

ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置によるコンクリートコア側面を用いた塩化物量の測定

日鐵テクノリサーチ 正会員 ○金田 尚志

1. はじめに

近年、ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置の性能向上により、現場で Mg, Al, Si, S, Cl, Ca 等の軽元素の分析が可能になってきた。塩害を受けたコンクリート構造物から採取したコアの側面を利用し、現場で簡易に塩化物量の測定ができれば、塩害調査の効率向上が期待できる。そこで、ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置でコア側面の塩化物量を測定した場合の測定精度について、検証した。

2. ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置の特徴とコア側面を用いた塩化物量測定の利点と問題点

最新機種は、検出器に卓上型エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置と同等な SDD(Silicon Drift Detector)を搭載し、装置内を低真空やヘリウムガス充填状態にして蛍光 X 線の減衰を防ぎ、軽元素の検出感度を高めている。装置内の小形カメラと液晶ディスプレイにより、試料の測定箇所を確認できるため、粗骨材部、モルタル部を判別しながら測定を行うことが可能である。装置の検出部(φ8)をコア側面に押し当ててトリガーを引くと 30 秒程度で測定が完了する(写真-1)。

塩害を調査する際の主なサンプリング方法として、ドリル法とコアを採取してスライス・粉砕する方法が用いられている。ドリル法は、粉末試料を採取するのに簡易な手法であり、構造物へのダメージも小さいという利点があるが、任意の深さの削孔粉を採取する際に、その手前の試料と混ざるおそれがある。コア側面を利用すれば、任意の深さを確実に測定することができるため、コンタミネーションを避けることができる。スライス・粉砕の手間を省くだけでなく、蛍光 X 線分析は非破壊測定であり、塩化物量の測定後にコアを圧縮試験や残存膨張率の測定に利用できるため、現場でのコア採取本数を減らすことも可能となる。

標準試料を用いた実験で、コンクリート中の塩化物量と Cl-Kα(2.621keV)強度の高い相関性が得られており、装置自体の検出・定量性能は確認している¹⁾。しかし、コア側面を測定するという制約上、測定箇所ごとの塩化物量のばらつきが問題となる。モルタル部を測定すれば、塩化物量は高くなり、反対に粗骨材部を測定すると塩化物量は低くなる。必要な情報は、モルタル部と粗骨材部を合わせたコンクリート中の塩化物量であるため、コア側面の塩化物量と同じ深さにおいてスライス・粉砕した粉末の塩化物量とにどの程度の差が生じるか実験を行った。

3. 実験概要

塩害を受けた構造物から採取したコアを用いて測定を行った。コア採取時の水流により、コア側面の塩化物が流出していることと、測定面を平滑化させる目的で、コア側面をグラインダーで処理して新しい面を露出させた。写真-2 のように 10mm ピッチで深さ 50mm まで罫書き、各点の塩化物量を測定した(測定値は照射部φ8 の平均値となる)。図-1 に示すように、同じ深さにおいても、測定箇所ごとに塩化物量の変動しており、塩化物量が多いほど変動量は大きくなる。図-2 に典型的な例として、同一深さにおける(表面から 10-20mm)モルタル部と粗骨材部を測定した際の装置内部カメラで撮影した測定部の画像と蛍光 X 線スペクトルを示す。モルタル部は Cl, Ca のカウントが高く、Si のカウントが低い。反対に粗骨材部は Cl, Ca のカウントが低く、Si のカウントが高くなっており、それぞれの組成を示していることが確認できる。

コア側面の測定後、表面から 10mm ピッチで深さ 50mm までスライス後、振動ミルで粉砕し、更に 150μm ふるい全通



写真-1 ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置によるコア側面の測定



写真-2 コア側面測定部

キーワード ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置, コンクリートコア, 塩化物量

連絡先 〒299-1141 千葉県君津市君津 1 番地 新日本製鐵(株) 君津製鐵所内 (株)日鐵テクノリサーチ TEL 0439-50-2888 内 3721

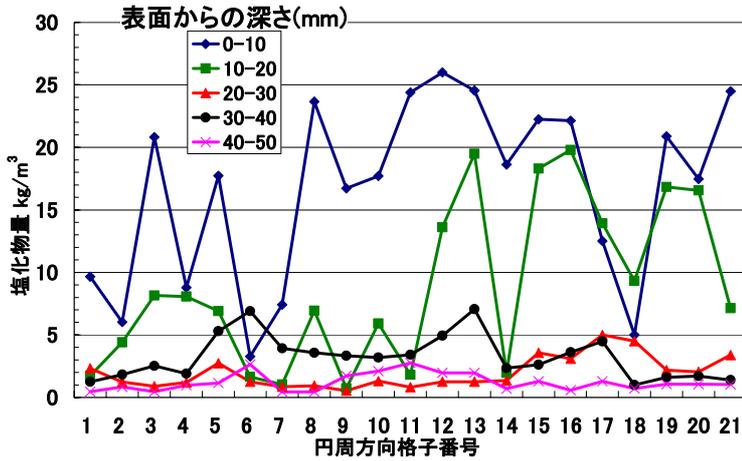


図-1 深さごとの周方向塩化物量

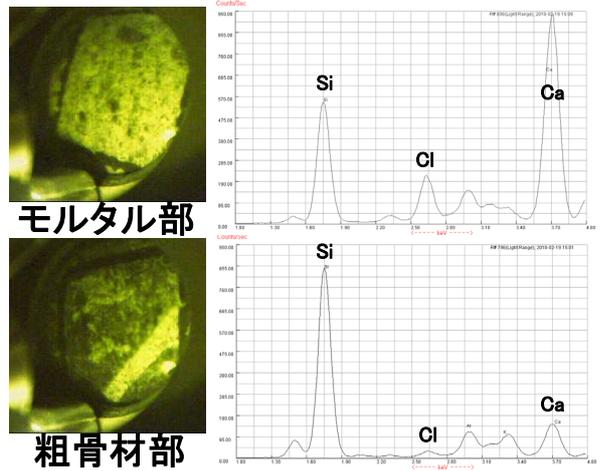


図-2 測定部内部カメラ画像と蛍光 X 線スペクトル

の粒径まで微粉碎して粒度を調整した後、粉末蛍光 X 線分析により塩化物量を測定した。コンクリート粉末を用いた蛍光 X 線分析の測定精度については既に確認済みである²⁾。表-1 にコア側面を測定した円周方向 21 測点の平均値、標準偏差、粉末の測定値を示す。21 測点の平均値と粉末の測定値が近いことが確認できる。コア周方向に連続的に測定して平均をとれば、粉末と同等の測定値を得ることはできるが、手間がかかるため、ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置の利点が活かされない。できれば、任意の深さでモルタル部を 3 箇所程度測定し、粉末化した際の測定値が推定できるのが良い。そこで、塩害を受けた構造物から採取した配合の異なる 7 本のコアを用いて実験を行った。

任意の深さにおいて、グラインダー処理後、モルタル部を 3 箇所測定して塩化物量の平均値を求めた。その深さでコアをスライス、粉碎後、粉末蛍光 X 線分析により塩化物量を測定して比較を行った。当然ながら、モルタル部 3 箇所の平均値が粉末と比較して塩化物量が高い結果となる。配合(粗骨材率)にもよるが、おおよそモルタル部 3 箇所の平均塩化物量に 0.48 を乗じると粉末の塩化物量に近くなることがわかった。図-3 にモルタル部 3 箇所の平均蛍光 X 線強度(Cl-Kα)と粉末の塩化物量の関係を示す。塩化物量が多くなると、±1kg/m³ 程度の誤差は生じるが比較的精度の良い測定が可能となる。図-3 の検量線を用いることで、コア側面からコンクリート中の塩化物量を推定できる。

表-1 コア側面平均値と粉末化後の塩化物量

深さ(mm)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50
コア側面平均塩化物量(kg/m ³)	16.67	8.77	1.99	3.23	1.22
標準偏差	7.12	6.40	1.25	1.70	0.70
粉末化後の塩化物量(kg/m ³)	19.68	8.37	1.72	1.81	0.53

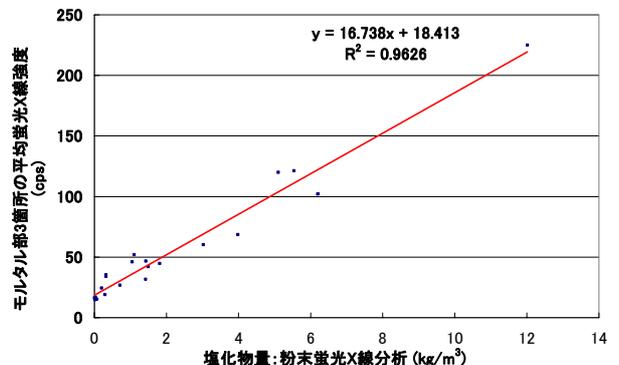


図-3 コア側面 3 箇所の平均蛍光 X 線強度と塩化物量

4. まとめ

ハンドヘルド型蛍光 X 線分析装置でコア側面の塩化物量を測定する場合、測定箇所により測定値が変動する。モルタル部を 3 箇所測定し、その平均値に 0.48 を乗じると粉末にした場合の塩化物量を推定することができる。コア側面を用いる手法は、そのコアの一部しか測定していないため、粉末の測定値と誤差が生じることは避けられないが、現場における簡易判定としては、十分な精度と考える。今後も、コア側面と粉末の塩化物量の比較を行い、データを蓄積して測定精度の向上を目指したい。

謝辞: コアサンプルは、(株)フォアサイトの渡部辰実氏に提供していただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (株)日鐵テクノリサーチ ホームページ <http://www.nstr.co.jp/portable-xrf.htm> <http://www.nstr.co.jp/konxrf.htm>
- 2) 金田尚志, 魚本健人: 塩化物測定用ポータブル型蛍光 X 線分析装置の開発, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.1095-1110, 2007