

標準添加法による携帯型 XRF を用いた付着塩分量測定の可能性

松江工業高等専門学校 専攻科 学生会員 ○松本 彩楓
 松江工業高等専門学校 正会員 大屋 誠
 松江工業高等専門学校 正会員 武邊 勝道
 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

鋼構造物の最も代表的な腐食要因は付着塩分である。このため、腐食損傷が発見された場合は、まず付着塩分量を調査し、腐食環境の評価及び適切な処置が行われる。付着塩分調査に広く用いられる表面塩分計は水を使用し、電気伝導度から付着塩分量を評価する。ところが、腐食損傷の著しい場所には凹凸やさびの内部の空隙が存在するため、測定溶液の保持が難しく、正確な付着量が得られないケースがある。そこで本研究では、水を使用しない携帯型蛍光 X 線分析計（携帯型 XRF）を用いた付着塩分量調査法の開発を目指す。

XRF は分析対象に X 線を照射することで生じる元素からの特性 X 線強度から、目的元素の含有量を定量する方法である。このため、分析過程で水を使用しない。近年では、携帯型 XRF が金属、岩石、土壌などの組成を現場でスクリーニングする手段として広く活用されている。ただし、XRF は本来、含有量（ex. mg/kg）を分析する機器であるため、付着量（mg/m²）を分析するためにはそれ専用の検量線が必要となる。

JIS SMA 鋼板に A-5 塗装系、C-5 塗装系、Ra-III 塗装系、Rc-I 塗装系を塗布した試験片と裸仕様の試験片を屋外に曝露して自然塩を付着させた。その後、それぞれの試験片に対して携帯型 XRF により Cl の特性 X 線強度を測った後、ガーゼ拭き取り法で付着 Cl を採取しイオンクロマトグラフィーで定量したり、塗装試験片の付着 Cl 量と特性 X 線分析には明確な正の相関関係が得られることから（図 1）、携帯型 XRF で鋼板表面の付着塩分量を分析することが可能であると考えられる。ただし、特性 X 線強度は分析対象

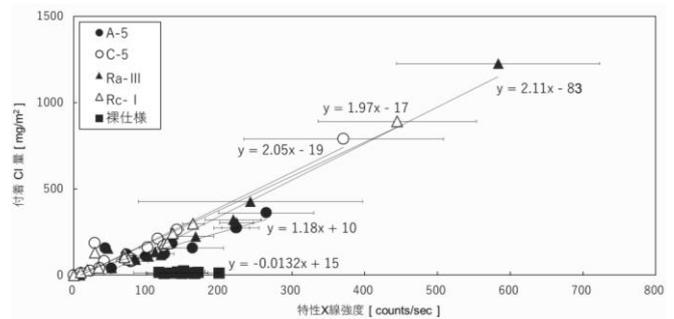


図 1 特性 X 線強度と拭き取り法による付着塩分量の関係。

の組成や状態に影響を受けることから、携帯型 XRF で裸仕様試験片の付着 Cl 量を正確に測定するには、鋼板上の付着 Cl 量と特性 X 線強度の関係を明らかにする必要がある。ところが、鋼板の表面状態や腐食生成物の組成は橋梁ごとに異なるため、事前に測定対象に適した検量線を作成することは困難である。そこで、標準添加法を用いた付着塩分量分析を検討した。

2. 研究方法

検量線を作成できない場合の分析手法の一つに標準添加法がある。標準添加法は、分割した測定試料に濃度の異なる Cl を添加し、検量線を作成することで Cl 量を定量する手法である。ただし、本来は測定試料と添加 Cl を均一に混合する必要があるものの、鋼材表面上で腐食生成物と Cl を混合することは難しい。そこで、異なる Cl 含有量の標準シートを作成し、シートを介して付着 Cl 量を測定する方法を検討した。シートの下側の鋼材表面の付着 Cl 量が測定対象であることを考慮すると、なるべく薄いものが適当である。また、元々 Cl が含まれず、かつ Cl を溶解しやすい材

キーワード 携帯型 XRF, 付着塩分量測定, 特性 X 線強度, ガーゼによる拭き取り法, 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

料であることが求められる。加えて、添加後の Cl 濃度はシート内で均一である必要がある。シートは鋼材表面の凹凸に密着するものがよいが、携帯型 XRF を押し当てた際に大きく変形しないものが望ましい。そこで、使用する材料の候補として、寒天と典具帖紙（和紙 3.5 g/m²）を用いてシートを作成した。

3. 結果及び考察

寒天は、水に対して重量濃度で 0.7 %、1.5 % のものを使用した。なお寒天のみのシートの測定は 4 μm の XRF 測定用フィルムで挟んで行った。表 1 に作成したシートの平均膜厚と Cl の特性 X 線強度の平均値を示す。作成した寒天シートの平均膜厚は 85 ± 66.4 μm で、厚さを均一に成形するのが難しい。また、特性 X 線強度は 18 ± 7.5 counts/sec であった。用いた和紙の平均膜厚は 8 ± 3.2 μm で、特性 X 線強度は 12 ± 1.8 counts/sec であった。

和紙と寒天を組み合わせた標準シート（寒天+和紙シート）を用いて、寒天溶液に 1000 ppm, 2000 ppm, 4000 ppm, 10000 ppm の NaCl を添加したシート及び無添加のシートを作成した。標準シート（50 × 80 mm）に対して、膜厚は 6 点、特性 X 線強度は 4 点の測定を行った。平均膜厚は 12 ± 3.7 μm で、シートをある程度均一に成形することができた。また、NaCl 無添加の標準シートの特性 X 線強度は 7 ± 1.0 counts/sec であった。屋外曝露試験片では 10 mg/m² のときに、約 10 counts/sec を示したことから（図 1）、使用した材料は ~10 mg/m² 相当の Cl を含むと考えられる。寒天濃度による特性 X 線強度の影響は見られなかった。

標準シートの特性 X 線強度と寒天中の Cl 濃度の間には明確な正の相関関係が得られた（図 2）。ただし、各シートの特性 X 線強度のばらつきは大きい。測定場所により寒天の厚さや、和紙の繊維及びシート内の Cl の分布に不均一が生じている可能性がある。今後、シートの厚さを補正する目的で、厚さを測定するために Cl 以外の元素も添加したシートを用いることを検討する。

4. まとめ

携帯型 XRF を用いた耐候性鋼表面の付着塩分量測定の可能性を検討することを目的とし、松江高専屋

表 1 作成したシートの平均膜厚と Cl の特性 X 線強度の平均値。

	膜厚 [μm]	特性 X 線強度 [counts/sec]
寒天 (0.7 %)	85 ± 66.4	18 ± 7.5
和紙	8 ± 3.2	6 ± 1.3
和紙+寒天 (1.5 %)	12 ± 3.7	7 ± 1.0
C-5 塗装系 付着 Cl 量 10mg/m ²		10

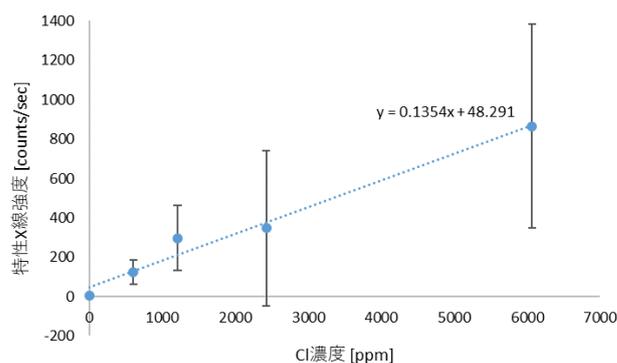


図 2 寒天+和紙シートの Cl 濃度と特性 X 線強度の関係。

上で屋外曝露した試験片の表面に付着した Cl について、携帯型 XRF を用いた分析を行った。その結果、屋外曝露した塗装試験片の付着塩分量は携帯型 XRF で測定できる可能性が示された。引き続き、表面状態の異なる鋼板上の付着塩分の測定を目的として、異なる Cl 含有量の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。

寒天と和紙を組み合わせることで、厚さを 12 μm 程度に均一にしたシートが作成できた。異なる Cl 濃度の寒天+和紙シートを測定した結果、特性 X 線強度と Cl 含有量の間には正の相関関係が得られた。ただし、各シートの特性 X 線強度のばらつきが大きいため、その補正が必要である。この原因として、寒天の厚さや繊維の分布が測定場所によって異なる可能性が挙げられる。今後、他元素を添加するなどして特性 X 線強度のばらつきを補正する方法を検討する。

参考文献

- 1) 松本ほか, 携帯型 XRF を用いた耐候性鋼の付着塩分量測定の可能性, 令和 2 年度土木学会全国大会第 75 回年次学術講演会, I-14, 2020