

論文 コンクリート製壁高欄の塩水吸い上げ抑制方法に関する研究

岩館 佑樹^{*1}・武田 三弘^{*2}

要旨：本研究は、これまでコンクリート製壁高欄が、冬期に散布される凍結防止剤による塩水を吸い上げにより、塩害やスケーリングを早期に進行させる問題に着目し、塩水吸い上げを抑制するための方法について検討を行ってきた。実験の結果、塩水吸い上げは表層 10mm の範囲で生じる現象であり、U カット法を用いた効率的な吸い上げ抑制方法を提案することができた。また、打ち継ぎ部が塩水を吸い上げ、内部の塩化物イオン濃度を高める作用があることが分かり、その対策として、打ち継ぎ部へのエポキシ樹脂の塗布や、高炉セメントの使用が、効果的であることを実験的に調べた。

キーワード：コンクリート壁高欄、塩水吸い上げ、凍結防止剤、塩化物イオン、結晶化

1. はじめに

本研究では、これまで高速道路などのコンクリート製壁高欄（以下 RC 壁高欄、写真-1 参照）やパラペットなどの薄壁 RC 部材の塩害について調査を行ってきた。一般には、高速道路に設置されている RC 壁高欄は、冬期に散布される凍結防止剤を含む塩水を走行車両が巻き上げ、部材表層部に付着し、浸透することで、塩害が生じていると考えられている。しかし、古い構造形式の壁高欄の場合、凍結防止剤を含む塩水は縁石下部面に滞留し、床版防水による端部巻き上げを実施していない箇所では、壁高欄が塩水を吸い上げることによって、塩害を促進させることも考えられる。その為、本研究では、モルタルおよびコンクリートの供試体を用いた塩水吸い上げに関する基礎研究¹⁾²⁾³⁾を行ってきた。

モルタル供試体を用いた各種塩水吸い上げ実験¹⁾では、水セメント比が大きいほど、乾燥温度が高いほど、塩分濃度が高いほど、湿度が低いほど、塩水の吸い上げを促進させる効果があることが分かった。特に塩水濃度が高く、乾燥温度が高く湿度が低い条件順で塩水をより吸い上げることが分かった。

壁高欄を想定した寸法比 1/2 の中型供試体による長期の吸い上げ実験²⁾では、吸い上げ後の塩水の結晶化による結晶圧と水和物の溶脱・分解によって、コンクリート表層部にスケーリングを発生させることが分かった。

また、塩水吸い上げ抑制実験³⁾では、吸い上げのメカニズムとして、表層付近で吸い上げによる色むらが生じ、その後、乾燥による結晶化が起これ、そこにまた塩水が吸い上がり、高さを増しながら結晶化の厚さを増加させていくことを繰り返していることが分かった。この塩水の吸い上げはコンクリート表層から約 10mm の深さの範囲で生じており、その後の濃度勾配により、内部へ塩化



写真-1 コンクリート製壁高欄

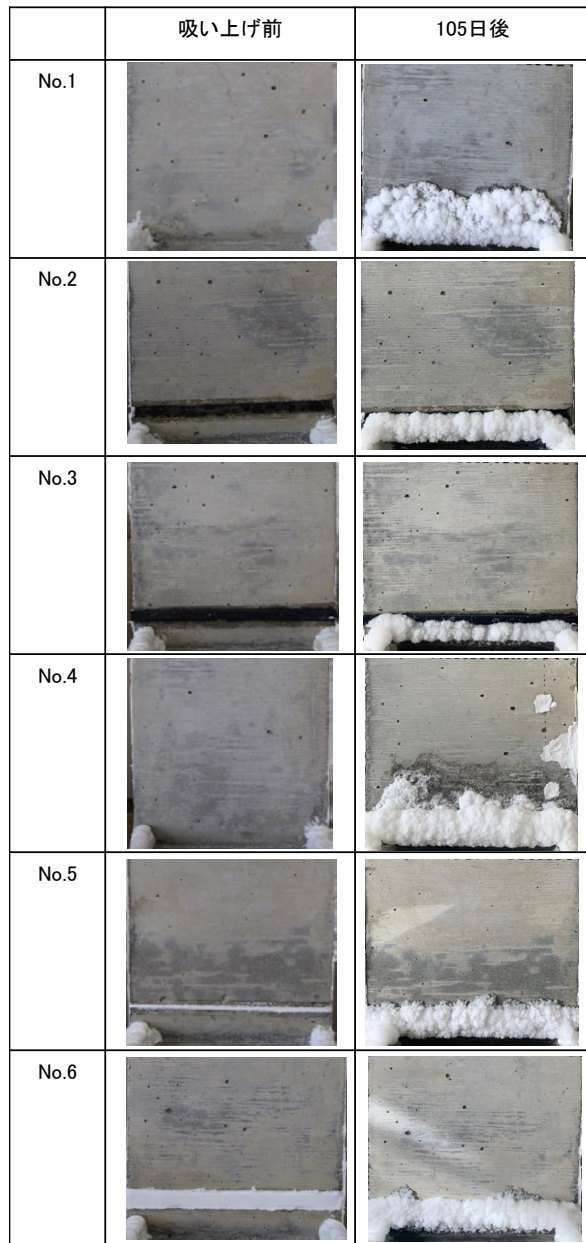
物イオンが拡散していると考えられた。その為、吸い上げが生じる箇所周辺の表層部にエポキシを塗布した条件では、吸い上げを抑制する効果は低かったが、吸い上げが生じる箇所に、深さ 10mm、幅 10mm の U カットを設け、プライマーを塗布後、止水材をはめこむことによって、吸い上げを大きく抑制できることが分かった。

しかし、吸い上げ抑制の方法として、例えば U カット工法についても、カットの深さが変わった場合や、幅が変わった場合、或いは止水材を変えた場合など、他のより吸い上げを抑制する要因については検討していなかった。また、打ち継目から浸透した塩水が吸い上げ面の背面に結晶化を生じる事例もあり、打ち継ぎ面の処理方法についても検討する必要が出てきた。

そこで本研究では、塩水吸い上げ抑制方法として、U カット法を中心に、U カット後にプライマーだけを塗布した条件、カット厚さを変化させた条件、カット数を増やした条件など、各種条件を変化させて、より吸い上げを抑制する方法について検討を行った。また、打ち継ぎ面の処理方法による影響を確認するため、打ち継ぎ面の処理の有無や、打ち継ぎ面にエポキシ樹脂を塗布した効

*1 東北学院大学 工学研究科 環境建設工学専攻 (学生会員)

*2 東北学院大学 工学部 環境建設工学科教授 工博 (正会員)



写真一2 塩水吸い上げ状況（105日）

この濃度が最も吸い上げを生じる濃度であることが分かっているからである。

実験中は、定期的に塩水吸い上げ高さの測定を測定し、吸い上げ実験終了後は、供試体床版上面より50, 100, 150mmの各高さの壁高欄面より、奥行き方向に10mm間隔で最大50mmの深さまで、ドリル法により粉末を採取し、蛍光X線分析装置を用いて塩化物イオン濃度分布の測定を行った。

2.3 実験結果

2.3.1 塩水吸い上げ状況

写真一2 は、全供試体の設置時および 105 日後の塩水の吸い上げ状況を示したものである。この写真より、吸い上げ抑制対策を取らなかった No.1 と比較して、抑制を

施した No.2,3,5,6 がいずれも吸い上げ高さが低い傾向となったが、特に吸い上げ高さを抑制したものは No.3 の供試体となった。No.2 は、No.3 と比べ高機能止水材がない条件であるが、そのことによって、U カット部に塩化物の結晶化が進行しており、今後は塩化物結晶を伝ってより上部へと進行する傾向が見られた。

また No.4 は、35 日間吸い上げ後に、吸い上げによって析出した結晶を取り除き、No.3 と同じ抑制対策を行い、再び吸い上げを行ったものであるが、無処理と同等以上の吸い上げ高さとなった。これは、一度吸い上げが生じた箇所では、内部にも塩化物が浸透しており、濃度勾配により塩水が吸い上げやすくなることで、表層だけの抑制対策では、制御できないためと考えられる。

No.5, No.6 は、吸い上げ抑制効果はあるものの、どちらも充填したシリコンを結晶が覆い越してしまっており、今後も塩化物結晶を伝ってより上部へと進行するものと思われる。また、No.5, No.6 の抑制対策としては4mm厚のカット後のプライマー塗布やシリコン充填については、作業性の点において、負担が多い作業となった。

2.3.2 供試体内部の塩化物イオン濃度分布

図一3～図一8 は、No.1～No.6 の供試体内部の塩化物イオン濃度分布（吸い上げ後 105 日）を示したものである。

表面の吸い上げ高さばかりで無く、内部への塩化物イオンの侵入を最も抑えたのは、既往の研究結果と同様の条件の No.3 であった。次いで抑制効果が高かったものは、No.2 と No.6 であった。No.2 は、No.3 の条件から高機能止水材を取ったものであるが、この影響で結晶化の進行を抑制できず、内部への塩化物イオンの侵入を許したものと思われる。No.6 は、4mm 厚のカットを 10mm 間隔で 2 つ設け、プライマー塗布後とシリコンを充填させたものであるが、一つだけ設けた No.5 では、殆ど抑制効果は見られなかったが、10mm の間隔で 2 つ設けることで効果が得られる結果となった。これは、カット幅がある程度無いと抑制効果が無いことを意味しており、本実験の範囲では 10mm 幅が、抑制効果が得られる幅となった。

また、No.4 の結果より、表層面の吸い上げ状況と同様、内部にも無対策の No.1 と同等の塩化物イオンが侵入しており、途中から抑制対策を行っても効果が無いことが確認出来た。

3. 打ち継ぎ処理およびセメントの種類の相違による吸い上げ抑制効果の検討

3.1 供試体概要

打ち継ぎ処理の相違による実験に使用した供試体は、2.1 に示したものと同様の L 型供試体である。打継目の条件としては、いずれも下部を打設した 3 日後に打ち継ぎを行っており、レイタンスを削った後、モルタルを敷

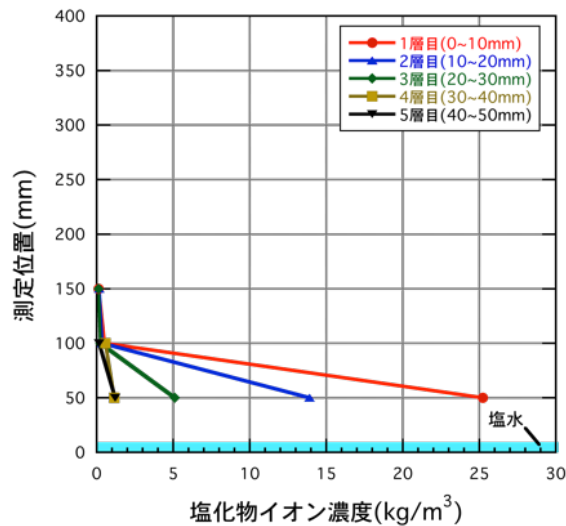


図-3 塩化物イオン濃度分布
(No.1 標準)

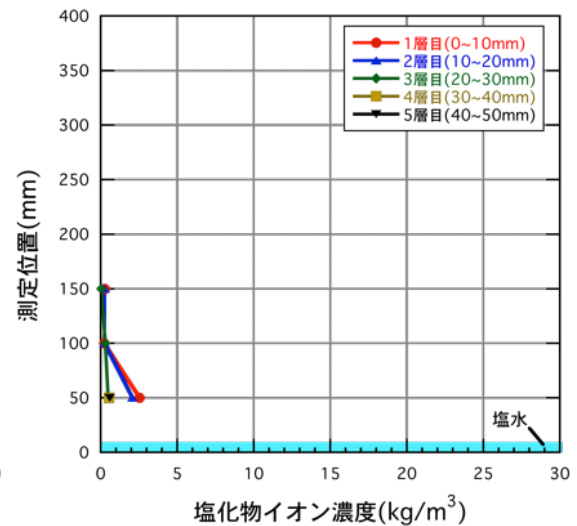


図-4 塩化物イオン濃度分布
(No.2 Uカット+プライマー)

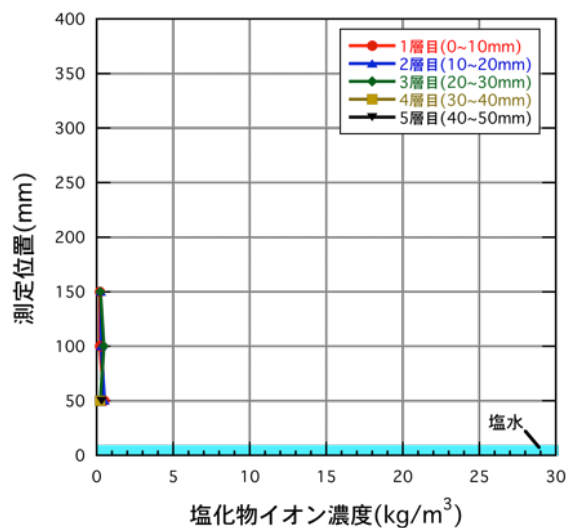


図-5 塩化物イオン濃度分布
(No.3 高機能止水材)

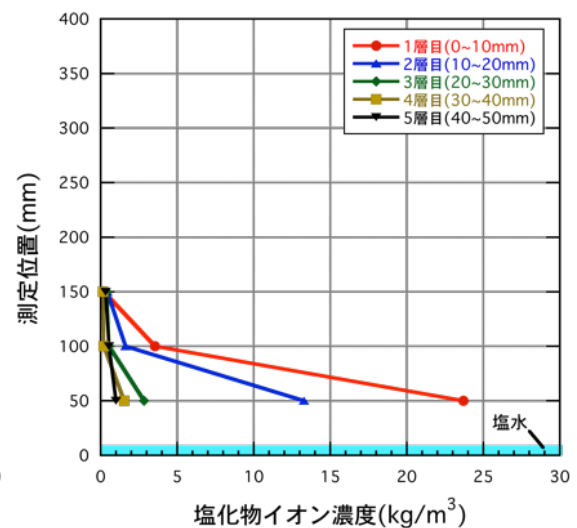


図-6 塩化物イオン濃度分布
(No.4 35日吸い上げ後高機能止水材)

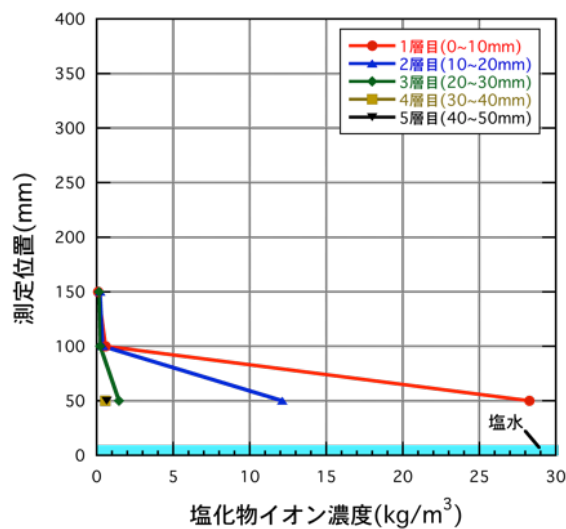


図-7 塩化物イオン濃度分布
(No.5 4mmカットプライマー+シリコン)

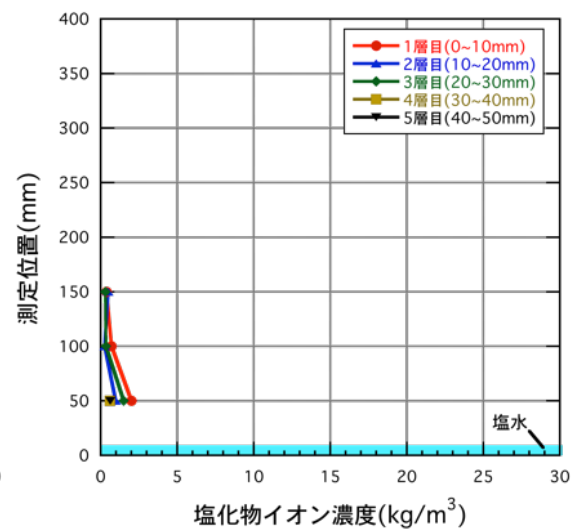


図-8 塩化物イオン濃度分布
(No.6 4mmカットプライマー+シリコン×2)

き、その上にコンクリートを打ち継いだ条件 (No.7)、レ イタンスを削った後、エポキシ樹脂を塗布し、その上に

コンクリートを打ち継いだ条件（No.8）である。

セメントの種類（高炉セメント，早強ポルトランドメント）の相違による実験に使用した供試体は，寸法が 200×400×100mm の矩形型とした．これまでの実験で，L 型の形状で無くとも吸い上げの比較が可能であることが分かっており，供試体作製の効率化を考えてこの形状とした．高炉セメントは，レディーミクスト工場から購入した普通-24-12-20-BB を用いた．早強セメントは，呼び強度 30(N/mm²)の配合のものを研究室で練り混ぜたものを使用した．養生方法は標準水中養生とし，早強セメント供試体は 7 日間 (33N/mm²)，高炉セメント供試体は 28 日間 (28N/mm²) 行い，結果的には，圧縮強度差は 5N/mm²となったが，影響は少ないと考え比較を行った．

養生終了後，乾燥の影響を取り除くため，供試体の両側面をシリコンでコーティングを行った．

3.2 実験概要

吸い上げに使用した塩水濃度はこれまで同様 24%とし，塩水吸い上げ期間は，打ち継ぎ処理の相違による実験に使用した供試体では 350 日，セメントの種類の相違による実験では，105 日で実施した．いずれも高温室（室温 30.0～33.1℃，湿度 35～40%）にて行い，水位の調整も，2.2 の実験概要と同様に行った．

吸い上げ実験終了後は，打ち継ぎ処理の相違による実験に使用した供試体は，打継目位置から貫通するようにドリルで粉末を採取し，蛍光X線分析装置を用いて塩化物イオン濃度分布を求めた．

セメントの種類の相違による実験では，供試体床版上面より 50，100，150mm の各高さの壁高欄面より，奥行き方向に 10mm 間隔で最大 50mm の深さまで，ドリル法により粉末を採取し，同様に塩化物イオン濃度分布を求めた．

3.3 実験結果

写真-3 は，打ち継ぎ処理の相違による実験に使用した供試体（No. 7，8）の吸い上げ 350 日後の状況を示したものである．吸い上げ面では，いずれも塩水の結晶化が生じているが，モルタルを敷いてから打ち継ぎを行った供試体（No. 7）が，エポキシ樹脂を塗布してから打ち継ぎを行った供試体（No. 8）よりも，吸い上げ高さは大きな傾向となった．また，No. 7 の吸い上げ背面側の写真には，結晶化が見られた．モルタルを敷いて打ち継ぎを行ったが，結果的に塩水の侵入は止めることが出来ず，打ち継ぎ目から塩水が浸透，結晶化したものと思われる．

図-9 は，No. 7 と No. 8 の打ち継ぎ部における断面方向の塩化物イオン濃度分布である．粉末採取位置は，写真-3 中に示してあるように，No. 7，No. 8 とも中心部から採取を行った．この図より，モルタルを敷いてから打ち継ぎを行った供試体（No. 7）は，エポキシ樹脂を塗布してから打ち継ぎを行った供試体（No. 8）よりも，塩化物イ

オン濃度は高く，また，背面側にも結晶化が生じている影響で，V 字型の分布となった．一方，No. 8 の供試体では，打ち継ぎ面のエポキシ樹脂を塗布しても吸い上げ自

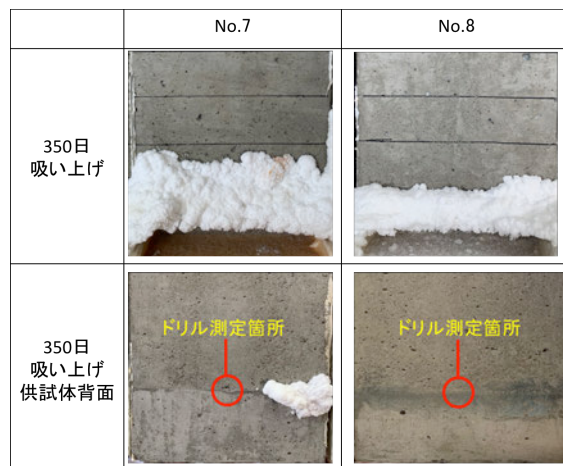


写真-3 塩水吸い上げ状況 (350 日)

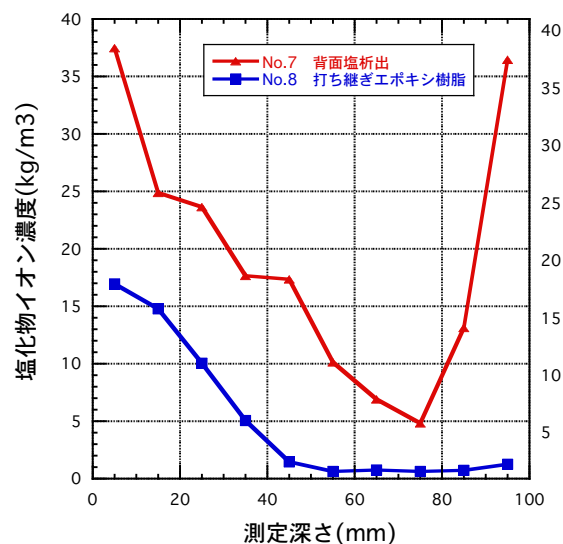


図-9 塩化物イオン濃度分布 (No. 7, 8)

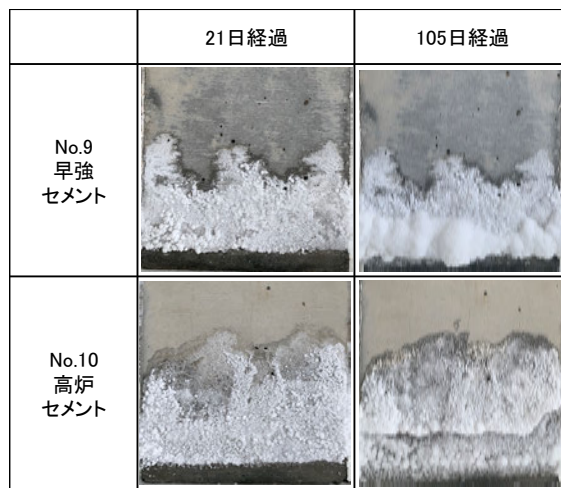
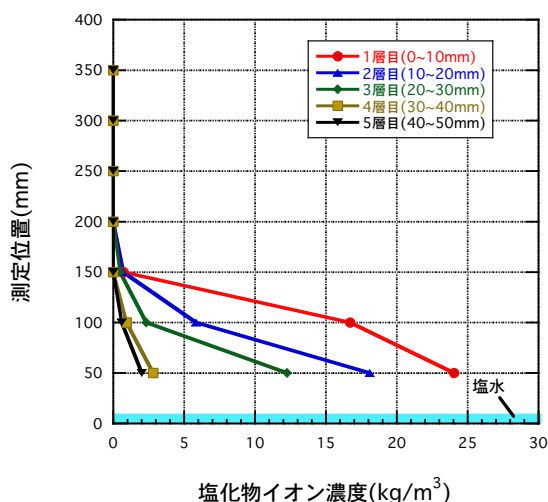
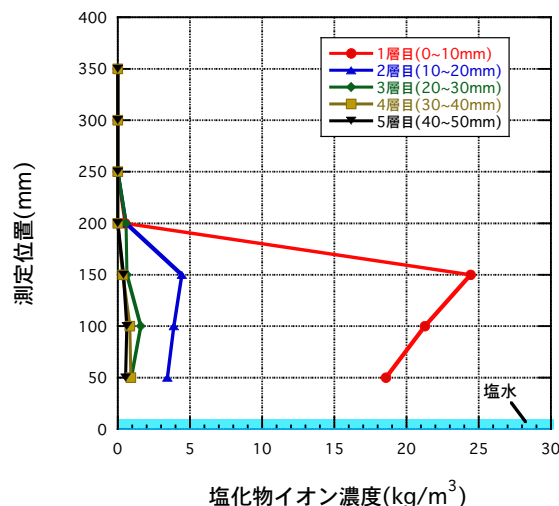


写真-4 塩水吸い上げ状況 (350 日)



図一10 塩化物イオン濃度分布 (No. 9)



図一11 塩化物イオン濃度分布 (No. 10)

体は抑えられないが、内部の塩化物イオンの拡散・浸透は抑制する傾向が見られた。

写真一4 は、セメントの種類の相違による実験に使用した供試体 (No.9, 10) の吸い上げ 105 日経過時の吸い上げ状況である。写真からは、高炉セメントを用いた供試体の方が、より塩水を高く吸い上げる結果となり、目視による測定では吸い上げ平均高さは No.9 が 109mm、No.10 が 142mm であった。

図一10 および図一11 は、供試体 (No.9, 10) の塩化物イオン濃度分布 (吸い上げ後 105 日)を示したものである。この図より、No.9 の早強セメントを用いた条件では、表層から 30mm の深さまでは、高い塩化物イオン量を示しているが、No.10 の高炉セメントを用いた条件では、表層部(0~10mm)の塩化物イオン濃度は、高い傾向であるが、内部では早強ポルトランドセメント条件と比べると、極端に小さくなっており、塩化物イオンの浸透・拡散を抑制していることが分かった。これは、高炉セメントの特徴である塩化物遮蔽性および化学抵抗性が大きいことによる結果と考えられる。表層部の塩水吸い上げ高さや、塩化物イオンの浸透が大きい点に関しては、含浸性塗布材などの併用により、抑制できるものと考えており、今後実験を予定している。

5. まとめ

本研究は、コンクリート製壁高欄やパラペットなどの薄壁 RC 構造物が、冬期に散布される凍結防止剤の吸い上げによる塩害やスケリングを早期に進行させる問題に着目し、塩水吸い上げを抑制するための方法について検討を行った。実験の範囲において以下のことが言える。

- (1) コンクリート表層部の塩水吸い上げの現象は、表層から深さ方向 10mm 程度で生じているため、U カット後にプライマーを塗布し高機能止水材を取り付け

た条件が、塩水吸い上げを抑制する効果が最も高いことが分かった。カットの深さおよび幅は 10mm 程度必要であり、高機能止水材をはめ込むことによって、塩水の結晶化の進行を抑制する効果が認められた。

- (2) 打ち継ぎ箇所は、施工不良の生じやすい箇所であり、条件によっては吸い上げ面の背面にも結晶化が生じる場合があることが分かった。その為、打ち継ぎ面にエポキシ樹脂などを塗布してから打ち継ぎを行うことで、コンクリート内部への塩水の浸透・拡散を抑制することが可能となることが分かった。
- (3) 高炉セメントを用いた供試体の塩水吸い上げによる内部の塩化物イオン濃度は、早強ポルトランドセメントを用いた場合に比べ、大きく抑制される結果となり、セメント固有の塩化物遮蔽性および化学抵抗性の効果が確認出来た。一方で、表層付近では、塩水の吸い上げ高さは大きくなり、表層部 (0~10mm) では塩化物イオン濃度が高くなる傾向があることが分かった。

参考文献

- (1) 小林稔, 武田三弘, 早坂洋平, 羽柴俊明: コンクリート製壁高欄の塩害に関する基礎研究, 平成 28 年度土木学会全国大会 第 71 回年次学術講演会講演概要集, V-432, pp.863-864, 2017.9
- (2) 岩館佑樹, 武田三弘, 大久保佑哉, 東海林裕喜: 長期塩水吸い上げによるコンクリートの劣化に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.42, No.1, pp.593-598, 2020
- (3) 岩館佑樹, 武田三弘, 皆川翔平: コンクリート製壁高欄の塩化物イオンの吸い上げ特性に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.41, No.1, pp.749-754, 2019