

## 携帯型蛍光 X 線装置を用いた塩化物調査手法の検討

オリエンタル白石（株） 正会員 ○東 洋輔 本庄 慧 渡瀬 博  
 （株）ティ・エス・プランニング 正会員 佐藤 智

### 1. はじめに

塩害環境下にあるコンクリート構造物の維持管理において、塩化物浸透状況の把握や浸透予測を行うことは重要である。従来はコア採取やドリル法による試料採取を行い、電位差測定法等により塩化物量を把握することが一般的であるが、現地評価で完結することは難しく、室内試験での分析時間や費用を要する。その解決手法として、携帯型蛍光 X 線装置（以下、X 線装置）を用いた塩化物評価手法が検討されている。X 線装置は照射部を測定対象に接触させて計測を行い、数分以内で測定結果が得られる簡便な装置である。渡辺らはドリル法の粉末試料を用い試料調整方法によって得られる測定精度を検証し<sup>1)</sup>、向らは打撃やウォータージェットで採取した粒状試料とさらに粉碎した粉末試料を用いて測定精度の向上を検討している<sup>2)</sup>。このように既往の検討では粉末試料を扱っているが、測定精度を大きく左右する影響項目として骨材が挙げられる。骨材は塩化物を含有しないため、試料中の骨材分布に偏りが存在すると測定値は真値よりも遠ざかる。そのため、複数回の分取や粒度調整によってばらつきを軽減検討がされている。そこで、本研究では小径コアに着目し、コア断面や側面を測定対象として、骨材の影響を考慮し局所的な塩化物量評価手法の構築を目的とした。

### 2. 構造物部材表面における塩化物分析

まず、実構造物において環境の影響を評価できるか神奈川県沿岸部に位置する橋脚を対象に検証した。対象は南東からの風が卓越し、季節や天候によっては海水が直接作用する環境である。計測は橋脚表面 4 面を対象に、地表から 1.5m 高さにおいて 9×9cm 範囲で四隅 4 点と中央点を計測し平均して扱った。本論で使用した X 線装置はオリンパス社製の VANTA (4WX 線管、ターゲット材 Ag) である。1 回の測定時間は 30～120 秒までの測定結果を受けて全て同程度の結果を得られたため以降の検討では統一して 30 秒とした。測定値は対象物の Cl 元素濃度が得られるため、コンクリートの単位容積質量を乗じて評価した。

橋脚部の塩化物量の結果を図 1 に示す。図 1 から、橋脚の側面部が方向によって値が異なっていることがわかる。す

なわち、海側で最も高く、次いで風向が年間を通して南東からの風が卓越する影響を受ける上り側が高く、残る陸側や下り側は低くなった。したがって、環境の影響を受けて塩化物量の分布に傾向があることをよく捉えられている。このように、X 線装置によって部材表面を計測すれば塩化物量が高い箇所をスクリーニングすることが可能となり、効率良く塩化物の浸透が深い箇所を特定することが可能になる。

### 3. 部材深さ方向への塩化物分析検討

本章では 10×10×40cm のコンクリート供試体を断面が 10×10cm となるように切断した試験片に対して計測を行い、深さ方向における塩化物量を評価した。供試体は水セメント比が 55%、内在塩化物が Cl<sup>-</sup>で 1.2 kg/m<sup>3</sup>あるいは 2.4kg/m<sup>3</sup>になるよう NaCl を練混ぜ水に添加した。計測は切断する前の供試体表面部および切断面の深さ方向に 5mm 間隔で計測を行い、深さ毎でペースト部分が卓越する箇所を選定して行い、3 箇所の計測値を平均した。なお、供試体表層部は中性化が進行しており中性化深さは 3mm である。

図 2 に深さ毎の塩化物量の結果を示す。表面部は X 線装置の計測レンジの下限以下を示したため、0kg/m<sup>3</sup>として扱った。一方で、深さ 1cm 付近では塩化物量が高くなっており、中性化による塩化物の再拡散による分布が確認される。さらに、3cm 以深では一定の値が比較的安定して示されたが、設計値に対して 1.2kg/m<sup>3</sup>水準は同程度で、2.4 kg/m<sup>3</sup>水準は計測値の方が高くなった。これは、X 線照射範囲内の骨材割合が設計よりも少なく、塩化物を含有するペーストが多くなったことで、測定値が高くなったものと考えられる。

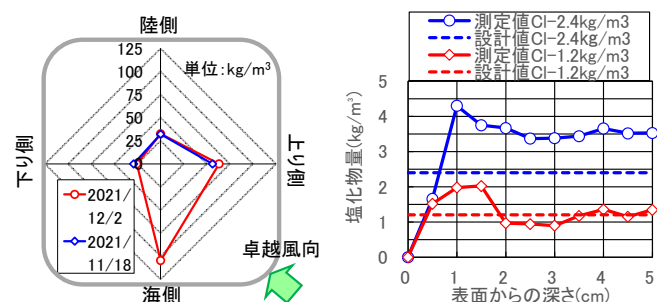


図 1 橋脚部塩化物量の結果

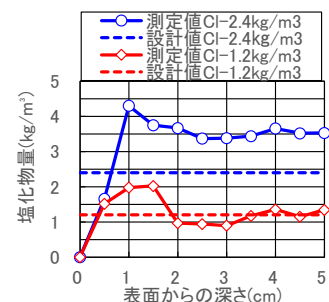


図 2 深さ毎の塩化物量

キーワード 蛍光 X 線, 塩化物量, 小径コア

連絡先 〒321-4367 栃木県真岡市鬼怒ヶ丘 5 オリエンタル白石（株）技術研究所 TEL 0285-83-7921

#### 4. 小径コアへの塩化物分析検討

スライス片を用いた深さ方向の分析検討から、断面の分布傾向を把握できることがわかったため、深さ方向で評価を可能とし構造物への負荷を最小限にする小径コアに着目した。小径コアの深さ毎における切断断面を計測すれば、深さ位置が明確になり、小径コアの切断も現地作業で可能であるため、現地での即時評価ができる技術である。また、小径コアの側面を計測対象とすれば、そのコアの塩化物量の深さ方向の分布傾向を連続的に把握することが可能となる。つまり、従来と同数のサンプリングで多くの情報が得られるため、サンプリング数を減らすことも可能となる。しかしながら、3章で示したとおり、コンクリート断面を計測するためには骨材の影響を考慮することが重要である。そこで、小径コアの断面写真を画像処理し X 線照射範囲のペースト割合を求め、測定値を補正する手法について検討した。

概要を図3に示す。小径コアにおける塩化物分析精度の検証を行うため、3章にて示した供試体条件で塩化物量  $4.8\text{kg/m}^3$  水準を追加した。小径コアは  $\phi 12\text{mm}$  以上で検討を重ねたが、例として  $\phi 20\text{mm}$  の検討例を以下に示す。小径コアは深さ  $10\text{cm}$  として供試体を乾式コアドリルにて貫通削孔して採取した。評価断面は、中性化による塩化物濃縮の影響を除外するため、小径コア両端部から  $2\text{cm}$  範囲は対象外とした。また、ディスクグラインダーにて小径コアを切断し、6断面分(小径コア2本)を測定対象とした。断面当たりの測定は4回行い全ての値を平均した。

計測手順を以下に示す。小径コアは測定専用治具に設置して X 線計測を行うが、X 線照射部と小径コアの設置位置関係は一定位置が保たれた状態で計測を行う。ペースト割合はデジタルカメラ等でコア断面を撮影した写真を、①グレイスケール化(256階調)、②コアと周辺部の境界および骨材境界を検知するぼかし処理、③コア輪郭検出、④小径コア輪郭内から X 線照射範囲の抽出、⑤骨材・ペーストの濃淡閾値を基に2値化判定を行い、ペーストの面積率を算出した。最後に CL 濃度測定値の補正は式(1)により行った。

$$Cl = Cl_m \cdot \frac{A_d}{A_m} \cdot \gamma_d \quad \text{式(1)}$$

ここに、 $Cl$ :補正塩化物量( $\text{kg/m}^3$ )、 $Cl_m$ :測定  $Cl$  濃度(ppm)、 $A_d$ :設計ペースト容積率(%),  $A_m$ :計測ペースト面積割合(%),  $\gamma_d$ :コンクリートの設計単位容積重量( $\text{kg/m}^3$ )。

小径コアの塩化物分析結果を図4に示す。図中には比較として、ドリル採取した粉体( $150\mu$  全通試料)を用いて電位差滴定法により求めた結果、測定値にコンクリートの設計単位

容積重量( $2303\text{kg/m}^3$ )を乗じた結果、測定値にペーストの設計単位容積重量( $451\text{kg/m}^3$ )を乗じた結果を付記した。結果から、 $Cl_{mea}$  にコンクリートあるいはペーストの単位容積重量を乗じたのみでは値が大きく乖離するが、ペースト割合を補正した場合は概ね整合しており、骨材の影響を補正することが重要であることがよくわかる。しかしながら、ペースト割合を補正した水準であっても、電位差滴定法の結果との最大差は  $1.2\text{kg/m}^3$  水準の時に  $-0.46\text{kg/m}^3$  であった。したがって、今後は塩化物量の要因を広域かつ細分した検証、面積率の算出精度の改善など、さらなる精度検証や改善を行っていくことが求められる。

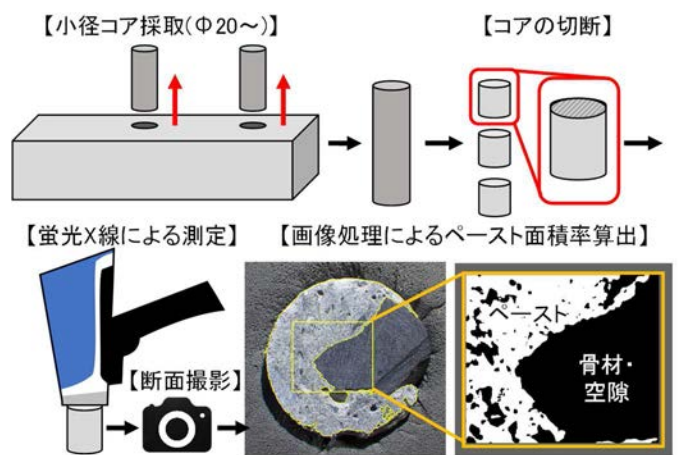


図3 小径コアの塩化物分析方法

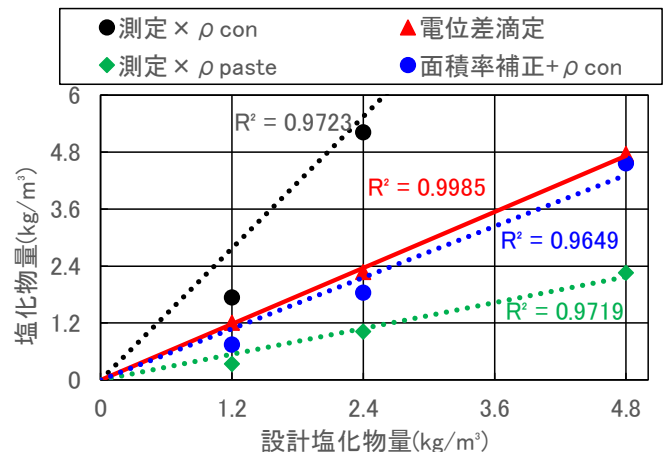


図4 小径コアの塩化物分析結果

#### 参考文献

- 1) 渡辺暁央ほか:蛍光 X 線法によるドリル採取試料の塩化物イオン濃度測定, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1987-1992, 2009
- 2) 向 俊成ほか:ハンディ型蛍光 X 線分析装置を使用した塩害調査に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.514-519, 2021