

数値解析による橋梁部位別付着塩分量の予測

京都大学大学院 学生員 ○金城 佑紀 西日本電信電話株式会社(研究当時京都大学大学院) 姜 詠
 京都大学大学院 学生員 野口 恭平 京都大学大学院 正員 白土 博通
 京都大学大学院 正員 八木 知己 京都大学大学院 正員 服部 洋

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(図1)、約一ヶ月毎に大気中塩分濃度・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)。捕集器内部に装着した10層のガーゼにより飛来塩分を捕集し、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、飛来海塩粒子を捕集した。また、捕集効率を検討するため、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)。一部の期間で土研法の 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・雨水流入除去効率には期待できると考えられる。

(2) 表面付着塩分量 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

ら上方に30cm、90cm、140cm、フランジ部上部、下部の5点であり、合計30点である(図4)。



図1 天鳥橋



図2 飛来塩分捕集器

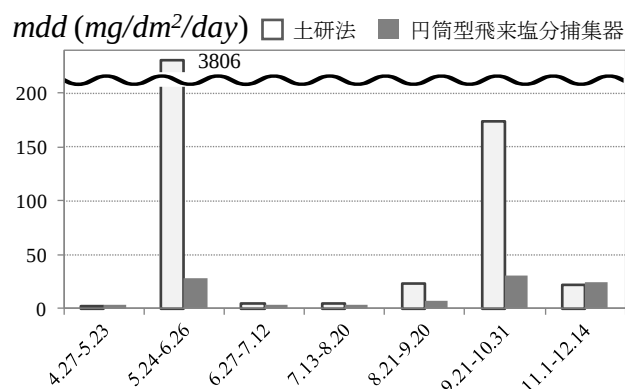
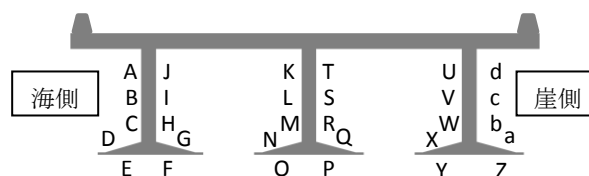
図3 捕集器-土研法 mdd 比較

図4 表面付着塩分量計測箇所

3. 数値計算 OpenFOAM(ver.2.1.0)を用いて天鳥橋周囲の定常風速場を算出し、付着塩分量を計算した。気象データ(16方位)を反映させるため、それぞれに対応する流れ場計算領域を作成した。海塩粒子の壁面方向の濃度フラックスを用いた計算(case1)と、粒子個々の挙動に着目した計算(case2)を行い、両者から算出された計算値と現地観測値を比較する。

(1) 壁面方向の濃度フラックスを用いた計算(case1) 得られた流れ場から壁面近傍の壁面方向風速と拡散係数を抽出し、移流によるフラックスと拡散によるフラックスを合算することで付着量とした¹⁾ (式(1))。

キーワード 腐食、海塩粒子、移流拡散、付着塩分、粒子追跡、数値流体解析

〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1棟 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻構造工学講座橋梁工学分野

TEL 075-383-3167

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

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²⁾, 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. 計算領域は壁面近傍の限られた領域としている.

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

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

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. 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, 濃度が時間的・空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, 付着粒子の初期位置に対する考察を行う. 図6に風向と橋軸直角方向がなす角が 0° の計算における, 付着計算10回の試行にて付着した全粒子の初期位置を示す. 一つのプロットが複数の粒子を表す場合もあるので, 見かけのプロット数と付着量との間に直接的な相関はない. 図6と風速コンター図やベクトル図から, 粒子が橋梁周囲の流れ場に乗りながら移流していると推測される. フランジ上面については, 重力の影響により, 壁面から離れた位置に配置した粒子についても付着しやすいことが確認された. 風向と橋軸直角方向がなす角が 22.5° , 45° , 67.5° の計算においては, 壁面に向かう風速成分よりも壁面に沿う風速成分が卓越することから, 壁面からの距離0.2cmの面に配置した粒子のみが付着することが確認された. 以上より, 粒子

は拡散や重力の作用により流線から外れた挙動を示すものの, 流れ場の影響を強く受けると推測される.

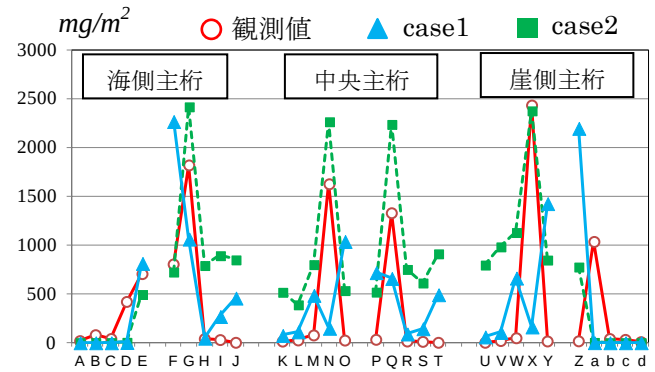


図5 付着塩分量比較

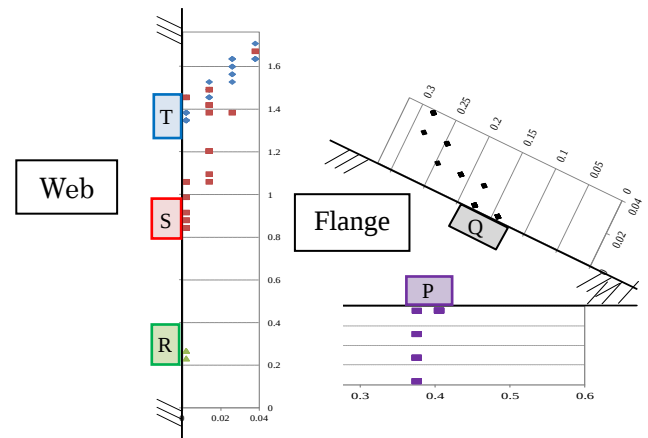


図6 付着粒子の初期配置(中央主桁崖側面)

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) 付着粒子の初期配置に対する考察から, 粒子は流れ場の影響を強く受けると推測されるので, 橋梁周囲の流れ場の計算を精度よく行う必要がある.

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, pp585-pp595, 2013
- 2) 高橋: エアロゾル学の基礎, 森北出版, pp17, 2003