

平成22年度 技術発表会

鋼構造物試験体の耐久性確認試験に関する報告 ー腐食環境の厳しい場所(沖縄地区)においてー


日本橋梁建設協会 技術委員会 製作小委員会
Japanese Bridge Construction Association
 前川 清隆 平野 晃 大庭 哲也

1

鋼構造物試験体による試験概要

調査の目的:

塗装された構造物は、構造物の形状や部位の位置によって腐食や耐候性などの耐久性が異なる。

試験片での暴露では、十分に評価できない。

実際の構造物と同様な状態を示す大型の構造物試験体を製作し、塗膜劣化条件の厳しい沖縄で暴露試験を実施。

2

鋼構造物試験体による試験概要

- ・平成3年より、新設仕様の試験を開始
- ・平成4年より、塗替仕様の試験を開始
- ・平成14年より、溶射仕様の試験を開始

本試験は独立行政法人 土木研究所との共同研究である。

3

試験体設置場所

- ・(独)土木研究所
沖縄建設材料耐久性試験施設



腐食量試験について



普通鋼の環境別腐食速度(暴露9年)

5

新設仕様・塗替仕様

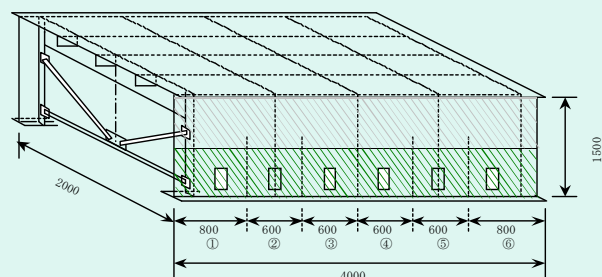
6

新設仕様・塗替え仕様の選定



7

新設仕様の塗り分け図



8

新設仕様の塗り分け区分

区分	外面	内面
①	A-1 長油性フタル酸樹脂塗料	A-1 長油性フタル酸樹脂塗料
②	B-1 塩ゴム系塗料	B-1 塩ゴム系塗料
③	A-3 シリコンアルキド樹脂塗料	A-3 シリコンアルキド樹脂塗料
④	C-2 ポリウレタン樹脂塗料	C-2 ポリウレタン樹脂塗料
⑤	C-4 ふっ素樹脂塗料	D-3 タールエポキシ樹脂
⑥	C-2※ ポリウレタン樹脂塗料	D-4 変性エポキシ樹脂塗料内面用 C-2※ ポリウレタン樹脂塗料

C-2※仕様は、無機シンクリッチペイントを無機シンクリッチプライマーとした変則仕様

9

新設仕様の試験項目一覧

試験項目	項目評価	評価方法	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	
			暴露年	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
塗膜外観	さび、はがれ、われ、ふくれ等	塗膜劣化見本比	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
変退色	E(L*, a*, b*)	色差計	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
光沢保持率	60度鏡面反射率	光沢計	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
インピーダンス	抵抗、容量、tan δ	インピーダンス計	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
付着力	接着力 (kgf/cm ²)(Mpa)	アドヒージョンテスター	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
付着塩分量	mg/m ²	塩素イオン検知管及び表面塩分計による電導度法	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
表面温度	℃	表面温度計	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
気温、湿度	℃、%	温湿度計	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

10

新設仕様 塗装外観（一般外面）



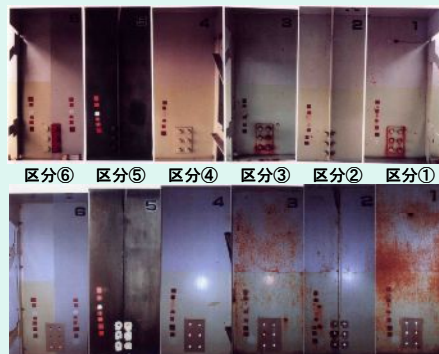
暴露5年目

暴露10年目

区分①～③は
厳しい環境に
適用できず
暴露終了

11

新設仕様 塗装外観（一般内面）



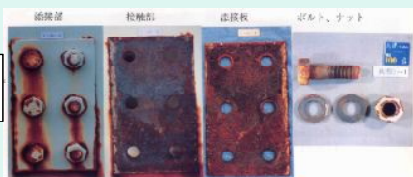
暴露5年目

暴露10年目

12

新設仕様 塗装外観（添接部）

接触面は無塗装、ボルトは黒皮を使用。



暴露5年目に取り外した

接触面は無機ジンクリッチペイントを塗布、ボルトは防錆処理ボルトを使用。



13

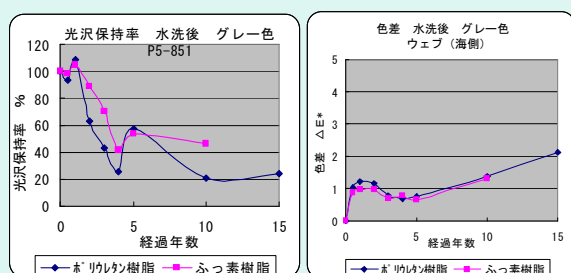
新設仕様 塗装外観（エッジ部）



下フランジ部など、一般外面にくらべ、早期に腐食が発生した。

14

新設仕様 光沢保持性・変退色の結果



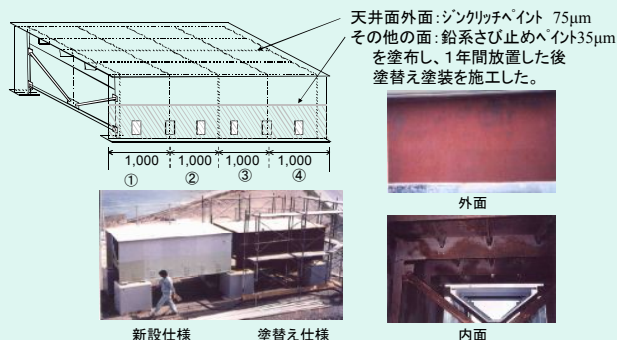
15

新設仕様 暴露試験の結果

- 1) 区分①～③
6ヶ月から1年以内に一般部で点さびが発生し、その後も徐々にさびの発生が拡大した。
- 2) C塗装系（無機ジンクリッチ塗料、エポキシ下塗り、ふっ素及びポリウレタン樹脂塗料上塗り）
厳しい環境下での耐久性が確認できた。
- 3) 添接部
防錆処理ボルトの使用や接触面に無機ジンクリッチペイントを塗装することの効果を確認できた。

16

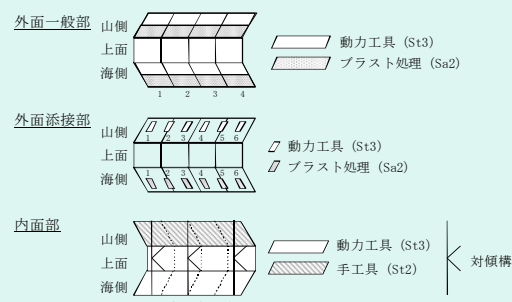
塗替え仕様の塗り分け図（その1）



17

塗替え仕様の塗り分け図（その2）

塗替え時の作業性等を検討するため素地調整の方法を区分



18

塗替え仕様の塗り分け区分

区分	塗装方法	工程	外面		塗装方法	内面	
			塗膜系	(μm)		塗膜系	(μm)
①	エアレス	第1層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	60		変性エポキシ樹脂内面用	60
		第2層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	120		変性エポキシ樹脂内面用	60
		第3層	ふっ素樹脂塗料用中塗	30		変性エポキシ樹脂内面用	60
		第4層	ふっ素樹脂塗料上塗	25		変性エポキシ樹脂内面用	60
②		第1層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	60		タールエポキシ樹脂塗料	60
		第2層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	60		タールエポキシ樹脂塗料	60
		第3層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	60		タールエポキシ樹脂塗料	60
		第4層	ふっ素樹脂塗料用中塗	30		タールエポキシ樹脂塗料	60
		第5層	ふっ素樹脂塗料上塗	25		タールエポキシ樹脂塗料	60
③	刷毛又はローラー	第1層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	60	刷毛又はローラー	無溶剤タールエポキシ樹脂塗料	120
		第2層	超厚膜形エポキシ樹脂塗料	300		無溶剤タールエポキシ樹脂塗料	120
		第3層	ふっ素樹脂塗料用中塗	30			
		第4層	ふっ素樹脂塗料上塗	25			
④		第1層	有機ジンクリッチペイント	30		無溶剤変性エポキシ樹脂塗料	120
		第2層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	60		無溶剤変性エポキシ樹脂塗料	120
		第3層	変性エポキシ樹脂塗料下塗	60			
		第4層	ふっ素樹脂塗料用中塗	30			
		第5層	ふっ素樹脂塗料上塗	25			

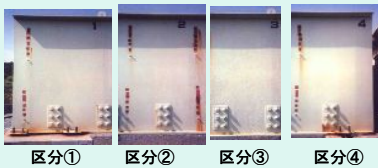
19

塗替え仕様の試験項目一覧

試験項目	項目評価	評価方法	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19
試験項目	項目評価	評価方法	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
塗膜外観	さび、はがれ、われ、ふくれ等	塗膜劣化見本比	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
変退色	E(L*, a*b*)	色差計	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
光沢保持率	60度鏡面反射率	光沢計	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
インピーダンス	抵抗、容量、tan δ	インピーダンス計	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
付着力	接着力 (kgf/cm ²) (Mpa)	アドヒージョンテスター	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
付着塩分量	mg/m ²	塩素イオン検知管	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
腐食量	腐食減量/年		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

20

塗替え仕様 塗装外観（一般外面）



動力工具処理 (St3)
ブラスト処理 (Sa2)

暴露5年目



動力工具処理 (St3)
ブラスト処理 (Sa2)

暴露10年目

21

塗替え仕様 塗装外観（一般内面）



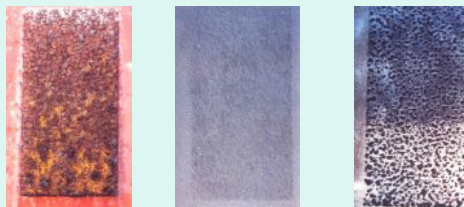
暴露5年目



暴露10年目

22

塗替え仕様 塗装外観（孔食部）



塗残り部分

ブラスト処理後

動力工具処理後

強制的に孔食を発生させた箇所について、動力工具処理で施工した部分では、塗膜のふくれが生じた。

23

塗替え仕様 塗装外観（エッジ部）



区分①

区分②

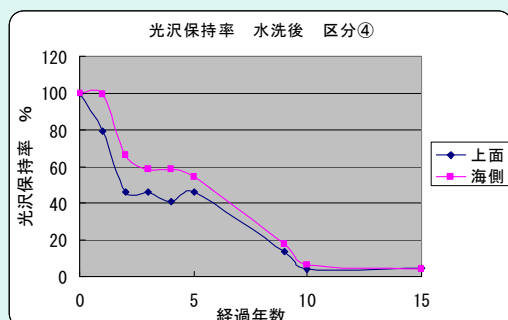
区分③

区分④

下フランジ部など、一般外面にくらべ、早期に腐食が発生した。

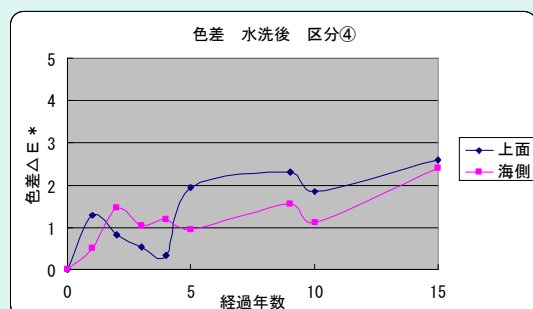
24

塗替え仕様 光沢保持性結果



25

塗替え仕様 変退色の結果



26

塗替え仕様 暴露試験の結果

○外面部については、

- ・ブラスト処理、動力工具処理共に良好な防錆性を示した。
- ・区分1 (エアレス塗装を用い、塗り回数を削減した箇所) については、エッジ部付近でさびが発生した。
- ・孔食が著しく発生している部分については、ブラスト処理すると良好な防錆性を示したが、動力工具処理では、ふくれが発生した。

○内面部については、

全ての塗装系でふくれあるいは さびが発生した。

27

塗装仕様 まとめ

- ・暴露試験場の腐食環境が一般的な海岸部の中でも、過酷であることが確認できた。
- ・一般部においてC塗装系の優位性が確認できた。
- ・エッジ部においては、ほぼ全ての仕様で、さびの発生が確認されており、面取りおよび先行塗装の重要性が再確認できた。

28

最近の活動報告

鋼道路橋塗装・防食便覧 平成17年12月
に伴う鋼橋塗装における有効性確認のための暴露試験

「2R面取り等実物試験」を実施しております。



暴露期間: 平成20年~平成25年
暴露場所: 沖縄県 安謝高架橋

29

溶射仕様

30

暴露の経緯

- 維持管理コストの低減を意図した防食方法



- 亜鉛・アルミニウム擬合金溶射(Zn-Al)
- 亜鉛溶射(Zn99.99)
- アルミニウム溶射(Al99.5)
- 亜鉛・アルミニウム合金溶射(ZnAl15)
- etc



- 同時に性能を比較した報告はない

31

暴露の経緯

- 試験桁、試験板に金属溶射



- 2002年6月 沖縄県に設置



- 暴露試験



- 同時に性能を比較

32

試験の目的

- 各種金属溶射および塗装の組み合わせによる長期耐久性を確認。



- 本報告は、各種仕様の中で『金属溶射＋封孔処理仕様』の7年目調査結果である。

33

試験桁についての説明

- 金属溶射の耐久性能試験は、先ほど報告した新設仕様・塗替え仕様に用い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、塗り替え桁(擬合金溶射部)の孔食部分が新設桁(JIS溶射部)より若干多かったことが確認されている。

34

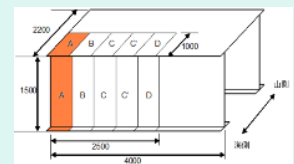
試験桁についての説明



35

試験桁の仕様および塗り分け

塗り替え仕様試験体
(擬合金溶射)
〈外面区分〉

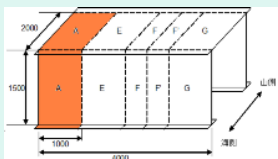


部位	仕様	素地調整	粗面化処理	溶射	封孔処理	下・中塗り	上塗り
腹板	A	2種	あり	Zn-Al擬合金 100 μm	あり	—	—
天板	B	2種	あり				
板外側	C	1種	あり				
側面	C'	1種	無	Zn-Al擬合金 100 μm	あり	変性エポキシ樹脂 下塗 120 μm ふっ素樹脂用 中塗 30 μm	ふっ素樹脂 上塗 25 μm
側面	D	1種	無		変性エポキシ 樹脂ミストコート		

36

試験桁の仕様および塗り分け

塗り替え仕様試験体
(擬合金溶射)
〈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
腹板内側海側	A	2種	あり	Zn-Al合金溶射 100 μm	あり	—	—
天板内側海側	E	2種	あり	Zn-Al合金溶射 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
腹板内側山側	F	1種	あり	—	—	—	—
天板内側山側	G	1種	無	無機ジクロリッパイント 75 μm	変性エポキシ樹脂ミストコート	—	—

37

試験桁の仕様および塗り分け

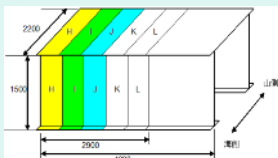
塗り替え仕様試験体
(擬合金溶射)



38

試験桁の仕様および塗り分け

新設仕様試験体
(JIS溶射)
〈外面区分〉

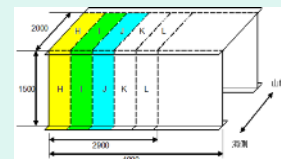


部位	仕様	素地調整	溶射	封孔処理	下・中塗り	上塗り
腹板外面海側	H	1種	Zn溶射 100 μm	あり	—	—
天板外面海側	I	1種	Al溶射 100 μm	あり	—	—
腹板外面山側	J	1種	Zn-Al合金溶射 100 μm	あり	—	—
天板外面山側	K	1種	Zn-Al合金溶射	変性エポキシ樹脂ミストコート	エポキシ樹脂下塗 120 μm ふっ素樹脂用中塗 30 μm	ふっ素樹脂塗料上塗 25 μm
	L	1種	比較 C4塗装系	—	ふっ素樹脂用中塗 30 μm	—

39

試験桁の仕様および塗り分け

新設仕様試験体
(JIS溶射)
〈内面区分〉



部位	仕様	素地調整	溶射	封孔処理	中塗り	上塗り
腹板内側海側	H	1種	Zn溶射 100 μm	あり	—	—
天板内側海側	I	1種	Al溶射 100 μm	あり	—	—
腹板内側山側	J	1種	Zn-Al合金溶射 100 μm	あり	—	—
天板内側山側	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	1種	無機ジクロリッパイント 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

40

試験桁の仕様および塗り分け

新設仕様試験体
(JIS溶射)



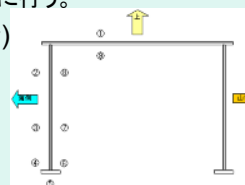
41

皮膜厚さ測定結果

(1)調査箇所

- 試験桁は、外側4箇所、内側4箇所、下フレンジ面下側1箇所で行う。
- 試験板は、表面、裏面とも9箇所で行う。
- 皮膜厚さの測定は1年おきに行う。

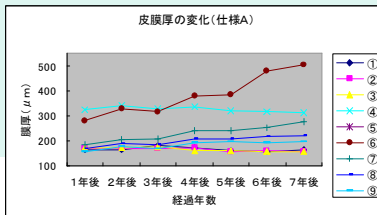
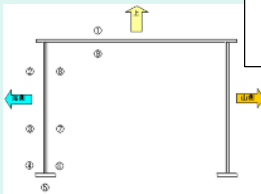
・皮膜厚さ測定位置(試験桁)



42

皮膜厚さ測定結果(試験桁)

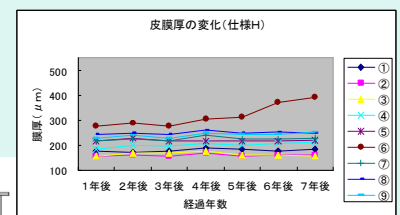
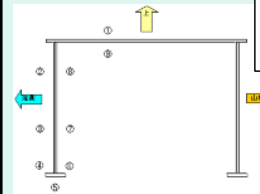
亜鉛・アルミニウム
擬合金溶射
(仕様A)



43

皮膜厚さ測定結果(試験桁)

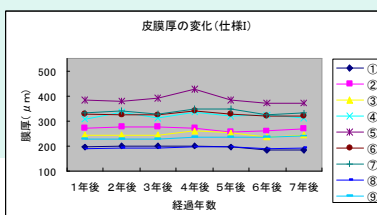
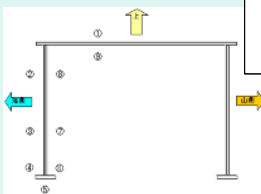
亜鉛溶射
(仕様H)



44

皮膜厚さ測定結果(試験桁)

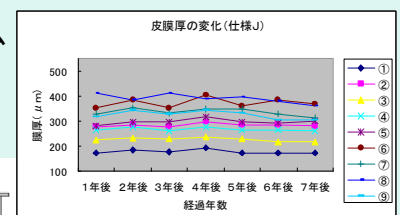
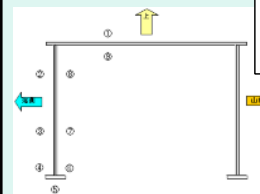
アルミニウム溶射
(仕様I)



45

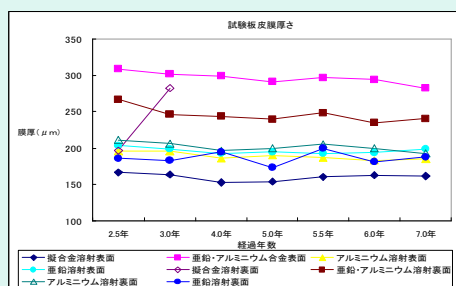
皮膜厚さ測定結果(試験桁)

亜鉛・アルミニウム
合金溶射
(仕様J)



46

皮膜厚さ測定結果(試験板)



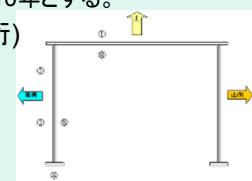
47

外観調査

(1)調査項目

- 試験桁は、さび、はがれ、ふくれ、われ等の調査を桁の外側、内側で行う。
- 試験板は、カット部のふくれ最大幅、塗装外観(さび、ふくれ等)を裏・表で行う。
- 双方とも詳細調査は1,3,5,7,10年とする。

- ・外観調査の評価位置(試験桁)



48

外観調査

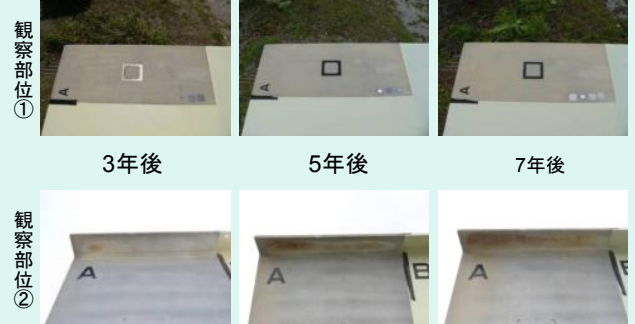
(2) 観察結果

溶射試験板 外面外観					溶射試験板 内面外観							
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	
		経過 7年後						経過 7年後				
①	さび	◎	×	○	◎	⑤	さび	×	◎	◎	◎	
	はがれ	○	◎	◎	◎		はがれ	△	◎	◎	◎	
	ぬれ	◎	◎	◎	◎		ぬれ	◎	◎	◎	◎	
	ふくれ	◎	◎	◎	◎		ふくれ	◎	◎	◎	◎	
	その他	なし	消費有り	黒点	なし		◎	◎	◎	◎	◎	
②	さび	×	◎	◎	◎	⑥	さび	◎	◎	◎	◎	
	はがれ	◎	◎	◎	◎		はがれ	◎	◎	◎	◎	
	ぬれ	◎	◎	◎	◎		ぬれ	◎	◎	◎	◎	
	ふくれ	◎	◎	◎	◎		ふくれ	◎	◎	◎	◎	
	その他	なし	なし	なし	なし		◎	◎	◎	◎	◎	
③	さび	◎	◎	◎	◎	備考	さび	◎	◎	◎	◎	
	はがれ	◎	◎	◎	◎		その他	消費及び10% のさび	◎	◎	◎	◎
	ぬれ	◎	◎	◎	◎		その他	生食及び大 量生食のさ び	◎	◎	◎	◎
	ふくれ	◎	◎	◎	◎		その他	生食及び大 量生食のさ び	◎	◎	◎	◎
	その他	なし	なし	なし	なし		その他	生食及び大 量生食のさ び	◎	◎	◎	◎
④	さび	◎	◎	◎	◎	備考	さび	◎	◎	◎	◎	
	はがれ	◎	◎	◎	◎		その他	生食及び大 量生食のさ び	◎	◎	◎	◎
	ぬれ	◎	◎	◎	◎		その他	生食及び大 量生食のさ び	◎	◎	◎	◎
	ふくれ	◎	◎	◎	◎		その他	生食及び大 量生食のさ び	◎	◎	◎	◎
	その他	なし	なし	なし	なし		その他	生食及び大 量生食のさ び	◎	◎	◎	◎
備考	その他	①1mm(山下) はがれ15% さび及び5% ③さびさび小	②さび及び大 さび及び大 さび及び大	④さび及び大 さび及び大 さび及び大	⑤さび及び大 さび及び大 さび及び大	備考	その他	①1mm(山下) はがれ15% さび及び5% ③さびさび小	②さび及び大 さび及び大 さび及び大	④さび及び大 さび及び大 さび及び大	⑤さび及び大 さび及び大 さび及び大	

49

外観調査

亜鉛・アルミニウム擬合金溶射(仕様A)



3年後

5年後

7年後

観察部位②

50

外観調査

亜鉛・アルミニウム擬合金(仕様A)

- ・ 上フランジ下面に3年目から発生した赤さびは、下面の約75%程度にまで進行。
- ・ 桁内側の下部に5年目から発生の赤さびは、さらに進行して大きくなり、一部ではがれが発生。

51

外観調査

亜鉛・アルミニウム擬合金(仕様A)



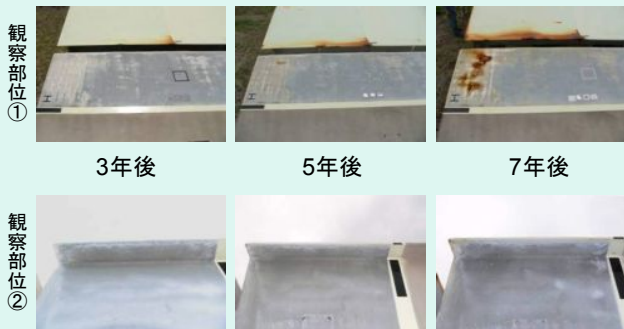
赤さび

赤さび、一部ではがれ

52

外観調査

亜鉛(仕様H)



3年後

5年後

7年後

観察部位②

53

外観調査

亜鉛(仕様H)

- ・ 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。
- ・ 下フランジ(内側)に腐食生成物(白さび)が多く発生。

54

外観調査

亜鉛(仕様H)

赤さび発生

白さび発生



55

外観調査

アルミニウム(仕様I)

観察部位①



3年後

5年後

7年後

観察部位②



56

外観調査

アルミニウム(仕様I)

ほとんど変化なし



57

外観調査

亜鉛・アルミニウム合金(仕様J)

観察部位①



3年後

5年後

7年後

観察部位②



58

外観調査

亜鉛・アルミニウム合金(仕様J)

ほとんど変化なし



59

溶射仕様 まとめ

- 腐食環境の厳しい場所(沖縄地区)の環境での金属溶射の適用について以下の暫定的な結論が得られた。
- 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。
 - アルミニウム、亜鉛・アルミニウム合金については、現在も十分な耐久性を保持している。

60

溶射仕様 まとめ

3. 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。



試料のサンプリングを行い詳細な分析を実施

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。

61

謝 辞

- 本試験の実施にあたり試験桁への金属溶射施工と追跡調査に多大な協力を頂いている日本溶射工業会、防食溶射協同組合、MS工法協議会ならびに、沖縄建設材料耐久性試験施設の管理をして頂いております内閣府沖縄総合事務局北部国道事務所の関係各位に深く感謝申し上げます。

62

御清聴、ありがとうございました。

63