

技術論文

高塩化物環境下における3%ニッケル高耐候性鋼の長期追跡調査と
リスクマネジメント技術Long-term Follow-up Survey on 3%Ni-added High-performance Weathering Steel (NAW-TENTM15)
in High Airborne Salt Concentration Environment and Risk Management of Weathering Steel Bridges

長 澤 慎*	安 藤 隆 一	原 田 佳 幸
Makoto NAGASAWA	Ryuichi ANDO	Yoshiyuki HARADA
田 中 睦 人	奥 島 基 裕	高 木 優 任
Mutsuto TANAKA	Motohiro OKUSHIMA	Masahide TAKAGI

抄 録

鋼橋のミニマムメンテナンス実現に向け、1998年に耐塩害性を高めた新日鐵住金(株)の3%ニッケル高耐候性鋼(NAW-TEN[®]15)が世界で初めて実橋梁に適用された。現地架設に先だって実橋梁に隣接する環境下において曝露試験を行い、これまでに15年目までの結果を得ている。その結果、3%ニッケル高耐候性鋼の腐食減耗量はJIS耐候性鋼(JIS-SMA)の2/3程度であり、曝露結果に基づく回帰分析によると、3%ニッケル高耐候性鋼の腐食減耗量は0.17mm/100年と推定される。また、近年、既存の橋梁に対し、適切なメンテナンスによる長寿命化、高耐久性化が求められており、この維持管理に対するニーズの高まりに合わせ、耐候性鋼橋梁では、実務者が利用しやすい点検・診断技術、補修技術が検討されている。本報告では3%ニッケル高耐候性鋼の実炉材長期追跡調査およびミニマムメンテナンス実現に欠かすことのできない点検・診断技術、補修技術について紹介した。

Abstract

To achieve minimum maintenance work of steel bridges, we developed the world's first 3% Ni-added high-performance weathering steel (NAW-TENTM15). It was applied to railway bridges near the Sea of Japan in 1998 and the outward appearance of the bridges at 15 years later showed good condition. We have also conducted outdoor exposure tests near the bridges. As a result, the corrosion loss of the developed weathering steel was approximately two thirds that of JIS-SMA which is a weathering steel standardized by the Japanese Industrial Standard. Also the corrosion loss of the 3% Ni-added high-performance weathering steel was estimated at 0.17mm 100 years later. Recently, demand of further durability for existing steel bridges by adequate maintenance has been increasing. In accordance with the demands, inspection methods, corrosion diagnosis systems and repair methods that are easy to use for the worker in charge have been developed. This paper reveals that, the results of long term durability investigation of 3% Ni-added high-performance weathering steel, inspection methods, corrosion diagnosis systems and repair methods are essential for achievement of minimum maintenance work.

1. 緒 言

耐候性鋼はCu, Ni, Cr, P等の合金元素を微量添加することで鋼材表面に緻密な保護性のさび層を形成し、大気環境中で優れた耐食性を発揮する低合金耐食鋼である¹⁾。1968年に“溶接構造用耐候性熱間圧延鋼材”として低P系のSMAがJIS化され(JIS G 3114以降, JIS-SMAと記す)、鋼構造物のメンテナンスコストの縮減に寄与する鋼材とし

て橋梁を中心に実適用された。さらに、建設省土木研究所、(社)鋼材倶楽部、(社)日本橋梁建設協会の三者による耐候性鋼の橋梁への適用に関する共同研究²⁾など適用の考え方や規定が整備され、道路橋示方書・同解説³⁾や鉄道構造物等設計標準・同解説⁴⁾などの設計規準に取り入れられることで適用が進み、最近では新設橋梁の25%程度を占めている(図1)。

三者共同研究の結果から、耐候性鋼は海岸線に近く飛来

* 鉄鋼研究所 厚板・形鋼研究部 主任研究員 千葉県富津市新富 20-1 〒293-8511

塩分量の多い環境では保護性のさび層が生成されず、JIS-SMA の適用範囲は $0.05\text{mg}/100\text{cm}^2/\text{day}$ ($\text{NaCl} : 0.05\text{mdd}$) 以下の環境とされた (図2) ³⁾。無塗装耐候性鋼橋梁は塗り替え塗装を不要にすることができることから、ライフサイクルコストの低減に有利であり、海岸線に近い場所においても耐候性鋼を無塗装仕様で使用したいとのニーズが高まってきていた。

新日鐵住金(株)では、1997年にJIS-SMAの適用範囲外となる 0.05mdd を超える塩害の厳しい環境でも適用可能な、表1に示す化学組成の3%ニッケル高耐候性鋼を専用の溶接材料、高力ボルトとともに開発、製品化した^{5,6)}。3%ニッケル高耐候性鋼は、塩化物イオンをさびの外側に、ナトリウムイオンを内側に分離、濃縮するイオン交換機能をさび層にもたせることで、地鉄界面における塩化物イオンの侵入、濃縮、pH低下を抑制させ、鋼材の腐食速度を著しく低下させた鋼材である⁹⁾。本鋼材は、1998年に、新潟県西部の親不知の海岸線から約600mに位置する北陸新幹線北陸道架道橋の橋桁および橋脚にさび安定化補助処理仕様にて初めて適用された (図3) ⁷⁻⁹⁾。それ以降、新日鐵住金のニッケル系高耐候性鋼は2013年3月末までに鉄道橋や道路橋で合計93橋、累計約31000トン適用されている (図4)。

さらに、新日鐵住金では、橋梁のミニマムメンテナンス

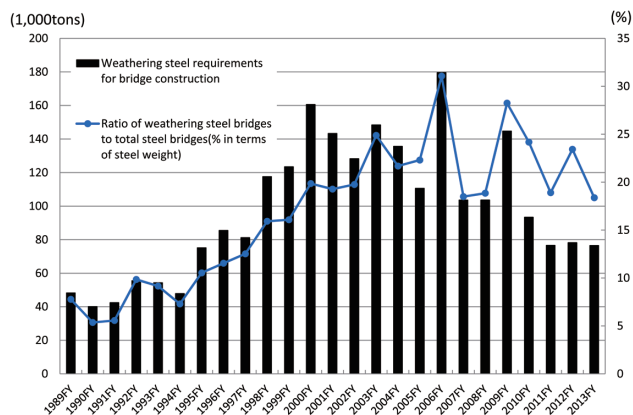


図1 耐候性鋼橋梁の国内建設量の推移
(日本橋梁建設協会調べ)

Application transition of weathering steel bridges
(courtesy: Japan Bridge Association)

実現に向け、鋼材開発だけでなく、耐候性鋼の適用可否判断ツールとなる長期腐食減耗量予測技術 (YOSOKU®) ^{10, 11)} や、耐候性鋼橋梁の維持管理に関わるさび状態の定量診断技術 (RST: Rust State Tester) ^{12, 13)} など利用技術の開発や技術の体系化 ^{14, 15)} を進め、鋼材およびその利用技術の両面から技術開発を行ってきた。

本報告では、1998年に世界初の3%ニッケル高耐候性鋼の実橋梁適用案件である北陸新幹線北陸道架道橋の経年

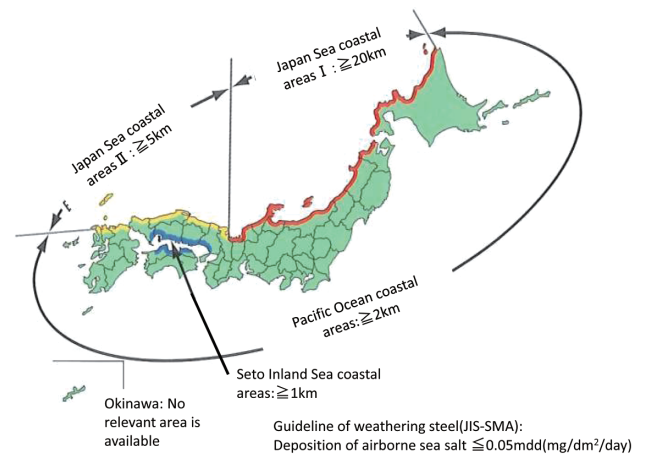


図2 道路橋における耐候性鋼の適用基準 (裸仕様)
Application guideline of weathering steel for road bridges (bare)

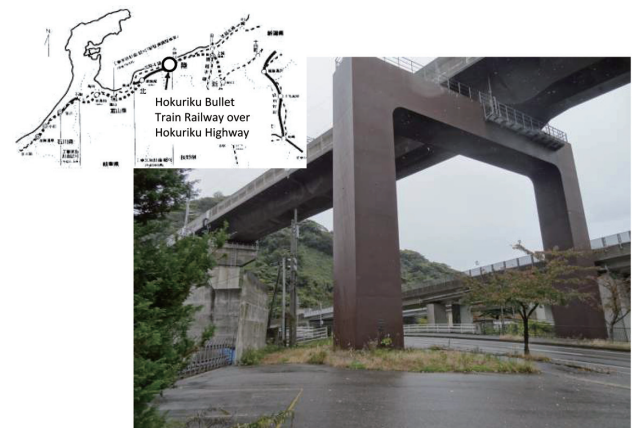


図3 3%ニッケル高耐候性鋼橋梁の15年経過後の外観
Appearance of 3%Ni-added high-performance weathering steel bridge after 15 years

表1 3%Niの母材、溶接材料、高力ボルトの化学成分値 (mass%)
Chemical compositions of base metal, welding material, high strength bolt of 3%Ni

	Grade		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	V value
Base metal	3%Ni	Test specimen	0.10	0.20	0.60	0.005	0.001	0.38	3.04	0.02	1.56
		Specification	≤ 0.18	0.15/0.65	≤ 1.40	≤ 0.035	≤ 0.035	0.30/0.50	2.50/3.50	≤ 0.08	≥ 1.50
	JIS G 3114	Test specimen	0.13	0.45	1.01	0.015	0.005	0.33	0.09	0.47	1.01
		Specification	≤ 0.18	0.15/0.65	≤ 1.40	≤ 0.035	≤ 0.035	0.30/0.50	0.05/0.30	0.45/0.75	---
Welding material	NSSW SF-50WN	Example	0.04	0.25	0.49	0.008	0.005	0.30	2.70	-	1.53
High strength bolt	S10TMR	Example	0.22	0.21	0.50	0.009	0.004	0.35	3.00	-	1.74

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

Range of V value 0.9 ≤ V ≤ 2.5

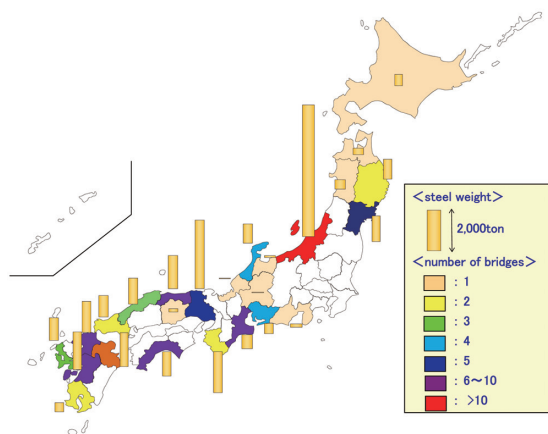


図4 ニッケル系高耐候性鋼の橋梁への適用実績
Practical applications of Ni-added high-performance weathering steel bridge

変化および当該橋梁に隣接する環境下で実施した曝露試験による耐食性評価結果⁷⁻⁹⁾とともに、顧客ニーズの強い耐候性鋼橋梁に対する点検・診断、補修技術の現状と取組状況について紹介する。

なお、その後、鉄鋼各社により数種類のニッケル系高耐候性鋼が製品化されたことから、耐候性能を統一的に評価する研究により、耐塩害性を考慮した耐候性合金指標(*R*値)が提案されている^{16,17)}。表1に新日鐵住金のニッケル系高耐候性鋼の*R*値の計算例を併せて示す。

2. 3%ニッケル高耐候性鋼材の15年目の経年評価⁹⁾

図3に北陸新幹線北陸道架道橋（以下、本橋と称する）に適用された3%ニッケル高耐候性鋼（さび安定化補助処理仕様）の15年経過後の外観を示す。本橋は通気性と滞水抑制に配慮した閉塞型の桁構造形状（4径間連続合成箱桁（以下、船型桁と称する）、3径間連続コンクリート充填鋼管複合桁（以下、鋼管桁と称する））が適用されており、大部分で降雨による洗浄効果が期待できる構造であり、15年経過した現在も良好な外観を示している。また本橋に隣接した場所で実炉製造した鋼板から小型試験片と模擬橋梁試験体を作製し、本橋現地架設に先だって曝露試験を開始した。それ以降、経年変化を長期にわたり追跡調査している。本環境の飛来塩分量を模擬橋梁試験体の桁内外で1年間測定した結果、軒なし環境となる桁外では平均0.244mdd、軒下環境となる桁内（側方遮蔽条件）では平均0.036mddであった（図5、図6）⁸⁾。

小型曝露試験は本橋の構造を考慮して降雨による洗浄を加味した軒なし、水平条件にて実施した。図7に重量減から求めた片面腐食減耗量の経年変化を示す。裸仕様では、3%ニッケル高耐候性鋼の腐食減耗量は、JIS-SMAの約2/3程度と低い値を示した。なお、本橋と同様のさび安定化補助処理仕様では、15年曝露後も外観はほとんど変化しておらず、また腐食減耗も認められなかった。図8に裸仕様曝露試験片のイオン透過抵抗値の経年変化を示す。図



(a) Inside of the bridge (b) Outside of the bridge

図5 模擬橋梁試験体（桁）内外における飛来塩分量測定状況
Airborne salts measurement situation at the inner and outer girder of the simulated bridge

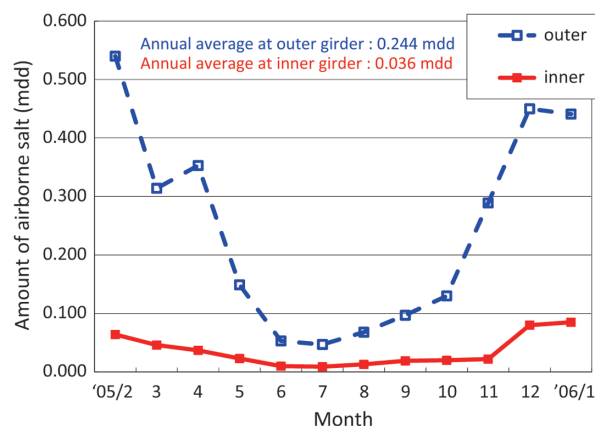


図6 桁内外の飛来塩分量測定結果（2005）
Airborne salts measurement result (2005) at inner and outer girder

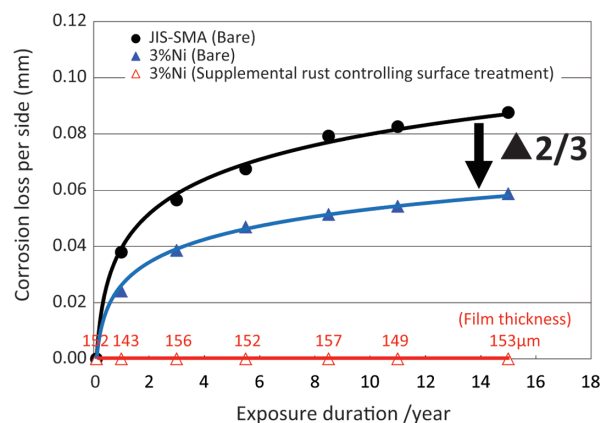


図7 腐食減耗量の経年変化
Secular change of corrosion loss

中の数字は曝露年数を示す。JIS-SMA、3%ニッケル高耐候性鋼ともに経年に伴い、未成長さび領域（I-5）から環境遮断性さび領域（I-4）に変化しており、鋼板表面に保護性さびが形成されていることがわかる¹⁸⁾。

また、耐候性鋼の経年腐食減耗量 Y (mm) は、年数 X に対して $Y = AX^B$ の累乗則で表わされることから、15年目までの結果を用い、長期の腐食減耗量を推定した結果、3%ニッケル高耐候性鋼で $Y = 0.025X^{0.34}$ (A 値: 0.025, B 値: 0.34) となり、100年間での腐食減耗量は0.17mmと算出され、鉄道構造物等設計標準・同解説⁴⁾における100年後の

累積腐食減耗量の制限値の目安である 0.50mm を満足する結果となることがわかった。

次に、図 9 に 3% ニッケル高耐候性鋼の溶接継手曝露試験片外観、図 10 に溶接材料と母材の腐食減耗量比較を示す。15 年経過後も母材、溶接部近傍を含め、さび除去前後いずれでも外観目視で異状は認められず、また腐食減耗量も母材、継手部ともに同程度であることを確認できた。

模擬橋梁試験体は、本橋の船型桁、鋼管桁と異なり、桁内で降雨に伴う付着塩分などの洗い流しが期待できない部位を有した 2 主桁形状で実施した。すなわち、模擬橋梁試験体の桁内は本橋よりも付着塩分量は多く、厳しい腐食環境であることが想定される。図 11 に 15 年経過後の模擬橋梁試験体の外観、図 12 にその模擬橋梁試験体のさび安定化補助処理仕様の桁内の外観写真を示す。裸仕様で外観評点“4”（保護性の良好なさび）、さび安定化補助処理仕様で評点“A”（補助処理被膜が残し、変退色がない状態）であり、良好な状態であることがわかる。

次に、図 13 に模擬橋梁試験体内の桁内外の各部位のさ

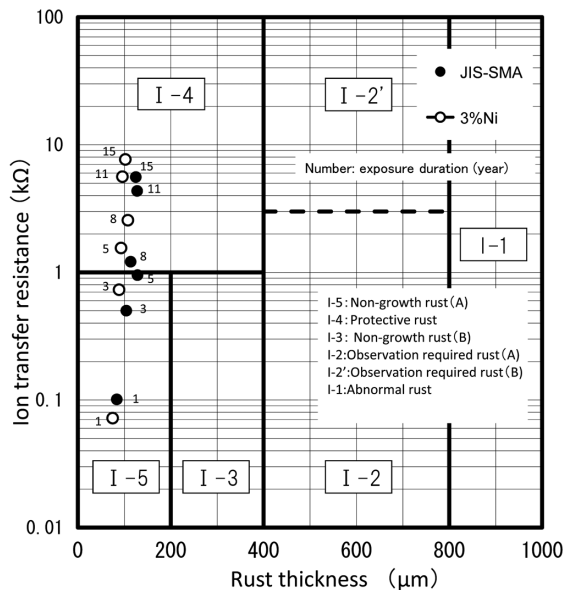


図 8 さび厚とイオン透過抵抗値の経年変化
Secular change of rust thickness and ion transfer resistance

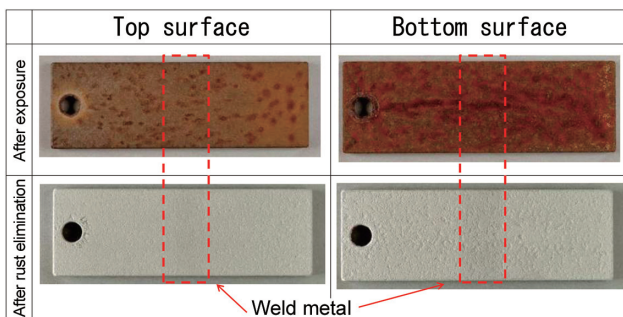


図 9 3% ニッケル高耐候性鋼の継手曝露試験片外観
Appearances of weld joints of 3% Nickel-added high-performance weathering steel after exposure test (15 years)

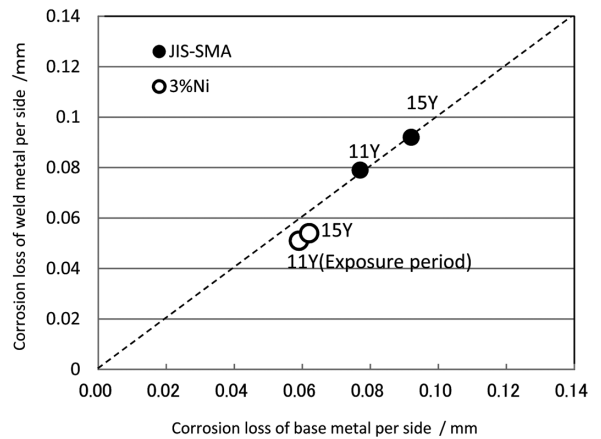


図 10 母材と溶接金属の腐食減耗量の比較
Comparison of corrosion loss between base and weld metal

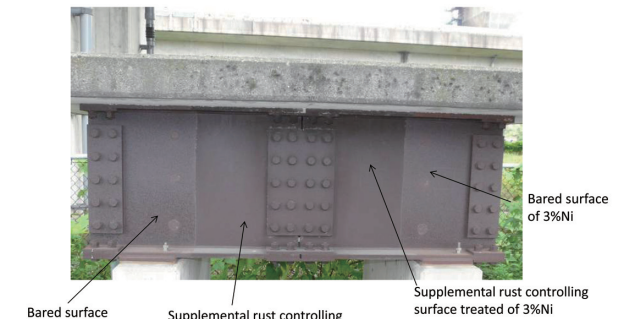


図 11 模擬橋梁試験体の外観（15 年後）
Appearance of simulated bridge (exposure after 15 years)

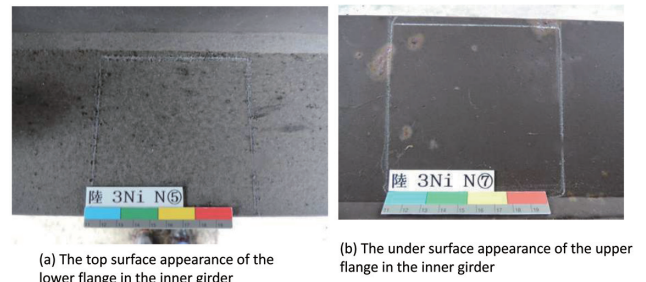


図 12 さび安定化補助処理材の外観（15 年後）
Appearance of supplemental rust controlling surface treatment (exposure after 15 years)

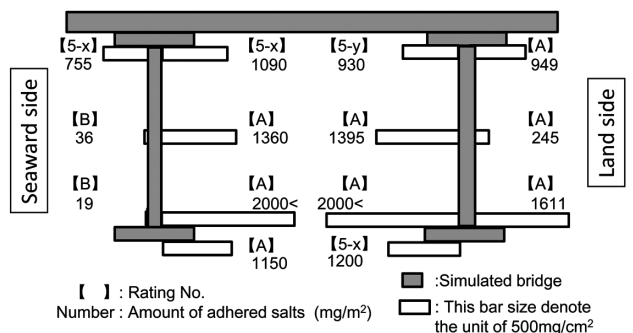


図 13 模擬橋梁試験体の外観評点および付着塩分量
Amount of adhered salts on simulated bridge

び安定化補助処理を施した 3% Ni 高耐候性鋼の外観評点と付着塩分量⁸⁾を併せて示す。最も付着塩分量が多い、桁内下フランジ上面では外観評点区分¹⁹⁾で腐食が進行せず薄いさび(評点“5”)と補助処理被膜部のさび状況が<3% (評点“x”)とからなる評点“5-x”, その他のフランジ部は部分的に評点“5-x”や評点“5-y”(外観評点区分で<30%となる評点“y”)の箇所が認められたが、桁内上フランジをはじめ、ほとんどの部位では桁外同様の評点“A”か、または変色・退色ありの評点“B”に位置づけられ、さびが表面に現われておらず、防食性能としては良好な状態であった。

3. 長期腐食減耗量予測技術(YOSOKU)と実環境曝露データとの比較

防食性能は鋼材の耐食性だけでなく架橋位置周辺での環境の腐食性によっても大きく変わる。従って、架設位置周辺の環境評価とそれに基づく材料選定による耐食性能の把握が重要となる。新日鐵住金では、従来、飛来塩分量だけが重視されてきた腐食環境に対し、温度、湿度、濡れ時間、風速などを考慮し、曝露試験を実施することなしに、建設予定地における各種耐候性鋼の腐食減耗量を予測可能なソフトウェア YOSOKU を開発し、JIS-SMA やニッケル系高耐候性鋼の適用可否判断ツールとして活用している。

YOSOKU は、JIS-SMA については三者共同研究における全国 41 橋の軒下曝露結果と桁内で測定された飛来塩分量をもとに、各腐食因子の影響を加味した回帰分析を行うことによって係数や数式が設定されており、ニッケル系高耐候性鋼についても、複数箇所で行った曝露試験結果をもとに、JIS-SMA との相関が設定されている^{10,11)}。本予測法は三者共同研究の 41 橋曝露以外の実橋梁においてもその適用性が検証されており、腐食減耗予測曲線と実測データが一致することが確認されている²⁰⁾。

YOSOKU は腐食環境が厳しい軒下環境における長期腐食減耗量の予測が可能である。YOSOKU の信頼性を確認

するため、模擬橋梁試験体内の軒下環境で 2006 年 7 月から 5 年間曝露試験を行っている水平曝露試験結果と比較した。検討に用いた環境条件として、飛来塩分量は図 5, 6 に示す測定値(0.036mdd)⁸⁾を用い、気象因子については最も距離の近い伏木気象台の気象データ、硫酸化物量は周辺地域の環境を考慮¹⁰⁾し、0.15mdd を用いた。長期腐食減耗量の推定結果、ならびに曝露試験結果を図 14 に示す。JIS-SMA, 3%ニッケル高耐候性鋼ともに実測データが予測曲線の $\pm 2\sigma$ 内に位置しており、YOSOKU での腐食減耗量予測の妥当性が確認されている。

4. 維持管理技術

近年の社会資本ストックの老朽化、大規模災害に対する防災・減災化など、社会資本整備への要求が多様化してきていることに呼応して、交通ネットワークの要となる既存の橋梁については、適切にメンテナンスしていくことで、より長寿命、かつ高耐久な構造物とすることが求められるようになってきた。ニッケル系高耐候性鋼を含む耐候性鋼橋梁についても、定期的に行われる点検、診断において異状を検出した場合に適切な補修、補強を行うことによって、橋梁の機能を維持していくことが求められる。新日鐵住金では、耐候性鋼橋梁の確実な点検・診断方法ならびに補修・補強方法についての技術開発にも継続して取り組んできており、構造物の安全、安心の実現と長寿化により、ミニマムメンテナンスの実現を支援している。

耐候性鋼材の点検、診断については、耐候性鋼材の表面に生成されているさびの状態を目視により評価する方法が従来用いられてきた。この方法は、“外観評点法”²⁰⁾に基づくものであるが、保護性さびの形成状態を直接かつ定量的に評価する方法が求められていた。この問題を解決するため、新日鐵住金では、さびのイオン透過抵抗を測定する装置(RST)を開発してきた(図 15)。本装置を用い、さびのイオン透過抵抗とさびの厚さを組み合わせて評価する

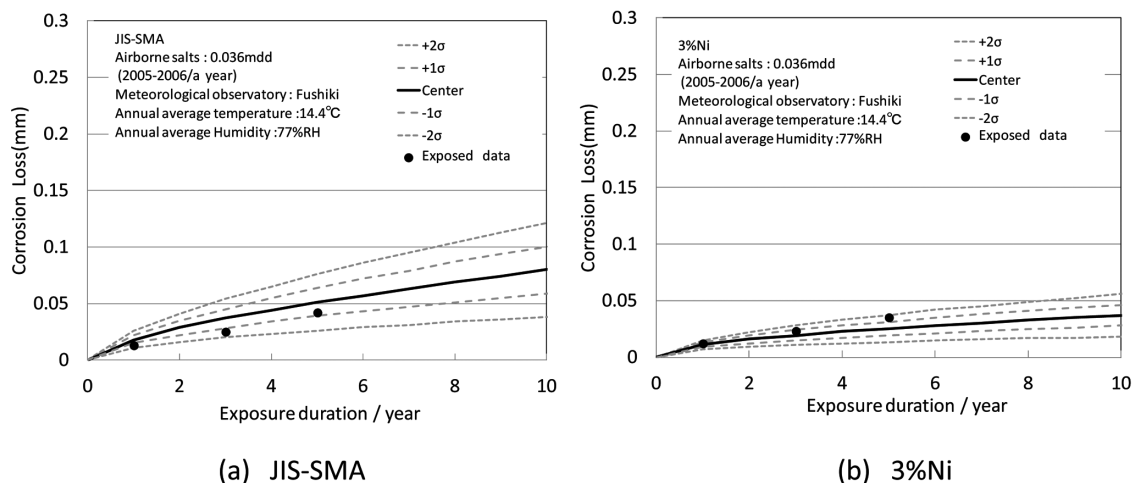


図 14 腐食減耗予測曲線と実測データの比較
Comparison of corrosion loss between forecasting curve and measured data



図 15 イオン透過測定外観
Ion transfer resistance measurement (RST)



図 16 ダイヤツール外観
Grinder with manmade diamond grains

ことで、生成されているさびの状態を定量的に判断する指標を提案している（図8参照）¹¹⁻¹³⁾。本手法は、外観目視という主観的な判断だけに頼らず、電気化学的解析に基づいた定量的なさびの状態判断ができることが特徴であり、国土交通省の NETIS（新技術情報提供システム）にも登録され、点検ツールとしての利用が期待される技術である（登録番号：KT-110072-A）。

補修についても各種の技術開発が実施されているが、耐候性鋼材においてとくに重要と考えられるのは、異状腐食が発生した場合の対処方法である。耐候性鋼材の表面に層状剥離さびやうろこ状さびなどの異状腐食が生じた場合、一般に、その原因を取り除くことができれば、塗装などは不要となるが、漏水などの腐食原因を完全に遮断できない場合は、補修手段として異状腐食の発生部位を部分的に塗装することが選択される場合が多い。しかしながら、一般に、塗装においては、素地調整や表面に付着した塩分の除去が不十分であると、塗膜の下からさびが発生し、早期に防食機能が消失する場合があるため、再塗装には注意が必要である。異状腐食により生じたさびは固着しており、ブラストなどでの除去に時間を要することや、表面の塩分が除去しづらいなどの課題があることが指摘されている²¹⁾。

この問題に対し、新日鐵住金は、耐候性鋼の異状腐食により生じた固着さびを効率的に除去する工具であるダイヤモンドツール²²⁾（図16）や、鋼材表面の付着塩分が従来の参考基準（50mg/m²）よりも多く残っていても防食機能を発揮



図 17 補修塗装事例
Example for repaired painting

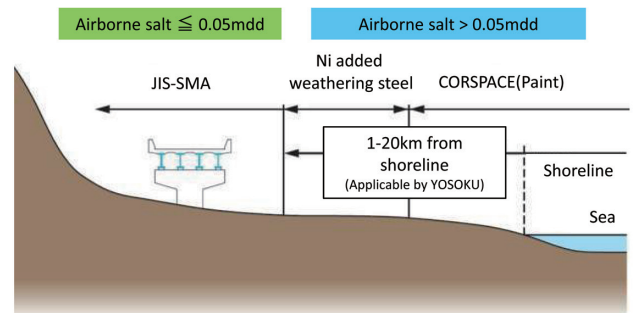


図 18 各種低合金耐食鋼の適用イメージ
Application image of various low alloy corrosion resistance steels

するジンクリッチペイント²²⁾の開発などを行っている。これらの技術開発の成果を基に、耐候性鋼橋梁の補修工事での検討などを踏まえた、耐候性鋼橋梁を正しく補修塗装するための施工フローが提案され、実橋の補修に適用されている（図17）²¹⁾。

5. 結 言

3%ニッケル高耐候性鋼の実適用案件による経年変化の評価事例および実曝露データを用いた長期腐食減耗量予測技術（YOSOKU）の妥当性、ならびに耐候性鋼橋梁の維持管理に関する技術開発について述べた。また、新日鐵住金では、近年、ニッケル系高耐候性鋼が適用できないような非常に厳しい高塩害環境向けに塗装周期延長鋼（CORSPACE®）を開発、実用化^{23,24)}している（図18）²⁵⁾。今後も鋼材およびその利用技術の両面から鋼橋のミニマムメンテナンス化に貢献できるよう研究、開発を進めていく。

謝 辞

北陸新幹線北陸道架道橋に隣接する場所での曝露試験において、ご協力頂きました(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 岡田，細井，湯川，内藤：鉄と鋼，55，355（1969）

- 2) 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 (XX).
1993.3
- 3) (社)日本道路協会:道路橋示方書・同解説. I 共通編, II 鋼橋編,
2002.3
- 4) 鉄道構造物等設計標準・同解説 (鋼構造物および鋼・合成
構造物). 丸善, 1992
- 5) 宇佐見, 紀平, 楠: 新日鉄技報. (377), 19-21 (2002)
- 6) Kihira, H., Kimura, M.: Corrosion. 67 (9), (2011)
- 7) 保坂, 楠, 富田, 宮坂, 田辺: 土木学会第 55 回年次学術講
演会集. A-190, 2000
- 8) 保坂, 藤井, 田中: 土木学会第 61 回年次学術講演会集.
1-641, 2006
- 9) 藤原, 田中, 安藤, 長澤: 土木学会第 69 回年次学術講演会集.
I-588, 2014
- 10) Kihira, H., Senuma, T., Tanaka, M., Nishioka, K., Fujii, Y., Sakata,
Y.: Corrosion Science. 47, 2377-2390 (2005)
- 11) 紀平, 田辺, 楠, 竹澤, 安波, 田中, 松岡, 原田: 土木学会
論文集. No.780I-70, 71-86 (2005)
- 12) 紀平: Zairyo-to-Kankyō. 48, 697-700 (1999)
- 13) 今井, 立花, 松本, 紀平: 防錆管理. 51, 5 (2007)
- 14) 紀平, 田中, 安波, 竹澤, 楠, 松岡, 原田, 田辺: 新日鉄技報.
(380), 28-32 (2004)
- 15) 藤井, 田中, 紀平, 松岡: 新日鉄技報. (387), 53-57 (2007)
- 16) 三木, 市川, 鵜飼, 竹村, 中山, 紀平: 土木学会論文集.
No.738I-64, 271-281 (2003)
- 17) 紀平: 溶接学会誌. 76 (3), 38-41 (2007)
- 18) 紀平, 塩谷, 幸, 中山, 竹村, 渡辺: 土木学会論文集.
No.745I-65, 77-87 (2003)
- 19) (社)日本鋼構造協会 鋼橋性能向上研究委員会・耐候性鋼橋
梁部会: JSSC テクニカルレポート. No.73, 2006
- 20) (社)鋼材倶楽部, (社)日本橋梁建設協会: 耐候性鋼橋梁への
適用 [解説書]. 2001.2
- 21) 今井, 山本, 麻生: 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学). 68 (2),
347-355 (2012)
- 22) 平松, 三塚, 今井, 相賀, 松本, 長井, 里, 木下, 紀平: 第
29 回鉄構塗装技術討論会発表予稿集. 2006, p. 7-10
- 23) 上村, 西尾, 前田, 吉田, 鹿島, 菅江, 幸, 工藤: 材料と環境.
62, 187 (2013)
- 24) 菅江, 上村, 安藤, 都築: 新日鉄住金技報. (400), (2014)
- 25) 新日鉄住金(株)グループ カタログ インフラ再生(橋梁)に対
するソリューション. 2013



長澤 慎 Makoto NAGASAWA
鉄鋼研究所 厚板・形鋼研究部 主任研究員
千葉県富津市新富20-1 〒293-8511



安藤隆一 Ryuichi ANDO
厚板事業部 厚板技術部 厚板商品技術室
主幹



原田佳幸 Yoshiyuki HARADA
鉄鋼研究所 材料信頼性研究部 主幹研究員



田中睦人 Mutsuto TANAKA
厚板事業部 厚板技術部 厚板商品技術室長



奥島基裕 Motohiro OKUSHIMA
名古屋製鉄所 品質管理部 厚板管理室長



高木優任 Masahide TAKAGI
建材事業部 建材開発技術部 橋梁開発技術室
主幹