

鴨川暴露試験場の腐食環境とその活用

三浦正純・落合盛人・中島和俊

1. はじめに

近年、土木施設の保全が最重要課題の一つとなっており、道路橋では長寿命化修繕計画に沿った計画的な保全対策の実施が進められている。

鋼道路橋については、損傷の大半が腐食や防食機能の劣化であり、修繕事業に要する費用の大部分を塗替え費用が占めている。したがって、今後は、塗替えを如何に効率的かつ確実にを行うかが長寿命化修繕計画の鍵となってくる。

現在、塗替えを対象とした製品や工法が数多く存在し、新たな技術の開発も盛んに行われている。しかし、それらの効果について客観的に信頼に足るデータが確認できているとは言えない。そこで、当センターでは、様々な塗替え技術について自主研究を行うほか、開発者からの委託を受け客観的に評価した結果を管理者に提供していくことを目的とし、橋梁の防食補修技術に特化した暴露試験場を2015年に開設した。本稿では、開設以降の計測データをもとに鴨川暴露試験場（以下「試験場」という。）の腐食環境の有用性について紹介する。

2. 暴露試験場の概要

2.1 試験場の位置

試験場は、千葉県鴨川市にある一般国道128号坂下高架橋（カトリコウキョウ：千葉県安房土木事務所管轄）の橋下を利用している。



図-1 鴨川暴露試験場の位置図

Corrosion Environment of the KAMOGAWA Exposure Test Site and its Application



写真-1 試験場の全景（山側より撮影）

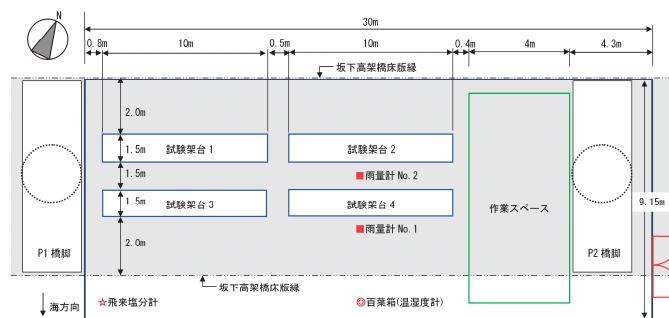


図-2 試験場設備の配置図

坂下高架橋は、海から100m程度離れて海岸線と平行に架かる橋梁であり、試験場は同橋のP1橋脚からP2橋脚間の橋下の敷地（面積約270m²、橋下高さ約4m）に設置している。なお、試験場前の東条海岸はサーフィンのメッカとして知られている。試験場の位置図を図-1に、試験場の山側からの全景を写真-1に示す。

2.2 試験場の設備

試験場には、図-2に示すように、暴露試験体を載せるための架台を4基配置している。各架台の配置は、橋下の位置条件を揃えることができるよう、坂下高架橋床版縁からの距離を同一とした。

試験場の環境計測機器としては、同図に示すように、飛来塩分計、温湿度計、および雨量計を設置した。

3. 暴露試験場の腐食環境因子

3.1 気温・湿度

試験場で計測した温度、および、湿度の経時変化（2015年2月から7月の約5か月）を図-3および図-4に示す。図中には近隣の気象観測所のデータ

も並記した。試験場に最も近いのは鴨川観測所（試験所の西南西約3km）であるが、湿度が計測されていないため、湿度については勝浦観測所（試験所の東北東約17km）のデータを記載した。

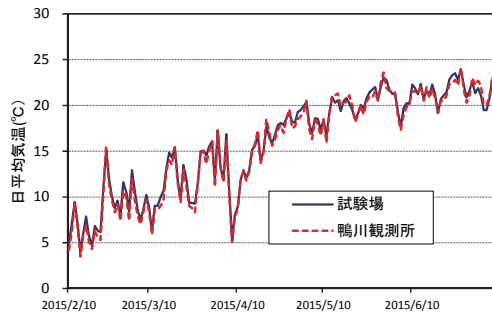


図-3 試験場の日平均気温

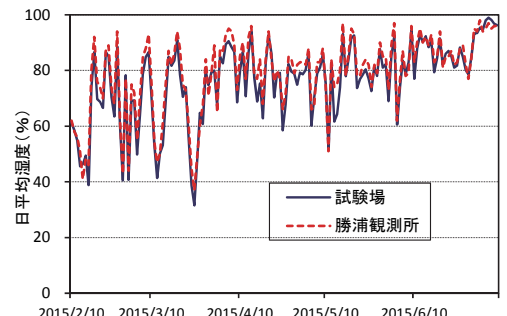


図-4 試験場の日平均湿度

試験場と近隣の観測所のデータはほぼ一致しており、相関関係（図-5参照）も非常に良い。試験場の温湿度環境を評価するうえで鴨川、勝浦観測所のデータを用いても問題ないと言える。

3.2 風向・風速

鋼の腐食においては水の存在が不可欠であるが、濡れた際の腐食速度は塩分濃度に強く依存することが知られている。人為的に散布された凍結防止剤による塩分を除くと、基本的に飛来塩分は海面上で海塩粒子として発生する。

発生した海塩粒子は風の力によって海上から内陸に輸送されることになる。大屋ら²⁾はガーゼ法による飛来塩分量と風力エネルギー値（風向を考慮した風速の3乗値）の間に良い相関が見られることから、その地点の風向風速データから飛来塩分環境が評価できる可能性を示している。

鴨川観測所での一時間ごとの風向データ（2012～2015）を集約した方位別の頻度分布を図-6に示す。この図から、北西方向の風の頻度が高いことがわかる。しかし、北西からの風は陸風であり塩分濃度は低いと言える。一方、風速の3乗値の累積（図-7）で見ると、南西方向からの海風が大きい。この結果は、鴨川地区では北西方向からの陸風は頻度は多いものの強い風の頻度は少なく、南西方向の海岸線に沿って吹く風は、頻度は少ないものの強い風が吹く割合が高いという傾向を表している。

3.3 飛来塩分量

試験場敷地内の最も海岸側に土研式飛来塩分捕集器（捕集用ステンレス板が海岸線とほぼ平行）を設置し、飛来塩分量を約2年間測定した。その結果を図-8に示す。

2015年、2016年ともに8～9月期に突出した飛来塩分量が観測されている。2015年9月9日には台風18号が愛知県に上陸、2016年8月22日には台

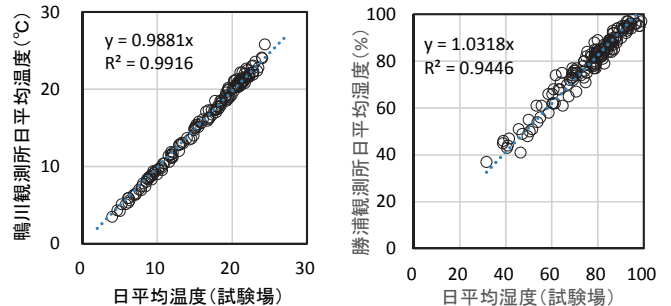


図-5 試験場データと観測所データの相関関係

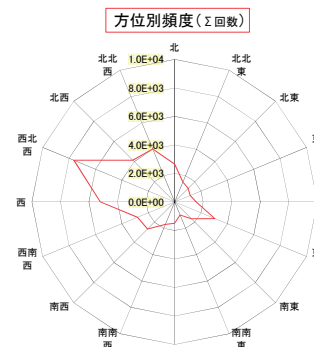


図-6 風向の方位別頻度

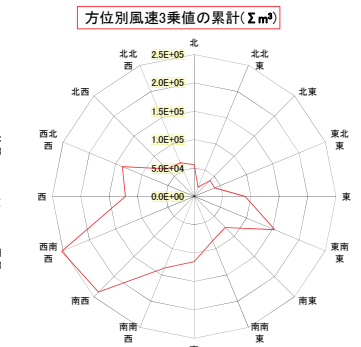


図-7 風速3乗値の方位別累積

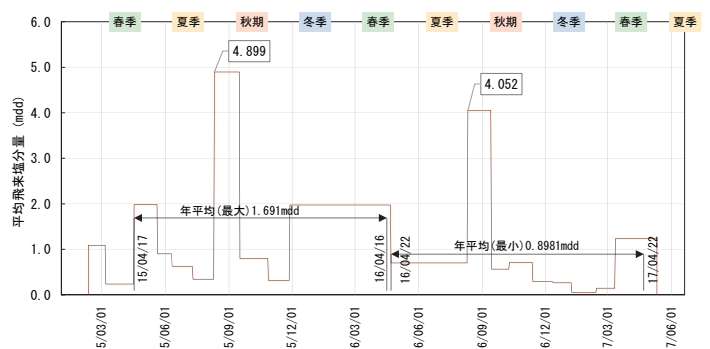


図-8 試験場の飛来塩分量の経時変化

風9号が房総半島に上陸しており、この突出した塩分量は台風の影響によるものと考えられる。

試験場の2年間の平均飛来塩分量は1.43mdd (mgNaCl/dm²・day)、台風の影響を除いたとしても1.04mddと非常に高い。また、1年間の平均値を求める際、どの月をスタートとして算出するかによって平均値は異なるが、最小でも0.90mddであった。

土研センター

3.4 降水量

一般に大気腐食試験を行う暴露試験場には屋根がなく、降雨や日射が直接当たる条件で試験片が暴露されていることが多い。一方、試験場は高架橋の下で雨がほとんど当たらないという特徴がある。試験場内に設置した雨量計の測定値と、鴨川観測所の降水データを比較したものを図-9に示す。試験場上の高架橋が屋根となっているものの、風の影響により雨が吹き込むために試験場内で降水が確認されたものと言える。

2015年から2016年の約2年間（660日）において鴨川観測所の記録では降雨が225日観測されているが、試験場の雨量計ではその約4分の1（57日）のみであった。また、その間の観測所データでの累積雨量3,505mmに対し、試験場ではその約5%の173mmしか観測されなかった。

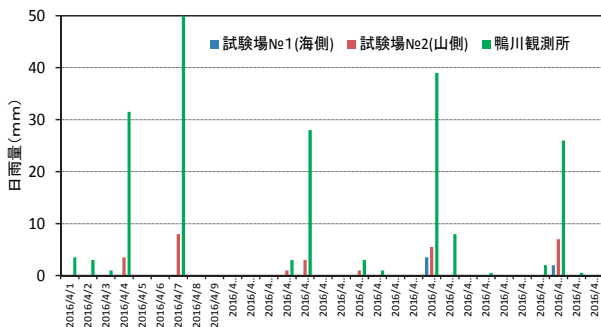


図-9 鴨川観測所雨量データと試験場雨量計の対比

降雨は腐食をもたらす水を供給するが、一方で飛来塩分の高い環境下では、表面に付着した塩分を洗い流すことによる腐食抑制効果を有している。表-1に示すように飛来塩分の高い環境ほど、雨が当たる場合(open)と当たらない場合(shelterd)の腐食量の差が大きいことが示されている³⁾。また、飛来塩の影響により落橋した沖縄県の辺野喜橋でも、雨がかりのある外桁表面の腐食は小さく、降雨の腐食抑制効果は大きいことが知られている⁴⁾。従って、腐食環境の厳しい条件での暴露試験を目的とする場合には、飛来塩分量が高く、かつ、雨が当たらない環境が望ましく、試験場は適した環境にあると言える。

表-1 耐候性鋼（水平暴露1年）の腐食減耗量(mm)

暴露箇所	Open	Shelterd
つくば	0.018	0.018
銚子	0.037	0.045
宮古	0.093	0.161

3.5 他暴露場との比較

気象環境因子について、一般財団法人日本ウェザリングテストセンターが管理する暴露試験場⁵⁾との比較を表-2に示す。

試験場は宮古島（海岸線より2km）と比較すると気温、湿度ともにやや低く、降水量は橋下であるため極端に低い。飛来塩分量は非常に大きく、宮古島海岸と同程度の値となっている。飛来塩分量の測定方法が異なるため単純比較はできないものの、試験場の腐食環境は厳しく、沖縄に匹敵すると言える。

表-2 気象環境因子の地域別比較

項目	ウェザリングテストセンター ^{※1)}				鴨川試験場
	銚子	宮古島	宮古島海岸	旭川	
平均気温(°C)	14.6	24.0	—	7.1	16.0 ^{※2)}
平均相対湿度(%)	77	78	—	75	74 ^{※3)}
平均風速(m/s)	2.8	4.1	—	2.6	2.3 ^{※2)}
年間降水量(mm)	1890	1818	—	1150	76 ^{※4)}
飛来塩分量(mdd)	0.30	0.49	1.42	0.01	1.43 ^{※4)}

※1) 2001~2010(10年間)の平均値、飛来塩分はガーゼ法による

※2) 鴨川観測所2001~2010(10年間)の平均値

※3) 勝浦観測所2001~2010(10年間)の平均値

※4) 2015~2016(2年間)の平均値(降水量はNo.1, No.2の平均)

3.6 ワッペン試験片による腐食量

試験場の腐食環境を直接的に評価することを目的として、ワッペン試験片を2015年4月より暴露架台上に水平暴露してその腐食状況を定期的に調査している。ワッペン試験片は50×50×2mm、表面は機械仕上げ(▽▽▽)、鋼種は耐候性鋼(SMA)を用いた。

暴露1年後の試験片外観を写真-2に示す。試験片のさび厚は812μm、腐食減耗量は0.458mmであった。耐候性鋼の橋梁への適用検討を行う場合、架設環境評価の簡易な閾値として、暴露1年後の腐食減耗量0.03mm、さび厚100μmが用いられている⁶⁾。試験場で得られた値は、いずれも閾値を大きく上回っており、厳しい腐食環境であることがわかる。なお、暴露2年後(写真-3)には、試験片は取り外し時にバラバラとなってしまう試験不能な状態まで腐食が

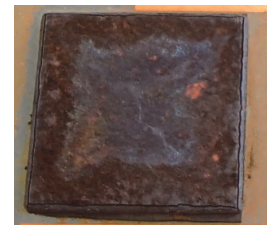


写真-2 暴露1年後



写真-3 暴露2年後

進行していた。

下里ら⁷⁾は沖縄における雨がかりのない場所（橋梁など）での暴露試験結果から、さび厚と腐食減耗量（暴露1年後）の関係として図-10に示す近似曲線を報告している。本試験データは、この関係式と整合しており、厳しい腐食環境である沖縄の雨がかりのない場所と同様の腐食が進行していると判断できる。

全国41橋暴露試験⁸⁾における耐候性鋼の腐食減耗量（暴露1年後）と飛来塩分量の関係を図-11に示す。本試験でのデータを図中にプロットしても、大きく乖離しておらず、本試験のデータは既往の鋼橋腐食環境における試験結果の傾向からみて妥当なものと思われる。

4. まとめ

鴨川暴露試験場の腐食環境の特徴を以下に示す。

- ① 高架橋の真下であり、降雨による影響（洗浄）を受けない厳しい暴露環境にある。
- ② 陸風に比べて海風の頻度は低いが風速は大きい。このため塩分量が大きいと推定される。
- ③ 飛来塩分量は1.43mddと耐候性鋼の橋梁への適用基準値0.05mddを大きく上回っており、沖縄の海岸付近に匹敵する値である。
- ④ 耐候性鋼の1年間の腐食減耗量は0.46mmと非常に大きく、極めて厳しい腐食環境にある。
- ⑤ 試験場で得られた飛来塩分量、1年暴露後のさび厚、腐食減耗量の関係は、既往の文献の傾向と一致している。

鴨川暴露試験場は、東京都心から2時間程度という立地環境にありながら、沖縄の海岸地域に匹

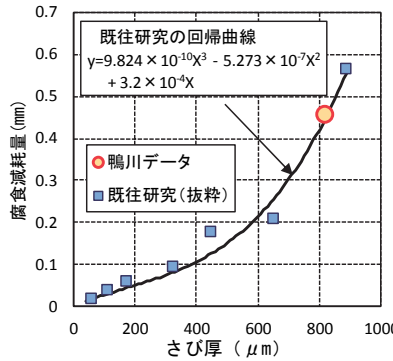


図-10 さび厚と腐食減耗量の関係

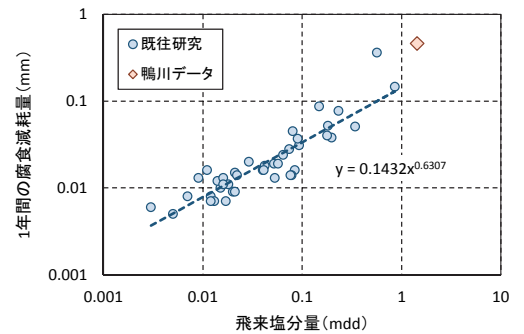


図-11 飛来塩分量と腐食減耗量の関係

敵する厳しい腐食環境で、橋梁を模擬した（雨がかりのない）暴露試験が行えるという有利性がある。このため、橋梁の防食材料、特に防食補修材料の性能評価試験に対して有用性が高く、ぜひ活用していただきたい。

参考文献

- 1) 片脇清士、中野正則、安波博道、落合盛人、中島和俊：鴨川暴露試験場の開設～鋼橋塗替えにおける防食技術や施工技術の確立に向けて～、土木技術資料、第57巻、第1号、pp.60～63、2015
- 2) 大屋誠、武邊勝道、広瀬望、松浦葉月、今井篤実：風向風速データを用いた飛来塩分予測、材料と環境、Vol.62、pp.430～433、2013
- 3) 物質材料研究機構：腐食データシートNo.3C
- 4) 田井政行、下里哲弘、玉城善章、有住康則、矢吹哲哉：腐食により崩落に至った鋼プレートガード橋の崩落メカニズムと桁端部の損傷回復評価に関する解析的検討、構造工学論文集、Vol.61A、pp.416～428、2015.3
- 5) <http://www.jwtc.or.jp/sikenjo/kankyo.html>
- 6) (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、2006.10
- 7) 下里哲弘、本田博幸、有住康則、淵脇秀晃：約30年曝された無塗装仕様耐候性鋼橋のさび評価と腐食減耗特性、鋼構造論文集、Vol.21、No.81、pp.79～87、2014.3
- 8) 建設省土木研究所、(社)鋼材倶楽部、(社)日本橋梁建設協会：耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書(XV)、共同研究報告書第71号、1992.3

三浦正純



(一財)土木研究センター材料・構造研究部 部長、博(工)
Dr.Masazumi MIURA

落合盛人



(一財)土木研究センター材料・構造研究部 主幹研究員
Morito OCHIAI

中島和俊



(一財)土木研究センター材料・構造研究部 主任研究員
Kazutoshi NAKASHIMA