

一般04 凍結防止剤の耐候性鋼材への影響に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：耐寒材料チーム

研究担当者：林田 宏

【要旨】

凍結防止剤の耐候性鋼材への影響を明らかにするため、既設の耐候性鋼橋梁を対象として調査、検討を行った。その結果、凍結防止剤が風等により飛来して付着する場合、下フランジなどの特定の部位については、凍結防止剤の散布量や付着量がある程度多い場合、粗いさびを生じる可能性があることが確認された。次に、新設時において桁端部に施工された部分塗装に関しては漏水等が生じていない箇所では著しいさびの発生は見られなかった。また、補修のため部分塗装した耐候性鋼橋梁については、補修後の時間経過は短いものの、外観等は良好であった。さらに、凍結防止剤に対するワッペン暴露試験の適用性について検討を行った結果、2年目の試験片の付着量と腐食減耗量との関係は実橋と同様で、一定の適用性があると考えられるが、100年後の予測腐食減耗量はデータが2カ年のため、精度に問題があり、更なる検証が必要である。

キーワード：耐候性鋼材、凍結防止剤、散布量、付着量、部分塗装、ワッペン試験

1. はじめに

耐候性鋼材の腐食環境を支配する主な因子としては塩分と水分が考えられる。道路橋の場合、塩分として海からの飛来塩分と塩化物系凍結防止剤がある。

また、耐候性鋼材の適用地域については、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編では海からの飛来塩分に対しては0.05mddを超えない地域あるいは海岸線からの距離でその適用地域を定めている¹⁾。また、鋼道路橋塗装・防食便覧では凍結防止剤の塩分に対しては他路線からの飛散の影響を受ける位置や跳ね返りの影響を受ける斜面や山と接近した位置、あるいは、交差橋への適用を避けることを提案している²⁾。しかし、これらの箇所以外については明確な適用基準がない。また、凍結防止剤が耐候性鋼の腐食進行にどの程度影響を及ぼすのか十分には明らかとなっていない。このため、本報告では、凍結防止剤の耐候性鋼材への影響を明らかにするため、北海道における耐候性鋼橋梁について調査を行った結果について報告する。

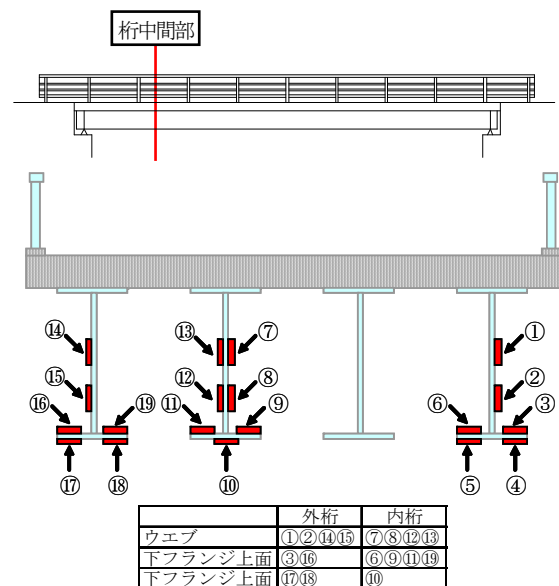


図-1 調査対象部位

表-1 さび外観評点と写真見本²⁾

評点	けた下暴露試験の写真	実橋での例	
		(接写写真)	セロファンテープ試験
5			
4			
3			
2			
1			

←→ 20mm ←→ 10mm ←→ 10mm

2. 凍結防止剤の耐候性鋼材への影響に関する検討

2.1 概要

本章では、凍結防止剤が耐候性鋼材へ与える影響を明らかにすることを主な目的として、凍結防止剤が散布される実橋梁を対象に、付着塩分量やさびの状態に関する調査を行い、凍結防止剤の影響に関する検討を行った結果について報告する。

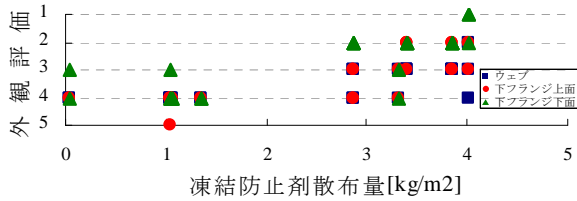


図-2 外観評価と凍結防止剤散布量（外桁）

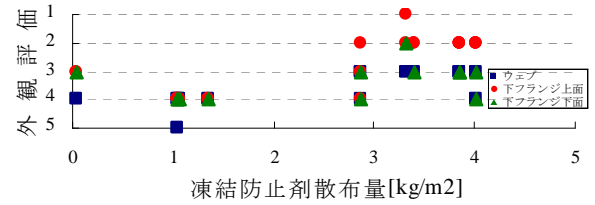


図-3 外観評価と散布塩分量（内桁）

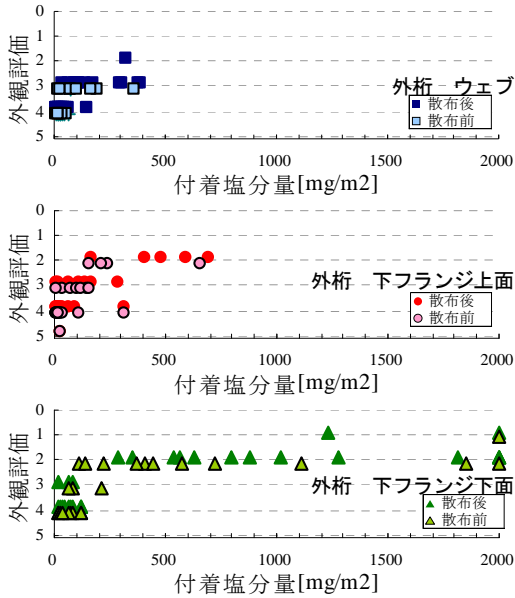


図-4 外観評価と凍結防止剤付着量（外桁）

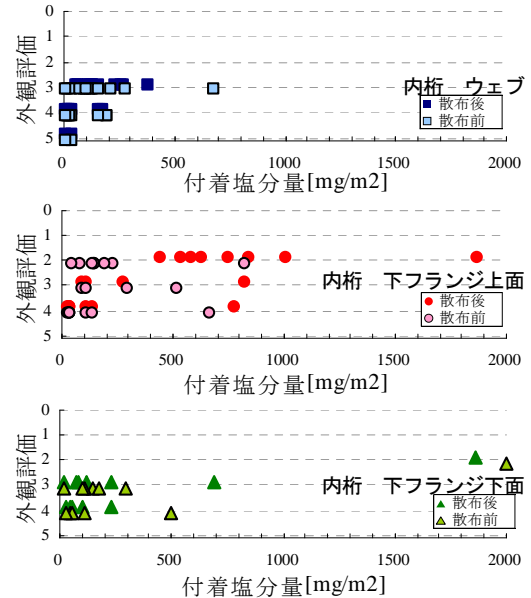


図-5 外観評価と付着塩分量（内桁）

2.2 調査対象橋梁

さび安定化状況の評価は架設後約 10 年程度の点検で行うのがよい³⁾とされていることから、調査は海岸線からの距離が十分に大きく、海からの飛来塩分の影響を受けていないと考えられる、架設後約 10 年程度経過した北海道内の道路橋 15 橋梁を対象として行った。なお、調査橋梁はいずれも鋼桁橋で、耐候性鋼用表面処理が行われていない無塗装仕様の橋梁である。

2.3 調査方法

鋼道路橋塗装・防食便覧では、損傷した伸縮装置や床版のきれつ等から直接、凍結防止剤を含む路面水が飛散・付着した部材や桁端部などでは、層状はくりさびが発生しやすいとしており、既にこれらの部位では、その原因の排除や重防食塗装等の他の方法で防食を施すのがよいとされている²⁾。このため、今回の調査では、上記以外で耐候性鋼橋梁の中で大きな面積を占める部分への凍結防止剤の影響、すなわち、凍結防止剤が風等により飛来して付着する塩分の耐候性鋼材への影響を明らかとするため、凍結防止剤を含む漏水等が生じていない、内・外桁の桁中間部のウェブおよび下フランジの上・下面を対象部位（図-1 の①～⑱）とし

て、以下の調査を行った。

1) 外観観察によるさび評価

近接目視により鋼道路橋塗装・防食便覧の「さび外観評点とさびの状態」および「さび外観評点と写真見本」（表-1）と対比して、さび外観評点の評価を行った。また、補足的に「セロファンテープ試験」²⁾と電磁膜厚計を用いた「さび厚測定」²⁾をあわせて行った。

2) 付着塩分量調査

凍結防止剤の散布直前と散布直後の時期に、表面塩分計を用いて、塩分計の指示値が概ね一定となるまで攪拌した後、付着塩分量の測定を行った²⁾。

2.4 調査結果・考察

図-2、3に外観評価と凍結防止剤散布量（以下、「散布量」という。）の関係を示す。なお、散布量は橋梁上に散布された 1 シーズンの単位面積当たりの散布量である。

これらの結果から、内・外桁ともにばらつきはあるものの、全体的な傾向として散布量が多くなるほど粗いさびが生じてくる傾向となっており、散布量が概ね 3kg/m²程度以上となる場合に、外観評点が 1~2 の状態

が多く生じている。これを部位別に見てみると、外桁では下フランジ下面に、また、内桁では下フランジ上面に外観評点1~2の状態が多く生じている。一方、その他の部位では散布量が比較的多い橋梁でも外観評点は3にとどまっている。

図-4、5に外観評価と付着塩分量（以下、「付着量」という。）の関係を示す。ウェブの付着量は内・外桁ともに概ね400mg/m²程度以下であり、季節変動も少ない。一方、下フランジ上面については、散布前の付着量は400mg/m²程度以下の部分が多いが、散布後は付着量が増加する傾向にある。特に、外観評点2の粗いさびが生じている部分は、散布後の付着量が概ね400mg/m²程度以上である。また、外桁の下フランジ下面でも外観評点1~2の粗いさびが生じているのは、下フランジ上面と同様に付着量が概ね400mg/m²程度以上の部分である。一方、内桁の下フランジ下面は外桁に比べ、付着量が少なく、外観評点も高くなっている。

上記の原因として、外桁下フランジ下面はウェブや下フランジ上面に堆積した塩分が降雨や結露により流れ³⁾、下フランジ下面に回りこんだこと、また、内桁下フランジ上面は車両の通行に伴い飛散してくる塩分が堆積しやすいことなどが考えられる。

また、写真-1は、伸縮装置からの漏水によって生じた層状剥離が発生したものである。凍結防止剤が散布



写真-1 漏水等が生じている桁端の腐食状況

される路面水には多量の塩分が含まれるため、上記のような漏水があると、比較的短期間に腐食が進行するため、注意を要する。

以上のことから、凍結防止剤が風等により飛来して付着する場合、下フランジなどの特定の部位については、凍結防止剤の散布量や付着量がある程度多い場合、粗いさびを生じる可能性があることが確認された。

3. さび安定化補助処理に関する調査、検討

3.1 概要

本章では、さび安定化補助処理の有効性を検証するため、さび安定化補助処理が施された実橋梁を対象として調査、検討を行った結果について報告する。

3.2 調査対象橋梁

架設後約10年程度経過し、さび安定化補助処理を施した北海道内の道路橋5橋梁を対象とした。

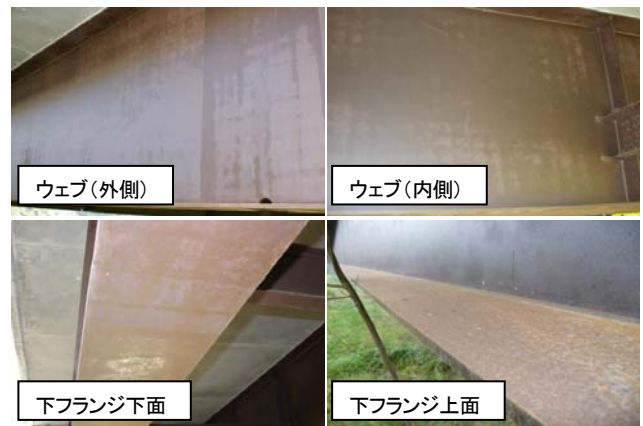


写真-2 さび安定化補助処理を施した耐候性鋼橋梁の劣化状況

表-2 さび安定化補助処理を施した耐候性鋼材の目視による外観評価基準⁴⁾

さび・被膜の外観 (例)			処理被膜部のさび状況 (%: 1m ² 程度範囲のさび面積率) ⁴⁾			さび厚 ^{2,3)} (μm)	
			x	y	z		
被膜の外観	正常	A	被膜にさびが見られない。または、被膜の下や中に僅かなさびが見られる。			A	
		B	被膜にさびが見られない。または、被膜の下や中に僅かなさびが見られる。				
さび部の外観	正常 ⁵⁾	5	あきらかな変・退色なし			A	
		4	あきらかな変・退色あり				
		3	腐食が進まず、薄いさび				
	要観察	4	微細で外観平均粒径1mm程度の均一なさび	5-x	5-y	5-z	<400
		3	微細で外観平均粒径が5mm程度のさび	4-x	4-y	4-z	
		2	外観粒径5~25mm程度のうろこ状さび	3-x	3-y	3-z	
異常	1	外観粒径25mm程度以下の小さなこぶ状さび ¹⁾	2-x	2-y	2-z	<1000	
		層状さび	2-x(b)	2-y(b)	2-z(b)		
		外観直径25mm程度を超える大きなこぶ状さび ¹⁾	1-x	1-y	1-z	>1000	
			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. 被膜の残留も考慮して、裸使用の目安に200μmを加算した。
 4. 被膜が無くなり全面がさびに置換した後は、裸使用の基準にて評価し、1~5の評点で記述する。
 5. 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。



写真-3 漏水等が生じていない箇所の塗膜の状況



写真-4 漏水等が生じている箇所の塗膜の状況

3.3 調査方法

調査は無塗装仕様の耐候性鋼橋梁と同様に①外観観察によるさび評価と②付着塩分量調査を行った。なお、外観評価に当たっては、さび安定化補助処理を施した耐候性鋼材の目視による外観評価基準を用いた(表-2)。



写真-5 補修前の状況

3.4 調査結果・考察

調査の結果、外観評価は「4-z」から「A」であり、また、安定化処理皮膜の大部分が残存しており、対策が必要な異常さびは確認できなかった(写真-2)。

以上のことから、対策が必要な異常さびは確認できず、一定の効果があつたと考えられる。しかし、今回の対象橋梁は架設後約10年程度であるため、安定化処理皮膜の大部分が残存しており、今後も追跡調査等が必要である。

表-3 補修塗装仕様

	規格	膜厚(μm)
素地調整	1種	-
下塗り	有機ジンクリッチペイント	75
下塗り	変性エポキシ樹脂塗料下塗	60
下塗り	変性エポキシ樹脂塗料下塗	60
中塗り	ポリウレタン樹脂塗料中塗	30
上塗り	ポリウレタン樹脂塗料上塗	25

4. 部分塗装に関する調査、検討

4.1 概要

本章では、新設時および補修時の部分塗装の有効性を検証するため、部分塗装が施された実橋梁を対象として調査、検討を行った結果について報告する。

4.2 新設時の部分塗装に関する調査、検討

1章で調査を行った無塗装仕様の耐候性鋼橋梁では、橋体端部のみ内面用D塗装系と見られる塗装を施している橋梁があつた。ここでは、それら塗装箇所の状況について報告する。

調査を行った橋梁はいずれも架設から13年程度経過していたが、漏水等が生じていない箇所では写真-3に示すように著しいさびの発生は見られなかったが、漏水が生じていた箇所では写真-4に示すように全面に点さびの発生が見られた。

4.3 補修時の部分塗装に関する調査、検討

耐候性鋼橋梁に層状剥離さび等が発生し、補修塗装した場合の効果の確認は十分に行われていない。そこで、本研究では、補修塗装した耐候性鋼橋梁の調査を行い、効果の検証を行った。

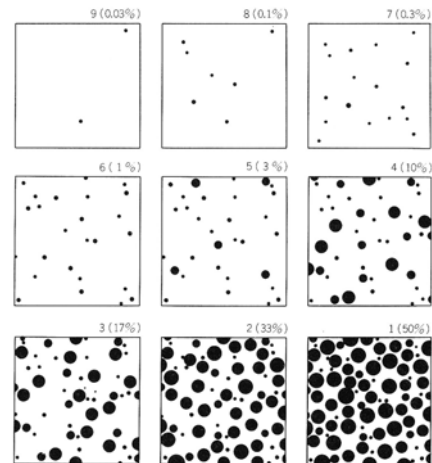


図-6 ASTM/SSPC さび判定標準図⁵⁾



写真-6 補修後の状況(6年経過後)

(1) 調査対象橋梁

調査対象橋梁は写真-5 に示すように凍結防止剤等により層状剥離さび等が発生していた橋梁を平成 15 年度に補修塗装した橋梁である。なお、塗装仕様を表-3 に示す。

(2) 調査方法

「ASTM/SSPC さび判定標準図」(図-6) と目視対比し、部位毎にさび発生率を求めた。なお、部位毎のさび発生率は、その部位の中で平均的な箇所を判定を行った。

(3) 調査結果・考察

調査の結果、外観評価は全て「0」であり、さびは認められなかった(写真-6)。

以上のことから、部分塗装の有効性が確認されたが、補修後の時間経過が 6 年程度と短いことから、長期的な効果の検証のため、今後も追跡調査等が必要である。

5. 安定さび形成の早期判定手法に関する検討

5.1 概要

さび安定化状況の評価は架設後約 10 年程度で行うのがよいとされている。しかし、仮にさびが安定化していなかった場合、固着した不安定さびの除去等に多大な補修費用が生じる。そこで、早期にさび安定化状況の評価が可能となれば、補修費用の縮減につながる。

この研究では、ワッペン暴露試験が凍結防止剤の耐候性鋼材に与える影響を的確に評価できるか検討を行うものである。ここで、ワッペン暴露試験とは、小型薄手の試験片を構造部材に直接両面粘着テープで貼付ける簡便な暴露試験方法で、高精度さび除去法をあわせて適用することにより、短期間暴露での比較的少ないレベルの鋼材腐食量を精度良く捉えられるとされているものである。

5.2 試験対象橋梁、部位

調査対象橋梁は、凍結防止剤散布量や劣化度の異なる 2 橋の内桁のウェブおよび下フランジの上・下面を対象部位とした。

5.3 試験方法

ワッペン暴露試験片は前述の部位に写真-7 に示すように直接貼り付け、1年、2年、X年後に回収して試験片の腐食量を測定する。その結果について下式⁴⁾を用いて100年後の長期腐食量を予測し、実橋での評価結果と比べて、ワッペン暴露試験の適用性を評価する。

$$Y = A \cdot X^B \quad (1)$$

ここに、Y: 予測腐食減耗量, X: 年数, A, B: 腐食

速度パラメータ

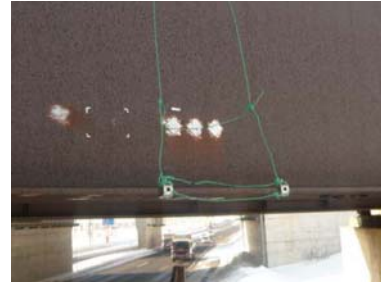


写真-7 ワッペン暴露試験片設置状況

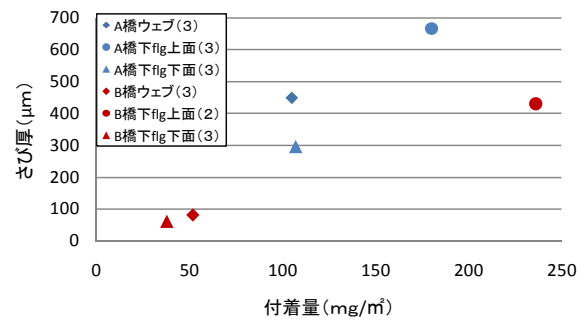


図-7 実橋の付着量とさび厚との関係

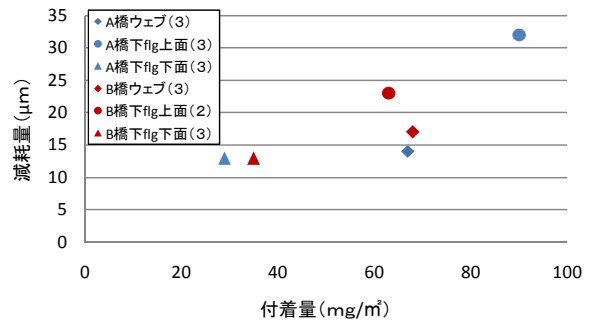


図-8 試験片の付着量と腐食減耗量(2年目)との関係

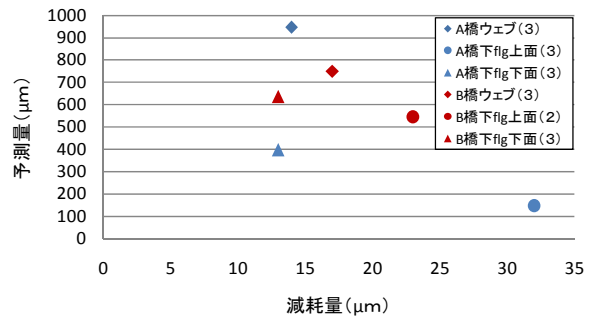


図-9 腐食減耗量(2年目)と予測腐食減耗量との関係

5.4 試験結果・考察

ワッペン暴露試験片設置箇所の実橋の付着塩分量とさび厚との関係を図-7に示す。なお、凡例中に示すカッコ書き中の数字は外観評点であり、B橋下フランジ上面のみ2と低くなっている。この図から付着量とさび厚は概ね比例しているが、B橋下フランジ上面のさび厚が小さくなっているのは、さびの脱落が生じた可能性が考えられる。

2年目のワッペン暴露試験片の付着塩分量と腐食減耗量（以下、「減耗量」）との関係を図-8に示す。実橋と同様に付着量と減耗量は概ね比例している。しかし、実橋での外観評価が低いB橋下フランジ上面については付着量、減耗量ともに若干低めになっている。これは、実橋の場合、ウェブに堆積した塩分が結露により流れ、下フランジ上面に蓄積されるが、ワッペン暴露試験片の場合、粘着テープで鋼材面に設置されるため、この蓄積がないことが原因と考えられる。

2年目のワッペン暴露試験片の腐食減耗量と100年後の予測腐食減耗量（以下、「予測量」）の関係を図-9に示す。この図から、予測量は2年目の減耗量とは逆比例の傾向にある。例えば、下フランジ上面については2年目の減耗量は比較的大きいが、予測量は小さくなっており、ウェブは逆の傾向を示している。今回の予測は1年、2年と有効データが2点のため、精度に問題があったものと考えられる。従って、X年のデータを使って、ワッペン暴露試験の適用性についてさらに検証していく必要がある。

以上のことから、2年目のワッペン暴露試験片の塩分付着量と腐食減耗量との関係は実橋と同様であり、一定の適用性があると考えられる。しかし、100年後の予測腐食減耗量は実橋と同様の傾向とはならなかった。今回はデータが2カ年のため、精度に問題があったものと考えられる。従って、追跡調査により更なる検証が必要である。

6. 凍結防止剤散布状況に応じた耐候性鋼材の維持管理手法の検討

これまでの検討結果から、凍結防止剤の散布量がある程度多い場合、外観評点1~2のような粗いさびが生じる可能性があることが分かった。ただし、その範囲は下フランジなどに限られている。そこで、安定さびが形成されなかった場合の補修費用を縮減するため、凍結防止剤の散布量がある程度多い場合、下フランジなど腐食環境が厳しいと想定される部位については、一定期間の追跡調査による予測腐食減耗量の検証は必

要であるが、ワッペン暴露試験を用いるなどして、早期に安定さび形成の判定を行うことが望ましい。

また、安定さびが形成されなかった場合や桁端部など安定さびの形成が困難であることが予想される場合については、長期的な効果の確認は必要であるが、部分塗替えなど他の防食方法による補修の検討を行うことが望ましい。

さらに、凍結防止剤が散布される路面水には多量の塩分が含まれるため、伸縮装置の不具合等による漏水があると、比較的短期間に腐食が進行し、層状剥離を生じる。これは桁端部に部分塗装を施している場合においても同様に、腐食が急激に進行する。このため、漏水等が考えられる伸縮装置や床版のひび割れ箇所などは重点的に点検を行い、漏水が発見された場合には、原因を除去するなどの対応を速やかに行う必要がある。

7. まとめ

凍結防止剤の耐候性鋼材への影響に関して検討を行った結果、以下のような知見が得られた。

- (1) 架設後約10年程度経過した無塗装仕様の耐候性鋼橋梁を対象とした外観観察等の調査の結果、凍結防止剤が風等により飛来して付着する場合、下フランジなどの特定の部位については、凍結防止剤の散布量や付着量がある程度多い場合、粗いさびを生じる可能性があることが確認された。
- (2) 架設後約10年程度経過し、さび安定化補助処理を施した耐候性鋼橋梁を対象とした外観観察等の調査の結果、外観評価は対策が必要な異常さびは確認できなかった。また、安定化処理皮膜が残存しているものもあったが、安定化処理皮膜は、長期的には風化・消失するので、凍結防止剤の影響を明らかにするため、今後も追跡調査等が必要である。
- (3) 新設時において桁端部に施工された部分塗装に関して調査を行った結果、漏水等が生じていない箇所では著しいさびの発生は見られなかったが、漏水が生じていた箇所では全面に点さびの発生が見られた。
- (4) 耐候性鋼橋梁に層状剥離さび等が発生し、補修塗装した耐候性鋼橋梁の調査を行った結果、外観は良好で、さびは認められなかった。しかし、補修後の時間経過が6年程度と短いことから、長期的な効果の検証のため、今後も追跡調査等が必要である。
- (5) 凍結防止剤に対するワッペン暴露試験の適用性

について検討を行った結果、2年目のワッペン暴露試験片の塩分付着量と腐食減耗量との関係は実橋と同様であり、一定の適用性があると考えられる。しかし、100年後の予測腐食減耗量は実橋と同様の傾向とはならなかった。今回はデータが2カ年のため、精度に問題があったものと考えられる。従って、追跡調査により更なる検証が必要である。

- (6) 以上のことから、凍結防止剤の散布量や付着量がある程度多い場合、粗いさびを生じる下フランジなどの特定の部位については、一定期間の追跡調査による予測腐食減耗量の検証は必要であるが、ワッペン暴露試験を用いるなどして、早期に安定さび形成の判定を行う方法と安定さびが形成されなかった場合は部分塗装を実施するなどの維持管理手法の提案を行った。

参考文献

- 1) 道路橋示方書・同解説 II鋼橋編、pp.183、日本道路協会、平成14年3月
- 2) 鋼道路橋塗装・防食便覧、日本道路協会、平成17年12月
- 3) 武邊勝道・松崎靖彦・大屋誠・安食正太・古川貴士・麻生稔彦：「耐候性鋼橋梁の表面状態と付着塩類量の関係」、土木学会論文集 Vol.63、No.2、pp.179、2007.5
- 4) 耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術、日本鋼構造協会、平成18年10月
- 5) 塗装技術者のための鋼橋塗装の知識、山海堂、1978年8月