

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 横山友紀
 長岡技術科学大学 学生会員 楠 卓志
 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. まえがき

近年，LCCの低減が重要課題となっている中，耐候性鋼材は無塗装で使用できるために，LCC低減の観点において大変魅力的な鋼材といえる．耐候性鋼材は鋼材表面に保護性のあるさび層を形成することで，腐食作用を抑制する働きをもつ．耐候性鋼材の腐食は，温度，湿度や塩分の影響を複合的に受けるが，既往の調査研究によると，特に塩分の影響が支配的であり，飛来塩分量が $0.05\text{mdd}(\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day})$ 以下の腐食環境が耐候性鋼橋の設置に適した環境と言われている．一方，この調査は，既設橋梁の上部や桁内部に，暴露試験片や飛来塩分捕集器を設置して，行われているために，構造物が風の流れや湿気のこもり具合に影響を与え，飛来塩分調査を桁外で行った場合と桁内で行った場合で結果に違いがでてくる．事実，既設の耐候性鋼橋の腐食状況を調べると，桁の部位により腐食状況に大きな違いが現れている．特に，腐食環境の比較的厳しい地域で，そのような影響が顕著に現れている．そこで，本研究では，橋梁断面周辺の風の流れ，物質の移流拡散を数値シミュレーションにより調べる．

2. 風の流れと物質拡散の基礎方程式

風は2次元の非圧縮粘性流体とし，物質の拡散は分子拡散は無視し，風の流れによる移流拡散のみを考えると，風の流れと物質拡散の基礎方程式は，以下のように表される．

$$\frac{\partial(\rho v_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1a)$$

$$\frac{\partial(\rho v_j)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_i v_j)}{\partial x_i} = \frac{\partial s_{ij}}{\partial x_i} - \frac{\partial p}{\partial x_j} \quad (j = 1, 2) \quad (1b)$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{\partial(\phi v_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1c)$$

ここで， ρ は空気の密度， v_i ($i=1,2$)は x_i 方向の風速， p は圧力， ϕ は物質（飛来塩分）の濃度，また， s_{ij} は空気の粘性による偏差応力であり，粘性係数を μ とすると，次式により与えられる．

$$s_{ij} = \mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \right) \quad (2)$$

式(1)をO.C.Zienkiewiczら¹⁾のCBS法による有限要素法の定式化を行う．このCBS法は風速と圧力を分離し，圧力に関しては陰解法，速度に関しては陽解法となる分離形解法であり，レイノルズ数の高い流体の解析に適している．

3. 飛来塩分と風速

物質の濃度分布は式(1c)のように，線形性を有していることから，実測値の確認されている領域内の1地点での値と等しくなるように，式(1c)の数値解を係数倍することで，実測値の求められていない位置の塩分濃度が求められる．そこで，著者らの一部により飛来塩分調査²⁾を行った橋梁の断面細部を単純化した図1のような諸元および図2のような領域と境界条件のもとで，式(1c)の解析を行う．このとき，領域内の風速が必要なため，式(1a),(1b)による風の流れ解析も併せて行うことになる．また，領域内の風上側の風速と塩分濃度の入力値の時刻暦は，図3のように与え，150秒間の風の流れと塩分濃度の解析を行う．なお，風速は飛来塩分観測地点の付近にあるアメダス観測地点の年平均風速を参考に， 0.5m/s としている．

ところで，実測値としての飛来塩分量は，数値計算の対象とする解析時間(150秒)に比べて，1年間程度の長期間の平均値であるのに対して，数値計算から得られる塩分濃度 ϕ はある瞬間の値である．そこで，次式のように定義した，解析時間を通してある点を通過する物質の累計 c を用いる．

$$c = \int_0^T \phi \sqrt{v_i v_i} dt \quad (3)$$

これは，ある点の近傍を通過する単位面積あたりの物質の質量を表している．

したがって，物理的な次元を考えると，この物質通過累積の分布は，飛来塩分量の分布と相似になっている．図4は，数値解析により得られた橋梁断面周辺の物質通過累積分布を表している．実際の年平均飛来塩分の分布もこれと類似の分布になっているものと考えられる．表1は，図2のA, B, C, D点の物

Key Words: numerical simulation, weathering steel bridge, marine salt density

〒940-2188 新潟県長岡市富岡町 1603-1 TEL 0258-46-6000 FAX 0258-47-9600

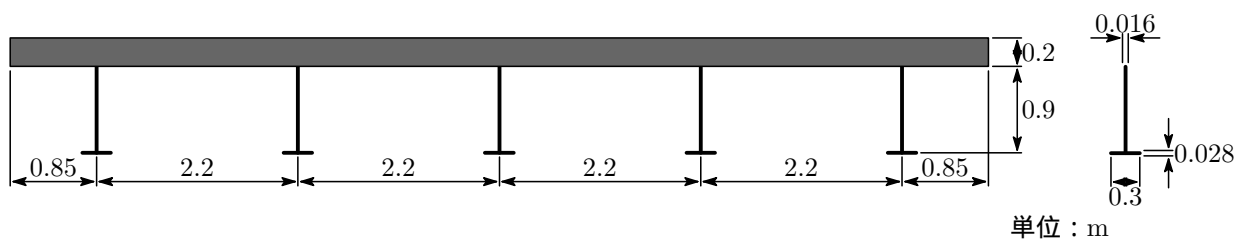


図-1 橋梁断面

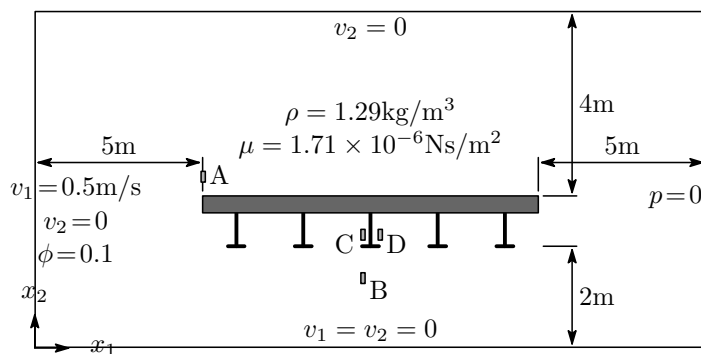


図-2 解析領域と境界条件

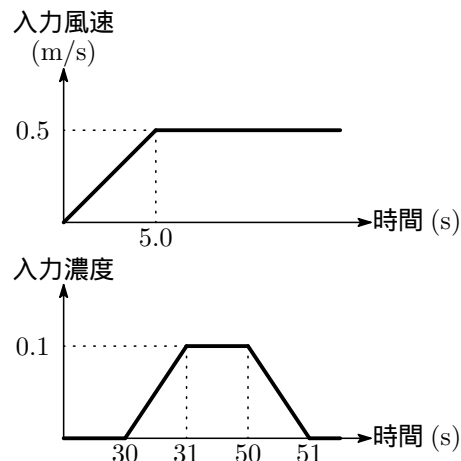


図-3 風速と濃度の入力値

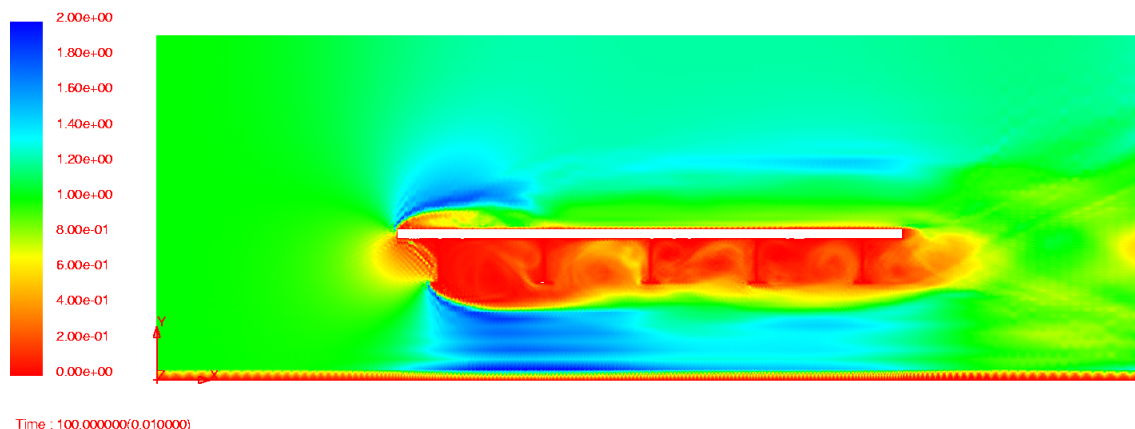


図-4 物質通過累積分布

表-1 解析結果

	A 点	B 点	C 点	D 点
物質通過累積	1.340	1.312	0.295	0.209
飛来塩分量 (mdd)	0.155	0.152	0.034	0.024

A 点の飛来塩分量は観測値

質通過累積の値を示している。また、下段の飛来塩分量は、飛来塩分量の実測値の得られている A 点の値で、この点の物質通過累積の値を割った係数を、B、C、D 点の物質通過累積に乗じた値を示している。図 2 の解析領域風上側の物質通過累積は、図 3 から、1.0 となる。したがって、A、B 点は橋梁断面の風上より、3 割ほど飛来塩分量が増えること、桁内の C、D 点では、風上での飛来塩分量に比べて、2、3 割に減じた飛来塩分量になることが分かる。

4. おわりに

本報告では、数値計算による塩分濃度から物質通過累積を定義し、この値と飛来塩分量との比較により、橋梁断面内の飛来塩分量について検討を行った。数値解析を行う上で、単純化を行っていること、1 年間の長期間に亘る平均的な飛来塩分量の値を短時間の数値解析により比較していることから、今後は、断面内の複数の地点での飛来塩分量の観測を行い、数値解と実測値との比較検討を行う必要がある。

参考文献

- 1) O. C. Zienkiewicz, R. L. Taylor & P. Nithiarasu: The Finite Element Method for Fluid Dynamics, 6th ed., Elsevier, 2005.
- 2) 岩崎英治, 長井正嗣, 大久保雄介, 松岡寛和: 新潟県内の飛来塩分と風向・風速の関係, 構造工学論文集, Vol.52A, pp.773-780, 2006 年 3 月.