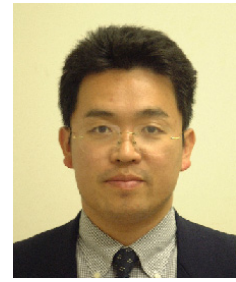


島根県における耐候性鋼橋梁の腐食実態と新しい現地適用性評価の試み



所属名：松江工業高等専門学校
発表者：大屋 誠

1. はじめに

耐候性鋼材は、鋼板表面に保護性さびを生成させることにより、防食機能を持たせるユニークな材料である。耐候性鋼橋梁は、耐候性鋼材の特性を正しく理解し、適切な環境に使用し、適切な維持管理を行うことによって、維持管理コストの少ない橋梁の実現を可能にする。建設後の塗装の塗替コストが不要なため、総合的なコスト（ライフサイクルコスト）が削減できることからミニマムメンテナンス橋¹⁾として期待され、島根県においても多数の橋梁が建設されている。このような耐候性鋼材の特性を活かして、維持管理コストの削減に成功している橋も多いが、その一方で、飛来塩分量が多く本来適用すべきでない環境への適用、不適切な構造ディテールの採用、あるいは湿潤状態の放置など不適切な維持管理の結果、問題が生じる例も見受けられる。ただし、これらの問題の多くは、耐候性鋼材の防食性能を正しく理解しないで、構造計画、設計・施工、あるいは維持管理が行われたことに起因すると考えられる。

耐候性鋼材は、鋼板表面に保護性さびを生成させることにより、本来の防食機能を発揮する。この保護性さびを生成させるには、腐食環境が良好であることが必要である。一般に、鋼にとって良好な腐食環境とは、温湿度が低い、鋼材の濡れ時間が短い、有害な飛来物が無いといった条件（図-1 参照²⁾）であり、その下では、さびの成長そのものが遅くなる。耐候性鋼にとっても、このような腐食環境であれば、さびの成長が遅く、適度な乾湿の繰り返しが生じることにより、緻密な保護性さびが生成され防食機能を発揮する。耐候性鋼の腐食の進行度合いは飛来塩分と密接に関係^{3,4)}するため、飛来塩分量が0.05mdd (mg/100cm²/day) を超えない地域の目安として、離岸距離から規定される適用地域が示され⁵⁾、現在、設計計画の際に用いられている。

本報告では、(1) これまで松江高専で実施してきた既設耐候性橋梁の調査結果から、島根県における耐候性鋼橋梁の腐食実態について報告し、さらに、(2) 島根県の第五大橋建設に向けてスタートした新しい現地適用性評価手法（松江高専と島根県との共同研究）の試みについて、その概要を報告する。

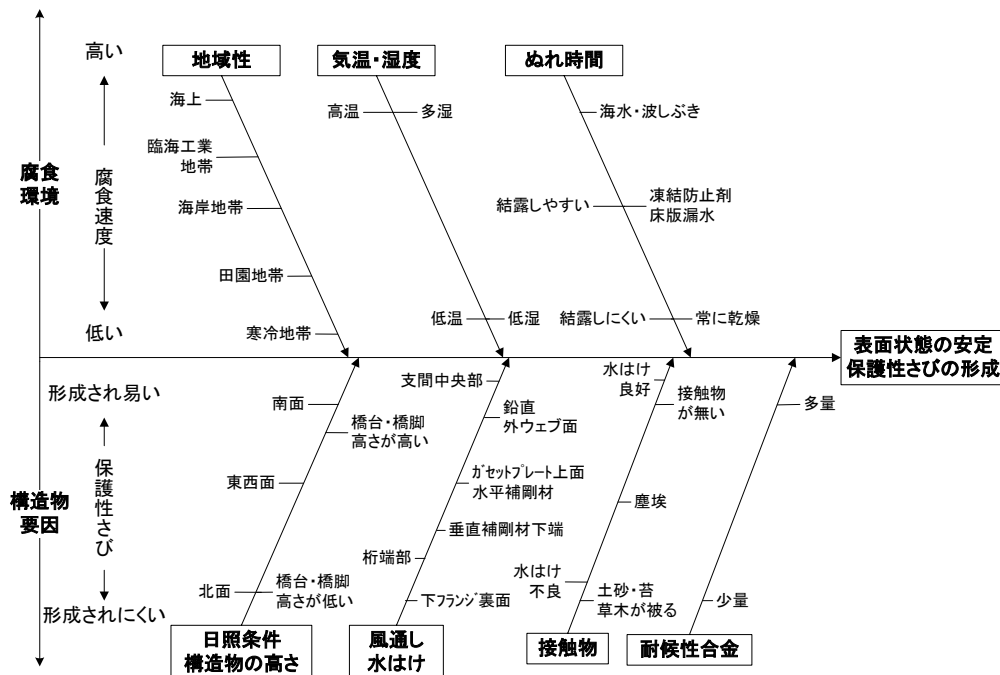


図-1 保護性さび形成の要因分析図²⁾

2. 島根県の耐候性鋼橋梁の腐食実態

島根県内では 100 橋余りの耐候性鋼橋梁が建設されており、架橋地点の腐食環境により鋼板の表面状態はさまざまである。これまで、海岸近傍の橋梁を中心に表面状態の目視観察、さび厚計測、表面付着物の回収とイオンクロマトグラフィによる表面付着物特性の分析を行った。

2. 1 既設耐候性鋼橋梁の腐食実態

島根県内で行った耐候性鋼橋梁の腐食実態調査の対象橋梁の位置と結果の概要を図-2 に示す。図-2 の橋梁位置は目視外観調査の結果の内、橋梁中の最も悪い評価点で色分けして表示したものである。また、調査橋梁の外観の一例を写真-1~4 に示す。外観評価は、それぞれ目視外観評価基準とさび厚計測法^[6]、鍍安定化表面処理材の目視外観評価基準(案)^[7]により実施した。さび安定化補助処理された橋梁の外観評価基準は処理被膜の残留状態を示す A, B 評価が加わり、またさびの面積率を評価 (x~z) するものとしている。本文での評価では評点付けのみに着目し、さびの面積率 x~z の指標は用いなかった。

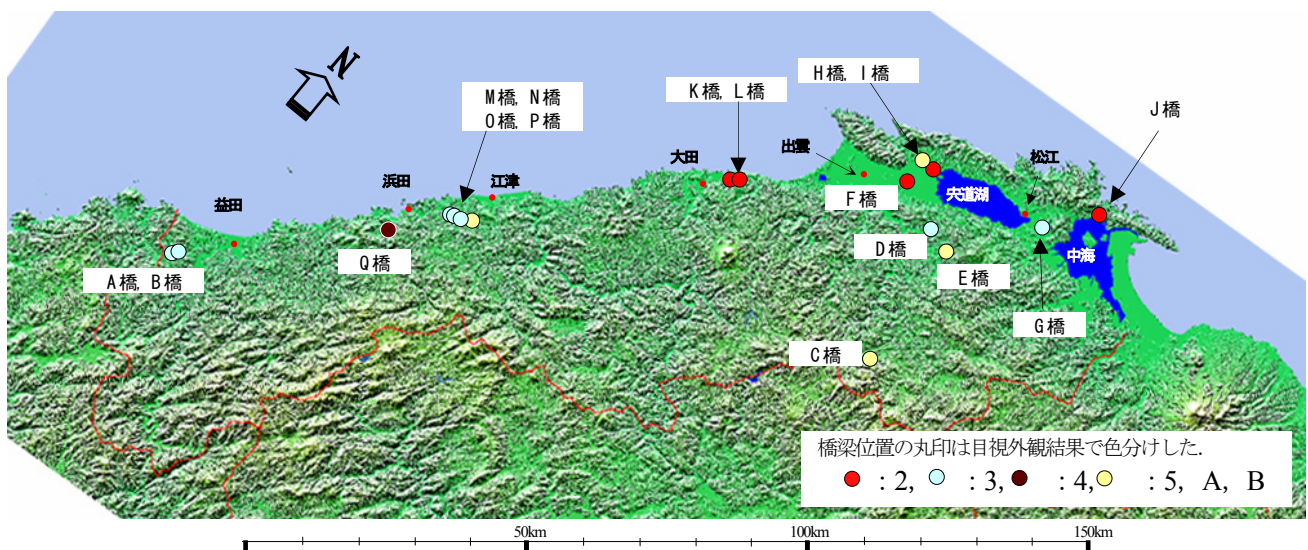


図-2 調査位置図および目視外観評価結果

2. 2 調査結果のまとめ

全ての橋梁で外桁外ウェブは外観評価結果が高く、さび厚さも薄い。付着塩化物イオン量の少なさからも、雨水の洗い流し作用を受けていることが分かる。他方、下フランジ上面では、流れさびや塵埃が堆積し、さびは厚い。飛来塩の影響を受ける橋梁では、同様に下フランジ上面で塩化物イオンの検出量が大いことから、構造部位の下側にある水平部材の劣化状況を知ることがさび評価の調査ポイントになる。フランジ上面にさび汁が塵埃とともに拡がるような場合は、その表面を良く拭き取ってから観察することが必要である。一方、下フランジ下面はエッジ部から腐食が進む場合が多く、さびの状態はより分かり易い。さび安定化補助処理された橋梁で飛来塩の影響を受けている部位は、共通して処理被膜にこぶ状のふくれを生じている。付着する塩化物イオン量が多いほど、そのふくれは大きい。この処理被膜のふくれと大きさは、環境条件の悪さを教えてくれる。ただし、ふくれのはがれ落ちてしまった後の鋼板表面は、単に処理被膜が風化し保護性さびに置き換わりつつある状態と見誤る心配がある。さび評価する際は、架橋地点の腐食環境を予め把握^[2]しておくことが欠かせない。よし悪しの判断に悩むような場合、外観目視のみでなく触診によって、さびのもろさ(ポーラスな状態)や粘りを確認し、鋼板地肌との差異が認められれば不安定な状態を疑ってみるのが良い。

島根県で、離岸距離規定(日本海沿岸部Ⅱ:5km)に準ずれば、多くの場所で沿岸の山裏側までを含むことになる。島根県西部の橋梁に見られるように、山地や丘陵内の谷部に位置する橋梁は離岸距離が5km以内であっても良い状態を保つものがある。また、東部の橋梁に見られるように5kmを超える平野部であっても、塩分環境に影響された悪い状態の橋梁がある。これらは微地形の影響が大きく作用することを示しており、内陸に向かって平野部が広がるような地形以外で、この離岸距離規定を適用することには注意が必要である。



(a) 支点付近の内側ウェブと下フランジ上面

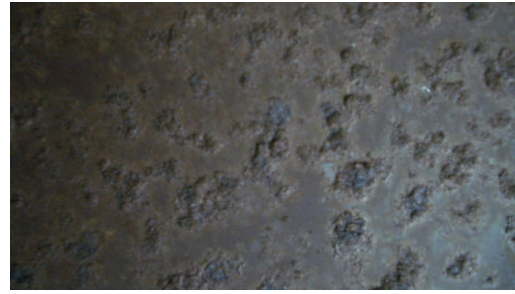


(b) 外側下フランジ下面

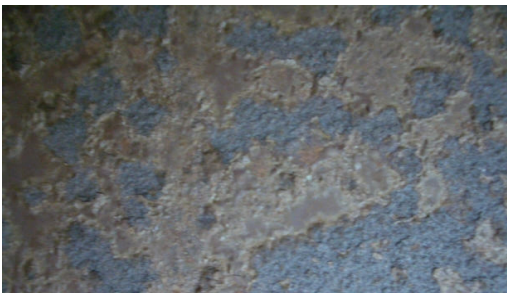
写真-1 K橋のウェブ・下フランジの状況



(a) 内側ウェブの全景



(b) 内側ウェブ(a)写真の上部



(c) 内側ウェブ(a)写真の中部



(d) 内側ウェブ(a)写真の下部

写真-2 L橋の内側ウェブの状況



(a) 支点付近の内側ウェブ側



(b) 下フランジ下

写真-3 Q橋の内側ウェブ・下フランジの状況



(a) 外側ウェブ



(b) 内側下フランジ上面

写真-4 G橋の外側ウェブ・下フランジの状況

3. 新しい現地適用性評価の試み

耐候性鋼橋梁の適用可否を検討するにあたっては、架橋地点の地域環境や地形環境の腐食性、使用材料の耐候性性能を十分考慮し、構造計画、適用性の評価を行わなければならない。耐候性鋼橋梁は、設計供用期間中、想定される環境の下で、鋼材の腐食減耗量が予め想定した範囲に保持されなければならない。この関係は、式(1)によって照査することができる。この場合の性能レベルおよび目標値は、発注者において対象橋梁の用途、重要性、設計供用期間を含む設計の考え方によって、別途定める必要がある。この目標値は特に指定の無い場合には、「片面平均0.5mm/100年の腐食減耗量」^[8]が基本とされている。

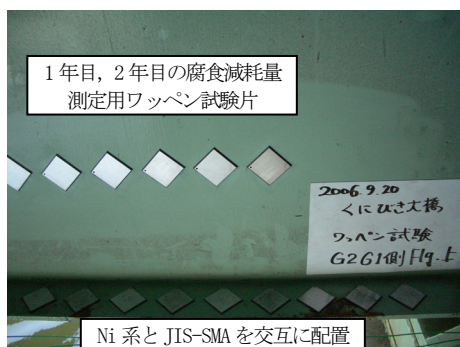
$$\text{設計供用期間中に予測される板厚減耗量} \leq \text{目標値 (設計供用期間中に許容される板厚減耗量)} \quad \dots (1)$$

耐候性鋼材の適用については、実橋のおかれる環境条件や施工条件などを十分に配慮して判断することが重要である。耐候性鋼材を架橋地点において無塗装で適用できるかどうかの検討方法としては、表-1に示す3種類の方法が提案されている。この中でも現地暴露試験を実施することが精度の面で最も適切と考えられているが、時間的制約などから、これが不可能な場合には、飛来塩分量を判断基準とする方法が用いられている。また、耐候性鋼材の腐食減耗予測技術として耐候性合金指標(V)を併用して環境因子データに基づき適用可否を検討する新しい方法も提案されている^[9]。

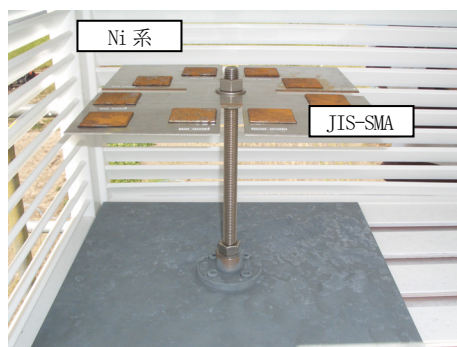
耐候性鋼材の腐食減耗予測方法に関する最近の研究成果に基づき、1年間の暴露データから経年腐食量を計算する方法が提案されている。島根県の第五大橋では、この方法を応用し、近接するくにびき大橋におけるワッペン式現地暴露試験と架橋地点における簡易架台(百葉箱)を利用したワッペン式現地暴露試験から架橋地点の耐候性鋼材の適用可否を判定することを試みる。また、ワッペン試験と併せて、環境因子データの計測を行い、環境腐食性指標とV値による予測法の適用可能性についても検討を行う予定である。第五大橋では、さらに、防錆処理の性能について検討を行う目的で、表面処理されたワッペン試験片を用いた暴露試験を実施している。

表-1 耐候性鋼材の適用可能地域検討方法の概要

検討方法	概要
① 現地暴露試験による方法	適用される環境そのものの条件を反映した鋼材暴露試験で得られる経年と板厚減耗量のデータに基づき適否の判定を行う方法。 Y=A・X ^B (X:暴露期間(年), Y:板厚減少量(mm), A及びBは腐食速度パラメータ)
	小型試験片 小型の矩形鋼板試験片を大気中にさらす試験法。暴露場所は既設橋の主桁間の事例が多い。
	模擬橋梁試験体 実橋の部位が形成するミクロ的な腐食環境の差異や構造細目の影響を考慮するための試験体。
	ワッペン式試験片 小型で薄い板状試験片(2 ^t ×50×50mm)を実構造物に直接接着して暴露する試験方法。実構造の部位別腐食環境を簡便かつ定量的に評価可能。 □ 簡易架台ワッペン試験方法(第五大橋建設予定地2ヶ所での百葉箱を用いた簡易暴露試験) □ 既設橋梁ワッペン試験方法(第五大橋近郊のくにびき大橋)
② 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裸使用の適否判定指標として用いる方法。 この方法での判定は間接的な評価であり、耐候性鋼材の実際の腐食挙動を直接評価するものではない。耐候性鋼材の腐食挙動は、飛来塩分量以外に、温度や湿度、濡れ時間等の影響を受けることに注意が必要である。 □ 土研式飛来塩分調査 □ ドライガーゼ法による飛来塩分調査
③ 環境因子データに基づく腐食量予測による方法	建設地近隣の環境因子データ(飛来塩分量, 気温, 湿度等)を基に橋梁代表部位における耐候性鋼材の平均板厚減少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。基本となる腐食量予測式は従来の耐候性鋼材(JIS-SMA)に関する全国暴露試験データに基づき検討されているが、ニッケル系高耐候性鋼材の耐候性能は耐候性合金指標(V)を用いて考慮される。 □ 飛来塩分調査 □ 付着塩分調査 □ ACMセンサーを用いた環境データ計測 □ 風向風速計測



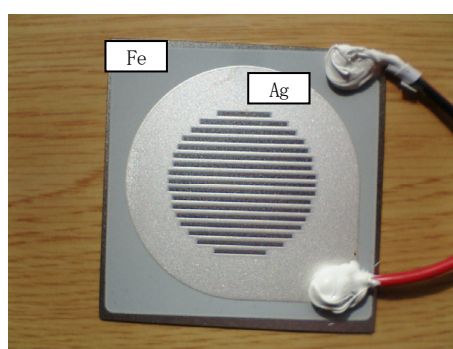
(a) くにびき大橋ワッペン試験片設置状況



(b) 簡易架台ワッペン試験片設置状況



(c) 簡易架台（百葉箱）と環境因子測定状



(d) ACM センサー (Fe-Ag)

写真-5 新しい現地適用性評価方法の試み

4. まとめ

島根県内の既設耐候性鋼橋梁の外観調査結果より、島根県において、離岸距離規定をそのまま適用することは適用性の判断を見誤ったり、合理性を欠いたりする結果となる可能性がある。そこで、離岸規定によらず個別の判断を精度良く実施するための新しい試みとして、第五大橋を対象にワッペン試験片による暴露試験や環境因子測定（松江高専と島根県の共同研究）を9月より開始した。また、これまで調査した記録、あるいは今後得られるさまざまな調査結果は、耐候性鋼橋梁の維持管理のために有用であるのみならず、地域の環境条件として整理することによって、今後の橋梁建設に際し、腐食環境を評価する重要なデータになると思われる。これらの調査結果を土木技術者に広く利用して頂くシステムづくりについても今後取り組んでいきたいと考えている。

謝辞

本研究を行うにあたり、島根県土木部、国土交通省、鉄鋼連盟、新日本製鐵（株）、日鐵防蝕（株）など多くの方々の協力を得ました。また、調査研究は、松江高専環境・建設工学科武邊勝道助手、（株）ウエスコ松崎靖彦氏、大屋・武邊研究室の学生の協力により実施しました。ここに記し謝意を表します。

参考文献

- [1] 西川和廣：ライフサイクルコストを最小にするミニマムメンテナンス橋の提案，橋梁と基礎，pp.64-72，1997.
- [2] 松崎靖彦，大屋誠，安食正太，武邊勝道，麻生稔彦：さび安定化補助処理された耐候性鋼橋梁の腐食実態と評価法に関する一考察，土木学会論文集F，2006。（掲載決定）
- [3] 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（XIV）－環境条件調査2－，第84号，1993.
- [4] 紀平寛，塩谷和彦，幸英昭，中山武典，竹村誠洋，渡辺祐一：耐候性鋼さび安定化評価技術の体系化，土木学会論文集，No.745/I-65，pp.77-87，2003.
- [5] 社団法人日本道路協会：道路橋示方書Ⅱ鋼橋編，p.183，2002.
- [6] 三木千壽，市川篤司 共編著：現代の橋梁工学－塗装しない鋼と橋の技術最前線－，数理工学社，2004.
- [7] 紀平寛：エコ・コンシャスな未来への耐候性鋼橋梁技術－リスク管理型最小保全制度実現へ向けた耐久化学の枠組とその構成技術－，橋梁と基礎 vol.39，pp.44-48，2005.
- [8] 三木千壽，市川篤司，鶴飼真，竹村誠洋，中山武典，紀平寛：無塗装橋梁用鋼材の耐候性合金指標および耐候性評価方法の提案，土木学会論文集，No.738/I-64，pp.271-281，2003.
- [9] 紀平寛，田辺康児，楠隆，竹澤博，安波博道，田中睦人，松岡和己，原田佳幸：耐候性鋼の腐食減耗予測モデルに関する研究，土木学会論文集，No.780/I-70，pp.71-86，2005.