

電気化学的素地調整法の実構造物への適用性に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 ○飯尾 翔磨
(株)三井 E&S マシナリー 正会員 石原 修二

九州大学大学院 フェロー会員 貝沼 重信
九州大学大学院 学生会員 王 啓迪

1. はじめに 無塗装耐候性鋼橋において、飛来海塩などの塩化物により重度の腐食損傷が生じた場合には、無塗装仕様から塗装仕様に変更されるケースが多い。しかし、耐候性鋼は普通鋼に比して、複雑な形態で腐食が進行し、腐食生成物が緻密で強固であるため、ブラスト処理などの従来技術による鋼素地調整では、腐食孔部の塩類を含む腐食生成物が残置されやすい。その結果、塗装後の早期に塗膜下腐食が発生する場合が少なくない。そこで、著者らは架橋型アクリレート繊維（以下、繊維シート）とチタン板を用いた外部電源による電気化学的素地調整法の適用性を検討した。この方法には、鋼材に固着している腐食生成物を完全に還元することで体積収縮させ、鋼素地から腐食生成物層を剥離・離脱させる電気化学的方法²⁾を用いた。本研究では、重度な腐食損傷が生じている無塗装耐候性鋼橋を対象に電気化学的素地調整試験を行い、その適用性について検討した。

2. 試験方法 試験対象は無塗装耐候性鋼橋（3 径間連続トラス+単純箱桁橋）のトラス部の下弦材で重度の腐食損傷が生じた対空面とした。試験対象部位を図-1 に示す。この橋梁の架設地点は、海岸線から直線距離で約 5km 離れた山間部であり、耐候性鋼橋が適用可能とされる目安の海岸線から 2km を超える地域に位置しているが、海岸から谷筋に沿って海塩が南北の両方位から飛来すること、降雨、霧および結露により長時間濡れ状態になりやすい環境にある³⁾。試験に先立って、還元させる対象面の腐食生成物の量を減少させること、および鋼材と通電用電極の導通を取ることを目的として、ダイヤモンドディスクによる電力工具⁴⁾を用いて前処理を行った。前処理後の対象面の状況を図-2 に示す。電気化学的素地調整は孔食部に残置された腐食生成物を剥離・除去することを目的として行った。試験状況の概略図を図-3 に示す。素地調整システムは、前処理した腐食部位に 3.5mass% NaCl aq を飽和吸水させた架橋型アクリレート繊維シート（200×200mm）とチタン板（200×200×0.1mm）を設置し、鋼材とチタン板を導線でそれぞれ外部電源の負極と正極に接続することで構成した。なお、チタン板と鋼材と導線は、鋼材にボルト（SUS304）を差し込むことで接続した。また、繊維シートを鋼材に密着させるために、チタン板の上には、プラスチック製のシートでチタン板と絶縁し、鋼板（150×300×7mm、2.5kg）を 4 枚設置することで、等分布荷重（ $3.27 \times 10^{-3} \text{N/mm}^2$ ）を作用させた。鋼素地調整に先立って、図-3 で示したシステムを用いて、腐食鋼材の自然電位を測定した。参照電極には、Ag/AgCl 電極を用い、繊維シートを介して鋼材と接触させることで電位を測定した。試験では鋼材側を陰極とし、外部電源から電流を流した。通電開始後 0~21hrs では、鋼材の電位を自然電位



(a) トラス格点部



(b) 対象面

図-1 対象橋梁の損傷状況

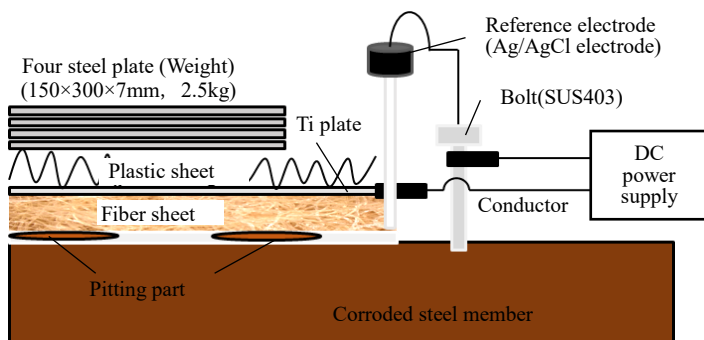


図-3 電気化学素地調整法の概略図



図-2 ダイヤモンドディスクにより処理した対象面

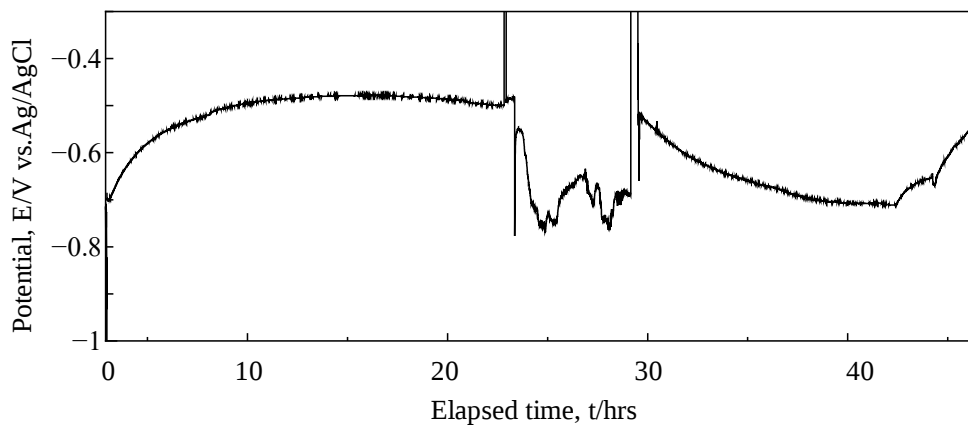


図-4 鋼材の電位の経時変化

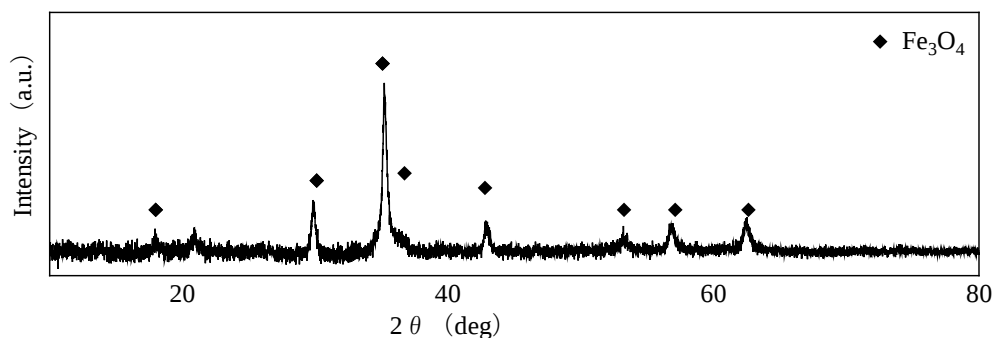
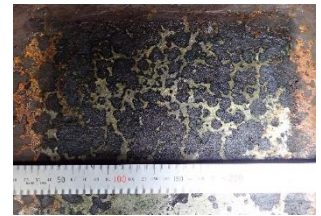


図-7 剥離した腐食生成物の X 線回折波長



(a) 21hrs 後



(b) 28hrs 後



(c) 46hrs 後

図-5 鋼材の外観
の経時変化

と防食電位の間で安定させるために、外部電源の出力を電圧制御とした。通電開始後 21hrs 以降の出力は、電流制御とした。21~28hrs と 28~46hrs では、それぞれ $250\mu\text{A}/\text{cm}^2$ と $25\mu\text{A}/\text{cm}^2$ の定電流で制御した。なお、対象面の鋼材の状態を観察するため、通電後 21, 28 および 46hrs 後に通電を一時停止した。

3. 試験結果 通電前の鋼材の自然電位は、 $-365\text{mV vs. Ag/AgCl}$ であった。鋼材の電位 E と鋼材表面の外観の経時変化を図-4 と図-5 に示す。通電開始後 0~21hrs の間では、通電時に $-700\text{mV vs. Ag/AgCl}$ となる出力電圧に設定したが、電位は徐々に貴に変化し、約 10hrs 以降は $-480\text{mV vs. Ag/AgCl}$ 程度で安定した。この期間に腐食孔部の周辺部が黒色に変化した。これは、外部電源から供給された電子により腐食生成物の還元したためである。また、腐食孔底部は、円錐形に形成されているため、腐食孔の中央部では、厚さが大きく面積あたりの体積が周辺部に比して大きく還元に時間を要していると考えられる。外部電源の出力を $250\mu\text{A}/\text{cm}^2$ の定電流とした通電開始後 21~28hrs では、電位の変動が大きい、平均は $-689\text{mV vs. Ag/AgCl}$ となっている。この期間に腐食生成物は、腐食孔部の中央部まで黒色に変化しているため、還元反応が促進されていたと考えられる。外部電源の出力を $25\mu\text{A}/\text{cm}^2$ の定電流制御とした通電開始後 28~46hrs では、 $250\mu\text{A}/\text{cm}^2$ の場合に比して電位の変動は小さく、徐々に電位が卑に変化し、約 42hrs 以降は貴に変化している。46hrs の鋼材の外観は、ほとんどの腐食生成物が完全に黒色に変化しており、腐食生成物が完全に還元されたと考えられる。約 42hrs で電位の挙動が変化していることから、この時点で腐食生成物が完全に還元された可能性がある。46hrs 経過後は、還元された腐食生成物は鋼素地との付着力が著しく低下しており、図-6 に示すように、腐食孔部の形状に沿って容易に剥離・除去できた。剥離した腐食生成物の XRD 分析結果を図-7 に示す。波長のピークは Fe_3O_4 を示しており、定量分析で検出されたのは、 Fe_3O_4 のみであったため、剥離した腐食生成物は大部分が Fe_3O_4 で構成されていると考えられる。したがって、腐食生成物は電気化学的素地調整により FeOOH から Fe_3O_4 に還元し、体積が収縮することで鋼素地から剥離・除去できたとと言える。

4. まとめ 著者らが考案した電気化学的素地調整法は、無塗装耐候性鋼橋の重度な腐食損傷が生じた部位に対して適用可能であり、腐食孔部に残留しやすい腐食生成物を容易に剥離・除去できる。

参考文献 1) 土木学会：大気環境における鋼構造物の防食性能回復の課題と対策，鋼構造シリーズ 30，丸善，2019. 2) 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. 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—，防錆管理，Vol.60，No.5，pp.165-172，2016. 4) 落部圭史，今井篤実，大屋誠，武邊勝道：耐候性鋼橋梁の維持管理に関する補修工法の開発，構造工学論文集，Vol.66A，pp.410-418，2020.



図-6 腐食生成物剥離の様子