

ISSN 1346-7328
国総研資料 第1290号
ISSN 0286-4630
建築研究資料 第211号
ISSN 0386-5878
土木研究所資料 第4454号
令和6年8月

国土技術政策総合研究所資料

Technical Note of
National Institute for Land and Infrastructure Management
No.1290 August 2024

建築研究資料

Building Research Data
No.211 August 2024

土木研究所資料

Technical Note of Public Works Research Institute
No.4454 August 2024

フレッシュコンクリートの塩化物量測定器の技術評価方法

三島直生・棚野博之・古賀裕久

Technical Evaluation Method of Chloride Quantity Measuring Instruments for Fresh Concrete

MIHSIMA Naoki, TANANO Hiroyuki, KOGA Hirohisa

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management Ministry of Land, Infrastructure,
Transport and Tourism, Japan

国立研究開発法人 建築研究所

National Research and Development Agency, Building Research Institute, Japan

国立研究開発法人 土木研究所

National Research and Development Agency, Public Works Research Institute, Japan

国土技術政策総合研究所資料
第 1290 号 2024 年 8 月
建 築 研 究 資 料
第 211 号 2024 年 8 月
土 木 研 究 所 資 料
第 4454 号 2024 年 8 月

Technical Note of NILIM
No.1290 August 2024
Building Research Data
No.211 August 2024
Technical Note of PWRI
No.4454 August 2024

フレッシュコンクリートの塩化物量測定器の技術評価方法

三島直生 *

棚野博之 **

古賀裕久 ***

Technical Evaluation Method of Chloride Quantity Measuring Instruments for Fresh Concrete

MISHIMA Naoki
TANANO Hiroyuki
KOGA Hirohisa

概要

本技術評価方法は、建設現場の受け入れ検査等で用いられるフレッシュコンクリートの塩化物量測定器の精度を確認する方法について記述したものである。現在入手可能な塩化物量測定器に対して、各種コンクリートを試料とした測定精度の検証実験を実施し、その結果に基づき塩化物量測定器に対する新たな技術評価方法を開発した。

キーワード : 塩化物量測定器, フレッシュコンクリート, 技術評価方法

Synopsis

This technical evaluation method describes a method for verifying the accuracy of chloride content measuring instruments for fresh concrete used in acceptance inspections at construction sites, etc. Verification experiments were carried out using various types of concrete to verify the measurement accuracy of currently available chloride quantity measuring instruments, and based on the results, a new technical evaluation method for the instruments was developed.

Key Words : Chloride Quantity Measuring Instruments, Fresh Concrete,
Technical Evaluation Method

*	国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部	Building Department, National Institute for Land and Infrastructure Management
**	国立研究開発法人建築研究所 材料研究グループ	Department of Building Materials and Components, Building Research Institute
***	国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター	Innovative Materials and Resources Research Center, Public Works Research Institute

目次

フレッシュコンクリートの塩化物量測定器の技術評価方法

序文	1
1 適用範囲	1
2 引用規格	1
3 器具	1
4 フレッシュコンクリートの塩化物量の基準値	1
5 フレッシュコンクリートの塩化物量測定器の評価基準	1
6 技術評価結果の判定方法	2
7 塩化物量測定器の誤差の評価に関する性能確認試験	2
8 報告	3

フレッシュコンクリートの塩化物量測定器の技術評価方法 解説

1 技術評価方法作成の趣旨・経緯	4
2 本技術評価方法の要点	4
3 塩化物量測定器の技術評価に関する共通実験の概要	7
4 塩化物の後添加方法の妥当性に関する検証実験の概要	11

謝辞	12
----	----

参考文献	12
------	----

研究担当者名簿

(研究期間：2021 年度～2023 年度)

所属	役職	氏名	担当
国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部 材料・部材基準研究室	室長	三島直生	技術評価方法、解説、 共通実験、検証実験
国立研究開発法人建築研究所 材料研究グループ	シニアフェロー (2021～2022) 客員研究員 (2023～)	棚野博之	技術評価方法
国立研究開発法人土木研究所 先端材料資源研究センター 材料資源研究グループ	上席研究員 (汎用材料担当)	古賀裕久	技術評価方法

本資料は、国土技術政策総合研究所と建築研究所および土木研究所の包括協定に基づき実施された成果を取りまとめたものである。国土技術政策総合研究所・基礎研究課題「コンクリート中の塩化物量測定器の技術評価に関する研究」（令和 3～4 年度）において実施された共通実験および検証実験の結果に基づき、建築、土木の各分野の知見を加え、フレッシュコンクリートの塩化物量測定器に対する新たな技術評価方法を開発した。

フレッシュコンクリートの塩化物量測定器の技術評価方法

Technical Evaluation Method of Chloride Quantity Measuring Instruments for Fresh Concrete

序文 本技術評価方法は、建設現場の受け入れ検査等で用いられるフレッシュコンクリートの塩化物量測定器の精度を確認する方法について記述したものである。なお、本技術評価方法の実施に当たっては、使用する塩化物量測定器が対象とする塩化物イオン濃度の測定範囲、塩化物量測定器の取扱い方法、および測定結果の処理方法について事前に定めておく必要がある。

1 適用範囲 本技術評価方法は、フレッシュコンクリートの塩化物量を測定する際に用いる塩化物量測定器が、実用に対して必要な測定精度を有していることを技術評価する場合に適用する。測定精度については、JIS A 1144 と同等以上として運用されることを考慮して評価する。

2 引用規格 次に掲げる規格は、この評価方法に引用されることによって、この評価方法の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む）を適用する。

JIS A 1144 フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度試験方法

JIS A 1115 フレッシュコンクリートの試料採取方法

3 器具 試験用器具は、次による。

3.1 塩化物量測定器 フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度を質量分率(%)で小数点以下 3 桁まで求められるものとする。また、使用する塩化物量測定器が対象とする塩化物イオン濃度の測定範囲（以下、測定器による測定範囲）、同測定器の取扱い方法および測定結果の処理方法が事前に定められていること。

3.2 その他 塩化物量測定器で測定する際に必要となる器具。

4 フレッシュコンクリートの塩化物量の基準値 フレッシュコンクリートの塩化物量の基準値としては、フレッシュコンクリートから採取したろ液の塩化物イオン濃度を JIS A 1144 によって測定した値とする。

5 フレッシュコンクリートの塩化物量測定器の評価基準 フレッシュコンクリートの塩化物量測定器に要求される評価基準は以下のとおりとする。

5.1 塩化物イオン濃度の測定範囲 本技術評価方法が対象とする塩化物イオン濃度の測定範囲は、コンクリートの塩化物総量規制値 0.30kg/m^3 及び 0.60kg/m^3 を考慮し、試料ろ液の塩化物イオン濃度として、 $0.00\sim 0.50\%$ (Cl^-/water) とする。このうち、測定誤差を評価する対象は測定器による測定範囲内とする。

5.2 塩化物量測定器による測定値の許容差 塩化物量測定器による測定値の許容差は、試料ろ液の塩化物イオン濃度の範囲および誤差水準ごとに表 1 による。

表 1 塩化物量測定器による測定値の許容差

塩化物イオン濃度の範囲 (Cl^-/water)		0.00～0.10%	0.10～0.50%
誤差 水準	第 1 水準	基準値に対して $\pm 0.01\%$ （絶対値）以内	基準値に対して $\pm 10\%$ （基準値に対する百分率）以内
	第 2 水準	基準値に対して $\pm 0.02\%$ （絶対値）以内	基準値に対して $\pm 20\%$ （基準値に対する百分率）以内

注記 測定結果の例と許容差（第 1 水準）の範囲を図 1 に示す

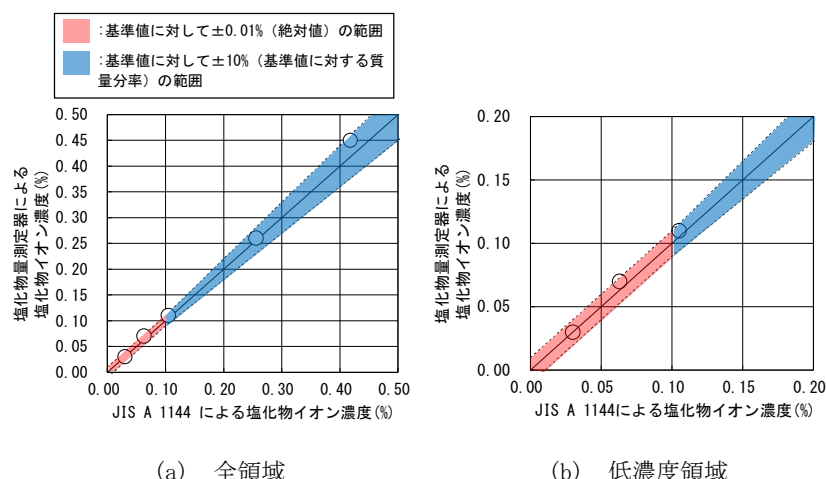


図 1 塩化物量測定器により得られた塩化物イオン濃度(%)と基準値の比較例と許容差（第 1 水準）の範囲

6 技術評価結果の判定方法 フレッシュコンクリートの塩化物量測定器の技術評価は、7 に示す性能確認試験の結果に基づいて行う。なお、性能確認試験は、実験室などにおいて試験を実施する。性能確認試験の結果に基づく技術評価結果の判定は、表 2 に示す全ての条件を満たす場合に合格とする。

表 2 技術評価結果の判定方法

性能確認試験の結果の範囲	性能確認試験の結果が満たすべき条件
測定器による測定範囲内	結果の 80%以上が 5.2 の表 1 に規定する第 1 水準の許容差内であり、かつ、残りの結果の全てが同第 2 水準の許容差内であること。
測定器による測定範囲外	測定器による測定範囲の上限値を超えているか否かの判断、または、下限値を下回っているか否かの判断が可能なこと。

7 塩化物量測定器の誤差の評価に関する性能確認試験

7.1 試験に用いるコンクリート

(a) 使用材料および配（調）合

次の 3 種類以上のコンクリートに対して試験することを標準とする。ただし、塩化物量測定器がシリカフュームを使用したコンクリートを測定対象としたい場合には、評価対象のコンクリートにシリカフュームを使用したコンクリートを加えること。

- ① 水セメント比が 0.50 程度で、普通ポルトランドセメントおよび AE 減水剤（標準形）を使用し、流動性をスランプで計測する普通コンクリート
- ② 高炉セメント B 種を使用し、流動性をスランプで計測する普通コンクリート
- ③ 水結合材比が 0.35 程度以下で、流動性をスランプフローで計測する高強度コンクリート

注記 1 過去に行われた客観性のある実験の記録等で、上記の①～③に該当するコンクリートについて試験を行い配（調）合による試験結果への影響がないと見なせることを確認した塩化物量測定器については、試験するコンクリートの種類を 1 種類としてもよい。

(b) 練混ぜ水の塩化物イオン濃度

性能確認試験で変化させる練混ぜ水の塩化物イオン濃度の水準は表 3 による。ただし、測定器の測定範囲内に 3 水準以上が入らない場合には、測定器の測定範囲内で 3 水準以上の結果が得られるよう水準を追加して試験を実施すること。

表 3 練混ぜ水の塩化物イオン濃度の水準

練混ぜ水の塩化物イオン濃度の質量分率 (%)	0.00, 0.05, 0.10, 0.30, 0.50
------------------------	------------------------------

練混ぜ水には純水（イオン交換水）または水道水を使用し、塩化物イオン濃度の調整用には塩化ナトリウム（一級試薬）を用いること。

なお、フレッシュコンクリートに対して塩化ナトリウムの必要量を後添加して均一に練り混ぜることにより、塩化物イオン濃度の水準を変化させた試料を作製して用いてもよい。

7.2 フレッシュコンクリート試料および試料ろ液の採取方法

フレッシュコンクリート試料は、JIS A 1115 によって採取する。試料ろ液の採取は、JIS A 1144 の 3 による。塩化物量測定器により、試料ろ液の採取方法および採取器具について指定または推奨されるものがある場合には、その方法および器具を使用して試験を行うこと。

7.3 塩化物イオン濃度の測定方法および測定値の処理方法

塩化物量測定器による測定方法および測定値の処理方法は、事前に定めた塩化物量測定器の取扱い方法、測定手順、測定回数および測定値の処理方法に従う。塩化物イオン濃度は、分析結果を質量分率（%）で小数点以下 3 桁まで求めて、所定の測定回数の結果の平均値を四捨五入によって小数点以下 2 桁に丸める。

8 報告 報告は次の事項について行う。

a) 必ず報告する事項

- 1) 塩化物量試験器の名称
- 2) 試験年月日
- 3) 使用する塩化物量測定器が対象とする塩化物イオン濃度の範囲（測定器による測定範囲）
- 4) 6 に基づく評価結果
- 5) 基準値の測定方法
- 6) フレッシュコンクリートのろ液の採取方法
- 7) 塩化物量試験器による測定手順
- 8) 試験時の周囲の温度および相対湿度
- 9) 使用したコンクリートの配（調）合および使用材料
- 10) 使用したコンクリートの温度

b) 必要に応じて報告する事項

- 1) 使用したフレッシュコンクリートの品質評価試験結果
- 2) 塩化物量試験器による測定時間

フレッシュコンクリートの塩化物量測定器の技術評価方法

解 説

1 技術評価方法作成の趣旨・経緯

鉄筋コンクリート構造物の耐久性確保を目的として、S61 建設省通達以降、コンクリート中の塩化物量（Cl⁻換算）を 0.3kg/m³ 以下とする総量規制が導入されている¹⁾。この総量規制の特徴は、硬化コンクリート中の塩化物量ではなく、直接フレッシュコンクリートに対して用いることのできる塩化物量測定器による点としていた点であった。またこの塩化物量測定器については以下の様に規定されていた（同通達は平成 12 年に廃止されている）。

塩化物量の測定は、原則として、工事現場において、打込み前のフレッシュコンクリートについて、
(財)国土開発技術研究センターの技術評価を受けた塩化物量測定器による。
(昭和 61 年 6 月 2 日、建設省住指発第 142 号)

塩化物量測定器については、昭和 62 年 3 月までに 12 機種が技術評価を受けていた²⁾。当時の技術評価では、使用セメントとして普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種が対象とされていた。

その後、高強度コンクリートや高流動コンクリートなどの、フレッシュコンクリートの性状が従来の AE 減水剤を用いたコンクリートと著しく異なるコンクリートが普及し、また、近年では使用されるセメントや混和材料の種類も多様化してきている。

一方で、2024 年時点では既に、(財)国土開発技術研究センター〔現、(一財)国土技術研究センター〕による塩化物量測定器の技術評価は終了しており、当時の技術評価を受けた製品の製造中止も増えてきている。

これに対して、JASS 5 (2022)では、「現在は (一財) 国土開発技術研究センターによる塩化物量測定器の技術評価は行われていないので、技術評価と同じ方法で精度が確認された測定器によってもよい。(3.8 節 a. 解説)」とされており、JASS 5 T-502:2022 (フレッシュコンクリート中の塩化物量の簡易試験方法) では、3. 塩化物量測定器として、「フレッシュコンクリート中の塩化物量を直接測定できるもので、精度その他の性能については公的な機関の評価を受けたものとする。」とされている。また平成 12 年建設省告示第 1446 号においても、「JIS A 1144:2001 又はこれと同等以上に塩化物含有量を測定できる方法によること。〔別表第 2〕」(本記載は建築基準法第 37 条第 2 号の大臣認定において採用できる塩化物含有量の測定方法に関する部分) と規定されている。以上の様に、一部の仕様書等では既に公的な評価機関による技術評価を受ければ新規の製品の導入も可能な状況とも考えられるが、現時点で新たな技術評価の開始の動きは無い。

また、公共建築工事標準仕様書（建築工事編）令和 4 年版では、9 節 試験等の表 6.9.1 フレッシュコンクリートの試験において、「塩化物量：(財)国土開発技術研究センターの技術評価を受けた塩化物量測定器により、試験値は同一試料における 3 回の測定の平均値とする。」と規定されている。また、土木工事においては「コンクリート中の塩化物総量規制について」の運用について（昭和 61 年 6 月 2 日、建設省技調発第 286 号）の中で、「測定器は、その性能について (財) 国土開発技術研究センターの評価を受けたものを用いるものとする。」と規定されているなど、過去の技術評価を受けた測定器しか用いることができない状況も散見される。

以上より、過去に実施されていた技術評価方法の、新しいタイプのコンクリートに対する適用性について確認するとともに、新たな技術評価制度を早期に再開させることが必要であった。

このため、各種のコンクリートを用いて、現在流通している塩化物量測定器に対する測定精度の検証実験等を実施し、新しいタイプのコンクリートにも適用可能な、塩化物量測定器に対する技術評価方法を新たに提案することとした。

実施した検証実験の概要については、解説 3 および 4 に示す。

2 本技術評価方法の要点

2.1 適用範囲（本文の箇条 1）

本技術評価方法は、公平であり妥当な試験のデータ及び結果を出す十分な能力をもつ第三者試験機関（以下、第三者試験機関）が、フレッシュコンクリートの塩化物量測定器の技術評価を行う場合に適用する。ここで、第三者試験機関は、建設技術に関して建設事業への適正かつ円滑な導入を図ることを目的とし、透明、公平かつ客観的に審査、証明（建設技術審査証明事業等）を実施してきた経験を有する機関、または、JIS Q 1011 附属書 A の定義に合致する機関とする。

“公平であり妥当な試験のデータ及び結果を出す十分な能力をもつ第三者試験機関”は、次をいう。

- a) JIS Q 17025 に適合することを、認定機関によって、認定された試験機関
- b) JIS Q 17025 のうち該当する部分に適合していることを自らが証明している次のいずれかの試験機関とする。
 - 1) 国公立の試験機関
 - 2) 公益社団法人及び公益財団法人の認定等に関する法律に基づき認定された法人の試験機関、又は一般社団法人及び一般財団法人に関する法律に基づいて設立された法人の試験機関
 - 3) その他、これらと同等以上の能力のある機関

注記 “その他、これらと同等以上の能力のある機関”とは、例えば、全国生コンクリート工業組合連合会が認定した共同試験場などがある。

(JIS Q 1011:2024 附属書 A 表 A.1 の注 b))

フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度試験方法としては、JIS A 1144 が規格化され、各種の仕様書および規準類で引用されている。しかし、JIS A 1144 で示される手法は、手順の複雑さおよび使用機器の大きさなどの問題から、建設現場での生コンクリートの受入れ検査への適用が難しいため、その代替となる簡易試験法として塩化物量測定器が開発された。このため、本技術評価方法で評価する塩化物量の測定精度は、JIS A 1144 と同等以上として運用される事を考慮して評価する。

2.2 器具（本文の箇条 3）

使用する塩化物量測定器は、技術評価の対象となる個々の製品であるため測定器の詳細に関する規定はない。ただし、測定器の使用法等は測定結果に大きく影響するため、本技術評価方法の実施に当たっては、測定器による測定範囲、塩化物量測定器の取扱い方法および測定結果の処理方法を事前に定めておく必要がある。

2.3 フレッシュコンクリートの塩化物量の基準値（本文の箇条 4）

フレッシュコンクリートの塩化物量の基準値としては、下記の 3 つの方法による値が考えられる。

- 1) JIS A 1144 による測定値：フレッシュコンクリートから採取したろ液の塩化物イオン濃度を JIS A 1144 によって測定した値。
- 2) 計算値：フレッシュコンクリートの各材料中の塩化物イオン量に配（調）合から求まる各材料の単位量を掛け、それらの総和を計算によって求め、この単位水量に対する濃度で表した値。なお、各材料中の塩化物イオン量は、材料を水に溶解させるか、水との混合した状態において約 30 分経過後、試料ろ液または上澄み液の塩化物イオン濃度を別途測定して求める。
- 3) 硬化コンクリートによる値：密閉養生して硬化させたコンクリートの試料を粉砕して硝酸溶解して測定した塩素イオン濃度を、単位容積あたりのコンクリート中の塩素イオン量に換算し、配（調）合上の単位水量に対する濃度で表した値。

このうち、本技術評価方法では、対象とする塩化物量測定器の位置づけが、各種基準類で引用されている JIS A 1144 の代替となる簡易法であることを考慮し、上記のうち「1) JIS A 1144 による測定値」とすることとした。

2.4 フレッシュコンクリートの塩化物量測定器の評価基準および技術評価結果の判定方法

本技術評価方法では、基本的に（財）国土開発技術研究センターによる技術評価で採用されていた評価基準（以下、旧基準）を準用している。以下に、旧基準の概要を示す。

フレッシュコンクリートの塩化物量測定器に要求される評価基準は以下のとおりとする。

- (1) 塩素イオン濃度の対象範囲は、コンクリートの塩化物総量規制値で設定された値 0.30kg/m^3 及び 0.60kg/m^3 を考慮し、水溶液の塩素イオン濃度として、 $0.05\sim 0.5\%$ (Cl^-/water) とする。
- (2) 測定値の誤差は、水溶液の塩素イオン濃度 $0.1\sim 0.5\%$ (Cl^-/water) において、基準値に対して $\pm 10\%$ 以内であること。
- (3) 測定器の取扱いが簡便で、短時間で結果が得られること。
- (4) 十分な耐久性を有すること。

2.4.1 塩化物イオン濃度の範囲（本文の箇条 5.1）

本技術評価方法が対象とする塩化物イオン濃度の範囲は、 $0.00\sim 0.50\%$ (Cl^-/water) とした。上限値は旧基準に準じているが、下限は 0.00% (Cl^-/water) に変更している。これは、解説 3 に示す検証実験の結果より、水道水を使用して作製された一般的なフレッシュコンクリートに含まれる塩化物イオン濃度は $0.03\sim 0.04\%$ (Cl^-/water) 程度であり、実務で多く計測される条件である練混ぜ水に塩化ナトリウムを添加しない場合の測定も技術評価方法に含めるべきと考えたためである。

塩化物イオン濃度の測定精度の評価対象範囲について、旧基準では塩化物の総量規制値である 0.3kg/m^3 を下回ることを確認できれば良いとする視点から、低濃度領域（ $0.00\sim 0.10\%$ ）では測定値の誤差の評価を除外していた。しかし、コ

ンクリート中の塩化物量に対する問題意識が十分に浸透したと思われる 2024 年時点においては、実際の現場のコンクリートで測定される塩化物イオン濃度は低濃度なもののばかりであること、受け入れ検査時にフレッシュコンクリートの塩化物量の数値を定量的に示したいとする現場もあること、および共通実験結果（解説 3 参照）から低濃度領域においても既存試験器の精度は概ね確保されている状況にあること、等を考慮し、本技術評価方法では、測定精度の評価の範囲は、測定器による測定範囲とした。これに伴い、低濃度領域（0.00～0.10%）に対しても誤差の評価を行う場合の許容差を新たに設定することとした。

2.4.2 測定値の許容差（本文の箇条 5.2）

基準値に対する許容差として、旧基準では「塩素イオン濃度 0.1～0.5% (Cl^-/water) において、基準値に対して±10%以内」とされていたが、試料ろ液の塩化物イオン濃度の真値に対する基準値の測定誤差も考えられる（解説 4.2、解説図 3 参照）ことから、厳密に旧基準の許容差を採用した場合に要求精度が厳しくなりすぎる恐れがある。このため、本技術評価方法では、許容差の誤差水準として、旧基準に準じる第 1 水準に加えて、許容差を 2 倍に設定した第 2 水準を新たに設け、基本的には性能確認試験における測定結果の全てが第 1 水準の許容差を満たす場合を合格と判定するが、一部の試験結果でこの条件を満たせなかった場合においても、第 1 水準を満たさない測定結果が全体の 20%以下であり、かつ、第 2 水準の許容差を満たす場合については合格と判定することとした。

旧基準では許容差が設定されていなかった低濃度領域（0.00～0.10%）の第 1 水準の許容差については、塩化物イオン濃度 0.10%時点の±10%の許容差を 0.00%まで一定値のままスライドさせることとした。これは、低濃度領域まで基準値の比率として設定した場合には許容差の実際の幅が極端に狭くなること、および低濃度領域では多少許容差を大きくしても塩化物総量規制値を超えることがないためである。同領域の第 2 水準の許容差についても第 1 水準の 2 倍とする以外は同様とした。

2.4.3 技術評価結果の判定方法（本文の箇条 6）

技術評価の判定方法としては、上記の測定誤差の評価以外に、測定器の測定範囲外となる場合に測定器による測定範囲の上限値を超えているか否かの判断、または、下限値を下回っているか否かの判断が可能であることを判定条件に追加した。これは、例えば塩化物イオン濃度 0.1～0.5% (Cl^-/water) を測定器の測定範囲とした場合で、試料の塩化物イオン濃度が 0.1% (Cl^-/water) 未満であった場合に、塩化物量の総量規制値を満足していることを証明するためには測定器の測定範囲の下限値未満であることが確認できる必要があるためである。また、塩化物イオン濃度 0.0～0.1% (Cl^-/water) を測定器の測定範囲とした場合には、上限値を超えることを確認した際には適切な測定範囲の測定器による再測定が必要であることを確認できる必要がある。

旧基準のうち、(3)、(4)の内容については、評価基準が曖昧であり、客観的な評価が困難であった。ただし、これらの項目は、既存の試験器が既に流通している 2024 年時点では、使用者が製品を選ぶ際に過去実績等から判断できることであり、技術評価の項目として必ずしも必要では無いと判断し、本技術評価方法からは削除することとした。

2.5 塩化物量測定器の誤差の評価に関する性能確認試験

2.5.1 試験に用いるコンクリートの使用材料および配（調）合（本文の箇条 7.1(a)）

試験に用いるコンクリートについては、過去に行われていた塩化物量測定器の技術評価において普通ポルトランドセメントを使用した配（調）合と高炉セメントを用いた配（調）合について検証されていたことから、これを踏襲することにした。また、近年、流動性をスランプフローで計測する高強度コンクリートのようにブリーディング量が少ないコンクリートの活用も多くなっていることから、これを追加した 3 種類以上の配（調）合のコンクリートについて試験することを標準とした。

一方、事前の各種配（調）合のコンクリートを使用した共通実験結果（解説 3 参照）から、既存の簡易試験方法を用いた場合には、シリカフュームを使用した高強度コンクリートについては、他の配（調）合同様な精度を期待することが難しいことがわかっている。しかし、シリカフュームを使用した高強度コンクリートは一般に広く使用されているとまではいえないと考え、標準として実施する配（調）合には含めなかった。同コンクリートに対する適用性を証明するためには、評価対象のコンクリートに同コンクリートを加える必要がある。

なお、この技術評価方法を作成するにあたっては既存の塩化物量測定器を用いた広範な共通実験が行われており、先述したシリカフュームを使用した高強度コンクリートの場合を除くと、コンクリートの配（調）合および使用材料による測定結果に対する影響は特に見られなかった。このように過去に行われた客観性のある実験の記録等でコンクリートの配（調）合の影響について確認できる場合には、最低 1 種類以上のコンクリートについて試験することで技術評価を行ってもよいものとした。

2.5.2 練混ぜ水の塩化物イオン濃度（本文の箇条 7.1(b)）

練混ぜ水の塩化物イオン濃度の水準については、旧基準と同様の 5 水準とした。ただし、本技術評価方法では、誤差の評価対象範囲を測定器の測定範囲内としたため、この誤差の評価対象範囲が狭くなった場合には誤差の評価点数が極端に少なくなる可能性が考えられた。このため、測定器の測定範囲内に 3 水準以上が入らない場合には、測定器の測定範囲内で 3 水準以上の結果が得られるよう水準を追加して試験を実施することとした。

旧基準では、練混ぜ水には純水（イオン交換水）を指定していたが、基準値も JIS A 1144 による実測値であり、水道水からの塩化物イオンの混入も基準値に反映されて評価可能であることから、試験の簡便性を考慮して、水道水の使用も可能とした。

技術評価のための性能確認試験時には、塩化物量の水準（5 水準）ごとにコンクリートを練り混ぜることを基本とするが、技術評価の効率化を考慮し、コンクリートを 1 回だけ練り、塩化物（NaCl）を後添加して試料採取する方法も可能とした。塩化物の後添加方法の妥当性の検証実験（解説 4 参照）では、高濃度塩化ナトリウム水溶液（濃度 20%）をフレッシュコンクリートに後添加する方法を採用し、目標とする塩化物イオン濃度とするのに必要な量の高濃度塩化ナトリウム水溶液を、容量 50L の強制 2 軸ミキサ内のフレッシュコンクリートに後添加し、30 秒間練り混ぜた後に、試料採取を行った。

3 塩化物量測定器の技術評価に関する共通実験の概要（研究期間：2021～2022 年度）

本共通実験では、旧基準により技術評価を受け、2022 年時点において実務で使用されていた塩化物量試験器を対象として、各種の配（調）合および使用材料のコンクリートに対する測定精度を評価した。取扱いの簡便性、計測時間および耐久性については既に評価済であるため対象外とした。

3.1 実験の概要

解説表 1 に実験の要因と水準を、解説表 2 にコンクリートの配（調）合表を示す。セメントは普通ポルトランドセメント（3 社混合、密度：3.16g/cm³）を、細骨材は掛川産山砂（密度：2.56g/cm³、F.M.：2.79）、粗骨材は青梅産砕石（密度：2.65g/cm³、F.M.：6.73）、水は上水道水を用いた。フレッシュコンクリートの塩化物量の測定は、解説写真 1 に示す 2022 年時点で市場に流通している 5 種類の測定器のほかに、基準値の測定のためにイオンクロマトグラフィー（JIS A 1144）を実施した。その際一部の配（調）合において、ろ液の抽出法の違いの影響を検証するために、加圧ろ過、吸引ろ過および遠心分離の各手法でろ液を抽出したが、塩化物量の測定結果には影響が見られなかった。一部のろ液抽出が困難な配（調）合に対しては、JIS A 1144 附属書 A に従い、フレッシュコンクリートに加水して希釈した試料から各抽出法に従ってろ液を抽出した。ただし、希釈無しでも計測できた試験器については希釈無しでも計測し、結果のグラフには両方の測定結果を記載した。その他のフレッシュコンクリートの試験は、スランプ、空気量およびコンクリート温度の測定を行った。

解説表 1 共通実験の要因と水準

要因	水準
混和材の種類	フライアッシュ (JIS A 6201) 高炉スラグ微粉末 (JIS A 6206) *1 シリカフェーム (JIS A 6207) *1 火山ガラス微粉末 (JIS A 6209) 収縮低減剤 (JIS A 6211)
水結合材比*2	0.30, 0.35, 0.45, 0.55, 0.65
スランプ (スランプフロー)	18, (60)
混和剤の種類*2	ポリカルボン酸系 AE 減水剤 (高機能タイプ、標準形および遅延形) リグニン系 AE 減水剤 (標準形) ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤 (標準形) ポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤 (増粘剤含有)
練混ぜ水の塩化物イオン濃度 (%) *3	0.0, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5
コンクリート温度 (°C) *4	10, 20, 35
ろ液の抽出方法*5	加圧ろ過、吸引ろ過、遠心ろ過
経時変化 (min) *4	0, 90

[注]*1: 混合セメント (ブレミックスセメント) を用いる、*2: 混和剤使用時は固定、

*3: 塩化ナトリウム (一級試薬) により調整、*4: 基本配 (調) 合で測定、

*5: 各試験器で標準とする方法で実施 (基準値では吸引ろ過を標準とした)、

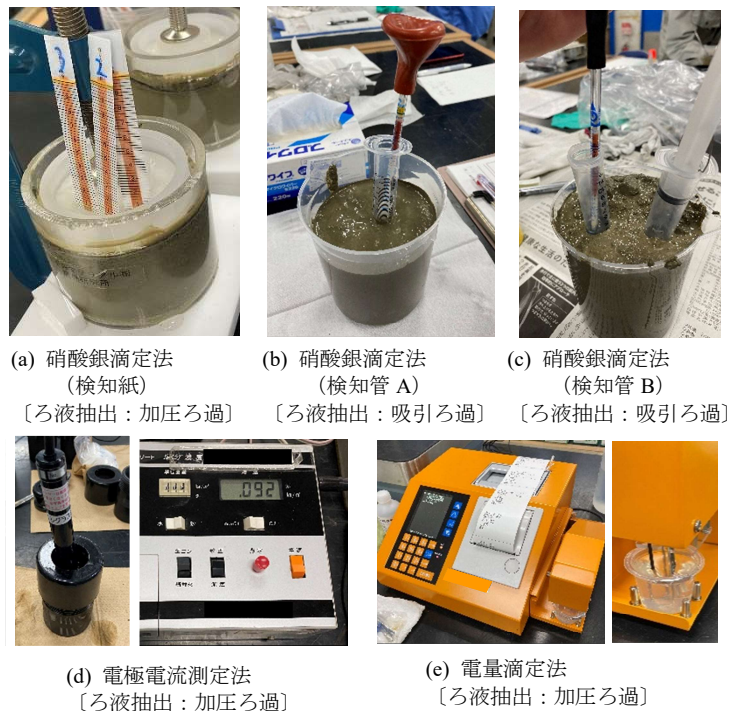
—: 基本水準を示す。

解説表 2 コンクリートの配 (調) 合表および品質試験結果

水準	W/C (%)	単位量(kg/m ³)				Ad (%/C)	AE (%/C)	SL [SF]	Air (%)	T (°C)	単位容積質量 (kg/m ³)	ろ液採取時の希釈の有無
		W	C	S	G							
W/C=65% (AE減水剤)	65	180	277	865	925	0.6	0.006	18.0	4.5	18	2235	
W/C=55% (AE減水剤)	55	180	327	827	925	0.85	0.006	19.5	4.5	18	2244	
W/C=55% (増粘剤含有)	55	170	309	888	901	1.1	0.010	[546]	5.8	18	2230	希釈あり
W/C=45% (増粘剤含有)	45	170	378	832	901	1.3	0.003	[609]	3.9	19	2272	希釈あり
W/C=35% (高性能AE減水剤)	35	170	486	850	832	1.25	0.001	[646]	1.3	19	2329	希釈あり
W/C=30% (高性能AE減水剤)	30	170	567	786	832	1.25	0.010	[725]	3.5	20	2306	希釈あり
リグニン系AE減水剤	55	180	327	827	925	1.20	0.003	20.0	6.0	20	2255	
ポリカルボン酸系AE減水剤	55	180	327	827	925	1.10	0.004	20.5	4.0	19	2298	
経時変化90min	55	180	327	827	925	1.10	0.004	14.0	4.5	19	2296	
フライアッシュセメントB種	50	175	350	806	925	1.20	0.012	20.0	2.7	19	2330	
高炉スラグセメントB種	50	176	352	804	925	1.20	0.004	20.0	4.2	18	2295	
収縮低減剤	55	176	327	827	925	1.10	0.005	20.5	4.2	19	2303	
シリカフェームセメント	25	160	640	771	816	1.30	0.002	[638]	1.8	20	2428	希釈あり
火山ガラス微粉末	50	180	288+72	783	925	1.20	0.004	20.5	4.5	19	2282	
高温 (35°C)	55	180	327	827	925	1.00	0.002	18.0	4.2	35	2303	
低温 (10°C)	55	180	327	827	925	0.85	0.003	17.5	4.5	9	2292	

[注]C: セメントおよび混合セメント、Ad: AE減水剤および高性能AE減水剤、AE: AE助剤、SL: スランプ、SF: スランプフロー、

Air: 空気量、T: コンクリート温度、フレッシュコンクリートの試験結果はCl⁻濃度0%の配合の結果を示す。



解説写真 1 実験で使用した塩化物量測定器



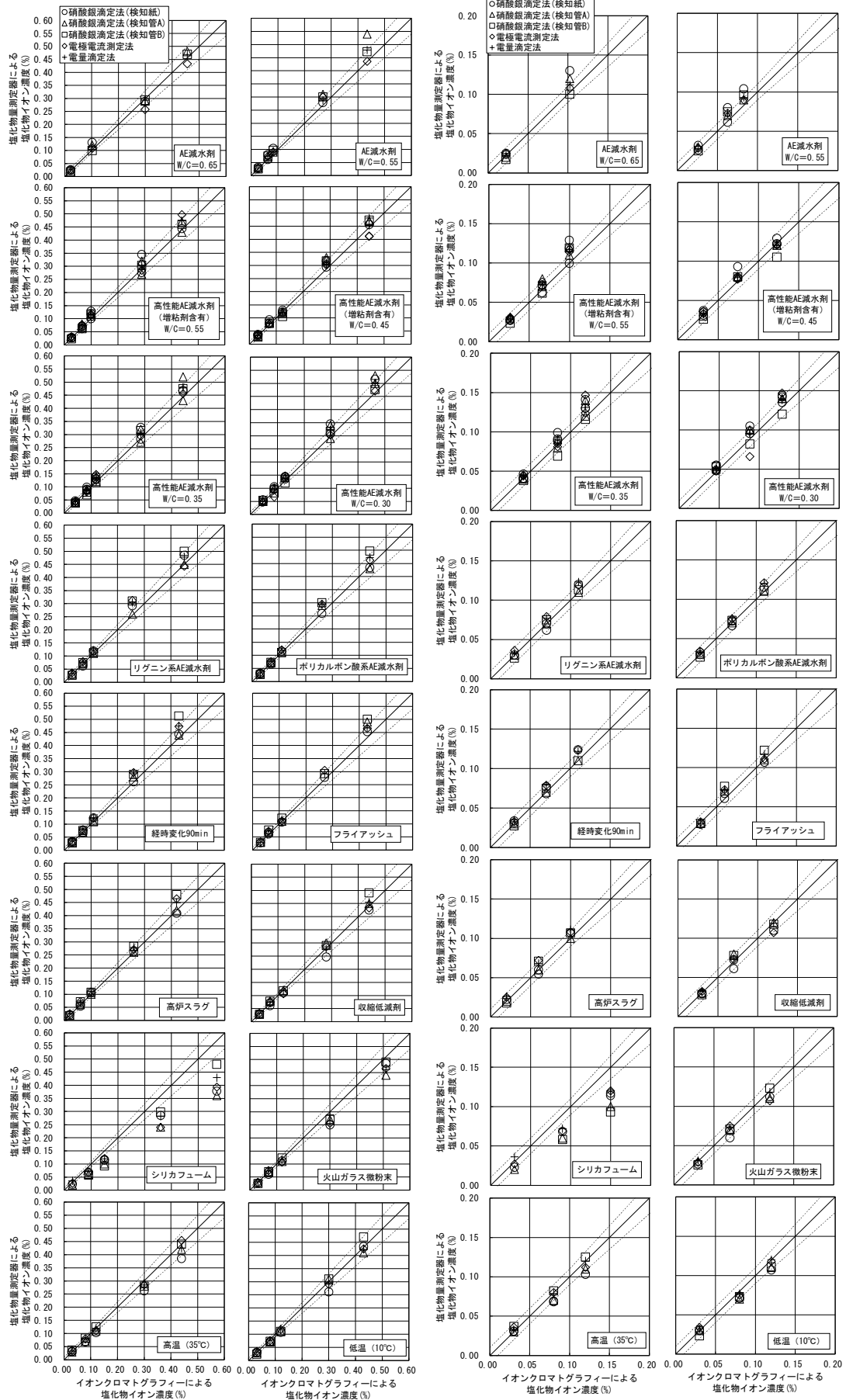
解説写真 2 測定器メーカー5 社による共通実験の様子

3.2 実験結果

解説図 1 に、塩化物量測定器と基準値であるイオンクロマトグラフィーによる塩化物イオン濃度の測定値の比較結果を示す。図中の破線は許容差（本文の 5.2 の第 1 水準）を示す。ここで、基準値となるイオンクロマトグラフィーによる測定は、後半の 10 配（調）合について 2 つの試験機関で測定を実施し、測定値に大きなずれが無いことを確認している。各塩化物量測定器の結果と基準値の関係は、シリカフュームを使用した高強度コンクリートを除き、概ね良好な相関関係が見られ、使用材料および配（調）合による測定結果の差異が無いことが確認された。また、シリカフュームを使用した高強度コンクリートの測定値については、他の配（調）合と比べて塩化物量測定器の測定値が許容差を超えて低く測定される結果となった。この原因については現時点で判明しておらず、シリカフュームを使用したコンクリートへの塩化物量測定器の適用には注意を要する。

3.3 塩化物量測定器の技術評価に関する共通実験のまとめ

以上の実験結果より、シリカフュームを使用した高強度コンクリートで見られた測定値の誤差の原因の分析とその対処法に関しては検討の余地が残るものの、本実験の範囲内ではその他の配（調）合や混和材料を使用した各種のコンクリートに対しては、現在流通している塩化物量測定器で概ね対応可能であることが確認できた。このことから、旧基準の技術評価方法を準用した評価方法により、フレッシュコンクリート用の塩化物量測定器の技術評価は可能であると判断される。



解説図1 塩化物量測定器とイオンクロマトグラフィー（基準値）による塩化物イオン濃度の測定値の比較
（左：全領域、右：低濃度領域の拡大）

4 塩化物の後添加方法の妥当性に関する検証実験の概要（研究期間：2023 年度）

技術評価における性能確認試験の効率化を目的として、通常の塩化物量の水準ごとにコンクリートを練り混ぜる方法に代えて、コンクリートを1回だけ練り、塩化物（NaCl）を後添加して試料採取する方法の妥当性に関して検証した。検証方法としては、塩化物を後添加した後の試料の均質性を確認することとし、後添加後のコンクリートの2カ所から試料を採取し、両者の塩化物量の測定値の同等性を確認した。

4.1 実験の概要

解説表3にコンクリートの配（調）合表を示す。本実験では、コンクリートの流動性が後添加される塩化物の分散性に影響すると考え、対象とするコンクリートとして、標準的な水セメント比のスランプ 18cm および低水セメント比のスランプフロー650mmの2種類を選定した。コンクリートの配（調）合は解説3.1の同条件のコンクリートと同じものを使用し、使用材料も解説3.1と同一とした。コンクリートの練り量は50Lとし、試験練り用のミキサには容量55Lの強制2軸ミキサを使用した。

解説表3 コンクリートの配（調）合表および品質試験結果

水準	W/C (%)	単位量(kg/m ³)				Ad (%/C)	AE (%/C)	SL (SF)	Air (%)	T (°C)	単位容積質量 (kg/m ³)	ろ液採取時の希釈の有無
		W	C	S	G							
W/C=55%(AE減水剤)	55	180	327	827	925	0.9	0.006	18.0	5.0	19	2236	
W/C=35%(高性能AE減水剤)	35	170	486	850	832	1.1	0.008	(671)	3.5	20	2290	希釈あり

[注]フレッシュコンクリートの試験結果は塩化物イオン無添加の結果を示す。

本実験では、塩化物の後添加無し（練上り）の状態、塩化物の後添加により練混ぜ水の塩化物イオン濃度が0.05%相当とした状態、さらに塩化物を後添加することにより練混ぜ水の塩化物イオン濃度が0.5%相当とした状態、の3段階のコンクリートに対してそれぞれ試料採取を行い、塩化物量試験を実施した。塩化物の後添加には、塩化物イオンを分散しやすくするために、濃度20%の塩化ナトリウム水溶液を使用した。ここで、厳密には塩化ナトリウム水溶液の後添加により塩化物量だけでなく水量も増加するが、試験の目的から考えて、水量の変動後の塩化物イオン濃度を基準値と評価対象の塩化物量測定器で測定して両者を比較すれば良いため、試料の均質性が確保されていれば評価結果には影響しないと考え、水量の増加分は無視している。

コンクリートの練上り後の実験の手順を以下および解説写真3に示す。

- 1) 塩化物無添加の状態で練り上がったミキサ内のフレッシュコンクリート（50L）から、5Lの試料を採取し、試料ろ液を抽出した。ろ液の抽出方法は、吸引ろ過とした。また、高強度コンクリートでは、JIS A 1144（フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度試験方法）附属書Aに準拠し希釈操作を行った後にろ液の抽出を行った。
- 2) 上記1)で試料を採取した残りのフレッシュコンクリート（45L）に対して、フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度が0.05%増加する量の塩化ナトリウムを、濃度20%の塩化ナトリウム水溶液の状態で添加し、30秒間ミキサで練り混ぜた後に、ミキサ内の離れた2カ所から5Lずつ試料を採取し、それぞれ1)と同様な方法で試料ろ液を抽出した。
- 3) 上記2)で試料を採取した残りのフレッシュコンクリート（35L）に対して、フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度が0.45%増加し合計0.5%となる量の塩化ナトリウムを、濃度20%の塩化ナトリウム水溶液の状態で添加し、30秒間ミキサで練り混ぜた後に、ミキサ内の離れた2カ所から5Lずつ試料を採取し、それぞれ1)と同様な方法で試料ろ液を抽出した。

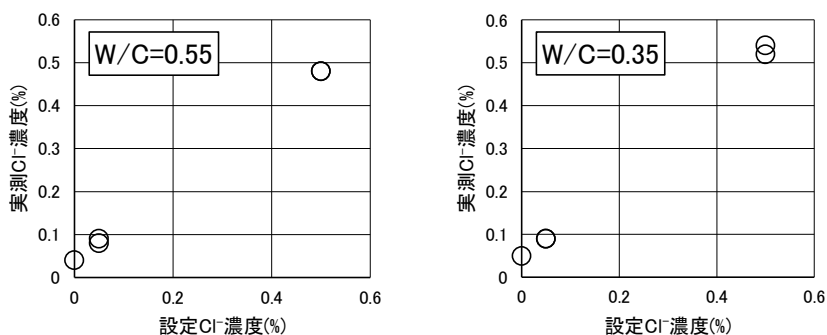


解説写真3 塩化ナトリウム水溶液の後添加、練混ぜおよび試料採取の状況

フレッシュコンクリートから採取されたる液中の塩化物イオン濃度は、JIS A 1144（フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度試験方法）の中で規定されているイオンクロマトグラフィーにより測定した。また、基準値のばらつきの参考データとして、同一の採取ろ液を用いて同 JIS で規定されている電位差滴定法による測定も実施した。

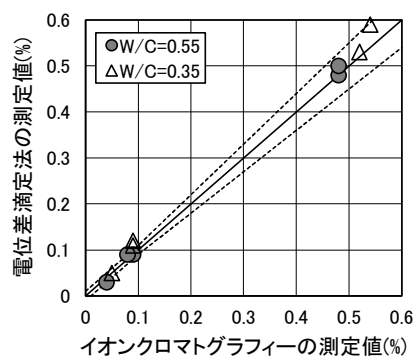
4.2 実験結果

解説図 2 に試料ろ液の塩化物イオン濃度の測定結果を示す。設定 Cl^- 濃度が 0.05% および 0.5% における、塩化物の後添加後のミキサ内の 2 カ所の測定結果の比較からは、ほぼ同一な値が測定されている。以上より、本実験の範囲では、塩化物の後添加によって塩化物イオン濃度を変化させた試料を作製して技術評価に使用しても問題ないと判断できる。



解説図 2 塩化物の後添加による試料ろ液の塩化物イオン濃度の測定結果

解説図 3 に、本技術評価方法において基準値として用いる JIS A 1144 で規定される方法のうち、イオンクロマトグラフィーおよび電位差滴定法により測定した塩化物イオン濃度の測定結果の比較を示す。ここで、図中の破線は技術評価方法における許容差の第 1 水準を示す。図によれば、データは少ないものの 0.1% 付近のデータで第 1 水準の許容差を超えているものがあり、基準値の測定誤差についてもある程度の考慮が必要であるといえる。このため、本技術評価方法では許容差に第 2 水準を加えた評価としている。



解説図 3 イオンクロマトグラフィーと電位差滴定法による塩化物イオン濃度の測定結果の比較

謝辞

本資料をとりまとめるにあたり、一般社団法人日本建築学会 鉄筋コンクリート造建築物の試験・検査研究小委員会（主査：棚野博之、幹事：濱崎仁）の皆様には、共通実験の実施方法等に関してご助言頂きました。荒井正直氏（一般財団法人日本建築総合試験所）には、技術評価方法の作成に関して多くの助言を頂きました。鹿毛忠継氏（国立研究開発法人建築研究所）には、査読において有益な修正意見を頂きました。共通実験の実施においては、株式会社ガステック、光明理化学工業株式会社、太平洋マテリアル株式会社、株式会社中研コンサルタント、株式会社レグラスより多大なるご協力を頂きました。付記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 友澤史紀：塩化物の総量規制－建築－、コンクリート工学、Vol.25、No.11、pp.111-114、1987.11
- 2) 梶田佳寛：技術評価 コンクリート中の塩分含有量測定器、建築技術、No.430、pp.191-194、1987.6

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM, No. 1290

建築研究資料
BUILDING RESEARCH DATA, No. 211

土木研究所資料
TECHNICAL NOTE of PWRI, No. 4454
August 2024

編集・発行 ©国土技術政策総合研究所
©国立研究開発法人建築研究所
©国立研究開発法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地
国土技術政策総合研究所企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675

〒305-0802 茨城県つくば市立原 1 番地
国立研究開発法人建築研究所企画部企画調査課 TEL 029-864-2151 (代)

〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 - 6
国立研究開発法人土木研究所企画部業務課 TEL 029-879-6754