

## 凍結防止剤を含む漏水を想定した供試体中の塩化物イオンの蓄積に関する検討

苦小牧工業高等専門学校  
苦小牧工業高等専門学校 正会員 博(工)  
苦小牧工業高等専門学校 博(工)  
中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 博(工)

○梶原 碧  
渡辺 暁央  
近藤 崇  
石川 裕一

Abstract : Through this study, the authors, conduct the experiment that salt water including deicing agent penetrates into bridge piers. The authors focus, the difference of the accumulation of the chloride ion density at the salt water leakage and the non-leakage. Because salt water penetrates into one point of a bridge pier, there will be three parts : one is a part with salt water, second is without salt water and the other is a boundary point. The purpose of this study is to exam conditions of penetrating salt water into RCs. As a result of this experiment, on the salt density of concrete specimen, the salt water leakage is higher than the non-leakage. The cause is that salt water moves from the boundary point to the dried part by capillary action. By flowing the salt water down again, the higher chloride ion density in the concrete, the penetration depth becomes deeper.

Key words : Chloride induce deterioration, Chloride ion, Deicing salts, Efflorescence

### 1. はじめに

積雪寒冷地の道路に散布される凍結防止剤の影響により、橋梁などのコンクリート構造物の塩害劣化が問題となっている。凍結防止剤による塩害の課題は、凍結防止剤を含む路面排水が漏水している部分などの構造物の局所的な範囲のみで劣化が進行するため、効率的な補修が難しいことにある。そのため、予防保全を考慮した適切な維持管理が重要であるが、それに必要な劣化進行のメカニズムの知見については、条件が複雑であり不明確な点が多い。

本研究では、凍結防止剤を含む路面排水がコンクリート構造物に漏水する場合を想定し、漏水と非漏水部の境界に着目して、塩分蓄積状況を実験的に検討した。既往の研究では、冬期を想定した3ヶ月間の塩水流下実験を行い、塩水流下部と非流下部の境界付近でコンクリート中の塩分浸透が大きくなることを示した<sup>1)</sup>。本論文では、3ヶ月の塩水流下の後に、夏季の雨水の漏水を想定した6ヶ月間の真水流下および冬期2シーズン目を想定した3ヶ月の塩水流下実験を行い、コンクリート中の塩分の蓄積について検討することを目的とする。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試体概要

寸法が高さ600mm×幅400mm×厚さ120mmで、W/C=55%のコンクリート供試体を打設した。配合を表-1に示す。打設後1週間は湿潤養生を行った後、3か月間、野外にシートを覆って放置した。その後、図-1および写真-1に示すように、供試体の型枠脱型面(600mm×400mmの面)の半分は塩水・真水を流下させる装置を作製した。供試体型枠は、メタルフォームを使用し、塩水・真水の流下面は600mm×200mmのメタルフォームを連結させて、塩水流下境界を型枠継目と一致させることにより、供試体の半分のみは流下するようにした。

表-1 配合表

スランプ (cm)	W/C (%)	空気量 (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤
8	55	5	41	138	250	817	1189	2.5

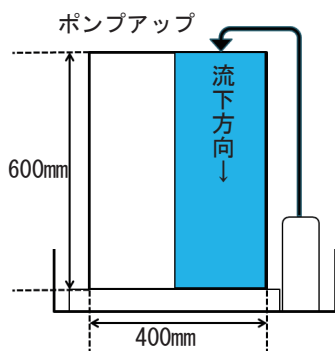


図-1 塩水・真水流下実験装置概要 写真-1 塩水・真水流下実験装置 写真-2 粉末試料採取位置

### 2.2 塩水・真水流下実験

塩水・真水はポンプを用いて循環させ、1.0±0.1リットル/minの流量を流下させた。塩水・真水の流下頻度は、1日塩水・真水流下と6日間の放置(室内での自然乾燥)を繰り返した。これを1サイクルとする。今回の実験で流下させる塩水の濃度は3.5%と設定した。これは、凍結防止剤が散布された直後の路面水の塩化物イオン濃度は5~6%程度になり、その後、降雪や通行車両の影響により路面水は希釈され、塩化物イオン濃度が1~2%になると追加散布が行われる。凍結防止剤を含む水が橋脚や橋台に流出する現象を再現するために、平均値である3.5%を塩水の濃度とした。

### 2.3 塩化物イオン濃度試験

塩水流下の境界付近での数ヵ所において、実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法(JSCE-G 573-2003)<sup>2)</sup>に従いφ20mmのドリルを使用して、深さ0-20mm, 20-40mm, 40-60mm, 60-80mmで粉末試料を採取し、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)<sup>2)</sup>に従い塩化物イオン電極を用いた電位差滴定法による塩分濃度試験を実施した。塩水流下を12サイクル行ったもの(以下、3ヶ月)と、塩水流下を12サイクル行いその後真水流下24サイクル行ったもの(以下、3+6ヶ月)と、塩水流下を12サイクル真水流下24サイクル行った後塩水流下12サイクルを行ったもの(以下、3+6+3ヶ月)の試料を採取した。採取位置は写真-2のように、(a)塩水流下境界外側、(b)塩水流下境界内側、(c)塩水流下内部の3ヶ所で行い、削孔後は補修を行い、削孔を通じて塩分が浸透しないようにした。また、塩水流下開始後は定期的に外観観察を行った。

## 3. 結果および考察

### 3.1 塩水流下後の外観観察結果

写真-3は、塩水流下実験開始から(a)3ヶ月終了後、(b)3+6ヶ月終了後、(c)3+6+3ヶ月終了後の塩水流下境界付近の外観写真である。写真中の点線は、流下部と非流下部の境界を示している。3ヶ月後には、コンクリート表面に白華現象が現れ、流下範囲も拡大した。この白華はX線回折によりNaClが主成分であることが確認されている。したがって、塩水流下を3ヶ月行ったことによって塩化物イオンがコ



写真-3 塩水流下境界付近の外観

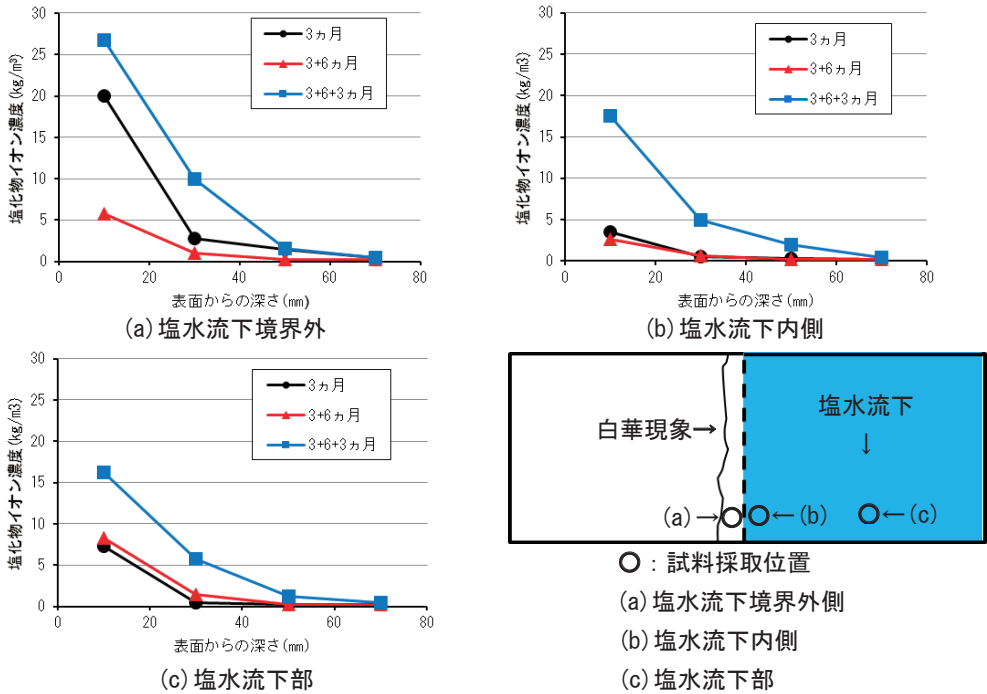


図-2 塩化物イオン濃度試験結果

ンクリートの表面に現れ、流下範囲が拡大した。一方で、真水流下による湿潤範囲の拡大は見られず、真水より塩水の方が毛管現象による浸透力が高い可能性があると考えられる。毛管現象は表面張力や接触角などに影響を受けるが、塩水は真水に比べ表面張力が高くなることを考慮すると、塩水流下では毛細管圧力が大きくなり湿潤範囲の拡大が見られたとも考えられる。この現象に関しては、今後コンクリート内部での真水および塩水による毛細管の浸透に関する実験を行い検証する必要がある。

### 3.2 塩化物イオン濃度測定結果

図-2は塩水・真水流下実験により、コンクリート供試体内の塩化物イオン濃度がどのように変化したのかを、試料採取位置別に示したものである。塩水流下を繰り返すことにより、表面からの深さ0-20mmと20-40mmの範囲内で塩化物イオンが蓄積されていることが確認され、40mmより深いところにおい

ては塩化物イオンがほとんど浸透していないことが分かる。真水流下後は、試料採取位置3箇所全てにおいて1回目の塩水流下後よりも低い塩化物イオン濃度が測定されたことから、塩水流下によって含有されている塩化物イオンの一部は、真水流下を行うことで供試体外に溶出したと推定される<sup>3)</sup>。しかし、非流下部である塩水流下境界外側においては依然として高い塩化物イオン濃度が検出された。2回目の塩水流下後には1回目の塩水流下よりも高い塩化物イオン濃度が測定されていることから、塩水流下を繰り返す程、蓄積される塩化物イオン量は大きくなるといえる。

流下部と非流下部との塩分イオン濃度の蓄積に着目すると、深さ40mmより深いところにおいては塩化物イオンがほぼ0に近いため違いは見られなかった。3+6ヶ月では、非流下部である塩水流下境界外側の塩化物イオン濃度は塩水流下部の塩化物イオン濃度より低い値となったが、それ以外の深さ0-20mmと20-40mmでは、非流下部の塩化物イオンは流下部である塩水流下内側および塩水流下部の塩水イオン濃度の値を上回った。

以上のことから、塩水流下範囲内だけでなく、塩水流下範囲外でも塩化物イオンは浸透している。これは、塩水流下時は毛管現象による湿潤範囲の拡大が確認されたのに対して、真水流下時には湿潤範囲の拡大が確認されなかったことが大きな要因と考えられる。塩水流下による湿潤範囲の拡大により蓄積された塩分は真水流下で溶出することはなく、再度塩水流下で塩分の蓄積がより進行していると考えられる。そのため、急速にコンクリート中の塩分濃度が高くなったと推定される。外部から内部コンクリート中へ塩化物イオンの浸透が発生する場合、単位体積当たり1.2~2.4kg/m<sup>3</sup>程度から鋼材の腐食が始まるとされているので、40mm未満のかぶり度で設計された鉄筋コンクリート構造物では短時間に塩害劣化を受ける可能性が高いといえる。

#### 4. 結論

本研究では、凍結防止剤を含んだ水と雨水が流出する現象を再現するため、コンクリート供試体に塩水と真水を流下させる実験を行い、供試体内の塩化物イオン濃度を測定した。測定結果より、塩水・真水を流下させた部分と非流下部とでの塩化物イオンの蓄積の違いを検討した。結果をまとめると以下ようになる。

- (1) 真水流下を行うことで、塩水流下部ではコンクリート内の塩化物イオン量を減少させ、白華現象で表面に現れた塩化物を減少させる。
- (2) 再度塩水流下を行うことで、コンクリート内の塩化物イオン濃度が高くなり、塩化物の浸透深さも深くなる。
- (3) 表面からの深さ 0-20mm と 20-40mm の範囲において非流下部では流下部より高い塩分濃度を示した。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、日本学術振興会科学研究費補助金(若手研究(B), 研究課題番号: 24760353, 研究者代表: 渡辺暁央)の交付を受けた。ここに記し謝意を表す。

#### 参考文献

- 1) 藤川篤司, 渡辺暁央, 廣川一巳, 石川裕一: 塩水流下によるコンクリート中の塩化物イオンの浸透性状に関する研究, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol.22, pp173~176, 2013.10
- 2) 土木学会: コンクリート標準示方書[規準編], 2013
- 3) 原田健二, 下村匠: 凍結防止剤によるコンクリート橋への塩分浸透の空間分布と進行の数値解析, プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, Vol.22, pp219~222, 2013.10