

塩害補修工事へのハンディ型蛍光 X 線分析装置の適用に関する検討

鹿島建設(株) 正会員 ○荒川 遥 向 俊成 渡邊有寿 渡邊賢三 坂井吾郎

1. 背景

コンクリート構造物への塩分の浸透状況を確認する方法として、一般的には JIS A 1154 に則った塩化物イオン濃度の測定が行われる。しかし、この方法の課題として試料採取から分析結果を得るまでに数日かかることや、コア採取によって構造物を傷つけることが挙げられる。一方、蛍光 X 線法は試料に X 線を照射することにより発生する蛍光 X 線を測定し、含有元素を分析する方法である¹⁾。写真-1 にハンディ型蛍光 X 線分析装置を示す。1 回の測定時間が 3 分程度の短時間、かつ非破壊もしくは微破壊にて測定が可能である（以下、蛍光 X 線法と称す）。この利点を活かし、コンクリートの塩害劣化診断を合理化する技術として過去にも本分析装置を塩化物イオン濃度測定に活用する試みがなされている²⁾。



写真-1 ハンディ型蛍光 X 線分析装置（表面法）

2. 目的

筆者らは塩害補修工事における塩化物イオン濃度の調査の合理化と品質確保に寄与することを目的として、蛍光 X 線法の活用方法を 3 つのステップで想定した（図-1）。第 1 ステップでは、コンクリート構造物の表面を蛍光 X 線法で測定することで表面塩化物イオン濃度を把握する（以下、表面法と称す）。この分析を従来の目視調査や打音検査と組み合わせることで、詳細分析範囲を把握し、得られた結果を目安に詳細分析用の微破壊試験数やはつり面積の合理化（スクリーニング）を図る。第 2 ステップでは、構造物から微破壊でドリル粉を採取し、蛍光 X 線法で塩化物イオンの濃度分布を定量評価する（以下、ドリル粉法と称す）。従来と比べて短時間かつ簡易的にはつり面積と深さを決定する。第 3 ステップでは、はつり作業後すぐに現位置にてドリル粉法を実施することにより、所定の塩分除去が確実になされているかを確認する。なお、ドリル粉法を実施する際は精度の確認やキャリブレーションのため、電位差滴定法を事前に実施することを前提としている。

ハンディ型蛍光 X 線分析装置による表面法とドリル粉法により、上述した 3 ステップの活用方法が実現できれば、図-1 のように塩害補修工事における塩化物イオン濃度の調査の合理化と品質確保が可能となる。本稿では蛍光 X 線法の精度確認と実用化を目的に、実構造物を対象とした測定を実施し、電位差滴定法による測定結果と相関性を比較検討した。

3. 検討概要

凍結防止剤が散布されてきた供用約 35 年のコンクリート PC 箱桁橋の上部工と下部工において、塩害劣化が生じていると思われる箇所を対象に蛍光 X 線法（表面法とドリル粉法）と電位差滴定法により塩化物イオン濃度を測定した。なお、本橋のコンクリートのセメント種類および水セメント比は、上部工は早強ポルトランドセメント、38.4%、下部工は普通ポルトランドセメント、44.7%であった。ここから算出される鉄筋腐食発生限界濃度は、上部工で 2.06kg/m^3 、下部工で 1.75kg/m^3 となる³⁾。

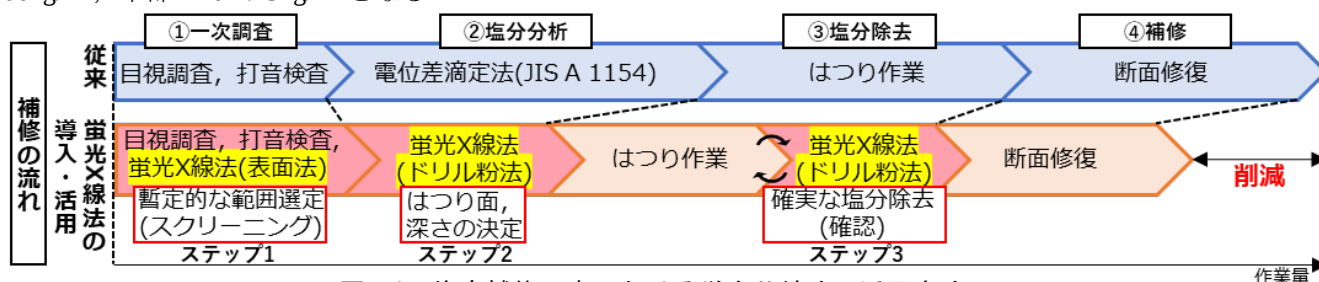


図-1 塩害補修工事における蛍光 X 線法の活用方法

キーワード：塩害調査、ハンディ型蛍光 X 線分析装置、蛍光 X 線、電位差滴定法、ドリル粉

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-489-6736

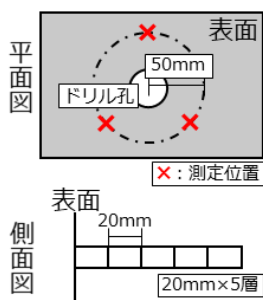


図-2 測定位置

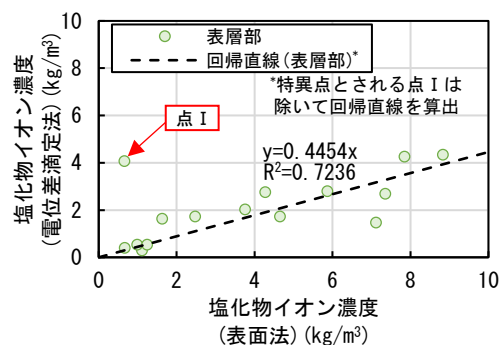


図-3 測定結果（表面法）

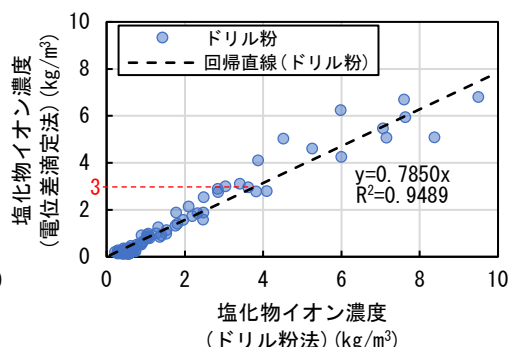


図-4 測定結果（ドリル粉法）

まず、表面法によって写真-1に示すように X 線を構造物表面に直接照射し、コンクリート表面から数百 μm ～ 1 mm 程度の表層部の塩化物イオン濃度を非破壊にて測定した。測定位置は後に実施するドリル削孔位置を中心に 50mm 離れた 3 箇所とし、その平均値を測定結果とした（図-2：上）。表面法は構造物の表面状態による影響を受けやすいため、表層の汚れ等を除去して測定を実施した。次にドリル粉法では、ドリル削孔により粉体試料を表面から深度方向に 20mm/層×5 層分採取し、蛍光 X 線法により試料中の塩化物イオン濃度を測定した（図-2：下）。なお、測定時間は両手法とも X 線の照射時間を 60 秒間とした。同時に、ドリル粉法にて採取した試料をさらに粉碎して硝酸に溶解させ、電位差滴定法により塩化物イオン濃度を測定した。本稿ではこの測定値を正值とみなした。

4. 検討結果および考察

図-3 に表面法と電位差滴定法による塩化物イオン濃度の測定結果を示す。電位差滴定法では、深度 20mm までのコンクリート層を表層部とみなして結果をプロットした。破線は結果について原点を通る回帰直線を示したものであるが、これを用いることでコンクリート表面における塩化物イオンの有無を識別でき、はつり面積および詳細分析範囲を暫定的に選定する技術としての活用が見込めると判断された。ただし、点 I では正值が約 4.0kg/m^3 であるが、表面法の測定結果では約 0.7kg/m^3 を示すように、表面法による測定結果が過小評価となる点の一部が見られた。これは、降雨等による表層部で塩化物イオンが洗い流され、表面法では検知できなかったことが原因の 1 つとして考えられる。測定位置の環境条件および近傍の複数点の結果から総合的に評価し、詳細分析の対象範囲を選定する必要がある。

図-4 にドリル粉法と電位差滴定法による塩化物イオン濃度の測定結果の関係を示す。なお、両手法に用いたドリル粉は同一のものである。ドリル粉法による測定結果は電位差滴定法による結果と近い値を示しており、特に 3.0kg/m^3 以下の範囲では高い相関が認められた。以上より、鉄筋腐食発生限界濃度が 2.0kg/m^3 程度と推定される本橋では、電位差滴定法と同程度の精度で深さ方向の塩化物イオン濃度が測定可能であると考えられる。また、はつり作業後に確実な塩分除去がなされていることを確認する技術としてもドリル粉法は有効な手法といえる。

なお、図中に示した表面法とドリル粉法の回帰直線の傾きは 2 倍程度の相違が確認される。これは、測定対象が固体または粉体であり、かさ比重が異なることが原因であると考えられる。コンクリートの単位体積重量による相違も考えられるため、蛍光 X 線法を活用する際は事前に検量線を確認し、補正値を定めることで精度の向上が図れるものと思われる。

5. 結論

本稿ではハンディ型蛍光 X 線分析装置を活用した蛍光 X 線法と電位差滴定法による塩化物イオン濃度の測定結果を比較し、相関性を検討した。表面法は、塩化物イオン濃度が識別可能であり、調査範囲を絞り込む技術として期待できる。また、ドリル粉法は塩化物イオン濃度が約 3.0kg/m^3 以下の範囲で電位差滴定法と特に高い相関性が認められ、はつり面積や深さの決定、およびはつり後の塩分除去状況を確認する技術として有効な精度を備えている。蛍光 X 線法を活用することで、塩害補修工事における調査の合理化と品質確保に寄与することが期待できる。

参考文献

- 1) 社団法人日本分析機器工業会：分析機器の手引き，2020
- 2) 金田尚志，魚本健人：塩化物測定用ポータブル型蛍光 X 線分析装置の開発，コンクリート工学年次論文集，Vol29，No.1，pp1095-1100，2007
- 3) 土木学会：2017 年制定 コンクリート標準示方書【設計編】