

「橋梁長寿命化技術に関する技術研究交流会」
～鋼橋の長寿命化技術に対する防食技術の
現状と今後の展望～

新防食技術の開発状況について

平成24年12月18日

一般社団法人 日本橋梁建設協会
製作小委員会 防食部会

第 1 編

腐食環境と防食

鋼の腐食のメカニズム

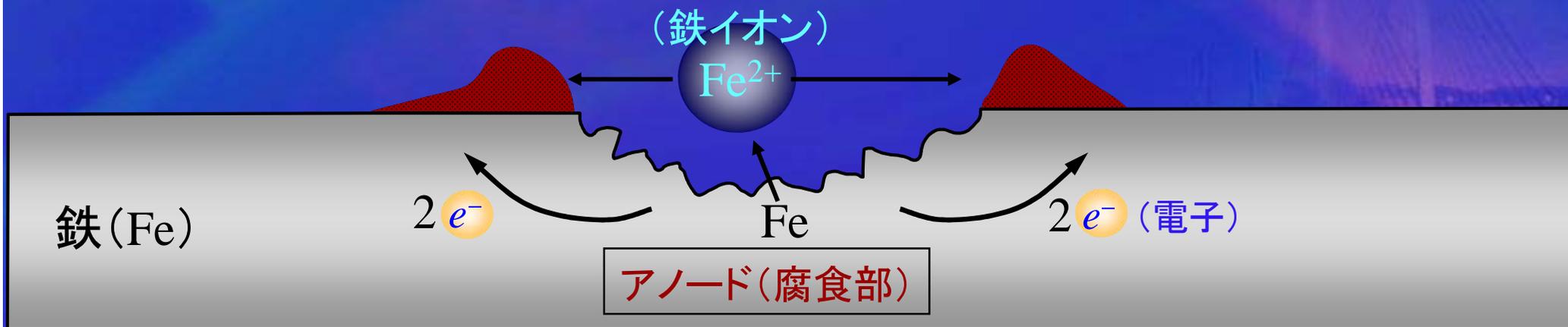
電気化学式



水と空気(酸素)があれば、自然に起きる現象



酸化反応



鋼橋における腐食の分類と形態



鋼道路橋の防食法

1. 表面被覆

塗装

金属被覆 — 溶射, めっき, クラッド

ライニング— ゴム, 樹脂, モルタル, グラス

防食テープ

防錆油

化成処理

2. 電気防食

流電陽極法

外部電源法

3. 耐食性材料の使用

耐候性鋼

ステンレス鋼

4. 環境改善

腐食抑制剤

腐食因子の除去

代表的な鋼道路橋の防食法

防食法	塗 装		耐候性鋼材	溶融亜鉛めっき	金属溶射
	一般塗装	重防食塗装 (長期耐久性)			
防食原理	・塗膜による 環境遮断	・塗膜による環境遮断 ・ジンクリッチペイントによる 防食	・ちみつなさび層による 腐食速度の低下	・亜鉛皮膜による 環境遮断 ・亜鉛による防食	・溶射皮膜による 環境遮断 ・溶射金属による防食
劣化因子	紫外線, 塩分, 水分(湿潤状態の継続)		塩分, 水分(湿潤状態の継続)		
防食材料	塗料		腐食速度を低下する 合金元素の添加	亜鉛	亜鉛, 亜鉛・アルミニウム アルミニウム, アルミニウム・マグネシウム合金
施工方法	スプレーやはけ, ローラによる塗付		製鋼時に合金元素を 添加	めっき処理槽への浸漬 (めっき工場)	溶射ガンによる溶射
構造, 施工上の 制限(原則)	温度, 湿度等施工環境条件の制限		滞水・湿気対策	めっき処理槽による寸 法制限と熱ひずみ対策	溶射ガンの運行上の制限
外観(色彩)	色彩は自由		色彩は限定 (茶褐色)	色彩は限定 (灰白色)	色彩は限定 (梨地状の銀白色)
維持管理	さびの発生や塗膜の消耗, 変退色の調査. 塗膜劣化が進行した場合は塗替え.		異常なさびが形成され ていないことの確認. 腐食が進行した場合は 塗装による防食※.	亜鉛層の追跡調査. 亜 鉛層の消耗後は塗装に よる防食※.	金属溶射皮膜の追跡調 査. 溶射皮膜の消耗後 は金属溶射もしくは塗装 による防食※.
複合防食	—		—	塗装との併用	塗装との併用

注) ※印は実績が少なく, 塗装にあたっては注意が必要である.

鋼道路橋における防食の代表的な基準

鋼道路橋塗装・防食便覧
(社) 日本道路協会
平成17年(2005)12月

沖縄地区鋼橋塗装マニュアル
沖縄総合事務局
沖縄県土木建築部
平成20年(2008)8月

鋼道路橋塗装・防食便覧

平成17年12月

社団法人 日本道路協会

沖縄地区鋼橋塗装マニュアル

平成20年8月

沖縄総合事務局開発建設部・沖縄県土木建築部 監修

本マニュアルの主旨

道路橋仕方書の要求性能に基き、沖縄地区における厳しい環境条件を考慮して、鋼道路橋塗装・防食便覧で規定されている塗装仕様(C-5, ふっ素樹脂塗料)を基本として、さらに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およ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ている。

沖縄県の環境条件

高温，多湿であり，飛来塩分量も多く，
他県に比べて鋼材腐食環境が厳しい。

- ・年間月平均気温15℃以上
- ・相対湿度70%以上
- ・周辺を海で囲まれ，太平洋側と東シナ海側との距離が短いため，海塩粒子は沖縄全県に飛来

防食方法選定のフローチャート



第 2 編

塗装について

塗装のポイント

1. 塗装系の基本

- 1) 鋼材の板厚減少にいたる腐食を防止するため、**ジンクリッチペイント**などの防食下地を用いた**耐食性に優れた重防食塗装系**を基本に考える。
- 2) **上塗り塗料には耐候性に優れたふっ素樹脂塗料**を用いる。
また、都市内などでは汚れにくい**上塗り塗料(防汚材料)**を用いる。
- 3) **環境に配慮し**、防錆顔料や着色顔料等に鉛やクロムなど有害な重金属を含む塗料は使用しない。このため色相が一部制限される。
- 4) **作業者の健康を配慮し**、発がん性の疑いのある物質を含有する**タールエポキシ樹脂塗料**は使用しない。
- 5) **VOC(揮発性有機化合物)**を削減するため、塗替え塗装には**弱溶剤形塗料**を使用する。また**低溶剤形塗料**、**水性塗料**の使用も検討する。
- 6) **塗装コスト削減**のため、一度に厚膜を塗装できる塗料を適用して塗り重ね回数を減らす。

一般外面の塗装仕様

塗装工程		塗料名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μm)	塗装間隔
製鋼工場	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2			2 時間*以内
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	160	(15)	6 ヶ月以内
橋梁製作工場	二次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2			2 時間*以内
	防食下地	無機ジンクリッチペイント	600	75	2 日～10 日
	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗	160	—	1 日～10 日
	下塗第 1 層	エポキシ樹脂塗料下塗	450	100	1 日～10 日
	下塗第 2 層	エポキシ樹脂塗料下塗	450	100	1 日～10 日
	中塗	ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30	1 日～10 日
	上塗	ふっ素樹脂塗料上塗	140	25	1 日～10 日

※防食便覧合計膜厚: 250 μm

合計膜厚: 330 μm

一般内面の塗装仕様

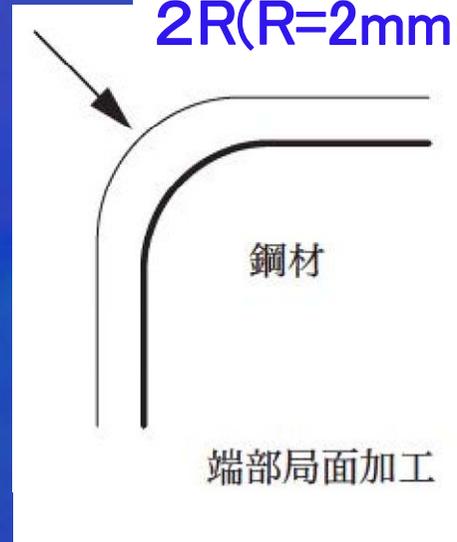
塗装工程		塗料名	使用量 (g/m ²)	目標膜厚 (μm)	塗装間隔
製鋼工場	素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2			2 時間以内
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	160	(15)	
橋梁製作工場	二次素地調整	動力工具処理 ISO St 3			6ヶ月以内
	第1層	変性エポキシ樹脂塗料内面用	410	120	2 時間*以内
	第2層	変性エポキシ樹脂塗料内面用	410	120	1 日～10 日

実橋調査報告-調査対象橋梁厳しい環境:海上橋梁-

箱桁内面



2R(R=2mm以上)



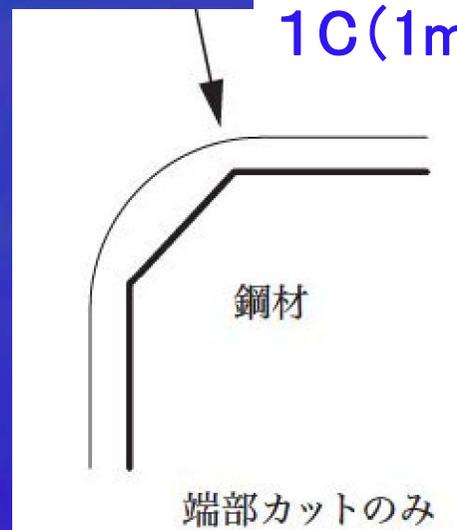
防食便覧および塗装
マニュアルでの記述

部材面取り 2R

箱桁内面



1C(1mm以上)



箱桁内部確認結果
部材面取り 1C程度

構造設計・製作・施工上の留意点(例-3)

3. トルシア型高カボルトのピンテール跡の仕上げ程度

塗装防食便覧 II-51ページより

(社)日本橋梁建設協会
高カボルト連結部の
下地処理見本写真より



写真- II.3.1 ピンテール跡の仕上げの例



防食便覧の写真に比べピンテール跡の仕上げ程度は少ないが、従来はこの程度を標準見本として適用している。

実橋調査報告

供用後12年経過(調査時点)



調査対象橋梁

厳しい環境:海上橋梁

箱桁内部確認結果

添接部付近



素地調整

素地調整は、塗膜の耐久性に大きく影響を与える重要な項目

素地調整の種類	素地調整方法	規格		備考
		ISO	SPSS	
原板の素地調整	ブラスト (原板ブラスト)	Sa2 ^{1/2}	Sd2 Sh2	処理後、直にプライマーを塗装する。表面粗さを規定することもある。
加工後の部材の素地調整	ブラスト (製品ブラスト)	Sa3 Sa2 ^{1/2}	Sd2 Sh2	素地調整後に無機ジंकリッチペイントを塗装する場合に適用する。
	ブラスト (スィープブラスト)	Sa1	Ss	素地調整後に有機ジंकリッチペイントを塗装する場合に適用する。 亜鉛めっきに塗装するための素地調整
	動力工具	St3	Pt3	プライマーの損傷部、発錆部に適用する。素地調整後に無機ジंकリッチペイントを塗装する場合には適用できない
	手工具	St2	Pt2	

注) SPSSではブラストに使用する研掃材の種類に応じて表面処理規格名を定めている。(サンドブラスト:Sd, ショットブラスト:Sh)

素地調整法(ブラスト法)

グリットなどの研掃材を噴出してその衝撃力で錆などを除去する



先行ハケ塗り塗装(工場)



先行ハケ塗り塗装(現場)



期待される新しい塗料

高耐候性ふっ素樹脂塗料(高耐候性)

厚膜形ふっ素樹脂塗料(省工程)

低溶剤形エポキシ樹脂塗料(環境対応)

無機有機複合塗料(高耐候性, 環境対応)

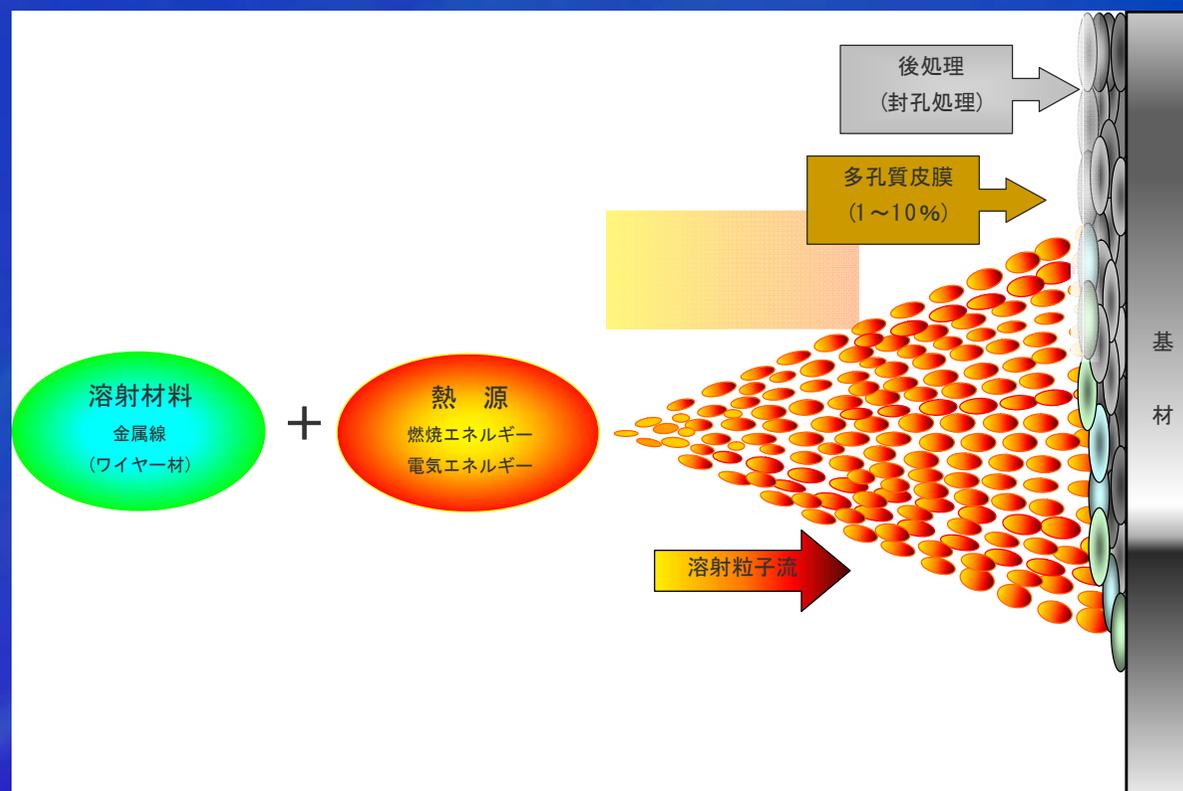
水性塗料(ふっ素樹脂, エポキシ樹脂)(環境対応)

第 3 編

金属溶射について

金属溶射とは

鋼道路橋に対する**金属溶射**は、鋼材に対して電気化学的に卑な電位を示す**亜鉛(Zn)**、**アルミニウム(Al)**、それらの合金などを溶融状の微粒子として鋼材表面に吹き付け、**皮膜を形成することにより防食する工法**である。



溶射の歴史

- 1909年(明治42年) スイスで開発, ドイツ, フランスで工業化
- イギリスで工業化の後に, 1919年(大正8年) 日本に導入
- イギリス(BS規格), ドイツ(DIN規格), アメリカ(AWS)で規格化
- 1952年(昭和27年) JIS H 0403メタリコン(亜鉛)試験方法制定
- 1971年(昭和46年) JIS H 8300, JIS H 9300等(Zn溶射やAl溶射)制定
- 1999年(平成11年) ISO 2063と整合化により改正
- 当初, 亜鉛溶射が鋼製水槽・タンクの防食対策として適用
- 戦前, アルミニウム溶射は, 自動車・戦車の耐熱用皮膜として適用
- 戦後, アルミニウム溶射は, 防食用途にも採用される

溶射の適用事例

- 1963年(昭和38年)宮内庁皇居二重橋 Zn溶射+塗装
- 1972年(昭和47年)関門橋 Zn溶射+塗装
- 1990年(平成02年)天保山橋梁(鹿児島県) Al溶射+塗装
- 1998年(平成10年)海ノ中道大橋(福岡県) Al溶射+塗装
- 2000年(平成12年)香椎かもめ大橋(福岡県) Al溶射+塗装
- 1995年(平成07年)千歳ジャンクション Zn・Al擬合金+塗装
- 1998年(平成10年)宇美川橋梁(福岡県) Zn・Al擬合金(封孔)
- 2000年(平成12年)百地ランプ橋(福岡県) Zn・Al擬合金+塗装
- 2003年(平成15年)新厚東川橋梁(山口県) Al+(封孔)
- 2004年(平成16年)福岡都市高速5号線 Zn・Al合金, 擬合金+(封孔)
- 2012年(平成24年)伊良部大橋 Al・Mg合金+塗装

溶射の適用事例



関門橋: Zn+塗装



海ノ中道大橋: Al+塗装



宇部小野田湾岸道路 Al+封孔処理



福岡都市高速: Zn-Al+封孔処理

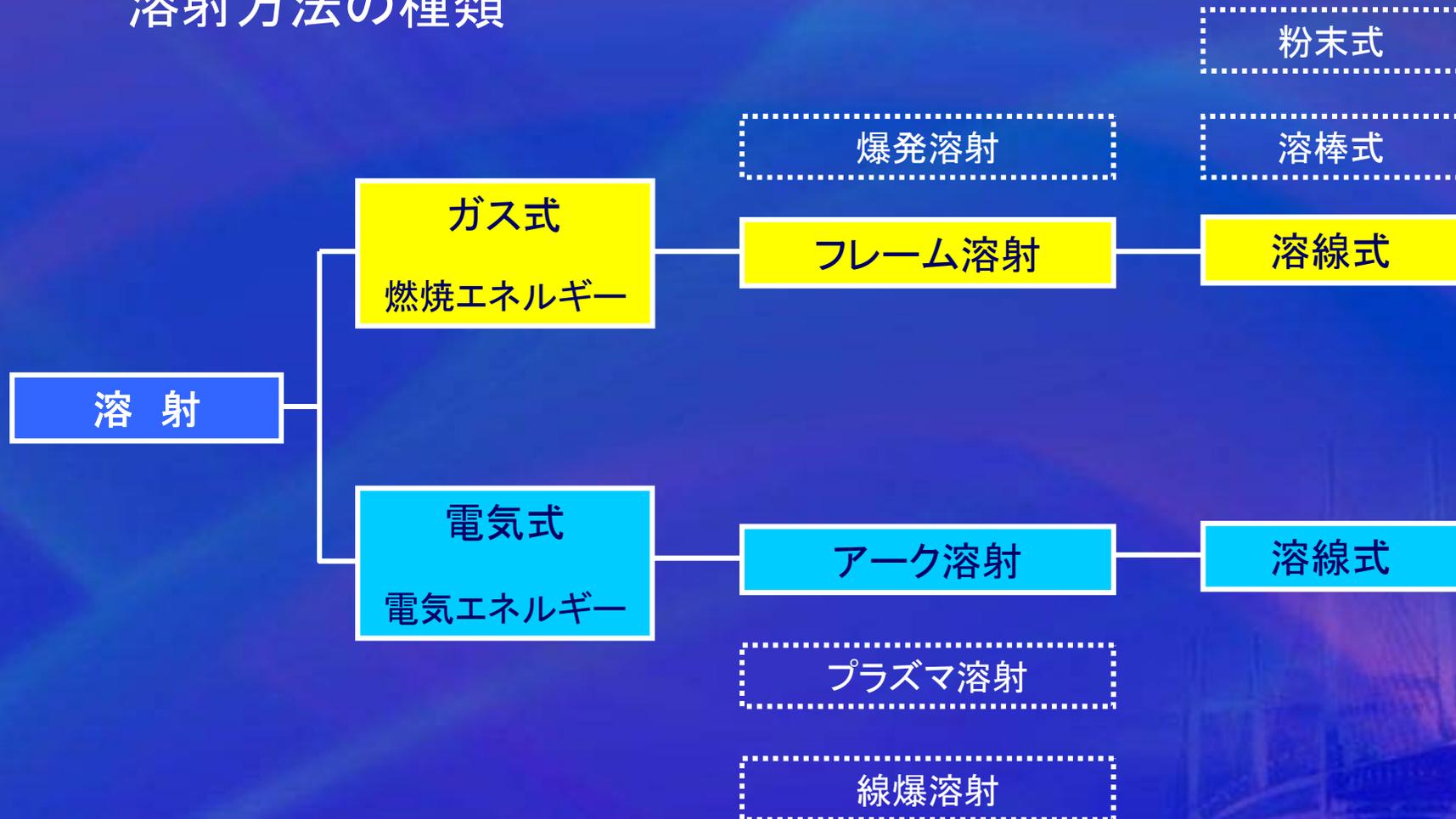
溶射の適用事例



伊良部大橋 Al・Mg+塗装 (建設中)

補足説明

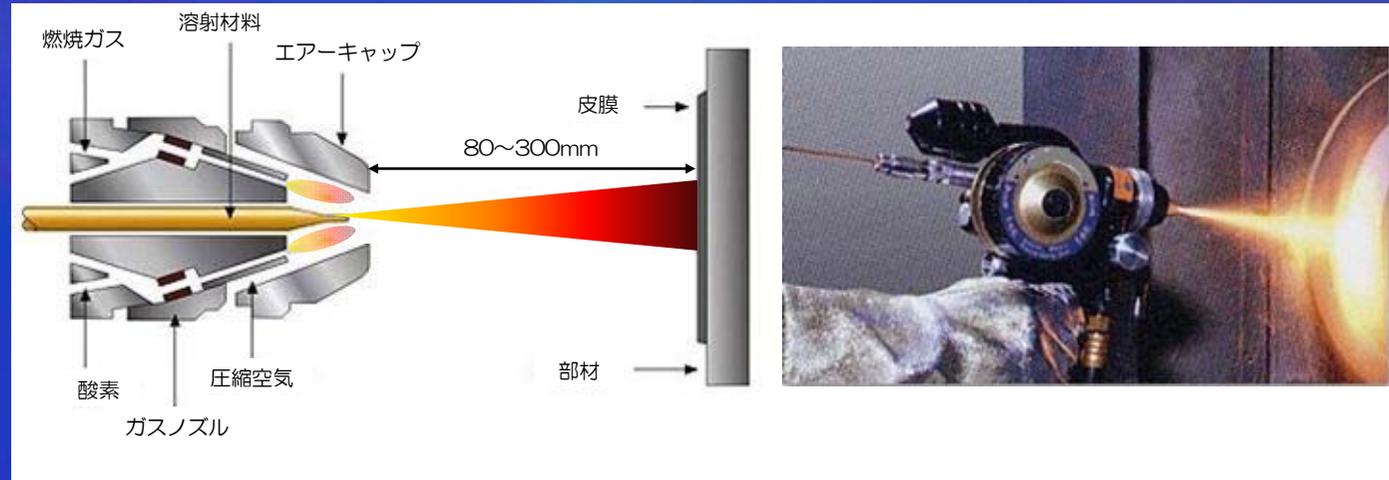
溶射方法の種類



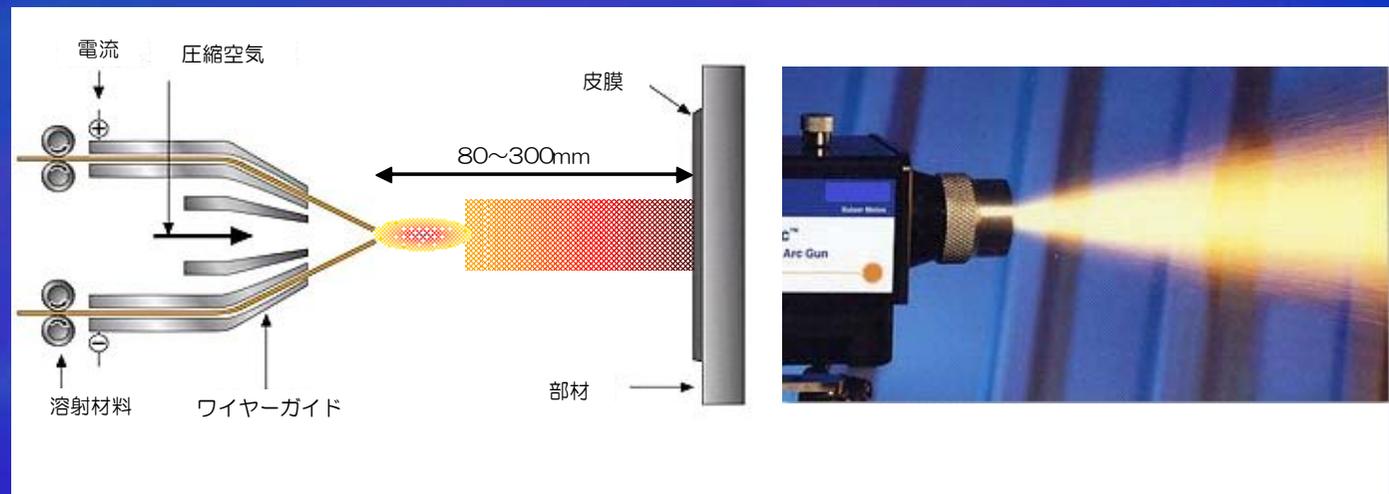
補足説明

エネルギー源の違いによる溶射法の種類

ガス式溶射
フレイム溶射法



電気式溶射
アーク溶射法



防食法の考え方

溶射金属の一般的な性状

性状		溶射金属		
		亜鉛	アルミニウム, アルミニウム・ マグネシウム合金	亜鉛・アルミニウム 合金及び擬合金
暴露による 消耗溶解性	塩水	×	○	△～○
	アルカリ水	○	△	△～○
	降雨水	○	◎	◎
	酸性薬品類	×早い	△遅い	△遅い
防食性	環境遮断効果	○	◎	◎
	電気化学的 防食効果	◎	△～○	◎

使用材料

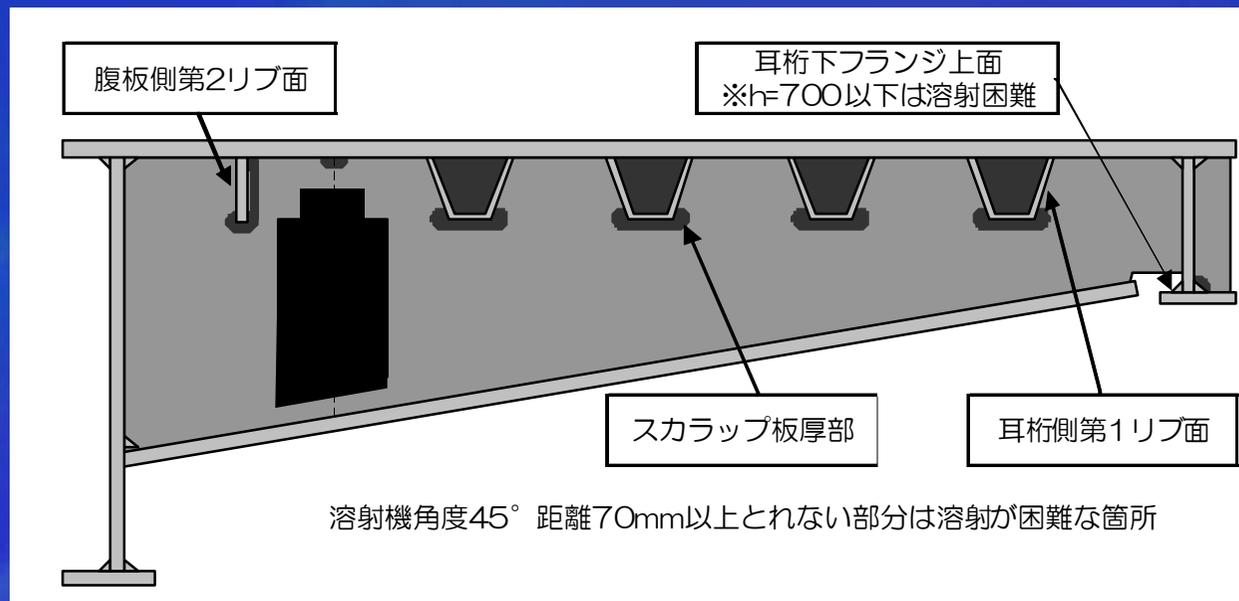
溶射線材	亜鉛, アルミニウム, 亜鉛・アルミニウム合金, アルミニウム・マグネシウム合金
封孔処理剤	溶射皮膜の開口している気孔に含浸させて密閉し金属表面の活性を低下させ表面を保護する. (リン酸ブチラール系, アルキルシリケート系, エポキシ系など)
塗料	環境遮断による耐久性向上と環境調和目的の着色 (ふっ素樹脂塗料).
粗面形成材	人工的に粗さを形成させるための材料 (無機質粒子とエポキシ樹脂で構成).

防食仕様

適用部位	工 程			
一般部 金属溶射仕様	素地調整 (ブラスト処理)	金属溶射 (最小100 μ m)	封孔処理	—
一般部 金属溶射の塗装仕様	素地調整 (ブラスト処理)	金属溶射 (最小100 μ m)	封孔処理	ふっ素樹脂塗料 (中塗, 上塗)
連結部溶射仕様	素地調整 (ブラスト処理)	金属溶射 (最小100 μ m)	封孔処理	摩擦接合面への 適用は要確認
溶射施工困難部仕様	素地調整 (動力工具処理)	有機ジンクリッチ ペイント (75 μ m)	超厚膜形エポキシ 樹脂塗料 (300 μ m)	必要に応じ ふっ素樹脂塗料 (中塗, 上塗)

溶射困難箇所

- 溶射金属粒子は、直線的に飛行するので反対側には付着しない。したがって、スカラップの内側は、溶射膜厚の確保が難しい。
- 溶射角度が浅く距離が大きくなると、溶射金属の付着効率が悪くなる上、皮膜が粗くなる。
- 上記の箇所は、超厚膜形エポキシ塗料で防食性を向上させることが望ましい。



製作施工上の留意点

1. 一般

金属溶射を適用する鋼橋の製作・施工に関して、金属溶射編に記述している以外の項目は、塗装対象橋梁と同じとする。

2. 摩擦接合面の処理

- i. 設計で仮定した必要なすべり係数が得られる様に適切な処理を行う。
- ii. 溶融亜鉛めっき高力ボルト(F8T)を用いる。
- iii. すべり試験では、**すべり係数0.45(0.4)**以上が得られるかを確認する。

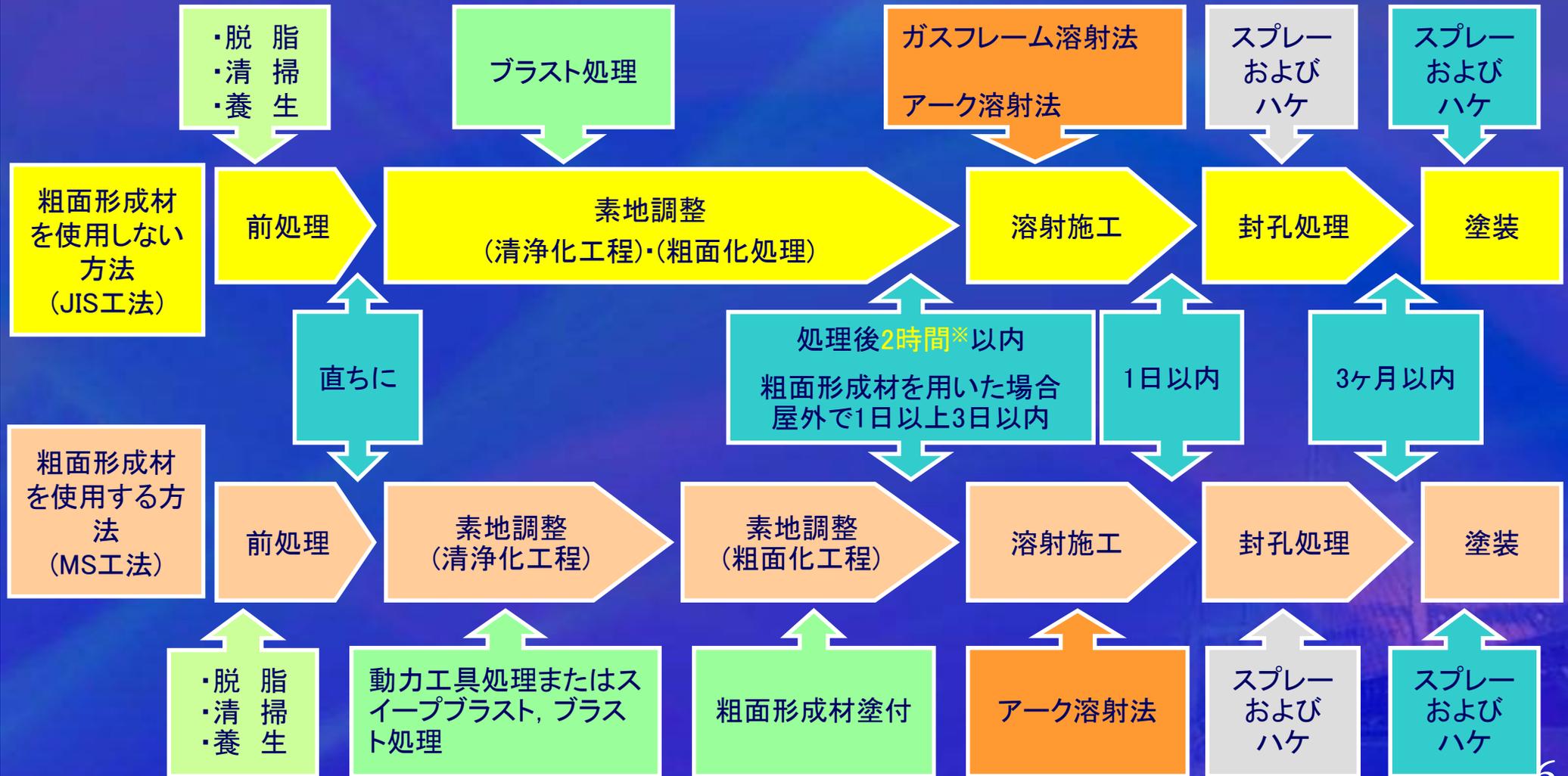
3. 輸送・架設

(1) 部材の保管・仮置き

- i. 工場保管時は、水はけ通気性に配慮、地面からの雨滴の跳ね返りを防止、飛来塩分対策(水洗い)を実施。
- ii. 架設現場の仮置時は、地面への接触防止、転倒防止など。

金属溶射施工

5.2.1 施工フロー



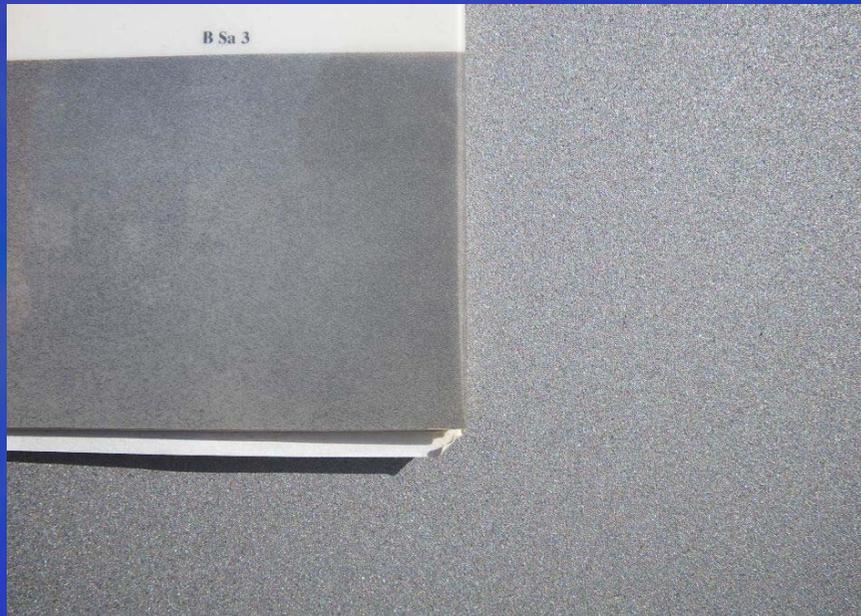
素地調整

素地調整の程度

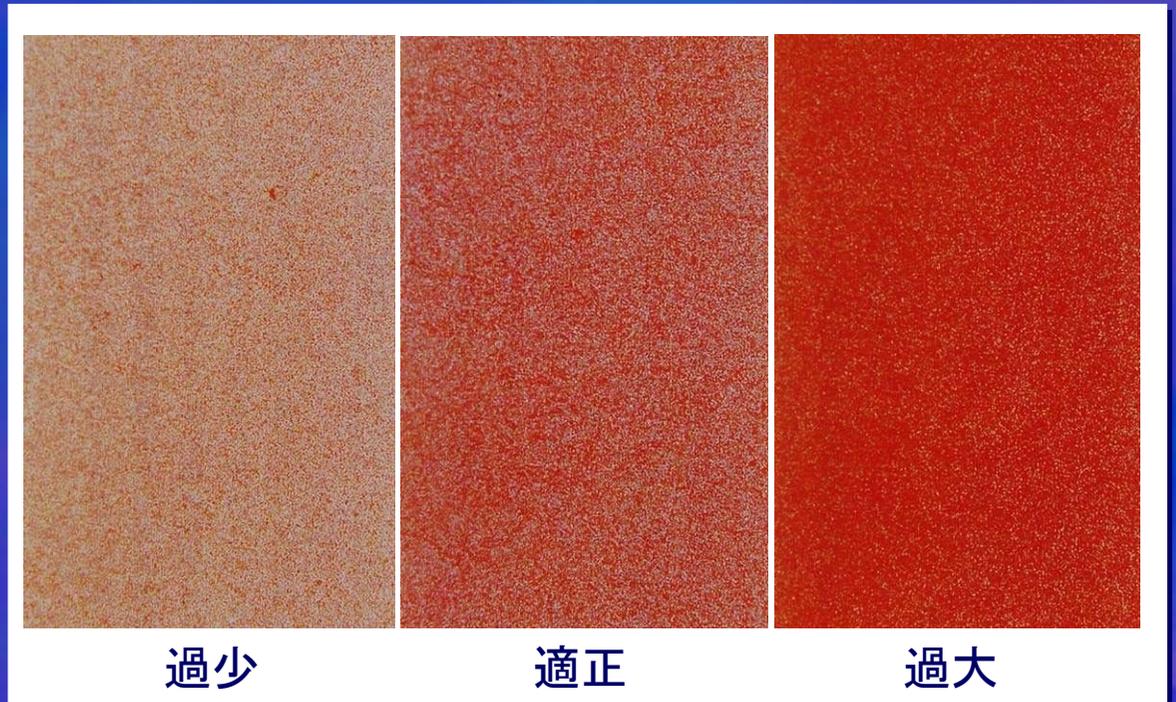
工 程	内 容	方 法	作 業 基 準
清浄化 処理	ミルスケール, さび, 塩類, 油 分, 塵埃を除 き清浄にする.	□ ブラスト法 金属系及び非金属系研削材を使用	ISO8501-1 Sa2 ¹ / ₂ 以上 ISO8501-1 Sa3
		□ 粗面形成材法 動力工具・軽ブラスト処理など	SPSS Sd2, Ss, Pt3以上
粗面化 処理	溶射皮膜が付 着する表面粗 さを付ける.	□ ブラスト法 清浄化処理と同時施工	Ra8 μ m・Rz50 μ m以上
		□ 粗面形成材法 粗面形成材を塗付	Rsm/Rz _{jis} 平均 ≤ 3.5, 最大 4.0

素地調整

素地調整の程度



ブラスト法
(ISO見本帳と対比)



粗面形成材法
(粗面処理標準見本と対比)

素地調整

素地調整の程度



表面粗さはRz50 μ m, Ra8 μ m以上とし、
確認はISO8503 見本板との対比

※ブラスト法を適用する際に
推奨される研削材



スチールグリット



褐色アルミナ

金属溶射

- 溶射施工漏れがないようにする。著しい突起がなく均一な表面状態・膜厚が確保され、かつ溶射皮膜と素地が十分に密着していなければならない。
- 施工技能に優れ、安全衛生の問題や対策を熟知している熟練工が望ましい。



ガスフレイム溶射



アーク溶射：ブラスト



アーク溶射：粗面形成材

封孔処理

- 金属皮膜は空気中の湿度の影響を受けやすいので、溶射施工後、速やかに封孔処理を行う。
- 封孔処理剤には、皮膜よる環境遮断型、溶射金属と反応して安定化を図る反応型がある。



封孔処理施工状況

品質管理基準

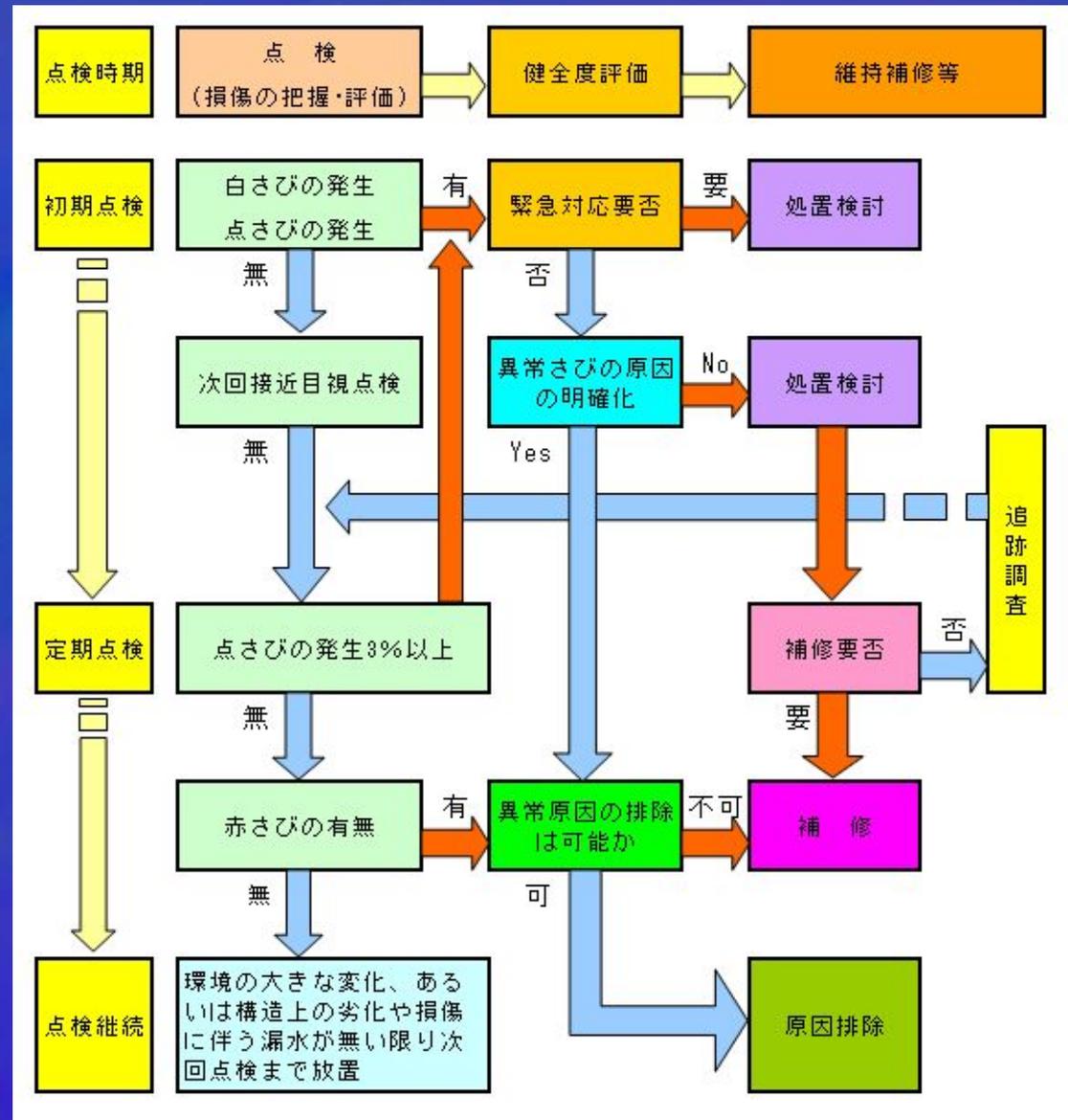
工 程	品 目	判定基準		判定方法
材 料	各種材料	品質規格に適合, 設計数量を確保		規格証明書 数量確認
素地調整	除錆度	ブラスト法 : ISO8501-1 Sa2 ¹ / ₂ 以上, Sa3 粗面形成材法 : SPSS Sd2, Ss, Pt3		標準写真対比
	表面粗さ	ブラスト法 : Ra8 μm・Rz50 μm以上 粗面形成材法 : Rsm/Rz ≤3.5 最大4.0		限度見本板 との照合
溶射施工	溶射皮膜	外 観	溶射もれ, 著しい未溶融粒子の付着等 がないこと	目 視
		皮膜厚さ	ブラスト法 : 100 μm以上 粗面形成材法 : 130 μm以上	膜厚測定法
	封孔処理	外 観	塗りもれ等がないこと	目 視

維持管理

維持管理計画

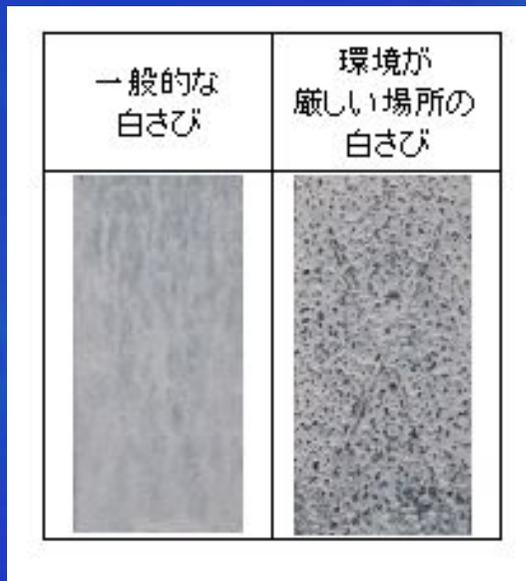
- 劣化が進むと、費用面、施工面で補修が困難になるので、個々の橋梁の条件に応じた管理計画を事前に定め実施する。
- 溶射皮膜は、部分的に防食機能を喪失すると周辺の溶射皮膜が溶出消耗し、劣化面積が拡大する。これを防ぐために、部分的な劣化を早期発見し対策を講じる。

維持管理フロー



金属溶射皮膜の劣化

- 鋼橋の防食法としての金属溶射は歴史が浅く、現在までのところ経年劣化により防食機能を失って補修施工した実例はない。



白さびの例

	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ	レベルⅣ
アルミニウム系				
亜鉛・アルミニウム系				
亜鉛系				

劣化レベルの進行例

点検時期

- 施工後2年を目安に第1回目の点検を行い，第2回目以降は5年程度の間隔で行う。

点検方法

- 目視，双眼鏡を用いて皮膜を調査する。錆の生じやすい箇所を重点的に点検，見落としがないようにする。
- 詳細点検は，検査路，点検車，簡易な足場を用いて皮膜に接近して各部位の詳細な劣化程度を調査し，劣化の原因を究明する。

評 価

- 劣化レベルⅠ～Ⅳのどのレベルにあるかを観察し、評価・記録する。
- 防食機能の損傷程度(劣化程度)を適切に評価する。
- 溶射皮膜の場合は、白さび、赤さびの程度と範囲の状況・把握が重点。

溶射皮膜の補修

- 溶射皮膜の劣化プロセスは、白さび⇒ 色斑⇒ 部分赤さび⇒ 防食電位低下⇒ 密着性不良⇒ 全面赤さび
- 劣化レベルⅡに達した段階で部分補修を行うと、初期施工で発見出来なかった不具合部分が補修され全体に安定した皮膜になる。



追跡調査(進行中)

1. 沖縄県：沖縄暴露試験場
2. 三重県：亀山PAおよび木下高架橋，立谷橋
3. 秋田県：戸賀4号橋

1. 沖縄暴露試験場

- ❑ 腐食環境の厳しい場所(沖縄)における鋼構造物試験体
「大型試験桁を用いた新技術による新設・塗替仕様の沖縄暴露試験」
独立行政法人 土木研究所 暴露試験場(沖縄県大宜味村)
調査開始(塗装, 金属溶射) : 2011年(平成23年)12月～



水性ふっ素樹脂塗料, 高耐候性ふっ素樹脂塗料,
無機・有機複合塗料等の試験桁への採用.

1. 沖縄暴露試験場



SHTB:防錆処理ボルト(超高力ボルト)

F12T:合金めっき高力ボルト(SHTB) の試験桁への採用.

S10T:金属溶射ボルト(トルシア形)

2. 亀山PAおよび木下高架橋, 立谷橋

中日本高速道路(株)

TP：亀山PA内に設置
(三重県亀山市)

実橋：木下高架橋, 立谷橋

調査開始：2005年(平成17年)～



木下高架橋 (合成床版)



PA内テストピース



立谷橋 (合成床版)

3. 戸賀4号橋

秋田県

TP : 戸賀4号橋A2橋台近傍に設置
実橋 : 戸賀4号橋 (秋田県男鹿市)
調査開始 : 2007年 (平成19年) ~



4. 塗膜面の洗浄有効性確認試験

試験場所

北陸自動車道、金沢東IC付近の高架橋下
(石川県金沢市)

調査開始: 2005年(平成17年)~



試験体設置状況

ご清聴ありがとうございました。