

塩分量測定方法（塩分センサ）導入に向けた社内検証

株式会社 環境防災 正会員○以西喜照、正会員 三木智

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の長寿命化に向けて、塩害の早期把握および効率的な調査手法の確立が重要視されている。従来、塩化物イオン量の測定には JIS 法に基づく化学分析が広く用いられてきたが、この手法は試料採取や前処理に手間と時間を要し、迅速性や現場適用性に課題があった。そこで、新技術として塩分センサに着目し、実務での有効性について独自で検討を行った。塩分センサは現場において簡便かつ迅速に測定が可能であり、調査の省力化と低コスト化が期待される。一方で、測定精度や信頼性の確保が重要であるため、JNLA 登録試験事業者として従来の JIS 法による測定結果との比較を目的とした社内検証を実施した。本稿では、この検討結果を踏まえ、試験方法としての普及拡大に向けて塩害調査における塩分センサ活用の有用性と今後の課題等を整理した。

2. 実験概要

2. 1 塩分センサ

塩分センサは、銀／塩化銀電極からなるセンサ部と基準電極を用いて電極電位の差を測定し、硬化コンクリート中の塩化物イオン量を計測する方法である。塩分センサには、現地構造物に直接接触させて塩化物イオン量を推定する A 法（接触法）と、



図-2.1.1 塩分センサ外観

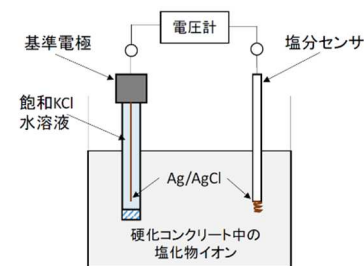


図-2.1.2 塩分センサ測定モデル図

JIS 法に近く精度が高いとされる B 法（抽出法）の 2 つの測定方法がある。ここでは、精度検証を重視すべく B 法を用いた室内試験で検証を行った。塩分センサ（以下 B 法と示す）の測定手順を図-2.1.3 に示す。

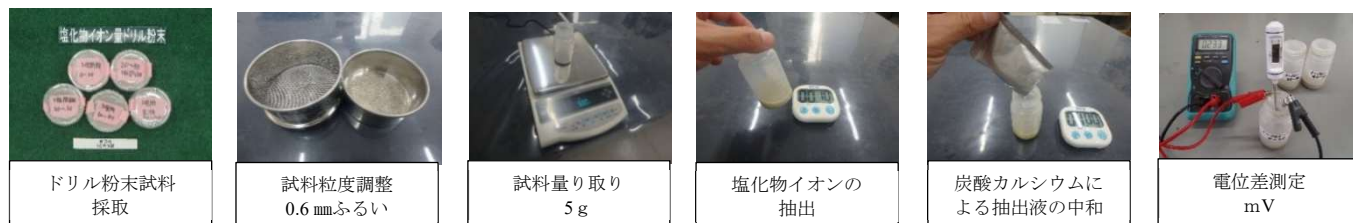


図-2.1.3 塩分センサ B 法測定手順

B 法は塩化物イオン量を簡易かつ迅速に推定できる手法であり、JIS 法と比較して各工程の操作が簡略化されている。その一方で、操作条件の違いが分析結果に影響を及ぼす可能性がある。具体的には、分析に供する粉末試料の粒度調整方法、試料質量および分析回数、さらに塩化物イオンの抽出方法などが主な要因として考えられる。これら結果に影響を与える可能性が高い事項について、表-2.1 に整理して示す。

表-2.1 JIS 法と B 法の測定方法の違い

方法の違い	JIS法 (電位差測定法)	B法 (塩分センサ)
分析に供する粉末試料粒形	0.15mm全通試料	0.6mm通過試料
分析試料量	10g×2回/1試料	5g×1回/検体
ろ過操作	必要	不要
塩化物イオン抽出方法	硝酸(1+6)+煮沸	酒石酸(1+4)+常温攪拌
検出項目	塩化物イオンが消失するまでの硝酸銀溶液の滴定量	直流電圧計による塩分センサと基準電極の電位差

表-2.2 分析試料詳細

橋名	粉末試料粒形 (mm)		検証試料数 (検体)	
	JIS法	B法	下部工	上部工
A	0.15以下		4	0
B			2	2
C			0	4
D			0	9
E	0.15以下	0.6以下	4	3
F			0	10
G			0	6

2. 2 検証方法

検証にあたっては、JIS 法および B 法による測定結果の整合性を評価するとともに、測定精度に影響を及ぼす要因についても検討を行った。分析試料詳細を表-2.2 に示す。具体的には、試料調製時における粉末試料の粒形の違いが測定値に与える影

響を確認したほか、同一試料に対する繰り返し測定によるばらつきを把握した。また、抽出操作に要する時間および測定時の溶液温度の違いが測定結果に及ぼす影響についても併せて検証した。

3. 実験結果

3. 1 JIS 法との整合性評価結果

JIS 法との整合性検証の結果、A～G 橋のすべての橋梁において相関係数 $R^2 > 0.9$ 程度を示し、両手法の間には高い相関性が認められた。個別の結果に着目すると、C 橋および E 橋の 2 橋梁においては JIS 法による測定値が相対的に高くなる傾向が確認された。

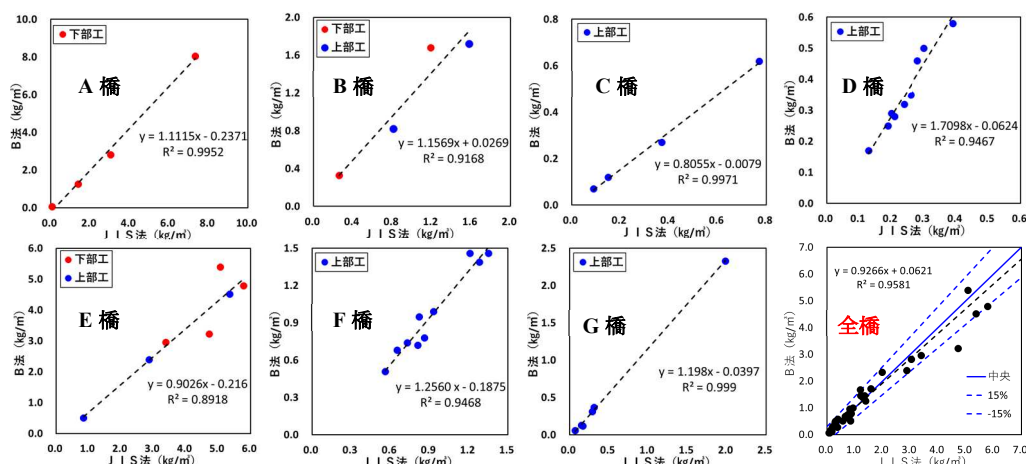


図-3.1 JIS 法との整合性評価結果図

一方で、残る 5 橋梁では B 法の測定値が高くなる傾向を示しており、手法間の差異は一方向に偏るものではなかった。また、試料の粒形の違いが測定結果に及ぼす影響について検討したが、いずれかの手法に対して系統的な偏りを示す明確な傾向は認められなかった。さらに、全 7 橋梁のデータを統合してばらつきの程度を評価した結果、多くの測定値は $\pm 15\%$ の範囲内に収まっていることが確認された。

3. 2 繰り返し測定および操作方法の検証結果

標準抽出時間 10 分における 5 回の繰り返し測定結果および、抽出時間を 5 分間隔で変化させ最長 20 分まで取得した結果を図-3.2.1 に示す。繰り返し測定におけるばらつきは、平均値に対して $\pm 2\%$ と小さく、本手法により安定した測定結果が得られることを確認した。一方、

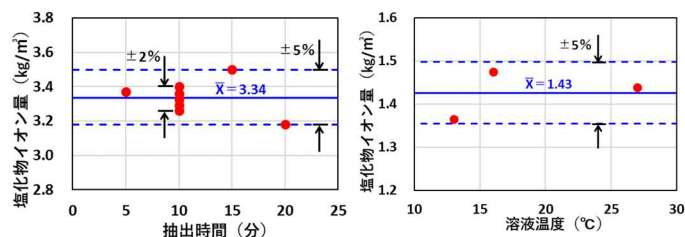


図-3.2.1 繰り返し測定結果図

図-3.2.2 溶液温度検証結果図

抽出時間の影響については、10 分までは測定値は概ね安定しているが、20 分では平均値に対して $\pm 5\%$ 程度までばらつきが増大する傾向が認められた。B 法は溶液のろ過操作を伴わないため、時間の経過に伴い溶液中の微粒子の沈降が進行し、残留する不純物が電位差測定に影響を及ぼした可能性があると考えられる。次に、溶液温度を変化させた試験結果を図-3.2.2 に示す。測定値には $\pm 5\%$ 程度のばらつきが確認されたものの、本実験で設定した 13～28℃ の範囲においては、温度による系統的な偏りは認められなかった。

4. まとめ

- ・ JIS 法と B 法の整合性検証の結果、全 7 橋梁において相関係数 $R^2 > 0.9$ を示し、高い相関性が確認された。
- ・ 測定値の大小関係は橋梁ごとに異なり、特定手法に一方の偏りは見られなかった。
- ・ 試料粒形の違いは測定結果に対して系統的な影響を及ぼさないことが確認された。
- ・ 繰り返し測定のばらつきは $\pm 2\%$ と小さく、測定の再現性および安定性が高いことが示された。
- ・ 抽出時間および温度の影響は限定的であるが、長時間抽出ではばらつき増加の傾向が見られ、適切な測定条件設定の重要性が示唆された。

参考文献

- 1) 太田達見, 榊田佳寛, 松林裕二, 長井義徳: 論文 酒石酸を用いた硬化コンクリート中の塩化物量簡易測定法, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No.1, 2004
- 2) 福井拓也, 神田利之, 西村俊弥, 若杉三紀夫: 塩化物イオン抽出液への塩分センサの適用に関する検討, 土木学会年次論文集 2022