

## 積雪寒冷地における鋼橋の延命化技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 26

担当チーム：寒地構造チーム、寒地技術推進室

研究担当者：西 弘明、今野久志、岡田慎哉、佐藤 京、表 真也  
澤松俊寿、横山博之、中村直久、高玉波夫、宮本修司

### 【要旨】

既設鋼橋の鋼部材の腐食損傷や疲労亀裂が顕在化し、海岸部では飛来塩分、積雪寒冷地では凍結防止剤の影響により耐荷力・耐久性が急激に低下することが危惧される。しかしながら、鋼材の防錆防食対策である塗膜の延命化技術や表面処理を施された耐候性鋼材の外観による健全度評価は研究されておらず、また、機能が低下した場合の健全化対策技術も提案されていない。本研究では、社会資本ストックの一つである鋼橋を適切に維持管理していくために必要な、鋼部材塗膜の延命化技術の開発、表面処理を施した耐候性鋼材の健全度評価法の提案、積雪および寒冷地に適した鋼部材の疲労き裂進展を抑制する工法の開発を目的とする。

鋼部材塗膜の延命化技術については、橋梁洗浄工法の開発を目的として、洗浄除去が可能である表面に付着した物質と塗膜劣化要因との関係について分析した。また、洗浄工に求められる機能を評価するため、プロトタイプの洗浄機器を用いたフィールド実験により工法適用に関する検討を実施した。

表面処理を施した耐候性鋼材の健全度評価法については、目視調査と詳細調査（断面分析、付着物等の調査）による状態評価の比較により健全度評価基準の一般性評価を試みた。

鋼材の疲労き裂の進展抑制工法については、オイルとアルミナ粒子の混合物を適切にき裂に注入する施工技術に着目した実験的検討を実施した。

キーワード：鋼橋、延命化技術、塗装劣化、橋梁洗浄、耐候性鋼材、疲労き裂、疲労き裂進展抑制

### 1. はじめに

厳しい経済状況の下で公共事業の一層のコスト縮減と品質を確保するには、その地域の条件にあった技術を用い、規格を適切に設定することが必要である。供用中の橋梁の多くは高度経済成長期に建設され、建設後数十年を経過していることから、今後維持管理費が急増することは明らかであり、これまで以上に効率的な維持管理が求められる。また、北海道は全国的にみて極めて特殊な気象特性をもつため、土木施設の維持管理を行う場合、積雪寒冷環境下に対応した特有の技術が求められる。

既設鋼橋の鋼部材の腐食損傷や疲労亀裂が顕在化し、海岸部では飛来塩分、積雪寒冷地では凍結防止剤の影響により耐荷力・耐久性が急激に低下することが危惧される。

しかしながら、鋼材の防錆防食対策である塗膜の延命化技術や表面処理を施された耐候性鋼材の外観による健全度評価法は研究されておらず、また、それらの対策技術も提案されていない。本研究では、社会資本

ストックの一つである鋼橋を適切に維持管理していくために必要な、鋼部材塗膜の延命化技術の開発、表面処理を施した耐候性鋼材の健全度評価法の提案、積雪および寒冷地に適した鋼部材の疲労き裂進展を抑制する工法の開発を目的とする。

### 2. 調査研究の手法

#### 2. 1 橋梁洗浄技術の開発

##### 2. 1. 1 洗浄工に求められる機能の検討

鋼部材塗膜の延命化技術の一つとして橋梁洗浄工の要求機能を明確にするため、昨年度までに鋼部材の劣化損傷プロセスを検討した。本年度は、塗膜劣化のメカニズムを既往文献より整理を行い、塗膜延命化の可能性について検討した。また、調査したメカニズムより、外的エネルギーによる影響度を抑制し、塩化物イオンが塗膜劣化促進に与える影響度を確認するため、付着塩分量の異なる供試体を製作し、乾湿繰り返し条件下における劣化促進試験を行った。

## 2. 1. 2 実橋による洗浄工検討と検証

津波の影響を受けた橋梁の桁洗浄前後において、付着物等の塗膜表面調査を実施し、橋梁洗浄の適用性を確認し、実現可能な洗浄性能について現場検証の検討を実施する。

着目した付着物は、塗膜の防食機能が低下した際に母材の劣化損傷を促進させる塩分である。

## 2. 2 耐候性鋼材の外観評価法の提案

### 2. 2. 1 現況調査

昨年度までに妥当性を評価した健全度評価基準暫定案(表-1)を用いて、環境や雰囲気異なる橋梁を対象として外観目視調査を行うとともに、目視評価の精度確認のためサビ及び被膜厚測定、外観写真撮影、コアサンプル採取を実施した。調査部材と試験項目一覧を表-2に示す。

表-1 健全度評価基準暫定案

被膜の外観	正常	A	B	さび・被膜の外観(例)	処理被膜部のさび状況 (% : 1μ程度範囲のさび面積率)			さび厚 <sup>1)</sup> (μm)	
					x	y	z		
正常	A	あきらかなさび・退色なし			A			<400	
	B	あきらかなさび・退色あり			B				
さび部 の外観	正常	5	腐食が進まず、薄いさび			5<x	5<y	5<z	<600
		4	腐蝕で外観平均粒径1mm程度の均一なさび			4<x	4<y	4<z	
	3	腐蝕で外観平均粒径が5mm程度のさび			3<x	3<y	3<z	<1000	
	要観察	2	外観粒径5~20mm程度のうろこ状さび			2<x	2<y		2<z
		1	外観粒径20mm程度以下の小さなこぶ状さび			2<x(b)	2<y(b)		2<z(b)
異常	1	腐状さび			1<x	1<y	1<z	>1000	
		外観粒径20mm程度を超える大きなこぶ状さび			1<x(b)	1<y(b)	1<z(b)		

注) 1. (b)はこぶ状さび(bumpy rust)であることを示す  
2. さび厚は目安としての参考値である。  
3. 被膜の残厚も考慮して、表面処理無しの場合に200μmを加算した。  
4. 正常の判定は、さび発生後の経過期間が9年以上であることを前提とする。

表-2 調査部材と試験項目一覧

橋梁名	A橋		B橋
	A1~P1間	P1上	P1~P2間
調査部位	G3 桁ウェブ	G2 桁ウェブ	G3 桁ウェブ
	(G2 桁側)	(G1 桁側)	(G2 桁側)
表面処理	ウェザーコート	ウェザーアクト	ウェザーコート
コア試験	断面観察 コア断面の光学顕微鏡、および、偏光顕微鏡観察		
さび分析	含有塩分量	採取したさびに含まれる可溶性成分分析	
	X線回折分析	さびを構成している化合物の定性、定量分析	

### 2. 2. 2 損傷ランクに関する検討

目視評価結果と詳細調査結果より比較検討を行い、健全度評価基準暫定案の適用性を検討した。

### 2. 3 鋼部材の疲労き裂の進展遅延に関する技術開発

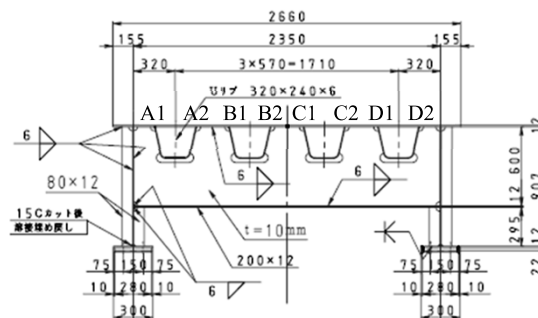
これまでに実施した研究では、微細粒ペースト(オイルとアルミナ粒子の混合物)をき裂に注入することによるくさび効果によって、疲労き裂を抑制出来ることを確認するとともに遅延効果の定量化を行い、疲労き裂対策への有効性を明確にした。しかし、微細粒ペーストの注入が適切になされない場合や雨水の影響をうける部位での効果に課題があった。そこで、施工技

術に関する検討を実施した。

### 2. 3. 1 進展遅延化技術に関する実験的検討

図-1には、試験体の概要を示す。図中A1、A2、～、D2は、溶接線を示している。供試体は鋼床版を再現しており、デッキプレートとUリブ間の溶接部の溶け込み深さは、既設の鋼床版を模擬するために板厚の25%前後とした。

試験装置は輪荷重走行試験装置である。鋼床版上面の溶接線を跨いだ位置に載荷ブロックを配置し、その上部から輪荷重走行を行った。荷重は、溶接線B2を跨いで走行し、溶接線A2に着目した場合をケース1、溶接線C2を跨いで走行し、C1に着目した場合をケース2とした。これは、微細粒ペーストの効果が発現しにくい場合としやすい場合を想定したものである。なお、所定回数を走行するごとに磁粉探傷試験で、き裂長さを計測し、抑制効果を評価した。



2-WEB PL 600×10×2341 (SM400A)  
2-FLG PL 200×12×2341 (SM400A)  
4-V. STIFF PL 80×12×295 (SM400A)  
4-V. STIFF PL 80×12×907 (SM400A)

図-1 鋼床版試験体断面図

## 3. 調査研究の成果

### 3. 1 橋梁洗浄技術の開発

#### 3. 1. 1 洗浄工に求められる機能の検討

鋼部材塗膜の延命化を図ることを目的とした洗浄により、除去できる劣化要因について検討するため、塗膜劣化メカニズムについて検討を実施するとともに、洗浄除去可能な自然由来物質の塗膜劣化促進への影響度について実験的に検討した。

ポリマーを主成分とする塗膜の劣化とは、媒質の存在下で、熱、光、力、電気などの外的エネルギーを受けて変質することである。その内容は塗膜の硬化化による可とう性の低下に伴う割れの発生と、塗膜分子の分解による表面からの消失に区分できる。劣化過程の主なもの、第1に紫外線の光エネルギーによる樹脂、顔料の分解劣化、第2に樹脂の水による加水分解およ

び酸素による酸化、第3に白色顔料における酸化チタンの光触媒作用（光酸化）がある。

塗膜劣化の概念を図-2に示す。塗膜劣化の促進に大きく寄与しているのは、紫外線と考えられる。新設時には、面外に反射している紫外線量は多いが、前述した要因により表面に微細な凹凸が生じ、入射した紫外線の影響を多く受けるようになるに従って、劣化が促進すると考えられる。

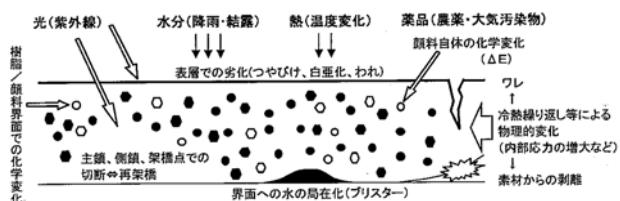


図-2 屋外ばくろによる塗膜劣化の概念図<sup>1)</sup>

次に、塩分の劣化影響度について、実験的に検討を行った結果を示す。試験片の仕様を表-3に示す。試験片は、塗膜の劣化状況によって塩化物イオンによる影響度を確認するために塗膜厚と付着塩分量をパラメータとして、24 ケース分を作成した。実験は、各ケース所定の付着塩分量となるように塩水噴霧機で調整後、JIS H 8502 中性塩水噴霧サイクル試験条件を参考に、12 時間毎に相対湿度 30%と 90%とした乾湿繰り返し試験にて実施した。

劣化促進試験結果の代表例を表-4に示す。塗膜仕様 sp1 では、いずれのケースでも腐食による塗膜損傷はない。sp2 と sp3 は、付着塩分の多いケースで微少な点腐食による塗膜損傷（塗膜剥離）が確認されたが、大きな損傷ではない。sp4 は、母材の腐食により、広範囲で塗膜剥離が生じ、防食機能の低下が発生したが、塗膜劣化とは異なる事象である。

塗膜劣化については、変色や凹凸などの目視と塩分を付着させなかったケースを同一ケースの基本として光沢度や色差を調査した。塩分付着させたケースのみ実施した色差は、基準色(L\* ; 94.82, a\* ; -0.39, b\* ; 3.86)との差を比較する。なお、光沢度は反射率が低かったため、85°のみ示す。色差は、米国標準値を参考にしている。

測定した結果を表-5に示す。sp1 では、c0 と比較して c1, c2 の光沢度が低下しているが、付着塩分量の違いによる差は小さく、色差での色変化の差も小さいことが確認できる。sp2 では、光沢度および色差において、塩分量の多いc2がc1よりも大きく変化している。その他のケースでは、光沢度および色差に有意な差は

ないことから、付着塩分量による劣化影響度は、小さいと想定される。

表-3 試験片の仕様

試験片名	塗膜仕様						実験条件		数量
	仕様名	素地調整	防食下地	下塗	中塗	上塗	条件名	付着塩分量	
sp1c0-1	sp1	○	×	100%	100%	100%	c0	0	1
sp1c1-1							c1	500	1
sp1c2-1							c2	1000	1
sp2c0-1~3	sp2	○	×	100%	100%	0%	c0	0	3
sp2c1-1~3							c1	500	3
sp2c2-1~3							c2	1000	3
sp3c1-1~3	sp3	○	×	100%	100%	50%	c1	500	3
sp3c1-1~3							c2	1000	3
sp4c1-1~3	sp4	○	×	100%	50%	0%	c1	500	3
sp4c2-1~3							c2	1000	3

表-4 劣化促進試験結果の代表例(62日経過後)

仕様名	上塗 塩化ゴム (μm)	中塗 塩化ゴム (μm)	下塗 エポキシ (μm)	変性 エポキシ (μm)	付着塩分量(mg/m <sup>2</sup> )		
					0	500	1000
sp1	30	35	100	-			
sp2	-	35	100	-			
sp3	30	17	-	100			
sp4	-	-	-	100			

表-5 試験後の表面光沢と色

試験体 No.	光沢度	色差(ΔE)	
	85°	基本色 (TP-1)	基準色
sp1c0-1	63.4	-	-
sp1c1-1	49.0	0.41	-
sp1c2-1	43.0	0.42	-
sp2c0(平均)	27.8	-	-
sp2c1(平均)	24.6	0.49	-
sp2c2(平均)	15.7	1.22	-
sp3c1(平均)	55.1	-	25.51
sp3c2(平均)	41.9	-	25.64
sp4c1(平均)	25.8	-	30.07
sp4c2(平均)	22.8	-	30.59

ただし、湿潤時に試験片表面に付着した水蒸気が付着塩分を集積、凝集し、局所的に付着塩分量が高くなっていると想定される試験片が多く確認された。試験終了後、その試験片においては、局所的に塗装面に凸凹が確認でき、塗膜の変質が確認された。詳細分析をしていないため断定は出来ないが、湿潤時には局所的に大きな水滴が繰り返し形成され、加水分解的な作用が発生したものと想定する。

### 3. 1. 2 実橋による洗浄工検討と検証

本年度は、津波を受けても桁に付着している塩分を対象として、スチームと回転ブラシを用いたプロトタイプ洗浄機の洗浄性能に関する確認実験を実施した。対象は、宮城県塩釜市七ヶ浜多賀城線に位置する橋梁で、予備調査を行い塩化物イオン濃度が高い桁を選定した。用いた洗浄機と作業の様子を写真-1に示す。



写真-1 実橋による洗浄性能確認試験  
(左；プロトタイプ洗浄機、右；洗浄作業状況)

通常の洗浄作業は、下フランジ等に堆積した土ぼこり等をほうき等により取り除いた後、洗浄を行なう。洗浄後の排水処理工程は必要無いものの、洗浄面を放置すると塩化物イオン等の表面付着物が再付着するため、窓ふきに用いられる水切りにより集積し、タオルにしみ込ませる。

本調査では、腹版のみの施工で効果確認するため、下フランジ等に堆積した土ぼこりの除去は行なわずに作業をおこなった。対象橋梁の桁高が低く、全面足場であったため、非常に作業環境がよく、試験位置の違いによる作業効率の違いはなかった。

洗浄効果は、光沢度、色差と塩分濃度による表面状態の観察により確認した。表-6にその結果を示す。本調査で着目した塩分量の除去効果は、表-6および図-2に示すように非常に高く、1/30になった箇所も確認できる。これまでの調査からスチームを利用した洗浄は、塗装表面の洗浄効果が高く、本ケースにおいてもその効果を確認することが出来た。

なお、光沢度の回復にばらつきが生じていたのは、

写真-2に示すように塗膜の平坦性が小さいことが影響しているものと考えられる。

## 3. 2 耐候性鋼材の外観評価法の提案

### 3. 2. 1 現況調査

表-1に示す目視評価基準暫定案による外観目視評価の他、表-2に示す試験項目を行った。外観目視評価結果を表-7に、種々の調査のうち、コア断面観察結果を表-8に示す。

表-6 洗浄前後の塗装表面状況測定

計測位置	温度(°C)	光沢度 85°		色差		塩分量(mg/m <sup>2</sup> )		
		前	後	前	後	前	後	
1	2.6	2.3	13.4	61.8	37.60	36.54	583.0	61.4
			23.3	67.2	37.34	36.49	811.0	29.5
			10.2	34.4	37.88	36.55	1006.0	55.4
2	2.0	2.3	19.5	55.2	37.63	37.10	357.0	40.3
			32.2	68.6	37.20	36.67	486.0	27.7
			25.4	40.0	37.27	37.80	831.0	12.0
3	1.6	2.7	32.7	46.3	37.12	36.69	228.0	40.5
			32.6	69.1	37.11	36.66	243.0	32.1
			19.6	33.9	37.66	37.11	475.0	48.2

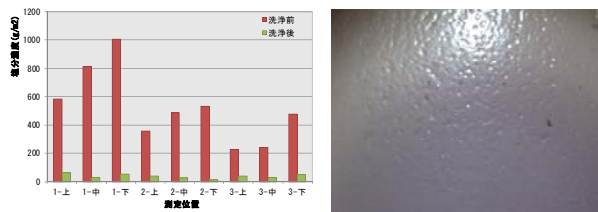


図-2 洗浄前後の塩分量 写真-2 塗装表面

表-7 現地調査結果

橋梁	表面処理	外観写真	さび厚(μm)	RST(Ω)	付着塩分(mg/l)	外観観察	
						状況	評価
A橋	ウエザークリート		49 (広域) 47	19.5 k	140	変退色が少ない皮膜中に、非常に細かなさびが点在している状態。初期膜厚(48μm)からの増加はほとんどなく、皮膜下での腐食進行は非常に遅い状態にある。	5-x
	ウエザークリート		57 (広域) 60	3.15 M	109	皮膜上に細かなさびが均一に発生しており、良好な状態と言える。初期膜厚(29μm)に比べて2倍程度の厚さとなっており、促進処理の影響と思われる。	5-y
B橋	ウエザークリート		180 (広域) 194	261k	752	退色した皮膜中に5mm程度のさびが点在している。さびは軽いこぶ状を呈しており、さび厚も厚く、注意が必要な状態と言える。	2-y(b)

外観目視におけるA橋の結果は、被膜は確認出来ず、さびが薄いことからランクを5とし、その拡がりは狭いためxとの判定をした。A橋の腐食環境は、厳しくない判断しているが、調査対象をはずれた桁端部の

一部に腐食の進行している箇所が確認された。B 橋では、被膜の退色した部分に 5mm 程度のさびが点在し、軽度のこぶ状を呈していたことから、要観察のランク 2 とし、3%以上 30%未満の拡がり と判断し y と判定した。現地調査では、付着塩分が高く飛来塩分等の影響を受けていることも考えられるため、進行を観察する橋梁であると評価した。

コア断面観察における A 橋の結果は、薄いさび層が形成されている。また、水平および垂直方向にクラックが生じているものの、地鉄近傍は非偏光層で薄く覆われていることが確認できた。また、いずれの表面処理においても、処理被膜とさびが混在した層で覆われており、その上にさびが形成されている箇所も確認できる。ただし、地鉄へのさび出現は少なく腐食進行が遅い状態であると思われる。B 橋では、黒褐色の厚い被膜に覆われ、こぶ状のさびが見られる。最表面に厚い表面処理膜があり、地鉄で発達したさび層が被膜を押し上げてこぶを形成していることが確認できた。

### 3. 2. 2 損傷ランクに関する検討

現地調査結果より設定した目視評価による健全度と詳細調査による健全度について、調査箇所別に表-9 に整理する。表に示しているように、調査対象橋梁においては、目視調査結果と詳細調査結果の健全度ランクは合致しており、提案している評価表を用いることで、健全度を設定できることが確認できた。

## 3. 3 鋼部材の疲労き裂の進展遅延に関する技術開発

### 3. 3. 1 耐用性に関する実験的検討

予備载荷により、ケース 1 で 1 本、ケース 2 で 2 本のき裂が発生した。発生したき裂に対して、ペースト無しでの進展確認、従来型のペースト施工後での進展確認、新しい施工後での進展確認を同一き裂で順次対策を行ってその効果を確認するように、き裂先端に着目して、き裂進展速度の変化を測定した。図-3 に結果を示す。図-4 には、新しい施工方法であるペーストの低圧注入工法の概要を示す。ケース 1 では、溶接線直角方向の発生応力が常に圧縮となるため、発生したビード貫通き裂には開口が生じにくく、結果としてペーストがき裂内部に入りにくい。従来のき裂表面にペーストを塗布する方法<sup>2)~5)</sup>を適用した場合には、き裂遅延効果はほぼ確認できなかった。対応策として先端近傍のき裂上に非貫通孔(深さ 7mm)を設け、低圧注入工法によってき裂内に強制注入する方法を採用した。その結果、き裂進展速度が 1/2~1/3 に減速した(図-3(a))。また、試験後には注入したペーストがリブ未溶着側の閉断面内に流出しており、ペーストがき裂内

に浸透していることが確認できた。また、溶接線直角方向に引張応力が発生し、そのため、き裂の開口が生じやすく、ペーストがき裂内に浸透し易いと考えられるケース 2 について、同様に低圧注入工法でペーストを導入した場合では、ペーストの無い場合と比べてき裂の進展速度が平均で 29%にまで低下する結果を得た(図-3(b))。なお、ケース 2 における着目点 2 と 4 については、ペースト注入後の荷重の繰返し数および進展量が少ない状態での記録であったため、同一精度での評価は適切でなかったと推察している。

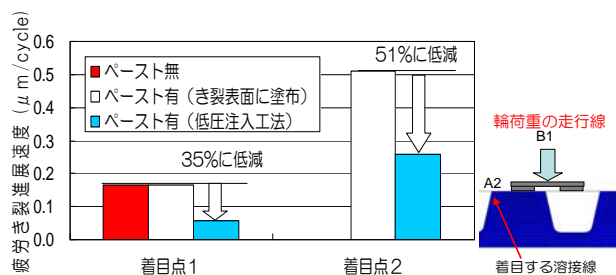
表-8 コア断面の観察結果

橋梁	表面処理	光学顕微鏡観察			偏光顕微鏡観察	さび評点	
		さび、皮膜の状態	さび厚(μm)				
			最大	最小			平均
A 橋	ウエザークリート	表層全体に表面処理皮膜(40~50 μm)が残り、所々に層状のさびが表面処理皮膜上に出現しているが、地鉄全面のさびの出現は少ない。孔食深さは 14~30 μm で、さび層のクラックなどは裸材の表面より小さい。	172	40	72	地鉄上には約 40~50 μm の茶褐色の表面処理皮膜+さび層の偏光層があり、塗膜上に約 100 μm のポーラスな茶褐色なさび層の偏光層がある。	5
	ウエザークリート	表層全体に表面処理皮膜(~55 μm)が残り、所々に層状のさびが表面処理皮膜上や地鉄表面に出現しているが、地鉄全面のさびの出現は少なく、さび層のクラックなども小さい。	133	28	56	地鉄上には約 20~30 μm の黒褐色の表面処理皮膜(非偏光層)と茶褐色のさび(偏光層)が混在しており、地鉄側に黒褐色が多い。	5
B 橋	ウエザークリート	表面は厚い皮膜(400 μm 程度)に覆われ、皮膜上および皮膜下で厚いさびやふくれが発生している。表面処理皮膜+さび層が瘤状に膨らんでいるところ(670 μm)はさび層や皮膜に大きなクラックを生じており、その下の孔食深さは 80 μm 程度でやや大きい。	667	156	289	最上層には厚い黒褐色の非偏光層の表面処理膜があり、地鉄上に発達したさび層が皮膜を押し上げて瘤をつくっている。皮膜上には茶褐色の偏光層が出現している。また、表面処理膜は単層ではなく、複層と推察される。	2

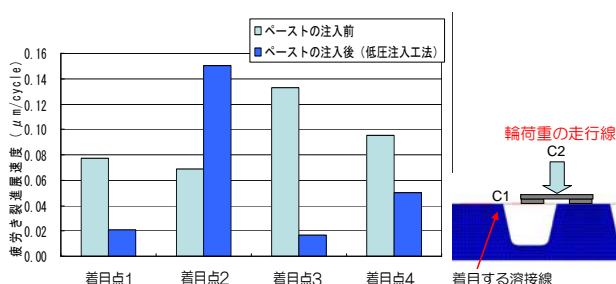
表-9 劣化度評価比較

橋梁	表面処理	詳細調査		原位置調査(目視調査)結果		整合性
		評点	劣化状況	評点	劣化状況	
A 橋	ウエザークリート	5	表層全体に表面処理皮膜(40~50 μm)が残り、所々に層状のさびが表面処理皮膜上に出現しているが、地鉄表面のさびの出現は少ない。腐食があまり進行していない状態と判断できることから評点 5 とした。	5-x	変色が少ない皮膜中に、非常に細かなさびが点在している状態。初期膜厚(48 μm)からの増加はほとんどない。さび・被膜の程度と範囲から評点 5-x とした。	○
	ウエザークリート	5	表層全体に表面処理皮膜(~55 μm)が残り、所々に層状のさびが表面処理皮膜上や地鉄表面に出現しているが、地鉄表面のさびの出現は少ない。腐食があまり進行していない状態と判断できることから評点 5 とした。	5-y	皮膜上に細かなさびが均一に発生しており、さび層は初期膜厚(29 μm)の 2 倍程度である。さび・被膜の程度と範囲から評点 5-y とした。	○
B 橋	ウエザークリート	2	表面は厚い皮膜(400 μm 程度)に覆われ、皮膜上および皮膜下で厚いさびやふくれが発生している。瘤状に膨らんでいるところ(670 μm)はさび層や皮膜に大きなクラックを生じており、その下の孔食深さは 80 μm 程度でやや大きく、評点 2 とした。	2-y(b)	退色した皮膜中に 5mm 弱程度のさびが点在している。さび厚は 180 μm 程度と厚いとは言えない。目視でのさびの大きさや範囲からは評点 3-y であるが、軽いこぶ状を呈していることから、評点 2-y(b) とした。	○

室内試験結果からの評点については、コア断面から評価しており、さびの広がり評価(x、y、z)は確認出来ないため、さび劣化度区分のみの評点とした。

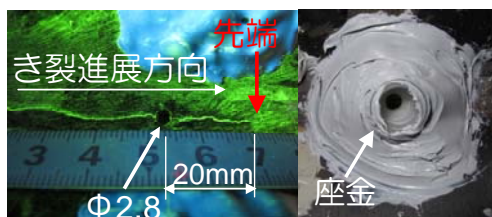


(a) 試験ケース 1



(b) 試験ケース 2

図-3 低圧注入工法による効果



(a) 非貫通孔φ2.8を導入し、シーリング材で座金設置



(b) 座金に低圧注入器具を取付

図-4 ビード貫通き裂に対する微細粒ペーストの施工方法 (低圧注入工法による強制注入)

#### 4. まとめ

##### 4.1 橋梁洗浄技術の開発

塗膜劣化メカニズムの分析より、塩分が塗膜の劣化に大きな影響を与えないことを明確にした。ただし、表面付着物は、塗膜の劣化影響因子である水分を保水するため、局所的劣化を発生させないように除去することは重要である。本検討で提案している洗浄機では、津波を受けた後に残存した塩化物イオンについても、

除去できる性能を有していることをフィールドにて確認できており、局所劣化を抑制するには、十分な対応策と考えられる。また、プロトタイプの機器でもコンパクトであることから、高い作業性も有している。

今後は、局所劣化の抑制によるLCC低減の寄与について検討を行い、洗浄工の効果的な活用を検討する。

##### 4.2 耐候性鋼材の外観評価法の提案

既存の表面処理を施した耐候性鋼の健全度評価基準暫定案について、一般性評価を行った。その結果、暫定案に基づく目視と詳細調査に差違がなく、本調査における暫定案の一般性を確認することができた。

今後は、調査員による差違が最小となり、安定した評価が行えるよう、現地調査を継続し事例収集を行う。また、成果が広く活用されるように、評価基準に合わせた対策手法のとりまとめを実施する。

##### 4.3 鋼部材の疲労き裂の進展遅延に関する技術開発

鋼構造物に発生した疲労き裂の遅延化技術として有効と考えられる微細粒ペーストについて、施工技術に関する実験検討を行った。その結果、輪荷重走行を受けて発生する鋼床版試験体のデッキプレートとUリブ間の溶接部のビード貫通き裂に対して、微細粒ペーストによるき裂進展抑制効果が得られる施工方法を確立し、その効果が確認できた。

今後は、橋梁点検時などに実施する逐次対策工として実施出来るような施工技術の確立と施工手順のとりまとめを実施する。

#### 参考文献

- 1) 松田健：塗膜の耐候性評価、ウェザリング技術研究成果発表会テキスト、55-65(2012)
- 2) 高橋一比古ら：微細粒のくさび効果による疲労き裂進展抑制、日本造船学会論文集、Vol. 184, pp361-367、1998.
- 3) 河本恭平ら：微細粒ペーストを用いた疲労き裂進展の抑制技術の開発、土木学会第65回年次学術講演会講演概要集、pp889-890、2010.
- 4) 河本恭平ら：金属材料の疲労き裂進展速度低下用粒子含有ペースト、および、そのペーストを塗布した金属材料疲労亀裂の進展抑制方法及び検出方法、並びに、それらに用いるペースト、特許第4852163号、2011.
- 5) 佐藤京ら：鋼構造物に発生した疲労き裂の進展遅延化技術の効果定量化に関する検討、土木学会第67回年次学術講演会講演概要集、pp523-524、2012.

## DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF LIFE PROLONGATION OF STEEL BRIDGE IN COLD, SNOWY REGIONS

**Budgeted** : Grants for operating expenses  
General account

**Research Period** : FY2011-2014

**Research Team** : Structure Research Team,  
Cold Region Technology Promotion Division

**Author** : NISHI Hiroaki, KONNO Hisashi  
MITAMURA Hiroshi, SATO Takashi  
SAWAMATSU Toshikazu  
YOKOYAMA Hiroyuki, NAKAMURA Naohisa  
TAKADAMA Namito, MIYAMOTO Syuji

**Abstract:** In steel members of existing steel bridges, corrosion damage and fatigue crack have been discovered, and it is thought that environmental action; chloride ion attack due to airborne salt in seashore regions and antifreeze in snowy, cold regions, causes the reduction of load carrying capacity and durability. However, appearance evaluation method such as prolongation method of life coating film to prevent corrosion of steel members and stabilizing treatment of weathering steel has not been studied. Also, the countermeasure technique against environmental actions has not been proposed. Therefore, this research examines the following 3 matters, each aims to prolong life of steel bridges under snowy, cold regions as ultimate objective.

**Key words:** steel bridge, prolongation of life technology, coating deterioration, weathering steel, fatigue crack, fatigue crack growth brake