

令和 2 年 5 月 18 日現在

機関番号：13102

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04931

研究課題名(和文) 高度な環境予測技術を統合したコンクリート構造物の環境劣化予測システムの構築

研究課題名(英文) Development of environmental deterioration prediction system for concrete structures.

研究代表者

中村 文則(Nakamura, Fuminori)

長岡技術科学大学・工学研究科・助教

研究者番号：70707786

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 17,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、自然環境作用からコンクリート構造物内部の劣化現象の予測が可能な環境劣化予測システムの構築を目的として、自然環境作用を考慮して構造物に作用する劣化促進物質を予測できる数値シミュレーションの開発を行った。さらに、構造物表面での劣化促進物質の移動と再配分をモデル化するために、沿岸部の自然環境作用を再現した模型実験を実施した。その結果、自然環境作用を統合した飛来塩分の数値シミュレーションを開発し、その予測結果が妥当であることが示された。さらに、模型実験により構造物表面の劣化促進物質量(水分・塩分量)を定量化し、その到達量の分布までを数値モデルで予測できることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、自然環境作用を統合した飛来塩分の数値シミュレーションを開発し、それが観測結果を再現できることを示している。さらに、自然環境作用を再現した模型実験から、自然環境作用と構造物表面の劣化促進物質量の関係を定量的に明らかにしている。この成果は、構造物の劣化予測解析の表面境界条件を高精度化することにより、これまで盛んに研究が進められてきたコンクリート内部の劣化促進物質の浸透過程および内部鉄筋の腐食量の予測精度を向上させるものである。将来的に、コンクリート構造物の劣化予測解析の高度化につながる研究成果である。

研究成果の概要(英文)：Sea salt spray, which is transported by wind action to the surface of structures, harms long-term durability of the concrete structures. In this study, experiment of transportation and adhesion of sea salt spray and rainfall particles to surface of concrete structures was carried out. Numerical simulation for predicting the production and transportation process of sea salt spray, based on wind and wave action, was also developed. In those results, the numerical scheme a numerical model that can treat generation and transportation of sea salt spray considering natural environmental conditions was developed. The distribution of amount of sea salt spray and rainfall on structures surface was quantified by experimental results. It was also shown that the adhesion amount of sea salt spray and rainfall to surface of structures can be estimated by the numerical simulation of sea salt spray and rainfall that was also developed.

研究分野：土木材料、施工および建設マネジメント

キーワード：飛来塩分 塩害 到達塩分量 表面塩分量 環境作用 劣化予測 維持管理 数値シミュレーション

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

沿岸部に設置されたコンクリート構造物は、海域から発生する飛来塩分の作用により塩害劣化するため問題となっている。このような塩害の要因となる飛来塩分は、海域の風または波浪作用から発生し、大気中の風によって輸送され、構造物表面に到達する。その後、構造物表面の塩分は、降雨・結露によりコンクリート表面を移動・再配分され、最終的に表面に残ったものがコンクリート内部に浸透する。そのため、構造物の劣化予測解析の精度を向上させるには、コンクリート内部の劣化促進物質の浸透過程の予測解析に合わせて、その境界条件となる構造物表面の劣化促進物質量を正確に予測することが重要である。

2. 研究の目的

本研究では、自然環境作用からコンクリート構造物内部の劣化現象の予測が可能な環境劣化予測システムの構築を目的として、自然環境作用を考慮して構造物に作用する劣化促進物質を予測できる数値シミュレーションモデルの開発を行った。さらに、構造物表面での劣化促進物質の移動と再配分をモデル化するために、沿岸部の自然環境作用を再現した模型実験を実施した。

3. 研究の方法

(1) 自然環境作用の予測技術を利用した構造物に作用する劣化促進物質量の予測

① 予測方法の全体構成

コンクリート構造物の塩害劣化の要因となる飛来塩分は、海域から発生し、風によって輸送されるとともに構造物表面に到達する。そのため、将来を含めた気象・波浪作用を正確に把握し、飛来塩分量を予測することがコンクリート構造物の劣化予測解析の予測精度の向上に繋がる。

そこで、気象学・海岸工学分野で研究が進められている自然環境作用(風・波浪)の予測技術を利用し、過去・現在・将来の自然環境作用を予測するとともに、その結果から構造物表面に到達する飛来塩分量を予測する方法について検討を行った。

予測方法の全体構成は、対象とした構造物周辺の自然環境作用(風況、波浪)の予測を行い、その結果を境界条件として、構造物近傍の詳細な飛来塩分を3次元の数値シミュレーションで予測するものである。予測結果の妥当性の検証は、実橋梁を対象とした現地観測を実施し、その結果と比較する方法で行った。

② 対象とした構造物

対象とした構造物は、新潟県上越地方の沿岸部に設置されているコンクリート橋梁である。この橋梁は、海域から陸域に50m程度の位置に設置されており、2017年3月3日12:00~14:00の期間において、橋桁近傍の風速・風向と飛来塩分量の現地観測が実施されている。橋桁近傍には、気象ステーションが設置されており、1時間単位の風速・風向が測定されている。

③ 計算方法および計算条件

本計算では、現地観測結果を再現した条件で予測解析を実施し、予測モデルの妥当性の検証を行った。対象とした構造物周辺の自然環境作用は、気象学や海岸工学分野で利用される気象モデルと波浪モデルで予測を行った。気象条件(風速・風向)の予測は、領域気象モデル(WRF-ARW)を用いた。このモデルは、プログラムソースが一般に公開されており、パソコンの計算環境の設定を行うことで、過去や将来のシナリオに応じた気象条件を計算することができるものである。計算領域は、対象とした橋梁が設置されている新潟県上越地方を中心に南北900km、東西945kmとした。計算期間は、飛来塩分の現地観測が実施された2017年3月3日12:00を含む2017年3月2日21:00から3月3日21:00とした。

橋梁周辺の海域の波浪条件は、波浪推算モデル(SWAN)を用いて予測を行った。これは、海岸工学分野で利用されているモデルであり、海底地形と海上の風速分布から、海域における波浪条件を算定できるものである。計算領域は日本海全域を含む南北668km、東西730kmであり、計算格子が500m間隔である。計算期間は2017年3月2日0:00~3月4日23:00とした。

これらの予測計算から得られた気象・波浪の計算結果を境界条件として設定し、対象とした橋梁に作用する飛来塩分の予測解析を実施した。予測モデルは、周辺地形および橋桁形状を汎用的に考慮できる飛来塩分の発生・輸送過程と風・波浪作用を統合したモデルを構築した。各モデルは、風況がN-S方程式モデル、波浪が修正ブシネスク方程式モデル、飛来塩分の輸送過程が移流・拡散方程式モデルである。飛来塩分の発生過程は、既往研究¹⁾の観測結果から得られた経験式を用いて、波の碎波から飛来塩分の発生を計算した。

計算領域は、図-1のように橋梁を中心に

沿岸方向300m、岸沖方向300m、鉛直方向20mの空間である。計算格子間隔は、水平方向0.50m、鉛直方向0.25mである。境界に入力する風速と波高・周期は、気象モデルと波浪推算モデルの計算結果から設定を行った。入射波形は、計算領域の沖側の造波境界位置で不規則波を設定した。

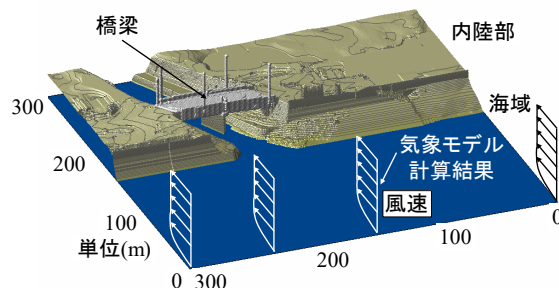


図-1 計算領域(大気空間)

(2) 自然環境作用に応じた構造物表面の劣化促進物質の模型実験

① 実験施設の構築

コンクリート構造物表面に到達した劣化促進物質(主に水分と塩分)を定量化するために、自然環境作用を再現できる実験施設を構築し、それを利用して実験を行った。構築した実験施設の寸法は、図-2のような長さ900cm、幅200cm(測定通路90cm)、高さ200cmである。施設内部には、風を循環させるための送風機、飛来塩分を発生させる飛来塩分発生装置、降雨を作用させる降雨発生機が設置されており、風・降雨・飛来塩分を同時に作用できるようになっている。飛来塩分発生装置は、2個の噴霧ノズルで構成されており、平均粒径20~100 μ m程度の飛沫粒子を噴霧できるようになっている。実験では、海水飛沫を模擬するために、塩分濃度3%の塩水を噴霧した。降雨発生機は、降雨を模擬した水滴を発生させる加圧型の散水ノズルで構成されており、風洞の天井に設置されている。

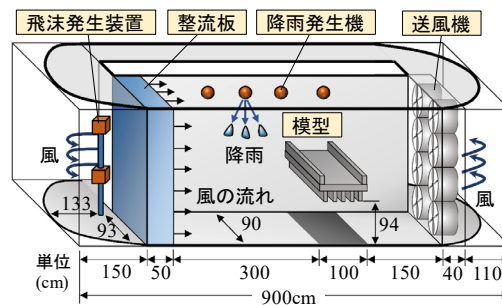


図-2 環境作用再現した実験施設

設置した実験模型の寸法は、長さ100cm、幅90cm、高さ24cmであり、図-3のように風の方向に対して模型断面が一樣になるように設置した。模型の両端30cmが発砲スチロール製、中央部の幅30cmがコンクリート製である。模型は、実際のコンクリート橋桁を参考に3種類の形状とした。模型の設置位置は、風の整流板から水平方向に300cm、模型底面の高さが94cmである。実験は、風速が3m/s程度、飛沫粒子が平均粒径100 μ m程度の条件で測定を行った。

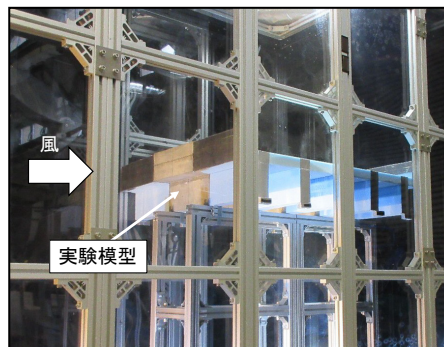


図-3 実験模型の設置状況

② 測定項目と測定方法

測定項目は、1) 模型周辺の風速、2) 模型表面における飛来塩分粒子の到達状況と降雨の流れる状況、3) 模型表面に到達する降雨水と飛来塩分量、4) 降雨によって損失する表面塩分量である。風速の測定は、風速計を用いて実験模型周辺の38~50点で測定を実施した。模型表面への降雨作用は、ビデオカメラを用いて、その接触・流れの状況を確認した。模型表面に到達した飛来塩分粒子の状況(痕跡)は、感水試験紙を用いて測定を行った。この試験紙は、直径50 μ m程度までの飛沫粒子を測定できるものであり、表面に液滴が到達するとその痕跡が残る仕組みになっている。感水試験紙上の飛来塩分粒子の痕跡をデジタルカメラで撮影し、それを画像解析した。

表面に到達・浸透する降雨水量の測定は、模型表面に厚さ5mmのモルタル供試体を設置し、その供試体に浸透した水分量を計測した。模型表面の飛来塩分粒子の到達量は、ガーゼが設置された供試体を製作し、それを模型表面に設置する方法で測定を行った。供試体は、受風口が設置されたアクリル板と受風口がないアクリル板の間に、ガーゼ1枚を設置したものである。降雨による表面塩分量の損失量は、事前に塩分を供給させたモルタル供試体に、降雨を作用させる方法で測定を行った。降雨の作用時間は120分間である。

(3) 表面物質の到達過程とコンクリート表面での移動・再配分の予測モデルの開発

構造物表面に作用する降雨粒子と飛来塩分粒子の予測モデルの構築を行った。構築した計算モデルは、風況と飛来塩分・降雨粒子の到達過程を組み合わせたものである。風況の計算モデルはN-S方程式モデルである。飛来塩分・降雨粒子の到達過程は、飛来塩分・降雨粒子を球体と仮定し、そこに作用する風の抗力および重力、浮力、慣性力のつり合いから、その位置と速度を算出するモデルを構築した。コンクリート表面での降雨と飛来塩分による劣化促進物質の移動と再配分は、実験結果を参考にモデル化を行うことにした。

開発した数値モデルを用いて、模型実験を再現した条件での計算を実施した。計算は、図-4のような風洞施設の一部を再現した長さ2.5m、幅0.9m、高さ2.0mの3次元空間である。計算格子は5mmの等間隔格子とした。風速は3.2m/sであり、風の流入境界位置で鉛直方向に一定となるように調整した。飛来塩分は、風の流入境界位置で鉛直方向に一定の個数を配置した。設定した飛来塩分の代表粒径は直径22 μ mである。降雨粒子は、計算領域の上端に配置した。降雨の代表粒径は直径0.3mmである。

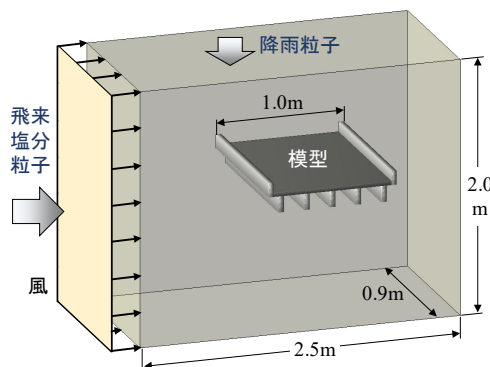


図-4 施設の一部を再現した計算領域

4. 研究成果

(1) 自然環境作用の予測技術を利用した構造物に作用する劣化促進物質量の予測

① 構造物周辺の自然環境作用の予測結果

図-5は、領域気象モデル(WRF)による計算結果と観測結果を比較した結果である。図の観測結果は、橋梁周辺に設置されている気象ステーションによる風速の測定結果である。図に示すように、3月2日21時から24時間の期間では、風速の計算結果が観測結果の変動をおおむね再現できていることがわかる。飛来塩分の現地観測を実施した3月3日12:00~14:00では、両者の風速に若干差が見られるが、橋梁周辺の風速を計算で再現できているといえる。

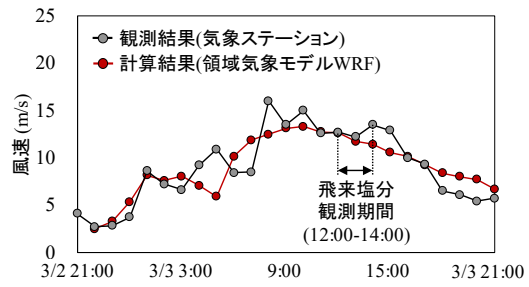


図-5 構造物周辺の風速の予測結果

図-6は、波浪推算モデルによる計算結果と国土交通省(NOWPHAS)の観測結果を比較した結果である。図の計算結果の丸印がNOWPHASの観測点、四角印が対象とした橋梁周辺の沖海域地点での波高の計算結果を抽出した値である。図に示すように、丸印(赤色)のNOWPHASの観測点位置における計算結果は、観測結果と比較して若干過小評価となっているが、時系列の変動傾向はよく一致している。飛来塩分の現地観測が実施された3月3日12:00~14:00では、観測結果が波高2.5m、周期6.3sec、計算結果が波高2.4m、周期6.3secであり、ほぼ一致している結果であった。以上の結果より、個別の構造物に作用する気象・波浪条件を数値シミュレーションにより予測できることがわかった。

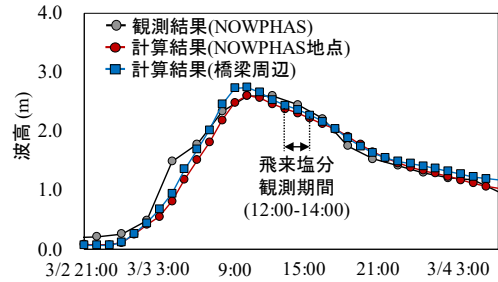


図-6 構造物周辺の波高の予測結果

② 構造物近傍の劣化促進物質の予測結果

これらの風況と波浪条件の計算結果を入力値として、構造物に作用する飛来塩分の発生・輸送過程の計算を実施した。図-7は、構造物近傍の飛来塩分の輸送過程を示した計算結果である。図の丸印のNo.1~6は、風と飛来塩分の観測点の位置である。図の計算開始から240秒後で、海域の波から飛来塩分が発生し、内陸側へ輸送されていることがわかる。その後は、波の状況に応じて飛来塩分が大気中に発生し、風によって輸送されている状況が計算結果から示されている。

図-8は、観測点No.1~2とNo.6の観測結果と計算結果を比較したものである。図の上段は風速の値である。図に示すように、計算結果は、構造物周辺の風速の分布を再現できていることがわかる。この結果より、領域気象モデルの計算結果を境界条件に設定することで、個別の橋梁近傍の風速分布を予測できることが示された。図の下段は、飛来塩分の観測結果と計算結果の比較である。図に示すように、観測点No.1とNo.2では、飛来塩分量の計算結果が若干過小評価となっているが、観測結果をおおむね再現できている。橋桁上部に設置した観測点No.6でも、飛来塩分量が計算結果と観測結果で一致している傾向が見られる。

これらの結果より、領域気象モデルと波浪推算モデルを利用して、個別の構造物周辺に作用する気象・波浪作用を予測し、それを境界条件とすることで、個別の橋梁近傍に作用する飛来塩分量を精度よく予測できることが明らかになった。

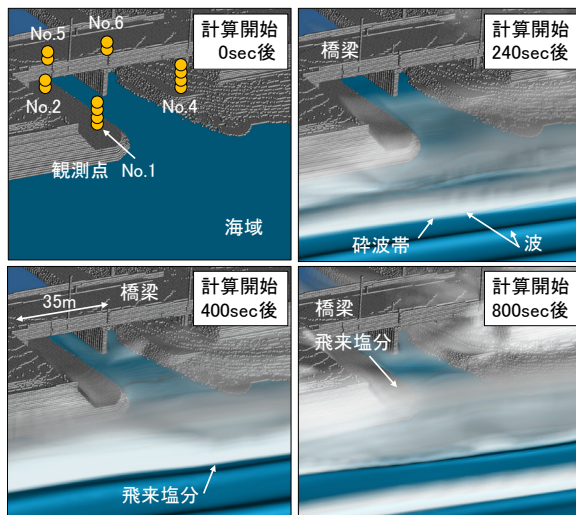


図-7 飛来塩分の輸送過程の計算結果

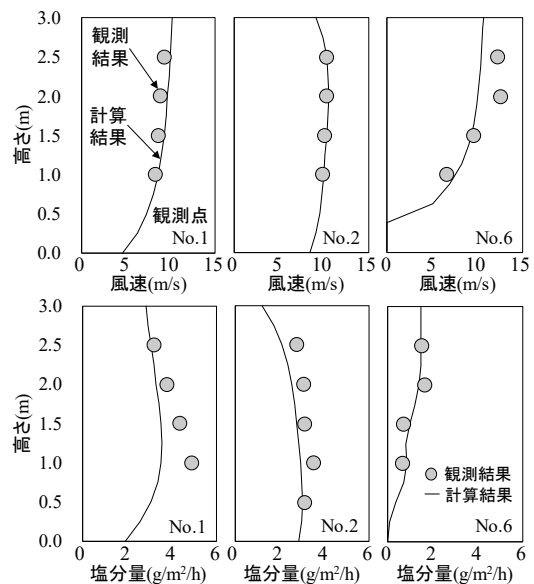


図-8 計算結果と観測結果の比較

(2) 沿岸部の自然環境作用に応じた構造物表面の劣化促進物質量の模型実験

① 模型表面における飛来塩分粒子の到達状況

沿岸部の自然環境作用を再現した風洞実験を実施し、その結果を整理した。図-9は、模型表面に到達した飛来塩分粒子の痕跡を感水試験紙によって可視化した結果である。図の下端に示す風上側の壁面(測定点 No. 4)では、到達している塩分粒子は、粒径 $100\mu\text{m}$ 以上の大きい粒子が多く、到達している粒子数も多いことがわかる。これは、風の作用によって輸送されてきた粒子が、慣性力で模型表面に衝突しているためであると考えられる。これらの結果から、測定点 No. 1~4 のような風が直接吹き付けるような壁面では、粒径 $100\mu\text{m}$ 以上の大きい粒子が到達しており、その他の壁面では、到達している粒子の大部分が粒径の小さいものであることがわかった。

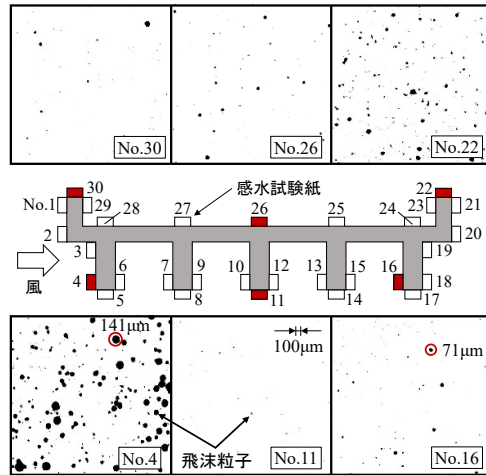


図-9 模型表面の飛来塩分の到達状況

② 模型表面の降雨と飛来塩分の浸透・到達量
図-10は、模型表面に作用した降雨水の浸透量と飛来塩分の到達量の実験結果である。図の実線に示すように、風上側の降雨粒子の浸透量は、測定点 No. 2~5 と No. 7 で大きく、模型下部面の No. 9~19 で浸透量が $0.0\text{kg}/\text{m}^3$ となっていることがわかる。

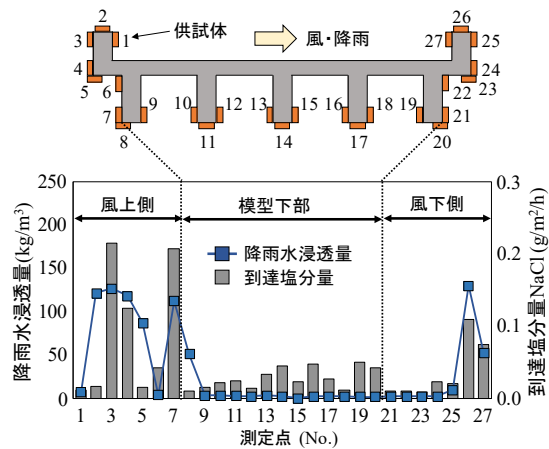


図-10 降雨と飛来塩分の浸透・到達量

図の棒グラフは、飛来塩分の到達量を示した結果である。風上側では、測定点 No. 3~4 と No. 7 で到達塩分量が大きく、模型下部にも到達している傾向が見られる。この下部には降雨粒子が到達していなかったため、橋桁のような形状では、降雨粒子と飛来塩分粒子の到達する位置が一部で異なっていることがわかった。

以上より、構造物に作用する降雨と飛来塩分の到達量は、構造物表面の各位置で差があり、両者の到達状況が一部で異なっていることが明らかになった。

(3) 表面物質の到達過程とコンクリート表面での移動・再配分の予測モデルの開発

実験模型に作用する降雨と飛来塩分粒子の到達過程の計算結果を図-11に示す。図に示すように、飛来塩分粒子は、風が直接作用する風上側の側面に多数到達しており、模型下部の梁の先端部にも到達している傾向が見られる。降雨粒子は、模型側面に到達しているが、橋桁下部面には到達していない結果となっている。これは、飛来塩分粒子のほうが降雨粒子より、粒径が小さいためであると考えられる。これらの計算結果は実験結果と一致する傾向である。

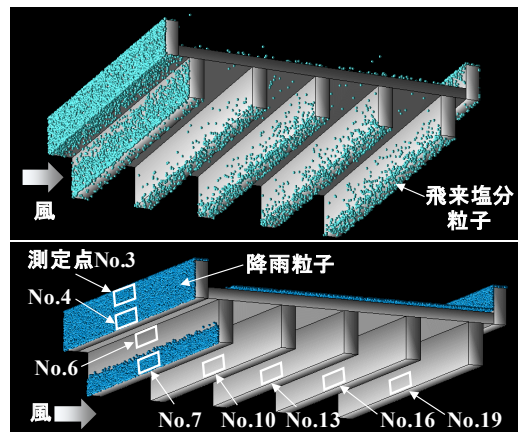


図-11 降雨粒子と塩分粒子の到達量

以上の結果から、本研究の目的の一部である構造物外部から表面に到達する劣化促進物質量の予測についてはモデル化することができた。その一方で、降雨作用後に表面を流れる降雨水とそれによる塩分濃度の再配分については、実験模型の縮尺が小さいことが要因で詳細な測定が困難であった。さらに、日射などによる水分の蒸発現象が実験結果に影響している傾向があり、構築した劣化促進物質の移動・再配分モデルについては、実験を含めて再度検討する必要があることが明らかになった。そのため、次の研究課題において、実物スケールの実験模型を屋外に設置し、日射などの自然環境作用を考慮した実験を実施することで、構造物表面の劣化促進物質の移動・再配分モデルの再構築を行う予定である。

<引用文献>

- 1) 村上和男、加藤一正、清水勝義、柳嶋真一、中村聡志、尾崎 靖、福田真人、宮城啓司、山田邦明、西守男雄、飛沫の発生と擬似植栽による飛沫抑制効果に関する現地調査、港湾技術研究所報告、第34巻、第4号、1995、302-311

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 中村文則、大原涼平、井野裕輝、下村 匠	4. 巻 Vol.40
2. 論文標題 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	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 669-674
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 滝 晴信、中村文則、下村 匠	4. 巻 Vol.40
2. 論文標題 広領域の風環境の予測技術を利用した構造物近傍の塩害環境作用の予測解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 675-680
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 中村文則、大原涼平、滝 晴信、下村 匠	4. 巻 Vol.74
2. 論文標題 大気中に供給された海水飛沫の時間・空間的な変動に関する現地観測とその予測解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_1285-I_1290
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 中村文則、井野裕輝、大原涼平、下村 匠	4. 巻 第18巻
2. 論文標題 橋桁表面に到達する海水飛沫粒子の到達量および粒径分布の現地観測とその数値解析	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本材料学会コンクリート構造物の補修・補強・アップグレード論文報告集	6. 最初と最後の頁 317-322
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 井野裕輝、中村文則、下村 匠	4. 巻 第18巻
2. 論文標題 コンクリート表面における飛来塩分収支に関するモデル化	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本材料学会コンクリート構造物の補修・補強・アップグレード論文報告集	6. 最初と最後の頁 323-328
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中村文則、下村 匠、大原涼平、細山田得三	4. 巻 Vol.75
2. 論文標題 飛来塩分の予測シミュレーション技術の開発と構造物の長期的な塩害環境作用の評価への適用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造)	6. 最初と最後の頁 60-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/jscejmcs.75.60	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中村文則、山口貴幸、井向日向、下村 匠	4. 巻 Vol.41
2. 論文標題 コンクリート橋桁表面への飛来塩分粒子の到達過程に関する模型実験とその再現解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 761-766
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 原良太郎、中村文則、大原涼平、下村 匠	4. 巻 Vol.41
2. 論文標題 凍結防止剤が含有した飛沫の大気中への供給とコンクリート構造物への影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 743-748
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中村文則、井野裕輝、神田佳一、下村 匠	4. 巻 Vol.75
2. 論文標題 消波ブロックが設置された海岸における飛来塩分の現地観測とその影響評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3(海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_151-I_156
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/jscejoe.75.I_151	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中村文則、山口貴幸、神田佳一、下村 匠	4. 巻 Vol.75
2. 論文標題 海水飛沫粒子を再現した模型実験による構造物への粒子到達過程の推定	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_1153-I_1158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2208/kaigan.75.I_1153	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中村文則、石川嘉崇、崎原康平、矢島典明	4. 巻 第19巻
2. 論文標題 湾奥部に設置された火力発電所構内の構造物に作用する飛来塩分の定量評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート構造物の補修・補強・アップグレード論文報告集	6. 最初と最後の頁 593-598
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 崎原康平、中村文則、滝 勇太、山田義智	4. 巻 第19巻
2. 論文標題 機械学習を用いた発生飛来塩分予測に関する基礎的研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート構造物の補修・補強・アップグレード論文報告集	6. 最初と最後の頁 599-604
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中村文則、LUIS ARTURO GARCIA MARTINEZ、山口貴幸、下村 匠	4. 巻 Vol.42
2. 論文標題 コンクリート構造物表面における降雨・飛沫粒子の到達量に関する実験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 掲載決定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 中村文則、大原涼平、山口貴幸、下村 匠	4. 巻 Vol.76
2. 論文標題 沿岸域の地形条件を含めたコンクリート構造物の表面塩分の定量的評価手法の構築	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集E2(材料・コンクリート構造)	6. 最初と最後の頁 掲載決定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計5件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 中村文則、大原涼平、下村 匠
2. 発表標題 気象・波浪作用に応じた飛来塩分の自動予測システムの開発とその適用性の検証
3. 学会等名 土木学会次学術講演会講演概要集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 原良太郎、大原涼平、中村文則
2. 発表標題 路面に散布された凍結防止剤の大気中への供給とその輸送過程に関する数値解析
3. 学会等名 混相流シンポジウム2018講演論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 滝 晴信、中村文則、下村 匠
2. 発表標題 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
3. 学会等名 土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中村文則・山口貴幸・井向日向・下村 匠
2. 発表標題 環境作用に応じたコンクリート構造表面の塩分定量化に関する基礎的研究
3. 学会等名 第74回年土木学会次学術講演会講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村文則・井向日向・山口貴幸・神田佳一
2. 発表標題 沿岸域に設置された橋梁に作用する塩害環境の予測解析
3. 学会等名 混相流シンポジウム2019講演会
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
研究協力者	下村 匠 (Shimomura Takumi)		