

【委員会報告】

土木学会規準「実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法（案）(JSCE-G 573-2003)」の制定

JSCE STANDARDS "MEASUREMENT METHOD FOR DISTRIBUTION OF TOTAL CHLORIDE ION IN CONCRETE STRUCTURE"

コンクリート委員会・規準関連小委員会

Sub-Committee on Test Methods and Specifications for Concrete, Committee on Concrete

1. まえがき

コンクリート構造物の耐久性が問題となる中で、コンクリート標準示方書〔維持管理編〕が2001年に新たに制定された。その中では、点検やモニタリングの結果から劣化機構の推定や将来の劣化予測を行ない、状況に応じて対策を施すことが定められている。なかでも塩害の照査には塩化物イオンの見掛けの拡散係数を用いて、鋼材位置での塩化物イオン濃度が発錆限界以上となるか否かを判定する手法がとられている。

したがって、実構造物中の全塩化物イオン濃度の分布を調査し、さらに、塩化物イオンの見掛けの拡散係数を算出して塩害劣化の将来予測を行なうことは、コンクリート構造物の管理上重要であると考えられるが、そのような調査方法を明文化した規準類はこれまで存在せず、各自がそれぞれ独自の方法で調査を行ってきたのが現状であった。本規準（案）は、このことに鑑み、新たに、実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン濃度の分布を測定する方法について規定したものである。

本規準（案）によって実構造物で測定される全塩化物イオンとは、細孔溶液中に溶解、遊離していて、鋼材の腐食に直接関与する可溶性塩化物イオンならびに、セメント水和物に固定、あるいは吸着されている塩素も含めたものと定義され、一般に、硝酸によってコンクリート微粉末から抽出された塩化物イオンとして求められる。したがって、その結果を基に算出される拡散係数は、いわゆる「見掛けの拡散係数」であるが、特に実構造物のコンクリートに対して本測定方法を適用し算出した見掛けの拡散係数については、JSCE-G 572-2003 に規定する浸せき法によって測定される見掛けの拡散係数 D_{ap} と区別して、 D_{aps} と表記するものとする。

2. 試験法の解説

(1) コンクリートコアから試料を採取する場合

試料の採取方法としてコンクリートコアを用いる方法は、JIS A 1154 附属書²⁾にも規定されており、従来もっとも一般的に行われてきた方法である。

コア採取本数は、試験の信頼性とコア採取が構造物に与える影響を考慮して判断することし、本規準（案）では敢えて規定しないこととした。

実環境に長期間曝されたコンクリートは、中性化の進行により塩化物イオンの移動、濃縮が生じている場合がある。そこで、塩化物イオンの見掛けの拡散係数を求めるにあたって、中性化の作用を受けた場所から得られた全塩化物イオン濃度は後述の回帰分析用データとしては不適当であるため、このデータが利用されることがないように、本規準（案）では中性化深さの測定についても規定した。ただし、このことは、中性化した領域における全塩化物イオン濃度の測定自体を行なわなくてよいということではない。あくまでも見掛けの拡散係数を求める際に用いないだけであり、測定結果自体は構造物の耐久性を検討するうえで貴重な情報となり得るものである。またコンクリートコア採取本数をできるだけ少なくするという理由から、中性化深さを測定したコンクリートコアを用いて、全塩化物イオン濃度の測定を行なってもよいこととした。フェノールフタレインの噴霧が塩化物イオン濃度に与える影響は小さいと考えられるためである。

採取したコンクリートコアにおける全塩化物イオン濃度の分布から、見掛けの拡散係数および表面塩化物イオン濃度を回帰分析により算出するためには、信頼性の面から少なくとも 3 箇所以上、通常は 5 箇所以上のデータを用いて計算を行なう必要があると考えた。なお、回帰計算でこれらを求める際には、中性化した領域のデータは用いてはならないため、実際に試料を採取する箇所はさらに増える可能性もある。

なお、1/10 N 硝酸銀溶液の噴霧によりあらかじめ

塩化物イオン浸透深さを簡易的に測定し、試料採取箇所を決定するための参考とするといい。この場合も、硝酸銀溶液を噴霧したコンクリートコアをその後、塩化物イオン濃度の測定に供することに問題はない。

(2) ドリル粉末を試料とする場合

本規準（案）では、ドリル削孔により得られるコンクリート粉末を用いる方法も定めた。実構造物の場合、構造物にできるだけ損傷を与えないことが重要であることも多く、その対策としてコアよりも径が小さなドリルによる削孔で試料を採取することが有効となることもある。

ドリル削孔による方法の特徴は、採取径が小さいことに加えて、コンクリートの切断・粉碎といった試料調製過程が大幅に簡略化できることなどである。しかし、ドリルにより削孔された径に比して粗骨材の寸法が大きくなるため、採取された試料の信頼性について疑問が生ずる場合もでてくる。そこで、採取した粉末試料の骨材量を求め、コンクリートと採取試料との間の骨材量の差をもとに、試料中の塩化物イオン濃度をコンクリート中の平均濃度に換算する方法について、附属書で規定することにした。

コンクリートコアから試料を採取する場合と同様、ドリル粉末試料をもとに見掛けの拡散係数および表面塩化物イオン濃度を回帰分析により算出するためには、信頼性の面から少なくとも3箇所、通常は5箇所以上の深さにおけるデータが必要であり、中性化した領域がある場合には、測定箇所はさらに増えることになる。またデータのばらつきを小さくする意味から、削孔は3箇所以上で行ない、それら削孔箇所の同一深さから得られたドリル粉末を混ぜ合わせて塩化物イオン濃度分析に供することとした。

ドリル粉末による中性化深さの測定に関しては、すでに「NDIS 3419 ドリル粉末を用いたコンクリート構造物の中性化深さ試験方法³⁾」が定められているので、これを参考とするとよい。

(3) 試料の分析方法および拡散係数等の算出

本規準（案）で採取された試料中の全塩化物イオンの測定は、JIS A 1154 に定められた手法によることを標準としたり。ただし、表面塩化物イオン濃度は実質的には測定できないため、コンクリート内部の塩化物イオン濃度分布の回帰分析により、見掛けの拡散係数と共に求めるものとした。

既に述べたように、中性化の影響がある領域から得られた全塩化物イオンの測定値は回帰分析には用いない。同様に、中性化が生じていない場合でも、コンクリートの表層付近の塩化物イオン濃度は、外界の気象

作用の影響を受けるとともに、表層部分の壁効果によって内部よりもモルタル量が多い傾向にあり、値自身の不確かさも出てくる。したがって、表面からの深さ1 cm 以内の領域の濃度も拡散係数の算出においては用いないほうがよい。

また、拡散係数の算出の際には、外部から侵入した塩化物イオンが達していない領域の塩化物イオン濃度、すなわち初期塩化物イオン濃度 C_i の値が正確でないと、回帰計算の精度が低下する。このため、できるだけ深部から試料を採取し、 C_i を正確に求めることも必要である。

(4) ドリル粉末中の骨材率について

本規準（案）では、実構造物から採取したコンクリートコアを粉碎して得たコンクリート微粉末のほかに、ドリル削孔によって得た粉末を分析試料として用いて良いと規定した。しかし、この場合、セメントペーストと骨材の比率が分析対象としたコンクリートの配合と異なることが原因で、算出された全塩化物イオン濃度が著しくばらつく状況も予想される。したがって、ドリル粉末中の骨材の割合を適切に補正し実際のコンクリートに整合させる必要がある。本規準（案）の附属書ではその補正方法を記載した。

石灰石骨材が用いられていない場合には、ドリル粉末を酸溶解して不溶残分の質量を測定することによって、ドリル粉末中の骨材量を知ることができる。

また、骨材が硬質砂岩や安山岩の場合にはドリル粉末中の二酸化ケイ素量を、石灰岩の場合には酸化カルシウム量を、それぞれ蛍光 X 線分析装置を用い測定し、母材コンクリート中の骨材割合と比較することによって、測定された塩分量を補正する方法も示した⁴⁾。

（文責：武若 耕司、小林 孝一）

参考文献

- 1) JIS A 1154 コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法
- 2) JIS A 1154 附属書1 (参考) 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオン分析用試料の採取方法
- 3) NDIS 3419 ドリル粉末を用いたコンクリート構造物の中性化深さ試験方法、非破壊検査協会
- 4) コンクリートの塩化物イオン試験方法の制定と規準化が望まれる試験方法の動向、土木学会 コンクリート技術シリーズ 55, 2003.

コンクリートの塩化物イオン拡散試験方法作成 WG
武若耕司（主査）、杉山隆文（幹事）、石田哲也、上田隆雄、小林孝一、齊藤裕司、佐伯竜彦、佐々木孝彦、久田真、丸屋剛、守分敦郎、山田一夫、横田弘

(2004.6.16 受付)

実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン 分布の測定方法（案）(JSCE-G 573-2003)

Measurement method for distribution of total chloride ion in concrete structure

1. 適用範囲 この規準は、実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオンの分布を測定する方法について規定する⁽¹⁾。

注⁽¹⁾ コンクリートの塩分透過抵抗性が著しく高い場合や供用後間もない場合のように、コンクリート中の塩化物イオンが極めて少ない状況においては、本規準は適用できない。

2. 引用規格 次に掲げる規格は、この規準に引用されることによって、この規準の規定の一部を構成する。これらの引用規準は、その最新版を適用する。

JIS A 1154 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法

JIS A 1154 附属書1（参考）硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオン分析用試料の採取方法

JIS A 1171 ポリマーセメントモルタルの試験方法

JIS Z 8801-1 試験用ふるい 第1部：金属製網ふるい

NDIS 3419 ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化深さ試験方法

3. 定義 この規準で用いる主な用語の定義は、次による。

a) 塩化物イオンの見掛けの拡散係数 塩化物イオンがコンクリート内の細孔溶液中で固定化をともないながら濃度勾配を駆動力として移動すると見なしたとき、すべての塩化物イオンを対象として拡散の速さを規定する係数。以下、見掛けの拡散係数と略して示す。

b) 全塩化物イオン 硬化コンクリートの細孔溶液にある塩化物イオン、塩として固定されている塩素および吸着されている塩素のすべてをさし、硝酸によって抽出される塩化物イオンの量

c) 塩化物イオン濃度 コンクリートの単位容積あたりに含まれる全塩化物イオンの質量

4. 実構造物からの分析試料の採取方法 分析試料として、採取したコンクリートコアを破碎・分級して得た粉末を用いる場合と、ドリル削孔によって得られるドリル粉末を用いる場合がある。

4.1 コンクリートコアを採取し、試料とする場合

4.1.1 コンクリートコア採取本数 全塩化物イオン分布の測定の目的、構造物の重要度、環境条件、採取場所を考慮して、コンクリートコアの採取本数を決定する⁽²⁾。

注⁽²⁾ 同一条件のコンクリートコアを複数本採取する場合には、同一部材内であるだけでなく、海面からの鉛直距離、方角、方向、日照条件なども同一である箇所からコンクリートコアを採取する。一般にはこれらコンクリートコア採取場所の間隔は30 cm程度とする。

4.1.2 コンクリートコアの採取 JIS A 1154 附属書1に従い、コンクリートコアを採取する。

4.1.3 中性化深さの測定 コンクリートコアを割裂し二分割する⁽³⁾。JIS A 1171にて定められた方法により、コンクリートの中性化深さを1 mm単位まで測定する。

注⁽³⁾ 同一条件のコンクリートコアが複数本ある場合には、それらのうちの1本だけよい。またここで中性化深さを測定したコンクリートコアは、以下の全塩化物イオン量の測定に用いてよい。

4.1.4 分析用試料の調製

a) 4.1.2で採取したコンクリートコア表面をエタノールで洗浄した後、コンクリートカッターを用いてドライな状態でスライスし、分析用の円盤型コンクリート試験片を切り出す。

b) 試験片は、それぞれのコンクリートコアにおいて、適当な数箇所の異なる深さ位置から切り出す⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

注⁽⁴⁾ 見掛けの拡散係数を求める必要がある場合には、コンクリート試験片の切り出しありはコア1本あたり原則として5箇所以上において行なうものとする。ただし、塩化物イオンの浸透深さが浅く、6.に示す回帰分析を行うための十分な試料を採取できない可能性がある場合には、塩化物イオンの浸透状況を予測できる範囲でこの点数を減らしてもよい。ただしその場合でも、少なくとも3箇所以上で試料採取を行わなければならない。

注⁽⁵⁾ コンクリート試験片を切り出す深さ方向の位置の決定にあたっては、1本の採取したコンクリートコアを深さ方向に割裂させ、割裂面に1/10 N 硝酸銀溶液を噴霧することによって塩化物イオンの浸透深さを確認し、その状況を参考とするとよい。また中性化深さの測定の場合と同様に、ここで塩化物イオンの浸透深さを測定したコンクリートコアは、以下の全塩化物イオン測定用いてもよい。

注⁽⁶⁾ 分析に必要な量の試料が得られるよう、試料の採取方法、切断の位置あるいは間隔を適宜変更する。

- c) 切り出されたコンクリート試験片をJIS A 1154 附属書1にしたがい0.15 mm以下に微粉碎し、調製したものを分析用試料とする。

- d) 得られた試料は、全塩化物イオンの分析に供するまで密閉保存する⁽⁷⁾。

注⁽⁷⁾ 試料の炭酸化を防ぐ目的であり、真空デシケータなどで保管するとよい。

4.2 ドリル削孔により得られる粉末を試料とする場合

4.2.1 使用器具

- a) 鉄筋探査計 鉄筋の位置、間隔、かぶりの測定が可能なもの

- b) コンクリート削孔用ドリル⁽⁸⁾ 径がφ20 mm以上のもの

備考 20 mmより小径のドリルを用いてもよいが、採取試料中のセメントペーストと骨材の構成比が母材コンクリートのものから乖離することに留意する必要がある。

注⁽⁸⁾ 集塵機能を有するか、あるいは集塵カバーが装着されている必要がある。

- c) 粉碎用具 鉄乳鉢、振動ミル

- d) ふるい JIS Z 8801-1に規定された公称目開きが150 μmの網ふるい

- 4.2.2 ドリル粉末採取場所の選定 鉄筋探査計を用い、鉄筋の位置を確認した上で、互いに数cm離れた3箇所で削孔を行い、これらの削孔から得られたドリル粉末を1セットとする。

- 4.2.3 ドリル粉末の採取セット数 全塩化物イオン分布の測定目的、構造物の重要度、環境条件、採取場所を考慮して、ドリル粉末の採取セット数を決定する⁽⁹⁾。

注⁽⁹⁾ 同一条件のドリル粉末を複数セット採取する場合には、同一部材内であるだけでなく、海面からの鉛直距離、方角、方向、日照条件なども同一の箇所から採取する。一般にはこれら採取場所の間隔は30 cm程度とする。

4.2.4 ドリル粉末の採取

- a) 構造物の表面より深さ方向に等間隔刻みで削孔して⁽¹⁰⁾、適当な数箇所の異なる深さ位置からコンクリート粉末を採取する⁽¹¹⁾。

注⁽¹⁰⁾ 一般には10から20 mm程度である。

注⁽¹¹⁾ 見掛けの拡散係数を求める必要がある場合には、ドリル粉末の採取深さは原則として5箇所以上とする。ただし、塩化物イオンの浸透深さが浅く、6.に示す回帰分析を行うための十分な試料を採取できない可能性がある場合には、塩化物イオンの浸透状況を予測できる範囲でこの点数を減らしてもよい。ただしの場合でも、少なくとも3箇所以上で試料採取を行わなければならない。

- b) 4.2.2で選定した3箇所の削孔により得られた同一深さの粉末を混ぜ合わせる。

備考 φ20 mmのドリルで深さ10 mmあたり、3孔合計で約20 gの粉末が採取できる。

4.2.5 中性化深さの測定 上記の削孔とは別途に削孔を行ない、中性化深さの測定を行なう。

- a) 鉄筋探査計を用いて鉄筋の位置を確認した上で、全塩化物イオン測定用ドリル粉末を採取した場所のごく近傍に削孔場所を選定する。

- b) フェノールフタレインの1%アルコール溶液をろ紙に噴霧して、ろ紙を十分湿潤させる。

- c) コンクリート削孔用ドリル⁽¹²⁾にて、全塩化物イオン測定用ドリル粉末を採取した場所のごく近傍にて削孔を行ない、削孔中に発生するドリル粉末をb)のろ紙で受けける。

注⁽¹²⁾ φ20 mmである必要はなく、小径のものを用いてもよい。

- d) 削孔により発生するドリル粉末がろ紙上で赤く変色したら、ただちに削孔を中止し、その時点での削孔深さをノギスなどを用いて1 mm単位まで測定し、その値を中性化深さとする。

備考 ドリル削孔粉を用いた中性化深さの測定には、NDIS 3419が参考となる。

4.2.6 分析用試料の調製

- a) 4.2.4で各深さから採取されたドリル粉末が150 μmふるいを全通しない場合には、JIS A 1154 附属書1に従いすべての粉末が150 μmふるいを通過するまで微粉碎し、調製したものを分析用試料とする。

- b) 得られた試料は、全塩化物イオンの分析に供するまで密閉保存する⁽¹³⁾。

注⁽¹³⁾ 試料の炭酸化を防ぐ目的であるため、真空デシケータなどで保管するとよい。

5. 分析方法 JIS A 1154 に規定する全塩化物イオンの定量法に準拠して、試料それぞれについて全塩化物イオンを定量し、その値を全塩化物イオン濃度に換算する⁽¹⁴⁾。

備考 ドリル削孔により試料を採取する場合には、採取試料の量が少ないために結果の信頼性に注意を払う必要がある。特に粉末試料中のセメントペーストと骨材の構成比が削孔試料ごとに異なり、結果として、測定結果に大きなばらつきを生じさせることも考えられる。このため、ばらつきの状況によっては「附属書 コンクリート粉末中の塩化物イオンの含有量に及ぼす骨材量の影響の補正方法」によって全塩化物イオンの分析結果を補正するとよい。

- 注⁽¹⁴⁾ JIS A 1154においては、通常は試料の質量に対する全塩化物イオンの質量割合(%)を測定することにしている。試料コンクリートの単位容積質量が明らかな場合には、この値を用いて単位容積あたりの全塩化物イオン、すなわち全塩化物イオン濃度(kg/m³)に換算することができる。試料コンクリートの単位容積質量が明らかでない場合には、これまでの実績に基づき、調査対象のコンクリートと同等の単位容積質量の明らかなコンクリートの値を用いて全塩化物イオン濃度を算出してもよい。ただしこの場合には、単位容積質量が仮定された値であることを報告において明記すること。

6. 測定結果の整理

- a) 全塩化物イオン分布 5. で求められた全塩化物イオン濃度と試料採取深さ⁽¹⁵⁾との関係を整理する。

注⁽¹⁵⁾ 試料採取深さとは、構造物の表面から深さ方向に、コンクリートコアから切り出した試験片の中央までの距離をいう。また測定用試料をドリルあるいは研削により採取する場合には、採取開始深さ位置と終了位置の中間の位置までとする。図-1に、試料採取深さ位置とコンクリート中の全塩化物イオン濃度の関係を図示した一例を示す。

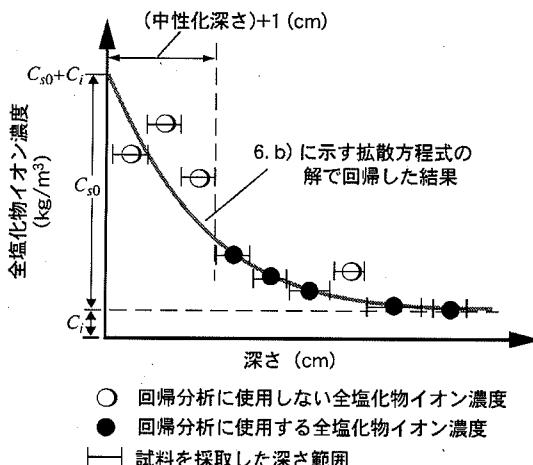


図-1 試料採取深さと全塩化物イオン濃度の関係の一例

- b) 見掛けの拡散係数の計算 実構造物コンクリート中に外部から浸入した塩化物イオンの見掛けの拡散係数を求める場合には、次式に示すフィックの第2法則に基づいた拡散方程式の解を用いて、採取したコンクリートコアごと、あるいはドリル粉末1セットごとに、各深さ位置で測定された全塩化物イオン濃度⁽¹⁶⁾を回帰分析し⁽¹⁷⁾、実構造物で採取されたコンクリートの表面塩化物イオン濃度(C_{0s})⁽¹⁸⁾ならびに見掛けの拡散係数(D_{aps})を同時に算出し、これらを有効数字4けた目を四捨五入することによって有効数字3けたに丸める。

$$C(x, t) - C_r = C_{0s} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_{aps} \cdot t}} \right) \right\}$$

ここに、 x ：暴露面から全塩化物イオン濃度を測定した箇所までの距離(cm)

t ：供用期間(年)

$C(x, t)$ ：距離 x (cm)、供用期間 t (年)において測定された全塩化物イオン濃度(kg/m³)

C_{0s} ：実構造物から採取されたコンクリートの表面における全塩化物イオン濃度⁽¹⁸⁾(kg/m³)

C_i : 初期含有全塩化物イオン濃度⁽¹⁹⁾ (kg/m³)

D_{aps} : 実構造物から採取されたコンクリートの見掛けの拡散係数 (cm²/年)

erf : 誤差関数

$$\text{ただし, } erf(s) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^s e^{-\eta^2} d\eta \quad (20)$$

備考 本規準では、実構造物において測定される見掛けの拡散係数やコンクリート表面の全塩化物イオン濃度を JSCE-G 572 で規定される浸せきによる試験方法で求められるものと区別するために、拡散係数については「実構造物で測定される見掛けの拡散係数 (D_{aps})」、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度については「実構造物で測定されるコンクリート表面の全塩化物イオン濃度 (C_{0s})」と表記することにした。

注⁽¹⁶⁾ a) で整理を行なったデータのうち、中性化した領域およびそこから 1 cm 以内の深部で採取された試料から得られた結果は、回帰分析を行なう際には用いないほうがよい。全く中性化が生じていない場合においても、構造物表面から深さ 1 cm 以内で採取された試料から得られた結果は、回帰分析を行なう際には用いないほうがよい。同様に、隣接する前後の深さ位置での測定結果と著しく異なる結果についても、回帰分析用のデータから除外するほうがよい。

注⁽¹⁷⁾ 全塩化物イオンの拡散係数およびコンクリート表面全塩化物イオン濃度を回帰分析にて求めるには、少なくとも 3 箇所以上、できれば 5 箇所以上の深さにおける全塩化物イオン濃度を用いる必要がある。また、回帰分析の方法には、正規確率紙を用いて図解的に回帰を行なう方法、回帰分析のプログラムを利用し数値的に回帰を行なう方法などがある。

注⁽¹⁸⁾ 上式を用いる場合、その左辺に示されているように、測定された試料中の全塩化物イオン濃度から初期含有全塩化物イオン濃度を差し引いた値を用いて回帰分析が行なわれる。したがって、式中のコンクリート表面塩化物イオン量 (C_{0s}) も初期含有全塩化物イオン濃度を含まない値として算出される。

注⁽¹⁹⁾ 初期含有全塩化物イオン濃度が不明な場合には、十分に深く、構造物表面からの塩分浸透の影響を受けていると考えられる位置から採取された試料の全塩化物イオン濃度で代用する。

注⁽²⁰⁾ 誤差関数の計算には、誤差関数表や近似式をもちいるとよい。

7. 報告 報告は、次の事項について行う。

- a) 構造物の名称、所在地、材齢
- b) 構造物の外観
- c) 試料採取位置および環境条件
- d) コンクリートコア、ドリル粉末の採取日時、天候
- e) 試料採取方法
- f) 分析試料調製日
- g) 全塩化物イオン濃度測定日と技術者名
- h) 中性化深さの測定方法
- i) 中性化深さ
- j) 全塩化物イオンの測定方法
- k) 全試料の全塩化物イオン濃度とその採取深さ範囲
- l) k) 算出の際の骨材量の影響の補正の有無
- m) 実構造物で採取されたコンクリートの見掛けの拡散係数
- n) 実構造物で採取されたコンクリートの表面における塩化物イオン濃度
- o) k) のうち m), n) の算出に用いたもの
- p) コンクリートの単位容積質量の測定値あるいは仮定したコンクリートの単位容積質量の値
- q) コンクリートの配合、初期含有全塩化物イオン濃度など、関連調査結果
- r) その他必要事項

附属書 コンクリート中の全塩化物イオン濃度の測定結果に及ぼす 骨材量の影響の補正方法

1. 適用範囲 ドリル削孔によって実構造物コンクリートから得たコンクリート微粉末（以下、ドリル粉末と称す）を分析試料として全塩化物イオン濃度を求める場合、値が著しくばらつくことがある。この原因として、ドリル粉末中のセメントペースト分と骨材分の比が測定の対象とした実構造物コンクリートにおけるものと異なることが挙げられる。本附属書は、この骨材量の相違による影響を補正する方法ならびに、補正を行うための数値として必要なドリル粉末中の骨材量を求める方法を記述する。なお、骨材量を求める方法としては、塩酸処理により不溶残分を求める方法と、蛍光X線分析法により求めた二酸化ケイ素量あるいは酸化カルシウム量のいずれかを用いる方法があり、前者は、主に骨材として天然の砂岩あるいは安山岩を用いた場合に、また後者は、骨材の種類は問わないが、細骨材と粗骨材に同一の骨材を用いた場合に適用できる。ここでは、これら2つの方法について示している。

備考 コンクリートに使用されている骨材の種類は、工事関連図書を参考にできる。図書等が見当たらない場合は、コンクリートコアを採取し、これを切断・破碎・分級して得た試料の偏光顕微鏡観察や粉末X線回折分析を実施して骨材を鑑定する。

2. 引用規格 次に掲げる規格は、この付属書に引用されることによって、この内容の一部を構成する。これらの引用規格は、その最新版を適用する。

JIS K 0050 化学分析通則

JIS K 8180 塩酸（試薬）

JIS Z 0701 包装用シリカゲル乾燥剤

JIS R 3503 化学分析用ガラス器具

JIS R 1301 化学分析用磁器るつぼ

JIS R 1302 化学分析用磁器蒸発ざら

JIS P 3801 ろ紙（化学分析用）

JIS R 2216 耐火れんがおよび耐火モルタルの蛍光X線分析方法

3. ドリル粉末中の骨材量を考慮した実構造物コンクリート中の全塩化物イオン含有割合の計算方法 採取したドリル粉末中のセメントペースト分と骨材分の比が、測定の対象とした実構造物コンクリートのセメントペースト分と骨材分の比と異なる場合、実構造物コンクリート中の全塩化物イオンの割合とドリル粉末中の全塩化物イオンの割合には、次式の関係がある。

$$C_{cl} = C_{cl(d)} \cdot \frac{1 - f_{ag}}{1 - f_{ag(d)}}$$

ここで、 C_{cl} ：実構造物コンクリート中の全塩化物イオン⁽¹⁾

$C_{cl(d)}$ ：ドリル粉末中の全塩化物イオン⁽²⁾

$f_{ag(d)}$ ：ドリル粉末中の骨材の割合

f_{ag} ：実構造物コンクリート中の骨材の割合⁽³⁾

注⁽¹⁾ 実構造物のコンクリート単位質量あたりの全塩化物イオンの質量として計算される。また、この値に実構造物コンクリートの単位容積質量を乗じることによって、全塩化物イオン濃度を求めることができる。

注⁽²⁾ JIS A 1154においては、試料コンクリート、すなわちドリル微粉末の単位質量に対する全塩化物イオンの質量割合（%）として測定される値である。

注⁽³⁾ 実構造物コンクリート中の骨材の割合を求める場合、コンクリートの単位容積質量のほか、単位セメント量あるいは単位骨材量を知る必要があり、これらは配合設計関連図書を参考して得ることができる。設計図書等が見当たらない場合は、コンクリートコアを採取し、これを切断・破碎・分級して得た試料を用いて単位容積質量と単位骨材量を求める。

4. ドリル粉末中の骨材量 $f_{ag(d)}$ の求め方 ドリル粉末中の骨材量は、次のいずれかの方法により求める。

a) 不溶残分から骨材量を求める方法

b) 二酸化ケイ素あるいは酸化カルシウム量を蛍光X線分析法により測定し骨材量を求める方法

4.1 不溶残分から骨材量 $f_{ag(d)}$ を求める方法

4.1.1 試薬 試薬は、次のとおりとする。

- a) 水は、蒸留水又は同程度以上の純度をもつ水とする。
- b) 塩酸 (1+100) は、JIS K 8180 に規定する塩酸を用いて調製する。
- c) 品目指定されていない試薬については、JIS マーク表示の最上級品質のものを用い、JIS マーク表示品がない場合には、試験に支障のないものを用いる。
- d) 試薬類の溶液の濃度は、特に断らない限り、質量濃度は g/L または mg/L、モル濃度は mol/L または mmol/L で示す。
- e) 試薬類及び廃液などの取扱いについては、関係法令規則などに従い十分に注意する。

4.1.2 器具類 器具は、次のとおりとする。

- a) ビーカー (500 cc)
- b) 時計皿
- c) ガラス漏斗
- d) ブフナー漏斗
- e) 吸引装置
- f) pH 試験紙
- g) マグネチックスターラー及び回転子
- h) デシケーターに用いる乾燥剤は、シリカゲルとする⁽⁴⁾。

注⁽⁴⁾ JIS Z 0701 に規定する包装用シリカゲル乾燥剤 A 形 1 種を用いる。

- i) 磁器るつぼ及び磁器蒸発ざらは、JIS R 1301 および JIS R 1302 に規定するものを使用する。
- j) ろ紙は、JIS P 3801 に規定する定量分析用 5 種 B を使用する。ただし、ろ紙の寸法は、それぞれの項目で規定する。

参考 ガラス器具は、特に断らない限り JIS R 3503 に規定するものを使用する。

4.1.3 試料およびはかり取り量 試料は 0.15 mm 以下に微粉碎したドリル粉末を用いる。精密天びんを用いて試料 1 g を時計ザラに、0.1 mg のけたまではかり取る。試料は、吸湿しないようにデシケーターに保存する。

4.1.4 操作 内容積が 500 ml 程度のビーカーに塩酸 (1+100) 250 ml を入れ、マグネチックスターラーに乗せる。回転子を投入してスターラーを始動させ、攪拌されている液中にはかりとった試料を入れる。試料を入れてから 20 分間攪拌したのちスターラーを止め、不溶解の残留物がほぼ沈降するのを待って、ただちにろ紙 (5 種 B, 11.0 cm) でろ過する。上澄み液をほとんど移したところで回転子を洗ビンの水で洗ってとり除き、残留物を完全にろ紙上に洗い移してから温水で 7, 8 回洗浄する。洗浄するとき、洗ビンの水をろ紙上の残留物に直接吹つけると微細粒子がろ紙から漏れるおそれがあるから、水はろ紙の上縁に注ぐようとする。残留物をろ紙とともにルツボに入れて乾燥し、低温で灰化させたのち 1000±50°C の電気炉で 30 分間強熱し、冷却したのち質量をはかる。

備考 化学分析に共通する一般事項は、JIS K 0050 による。

4.1.5 計算 塩酸処理・灰化・強熱した後の質量を試料はかり取り量で除して、有効数字 3 衔で $f_{ag(d)}$ を求める。

4.2 二酸化ケイ素量、酸化カルシウム量を蛍光 X 線分析法により測定し骨材量 $f_{ag(d)}$ を求める方法

4.2.1 器具類 試験用器具は、次のとおりとする。

- a) 蛍光 X 線分析装置
- b) プレス成型機

4.2.2 試料とはかり取り量 試料は 0.15 mm 以下に微粉碎したドリル粉末を用いる。上皿天びんあるいは電子天びんを用いて、約 2 g を 0.01 g のけたまではかり取る。精密天びんを用いてはかり取る場合には、0.1 mg のけたまではかり取る。試料は、吸湿しないようにデシケーターに保存する。

4.2.3 操作 操作は、JIS R 2216 に準じて行う。

- a) 150 μm 以下に粉碎されたドリル粉末を、所定の形にプレス成型する。
- b) 萤光 X 線分析装置にプレス成型した試料をセットし、ドリル粉末中の二酸化ケイ素： $f_{SiO_2(d)}$ あるいは酸化カルシウム量： $f_{CaO(d)}$ を測定する。これらの値は % で表示する。

4.2.4 計算 ドリル粉末中の構成成分であるセメントペーストの二酸化ケイ素量の割合を W_{si} , もう一つの構成成分である骨材の二酸化ケイ素量の割合を R_{si} , ドリル粉末中の骨材の割合, $f_{ag(d)}$, 4.2.3) で求めたドリル粉末中の二酸化ケイ素の分析値: $f_{SiO_2(d)}$ の 4 つの数値の間には,

$$\frac{W_{si}}{100} (1 - f_{ag(d)}) + \frac{R_{si}}{100} f_{ag(d)} = f_{SiO_2(d)}$$

の関係が成り立つので, これを解き, 有効数字 3 けたで $f_{ag(d)}$ を求める。

ここで, W_{si} : セメントペーストの二酸化ケイ素量の割合⁽⁵⁾

R_{si} : 骨材の二酸化ケイ素量の割合⁽⁶⁾

$f_{ag(d)}$: ドリル粉末中の骨材の割合

$f_{SiO_2(d)}$: 蛍光 X 線分析法により求めたドリル粉末中の二酸化ケイ素の分析値

骨材に石灰岩を用いている場合は, 蛍光 X 線分析装置により, ドリル粉末中の酸化カルシウムの割合 $f_{CaO(d)}$ を求め, 次式にて $f_{ag(d)}$ を計算する。

$$\frac{W_{ca}}{100} (1 - f_{ag(d)}) + \frac{R_{ca}}{100} f_{ag(d)} = f_{CaO(d)}$$

ここで, W_{ca} : セメントペーストの酸化カルシウム量の割合⁽⁵⁾

R_{ca} : 骨材の酸化カルシウム量の割合⁽⁶⁾

$f_{ag(d)}$: ドリル粉末中の骨材の割合

$f_{CaO(d)}$: 蛍光 X 線分析法により求めたドリル粉末中の酸化カルシウムの分析値

注⁽⁵⁾ W_{si} , W_{ca} は使用セメントのミルシートを参照すると良い。設計図書がない場合には, 下表を参考にできる。

	ポルトランドセメント		高炉セメント	フライアッシュセメント
	普通	早強	耐硫酸塩	B 種
W_{ca}	63.8%	64.9%	65.0%	54.9%
W_{si}	21.5%	20.6%	21.9%	25.8%

(コンクリート材料データブックより抜粋)

注⁽⁶⁾ R_{si} は, ドリル粉末を塩酸処理して得た骨材分のみの試料の二酸化ケイ素の分析値, あるいは供試体試験など使用した骨材が特定されている場合にはその分析値を用いることを, 基本とする。しかし, コンクリート用骨材に用いている岩石の大部分は安山岩と砂岩であり, これらの平均組成が下表のように与えられているので, 簡易にはこれを用いても良い。この場合, 一般に岩石の化学成分は±3%程度の変動があり, この値を用いると骨材量も±3%程度変動することに注意する必要がある。ドリル粉末中の骨材量の補正時に下表の数値を用いた場合は, その旨試験報告事項に記載する。また, 細骨材と粗骨材の両方に石灰岩を用いている場合は, R_{ca} は下表を参考にできる。

	安山岩	硬質砂岩	石灰岩
R_{ca}	5.80%	5.50%	99.4%
R_{si}	59.6%	78.3%	0.08%

(岩石 新地学教育講座 4 監修 舟橋三男 東海大学出版会) より抜粋

