

# 塗装を中心とした鋼橋の 防食について

前田 博

(宇部興産機械(株))

# 第30回 鋼構造基礎講座 「鋼材の腐食と防食対策」

- 期日 2015年12月18日(金)10:00～16:30
- 主催 土木学会 鋼構造委員会  
(鋼構造継続教育推進小委員会)
- 会場 土木学会 講堂

# 第 1 編

## 腐食環境と防食

# 鋼の腐食のメカニズム

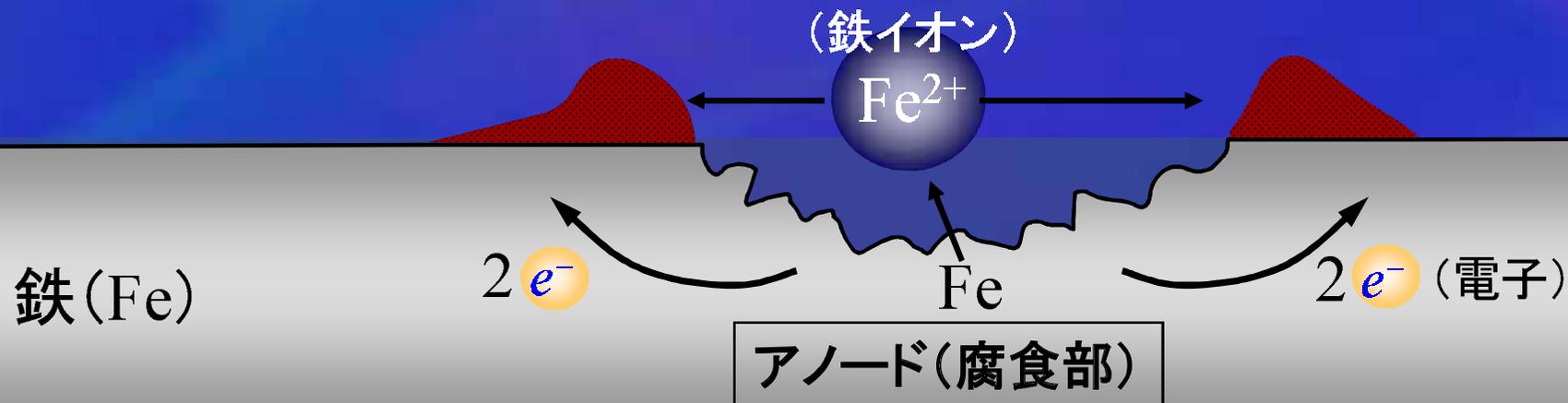
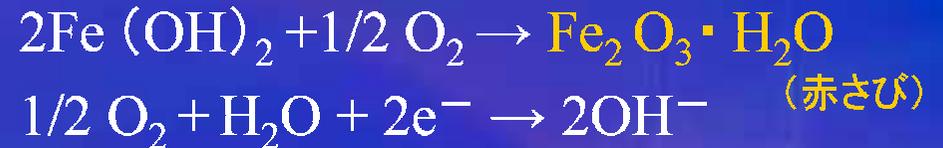
## 電気化学式



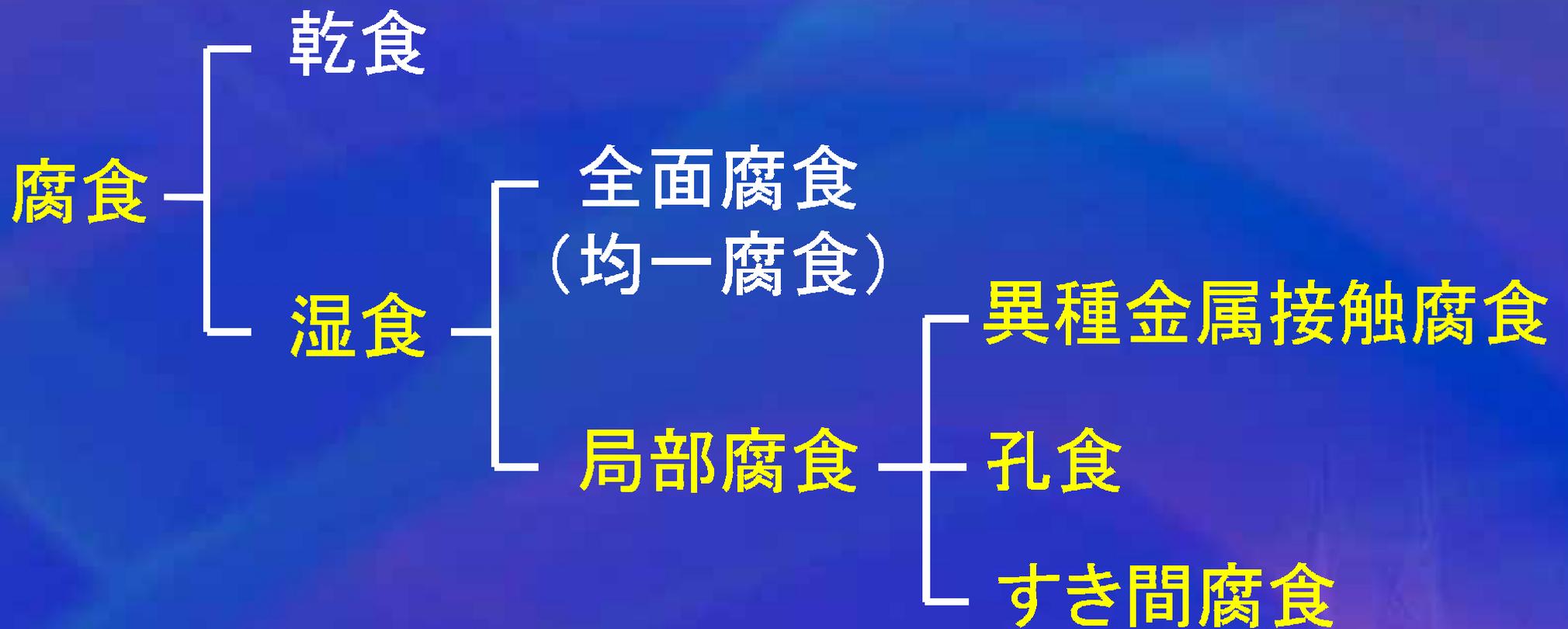
水と空気(酸素)があれば、自然に起きる現象



酸化反応



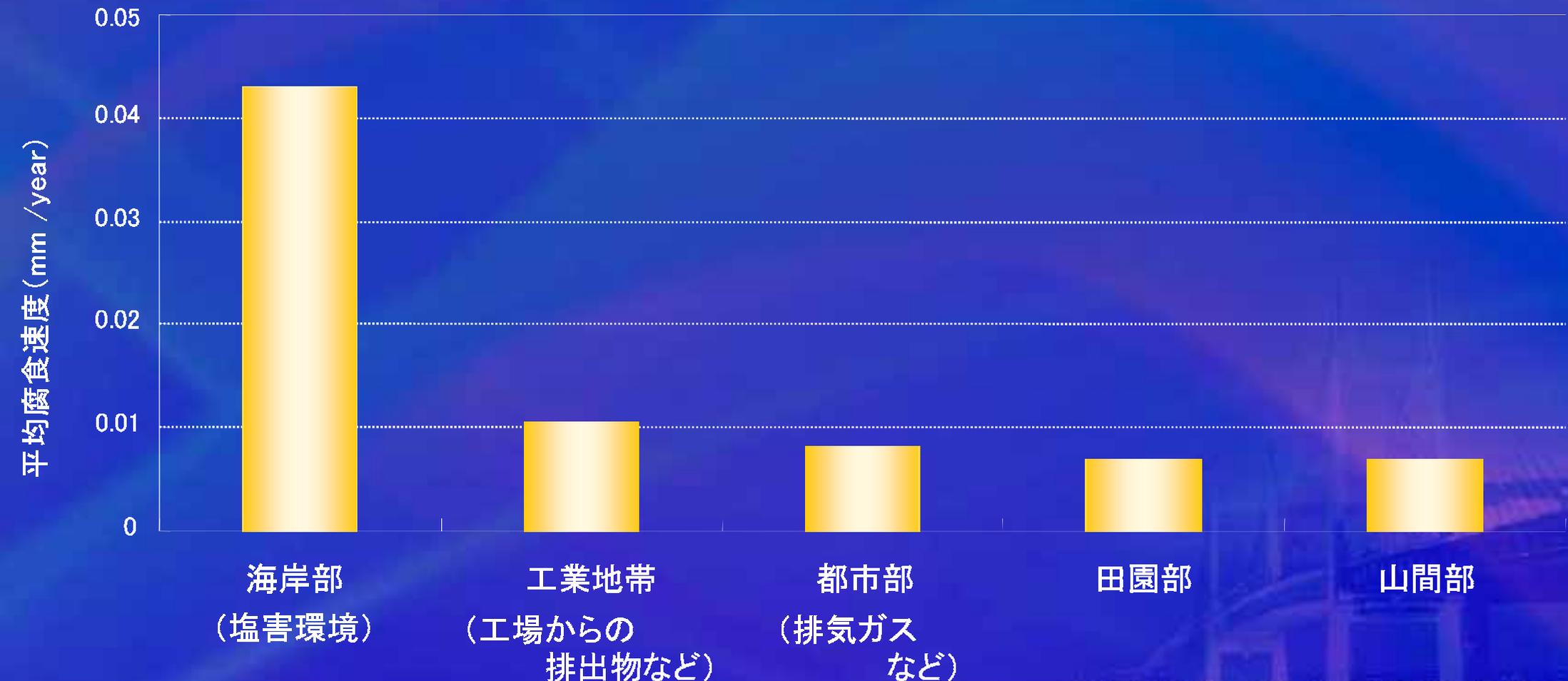
# 鋼橋における腐食の分類と形態



# 環境ごとの鋼材の腐食速度

- 日本各地の41の地域において、一定期間内における鋼材の腐食量を暴露試験した結果

## 普通鋼材腐食量(暴露9年)



# 鋼道路橋の防食法



# 代表的な鋼道路橋の防食法

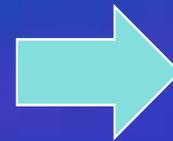
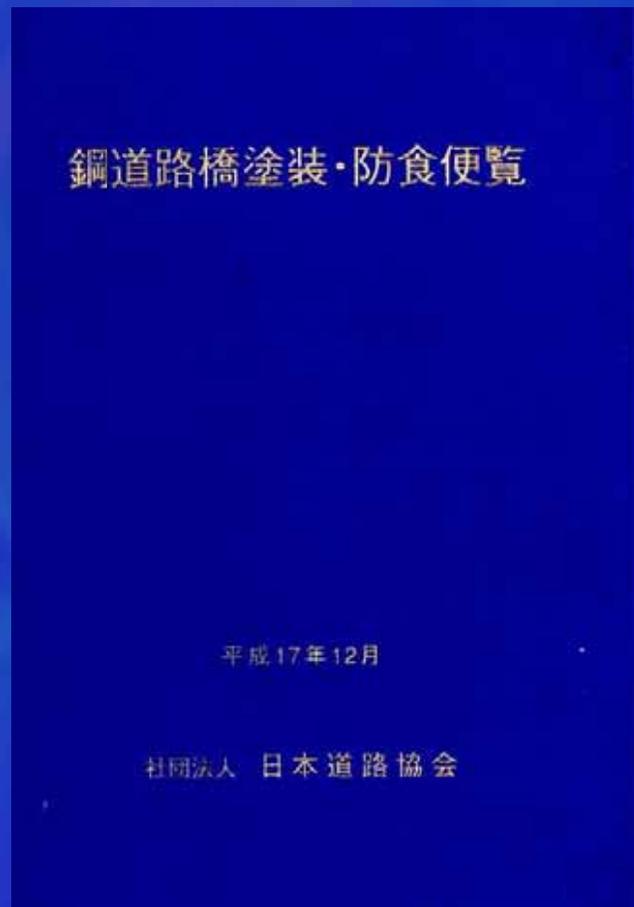
防食法	塗 装		耐候性鋼材	熔融亜鉛めっき	金属溶射
	一般塗装	重防食塗装 (長期耐久性)			
防食原理	・塗膜による環境遮断	・塗膜による環境遮断 ・ジンクリッチペイントによる防食	・ちみつなさび層による腐食速度の低下	・亜鉛皮膜による環境遮断 ・亜鉛による防食	・溶射皮膜による環境遮断 ・溶射金属による防食
劣化因子	紫外線, 塩分, 水分(湿潤状態の継続)		塩分, 水分(湿潤状態の継続)		
防食材料	塗料		腐食速度を低下する合金元素の添加	亜鉛	亜鉛, 亜鉛・アルミニウム アルミニウム, アルミニウム・マグネシウム合金
施工方法	スプレーやはけ, ローラによる塗付		製鋼時に合金元素を添加	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

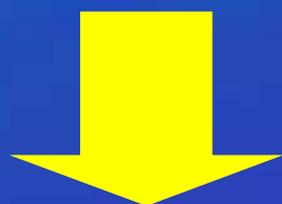
鋼道路橋塗装・防食便覧  
(社) 日本道路協会  
平成17年(2005)12月

鋼道路橋防食便覧  
(公益社) 日本道路協会  
平成26年(2014)3月



# 適用にあたっての注意事項

本便覧は防食の観点のみから、  
標準的な考え方や方法について示したものである。



適用するそれぞれの橋梁の各部材および各部位に対しては、  
それぞれの条件下において所要の防食性能を満足すれば良い。  
便覧の内容と必ずしも同じである必要はない。

# 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。

# 塗膜の基本構成

- 下塗塗料

1. 各種防錆顔料が使用されている
2. 鋼材に対する付着性が良い

- 中塗塗料

1. 下塗・上塗塗料の双方に付着性が良い
2. 上塗塗料より顔料成分が多い
3. 上塗塗料より厚塗りが可能である

- 上塗塗料

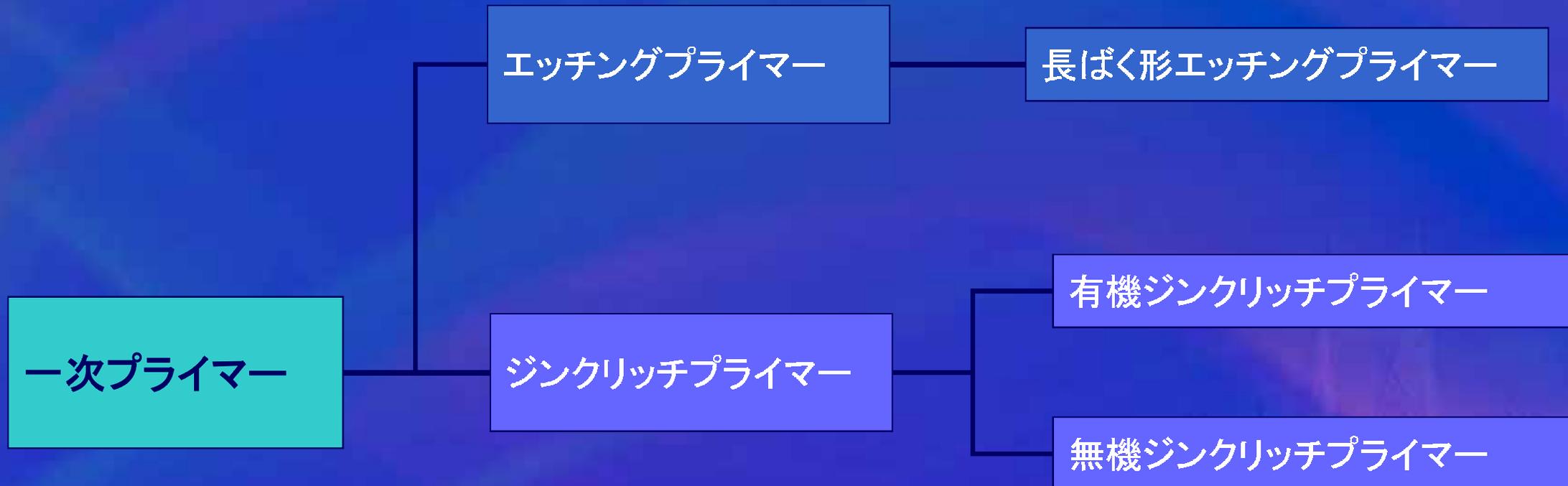
1. 塗膜に光沢があり、種々の色相が可能である
2. 耐候性が良い
3. 耐水性が良い

これらの塗装の組み合わせを“塗装系”と呼んでいる。

# 鋼橋用塗料：プライマー

## 一次防錆プライマーの分類

(鋼材をブラスト処理した際、加工時までには発錆しないように塗る：一次的な防錆  
⇒ 製鋼工場にて)



# 鋼橋用塗料：プライマー

## <要求性能>

1. 作業性が良く、速乾性であること
2. 鋼材との付着性が良いこと
3. 溶断性、溶接性が良く、加工に支障がないこと
4. 熱損傷が少なく、熱により有毒ガスが発生しないこと
5. 数ヶ月屋外暴露に耐える耐候性、防食性を備えていること
6. さび止め塗料との付着性が良いこと

# 鋼橋用塗料：各種塗料一覧

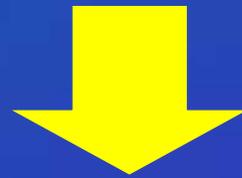
<b>防食下地</b> 厚膜形ジンクリッチペイント (重防食仕様の1層目に適用)	無機ジンクリッチペイント
	有機ジンクリッチペイント
油性及びアルキド系塗料 (鉛・クロムフリーさび止めペイント)	油性及びアルキド樹脂系さび止め塗料 JIS-K-5674
	長油性フタル酸樹脂中塗及び上塗塗料
MIO塗料	エポキシ樹脂MIO塗料
<b>下塗・中塗</b> エポキシ樹脂塗料 (重防食仕様の下・中塗に適用)	ピュアエポキシ樹脂塗料
	変性エポキシ樹脂塗料
ガラスフレーク塗料 (特に重防食が必要な箇所に適用)	ビニルエステル樹脂系, 不飽和ポリエステル樹脂系
	エポキシ樹脂系
ポリウレタン樹脂塗料	上塗として適用
シリコン変性アクリル樹脂塗料	上塗として適用
<b>中塗・上塗</b> ふっ素樹脂塗料 (重防食仕様の中・上塗に適用)	上塗として適用

# 新設塗装系

## 2. 新設塗装系

1) ライフサイクルコスト低減の観点から、重防食塗装系を基本とする。

- ・防食下地には耐食性に優れたジンクリッチペイントを用いる。
- ・下塗りには遮断性に優れたエポキシ樹脂塗料を用いる。
- ・上塗りには耐候性に優れたふっ素樹脂塗料を用いる。



A, B塗装系については触れられていない。

但し、以下の場合については、塗料中に鉛やクロムなどの有害重金属を含有しないA塗装系を適用することも可能である。

- ① 一般環境にある橋で、既に“従来用いられてきた鋼道路橋塗装便覧のA塗装系”が塗装されていて十分な防食性能を有している場合。
- ② 20年以内に架け替えが予定されている場合。

など

# 一般外面の塗装仕様 C-5

塗装工程		塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	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			4 時間以内
	プライマー	無機シ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			4 時間以内
	防食下地	無機シ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	エポキシ樹脂塗料下塗	540	120	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

〈現場塗装〉 高力ボルト継手 ⇒ F-11 塗装系を適用 (防食便覧参照)

現場溶接 ⇒ F-13 塗装系を適用 (防食便覧参照)

注) : 製鋼工場におけるプライマーは膜厚にて管理する。

# 一般外面の塗装仕様 A-5

## 限定的な塗装仕様(20年以内に架け替えを想定している場合)

塗装工程		塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	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			4時間以内
	プライマー	長ばく形エッチングプライマー	130	(15)	
橋梁製作工場	二次素地調整	動力工具処理 ISO St 3			3ヶ月以内
	下塗	鉛・クロムフリーさび止めペイント	170	35	4時間以内
	下塗	鉛・クロムフリーさび止めペイント	170	35	1日～10日
	中塗	長油性フタル酸樹脂塗料中塗	120	30	6ヶ月以内
現場	上塗	長油性フタル酸樹脂塗料上塗	110	25	2日～10日

〈現場塗装〉現場連結部 ⇒ F-15塗装系を適用(防食便覧参照)

注): 製鋼工場におけるプライマーは膜厚にて管理する。

# 一般内面の塗装仕様 D-5

塗装工程		塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	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			4時間以内
	プライマー	無機シ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	4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

〈現場塗装〉 高力ボルト継手 ⇒ F-12塗装系を適用 (防食便覧参照)

現場溶接 ⇒ F-14塗装系を適用 (防食便覧参照)

注): 製鋼工場におけるプライマーは膜厚にて管理する。

# 一般内面の塗装仕様 D-6

## 限定的な塗装仕様(外面塗装がA-5塗装系の場合)

塗装工程		塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	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			4時間以内
	プライマー	長ばく形エッチングプライマー	130	(15)	
橋梁製作工場	二次素地調整	動力工具処理 ISO St 3			3ヶ月以内
	第1層	変性エポキシ樹脂塗料内面用	410	120	4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

〈現場塗装〉現場連結部 ⇒ F-16塗装系を適用(防食便覧参照)

注): 製鋼工場におけるプライマーは膜厚にて管理する。

# その他の塗装仕様

## 【鋼床版裏面】

一般外面：C-5塗装系

内面：D-5塗装系

## 【鋼床版上面】

橋梁製作工場

無機ジンクリッチペイント 30  $\mu$ m

現場での溶接部，塗膜損傷箇所

有機ジンクリッチペイント 30  $\mu$ m

⇒舗設までの一次防錆（舗設前にブラスト処理）

## 【コンクリート接触面】

無機ジンクリッチペイント 30  $\mu$ m（一次防錆を目的）

# 防食設計

摩擦接合面に関して

## 無機ジンクリッチペイントの施工

- ・ 接触面片面あたりの最小乾燥膜厚：**30→50  $\mu\text{m}$**
- ・ 接触面の合計乾燥膜厚：**90→100**～200  $\mu\text{m}$
- ・ 乾燥塗膜中の亜鉛含有量：80%以上
- ・ 亜鉛末の粒径（50%平均粒径）：10  $\mu\text{m}$ 程度以上



すべり係数 **0.40 → 0.45以上**が得られるものとみなす

※「道路橋示方書Ⅱ鋼橋編 18.5.3章」より

- ・ 工場塗装と現場塗装の間隔 1年以内  
1年以上となる場合はシート養生などを検討する

# 構造設計上の留意点

## 一般

- 周期的に塗替え塗装を行って塗膜の防食機能を維持する



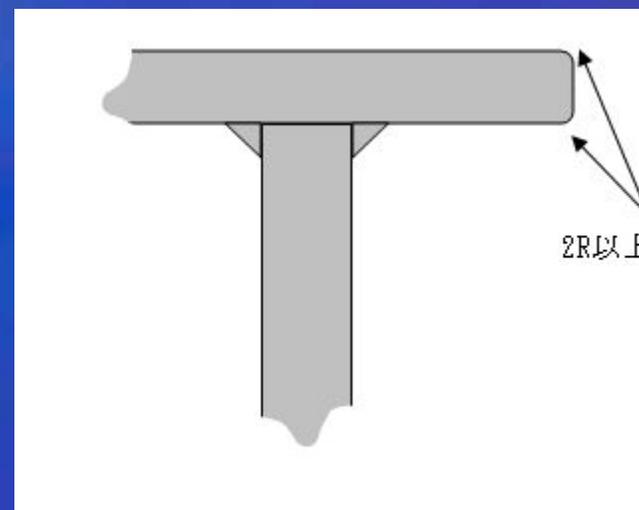
- 塗膜の点検・塗替えのための処置
- 構造細目の設計

塗装の施工品質が確保できる  
漏水や滞水が生じない

## 構造細部の留意点

### 腐食対策

- ・部材角部の面取りをする  
⇒ 半径 $2R$ 以上が望ましい



- ・素地調整作業や塗装作業が容易に行える構造とする  
⇒ エアレススプレー

## 構造細部の留意点

### 腐食対策

- トルシア型高力ボルト

→ グラインダー, 専用加工機によりピンテール部を平滑に仕上げる



専用加工機によるピンテール跡の仕上げの例

## 構造細部の留意点 作業空間の確保

- ・腹板やフランジの切欠き、沓座の高さ
- ・閉断面部材内側の空間が確保できない場合は完全密閉する

## 部材の角部の処置

- ・専用加工機やグラインダによる面取り加工(2R以上)
- ・先行塗装



先行塗装の例

## 構造細部の留意点

### 漏水や滞水の防止

- ・伸縮装置からの漏水を完全に防ぐ  
⇒ 伸縮装置には原則として非排水型を用いる
- ・完全に密閉できない閉断面部材では、連結部の隙間をシール材で塞いだり、水抜孔を設ける

## 附属施設の設置

- ・維持管理に必要となる附属施設  
→ 足場の吊り元用ピース、マンホール、換気孔など

# 製作・施工上の留意点

- 塗膜の品質確保 → 全工場塗装

適切な塗装間隔や養生期間の確保(工程計画)

工場塗装と現場塗装に色調差が生じる(塗装間隔)

→防食上の問題はない

保管・輸送・架設時の塗膜損傷対策

(キズ、汚れ、さび汁、雨水、油、セメントミルク)

- 付着塩分量 NaCl 50 mg/m<sup>2</sup>以下とする。

超える場合は 水洗

※塗替え塗装前の水洗いは、**ほぼ必須**と考えた方が**良い**。

# 実橋調査



調査対象橋梁  
厳しい環境：海上橋梁

箱桁内部確認結果  
部材面取り 1C程度



# 実橋調査

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



## 高力ボルト連結部の塗装仕様 F-11(一般部塗装系C-5)

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	目標膜厚 (μm)	塗装間隔
【製鋼工場】				
1次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2・1/2			4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】				
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】				
素地調整	動力工具処理 ISO St3			4時間以内
ミストコート	変性エポキシ樹脂塗料下塗	160 <130>	—	
下塗り	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	1100 <2x500>	300	1日～10日
中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗	170 <140>	30	1日～10日
上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗	140 <120>	25	1日～10日

※防せい処理ボルトの場合は、添接板も含め高力ボルト頭部にミストコートから塗装する。

防せい処理ボルトを使用しない場合は、高力ボルト頭部に素地調整後、有機ジンクリッチペイント240g/m<sup>2</sup>×2回を塗装後、添接板も含め、ミストコートから塗装。

## 高力ボルト連結部の塗装仕様 F-12(一般部塗装系D-5)

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	目標膜厚 (μm)	塗装間隔
【製鋼工場】				4時間以内
素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2・1/2			
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】				6ヶ月以内
二次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2・1/2			
下塗り	無機ジンクリッチペイント	600	75	4時間以内
【現場】				1年以内
素地調整	動力工具処理 ISO St3			
ミストコート	変性エポキシ樹脂塗料下塗	160 <130>	—	4時間以内
下塗り	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	1100 <2x500>	300	1日～10日

※ 防せい処理ボルトの場合は、添接板も含め高力ボルト頭部にミストコートから塗装する。

## 溶接部の塗装仕様 F-13(一般部塗装系C-5)

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	目標膜厚 (μm)	塗装間隔
【現場】				
素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2・1/2			4時間以内
下塗り	有機ジンクリッチペイント	600 <2x300>	75	
下塗り	変性エポキシ樹脂塗料下塗	240 <200>	60	1日～10日
下塗り	変性エポキシ樹脂塗料下塗	240 <200>	60	1日～10日
中塗り	ふっ素樹脂塗料用中塗	170 <140>	30	1日～10日
上塗り	ふっ素樹脂塗料上塗	140 <120>	25	1日～10日

※ 素地調整はブラスト処理を原則とする。施工面積が小さい場合には、ブラスト面形成動力工具等の適用を検討するとよい。

## 溶接部の塗装仕様 F-14(一般部塗装系D-5)

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	目標膜厚 (μm)	塗装間隔
【現場】				
素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2・1/2		4時間以内	
下塗り	有機ジンクリッチペイント	600 <2x300>		75
下塗り	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	1100 <2x500>	300	

※ 素地調整はブラスト処理を原則とする。施工面積が小さい場合には、ブラスト面形成動力工具等の適用を検討するとよい。

## 新設時の素地調整

種 類	方 法	除せい度の ISO規格	備 考
1次素地調整	ブラスト処理 (原板ブラスト)	Sa2 1/2	ブラスト後は直ちにプライマーを塗付
2次素地調整	ブラスト処理 (製品ブラスト)	Sa2 1/2	防食下地に無機ジンクリッチペイントを用いる場合に適用
加工後の部材 の素地調整	動力工具	St3	D-5・A-5・D-6塗装系の場合、プライマーの損傷部と発せい部に適用 防食下地に無機ジンクリッチペイントを用いる場合は適用不可
スィープブラスト処理 (亜鉛めっき用ブラスト)		Sa1 程度	亜鉛めっきに塗装するための素地調整

## 施工管理

- 施工計画書
- 施工記録

使用材料, 塗料の調合, 気象条件,  
素地調整, 塗付作業, 塗り重ね間隔

- 素地調整の管理
- 塗料の管理

塗料品質, 塗料の搬入量, 塗料の保管

# 素地調整

## 素地調整

- ・研削材: スチールグリット, ガーネット, 溶融アルミナ, 銅スラグなど  
※けい砂は, 安全衛生上の理由により, 平成19年4月にJISから削除.
- ・表面粗さ:  $80 \mu\text{mRz}_{\text{JIS}}$  以下
- ・湿度が高いときはブラストを行わない(ターニング現象).
- ・大ブロックの施工や塗替え塗装などで処理面積が多く4時間以内の施工が困難な場合は, ブラスト施工を2回に分けて実施すると良い.
- ・湿度等の施工環境の管理を行い結露が生じないことを確実にし, ターニングしていないことを確認しながら施工を行う場合は, 必ずしも4時間以内に作業を完了しなくてもよいが, その日の内に作業を完了する必要がある.

# 素地調整（１）

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 <sup>1/2</sup>	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)	Sa2 <sup>1/2</sup>	Sd2 Sh2	素地調整後に無機ジンクリッチペイントを塗装する場合に適用する。
	ブラスト (スイープブラスト)	Sa1	Ss	素地調整後に有機ジンク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ンク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（２）

## 素地調整の方法と表面清浄度

処理規格	素地調整の方法, 表面清浄度
Sa3	純粋な金属面を得るブラスト処理. 拡大鏡なしで表面には目に見える油, グリース, 泥土及びミルスケール, さび, 塗膜, 異物がないこと. 表面は均一な金属色をしていること.
Sa2 <sup>1/2</sup>	最も完全なブラスト処理. 拡大鏡なしで表面には目に見える油, グリース, 泥土及びミルスケール, さび, 塗膜, 異物がないこと. 表面はさび, 異物の残った痕跡が斑点状又はしま状の僅かな汚れだけであること
Sa2	十分なブラスト処理. 拡大鏡なしでミルスケールの大部分, さび, 異物を除去する. 残存した全ての汚れは固着していること. 表面は灰色を呈する.
Sa1	軽度のブラスト処理. 浮いたミルスケール, さび, 異物を除去する. 亜鉛めっきの場合は, 標準作業要領に基づいて施工し, 標準写真により判定する.
St3	スクレーパー, ワイヤブラシ, パワーブラシ, グライNDERなどでを用いて, St2より丁寧に仕上げる. 素地が金属光沢を呈するまで, 十分な処理を行う.
St2	拡大鏡なしで表面に見える油, グリース, 泥土, 及び弱く付着したミルスケール, さび, 塗膜, 異物がないこと.

# 素地調整法(ブラスト法)

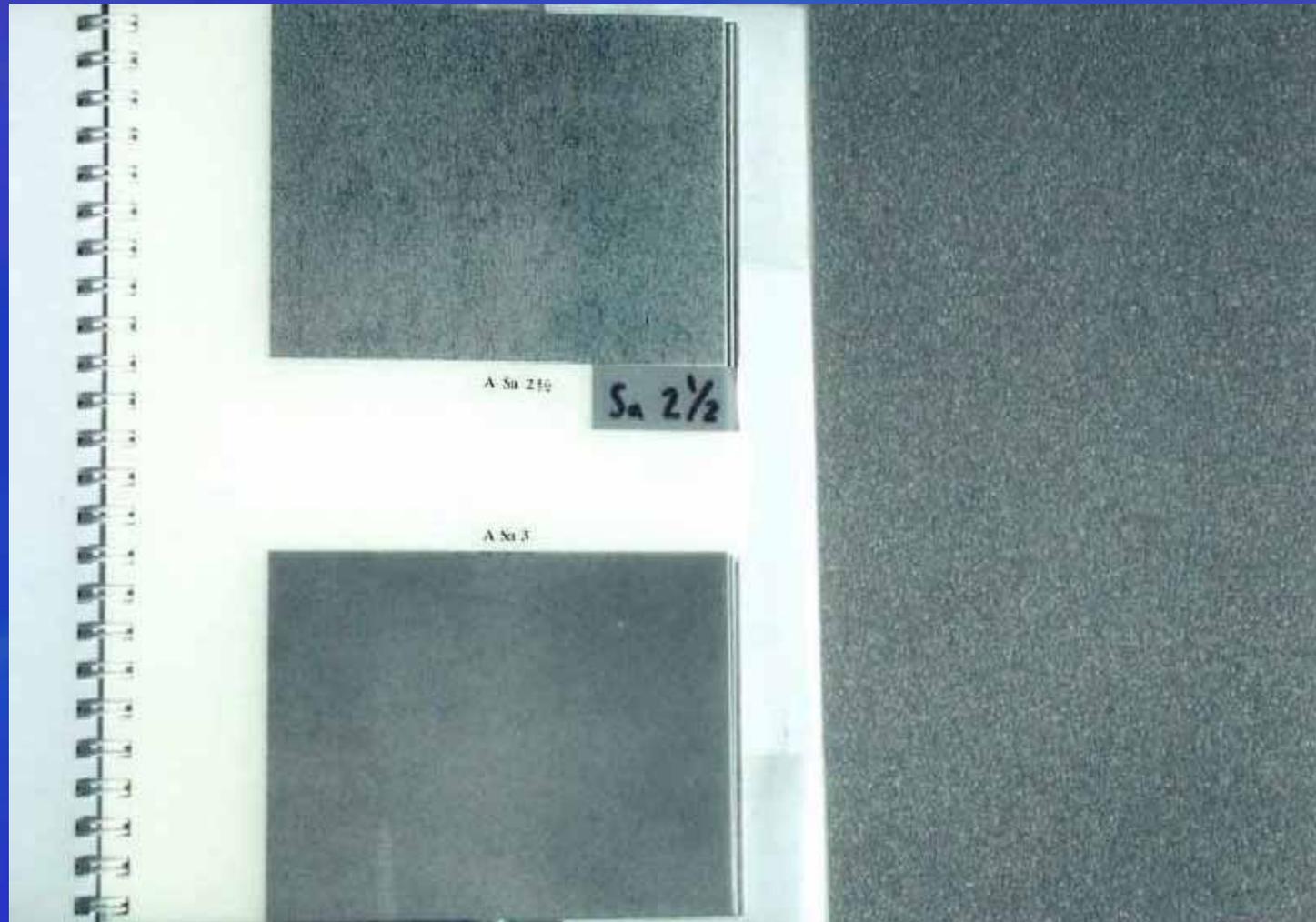
グリットなどの研掃材を噴出してその衝撃力で錆などを除去する



# 素地調整法（動力工具:ディスクサンダーなど）



# 素地調整完了後・・・標準見本写真(ISO)



# 塗 装 作 業

# 塗付方法

## エアレススプレー装置

エアレススプレー装置



スプレーガン



# 外面のエアレス塗装



# 先行はけ塗り塗装



# 内面のエアレス塗装



# 膜厚測定

ウェット膜厚, ウェットゲージ



# ドライ膜厚測定, 電磁膜厚計



- ①無機ジンクリッチペイント塗布後
- ②上塗り終了時

# 維持管理と塗替え塗装

## 塗膜厚(乾燥塗膜)

ロットの大きさ: 200~500m<sup>2</sup>程度

測定数: 25点以上

1ロットが200~500m<sup>2</sup>に満たない場合は10m<sup>2</sup>ごとに1点

測定時期 外面塗装: 無機ジンクリッチペイント塗付後  
上塗り終了時

内面塗装: 内面塗装終了時

### 管理基準値

i) ロットの平均は目標膜厚合計値の90%以上

ii) 最小厚は目標膜厚合計値の70%以上

iii) 標準偏差は目標膜厚合計値の20%を超えない

超えた場合は測定値の平均が目標膜厚合計値より大きいこと

### 不合格の場合

さらに同数の測定を行い、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

# 点検の種類

## 1. 定期点検

- 1) 構造物の健全度を把握.
- 2) 機能低下の原因となる損傷の早期発見と評価.
- 3) 点検対象物に接近して定期的に行う.
- 4) 細部を目視あるいは簡単な計測により行う.

## 2. 詳細点検(臨時点検)

- 1) 塗膜の早期劣化や特異な変状が現れた場合に実施.
- 2) 損傷の要因分析・進行状態の把握.
- 3) 補修の要否や補修する場合の塗替え塗装系を検討するために詳細に行う.
- 4) 高度な専門知識・経験に基づく判断が必要.

# 塗膜の調査方法

## 塗膜調査方法

### 目視による調査

さび

はがれ

白亜化(チョーキング)

われ

ふくれ

変退色

汚れ

キズ

### 計器による調査

基盤目・クロスカッターテープ付着試験

引張付着試験(アドヒージョンテスト)

狭い周波数領域におけるインピーダンス測定

色差測定

光沢測定

### 塗膜汚染物質の分析

付着塩分測定

# 塗膜の劣化例-1

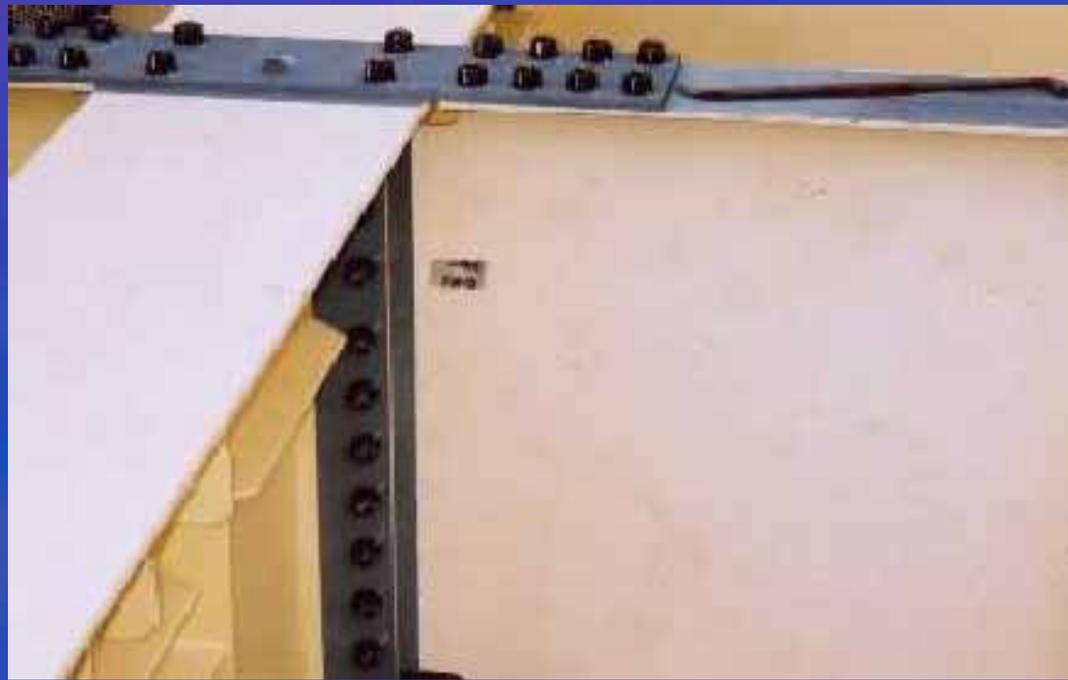


さび

はがれ



# 塗膜の劣化例-2



白亜化

われ



# 塗膜の劣化例-3



ふくれ

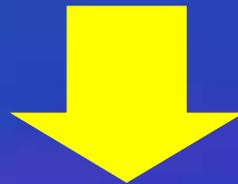
変退色



# 塗替え塗装のポイント

## 塗替塗装系

- 1) ライフサイクルコスト低減, 環境対策, 景観上の配慮などの観点から, 塗替塗装仕様は従来よりも耐久性に優れる重防食塗装系を基本とする.
  - ・ブラスト工法＋有機ジンクリッチペイント
  - ・エアレススプレー塗装
  - ・外面は弱溶剤形塗料, 内面は無溶剤形塗料を使用



飛散防止処置, 低飛散型スプレー, 静電スプレー等の適用検討が必要

一般塗装系で旧塗膜のA, a, B, b塗装系が十分な塗膜寿命を有しており, 橋の残存寿命が20年程度の場合には, 鉛・クロムフリーさび止めペイントを用いる塗装仕様を適用可能.

# 塗替え塗装系

- Rc-I 塗装系(スプレー)

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	塗装間隔
素地調整	1種		4時間以内
下塗	有機ジンクリッチペイント	600	1日~10日
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	1日~10日
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	240	1日~10日
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	170	1日~10日
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	140	1日~10日

# 塗替え塗装系

- Rc-Ⅲ 塗装系 (はけ, ローラー)

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	塗装間隔
素地調整	3種		4時間以内
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗 (鋼板露出部のみ)	(200)	
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	200	1日~10日
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	200	1日~10日
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	140	1日~10日
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	120	1日~10日

# 塗替え塗装系

- Rc-IV 塗装系 (はけ, ローラー)

塗装工程	塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	塗装間隔
素地調整	4種		4時間以内
下塗	弱溶剤形変性エポキシ樹脂塗料下塗	200	1日~10日
中塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料用中塗	140	1日~10日
上塗	弱溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗	120	1日~10日

# 全面塗替え

アーチ橋全景  
(施工前)



アーチ橋全景  
(施工完了)



# 全面塗替え

アーチ橋接写  
(施工前)



アーチ橋接写  
(施工完了)



# 全面塗替え

箱桁全景  
(施工前)



箱桁全景  
(施工完了)



# 部分塗替え 特殊例



縦桁Web  
(施工前)



縦桁Web  
(施工中)



縦桁Web  
(施工完了)

# 塗装に関する新技術

## (1) 環境に優しい塗装系

付表－Ⅱ.5.1 環境に優しい塗装仕様の例(一般外面用の新設塗装系)  
(スプレー塗装)(溶剤削減率約70%程度)

塗装工程		塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	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		(15)	4時間以内
	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	160		6ヶ月以内
橋梁橋梁製作工場	2次素地調整	ブラスト処理 ISO Sa2 1/2		75	4時間以内
	防食下地	無機ジンクリッチペイント	600		2日～10日
	ミストコート	水性エポキシ樹脂塗料下塗	160	—	1日～10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	40	1日～10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	40	1日～10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	40	1日～10日
	中塗	水性ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30	1日～10日
	上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	140	25	1日～10日

(1)環境に優しい塗装系

付表－Ⅱ.5.2 環境に優しい塗装仕様の例(一般外面用の塗替塗装系)

(素地調整程度1種, スプレー塗装)(溶剤削減率約90%程度)

塗装工程		塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	目標 膜厚 (μm)	塗装間隔
橋梁橋梁製作工場	素地調整	1種			4時間以内
	防食下地	水性有機ジンクリッチペイント	300	37.5	1日～10日
	防食下地	水性有機ジンクリッチペイント	300	37.5	1日～10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	40	1日～10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	40	1日～10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	40	1日～10日
	中塗	水性ふっ素樹脂塗料用中塗	170	30	1日～10日
	上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	140	25	1日～10日

(1)環境に優しい塗装系

付表－Ⅱ.5.3 環境に優しい塗装仕様の例(一般外面用の塗替塗装系)  
(素地調整程度3種, はけ・ローラー塗装)(溶剤削減率約90%程度)

塗装工程		塗料名	使用量 (g/m <sup>2</sup> )	目標 膜厚 (μm)	塗装間隔
橋梁 橋梁 製作 工場	素地調整	3種			4時間以内
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	180	(45)	1日～10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	180	(45)	1日～10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	(45)	1日～10日
	下塗	水性エポキシ樹脂塗料下塗	200	(45)	1日～10日
	中塗	水性ふっ素樹脂塗料用中塗	170	(30)	1日～10日
	上塗	水性ふっ素樹脂塗料上塗	140	(25)	1日～10日

## (2)新規塗料

### (2)－4 高耐久性ふっ素樹脂塗料

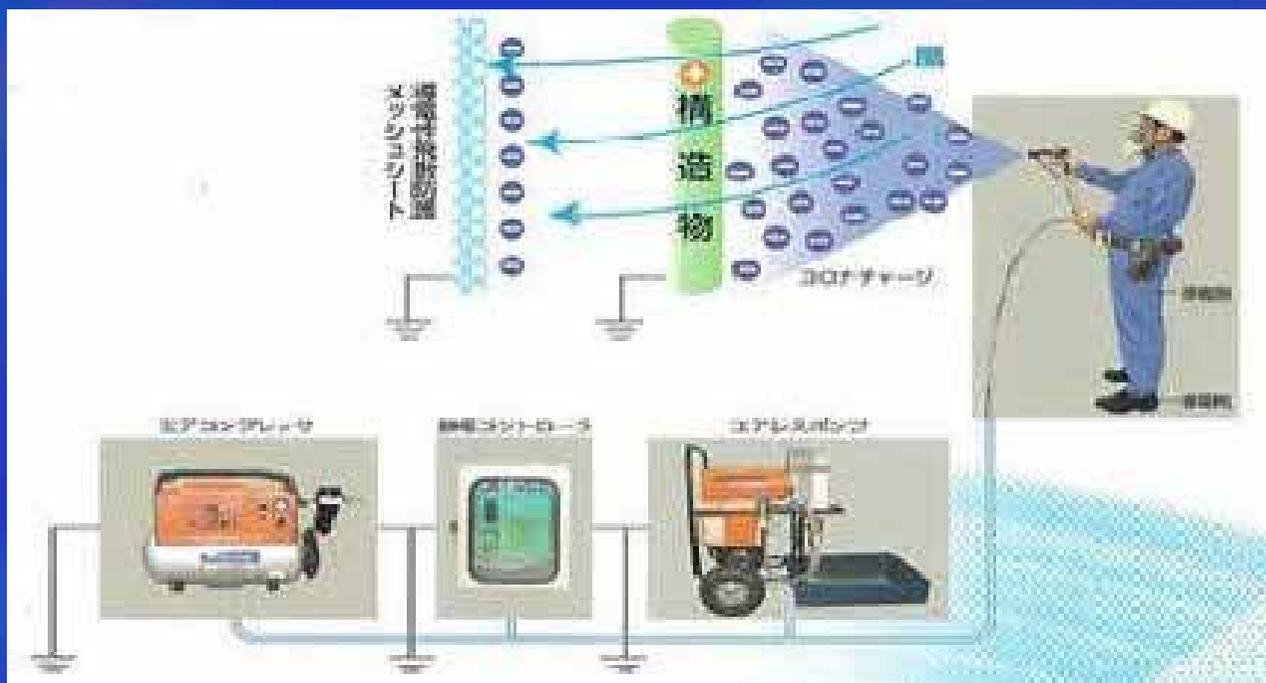
#### 付表－Ⅱ.5.10 高耐久性ふっ素樹脂塗料上塗の主な品質(暫定)

項目	品質
色相	白(淡彩色)
60度鏡面光沢度	75 以上
屋外暴露耐候性	塗膜に膨れ・剥がれ・割れがなく, 光沢保持率は, (財)日本ウエザリングテストセンター宮古島試験場での光沢保持率が, 暴露期間3年で50%以上及び色の変化の程度が見本品に比べて大きくないこと。
ふっ素の検出	ふっ素が存在すること。

### (3)その他の新技術

#### (3)－4 エアーアシスト方式静電スプレー塗装

エアーアシスト方式静電スプレー塗装は、エアレススプレーに補助エアーを加えたエアラップ静電塗装方式で、風に流されず、被塗物に良く付着する大きさの塗料の微細粒子(スプレーミスト)を生み出し、補助エアーの流れに包んで吹付けると共に、静電気力を利用してスプレーミストの飛散を抑えつつ高い塗着効率と良好な仕上り、また作業環境の改善を達成する塗装方法。



# 第 3 編

## 溶融亜鉛めっきについて

## 溶融亜鉛めっき橋の概要(1)

- ・ 国内では、1963年にJIS H 8641「溶融亜鉛めっき」が制定され、同年最初の溶融亜鉛めっき橋が施工された。最初の橋梁以後、40年以上が経過している。
- ・ 2003年時点で約1000橋（12万トン）の溶融亜鉛めっき橋が架設されている。
- ・ 環境に適合した多くの溶融亜鉛めっき橋は、今もなお健全な状態で維持されている。

## 溶融亜鉛めっき橋の概要(2)

- 初期の橋の中には架橋環境が適用可能な条件でなかったものもあり、架設後10年で塗装により補修された事例もある。
- 架橋環境条件や周辺環境との調和、経済性、維持管理の条件等の防食の要求性能を考慮し、当該橋の要求性能に照らして防食法を選定する必要がある。
- 主構造以外の検査路や排水装置などの附属物には、塗装橋や無塗装橋梁にも溶融亜鉛めっきが使用されている。

# めっき付着量(H26)

## めっき付着量

部 材 名	規 格	付 着 量
主桁, 対傾構, 横構, 連結板等厚さ8mm以上の鋼材及び形鋼類	HDZ 55	600g/m <sup>2</sup> 以上
厚さ6mm以上, 8mm未満の鋼材及び形鋼類		550g/m <sup>2</sup> 以上
支承		
高力ボルト	HDZ 45	450g/m <sup>2</sup> 以上
厚さ3.2mm以上, 6mm未満の鋼材及び形鋼類		
検査路のパイプ手すり, 縞鋼板	HDZ 35	350g/m <sup>2</sup> 以上
厚さ3.2mm未満の鋼材		
ボルト		

板厚3.2mm以上、6mm未満の鋼材及び形鋼類の付着量を450g/m<sup>2</sup>以上とし、新たにHDZ 45 を設けた

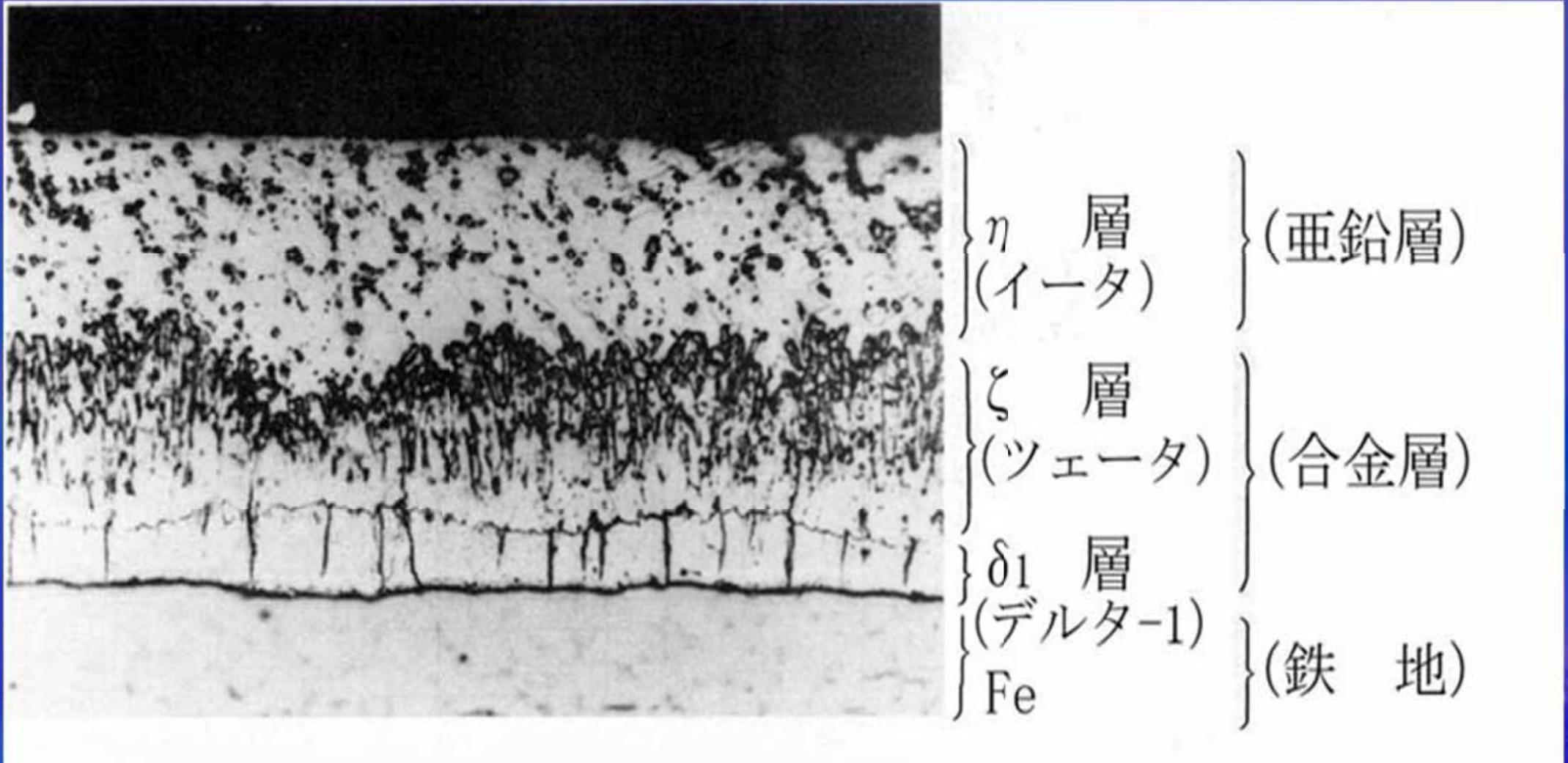
# 熔融亜鉛めっきとは

## ①めっき作業

- 熔融亜鉛めっきは、約440℃前後の熔融した亜鉛中に鋼材を浸せきし、浸せき中に鉄と亜鉛が反応して形成される鉄と亜鉛の合金層と純亜鉛層からなる被膜を形成する。



## ②亜鉛めっき層の断面組織



# 防食設計

- ① 架設される場所の環境が溶融亜鉛めっきに適している。
- ② 部材寸法がめっき工場のめっき浴槽に入る範囲であること。
- ③ 高力ボルトにF8Tを用いる。
- ④ 腹板の板厚とフランジの板厚が板厚比を満足。
- ⑤ ダイヤフラムの開口部が30%程度確保。

# 景観及び耐食性向上への配慮

(亜鉛めっき+塗装)仕様:

- ① 景観性に配慮する場合
- ② 耐食性を向上させる場合



# 熔融亜鉛めっきの工程(1)



脱脂	付着している油脂類の除去
酸洗	さびの除去
フラックス処理	被めっき面を清浄にし、めっきまでのさびの発生を防止する
めっき	亜鉛と鋼との反応による合金層と純亜鉛層からなるめっき皮膜を形成する
仕上げ・検査	余剰付着亜鉛および付着酸化物の除去、外観検査およびめっき試験

# 熔融亜鉛めっきの工程(2)



酸洗工程

めっき作業



仕上げ作業

# (一社) 日本橋梁建設協会における追跡調査

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
4. 石川県：塗膜面の洗浄有効性確認試験

# 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)～



PA内テストピース



木下高架橋(合成床版)



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。