

粒状物質の移流拡散による橋梁断面周辺の飛来塩分の数値シミュレーション

長岡技術科学大学 学生会員 ○伊藤 俊
 長岡技術科学大学 正会員 岩崎英治
 長岡技術科学大学 正会員 長井正嗣

1. はじめに

近年、橋梁のLCC低減を目的に耐候性鋼材の採用が増加している。耐候性鋼材は、普通鋼に比べて優れた耐食性を有した鋼材であるが、橋梁各部位の腐食環境の差異により、局部的に腐食が進行する場合がある。この腐食の主な要因である飛来塩分は、建設後の橋梁断面周辺の風の流れにより変化する。また、橋梁における耐候性鋼材の適用可能な許容飛来塩分は0.05mdd (mg/dm²/day) 以下とされているが、この規定は、橋梁の桁間での値であり、建設後でなければその値は正確には得られないといった問題もある。したがって、橋梁断面における飛来塩分を予測することが出来れば、適切に耐候性鋼材の使用の適否を判断することが出来る。さらに、飛来塩分と耐候性鋼材の腐食減耗量との関係が確立していれば、耐候性鋼橋梁の各部位の腐食環境に適した防食設計も可能になると考えられる。そこで、本研究では、数値シミュレーションによる橋梁断面周辺の飛来塩分の推定の可能性を検討するために、流れの中での粒子の運動によって飛来塩分の移流拡散を再現し、数値シミュレーションと実橋観測結果との比較を行った。

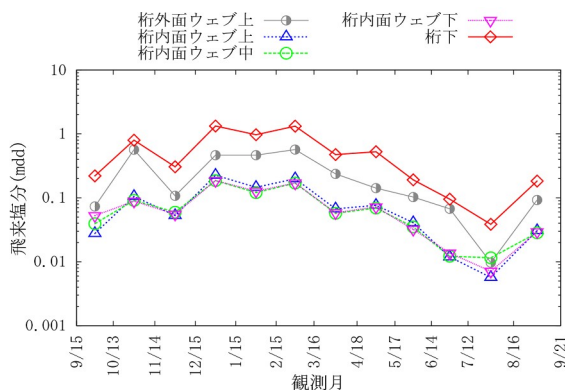


図-1 観測月毎の平均飛来塩分

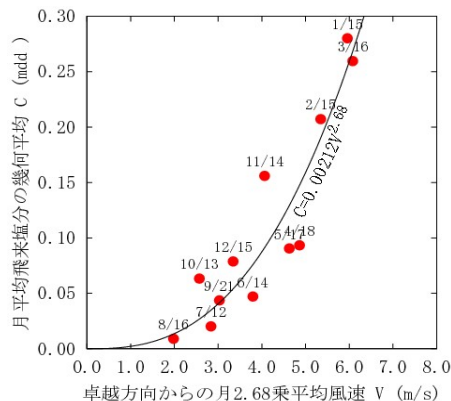


図-2 月平均風速と月平均飛来塩分の関係

2. 飛来塩分観測

新潟市内の苗引橋（二主桁橋）と橋名無橋（三主桁橋）を対象とした。ウェブ上部、中央、下部、桁下、橋名無橋では、さらに下フランジ上面、下面にドライガーゼ式の塩分捕集器具を設置し、高欄外側の飛来塩分は、土研式塩分捕集器具により観測を行った。また、風速計によって各橋梁における風速も計測した。

図-1 に、苗引橋における上流側桁面付近と桁下の月毎の平均飛来塩分の観測結果を示す。また、図-2 に、苗引橋の風の卓越風向からの月 2.6 乗平均風速と月平均飛来塩分の幾何平均との関係を示す。図-1 より、観測月により各部位の飛来塩分には増減があるが、その比率はほぼ一定に保たれていることが分かった。図-2 より、卓越方向からの平均風速と月平均飛来塩分には高い相関があることが分かった。

3. 流れの中における粒状物質の移流拡散問題

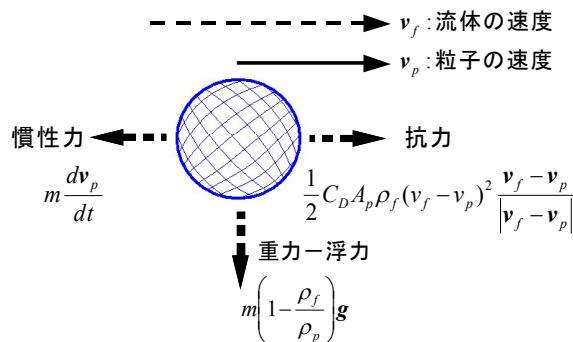


図-3 流体中の粒子に作用する力

飛来塩分の分布を、物質濃度により表した研究^{1),2)}がある。しかし、拡散計算の発散や、海塩粒子の粒径分布の再現などの汎用性の欠如といった問題が避けられなかった。

そこで、飛来塩分を物質の濃度ではなく、個々の粒子の運動として捉える。流体中の粒子に作用する力は、図-3 に示すように、流体からの抗力、粒子の慣性力、重力と浮力からなり(1)式のように表される。

$$m \frac{dv_p}{dt} = \frac{1}{2} C_D A_p \rho_f (v_f - v_p)^2 \frac{v_f - v_p}{|v_f - v_p|} + m \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) g \quad (1)$$

粒子が球形以外の形状や、粒子が回転している場合には、揚力が作用するが、粒子は球状として扱い、粒子自体の回転を無視する。(1)式において、 v_p と v_f はそれぞれ粒子と流体の速度ベクトルである。また、 m は粒子の質量、 ρ_f は流体の密度、 A_p は粒子の流れに直交する面への投影面積、 C_D は粒子の抗力係数、 g は重力加速度である。

Key Words : 飛来塩分, 数値シミュレーション, 粒子

〒 : 940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1, TEL : 025-847-9617, FAX : 025-847-9600

海塩粒子の粒径，粒子の移動速度と風の相対速度より，抗力係数は $C_D=24/R_e$ と見做すことができ，(1)式は次のように変形できる．

$$\frac{dv_p}{dt} = \frac{1}{\tau_p} (v_f - v_p) + \left(1 - \frac{\rho_f}{\rho_p} \right) g, \quad \tau_p = \frac{2a^2 \rho_p}{9\mu_f} \quad (2)$$

(2)式を風の流れの中で解析的に解き，粒子の軌道を時間ステップごとに追跡する．

4. 物質通過累積

数値シミュレーション上で飛来塩分の分布を計算するには，ある点をある時間内に通過した物質の累積である飛来塩分と同じ物理量を有した指標を定義する必要がある．

本研究では，風の流れ場を計算する際に使用した個々の有限要素内を通過した粒子数の粒子密度から物質通過累積を定義する．一つの粒子によるある有限要素内の粒子密度 ϕ を，(3)式のように表す．

$$\phi = \begin{cases} 1/A & (\text{粒子が有限要素内にある}) \\ 0 & (\text{粒子が有限要素内でない}) \end{cases} \quad (3)$$

ここで， A は着目している有限要素の面積である．この粒子密度による物質通過累積は，(4)式のように表される．

$$c_n = \sum_{p=1}^M \sum_{a=1}^N \phi_p^a (v_n^a)_p \Delta t \quad (4)$$

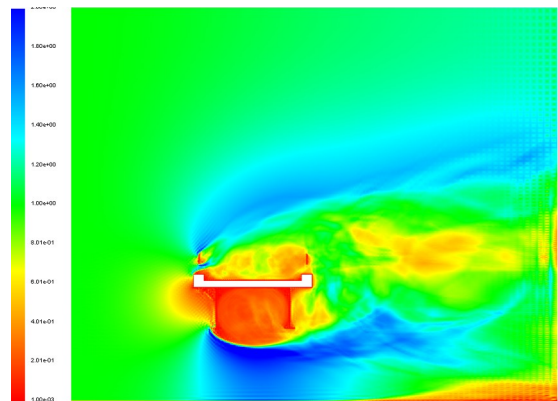
ここで， M は粒子の総数， N は時間分割数である． ϕ_p^a はある有限要素内の粒子 p による時刻 t^a の粒子密度， $(v_n^a)_p$ は速度の n 方向成分である．図-4 に苗引橋における，物質濃度の拡散から求めた物質通過累積と，粒子の運動から求めた物質通過累積を示す．これより，(a)および(b)で同様な計算結果が得られていることがわかる．

5. 観測結果と数値計算結果の比較

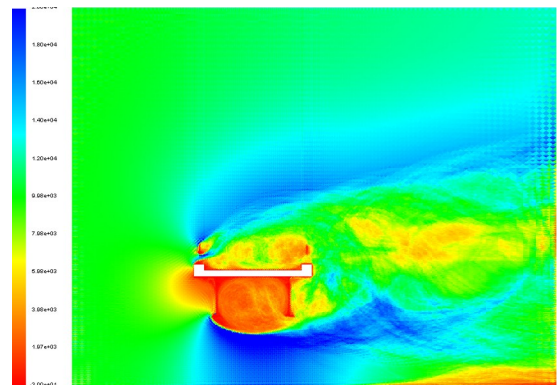
数値計算により飛来塩分の値を計算するためには，領域内の1地点での飛来塩分を与える必要がある．そこで，桁下での飛来塩分の観測値に，数値計算による物質通過累積が合うように換算した．図-5 に，苗引橋と橋名無橋の飛来塩分の観測値と，粒子の運動による計算値を示す．これより，計算値は観測値とその傾向に整合が取れていることから，数値シミュレーションの妥当性が示されたと考えられる．

6. まとめ

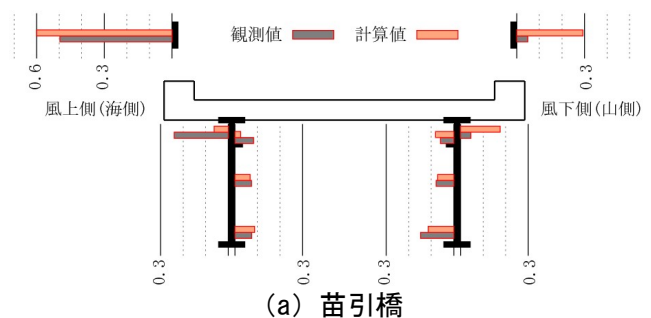
飛来塩分は，橋梁周辺における卓越風向からの風速に強く影響を受けることがわかった．また，橋梁架設前のある1箇所での飛来塩分の観測値を用いて，その場所に建設される橋梁の桁付近の飛来塩分を推定可能であると考えられる．



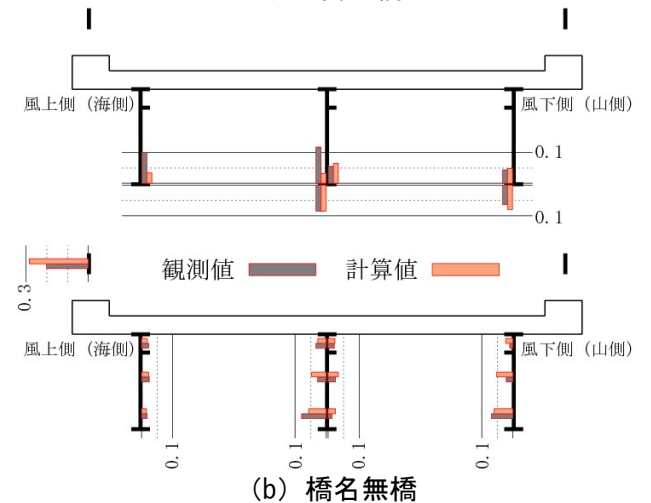
(a) 物質濃度の拡散



(b) 粒子の運動
図-4 物質通過累積



(a) 苗引橋



(b) 橋名無橋

図-5 橋梁各部位の飛来塩分の観測値と計算値

<参考文献>

- 1) 小島靖弘，伊藤 俊，岩崎英治，加藤真志，中西克佳：数値シミュレーションによる橋梁断面周辺の飛来塩分の推定，平成21年度土木学会全国大会 第64回年次学術講演会，I-071,2009.9
- 2) 岩崎英治，長井正嗣：橋梁断面周辺の飛来塩分の推定に関する一検討，構造工学論文集，Vol.53A，pp.739-746，2007.3