

10.3 鋼橋防食工の補修に関する研究

研究予算：運営交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：材料地盤研究グループ（新材料）

研究担当者：西崎 到、守屋 進

【要旨】

耐候性鋼材、溶融めっき、金属溶射が異状劣化した場合、劣化程度による最適な補修方法（素地調整程度、素地調整方法、補修塗装系、金属溶射など）を明らかにするため、これら防食法を施し劣化させた試験片などを、その劣化程度に応じて、素地調整程度と素地調整方法を組み合わせ、塗装および金属溶射で補修した試験片を作成して厳しい腐食環境の沖縄と山間部の朝霧で暴露試験を開始した。新設時に金属溶射が施された橋梁と、塗装橋梁を金属溶射で再防食して9年経過した橋梁の調査を行った。その結果、新設時に金属溶射を施工した橋梁は、全体的には良好に防食されていたが、一部部材端部など外力による打痕傷より鋼材の腐食が発生していたり、溶接ビード部の溶射皮膜が浮いたり、はがれるなどの劣化している部位があった。また、金属溶射による再防食された橋梁では、漏水を受ける部位や桁端部など施工しにくい部位で溶射皮膜の劣化が進行していた。

キーワード：鋼橋防食工、補修方法、素地調整程度、促進試験、暴露試験

1. はじめに

橋梁などの鋼構造物の耐久性を確保するためには、塗装などによる鋼材の防食が不可欠である。これまで鋼橋の大多数は塗装による防食が施されていたが、近年塗装以外の防食法として、耐候性鋼材、溶融亜鉛めっき、金属溶射が適用され始めてきた。しかしこれらの防食法は、鋼橋への適用実績がまだ十分でないため、その適用環境条件などが不明確であったり、異状劣化が発生した際の補修時期の判定法と補修方法が確立されていないのが現状である。このため、これら塗装以外の防食工の異状劣化の判定技術並びに補修方法の確立が求められている。

本研究では、これら各種防食法の異状劣化した場合の補修方法を確立するため、試験片や部材の劣化程度による素地調整程度や素地調整方法を組み合わせ、塗装および金属溶射による補修を施した試験片を作成して厳しい腐食環境の沖縄と山間部の朝霧に暴露試験を行うこととし、本年度に試験を開始した。また、新設時より金属溶射で防食された橋梁の調査を行い、その金属溶射皮膜の劣化状況を明らかにした。さらに、塗装橋梁が金属溶射で再防食され9年経過した橋梁の調査を行った。

2. 各種防食工の補修に関する研究

2.1 研究の方法

耐候性鋼、溶融亜鉛めっき、金属溶射を施した試

験片を海浜部の千倉と田園部のつくばで暴露し、暴露期間を変えて劣化程度を3水準とした。また、一部すでに10年以上暴露されていた試験片、および沖縄暴露場の暴露架台のめっき部材を切り出したものも利用した。これら劣化程度のことなる試験片に素地調整程度として、Sa2.5、Sa2、Sa1、St3、St2、St1程度の処理を行った。素地調整方法は、Saではブラスト研削材にアルミナを用い、Stでは、電動工具を砥石ディスクサンダー、ダイヤモンドツール、超合金サンダー、ペーパーサンダーを使用した。また、素地調整前に付着塩分を除去するための水洗の有無などを組み合わせた。補修塗装系は、素地調整程度に併せて鋼道路橋塗装・防食便覧のRc-、RC-、Rc-とした。補修金属溶射は、亜鉛・アルミニウム合金溶射（JIS溶射）と亜鉛・アルミニウム擬合金溶射（常温溶射）とした。常温溶射では、粗面形成剤の有無を組み入れた。また、金属溶射の封孔処理剤も3種類とした。

2.1.1 耐候性鋼材の補修試験

JIS耐候性鋼材を海浜部の千葉県千倉で2箇月、5箇月、10箇月間暴露と田園部の茨城県つくばで10箇月間暴露して腐食させ異なるさびレベルの試験片を作成した。また、比較として全く暴露していない試験片と普通鋼材を千倉とつくばで10箇月暴露したものも製作した。回収した試験片は、水洗の有無、素地調整程度と方法、塗装系を表-1に示すように

設定して補修試験片(200mm×300mm×6mm)を製作した。素地調整程度は、耐候性鋼材のさびは普通鋼材に比べて硬いため、ブラスト処理はいずれも研削材にアルミナを使用した。処理程度は、理想的な Sa2.5 と、Sa2.5 を目指しても実際の工事などでは困難なため実務的な Sa 2 と、一部 Sa 1 とした。電動工具処理では、砥石ディスクサンダーを主とし、一部にダイヤモンドツールと超合金サンダーを使用した。補修は、塗装と金属溶射とした。塗装による補修は、鋼道路橋塗装・防食便覧(便覧)に準拠して素地調

整程度に応じた塗装系を適用した。一部に便覧の塗装系にさらに防食性を不付与するため膜厚を大きくした塗装系を追加した。金属溶射による補修は、素地調整程度 Sa 2 と St 3 で粗面形成材を塗付して常温溶射を、Sa 2 で JIS 溶射を行った。いずれも封孔処理を行いふっ素樹脂塗料中・上塗りを塗装した。作成した試験片は、つくばで 10 箇月間暴露してさびさせた耐候性鋼と普通鋼の補修試験片を朝霧に暴露した以外はすべて沖縄に暴露した。

表 - 1 耐候性鋼材の補修試験一覧

試験主旨	No.	暴露場所	鋼材	暴露期間 さびレベル	水洗の有無	素地調整 程度	素地調整 方法	便覧系 塗装系	塗装系と膜厚												合計膜厚 μm				
									有機ソフ	改良ソフ	無機ソフ	JIS溶射ZnAl	粗面形成材	常温溶射	封孔処理材	変性I#	付着I#キ	超厚膜I#	I#キフルー	ふっ素中塗		ふっ素上塗			
<基本> 便覧の塗 装系での 暴露期間 と ケレン程度 の影響把握	1	千倉 ・ 沖縄	耐候性鋼	10ヶ月 (レベル)	なし	Sa2	アルミナ	Rc-	75							120				30	25	250			
	2					St3	砥石ディスクサンダー	Rc-								180				30	25	235			
	3							Rc-								60				30	25	115			
	4				あり	Sa2	アルミナ	Rc-	75							120				30	25	250			
	5							Rc-	75							120				30	25	250			
	6					St3	砥石ディスクサンダー	Rc-								180				30	25	235			
	7			5ヶ月 (レベル)	なし	Sa2	アルミナ	Rc-	75							60				30	25	115			
	8					St3	砥石ディスクサンダー	Rc-								120				30	25	250			
	9							Rc-								180				30	25	235			
	10				あり	Sa2	アルミナ	Rc-	75							120				30	25	250			
	11							Rc-	75							120				30	25	250			
	12					St3	砥石ディスクサンダー	Rc-								180				30	25	235			
	13			2ヶ月 (レベル)	なし	Sa2	アルミナ	Rc-	75							60				30	25	115			
	14					St3	砥石ディスクサンダー	Rc-								120				30	25	250			
	15							Rc-								180				30	25	235			
	16				あり	Sa2	アルミナ	Rc-	75							120				30	25	250			
	17					St3	砥石ディスクサンダー	Rc-								120				30	25	250			
	18							Rc-	75							180				30	25	235			
	19					Rc-								60				30	25	115					
20	No1～19 の耐久性 向上 塗装系		10ヶ月 (レベル)	あり	Sa2	アルミナ	Rc-		75						120				30	25	250				
21					St3	砥石ディスクサンダー	Rc-		75						120				30	25	250				
22					Sa2	アルミナ	Rc-	#	75								300			30	25	430			
23							Rc-	#	75										300		30	25	430		
24					St3	砥石ディスクサンダー	Rc-	\$											300			30	25	355	
25							Rc-	\$												300		30	25	355	
26							Rc-	\$	40											300			30	25	395
27							Rc-	\$	40													30	25	395	
28							Rc-	\$										40	300			30	25	395	
29							Rc-	\$										40		300			30	25	395
30					溶射での 補修策	あり	Sa2	アルミナ	JIS溶射				100				有エボ系						30	25	155
31							St3	砥石ディスクサンダー	常温溶射					あり	100		有エボ系						30	25	155
32								常温溶射						100		有エボ系							30	25	155
33					No4,6の 普通鋼	普通鋼	10ヶ月 (レベル)	あり	Sa2	アルミナ	Rc-	75							120				30	25	250
34	St3	砥石ディスクサンダー	Rc-												180				30	25	235				
35			Rc-												120				30	25	250				
36	No1～30 の つくば 朝霧	耐候性鋼	10ヶ月 (レベル)	あり	Sa2	アルミナ	Rc-	75							180				30	25	235				
37					St3	砥石ディスクサンダー	Rc-								180				30	25	235				
38							Rc-								60				30	25	115				
39	No1～30 の 暴露なし 比較の為	普通鋼	10ヶ月 (レベル)	あり	Sa2	アルミナ	Rc-	75							120				30	25	250				
40					St3	砥石ディスクサンダー	Rc-								180				30	25	235				
41							Rc-								60				30	25	115				
42	No1～30 の 暴露なし 比較の為	耐候性鋼	0ヶ月	なし	Sa2	アルミナ	C-S			75					120				30	25	250				
43							Rc-	75							120				30	25	250				
44					St3	砥石ディスクサンダー	Rc-								180				30	25	235				
45	No6,12の 刷毛塗り		10ヶ月 5ヶ月	あり	St3	砥石ディスクサンダー	Rc-								60				30	25	115				
46															180				30	25	235				
47															180				30	25	235				
48	No4の ブラスト程度	千倉 ・ 沖縄	耐候性鋼	10ヶ月 (レベル)	あり	Sa2.5	アルミナ	Rc-	75						120				30	25	250				
49						Sa1			75							120				30	25	250			
50																180				30	25	250			
No6の ケレン程度						ダイヤモンド 超合金サンダー ペール-サンダー	Rc-								180				30	25	235				
															180				30	25	235				

2.1.2 溶融亜鉛めっき鋼材の補修試験
溶融亜鉛めっきの補修試験一覧表を表-2に示す。以下の4種類の腐食程度の異なる溶融亜鉛めっき鋼板を準備した。溶融亜鉛めっき鋼板の一部をディスクサンダーでめっきを除去して沖縄暴露場に暴露して部分的に赤さびが生じている試験片(200mm×300mm×3.2mm)、北陸道の溶融亜鉛めっき橋に暴露されていた全面白さびの生じている試験片(100mm×200mm×3.2mm) 沖縄暴露場の暴露架台から切

り出した溶融亜鉛めっきされたアングル材(幅 50mm、厚さ 4mm、長さ 300mm)、工場地帯の鶴見に暴露されていた溶融亜鉛めっき板(100mm×200mm×3.2mm)。素地調整程度は、赤さび部は Sa2.5 と St 3 に、白さび部は Sa 1 か St3 とした。補修は、塗装と金属溶射で行った。素地調整後の塗装による補修は、便覧の Rc- を主として塗装し、さらに下塗りを厚くした塗装系も適用した。金属溶射による補修は、JIS 溶射と粗面形成材を塗付して常温溶射を行い、封孔処理

して塗装した。これらは、沖縄（一部は朝霧）に暴露試験を開始した。

表-2 溶融亜鉛めっきの補修試験一覧

試験主旨	劣化メッキ板			No.	メッキの劣化部	素地調整程度	塗装系と膜厚														補修後の暴露場所	
	暴露場所	種類	形状				JIS溶射ZnAl	粗面形成材	常温溶射	封孔処理	有機シヅク	メッキ用メッキ	超厚膜メッキ	メッキ用メッキ	変性メッキ	ふっ素中塗	ふっ素上塗	合計膜厚	沖縄	朝霧		
部分補修を意図した試験	土研沖縄	Zn	20*30cm 平板 半分が赤錆メッキ部の劣化度中	M1	赤さび部	Sa2.5					75				120	30	25	250	*			
					白さび部	Sa1					75				120	30	25	250				
				M2	赤さび部	St3					75				120	30	25	250	*			
					白さび部	St3					75				120	30	25	250				
全面劣化した場合の基本的な補修策	北陸道五郎太谷川	Zn	10*20cm 平板 メッキ部の劣化度大を使用垂直板	M3	赤さび部	Sa2.5	100			有列ヤ-A								100	*			
					白さび部	Sa1																
				M4	赤さび部	Sa2.5		あり	100	有列ヤ-B								100	*			
					白さび部	Sa1																
				M5		Sa2.5					75				120	30	25	250	*			
				M6							75				120	30	25	250	*			
				M7							75				120	30	25	250			*	
				M8		Sa1					75		300			30	25	430	*			
				M9							75		300			30	25	430			*	
				M10								40		300		30	25	395	*			
				M11							75		300			30	25	430	*			
				M12		St3					75		300			30	25	430			*	
				M13								40		300		30	25	395	*			
				M14		Sa2.5	100			有列ヤ-A								100	*			
				M15				あり	100	有列ヤ-B								100	*			
				M16		Sa1	100			有エボ系					120	30	25	275	*			
				M17				あり	100	有エボ系					120	30	25	275	*			
				M18		St3		あり	100	有エボ系					120	30	25	275	*			
クレン塗装がし難い箇所の試験	土研沖縄	Zn	アングル劣化度大の内外面を使用	M19	谷：劣化大山：劣化中	Sa2.5					75				120	30	25	250	*			
					山：劣化中	Sa1					75				120	30	25	250				
				M20	谷：劣化大山：劣化中	St3					75				120	30	25	250	*			
					山：劣化中	St2					75				120	30	25	250				
				M21	谷：劣化大山：劣化中	St3					75		300			30	25	430	*			
					山：劣化中	St2					75		300			30	25	430				
				M22	谷：劣化大山：劣化中	St3						40		300		30	25	395	*			
					山：劣化中	St2						40		300		30	25	395				
工業地域における	鶴見	Zn	平板劣化度	M23	谷：劣化中	St3					75				120	30	25	250	*			
					山：劣化小	St2					75				120	30	25	250				
				M24	表：赤さび裏：劣化小	St3					75				120	30	25	250	*			
						St3					75				120	30	25	250				

2.1.3 金属溶射の補修試験

金属溶射の補修試験一覧表を表-3に示す。アルミニウム溶射、亜鉛・アルミニウム溶射、亜鉛・アルミニウム擬合金溶射を施した試験片(200mm×300mm×6mm)を千倉で10箇月暴露して劣化させた試験片を全面補修するものと部分補修するものに分け、全面補修するものについては、Sa2.5からSa1程度に素地調整した試験片にアルミニウムと亜鉛・

アルミニウムのJIS溶射と粗面形成材を塗付して亜鉛・アルミニウム擬合金溶射をし、封孔処理を施し塗装した。部分補修は、赤さび部はSa2.5、白さび部はSa1に素地調整し、St1は、白さび部をワイヤーホイールで目粗し程度に処理し、便覧のめっき面用塗装系に準拠した塗装をした。これら試験片はすべて沖縄に暴露した。

表-3 金属溶射の補修試験一覧表

試験主旨	劣化溶射板		No.	溶射の劣化部	塗装系と膜厚														補修後の暴露場所	
	劣化度	溶射種類			素地調整程度	粗面形成材	JIS溶射	常温溶射	封孔処理	有機シヅク	超厚膜メッキ	メッキ用メッキ	変性メッキ	ふっ素中塗	ふっ素上塗	合計膜厚	沖縄	朝霧		
全面劣化した場合の補修策として溶射+塗装	大 各4枚あり	B アルミ100μ<	Y1	Sa2.5 ~ Sa1	なし	Al100μ		有列ヤ-A								100	*			
			有エボ系								120	30	25	315	*					
		D 亜鉛7μ100μ<	Y2				ZnAl100μ		有列ヤ-A							100	*			
			有エボ系								120	30	25	315	*					
		F 擬合金130μ<	Y5			あり	擬合金100μ	有列ヤ-B							100	*				
			有エボ系								120	30	25	315	*					
比較のため	小 各4枚あり	A アルミ100μ<	Y7	Sa2.5					75			120	30	25	250	*				
部分劣化した場合の補修策としての部分補修塗装			Y8	赤さび部	Sa2.5				(75)	(300)		40		30	25	470	*			
			白さび部	St1											95					
		C 亜鉛7μ100μ<	Y9	赤さび部	Sa2.5				(75)	(300)		40		30	25	470	*			
			白さび部	St1											95					
		E 擬合金130μ<	Y10	赤さび部	Sa2.5				(75)	(300)		40		30	25	470	*			
		白さび部	St1											95						

3. 金属溶射橋梁の調査

3.1 新設溶射橋

A橋は、新設時にアルミニウム溶射された上にエポキシ樹脂塗料下塗り 60 μ m+ふっ素樹脂塗料用中塗り 30 μ m+ふっ素樹脂塗料上塗り 25 μ m が塗装されている湾内の河口に架かる3径間連続箱桁橋で、1999年竣工しており、調査時点で10年経過していた。調査は外観目視調査を行った。全体的に塗膜外観は良好であった。しかし部分的に外力によると思われる打痕傷や異種金属接触腐食と思われる損傷があった。損傷は、桁端部の塗膜のはがれと鋼材の発錆、下フランジ端部の打痕傷の塗膜のはがれと鋼材の発錆、箱桁下面のステンレス製ボルト周辺の異種金属接触腐食によるとも割れるアルミニウムの溶出と発錆、箱桁下面の溶接ビード部の塗膜劣化と発錆がみられた。これより、打痕傷を受けた場

合、適切な補修が不可欠であることと、桁端部など補修が困難な部位は十分注意して塗装を行うことが不可欠であることがわかった。また、アルミニウムとステンレス鋼が接触すると異種金属接触腐食を生じ、アルミニウムが選択的に溶出してしまうので、このような異種金属の混用はさけるべきである。本橋では、溶射皮膜に塗装するのでこのような腐食は防げると考えた節があるが、桁下面は、結露しやすく水に接している時間が長くなるので、塗膜に微少な欠陥や膜厚が薄かったりした場合、塗膜を浸透した水が介在して異種金属接触腐食を生じることがあるので十分な注意が必要である。A橋の全景を写真-1に、桁端部の劣化事例を写真-2に、溶接ビード周辺の劣化事例を写真-3に、桁下面のステンレスボルト周辺の異種金属接触腐食による劣化事例を写真-4に示す。



写真-1 A橋の全景



写真-2 桁端部の劣化事例



写真-3 溶接ビード周辺の劣化事例

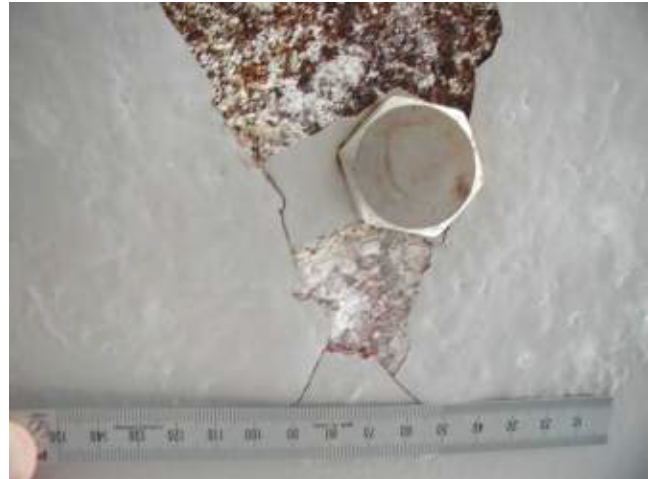


写真-4 異種金属接触腐食による劣化事例

3.2 溶射で再補修された橋梁

B 橋は、1971 年と 1985 年に架設された都市内の鈹桁塗装橋梁で、1999 年に塗装全面を 2 種ケレンではがし、エポキシ樹脂系粗面形成剤を塗付して亜鉛・アルミニウム擬合金溶射し、ブチラル樹脂系で封孔処理が施され再防食された。その後 9 年目に外観目視調査を行った。外桁は、腹板は良好であるが、桁端部や下フランジの一部に溶射皮膜の浮き、われが生じており、鋼材が発さびしている。溶射皮膜の浮きは、鋼素地と粗面形成剤の界面および粗面形成剤と湯皮膜の界面で発生していた。内桁は、全体的に良好に見えるが、漏水により水の影響を受けている部位の溶射皮膜に浮き、はがれが生じており、鋼材の発さびが集中していた。下フランジ下面も水

面が近いこともあり、溶射皮膜に浮き、はがれが生じていた。また、桁端部など部材が近接して現場溶射に必要な空間が確保されなかった部位の溶射皮膜が消耗して鋼材が発さびしていた。

以上のことから、金属溶射を現場施工する際には、結露水や漏水の有無、溶射作業空間が十分確保できるかなど、事前調査を十分に行い金属溶射の防食性を確実に発揮させるようにすることが重要であることが明らかとなった。

B 橋の全景を写真 - 5 に、外桁の腹板の状況を写真 - 6 に、下フランジの劣化状況を写真 - 7 に、内桁の漏水の影響を受けている部位の劣化状況を写真 - 8 に、下フランジ下面の溶射皮膜の状況を写真 - 9 に、桁端部の劣化状況を写真 - 10 に示す。



写真 - 5 B 橋の全景



写真 - 6 外桁の腹板の状況



写真 - 7 下フランジの劣化状況

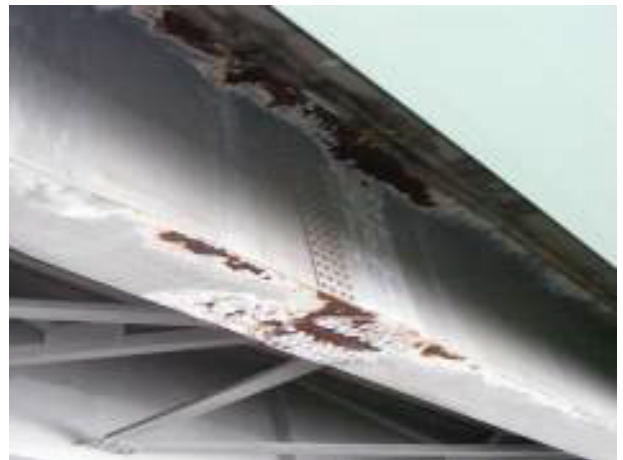


写真 - 8 漏水部の劣化状況



写真 - 9 下フランジ下面の溶射皮膜の劣化状況



写真 - 10 桁端部の劣化状況

4. まとめ

今年度の研究成果は以下の通りである。

- (1) 耐候性鋼材、溶融亜鉛めっき、金属溶射などの防食工が劣化した場合の塗装や金属溶射による補修を行う際の最適な補修時期（劣化程度）の判定、補修時の素地調整程度と補修方法を確立するための暴露試験を開始した。
- (2) 新設時の防食方法に金属溶射を適応した橋梁の調査を行った。その結果、部材端部の打痕傷や溶接ビード周辺、ステンレスボルトとの異種金属接触腐

食などに十分注意する必要があることが明らかとなった。また、塗装橋梁を金属溶射で再防食する際には、漏水や結露水を受ける部位は、封孔処理だけでは、十分な防食性能を得られないので、このような環境の橋梁の再防食に金属溶射を適用する際には、金属溶射に塗装を併用することが望ましいことが明らかとなった。また、現場施工では、溶射作業に必要な空間が確保されない部位の防食法については、別途検討が必要と思われる。

A STUDY ON REPAIR OF STEEL BRIDGE ANTI-CORROSION METHODS

Abstract : In order to clarify the best repair method for deteriorated weathering steel, hot-dip-galvanized steel and thermally sprayed steel with alloys, outdoor exposure test was started at Asagiri where mountain area environment and at Okinawa where severe corrosive environment. The specimens were prepared from deteriorated weathering steel, hot-dip-galvanized steel and thermally sprayed steel with alloys, and repaired with various painting or thermally sprayed with alloys including the combinations of surface preparation methods and degrees. A thermally sprayed bridge with aluminum at its construction ten years ago and a repaired painted bridge with thermally spray with zinc-aluminum pseudoalloys nine years ago were investigated their present corrosive conditions. As a result, the thermally sprayed bridge shows overall excellent conditions, however some deteriorated parts were observed such as corrosion of the steel by the damage with outside hit force, blistering of the spray deposit of the welding bead, and peeling off.

The repaired bridge showed progressed deterioration in the spray deposit at the part such as parts that receive the water leak and the edges of the digit not constructed easily.

Key word: Steel bridge anti-corrosion methods, repairing methods, surface preparation, deterioration examination test, and exposure test