

単独橋から飛散した凍結防止剤の挙動と主桁への付着特性

京都大学 正会員 ○野口 恭平
 長大 (研究当時京都大学大学院生) 非会員 繁田 匡寿
 京都大学 正会員 八木 知己
 京都大学 正会員 白土 博通

1. はじめに 耐候性鋼を無塗装で使用するための条件は、飛来塩分が一定量を下回ることである。そのため、海塩粒子を対象とした研究が数多く行われてきた。一方、寒冷地域では凍結防止剤が散布され、かつそれらの腐食への寄与が大きいと考えられるため、一般に耐候性鋼の利用は難しいとされている。鋼道路橋防食便覧¹⁾では、山に迫った橋や並列橋においては、凍結防止剤の影響を避けるため、橋の配置法についての指針を示している。しかし、周囲に障害物が存在しない単独橋については、凍結防止剤の影響は十分に明らかになっていない。とはいえ、便覧でも特に触れられていない。すなわち、単独橋から飛散した凍結防止剤粒子が、橋梁断面周りに形成された気流の影響で、その橋の主桁表面に到達する可能性やその程度に関する知見は十分とはいえない。本研究では、単独橋から飛散した凍結防止剤の挙動について、凍結防止剤粒子の粒径や接近風速ごとに数値計算を行い、飛散特性および桁への付着の有無や程度の評価を試みた。

2. 流れ場計算手法の概要 図1が本研究の対象橋梁断面であり、岩崎の研究²⁾を参考に決定した。まず、この断面周りの非定常流れを、OpenFOAMを用いてLESで算出した。本計算は固気二層流解析ではなく、流体単独の計算であることを注記しておく。支配方程式は非圧縮性 Navier-Stokes 方程式・連続式である。圧力と速度の連成計算にはPISO法を用い、1次陰的オイラー法で時間発展を計算した。離散化は2次精度中心差分であるが、対流項にはTVD制限を課した。乱流モデルは標準 Smagorinsky モデル ($C_s=0.12$) とし、壁面近傍には Van Driest の減衰関数を適用した。計算領域は直方体で、橋梁の上流側・上下方向に $10D$ 、下流側に $20D$ 、スパン方向長さは $1D$ とした。総格子点数は約 600 万個である。流入風速は一樣流、壁面は滑りなし、側面は周期境界とした。レイノルズ数は 2.87×10^4 とした。今回の対象断面の場合、流れのパターンはレイノルズ数には依存しないと考えられるので、得られた流れ場に適当な値を乗ずることで様々な接近風速に対応した。

3. 粒子飛散計算手法の概要 凍結防止剤を球形粒子とみなし、重力と風を外力とする運動方程式を陽解法で解くことで飛散解析を行った。粒子に作用する抗力 F_D [N] は次式で定義し、抗力係数 C_D には Morison³⁾ の式を用いた。

$$F_D = \frac{1}{2} C_D r^2 \rho_a |u-v|^2 \frac{u-v}{|u-v|} \quad (1)$$

r = 粒子半径 [m], ρ_a = 粒子密度 [kg/m^3], u = 風速 [m/s],
 v = 粒子速度 [m/s] である。凍結防止剤は塩化ナトリウムのみで構成されると仮定し、その水溶液の凝固点 (= 路面凍結温

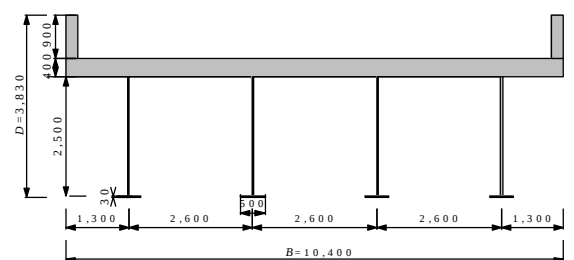


図1 対象橋梁断面図 (単位: mm)

度) が -10 度を下回る塩分濃度 14%⁴⁾ に相当するよう $\rho_a = 1,110 \text{ kg/m}^3$ とした⁵⁾。飛散計算の計算領域は橋梁の上流側に $1D$ 、上下方向に $2D$ 、下流側に $3D$ の長方形とし、流れ場計算結果から風速を格子状に抽出し、 F_D を評価した。このとき、予備計算を行い、粒子の飛散特性に影響を及ぼさない範囲でできるだけ大きな間隔として、床版近傍で 20 mm、主桁近傍で 40 mm、その他では 80 mm ピッチで風速を抽出した。粒子の初期配置は、床版から 10 mm 上方に一定間隔で 999 個とし、上向きに 10 m/s の初速を与えた。時間刻みはクーラン条件および緩和時間⁶⁾を満たすように設定した。さらに、橋梁下流側に現れる卓越渦の周期を $T (= 3.28 \text{ s})$ とし、 $T/10$ 間隔で 50 回粒子の放出を繰り返した。以下で述べる粒子個数は 50 回の試行の平均である。

キーワード 耐候性鋼, 腐食, 凍結防止剤, LES

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-383-3435

4. 粒子飛散計算結果と考察 床版から飛散した後下流側の高欄を飛び越える粒子について、粒子半径および接近風速に応じた初期位置と飛散量の関係を図2に示す。風速によらず、小さな粒子は下流側から、大きな粒子は上流側から飛散したものが高欄を越えたことがわかる。この原因を考察するため、風速10 m/sにおける半径10および600 μm の粒子の軌跡を図3と図4に示す。床版上面の下流側では離流れの巻きこみに伴う循環流れが形成されるため、風の影響を受けやすい小さな粒子は容易に巻き上がる。一方、床版上面の上流側では、目立った渦構造は見られないが、はく離せん断層が床版に近いため、粒子自身の初速によってははく離せん断層を越えやすい。このとき、大きな粒子は初速に起因する慣性で飛距離を得るが、小さな粒子は抗力が勝るため、その多くが飛散後すぐに路面に沈着すると思われる。また、風速が大きいほうが多くの粒子が高欄を越える理由は、相対的に重量の影響が小さくなるためと考えられる。次に図5には、粒径および風速別の、初期配置粒子数に対する主桁へ付着した粒子数の割合を示す。付着数は基本的には高欄を飛び越えた粒子数に依存するが、半径10 μm の粒子の付着数は50 μm の粒子よりも小さい。これは、慣性の小さな粒子は、主桁近傍において卓越する壁面に沿う流れの影響を強く受けるためと考えられる。このように、接近風速や粒径などの条件によって、単独橋においても主桁への凍結防止剤粒子の付着が生じることが明らかとなった。ただし、現時点では床版上の凍結防止剤あるいはその水溶液量、飛散時の粒径分布といった情報が不足しているため、定量的な付着量評価には至っていない。今後の課題として、これらの条件を明らかにしたうえで、対象地点の気象要素も踏まえつつ検討を行う必要がある。

5. まとめ 本研究では、単独橋から飛散した凍結防止剤の飛散特性と主桁への付着の有無を検討するために、橋梁断面周りの流れ場計算と粒子飛散計算を行った。その結果、接近風速や粒径によっては、単独橋においても主桁への付着が生じることが明らかとなった。今後は付着量の定量的な評価に関する取り組みや、付着量の低減に関する検討が必要である。

謝辞 本研究の一部は一般社団法人日本鉄鋼連盟(2017年度鋼構造研究・教育助成事業)の助成を受けた。本研究の一部は京都大学学術情報メディアセンターのスーパーコンピュータを利用して実施した。

参考文献 1) 日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，日本道路協会，III-18-19，2014. 2) 岩崎：日本鉄鋼連盟2016年度「鋼構造研究・教育助成事業」研究発表会資料，181-184，2017. 3) Morison, A.: An Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge University Press, 2013. 4) 国土技術政策総合研究所：国総研資料第412号，2007. 5) 日本化学会編：化学便覧基礎編，改訂5版，丸善，2004. 6) 高橋：エアロゾル学の基礎，森北出版，2003.

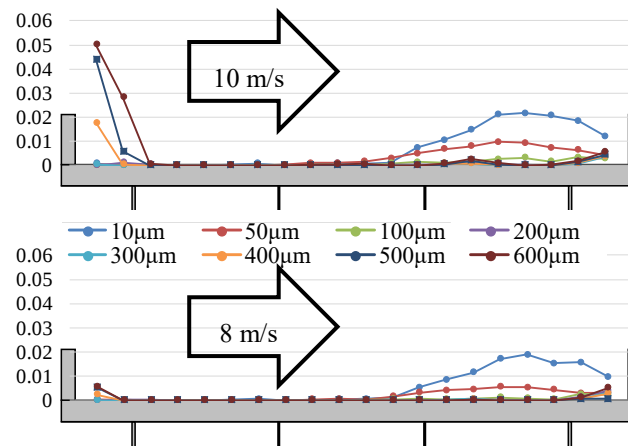


図2 初期位置別の下流側高欄を越える粒子割合

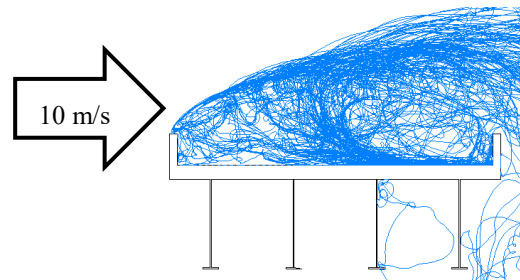


図3 半径10 μm の粒子の軌跡

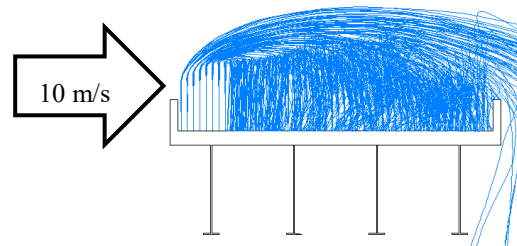


図4 半径600 μm の粒子の軌跡

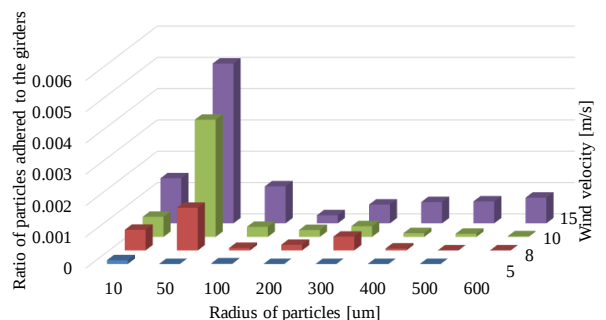


図5 主桁に付着した粒子の割合