

## 携帯型 XRF を用いた標準添加法による鋼材の付着塩分量分析

松江工業高等専門学校 正会員 ○武邊 勝道  
 (株) 共立エンジニア 正会員 松本 彩楓  
 松江工業高等専門学校 正会員 大屋 誠  
 日鉄防食(株) 正会員 今井 篤実  
 日鉄防食(株) 正会員 松本 洋明

### 1. 目的

耐候性鋼橋梁に異常さびが発生した場合には、その原因を排除した後に、状況によっては補修塗装することが一般的である。なお、素地調整程度 I 種のブラスト処理を実施しても、十分にさびや塩分が除去できなかった場合には、補修後に早期に再劣化が生じることが知られている。こうした再劣化を防ぐために、ブラスト処理後の残存(付着)塩分値が、Rc-I 工法では  $50\text{mg/m}^2$  以下<sup>1)</sup>、水洗レス工法では  $200\text{mg/m}^2$  以下<sup>2)</sup>にすることとされている。ただし、広く用いられている表面塩分計による分析は、塗装橋梁の一般部のような旧塗膜除去後の平坦面では容易に正確な付着量が得られるのに対し、異常腐食部や耐候性鋼橋梁の除錆面に存在する凹凸部では、水漏れが生じ易く、正確な塩分量が得られにくい。計測の難しい部位でも正しい残存(付着)塩分量を得ることは、補修塗装前の現場管理の信頼性向上と補修塗膜の長期耐久性を確保する上で重要である。

そこで本研究では、水を用いない携帯型蛍光 X 線分析計(携帯型 XRF)による付着塩分量調査法の開発を目指すこととした。XRF は、分析対象に X 線を照射することで生じる含有元素からの特性 X 線強度から目的元素を定量する。図 1 に、松江高専屋上で遮蔽曝露した試験片について、携帯型 XRF で分析した Cl の特性 X 線強度と、ガーゼによる拭き取り法によって分析した付着 Cl 量との関係を示した。ほとんどの試料において明瞭な正の相関関係が得られることから、携帯型 XRF で付着 Cl 量が分析可能であると考えられる。なお、特性 X 線強度は分析対象物の組成の影響を受けるため、本来は、分析対象ごとに適応した検量線が必要となる。ただし、実橋梁の腐食状況、塗り重ねられた塗膜の組み合わせ、腐食生成物の組成は様々であり、各分析対象試料に対する検量線をあらかじめ作成しておくことは現実的ではない。そこで、本研究では、改良した標準添加法を用いて携帯型 XRF で付着塩分量を測定する手法について検討した。

### 2. 分析方法

標準添加法は定量分析法の一つであり、特に共存物質による相乗干渉が問題となると思われる分析試料に対して用いられる。Cl の定量の場合、標準添加法では、分割した測定試料に異なる量の Cl を添加し、Cl 量と特製 X 線強度の関係式を得ることで、Cl を定量する。ただし、本来の標準添加法では測定試料と添加 Cl を混合する必要があるものの、鋼材表面上でそれを行うことは難しい。そこで、異なる Cl 含有量の標準シートを作製し、シートを介して付着 Cl 量を測定する方法を用いることとした。作製した標準シートの平均膜厚は  $11.9 \pm 4.6 \mu\text{m}$  であった。また、 $0 \text{ mg/m}^2$  の標準シートの Cl の平均特性 X 線強度は  $24.3 \pm 4.6 \text{ counts/sec}$  であった。本研究では、作製した標準シートの内、特性 X 線強度と想定付着 Cl 量の関係が比較的明確なシートを用

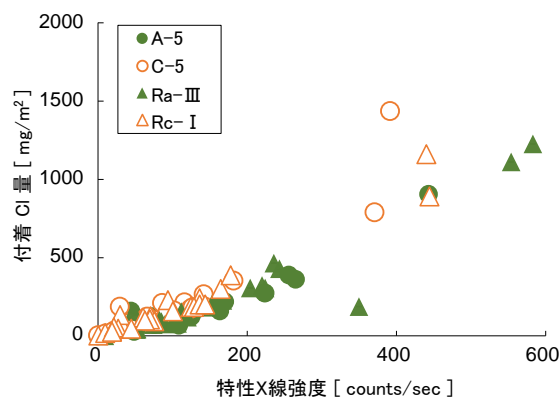


図 1 曝露試験片の Cl 量と Cl の特性 X 線強度の関係。

キーワード 付着塩分量, 携帯型 XRF, 標準添加法

連絡先 〒690-8518 島根県松江市西生馬町 14-4 松江工業高等専門学校 TEL 0852-36-5182

いて、付着塩分量の分析を行った。測定対象は、新品の JIS SMA 鋼板に、A-5 塗装系、C-5 塗装系をそれぞれ塗布した試験片、および、人工腐食させた JIS SMA 鋼板のさびをブラスト除去し、Ra-III 塗装系、Rc-I 塗装系の補修塗装をほどこした試験片である。これらの試験片を松江高専屋上で遮蔽曝露して自然塩を付着させ、測定試料とした。3ヶ月曝露の後、試験片の測定対象面の半分に対して、携帯型 XRF で Cl の特性 X 線強度の計測を行った。携帯型 XRF による標準シートを介した測定後に、測定過程の付着物の剥落が起こる可能性を考慮し、今回の標準添加法では、試験片上の6つの測点に対して、付着 Cl 量の異なるシートを介して特性 X 線強度を測定した。特性 X 線強度を計測した部分に隣接する残りの半分の面に対しては、付着物をガーゼ拭き取り法で採取し、付着 Cl 量をイオンクロマトグラフィーで定量した。

### 3. 結果および考察

図2に、標準添加法を用いて、付着 Cl 量を定量した例を示す。標準シートを介して得られた測定値のプロットを外挿し、x 軸との交点（特性 X 線強度が0となる点）から付着 Cl 量を推定できる。理想的には、標準シートを介して計測した Cl の特製 X 線の強度は、標準シートの付着 Cl 量との間で明瞭な正の相関関係を示すはずである。相関直線からのずれは、用いた標準シートの付着 Cl 量の誤差、シートの厚さのばらつきに起因する特性 X 線の計測誤差、鋼板上の付着 Cl 分布の不均一性を反映すると考えられる。相関関係から大きく外れた分析値を外れ値として除いた後、残りの測定値から得られた標準添加法による付着 Cl の定量値とガーゼ拭き取り法で分析した付着 Cl 量を比較したものが図3である。これらの間には正の相関関係が見られ、今回の携帯型 XRF による測定手法で、ガーゼ拭き取り法により得られる値に相当する付着 Cl 量が定量できていることがわかる（図3）。ただし、2つの測定法の定量値には、数割から最大で5割程度のずれが見られる。今回の標準添加法による分析では、同一試験片上で、異なる6つの測点で特性 X 線強度の測定を行なっている。このため、各測点で用いた標準シートの厚さや付着 Cl 量の誤差、各測点での自然塩の付着量のばらつきが、最終的に標準添加法で算出される付着 Cl 量の誤差を引き起こしていると考えられる。こうした誤差を小さくするには、まずは、均質な標準シートの作製方法を確立することが重要であると考えられる。また、付着 Cl の分布が均一でなかった可能性、携帯型 XRF の測定面への接地状況に伴う測定誤差が大きかった可能性などが考えられことから、その検証方法についても明らかにする必要があると考えられる。

### 4. まとめ

携帯型 XRF で表面状態の異なる鋼板上の付着塩分量を測定することを目標に、標準シートを介して付着 Cl 量を測定する標準添加法について検討した。本手法により、屋上に曝露した試験片の特性 X 線強度を測定したところ、ある程度の精度で鋼板表面の付着 Cl 量を測定できた。今後、均質で再現性の高い標準シートの作製を進めることで、耐候性鋼橋梁の素地調整後の残存(付着)塩分の計測が可能となると期待できる。

### 参考文献

- 1) (公社) 日本道路橋協会：鋼道路橋防食便覧，2014
- 2) 落部ほか，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，66A，410-418，2020。

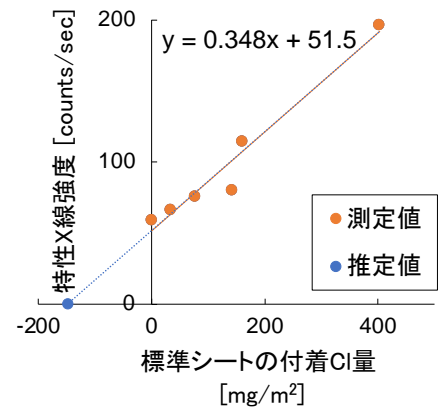


図2 標準添加法を用いた付着 Cl 量分析の例。C-5 塗装系の試験片。

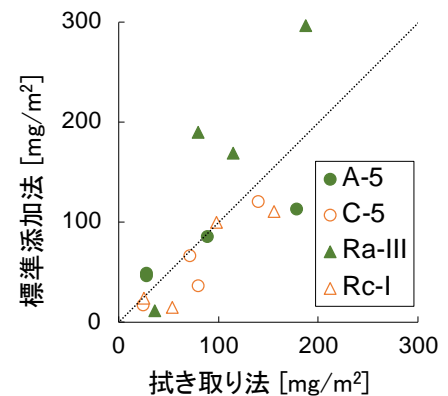


図3 標準添加法による携帯型 XRF で得られた付着 Cl 量と、ガーゼ拭き取り法による付着 Cl 量の比較。