

# 道路橋の長寿命化のための調査・対策技術に関する研究（1）

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 30～令 3

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：石田雅博、吉田英二、佐藤純弥

## 【要旨】

予防保全を目的とした点検における塩分量調査箇所の適切な選定方法の提案に向けて、竣工後 46 年が経過し塩害を受けた実橋に対して、近赤外分光法、蛍光 X 線分析法を用いた非破壊塩分量調査を行った。調査の結果、近赤外分光法によって桁全体の塩分濃度分布を定性的に把握できること、蛍光 X 線分析法による計測値とふき取り法による塩分量分析値は相関関係があること、およびコンクリート内部における蛍光 X 線分析法による計測値が電位差滴定法による塩分量分析値と概ね一致する傾向であることを確認した。

キーワード：簡易的な非破壊検査手法、予防保全、塩害、実橋調査

## 1. はじめに

コンクリート橋において、塩害は最も深刻な劣化要因の一つである。塩害による劣化の進行により外観変状が現れた時点で補修を施しても完全に元の状態に戻すのは困難であり、橋としては既に重篤な状態にあるものと判断される。

近年、コンクリート橋のなかでも、プレストレストコンクリート橋（以下、PC 橋）の塩害による劣化が顕在化してきており、既に膨大な数の PC 橋が供用されているなか、将来的に劣化が進行する前に予防保全的な維持管理を行うことは極めて重要である。

塩害の対策としては、1984 年に「道路橋の塩害対策指針（案）・同解説<sup>1)</sup>」が暫定指針として初めて示され、設計・材料の選定及び施工の各方面にわたって十分な配慮がなされている。以降においても 2002 年に道路橋示方書が改定され、最小かぶりの見直しが行われるなど、塩害による被害の実態を踏まえ、適宜基準の見直しが行われてきた。また、2004 年にはコンクリート橋の塩害に関する特定点検要領（案）<sup>2)</sup>（以下、特定点検）が定められ、コンクリート橋への塩分の浸入状況を定期的に点検するとしている。しかし、1984 年以前に建設された橋梁については、現行基準で建設された橋梁に比べかぶりがうすく、劣化の進行程度が極端に早い傾向にある。そのため、特定点検に基づき、定期的なコア採取による塩分量の検査を行うことが予防保全的な維持管理を行ううえで特に重要である。このように、特定点検により塩分量の定量的な結果の入手が可能であるが、採取位置によって塩分量が大きく異なる場合がある。また、環境条件や構造形式などによっ

ても付着塩分量が異なること<sup>3)</sup>が知られているため、検出された塩分が必ずしも橋の代表値とは限らない。

したがって、構造物全体から塩分量の代表箇所を早期に見つけ、予防保全的な対策につなげるためには、スクリーニング的な手法の提案が必要と考えられる。特に構造物の損傷を最低限にするため、近年では非破壊・微破壊検査手法を用いた劣化予測手法の研究が進んでいる（例えば<sup>4)</sup>）。しかし、それらの調査手法について、実橋を対象に付着塩分量およびコンクリート内部の塩分量の状態を一連で評価した事例は極めて少ない。

そこで、本研究では塩害地域に位置した橋梁を対象として、現地で簡易的に測定が可能な非破壊・微破壊塩分量調査手法を用いた調査手法の一提案を行うことを目的に、塩害により劣化した既設 PCT 桁橋を対象とした非破壊・微破壊調査を実施した。

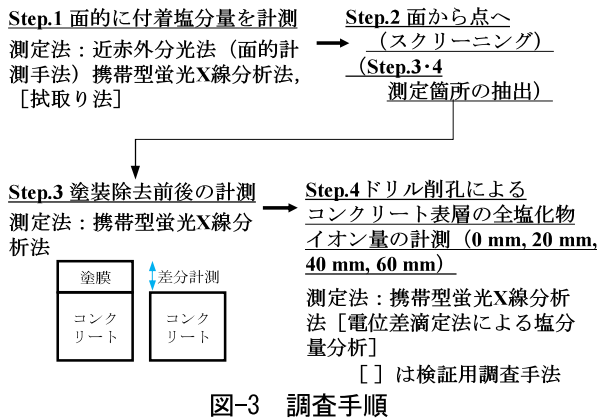
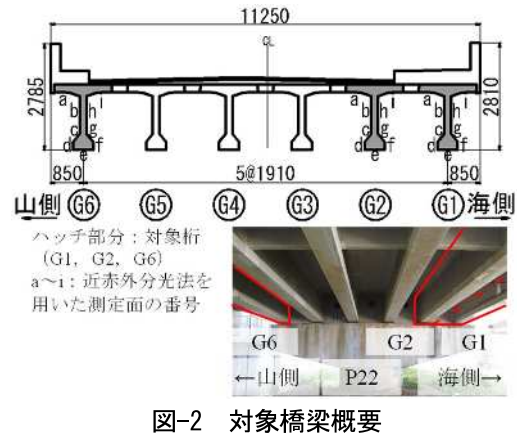
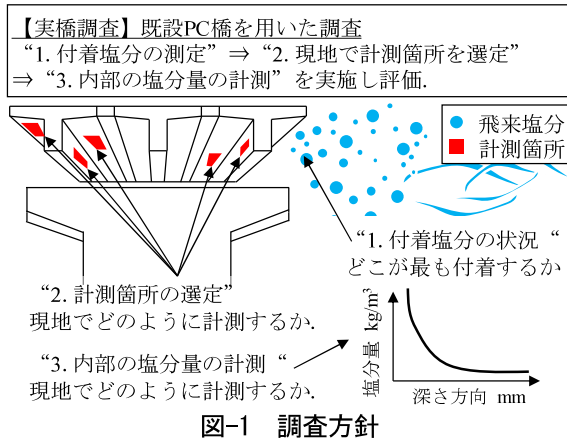
## 2. 実橋に対する簡易的な非破壊・微破壊塩分量調査

### 2.1 調査方針

図-1 に調査方針を示す。実務上は、桁全体のどの箇所にどの程度の塩分が付着しているのか判断した上で、非破壊・微破壊手法などを用いて調査すべき箇所を決定するという流れが理想であり、本調査ではこのようなスクリーニング的な手法を提案するために各調査手法の測定精度を確認した。

### 2.2 対象橋梁概要

図-2 に本調査の対象橋梁概要を示す。本橋は対策区分 S 地域<sup>5)</sup>の日本海沿岸に位置する。構造形式は PC 単純 T 桁橋である。塩分の付着状況の違いを確認するため、対象桁は海側に位置する G1 桁、内桁の G2 桁お



よび山側に位置する G6 桁とした。なお、本橋は 1975 年に竣工された後、1994 年に全面塗装された。現在、本橋は通行止めになっており、新橋に架け替えられている。

### 2.3 簡易的な非破壊塩分量調査手順

図-3 に本調査で実施した非破壊塩分調査手順を示す。本調査で用いた近赤外分光法<sup>6)</sup>および携帯型蛍光 X 線分析法<sup>7)</sup>は、付着塩分量を現地で確認できる。この特徴を生かし、本研究では、近赤外分光法を用いて面的に計測した後、塩分量が比較的多い箇所を現地で抽出し、深さ方向の塩分量を蛍光 X 線分析法により計測した。

図-3 に示す検証用調査は、近赤外分光法および蛍光 X 線の測定値を評価することを目的としている。拭取り法は、「鋼道路橋防食便覧」に示す方法<sup>8)</sup>に準じた。塩分量調査は、JIS A 1154 に準じた。調査で用いた非破壊・微破壊調査機器を図-4 に示す。図-3 に示す付着塩分量の計測において、図-4 (a) のコンクリート表面全体を計測可能な近赤外分光法による測定機器を用いた。また、表面および内部の塩分量の計測においては、図-4 (b) の蛍光 X 線分析法による測定機器を用いた。なお、調査は約 2 週間かけて実施した。

### 2.4 付着塩分量の調査結果

近赤外分光法の測定結果を図-5 に示す。図-5 より、内桁の G2 桁の横桁付近、上フランジ、ウェブおよび下フランジテーパ部<sup>9)</sup>の付着塩分量が多い傾向にあった。これは、飛来塩が G1 と G2 間で滞留が生じた<sup>8)</sup>ことが要因と考えられる。この調査結果をもとに付着塩分量が多かった G2 桁から 7 箇所、G1 および G6 桁から 4 箇所の計 15 箇所を抽出した (図-5 の黒枠)。

図-6 に検量線、図-7 に近赤外線分光分析および蛍光 X 線分析法測定値に対して検量線を用いて換算した付着塩分量と拭取り法による分析値の関係を示す。図-6 に示す検量線は No.6 を異常値として除外し拭取り法による計測値を正として作成した。なお、図-6 (a) の近赤外分光法出力値は、別途塗装がない試験体の表面削り粉の塩分量分析値から求めた検量線から算出した値である。この出力値に対して拭取り法により補正した値が図-7 の付着塩分量である。計測箇所は、近赤外線分光法の出力値が濃い、中程度、薄い状況を示す 3 点とした (図-5 中白枠補正 1、2、3)。また、図-6 (b) の蛍光 X 線分析法出力値は、試料に含まれる全元素の中に占める塩素の割合を出力した値 (ppm) (以下、測定値) の拭取り前後の差を示している。この測定値の

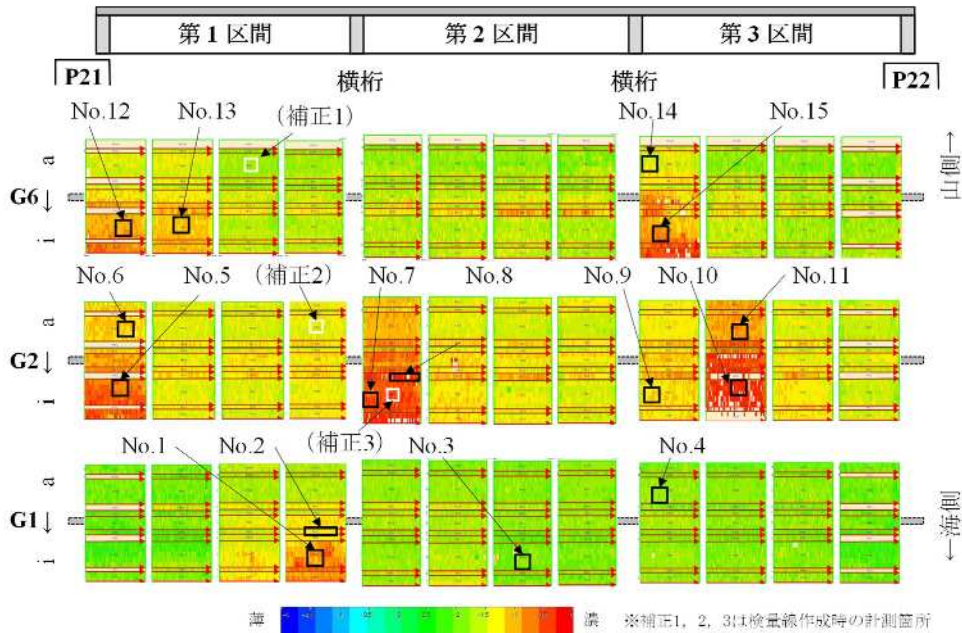


図-5 近赤外分光法測定値（補正前）

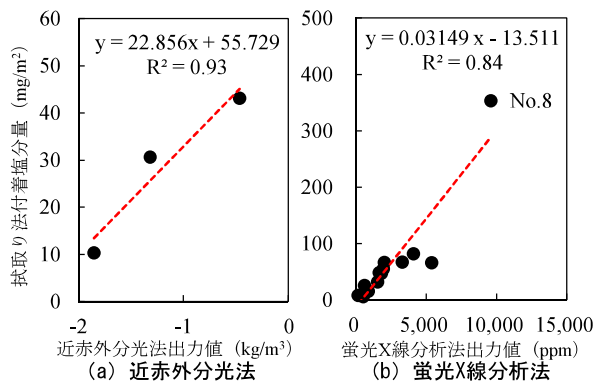


図-6 検量線

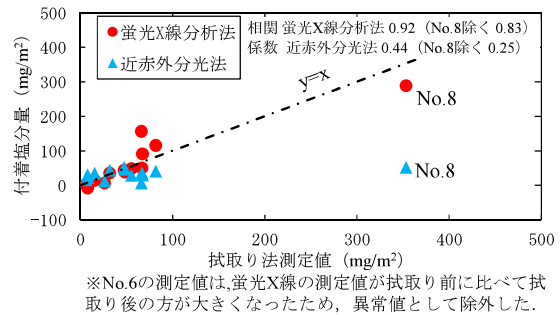


図-7 付着塩分量測定値の相関関係

差に対して拭取り法により補正した値が図-7の付着塩分量である。図-7の負の付着塩分量は、実用上ゼロとするなどの対応も考えられるが、本検討では調査結果の傾向分析として位置付け、特別な処理を行わないこととした。

図-7より、拭取り法の分析値に対し蛍光X線の分析値は正の相関関係にあり、分析値が概ね一致する傾向にある。ただし、他の測定箇所比べて明らかに大きいNo.8の分析値を除外した場合には、相関係数が低下する傾向がみられた。

図-8に、図-6の検量線を用いて補正した近赤外分光法による分析値を示す。本調査法は、機器の検量線が塗膜上の塩分を想定していないため、条件に合わせた検量線を別途作成する必要がある。ただし、本検討では、近赤外分光法の測定値を拭取り法の測定値を用いて補正することにより検量線を修正した。

本調査の結果、蛍光X線分析法の分析値は図-7に示すように、拭取り法による測定値と一致する傾向にある。そのため、蛍光X線分析法による分析値を正として、現地で補正を実施し図-8の結果を得られる可能性がある。ただし、図-7に示すように拭取り法の測定値と近赤外分光法の分析値の相関関係は低い。図-8のような現地で補正した分析値の精度向上や図-7に示す相関関係の精度を確認するためには、今後更なるデータの蓄積と精査が必要となる。

### 2.5 コンクリート内部の塩分量の調査結果

各測定深さでの塩分量分析値と蛍光X線分析法による分析値の関係を図-9に示す。蛍光X線分析法の分析値は、式(1)に準じて算出した。

$$\text{分析値}(\text{kg/m}^3) = \text{測定値}(\text{ppm}) \times \gamma \quad (1)$$

$\gamma$  : コンクリートの単位体積重量(=2350 kg/m<sup>3</sup>)

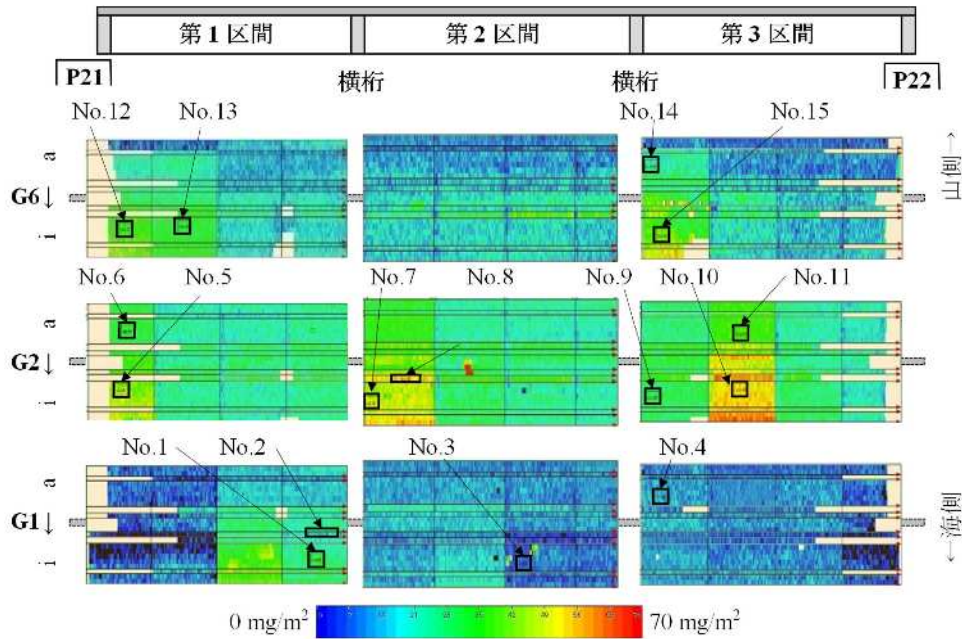


図-8 近赤外分光法分析値（補正後）

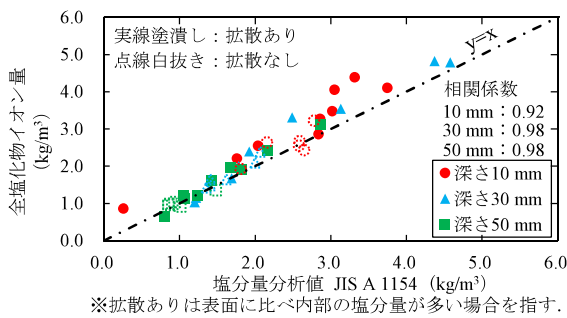


図-9 コンクリート内部の測定値の相関関係

いずれの深さにおいても塩分量分析結果に対し蛍光 X 線の分析値が正の相関にあり、概ね一致する傾向であった。なお、図中に示す拡散ありとは、塗装除去後の表面塩分量に比べて内部の塩分量が大きい状態を指す。

図-10 にコンクリート表層の塩分量分布を示す。拡散ありを示す箇所は 15 箇所中 9 箇所を確認された。本橋は竣工後 19 年経過したときに塗装による補修を受けているため、中性化による塩分濃縮の影響は小さいと推察される。そのため 9 箇所における表層付近の塩分濃度の低下は、塗装によって塩化物イオンの供給がなくなり、既に浸透した塩分の濃度勾配によって生じた内部への拡散が要因と考えられる。なお、拡散の有無と図-5 および図-8 に示す付着塩分量の大きい測定箇所との関係は確認できなかった。

## 2.6 付着塩分量とコンクリート表層塩分量の関係

塗装除去前の付着塩分量とコンクリート表層（深さ 0mm を含む）の塩分量の最大値の関係を図-11 に整理

した。なお、塗装除去前の付着塩分量は、図-6 に示す

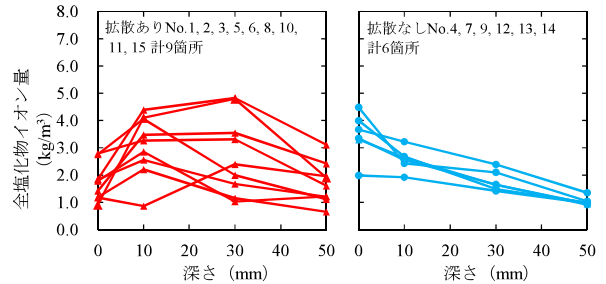


図-10 コンクリート表層の塩分量分布

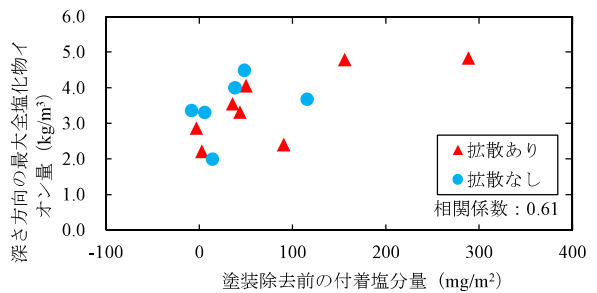


図-11 付着塩分量と内部塩分量の関係

蛍光 X 線分析法の付着塩分量である。

図-11 によれば、塗装除去前の付着塩分量と深さ方向の最大塩分量は内部への拡散の有無によらず正の相関にある。そのため、付着塩分量から表層の塩分量が高い箇所を推定できる可能性がある。ただし、付着塩分量が小さい場合、比較的ばらつきが大きく、内部の塩分量の最大値が大きい場合もある。

## 2.7 スクリーニング手法

調査結果を踏まえ、スクリーニング的な調査手順を

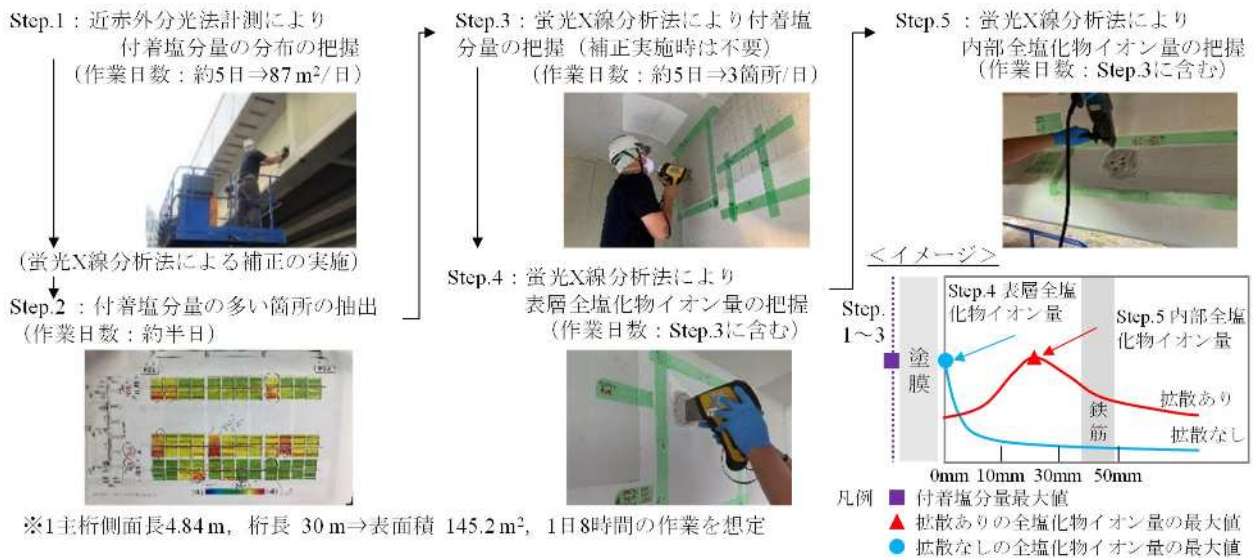


図-12 塗装された橋梁の調査手順例

図-12 に整理した。桁全面での付着塩分量調査後、塗装除去前の付着塩分量が大きければ、測定位置では表層 0 mm または深さ方向に塩分量の最大値を有する可能性がある。そのため、塗装除去後、表層 0 mm における塩分量計測により、表層の全塩化物イオン量が小さい場合には、内部への拡散の影響を考慮して、深さ方向の塩分量をドリル削孔等により確認する必要がある。

### 3. まとめ

本研究では塩害地域に位置した橋梁を対象として、現地で簡易的に測定が可能な非破壊・微破壊塩分量調査手法を用いた調査手法の一提案を行うことを目的に、塩害により劣化した既設 PCT 桁橋を対象とした非破壊・微破壊調査を実施した。調査により得られた結果を以下に示す。

1. 現地で簡易的に測定が可能な非破壊・微破壊塩分量調査を活用したスクリーニング手法を図-12 のとおり提示した。
2. 近赤外分光法により桁全面から塩分分布を把握し、付着塩分量の多い箇所に蛍光 X 線分析法を用いれば内部の最大塩分量を示す箇所を現地でスクリーニングできる可能性がある。
3. 内部への拡散を考慮して微破壊手法を用いた深さ方向の塩分量調査が必要である。なお、データにばらつきがある点および限定的な傾向である点を踏まえ、今後データの蓄積と精査が必要となる。

### 参考文献

- 1) (社)日本道路協会:道路橋の塩害対策指針(案)・同解説、1984.
- 2) 国土交通省道路局:コンクリート橋の塩害に関する特定点検要領(案)、2004
- 3) 小窪幸恵、岡村甫:海水飛沫の発生過程に着目した飛来塩化物イオン量の算定モデル、土木学会論文集 B、Vol.65、No.4、pp.259-268、2009.10
- 4) 荒川遥、向俊成、渡邊有寿、渡邊賢三:コンクリート中の塩化物イオン濃度の測定を目的としたハンディ型蛍光 X 線分析装置の実用化検討、第 33 回構造物の診断と補修に関する技術・研究発表会論文集、2021.10、pp.1-7
- 5) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説III編コンクリート橋・コンクリート部材編、pp.183-187、2017.11
- 6) 戸田勝哉、中村善彦、倉田孝男:分光分析法を用いたコンクリート劣化診断システムの開発、IHI 技報、Vol.52、No.1、pp.53-58、2012
- 7) 櫻庭浩樹、古賀裕久:携帯型蛍光 X 線分析装置を用いた硬化コンクリート表面の塩分量測定の検討、アップグレード論文報告集、1127、2019
- 8) 日本道路協会:鋼道路橋防食便覧、pp.II-158-II-160、2014.3
- 9) 上原子昌久、富山潤、荒井和喜、羽瀨貴士:橋梁の部材面における付着塩分量の違いを考慮したコンクリートへの浸透塩分量の評価、コンクリート工学、Vol.54、No.2、pp.164-169、2016.2

# Research on investigation and countermeasure technologies to extend the service life of road bridges (1)

Research Period: FY2018-2021

Research Team: Bridge and Structural Engineering Research Group

Author: ISHIDA Masahiro

YOSHIDA Eiji

SATO Junya

**Abstract:** In order to propose an appropriate selection method for salinity survey points in inspections for preventive maintenance, a nondestructive salinity survey using near infrared spectroscopy and X-ray fluorescence analysis was conducted on an actual bridge that had sustained salt damage 46 years after its completion. The results showed that the near-infrared spectroscopy could qualitatively determine the distribution of salinity in the entire girder, that there was a correlation between the values measured by the X-ray fluorescence analysis method and those analyzed by the wiping method, and that the values measured by the X-ray fluorescence analysis method inside the concrete tended to agree with the values analyzed by the potentiometric titration method. The measured values by the X-ray fluorescence analysis method tended to be consistent with the salt content analysis values by the potentiometric titration method.

**Keywords:** Simple non-destructive testing method、 preventive maintenance、 salt damage、 survey of existing bridges