

気象・波浪推算モデルを援用した飛来塩分の予測技術の高度化

長岡技術科学大学 滝 晴信
長岡技術科学大学 正会員 中村 文則
長岡技術科学大学 正会員 下村 匠

1. はじめに

コンクリート構造物の塩害劣化の原因となる飛来塩分は波によって発生し、風によって輸送されて構造物に作用するため、離岸距離以外の自然環境作用を考慮することで、その予測精度を向上できると考えられる。現在、コンクリート標準示方書¹⁾では、コンクリート構造物に作用する表面塩分量は、地域と離岸距離で定められており、実務分野において一般的に利用されている。この方法によって簡易的に表面塩分量を定められる一方で、個別構造物の地形・気象・波浪条件等の環境作用の違いを考慮できないといった問題がある。

本研究では、新潟県佐渡島を対象に、気象・波浪推算モデルを用いて、飛来塩分の挙動に影響を及ぼす離岸距離以外の自然環境作用の定量評価を行い、飛来塩分を予測する方法について検討した。さらに、予測結果と既存の現地調査結果を比較し、その結果について検証を行った。

2. 飛来塩分に影響する自然環境条件

2.1. 自然環境条件の種類

図-1 に、飛来塩分量に影響を与える自然環境条件の項目を示す。図に示すように、飛来塩分に影響を及ぼす自然環境条件は構造物周辺の①構造物位置の離岸距離、消波施設の有無とその設置位置、海岸の方向、障害物の有無とその設置位置などの海岸・陸上の地形環境条件、②風向・風速などの風況条件、③波高・周期などの波浪条件に分けられる。

2.2. 海岸地形環境条件の定量評価

海岸の地形環境条件の定量化方法としては、中村ら²⁾を参考に、空中写真から、地形条件を数値化する手法を用いた。数値化する地形環境条件としては、飛来塩分を輸送する風を判別するための海岸の方向と、波浪による

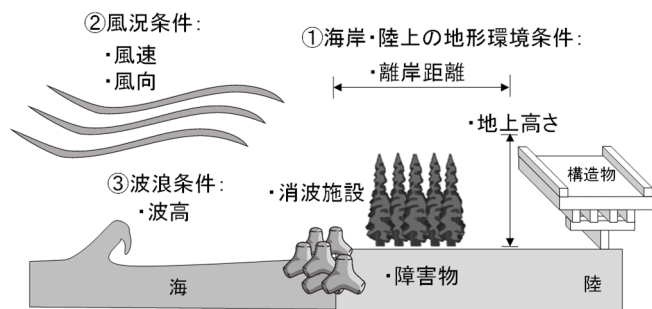


図-1 飛来塩分に影響を及ぼす自然環境条件

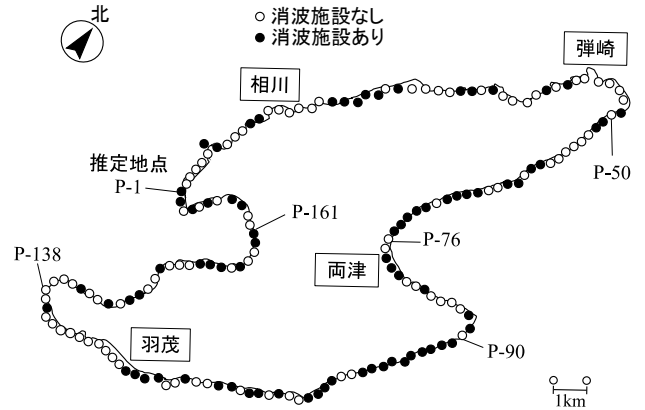


図-2 佐渡島沿岸の消波施設設置状況

飛来塩分の発生量に影響する消波施設の有無の2項目とした。ただし、離岸距離に関しては、吹きつけた風の方角に応じて飛来塩分の陸上輸送距離が変化し、算定方法が複雑になるため、推定する地点を離岸距離が0mとなる位置にした。推定した地点の海岸の方角は、海岸線に垂直な角度を判別している。消波施設の有無は、海岸の方角 $\pm 85.5^\circ$ かつ160m以内の範囲に消波施設が存在しているかでどうかで判別した。

図-2 は、空中写真から佐渡島沿岸線1kmごとの消波施設の有無を判別した結果を示す。図に示すように、170地点中78地点で消波施設が設置されていることが分かる。

2.3. 風況条件の定量評価

(1) 定量評価の方法

佐渡島では、気象庁が公開しているアメダス観測点が設置されており、相川、弾崎、両津、羽茂の4地点のデータが公開されている。佐渡島の風況条件は、地形の影響を受けて各地点で異なるため、4つの観測点だけでは、佐渡島の海岸線1kmごとに作用している風速・風向を推定するのは困難であると考えられる。そのため、新潟県全域を対象に風速分布の数値シミュレーションを行い、各地点に対応した風向・風速を予測した。風向・風速分布の計算には、領域気象モデルWRFのAdvance Research WRF(WRF-ARW, ver. 3.6.1)³⁾を用いた。このモデルは、米国気象センター(NCAR)やペンシルバニア州立大学などの組織が共同開発し、一般に公開しているものである。

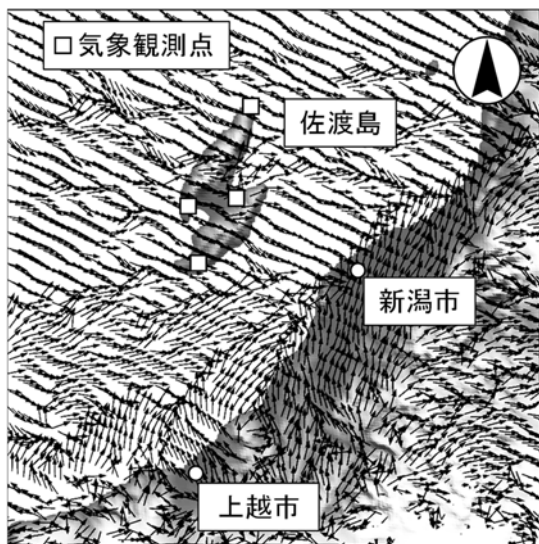


図-3 風速・風向の平面分布図(2017年1月27日)

計算領域は日本本州列島を中心に東西、南北方向に567kmの範囲であり、2段階のネスティングを行った。佐渡島周辺での計算格子間隔は1kmとなるよう設定した。計算期間は、季節風が作用する冬季を対象に2016年11月30日～2017年4月10日の4ヶ月間(131日間)とした。

(2) 計算結果および考察

新潟県全域の風速・風向分布の計算結果を図-3に示す。図は、2017年1月27日18時を再現した結果であり、矢印で風向を表している。図に示すように、佐渡島の周辺を含めた新潟県全域の風の分布が計算できていることが確認できる。

図-4および図-5は、佐渡島の気象観測所(相川気象庁観測点、両津観測点)⁴⁾による風向・風速の観測結果と領域気象モデルによる計算結果を比較した結果である。相川および両津観測点において、図の上段に示す風向の計算結果は、観測結果と概ね一致している。図の下段に示す風速の計算結果は、観測結果と概ね傾向が一致している。ただし、風速の計算結果が観測結果と一致しない時間帯が見られるが、この部分は各観測点で陸側から風が吹いた時間帯である。

図-6に、佐渡島沿岸線1kmごとの風速の分布状況を示す。図の風速は、各時刻の風速を海岸の汀線方向に対して垂直に吹き付ける方向に換算し、海岸から風が吹いた時間の風速で平均した結果である。図に示すように、海岸の方向が北・西であるP-1~P-50、P-138~P-161の地点では、風速が高くなり、海岸の方向が南・東のP-50~P-76、P-90~P-138の地点では、風速が低くなる傾向がある。

2.4. 波浪条件の定量評価

(1) 定量評価の方法

佐渡島の周辺では、波浪観測点として、国土国交省港湾局のNOWPHASの新潟沖と直江津観測点の2点が設

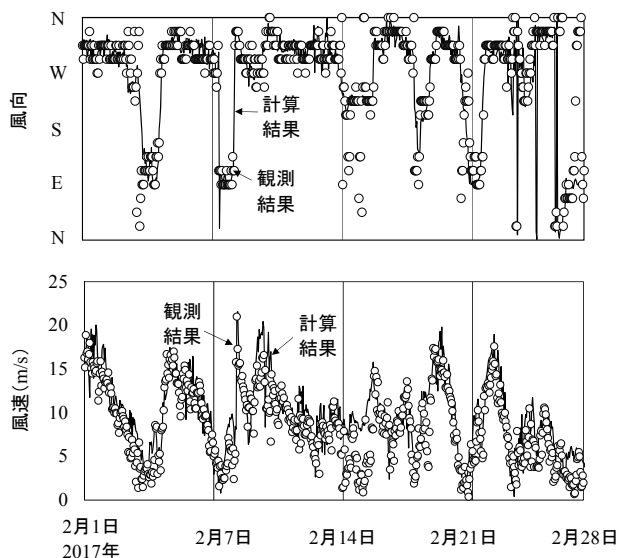


図-4 風速・風向の計算結果(相川気象観測点)

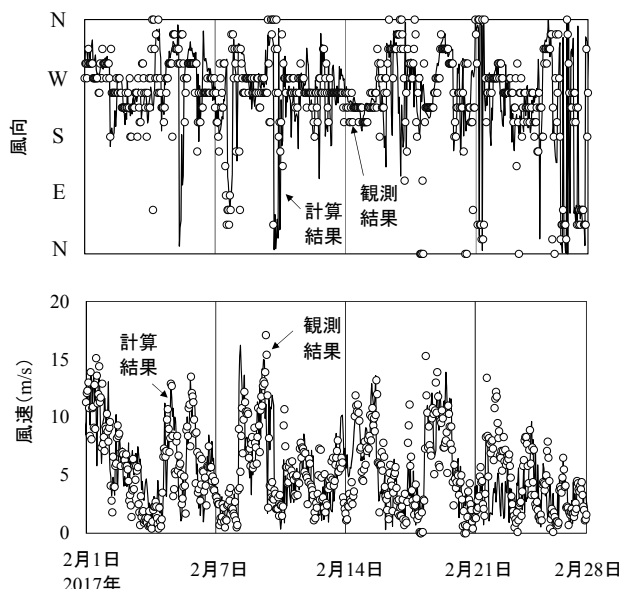


図-5 風速・風向の計算結果(両津気象観測点)

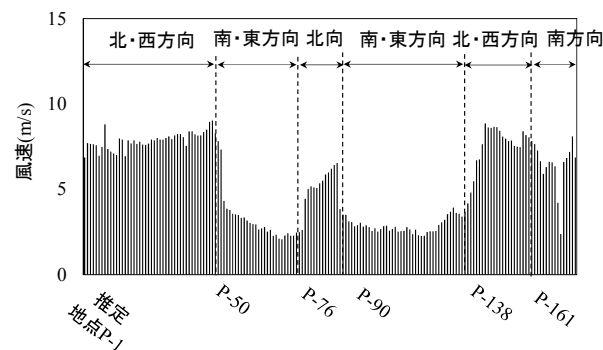


図-6 佐渡島沿岸域全体の風速分布

置されているが、佐渡島の形状から南東側では島によって波が遮断される領域ができるため、同時間においても各地点で風況が異なる可能性がある。そのため、新潟県

沿岸を対象とした波浪を数値シミュレーションによって推算し、各地点に作用する波浪条件について推定した。

計算モデルは、波浪推算モデル SWAN(Simulating Waves Nearshore, ver. 41.20A)⁹⁾を用いた。このモデルは、オランダデルフト工科大学で開発された波浪推算モデルで、気象モデル WRF と同様、一般に公開されている。

計算領域は、日本海を概ね含むような東西方向853km、南北方向850kmで、計算格子間隔は1.7kmとした。計算期間は、領域気象モデルの計算期間と同様とした。

佐渡島を含む日本海全域の波高の計算結果を図-7に示す。図は、2017年1月26日18時を再現した結果であり、色が黒色の部分が、波高が高い領域である。波高を表している。図に示すように、波は、佐渡島に対して北西から来襲しており、島の北西側の沿岸部で波高が大きく、その背後となる部分で減衰していることが確認できる。

図-8は、島の周辺に位置するNOWPHAS 波浪観測点⁶⁾(上段：直江観測点、下段：新潟沖観測点)による波高の観測結果と計算結果を比較した結果である。図に示すように、計算結果が観測結果に対して、波高を全体的に若干低く示しているが、長期的な変動傾向をよく再現できていることが分かる。以上の結果より、佐渡島周辺の2地点の波高の傾向が再現できることが分かった。図-9に、佐渡島沿岸線1kmごとの波高の分布を示す。図の波高は、各地点の沖海域水深20m付近の位置で抽出した値であるとともに、海岸から風が吹いた時間の波高を平均した結果である。図に示すように、北・西方向に海が位置するP-1~P-50、P-138~P-161の地点で波高が高く、南・東方向に海が位置するP-50~P-76、P-90~P-138の地点で波高が低くなる傾向がある。また、P-76~P-90のような、島の形状によって波が遮断される領域では、波高が低くなる傾向がある。

3. 自然環境作用を考慮した飛来塩分の予測

3.1. 予測方法

定量化した海岸・陸上の地形条件・風況条件・波浪条件を用いて、飛来塩分の予測を行った。飛来塩分量の予測には、中村ら⁷⁾の既往研究を参考に、式(1)を用いる。

$$D = D_b \cdot \exp(-c \cdot z) \cdot \exp\left\{-\left(\frac{b}{u}\right) \cdot x\right\} \quad (1)$$

ここで、 D は表面塩分量(mg/dm²/hour)、 z は鉛直高さ(m)、 b は距離による塩分量の減衰に関する係数(=0.018)(1/s)、 u は海岸からの風速(供試体に対して垂直に吹き付ける方向に換算した風速)、 x は離岸距離である。係数 c は高さによる減衰係数(1/m)であり、今回の検討では0.0とした。 D_b は汀線位置での塩分量(mg/dm²/hour)であり、式(2)と仮定した。

$$D_b = \alpha \cdot u^p \cdot H_w^q \times \frac{1}{24} \quad (2)$$

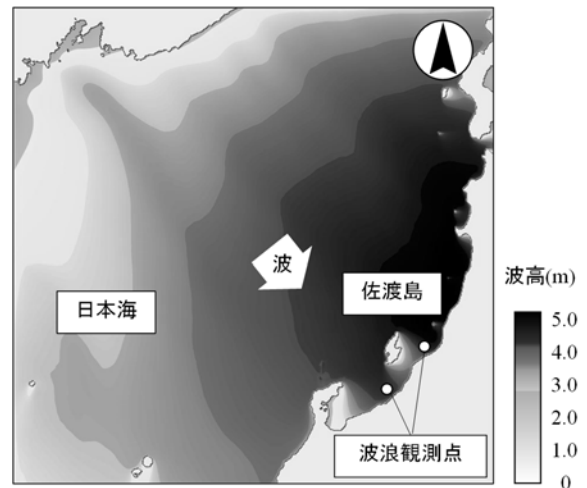


図-7 日本海全域の波高分布の計算結果

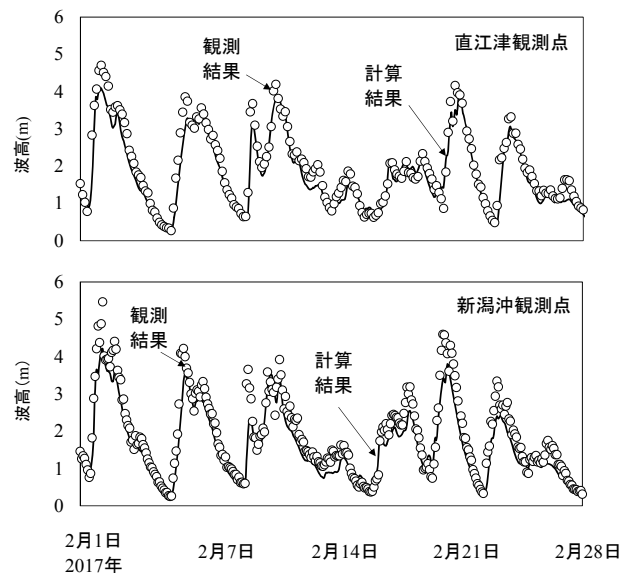


図-8 波高の計算結果と観測結果の比較

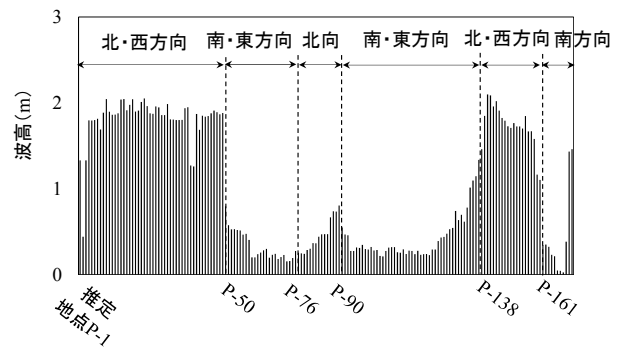


図-9 佐渡島沿岸域全体の波高分布

ここで、 H_w は水深20mの位置での波高(m)、 p 、 q は係数であり、それぞれ1.0で設定した。 α は海岸係数であり、個別の海岸状況によって変化する係数であり、中村ら³⁾を参考に、消波施設がありの場合は $\alpha = 0.24$ 、施設なしの場合は、 $\alpha = 0.12$ に設定した。

3. 2. 飛来塩分の予測結果

図-10 に、佐渡島沿岸線 1km ごとの推定地点の塩分量の計算結果を示す。図に示すように、P-1~P-50, P-138~P-161 の地点で波塩分量が高く、南・東方向に海が位置する P-50~P-76, P-90~P-138 の地点で塩分量が低くなる傾向がある。

図-11 は、中村ら⁷⁾の現地調査結果と飛来塩分量の予測結果を比較した結果である。図の上段に、現地調査地点を示す。下段に、塩分量の予測結果を示す。図の調査結果の塩分量は、堤防に設置された薄板モルタル供試体の塩分量である。図に示すように、塩分量の多い地点と少ない地点の傾向を、概ね再現できている。ただし、予測結果は Obs-1~Obs-7 と、Obs-18~Obs-20 の塩分量の差が再現できていない。この原因としては、波浪条件が過小に定量化された影響で、Obs-18~Obs-20 地点の波高の減衰量が少なくなったためであると考えられる。また、Obs-1 や Obs-5 の地点では調査結果の傾向と一致していない。この原因としては、消波施設の設置による塩分量の増加を考慮できていないこと要因であると考えられる。以上の結果より、自然環境条件の定量評価結果から飛来塩分量を予測できることが示された。

4. 結論

新潟県佐渡島を対象に、飛来塩分の挙動に影響を及ぼす離岸距離以外の自然環境作用の定量評価を行い、飛来塩分を予測する方法について検討を行った。その結果、自然環境条件を考慮して海岸周辺に作用する塩分量を推定可能であることが確認できた。さらに、佐渡島 1km ごとの海岸地形環境条件・風況条件・波浪条件を定量化できた。今後は、地形環境条件をさらに詳細に数値化するとともに、気象・波浪推算モデルによるシミュレーションの再現性を高めていく予定である。

謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費「環境作用による構造物の環境劣化システムの開発」(若手研究(A)研究代表者 中村文則, 課題番号:17H04931)の一環として行ったものである。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：2013年制定コンクリート標準示方書[維持管理編], pp172-173, 2013
- 2) 中村文則・井野祐輝・大原涼平・下村 匠：空中写真を利用した海岸環境の数値化とそれに応じた飛来塩分量の算定手法の開発, コンクリート工学年度論文集, Vol.39, pp745-750, 2017.7

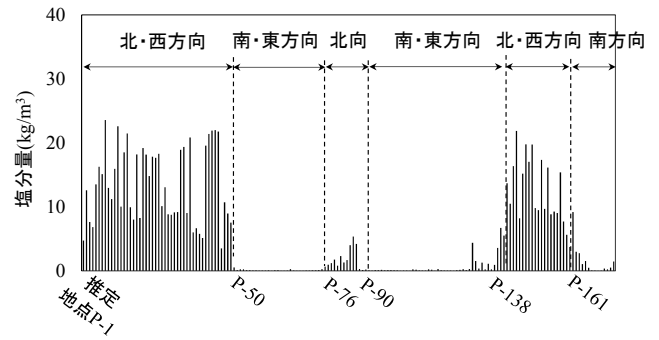


図-10 佐渡島沿岸の飛来塩分の予測結果

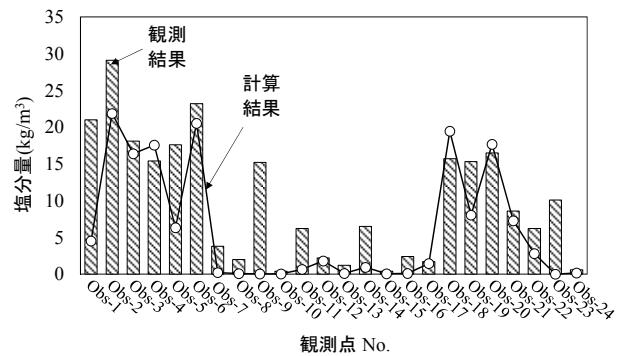
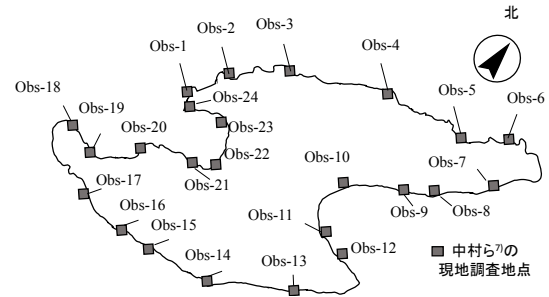


図-11 飛来塩分の予測結果と観測結果

- 3) 領域気象モデル(Weather Research & Forecasting Model) <http://www2.mmm.ucar.edu/wrf/users/>
- 4) 気象庁 :<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn>
- 5) 波浪推算モデルSWAN(Simulating Waves Nearshore) <https://www.tudelft.nl/en/ceg/about-faculty/departments/hydraulic-engineering/sections/environmental-fluid-mechanics/research/swan/>
- 6) 国土交通省港湾局：全国港湾海洋は浪情報網, <http://www.milt.go.jp/kowan/nowphas/>
- 7) 中村文則・大原涼平・井野祐輝・下村 匠：新潟県佐渡島における構造物の表面塩分量の現地観測とその環境作用が及ぼす影響, コンクリート工学年度論文集, Vol.40, No.1, 2018.7