

携帯型蛍光 X 線分析装置を用いたコンクリート中の塩化物イオン量測定に関する検討

(株)ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 ○馬場 ひとみ
(株)ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 飯島 亨
(株)ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 齋藤 慶子
(株)ジェイアール総研エンジニアリング 石井 壮一郎
オリンパス株式会社 加藤 洋

1. はじめに

コンクリート構造物の維持管理において、塩害による鉄筋腐食の進行予測の評価や、それにとまなう補修方法の検討のために、コンクリート中の塩化物イオン量を把握することは重要である。一般に、コンクリート中の塩化物イオン量の測定では、JIS A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」(以下、「JIS 法」という)を用いることが多い。JIS 法では精度よく塩化物イオン量を分析することが可能であるが、現場から試料を持ち帰る必要があり、分析に時間がかかるため、その場で結果を確認したい場合には不向きである。

近年、携帯型蛍光 X 線分析装置を用いることで、簡易に硬化コンクリート中の塩化物イオン量を測定することが提案されている^{1) 2)}。そこで、著者らは、JIS 法での測定値と携帯型蛍光 X 線分析装置での分析値の比較を行い、携帯型蛍光 X 線分析装置を用いたコンクリート中の塩化物イオン量測定への適用性について検討した。なお、JIS 法の分析は、電位差滴定法を用いた。

2. 実験概要

2. 1 携帯型蛍光 X 線分析装置

測定に用いた携帯型蛍光 X 線分析装置は、オリンパス製 VANTA シリーズのハンドヘルド蛍光 X 線分析計(以下、「EDXRF」という)である。ターゲット材は Ag、検出器は SDD(シリコン・ドリフト・ディテクター)である。

この EDXRF には、「Geochem」(以下、「G 分析」という)と「Soil」(以下、「S 分析」という)の 2 種類の分析手法があり、G 分析はファンダメンタル・パラメータ(FP)法、S 分析は検量線法を基にした分析手法である。G 分析では、装置自体の初期値を用いた方法と、塩化物イオン量が既知の試料を測定し、その塩化物イオン量を用いて補正值を加えた 2 種類の分析を行った。S 分析では、ピーク強度(CPS 法)およびピーク面積(積分法)での

2 種類の分析を行った。

各分析での測定時間は各 X 線照射条件で 60 秒とし、1 試料につき 3 回測定を行った。

2. 2 測定に用いた供試体

本実験では、練り混ぜ水に塩化ナトリウムを添加して作製したモルタルを供試体として用いた。モルタル供試体の作製条件は表-1 に示す通りであり、計 72 個の供試体を作製した。各供試体を粉碎・乾燥し、本実験に用いる粉末試料とした。モルタルの作製は、JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」の練混ぜに準拠して行った。

表-1 供試体作製条件

セメント種類	普通セメント(N),早強セメント(H)
水セメント比[%]	50,60
セメント骨材比	1:1,1:2,1:3
塩化物イオン量[%]	0, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5

3. 実験結果

3. 1 FP 法を基にした G 分析

G 分析での初期値を用いた結果を図-1 に示す。また、普通セメント(N)・水セメント比 50%の供試体での結果を用いて補正式を算出した。この補正式を用いた結果を図-2 に示す。

図-1 より、塩化物イオン量が 0.1%程度であれば、JIS 法と EDXRF での値は同等となった。しかし、塩化物イオン量が高くなるにつれ、JIS 法と EDXRF での値は大きく異なった。また、EDXRF では塩化物イオン量 0.06%(約 1.5kg/m³)以下の値は検出されなかった。図-2 より、補正式を用いた結果では、JIS 法と EDXRF での値は概ね対応している結果が得られた。

装置納入時の初期値を用いた分析を行うと、実際の値より大きく外れた結果となるので、装置に対して補正が必要であるといえる。

3. 2 検量線を基にした S 分析

S 分析の CPS 法での分析結果を図-3 に、積分法での

キーワード：塩化物イオン量、携帯型蛍光 X 線分析装置、コンクリート、モルタル、X 線強度
連絡先：〒185-0034 東京都国分寺市光町 1-39-23 清慈ビル 3 階 TEL：042-501-2605 FAX：042-501-2838

分析結果を図-4 に示す。なお、普通セメント(N)・水セメント比 50%・セメント骨材比 1:2 の供試体の各分析における結果を用いて補正式を算出した。

図-3～4 より、JIS 法と S 分析での分析結果との間には、十分な相関性があると考えられる。しかし、同一の水セメント比では、普通セメントを用いた供試体に比べて早強セメントを用いた供試体での分析値が低くなる傾向が認められた。また、同一セメント種では、水セメント比 60%の供試体に比べて水セメント比 50%の供試体の分析値が低くなる傾向が認められた。これは、蛍光 X 線の各元素の X 線強度が他の元素からの励起や減衰などの影響を受けることに起因しているためと考えられる。

3. 3 各手法で求めた値と JIS 法との相関

G 分析 (補正式), S 分析 (CPS 法) および S 分析 (積分法) における塩化物イオン量 0.2～0.3%, 0.5～0.6% の 2 つの範囲での分析値の誤差に対する評価を表-2 に示す。変動係数は、G 分析 (補正式) 12～14% > S 分析 (CPS 法) 9.0～9.5% > S 分析 (積分法) 8.3～8.8% の順で小さくなるという結果が得られた。S 分析では、変動係数が 10%以下となり、ばらつきは小さいという結果が得られた。

塩化物イオン量の測定における携帯型蛍光 X 線分析装置の使用は、検量線を基にした S 分析を用いることで、現場でも十分適用可能であるといえる。

4. まとめ

JIS 法での測定値と携帯型蛍光 X 線分析装置を用いて、配合の異なるモルタル供試体の塩化物イオン量を分析し、以下の結果が得られた。

- (1) G 分析の初期値では、塩化物イオン濃度によっては実際の値より大きく外れた結果となり、装置に対して補正が必要である。
- (2) 装置に対して補正した際の変動係数は G 分析より S 分析のほうが小さく、精度の

よい結果を得ることができる。

- (3) 携帯型蛍光 X 線分析装置は、検量線法を基にした方法を用いることで、現場でも十分適用可能である。

なお、今後はコンクリート試料での精度確認を行う予定である。

参考文献

- 1) 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, 2007
- 2) 櫻庭浩樹, 古賀裕久: 携帯型蛍光 X 線分析装置を用いた硬化コンクリート表面の塩分量測定の検討, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 19 巻, 2019.10

表-2 分析誤差に対する評価

分析手法		塩化物イオン量[%]	
		0.2-0.3	0.5-0.6
標準偏差	G分析	0.033	0.067
	S分析(CPS法)	0.022	0.049
	S分析(積分法)	0.020	0.045
変動係数 [%]	G分析	14.3	12.2
	S分析(CPS法)	9.5	9.0
	S分析(積分法)	8.8	8.3

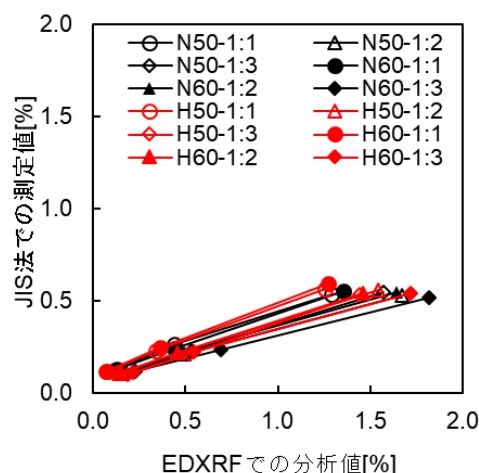


図-1 G 分析 (初期値)

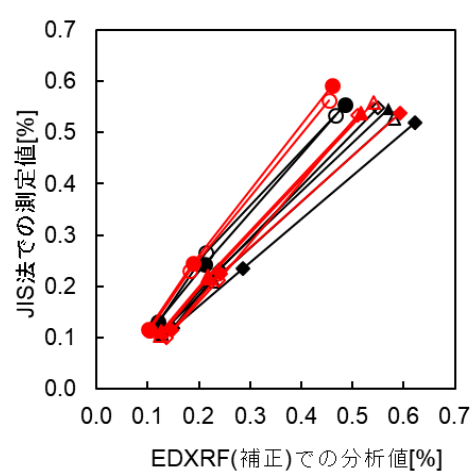


図-2 G 分析 (補正式)

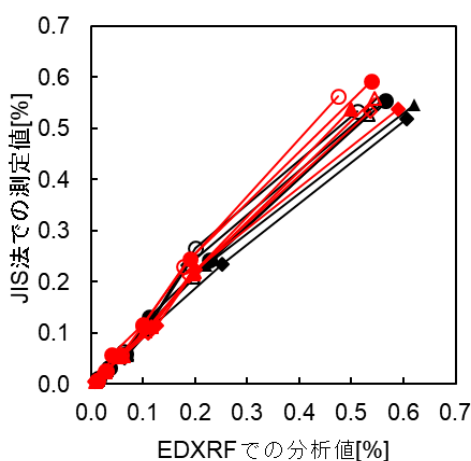


図-3 S 分析 (CPS 法)

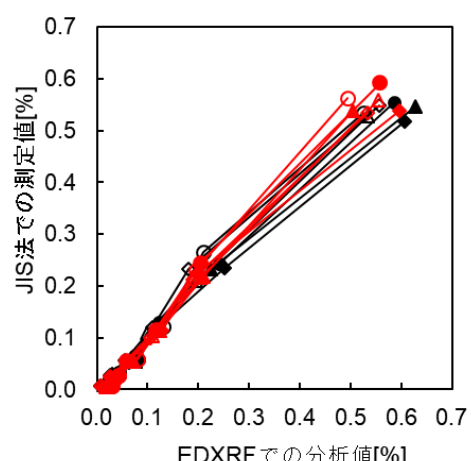


図-4 S 分析 (積分法)