

沖縄地区鋼橋防食マニュアル

平成 31 年 3 月

沖縄総合事務局開発建設部・沖縄県土木建築部 監修

改訂にあたって

沖縄地区は、年間月平均気温が 15℃以下にならず、湿度が年間を通して高く、他県と比較し鋼材にとって厳しい環境条件です。また、台風の常襲地域であり、海塩粒子の飛来量が多く鋼材腐食が促進される地域でもあります。このような亜熱帯島しょ地域においては、鋼橋塗装の長寿命化対策が強く求められています。

『沖縄地区鋼橋塗装マニュアル』は、有識者や道路管理者から構成される沖縄地区鋼橋塗装マニュアル検討委員会において、沖縄の地域特性を踏まえた鋼橋塗装の技術的検討を行い、平成 10 年 3 月に作成されました。その後、『鋼道路橋塗装・防食便覧』（平成 17 年 12 月）が改訂されたことを受け、『沖縄地区鋼橋塗装マニュアル』（平成 20 年 8 月）の改訂を行いました。改訂後、沖縄地区鋼橋塗装マニュアル検討委員会では、本マニュアル（平成 20 年 8 月）に示された沖縄県における鋼橋の長寿命化塗装のための技術について、技術的検討を行ってきました。

これら委員会で検討を行った主な技術的項目は、①ボルト接合部の防食技術、②飛来塩分防護構造、③水洗技術、④桁端部の防食技術（支承の防食構造）等となります。これらの検討を踏まえ、今般、主に以下について改訂を行いました。

- ①**ボルト接合部の防食技術** 県内橋梁の塗装劣化の特徴の一つがボルト接合部の早期腐食であり、高力ボルトの防せい防食について検討することが明確にされた。
- ②**飛来塩分防護構造** 飛来塩分の付着や塩分を含んだ水の滞留しやすい構造は避け、暴露面積の少ない構造を検討することが明確にされた。
- ③**水洗技術** 考え方や実施方法が明確化された。
- ④**桁端部の防食技術** 支承部が海塩粒子の滞留により腐食が著しいことを踏まえ、腐食耐久性を有した材料の使用や防食構造を採用することが明確にされた。

合わせて、『鋼道路橋塗装・防食便覧』が『鋼道路橋防食便覧』（平成 26 年 3 月）に名称変更したことを受け、名称を『沖縄地区鋼橋防食マニュアル』にしました。その他、資料として技術報告を拡充させました。

本マニュアルが、鋼橋の設計・施工において、現場条件を把握し、十分検討のうえ適正に運用されることにより、沖縄地区の鋼橋の長寿命化に寄与することを期待するものです。

最後に、今回の改訂にあたりご尽力いただいた矢吹委員長、各委員ならびに関係機関各位に心から感謝申し上げます。

平成 31 年 3 月

沖縄総合事務局開発建設部企画調整官 望 月 拓 郎

沖縄地区鋼橋防食マニュアル検討委員会名簿

(平成 30 年度)

委員長	琉球大学工学部	名誉教授	矢吹 哲哉
副委員長	琉球大学工学部	教授	有住 康則
委員	琉球大学工学部	准教授	下里 哲弘
"	国立研究開発法人 土木研究所	主任研究員	富山 禎仁
"	一般社団法人 日本橋梁建設協会	防食部会長	前田 博
"	沖縄総合事務局 開発建設部	企画調整官	望月 拓郎
"	沖縄総合事務局 開発建設部	技術管理課長	安仁屋 勉
"	沖縄総合事務局 開発建設部	建設工務室長	下地 博明
"	沖縄総合事務局 開発建設部	道路管理課長	砂川 聡
"	沖縄県 土木建築部	技術・建設業課長	小橋川 透
"	沖縄県 土木建築部	道路街路課長	玉城 佳卓
"	沖縄県 土木建築部	道路管理課長	多和田 真忠

目 次

第1章 総則

1.1	適用の範囲	1
1.2	主な用語の定義	9

第2章 塗装の種類

2.1	部材毎の塗装に至るまでの流れ	15
2.2	素地調整の種類	16

第3章 新設鋼橋の塗装

3.1	一般外面の塗装系	18
3.2	内面の塗装系	22
3.3	特殊部の塗装系	24
3.4	連結部の塗装系	25
3.5	タッチアップ塗装	33
3.6	現場塗装前の処置	35

第4章 構造設計上の留意点

4.1	飛来塩分対策	38
4.2	多機能防食デッキ	38
4.3	検査路	41
4.4	付属物	42
4.5	支承の防護	43

第5章 製作・施工上の留意点

5.1	部材端部の処理	45
5.2	溶接部の処理	46
5.3	ボルトなどの防食	47

第6章 施工

6.1	素地調整	50
6.2	塗付作業	51
6.2.1	塗付作業	51
6.2.2	塗付方法	51

6.2.3 塗付を行ってはならない部分	52
6.2.4 使用塗料の理解	52
6.2.5 使用塗料の確認	52
6.2.6 希釈	53
6.2.7 可使時間	53
6.2.8 塗装作業の禁止事項	54
6.3 水洗	58
6.4 施工管理	59
6.4.1 塗料材料の管理	59
6.4.2 塗膜の外観	60
6.4.3 膜厚管理	62
6.4.4 記録	63

第7章 維持管理

7.1 一般	65
7.2 軽微な損傷の補修	65
7.3 腐食による断面欠損	66
7.4 維持管理時の水洗	69
7.5 支承の交換	69

第8章 塗替え塗装

8.1 塗替え時期	71
8.2 塗替え方式	71
8.2.1 全面塗替え	71
8.2.2 部分塗替え	71
8.2.3 局部補修	72
8.3 塗替え塗装系	72
8.3.1 一般外面の塗装系	72
8.3.2 内面の塗装系	77
8.3.3 特殊部の塗装系	79
8.3.4 連結部の塗装系	79
8.4 塗替え塗装の施工	80

8.4.1 素地調整の種別	80
8.4.2 部材端部の処理	82
8.4.3 水洗	82
8.4.4 塗付作業	83
8.5 塗替え塗装の施工管理	84
8.5.1 塗料材料の管理	84
8.5.2 塗膜の外観	84
8.5.3 膜厚管理	84
8.5.4 記録	85

資料編

I. 沖縄地区鋼橋防食マニュアルの今後の課題	87
II. 防食の技術	89
1 多機能防食デッキの経済性	89
2 継手部隙間の処理	91
3 吊り金具	91
4 橋梁洗浄マニュアル（案）	93
III. 技術報告	107
1 土木鋼構造用塗膜剥離剤技術	107
2 電磁誘導加熱（IH）による鋼橋の塗膜剥離工法	119
3 腐食損傷を受けた実橋鋼桁端部への 低温低圧型溶射工法（Cold Spray 工法）の実証実験	137
4 透明型ボルトキャップの維持管理性能評価試験と実橋での適用事例	143
5 腐食環境調査方法と調査結果	148
6 腐食高力ボルトの残存軸力評価	169
7 多機能防食デッキの防食性能評価	173
8 継手部ボルト・ナットの厚膜塗装法	179

第1章 総則

1.1 適用の範囲

沖縄地区鋼橋防食マニュアル（以下、「本マニュアル」と称す）は、沖縄県内の鋼橋、歩道橋、及び側道橋の新設塗装および塗替塗装に対し適用するものとする。
ただし、溶融亜鉛めっき橋梁、耐候性鋼材裸使用橋梁は除く。

（解説）

道路橋示方書¹⁾では鋼橋の防せい防食に対する要求性能として、以下の3つを規定している。

(1) 鋼橋の部材等には、腐食による機能の低下を防ぐため、防せい防食を施さなければならない。このとき、鋼部材の耐荷性能に腐食による影響が生じるまでの期間が、維持管理の前提条件に応じて定める当該部材の設計耐久期間よりも長くなるようにしなければならない。また、防せい防食の点検及び補修や更新等の想定する維持管理を確実に実行できるように配慮しなければならない。

(2) 鋼材の防せい防食法の選定にあたっては、架橋地点の環境、橋の部位及び規模、部材の形状及び経済性を考慮しなければならない。

(3) 鋼橋の設計にあたっては、防せい防食法に応じて、細部構造の形状及び材料の組合せ等について適切に配慮しなければならない。

また、防せい防食での構造配慮では、構造設計上の配慮事項の規定に従い、少なくとも1)及び2)に配慮することを規定している。

- 1) 防せい防食の所定の機能が発揮されることの確実性
- 2) 防せい防食の維持管理の確実性と容易さ

本マニュアルで定める防せい防食法は、上記の道路橋示方書¹⁾の要求性能に基づき、沖縄地区の厳しい腐食環境条件を考慮して、鋼道路橋防食便覧²⁾で規定されている塗装仕様（C-5、ふっ素樹脂塗料仕様）をベースに、さらに下塗りの膜厚を厚くした塗装仕様を規定している。また、防せい防食に配慮した構造細部及び施工品質管理法を規定し、耐候性に優れた防せい防食仕様を定めた。なお、本マニュアルは沖縄地区鋼橋塗装マニュアル（平成20年8月）の規定を改訂及び新規追加したものである。

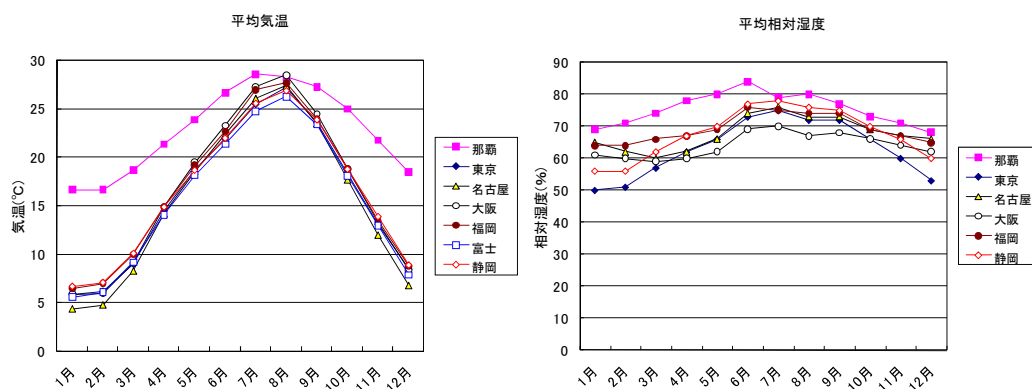
以下に沖縄地区の腐食環境及び本マニュアルの主な改訂及び新規規定項目を示す。

（1）沖縄地区の腐食環境

一般に、鋼材の腐食は水と酸素が存在する環境下で発生し、塩化物や硫酸化物などの存在によって促進される。また、鋼材の腐食反応は、湿度が高く、気温が高いほど活発となり腐食速度が大きくなる特性がある。よって、腐食の発生や腐食速度は架橋地点の飛来塩分量、気温、降雨、湿度、及び結露による濡れ時間などによって異なる。図-1.1及び図

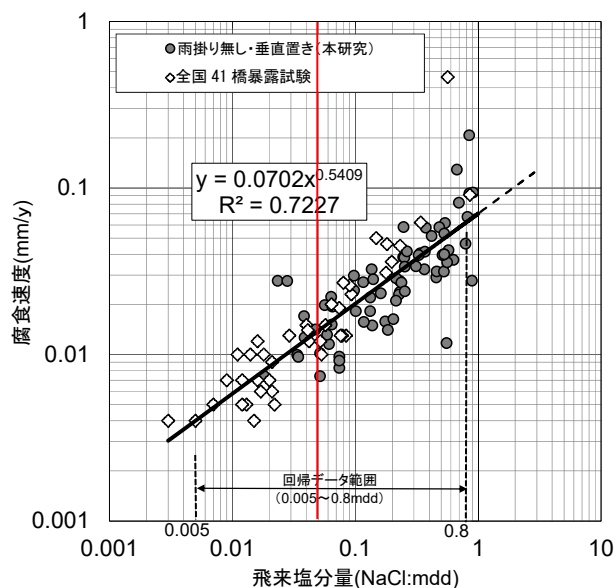
－1.2 に気象庁観測データ³⁾を用いて整理した沖縄県と他県との気温と湿度の比較を示す。図に示すように、沖縄県は、年間月平均気温 15℃以上であり、また、年間を通して湿度が高く相対湿度 70%以上という厳しい腐食環境下にあり、他県と比較し鋼材にとって厳しい腐食環境条件である。

図－1.3 に腐食速度と飛来塩分量との関係を示す。図中には暴露試験結果と全国 41 橋暴露試験の測定値をプロットしている⁴⁾。なお、この雨がかり無し・垂直置き設置の条件は、飛来塩分量と腐食速度の関係性を評価する上で基本となる条件である。また、飛来塩分量 0.05mdd の赤線は、道路橋示方書で「原則として所定の方法で計測した飛来塩分量が 0.05mdd を超えない地域あるいは道路橋示方書で示す図－解 5.1（沖縄では適用地域なし）に示す地域では一般に無塗装で耐候性鋼材を用いることができる」とあり、その値を示している。測定場所は、本島内の山間部、市街地、沿岸部などである。腐食速度と飛来塩分量の相関が良好に一致しており、沖縄県の鋼材腐食環境は著しく厳しいことがわかる。

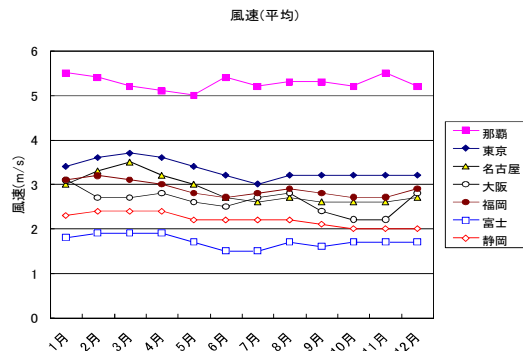


図－1.1 気温の比較³⁾

図－1.2 湿度の比較³⁾



図－1.3 腐食速度（1 年暴露腐食減耗量）と飛来塩分量の関係
（雨がかり無し、垂直置き）



那覇	1987年～2000年
東京	1975年～2000年
名古屋	1975年～2000年
大阪	1975年～2000年
福岡	1975年～2000年
富士	1979年～2000年
静岡	1975年～2000年

図-1.4 風速の比較³⁾

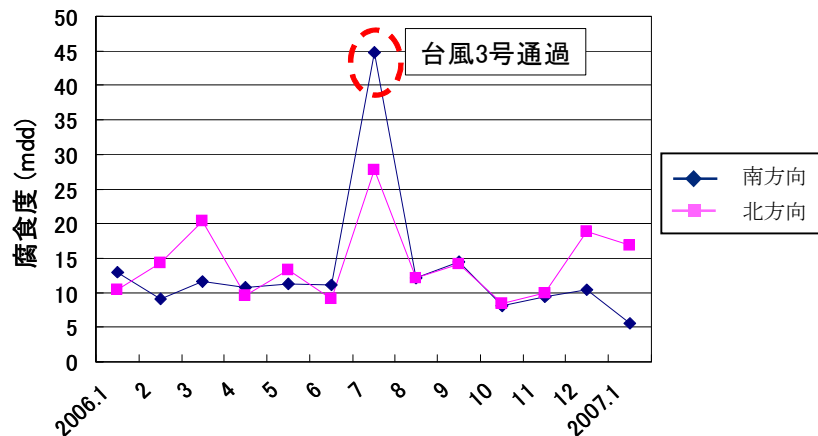


図-1.5 台風と腐食度との関係（沖縄県）

図-1.4 には平均風速、図-1.5 には台風通過月の鋼材腐食度を示す。図-1.5 より、台風通過月は鋼材腐食が著しく大きくなることを示している。

以上のように、沖縄県は他県に比べて鋼材腐食環境が厳しいため、本マニュアルでは、「鋼道路橋防食便覧²⁾」C-5 塗装仕様（ふっ素樹脂塗料仕様）を基本とし、さらに厳しい腐食環境下を考慮して塗膜厚を厚く規定している。

（2）本マニュアルの主な改訂点

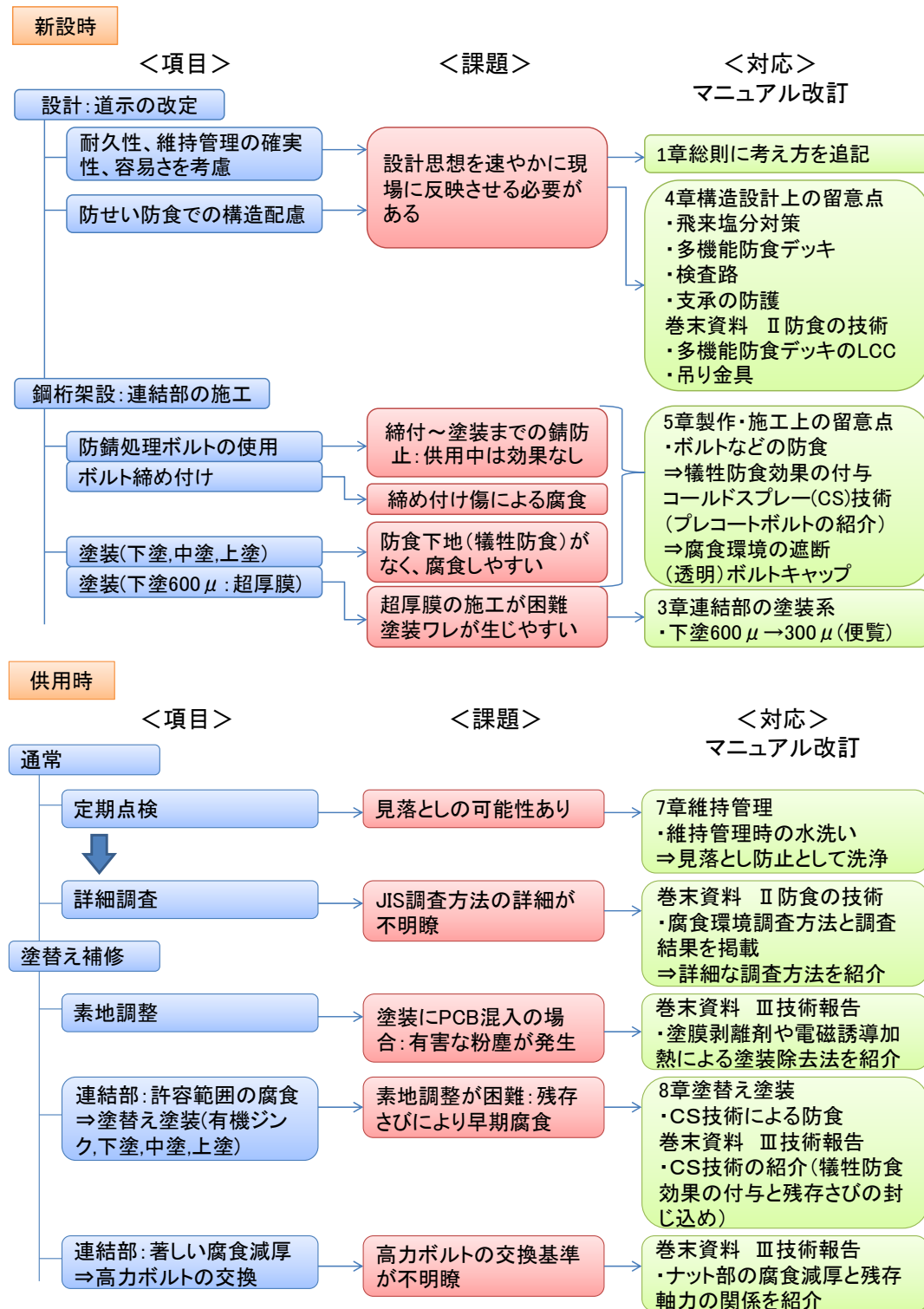
a) 改訂範囲

本マニュアルは、平成 20 年 3 月に改訂後、当該マニュアルに明記されている「Ⅰ．沖縄地区鋼橋塗装マニュアルの今後の課題」について検討を行ってきた結果などをもとに、部分的に改訂を行った。

改訂点は、第 3 章新設鋼橋の塗装において、連結部の塗装系の膜厚を見直した。第 4 章構造設計上の留意点において、飛来塩分対策の中から多機能防食デッキについて別に項目立てを行った。また、検査路の内容の充実化とともに、巻末資料の支那の防護を本

文で扱うようにした。第5章製作・施工上の留意点、第7章維持管理、第8章塗替え塗装において、それぞれボルトなどの防食、維持管理時の水洗い、連結部の塗装系の内容の充実化を図った。巻末の資料において、最新技術の追加を行った。

鋼橋の新設及び供用時の課題と防食マニュアル改訂項目との関連



下記に、主な改訂点として、連結部の塗装系における下塗り標準膜厚の見直しや、新設時や塗替え塗装時のボルト防食の概要を示す。また、巻末の資料から本文に移動した多機能防食デッキ、支承の防護の概要を示す。

b) 連結部の塗装系

連結部の塗装系は、従来下塗り第1層の標準膜厚を 600μ としていた。しかし、特にボルト・ナット部の角部の塗布が難しく、膜厚が不均一になりやすいことや(写真-1.1)、超厚膜によりわれが生じやすいなどの懸念があり(写真-1.2)、鋼道路橋防食便覧と同様に、下塗り第1層の標準膜厚を 300μ に変更した。

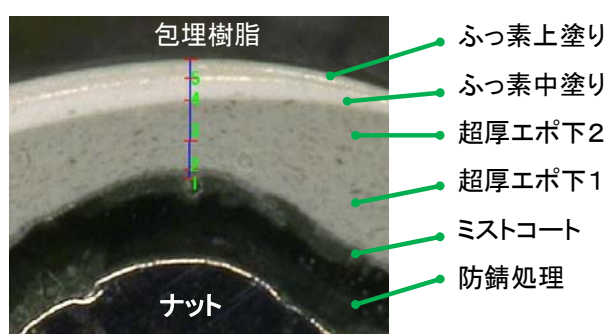


写真-1.1 ナット角部の膜厚不均一状況



写真-1.2 ボルト頭部のわれの状況

高力ボルト継手部は、写真-1.3 に示すように、連結板や一般部に比べて腐食が著しい部位である。桁架設後、高力ボルト連結後の現場塗装時は、ボルトのナット部の膜厚確保、現場塗装時の付着塩分量除去（付着塩分量を $50\text{mg}/\text{m}^2$ 以下に規定）を徹底することが重要である。本マニュアルでは、高力ボルトを使用するに当たって犠牲防食性能、環境遮断性能などの高耐食性の発揮が期待される防食について、十分検討することを規定している。



a) 張出部



b) 下フランジ

写真-1.3 ボルト継手部の腐食状況

c) 新設時及び塗替え時の連結部高力ボルトの防食

高力ボルト部は、前述したように、一般部に比べて早期腐食部位であり、理由の一つとして、塗装の施工が困難であることが挙げられる。それに加えて、新設時には、ボルト部は防食下地が無く、重防食塗装となっていないことや、締め傷なども要因の一つと考えられる（写真－1.4）。塗替え時には、継手部は狭隘部があり、一般部に比べて素地調整が困難であることが挙げられる（写真－1.5）。本マニュアルでは、新設時や塗替え塗装時において、高力ボルトに犠牲防食効果を付与する事例を記載した。

なお、維持管理上重要である腐食減厚した高力ボルトの残存軸力評価について技術資料として掲載した。



写真－1.4 ナット角部の締め傷



写真－1.5 高力ボルト継手部の狭隘部

d) 多機能防食デッキ

鋼橋の防食は、塗装系による鋼材被覆を図るだけでなく、環境の改善による防食として、構造の改善が重要である。多機能防食デッキは、鋼橋に防食構造を付加するものであり、飛来塩分を主とした腐食因子を遮断し、内部の鋼桁や床版下面の腐食劣化を防ぐ機能を有する（写真－1.6）。また、道路橋示方書では、維持管理の実施の確実性や容易さの観点を配慮するように求められている。多機能防食デッキは、検査路及び足場・落下防護機能も有しており、内部の鋼桁や床版下面の近接目視点検や補修工事の際の足場防護工や、床版コンクリートの剥落などの落下防護工ともなる（写真－1.7）。本マニュアルでは、多機能防食デッキの設置について規定するとともに、検査路の項目にも多機能防食デッキを記載した。また、多機能防食デッキの要求性能、防食性能、経済性などは、巻末の資料に掲載した。



写真-1.6 多機能防食デッキ外観



写真-1.7 桁内部の状況

e) 支承の防護

支承は、伸縮装置の漏水や飛来塩分などの付着などにより腐食しやすい部位である(写真-1.8)。よって、非排水型伸縮装置や排水樋の設置などにより、漏水防止や適切な排水処理を行うとともに、皮膜による防食が重要である。本マニュアルでは、支承は腐食耐久性のある材料の使用や防食構造の採用を規定しており、最新の事例に基づき、溶融亜鉛アルミニウム合金めっきや粉体塗装の事例紹介を記載した。



a) 鋼支承



b) ゴム支承

写真-1.8 支承部の腐食状況

本マニュアルに規定していない事項については、必要に応じて下記の技術基準などを参考に検討する事が望ましい。

【参考基準】

- 1) 『道路橋示方書・同解説Ⅱ鋼橋・鋼部材編』公益社団法人日本道路協会 平成 29 年 11 月
- 2) 『鋼道路橋防食便覧』公益社団法人日本道路協会 平成 26 年 3 月

【参考技術資料】

- 3) 気象庁観測公開資料 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 4) 『耐鋼性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書(XⅡ)』建設省土木研究所 社

団法人鋼材倶楽部 社団法人日本道路協会 1989 年 12 月

5)『改訂一橋梁技術者のための塗装ガイドブック』一般社団法人日本橋梁建設協会 2006
年 11 月

6)『道路橋支承便覧（改訂版）』公益社団法人日本道路協会 2018 年 1 月

1.2 主な用語の定義

本マニュアルで用いる用語を、以下のように定義する。ここでは、設計者や施工監理などの使用者の立場を考慮し、塗料編、施工編、品質管理編に分け整理した。

塗料編

用 語	定 義
隠ぺい力(塗膜の) hiding power	塗料が下地の色または色差を覆い隠す能力。黒と白とに塗り分けて作った下地の上に、同じ厚さに塗ったときの塗膜について、色分けが見えにくくなる程度を、見本品の場合と比べて判断する。JIS K 5600-4-1:1999, JIS K 5600-4-2:1999参照。
隠ぺい率(塗膜の) contrast ratio	塗膜が下地の色の差を覆い隠す割合。黒と白とに塗り分けて作った下地の上に、同じ厚さに塗ったときの、塗膜の45度、0度拡散反射率または三刺激値Yの比で表す。JIS K 5600-4-1:1999, JIS K 5600-4-2:1999参照。
加熱減量 loss on heating , volatile content	塗料を一定の条件で加熱したときに、塗料成分が揮発または蒸発して減った質量の元の重量に対する百分率。 減量は、主として水分、溶剤などの揮発または蒸発による。
加熱残分 nonvolatile content	塗料を一定の条件で加熱したときに、塗料成分の一部が揮発または蒸発して後に残ったものの質量の、元の質量に対する百分率。残分は、主としてビヒクル中の不揮発分またはこれと顔料である。
顔料 pigment	一般に水や溶剤に溶けない微粉末状で、光学的、保護的または装飾的な性能によって用いられる物質。無彩または有彩の、無機または有機の化合物で、着色、補強、増量などの目的で塗料、印刷インク、プラスチックなどに用いる。屈折率の大きいものは隠ぺい力が大きい。
希釈剤 diluent(solvent)	それ自体溶解力のある溶剤ではないが、溶剤と併用して悪影響なく使用できる、単一または混合された揮発性液体。
揮発性有機化合物 volatile organic compound(VOC)	基本的には、接している通常の雰囲気気温および気圧で、自然に揮発するすべての有機の液体または固体。
硬化剤 hardener , curing agent	塗料の硬度の増進または硬化反応を促進若しくは制御するために用いられる橋かけ剤、樹脂、その他の変性剤。
さび止め顔料 inhibitive pigment rust-preventing pigment , rust-inhibiting pigment	金属にさびが発生するのを抑制する機能を持つ顔料。
弱溶剤形塗料 mineral spirit paint , white spirit paint , mineral terpene-soluble paint	脂肪族炭化水素系有機溶剤(ミネラルスピリット等)を主成分とする混合溶剤。一般的に臭気がマイルドで環境へ与える有害性は小さい。塗料用シンナーはこれにあたる。弱溶剤形塗料は弱溶剤で希釈可能な塗料の総称。狭義には弱溶剤を主な溶剤とした塗料をさす。溶剤形塗料のうちエポキシ樹脂塗料やふっ素樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料などで、弱溶剤を主な溶剤成分および希釈溶剤としていることを特徴としている塗料をさす。
樹脂 resin	固体、準固体または疑似固体の有機物。通常分子量が大きく、熱すると一般に広い温度範囲で軟化または溶融する。適切な溶剤に可溶性で、その溶液を塗付すると連続した皮膜を作る。このような物質を総称して樹脂という。天然樹脂と合成樹脂の2種類がある。天然樹脂にはセラックのように動物の分泌物として得られるものや揮発性油を多量に含むバルサム、または揮発性油の含量が少ないオレンジのようなものの形で樹木から分泌されるもの、およびこれらのものが地中に埋もれて半ば化石化したコーパルゴムのようなものなどがある。合成樹脂には、フェノール樹脂と、ビニル樹脂、クマロン樹脂などの重合樹脂がある。

用 語	定 義
助溶剤 co-solvent	それ自体は塗膜形成要素を溶解する性質はないが、溶液に加えると溶剤単独のときより溶解力が大きくなる性質のある蒸発性の溶体。ニトロセルロースラッカーではアルコール類が助溶剤として使われる。
シンナー thinner	主にコンシステンシー(粘度)を小さくする目的で、塗装の際に加える単一または混合された所定の乾燥条件で蒸発する液体。うすめ液ともいう。
水性塗料 water paint , water-based paint	水で希釈できる塗料の総称。水溶性または水分散性の塗膜形成要素を用いてつくる。粉状水性塗料、合成樹脂エマルジョンペイント、水溶性焼付け塗料、酸硬化水溶性塗料などがある。
体質顔料 extender filler , extender pigment	使用するビヒクルに不溶のつぶ状または粉状で塗料・塗膜のある種の改質を目的として配合される。通常は屈折率が小さい(1.7以下の)顔料。炭酸カルシウム、タルク、パライト粉など。
チキントロピー thixotropy , thixotropic	振り混ぜ、かき混ぜまたはそれに代わる機械的にかき混ぜたとき、コンシステンシー(粘度)が低下し、放置すると元の状態に戻る可逆的な性質。
貯蔵安定性 storage stability can stability	貯蔵しても変質しにくい性質。塗料を一定の条件で貯蔵した後塗ってみて、塗る作業またはできた塗膜にし支障がないかどうかを調べて判定する。
着色顔料 color pigment	塗料の色づけなどに用いる顔料。
低溶剤形塗料 high-solids	ハイソリッド塗料と同じ。
添加剤 additive	塗料に少量添加して、その性質の一つ若しくはそれ以上を改善または変性する物質。
塗料 coating material , coating	素地に塗装したとき、保護的、装飾的、または特殊性能をもった塗膜を形成する液状、ペースト状、または粉末状の製品。流動状態で物体の表面に広げると薄い膜になり、時間の経過につれてその面に固着したまま個体の膜となり、連続してその面を覆うもの。塗料を用いて物体の表面に広げる操作を「塗る」、個体の膜ができる過程を「乾燥」、個体の被膜を「塗膜」という。流動状態とは、液状、熔融状、空気懸濁体などの状態を含むものである。顔料を含む塗料の総称をペイントということがある。
ハイソリッド塗料 high-solids	適切な成分を選択することによって、揮発成分をできるだけ低く抑え、かつ、満足できる塗装作業性を維持している塗料の総称。
ハイビルド塗料 high-build	1回の塗装で、通常よりも厚い塗膜が得られる塗料の総称。ハイビルドは、チキントロピー、低揮発分または低粘度成分の科学反応によって達成される。
ビヒクル vehicle , medium	塗料の液相の構成成分の総称。
無溶剤形塗料 solventless paint	適切な成分を選択することによって溶剤を含まない塗料の総称。広義には粉体塗料なども含むが、狭義には溶剤を含まない液状の塗料をさす。主には箱桁の内面などの密閉所で使用される。
有機顔料 organic(color) pigment	有機物を発色成分とする顔料。
溶剤 solvent	バインダーを十分に溶解し、所定の乾燥条件で揮発する単一または混合された液体。狭義ではバインダーの溶媒をいい、ほかに助溶剤、希釈剤がある。本来は、蒸発速度の大小によって区分するが、沸点の高低によって、高沸点溶剤・中沸点溶剤に分けることができる。
溶剤可溶物 solvent soluble matter	塗料の中の、溶剤に溶ける不揮発性の成分。塗膜形成要素、可塑剤の混合物などが含まれる。
溶剤不溶物 solvent insoluble matter	塗料中の、溶剤に溶けない成分。主に顔料。

施工編

用語	定義
ウェット膜厚 wet film thickness	塗装直後の未乾燥塗膜厚。塗装時の塗膜厚管理に用いる。 
上塗り適合性 overcoatability	ある塗料の塗膜の上に、決められた塗料を塗り重ねたときに、塗装上の支障が起こらず、正常な組合せ塗膜層が得られるための下地塗膜の性状。
可使時間 pot life	幾つかの成分に分けて供給される塗料を混合した後、使用できる最長の時間。ポットライフとも呼ばれる。 JIS K 5600-2-6:1999参照。
加熱乾燥 stoving, baking	塗り付けた塗料の層をあらかじめ設定された最低温度で加熱して、バインダーの架橋（分子量を増大）を起こさせて硬化させる工程。加熱は暖めた空気の流れ、赤外線照射などによる。加熱して乾燥させた塗膜は一般に硬い。通常は66℃（150° F）以上の温度で乾燥する場合をいう。
乾燥 drying	塗付した塗料の薄膜が、液体から固体に変化する過程の総称。塗料の乾燥機構には、溶剤の蒸発、揮発、塗膜形成要素の酸化、重合、縮合などがあり、乾燥の条件には、自然乾燥、強制乾燥、加熱乾燥などがある。また、乾燥の状態には、指触乾燥、半硬化乾燥、硬化乾燥などがある。
希釈安定性 dilution stability	塗料を大量のシンナーで薄めたときの分散系の安定性。樹脂の析出、色の変化、顔料の分離がないことなどが必要である。
希釈性 dilution stability	シンナーが所定の塗料を溶解する性質。希釈性を調べるには、試料と見本品について、等体積のクレーラッカーまたはワニスで薄めたもので塗膜を作り見本品の場合と比べて、塗膜に悪影響がなければ希釈性は劣らないとする。
強制乾燥 force drying forced drying	自然乾燥よりも少し高い温度で塗料の乾燥を促進する工程。通常の焼付塗料に用いられるより低い温度、通常は66℃までの温度で乾燥する場合をいう。
硬化 curing	塗料を、熱または化学的手段で縮合・重合させる工程。求める性能の塗料が得られる。
重ね塗り適合性 recoatability	乾燥してできた塗膜の上に、同じ塗料を塗り重ねたときに、塗装上の支障が起こらず、正常な塗り重ね塗膜層が得られるための塗料の性状。
さび rust	通常は、鉄または鋼の表面にできる水酸化物または酸化物を主体とする化合物。広義では、金属が化学的または電気化学的に変化して表面にできる酸化化合物。
増粘 thickening	不適切にならない程度に塗料のコンシステンシーが上昇する現象。適切な作業のためには、塗料の粘度を上げる必要がある場合がある。増粘の方法には、ポリマーの分子量、官能基および溶剤の選択、増粘剤の添加などがある。
相容性 compatibility (of products) compatibility (of materials)	2種類またはそれ以上の物質が、互いに親和性をもっていて、混合したときに溶液または均一な混合物を形成する性質。塗料では、2種類またはそれ以上の塗料が沈殿・凝固・ゲル化のような不良の結果にならないで混合できる性質。
素地調整 surface preparation	塗装に備えて表面を処理するすべての方法。「下地処理」「下地調整」「表面処理」あるいは塗替え時における「ケレン」も同義語である。
脱脂 degreasing	溶剤または水性洗剤のいずれかを用いて、塗装前に油、グリースおよび類似の物質を表面から除去する操作。
沈殿 settling	貯蔵中に、容器の底に、塗料から顔料、体質顔料などの固形成分が沈殿する現象。沈殿した固形物は、簡単なかき混ぜでは再分散できない。
つぶ bits	塗料または塗面に肉眼で見えるつぶ状のもの。主に、塗料の皮の小片、異物、またはビヒクルと顔料の凝結物などである。塗料中のつぶは、つぶゲージで調べる。JIS K 5600-2-5:1999参照。

用語	定義
低温安定性 low temperature stability	冷却しても常温に戻せば、元の性質状態に戻る性質。 JIS K 5663:2003 参照。
塗装 coating , application , painting , finishing	物体の表面に、塗料を用いて塗膜または塗膜層を作る作業の総称。単に塗るだけの操作は“塗る”、“塗付け”などという。
塗装仕様 Painting Specification	塗料の種類と膜厚の組合わせを示したものを塗装系、塗料の種類、膜厚、標準使用量、塗装間隔などを示したものを塗装仕様と呼ぶ。
塗装工程 coating process painting process	塗装系を作るための工程。塗装の目的、塗ろうとする物体の素地、形状、数、用いる塗料性質、塗装場所の条件によって、素地の処理、塗料の塗り方、乾燥の方法、塗膜形成の処理法などを選択して、工程を設計する。
塗装間隔 interval between coating	塗膜を重ねる作業での、塗りの時間間隔。
ドライ膜厚 (乾燥膜厚) dry film thicknss	乾燥時の膜厚。
ドライヤー drier , siccative	通常、有機金属化合物で有機溶剤およびバインダーに可溶、酸化乾燥する塗料の乾燥過程を促進するために添加する化合物。主成分は鉛、マンガン、コバルトなどの金属石鹸。液状ドライヤー、のり状ドライヤーなどがある。
塗付け量 application rate	規定の作業条件で、単位面積に規定の厚さの乾燥膜厚を作るのに必要な塗料の量。一般に g/m^2 、 ml/m^2 、試験では g/100m^2 、 ml/100cm^2 で表す。
塗り面積 spreading rate	一定量の塗料によって必要な厚さの膜を作ることのできる表面積。通常、 m^2/ml または m^2/kg で表す。 JIS K 5600-3-1:1999 参照。
分散度 fineness of grind	ミルベース中の、または塗料中の最大粒子の大きさに関連する用語。規定の試験条件の下で、標準ゲージで製品中のはっきりした固形粒子が容易に認められる溝の深さを示す数値の読みで表す。 JIS K 5600-2-1:1999 参照。
ポットライフ pot life	「可使時間」の項参照。
ミルスケール mill scaie	鉄鋼の熱間圧延中に生じる酸化鉄の層。黒皮ともいう。

品質管理編

用語	定義
泡(塗膜の) bubbling , bubble	塗った膜の中の一時的または永久的な泡。 塗料を塗ったときにできた空気もしくは溶剤蒸気またはその両者の泡が消えないで残ったものが多い。
皮張り skinning	貯蔵中に容器の中で、塗料が空気と接触する表面に皮を作る現象。 JIS K 5600-1-3:1999参照。
鏡面光沢度 specular gloss , specular reflection	面の入射光に対して、等しい角度での反射光、すなわち鏡面反射光の基準面における同じ条件での反射光に対する百分率。面の光沢の程度を表す。光沢度が比較的大きい塗面では、法線に対して入射角60度、反射角60度で測る。これを60度鏡面光沢度という。鏡面光沢度の基準面として屈折率1.567のガラスの平面を用いる。 JIS K 5600-4-7:1999 , JIS Z 8741:1997 参照
光沢 gloss	光の反射(能力)で特徴付けられる表面の(光学的)性質。 JIS Z 8105:2000 参照。
硬度 hardness	固体の物体による押し込みまたは貫通に抵抗する乾燥塗膜の能力(性質)。JIS K 5600-5-4:1999 , JIS K 5600-5-5:1999 参照。
彩度 saturation , chroma	物体表面色の、同じ明るさの無彩色からの隔たりに関する、視知覚の属性を尺度としたもの。色のさえ。色の鮮やかさ。 JIS Z 8105:2000 参照。
色差 colo(u)r difference	色の知覚的な相違を定量的に表したものの。 JIS Z 8105:2000 , JIS K 5600-4-6:1999 参照。
色相 hue	赤・黄・緑・青・紫のように特徴づける色の属性。 JIS Z 8105:2000 参照。
しわ wrinkling , crinkling , shriveling , reveling	乾燥中に塗膜に発生するしわ。通常は上乾きが著しいときに、表層の面積が大きくなってできる。しわには、平行線状、不規則線状、ちりめんじわ状などがある。”ちぢみ”とはいわない。
透け lack of hiding	下地が透けて見える現象。一般に隠ぺい力が小さい塗料を用いたり、下塗りと上塗りとの色差が大きいために起こりやすい。
耐久性 durability	物体の保護、美粧など、塗料の使用目的を達成するための、塗膜の性質の持続性。
耐候性 weather resistance	屋外で、日光、風雨、露霧、寒暖、乾湿などの自然の作用に抵抗して変化しにくい塗膜の性質。 JIS K 5600-7-6:2002 参照。
耐屈曲性 flexibility	乾燥塗膜が塗られている素地の変形に損傷を起こさずに順応する能力。屈曲試験では、試験片を、塗膜を外に、素地の板を内側にして丸棒に沿って180度折り曲げ、塗膜の割れの有無を調べる。素地の板が厚いほど、丸棒の直径が小さいほど、塗膜に与えられる伸び率と、塗膜に起こる上面から下面にかけての伸び率の不均等性は大きい。塗膜がもろくなくて、伸び率が大きいとたわみ性が優れていると判定される。 JIS K 5600-5-1:1999 参照。
耐衝撃性 impact resistance , shock resistance , chip resistance	塗膜が物体の衝撃を受けても破壊されにくい性質。衝撃試験では、試験片の塗面におもりを落下して、われ・はがれの有無を調べる。 JIS K 5600-6-1:1999 参照。
退色 fading	塗膜の色あせ。主として彩度が小さくなり、または更に明度が大きくなる現象。

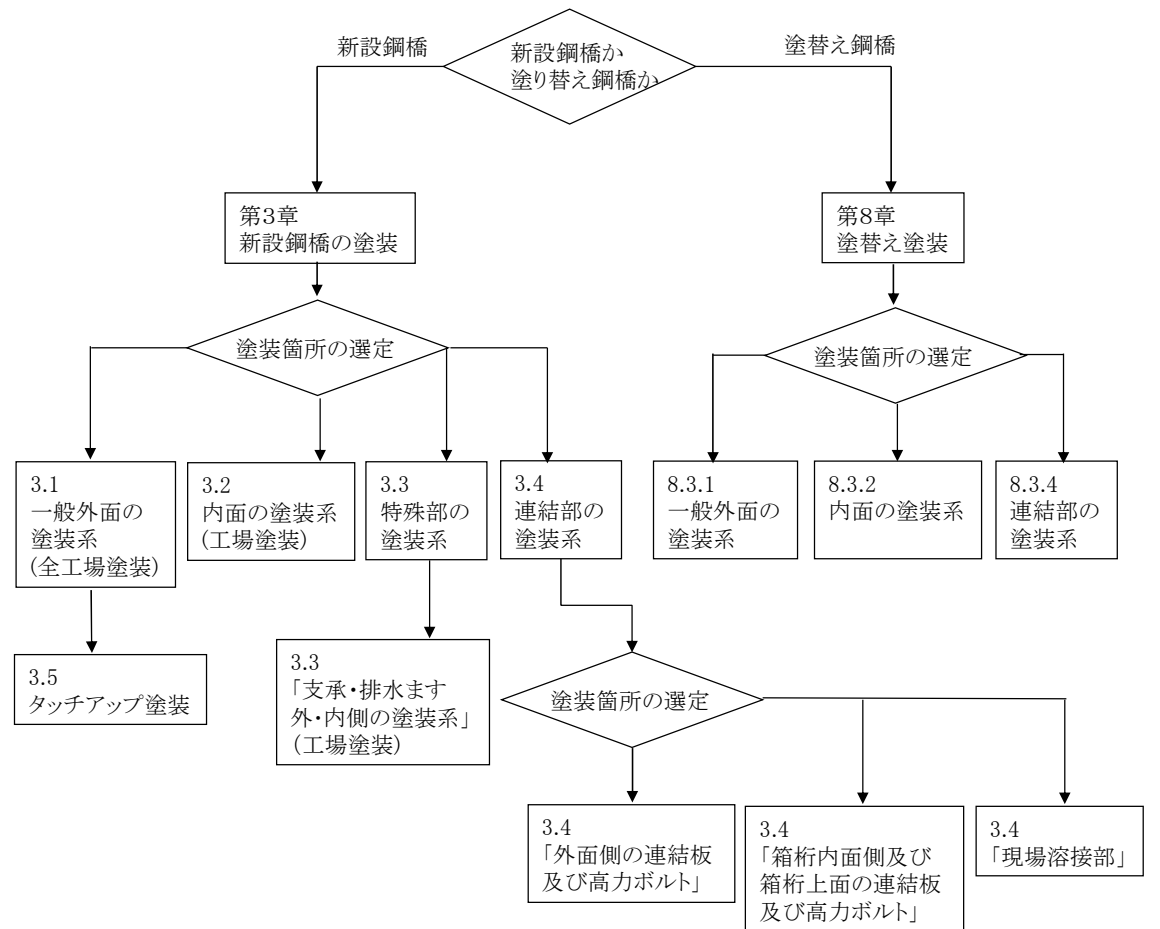
用語	定義
たるみ、たれ sags , sagging	垂直または傾斜した面に塗料を塗ったとき、乾燥までの間に、塗料の層が下方に移動して起こる局所的な膜厚の異状。半円状、つらら状、波状またはカーテンのひだ状などによる現象をいう。厚く塗り過ぎたとき、塗料の流動特性の不適、大気状態の不適などによって起こりやすい。
淡彩 tint	白に近いすい色。白塗料に有彩塗料を混合して作った塗料の塗膜について、灰色・ピンク・クリーム色・うす緑色・水色のようなすい色で、JIS Z 8721:1993 による明度Vが6以上で彩度が大きくなる色をいう。
着色力 tinting strength	ある色の塗料または顔料に混ぜて色を変えるための、塗料または顔料の性質。主として顔料について言う。 JIS K 5101:1991 参照。
つや gloss	物体の表面から受ける正反射光成分の多少によって起こる感覚の属性。一般に、正反射光成分が多いときに、つやが多いという。塗膜では、光沢計を用いて、入射角・反射角を45度・45度、60度・60度などとして鏡面光沢度を測定して、つやの大小の目安とする。
はがれ peeling , flaking , scaling	付着性が失われてある広さの膜が自然に素地から分離する現象。一般に、われ、ふくれが生じた後に、付着性が失われた結果、塗装系の1層またはそれ以上の塗膜が下層塗膜から、または塗装系全体が素地からはがれる。はがれは、その形状、程度および深さによって評価する。JIS K 5600-8-5:1999 の規定及び図参照。
白亜化 chalking	塗膜の成分の一つまたはそれ以上が劣化して膜の表面に微粉がゆるく付着したような外観になる現象。白亜化の程度を調べるには、指先、フェルト、ピロードなどで塗膜の表面をかるくこすって、粉末状のものが塗面から離れて指先などに付着する程度を見るか、湿らせて表面を粘着性にした写真印刷紙を一定の荷重で塗面に圧着したときの、塗面から離れて粘着した粉状物質による印画紙の面の汚れの濃さを比較して見るか、または指定の粘着テープを塗面において、指で強くこすり、付着した粉末状物質の量を標準写真と比較して調べる。白亜化の程度を白亜化度という。 JIS K 5600-8-6:1999 参照。
ふくれ blistering	塗膜に泡が生成する現象。水分・揮発成分・溶剤を含む面に塗料を塗ったとき、または塗膜形成後に、下層面にガス、蒸気、水分などが発生、侵入したときなどに起こる。発生したふくれは、その大きさと密度を調べる。 JIS K 5600-8-2:1999 参照。
ブラスト処理 sbrasive blast-cleaning	処理される表面に高運動量のブラスト研削材を衝突させる方法。金属製品に防せい、防食を目的として塗料などを被覆する場合に、素地調整のために行なわれる。研削材に大きな運動エネルギーを与えて金属表面に衝突させ、金属表面を細かく切削及び打撃することによってさび、スケールなどを除去して金属表面を清浄化または粗面化させる方法。 JIS Z 0312:2004 参照。
変色 discolo(u)ration discoio(u)ring	塗膜の色に色相・彩度・明度のどれか一つまたは一つ以上が変化する現象。主として彩度が小さくなり、または、さらに明度が大きくなる現象を退色という。
明度 value , lightness	物体表面の反射率が、他に比べて多いか、少ないかを判定する視感覚の属性を尺度としたもの。色の明るさにつていう。 JIS Z 8105:2000 参照。
リフティング lifting , raising	次の塗料を塗ったことによって乾燥塗膜の軟化、膨潤して素地から浮き上がる現象。この欠陥は、下塗塗膜の塗膜形成要素に対する上層塗料の溶剤の作用によって塗装または乾燥の間に発生する。
レベリング leveling	塗料を塗った後、塗料が流動して、平らで滑らかな塗膜ができる性質。塗膜の表面に、はけ目・ゆず肌・うねりのような微視的な高低が多くないことを見て、レベリングがよいと判断する。
われ cracking	老化の結果、塗膜に現れる部分的な裂け目。ISOでは、われの方向性の有無、発生密度、われの幅と深さによって評価する。JIS K 5600-8-4:1999 参照。また、われの形態によっても区別する。

(鋼道路橋塗装・防食便覧 社団法人日本道路協会 平成 17 年 12 月)

第2章 塗装の種類

2.1 部材毎の塗装に至るまでの流れ

塗装系は、新設鋼橋か塗替え鋼橋かによって大きく分類される。
部材毎の塗装系に至るまでの流れを図-2.1に示す。



注) □中の数字は各項目の章・項の番号である。

図-2.1 部材毎の塗装に至るまでの流れ

(解説)

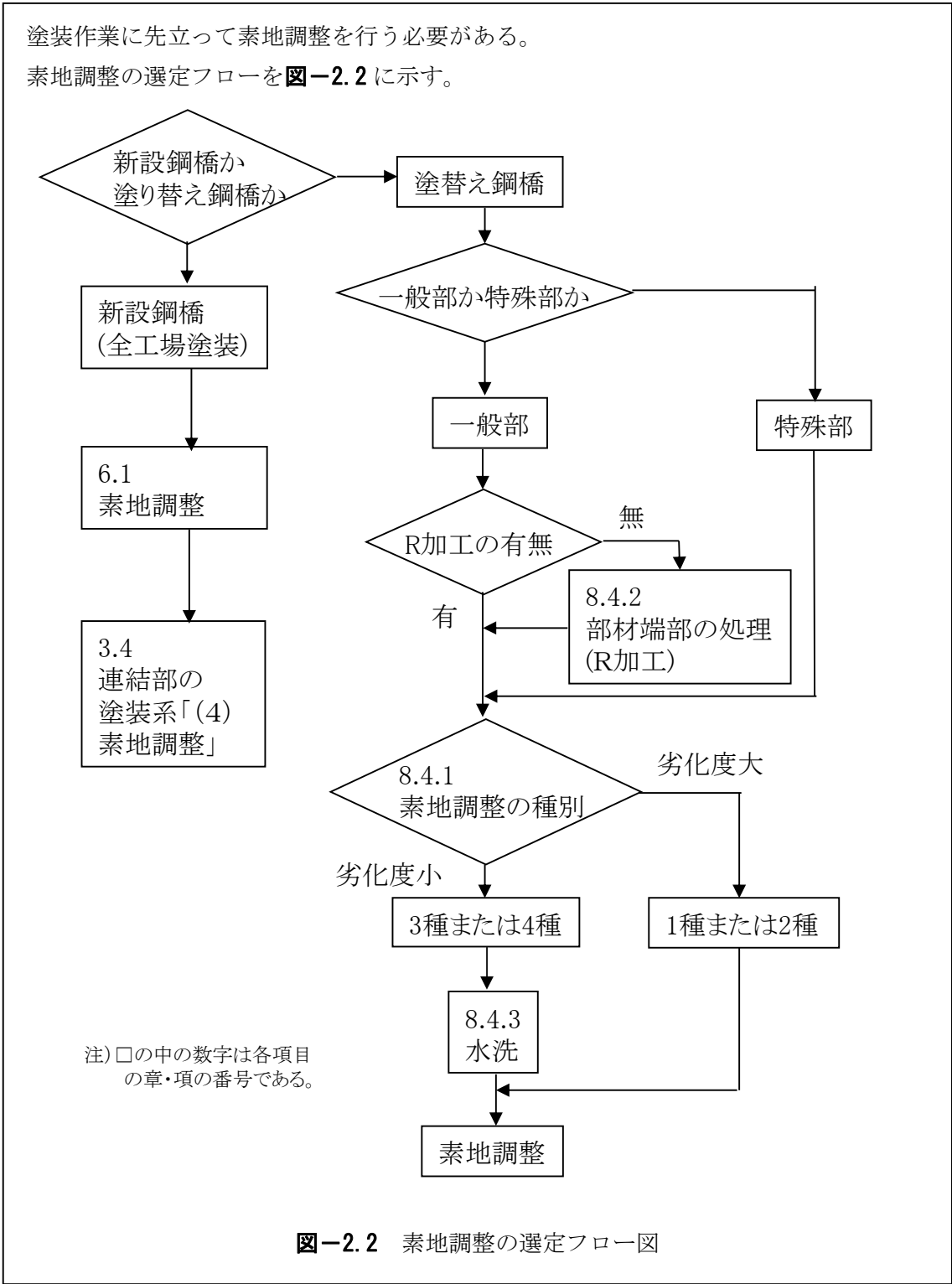
(1) 塗装系は、新設鋼橋と塗替え鋼橋で異なり、さらに部材によっても異なる。

部材毎の塗装系は、図-2.1のフローにしたがって選定すればよく、詳細は□中の数字に示す章項の箇所を見ればよい。

2.2 素地調整の種類

塗装作業に先立って素地調整を行う必要がある。

素地調整の選定フローを図-2.2に示す。



(解説)

素地調整とは、塗料の付着性及び防せい性の向上のために被塗面上の汚れ、粉化物、油分、水分、さびなどを除去することである。よって、塗装作業に先立って素地調整を行うものである。

また、素地調整が塗膜寿命に及ぼす影響は極めて大きく、油性さび止めペイントとフタル酸樹脂塗料を組み合わせた塗装系で、塗膜寿命に関する要因を素地調整の程度、塗付回数、塗料の種類、その他の要因に分類した場合、**表－2.1**に示すように塗膜耐久に及ぼす素地調整の影響は寄与率で50%程度であるといわれており、各要因のうち最大のものである。

したがって、素地調整の良否は防せい上最重要因子であることを念頭に置くことが必要である。

表－2.1 各要因の塗膜耐久に及ぼす影響

要因	寄与率
ケレン程度の差	49.5%
塗り回数の差	19.1%
塗料種類の差	4.9%
その他	26.5%

素地調整は、新設鋼橋の場合は工場の上塗りまで塗装されるので現場における素地調整は継手部のみである。

塗替えの素地調整は、異常（さび、われ、はがれ、ふくれなど）の発生率により種別が異なるので**表－8.6**にしたがって素地調整程度を選定する。

また、部材端部が鋭いエッジとなっている場合は、付着膜厚が薄くなり保護塗装の弱点部となるため、R加工が行われていない橋梁の主桁下フランジ端部はR加工を行う必要がある。素地調整の仕上がり程度を理論的に定めることは難しく、多くの場合標準見本をもって表示している。現在一般的に利用されているものは、ISO (8501) であり、鋼道路橋塗装・防食便覧でも同規格による素地調整を規定している。よって本マニュアルにおいても ISO を採用した。

第3章 新設鋼橋の塗装

3.1 一般外面の塗装系

一般外面の塗装系は、表-3.1 に示す上塗りまで工場塗装を行う塗装系を基本とする。

表-3.1 一般外面用の塗装系

工程		塗料または素地調整	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μm)
前 処 理	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2	—	2hr以内	—
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	スプレー 160		15
工 場 塗 装	2次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2	—	6ヶ月以内	—
	防食下地	無機ジンクリッチペイント	スプレー 600	2hr以内	75
	ミストコート	ミストコート	スプレー 160	2～10日	—
	下塗り	エポキシ樹脂塗料下塗	スプレー 450	1～10日	100
	下塗り	エポキシ樹脂塗料下塗	スプレー 450	1～10日	100
	中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗	スプレー 170	1～10日	30
	上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗	スプレー 140	1～10日	25

注) 1. 鋼板は原板処理したものを用いるため、前処理は鋼板メーカーの処理となる。

2. ミストコートはエポキシ樹脂塗料下塗をシンナーで 30～60%希釈したものを用いる。

3. プライマーとミストコートの膜厚は総合膜厚に加えない。

4. 塗装間隔は 20℃の場合を示す。気温が低い場合には、塗料の乾燥状態を調べ、硬化乾燥していることを確認し、重ね塗りを行う。

5. 製作・輸送運搬・架設の際に発生した塗膜損傷部の補修は、3.5 タッチアップ塗装に示す処置をする。

(解説)

(1) 適用塗装系

鋼道路橋塗装・防食便覧において新設鋼橋の塗装仕様は C-5 系を基本としており、本マニュアルにおいても C-5 系を基本として取り扱うものとした。鋼道路橋塗装・防食便覧において LCC を考慮する必要がない場合や 20 年以内に架替えが予定されているものは A-5 塗装系を適用しても良いが、原則沖縄では A 塗装系は適用しない。

C-5 塗装系は、ジンクリッチペイント上にエポキシ樹脂塗料を塗り、上塗りにふっ素樹脂塗料を用いる。この塗装系は沖縄の気象条件からみても十分な耐久性が期待できる。また沖縄地区は海塩粒子の影響度が全域において大きいので適用塗装系は、C-5 塗装系のみとした。また沖縄地区鋼橋塗装マニュアル(案)平成 10 年 3 月における新設鋼橋の塗装系は、

下塗りまでは工場塗装で、中塗りは現場塗装を採用していたため輸送時、仮置き架設中の塩分付着量が多かった。さらに、工場で塗付されてくるエポキシ MI0 塗料は、塗膜表面の凹凸が大きくかつ内面に塩分が浸透しやすいので、塩分が除去しにくい。そのため、腐食が促進され、塗替え鋼橋に比べ新設鋼橋の経年劣化が大きいことがわかった（図-3.1）。

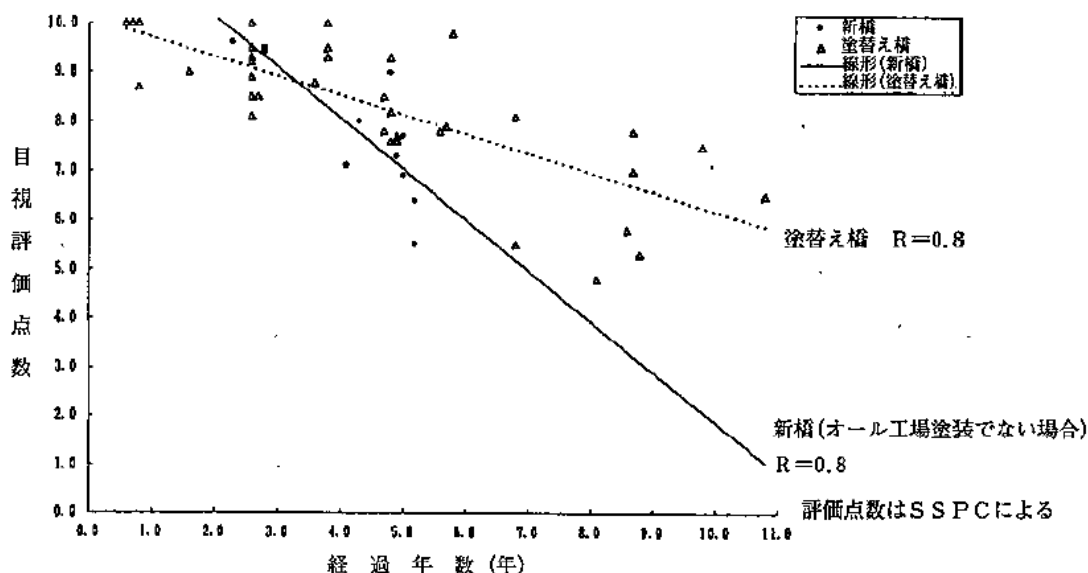


図-3.1 目視観察による新橋・塗替えの橋経年劣化傾向

そのため新設時には全工場塗装を基本とする。沖縄地区は気温が年平均 22.7℃、湿度も年間平均 78%と高く、結露回数も東京の 2 倍以上と、腐食環境は厳しい。そのため、前述の鋼橋塗膜の実態調査でも、塗膜の耐用年数が本土に比べ低くなっていることがわかった。一般に塗装の耐久性は塗装膜厚が厚くなるほど増大すると言われている。そこで鋼道路橋塗装・防食便覧の C-5 塗装系の塗り回数を増やすことにより、沖縄地区での耐久年数の延長が図れるものと考えられた。また、エポキシ樹脂塗料下塗りの合計膜厚を厚くすることにより本土並みの期待耐用年数の延長を図った。

(2) 全工場塗装

全工場塗装の利点と注意点を以下に示す。

全工場塗装による利点は、以下の 2 つがあげられる。

ア：施工管理が十分に行えるので、品質の優れた塗膜が得られる。

イ：現場での仮設足場の設置期間が少なくすみ、水洗などの除塩作業も行う必要がなくなるため、工費が安くなり、工期も短縮される。

また、注意点として実施工を行った本四連絡橋の例から、以下の 2 つがあげられる。

ア：運搬・架設時に塗膜損傷が多発し、その補修に手間がかかり、見栄えも良くないことから、全工場塗装では、橋梁形式、輸送方法、架設工法は、美観上の配慮などを考えて決定すべきである。

イ：全工場塗装は、工事関係者が完成品を取り扱うという意識を持つことが重要であり、意識の変換が塗装を長持ちさせるポイントとなる。

(3) 原板の素地調整

原板の素地調整はブラスト処理とし、除せい度は ISO Sa2 1/2、表面あらさは $80\mu\text{mRZ}_{\text{JIS}}$ 以下とした。

(4) 無機ジンクリッチプライマー

ブラスト処理面は活性化しているため、2 時間以内にショッププライマーとして無機ジンクリッチプライマーを塗付する。沖縄地区では、本土に比較し高温多湿であるので、鋼道路橋塗装・防食便覧に記載された 4 時間より短時間で塗装することが好ましいので、2 時間以内とした。

無機ジンクリッチプライマーは、塗膜中に含有する亜鉛の犠牲陽極作用により強い防せい力を示すもので、他のショッププライマーと比べてつぎに示す利点がある。

- ①防せい性が大きい。(6 ヶ月間程度の屋外暴露に耐える)
- ②耐熱性が大きいので、加工時における塗膜の焼け幅が小さい。
- ③損傷部からのさびの拡がりが小さい。

ただし、厚膜に塗ると加工時の溶断溶接作業やビード部性能に悪影響を与えるので支障を生じない程度の薄膜 ($15\mu\text{m}$) に塗付する。

(5) 2 次素地調整

加工組立後に行う 2 次素地調整は、一般外面に対してはブラスト処理とする。ブラスト時の研削材は、ショット、グリッド鋼砕、ガーネットなどがあるが、従来使用されていたけい砂は、安全衛生上の観点から JIS Z 0312:2004 から削除されている。

ブラスト処理面に塗る塗料が無機ジンクリッチペイントであることから除せい度は ISO Sa2 1/2 とし表面あらさは $80\mu\text{mRZ}_{\text{JIS}}$ 以下とする。

なお、ブラスト面は活性化しているためプライマー同様 2 時間以内に塗装をする。

(6) 無機ジンクリッチペイント

ジンクリッチペイントは、塗膜中に亜鉛顔料を多量に含有し亜鉛の犠牲陽極作用により鋼面のさび化を防ぐ塗料である。

ビヒクルについては、エポキシ系（有機系）、ケイ酸カリウム系、エチルシリケート系、リチウムシリケート系（以上無機系）のものがあるので、これらをブラスト鋼板に塗り潮風環境に暴露して性能を調査したところエポキシ系は 15 ヶ月目に発せいをみたが、他は 27 ヶ月を経過しても発せいは認められなかった。さらに他の仕様をみても、ジンクリッチペイントのビヒクルには無機系の適用が多く実績もあるので、沖縄地区においても無機系を適用することとした（無機系 3 種類については、明らかな差は認められなかったので、実績のあるエチルシリケート系を選定した）。なお、無機ジンクリッチペイントの膜厚は $75\mu\text{m}$ とする。空気中の水分により縮合重合反応を行って硬化するので、相対湿度 50% 以下の場合には塗装しない。なお工場を加湿または散水によって相対湿度 50% 以上とすれば塗

装しても良い。

(7) ミストコート

防食下地の無機ジンクリッチペイントは、厚膜形であるため塗膜中の顔料分が多く、そのため多孔質でボイド中には空気が内蔵されている。この上に直接下塗り第 1 層を塗り重ねると発泡するので、ミストコートを塗付して孔を埋めたあとに一般の塗料を塗付する。

したがって、下塗り第 1 層を塗る前に無機ジンクリッチ塗膜にミストコートを塗付する。

ミストコートは、無機ジンクリッチ塗膜の上に塗る塗料の場合はエポキシ樹脂塗料（下塗）を希釈剤で 30～60%希釈（標準は 50%）したもので、粘度が低いためボイド内に侵入し内部空気と置換して内蔵空気を排除する機能を有する。ここでミストコートは塗膜内に浸透し、表面膜厚としては小さいので膜厚測定は行わず、また塗装系の合計膜厚としては考慮しない。

(8) エポキシ樹脂塗料下塗

エポキシ樹脂塗料下塗は、エポキシ樹脂の密着性、耐水性、耐薬品性の良さを利用した塗料で、ジンクリッチペイントと組み合わせて用いられる。主剤と硬化剤から成る 2 液形塗料で付加重合反応により硬化する。温度が低くなると粘度が高くなり、作業性に劣り、乾燥時間も長くなるので、気温が 10℃以上で塗付する常温用と 5～20℃で塗付する低温用がある。また、長期間暴露されると硬化が進み塗り重ねる塗料との層間付着が悪くなる。

(9) ふっ素樹脂塗料用中塗

ふっ素樹脂塗料用中塗は、上塗りとの付着性や塗膜性能を高める機能を有する塗料である。

(10) ふっ素樹脂塗料上塗り

ふっ素樹脂塗料は、ポリウレタン樹脂塗料よりも耐候性に優れており色相や光沢の保持率の大きい塗料であるので、沖縄地区の上塗り塗料として選定した。

(11) 低汚染性形塗料

上塗りは、初期における色相光沢がともに良好であっても日時経過とともに表面が砂塵、塵埃、油煙などによって汚染され、見かけ上の色相光沢が失われることがある。

これに対しては、ポリウレタン樹脂塗料上塗、ふっ素樹脂塗料上塗ともに汚染物に付着しにくい、または付着しても除去されやすいタイプのもの（低汚染性形）が開発されている。

3.2 内面の塗装系

箱桁内面や塔内面及び鋼製脚などの内面塗装系を表-3.2 に示す。

表-3.2 内面用の塗装系

工程		塗料または素地調整	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μm)
前 処 理	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2	—	2hr以内	—
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	スプレー 160		15
工 場 塗 装	2次素地調整	動力工具処理 ISO St3	—	6ヶ月以内	—
	第1層	変性エポキシ樹脂塗料内面用	スプレー 410	2hr以内	120
	第2層	変性エポキシ樹脂塗料内面用	スプレー 410	1～10日	120

- 注) 1. 塗装間隔は 20℃の場合を示す。気温が低い場合には、塗料の乾燥状態を調べ、硬化乾燥していることを確認し重ね塗りを行う。
2. プライマーの膜厚は合計膜厚に加えない。

(解説)

(1) 前処理の素地調整

原板の素地調整はブラスト処理とし、除せい度は ISO Sa2 1/2、表面あらさは 80 μmRZ_{JIS} 以下とした。ブラスト時の研削材は、ショット、グリッド鋼砕、ガーネットなどがあるが、従来使用されていたけい砂は、安全衛生上の観点から JIS Z 0312:2004 から削除されている。

(2) プライマー

一般外面の塗装系に合わせ、プライマーは無機ジンクリッチプライマーとする。素地調整後できるだけ短時間内(2時間以内)に無機ジンクリッチプライマーを膜厚 15 μm 程度で塗付する。このプライマーは厚膜に塗付すると溶接溶断などの加工作業に支障を与えるので注意をする。沖縄地区では、本土に比較し高温多湿であるので、鋼道路橋塗装・防食便覧の記載より短時間で塗装することが好ましい。

(3) 2次素地調整

2次素地調整は、内面であるため腐食条件が外面程きびしくないことと適用塗料が厚膜タイプであることから、動力工具によるさび落とし除せい度は、ISO St3 程度とする。

(4) 変性エポキシ樹脂塗料内面用

- ①第1層～第2層に用いる変性エポキシ樹脂塗料内面用は、エポキシ樹脂を他樹脂で変性した塗料で、エポキシ樹脂塗料より厚膜が得られ塗膜はやや柔軟性があり、素地調整程度がケレン程度でも良好な性能を示す。この塗料は、耐候性はやや劣るが、耐水性は非常に大きく適用箇所が内面で日光照射がないこともあって十分満足する性能を

発揮する。

②閉断面部材内面の塗料色相は点検時の照明効果を良くするため明色仕上げすることが良く、変性エポキシ樹脂塗料内面用は明色のものが得られるし、さらに耐熱性が大きく変状しないため工場で全塗装を施工できるという利点がある。なお、タールエポキシ樹脂塗料は、安全衛生上の問題から鋼橋の塗装では使用しない。また内面塗装は、腐食環境が厳しくないことから、膜厚は鋼道路橋塗装・防食便覧に合わせた。

③変性エポキシ樹脂塗料の外面用と内面用との違いをみると、内面用は外面用より耐水性が大である。しかし、耐候性は外面用より劣っている。

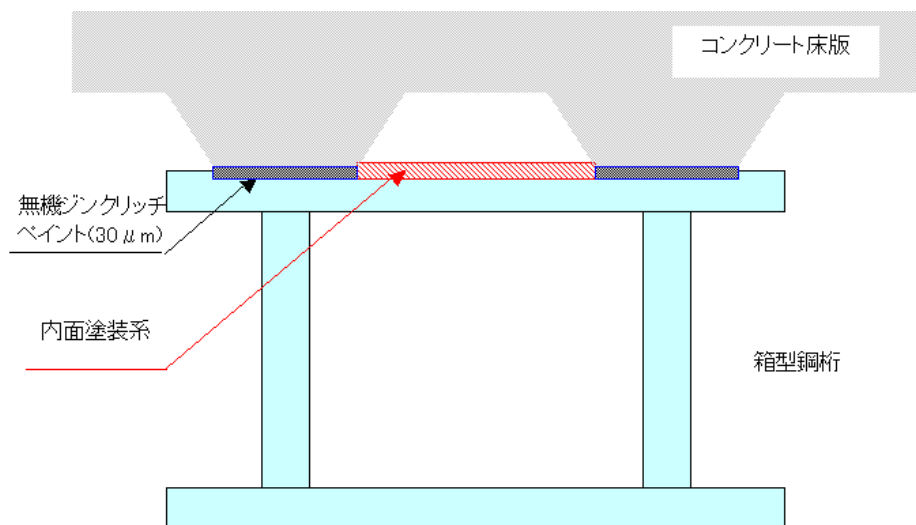
(5) 箱桁上面の塗装について

図－3.2 に示すように、箱桁上面のコンクリート床版下の塗装系は、以下とするのが良い。

①コンクリートと接する部分は、さび汁などの汚れやコンクリートとの付着を考慮して無機ジンクリッチペイントを $30\mu\text{m}$ 塗付するのが良い。

②コンクリート床版との空間に相当する部分については、表－3.2 に示す内面塗装系を適用するのが良い。

その他の部分については、表－3.1 に示す一般外面の塗装系に従う。



図－3.2 箱桁上面部の塗装系

3.3 特殊部の塗装系

特殊部とは、全塗装工場施工となる支承や排水ます外・内面とする。

支承・排水ます外側の塗装系を表-3.3に示す。排水ます外面がコンクリート部と接触する場所は適用除外とし、本塗装系は排水ますの外面露出部に限るものとする。排水ます内面は、表-3.2に示す閉断面部材の塗装系とする。ただし排水ます内面は水かかりが懸念されるので、1層増し塗りするものとする。

表-3.3 支承・排水ます外面の塗装系

工程		塗料または素地調整	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μm)
工場 塗 装	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2	—	2hr以内	—
	防食下地	無機ジンクリッチペイント	スプレー 600	2～10日	75
	ミストコート	ミストコート	スプレー 160	1～10日	—
	下塗り	エポキシ樹脂塗料下塗	スプレー 450	1～10日	100
	下塗り	エポキシ樹脂塗料下塗	スプレー 450	1～10日	100
	中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗	スプレー 170	1～10日	30
	上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗	スプレー 140	1～10日	25

注) 1. 塗装間隔は 20℃の場合を示す。気温が低い場合には、塗料の乾燥状態を調べ、硬化乾燥していることを確認し重ね塗りを行う。

(解説)

(1) 支承・排水ます外側の塗装工程

支承・排水ます外側は、工場で上塗りまで行うこととし、C-5 塗装系相当とする。この部位は発せいが著しい箇所であることから、鋼道路橋塗装・防食便覧でも下塗り塗料を 1 層増塗りすることが効果的であるとしているため、膜厚を増すことにより期待耐用年数の延長を図った。

排水ますは亜鉛めっきで防食されることもあるが、塗装を選択する場合には表-3.3 に示す塗装系とする。なお支承や排水ますを亜鉛めっきで防食する場合においても、さらに焼付け塗装をほどこすなどの防食措置を加えるのが好ましい。

(2) 排水ます内面の塗装工程

排水ます内面は、工場で上塗りまで行うこととし、表-3.2 に示す D-5 塗装相当系とするが、水濡れが厳しい環境であるため、変性エポキシ樹脂塗装内面用を 1 層増し塗りするものとする。(1) と同様に亜鉛めっきで防食される場合もあるが、塗装を選択する場合には上記の塗装系を選択する。亜鉛めっきで防食する場合には、(1) と同様に焼付け塗装をさらに施すなどの防食措置を加えるのが好ましい。

(3) 素地調整

表－3.3 支承・排水ます外・内側のブラスト処理は、除せいで ISO Sa2 1/2、表面あらさ $80 \mu \text{mRZ}_{\text{JIS}}$ 以下とする。なお、このブラスト処理は支承・排水ますを製造し、検査合格後に行い、防食下地は、その後 2 時間以内に塗付するので前処理工程は行わない。

3.4 連結部の塗装系

連結部とは、高力ボルト、連結板や現場溶接部及び鋼床版上面とする。外面の連結板及び高力ボルトの塗装系は**表－3.4.1.(1)(2)**、箱桁内面及び箱桁上面の連結板及び高力ボルトの塗装系は**表－3.4.2(1)(2)**に、現場溶接部の塗装系は**表－3.5.1**、**表－3.5.2**に示す。なお、ブラスト処理が困難なときは別途協議する。

(1) 外面の連結板及び高力ボルト

表－3.4.1(1) 外面の連結板の塗装系（部材製作時に無機ジンクリッチペイントを塗付する場合）

工程	塗料または素地調整	標準使用量 (g/m^2)	塗装間隔 (気温 20°C の場合)	標準膜厚 (μm)
前 処 理	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2	— 2hr以内 6ヶ月以内	—
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー		15
工 場 塗 装	2次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2	— 2hr以内 12ヶ月以内	—
	防食下地	無機ジンクリッチペイント		75
現 場 塗 装	素地調整	動力工具処理 ISO St3	— 4時間以内 1～10日 1～10日 1～10日	—
	ミストコート	ミストコート		—
	下塗り	超厚膜形エポキシ樹脂塗料		300
	中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗		30
	上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗		25

表－3.4.1(2) 外面の高力ボルト部の塗装系（防せい処理ボルトを使用する場合）

工程	塗料または素地調整	標準使用量 (g/m^2)	塗装間隔 (気温 20°C の場合)	標準膜厚 (μm)
現 場 塗 装	ミストコート	ミストコート	— 1～10日 1～10日 1～10日	—
	下塗り	超厚膜形エポキシ樹脂塗料		300
	中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗		30
	上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗		25

* 上記表は、防せい処理ボルトを使用した例であるが、高力ボルトの防食について、架設環境に応じて「5.3 ボルトなどの防食」などを参考に決定すること。

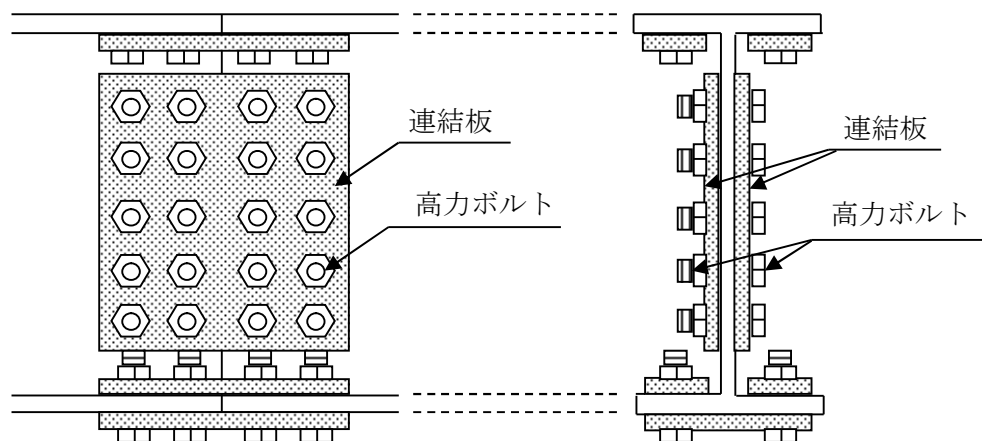


図-3.3 外面の連結板及び高力ボルト概念図

(2) 箱桁内面及び箱桁上面の連結板及び高力ボルト

表-3.4.2(1) 箱桁内面及び箱桁上面の連結板の塗装系（部材製作時に無機ジンクリッチペイントを塗装する場合）

工程		塗料または素地調整	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μm)
前処理	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2	—	2hr以内	—
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	160		15
工場塗装	2次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2	—	6ヶ月以内	—
	防食下地	無機ジンクリッチペイント	600		75
現場塗装	素地調整	動力工具処理 ISO St3	—	12ヶ月以内	—
	ミストコート	ミストコート	160(130)		—
	下塗り	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	1100(500×2)		300

表-3.4.2(2) 箱桁内面及び箱桁上面の高力ボルト部の塗装系（防せい処理ボルトを使用する場合）

工程		塗料または素地調整	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μm)
現場塗装	ミストコート	ミストコート	160(130)	1～10日	—
	下塗り	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	1100(500×2)		300

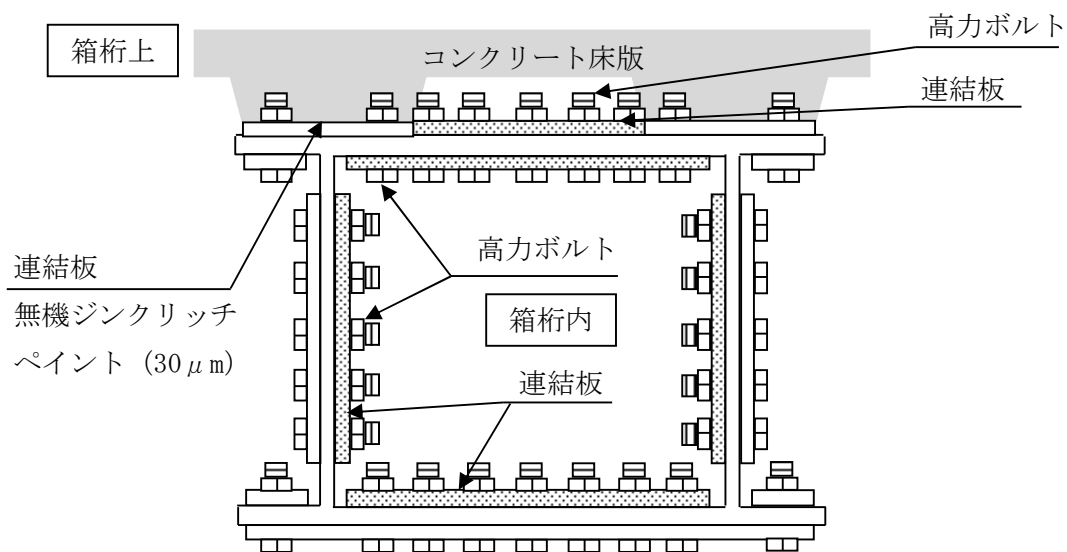


図-3.4 箱桁内面の連結板及び高力ボルト概念図

- 注) 1. ミストコートは、変性エポキシ樹脂塗料下塗をシンナーで 30～60%希釈したものを
用いる。またミストコートは、ボルト・ナット部を含めてミストコートを行う。
2. 上塗りは一般外面と同じにする。
3. 内面は中塗り・上塗りを塗装しない。
4. 標準使用量はスプレーとし、() 内はローラー、はけ塗りの場合を示す。
5. 塗装間隔は 20℃の場合を示す。気温が低い場合には、塗料の乾燥状態を調べ、硬化
乾燥していることを確認し重ね塗りを行う。
6. 母材とボルト接合面の接触面は、工場塗装の無機ジンクリッチペイントまで塗付す
る。
7. 高力ボルトを使用するに当たっては犠牲防食性能、環境遮断性などの高耐食性の発
揮が期待される防食について、十分検討すること。検討にあたっては、「5.3 ボルト
などの防食」に事例を掲載しているので参照するとともに、他の防食工法も参照する
こと。

8. 現場塗装前にジンクリッチペイントの白さびは、サンドペーパーなどで除去する。
付着した砂塵、ごみなどはウェスなどで拭き取るが、十分に拭き取れない場合には面
あらしを行う。
9. 超厚膜形エポキシ樹脂塗料は、膜厚が厚くなるとわれる可能性がある。標準膜厚を
遵守し、必要以上に厚膜とならないようにすることが好ましい。
10. 連結板のボルト部は、塗装時にカスレ、塗り残し、ピンホールの有無を確認し、確
実に塗装する。
11. スプレー塗装時、スカーラップ等の狭隘部において膜厚不足とならないように留意
するとともに、スプレーによる入念な塗装または、はけで先行塗装を行い、膜厚を確保
すること。

(3) 現場溶接部

表-3.5.1 外面の現場溶接接合部の塗装系（継手施工後に塗装する場合）

工程		塗料または素地調整	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μm)
現場 塗 装	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2	—	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>4hr以内</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>1～10日</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>1～10日</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>1～10日</div> </div>	—
	防食下地	外面:有機ジンクリッチペイント	600 (300×2)		75
	下塗り	外面:超厚膜形エポキシ樹脂塗料	1100(500×2)		300
	中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗	170(140)		30
	上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗	140(120)		25

表-3.5.2 内面の現場溶接接合部の塗装系（継手施工後に塗装する場合）

工程		塗料または素地調整	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μm)
現場 塗 装	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2	—	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>4hr以内</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>1～10日</div> </div>	—
	防食下地	内面:有機ジンクリッチペイント	600 (300×2)		75
	下塗り	内面:超厚膜形エポキシ樹脂塗料	1100(500×2)		300

- 注) 1. 上塗りは一般外面と同じにする。
2. 内面は中塗り・上塗りを塗装しない。
3. 標準使用量はスプレーとし、() 内はローラー、はけ塗りの場合を示す。
4. 塗装間隔は 20℃の場合を示す。気温が低い場合には、塗料の乾燥状態を調べ硬化乾
燥していることを確認し重ね塗りを行う。

5. 現場溶接部は溶接後直ちに塗装することなく、一定期間放置または加熱処理を行った後塗装する。(5.2 溶接部の処理参照)。
6. 超厚膜形エポキシ樹脂塗料は、膜厚が厚くなるとわれる可能性がある。標準膜厚を遵守し、必要以上に厚膜とならないようにすることが好ましい。

(解説)

(1) 外面の連結板及び高力ボルトの塗装系の考え方

外面の連結板及び高力ボルトは十分な素地調整が行いにくい。また、ボルト頭などの形状が複雑なため均一な塗装を行いにくい部分である。そこで、下塗り回数を多くして膜厚を確保することが一般的である。しかし、沖縄地区は気象条件が厳しいことや塗装コストの低減から、一度の塗付で所定の膜厚が得られる超厚膜型エポキシ樹脂塗料 (300 μm) の適用が有効な手段として考えられる。しかしながら超厚膜形エポキシ樹脂塗料は、厚膜になると、膜厚の不均一性が生じやすく塗膜われを生ずることもあることが報告されている。

よって、本仕様では連結部においては、超厚膜形エポキシ樹脂塗料の膜厚を 300 μm とした。

また、本塗料は粘度が高くはけ塗りでは作業性が悪いためヘラ塗りやローラー塗りとなるが、均一な塗膜状態が得られにくいので、膜厚の確保に十分な配慮が必要である。また、ヘラ塗りの場合ツララ状のダレなどが生じ美観不良となりやすいので注意して施工する。したがって外観は、一般外面の塗装系と比較して悪くなる。

内面の塗装は、作業条件が悪く塗付回数を少なくすることが望ましい。さらに、塗料によっては有機溶剤蒸気が充満するため作業員の安全衛生面の問題や爆発の危険性もある。よって一回で厚い膜に塗付可能な超厚膜形エポキシ樹脂塗料を使用することとした。塗付時の注意事項は、外面の場合と同じである。

(2) 外面の連結板及び高力ボルトの塗装系 (部材製作時に無機ジンクリッチペイントを塗装する場合)

部材製作時に継手を塗装して現場塗装開始前の発せいを防止すれば素地調整作業を容易にし、除せい効果を格段に向上させることができる。部材製作時に継手を塗装するには、塗膜により継手の品質あるいは継手耐力が低下しないことが必要である。摩擦接合方式の高力ボルト継手では、接合される部材の接触面で 0.45 以上のすべり係数が確保され、塗膜のクリープによるボルト軸力の低下が少ないことが必要である。無機ジンクリッチペイントは、塗料品質と施工の管理を十分行えばこの条件を満たすことが可能であり、道路橋示方書の鋼橋・鋼部材編 (20.9.3 接合面の処理) では、無機ジンクリッチペイントを接触面に塗付する場合の条件を次のように規定している。

- 1) 接触片面あたりの最小乾燥塗膜厚：50 μ m以上
- 2) 接触面の合計乾燥塗膜厚：100～200 μ m
- 3) 乾燥塗膜厚中の亜鉛含有量：80%以上
- 4) 亜鉛末の粒径（50%平均粒径）：10 μ m程度以上

これらの条件は、無機ジンクリッチペイントをC塗装系と同じく 600g/m²塗付し、塗膜厚のばらつきを管理することにより十分満足することができる。

防せい処理ボルトを使用する場合には種々のものがあるが、塗り重ねられる塗料との相性を考慮し選定することが必要である。防せい処理ボルトの規格については HBS 摩擦接合用防錆高力ボルト六角ナット平座金のセット暫定規格 HBSB 1102-1976（本州四国連絡橋公団）昭和 51 年 2 月を参考にするとよい。

（3）現場溶接部の塗装系（継手施工後に塗装する場合）

溶接部においては、継手施工後に塗装するので、**表－3.5.1～表－3.5.2** の塗装系が良い。外面の連結板及び高力ボルトと同様に、超厚膜形エポキシ樹脂塗料を用いて、膜厚を確保することで沖縄地区での防せい性能を確保する。なお、溶接部の塗装範囲として扱う範囲は、塗装品質を確保するために必要な範囲と溶接やけの関係から概ね 10cm 以内の部分とする。未塗装範囲は、熱影響部のほか、自動溶接機の取り付けや超音波探傷の施工などを考慮して決定する。溶接部を塗装するに当たっては、適切な前処理が必要である。（5.2 項 溶接部の処理を参考とされたい）

（4）素地調整

表－3.4.1～表－3.4.2 外面の連結板および高力ボルトで、部材製作時に連結板を塗装しておく場合の前処理の素地調整、および 2 次素地調整はブラスト処理とし、除せい度は ISO Sa2 1/2、表面あらさは、80 μ mRz JIS 以下とした。

表－3.5.1～表－3.5.2 現場溶接による現場継手部でも素地調整はブラスト処理とし、防せい度は ISO Sa2 1/2、表面あらさは、80 μ mRz JIS 以下とした。なお、ブラスト処理が困難なときは別途協議とする。

（5）超厚膜形エポキシ樹脂塗料は、厚膜が形成しやすいが、1000 μ m を超えるとわれやすくなるという報告もあり、**表－3.4.1～表－3.4.2、表－3.5.1～表－3.5.2** に記載された膜厚を遵守する。

（6）中塗り・上塗りの省略

内面は、日光の直射を受けず耐候性を期待しなくてもよいので中塗り・上塗りは塗装しない。

（7）鋼床版上面の塗装

鋼床版面はアスファルト舗設までの期間が長く鋼床版上面にさびが発生するため、一時防せいの目的で無機ジンクリッチペイントを 30 μ m 塗装する。なお、鋼床版上面の現場溶接による現場継手部は溶接後一定期間放置、または加熱処理を行った後、動力工具による

素地調整（ISO St3）を行い、ジンクリッチペイント塗布を考慮するか、現場ブラスト後直ちに舗設作業を行うこととする。

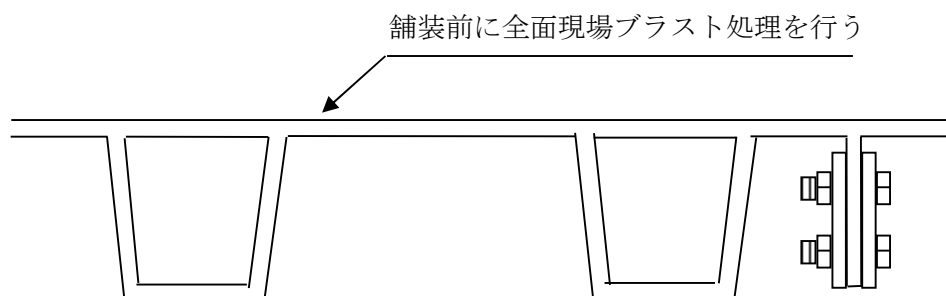


図-3.5 鋼床版上面の現場溶接接合部概念図

（８）HBS

『摩擦接合用防錆高力ボルト六角ナット平座金のセット暫定規格』HBSB1102-1976 本州四国連絡橋公団 昭和 51 年 2 月から一部抜粋したものを以下に示す。

『摩擦接合用防錆高力ボルト六角ナット平座金のセット暫定規格』

HBSB1102-1976 本州四国連絡橋公団 昭和 51 年 2 月（一部抜粋）

5. 表面処理

ボルト・ナット及び平座金には表 2 に示される塗膜性能を有する表面処理を施さなければならない。

表2

項 目	皮 膜 性 能
皮 膜 の 外 観	皮膜をみて平らさは良好で、流れ、しわ、われ、むらがないこと
ゴ バ ン 目 試 験	25/25
耐 塩 水 噴 霧 性	100時間の塩水噴霧に耐えること
促 進 耐 候 性	暴露した試験片と暴露しなかった試験片とを比べてみたとき、われ、ふくれ、はがれの程度が大きくないこと
上 塗 り 適 合 性	上塗りしても支障のないこと
上塗りとの層間付着性	異常のないこと
遅 れ 破 壊 性	ボルトの遅れ破壊の要因となるようなものではないこと
潤 滑 性	ボルトおよびナットに固着しない潤滑剤であってはならない

試験法は、11. 4による

11. 試験及び測定方法

11. 4 表面処理試験

11.4.1 試験の一般条件

ボルト・ナット及び座金に表面処理される条件と同一条件で試験片（約 150×70×1mm）に処理したものをを用いる。ただし、11. 4. 3 の試験については、その条件で表面

処理されたボルト・ナット及び座金またはその組み合わせたものを用いる。

11. 4. 2 ゴバン目試験

11. 4. 1 で作られた試験片を用いて、試験片の中央に新しい安全カミソリ用片刃（JIS K 5400 7.8(3)）を用いて皮膜に 2mm 間隔で縦横それぞれ 6 本ずつ素地に達する切傷を入れて 25 個のマス目を作り、その上にセロハンテープ（JIS Z 1522）を完全に密着するように貼り付けてから、テープをいっきにはがし、マス目の残存数を調べる。

11. 4. 3 皮膜の外観

11. 4. 1 で作られたボルト・ナット及び座金を用いて、試験作成 24 時間後に、拡散昼光（JIS K 5400 6.1）のものとの皮膜を肉眼でみて、平らさ、流れ、しわ、むら、われの程度を見本品の場合と比べて調べる。

11. 4. 4 耐塩水噴霧試験

11. 4. 1 で作られた試験片を 3 枚用意し、その周辺を適当な塗料を用いてシールし、6 日間放置する。この試験片を JIS K 5400 7.8 に規定されている塩水噴霧試験機に入れ、100 時間試験を行なったのち、試験片を取り出して流水で洗い、室内に 2 時間置いてから塗膜を調べる。この時試験片の周囲約 10mm 以内の部分は試験の対象としない。

試験片 2 枚以上については皮膜にふくれ、はがれ、赤さびを認めないときは「塩水噴霧試験に耐える」とする。

11. 4. 5 促進耐候試験

11. 4. 1 と同じ方法で試験片を 2 枚用意し、そのうち 1 枚は促進耐候試験に用い、他の 1 枚は比較面として保存する。

試験片は、JIS K 5400 6.16 に規定する促進耐候試験片を用い、100 時間試験を行なったのち、われ、ふくれ、はがれを肉眼で比較面と比べて調べる。

11. 4. 6 上塗り適合性

11. 4. 1 で作られた試験片を用いて JIS K 5400 6. 11 による。ただし、上塗りに用いる塗料は、本州四国連絡橋公団暫定仕様の継手部塗装系の現場塗装の下塗り塗料を用い、それぞれの使用条件の膜厚（±20%）を塗付する。

11. 4. 7 上塗りとの層間付着性

11. 4. 5 の方法で促進耐候試験を行なった試験片を 3 枚用意し、試験終了後 24 時間放置し、その上に塗装暫定仕様の継手部塗装系の現場塗装の下塗り塗料を塗付し（膜厚±20%）、11. 4. 3 と同様の試験を行なう。

12. 検査

12. 6 表面処理検査

11. 4 にて行なったとき、それぞれ 5. の表 2 の規定に適合しなければならない。

3.5 タッチアップ塗装

部材の運搬架設時、及び作業足場の架設撤去時に、塗膜が局部的に損傷した場合、補修塗装をする必要がある。この補修塗装を一般にタッチアップ塗装という。タッチアップ塗装は、損傷の程度により対応は異なる。傷の深さに応じて下記及び図-3.3 に示す方法で行うものとする。

傷の深さ	上塗	上塗・中塗	上・中・下塗	鋼面迄
(上塗)				
(中塗)				
(下塗)				
(無機ジंकリッチペイント)				
(鋼材)				
素地調整	サンドペーパー処理			パワーツール処理
下塗	なし			有機ジंकリッチペイント 120g/㎡×2回 60 μm
中塗	なし		超厚膜形エポキシ樹脂塗料 1000g/㎡ 300 μm	
上塗	ふっ素樹脂塗料上塗 120g/㎡ 25 μm	ふっ素樹脂塗料上塗 120g/㎡×2回 50 μm		

(鋼道路橋塗装・防食便覧 社団法人日本道路協会 平成 17 年 12 月)

図-3.3 傷の深さによる補修方法施工法

(1) 架設終了時のタッチアップ塗装

①鋼材面が露出している部分

鋼材面が露出している部分は、動力工具や手工具により除せいしてから、下塗り第 1 層は無機ジंकリッチペイントにかえて有機ジंकリッチペイント(塗付量 120g/m²×2、60μm)を塗付することとする。また超厚膜形エポキシ樹脂塗料(塗付量 500g/m²×2、300μm)を中塗りとして代替し、最後にふっ素樹脂塗料上塗(120g/m²×2、50μm)をかける。

②鋼材面が露出していない部分

まず損傷部位を調査し、傷の深さを調べる。上、中塗りのいずれかで損傷している場

合は、損傷部とその周辺の塗膜面にサンドペーパーかけなどの処理をして、ふっ素樹脂塗料上塗(120g/m²×2、50 μm)をかける。下塗りから損傷している場合には、同様にサンドペーパー処理後に超厚膜形エポキシ樹脂塗料(塗付量 500g/m²×2、300 μm)を中塗りとして代替し、最後にふっ素樹脂塗料上塗(120g/m²×2、50 μm)を塗る。

(解説)

(1) 補修部分周辺の処理

①鋼材面が露出している部分

鋼材面が露出している部分は、補修部分の素地調整後にサンドペーパー処理などで段差を少なくしてから塗装する。ただし、鋼材面が露出している部分の第1層には密着性が良く動力工具による素地調整面にも適用できる有機ジンクリッチペイントを塗付することとした。

②鋼材面が露出していない部分

鋼材面が露出していない部分は、サンドペーパーがけなどの処理をして段差を少なくするとともに、塗面を活性化して塗り重ねられる塗料が付着しやすくしてから塗装する。

(2) 損傷部が多いと推定される箇所

箱断面部材の外面に現場溶接で排水金具を取り付け、吊りピースをガス切断した場合は、内面の塗膜が損傷していることが多いので注意を要する。

(3) 現場塗装終了時のタッチアップ塗装

現場塗装終了時のタッチアップ塗装は、架設終了時のタッチアップ塗装と同様に行うものとする。

3.6 現場塗装前の処置

ボルト連結部など連結部については、現場塗装前には ISO St3 相当の処置を行うことを原則とする。しかしながら現場塗装を行う前に、下塗り塗膜の劣化状態を点検し、劣化状態に応じ**表－3.6**に示すように処置し、下塗り性能が低下したままで現場塗装を行うことのないようにすることが必要である。特に工場塗装と現場塗装の間隔が12ヶ月を超えて長期化した場合には、動力工具によるケレンのみでなくブラスト処理まで含めて素地調整を検討する。

表－3.6 現場塗装前の処置

塗膜の劣化状態	われ・はがれ・ふくれ・赤さびのない場合 あるいは、上記が軽微な場合	われ・はがれ・ふくれ・ 赤さびがある場合
処理方法	1. 水洗 2. 動力工具によるSt-3相当のケレンを実施。 3. 欠陥のない部位においても、ジンクリッチペイントの白さびは、サンドペーパーなどで除去する。付着した砂塵、ごみなどはウエスなどで拭き取るが、十分に拭き取れない場合には面あらしを行う。	1. ブラスト処理（ISO Sa 2 1/2） 2. 表－3. 5 の現場塗装に準拠する。

注）現場塗装前には、水洗を行うことを原則とする。

（備考）

適用塗料は、JIS 規格に適合するものを使用する。なお、JIS に規定されていない塗料は、鋼道路橋塗装用塗料標準の規格に適合するものを用いる。

適用塗料規格を**表－3.7**に示す。

表-3.7 適用塗料規格

塗 料 名	規 格
無機ジンクリッチプライマー (無機ジンクリッチプライマー)	J I S K 5 5 5 2-1 種 (鋼道路橋塗装用塗料標準)
無機ジンクリッチペイント (無機ジンクリッチペイント)	J I S K 5 5 5 3-1 種 (鋼道路橋塗装用塗料標準)
有機ジンクリッチペイント (有機ジンクリッチペイント)	J I S K 5 5 5 3-2 種 (鋼道路橋塗装用塗料標準)
エポキシ樹脂塗料 (エポキシ樹脂塗料下塗)	J I S K 5 5 5 1-2 種 (鋼道路橋塗装用塗料標準)
鋼構造物用ふっ素樹脂塗料用中・上塗 (ふっ素樹脂塗料用中塗・ふっ素樹脂塗料上塗 弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗、弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗)	J I S K 5 6 5 9 (鋼道路橋塗装用塗料標準)
— (エポキシ樹脂プライマー)	— (鋼道路橋塗装用塗料標準)
— (変性エポキシ樹脂塗料下塗、弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料)	— (鋼道路橋塗装用塗料標準)
— (変性エポキシ樹脂塗料内面用)	— (鋼道路橋塗装用塗料標準)
— (無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料内面用)	— (鋼道路橋塗装用塗料標準)
— (超厚膜形エポキシ樹脂塗料)	— (鋼道路橋塗装用塗料標準)

注) 1. () 内は鋼道路橋塗装用塗料標準による塗料名を示す。

2. 本マニュアルの文中に示す塗料名は、鋼道路橋塗装用塗料標準による塗料名を用いている。

(解説)

・水洗

沖縄地区は、全域海塩粒子の影響を受ける環境にあるので、現場塗装前に付着した塩分を除去することが必要である。塩分の除去は水洗（高圧水）による除去を原則とする。（6.3 水洗を参照）

・補修塗り

塗膜に異常を生じた部分は、素地調整を行った後補修塗りを行う。

- ①さびを生じた部分は動力工具によりさびを除去し鋼面を露出させ、有機ジンクリッチペイントを 1 回（75 μ m）、エポキシ樹脂塗料を 1 回（300 μ m）塗装する。ただし、鋼材露

出面積が大きい場合や全面にわたる場合は、塗替え鋼橋と同様な処置を行うなど、別途勘案する必要がある。

②はがれ部は、はがれ部周辺の浮いた塗膜も十分に除去し、はがれた塗膜層から塗り直す。

③ふくれ部は、ふくれ塗膜を除去し、ふくれた塗膜層から塗り直す。

④われ部は、われ部を十分に研磨し、われを生じた塗膜層から塗り直す。

なお、いずれの補修部分も健全部分との間に段差を生じないように補修部分周辺を研磨整する。

(3) 他発注機関の塗装系

参考に他発注箇所の塗装系例を、表-3.8 に示す。

表-3.8 新設鋼橋の塗装系

箇所 工程	鋼道路橋塗装・防食便覧	旧日本道路公団	首都高速道路株式会社	阪神高速道路株式会社	本州四国連絡高速道路株式会社	沖縄地区鋼橋防食マニュアル
プライマー	無機シンクリッチプライマー(15)	無機シンクリッチプライマー(15)	無機シンクリッチプライマー(15)	無機シンクリッチプライマー(15)	無機シンクリッチプライマー(20)	無機シンクリッチプライマー(15)
2次素地調整	ブラスト処理	ブラスト処理	ブラスト処理	ブラスト処理	ブラスト処理	ブラスト処理
下塗り	無機シンクリッチペイント(75)	無機シンクリッチペイント(75)	無機シンクリッチペイント(75)	無機シンクリッチペイント(75)	無機シンクリッチペイント(75)	無機シンクリッチペイント(75)
ミストコート	ミストコート	ミストコート	ミストコート	ミストコート	ミストコート	ミストコート
下塗り	エポキシ樹脂(120)	エポキシ樹脂(60)	エポキシ樹脂(120)	エポキシ樹脂(60)	エポキシ樹脂(60)	エポキシ樹脂(100)
下塗り		エポキシ樹脂(60)		エポキシ樹脂 MIO(60)	エポキシ樹脂(60)	エポキシ樹脂(100)
中塗り	ふっ素樹脂(30)	ふっ素樹脂(30)	ふっ素樹脂(30)	ふっ素樹脂(30)	エポキシ樹脂塗料中塗(30)	ふっ素樹脂(30)
上塗り	ふっ素樹脂(25)	ふっ素樹脂(25)	低汚染型ふっ素樹脂(25)	ふっ素樹脂(25)	ふっ素樹脂(25)	ふっ素樹脂(25)

注1) 『鋼道路橋塗装・防食便覧』 社団法人 日本道路協会発行 平成17年

『橋梁技術者のための塗装ガイドブック (改訂版)』 社団法人 日本橋梁建設協会
平成18年11月

注2) () 内数字は、標準膜厚 (μm) を示す。

注3) 塗装系は、一般外面を比較している。2種類以上ある場合は、一番耐久性の高い塗装系を掲載した。

第4章 構造設計上の留意点

4.1 飛来塩分対策

飛来塩分の付着や塩分を含んだ水の滞留しやすい構造は避け、暴露面積の少ない構造選定を検討することが望ましい。

(解説)

鈑桁には桁下の対傾溝・横溝部材が錯綜し、塩分の付着や結露などにより塗膜劣化が生じて腐食の著しい部位がある。特に外桁の内側は雨水に洗われることもまれであり、塩分の滞留も著しい。

構造の選定において、暴露面積の少ない箱桁構造は、桁間への飛来塩分の巻き込みが少なく、特に1箱桁構造は飛来塩分対策として有効である。また、飛来塩分対策の一つである多機能防食デッキについては、「4.2 多機能防食デッキ」で述べる。

防食性能上は、高力ボルト継手よりも溶接継手が有効であるが、架設工法、現場環境（現場でのブラストによる影響など）、その他を検討する必要がある。

上記については、ライフサイクルコストを踏まえ、個別に十分な検討を行う必要がある。



写真-4.1 桁内部下フランジェッジ部の腐食



写真-4.2 桁内部下フランジ上面などの塵埃の堆積

4.2 多機能防食デッキ

鋼桁下面には、飛来塩分対策として多機能防食デッキを設置することが望ましい。

(解説)

鈑桁における桁下の対傾溝・横溝部材などや、並列箱桁における内面の腹板や横桁は、塩分の付着や塗装劣化によって腐食劣化が生じやすい。鋼桁間や鋼桁全面に設置した多機能防食デッキ（以下、「防食デッキ」という）は、桁下への海塩粒子の進入を防止するため、新設及び既設ともに飛来塩分対策に有効である。

なお、防食デッキの設計においては、点検・維持管理の面を配慮するとともに、台風も

考慮した構造計算により耐荷力を十分確保する必要がある。多機能防食デッキの防食性能評価について、巻末の技術報告に詳細を述べる。

図-4.1 及び図-4.2 に概念図を示す。

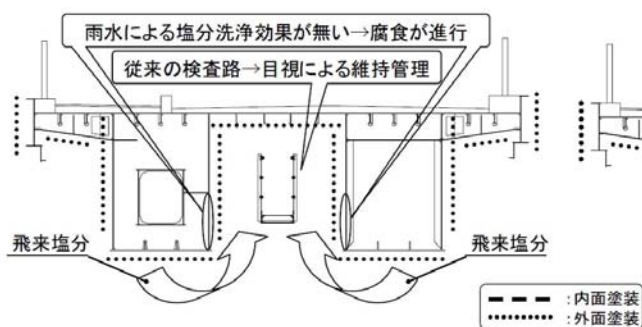
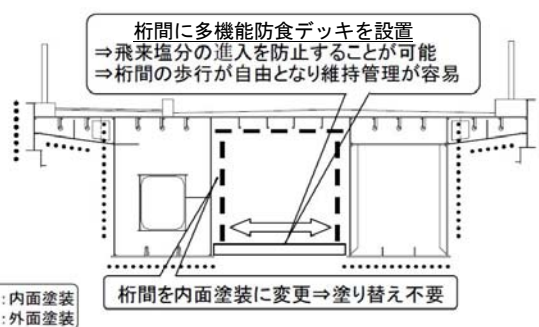


図-4.1 概念図（その1）



桁間を内面塗装系に変更⇒塗り替え不要

図-4.2 概念図（その2）

図-4.1 より、桁内部は飛来塩分の巻き込みにより、塩分が付着しやすい環境にあり、主桁外面のように雨がかりによる付着塩分の洗浄効果がないため、主桁外面に比べ腐食しやすい。図-4.2 に示すように、例えば桁間に防食デッキを設置することにより、桁内部への飛来塩分の進入を防ぐことができる。また、塗装を内面塗装系にすることができる。さらに、デッキ上の歩行が可能となり、点検や調査など維持管理が容易となる利点も有している。進入口は、箱桁のマンホールより入り箱桁ウェブ面から桁間に入出入りすることにより、防食デッキ設置部の密閉性の向上が図られている。



a) 桁下から見た外面塗装系の状況



b) 防食デッキ設置部の内面塗装系の状況

写真-4.3 防食デッキを設置した鋼箱桁橋

防食デッキの材料には、FRP、チタン、アルミなどが採用されている。

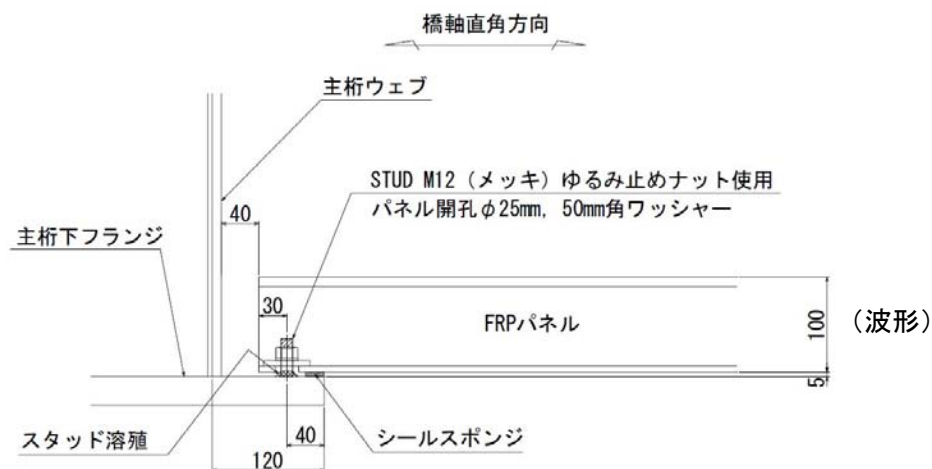


図-4.3 デッキ接合部の構造（FRP の例）

図-4.3 に一例として、防食デッキ接合部の構造（FRP の例）を示す。主桁の下フランジにスタッドを溶接し設置する構造であり、接合部からの飛来塩分の流入を防止するため、下フランジとデッキ間にはシールスポンジを敷設している。

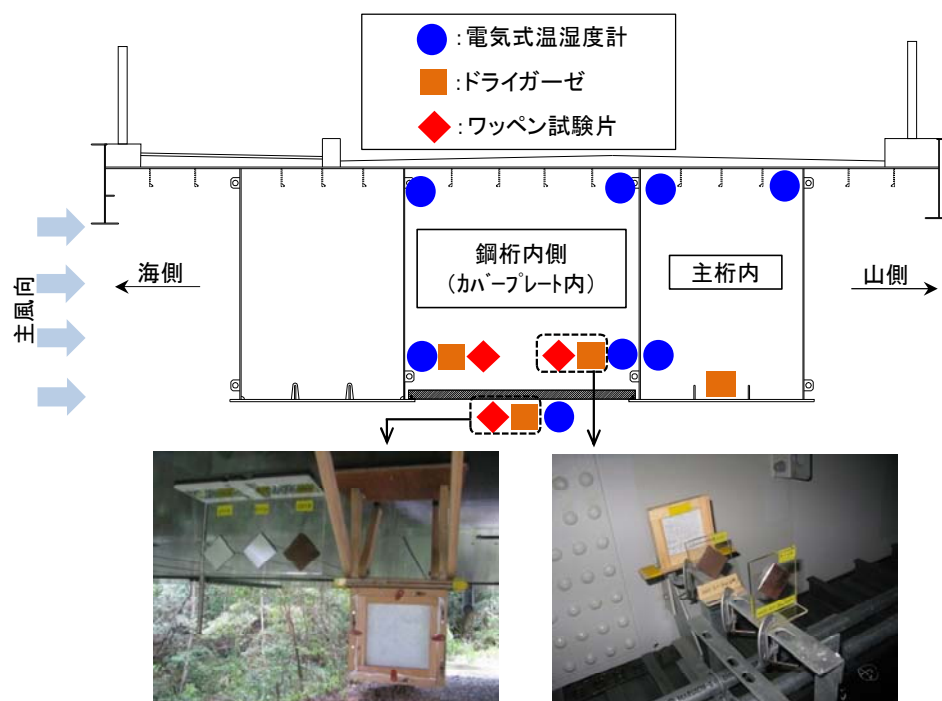


図-4.4 計測場所概要図

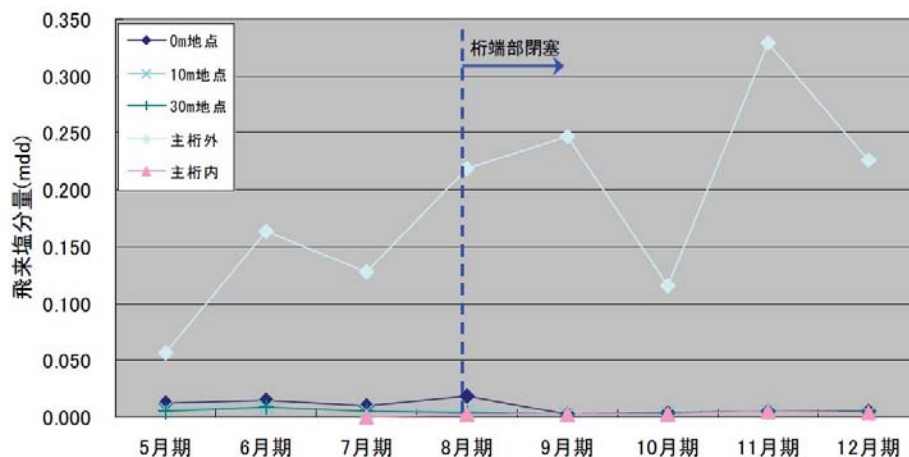


図-4.5 飛来塩分量

図-4.4 に計測場所概要図を示し、図-4.5 に防食デッキ内と外面の飛来塩分調査結果を示す。調査は、沖縄県内の防食デッキを設置した橋梁において実施されたものである。桁内部において桁端部を 0m 地点とし、支間中央に向かって、10m 地点、30m 地点の 3 か所及び主桁外で計測を行った。桁端部閉塞とは、桁間の防食デッキ設置に加えて桁端部をブルーシートで閉塞した状態を示している。防食デッキ設置のみの桁内部の飛来塩分は 0.02mdd 程度であり、主桁外側の 0.1mdd から 0.3mdd と比較し、10 分の 1 程度になっている。さらに、桁端部閉塞時には 0.004mdd 程度まで飛来塩分の進入が抑制されており、桁端部の閉塞によって主桁外の飛来塩分が大きく抑制されていることが分かる。

4.3 検査路

検査路は設置することを原則とする。ただし、点検や作業時の利便性、耐久性に優れた材料・構造を選定するものとする。

(解説)

桁端部は支承部など損傷が顕著に現れる部位であり、検査路の設置若しくは近接できる設備が必要である。設置された検査路は定期的な点検、水洗や緊急時の点検に使用されるが、その使用に当たって腐食損傷により利用できないことのないように適時点検・補修を行うことも重要である。近年 FRP やアルミニウムなど耐久性に優れ、亜鉛めっき部材より軽量な材料も使用されつつあるが、アルミや亜鉛めっき部材にステンレスボルトを使用する場合は異種金属接触腐食に留意しなければならない。これらを踏まえた構造、材料の選定を行うものとする。異種金属接触腐食が懸念される場合には、異種金属間に絶縁体を入れるなければならない。なお、アルミは水が滞留する、水はけが悪いなどの環境によっては孔食が生じ、白さびが発生する場合もある。定期的な点検による確認が必要である。

検査路は、地上からの点検保守が困難な橋梁に設置するものとし、設置範囲や設置部位は、橋梁構造や周辺の条件も考慮し、検討を行う必要がある。

4.2 多機能防食デッキに示したように、防食デッキは検査路を代替する機能を有しているため、多機能防食デッキを設置した場合は、検査路の設置は不要である。

亜鉛めっき製点検通路の腐食損傷事例を**写真－4.4**、**写真－4.5** に、アルミニウム製検査路の例を**写真－4.6** に示す。



写真－4.4 点検通路（海岸沿い）



写真－4.5 点検通路
（海岸から 1.3km）



写真－4.6 アルミ検査路
（海岸沿い）

4.4 付属物

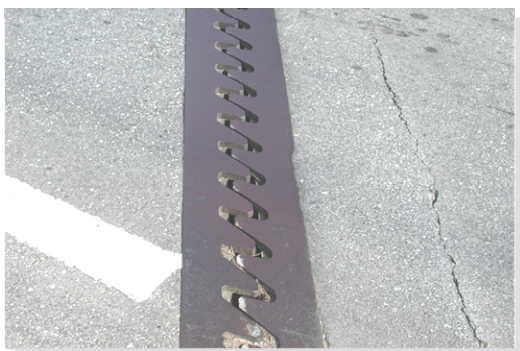
伸縮装置は非排水構造を原則とする。既設伸縮装置の損傷がある場合は非排水構造の伸縮装置に交換もしくは非排水構造を取り付けることを原則とする。排水装置の金具やボルト、配水管などは、防食性に優れた材料の選定を行うものとする。

（解説）

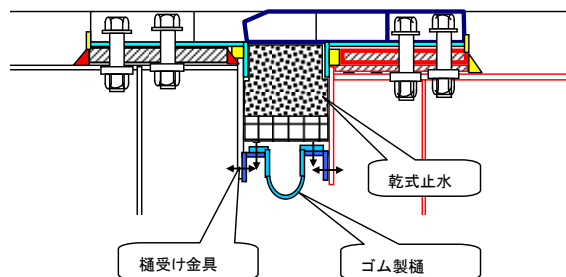
付属物は橋梁本体の防食に係わる部材も多く、伸縮装置は桁端部の変状に繋がる恐れもある。そのため、非排水構造の採用と漏水などの変状を適時点検する必要がある。

高欄・照明柱などの付属物は、防食性に優れた材料を使用するものとする。

また、足場取り付け用吊り金具は、足場の荷重が作用することによってその部位の塗膜が弱点となるため、防食性に優れた材料が望ましい。



写真－4.7 排水式伸縮装置



図－4.6 非排水式伸縮装置断面図（例）

図-4.7 は桁端部の伸縮装置からの漏水などによる腐食の影響を、模式図として表したものである。支承など他部材への影響は大きい。漏水により損傷が進行した場合、支承の破損、部材の破断に至ることで、伸縮装置の段差、異常音が生じ、第三者へ影響を及ぼす可能性もある。

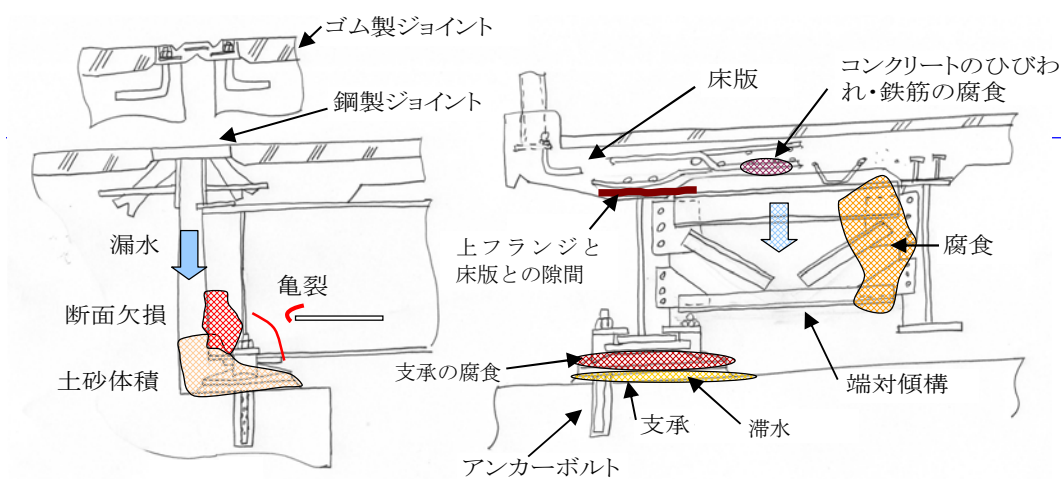


図-4.7 鋼桁端部の腐食原因や腐食箇所

4.5 支承の防護

支承は、十分な腐食耐久性を有した材料の使用や防食構造を採用することが望ましい。

(解説)

支承部は海塩粒子の滞留により腐食が著しい。また、橋台・橋脚の天端に水勾配がない場合が多いことも腐食損傷を進行させている。

腐食により支承機能が著しく低下する場合は、支承の交換を提案すると同時に支承には防食性の高い塗料を塗布した材料を使用することが望ましい。

防食性の高い塗装系の例として、防食下地に溶融亜鉛アルミニウム合金めっきを用い、上塗には粉体塗装を塗装する複合被膜は、耐食性を確保することができる。一例として塗装系を表-4.1 に示す。

表-4.1 支承部の塗装系

工程 (工場塗装)	塗料	標準使用量 (g/m ²)	標準膜厚 (μm)
防食下地	溶融亜鉛アルミニウム合金 めっき (5%A1-1%Mg-94%Zn)	350 以上	50 以上
上塗り	ナイロン 12 粉体塗装	—	200 以上

写真-4.8 及び**写真-4.9** に、沖縄県内における**表-4.1** に示す塗装仕様で防食した支承の状況写真を示す。12 年経過しているが、桁エッジ部に腐食が見られるものの、支承部に腐食劣化は見られない。



写真-4.8 2005 年施工当初

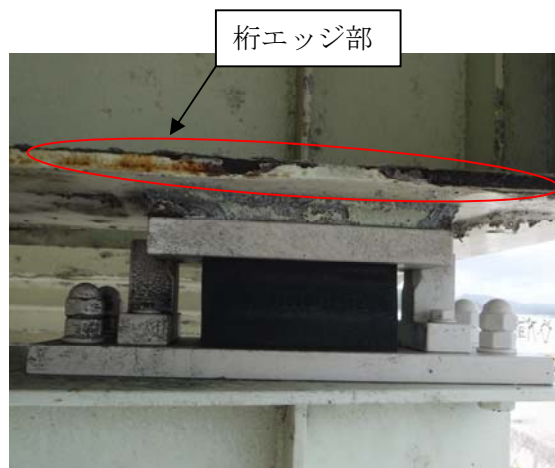


写真-4.9 2017 年現在（12 年経過）

予防保全のために、飛来塩分の付着を防止する支承カバーの施工は有効である。

鋼製支承は既に建設された橋梁に多く採用されている。鋼製支承は回転部、すべり部分など完全に防食することが困難な部位がある。亜鉛・アルミ溶射による重防食を図った事例もあるが、支承の形式によっては狭隘部のケレンや可動部の溶射は困難な場合もあり、その対策が必要である。

また、支承カバーの取り付けにより機能が維持された例があるが、条件によっては湿気がこもり逆に腐食を進行させる場合もあるため、完全に密閉出来る方法も検討する方がよい。ただし、定期点検時には、支承カバーによって近接目視が困難になるため、点検可能な構造を検討することが望ましい。

第5章 製作・施工上の留意点

5.1 部材端部の処理

部材端部は 2mmR 以上の曲面加工を行う。

(解説)

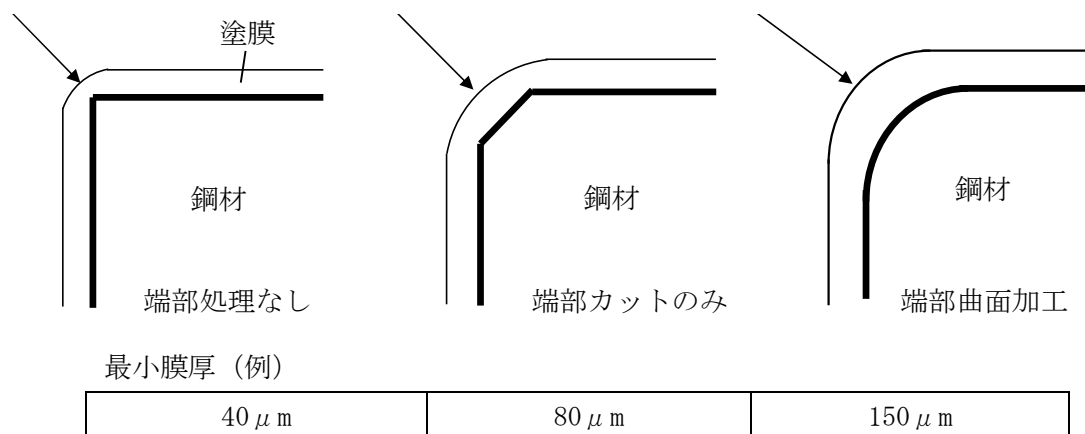
(1) 曲面加工

部材の角（かど）部は、部材切断や切削仕上げにより鋭いエッジになっていると、その部分に塗装をしても薄膜仕上げとなり早期発せいにつながる。

したがって、膜厚付与のためにパテ付けをする事も考えられているが、曲面加工を採用した。

(2) 曲面加工をした場合の付着膜厚

曲面加工をした場合の付着膜厚を図-5.1 に示したが、曲面加工の優れていることが実証されている。



『本州四国連絡橋の塗装に関する調査研究（その1）報告書』

財団法人 海洋架橋調査会 昭 63 年

図-5.1 角部の膜厚 (例)

(3) 曲線半径

加工曲線半径は、鋼道路橋塗装・防食便覧と同様に 2mm (=2mmR) とした。

(4) 曲面の加工方法

曲面加工の加工方法は、特に規定されていないが、人力による加工はかなり困難な作業であり、歩がかりも大きく精度もあまり良好とは言えない。

しかし近年曲面加工用の特殊な治具が開発されており、それらを使用することにより加工効率も仕上がり状態も良くなると考えられる。また曲面加工の管理には R 測定用ゲージを用いるのが望ましい。

(5) 端部処理の確認方法

加工した部材端面は、R ゲージにより角部の加工部が 2mmR 以上であることを確認する。

(6) 先行はけ塗り

部材端部はスプレー塗装に先立ち、先行はけ塗りを行う。これにより、膜厚の確保が確実となる。

5.2 溶接部の処理

溶接部は、水素の吸蔵や溶接棒被覆剤の付着などがあり、そのまま塗装するとふくれを生ずることがある。そのため前処理を行った後塗装をする。また溶接部には、表面に凹凸がしやすいので、鋭いエッジ、アンダーカット、オーバーラップ、ピットなどが発生しやすい。これらは塗装の不具合の原因となるので、塗装前に表面を平滑化するか異物は極力取り除く。また塗装に先立ち溶接部は先行はけ塗りを実施する。

(解説)

溶接部の前処理としては、次の処理をする。

- ①吸蔵水素によるふくれ（水素ふくれという）を防止するためには、溶接後十分に水素が放出する時間を置いた後塗装する。ただし、放出する時間を置くことができない場合は、溶接部を加熱して水素の拡散放出を早めてから塗装をする。
水素放出時間については、**表-5.1** に示すような例がある。

表-5.1 溶接部の水素放出時間

溶接棒の種類	自然放出の場合		加熱による放出の場合 ビード面の加熱
	油性系以外の塗装系	油性系塗装系	
低水素系 (全自動溶接)	70 時間以上	20 時間以上	300℃ 15 分
イルミナイト系	200 時間以上	100 時間以上	300℃ 30 分

(鋼橋など塗装基準同解説 本州四国連絡橋公団 昭和 55 年 3 月)

- ②溶接棒の被覆剤によっては、溶接部に溶接棒被覆剤が残留し、それがアルカリ性であるためそのまま塗装するとふくれ（アルカリふくれという）を生ずることがある。

アルカリふくれを防止するには、

イ：ブラスト処理をして完全に除去する。

ロ：赤さびが発生するまで長期間放置した後、赤さびを除去する。

ハ：りん酸水溶液（5～10vol%）を塗付し、中和する。

といった処理を行った後塗装を行う。

- ③補剛材・ガゼットなどの隅肉溶接部始末端部のまわし溶接部は、表面に凹凸がしやすいので注意する。
- ④溶接ビードに付着した溶接スラグなどは極力取り除く。
- ⑤溶接部は形状も不定形で塗装ののりが悪くなるので、塗装に先立ち先行はけ塗りを行う。

5.3 ボルトなどの防食

高力ボルトは、腐食による機能の低下を防ぐため、防せい防食について維持管理の確実性及び容易さを含めて検討すること。

(解説)

高力ボルトは、締め付け時の傷、エッジ部の膜厚確保の困難さや重防食塗装系でないことから、一般部と比較して腐食損傷の進行が速い部位である。そのため、高力ボルトを使用するにあたっては、防食について十分な検討を行うことが必要である。

高力ボルトの防食性の向上として、防食下地を付与する方法や外部環境から腐食因子を遮断する方法がある。以下に例を示す。

(1) 現場塗装で防食下地を付与する方法として、高力ボルト頭部への有機ジンクリッチペイントの塗布が挙げられる。防食下地の塗装にあたっては、構造物施工管理要領（平成29年7月 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社）を参考のこと。**表－5.2**に塗装系の例を示す。

表－5.2 防食下地として有機ジンクリッチを用いた塗装系

工程		塗料または素地調整	標準使用量 (g/ m ²)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μ m)
現場 塗装	素地調整	ISO St3	—	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>2hr以内</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>1～10日</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>1～10日</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>1～10日</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>1～10日</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>1～10日</div> </div>	—
	防食下地	有機ジンクリッチペイント	(240)		30
	防食下地	有機ジンクリッチペイント	(240)		30
	下塗り	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	1100(500×2)		300
	中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗	170(140)		30
	上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗	140(120)		25

*標準使用量において、標準的使用方法はスプレーとし、()内はローラー、はけ塗りの場合を示す。

(2) 工場で防食下地を付与する方法として、犠牲防食効果を有する溶融亜鉛めっき高力ボルトの使用(F8T)がある。ボルト強度の等級の使用制限があり、F10T 溶融亜鉛めっき高力ボルトの場合、遅れ破壊対策が重要であり、鋼道路橋防食便覧（平成26年3月）(第IV

編溶融亜鉛めっき編、付Ⅳ－２）も参考に十分な検討が必要である。

（３）溶融亜鉛めっき高力ボルトと同様に工場で防食下地を付与する方法として、コールドスプレー技術による亜鉛皮膜の形成がある。プレコートボルトは、コールドスプレー技術による亜鉛皮膜の形成を施した高力ボルトである。ただし、コールドスプレー技術による亜鉛皮膜は、処理工程での熱影響を受けないため、溶融亜鉛めっきのように強度低下を考慮する必要がなく、F10T の高力ボルトの使用が可能となる。例えば、高力ボルト頭部に亜鉛皮膜を施し、外部環境に曝される鋼箱桁の高力ボルトに使用することで、防食性能を高めることが期待される。**写真－１** から**写真－２** に事例を示す。また、**表－５.３** に塗装系の例を示す。



写真－１ プレコートボルト



写真－２ 締付け状況（塗装前）

表－５.３ 防食下地としてコールドスプレー技術による亜鉛皮膜を用いた塗装系

工程		塗料または素地調整	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μm)
現場塗装	防食下地	亜鉛皮膜(プレコートボルト)	—	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>0～10日</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>1～10日</div> </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div>1～10日</div> </div>	100
	下塗り	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	1100(500×2)		300
	中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗	170(140)		30
	上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗	140(120)		25

（４）高力ボルトを外部環境から腐食因子を遮断することによる防せい性向上策として防せいキャップがある。防せいキャップには、キャップ内に専用防せい油を入れた全充填型の有色キャップがある。ただし、維持管理上点検時に高力ボルト部の状態確認が困難であり、キャップ内に雨水の浸入の可能性がある場合には、雨水が侵入しないような構造上の配慮や施工上の対策など、十分な配慮が必要である。最近では、キャップ材料を透明にし、キャップ内部のボルトの状態が可視化できるような維持管理に配慮した防せいキャップも開発されている。透明型の防せいキャップは、キャップの接着をつばのみとし、キャップ内部に異常が見られた場合には防せいキャップ取り外しも容易な構造となっている。塗装系は、**表－３.４.１（２）**と同様とする。

表－3.4.1 (2) 外面の高力ボルト部の塗装系（再掲）

工程		塗料または素地調整	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μm)
現場 塗装	ミストコート	ミストコート	160(130)	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> </div> 1～10日 1～10日 1～10日	—
	下塗り	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	1100(500×2)		300
	中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗	170(140)		30
	上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗	140(120)		25

第6章 施工

6.1 素地調整

使用鋼板は、原板処理をした鋼板を用いるので前処理工程は鋼板メーカーで行い（除せい度 ISO Sa2 1/2）2 次素地調整は加工組立後加工メーカーで行うものとする。また、2 次素地調整のブラスト処理は、除せい度 ISO Sa2 1/2、表面あらさ $80 \mu\text{mRz}_{\text{JIS}}$ 以下とする。加工後の部材における動力工具処理の除せい度は ISO St3 とする。また素地調整完了後のグレード確認を、限度見本帳の対比により確実に実行する。

（解説）

（1）ブラスト

ブラストは、鋼板の状態で、鋼板メーカーが行う工程を原板ブラスト、橋梁製作メーカーで鋼板を加工し、組み立てた状態で行う工程を製品ブラストという。

（2）除せい度

- ①ブラスト処理による除せい度は、ISO で規定されているので、ISO Sa を適用した。従来、日本では1種ケレンという表現で表示している。
- ②ISO によるグレードは第1層下塗りの種別によって適用が区分されていることもある。例えば無機ジンクリッチプライマーの場合は ISO Sa2 1/2、エッチングプライマー（長ばく形）の場合は ISO Sa 2 としていることもある。ブラスト処理に用いる研削材にはショット、グリッド鋼砕、ガーネットなどがある。従来使用されてきたけい砂は、けい肺などの作業者の安全衛生などの観点から JIS Z 0312:2004「ブラスト処理剤用非金属系研削剤」から削除され、使用できない。一般にはグリッド（JIS G5903）が良く用いられる。ショット（球形）やグリット（鋭角形状）は、研削能力が大で粉塵の発生も少ないが価格が高く、表面あらさが大きくなる傾向がある。研削材は作業場の設備、環境状況や対象構造物の状態によって選択する。
- ③表面あらさは、日本工業規格 JIS B 0661（1994）では、最大高さ（記号 Ry）、中心線平均あらさ（記号 Ra）、最大あらさ（Rz）、十点平均あらさ（ Rz_{JIS} ）などが規定されているが、鋼橋では十点平均あらさが一般的に多用されているので、これを採用した。表面あらさが大きい場合には、山と谷との差が大きく塗られた塗料が谷部に流動していき山部の膜厚が薄くなってしまうため、なるべく小さい方が望ましい。したがって実施工を踏まえて高 $80 \mu\text{mRz}_{\text{JIS}}$ 以下とした。また、塗膜厚管理の面から Ry（最大高さ）も規定することが望ましい。

（3）動力工具による素地調整

動力工具処理とは、ディスクサンダーやグラインダーなどを使用して行う素地調整で、十分研磨してもくぼみ部に残るさびは除去できない。したがって、くぼみ部の残存さびは

容認する。

(4) 素地調整完了後のグレード確認

素地調整は、完了後に各素地調整グレードを見本帳などにより比較し、目標レベルの素地調整が達成できているかを必ず確認する。素地調整は、塗装の良し悪しを決める重要なファクターである。また素地調整後においても例えばブラスト処理後には、ブラスト研掃材の一部が表面に残留する場合があります、圧縮空気などでこれらを除去し、できる限り清浄化したうえで塗装作業に入ることが好ましい。

6.2 塗付作業

6.2.1 塗付作業

塗付作業を行う塗付作業者は、鋼橋塗装工事について十分な経験を有するものでなければならない。

(解説)

塗装工事に従事する作業者は、鋼橋塗装作業技能士（少なくとも1名以上）とする。鋼橋塗装作業技能士とは、職業能力開発促進法により厚生労働省が制定した資格制度で、各県の職業能力開発協会が主催する認定試験（学科実技）に合格した者を鋼橋塗装作業1級または2級技能士として認定している。

なお1級技能士は厚生労働大臣認定、2級技能士は各県知事認定である。

また、監理技術者や主任技術者は、1級または2級土木施工監理技士（鋼構造物塗装）の資格が必要となる。

その他、塗料を扱う上で、有機溶剤作業主任者、乙種危険物取扱者の資格が必要であり、その他足場の設置方法によって、足場組み立て作業主任者、高所作業運転者の資格が必要になる場合がある。

6.2.2 塗付方法

塗付方法は、エアレススプレー塗り及びはけ塗り（ローラーブラシによる塗付を含む）を原則とする。スプレー塗装の場合には溶接ビード部や狭隘部において、先行はけ塗りをを行う。

(解説)

塗付方法は、エアレススプレー塗りとはけ塗り、ローラーブラシによる塗付とする。

なお、スプレー塗装で作業しにくい箇所（狭隘部、スカーラップ部や溶接ビード部近傍）は、スプレー塗装に先立ち、はけ塗りで先行塗装を実施し、十分な膜厚を確保する。

6.2.3 塗付を行ってはならない部分

塗付を行ってはならない部分（支承の機械仕上げ面など）については、マスキングを行うなどして塗料が付着しないようにする。

（解説）

塗装を行ってはならない部分とは、表－6.1 に示す部分とする。

表－6.1 塗装をしてはならない部分

状 態	部 分
塗料があってはならない部分	支承などの機械仕上げ面
無機ジンクリッチプライマーがあってもよい部分	鋼材とコンクリートの接触面

6.2.4 使用塗料の理解

使用塗料については、塗料の組成乾燥機構塗装条件希釈剤の性質を十分理解する。

（解説）

使用塗料は、混合比、乾燥機構（蒸発乾燥・酸化重合乾燥・付加重合乾燥・縮合重合乾燥などのタイプがある）、塗装条件（乾燥の早いものは、はけ塗りでは棒塗りとなるし、遅いものは、たてよこ十分に塗付できるなど）、希釈剤の性質（適さない希釈剤を用いると塗料はゲル化を生ずることがある）を十分理解して使用する。

6.2.5 使用塗料の確認

使用塗料について、金属粉、主剤、硬化剤ともに使用有効期限を確認するとともに、開缶時に色分かれ・固化などの異常がないことを確認する。

（解説）

塗料は製造後長期間経過すると、密閉した缶内でも化学反応を起こし変質を生じる。2 液形塗料では 6 ヶ月を超えると塗膜性能に影響を与える程の変質をおこすので、製造年月日は必ず確認し、保証期間を明示してある塗料は、保証期間を厳格に守って使用するようにする。

・開缶時の塗料の異常

色分かれ：着色顔料の 1 種類または数種類が表面に浮くように分離している状態

固化（ゲル化）：塗料がぼてぼてした状態になり、こんにやく状に固体化した状態

6.2.6 希釈

使用塗料は、塗装方法や塗装時の気温などを勘案し、希釈剤を添加して適正な粘度に調整するが、希釈剤の添加量は必要最小限とする。

また、希釈剤は塗料と同一メーカーのものを使用する。

なお、無溶剤系塗料は希釈剤を用いない。

塗料別希釈剤の種類と希釈率を表－6.2に示す。

表－6.2 希釈剤の種類と希釈率（気温 20℃の場合）

塗料の種類	希釈剤の種類	希釈率（重量%）	
		はけ、ローラー	スプレー
無機ジンクリッチペイント	無機ジンクリッチ用シンナー	—	10以下
有機ジンクリッチペイント	エポキシ樹脂塗料用シンナー	5以下	10以下
エポキシ樹脂塗料下塗	エポキシ樹脂塗料用シンナー	10以下	20以下
変性エポキシ樹脂塗料下塗			
変性エポキシ樹脂塗料内面用			
超厚膜形エポキシ樹脂塗料			
ふっ素樹脂塗料用中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗用シンナー	10以下	20以下
ふっ素樹脂塗料上塗	ふっ素樹脂塗料上塗用シンナー	10以下	20以下
弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	弱溶剤形塗料用シンナー	10以下	20以下
弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗			
弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗			

（一部、鋼道路橋塗装・防食便覧 社団法人日本道路協会 平成 17 年 12 月より転載）

（解説）

希釈剤の添加量が多い場合には、だれが生じ、薄膜に仕上がるので防せい性が減退する。したがって、寒冷地では塗料が高粘度となるため、希釈率が大きくなる傾向がある。しかし、沖縄地区のような高温環境では、塗料は低粘度状態になっているため、希釈率が過大になると一層防せい力が減退する。よって、希釈率は最小限度になるようにする。

6.2.7 可使時間

使用塗料は二液形塗料なので、主剤硬化剤金属粉を混合したものには可使時間があるので、可使時間を超えたものは使用してはならない。

（解説）

使用塗料は二液形で使用時に主剤と硬化剤を混合して用いるが、この混合物は時間経過とともに粘度が高くなり、遂にはゲル化して使用不能となる。このように混合熟成後、ゲル化して使用できなくなるまでの時間を可使時間（ポットライフ）という。

可使時間は、高温時には短くなり、低温時には長くなる。他液形塗料の可使時間は、鋼道路橋防食便覧（平成 26 年 3 月）を参照のこと。可使時間が示されていない場合には、製造元に確認する必要がある。

6.2.8 塗装作業の禁止事項

(1) 気温

塗装作業の禁止気温は表-6.3に示すものとする。

表-6.3 塗装作業禁止気温

塗料の種類	気温(℃)	湿度(RH%)
無機ジンクリッチプライマー	0以下	50以下
エポキシ樹脂プライマー	10以下	85以上
無機ジンクリッチペイント	0以下	50以下
有機ジンクリッチペイント	10以下	85以上
エポキシ樹脂塗料下塗	10以下	85以上
変性エポキシ樹脂塗料下塗		
変性エポキシ樹脂塗料内面用		
超厚膜形エポキシ樹脂塗料		
無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	10以下、30以上	85以上
無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料(低温用)	5以下、20以上	85以上
ふっ素樹脂塗料用中塗	5以下	85以上
ふっ素樹脂塗料上塗	0以下	85以上
弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	5以下	85以上
弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	5以下	85以上
弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	0以下	85以上

(一部、鋼道路橋塗装・防食便覧 社団法人日本道路協会 平成17年12月より転載)

(2) 湿度

塗装作業の禁止湿度は、表-6.3に示すように無機ジンクリッチプライマーと無機ジンクリッチペイントは50%RH以下、他の塗料は85%RH以上とする。

(3) 降雨

降雨時または塗装直後降雨があると予測される時は塗装してはならない。

(4) 結露

結露を生じている面に塗装してはならない。

(5) 強風

強風時には塗装作業を中止する。

(6) 被塗面の温度

被塗面の温度が50℃以上の場合は塗装してはならない。

(解説)

(1) 気温

使用塗料が被塗面に塗られ、固体塗膜(乾燥)となる現象は化学反応であるため、気温

が高いと乾燥が早く、気温が低いとおそくなり全く乾燥しなくなる塗料もある。塗装禁止気温は、塗料によって異なるので、十分注意をする。

なお、那覇における年間平均（月平均）は 22.7℃、月平均の最低、最高は 14.3～26.4℃（気象庁気象統計情報、1971～2000 の平均値）と、かなり高温地域であり、10 度以下の低温時塗装となることはほとんどないであろう。ただし、気温は結露との関係もあることから測定を行う必要がある。

（２）湿度

塗装時の湿度が高いと被塗面に結露が生じやすいし、蒸発速度の早い溶剤使用の場合は、蒸発にともなう表面温度の降下により大気中の水分凝縮により塗膜に白化を生ずることがある。

那覇における年間平均（月平均）75%RH、月平均の最低最高は 68～84%RH と、かなり高湿条件下にある。

また、無機ジンクリッチプライマー及び無機ジンクリッチペイントは、ビヒクルの加水分解により乾燥するため、高湿時の塗装はよいが、低湿時の塗装（50%RH 以下）は禁止されている。

湿度は、気温と同時に測定する乾湿球式温度計を使用する。測定個所は直射日光下、風が強く当たる所は避ける。

（３）降雨

降雨時に塗装すると、被塗面に水が存在しているため塗料の付着が悪くなる。また塗装直後に降雨があると、未乾燥塗膜に水分が作用し、白化現象を生じ、塗膜性能を低下させることもある。

那覇における降水量は年間 2,037 mm と多く（東京 1,467 mm/年）さらに、1 mm 以上の降雨日数、降雨時間をみると表－6.4、表－6.5 のように、かなり降雨回数も降雨時間も多い。さらに沖縄地域における降雨状況は、台風時には時間当たりの降雨量が多いが、それ以外では降雨回数は多いけれども、降雨量はそれ程多くないというのが特徴である。

沖縄地区は分散的な降雨が多く、作業前に予測できない降雨もあるため、作業中の降雨時の処置（白化などの変状を生じた部分はペーパー処理をして塗り直すなど）を明確にすることも必要である。

表－6.4 那覇における 1mm 以上の降雨日数

1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年間計
11	11	12	11	12	10	9	12	10	8	9	8	123

注）気象庁気象統計情報、1971～2000 の平均値

表－6.5 沖縄地域の降雨時間

地区	降雨時間（時）
沖縄北部	1162.5
沖縄南部	930.7
東京羽田	886.8

注）数値は1年間の総計

『沖縄地区の鋼橋防錆調査報告書』沖縄総合事務局 昭和63年

（4）結露

被塗面が湿潤（水の存在）している場合に塗装をすると、塗膜の付着性が不良となるし乾燥塗膜に異常を生ずる。

湿潤状態は、降雨と結露によって生ずる。

結露は、大気温度、湿度、鋼面温度の3要因が生成条件であり、鋼面温度が気温より低い場合で**表－6.6**に示すような条件で結露する。すなわち、高湿ほど気温と鋼面温度との差が小さい条件で生ずる。

表－6.6 結露条件

相対湿度(RH%)	70	80	90	95	100
気温と鋼面温度との差(℃)	6	3	2	1	0

注）鋼面温度が低い場合を示す。

沖縄地域における結露時間及び被塗面の乾湿くり返し回数を**表－6.7**に示すが、これを見ても沖縄地域は塗装作業に対する制約が大きいし、腐食劣化速度に与える影響も大きい。

表－6.7 被塗面の湿潤状況

地区	結露時間（時）	濡れ回数(回)
沖縄北部	2,667.1	548
沖縄南部	1,282.0	544
東京羽田	1,124.7	254

注）数値は1年間の総計

『沖縄地区の鋼橋防錆調査報告書』沖縄総合事務局 昭和63年

なお、結露の有無は、被塗面温度を測定し気温湿度と合わせて確認する。

また、結露計を使用することも考える。

（5）強風

風速の大きい場合は、飛来海塩粒子量が多く、砂塵の舞い上がりも大で、これら塗装障害因子の塗装に与える影響は大きい。スプレーなどの場合には、風による飛散でロスが大

きくなり塗料使用量が標準量を上回り、近隣へミストが飛散することが考えられる。防護ネットなどの措置で十分であるかなどを検討して判断する。また、風が強いとはけやローラー塗りであっても、塗料は上乾き現象を呈し作業性も悪くなる。さらに足場上の作業が危険となるので、これらの状態を総合的に判断し、塗装作業の可否を決定することが良い。

那覇における年平均風速は 5.3m/sec（1987 年～2000 年の平均値）であるから（東京 3.3m/sec：1975 年～2000 年の平均値）風速の大きい地域といえる。

風速は、風速計を用いて測定する。

（６）被塗面の温度

被塗面温度が高い場合、その面に塗料を塗ると溶剤の急激な蒸発により、塗膜にあわやピンホールを生ずる。したがって被塗面温度が 50℃以上の面には塗装をしてはならない。

橋梁全体の被塗面温度が 50℃以上になることは少ないが、沖縄地区は日光の直射エネルギーが大きいため、日光に晒される箇所は 50℃以上になることも考えられる。特に歩道橋の水平面などは部材厚が薄く、日照時間も長いため温度が上がりやすい。

被塗面温度は、日光に晒される箇所は短時間で上昇する傾向を示し、日光に晒されている桁の裏面は、日照面とほぼ同じ温度まで上昇する。そのことから、塗付作業は作業手順を考慮するとともに、日照面で塗付作業を行う時の温度管理は、頻繁に行うことが望ましい。

6.3 水洗

現場塗装前には付着塩分などの除去のため水洗を行うことを原則とする。
また、塩分除去作業後は付着塩分量の測定を行い、付着塩分量が $50\text{mg}/\text{m}^2$ 以下であることを確認する。

(解説)

(1) 付着塩分の除去方法

- ①沖縄地区は全域海塩粒子の影響を受ける環境にあるので、鋼橋の面には必ず付着海塩粒子が存在すると考えてよい。付着海塩粒子の量は単に経過期間に比例するものではなく、短い期間でも気象条件によっては多量に付着をすることがあるので、塗装前の処置としてこの除去は必須事項である。したがって、現場塗装前にはこれら腐食劣化因子の除去は絶対に必要である。特に沖縄地区の場合は図-1.3 に示すように全域海塩粒子の影響を受ける環境にあるので、現場塗装間の塩分の除去処理をすべて義務づけた。除去処理としては、動力工具によってもある程度除去できるが、表-6.8 に示すように高圧水による洗浄が最も効率がよいので水洗を原則とした。

表-6.8 処理方法ごとの付着塩分除去効果

処理	水洗	動力工具	動力工具+ウエス拭き
除去率(%)	90	49	76

- ②海塩粒子は、塗膜表面のみに付着しているのではなく、塗膜内部まで浸透しているので塗膜表面のウエス拭きや動力工具などによる表面研掃では均一な清掃が難しく、さらに少し力を入れると鋼面露出が多くなるので、その補修は下塗り第1層からの塗装となる。また、除塩の効率も表-6.8 に示すとおりでかなり悪いことが分かる。

これらのことから除塩方法は、水洗（高圧水）によることが望ましく、水洗が困難である場合には、その障害要因に対する対策を考慮するほうが除塩結果も経済性も良好であると考えられる。

- ③水洗は通常高圧水洗浄機を用いて行われるが、水圧が $50\text{kg}/\text{cm}^2$ 以下の場合には除塩効率が悪く、それ以上でなければならないと言われている。塩分が十分に除去されない場合は、ふくれやはがれという大きな損傷につながるため入念な作業を行うことが必要である。

(2) 除去塩分の確認

塩分除去作業後は、付着塩分の測定を行い付着塩分量が $50\text{mg}/\text{m}^2$ 以下であることを確認する。

測定方法は、湿潤ガーゼで拭き取り塩素イオン検知管を用いて測定する方法が一般的であり、 $50\text{mg}/\text{m}^2$ 以下であることを確認するものとする。また、他の方法（電位差滴定法、電導度法、ブレッセル法など）で $50\text{mg}/\text{m}^2$ 以下であることを検証することも可能である。

6.4 施工管理

6.4.1 塗料材料の管理

塗料品質の確認は、塗料製造業者の規格試験成績書の確認により行う。(JIS 該当品は日本工業規格と、JIS にないものは所定の規格と照合する)。なお使用塗料が複数の製造ロットにまたがる場合には、製造ロット毎に規格試験成績書が必要である。

塗料の缶数及び主剤、硬化剤、金属粉の比率が所定の数量であることを確認する。

また塗料の使用量は、被塗物の形状、塗付方法によって異なるので、適量であることを確認する。さらに、塗料の保管量は消防法によって規制されているので、その保管量を守り、盗難防止のため、厳重に保管する必要がある。

塗料使用量の確認は、使用前の充缶数と使用後の空缶数を検査することによって行う。

(解説)

塗料材料の品質確認は、社内試験成績表によって行うが、必要と認めた時は、試料を抜き取り、公的機関による品質検査を行い確認する。特に塗料製造後長期間経過していて変質の可能性があるものについては、抜き取り検査をすることが好ましい。

塗料の持込み量は、塗付方法（はけ塗りエアレススプレー塗り）によって異なる。また二液形塗料なので、主剤、硬化剤、金属粉のセット及び設計数量を確認する。さらに、塗料を保管しておく場合は、消防法で定める規定数量を守り、保管方法についても盗難防止を考慮し厳重に保管しなければならない。使用塗料の保管数量を表-6.9 に示す。

表-6.9 保管数量

塗料の種類	危険物表示	指定数量
無機ジンクリッチプライマー	第2石油類	1,000ℓ
エポキシ樹脂プライマー	第1石油類	200ℓ
無機ジンクリッチペイント	第2石油類	1,000ℓ
有機ジンクリッチペイント	第1石油類	200ℓ
エポキシ樹脂塗料下塗	第1石油類	200ℓ
変性エポキシ樹脂塗料下塗	第1石油類	200ℓ
変性エポキシ樹脂塗料内面用	第1石油類	200ℓ
超厚膜形エポキシ樹脂塗料	第2石油類	1,000ℓ
無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	指定可燃物	2,000ℓ
ふっ素樹脂塗料用中塗	第1石油類	200ℓ
ふっ素樹脂塗料上塗	第1石油類	200ℓ
弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	第2石油類	1,000ℓ
弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	第2石油類	1,000ℓ
弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	第2石油類	1,000ℓ

(鋼道路橋塗装・防食便覧 社団法人 日本道路協会 平成 17 年 12 月)

塗料使用量の確認は、使用前の充缶数と使用後の空缶数を検査することによって行う。なお、塗料の使用量の確認は全工程終了時ではなく、作業の区切りごとに行うようにする。

6.4.2 塗膜の外観

塗付後、塗膜に著しいはけ目・はじき・ながれ（だれ）・にじみ（ブリード）・リフティング・しわ（ちぢみ）・あわ・ピンホール・すけ・白化（ブラッシング）・ゆず肌・むら・ふくれなどの異常を生じていないこと。

（解説）

塗膜の外観に生ずる異常現象は、以下のようなものが挙げられる。

- ①はけ目とは、はけ塗りの際、塗膜にはけの毛あとを生ずるが、それが乾燥後にも残ってしまう現象である。塗料粘度の調整や塗り方によって少なくすることができる。
- ②はじきとは、塗付した際、部分的にはじいて塗料が付着しない現象をいう。はけや被塗面に水分、油分などが付着している場合や、下地塗膜の硬化が進み過ぎている場合に生ずる。これを防止するには塗付面やはけの清浄化や溶剤拭き、サンドペーパーによる目荒らしが有効で、発生した場合には、溶剤拭き、サンドペーパーによる目荒らし後、同種の塗料にて塗り直す。
- ③ながれ（だれ）とは、塗料を垂直面に塗った時、塗料の一部が下方に流れている状態をいう。また全体に流下している状態はたるみという。希釈しすぎた場合や厚く塗りすぎた場合、また、はけ返しが不十分な場合に生じる。これを防止するには、希釈率を下げる、厚塗りせず2層にわけて塗装することが有効で、発生した場合には、スクレーパー、サンドペーパーなどで塗膜除去後、同種の塗料にて塗り直す。
- ④にじみ（ブリード）とは、下地塗膜の色が塗り重ねた塗料の上にしみ出してきて、塗膜の色が変わってくる現象をいう。塗り重ねる塗料の溶剤の溶解力が大きく下地塗膜を溶解した場合、ビチューメン系塗膜に塗り重ねた場合、下地顔料が塗り重ね塗料に侵された場合、下地塗膜の乾燥不十分な場合などに生ずる。これを防止するには、にじみの少ない塗料を使うか、下地が良く乾燥した後に塗装することが有効で、発生した場合には、欠陥部の塗膜を剥がし同種の塗料にて塗り直す。
- ⑤リフティングとは、塗り重ねた時、下地塗膜が侵されて浮き上がり、しわや亀裂模様を生ずる現象をいう。塗り重ねる塗料の溶剤の溶解力が大きい場合や下地塗膜の乾燥不十分な場合に生ずる。これを防止するには、塗料の溶剤を下地塗料が溶解しないものに変えるか、下地が十分乾燥した後に塗付することが有効で、発生した場合には、下地塗膜からはがし、再度下地塗膜から塗り直す。
- ⑥しわ（ちぢみ）とは、塗料が乾燥する時、溶剤蒸発によって塗膜の体積が減少する。それが急激な場合は、ちりめん状のしわ（ちぢみ）となる現象をいう。下塗りが未乾燥か厚塗りで表面が上乾きしている時に起きる。これを防止するには、下地が良く乾燥した後に塗装するか、下地の厚塗りをやめるのが有効で、発生した場合にはスクレーパーやサンドペーパーで塗膜除去後、同種の塗料で塗り直す。

- ⑦あわとは、塗料中に混入した気体が抜けきれずに塗膜中に残る現象である。これは無機ジンクリッチペイントの上にミストコートなしで塗付した場合や、二液形塗料の主剤硬化剤混合後、熟成時間を十分に置かない場合に生ずる。これを防止するには、混合後の熟成時間を十分にとることが有効で、発生した場合には、スクレーパーやサンドペーパーで塗膜除去後、同種の塗料で塗り直す。
- ⑧ピンホールとは、塗装直後、塗膜に小さなあなを生ずる現象をいう。溶剤蒸発が急激な場合、被塗面にほこり、水、油分が存在している場合、被塗面温度が 50℃以上の場合、スプレー塗装時の巻き込み空気が塗膜から抜ける途中で硬化した時などに生ずる。これを防止するには、被塗面の清浄化やスプレー時の粘度を下げる（希釈率を上げる）こと、スプレー条件の変更（圧力比やチップの変更）、被塗面温度の管理が有効で、発生した場合にはサンドペーパーで表面あらしを行い、再度同種の塗料で塗り直す。
- ⑨すけとは、塗付塗膜の隠ぺい力が十分でなく、塗付塗膜を通して素地または下地の色が見える現象をいう。塗り重ね塗膜の色によって本質的に隠ぺい力の小さい色（赤黄）があることや、塗り重ね塗料を希釈し過ぎた場合に生ずる。これを防止するには希釈しすぎないことや、上塗りの膜厚を厚くすることが有効で、発生した場合にはサンドペーパーで表面あらしを行い、再度同種の塗料で塗り直す。
- ⑩白化（ブラッシング）とは、塗膜乾燥中に白っぽく変わる現象をいう。蒸発速度の早い溶剤を配合した塗料を使用した場合や、高湿時に塗装した場合、乾燥しないうちに結露が発生した場合に生じ、塗膜表面があらえて光沢がなく白っぽく見える現象である。これを防止するには、リターダシンナーを用いることや、結露が予想される場合は塗装を避けることが有効で、発生した場合には溶剤拭き、サンドペーパーなどで目あらし後、同種の塗料で塗り直す。
- ⑪ゆず肌とは塗膜面がゆず肌状を呈する現象をいう。下地面に水や油などが存在している場合や高压で吹き付けた場合に生ずる。これを防止するには、被塗面の清浄化やスプレー条件の変更（圧力比やチップの変更）、希釈率の増加が有効で、発生した場合には溶剤拭き、サンドペーパーなどで目あらし後、同種の塗料で塗り直す。
- ⑫むらとは、色や光沢がむらになる現象をいう。顔料がよく混ざっていない場合や、下塗りへの溶剤浸透が不均一な場合、膜厚が不均一な場合に生ずる。これを防止するには、調合時の攪拌（かくはん）を十分に行う、希釈率を下げる、均一に塗付することが有効で、発生した場合には溶剤拭き、サンドペーパーなどで目あらし後、同種の塗料で塗り直す。
- ⑬ふくれとは、塗膜が持ち上げられてふくらんでいる状態をいう。水分やさびを十分除去していない場合や、湿度の高い時の作業時に塗膜下に水分が入り、それが膨張してふくれを生ずる。これを防止するには、被塗面の水分やさびを除去することや、湿度の高いときに塗らないことが有効で、発生した場合には、スクレーパーやサンドペーパーで塗膜除去後、同種の塗料で塗り直す。

代表的な塗装欠陥については、『鋼道路橋塗装・防食便覧』（社団法人日本道路協会 平成 17 年 12 月）の第Ⅱ編 塗装編付Ⅱ－6. 塗装欠陥写真が参考になる。

6.4.3 膜厚管理

（１）湿潤膜厚測定

塗付作業にかかる最初の時や使用塗料塗付方法被塗物の状態が変わった時には、塗付した塗膜厚を湿潤塗膜厚計によって測定チェックする。

（２）乾燥膜厚の測定は、２点調整形電磁微厚計を用い、つぎのように行う。

１）ロットの選定

ロットは塗装系別塗付方法別部材の種類別作業姿勢別に選定する。

２）ロットの大きさ測定数

ロットの大きさは 200～500 m²を 1 ロットとし、1 ロット当たりの測定数は 25 点以上とする。なお、各測点では 5 回測定し、その平均値をその点の測定値とする。

３）測定時期

外面：ジンクリッチ塗装終了時及び上塗り終了時とする。

内面：全塗装終了時とする。

４）管理基準値

①ロットの塗膜厚平均値は、目標塗膜厚合計値の 90%以上であること

②測定値の最小値は、目標塗膜合計値の 70%以上であること。

③測定値の分布の標準偏差は、目標塗膜合計値の 20%を超えないこと。ただし、測定値の平均値が目標塗膜厚合計値より大きい場合はこの限りではない

④不合格の場合は、不合格ロットについて同数再測定し、当初の測定値と合わせて計算した結果が管理基準値を満足していれば合格とする。

不合格となったロットは、最上層の塗料を増塗りして測定をやり直す。

（解説）

（１）湿潤膜厚測定

湿潤膜厚計は、円板形とクシ形とがあり、いずれも長さの異なるクシ形の歯がついており、これを湿潤膜に押しあて塗料の着いたクシの番号により湿潤膜厚を測定する。

湿潤膜厚値から乾燥膜厚値を知るためには、あらかじめ両者の関係を把握しておく必要がある。

（２）乾燥膜厚測定。

乾燥膜厚計には、マイクロメータ、永久磁石式、光学式、渦電流式、静電容量式などがあるが、２点調整形電磁微厚計が一般的であることからこれを用いることとした。

この微厚計は、ゼロ点と近似、標準膜厚の 2 点で調整してから測定するタイプで、ゼロ

点は測定面と同質の鋼板（厚さ 6mm 以上、表面あらさ $6\mu\text{m}$ RZJIS 以下）で行い、さらにその上に標準膜厚近似の調整板（非磁性材料）を置きその面で調整をする。測定面に押しあてるプローブの形状は、一極式、二極式、いずれでもよい。

次に示す場合は、測定してはいけない。

- ①測定面が小さく、プローブを所定どおり押しあてられない場合（測定値に信頼性がない）。
- ②プローブの押しあて位置を、毎回著しく変えた場合（測定値に信頼性がない）。
- ③角孔突起物などの位置（測定値に信頼性がない）。
- ④測定面、鋼面にさびが存在している場合（測定値のばらつきが大きい）。
- ⑤測定面の表面あらさが大きい場合（測定値が平滑面膜厚値より小さくなる）。
- ⑥測定塗膜が未乾燥状態の場合（測定中、塗膜がへこむため、測定値が小さくなる）。
- ⑦一次プライマーのように塗膜厚が薄い場合には鋼材面の表面あらさの影響を受けて正しい測定値が得られないので、同時にみがき鋼板に塗装して、その塗膜厚を測定して測定値とする。

（３）乾燥膜厚の測定ロット

乾燥膜厚の測定ロットは、200～500 m^2 を 1 ロットとする。

6.4.4 記録

塗装系、塗料名称、塗装時期が明確にされている塗装記録表は、データベース化して保存することが好ましい。また塗装記録表を構造物に付記する。塗装記録表は、**図—6.1** に示すような桁端部の腹板に退色の生じにくい白色あるいは黒色で、塗装完了年月、塗装系、使用塗料名、塗料製造会社名、塗装施工会社名を表示する。

塗装完了年月	年 月
プライマー	
下塗り第 1	
下塗り第 2	
下塗り第 3	
中塗り	
上塗り	
塗料製造会社	
施工会社	

図—6.1 新設の場合の記録様式

(解説)

- (1) 記録記入箇所は桁端耳桁外側腹板の橋下から見やすい箇所とする。
- (2) 文字は黒または白で記入する。
- (3) 塗料名は一般名とする。
- (4) 上塗りの欄に上塗りの色番号を記入する。

第7章 維持管理

7.1 一般

鋼橋の鋼部材の損傷は、早期発見に努め早期補修を基本とする。

(解説)

既設橋梁を延命化するには、鋼橋の腐食に対する日常の維持管理が重要である。損傷部の早期発見により軽微な段階で適切な補修補強を実施することは、維持管理費の節減や橋梁構造物の安全の確保につながる。

この章では、下記の項目に分け維持管理上の留意点を記載する。

軽微な損傷：補強部材を取り付けることなく、局所的な補修のみで済む損傷

腐食による断面欠損：腐食により既設部材の断面欠損が発生し、耐荷力の低下などにより補強板などの補強を要する損傷

点検時に損傷を発見した場合は、その部位の局所的な補修・補強とともに、損傷の発生要因を把握して、橋梁全体の補修・補強にも反映しなければならない。

また、補強により補強部位の周辺に弱点が移る場合もあるので、補強後の定期点検などによる経過観察によって補強効果を検証することが重要である。

7.2 軽微な損傷の補修

軽微な腐食損傷の場合は、腐食部位について十分な素地調整（健全な鋼材面を出す）を行い、塗装を行う。また、水の滞留し易い部位は金属パテなどで整形後に塗装を行う。腐食損傷部の鋼材端部が鋭利な場合は曲面加工して塗装を行うものとする。

(解説)

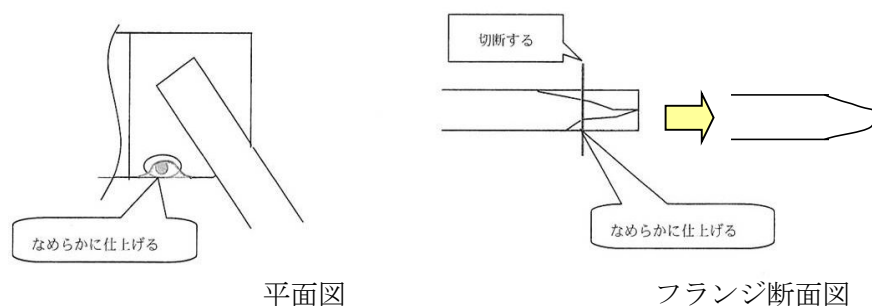
塗膜に孔食が発生したとき、表面から見えない鋼材部の腐食が大きく広がっている場合もある。このとき塗膜の剥離後、軽微なケレンでは鋼材素地が現れない場合もある。この状態で塗装を行っても内部に塩分を含んだ腐食した鋼材が内在することとなり、塗替え後の塗膜劣化の進展は早い。また、狭隘部のケレンも十分に行わなければ同様である。

断面の欠損がある場合は金属パテ（鉄分入りの樹脂）などにより整形し塗装する。なお、金属パテなどによる補修は、金属パテと鋼材との間へ結露や雨水の浸入によるはがれに対する検討が必要である。また、塗装材料との整合性を図らなければならない。

腐食損傷部の材端が鋭利な場合は、その部位から疲労亀裂が発生する恐れがある。このような部位は曲面加工を行い塗装することにより疲労被害の発生を遅らせることができる。

補修箇所の塗装系は、3.5 タッチアップの項を参考に決定する。

図－7.1 にその例を示す。



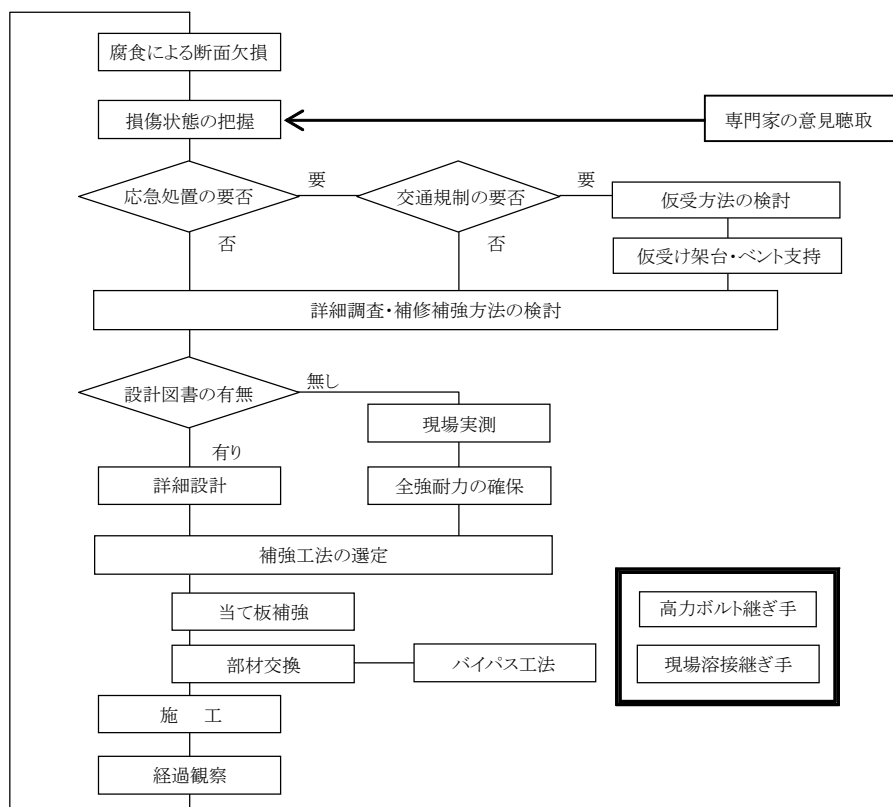
図－7.1 腐食部の仕上げ

7.3 腐食による断面欠損

腐食により部材に断面欠損が生じた場合は、損傷状況を踏まえ最適な工法を選定する。

(解説)

腐食により部材の断面欠損が生じた場合は、損傷部位、損傷状況を把握して最適な工法を選定することとする。その検討の流れの例を図－7.2 に示す。



図－7.2 補強の流れ例

腐食により部材の断面欠損が生じた場合の補強工法の検討に当たっては、設計図書(設計図・設計計算書・補修補強履歴)を入手する。もし、設計図書が入手出来ない場合は、断面欠損部分を確実に補強できるように、最適な工法の検討を行う。その補強工法は構造物全体にあたえる影響も留意するものとする。

なお、補修方法の検討に当たっては、専門家の指導を得るものとする。

補強部材の接合は高力ボルト接合を基本とする。溶接による場合は補強部材・部材の材料・溶接姿勢・供用下による溶接に関する注意が必要である。鋼橋の疲労亀裂は溶接継手部から発生している事例が多く、その損傷事例を踏まえた継手方法の選定が重要である。

損傷状態や補強にあたって、交通規制を行わない状態での施工、場合によっては交通規制を行う。また、荷重を一時的に支持するベント構造も考慮しなければならない。

損傷状況を踏まえた補強事例を以下に示す。

- ①腐食部位をケレンし金属パテなどで整形後あて板補強を行う。樹脂を注入する方法もある。局所的な断面欠損の場合は欠損部を部分的に金属パテなどにより整形する。金属パテのクリープによる高力ボルトの軸力の低下なども留意する必要がある。

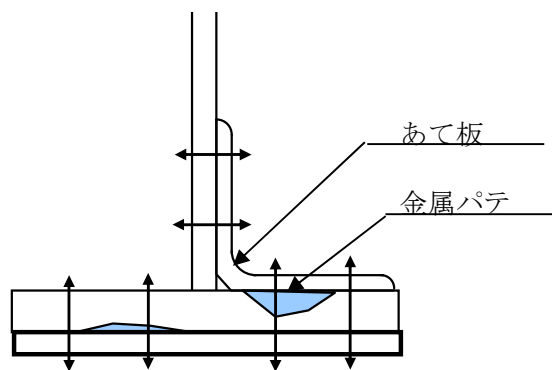


図-7.3 フランジの補強 (例)



写真-7.1 主桁溶接部の腐食

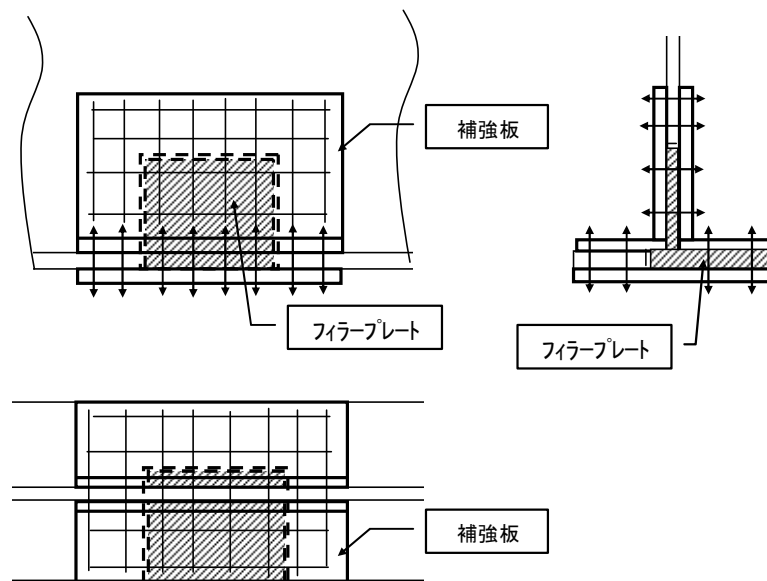


写真-7.2 補強材取付状況



写真-7.3 損傷部のパテ塗付状況

- ②部分的な腐食による欠損がある場合は一部除去し、あて板補強を行うものとする。

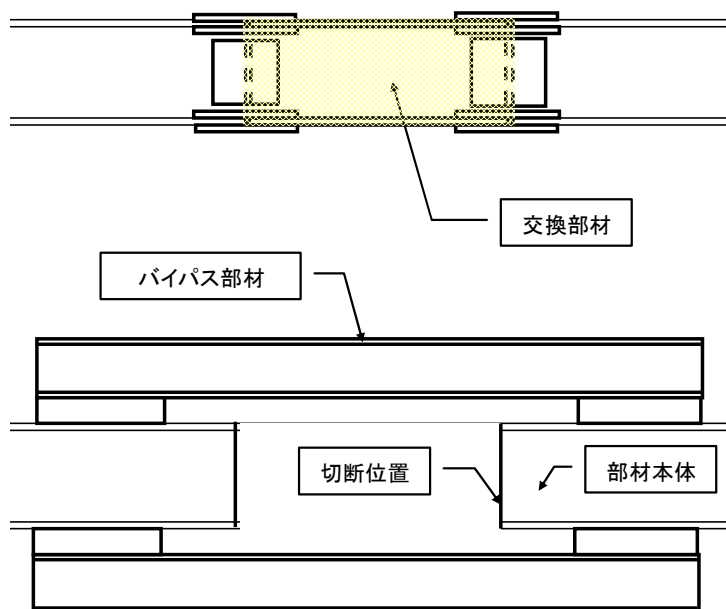


図－7.4 欠損部の一部除去後あて板補強（例）

③腐食による断面欠損が大きい場合は部材を交換するものとする。

部材の断面欠損が大きい場合は損傷部材を取り替えることを基本とする。なお、この時部材を除去することにより構造本体に影響する恐れがある場合はバイパス部材を取り付けることを原則とする。

このバイパス部材を残す場合もある。



図－7.5 部材交換による補強（例）

7.4 維持管理時の水洗

鋼橋は、定期点検において水洗を行うことが望ましい。

(解説)

洗浄作業は、腐食要因となる付着塩分、塵あいや小動物の糞を除去することを目的として行う。また、鋼橋の定期点検において点検箇所の見逃し防止に繋がる。

下記に考え方を示す。詳細については、巻末資料編Ⅱ．防食の技術の「橋梁洗浄マニュアル（案）」を参考に実施するとよい。

- ①洗浄範囲は、桁端部、下フランジ部（腹板との接合部を含む）、高力ボルト継手部、水平補剛材や垂直補剛材及び横構や支承部などとする。
- ②洗浄頻度は、定期点検と合わせて実施を基本とする。
- ③洗浄時に発生する濁水は、必要に応じて適切な方法で回収、処理を行う。
- ④健全度Ⅱ～Ⅳの場合は、塗り替えが望ましいため、洗浄は行わないものとする。



写真-7.4 水洗状況

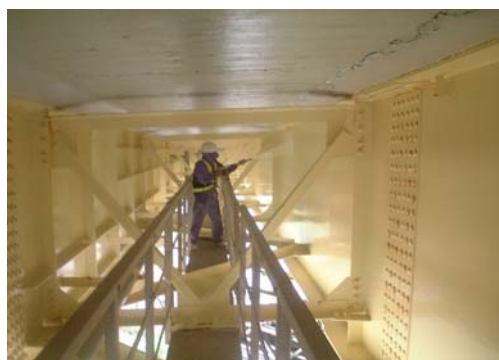


写真-7.5 鋼主桁内面の水洗

(西日本高速道路株式会社 九州支社 沖縄管理事務所)

7.5 支承の交換

支承を交換する場合は、支承の選定に留意するとともに、施工時のジャッキアップ設備・施工手順に留意しなければならない。

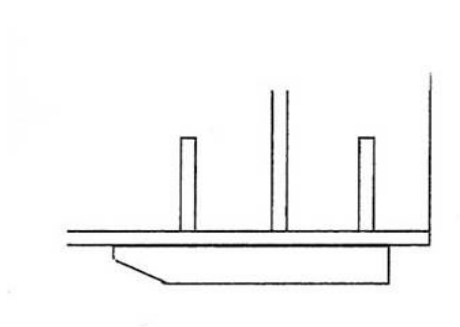
(解説)

支承が腐食により断面欠損が著しい、また、支承機能を喪失している場合は支承を交換する必要がある。このとき支承の構造は耐震性も考慮して選定する必要がある。

主桁本体のリブ補強やソールプレートの応力集中を緩和するためのテーパなど構造的な配慮が必要である。ソールプレートの取り付けは溶接とボルト継手がある。

支承の交換に当たってはジャッキアップ設備の設置や桁の補強について十分な検討を行う必要がある。

図－7.6 に構造的な配慮の例を示す。



図－7.6 支承交換の構造的な配慮



写真－7.6 支承交換時の主桁の補強

第8章 塗替え塗装

8.1 塗替え時期

管理者は、定期点検や詳細点検などの結果に基づいて防食機能が合理的に維持されるよう塗替え時期や塗装系を決定する必要がある。なお、防食機能以外に景観・美観上の配慮を特に必要とする場合には、変退色や汚れの程度も考慮するなど、必要に応じて防食機能に限らずその橋の塗装に要求された性能の劣化の観点から塗替え時期や塗装系を検討する必要がある。

8.2 塗替え方式

8.2.1 全面塗替え

鋼橋塗膜は、一様に劣化することではなく部位により塗膜劣化程度が異なる。塗膜に劣化が見られた時点で直ちにその部分を塗り替えることが理想的であるが、作業足場の架設や塗装効率など経済性や作業性など種々の制約があるため橋の機能に影響がないことが明らかな場合は、塗替え塗装に大きな影響を与えない程度の部分的な塗膜劣化を許容し、全面塗替えによって対処することもある。

8.2.2 部分塗替え

鋼橋塗膜は、けた端部、連結部、下フランジ下面など、特定の部位の塗膜が他の部位に比べて劣化が著しくなる傾向があり、この部分を適切に維持管理することにより、全面塗替え時期を延ばすことが可能である。したがって、一般部の塗膜が健全でも、けた端部、連結部、下フランジ下面など特定の部位の劣化が著しい場合には、塗膜劣化の著しい箇所の部分塗替えを行うこともある。このような場合には部分塗替えと全面塗替えの両者について、長期的な維持管理費用を算出し、いずれの塗替え方式が経済的であるかを検討した上で判断する必要がある。なお、部分塗替えを採用する場合には足場費用の軽減をはかるため、橋梁点検車の利用や簡易な足場の適用なども検討するのが良い。また、部分的に塗替え塗装を行うと、塗替えを行わない部分と塗り替えた部分とで色調や光沢、汚れの程度などに相違が生じるため、特に景観や美観上の要求がある橋では部分的な塗替えを検討する場合にこの点についても考慮する必要がある。

支承本体やケーブル定着部など橋にとって構造的に重要な部分や部位に対しては、さびが生じたら随時塗替えを行うことが望ましいが、このとき劣化の傾向や将来の維持管理についても検討し、必要に応じてより耐久性のある塗装系への変更も検討するのが良い。

8.2.3 局部補修

ジンクリッチペイントを防食下地に用いる重防食塗装系は、耐久性に優れているので、重防食塗装系を適用した橋では塗膜厚の不均一になりやすい連結部のボルト頭や、当て傷による塗膜欠陥の生じた部材角部などの点さびを局部的に補修塗装しておけば、長期間に渡り全面塗替えを行わないで塗膜の防せい性能を維持することができる。海上など厳しい環境に架設される長大橋では、橋梁点検車や移動足場などを利用して局部補修を行って全面塗替えの間隔を大幅に延ばす事が可能である。局部補修は、塗膜損傷の深さにより対応が異なる。**図－3.3**に傷の深さによる補修施工例を例示している。(3.5 項参照)

8.3 塗替え塗装系

8.3.1 一般外面の塗装系

塗替え塗装は、旧塗膜の塗装系、塗替え時の劣化程度、及び塗替え後の塗膜に期待する耐久年数によって塗装系を決定する必要がある。沖縄地区の鋼橋の塗装では長期に耐用が期待できる塗装系に該当する塗膜が用いられているので、塗替え仕様においてもこれと同程度が期待できる塗替え塗装系にすることが好ましい。したがって、塗装系一般外面の塗替え塗装系は、**表－8.1**、**表－8.2**に示すものとする。ただし、旧塗膜上に塗替え塗装を行う場合は、塗替え塗料が旧塗膜を侵さないことを確認した上で塗料を決める。

表-8.1 一般外面塗替え塗装系

素地調整		塗料	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μm)
1種	防食下地	有機ジンクリッチペイント	スプレー 600	<div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> </div>	75
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	スプレー 240		60
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	スプレー 240		60
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	スプレー 240		60
	中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	スプレー 170		30
	上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	スプレー 140		25
2種	防食下地	有機ジンクリッチペイント	はけ 240	<div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> </div>	30
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	はけ 200		60
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	はけ 200		60
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	はけ 200		60
	中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	はけ 140		30
	上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	はけ 120		25
3種 A・ B・ C	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (鋼材露出部のみ)	はけ (200)	<div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> </div>	(60)
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	はけ 200		60
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	はけ 200		60
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	はけ 200		60
	中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	はけ 140		30
	上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	はけ 120		25
4種	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	はけ 200	<div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> <div>1～10日</div> </div>	60
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	はけ 200		60
	中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	はけ 140		30
	上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	はけ 120		25

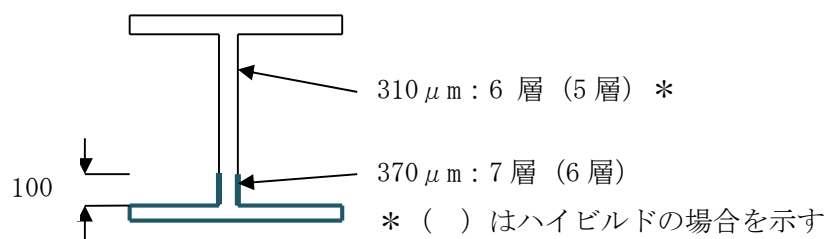
表-8.2 一般外面塗替え塗装系（ハイビルド塗料）

素地調整	塗料		標準使用量 (g/㎡)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μm)
1種 (ハイビルド塗料)	防食下地	有機ジンクリッチペイント	スプレー 600	1～10日	75
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (ハイビルド塗料)	スプレー 300		90
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (ハイビルド塗料)	スプレー 300		90
	中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	スプレー 170		30
	上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	スプレー 140		25
2種 (ハイビルド塗料)	防食下地	有機ジンクリッチペイント	はけ 240	1～10日	30
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (ハイビルド塗料)	はけ 240		90
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (ハイビルド塗料)	はけ 240		90
	中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	はけ 140		30
	上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	はけ 120		25
3種 A・B・C (ハイビルド塗料)	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (鋼材露出部のみ)	はけ (200)	1～10日	(60)
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (ハイビルド塗料)	はけ 240		90
	下塗り	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (ハイビルド塗料)	はけ 240		90
	中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	はけ 140		30
	上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	はけ 120		25

- 注 1. 素地調整から下塗り第一層までの時間は4時間以内とする。
2. 塗装間隔は気温が 20℃の場合を示す。気温が低い場合には、塗料の乾燥状態を調べ、硬化乾燥していることを確認し塗り重ねを行う。
3. 素地調整程度は、表-8.6 に示す。
4. 第一種ケレンの場合には、スプレー塗装を標準とする。第2種以下は、はけ以外にローラーを使用しても良い。ただしスプレー塗装をする場合の標準使用量は、表中のスプレー塗装の標準使用量に従う。
5. 下塗りの弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料は、ハイビルド塗料（厚膜タイプ）を使用し

ても良い。(塗料メーカーにより対応は異なる。標準塗付量は参考値)ただしハイビルド塗料は製造メーカーが限られており、共通仕様が提案されてはいない。塗料選定にあたっては塗料メーカーに事前に相談の上、最適なものを選択すること。

6. 下フランジ及び腹板立ち上げ 100mm は、弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗を膜厚 $60\mu\text{m}$ の 1 回増塗りとする。



7. 旧塗膜との組み合わせは、『鋼道路橋防食便覧』(平成 26 年 3 月)を参照のこと。

(解説)

(1) 素地調整

塗替えの場合には、1 種ケレンによるものが塗膜の寿命を延命化するのに効果的である。しかしながら施工上の制約や施工コストを勘案して 1 種ケレンが適用できない場合には後述する 8.4.1 項(素地調整の項)に従い、ケレン方法を選択するのが良い。

(2) 外面の塗替え塗装における膜厚

沖縄地区での一般外面塗装系は、表-3.1 に示すように、鋼道路橋塗装・防食便覧に示されるものより、下塗り回数を増やし耐久性を向上させている。塗替え塗装においても外面はこの考え方にに基づき、下塗り回数を 1 層増やし厚膜とすることで、より厳しい腐食環境においても、耐久性を確保している。

また下フランジ周辺は、部位の中ではもっとも劣化しやすいので、下フランジ部分については、下フランジ及び腹板立ち上げ 10cm の範囲まで、さらに $60\mu\text{m}$ の下塗りを増し、厚膜とすることで耐久性を確保している。腹板面において環境条件などからさらに増塗りの必要があると判断される場合には、腹板立ち上げ 10cm に関わらず任意の高さまで増塗り範囲を広げて良い。ただし範囲の縮小は認めない。

(3) 有機ジンクリッチペイント

塗替え塗装においては工場のように管理された状態での素地調整が困難であるので、1 種、2 種ケレン適用の場合には、有機ジンクリッチペイントを適用することとした。

有機ジンクリッチペイントは、ブラスト面のみならず、2 種ケレン面にも良く付着し良好な防せい性を発揮する。

（４）弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料

変性エポキシ樹脂塗料は、１回塗りで厚膜（エポキシ樹脂塗料と同じ）が得られ、動力工具使用素地調整面によく付着し耐水性の大きい塗膜が得られる。しかし、補修や塗替え時に、旧塗膜が A, a 塗装系、B, b 塗装系のとき塗り重ねる塗料の溶剤が旧塗膜を侵して塗膜が浮き上がり、われを発生させることがある。弱溶剤系塗料は、主な溶剤がミネラルスピリットであり、旧塗膜への溶解性が低いので旧塗膜を侵し難いだけでなく、溶剤臭が少なく光化学スモッグの原因となる揮発性有機化合物の発生が少ない。弱溶剤形塗料には、変性エポキシ樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料などがある。弱溶剤系のエポキシ樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料などに用いられる溶剤系は、フタル酸樹脂塗膜、塩化ゴム系塗膜を溶解もしくは膨潤させにくく、かつ刺激臭が少ない。弱溶剤形塗料は、第３種有機溶剤を主成分とし、第２種有機溶剤が５％未満の塗料である。

塗替えにあたっては、弱溶剤形塗料の使用により、補修時の異常発生は低減できるが、塗り重ねる塗料の下塗りを数種類試し塗りし、異常の有無を確認し、塗料を選定することが有効である。また、異常が生じた場合は、異常を生じた塗膜を全て剥がしたのち、その層から塗り直す必要がある。

ハイビルド塗料は、一回の塗装により厚膜の確保が可能になるタイプである。そのためこれを使用することにより塗装回数を減らすことができ、より経済的である。

まだ開発されて間もないため、共通仕様書などは提案されていない。ハイビルド塗料は、塗料メーカーによって対応が異なるので、その仕様をよく確認の上、塗料メーカーと事前に相談して使用することが必要である。

（５）（弱溶剤形）ふっ素樹脂塗料

弱溶剤形ふっ素樹脂塗料は、耐候性耐水性耐薬品性に優れており光沢保持性や耐白亜化性が大きい塗料である。また弱溶剤形は上記（４）の弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料と同じで、刺激臭が少なく、環境にやさしい塗料である。

（６）下フランジの処置

下フランジ下面は、橋梁の各部位中で最も発せしやすい箇所であることから、**表－8.1、表－8.2**に示す仕様に加えて、下塗り塗料をさらに１層増塗りして防せい性を向上させた。

（７）局部補修用塗装系

歩道橋のけあげ部に適用する局部補修用塗装系は、3.5 項に示すタッチアップ塗装に準拠するものとする。補修時におけるダメージにより異なるので、補修部のダメージに適切な補修方法を選択する。

8.3.2 内面の塗装系

内面の塗替え塗装系は、表－8.3 に示すものとする。

表－8.3 内面塗替え塗装系

素地調整	塗料		標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μm)
3種	第1層	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	はけ 300	□ 2～10日	120
	第2層	無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料	はけ 300		120

注 1. 漏水部は1回増塗りとする。

2. 塗装間隔は気温が20℃の場合を示す。気温が低い場合には、塗料の乾燥状態を調べ、硬化乾燥していることを確認し塗り重ねを行う。

3. 素地調整から第1層までは4時間以内に処理する。

(解説)

(1) 内面の素地調整程度

内面は、塗替え作業の困難な状況下にある。したがって2種ケレンを必要とするほど、塗膜劣化が進行しないうちに塗替えを行うことが望ましい。それゆえ、適用素地調整程度は3種（劣化塗膜や点さびが少し点在している状態）で塗替えることとした。

(2) 無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料

①内面の塗装では、内部に有機溶剤蒸気が充満し作業者に対する安全衛生面の支障を生じ、さらに爆発の危険性もあるので使用塗料は無溶剤タイプのものとした。ただし、この塗料はかぶれやすいことから、塗装作業員の防護には十分な配慮を行う必要がある。

②無溶剤形変性エポキシ樹脂塗料は、粘度が高いため塗付作業が難しく、さらに、換気を行わないと乾燥が遅くなる。また、可使時間が短く塗付作業時には十分な管理を行う必要がある。

③従来、内面の使用塗料はタールエポキシ樹脂塗料であったが、内部の明色化のために変性エポキシ樹脂塗料を採用した（現行は、労働安全衛生の観点からタールエポキシ樹脂塗料の使用は控える）。なお、旧塗膜がタールエポキシ樹脂塗膜の場合、その上に変性エポキシ樹脂塗料を塗り重ねた時は若干にじみを生ずることがあるがこれは容認する。

(3) 滞水、漏水のある部分の処置

滞水、漏水のある部分は、1回増し塗りとし合計3回塗りとする。

(4) 他の発注機関の塗替え鋼橋の塗装系

参考に他の発注機関の塗替え鋼橋の塗装系を表－8.4 に示す。

表－8.4 塗替え鋼橋の塗装

箇所		鋼道路橋塗装・防食便覧	旧日本道路公団	首都高速道路株式会社	本州四国連絡高速道路株式会社	沖縄地区鋼橋塗装マニュアル改訂版
1 種 ケ レ ン	下塗り第1層	有機シンクリッチペイント	有機シンクリッチペイント	—	—	有機シンクリッチペイント
	下塗り第2層	弱溶剤形変性エポキシ	変性エポキシ	—	—	弱溶剤形変性エポキシ
	下塗り第3層	弱溶剤形変性エポキシ	変性エポキシ	—	—	弱溶剤形変性エポキシ
	下塗り第4層	—	—	—	—	弱溶剤形変性エポキシ
	中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂	ふっ素樹脂	—	—	弱溶剤形ふっ素樹脂
	上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂	ふっ素樹脂	—	—	弱溶剤形ふっ素樹脂
2 種 ケ レ ン	下塗り第1層	有機シンクリッチペイント	—	有機シンクリッチペイント	—	有機シンクリッチペイント
	下塗り第2層	弱溶剤形変性エポキシ	—	変性エポキシ	—	弱溶剤形変性エポキシ
	下塗り第3層	弱溶剤形変性エポキシ	—	変性エポキシ	—	弱溶剤形変性エポキシ
	下塗り第4層	—	—	—	—	弱溶剤形変性エポキシ
	中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂	—	ポリウレタン (中上兼用)	—	弱溶剤形ふっ素樹脂
	上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂	—		—	弱溶剤形ふっ素樹脂
3 種 ケ レ ン	下塗り第1層 (タッチアップ1回 目)	有機シンクリッチペイント	有機シンクリッチペイント	変性エポキシ	変性エポキシ	有機シンクリッチペイント
	下塗り第1層 (タッチアップ2回 目)	—	有機シンクリッチペイント	—	変性エポキシ	—
	下塗り第1層 (タッチアップ3回 目)	—	変性エポキシ	—	—	—
	下塗り第2層	弱溶剤形変性エポキシ	変性エポキシ	変性エポキシ	変性エポキシ	弱溶剤形変性エポキシ
	下塗り第3層	弱溶剤形変性エポキシ	変性エポキシ	変性エポキシ	—	弱溶剤形変性エポキシ
	下塗り第4層	—	—	—	—	弱溶剤形変性エポキシ
	中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂	ふっ素樹脂	ポリウレタン (中上兼用)	エポキシ樹脂	弱溶剤形ふっ素樹脂
	上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂	ふっ素樹脂		ポリウレタン樹脂	弱溶剤形ふっ素樹脂
4 種 ケ レ ン	下塗り第1層	弱溶剤形変性エポキシ	—	—	—	弱溶剤形変性エポキシ
	下塗り第2層	—	—	—	—	弱溶剤形変性エポキシ
	中塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂	—	—	エポキシ樹脂	弱溶剤形ふっ素樹脂
	上塗り	弱溶剤形ふっ素樹脂	—	—	ポリウレタン樹脂	弱溶剤形ふっ素樹脂

注) 1. タッチアップは鋼材露出部の塗装

2. 塗装系は、一般外面を比較している。2 種類以上ある場合は、一番耐久性の高い塗装系を掲載した。例えば、旧日本道路公団は、C 塗装系でも C-1 (3 種、4 種)、C-2 (1 種、3 種)、C-3 (1 種、3 種) があり上表は C-3 を掲載した。

8.3.3 特殊部の塗装系

特殊部とは、全塗装工場施工となる支承・排水ます内側とする。

支承・排水ます内側の塗替え塗装系は、外面は、**表－8.1**、**表－8.2**に従うものとする。ただし外面の素地調整は、**表－8.6**に従い、それに応じた**表－8.1**、**表－8.2**の塗装系を選択する。また亜鉛めっきを防食法として選択した場合においてもめっきの劣化が著しい場合には塗装により防食を行うことが良い。

(解説)

排水ますなど亜鉛めっきにて防食した場合において、赤さびが発生するなど劣化が著しい場合には、**表－8.1**、**表－8.2**の塗替え塗装系の素地調整1種にて塗装し防食することが好ましい。ただし素地調整1種が困難な場合には、2種でも良い。

8.3.4 連結部の塗装系

連結部の高力ボルトや現場溶接による連結部の塗替え塗装系は、外面は、**表－8.1**、**表－8.2**、内面は**表－8.3**に従うものとする。ただし外面の素地調整は、**表－8.6**に従い、それに応じた**表－8.1**、**表－8.2**の塗装系を選択する。

(解説)

(1) ボルト部などは、動力工具や手ケレンで除せいや塗膜を完全に除去するのは困難である。劣化が激しい場合には、第1種ケレン(ブラスト処理)を適用する。

(2) 内面に滞水、水濡れのある場合には、1層増し塗りをし3層とする。

(3) 中塗り・上塗りの省略

閉断面部材の内面は、日光の直射を受けず耐候性を期待しなくてもよいので、中塗り・上塗りは塗装しない。

(4) 高力ボルトは、付着塩分が付着しやすいこと、凹凸面の膜厚確保が困難なことや狭隘部における素地調整の困難さなどから、塗替え後、一般部に比べて早期腐食部位である。高力ボルトの防食性の確保のためには、さびの除去が必要であるが、ボルト角部にさびが残存しやすい。現地施工で防食下地を付与することが可能なコールドスプレー技術は、ある程度の残存さびを許容しながらも高い防食性能を保持させることができる。コールドスプレー技術による亜鉛皮膜の形成については、巻末の技術報告に詳細を述べる。下記に例として**表－8.5**を示す。なお、亜鉛皮膜は犠牲防食性能を有しており、下塗り第1層や下塗り全てを省き、工程短縮を図ることが考えられる。この塗装系に関しては、沖縄総合事務局管内の鋼橋にて試験施工を行っている。

表－8.5 防食下地をコールドスプレー工法による亜鉛皮膜を用いた塗装系

工程		塗料または素地調整	標準使用量 (g/m ²)	塗装間隔 (気温20℃の場合)	標準膜厚 (μm)
現場塗装	素地調整	動力工具処理	—	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 10px; height: 10px; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> <div style="margin-left: 5px;">0～10日</div> </div>	—
	防食下地	亜鉛皮膜(コールドスプレー工法)	—		100
	下塗り	弱溶剤型変性エポキシ樹脂塗料下塗り	はけ200		60
	下塗り	弱溶剤型変性エポキシ樹脂塗料下塗り	はけ200		60
	下塗り	弱溶剤型変性エポキシ樹脂塗料下塗り	はけ200		60
	中塗り	弱溶剤型ふっ素樹脂塗料用中塗り	はけ140		30
	上塗り	弱溶剤型ふっ素樹脂塗料上塗り	はけ120		25

(5) 高力ボルトの腐食減厚が著しい場合、ゆるみ・脱落の可能性があるため、高力ボルトの交換を行う。高力ボルトの交換については、巻末の技術報告に詳細を述べる。

8.4 塗替え塗装の施工

8.4.1 素地調整の種別

塗替えにおける素地調整種別を、**表－8.6**に示す。

なお、素地調整程度3種4種は、素地調整に先立って水洗を行うことを原則とする。

表－8.6 塗替えにおける素地調整種別

(1) さびが発生している場合

素地調整種別	さびの状態	発さび面積 (%)	塗膜異常面積 (%)	素地調整内容	作業方法
1種	－	－	－	さび、旧塗膜を完全に除去し鋼材面を露出させる	ブラスト法
2種	点さびが進行し層状さびに近い状態や、こぶ状さびとなっている	30以上	－	旧塗膜、さびを除去し、鋼材面を露出させる	ディスクサンダー、ワイヤホイールなどの電動手工具と手工具の併用、ブラスト法
3種A	点さびがかなり点在している	15～30	30以上	活膜は残すが、それ以外の不良部(さび、われ、ふくれ)は除去する。	同上
3種B	点さびが少し点在している	5～15	15～30	同上	同上
3種C	点さびがほんの少し点在している	5以下	5～15	同上	同上

(2) さびがなく、われ・ふくれ・はがれ・白亜化・変退色などの塗膜異常がある場合					
素地調整種別	さび・塗膜の状態	発さび面積(%)	塗膜異常面積(%)	素地調整内容	作業方法
3 種C	さびはないが、われ・ふくれ・はがれの発生が多く認められる	—	5以下	活膜は残すが不良部は除去する。	ディスクサンダー、ワイヤホイールなどの電動手工具と手工具の併用、ブラスト法
4 種	さびはないが、われ・ふくれ・はがれの発生が少し認められる	—	5以下	同上	同上
	白亜化・変退色の著しい場合	—	—	粉化もの・汚れなどを除去する	同上
(一部、鋼道路橋塗装・防食便覧 社団法人 日本道路協会 平成 17 年 12 月より転載)					

(解説)

(1) 付着塩分の除去

- ①前述 (6.3 水洗) したとおり、沖縄地区は全域海塩粒子の影響を受ける環境にあるので除塩を行うことと、塗膜へ付着した汚れを除去する目的で、3 種、4 種ケレンは素地調整に先立って水洗を行うことを原則とした。1 種、2 種ケレンは、旧塗膜 (塩分や汚れが付着している塗膜) を全て除去するので水洗の対象外とした。
- ②水洗は、高圧水による洗浄を原則とする。また、最近ではスチームによる処理も有効とされている。
- ③塩分除去後は付着塩分量の測定を行う。湿潤ガーゼで拭き取り塩素イオン検知管を用いて測定する方法で測定を行う場合は、付着塩分量が 50mg/m² 以下であることを確認する。

(2) 素地調整種別

塗替え時の素地調整 (ケレン) は、表-8.6 に示すように作業内容により 1 種～4 種に区分されており、塗膜の劣化状態に応じて適用される。

- ①1 種は、ブラスト法によるもので素地調整の効果は最も優れている。旧塗装系が塗替え時の塗装系と適合しない場合には、素地調整として 1 種が望ましい。ただし周辺環境への配慮や養生などを十分に行う必要がある。また処理コストも高い。
- ②2 種、3 種、4 種は、いずれも動力工具と手工具を用いて行うものであるが、作業効率の良い動力工具が多用され、手工具は動力工具の適用が難しい箇所に用いられている。動力工具や手工具では、くぼみ部、狭隘部のボルト、リベット部などの除せいや塗膜除去を完全に行うことはできない。また、ジンクリッチペイントを完全に除去することも難しい。
- ③2 種は、塗膜及びさびを除去して鋼材面を露出させるものであるが、作業に要する時間が長く費用も高い。
- ④4 種は、除せい作業を必要とせず面あらしや清掃を行うものである。塗膜の防せい効果を良好に維持するには、4 種が適用できる程度の劣化状態で塗替えを行うことが望ましいが、

鋼道路橋の塗膜の劣化速度は部位によって異なるので、さびの発生以前に全体を塗り替えることは不経済であり景観上の配慮からさび発生前に塗替える場合以外は4種の適用例は少ない。

- ⑤3種は、われ、はがれ、ふくれ、さびなどにより塗膜の防せい効果が失われた部分（死膜部）については塗膜やさびを除去して鋼材面を露出させ、それ以外の部分（活膜部）については塗膜表面の粉化物や付着物を除去し硬化した塗膜の面あらしをするものである。実際の塗替えではほとんどが3種を適用している。なお、3種は死膜部分の発生比率により作業時間と費用が大きく異なるので作業内容は同一であるが実用上3段階に細分することが多い。

3種A、Bは発生面積（さび落とし面積）の違いによる区分である。3種Cは、発生面積5%以下と塗膜異常（われ、ふくれ、はがれ）面積5%以上の場合に適用する。これは両者とも同程度の施工歩がかりとなることから取り扱いを同じとした。

8.4.2 部材端部の処理

塗替え鋼橋においては、部材端部は2mmR以上の曲面加工を行う。

（解説）

新設鋼橋は、鋼道路橋塗装・防食便覧（社団法人 日本道路協会 平成17年12月）で曲面加工の必要性が示されたことから、工場で下フランジ端部の「曲面加工」または「面取り」が行われるようになっている。しかし塗替え鋼橋ではまだ「曲面加工」または「面取り」されていない橋梁が多く、エッジ部の発せいが問題となっている。

橋梁の全体の評価は、エッジ部の発せい状態に大きく影響されることから、塗替え鋼橋においても曲面加工が行われていない部材端部は、曲面加工を行うこととした。

（参照 5.1 項 部材端部の処理）

8.4.3 水洗

「水洗の項」本マニュアル6.3に準ずる。

8.4.4 塗付作業

①塗付作業者、

「塗付作業者の項」本マニュアル 6.2.1 項に準ずる。

②塗付方法

塗付方法は素地調整 1 種の場合には、スプレー塗装とするのが良い。ただし先行塗装や狭隘部などスプレーが十分に行えない場合には、はけ塗りを原則とする。素地調整 2～4 種の場合については、はけまたはローラーによる塗付とする。その他については、「塗付方法の項」本マニュアルの 6.2.2 に準ずる。

③塗付を行ってはならない部分

「塗付を行ってはならない部分の項」本マニュアル 6.2.3 項に準ずる。

④使用塗料の理解

「使用塗料の理解の項」 本マニュアル 6.2.4 項に準ずる。

⑤使用塗料の確認

「使用塗料の確認の項」 本マニュアル 6.2.5 項に準ずる。

⑥希釈

「希釈の項」 本マニュアル 6.2.6 項に準ずる。

⑦可使時間

「可使時間の項」 本マニュアル 6.2.7 項に準ずる。

⑧塗装作業の禁止事項

「塗装作業の禁止事項の項」 本マニュアル 6.2.8 項に準ずる。

(解説)

(1) 塗付方法

塗付方法では、エアレススプレー塗りは現場環境汚染の問題があるので、塗料の飛散によって周辺を汚染しないように十分に飛散防止措置を行う。低飛散型スプレーや静電スプレーなどは、飛散防止効果や塗装性能などを確認した上で適用すると良い。またケレンダスト及びスプレーミストの飛散対策として、飛散防護シートもその効果を確認した上で十分な養生と換気に注意して適用するとよい。

(2) その他の項は、新設鋼橋の場合に準ずる。

8.5 塗替え塗装の施工管理

8.5.1 塗料材料の管理

「塗料材料の管理」 本マニュアル 6.4.1 項に準ずる。

8.5.2 塗膜の外観

「塗膜の外観」 本マニュアル 6.4.2 項に準ずる。

8.5.3 膜厚管理

①湿潤膜厚測定

「湿潤膜厚の測定の項」 本マニュアル 6.4.3 (1)項に準ずる。

②乾燥膜厚測定

「乾燥膜厚の測定の項」 本マニュアル 6.4.3 (2)項に準ずる。

ただし管理基準は、**表－8.7**による。

表－8.7 塗膜厚管理基準（塗替え）

ケレン種別	塗膜厚平均値	最小値	標準偏差
1 種	0.9 以上	0.7 以上	0.2 以上
2 種	1.0 以上	0.7 以上	
3 種 A		0.7 以上	
3 種 B		0.7 以上	
3 種 C	0.9 以上	0.7 以上	
4 種	0.9 以上	0.7 以上	

注) 係数は、目標合計膜厚に準ずるものである。

（解説）

乾燥膜厚の管理基準は、次の考えにより規定した。

①1 種ケレンは、ブラスト処理によるものなので新設鋼橋の場合に準じた。

②2 種ケレンは、腐食の著しい場合に適用されることが多く、したがって、被塗面は凹凸が大きいので、動力工具使用の場合は、くぼみ部のさびや旧塗膜残存は避けがたい。すなわち被塗面状態が不均一にあることにより標準偏差は適用しない。また、腐食の著しい環境であることから塗膜厚平均値、最小値ともに、仕上がり膜厚を大きくした。

③3 種ケレン A、B は、仕上がり状態が鋼面露出部と活膜部とが散在し、その上に塗られる

わけで、測定値にかなり大きなばらつきを生ずる。したがって、塗膜厚平均値と標準偏差は適用せず最小膜厚値のみを規定し、さらに鋼材露出部塗装の場合の最小値は目標塗膜厚合計値の80%以上を確保することとした。

④3種ケレンCは、発せい5%以下ないしは発せいがなくて、塗膜異常部のみの素地調整に適用されるものであるから、塗装は大部分活膜部の上に塗られることになる。したがって、塗膜厚平均値は目標塗膜厚合計値の90%以上とした。ただ発せい部や、われ・ふくれ・はがれ部は、活膜がないか、あるいは減損している状態なので、最小膜厚は70%以上を確保するよう規定した。

⑤4種ケレンは、全体活膜面に塗られるので、被塗面はほぼ均一状態と思われるので、管理基準は1種ケレンと同一とした。ただ前回までの塗装のばらつきが大きい場合は、今回の塗装では修正できないこともあるので、標準偏差の適用は除外した。

8.5.4 記録

塗替え塗装においても、塗装記録表を構造物に付記する。(参照 6.4.4 記録の項参照)

塗装完了年月	年 月
下塗り第1(補修塗り)	
下塗り第2	
下塗り第3	
中塗り	
上塗り	
塗料製造会社	
施工会社	

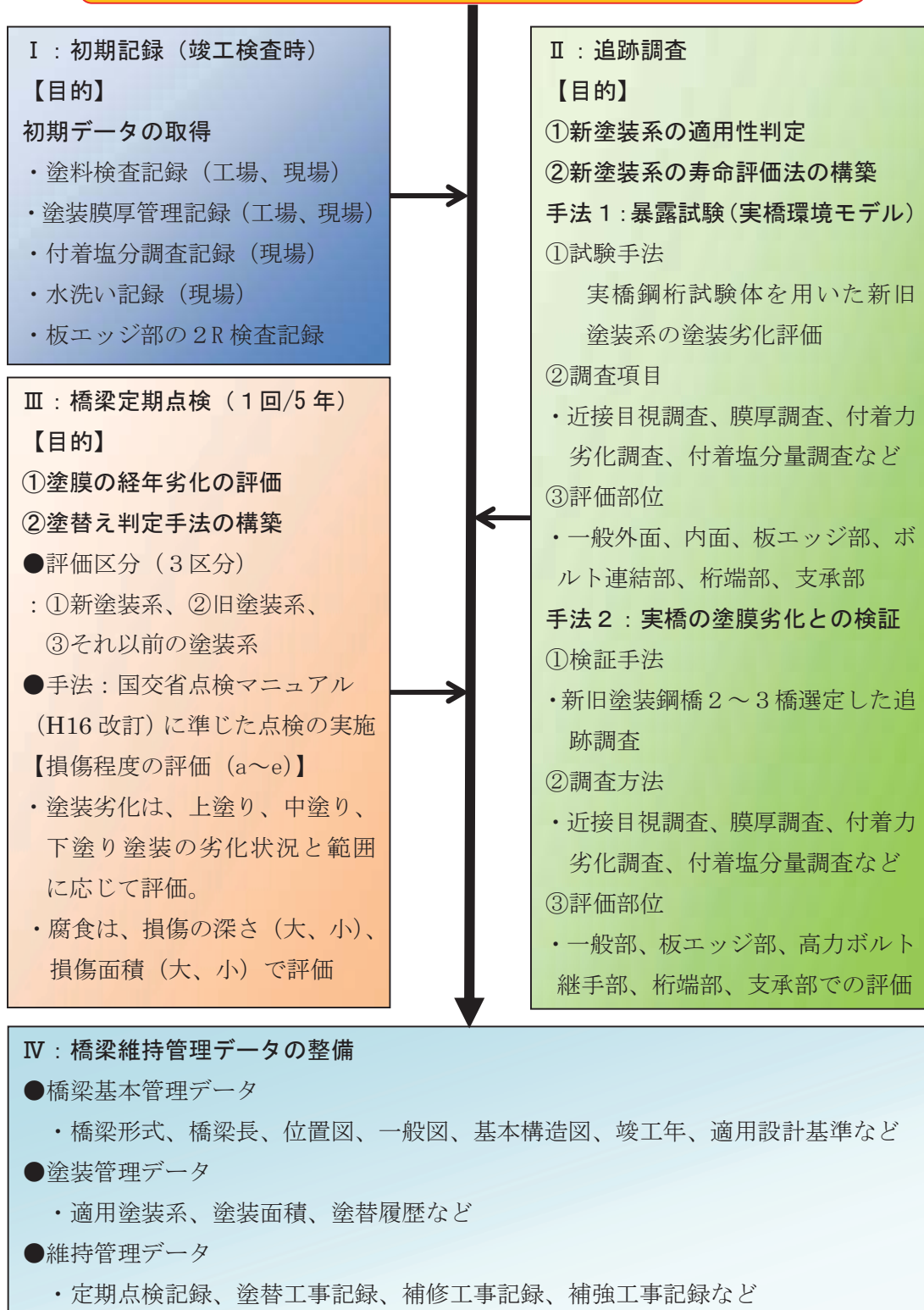
図一 8.1 塗替えの場合の記録様式

資 料 編

I. 沖縄地区鋼橋防食マニュアルの今後の課題	87
II. 防食の技術	89
1 多機能防食デッキの経済性	89
2 継手部隙間の処理	91
3 吊り金具	91
4 橋梁洗浄マニュアル（案）	93
III. 技術報告	107
1 土木鋼構造用塗膜剥離剤技術	107
2 電磁誘導加熱（IH）による鋼橋の塗膜剥離工法	119
3 腐食損傷を受けた実橋鋼桁端部への 低温低圧型溶射工法（Cold Spray 工法）の実証実験	137
4 透明型ボルトキャップの維持管理性能評価試験と実橋での適用事例	143
5 腐食環境調査方法と調査結果	148
6 腐食高力ボルトの残存軸力評価	169
7 多機能防食デッキの防食性能評価	173
8 継手部ボルト・ナットの厚膜塗装法	179

I. 沖縄地区鋼橋防食マニュアルの今後の課題

沖縄地区における鋼橋の塗装劣化評価（塗装寿命、塗替寿命）
～アセットマネジメント手法の構築を目的として～



沖縄県における鋼橋の長寿命塗装のための技術

①部材エッジ部の防食技術

- ・ 2R 加工基準の開発
(工場：新設、現場：塗替)
- ・ 膜厚検査機器、方法の開発

②高力ボルト継手部の防食技術

- ・ 高力ボルトの防食性の向上
⇒ コールドスプレー技術の適用検討
⇒ 高力ボルト交換基準の検討
- ・ 膜厚検査機器、方法の開発
- ・ ボルトキャップの機能評価、開発
⇒ 透明ボルトキャップの適用検討
- ・ 全断面溶接橋梁の適用検討

③飛来塩分防護構造

- ・ 防護板構造の性能評価、開発
⇒ マニュアル本文に規定
- ・ 合理化橋梁形式の開発、適用検討
(箱桁の全適用、2次部材の省略)

④水洗い技術

- ・ 水洗い機械の開発、試験施工
(効率化、現場汎用性、環境配慮)
⇒ 洗浄マニュアル作成済
⇒ 実橋での洗浄の試行を予定
- ・ 洗浄水の排出処理の規定整備 (法律)

⑤桁端部の防食技術

- ・ 非排水型伸縮装置の機能評価、開発
- ・ 排水系統の機能評価、開発
- ・ 支承構造の防食構造の開発、試験
⇒ マニュアルで防食性の高い塗装系を規定

⑥耐食性に優れた材料を用いた橋梁

- ・ ステンレス橋梁の開発、適用検討
- ・ 金属溶射橋梁の開発、適用検討
- ・ 新箱桁橋梁の開発、適用検討

⑦塗装の延命化技術

- ・ ふっ素樹脂塗料の早期白亜化の検証¹⁾
⇒ 現況調査を実施中
⇒ 様々な対応策を検討
- ・ 塗装塗替え周期を延長する新耐食鋼の開発、適用検討
- ・ 塗装塗替え時期の評価

1) 下里哲弘、荒牧聡、玉城喜章、日和裕介：沖縄における鋼橋の腐食と紫外線劣化に対する新防食技術開発の取組み、橋梁と基礎、Vol. 49、pp16-23、2015. 10.

Ⅱ．防食の技術

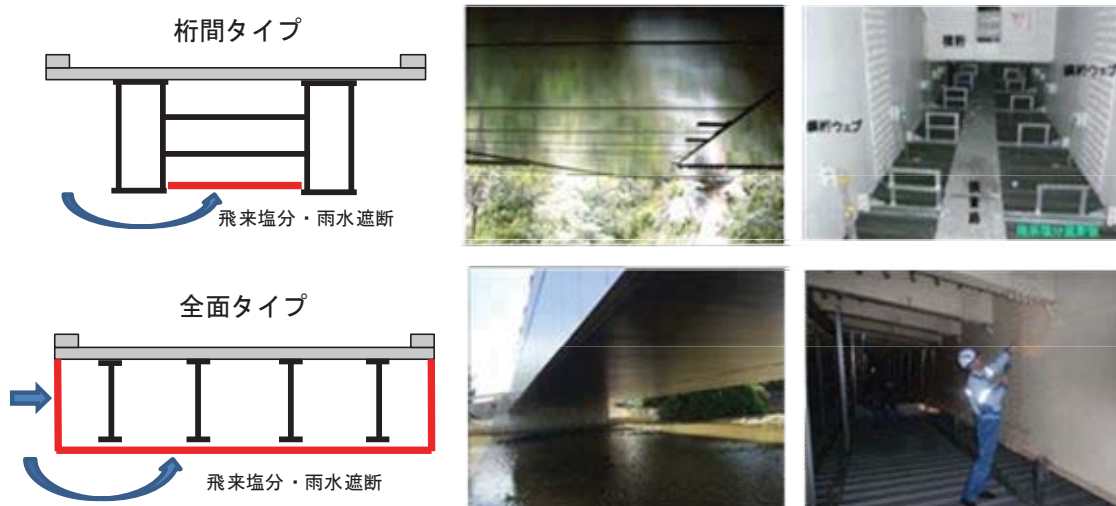
鋼橋の腐食損傷に着目した維持管理上の損傷事例と対策例を紹介する。

なお、採用に当たっては、工法の利点、弱点を整理すると共に、他部材への影響も配慮しなければならない。

1. 多機能防食デッキの経済性

(1) 多機能防食デッキの概要

多機能防食デッキとは、主として鋼橋の防食と点検足場の役割を果たすものであり、桁間タイプと全面タイプがある。図－1 に多機能防食デッキ適用橋の断面と事例写真を示す。



図－1 多機能防食デッキ適用橋の断面と事例写真

(2) ライフサイクルコスト（以下、LCC）比較

多機能防食デッキの経済性を示すため図－2 に①基本ケース（多機能防食デッキ無し）、②桁間タイプ多機能防食デッキ適用、③全面タイプ多機能防食デッキ適用の3 ケースの LCC を示す。なお、本試算は初期工費と塗装塗替え費のみとし、定期点検費などは含まない。対象橋は塩害地など厳しい腐食環境下にある鋼床版 2 主箱桁橋とし、基本ケース（多機能防食デッキ無し）の外表面塗装は重防食塗装で 30 年毎に塗替えする条件とし、桁間に点検用の検査路を設置している条件とする。多機能防食デッキは非常に高い防食性能があるため、多機能防食デッキで覆われた内部は箱桁内面と同様に内面塗装にして塗替え無しとする。また、点検足場機能を有するため検査路は削除している。以下に基本ケースとの対比結果を示す。

- ① 桁間タイプ多機能防食デッキ適用の上部工初期工費は多機能防食デッキ費の増と塗装費、検査路の減がほぼ同等のため従来形式とほぼ同等となる。
- ② 桁間タイプ多機能防食デッキ適用の外面の塗替え費は面積が縮小した分、減少する。
- ③ 全面タイプ多機能防食デッキ適用の上部工初期工費は従来形式の約 2 割増となる。
- ④ 全面タイプ多機能防食デッキ適用の外面塗装の塗替えが不要なために LCC は最小となる。

防食 LCC 比較条件

- ・対象橋：3 径間連続鋼床版 2 箱桁橋（全幅 11.5m、橋長 200m）
- ・多機能防食デッキ単価：製品 50 千円/m²、設置費 7 千円/m²
- ・外面塗装：C-5 (30 年毎 Rc-I 塗替え)、内面塗装：D-5 (塗替えなし)

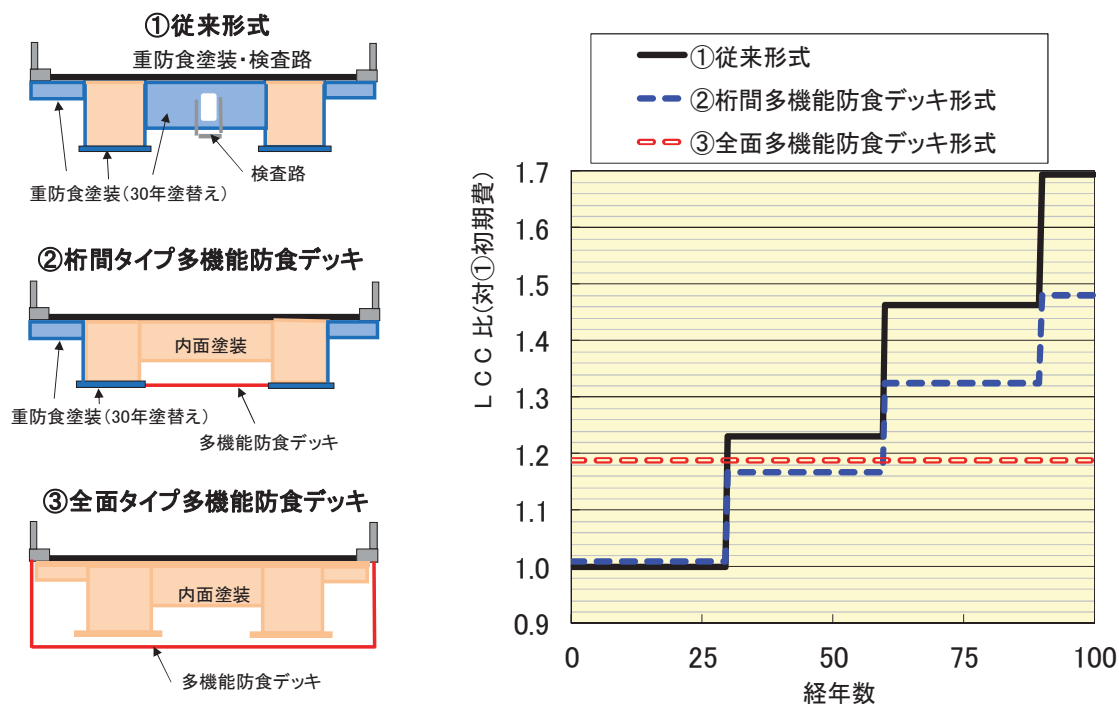


図-2 多機能防食デッキ適用の LCC 比較

(3) その他のメリット

多機能防食デッキは 5 年毎の定期点検時に点検足場となり、内部の鋼桁や床版下面の近接目視点検の品質と安全性の向上に寄与する。

2. 継手部隙間の処理

塗替え塗装時に継手部の鋼板や狭隘な箇所はシールし、塩分の付着・滞留を防止することも有効である。しかし、使用する材料は塗料に影響しないもの、また、シール材の収縮により部材とシール材間に雨水が浸入するなどは避けなければならない。シール材の選定に当たっては、これらに考慮した材料の選定、施工方法の検討を要する。

図-3 にその要領例を示す。鉄道橋では連結板を突合せて隙間をなくしている事例もある。

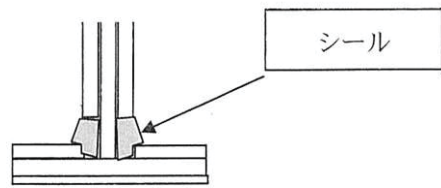


図-3 シール要領

3. 吊り金具

足場取り付け用吊り金具でチェーンなど直接荷重が作用する部位、チェーンが接触するフランジコバ面部位は、足場の荷重により健全な塗装に損傷を与える恐れがあり、これらの部位は腐食し易く弱点となる。しかし、その部位は塗装や補修作業後の足場解体時にタッチアップ塗装を行うのみである。また、下フランジや対傾構・横構など健全な一般部材に吊りチェーン用クランプを取り付けた部位後も同様である。

塗装に影響しない亜鉛・アルミニウム合金めっきの吊り金具を取り付けることにより既設部材の塗膜を防護できる。ただし、使用に当たっては緩衝材をはさみ十分に養生する。

図-4 にイメージ図を、写真-4、写真-5 に吊り金具の腐食損傷事例を示す。

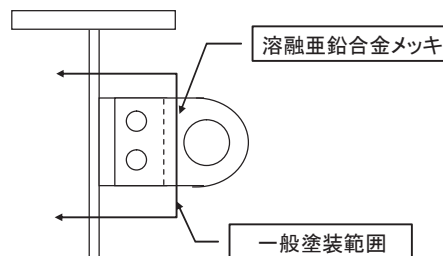


図-4 吊り金具

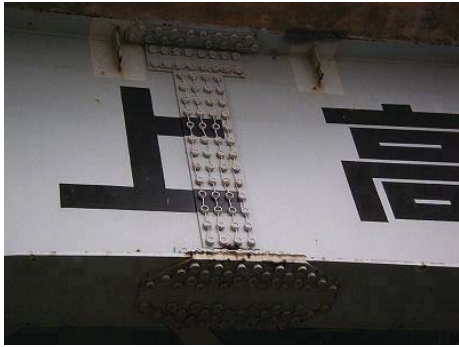


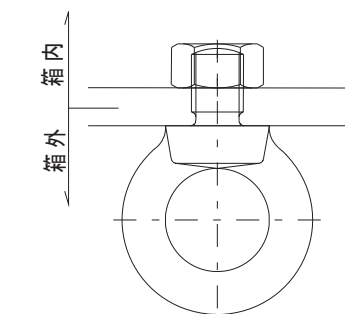
写真-4 吊り金具の腐食



写真-5 吊り金具の腐食

また、通常の足場用吊金具は、角部が多く早期腐食の要因となることから、足場を必要とするときのみ、吊金具を取り付ける脱着式の吊金具を採用する方式がある。

図-5 に構造詳細例を示す。これは、桁部材には貫通孔を設け、足場設置時にアイボルトを取付け、未使用時にはシリコン製のキャップで蓋を行うことで、足場用吊り金具の腐食防止を図っている。



キャップ取り付け状況

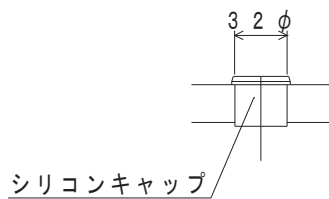


図-5 足場用吊金具の改良

4. 橋梁洗浄マニュアル(案)

1. 適用範囲

本手順書は、沖縄県内における橋梁上部工の洗浄作業に適用する。

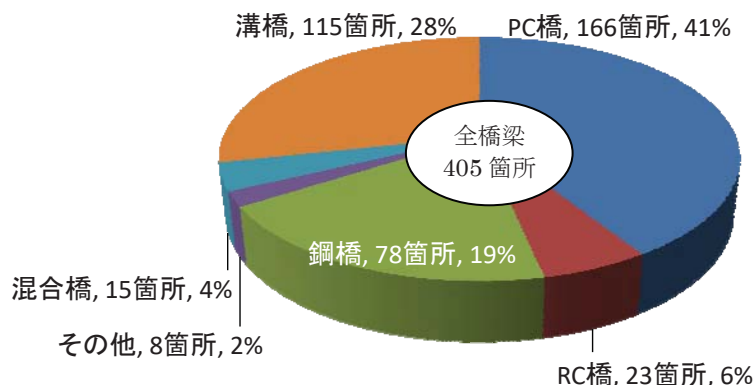
(解説)

本手順書は、橋梁形式のうち、全ての鋼橋を対象として適用する。ただし、斜面地帯や市街地の重交通量などにより点検車などの設置が難しいなど、現場条件で洗浄が困難と判断された場合は、その限りではない。コンクリート橋については、必要と判断される場合には、事務所と協議の上、適用範囲を広げるものとする。

<参考資料>

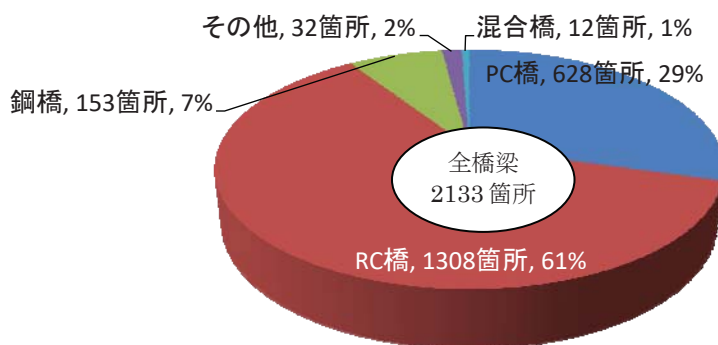
橋梁の状況（上部工使用材料別）

【沖縄総合事務局】



橋種	橋梁箇所数	延長(m)
PC橋	166	22,661
RC橋	23	3,133
鋼橋	78	13,307
その他	8	304
混合橋	15	7,365
溝橋	115	538
合計	405	47,308

【沖縄県】



橋種	橋梁箇所数	延長(m)
PC橋	628	35,932
RC橋	1,308	9,729
鋼橋	153	12,346
その他	32	73
混合橋	12	24
合計	2,133	58,104

鋼橋及び混合橋含め橋梁箇所数は、沖縄総合事務局では、93橋があり、沖縄県は165橋ある。全体に占める割合は、沖縄総合事務局では、23%であり、沖縄県では8%となっている。

表 道路管理者別鋼橋の数

(2018.3時点)

道路管理者	橋梁箇所数	割合
沖縄総合事務局	93橋	23%
沖縄県	165橋	8%

2. 作業の目的

洗浄作業は、鋼橋の定期点検において点検箇所の見逃しや、腐食要因となる付着塩分、塵あいや小動物の糞を除去することを目的として行う。

(解説)

定期点検で洗浄を実施する理由は、橋梁洗浄のために近接しなければならないことと、洗浄によって汚れを除去することで損傷の見逃しがないようにできることが挙げられる。

<参考資料>

右上図は、1年間の桁別飛来塩分量示す。海側からの風によって、桁に塩分や汚れが付着していることがわかる。また、冬季の季節風は、多量の飛来塩分や汚れの原因となる微粒子を運ぶことがわかる。

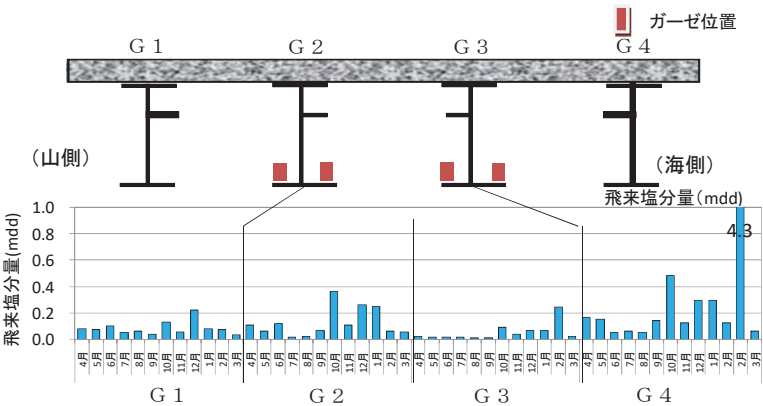


図 飛来塩分量 (2010.4~2011.3)

右下図に、桁別、部位別に付着した塩分量を示す。期間は、2001.3 (塗替え後) から2010.3までの9年間の付着量であり、垂直面に比べて平面に塩分が付きやすいことがわかる。塩分は、多くの汚れとともに付着しており、水平箇所を特に念入りに洗浄することが重要である。

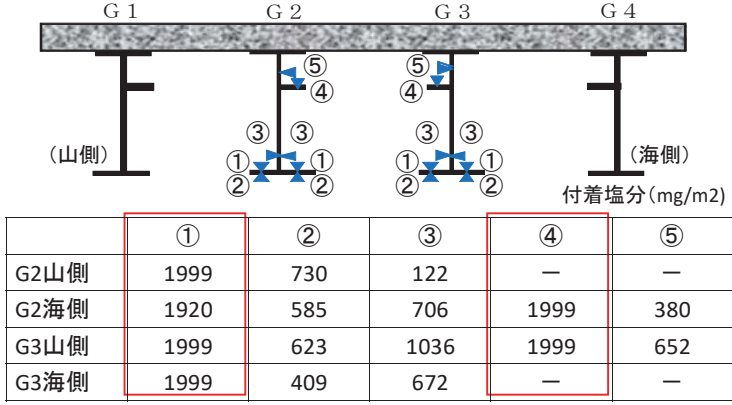


図 付着塩分量 (2010.3時点)

3. 対象橋梁の選定

洗浄作業対象橋梁は、前回点検で健全度Ⅰのみとし、現時点での塗膜劣化状況も考慮し選定する。

（解説）

鋼橋の塗膜の剥離が顕著な場合は、常温水による洗浄によって塗膜下に水分を供給することになる。また、塗膜下の腐食部位に付着した塩化物イオンは、洗浄によって溶解除去することが困難でもある。塗替え塗装（タッチアップ塗装を含む）による対応などで洗浄を避ける必要がある。

したがって、洗浄対象とする鋼橋は、前回点検で健全度ⅡからⅣの場合は、塗替えが望ましいため、洗浄は行わない。また、前回点検で健全度Ⅰの場合でも、踏査時に塗替えの可能性が考えられる場合には、洗浄を行わない。

4. 洗浄範囲

洗浄範囲は、桁端部、下フランジ部（腹板との接合部を含む）、高力ボルト継手部、水平補剛材や垂直補剛材及び横構や支承部などの２次部材とする。

（解説）

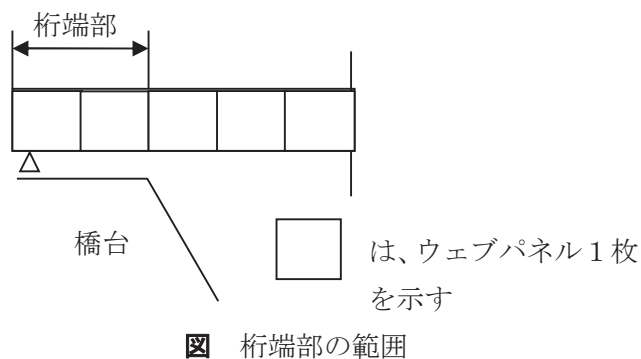
洗浄範囲は、付着塩分が橋梁全体に付着すると考えると、橋梁全体の洗浄が通常である。しかし、洗浄の目的は塗膜の長寿命化であり、洗浄費用と塗替え費用との比較検証により実施されなければならない。また、腐食損傷が生じやすい部位は、既往の知見から桁端部、高力ボルト継手部、下フランジなどのエッジ部、水平補剛材や垂直補剛材近傍、横構や支承などの２次部材などである。

したがって、洗浄費用の縮減と洗浄効果を最大限に活用するため、洗浄箇所は、桁端部、高力ボルト継手部、主桁や横桁の下フランジなどのエッジ部の他、水平補剛材や垂直補剛材近傍、２次部材（横構、対傾構、縦桁、支承）とする。これは、エッジ部や継手部の塗装寿命が腹板一般部に比べて短い傾向にあるが、桁端部や継手部の洗浄によって腹板一般部の塗装寿命まで延命化を図ることによって、効果的・経済的な塗装塗替えを行うことを目標としている。

なお、桁端部の範囲は、支承部から橋台（護岸）縁端までの位置とする。しかし、護岸法面等では塩分の吹上により法面直上の主桁に多量の塩分が付着しやすいため、腐食状況または現場判断により、桁端部の範囲を延長することが望ましい。



写真 護岸直上のウェブと下フランジ境界の腐食と破断



下フランジ部の範囲は、下フランジ及び下フランジから高さ200mmまでの腹板とする（箱桁も同様）。

高力ボルト継手部の範囲は、連結板最大幅に両側100mmを加えた範囲とする。水平補剛材や垂直補剛材も同様の幅をとる。

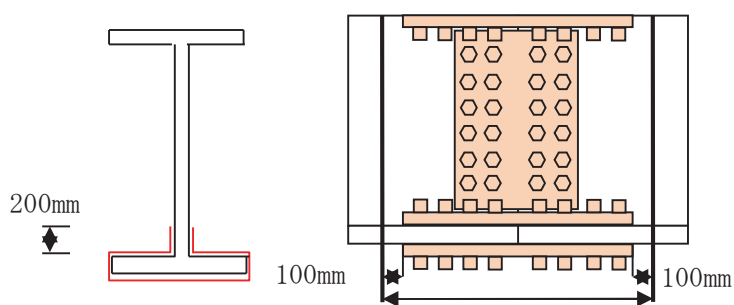


図 下フランジ部の範囲 **図** 高力ボルト継手部の範囲

5. 洗浄頻度

洗浄頻度は、定期点検対象橋梁に合わせて実施する。

（解説）

洗浄頻度を定期点検にあわせて実施することは、腐食範囲、汚れの範囲などが明確になることや、橋梁点検車やリフト車などにより作業足場として兼用することができるため、適切に洗浄することが可能となる。また、補修工事などで足場がある場合には、その時期にあわせて行うことが重要である。

洗浄時期は、概ね5月から6月の梅雨時期や台風通過後とし、最も飛来塩分の多い冬季を避けることが望ましい。

6. 実施体制

1 橋当たりの洗浄作業班の編成人員は、洗浄指導員、洗浄員、高圧洗浄機操作員の計3名を基本とする。

(解説)

1) 編成人員

洗浄作業の基本編成人員を洗浄指導員1名、洗浄員、高圧洗浄機操作員としたが、交通規制や連絡人員が必要な場合には、事務所と協議の上、決定する。歩廊型橋梁点検車の歩廊操作を行う場合は、ゴンドラの資格（特別教育）を持つ洗浄指導員もしくは洗浄員が行う。

2) 配置

歩廊型の橋梁点検車を使用した場合の人員配置の例を写真に示した。

洗浄指導員及び洗浄員は歩廊上で洗浄作業に当たり、橋面上の高圧洗浄機操作員は洗浄機、使用水の供給、発電機等の機材の動作に当たる。



写真 洗浄人員配置例

橋梁洗浄は、架設状況、現場状況、交通状況によって定まる。以下に、地上の場合、橋梁点検車使用の場合、リフト車使用の場合による標準的な編成人員を示す。

表 橋梁洗浄の編成人員

	地上	橋梁点検車	リフト車	備考
洗浄指導員	1	1	1	
洗浄員	1	1	1	
高圧洗浄機操作員	1	1	1	
橋梁点検車運転員		1		
橋梁点検車操作員		1		
リフト車運転員			1	
交通整理保安員		5	5	参考人数
合計	3	10	9	

7. 使用機材・装備

洗浄作業の実施にあたっては、付着塩分の除去が可能な機材を使用する。

(解説)

1) 洗浄機

洗浄機は、吐水量が10リットル/分程度、圧力が5MPa程度のものを使用するのが良い。

洗浄機の例を右表に示した。

高圧洗浄機は、上記の能力を確保するため、吐出圧力7Mpa以上、吐出量20リットル/分以上が望ましい。

2) 単位吐水量

m^2 当り10リットル程度の水量は必要となるので、作業時間等を考慮し機材を選定する。**右表**の機械の場合、10リットルの吐水に要する時間は、10リットル / 5.7リットル×60=105秒である。この時間は、洗浄ガン（ノズル）や、機種の設定により変わるため、下図の方法で確認するのが良い。

表 洗浄機の例

名称	高圧洗浄機100V
諸元	
全長×全幅×全高	430×710×870 (mm)
乾燥重量	43 (kg)
吐水量	5.7 (リットル/min)
圧力	3.9 (MPa) - 3.5 (MPa)
写真	

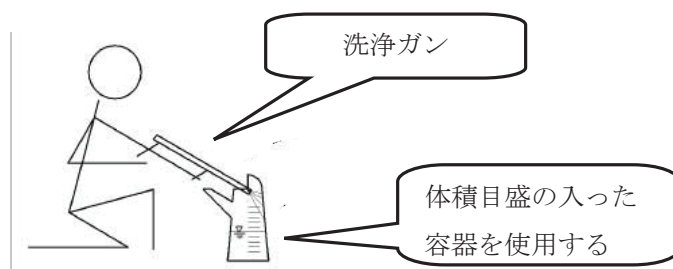


図 吐水時間測定要領

図の要領で2リットルの水が容器にたまる時間 T 秒を測る。10リットルの水の吐水にかかる時間 T_{10} は $T_{10} = 5 \times T$ となる。**上表**の洗浄機の例では、 $T=20$ 秒と計測されたとすると、 $T_{10} = 5 \times 20 = 100$ 秒となる。

3) 主な使用機器・装備

主な使用機器・装備を下表に示した。

表 洗浄作業に使用する主な機材・装備

N o	工種	品 名	数 量
1	機材	洗浄機	1
2		発電機(ガソリン) 2k v	1
3		ガソリンタンク	1
4		手動注入ポンプ	1
5		電気ドラム	1
6		水タンク等	1
7		マスキングテープ	1
8		アクリル囲板等	1式
9		ビニール袋大120cm角以上	多数
10		ステンレス桶・プラケース等	1式
11		ストップウォッチ	1
12		オイル計測容器等	1
13		PP容器 (塩分採取)	3
14		漏斗	1
15		集水装置	1式
16		脚立	1
17		投光器	1
18		ウエス	1
19		カメラ	1
20	装備	保護メガネ 他装備は橋梁点検に準じる	1

8. 洗浄方法

洗浄方法は、常温水を使用した溶解除去を基本とする。洗浄水の処理が困難な場合はモップなどの乾拭きによる塩分除去を行う。

(解説)

洗浄は、常温水を使用した溶解除去を基本とする。しかし、環境保全上、洗浄水の処理が必要となる場合、または処理が困難な場合などは、モップなどの乾拭きによる塩分除去を行う。モップによる乾拭きは、下フランジなどに付着した多量の塩化物イオンを含む堆積物を除去する方法として、有効な手段である。現場条件や作業条件などにより作業上常温水を使用した溶解除去より有利と考えられる場合は、モップによる乾拭きを選択する。

洗浄方法は、スチーム洗浄など効果的な手法も開発されており、これらの手法を採用する場合には、事務所と協議の上、使用する。



写真 高圧洗浄機による洗浄状況



写真 モップによる洗浄状況

<参考資料>

右上表に、高圧洗浄機による洗浄効果を示す。洗浄前には、多量の付着塩分が付着しているが、洗浄によって50mg/m²以下に収まっている。

右下表に、モップ（乾拭き）による洗浄効果を示す。モップによる拭取りも一定の効果があることがわかる。モップに水を浸み込ませた場合、水に溶け込んだ塩分が桁に残るため、1回目の拭取りで50mg/m²以下に収まらない場合があった。

表 高圧洗浄機による洗浄効果 (mg/m²)

測定箇所	洗浄前	1回目
①下フランジ上面	1,999	42
②下フランジ下面	727	17
③ウェブ面(下フランジ近傍)	353	9

表 モップ（乾拭き）による洗浄効果 (mg/m²)

測定箇所	洗浄前	1回目
①下フランジ上面	1,700	15
②下フランジ下面	628	22
③ウェブ面(下フランジ近傍)	810	38

9. 洗浄水

洗浄は、塩分除去の目安値以下の塩分濃度の水を使用し、規定の水量で対象部位を洗う。対象部位を洗浄した水は、必要に応じて導水する。

(解説)

洗浄水は洗浄対象 m^2 当り10リットルを目安とする。河川の水を使用する場合には、事前に使用水の塩分濃度を検知管等(下図)で確認の上、使用する。また、タンク等に洗浄水を貯めたのちに使用する場合はタンク内の塩分濃度も確認する必要がある。

現地試験のデータによれば洗浄後の塩分濃度が50mg/リットル程度、水道水が20mg/リットル程度であった。河川水を使用する場合には、50mg/リットルを使用の可否の目安とする。

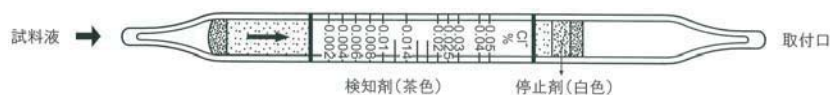


図 検知管の例

10. 濁水処理

洗浄時に発生する濁水は、必要に応じて適切な方法で回収、処理を行う。

(解説)

洗浄作業により発生する洗浄水は、特定事業所からの排水ではないため、水質汚濁防止法、排水基準を定めた条例等には抵触しない。また、橋梁洗浄による浮遊物質は砂礫、酸化鉄が考えられ、通常有害物質は含まれない。よって、管理地内の地表上での洗浄水は雨天時の橋面排水と同様と考え、特に回収はしないものとする。

しかし、洗浄により発生した濁水について、下記の場合は適切な方法により回収・処理を行うものとした。

- ① 河川への放水による影響はないとは言えないため、濁水処理を行うものとする。
- ② 洗浄箇所の周辺に民家、民地などが存在し、洗浄水の飛散・流出が影響を与えると懸念される場合とする。
- ③ 桁下が道路（跨道橋）の場合で洗浄水が供用へ支障を与えると懸念される場合とする。
- ④ その他桁下交差物管理者・関係者の意向による場合とする。

橋梁点検車を使用した場合の集水のための水受の例を写真に示す。水受に溜まった濁水は、一旦橋面上にポンプアップし、地表面に導くものとする。

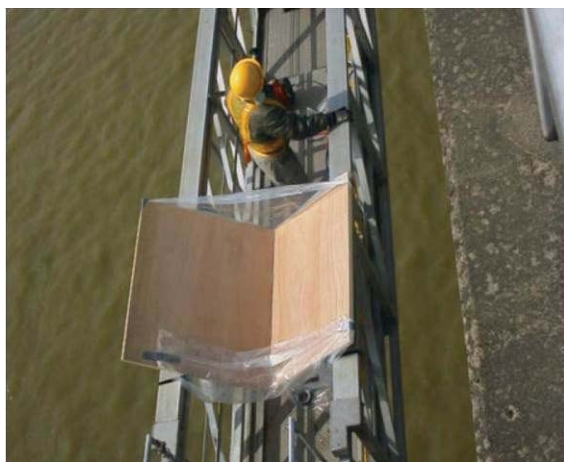


写真 水受の例



写真 水受下のポンプの例

11. 洗浄確認方法

洗浄作業の開始前、終了後に、対象部位の塩分付着を測定しなければならない。

(解説)

1) 目的

橋梁の洗浄は、橋梁表面に付着した塩分を洗い流すことにより、塩害による劣化を未然に防止する効果が期待できる。洗浄作業は、洗浄機を用いて橋梁に水をかけるという単純な作業である反面、洗浄作業者の作業内容により洗浄効果が左右されやすい。

そこで、橋梁の洗浄作業の際に付着塩分量を計測することにより、洗浄作業を適切に実施したことを把握・確認する。

2) 試験の頻度と箇所

付着塩分量は下表の頻度と箇所とする。

表 洗浄効果確認試験の頻度と箇所の例

項目	内容
頻度	洗浄前と洗浄後
試験箇所数	桁端部：桁片面あたり1箇所を原則 下フランジ、高力ボルト継手部：桁1本あたり1箇所を原則

3) 付着塩分量

確認試験は、洗浄前と洗浄後において試験を実施し、付着塩分量を計測し、洗浄効果を把握するものである。洗浄効果の確認は、50mg/m²とする。

注) 洗浄効果確認試験における付着塩分量の基準値は、NEXCOを参考にした。

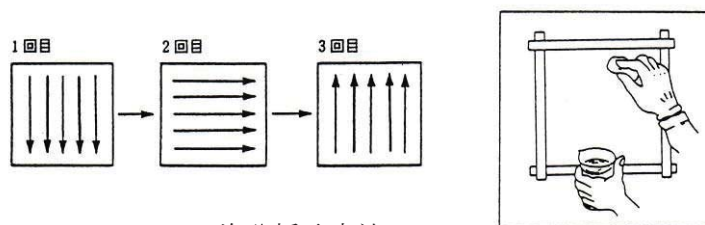
4) 洗浄効果の確認試験方法

洗浄効果の確認は、付着塩分計またはガーゼ拭き取り法で行う。

ガーゼ拭き取り法は、塗膜表面の塩分をガーゼで拭き取り、脱イオン水に溶解させ、塩素イオン検知管にて測定する方法である。ガーゼ拭き取り法の測定要領の概略を以下に示す。

- ① 測定箇所を正確に測り、マスキングテープなどにより仕切る（測定箇所面積は、通常 0.25 m²）。

- ② 精製水で十分洗浄したビニール手袋あるいはポリエチレン手袋をする。
- ③ 精製水で十分洗浄したビーカーに精製水 100mlを入れる。
- ④ 適当な大きさのガーゼを精製水で湿潤させる。
- ⑤ ④の湿潤ガーゼで測定箇所面を縦横十分に拭く。この時、測定面以外に水がたれないよう注意する。



塩分採取方法

- ⑥ 拭ったガーゼを精製水の入ったビーカーに入れる。
- ⑦ ⑤と⑥の操作を 3 回繰り返す。
- ⑧ ビニール手袋を 50mlの精製水でよく洗い、ビーカーの 100mlに加える。
- ⑨ 塩素イオン検知管（以下検知管という）の両端をヤスリで切り、検知管に付いている目盛り数値の小さい方を下にして、ビーカーの精製水中に入れる。
- ⑩ 液が検知管の上端まで浸透したならば、検知管を引き上げ、変色層（塩素イオンがあれば検知管内に白色の変色層ができる）の先端の目盛りを読み取り塩素イオン濃度（ppm）を測定する。
- ⑪ 測定箇所面積（ m^2 ）、液の体積（ml）、塩素イオン濃度（Cl、 $ppm = mg/m^3$ ）から付着塩分量（NaCl mg/m^2 ）を算出する。測定箇所面積が $0.25m^2$ に、液の体積が 150ml、塩素イオン濃度が ppm の場合、塩素イオン濃度の値は付着塩分量の値と同じになる。

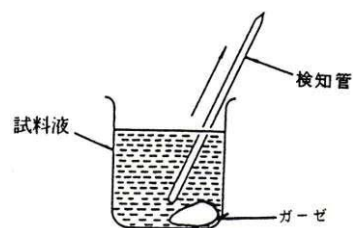


写真 ガーゼ拭き取り法による付着塩分量測定状況



ガーゼ拭き取り状況
(ウェブ)

ガーゼ拭き取り区分
(下フランジ上面)

検知管による付着塩分量測定

12. 記録

洗浄を実施した場合には、洗浄結果を記録する。

(解説)

洗浄前の塩分量、洗浄後の塩分量を11. 洗浄確認方法により確認し、記録する。この他、洗浄作業の概要について記録するものとする。

記録票の(例)を次ページの表に示す。

表 洗淨記録の例

試験日		天気		気温：
事務所名		出張所名		
路線名		整理番号		現道・新道
対象橋梁名		橋長		
洗淨方法				
使用機材				
使用建設機械	交通規制（有・無）			
洗淨時間	時 分 ～ 時 分			
作業人員				
洗淨範囲				
使用水量				
洗淨・清掃効果 の確認写真	写真 洗淨前			
	写真 洗淨後			
特記事項				

Ⅲ. 技術報告

1. 土木鋼構造用塗膜剥離剤技術

土木鋼構造用塗膜剥離剤は、複数の製品が開発されてきており、鋼道路橋の塗替え塗装工事などにおいて、粉じんや騒音を発生させずに、既存の塗膜を安全に除去することを目的として採用されることが多くなっている。このような状況下で、下記表に示すように、国土交通省では、土木鋼構造用塗膜剥離剤技術について試験等を実施している。採用に当たっては、試験結果（暫定版）や、土木鋼構造物用塗膜剥離剤ガイドライン（案）（平成29年3月、土木研究資料4354号）を参考に検討を行う。下記に、試験結果（暫定版）のアドレスを示す。

表 試験実施対象技術一覧表

番号	技 術 名	NETIS 番号	応 募 者 名
1	アクアリムーバーエコ工法	CB-180010-A	菊水化学工業株式会社
2	インバイロワン工法	KT-060135-VE (掲載期間終了)	インバイロワンシステム株式会社
3	エコクリーンバイオ	CB-170030-A	ヤマダインフラテクノス株式会社
4	EPP(エコ・ペイント・ピーリング)工法	KT-150081-A	JFE エンジニアリング株式会社
5	ネオハクリ工法	CG-170006-A	株式会社ネオス
6	ネオリバー泥パック工法	KK-070037-VE (掲載期間終了)	三彩化工株式会社
7	バイオハクリX-WB	KT-160043-A	山一化学工業株式会社
8	パントレ工法	KK-160028-A	好川産業株式会社・株式会社ソーラー
9	ペリカンリムーバー	KK-170037-A	大伸化学株式会社
10	リペアソルブS工法	CB-170013-A	三協化学株式会社

○試験結果(暫定版)の掲載(NETIS 維持管理サイト)<http://www.m-netis.mlit.go.jp/>

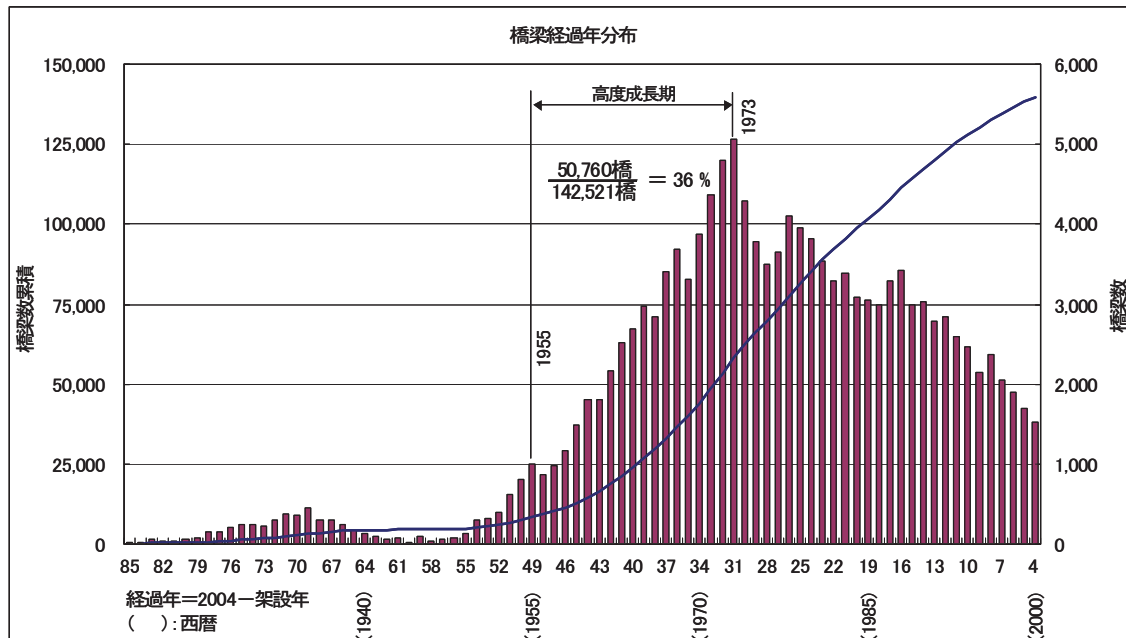
次ページに、インバイロワン工法について紹介する。

環境対応型現場塗膜除去技術

ーインバイロワン工法ー

1. はじめに

わが国は、高齢化社会を迎え活力は低下し、国民の社会経済活動に不可欠な重要な社会基盤である橋梁などは、これまでのように老朽化したからといって直ちに架け替えることは困難となると想定される。このため、橋梁の機能を長期間維持するための維持管理がますます重要になってくる。



図－1 道路橋ストックの高齢化（国土交通省資料）

わが国の橋梁は、図－1に示すように高度経済成長期に大量に製作供用された。このため、すでに橋歴40年を越す高齢橋が増えつつあり、これらの橋梁の更新時期をできるだけ先に延ばすことが不可欠となってきた。鋼橋の架替えの主な理由は、床版の劣化と鋼材の腐食であることから、鋼材を確実に防食することが重要である。鋼橋の鋼材防食法として塗装が大きな部分を占めており、塗装の耐久性を向上させて塗替え塗装間隔を大幅に延長することが求められている。平成17年12月に社団法人日本道路協会より発刊された『鋼道路橋塗装・防食便覧』でも、塗装の耐久性を向上させるため、本州四国連絡橋などの海上長大橋で20年以上の実績がある重防食塗装系（C塗装系：ジンクリッチペイント＋エポキシ樹脂塗料下塗＋ふっ素樹脂塗料中・上塗）を一般環境の道路橋にも適用することが示され

ている。

すでに一般塗装系（A 塗装系：油性さび止めペイント＋フタル酸樹脂塗料中・上塗、B 塗装系：油性さび止めペイント＋塩化ゴム系塗料中・上塗）が塗装されているおよそ 50,000 橋の鋼道路橋の一般塗装系塗膜を、塗替え塗装時に耐久性に優れている重防食塗装系塗膜に変更することが重要である。このためには、重防食塗装系の防食下地であるジンクリッチペイントの防食効果を最大限に発揮させるためには、すでに塗られている一般塗装系塗膜を完全に除去する素地調整程度 2 種以上の下地処理が必要である。

現場で、旧塗膜を完全に除去する方法としては、素地調整程度 1 種のブラスト工法と、素地調整程度 2 種の電動工具処理がある。しかし、電動工具処理は、作業効率が非常に悪く仕上がりにもむらが多くなるなど橋梁全面の旧塗膜を除去する工法としては適していない。また、ブラスト処理、電動工具処理ともに塗膜を粉砕して細かなダストを生じるため、塗膜ダストの飛散を完全に防止することは困難であり、有害重金属である鉛やクロムを含有するさび止めペイントを使用している旧塗膜の処理法として適当ではない。さらにこれらの処理法は騒音も大きく騒音対策も必要となる。このような旧塗膜を効率的に除去し、有害物質を含む塗膜ダストの飛散を防ぎ、さらに騒音を低減して安全かつ確実な塗膜除去法が求められている。

塗膜ダストの飛散や作業騒音などを出さない工法として塗膜はく離剤を用いた塗膜除去法がある。従来のはく離剤は、塩化メチレンなど皮膚腐食性や大気環境汚染の恐れのある溶剤で塗膜を溶解するものであるため、複層塗膜を除去するためには、何度もはく離剤を塗付する必要があるなど効率的ではなく安全性も低かった。

このような状況で有害物質を含む旧塗膜を安全かつ効率的に確実に除去する環境対応型現場塗膜除去技術－インバイロワン工法－を土木研究所と山一化学工業株式会社が共同で開発した。インバイロワン工法は、安全性の高い高級アルコール系溶剤を使用した塗膜を軟化させてはく離除去する工法である。本工法は、第 2 回ものづくり日本大賞と第 8 回国土技術開発賞最優秀賞を受賞した技術である。

2. 塗膜はく離剤

2.1 従来の塗膜はく離剤（塗膜溶解型）

従来の塗膜はく離剤は塩素系有機溶剤を主成分としたものが多く、塗付後数十分で塗膜が溶解するが、乾燥（蒸発）も極めて早いため浸透性が弱く、複層塗膜を除去するには塗付・除去の繰返し作業が必要である。また、塗付後乾燥までの時間が短く、はく離のタイミングが遅れると再付着することもある。

代表的な従来の塗膜はく離剤であるジクロロメタン（ CH_2Cl_2 ）は、沸点が 40.4°C であり、溶解性能が芳香族系溶剤より高く、合成樹脂の膨潤・溶解性に優れ、アルコールを添加することで溶解性能が増す。即効性はあるが、塗膜を構成する樹脂をばらばらに分散し溶解させるので、除去塗膜が周辺に再付着するので除去塗膜の回収率が低い。また、ジ

クロロメタンは皮膚腐食性があるほか発がん性などの毒性もあり、作業者に対する安全性や大気汚染の懸念がある。

2.2 開発したはく離剤（インバイロワン）

除去塗膜が周辺へ再付着することを抑え、回収性など取り扱いを重視して塗膜を軟化・可塑化させる高沸点溶剤とし、安全性を考慮しアルコール系溶剤を使用している。一般的に、高沸点で蒸発しにくい有機溶剤は合成樹脂フィルム（塗膜）の分子間への浸透性が弱くはく離機能は劣るが、塗膜を形成している合成樹脂の結合形態や分子量などを考慮して、数種類のアルコール系高沸点溶剤を用いて溶解性能と親和性をバランスさせ有効成分が速やかに塗膜中に移行する浸透性を有し、塗膜を軟化してはく離するような配合設計とした。

インバイロワンは、複素環状系有機化合物（ C_5H_9NO ）とアルコール系高沸点溶剤（ $C_6H_{12}O_4 \cdot C_8H_{14}O_4 \cdot C_7H_8O$ ）を主成分とし、沸点は $200^{\circ}C \sim 230^{\circ}C$ である。インバイロワンの塗膜への浸透するモデルを図-2 に示す。インバイロワンと従来の塩素系はく離剤の比較を表-1、各工法別評価の比較を表-2 に示す。

3. 塗膜はく離試験

開発はく離剤の塗膜はく離性能は、塗装試験片（ $70mm \times 150mm$ ）を用いて評価し、はく離剤の成分組成を決定してインバイロワンの基本骨格を開発した。ついで、沖縄建設材料研究施設（沖縄県大宜味村）において、『鋼道路橋塗装便覧』（平成2年版）A、B、D 塗装系を塗付した H 形鋼材試験体（幅 $300mm \times$ 高さ $588mm \times$ 長さ $800mm$ ）でインバイロワンのはく離性を検証した。これと並行して、橋梁の部材形状や架設環境が塗膜はく離作業に及ぼす影響と塗膜構成や塗膜厚によるはく離剤の適正使用量を明らかにするため、土木研究所朝霧材料観測所（静岡県富士市朝霧高原）において、A 塗装系と B 塗装系を塗装した実大桁試験体（長さ $6.5m \times$ 桁高さ $2.5m \times$ 幅 $3.5m$ ）と塗替え塗装時に沖縄県、熊本県、大阪府、富山県などの実橋で試験的にインバイロワンによる塗膜除去を行った。

また、北海道において、完全防護した足場内で、インバイロワン工法と従来の塗膜除去工法である動力工具処理、ブラスト処理について、塗膜除去時の粉塵発生量をデジタル粉じん計（柴田科学 P-5L）で測定した。その結果、表-3 に示すようにインバイロワン工法で発生する粉塵量は、ブラスト工法に比べて $1/400$ 程度、動力工具（3 種 C）に比べて $1/30$ 程度と非常に少なく、ほとんど発生しないことが明らかとなった。また、塗膜はく離時の騒音もインバイロワン工法は $67dB$ 程度であり、ブラスト工法は $74 \sim 84dB$ であった。なお、この騒音には、道路交通や足場内の作業者の移動などの音も含んでいる。

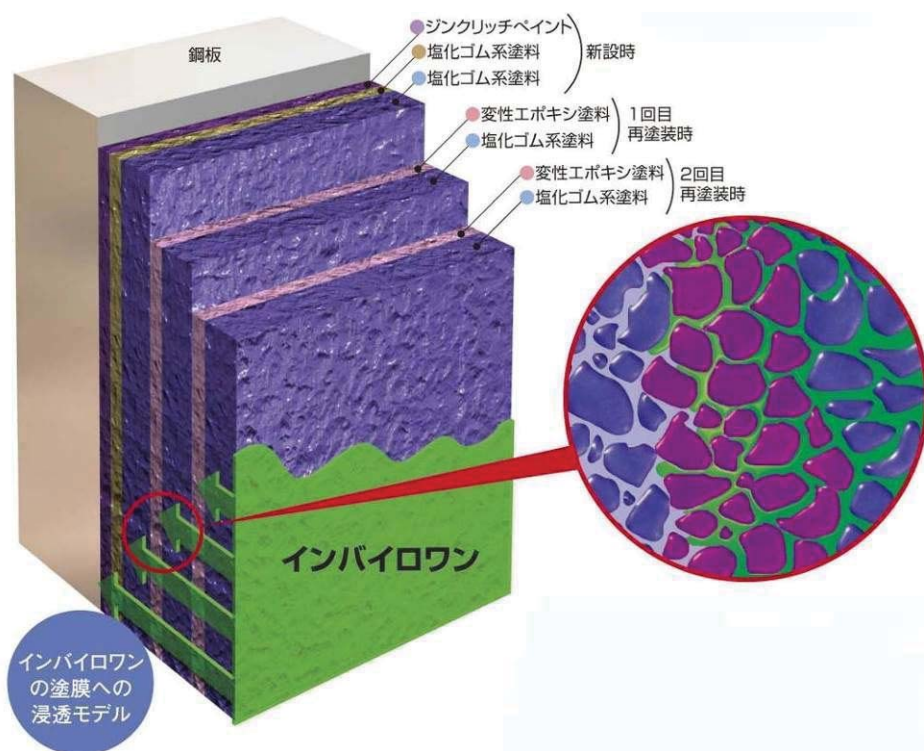


図-2 インバイロワンの塗膜への浸透モデル

表-1 従来はく離剤との比較

	従来はく離剤 (塩素系はく離剤)	インバイロワン
主成分	塩素系有機溶剤	アルコール系有機溶剤
塗膜への効果	溶解型	浸透・軟化変質型
皮膚刺激性	強い刺激がある	ほとんどない
消防法	非該当	第4類第3石油類
労働安全衛生法	第2種有機溶剤	非該当
PRTR法	第1種指定化学物質	非該当
生分解性	無し	有(95%以上: BOD法28日間)
除去塗膜の処理	特別管理産業廃棄物	廃プラスチック類※1

* 1・旧塗膜に鉛・クロムなどの有害物質が含有している場合は特別管理産業廃棄物

表-2 各工法別性能評価の比較表

項 目		生産性	経済性	作業環境	有毒性	低公害性	総合評価
塗膜除去工法							
機械的工法	ブラスト工法	△	×	×	△	×	×
	電動工具処理工法	△	×	×	△	×	×
	ウォータージェット工法	△	×	×	△	×	×
はく離剤工法	従来はく離剤工法	△	△	×	×	×	×
	インバイロワン工法	◎	◎	○	◎	◎	◎

評価方法：◎＞○＞△＞× （相対比較）

表-3 塗膜除去工法の粉塵発生量

	塗膜除去工法	対象塗膜	粉塵量 (mg/m ³)
完全防内	インバイロワン	A 塗装系	0.34
	インバイロワン	B 塗装系	0.50
	動力工具3種C	B 塗装系	18.00
	ブラスト工法（製鋼スラグ）	A 塗装系	180.00
	ブラスト工法（ガーネット）	B 塗装系	200.00

なお、インバイロワン工法で塗膜を除去した鋼面は、素地調整程度2種相当であるが、さびは除去できない。しかし塗膜が除去されているため、さびの存在が明確になるので電動工具でさびを容易に除去することができる。さびを除去した後、鋼面に残ったインバイロワンはウエスで拭き取り有機ジンクリッチペイントを塗装することができる。

塗膜除去後の鋼材面のインバイロワンの残存の有無は、インバイロワンに添加している蛍光染料がブラックライト（紫外線）を照射することによって確認できる。インバイロワンの残存確認評価試験装置を写真-1に、インバイロワンの残存確認の例を写真-2に示す。

なお、ウエスで拭き取る程度で有機ジンクリッチペイントを塗装しても塗膜の耐久性にほとんど影響しないことを腐食促進試験や暴露試験で確認している¹⁾。

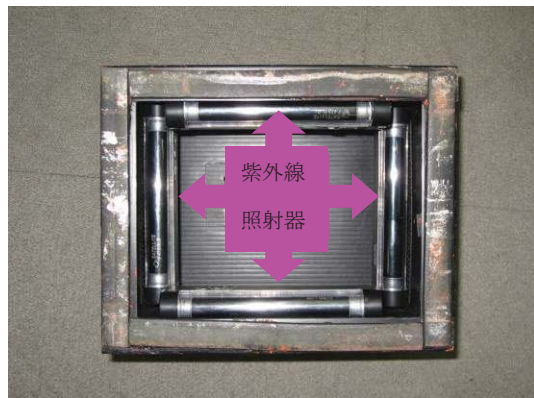
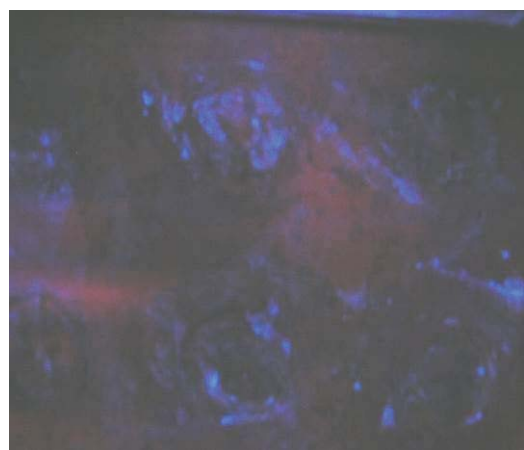
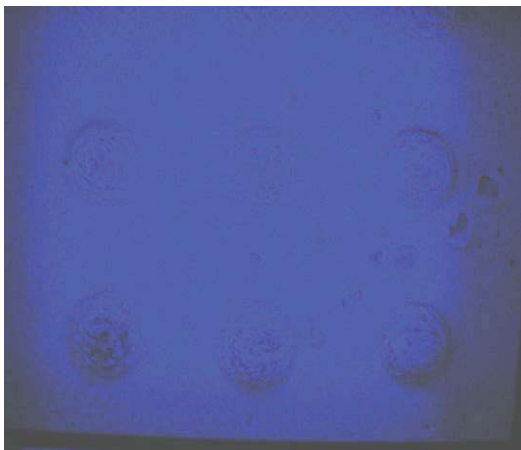


写真-1 インバイロワン残存性評価試験装置



インバイロワン塗付直後

塗膜除去後のインバイロワンの残存状況

写真-2 インバイロワンの残存確認の例

インバイロワン工法による塗膜除去の一連の工程を**写真-3**に示す。



①インバイロワン塗付前



②ローラーでインバイロワン塗付



③インバイロワン塗付完了



④塗付後 18 時間
(塗膜が軟化して自重で一部はく離している)



⑤スクレーパーで塗膜除去



⑥塗膜除去完了

写真-3 インバイロワン工法の塗膜除去工程

これらの検討結果を取りまとめて、インバイロワン工法施工マニュアル（案）²⁾を作成した。

4. まとめ

インバイロワン工法は、A 塗装系やB 塗装系などの一般塗装系塗膜をより耐久性に優れた重防食塗装系に変更する際に、鉛やクロムなどの有害重金属を含む塗料が使用されている塗膜を容易に確実にはく離除去することができ、塗膜ダストの飛散もほとんどなく、電動工具処理やブラスト処理に比べの騒音も大幅に低減できる優れた工法であることが確認された。

今後、一般塗装系が適用されている多数の鋼橋の防食性を向上させて、鋼橋の機能をできるだけ長期間維持するために一般塗装系塗膜を重防食塗装系に変更する際には、環境対応・現場塗膜除去工法であるインバイロワン工法を適用して、有害物質を含む塗膜を安全かつ確実に除去し、重防食塗装系塗膜に替えて鋼橋塗膜の耐久性を向上させて鋼橋の機能確保に貢献することを期待する。

インバイロワン工法施工マニュアル（案）

1. 総則

1.1 目的

本マニュアルは、鋼道路橋など鋼構造物の一般塗装系塗膜を耐久性に優れた重防食塗装系塗膜に塗替える際に必要な一般塗装系塗膜を完全に除去する素地調整程度 2 種以上の塗装下地を得るための塗膜除去技術「インバイロワン工法」を、安全かつ適切に実施するための施工方法及び品質管理方法を示すことで、重防食塗装系の塗膜性能を確保し、鋼構造物塗装の LCC を低減することを目的とする。

1.2 適用範囲

本マニュアルは、鋼道路橋、鋼鉄道橋、鋼製水門など鋼構造物に施されている一般塗装系塗膜を重防食塗装系塗膜へ変更する際、「インバイロワン工法」を用いて旧塗膜の一部もしくは全てを除去する工事に適用する。

1.2.1 適用塗装系・塗膜厚

インバイロワン工法は、一般塗装系（フタル酸系、塩化ゴム系）塗膜に適用できる。また、一般塗装系以外の塗装系についても適用できるものがある。

1.3 用語

塗膜はく離剤：塗膜表面に塗付け、主成分の浸透力・溶解力などで、塗膜を溶解・軟化させ、下地との結合力（接着力）を弱めて、塗膜を除去する機能をもつ薬剤
従来型はく離剤：主成分に塩素系及び芳香族系溶剤を使用したはく離剤。皮膚腐食性、環境毒性など安全性に懸念がある

塗付量 (kg/m²)：対象塗膜のはく離に必要なはく離剤量（膜厚・塗膜構成によって変わる）

軟化時間 (h)：はく離剤の塗付後、軟化するまでの所要時間（膜厚、塗膜構成、気温によって変わる）

高級アルコール系：アルコール類の中で炭素数が 6 (C₆) 以上の化合物の総称で、一般的に安全性が高く、自然界での分解性が高い化合物が多い

染料：はく離剤の塗付部と未塗付部の判別、及び塗付量の目安のための染色剤

PRTR 法：化学物質排出把握管理促進法（化学物質による環境汚染及び人体への健康被害を未然に防止するため、事業者が積極的に環境保全に参画することを目的とする法律）

窒素化合物：化学構造の中に N（窒素）を含む化学物質

培養試験区：培養試験において実施した回数（N 数）

パスレベル：合格ライン

塗膜有害物質：一般塗装系塗膜の防せい顔料などに使用されている、鉛・クロムなどの有害物質や、可塑剤として使用された PCB などの有害物質

素地調整程度 2 種以上：重防食塗装系の下塗（有機ジンクリッチペイント）が塗付可能な鋼板で、鋼素地が露出し、塗膜がほとんど残っていない状態
湿潤シート状：塗膜が溶解せず、インバイロワン成分が染込み、湿ったシート状に軟化した状態

2. インバイロワン

2.1 特徴

従来のはく離剤は、主成分として毒性が懸念される塩素系溶剤（塩化メチレン）、芳香族系溶剤（BTX）を使用していたが、インバイロワンは、高級アルコール系溶剤を主成分としているので作業者への安全性が高く、環境中で容易に分解するなど、総合的に安全性が高い。

2.2 塗膜除去機能

インバイロワンは、塗膜の溶解を抑え湿潤シート状に軟化させる。また、一回のはく離剤塗付作業で塗膜深部まで軟化させることにより、鋼構造物防食塗膜（多層構造の合成樹脂塗膜）の効率的な除去・回収が可能となった。

2.3 安全性

インバイロワンの安全性は、MSDS などで確認できる。

3. 事前調査

3.1 事前調査の必要性

インバイロワン工法で塗膜をはく離除去する際には、インバイロワンの適性、使用量、産業廃棄物発生量などを把握するため、事前橋梁の塗装に関する関係図書の収集、塗膜厚調査、及びはく離試験を行う。

3.2 塗膜調査

- （１）設計図書、橋梁台帳、橋梁や塗装に関するデータベースなどの関係図書を収集し、対象橋梁の塗装履歴を調査する。
- （２）塗膜調査は、塗膜劣化程度及び塗膜厚を測定する。

3.3 現場気象調査

インバイロワン工法の施工が可能か判断するため、対象橋梁付近の施工時期の気温・湿度を調査する。

3.4 塗膜分析

有害物質（鉛、六価クロム、PCB など）の有無などを事前に把握し、塗膜廃棄物の㎡当たり発生量及び必要な防護対策の参考とする。

3.5 廃棄物などの取り扱い

有害物質を含むはく離した塗膜は、関係法令に則り、適切に処分・処理する。

3.6 はく離試験

塗膜はく離試験は、インバイロワン使用量、軟化時間、及び鋼材素地の状態を確認するために実施する。

3.7 インバイロワン残存確認

インバイロワン工法で塗膜をはく離除去した後の鋼材にインバイロワンが残存していないか確認する。

3.8 塗膜はく離試験の工程

塗膜はく離試験を適切に行うために、塗膜はく離試験工程表を作成する。

4. 塗膜除去工

4.1 施工計画

事前調査結果に基づいて塗膜除去工を適切に実施するため施工計画を作成する。

4.2 仮設工

- (1) 足場は鋼道路橋の構造に適した足場を架設する。
- (2) 有害物質を含む塗膜除去の作業をする際の足場は、板張り防護工を原則とし、塗膜飛散防止のためのシート防護工の取付けができる足場構造が望ましい。
- (3) 耐震補強などで部分的に塗膜除去する場合は、移動足場や橋梁点検車の適用を検討する。

4.3 塗膜除去工

- (1) インバイロワンの塗付量や塗付回数は、施工計画通り施工する。
- (2) 施工計画に記載された軟化時間経過後に塗膜を除去する。
- (3) インバイロワンの塗付方法は、橋梁構造や架設環境及び季節などを考慮して決める。

4.4 作業員の安全管理

インバイロワンは労働安全衛生法の適用を受けないが、塗膜に鉛・クロムが含有されている場合は、労働安全衛生法「含鉛塗料のかき落としの業務」に該当するため、作業員安全確保のために必要な防護・保護具を着用する。

4.5 仮設材の撤去

仮設材の撤去時には、塗膜有害物質を含む塗膜除去に使用したシート材及び足場材に塗膜が付着し、それらが安全に除去できない場合は、有害物質の汚染物として取り扱う。

4.6 環境安全管理

有害物質を含む塗膜除去を行う場合、環境基本法をはじめ各関係法規などを遵守し、環境汚染の防止に努める。

付属資料－1 廃棄物の取り扱い

付属資料－2 BOD 法による生分解度試験

付属資料－3 魚類急性毒性試験

【参考文献】

- 1) 『環境にやさしい塗膜はく離工法による塗替え塗装適正の評価』第30回鉄構塗装技術
討論会予稿集 稲川友康、臼井明、守谷進 平成19年10月
- 2) 『鉛・クロムなどの有害物質を含有する塗膜の安全な除去に関する共同研究報告書－
鋼構造物防食塗膜、環境対応現場塗膜除去技術－インバイロワン工法施工マニュアル
(案)』共同研究報告書 第374号
独立行政法人土木研究所、山一化学工業株式会社 平成19年9月

2. 電磁誘導加熱（I H）による鋼橋の塗膜剥離工法

1. はじめに

鋼橋の塗装塗替え時における既存塗膜剥離工事では、従来のブラスト工法や塗膜剥離剤工法と比べ、周辺および作業環境対策や作業の高効率化として有効とされる電磁誘導加熱による塗膜剥離工法（以下、「I H塗膜剥離工法」と称す）の適用事例が増加している¹⁾²⁾³⁾。

I H塗膜剥離工法は、塗装剥離対象とする鋼橋の鋼部材を加熱することで塗膜を剥離させるものである。一般に塗装塗替え工事は供用下で施工を行うことから、対象部材の過加熱には十分注意し、鋼橋本体部材に損傷を与えないように細心の注意を払う必要がある。このようなことから、鋼橋においてI H塗膜剥離工法を安全かつ効率的に適用すべく各種の実験や試験施工が行われ、施工マニュアルの整備に至っている。

本技術資料では鋼橋における塗膜剥離作業を対象に、鋼橋に損傷を与えること無く、かつ効率的に塗膜剥離作業が行えるようにすることを目的として、これまでの各種実験や試験施工結果を踏まえて、I H塗膜剥離工法の原理や作業手順、留意点等をまとめたものである。ここで、本資料に記載の実験検討結果は、既に公表されている参考文献4)、5)から引用したものであり、詳細は参考文献を参照されたい。

なお、本I H塗膜剥離工法は、従来のブラスト工法や塗膜剥離剤工法とは異なり、鋼板を加熱して塗膜を剥離させる方式であり、鋼板を加熱する方式としては唯一の技術である。また、当工法は、NETIS「電磁誘導加熱による鋼構造物の塗膜剥離工法」（登録番号CB-130001-A）、特許「塗装剥離方法」（登録第5896849）に登録されている。

2. 本工法の概要と特徴

これまでの塗装塗替えにおける塗膜除去方法については、一般にグラインダ等を用いた3種ケレンであるが、再塗装後の耐久性を考慮するとより高いグレードのケレンが求められ、従来工法としては、ブラストや塗膜剥離剤を用いた工法が挙げられる。しかしこれらの工法は、騒音や粉じんの発生、廃材処理、施工時間などの課題があり、特に都市内高速道路における騒音問題や、有害物質を含む塗装材料の産廃問題などからブラスト工法は本格採用されにくい面がある。

I H塗膜剥離工法とは、**図1**に示すように電磁誘導加熱式塗膜除去装置の加熱ヘッドにより鋼材表面を加熱することで塗膜と鋼板の付着を破壊させ、その後スクレーパーなどを用いて塗膜を除去する工法である。一般に塗膜剥離が生じる鋼板温度は140～240℃とされている。特長として、加熱後すぐに塗膜除去が可能となること、作業時には粉じんや騒音がほとんど発生しない（発動発電機の作動音が騒音と言える程度）こと、剥離した塗膜のみを容易に回収することが可能であることなど、従来のグラインダ工法やブラスト工法などと比べて、作業環境や周辺環境への負荷が小さい工法であることが挙げられる。

図 2 に I H 塗膜剥離装置の構成を示す。本資料で示す装置は、ノルウェーの RPR Technologies 社のもので、本体および本体にケーブルで接続されるコンデンサ、加熱ヘッドで構成される。これらの他には電源（400V、150kVA 程度）と冷却装置が必要である。また本体と加熱ヘッドまでの距離は最大 100m まで対応が可能である。冷却水タンクなども含めた装置一式は、4 トントラック 2 台程度で運搬が可能であり、機動性にも優れている。

加熱条件については、加熱装置に加熱ヘッドの出力電圧が調整できる機能が組み込まれており、状況に応じて設定することになっているため、本作業前には予備的な施工試験を行い、塗膜の剥離状況や鋼板温度等から適切な条件を決める必要がある。

3. 性能確認試験結果の概要

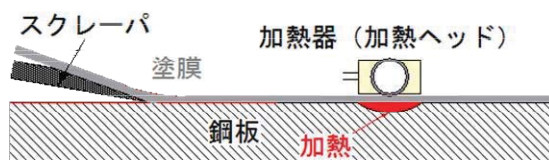
鋼橋への適用性を確認するため、基本的な塗膜剥離性能の確認試験を行った。まず、塗膜の剥離性能を確認するため、鋼板の板厚や施工速度が剥離性能に及ぼす影響の把握、鋼板や塗膜の温度を計測する基本性能確認試験を行った。また、塗膜除去後の再塗装への影響や裏面の塗膜への影響についても調査した。次に、薄板での加熱条件の検討を行うため、鋼 I げた橋での適用を想定した加熱条件確認試験を行った。

3.1 基本性能確認試験結果

(1) 試験体

試験体は実橋から撤去された鋼製橋脚で、板厚は部位によって $t=12\text{mm}$ 、 21mm および 27mm であり、それぞれの部位で試験を行い、板厚と塗膜剥離性能の関係を調査した。試験体の既存塗膜は、表面（加熱面）が A 系塗装、裏面はタールエポキシ樹脂塗装で、膜厚はそれぞれ $330\mu\text{m}$ 、 $360\mu\text{m}$ 程度であった。

(2) 試験結果



電磁誘導により鋼板を加熱し、塗膜を剥離する工法

図 1 I H 塗膜剥離工法のイメージ

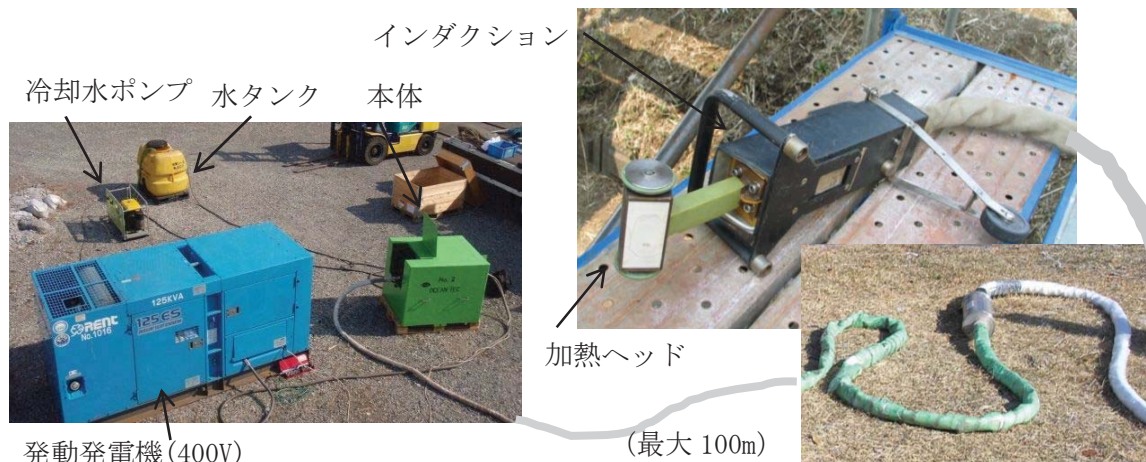


図 2 電磁誘導加熱式塗膜剥離装置の構成

(I H加熱状況)



(塗膜剥離状況)



剥離させた塗膜
(塗膜が板状に剥離)



写真2 I H塗膜剥離工法の適用試験状況

①塗膜剥離性能

塗膜剥離試験時の状況を写真2に示す。加熱速度は事前の施工試験から、 $2\sim 4/\text{min}$ とした。I H装置による加熱後、スクレーパによって塗膜が板状に剥離されていることが確認される。



(1) 下塗りの残存



(2) 2種ケレン相当

写真3 塗膜除去後の仕上がり状況

塗膜剥離後の鋼材表面は、写真3に

示すように、下塗りと考えられる塗膜が残存している。残存塗膜の膜厚は $30\sim 40\mu\text{m}$ であった。そこで、ディスクグラインダでケレンしたところ簡単に鉄肌が現れたことから、塗膜は残存していたものの加熱によって塗膜は鋼板から剥離していたものと考えられる。このように、簡単な研削工具の併用により2種ケレン相当の処理が可能であると言える。

なお、I H塗膜剥離工法による塗膜除去後に、残存した僅かな塗膜をブラスト工法で除去することで、1種ケレンへの適用も可能である。

②温度測定結果

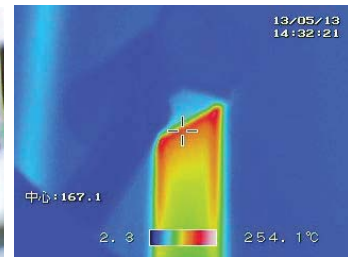
塗膜剥離試験時における鋼板の温度を計測した赤外線カメラ写真を写真4に示す。加熱範囲は局所的であり、加熱ヘッドの直下のみが加熱されていることが確認される。また、熱電対によって計測した鋼板表面の鋼板温度と板厚の関係については、図4に示すとおり、塗膜剥離時の鋼板表面温度は板厚によらず概ね一定であることが確認された。

③再塗装塗膜への影響

表1に鋼板の既存塗膜 ($t12\text{mm}$ 、 21mm) および加熱面再塗装部 ($t12\text{mm}$) の付着強度試験結果を示す。電磁誘導加熱による塗膜除去後にグラインダ仕上げを行い、再塗装を行った部位での付着強度は $9.3\text{N}/\text{mm}^2$ であった。一般に塗膜に



(1) 可視写真



(2) 赤外線写真

写真4 加熱状況

求められる付着強度の 2.0N/mm^2 と対比すると十分な強度があり、IH塗膜剥離工法で塗膜を除去した後の再塗装塗膜の付着に問題はないと考えられる。

④鋼材への影響

図5に鋼材のビッカース硬さを加熱面から板厚方向に0.1mm間隔で計測した結果を示す。加熱面での硬度増加はなく、加熱が鋼材材質に及ぼす影響は無かったものと考えられる。

3.2 加熱条件確認試験

鋼Iげたのウェブのように、板厚が薄い場合には、加熱によって鋼板の変形が懸念されることから、薄鋼板に対する加熱条件を検討するための基礎実験を行った。

(1) 試験体

試験体は、図6に示すようにウェブ厚9mm、ウェブ高さ1,950mm、長さ2,700mmの鋼Iげた模擬試験体とした。

(2) 試験方法

加熱の間隔や加熱温度が、鋼板温度や鋼板の変形に及ぼす影響を確認するため、加熱は図7に示す順で、表2に示す3条件で試験を行った。

ここで「30秒間隔」とは1列を加熱した後、次列を加熱するまでの間隔を30秒とし、「連続」は加熱列間を連続して加熱した。加熱速度は2~4m/minとした。

(3) 試験結果

条件①、②の鋼板温度の推移を図8に示す。条件②（連続加熱）では条件①（30秒間隔）と比べ高い温度が保持された状態となっている。また、加熱によるウェブの面外変形を図9に示すが、条件②（連続加熱）と条件③（高温加熱）では、ウェブの面外変形量が最も大きく最大3mm程度であったのに対し、条件①（通常加熱、30秒間隔）では変形量が2mm程度と最も小さくなる結果となった。

このようなことから、薄板にIH塗膜除去工法を適用する場合には、適度な加熱温度で、加熱位置を連続させずに適切な間隔をおいて加熱する必要があると言える。

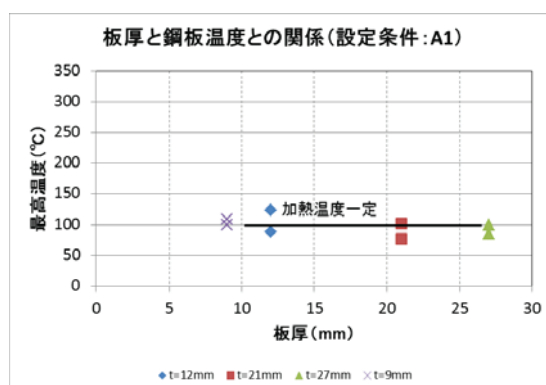


図4 板厚と鋼板温度の関係

表1 再塗装部の付着強度

板厚 (mm)	加熱前 (N/mm^2)	再塗装 (N/mm^2)	備考
12	4.6	9.3	IH塗膜剥離工法+ グラインダ仕上げ
21	8.4	—	

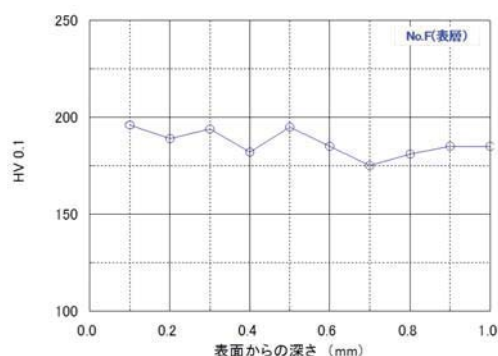


図5 鋼材硬さの計測結果

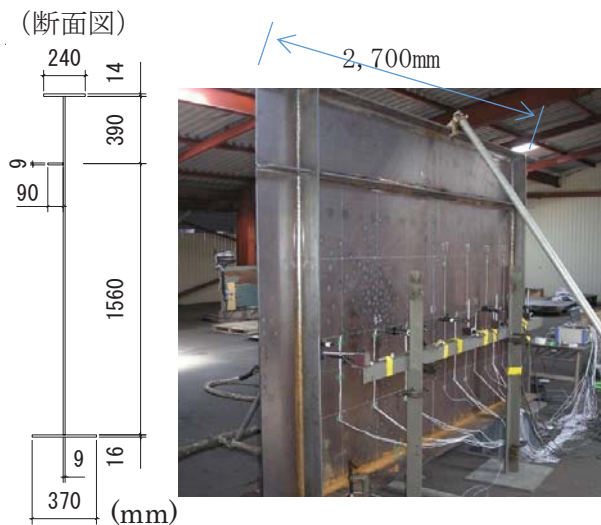


図6 鋼Iげた模擬試験体

表2 加熱条件

条件	加熱温度(°C)	加熱間隔(秒)
①	150	30
②	150	連続
③	200	30

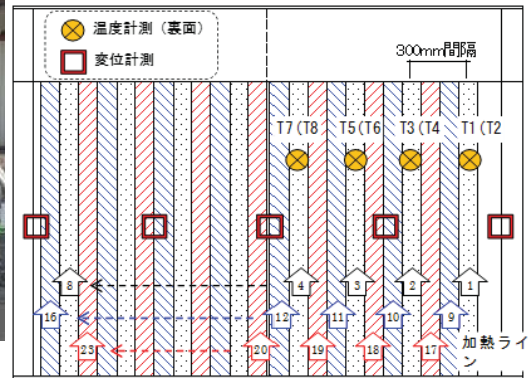


図7 加熱手順

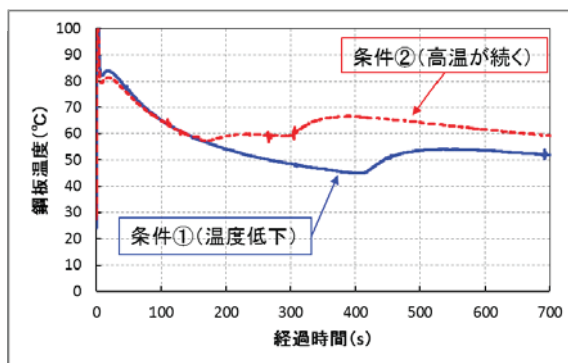


図8 温度の推移

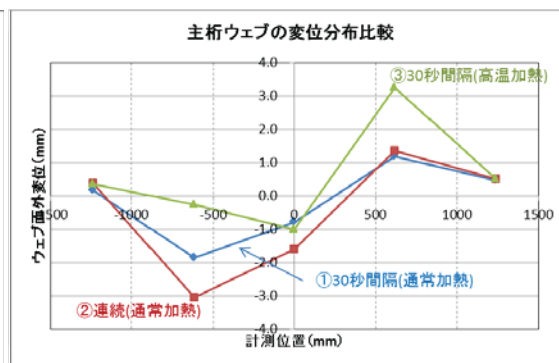


図9 ウェブの面外変形

4. まとめ

電磁誘導加熱による塗膜剥離工法を鋼橋に適用することを目的に各種性能確認試験を行った結果、実橋に適用が可能な工法であることが確認された。

以下に、本報で示した各種試験結果をまとめる。

- (1) IH塗膜剥離工法は簡易な研削工具を併用することで、2種ケレン相当の塗膜除去性能を有している。ブラスト工法を併用することで1種ケレンにも対応できる。
- (2) 加熱速度は2～4m/minの範囲が適切と考えられるが、裏面側塗装を残存させる場合には加熱時に裏面側塗膜への影響が無い(タールエポキシ樹脂塗装の場合は80℃以下)ことを確認の上、加熱条件を設定する。
- (3) 特に板厚が薄い場合には、鋼板の変形を抑制するため、加熱条件を適切に設定し、間隔を空けた加熱とする。
- (4) IH塗膜剥離工法の適用においては、塗膜剥離鋼材および再塗装塗膜の付着に及ぼす影響はない。

5. 今後の検討課題と作業上の注意事項

I H塗膜剥離工法における、今後検討すべき課題および作業上の注意事項の一例を以下に示す。

(1) 鋼板裏面塗膜への対応

本工法では、塗膜剥離対象となる鋼板表面を加熱することで当該面の塗膜剥離を行うものであるが、例えば鋼箱桁の外面のみの剥離を行う場合などの剥離対象とならない裏面側の塗膜に、対象鋼板面を加熱したことによる熱伝導によって、影響を及ぼすことが考えられる。これまでの施工試験において、タールエポキシ樹脂塗装のように耐熱性の低い塗膜が塗布されている場合に、加熱による何らかの影響が現れたケースが見られたことから、裏面塗膜の状況を把握するとともに裏面塗膜への対応を考慮した上で、加熱条件を設定する必要がある。

(2) 塗膜剥離作業時の塗膜飛散防止策の徹底

古いタイプの塗膜には鉛や PCB などの有害物質が含まれていることがある。このような場合は、作業員に防護服や防塵マスク等を着用させ、人体に影響が無いように対策を講じることとしているが、それらの徹底が重要である。また周辺環境への影響を考慮して、粉塵が外部に飛散しないように、作業現場周囲をシート等で覆うなどの対応も重要である。

さらに、剥離除去された塗膜は、時間が経過し温度が低下するとわれやすくなるため、剥離した塗膜片を作業員らの足で踏むと塗膜が粉碎され、剥離塗膜の回収手間が増えることが懸念されるので、剥離させた塗膜は養生シート上に落とし、その都度速やかに回収する方策をとることが必要である。

(3) 過加熱防止策の検討

事前の加熱条件の設定に基づき所定の方法で I H塗膜剥離を行うこととしているが、異常な現象として想定される、鋼材の変形や塗膜の昇華等の原因となる、加熱のしすぎを防止すべく対策の検討が必要である。現状では作業員によって計測された温度を監視することで対応しているが、装置の故障・誤動作や誤操作等のヒューマンエラーによる万が一の状況を回避するため、装置の設定や加熱方法等を含めた技能資格制度等を導入している。

補足

本工法は、NETIS「登録番号：CB-130001-A」に登録し、特許「塗装剥離方法（登録：特許第 5896849 号）」を取得している。

参考文献

- 1) 笹嶋、河内、諸木：関門橋における塗膜剥離工事への誘導加熱式塗膜剥離工法の適用、橋梁・鋼構造物塗装（Structure Painting）2018 Vol.46、No.37、2012.11

- 2) 市田、水木、一宮：吊橋主ケーブル被覆除去工法に関する一提案、YBHD グループ技報 No. 47、2018. 1
- 3) 嘉数淳人、鮫島力：IH 装置による塗装剥離工法の適用について、平成 29 年度沖縄ブロック国土交通研究会
- 4) 小野、吉川、岡部：電磁誘導加熱による鋼橋の塗膜剥離工法に関する研究、平成 24 年度 建設施工と建設機械シンポジウム、No. 37、2012. 11
- 5) 岡部、吉川、小野：I H（誘導加熱）塗膜除去工法の鋼橋への適用性検討、第 30 回日本道路会議、5P04、2014. 10

電磁誘導加熱（IH）による鋼橋塗膜剥離マニュアル

1. はじめに

鋼橋の塗装塗替え時における既存塗膜剥離工事では、従来のブラスト工法や塗膜剥離剤工法と比べ、周辺および作業環境対策や作業の高効率化として有効とされる電磁誘導加熱による塗膜剥離工法（以下、「IH 剥離工法」と称す）の適用事例が増加している。一方、IH 剥離工法は、塗装剥離対象とする鋼橋の鋼部材を加熱することで塗膜を剥離させるものであること、一般には供用下で施工することから、対象部材の過加熱には十分注意し、鋼橋本体部材に損傷を与えないように細心の注意を払う必要がある。このようなことから、鋼橋において IH 剥離工法を安全かつ効率的に適用すべく各種の実験や試験施工を行ってきており、それらの結果から適切な加熱条件や留意点を整理することができたと考えている。

本マニュアルでは鋼橋における塗膜剥離作業を対象に、鋼橋に損傷を与えること無く、かつ効率的に塗膜剥離作業が行えるようにすることを目的として、これまでの各種実験や試験施工結果を踏まえて、IH 剥離工法の原理や作業手順、留意点等について記載したものである。

なお、本工法は NETIS 登録「登録番号：CB-130001-A」、特許「塗装剥離方法（登録：特許第 5896849 号）」を取得している。

（一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所）

（加熱状況）



（塗膜剥離状況）



剥離させた塗膜

（塗膜が板状に剥離）



写真 1 塗膜剥離試験状況

2. 適用

本マニュアルは下記の作業員および構造物を対象とする。

(1) 対象者

電磁誘導加熱による塗膜剥離装置の基本的な操作方法を理解し、当該塗膜剥離装置を用いて対象構造物の塗膜剥離作業を行う者。

(2) 対象構造物

鋼橋およびそれに付随する付属物や構造物。

(1) 本マニュアルは、RPR 社 (RPR Technologies AS 社) の RPR-1650 の使用を想定したものである。また、国内においては、各種の電磁誘導加熱を利用した塗膜剥離装置が存在するが、塗膜剥離の原理は同一である。したがって本マニュアルでは、塗膜剥離装置の基本的な操作方法については、既に理解している者を対象としている。

なお、RPR 社 RPR-1650 の基本的な使用方法については、巻末の操作作業マニュアルを参照されたい。

(2) 鋼橋は一般に、最小板厚 9mm 程度の薄い鋼板が溶接やボルトによって組み立てられたものである。これまでの電磁誘導加熱による塗膜剥離工法は、船舶やプラントなどの比較的厚板を対象に用いられていた工法であることに対し、鋼橋は先述のように薄い鋼板が用いられる。よって、ここでは比較的薄い鋼板が用いられる鋼橋を対象としている。

3. 塗膜剥離装置の構成と各部の名称

塗膜剥離装置は主に、本体、コンデンサ、トランスフォーマ、加熱ヘッドによって構成され、装置を駆動あるいは冷却する機材として、発動発電機、水タンク、冷却装置、ポンプ等が必要である。

塗膜剥離装置の構成と各部の名称は図 3.1 のとおりである。

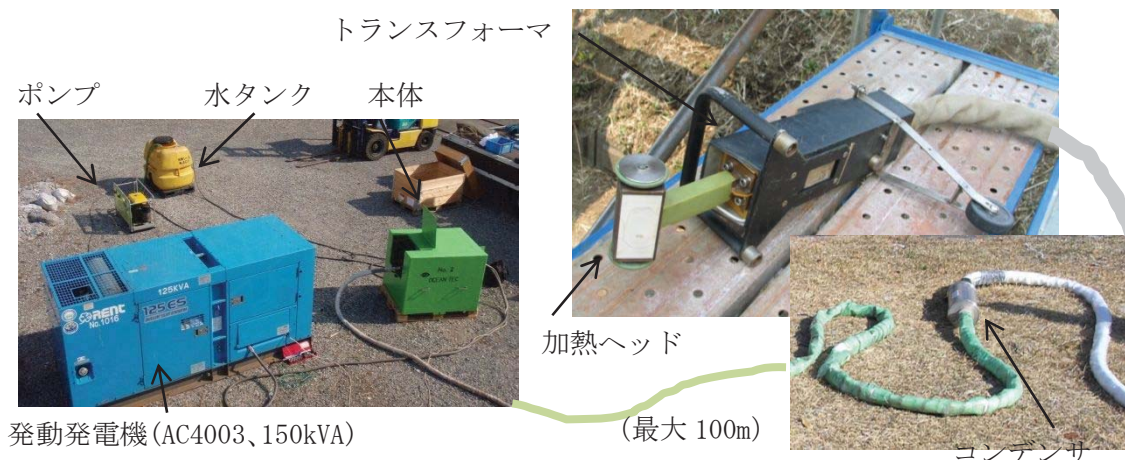


図 3.1 電磁誘導加熱式塗膜剥離装置の構成

4. 塗膜剥離原理

塗膜剥離の原理は、加熱ヘッド部に電磁誘導を発生させることにより、鋼板を加熱（以下、「IH 加熱」）し、その熱によって塗膜を剥離させるものである。

鋼橋に使用されている一般的な塗膜を剥離させるためには、鋼板の温度を 140～240℃に加熱する必要がある。ただし、300℃以上に鋼板が加熱されると、鋼板が劣化する恐れが生じるため注意が必要である。

IH 剥離工法では、旧塗膜系の下地処理に使用されている鉛丹や無機ジンクリッチペイントなどは剥離させることができない。後出写真 9.1 のように、下塗りに鉛丹が使用されている場合には、IH 剥離工法適用後、グラインダ等によってケレンを行うことで、2 種ケレン相当にまで仕上げる事が可能となる。また、ブラスト工法を併用することで、1 種ケレンにも対応する。



電磁誘導により鋼板を加熱し、塗膜を剥離する工法

- 特長・加熱後、すぐに塗膜除去可能
- ・粉塵、騒音がほとんど発生しない
 - ・剥離した塗膜のみを容易に回収可能

図 4.1 塗膜剥離のイメージと特長

5. 事前準備

現場での施工に先立ち、次のように施工計画を立案し、必要に応じて防塵対策を行う。

(1) 施工計画立案

施工現場において機器を配置し、できるだけ本体機器を動かすことなく、加熱ヘッドの取り回しができるよう施工計画を立案する。

(2) 防塵対策立案

剥離させた塗膜に有害物質が含まれる場合には、剥離した塗膜の回収方法や作業員の防塵対策、および作業範囲を覆うなどの粉塵飛散対策を検討する。

(3) 剥離塗膜回収計画立案

剥離させた塗膜を効率的に回収するため、現場や足場の状況に応じて回収計画を立案する。

- (1) IH 剥離装置本体には冷却水配管、電源コードを接続する必要があり、IH 剥離装置本体から IH 加熱ヘッドまでの距離は最大 100m となっている。したがって、作業効率向上のためには、これらの配管やコード類の取り回しをし易くすることが重要である。

また、電源については、三相 400V、125A の大型発動発電機が必要となり、長期間の工事においては発動発電機への給油が必要である。よって、機材の配置やコードの取り回しなど、橋梁の構造や足場の配置、資機材運搬トラック等の駐車位置などを考慮した施工計画を立案する必要がある。

- (2) 古いタイプの塗膜には鉛や PCB など、吸引すると健康被害を及ぼす可能性の高い有害物質が含まれていることがある。このような有害物質は粉塵とともに大気を舞うことがあるため、注意が必要である。このように既存塗膜に有害物質が含まれている場合は、作業員に防塵服や防塵マスクを着用させるとともに、集塵機を用いることで粉塵が飛散することが無いように対策を講じ、健康被害対策を検討する必要がある。

また周辺環境への影響を考慮して、現場周辺への飛散を防止するため、作業現場周囲にはシート等を用いて粉塵が外部に飛散しないようにする検討も必要である。

- (3) IH 加熱により剥離した塗膜は、スクレーパー等によって鋼材表面から除去される方法が一般的であり、この際、剥離した塗膜は鋼材表面から下方に落下する。鋼材表面から除去された塗膜の飛散を抑制し、効率的な剥離塗膜を回収するため、剥離塗膜の回収計画を検討する必要がある。これまでの施工実績によると、幅 3m ほどの防災シートを下方に敷いておき、シート上に剥離塗膜を回収する方法がとられている。

また、剥離除去された塗膜は、時間が経過し温度が低下するとわれやすくなるため、周囲に飛散・落下すると作業員らの足で踏まれると塗膜が粉碎された状態になり、回収の手間が増えることが懸念されるので注意が必要である。

6. 加熱作業条件

設定した IH 加熱条件において、塗膜剥離作業を行う。このとき、次の手順で行う。

- (1) IH 加熱は間隔 200mm 以上、30 秒間隔で行うことを基本とする。
- (2) 加熱ヘッドの移動速度は 2~4m/min を基本とする。
- (3) 加熱時の鋼板温度は、加熱直後で 250℃以下となっていることを確認する。

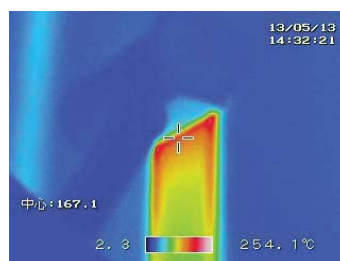
- (1) IH 剥離工法は、**写真 6.1** に示すように、加熱ヘッドの直下の鋼板を加熱するため、加熱範囲が局部的であると言う特徴を有するとともに、橋梁においては橋梁本体部材である鋼板を加熱することによって塗装を剥離させるものであるため、加熱条件の設定には細心の注意を払う必要がある。例えば、鋼橋の一つである鋼 I 桁のウェブ面を端部から連続的に加熱していくと、加熱によってウェブが面外に変形する恐れがある。これまでに鋼 I 桁試験体を用いた実験においても、連続的な加熱は鋼板に変形を及ぼすことが確認されている。このため、加熱条件は慎重に設定する必要がある。**図 6.1**、**図 6.2** は、鋼 I 桁試験体を用いて、幅 100mm の加熱ヘッドを鉛直方向（縦方向）に動かすことで鋼板を加熱し、その後水平方向にヘッドを移動させる方法を検討した試験状況を示す。その結果、**図 6.3** および **図 6.4** に示すように、200mm 間隔で水平方向に移動させ、かつ 30

秒以上時間をおくこと（図中「条件①」）で、鋼板温度やウェブの面外変形が抑制されることが確認されている。なお、実際の IH 剥離工法においては、加熱ヘッドの幅が 200mm のものを使用することが一般的であることと、先の実験において、200mm 程度離れることで加熱の影響が少ない結果であったことを考慮して、加熱間隔は 200mm としたものである。図 6.5 には、幅が 200mm の加熱ヘッドを用いた場合の加熱手順を示すが、加熱ヘッド幅が 200mm を用いた場合でも間隔は 200mm で済む。

以上のことから、IH 加熱は 200mm 間隔以上かつ各加熱間には 30 秒以上のインターバルをおくことを標準とした。



（１）可視写真



（２）赤外線写真

写真 6.1 加熱状況

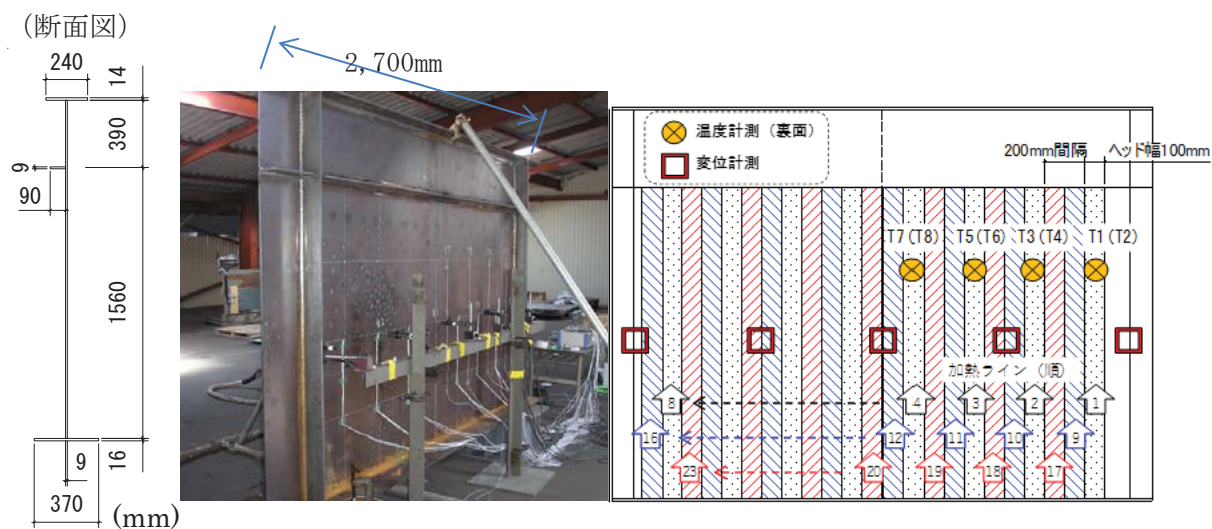


図 6.1 鋼 I げた模擬試験体

図 6.2 加熱要領（ヘッド幅 100mm）

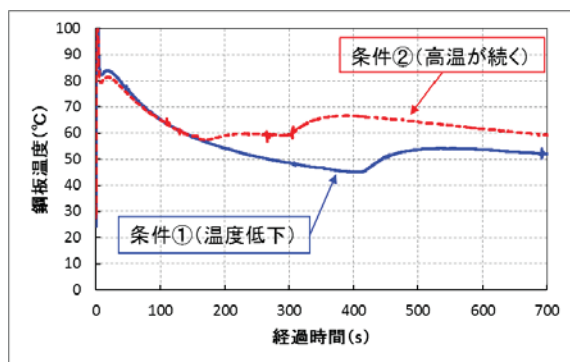


図 6.3 温度の推移

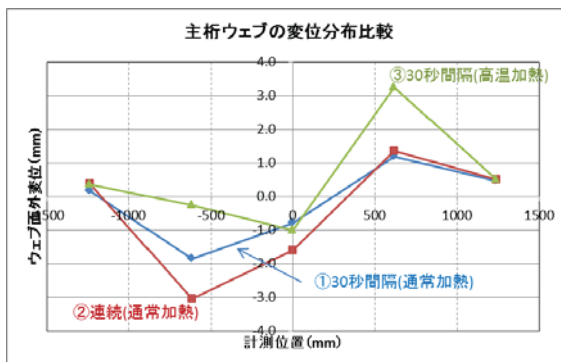


図 6.4 ウェブの面外変形量

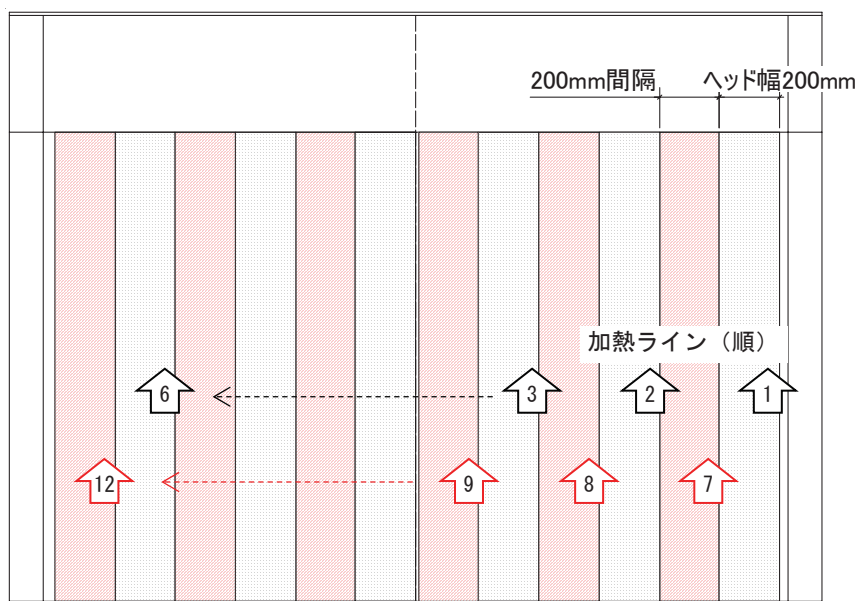


図 6.5 加熱手順（ヘッド幅 200mm）

(2) IH 加熱速度については、これまでの実験によって 2~4m/min が適切な範囲であることが確認できている。また、IH 加熱による鋼板温度は、鋼板の厚さにはほとんど影響を受けないことが確認されている。

図 6.6 は、IH 加熱時の加熱ヘッド移動速度一定における、鋼板の板厚が加熱温度に及ぼす影響を調査した結果を示したものである。この結果から、鋼板板厚が鋼板の加熱温度に及ぼす影響は小さいことを示している。一方、図 6.7 は、IH 装置のプログラミングによって、ヘッドの移動速度に応じて加熱出力が変動し、一定の加熱温度にすることが可能であることを示している。

以上のことから、事前調整によって、塗膜剥離に適切な温度となるように装置の加熱プログラムや出力、加熱速度を選定・設定して、その所定の範囲での加熱速度で IH 加熱することで、過加熱や加熱不足を防止することができる。

なお、ここでは加熱プログラムを使用した場合の鋼板温度データを示しているが、IH 加熱に熟練すると IH 装置の加熱プログラムを「マニュアル」に設定して、作業を行った方が効率的な塗膜剥離作業が行えることがある。加熱プログラムを使用した場合には、ヘッドの移動速度に応じて加熱出力が変動するため、過度な加熱は生じにくい、このように「マニュアル」設定の場合は、鋼板上で加熱ヘッドを動かすこと無く加熱すると、鋼板温度は一気に高温となるため、特に注意が必要である。

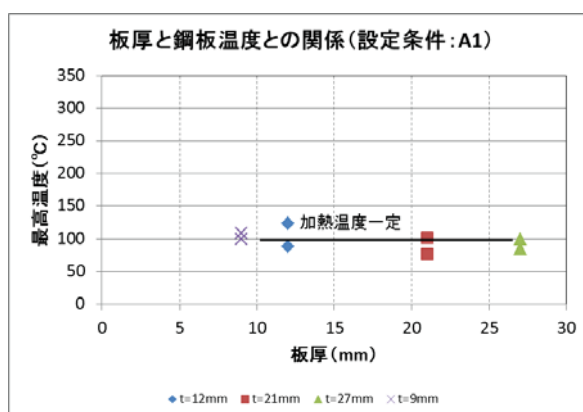


図 6.6 板厚と鋼板温度の関係

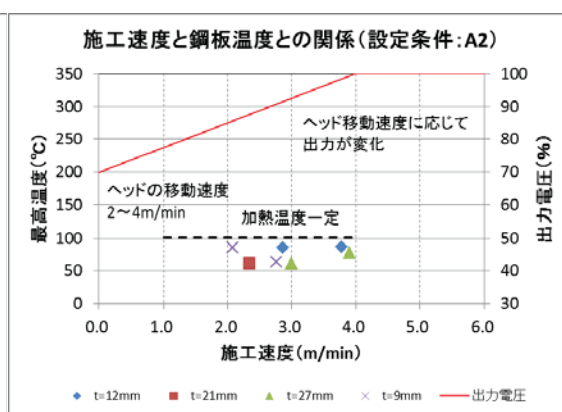


図 6.7 施工速度と鋼板温度の関係

(3) IH 装置の加熱プログラムを適切に設定し、鋼板の IH 加熱温度が 250℃以下となるようにする。これは、一般に鋼材はおよそ 300℃を超えると徐々に熱影響を受けるようになると言われているためであり、IH 加熱ヘッド直下の鋼板の温度計測が困難であることから、安全側の評価として、IH 加熱ヘッド通過直後の鋼板温度を 250℃以下とすることとした。

7. 予備試験

塗膜除去対象面の塗膜を確実に剥がし、かつ過度な入熱、橋梁本体の過大な変形となることを防止するため、事前に機器の加熱出力調整を行い、予備試験を行うこととする。

鋼橋の種別には、鋼 I 桁橋、鋼箱桁橋、鋼トラス橋などがある。一般に鋼箱桁橋や鋼トラス橋部材などの箱桁内部やトラス部材の内側は塗膜を剥がす必要がない。そのため、事前に塗膜除去を行う側とは反対側（裏面側）の塗装には影響がないことを確認する必要がある。

前章で設定した加熱条件で予備試験を行い、塗膜が剥離できること、鋼板温度が所定の温度を超えていないこと、裏面の塗膜状況が想定通りであることを確認する。

特に鋼板温度が低下している冬期の作業においては、鋼板温度が上がりにくい状況となることが想定されるため、設定した加熱条件で適切に塗膜剥離作業が行えるかどうかを確認する必要がある。

8. 作業管理

IH 塗膜剥離作業においては、常に加熱温度と橋梁本体の熱による変形について注意しながら作業を行う。

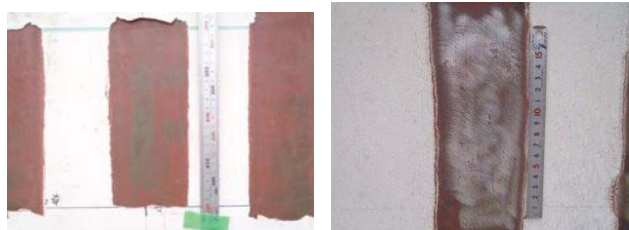
IH 塗膜剥離作業において、重要な管理項目は加熱温度である。前述の通り、鋼材は 300℃を超えると徐々に弾性係数の低下や脆化のようないわゆる劣化が生じやすくなる。よって、定期的に加熱直後の鋼板温度を計測し、250℃以下であることを確認する必要がある。

また、鋼 I 桁橋や鋼箱桁橋などのウェブ面を加熱する際に、重要な留意点は、ウェブの面外変形である。鋼材は部分的に加熱すると熱膨張によって加熱面が伸長するため、ウェブのような大面積箇所では面外変形が生じる可能性がある。特に桁端のウェブに面外変形が生じるとせん断座屈耐力が低下するため、注意が必要である。直線定規などを予め用意しておき、ウェブの面外変形量が $h/250$ (h はウェブの高さ) 以下であることを確認する必要がある。

9. 塗膜剥離確認

IH 加熱後、速やかにスクレーパー等を用いて塗膜を剥離させる。

IH 加熱によって塗膜の鋼板との付着力が破壊されるため、鋼板の温度が低下しても元に戻ることはない。よって、加熱後、直ちに塗膜を剥離させる必要はないが、速やかに加熱部の塗膜を剥離させ、塗膜の除去残しが無いように順次確認しながら作業を進める必要がある。



(1) 下塗りの残存

(2) 2種ケレン相当

写真 9.1 塗膜除去後の仕上がり状況

10. 作業管理記録

IH 塗膜剥離作業時には下記の項目について記録する。

- (1) 対象鋼板の板厚
- (2) 塗装の種類
- (3) 加熱装置の加熱条件設定
- (4) 加熱前の鋼板温度
- (5) 加熱後の鋼板温度
- (6) 塗膜の剥離状況

IH 剥離工法を適用した場合は、所定の範囲ごとに鋼板の温度を計測するとともに、適切な温度条件となっていたかどうかの再評価を行うことが望ましい。よって、上記のように加熱条件も含め、施工時の記録を残しておくが良い。

参考として、作業管理記録表の一例を巻末に示すので、適宜利用されたい。

11. その他補足事項

部材が交差する角部・狭隘部、継手部であるボルト・ナット部での塗膜剥離方法については別途、作業範囲や適用条件等を考慮したうえで、検討することとする。

部材が交差する角部や狭隘部、ボルト・ナット部については、写真 11.1 に示すように、それぞれに対応するオプションの加熱ヘッドを用いる。

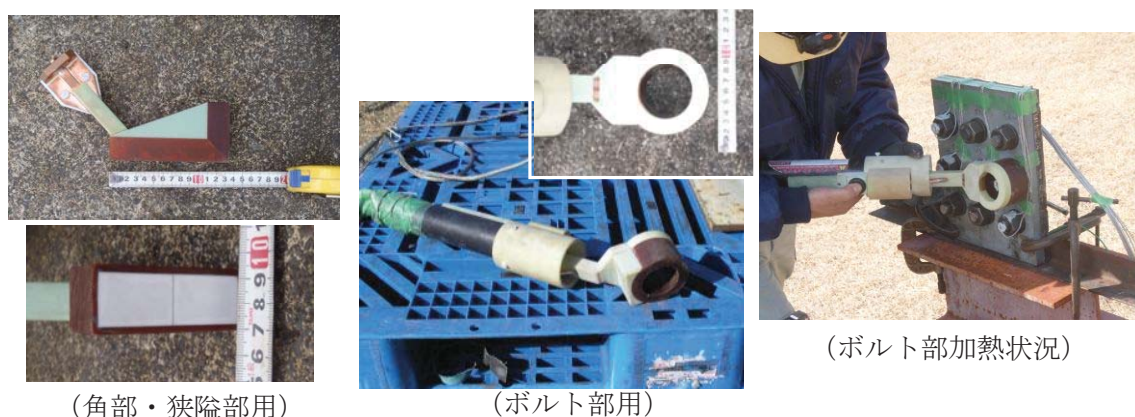


写真 11.1 オプションの加熱ヘッド

ここで、ボルト専用ヘッドについては、写真に示したように、IH 加熱ヘッドがリング形状をしており、そのヘッドをボルトあるいはナットに被せて加熱するため、以下のような注意が必要である。

- (1) ボルト部については、IH 加熱によってボルトの軸力が低下するようなことがあってはならない。これまでの実験によると、表 11.1 に示すように、加熱装置の出力が 60% で 3 秒加熱時には、軸力の低下が認められていないことから、出力 60% で 3 秒加熱が目安となる。なお、ここで示す実験結果は、M22-F10T を用いたものであ

表 11.1 ボルト加熱実験結果

		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
加熱条件	出力(%)	60				
	時間(sec)	2			3	
ボルト軸部温度(°C)		84	90	80	117	130
軸力(kN)	加熱前	213	204	192	218	185
	加熱後	201	204	194	205	183
	差	-12	0	2	-13	-2
	平均	-3.3			-7.5	

(2) ヘッドはボルトあるいはナット部に被せて加熱するため、加熱出力や時間には注意する必要があることは先述のとおりである。ここでは参考として、過剰な IH 加熱を行った場合を想定した加熱実験の結果を**写真 11.2**、**写真 11.3**に示す。**写真 11.2**は IH 加熱を出力 80%で 3~5 秒間行っている状況を示しており、加熱中にセンサーを固定している結束線や接着材が焼けたりして、過剰な加熱であったことが分かる。**写真 11.3**は出力 80%で 2 秒間の IH 加熱した後のナットを示すが、加熱により変色してしまっている状況が見て取れる。いずれも明らかに加熱のしすぎであったと考えられる。IH 加熱ではごく短時間で高温に加熱するため、加熱条件の設定には注意が必要であるとともに、加熱時間の確実な管理が必要である。

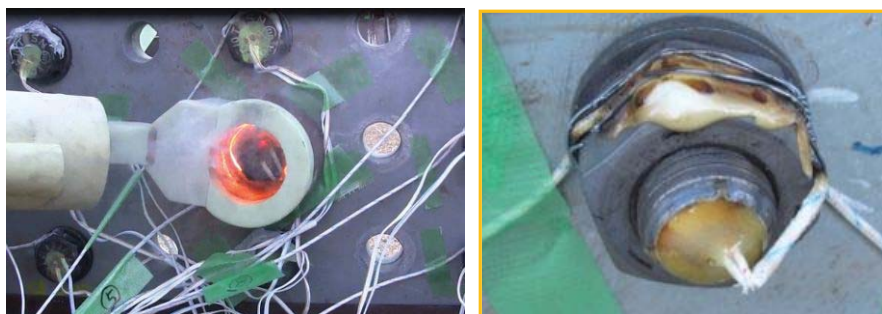


写真 11.2 IH 加熱によるリード線の焼け



写真 11.3 過剰な IH 加熱でナットが変色

3. 腐食損傷を受けた実橋鋼桁端部への低温低压型溶射工法

(Cold Spray 工法) の実証実験

1. はじめに

鋼橋の腐食弱点部の1つとして桁端部が挙げられる¹⁾。一般的な補修工法は、素地調整後の再塗装である。しかし、桁端部のような狭隘箇所では構造上ブラスト処理が難しく、鋼材表面にさびが残存し、再塗装後に腐食が早期再発する。そのため、鋼桁端部における効果的かつ効率的な防食メンテナンス技術の確立が重要である²⁾。この課題を解決するために、筆者らは低温低压型溶射

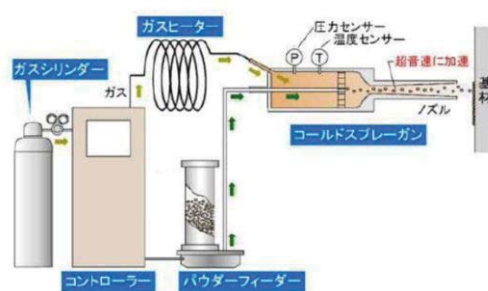


図1 CS工法の概要

(Cold Spray、以下CSと記載)工法に着目し、鋼橋の補修工法への適用検討を実施している^{3)、4)}。

CS工法の概要を図1に示す。CS技術は、1980年代半ばにロシア科学アカデミーのA. Papyinらによって考案され、金属粉体の融点・軟化温度より低温のガスを専用ノズルで加速させ、溶融させることなく固相状態のまま超音速で基材面に衝突させ、その金属粉体を塑性変形させることで基材面に密着・積層させる技術である⁵⁾。CS技術で使用可能な粉体は、純金属や合金の他に、セラミックスなど多岐に渡る⁵⁾。そこで、鋼橋の補修工法としてCS技術を適用することを考慮し、本研究ではCS工法に使用する粉体として、犠牲防食効果が期待できる亜鉛粉体と素地調整効果が期待できるアルミナ粉体の混合粉体に着目した。これまでに、さび鋼板面へのCS工法の成膜性や防食性に関する検討を行い³⁾、鋼材さび残存状態においても、強固な密着力を有する防食皮膜が形成可能であること、溶融亜鉛めっきと同程度の犠牲防食効果が発揮可能であることが明らかとなった。今回、CS工法の現場適用性を検証することを目的に、腐食損傷を受けた実橋鋼桁端部へのCS施工実証試験を実施した。

2. CS施工実証試験概要

(1) 施工対象橋梁

施工対象橋梁を図2に示す。施工対象橋梁は沖縄県北谷町に位置する供用約40年経過した塗装鋼I桁橋（橋長：25m、幅員：15.6m、主桁数：17）であ



図2 施工対象橋梁

表 1 施工条件 (施工要領素案)

項 目 (1)	施工条件	項 目 (2)	施工条件
使用CS機械	低圧CS装置	パウダー配合	Zn:Al ₂ O ₃ =60:40(重量比)
移動速度	5mm~10mm/s	CS目標膜厚	100μm以上
スプレー距離	5~15mm	ノズル角度	90度±20度
作動ガス	圧縮空気	施工前錆厚	100μm以下
ガス圧力	0.50MPa~0.80MPa	CS面塗装	フッ素樹脂塗装



図 4 CS 施工装置 (DYMET412k)

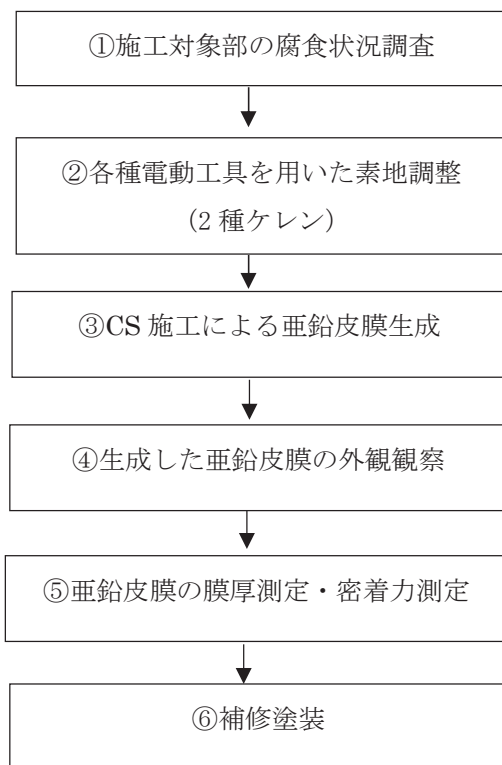


図 5 全体の施工フロー



図 3 施工対象橋梁の腐食外観状況

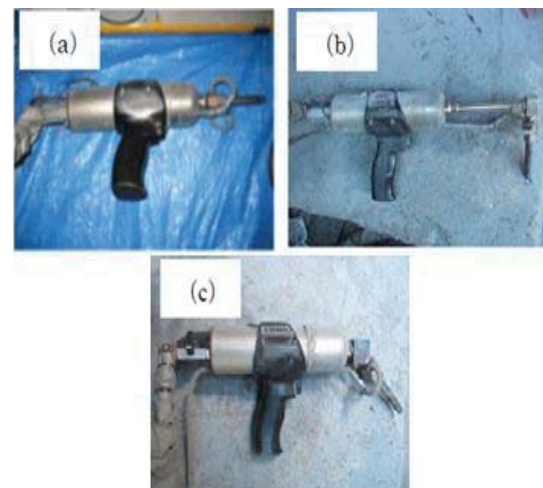


図 6 CS 施工のノズル、付属品の例
付属品なし：(a) 直線型ノズル
付属品あり：(b) 90° エルボ+延長、
(c) 60° エルボ

る。本橋梁は離岸距離 300m に位置し、河川に面している。海と対象橋梁の間には障害物は少なく、潮風の影響を直接受けるため厳しい腐食環境であることが予想される。本施工では、那覇側の鋼桁端部を施工対象とし、山側から 1 番目の桁（G1）と 4 番目の桁（G4）の桁端部に CS 施工を実施した。

施工対象橋梁の桁端部の腐食外観状況を図 3 に示す。支承部周辺、下フランジ上面、下フランジ下面（コバ部）、垂直補剛材・端部ウェブに著しい腐食劣化が生じていた。

（2）施工手順

本施工は、表 1 に示す施工条件（施工要領素案）を基に実施した。本施工で使用した CS 装置を図 4 に示す。CS 装置は、現場施工に適した携帯型低圧 CS 装置（DYMET412k）を用いた。

全体の施工フローを図 5 に示す。まず始めに、施工対象部の腐食状況調査を実施した。その後、各種電動工具（ディスクグラインダ、ジェットタガネ、チップ等）を用い素地調整（2 種ケレン程度）を実施し、鋼材さび残存状態にて CS 施工を実施した。CS 施工で使用したノズル・付属品（エクステンション）の例を図 6 に示す。現場の施工状況に応じて各種エクステンションを使い分けて CS 施工を実施した。施工条件良好部位（例えば、下フランジ上面）を施工する場合、エクステンション無しの直線型ノズル（図 6（a））を用いた。一方、施工困難部位（例えば、下フランジ下面などの狭隘箇所）を施工する場合、90° エルボ+延長のエクステンションノズル（図 6（b））を使用した。

CS 施工後、生成した防食皮膜（亜鉛皮膜）の成膜状態を把握するために、外観観察・膜厚測定・密着力測定を実施した。

表 2 施工条件別による CS 施工一覧（G1、G4 主桁）

施工箇所	施工条件	使用したノズル	施工状況（図 7）
下フランジ上面	施工良好	直線型ノズル	図（a）
ウェブ			図（b）
下フランジ上面（G1：山側）	施工困難	90°エルボ+延長 60°エルボ	図（c）
下フランジ下面（桁端部）		90°エルボ+延長 60°エルボ+延長	図（d）
垂直補剛材		60°エルボ 60° エルボ+延長	図（e）
支承部		60°エルボ+延長 直線型ノズル	図（f）



図 7 施工条件別の CS 施工状況


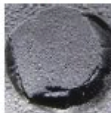

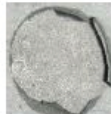

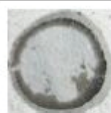

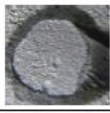
3. 施工試験結果


(1) 施工条件毎の施工性検証結果

施工条件別による CS 施工一覧を表 2 に示す。また、それぞれの施工状況を図 7 に示す。下フランジ上面やウェブ等の施工条件良好箇所では、主として直線型ノズル（図 6 (a)）による CS 施工を実施した。施工状況をそれぞれ図 7 (a)、(b) に示す。施工条件良好箇所では 2 種ケレン程度の素地調整により亜鉛皮膜が十分に形成されることを確認した。

一方、下フランジ上面 (G1 : 山側)、下フランジ下面 (桁端部)、垂直補剛材、支承部等の施工困難箇所では、直線型ノズルによる CS 施工が困難であるため、部材毎の施工条件に応じて各種エクステンションを用いたノズル（例えば、図 6 (b)、(c)）による CS 施工を実施した。各施工箇所の施工状況を図 7 (c) ～ (f) に示す。各種エクステンションを用いたノズルを適用することにより、施工困難な桁端部狭隘箇所においても CS 施工が十分に適用可能であることを実証した。

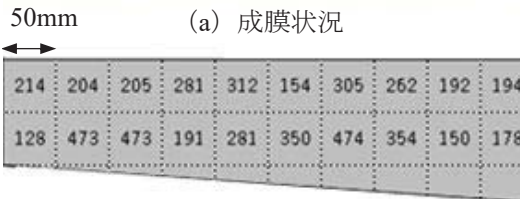
表 3 密着力測定結果

使用した ノズル	平均 MPa	破壊 形態	ドリー側 表面外観	母材側 表面外観
直線型 ノズル	24.5	凝集 破壊		
90°エルボ +延長	14.2	凝集 破壊		
60°エルボ	33.4	破壊 無し		
60°エルボ +延長	21.8	凝集 破壊		



500mm

(a) 成膜状況



50mm

(b) 膜厚結果 (μm)

平均膜厚 269 μm

図 8 成膜状況と膜厚測定結果の例

箇所：下フランジ上面、ノズル：90° エルボ+延長

(2) 密着力・膜厚測定結果

CS 施工後の防食皮膜の成膜状態を把握するために、現場で端子（φ10mm ドリー）を接着しアドヒージョンテスタによる密着力測定を実施した。施工条件毎の成膜状態を把握するために、使用したノズルが異なる領域にて測定を実施した。密着力測定は、それぞれの測定領域で計 3 回実施した。密着力測定結果を表 3 に示す。60° エルボの場合では、亜鉛皮膜の破壊は確認されなかったが、その他のケースでは、破壊形態は亜鉛皮膜の凝集破壊であった。直線型ノズル（エクステンション無し）の密着力を基準にすると、60° エルボの場合には密着力の低下は認められなかったが、90° エルボ+延長、60° エルボ+延長のエクステンションノズルの場合には、密着力が低下する傾向にあった。これは、複数のエクステンションの装着に伴い、金属粒子の衝突速度が低下したためであると考えられる。一般的に、防食塗装に必要な塗膜密着力の目安は 2MPa 以上とされている⁶⁾。このことから、エクステンション装着による密着力の低下は認められたものの、いずれのケースにおいても十分な密着力を有する防食皮膜が形成可能であると判断される。

最も低い密着力を記録した 90° エルボ+延長のエクステンションノズルを用いた施工箇所（下フランジ上面：G1 山側）における成膜状況と膜厚測定結果の例を図 8 に示す。なお、防食皮膜の膜厚は電磁膜厚計により測定した（測定ピッチ：約 50mm）。施工条件毎に各種エクステンションを適用することにより安定した防食皮膜が形成され、平均膜厚は目標膜厚（表 1 参照）の 100 μm 以上を満足した。

4. まとめと今後の課題

鋼桁端部への新しい補修工法として期待される亜鉛アルミナ混合粉体を用いた低温低圧型溶射（Cold Spray）工法の現場適用性を検証することを目的に、実橋鋼桁端部への施工実証試験を行った。施工困難箇所（狹隘部）に対しても、施工条件に応じてノズルや付属品を使い分けることで、鋼材さび残存状態においても強固な密着力を有する防食皮膜が形成されることを確認し、本工法が著しい腐食損傷を受けた鋼桁端部の補修工法として十分適用可能であることを実証した。実環境における CS 工法の長期防食性能を把握するためにも、今後外観モニタリング調査を継続して行う必要がある。

謝辞：本研究は国土技術政策総合研究所の委託研究として実施し、内閣府沖縄総合事務局南部国道事務所、嘉手納国道出張所にご協力頂きました。ここに記して謝辞を表します。

【参考文献】

- 1) 国土技術政策総合研究所資料 第 294 号、2006. 1
- 2) 国土技術政策総合研究所資料 第 684 号、2012. 4
- 3) 下里哲弘、日和裕介、有住康則、山城慶：日本鋼構造協会、鋼構造論文集、Vol. 24No. 93、pp. 65-72、2017. 3
- 4) 清川昇悟、井口進、木村雅昭、下里哲弘：日本鋼構造協会、鋼構造論文集、Vol. 22No85、pp. 133-141、2015. 3
- 5) 榊：軽金属、Vol. 56No. 7、pp. 376-385、2006. 7
- 6) 例えば 富山禎仁、西崎到：構造工学論文集、Vol. 61A、pp. 552-561、2015. 3

4. 透明型ボルトキャップの維持管理性能評価試験と 実橋での適用事例

1. はじめに

既設橋梁において、ボルト部やナット部は塗料の付着条件が悪く腐食が生じやすい箇所である。そのため、このような部位に対してはボルトキャップによる防せい対策が有効である¹⁾。ボルトキャップの防せい性能は非常に優れており、その使用実績は数多い。しかしながら、ボルトキャップを接着する際にシール剤（充填剤）をキャップ内に全充填するため取り外しが容易ではないこと、ボルトキャップが有色のため内部状況を目視できないこと、等の維持管理上の課題が挙げられる。そこで今回、取り外しが容易かつ内部状況を近接目視可能な透明型ボルトキャップについて紹介する。本報では、透明型ボルトキャップの維持管理性能評価試験と実橋での適用事例について概要を述べる。

2. 透明型ボルトキャップの維持管理性能評価試験

(1) 試験方法

沖縄県中頭郡西原町に位置する曝露試験場（離岸距離：2.5km、平均飛来塩分量：0.22mdd、平均腐食速度：0.026mm/y）にて、鋼 I 桁曝露試験体を設置し、その試験体のボルト接合部にボルトキャップを接着し維持管理性能（①近接目視の可否、②取り外しの容易性、③防せい性能）を評価した。曝露試験体概要を図-1 に示す。また、試験パラメータを表-1 に



図-1 曝露試験体概要

表-1 試験パラメータ

高力ボルト	新材ボルト
ボルトキャップ	有色型、透明型
接着方法	全充填、つばのみ接着
対象部位	ウェブ（桁内面/外面）、下フランジ（桁内面/外面）

示す。ボルトキャップによる防せい性能を評価するために、高力ボルトは無塗装の新材ボルトを用いた。ボルトキャップは有色型と透明型の 2 種類とした（図-2 参照）。接着方法は全充填とつばのみ接着（図-3 参照）とし、ウェブ面と下フランジ部の桁内面/外面にボルトキャップを接着した。なお、曝露期間は最大で約 4 年 5 ヶ月である（一部の試験体は約 6 ヶ月）。



図-2 ボルトキャップ外観

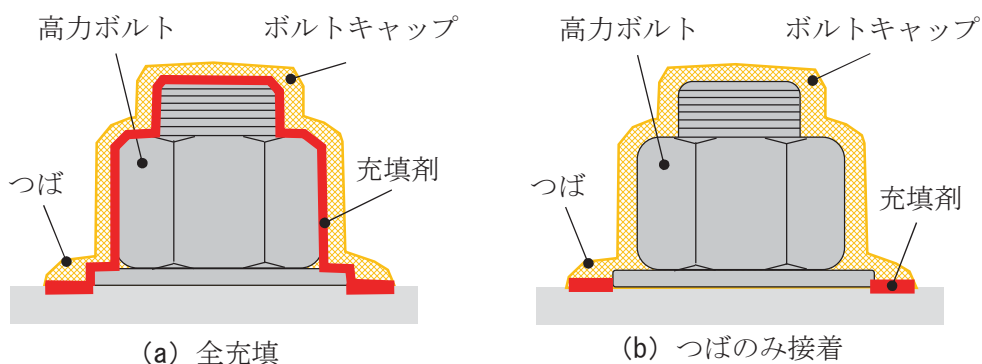


図-3 ボルトキャップ接着方法

(2) 試験結果

① 近接目視の可否

曝露 6 ヶ月経過後の透明型ボルトキャップ（接着方法：つばのみ接着、設置位置：桁外面）の外観状況を図-4 に示す。桁外面は、ボルトキャップが降雨や紫外線に直接曝されるため、非常に過酷な条件であると考えられる。しかしながら、そのような環境下においても透明型ボルトキャップは透明性を維持しており、ボルト内部の状況を近接目視可能であった。また、新材ボルトのさびの発生も特に認められなかった。



図-4 透明型ボルトキャップの外観状況（つばのみ接着、桁外面）

② 取り外しの容易性

曝露終了後の各種ボルトキャップの取り外し作業にかかる時間を計測し、各種接着方法（全充填、つばのみ接着）の取り外しの容易性を評価した。ボルトキャップの取り外し手順を図-5に示す。全充填では、ボルトキャップ1個当たりの取り外しに約10～15分の時間を要した。一方、つばのみ接着では、1分程度でボルトキャップを取り外すことが可能であった。



図-5 ボルトキャップの取り外し手順

③ 防せい性能

全充填とつばのみ接着のボルトキャップ（曝露期間：4年5ヶ月）を取り外し、新材ボルトの状況を観察した。ボルトキャップ取り外し後のボルト外観状況を図-6に示す。いずれの接着方法においてもボルトの赤さび発生は軽微であり、優れた防せい性能を発揮していることが確認された。

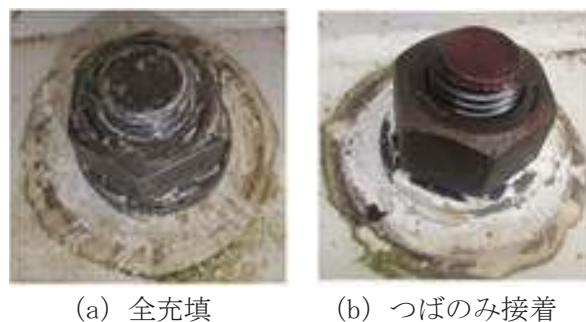


図-6 ボルトキャップ取り外し後のボルト外観

(3) まとめと今後の課題

ボルトキャップは防せい性能に優れており、沖縄のような亜熱帯島嶼環境における鋼構造物の長寿命化対策として重要な防食手法の1つであると考えられる。また、つばのみ接着手法と透明型ボルトキャップを適用することにより、従来に比べて維持管理性能が向上することが期待される。維持管理の観点からも、今後は実大気環境下における透明型ボルトキャップの透明度の長期耐久性を調査することが重要である。

3. 透明型ボルトキャップの実橋での適用事例

(1) 対象橋梁と施工位置

対象橋梁は沖縄県島尻郡南風原町宮平に位置する新設塗装鋼橋（平成 28 年 3 月竣工）である。対象橋梁の施工箇所を図-7 に示す。施工箇所は、A1 橋台に近い中間横桁（C1）である。ボルト本数は、1 継手あたり 60 本（上フランジ 16 本、ウェブ 28 本、下フランジ 16 本）で、2 継手を対象とするため合計 120 本である。これらのボルトに対して、つばのみ接着により透明型ボルトキャップを設置している。設置時期は平成 27 年 11 月下旬である。

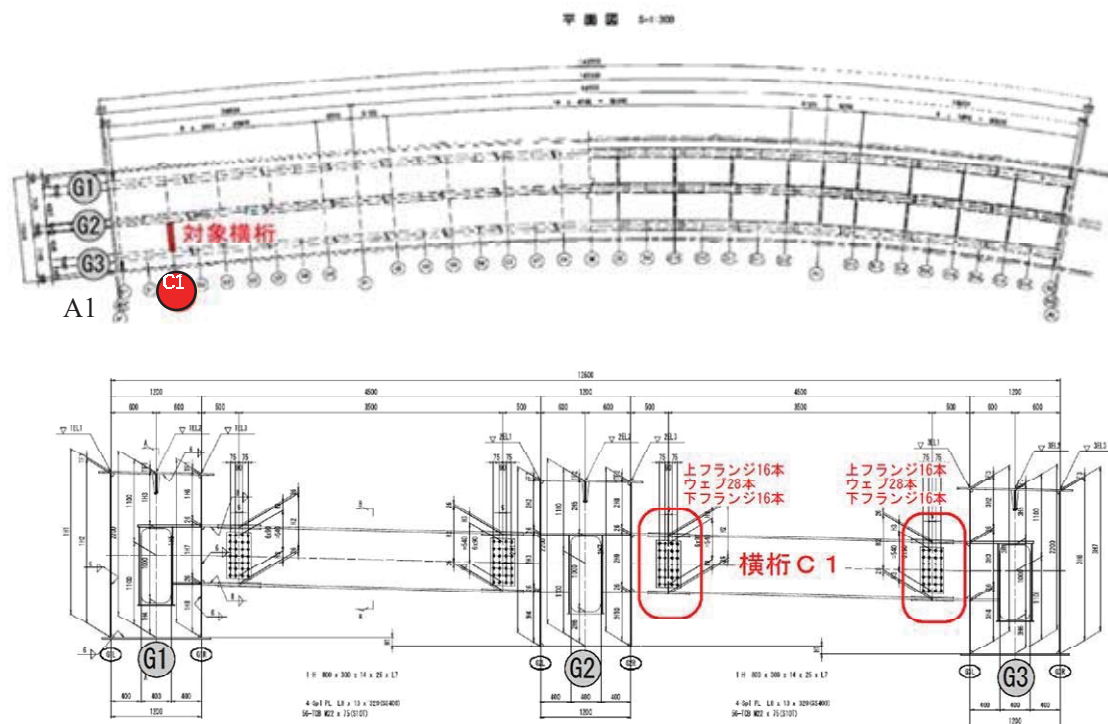


図-7 対象橋梁の施工箇所

(2) 透明型ボルトキャップの外観状況

設置後約 1 年 8 ヶ月経過した透明型ボルトキャップの外観状況の例を図-8 に示す。約 1 年 8 ヶ月経過後も透明型ボルトキャップの劣化や変状は特に認められず、外観状態は良好であり、目視によりボルトの状況が確認できる。つばのみ接着による透明型ボルトキャップは実橋梁においても性能を十分発揮可能であり、今後の維持管理への貢献に期待される。



図-8 透明型ボルトキャップの外観状況の例（約 1 年 8 ヶ月経過）

【参考文献】

- 1) 岩本達志、今井学、吉田利樹、岩崎初美、赤嶺健一：鋼構造物ボルト部の防せい対策、土木学会第 67 回年次学術講演会、pp. 319-320、2013.

5. 腐食環境調査方法と調査結果

1. 概要

本章では、腐食環境調査として、JIS や調査マニュアルに掲載されていない詳細な調査方法を取りまとめる。また、沖縄県内における腐食環境調査結果も示す。

腐食環境調査は、温湿度計測、飛来塩分、風向風速、鋼材腐食促進試験について述べる。また、県内の鋼橋を対象に腐食環境調査を示す。さらに、これまでの飛来塩分調査結果から、腐食速度と飛来塩分量の関係を示す。

2. 腐食環境要因の調査方法

本節では、腐食環境要因となる温湿度、飛来塩分、風向風速の計測方法や、腐食環境を腐食減耗量で評価できる鋼板暴露試験について述べる。

2.1 調査部位

腐食環境調査の対象橋梁は、以下に示す3橋とした（写真 2.1～写真 2.3）。なお、各橋梁における腐食環境調査項目も併記した。

単純鈹桁橋（6主桁）：温湿度、飛来塩分量、ワッペン試験片暴露試験

鋼箱桁橋：温湿度、飛来塩分量

単純鈹桁橋（3主桁）：温湿度、飛来塩分量、ワッペン試験片暴露試験

図 2.1～図 2.3 に各調査地点の機材設置状況を示す。



写真 2.1 単純鈹桁橋（6主桁）



写真 2.2 鋼箱桁橋（鋼箱桁部を対象）



写真 2.3 単純鈹桁橋（3 主桁）

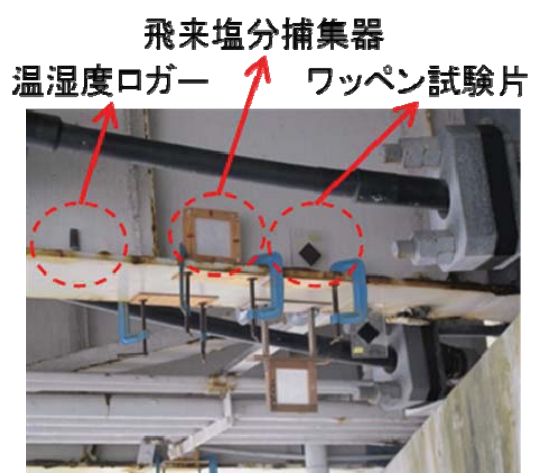
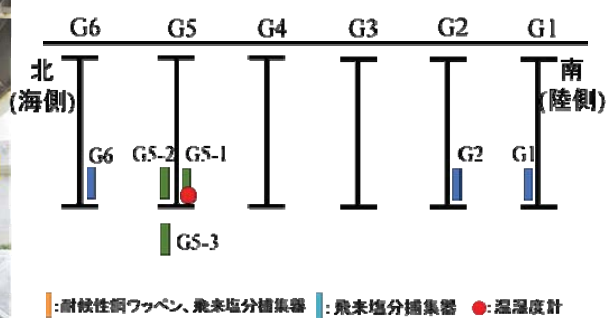


図 2.1 単純鈹桁橋（6 主桁）機材設置状況

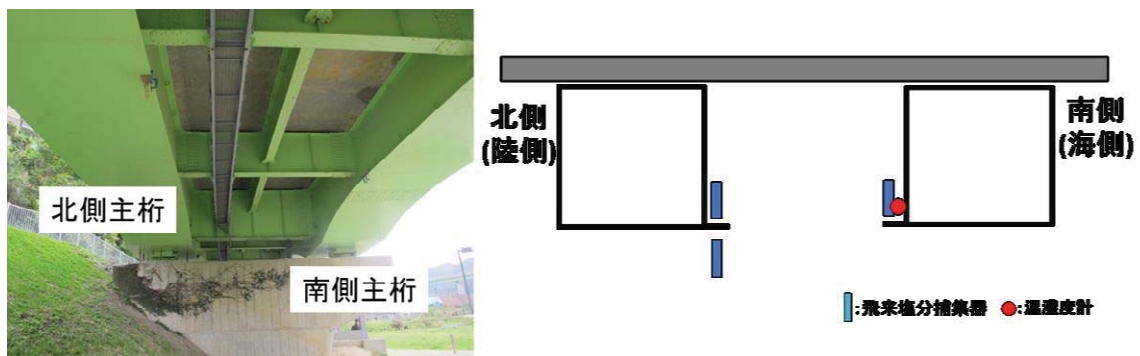


図 2.2 鋼箱桁橋 機材設置状況

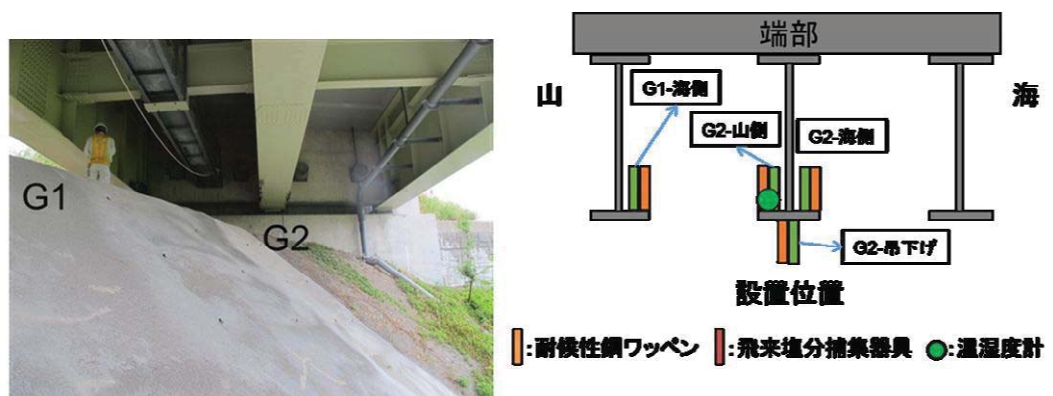


図 2.3 単純鈑桁橋（3 主桁）機材設置状況

2.2 温湿度計測

温湿度の計測は、鋼材腐食にとって重要な、周辺環境の湿度および濡れ状態を把握することができる。**写真 2.2.1** に示す USB 温湿度データロガーを用いて計測した。USB 接続で、計測データの吸出し、計測設定がパソコンから行える。

写真 2.2.2 に示すように USB データロガーを橋梁桁下フランジの上など所定の位置に固定して計測を行った。データの記録は5分間隔とし、5分毎の温湿度の変化を測定した。なお、データ記録間隔は設定変更可能であり、記録間隔が長いほど長期間計測可能であるため、気温、湿度の変化、データ収集時期を考慮して設定すると良い。

測定範囲は温度が $-35\sim+80^{\circ}\text{C}$ 、湿度が $0\sim100\%$ であり、測定精度は温度が $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、湿度が $\pm 3.5\%$ である。

図 2.2.1～**図 2.2.3** に温湿度計測結果を示す。平均気温、平均湿度、濡れ時間割合を**表 2.2.1** に示す。ここで、濡れ時間とは ISO 9223¹⁾ より、気温 0°C 以上、湿度 80% 以上の時間と定義されており、表面の薄い水膜状態を指す。**図 2.2.1** によると、気温は常に 0°C 以上であるため、湿度が赤破線で囲んだ範囲に入る時間が濡れ時間に相当する。この時の時間を積算し、計測期間で除した値を濡れ時間割合とした。

ISO 9223 では、この濡れ時間割合が、**表 2.2.2** に示すように 5 つに分類される。この分類を行うことで濡れ時間による濡れ環境を評価する。 τ_1 、 τ_2 が屋内環境、 τ_3 、 τ_4 、 τ_5 は屋外環境となっており、カテゴリーがあがるほど湿った環境となる。**表 2.2.2** より、計測期間中の濡れ環境は、平均値から 3 地点とも τ_4 に分類されるが、NY 橋、NG 橋、OH 橋の順に濡れ時間が大きい。



写真 2.2.1 USB 温湿度データロガー



写真 2.2.2 温湿度データロガー設置状況

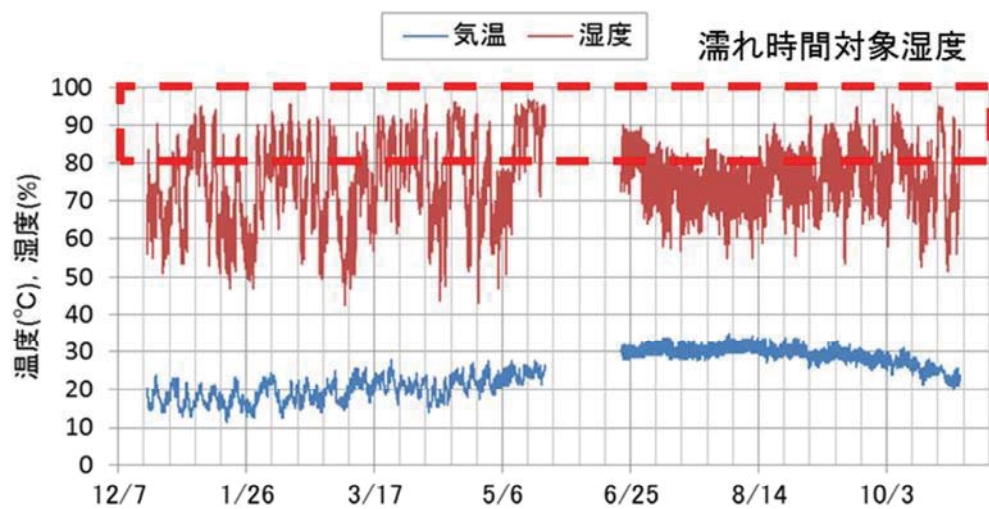


図 2.2.1 温湿度経時変化（単純鈑桁橋（6主桁））

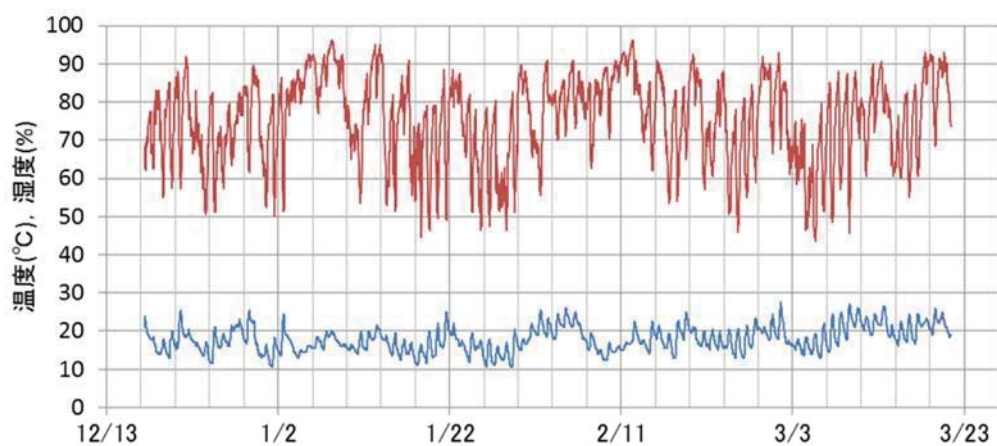


図 2.2.2 温湿度経時変化（鋼箱桁橋）

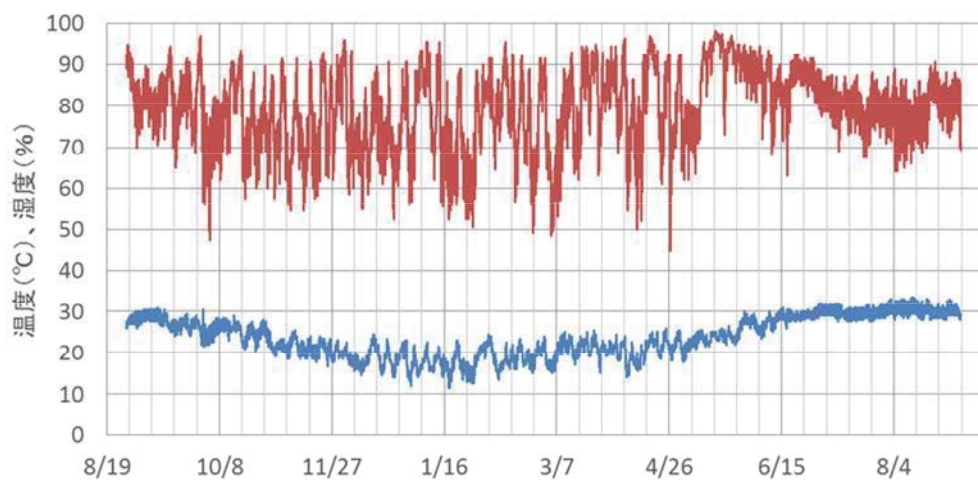


図 2.2.3 温湿度経時変化（単純鈑桁橋（3主桁））

表 2.2.1 平均気温、平均湿度、濡れ時間割合

	平均気温 (°C)	平均湿度 (%)	濡れ時間割合 (%)
単純鉄桁橋 (6 主桁)	26.8	76.7	37.8
鋼箱桁橋	17.9	75.5	42.1
単純鉄桁橋 (3 主桁)	23.5	79.5	53.2

表 2.2.2 濡れ時間の分類 (ISO 9223)

Category	Time of wetness		Example of occurrence
	h/a	%	
τ_1	$\tau \leq 10$	$\tau \leq 0.1$	Internal microclimates with climatic control
τ_2	$10 < \tau \leq 250$	$0.1 < \tau \leq 3$	Internal microclimates without climatic control except for internal non-air-conditioned spaces in damp climates
τ_3	$250 < \tau \leq 2500$	$3 < \tau \leq 30$	Outdoor atmospheres in dry, cold climates and part of temperate climates; properly ventilated sheds in temperate climates
τ_4	$2500 < \tau \leq 5500$	$30 < \tau \leq 60$	Outdoor atmospheres in all climates (except for the dry and cold climates); ventilated sheds in temperate climates
τ_5	$5500 < \tau$	$60 < \tau$	Part of damp climates; unventilated sheds in humid conditions

NOTES

- 1 The time of wetness of a given locality depends on the temperature-humidity complex of the open air atmosphere and the category of the location and is expressed in hours per year or part of exposure time (in percentage).
- 2 The values of time of wetness in percentage are rounded and informative only.
- 3 The occurrence column does not include all the possibilities due to the degree of sheltering.
- 4 Sheltered surfaces in marine atmospheres where chlorides are deposited may experience substantially increased times of wetness, due to the presence of

- hygroscopic salts and should be classified in the category τ_5 .
- 5 In indoor atmospheres without climatic control, the time of wetness categories τ_3 to τ_5 can occur when sources of water vapour are present.
- 6 For the times if wetness τ_1 and τ_2 , the probability of corrosion is higher for dusty surfaces.

2.3 飛来塩分

計測地点での飛来塩分環境の把握のために行う。捕集方法は、ガーゼ法と土研式法を示す。

(1) ガーゼ法 (JIS Z 2382)

図 2.3.1 に本研究で実施したガーゼ法による飛来塩分分析フローチャートを示す。

【木枠寸法、ガーゼ寸法および捕集方法】

飛来塩分捕集試験は、JIS Z 2382²⁾のドライガーゼ法に準じて実施した。蒸留水で煮沸乾燥させた一定面積をもつ 2 枚重ねのガーゼを、雨を遮断して曝露し、ガーゼ表面の塩化物を捕集する方法である。捕集塩化物は、硝酸銀滴定法により定量する。

- 捕集枠: 外寸法 150×150mm、内寸法 100×100mm の木製の外枠に、外寸法 120×120mm、内寸法 100×100mm の木製の内枠をはめ込み式にしたものを用いる。捕集面積は、両面を合わせて 200cm² とする。
- ガーゼの調製: ガーゼは 150×300mm の大きさに切り、蒸留水で十分に塩化物を浸出した後、よく乾燥させ、使用時までポリエチレン袋に入れて保存する。

写真 2.3.1 に示すようにガーゼを木枠にはめ込み、雨がかりの無い橋梁桁下フランジなどに設置して捕集を行う。塩分を捕集する面は 100×100mm である。塩分捕集期間は約 1 ヶ月とし、1 ヶ月毎にガーゼの交換・回収を行った。

【塩分量分析方法(硝酸銀滴定法)】

飛来塩分量は、硝酸銀による電位差滴定分析（硝酸銀滴定法）にて算出計量した。分析および算出手順を以下に示す。

- 回収したガーゼを裁断し、ビーカーへ入れる。ここで、ビーカーとガーゼの合計質量を計量する。
- 写真 2.3.2** に示すようにビーカーに蒸留水を加え約 15 分煮沸し、ガーゼに付着した塩分を溶かし込ませた分析溶液を作成する。煮沸後、体積が約 100ml になるまで蒸留水を加えて、質量を計量し、質量換算で溶液の体積を算出する。
- 分析溶液から 5ml 分取し 2 規定硝酸溶液を 5ml 混合し、蒸留水を加え 100ml の分取溶液とする。分取量は予測される塩分濃度に応じて適宜調整する。
- 分取溶液に対し、**写真 2.3.3** に示す自動滴定装置を用いて、1/200 規定硝酸銀溶液による中和滴定分析を行い、以下の式により塩分量を算出した。

化学反応式： $\text{AgNO}_3 + \text{NaCl} \rightarrow \text{AgCl} + \text{NaNO}_3$ より、
 分取 NaCl 質量 A (mg) = $1/200 \times \text{AgNO}_3 \text{ 滴下量 (ml)} \times 10^{-3} \times \text{NaCl 分子量} \times 10^3$
 (2.3.1)

NaCl 捕集質量 B (mg) = $A \times (\text{分析溶液体積 (ml)} / \text{分取量体積 (ml)})$
 - 未暴露ガーゼの NaCl 質量 (mg)
 (2.3.2)

飛来塩分量 C (NaCl:mdd) = $B / \text{捕集面積 (dm}^2) / \text{捕集日数 (day)} / 2$
 (2.3.3)

ここで、

分析溶液体積 (ml) = $[(\text{ビーカー+カセ} + \text{蒸留水}) \text{質量} - (\text{ビーカー+カセ}) \text{質量}] \times 1$
 (2.3.4)

式(2.3.3)に示す通り、本研究で扱う飛来塩分量は、NaCl 量の mdd (=mg/dm²/day) 値とした。

【計測結果】

図 2.3.2～図 2.3.4 に飛来塩分量計測結果を示す。

図 2.3.2 より、単純鈹桁橋（6 主桁）では、桁下での飛来塩分量が最も大きく、次に、桁の南側での塩分量が大きい傾向がみられる。

図 2.3.3 より、単純鈹桁橋（3 主桁）では、9 月の飛来塩分量が顕著である。これは、捕集期間中に台風が通過したことにより、多くの塩分が飛来したと考えられる。また、桁下を通過する飛来塩分量より、G1 桁海側の飛来塩分量のほうが大きい特徴がみられる。

図 2.3.4 より、鋼箱桁橋では、飛来塩分量が 0.5mdd 以下であり、ほかの 2 橋梁と比較して飛来塩分が少ない傾向がみられる。これは、橋梁の立地環境が比較的奥まった地点であるためである。

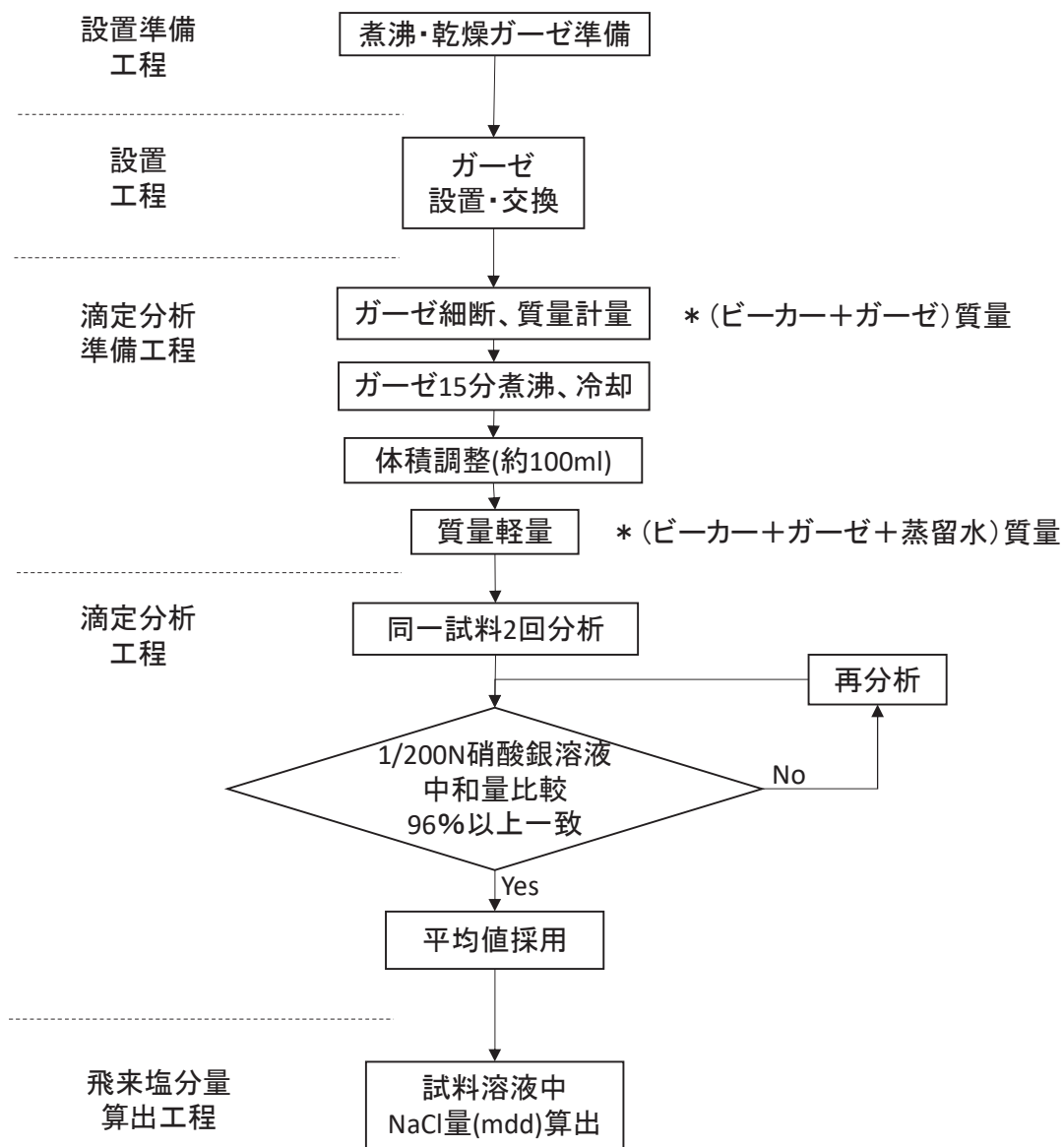


図 2.3.1 飛来塩分量(ガーゼ法) 分析フローチャート

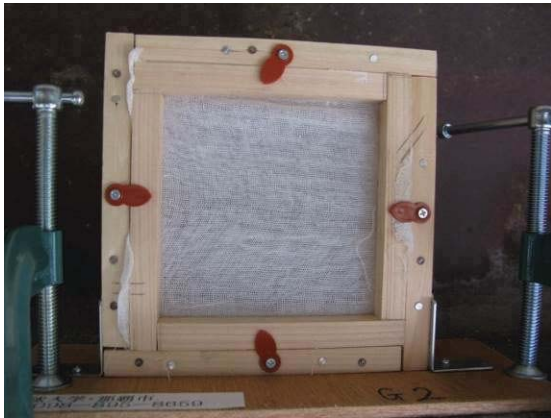


写真 2.3.1 ドライガーゼ法

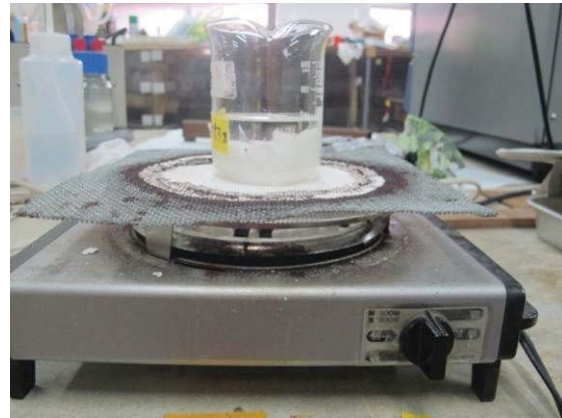


写真 2.3.2 ガーゼ煮沸状況



写真 2.3.3 自動滴定装置

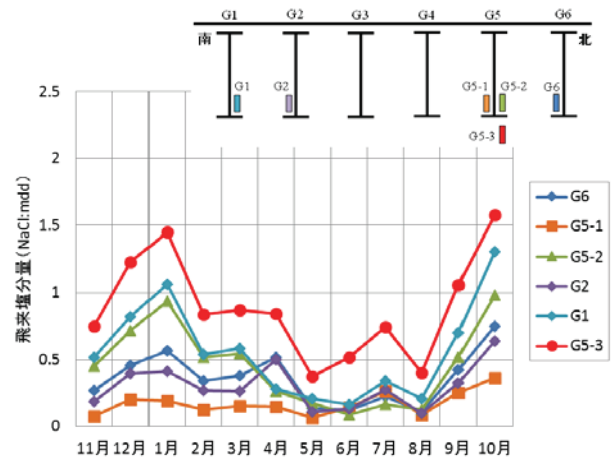


図 2.3.2 飛来塩分量 単純鉸桁橋 (6 主桁)

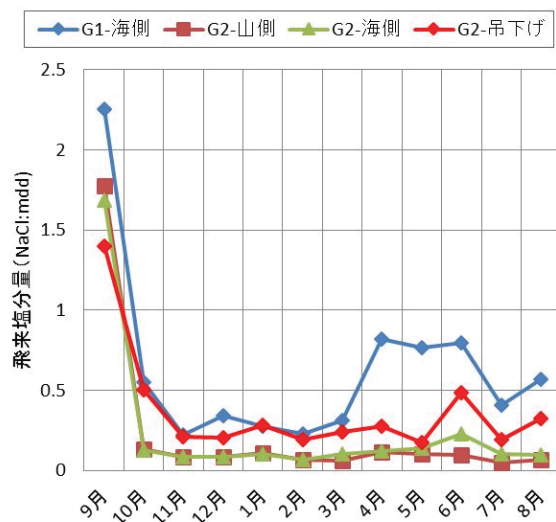


図 2.3.3 飛来塩分量 単純鉸桁橋 (3 主桁)

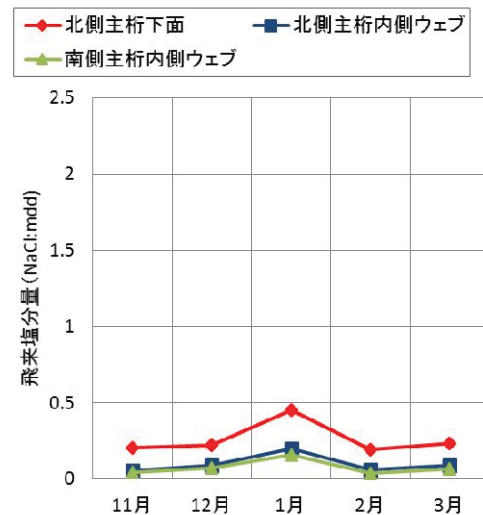


図 2.3.4 鋼箱桁橋 (鋼箱桁部を対象)

(2) 土研式

土研式による飛来塩分捕集³⁾は、**写真 2.3.4** に赤の破線で示すように 10 c m×10 c mの捕集口を 4 面に有したステンレス製のボックスタイプで、捕集口を東西南北 4 方角に合わせて設置した。この捕集器は、**写真 2.3.5～写真 2.3.7** に示すように、捕集口に付着した塩分が雨水などによって捕集器内に設置したポリ容器に溜まる仕組みになっている。この塩分は、雨水などによって捕集器内のポリ容器に溜まるものと、1 ヶ月ごとに定期回収時に定量の蒸留水（または精製水）で採取するもので構成される。

ガーゼ法による飛来塩分量と土研式による飛来塩分量とに相関関係はないとされている。

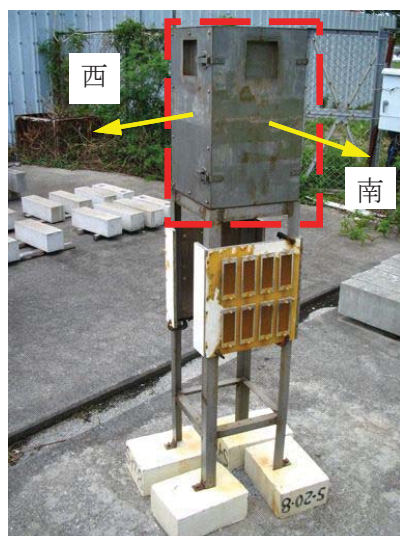


写真 2.3.4 飛来塩分捕集器



写真 2.3.5 捕集口



写真 2.3.6 捕集器内部



写真 2.3.7 ポリ容器設置

【回収方法】

- 1) 捕集口に付着した塩分を洗い流すため、メスシリンダーに蒸留水を定量取り(50ml程度)、捕集口全面を洗い流す。
- 2) ポリ容器を入替える。入替える容器は、蒸留水で内部を洗浄しておく。

【塩分量分析方法（硝酸銀滴定法）】

- 1) 回収した捕集液の体積をメスシリンダーで計量する。
- 2) 捕集液から 5ml 分取し 2 規定硝酸溶液を 5ml 混合し、蒸留水を加え 100ml の分取溶液とする。分取量は予測される塩分濃度に応じて適宜調整する。
- 3) 分取溶液に対し、**写真 2.3.3** に示す自動滴定装置を用いて、1/200 規定硝酸銀溶液による中和滴定分析を行い、以下の式により塩分量を算出した。

化学反応式： $\text{AgNO}_3 + \text{NaCl} \rightarrow \text{AgCl} + \text{NaNO}_3$ より、

$$\text{分取 NaCl 質量 } A(\text{mg}) = 1/200 \times \text{AgNO}_3 \text{ 滴下量 } (\text{ml}) \times 10^{-3} \times \text{NaCl 分子量} \times 10^3 \quad (2.3.4)$$

$$\text{NaCl 捕集質量 } B(\text{mg}) = A \times (\text{分析溶液体積 } (\text{ml}) / \text{分取量体積 } (\text{ml}))$$

$$\text{— 未暴露ガーゼの NaCl 質量 } (\text{mg}) \quad (2.3.5)$$

$$\text{飛来塩分量 } C(\text{NaCl:mdd}) = B / \text{捕集面積 } (\text{dm}^2) / \text{捕集日数 } (\text{day}) / 2 \quad (2.3.6)$$

式(2.3.6)に示す通り、本研究で扱う飛来塩分量は、NaCl 量の mdd(=mg/dm²/day)値とした。

2.4 風向風速

風向風速計は、計測地点での、風況と、海塩粒子の飛来方向を知る事ができる。**写真 2.4.1**に示すように風向風速センサーを約 3m の鋼管の先端に固定し、データロガーおよびロガーバッテリー充電用のソーラーパネルを同じ鋼管に固定したものを設置した。これを橋梁の高欄、暴露場フェンスの支柱などに固定して計測を行った。

風向風速センサーの仕様は、風速測定範囲が 0~60m/sec、風向は 16 方位であらわされる。データの記録は、インターバル 10 分とし、データロガーには以下の項目が記録される。

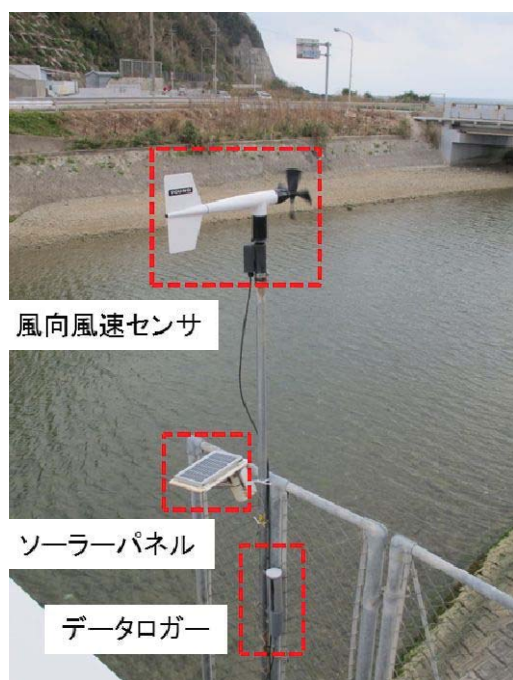
平均風速：10 分間の平均値 ※)

最大風速：10 分間の内の最大値 ※)

最多風向：10 分間の最多風向 ※)

最大時風向：最大風速の時の風向

※)インターバル 10 分の時



風向風速センサ

ソーラーパネル

データロガー

(A) 暴露場 (フェンス支柱固定)



(B) 橋梁高欄

写真 2.4.1 風向風速計設置状況

【主風向の把握】

風向風速計による計測データから、以下の式(1)、(2)を用いて計測期間中の平均風速と風向頻度を方角毎に算出して、これらが最大となる方角を主風向として決定した。

$$V_{AVE} = \sum V_{AVE10} / \sum n \cdots \cdots (1)$$

$$F_{dir} = \sum_{dir=1}^{16} n_{dir} / \sum n \times 100 \cdots \cdots (2)$$

V_{AVE} ：平均風速(m/s)， V_{AVE10} ：10 分間平均風速(m/s)， n ：計測回数

F_{dir} ：風向 dir の風向頻度(%)， n_{dir} ：風向 dir での 10 分間最多風向の計測回数，

dir ：16 分割表示風向(ex.: 16=N, 1=NNE)

【計測例】

図 2.4.1 に EX:A での風向頻度および平均風速を示す。計測期間は、2013 年 3 月 1 日~2014 年 2 月 28 日である。図より、主風向は西北西である。

図 2.4.2 に、主風向と計測地点の位置関係を示す。図より、EX:A では、主に海岸からの風が主に吹いていることがわかる。

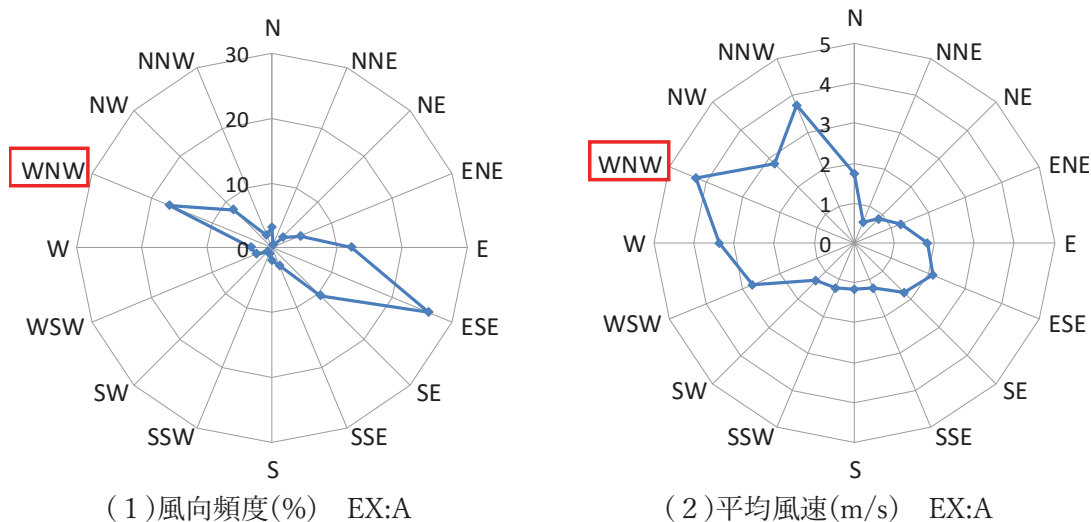


図 2.4.1 主風向の決定

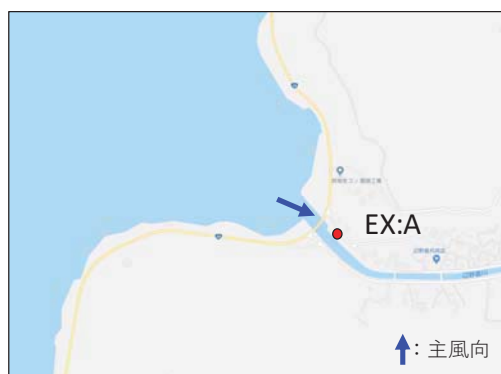


図 2.4.2 主風向と計測地点の位置関係

2.5 鋼板暴露試験

1 年間暴露した腐食減耗量から、設置環境での腐食減耗量の把握と、腐食減耗量予測曲線の推定等に利用する。

(1) 試験片

鋼板暴露試験には、**写真 2.5.1** に示す SMA 鋼（50×50×2mm、鏡面仕上げ。以下、ワッペン試験片という）を用いた。ワッペン試験片は、化学成分を一定にコントロールし、鋼板表面を鏡面仕上げしたものである。**表 2.5.1** にワッペン試験片の化学成分表を示す。

(2) 暴露方法

ワッペン試験片の設置は、**写真 2.5.2** に示すように飛来塩分捕集器と同位置で、実橋では桁内の下フランジ上面に垂直設置し、4 か所の暴露場では暴露架台内の雨がかりのない箇所に垂直設置した。暴露期間は 1～3 年である。暴露期間中は、電磁式膜厚計によりさび厚の計測を行った。さび厚計測は 10 回計測の平均値をさび厚値とする。

暴露鋼板を回収後、さび成分の定量分析、腐食減耗量の算出、腐食減耗曲線の算出を行った。

(3) 除せい方法

腐食減耗量の計測は、JIS Z 2383 および文献⁴⁾に準じて塩酸法で行った。

- 1) 塩酸 500ml、インヒビターとしてヘキサメチレンテトラミン 3.5g、および酸洗腐食抑制剤（ヒビロン A-6）3.0ml を添加し、さらに蒸留水を加え 1000ml の酸洗溶液を作成する。
- 2) 暴露鋼板を水道水で洗い、浮きさび等をあらかじめ除去する。
- 3) 暴露鋼板とブランク鋼板と一緒に、酸洗溶液に 1 分間浸漬と、水洗いのサイクルを 3 回繰り返す。
- 4) その後、酸洗溶液に 5 分間浸漬と、水洗いのサイクルを除せい完了まで繰り返す。5 分浸漬、水洗いのサイクルを 3 回繰り返して、さびが多く残っている場合は、15 分浸漬、水洗いのサイクルで除錆完了まで繰り返す。
- 5) 除せいの鋼板とブランク鋼板を恒温乾燥機で約 15 分乾燥させる。
- 6) 乾燥させた鋼板を恒温乾燥機から取出し、冷ました後、鋼板の質量を計量する。
計量には精度 0.1mg の電子天秤を用いた。
- 7) 腐食減耗量を以下のように算出する。

$$\text{腐食減耗量 (mm)} = \frac{(\text{暴露前鋼板質量}) - \{(\text{除さび後鋼板質量}) - (\text{未暴露鋼板質量減量})\}}{\text{鉄密度}} \div (\text{暴露面積}) \quad (2.5.1)$$

ここで、ブランク鋼板とは、暴露鋼板と同様の未暴露鋼板で、式 (2.5.1) に示すように腐食減耗量を算出する際に、酸洗による母材の腐食減量を差引くために用いる。

(4) 減耗量、減耗曲線

腐食減耗曲線は、既往の研究⁵⁾より、 X を暴露期間（年）、 Y を腐食減耗量（mm）、 A 、 B を定数として、一般に以下のように表される。

$$Y=AX^B \quad (2.5.2)$$

腐食減耗曲線は式（2.5.2）による直接近似による方法⁵⁾（以下、直接近似式）と、1年暴露の腐食減耗量から A を決定し、 A の大きさから B 値を決定する方法⁶⁾（以下、既往研究式）の二通りの方法で求めた。ここで、 X は暴露期間、 Y （mm）は腐食減耗量、 A と B は腐食速度パラメータであり、 A は初年度の腐食減耗量にあたり B 値は以下から推定が可能である。

上限値 B_{SMA} ：

$A_{SMA} \leq 0.004\text{mm}$ に対して、 $B^{\text{Upper}}=1$

$0.004\text{mm} < A_{SMA} \leq 0.03\text{mm}$ に対して、 $B^{\text{Upper}}=-0.45711 \cdot \log_{10}(A_{SMA}/0.004)+1.0$

$0.03\text{mm} < A_{SMA} \leq 0.1\text{mm}$ に対して、 $B^{\text{Upper}}=-0.76500 \cdot \log_{10}(A_{SMA}/0.1)+1.0$

$0.1\text{mm} < A_{SMA}$ に対して、 $B^{\text{Upper}}=1$

下限値 B_{SMA} ：

$A_{SMA} \leq 0.004\text{mm}$ に対して、 $B^{\text{Lower}}=0.85$

$0.004\text{mm} < A_{SMA} \leq 0.03\text{mm}$ に対して、 $B^{\text{Lower}}=-0.45711 \cdot \log_{10}(A_{SMA}/0.004)+0.85$

$0.03\text{mm} < A_{SMA} \leq 0.1\text{mm}$ に対して、 $B^{\text{Lower}}=0.66937 \cdot \log_{10}(A_{SMA}/0.1)+0.8$

$0.1\text{mm} < A_{SMA}$ に対して、 $B^{\text{Lower}}=0.8$

(5) 暴露試験結果

表 2.5.2、および図 2.5.1 に単純鉸桁橋（6 主桁）でのワッペン試験片暴露試験結果を示す。

表 2.5.3、および図 2.5.2 に単純鉸桁橋（3 主桁）でのワッペン試験片暴露試験結果を示す。

なお、**図 2.5.1、図 2.5.2** には、無塗装仕様耐候性鋼の鋼橋への適用の現行基準を示した。

無塗装仕様耐候性鋼の適用性に関する現行基準

100 年で腐食減耗量が 0.5mm 以下（50 年で 0.3mm 以下）

単純鉸桁橋（6 主桁）では、下フランジ上面に水平に設置した試験片の腐食減耗曲線において、上限曲線が現行基準を超えており、注意が必要である。

単純鈑桁橋（3主桁）橋では、下フランジ上面に海向きに垂直設置した試験片の腐食減耗曲線の上限曲線が現行基準値を超えており、注意が必要である。また、桁下環境では、下限曲線も現行基準を超えており、注意が必要である。



写真 2.5.1 ワッペン試験片 (SMA 鋼)

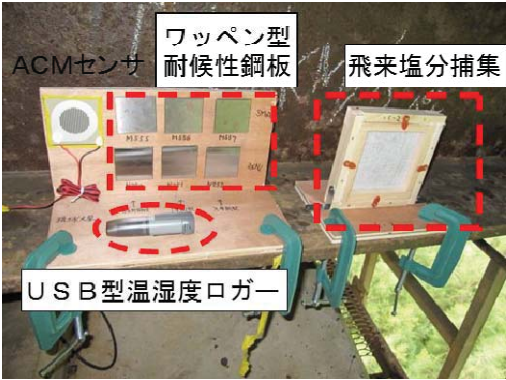


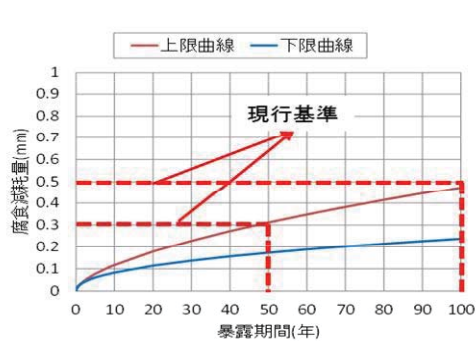
写真 2.5.2 ワッペン試験片設置状況

表 2.5.1 ワッペン試験片成分表(SMA 鋼)

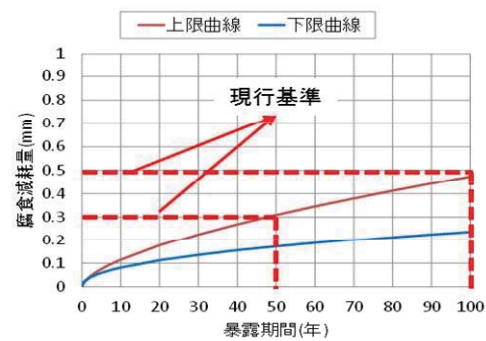
化学成分CHEMICAL COMPOSITION %							
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
12	26	107	11	3	31	7	45

表 2.5.2 単純鈑桁橋（6主桁） 減耗曲線係数一覧

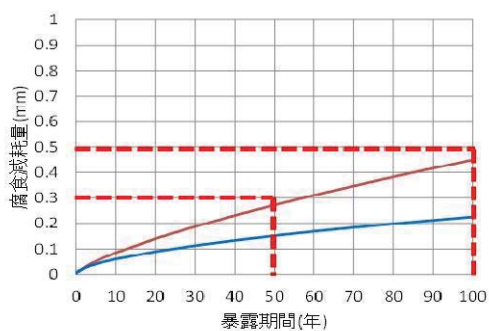
試験体 No.	設置部位	腐食減耗量 (mm)	Asma (mm)	Bsma (上限曲線)	Bsma (下限曲線)
M1773	G5 桁下 海向き 水平置き	0.0279	0.0279	0.6141	0.4641
M1774	G5 桁下 海向き 垂直置き	0.0291	0.0291	0.6063	0.4563
M1775	G5 陸向き 水平置き	0.0335	0.0335	0.6367	0.4821
M1776	G5 陸向き 垂直置き	0.0158	0.0158	0.7273	0.5773
M1777	G5 海向き 水平置き	0.0326	0.0326	0.6277	0.4743
M1778	G5 海向き 垂直置き	0.0278	0.0278	0.6151	0.4651



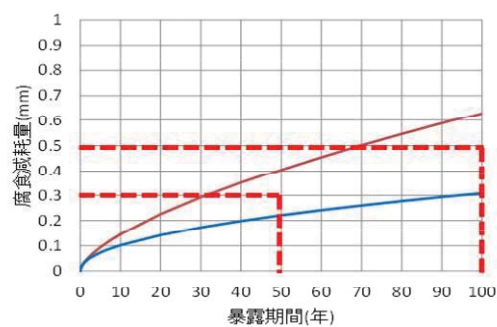
(1) G5 桁下 海向き 垂直置き



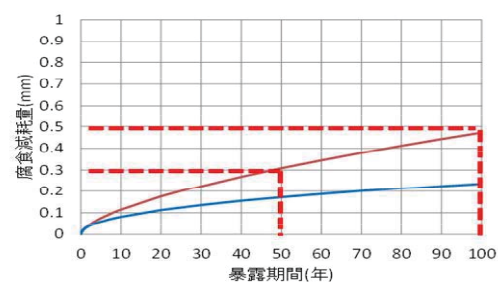
(2) G5 桁下 海向き 水平置き



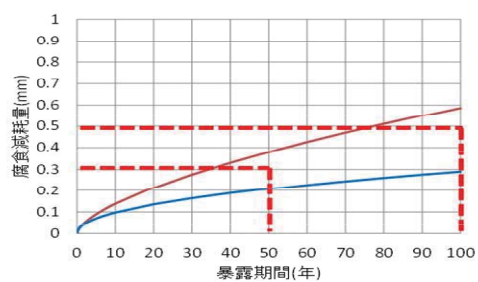
(3) G5 陸向き 垂直置き



(4) G5 陸向き 水平置き



(5) G5 海向き 垂直置き

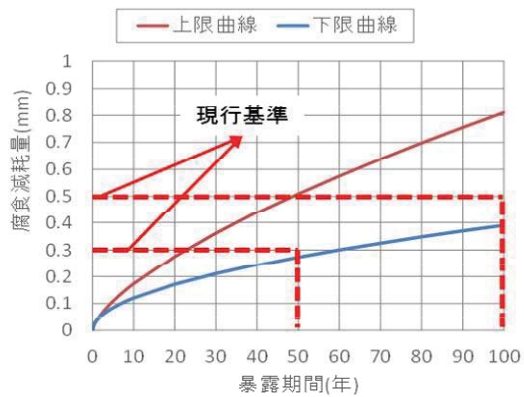


(6) G5 海向き 水平置き

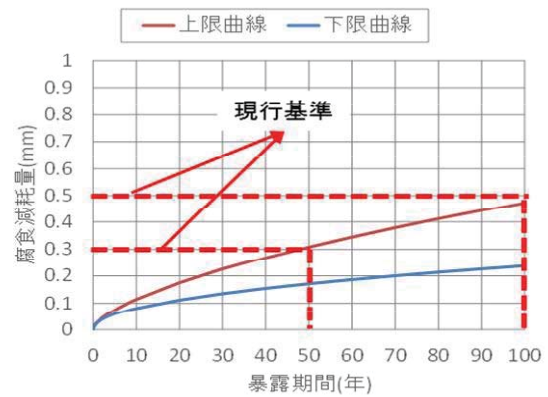
図 2.5.1 腐食減耗曲線(単純鉸桁橋 (6 主桁))

表 2.5.3 単純鉸桁橋 (3 主桁) 減耗曲線係数一覧

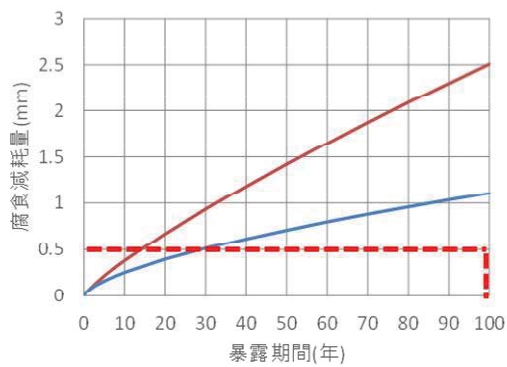
試験 No	設置部位	腐食減耗量 (mm)	Asma (mm)	Bsma (上限曲線)	Bsma (下限曲線)
M1524	G1 海向き 垂直置き	0.0370	0.0370	0.6701	0.5113
M1526	G2 陸向き 垂直置き	0.0278	0.0278	0.6155	0.4655
M1523	G2 海向き 垂直置き	0.0384	0.0384	0.6820	0.5217
M1528	G2 桁下 海向き 垂直置き	0.0579	0.0579	0.8183	0.6410



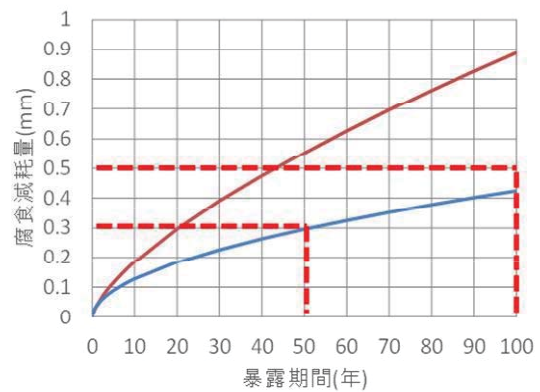
(1) G1 海向き 垂直置き



(2) G2 陸向き 垂直置き



(3) G2 海向き 垂直置き



(4) G2 桁下 海向き 垂直置き

図 2.5.2 腐食減耗曲線(単純鈑桁橋 (3 主桁))

3 調査結果：腐食速度と飛来塩分量の関係

(1) 調査概要

暴露試験には、SMA 鋼材 (50×50×3mm、鏡面仕上げ、以下、ワッペン試験片という) を用いた。写真 3.1 と写真 3.2 に設置状況を示す。なお、琉球大学にて実施した調査地点の一覧を表 3.1、図 3.1 に示す。ワッペン試験片の設置は、実橋では桁内の下フランジ上面に垂直設置し、4 か所の暴露場では暴露架台内の雨がかりのない箇所垂直設置した。



写真 3.1 設置状況(橋梁)

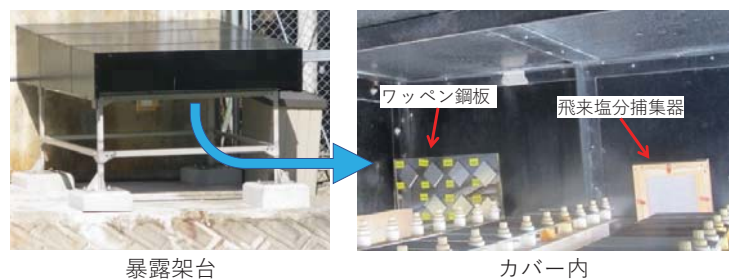


写真 3.2 設置状況(暴露架台)

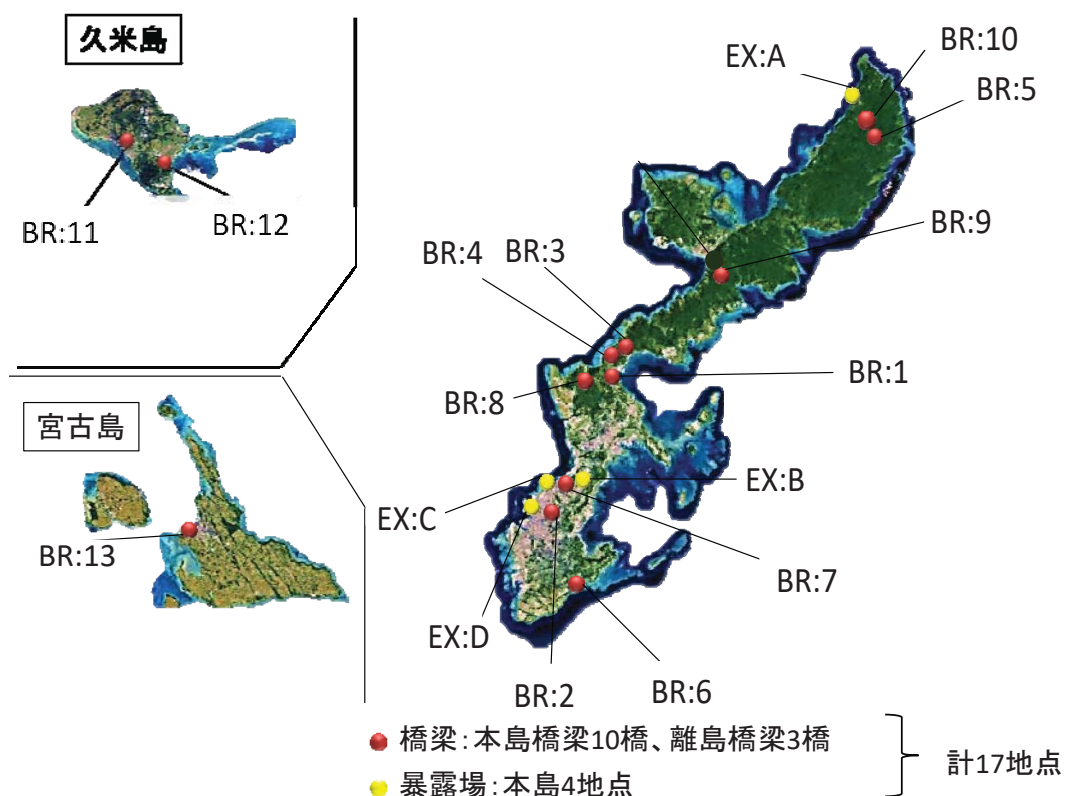


図 3.1 調査地点マップ

表 3.1 調査地点一覧

	調査地点	離岸距離 (km)	環境条件	鋼板暴露期間
1	BR:5	2.5	山間部ダム湖	2010年 8月～2011年7月
2	BR:9	2	山間部	2011年 9月～2012年8月
3	BR:3	2	山間部	2009年 7月～2010年6月
4	BR:4	1	山間部	2011年 4月～2012年3月
5	BR:8	2	山間部	2011年 9月～2012年8月
6	BR:1	0.6	河川上	2009年 8月～2010年7月
7	BR:2	2.5	市街地	2010年 4月～2011年3月
8	BR:12	0.08	沿岸部河川上	2011年 12月～2012年12月
9	BR:11	0.4	沿岸部河川上	2011年 12月～2012年12月
10	BR:6	0.4	沿岸部	2011年 9月～2012年8月
11	BR:7	2	内陸部	2012年11月～2013年10月
12	BR:10	2.5	山間部ダム湖	2013年12月～2014年12月
13	BR:13	0	沿岸部	2011年 9月～2012年8月
14	EX:B	2.5	内陸部	2011年11月～2012年11月
15	EX:A	0.05	沿岸部河川護岸上	2011年 9月～2015年5月
16	EX:C	0.2	沿岸部河川沿い	2011年8月～2015年6月
17	EX:D	0.01	沿岸部港	2013年 2月～2015年6月

図 3.2 に腐食速度と飛来塩分量との関係を示す。図の腐食速度は表 3.1 に示す 1 年暴露の腐食減耗量である。図中には暴露試験結果と全国 41 橋暴露試験の測定値をプロットしている。なお、この雨がかり無し・垂直置き設置の条件は、本研究において飛来塩分量と腐食速度の関係性を評価する上で基本となる条件である。図 1.5.1 より、本研究と全国 41 橋

暴露試験では調査した年代や地域が異なっているにも関わらずデータの傾向に差異はなく、腐食速度と飛来塩分量の相関が良好に一致していることがわかる。

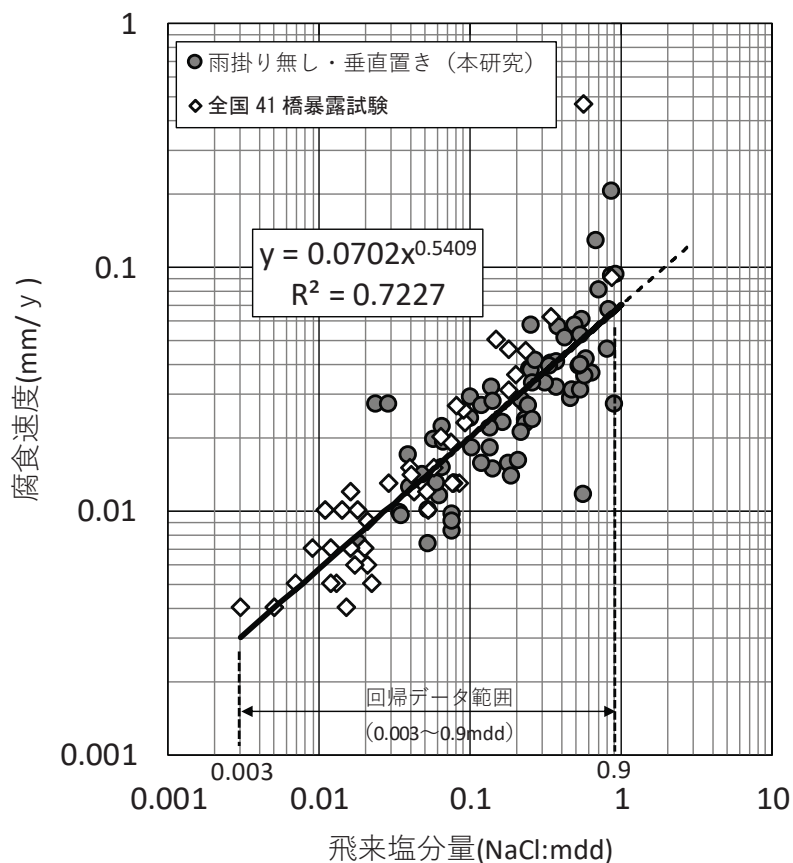


図 3.2 腐食速度（1 年暴露腐食減耗量）と飛来塩分量の関係
（雨がかり無し、垂直置き）

【参考文献】

- 1) ISO9223:Corrosion of metals and alloys-Corrosivity of atmospheres-Classification, 1992. 02. 15
- 2) JIS Z 2382:大気環境の腐食性を評価するための環境汚染因子の測定、1998
- 3) 公益社団法人日本道路協会：鋼道路橋防食便覧、平成 26 年 3 月(2014. 3.)
- 4) 社団法人日本鋼構造協会、鋼橋性能向上委員会・耐候性鋼橋梁部会：耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術、テクニカルレポート、No73、2006. 10.
- 5) 建設省土木研究所ら：耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書(XⅧ)－全国暴露試験のまとめ（概要編）－、1993. 3.
- 6) 建設省土木研究所、構造橋梁部橋梁研究室：耐候性鋼材の全国暴露試験、土木研究所資料第 1835 号、1982. 4

6. 腐食高力ボルトの残存軸力評価

1. はじめに

図1に示すように、鋼橋の腐食部位の中でも、高力ボルト継手部は他の構造部位に比べて、早期に著しく腐食減肉している場合が多い。その理由としては、角の多いボルトネジ部、ナット部および六角ボルト頭部は塗膜厚の確保がしづらいことに加えて、重防食塗装の下地処理として適用される無機系亜鉛処理が予め工場で処理できないこ



図1 高力ボルトの腐食例

と、さらに、軸力導入時の締め付け傷が生じるため、環境によっては発せいすること等が挙げられる。

腐食減肉した高力六角ボルトは、その軸力の低下が懸念され、腐食減肉が生じたボルトの本数によっては構造不安定になる危険性がある。そこで、腐食した高力ボルトの残存軸力評価を目的に、高力ボルトの残存軸力と腐食減肉量の関係について検討を行った。その際、腐食高力ボルトにみられる減肉形状に着目し、減肉形状を考慮した残存軸力評価法を提案した¹⁾。そして、実橋において腐食減肉が生じた高力ボルトを採取し、ナット部とボルト頭部の腐食減肉量と残存軸力の計測を行い、提案手法の精度検証を行った。以下に、実腐食高力ボルトの残存軸力と腐食減肉量の計測結果の概要を示す。

2. 腐食高力ボルトの腐食減肉量の計測

実橋の腐食鋼橋より採取した図2に示す摩擦接合継手の高力ボルトを用いて、腐食減肉形状を計測した。計測に先立ち、採取した腐食高力ボルトのさびを除去するためにブラスト処理を行った。腐食減肉形状の計測は、図3に示すように、ナット部とボルト頭部の両部を対象に、ノギス、直角定規、およびテーパゲージを用いた。ナット部の腐食減肉形状は、図4(a)に示すように6つのナット側面の中央部について、座金面からナットの高さ方向に0、4、8、12、16、及び

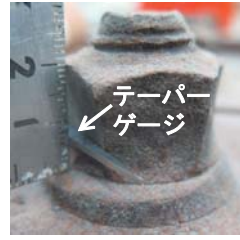


図2 採取した摩擦接合継手

20mmの6箇所、合計36箇所を1ボルト当たり計測した。ボルト頭部の腐食減肉形状は、図4(b)に示すようにボルト頭部の6つの側面に対して、座金面からの高さ0、4、8mm及び最上部の4箇所、計24箇所を1ボルト当たり計測した²⁾。



(a) ナット上面の計測



(b) ナット側面の計測

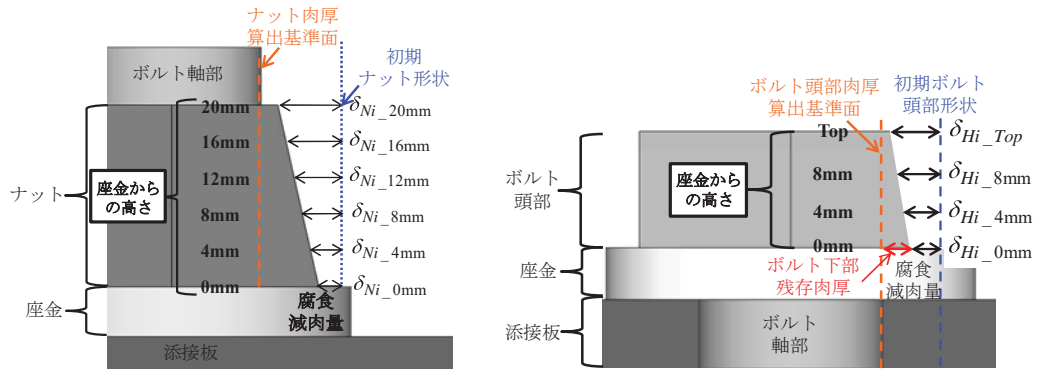


(c) ボルト頭部下部の計測



(d) ボルト頭部上部の計測

図3 減肉量の計測状況



(a) ナット部の腐食減肉形状計測箇所 (b) ボルト頭部の腐食減肉形状計測箇所

図4 減肉形状計測箇所

計測結果より、高力ボルトの残存軸力を評価するために、以下に示す座金近傍の 2 乗平均減肉量¹⁾の算出を行った。なお、座金近傍とはナット側では座金からの高さ 12mm まで、ボルト頭部では座金からの高さ 8mm までの減肉量であり、現地においてもノギス等を用いて簡易に計測することが可能である。

$$\Delta_{NW} = 2 \times \frac{\sum_1^6 (\delta_{Ni_0mm} + \delta_{Ni_4mm} + \delta_{Ni_8mm} + \delta_{Ni_12mm}) / 4}{6} \quad (1a)$$

$$\Delta_{HW} = 2 \times \frac{\sum_1^6 (\delta_{Hi_0mm} + \delta_{Hi_4mm} + \delta_{Hi_8mm}) / 3}{6} \quad (1b)$$

$$\Delta_{RMSW} = \frac{\sqrt{(\Delta_{NW})^2 + (\Delta_{HW})^2}}{2} \quad (1c)$$

ここで、 Δ_{NW} 及び Δ_{HW} はナット部及びボルト頭部の座金近傍の平均減肉量、 δ_{Ni_Xmm} 及び δ_{Hi_Xmm} はナット部及びボルト頭部の i 面の各計測位置の減肉量、 Δ_{RMSW} は座金近傍の 2 乗平均減肉量を示す。

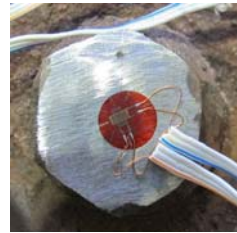
3. 腐食高力ボルトの残存軸力の計測と残存軸力評価手法

実腐食した高力六角ボルト 54 本を対象に、残存軸力を計測した。高力ボルトの残存軸力計測法の一つにひずみゲージ法³⁾がある。この方法は軸力導入（もしくは解放）時のボルト頭頂部表面に発生する横ひずみから軸力を求める方法である。しかしながら、本研究で対象とした腐食減肉した高力ボルトでは、軸力解放のためにナットを緩めることが困難である。

そこで、ここでは残存軸力計測にひずみゲージ法を応用したコア抜き法を適用した。この方法は、**図 5** に示すようにナット側から $\Phi 25\text{mm}$ のコア抜きを行い、コア抜きによる軸力解放に伴うボルト頭頂部の横ひずみの変化量から残存軸力を求める方法である。この方法の計測精度については、新材高力ボルトを用いて、ボルト頭部に貼りつけた 2 軸のひずみゲージから得られる横ひずみと軸力計を用いて導入した軸力との相関分析を行っており、約 98% と高い相関性を示すことが既往研究より得られている⁴⁾。



(a) コア抜き作業 (b) コア抜き後



(c) ボルト頭部のひずみゲージ貼り付け状況

図 5 コア抜き法

腐食高力ボルトの残存軸力計測結果より算出した残存軸力割合と座金近傍の 2 乗平均減肉量との関係を**図 6** に示す。図には回帰曲線と回帰曲線の $\pm 15\%$ を実線と破線でそれぞれ示している。なお、一般的に高力ボルトの初期軸力は、設計軸力の 10% 割増しで締め付けを行うことから、残存軸力割合は F10TM22 の高力ボルトの設計軸力 (205kN) の 10% 割増した 226kN を 100% とし、算出している。図より、座金近傍の 2 乗平均減肉量が増加するに従い、残存軸力割合が低下していることがわかる。また、ほとんどの計測結

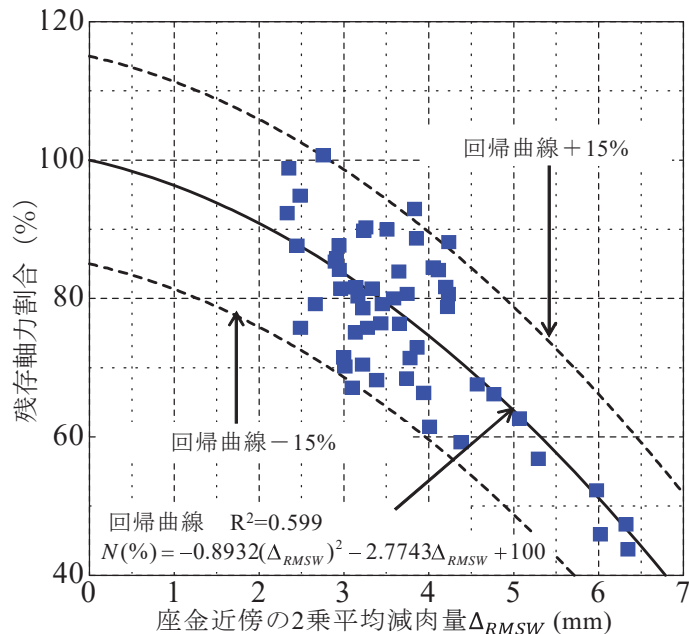


図 6 残存軸力割合と座金近傍の 2 乗平均減肉量の関係

果が回帰曲線の±15%の破線の範囲内にプロットされており、腐食減肉量より高力ボルトの残存軸力を概ね推定できるといえる。腐食高力ボルトの残存軸力を安全側に評価するためには、回帰曲線の－15%の下式を用いて評価すべきであるといえる。

$$N(\%) = -0.8932(\Delta_{RMSW})^2 - 2.7743(\Delta_{RMSW}) + 85 \quad (2)$$

なお、本評価手式は、ボルト頭部高さの減肉量が 6mm 以下の結果に基づき構築したものであるため、頭部高さの減肉量が著しい高力ボルトについては、別途検討が必要である。

【参考文献】

- 1) Masayuki TAI, Tetsuhiro SHIMOZATO, Yoshitomo NAGAMINE, Yasunori ARIZUMI, Tetsuya YABUKI: Dependence of Residual Axial Force on Thickness and Shape in Corroded High-Strength Bolts, Journal of Structural Engineering, Vol.144, Issue 7, ASCE, 2018.
- 2) 下里哲弘、田井政行、長嶺由智、有住康則、矢吹哲哉：実腐食減肉形状を有する摩擦接合用高力六角ボルトの残存軸力特性、構造工学論文集、Vol. 62A、pp. 503-513、2016.
- 3) 土木学会：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案)、2007.
- 4) 下里哲弘、田井政行、有住康則、矢吹哲哉、長嶺由智：腐食劣化した高力ボルトの残存軸力評価に関する研究、構造工学論文集、Vol. 59A、pp. 725-735、2013.

7. 多機能防食デッキの防食性能評価

1. はじめに

多機能防食デッキとは、主として鋼橋の防食と足場防護工の機能を果たす外装板であり、桁間タイプと全面タイプがある。呼称として飛来塩分防護板¹⁾、防塩板等の他、足場機能を重視した恒久足場、常設足場なども用いられている。多機能防食デッキの防食機能は、鋼道路橋防食便覧²⁾の3.2 鋼道路橋の防食法の分類（図1参照）における環境改善による防食に該当し、飛来塩分を主とした腐食因子を遮断することで内部の鋼桁および床版下面の腐食劣化を防ぐものである。足場防護機能は、内部の鋼桁および床版下面の近接目視点検や補修工事の際の足場防護工の役割を果たし、床版コンクリートの剥落などの落下防護工ともなる。

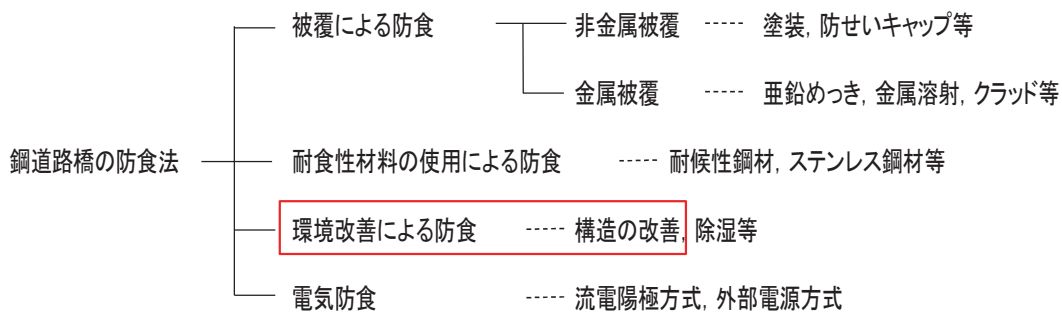


図1 鋼道路橋の防食法

平成26年7月施行の道路法施工規則で5年に1度の頻度で近接目視点検を行うことを基本とすることになり、鋼橋の維持管理設備の重要性が見直され、腐食環境の厳しい場所や維持管理の難しい跨線、跨道橋などを中心に多機能防食デッキのニーズは高まりつつある（図2参照）。本文では、多機能防食デッキの要求性能と防食性能確認実験の概要を述べる。



図2 多機能防食デッキ適用橋の断面と事例写真

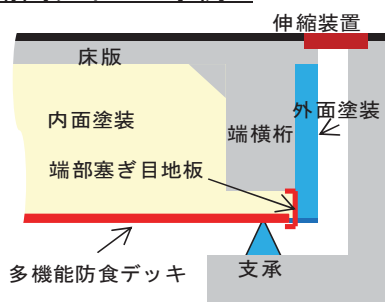
2. 多機能防食デッキの要求性能

1) 腐食因子遮断

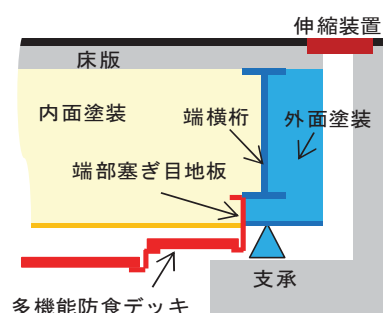
橋体の鋼材腐食、塗膜劣化、床版下面コンクリートの劣化の要因となる飛来塩分・雨水・紫外線などを遮断すること。

図3に多機能防食デッキ適用橋の断面と桁端部の構造例を示す。桁端部では伸縮装置などからの漏水などに十分な配慮が必要である。

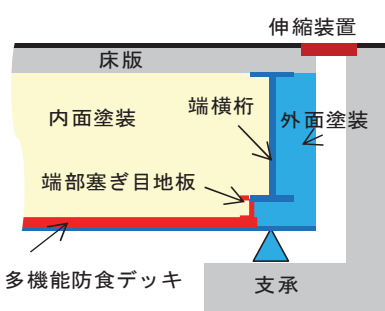
桁間タイプ 事例-1



全面タイプ 事例-1



桁間タイプ 事例-2



全面タイプ 事例-2

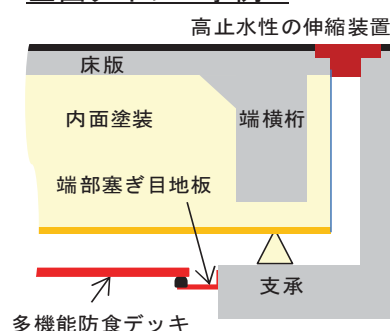


図3 多機能防食デッキの桁端構造

2) 耐荷性

多機能防食デッキの死荷重、点検および補修時の作業荷重、風荷重、地震荷重に耐える強度および剛性を有すること。

- ① 死荷重：多機能防食デッキは、施工性や既設橋への追加設置ニーズから軽量であることが求められる。
- ② 作業荷重：作業員1人の荷重は装備、衝撃を含め1.06kN程度とされており、従来の裏面吸音板などと同様に1㎡当り、1人想定（1.06kN/㎡）、2人想定（2.1kN/㎡）、または検査路（群集）荷重と同様に3.5kN/㎡を採用した事例がある。
- ③ 風荷重：道路橋示方書や耐風設計便覧には橋梁本体（構造体）の設計風荷重（抗力）が示されているが、多機能防食デッキの設計には建築物の屋根・壁材と同様の局所風圧を考慮する必要がある⁴⁾。

④ 地震荷重：本体と同様にレベルⅡ想定地震荷重での照査が必要となる。なお、多機能防食デッキは軽量であるため、レベルⅡ想定地震荷重でもほとんど決定ケースにならない。

⑤ 剛性：一般的に作業床として作業荷重によるたわみを支間長の 1/200 以下とする。




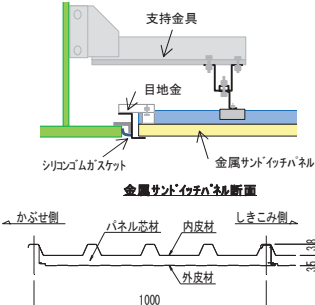
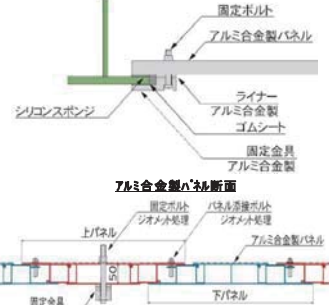
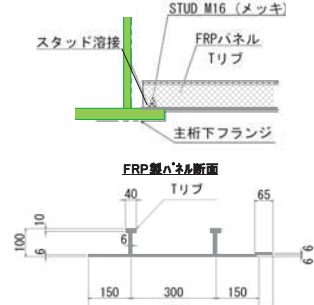
3) 長期耐久性

多機能防食デッキは防食や点検足場の機能により、橋梁本体の長寿命化を図るためのものであり、それ自体が腐食や紫外線等の劣化、疲労などに対して長期耐久性が担保された構造であり、橋外部からの点検が容易なものが求められる。

① 材料：これまで軽量で耐久性に優れ、耐荷性も十分にある金属サンドイッチパネル（外面チタン・塗装ステンレス）³⁾、アルミ合金製パネル⁹⁾、FRP 製パネル^{6) 7)}の事例（表 1 参照）がある。

② 疲労耐久性：多機能防食デッキは橋梁本体の交通振動や風荷重による繰り返し荷重下での取付部材の疲労の照査が必要である。

表 1 多機能防食デッキ（桁間タイプ）の事例

パネル仕様	金属サンドイッチパネル	アルミ合金製パネル	FRP製パネル
写真			
取付構造	 <p>金属サンドイッチパネル断面</p>	 <p>アルミ合金製パネル断面</p>	 <p>FRP製パネル断面</p>

3. 多機能防食デッキの防食性能確認

表2、図4に多機能防食デッキの防食性能確認実験^{3) 5) 6) 7) 8)}（4橋、1試験体）の概要を示す。

表2 防食性能確認実験一覧表

No.	橋 名	多機能防食デッキ	所在地	架橋環境
①	L 橋	金属サンド イッチハ® 複チタン仕様	千葉県君津市君津製鉄所構内	離岸距離5m、海水取水路上
②	O 橋	FRP製パネル	沖縄県国頭郡恩納村	離岸距離1.0km、山間部
③	辺野喜暴露場試験体	アルミ合金製パネル	沖縄県国頭郡国頭村辺野喜	離岸距離 50m、河川上
④	I 橋	アルミ合金製パネル	愛媛県宇和島市津島町	離岸距離1.4km、河川上
⑤	Z 橋	金属サンド イッチハ® 複チタン仕様	沖縄県久米島町銭田	離岸距離50m、河川上



図4 防食性能確認実験場所

飛来塩分の遮断効果や鋼材の腐食速度に着目した実験の結果を以下に示す。

- 実験①、②、③、⑤の飛来塩分、付着塩分量の計測の結果、多機能防食デッキにより十分な飛来塩分の遮断効果が確認できた（図5参照）。
- 実験①、③、④、⑤の温度、湿度モニタリングの結果、多機能防食デッキにより外部に比べ内部の濡れ時間を低減することがわかった。
- 実験①、③、④、⑤の鋼材暴露試験の結果、内部での腐食速度は大幅に低減することが明らかとなった（図6参照）。

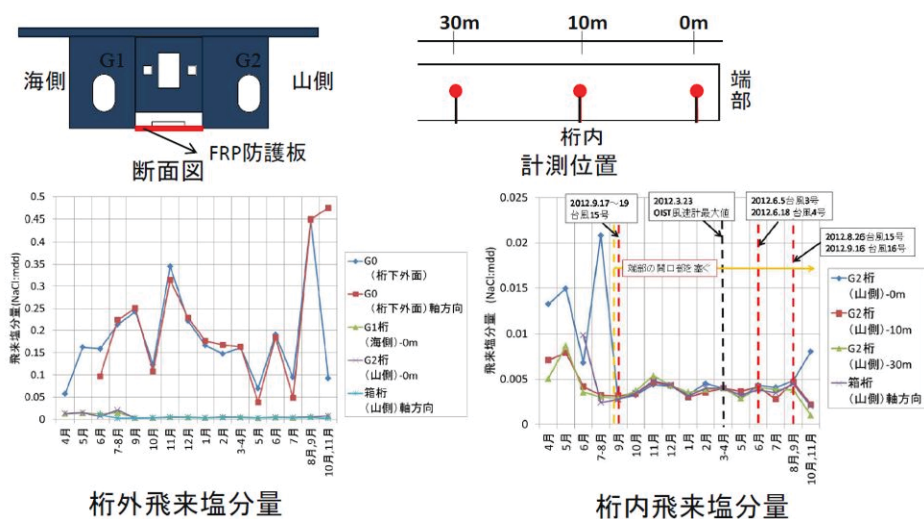


図5 実験②の橋内外の飛来塩分量測定結果

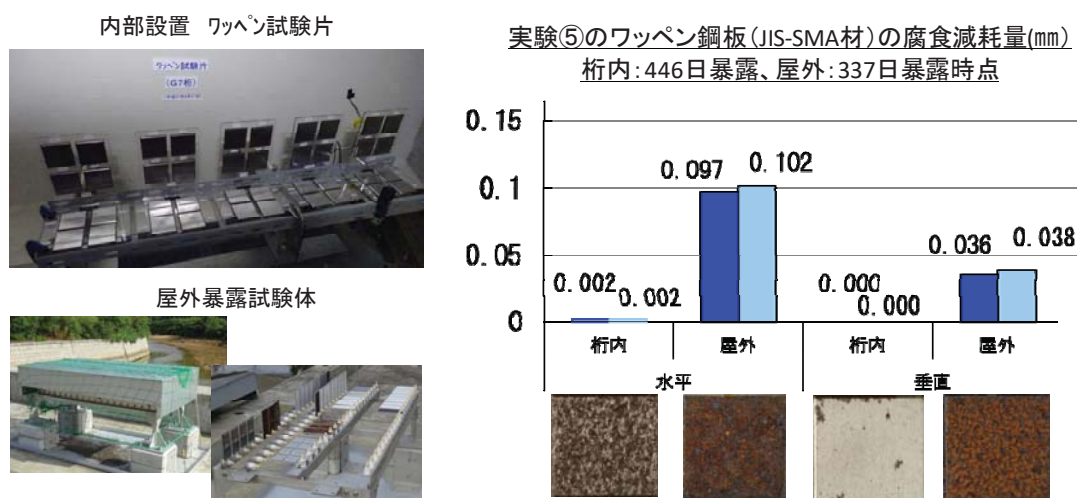


図6 実験⑤の鋼材暴露試験状況

4. まとめと今後の課題

5つの実験の結果より、多機能防食デッキによる飛来塩分の遮断効果や内部の濡れ時間の低減効果が明らかとなり、鋼材暴露試験の結果からも非常に優れた防食性能が確認された。沖縄地区など、過酷な腐食環境となる鋼橋に対して多機能防食デッキによる環境改善の防食法は極めて有効と言える。ただし、まだ実橋適用の日が浅く、実用性検証の事例も少ない技術であり、下記のような課題がある。

- (1) 多機能防食デッキを適用した新設橋では、内部の防食仕様は現状、箱桁内部と同様の内面塗装を標準としている。実証実験からも架橋位置の温度、湿度の条件、橋体（床版・桁断面）や多機能防食デッキの構造によって内部の温度、湿度の状況は変わり、濡れ時間や結露発生有無に影響すると考えられ、さらなる防食仕様の簡素化を図るにはさらなる研究が必要である。
- (2) 既設橋の塩害対策に多機能防食デッキを適用する場合、橋体の付着塩分除去の可否や防食効果（新設橋との違い）などの検証も課題である。付着塩分除去法としては橋梁洗浄などの活用も考えられる。
- (3) 沖縄地区をはじめ実証実験橋では大型台風などでも損傷が無かった実績はあるが、多機能防食デッキに作用する風荷重の状況把握も求められる。
- (4) 多機能防食デッキを設置することで本体の目視点検がやりにくくなる箇所や桁端部など漏水などの危険性がある場合の対処方法なども課題である。内部が屋内環境に近い状態にできることからカメラなどのモニタリング装置の活用も有効と考えられる。
- (5) 多機能防食デッキは腐食や疲労などに対して長期耐久性が担保された構造であるとを要求性能としており、その検証法や多機能防食デッキ自体の点検の容易性の追求が求められる。

多機能防食デッキは鋼橋の防食や点検足場の他、第三者被害防止対策などとしても有効

であり、今後、活用範囲が大幅に拡大していく可能性は大きい。さらに適用橋の調査や構造仕様の合理化に努め、鋼橋の長寿命化と維持管理の確実性と容易さ向上に貢献できることを期待する。

【参考文献】

- 1) 沖縄総合事務局開発建設部・沖縄県土木建築部監修：沖縄地区鋼橋塗装マニュアル、平成 20 年 8 月（2008. 8.）
- 2) 公益社団法人日本道路協会：鋼道路橋防食便覧、平成 26 年 3 月（2014. 3.）
- 3) 藤川敬人、野呂直似、七浦恒康、石原孟、野口孝俊：新しい鋼橋防食法としてのチタンカバープレート工法の性能確認、橋梁と基礎 pp49-54、2008. 6
- 4) 藤川敬人、岡本有造、石原孟、野口孝俊：羽田 D 滑走路棧橋部カバープレートの風荷重算定について、土木学会第 62 回年次学術講演会、pp311-312、2007. 9
- 5) 七浦恒康、佐藤弘隆、藤川敬人、鈴木恵太：臨海部橋梁における高耐食外装材の防食性能、橋梁と基礎 25、pp25-28、2014. 10
- 6) 久保圭吾、亀子学、山下修平、下里哲弘、有住康則、矢吹哲哉：FRP 防護板を用いた鋼桁間の腐食環境改善に関する研究、土木学会第 67 回年次学術講演会、pp329-330、2012. 9
- 7) Yamashita, S., Arizumi, Y., Shimo zato, T., Yabuki, T.: Pacific Structural Steel Conference, June 2013, Singapore, Paper No. 092
- 8) 立花周作、藤川敬人、麻生稔彦：亜熱帯地域における多機能防食デッキを採用した鋼橋の腐食環境調査、土木学会第 72 回年次学術講演会概要集、pp603-604、2017. 9
- 9) 井口進、中東剛彦：アルミニウム製飛来塩分遮断板「cusa」の開発、YBHD グループ技報 No. 43、pp92-95、2014. 1

8. 継手部ボルト・ナットの厚膜塗装法

最近の橋梁塗装工事で増加しつつある継手部におけるエポキシ厚膜塗装について、塗装現場では、能率が良く、安全に、確実に施工出来る塗装工法の開発を囑望している。この期待に対し継手部でも最も塗装し難い締結部ボルト・ナットに雌型カップを被せて、注入塗装する方法を開発した。実橋塗装において実用性が検証できたので、厚膜塗装方法の一例として本稿にて報告するものである。

1. まえがき

一般に鋼構造物の発せいは構造材のエッジや、継手部のボルト・ナットなどの 限定部が一般部に比べて著しく早く発現することは、多くの調査結果で指摘されている。

湾岸地区の場合は、塩分及び湿度の影響が強くあらわれるため、都市部、山間部、工業地帯に比べて異常に早く発せいをおこし、放置しておくとも腐食が進行し、構造材としての強度の低下を招くと共に、さび汁によって美観性を損なうので、早期のメンテナンスが必要である。

このような強腐食環境下での鋼構造物の防食塗装は、油性塗料から塩化ゴム塗料へ、さらにジンクリッチ塗料をプライマーとした、エポキシ・ウレタン塗装形に変わってきているのも、より高度に耐久性を発揮できる塗装系で塗装することで、鋼構造物を長期間「さび」から守ろうとしているわけである。たしかに、ジンクリッチ/エポキシ/ウレタン塗装系を採用してから「さび」に原因する事故は激減した。しかし、継手部のボルト・ナットが相変わらず早くさびる状況は改善されておらず、**写真-1** に示すように一般部よりかなり早い時点で発せいしている。

これは「塗料の性能が悪い」と言うわけではなく、「このような箇所は塗膜が必要な厚みで塗られていないから」と解釈すべきである。

ボルト・ナット及びネジ部はシャープなエッジの多い被塗物である。シャープなエッジは塗料が流れやすく、折角塗り付けても防食に必要な厚さが得られない。これが早期にさびる原因となっているのである。

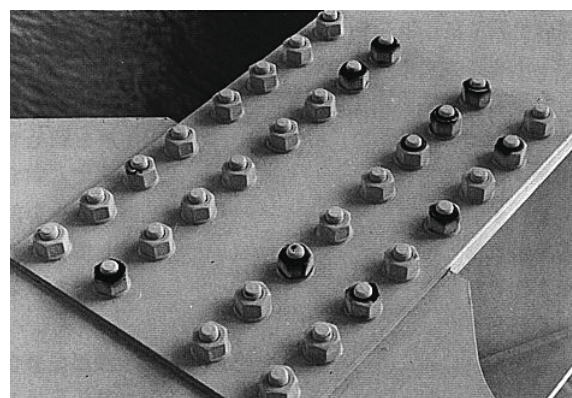
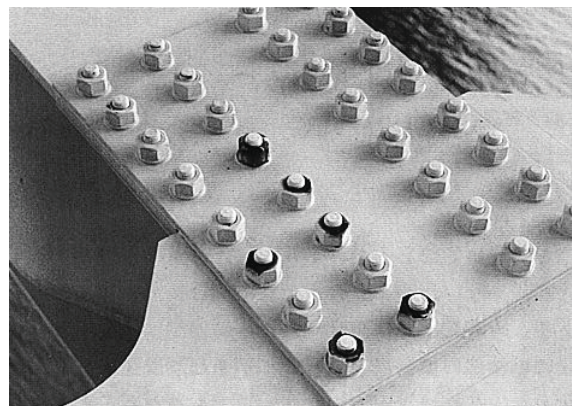


写真-1 桁継手部の発せい状況

塗膜調査でも図-1 に示す箇所が最もさびが出やすいことが確認されている。

構造材のエッジの場合は、面取りをすることで改善することが可能であるが、ボルト・ナットは面取りすることが出来ないため、この点でも不利な被塗物であるといえる。本四公団では 海上橋のように過酷な環境にある橋梁の継手部の塗装に表-1、表-2 に示す超厚膜型塗料を規格化した。これはシャープなエッジでも流れることがない厚膜塗料で塗り包んでしまい、長期間にわたってボルト・ナットを防食することを目的としている。

しかし、実際に継手部のボルト・ナットの厚膜塗装工事を行ってみると、 $300\mu\text{m}$ の場合でも必要な量をはけで塗布する作業が難しく、折角厚膜の塗付ができてはけでならず時に取り去ることが避けられず、防食効果を得る厚膜に塗るには、時間をかけて丁寧に塗装しても、最低2回の塗装を必要とする、非常に難しい塗装であることがわかった。

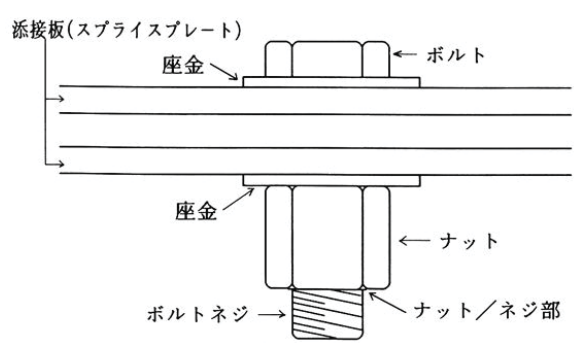


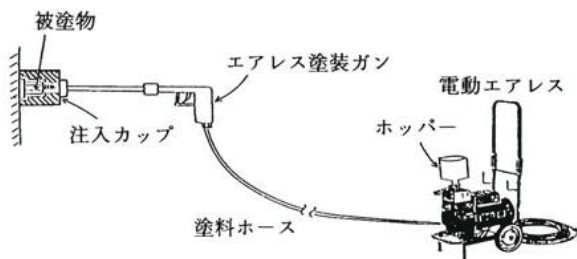
図-1 継手部の発せいしやすい箇所

表-1 超厚膜型エポキシ樹脂（ $300\mu\text{m}$ 用）の品質 HBS-K-5620-1990

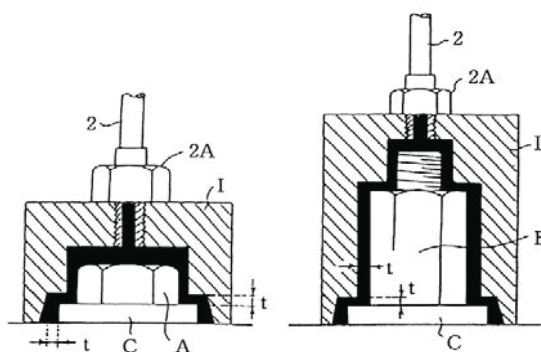
項目	品質
容器の中での状態	主剤・硬化剤ともにかき混ぜたとき堅いかたまりがなくて一様になること
混合性	均等に混合すること
乾燥時間 h	16以内
塗膜の外観	流れ・つぶ・しわ・むら・われ・ふくれ・あな・はがれがないこと
ポットライフ h	20°C で利用できる時間が5以上であること
作業性	塗装作業（特に、はけさばき）に支障がなく、 $300\mu\text{m}$ （乾燥膜厚）塗装しても流れ・われ・はがれがないこと
耐衝撃性	500mmの高さから300gのおもりを落としたとき、おもりの衝撃で塗膜にわれ及びはがれができないこと
耐塩水性	塩化ナトリウム水溶液（3W/V%）に500時間浸しても異状がないこと
混合塗料中の加熱残分%	70以上
エポキシ樹脂の検出	エポキシ樹脂が存在すること

表-2 超厚膜型エポキシ樹脂（ $1000\mu\text{m}$ 用）の品質 HBS-K-5621-1990

項目	品質
容器の中での状態	主剤・硬化剤ともにかき混ぜたとき堅いかたまりがなくて一様になること
混合性	均等に混合すること
乾燥時間 h	16以内
塗膜の外観	流れ・つぶ・しわ・むら・われ・ふくれ・あな・はがれがないこと
ポットライフ h	20°C で利用できる時間が1以上であること
作業性	塗装作業に支障がなく $1000\mu\text{m}$ （乾燥膜厚）塗装しても流れ・われ・はがれがないこと
耐衝撃性	500mmの高さから500gのおもりを落としたとき、おもりの衝撃で塗膜にわれ及びはがれができないこと
耐塩水性	塩化ナトリウム水溶液（3W/V%）に500時間浸しても異状がないこと
混合塗料中の加熱残分%	95以上
エポキシ樹脂の検出	エポキシ樹脂が存在すること



図－2 塗装器具を用いた施工概念図



図－3 雌型カップの断面図

しかも、最近になって橋梁の塗替えて継手部塗装を厚膜仕様で塗装する工事が急増しており、塗装の現場では能率の良い塗装方法の開発が囑望されているのが現状である。

ここでは、開発したボルト・ナット部の厚膜塗装器具及び塗装方法の概要について述べることにする。

2. ボルト・ナット部の厚膜塗装方法

橋梁などの施行現場では、作業環境が危険、劣悪な場合が多い。このため確かな塗装作業ができるような工夫がなされなければならない。また、作業者の疲労をできるだけ排除するように、作業の容易性を高めなければならない。

しかし、一方において十分な防食効果を得るためにボルト・ナットのエッジ、ボルトのネジ、座金部に対して塗料を厚膜になるように塗装する必要がある、これが前記の要求に対して相反する作業条件になっている。すなわち、塗装仕様として膜厚が $300 \sim 1000 \mu\text{m}$ に設定されている場合、はけ塗り作業では数回の塗り回数が必要であり、到底効率のよい作業は期待できないし、また塗り漏れ塗りかすれなどが出やすく塗装の確実性も期しがたい。

このような現状を改善するために、作業者にできるだけ労力負担をかけることなく、しかも容易に、かつ確実にボルト・ナットのエッジ及びボルトのネジ部を厚膜塗装する「塗装器具」を考案し、かつ塗装器具で使用しやすい厚膜塗料を開発した。

図－2 に塗装器具を使用する場合の施工概念図を、図－3 に雌型カップの断面図を示す。

「塗装器具」は締結状態のボルト・ナットに対する雌型カップと、通常のエアレスガン及びエアレス塗装機で構成される。雌型カップは締結状態にある所定のボルトに被せた時、 $0.5 \sim 1.5\text{mm}$ 程度のすき間を生ずるように内寸法を大きく製作してある。塗装は雌型カップを被塗物に被せた時に生じるすき間に、塗料をエアレス塗装機で圧送注入する方法で行う。雌型カップはボルト頭用、ナット用を準備しておき、必要に応じて取り替える。また、橋梁で使用するボルトは M-22、M-24 のように大きさが違うため、必要なサイズを予め準備しておく。雌型カップは現場で脱着しやすいように、ガンキャップをねじるだけで取り替えができる。

継手部は一定の間隔で存在するので、エアレス塗装機は100Vの電源で利用できる電動型エアレスが機動性の点で好ましい。また、作業時の塗料粘度は厚く塗ってもダレない高い粘度（70～100 ポイズ）に設定する必要があるので、供給が楽にできるように、ホッパー付きが好ましい。

3. 塗装器具を用いての塗装実験

M-22 のボルトを用いてモデル継手部を作り、**写真-2**に示す要領で注入塗装を行った結果、はけ塗りでは容易に塗れなかった、ボルト・ナットの各エッジ部、ボルトのネジ部、座金部などを1回塗り（1ショット）で、**写真-3**に見られるように、外観上ほぼ完全に塗り包めることが確認できた。

また、塗装した締結部をボルト頭の対角で2分割し、各部位における塗装状態を調査したところ、**写真-4**にみられるように、

- ①対角で切断したボルト頭の断面、すなわちボルトのエッジ部も、ナットの腹部もほぼ同じ程度に膜厚がついており、
- ②ボルトのネジ部もネジ山が完全に見えなくなる程十分な膜厚がついており、
- ③座金部及びナット/ネジ部のすき間にも塗料が入り込んでおり、
- ④気泡が全く見られない塗膜で塗り包まれていることが確認できた。

塗装実験によって、この塗装法違法の特徴は、

- ①熟練していなくても、
- ②簡単な操作で、
- ③確実に
- ④1回塗りで1000 μ mの厚膜を塗り漏れがなく、塗りつけることができる方法と言えることが判ったが、何よりもさびが出やすい「ネジ部」が完全に塗装できること及び圧力をかけて塗装するため、通常の塗装では入り込み難い“連結板/座金/ボルト”のすき間、“ナット/ネジ”のすき間も塗料が入り込んでシールできることが、最大の特徴と言える。ただし、注入塗装した後、過剰についてダレる塗料をはけでタッチアップする必要がある。

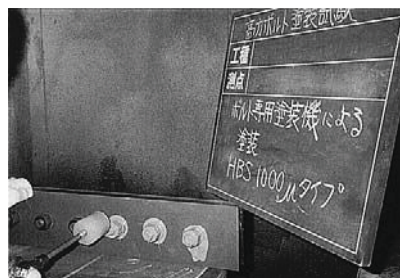


写真-2

塗装器具による試験塗装状況

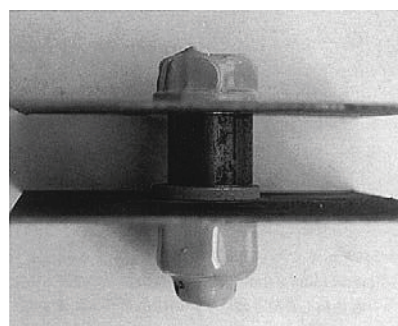


写真-3

注入塗装した締結部の外観

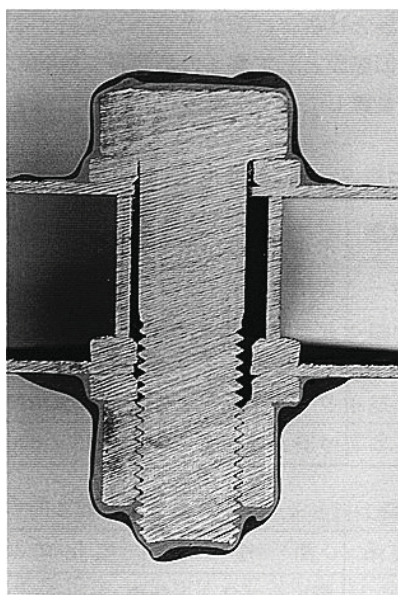


写真-4

注入塗装部締結部の断面状態

4. 超厚膜エポキシ塗料の性能確認試験

ボルト・ナット部にエポキシ塗料を塗装すると、はけ塗りの場合も、注入塗装の場合でも必ず薄膜箇所と超厚膜箇所を生じ膜厚勾配が大きくなる。膜厚勾配が大きくなると、硬化時に生じる内部応力の違いでその境界でわれ現象を起こす。超厚膜塗料は必然的にこのような条件の悪い箇所で使用されるため、この塗料には膜厚勾配が大きくなってもわれ現象などの不良現象を起こさないよう応力を緩和できるものであることが要求される。このため、新設の場合と、塗替えの場合を想定し、かつ低温時の施行と標準時の施行の両方の施行条件で塗装を行い暴露試験及び促進試験を行って内部応力による不良現象の有無を確認しておく必要がある。

試験の要領を下記に示す。

4.1 供試体

10mm×t150×400mm の鋼板に無機ジンクリッチプライマーを塗装し、M-22 サイズの防せいボルト 4 本を用いて締結し、ミニ継手部を作成し、供試体とする。

4.2 塗装系

新設の場合は表-3 に示す塗装系で塗装する。塗替えの場合は旧塗膜として表-4 の塗装系で塗装の後、2 カ年間屋外で暴露しておく。暴露後は表-3 で示す塗装系で塗装する。

なお、低温時施工を想定するものは標5℃標準時施工を想定するものは20℃で塗装及び乾燥を行う。

表-3 超厚膜エポキシ塗装系

下地の状態	目板部は無機ジンクリッチプライマー ボルト部は防せいプライマー
プライマー	専用エポキシプライマー 50μm×1
下塗り	超厚膜エポキシ塗料 100μm×1 刷毛塗 および注入塗装後タッチ アップ 1 回)
中塗り	ウレタン用中塗塗料 30μm×1
上塗り	ウレタン用上塗塗料 25 μm× 1

表-4 塗替え時の旧塗膜塗装系

旧塗装系	油性系	塩化ゴム系	エポキシ系
下地の状態	鋼板をブラスト処理 防せい処理ボルト		無機ジンクリッチプライマー 防せい処理ボルト
下塗り	油性下塗り 35 μ m×2	油性下塗り 35 μ m×2	エポキシ下塗り 60 μ m×1
中塗り	長油アルキド系 30 μ m×1	フェノール MIO 35 μ m×1	ウレタン用中塗り 30 μ m×1
上塗り	長油アルキド系 30 μ m× 1	塩化ゴム系上塗り 30 μ m× 2	ウレタン上塗り 25 μ m× 1

4.3 試験要領

新設の場合、塗装した供試体は、屋外での暴露試験と、促進試験として冷熱サイクル（70℃～-30℃、2 サイクル/日）試験を行う。

塗替えの場合、屋外での暴露試験のみ行う。

4.4 評価

一定期間暴露後、連結板/座金/ボルトまたは、ナットの取り付け部など膜厚勾配が大きい個所、ナット/ネジの取り付け部及びネジ部、板重ね部などを対象に、塗膜われの有無及びさび発生の有無を調査する。

4.5 試験結果

4.5.1 新設の場合

現在 4 カ年を経過しているが屋外暴露では塗装法、塗装条件で差異はなく、全ての試験体でわれ、さびの発生はない。促進試験では 300 サイクルを試験したが暴露と同様異常は見られなかった。なお、比較として塗装した一般の厚膜エポキシ塗料の場合は、屋外暴露 1 カ年で連結板/座金/ボルト及びナットの境界部に塗膜われが発生、促進試験の場合は 50 サイクルでわれ現象が発生した。



写真-5 塗装したミニ継手部の屋外暴露

暴露状況を写真-5 に示す。

4.5.2 塗替えの場合

屋外暴露 4 カ年の結果は新設の場合と同様に、旧塗膜の種類に関係なく全て異常なしで、応力の緩和は十分であり、塗替え塗装の場合でも、膜厚勾配のある厚膜塗装を行っても、実用上支障がないことが確認できた。

5. 塗装器具を用いた実橋塗装結果

大型橋梁の塗替え工事で M-22 及び M-24 のボルト・ナットを 1000 μ m の仕様で、約 3 万本塗装したのでその状況を報告する。

表-5 に塗装条件を、写真-6 に塗装状況を示した。

表-5 塗装条件

使用塗料	超厚膜型エポキシ樹脂塗料 (1000 μ m 用) HBS K5621-1990
塗装粘度	80～100 ポイズ/30℃
塗装機	電動エアレス、ホッパー付き
塗装圧力	50～70kgf/cm ²
塗料ホース	3/8 " × 20m + 2/8 " × 10m
ボルトの種類	M-24

塗装作業は注入ガンで塗装する人、注入塗装後の過剰な塗料によるダレ部をはけで手直しする人、ホースをさばくと共にポンプに材料を供給する人の計 3 人一組で行った。補鋼桁継手部を橋梁に設備されている点検車を利用して格点毎のボルト部、ナット部を移動しながら塗装した。初めて行った実橋での注入塗装の結果は、次のとおりであった。

①塗装器具を使用してボルト・ナットを塗装

するのは初めての作業であったが、作業内容がガンに装着した雌型カップを被塗物に被せ、引き金をひくだけのため、少しの慣れで要領がつかめ、簡単に塗装することができた。

②この方法はカップと被塗物のすき間に、塗料に圧力をかけて注入する方法なので、塗り漏れ、塗りがすれがほとんど見られなかった。ただし、旧塗膜が厚くカップが連結板まで被らない場合が 5～10%位あったが、カップが入る所までを塗装し、硬化後はけで未塗装部を塗装することとした。

③最もさびが出やすいボルトのネジ部は、ネジ山が見えない程の厚膜塗装ができた。また、ボルト頭の鋳出しマーク、ボルト・ナットのエッジ（稜）は目視で見て丸みがあり、さらに、ナット/ネジの境界部でよく発生する泡も、この方法では起こらないことが確認できた。

④はけ塗りでは作業し難い下向きのボルト・ナットもこの塗装法ではむしろ作業がしやすいことが分かった。さらに、はけ塗りの場合に問題になる塗布時のボタ落ちもほとんどなく、環境を汚さないことも確認できた。

⑤塗装の速度は慣れれば初めての人でも 10 本/分位で厚膜の塗装ができた。時間を区切ったの能率を調査した結果では、3 人一組の作業で時間当たり 450 本であり、150 本/人/時間であった。

ただし、この塗装器具での塗装は必要な塗料量の塗布の意味合いが大きく、これのみでは外観上好ましくないので、今回の実橋塗装のようにカップでの注入塗装の後、早い時点で、はけで、つらら状の塗料を取り去るようなことが必要である。したがって、ガン

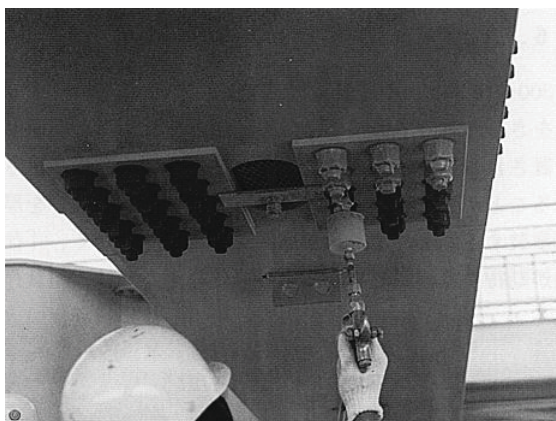
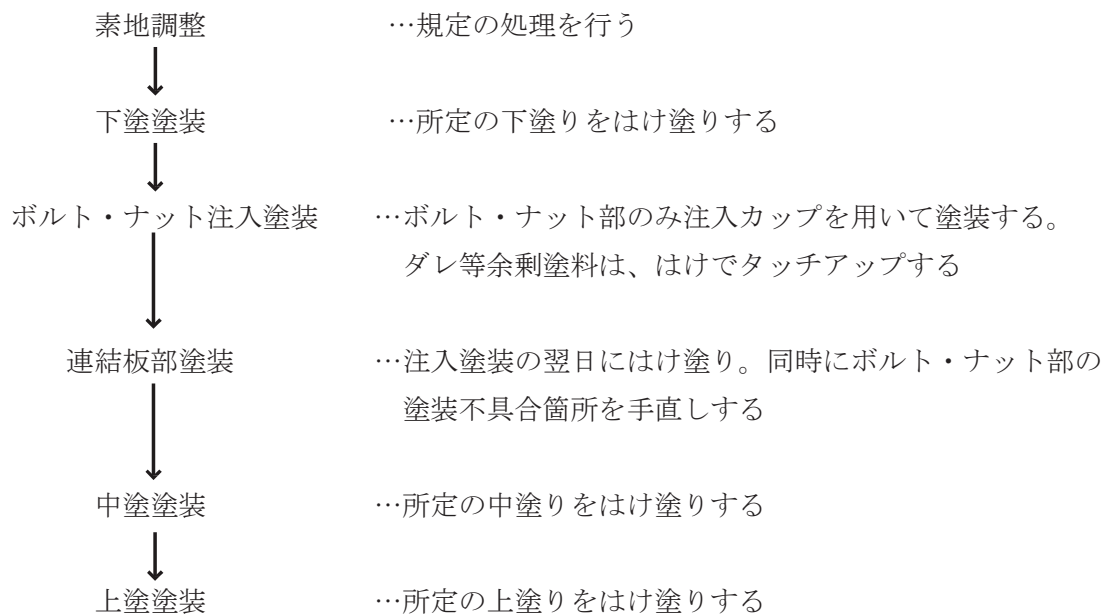


写真-6 実橋での塗装状況

で注入塗装する人と、はけでタッチアップする人で、ペアーを組んで作業するのが能率的であるとする。

6. 継手部厚膜塗装の塗装フロー例

塗装実績に基づき好ましい継手部における厚膜塗装の塗装フローの例を示す



7. まとめ

300 ～ 1000 μm の超厚膜塗装で、継手部のボルト・ナットをさびから守る塗装仕様は橋梁のみならず湾岸地区に設置される鋼構造物の防食塗装仕様として、今後多用されることが予想される。継手部のボルト・ナットを厚膜塗装する塗装作業の現実はずしも容易ではなく、「仕様が期待する性能」を発揮する塗装をするには、塗装作業には多大な努力が要求される。この難しい厚膜塗装に対し、締結部の雌型カップを使用しエアレス塗装機による圧送で、塗料を注入する方法を考案し、かつ塗装器具で塗装しやすい厚膜塗料を開発したが、実際の塗装を行ってみて、その取り扱いの簡便さ、エッジなどの厚膜塗装の確実さから、実用性が充分あることが確認できた。

『防錆管理 Vol. 40-No. 3』 山田能生 大日本塗料株式会社 開発第一本部 防食塗料部、木村耕 日塗エンジニアリング株式会社 工事部 1996 年より転載

【参考図書】

本文の記述にあたり、下記の図書を参考にさせていただいた。

『鋼道路橋塗装・防食便覧』 社団法人 日本道路協会 平成 17 年 12 月

『鋼道路橋防食便覧』 公益社団法人 日本道路協会 平成 26 年 3 月

『摩擦接合用防せい高力六角ボルト六角ナット平座金のセット暫定規格』

本州四国連絡橋公団 昭和 51 年 2 月

『鋼橋など塗装基準同解説』 本州四国連絡橋公団 昭和 55 年 3 月

『道路橋示方書・同解説 II 鋼橋・鋼部材編』 公益社団法人 日本道路協会 平成 29 年 11 月

『気象庁観測公開資料』 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

『耐鋼性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書（X II）』 建設省土木研究所

社団法人 日本道路協会 平成元年 12 月

『鋼橋の付着塩分管理マニュアル』 社団法人 日本橋梁建設協会 平成 4 年 12 月

『橋梁技術者のための塗装ガイドブック』 社団法人日本橋梁建設協会 平成 8 年 4 月

『構造物施工管理要領』 東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、

西日本高速道路株式会社 平成 29 年 7 月

『橋梁洗浄作業手順書（案）』 北陸地方整備局