

第 I 部門

観測・実験・解析に基づく海塩粒子付着に関する基礎的研究

京都大学工学部 学生員 ○姜詠
 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 田中俊輔

京都大学大学院工学研究科 正員 白土博通
 本州四国連絡高速道路(株) 森下尊久

1. 序論

高度経済成長期に建設された建造物の老朽化が進み、建設から維持管理の時代に移行しつつある。特に海岸近傍の鋼橋において海塩粒子の付着による鋼材の腐食が重要検討課題である。本研究は、海塩粒子が大気中に舞い上がり、輸送・拡散の過程を経て、建造物表面に付着するメカニズムを検討し、現地観測、実験、数値解析を基に建造物表面に付着する海塩粒子量を評価することを目的とする。

2. 対象橋梁・観測期間

対象とした橋梁は大鳴門橋であり、図 1 のように 3P 主塔基礎部、及び大鳴門橋管理用通路の北側、南側を対象箇所とした。飛来塩分計測は、上記の計 4ヶ所で行い、橋軸直角方向に飛来する塩分を測定した。表面塩分計測は 3P 主塔基礎部の北側 4 面、南側 4 面の計 8 か所で行った。観測期間は 2009 年 11 月～2010 年 12 月までの 12 カ月間である。3P 主塔基礎部と大鳴門橋管理用通路は標高差約 40m あり、橋軸方向の距離は等しい。

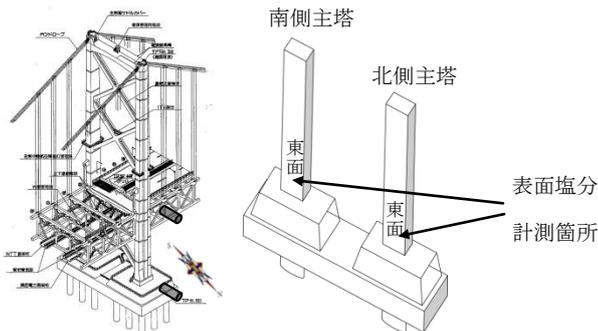


図 1 大鳴門橋計測地点

3. 飛来海塩粒子濃度の計測

飛来海塩粒子の捕集には、図 2 のような円筒型飛来塩分捕集器という装置を考案し、上記 4 箇所に設置した。これは、外直径 100mm、内直径 96mm、厚さ 20mm のアルミニウム製のリング 10 個各々にガーゼを張って、10 個を一列に重ね、さらに、直径 100mm、内直径

96mm、長さ 400mm のパイプを 10 層のリングの前後に取り付け全長 1m の 1 本のパイプ状の形状を成す。更に、風下側の開口部近傍にアルミ円板（遮蔽板）を取り付け、後方からの風の逆流をなるべく抑える構造とした。飛来海塩粒子濃度 $k(mg/m^3)$ の算出には式(1)を用いた¹⁾。

$$k = M / (0.112 \cdot P \cdot V_n \cdot A \cdot T) \quad (1)$$

M :捕集塩分量(mg) P :風向出現頻度

V_n :風向別平均風速 (m/s) A :ガーゼ面積 $A(cm^2)$

T :気象データ継続時間(s)



図 2 円筒型飛来塩分捕集器

4. 洗い流し効果測定実験

橋梁表面への海塩粒子の付着量を推定する際、雨水が橋梁表面に衝突することにより付着塩分が流され、影響を及ぼすと考えられる。そこで、トタン板に予め塩分を散布し、12mm/h 相当の降水に曝露後、残留した付着塩分量(mg/m^2)を計測した。曝露時間は 2.5 分、3.5 分、5 分、10 分、15 分の 5 ケースとした。この結果を図 3 に示す。横軸は曝露時間(min)、縦軸は(洗い流し後付着塩分平均値)/(初期付着塩分平均値)を残留塩分 S (%)とする。洗い流し効果は単位面積に散布される水量のみに依存し曝露時間には依存しないと仮定し、横軸を時間降水量 r (mm/h)に換算したものを図 4 に示す。

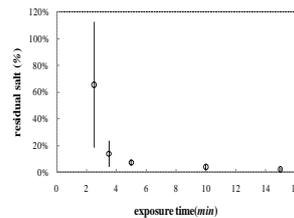


図 3 実験結果

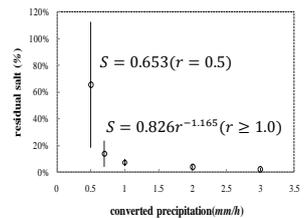


図 4 換算後実験結果

5. 数値計算

大鳴門橋主塔表面への海塩粒子の付着量を推定するには、主塔周りの風速場、海塩粒子の濃度分布の解明及び付着機構の推定が必要であると考えられる。本研究では風速場に関しては OpenFOAM を用いてレイノルズ平均モデル(RANS)による定常解析を行い、付着量の推定に関しては定常状態の海塩粒子濃度分布から、洗い流し効果も加味して計算を行った。

5.1 風速場

図5に計算領域を格子分割したものを示す。計算領域は x-y 平面上にあり、その大きさは 84800mm×49000mm であり、格子分割については x 方向:344 分割、y 方向:170 分割、総格子数は約 39000 個である。計算領域内に存在する 2 つのブロックは大鳴門橋の主塔を模擬した。計算格子にはコロケート格子を、また乱流モデルとしては標準 $k-\epsilon$ モデルを採用した。反復計算法として SIMPLE 法を用いた。また、滑面及び壁面近傍第 1 セルの中心点が対数領域に存在するとき、その計算には標準 $k-\epsilon$ モデルを用いず、対数則に基づく壁関数を用いた。境界条件は壁面では風速:0(m/s)、圧力:勾配=0、 v_T, k, ϵ : 壁関数、流出口では速度:勾配=0、圧力:0、 k, ϵ : 勾配=0 とした。

気象データが 16 方位であるため、本研究では x 軸を 0° とし、流入角度を 22.5° 毎に、流入風速を 1m/s から 11m/s まで 1m/s 毎に変化させた。また 4 面の流入口、流出口は流入角度に応じて変化する。

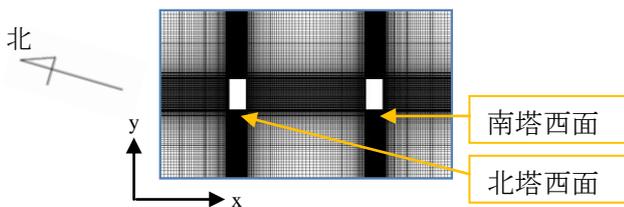


図5 格子分割

5.2 海塩粒子の付着

付着機構を移流による沈着と、拡散による沈着とし、以下の式(2)、式(3)で付着量を計算した²⁾。

$$\text{移流による沈着} : C_i \cdot u_{ri} \cdot \Delta z \cdot \Delta t \quad (2)$$

$$\text{拡散による沈着} : C_i \cdot \int_0^{\Delta t} \sqrt{\frac{D}{\pi t}} \cdot \Delta z \cdot dt \quad (3)$$

C_i : セル i での濃度 u_{ri} : セル i での壁面垂直風速成分
 Δz : セル幅 D : 拡散係数

本研究では渦動粘性係数を拡散係数として用い、 Δt は気象データの観測継続時間 3600(s)を与えた。定常解析

のため、主塔近傍セルの濃度が流入濃度と等しいと仮定した。気象データから得られた時間平均風速、風向、雨量、及び円筒型飛来塩分捕集器より得られた飛来海塩粒子濃度を使用する。また実験より得られた残留塩分と換算時間降水量の関係を洗い流し効果として使用した。風向については風速場のシミュレーションの流入角度を対応させ、洗い流し効果は風向により影響面が異なる様に行った。

6. 海塩粒子付着量の結果比較

代表例として、2010年3月—4月、2010年11月の観測値と解析値を比較したものを図6.1、図6.2に示す。各月の解析結果、観測結果からほぼすべての月で計測面ごとの表面塩分付着量の大小の傾向は、多少の誤差は生じるが、解析値と観測値で概ね一致しているといえる。この定常解析による簡易モデルを使用することで、各面の概ねの飛来塩分量を推定でき、維持管理を効率的に行うことができると評価できる。しかし、全データを比較して、観測値の方が解析値と比べて大きな値をとるという傾向を見いだせる。これは、洗い流し効果の過剰評価と、本研究では定常風速場を求めそれを用いて付着量を計算しているため、風向が変化したときの風速場の乱れによる付着を考慮していないことが要因であると推測される。

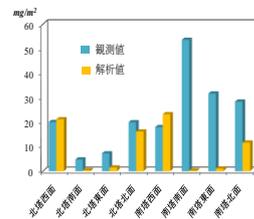


図6.1 2010. Mar-Apr

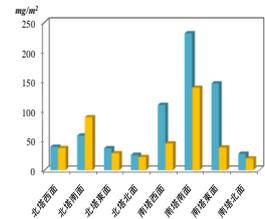


図6.2 2010. Nov

7. 結果及び今後の課題

- 1) 本研究で行った数値計算により、各計測面の飛来塩分付着量の大小の傾向を概ね知ることが出来た。
- 2) 洗い流し効果測定実験について、今後より高精度に結果が得られるよう検討する必要がある。
- 3) 風向変動による風速場の乱れ、表面形状及び表面粗度が付着量に及ぼす影響を評価する必要がある。
- 4) 計算結果のメッシュ依存性を検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 奥田慧, 構造物表面の海塩粒子付着機構に関する基礎的研究, 京都大学工学部地球工学科卒業論文, 2010.2
- 2) 高橋幹二, エアロゾル学の基礎, 日本エアロゾル学会, 2003.7