

矩形断面周りの飛来塩分の挙動と表面圧力に基づいた付着量評価に関する研究

京都大学 正会員 ○野口 恭平
京都大学 学生会員 坪倉 佑太

京都大学 学生会員 津田 悠希
京都大学 正会員 八木 知己

1. 目的 海塩粒子や凍結防止剤に由来する塩分は橋梁の劣化因子の一つであるので、維持管理に際しては橋梁各部位への付着塩分量を把握しておくことが望ましい。しかし、部位別付着量の評価に関する研究は多く行われているが、ほとんどの研究は結果としての付着量にのみ着目しており、大気中での塩分粒子の輸送過程については十分に検討されていない。橋梁の形状は様々であり、塩分粒子が付着に至る過程を理解することは維持管理への応用において重要と考えられる。本研究では、CFD によって矩形断面の部位別付着塩分量を算出すると同時に、粒子の輸送過程に影響する流れの特性について検討を行った。さらに、簡便な腐食環境評価を念頭に、矩形表面の圧力特性に基づいて付着塩分量の評価を試みたので報告する。

2. 対象断面と数値計算手法の概要 断面辺長比が $B/D = 1, 2.5, 5, 6, 8$ (B : 幅, D : 高さ) の矩形について、OpenFOAM を用いた気流計算・粒子飛散解析を実施した。乱流モデルは標準 Smagorinsky モデル (定数:0.12)、対流項の離散化は TVD 制限付き 2 次精度中心差分を用いた。解析領域は断面の上流側 $10D$ 、下流側 $20D$ 、側方 $9.5D$ 、スパン方向 D の直方体で、表面第 1 格子高さ $D/200$ 、スパン方向格子分割 $D/20$ である。流入風は一樣流 (レイノルズ数 10,000) とした。

気流計算と同時に粒子個々の運動方程式を解き、矩形断面への部位別付着塩分量を算出した。粒子の諸元はストークス数 (粒径・粒子の単位体積質量・矩形の代表長から成る無次元数) によって整理し、海塩粒子を想定して 0.0205 (粒径換算 $20 \mu\text{m}$) とした。矩形断面の上流側 $9D$ に位置する一辺 D の立方体の内部に 100 万個の粒子を配置し、流入風速と等しい初速を与えた。カルマン渦周期の 4 分の 1 ごとに 8 回 (計 800 万個) 粒子を投入することで流れの非定常性を考慮した。粒子は球形とみなし、かつ抗力のみを作用させる。粒子は自身の慣性によって壁面へ衝突することで付着したものとみなした。以降に示す結果は 8 回の試行のアンサンブル平均の投入粒子数に対する割合だが、対象断面は上下方向に線対称であるから、折り返して重なる点を同一の部位とみなすことで、実際には 16 個の値の平均を得た。

3. 粒子の輸送過程と部位別付着量について¹⁾ 図 1 に計算結果に基づいた $B/D = 1$ と 6 における粒子飛散挙動の模式図を示す。 $B/D = 1$ では、前面に付着しなかった粒子が剥離流れによって背面側へ運ばれ、一部は背面に付着し、残りは側面へ輸送され付着すると考えられる。 $B/D = 6$ では、剥離流れが粒子を後方へと輸送するまでは同じだが、剥離流れが常に側面へ再付着するため、流れの再付着に伴い粒子も側面へ付着することが確認された。このような断面周りの流れの定性的な違いが部位別の付着量分布に強く影響すると考えられる。

図 2 に部位別付着量の計算結果を示す。どの断面においても長さ $D/10$ ごとの付着量として表す。断面によらず前面では角部で付着量が多いが、前面の中ほどでは流れがよどむため風速が小さく、角部に向かうにつれて風速が大きくなるためと考えられる。背面では、端部の付着量は同様に多いが、中央付近の傾向は異なる。 $B/D = 1$ や 2.5 に対して 5-8 では背面付近に複雑な流れが形成されているためと思われる。側面の前縁・後縁では断面によらず付着量が卓越するが、中央付近の傾向は断面に依存

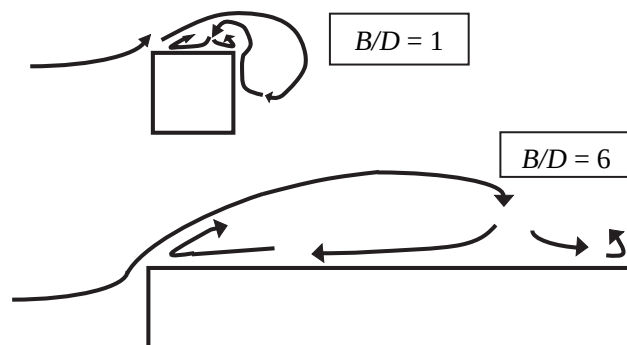


図 1 粒子輸送過程の模式図

キーワード 飛来塩分, CFD, 表面圧力, 維持管理

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

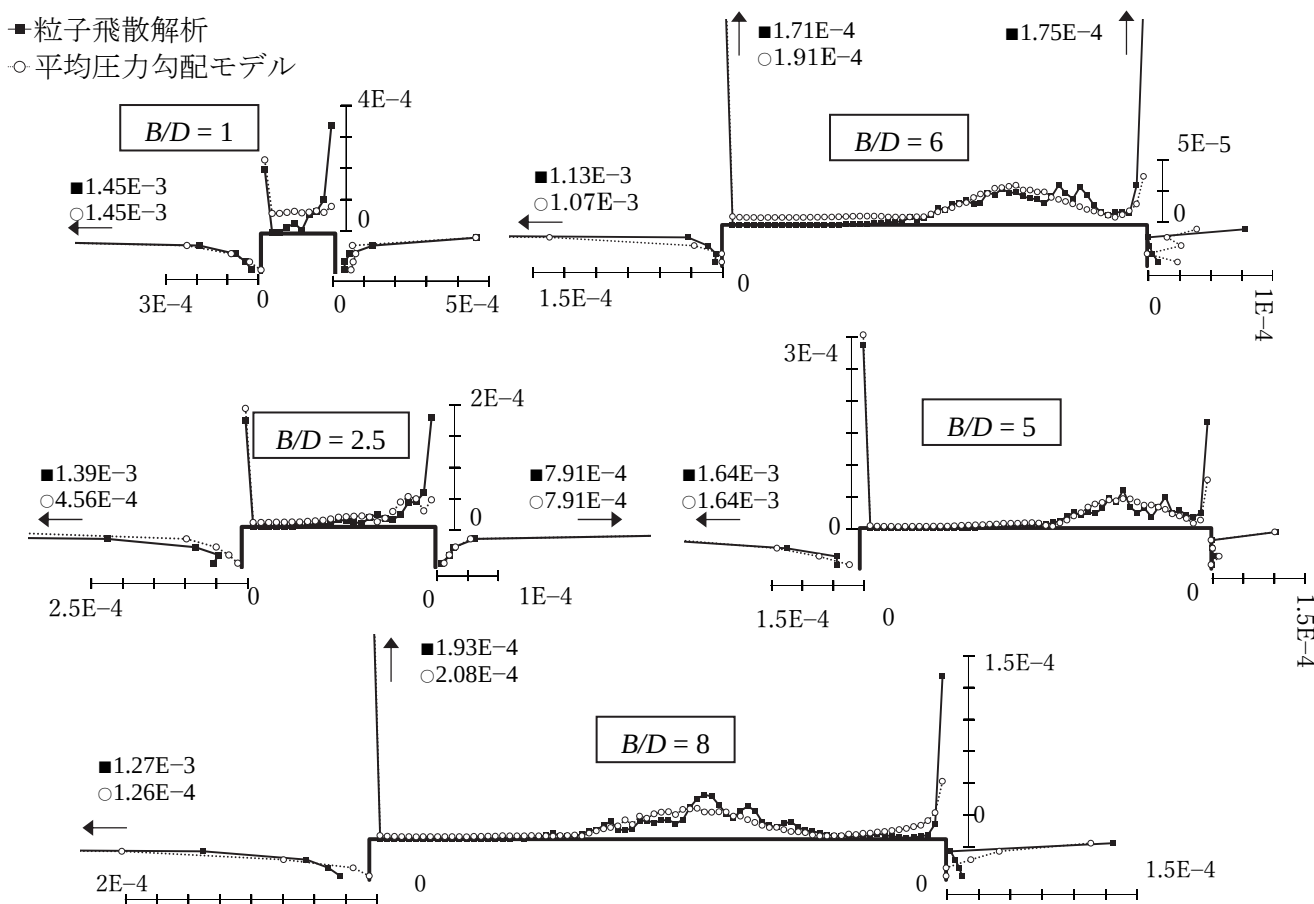


図2 粒子飛散解析または平均圧力モデルに基づく部位別付着塩分量

する．具体的には， $B/D=1$ や 2.5 では中央付近から後縁に向かって単調増加するが， $5-8$ では中央やや下流側で極値を取り，そこから離れるにつれて付着量が減少する傾向が確認された．これは図1にて模式化された流れの特性と対応すると判断できる．

4. 表面圧力に基づいた付着量評価 このように，粒子の挙動と付着が断面周りの気流と密接に関わることが確認された．一方，物体表面の圧力も当然ながら気流の影響を受けるので，粒子の付着分布と表面圧力特性にも有意な相関が存在すると仮定し，圧力特性に基づく付着量評価の可能性を検討した．図2には付着分布と併せて平均圧力係数の面方向勾配（平均圧力勾配）を示した．ただし，粒子飛散解析と合うように，最小二乗法によって適当な係数を各断面の面別に求め，スケーリングした．平均圧力勾配に着目した理由は，粒子の輸送に対しては流れ場の空間的な分布が重要であり，隣接する評価点の圧力差が疑似的に流れ場の時間平均的な粒子輸送力を表すと考えたからである．その結果， B/D によらず平均圧力勾配の分布は，全体的には粒子飛散解析結果をよく表すことが判明した．一方， $B/D=1$ の側面や $B/D \geq 5$ の背面では差が見られる．先述の通り，粒子は $B/D=1$ では背面を経由して側面へ， $B/D=6$ では側面を経由して背面へ到達すると考えられる．つまり，剥離流れに伴い最初に粒子が輸送される面では平均圧力勾配が付着量とよく対応するが，それ以降に到達する面では両者の関係性が相対的に小さいと考えられる．以上より，モデルとしては改善の余地は残るが，物体表面の圧力を利用することで付着塩分量を評価できる可能性が示された．

5. まとめ 断面形状や部位の違いによって，粒子が付着に至るまでの輸送機構は異なり，その結果として特徴的な付着分布が得られることが判明した．また，矩形表面の平均圧力係数の面方向勾配によって，付着塩分量を精度よく評価できる可能性が示された．

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) 津田ら：土木学会第75回年次学術講演会講演概要集，I-361，2020．