

# 凍結防止剤による塩害を受けるコンクリート構造物の表面塩化物イオン濃度分布

コンクリート研究室 内田 康平  
主指導教員 准教授 下村 匠

## 1.はじめに

近年、凍結防止剤によるコンクリート構造物の塩害事例が多く発生している。凍結防止剤による塩害の特徴は、冬季の短期間に塩化物イオンの供給を受けること、損傷箇所が路面排水の流れる箇所および飛散箇所付近に限定されることが挙げられる。そのため、定常的に塩化物イオンが供給される飛来塩分による塩害と比較して、局所的に塩害が発生するため劣化箇所の検討が難しい。そこで、外観に変状が無い場合でも簡易的に表面塩化物イオン濃度分布を実測し、劣化箇所を選定する必要がある。そこで本研究では、いくつかの表面塩化物イオン濃度の実測方法の検討を行い、凍結防止剤による塩害を受けるコンクリート構造物の表面塩化物イオン濃度分布の調査を行った。

## 2.室内実験

### 2.1 飛来塩分を制御した室内実験

#### 2.1.1 実験概要

本研究では、風洞型飛来塩分再現装置を用いて暴露を行った。塩水噴霧発生装置によって噴霧された塩分が造風装置から送風される風によって風洞内を循環する仕組みとなっている。塩水噴霧は1時間おきに5秒間、塩分濃度3%の塩水が噴霧する設定とし1階は約120mdd ( $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$ )、2階は約5mddとなっている。供試体は100×200×100mmで、暴露時に飛来塩分付着面(100×200mmの面)以外から塩分が浸透しないように、他の5面をタールエポキシで被覆した。供試体は、風洞内の1階および2階に設置し、暴露を行った。暴露期間は7, 14, 28, 56, 91日とし、各時点における表面塩化物イオン濃度と供試体内部の塩化物イオン濃度の測定を行った。

#### 2.1.2 表面塩化物イオン濃度測定法

コンクリート内部の塩化物イオン濃度分布から外挿した値を基準値としてガーゼを用いた表面拭き取り、グラインダによる表面切削、分光器を用いた分光分析での表面塩化物イオン濃度の実測方法の検討を行った。表面拭き取りは、ガーゼを用いて暴露面に付着している塩分を拭き取り、日本道路協会「鋼道路橋塗装・防食便覧」に基づいて塩分分析を行った。分光分析では、コンクリート表面に光(近赤外線)をあててその反射光のスペクトルから濃度を算出した。1供試体で測定を5~10回行い、その平均値を用いた。表面切削では、表面に付着している塩分も含めてグラインダを用いて表面近傍を削り、サイクロン掃除機で試料を採取した。塩化物イオン濃度分布からの外挿法では、暴露面から1, 2, 4, 8cmの位置で卓上ドリルを用いて穿孔し試料を採取し、深さ方向の塩化物イオン濃度分布を描き、多項近似を用いて近似される曲線の深さ0での値を表面塩化物イオン濃度とした。コンクリート中の塩分分析は、JCI-SC4「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」に基づいて行った。また、表面切削により測定される塩化物イオン量には表面に付着している塩分も含まれるので、両者の差も検討した。

### 2.2 凍結防止剤による塩害再現実験

#### 2.2.1 実験概要

供試体は、500×500mmのモルタル板で、モルタルは普通ポルトランドセメントを使用し、W/Cは40%である。

凍結防止剤によるコンクリート部材への塩分の供給は、凍結防止剤を含んだ水分が流れることによって桁端部や橋脚部などに塩分が供給されると考えられる。本実験では、以下の3つの水準

を用いて行った。

①海水や凍結防止剤が溶解した水が構造物表面を流れることにより塩分が供給される場合（事前の塩水浸漬なし，塩水を流す）

②構造物表面に付着している塩分が，雨水により洗い流される場合．（事前の塩水浸漬あり，水を流す）

③構造物表面に塩分が付着しているところに，さらに海水や凍結防止剤が溶解した水によって洗い流される場合．（事前の塩水浸漬あり，塩水を流す）

そして，いくつかの表面塩化物イオン濃度分布を描き，実測方法の検討を行った。

### 2.2.2 表面塩化物イオン濃度測定法

ガーゼを用いた表面拭き取り，グラインダを用いた表面切削，分光器を用いた分光分析で表面塩化物イオン濃度を求めた。

## 3.実構造物の塩分量調査

### 3.1 対象橋梁緒元

対象橋梁は，新潟県湯沢町の道路橋として供用されている神立橋，湯沢橋である．凍結防止剤が桁回りやアバットに浸透して内部の鉄筋が腐食し断面剥離が発生している．神立橋，湯沢橋の外観を図-1，2に示す。

### 3.2 調査方法

調査位置は，図-1，2の赤い枠線で示した範囲である．その範囲においてガーゼを用いた表面拭き取り，分光器を用いた分光分析の測定を行った。



図-1 神立橋



図-2 湯沢橋

## 4.結果及び考察

### 4.1 コンクリートの表面塩化物イオン濃度の実測

図-3，4に1階部および2階部における各種方法で求めた表面塩化物イオン濃度の経時変化をそれぞれ示す．図より，表面切削による値は，1階部では内部の分布から求めた値より高くなっているが，2階部では比較的近い値になった．これは，1階部は2階部より飛来塩分が約24倍多いので，コンクリート表面に付着する塩分が多いためと考えられる．そこで，表面切削による値から，表面に付着していた塩化物イオン量を差し引くと，飛来塩分量の多い1階少ない2階ともに，内部の分布から外挿して求めた表面塩化物イオン濃度と同程度の値となることが分かった．分光分析による値は，1階部では内部の分布から求めた値より低くなっているが，2階部では近い値になった．そのため，分光分析が正しく測定しているとは言えない。

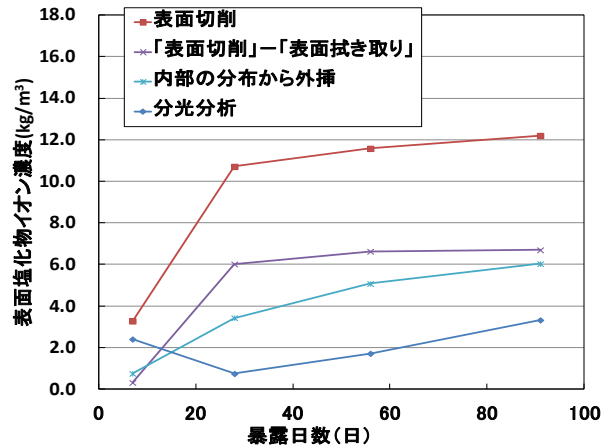


図-3 1階部の表面塩化物イオン濃度

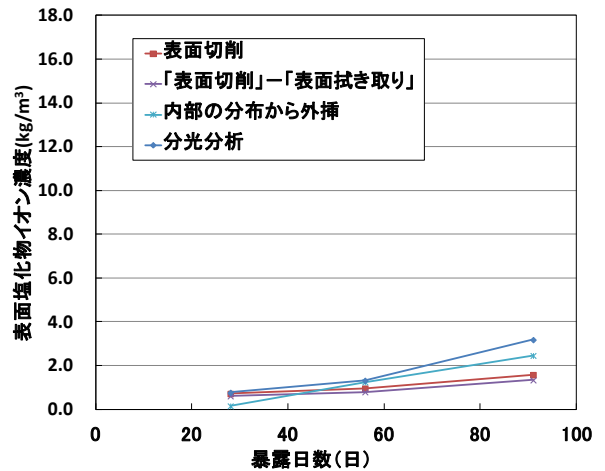


図-4 2階部の表面塩化物イオン濃度

## 4.2 凍結防止剤による影響

### 4.2.1 実験水準①

塩水の流れた箇所を図-5に、各種方法で求めた表面塩化物イオン濃度分布を図-6～8に示す。図-6の「表面切削」－「表面拭き取り」の結果では、塩水の流れた箇所において表面塩化物イオン濃度分布が高くなることが確認された。図-7の表面拭き取りの結果においても、「表面切削」－「表面拭き取り」と同様に塩水の流れた箇所において表面塩化物イオン量が高くなることが確認された。この結果より、モルタル表面の塩分分布の傾向のみであれば、表面拭き取りによっても検出することができるといえる。図-8の分光分析は、全体的に値が低く、同じ様な値になっており、表面塩化物イオン濃度の分布が検出できていない。その理由については4.3 分光分析の検証実験で検討する。

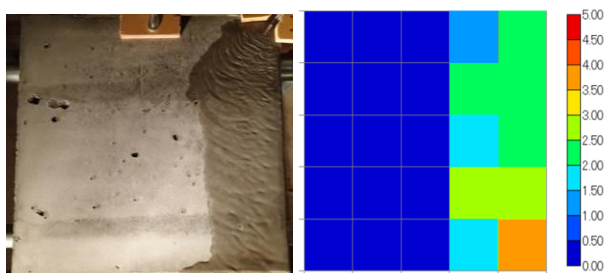


図-5 塩水の流れた箇所 図-6 「表面切削」－「表面拭き取り」

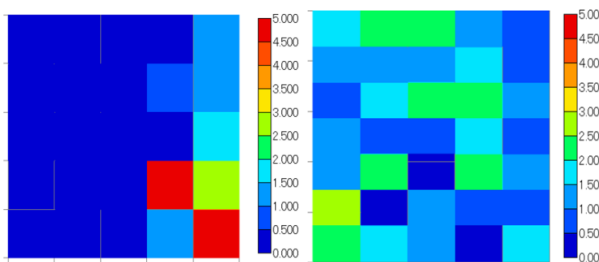


図-7 表面拭き取り 図-8 分光分析

### 4.2.2 実験水準②

水の流れた範囲を図-9に、各種方法で求めた表面塩化物イオン濃度分布を図-10～12に示す。図-10の「表面切削」－「表面拭き取り」の結果には、水の流れた箇所において表面塩化物イオン濃度分布が低下する傾向が現れている。図-11の表面拭き取りにも、水の流れた箇所において表面塩

化物イオン量が低くなる傾向が現れている。前節と同様、表面拭き取りのみによっても、モルタル表面の塩分の濃淡分布の傾向を検出することが可能であるといえる。しかし、図-12の分光分析の結果では、このような表面塩分の分布は検出できなかった。

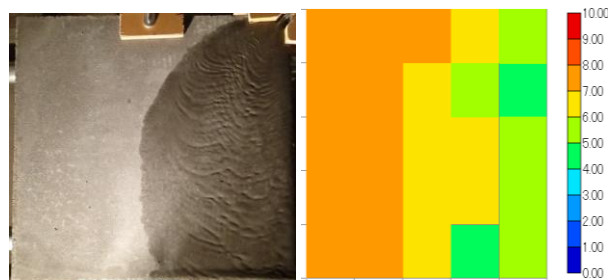


図-9 水の流れた箇所 図-10 「表面切削」－「表面拭き取り」

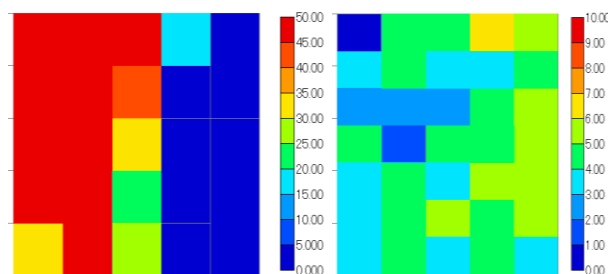


図-11 表面拭き取り 図-12 分光分析

### 4.2.3 実験水準③

塩水の流れた範囲を図-13に、各種方法で求めた表面塩化物イオン濃度分布を図-14～16に示す。図-14の「表面切削」－「表面拭き取り」の結果では、塩水の流れた箇所と流さない箇所において若干表面塩化物イオン濃度が低下している傾向が現れている。図-15の表面拭き取りも、若干表面塩化物イオン量が低くなる傾向が現れている。4.2.1、4.2.2と同様、モルタル表面の塩分の濃淡分布の傾向を検出することが可能であるといえる。図-16の分光分析は、4.2.1、4.2.2と同じく表面塩化物イオンの分布の傾向は検出できなかった。

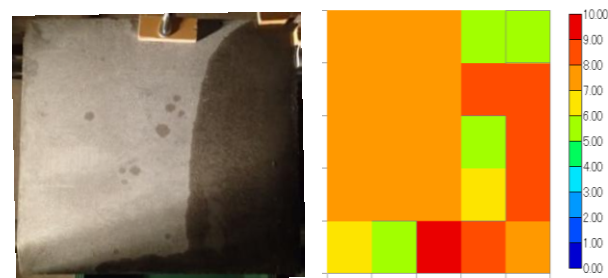


図-13 塩水の流れた箇所 図-14 「表面切削」－「表面拭き取り」

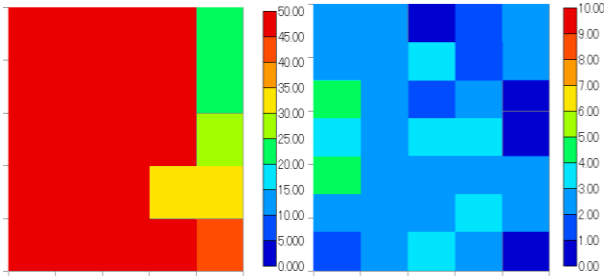


図-15 表面拭き取り

図-16 分光分析

#### 4.3 分光分析の検証実験

モルタル板を8日間浸漬させた後、分光分析で測定を行った。測定は浸漬終了から0, 1, 2, 3, 4, 5, 24時間後の7回測定を行った。測定1回につき、1箇所約60回の測定を行った。図-17に分光分析の経時変化を示す。図より、分光分析の値は一つの測定点においてばらつきが大きく、変動係数が0.17程度になることが確認された。そのため、真値に近い値を評価するには同条件での測定回数を増やして平均値を取ることが必要と考えられる。室内実験において、分光分析の値が芳しくない原因は、測定回数数が少ないことが第1に考えられる。

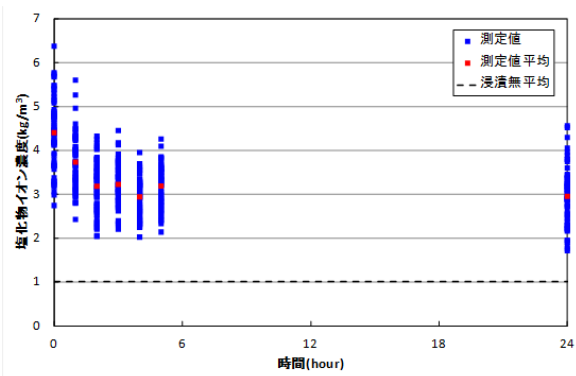


図-17 分光分析の経時変化

#### 4.4 凍結防止剤の塩害を受ける橋梁

図-18, 19に神立橋の、図-20, 21に湯沢橋の表面拭き取り、分光分析の表面塩化物イオン濃度分布の結果を示す。図-18, 19より表面拭き取り、分光分析ともに測定値の高い箇所が右端の桁端部になった。測定値の高い箇所において、断面剥離が生じていたことから、表面の塩分量が高いと考えられる。図-20, 21より、表面拭き取り、分光分析ともに凍結防止剤が流れた箇所測定値が高くなった。以上より、表面拭き取りは、室

内実験でも表面の塩分分布の測定が可能だったため、凍結防止剤の塩害を受ける構造物の表面塩分量の高い位置を検出できることが考えられる。分光分析は室内実験より、1点での測定値を得る際には多くのサンプル数が必要と考えられる。実構造物で走査型のプローブヘッドを用いた場合、測定する際にプローブヘッドが動いているため、移動平均を用いてコンター図を描いている。そのため、表面塩化物イオン濃度の検出をすることができたと考えられる。



図-18 神立橋\_表面拭き取り

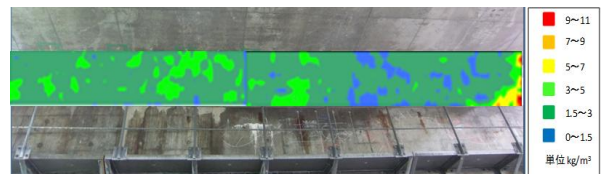


図-19 神立橋\_分光分析

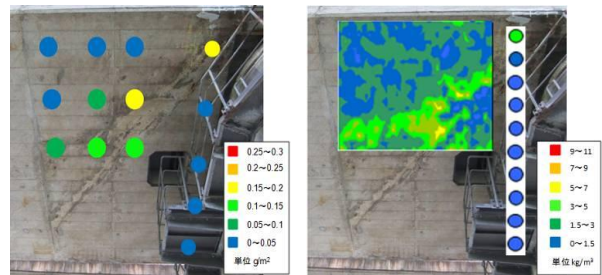


図-20 湯沢橋\_表面拭き取り

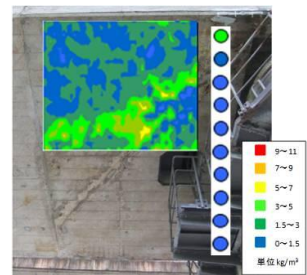


図-21 湯沢橋\_分光分析

#### 5.まとめ

- 1) 飛来塩分を受けるコンクリートにおいて、「表面切削」-「表面拭き取り」は、内部の塩化物イオン濃度分布の延長上に同定される表面塩化物イオン濃度に近い値となることが確かめられた。
- 2) 表面拭き取りは、凍結防止剤の塩害を受ける構造物の表面塩分量の高い位置を検出することが可能である。
- 3) 分光分析は、サンプル数（同条件での測定回数）を多く得ることにより表面塩化物イオン濃度の検出が可能である。