

報告 構造物の背後へ凍結防止剤の飛来を抑制する遮音壁の効果

鷲見 高典*1・原 崇将*2・吉田 亮*3・佐藤 天映*4

要旨: 都市高速道路では、路面凍結を防ぐため塩化ナトリウムによる凍結防止剤を散布している。点検では、高速道路の路外側となる鉄筋コンクリート壁高欄背面側で浮き、はく離が確認されており、凍結防止剤に起因する塩害と推察されている。既往の研究では、壁高欄を高くするなど天端の形状を変えると、壁高欄背面側への凍結防止剤の飛来が抑制できると数値計算を用いて報告されている。そこで、壁高欄上の遮音壁の有無に着目し、この背後での塩化物イオン濃度の比較から、凍結防止剤の飛来を抑制する遮音壁の効果について明らかにした。

キーワード: 凍結防止剤, 遮音壁, 塩化物イオン濃度, 見掛けの拡散係数

1. はじめに

名古屋市の北部から郊外へ北進する国道上に、約35,000台/日の車両が通行する都市高速道路がある。この路線は橋梁形式で濃尾平野の中央辺りに建設されており、車窓からは遠方の伊吹山や御嶽山を臨むこともでき、沿道には高層建築物は見当たらない。このため、冬季には伊吹おろしと呼ばれる冷たい季節風に晒され、路面凍結を防ぐために塩化ナトリウムによる凍結防止剤が、毎年、頻回散布され、構造物への影響が懸念されている。

当該路線の定期点検では、上部構造を構成する鉄筋コンクリート壁高欄（以下、「RC高欄」という。）で図-1のようなコンクリートの浮き、はく離、鋼材腐食等が確認されており、劣化の更なる進行を危惧している。これらの多くはRC高欄の壁面や主桁から張り出す鉄筋コンクリート床版で確認されており、かぶりの不足、凍結防止剤による塩害等が影響していると推察している。当該路線の供用年数は21年余りで、供用年数および定期点検の結果からすると浮き、はく離、鋼材腐食等の変状の発生が他路線よりも早く、その発生箇所が多いように感じられる。

これまで、多くの文献^{1)~3)}で報告されているように、RC高欄には通行車両や風により散布された凍結防止剤が飛散・飛来しているものと予想していた。橋梁の路面に散布された凍結防止剤の飛来については、野口ら⁴⁾が粒子挙動計算を用いて報告しており、風によって飛来する凍結防止剤は、高架道路路面より風上の壁高欄、主桁および床版下面へは飛来が少なく、風下の構造物の背後へ回り込むように運ばれ、路外側の壁高欄背面に飛来しやすいことを、併せて、壁高欄の天端に板状の付属物が設置されていると壁高欄背面へは飛来が抑制されることを報告している。



注) 露出した鉄筋は、防錆のために一時的に塗装してある。

図-1 RC高欄かぶりがはく離した一例

そこで、高速道路の路外側になるRC高欄背面部で遮音壁の有無に着目して塩化物イオン濃度を調査し、これを用いてRC高欄背面部における表面の塩化物イオン濃度および見掛けの拡散係数を求め、遮音壁の有無による比較から、RC高欄背面部へ凍結防止剤の飛来を抑制する遮音壁の効果を明らかにする。

2. 調査の対象とした橋梁とその範囲

2.1 調査の条件と選定した橋梁

凍結防止剤の飛来を抑制する遮音壁の効果を計るため、遮音壁の有無を除き、凍結防止剤のコンクリートへの侵入に影響する風雨および日射、幅員方向の断面形状、路面の凍結防止剤を飛散させる交通量等がほぼ統一できる1つの直橋から調査箇所を選定するものとした。

選定した橋梁の平面略図を図-2に示す。RC高欄に設置されている遮音壁の高さは全て1mである。遮音壁が設置されている区間は、西側は南側中間支点から北側端支点まで、東側は北側の側径間の7割以上の延長となり、当該橋梁に接続する北側の橋梁には同一の遮音壁が設置されている。

当該橋梁は、本線の上り(南行き)から出口へ向かう減

*1 名古屋高速道路公社 技術管理室 室長 工博 (正会員)

*2 名古屋高速道路公社 技術管理室

*3 名古屋工業大学大学院 工学専攻 環境都市プログラム 准教授 工博 (正会員)

*4 名古屋高速道路公社 メンテナンス事業部 工事課

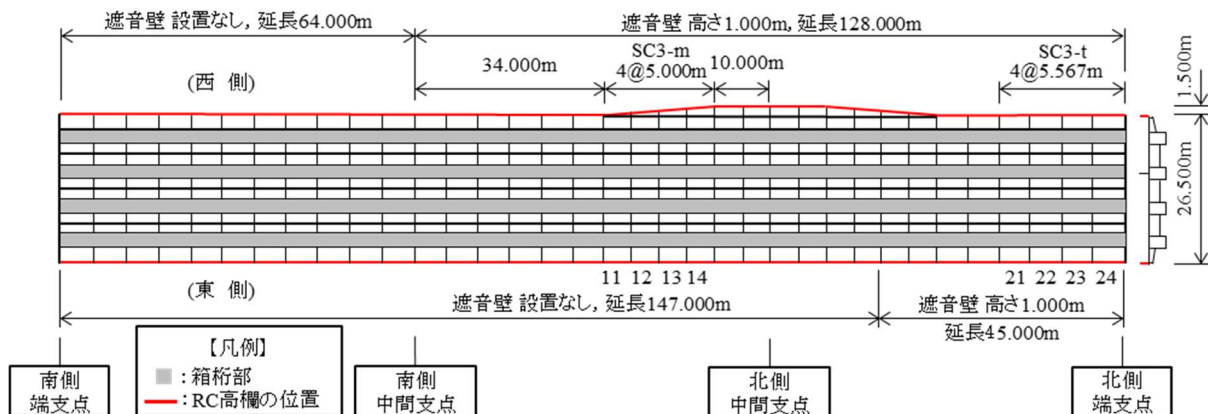


図-2 選定した橋梁の上部構造における調査範囲の平面略図

速車線が、本線の下り(北行き)および上りで挟まれる構造を有しており(通称「センターランプ方式」), 箱桁による4主桁で全幅員26.5m, 橋長192.0mを構成し, 北側中間支点の西側には非常駐車帯用の1.5mの拡幅を有する3径間連続RC床版鋼箱桁橋である。道路構造令による道路の区分は二種一級が適用されており, 本線の下りと上りが各2車線および減速車線の1車線から構成される。路面の高さは地上から15m程度で南北方向に位置する国道上に建設されている。この橋梁の周辺には路面高を超える建築物はほぼ見当たらず, 上部構造は, 風向の卓越する北西方向からの風に晒される状況にある。

また, 当該橋梁は調査時点で供用から21年余りが経過していた。

2.2 選定した橋梁の調査範囲

遮音壁の有無に着目して凍結防止剤の飛来の抑制効果を明らかにしたいため, 調査範囲としては, 図-2に示すように, 東側のRC高欄に遮音壁が設置されていない中央径間の20mの区間と, 東西ともRC高欄に遮音壁が設置される北側の側径間における約22mの区間を調査範囲に選定した。ここで, 中央径間側はSC3-m, 側径間側はSC3-tと表し, RC高欄の東側の場合はEを, 西側の場合はWを末尾に記す。例えば, 中央径間の東側のRC高欄はSC3-mEと表す。

2.3 選定した橋梁の実態

調査結果で示された塩化物イオンがコンクリートの材料および施工に起因するものでなく, 凍結防止剤が疑われるのであれば, この飛来を抑制する遮音壁の効果を明らかにするためには, 塩化物イオン濃度に注目することも考えられ, 調査結果は当該橋梁の現状の把握にも役立つため, 当該橋梁の実態として竣工図書類, 凍結防止対策および点検の実施状況について調査した。

(1) 竣工図書類による資料調査

当該橋梁に適用された設計基準および工事の仕様書には, 使用するコンクリートはJIS A 5308「レディーミ

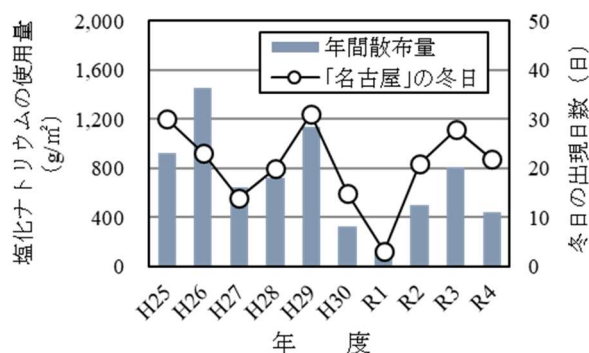


図-3 凍結防止剤の年間使用量と冬日の出現日数

クストコンクリート」を適用し, 設計基準強度は240kg/cm² (24N/mm²)によりRC高欄を施工することが定められている。当時の配合計画書には, 呼び方は普通24-8-25N, 塩化物含有量なし, 単位水量162kg/m³および骨材のアルカリシリカ反応性試験の結果は区分A(無害)と記載があり, 規格値を満足していることが記されている。打設に関しては, 5月に施工されたこと, 生コンの運搬に要する時間は90分以内であったこと, 適切にコンクリートポンプ車を用いたこと等が施工計画書および竣工時の成果品に記載されている。

したがって, RC高欄は適切な管理の下に施工されており, 竣工までに塩化物イオンはコンクリートに混入していないと判断する。

(2) 路面の凍結防止対策

当該橋梁がある路線では, 冬季の路面凍結を防ぐために塩化ナトリウムによる凍結防止剤が用いられており, 凍結防止剤の使用量について, 今回の調査時から名古屋高速道路公社が保管する過去10年間の記録を整理し, 当該橋梁への散布の実態を把握する。この整理の結果に合わせ, 当該橋梁に近い気象庁の観測地点である「名古屋」で日最低気温が0℃未満であった冬日の出現日数を図-3に示す。冬日の出現日数が多い年は凍結防止剤の散布量も多く, 10年間の年平均値は712g/m²である。当

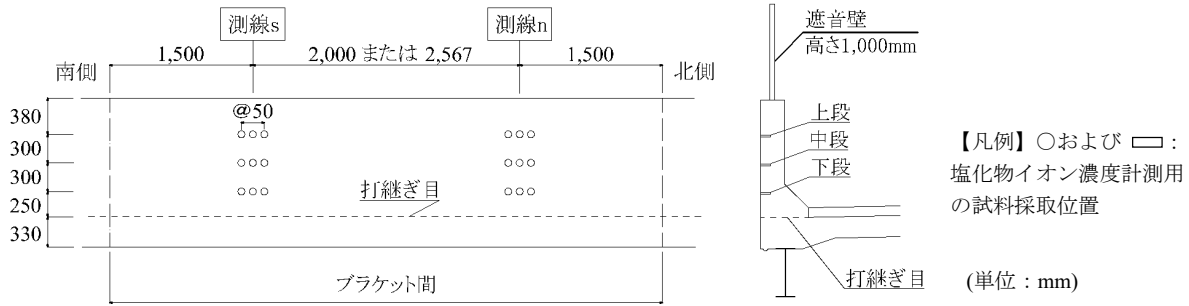


図-4 RC高欄背面から試料を採取する測点の位置

該橋梁の建設地域は「雪寒法」の積雪寒冷地域ではないが、2.1 調査の条件と選定した橋梁に示したように、当該橋梁の上部構造は北西方向からの風に晒されやすく、路面凍結に注意すべき状況に置かれやすいといえる。

(3) 点検の実施状況

本調査時から3年前に実施された当該橋梁の定期点検では、RC高欄で浮きが確認されている。かぶり部分の浮きやはく離は、コンクリートに含まれる物質の膨張に起因することがある。

そこで、凍害の可能性について調べると、当該橋梁のJASS 5⁹⁾に示されるコンクリートの品質が良くない場合に凍害が発生する地域に該当しない。気象庁の観測地点である「名古屋」では、冬季に-2℃程度の最低気温を記録することもあるが、これまでの点検や維持作業あるいは近隣にある他のコンクリート部材でも、凍害らしい変状は確認されていない。

次に、ASRの可能性について調べると、点検では反応環などの特徴的な現象は認められておらず、使用された骨材については前述のとおり配合報告書に「無害」の記載があり、ASRが発生している可能性は低いと思われる。

そして、鉄筋腐食の原因となり得る中性化は、はく離の近傍をはじめ当該壁高欄16箇所まで調査されており、中性化深さは19.3mm～23.3mmであった。かぶりは調査していないが、設計値および竣工図では62mmで、中性化により鉄筋腐食が発生しているとは考えにくい。

また、当該橋梁は、海岸線から10km以上内陸に建設されているため海からの飛来塩分はほぼない⁹⁾といえる。

このようなことから、当該橋梁で確認されている浮きの要因としては、凍結防止剤の塩化ナトリウムに起因し、鋼材腐食のサビの生成による膨張あるいはかぶり不足が疑われる。

3. 橋梁の特定部材での塩化物イオン濃度の実態調査

3.1 試料の採取位置と計測方法

塩化物イオン濃度を計測するために、試料を採取したRC高欄の区間SC3-mおよびSC3-tを図-2に示す。SC3-mは南側中間支点より北へ6部材目のブラケットか

ら10部材目までの20mとし、SC3-tは北側中間支点より北へ8部材目のブラケットから北側端支点までの約22mとした。ブラケット間の表し方としては、南側よりSC3-mでは11, 12, 13, 14とし、SC3-tでは21, 22, 23, 24とした。

次にRC高欄背面より試料の採取位置とした測点を図-4に示す。あるブラケット間において南側または北側のブラケットから1,500mmの位置に測線を設けてsまたはnとし、ブラケット間の名称に続けて表す。例えば、SC3-mE11における南側の測線はSC3-mE11sと表す。そして、この測線上を高欄天端から鉛直方向に下へ380mm, 300mm, 300mmの間隔で3つの測点を設定し、順に上段, 中段, 下段と表す。

このようにして設定した測点より、φ20mmのドリルを用いてコンクリート表面から20mm毎に1つの試料を採取し、深さ100mmまで5つの試料を採取した。この時、塩化物イオン濃度を計測するには採取量が不十分なため、設定した測点から水平方向に50mm離れた2箇所からも同様に削孔粉を採取した。これは、塩化物イオンの侵入は表面から10cm程度⁷⁾とされていること、JSGE-G573⁸⁾には見掛けの拡散係数を求める場合に5つ以上の深さで塩化物イオン濃度を求めるとあること、JCI-SC5⁹⁾に準拠して蛍光X線分析により塩化物イオン濃度の計測を実施したいことからの理由から、このように設定した。このようにして採取した1つの試料から得られた値は、深さ10mm, 30mm, 50mm, 70mmまたは90mmにおける計測点の値とした。

3.2 塩化物イオン濃度の調査結果

SC3-mW, SC3-mE および SC3-tW, SC3-tE の各計測点での塩化物イオン濃度の計測値を表-1(a), (b)および表-2(a), (b)にそれぞれ示す。RC高欄への塩化物イオンの広がり方を視覚的に捉えやすくするために、この計測値に閾値を設けて記載欄を閾値毎に着色した。この閾値には、JIS A 5308に規定される許容値から0.3kg/m³を、コンクリート標準示方書[設計編]¹⁰⁾に示されるコンクリート中の鋼材に腐食が発生する限界の下限値と上限値の1.2kg/m³および2.4kg/m³を適用した。また、RC高欄のコ

表-1 SC3-m の RC 高欄背面の塩化物イオン濃度

(a) SC3-mW の各計測点の値 (kg/m³)

| 分類(西側) | 11s | 11n | 12s | 12n | 13s | 13n | 14s | 14n |
|---------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 深さ 10mm | 上段 | 0.290 | 0.120 | 0.060 | 0.060 | 0.080 | 0.080 | 0.090 |
| | 中段 | 0.130 | 0.100 | 0.060 | 0.050 | 0.120 | 0.060 | 0.060 |
| | 下段 | 0.160 | 0.080 | 0.050 | 0.070 | 0.090 | 0.060 | 0.070 |
| 深さ 30mm | 上段 | 0.570 | 0.250 | 0.290 | 0.170 | 0.300 | 0.280 | 0.260 |
| | 中段 | 0.920 | 0.210 | 0.180 | 0.190 | 0.350 | 0.130 | 0.160 |
| | 下段 | 0.440 | 0.250 | 0.220 | 0.240 | 0.300 | 0.160 | 0.200 |
| 深さ 50mm | 上段 | 0.380 | 0.240 | 0.160 | 0.230 | 0.180 | 0.240 | 0.210 |
| | 中段 | 0.510 | 0.140 | 0.150 | 0.140 | 0.130 | 0.200 | 0.130 |
| | 下段 | 0.300 | 0.140 | 0.150 | 0.170 | 0.150 | 0.160 | 0.120 |
| 深さ 70mm | 上段 | 0.260 | 0.100 | 0.110 | 0.120 | 0.110 | 0.120 | 0.130 |
| | 中段 | 0.270 | 0.080 | 0.210 | 0.070 | 0.140 | 0.120 | 0.080 |
| | 下段 | 0.160 | 0.060 | 0.080 | 0.100 | 0.100 | 0.090 | 0.070 |
| 深さ 90mm | 上段 | 0.150 | 0.290 | 0.080 | 0.090 | 0.160 | 0.070 | 0.070 |
| | 中段 | 0.220 | 0.070 | 0.320 | 0.070 | 0.120 | 0.060 | 0.070 |
| | 下段 | 0.110 | 0.060 | 0.110 | 0.230 | 0.130 | 0.090 | 0.120 |

(b) SC3-mE の各計測点の値 (kg/m³)

| 分類(東側) | 11s | 11n | 12s | 12n | 13s | 13n | 14s | 14n |
|---------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 深さ 10mm | 上段 | 0.440 | 0.340 | 0.310 | 0.970 | 0.960 | 0.630 | 0.940 |
| | 中段 | 0.620 | 0.940 | 0.220 | 0.330 | 0.390 | 1.150 | 0.380 |
| | 下段 | 0.910 | 2.440 | 0.530 | 0.410 | 1.040 | 2.250 | 0.350 |
| 深さ 30mm | 上段 | 2.770 | 3.140 | 1.390 | 1.910 | 3.870 | 3.070 | 1.980 |
| | 中段 | 2.530 | 2.840 | 0.960 | 1.680 | 2.340 | 4.820 | 1.630 |
| | 下段 | 3.320 | 2.280 | 0.820 | 0.570 | 3.210 | 3.530 | 1.000 |
| 深さ 50mm | 上段 | 2.970 | 2.440 | 0.880 | 0.720 | 2.980 | 3.110 | 0.840 |
| | 中段 | 2.680 | 2.470 | 0.880 | 0.740 | 2.700 | 3.180 | 0.630 |
| | 下段 | 1.060 | 1.040 | 0.330 | 0.320 | 1.330 | 1.790 | 0.350 |
| 深さ 70mm | 上段 | 2.380 | 1.730 | 0.300 | 0.330 | 1.100 | 1.110 | 0.390 |
| | 中段 | 0.940 | 1.060 | 0.350 | 0.310 | 0.950 | 3.400 | 0.410 |
| | 下段 | 0.400 | 0.390 | 0.190 | 0.140 | 0.450 | 0.690 | 0.220 |
| 深さ 90mm | 上段 | 0.970 | 0.550 | 0.150 | 0.160 | 0.410 | 0.760 | 0.220 |
| | 中段 | 0.490 | 0.400 | 0.210 | 0.190 | 0.450 | 6.520 | 0.180 |
| | 下段 | 0.250 | 0.270 | 0.130 | 0.100 | 0.240 | 0.340 | 0.170 |

【凡例】 0.300 < 1.200 < 1.750 < 2.400 <

表-2 SC3-t の RC 高欄背面の塩化物イオン濃度

(a) SC3-tW の各計測点の値 (kg/m³)

| 分類(西側) | 21s | 21n | 22s | 22n | 23s | 23n | 24s | 24n |
|---------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 深さ 10mm | 上段 | 0.100 | 0.070 | 0.120 | 0.120 | 0.110 | 0.070 | 0.100 |
| | 中段 | 0.070 | 0.060 | 0.080 | 0.080 | 0.070 | 0.060 | 0.060 |
| | 下段 | 0.100 | 0.050 | 0.070 | 0.070 | 0.060 | 0.060 | 0.050 |
| 深さ 30mm | 上段 | 0.410 | 0.280 | 0.380 | 0.630 | 0.270 | 0.280 | 0.260 |
| | 中段 | 0.440 | 0.240 | 0.200 | 0.300 | 0.180 | 0.190 | 0.220 |
| | 下段 | 0.290 | 0.150 | 0.220 | 0.280 | 0.140 | 0.150 | 0.230 |
| 深さ 50mm | 上段 | 0.280 | 0.310 | 0.210 | 0.470 | 0.190 | 0.180 | 0.280 |
| | 中段 | 0.290 | 0.190 | 0.190 | 0.360 | 0.160 | 0.130 | 0.180 |
| | 下段 | 0.240 | 0.210 | 0.200 | 0.260 | 0.140 | 0.120 | 0.180 |
| 深さ 70mm | 上段 | 0.150 | 0.120 | 0.120 | 0.230 | 0.100 | 0.100 | 0.120 |
| | 中段 | 0.170 | 0.060 | 0.380 | 0.150 | 0.070 | 0.060 | 0.090 |
| | 下段 | 0.100 | 0.090 | 0.100 | 0.130 | 0.900 | 0.080 | 0.250 |
| 深さ 90mm | 上段 | 0.070 | 0.060 | 0.090 | 0.120 | 0.110 | 0.070 | 0.060 |
| | 中段 | 0.070 | 0.050 | 1.480 | 0.050 | 0.080 | 0.050 | 0.070 |
| | 下段 | 0.090 | 0.080 | 0.070 | 0.110 | 0.130 | 0.140 | 0.210 |

(b) SC3-tE の各計測点の値 (kg/m³)

| 分類(東側) | 21s | 21n | 22s | 22n | 23s | 23n | 24s | 24n |
|---------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 深さ 10mm | 上段 | 0.380 | 0.150 | 0.080 | 0.550 | 0.080 | 0.130 | 0.510 |
| | 中段 | 0.130 | 0.240 | 0.070 | 0.130 | 0.110 | 0.080 | 0.510 |
| | 下段 | 0.200 | 0.180 | 0.110 | 0.100 | 0.070 | 0.120 | 0.440 |
| 深さ 30mm | 上段 | 1.130 | 0.860 | 0.450 | 1.270 | 0.320 | 0.470 | 1.250 |
| | 中段 | 0.740 | 1.320 | 0.240 | 1.050 | 0.390 | 0.390 | 1.390 |
| | 下段 | 0.470 | 0.740 | 0.250 | 0.490 | 0.230 | 0.270 | 0.840 |
| 深さ 50mm | 上段 | 0.420 | 0.480 | 0.270 | 1.020 | 0.230 | 0.350 | 0.540 |
| | 中段 | 0.360 | 0.600 | 0.240 | 0.340 | 0.260 | 0.190 | 0.440 |
| | 下段 | 0.210 | 0.290 | 0.250 | 0.270 | 0.190 | 0.220 | 0.320 |
| 深さ 70mm | 上段 | 0.170 | 0.200 | 0.270 | 0.240 | 0.120 | 0.180 | 0.170 |
| | 中段 | 0.130 | 0.300 | 0.110 | 0.340 | 0.140 | 0.110 | 0.190 |
| | 下段 | 0.130 | 0.150 | 0.090 | 0.110 | 0.090 | 0.090 | 0.170 |
| 深さ 90mm | 上段 | 0.120 | 0.150 | 0.160 | 0.090 | 0.080 | 0.080 | 0.110 |
| | 中段 | 0.070 | 0.180 | 0.070 | 0.110 | 0.080 | 0.070 | 0.100 |
| | 下段 | 0.060 | 0.080 | 0.080 | 0.090 | 0.090 | 0.100 | 0.060 |

【凡例】 0.300 < 1.200 < 1.750 < 2.400 <

ンクリートには W/C=55%および普通ポルトランドセメントが用いられていることから、コンクリート標準示方書[維持管理編]¹¹⁾に示される鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度を求める式(1)の

$$C_{lim} = -3.0(W/C) + 3.4 \quad (1)$$

ここに、

C_{lim} : 鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度 (kg/m³)

W/C : 水セメント比 (0.30 ≤ W/C ≤ 0.55)

より、鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度を求めて得られた 1.75kg/m³も適用した。

当該橋梁が晒される気象環境から西側の RC 高欄は高速道路路面より風上側になり、表-1(a)または表-2(a)に示すように、塩化物イオン濃度が 0.300kg/m³を超える計測点は僅かで、凍結防止剤の散布された路面上を通過した風が流れてこないためと思われる。一方、高速道路路面の風下になる東側の RC 高欄では、表-1(b)または表-2(b)に示すように、0.300kg/m³を超える計測点が多く、塩化物イオン濃度が深さ 10mm よりも 30mm で高い。これは、風雨や日射によるコンクリート表面の乾湿の繰り返しや、中性化フロントの発生によると思われる。

RC 高欄の西側よりも東側で塩化物イオン濃度が高いのは、野口ら⁴⁾の報告と同様で、発生しやすい北西風および高速道路路面の風下に RC 高欄の東側が位置するた

めと考えられる。SC3-mE と SC3-tE の差異については、高さ 1m の遮音壁の有無により風の流れ方が異なり、SC3-tE は遮音壁により凍結防止剤の飛来が抑制されていると考えられる。

4. 凍結防止剤の飛来を抑制する遮音壁の効果

4.1 塩化物イオン濃度と見掛けの拡散係数の算出

表-1(b)、表-2(b)に示すそれぞれ SC3-mE、SC3-tE の計測値は、深さ毎に箱ひげ図により外れ値を除外し、対数正規分布による理論分布と 7 つの階級による頻度分布が、最小二乗法により一致していると言えるか確認した。SC3-mE、SC3-tE の深さ毎の計測点における頻度分布および理論分布を図-5 および図-6 の(a)~(e)に示す。

ここで、物質の拡散は近似的に対数正規分布で表すことができる^{12),13)}と報告されており、鉄筋コンクリート構造物の塩化物イオン濃度の調査結果も対数正規分布によって表すことが可能である^{14),15)}と報告されている。

そこで、今回の塩化物イオン濃度の計測結果が、対数正規分布に従っているものと仮定した場合の χ^2 適合度検定の結果を表-3に示す。SC3-mE の深さ 10mm と 50mm および SC3-tE の深さ 30mm の計測点では有意水準 5%で棄却される。これらは、濃度の高い階級値で理論値との差が大きいこと、標本数が 22 または 24 と少ないことが

影響しているように思われる。しかしながら、これらの分布傾向は概ね理論値に沿っており、ここでは理論分布で表すことができるものとして考察を進める。

計測点毎に、ここでは非超過確率 95%を適用した場合を当該計測点での塩化物イオン濃度とし、これらをコンクリート標準示方書[維持管理編]¹¹⁾に示される式(2)の

$$C(x,t) = \gamma_{cl} C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \frac{0.1 x}{2 \sqrt{D_{ap} t}} \right) + C_i \quad (2)$$

ここに、

$C(x,t)$: 深さ x (mm), 供用期間 t (年)における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

C_0 : 表面における塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

D_{ap} : 塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (cm^2/s)

C_i : 初期含有塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

(ここでは配合報告書よりなしとした。)

erf : 誤差関数

γ_{cl} : 予測の精度に関する安全係数

(ここでは 1 とする。)

より、SC3-mE および SC3-tE の非超過確率 95%の値による表面の塩化物イオン濃度 C_0' および見掛けの拡散係数 D_{ap}' を求める。そして、この結果を遮音壁の有無によって比較し、凍結防止剤の飛来を抑制する高さ 1m の遮音壁の効果を定量的に示す。

ここで、普通ポルトランドセメントによる見掛けの拡散係数は $10^{-8} \sim 10^{-7} \text{cm}^2/\text{s}$ である¹⁶⁾とされており、単位には $\text{cm}^2/\text{年}$ ではなく cm^2/s を適用し、求められた値が特異な値ではないことを確認しやすくした。

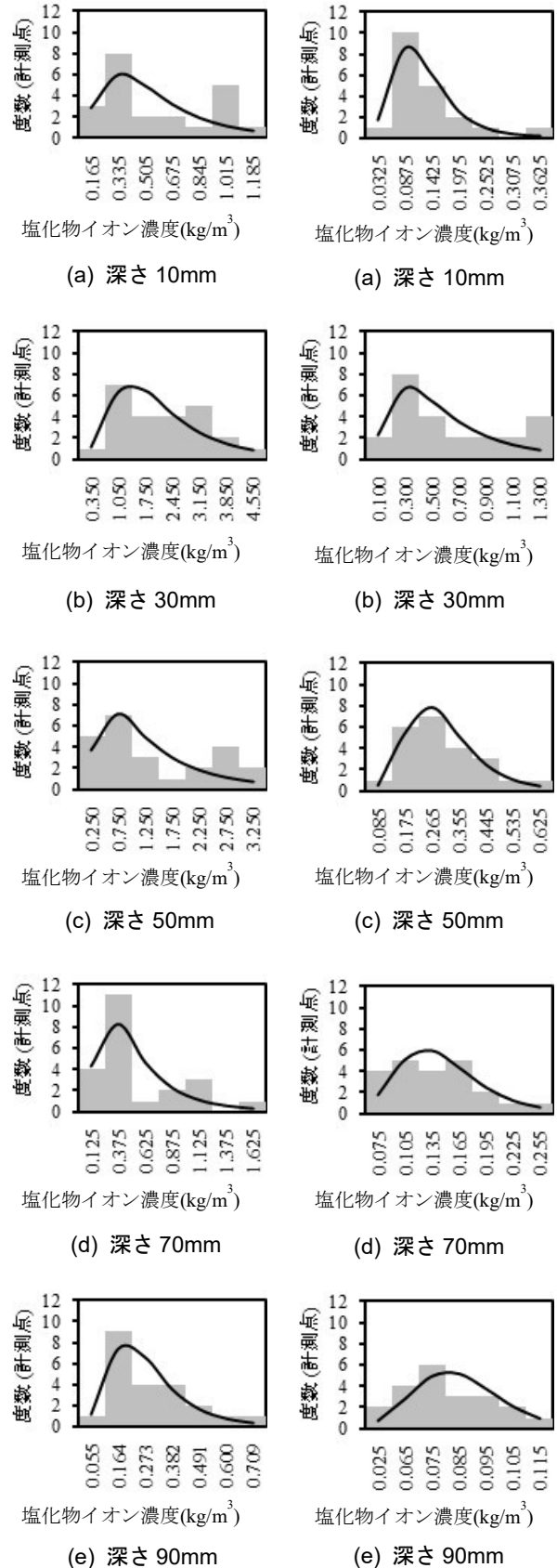
また、高さ 1m の遮音壁が設置される SC3-mW および SC3-tW では、卓越する風向から凍結防止剤は飛来しにくく、塩化物イオン濃度の計測値が低いため、本報告では計測値の整理を見送った。

4.2 定量的な遮音壁の効果

SC3-mE および SC3-tE の各計測点における非超過確率 95%の値から式(2)より求めた C_0' および D_{ap}' を表-3 に示す。遮音壁がある SC3-tE の値は、両変数ともに遮音壁がない SC3-mE の値よりも小さい。SC3-tE の C_0' は、使用されているコンクリートの W/C より求められた鋼材腐食の発生限界の値 $1.75 \text{kg}/\text{cm}^3$ よりも小さく、現状では塩化物イオンによる鋼材腐食は発生しにくいものと考えられる。 D_{ap}' は、SC3-mE より SC3-tE の値が小さく、塩化物イオンの拡散は遅いといえる。

したがって、当該橋梁の RC 高欄のコンクリートは、

2.3 選定した橋梁の実態よりほぼ同様に建設・管理されており、計測されている塩化物イオンは供用後の凍結防止剤によるものと考えられる。SC3-mE よりも SC3-tE で塩化物イオンが侵入していないのは、高さ 1m の遮音壁により凍結防止剤の飛来が抑制された可能性が高い。そ



【凡例】 ■ : 観測度数
— : 理論分布

図-5 SC3-mE の塩化物イオン濃度の頻度分布

【凡例】 ■ : 観測度数
— : 理論分布

図-6 SC3-tE の塩化物イオン濃度の頻度分布

表-3 各計測点の非超過確率 95%による塩化物イオン濃度と式(2)よりこれらから求められる変数の値

| 分類 | 深さ x (mm) | データ数 | χ^2 値 | 自由度 | $\chi^2_{0.05}(4)$ | 非超過確率95% | 非超過確率95%の $C(x,t)$ 'より | |
|--------|-------------------|------|------------|-----|--------------------|---|--|--|
| | | | | | | 塩化物イオン濃度 $C(x,t)$ ' (kg/m ³) | 表面の塩化物イオン濃度 C_0' (kg/m ³) | 見掛けの拡散係数 D_{ap}' (cm ² /s) |
| SC3-mE | 10 | 22 | 16.552 | 4 | 9.488 | 1.274 | 3.478 | 1.147×10^{-7} |
| | 30 | 24 | 3.856 | 4 | 9.488 | 4.896 | | |
| | 50 | 24 | 11.953 | 4 | 9.488 | 3.970 | | |
| | 70 | 22 | 9.149 | 4 | 9.488 | 1.323 | | |
| | 90 | 22 | 2.618 | 4 | 9.488 | 0.595 | | |
| SC3-tE | 10 | 20 | 7.554 | 4 | 9.488 | 0.244 | 0.880 | 6.289×10^{-8} |
| | 30 | 24 | 13.629 | 4 | 9.488 | 1.579 | | |
| | 50 | 23 | 1.982 | 4 | 9.488 | 0.527 | | |
| | 70 | 22 | 4.168 | 4 | 9.488 | 0.235 | | |
| | 90 | 21 | 3.860 | 4 | 9.488 | 0.114 | | |

注1) 自由度は母平均と母分散を測定値から推定しているため (7-1)-2=4 となる。

注2) ■は、 $\chi^2_{0.05}(4)=9.488$ を超える χ^2 値。

して、遮音壁の効果は、 C_0' および D_{ap}' によって定量的に表すことも可能になる。

5. まとめ

本報告より、RC 高欄の塩化物イオンは凍結防止剤によるものと考えられ、遮音壁により凍結防止剤の飛来は抑制されており、この効果は、RC 高欄背面部の塩化物イオンの濃度分布ならびにこの計測値を用いて算出された C_0' および D_{ap}' によって定量的に表すこともできる。少なくとも調査対象とした橋梁と建設された環境および構造が同様であれば、RC 高欄背面部での塩害は、遮音壁が設置されていない区間よりも設置されている区間では、進行が遅いと判断できる。

今後は、遮音壁の高さの差異によるこの効果の程度について調査を進めていきたい。

謝辞：本報告のデータの収集・整理については、名古屋高速道路公社の戸澤智子さんをはじめ多くの方にご協力いただきました。ここに記して感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 泰聡一郎, 白土博通, 野口恭平, 八木知己: 車両走行による凍結防止剤の飛散特性, 土木学会論文集 A1, Vol.73, No.1, pp.195-205, 2017
- 2) 岩崎英治, 永藤壽宮, 湯浅昭, 西剛広: 凍結防止剤の飛散と鋼橋の腐食, 構造工学論文集, Vol.58A, pp.655-667, 2012
- 3) 小畑誠, 長谷川高士, 永田和寿, 後藤芳顕: 固気 2 相流解析による飛来塩分の付着シミュレーション, 構造工学論文集, Vol.54A, pp.590-598, 2008
- 4) 野口恭平, 徳増秀俊, 繁田匡寿, 高家宏之進, 坪倉佑太, 八木知己: 周囲に障害物のない橋梁路面から大気中に飛散した凍結防止剤の主桁への付着特性, 土木学会論文集 A1, Vol.76, No.3, pp.510-522, 2020

- 5) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 5 鉄筋コンクリート工事, pp.531-533, 2002
- 6) 建設省土木研究所: 飛来塩分量全国調査(III), 土木研究所資料, 第 2687 号, pp.11-13, 1988
- 7) 高橋佑弥, 井上翔, 秋山仁志, 岸利治: 実構造物中のフライアッシュコンクリートへの塩分浸透性状と調査時材齢の影響に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.803-808, 2010
- 8) 土木学会: 2018 年制定コンクリート標準示方書[規準編] 土木学会基準および関連規準, JSCE-G573 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(案), pp.407-411, 2018
- 9) 日本コンクリート工学協会: JCI 規準集, JCI-SC5 硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析方法, pp.127-134, 2004
- 10) 土木学会: 2012 年制定コンクリート標準示方書[設計編], pp.73-74, 2012
- 11) 土木学会: 2018 年制定コンクリート標準示方書[維持管理編], pp.140-146, 2018
- 12) 広尾純, 塩沢清茂: 大気汚染物質濃度の分布型について, 大気汚染学会誌, 第 14 巻, 第 8 号, 1979
- 13) 気象庁気象研究所: 気象庁移流拡散モデル設計書, 気象研究所技術報告, 第 84 号, pp.22-23, 2021
- 14) Sumi, T. and Umehara, H.: Assessment of the Corrosion Time of Reinforcing Steel by Salt Attack in the Reinforced Concrete Piers, ConMat'09 4th International Conference on Construction Materials, pp.131-136, 2009
- 15) 鷺見高典, 片山真, 梅原秀哲: 都市高速道路のコンクリート橋脚における塩化物イオンの拡散予測, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.3, pp.1693-1698, 2008
- 16) 大即信明, 森好生, 関博: 海洋環境におけるコンクリート中の塩素に関する一考察, 土木学会論文報告集, 第 332 号, pp.107-118, 1983