

第 I 部門

海塩粒子の物理的挙動と付着量評価に関する基礎的研究

京都大学工学部 学生員 ○金城 佑紀
京都大学大学院工学研究科 正員 八木 知己
京都大学大学院工学研究科 学生員 姜 詠

京都大学大学院工学研究科 正員 白土 博通
京都大学大学院工学研究科 正員 服部 洋
京都大学大学院工学研究科 学生員 野口 恭平

1. 序論 我が国では高度経済成長期に建設された橋梁の老朽化が問題となっており、維持管理の重要性が高まっている。特に海岸部の鋼橋において、鋼材の腐食が問題となっており、構造物に付着する海塩粒子と腐食の進行率には密接な関係があると考えられる。従って、構造物に付着する塩分量を定量的に予想することが出来ればより安全で効率的な維持管理を行うことが出来ると考えられる。そこで本研究では、海塩粒子が輸送・拡散の過程を経て構造物表面に付着するメカニズムに着目し、気象データと数値解析による構造物周辺の流れ場を用いた表面付着塩分量の計算手法を提案し、実橋梁における付着塩分量観測値と比較することで、本計算手法の評価及び検討を行う。

2. 現地観測 3 主桁を有する鋼橋である天鳥橋を対象橋梁とした(図1)。天鳥橋において、大気中塩分濃度・気象データ・表面付着塩分量の計測を行った。観測期間は2010年12月～2012年12月である。

(1) 大気中塩分濃度 大気中塩分濃度の算出には、円筒型飛来塩分捕集器¹⁾を用いた(図2)。これは、捕集器内部に装着した10層のガーゼにより飛来する塩分を捕集し、かつ前後のパイプで雨水の影響を除去する構造となっている。この捕集器を海岸線から約8m内陸、高さ約3mの位置に、橋軸直角方向を向くように設置し、飛来する海塩粒子を捕集した。また、捕集器の捕集効率を検討するために、捕集器の下方1mの位置に土研式タンクを設置し、両者から算出される *mdd* ($\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$)値を比較した(図3)。土研法の *mdd* 値が卓越したのは台風のためと推測され、同期間における捕集器の *mdd* 値が土研法のそれと比べて小さいことから、台風のような異常気象時において、捕集器の海水・雨水流入除去効率は期待できると考えられる。

(2) 表面付着塩分量 本研究では、天鳥橋海側主桁、中央主桁、崖側主桁の三主桁において表面付着塩分の測定を行った。各々の主桁における計測位置は、一面

あたりフランジ部から30cm, 90cm, 140cm, フランジ上部, 下部の5点であり、合計で30点である(図4)。



図1 天鳥橋



図2 飛来塩分捕集器

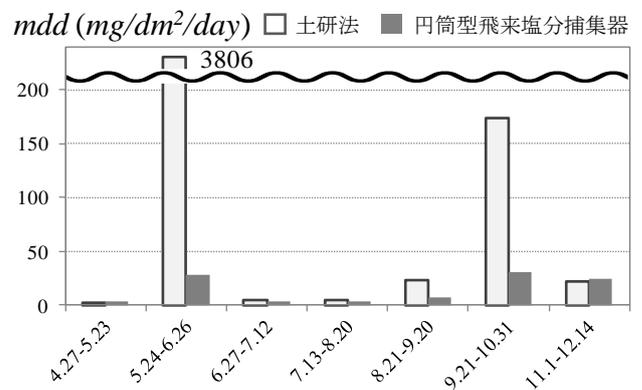


図3 捕集器-土研法 *mdd* 比較

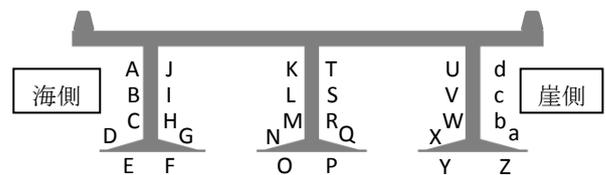


図4 表面付着塩分量計測箇所

3. 数値計算 OpenFOAM(ver.2.1.0)を用いて対象橋梁である天鳥橋周囲の定常風速場を算出し、付着塩分量の計算を行った。本研究では、海塩粒子の壁面方向の濃度フラックスを用いた付着計算(case1)と、粒子個々の挙動に着目した付着計算(case2)を行い、両者から算出された付着量計算値と、現地観測値を比較することで、計算手法の妥当性を検討する。

(1) 壁面方向の濃度フラックスを用いた計算(case1) 海塩粒子を含んだ濃度フラックスが壁面方向風速に乗り衝突することで付着を定義した。壁面近傍の壁面方向風速と拡散係数を抽出し、移流のフラックスと拡散

のフラックスを合算することで付着量とした¹⁾式(1).

$$Q = C \cdot V_n \cdot \Delta t + C \cdot \int_0^{\Delta t} \sqrt{\frac{D}{\pi t}} dt \quad (1)$$

Q : 付着塩分量(mg/m^2), C : 大気中塩分濃度

D : 拡散係数, V_n : 壁面方向風速, Δt : 継続時間(600s)

(2) 粒子挙動に着目した計算(case2) 粒子の挙動を、流れ場から受ける力・重力による移流過程と、拡散過程が交互に繰り返されると定義し、粒子の軌跡を追う。移流過程は式(2)で表される運動方程式に支配されるとした²⁾.

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_D - m\vec{g} \cdot \left(1 - \frac{\rho}{\rho_p}\right) \quad (2)$$

m : 粒子質量, v : 粒子速度, F_D : 抵抗力

ρ : 空気の単位体積質量, ρ_p : 粒子の単位体積質量

拡散過程はランダムウォーク法によりその移動量を定義した。ランダムウォーク法は、物質の拡散による移動量を乱数により確率的に求める方法である。計算領域は壁面近傍の限られた領域としている。

4. 計算結果及び考察 図5に現地観測値と計算値を示す。図中の記号は図4に示す計測位置に対応する。この図から、case1はオーダーが一致している部位があるものの、フランジ部上面で付着量が卓越するという観測値の傾向を再現出来ていない一方で、case2は全体的に付着量が過大評価されているものの、付着傾向が精度よく再現出来ていることが確認された。付着現象は粒子個々の運動に基づくものであるという観点と、付着傾向の一致という観点から、case2の方がより現実的な付着計算を行っていると考えられる。case2において付着量が過大評価となった要因として、定常風速場の利用、本計算で用いた濃度が時間的に一定という仮定、粒子の計算領域中の初期位置、計算領域の大きさ等が考えられる。

次に、case2の計算において粒子性状が付着量に及ぼす影響について考察する。本研究では、粒子の単位体積質量と粒径に対する感度分析を行った。図6.1, 6.2に結果の一例を示す。この図から、ウェブ部については相関が見られなかったが、フランジ部上下面については一定の相関が見られた。これは、粒子に作用する抵抗力と重力の大小関係に起因するものと考えられる。このことから、粒子性状が海塩粒子の挙動・付着に及ぼす影響は、水平方向より鉛直方向の方がより大きく

なると考えられる。

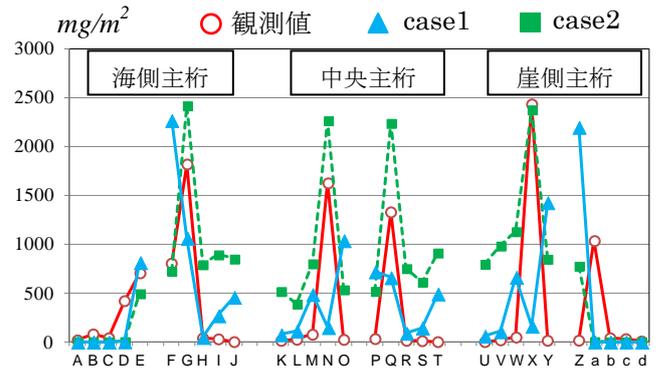


図5 付着塩分量比較

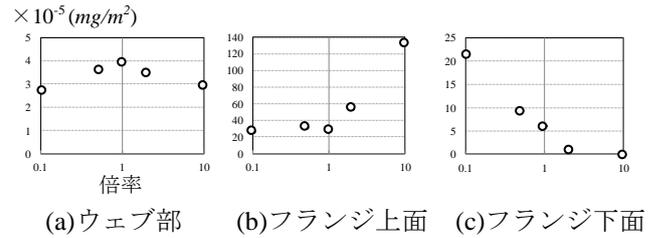


図6.1 感度分析 (単位体積重量)

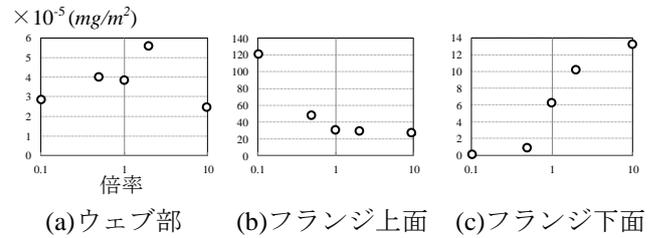


図6.2 感度分析 (粒径)

5. 結論及び今後の課題

- 1) 円筒型飛来塩分捕集器は台風のような異常気象時において、海水・雨水の流入除去が期待できる。
- 2) case2の計算から、橋梁部位毎の付着傾向を高精度に再現出来た。このことから本計算手法は現実的な付着計算を行っていると考えられる。
- 3) case2の計算において、付着量が過大評価となった原因として、定常風速場の利用、濃度が時間的に一定という仮定が考えられるため、非定常風速場を用い、橋梁周りの濃度分布の時間変化を考慮する必要があるといえる。
- 4) 粒子性状が海塩粒子の挙動に及ぼす影響は、水平方向より鉛直方向の方がより大きいと考えられる。

謝辞 本研究は、紀南河川国道事務所との共同研究の一環として行われた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 野口ら: 海塩粒子付着量の予測精度向上に関する基礎的研究, 構造工学論文集 Vol.59A(登載決定済), 2013
- 2) 高橋幹二: エアロゾル学の基礎, 森北出版株式会社, 2003, pp17