

機関番号：12608
 研究種目：基盤研究（A）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20246108
 研究課題名（和文） 電気化学インピーダンス法の原理に基づく耐候性鋼橋梁の
 環境劣化モニタリングシステム
 研究課題名（英文） Corrosion Monitoring of Weathering Steel Bridges
 by Electrochemical Impedance Method
 研究代表者
 西方 篤（NISHIKATA ATSUSHI）
 東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
 研究者番号：90180588

研究成果の概要（和文）：耐候性鋼製のくし型プローブ電極を試作し、新潟市の苗引橋と福山市の両国橋（いずれも耐候性鋼橋梁）において、耐候性鋼の腐食モニタリングを 2 年間実施した。低周波数のインピーダンスの逆数 $1/Z_{10mH}$ の平均値は、腐食減量から得られた平均腐食速度 I_{corr} と極めて高い相関を示し、相関式 $(I_{corr}/\mu Acm^{-2}) = 17.7 \times (Z_{10mHz}/\Omega cm^2)^{-0.16}$ を得た。この相関式によりモニタリングデータから直接平均腐食速度を推定することが可能となった。

研究成果の概要（英文）：Corrosion monitoring of weathering steel has been carried out for two years at two different weathering bridges, Naebiki bridge (Niigata) and Ryogoku bridge (Fukuyama) by electrochemical impedance method. Average values of reciprocal of low frequency impedance at 10mHz ($1/Z_{10mHz}$) well correlate with average corrosion rate obtained by corrosion weight loss measurements. The correlation equation was obtained as follows: $(I_{corr}/\mu Acm^{-2}) = 17.7 \times (Z_{10mHz}/\Omega cm^2)^{-0.16}$.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2009 年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
2010 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	17,200,000	5,160,000	22,360,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学・材料加工・処理

キーワード：大気腐食 腐食モニタリング 耐候性鋼 電気化学インピーダンス

1. 研究開始当初の背景

日米の腐食調査機関は、金属材料の防食対策の年間コストが GDP の数%（日本：約 10 兆円）に及んでいることを概算している。そのなかで塗装コストは最も大きな割合を占めることから、米国ではすでに橋梁の約 50%、日本でも 30% 近くに無塗装で使用可能な耐候性鋼が使

われ、その割合は今後さらに増加することが予想される。しかしながら、「錆をもって錆を制す」の考え方で開発された耐候性鋼は、安定錆（保護性錆）が形成されるまで数年間を要し、また環境変化が錆形成に大きく影響を及ぼすことから、塗装鋼橋梁以上に安全管理が重要となる。一方、腐食が原因と考えら

れる塗装鋼橋梁の事故が最近報告されている。今後、社会資本の長期使用（橋梁 100 年寿命）が求められることから、環境劣化に対する安全管理が一層重要となる。

2. 研究の目的

本研究は電気化学インピーダンス（EIS）法の原理に基づく腐食モニタリングシステムを実橋梁に適用し、耐候性鋼橋梁の腐食速度を計測するシステムを確立する。さらに、橋梁が設置されている環境の腐食性（飛来海塩粒子量、材料表面の濡れ時間）を同手法により評価するシステムを開発する。

3. 研究の方法

一般耐候性鋼（SMA）、2.5% Ni 耐候性鋼（NiWS）そして普通の炭素鋼（SM）をプローブ電極材料として用いた。モニタリング用のプローブ電極を図 1 に示す。腐食減耗量を求めるため同鋼種のワッペン試験片（50 x 50 x 2 mm）も一緒に曝露した。

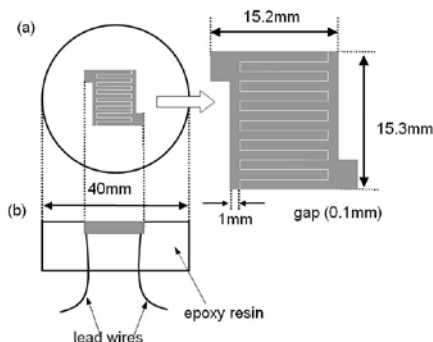


図 1 モニタリング用プローブ電極

モニタリングは新潟市の苗引橋（離岸距離 7km）と福山市の両国橋（離岸距離 数 100m）の 2 か所の耐候性鋼橋梁で行った。苗引橋では、プローブとワッペンを下フランジの上面と下面に両面テープで固定した。両国橋では外桁と内桁に設置した。両国橋の外桁だけが雨による付着塩の洗い流しが起こり、それ以外は雨がかからない環境である。腐食のモニタリングは電気化学インピーダンス法により行った。腐食モニターは新たに開発した鉛蓄電池駆動の AC 腐食モニター（Syrinx）を使用し、10mHz と 10kHz の 2 周波数のインピーダンスを 1 時間毎に自動計測し、メモリーに保存した。苗引橋に設置したモニターは管理が困難なため蓄電池に太陽電池を併設し充電なしで計測できるようにした。また、腐食速度の温湿度依存性についても調べるため、温湿度も同時に計測した。モニタリングは両橋梁で 2 回ずつ行い、1 回目は SMA と NiWS を、2 回目は SMA と SM をプロ

ブ電極に用いた。設置したプローブ電極の写真を図 2、3 に示す。

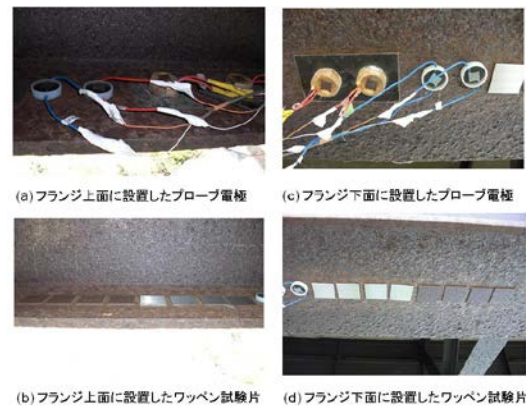


図 2 苗引橋（新潟）に設置したプローブ電極とワッペン試験片

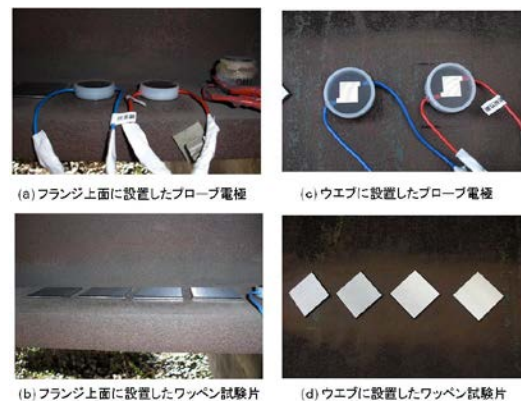


図 3 両国橋（福山）に設置したプローブ電極とワッペン試験片

モニタリングのスケジュールを表 1 に示す。表中の黒い部分は、腐食モニターの不具合等によりデータの欠損があった期間である。腐食減耗量との相関を検討する際には、欠損期間を除いて解析を行った。本研究では 10mHz のインピーダンスの逆数 $1/Z_{10mH}$ を腐食速度の指標とし、腐食減耗量との相関を調べた。正確な腐食減耗量を計測するため、曝露したワッペン試験片の徐錆と減耗量の計測は JFE テクノリサーチ(株)に依頼した。

4. 研究成果

(1) 環境モニタリングと腐食減耗量
2010 年の苗引橋と両国橋の各月の平均温度と湿度を図 4 に示す。平均温度は両国橋が高く、逆に平均湿度は苗引橋が高いことがわかる。年平均気温と湿度は、苗引橋（14.7℃、79.8%）、両国橋（17.2℃、69.6%）であった。

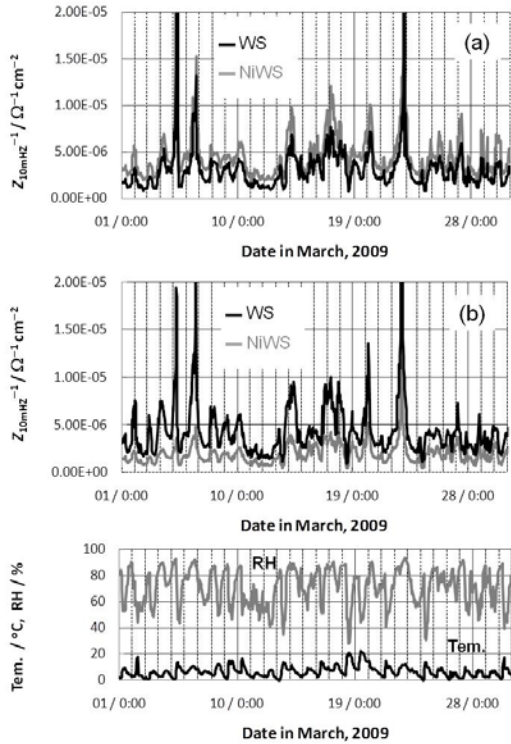


図6 腐食モニタリング結果
(2009年3月 苗引橋 新潟)

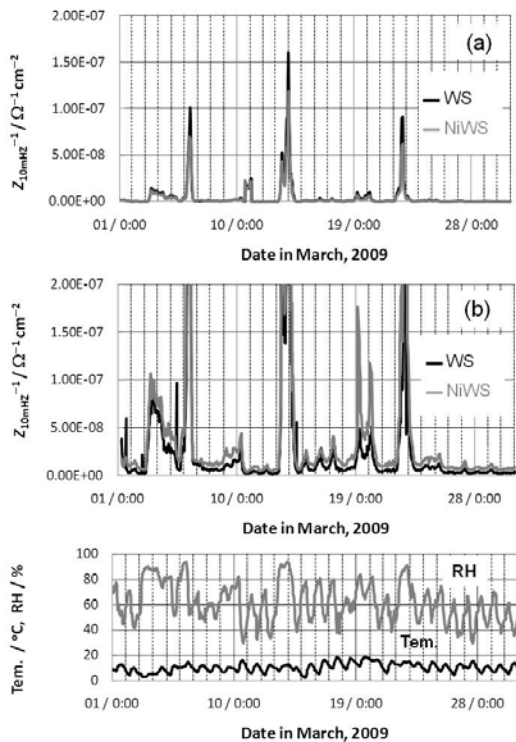


図7 腐食モニタリング結果
(2009年3月 両国橋 福山)

(3) 環境因子

苗引橋と両国橋の2009年3月におけるSMAの $1/Z_{10mH}$ の値を湿度に対してプロットした結果を図8に示す。苗引橋では、30~85%の範囲で $1/Z_{10mH}$ は湿度の上昇とともに増加したが、両国橋では無視できるほど小さい。湿度が85%を超えると両橋梁ともに $1/Z_{10mH}$ は急激に増加した。85%以下での挙動の違いは、付着塩量の違いに起因しているものと思われる。従って、苗引橋の腐食減耗量が大きかった理由は、85%以上の高湿度になる頻度が高いため、および付着塩量が多いためと考えられる。

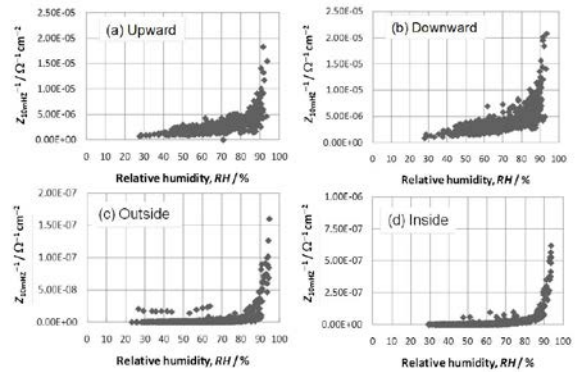


図8 $(Z_{10mHz})^{-1}$ と相対湿度の関係

(a), (b)は苗引橋のフランジに上向きと下向きに設置、(c), (d)は両国橋の外桁のウェブと内桁のフランジ上面に設置

3月の1か月間に測定された $1/Z_{10mH}$ を湿度に対してプロットしたのが図9である。(a)は湿度が $70\% \leq RH < 71\%$ のときに測定された $1/Z_{10mH}$ のみを選び湿度に対してプロットした。また、(b)は $80\% \leq RH < 81\%$ のデータを使った。一定湿度において、 $1/Z_{10mH}$ は温度が上昇すると増加することがわかる。

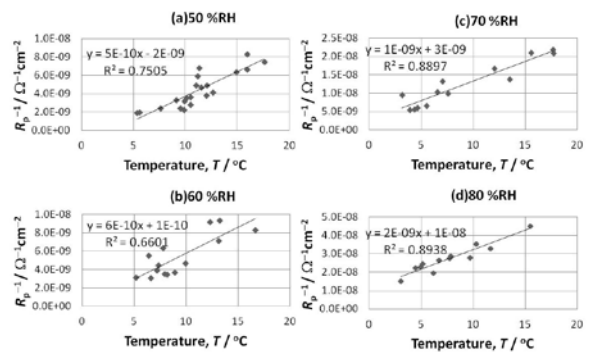


図9 $(Z_{10mHz})^{-1}$ と温度の関係

(a), (b)は苗引橋のフランジに上向きと下向きに設置、(c), (d)は両国橋の外桁のウェブと内桁のフランジ上面に設置

(4) 腐食減耗量との相関

腐食減耗量から求めた平均腐食電流 I_{corr} と腐食モニタリングから得られた $1/Z_{10mH}$ の6カ月の平均値をプロットした結果を図10に示す。図中、苗引橋（雨がかり無し）と両国橋（内桁：雨がかり有、外桁：雨がかり有）のデータを丸で囲んだ。その他のデータは以前に報告した沖縄、富津、銚子、つくばの曝露場（すべて雨がかり有）での炭素鋼、耐候性鋼、3%Ni 耐候性鋼の結果である²⁾。雨がかりの有無にかかわらず、両者は極めて高い相関を示すことがわかった。これにより以下の相関式を得た。

$$(I_{corr} / \mu A cm^{-2}) = 17.7 \times \{(Z_{10mH} / \Omega cm^2)^{-1}\}^{0.16} \quad (1)$$

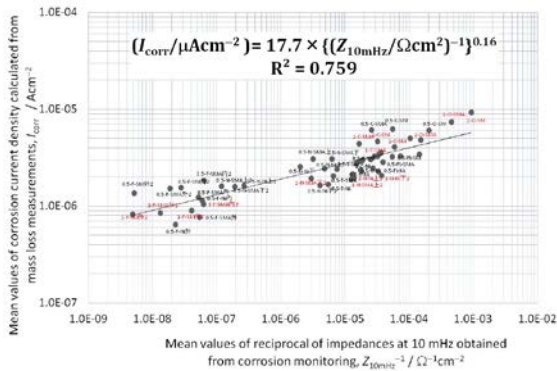


図10 腐食減耗量から決定した腐食速度 I_{corr} とモニタリング得られた10mHzのインピーダンスの逆数 $(Z_{10mHz})^{-1}$ の相関

予想通り、電流線の分布の問題から、両者は比例しないが、 $1/Z_{10mH}$ を連続的にモニタリングすることにより、この式を使って低合金鋼の平均大気腐食速度を推定できる。

測定された $1/Z_{10mH}$ から各月の平均値を求め、(1)式を使って月毎の平均腐食速度 I_{corr} を求めた結果を図11、12に示す。図11が第1回の2年間のモニタリング、図12が第2回の1年間のモニタリング結果を I_{corr} に換算したものである。

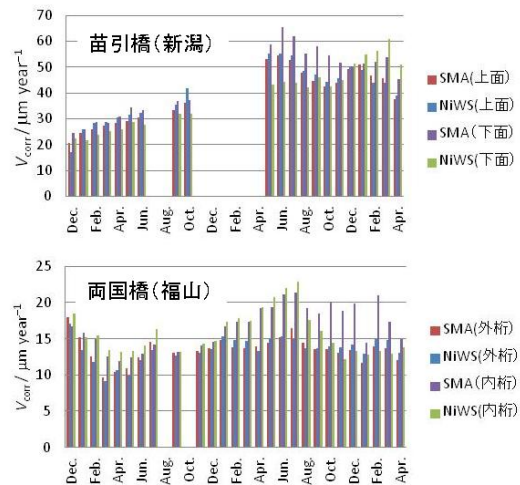


図11 月毎の腐食速度（第1回モニタリング2年）

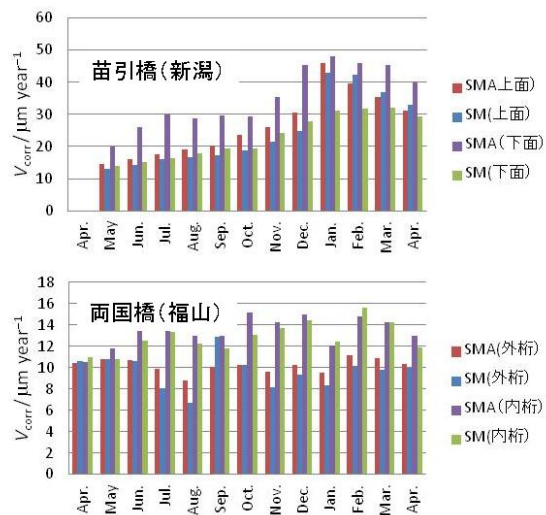


図12 月毎の腐食速度（第2回モニタリング1年）

参考文献

- (1) 水流徹、春山志郎、防食技術、27、57(1978)
- (2) 児島岳志、西方篤、水流徹、材料と環境'2005 講演集、189(2005)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

- ① Atsushi Nishikata, Atmospheric Corrosion Monitoring of Weathering Steels by Electrochemical Impedance Technique, Extended Abstracts 62th ISE Meeting, (Niigata, Japan, Sep.11-16 2011)
- ② 西方 篤、水流 徹、電気化学インピーダンス法による実耐候性橋梁の腐食モニタリング、材料と環境'2010 講演集、p.463-466(2010) 2010.5.12-5.14 東京
- ③ Atsushi Nishikata, Tooru Tsuru, Corrosion Monitoring of Weathering Steel Bridges Using Electrochemical Impedance Method, The 15th APCCC, (oct.18-21 2009 Philippines)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西方 篤 (NISHIKATA ATSUSHI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：90180588

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし