

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 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

京都大学工学部 学生員 秦 聡一郎
 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 飛来海塩粒子は腐食や塩害の一要因であり、構造物の維持管理においてその影響は無視できない。また同じ構造物でも部位ごとに腐食や塩害の状況は異なり、付着塩分量も部位ごとに異なると考えられる。したがって、部位別付着量の定量的評価が可能となれば効率的・経済的な維持管理が可能と考えられる。また、腐食や塩害は非常に長い時間スケールでの問題とも言え、長期的な腐食環境の把握が重要である。さらに、実際には複数の構造物を広域かつ同時に管理しなければならないことを踏まえると、構造物ごとに現地観測やモニタリングを行わず、広域的に腐食環境を集中監視できることが望ましい。現地の風速や降水量の確率モデルを構築し、長期間のモンテカルロシミュレーション¹⁾を行うことで、このような課題を解決できると考えられる。その 1 では精度良い部位別予測の実現を前提に（その 2 に詳述）、モンテカルロシミュレーションの付着量推定への適用可能性を検討する。

2. 現地観測 和歌山県の日鳥橋で、推定に用いる気象データや塩分濃度、表面付着塩分量の計測を行った。日鳥橋は 3 主桁を有する鋼橋で、橋軸は北北西—南南東であり、西側は太平洋に、東側は崖に面する。日鳥橋海側に気象観測装置と円筒型飛来塩分捕集器²⁾を設置しデータを収集した。気象データは風向（16 方位）、風速、雨量が 10 分毎に記録され、塩分濃度は捕集器をおよそ 1 月に一度交換した。また 3 主桁の各々海側・崖側の計 6 面で表面付着塩分を、塩分捕集器交換時に測定した（図 1）。測定は 2010 年 12 月に開始し、2014 年 3 月現在で 22 回である。以下では 2011 年 10 月 18 日～2013 年 10 月 17 日の 2 年間のデータを用いて検討する。長期的な予測を念頭に置くと、できるだけ季節的な偏りがない 1 年単位のデータを用いることが望ましいと考えられるからである。

3. 確率変数間の相関 付着量推定に必要な確率変数として風向、風速、塩分濃度、雨量、連続降雨時間、連

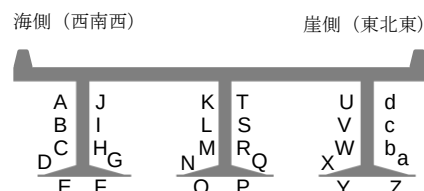


図 1 付着塩分計測・推定位置

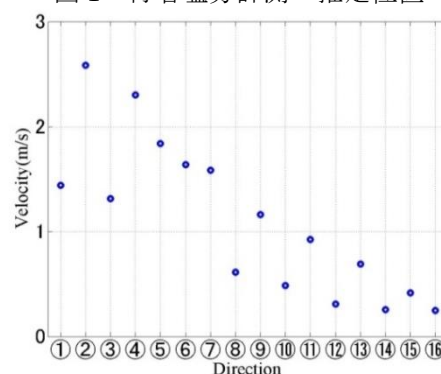


図 2 風向と風速との相関

続無降雨時間を考え、変数間の相関を確認すると、例えば風向と風速に強い相関が見られた（図 2、相関係数 -0.84）。横軸の風向は、ここでは海側橋軸直角方向の WSW を先頭とし、続けて W, SW, WNW, SSW, … のように WSW の両側を交互に並べ、一番最後が WSW とは逆向きの ENE という並びにした。つまり海側の風向が先に、崖側の風向が後に並ぶ列である。風向と雨量にも一定の相関が見られた。本研究では相関を考慮するため、まず風向を決定し、次にあらかじめ作成しておいた風向別の風速と雨量の確率分布から風速と雨量をそれぞれ定めることで相関を再現できるとした。

4. 確率分布の適用 推定に必要な確率変数に既知の確率分布関数を適用する。その際に風速と雨量は 16 方位別に行う。まず風速は式(1)のワイブル分布で観測データを精度よく説明できることを確認した（図 3）。 k , c , γ はそれぞれ形状、尺度、位置のパラメータである。

$$f(v) = \left(\frac{k}{c} \right) \left(\frac{v - \gamma}{c} \right)^{k-1} \exp \left\{ - \left(\frac{v - \gamma}{c} \right)^k \right\} \quad (1)$$

雨量，連続降雨時間，連続無降雨時間（図 4）もワイブル分布で概ね近似できることを確認した．しかし風向は適切な分布が無いため，暫定的に観測で得られた風向の生起頻度に従うとした．塩分濃度はおよそ月に一つ程度でしかデータがないので，気象予測モデル（例えば WRF³⁾）を用いてデータを補完する必要がある．塩分濃度も暫定的に観測値をそのまま利用した．

5. モンテカルロシミュレーションによる付着量推定

モンテカルロシミュレーションを用いて付着量を推定した（図 5）．推定は(i)作成した確率分布に基づくシミュレーション，(ii)観測データのヒストグラムを線型補完し，得られた折れ線に基づく乱数を発生させる方法（内挿法），(iii)(ii)で確率変数間の相関を考慮しない方法の 3 つで行った．(ii)(iii)は限りなく観測データを反映した分布となるので，確率的な予測をすることの妥当性を判断できると思われる．比較対象は(iv)観測データに基づき逐次計算して得られた付着量（通常計算）である．気象データから付着量を推定するシステムには壁面近傍の濃度フラックスと粒子の沈降速度を考慮したものを用いた（その 2，式(1)）．また，確率分布作成に用いた 2 年間の風況と予測対象期間の風況が概ね一致することを確認している．図 5 を見ると(ii)と(iv)は概ね一致しており，モンテカルロシミュレーションを用いた確率的な付着塩分量予測が可能と言える．これらに対し(iii)は過小評価となり，確率変数間の相関の適切な再現が重要と言える．(i)はやや過大評価となるが，分布が観測データを近似する精度に影響したと思われる．ただし長期予測の上で観測データと確率分布のどちらがその地点の傾向をよく反映しているかの判断には別途検討を要する．なお，データ作成に用いた 2 年間の風況と予測期間の風況に差があると付着量推定精度に影響するので，確率モデルの作成に用いるデータの適切な選択が重要と言える．また，時間の経過とともに付着量が一定値に収束する可能性も考えられるので，長期的な付着量を予測する際にはこのメカニズムを適切に反映させることが必要である．さらに，今回は観測データを基に確率分布を作成したが，将来的には気象予測モデルを用いて現地観測を行うことなくデータを得るシステムを構築する必要がある．

6. まとめ 変数間の相関を適切に考慮すればモンテカルロシミュレーションでも付着塩分量算出が可能である．また，付着量は時間の経過とともに一定値に収束

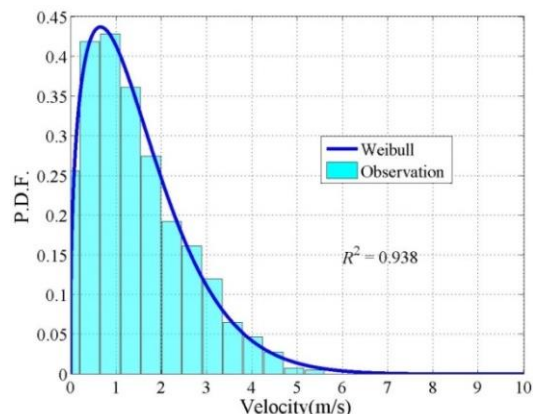


図 3 風速の確率密度関数（WSW）

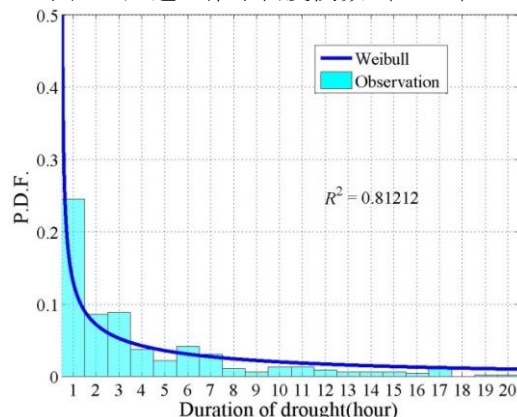
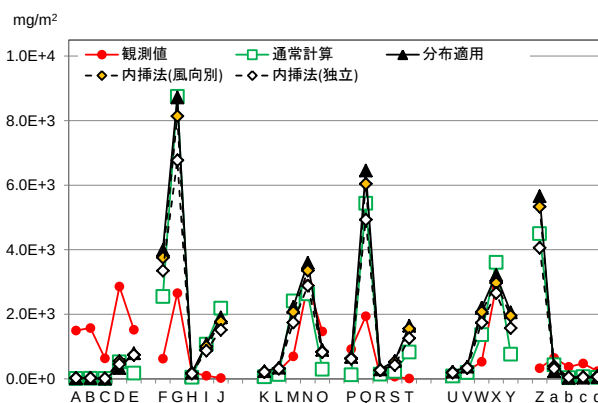


図 4 連続無降雨時間の確率密度関数



2013 年 10 月 19 日～12 月 11 日

図 5 モンテカルロシミュレーションによる付着量

すると考えられ，長期的な付着量予測を行う際にはこの点を踏まえた検討が必要と言える．さらに，現地観測を行うことなく気象や塩分のデータを得るシステムを構築する必要がある．

謝辞 本研究の実施にあたり，紀南河川国道事務所の多大なるご協力を得た．ここに記して謝意を表する．

参考文献

- 1) 北村ら：工学のための確率・統計，朝倉書店，pp134，2006
- 2) 野口ら：構造工学論文集 Vol.59A，pp585-595，2013
- 3) <http://www.wrf-model.org/index.php>