

# 論文 小径コアによる塩化物イオン量の測定方法に関する研究

伊藤 始\*1・水川 靖男\*2・野永 健二\*3・佐原 晴也\*4

**要旨**：鉄筋コンクリート構造物からφ100mmの一般的なコア供試体を採取する場合、コア径が大きいため構造物に与える損傷が大きいかことや過密配筋部での採取が困難であることなど、様々な制限を受けることが多い。そのため、小径のコアやドリルを用いた診断方法の開発が進んでいる。本研究では、コンクリートに内在する塩化物イオン量を定量するための試料採取方法として、それらの適用を考え、採取方法や塩化物イオン量をパラメータに塩分分析を行い、それらの結果を統計的に整理することで、精度を確保するために必要な混合試料量を定量した。

**キーワード**：塩化物イオン量, 小径コア, ドリル削孔粉, 維持管理, 劣化診断

## 1. はじめに

既設コンクリート構造物の維持管理において、健全性を診断する場合には、φ100mmのコア供試体を採取し、この供試体を用いて各種試験を実施するのが一般的である。しかしながら、この場合、コア径が大きいため構造物に与える損傷が大きいかことや過密配筋部での採取が困難であることなどの制限を受けることが多い。

そのため、小径コアやドリル削孔などを用いた試料採取方法の開発が進んでいる<sup>1),2)</sup>。小径コア法は、圧縮強度、中性化深さ、および塩分分析といった複数の測定が同時に可能であること、ドリル削孔法は、簡便な機械で塩分分析用試料の採取が可能であることなどの特徴を有している。

小径コア法とドリル削孔法を簡易法として塩分分析に用いることは、実際にコンクリート構造物の維持管理をしていく上で、調査費用が安価であることや構造物への損傷が少ないことより、劣化調査の間隔を短くすることができ、劣化への迅速な対応が可能となる。

しかしながら、これらの方法は、φ100mmコ

アに比べ、採取する試料の量が少なくなり、測定精度のバラツキが大きくなることが予想されるため<sup>3)</sup>、それらの測定精度を把握し、バラツキを同程度とする方法を考える必要がある。

## 2. 試験概要

### 2.1 試験方法

小径コアおよびドリル削孔を用いた塩分測定方法の測定精度を検証するために、塩化物イオンを混入したコンクリート試験体を作製し、混入量と試料採取方法をパラメータに試料を採取し、塩化物イオン量を定量した。

採取方法は、φ100mm コア（以下、基準コアと記す）、φ25mm コア（以下、小径コアと記す）、φ16mm ドリル削孔（以下、ドリル削孔と記す）とした。

表-1 試験体種類

試験体 No.	含有塩化物イオン量 kg/m <sup>3</sup>
1	0.1
2	0.6
3	1.2
4	2.5

\*1 前田建設工業(株) 技術研究所 工修(正会員)

\*2 国土交通省中国地方整備局 中国技術事務所

\*3 (株)銭高組 土木本部 技術部 (正会員)

\*4 日本国土開発(株) 技術研究所 工博(正会員)

表-2 コンクリートの配合

粗骨材 最大 寸法 (mm)	水セ メント比 (%)	細骨 材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
			水 W	セメント C	細骨 材 S	粗骨 材 G
20	55	46	165	300	822	994

\*セメント：普通ポルトランドセメント，スランプ：12cm

2.2 試験体

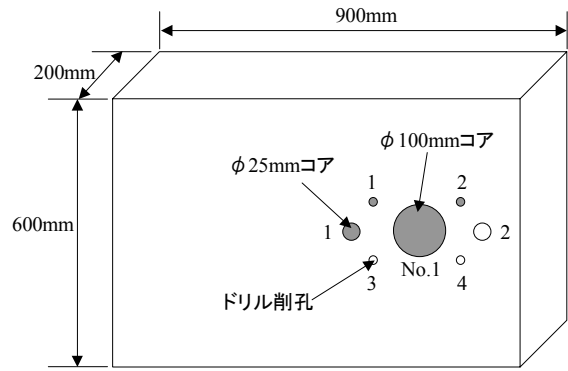
試験体は、表-1に示すように含有塩化物イオン量をパラメータに4種類作製した。試験体に用いたコンクリートの配合を表-2に示す。塩化物イオンは、塩化ナトリウム溶液を希釈して練り混ぜ水として用いることでコンクリートに混入した。試験体寸法は、図-1に示すように、900×600×200mmである。

2.3 コアリング

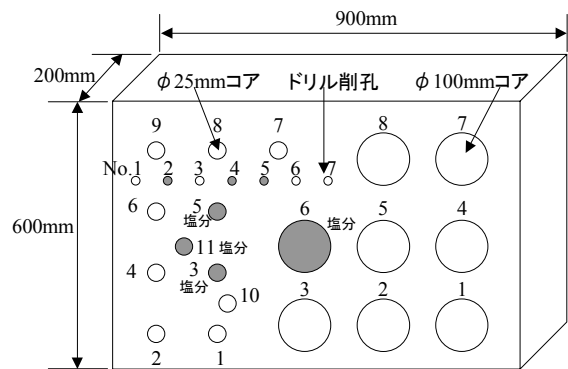
コアおよびドリル削孔粉は、図-1に示すように試験体の側面(900×600mmの面)から採取した。今回の分析に使用したコア本数およびドリル削孔箇所数は、図-1の灰色部分に示すように、No.1,3,4試験体では基準コア1本、小径コア1本、ドリル削孔2箇所とした。No.2試験体では基準コア1本、小径コア3本、ドリル削孔3箇所とした。これらのコアおよびドリル削孔粉より、分析試料とした。なお、ドリル削孔粉は、20mmごとに収集した。

2.4 試料数量

試験体より採取したコアを無水カッターにより、図-2に示すように表面から長さ20mm間隔で切断した。切断したコアは、乾燥による塩分の移動や型枠面のために起こるモルタルと骨材の比率の違いによる影響を考慮して表面部分を取り除いたものを試料として用いた。塩分分析試料としたコアおよび削孔箇所と深さの関係を表-3に示す。また、塩分分析を行った試料数量を表-4に示す。



a) No.1,3,4 試験体



b) No.2 試験体

図-1 試験体寸法とコア採取位置

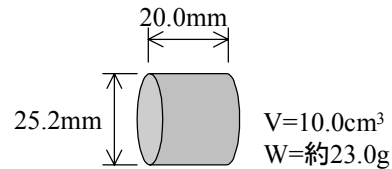


図-2 小径コア1試料の形状寸法

表-3 採取コアと試料深さの関係

a) No.1,3,4 試験体

採取方法	削孔箇所 または コア番号	深さ(mm)							採取位置
		0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100	100 ~ 120	120 ~ 140	
ドリル削孔	1								■:採取位置 □:未採取
	2								
小径コア	1								
通常コア	1								

b) No.2 試験体

採取方法	削孔箇所 または コア番号	深さ(mm)								
		0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100	100 ~ 120	120 ~ 140	140 ~ 160	160 ~ 180
ドリル削孔	2									
	4									
	5									
小径コア	3									
	5									
通常コア	11									
	6									

表-4 試料数量

試験体 No.	試料数		
	基準コア	小径コア	ドリル削孔
1	5	6	6
2	5	18	9
3	5	6	6
4	5	6	6
合計	20	36	27

### 3. 塩分分析

#### 3.1 分析方法

分析試料とするために切断したコアの粉碎を行った。コアの採取から分析試料調整までの手順を図-3に示す。コアの粉碎には、ジョークラッシャー、鉄乳鉢、振動ミルを用いた。塩分分析は、日本コンクリート工学協会規準JCI-SC「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」に準じて、全塩化物イオンを定量した。

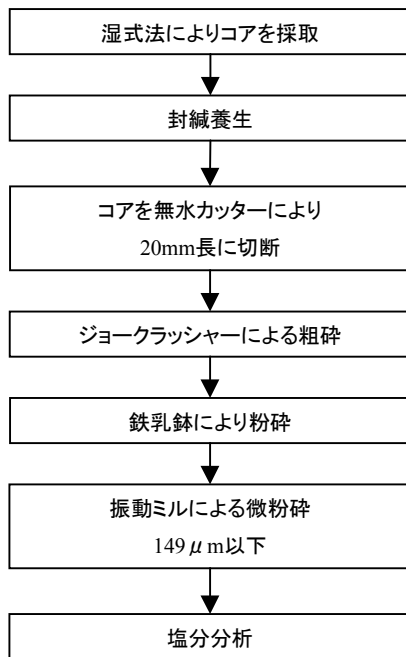


図-3 分析までの手順

#### 3.2 分析結果

##### (1) 塩分分析値

各試験体における採取方法ごとの塩分分析値の平均値および標準偏差を図-4, 図-5に示す。図-4では、横軸に基準コアの分析値を、

縦軸に小径コアおよびドリル削孔の分析値を与えた。各試験体ともに若干の差異が見られるものの、おおむね同様の塩分分析値が得られている。

##### (2) 標準偏差

図-5では、縦軸に採取方法ごとの標準偏差を与えた。各塩分量および各採取方法における標準偏差は、塩分分析値の1割程度となることが分かる。すなわち、変動係数が10%程度である。各採取方法ごとのバラツキはあるものの、塩分量が大きくなるにしたがい、標準偏差も大きくなる傾向にある。

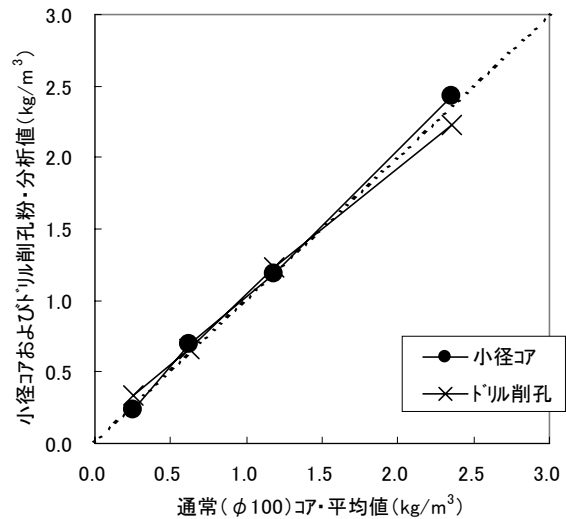


図-4 各試験体と採取方法の塩分分析値

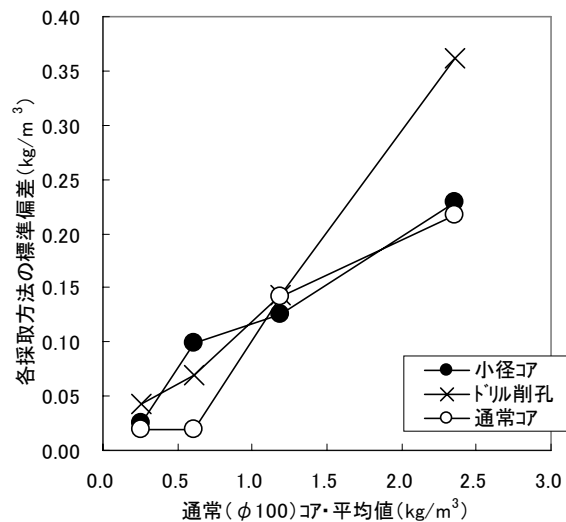


図-5 各採取方法の標準偏差

### (3) 分析値比

コンクリート中の塩分量が増えるにしたがい、標準偏差が大きくなることを考慮して、式(1)で示すように、試料採取方法ごとの塩分分析値を各試験体における基準コアの分析結果の平均値との比で整理することとし、この値を以下より分析値比と記す。分析値比で整理することにより、各塩分分析値を無次元化し、試験体に含まれる含有塩化物イオン量の影響を取り除くことで、採取方法を対象とした比較を行った。

$$\text{分析値比} = \frac{\text{塩分分析値 (kg/m}^3\text{)}}{\text{基準コア} \cdot \text{平均値 (kg/m}^3\text{)}} \quad (1)$$

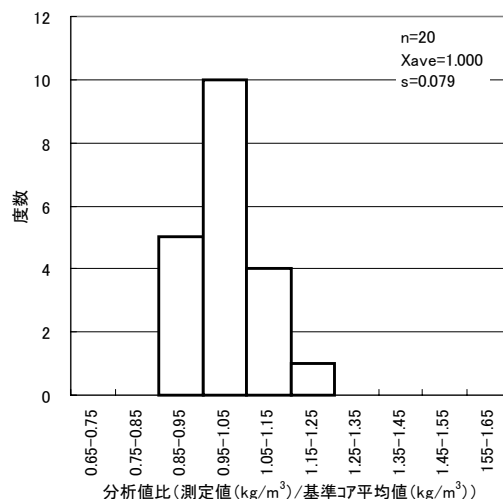
図一 6 に各採取方法における分析値比のヒストグラムを示す。ヒストグラムは、正規分布にしたがっていると仮定して、統計的な検討を行った。表一 5 は、各採取方法における分析値比の平均値、標準偏差、および試料数を示す。

基準コアでは、ほとんどの分析値比が 0.85～1.15 の範囲に入っており、1 割程度の誤差で測定されている。それらの標準偏差は 0.079 となっている。

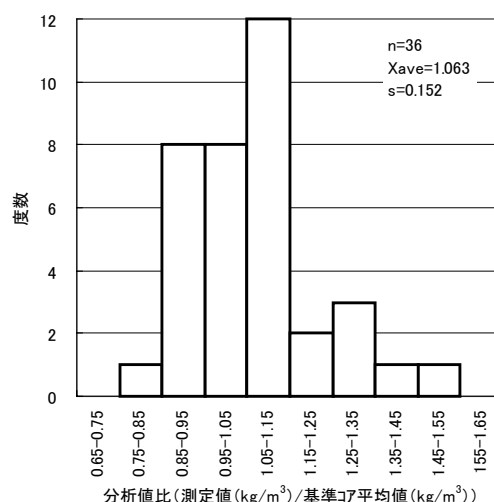
小径コアの標準偏差は、0.152 であり基準コアの 1.9 倍程度、ドリル削孔の標準偏差は、0.185 であり 2.3 倍程度となった。小径コアおよびドリル削孔では、基準コアに比べて、標準偏差、すなわち測定精度のバラツキが大きい結果となった。

表一 5 分析値比の平均値と標準偏差

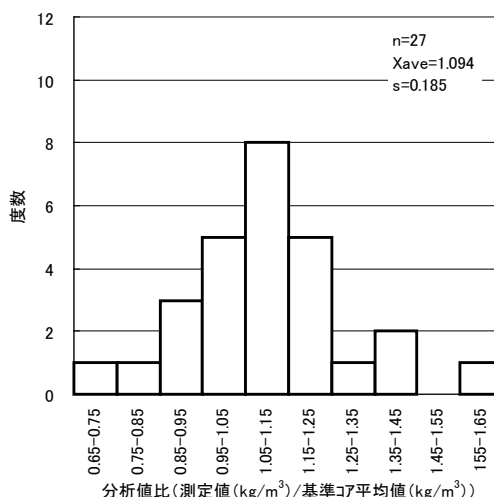
	基準コア	小径コア	ドリル削孔
平均値	1.000	1.063	1.094
標準偏差	0.079	0.152	0.185
試料数 (サンプル数)	20	36	27



(a) 基準コア



(b) 小径コア



(c) ドリル削孔

図一 6 分析値比のヒストグラム

#### 4. 混合試料数と測定精度の関係

##### (1) 概要

実際の構造物における含有塩化物イオン量の測定に小径コアおよびドリル削孔を用いる場合に、通常の測定に用いられているφ100 コアと同程度の測定精度は、試料量を増やすことで得ることが可能となる。すなわち、小径コアでは試料の本数、ドリル削孔では削孔箇所数を増やし、これらの試料を混合することである。

ここでは、3章で求めた分析値比を用いて、信頼区間の算定を行うことにより、混合する試料の量を決めることとした。

##### (2) 算定方法

信頼区間の推定の考え方<sup>4)</sup>により、混合試料数と分析値比の信頼区間βの関係を算定した。信頼区間とは、95%の信頼率で母数が入る区間のことであり、ばらつきの指標となる。

算定手順と信頼区間βの算定方法を以下に示す。

- ① 乱数表を使用して、ランダムサンプリングにより、全データから所要の混合数のデータを選択する。
- ② サンプリングデータの平均を取り、これを1試料の分析値とする。
- ③ 分析値を5試料分算定し、式(2)を用いて、これらの信頼区間βを求める。
- ④ ①～③の操作を5回繰り返し、βの平均値を求める。

$$\beta = t(\phi, \alpha) \cdot \sqrt{\frac{V}{n}} \quad (2)$$

φ：自由度 (φ = n - 1)

V：分析値から得られた分散

$$V = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

α：有意水準

(両側信頼率 P=95%のとき α = 0.05)

n：試料数

##### (3) 算定結果・混合試料数

図-7および図-8に信頼区間の算定結果を示す。図-7では混合試料数を横軸に与えた。基準コア20mm-1本の信頼区間は0.1程度となった。小径コアでは1本で0.2程度であり、基準コアの約2倍となった。試料3本を混合した結果では基準コアの信頼区間を下回り、基準コアと同程度の精度となる必要試料数は、3試料となった。ドリル削孔での必要試料数は、5試料となった。

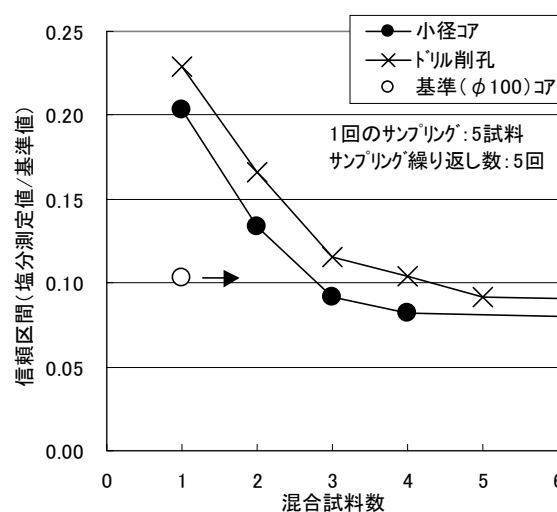


図-7 混合試料数と信頼区間の関係

##### (4) 算定結果・混合試料量

図-8では混合試料量を横軸に与えた。混合試料量は、小径コア1本あたりの質量を23.0g、ドリル削孔1箇所、深さ20mmあたりの質量を9.4gとして計算した。この結果をみると、小径コアとドリル削孔の両採取方法ともに試料量が50g～70g以上となることで基準コアの信頼区間を下回っていることが分かる。

著者らの既往の研究<sup>3)</sup>において「φ100mm、厚さ20mmの標準的な試験と同等の精度で測定する場合には、φ25mm小径コアでは50mm(約58g)の長さが必要である。」との結論が得られている。本研究の検討結果は、既往の結果と一致しており、整合性が取れている。

表-6に算定結果のまとめとして、小径コアとドリル削孔の両採取方法に関する必要試料数

と試料量を示す。

これらの結果を反映して、小径コアを用いた場合の塩分分析試料の混合例を図-9に示す。

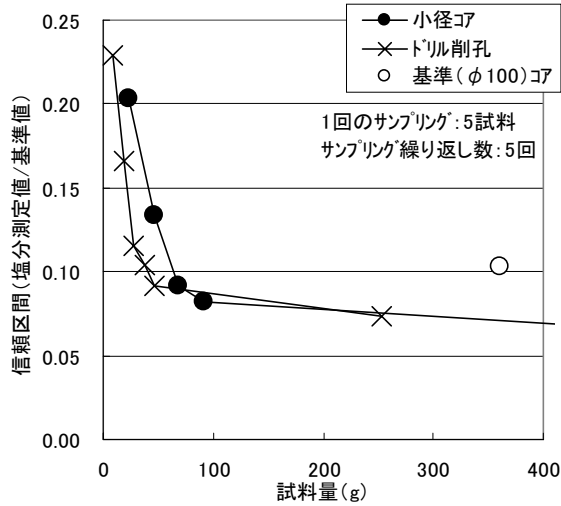


図-8 試料量と信頼区間の関係

表-6 必要試料数と試料量

	小径コア	ドリル削孔
必要試料数	3試料 (φ25-20mm の場合)	5試料 (φ16-20mm の場合)
必要試料量	69g	47g

\*必要試料数・量：基準コアと同程度の精度となる試料数・量

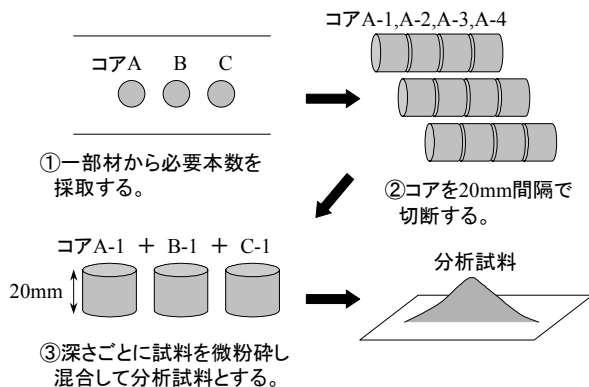


図-9 小径コアの塩分分析試料の混合例

## 5. まとめ

今回の研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) φ100mm コアに代えて、φ25mm の小径コアやφ16mm のドリル削孔を用いて、塩分分析試料を採取した場合でも、φ100mm コアと同様に評価できることが確認できた。
- (2) 塩分分析値を各試験体における基準コアの分析結果の平均値との比で整理した分析値比は、正規分布にしたがい、統計処理が可能であることが確認できた。
- (3) 基準コアと同程度の測定精度を得る方法は、小径コアおよびドリル削孔で得られた試料を混合し、分析試料量を増やす方法が有効である。
- (4) 精度を得るために必要な混合試料数は、分析値比の信頼区間の推定により、小径コア・φ25-20mm で3試料(質量69g)、ドリル削孔・φ16-20mm で5試料(同47g)であることが確認できた。

## 謝辞

本研究の実施にあたり、ご指導を頂きました(財)先端建設技術センターの横田季彦氏、(株)建設技術研究所の重松英造氏に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇: ドリル削孔粉を用いたコンクリート中の塩化物イオン量の現場試験方法の提案, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.21, No.2, pp.1303-1308, 1999
- 2) 寺田謙一, 谷川恭雄, 中込昭, 佐原晴也: 小径コアによる構造体コンクリート強度の推定法, コンクリート工学, Vol39, No.4, pp.27-32, 2001
- 3) 伊藤始, 石上鉄雄, 横田季彦, 重松英造, 野永健二, 佐原晴也: 試料の採取方法が塩化物イオン量の測定精度に及ぼす影響, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集第5部, pp.648-649, 2001
- 4) 近藤良夫ほか: 品質管理セミナー, (財)日本科学技術連盟, pp.59-78, 1997.9