

令和元年6月27日現在

機関番号：55201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K06202

研究課題名(和文) 海塩粒子輸送予測に関する異なる空間スケールを接合した付着塩分量推定システムの開発

研究課題名(英文) Estimation of sea salt adhesion to each structural member of a bridge by combining the numerical experiments on different spatial scales of predicting sea salt transport

研究代表者

広瀬 望 (HIROSE, NOZOMU)

松江工業高等専門学校・環境・建設工学科・准教授

研究者番号：40396768

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、海塩粒子濃度の現地計測と異なる空間スケールを持つ数値実験を組み合わせ、鋼橋に付着する塩分量を推定することによって、鋼材の腐食状況(外観評点)との比較を行い、数値実験の予測精度を検証した。具体的には、海岸からの海塩粒子濃度を予測するWRF-Chemを用いて、対象橋梁付近の塩分及び風況を予測し、その結果を入力値として、オープンソースであるOpenFoamを用いて、対象橋梁内部における塩分付着量の分布状況を推定した。その結果、数値実験によって推定される付着塩分量が多い箇所では、腐食状況が悪く、外観評点が低いことが確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題で得られた成果は、広域スケール(空間解像度：5km程度)での海塩粒子の濃度予測から構造物スケール(空間解像度：数m程度)の橋梁桁内の付着塩分量を推定できるため、日本各地の橋梁に十分に適用可能であるため、鋼橋の維持管理に貢献することができる。具体的には、大気腐食による鋼橋の補修箇所の事前予測が可能となるため、点検業務の効率化に資するだけでなく、長期的な視点での鋼橋の維持管理に大きく寄与することができる研究成果である。

研究成果の概要(英文)：This study aims at developing system estimating the amount of sea salt adhesion to each structural member of a bridge by combining numerical experiments of sea salt concentration in the atmosphere in the regional scale and a steady flow of wind around the bridge by computational fluid dynamics technique.

研究分野：維持管理工学，水工水理学

キーワード：維持管理 大気腐食環境 数値シミュレーション WRF-Chem OpenFOAM

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

社会基盤構造物の長寿命化は喫緊の課題である。海岸から輸送される海塩粒子は構造物の腐食や塩害劣化の主因であるため、架橋地点においてドライガーゼ法や土研式タンク法などの計測手法で海塩粒子を捕捉することによって、飛来塩分量として指標化し、架橋地点の大気腐食環境を把握し、鋼橋の設計や維持管理に反映させることが検討されてきた。しかしながら、これらの計測手法は比較的簡易であるものの、1年程度の期間で計測を実施しなければならないため、人的経済的コストが大きい。

そのため、広域かつ長期での海塩粒子輸送を推定する手法の開発が検討されてきた。このような予測技術の向上によって、架橋地点における海塩粒子輸送量の多寡を事前に広域で把握することができれば、維持管理の大幅な効率化に寄与できる。そのため、図1に示したように、大気化学プロセスを考慮した数値モデルによる海塩粒子輸送の広域予測を行うとともに、構造物スケールにおいて、橋梁桁内で海塩粒子が鋼材に付着するプロセスを定量的に予測することができれば、橋梁の補修箇所を事前予測が可能となるため、橋梁の維持管理を効率的かつ効果的に行うことができる。

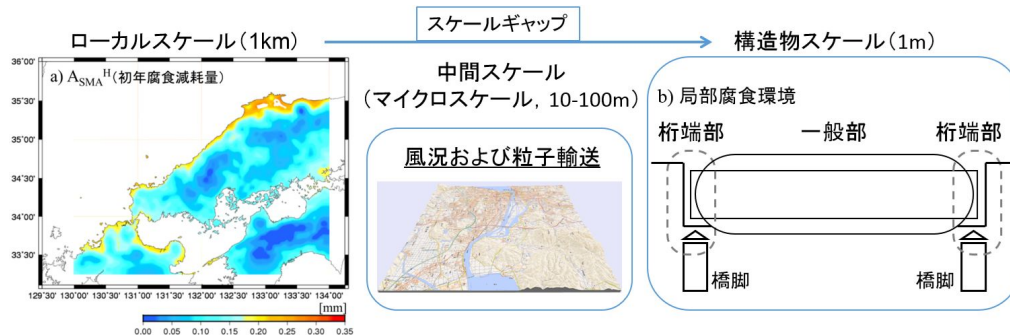


図1 a)ローカルスケール、b) マイクロスケール、c) 構造物スケールの比較。( )は各空間スケールを示す。

### 2. 研究の目的

本研究課題は、鋼橋梁における付着塩分量観測及び仮想風洞を用いた数値実験を組み合わせ、橋梁全体の付着塩分量を各部位で推定することである。本研究課題の推進によって、橋梁各部位の腐食劣化予測の基礎となる付着塩分量の可視化が可能となるため、橋梁の長寿命化のための効率的かつ適切な維持管理のため重要な知見を与えることができる。

そこで、本研究課題の目的は、現地計測による大気中の海塩粒子濃度及びその粒径分布を把握し、大気化学プロセスを考慮した局地気象モデルを用いた海塩粒子濃度予測と構造物周囲および内部の海塩粒子輸送解析を間接的に結合し、構造物の付着塩分量推定システムを開発することである。

### 3. 研究の方法

本研究は、詳細な野外観測と異なる空間スケールの数値解析手法を間接的に結合させることによって、鋼橋梁の腐食劣化による深刻箇所特定システムの基盤を構築することである。そのために、次の3つの研究内容に従って、研究を進めることとする。

- (1) 大気中の海塩粒子濃度を計測し、大気化学プロセスを考慮した数値モデル(WRF-Chem)を用いて、海塩粒子の発生および輸送メカニズムの検討を行い、海塩粒子濃度の予測精度を向上させる。
- (2) 広域での数値シミュレーションの解析結果を境界条件として、橋梁の3次元モデルを用いたOpenFOAMによる仮想風洞解析(連成解析)を行い、鋼橋梁の3次元構造を考慮した付着塩分分布を推定する。
- (3) 実橋梁における腐食状況及び付着塩分量の計測結果と比較し、付着塩分量の推定結果の妥当性を検証する。

### 4. 研究成果

本研究課題では、(1)大気中の海塩粒子濃度及び気象要素の詳細な計測、(2)大気化学プロセスを考慮した数値モデル(WRF-Chem)を用いた海塩粒子濃度の予測、(3)OpenFOAMによる橋梁内部への塩分輸送の推定をそれぞれ進めた。

(1) 大気中の海塩粒子濃度及び気象要素(温度、湿度、風向・風速)の詳細な計測

図2に松江高専屋上で計測された1)2016年2月から3月および2)2016年10月から12月までの大気中のCl<sup>-</sup>濃度およびその粒径分布の変化を示した。図に示したように、大気中のCl<sup>-</sup>イオン濃度は日々の変動が大きい。また、研究期間におけるCl<sup>-</sup>イオン濃度の最大値は8μg/m<sup>3</sup>程度であった。特に、風速が大きいときに、Cl<sup>-</sup>イオン濃度が大きくなることがわかった。また、粒径分布に着目すると、粒径が大きいもの(PM<sub>2.5</sub>以上)が多く飛来することがわかった。特に、粒径10μm以上のものが多く、海岸からの距離が比較的近いことが影響していると考えられる。

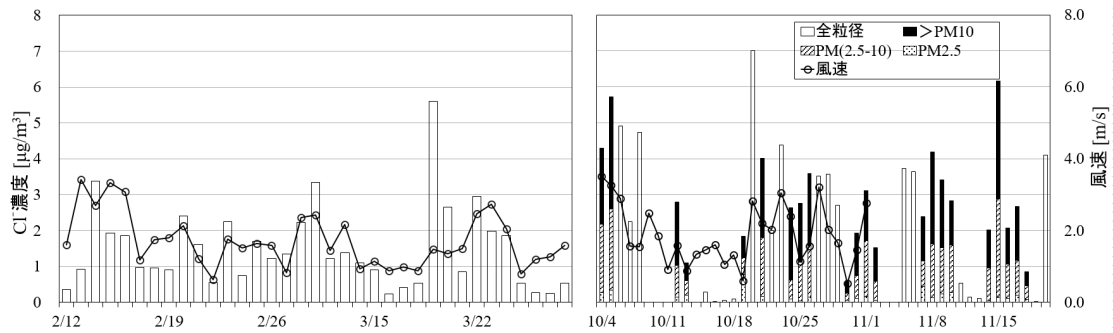


図2 松江高専屋上における大気中のCl-イオン濃度，その粒径分布，風速の季節変化

(2) 大気化学プロセスを考慮した数値モデル (WRF-Chem) を用いた海塩粒子濃度の予測

次に，精緻な大気化学プロセスが組み込まれた WRF-Chem (ver.3.8.1) モデルを適用し，海塩粒子濃度の広域予測を行った．本研究では，アメリカ環境予測センター (NCEP, National Centers for Environmental Prediction) の NCEP Final Analysis (FNL from GFS) および気象庁の MEM を使用した．両者の結果を比較することにより，入力データセットの影響を検証した．

本研究では，観測データと比較するため，2016年10月から12月までの期間に着目し，大気中の Cl-イオン濃度を予測し，観測結果と比較した (図3)．その結果，Cl-イオン濃度の予測結果は，概ね変動を再現していることがわかった．一方，その粒径分布については更なる検討が必要であることがわかった．

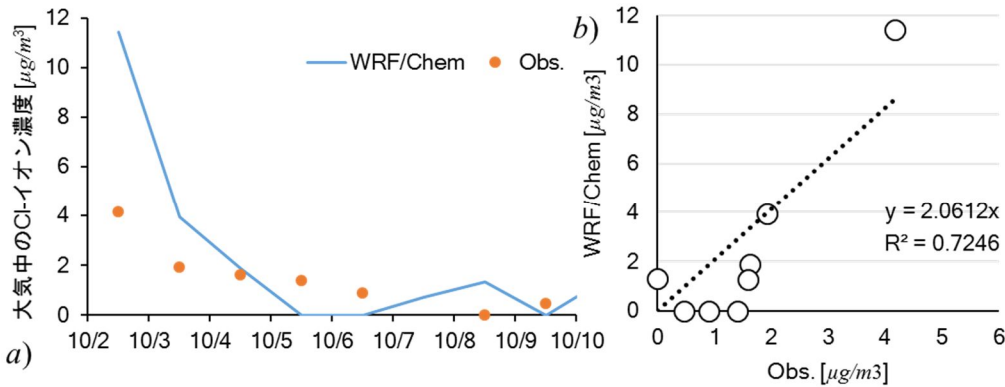


図3 a)大気中のCl-イオン濃度の予測結果及び b)両者の相関関係

(3) OpenFOAM による橋梁内部への塩分輸送の推定及び観測結果に基づく検証

図3に示しように，対象橋梁の海側 (Sea Side) では，付着塩分量の推定結果は概ね計測結果を再現できているが，山側 (Land Side) は，付着塩分量の推定結果が過小評価となった．これは，付着塩分量の計測結果がある期間の積算値を表しているため，海側からの流入風速を仮定した実験では，十分に再現的な可能であることが明らかとなった．また，橋梁桁内の腐食状況の外観評点値と比較し，付着塩分量の推定結果の妥当性を検討した．その結果，外観評点値が低い (腐食が進行している) 箇所において，付着塩分量が高い傾向を示しており，付着塩分推定システムの多面的な検証が大幅に進んだことから，本研究課題における計画の達成度合は大きいと判断できる．

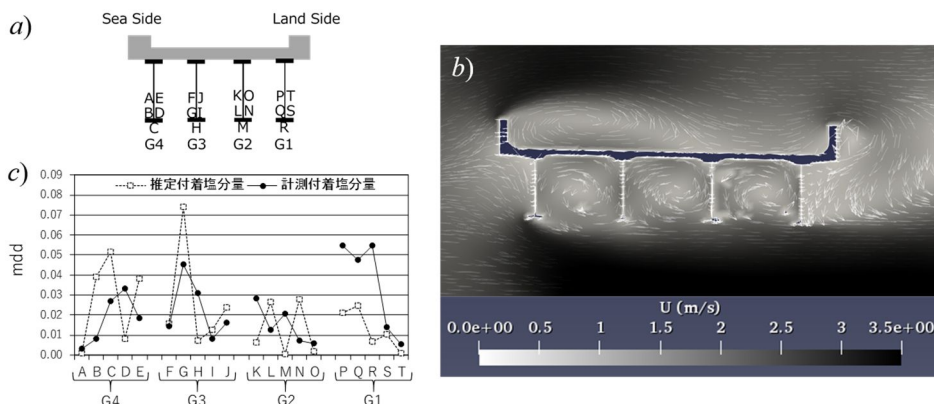


図3 a)対象橋梁の断面図，b)対象橋梁における定常流れ場，c)橋梁桁内での付着塩分量の比較

#### (4) まとめ及び将来的な展望

本研究課題は、付着塩分推定システムを用いて、付着塩分量の観測結果との比較だけでなく、橋梁桁内の腐食状況(目視による外観評点)とも比較することによって、システムの多面的な検証が達成できた。さらに、橋梁桁内における粒子輸送解析を行った結果、付着塩分量の推定結果と粒子が輸送されやすい箇所がある程度再現されることを確認した。しかしながら、大気化学プロセスを考慮した広域での海塩粒子濃度の予測精度は十分ではなかったため、橋梁桁内の流体解析の境界条件となる海塩粒子濃度を推定結果から与えることができなかった。この点において、広域スケールから構造物スケールでの一貫した推定システムとしては不十分である。

ただ、今回用いた大気化学プロセスを含む数値モデルだけでなく、異なるモデルによるテストシミュレーションを試みている状況である。そのため、複数の数値モデルによる予測精度を比較し、より精度の高い海塩粒子濃度の予測結果が得られる可能性がある。また、衛星観測データを用いた海洋域での大気中の海塩粒子濃度データセットが公開されており、衛星データと数値モデルを組み合わせた更なる技術革新の可能性が示唆されており、本研究課題の将来の発展性が大きいと見込まれる。

#### 5. 主な発表論文等

##### [雑誌論文](計4件)

武邊勝道, 大屋誠, 広瀬望, 福島直人, 中山間地域で27年間曝露された耐候性鋼試験片の腐食状況について, 材料と環境, 66, pp395-400, 2017.

坪倉佑太, 広瀬望, 武邊勝道, 大屋誠, 山陰地方における大気中の塩分濃度計測に基づく鋼材への塩分付着率の推定, 構造工学論文集, Vol.62A, 2016.3

大屋誠, 武邊勝道, 広瀬望, 古川正志, 大野滉貴, 長谷川弘興, ワッペン式暴露試験による耐候性鋼橋梁桁内の腐食環境評価, 材料と環境, Vol.64, No.7, pp.315-319, 2015.

石故有生也, 柴田俊文, 大屋誠, 武邊勝道, 広瀬望, 鋼橋梁の腐食減耗量とLCC算定方法の提案, JCOSSAR2015論文集, OS11-4A, 2015.

##### [学会発表](計19件)

広瀬望, 武邊勝道, 大屋誠, 栗原果歩, 中国地方における大気中の海塩粒子濃度予測の検討, 土木学会中国支部研究発表会, 2019.

荒木亮人, 広瀬望, 武邊勝道, 大屋誠, 安食正太, 飛来塩分量の計測手法の違いが及ぼす影響の解明, 土木学会中国支部研究発表会, 2019.

沼楓季, 広瀬望, 武邊勝道, 安食正太, 大屋誠, 耐候性鋼材の塗装面における付着塩分特性に関する研究, 土木学会中国支部研究発表会, 2019.

N. Hirose, M. Takebe, and M. Ohya, WRF-Chem simulations of the atmospheric sea salt concentration in Japan, 2018 American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting, A11G-2300, Walter E. Washington Convention Center (Washington D.C.), USA, 10 December 2018.

N. Hirose, K. Taniguchi, and I. Kaihotsu, Relationship between land surface emissivity and land hydrological variables, Proceedings of International Symposium on Remote Sensing 2017, 2017.

広瀬望, 武邊勝道, 大屋誠, 野外観測に基づく大気中の塩分濃度と付着塩分量との関係, 材料と環境 2017, 2017.5.

吉田和也, 広瀬望, 武邊勝道, 橋梁内部における付着塩分量推定システムの検討, 平成29年度第69回土木学会中国支部研究発表会, 2017.

坪倉佑太, 広瀬望, 武邊勝道, 塩分濃度計測に基づく壁面による風速低減率の算定, 土木学会第72回年次学術講演会, I-291 九州大学, 2017.

広瀬望, 坪倉佑太, 武邊勝道, 観測と数値モデルを組み合わせた腐食環境予測の精度検証, 土木学会第72回年次学術講演会, 九州大学, 2017.

吉田和也, 広瀬望, 武邊勝道, 橋梁内部における付着塩分量推定システムの検討, 土木学会第72回年次学術講演会, 九州大学, 2017

広瀬望, 坪倉佑太, 武邊勝道, 大屋誠, 高見航右, 異なる空間スケールに着目した海塩粒子輸送予測システム開発のための基礎的検討, 土木学会第71回年次学術講演会, 東北大学, 2016.

坪倉佑太, 広瀬望, 武邊勝道, 大屋誠, 大気中の塩分濃度計測に基づく鋼材への塩分付着率の推定, 土木学会第71回年次学術講演会, 東北大学, 2016.9

広瀬望, 坪倉佑太, 武邊勝道, 大屋誠, 高見航右, 土江彩季, 腐食環境把握を目的とした鋼材表面への塩分付着の観測的検討, 材料と環境 2016, つくば国際会議場, 2016.5

広瀬望, データ同化手法の境界条件となる陸面放射率推定のための基礎的検討, 水文・水資源学会 2016年度研究発表会, 福島, 2016.

広瀬望, 大気データ同化の境界条件となる陸面放射率推定の検討, 日本リモートセンシング学会第61回学術講演会, 新潟, 2016.

坪倉佑太, 広瀬望, 武邊勝道, 大屋誠, 余村渉一, 観測に基づく海塩粒子の輸送メカニズムの検討, 平成27年度土木学会全国大会第70回年次学術講演会プログラム, I-412, 2015.9

広瀬望, 武邊勝道, 大屋誠, 坪倉佑太, 大野滉貴, 観測に基づく海塩粒子の輸送メカニズムの検討, 平成27年度土木学会全国大会第70回年次学術講演会プログラム, I-413, 2015.

広瀬望，坪倉佑太\*2，武邊勝道\*1，大屋誠\*1，余村渉一\*3，フィルターパック法による大気中の海塩粒子計測に基づく大気腐食環境の検討，材料と環境 2015，東京電機大学，2015．  
広瀬望，鋼橋梁の適切な維持管理のための腐食環境評価手法の高度化，平成 27 年度中国地方建設技術開発交流会 2015．