

路面上に散布された凍結防止剤の桁部への飛来特性に関する検討

長岡技術科学大学 学生会員 金田 祐樹
 長岡技術科学大学 正会員 岩崎 英治
 秋田工業高等専門学校 正会員 中嶋 龍一朗

1. はじめに

積雪寒冷地では、冬期における路面凍結を防ぐため、路面上に凍結防止剤として大量の塩化物を散布している。我が国では、スパイクタイヤの使用禁止以降、凍結防止剤散布は車両走行の安全性確保の観点において極めて重要となっている。しかし、塩化物は鋼材の腐食を促進することから、橋梁などの鋼構造物の腐食損傷が懸念されている。実態として、車両通過や風などの影響により路面上の凍結防止剤が飛散し、鋼桁部に付着することによる腐食事例が報告されている。この桁部への飛来量に関する十分なデータは得られておらず、凍結防止剤の詳細な飛来特性は未だ把握できていない。そこで本研究では、路面上に散布された凍結防止剤の桁部への飛来量を定量的に調査し、数値シミュレーションと関連付けて桁部への飛来特性を検討する。

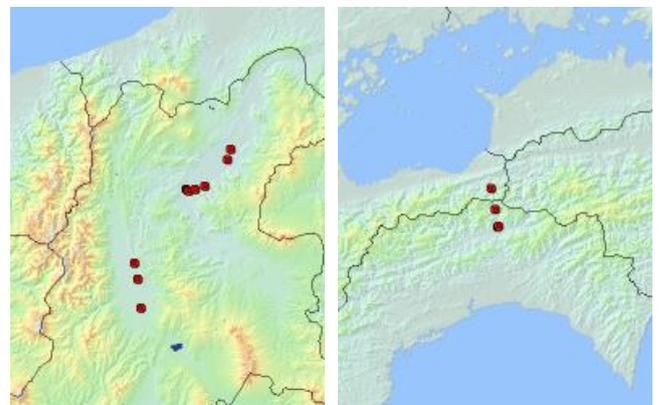
2. 対象地域と橋梁

海からの飛来塩分の影響がなく、凍結防止剤の散布量や交通量の信頼性の高いデータが入手しやすい高速道路の橋梁を検討対象とした。長野県内の上信越道と長野道の中で平地部に建設された 9 橋梁、および高知県と愛媛県の県境付近の高知道の 4 橋梁を図-1 に・印で示している。対象橋梁は、上信越道の信州中野 IC から更埴 JCT 間、長野道の更埴 JCT から塩尻北 IC 間と高知道の新宮 IC から大豊 IC 間にある。これらの区間の凍結防止剤の散布量と交通量を表-1 に示す。なお、本報告では高低差のない並列橋の調査結果についてのみ報告する。

3. 塩分捕集器具の設置

橋梁の桁に、凍結防止剤の飛来量を測定するドライガーゼ式塩分捕集器具を設置した。図-2 に器具の設置位置を示す。路面上から飛散した凍結防止剤は、外桁外面の下部に多く飛来することから、上下線の橋梁の外桁外面のみに設置している。

図-3 に、器具配置の実橋への設置状況を示す。塩分捕集器具は、凍結防止剤を含んだ空気がガーゼを



(a) 上信越道, 長野道 (b) 高知県
 図-1 対象地域と橋梁位置(数値地図/国土地理院)

表-1 対象地域の交通量と散布量

地域	地点	交通量(台/日)	大型車(%)	散布量(kg/m)
長野北	A~C	18,000	34	59
長野南	D~H	34,000	27	51
松本	I~K	32,000	25	40
高知	L~S	14,000	19	36

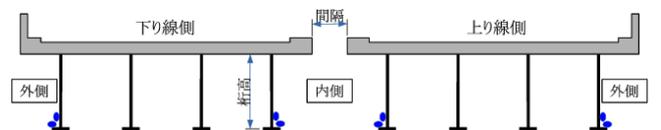


図-2 塩分捕集器具の設置位置

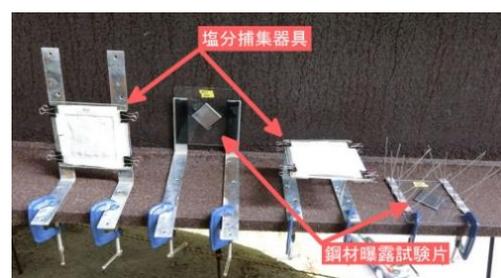
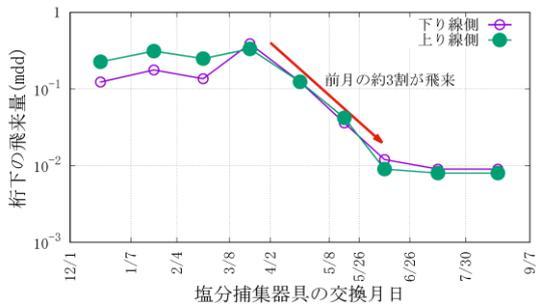


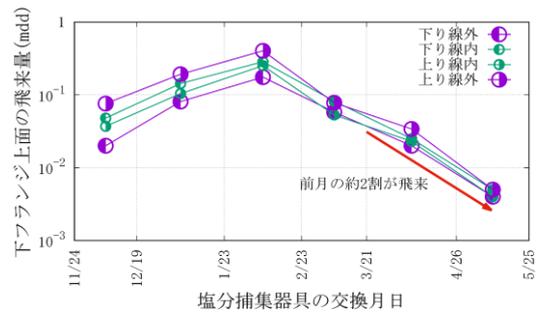
図-3 塩分捕集器具の設置状況

通過した際に、ガーゼに付着した塩分量を飛来量と見なすことから、桁面から 100mm 離して設置し、ウェブ下部と下フランジ上面に平行に設置した。また、各器具は 100mm 程度の間隔を空けている。

塩分捕集器具を約 1 ヶ月ごとに交換して、回収したガーゼに付着した塩分量を測定する。この器具は凍結防止剤の散布を開始する 11 月末頃に設置を行い、散布終了後も若干の飛来があるため、数ヶ月程度設置を継続している。

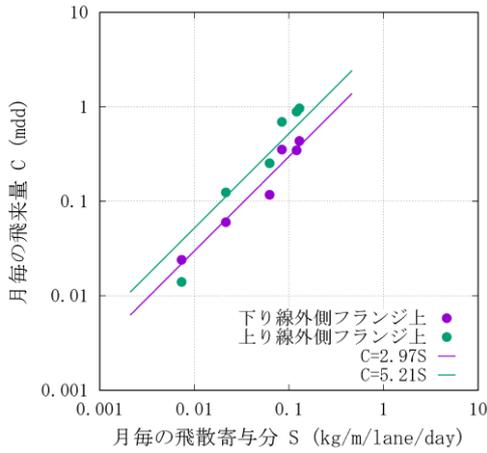


(a) D2 地点(上信越道)

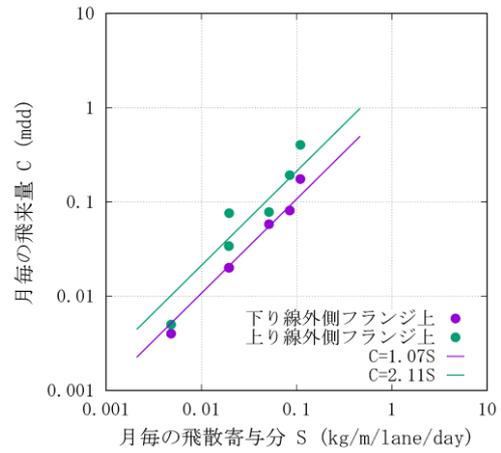


(b) S 地点(高知道)

図-4 凍結防止剤の飛来量



(a) D 地点(上信越道)



(b) S 地点(高知道)

図-5 凍結防止剤の飛来量と飛来寄与分

4. 凍結防止剤の路面残留率と飛来寄与率

4.1 路面残留率

路面上に散布された凍結防止剤は、雨水とともに路外に流出する分、風や車両通過により空气中に飛散する分の他に、一定期間、路面上に残留した後、路面上から流出および飛散によって消失する分に分けられる。一定期間、残留した後に飛散する量を正確に把握することは困難なため、ここでは、ガーゼの交換回収に合わせた月毎の凍結防止剤の散布量と桁部への飛来量の測定値から算出したものを示す。

長野南地域の D2 地点(長野 IC—更埴 JCT 間)の 2009 年 12 月から翌年の春まで散布された凍結防止剤の桁下 1m の位置の飛来量を、塩分捕集器具の交換月日毎に集計したものを図-4(a)に示している。4 月までの 1 ヶ月毎の桁下への飛来量は 0.1mdd を超え、凍結防止剤を殆ど散布しない 4 月以降も飛来量が測定され、6 月に入って定常値(0.01mdd)に落ち着いている。飛来量が減少せずに定常値になるのは、環境中の残留塩分のためと考えられる。4 月から 6 月までの 3 ヶ月間は凍結防止剤が散布されていないにも拘わらず、前月の 3 割程度の飛来量が測定されている。

図-4(b)は高知道の S 地点(新宮 IC—大豊 IC 間)の

2016 年 12 月から翌年の春までに散布された凍結防止剤の飛来量を示している。D2 地点のように、桁下に塩分捕集器具を設置していないため、下フランジ上面の飛来量を示している。凍結防止剤の散布終了後も約 2 ヶ月間、飛来量の測定を行った結果、前月の 2 割程度の飛来量が測定された。

他の橋梁についても、上信越道と長野道では、凍結防止剤の散布量の約 3 割が翌月の飛来量に寄与し、高知道では、散布量の約 2 割が翌月の飛来量に寄与していることが分かった。この翌月の飛来量に寄与する率を、本文では路面残留率と呼ぶことにする。

4.2 飛来寄与率

路面上に散布された凍結防止剤は、翌月の桁部への飛来に、一定割合で寄与していることを示した。そこで、ある月に路面に散布した凍結防止剤から翌月まで残留する分を除いた量に、前の月に散布された凍結防止剤の残留分を加えたものを凍結防止剤の飛散寄与分 S として次式のように表すことにする。

$$S = rS_p + (1 - r)S_c$$

ここで、 S_c は当月の散布量、 S_p は前月の散布量、 r は路面残留率である。

図-5 に、D 地点と S 地点の凍結防止剤の月毎の飛

表-2 各橋梁の凍結防止剤の飛来寄与率

地点	ウェブ下部				下フランジ上面				構造諸元(m)	
	下線外	下線内	上線内	上線外	下線外	下線内	上線内	上線外	間隔	桁高
A	0.9	0.8	0.6	0.4	3.5	3.9	3.5	1.4	1.1	2.1
B	1.2	1.2	1.5	0.6 ^{**}	4.6	6.4	7.8	1.7 ^{**}	1.1	3.0
C	0.7 ^{**}	1.3	2.5	1.0	2.7 ^{**}	5.7	10.0	3.1	1.1	3.0
D	0.8	0.3	1.4	1.4	3.0	1.3	4.0	5.2	0.25	2.7
D2	1.5	0.3	2.7	1.8	3.7	1.7	5.5	6.3	0.25	2.7
E	0.9	2.2	1.8	0.8 ^{**}	3.3	(漏水)	4.7	1.9 ^{**}	14	2.2
F	0.7	—	—	0.5	2.5	—	—	1.6	0	1.6
G	0.9 ^{**}	—	—	1.1 ^{**}	2.9 ^{**}	—	—	4.1 ^{**}	0	2.05
H	0.9 ^{**}	—	—	0.6 ^{**}	2.8 ^{**}	—	—	2.3 ^{**}	0	1.6
I	1.1	—	—	1.0	2.8	—	—	3.1	0	1.9
J	1.0	1.7	1.4	2.2	2.5	4.2	3.6	4.1	1.1	1.6
K	1.4	1.0	2.9	1.4	3.7	3.3	6.9	3.8	1.1	2.8
L	3.0	1.7	0.4	0.4	11.6	4.6	1.3	1.7	20	2.0/2.5
S	0.4	0.6	0.5	0.7	1.1	1.7	1.3	2.1	2.6	2.5

※壁高欄に飛散防止ネットや防音壁が設置されている

散寄与分 S と月毎の桁部の飛来量 C の関係を示している。これより、飛来量 C は散布量の飛散寄与分 S から、概ね次式により表現できることが分かる。

$$C = kS$$

ここで、 k は飛来寄与率と呼ぶことにする。

凍結防止剤散布量の飛散寄与分 S と桁部への飛来量 C の測定値から、最小二乗法により算出した D 地点の下り線外側フランジ上面の飛来寄与率は $k=2.97$ 、上り線外側フランジ上面の飛来寄与率は $k=5.21$ 、S 地点の下り線外側フランジ上面の飛来寄与率は $k=1.07$ 、上り線外側フランジ上面の飛来寄与率は $k=2.11$ となる。

これらの飛来寄与率と凍結防止剤の初冬から春までの総散布量によって、それぞれの部位の年平均飛来量を推算すると以下のようなになる。

- ・ D 地点下り線外側フランジ上面

$$C = 2.97 \times \frac{53.5[\text{kg/m}]}{365[\text{day}] \times 4[\text{lane}]} = 0.109[\text{mdd}]$$

実測値：0.113[mdd]

- ・ D 地点上り線外側フランジ上面

$$C = 5.21 \times \frac{53.5[\text{kg/m}]}{365[\text{day}] \times 4[\text{lane}]} = 0.191[\text{mdd}]$$

実測値：0.248[mdd]

- ・ S 地点下り線外側フランジ上面

$$C = 1.07 \times \frac{36.3[\text{kg/m}]}{365[\text{day}] \times 4[\text{lane}]} = 0.027[\text{mdd}]$$

実測値：0.030[mdd]

- ・ S 地点上り線外側フランジ上面

$$C = 2.11 \times \frac{36.3[\text{kg/m}]}{365[\text{day}] \times 4[\text{lane}]} = 0.052[\text{mdd}]$$

実測値：0.067[mdd]

推算値と実測値を比較すると、概ね飛来寄与率と

凍結防止剤の散布量から推算した年平均飛来量は、実測値と近い値が得られていることが分かる。これより、桁部の飛来寄与率が既知であれば、凍結防止剤の総散布量から年平均飛来量が推算できる。

4.3 各橋梁の飛来寄与率

表-2 に各橋梁の凍結防止剤の桁部への飛来寄与率を示す。E 地点の下り線内側の下フランジ上面は漏水が生じていたため、飛来寄与率を示していない。F 地点から I 地点は上下線の橋梁が接しているため、内側の部位の月毎の飛来量と散布量には比例関係が認められず、飛来量はほぼ一定値のため、飛来寄与率を示していない。

飛来寄与率は、凍結防止剤の桁部への飛来量と散布量の前述の飛散寄与分の比率によって算出していることから、高速道路 IC 間毎や異なる年による凍結防止剤の散布量の多少による違いは排除され、その値は路面上の凍結防止剤の風や通過車両による空気中への飛散具合、空気中に舞い上がった凍結防止剤が桁部まで飛来する経路に依存することになる。

上信越道と長野道の対象橋梁は平地部にあり、冬季の積雪は多くなく、晴天の日が多い地域のため、冬季間の路面は乾いた状態の日が多い。高知道の対象橋梁の地域も積雪はそれほど多くないため、乾いた路面状態の日が多いと思われる。一方、積雪の多い地域のような濡れた路面状態の日が多い地域では、車両通過による水しぶきによる飛散に比べて、橋梁下の桁部まで空気中を漂って飛来する凍結防止剤は少ないものと考えられること、濡れた路面では雨水による流出分も多いことなどから、今回対象とした地域に比べて、飛来寄与率は小さくなるものと想像される。

5. 凍結防止剤飛散の数値シミュレーション

散布量と飛来量の実測値から算出した飛来寄与率を示したが、車両通過により舞い上がった凍結防止剤が桁付近まで飛来する現象は、飛来する粒子の大きさ、車両通過による風の流れ、橋梁周辺の冬期の風の流れと構造諸元を用いた、風洞実験や数値シミュレーションなどによって、ある程度再現可能と考えられることから、飛来寄与率の概算値は、実測によらなくても橋梁の計画段階で把握することも可能と考えられる。そこで、路面上に散布された凍結防止剤が車両通過により飛散する現象を、数値シミュレーションにより再現するための方法を検討して、鋼桁への飛散特性の推定を行う。車両通行による風の流れおよび凍結防止剤の飛散は、3次元的な現象であるが、計算量が膨大になるため、2次元モデルにより、凍結防止剤の飛散特性の再現を試みる。

2次元モデルでは、車両通過直後の路面からの凍結防止剤の飛散を再現するため、橋軸に直角な平面内の風の流れと飛散を調べる。このとき、車両通過直後に、タイヤと路面の接触部付近から橋軸に直角な面内の車両から遠ざかる方向への風の流れを与える必要がある。ここでは、無風状態の路面上を大型車が走行した際に、大型車の背後下から巻き上がる粒子の飛散と速度分布を2次元モデルにより計算した。このとき、大型車が約80km/hの速度で移動している場合を想定して、前面から風速20m/sの風を流し、この流れの中の粒子の飛散と風速分布の計算を行った。この計算結果より、車両通過直後の水平方向の風速はおよそ $u=5\text{m/s}$ 、鉛直方向の風速はおよそ $v=10\text{m/s}$ であった。

上述の計算結果をもとに、高知道のS橋梁を対象として、車両通過による粒子の飛散状況の数値シミュレーションを行った。車両通過直後の風速の継続時間を0.2秒とし、車間距離が50m程度で後続の車両が連続して通過する場合を想定して3秒毎に、この風速を繰り返し与える。初めの0.2秒間に50,000個の粒子をタイヤと路面の接触部に与えた。

図-6に、粒径(直径)が $46\mu\text{m}$ の粒子の飛散状況を示す。この粒子の静止大気中の重力沈降速度は 0.076m/s になり、重力沈降の影響が小さいケースに相当する。100秒までの飛散状況を示しているが、橋梁の外側だけでなく、上下線間の隙間にも粒子が飛散していることが分かる。

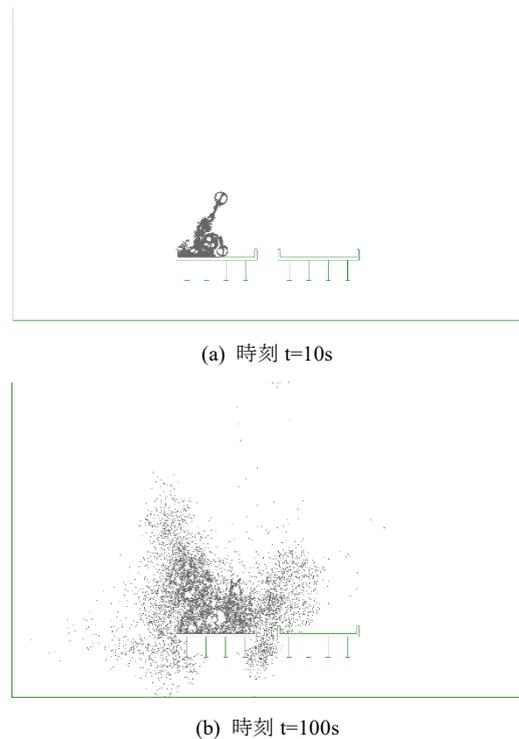


図-6 走行車線の車両通過による粒子の飛散状況

6. おわりに

対象とした全ての橋梁で、最大飛来量は 0.05mdd を超えていることから、耐候性鋼材を無対策で使用することは厳しいと思われる。しかし、飛来寄与率から飛来量を 0.05mdd 以下に抑える散布量を推算することは可能である。また、凍結防止剤は限られた部位に多く飛来することから、部分塗装を適用することや、飛来量を低減するような断面諸元の検討や飛来防止工、低減工の検討を行うことで、散布量の多い地域での耐候性鋼材の適用も可能と考えられる。

数値シミュレーションでは、車両通過による粒子の飛散状況を簡易的に模した。路面から舞い上がる現象は、路面の状態や凍結防止剤を含んだ水滴の大きさに依存する。そのため、数値シミュレーションで飛来量を推算するためには、路面上に入力した粒子数と桁部に飛来する粒子数の比率と、実測値から算出した飛来寄与率との対応関係をとる必要がある。

参考文献

- 1) 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, pp655-667, 2012.3.
- 2) 石井 一騎, 岩崎 英治, 多和田 寛, 中嶋 龍一朗: 凍結防止剤散布地域での耐候性鋼橋の適用性評価に関する検討, 土木学会第73回年次学術講演会講演概要集, I-043, 2018.8.