

並列橋における凍結防止剤粒子の飛散と桁への付着に関する研究

京都大学 正会員 ○野口 恭平
 松江工業高等専門学校 正会員 坪倉 佑太

長大 (元京都大学) 非会員 宇野 将平
 京都大学 学生会員 大森 隼汰
 京都大学 フェロー会員 八木 知己

1. 目的 耐候性鋼の道路橋への適用に際しては、海塩粒子のみならず、凍結防止剤の飛散量や橋梁への付着量に留意する必要がある。そのうち並列橋や山に迫った橋について、凍結防止剤の影響を避けるための橋の配置指針が示されている[1]。しかし、この基準は高知で行われた実地観測に基づいており、他の地点でも十分に適用が可能であるかは一考の余地がある。また、便覧では並列橋の相対位置に関する基準のみが記載されており、接近風の影響は考慮されていない。本研究では並列橋を対象に、様々な配置に対して風向きも踏まえ、凍結防止剤粒子の飛散と橋梁表面への付着機構や分布の特性、それに至るメカニズムについて、風洞実験やCFDを利用して解明することを目的とする。

2. 風洞実験手法および結果 対象は図1の4主I桁橋で、断面辺長比は $B/D = 2.72$ である。初めに可視化実験によって流れを類型化し、それぞれの代表的な配置に対して数値解析を実施した。図2に対象配置の一覧を示す。青色の網掛け部のうち、低い方の橋から凍結防止剤が飛散する場合が便覧[1]における避けるべき配置に相当する。風洞内の断面模型に対し 3 m/s (レイノルズ数 $18,000$) の接近風をトレーサー粒子とともに流下させ、スパン方向中央鉛直断面の流れを撮影し、PIV解析によって時間平均流線を求めた。

図3に可視化実験から得られた時間平均流れの分類図を示す。A, B1, B2は、高低差の無い場合と下流側橋梁の方が高い場合で、橋梁間には下向きの流れが生じる。Aでは下流側橋梁の方から戻るように橋梁間に流入するが、B1では直接流れ込む。橋梁間が広くなりB2になると、上流側橋梁後方に循環渦が発生する。C, D1, D2は下流側橋梁の方が低く、橋梁間に上向きの流れが発生する。CとD1は橋梁間を上方へ通過した後の流れの向きが異なる。これらの分類ごとに1配置以上を対象に数値解析を実施した。

3. 数値解析手法 計算手法は筆者らの先行研究[2]に倣っており、ここでは概要を示す。まず、LESにより非定常流れ場を得た (OpenFOAMを使用)。なお、ここでは流体単独の計算で、粒子はパッシブスカラとして扱う。解析領域の大

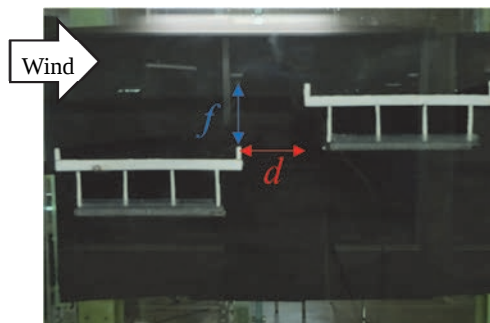


図1 対象橋梁断面と風洞での配置の様子

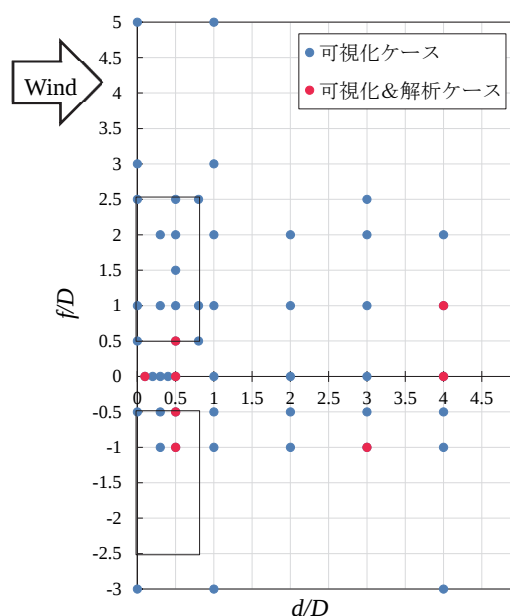


図2 並列橋の配置一覧。横軸・縦軸は桁高で無次元化した水平・鉛直間隔

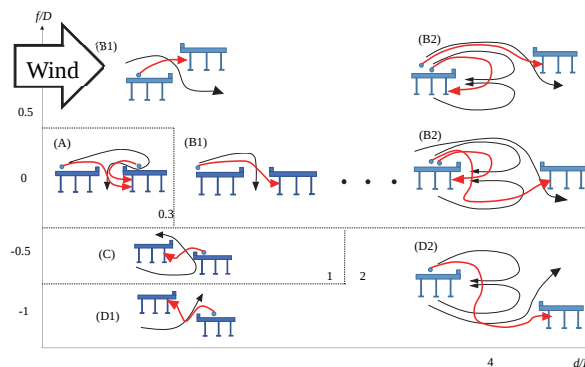


図3 時間平均的な流れの分類図と桁に付着する粒子の主な輸送経路 (黒：流れ、赤：粒子)

キーワード 凍結防止剤、塩分粒子、並列橋、腐食、風洞実験、CFD

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 TEL075-383-3435

きさは橋梁の上流側・上下方向に $10D$ 、下流側に $20D$ 、スパン方向は $3D$ とした。粒子挙動は、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解き評価した。粒子密度は $1,110 \text{ kg/m}^3$ 、粒子半径は $10, 50, 100, 600 \mu\text{m}$ 、接近風速は 10 m/s とした。流れ場計算結果から風速を格子状に抽出し、粒子に作用する抗力を求めた。その際、粒子挙動の解析領域は計算負荷を考慮して、橋梁の上流側に $1D$ 、下流側に $3D$ 、上下方向には並列橋の上下端から各々 $2D$ とした。粒子の初期配置は上流側または下流側橋梁の床版から $10 \text{ mm } (D/383)$ 上方に一定間隔で 999 個、初速は車両の走行速度を想定して上向きに 10 m/s とした。単独橋の場合に現れる卓越渦の周期の 10 分の 1 間隔で 50 回粒子の放出を繰り返した。なお、壁面に接した粒子はすべて付着するものとした。

4. 数値解析結果 流れ場計算結果の一例として、図 4 に CFD と可視化実験から得られた時間平均流線を示す。橋梁間では下向きの流れが見られるなど、両者は概ね一致しており、CFD が実験結果をよく再現している。

輸送経路別の粒子の付着量の一例を図 5 に示す。縦軸は初期配置粒子数で正規化された付着割合、横軸は無次元化された並列橋の間隔 $(d/D, f/D)$ を表す。橋梁のどの部位に付着したかは区別しないが、多くの場合で外側の桁に付着することを確認している。また、桁に付着する粒子の主な輸送経路を図 3 に赤矢印で重ねて示す。図 5 (a) は上流側橋梁から飛散して下流側橋梁に付着した場合で、B1 $((d/D, f/D) = (0.5, 0), (0.5, 0.5))$ や D2 $((d/D, f/D) = (3.0, -1.0))$ の配置において、特に大きな粒子の付着が目立つ。B1 では上流側橋梁の上側に生じる剥離流れによって、D2 では上流側橋梁の下側に生じる剥離流れによって、大粒径粒子に対し大きな慣性が生じるために付着量が多くなると考えられる。次に、図 5 (b) は下流側橋梁から飛散して上流側橋梁に付着した場合を示す。C $((d/D, f/D) = (0.5, -0.5))$ や D1 $((d/D, f/D) = (0.5, -1.0))$ の配置で付着が見られ、下流側橋梁の上方に生じる循環流れによって橋梁間に粒子が輸送されたのち、橋梁間の上向きの流れによって付着に至ることが確認された。以上より、B1・C・D1 はいずれも便覧に規定された配置であり、風向きによらず付着の可能性があるとともに、今回対象の配置の中でも付着量は多く、便覧の記述を支持する結果となった。ただし、同じ B1 でも 2 つの橋梁の高低差がない場合[3]にも多く付着することや、橋梁間の水平距離が比較的大きい D2 の配置は便覧では規定されておらず、注意を要する結果といえる。

5. まとめ 並列橋における凍結防止剤由来の腐食環境を評価するため、流れの可視化実験を行い、並列橋周りの流れの特徴に基づいて、橋梁配置を分類した。次に、粒子飛散解析を実施し、並列橋周りの塩分粒子の輸送経路や付着傾向を明らかにするとともに、鋼道路橋防食便覧に記載の配置において付着が卓越することを確認した。さらに、他の配置でも桁に塩分粒子が付着する可能性が存在し、腐食環境に留意する必要性を示した。

謝辞 本研究の一部は一般社団法人日本鉄鋼連盟構造研究・教育助成事業、JSPS 科研費 18K13820 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，III-18-III-19，2014. [2] 野口ら：土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，76(3)，510-522，2020. [3] 岩崎ら：土木学会論文集 A1 (構造・地震工学)，74(3)，440-457，2018.

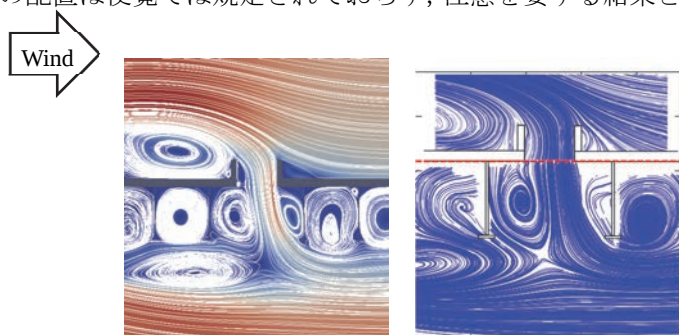


図 4 CFD と可視化実験から得られた流線の例 $((d/D, f/D) = (0.5, 0))$ 、左：CFD，右：実験

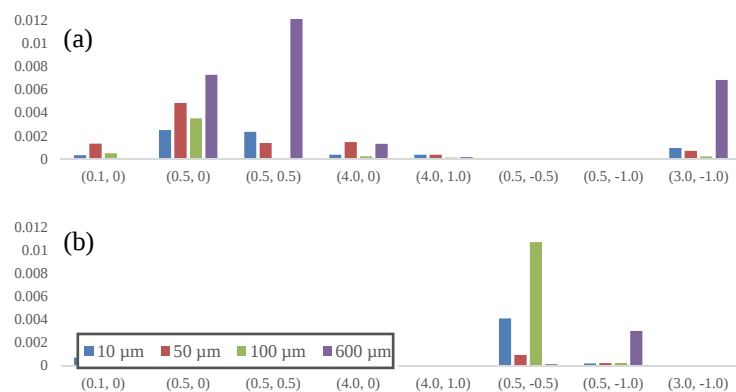


図 5 輸送経路別の粒子の付着割合。(a) 上流側橋梁から下流側橋梁への付着。(b) 下流側橋梁から上流側橋梁への付着