

山陰地域における耐候性鋼橋梁の腐食環境評価



所属名：松江工業高等専門学校
発表者：大屋 誠

1. はじめに

鋼橋において維持管理コストの少ない構造物の実現が求められており、その目的を実現する材料としてJIS 耐候性鋼材や耐塩分特性を高めたニッケル系高耐候性鋼材が注目されている。耐候性鋼橋梁は、耐候性鋼の特性を正しく理解し、適切な環境で使用することにより、維持管理コストの少ない橋梁を実現することができる^[1]。

実務において耐候性鋼材の現地適用性を評価する手法として、飛来塩分量を判定指標とする間接的な方法が用いられてきた。近年、道路橋示方書に示される規定^[2]より厳しい環境においてニッケル系高耐候性鋼材を用いた耐候性鋼橋梁の適用が図られており、耐候性鋼材の選定とその適用可否について、橋梁建設前に地域特性を考慮した精度の高い現地適用性評価方法の確立が求められている。

本講演では、松江市内に建設が予定されている耐候性鋼橋梁の鋼材選定を行う際に実施したワッペン試験片^[1]による曝露試験結果ならびに飛来塩分量を含めた環境計測結果について報告し、新しい現地適用性評価手法^[1]の可能性と問題点を整理する。

2. 調査概要

調査位置を図1に示す。調査は、現在建設が進められている松江第五大橋の鋼材選定を行うために、建設予定地に隣接するくびき大橋(A)と架橋予定ルート上の2地点(B、C)において曝露試験と飛来塩分等の環境調査を行った。

曝露試験は、新規に提案されている50mm×50mm×2mm/tの試験片を用い、既設橋梁には両面テープを用い、直接試験片を貼り付けることによって実施している(写真1(b)参照)。また、架橋予定ルートでの曝露試験では、橋梁の桁内の環境を模擬できるものとして、写真1(b)に示す百葉箱による曝露試験を実施した。曝露試験は、2006年9月12日から1年間と2年間の予定で実施した。

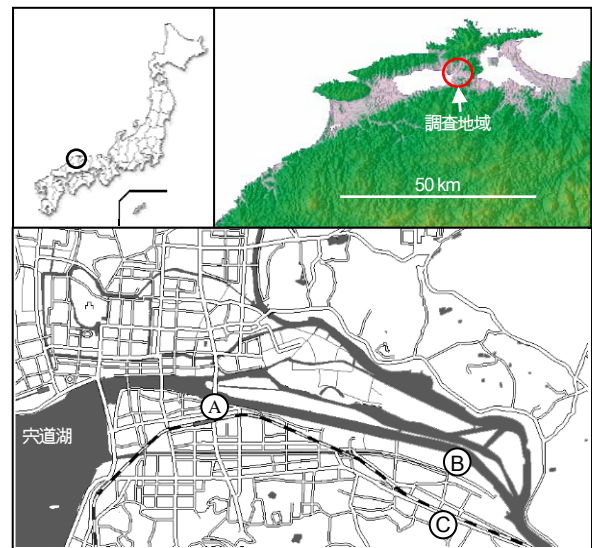


図1 調査地点の概要



(a) 既設橋梁 (Point A)



(b) 百葉箱と簡易架台 (Point C)

写真1 新しい試験片を用いた曝露試験方法

3. 腐食環境調査結果

各曝露地点では、曝露試験に加え、飛来塩分量などの腐食環境の観測が実施された。曝露試験は2年間の予定で実施されたが、橋梁建設の関係から2006年9月から2008年2月まで曝露試験が実施された。その期間の平均気温、相対湿度、日照時間を松江市、米子市、新潟市、岡山市と比較して図2に示す。山陰地域の気温は、他の地域と大きく変わらないが、1年を通じて多湿であることが図2より確認できる。また、山陽側に比べ、冬季の日照時間が極端に少ない。これらの気象条件が、耐候性鋼橋梁のさびの生成に大きく影響を与えていると推測される。

図3に2006年10月から各観測地点でガーゼ法により1年間採取した飛来塩分量(捕集面積200cm²)を示す。図3より、飛来塩分量は冬季に増加し、夏季に減少し、どの観測地点でも同様な傾向を示していることがわかる。また、1年間の平均値を図3の凡例中に示すが、どの値も道路橋示方書で示されるJIS耐候性鋼材を裸使用できる基準の0.05mdd^[2]を大幅に上回る結果となった。

図4にB地点において土研式により東と西方向からの飛来塩分量の採取状況と松江市の位置関係を示す。また、飛来状況を観測した結果を図5に示す。図5より、観測地点Bに飛来する飛来塩分量は、7月から10月にかけては東からの飛来成分が多くなるが、冬季の西側から飛来量に比べればはるかに少なく、松江市内の飛来塩分の支配的な方向は西側であり、冬季に飛来する塩分量による影響が顕著であることがわかる。

図6(a)に松江高専で実施している飛来塩分の観測地点を示す。図6(b)にガーゼ法による飛来塩分の捕集状況を示す。図6(c)と表1に山陰地域の橋梁桁内の橋軸垂直方向のガーゼ法による飛来塩分捕集結果と桁下ガーゼ法による飛来塩分捕集結果をJSSCテクニカルレポートの結果^[1]と合わせて示す。図6(c)より、橋梁桁内の年平均飛来塩分量は、側方開放条件で得られた桁下の年平均飛来塩分量の半分程度である。

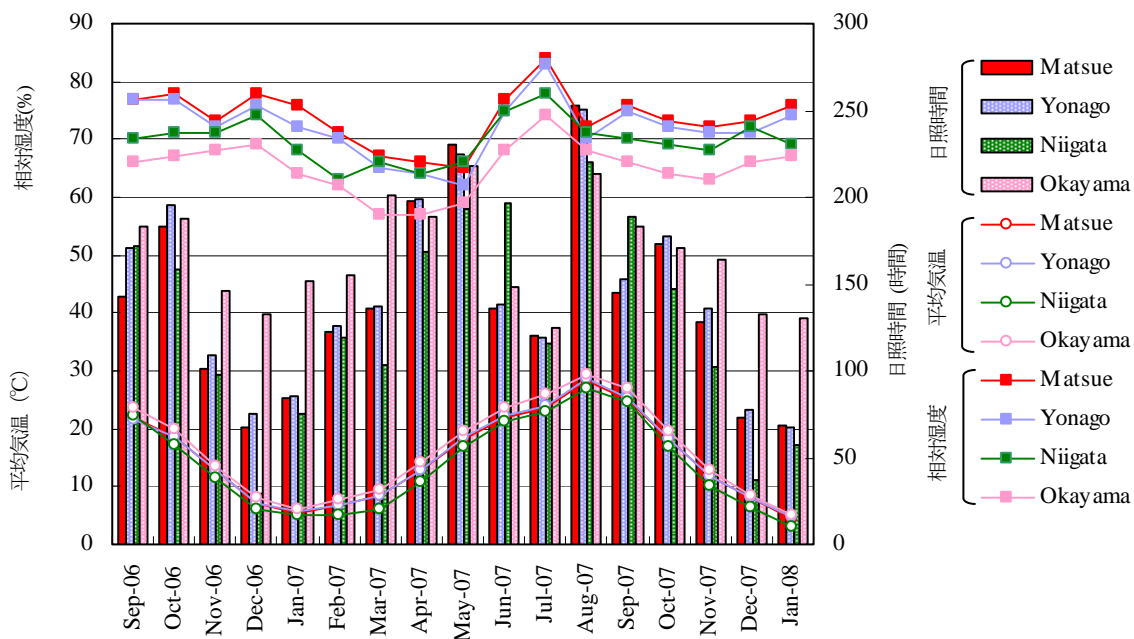


図2 日照時間, 平均気温, 相対湿度の地域比較

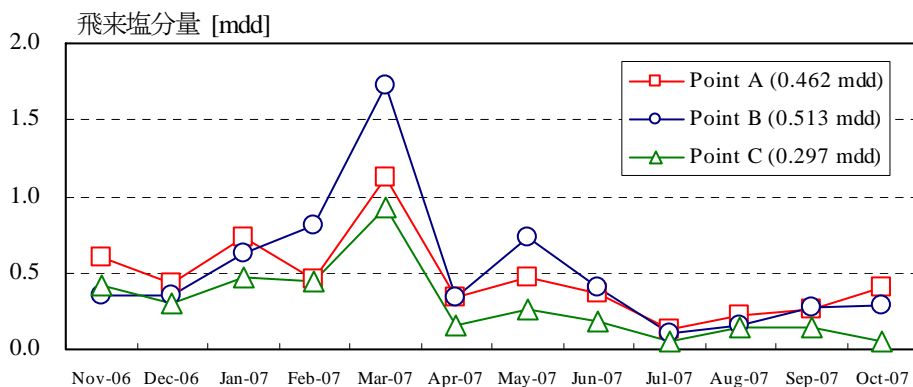


図3 曝露試験片設置位置でのガーゼ法による飛来塩分量測定結果



図4 東西方向の飛来塩分を採取する土研式捕集装置と松江市の位置状況

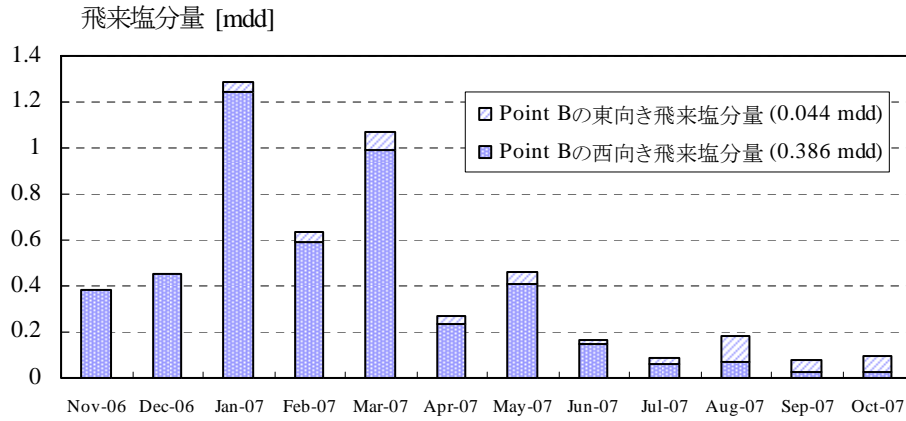
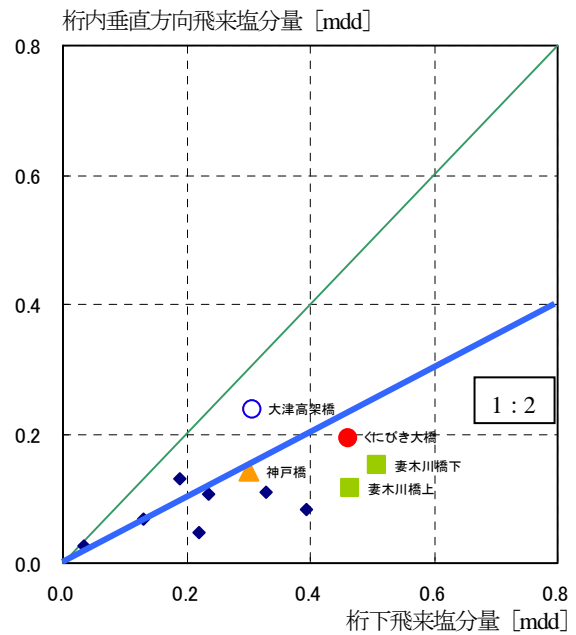


図5 B地点における捕集面2面を持った土研式による飛来塩分量の測定結果



(c) 飛来塩分量の桁下と桁内垂直方向の比較

図6 山陰地域の既設橋梁の飛来塩分調査状況と飛来塩分捕集結果

4. 曝露試験調査結果

第五大橋の耐候性鋼材の適用性の可能性と材料選定を行うために、新しく提案された短期曝露試験を実施した。耐候性鋼材の腐食減耗量は、以下の式で推定することが可能^[1]です。

$$Y = AX^B \quad (1)$$

表1 飛来塩分量比較表 [単位：mdd]

橋梁名称	桁外：BP	桁内：AV	桁内：AP	換算値	換算値	暴露期間	備考
ガーゼ面	橋軸並行	橋軸垂直	橋軸並行	AV/BP	AP/BP	(月)	
3者共同研究	—	適用	—				
梅ノ木橋	0.190	0.129	0.063	68%	33%	12	JSSCテクニカルレポート ^[1] より
南大橋	0.035	0.027	0.016	77%	46%	12	
衣浦高架橋	0.237	0.106	0.086	45%	36%	12	
有田大橋	0.330	0.110	0.131	33%	40%	2	
出島出路橋	0.221	0.048	0.060	22%	27%	1	
両国橋	0.394	0.082	0.103	21%	26%	5	
扇島大橋	0.129	0.067	0.042	52%	33%	5	
妻木川橋上(淀江)	0.466	0.117	0.096	25%	21%	12	
妻木川橋下(淀江)	0.509	0.151	0.061	30%	12%	12	
神戸橋(出雲)	0.286	0.143	0.104	50%	36%	12	
大津高架橋(出雲)	0.307	0.227	0.371	74%	121%	11	
くにびき大橋	0.462	0.193	0.061	42%	13%	12	島根県

ここで、Xは暴露期間、Y(mm)は腐食減耗量、AとBは腐食速度パラメータで、Aは初年度の腐食減耗量にあたり、JIS耐侯性鋼については、Bの値を以下の式より推定することが可能^[1]である。

上限値 B_{SMA} :

$$A_{SMA} \leq 0.004\text{mm} \text{ に対して, } B_{SMA}^{Upper} = 1 \quad (2-a)$$

$$0.004\text{mm} < A_{SMA} \leq 0.03\text{mm} \text{ に対して, } B_{SMA}^{Upper} = -0.45711 \cdot \log_{10}(A_{SMA} / 0.004) + 1.0 \quad (2-b)$$

$$\text{For } 0.03\text{mm} < A_{SMA} \leq 0.1\text{mm} : B_{SMA}^{Upper} = 0.76500 \cdot \log_{10}(A_{SMA} / 0.1) + 1.0 \quad (2-c)$$

$$\text{For } 0.1\text{mm} < A_{SMA} : B_{SMA}^{Upper} = 1 \quad (2-d)$$

下限値 B_{SMA} :

$$A_{SMA} \leq 0.004\text{mm} \text{ に対して, } B_{SMA}^{Lower} = 0.85 \quad (2-e)$$

$$0.004\text{mm} < A_{SMA} \leq 0.03\text{mm} \text{ に対して, } B_{SMA}^{Lower} = -0.45711 \cdot \log_{10}(A_{SMA} / 0.004) + 0.85 \quad (2-f)$$

$$0.03\text{mm} < A_{SMA} \leq 0.1\text{mm} \text{ に対して, } B_{SMA}^{Lower} = 0.66937 \cdot \log_{10}(A_{SMA} / 0.1) + 0.8 \quad (2-g)$$

$$0.1\text{mm} < A_{SMA} \text{ に対して, } B_{SMA}^{Lower} = 0.8 \quad (2-h)$$

ただし、ニッケル系高耐侯性鋼については、図7に示すように直接B値を推定することが不可能なので、以下に示す耐侯性合金指標 $V^{[1]}$ を用いて、JIS耐侯性鋼の値に換算し、ニッケル系耐侯性鋼のB値を推定する。ただし、式(3)の各合金成分は、 $0 \leq [C] < 1.5$ 、 $0.1 < [Si] < 5$ 、 $0.1 < [Mn] < 10$ 、 $0 \leq [P] < 0.15$ 、 $0 \leq [S] < 0.03$ 、 $0 \leq [Cu] < 1.1$ 、 $0 \leq [Ni] < 5$ 、 $0 \leq [Mo] < 0.6$ 、 $0 \leq [Ti] < 0.12$ の範囲であり、また、合金指標 V は、 $0.9 \leq V \leq 2.5$ の範囲内である。

$$V = 1 / \{ (1.0 - 0.16[C]) \cdot (1.05 - 0.05[Si]) \cdot (1.04 - 0.016[Mn]) \cdot (1.0 - 0.5[P]) \cdot (1.0 + 1.9[S]) \cdot (1.0 - 0.10[Cu]) \cdot (1.0 - 0.12[Ni]) \cdot (1.0 - 0.3[Mo]) \cdot (1.0 - 1.7[Ti]) \} \quad (3)$$

$$A_S / A_{SMA} = -0.144 + 4.95V^{-1} - 13.37V^{-2} + 15.03V^{-3} - 5.45V^{-4} \quad (4)$$

$$B_S / B_{SMA} = 0.5545 + 0.45V^{-1} \quad (5)$$

短期暴露試験は、ワッペン試験片は既設橋梁(Point A)において、桁内のウェブ面、下フランジ上面、下フランジ下面の3ヶ所にJIS耐侯性鋼とニッケル系高耐侯性鋼を1ヶ所2枚ずつ設置した。また、簡易架台(Point B, C)には、上面と下面に2枚ずつ試験片を設置し、渡河部(Point B)のみJIS耐侯性鋼に加えニッケル系高耐侯性鋼を設置した。暴露試験は、2006年9月12日から実施し、工事の進捗の関係で第1回目の回収を2007年5月31日(9ヶ月)に実施

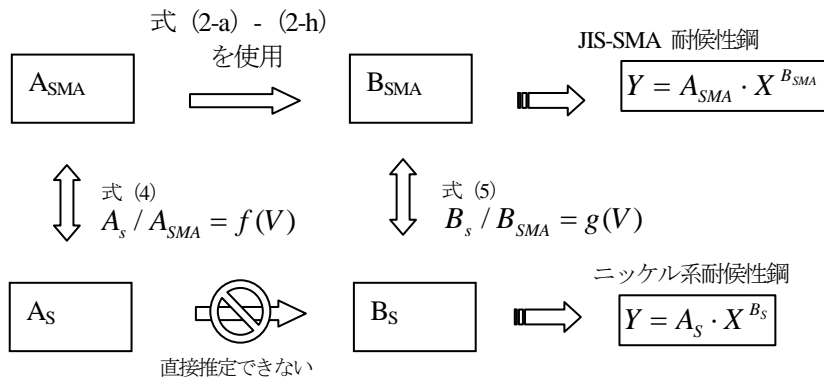


図7 腐食減耗量の推定手順

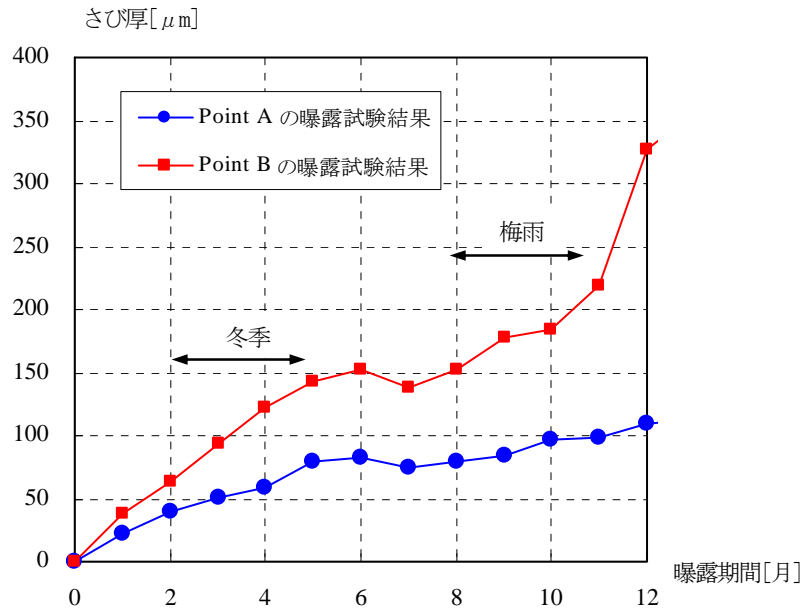


図8 曝露試験片のさび厚測定結果

表2 100年後の腐食減耗量推定結果

曝露試験地点	試験片設置位置	鋼種	腐食減耗量[mm]		A	B ^{Upper}	B ^{Lower}	100年後腐食減耗量推定値[mm]	
			第1回回収	第2回回収				上限値	下限値
Point A	Web	JIS-SMA	0.010	0.015	0.012	0.787	0.637	0.439	0.220
		3%Ni steel	0.008	0.013	0.011	0.588	0.461	0.162	0.090
	下フランジ上面	JIS-SMA	0.016	0.022	0.018	0.706	0.556	0.454	0.228
		3%Ni steel	0.013	0.018	0.015	0.530	0.403	0.175	0.097
	下フランジ下面	JIS-SMA	0.010	0.017	0.013	0.761	0.611	0.444	0.222
		3%Ni steel	0.008	0.014	0.012	0.575	0.448	0.165	0.092
Point B	簡易架台上面	JIS-SMA	0.038	0.062	0.049	0.761	0.591	1.618	0.739
		3%Ni steel	0.027	0.035	0.029	0.648	0.503	0.563	0.290
	簡易架台下面	JIS-SMA	0.012	0.029	0.024	0.648	0.498	0.466	0.233
		3%Ni steel	0.011	0.022	0.019	0.527	0.398	0.211	0.116
Point C	簡易架台上面	JIS-SMA	0.023	0.031	0.025	0.633	0.483	0.469	0.235
	簡易架台下面	JIS-SMA	0.010	0.027	0.022	0.663	0.513	0.463	0.232

した。また、2回目の回収を2007年2月1日(17ヶ月)に行った。ワッペン試験片の板厚減耗量の測定は、松江高専において鉄連法^[1]により実施した。

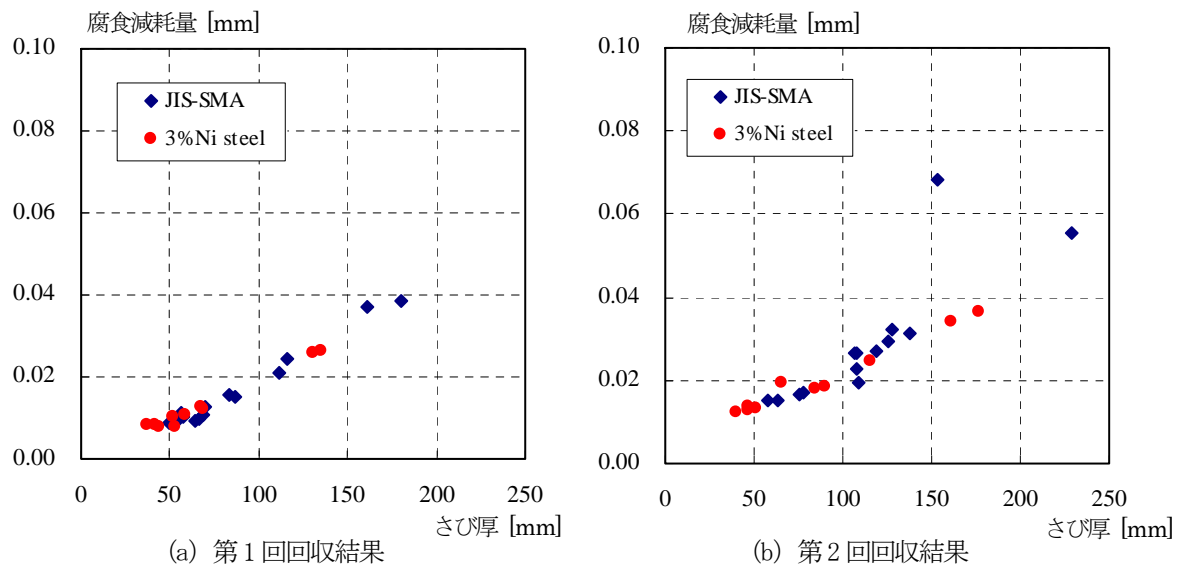


図9 曝露試験片の錆び厚と腐食減耗量の関係

図8に既設橋梁 (PointA) と渡河部簡易架台 (PointB) に設置した錆び厚測定用のワッペン試験片の月毎の錆び厚の測定結果を示す。既設橋梁と渡河部の錆びの成長は大きく異なり、渡河部の簡易架台の環境がかなり厳しいと推察される。錆び厚の測定結果より、山陰地域では、秋季から冬季の間と梅雨時期に錆びが急速に成長していることがわかる。

耐候性鋼材の適用可否を検討するにあたっては、設計供用期間中において予測される腐食減耗量が、許容される腐食減耗量以下 (耐腐食性能レベル I^[1]: 設計供用期間 100 年の片面許容腐食減耗量 0.5 mm以下に相当) であることが基本的な判定基準とされている。2 回のワッペン試験片の板厚減耗量の測定結果より腐食パラメータ A 値と B 値を推定し、その結果を用いて 100 年後の腐食減耗量を推定した結果を表 2 に示す。検討結果より、JIS 耐候性鋼材の渡河部の簡易架台上面は、耐腐食性能レベル I を満足しない結果となった。ニッケル系高耐候性鋼においては、大気腐食環境的に厳しい渡河部簡易架台上面においても耐腐食性能レベル I を満足する可能性があることがわかった。

図9にワッペン試験片の錆び厚と腐食減耗量の関係を示す。この図は、JIS 耐候性鋼の結果とニッケル系高耐候性鋼の結果を重ねて示している。図9より、錆び厚と腐食減耗量の間には正の相関があり、腐食減耗量 0.03mm に相当する平均錆び厚は概ね 150 μ m である。

5. まとめ

建設予定の耐候性鋼橋梁の鋼材選定にあたって新しい現地適用性評価手法を適用した結果を報告した。適用の結果、既設橋梁におけるワッペン試験片を用いた現地適用性評価では、飛来塩分だけでなく、建設予定地の湿度や温度を考慮した判断が可能であることがわかった。しかしながら、年間を通じて湿度の高い山陰地域では、百葉箱の簡易架台の上面が橋梁の桁内の腐食状態と大きく異なる結果となることから、百葉箱の適用範囲について更に検討が必要である。また、冬季や梅雨時期に急速に錆びが成長することから曝露試験を実施する期間と回収時期について、さらに検討をする必要があることがわかった。

謝辞 本研究は、島根県と松江高専との共同研究の成果および国土交通省中国地方整備局の受託研究の成果を一部まとめたものである。調査実施にあたり、鉄鋼連盟、新日本製鐵 (株)、日鐵防蝕 (株)、島根県産業技術センターの協力を得ました。また、調査研究は、松江高専環境・建設工学科武邊勝道講師と共同で実施した成果であり、大屋・武邊研究室の学生の協力により実施しました。ここに記して深謝する。また、図1と図4は Kashimir 3D を使用しました。

参考文献

- [1] (社) 日本鋼構造協会: 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 No. 73, 平成 18 年 10 月
- [2] 社団法人日本道路協会: 道路橋示方書Ⅱ鋼橋編, p.183, 2002.