

硬化コンクリートに含まれる塩化物イオン量の簡易測定法の開発

水口公徳

The development about easy method of evaluating chloride concentration in concrete

MINAKUCHI Kiminori

塩害を生じたコンクリート構造物の劣化診断に欠かせない調査項目である硬化コンクリート中の全塩化物イオン量の測定について、ハンドドリルで削孔した粉を試料とし可搬式電量滴定方式塩分計を用いて簡易に行える方法を開発した。

本測定法は分析試料が容易に得られ、フレッシュコンクリートの塩分試験機器として既に普及している可搬式の分析機器を用いるため、分析技術の熟練が不要で現場で迅速に分析することが可能である。

キーワード：塩化物イオン、塩害、簡易測定、ドリル粉、電量滴定方式塩分計

はじめに

塩害を受けたコンクリート構造物の劣化診断では、劣化の進行の程度を的確に把握することが重要である。この結果から補修の必要性の判断や今後の維持管理計画の策定が可能となる。

現在、施設管理者が実施しているコンクリート構造物の点検は、主に目視調査（打音検査を含む）により行われている。ところが、この方法では変状を発見した時は既に劣化が進展した状態にあり、補修方法が限定され、補修経費が大きくなることが考えられる。

また、塩害による鉄筋の腐食は鉄筋位置の全塩化物イオン量が 1.2 kg/m^3 以上で発生するとされており、劣化の評価や劣化の将来予測を行うためには、硬化コンクリート中の塩化物イオン量の深度分布を測定することが必要である。

現在、硬化コンクリート中の全塩化物イオン量の測定は、対象構造物から径 10cm、長さ 20cm の円柱状コアを採取し、これを大都市にある分析機関に送付し分析を依頼するのが一般的である。このため時間（約 2 週間）と経費（10 試料で約 20 万円）が必要となっており、増加する老朽化したコンクリート構造物の点検や劣化診断に対応するため、簡易にオンサイトで効率的に行える測定手法が求められている。

コンクリート中の全塩化物イオン量の簡易分析に関する既往の研究は、95℃で温水抽出し電量滴定法で分析する方法¹⁾ や 98℃で温水抽出し試験紙法で分析する方法²⁾ が試みられているが、いずれも水溶性塩分から全塩分量を推定するものであり、水溶性塩分と全塩分量との試験値の差が大きく精度的に不十分と思われる。また、魔法瓶や電気ポットを用いた温水は水温の設定が困難であることや、高温水による水分の蒸発が起きるため、検体の濃度上昇が

懸念される。

そこで本研究では、化学分析に関して熟練のない施設管理者や劣化診断コンサルタント技術者が現場で簡易に実施可能な測定方法の開発を行った。

なお、コンクリートに含まれる塩化物イオンには水に溶ける水溶性塩化物イオンと不溶性を含めた総量の全塩化物イオンとがあるが、通常は全塩化物イオンが測定されており、本研究でも全塩化物イオンを対象に行った。

実験方法

1. 基準となる試験法

表 1 基準法と簡易法の試験概要

| 試験方法 試験作業の内容 | 簡易法 | 基準法 |
|----------------------------|--|---|
| | | JISA1154 JCI(コンクリート工学協会)-SC4 |
| 試料 | ドリル粉末 | コア試料 |
| 試料の粉碎後の粒度 | 149 μm 以下全通 | 149 μm 以下全通 |
| 試料のはかり取り量 | 20g | 10g又は40g |
| Cl ⁻ イオンの抽出と前処理 | ①1N硝酸—振とう(3回) ②炭酸カルシウム添加 ③上澄み液分取 | ①2N硝酸—煮沸 ②炭酸カルシウム添加—再加熱 ③吸引ろ過—定容 ④分取 |
| Cl ⁻ イオン定量分析方法 | ・電量滴定方式塩分計 | ・電位差滴定法 ・クロム酸銀—吸光光度法 ・硝酸銀滴定法 |

硬化コンクリートの全塩化物イオン量を測定する方法は、JIS³⁾ や日本コンクリート工学協会⁴⁾ で基準化されている。

表 1 は、今回研究を行った試験法（以後簡易法と記述する）と基準化されている試験法（以後基準法と記述する）の概要を示したもので、基準法は試料の必要量が多

この研究は、「コンクリート構造物の簡易な劣化診断法の開発研究」の予算で実施した。

いため粉碎機による長時間の粒度調整作業を必要とし、加熱・吸引ろ過の操作や機器による分析を行うには化学分析の設備のある試験室で行う必要がある。

一方、簡易法はハンドドリルにより容易に試料が得られ、試料が少量であるため粒度調整を短時間で行うことができ、時間を要する加熱、吸引ろ過作業を省くことができる。また、充電機能を持つ可搬式の機器を使用するため調査箇所など屋外の現場（オンサイト）で測定が可能である。

2. 簡易法の開発

(1) 標準試料の作成

分析試料は、塩化カルシウムを添加して6種類の異なる塩化物イオン量となるように調整し、 $\phi 10 \times 20 \text{cm}$ のモルタル供試体を作成し、これをジョークラッシャー、円盤粉碎機及び乳鉢で粉碎し $149 \mu \text{m}$ のフルイを通過したものを標準試料とした。モルタルの配合はセメント、細骨材及び水の割合を $1 : 3 : 0.5$ とした。セメントは高炉セメントを、細骨材は砕砂（愛媛県山之内産）を用いた。

作成した供試体に含まれる全塩化物イオン量は、基準法で分析した結果、それぞれ 0.46 、 2.7 、 4.7 、 6.8 、 8.9 、 $10.9 (\text{kg}/\text{m}^3)$ であった。

(2) 塩化物イオンの溶出方法

モルタル供試体から採取したドリル粉試料 2g を計量し、 42ml のポリプロピレン共重合体製の蓋付沈殿管に入れ、 1N 硝酸を 10ml 加えた後、振とうにより溶出させた。ここで振とうとは図1のように試料と溶液を入れた沈殿管を片手で振るものである。



図1 塩化物イオンの溶出状況

振とう作業は、1分間の振とうと約10分の静置を交互に行うものである。簡易法では、この作業を3回程度行えば溶出がほぼ均衡するという実験結果及び作業性を考慮して3回繰り返すこととした。

また、塩化物イオンの溶出に用いる溶液は劇物でない 1N 硝酸とした。

さらに硝酸で溶出する場合には上澄み液が強酸性となり、後に述べる器具で試験できない場合がある。この

ため、 1g の炭酸カルシウムを添加し中性化処理を行うことを基本とした。

(3) 使用する分析機器

簡易法で使用する塩化物イオン量を分析する機器は、図2に示すような可搬式電量滴定方式塩分計とした。

この機器は、(財)国土開発技術研究センターの技術評価を受けた、化学分析の技術をもたない生コン工場や土木現場技術者が実施可能なフレッシュコンクリートの塩化物試験器として普及しているものである。



図2 使用する塩化物イオン分析機器
(電量滴定方式塩分計)

(4) 計算

本稿で記述する単位体積あたりの全塩化物イオン量 $S (\text{kg}/\text{m}^3)$ は得られた塩化物イオン濃度 $\text{Cl}^- (\%)$ から次式により求めた。

$$S = \text{Cl}^- \div 100 \times V \times \gamma_c \div W$$

ここに、 S : 単位体積あたりの
全塩化物イオン量 (kg/m^3)
 Cl^- : 得られた塩化物イオン濃度 (%)
 V : $1 \text{mol}/\text{l}$ 硝酸の量 (ml)
 γ_c : 分析対象のコンクリートの
単位体積重量 (kg/m^3)
 W : ドリル粉試料の質量 (g)

3. コンクリート構造物での実証試験

簡易法の有効性を確認するため、県下の建設年度やコンクリート材料が異なるコンクリート橋梁6橋において実証試験を行った。

実証試験では、図3に示すように鉄筋探査機で鉄筋の位置を確認し、鉄筋を避けてドリル粉を採取した。図4はハンドドリルでドリル粉を採取している状況である。

図4にはドリル孔を無収縮モルタルで充填補修した後の状況も併せて示した。

実証試験において、ハンドドリルを使って得られたドリル粉の $0.149 \mu \text{m}$ の網フルイを使って通過したものを試料とし、塩化物イオン量の測定を簡易法及び基準法そ

それぞれの分析方法で行った。なお、簡易法で計量、溶出、分析及び計算までを行ったが、これらの作業を現場で簡易に迅速に行えることを確認した。

なお、分析対象のコンクリートの単位体積重量は実験値があればこの値を、実験値がない場合はコンクリートの一般的な値である $2,300 \text{ kg/m}^3$ を用いた。



図3 鉄筋位置調査状況



図4 ドリル粉採取状況と補修後の状況

結果と考察

1. 全塩化物イオン量既知の標準試料での比較試験

図5は6種類の塩化物イオン量を含む粉末標準試料を使って基準法と簡易法の分析方法による試験値の比較を行ったもので、横軸に基準法による試験値を縦軸に簡易法の試験値を示した。図から簡易法の値は基準法の値よりも数値がやや低い値を示した。これは簡易法では試料中の塩化物イオンの全量が溶出していないためであると判断される。

しかし、簡易法と基準法の測定値の分布はほぼ直線を

示しており、相関係数 (R^2) は 0.999 で強い正の相関が認められた。このことから相関式により全塩化物イオン量の推定が可能であると考えられる。

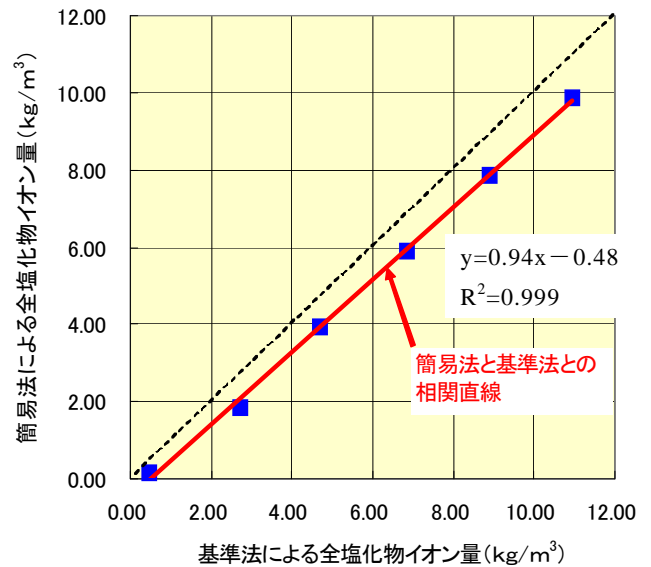


図5 基準法と簡易法による全塩化物イオン量の比較 (標準試料)



図6 須沢大橋の状況

2. コンクリート構造物での実証試験

(1) 事例紹介 (須沢大橋)

大洲市長浜町須沢の須沢大橋で行った実証試験結果を紹介する。須沢大橋は大洲市長浜町須沢に位置する平成元年に建設された橋長173mの8径間PCT桁橋である。

須沢大橋は図6に示すように海に隣接しており、波浪による塩分の浸透が予想された。

ドリル粉の採取は、深さ方向の塩化物イオン量の変化を求めため20mm毎に採取した。

得られたドリル粉を試料とし、簡易法と基準法それぞれの分析方法から得られた試験値の比較を行った結果を図7に示す。この図から、簡易法の試験結果は基準法と比べやや低い値を示すものの、塩化物イオン量の深度変化は同様の傾向を示し、簡易法の有効性が認められた。

ま と め

ハンドドリルで削孔した粉を試料とし、現場で簡易に行える測定法の開発に取り組んだ結果、次の成果が得られた。

1. 開発した簡易法は分析試料が容易に得られるとともにフレッシュコンクリートの塩分試験として既に普及している可搬式の分析機器を用いるため、分析技術の熟練が不要で塩化物イオン量を現場で迅速に測定することが可能である。
2. 実証試験により現場でドリル粉試料の採取から簡易法による分析まですべての作業を容易に行えることを確認した。
3. 開発した簡易法の測定値は基準法の測定値よりもやや低いが、コンクリート構造物の建設年度や材料の相違等地域性があるにもかかわらず、強い正の相関が認められることから、相関式により全塩化物イオンの推定が可能である。
4. 今後は計量作業やピペット操作を少なくするなどの作業の簡略化及び振とう作業の機械化を行い、人的要因の誤差を小さくするとともに相関式の精度を高め、化学分析の技術をもたない施設管理者や土木技術者がストレスなく行えるよう検討する必要がある。

文 献

- 1) 後藤年芳ほか：硬化コンクリートの塩化物イオン含有量の簡易測定法の検討，土木学会第 63 回年次学術講演会予稿集，p. 431-432，(2008)
- 2) 下谷裕司ほか：再生粗骨材の簡易塩分評価手法に関する検討，寒地土木研究所月報，No.669 p.2-10，(2009)
- 3) 日本規格協会：JIS A 1154，(2003)
- 4) (社)日本コンクリート工学協会：JCI 基準集 (1977～2002 年度)，p.106-126，(2004)

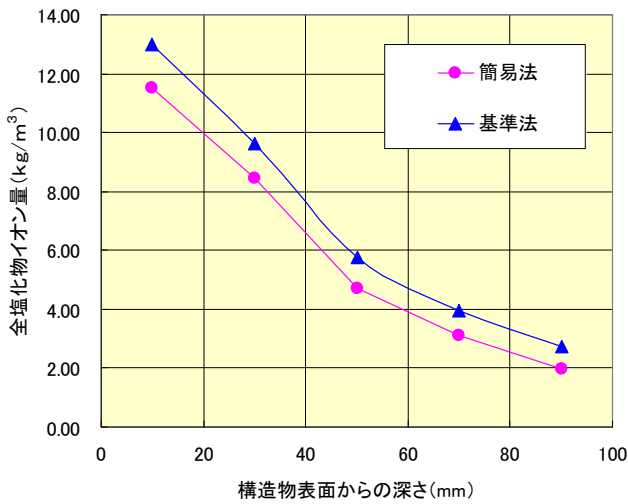


図7 塩化物イオン量の深度変化 (須沢大橋)

(2) 実証試験による比較

実証試験では、県内の6橋梁から20個の試料が得られ、これらの試料について簡易法と基準法による試験の両方を行い、試験値の比較を行った。

比較した結果を図8に示す。

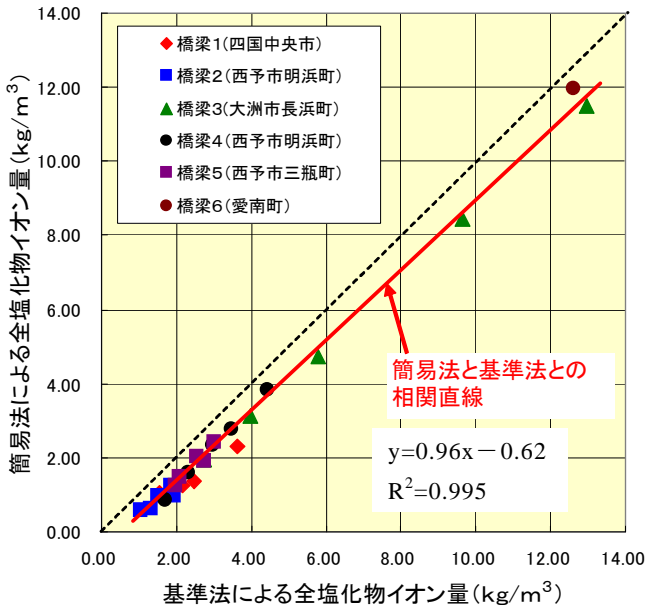


図8 基準法と簡易法による全塩化物イオン量の比較 (実証試験)

図8から、実証試験においても、簡易法が基準法よりも塩化物イオンの溶出が完全でないため値がやや小さいが、簡易法と基準法の測定値の分布はほぼ直線を示し、相関係数は (R^2) は0.995で強い正の相関が認められた。

このことは、開発した簡易法の測定値は基準法の測定値よりもやや低いが、コンクリート構造物の建設年度や材料の相違等地域性があるにもかかわらず、強い正の相関が認められることから、相関式により全塩化物イオン量の推定が可能であると判断される。