

## 携帯型蛍光 X 線分析装置を用いたコンクリート表面の塩化物イオン量測定の検討

(株)ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 ○遠藤 大樹 飯島 亨 馬場 ひとみ  
オリンパス(株) 非会員 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、飛来塩分や融雪剤散布による塩害劣化が深刻化しているため、塩化物イオン量 (以下、「 $\text{Cl}^-$ 」という) を把握することが重要になっている。また、補修工法や補修範囲の選定などにおいても、 $\text{Cl}^-$ 測定が必要不可欠になっている。

一般に、コンクリート中の  $\text{Cl}^-$  の測定は、対象構造物からコアもしくはドリル粉を採取し、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) により行われている。また、近年、携帯型蛍光 X 線分析装置を用いて、コンクリート試料中の  $\text{Cl}^-$  を測定することが提案されている<sup>1)2)</sup>。しかし、コンクリート表面に対するの適用は必ずしも明確ではないのが現状である。

そこで、コンクリート構造物表面の  $\text{Cl}^-$  の 1 次スクリーニング調査として、携帯型蛍光 X 線分析装置を用いた方法の適用可能性の検討を行った。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試体作製方法

供試体の作製条件を表 1 に示す。コンクリートの  $\text{Cl}^-$  を測定する際、粗骨材の部分为了避免モルタル部で行うことから、モルタル供試体を用いて試験を行うこととした。供試体の作製は練混ぜ水に  $\text{NaCl}$  を添加することで、 $\text{Cl}^-$  の異なる供試体を計 48 体作製した。その後、各供試体は割裂・乾燥を行うことで、測定試料とした。なお、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	W/C(%)	s/a	$\text{Cl}^-$ 濃度 (%)
普通セメント (N)	50, 60	1:1, 1:2, 1:3	0, 0.1, 0.2, 0.5
早強セメント (H)			

#### 2.2 測定方法

測定は、オリンパス(株)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) を使用

した。ターゲット材は Ag、照射面積は 63.6 mm<sup>2</sup>、検出器は SDD である。EDXRF の測定方法は、FP 法および検量線法の 2 種類があるが、予備試験を行った結果、検量線法を使用した分析で変動係数が小さくなることから、検量線法を用いて  $\text{Cl}^-$  を測定した。EDXRF の測定は、供試体割裂面の異なる箇所を 5 点選定し、測定時間は 60 秒とした。また、適応可能な測定時間と  $\text{Cl}^-$  の関係を明らかにするため、測定時間 15, 30, 60 および 120 秒の 4 条件の検討も行った。検量線は、普通セメント (N)・W/C 50%・s/a 1:2 の供試体の既知の値 (モルタル粉の JIS 法) と EDXRF で測定した  $\text{Cl}^-$  の積分値から作成し、回帰式により求めた。なお、JIS 法は電位差滴定法にて行った。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 セメント、水セメント比、細骨材比の影響

普通セメント(N)および早強セメント(H)にて作製した供試体の EDXRF と JIS 法の測定値の関係を図 1, 2 に示す。検量線の作成に用いた普通セメント (N)・W/C 50%・s/a 1:2 が最も一致しており、高い相関を示した。また、早強セメント(H)は普通セメント(N)と比較して、EDXRF の測定値は  $\text{Cl}^-$  濃度が 20~30% 低くなる傾向を示し、s/a の影響は、1:1 で低く、1:3 で高くなる傾向を示した。普通セメント(N)の W/C 50%、60%と早強セメント(H)の W/C 50%、60%の回帰式は式 (1)~式(4)に示すとおりで、EDXRF と JIS 法との測定値の比率は 0.8~1.2 倍の範囲であった。

$$\text{普通セメント W/C 50\% : } Y=0.932X \dots \text{式(1)}$$

$$\text{普通セメント W/C 60\% : } Y=0.839X \dots \text{式(2)}$$

$$\text{早強セメント W/C 50\% : } Y=1.159X \dots \text{式(3)}$$

$$\text{早強セメント W/C 60\% : } Y=1.079X \dots \text{式(4)}$$

ここで、Y : JIS 法, X : EDXRF

これらの値の変動は、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。

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、塩害

連絡先：〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL : 042-501-2648 FAX : 042-505-7114

### 3.2 測定時間の影響

普通セメント(N)にて作製した供試体の EDXRF と JIS 法の測定値の関係の一例を図3に示す。EDXRF および JIS 法の測定結果の標準偏差を表2に示す。EDXRF の測定時間が15~120秒の範囲では、測定時間が長くなるに連れて、Cl<sup>-</sup>の標準偏差は若干小さくなる傾向にあるが、測定時間が15秒であってもCl<sup>-</sup>の値に大きな差は認められなかった。このことから、短時間で現地調査を行うことが可能と考えられる。

### 3.3 コンクリートの塩化物イオン量の算出

今回 EDXRF を用いた測定は、コンクリートのモルタル部で実施するため、モルタル中の Cl<sup>-</sup>として測定される。この値からコンクリート中の Cl<sup>-</sup>の算出は、以下の式(5)から導くことができると考えている。

$$Cl^-(C) = (Cl^-(M) \times Mu) \div Cm \dots \dots \dots \text{式(5)}$$

ここで、Cl<sup>-</sup>(C)：コンクリート中の Cl<sup>-</sup>(%)

Cl<sup>-</sup>(M)：モルタル中の Cl<sup>-</sup>(%)

Mu：モルタル部分の単位量 (kg/m<sup>3</sup>)

Cm：コンクリートの単位容積質量 (kg/m<sup>3</sup>)

### 4. まとめ

モルタル表面の塩化物イオン量を携帯型蛍光 X 線分析と電位差滴定法の測定結果を比較した。その結果、塩化物イオン量の測定を高い精度で行う場合は、セメント種類、水セメント比、骨材比率に合わせた検量線を作成する必要があると考えられる。一方、Cl<sup>-</sup>の1次スクリーニング調査で使用する場合、構造物の配合に関わらず20%~30%の誤差を生じるが、コンクリート表面の塩化物イオン量を把握することは可能である。さらに、1測定当たり最短で15秒で測定可能であることが分かった。

以上のことから、コンクリート構造物中の Cl<sup>-</sup>の1次スクリーニング調査として使用可能であることがわかった。今後は、コンクリートでの適用性を確認する予定である。

### 参考文献

- 1) 金田尚志, 石川幸宏 他: ポータブル型蛍光 X 線分析装置を用いたコンクリートの分析, コンクリート工学, Vol.28, No.1, 2006
- 2) 桜庭浩樹, 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, 論文報告集, 第19巻, 2019

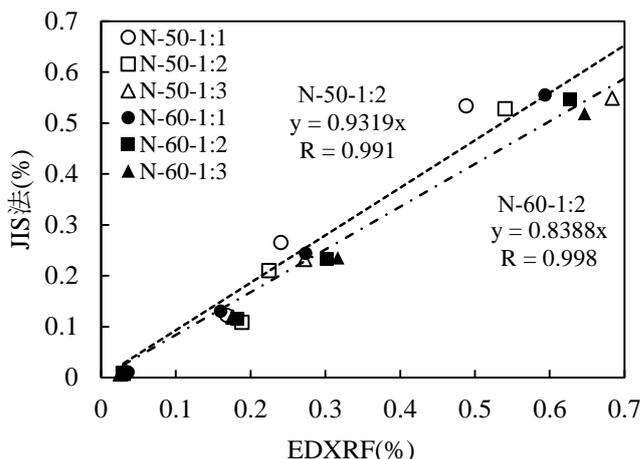


図1 EDXRF と JIS 法の関係 (普通セメント(N)を用いた試料)

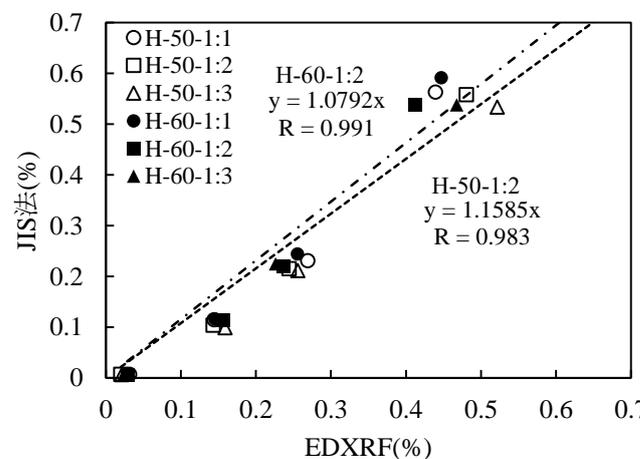


図2 EDXRF と JIS 法の関係 (早強セメント(H)を用いた試料)

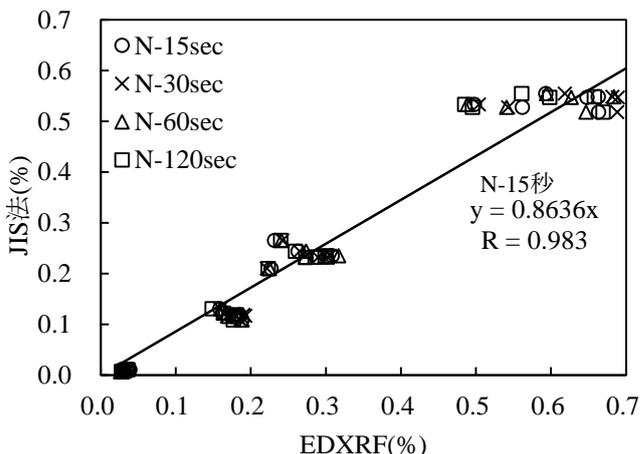


図3 EDXRF の測定時間と濃度の関係

表2 EDXRF と JIS 法の標準偏差

Cl <sup>-</sup>	JIS法	EDXRF			
		15sec	30sec	60sec	120sec
0	0.001	0.004	0.004	0.003	0.003
0.1	0.007	0.012	0.013	0.009	0.011
0.2	0.017	0.032	0.031	0.032	0.026
0.5	0.013	0.066	0.074	0.066	0.072