単独橋に設置した付加部材による凍結防止剤飛散特性の変化

京都大学大学院工学研究科　学生員　○小池　宏之進　京都大学大学院工学研究科　正会員　野口　恭平
京都大学大学院工学研究科　学生員　徳増　秀俊　京都大学大学院工学研究科　正会員　八木　知己

１．序論　橋梁の寿命は一般的に約 50 年であり，特に道路橋において建設後 50 年以上経過する割合は 2033 年で約 63%に達すると報告されている [1]．鋼橋の腐食因子の一つである塩分は，海からの飛来塩分に由来するものと，路面上に散布される凍結防止剤に起因するものとに大別される．このうち凍結防止剤について，山に迫った橋や並列橋においては，飛散した塩分粒子が橋梁に付着することを防ぐため，橋の配置法についての指針が鋼道路橋防食便覧 [2]に示されている．一方，単独橋について，凍結防止剤の主桁への付着量抑制に関する研究は十分に行われていない．しかし，単独橋においても橋梁後方に生じる渦流れの影響で主桁への付着が生じることが確認されている [3]．そこで本研究では，高欄へ付加部材を設置することで，橋梁断面周りの流れ場に変化を与え，主桁への凍結防止剤の付着を抑制することを目的に検討を行った．具体的には，数値解析によって橋梁断面周りの流れ場解析及び粒子飛散解析を行うことで，付加部材が凍結防止剤の主桁への付着に与える影響について検討した．

２．流れ場計算手法　図 1 に対象橋梁断面を示す．付加部材を設置しない基本断面と，上流側高欄を 2 倍に延長した断面，及び両側の高欄を 2 倍に延長した断面の 3 ケースの解析を行った．まず，橋梁断面周りの非定常流れ場を，OpenFOAM を用いて LES で計算した．乱流モデルは Smagorinsky モデル(Smagorinsky 定数 = 0.12)とした．計算領域は直方体で，橋梁の上流側・上下方向に 10*D*，下流側に 20*D*，スパン方向長さは 1*D* とした．基本断面において，総格子点数は約 260 万個，レイノルズ数は 2.87×10^4 である．

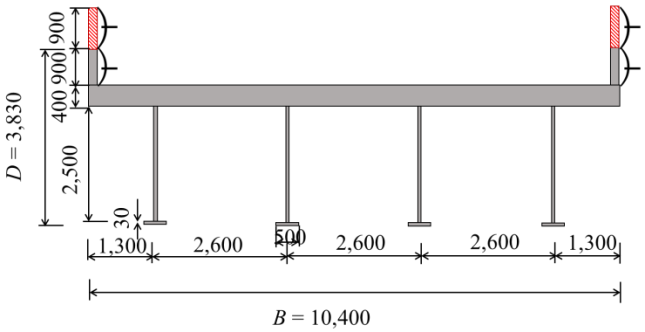


図 1　対象橋梁断面（両側高欄延長の例，単位：mm）

３．粒子の飛散解析手法　凍結防止剤を完全な球体と仮定し，風による抗力及び重力を外力とする運動方程式を陽解法で解いた．粒子の抗力係数は Morrison の式 [4]を用いた．粒子は NaCl を仮定し，密度は 1110 kg/m^3 とした [5]．粒子半径は 10 μm，50 μm，100 μm，600 μm の 4 ケースとした．飛散解析の計算領域は橋梁上流方向に 1*D*，下流方向に 3*D*，上下方向に 2*D* の 2 次元平面とし，流れ場計算の結果から風速を格子状に抽出し，粒子に作用する抗力を評価した．風速抽出点間隔は予備計算の結果より，床板近傍領域では 20 mm，主桁周辺領域では 40 mm，その他の領域では 80 mm とした．粒子の初期配置は床板から 10 mm 上方に等間隔で 999 個とし，鉛直上向きに 10 m/s の初速を与えた．これは，約 80 km/h で走行する車両のタイヤに巻き上げられ飛散することを想定している．時間刻みはクーラン条件を満たすよう設定した．また，粒子の飛散間隔は，各橋梁断面について橋梁後方に発生する卓越渦の周期 *T* を算出し，*T*/10 間隔で 50 回粒子の放出を繰り返した．以下の結果は，50 回の試行の平均値である．

４．付加部材による粒子の飛散特性の変化　初期配置粒子数に対して下流側高欄を越えた粒子数の割合を図 2 に示す．流入風速は 10 m/s とした．高欄を延長した両断面について，粒子が下流側高欄を超える割合は，基本断面と比較して特に半径 600 μm の粒子で大幅に減少した．図 3 に，基本断面と上流側高欄を延長した断面の半径 600 μm の粒子の軌跡を示す．半径が大きな粒子は，初速に起因する慣性力が抗力に対して支配的であるため，飛散開始と同時に鉛直上向きにまっすぐ向かうことが確認できる．そして，基本断面では粒子が剥離剪断層に到達したのち，主流方向の空気力の影響で高欄を超えるが，上流側の高欄を延長すると床板から剥離剪断層までの距離が長くなり，

キーワード　単独橋，腐食，凍結防止剤，付加部材
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 075-383-3170

© Japan Society of Civil Engineers

粒子が剥離剪断層に到達しないため，高欄を超える粒子数の割合が減少したと考えられる．一方，半径 10 μm の様に小さな粒子は，図 4 の橋梁断面周りの時間平均流線に示すように，床板下流側で断面形状によらず発生する渦流れによる巻き込みの影響を受けるため，高欄を超える粒子数の割合はあまり減少しなかったと考えられる．

次に，流入風速が 10 m/s のケースにおいて，初期配置粒子数に対して全主桁に付着した粒子数の割合を図 5 に示す．上流側の高欄を延長した断面の半径 10 μm と 600 μm の粒子では，図 2 で減少の傾向が見られるにも関わらず，特に付着量が増加した．これは，図 4 より高欄を延長したことによって橋梁後方の渦が基本断面と比べてより橋梁近傍に発生し，粒子が橋梁後方の渦流れの影響を受け，主桁付近へ巻き込まれるためと考えられる．一方，両側の高欄を延長した断面では，粒子半径が小さい場合は主桁への付着量に大きな変化は見られなかった．粒子半径が大きい場合は，橋梁後方の渦流れの影響を受けず下流側に飛散したため，主桁への付着量も低減したと考えられる．以上の結果より，上流側の高欄を延長した断面は，大半の粒子半径のケースで主桁への付着量が増加したことから，維持管理上有効な対策とは言い難い．一方，両側の高欄を延長した断面では，粒子半径が大きい場合では付着量が低減したため，飛散する凍結防止剤粒子の粒度分布によっては有効な対策と考えられる．

５．まとめ　単独橋においても飛散した凍結防止剤が主桁に付着する可能性が指摘されており，本研究では付着の抑制を目的に，高欄への付加部材の設置によって主桁への付着量がどのように変化するかを調査した．その結果，主桁への付着量は，上流側の高欄を延長した断面においては大半のケースで増加した一方で，両側の高欄を延長した断面では粒子半径が大きいと減少した．従って，散布する凍結防止剤の粒度分布によっては両側の高欄を延長することは維持管理上有効であることが示唆された．

謝辞　本研究の一部は一社）日本鉄鋼連盟構造研究・教育助成事業及び JSPS 科研費 15H02261 の助成を受けた．

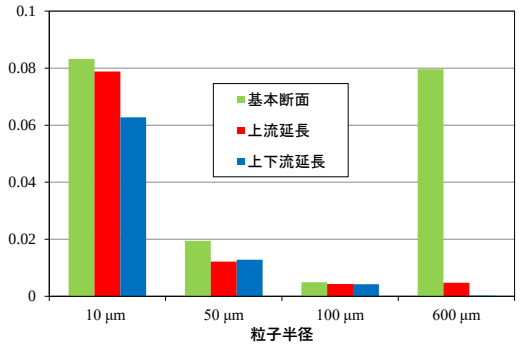
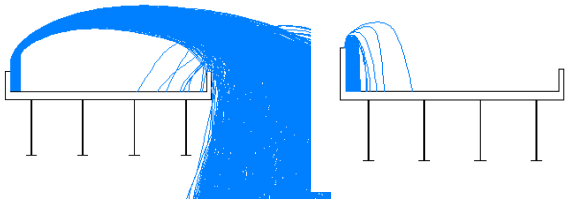
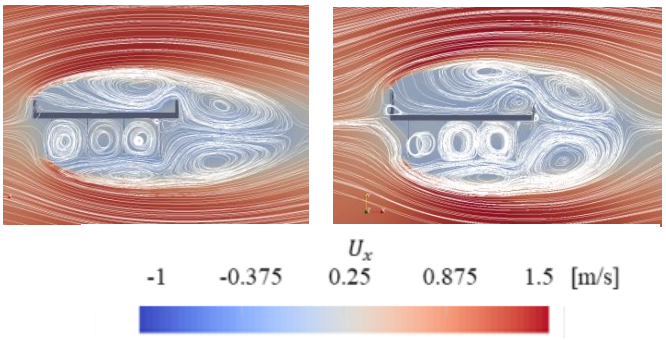


図 2　下流側高欄を越えた粒子数の割合



(a) 基本断面　　(b) 上流側高欄延長

図 3 半径 600 μm の粒子の軌跡



(a) 基本断面　　(b) 上流側高欄延長

図 4　橋梁断面周りの時間平均流線

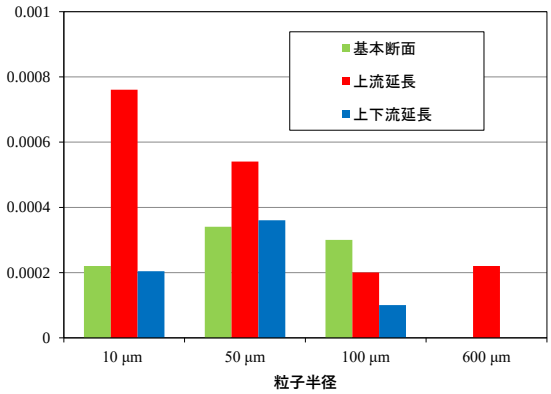


図 5　全主桁に付着した粒子数の割合

参考文献　1) 国土交通省：社会資本の老朽化の現状と将来，http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/maintainance/02research/02_01.html．2)日本道路協会：鋼道路橋防食便覧，日本道路協会，III-18-19，2014．3) 野口ら：平成 30 年度土木学会全国大会，35-36，2018．4) Morrison :An Introduction to Fluid Dynamics, Cambridge University Press, 2013．5) 日本化学会編：化学便覧基礎編，改訂 5 版，丸善，2004．

© Japan Society of Civil Engineers