

平成23年度 技術発表会  
鋼構造物の耐久性向上に関する  
取り組みについて  
— 金属溶射のこれから —

日本橋梁建設協会 技術委員会 製作小委員会

1

はじめに

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記載される。

施工事例も増加している。

2

はじめに

耐久性・経年変化を調査確認されたデータは少ない。

- ・環境別耐久性データの蓄積
- ・維持管理方法の確立

上記の解決を目的とし、追跡調査ならびに暴露試験を実施している。

3

調査実施箇所一覧

箇所	内容	環境
秋田県 「戸賀4号橋」	実橋追跡調査 試験板暴露試験	厳しい環境
東名阪自動車道 「亀山高架橋・伊勢関IC橋」	合成床版追跡調査 試験板暴露試験	厳しい環境
沖縄県(独)土木研究所 「沖縄建設材料耐久性試験施設場内」	試験桁暴露試験 試験板暴露試験	厳しい環境
茨城県 「(独)土木研究所場内」	試験板暴露試験	一般環境

4

秋田県「戸賀4号橋」調査

3年後調査報告

5

調査場所



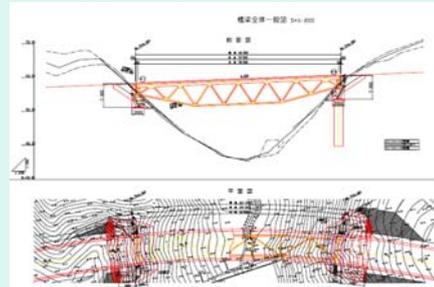
6

## 調査場所



7

## 戸賀4号橋 溶射仕様



区分	素地調整	溶射
戸賀4号橋	ブラストSa2 <sup>1/2</sup>	亜鉛・アルミニウム合金溶射+封孔処理・着色仕上げ

8

## 試験板 溶射仕様

試験片区別	種別	封孔処理
溶射試験板	亜鉛(85)・アルミニウム(15)合金溶射	なし あり
	アルミニウム溶射	なし あり
	アルミニウム(95)・マグネシウム(5)合金溶射	なし あり
	亜鉛/アルミニウム擬合金溶射	なし あり
比較試験板	溶融亜鉛めっき	—
	溶融合金めっき	—
	C-5系塗装仕様	—

9

## 外観調査

戸賀4号橋 海側下弦材



上面

下面

10

## 外観調査

戸賀4号橋 山側下弦材



上面

下面

11

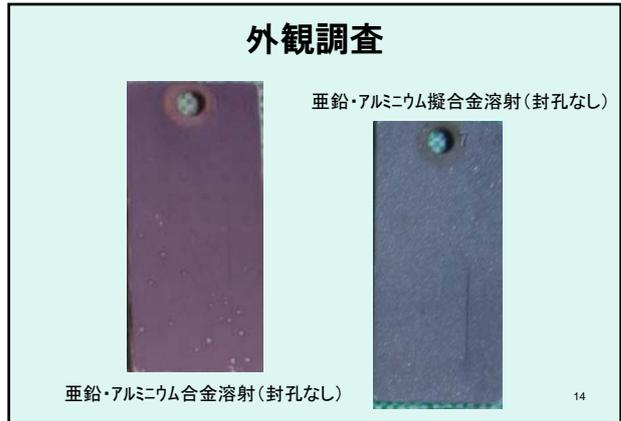
## 外観調査

	亜鉛・アルミニウム合金溶射		アルミニウム溶射	
	初期	3年後	初期	3年後
封孔なし				
封孔あり				

12

### 外観調査

	アルミニウム・マグネシウム合金溶射		亜鉛・アルミニウム擬合金溶射	
	初期	3年後	初期	3年後
封孔なし				
封孔あり				



### 膜厚測定 (実橋)

確認箇所	膜厚変化量(μm)
海側下弦材	+10~+22
山側下弦材	-2~+26

1箇所あたり30点測定。

### 膜厚測定 (試験板)

試験板	封孔処理	膜厚変化量(μm)
亜鉛(85)・アルミニウム(15)合金溶射	あり	+13~+21
	なし	+2~+11
アルミニウム溶射	あり	-13~ -1
	なし	-11~ +1
アルミニウム(95)・マグネシウム(5)合金溶射	あり	-6~ +8
	なし	-5~ +4
亜鉛・アルミニウム擬合金溶射	あり	-7~ +8
	なし	-13~ +5
熔融亜鉛めっき	-	0~ +3
熔融合金めっき	-	0~ +5
C-5系塗装仕様	-	0~ +3

1枚あたり30点測定。裏表の両面にて測定。

### 付着塩分量測定

測定部位	付着塩分量(mg/m <sup>2</sup> )	
実橋下弦材(海側)	上面	55.1
	下面	365.0
	垂直面(海側) 外面	17.8
	垂直面(山側) 内面	45.1
実橋下弦材(山側)	上面	148.2
	下面	1229.0
	垂直面(海側) 内面	402.0
垂直面(山側) 外面	24.8	

電導度法にて測定。



# 東名阪自動車道 「亀山高架橋・伊勢関IC橋」 調査

## 5年後調査報告

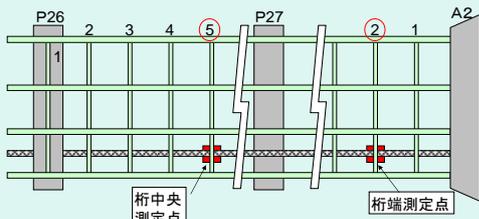
19

### 調査場所



20

### 亀山高架橋 追跡調査



区分	素地調整	溶射
亀山高架橋	プラストSa2 <sup>1/2</sup>	亜鉛・アルミニウム擬合金溶射+封孔処理

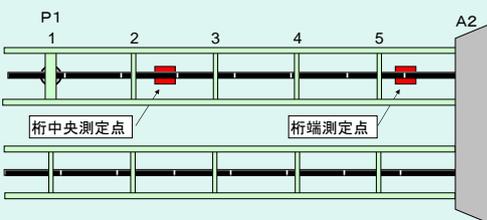
21

### 亀山高架橋 追跡調査



22

### 伊勢関IC橋 追跡調査



区分	素地調整	溶射
伊勢関IC橋	プラストSa2 <sup>1/2</sup>	亜鉛・アルミニウム合金溶射+封孔処理

23

### 伊勢関IC橋 追跡調査



24

### 亀山における試験板の種別

試験片区別	種別
溶射試験板	亜鉛・アルミニウム合金溶射+封孔処理
	亜鉛・アルミニウム擬合金溶射+封孔処理
	アルミニウム・マグネシウム合金溶射+封孔処理
比較試験板	溶融亜鉛めっき HDZ55
	I系塗装仕様
	C-2系塗装仕様

25

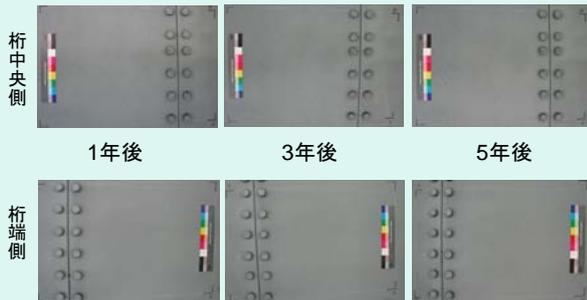
### 亀山における試験板 暴露試験



26

### 外観調査

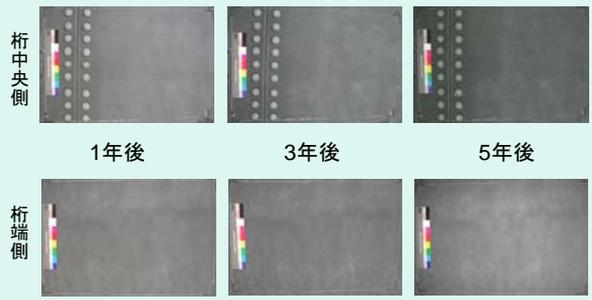
亀山高架橋(亜鉛・アルミニウム擬合金溶射)



27

### 外観調査

伊勢関IC橋(亜鉛・アルミニウム合金溶射)



28

### 外観調査

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		
1年後	3年後	5年後	1年後	3年後	5年後

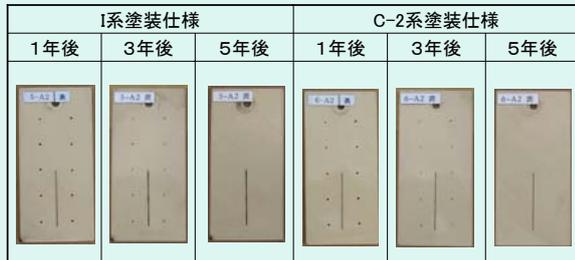
29

### 外観調査

アルミニウム・マグネシウム合金溶射			溶融亜鉛めっき		
1年後	3年後	5年後	1年後	3年後	5年後

30

## 外観調査



31

## 膜厚測定（実橋）

確認箇所	膜厚変化量(μm)
亀山高架橋	-44~+18
伊勢関IC橋	+2~+10

1箇所あたり30点測定。

32

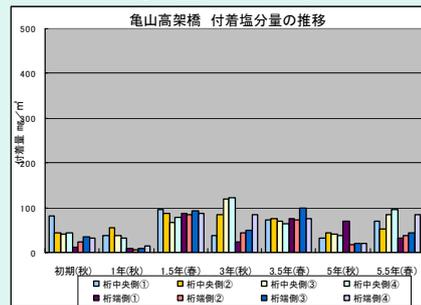
## 膜厚測定（試験板）

確認箇所	膜厚変化量(μm)
亜鉛・アルミニウム合金溶射仕様	+10~+22
亜鉛・アルミニウム擬合金溶射	+5~+12
アルミニウム・マグネシウム合金溶射	-1~+15
溶融亜鉛めっき	+4~+12
I系塗装仕様	-1~ -1
C-2系塗装仕様	-3~ -1

1枚あたり10点測定。裏表の両面にて測定。

33

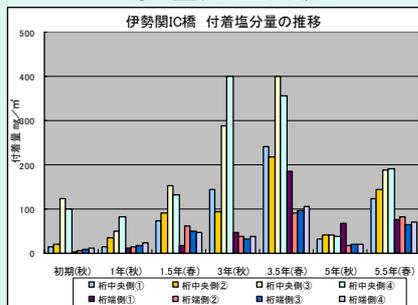
## 付着塩分量測定



電導度法にて測定。

34

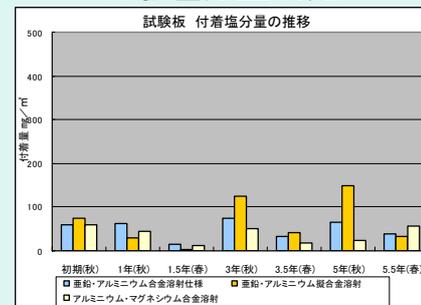
## 付着塩分量測定



電導度法にて測定。

35

## 付着塩分量測定



電導度法にて測定。

36

# 沖縄県(独)土木研究所 「沖縄建設材料耐久性 試験施設場内」調査

## 7年後調査報告

# 調査場所

- (独)土木研究所  
沖縄建設材料耐久性試験施設



# 試験桁についての説明

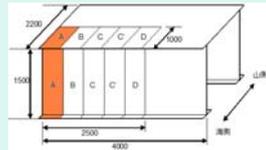
- 金属溶射の耐久性能試験は、塗装系暴露試験に使用した試験桁を転用している。
- 今回この試験桁に金属溶射施工を行ったときには、擬合金溶射部の孔食部分がJIS溶射部より若干多かったことが確認されている。

# 試験桁についての説明



# 試験桁の仕様および塗り分け

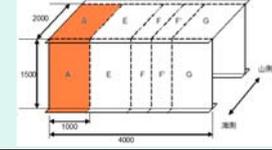
## 擬合金溶射試験桁 (外面区分)



部位	仕様	素地調整	粗面化処理	溶射	封孔処理	下・中塗り	上塗り
腹板	A	2種	あり	Zn-Al擬合金 100 μm	あり	—	—
天板 外側	B	2種	あり	Zn-Al擬合金 100 μm	あり	変性エポキシ樹脂 下塗 120 μm ふっ素樹脂用 中塗 30 μm	ふっ素樹脂 上塗 25 μm
	C	1種					
	C'	1種					
側面	D	1種	無	—	変性エポキシ 樹脂ミストコート	—	—

# 試験桁の仕様および塗り分け

## 擬合金溶射試験桁 (内面区分)



部位	仕様	素地調整	粗面化処理	溶射	封孔処理	中塗り	上塗り
腹板	A	2種	あり	Zn-Al擬合金 100 μm	あり	—	—
天板 内側	E	2種	あり	Zn-Al擬合金 100 μm	あり	変性エポキシ 樹脂内面用 120 μm	変性エポキシ 樹脂内面用 120 μm
	F	1種					
	F'	1種					
側面	G D4	1種	無機ジンクリッチペイント	75 μm	変性エポキシ 樹脂ミストコート	—	—

## 試験桁の仕様および塗り分け

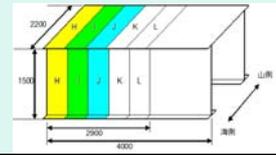
### 擬合金溶射試験桁



43

## 試験桁の仕様および塗り分け

### JIS溶射試験桁 (外面区分)

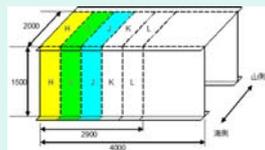


部位	仕様	素地調整	溶射	封孔処理	下・中塗り	上塗り
天板 外面 側	H	1種	Zn溶射 100 μm	あり	—	—
	I	1種	Al溶射 100 μm	あり	—	—
	J	1種	Zn-Al合金溶射 100 μm	あり	—	—
	K	1種	Zn-Al合金溶射	変性エポキシ樹脂ミストコート	エポキシ樹脂下塗 120 μm ふっ素樹脂用中塗 30 μm	ふっ素樹脂塗料上塗 25 μm
L	1種		比較 C4塗装系	ふっ素樹脂用中塗 30 μm		

44

## 試験桁の仕様および塗り分け

### JIS溶射試験桁 (内面区分)



部位	仕様	素地調整	溶射	封孔処理	中塗り	上塗り
腹板 内側 側	H	1種	Zn溶射 100 μm	あり	—	—
	I	1種	Al溶射 100 μm	あり	—	—
	J	1種	Zn-Al合金溶射 100 μm	あり	—	—
	M	1種	Zn-Al合金溶射 100 μm	変性エポキシ樹脂ミストコート	変性エポキシ樹脂内面用 120 μm	変性エポキシ樹脂内面用 120 μm
N	無機ジンクリッチペイント 75 μm		省検査形膜厚制御塗料 120 μm		省検査形膜厚制御塗料 120 μm	

45

## 試験桁の仕様および塗り分け

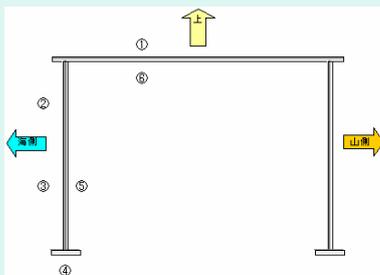
### JIS溶射試験桁



46

## 外観調査

### 外観調査確認位置



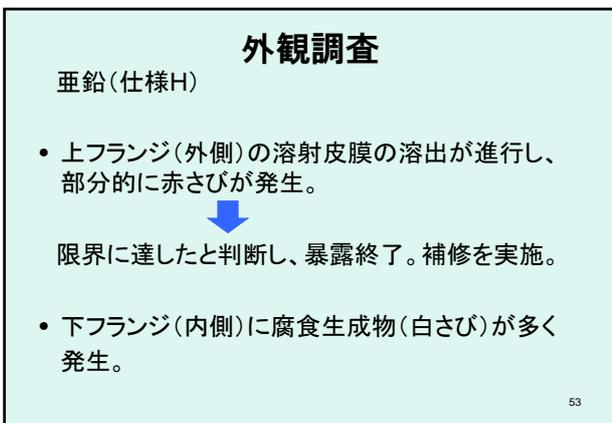
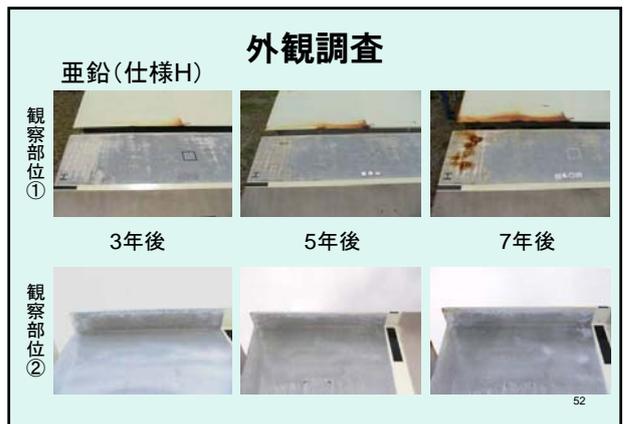
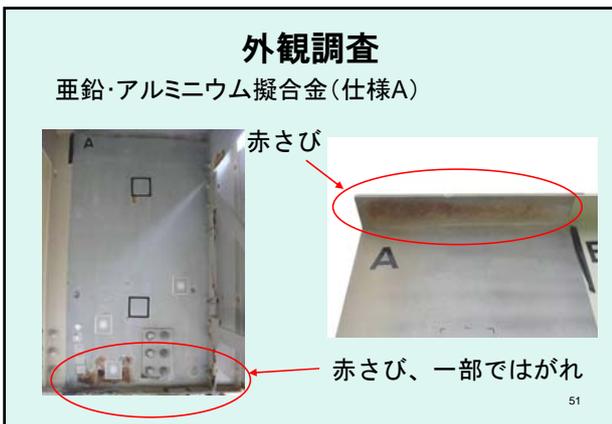
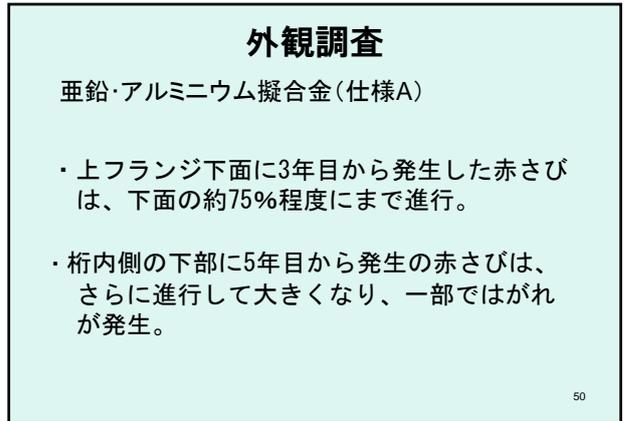
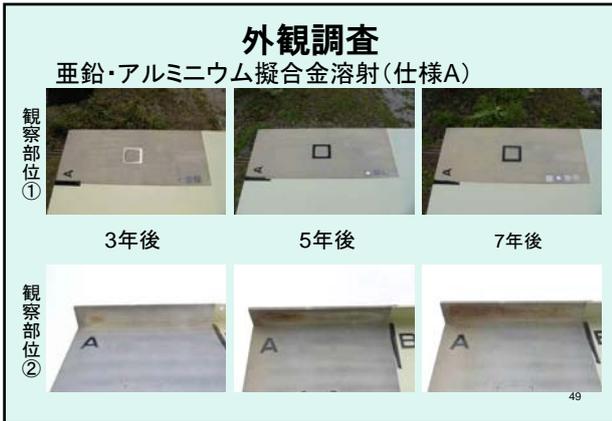
47

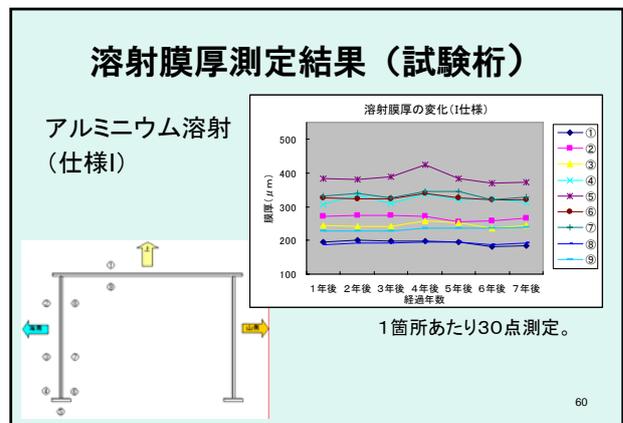
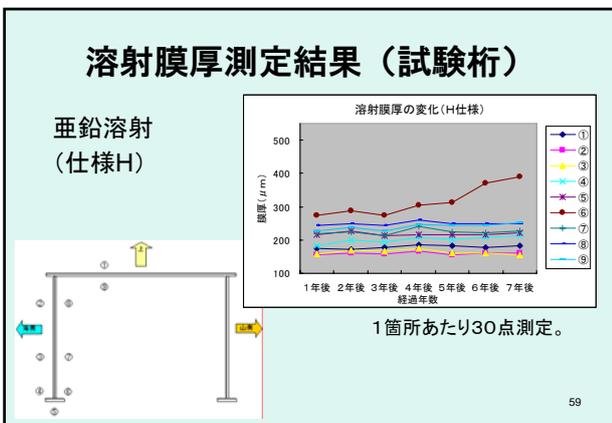
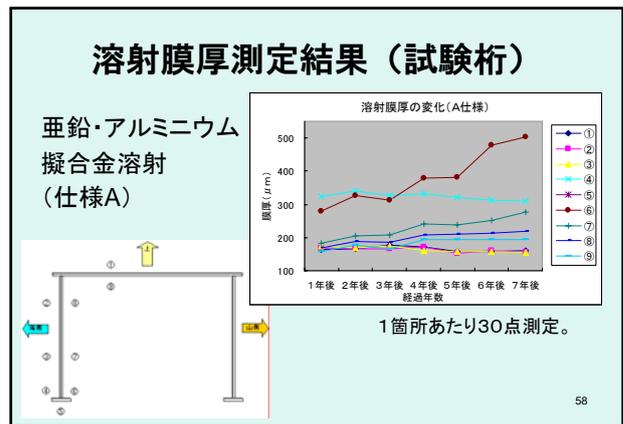
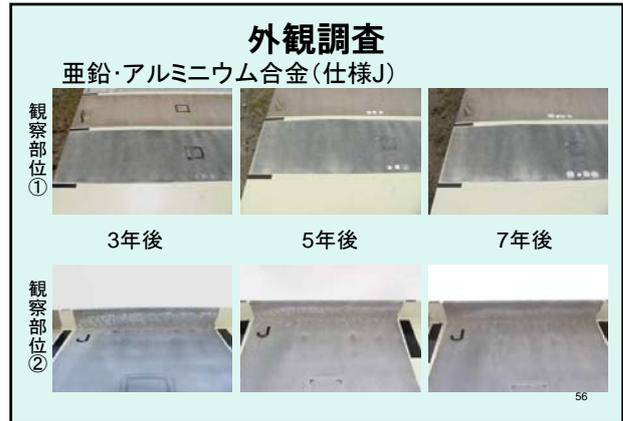
## 外観調査

### <溶射試験桁 外面外観>

部位	外観	仕様				部位	外観	仕様			
		仕様A	仕様H	仕様I	仕様J			仕様A	仕様H	仕様I	仕様J
①	さび	◎	×	○	◎	②	さび	×	◎	◎	◎
	はがれ	○	◎	◎	◎		はがれ	△	◎	◎	◎
	われ	◎	◎	◎	◎		われ	◎	◎	◎	◎
	ふくれ	◎	◎	◎	◎		ふくれ	◎	◎	◎	◎
	その他	なし	消鉄有り	黒点	なし		その他	なし	なし	なし	なし
③	さび	×	◎	◎	◎	④	さび	◎	◎	◎	◎
	はがれ	◎	◎	◎	◎		はがれ	◎	◎	◎	◎
	われ	◎	◎	◎	◎		われ	◎	◎	◎	◎
	ふくれ	◎	◎	◎	◎		ふくれ	◎	◎	◎	◎
	その他	なし	なし	なし	なし		その他	なし	なし	生腐物	なし
④	はがれ	◎	◎	◎	◎	備考	はがれ	◎	◎	◎	◎
	われ	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎	◎
	ふくれ	◎	◎	◎	◎		◎	◎	◎	◎	◎
	その他	なし	なし	なし	なし		◎	◎	◎	◎	◎
	備考	①塩10mm以下 はがれ15% さび17%	②白さび大 ③白さび中 ④白さび小	⑤さび10% 黒点大、山脚小 ⑥さび10mm以下 ⑦白さび大 ⑧白さび中 ⑨白さび小	⑩生腐物⑪2mm大 ⑫生腐物⑬1mm大 ⑭生腐物⑮生腐物⑯生腐物		⑰白さび大 ⑱白さび中 ⑲白さび大 ⑳白さび大	⑳生腐物 ㉑白さび大 ㉒白さび中 ㉓白さび大 ㉔白さび大 ㉕生腐物	㉖白さび大 ㉗白さび中 ㉘白さび大 ㉙白さび大 ㉚生腐物		

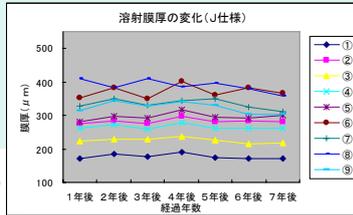
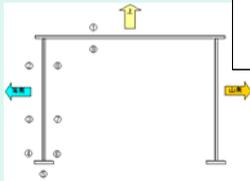
48





## 溶射膜厚測定結果（試験桁）

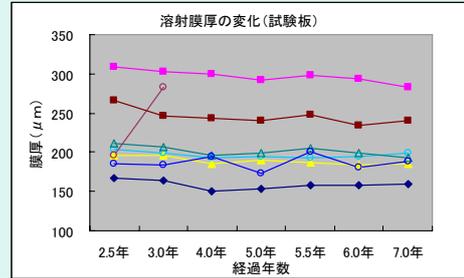
亜鉛・アルミニウム  
合金溶射  
(仕様J)



1箇所あたり30点測定。

61

## 溶射膜厚測定結果(試験板)



◆ 擬合金溶射表面    ◆ 亜鉛・アルミニウム合金表面    ◆ アルミニウム溶射表面  
 ◆ 亜鉛溶射表面    ◆ 擬合金溶射表面    ◆ 亜鉛・アルミニウム溶射表面  
 ◆ アルミニウム溶射表面    ◆ 亜鉛溶射表面

1箇所あたり9点測定。

32

## 亜鉛溶射部の補修溶射

上フランジ(外側)の溶射皮膜の溶出が進行し、部分的に赤さびが発生。

亜鉛溶射の防食機能は、当該暴露場において、すでに限界に達したと判断。

亜鉛溶射部の暴露試験を終了して、劣化した金属溶射の補修仕様に関する検討を行うべく補修仕様の耐久性確認試験を開始。

63

## 亜鉛溶射部の補修溶射



試験対象部位

劣化した亜鉛溶射部

64

## 亜鉛溶射部の補修溶射

補修仕様は、以下の4種類の溶射金属を用いた。

1. アルミニウム・マグネシウム合金
2. アルミニウム
3. 亜鉛・アルミニウム合金
4. 亜鉛・アルミニウム擬合金

それぞれの封孔処理までと、塗装仕上げによる8種類の仕様とした。

65

## 亜鉛溶射部の補修溶射



①' アルミニウム・マグネシウム合金溶射+塗装	②' アルミニウム溶射+塗装	③' 亜鉛・アルミニウム合金溶射+塗装	④' 亜鉛・アルミニウム擬合金溶射+塗装
①アルミニウム・マグネシウム合金溶射	②アルミニウム溶射	③亜鉛・アルミニウム合金溶射	④亜鉛・アルミニウム擬合金溶射

66

## 亜鉛溶射部の補修溶射



補修溶射完了

67

## 茨城県 「(独)土木研究所場内」調査 7年後調査報告

68

### (独)土木研究所場内

- 飛来塩分も少なく、凍結防止剤散布もほとんどない一般的な環境である。
- 他の厳しい環境での追跡調査との比較のため、調査を実施。
- 外観・膜厚とも大きな変化は見受けられない。

69

### まとめ

- 各地の調査結果から、以下の暫定的な結論が得られた。
1. 沖縄暴露試験より、亜鉛溶射に関しては、すでに補修時期にいたっていることから腐食環境の厳しい場所で使用する場合、塗装と併用することが望ましい。

70

### まとめ

2. 沖縄暴露試験より、亜鉛・アルミニウム擬合金溶射の一部に腐食の進行が早い部位が生じていることについては、沖縄地区の海浜環境で暴露された鋼材を動力工具で素地調整を行ったために取りきれなかった塩分の影響が原因であると推定している。



塩分環境で劣化した種類の鋼製橋梁を金属溶射で補修を行う場合は、素地調整後の残留塩分の管理が重要な要素となる。

71

### 謝辞

本試験の実施にあたり御協力頂きました独立行政法人土木研究所、中日本高速道路株式会社、内閣府沖縄総合事務局北部国道事務所、秋田県、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。

72

御清聴、ありがとうございました。

73