

## (2) 耐候性鋼橋梁におけるワッペン式暴露試験を用いた適用性評価手法

製作小委員会 無塗装部会  
杉山幸一 上田博士

### 1. はじめに

鋼橋の寿命を支配する要因のひとつに腐食が挙げられる。防食技術のひとつとして耐候性鋼材を用いる方法があり、塗装を必要としない橋梁である。

耐候性鋼材とは、保護性さびを生成することで、腐食による板厚減少速度が工学的に十分に小さくなる鋼材であり、これを使用した鋼橋はミニマムメンテナンスとなり得る。ただし、湿潤状態が長く続く環境や飛来塩分の多い環境では保護性さびが生成しないため、湿潤状態を避けるための構造細目に配慮する必要があり、場合によっては、部分塗装することも必要である。

多くの耐候性鋼橋梁で概ね良好なさび状態となっているものの、必ずしも期待通りの防食性能を発揮していない橋梁もあり、これらの問題に関して、(独)土木研究所、(社)日本鉄鋼連盟、(社)日本橋梁建設協会の三者が共同で「耐候性鋼材の橋梁への適用に関する研究」が行われた。三者共同研究では、耐候性鋼材適用可否の判定は、飛来塩分量によって判定する方法が提示された。一方、近年の研究では、ぬれ時間や気温なども考慮に入れて腐食減耗量を推定する方法や、また簡易な現地試験などが提案、報告されている。

図-1に耐候性鋼橋梁の国内建設量の推移を示す。近年は、耐候性鋼用表面処理剤やニッケル系高耐候性鋼材が使用されている。耐候性鋼用表面処理剤と裸使用の割合を図-2に示す。なお、表面処理剤を用いた橋梁は、無塗装橋梁に分類される。

ここでは、飛来塩分量による評価方法に比べ簡便で精度の良い適用性評価手法について報告する。

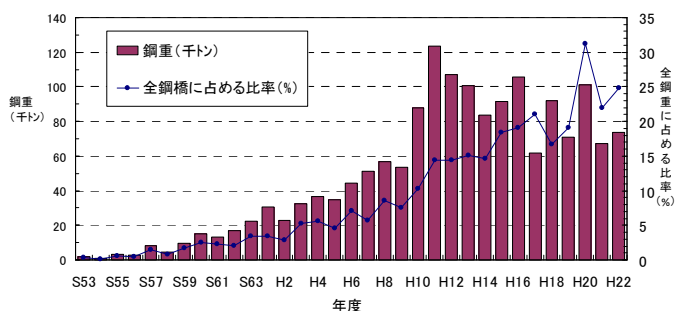


図-1 耐候性鋼橋梁の建設量

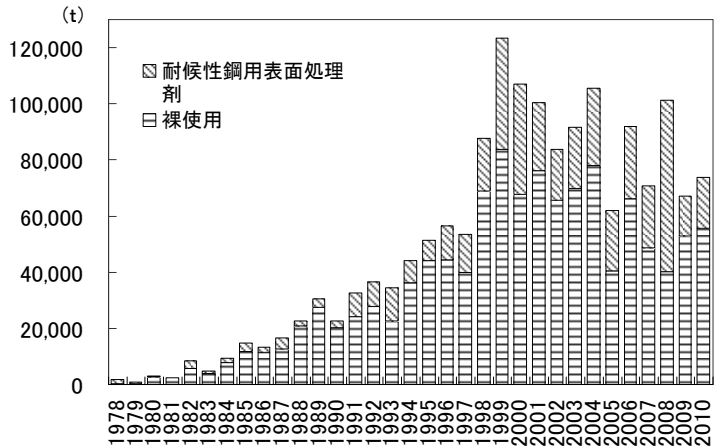


図-2 無塗装橋梁の表面処理剤と裸使用の割合

### 2. 耐候性鋼材の概要

#### 2.1 耐候性鋼材の特性を生かした防食法

耐候性鋼材の特性を生かした防食法の基本的な考え方は以下の通りである。

耐候性鋼材は、適切な使用条件が備われば鋼材表面に安定した緻密なさび層が生成され、このさび層(保護性さび)が大気中の水分や酸素の進入を防止して、以降の腐食進行速度を抑制する。

耐候性鋼材はミニマムメンテナンスとは言え、時間の経過とともに腐食は確実に進行し、腐食速度は減少するものの完全にゼロとはならない。また、鋼材の腐食の進行速度を制御するには、供用後の鋼材腐食減耗量を制御することが重要となり、この制御は、耐候性橋梁の計画、設計、製作、架設および維持管理の段階で必要となる。

#### 2.2 保護性さびの生成を支配する要因

保護性さびの生成により腐食の進行を制御する耐候性鋼材であるが、保護性さびの生成を支配する影響要因について、すなわち、架橋地点の環境(飛来塩分の条件、供用後の凍結防止剤の散布条件、桁下の条件、隣接する橋や地山との位置関係)、鋼材の耐候性能、橋梁の細部構造について十分な検討が必要である。

代表的な環境区分と因子は表-1の通りである。

表一 環境因子と環境区分

環境区分	影響範囲	環境因子			
		飛来塩分 (海塩粒子)	凍結防止剤	湿度 (鋼表面水分)	気温 (鋼表面温度)
地域環境		飛来塩分量	散布量、交通量	年平均湿度	年平均気温
地形環境	橋梁全体	桁下空間高、河川に沿った飛来塩分の遡上の有無	並列橋との位置関係	桁下空間高、河川水量	年平均気温
局部環境	各部位	桁と近接する地山の位置関係、護岸や橋台との位置関係			
アクシデント		泥や塵の堆積、床版、伸縮装置、排水管の劣化・破損による漏水			

地域環境：架橋地点を代表し橋梁全体に影響する環境

地形環境：地形や橋の位置関係により作られる環境

局部環境：部位・部材の局部的な狭い範囲の環境

これらの影響因子については、計画、予備設計段階から認識しておく必要があり、認識を誤れば腐食速

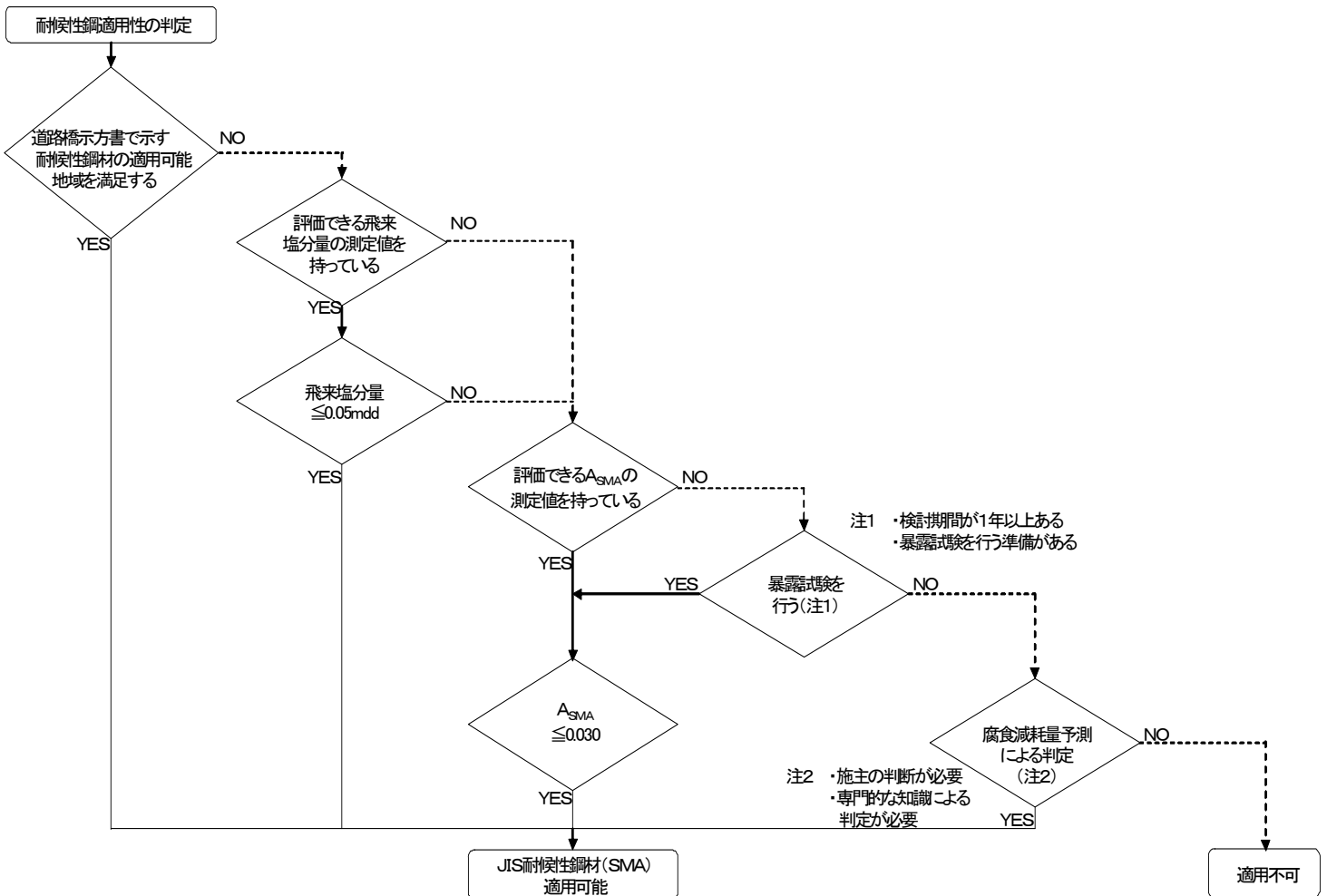
度を加速させる要因ともなりかねない。3章ではその適用性の判定について述べる。

### 3. 適用性判定要領

#### 3.1 適用性判定について

耐候性鋼材表面に保護性さび層が生成され、以降の腐食進行速度を抑制する。これには、腐食環境が良好であることを確認する適用性の検討が必要となり、架橋地点の環境条件や鋼材の耐候性能により判定することとなる。

具体的には、道路橋示方書で示す耐候性鋼材の適用地域、飛来塩分量の測定値、 $A_{SMA}$  値（JIS耐候性鋼材の初年度腐食減耗量）、暴露試験の実施、各因子から計算で求める腐食減耗量予測、ニッケル系高耐候性鋼材の適用検討、凍結防止剤散布の影響、架橋位置の地形などから図一3の適用判定フローチャートにより判定を行う。



図一3 適用判定のフローチャート

### 3. 2 耐候性鋼材の適用環境評価方法の概要

適用環境評価方法としては、表-2に示す3種類がある。

表-2 評価方法の分類

評価方法の分類		評価指標	所要期間	期待される精度
飛来塩分量の測定		飛来塩分量	≥1年 (1ヶ月毎)	△
従来の暴露試験	橋梁模型	腐食減耗量	≥3年	△
	小型試験片	腐食減耗量	≥3年	○
新しい暴露試験	ワッペン式	局部環境腐食性指標	≥1年	○

#### (1) 飛来塩分量を判定指標とする方法

飛来塩分量を耐候性鋼材の適用性判定指標として用いる方法。

#### (2) 従来の暴露試験による方法

適用環境条件を反映した鋼材の暴露試験で得られる経年にもなう腐食減耗量のデータに基づき適否の判定を行う方法。

#### (3) 新しい暴露試験による方法

環境因子データをもとに平均腐食減耗量を計算により予測する技術を用いて適否の判定を行う方法。なかでも、従来の飛来塩分量による評価方法に比べ簡便で精度の良い評価方法としてワッペン式暴露試験を用いた手法の可能性が示されている。

いずれの方法も腐食量の経年予測式を使用するためには、腐食速度パラメーターを回帰的に決定する必要があり、複数年の暴露試験を行う必要があった。このため、計画検討の時間的余裕がない場合には、本試験法では実質的に適用できないことも多かった。

また、実橋梁では、部位ごとに雨かかりや塩分の付着状況に違いがあるため、腐食の進行状態に差が生じ、評価することができなかった。

これに対し、新しい暴露試験による方法は、近年明らかにされてきた腐食速度パラメーター間に認められる相関関係を利用することにより、1年間の暴露試験データから適用可否判定が可能である。また、実橋の様々な部位に試験片を貼り付けることが可能であり、部位ごとの腐食減耗量評価が可能である。

4章では、その適用性評価手法の1つであるワッペン式暴露試験について詳細に述べる。

### 4. ワッペン式暴露試験

近年では、耐候性鋼橋梁の耐久性に大きく影響する腐食減耗量の調査として、短期間で簡便かつ高精度に予測できる「ワッペン式暴露試験」が適用され始めている。ここでは、このワッペン式暴露試験の方法や評価方法について報告する。

#### 4. 1 暴露試験方法について

ワッペン式暴露試験は、建設予定地もしくは管理対象橋梁においてワッペン試験片を用いた暴露試験であり、一定期間経過後の腐食量から鋼材腐食減耗量を算出するものである。

暴露試験方法には、実橋ワッペン試験と架台ワッペン試験がある(写真-1, 写真-2)。近くに既設橋梁や管理対象橋梁がある場合は、直接ワッペンを貼る実橋ワッペン試験を適用する。既設橋梁が無い場合や実橋に直接貼れない場合は、百葉箱や円筒形暴露容器を使用し内部にワッペンを設置する架台ワッペン試験を適用する。

なお、ワッペンの形状は、厚さが1.5~3mmで40~70mmの正方形とし、暴露期間は原則1年以上としている。ワッペン試験片の形状寸法を図-4に示す。

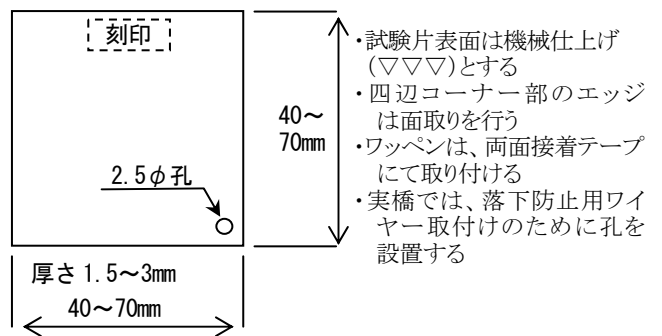


図-4 ワッペン試験片形状寸法と仕様

暴露試験片から腐食減耗量を求めるまでの流れは以下のとおりである。

1. 試験前に試験片の質量計測
2. 暴露試験
3. 試験片回収
4. 試験後に試験片の質量計測
5. 腐食減耗量算出

$$\text{腐食量 (g/m}^2\text{)} = \frac{\text{試験前後の質量差 (g)}}{\text{ワッペン試験片暴露面積 (m}^2\text{)}}$$

$$\text{腐食減耗量 } A_w \text{ (mm)} = \frac{\text{腐食量 (g/m}^2\text{)}}{\text{鋼材の密度 (g/m}^3\text{)}} \times 10^{-3}$$



写真-1 実橋ワッペン試験状況

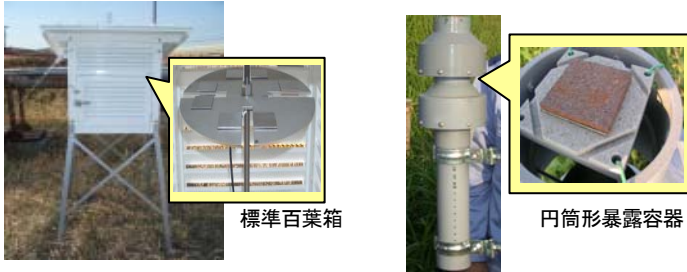


写真-2 架台ワッペン試験状況

#### 4. 2 耐候性鋼橋梁の適用評価

三者共同研究(三者は第1章で紹介)では、全国41橋について、1981年(昭和56年)から1990年(平成2年)の9年間暴露試験を行った。

試験結果を使って、うろこ状剥離さびや層状剥離さびが生じない腐食減耗量の経年変化を整理している。これは、飛来塩分量が0.05mdd以下の環境における腐食減耗量の変化を予測曲線で表したもので、50年間で0.3mm以下の環境が、100年間で0.5mm以下に相当すると考えて問題の無い条件とした。そして、この条件は、初年度の腐食減耗量 0.03mm以下に相当している(図-5参照)。

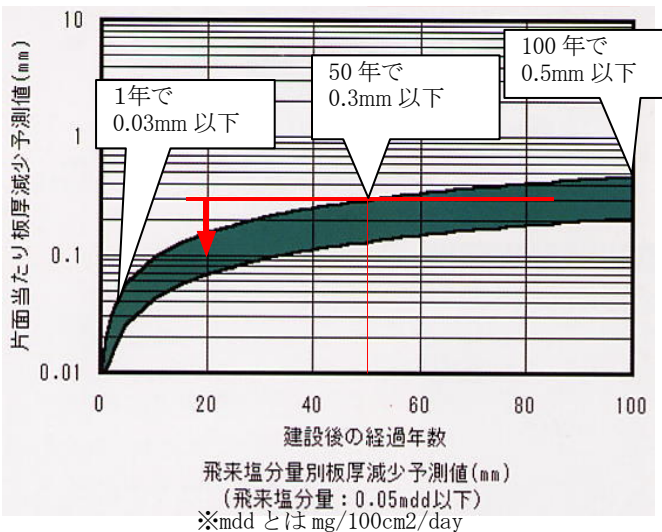


図-5 腐食減耗速度論のモデル化

建設予定地における耐候性鋼橋梁の適用性評価や管理対象橋梁の健全度評価は、前項4.1で求めた1年暴露腐食減耗量 $A_{\#}$ に、ワッペンの貼り付け部位

の環境の違いを補正した局部環境腐食性指標 $A_{SMA}$ が、0.03mmを超えるか否かで判断することとした( $A_{SMA}$ が0.03mm以下であれば適用可能)。

#### 4. 3 現地環境調査で得られた知見と今後の課題

日本鋼構造協会に設置した耐候性鋼橋梁部会では、以下の目的で気象変動影響評価のための暴露試験等の現地環境調査を実施している。調査場所を図-6に示す。

- ①  $A_{SMA}$ と長期のさび状態との関係明確化に資するデータ収集
- ② 現地暴露架台の標準化・簡易化方案評価のデータ収集
- ③ 評価対象部位(代表部位)の妥当性検証のデータ収集
- ④ 代表部位と暴露位置との腐食性比較のデータ収集
- ⑤ 気象変動影響に関するデータ収集

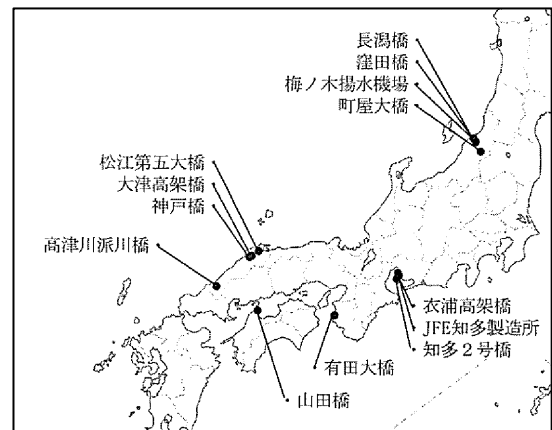


図-6 現地環境調査の場所

現地環境調査で得られた知見は以下のとおりである。

- ・橋の腐食環境評価の代表部位は、支間部の中桁の下フランジであり、上下面の平均値で評価する
- ・架台ワッペン式試験に使用する「標準百葉箱」「小型百葉箱」「円筒形暴露容器」は概ね同等の結果が得られる
- ・暴露容器設置位置と実橋梁位置の間の補正(フィールド補正係数 $f$ )、橋梁代表部位と橋梁各部位の間の補正(部位別補正係数 $p_i$ )、気象変動の影響を考慮した補正(経年変動係数 $m$ )を用いて関係式で表す枠組みが完成した(図-7参照)。

なお、ワッペン式暴露試験における実橋梁での適用性に関する調査事例はまだ少なく、今後の課題は以下のとおりである。

- ・より厳しい環境条件での性能評価を行うとともに、評価方法を改良していく必要がある
- ・フィールド補正係数設定にかかわる支配因子の解明と定量化の精度を高める必要がある
- ・経年変動係数の設定方法の研究とデータをさらに蓄積することで精度を高める必要がある
- ・様々な現地条件にも対応できるような暴露容器の小型化、簡易化方案のさらなる開発が望まれる

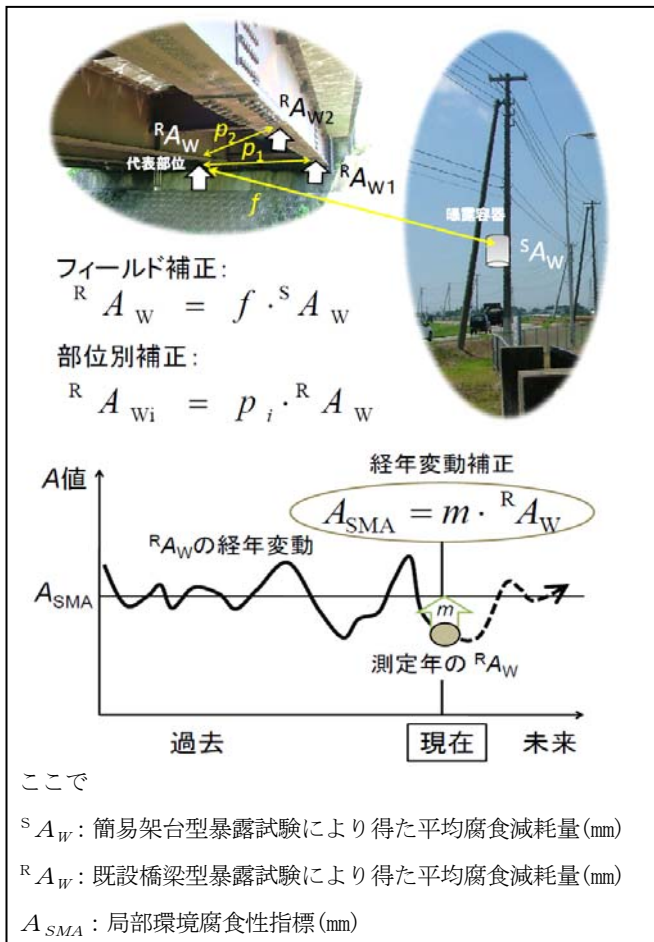


図-7 各補正係数  $f, p_i, m$  を使用した  $A_{SMA}$  の算出

### 5. さびサンプルを用いた点検

供用中の耐候性鋼橋梁は、さび外観を評価することで健全度の評価ができる。本部会では、外観評価の個人差を回避するために、さびサンプルを作成し調査に使用している。サンプルは、軽くて丈夫なビニール樹脂で製作しており、さびの質感を忠実に再現している(写真-3、写真-4参照)。



写真-3 さびサンプル (10cm×10cm)



写真-4 さびサンプル使用例

表-3 さび外観評価の例

状態	評点	目視外観	さび厚
正常	5	腐食が進まず、さびも薄い	200 $\mu$ m程度未満
	4	平均外観粒径 1mm程度以下で均一なさび	400 $\mu$ m程度未満
	3	平均外観粒径 1～5mm程度のさび	
要観察	2	外観粒径5～25mm程度のうろこ状剥離があるさび	400 $\mu$ m程度以上 800 $\mu$ m程度未満
異常	1	層状剥離がおきているさび	800 $\mu$ m程度以上

さび外観評価は、表-3のとおり5段階で評価し、評点が低いほど状態は悪くなる。評点1および2の状態は、要観察および異常と判断し、追跡調査もしくは補修工事を行う。

### 6. おわりに

耐候性鋼橋梁は、他の防錆防食橋梁に比べてライフサイクルコストを抑えることができる。また、塗装部位が少なくCo2排出量の削減に寄与するため、地球環境にもやさしい。

耐候性鋼橋梁の適用可否の条件は、先に述べたとおり腐食減耗量を目標値以下にすることで、供用後100年間は耐荷力性能に影響を与えないことが前提となる。このことから、短期間で簡便かつ高精度に腐食減耗量が予測できる「ワッペン式暴露試験」とこれを用いた適用性評価の普及と浸透を期待する。

無塗装部会では、毎年実橋調査を行っており、架橋地点の環境とさび形態・さび性状の関係および不具合箇所の補修方法に関する情報の蓄積に努めている。今後も安心して耐候性鋼橋梁を使っていただけるよう、これらの情報を提供していく所存である。

#### 【参考文献】

- (社) 日本道路協会：鋼道路橋塗装・防食便覧 (2005.12)
- 日本鋼構造協会、鋼橋性能向上委員会、耐候性鋼橋梁部会：耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術(JSSCテクニカルレポートNo73) (2006.10)
- 日本鋼構造協会、鋼橋性能向上委員会、耐候性鋼橋梁部会：耐候性鋼橋梁の適用性評価と防食予防保全(JSSCテクニカルレポートNo86) (2009.9)
- (社) 日本橋梁建設協会：無塗装橋梁の手引き (2007.8)