

# 論文 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

渡辺 暁央<sup>\*1</sup>・平野 誠志<sup>\*2</sup>・青山 實伸<sup>\*3</sup>

**要旨**：本論文は、コンクリート中の塩化物イオン濃度を定量する方法の一つとして開発された高精度ポータブル型蛍光 X 線装置を使用して、実際の塩害コンクリート構造物からドリル法により採取した粉末試料の塩化物イオン濃度を測定する方法を検討した。蛍光 X 線法による塩化物イオンの定量値は、一般に使用されている電位差滴定法に比較して、ばらつきが大きいものの、適切な検量線を使用して評価を行うことにより、妥当な測定値を得られる。また、本手法は、ドリル法で採取した試料をそのまま測定しても塩化物イオン濃度が  $5 \text{ kg/m}^3$  までは  $0.5 \text{ kg/m}^3$  程度のばらつきであり、塩害構造物のモニタリング調査に有効に利用できる。

**キーワード**：蛍光 X 線分析, ドリル試料, 塩化物イオン, 電位差滴定, 粉末粒度

## 1. 序論

コンクリート構造物の維持管理は、近年の社会情勢から新設や補修などを含めた公共事業等の予算は限られているため、経済性を考慮して効率よく実施することが求められている。塩害を受けるコンクリート構造物の維持管理は、劣化因子である塩化物イオンがコンクリート中に浸透する過程を評価・予測することで、劣化状況を把握することが可能であり、他の要因による劣化と比較して管理手法が技術的に確立されている分野である。コンクリート中の塩化物イオンを定量評価するには、コア採取あるいはドリル法による粉末採取を実施した後、JIS A 1154 に従った分析を実施することが一般的である。しかし、この手法は、採取試料の調整を行った後に、化学分析を実施する必要があることから、分析コストが高く、塩害のモニタリング調査を経済的に実施するには不向きである。

一方、近年開発された高精度ポータブル型蛍光 X 線装置は、コンクリート中の塩化物イオンを定量評価することを主目的とした装置であり<sup>1)</sup>、塩化物イオン濃度を  $0.1 \text{ kg/m}^3$  の低濃度まで測定することが可能である<sup>2)</sup>。測定は、対象試料を X 線照射部に接触させるものであり、測定時間も数分のため、簡易で迅速な測定が可能である。しかし、実際の塩害構造物の調査に適用するためには、測定精度や従来から使用されている手法による測定値との整合性を確認する必要があるが、そのような事項に対して詳細な検討は実施されていない。

本研究では、ドリル法により採取した粉末試料について、高精度ポータブル型蛍光 X 線装置による塩化物イオンの定量分析(以下、蛍光 X 線法)を実施し、JIS A 1154 の電位差滴定法との測定値の比較を行った。そして、測定精度および試料調整が測定値に及ぼす影響を検討し、

塩害を受けた実構造物の調査に本手法を適用するための基本的な手法を確立することを目的としている。

## 2. 蛍光 X 線法の測定精度

### 2.1 実験概要

#### (1) コンクリート供試体の作製

打設時に塩化ナトリウムを混入したコンクリート供試体(100×100×400mm)を作製した。塩化ナトリウムは塩化物イオン換算で  $1.5, 2.5, 20 \text{ kg/m}^3$  程度になるように3種類とし、それぞれ供試体 A, B, C と名称をつけた。3ヶ月以上の材齢経過後、JSCE-G 573-2003 に準じて  $\phi 20 \text{ mm}$  のドリルを使用して約  $200 \text{ g}$  の試料採取を実施した。

#### (2) 試料調整

蛍光 X 線分析の試料は、JIS R 5204 に従って採取試料の全量を微粉砕して  $150 \mu\text{m}$  ふるいを通過するよう調整した(以下、 $150 \mu\text{m}$  全通試料)。この試料は、JIS A 1154 に準じた風乾を行った。また、ドリル法で採取した試料をそのまま分析する(以下、ドリル試料)ことも検討した。

#### (3) 分析方法

使用した蛍光 X 線装置は、アワーズテック社製 101FA であり、測定時間は  $100$  秒とし、検量線はメーカーがセメントペーストで作成したものを利用した。検討は、同一試料を  $10$  分取してモールドに詰めて  $10$  個の分析モールドを作製した。1つのモールドに対して5回の単純繰返し測定を行った。単純繰返し測定とは、モールドに詰めた試料を1回の測定が終了するごとに、モールドを振動させてから再測定するものである。また、比較のため、 $10$  分取の試料で JIS A 1154 の電位差滴定法も実施した。

### 2.2 実験結果および考察

#### (1) 単純繰返し測定

表-1 は、 $10$  分取の試料について、それぞれ5回の単純

\*1 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 金沢支店 土木部 構造技術課 博士(工学) (正会員)

\*2 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 金沢支店 土木部 道路技術課長代理 (正会員)

\*3 中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋(株) 金沢支店 土木部長 博士(工学) (正会員)

繰返し測定を実施したときの平均値および変動係数を示したものである。同じモールドの試料を単純繰返し測定すると最大 5%程度の変動係数となり、測定値のばらつきが大きいことがわかる。これは、蛍光 X 線法が粉末試料の表面をピンポイントに測定していることによるものであり、モールドに詰めた 1 分取の試料を測定するだけでも比較的大きな測定値の変動を伴う。

また、各分取の単純繰返し測定の平均値は、比較的ばらつきが大きく、150 $\mu\text{m}$  全通試料では 0.5 $\text{kg}/\text{m}^3$  程度、ドリル試料の供試体 C では 1~2 $\text{kg}/\text{m}^3$  の範囲で分取ごとの測定結果に変動が現れている。そのため、蛍光 X 線法では測定試料を数分取して、平均値を求めなければ妥当な結果は得られないと考える。

### (2) 10 分取の平均値

表-2 は、10 分取の平均値と変動係数を示したものである。比較のため電位差滴定法の結果も示したが、蛍光 X 線法の平均値は電位差滴定法と比較して小さい値を示している。これは、蛍光 X 線法における塩化物の換算においてメーカーの検量線を利用しているためと推定され、検量線の補正が必要と考えられる。また、変動係数に着目すると、電位差滴定法では 1%程度であるのに対して、蛍光 X 線法では 5%を超える場合があり、測定値の精度が比較的低くなる。これは、蛍光 X 線法がモールドに詰めた約 5g の試料のうち、X 線照射部の直径 9mm の粉体表面を分析しているためであり、電位差滴定法のように 10g の試料の全量を溶解させる手法と比較して、測定精度に限界がある。

蛍光 X 線法において、単純繰返し測定の有無による平均値および変動係数の変化を比較すると、単純繰返し測定を行わない場合、変動係数は大きくなるものの、平均値はほぼ同じ値を示す。すなわち、蛍光 X 線法において単純繰返し測定を実施することは、測定精度向上にほとんど寄与せず、妥当な測定結果を得るためには、採取した試料を分取して 1 分取 1 回の測定で平均値を求めることで良いと判断される。

### (3) 妥当な測定結果を得るための分取数の検討

図-1 は、蛍光 X 線法による測定値で変動係数が大きい供試体 A の 150 $\mu\text{m}$  全通試料について、10 分取の測定値からランダムに複数のデータを抽出して平均値を求め、その値の変動係数を検討したものである。この結果、2 分取の平均値を採用すると変動係数は 1/2 程度になるが、3 分取の平均値では変動係数の低減効果は小さくなる。また、表-1 に示したように、同じ条件の試料を単純繰返し測定しても変動係数は最大 5%程度を示しており、2 分取の平均値の変動係数がそれを下回る。したがって、測定コストと精度の対応を考慮すると、実用的には 2 分取の平均値を測定結果とすることで十分と考えられる。

表-1 5 回の単純繰返し測定の平均値および変動係数

分取 No.	供試体 A		供試体 B		供試体 C		
	平均 (kg/m <sup>3</sup> )	変動係数	平均 (kg/m <sup>3</sup> )	変動係数	平均 (kg/m <sup>3</sup> )	変動係数	
150 $\mu\text{m}$ 全通試料	1	1.74	1.7%	2.49	1.5%	16.87	2.2%
	2	1.56	5.0%	2.52	2.4%	17.30	0.6%
	3	1.68	3.9%	2.43	1.9%	16.95	2.1%
	4	1.48	3.7%	2.48	2.9%	17.09	1.7%
	5	1.54	3.6%	2.51	1.0%	17.21	2.8%
	6	1.56	3.9%	2.41	2.4%	17.40	1.4%
	7	1.48	4.8%	2.46	3.5%	17.18	1.3%
	8	1.45	5.0%	2.47	1.8%	17.08	0.7%
	9	1.52	2.8%	2.43	1.8%	16.98	2.9%
	10	1.59	4.4%	2.49	2.6%	17.24	1.1%
平均	1.56	3.9%	2.47	2.2%	17.13	1.7%	
ドリル試料	1	1.63	2.4%	2.82	3.0%	18.17	2.7%
	2	1.64	5.0%	2.83	4.2%	18.53	4.8%
	3	1.70	1.6%	2.82	2.0%	18.07	3.1%
	4	1.59	4.1%	2.75	4.6%	17.53	3.2%
	5	1.64	4.6%	2.78	2.4%	19.30	3.1%
	6	1.59	4.1%	2.76	2.1%	19.06	1.3%
	7	1.62	3.8%	2.78	1.3%	19.13	0.4%
	8	1.65	5.0%	2.71	3.7%	19.39	2.4%
	9	1.59	5.0%	2.78	3.3%	19.25	1.4%
	10	1.65	5.3%	2.70	2.4%	19.26	3.9%
平均	1.63	4.1%	2.77	2.9%	18.77	2.6%	

表-2 10 分取の平均値と変動係数

	供試体 A		供試体 B		供試体 C	
	平均 (kg/m <sup>3</sup> )	変動係数	平均 (kg/m <sup>3</sup> )	変動係数	平均 (kg/m <sup>3</sup> )	変動係数
1 分取 5 回の単純繰返し測定を実施						
150 $\mu\text{m}$ 全通試料	1.56	5.8%	2.47	1.4%	17.13	1.0%
ドリル試料	1.63	2.1%	2.77	1.6%	18.77	3.5%
1 分取 1 回測定(単純繰返し測定なし)						
150 $\mu\text{m}$ 全通試料	1.54	8.3%	2.48	2.9%	17.15	2.4%
ドリル試料	1.62	6.2%	2.75	3.6%	18.90	4.8%
電位差滴定法(JIS A 1154)						
150 $\mu\text{m}$ 全通試料	1.86	1.0%	2.95	0.6%	19.84	1.1%

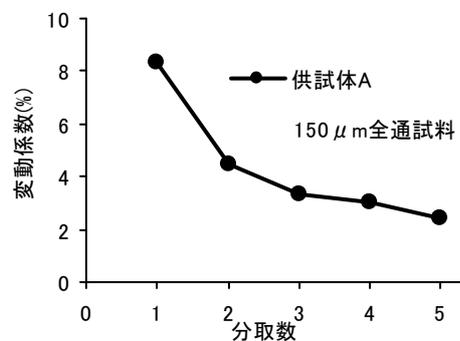


図-1 分取数による変動係数の変化

## 3. 試料の調整が測定値に与える影響

### 3.1 実験目的

蛍光 X 線分析では、試料表面の粗さと粒度が測定値に大きな影響を与える<sup>3)</sup>。そのため、2.2 で示したように、

表-3 コンクリート供試体の配合

W/C	s/a	スランブ (cm)	空気量 (%)	G <sub>max</sub> (mm)	単位質量(kg/m <sup>3</sup> )				AE 剤 (%×C)	塩化物混入量(kg/m <sup>3</sup> )
					C	W	S	G		
0.45	0.38	12	5	25	350	158	673	1102	0.5	0, 1.2, 10, 15, 20
0.50	0.40				310	155	724	1091		0, 1.2, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20
0.55	0.42				290	160	762	1057		0, 1.2, 10, 15, 20

150 $\mu$ m 全通試料とドリル試料の測定値は、当然ながら異なる値を示す。JIS R 5204 に準じれば、蛍光 X 線法の試料調整は、150 $\mu$ m 全通試料とすることが適切であるが、実構造物の維持管理を効率よく実施する観点から考えると、ドリル法により採取した試料をそのまま分析に用いることが望ましい。本章では、試料調整の有無が測定値に及ぼす影響について検討し、ドリル試料をそのまま分析することの可否について検討する。

### 3.2 実験概要

#### (1) コンクリート供試体の作製

表-3 に示すような水セメント比が 0.45, 0.5, 0.55 の配合のコンクリート供試体を作製する。供試体寸法は、100×100×400mm の角柱供試体であり、打設後 24 時間にて脱型し、20℃の密封養生を実施した。材齢 28 日経過後、JSCE-G 573-2003 に準じて $\phi$ 20mm のドリルを使用して試料採取を実施した。

#### (2) 分析方法

2.1 と同様に 150 $\mu$ m 全通試料とドリル試料を準備した。蛍光 X 線法による分析は、各試料を 3 分取して、1 分取 1 回の測定を行い、3 分取の平均を測定結果とした。また、比較のため JIS A 1154 の電位差滴定法を実施した。

### 3.3 実験結果および考察

#### (1) 試料調整による測定値の相違

図-2 は、150 $\mu$ m 全通試料とドリル試料の蛍光 X 線法の測定値の相違を、電位差滴定法との対応で示したものである。表-2 の結果では、150 $\mu$ m 全通試料の測定結果は、ドリル試料の値と比較して若干小さくなっているが、図-2 に示すようにこれは測定値のばらつきの範囲であることがわかり、双方に適切な関係が認められない。その一方で、蛍光 X 線法の測定値は、電位差滴定法と比較して小さくなる傾向を示しており、妥当な測定結果を得るために検量線の再改定が必要であると考えられる。

#### (2) ドリル試料の粒度

図-3 は 150 $\mu$ m 全通試料およびドリル採取試料について、粒度分布を求めたものである。粒度分布は、粉末を樹脂含浸して固化させた後、切断・研磨を実施して電子顕微鏡観察し、画像解析法により求めたものである<sup>4,5)</sup>。ドリル採取試料は、約 40%が粒径 150 $\mu$ m 未満であり、平均径が 250 $\mu$ m であるのに対して、150 $\mu$ m 全通試料は平均径が 75 $\mu$ m である。平均径の相違はあるものの、双方の

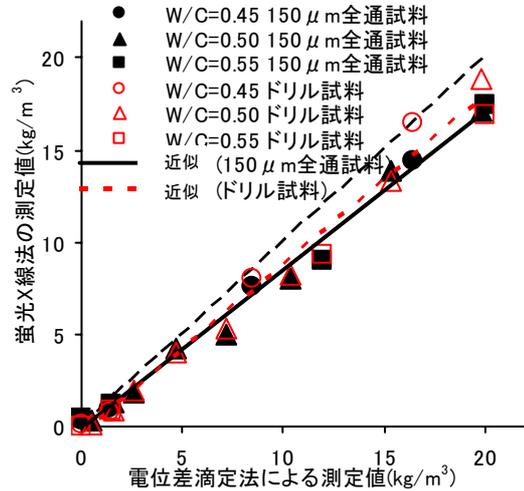


図-2 蛍光 X 線法と電位差滴定法の測定値の対応

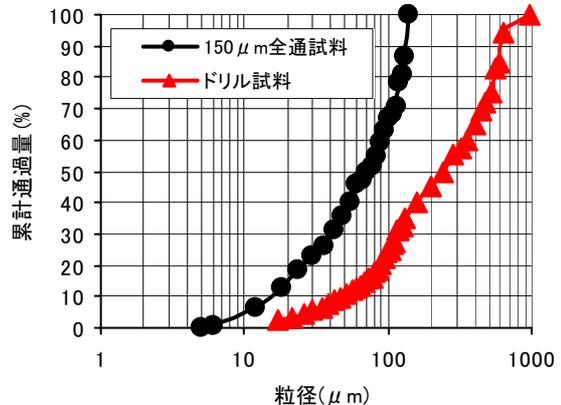


図-3 試料調整の有無による粒度分布の相違

粒度分布は、ほぼ同じような形状の分布となっている。

写真-1 は、水セメント比が 0.5 のコンクリートで塩化物イオン量を 20kg/m<sup>3</sup> とした供試体から採取した 150 $\mu$ m 全通試料およびドリル採取試料の粉体表面の塩素に関する EPMA 画像である。ドリル試料では、比較的大きな粒子において、骨材の破面と推定される塩素がない粒子が認められるとともに、同程度の大きさの粒子で塩素が強く現れるセメントペーストの塊が確認される。塩素の現れる粒子(セメントペースト)と現れない粒子(骨材)の双方の粒子寸法に大きな相違はない。一方、150 $\mu$ m 全通試料においても、セメントペースト粒子と骨材粒子の寸法には、大きな相違はないようであり、それぞれの粒子が全体にバランスよく配置されている様子がわかる。

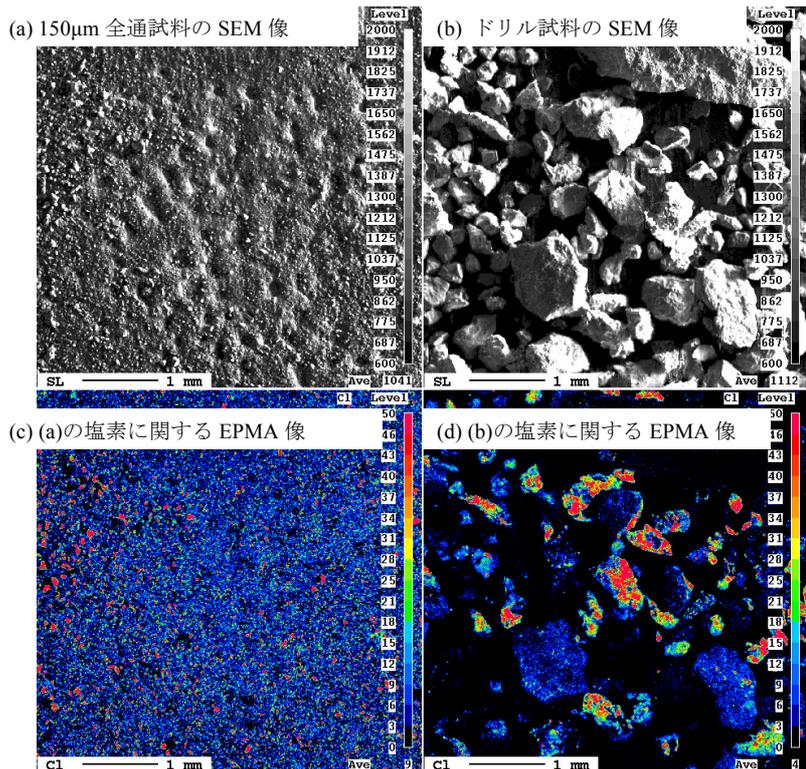


写真-1 粉末試料表面の塩素に関する EPMA 分析

すなわち、ドリル試料は、粒径が大きいものの、セメントペースト分と骨材分の粒子寸法の差が小さく、蛍光 X 線法の分析に対しては 150 $\mu\text{m}$  ふりを全通させる試料調整を実施せずに分析しても測定精度に及ぼす影響は小さいと推察される。また、本装置の X 線照射孔は、直径 9mm であり、比較的粉末粒子が大きい試料についても妥当な測定結果が得やすいものと推察される。

### (3) 試料調整の影響

上述したように、蛍光 X 線法ではドリル試料をそのまま分析に使用しても、測定結果に大きな間違いがないようである。一方、試料がどのような粒度になっても妥当な測定結果が得られると考えるのは、測定原理上ありえない。例えば、コア試料を粉砕して分析試料とする場合には、どの程度の粉砕を実施することが妥当か改めて検討する必要があるものと考えられる。本節ではドリル試料に対して、振動ミルで 20 秒の粉砕処理を行った試料(以下、ミル粉砕試料)について分析を試みた。図-4 は、このミル粉砕試料の粒度分布を示したものであるが、約 60% が粒径 150 $\mu\text{m}$  未満であり平均径が 100 $\mu\text{m}$  であるが、150 $\mu\text{m}$  全通試料およびドリル試料の粒度分布と比較して、粒径の分布範囲が大きくなっている。

図-5 は、150 $\mu\text{m}$  全通試料、ドリル試料およびミル粉砕試料の蛍光 X 線法の測定値の相違を、電位差滴定法との対応で示したものである。ミル粉砕試料の測定値は、150 $\mu\text{m}$  全通試料およびドリル試料と比較して、大きな値を示し、メーカーの検量線による換算により電位差滴定

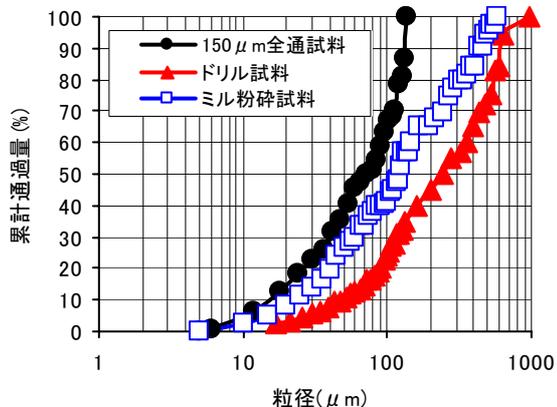


図-4 振動ミル粉砕処理後の粒度分布

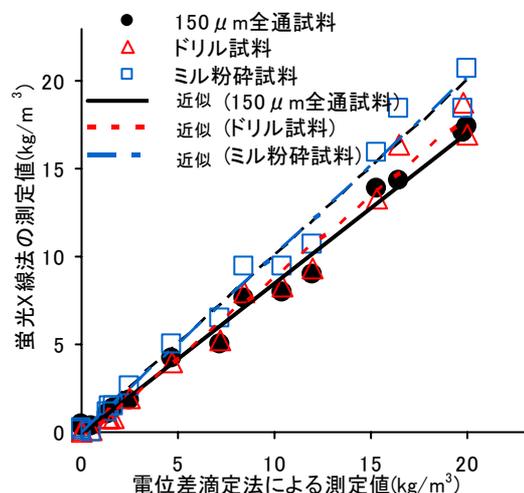


図-5 振動ミル粉砕処理後の蛍光 X 線法の測定結果

法とほぼ一致する値を得ている。しかし、蛍光 X 線の測定原理を考慮すると、150 $\mu\text{m}$  全通試料による測定値が最も適切な測定結果であり、図-5 の結果の扱いには留意が必要である。

図-6 は、同一供試体から採取したドリル試料およびミル粉砕試料について、150 $\mu\text{m}$  ふるい通過分と残留分に分類して、蛍光 X 線法による分析を実施した例である。ドリル試料は、ふるいの通過分および残留分ともに、測定値に大きな変化はない。しかし、ミル粉砕試料は、ふるいに残留しているものの測定値が小さくなり、ミル粉砕試料の測定結果がふるい通過分の測定値に強く影響されていることがわかる。これは、蛍光 X 線法の分析では、試料表面の測定を実施しているため、比表面積の大きい、ふるい通過分の測定値の影響が全体の測定結果に大きく影響したためと考えられる。この結果は、ドリル試料に対して不十分なミル粉砕を実施すると、比較的軟質の塩化物を含むセメントペースト分が粉砕されてふるいを通過するのに対して、比較的硬質の塩化物を含まない骨材分がふるいに残留しているものと予測される。

以上のことから、蛍光 X 線法の分析では、粉末試料の均質性が分析結果に重大な影響を与えるため、試料の均質性を確認して実施することが重要である。また、本検討の結果、ドリル試料は比較的均質な試料であることが判明し、蛍光 X 線法の測定に十分使用できるものと判断される。一方、コアを粉砕して分析を実施する場合など、機械的に粒度調整を実施する場合には、粉砕した試料が不均質な試料になっていないことを確認するか、150 $\mu\text{m}$  ふるい全通試料にして分析を実施することが望ましいと考えられる。しかし、150 $\mu\text{m}$  ふるい全通試料においても、その粒度分布の違いによる測定値への影響が生じることは避けられないため、そのことを十分に考慮して分析を実施することが必要である。

#### 4. 塩害構造物から採取した試料の分析

##### 4.1 検討概要

試料は、塩害を受けた RC 構造物から JSCE-G573 に従ってドリル法でコンクリート粉末を 125 試料採取した。採取した試料は、3.2 と同様に 150 $\mu\text{m}$  全通試料およびドリル試料をそれぞれ 2 分取準備し、1 分取 1 回の蛍光 X 線法の分析を実施した。検量線は、3. で示したコンクリート供試体の実験結果に基づいて作成したものを使用した。また、比較のため、JIS A 1154 の電位差滴定法を実施した。

##### 4.2 結果および考察

図-7 は 150 $\mu\text{m}$  全通試料について、図-8 はドリル試料について蛍光 X 線法の測定結果と電位差滴定法の結果を比較したものである。150 $\mu\text{m}$  全通試料の蛍光 X 線法と電

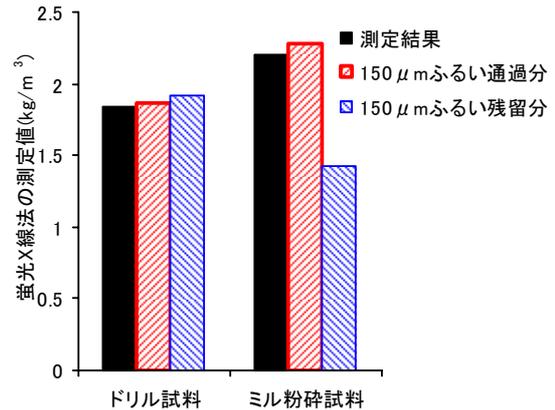


図-6 150 $\mu\text{m}$  ふるいに通過分と残留分の測定値の変化

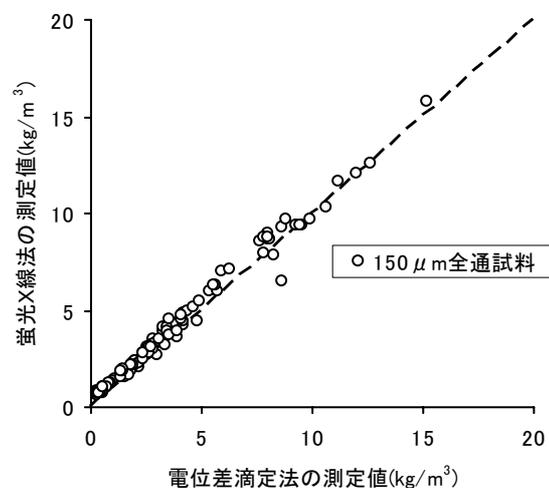


図-7 実構造物の 150 $\mu\text{m}$  全通試料の測定結果

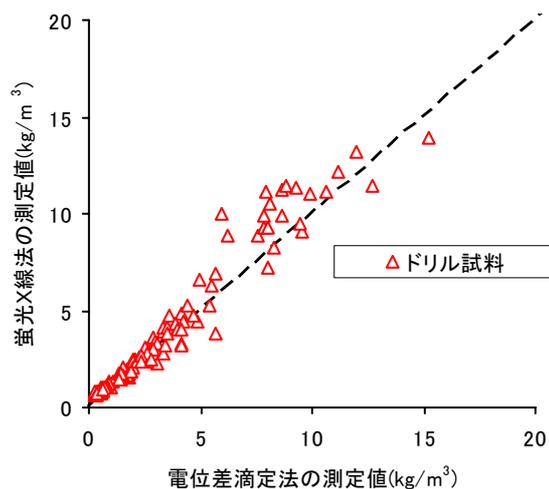


図-8 実構造物のドリル試料の測定結果

位差滴定法の対応は、ほぼ一致しており、塩化物イオン濃度が 5 $\text{kg}/\text{m}^3$  を超えると双方の相違が 1 $\text{kg}/\text{m}^3$  程度、それより低い濃度の領域では、0.5  $\text{kg}/\text{m}^3$  未満の相違が認められるのみである。一方、ドリル試料の場合、双方の測定結果の相違が大きくなるが、塩化物イオン濃度が 5 $\text{kg}/\text{m}^3$  より小さい領域は 1 $\text{kg}/\text{m}^3$  未満の相違が認められ

のみであり、蛍光 X 線法と電位差滴定法の測定結果はおおよそ一致する。しかし、濃度が  $5\text{kg/m}^3$  を超えると、双方の測定結果が、大きいもので  $5\text{kg/m}^3$  程度の相違が認められる。これは、ドリル試料が  $150\mu\text{m}$  全通試料と比較すると試料の均質性に劣るため、高濃度の塩化物イオンを含有する場合は、蛍光 X 線法の測定値の変動が大きくなるのが原因と推察される。そのため、高濃度の塩化物イオンを含む試料において、精度の高い測定結果を得るには、試料を  $150\mu\text{m}$  全通試料に調整して分析を行わなければ適切な結果は得られないといえる。

## 5. 蛍光 X 線法の適用に関する提言

以上の検討の結果、蛍光 X 線法は試料の表面情報を分析しているため、測定値の変動が大きく、試料の粒度の影響を受ける。また、適切な測定結果を得るためには、測定試料を考慮した検量線の作成が必要である。これらの特徴を勘案した適用方法を考える必要がある。

塩害の維持管理では、鋼材の腐食限界塩化物イオン濃度が  $1.2\sim 2.4\text{kg/m}^3$  程度とされている。このことから、濃度が  $5\text{kg/m}^3$  を超過するような場合において、数  $\text{kg/m}^3$  の相違が発生したとしても、管理上の判断への影響は小さいといえる。また、低濃度領域における蛍光 X 線法の分析結果は、電位差滴定法との相違が  $0.5\text{kg/m}^3$  未満 ( $2\text{kg/m}^3$  未満では  $\pm 0.1\text{kg/m}^3$  程度の精度) と小さい。したがって、維持管理のためのモニタリング調査を目的とするなら、蛍光 X 線法は経済的で効率的な分析方法といえる。この場合、ドリル試料をそのまま蛍光 X 線法により分析しても、十分な情報が得られる。

その一方で、構造物の補修工事等の実施において、測定結果に  $0.1\text{kg/m}^3$  オーダーの信頼性を必要とする場合は、蛍光 X 線法による分析結果を利用すると、設計段階で判断ミスが発生することが懸念される。すなわち、補修設計では、鉄筋位置において鋼材の腐食発生限界塩化物イオン濃度を将来にわたって超えないことを条件とするシミュレーションの実施が必要であり、塩化物イオン濃度が  $0.1\text{kg/m}^3$  異なると対策工法が変化することもある。また、高濃度領域の塩化物イオン濃度も適切に評価されなければ、設計結果に影響を与える。そのため、補修設計にあたっては、従来からの電位差滴定法を利用することが適切であると考えられる。換言すれば、蛍光 X 線法は、測定結果の信頼性を考慮して、構造物のモニタリング調査に適用することが、実務上、妥当と判断する。

## 6. 結論

本研究は、ドリル法により採取した粉末試料の塩化物イオン濃度を蛍光 X 線法により測定するための基礎的な情報を得ることを目的として検討を行った。得られた結

果を以下に示す。

- (1) 粉末試料の塩化物イオン濃度をポータブル蛍光 X 線装置で分析する場合、単純繰返し測定を実施しても測定精度の向上には寄与せず、試料を 2 試料に分取して、それぞれ 1 回の測定を行い、平均値を求めることで測定精度の改善ができる。
- (2) 塩化物混入コンクリート供試体からドリル法にて採取した粉末試料は、そのまま蛍光 X 線法による分析を実施しても、 $150\mu\text{m}$  ふるい全通試料となるまで試料調整を実施した場合の分析結果と大きく変わらない測定値が得られる。
- (3) ドリル法にて採取した粉末試料の粒度を不適切に調整すると(例えば、振動ミルで 20 秒粉碎する)、粒度の均質性が失われ、測定値は  $150\mu\text{m}$  ふるい全通試料と大きく異なる値を示す。すなわち、蛍光 X 線法では、試料の粒度の相違が結果に大きく影響する。
- (4) 塩害を受けた実構造物からドリル法により採取した粉末試料を  $150\mu\text{m}$  ふるい全通試料に調整して、蛍光 X 線法により分析する場合は、コンクリート供試体から作成した検量線を用いることにより、電位差滴定法とほぼ同じ測定結果が得られる。
- (5) 実構造物からドリル法により採取した試料をそのまま蛍光 X 線法にて分析した場合、塩化物イオン濃度が  $5\text{kg/m}^3$  未満であれば、比較的妥当な測定結果が得られるが、それ以上の濃度では測定結果の信頼性が低下する。
- (6) 塩害の維持管理を目的としたモニタリング調査に蛍光 X 線法を適用する場合、ドリル法により採取した粉末試料をそのまま分析した結果を使用することで、有効活用できる。
- (7) 蛍光 X 線法の適用は、測定結果の信頼性を考慮する必要があり、補修設計を行うための調査では、従来どおり電位差滴定法を使用する必要がある。

## 参考文献

- 1) 金田尚志他：エネルギー分散型ポータブル蛍光 X 線分析装置によるコンクリートのオンサイト分析，コンクリート工学，Vol.44, No.6, pp.16-23, 2006
- 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.1095-1000, 2007
- 3) 中村泉：蛍光 X 線分析の実際，朝倉書店，2005
- 4) 粉体工学の基礎編集委員会編：粉体工学の基礎，日刊工業新聞社，1992
- 5) Schwartz, H.A.: The metallographic determination of the size distribution of temper carbon nodules, Metals Alloys, Vol.5, p.139, 1934