

論文 ドリル削孔粉を用いたコンクリート中の塩化物イオン量の現場試験方法の提案

湯浅 昇^{*1}・笠井芳夫^{*2}・松井 勇^{*3}

要旨：本研究は、ドリルによる削孔粉を用いて、コンクリート中の塩化物イオン量を調査現場で速やかに評価する方法を検討したものである。第1に、ドリルのカバーと受け皿を試作し、表面からの深さに応じた任意の層のコンクリートを全量採取することを可能とした。次に、携帯型塩化物抽出装置を試作し、携帯型の塩化物量測定器もしくは塩化物判定紙により、調査現場において塩化物イオン量の測定を可能とした。コンクリートコアを持ち帰り塩化物イオン量を測定する従来の方法に比べ、調査現場での評価が可能であるばかりでなく、破壊程度、作業量、費用の面で大幅な改善が期待できる。

キーワード：微破壊試験、コンクリート、塩化物イオン量、塩害、ドリル

1. はじめに

コンクリート構造物を、鉄筋がコンクリート中の塩化物イオンにより腐食する劣化、いわゆる塩害から守る必要がある。そこで、塩害の危険性を検討するため、コンクリート中の塩化物イオン量を調査する必要があるが、その測定にはコンクリートコアの採取、実験室でのコア切断、粉砕などの多くの作業を要し、塩化物イオン量を評価するために費やされるエネルギー、費用は大きい。しかも結果の判明にまでは多くの時間を必要とする。構造物に与える破壊は軽微とはいえ、調査後は補修を必要とする。総じてコンクリートの塩化物イオン量の測定は、安易には計画、実施できない試験方法と判断されているのが現状であろう。

そこで本研究は、携帯型のドリルによって、コンクリートの粉を容易に、かつ微破壊で入手できることに着目¹⁾²⁾³⁾し、削孔粉の採取方法および試料としての調整方法を日本コンクリート工学協会「コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに規準(案)」に照らし、再検討し、実験室に持ち帰ることなく調査現場

で、比較的簡単で極めて安価な機器のみで塩化物イオン量の評価が可能なる方法を提案するものである。調査現場で、即評価された塩化物イオン量は、更なる調査の遂行上、有益な情報となり、不必要な調査を排除し、必要な調査データを効率よく入手することを可能とする。国内外で広く普及し得る方法と考える。

2. 削孔粉採取と試料の調整

塩化物イオン量の測定に供する試料は、対象とする箇所のコンクリートを代表していなくてはならない。削孔粉を採取する方法として、ド

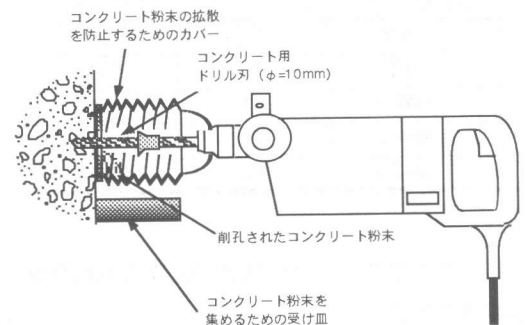


図-1 ドリルによるコンクリート粉末の採取

* 1 日本大学専任講師 生産工学部建築工学科 工博 (正会員)
 * 2 日本大学名誉教授 生産工学部建築工学科 工博 (正会員)
 * 3 日本大学教授 生産工学部建築工学科 工博 (正会員)

リルの刃に工夫を凝らし、集塵用ポンプで吸引するシステムも市販されているが、削孔粉が湿っている場合ドリルの刃内部で詰まってしまう等、不偏的な試料を全量採取するには問題がある。そこで、簡単にそして安価で削孔粉を全量採取する方法として、図-1に示すように、携帯型の振動式ドリルのまわりに全量を採取するためのカバー

(ペットボトルと針金、荷造り用透明テープにより試製)を用いる方法を考案する。採取量の確認のため、150 × 150 × 150mm のコンクリート試験体の質量をあらかじめ測定した後、カバーを装着したドリルで削孔し採取した粉末試料質量と削孔後の試験体質量を測定した。測定結果を表-1に示す。5回試験したが、いずれも採取試料の質量と削孔後の試験体の質量の和が削孔前の試験体の質量に一致した。この結果、試作したカバー及び受け皿により、コンクリートの削孔粉を全量回収することが可能であることがわかった。なお、削孔粉は、更に乳鉢(外径 120mm)を用いて、指触で粒を感じない程度まで粉砕し、塩化物イオン量測定用の試料とした。

表-1 コンクリート粉末の採取量

No	削孔前の試験体の質量 (g)	採取試料の質量 (g)	削孔後の試験体の質量 (g)
1	7576	20	7556
2	7122	18	7104
3	9468	21	9447
4	9447	21	9426
5	9425	20	9405

3. 携帯型塩化物抽出装置の試作と試料及び精製水の計量

現場で塩化物イオン量を評価するには、塩化物の抽出装置が必要である。硝酸を用いて全塩化物イオンを現場で抽出する試み²⁾もみられるが、硝酸が劇物であること、pHの確認が必要で再度の試料調整が必要となる場合があること

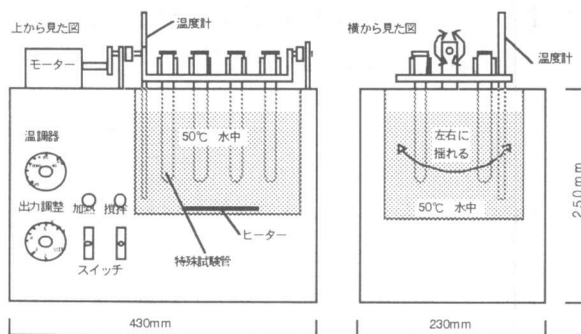


図-2 携帯型塩化物抽出装置

により、現場での操作に適さないと判断し、可溶性塩化物イオンを抽出することとした。調査現場で可溶性塩化物イオンを抽出するため、図-2に示す携帯型装置を試作した。この装置はヒーターを搭載し、温度調節器により水の温度を50℃に保つことが可能である。また、試料1.0gを試験管の中で、5.00mlの水とともに十分攪拌できるように、試験管はモーターで左右に揺れる構造となっている。しかしながら、このままでは、コンクリートの粉末が沈殿し、十分な攪拌できなかった。そこで、装置側の試験管の挿入口を広げ、試験管と装置の間に遊びを設け、更に図-3のように、試験管の口に2本のプラスチック角棒をテープで巻き付け、試験管が揺れるたびに適度な振動が加わるようにした。また針金の先を輪にした攪拌棒を試験管に入れ試料の沈殿を防止した。本装置により、十分な試料の攪拌が可能であった。

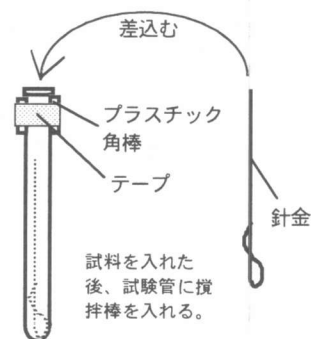


図-3 試験管

4. 試料及び精製水の計量と塩化物の抽出、測定

コンクリート試料 1.0g 及び精製水の計量には、携帯性、精度、安価であることを考慮し、

それぞれ上皿天秤（秤量 100g, 感度 100mg）、メスシリンダー（容量 10ml 最小目盛り 0.1ml）を使用した。調査現場でコンクリートの塩化物イオン量を測定するには、取り扱いが簡便で、精度が良く、測定時間が短い測定機器もしくは使い捨ての塩化物イオン量測定計が必要である。そこで、(財)国土開発技術研究センターの技術評価書を交付された塩化物量測定器もしくは塩化物判定紙を用いて、可溶性塩化物イオン量をコンクリート（フレッシュコンクリート）モードで測定することとした。

試料と精製水を試験管に入れ、試作した塩化物抽出装置を用いて、コンクリート中の可溶性塩化物イオンを抽出する。ここでは電極電流測定法式の Y 社製塩化物イオン測定器（携帯型）で測定する（他に数社の携帯型装置、使い捨て塩化物イオン量測定計の認定品がある）こととした。図-4 は、攪拌時間と抽出した塩化物イオン濃度の関係を示している。これにより、攪拌時間が 10 分でも十分塩化物イオンの抽出が可能であると判断した。なお、コンクリート単位質量当たりの塩化物イオン量 C_{lc} (%) は、次式 (1) により求める。

$$C_{lc} = V_w / \rho / W_c \times C_{lm} \quad (1)$$

ここで、 C_{lc} ：コンクリート単位質量当たりの塩化物イオン量 (%), V_w ：精製水の量 (ml) = 5.0ml, ρ ：水の密度 (g/ml) = 1.0g/ml, W_c ：試料質量 (g) = 1.0g, C_{lm} ：測定塩化物イオン濃度 (%)

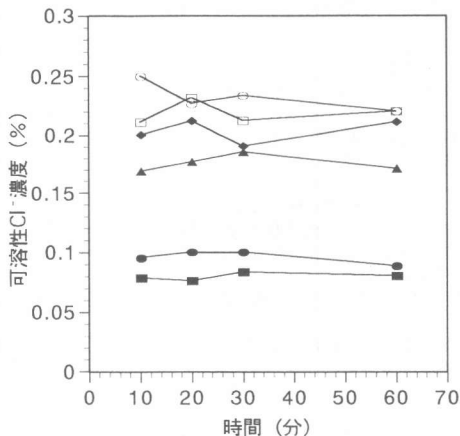


図-4 時間経過に伴う濃度変化

5. 削孔数及び試料の混合の検討

削孔径を ϕ 10mm としたため粗骨材径を考慮すると、場合によっては、骨材量の多い削孔粉を試料とする恐れがある。そこで、多くの削孔による結果に基づき、塩化物イオン量を評価する必要がある。しかしながら本研究の目指す測定の簡易性から考えると、一評価を行う削孔数は少ない方がよい。そこで、少なくとも 3 つの削孔のコンクリート粉を用いることとし、削孔数を 3 とした場合の平均値と削孔数を 6 とした時の平均値を比較した。図-5 は、両者の対応を示したものであるが、両者には大差が認められない。測定結果の多くが $\pm 10\%$ 以内の相違であった。試験の簡便さを重視した判断から一評価に使用する削孔数は 3 とした。

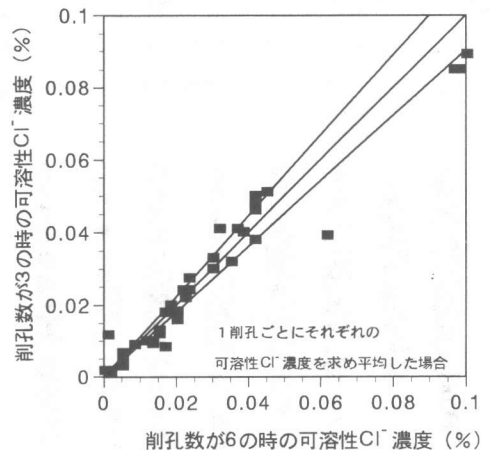


図-5 一箇所の削孔数の違いによる可溶性 Cl^- 濃度 (%) の関係

図-6 は、作業員 2 名で、一箇所の塩化物イオン量試験を行う場合、①削孔数 3 でそれぞれの孔ごとに塩化物イオン量を求め平均値を算出する場合と、②削孔数 3 で粉を削孔時に混合して塩化物イオン量を求める場合の所要時間を示したものである。ここでは、所定の深さの層のコンクリート粉を素早く、正確に採取するため、写真-1 のようにドリルの刃にストッパーを取り付けた。①の混合試料を用いずにそれぞれを最後に平均する場合は約 75 分の測定時間を要し、②の削孔時に粉を混合する場合は約 35 分

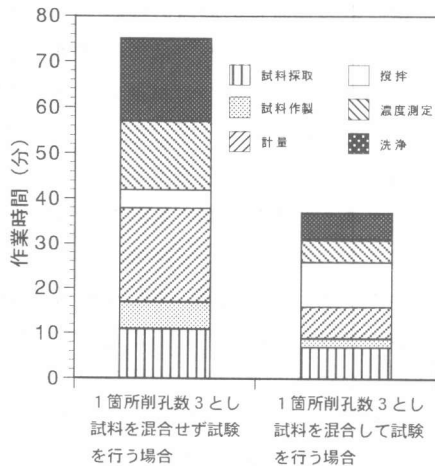


図-6 試料の混合と試験時間の短縮

強の測定時間が必要であった。後者は大幅な時間の削減ができる上、作業が簡略化できる。そこで、原則として、②の3つの孔から得られた粉を削孔時に混合して塩化物イオン量を測定することとした。

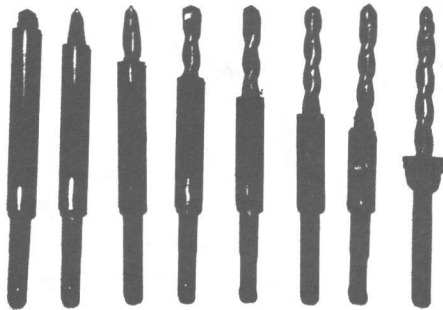


写真-1 ドリル刃に取り付けたストッパー

6. 試験方法案の提案

これまでの検討結果から、「ドリル削孔粉を用いたコンクリート中の塩化物イオン量の現場試験方法」を下記の通り提案する。

ドリル削孔粉を用いたコンクリート中の塩化物イオン量の現場試験方法(案) (A Rapid Field Testing Method for Chloride Ion Content in Concrete using Drilled Powder)

1. 適用範囲

この規格は、ドリル削孔粉を用いて、コンクリート構造物の塩化物イオン量の現場試験方法に適用する。この試験方法は原則として構造体の壁・柱・梁などの垂直面に適用する。ただし、再生骨材を用いたコンクリートには適用できない。

備考 この規格の引用規格を次に示す。

JIS Z 2300 非破壊試験用語
JIS A 0203 コンクリート用語

2. 用語の定義

この規格において用いる用語の定義は JIS Z 2300 および JIS A 0203 によるほか、次のとおりとする。

- (1) 削孔粉：電動式振動ドリルを用い、コンクリートに直径 10mm 程度の孔を削孔した時に生じる粉。
- (2) 可溶性塩化物イオン：硬化コンクリート中に含まれる 50℃の温水に溶解する塩化物イオン。

3. 塩化物イオン量試験技術者

塩化物イオン量試験技術者（以下技術者という）は、コンクリート構造物およびその劣化に関する知識を十分に有している者でなければならない。

4. 関連調査

塩化物イオン量を対象にして試験するが、関連事項として次のことを事前及び塩化物イオン量試験実施の前後に調査する。

- (1) 試験対象構造物の概要：所在地、竣工年、建築面積、床面積、階数、構造物の用途・履歴、周囲の環境条件（特に海岸からの距離、風に関する情報）、方位等
- (2) コンクリート：材料（特に海砂の使用の有無）、調査等
- (3) 試験箇所：構造物の屋内か屋外か。屋外の場合、雨水が直接かかるか、かからないか。
- (4) 仕上材：仕上材の有無、仕上材のある場合、種類およびその厚さ、経過年数、ひび割れ、浮きの有無及び程度。
- (5) その他：塩化物イオン量試験に必要なと思われる事項。

5. 塩化物イオン量試験方法

(1) 試験用器具

電動ドリル：携帯型で、JIS C 9605 に規定される振動式のもの

ドリル刃：コンクリート削孔専用のもので、直径 10mm のもの

ドリルカバー：受け皿とともに用いて、ドリルによるコンクリート削孔粉を全量捕集できるもの

受け皿：ドリル削孔時もしくはドリルカバー脱着時に削孔粉の落下する位置に固定し、落下削孔粉を捕集するための皿

ノギス：JIS B 7507 に規定される最大測定長 150 もしくは 200mm のもの

はけ：幅 30mm 程度のもの

乳鉢：外径 120mm 程度のもの

試験管：φ 18 × 180mm、容量 30ml 程度のもの

試験管台：12 連程度のもの

天秤：秤量 100g、感度 100mg 程度のもの

薬さじ

薬包紙

水：精製水

メスシリンダー：容量 10ml のもの

塩化物イオン抽出装置：携帯型で硬化コンクリート粉の可溶性塩化物イオンを 50℃に保ったまま十分抽出できるもの

ピーカー：50ml のもの

ワイパー：化学分析用のもの

塩化物イオン量測定器：(財) 国土開発技術研究センターの技術評価書を交付されたもの

(2) 試験時の天候

雨が直接当たるとき、風が強いときは試験をしてはならない。

(3) 塩化物イオン量試験の操作

① 試験個所にモルタルあるいはタイルが張ってある場合は予めそれらを剥がし、コンクリート面を露出させておく。

② ドリルとドリルカバー、受け皿、はけを用いて、3つの孔について、所定の深さの層のコンクリート削孔粉を全量採取する。

③乳鉢により採取した削孔粉を指触で粒を感じない程度まで粉碎し、試料とする。

④天秤を用い、コンクリート削孔粉試料を 1.0g 計りとする。

⑤メスシリンダーにより、精製水を 5.00ml 計りとする。

⑥計りとした試料と精製水を試験管に入れ、塩化物イオン抽出装置で、10 分間、可溶性塩化物イオンを抽出する。

⑦試験管の上澄み溶液をピーカーに移し、塩化物量測定器で、水溶液の塩化物イオン濃度をコンクリート(フレッシュコンクリート)モードにて、測定する。

(4) 計算

次式(1)により、コンクリートの単位質量当たりの塩化物イオン量を測定する。結果は有効数字 2 桁まで表す。

$$Clc = Vw / \rho / Wc \times Clm \quad (1)$$

ここで、Clc: コンクリートの単位質量当たりの塩化物イオン量(%)

Vw: 精製水の量 (ml) = 5.0ml

ρ : 水の密度 (g/ml) = 1.0g/ml

Wc: 試料質量 (g) = 1.0g

Clm: 測定塩化物イオン濃度 (%)

6. 修復

試験が終わった削孔に、モルタルあるいはコーキング材を充填する。

7. 安全

技術者の安全確保のため労働安全衛生法を遵守しなければならない。また技術者は適当な時間間隔で、休憩させなければならない。

8. 報告書

報告書には、下記の事項を明記しなければならない。

- (1) 構造物の名称、所在地
- (2) 構造物の概要
- (3) 試験日時、天候
- (4) 試験技術者名
- (5) 試験範囲
- (6) 関連調査結果
- (7) 試験結果
- (8) その他必要事項

なお、報告書は必要な期間保存しなければならない。

7. 実施例

本学部 10 号館の解体に際し、本試験方法を適用した。写真-2 は調査に使用した機器・道具の一式である。ドリル、電気コードリール、Y 社製塩化物イオン測定器以外の必要な機器・道具を全て収納する収納箱の寸法は、約 45 × 60 × 40cm であり、質量は約 23kg



写真-2 調査に使用する機器・器具

であった。また、ドリル、電気ドラムはあわせて約 8 kg、Y 社製塩化物イオン測定器は約 6 kg であり、総質量は 40kg を下回った。

図-7 は、調査一箇所(8 層(表面から 1 cm ごと))の塩化物イオン量を作業員 2 名で測定する場合の試験の工程を示したものである。本方法により、調査現場で、一箇所(8 層)の塩化物イオン量の測定がおおよそ 90 分で行えた。所定深さの層のみ 8 箇所測定する場合もこの時間に準じて実施できるものと思われる。

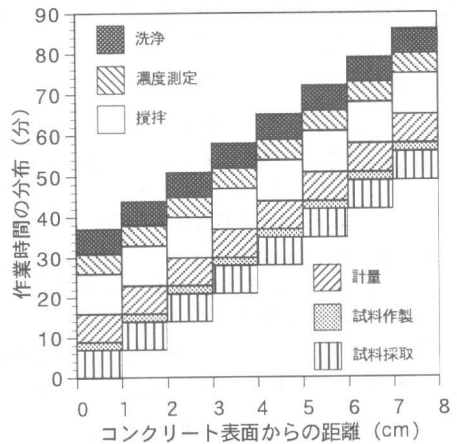


図-7 試験の工程（作業員を 2 名とし、一箇所削孔数 3 で試料を混合した場合）

図-8 は、コアを用いた方法で測定された塩化物イオン量とドリル削孔粉を用いた方法で測定された塩化物イオン量を比較したものであ

る。ドリル粉を用いた測定値が若干大きいものの、中性化により塩化物イオンが減少する傾向も合致し、含有塩化物イオン量をおおよそ評価することが可能であった。本方法は塩化物イオン量の第1次調査に最適な方法と考えられる。

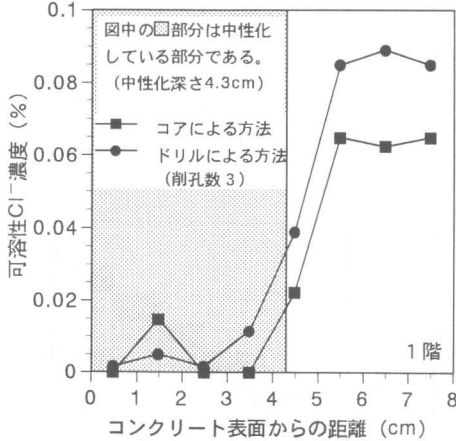


図-8 コアによる方法とドリルによる方法の可溶性Cl⁻濃度比較(本学部10号館1階壁による測定例)

なお、ドリル削孔粉を用いた場合、測定される塩化物イオン量が多くなる理由は、筆者らの既往の研究の図-9¹⁾から判断すれば、削孔試料中には、コンクリートコア試料に比し、塩化物イオンが吸着しやすいセメントペースト量が、骨材に比し、多いためと推定される。写真-3²⁾にみられるように、ドリルの刃は、骨材をよけ、セメントペースト部を多く削る傾向がある。

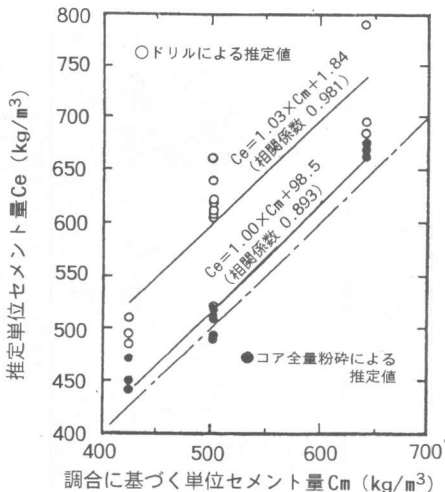


図-9 単位セメント量の調査値と推定値



写真-3 ドリルによる削孔状況

8. まとめ

本研究の結果をまとめると、次の通りである。

- ①試作したドリルに装着するカバーを用い、削孔粉を全量採取することが可能である。
- ②携帯型塩化物抽出装置を試作した。抽出のための攪拌時間は10分でよい。
- ③削孔数は、一箇所あたり3とし、これら3つの削孔から得られたコンクリート粉を混合して試料とする。
- ④「ドリル削孔粉を用いたコンクリート中の塩化物イオン量の現場試験方法 (A Rapid Field Testing Method for Chloride Ion Content in Concrete using Drilled Powder)」を提案した。
- ⑤本試験方法を適用すれば、作業員2名で、8試料の塩化物イオン量をおおよそ90分で、試験することが可能である。
- ⑥ドリル削孔粉を用いた場合、コアを用いる場合に比し、セメントペースト部を多く削るため、若干塩化物イオン量が大きくなる傾向がある。
- ⑦提案した試験方法は、第1次調査に適した方法として位置づけられる。

【謝辞】本研究を実施するにあたり、本学大学院生野中英君の協力をいただいた。記して謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 笠井芳夫・松井勇・湯浅昇：簡易な試験による構造体コンクリートの品質評価の試み、セメント協会、セメント・コンクリート、No.559, pp.20-28, 1993.9
- 2) 後藤祐司・古賀文俊、坂本香、高橋幸三：コンクリート構造物の耐久性評価に関する2、3の手法について、セメント協会、セメント技術年報、No.38, pp.321-324, 1984
- 3) 永野宏雄・上條達幸・平田隆：塩分調査のスピードアップ化への二、三の試み、セメント協会、セメント・コンクリート、No.492, pp.2-10, 1988.2
- 4) 笠井芳夫・松井勇・湯浅昇：構造体コンクリートの簡易な品質調査方法に関する研究(その2調査方法の検討)、日本大学生産工学部第23回学術講演会、pp.45-48, 1990.12