

近赤外分光法を用いた塩化物イオン濃度の現地測定

フジタ建設コンサルタント 正会員 ○山本晃臣 インフラリサーチ フェロー 郡政人
フジタ建設コンサルタント 非会員 山川和輝

1. はじめに

著者らは、塩害環境下にあるコンクリート構造物の効率的な診断手法の確立を目的として、近赤外分光法による反射型の測定法を用いて、供試体実験や実構造物を対象とした実験により、モルタルおよびコンクリート中に含まれる塩化物イオン（以降、 Cl^- と記述する）濃度の推定手法について検討を行ってきた。その結果、セメント種類（普通ポルトランドセメント、高炉セメント）、細骨材種類、塩分種類（ NaCl 、 CaCl_2 ）、および塩分浸透形態（内在塩分供試体、塩水浸漬供試体）が異なる場合においても、ドリル穿孔による穿孔先端面の吸光度スペクトルを測定することで、モルタルおよびコンクリート中に含まれる全 Cl^- 濃度を精度よく推定することが可能であることを明らかにしている。

本稿では、北陸地方整備局において実施された「鉄筋コンクリートならびにプレストレストコンクリート構造物のかぶり部における塩化物イオン含有量の非破壊・微破壊調査が可能な技術」の試行調査結果を報告する。

2. 近赤外分光法

近赤外分光法は、近赤外領域（波長 800～2,500nm）の光を対象物に照射し、透過あるいは反射光の吸収に基づく分光法である。近赤外光はエネルギーの低い電磁波を用いるため、試料を損傷することがほとんどなく、様々な状態にある試料の測定に適用することができる。また、装置の自由度が高く、1回の測定が1秒以下の短時間で行えることから、建設分野においても現位置の非破壊・微破壊診断手法として注目されている。図-1には、著者らが採用している本手法の測定概念を示す。本手法は、表面付近の中性化の影響を小径ドリルにより排除し、穿孔先端面を測定する微破壊検査である。

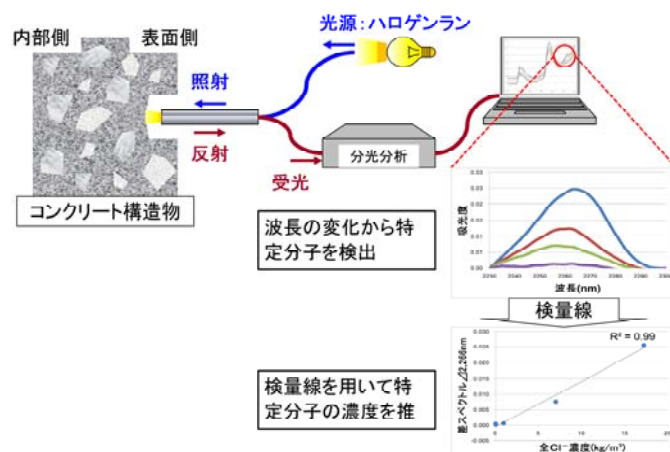


図-1 本手法の測定概念

3. 試行調査の概要

試行調査では、従来技術である「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）」と同等程度の計測が可能で、かつ、構造物への負荷影響が少ない技術として図-2の要求性能が示さ

- | | |
|---|---|
| ① | 計測可能深度：コンクリート表面から 90mm 以上（橋梁下部工）
コンクリート表面から 70mm 以上（橋梁下部工以外） |
| ② | 計測可能塩化物イオン量：0～2.5kg/m³程度 |
| ③ | 計測可能頻度：コンクリート表面から深さ方向に1cm 毎 |
| ④ | 計測精度（分解能）：0.1kg/m³単位 |
| ⑤ | 調査条件：非破壊もしくは微破壊の場合、小径コアφ50mm 以下 |

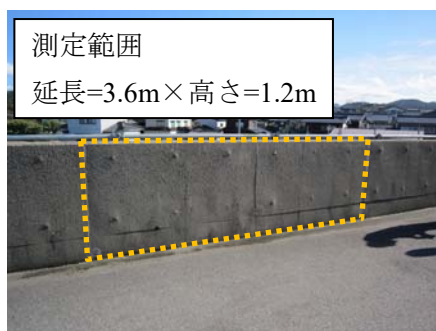
図-2 要求性能

れている。要求性能の確認は、新潟県村上市府屋の一般国道7号の海岸部に位置する府屋大橋（1981年完成）において、海側に面した歩道部のコンクリート壁高欄側面を対象とした現場技術検証が行われた。

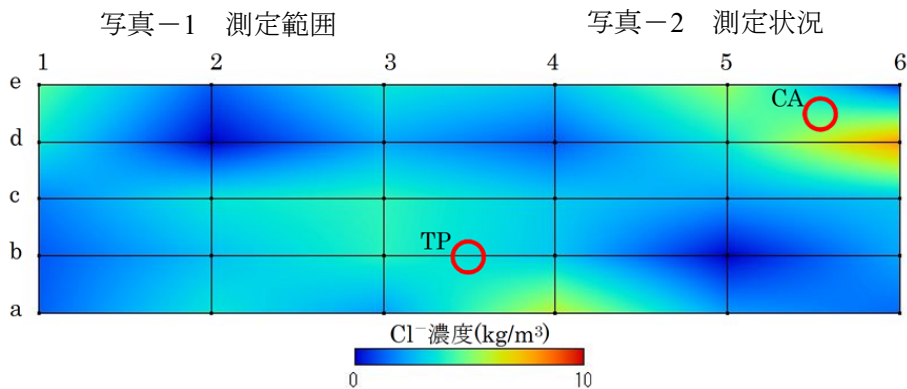
本手法を用いた測定では、2段階の調査方法（1次診断・2次診断）を採用している。1次診断では、構造物表面付近の中性化部や付着物の除去（数mm～数cm）を行い、測定範囲内に設定した格子状の交点毎に吸光度スペクトルを測定し、濃度マッピング（以降、面分析と記述する）によって詳細調査箇所を抽出する。2次診断では、面分析で抽出された詳細調査箇所に対して、3～4孔の調査孔（粗骨材最大寸法により設定）を選定し、構造物表面から深さ方向にφ25mmのハンマードリルにて10mm間隔（任意間隔で設定可能）に穿孔しながら、深度毎に穿孔先端面の吸光度スペクトルを測定する。この測定データを用いて、予め作成済みの検量線により深さ方向の全 Cl^- 濃度分布の推定を行うものである。

4. 試行調査の結果

写真－1 に試行調査での測定範囲、写真－2 に測定状況を示す。1次診断は、測定範囲内に設定した格子状の交点(延長方向 60cm 間隔、高さ方向 20cm 間隔)毎に吸光度スペクトルの測定を行った。



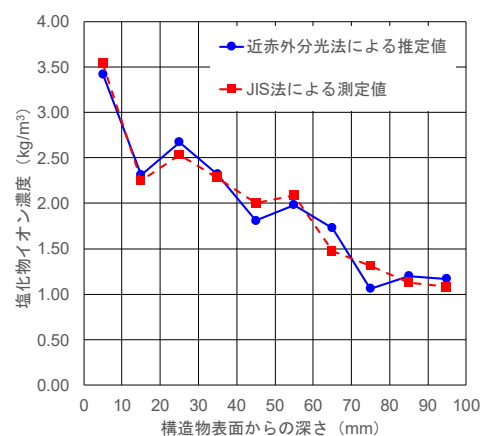
図－3 に 1 次診断における面分析の結果を示す。測定対象の壁高欄には鉄筋腐食などの外観上の変状は認められず、壁高欄としての機能は確保されているが、全体的に塩分が分布している状況が確認された。なお、面分析の結果からは複雑な塩分の分布状況が見られるが、これについては、対象構造物周辺の海側に導流堤や護岸が設置されているため、時々刻々と風向きが変化することで様々な塩分供給の状況が生じたものと推察される。



図－3 1次診断結果

ここで、2次診断用の詳細調査箇所としては、面分析の結果から相対的に濃度の高い2箇所（CA はキャリブレーション用、TP は試行調査用）を選定した。

2次診断では、図－3 で選定した CA 位置において 4 孔の調査孔を設定し、構造物表面から深さ方向にφ25mm のハンマードリルにて 10mm 間隔に穿孔しながら、深度毎に穿孔先端面の吸光度スペクトルを測定した。また、測定に併せてドリル穿孔時の粉体試料を採取し、JIS 法による全 Cl^- 濃度の測定を行った。これらの測定結果を用いて式 (1) に示す重回帰分析を行い、TP 位置における全 Cl^- 濃度を求めるための検量線を作成した。



図－4 2次診断結果 (TP)

図－4 には、式 (1) で得られた検量線から算出した TP 位置における全 Cl^- 濃度の推定結果を示す。また、推定精度を検証するため、CA 位置と同様の方法で採取した粉体試料による JIS 法の測定結果を併せて示す。両者の全 Cl^- 濃度分布は全体的に一致しており、本手法を用いることで従来技術と同程度の精度が得られることが確認できた。今回の試行調査では、JIS 法による全 Cl^- 濃度の測定以外の現地作業を 1 日で完了しており、現地作業では既往研究の測定データから作成した簡易的な検量線を用いて全 Cl^- 濃度の推定を行っている。この方法は、重回帰分析の結果に比べて精度はやや劣るものの、相対的な塩分濃度把握や現地作業での速報値として利用できる。このように、調査内容に応じて本手法を使い分けることで、塩害環境下にあるコンクリート構造物の効率的な劣化診断に寄与できるものと考えている。

$$C_{\text{total}} = a + b \cdot A_{1,412} + c \cdot A_{1,430} + d \cdot A_{2,230} + e \cdot A_{2,252} + f \cdot A_{2,266} + g \cdot A_{2,290} \quad \dots \text{式 (1)}$$

ここに、 C_{total} : 全塩化物イオン濃度 (kg/m^3) 【目的変数】

$a \sim g$: 切片および定数

A_n : 波長 n (nm) における吸光度 【説明変数】

謝 辞：本調査は、国土交通省の新技术活用システムにおけるテーマ設定型（技術公募）として実施し、評価登録が NETIS 維持管理支援サイトに掲載されています。ここに記して感謝の意を表します。