

## 橋梁表面に付着する部位別塩分量の推定 (その 1) —付着塩分量推定手法の検討—

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○秦 聡一朗  
 京都大学大学院工学研究科 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 野口 恭平  
 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

**1. 序論** 本研究では、部位別の付着塩分量推定の精緻化を目的とする。野口らは粒子追跡法と濃度フラックス法により、付着量の定量的評価を行った<sup>1)</sup>。粒子追跡法は粒子個々の挙動を、運動方程式で表す移流過程とランダムウォーク法<sup>2)</sup>で表す拡散過程とに分け、これらを交互に繰り返して粒子の付着量を推定するが、ランダムウォーク法で用いる海塩粒子の拡散係数が決定されていない。また、濃度フラックス法は塩分付着量を大気中塩分濃度と風速の積で推定する方法であるが、フラックスを評価するための壁面方向風速の抽出位置が定まっていない。そこで本研究では拡散係数と、壁面方向風速の抽出位置を決定することを目的とする。

**2. 流れ場計算** 付着計算に用いる垂直平板( $B/D=0.01$ )周りの流れ場を定常、非定常の二種類で解析を行う。

**2.1 流入変動風** 領域の大きさを  $40D \times 20D \times 2D$  とし、流入口から  $26D$  の面(recycle station)までを周期境界として障害物を上下面に設置した領域で流入変動風を作成する。非定常計算には LES (標準 Smagorinsky モデル) を用いた。recycle station 中心の主流方向風速のパワースペクトル密度(PSD)が Kolmogorov の  $-5/3$  乗則にはほぼ従うものの、卓越周波数の存在も確認され、生成する乱流場の特性改善が今後の課題である。ドライバ領域の  $t=1500$  秒の主流方向風速のコンター図を図 1 に示す。

**2.2 垂直平板周りの流れ場計算** 垂直平板周りの流れ場計算領域は図 2 に示す通りであり、垂直平板周りのメッシュ分割を図 3 に示す。非定常計算では作成した流入変動風を流入させる。 $t=70$  秒の主流方向のコンター図を図 4 に示す。垂直平板から上流側に  $0.25D$  離れた中心点の鉛直方向風速の PSD を確認すると、 $0.345\text{Hz}$  でピークを確認した。この周波数をストローハル数に換算すると  $St=0.14$  であり、既往の研究<sup>3)</sup>( $St=0.15$ )にほぼ等しく、これは後流のカル

マン渦に起因すると考えられる。次に垂直平板周りの定常流れ場を解析する。定常計算の流入風は流入変動風の時間平均を基に作成した。定常計算には RANS (標準  $k-\epsilon$  モデル) を用いた。

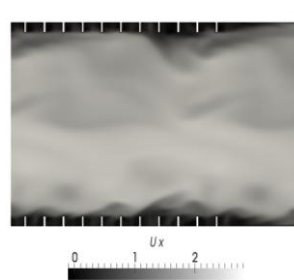


図1 ドライバ領域

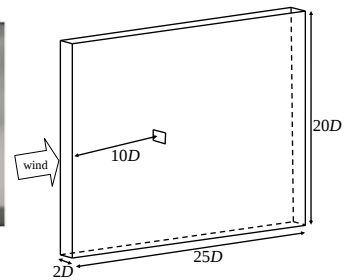


図2 垂直平板周りの計算領域

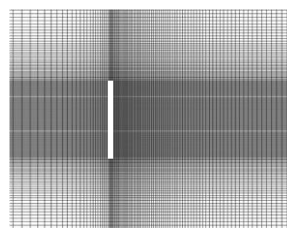


図3 メッシュ分割

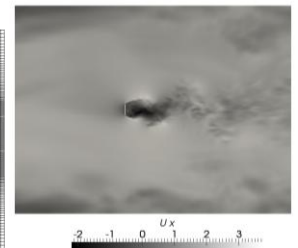


図4 垂直平板周り

**3. 粒子追跡法** 垂直平板への付着量で、定常流れ場とランダムウォーク法から得られたものと、非定常流れ場のみから得られたものとを比較する。前者では拡散係数を様々に変更して計算し、後者で求まる付着量を真と考え、適切な拡散係数の値を検討する。

**3.1 計算条件** 粒子追跡の計算領域は、流れ場計算の流入面の中心を原点とすると、 $9.5D \leq x \leq 10D$ ,  $-0.5D \leq y \leq 0.5D$ ,  $-0.25D \leq z \leq 0.25D$  であり、この領域の塩分濃度が  $0.01\text{mg/m}^3$  となるように粒子を一様配置した。鉛直平板風上面の付着領域を鉛直方向に  $0.1D$  毎に分割し、垂直平板の下端から  $a, b, \dots, j$  とした。カルマン渦による周期が発生しているの、非定常流れ場を用いる場合、 $t=58.4$  秒からその周期の  $1/4$  秒毎に粒子追跡開始時刻を遅らせて、52 回の粒子追跡を行い、その平均を付着量とした。一方定常流れ場を用いる場合、ランダムウォーク法は確率的に拡散の

キーワード 腐食、飛来海塩粒子、付着塩分、数値流体解析、移流拡散、濃度フラックス

〒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

挙動を表現するため、2000回の平均を付着量とした。

**3.2 計算結果** 垂直平板の中央付近の領域の結果を図5に示す。付着量が拡散係数とともに大きくなるのは、拡散の作用が大きくなり、壁面から離れた粒子が付着しやすくなるためと考えられる。この領域内で、拡散係数が  $10^{-4}$  以下で付着量が大きくは変わらず、かつ非定常流れ場を用いた付着量とほぼ等しいことから、粒子の拡散係数として空気動粘性係数( $=1.5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ )を用いることが妥当と判断される。

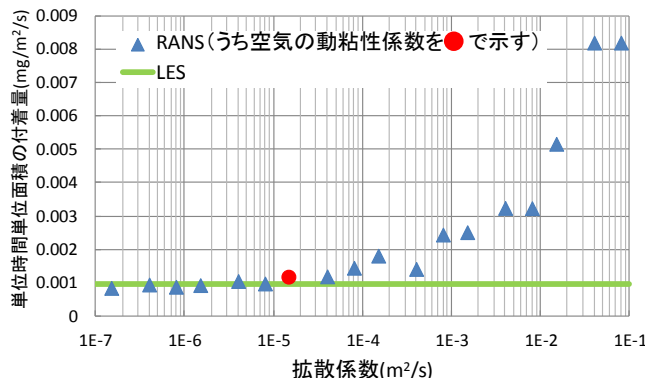


図5 拡散係数の決定(領域f)

**4. 濃度フラックス法** 非定常流れ場を用いた粒子追跡法による付着量を真と考え、これと等しくなるような定常流れ場風速の抽出位置を検討する。領域fでの抽出位置を図6に示し、全領域での風速抽出位置を図7に示す。抽出位置は3cm~4cmで部位別に異なるが、これらの平均である3.5cmを用いて付着量を計算する。一方フランジ上下面はその形状から重力の影響が大きいと考えられ、これを考慮するために、フランジ上下面には重力による粒子の沈降速度  $V_s(\text{m/s})$  を加える(式1第1項)。第2項は拡散による沈着を表し、 $D$ には風速抽出位置における流れ場計算により得られた渦動粘性係数を用いた。

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

$Q$ :付着量( $\text{mg}/\text{m}^2$ ),  $C$ :塩分濃度( $\text{mg}/\text{m}^3$ ),  $V_n$ :壁面方向風速( $\text{m/s}$ ),  $\theta$ :壁面傾斜角( $\text{rad}$ ),  $D$ :拡散係数( $\text{m}^2/\text{s}$ )

現地観測の対象橋梁(和歌山県すさみ町にある天鳥橋)周りの流れ場をRANSで計算した。橋梁各部位から3.5cmの位置の風速を抽出し、濃度フラックス法で付着量を計算した(図8,各部位は図9参照)。観測データと比較すると、ウェブ部は付着量を精度よく再現でき、フランジ上下面は、オーダーの異なる部位もあるものの、フランジの上面で付着量が多く、下面で少ないという傾向を表すことができた。

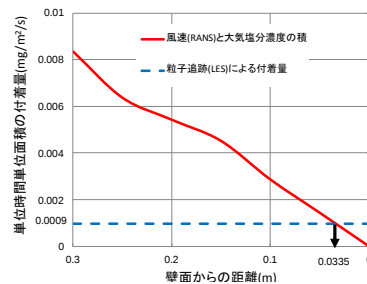


図6 位置決定

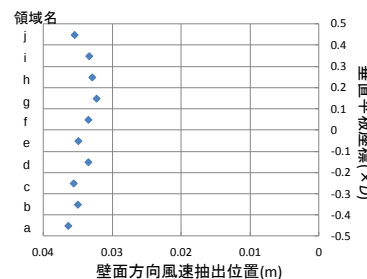


図7 風速抽出位置

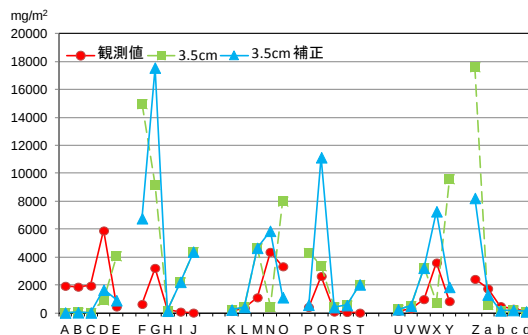


図8 現地観測との比較(2013.8.30-10.18)

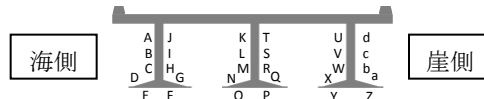


図9 部位の定義

## 5. 結論と課題

- 1) 海塩粒子の拡散係数として空気動粘性係数を用いることの妥当性が示された。
- 2) 濃度フラックス法の風速抽出位置は鉛直平板風上面から3.5cm離れた位置と決定できることが明らかとなった。フランジ上下面は重力を考慮することで、上面で付着量が多く下面で少ないという傾向を表現することができた。
- 3) 流入変動風の乱流特性の改善についてさらに検討する必要がある。

**謝辞** 紀南河川国道事務所と元京都大学技術職員の河内伸治氏の協力を得た。ここに記し謝意を表す。

## 参考文献

- 1)野口ら：構造工学論文集 Vol.60A (登載決定済)，2014
- 2)Lewis: Vortex element methods for fluid dynamic analysis of engineering system, Cambridge University Press, pp364-369, 2005
- 3)中口ら：日本航空学会誌 vol.16, No.168, 1958