

硬化コンクリート中の塩化物イオン量測定の誤差と個人差

独立行政法人土木研究所 正会員 古賀裕久
 独立行政法人土木研究所 正会員 松浦誠司
 独立行政法人土木研究所 正会員 河野広隆

1. 検討の概要

塩害が考えられる地域のコンクリート構造物を維持管理していく際には、コンクリート中の塩化物イオン量分布を測定し、将来の塩害による劣化の可能性や進行を予測することが有効であると考えられる。しかし、従来から一般的に行われている測定方法（以下、従来測定）は、多量の試料の採取や複雑な化学分析を行う必要があり、数多くの構造物に適用することは難しい。そこで、試料の採取方法や塩化物イオンの定量方法を簡易にした測定方法（以下、簡易測定）が多数考案されている。しかし、簡易測定のみならず従来測定についても、その測定精度は十分には明らかになっていない。このため簡易測定結果の信頼性が明確でなく、簡易測定の普及の妨げになっている。そこで、測定誤差をより明確にすることを目的に、均一な試料の塩化物イオン量を多数回測定する実験を行った。

塩化物イオン量を測定する手順は、(1)試料採取、(2)塩化物イオンの抽出、(3)塩化物イオン濃度の定量、(4)塩化物イオン量の算出、に分けられる。本報では、まず、均一に調整した粉末試料を複数の測定者がJCI-SC4¹⁾に準じて多数回測定した結果から、(2)および(3)に起因する従来測定の測定誤差を検討した。次に、同一の溶液試料の塩化物イオン濃度を、従来測定法（電位差滴定法）と試験紙法（モール法による試験紙タイプの塩分量測定計）の二つの方法で定量し、(3)の定量方法の簡易化による測定誤差への影響を検討した。

2. 実験方法

練混ぜ水にNaClを混入した供試体3体を作製し、材齢28日まで気中で養生した。各供試体からコア2本を採取、表面部を除いて粉碎して、約3.5kgの均一な粉末試料を得た。この粉末試料から60試料（各試料は約40g）を分取し、測定者A～Eの5者にJCI-SC4に準じた全塩化物イオン量および可溶性塩化物イオン量の測定を依頼した（図-1）。依頼する際には混入した塩化物イオン量は明らかにせず、測定の順番もランダムにした。また、各測定者が電位差滴定法による可溶性塩化物イオン量測定の過程で抽出した試料溶液を用いて、試験紙法による定量も行った。

3. 従来測定法の測定誤差

測定誤差が正規分布に従うと仮定し、測定結果の平均値および標準偏差を算出した（表-2）。また、一部の測定ケースについて測定結果の確率密度分布を示す（図-2）。

全塩化物イオン量の測定結果に着目すると、測定結果に個人差が見られ、E、BおよびC、A、Dの順に測定された塩化物イオン量が大きかった。測定者B、Cの測定結果と測定者D、Eの測定結果は1割程度異なっていた。一方、同一の測定者が複数回測定した場合のばらつきは、測

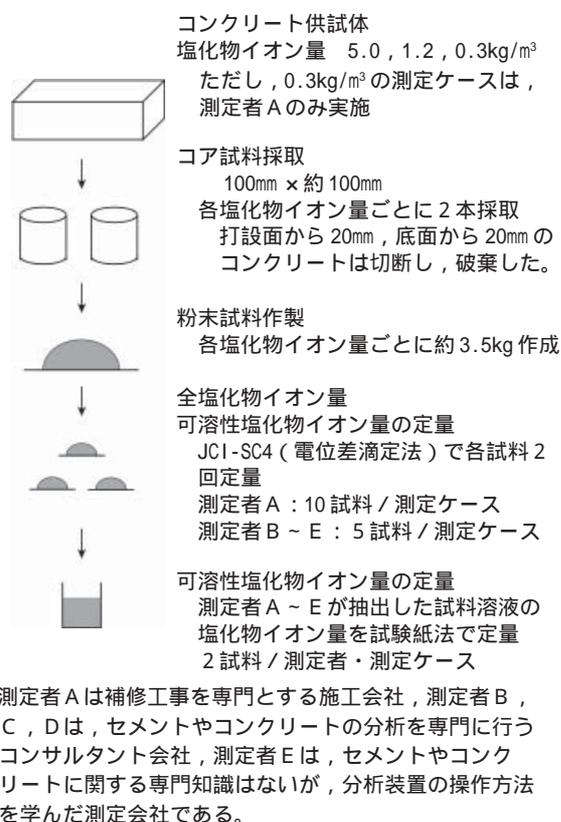


図-1 実験方法

キーワード：塩化物イオン，測定精度，全塩化物イオン量，可溶性塩化物イオン量，簡易塩分量測定

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 土木研究所技術推進本部構造物マネジメント技術チーム TEL 0298-79-6761

【全塩化物イオン量 5.0kg/m³ 混入】

【可溶性塩化物イオン量 1.2kg/m³ 混入】

定者が異なる場合と比較すると小さかった。各測定ケースでの変動係数はほとんどの場合で5%以下であり、1%程度の場合も少なくなかった。したがって、全塩化物イオン量測定では、塩化物イオンの抽出過程や濃度の定量過程における偶然誤差は小さいが、測定結果には10%程度の個人差があるものと考えられる。

一方、可溶性塩化物イオン量の測定結果に着目すると、測定結果の個人差は、全塩化物イオン量の場合ほど顕著ではなかった。また、測定者による測定結果の大小関係は、全塩化物イオン量の場合と異なっていた。抽出した試料溶液の塩化物イオン濃度を定量する操作は測定対象にかかわらず同じなので、測定結果に個体差が生じた原因は、塩化物イオンの抽出過程にあるものと推測される。

なお、測定結果の変動係数は測定者によって異なるが、全塩化物イオン量よりは可溶性塩化物イオン量の方が大きかった。また、塩化物イオン量が多い場合より少ない場合の方が、変動係数が大きかった。

4. 定量方法による比較

測定者A～Eが抽出し、可溶性塩化物イオン濃度を定量した試料溶液の残りをを用いて、試験紙法で塩化物イオン濃度を定量した。その結果、試験紙法と電位差滴定法の定量結果の差異は、ほとんどの場合で10%程度の範囲に収まった(図-3)。したがって、試料の採取および塩化物イオンの抽出が適切に行われていれば、比較的簡易に実施できる試験紙法でも、ほぼ同等の測定結果が得られるものと考えられる。

5. まとめ

(1)JCI-SC4に準じた塩化物イオンの測定では、測定者によって、測定結果が10%程度異なる場合があった。(2)測定者によって測定結果が異なる原因は、塩分の抽出過程にあると推測される。(3)抽出した可溶性塩化物イオンの定量を行う際には、試験紙法を用いた簡易測定でも、電位差滴定法とほぼ同じ結果が得られた。

【参考文献】

- 1)日本コンクリート工学協会：硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法(JCI-SC4)

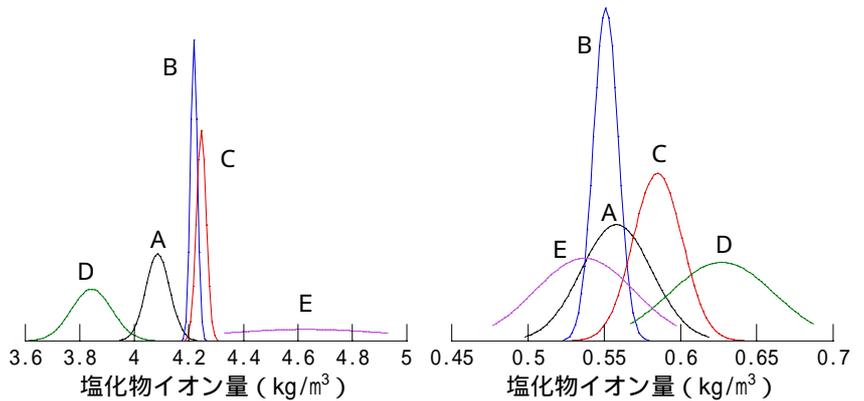


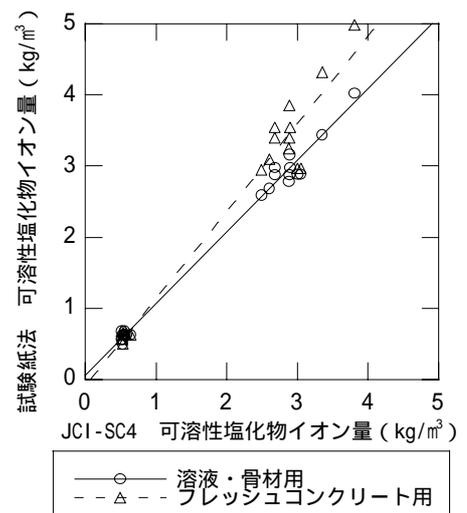
図-2 測定結果の確率密度分布

表-2 測定結果の平均値および変動係数

測定者	混入した塩化物イオン量 (kg/m ³)	全塩化物イオン量		可溶性塩化物イオン量	
		平均値 (kg/m ³)	変動係数 (%)	平均値 (kg/m ³)	変動係数 (%)
A	5.0	4.09	1.1	2.76	3.0
	1.2	1.09	1.1	0.56	4.2
	0.3	0.32	7.3	0.15	10.5
B	5.0	4.22	0.3	2.88	1.0
	1.2	1.12	1.0	0.55	1.5
C	5.0	4.25	0.4	2.92	2.6
	1.2	1.10	1.0	0.58	2.8
D	5.0	3.84	1.9	2.99	3.0
	1.2	1.02	4.7	0.63	5.5
E	5.0	4.63	7.1	2.51	2.4
	1.2	1.73	35.0	0.54	6.1

測定者Aは20回の測定結果、測定者B～Eは10回の測定結果から、平均値、変動係数を求めた。

測定者Eが1.2kg/m³の塩化物イオン量を混入した試料を測定した場合のみ、測定結果のばらつきが非常に大きかった。試料の採取量や滴定量を確認したが、その原因は明確にできなかった。



試験紙には、溶液・骨材用およびフレッシュコンクリート用の2つの換算表が添付されていたが、溶液・骨材用の換算表を用いた場合の方が、電位差滴定法の定量結果に近かった。上のグラフには、本報では詳述しなかった試料を用いた場合の結果も一部含まれている。

図-3 可溶性塩化物イオン濃度の測定結果 (定量方法による比較)