

橋梁内部における付着塩分量推定システムの検討

松江工業高等専門学校生産・システム専攻	学生会員	○吉田	和也
松江工業高等専門学校	正会員	広瀬	望
松江工業高等専門学校	正会員	武邊	勝道
松江工業高等専門学校	正会員	大屋	誠

1. はじめに

耐候性鋼材は、鋼材表面に生成する緻密な保護性さびにより、鋼材内部への腐食原因物質の侵入が抑えることができる。通常の腐食環境下では、十分な使用実績があるが、多くの塩分が飛来する環境や適度な乾湿の繰り返しにならない環境では、さびが安定化せず生成し続けることがある。したがって、耐候性鋼材を用いる場合、腐食環境を正しく把握する必要がある。耐候性鋼材は桁内の年平均飛来塩分が0.05mdd (mg/dm²/day)以下の環境が使用の目安になっている。しかし、桁内の飛来塩分を橋梁完成前に観測することは困難である。そのため、実橋梁での詳細調査や定期点検だけでなく、数値実験を組み合わせ、橋梁全体および局所の腐食環境を把握し、効率かつ適切な維持管理計画の立案が不可欠であると考えられる。先行研究では、実橋梁での飛来塩分量計測と数値実験を組み合わせ、橋梁周辺及び内部の飛来塩分量を推定する試みが行われている。

そこで、本研究では、橋梁周辺及び内部の風速に着目し、仮想風洞による数値シミュレーションを行い、桁内部の風速の再現性を検討するとともに、飛来塩分量を算出することによって、観測結果と比較し、その再現性を検討することを目的とする。なお、飛来塩分量は鋼材に付着する塩分量と同等であると考え、研究を進める。

2. 流れ場の計算概要

橋梁部位別の飛来塩分量を推定するためには、橋梁周辺及び橋梁内部の風速分布を正しく評価する必要がある。そこで、本研究では、実橋梁の三次元モデルを作成し、OpenFOAMを適用することによって、定常流れ場を算出した。定常流れ場はレイノルズ平均ナビエ・ストークス(RANS)方程式を乱流モデルのひとつである標準k-εモデルを使用して、数値的に解いた。格子生成には、OpenFOAM付属の自動格子生成ユーティリティを使用した。

3. 飛来塩分量計算

次に、橋梁の各部位の飛来塩分量を算出する。定常流れ場で求めた各部位近傍の風速を用いて、濃度フラックス法に基づいた(1)式により、飛来塩分量を推定する。(1)式の第一項は重力輸送を表現し、第二項は拡散項である。

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

ここで、C:大気中塩分濃度[mg/m³]、u:壁面直角方向風速成分[m/s]、Δt:刻み時間[s]、D:空気の拡散係数[1.5×10⁻⁵m²/s]である。なお、本研究では、刻み時間Δtを1日とし、付着塩分量Q[mdd]を決定する。また、大気中塩分濃度Cは部位によらず等しい値とした。さらに、本研究で用いた壁面直角方向風速は、飛来塩分量測定に用いたドライガーズ法の設置位置と同じ地点での風速を用いることとした。

4. 本研究の計算手法の妥当性評価

まず、本研究では、解析手法の妥当性を検討するために、新潟県にあるA橋に着目し、研究を行うこととした。A橋は三主I桁橋梁である。この橋梁では、これまで詳細な調査が行われ、橋梁内部における飛来塩分量分布が定量的に計測されており、2次元断面での数値実験による飛来塩分量の推定およびその妥当性が検証されている。そこで、本研究では、A橋の三次元モデルを作成し、OpenFOAMにより定常流れ場の計算を行い、(1)式を適用することにより、A橋での飛来塩分量を推定した。

キーワード 維持管理, 鋼橋梁, 数値シミュレーション, 付着塩分量

連絡先 〒690-8518 島根県松江市西生馬町14-4 松江工業高等専門学校 TEL 0852-36-5223

まず、A橋での定常流れ場を比較した結果は両者の流れ場は概ね一致し、本研究の定常流れ場の計算は概ね良好である。次に、定常流れ場の計算によって得られた橋梁各部位近傍の風速に着目し、先行研究と比較した。その結果、各部位での風速の大小関係はおおむね一致することを確認した。

次に、(1)式により、飛来塩分量を推定した。大気中の塩分濃度は観測値を用いた。その結果、飛来塩分量に関しても、計算結果の傾向は、各部位での観測結果を概ね再現していることが確認できた。しかしながら、橋梁のフランジ下面においては、計算値が観測値より大きくなった。この原因については、更なる解析を積み重ね、観測結果と比較し、検討を行う必要がある。

5. 異なる橋梁への適用と風向・風速が橋梁内部の流れ場に及ぼす影響評価

次に、島根県出雲市に位置するB橋に着目し、検討を行った。この橋梁では、橋脚付近および径間中央付近において、各部位での飛来塩分量がドライゲージ法によって観測されている(図4)。その結果、桁内と比べ、桁下の付着塩分量が多い。また、橋脚付近と径間中央付近の観測結果を比較すると、橋脚付近で飛来塩分量が多いことがわかっている。しかしながら、桁内の飛来塩分量以外の観測データがなく、2章で示した解析手法による飛来塩分量予測の精度が検証できない状況である。そこで、本研究では、OpenFOAMによる定常流れ場解析においては、風向及び風速を変化させ、桁内における風速分布の特性を明らかにするとともに、濃度フラックス法による付着塩分量の推定を行い、飛来塩分量の観測結果との比較を行い、その傾向を検討した。

まず、定常流れ場解析において、接近風向と橋軸直角方向とのなす角を変え、流れ場の様子を検討した。その結果、流入風向(橋軸直角方向の角度)を変えると、桁内の風速分布が変化する。径間中央付近の風速分布に着目すると、上下フランジ近傍の風速は流入風向 10° で大きくなった。また、ウェブ中央の風速は流入風向 $25^\circ\sim 30^\circ$ が最も大きくなることがわかった。流入風速を変えた場合、内部の風速の強弱は変わるものの、流入風速に対する相対的な風速分布はあまり変化がなかった。また、橋脚付近と径間中央付近の風速分布を比較すると、橋脚付近の風が強くなることがわかった。これは、風が橋脚に衝突し、橋梁内部に吹き込むためであり、その様子が確認できた。

出雲市B橋は出雲市の中央部から斐伊川を横切るため、多径間を有している。そこで、流入風速や流入風向が各径間に及ぼす影響を検討した。具体的には、第一径間と第二径間の風速分布に着目した。その結果、流入風向(橋軸直角方向とのなす角度)が大きくなると、第一径間より第二径間の風速が大きくなることがわかった。

6. 今後の研究計画

本研究では、数値計算による付着塩分量の解析手法を適用し、異なる2つの橋梁で計算を行い、その結果を検討した。その結果、桁内における飛来塩分量の推定結果は、観測結果を概ね再現していることが確認できた。しかしながら、飛来塩分量を正しく推定するためには、対象橋梁周辺の風向・風速及び大気中の海塩粒子濃度の把握が不可欠である。そのためには、大気化学プロセスを考慮した領域気候モデルの適用を考える必要がある。また、本研究では、流れ場を定常と仮定し、数値実験を行っているものの、実際には、風向及び風速が連続的に変化するため、桁内へ吹き込む風の状況も大きく変化する可能性があるため、非定常での流れ場計算を採用し、検討を進める必要がある。

謝辞

本研究を実施するにあたり、JSPS 科研費・基盤研究(C)15K06202 および公益社団法人中国電力技術研究財団試験研究の助成を受けた。ここに記し謝意を表します。

参考文献

- 1) 野口恭平, 金城佑紀, 姜詠, 白土博通, 八木知己, 服部洋, 田中雄三:海塩粒子の物理挙動と風況に基づく付着塩分量の評価, 工学論文集 Vol.60A, pp613-621, 2014
- 2) 岩崎英治, 伊藤俊, 小島靖弘, 長井正嗣: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, 土木学会論文集 A Vol.66, pp752-766, 2010