

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：13102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560564

研究課題名(和文) 地域環境因子と風況に基づいた耐候性鋼橋梁の腐食予測と余耐力評価システムの構築

研究課題名(英文) Establishment of residual strength evaluation system and corrosion prediction of weathering steel bridges based on wind conditions and local environmental factors

研究代表者

岩崎 英治 (IWASAKI, EIJI)

長岡技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：10223380

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：橋梁建設予定地点の飛来塩分、風向風速と橋梁の構造諸元から、橋梁建設後の局所的な部位の飛来塩分と腐食量を推定するシステムを構築するために、対象橋梁の近くでの地域・地形環境としての飛来塩分の観測、対象橋梁の局部環境での飛来塩分の観測と、曝露試験片による腐食量の測定を行い、数値シミュレーションにより求めた橋梁周辺の飛来塩分と飛来塩分の観測値の比較を行った。

研究成果の概要(英文)：Observation of airborne salt as a regional environment and geomorphological environment in the target bridge, observation of airborne salt in the local environment of the target bridge, measurement of the amount of corrosion due to exposure test pieces and comparison of the observed values of airborne salt and airborne salt of the bridge around by numerical simulation have been carried out, in order to establish a system for estimating the amount of corrosion and airborne salt around the bridge section from the structural specifications of the bridge, wind speed and direction and airborne salt of bridge construction point.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学

キーワード：鋼構造 耐候性鋼材 腐食予測

### 1. 研究開始当初の背景

耐候性鋼橋は、腐食速度を低下する合金元素を添加した耐候性鋼材を用いた橋梁であり、鋼材表面に生成される緻密なさび層（保護性さび）により、腐食の原因となる酸素や水から鋼材を保護し、さびの進展を抑制する。したがって、普通鋼のような塗装による防食を行う必要がなく、ライフサイクルコストを低く抑えられる利点がある。

保護性さびの生成には、鋼材の表面が大気中に曝され、適度な乾湿の繰り返しを受ける必要がある。また、塩分が多い環境に曝されると保護性さびが生成せず、剥離性のさびが生じることから、飛来塩分が許容値を超えない環境下で使用することが必要である。JISに規定された耐候性鋼材は、旧建設省土木研究所、旧鋼材倶楽部、日本橋梁建設協会による全国の飛来塩分調査および耐候性鋼材の曝露試験により、年平均飛来塩分量が0.05mdd(mg/dm<sup>2</sup>/day)を超えない地域に適用可能であることが示されている。

しかし、この飛来塩分は桁内部の値であり、橋梁が建設されるまで実測することはできない。桁内の飛来塩分は桁外の風通しの良い場所の飛来塩分に比べて、数分の一から十分の一以下の値になることから、建設予定地点での飛来塩分の観測値による評価は、過度に安全側の評価になっている。したがって、建設地点での飛来塩分の観測値から桁内部の飛来塩分を何らかの方法で評価することが合理的と考えられる。

腐食環境は、橋梁設置地点の離岸距離や設置地域が日本海側や太平洋側などのような地域特性により決まる地域環境、橋梁の設置地点の地形と橋梁との位置関係や橋梁の向きなどから決まる地形環境、橋梁を設置したことにより定まる局部環境に分類できる。地域環境や地形環境は、橋梁設置前に、建設予定地点に腐食曝露試験片や気象観測機器、飛来塩分捕集器具などを置くことで、事前に把握することが可能である。しかし、局部的な部位の腐食環境である局部環境は、実構造物が設置されて、定まる環境であるので、実構造物が建設されるまで実測により定量的に確認することはできない。

したがって、橋梁設置前の地域環境、地形環境因子と風況データ、および建設予定橋梁の構造諸元から局部的な腐食量を推定するシステムが構築できると、建設前に局部的な腐食状況を把握し、適切な防食対策を行うことが可能となり、ライフサイクルコストの低減に寄与できるものと考えられる。また、局部的な腐食量の推定量から算出した残存板厚による3次元有限要素解析により、残存余耐力を推定することが可能と考えられる。

### 2. 研究の目的

耐候性鋼材を使用した橋梁は、塗装に伴うライフサイクルコストを低減できることから使用実績は増えつつある。しかし、鋼表面

が直接、大気に曝されることにより、飛来塩分の影響を直接受ける。このため、耐候性鋼材の使用の目安となる飛来塩分の許容値が示されているが、これは、桁付近での値であり、橋梁建設前に桁付近の飛来塩分を把握することは難しい。また、新設だけではなく、既設の耐候性鋼橋の将来の腐食量の推定と余耐力の評価を行うことは、維持管理を行う上で有益な情報を与える。そこで、橋梁設置予定地点またはその周辺地点での飛来塩分、風況データと橋梁の構造諸元から、橋梁建設後の局部的な部位の飛来塩分と腐食量の推定を行うシステムの構築を研究目的とする。

### 3. 研究の方法

橋梁建設予定地点の飛来塩分と風向風速と橋梁の構造諸元から、橋梁建設後の局部的な部位の飛来塩分と腐食量の推定を行うシステムを構築するために、対象橋梁の近くでの地域・地形環境としての飛来塩分の観測、対象橋梁の局部環境での飛来塩分の観測と、曝露試験片による腐食量の観測、および実橋梁のさび厚と残存板厚の計測を行い、数値シミュレーションによる飛来塩分と腐食量の推定の妥当性の検証を行う。

#### (1) 地域・地形腐食環境と局部腐食環境の観測

局部腐食環境と腐食量の観測対象とする既設耐候性鋼橋の設置地点での飛来塩分の観測と、風向風速データの計測を行う。風向風速データは付近のアメダス観測点のデータも参考になるが、風向風速は地形の影響を受けやすいので、検証用の良質なデータ取得の趣旨に鑑み、既設耐候性鋼橋の設置地点付近に風向風速計を設置して実測する。これらの飛来塩分、風速データの計測は1年間を基本として計測を行う。これらの計測機器は、既設耐候性鋼橋が、風向風速などの気象データに影響を及ぼさない程度に、既設橋梁から離れた地点に設置する。

#### (2) 局部腐食環境と腐食量の把握のための曝露試験片の設置

既設耐候性鋼橋の局部腐食環境と腐食量の計測を行うために、耐候性鋼材試験片、飛来塩分捕集器具を設置する。

耐候性鋼材試験片では、腐食量の計測を行う。

後述の数値シミュレーションによる桁周りの飛来塩分量の推定手法の検証用に、桁付近の飛来塩分計測を行う。

鋼材の腐食量 $Y$ は、鋼材の耐腐食性と環境の腐食因子から決まるパラメータ $A, B$ から $X$ 年後の値として $Y=AX^B$ により表される。この二つのパラメータを曝露試験結果から同定するために、曝露試験片は、1年後と、2年後の回収用に2種類設置する。

#### (3) 数値シミュレーション手法の検証と改良

計測では1年間の長期にわたるデータが得られる。一方、数値シミュレーションによる推定手法の開発では、複雑な現象を長期間にわたって再現することは膨大な計算量を要することから、現象の単純化および再現期間の短期化について検討する。

#### (4) 風況から腐食量を推定するシステムの構築

前述のようにX年後の腐食量(板厚減少量)Yは、 $Y=AX^B$ で表されることから、橋梁の各部位のX年後の残存板厚も表される。そこで、橋梁周辺の風況から、周辺の飛来塩分を推定し、飛来塩分から腐食量を推定するシステムの構築について検討する。

### 4. 研究成果

#### (1) 風向風速・飛来塩分の観測値

無塗装の鋼材の腐食に、影響を与える海からの飛来塩分は、風により運ばれて来ることから、曝露試験を行う橋梁に風速計を設置した。さらに、鋼材曝露試験を行う部位に飛来塩分を捕集する器具を取り付けた。

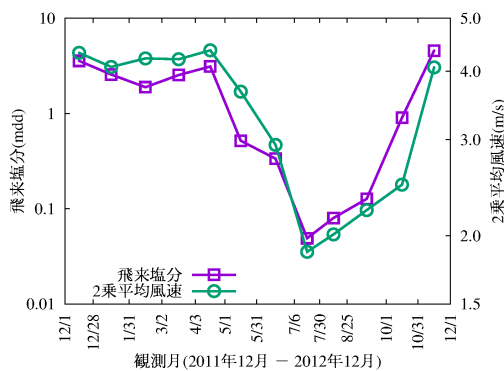


図1 飛来塩分と2乗平均風速の月毎の推移

図1は、塩分捕集器具の交換期間ごとの風向風速計の観測値の2乗平均値を算出して、代表的な部位の捕集器具により観測した飛来塩分量との関係を対数表示している。これより、橋梁の桁付近の飛来塩分の増減は、風速の2乗平均値の増減の推移と一致し、飛来塩分をC、2乗平均風速をVとすると、 $C=\alpha V^\beta$ の関係が成立していることが分かる。飛来塩分Cと2乗平均風速Vの関係を表す係数 $\alpha$ と $\beta$ は、橋梁の架設地点の地域や地形により決まる風況に依存する係数である。これらの係数を何らかの方法で決定できると、風速データから飛来塩分を推定できる可能性がある。

図2に橋梁に設置した風速計の2乗平均風速と最寄りのアメダス観測所の風速データから算出した2乗平均風速の月ごとの推移を示す。本研究で対象としている橋梁は新潟平野に位置し、アメダス観測所も同じ平野に設置され、地域環境に大きな違いがないため、ほぼ同じ傾向を示している。したがって、同じ風環境にある橋梁の飛来塩分を風速から推定する場合には、橋梁地点から離れた風速デ

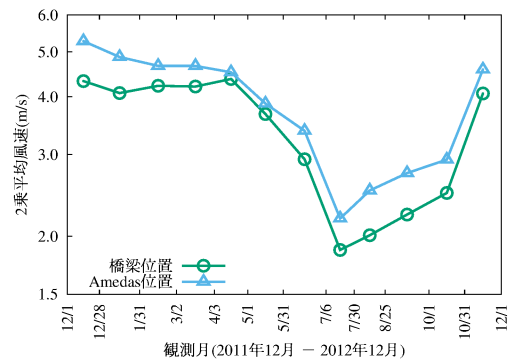


図2 橋梁位置と最寄りのアメダス観測所の風速

ータを利用することができる。

#### (2) 曝露試験片の腐食量

橋梁の複数の部位に曝露試験片を設置して、1年曝露と2年曝露を行った。

図3には、一例として、1年曝露後の一つの断面の腐食量の分布を示す。断面内の部位によって腐食量に違いが現れている。

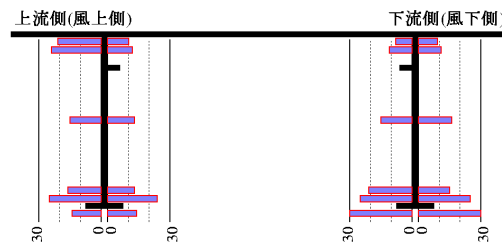


図3 曝露試験片の腐食量

図4は、ウェブに設置したすべての曝露部位の1年と2年後の腐食量の関係を示している。多少のバラツキは見られるが、2年後の腐食量と1年後の腐食量には相関がみられる。

曝露年数Xのときの腐食量Yの間には既往の知見により、 $Y=AX^B$ の関係が存在していることが示されている。ここで、係数AとBは腐食環境と鋼材の耐候性能により決まるパラメータである。これと、図4より、1年後の腐食量から、将来の腐食量を推定できることが分かる。

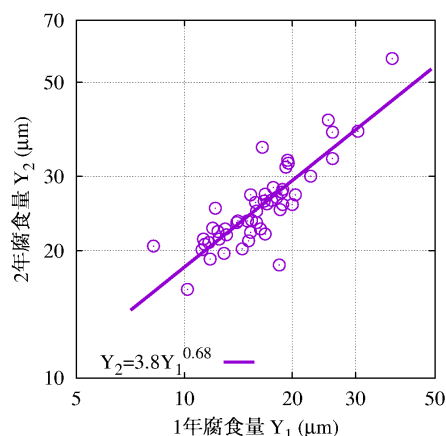


図4 1年曝露と2年曝露の腐食量の関係

### (3) 飛来塩分の数値シミュレーション

橋梁周りの飛来塩分の分布状況の数値シミュレーションを行うためには、橋梁周りの風の流れを計算し、この流れの中に飛来塩分を模した濃度あるいは粒子の拡散を計算する必要がある。流れの計算を行う際に、計算が不安定になり、発散することがあるため、安定的に計算が可能な、陰解法と陽解法を組み合わせを計算法を用いていたが、最近の計算機に搭載されているマルチコア型のCPUによる並列計算に向かないために、陽解法のみで計算を行う方法を検討した。

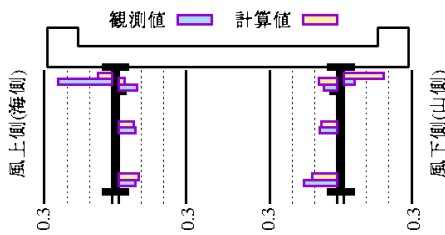


図5 飛来塩分の観測値と計算値の比較

図5に一例として、桁周りの飛来塩分の観測値と数値シミュレーションによる計算値を示す。桁外面のウェブ上部で違いが見られるが、桁内の飛来塩分の分布は概ね再現できていることが分かる。

### (4) 飛来塩分と腐食量の関係

図6に、桁周辺で曝露した試験片の腐食量と、同じ部位で観測した飛来塩分の関係を示す。多少のばらつきは見られるが、飛来塩分と曝露試験片の腐食量には  $Y=\gamma C^\delta$  の関係が見られる。

したがって、パラメータ $\gamma$ と $\delta$ が明らかであれば、飛来塩分から腐食量を推定できる。

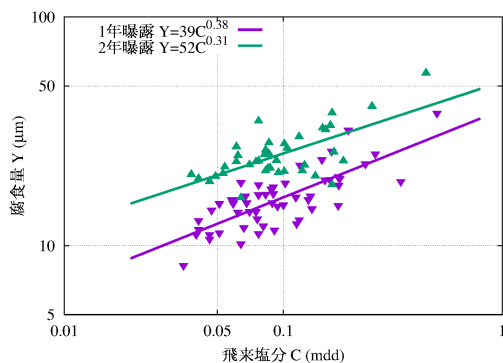


図6 飛来塩分と曝露試験片の腐食量の関係

### (5) 橋梁付近の風況から橋梁の腐食量を推定するための枠組みについて

本研究では、橋梁付近の風速と飛来塩分の関係、橋梁周辺の代表的な位置の飛来塩分と風速から桁周辺の飛来塩分の分布を数値シミュレーションするための手法の検討、桁付近の飛来塩分と曝露試験片の腐食量の関係、

および1年曝露の腐食量と2年曝露の腐食量の関係を調べた。これらより、以下のような手順で、橋梁周辺の風況から桁の腐食量を推定することが可能であることを明らかにした。

橋梁付近の地点の2乗平均風速 $V$ とその地点の飛来塩分量  $C(=\alpha V^\beta)$  を関係づけるパラメータ $\alpha$ と $\beta$ の決定。

橋梁付近の地点の2乗平均風速 $V$ とその地点の飛来塩分量 $C$ から、数値シミュレーションにより、橋梁周辺の飛来塩分の分布を推定する。

橋梁周辺の飛来塩分 $C$ と1年腐食量  $Y_1(=\gamma C^\delta)$  を関係づけるパラメータ $\gamma$ と $\delta$ の決定。

1年腐食量 $Y_1$ と $X$ 年後の腐食量  $Y(=Y_1 X^B)$  を関係づけるパラメータ $B$ の決定。

これらの枠組みに含まれるパラメータの合理的な決定法については、今後の課題である。

### 5. 主な発表論文等 投稿準備中

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

岩崎 英治 (IWASAKI, Eiji)

長岡技術科学大学・工学研究科・教授

研究者番号：10223380