



TITLE:

橋梁表面へ付着する塩分量の部位別予測と維持管理技術の高度化への適用 (Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

野口, 恭平

CITATION:

野口, 恭平. 橋梁表面へ付着する塩分量の部位別予測と維持管理技術の高度化への適用. 京都大学, 2017, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2017-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20339>

RIGHT:

許諾条件により本文は2018-03-23に公開

京都大学	博士 (工 学)	氏名	野 口 恭 平
論文題目	橋梁表面へ付着する塩分量の部位別予測と維持管理技術の高度化への適用		

(論文内容の要旨)

我が国の橋梁の多くは高度経済成長期に建設されたため老朽化が進んでおり、予防保全や維持管理が喫緊の課題となっている。本論文は、橋梁の劣化機構のひとつである腐食に着目し、腐食の速度に大きな影響を与える付着塩分量について、対象橋梁地点における飛来塩分環境、橋梁表面への付着、外的要因による付着塩分の低減、橋梁表面の残存塩分量をそれぞれ定量的に算定する手法を提案するものである。とくに、大気中塩分濃度、風向、風速に基づく、橋梁部位別の付着塩分量を定量的に評価する簡易モデルを新たに提案し、数値流体力学 (CFD) による対象橋梁周りの流れ場を求め、橋梁形状や周辺地形の影響を考慮した部位別付着塩分量の定量的評価を可能とし、維持管理実務に資する具体的知見が示されている。また、領域気象モデル (WRF) によって気象要素および大気中塩分濃度を算出し、観測を必要とせず、長期的な橋梁表面の付着塩分量評価の可能性を示しており、複数橋梁の広域的管理を必要とする橋梁管理者の支援ツールとしての利用を提示している。

第 1 章は序論であり、研究の背景と本研究の位置付けが述べられている。すなわち、腐食因子である飛来塩分として海塩粒子に着目し、海塩粒子の生成から塗膜や鋼材が劣化に至るまでの過程を、①海塩粒子の生成と陸上への輸送、②対象橋梁地点における飛来塩分環境、③橋梁表面への付着、④外的要因による付着塩分の離脱、⑤橋梁表面の残存塩分量、⑥塗膜や部材の劣化、に分類し、本研究では特に②から⑤までを対象とし、①と⑥についても既往の研究を整理し考察を加えるとしている。

第 2 章では、鋼塗装橋表面の付着塩分量計測と、当該地点での気象要素および飛来塩分捕集のための現地観測について説明している。新たに開発した塩分捕集器具により、過去約 5 年半にわたる海塩粒子測定値は大きな季節変動を有し、かつ JIS 規格に基づく既往の捕集装置による測定値と概ね同様の値を示すため、一定の捕集精度を有することが示されている。その上で、台風接近時の暴風雨、高潮等による過剰捕集を抑制するなど、異常気象時でもある程度妥当な評価が可能であることを明らかにしている。風洞実験により、ドライガーゼ式捕集器具周りの気流特性は接近風速・風向に依存することを明らかにするとともに、大気中塩分濃度と風速・風向を捕集塩分量と関連付けるモデルを開発し、ドライガーゼ法の塩分捕集効率を特定できる可能性が示されている。

第 3 章では、大気中塩分濃度と気象要素および橋梁周りの定常流れ場に基づく橋梁部位別の付着塩分量評価モデルとして、橋梁部材表面近傍と大気中塩分濃度の積による慣性衝突と、大気中の海塩粒子の表面沈着の和により付着塩分量が表されることを提案している。まず、海塩粒子は気流により輸送されると考えられることから、橋梁の各部位に付着する海塩粒子量は橋梁周りの空気の流れに支配されると考え、数値流体力学 (CFD) の手法に基づき定常流速場を算出し、とくに桁間では接近風向別に流れの状況が大きく異なることを明らかにした。つぎに、提案モデルにおいて必要となる部材表面近傍の鉛直風速の評価位置について、Large Eddy Simulation (LES) に基づ

京都大学	博士（工学）	氏名	野口恭平
<p>く時間依存流れ場を求め、海塩粒子を Lagrange 的に追跡し、得られる付着塩分量を真値とし、最適な鉛直風速評価位置を決定した。さらに、付着塩分の洗浄作用の一つである降雨の影響を調べるために表面に塩分を付着させた供試体を人工降雨中に曝露した後、残存塩分量を計測し、残存塩分率（雨滴による洗浄後表面に残存する塩分量の洗浄前との比）と降雨強度（mm/h）の関係を明らかにした。最後に、洗浄効果も踏まえた対象橋梁表面の付着塩分量を算出し、提案する付着塩分量評価モデルは実測値の傾向を良好に再現できることが示された。流れの非定常性の寄与を考慮することで、さらなる予測精度の向上が期待できるとしている。</p> <p>第 4 章では、現地観測に代わる気象要素・大気中塩分濃度の獲得手法として領域気象モデル（WRF）を導入し、気象要素（平均風速、平均風向、雨量）と同時に大気中塩分濃度も広域的に算出し、観測値の傾向を概ね再現できることを示している。また、計算格子解像度を増すことでよりより高精度な予測が可能となることを指摘している。さらに、雨滴が直接当たらない内側の桁表面においても、付着塩分が低下する要因として結露に着目し、上記 WRF により気温、相対湿度、日射を得、さらに鋼材表面温度と相対湿度より結露量の時間変化を求めている。次いで部材表面において結露の蓄積が進行すると水滴の凝集に発展し、鉛直部材表面では水滴となって表面を流下し、付着塩分の洗浄に至る一連のプロセスを数値計算により再現している。水滴の部材表面流下時の洗浄能力は実験により評価しており、水滴の流下速度が付着塩分の洗浄効果に対し支配的であるという知見を明らかにしている。また、洗浄効果を踏まえた部位別の付着塩分量計算を行い、特に桁間において結露水の流下による付着塩分の洗浄が再現されることを示している。</p> <p>第 5 章では、長期的な付着塩分量を評価するために統計的手法を導入し、風速、風向、降雨強度、連続無降雨時間などの気象要素や大気中塩分濃度を確率変数で表現し、モンテカルロシミュレーションを行うことで、付着塩分量を評価できることを明らかにしている。各確率変数間の相関性についても考察し、風向ごとの風速の確率分布を求める手法を提案している。とくに、確率分布関数による表現が困難な風向については、風速と風向を風速 2 成分に分解することで、確率的な表現が可能であることを明らかにしている。</p> <p>第 6 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、鋼橋の鋼部材表面における海塩粒子由来の付着塩分量の評価モデルの構築と長期的評価法を提案し、その有効性を数値解析、実験、観測により確認したものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 新たに飛来塩分捕集装置を開発し、既往の装置との比較に基づき捕集性能を検討し、その捕集性能は既往の装置とほぼ同等であること、および異常気象時の過大捕集を避ける性能が期待できることを明らかにした。

2. 部材表面の付着塩分量を海塩粒子の慣性衝突と沈着の和により表し、複雑な数値計算を必要としない簡易的な橋梁部位別の付着塩分量評価モデルを提案するとともに、雨滴、および結露による水滴流下による洗浄効果を実験的に示し、付着塩分量の現地観測との比較を通じて、これらのモデルの妥当性を明らかにした。

3. 風速、風向、気温、相対湿度、日射、大気中塩分濃度等の各要素を WRF により求め、個々の要素の確率分布を求めることにより、長期間の鋼部材表面の付着塩分量を統計的に評価する手法を提案した。また、確率分布を用いて風向を表す手法を開発した。

以上の通り、本論文は、鋼橋の鋼材表面各部位における海塩粒子由来の付着塩分量を橋梁個々の観測を必要とせず、長期間にわたり評価可能とする手法を提案するものであり、多数の橋梁の広域的維持管理という実務への貢献が期待される。同時に、鋼材腐食に対する数値解析技術や気象モデルの利用は、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成29年1月31日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。