

# ACM 型腐食センサによる I 桁橋主桁の腐食環境に関する研究

Research on Corrosion environment of the main girder of an I-Section girder bridge by ACM-sensor

|               |                              |
|---------------|------------------------------|
| 北見工業大学大学院     | ○学生員 岩渕 直 (Sunao Iwabuchi)   |
| 北見工業大学大学院     | フェロー 大島俊之 (Toshiyuki Oshima) |
| 北見工業大学大学院     | 正会員 三上修一 (Shuichi Mikami)    |
| 北見工業大学大学院     | 正会員 山崎智之 (Tomoyuki Yamazaki) |
| (株)ドーコン       | フェロー 安江 哲 (Satoshi Yasue)    |
| 北海道道路管理技術センター | 竹田俊明 (Toshiaki Takeda)       |

## 1. はじめに

ライフサイクルコストという言葉が世間に認知されはじめ、徐々にではあるがその必要性が一般的に議論されるようになってきた。特にメンテナンスが欠かせない鋼橋に於いてはその概念は非常に大事なものとなる。今後も社会経済が見通しのつかない中でその概念は更に重要な要素の一つになっていくことが考えられる。しかし、現状ではそれを実現する技術は未だ確立されていない。そこで筆者らは今までにライフサイクルコスト低減を目的として塗膜劣化予測式を提案している<sup>1)</sup>。この予測式は入手が容易な塗膜劣化要因を係数に変換し、塗装後の経年発錆面積率を算出するものである。

鋼橋の腐食は防食材料の劣化から始まる。その後、防食材料内に腐食物質が進入し、鋼材の腐食が開始する。そこで、各部材の置かれている鋼材の腐食環境を知ることによって、防食材料の劣化後の各々の腐食速度の推定、および係数の推定ができると考えた。

今回は塗膜劣化予測式の妥当性を確認する一環として、鋼材の腐食環境の測定のため塩分飛来のない環境にある 1 径間単純 I 桁橋主構造の各部材に近年開発された ACM (Atmospheric Corrosion Monitor) 型腐食センサ<sup>2)</sup>を設置し腐食電流の測定試験を行い、各々の腐食環境を測定することを試みた。

## 2. 実験概要

### 2-1 ACM 型大気腐食センサ<sup>2)</sup>

ACM 型大気腐食センサ (以下、ACM センサという) とは、ガルバニック腐食原理を用いた大気腐食センサの一種である。ガルバニック腐食とは異種金属間接触による腐食のことである。本センサの構成を図 1 に示す。厚さ 0.8mm の炭素鋼板 (64×64mm) の基盤上に IC 用精密スクリーン印刷機を用いてエポキシ系 (フィラー: SiO<sub>2</sub>) の絶縁ペースト (厚さ 20 μm) が塗付されている。その上に同印刷機を用いて、Ag 導電ペースト (厚さ 15 μm) が基盤との絶縁型も保たれるように積層印刷されている (図-2)。Ag 導電ペーストがカソードとなり、炭素鋼基盤のパターン露出部がアノードとなる。

センサ出力の測定範囲は 1 nA~13mA であり、その分解能は 1 nA~10 μA では 1nA、10 μA~13mA では 1 μA である。

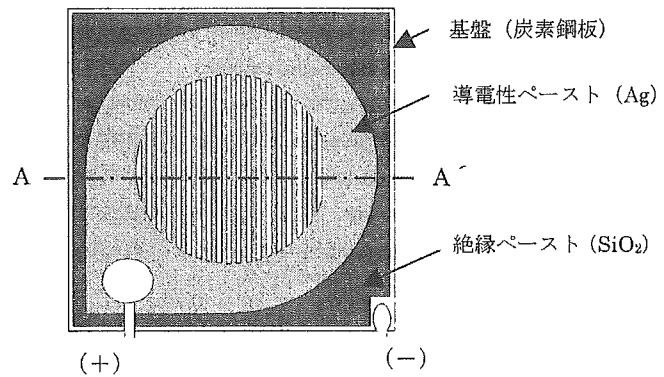


図-1 ACM センサ平面図

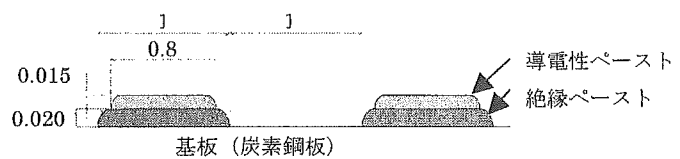


図-2 ACM センサ断面図 (単位: mm)

また、ACM センサから得られたデータは同時に取得した温湿度データと共に ACM データロガーに蓄積し、Compact Flash を記録媒体として解析を行った。

### 2-2 実験条件

本実験では、河川環境にある I 桁橋の腐食環境を測定するため、以下のような環境にある橋梁に ACM センサを設置し、鋼材の腐食環境を測定した。

|       |                              |
|-------|------------------------------|
| 所在地   | : 北海道北見市三輪                   |
| 交差物件  | : 無加川支流屯田川 (川幅: 約 2 m)       |
| 橋長    | : 27.200 m                   |
| 桁高    | : 1.730 m                    |
| フランジ幅 | : 0.320 m                    |
| 腐食環境  | : 田園環境 (厳しくない環境)             |
| 測定期間  | : 平成 15 年 11 月 11 日~12 月 6 日 |
| 測定間隔  | : 10 分毎                      |

また、ACM センサは以下の 5 箇所に設置した (図-3、表-1)。

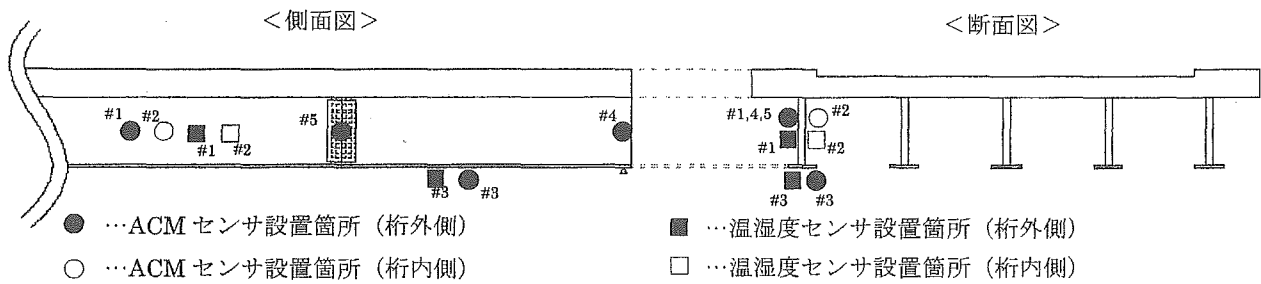


図-3 ACM センサおよび温湿度計設置箇所

表-1 ACM センサ概要

| センサ番号   | 設置箇所    | 設置角  | 桁下面からの高さ |
|---------|---------|------|----------|
| ACM # 1 | 腹板外面    | 90°  | 90 cm    |
| ACM # 2 | 腹板内面    | 90°  | 70 cm    |
| ACM # 3 | 下フランジ下面 | 180° | 0 cm     |
| ACM # 4 | 桁端部     | 90°  | 90 cm    |
| ACM # 5 | 添接部     | 90°  | 90 cm    |

ACM # 3 の設置角が 180° とあるのは下向きに設置してあることを意味する。

本実験では腐食環境を知る上で重要な温度および湿度についても計測を行った。以下に設置した温湿度センサの概要を示す(表-2)。また、用いた温湿度計は温度については白金抵抗式電気温度センサ、湿度については高分子膜式電気湿度センサであり、これらを直接降雨等に当たらないようにプラスチックカバーで保護を行った上で使用した。

表-2 温湿度センサ概要

| 温湿度センサ番号   | 設置箇所    | 形式  |
|------------|---------|-----|
| 温湿度センサ # 1 | 腹板外側    | 箱型  |
| 温湿度センサ # 2 | 腹板内側    | 箱型  |
| 温湿度センサ # 3 | 下フランジ下側 | ペン型 |

なお、下フランジ下面の温湿度センサはその形状により下フランジ下面から吊り下げて測定を行った。

### 3. 測定結果と考察

#### 3-1 測定結果

以下に測定によって得られた ACM センサ出力状況および温湿度計出力状況を示す。なお ACM センサ出力のグラフは腐食電流(A)となる。

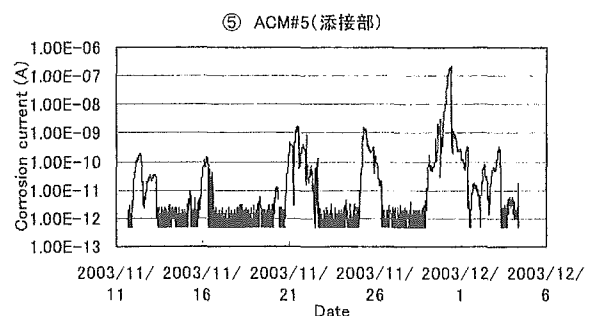
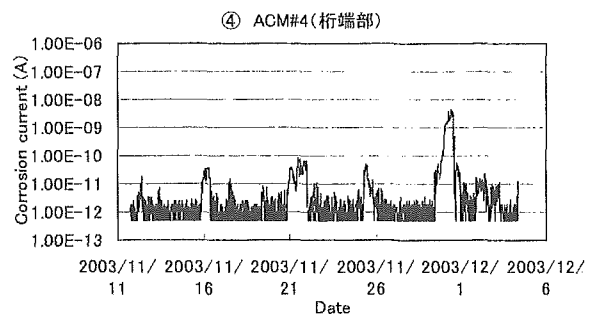
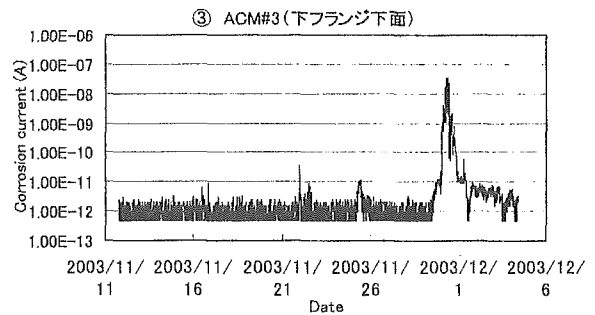
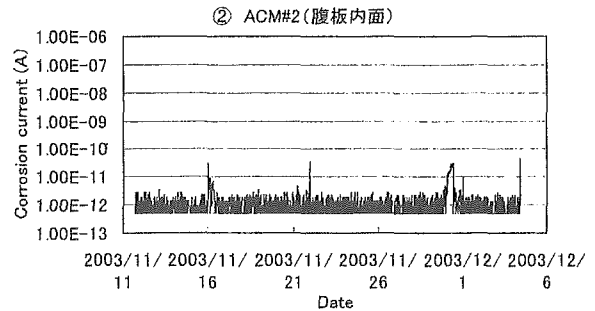
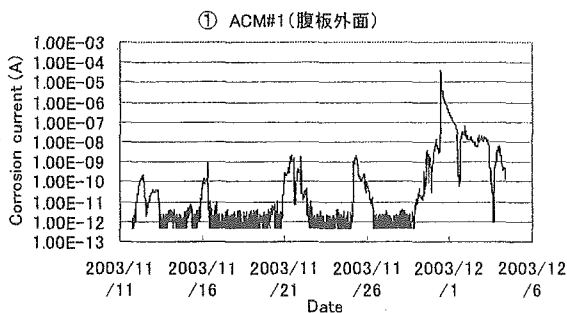


図-4 各 ACM センサ出力状況

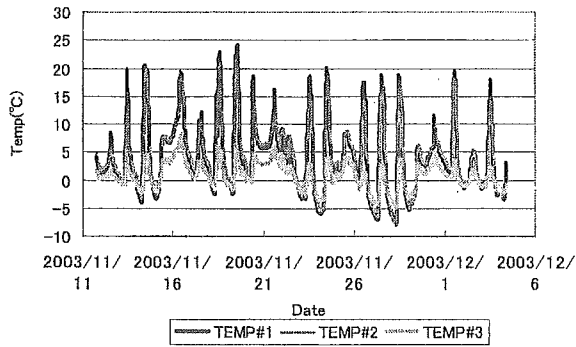


図-5 温度センサ出力状況

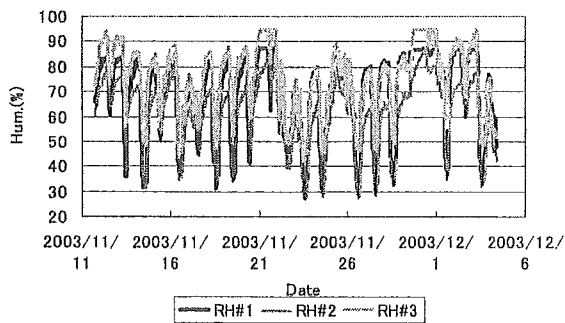


図-6 温度センサおよび湿度センサ出力状況

### 3-2 考察

#### 1) ACM センサ出力結果の考察

結果より、各部材毎に腐食電流の大きさが異なるのが良く分かる。これは、降雨時に水分が供給されるがその量の違いによりこのような結果になったと考えられる。腐食電流の出力が山となる部分は気象庁の降雨記録<sup>3)</sup>からも、その結果は妥当であるといえる。

また、桁外側の ACM センサ出力が桁内側の出力よりも大きい点も特筆すべきことである。今回の実験では ACM センサ数が少ないため確率的に問題は残るが、鋼材の腐食環境として桁外側の方が厳しい環境にあるという可能性を示している。一般的に橋桁の腐食は湿気のもる桁内側の方が大きい傾向にある<sup>4)</sup>が、それは塗装が早く劣化するためであり、鋼材の腐食環境としては雨水が供給される桁外側の方が厳しいことが考えられる。このため、塗装が劣化した場合には桁外側の発錆が著しくなる可能性がある。

次に、一般的に厳しい腐食環境にあるとされている下フランジ下面<sup>4)</sup>についてであるが、測定開始直後のデータではそれほど厳しい環境に置かれていないことを示す値が取得できた。しかし、測定後半になり腐食電流を観測した。現時点では、データ数が少ないので今後の更なるデータ取得が必要であるが、下フランジ下面の腐食は腐食性物質の濃縮・蓄積により起こることが言われている<sup>5)</sup>ので、当初は腐食電流が流れなかったのかと推察される。よって今後の腐食電流の動向が注目される。

桁端部においては、降雨時に平均的に電流が流れてい

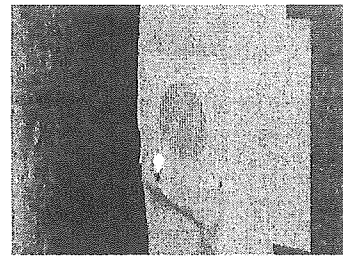


写真-1 桁端部 ACM センサ取り付け状況

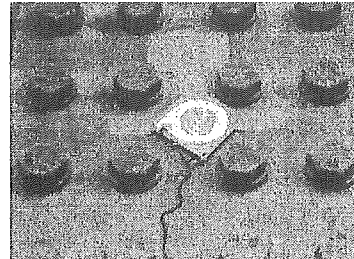


写真-2 添接部 ACM センサ取り付け状況

表-4 各 ACM センサの日平均電気量

| センサ番号   | 日平均電気量 (C/day) |
|---------|----------------|
| ACM # 1 | 9.38E-4        |
| ACM # 2 | 8.64E-12       |
| ACM # 3 | 9.32E-6        |
| ACM # 4 | 3.69E-6        |
| ACM # 5 | 1.04E-4        |

ることが分かる。この設置箇所は直接雨水にあたらない箇所であることを考えると、伸縮装置などからの漏水が桁端部をつたっていることが考えられる(写真-1)。

また、添接部であるがこの点は桁外側の添接部であるが、基本的に ACM # 1 と同様の環境に置かれているため、腹板外面と同様の結果が出ている。添接部は発錆が起きやすい箇所とされているが、それはエッジ部が多いためとされており、それを裏付ける一つの結果となっている。

最後に、解析ソフトにより得られた日平均電気量 (C/day) を表-4 に示す。表より各部材の腐食環境の特徴が明らかになっている。腐食環境として、

- ① 腹板外面
- ② 添接部
- ③ 下フランジ下面
- ④ 桁端部
- ⑤ 腹板内面

の順で上側に行くほど厳しいことが分かる。

#### 2) 温湿度センサ出力

温度および湿度は気象庁のデータとも相関しており<sup>3)</sup>、妥当なデータが得られた。ただし、温度に関しては温湿度センサ # 1 と # 2 が、# 3 より昼間で 5°C ほど大きく計測される現象が観測された。これは # 1 と # 2 が腹板に近く、腹板の温度変化が影響しているものと思われる。なお、温湿度センサ # 3 については下フランジより吊り下げたのでその影響は受けていないと考えられる。

また、湿度に関しては#1と#2は最高90%、#3については最高95%までの計測となっている。

#### i) 温度データ

図-5では平常時と降雨時の特徴がつかみにくいため、データを抜き出して、図-7および図-8に示す。

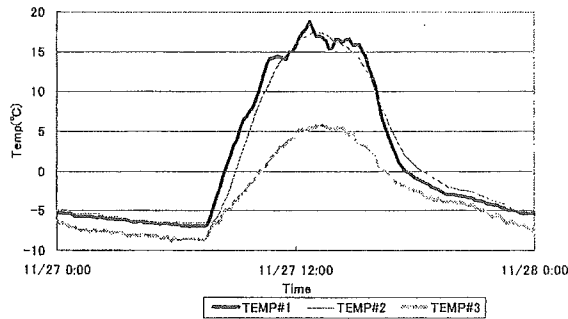


図-7 平常時(11月27日0:00~24:00)の温度変化

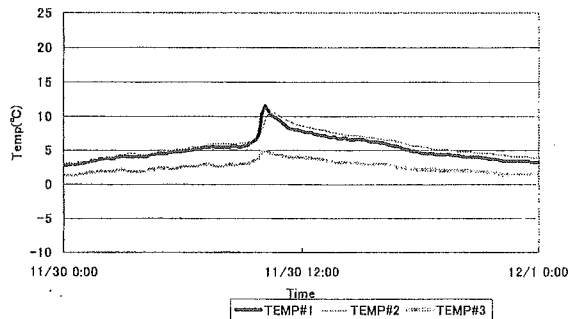


図-8 雨天時(11月30日0:00~24:00)の温度変化

これらから桁外側と内側の温度変化の特徴が読み取れる。通常時は朝方から午前中にかけて桁外側が太陽光で熱せられ、外側の気温が高くなるが、内側の気温はそれよりも低い状態で推移する。しかし午後から夜にかけて気温が下がるにつれて外側の気温が下がってゆくが、内側の気温はやや高い状態を保っているのが分かる。

また、雨天時においては強い太陽光が当たらないため、内側の気温が1日中高いまま推移していることが分かる。これは、暖かい空気が上昇して桁内部に停滞していることが考えられる。

#### ii) 湿度データ

湿度に関しては夜中に、下フランジ下面、腹板外側、腹板内側の順に小さくなる結果が得られた。通常は桁内側には水蒸気が停滞し湿度が高くなるとされているが、それとは反する結果となった。この原因としては、計測しているのが相対湿度であるため気温の高い桁内側のそれが低くなった、または暖気が停滞しているため水蒸気を含んだ冷たい空気が進入しなかったことも考えられる。しかし、前述の通りデータ数が少ないため、今後のデータの蓄積によりこの現象の解明が期待される。

#### 4. まとめ

本研究では、I桁橋主構の腐食環境を明らかにするため、ACM センサと温・湿度センサを設置することによって、その腐食環境を測定し以下の項目を確認した。

・ACM センサ出力の違いから腹板外面が桁内側よりも

鋼材として腐食環境が厳しいことが確認できた。

・温度は昼と夜では、桁外側と内側の温度は逆転し、夜は桁内側の温度が外側より高い温度で推移することが分かった。

・湿度は通常、桁内側の方が外側より高いとされているが、反対の結果を得ることができた。この原因は3-2-2)で述べた2つが推測されるが、データ数を増やし解明することが期待される。

以上のことから今後の課題として、より多くのデータを取得すると共に、腐食環境の比較を簡明に行える様にするため、鋼材の腐食速度の推定を行うことが挙げられる。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、北見工業大学客員教授 松本正信氏(株式会社フジエンジニアリング)に大変有益なご助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

本研究は平成15年度文部科学省科学研究費(代表者大島俊之)の補助を受けて行われました。

#### 参考文献

- 1) 岩淵、大島、三上、他3名：鋼橋主桁部材の劣化予測に関する研究、土木学会第58回年次学術講演会、I-476、2003.10
- 2) 元田、鈴木、篠原、他6名：海洋性大気環境の腐食性評価のためのACM型腐食センサ、材料と環境、43、p.550~556、1994
- 3) 気象庁：電子閲覧室、<http://www.data.kishou.go.jp/>
- 4) 黒木：点検・欠陥・判定・補修などー塗装一、橋梁と基礎、p66~69、1974.10
- 5) 日本橋梁建設協会：橋梁技術者のための塗装ガイドブック、1996.4
- 6) 土木学会：鋼橋における劣化現象と損傷の評価、鋼構造シリーズ7、1996
- 7) 山崎、大島、三上、安江：鋼製材料の腐食に関する大気環境評価、土木学会北海道支部論文報告集第58号、p.26~27、2002.1
- 8) 藤原、三宅：鋼橋の劣化度評価に関する研究、構造工学論文集
- 9) 藤原：鋼橋塗膜の劣化度評価と寿命予測に関する研究、博士論文(東京大学)、2000.6
- 10) 日本鋼構造協会：さび面塗料小委員会最終報告、JSSCテクニカルレポートNo.28、1994.9
- 11) 松井、寺西、藤野：鋼箱桁内部防錆実験について、土木学会年次学術講演会概要集第48回第1部、p570~571、1993
- 12) 松井、寺西、藤野：鋼箱桁内部防錆実験について(その2)、土木学会年次学術講演会概要集第49回第1部、p526~527、1994
- 13) 松井、寺西、藤野：鋼箱桁内部防錆実験について(その3)、土木学会年次学術講演会概要集第50回第1部、p726~727、1995