では、一般的に鉱物質の研削材を用いており、硬度が高く、活膜をすべて除去することとなり、防食機能の低下程度に対して補修コストが高くなる等の課題がある。

こうした状況から、柔らかい素材でガラス表面のクリーニング等に使用されている植物由来の研削材に着眼した。本報では、植物由来の研削材を用い、脆弱塗膜を一定の品質で除去できるか否か実橋にて検証した取り組みについて報告する。



写真-1 福岡高速での塗膜剥離状況の一例

■ 塗膜剥離に関する素地調整方法の検討

2.1 事前検証試験の実施

実施に向けて研削材の種類、吐出圧を変化させ、脆

弱塗膜を選択的に除去できる仕様の事前検証試験を行った。試験箇所の塗装仕様を表-1に示す。試験箇所は写真-2に示すように、アクセスが容易な管理用地内の都市内高速出口部の単純鋼鉄桁橋を選定した。

表-1 既設塗装仕様

工程	塗料	塗装方法	標準使用量 (g/m ²)	標準塗膜 (μm)
工場	第1層 長ばく型エッチングプライマー	スプレー	130	15
	第2層 鉛系さび止めペイント1種		170	35
	第3層 鉛系さび止めペイント2種		170	35
	第4層 フェノール樹脂MIO層		300	45
現地	第5層 塩化ゴム系中塗り	はけ	170	35
	第6層 塩化ゴム系上塗り	ローラ	150	30



写真-2 試験施工箇所外観

2.2 素地調整試験

(1) 研削材の種類

研削材は、表-2に示す3種類と動力工具1種類を用いて素地調整試験を行った。植物由来の研削材は、硬度の異なるとうもろこしの芯（コーン）と桃の種（ピーチ）を選定し、比較材としてフェロニッケルスラグを用いた。植物由来の研削材は、破碎が少なく粉塵が発生しにくい特徴がある。施工は養生シートで囲い、ウェブ面や下フランジ下面に対して最大各1m²程度の範囲で実施した。

表-2 研削材の種類

名称	コーン	ピーチ	フェロニッケルスラグ
研削材の外観			
モース硬度	2~2.5	3~3.5	9
比重	1.15	1.41	1.55~1.65
粒度分布	#40~60 (0.85~0.25mm)	#40 (0.62~0.45mm)	0.3~1.2mm
製造可能量	10t/月	10t/月	5,000t/月

1) 福岡北九州高速道路公社 福岡事務所 保全課 課長

(2) 吐出圧の検討

植物由来の研削材を使用した脆弱塗膜の除去に適した吐出圧の検証を実施した。吐出圧は0.3、0.5、0.7MPaの3種類とし、ブラスト後の表面状態を観察した(写真-3)。

コーンは0.7MPa、ピーチは0.5MPaの吐出圧で上塗り層のみを選択的に除去できた。一般的なブラスト施工では吐出圧力の最大値は0.7MPaとされている。吐出圧が低いと研削材の吐出量が不安定となることや、活膜の除去程度に柔軟性をを持たせるため、吐出圧は0.5～0.7MPaとした。

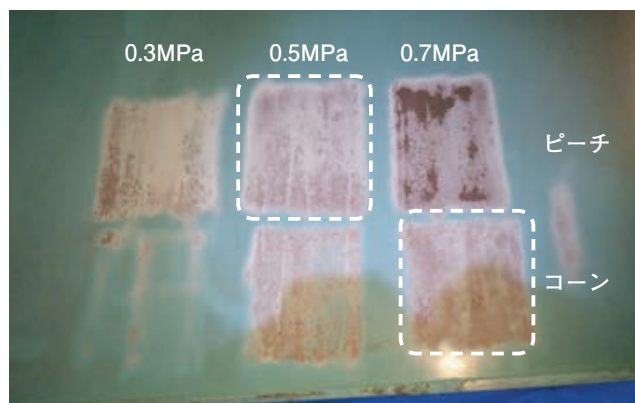


写真-3 吐出圧別の表面状態 (ウェブ面)

(3) ガムテープ試験

塗膜面の付着力の品質管理方法として引張試験機を用いた手法があるが、結果が判明するまで時間を要するため、施工時に多数実施するには課題がある。そのため、布ガムテープ(JIS Z 1524:2009 1種1号相当、幅50mm)を用いた簡易的な品質管理方法¹⁾の適用性

を検討した。ガムテープをブラスト後の活膜との境界部を跨ぐように貼付した後、ガムテープをはがし塗膜片の付着状態を外観目視で確認した。合否判定基準は、①ガムテープへ付着した塗膜片が大きな塊として付着していないこと。②ガムテープに付着した塗膜片が細かいこととした。

その結果、表-3に示すように付着力の強弱により、塗膜の付着状態が判別できた。これにより簡易的な品質管理方法として適用できる可能性が見出せたため、今後の実橋梁試験にてデータ収集を継続的に実施することとした。なお、ガムテープ試験合格部近傍の付着力は、コーンによるブラスト後の場合で2.9MPaであった。

(4) 施工時の騒音と粉塵

施工環境を確認するため、コーンとフェロニッケルスラグの2ケースで、施工時における騒音測定と粉塵状況の確認を行った。騒音測定は、養生で囲まれた施工箇所の入口を0m地点とし、そこから30m離れた位置まで5m間隔で実施した。

騒音測定結果を図-1に示す。騒音レベルはコーンとフェロニッケルスラグに大きな相違はなかった。また、施工箇所から離れるにつれて騒音レベルも低下し、15m離れた地点から特定建設作業の規定値85dB以下となることを確認した。

粉塵量は、目視にて確認した。フェロニッケルスラグは、養生内に粉塵が充満し、養生外にも粉塵漏出が視認された。そのため、十分な養生対策に加え、粉塵対策も必要となる。一方、コーンは養生内外共に粉塵の発生が少なく視界も良好であり、簡易な養生対策で施工可能であった。(写真-4、5)

表-3 ガムテープ付着試験の合否判定

	ガムテープ付着試験結果	ガムテープ貼付箇所
合格の事例	50mm 微細な塗膜片が付着している状態	
不合格の事例	50mm 塗膜の脆弱部が残っている状態	

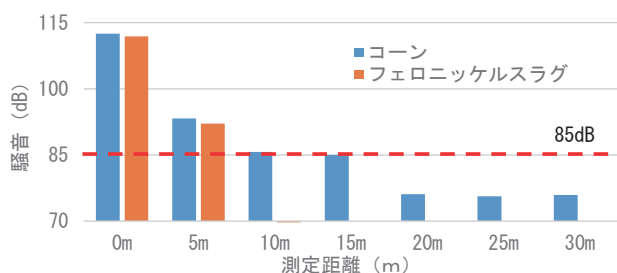


図-1 騒音測定結果



写真-4 コーンによるブラスト状況



写真-5 養生内の視界状況

2.3 塗装試験

素地調整後と当該箇所へ塗装し、約1ヶ月後に引張試験機により付着力を測定した結果を図-2に示す。

コーン、ピーチともに、1.0MPa以上の付着力を確認した。動力工具でケレン後に塗装した箇所のみ0.8MPaと1.0MPaを下回ったことから、脆弱塗膜の除去品質に課題があることが伺える。

なお、フェロニッケルスラグは、塗膜が除去され鋼素地が露出するため、ブラスト後は未計測である。

2.4 ブラストによるクリーニング効果

一般的に素地調整作業を行う場合は、施工前の状態で、表面を清掃・水洗いして $50\text{mg}/\text{m}^2$ 以下となったことを確認したうえで作業を開始しており、素地調整完了後も同程度以下に納まっていることを確認している。

そこで、清掃・水洗いを省略してコーンによるブラストを行う場合に、表面付着塩分が高い試験板(C-5塗装系)を素地調整し、①ブラスト直後と②エアブローにより粉塵を除去した後に、どの程度表面塩分が低下するか検証した。コーンによるブラスト前後の状況写真を写真-6～7に示す。

その結果、多量の塩分量($2,000\text{mg}/\text{m}^2$ 以上)が付着した塗装が施された試験板はブラスト直後では $58\text{mg}/\text{m}^2$ 、エアブロー後は $42 < 50\text{mg}/\text{m}^2$ となった。そのため、施工前に清掃・水洗いを行わなくても丁寧なブラスト施工を行うことで $50\text{mg}/\text{m}^2$ 以下とすることができると可能性が示された。

2.5 事前検証試験のまとめ

植物由来の研削材を活用した素地調整では、吐出圧力を $0.5 \sim 0.7\text{MPa}$ にコントロールすることで、塗膜の除去程度や残存塗膜の付着力を一定に保ち、脆弱層のみを選択的に除去できた。吐出圧と活膜除去程度のバランス、経済性の観点よりコーンを適用した実橋塗替えを試験的に実施し、更なる適用性の検証を行うこととした。

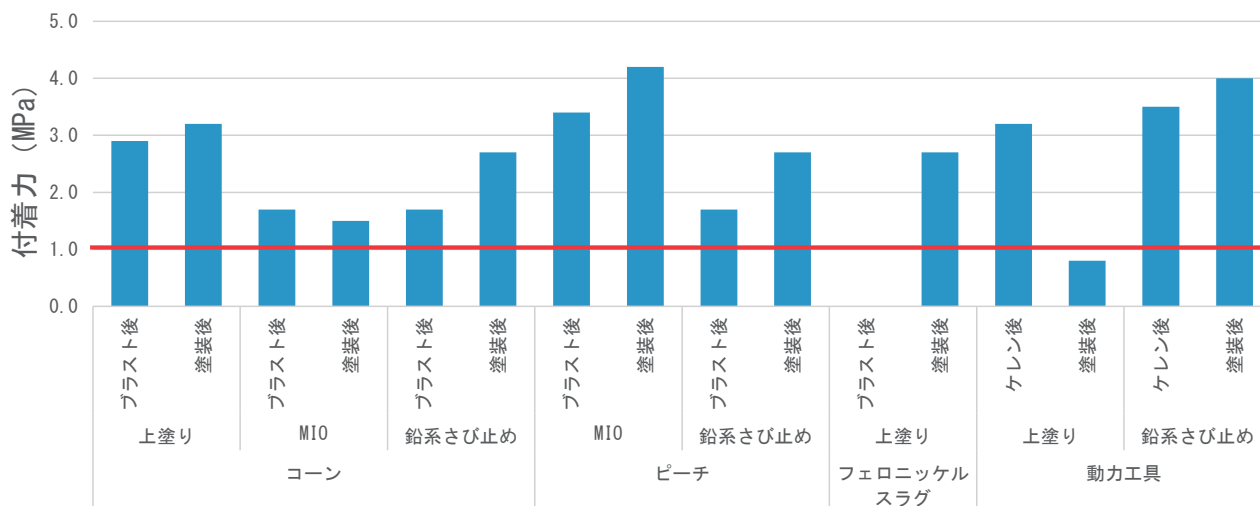


図-2 素地調整試験後と塗装後の付着力



写真-6 試験板（ブラスト前）



写真-7 試験板（ブラスト+エアブロー後）

3 実橋梁での試験施工

3.1 対象橋梁と塗装補修仕様

対象橋梁は、1994年の供用より約29年が経過した橋長40.5mの単純合成鋼鉄桁（施工面積：約1,200m²、塗装仕様は表-1と同様）であり、脆弱塗膜の剥離が確認されている。表-4に示すとおり、事前検証に基づきコーンを用いたブラスト施工を採用し、鋼材露出部の補修塗の後、Rc-IV塗装系による塗装補修仕様とした。写真-8に使用した研削材（コーン）を示す。

対象橋梁の桁下は、中央分離帯用地であり、管理者と協議を行い、昼間でも施工資機材が配置できる作業ヤードを確保した（図-3、写真-9）。

表-4 塗装補修仕様（一般外面）

工程	塗料名	塗装方法	標準使用量 (g/m ²)	標準塗膜 (μm)
素地調整	コーンを用いたブラスト	—	—	—
補修塗 (鋼材露出部)	(弱溶剤変性エポキシ樹脂塗料 下塗)	はけ ローラ	(200)	60
下塗	弱溶剤変性エポキシ樹脂塗料 下塗		200	60
中塗	弱溶剤ふっ素樹脂塗料 中塗		140	30
上塗	弱溶剤ふっ素樹脂塗料 上塗		120	25



写真-8 使用した研削材（コーン）

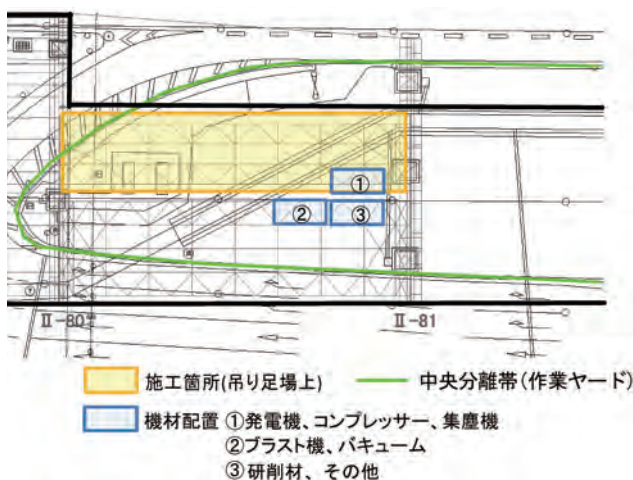


図-3 ブラスト資機材配置図



写真-9 ブラスト資機材配置状況

3.2 現地施工の概要

研削材はコーンを使用し、実橋でのテストブラストにより吐出圧0.5MPa、投射距離0.4m程度、研削材使用量3.5kg/m²の条件にて現地施工を行った。施工は、1次ブラストから仕上げブラストの順で実施した。施工箇所の養生対策は飛散防止に重点をおき、施工予定区域を養生シート等で区画する手法とした。施工範囲外の塗装の保護についてはマスキング等を使用して養生を実施した。養生内外への粉塵・研削材の漏れもなく、本養生対策でブラスト作業は実施可能であることを確認した。写真-10～12に施工状況と養生対策、写真-13、14にブラスト前後の状況を示す。

日進量は、2台編成で90m²/日（計画：100m²/日）

であり、概ね計画通りの施工効率であった。



写真-10 素地調整状況



写真-11 養生シートによる施工範囲の区画状況



写真-12 マスカー等での施工範囲外の保護状況



写真-13 ブラスト施工前の状況



写真-14 ブラスト施工後の状況

3.3 品質管理について

(1) 付着力

布ガムテープ（JIS Z 1524：2009 1種1号相当、幅50mm）を健全な塗膜を含む箇所に張り付け、剥がした粘着テープ面に活膜が張り付いていないことを確認することとした。

ガムテープ付着力試験（写真-15）では、細かい上塗り層の付着がごく稀に見られる程度であり、中塗り層や上塗り層の大きな塗膜片の付着は確認できなかった。なお、表-5、写真-16に示すように近傍で引張試験機による引張付着力試験では6.0MPa以上の付着力があり、残存塗膜は十分な付着力が確保できていることが確認できた。

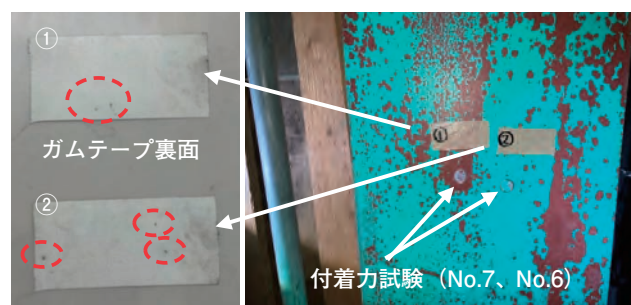


写真-15 ガムテープ試験（下フランジ下面）

表-5 付着力試験結果

No	試験部位		付着力 (MPa)	破断箇所の状況
6	L-flg下面 (旧上塗塗膜残存部)	ブラスト後	6.07	ドーリー/接着剤=10% 接着剤/上塗=60% 中塗/MIO=30%
7	L-flg下面 (さび止め露出箇所)	ブラスト後	7.32	ドーリー/接着剤=70% 接着剤/さび止め=30%



写真-16 付着力試験結果

(2) 表面洗浄度

表面洗浄度は、セロテープ試験（ISO 8502-3 準拠）を実施し、DustQuantityRating-1（付着粉塵量最小）のランクを満足することを確認した。

(3) 除せい度

除せい度は、活膜以外の不良部（さび、割れ、膨れ）が適切に除去されているかスクレーパーを使用して確認した（写真-17）。脆弱塗膜は適切に除去できており、3種ケレン相当であることを確認したものの、今回の施工条件では、部分的に劣化塗膜内側に潜んでいたさび部の適切な除せいに課題があった。そのため、部分的に動力工具を併用して除せいを行った（写真-18）。本課題は、研削材や吐出圧等の施工条件を見直すことで改善できる可能性がある。



写真-17 スクレーパーによる確認状況



写真-18 部分的な発錆箇所

3.4 研削材（コーン）の処分について

写真-19に研削材回収状況を示す。研削材処分前に溶出試験を実施し、鉛の溶出量が0.3mg/L以下であることを確認し、汚泥として研削材の処分を行った。なお、最終的には改良土として再利用されるようである。

【参考文献】

1) 一般社団法人日本鋼構造協会：鋼構造物塗膜調査マニュアル、平成30年2月1日、P.61

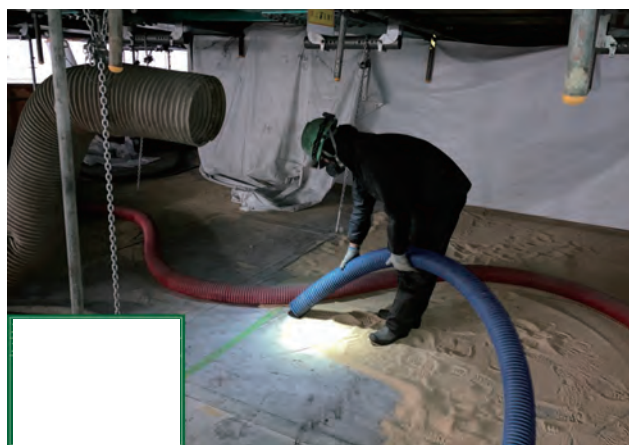


写真-19 研削材の回収状況

3.5 実橋梁での試験施工のまとめ

とうもろこしの芯（コーン）を研削材として用いたブラスト施工では、作業員の感覚に頼る動力工具による除去と比較して、脆弱塗膜を一定の品質（3種ケレン相当）で除去できることを確認できた。除せい面に課題があるが、研削材の種類や吐出圧、投射距離等の見直しにより改善できる可能性があるため、今後更なる検証を行っていく必要がある。

素地調整に係る事項について、従来の動力工具による3種ケレン（A）と比較した場合、施工効率は概ね同等であり、経済性は約3倍のコスト高となるものの、脆弱塗膜を一定の品質で除去できる等の投資効果が期待できる。併せて、素地面の品質改善効果に期待し、今回施工のように下塗り1層を省略したRc-Ⅳ塗装系を適用することで、Rc-Ⅲ塗装系での施工費と比較し、約1.6倍のコスト高まで抑制することもできる。

今後は、除せい面の課題検討に加え、補修後の状態を経過観察し、ライフサイクルコストを評価していく所存である。

4 おわりに

福岡高速では、供用延長（59.3km）の約7割が鋼橋であり、鋼構造物の長期的な防食機能を維持するため、補修仕様の合理化検討を進めている。令和8年度は、本報にて紹介した植物由来の研削材の実橋試験施工の課題事項を再検証するため第2回試験施工を予定している。今後も新材料・新工法の採用を積極的に行い、維持管理技術の進歩に貢献できれば幸いである。

【謝辞】

本現地施工の取りまとめにあたり、（一財）土木研究センター、広成建設株式会社、極東メタリコン工業株式会社から多大なるご協力を頂いたことを、ここに深く御礼申し上げます。

鋼橋塗装の持続的な長寿命化戦略

蔵治 賢太郎¹⁾、石田 和久²⁾、牧山 大祐³⁾、佐野 優里奈⁴⁾

Ⅰ 背景と課題

1.1 首都高速道路が抱える課題

首都高速道路株式会社は、総延長 327km のうち約 63% (206km) を鋼桁橋が占めており、国内最大級の鋼桁橋管理主体である。鋼桁の防食には景観性に優れる塗装を採用しているが、その維持管理における最大の懸案は人的リソースの枯渇とコストの増大である。具体的には、技能労働者の高齢化および円安に伴う外国人労働者の確保難による慢性的な人手不足、ならびに資機材費および人件費の高騰が挙げられる。さらに、PCB や鉛等の有害物質を含む既存塗膜の塗替えに伴う作業環境対策費や廃棄物処理費の高騰も深刻化している。これらの課題を抜本的に解決するためには、塗装の塗替え周期を飛躍的に延伸させ、維持管理の省力化を図ることが不可欠である。

1.2 レインボーブリッジから得た教訓

首都高速道路において、耐候性に優れた「ふっ素樹脂塗料」が重防食塗装仕様の上塗りに初採用されたのは、1993 年開通のレインボーブリッジである。しかし、同橋は供用後 26 年 (2019 年) で主塔、27 年 (2020 年) で横梁の塗装補修を余儀なくされた。これらの補修は、高所でのゴンドラ作業やロープアクセス技術を要する極めて難易度の高いものであった (写真-1)。現在、首都高速道路では大規模修繕事業の一環として、21.3km に及ぶ鋼橋において素地調整 1 種を伴う全面塗替え、もしくは恒久足場の設置を進めている。しかし、建設当時の塗装仕様 (表-1) と便覧¹⁾ の高耐久塗装仕様 (C-5) (表-2) を比較すると、材料や目標膜厚の観点から過去 33 年間で飛躍的な技術的進歩が見られないことがわかる。つまり、現行仕様のまま塗替えを実施した場合、莫大な費用を投じて約 30 年後には再び大規模な塗替え補修が必要となってしまうのである。

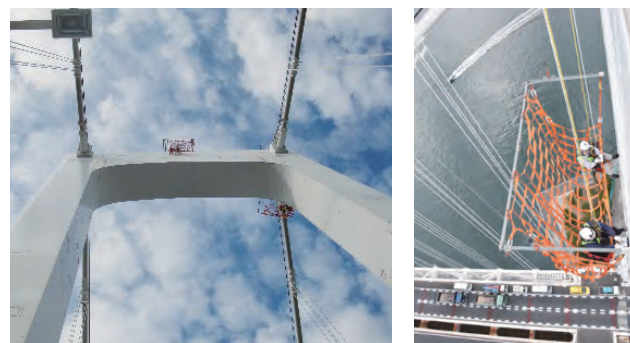


写真-1 レインボーブリッジの塗替え補修

表-1 レインボーブリッジの塗装仕様

塗装行程	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 Sa 2 1/2		
プライマー	無機ジンクリッチプライマー	(200)	(20)
2次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa 2 1/2		
防食下地	無機ジンクリッチペイント	700	75
ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	—	—
下塗 1・2	エポキシ樹脂塗料下塗	300×2	60×2
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

表-2 現在の便覧¹⁾ の高耐久塗装仕様 (C-5)

塗装行程	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 Sa 2 1/2		
プライマー	無機ジンクリッチプライマー	(160)	(15)
2次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa 2 1/2		
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	—	—
下塗	厚膜型エポキシ樹脂塗料下塗	540	120
中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30
上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	140	25

- 1) 首都高速道路株式会社 海外・社会インフラ事業部
 2) 首都高速道路株式会社 神奈川局 土木保全設計課
 3) 首都高速道路株式会社 更新・建設局 管理課
 4) 首都高速道路株式会社 技術部 技術推進課

1.3 仕様が進化する理由と目指すべき構図

高耐久塗装の技術進歩が停滞している最大の要因は、防食便覧や設計施工要領等に基づく「仕様規定」にあると考えられる。使用材料や目標膜厚が厳格に固定されているため技術革新が阻害されやすく、品質規格を最低限満たす安価な塗料が優先的に採用される過度な価格競争の構図が生じている。また、塗替え周期の延伸は塗料の販売機会の減少に直結するため、塗料メーカーの開発インセンティブが働きにくいという構造的課題も実状として存在する。ただし、この状況を打破するために、発注者が従来の「仕様規定」から、要求性能を満たせば材料や仕様を問わず採用可能とする「性能規定」へと転換するだけでは、新材料の参入による低価格化は期待されるものの、塗装の長寿命化にはつながらない。

そのため、本研究は、現在の技術水準において少数のメーカーのみが合格し得る「過酷な促進耐候性試験」を新たに設定し、その要求水準を段階的に引き上げることで、低価格競争から高耐久化競争へのパラダイムシフトを促し、塗料開発意欲の促進を図ることを目的としている。

2 メタルハライドランプ試験の試行

2.1 現在の耐候性試験の課題と新試験の実施

次世代の超高耐久塗料を適切に評価するためには、実環境における劣化形態を短期間で再現可能な促進耐候性試験が必要である。現行のキセノンランプ試験（放射照度 $60\text{W}/\text{m}^2$ ）は、実環境 8～10 年相当とされる 2,000 時間の照射に約 3 ヶ月を要した。しかし、汎用塗料を銚子曝露試験場で曝露した際、わずか 4 年で顕著な白亜化が生じたにもかかわらず、同試験で 3 ヶ月間負荷をかけ続けてもその白亜化現象を再現できなかった。

そこで、さらなる促進倍率の向上を目的として、太陽光の約 100 倍（キセノンランプ試験の約 10 倍）に相当する放射照度 $1,400\text{W}/\text{m}^2$ の「メタルハライドランプ試験」の適用性を検証した（写真-2）。ブラックパネル温度 $63\pm 3^\circ\text{C}$ 、槽内湿度 40～60%RH とし、UV 照射 60 分（うち 2 分間は水噴霧）を 1 サイクルとする計 1,000 時間の過酷な促進試験を、ふっ素樹脂系や水性無機系などの計 17 種類の塗料に対して実施した。



写真-2 メタルハライド試験機

2.2 意図しない結果と劣化メカニズムの考察

1,000 時間経過後の試験結果は、想定とは大きく異なるものであった。白亜化が生じたのは水性無機塗料（G、H 社）の 2 試験体に留まり、屋外曝露試験では早期に光沢が消失した汎用塗料が高い光沢度を維持した。さらに、全試験体で塗膜厚が初期値の 1.1～1.4 倍に増加する「異常膨張」が確認された。

実環境の劣化形態を再現できなかった要因は、極端な負荷条件による「複合的な劣化メカニズムの阻害」にあると考えられる。館らの研究²⁾によれば、塗膜劣化は以下の 2 つの主要なメカニズムが同時に進行することで発生するとされる。

(1) 樹脂の加水分解・酸化

塗膜全体で樹脂の加水分解および酸化が起これ、低分子量の生成物が流出することで樹脂全体が収縮し、表面に凹凸を形成する。この反応は、酸素および水分の存在下での紫外線照射により促進される。

(2) 酸化チタンの光触媒作用

塗膜表面の酸化チタン粒子周辺の樹脂が局所的に酸化され、低分子量の生成物が流出して空隙（穴）を形成する。この反応は、過酸化水素と紫外線の複合作用により著しく促進される（図-1、図-2、写真-3）。

メタルハライドランプ試験では、紫外線という単一の負荷パラメータのみを極端に高めたため、劣化反応に不可欠な化学的因子である「酸素」および「水分」の供給速度が追いつかず、実環境で生じる複合的な化学反応の連鎖が阻害されたものと推察される。

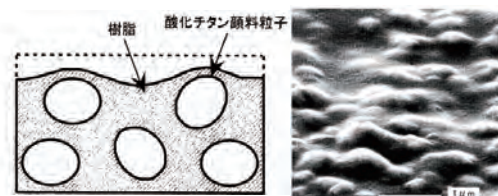


図-1 酸素・水存在下で紫外線照射 100 時間後の白色塗膜表面の SEM 写真

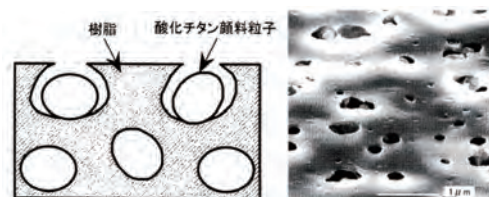


図-2 過酸化水素水中で紫外線照射 30 時間後の白色塗膜表面の SEM 写真

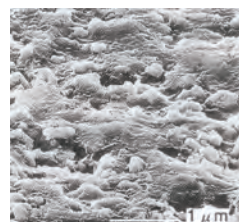


写真-3 暴露 2 年後の白色塗膜表面の SEM 写真

③ 過酸化水素水負荷型試験の試行

3.1 試験方法と評価対象

実環境における白亜化を再現するため、酸化チタンの光触媒作用のプロセスに着目した。酸化チタン粒子が紫外線を吸収して生成した正孔が水と反応することで、極めて酸化力の強いヒドロキシラジカルが形成される。この局所的な樹脂劣化を促進させるため、強力な酸化剤である過酸化水素水 (H_2O_2) を供給しつつ、キセノンランプ (放射照度 $60\text{W}/\text{m}^2$) を照射する新たな促進耐候性試験法を構築した (以下、「 H_2O_2 試験」) (写真-4)。



写真-4 キセノンランプ試験機+過酸化水素水
(青い箱に過酸化水素水が入っている)

本試験は1サイクルを10分間とし、① H_2O_2 噴霧+UV照射 (1分)、② 純水噴霧+UV照射 (2分)、③ UV照射のみ (7分) のサイクルとした。試験は、対象塗膜が白亜化等級5に達するまで、あるいは最長1,000時間まで実施した。なお、純水噴霧工程は、水性塗料において過剰な H_2O_2 が塗膜内部に浸透し、異常膨張を引き起こすのを防ぐための洗浄プロセスである。

評価対象は、汎用品6社 (溶剤形ふっ素3社、水性ふっ素3社)、改良溶剤形ふっ素1社、水性ふっ素+水性クリア1社、水性無機6社、水性無機+水性クリア1社の計15種類とした。

3.2 ふっ素樹脂塗料の評価結果

ふっ素樹脂塗料の白亜化等級の推移を表-3に、光沢

表-3 ふっ素樹脂塗料の白亜化等級

塗料	会社 -番号	経過時間 (h)								外観
		300	400	500	600	700	800	900	1000	
溶剤形 ふっ素 (汎用品)	A-1	4	5	×	×	×	×	×	×	
	A-2	4	5	×	×	×	×	×	×	
	B-1	3	4	5	×	×	×	×	×	
	B-2	3	4	5	×	×	×	×	×	
	C-1	4	4	5	×	×	×	×	×	
	C-2	3	4	5	×	×	×	×	×	
水性 ふっ素 (汎用品)	A-1	4	5	×	×	×	×	×	×	
	A-2	4	5	×	×	×	×	×	×	
	B-1	1	3	5	×	×	×	×	×	
	B-2	2	3	5	×	×	×	×	×	
	C-1	0	0	1	3	5	×	×	×	
	C-2	1	1	1	3	5	×	×	×	
改良 ふっ素	A-1	4	5	×	×	×	×	×	×	
	A-2	4	5	×	×	×	×	×	×	
	B-1	0	0	0	0	0	0	0	0	白亜化無し
	B-2	0	0	0	0	0	0	0	0	

度保持率の推移を表-4に示す。耐久性に明確な差異が確認されたため、試験前後の走査型電子顕微鏡 (SEM) の画像と合わせて報告する。

表-4 ふっ素樹脂塗料の光沢度保持率 (%)

塗料	会社 -番号	経過時間 (h)								外観
		300	400	500	600	700	800	900	1000	
溶剤形 ふっ素 (汎用品)	A-1	2.9	3.1	×	×	×	×	×	×	
	A-2	3.0	2.9	×	×	×	×	×	×	
	B-1	3.0	3.0	2.8	×	×	×	×	×	
	B-2	3.5	3.4	3.5	×	×	×	×	×	
	C-1	7.1	7.9	5.9	×	×	×	×	×	
	C-2	12.1	8.4	6.4	×	×	×	×	×	
水性 ふっ素 (汎用品)	A-1	4.0	4.1	×	×	×	×	×	×	
	A-2	4.9	5.7	×	×	×	×	×	×	
	B-1	46.6	6.2	3.5	×	×	×	×	×	
	B-2	14.0	8.3	3.7	×	×	×	×	×	
	C-1	71.0	46.1	20.3	5.3	2.3	×	×	×	
	C-2	64.5	35.8	13.8	3.6	2.1	×	×	×	
改良 ふっ素	A-1	4.0	3.5	×	×	×	×	×	×	
	A-2	4.0	3.5	×	×	×	×	×	×	
	B-1	96.3	92.5	91.3	90.7	85.3	81.3	75.9	75.7	光沢維持
	B-2	94.1	95.3	95.1	92.7	87.2	85.3	85.2	84.9	

(1) 汎用品 (溶剤形・水性)

A社: 溶剤形・水性ともに、試験開始300時間で光沢がほぼ消滅し、400時間で白亜化等級5に到達し終了となった。膜厚は順当に減耗した。試験前後のSEMの映像 (写真-5、6) を比較すると、試験前、溶剤形は一部の白色顔料の頭が表面に突出しているのに対し、水性ふっ素は顔料が全く突出していないという違いがあった。しかし、400時間後はどちらも樹脂が消失し、顔料が完全に露出した。



写真-5 A社 (溶剤形ふっ素) 400時間後



写真-6 A社 (水性ふっ素) 400時間後

B社: 溶剤形は300時間、水性は400時間で光沢がほぼ消失し、ともに500時間で白亜化等級5に到達した。塗膜厚の減耗傾向は順当であった。SEM観察 (写真-7、8) では、A社とは異なり、溶剤形だけでなく水性においても試験前から一部の白色顔料の突出が確認された。試験後はこれが完全に露出する形態 (白亜化) となった。

C社: 溶剤形は300時間で光沢がほぼ消失したのに対し、水性は600時間まで一定の光沢を維持した。白亜化等級5への到達時間も、溶剤形の500時間に対し、水性は700時間であった。SEM観察 (写真-9、10) では、試験前において双方とも一部の顔料が突出しており、試験後は樹脂の消失に伴い顔料が完全に露出する結果

となった。



写真-7 B社（溶剤形ふっ素）500 時間後

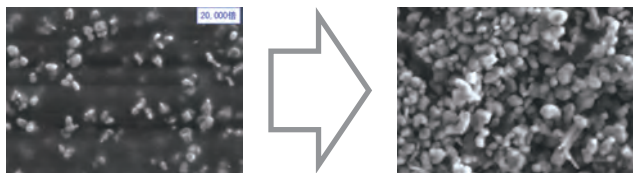


写真-8 B社（水性ふっ素）500 時間後

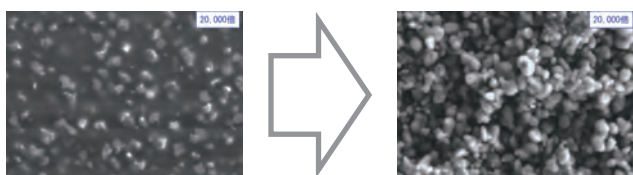


写真-9 C社（溶剤形ふっ素）500 時間後

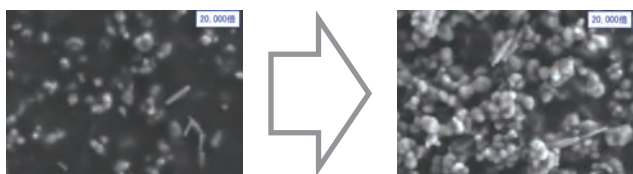


写真-10 C社（水性ふっ素）700 時間後

(2) ふっ素の改良品

A 社（改良溶剤形ふっ素）：汎用品と同様に 300 時間で光沢がほぼ消失し、400 時間で白亜化等級 5 に到達したため、顕著な耐久性の向上は見られなかった。SEM 観察（写真-11）においても、劣化形態は汎用の溶剤形ふっ素と同等であった。

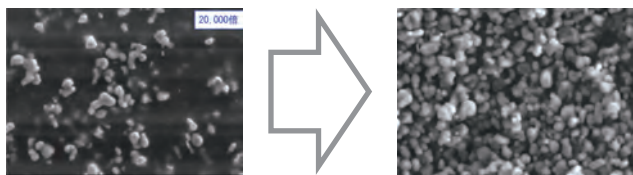


写真-11 A社（改良溶剤形ふっ素）400 時間後

B 社（水性ふっ素＋水性クリア）：1,000 時間経過後も白亜化は全く認められなかった（等級 0）。光沢保持率も 75～85% という極めて高い水準を維持した。SEM 観察（写真-12）によれば、試験前は顔料の突出が全く認められなかったが、1,000 時間経過後には最表層のクリア層が一部消失し、白色顔料の微小な突出が始まっている様子が確認された。

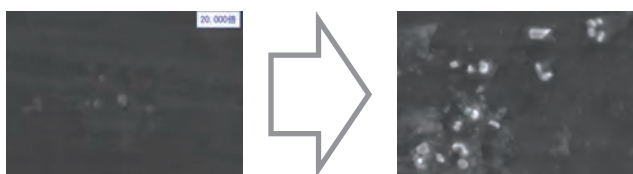


写真-12 B社（水性ふっ素＋水性クリア）1000 時間後

3.3 水性無機塗料の評価結果

(1) 水性無機塗料

水性無機塗料の白亜化等級の推移を表-5 に、光沢度保持率の推移を表-6 に示す。次世代塗料として期待される材料群であるが、メーカー間で耐久性能に著しい差異が生じた。

表-5 水性無機塗料の白亜化等級

塗料	会社 - 番号	経過時間 (h)								外観
		300	400	500	600	700	800	900	1000	
水性 無機	C-1	0	0	0	0	0	0	0	0	白亜化無し
	C-2	0	0	0	0	0	0	0	0	500hで微細膨れ
	D-1	1	1	1	2	3	3	4	4	
	D-2	1	1	1	2	3	3	3	3	
	E-1	0	0	0	0	0	0	0	0	白亜化無し
	E-2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	F-1	0	1	2	3	4	5	×	×	
	F-2	0	1	2	3	4	5	×	×	
	G1-1	3	4	5	×	×	×	×	×	
	G1-1	3	4	5	×	×	×	×	×	
	G1-1	3	3	5	×	×	×	×	×	
	G1-1	3	4	5	×	×	×	×	×	
	I-1	4	4	5	×	×	×	×	×	
	I-2	4	5	×	×	×	×	×	×	
改良水 性無機	H-1	0	0	0	0	0	0	0	0	白亜化無し
	H-2	0	0	0	0	0	0	0	0	

表-6 水性無機塗料の光沢度保持率 (%)

塗料	会社 - 番号	経過時間 (h)								外観
		300	400	500	600	700	800	900	1000	
水性 無機	C-1	69.8	56.3	57.8	44.1	29.4	24.5	18.0	17.0	光沢低下
	C-2	68.8	55.9	56.2	51.0	37.9	31.0	23.0	21.2	
	D-1	39.5	38.2	33.3	28.2	21.9	20.3	22.0	20.8	
	D-2	43.3	42.4	32.6	25.4	18.6	23.5	22.0	24.4	
	E-1	87.1	82.3	49.5	30.1	23.7	21.3	19.9	21.5	光沢低下
	E-2	96.1	91.3	52.8	34.8	25.9	23.5	21.8	23.5	
	F-1	81.5	71.1	62.9	34.8	18.4	17.4	×	×	
	F-2	90.7	81.4	61.4	39.4	20.5	22.4	×	×	
	G1-1	33.9	34.1	33.9	×	×	×	×	×	
	G1-1	34.6	35.0	35.6	×	×	×	×	×	
	G1-1	7.4	7.5	7.9	×	×	×	×	×	
	G1-1	12.0	10.4	9.5	×	×	×	×	×	
	I-1	3.8	3.4	3.2	×	×	×	×	×	
	I-2	3.3	3.3	×	×	×	×	×	×	
改良水 性無機	H-1	80.2	81.7	78.1	82.9	75.1	73.9	71.3	71.0	光沢維持
	H-2	67.7	68.1	64.2	61.8	68.1	65.1	63.8	64.6	

C 社：1,000 時間経過後も白亜化は生じなかった（等級 0）。しかし、300 時間時点で約 70% であった光沢保持率が、1,000 時間後には約 20% 台まで著しく低下した。また、500 時間経過時点で塗膜表面の全面に微細な膨れが発生し（写真-13）、800 時間以降には塗膜の異常膨張も確認された。試験前後の SEM 観察（写真-14）によれば、顔料の明確な露出は認められず白亜化には至っていないものの、異常膨張に伴う樹脂表面の変形および粗面化が顕著であり、これが光沢度低下の主要因になったと推察される。



写真-13 C社（水性無機）500 時間後の小粒の膨れ

SEM の映像を確認すると、顔料の明確な露出は認められず白亜化には至っていないものの、顔料の突出量の増加、膨れに伴う樹脂表面の変形および粗面化が観察されたため、これらが光沢度低下の一因になったと推察される。



写真-14 C社（水性無機）1000 時間後

D 社：白亜化が徐々に進行したものの、1,000 時間経過時点での白亜化等級は 3～4 に留まった。光沢度は緩やかに低下し、最終的に 20% 台となった。塗膜厚は微増減で推移した。SEM 観察（写真-15）によれば、1,000 時間経過後も樹脂バインダが相当量残存しているものの、顔料の一部が完全に露出していることが確認された。



写真-15 D社（水性無機）1000 時間後

E 社：1,000 時間経過後も白亜化は全く生じなかった（等級 0）。しかし、300 時間時点で約 90% あった光沢度は、1,000 時間後に 20% 台まで減少した。SEM 観察（写真-16）によれば、試験前より顔料の一部が突出した状態であったが、1,000 時間経過後も樹脂バインダが残存している。突出する顔料の量は増加しているものの、完全に露出して脱落する状態には至っておらず、結果として白亜化は判定されなかった。ただし、変状の形態から、実態としては白亜化が発現する直前の状態であったと推察される。



写真-16 E社（水性無機）1000 時間後

F 社：白亜化が進行し、800 時間経過時点で等級 5 に到達して終了した。光沢度も 800 時間で約 20% まで低下した。SEM 観察（写真-17）によれば、試験前は白色顔料の頭が一部突出する程度であったが、800 時間経過後は樹脂バインダが著しく消失し、顔料が完全に露出した状態を呈した。



写真-17 F社（水性無機）800 時間後

G 社：2 種類の仕様を供試したが、いずれも 300 時間で光沢が消失（または 30% 台へ急落）し、500 時間で早期に白亜化等級 5 に到達した。塗膜厚も大きく減耗した。SEM 観察（写真-18、19）によれば、試験体 1 は試験前から既に白色顔料が広範囲で突出しており、500 時間後には樹脂バインダが消失し完全に露出した。試験体 2 は試験前の顔料突出量は少なかったものの、500 時間後には試験体 1 と同様な損傷形態を示した。

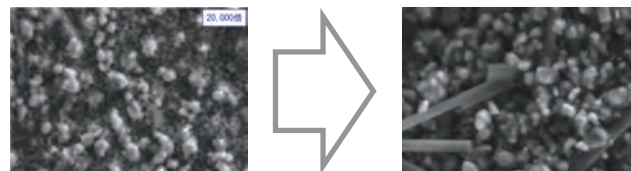


写真-18 G社（水性無機）500 時間後（試験体 1）



写真-19 G社（水性無機）500 時間後（試験体 2）

I 社：300 時間の時点で光沢がほぼ消失し、400～500 時間で白亜化等級 5 に到達、塗膜厚も大きく減耗するなど、供試した水性無機塗料の中で最も耐久性が低かった。SEM 観察（写真-20）によれば、試験前は顔料の突出がわずかであったが、500 時間経過後は樹脂バインダが完全に消失し、顔料が全面的に露出して白亜化が進行していることが確認された。



写真-20 I社（水性無機）500 時間後

(2) 水性無機塗料の改良品

H 社（水性無機＋水性クリア）：メタルハライドランプ試験において白亜化が生じた水性無機塗料の表層に、水性クリア塗料を積層した仕様である。本 H_2O_2 試験においては極めて高い耐久性を発揮し、1,000 時間経過後も白亜化は全く生じなかった（等級 0）。光沢保持率も 60～80% を維持し、塗膜厚も微増減に留まった。SEM 観察（写真-21）によれば、試験前および 1,000 時間経過後のいずれにおいても顔料の突出がほとんど認められず、表層のクリア層が高い保護性能を有していることが推測される。

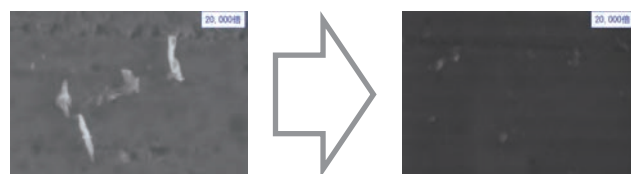


写真-21 H社（水性無機＋水性クリア）1000 時間後

3.4 1000 時間白亜化しなかった4塗料の考察

紫外線照射と過酸化水素水噴霧を組み合わせた本 H_2O_2 試験により、メタルハライドランプ試験では再現困難であった「実環境と同様の白亜化形態」を再現することに成功した。なお、本試験において1,000 時間を経過しても白亜化に至らなかった上位4 仕様については、実用化に向けて以下の個別課題に関するさらなる考察・検証が必要と考えている。

(1) B 社（水性ふっ素＋水性クリア）

最表層の水性クリア塗料は顔料を含有しないため、当該層が消失するまで下層の白亜化は顕在化しない。しかし、施工時の隠ぺい性がなく目視での塗布確認が困難であることから現場での施工管理が難しいこと、ならびに紫外線によるクリア層の「黄変」を防ぐための性能確認試験が別途必要になる点などが課題として挙げられる。

(2) C 社（水性無機）

塗膜表面に生じた小粒の膨れ（異常膨張）は許容できない変状であるため、塗料の成分等を見直す必要がある。

(3) E 社（水性無機）

クリア塗料を塗布していない単層仕様でありながら、1,000 時間経過後も白亜化が生じなかった唯一の塗料である。他の基本物性試験への適合性や、現場施工を前提とした大量生産時においても、本試験体と同程度の耐久性能を安定して発揮するかどうかの検証が必要である。

(4) H 社（水性無機＋水性クリア）

クリア塗料が消失するまでは白亜化が生じないこと、施工の有無がわかりにくく施工管理が困難なこと、紫外線によるクリア層の「黄変」を防ぐ性能確認試験が別途必要となることは、B 社の塗料と同様の課題である。さらに、クリア塗料が消失した後は、メタルハライドランプ試験で白亜化を生じた脆弱な下層塗膜が露出するため、その後の劣化進行に関する評価も課題となる。

4 将来展望

4.1 変動型性能規定へのパラダイムシフト

前述のとおり鋼橋の管理者としては、技能労働者不足に伴う人件費高騰および資機材価格の上昇に対応するため、少しでも塗替え周期を延伸し得る高耐久な塗

料を採用したいという強いニーズがある。また、塗装現場の火災安全確保や塗料の保管性に配慮すると、水性塗料に代表される不燃塗料を今後も積極的に採用していく必要がある。このため首都高速道路株式会社は、概ね10 年ごとに本 H_2O_2 試験における上位3 社の成績に基づき要求性能を段階的に引き上げる「変動型性能規定」を採用し、塗料会社に対して不燃塗料の技術開発を促していく方針である。塗料メーカーが樹脂種といった枠組みに縛られず、優れた耐久性と安全性を有する塗料を持続的に開発し、世界中の鋼橋で日本の優れた塗料が採用される構図となることを期待している。

4.2 課題と今後の作業

現在のクリア塗料は塗布の有無がわかりにくく、施工管理が困難という実務上の深刻な課題を抱えている。この課題が解決されなければ、実現場で採用することは出来ないと考えている。そうすると、クリア塗料に頼らずに1,000 時間の促進試験で白亜化や膨れが生じなかった仕様は、今回供試した中ではE 社の水性無機塗料のみになってしまう。今回の結果を踏まえ、各塗料メーカーによるさらなる高耐久化技術の開発および改善が強く望まれる。

今後の作業としては、第一に本 H_2O_2 試験結果と実曝露との比較検証が必要である。現在、国内でも腐食環境が極めて厳しい沖縄県宮古島にて実曝露試験を実施中であり、今後は H_2O_2 試験との相関関係を明確化することを目指している。第二に、「規格試験の見直し」が必要である。水性無機塗料といった新たな材料の参入を想定し、促進試験以外の基本試験法および要求規格値の整備を進める。これらの技術的検証を経て、2027 年6 月を目標に「鋼橋塗装設計施工要領」の改訂を行い、大規模修繕事業において順次、超高耐久塗料を現場塗装に採用していく計画である。

5 おわりに

本稿では、労働力減少社会における鋼橋塗装の長寿命化戦略として、 H_2O_2 試験による各種塗料の評価結果について報告した。本手法により、実環境に即した耐久性評価が可能となり、真に優れた次世代塗料を定量的かつ継続的に選別する道筋が示された。インフラ維持管理の持続可能性向上に貢献すべく、今後も実環境と相関の高い評価技術の確立に努めていきたい。

【参考文献】

- 1) (公社) 日本道路協会：鋼道路橋防食便覧、2014
- 2) 館和幸：過酸化水素水を用いた塗膜の耐候性試験技術，色材協会誌、77 巻5 号、pp. 213-220、2004

鋼構造物塗装に関する ISO 国際規格の動向と今後の展望

田邊 弘往¹⁾

■ はじめに

橋梁、プラント、海洋構造物をはじめとする鋼構造物を対象とした防食塗装に関する代表的な国際規格として ISO12944 規格があり、ISO/TC35/SC14 において扱われている。^{1), 2)}

この SC14 が発足したのは 1990 年代初めであり、ISO12944 規格の初版が出版されたのは 1998 年であった。その後も 5 年ごとの定期見直しにより、現在入手できる最新版は 2018 年の改定版である。これは ISO12944-1 ~ 9 からなる 9parts で構成されており、塗装ワークを進める上で有用な規格として発展してきた。

高度成長期を迎えた 1970 年代にポリウレタン樹脂上塗り塗装系が登場し、1980 年代には FEVE タイプのふつ素樹脂上塗り塗装系が開発された。これらの上塗り塗料はともにイソシアネートを硬化剤とすることから、この FEVE はポリウレタン樹脂塗料のスペシャルタイプとして ISO12944-5 (2018) に説明されている。両者は鋼構造物を対象とする塗装系の上塗りとして適用を開始して以来、半世紀を越そうとしている。また、SC14 では最近メンテナンス塗装に関する規格化が提案され、制定に向けた審議が開始されている。³⁾

本稿では ISO12944 (2018) 規格の内容を中心に紹介する。また現在 SC14 で改訂に向けて審議が進められている ISO12944 シリーズ規格の動向と今後の展望について、この稿の後半に述べるものとする。

■ ISO12944 規格について⁴⁾

2.1 ISO12944 シリーズ規格制定の経緯

ISO/TC35/SC14 は、1991 年の初回会議以来 ISO12944 規格（防食塗装システムによる鋼構造物の腐食防食）の制定に向けて審議を重ね 1998 年に制定された。それ以降は 5 年ごとの定期見直しによる改定が行われ、最近では 2018 年に改定が行われた。その後、この規格は 2022 年から大幅な改定を目的に審議が行われており、その内容については後に触れることにする。現行の ISO12944 規格の構成を表-1 に示す。

2.2 現行の ISO12944 規格の構成⁴⁾

現在の規格は ISO12944-1 から ISO12944-9 までの

表-1 現行の ISO12944 規格 (ISO/TC35/SC14)

ISO12944 規格制定時期	規格タイトル: Corrosion protection of steel structures by paint systems 鋼構造物のペイントシステムによる防食
Part1 2017-11	General introduction 一般解説
Part2 2017-11	Classification of environment 環境分類
Part3 2017-11	Design consideration デザイン配慮
Part4 2017-11	Type of surface and surface preparation 表面のタイプと表面処理
Part5 2018-02	Protective paint systems 防食塗装システム
Part6 2018-01	Laboratory performance test methods and associated assessment criteria ラボラトリー性能試験法と関連した評価基準
Part7 2017-11	Execution and supervision of paint work 塗装ワークの実施と監督
Part8 2017-11	Development of specifications for new work and maintenance 新設およびメンテナンスのための仕様書
Part9 * 2018-01	Protective paint systems and laboratory test methods for offshore and related structures 海洋構造物及び関連構造物の防食塗装系と室内試験方法

注1) ISO20430 を ISO12944-9 として ISO12944 に編入した

注2) ISO12944-9 は ISO12944-5、6 に改定中 (2028 年出版予定)

9parts で構成されており、実際の防食塗装プロジェクトを遂行するにあたり鋼構造物の塗装ワーク全体を網羅できる国際規格となっている。

いずれの ISO 規格の場合でも、最初に示す“Scope(適用範囲)”はその規格の輪郭を定義するものであり、規格を制定する際には時間をかけて、何度も見直しを行って決めている。その規格の目的とする内容の概要が述べられており、それ以降の内容を読み進む上での理解の助けとなっている。最初に紹介する ISO12944-1 は他の Parts の全体的な解説となっており、このシリーズ規格全体の概略が理解できる内容となっている。

2.2.1 ISO12944-1 (全般的概要)

ISO12944-1 は、規格全体の適用範囲を定義しており、それぞれの Part 規格の一般的な紹介を示している。ISO12944 の全般的概要であるが、塗装システムによる腐食防食を対象とし、微生物、耐薬性、摩耗などの機械的作用、耐火などは対象としていない。この規格では塗装全体を通じて以下を対象としている。

- ① 構造物のタイプ（炭素鋼、低合金鋼）……Part1 参照
- ② 腐食環境のタイプと分類 ……………Part2 参照
- ③ 表面のタイプと表面調整（炭素鋼、低合金鋼）
……………Part3 参照
- ④ 防食塗装システムのタイプ

1) 東京理科大学 客員教授、NACE フェロー

- Part5 参照
- ⑤防食塗装システムの耐久性
- Part6 参照
- ⑥作業のタイプ（新設、塗り替え）
- Part7 参照

ISO12944 シリーズの規格は、全ての構造物あるいは表面、塗装前表面処理を対象とするものではない。しかし、当事者が同意することで ISO12944 が対象としない場合にも適用することができる。これにより適用できる構造物の領域が大きくなり、この規格を広く利用できることになる。

これらの規格を通して留意する内容について、以下の項目として挙げられている。

- 1) 防食システムの実際の耐久性は通常構造物の期待耐用寿命に比べて短いと想定されるため、それらのメンテナンスの可能性についての考察を計画段階、設計段階において付け加えておかなければならない。
- 2) 腐食環境に曝され、完成後に防食対策が取りにくい構造部材は、効果的に維持できる防食性能を予め具備するよう努めなければならない。また、構造物の寿命期間中に構造物の安定した防食を確かなものにする必要がある場合や、防食塗装システムにより達成できない場合は、他の防食対策を採用する必要がある。
- 3) 防食塗装システムの費用対効果とその持続可能性についての関係は、一般には防食が効果的に維持されている継続時間の長さに直接比例する。それは構造物の寿命期間内に必要となるメンテナンスの程度や代わりとなる作業量が最小に低減される必要があるからである。
- 4) 構造物のおかれた腐食環境のタイプと塗装系の耐久性レンジが塗装系を選択する主たる因子となる。
- 5) 主たる最初のメンテナンスの塗装前の塗膜損傷の程度は関係者によって同意しておかなければならない。同意がない場合は表-2 に示す塗装の欠陥評価を扱う ISO4628-1、ISO4628-2、ISO4628-3、ISO4628-4、ISO4628-5 に従い評価する。

例えば、腐食防食の理由で、ISO4628-3 に従って、塗装全体の約 10% を主なメンテナンス塗装を行うことで同意しておくような例もある。この要求は関係する当事者間で合意して構造物全体か部分的な個所か決めて行うこととしている。

表-2 ISO4628 による塗装欠陥の評価

ISO4628	塗装の劣化評価—欠陥の量と大きさ及び外観の均一変化強度
ISO4628-1	一般概要と指定システム
ISO4628-2	ブリストリングの程度評価
ISO4628-3	錆の程度評価
ISO4628-4	クラッキングの程度評価
ISO4628-5	フレーキングの程度評価

ISO12944 シリーズ規格では、塗装システムの耐久性 (durability) を表-3 に示す 4 レンジに分けて分類している。

表-3 耐久性 (Durability) レンジの分類

レンジ	耐久性 (Durability)
low (L)	7年まで
Medium (M)	7年から15年
High (H)	15年から25年
Very high (VH)	25年以上

2018 年の改定前までは最長が 15 年以上であったが、改定後は 25 年以上の Very high のレンジが設けられた。1970 年代以降耐候性の優れた上塗り塗料としてポリウレタン樹脂上塗り塗料、FEVE タイプふっ素樹脂上塗り塗料、ポリシロキサン樹脂塗料を上塗りとする防食塗装系が市場導入されたことから、それらの優れた耐久性の実績などがこの改定に影響している。

この規格で定義する耐久性レンジは、保証期間（時間）を示すものではないことをよく認識しておくことが必要である。耐久性は技術的考え方であり計画する場合のパラメータである。構造物のオーナーがメンテナンス計画を作成する助けにするものである。

2.2.2 ISO12944-2 (環境の分類)

ISO12944-2 の規格では、鋼構造物が暴露される主要な環境の分類及びこれら環境の腐食性を扱っており、この規格は次の内容を示している。

- ①標準試験片による質量損失（または厚み損失）に基づき大気環境における腐食のカテゴリを定義し、鋼構造物が暴露される典型的な大気環境について説明する。その上で腐食性の推定に関する助言を提供する。
- ②水中、土壌に浸漬、埋設される構造物の異なるカテゴリを規定する。
- ③腐食速度の大幅な増加を引き起こしたり、防食塗装システムの性能に高い要求を課したりする可能性のある幾つかの特殊な腐食負荷に関する情報を提供する。
- ④特定の腐食環境カテゴリの腐食負荷は防食塗装システムの選択を左右する重要なパラメータの一つであることを示している。

以下、ISO12944-2 環境の分類について紹介する。

(1) 大気環境の腐食カテゴリ

この規格における腐食カテゴリは ISO9223 に従って、大気環境は 6 段階の腐食カテゴリに分類している。

ちなみに ISO9223 は世界 49 か所にて暴露テストを行い、日本では銚子ウェザリングセンター、駿河湾マリンセンターなど 4 か所が標準暴露場とされている。

腐食カテゴリ CX は 2018 年の改定で新しく加えられたもので、ISO12944-9 が対象とする海洋環境を対象にしたものであるが、従来の ISO12944-1 から 12944-8 までの陸上構造物を対象とした環境には適用されていない。

大気腐食のカテゴリを C1 から CX の 6 段階に、それぞれの低炭素鋼および亜鉛の腐食の重量減と膜厚減のデータ及び各腐食カテゴリについて代表的な環境の例を表-4 に示す。

これはこの規格を使用する場合に具体的な環境を理解できるように配慮されたものである。

表-4 大気環境の腐食カテゴリと鋼腐食量 (ISO12944-2 Table 1 より引用)

腐食性カテゴリ		単位面積当たりの重量減／膜厚減 (最初の1年間の暴露後)				代表的環境の例 (参考情報としてのみ)	
		低炭素鋼		亜鉛		室外	室内
		質量減 (g/m ² ・y)	板厚減 (μm)	質量減 (g/m ² ・y)	板厚減 (μm)		
C1	very low	≤10	≤1.3	≤0.7	≤0.1	—	清浄環境の暖房ビル・オフィス、 店舗、学校、ホテル
C2	Low	>10 to 200	>1.3 to 25	>0.7 to 5	>0.1 to 0.7	低汚染大気：大抵は田園地域	倉庫、体育館など結露が発生しう る暖房なしのビル
C3	Medium	>200 to 400	>25 to 50	>5 to 15	>0.7 to 2.1	都市部および工業地帯の大気、 中程度の二酸化硫黄汚染 塩分 濃度の低い沿岸地域	食品加工工場洗濯工場、醸造所、 乳製品工場など、高湿度で多少の 空気汚染のある生産室、
C4	High	>400 to 650	>50 to 80	>15 to 30	>2.1 to 4.2	中程度の塩分濃度の工業地帯 及 び沿岸地帯	化学工場、スイングプール、沿 岸の造船所
C5	Very high	>650 to 1500	>80 to 200	>30 to 60	>4.2 to 8.4	高湿度で食性の高い大気の工業 地帯 及び 高塩分濃度の沿岸地 域	ほぼ常に結露が発生し 汚染度の 高い建物または地域
CX*	Extreme	>1500 to 5500	>200 to 700	>60 to 180	>8.4 to 25	高塩分濃度の沖合地域、極端な 湿度と腐食性の高い大気の工業 地帯 亜熱帯及び熱帯 大気環境	極端な湿度と 腐食性の雰囲気 のある工業 地域

注)腐食カテゴリの腐食減量はISO9223による。

CX*は海洋環境などの極めて厳しい状態の腐食環境を対象にしている。陸上構造物環境は対象としない。

(2) 水中および土壌の腐食カテゴリ

水中に浸漬された構造物または土壌に埋設された構造物の場合、腐食は通常局所的な性質を持ち、腐食性の分類を定義することは困難である。

しかし、この規格により様々な環境を記述することができる。表-5には異なる環境と名称が示されている。

表-5 水中および土壌のカテゴリ (ISO12944-2 Table2 より引用)

	環境	構造物の例
I m1	清水	河川設備、水力発電所
I m2	海水又は汽水	陰極防食のない水中構造物 (例：水門、閘門、 栈橋などの構造物がる港湾区域)
I m3	土壌	埋設タンク、鋼杭、鋼管
I m4	海水又は汽水	陰極防食のある水中構造物 (例：海洋構造物)

注) I m1 及び I m3 の場合、陰極防食は適切に試験された塗装システムと併用できる。

淡水、汽水、塩水という水の種類は、鋼の腐食に大きな影響を与える。腐食性は水の含有料、溶解物の種類と量、水温にも影響される。実際の海水浸漬については3つの異なるゾーン、水中ゾーン、中間変動（干満帯）ゾーン、飛沫帯ゾーンに定義されるなど考慮すべきことがある。

2.2.3 ISO12944-3 (設計上の配慮)

ISO12944-3 の規格では、塗膜又は構造物の早期腐食及び劣化を回避するために防食塗装システムで塗装される構造物の設計に関する基本的な基準を扱っている。適切な設計と不適切な設計の例を示し、塗装システムの塗布、検査、および保守に関する問題を回避する方法を示し、構造物の取り扱いや運搬に関する設計措置についての配慮点を示している。

設計上の配慮として記載している内容について、以下に示す。

(1) 腐食防食を目的とする基本設計基準

腐食を抑制するための構造物上の設計に配慮すべき内容について次のように示している。

腐食環境下に曝される構造物の面積はできる限り少なくすること。均一ではない重なり、かど、エッジなどは不規則な個所を出来るだけ少なくすること。部材の継手部は平滑性を得るためボルトやリベットより溶接継手とすることが好ましい。さらに不陸となる溶接やスポット溶接は腐食リスクが無視できるような場所でのみ使用すべきとしている。

その他については、留意項目のみ以下に紹介する。

- ①アクセス性
- ②溶接面のギャップの処置
- ③堆積物および水の残留を防ぐための予防処置
- ④表面の欠陥
- ⑤ボルト接合 (ボルト・ナット・ワッシャ)
- ⑥ボックス部材と中空部品
- ⑦溶接部のノッチ
- ⑧補剛材
- ⑨ガルバニック腐食の防止
- ⑩取り扱い、運搬及び設置

これらに関連して防食施工において求められる構造デザインについて図解による説明が示されている。

その一例として Annex C (面と面の間の狭い空間の最小寸法) の一部を図-1 に示す。

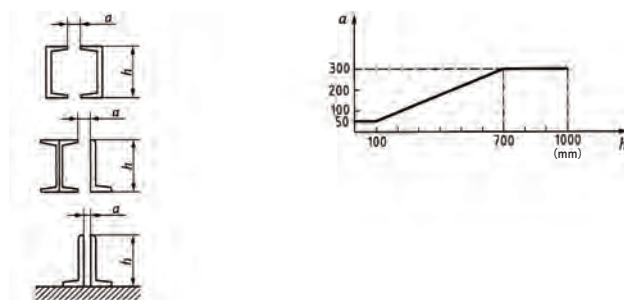


図-1 鋼構造物の狭隘なスペースに必要な最小距離 (ISO12944-3 Annex C より引用)

2.2.4 ISO12944-4 (表面のタイプと表面処理)

ISO12944-4 の規格の対象は、炭素鋼あるいは低合金

鋼からなる鋼構造物の表面とその表面処理であり、その内容を以下に示す。

- ①無塗装鋼の表面
- ②亜鉛、アルミニウム、あるいはそれらの合金の金属熱溶射の表面
- ③溶融亜鉛メッキの表面
- ④電気亜鉛メッキの表面
- ⑤シェラルダイズドの表面
- ⑥プレファブリケーション・プライマーを塗装した表面
- ⑦その他の塗装された表面

これらの規格は多くの前処理のグレードを定義するが、表面処理前の状態に関する要件は求めている。

なお、この規格の作成に当たっては ISO4628-1～4（塗膜劣化の評価）、ISO8501-1～4（鋼基材の塗装前処理）などを参考にしている。

塗装前の表面処理方法が、以下に示されている。

1) 一般的な方法

表面処理作業を行う前に、オイル、グリース、塩分、汚れは必ず取り除くこととする。その他固着している錆、ミルスケールは手動または機械的ツールによって前もって取り除くことが必要である。その手法としては、水、溶剤及び化学的なクリーニング、機械的なクリーニング、ブラストによるクリーニング、湿式研磨ブラストによるクリーニング、ウォータージェットによるクリーニング他がある。

2) 表面処理のグレード

塗装前の表面処理が必要な場合は、基準となる Annex A (Normative) 及び B (Normative) に示す塗装前の処理グレードに基づいて行うものとする。

因みに表-6に引用した Annex A (Normative) は構造物の全面を対象とする塗装前処理の標準グレードについて示したものであり、Annex B (Normative) は構造物の一部表面を対象とする塗装前処理の標準グレードについて示したものである。また、Annex C (Informative) は参考であるが、不要な層や異物、元

の層及び汚染物質の除去手順を示したものである。

塗装において塗装前処理の出来がその後の塗装系の耐久性に大きな影響を及ぼすことから、Annex A, B, C は重要なグレードである。

2.2.5 ISO12944-5 (防食塗装システム)

ISO12944-5 の規格は鋼構造物の防食に通常用いられる塗料と塗装のシステムについて示したものである。また、ISO12944-2 の環境の分類における夫々異なる環境に適した塗装システムの選定のためのガイドラインを示している。

ただし大気環境での腐食性カテゴリ CX 及び浸漬環境での腐食カテゴリ Im4 については、海洋環境での分類としており、陸上環境とは区別している。これらに関しては ISO12944-2 に示す腐食環境の分類及び ISO12944-4 における異なる表面処理グレード及び ISO12944-1 における期待される耐久性グレードに別途定義されている。

ISO12944-5 と 6 については、現在進行中の改定作業が進められており、その状況を説明する。

現在改定が進められている ISO12944-5 には海洋環境の腐食環境 CX も包含される内容となっている。

特に海洋環境に適用する塗装系と試験法を扱う

ISO20430 (2009 年発行) があり、そこで定義される大気環境の腐食性カテゴリ CX 及び海水浸漬環境のカテゴリ Im4 は当初その規格の中に含まれていた。

しかし、2018 年に ISO12944 シリーズ規格の見直しの際に、ISO20430 との整合に向けた変更を加えて

ISO12944 の Part9 として編入することを決定した。

これにより陸上環境及び海洋環境を対象にした防食塗装系の ISO12944 規格が取り敢えず整備された。しかし細部にはこの Part 規格が他の Part 規格と未だ整合しない部分があった。

そこで現在進行中の定期見直しの際に、これまで陸上腐食環境を対象とするのは ISO12944-1～8 であっ

表-6 表面処理のための標準処理グレード (ISO12944-4 (2017) AnnexA より引用)

標準的な素地調整グレード	表面処理方法	ISO 8501-1 の代表的写真の例	素地調整された表面の基本的特徴	適用分野
Sa1	ブラストクリーニング	B Sa 1, C Sa 1 D Sa 1	付着不良のミルスケール、錆、塗装被膜および異物が除去される。	以下の対象の表面処理 a) 未塗装の鋼の表面 b) 塗装された鋼の表面、塗装が指定された処理等級が達成される程度に除去された場合。
Sa2		B Sa 2, C Sa 2 D Sa 2	ほとんどのミルスケール、さび、塗料のコーティングおよび異物は除去される。残留する汚染物はしっかりと付着している必要がある。	
Sa2 1/2		A Sa 2 1/2, B Sa 2 1/2 C Sa 2 1/2, D Sa 2 1/2	ミルスケール、さび、塗料の被膜および異物は除去される。残存する汚染の痕跡は、わずかな斑点や縞模様の形でのみ現れるものとする。	
Sa 3g		A Sa 3, B Sa 3 C Sa 3, D Sa 3	ミルスケール、さび、塗料の被膜および異物が除去される。表面は均一な金属の色を持つものとする。	
St2	手工具又は動力工具によるクリーニング	B St2, C St2 D St2	付着不良のミルスケール、さび、塗料被覆および異物は除去されます。	-
St3		B St3, C St3 D St3	付着不良のミルスケール、さび、塗料被覆および異物は除去されます。しかし、表面は金属基材から生じる金属光沢を得るために、St 2 よりもはるかに徹底的に処理されなければならない。	-
Be	酸洗	-	ミルスケール、さび、塗料コーティングの残留物は完全に除去される。塗料コーティングは、適切な方法で酸洗いの前に除去されなければならない。	-

略号 :Sa=ブラストクリーニング (ISO8501-1)、St=手工具又は電動工具 (ISO8501-1)、Be=酸洗 A、B、C、D は無塗装鋼材表面の初期状態 (ISO8501-1)

たが、これと海洋腐食環境を対象にする ISO12944-9 を共有することを目的に改定作業が進められている。

具体的には ISO12944-9 の内容を海洋構造物の塗装系に関する内容と室内試験方法に関する内容とに分けて ISO12944-5 と 6 に整合性に留意しながら、編入することを進めている。

この ISO12944-5 は防食塗装系のガイドラインとなるものであり、このシリーズ規格の中でも重要な位置づけとされている。

(1) 新設と全面改修 (refurbishment) 塗装

この規格では新設あるいは全面改修の前処理の塗装に力点が置かれている。

新設の鋼構造物で塗装される表面は、ISO8501-1 に定義されるさびグレード A、B、C の炭素鋼、その他溶融亜鉛メッキ鋼、金属溶射皮膜である。

素地調整の品質は、塗装系の耐久性にとって極めて重要であり、この規格に詳しく示されている。

改修については、これまでの ISO12944 規格では Part7 に部分的に扱われているため、現在 ISO12944 に追加する形で改定が検討されており、後でも触れるが、新規に WG が設置されて検討が進められている。

橋梁、プラントなどの社会インフラのメンテナンスは我が国も欧州も高度成長期に建設され、老朽化が進んでいる現状の差し迫った背景から取り上げられている重要な項目である。

(2) 防食塗装系の塗料のタイプ

ISO12944-1 及び 2 の腐食環境分類と期待耐久性グレードに対応した塗装系の例が示されている。

これらの塗装系は、実績に基づいて採用されているが、あくまでも参考であり、同等の性能を持つ他の塗装系も使用可能であることにも留意する必要がある。

なお、これらの塗装系では、塗料樹脂（結合材、バインダー）の一般的な種類のみが示されているが、塗

料には 顔料、充填材、添加剤 も重要な構成要素であり、塗料の配合によっては、同じ塗料樹脂（バインダー）技術であっても性能が大きく異なる場合がある。

ここで示されている塗料樹脂の種類はあくまで例であり、他の種類の塗料を使用することも可能である。

さらに、新しい技術は規制などを背景に継続的に開発されており、条件を満たす場合には、それらも適切に検討すべきであるとしている。例えばその技術の実績が確認されている場合、少なくとも ISO12944-6 に準拠した試験結果により性能が検証されている場合などである。

(3) 塗装システム

塗装システムに関しては、この規格で重要な部分となっている。腐食環境カテゴリと耐久性分類に従って組み立てられており、防食塗装系の選択ができる。

炭素鋼に適用する塗装系として腐食環境カテゴリが C1 から C5 をそれぞれの腐食環境を対象にした Table C.1 ~ Table C.5 が示されている。これら以外にも、同等の性能を有するものであればそのほかの塗装系を使用することは可能であるとしている。

ここでは一例として大気腐食環境 C5 を対象とした代表的な塗装系を表-7 に示す。

この他に Annex D (参考) には各腐食カテゴリに対応する溶融亜鉛メッキ鋼の塗装系を Table に示しており、Annex E (参考) には金属溶射への塗装系について腐食環境 C4、C5 の塗装系が示されている。

構造物が置かれている腐食環境と期待耐用年数を指定することにより、それらの条件に合う塗装系が選択できるようになっている。

2.2.6 ISO12944-6 (ラボラトリー性能テストの方法)

ISO12944-6 の規格は、炭素鋼構造物の防食のための

表-7 腐食環境 C5 における炭素鋼の塗装系 (ISO12944-5 (2018)、Annex C、Table C.5 より引用)

	プライマー塗装				中・上塗り塗装	塗装系		耐久性			
	バインダータイプ	プライマータイプ	塗り数	平均乾燥膜厚 μm		全塗装回数	平均乾燥膜厚 μm	l 低	m 中	h 高	Vh 非常に高い
C5-01	EP, PUR, ESI	その他	1	80 to 160	EP, PUR, AY	2	180	X			
C5-02	EP, PUR, ESI	その他	1	80 to 160	EP, PUR, AY	2-3	240	X	X		
C5-03	EP, PUR, ESI	その他	1	80 to 240	EP, PUR, AY	2-4	300	X	X	X	
C5-04	EP, PUR, ESI	その他	1	80 to 200	EP, PUR, AY	3-4	360	X	X	X	X
C5-05	EP, PUR, ESI	Zn(R)	1	60 to 80	EP, PUR, AY	2	160	X			
C5-06	EP, PUR, ESI	Zn(R)	1	60 to 80	EP, PUR, AY	2-3	200	X	X		
C5-07	EP, PUR, ESI	Zn(R)	1	60 to 80	EP, PUR, AY	3-4	260	X	X	X	
C5-08	EP, PUR, ESI	Zn(R)	1	60 to 80-	EP, PUR, AY	3-4	320	X	X	X	X

注1) EP/ エポキシ樹脂、PUR/ ポリウレタン樹脂、ESI/ エチル辰ケート、AY/ アクリル樹脂

注2) ポリウレタン樹脂塗料上塗りに加えて、他の上塗り塗料も適当かも知れない、例えば、ポリシロキサン樹脂塗料、ポリアスパチック塗料、及び FE VE タイプふっ素ポリマー / ビニールエーテル

塗装システムの評価に関する実験室試験方法及び試験条件を示すものである。

試験結果は、適切な塗装システムの選定の参考として考慮されることを意図しており、耐久性を正確に判断するための情報とするものではない。ISO1451に従った無塗装鋼、溶融亜鉛メッキ鋼、及びISO2063-1及び-2に従った溶射金属被覆鋼面に適用するために設計された防食塗装システムを対象としている。

なお、電気メッキ鋼またはその塗装鋼を基材表面とする防食塗装システムには適用されない。

ISO12944-2で定義される腐食環境区分C2からC5およびIm1からIm3の環境を対象としている。特に従来腐食環境CXはISO12944-9にのみ対象としていることから、それ以外のISO12944シリーズ規格には含まれていない。その結果、現在改定中のISO12944-6には含むよう検討されている。

この規格においては、実験室の試験手順とその試験によって得られる結果の評価が大事な点となる。

以下、この規格の内容について述べる。

(1) 性能試験を進めるに際しての留意事項

- ①試験片の数（各試験に用意する試験片数は同意がない場合には3枚とする）
- ②塗装システム試験片はスプレー塗装による。
- ③塗料は塗料メーカーの仕様に従って塗装する。
- ④各層の塗装に際しては、膜厚及び外観が均一であること、また垂れ、たるみ、塗り残し、ピンホール、しわ、光沢のばらつき、剥離、粒子の混入、ドライオーバースプレー及びブリスターなどの欠陥がないこと。

以上の項目について合意がない場合は、粗面（ブラストクリーニングした鋼と金属溶射被覆）に塗装した塗膜の膜厚を測定する方法とすること。その場合の手順はISO19840に従うものとし、溶融亜鉛メッキ表面はISO2808に従うものとする。

それぞれの試験片の許容される最大膜厚は標準膜厚の1.5倍（標準膜厚60μm以下）、1.25倍（標準膜厚60μm以上）とする。

また、現場での実績があり、室内試験によって性能が十分に知られている塗料システムを参考システムとして使用することを推奨としている。

このシステムは試験対象の塗料システムと組成及び／又は一般的な種類と膜厚において可能な限り類似していることが必要であるとしている。なお、適切とする塗装システムはISO12944-5に示されている。

試験の手順と期間については、Tableにまとめられているが、ここではこれらのTableのタイトルを示す。Table1—大気腐食環境カテゴリでの炭素鋼、溶融亜鉛

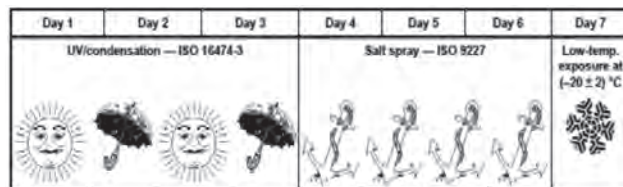
メッキまたは熱金属溶射鋼に塗装した塗装システムのテスト手順。

Table2—浸漬カテゴリでの炭素鋼、溶融亜鉛メッキまたは熱金属溶射鋼に塗装した塗装システムのテスト手順。

(3) 加速劣化試験前後の塗装システムの評価

塗装システムの評価を以下に示す。

加速劣化試験前の評価が、この規格にあるTable3に示されており、クロスカット試験（ISO2049）、引っ張り付着性試験（ISO4624）による要求性能値が決められている。



- ①UV/結露試験サイクル試験をUV照射から開始し結露で終る
- ②塩水噴霧試験と低温サイクル時の間でイオン交換水にて洗うが、乾燥はしない。
- ③低温サイクル開始時に試験片は30分以内に（-20±2）℃に到達させること。
- ④腐食環境CXの場合試験片は25サイクルまたは4200時間暴露する。

図-2 複合サイクル試験（ISO12944-6 Annex B より引用）

加速劣化試験後の評価について、この規格のTable4に示している。なお、この規格のAnnexA (normative)にある表を表-8に示す。

AnnexA（規定）にISO9227（塩水噴霧試験）とISO12944-6（複合サイクル試験）などの評価手順を図-2に示している。

表-8 炭素鋼、溶融亜鉛メッキ鋼、金属溶射鋼の塗装システムの評価手順（ISO12944-6、Table 1 より引用）

Corrosivity category as defined in ISO 12944-2	Durability ranges according to ISO 12944-1	Test regime 1			Test regime 2
		ISO 2812-2 (water immersion) h	ISO 6270-1 (water condensation) h	ISO 9227 (neutral salt spray) h	Annex B (cyclic ageing test) h
C2	low	—	48	—	—
	medium	—	48	—	—
	high	—	120	—	—
	very high	—	240	480	—
C3	low	—	48	120	—
	medium	—	120	240	—
	high	—	240	480	—
	very high	—	480	720	—
C4	low	—	120	240	—
	medium	—	240	480	—
	high	—	480	720	—
	very high	—	720	1 440	1 680
C5	low	—	240	480	—
	medium	—	480	720	—
	high	—	720	1 440	1 680
	very high	—	—	—	3 688

試験に用いる試験片のスクライブ線の作成法について示している。スクライブは幅2mm、長さ5cmとしているが、深さの規定を設けていない。データの再現性、信頼性から議論を継続している。またスクライブにおける腐食の評価について式-1を提示している。

$$M = (C - W) / 2 \dots\dots\dots \text{式-1}$$

C：スクライブに沿った9点の幅の平均

W：スクライブの記録した幅

M：腐食の評価

なお、スクライブの平均腐食の計算の結果は0.1mmの精度で与えられるものとする。

2.2.7 ISO12944-7 (塗装ワークの実行と監督)

ISO12944-7の規格は、工場または現場における鋼構造物の塗装作業の実施及び監督に関するものである。ただし塗装表面の素地調整 (ISO 12944-4 を参照) 及びその作業の監督、金属溶射などの金属被覆を適用した場合、さらにリン酸塩処理やクロメート処理などの前処理方法及び浸漬、粉体塗装、コイルコーティングなどの塗装方法を用いた場合は、適用外としている。

本規格に示されている項目を以下に示す。

①塗装作業の実施前提条件

資格要件、素地 (基材) の状態、安全衛生および環境保護

②塗料材料

供給、保管

③塗装作業の実施

一般事項、塗装適用条件、塗装方法、刷毛塗り、ローラー塗り、吹付け塗装、その他の塗装方法、作業開始前の評価

④塗装作業の監督

一般事項、測定及び試験機器、基準試験片及び参照試験片、塗膜の評価

⑤リファレンスエリアとリファレンス試験片

一般事項、既塗装面、リファレンスエリア記録、塗装の評価

2.2.8 ISO12944-8 (新設及びメンテナンスのための仕様の開発)

ISO12944-8の規定は、鋼構造物の防食塗装による腐食防食対策に関する仕様書の作成について示している。

防食塗装システムを用いた鋼構造物の腐食対策は、工場や現場の新規工事及び補修工事に一般に用いられ、屋内、屋外、水中浸漬、土壌埋設など様々な腐食環境下に晒される鋼構造物の腐食防食対策、例えば、低温や高温による特殊な環境下などでの腐食対策の必要性についても考慮されている。

この規格では、溶融亜鉛メッキ、金属溶射、電気亜鉛メッキ及びシェラダイジング処理された鋼材表面や既存の塗装された鋼材表面も対象としている。

さらに、腐食防食対策作業の品質評価及び使用される防食塗料システムの性能評価のためのリファレンスエリアについても示している。

また、新規及び補修工事の計画立案に役立つ詳細なフローチャートを提供しており、仕様書の作成時に役立てるようになっている。

この規格は、極端な腐食環境や高温が発生する場合、または防食塗料システムを非鉄金属やコンクリートなどの他の素材に使用する場合にも、適切な仕様を定めるためのガイドとしても使用できるようになっている。

2.2.9 ISO12944-9 (海洋大気環境および関連構造物に対する防護塗装システムおよび実

験室性能試験方法)

ISO12944-9の規格^{4), 5)}は、海洋大気環境に曝される構造物、並びに海水または汽水に浸漬される構造物に対する防食塗装システムの性能要件を規定するものである。

特にこれらの構造物は、ISO12944-2で定義されている腐食環境区分CX (海洋) および浸漬環境区分Im4の厳しい環境下に曝されているものである。

この規格は鋼構造物に適用されるが、断熱材下の表面やコンクリートに接する表面には適用されない。また、使用温度範囲を-20℃から+80℃と想定した塗装系に適用するものとしている。

性能試験については、この温度範囲における塗装系の適合性を確認することを目的としている。

さらに、最大50℃の周囲温度で使用されることを想定した浸漬環境 (Im4) 向け塗装系にも適用出来るようになっている。

また、必要に応じて以下の内容を規定している。

①防食塗装系を構成する個々の成分の組成を決定するために用いる試験方法

②防食塗装系の耐久性を評価するための、実験室での性能試験方法

③性能試験の結果を評価するために用いる基準

本規格は、新設工事及び稼働開始前に必要となる補修に関する要求事項を対象としている。また、全面的な改修が行われ、素材の金属面が研掃により完全に露出される場合の維持管理にも使用できるようになっている。

本規格の対象は、承認された強度計算に基づいて設計され、厚さ3mm以上の炭素鋼で作られた構造物としているため、ステンレス鋼、銅、チタン、アルミニウム、またはそれらの合金で作られた構造物やワイヤーロープ (鋼ケーブル)、埋設構造物やパイプラインは、本規格の対象外としている。

本規格は2018年にISO12944-9に編入されたが、それ以前はISO20340 (2009) として規定されていた。なお、編入後もISO12944との整合に未だ課題を残していたことから、現在更にこのPart9をPart5とPart6に編入させるための改定を進めているため、Part9については以上の記載に留めておく。

3 最近の動向と今後の展望

3.1 ISO12944-5, ISO12944-6の改定

海洋環境における塗装システムと試験法を対象とする規格がISO12944-9であり、ISO20340 (海洋及び関連構造物の防食システム及びラボラトリー性能試験方法) がその元となる規格である。

したがってISO12944シリーズの規格はISO12944-1から8までの陸上環境を対象にしたものと、ISO12944-9の海洋環境を対象としたものを統合させており、これらは前述した表-1に示す通りである。

さらにISO12944-9をその内容に従って、Part5とPart6に分割して編入、統合することである。まだ審

議中の段階だが、ISOの方針にのっとった進め方は平等で時間をかけて丁寧に進めてきている。

以下に今回討議されている内容の一部を紹介する。

(1) ISO12944-5 の内容についての討議事項

- ①腐食カテゴリー CX (ISO9223 に定義される炭素鋼の腐食量 1500 ~ 5500g/m²year に相当する極端に厳しい腐食環境下で、海洋環境が該当) に対応する腐食試験では、塗装試験片スクライプの幅は 2mm とすることに議論があったが、これまでの実績からこのあたりに落ちつく可能性が高い。
- ② Im3 (土中埋設) の試験では浸漬試験は除くことになり、中性塩水噴霧試験を実施する。Im1 (清水) の浸漬試験はスクライプなしとすることを確認中である。
- ③ C5 と CX の腐食カテゴリーに適用する塗装系の場合、上塗りを変更できる前提として、付着性など互換性を確認し膜厚に変更しない場合に限り許される可能性が高い。

(2) ISO12944-6 の内容についての討議事項

- ①炭素鋼塗装試験片の厚みについて、ブラスト処理における変形、付着試験の際の変形を危惧し、5mm、3mm のどちらの厚みが相応しいか討議された結果、現行規格にある 3mm 厚とすることに合意した。
- ②浸漬試験の Im2 (海水または汽水環境カソード防食なし)、浸漬試験 Im3 (土中埋設) に使用する試験片は現行ではスクライプなしで行うが、これらのテストは浸漬を行わず、代わりに塩水試験とすることなどを討議中である。

3.2 メンテナンス塗装に関する提案

メンテナンス塗装に関しては、2024 年 6 月のロンドンでの TC35 会議週間でも紹介されたが、2025 年 6 月の東京会議において正式に提案され、SC14 委員会に WG16 (Maintenance) を設けることになった。

この提案に対しては日本を始め多くの国々も賛成し、従来の ISO12944 に Part10、Part11、Part12 として組み入れを予定している。我が国にとっても社会資本であるインフラ構造物の経年化に対応する保守メンテナンスが強く求められている。

(1) Part10 の概要案 (メンテナンスワークのための一般解説)

Part10 では、塗装による保守作業に関係する ISO 12944 の全体的な範囲を定義している。

基本用語と定義をいくつか示し、メンテナンス作業に関する一般的な紹介を示している。さらに、健康、安全、環境保護に関すること等の特定の保守プロジェクトに関するガイドラインも含まれている。

(2) Part11 の概要案 (メンテナンスのための防食塗装システム)

Part11 では、鋼構造物の腐食防止のメンテナンスに一般的に使用される塗料および塗装システムの種類について示している。

特に異なる環境 (ISO12944-2 参照)、異なる表面処理グレード (ISO12944-4 参照)、および期待される耐久性の範囲 (ISO12944-1 参照) に準ずる利用可能なメンテナンス塗装システムの選択に関するガイドラインを示している。

(3) Part12 の概要案 (メンテナンスのための防食塗装のラボラトリー性能テスト)

Part12 では、炭素鋼構造物の腐食防食を目的とした維持管理用塗装システムの評価のための試験方法および試験条件を規定している。

試験結果は、適切な維持管理用塗装システムの選択に役立てるよう考慮することを意図している。

この規格は、ISO12944 に従って塗装された鋼材及び部分的に塗装されていない鋼材、ISO1461 に従って施工された溶融亜鉛メッキ鋼材、及び ISO2063-1 と 2 に従って溶射金属コーティングを施した鋼材表面への適用を目的として設計された維持管理用塗装システムを対象としている。

3.3 ISO/CD TR 20470-1 の進捗^{4), 6), 7)}

ISO/CD TR20470-1 は日本の提案によるものであり、2026 年 3 月に公開された。

その内容はふっ素樹脂塗料を上塗りとする耐候性に優れた防食塗料塗装系の TR (テクニカルレポート) に関するものとなっており、そのタイトルは「防食塗装システムの一部として耐候性の優れたトップコート Part1: FEVE タイプふっ素樹脂トップコートの耐候性」と示されている。

これは 2023 年 11 月に WG12 にタスクグループを立ち上げ、WG ドラフトを経て CD ドラフトへと進めて 2026 年 3 月に公開された。

ISO/TR に求められることは、ISO/Directive 1 の、3.3 節 TR (技術報告書) にあり、これに従って作成したが、そこには「TR は、要求事項、推奨事項、または許可事項を含まない。完全に情報としての性質でなければならず、また規範であることを示唆するような事項を含んではない。TR は、主題に関連する ISO 規格で扱われている。又は今後扱われる主題の規範側面との関係を明確に説明しなければならない」と示されている。

この ISOTR20470-1 には高耐候性を示す長期の屋外暴露データが採用されている。光沢保持率の評価結果とチョーキングの評価結果をそれぞれ図で示した。

これらは「海洋構造物耐久性向上技術に関する共同研究」報告書¹⁾ から引用した駿河湾の海洋環境における屋外暴露試験 20 年の測定結果である。

光沢保持率でもポリウレタン樹脂塗料による上塗り塗装に比べても明らかに良好である。チョーキングの測定結果は、特にふっ素樹脂の場合重要な評価である。多くの上塗り塗料は経年的にチョーキングが顕著になるが、ふっ素樹脂塗料の場合はほとんど皆無であり 20 年後も初期と殆ど変わらないことは大きな特長となっている。

3.4 ふっ素樹脂塗料と EU による PFAS 制限案

現在、欧州 5 ヶ国により PFAS に対するの制限案が提案されている。有機ふっ素化合物については、既に PFOS や PFOA が規制されていることは周知の事実であるが、今回の制限案では、懸念事項として難分解であることを根拠に、予防原則を適用して進めようとして、10,000 種類を超える有機ふっ素化合物 (PFAS) を一括に規制するものであり、そこが大きな問題であると考えている。

懸念事項とは、難分解性、残留性化学物質、生物濃縮性、移動性、長距離輸送の可能性、植物への蓄積、地球温暖化の可能性、毒性 (学的) 影響とされている事項である。ポリマーもこの制限案では対象とされているが、それらの懸念事項に該当しないと思われる。

こうした状況から、複数の国からもポリマーは除外処置が妥当との提案が出されている。ふっ素樹脂塗料もポリマーとしての制限案の対象になっており、現在は提出された多くのパブリックコメントの扱いについて審査が進められている。

ポリマーは PFOS、PFOA のような有機ふっ素化合物とは異なるものであるという立場をとっている。ふっ素樹脂塗料のような耐久性の実績も十分に有し、VOC 削減、省資源などの環境課題にも貢献する優れた技術はこれからも大切に発展させていきたいと考えている。

ふっ素樹脂塗料は防食塗料の上塗りとして 1980 年代から現在まで 40 年を超えて、永年耐久性を示し続けている。そして日本国内はもとより、米国、中国、ベトナム、タイなど地域の広がりも後半になっている。

この優れた塗料の技術は更に育て続けていくことが重要であると考えている。

4 今後の展望

日本が ISO/TC35/SC14 に参加し始めた 1990 年代初頭から現在に至るまでを振り返ると、その時々の動向がみえてくる。

以前の ISO の会議は原則として対面方式であったが、COVID-19 を経て急速にオンラインによる会議が普及した。さらに塗料関係の ISO の規格数は当初の数十件から最近では数百件を数えるまでに発展してきた。さ

らにその内容も当初は SC9 を中心とする一般の塗料試験法が中心であったが、その後、範囲は拡大し、我々が関係する鋼構造物の防食塗装 (SC14)、塗装前表面処理 (SC12)、コンクリート塗装 (SC15) など具体的に構造物が対象になる規格が検討されるようになってきた。

このように一連の塗装ワークの規格が、かなり整備されてきたことを実感する。今後に向けては、防食塗装の一般的な規格から新たな提案として風力発電設備の塗装のような具体的な構造物を対象とする規格提案がなされている。また単純に塗料を対象にした評価基準の規格から、範囲は広がってコーティング・インスペクターとアプリケーションに求められる技量を対象とする規格も提案されている。

本稿で重点をおいて紹介した ISO12944 シリーズ規格は、Part5、Part6 の他に Part1 から Part8 までの大幅な見直しが新たに実施されている。そしてメンテナンス塗装に関する規格の提案も加わり、審議されることになった。

ヨーロッパでは先の大戦を経て多くのインフラ構造物が 1945 年から 1975 年に建設されてきたと言われる。現在それらインフラ構造物の老朽化が顕在化し、2030 年以降多くの構造物の建て替え、維持管理が必要になる状況が迫っている。これに備えて対応していくためのプロジェクトが計画されており、ISO12944 規格を制定してきた SC14 委員会も重要な役割が求められている。こうした状況は、我が国と同様であり、情報共有、ISO を通しての協力などが今後ますます期待される。

また、塗装関係の ISO/TC35 委員会に携わってきた経験から ISO の変容を強く感じている。日本がこの ISO に参画したころは、委員会ができたばかりであり、すべてがゆっくりと進んでいた。

しかし、今後は ISO 規格を受動的な利用者から最近では自国の利益を意識した対応が求められるため、ISO に戦略的な思考をもって対応が必要であると言われるようになってきた。

最近よく言われるオープンアンドクローズ的な戦略⁸⁾も考えてみたいと思う。そして ISO 活動への理解を広げていくことの重要性を感じている。^{3)、8)、9)、10)}

【参考文献】

- 1) 田邊弘往：防錆管理、Vol.64、No3、88 2020、防錆技術協会 (2020)
- 2) 田邊弘往：表面技術 71 (8) 503 (2020)
- 3) 矢尾板聡：塗装工学、60 (7)、251 (2025)
- 4) ISO : ISO12944-1 ~ ISO12944-9 (2018)
- 5) ISO : ISO20340
- 6) ISO : ISO/TR20470 (2026) 20340
- 7) H.Tanabe, T.Takayanagi, etc : NACE CORROSION 2011 Paper No.11039
- 8) 小川 修：第 202 回腐食防食シンポジウム予稿集、腐食防食学会 (2026)
- 9) 田邊弘往：第 200 回腐食防食シンポジウム予稿集、腐食防食学会 (2025)
- 10) 田邊弘往：第 48 回鉄鋼塗装技術討論会発表予稿集 (2025)

橋屋の ひとりごと

半野 久光

まえがき

今回は急ピッチで改良工事が進められている品川のハツ山橋界隈について取り上げてみましたが、今回の「橋屋のひとりごと」では、東武鉄道の隅田川橋梁について取り上げて見たいと思います。

本橋は、左岸に東京スカイツリー、右岸に浅草を有する観光に恵まれた立地条件にあり、2020年6月には、東京スカイツリーと浅草を結ぶ形で、本橋下流側に「すみだリバーウォーク」と言う遊歩道が併設され、ますます注目を浴びている地域です。そんなことから、今回は東武鉄道の隅田川橋梁に注目することにしました。

1. 隅田川橋梁の概要

東武鉄道隅田川橋梁は1931（昭和6）年に東武鉄道の都心方面への乗り入れの一環として架設された全長166mの3径間中路式カンチレバー・ゲルバー・トラス橋です。（写真-1、2）

本橋の河川との交差角は左85度22分とほぼ直角に交差しており、隅田川を3支間で横断し、中央支間は64.0m、両側の支間は51.1mとなっています。

設計荷重は鉄道荷重のクーパーE33荷重（Eはengine/機関車、33は動輪の軸重33,000ポンドを意味する）が採用されています。

特に本橋で特徴的なのは、図-1に示すように両側の側径間がカンチレバーとなり、中央径間のトラス桁を吊桁としてヒンジ構造で支えていること

です。

このタイプのトラス橋で一番有名なのは英国のフォース鉄道橋ですが、わが国では、1933（昭和8）年に岩手県の北上川に建設された珊瑚橋（写真-3）を始め、長岡の長生橋や天竜川に架かる鹿島橋などに見られる橋梁形式です。



写真-1 隅田川橋梁（近景）



写真-2 隅田川橋梁（遠景）



写真-3 珊瑚橋（北上川）

さて、この隅田川橋梁の設計ですが、関東大震災後の隅田川の震災復興橋の設計で有名な田中豊博士によるものと言われています。

文献によると、東武鉄道は田中豊博士が隅田川に架かる多くの復興橋の設計に関わっていたことから設計を依頼したと述べられています。

また、震災復興において一連の隅田川復興橋と同時期の設計のため、他の橋梁と同じように隅田川河岸の都市景観と調和しつつ、個性的な景観を有した橋梁となっています。

設計に際しては、桁下は東京湾の潮位を配慮し、さらに桁高は周囲の景観を損ねず、加えて乗客から隅田川や隅田川周囲の景観が満喫できるよう配慮して中路式トラス橋を採用したようです。

橋脚と基礎構造は、航路と水面の疎外を考慮して出来るだけ小さなものとし、円形のケーソン基礎2基（外形5.49m）を採用しています。また、両側の橋台は、松杭を用いた基礎の上に躯体コンクリートを構築した構造としています。

ちなみに文献によれば、上部工の製作・架設工事は（株）横河橋梁製作所、下部工事は清水建設（株）が請負っていたと記録されています。

2. 田中豊博士

ここでは本橋の設計に大きく携わった田中豊博士に少し触れてみます。

田中博士は1912（大正2）年に東京帝国大学を卒業し、当時の鉄道院に入所し、さらに関東大震災後に内務省復興局の橋梁課長に就任されています。

橋梁課長に就任してからは、帝都復興事業として永代橋や清州橋など隅田川震災復興6大橋の設計に携わった実績が認められ、1925（大正14）年

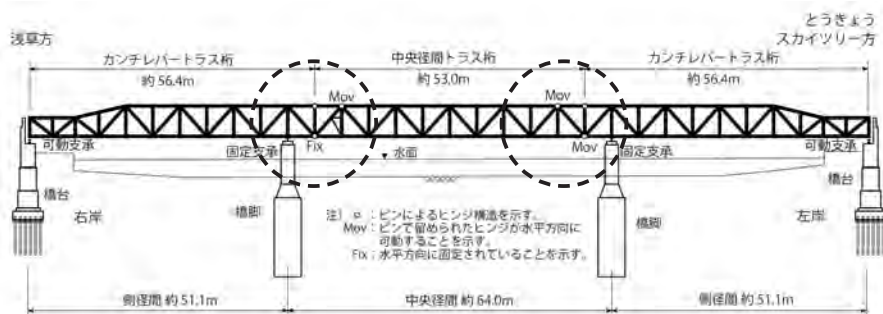


図-1 隅田川橋梁の側面図（推測）

には復興局を兼務したまま東京帝国大学の教授に就任されています。

東武鉄道が当時の田中博士に設計を依頼したのは、鉄道院と復興局の両方に籍置き、さらに一連の隅田川復興橋の設計に関わっていたことが大きな理由と思われます。

ちなみに当時の民営鉄道は、直営で橋梁設計を行っていた国有鉄道と異なり、設計事務所や橋梁メーカーに設計を委託することが多かったようです。なお、土木学会では田中豊博士の多くの功績を称えて、橋梁・鋼構造工学の発展に大きく寄与し、優れた業績や作品を顕彰する賞として「土木学会田中賞」が1966年に創設され、これまで多くの橋梁や論文等が表彰されており、その名前は土木関係者間では広く知られています。

3. 本橋の特徴

本橋における構造上の大きな特徴として、以下の三点が挙げられます。

第一に隅田川の景観と車窓からの景観を考慮して写真-1に示すトラスの桁高を低く抑えた中路橋としたこと。

第二に図-1に示すカンチレバー・ゲルバートラス構造を採用したこと。

第三に写真-4に示すようなデザインを考慮して架線柱を曲線のラーメン構造としたことです。



写真-4 デザインを考慮した架線柱

ここで、特徴的なカンチレバー・ゲルバー・トラス構造と中路式トラス橋について考察してみます。

一般に河川を横断する橋梁と言えば、同形式の単純桁を連ねることが多く、特に大きな河川では単純トラス橋が多く用いられています。

しかし、舟運が盛んな隅田川では航路を確保する必要性から橋脚位置の制

約が生じ、本橋では橋長166mを3つに分割し、中央径間は約64mとしたものと思われます。

さらに景観上及び経済性の観点から連続桁形式を採用しており、その中でも中間橋脚の支点沈下による影響や不静定構造物としての複雑な設計を避けることから、ゲルバー構造（ヒンジを介して接続する構造）としたことが推察されます。

すなわち、両側の側径間のトラスが橋脚から河川中心方向に向けて張り出すカンチレバー構造となり、その先端部分で中央のトラス桁を吊っていることとなります。

その結果、中央のトラス桁（吊桁部）は見かけの径間を小さくすることができ、曲げモーメントの軽減によりトラスの重量が抑えられ、材料費の縮減が図られることになります。

こうした構造を有する橋を「カンチレバー・ゲルバートラス橋」と言いますが、有名な英国のフォース鉄道橋／1890（明治23）年やカナダのケベック橋／1919（大正8）年など、世界では既に建設されていた橋梁形式でした。

4. ゲルバーヒンジ部の工夫

本橋のゲルバーヒンジ部の工夫について、橋屋として非常に興味を湧いた

ので、現地調査を踏まえて推察してみました。

本橋では、写真-5に示すように中央のトラス桁（吊桁部）と側径間のトラス桁との接続部は、片側1箇所当たり3つのピン構造で接合されています。

本橋は国会図書館などで入手できる資料が極めて少ないため、何度となく現地調査に赴いて本橋を観察し、この非常に複雑なゲルバー構造の解明を試みました。

その結果、図-1及び写真-5、6により、以下の点が明らかになりました。

- ①中央のトラス桁と張出部のトラス桁下端のヒンジ部の水平方向は左岸側が可動、右岸側が固定となっていること。（写真-5 ピンB）
- ②中央のトラス桁上弦材先端部のヒンジ部の水平方向は可動となっていること。（写真-5 ピンC）
- ③張出のトラス桁端部の垂直材の上下両端のヒンジ部はピンが設置されており、垂直材の中にアイバーが設置されていること。（写真-6）
- ④トラス下端部は落橋防止装置が設置されていること。（写真-5）

特に現地で撮影した写真-6から、なんと垂直材の内側にアイバーが設置されており、垂直吊り材の存在が確認（破線の部分）できました。

この状況から吊り材は上弦材にピン

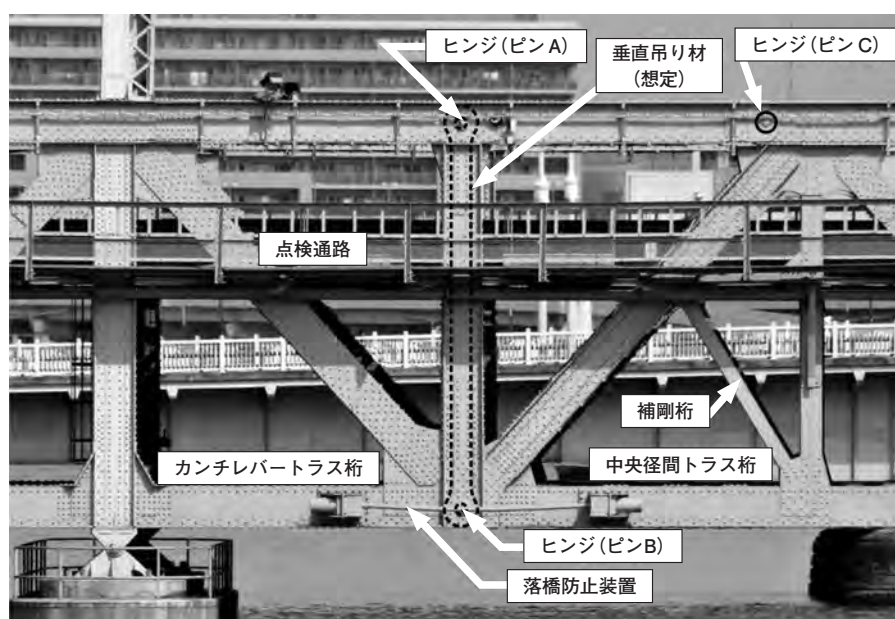


写真-5 中央径間のトラス桁とカンチレバー・トラス桁の接合部

で接続され、ヒンジ構造を形成していることが窺えます。



写真-6 垂直材の上部（ピンA部）

こうした状況から、中央径間トラス桁は、「カンチレバー・トラス桁が支承で支えるのではなく、上下端にヒンジを入れ、垂直材で吊っている」ことが確認できました。

何故このような複雑な構造を採用し、垂直部材の内側にアイバーを設置した理由ですが、個人的には景観上の配慮から河川を横断するシンプルなトラス構造を見せたかったのではないかと考えています。

なお、上から垂直材で吊る構造は非常に珍しく、文献によれば、わが国では同じカンチレバー・ゲルバー・トラス橋である長岡市の長生橋（道路橋）が同様の構造となっています。

5. トラス形式の採用

次に本橋のトラス形式について推察してみました。



写真-7 本橋下面部の構造

写真-1.7から分かるように、本橋は左右2本の主構トラスと横桁で構成され、橋上部に上横構のない「ポニートラス」となっています。

昭和初期の鉄道トラス橋は、荷重の増大等に伴い英国式のポニートラスから米国式のプラットトラスに移行しつつある時期でしたが、本橋の場合は、

中路式トラス橋であることに加え、橋の直下を航行する船舶のため桁下空間を確保する必要があることから、トラス高の小さいポニートラスを採用したのではないかと推測しています。

さらに前にも述べたように、車窓からは橋梁の桁越しに隅田川の川面と周辺の街並みを眺めることもできることもポニートラスを採用した理由の一つと思われます（写真-8）。



写真-8 車窓から見た隅田川（下流側）

5. 隅田川に架かる橋

隅田川には、本橋と同時期に建設された橋梁が11橋あり、このうち本橋を含む2橋は鉄道橋で9橋が道路橋です。下流から相生橋、永代橋、清洲橋、蔵前橋、駒形橋、言問橋の6橋は復興局により建設され、厩橋、両国橋、吾妻橋の3橋は東京市により建設されています。

復興局による6橋は、前述した田中豊博士が橋梁課長として行った仕事であり、その特徴はアーチ構造や吊り構造、ゲルバー構造等多彩な構造形式を採用していることです。

このような多彩な橋梁形式の採用は、ともすれば統一性に欠け、バラバラになることが懸念されますが、田中博士は隣接する橋との関係について、例えば「永代橋（写真-9）が上向きの曲線型であるのに対し、清洲橋（写真-10）は反対に下向きの吊橋型を取ることで調和を図った」と述べられています。

結果として、隅田川に沿って多彩な橋梁形式がリズム感をもって鑑賞することができ、見てもらうための工夫とも考えることができます。

さらに、文献によると、永代橋では、「トラス構造の斜材による通行者の視覚的不快感を軽減するため、垂直吊り材による構造を選択した」と記載され

ています。

しかし、本橋では河川上での桁下空間の確保から中路橋とし、さらに車内の乗客の視線に対し、「斜材による不快感」を与えず、合理性をも追及した構造にしたとも解釈できます。



写真-9 永代橋



写真-10 清洲橋

さいごに

今回は東武鉄道隅田川橋梁のゲルバー構造の要となるトラス桁部の吊り構造について考察を記述しましたが、本橋については、実は面白い話が残っています。戦後GHQの技術者が東京大学へやって来て、本橋のカンチレバー・トラスにことのほか興味を抱き、特に吊り構造の図面を所望し持ち帰ったという逸話があります。

これは、GHQの技術者が大正時代に我が国がアメリカから輸入した多くのピントラス橋梁に欠くことのできない鉛直材（アイバー）と発想が通じるところを感じて、興味を持たれたのではないかと思うところです。

ところで、最後に東京スカイツリーと浅草界隈は、観光のメッカとして連日外国人をはじめ多くの観光客が集まるところです。特に本橋には併設して遊歩道も設置されていますので、少しでも橋梁に興味を持って頂き、触れて頂いて、本橋を含めた隅田川の橋梁群を多くの方々に眺めて欲しいと思うところです。

第15回定時総会・懇談会を開催

第15回定時総会は令和8年5月26日（火）、午後3時30分からアルカディア市ヶ谷5階「穂高」において開催された。

総会は、槌谷会長の挨拶、国土交通省大臣官房技術審議官 小林賢太郎氏の来賓祝辞の後、議事に入り、第1号議案「令和7年度事業報告承認の件」、第2号議案「令和7年度収支決算承認の件」が上程され、第1号議案及び第2号議案について、特に異議はなく、原案どおり承認、可決された。

第3号議案「役員選任の件」が上程され、特に異議はなく、原案どおり承認、可決された。

報告事項の第1号「令和8年度事業計画の件」及び第2号「令和8年度収支予算の件」が報告され、いずれも、特に異議はなく、報告事項については終了した。

以上ですべての議事を終了し午後4時25分に閉会した。

午後5時30分から同所「大雪」において「懇談会」を開催した。懇談会は槌谷会長の挨拶、国土交通省技監 廣瀬昌由氏の来賓祝辞の後、一般社団法人日本塗装工業会会長 若宮昇平氏の乾杯の発声で開演、午後7時に盛会裏に散会した。



総会：槌谷会長挨拶



総会：国土交通省 小林技術審議官（現近畿地方整備局長）
来賓祝辞



懇談会：国土交通省 廣瀬技監 来賓祝辞

令和 8 年度会長表彰

令和8年度表彰式は第15回定時総会終了後に行われ、優秀施工賞及び安全施行者表彰の受賞者に対し表彰状を授与し、併せて、副賞として記念品を贈呈した。

受賞者 優秀施工賞

株式会社 J-BIS メンテナンス 東京支店 千葉営業所

柳原 尚美 (株式会社山崎塗装店)

真崎 大祐 (株式会社ナカセン)

安全施工者表彰

沖 泰文 (株式会社ナガサキ)



受賞者の皆様

「高塗着スプレー塗装施工管理技術者」認定試験・講習会

令和7年度「高塗着スプレー塗装施工管理技術者」の認定試験及び講習会を名古屋で実施し、12名（新規12名）が認定された。認定者の累計は124名となっている。

「高塗着スプレー塗装技能者」講習会

令和7年度「高塗着スプレー塗装技能者」講習会を東京、名古屋、広島で実施し、72名（新規21名、更新51名）が修了した。修了者の累計は114名となっている。

2級土木施工管理技術検定（鋼構造物塗装）受検準備講習会の開催

令和7年度2級土木施工管理技術検定（鋼構造物塗装）の受検者を対象に講習会を開催した。東京、大阪、福岡及び札幌で実施し、87名が受講した。

会議等開催状況

【第14回定時総会】

日 時 令和7年5月16日（金）15時30分～16時20分
場 所 アルカディア市ヶ谷6階「霧島」
議 事 第1号議案 令和6年度事業報告承認の件
第2号議案 令和6年度決算承認の件
第3号議案 役員選任の件

報告事項

第1号 令和7年度事業計画について
第2号 令和7年度収支予算について

【第27回理事会】

日 時 令和7年4月22日（火）15時30分～16時20分
場 所 アットビジネスセンター東京駅八重洲通り 6階604会議室
会場およびZoomによるWeb会議
議 事 (1) 令和6年度事業報告（案）の承認について
(2) 令和6年度収支決算（案）の承認について
(3) 令和6年度事業監査の報告について
(4) 役員等の選任について
(5) 令和7年度収支予算（案）の修正について

臨時理事会（書面）

日 時 令和7年8月18日（月）
議 事 (1) 正会員の入会について

臨時理事会（書面）

日 時 令和7年11月21日（金）
議 事 (1) 顧問の選任について
(2) 正会員の入会について

【第28回理事会】

日 時 令和8年3月19日（木）15時30分～16時10分
場 所 アットビジネスセンター東京駅八重洲通り 6階604会議室
会場およびZoomによるWeb会議
議 事 (1) 令和8年度事業計画（案）の承認について
(2) 令和8年度収支予算（案）の承認について
(3) 運営規則に係る内規の制定について
(4) 令和8年度会長表彰の承認について
(5) 正会員及び賛助会員の入会について

【第103回運営審議会】

日 時 令和7年4月22日（火）14時00分～15時10分
場 所 アットビジネスセンター東京駅八重洲通り 6階604会議室
会場およびZoomによるWeb会議
主な議事 (1) 令和6年度事業報告（案）の審議について
(2) 令和6年度収支決算（案）の審議について
(3) 令和6年度事業監査の報告について
(4) 役員等の選任について
(5) 令和7年度収支予算（案）の修正について

【第104回運営審議会】

日 時 令和7年7月24日（木）14時30分～16時30分
場 所 アットビジネスセンター東京駅八重洲通り 6階604会議室
会場およびZoomによるWeb会議
主な議事 (1) 令和7年度の事業実施概要について
(2) 正会員の入会審査について

【第105回運営審議会】

日 時 令和7年10月23日（木）14時30分～16時45分
場 所 アットビジネスセンター東京駅八重洲通り 6階604会議室
会場およびZoomによるWeb会議
主な議事 (1) 令和7年度の事業実施状況について
(2) 正会員の入会審査について
(3) 顧問の選任について

【第106回運営審議会】

日 時 令和8年3月19日（木）14時00分～15時00分
場 所 アットビジネスセンター東京駅八重洲通り 6階604会議室
会場およびZoomによるWeb会議
主な議事 (1) 令和8年度事業計画（案）について
(2) 令和8年度収支予算（案）について
(3) 運営規則に係る内規の制定について
(4) 令和8年度会長表彰（案）について
(5) 正会員及び賛助会員の入会審査について

令和8年度役員名簿

会 長	槌谷 幹義	大同塗装工業（株）	代表取締役
副 会 長	小 掠 武志	（株）小掠塗装店	代表取締役
副 会 長	鈴木 喜亮	（株）ナカセン	会長
副 会 長	奈良間 剛	東海塗装（株）	代表取締役
業務執行理事	森川 裕司	（一社）橋塗協	事務局長
理 事	宇佐美弘文	東亜塗装工業（株）	代表取締役
理 事	大平 洋	関西ペイント販売（株）東日本販売部	東北エリア担当部長
理 事	桜井 順	首都高メンテナンス西東京（株）	代表取締役社長
理 事	佐々木一夫	元 国土交通省東北地方整備局道路保全企画官	
理 事	佐野 智正	（株）佐野塗工店	代表取締役
理 事	中村 順一	（株）ナプコ	取締役会長
理 事	長崎 邦彦	（株）ナガサキ	代表取締役
理 事	長谷川朋弘	（一社）日本橋梁建設協会	副会長兼専務理事
理 事	檜垣 匠	建装工業（株）	専務取締役 営業本部長
理 事	堀込 順一	（株）J-BIS メンテナンス	代表取締役社長
理 事	若宮 昇平	（株）若宮塗装工業所	代表取締役
理 事	渡辺 博志	（一財）土木研究センター	専務理事
監 事	加藤 敏行	昌英塗装工業（株）	取締役会長
監 事	木村 嘉富	（一財）橋梁調査会	専務理事

（五十音順）

第 26 回技術発表大会

毎年恒例の技術発表大会は、令和 8 年 5 月 26 日に千代田区九段北のアルカディア市ヶ谷で開催されました。槌谷会長による開会あいさつに続いて特別講演 2 件を含めて合計 4 件が発表されました。今回は約 130 名の方々が聴講されるとともに活発な質疑応答も行われ、発表者、聴講者ともに好評のうちに終わることができ、当協会関係者も大変感謝しております。

なお、当日の講演テーマは以下のとおりです。(詳しくは予稿集および当協会 HP をご参照ください)

「塗替え周期 50 年への挑戦（労働力減少社会に対応する塗装長寿化戦略）」（特別講演）

首都高速道路株式会社 技術部 技術推進課 課長 蔵治 賢太郎

「建設業を変化させる新しい技術（塗膜厚管理システムの導入とテレワーカーの活用）」

川田工業株式会社 橋梁事業部 開発部 櫻井 真奈美

「AI ラップ工法（AICONSTRUCTION（愛ある建設現場）を実現）」

株式会社 Splice-Lab 代表取締役 片山 英資

「塗装はなぜ、橋を守れるのか（腐食・劣化・時間を相手にする技術の正体）」（特別講演）

一般社団法人 日本構造物診断技術協会 顧問 高木 千太郎
アイセイ株式会社 技術開発担当部長



技術発表大会の状況

第 26 回技術発表大会のアンケート集計結果

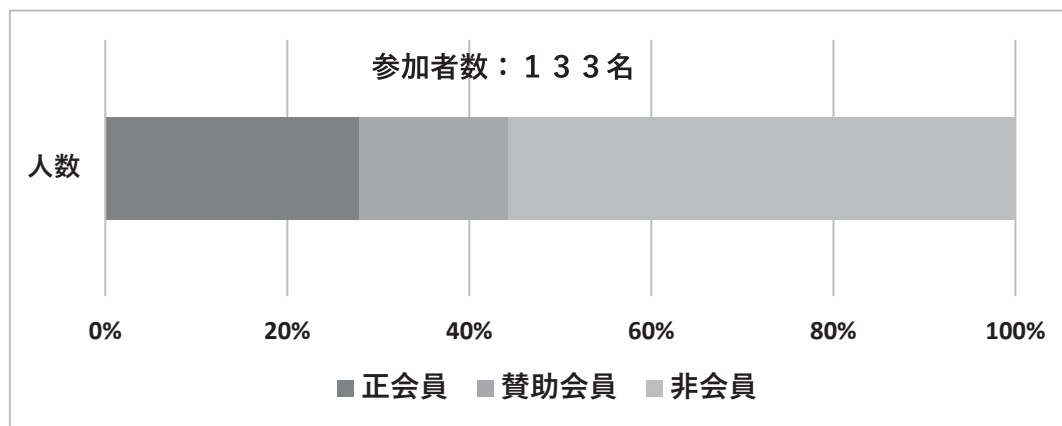
参加者数とアンケート回収率

参加者 133 名

技術発表大会参加者数（名）	133
アンケート回収数（枚）	110
アンケート回収率（％）	82.7

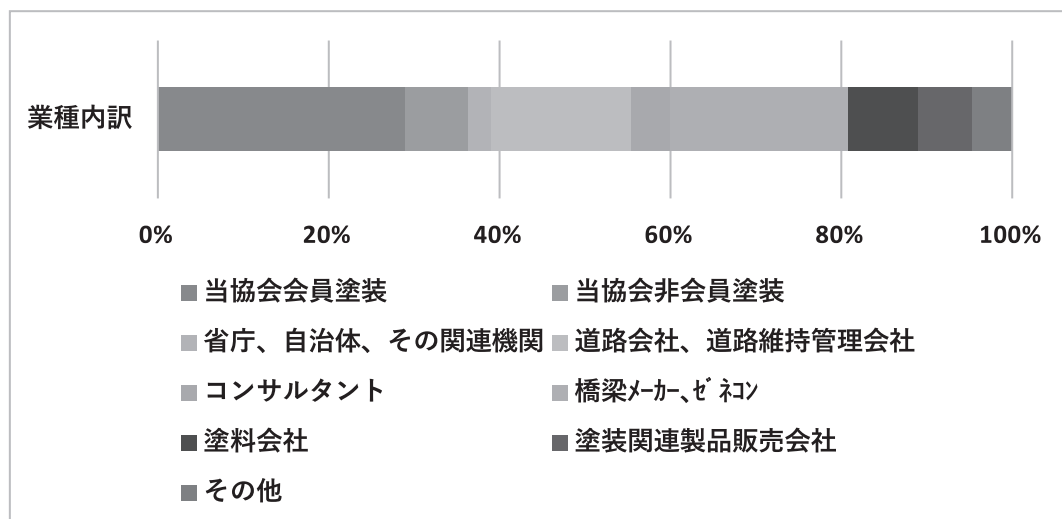
参加者の内訳

正会員と賛助会員を合わせて約 44%で、その他は非会員



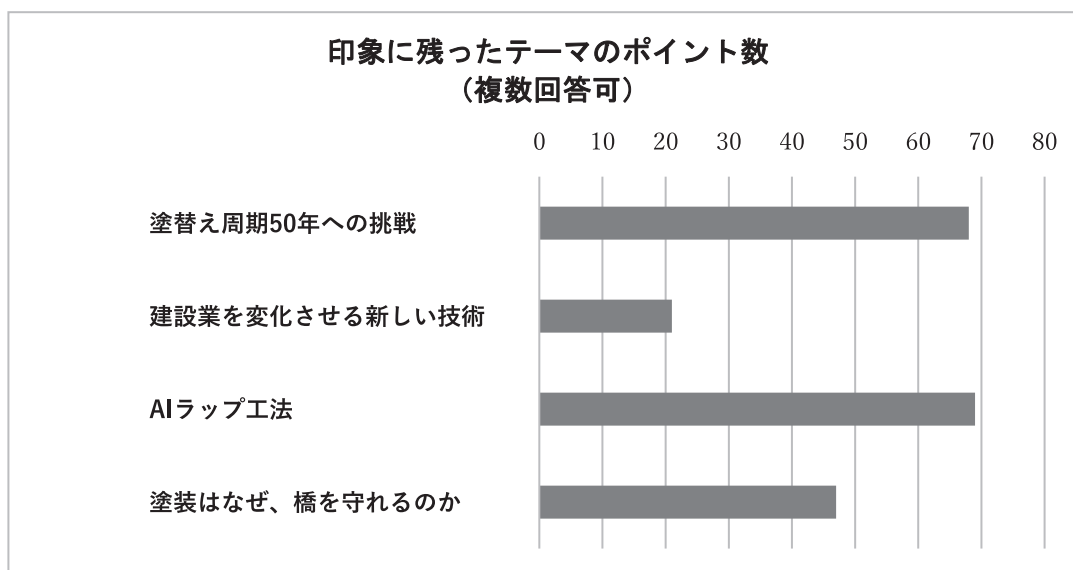
参加者の業種内訳

塗料、塗装に関する業者が約 56% で、塗装工事を設計施工する発注側の業種が約 43%

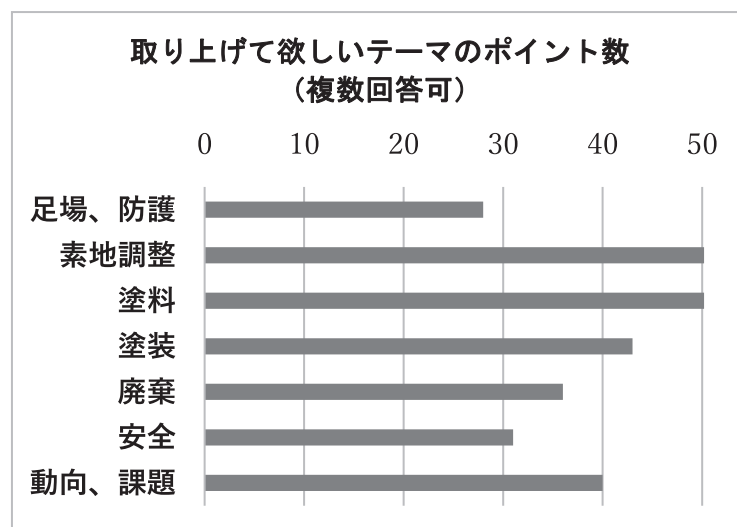


本発表大会で印象に残ったテーマ

下図から、「塗替え周期 50 年への挑戦」と「AI ラップ工法」に関する発表が関心を集めた。



今後、取り上げて欲しいテーマ



技術発表大会に対する要望や意見等

- ・ 課題が多い現状において、前向きな品質・効率向上への取り組みが素晴らしいと感じた。
- ・ 業界内の困りごと等も聞けて有効な知見が得られた。
- ・ 透明な塗料について取り上げてほしい。
- ・ プレゼン内容の社内周知のため、当日のパワーポイントの資料を頂きたい。
- ・ 貴重な話を聞くことが出来た。今後の自分の仕事に生かして行きたい。(2 件)
- ・ 低濃度 PCB の廃棄期限に対する残留 PCB の現状について取り上げてほしい。
- ・ ポスターセッションの導入など性能規定に移りつつある土木業界のみなさんのディスカッションができるような場面があってもよいと感じた。
- ・ 親睦会まで時間があるので、総会と技術発表会の時間を変えてほしい。

会社名	〒	住所	TEL	FAX
北海道地区(2 社)				
●北海道(2 社)				
池田工業(株)	049-0156	北海道北斗市中野通 218-3	0138-73-7666	0138-73-7682
武ダ技建創(株)	003-0012	北海道札幌市白石区中央二条 1-6-15 武田ビル	011-842-8888	011-842-8880
東北地区(17 社)				
●青森県(3 社)				
(株)カキザキ	031-0801	青森県八戸市江陽 5-6-20	0178-43-2979	0178-43-8825
大管工業(株)	030-0933	青森県青森市諏訪沢字岩田 50-4	017-726-2100	017-726-2120
(有)千葉塗装	035-0096	青森県むつ市大湊字宇曾利川村 45-1	0175-24-1445	0175-24-3885
●岩手県(1 社)				
松草塗装工業(株)	026-0034	岩手県釜石市中妻町 2-17-15	0193-23-5621	0193-23-5633
●秋田県(10 社)				
(有)大館工藤塗装	017-0823	秋田県大館市字八幡沢岱 69-48	0186-49-0029	0186-42-8592
(株)加賀昭塗装	011-0942	秋田県秋田市土崎港東 2-9-12	018-845-1247	018-846-8822
(株)黒澤塗装工業	010-0001	秋田県秋田市中通 3-3-21	018-835-1084	018-836-5898
(株)澤木塗装工業	010-0511	秋田県男鹿市船川港船川字海岸通り 1-10-9	0185-24-4002	0185-24-6266
三建塗装(株)	010-0802	秋田県秋田市外旭川字田中 6	018-862-5484	018-862-5564
(株)ナカセン	014-0207	秋田県大仙市長野字柳田 73-3	0187-56-2262	0187-56-2199
平野塗装工業(株)	010-0971	秋田県秋田市八橋三和町 17-24	018-863-8555	018-877-4774
(株)フジベン	013-0061	秋田県横手市横手町字三ノ口 16	0182-32-0829	0182-32-6170
丸谷塗装工業(株)	010-0934	秋田県秋田市川元むつみ町 7-17	018-823-8581	018-823-8583
(株)山田塗料店	015-0852	秋田県由利本荘市一番堰 180-1	0184-22-8253	0184-22-0618
●山形県(3 社)				
(株)トウショー	999-3511	山形県西村山郡河北町谷地字月山堂 870	0237-72-4315	0237-72-4145
(株)ナカムラ	997-0802	山形県鶴岡市伊勢原町 26-10	0235-22-1626	0235-22-1623
山田塗装(株)	998-0851	山形県酒田市東大町 3-7-10	0234-24-2345	0234-24-2347
関東地区(43 社)				
●茨城県(1 社)				
(株)マスタ塗装店	310-0836	茨城県水戸市元吉田町 1974-54	029-350-8081	029-272-3191
●埼玉県(4 社)				
(株)アクア	339-0002	埼玉県さいたま市岩槻区裏慈恩寺 462-7	048-797-9185	048-797-9186
(株)ケイエイ産業	334-0013	埼玉県川口市南鳩ヶ谷 2-12-3	048-242-5927	048-242-5928
(株)丸一建装	333-0862	埼玉県川口市北園町 34-33	048-267-7086	048-266-3632
(株)y's	343-0022	埼玉県越谷市東大沢 2-25-1 y's ビル 2 階	048-973-1724	048-973-1725
●千葉県(4 社)				
(株)朝日ネクスト	273-0003	千葉県船橋市宮本 3-2-2	047-433-1511	047-431-3255
呉光塗装(株)	271-0054	千葉県松戸市中根長津町 25	047-365-1531	047-365-4221
平世美装(株)	292-0834	千葉県木更津市潮見 4-14-8	0438-37-1035	0438-37-1039
ヨシハタ工業(株)	260-0813	千葉県千葉市中央区生実町 1827-7	043-305-8555	043-305-8560
●東京都(23 社)				
(株)オガワ	192-0063	東京都八王子市元横山町 3-4-10	042-624-1166	042-624-1160
克美建装(株)	136-0071	東京都江東区亀戸 7-41-10 ルクラーヂュ亀戸 1 階	03-5875-5264	03-5875-5339
加藤塗装(株)	123-0843	東京都足立区西新井栄町 2-9-5	03-3886-0731	03-3886-0588
カネコ塗装工業(株)	162-0042	東京都新宿区早稲田町 9	03-3202-7251	03-3202-7250
(株)カメヤ堀越	111-0056	東京都台東区小島 2-3-5	03-3863-8441	03-3863-8448
久保田建装(株)	158-0095	東京都世田谷区瀬田 5-3-6	03-3707-2585	03-3707-2039
久保田塗装(株)	112-0013	東京都文京区音羽 1-27-13	03-6912-0406	03-6912-0407
建装工業(株)	105-0003	東京都港区西新橋 3-11-1	03-3433-2929	03-3433-4158
江東塗装工業(株)	132-0025	東京都江戸川区松江 1-4-7	03-3653-8141	03-3653-7227
(株)河野塗装店	111-0034	東京都台東区雷門 1-11-3	03-3841-5525	03-3844-0952
(株)光和	124-0023	東京都葛飾区東新小岩 5-16-6	03-5875-7955	03-5875-7956
(株)J-BISメンテナンス	101-0044	東京都千代田区鍛冶町 2-6-1 堀内ビルディング 7 階	03-3252-2511	03-3252-2514
昌英塗装工業(株)	167-0021	東京都杉並区井草 1-33-12	03-3395-2511	03-3390-3435

会社名	〒	住所	TEL	FAX
(有)大栄塗装	132-0033	東京都江戸川区東小松川 4-21-5	03-5879-5277	03-5879-5277
大同塗装工業(株)	155-0033	東京都世田谷区代田 1-1-16	03-3413-2021	03-3412-3601
(株)テクノ・ニッター	144-0051	東京都大田区西蒲田 3-19-13	03-3755-3333	03-3755-3355
東亜塗装工業(株)	112-0002	東京都文京区小石川 5-35-11	03-5804-6211	03-5804-6212
東海塗装(株)	146-0082	東京都大田区池上 5-5-9	03-3753-7141	03-3753-7145
(株)富田鋼装	133-0052	東京都江戸川区東小岩 1-24-12	03-3672-1707	03-3657-1892
(株)ナプコ	135-0042	東京都江東区木場 2-21-5	03-3642-0002	03-3643-7019
服部塗装商事(株)	157-0066	東京都世田谷区成城 2-33-13	03-3416-1059	03-3416-0808
丸喜興業(株)	154-0004	東京都世田谷区太子堂 4-22-5 ホームズ三軒茶屋駅前 201 号室	03-3422-3255	03-3412-4907
(株)ヤオテック	144-0053	東京都大田区蒲田本町 2-15-1	03-3737-1225	03-3737-1279

●神奈川県(8 社)

(株)I & I	210-0837	神奈川県川崎市川崎区渡田 1-10-17	044-272-7080	044-201-6731
(株)infrat	216-0044	神奈川県川崎市宮前区西野川 2-37-35	044-788-1944	044-751-9052
(株)OIKE	214-0014	神奈川県川崎市多摩区登戸 2075-2 コスモスパジオ向ヶ丘遊園 302	044-299-6688	044-299-6687
(株)カタヤマ	242-0002	神奈川県大和市つきみ野 2-1-9	046-276-3167	046-276-3266
(株)コーケン	236-0002	神奈川県横浜市金沢区鳥浜町 12-7	045-778-3771	045-772-8661
清水塗工(株)	221-0071	神奈川県横浜市神奈川区白幡仲町 40-35	045-432-7001	045-431-4289
(株)ヨコソー	238-0023	神奈川県横須賀市森崎 1-17-18	046-834-5191	046-834-5166
横浜コーティング Pro.(株)	236-0002	神奈川県横浜市金沢区鳥浜町 16-4	045-370-9651	045-370-9661

●長野県(2 社)

安保塗装(株)	399-8101	長野県安曇野市三郷明盛 3964-1	0263-77-8899	0263-77-8822
桜井塗装工業(株)	380-0928	長野県長野市若里 1-4-26	026-228-3723	026-228-3703

●山梨県(1 社)

(有)山縣塗装店	400-0812	山梨県甲府市和戸町 147-3	055-232-2284	055-233-1954
----------	----------	-----------------	--------------	--------------

北陸地区(10 社)

●新潟県(1 社)

平川塗装(株)	950-0950	新潟県新潟市中央区鳥屋野南 3-1-15	025-281-9258	025-281-9260
---------	----------	----------------------	--------------	--------------

●富山県(1 社)

住澤塗装工業(株)	939-8261	富山県富山市萩原 72-1	076-429-6111	076-429-7178
-----------	----------	---------------	--------------	--------------

●石川県(4 社)

(有)沖田塗装	921-8066	石川県金沢市矢木 3-263	076-240-0677	076-240-3267
(株)川口リファイン	921-8135	石川県金沢市四十万 5-3-2	076-287-5280	076-259-0124
萩野塗装(株)	920-0364	石川県金沢市松島町 3-26	076-272-7778	076-249-1103
(株)若宮塗装工業所	920-0968	石川県金沢市幸町 9-17	076-231-0283	076-231-5648

●福井県(4 社)

(株)岡本ペンキ店	914-0811	福井県敦賀市中央町 2-11-30	0770-22-1214	0770-22-1227
(株)塚田商事	910-0016	福井県福井市大宮 6-15-24	0776-22-2991	0776-22-4898
(株)野村塗装店	910-0028	福井県福井市学園 2-6-10	0776-22-1788	0776-22-1659
(株)山崎塗装店	910-0017	福井県福井市文京 2-2-1	0776-24-2088	0776-24-5191

中部地区(5 社)

●愛知県(3 社)

(株)イヤマトータルブリッジサポート	458-0915	愛知県名古屋市長区野末町 1404 番地	052-625-7776	052-625-7666
(株)佐野塗工店	457-0067	愛知県名古屋市長区上浜町 215-2	052-613-2997	052-612-3891
ヤマダイインフラテクノス(株)	459-8011	愛知県名古屋市長区定納山 1-1504 番地	052-627-1017	052-627-6732

●岐阜県(2 社)

(株)内田商会	502-0906	岐阜県岐阜市池ノ上町 4-6	058-233-8500	058-233-8975
岐阜塗装(株)	500-8262	岐阜県岐阜市茜部本郷 3-87-1	058-273-7333	058-273-7334

近畿地区(7 社)

●大阪府(4 社)

(株)小掠塗装店	551-0031	大阪府大阪市大正区泉尾 3-18-9	06-6551-3588	06-6551-4319
----------	----------	--------------------	--------------	--------------

会社名	〒	住所	TEL	FAX
(株)昭和塗工社	558-0011	大阪府大阪市住吉区荻田 3-3-24-410	06-6608-8865	06-6608-8867
(株)ソトムラ	577-0841	大阪府東大阪市足代 3-5-1	06-6721-1644	06-6722-1328
鉄電塗装(株)	534-0022	大阪府大阪市都島区都島中通 2-1-15	06-6922-5771	06-6922-1925

●兵庫県(3 社)

(株)伊藤テック	661-0043	兵庫県尼崎市武庫元町 1-21-18	06-6431-1104	06-6431-3529
(株)ウェイズ	657-0846	兵庫県神戸市灘区岩屋北町 4-3-16	078-871-3826	078-871-3946
(株)日誠社	673-0011	兵庫県明石市西明石町 2-1-13	078-923-3674	078-923-3621

中国・四国地区(9 社)

●岡山県(2 社)

(株)西工務店	700-0827	岡山県岡山市北区平和町 4-7	086-225-3826	086-223-6719
(株)富士テック	700-0971	岡山県岡山市北区野田 5-2-13	086-241-0063	086-241-3968

●広島県(4 社)

第一美研興業(株)	731-5116	広島県広島市佐伯区八幡 3-16-13	082-928-2088	082-928-2268
司産業(株)	734-0013	広島県広島市南区出島 2-13-49	082-255-2110	082-255-2142
(株)ナガサキ	733-0036	広島県広島市西区観音新町 1-7-24	082-233-5600	082-233-5622
日塗(株)	721-0952	広島県福山市曙町 1-10-10	084-954-7890	084-954-7896

●徳島県(2 社)

(株)シンコウ	772-0003	徳島県鳴門市撫養町南浜字東浜 34-13	088-686-9225	088-686-0363
(株)平井塗装	770-0804	徳島県徳島市中吉野町 4-41-1	088-631-9419	088-632-4824

●香川県(1 社)

中橋産業(株)	762-0061	香川県坂出市坂出町北谷 314 番地	0877-46-1201	0877-44-4424
---------	----------	--------------------	--------------	--------------

九州地区(3 社)

●宮崎県(3 社)

(株)くちき	880-2101	宮崎県宮崎市大字跡江 386-4	0985-47-3585	0985-47-3586
森塗装(株)	880-0835	宮崎県宮崎市阿波岐原町前浜 4276-282	0985-23-6662	0985-24-4363
吉川塗装(株)	883-0021	宮崎県日向市財光寺字沖の原 1055-1	0982-53-1516	0982-53-5752

沖縄地区(1 社)

●沖縄県(1 社)

(有)マルタ工業	906-0006	沖縄県宮古島市平良字西仲宗根 311-1	0980-72-3175	0980-72-1620
----------	----------	----------------------	--------------	--------------

(以上 97 社)

賛助会員

会社名	〒	住所	TEL
大塚刷毛製造(株)	160-8511	東京都新宿区四谷 4-1	03-3357-4711
関西ペイント販売(株)	144-0045	東京都大田区南六郷 3-12-1	03-5711-8901
菊水化学工業(株)	460-0008	愛知県名古屋市中区栄 1-3-3 AMMNAT ビル	052-300-2222
三協化学(株)	461-0011	愛知県名古屋市中区白壁 4-68	052-931-3111
三彩化工(株)	531-0076	大阪府大阪市北区大淀中 3-5-30	06-6451-7851
(株)島元商会	457-0075	愛知県名古屋市中区石元町 3-28-1	052-821-3445
JFE エンジニアリング(株)	100-0011	東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号 日比谷国際ビル 22 階	03-3539-7225
スズカファイン(株)	510-0101	三重県四日市市楠町小倉 1058-4	059-397-6111
大伸化学(株)	105-0012	東京都港区芝大門 1-9-9 野村不動産芝大門ビル 11 階	03-3432-4786
大日本塗料(株)	542-0081	大阪府大阪市中央区南船場 1-18-11 SR ビル長堀	06-6266-3100
(株)タカミヤ	530-0011	大阪市北区大深町 3-1 グランフロント大阪 タワー B27 階	06-6375-3900
(株)トウベ	592-8331	大阪府堺市西区築港新町 1-5-11	072-243-6411
日環商材(株)	150-0032	東京都渋谷区鶯谷町 3-1 SU ビル 604	03-5422-3510
日本ペイント(株)	140-8677	東京都品川区南品川 4-7-16	03-5479-3602
(株)ネオス	650-0001	兵庫県神戸市中央区加納町 6-2-1 神戸関電ビル 7 階	078-331-9382
山川産業(株)	660-0805	兵庫県尼崎市西長洲町 1-3-27	06-4868-1560
好川産業(株)	550-0015	大阪府大阪市西区南堀江 1-19-5	06-6543-4526

(以上 17 社)

NETIS 登録番号 SK-210003-A

鋼材に貼りつけるだけでOK 貼る重防食シート

メタモルシート#1

腐食箇所などの
部分補修に

従来の塗装作業とは異なり、作業も取り扱いも簡単！

NETIS 登録番号 CG-210013-A

鉄・非鉄金属用

塩害環境向け高遮断塗装システム

塩害環境に強い！

タイエンダー

システム

弱溶剤形	タイエンダー下塗	特化則対応品
強溶剤形	タイエンダー下塗ストロング	
超厚膜形	タイエンダー下塗ストロング H-R	

DNT 大日本塗料株式会社
DAI NIPPON TORYO

<https://www.dnt.co.jp/>

●大 阪 ☎06-6266-3119 ●名古屋 ☎052-332-1701
●東 京 ☎03-5710-4502 いーないろ
塗料相談室フリーコール 0120-98-1716

会社公式Instagram



塩害環境対応型 高遮断・さび転換 塗装システム

ダンジオーラ システム

ダンジオーラ システムが
防食領域の常識を覆す！！

「塩害仕様の決定版」で
塗り替え周期延長と工程短縮に貢献します。

 **NIPPON PAINT**
Basic & New

VE登録! 活用効果評価済み ケレン塗膜粉じん飛散防止液

モイストツップK

NETIS 国土交通省 新技術情報提供システム
<登録番号> KT-160144-VE
活用促進技術
新技術活用評価会議(中国地方整備局)

特許第6462739号

1 ケレン塗膜粉じんの飛散抑制

塗付することで湿式によるケレン作業が実施でき、塗膜粉じんが浮遊せずに落下しやすくなるため、塗膜粉じんの飛散を効率よく抑制することができます。

2 湿潤効果持続性

天上面や垂直面に簡単に塗付できてタレることなく、長時間に渡り湿潤状態を保ちます。
※湿潤効果の持続時間:約8時間(23℃)

3 残剤除去性

乾燥が遅く、水溶性であるため、ケレン作業後に拭き取ることで残剤を簡単に除去することができます。

4 飛散物の回収性

ケレン作業により使い捨て養生シート等に付着した飛散物は、時間の経過とともに被膜化が進行するため、粉じんとして浮遊せずに回収が容易です。

5 安全性

水系タイプであるため、引火性がなく安全で、臭気の問題もなく、作業員に対する危険有害性が低いです。



スズカファイン株式会社

【お問い合わせ】 スズカファイン(株) 市場開発部
〒510-0851 三重県四日市市塩浜町1番地技術センター
TEL : 059-346-1116 FAX : 059-346-4585

環境配慮と長寿命化によるライフサイクル及びメンテナンスコスト低減を実現した
弱溶剤高耐候性防食塗装システム

ニューフツソシリーズ

省工程対応

【ニューフツソ21DC上塗システム】

弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗
ニューフツソ21DC上塗

弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗
ニューフツソ21中塗E

弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗
ニューエポ21プライマー

弱溶剤形有機ジンクリッチペイント
ニュージンクHB

【ニューフツソHB上塗システム】

弱溶剤厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗
ニューフツソHB上塗

弱溶剤厚膜形変性エポキシ樹脂塗料下塗
ニューエポ21HBプライマー

— 関連商品 —

さび面素地調整軽減エポキシ樹脂プライマー
トアラストバリア
水性塗膜剥離剤
アクアインプラス202N

多様な社会ニーズに応える、持続可能かつ進化する
防食塗装システムを提案し続けます。



株式会社トウペ

ホームページ <https://www.tohpe.co.jp/>

本社塗料相談室 〒592-8331 大阪府堺市西区築港新町一丁5番地11 Tel. (072) 243-6452



高塗着スプレー塗装工法

((一社)日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会) NETIS 登録番号：HR-050017-V



株式会社 島元商会

代表取締役 島元 隆幸

取締役会長 島元 文隆

○取扱代理店

旭サナック(株)製高塗着スプレーシステム
高塗着スプレー用アース分岐システム
高塗着スプレー関係 現場 設営 指導

○ほか営業品目

塗装用刷毛各種・ブラシ各種
塗装機器・養生用品・防災用品
仮設資材・その他建築塗装用資材一式

〒457-0075 名古屋市南区石元町 3-28-1
電話 052-821-3445 FAX 052-821-3585
shimamoto-shoukai@arion.ocn.ne.jp

(一社)日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会賛助会員
アース分岐システム特許取得番号 第 399101 号



国土交通省新技術提供システム

NETIS

KK-230044-A

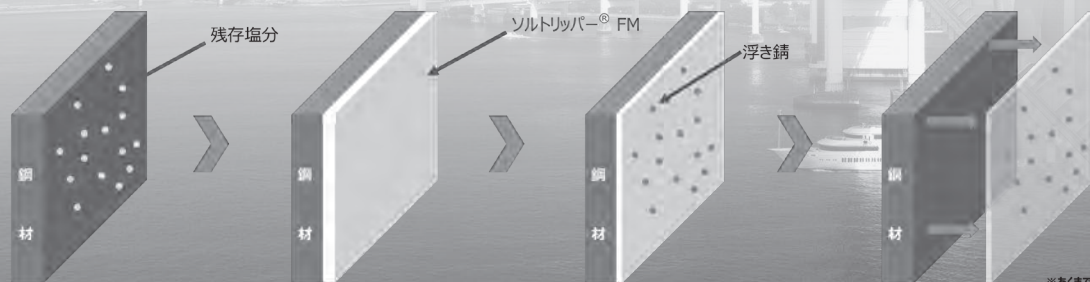
**水洗できない現場でも、
膜を剥がして、塩分処理可能！**

塩分低減のメカニズム

1. 塗布／塩分の取り込み

2. 乾燥と共に浮き錆発生

3. 乾燥塗膜の除去



- 鋼材面に残存する塩分の影響で、塗替え塗装後、早期に錆が発生する事例が報告されています。
- ソルトリッパーFMは、プラストによる素地調整後の鋼材に残存する塩分を低減させる効果があります。

お問い合わせの際は、
弊社ホームページのお問い合わせフォームから ⇒
<http://www.daishin-chemical.co.jp/>



大伸化学株式会社
DAISHIN CHEMICAL CO., LTD.

PAINTING TOMORROW®
RCエアシェルター
REVOLUTION CONSTRUCTION

**現場の休憩所や作業所を進化させる
熱中症対策の新定番**

色々なシーンに
使える快適space!!

✓ 現場環境改善

✓ 熱中症対策

✓ 雨養生

立ち上がり
速度 約1分



製品カタログはコチラ▶

㊤大塚刷毛製造株式会社

本社 マーケティング二部 〒160-8511 東京都新宿区四谷4-1
TEL:03-3359-8724 FAX:03-3352-2915 URL <https://www.maru-t.co.jp>



鋼製橋梁の長寿命化対策 省工程塗替えシステム

鋼構造物リバイブ工法

Rc-Ⅲ塗装系をRc-I級の耐久性に向上

ブリストルブラスター…ハンディ工具によるブラスト処理面形成

ユニテクト30SF…高耐候 中塗・上塗り兼用塗料
(JIS K 5659:2018cA種上塗り1級) 塗1級

長期防食性に影響する下地処理面のグレードをUP!

ブラスト処理面が形成できるハンディタイプの動力工具を使用する事で、通常の動力工具では除錆不可能な残存さびを清浄な鋼材面にすることが出来ます。(清浄な鋼材面となった補修箇所は、Rc-Iと同様に有機ジンクリッチペイントの適用が可能です)

省工程形塗料の組合せにより、工期短縮とコスト低減が実現!

厚膜変性エポキシ樹脂塗料下塗と、ふっ素塗料同等以上の耐候性を有した、シリコン変性エポキシ樹脂中塗上塗り兼用塗料の組合せにより、従来のRc-Ⅲ品質を維持したまま工程を短縮することができます。

(例：Rc-Ⅲ塗装工程の場合、5工程から3工程に短縮が可能です)



【お問い合わせ】

関西ペイント株式会社 工業・防食塗料本部
〒220-0012 横浜市西区みなとみらい5-1-2
横浜シンフォステージウエストタワー21F
TEL. 045-514-2780

関西ペイントホームページ

www.kansai.co.jp

鉛・PCB 除去工事のプロフェッショナルをサポート



安全・確実・スピーディーに 環境対策工事 を支える

豊富な在庫と
スピード対応で
現場を
サポート!

鉛・PCB 除去工事に必要な資機材を豊富にご用意しております。

安全衛生保護具



・防護服・防毒マスク
・保護メガネ・手袋 など

養生資材



・養生テープ・スプレーのり
・養生シート・防炎シート など

梱包用品



・廃棄袋・フレコンバッグ
・吸収ポリマー など

除去用品



・剥離剤・塗装剤
・スクレーパー・研磨剤 など

機器



・負圧除塵装置・真空掃除機
・エアシャワー など



豊富な在庫

必要な資材を迅速に
ご用意します。



スピード対応

自社便による迅速配送で
現場のタイムロスを最小限に。



専門知識

環境対策工事に精通した
スタッフが最適な商品をご
提案します。



リース・メンテナンス対応

機材のレンタル・修理・点検まで
ワンストップでサポート。

日環商材株式会社 TEL: 03-5422-3510

〒150-0032

東京都渋谷区鶯谷町 3-1 SU ビル 604

詳しくは
ホームページへ

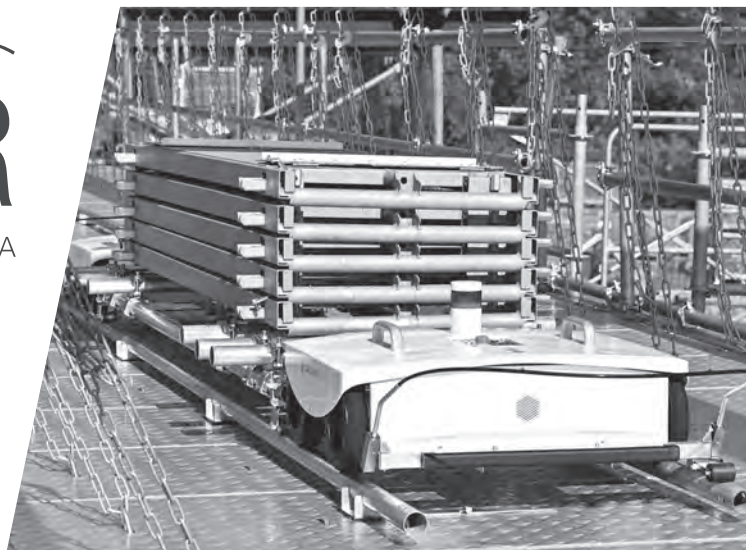


パイプレール走行型運搬ロボット

TLEVER

トレバー NETIS登録番号：KT-250047-A

運搬工数を1/3に削減し、
建設現場の労働負荷軽減と
事故リスク低減を実現
ワンタッチ操作 最大500kg運搬



TLEVER
製品動画



株式会社タカミヤ

大阪本社 大阪市北区大深町 3-1 グランフロント大阪 タワー B27 階 〒530-0011

東京本社 東京都中央区日本橋 3-10-5 オンワードパークビルディング 12 階 〒103-0027

www.takamiya.co

C-WRA

水系塗膜剥離剤工法等研究会

水系塗膜剥離剤工法で有害物含有塗膜の除去を♪

正
会
員

山一化学工業株式会社 好川産業株式会社 三彩化工株式会社
JFEエンジニアリング株式会社 株式会社ソーラー 大伸化学株式会社
三協化学株式会社 株式会社ネオス 菊水化学工業株式会社

フラストやフラスト面形成動力工具等の施工能率も向上し産廃物量も低減 ♪

水系塗膜剥離剤の主成分「ベンジルアルコール」は、
厚生労働省 労働安全衛生法による、化学物質のリスクアセスメントの対象物質に追加されました。
「ベンジルアルコール」は、どのように扱えば安全であるか明らかになっている物質ですので、適正に
管理して使用するようにしましょう。(政令及び省令の施行期日：令和3年1月1日)

〒651-0097 兵庫県神戸市中央区布引町2-2-7

www.c-wra.jp

info@c-wra.jp

**当協会会員は、「発注者から
信頼される元請企業」として
全国各地で活躍しています。**

「より良い塗装品質」の確保を目指すと共に、「美しい
景観」の実現にも積極的に取り組んでいます。



一般社団法人

日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会

JAPAN ASSOCIATION OF STRUCTURE PAINTING CONTRACTORS

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町2丁目4番5号
茅場町2丁目ビル3階

TEL 03-6231-1910

FAX 03-3662-3317

E-mail info@jasp.or.jp URL <https://www.jasp.or.jp>

編集後記

本誌では、「京葉線荒川放水路橋りょう塗替塗装工事の報告」を施工記録として掲載しました。本工事は、約9年にわたり塗替塗装が実施された大規模な橋梁保全事業です。足場仮設時の安全対策をはじめ、素地調整工法や塗装方法の検討など、限られた施工条件の中で安全性と品質の確保を両立させるためのさまざまな工夫や知見が紹介されています。また、本誌において施工記録を掲載するのは今回が初めての試みとなります。

そのほか、暴露試験の経過と考察や、植物由来の研削材を用いたブラスト工法、塗膜の耐久性と試験方法、橋梁の長寿命化戦略、鋼構造物塗装に関する国際規格の動向など、幅広いテーマを取り上げました。いずれも、インフラの維持管理や長寿命化への社会的要請が高まるなかで、橋梁塗装が果たすべき役割や今後の技術の方向性を考える上で参考となる内容です。

橋梁塗装は、鋼構造物の防食機能を維持し、その長寿命化を図ることで、社会インフラの安全・安心を支える重要な役割を担っています。近年は、インフラの老朽化対策や予防保全の重要性が一層高まっており、塗装技術にはこれまで以上に高い品質と信頼性が求められています。

その一方で、担い手不足や資材価格の高騰など、業界を取り巻く環境は厳しさを増しています。こうした課題に向き合うためにも、現場で培われた技術や経験を共有し、安全性・品質のさらなる向上を図るとともに、次世代への技術継承を着実に進めていくことが重要であると考えます。

本誌が橋梁塗装に携わる技術者をはじめ、鋼構造物の維持管理に関わる多くの皆様にとって、知識や経験の共有と技術力向上につながる情報源としてお役に立てれば幸いです。今後も橋梁塗装技術の発展と社会インフラの維持管理に貢献する情報発信に努めてまいります。

(M.K)

一般社団法人日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会

会 長

樋谷 幹義

副会長

小掠 武志

鈴木 喜亮

奈良間 剛

顧 問

見坂 茂範

佐藤 信秋

奈良間 力

Structure Painting 編集委員会

編集委員長

並川 賢治（前首都高メンテナンス
東東京株式会社）

編集委員（五十音順）

市嶋 好記（橋塗協 運営審議員）

尾幡 佳徳（阪神高速道路株式会社）

北村 岳伸（本州四国連絡高速道路株式会社）

佐野優里奈（首都高速道路株式会社）

富田 康博（橋塗協 運営審議員）

富山 禎仁（国立研究開発法人土木研究所）

奈良間 剛（橋塗協 理事）

藤本 貴正（株式会社高速道路総合
技術研究所）

山中 翔（公益財団法人鉄道総合
技術研究所）

編集幹事

久保田益弘（橋塗協 運営審議員）

Structure Painting - 橋梁・鋼構造物塗装 -

(通巻第 152 号)

令和 8 年 9 月 20 日 印刷

令和 8 年 9 月 30 日 発行

年 1 回発行／無断転載厳禁

発行責任者 樋谷 幹義

発行所 一般社団法人日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会

〒103-0025

東京都中央区日本橋茅場町2丁目4番5号

(茅場町2丁目ビル3階)

電話 03 (6231) 1910

FAX 03 (3662) 3317

非売品



JASP



一般社団法人

日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会

JAPAN ASSOCIATION OF STRUCTURE PAINTING CONTRACTORS