

重度に腐食した耐候性鋼橋に対する Al-3%Zn 陽極材と繊維シートによる犠牲陽極防食技術の適用性

九州大学大学院 学生会員 ○山下 和也
三井造船(株) 正会員 石原 修二
日本軽金属(株) 正会員 兼子 彬

九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信
三井造船鉄構エンジニアリング(株) 正会員 内田 大介
日本エクスラン工業(株) 非会員 山内 孝郎

1. はじめに 耐候性鋼は鋼素地表面に緻密なさびを形成することで、腐食進行を抑制する特性を有している。しかし、飛来海塩由来などの塩化物による高腐食環境では、マクロな割れがさび層に多数発生するなどによりさび層がポーラスな状態になり、腐食要因物質に対する保護性が低下する。その結果、耐候性鋼橋に著しい腐食損傷が生じることが報告されている¹⁾。この場合、無塗装から塗装に仕様変更されることがあるが、耐候性鋼のさび層は普通鋼に比して緻密で強固であること、また孔食性が高いことなどから、鋼素地調整時における腐食生成物や塩類の除去が困難になる。その結果、塩化物が塗膜下や鋼素地内部に残留することで、塗膜下腐食が早期に発生し、著しい局部腐食が生じる場合がある。そのため、高品質の素地調整を必要としない新しい防食技術の開発が必要とされている。著者らは大気環境における鋼構造物を対象として、Al-3%Zn 鋳造板の犠牲陽極材と架橋型アクリレート系吸水・保水性繊維シートを組み合わせたことによる犠牲陽極防食技術を開発した²⁾⁶⁾。本研究では、重度に腐食した無塗装耐候性鋼橋の橋脚上の支承部に本技術を適用することで、耐候性鋼における本技術の防食性能と実用性を検証した。

2. 試験方法 対象橋梁は海岸線から約 5km の谷上 (Lat.31°61'N, Long.130°38'E) に位置する無塗装耐候性鋼を用いた 4 径間連続の上路橋 (箱桁、トラス) である¹⁾。犠牲陽極防食の対象部位は、塩類や長時間の濡れにより著しく腐食した橋脚上の支承部上部における主構の対空面とした。犠牲陽極の対象部位を図-1 に示す。本試験で用いた犠牲陽極材の形状・寸法および設置の概要図を図-2 に示す。陽極材と吸水・保水媒質には、先行研究²⁾⁶⁾に基づき、それぞれ Al-3%Zn の鋳造板と架橋型アクリレート系繊維シートを用いた。なお、陽極材には雨水から繊維シートへの吸水経路を確保するために、陽極材の総暴露表面積に対して表面積が約 6% となるように、多数の円孔を明けた。陽極材は対象部位に PEEK ボルトと固定治具を用いて、部材の水抜き穴を介して固定した。陽極材の設置に際して、対象部位のウェブと下フランジには、腐食生成物を除去しない領域と素地調整程度 2 種により腐食生成物の一部を除去した領域を設けた。陽極材と対象部位の間に発生する犠牲防食電流は、無抵抗電流計 (測定範囲: $\pm 120\text{mA}$, 分解能: $5\mu\text{A}$) を用いて 30 分間隔で計測・記録した。



(a) 橋脚上の支承部上部

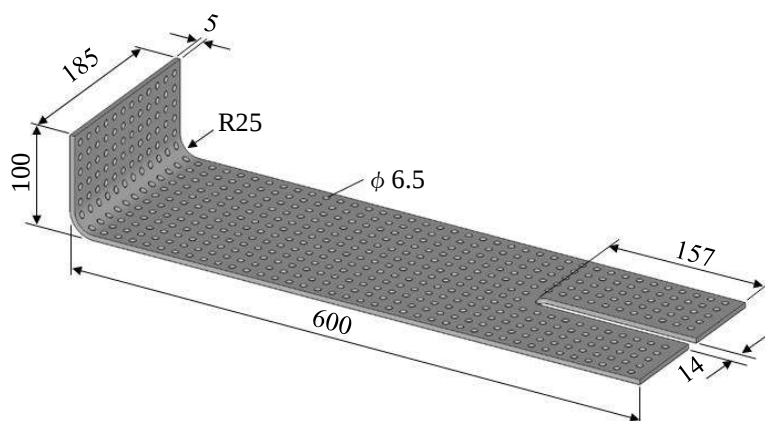


(b) 素地調整程度 2 種した領域

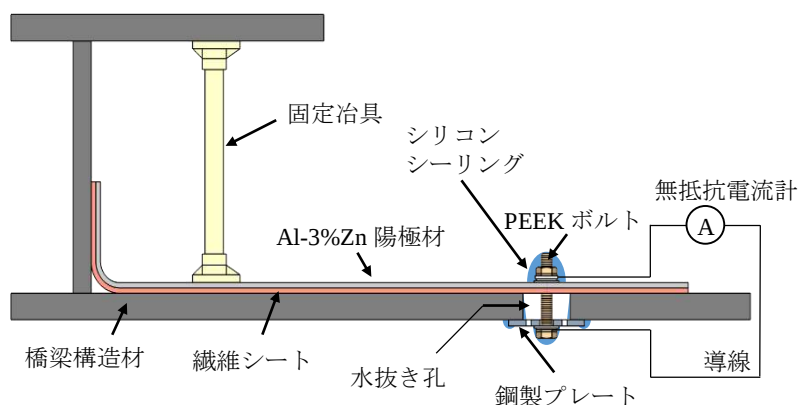


(c) 鋼素地調整していない領域

図-1 犠牲陽極の対象箇所



(a) 犠牲陽極材の形状・寸法 (単位: mm)



(b) 犠牲陽極材の設置の概要図

図-2 犠牲陽極材の形状・寸法, 陽極材の設置の概要図

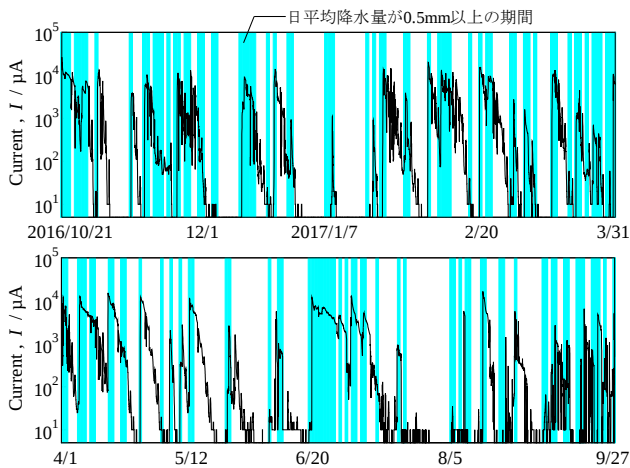
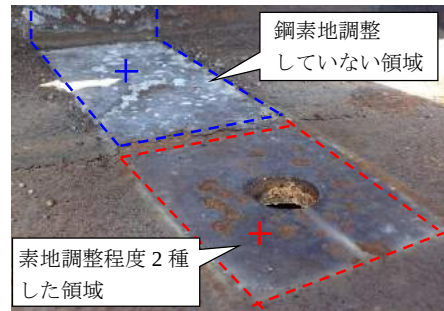
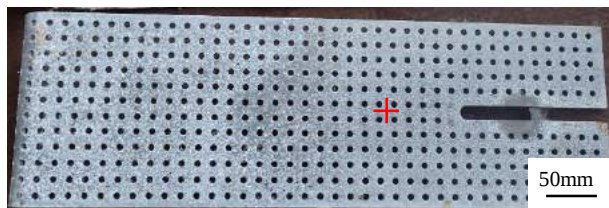


図-3 犠牲防食電流の経時性



(a) 防食状況



(b) 犠牲陽極材の消耗・劣化の状況

図-4 防食状況および犠牲陽極材の消耗・劣化の状況

3. 試験結果 対象部位の犠牲防食電流の経時性を図-3 に示す。図中の水色で示す領域は、日平均降水量が 0.5mm 以上の期間を示している⁷⁾。防食電流が継続的に生じていることから、陽極材による犠牲陽極防食効果が発現していると考えられる。また、降雨による水分供給の無い期間においても防食電流が生じている。これは繊維シートの高い吸水・保水性能により、降雨が無い期間でも水分を長期間保持していたためと考えられる。なお、試験開始から終了後までの約 2 年間にわたって、防食電流は継続的に生じていた。試験終了時の対象部位の防食状況を図-4(a) に示す。素地調整程度 2 種した領域では、陽極材直下の鋼素地表面に赤褐色の腐食生成物はほとんど生じていないことから、犠牲陽極防食効果により対象部位が防食されていると言える。一方、鋼素地調整していない腐食生成物の残留領域については、黒色の腐食生成物が生じている。これは鋼素地表面に残置させた赤さび (FeOOH) が犠牲陽極反応により還元されて、黒さび (Fe_3O_4) に変化したためであると推察される⁴⁾。赤さびが完全に還元された後には、鋼素地表面の一部が溶出することで、鋼素地表面で赤さびが生成され、それが再度、犠牲陽極作用により還元される⁴⁾。これを繰り返すことで、さび層と鋼素地表面の界面の付着力が低下し、さび層が剥離して鋼素地が露出することで、赤さびの還元反応で消費されていた犠牲陽極作用による e^- が鋼素地表面の防食に対して供給されることが考えられる⁴⁾。以上のことから、腐食生成物の残留部位に本技術を適用した場合、電気防食を阻害する腐食生成物層が剥離して、本来有している犠牲陽極作用が発現することが期待される。SEM-EDX により鋼材表面と陽極材表面に付着した白色系物質を分析した結果、陽極材由来の Al の腐食生成物であった。陽極材の繊維シート接触面の状況を図-4(b) に示す。陽極材の表面に Al の腐食生成物が生成されているが、腐食損傷が軽微であるため、比較的健全な状態であると言える。これらの結果から、本技術は塩類、雨水の滞水などにより重度に腐食した無塗装耐候性鋼橋に対して、十分な防食性能を有していると言える。また、前述のように、本試験後の犠牲陽極材の消耗・劣化が軽微であることから、重度に腐食した耐候性鋼橋に対して長期間の防食作用が期待できると言える。

4. まとめ Al-3%Zn 鋳造板の犠牲陽極材と架橋型アクリレート系吸水・保水性繊維シートを用いた犠牲陽極防食技術は、塩類や雨水の滞水により重度に腐食した無塗装耐候性鋼橋においても長期間の防食性が期待できる。

参考文献 1) 藤岡靖, 藁科彰, 高木真一郎, 仲健一, 貝沼重信, 道野正嗣, 山本悠哉: 高腐食性環境における無塗装耐候性鋼上路トラス橋における腐食損傷の要因推定と腐食性評価 (その 1) 一腐食損傷の調査一, 防錆管理, Vol.60, No.5, pp.165-172, 2016. 2) 貝沼重信, 宇都宮一浩, 石原修二, 内田大介, 兼子彬: 多孔質焼結板と繊維シートを用いた鋼部材の大気環境における犠牲陽極防食技術に関する基礎的研究, 材料と環境, Vol.60, No.12, pp.535-540, 2011. 3) 貝沼重信, 宇都宮一浩, 石原修二, 内田大介, 兼子彬, 山内孝郎: 大気環境における鋼材の犠牲陽極防食効果に及ぼす Al-Zn 多孔質焼結板の配合・気孔率と繊維シート特性の影響, 材料と環境, Vol.62, No.8, pp.278-288, 2013. 4) 石原修二, 貝沼重信, 木下優, 内田大介, 兼子彬, 山内孝郎: 多孔質焼結板と繊維シートを用いた腐食鋼部材の大気犠牲陽極防食効果に関する基礎的研究, 材料と環境, Vol.63, No.12, pp.609-615, 2014. 5) 貝沼重信, 土橋洋平, 石原修二, 内田大介, 兼子彬, 山内孝郎: Al-Zn 合金鋳造板と繊維シートを用いた鋼部材の大気犠牲陽極防食技術に関する基礎的研究, 材料と環境, Vol.65, No.9, pp.390-397, 2016. 6) 貝沼重信, 土橋洋平, 石原修二, 内田大介, 兼子彬, 山内孝郎: Al-Zn 陽極材と吸水・保水繊維シートを用いた鋼部材の大気犠牲陽極防食技術に関する研究, 土木学会論文集, 73 巻, 2 号, pp.313-329, 2017. 7) 気象庁: 過去の気象データ, <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>, 2017 年 10 月 30 日。