# 既設橋における
# 防食技術と施工留意点

須賀 一大
（日本橋梁建設協会 防食部会）

第23 回鋼構造基礎講座

「鋼橋の維持管理－橋梁維持管理の現状と基礎技術－」

# 既設橋における防食技術と施工留意点

一般社団法人 日本橋梁建設協会
製作小委員会 防食部会

2012年12月11日



社団法人 日本橋梁建設協会

## キーワード

1. 塗替え塗装の現状

2. 塗替え塗装の施工技術

3. 塗替塗装の施工留意点

4. 塗替え塗装における課題と対策

5. 既設橋の新しい防食技術


社団法人 日本橋梁建設協会

# 1. 塗替え塗装の現状


社団法人 日本橋梁建設協会

## １．１　既設橋（鋼道路橋）の防食方法

- 鋼橋の防食方法
  - 塗装
    - 一般塗装系（A塗装系・B塗装系）
    - 重防食塗装系（C塗装系）
  - 耐候性鋼材
  - 溶融亜鉛めっき
  - 金属溶射

# １．２　塗替え塗装仕様

鋼道路橋塗装・防食便覧（日本道路協会平成17年2月）
では、LCC（ライフサイクルコスト）の低減のため鋼橋の塗替え塗装に関して、以下の方向性が示された。

◆一般塗装系から重防食塗装系へ塗替えを行う。
◆1種ケレンで旧塗膜をすべて除去する。
◆防食下地として有機ジンクリッチペイントを用いる。
◆塗膜の品質向上のためスプレー塗装を原則とする。

# １．２　塗替え塗装仕様

## 鋼道路橋塗装･防食便覧（日本道路協会平成17年2月）の塗替え塗装仕様

| 塗替え塗装系 | 旧塗膜塗装系 | 素地調整 | 特徴 |
|---|---|---|---|
| Rc－Ⅰ | A、B<br>a、b、c | １種 | ブラスト工法により旧塗膜を除去し、スプレー塗装する。 |
| Rc－Ⅲ | A、B、C<br>a、b、c | ３種 | 工事上の制約によってブラストできない場合に適用する。耐久性はＲｃ－Ⅰ塗装系に比べて著しく劣る。 |
| Rc－Ⅳ | C<br>c | ４種 | 旧塗膜に欠陥がなく、美観を改善するために行われる。 |
| Ｒａ－Ⅲ | A<br>a | ３種 | Ａ塗装系の塗替えで十分な塗膜寿命を有していて、適切な維持管理体制がある場合や橋梁の残存寿命が20年程度の場合に適用する。 |
| Rc－Ⅱ | B<br>b、c | ２種 | 工事上の制約によってブラストできなく、かつ、Ｂ系、ｂ系の旧塗膜に適用する。 |
| Ｒｄ－Ⅲ | D<br>d | ３種 | 暗く換気が十分に確保されにくい環境の内面塗装に適用する。 |


社団法人 日本橋梁建設協会

# １．３　一般塗装系の塗替え

## （1）全面塗替え塗装

◆従来から行われている橋梁全体の塗替え塗装を行う方法。
◆橋梁全体に塗膜劣化・さびが確認されてから施工される。

施工前

施工完了



社団法人　日本橋梁建設協会

# １．３　一般塗装系の塗替え

## （２）部分塗替え塗装

　鋼道路橋では、伸縮装置からの漏水・凍結防止材の影響等で、桁端部のみ塗膜劣化や腐食が著しく進行する場合が多い。

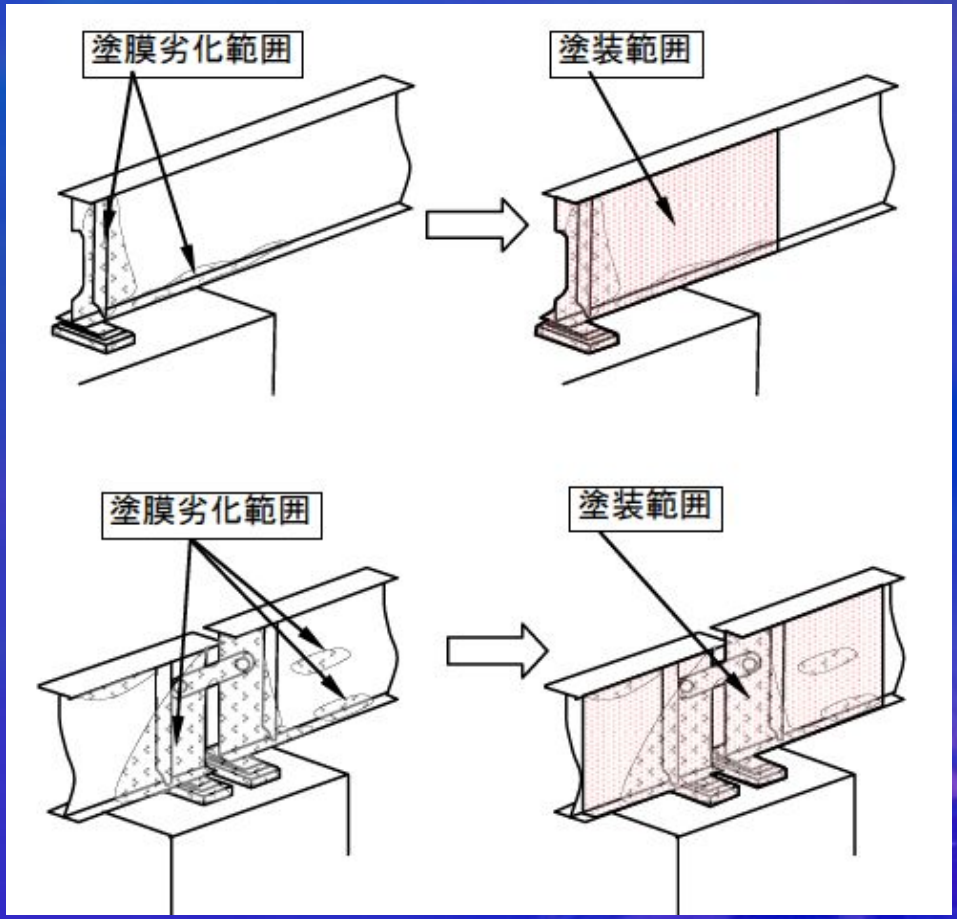
　桁端部を部分的に塗替える“部分塗替え塗装”が提唱されている。

# １．３　一般塗装系の塗替え

## （２）部分塗替え塗装

平成21年に「鋼道路橋の部分塗替え塗装要領（案）」が策定され、試行運用が開始された。

部分塗替えは、桁端部以外の塗膜が比較的健全な場合には合理的で有効な方法と考えられている。





社団法人 日本橋梁建設協会

# １．４　重防食塗装系の塗替え

## (1)重防食塗装の塗膜劣化

重防食塗装は、環境遮断性が高く腐食因子が侵入しにくい、また防食下地の犠牲防食作用もあり塗膜下に腐食が進行することはない。そのため重防食塗装の代表的な劣化は、架設時の傷に起因する局部的なものや、強い紫外線による上塗り塗膜の減耗である。

打ち傷に起因した腐食

上塗・中塗り塗膜の消耗



社団法人 日本橋梁建設協会

# １．４　重防食塗装系の塗替え

## (2) 重防食塗膜の塗替え

重防食塗装の塗替えは、防食下地が劣化しない時点での塗替えが基本となる。

損傷部などの局部的な劣化部位をタッチアップを行う。

損傷部のタッチアップ



社団法人 日本橋梁建設協会

# １．４　重防食塗装系の塗替え

## (2)重防食塗膜の塗替え

上塗り塗膜の消耗部は3種ケレン、活膜部は4種ケレンを行い中・上塗りの全面塗装を行う。

社団法人　日本橋梁建設協会

# １．５　耐候性橋梁の塗装による防食

耐候性橋梁で架橋環境が適正でなかったケースで塗替えが実施された事例がある。

社団法人　日本橋梁建設協会

# １．５　耐候性橋梁の塗装による防食

　耐候性鋼材の錆びは非常に硬く、ブラストによる施工で完全に除去するためには一般鋼材の２～３倍の工数が掛かると言われている。また、異常な錆が生じた場合、孔食内の錆や塩分が十分に除去できない恐れがあり、耐候性橋梁を塗装で防食する場合の大きな課題である。

社団法人　日本橋梁建設協会

# 2. 塗替え塗装の施工技術

## ２．１　素地調整

素地調整は、劣化塗膜や錆びを除去して、塗装に適した清浄な素地を得る工程である。

塗替え塗装後の耐久性に大きく影響する重要な工程である。

素地調整の種類

- ブラスト処理
- 動力工具処理（ディスクグラインダー・カップワイヤー等）
- 剥離剤


社団法人　日本橋梁建設協会

## ２．１　素地調整

### (1)ブラスト処理工法

　ブラスト処理法とは、圧縮空気や遠心力を利用して研削材を被塗装面に投射して、その衝撃力により鋼材表面のミルスケール、旧塗膜、錆を除去する工法である。

乾式　・オープンブラスト
　　・バキュームブラスト
　　・スポンジブラスト
湿式　・モイスチャーブラスト
　　・湿粒ブラスト
　　・ウォータージェットブラスト


社団法人　日本橋梁建設協会

## ２．１　素地調整

### ①オープンブラスト

◆最も一般的な工法、適用範囲が広い

◆処理能力が高い

◆粉塵が多く発生する、騒音が大きい

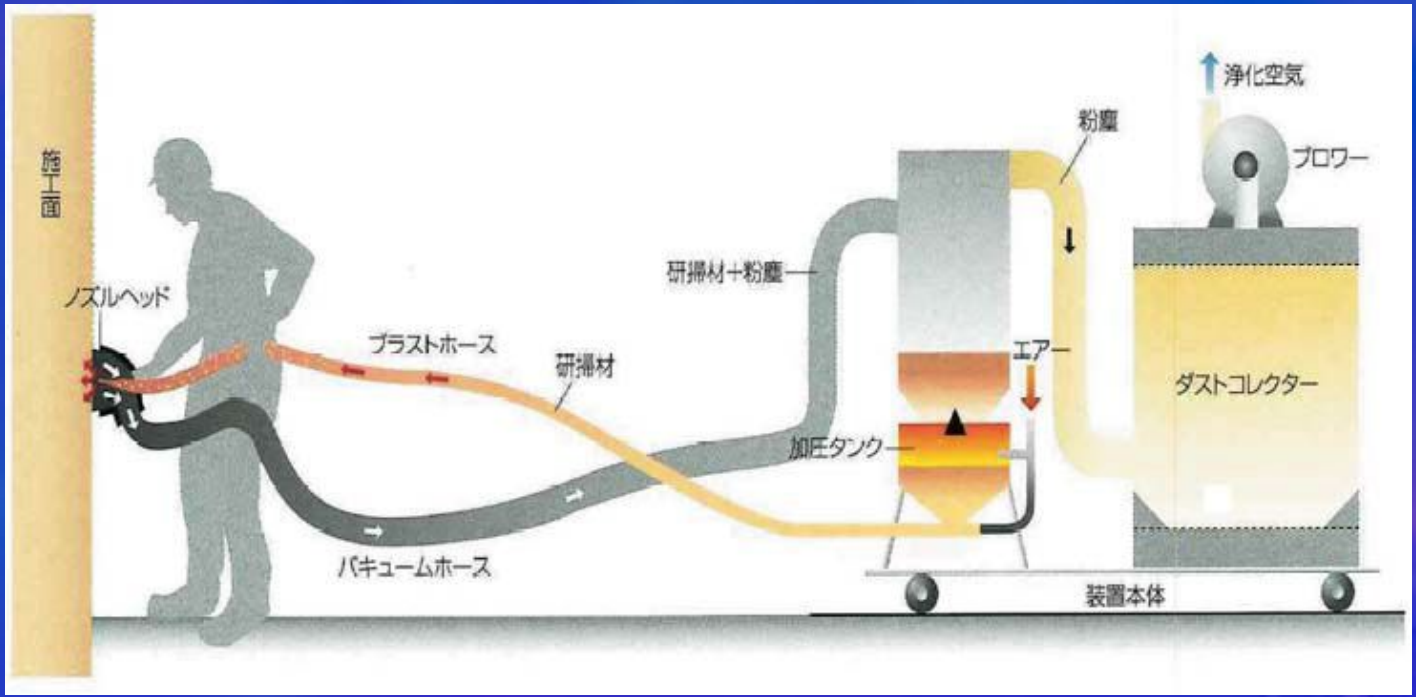
◆研削材の回収（産業廃棄物処理）が困難

# ２．１　素地調整

## ②バキュームブラスト

◆研削材を打ち付けると同時に研削材と粉塵を吸引除去する工法

◆研削材と粉塵を分離して回収し研削材の再使用が可能




バキュームブラストの概念図



社団法人 日本橋梁建設協会

# 2．1　素地調整

## ②バキュームブラスト

◆粉塵の発生はほとんどない、騒音も小さい

◆処理効率は悪い

◆狭隘部や凹凸がある部位への施工は制約される

# 2．1　素地調整

## ③スポンジブラスト

◆研削材を小さなスポンジ片にからませたものを使用

◆研削材の破砕がほとんどなく、塗膜や錆がスポンジにからめ取られ粉塵の発生がほとんどない。

◆作業効率は比較的良好

◆騒音が大きい

スポンジブラスト作業状況

研削材



社団法人　日本橋梁建設協会

# 2．1　素地調整

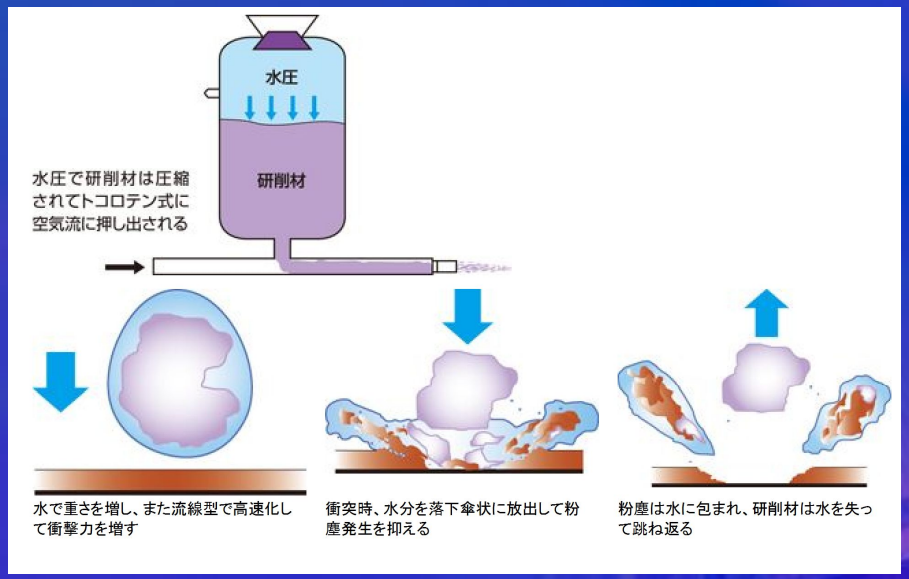
## ④モイスチャーブラスト、湿粒ブラスト

◆研削材粒子の表面を薄い水の層で湿潤させる工法

◆粉塵はほとんど発生しない

◆水の使用量が少なく排水処理は不要の場合が多い

湿粒ブラスト作業状況




湿粒ブラストの原理



社団法人 日本橋梁建設協会

# ２．１　素地調整

## ⑤ウォータージェットブラスト

◆超高圧水（70～300Mpa）を噴射して素地調整を行う工法

◆粉じんの発生はほとんどない

◆戻りさび防止のためインヒビター（さび抑制剤）が必要

◆排水の処理が必要

回収型塗膜剥離機



社団法人　日本橋梁建設協会

# ２．１　素地調整

## ⑤ウォータージェットブラスト

回収型塗膜剥離機で除去できない塗膜やさびは、手動ガンにより除去する

手動ガンによる施工



社団法人　日本橋梁建設協会

# ２．１　素地調整

## ⑤ウォータージェットブラスト

使用機材

超高圧ポンプ

吸引車

給水車



社団法人　日本橋梁建設協会

# ２．１　素地調整

## (2)ブラスト用研削材

**①ガーネット**

天然のざくろ石を粉砕したグリット状の研削材 、珪砂に比較して粉塵発生量は少ない、品質にばらつきがある、安定供給に課題あり

**②　溶融アルミナ**

溶融したボーキサイトやアルミナを粉砕したグリット状の研削材。高強度、高硬度で研削力が大きい、作業効率が良い、粉塵は非常に少ない、価格が高価

**③　銅スラグ**

銅精錬時のスラグを粉砕したもの、研削材の突き刺さりが多く処理面が黒っぽくなる

**④フェロクロムスラグ**

粒形は丸みをおびている、粉塵の発生量は少ない

**⑤　フェロニッケルスラグ**

フェロニッケル製錬時のスラグを粉砕したグリット状の研削材、粉塵の発生量は少ない



社団法人　日本橋梁建設協会

# ２．１　素地調整

## (2)ブラスト用研削材

ガーネット

溶融アルミナ

銅スラグ

フェロクロムスラグ

フェロニッケルスラグ



社団法人 日本橋梁建設協会

# 2．1　素地調整

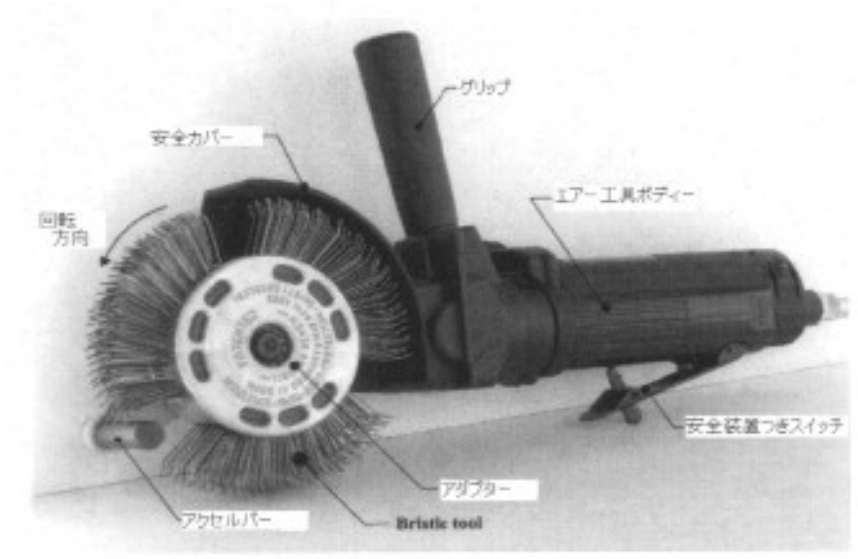
## (3)縦回転式動力工具

ブラストと同等の除錆度と表面粗さを得られる動力工具が開発されている

◆ISOSa2$^{1}/_{2}$ 相当の除錆度が可能

◆20 μmRzJIS 程度の粗さの付与が可能

◆施工効率は低い、局部的な部位への適用には効果あり



社団法人 日本橋梁建設協会

# ２．１　素地調整

## (4)高級アルコール系剥離剤

◆安全性が高い(従来の塩素系剥離剤に比べて)

◆有害塗膜(鉛･クロム･PCB)の回収が容易

◆産業廃棄物発生量がブラスト工法に比べて大幅に低減。

塗付後24~48時間で、旧塗膜が軟化する

スクレバーで除去する



社団法人 日本橋梁建設協会

## ２．２　塗装の施工技術

### （1）静電エアラップスプレー工法

静電エアレススプレー、補助エア、導電性飛散防護メッシュシートを併用する工法

◆静電エアレススプレー

塗着効率を上げるため塗料ミストを帯電させ電気的に塗料を付着させる工法

◆補助エア

スプレーの外側をエアーで包みこみ飛散を低減する方法

◆導電性飛散防護メッシュシート

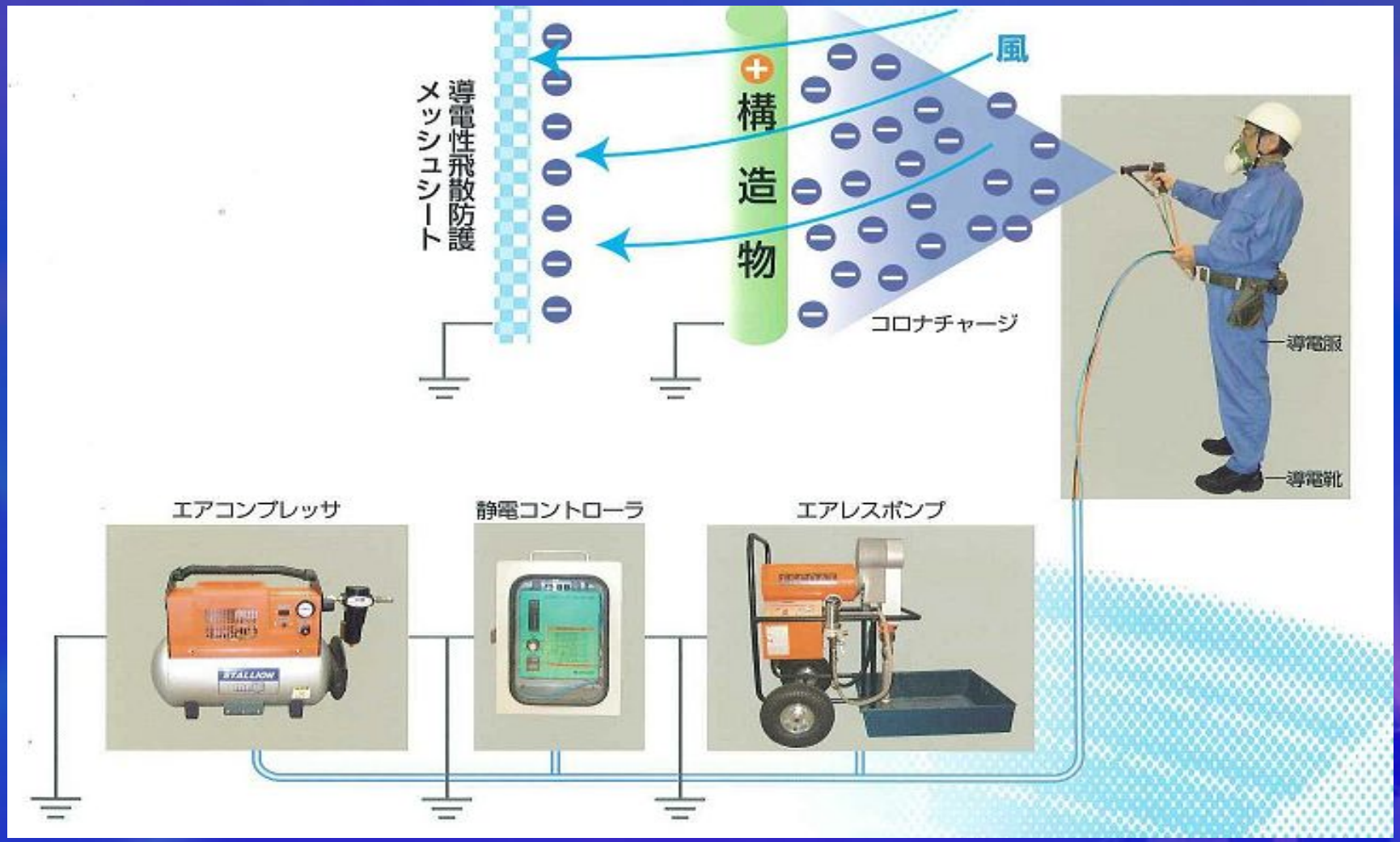
帯電したスプレーダストを導電性メッシュシートで捕集する方法



社団法人　日本橋梁建設協会

# ２．２　塗装の施工技術

## (1)静電エアラップスプレー工法






社団法人 日本橋梁建設協会

# ２．２　塗装の施工技術

## (1)静電エアラップスプレー工法

◆スプレーミストによる視界不良がない

◆塗着効率が高い

◆作業性がよい　はけ塗りの約5倍

社団法人　日本橋梁建設協会

# 3. 塗替え塗装の施工留意点

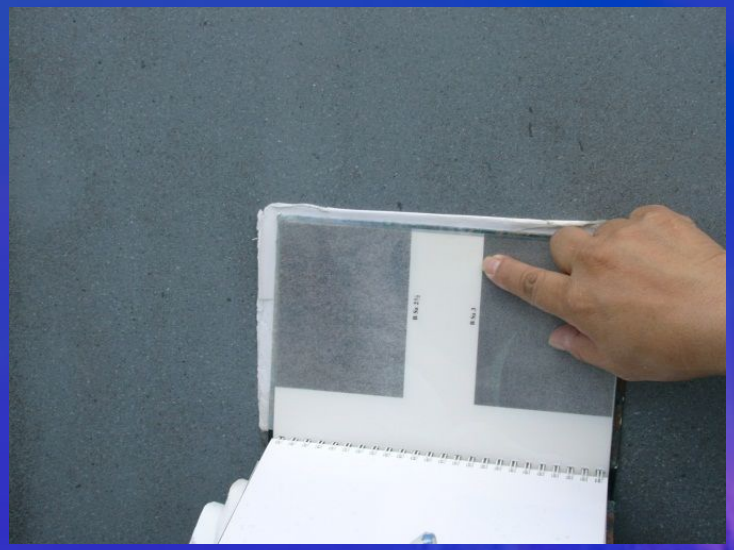

社団法人 日本橋梁建設協会

# ３．１　素地調整の品質管理

## (1)除錆度の管理

1種ケレン⇒ブラスト処理　ISO Sa2～Sa2$^{1}/_{2}$

ISO8501　見本帳との対比





社団法人　日本橋梁建設協会

# ３．１　素地調整の品質管理

## (2)施工時の気象条件の管理

ブラストされた鋼材表面は、活性化しているためターニング現象（戻りさび）が生じやすい

- ◆ 相対湿度８５％以上では施工しない
- ◆ 施工後４時間以内に第１層を塗装する
- ◆ インターバルを守れる様に１日の施工量を設定する


社団法人　日本橋梁建設協会

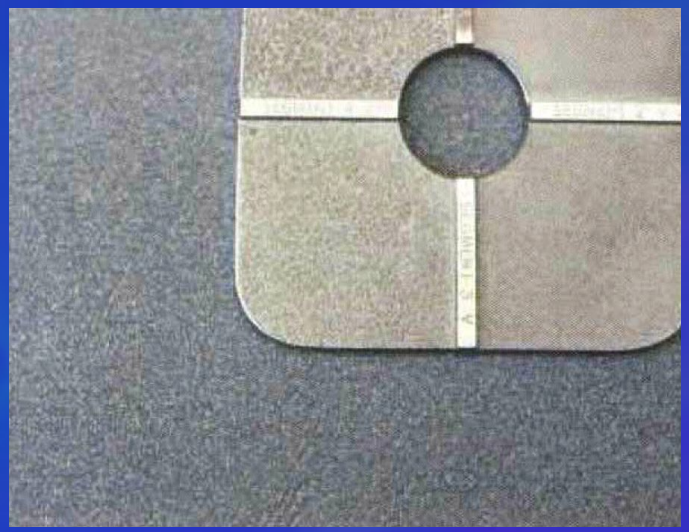
# ３．１　素地調整の品質管理

## (3)表面粗さの管理

**鋼材表面の粗さは80μmRzJIS 以下**

◆ISO8503 見本板との対比

◆触針式表面粗さ計での測定



ISO8503見本板との対比

表面粗さ計による測定



社団法人 日本橋梁建設協会

# ３．２　塗装施工時の品質管理

## (1)気温・湿度の管理

◆塗装施工時の適正温度範囲は、塗料の種類によって異なる。それぞれの塗料にあった管理をおこなう。

◆結露防止のため、相対湿度85%以上では施工をおこなわない。

◆露点管理を行う場合もある

露点計により露点温度（気温と湿度から計算される）を計測して、塗装面（鋼材面）の表面温度との差が3℃以上で管理される。



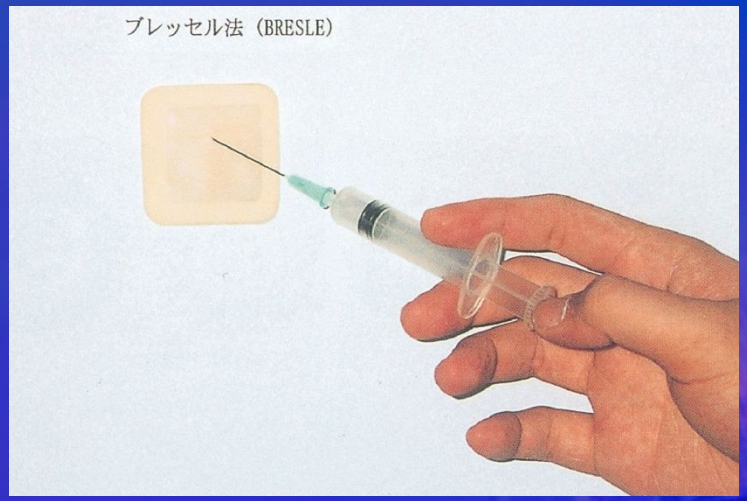
社団法人　日本橋梁建設協会

# ３．３　塗装面の付着塩分の測定

◆ 被塗装面に塩分が付着していると、塗膜の付着を阻害するため海塩ミストや凍結防止剤の影響を受ける橋梁の場合は付着塩分の管理が必要

◆ 管理値は50mg/㎡とし、それ以上の場合は水洗いをおこなう

電導度法




ブレッセル法



社団法人 日本橋梁建設協会

# ３．４ブラスト作業を行う場合の足場および防護工

◆ブラスト処理を行う場合の足場の工夫
◆水洗水や研削材回収のためのシート養生
◆研削材の重量を考慮した足場の設計

上部工との隙間に飛散養生を行った橋脚の防護工

水洗いを考慮したシート養生



社団法人 日本橋梁建設協会

# 4. 塗替え塗装における課題

# ４．１　PCB（ポリ塩化ビフィニル）含有塗膜の処理

昭和４１年～４９年に製造された塩化ゴム塗料の一部にPCBを含有したものがある。該当する剥離塗膜の取り扱いは、「ポリ塩化ビフェニル廃棄物の適正な処理の推進に関する特別措置法」に基づき管理者保管が原則となっている。

また、剥離した塗膜だけでなく、塗膜剥離作業時に塗膜に触れた作業服・手袋・ウェスなども同様の取り扱いが必要である。

◆ポリエチレン製の袋に収納

◆閉鎖型ドラム缶収納密閉

◆指定場所に運搬して保管



社団法人　日本橋梁建設協会

# 4．1　PCB（ポリ塩化ビフィニル）含有塗膜の処理

## PCB含有塗膜の取扱い

社団法人　日本橋梁建設協会

# ４．２　VOCの削減

◆VOC（揮発性有機化合物）は光化学オキシダントの原因の一つとされ、その削減が求められている。

◆鋼道路橋の現場での塗替えに関しては、大気汚染防止法での規制対象にはなっていないが、社会的なVOC排出削減の高まりを背景として、低溶剤形塗料・無溶剤形塗料や水性塗料などの開発が進んでいる。

◆なかでもVOC削減が大きく期待できる水性塗料について、施工上の課題が若干あるものの溶剤形塗料とほぼ同等の性能があることが確認されている。

◆VOC削減率が90％程度となる塗装仕様が提案されている。



社団法人　日本橋梁建設協会

# 4．2　VOCの削減

## 水性塗料を用いた塗替え塗装仕様（VOC削減率90%程度）

| 塗装工程 | 鋼道路橋塗装・防食便覧における塗替塗装系（Rc-Ⅰ塗装系）<br>塗料一般名<br>参考膜厚（標準使用量） | VOC 削減暫定提案塗装系<br>塗料一般名<br>参考膜厚（標準使用量）* | 塗装間隔 |
|---|---|---|---|
| 素地調整 | 1 種 | 1 種 | 4 時間以内 |
| 防食下地 | 有機ジンクリッチペイント<br>75μm（600g/m²） | 水性有機ジンクリッチペイント<br>37.5μm（300g/m²） | 1 H～10 H |
| 下塗 | | 水性有機ジンクリッチペイント<br>37.5μm（300g/m²） | 1 日～10 日 |
| 下塗 | 弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗<br>60μm（240g/m²） | 水性エポキシ樹脂塗料下塗<br>40μm（200g/m²） | 1 H～10 H |
| 下塗 | 弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗<br>60μm（240g/m²） | 水性エポキシ樹脂塗料下塗<br>40μm（200g/m²） | 1 日～10 日 |
| 下塗 | | 水性エポキシ樹脂塗料下塗<br>40μm（200g/m²） | 1 日～10 日 |
| 中塗 | 弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗<br>30μm（170g/m²） | 水性ふっ素樹脂塗料用中塗<br>30μm（170g/m²） | 1 H～10 H |
| 上塗 | 弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗<br>25μm（140g/m²） | 水性ふっ素樹脂塗料上塗<br>25μm（140g/m²） | |
| VOC 量** | 560g/m² | 20～80g/m² | |
| VOC 削減率 | — | 86～96% | |

出典：鋼構造物塗装のVOC削減に関する件等－VOC削減塗装系の検討－
（社）日本鋼構造協会　第34回鉄構塗装技術討論会予稿集



社団法人 日本橋梁建設協会

# 5. 既設橋の新しい防食技術

# ５．１　チタン箔を用いた鋼橋長寿命化技術

◆ 下フランジ部などにチタン箔シートを貼り付け、その上に重防食塗装を複合施工するもの

◆ チタン箔により水分や塩分などの劣化因子を完全に遮断する

◆ R=2㎜以上の部材端部の曲面仕上げが不要となる

◆「チタン箔シートによる重防食塗装の耐食性補強マニュアル(案)」(独)土木研究所が策定されている

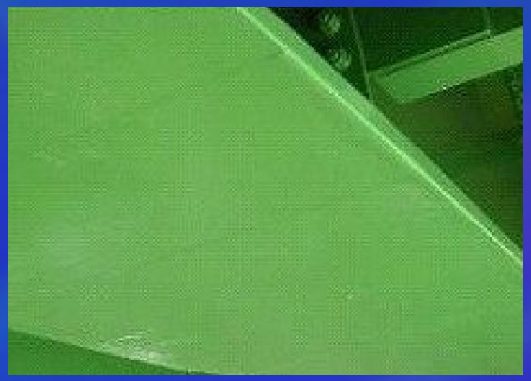

社団法人 日本橋梁建設協会

# ５．１　チタン箔を用いた鋼橋長寿命化技術

下フランジの劣化部位

下塗り完了後
チタン箔の貼り付け

専用プライマー塗装



中・上塗り塗装



社団法人 日本橋梁建設協会

# ５．２　金属溶射による既設橋の防食

◆ 支承の塗替えに金属溶射を用いる事例がある

◆ 必要な作業スペースが取れない場合があるので注意が必要

社団法人　日本橋梁建設協会

# ５．２　金属溶射による既設橋の防食

支承への金属溶射施工時に、腐食の激しい垂直補剛材や横桁の継ぎ手部にも金属溶射を施工した事例がある。

社団法人　日本橋梁建設協会

# ５．３　新しい塗料の開発動向

## (1)高耐久性ふっ素樹脂塗料

- ◆高温･高湿度で強い紫外線を受ける環境で、ふっ素樹脂塗料上塗りに期待した耐久性が得られない場合がある。
- ◆主たる原因は、着色顔料として配合されている酸化チタンの光触媒作用により、分解されるためと考えられている。
- ◆本州四国連絡高速道路(株)ではこの事例に着目し、対策された塗料「高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗」を平成22年に規格化(暫定)している。
- ◆この規格では、宮古島の暴露試験場で暴露3年後の光沢保持率が50%以上が要求されている。


社団法人 日本橋梁建設協会

# ５．３　新しい塗料の開発動向

## (2)寒冷地用塗料

- ◆冬季に塗装が行われる場合には、乾燥が遅くなり気象の急変などによる悪影響が懸念される。
- ◆エポキシ樹脂塗料では低温用を用いても5℃以下での施工を制限している。
- ◆寒冷地での施工において、施工可能な期間が短くなるため塗塗り替え塗装の大きな制約になっている。
- ◆低温時の乾燥性に優れ、0℃以下でも塗装が可能な寒冷地用塗料の開発が進められている。


社団法人　日本橋梁建設協会

ご清聴ありがとうございました。



社団法人 日本橋梁建設協会