

令和6年度 橋梁技術発表会

# 大型試験桁を用いた金属溶射の耐久性調査

～沖縄地区での21年目調査報告～

製作小委員会  
【桑名 弘暁, 森井 茂幸】



一般  
社団法人

日本橋梁建設協会

Japan Bridge Association

# 1. はじめに

## 金属溶射の耐久性検証を目的とした暴露試験を実施

- ・沖縄地区にて2002年6月開始
- ・(国研)土木研究所、(一社)日本橋梁建設協会での共同研究

暴露21年目までの調査結果報告

# 鋼橋の防食方法

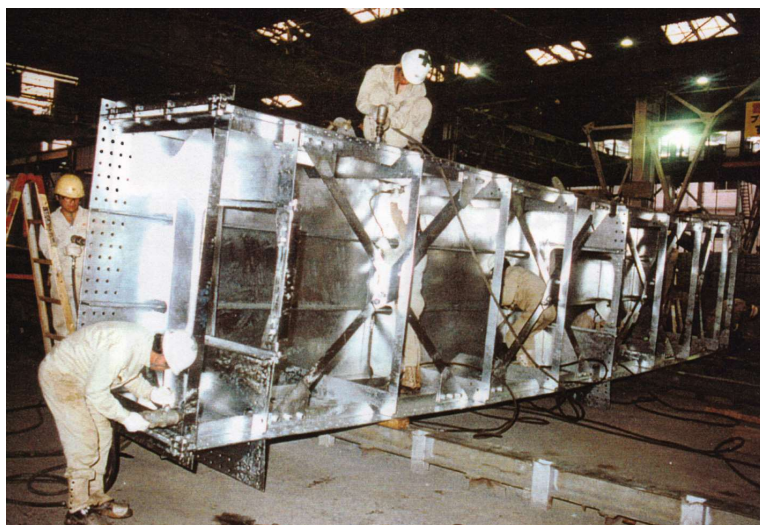
## 塗装



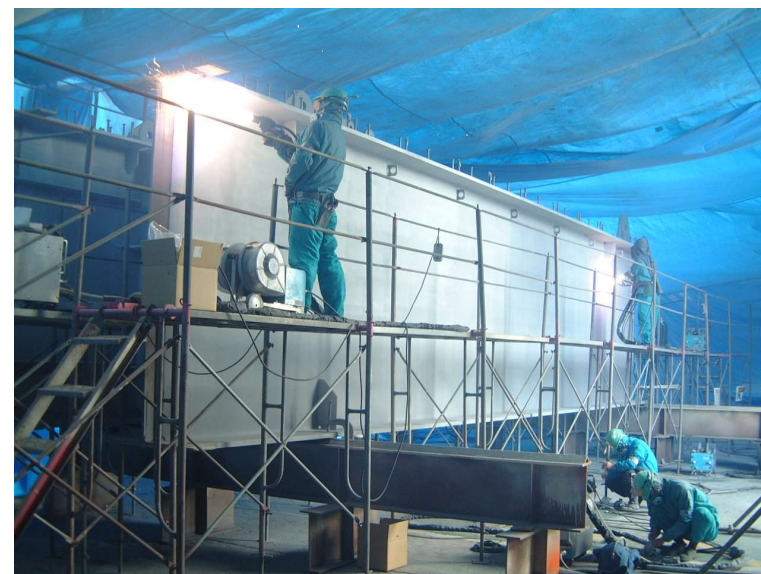
## 耐候性鋼材



## 熔融亜鉛めっき



## 金属溶射

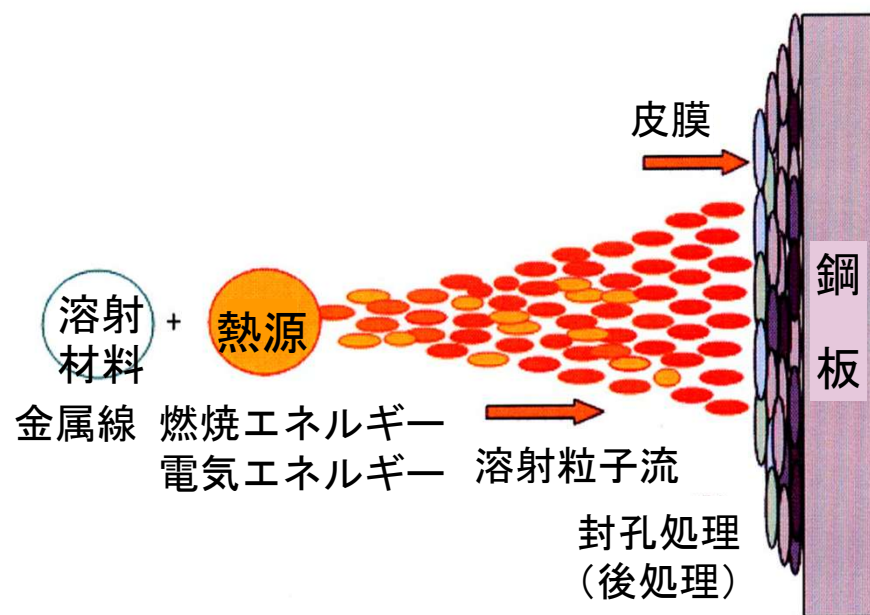


# 金属溶射とは

鋼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)、マグネシウム(Mg)、その合金類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、腐食の原因となる酸素と水や塩類等の腐食を促進する物質を遮断(環境遮断)し鋼材を保護する防食法である。

→**厳しい腐食環境における鋼橋の防食方法として採用されている。**

耐久年数 (技術短信No.10 日本橋梁建設協会 抜粋)



防食方法	仕様	一般環境部	塩害環境部
重防食塗装	C5 塗装系	60年	30年
溶融亜鉛めっき	HDZ55	100年	25年
<b>金属溶射 (ZnAl)</b>	<b>100μm</b>	<b>100年</b>	<b>60年</b>
<b>金属溶射 (AlMg)</b>	<b>100μm</b>	—	<b>100年以上</b>



# 金属溶射材料の特徴

## 【亜鉛溶射】

自然電極電位が低く、電気化学的防食作用が強い。

塩分と水が多く供給される地域では皮膜の消耗速度が速くなる。

## 【アルミニウム溶射】

亜鉛より電気化学的防食作用は劣るが、酸化皮膜は科学的に安定していることから、**厳しい腐食環境での劣化は少なく**、環境遮断することで防食効果を発揮する。

## 【亜鉛・アルミニウム合金溶射及び擬合金溶射】

亜鉛皮膜とアルミニウム皮膜の**両方の特徴を併せもっている**。

亜鉛やアルミニウムの単独皮膜に比べて安定した防食性が得られる。

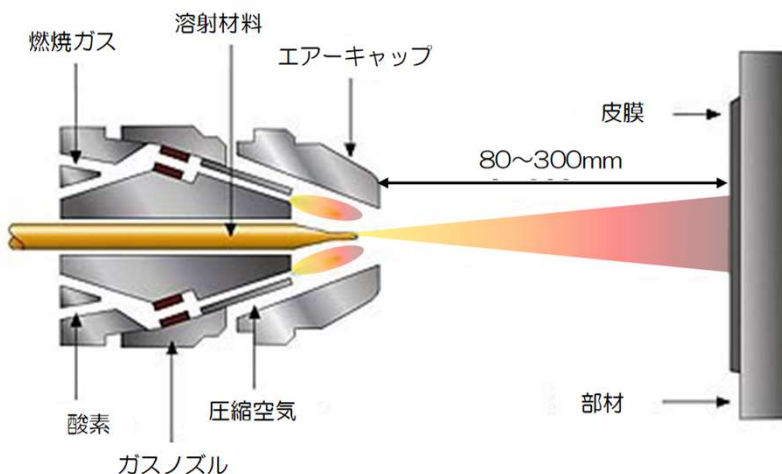
溶射金属の選択（橋梁技術者のための金属溶射ガイドブック 日本橋梁建設協会 抜粋）

金属溶射材料	溶射法	劣化因子 劣化促進因子	環 境
			飛来塩分の少ない環境 ← → 飛来塩分の多い環境
亜鉛 Zn99.99	ガスフレーム アーク	水・酸素 塩分・亜硫酸ガス等	適用可能範囲
亜鉛・アルミニウム合金 ZnAl15	ガスフレーム アーク	水・酸素 塩分・亜硫酸ガス等	適用可能範囲
亜鉛・アルミニウム擬合金 Zn50:Al50(Vol.)	アーク	水・酸素 塩分・亜硫酸ガス等	適用可能範囲
アルミニウム Al99.5	ガスフレーム アーク	水・酸素 塩分・亜硫酸ガス等	適用可能範囲
アルミニウム・マグネシウム合金 AlMg5	ガスフレーム アーク	水・酸素 塩分・亜硫酸ガス等	適用可能範囲
各種金属溶射+ふっ素樹脂塗装	ガスフレーム アーク	紫外線・水・酸素 塩分・亜硫酸ガス等	適用可能範囲

# 金属溶射とは

## 鋼橋における主な金属溶射工法

### ガスフレーム式溶射法



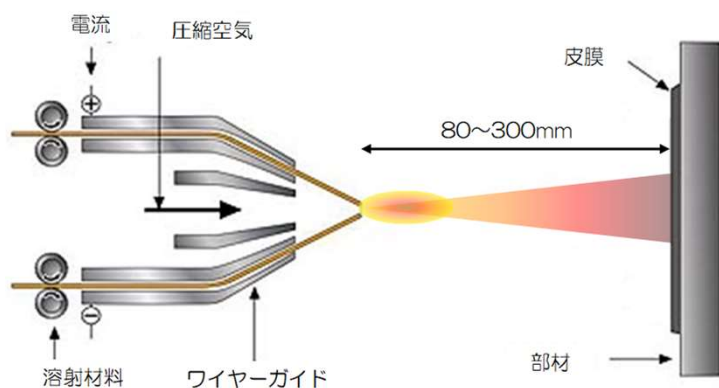
可燃性ガスで金属ワイヤを溶融して吹付ける工法

### 特徴

- エネルギーが小さく取り扱いが容易
- 皮膜密着力が小さい
- 設備が小型

→ 主に、亜鉛やアルミニウムまたはその合金による溶射工法（JIS溶射）で適用

### アーク式溶射法



アーク放電で金属ワイヤを溶融して吹付ける工法

### 特徴

- 高エネルギーで施工効率がよい
- 皮膜密着力が高い
- 設備が大型

→ 主に亜鉛とアルミニウムを同時に吹き付ける溶射工法（擬合金溶射）で適用

# 金属溶射とは

## 亜鉛・アルミニウム合金溶射と擬合金溶射の違い

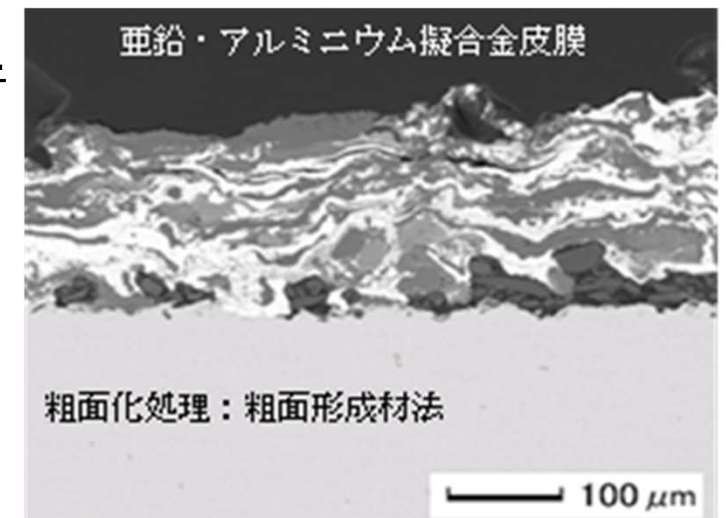
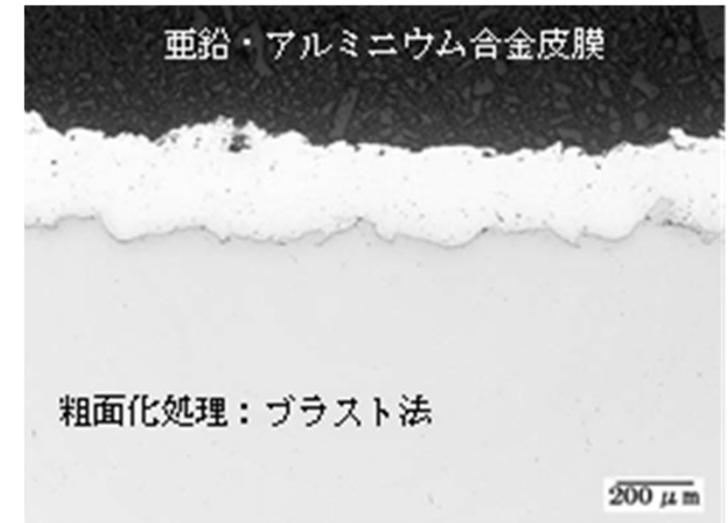
### 〔亜鉛・アルミニウム合金溶射〕

亜鉛とアルミニウムを合金化して溶射線材にした材料を使用し、溶射皮膜を形成  
JIS溶射に分類され、素地調整にはブラスト処理が必須

### 〔亜鉛・アルミニウム擬合金溶射〕

亜鉛線材とアルミニウム線材を用いて同時に溶射し、亜鉛とアルミニウムが混在することで合金のような特徴を示す溶射皮膜を形成  
一般的な溶射工法と比較し、粗面化のためのブラスト処理の代替として粗面化形成材（塗料）を使用することが可能

### 溶射皮膜の断面



(溶射施工マニュアル 日本橋梁建設協会 抜粋)

## 2. 試験の目的

維持管理コストの低減を目的とし、  
種々の防食方法が検討されている。



有効な手段のひとつとして金属溶射がある。

鋼道路橋塗装・防食便覧

(平成17年12月(社)日本道路協会)に

代表的な防食技術として掲載され、

2000年前後から施工事例も増加している。



## 2. 試験の目的

耐久性と経年変化を調査確認されたデータは少ない。



長期耐久性データの蓄積と維持管理法の確立が重要

腐食環境の厳しい沖縄地区に大型試験桁を設置  
追跡調査により金属溶射の長期耐久性を確認



# 3. 試験概要

## 3.2 調査内容

大型試験桁を用いて施工(2台設置)

鋼床版鈹桁構造 2,200mm(W) × 1,500mm(H) 4,000mm(L)

塗装面積 約60m<sup>2</sup>

1台を擬合金溶射試験桁、1台をJIS溶射試験桁とした



### 3. 試験概要

- 2台の試験桁は、平成3年から実施の塗装系暴露試験に使用した試験桁（新設仕様、塗替仕様）の一部を転用している。

試験桁 施工年表

年度	擬合金溶射試験桁		JIS溶射試験桁	
	施工内容	防錆仕様	施工内容	防錆仕様
1991	試験桁製作・暴露開始	さび止め塗料1回 (35 $\mu$ m)	試験桁製作・暴露開始	塗装（新設仕様）
1992	補修塗装実施	塗装（塗替仕様）		
～				
2002	擬合金溶射塗替え	ZnAl擬合金溶射	JIS金属溶射塗替え	Zn,Al,ZnAl,C-4
～				
2005	3年目調査		3年目調査	
～				
2010			上フランジZn溶射部補修	AlMg,Al,ZnAl,ZnAl擬合金
～				
2012	10年目調査		10年目調査	
～				
2017	15年目調査		15年目調査	
2018			旧暴露試験面境界部補修実施	
～				
2023	21年目調査		21年目調査	
2024	調査継続中		調査継続中	

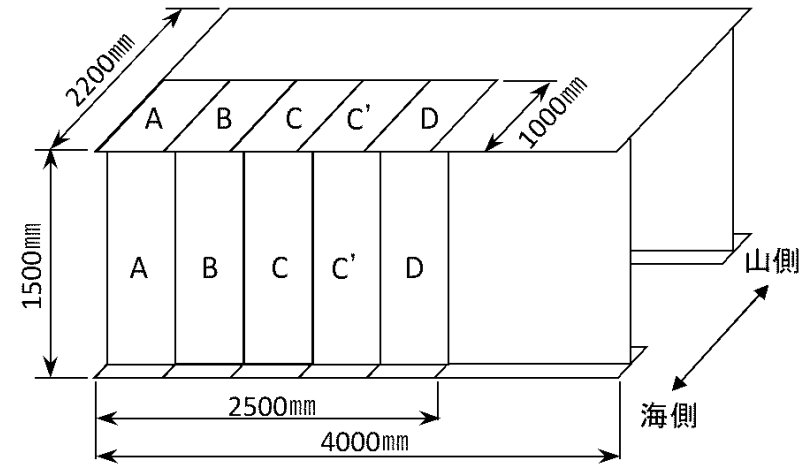


# 3. 試験概要

## 3.2 調査内容

### 3.2.1

### 擬合金溶射試験桁



部位	仕様	素地調整	粗面化处理	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
腹板面 海側 上フランジ上面	A	2種	あり	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 μm	あり	—	—	—
	B	2種	あり	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 μm	あり	変性エポキシ樹脂塗料下塗り 60 μm × 2	ふっ素樹脂塗料用中塗り 30 μm	ふっ素樹脂塗料上塗り 25 μm
	C	1種	あり	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 μm	あり	変性エポキシ樹脂塗料下塗り 60 μm × 2	ふっ素樹脂塗料用中塗り 30 μm	ふっ素樹脂塗料上塗り 25 μm
	C'	1種	なし	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 μm	あり	変性エポキシ樹脂塗料下塗り 60 μm × 2	ふっ素樹脂塗料用中塗り 30 μm	ふっ素樹脂塗料上塗り 25 μm
	D	1種	なし	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 μm	ミストコート	変性エポキシ樹脂塗料下塗り 60 μm × 2	ふっ素樹脂塗料用中塗り 30 μm	ふっ素樹脂塗料上塗り 25 μm

# 3. 試験概要

## 3.2 調査内容

### 3.2.1

### 擬合金溶射試験桁

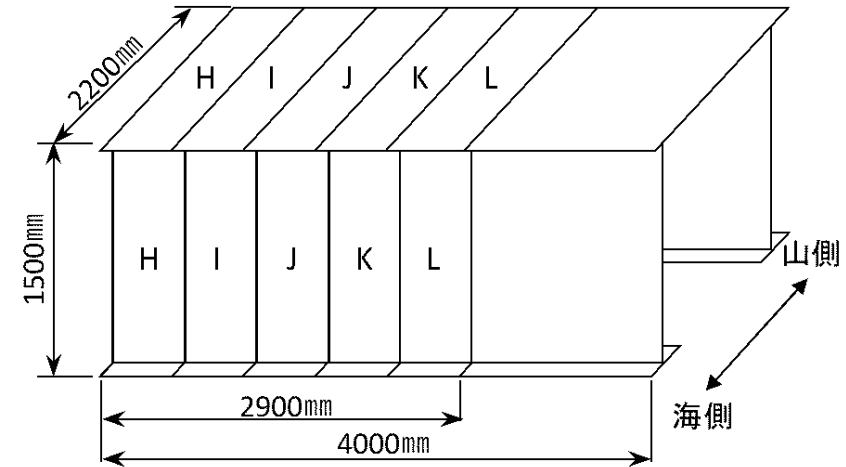


# 3. 試験概要

## 3.2 調査内容

### 3.2.2

#### JIS溶射試験桁



部位	仕様	素地調整	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
腹板面 海側 上フランジ上面	H	1種	亜鉛溶射 100 $\mu$ m	あり	—	—	—
	I	1種	アルミニウム溶射 100 $\mu$ m	あり	—	—	—
	J	1種	亜鉛・アルミニウム 合金溶射 100 $\mu$ m	あり	—	—	—
	K	1種	亜鉛・アルミニウム 合金溶射 100 $\mu$ m	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗り 60 $\mu$ m $\times$ 2	ふっ素樹脂塗料用中塗り 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料上塗り 25 $\mu$ m
	L	1種	無機ジンクリッチペイント 75 $\mu$ m	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗り 60 $\mu$ m $\times$ 2	ふっ素樹脂塗料用中塗り 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料上塗り 25 $\mu$ m

# 3. 試験概要

## 3. 2 調査内容

### 3. 2. 2

### JIS溶射試験桁





# 4. 外観観察

## 4.1 擬合金溶射試験桁

### 外観観察

21年目 外観全景

観察部位①: 上フランジ上面

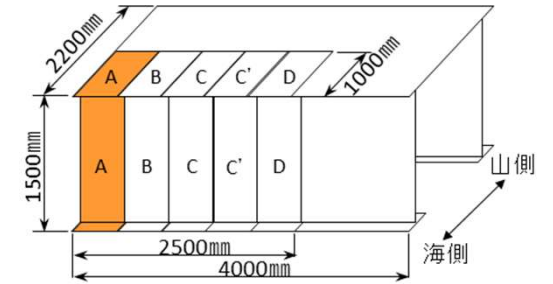


観察部位②: 上フランジ下面、腹板側面

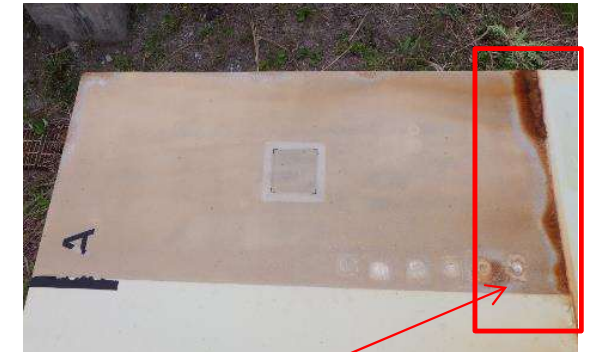


# 4. 1. 1 仕様A

仕様	素地調整	粗面化処理	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
A	2種	あり	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 μm	あり	—	—	—



観察部位①



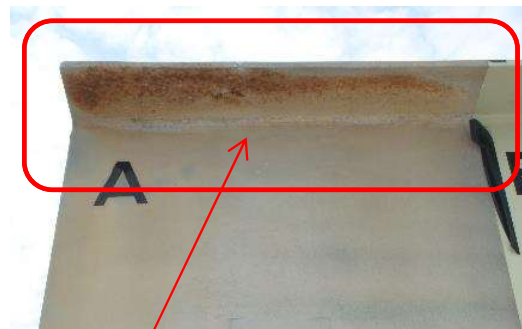
16年時  
仕様境界部の補修実施

3年後

10年後

15年後

観察部位②



10年時  
全面発錆のため、補修実施

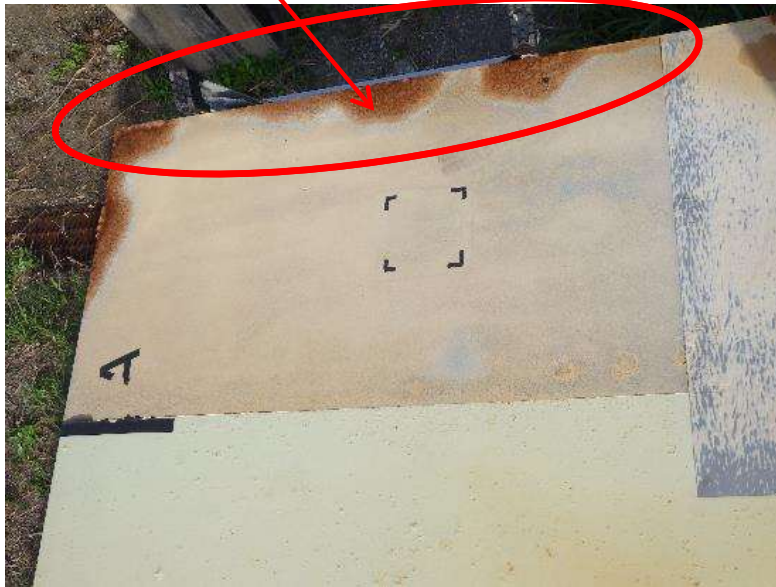
# 4. 1. 1 仕様A

仕様	素地調整	粗面化処理	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
A	2種	あり	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 $\mu$ m	あり	—	—	—

## 21年目外観

### 観察部位①

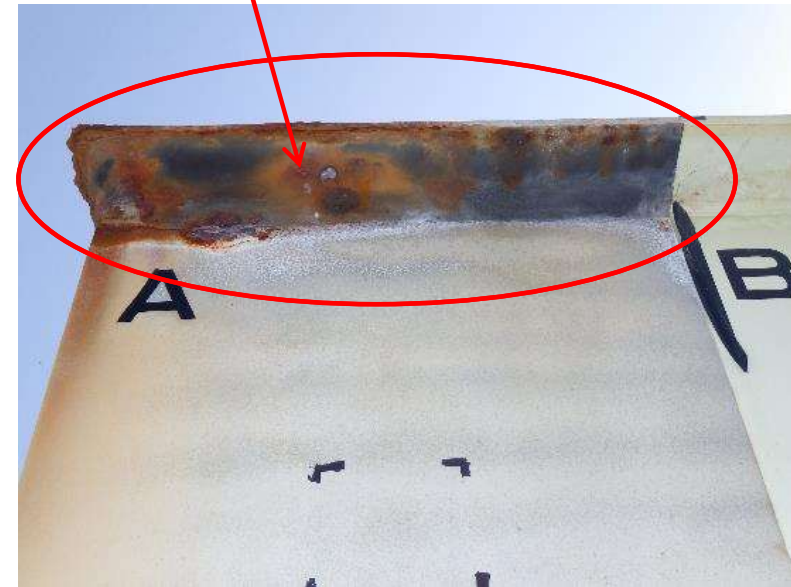
部材端部から赤さびの進展  
→**防食性能低下**



上フランジ上面:  
全面に亜鉛由来の白さび進展

### 観察部位②

上フランジ下面:  
10年目補修箇所から腐食進展

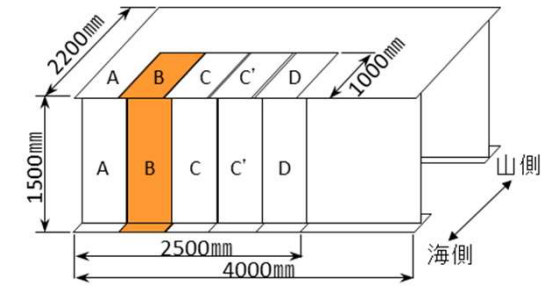


腹板側面:  
全面に亜鉛由来の白さび進展も、  
防食性能は維持できている

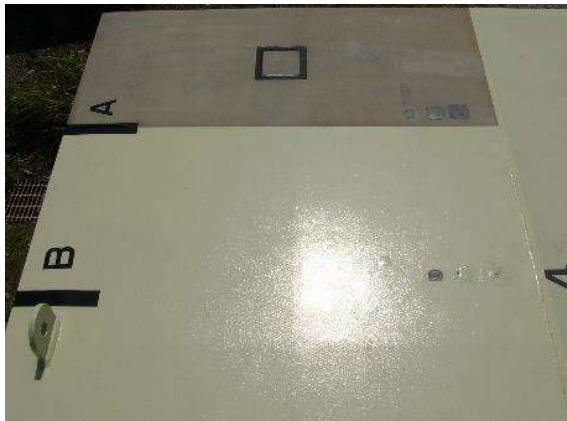


# 4. 1. 2 仕様B

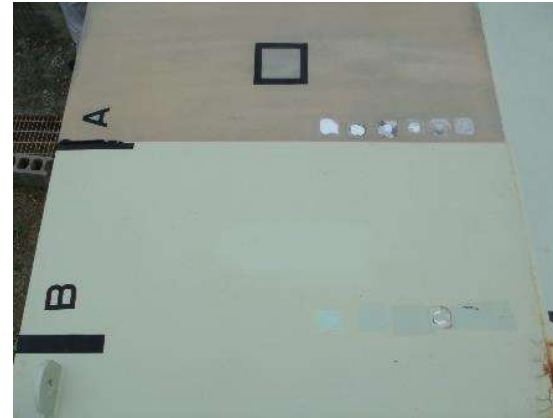
仕様	素地調整	粗面化処理	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
B	2種	あり	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 μm	あり	変性エポキシ樹脂塗料下塗 60 μm × 2	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μm	ふっ素樹脂塗料上塗 25 μm



観察部位①



3年後



10年後



16年時  
仕様境界部の補修実施

15年後



観察部位②

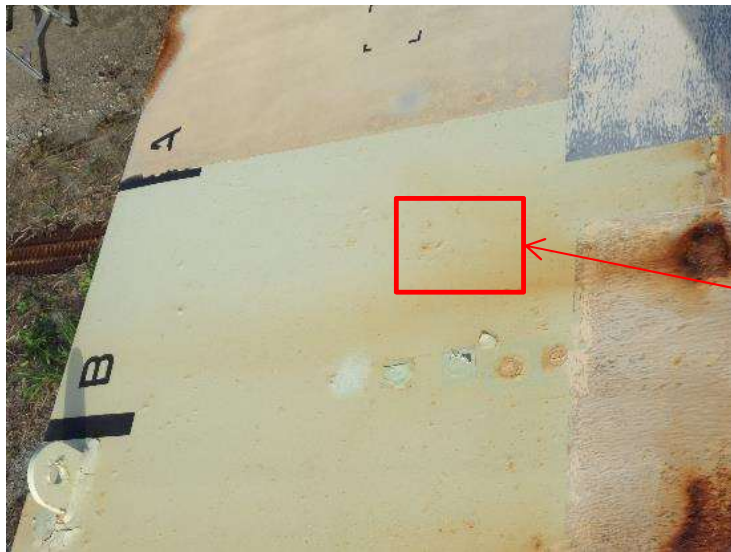


# 4. 1. 2 仕様B

## 21年目外観

仕様	素地調整	粗面化処理	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
B	2種	あり	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 $\mu$ m	あり	変性エポキシ樹脂塗料下塗 60 $\mu$ m $\times$ 2	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料上塗 25 $\mu$ m

### 観察部位①



上フランジ上面:  
全体的に健全も、部分的に塗膜のふくれ、割れが発生

### 観察部位②

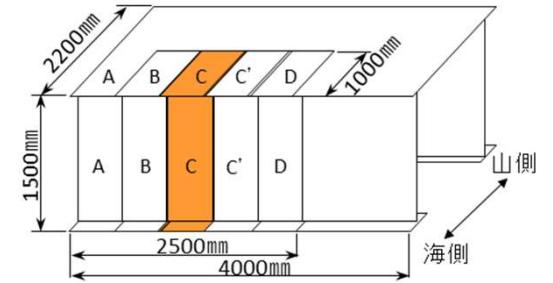
上フランジ下面:  
溶接部からの塗膜割れ



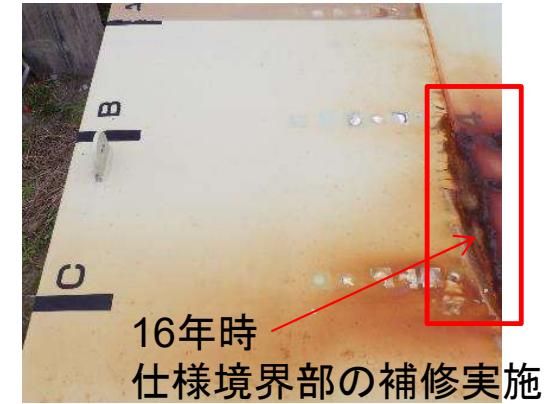
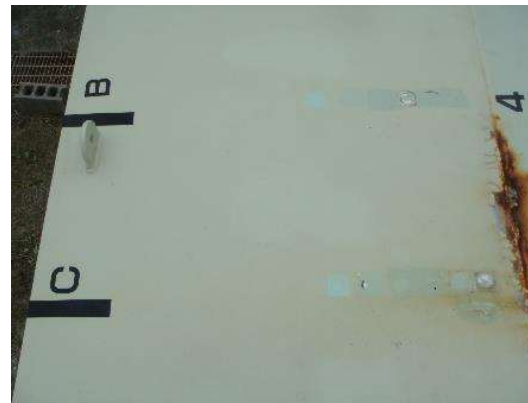
腹板側面:  
全体的に健全

# 4. 1. 3 仕様C

仕様	素地調整	粗面化処理	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
C	1種	あり	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 μ m	あり	変性エポキシ樹脂塗料下塗 60 μ m × 2	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料上塗 25 μ m



観察部位①



3年後

10年後

15年後

観察部位②

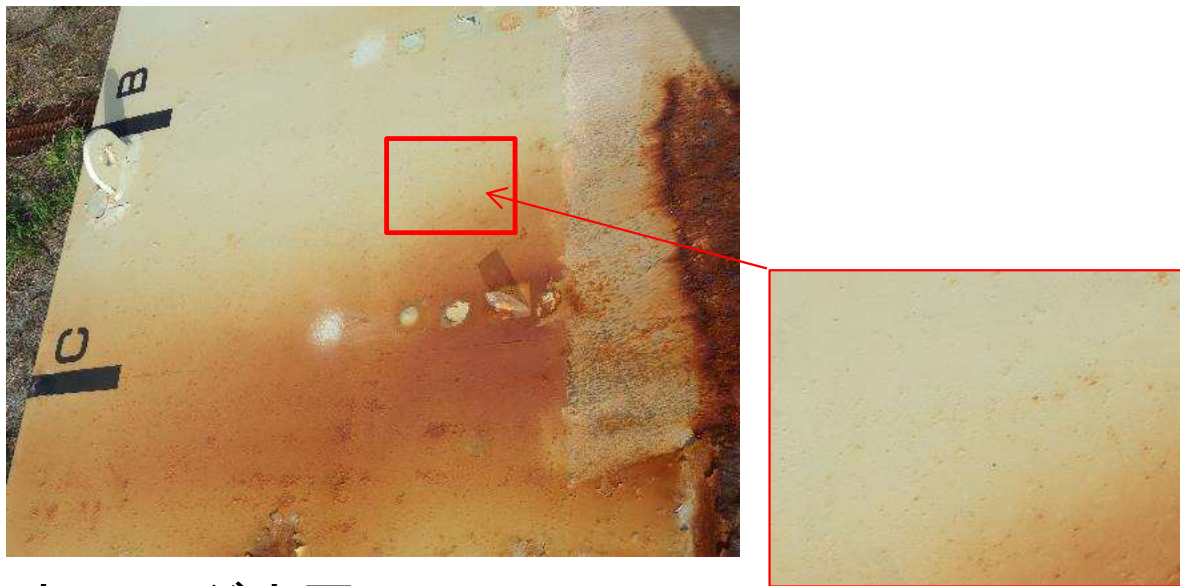


## 4. 1. 3 仕様C

仕様	素地調整	粗面化処理	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
C	1種	あり	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 $\mu$ m	あり	変性エポキシ樹脂塗料下塗 60 $\mu$ m $\times$ 2	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料上塗 25 $\mu$ m

### 21年目外観

#### 観察部位①



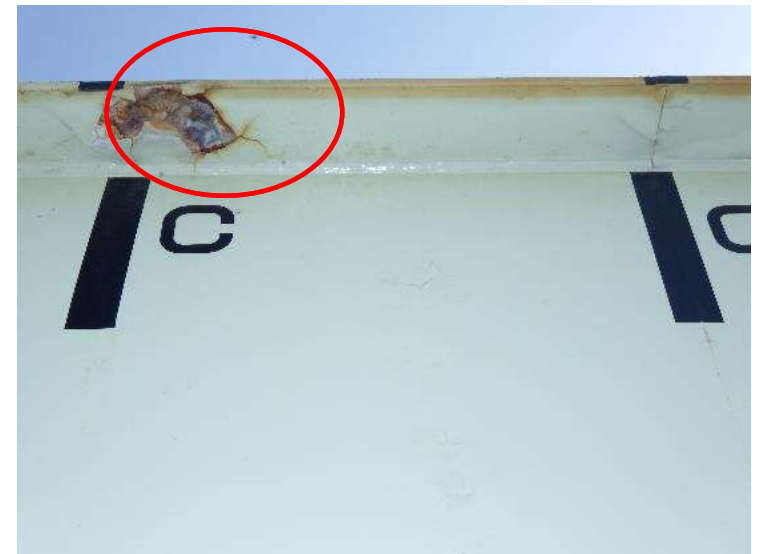
#### 上フランジ上面:

仕様の境界部からのもらいさびが広範囲にあるものの、全体的には健全。部分的に塗膜の小さなふくれ(3mm程度)は見られる

#### 観察部位②

#### 上フランジ下面:

仕様境界部からはがれ、さびが発生

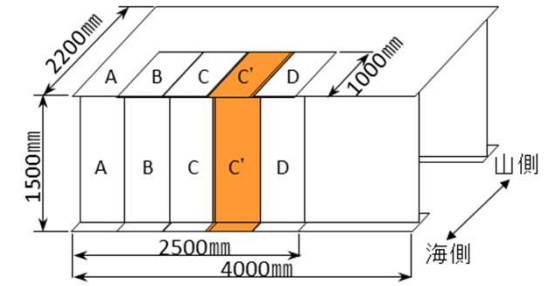


#### 腹板側面:

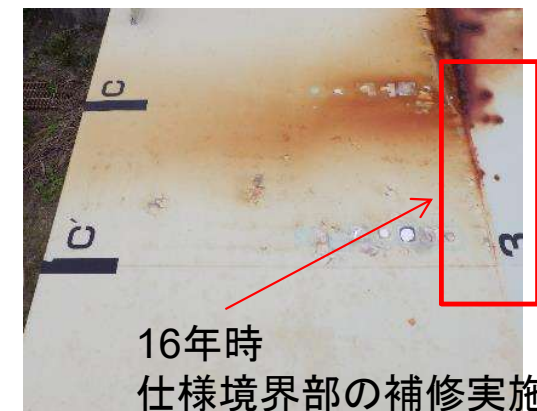
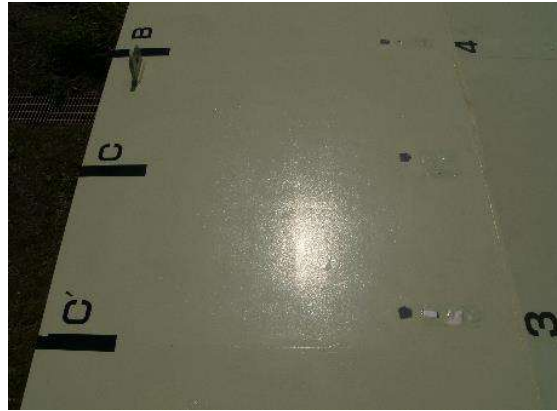
全体的に健全

# 4. 1. 4 仕様C'

仕様	素地調整	粗面化処理	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
C'	1種	なし	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 $\mu$ m	あり	変性エポキシ樹脂塗料下塗 60 $\mu$ m $\times$ 2	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料上塗 25 $\mu$ m



観察部位①



3年後

10年後

15年後

観察部位②



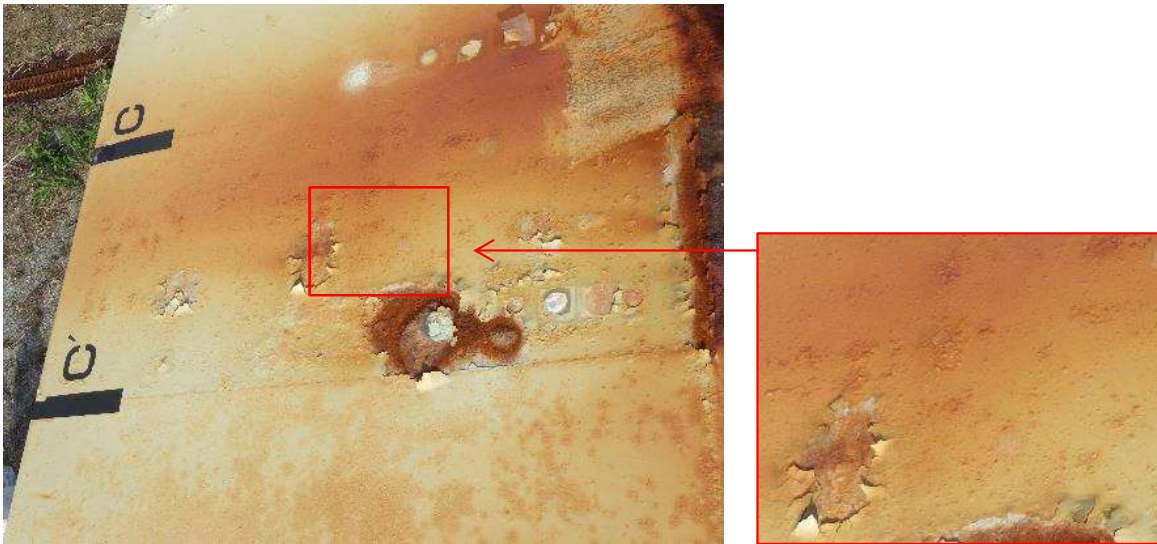


## 4. 1. 4 仕様C'

仕様	素地調整	粗面化处理	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
C'	1種	なし	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 $\mu$ m	あり	変性エポキシ樹脂塗料下塗 60 $\mu$ m $\times$ 2	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料上塗 25 $\mu$ m

### 21年目外観

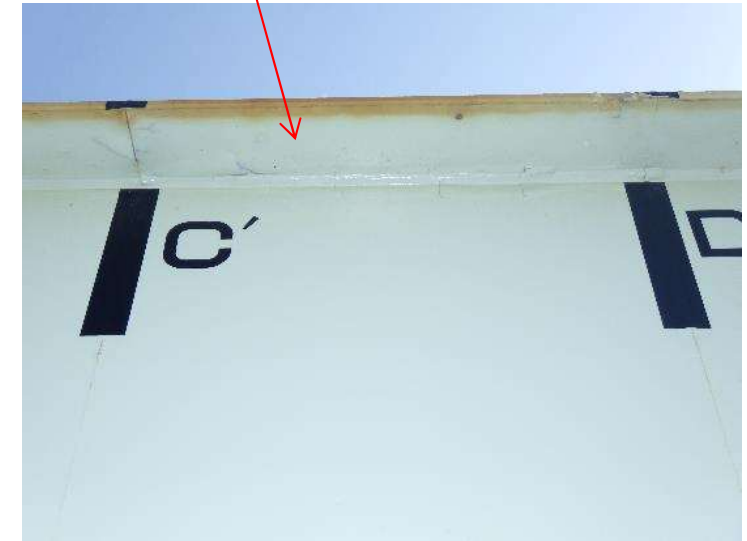
#### 観察部位①



上フランジ上面:  
仕様の境界部からのもらいさびが広範囲にあり、割れやはがれが広範囲にみられる

#### 観察部位②

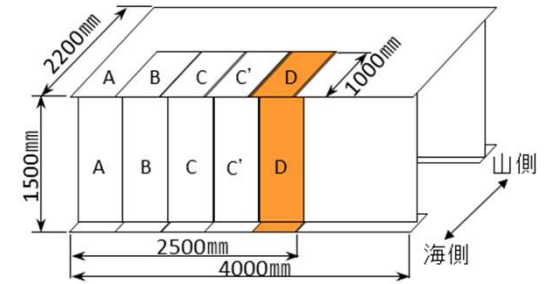
上フランジ下面:  
溶接部からの塗膜割れ



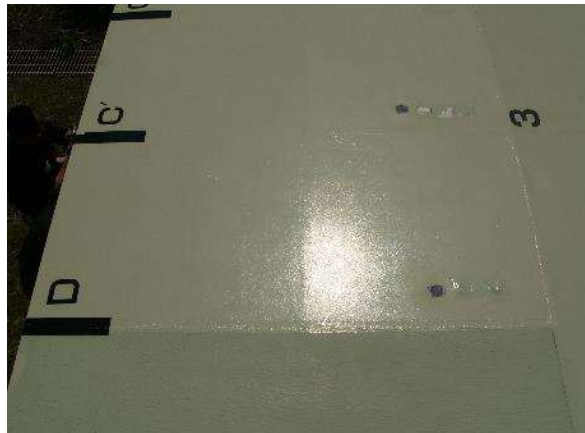
腹板側面:  
全体的に健全

# 4. 1. 5 仕様D

仕様	素地調整	粗面化処理	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
D	1種	なし	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 μ m	ミストコート	変性エポキシ樹脂塗料下塗 60 μ m × 2	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料上塗 25 μ m



観察部位①



3年後



10年後



15年後

観察部位②

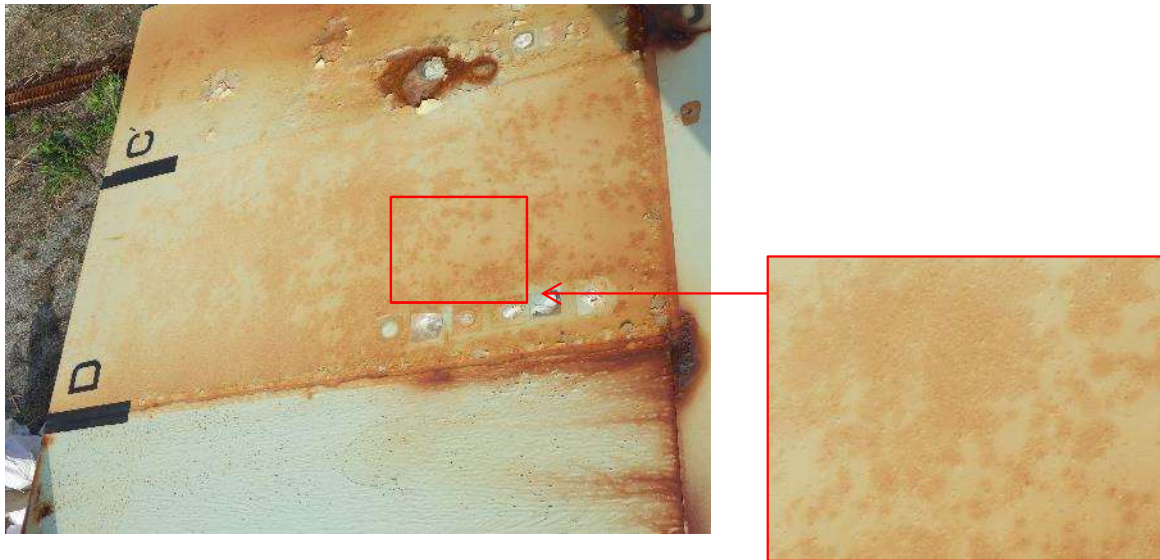


## 4. 1. 5 仕様D

仕様	素地調整	粗面化处理	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
D	1種	なし	亜鉛・アルミニウム 擬合金溶射 100 $\mu$ m	ミストコート	変性エポキシ樹脂塗料下塗 60 $\mu$ m $\times$ 2	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料上塗 25 $\mu$ m

## 21年目外観

### 観察部位①



上フランジ上面:  
全面にわたり、細かいしわ、ふくれが発生

### 観察部位②

上フランジ下面:  
全体的に健全



腹板側面:  
全体的に健全

# 擬合金溶射試験桁 外観観察まとめ

擬合金溶射試験桁はほぼ全面を意図的に発せいさせた履歴がある腐食の著しい試験体を使用。

⇒擬合金溶射とJIS溶射の防せい性比較は困難

〔仕様A:ZnAl擬合金(封孔処理仕上げ)〕

- 10年目にさびにより上フランジ下面を補修しており、素地調整程度2種では試験体に付着堆積した塩分を除去できなかったことが影響していると思われる。  
→沖縄のような塩害環境では**素地調整程度1種の施工が必須**と考える。



## 〔仕様B、C、C'、D:ZnAl擬合金+塗装仕上げ〕

- 部分的な劣化が上フランジ上面に確認。平面部で塩分が付着しやすく直射日光の影響もある上フランジ上面は腐食環境が**厳しい**ものと考えられる。
- 粗面形成材の有無による比較(C、C')→粗面形成材のないC'が損傷が多い傾向。  
粗面形成材により適切な粗さが形成され、**溶射皮膜の付着力が向上**したこと及び**粗面形成材自体の環境遮断効果**が働いている可能性が考えられる。
- 素地調整程度(1種、2種)の比較(B、C)→全体的な損傷度に顕著な差はなし。膨れの大きさは素地調整程度2種の方が大きく、**残存さびからの劣化進展**が想定され、今後さらに差が顕著になると思われる。
- 封孔処理材に代えてミストコートを実施の仕様(D)→**塗装表面にしわのようなふくれ**発生。健全な状態を保っているか不明。

## 4. 2 JIS溶射試験桁 外観観察

21年目 外観全景

観察部位①: 上フランジ上面

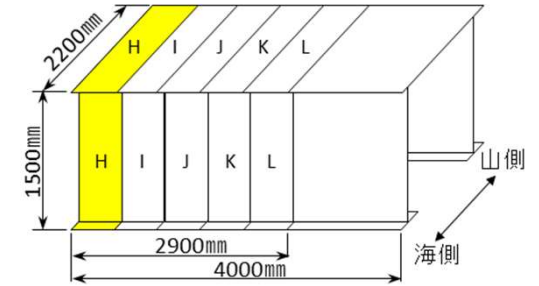


観察部位②: 上フランジ下面、腹板側面



# 4. 2. 1 仕様H

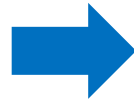
仕様	素地調整	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
H	1種	亜鉛溶射 100 $\mu$ m	あり	—	—	—



8年後

補修状況

観察部位①



防食性能を喪失したと判断  
補修仕様検討を目的として補修溶射を実施

3年後

10年後

15年後

観察部位②



## 4. 2. 1 仕様H

### 21年目外観

仕様	素地調整	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
H	1種	亜鉛溶射 100 $\mu$ m	あり	—	—	—

#### 観察部位①



上フランジ上面:  
8年目に補修実施  
(5章参照)

#### 観察部位②

上フランジ下面:  
全面に白さび発生、  
部分的に亜鉛皮膜が消耗

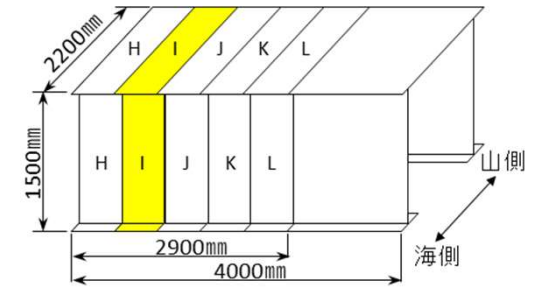


腹板側面:  
全面に白さび発生



# 4. 2. 2 仕様I

仕様	素地調整	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
I	1種	アルミニウム溶射 100 $\mu$ m	あり	—	—	—



観察部位①



3年後



10年後



15年後

観察部位②



## 4. 2. 2 仕様I

### 21年目外観

#### 観察部位①



上フランジ上面:  
全体的に健全、目立つ白さびもなし

#### 観察部位②

上フランジ下面:  
全体的に健全

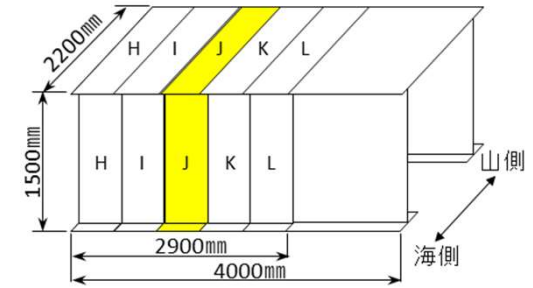


腹板側面:  
全体的に健全  
塗装部との境界に白さび発生

仕様	素地調整	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
I	1種	アルミニウム溶射 100 μm	あり	—	—	—

# 4. 2. 3 仕様J

仕様	素地調整	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
J	1種	亜鉛・アルミニウム 合金溶射 100 μm	あり	—	—	—



観察部位①



3年後

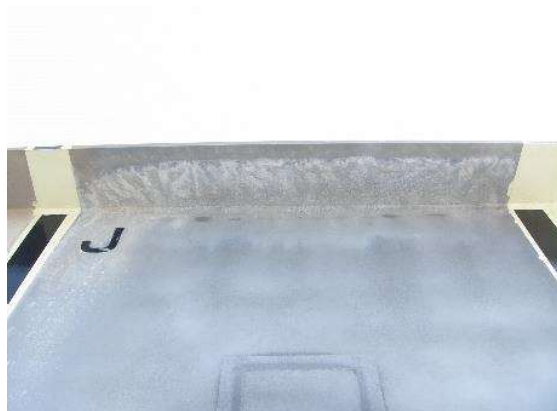


10年後



15年後

観察部位②





## 4. 2. 3 仕様J

仕様	素地調整	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
J	1種	亜鉛・アルミニウム 合金溶射 100 $\mu$ m	あり	—	—	—

### 21年目外観

#### 観察部位①



上フランジ上面:  
全体的に健全  
白さびは全面的に発生

#### 観察部位②

上フランジ下面:  
全体的に健全

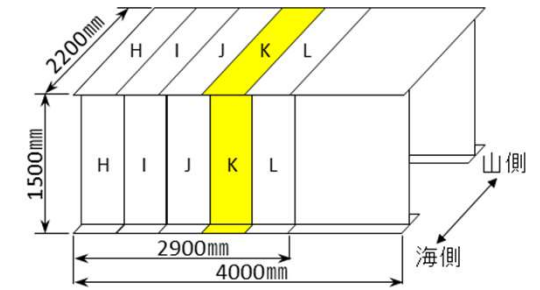


腹板側面:  
全体的に健全



## 4. 2. 4 仕様K

仕様	素地調整	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
K	1種	亜鉛・アルミニウム 合金溶射 100 $\mu$ m	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗り 60 $\mu$ m $\times$ 2	ふっ素樹脂塗料用中塗り 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料上塗り 25 $\mu$ m



観察部位①



3年後



10年後



15年後

観察部位②



## 4.2.4 仕様K

### 21年目外観

仕様	素地調整	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
K	1種	亜鉛・アルミニウム 合金溶射 100 $\mu$ m	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗 60 $\mu$ m $\times$ 2	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料上塗 25 $\mu$ m

#### 観察部位①



上フランジ上面:  
全体的に健全

#### 観察部位②

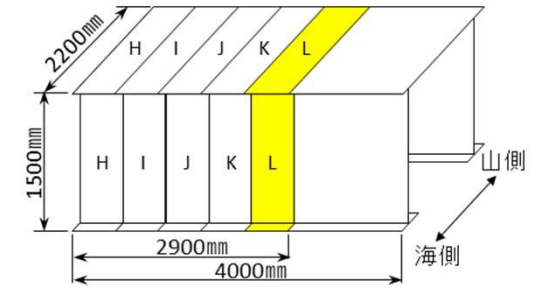
上フランジ下面:  
全体的に健全



腹板側面:  
全体的に健全

# 4. 2. 5 仕様L

仕様	素地調整	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
L	1種	無機ジンクリッチペイント 75 μ m	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗 60 μ m × 2	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 μ m	ふっ素樹脂塗料上塗 25 μ m



観察部位①



3年後



10年後



15年後

観察部位②



## 4.2.5 仕様L

### 21年目外観

#### 観察部位①



上フランジ上面:  
全体的に健全

仕様	素地調整	溶射	封孔処理	下塗り	中塗り	上塗り
L	1種	無機ジンクリッチペイント 75 $\mu$ m	ミストコート	エポキシ樹脂塗料下塗 60 $\mu$ m $\times$ 2	ふっ素樹脂塗料用中塗 30 $\mu$ m	ふっ素樹脂塗料上塗 25 $\mu$ m

#### 観察部位②

上フランジ下面:  
全体的に健全、キズ部の腐食は進行中



腹板側面:  
全体的に健全



# JIS溶射試験桁 外観観察まとめ

## 〔仕様H:亜鉛溶射〕

- 上フランジ上面を8年目に補修していることや、上フランジ下面や腹板面でも白さびの発生が顕著なことから、**沖縄地区のような塩害環境での使用は適していない**と考えられる。

## 〔仕様I:アルミニウム溶射〕

- 部分的な白さびの発生は確認されるが、**健全な状態が保持**されている。

## 〔仕様J、K:亜鉛・アルミニウム合金溶射〕

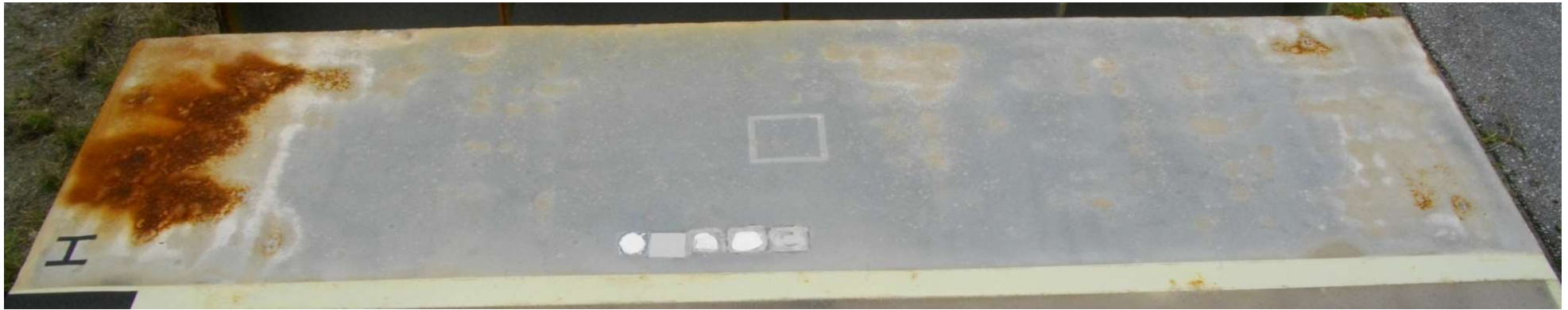
- 溶射皮膜の溶出に伴う白さびが増えているが、**健全な状態が保持**されている。
- 金属溶射＋塗装仕上げは、溶射皮膜の露出等はなく、**健全な状態が保持**されている。

## 〔仕様L：塗装（C-4塗装系）〕

- 局所的な劣化は確認されたが、全体として**健全な状態が保持**されている。  
局所的な劣化箇所は拡大しており、**劣化進展速度は溶射仕様より速い**。

# 5. 亜鉛溶射部の補修について

## 補修直前の外観状況(上フランジ上面)



上フランジ上面の全面にわたって赤さびが発生  
この部位の亜鉛溶射は限界に達したと判断し、8年目に補修溶射を実施

### 〔補修範囲〕

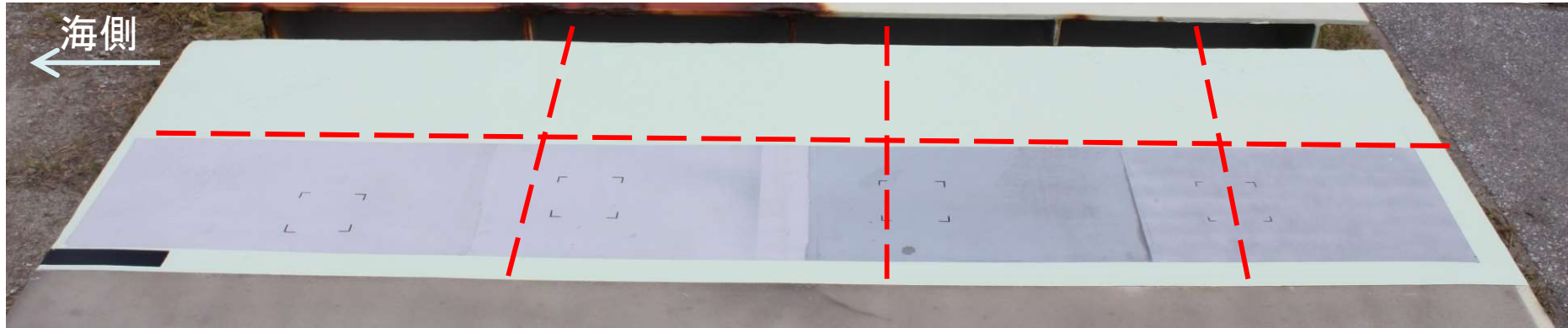
亜鉛溶射部の上フランジ上面の全面補修とした。

### 〔補修仕様〕

4種類の金属溶射の封孔処理仕上げと塗装仕上げの8種類の仕様  
アルミニウム・マグネシウム合金溶射、アルミニウム溶射、  
亜鉛・アルミニウム合金溶射、亜鉛・アルミニウム擬合金溶射

# 亜鉛溶射部の補修について

## 金属溶射補修完了後



アルミニウム・マグネシウム合金溶射 +塗装仕上げ	アルミニウム溶射 +塗装仕上げ	亜鉛・アルミニウム合金溶射 +塗装仕上げ	亜鉛・アルミニウム擬合金溶射 +塗装仕上げ
アルミニウム・マグネシウム合金溶射	アルミニウム溶射	亜鉛・アルミニウム合金溶射	亜鉛・アルミニウム擬合金溶射

海側の腐食の激しい部位の補修仕様は、厳しい腐食環境でもっとも防食性が期待できるアルミニウム・マグネシウム合金溶射を採用



# 亜鉛溶射部の補修について

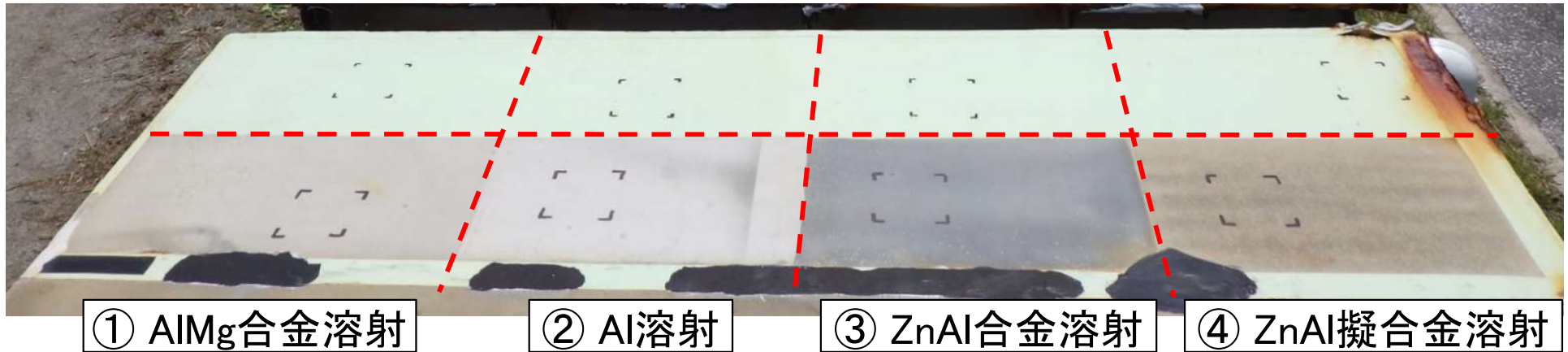
## 補修部全景写真（13年目調査）

①' AIMg合金溶射  
+ 塗装仕上げ

②' Al溶射  
+ 塗装仕上げ

③' ZnAl合金溶射  
+ 塗装仕上げ

④' ZnAl擬合金溶射  
+ 塗装仕上げ



① AIMg合金溶射

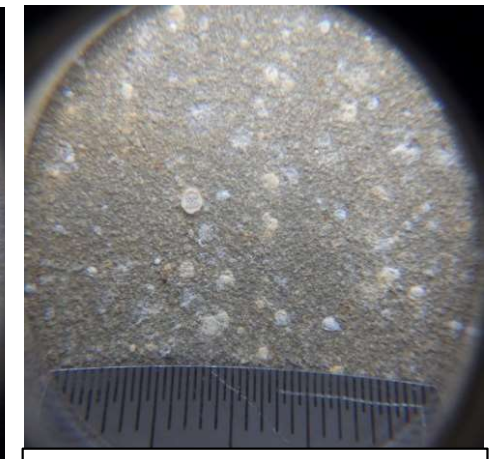
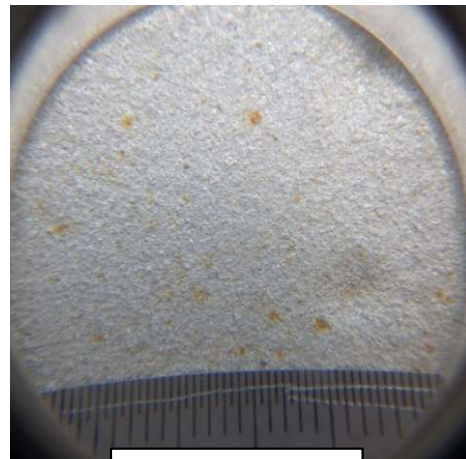
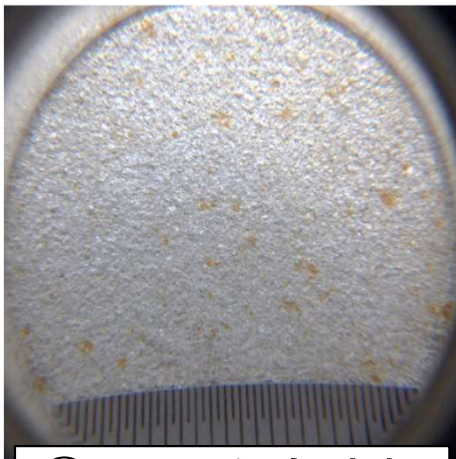
② Al溶射

③ ZnAl合金溶射

④ ZnAl擬合金溶射

## 補修部拡大写真（13年目調査）

（写真倍率10倍）



① AIMg合金溶射

② Al溶射

③ ZnAl合金溶射

④ ZnAl擬合金溶射

# 亜鉛溶射部の補修について

- (1) 塗装仕上げを施した仕様を含め、8種類のいずれの補修仕様も顕著な防食機能の低下はなく、健全な状態が維持されている。
- (2) 金属溶射＋封孔処理仕様は、亜鉛・アルミニウム合金溶射と亜鉛・アルミニウム擬合金溶射で亜鉛の溶出による白さびが確認されており、塩水への消耗溶解性に優れたアルミニウム系溶射（アルミニウム溶射、アルミニウム・マグネシウム合金溶射）の優位性が確認できた。
- (3) 金属溶射＋塗装仕上げは、いずれの仕様も変状は確認されておらず、腐食環境の厳しい場所では、溶射の種類に関わらず金属溶射＋塗装仕上げの有効性が確認された。

## 6. まとめ

21年の暴露試験の結果、以下の知見が得られた。

- (1)本試験での溶射金属の違いによる比較では、十分な耐久性を保持しているアルミニウム溶射と亜鉛・アルミニウム合金溶射が最も優位であり、亜鉛溶射は適していない。
  
- (2)亜鉛・アルミニウム擬合金溶射については亜鉛・アルミニウム合金溶射と同等程度の耐久性が想定されるが、本試験では擬合金溶射試験桁は試験前の腐食履歴からより厳しい条件であったため、JIS溶射試験桁との防せい性能比較は困難であった。

- (3)亜鉛・アルミニウム合金溶射、亜鉛・アルミニウム擬合金溶射ともに、金属溶射＋封孔処理仕上げより金属溶射＋塗装仕上げの方がより健全な状態を維持している。沖縄地区のような厳しい腐食環境での耐久性確保には、塗装仕上げが有効である。
- (4)金属溶射＋塗装仕上げと塗装(C-4塗装系)の比較では塗装仕様の局所的な劣化箇所が速く、金属溶射＋塗装仕上げが優位であると思われる。
- (5)塩害環境で劣化した鋼橋の補修を行う場合の素地調整は、素地調整程度1種での施工が必須と考える。特に孔食中のさびや塩分の除去が重要である。



# 今後について

〈アルミニウム・マグネシウム合金溶射〉

本暴露試験では当初仕様に不採用

（暴露試験開始当時の鋼橋の金属溶射

亜鉛とアルミニウムによる溶射が主流）

暴露8年目から一部の補修溶射で採用



日本溶射工業会防食委員会実施の複合サイクル試験結果では  
下記のような耐久年数が示されている

アルミニウム・マグネシウム合金溶射の推定耐久年数 約100年

亜鉛・アルミニウム合金溶射の推定耐久年数 約60年



アルミニウム・マグネシウム合金溶射の暴露試験板を追加予定



アルミニウム・マグネシウム合金溶射を含めた金属溶射の耐久性  
データの蓄積と維持管理方法の確立に繋げていきたい

# 謝 辞

本試験の実施にあたり御協力頂きました国立研究開発法人土木研究所、内閣府沖縄総合事務局北部国道事務所、日本溶射工業会、防食溶射協同組合、MS工法協議会の関係各位に謝意を表します。

御清聴、ありがとうございました。