

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13820

研究課題名（和文）動力を必要とせずに橋梁の腐食環境を改善させるための気流の発生と制御に関する研究

研究課題名（英文）Study on airflow generations and controls without power supply for improving the corrosion environment of bridges

研究代表者

野口 恭平（Noguchi, Kyohei）

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：70802685

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：橋梁の劣化因子である海塩粒子について、橋梁の腐食環境を改善させる手法に関する研究を行った。具体的には、地上設置物が対象断面周りの気流や塩分飛散・付着に及ぼす影響を明らかにしたほか、熱による上昇気流の生成に取り組んだ。関連して、矩形断面周りの塩分飛散や表面への付着機構を詳細について、形状ごとに輸送メカニズムや付着の傾向を明らかにしたほか、表面圧力と付着分布との関連性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、腐食環境の改善に取り組む点、さらには、強制洗浄のように定期的な人的・経済的・時間的コストを要するものではなく、あくまで自然現象に基づいて自動的に腐食環境の改善が可能なシステムの構築を行う点において、新しい取り組みである。また、気象学や風工学、熱力学、エアロゾル学、材料学などの多様な学問の知見を集約して、橋梁の維持管理という問題を対象とする点に特色があり、分野横断研究という点においても意義がある。

研究成果の概要（英文）：Methods for improving the corrosion environment of bridges were investigated from the viewpoint of airborne sea salt particles, which were a deterioration factor. Specifically, effects of ground-mounted objects on airflows and transportation of particles around target cross-sections were clarified. Generations of thermal updraft was also investigated. Furthermore, the transportation and adhesion of salt particles on rectangular prisms were simulated in detail, and the relationship between the surface pressure and adhesion distribution was discussed.

研究分野：風工学，橋梁工学，維持管理工学

キーワード：飛来塩分 付着塩分 維持管理 数値流体解析 空気力学的対策 地上設置物 上昇気流 放射

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

塩分は鋼材の腐食やコンクリート材の塩害を促進するので、橋梁の維持管理に際しては、大気中塩分濃度や橋梁部材への付着塩分量をあらかじめ把握しておくことが望ましい。塩分は耐候性鋼の無塗装利用の可否や、塗膜の種類や厚さの判定にも利用されることから、塩分に関する情報の必要性は明らかである。既往の研究例として、飛来塩分量の全国調査(土木研究所, 土木研究所資料, 1993) や、塩分量や濡れ時間に基づく鋼材腐食量の推定(紀平ら, 土木学会論文集, 2005) 数値計算や風洞実験に基づく橋梁の腐食環境評価(チェンデラら, 構造工学論文集, 2012) などが行われている。

このような背景から、申請者らも、主に海塩粒子に着目して研究を行ってきた。具体的には、大気中塩分濃度と橋梁断面周りの気流に基づき、橋梁各部位への付着塩分量を数値計算によって定量的に評価し、観測値を概ね再現することに成功した(Noguchi et al., J. Bridge Eng., 2017)。さらに、観測を一切行わずに腐食環境を推定することで、維持管理実務への適用性を飛躍的に向上させた研究(野口ら, 土木学会論文集 A1, 2017)のほか、海塩粒子と同じく塩分の供給源である凍結防止剤について、車両走行による飛散特性を数値解析によって明らかにした研究(秦・野口ら, 土木学会論文集 A1, 2017) などを行ってきた。

このように、塩分環境の把握に関する研究は、供試体や実橋梁の劣化具合の調査と併せて数多く行われているが、付着塩分量の抑制に関する研究はあまり存在しない。すなわち、「どのようにすれば橋梁の腐食環境を改善させることができるのか」という問いは、ほぼ触れられることなく残されている。また、本研究では後述のように、橋梁周辺の地面に適当な構造物を設置することで橋梁断面周りの気流を変化させ、結果として橋梁への付着塩分量を低減させるという手法について研究するが、このことは「周辺構造物が橋梁断面周りの気流に与える影響」または「複数の物体周りに形成される気流の相互干渉」という点で、風工学や流体力学の分野にも通ずる学術的な問題である。気流性状の変化は橋梁の空力振動に対する安定性に直結する問題であり、この点からも大いに検討の価値があるものと考えられる。

2. 研究の目的

このような背景から、本研究では、橋梁の腐食環境を改善するための方策について検討を行った。このとき、維持管理の手間やコストを極力減らすことを目指し、動力を必要とせずとも作用する腐食環境改善システムの構築に取り組んだ。具体的には、次の2点を主なテーマとして研究を開始した。1点目として、橋梁周辺の地面に構造物を設置することで、橋梁断面周りの気流を変化させ、結果として橋梁表面に塩分が付着しにくいような風環境の実現を目指す。2点目として、熱に基づく浮力を利用して上昇気流を発生させ、桁間への空気の流入を生み出し、換気効果に伴う湿度の減少という観点から、腐食環境の改善に取り組む。

3. 研究の方法

本研究では以下に大別される課題について取り組んだ。なお、当初の予定には含まれていなかったが、関連する重要な基礎的項目として、矩形断面周りの塩分粒子の飛散挙動と表面への付着特性についても併せて検討を行こととした。

(1) 地上に設置した構造物が橋梁断面周りの気流ならびに塩分粒子飛散に及ぼす影響

本研究の目的の1つは、地上への設置物によって橋梁断面周りの気流を変化させ、その結果として橋梁への付着塩分量を低減させることである。まずは簡単のため矩形断面を対象とした。地上設置物の効果の検討に先立ち、矩形断面と地面との距離が矩形周りの流れ場に及ぼす影響を数値流体解析(CFD)を利用して調査した。次に、地上設置物の影響について、設置物も基礎的研究として矩形を採用し、大きさや設置位置の影響について網羅的に検討を行った。その後、3種1桁を有する橋梁断面を対象に地上設置物の影響について検討を行い、矩形断面の場合との共通点や異なる点について考察を行った。

さらに、地上設置物によって橋梁断面周りの気流を変化させ、橋梁への付着塩分量を低減させる試みにおいて、断面周りの流れのうちどのような成分が付着に寄与するのか検討を行った。具体的には、流体と物体との相互作用に起因する変動と、非定常性の強い細かな変動がそれぞれ粒子飛散挙動にどのように寄与するかを明らかにする目的で、RANS(ゆったりとした流れだけを直接解き、細かな変動はモデル化を施す)とLES(細かな変動まで直接計算する)とで気流計算ならびに粒子飛散計算を実施し、その差について検討を行った。

(2) 矩形断面周りの塩分粒子の飛散挙動と付着特性

地上設置物が橋梁断面や矩形断面の気流や塩分粒子飛散に与える影響を適切に評価するためには、そもそも矩形や橋梁断面が単独で存在する場合に、塩分粒子が断面周りをどのように飛散し、最終的に表面への付着に至るのかを把握しておくことが重要である。

本項目では、塩分粒子の大気中輸送および物体壁面への付着メカニズムを詳細に検討するた

めに、矩形断面単独の場合の塩分粒子の飛散解析を実施し、矩形断面の辺長比や粒子諸元が飛散のパターンや付着分布に与える影響について調査した。さらに、簡易的な付着塩分量の評価手法の開発を念頭に、矩形表面の圧力特性に基づいて付着特性の説明を試みた。

(3) 熱で生じる上昇気流に関する検討

本研究のもう一つの検討事項は、熱で発生する浮力を利用して橋梁断面周りの気流を変化させ、腐食環境を改善させることである。本項目においても数値流体解析 (CFD) を利用し、初期検討として、日射の効果は無視し、地面の温度と材料特性別ごとに、地面付近の空気の温度変化と上昇気流の程度について検討を行った。

4. 研究成果

(1) 地上に設置した構造物が橋梁断面周りの気流ならびに塩分粒子飛散に及ぼす影響

図1に計算領域の概要を示す。初めに地上設置物は配置せず、地面との距離が矩形断面周りの気流に与える影響を検討した。数値流体解析 (CFD) によって、矩形断面と地面との距離を様々に変えつつ流れ場を算出したところ、地面が近づくにつれて、角柱上側の剥離剪断層が角柱から離れ、逆に下側の剥離剪断層は角柱に近づくことが明らかとなった。これは、角柱下方の空間の圧力が高まり、流れ場を全体的に押し上げるためと考えられる。

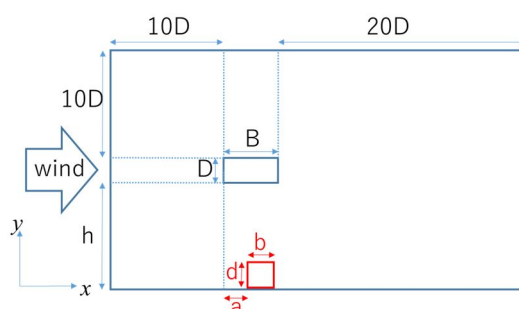


図1 計算領域の概要

次に、地上設置物の影響について、同様に CFD によって流れ場を算出したところ、設置物が矩形の下方に存在する場合は、先述の地面が近づく場合と同様に、流れ場が全体的に押し上げられることが判明した。また、上流側に設置物が存在する場合には、設置物の背後に矩形断面との兼ね合いで広い負圧領域が生じ、下向きの流れが生まれるため、上下両方の剥離剪断層が矩形から離れることが明らかとなった。図2に矩形断面周りの圧力分布の一例を示す。さらに、地上設置物の寸法を様々に変化させたところ、設置物の流れ方向長さの影響は小さい一方、高さは強く影響することが判明した。最後に、塩分粒子の飛散解析を行ったところ、設置物が矩形断面の下方に存在する場合には、先述のように流れ場形状が変化した結果、矩形下面への付着が大きく抑制されることが明らかとなった。

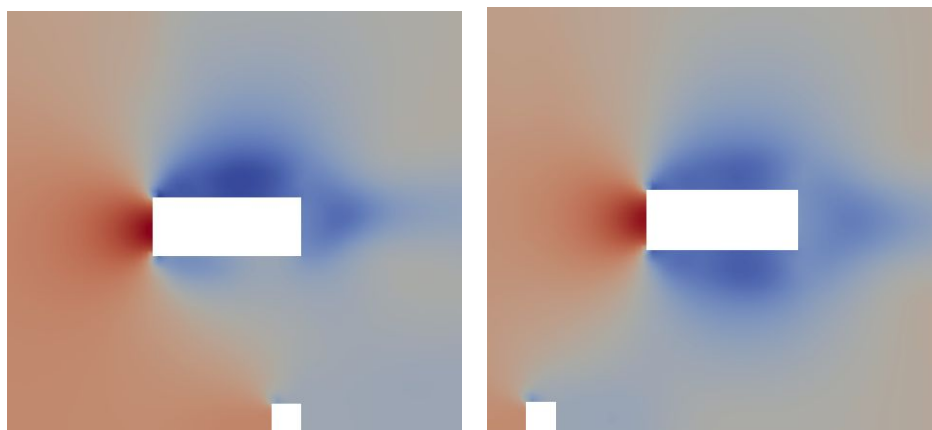


図2 地上設置物が矩形断面周りの流れ場特性に与える影響。カラーは圧力で、赤が正圧、青が負圧。風は左側から作用しており、地上設置物の配置によって圧力分布が大きく異なることが分かる。

さらに、3種1桁を有する橋梁断面を対象に地上設置物の影響について検討を行い、矩形断面の場合と同様に地上設置物によって橋梁断面周りの流れ場形状が変化することを明らかにした。

一方、粒子挙動に着目すると、矩形断面の場合には付着量を低減できる地上設置物であっても、橋梁断面の場合には付着量を増す可能性のあることが判明した。したがって、流れ場形状を推測するという点で矩形断面についての情報は有用であるが、橋梁断面周りの粒子挙動および付着特性は必ずしも矩形断面とは等しくないことに留意する必要がある。図 3 は粒子飛散解析の一例である。

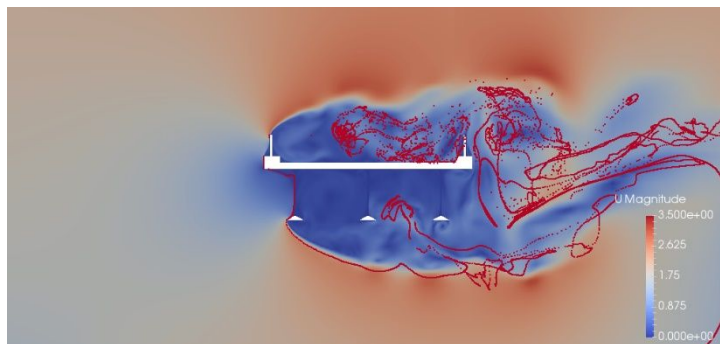


図 3 橋梁断面周りの流れ場ならびに粒子飛散解析の一例（地上設置物は橋梁断面よりも上流側）。風は左側から作用しており、カラーは風速の絶対値。

最後に、断面周りの流れのうちどのような成分が付着に寄与するのか検討を行った。RANS（ゆったりとした流れだけを直接解き、細かな変動はモデル化を施す）と LES（細かな変動まで直接計算する）とで気流計算ならびに粒子飛散計算を実施したところ、両者から得られる付着塩分量に差が見られることが確認された。ただし、非定常性の強い細かな変動が粒子の付着に影響すると予想される一方で、粒子挙動評価における計算格子の妥当性について引き続き検討が必要である。また、地上設置物として考えられるフェンスや金網、あるいは塩分捕集によく用いられるガーゼにおいて、両者に共通する基本構造である格子状物体周りの気流や粒子挙動について検討を行い、接近風速や格子間隔が流れの特性や物体表面への塩分付着に強く関与することを明らかにした。

(2) 矩形断面周りの塩分粒子の飛散挙動と付着特性

本項目では、CFD による流れ場解析に基づいて、矩形断面周りの塩分粒子の飛散解析を実施し、矩形断面の辺長比や粒子諸元が飛散のパターンや付着分布に与える影響について調査した。

まず、断面辺長比によらず、塩分粒子の付着分布は粒径に依存すること、また、上流面だけではなく側面においても端部に付着しやすいことが明らかとなった。

次に、矩形断面の断面辺長比を様々に変化させて、塩分粒子の大気中輸送および物体壁面への付着メカニズムを詳細に検討した。その結果、側面への付着パターンは大きく分けて 2 通りあり、次の 2 つに分類することができることを明らかにした：上縁から剥離した流れの再付着に伴う付着、背面から回り込んでの付着。この様子を図 4 に示す。したがって、断面辺長比によって粒子の付着メカニズムは異なるといえる。実際に、塩分粒子の飛散解析から得られた付着量分布は上述の流れ場の観点から定性的に説明することができた。具体的には、断面辺長比が 1 の矩形では、前面に付着しなかった粒子はまず背面へと輸送され、その後側面へと至るため、側面の後端付近に付着が集中する。一方、断面辺長比が 6 の矩形では、粒子は剥離流れとともに側面へと衝突するため、側面の中ほどに付着量のピークが見られた。

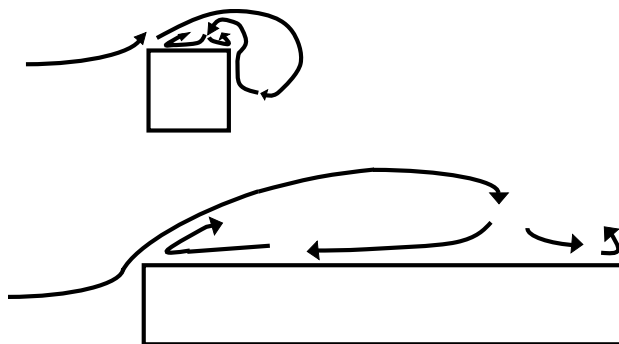


図 4 矩形断面周りの粒子飛散挙動の模式図（上：断面辺長比 1，下：断面辺長比 6）。

さらに、付着塩分量の新しくかつ簡易的な評価手法として、物体表面の圧力特性に基づくモデルの適用可能性を検討した。矩形断面の辺長比を様々に変化させて、塩分粒子の大気中輸送およ

び物体壁面への付着機構を検討し、一部の矩形断面において、付着分布と表面圧力の変動成分の分布がよく一致することが明らかとなった（図5）。付着分布が断面周りの気流の影響を受けた結果であるのと同様に、表面圧力と気流にも密接な関係があるためと考えられる。

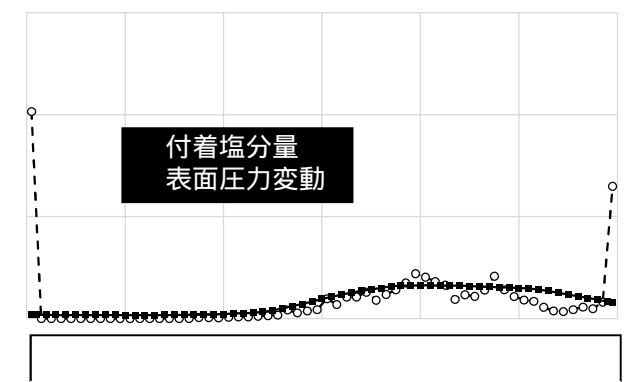


図5 断面辺長比6の矩形の側面における付着分布と表面圧力変動値。側面の下流側への付着量が大きく、同時に表面圧力変動も大きい。ただし、端部の大きな付着量とは対応せず、モデルとしては今後の改善が必要。

(3) 熱で生じる上昇気流に関する検討

熱で発生する浮力を利用して橋梁断面周りの気流を変化させ、腐食環境を改善させることを最終目的に、地面の物性値や温度によってどの程度の上昇気流が生じるのか検討を行った。本検討においても数値流体解析（CFD）を利用した。簡単のため日射の影響は無視したところ、地面・空気間の対流熱伝達と地面からの放射だけでも、大気をある程度暖め、一定の上昇気流が発生することを明らかにした。特に、地面からの放射の影響は大きいと考えられ、上昇気流を発生させるという観点においては、アスファルトのような放射率が大きな物体が相応しいと思われる。

さらに、循環流れを促すことを目的として、隣接する地面の表面温度や材料特性を互いに違う値に設定し、生じる気流の様子をCFDによって再現した。その結果、温度差や放射率等の変数の差が大きくなるほど強い循環流れが生じることが確認された。また、地面上方の空間が小さいほどその程度は大きくなることも確認された。ただし、本項目の検討は簡単な条件の下で実施されており、実環境における橋梁架設地点での適用性についてはさらなる研究が必要である。

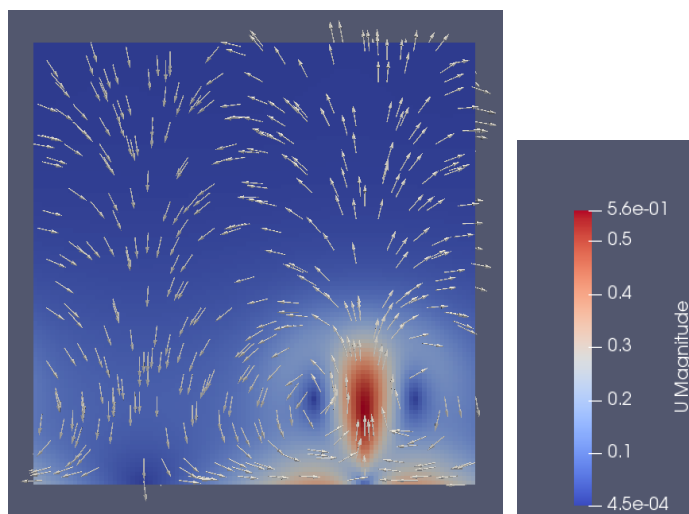


図6 循環流れの一例。このケースでは右半分の地面温度を高く設定することで一定の循環流れを生み出すことができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 坪倉佑太, 野口恭平, 八木知己
2. 発表標題 数値流体解析を用いたガーゼ繊維による塩分粒子捕集効率の推定
3. 学会等名 土木学会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 津田悠希, 野口恭平, 坪倉佑太, 八木知己
2. 発表標題 LESによる矩形断面まわりの粒子飛散解析
3. 学会等名 土木学会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坪倉佑太, 野口恭平, 八木知己
2. 発表標題 数値流体解析によるガーゼ繊維を模した円柱の粒子捕集効率の算定
3. 学会等名 第26回風工学シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野口恭平, 石渡純也, 八木知己
2. 発表標題 地上設置物が矩形断面周りの気流および塩分粒子飛散挙動に与える影響
3. 学会等名 2019年度日本風工学会年次研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田悠希, 野口恭平, 坪倉佑太, 八木知己
2. 発表標題 LESによる矩形断面まわりの塩分粒子飛散解析
3. 学会等名 2019年度土木学会関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 津田悠希, 野口恭平, 坪倉佑太, 八木知己
2. 発表標題 一様流中でのLESを用いた正方角柱まわりの塩分粒子飛散解析
3. 学会等名 土木学会第74回年次学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Tsuda, Kyohei Noguchi, Yuta Tsubokura, Tomomi Yagi
2. 発表標題 Tracking of airborne sea salt particles around a rectangular prism in smooth flow by LES
3. 学会等名 The 32nd KKHTCNN Symposium on Civil Engineering (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------