

第 I 部門

CFD による複雑地形上の風況評価に基づく橋梁部位別の付着塩分量評価

京都大学工学部 学生員 ○石渡 純也
 京都大学大学院工学研究科 正会員 白土 博通

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 正会員 八木 知己

1. 序論 日本は四方を海に囲まれているため、海塩粒子による鋼橋の腐食が問題となっている。鋼橋の効率的な維持管理のためには、橋梁の部位ごとの付着塩分量を定量的に評価する必要がある。さらに、実務では橋梁ごとに付着塩分や気象の観測を行うことは効率的ではなく、数値計算により広域的に複数の橋梁の部位別付着塩分量の管理が可能になることが望ましい。風況や大気中塩分濃度を評価する数値計算法に、領域気象モデル WRF があるが、風速が過大評価になる傾向にある。これは WRF の計算格子解像度が不十分であり、複雑地形の影響による風速の減衰を十分に考慮できないことが原因と考えられる。そこで本研究では、対象橋梁地点における WRF の計算値¹⁾を入力として、WRF よりも小スケールな複雑地形領域を対象に CFD による流れ場解析を行い、さらにその結果を用いて橋梁断面周りの流れ場解析を行った。すなわち、WRF による気象計算、複雑地形上の流れ場解析、橋梁断面周りの流れ場解析という 3 段階の計算を行うことで、橋梁設置位置の風況を正しく評価することを目指した。さらにこの結果を用いて、数値計算のみによる橋梁の部位別付着塩分量の評価を行い、観測値と比較した。

2. 対象橋梁 対象橋梁の天鳥橋は、和歌山県の海沿い(国道 42 号上)に位置する、三主桁を有する鋼橋である。筆者らは天鳥橋において、風向、風速、雨量、大気中塩分濃度、桁表面付着塩分量を観測している。風向、風速は海岸線から 8m、地上 6m の地点で観測した。桁表面付着塩分量は図 1 に示す 30 点で計測した。

3. 複雑地形上の流れ場解析 天鳥橋の海側 7 方位(南～北西、西南西が橋軸直角方向)の風向に対して、20km × 4km × 10km の直方体の計算領域を作成した。地形は国土地理院発行の 10m メッシュ数値標高データを用い、天鳥橋を中心とした半径 7km～10km の範囲に $\cos^2(x)$ の関数によるテーパを設けることで、流入面及び流出面の標高が 0 になるようにし、任意の風向に

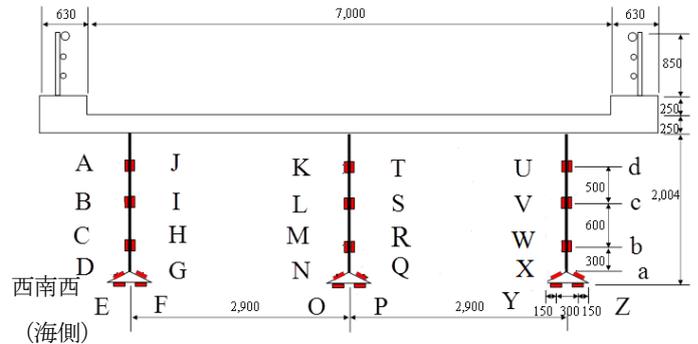


図 1 天鳥橋の表面付着塩分量計測点 (単位 : mm)

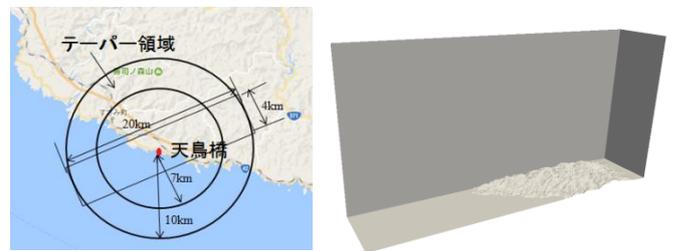


図 2 計算領域の概要 (橋軸直角方向, 西南西)

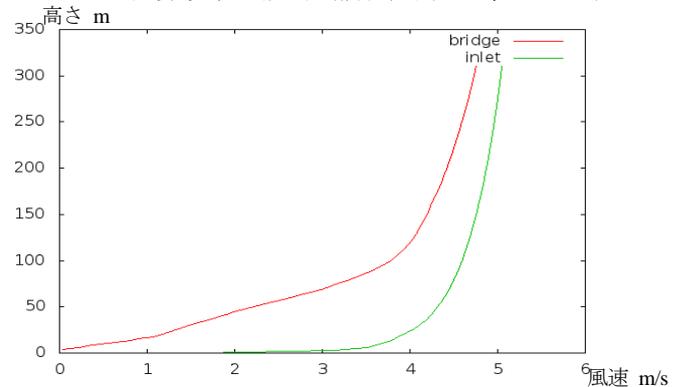


図 3 風速鉛直分布 (緑 : 流入風, 赤 : 天鳥橋地点の風速)

ついて計算を可能にした。計算格子は上空で 160m 四方、地表面では 10m 四方以下とした。計算領域の概要を図 2 に示す。この領域について、RANS による定常解析を行った。乱流モデルには Kato-Launder の修正 $k-\epsilon$ モデル²⁾を用いた。流入風は z_0 型対数則で鉛直分布を与え、地上 10m での風速が WRF の地上 10m での流入風向の平均風速と一致させた。地表面の境界条件も z_0 型対数則とした。海面では $z_0=0.001m$ 、地上では $z_0=1m$ とした。計算結果の風速鉛直分布を図 3 に示す。この

図より、複雑地形の影響によって風速が減衰していることが分かる。従って、詳細な地形の影響を考慮するためには、細かい計算格子を用いて複雑地形を再現することが重要だと考えられる。

4. 天鳥橋断面周りの流れ場解析 前述した複雑地形上の流れ場解析より、風向ごとの天鳥橋地点の風速鉛直分布を算出し、それらを流入条件として天鳥橋断面周りの定常流れ場解析を行った。計算領域を図4に示す。その結果から、気象装置設置地点の風速を算出し、現地観測及びWRFによる計算で得た風向ごとの平均風速と比較した。この結果を図5に示す。この図より、複雑地形の影響を考慮することで計算値が観測値に近づいた。さらに、これらの流れ場解析結果から天鳥橋の部位別近傍風速を算出し、次で述べる部位別付着塩分量計算に用いた。

5. 部位別付着塩分量計算 本研究では、式(1)により部位別付着塩分量を算出した¹⁾。

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

この手法では、第一項の慣性衝突による付着と第二項の拡散による沈着で付着量を評価する。計算は10分刻みで行った。大気中塩分濃度 C [mg/m^3] は、WRFによる期間中の平均値を用いた。壁面直角方向風速成分 V_n [m/s] は、前述した部位別近傍風速に基づき、複雑地形上の流れ場計算に用いた流入風速と、そのステップの風速の比を利用することで算出した。さらに、海側主桁海側面と崖側主桁崖側面には、WRFによる10分間降水量を用いて、降雨による洗浄効果¹⁾を考慮した。これは残存塩分率を降雨強度の関数として実験的に得たものである。以上の手法により付着塩分量を算出し、観測値と比較した。結果を図6に示す。この図より、計算値が観測値と近い値を示すことが分かる。従って、本研究の手法により、数値計算のみによって橋梁の部位別付着塩分量を定量的に評価できる可能性が示された。ただし、本研究で用いたモデルの妥当性や計算精度について、さらに検討する必要がある。

6. まとめ WRFによる風速値を流入条件として複雑地形上の定常流れ場解析を行い、複雑地形の影響による風速の減衰を再現することに成功した。また、天鳥橋地点で観測された風速の評価精度が向上した。このようにして得られた風速を用いて算出した天鳥橋の

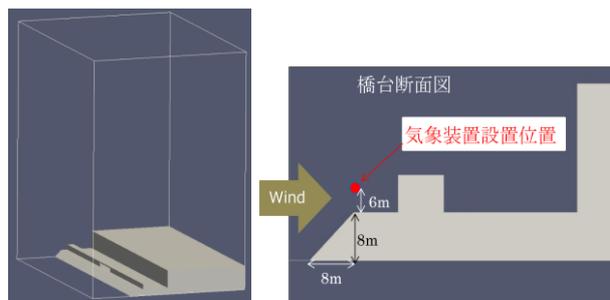


図4 計算領域の概要

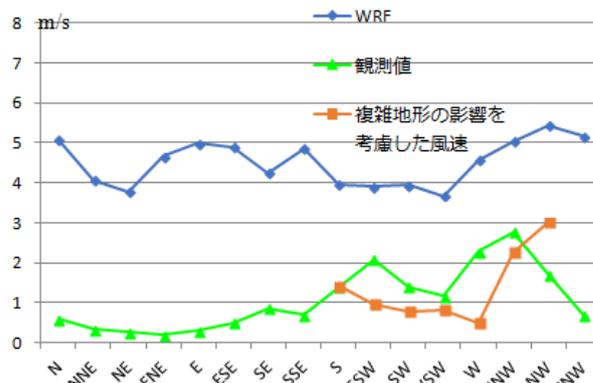


図5 風向別風速の比較

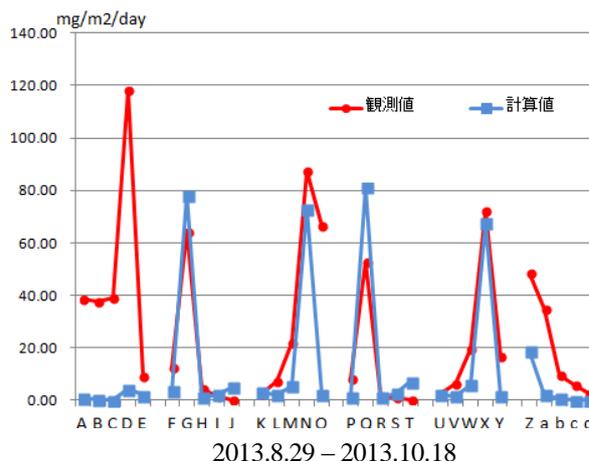


図6 橋梁の部位別付着塩分量

部位別付着塩分量は、観測値に近い値を示したので、複雑地形の影響を考慮することで、数値計算のみによって定量的に部位別付着塩分量が算出できる可能性が示された。

謝辞 清水建設(株)の酒井佑樹氏、前田建設工業(株)の丸山勇祐博士には、複雑地形上の流れ場解析におけるテーパの使い方についてご教授いただいた。本研究の一部はJSPS 科研費 15H02261・16J09269 (特別研究員奨励費) の助成を受けた。

参考文献 1) 野口ら: 結露水の流化による洗浄を踏まえた鋼橋主桁への付着塩分量評価, 構造工学論文集 Vol.63A, 登載決定済。2) Kato and Launder: The modeling of turbulent flow around stationary and vibrating square cylinder, Ninth symposium on "turbulent shear flows", 10-4-1-10-4-6, 1993.