

## 蛍光 X 線分析計によるコンクリート構造物の塩分評価手法に関する検討

日本大学工学部 非会員 ○林寛人 木村祥太 学生会員 相内豪太

日本大学工学部 正会員 前島拓 フェロー 岩城一郎

東北大学未来科学技術共同研究センター 非会員 面政也

### 1. はじめに

海岸地域や積雪寒冷地に建設されている鉄筋コンクリート構造物は、海からの飛来塩分や凍結防止剤などの影響により、塩害による鉄筋腐食に起因する早期劣化が顕在化している<sup>1)</sup>。塩害が疑われる構造物については、構造物表面および内部の塩化物イオン濃度を測定し、適切な診断、対策を行うことが重要である。しかし、現行のコア抜き法やドリル法（写真-1）をはじめとする一般的な塩化物イオン濃度測定方法は、労力とコストが掛かる上に、データを取得するまでに時間を要するという問題がある。一方、近年では、短時間で塩分濃度を評価可能なハンディ型の蛍光 X 線分析計（写真-2）が開発され、塩害調査におけるスクリーニングへの活用が期待されている。しかし、ハンディ型蛍光 X 線分析計の主な用途は合金や土質の成分の元素分析であり、コンクリート中の塩化物イオン濃度についての測定手法は未だ確立されていない。当研究室ではこれまでに、塩分を含有したコンクリート供試体を作製し、コンクリートの表面塩化物イオン濃度について蛍光 X 線分析法と従来の評価手法であるイオンクロマト分析法（以下、IC 法）との関係について整理を進めてきた。その結果、両者に高い相関が確認され、ハンディ型蛍光 X 線分析計によってコンクリート表面の塩分評価が可能であることを示した。そこで本研究では、実構造物での表面塩化物イオン濃度の計測を行うとともに、現地におけるコンクリート内部の塩分評価方法について検討した。

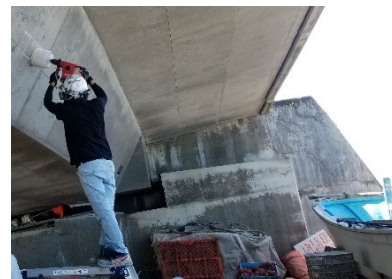


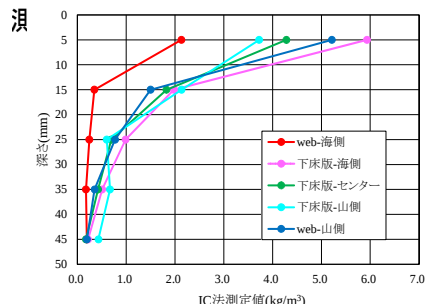
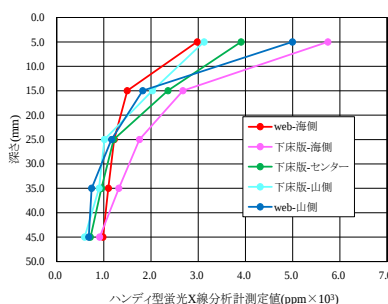
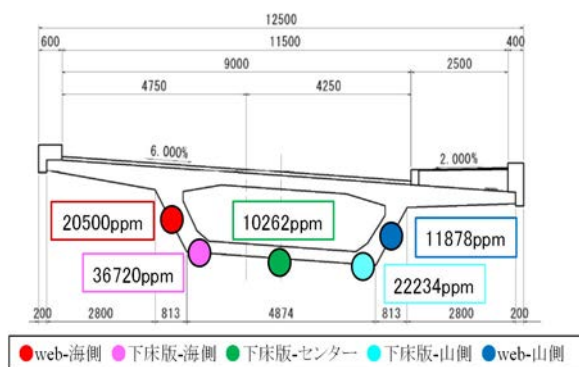
写真-1 ドリル法による削孔状況



写真-2 ハンディ型蛍光 X 線分析計

### 2. 実構造物内部の塩分評価方法に関する検討

山形県内の沿岸地域で供用されている PC 箱桁橋を対象として、蛍光 X 線分析計により RC 構造物表面の塩分濃度を評価した。また、現地における構造物内部の新たな塩分評価方法として、表面塩分濃度を計測した箇所でドリル法により表面から 50mm まで 10mm 間隔で採取したコンクリート粉末試料に対する X 線分析を実施した。図-1 に調査箇所を示す。なお、図中には蛍光 X 線分析計で計測した表面塩分濃度 (ppm) を示している。本検討では箱桁のウェブおよび下床版を対象とし、計 5 点について塩分濃度を評価した。図より、海側の下



(a) ハンディ型蛍光 X 線分析計測定値 (b) IC 法測定値

図-2 深さ方向の関係

床版で著しく高い塩分濃度を示したが、山側の下床版においても高濃度の塩分が検出された。図-2にはドリル法に

キーワード 蛍光 X 線分析計、微破壊検査、塩化物イオン濃度

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 日本大学工学部土木工学科 TEL024-956-8721

より採取した粉末試料を用いた塩分分析結果を示す。なお、図(b)には同試料を用いた IC 法の計測結果を併記している。図より、表面から 5mm 時点の塩分濃度について計測箇所と比較すると、図-1 に示した表面の塩分濃度とは傾向が一致しておらず、表面の塩分濃度から構造物内部の塩分浸透状況を予測することは難しい。一方、ハンディ型蛍光 X 線分析計と IC 法の測定結果を比較すると、塩分濃度分布は概ね一致しており、ドリル法により採取した粉末試料に対して X 線分析を行うことで、構造物内部の塩分プロファイルが概ね評価可能であることが示された。また、本実験における X 線分析は 1 試料あたり 20 秒で塩分濃度を測定しており、ドリル法と X 線分析を組み合わせることで従来の評価方法よりも簡易かつ早期に構造物内部の塩分を評価し得るものと考えられる。

### 3. 蛍光 X 線分析計による塩化物イオン濃度の推定

図-3 にハンディ型蛍光 X 線分析計と IC 法の測定値の関係を示す。なお、図中のデータは山形県内の沿岸地域で供用される 2 橋からドリル法で採取した粉末試料を用いた塩分評価結果(全 95 点)である。図より、両者の相関係数

( $R^2$  値) は 0.97 と極めて高い値であり、蛍光 X 線分析結果から塩化物イオン濃度を推定し得ることが示された。しかし、塩化物イオン濃度が  $3\text{kg/m}^3$  以下の比較的低濃度領域においては、蛍光 X 線分析では過大に評価する傾向が示された。そこで、低濃度領域における評価の妥当性について検証するため、水セメント比(40%, 50%, 60%)をパラメータとした供試体を作製し、蛍光 X 線分析計を用いて供試体表面の塩分濃度を評価した。図-4 に計測結果を示す。図より、蛍光 X 線分析の測定値は水セメント比、すなわち単位セメント量の大小程度では明確な差異は認められず、概ね 1200ppm 程度であった。そこで、本実験結果の平均値である 1219ppm を外来塩の影響のない普通コンクリートにおける標準的な塩分濃度と位置付け、図-3 の各データから 1219ppm を減じて補正した結果を図-5 に示す。現地における蛍光 X 線分析結果を近似式に代入することで、より精緻にコンクリートの塩化物イオン濃度を推定することが可能となると考えられる。

### 4. まとめ

本研究では、ハンディ型蛍光 X 線分析計を用いた実構造物の塩分評価手法について実験的に検討した。その結果、ドリル法により採取したコンクリート粉末に対して蛍光 X 線分析を行うことで、従来の分析手法よりも低コストかつ簡易に塩分評価が可能であり、現地において構造物内部の塩分プロファイルが取得可能であることを示した。また、蛍光 X 線分析計の測定値からより精緻に塩化物イオン濃度を評価するため、室内試験により得られた外来塩の影響のないコンクリートの塩分濃度を基準とした推定式を示した。今後は、実構造物におけるデータを蓄積し、推定式の精度向上を図り、現地における計測方法の手引きを作成するなど、実用化に向けた準備を進める予定である。

【謝辞】本研究の一部は令和 3 年度 NEXCO 東日本技術研究助成を受けて行われました。ここに記して謝意を表します。

#### 【参考文献】

1) 飯土井剛ほか:水の作用に着目した既設道路橋 PC 上部構造の維持管理手法に関する一提案,構造工学論文集 Vol.67A(2021 年 3 月)

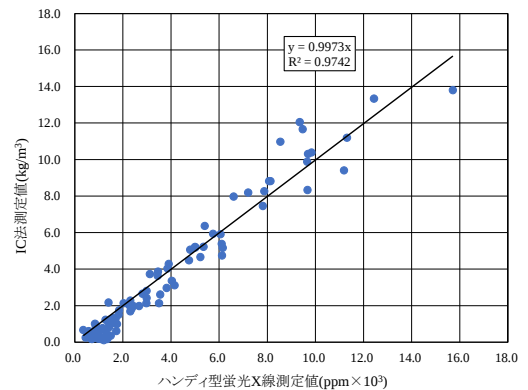


図-3 IC 法と蛍光 X 線分析計による塩評価結果

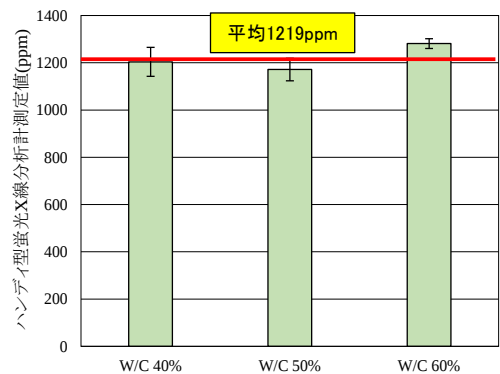


図-4 コンクリート表面測定値

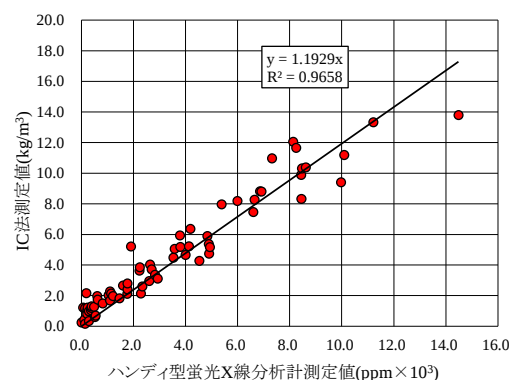


図-5 塩分評価(補正後)