

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 28 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630213

研究課題名（和文）著しく腐食劣化した無塗装耐候性鋼橋に対する腐食停留技術の開発

研究課題名（英文）Development of preventing corrosion progress method for unpainted weathering steel with severe corrosion damages

研究代表者

貝沼 重信 (Kainuma, Shigenobu)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：00262874

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では従来、著しく腐食劣化した耐候性鋼橋に対する腐食停留技術を開発するために、防食技術に用いる吸水と犠牲陽極材の機能を有するAl-Zn合金鋳造板、および吸水・保水の機能を有する繊維シートの特徴を明らかにした。また、これらの材料を用いた犠牲陽極防食技術の有効性を塗膜が劣化・消失した鋼桁橋で検証した。

研究成果の概要（英文）：In this study, to develop a preventing corrosion progress method for unpainted weathering steel with severe corrosion damages, material characteristics of casting Al-Zn alloy plate as a sacrificial anode and fiber sheet which has functions of continual water absorption and retention were clarified. In addition, the applicability was also investigated by applying the method to an I-section steel girder bridge of which paint coating has deteriorated and disappeared.

研究分野：工学

キーワード：構造工学 地震工学 維持管理工学

1. 研究開始当初の背景

無塗装耐候性鋼橋において、塩類を伴う高腐食性環境により著しい腐食が一旦生じると、腐食生成物の除去が困難になる。そのため、無塗装から塗装に仕様変更された場合、塗膜下腐食により塗膜耐久性が著しく低下することが多い。この問題は金属溶射に仕様変更する場合についても同様である。これら以外の防食方法の1つとして、犠牲陽極による腐食停留技術が考えられる。これまで、大気環境における鋼構造物の犠牲防食技術は、国内外で提案されているが、著しく腐食した無塗装耐候性鋼橋に対する腐食停留技術は検討されていない。そこで、申請者が先行研究で提案した鋼部材の未腐食部に対する犠牲防食技術を応用することで、著しく腐食劣化した耐候性鋼橋に対する腐食停留技術を発案した。

2. 研究の目的

本研究では従来、開発困難とされてきた著しく腐食劣化した耐候性鋼橋に対する腐食停留技術を開発するために、考案した防食技術に必要な 1) 吸水と犠牲陽極材の機能を有する Al-Zn 合金板、および 2) 吸水・保水の機能を有する繊維シート、の材料特性を明らかにする。また、これらの材料を組み合わせた犠牲陽極防食技術の有効性を腐食劣化が著しい鋼道路橋で検証することを目的とした。

3. 研究の方法

著しく腐食した耐候性鋼材に対して、犠牲陽極板と繊維シートの特性把握と材料の選定・開発のための室内ラボ試験を行う。また、これらの材料を用いた犠牲防食技術の様々な腐食環境における防食効果を検討するために、腐食促進試験と大気暴露試験を行う。さらに、無塗装耐候性鋼橋への設置方法を検討するとともに、実環境における腐食停留効果を検証する。

4. 研究成果

(1) Al-Zn 合金板の電気化学特性

鋳造材の定性的な電気化学的特性の指標とするため、参照電極 (Ag/AgCl) を用いて鋳造材の自然電位を測定した。鋳造材の組成は、1) Al-3%Zn, 2) Al-20%Zn および 3) Al-3%Zn-0.02%In の計 3 種類を用いた。短形断面の鋳造材 (33×5×5mm) とともに片方の端部を飽和 KCl に浸漬させた塩橋を電解液に浸漬させた。鋳造材は反応面積を一定とするために浸漬深さを 15mm とし、液面付近はテフロンテープを用いてマスキングした。試験には NaCl aq と CaCl₂ aq の電解液を用い、それらの濃度をそれぞれ 0.1wt%, 1.0wt%, 3.5wt%, 10.0wt% および飽和とした。電位差計を繋ぎ測定を開始してから、安定した時点の値をその鋳造材の自然電位とした。

3.5wt%NaCl aq における自然電位測定の結果を図 1 に示す。各電解液濃度において

Al-3%Zn-0.02%In の鋳造材が最も卑となっている。また、Zn は Al に比して卑な金属であるため、Al-3%Zn より Zn 含有量の多い Al-20%Zn の陽極材がわずかに卑な値を示している。

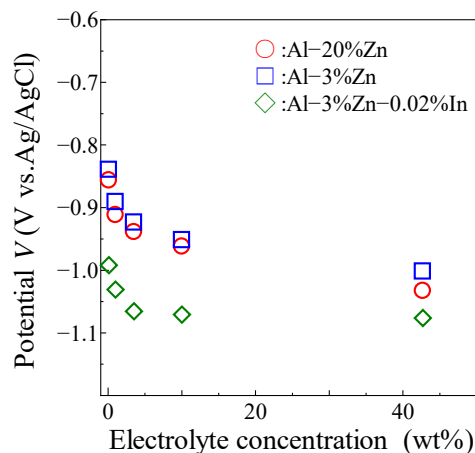


図 1

本防食技術では鋳造材が繊維シートを介することで、その周囲に犠牲陽極作用を拡大させることが考えられる。そこで、鋳造材の材端からの鋼板の電位を測定することで、犠牲陽極作用の防食有効範囲を定量的に検討した。測定には片方の端を飽和 KCl に浸漬させた塩橋、参照電極として Ag/AgCl を用いた。試験体は 500×70×9mm の裸普通鋼板 (JIS G3106 SM400A のプラスト処理: ISO Sa2.5,)、鋳造材および繊維シート (架橋型アクリレート繊維) を用いた。測定は図 2 に示すように、鋳造材の材端から測定点までの距離を 50mm 毎に増加させて行った。本測定に先立って、犠牲陽極の回路を形成させるため、繊維シートに 0.1wt%, 3.5wt% および飽和 NaCl aq を含水させた。

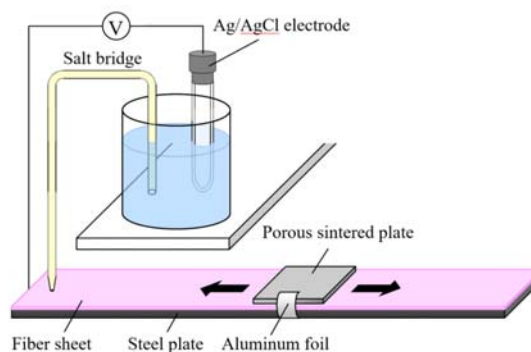


図 2

3.5wt%NaCl aq における測定結果を図 3 に示す。各電解液濃度において、鋳造材の種類によらず、電位分布は同様の傾向となっている。また、防食有効範囲については、0.1wt%NaCl で 10-20mm 程度、3.5wt%NaCl では 200-400mm 程度、26.4wt%NaCl では 500mm 以上となっている。以上から、電解液濃度が

高いほど電気伝導率の増加により、犠牲陽極の効果範囲が拡大することが言える。したが

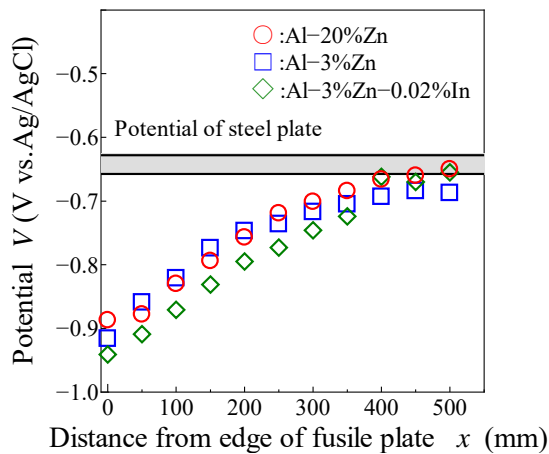


図 3

って、飛来海塩や凍結防止剤の影響を大きく受ける腐食環境下では、防食有効範囲の拡大がさらに期待できるものと考えられる。なお、鋳造材の電位分布は、各電解液によらず、多孔質材と同様の傾向にあるため、鋳造材は多孔質材と同程度の防食有効範囲を有していると考えられる。

電位による試料の電解溶液中におけるイオン化の定量評価、および電流密度による腐食速度の定量評価のために、アノード分極測定を行った。測定には片方の端部を飽和 KCl に浸漬させた塩橋、参照電極として Ag/AgCl、対極として白金板を用いた。測定時には自然電位から電位を 20mV 分極しながら、随時、電流を測定しアノード分極曲線を求めた。

アノード分極曲線の測定結果を図 4 に示す。Al-3%Zn と Al-20%Zn は、それぞれの自然電位とほぼ同等の電位で電流値が著しく増加する傾向にある。また、Al-3%Zn-0.02%In は自然電位で電流値が増加するのではなく、電位の増加にしたがって緩やかに電流値が増加している。したがって、Al-3%Zn-0.02%In は他の 2 種の組成の鋳造材に比して、腐食感受性が低いと考えられる。

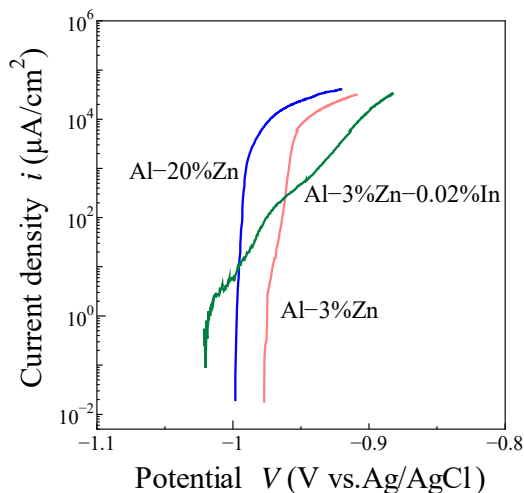


図 3

(2) 無塗装耐候性鋼橋への適用方法の提案と検証

多孔質板と繊維シートを鋼橋の狭隘部等に簡易かつ確実に設置でき、取り替えなどの維持管理性の高い設置方法を検討した。また、この設置方法を凍結防止剤を含む漏水により桁端部が著しく腐食した鋼 I 桁橋（塗膜劣化により全部材の塗膜がほぼ消失）と飛来海塩や霧などにより著しい腐食損傷が発生した無塗装耐候性鋼橋に適用することで、腐食停留効果について検証した。その結果、本研究で提案した犠牲陽極防食技術を適用することで、腐食生成物が残置された鋼部材においても高い防食性能が期待できることを確認した。桁端部が著しく腐食した鋼 I 桁橋への犠牲陽極板と繊維シートの設置状況と 2.5 年後の防食状況を図 5 に示す。



犠牲陽極板と繊維シートの設置状況



2.5 年後の防食状況

図 5

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 9 件)

1. 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 A, pp. 313-329, 2017
2. M. YANG, S. KAINUMA, T. TOMODA, K. MINAMI, Study on Anti-Corrosive Method with Sacrificial Anode for Embedded Steel Members using Water Swelling

- Rubber, 9th International Symposium on Steel Structures, Jeju, Korea, 2017
3. 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) -腐食損傷の調査一, 日本防錆技術協会 防錆管理, Vol. 60, No. 7, pp. 264-272, 2016
 4. 貝沼重信, 道野正嗣, 山本悠哉, 藤岡靖, 藁科彰, 高木真一郎, 仲健一, 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2) -腐食環境評価と腐食要因分析一, 日本防錆技術協会 防錆管理, Vol. 60, No. 8, pp. 298-305, 2016
 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, 腐食防食学会 材料と環境, Vol. 65, No. 9, pp. 390-397, 2016
 6. 貝沼重信, 道野正嗣, 山本悠哉, 藤岡靖, 藁科彰, 高木真一郎, 仲健一, 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3) -部位レベルの腐食環境と腐食性の評価一, 日本防錆技術協会 防錆管理, Vol. 60, No. 9, pp. 338-346, 2016
 7. 藤本拓史, 貝沼重信, 宮田弘和, Al-Mg 合金溶射/Zn めっき, Zn 溶射のガルバニック腐食特性に関する電気化学的検討, 土木構造・材料論文集, 第32号, pp. 55-62, 2016
 8. 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
 9. 石原修二, 貝沼重信, 内田大介, 兼子彬, 山内孝郎, 多孔質 Al-Zn 焼結板と保水性繊維シートを用いた高耐久性大気腐食環境センサに関する基礎的研究, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 22, pp. 477-481, 2014

[学会発表] (計5件)

1. 藤本拓史, 貝沼重信, 石原修二, 兼子彬, 山内孝郎, Al-Zn 陽極材と繊維シートを用いた大気犠牲陽極防食技術の鋼構造物への適用性に関する検討, 平成28年度西部支部研究発表会, 2017. 3
2. Y. TSUCHIHASHI, S. KAINUMA, Y. S. JEONG, S. ISHIHARA, D. UCHIDA, A. KANEKO, T. YAMAUCHI Corrosion Protection Effect with Sacrificial Anode for Corroded Steel Members Using Al-Zn Alloy Casting Materials and Fiber Sheet, The 2015

- International Conference on Innovative in Structural Engineering and Mechanics, Incheon, Korea, 2015. 8
3. 藤本拓史, 貝沼重信, 石原修二, 内田大介, 兼子彬, 山内孝郎, Al-Zn 合金鋳造材と繊維シートを用いた腐食鋼部材の大気犠牲陽極防食に関する基礎的研究, 材料と環境 2015, CD-ROM, 2015. 5
 4. S. ISHIHARA, S. KAINUMA, D. UCHIDA, A. KANEKO, T. YAMAUCHI, Fundamental Study on Corrosion Protection of Steel Members with a Porous Sintered Al-Zn Plate and Fiber Sheet under the Atmospheric Environment, 19th International Corrosion Congress, CD-ROM, Jeju, Korea, 2014. 11
 5. 土橋洋平, 貝沼重信, 石原修二, 内田大介, 兼子彬, 山内孝郎, Al-Zn 合金鋳造材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, 第61回材料と環境討論会, 2014. 11

[産業財産権]

○取得状況 (計2件)

名称: 犠牲陽極パネル及び犠牲陽極材
 発明者: 貝沼重信, 兼子彬, 石原修二, 内田大介, 浅野浩一, 住谷龍明
 権利者: 九州大学, 三井造船(株), 日本軽金属(株), 東洋紡(株)
 種類: 特許
 番号: 2014-180732
 取得年月日: 2014. 9
 国内外の別: 国内

名称: 防食方法および防食装置
 発明者: 貝沼重信, 石原修二, 内田大介, 浅野浩一, 兼子彬, 住谷龍明
 権利者: 九州大学, 三井造船(株), 日本軽金属(株), 東洋紡(株)
 種類: 特許
 番号: 2014-164501
 取得年月日: 2014. 8
 国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

貝沼重信 (KAINUMA SHIGENOBU)
 九州大学・大学院工学研究院・准教授
 研究者番号: 00262874