

GISを用いた現地計測と領域気候モデルの 飛来塩分予測の統合化による耐候性鋼橋梁 の腐食環境評価マップの作成

松江工業高等専門学校 環境・建設工学科
准教授 広瀬 望

平成22年11月

研究関係者紹介

ひろせ のぞむ

広瀬 望

現職：松江工業高等専門学校環境・建設工学科准教授（工学博士）

主な著書・論文：

木村 泰, 広瀬 望, 大屋 誠, 武邊勝道, 麻生稔彦：付着塩分量と気象要素に着目した ACM 型腐食センサーの出力電流の応答特性に関する観測的検討, Vol. 59, No. 10, 2010.

Masamichi Takebe, Makoto Ohya, Nozomu Hirose, Ryo Adachi, Yu-suke Ago, Koji Doi, Yuzuru Iwatani, Naoki Kitagawa, Yasushi Kimura, Keishi Ochibe, Jun-ya Ota, Difference in precipitation rates of air-borne salts collected by the dry gauze method and the Doken tank method, Corrosion Science, Vol. 52, pp.2928-2935.

おおや まこと

大屋 誠

現職：松江工業高等専門学校環境・建設工学科准教授（工学博士，技術士（建設））

主な著書・論文：

木村 泰, 広瀬 望, 大屋 誠, 武邊勝道, 麻生稔彦：付着塩分量と気象要素に着目した ACM 型腐食センサーの出力電流の応答特性に関する観測的検討, Vol. 59, No. 10, 2010.

Masamichi Takebe, Makoto Ohya, Nozomu Hirose, Ryo Adachi, Yu-suke Ago, Koji Doi, Yuzuru Iwatani, Naoki Kitagawa, Yasushi Kimura, Keishi Ochibe, Jun-ya Ota, Difference in precipitation rates of air-borne salts collected by the dry gauze method and the Doken tank method, Corrosion Science, Vol. 52, pp.2928-2935.

たけべ かつみち

武邊 勝道

現職：松江工業高等専門学校環境・建設工学科准教授（理学博士）

主な著書・論文：

Masamichi Takebe, Makoto Ohya, Nozomu Hirose, Ryo Adachi, Yu-suke Ago, Koji Doi, Yuzuru Iwatani, Naoki Kitagawa, Yasushi Kimura, Keishi Ochibe, Jun-ya Ota, Difference in precipitation rates of air-borne salts collected by the dry gauze method and the Doken tank method, Corrosion Science, Vol. 52, pp.2928-2935.

木村 泰, 広瀬 望, 大屋 誠, 武邊勝道, 麻生稔彦：付着塩分量と気象要素に着目した ACM 型腐食センサーの出力電流の応答特性に関する観測的検討, Vol. 59, No. 10, 2010.

目 次

1. はじめに	
1. 1 研究背景	1
1. 2 本報告書の目的と構成	2
1. 3 本研究計画の概略	3
1. 4 本報告書の構成	3
2. 耐候性鋼橋梁の腐食環境把握	
2. 1 鋼橋への耐候性鋼材の使用	4
2. 2 耐候性鋼材の腐食減耗予測における腐食環境評価	5
2. 3 局部環境腐食性指標の概要	6
2. 4 飛来塩分量の輸送プロセス	7
2. 5 耐候性鋼橋梁の腐食環境評価の高度化に向けた戦略	8
3. 耐候性鋼橋梁の維持管理の高度化に向けた総合的な腐食環境把握	
3. 1 山陰地方における耐候性鋼橋梁の腐食状況	10
3. 2 腐食環境評価のための統合的な観測計画	10
3. 3 大気中のCl ⁻ 濃度データの概要	12
3. 4 観測成果と得られた知見の整理	16
4. 観測結果と領域気候モデルを組み合わせた腐食環境評価マップの作成	
4. 1 領域気候モデルによる数値実験の概略	23
4. 2 実験結果と得られた知見の整理	24
4. 3 WRF/Chemによる飛来塩分量予測の検討	24
4. 4 腐食環境評価マップの作成結果	25
4. 5 観測結果に基づく評価マップの妥当性検証	25
5. 腐食環境データベースの構築と腐食環境評価マップの可視化	
5. 1 腐食環境データベースの構築	29
5. 2 Google Mapsを用いた腐食環境評価マップの可視化	29
6. まとめと今後の課題	33

参考文献

1. はじめに

1. 1. 研究背景

鋼橋が社会資本整備に貢献していくためには、新しい設計法の課題・体系化に対応するとともに、新形式構造・新規材料の適用により、低コスト化や高耐久性化などのニーズにこたえ、それを具現化していくことが求められている。

道路橋示方書をはじめとする技術基準類の性能規定化や新しい技術提案を積極的に採用しようとする契約方式の適用拡大が図られ、価格と性能、品質において総合的に優れた提案に結びつく技術力強化が重要である。また、維持管理負担の軽減や長寿命化などのライフサイクルコスト (Life Cycle Cost, LCC) の最小化は、重要な課題である (藤野, 2009)。

耐候性鋼材は適切な環境条件で鋼板表面に緻密なさび層 (保護性さび) を生成し、この層が腐食を次第に抑制する。その性能が十分に発揮されれば、最低 100 年以上の耐久性が期待される鋼材である。特に、耐候性鋼材は、塗装普通鋼と異なり、塗装などの防食対策費用が不要である。したがって、耐候性鋼材を使用した構造物は、長寿命化とミニマムメンテナンスの実現を可能にする。

我が国の耐候性鋼材の需要の 75%は橋梁用途である。主に耐候性鋼材の使用により防食を施した橋を耐候性鋼橋梁と呼ぶ。一般的な条件であれば、橋梁の設計供用期間は 100 年が目安であることから、社会のニーズに合致する。近年では、鋼橋における耐候性鋼橋梁の比率は一貫して増加傾向である (藤井ら, 2007)。しかしながら、既設の耐候性鋼橋梁は、耐候性鋼の機能性発現の有無、海塩による異常腐食、凍結防止剤による腐食の三点が大きな問題となっている。そのため、耐候性鋼材の特性を正しく理解し、適切な環境下で、適切な維持管理を行い、LCC の低い橋梁を実現しなければならない。

耐候性鋼橋梁の計画・設計および維持・管理は、当該橋梁の架橋環境における耐候性鋼材の腐食予測手法より得られた結果を考慮する。この手法は三者共同研究暴露試験 (建設省土木研究所, 1992) に基づき提案されたものである。平成 14 年に改定された「道路橋示方書Ⅱ鋼橋編」(日本道路協会, 2002)では、耐候性鋼材の適用可能範囲は、大まかな地域で離岸距離毎に飛来塩分量に応じて規定されている。しかしながら、架橋地点周辺地域における飛来塩分の観測結果を検討すると、必ずしも離岸距離に対応しない場合もある。海岸部からの海塩粒子の輸送プロセスを考慮すれば、周辺地域における地形に左右された大気環境場が飛来塩分量を大きく左右することが一因として挙げられる。そのため、離岸距離のみに基づいて、耐候性鋼材の適用性可否を判断すると、その地域の飛来塩分量や湿潤状態によって、保護性さびが十分形成されず、耐候性鋼材の性能が十分発揮できない可能性がある。そこで、一年程度長期にわたって、橋梁建設予定地周囲の腐食環境を詳細にモニタリングし、耐候性鋼材の選定とその適用性を適切に判断し、長寿命化とミニマムメンテナンスの実現を目指す必要がある。近年では、腐食環境のモニタリング技術が向上し、耐

耐候性鋼材の腐食環境評価の研究成果が実務レベルまで反映されるようになった。しかしながら、多くの架橋地点において、腐食環境モニタリングを行うことを経済的人的労力が大きいだけでなく、既設後の橋梁の腐食環境を十分に把握することが困難である。したがって、現場レベルで腐食環境を簡易かつ適切に判断する指標が必要であり、ハード的な面だけでなく、ソフト的な面で強力にサポートすることによって、建設構造物の LCC の低減を進めることができると考える。

1. 2. 本研究の目的と意義

耐候性鋼橋梁は、国内で多くの架橋実績がある。しかしながら、腐食環境モニタリングは多大な労力を必要とし、観測を行わなければ、橋梁建設地点における耐候性鋼橋梁の適用性を正しく判断することができない問題点がある。また、架橋後の耐候性鋼橋梁の維持管理が大きな問題となっている。

そこで、本研究の目的は、現地における腐食環境計測と、領域気候モデルを組み合わせた耐候性橋梁の腐食環境評価の高度化を行うことである。維持管理コスト削減のため、耐候性鋼橋梁が多くの地域で架橋されている。耐候性鋼材は保護性さび形成により、腐食速度を低減させる。しかし、その地域の飛来塩分量や湿潤状態によって、保護性さびが十分形成されず、その性能が十分発揮できない環境がある。そのため、その地域の環境特性を把握し、耐候性鋼材の選定とその適用性の可否を適切に判断し、ミニマムメンテナンスの実現を目指すべきである。現在、建設前の詳細な腐食環境モニタリングが行われ、建設計画の立案が行われている。しかしながら、地点計測のみでは、周辺域を含めた腐食環境把握は困難である。そこで、本研究は、GIS を用いて、現地における計測結果とアメダス気象観測をデータベース化し、領域気候モデルによる飛来塩分量輸送の予測を統合化することによって、腐食環境評価マップの作成を試みる。

本研究の意義は、作成した腐食環境評価マップにより、建設計画立案の効率化と既設橋梁の腐食診断の両面に有用な点にある。また、他の地域で適用可能であり、モデルの長期計算が実施できれば、100年後の大気環境を考慮した耐候性鋼橋梁の腐食環境評価が可能となる点で発展性の高い基礎研究と位置付けられる。

1. 3. 本研究計画の概略

本研究計画は（１）腐食環境評価マップ作成と（２）腐食データベース構築と腐食環境評価マップの可視化に大別できる。下記にそれぞれの概略を列挙した。

（１）腐食環境評価マップの作成

山陰地方における腐食環境評価手法の高度化を目的に、まず、架橋地点の腐食環境を明らかにするため、主要な腐食環境因子である気象要素（気温、湿度、風向・風速）、飛来塩分量などを計測する。次に、高解像度の土地利用や土地被覆状態を考慮した、領域気候モデルの計算を行い、飛来塩分量の面的分布予測を試みる。そして、両者を考慮した腐食環境評価マップを作成する。

（２）腐食環境データベース構築と腐食環境評価マップの可視化

次に、得られた研究結果を想定するユーザーに提供するシステムを構築する。

具体的には、Web サーバを用いて腐食環境データベースを構築するとともに、Google Maps を用いた腐食環境マップの可視化を行う。データベースには、今回の研究結果、既設橋梁の基本情報をまとめた。このように橋梁の腐食環境データを Web サーバによるデータベース構築により管理することが出来れば、携帯端末を用いた既設橋梁の腐食状況をリアルタイムでアップデートするシステムへアップグレード可能であるため、よりユーザーフレンドリーなシステムに移行できる。

1. 4. 本報告書の構成

本報告書の構成は次のとおりである。

まず、耐候性鋼橋梁の腐食環境把握に関して、既往の研究成果をまとめるとともに、本研究の位置づけを明確にする（2 章）。次に、耐候性鋼橋梁の維持管理の高度化に向けて、架橋地点における腐食環境モニタリングを継続し、得られた知見を整理する（3 章）。そして、数値モデルを用いた数値実験を実施し、広域の大気環境予測を行い、観測結果と数値実験結果を組み合わせ、中国地方における腐食環境評価マップを作製した（4 章）。

次に、腐食環境データベースを構築し、Google Maps を用いて腐食環境評価マップを可視化するとともに、既設橋梁の基本情報を重ね合わせ、ユーザーが橋梁の維持管理に利用できるデータベース化の基礎的検討を行った（5 章）。そして、まとめと今後の課題を記述した（6 章）。

2. 耐候性鋼橋梁の腐食環境把握

2. 1 鋼橋への耐候性鋼材の使用

耐候性鋼材は、適当な環境条件下で表面に緻密なさび層（保護性さび）を形成し、腐食を次第に抑制する特性がある。さびの状態は、腐食環境の厳しさに依存する。大気中の塩分量が多い環境や鋼材表面に湿潤状態が継続する環境では、より腐食が進行する。図 2-1 にさびの状態と腐食減耗の関係を示した。図のように、特別な維持管理を要さない程度に腐食速度が十分に低減する状態(さび安定化)になれば、設計供用期間における腐食減耗量を予め想定される範囲内に抑制することができる。したがって、耐候性鋼橋梁は、メンテナンスフリーではなく、所期の防食性能を発揮するように、橋梁の構造計画、設計、施工、維持管理の各段階で適切な措置や配慮が必要となる。具体的な防食の要求性能は、一般にレベル I (片面あたり平均 0.5mm/100 年以下で、外観評点 3-5 を保持)が目標となる。これは、さび安定化の状態が確実に維持でき、橋梁の耐荷力に影響を及ぼさない範囲である。(日本鋼構造協会, 2006)。国内橋梁の構造材に使用される耐候性鋼材は、JISG3114 規格(SMA)の無塗装使用が一般的である。

架橋地点における耐候性鋼橋梁の適用の可否は、架橋地点における耐候性鋼材の腐食減耗量予測に基づく検討が必要となる。橋の各部の腐食に影響を及ぼす塩分や湿度の程度は、架橋地点の地域特性、地形と橋の関係、部位・部材固有の局所的な環境によって異なる。構造計画で橋全体

に影響を及ぼす地域環境を評価するが、耐候性鋼材SMAに関するこれまでの飛来塩分量を適用可否の判定の指標とする方法は、全国41橋の床版下桁内側下部の環境における暴露試験と飛来塩分量測定（側方遮断条件）の結果に基づいている(建設省土木研究所, 1992)。

平成14年に改定された「道路橋示方書Ⅱ鋼橋編」(日本道路協会, 2002)において、飛来塩分量限界や離岸距離規定が示された。飛来塩分量の分布特性を考慮し、国内で耐候性鋼を無塗装で使用してよい地域を5つに区分し、離岸距離で表している(図2-2)。これは、耐候性鋼材使用の可否を簡易に判定することを目的としている。耐候性鋼橋梁の適用性を容易に峻別するために、有用であるものの、架橋地点近傍の丘陵や河川により構成される微地形、さらに海岸線の状態による波浪の砕波状況による海塩粒子の飛来の多寡は考慮されていない。既往の調査では、離岸距離が3.5km であるにもかかわらず、架橋地点の西側に位置する山地地形に飛来塩が遮断されている状況や、5km を超える平野部でも、0.05mdd を超える飛来塩分の観測が報告されている(松崎ら, 2007)。

したがって、腐食環境を把握するため、架橋地点周辺における詳細な現地観測を行い、耐候性鋼材の腐食減耗量予測に基づき、架橋環境を適切に評価し、耐候性鋼橋梁の適用可否を判断しなければならない。

2. 2 耐候性鋼材の腐食減耗予測における腐食環境評価

耐候性鋼材の腐食減耗量は式(1)で推定できる。YはX年後の累積腐食減耗量[単位:mm]である。この式は、図2-1に示したさび安定化の概念に基づき、保護性さびの生成により腐食減耗量(さびの進展)が徐々に抑制されることを示している。全国で実施された小型暴露試験による腐食減耗量の実測結果(9年目まで)によって、その妥当性が確認されている(紀平ら, 2005, 日本鋼構造協会, 2006)。

$$Y = A_{SMA} \cdot X^{B_{SMA}} \quad (1)$$

ここで、係数 A_{SMA} および B_{SMA} は暴露環境および合金成分から決まる腐食速度パラメータである。 A_{SMA} 値は、 $X=1$ (年)とおいたときの腐食減耗量Y値に相当し、耐候性鋼材SMAが暴露されたその局部の環境の腐食性を定量的に示す指標であり、局部環境腐食性指標と呼ばれる。また、1年目(初めの年)の腐食減耗量を示す意味から、初年腐食量と呼ばれており、本研究では、 A_{SMA} 値を初年腐食量と呼ぶ。一方、 B_{SMA} は、さびの保護性の上昇に伴う腐食速度の低減の度合いの逆数に相当する。両者の関係に着目すれば、 A_{SMA} 値が定まれば、 B_{SMA} 値を大まかに把握することができる(紀平ら, 2005)。

図2-3に耐候性鋼材の腐食減耗量の予測計算の流れを示した。ニッケル系高耐候性鋼の場合は、腐食速度パラメータを A_S 、 B_S とおき、SMAの A_{SMA} 、 B_{SMA} とのそれぞれ比を任意の耐候性合金指標(V値)と関連付ける変換方法を用いて、 A_{SMA} 値 → B_{SMA} 値 → A_S 値と B_S 値という手順で腐食速度パラメータの変換を行う。耐候性鋼材の表面に施されるさび安定化補助処理は、保護性さび形成補助と初期さび汁流出抑制を基本機能とし、母材を裸で適用可能な環境で用いるのが原則である。付加機能として腐食進行を制御する機能が実証されている場合には、腐食減耗量の予測をして耐腐食性レベルI達成の見込みが得られることを前提に、裸使用の限界を超えて、その適用が可能となることがある。

2. 3 局部環境腐食性指標の概要

耐候性鋼橋梁は部位別に異なる環境条件に曝されるため、部位ごとに局部環境腐食性指標を求め、図 2-3 に沿った将来の経年的腐食減耗量を予測する必要がある。しかしながら、耐候性鋼橋梁の計画・設計にあたって、建設前に部位別の初年腐食量 A_{SMA} を求めることは不可能である。そこで、架橋予定地周辺での詳細な気象観測により、地域標準の計算局部環境腐食性指標 $A_{SMA}(Z)$ 値を求める理論的な方法が提案されている(紀平ら, 2005)。

まず、計算局部環境腐食性指標 $A_{SMA}(Z)$ 値を求めるために、式(2)で定義された大気環境腐食性評価指標 Z を計算しなければならない。

$$Z = 10^6 \cdot TOW \cdot \exp(-0.1 \cdot W) \cdot \frac{C + 0.05 \cdot S}{1 + 10 \cdot C \cdot S} \cdot \exp\left(\frac{-50(kj/mol \cdot K)}{R \cdot T}\right) \quad (2)$$

ここで、 W , T , C , S , はそれぞれ年平均風速, 年平均気温, 飛来塩分量, 硫黄酸化物量を示す。 R は気体定数である。 TOW は年間ぬれ時間(Time Of Wetness)である。

ここで、年間濡れ時間 TOW の算出方法を二つある。一つは、湿度 Rh が 76% に達した時間を 1 年間で積算したものであり、年間ぬれ時間 TOW_{76} とする。もう一つは、ISO 9223 Standard (気温 > 0°C、湿度 > 80% を満たす時間) の定義された概念に基づいて算出された値であり、年間ぬれ時間 TOW_{ISO} とする。 TOW_{ISO} は Kucera ら (1999) の方法より、式(3)を用いて求めることができる。

$$TOW_{ISO} = 8766 \cdot P_1(Rh) \cdot P_2(T) \quad (3)$$

ここで、 P_1, P_2 はそれぞれ Rh, T に対応する確率分布関数 (ガウス関数) の係数である。

大気環境腐食性指標 Z 値から局部環境腐食性指標 (初年腐食量) $A_{SMA}(Z)$ [単位:mm] を求めるために、式(4), (5)を用いる。式(4)は、 Z の一次式で定義され、水平面に設置された部材に適用される。一方、垂直面の部材は横風によって運ばれる飛来塩分の付着速度が増大する影響と結露による付着塩分量の洗浄効果が拮抗することを考慮し、式(5)に示すように、大気環境腐食性指標 Z の三次式で表される。このように、大気環境腐食性指標 Z が同じでも、水平設置か垂直設置かによって、局部環境の腐食性は異なるといえる。

$$\text{水平曝露材: } A^H_{SMA}(Z) = 0.1517 \cdot Z + 0.0086720 \quad (4)$$

$$\text{垂直曝露材: } A^V_{SMA}(Z) = 0.051121 \cdot Z^3 - 0.13448 \cdot Z^2 + 0.13683 \cdot Z + 0.0029258 \quad (5)$$

そして、式(2)より推定した局部環境腐食性指標 $A_{SMA}(Z)$ と腐食パラメータ B_{SMA} を式(1)に代入し、累積腐食減耗量 Y [mm] を推定する。

2. 4 飛来塩分量の輸送プロセス

海塩粒子は海岸部で波浪によって巻き上げられ、大気中の塩分濃度は増加する。そして、大陸からの季節風によって、内陸部に輸送される。その結果、鋼橋梁に付着した飛来塩分量は、腐食の主因となるため、耐候性鋼橋梁の腐食環境を診断する上で欠かせない観測項目であり、式(2)の大気環境腐食性指標 Z の算出において、飛来塩分量が考慮されている。

紀平ら(2005)は、飛来塩分量が大気中の海塩粒子濃度と風速に依存することに着目し、式(1)のように定式化した。

$$C = 8.64 \times 10^5 \cdot \gamma_x \cdot c \cdot |u_x| \quad (6)$$

ここで、 C は飛来塩分量、 γ_x は x 軸方向の捕捉率、 c は大気中の海塩粒子濃度、 u_x は x 軸方向の風速であり、 x 軸は観測面に対して垂直に定義される。

したがって、耐候性鋼橋梁に付着する飛来塩分量の物理プロセスを詳細に検討するためには、風向・風速と大気中の塩分濃度 (Cl-濃度) を考慮しなければならない。特に、橋梁内部における風向・風速は、橋梁周辺部の大気状態と大きく異なることが予想される。岩崎ら(2007)は、数値シミュレーションにより、橋梁断面周辺の飛来塩分量の動きを推定し、現地観測結果と比較している。飛来塩分量の精度予測向上には、境界条件となる周囲の風速場が重要であると指摘している。

したがって、橋梁周辺部のみの局所的な循環場をシミュレーションするだけでなく、入力となるより広域の風向・風速などの大気環境を正しく予測する必要がある。また、飛来塩分が橋梁に付着した付着塩分の推定のためには、大気中の塩分濃度と、付着塩分量との関連性を観測結果から明らかにする必要がある。

2. 5 耐候性鋼橋梁の腐食環境評価の高度化に向けた戦略

将来の経年的腐食減耗量を予測する手法（図 2-3）は、1 年以上の現地計測で気象因子（風向・風速，気温，湿度）と飛来塩分量を求め，架橋地点における腐食環境を評価しなければならない。この手法の問題点は，現地観測に多大なコストがかかることである。そこで，本研究では，図 2-3 に示した腐食環境の評価に関して，腐食環境の推定手法の高度化（図 2-4）を提案する。領域気候モデルや粒子拡散モデルを組み合わせ，架橋周辺部の気象因子と飛来塩分量を広域かつ長期に予測し，GIS で統合化し，面的な腐食環境を推定するものである。具体的には，①領域気候モデルによる気象因子の長期予測，②粒子拡散モデルによる大気中の Cl⁻濃度分布の予測，③大気中の Cl⁻濃度から飛来塩分量を推定するための検討，④GIS による観測結果とモデルの推定結果の統合化，⑤腐食環境評価指標の推定と腐食減耗量の面的な分布把握予測の 3 つを進める必要がある。

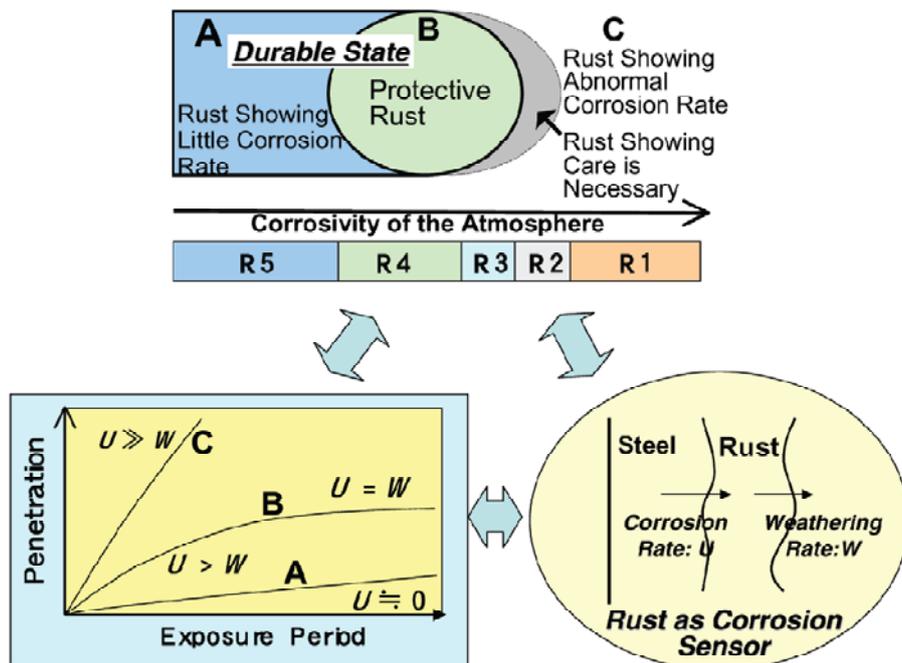


図 2-1 さびの状態と腐食減耗量との関係の概念（藤井ら，2007）

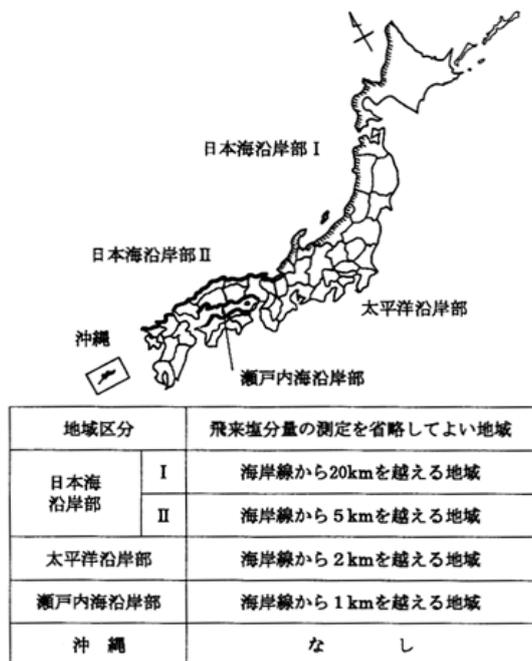


図 2-2 道路示方書で規定された耐候性鋼材を無塗装で使用する場合の適用地域（日本道路協会，2002）耐候性鋼材 JIS-SMA は，飛来塩分量が $0.05 \text{ mdd} (\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day})$ を超えない地域，あるいは図示した地域で無塗装で用いることができる。

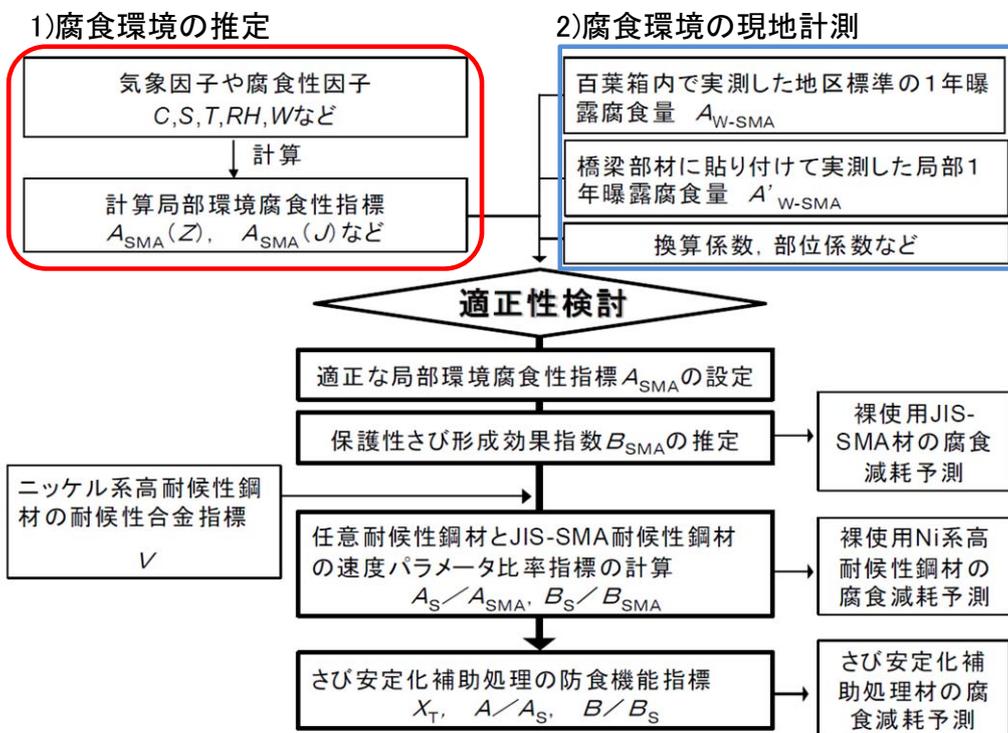


図 2-3 耐候性鋼材の腐食減耗量の予測計算の流れ

3. 耐候性鋼橋梁の維持管理の高度化に向けた総合的な腐食環境把握

3. 1 山陰地方における耐候性鋼橋梁の腐食状況

島根県内には、100橋余りの耐候性鋼橋梁が建設されている。そのうち半数の50橋程度は施工後10年以上が経過している。海塩粒子の影響の目安である離岸距離5km以内（日本海沿岸部Ⅱ）に位置する橋梁は島根県内に20橋程度あり、そのうち10橋程度は竣工後10年以上経過し、鋼板表面からさびの生成状況を直接観察し、外観評価することが可能である。

図3-1にさびの外観評価の調査結果を示した。離岸距離が5km以内で、海岸に近い場合は、飛来塩分の影響を強く受けると予想されるものの、耐候性鋼橋梁の腐食状態は良好であった。一方で、離岸距離5kmを十分超える地域であっても、腐食状態が悪い橋梁があることが分かった。したがって、腐食環境は、離岸距離だけでは、十分に説明できないため、耐候性橋梁の維持管理のためには、架橋地点における詳細な現地観測を行い、適切な鋼材選定をする必要がある（松崎ら、2007）。

3. 2 腐食環境評価のための統合的な観測計画

図3-1に調査対象とした耐候性鋼橋梁（A, B, C, D）を示した。図示した4地点において、腐食環境評価のための詳細な観測を行った。観測項目は、1)飛来塩分量、2)風向・風速、気温、湿度、3)ワッペン式暴露試験の三つに大別できる。各観測項目の詳細を下記に記述した。また、E, F地点は山口大学で計測されているデータを使用した。

1) 飛来塩分量

耐候性鋼材の適用の可否は道路橋示方書における離岸距離規定で判断することができる。しかしながら、離岸距離規定のみでは、飛来塩分量の多寡を知ることが出来ない。LCC低減にむけて無塗装耐候性鋼材の適応可否を詳細に検討するためには、架橋地域における飛来塩分量を1年程度継続して計測する必要がある。代表的な飛来塩分量測定法は、土研式タンク法とドライガーゼ法の二つあり、両者の測定精度が詳細に検討されている（武邊ら、2008）。

土研式タンク法は10×10 cmのステンレス板に付着した飛来塩分を採取し測定する方法である。この方法は、耐候性鋼橋梁の使用適否検討の際に、一般的に用いられている。一方、ドライガーゼ法は、15×15cmの木製の外枠に、外側12×12 cmの捕集窓に10×10cmの内枠をはめ込み式にしたものを用いて、付着する塩分量を計測する方法である。ドライガーゼ法は、土研式タンク法に比べて方向の影響が少なく、多くの方向から飛来する塩分の捕集が可能である。また、ドライガーゼ法の捕集器本体が小型であるため、設置箇所の

制約が少ない。

土研式タンク法は、橋梁の南側の桁端に設置した (図 3-5A)。一方、ドライガゼ捕集器は、各橋梁とも 3カ所に設置した。土研式タンク法とドライガゼ法の捕集器は、両者とも 1ヶ月に一度試料を回収した。捕集した塩分量は、イオンクロマトグラフィーで Cl^- 量を陰イオンについてはイオンクロマトグラフにより分析し、陽イオンは誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICP)で分析した。これにより、 Cl^- から飛来塩分量 (NaCl) を換算して求める。

2) 気象要素 (風向・風速, 気温, 湿度)

架橋地点での気象要素 (風向・風速, 気温, 湿度) は、耐候性鋼材の腐食の進行速度を決定する (紀平ら, 2005)。そのため、図3-1に示した地点において、風向・風速, 気温, 湿度を計測した。観測期間は2007年冬季から2009年初めまでである。本データは、数値モデルにおける地表面付近の気象要素の予測精度を評価する上でも重要な計測項目である。

3) ワッペン式暴露試験

ワッペン暴露試験は、耐候性鋼橋梁で用いられる部材を同様の試験片を用意し、橋梁の観測部位にワッペンのように貼り付け、長期間暴露することによって、鋼材の腐食の進行具合をモニタリングするものである。

具体的には、張り付けたワッペン型の鋼材の試験片を設置し、試験片の毎月のさび厚を計測するとともに、暴露期間1年目と3年目の腐食減耗量から、 X 年後の腐食減耗量を推測する。耐候性鋼材の腐食速度は、腐食環境の厳しさに依存し変化する。腐食環境が厳しい場合には保護性機能のあるさびは生成されず異常なさびが生成され、腐食が進み、必要な耐荷力を維持できなくなる。よって、さびの腐食減耗量を予測することは耐候性橋梁の維持・管理において重要な項目となる。

3. 3 大気中の Cl^- 濃度データの概要

飛来塩分量は、橋梁の各部位に付着し、それぞれの腐食の進行速度を大きく左右する。橋梁に付着する飛来塩分量の支配因子は大気中の海塩粒子濃度と、橋梁周辺部における局地的な風況である。両者は、大陸からの季節風の影響を受けるため、より広域の風向・風速の変動を把握する必要がある。

したがって、飛来塩分が橋梁の各部位に付着するプロセスは下記のとおりである。すなわち、海塩粒子は、沿岸部における波浪によって、大気中に巻き上げられ、大陸からの季節風の影響を直接受け、内陸部に輸送される。そして、橋梁周辺部の局地的な風向・風速の影響を受けた後、橋梁の各部位に付着する。そのため、飛来塩分量の時空間分布を予測するためには、大気中に含まれる海塩粒子や Cl^- イオンの変動を把握しなければならない。

そこで、本研究では、大気中の Cl^- イオン濃度の観測結果を用いて、その季節変化特性や飛来塩分量との関連性を検討する。両者の関係を把握することが出来れば、大気中のか飛来塩分量の時空間的に予測することが可能となる為、重要な研究課題であると位置づけられる。

大気中の Cl^- イオン濃度のデータは、東アジア酸性雨モニタリングネットワークによる酸性雨モニタリング (Acid Deposition Monitoring Network in East Asia、EANET) の研究成果の一部を利用した。EANET では、東アジアの 10 カ国が参加し、47 ケ所のモニタリングサイトで、「湿性沈着」、「乾性沈着」、「土壌・植生」及び「陸水」の 4 項目を計測している。2003 年から 2007 年までのデータが公開されている。本研究では、「乾性沈着」の測定項目の中で、大気中の Cl^- イオン濃度を用いて検討を行った。このデータの測定時間間隔は、2 週間に 1 回である。本研究では、図 3-1、図 3-3 に示した観測地点のデータを使用した。

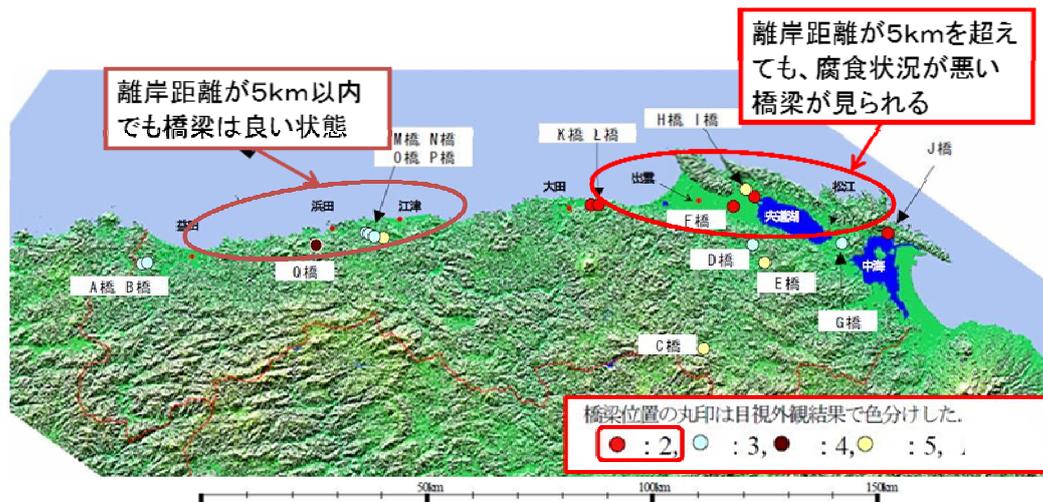


図 3-1 島根県における耐候性鋼橋梁の腐食状況（松崎ら，2007）．図中の各地点において，目視外観評価によって，広域の腐食状況を調査した結果に基づく．道路橋示方書における離岸距離規定と，腐食の進行状態や質のよいさび形成が大きく異なる．

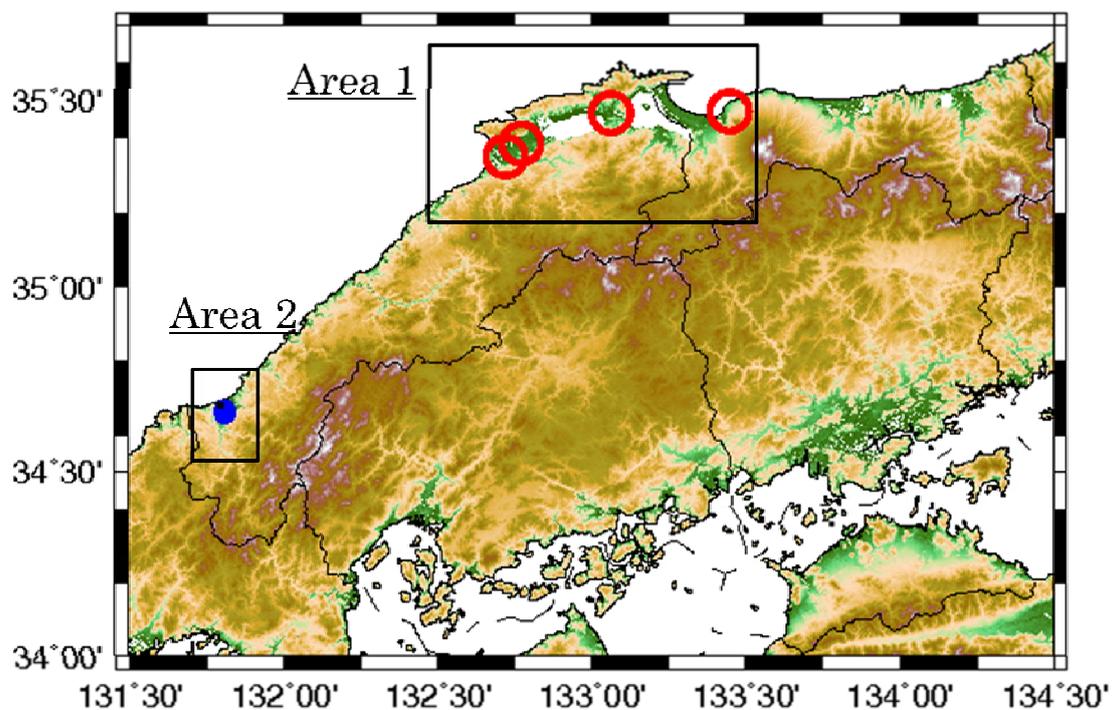


図 3-2 本研究で対象とした山陰地方における耐候性鋼橋梁の位置図

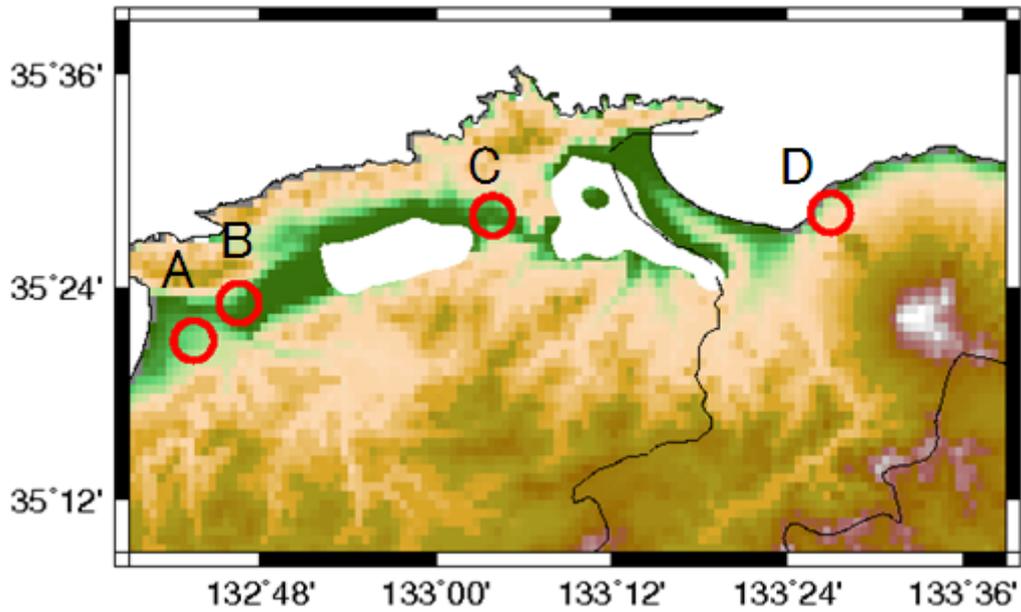


図 3-3 Area 1 (図 3-2)における耐候性鋼橋梁 (A, B, C, D) の位置図

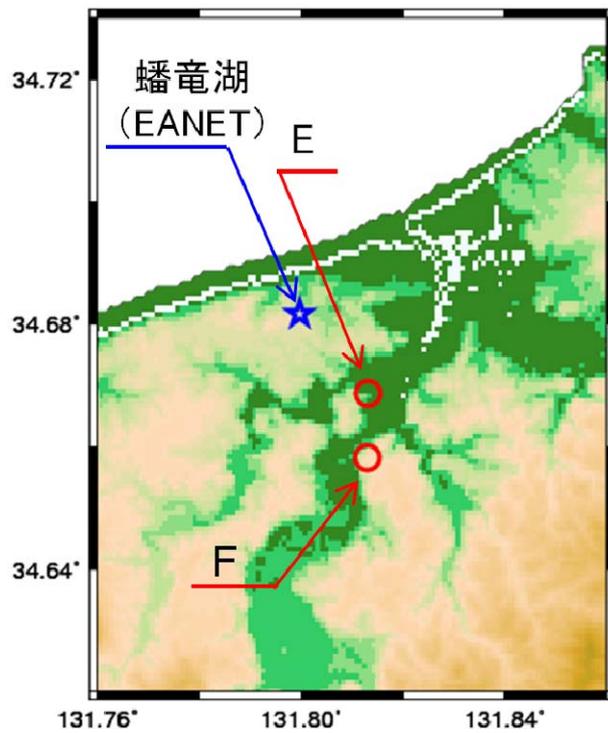


図 3-4 Area 2(図 3-2)における耐候性鋼橋梁 (E, F) と本研究で使した EANET 観測地点(蟠竜湖)の位置図

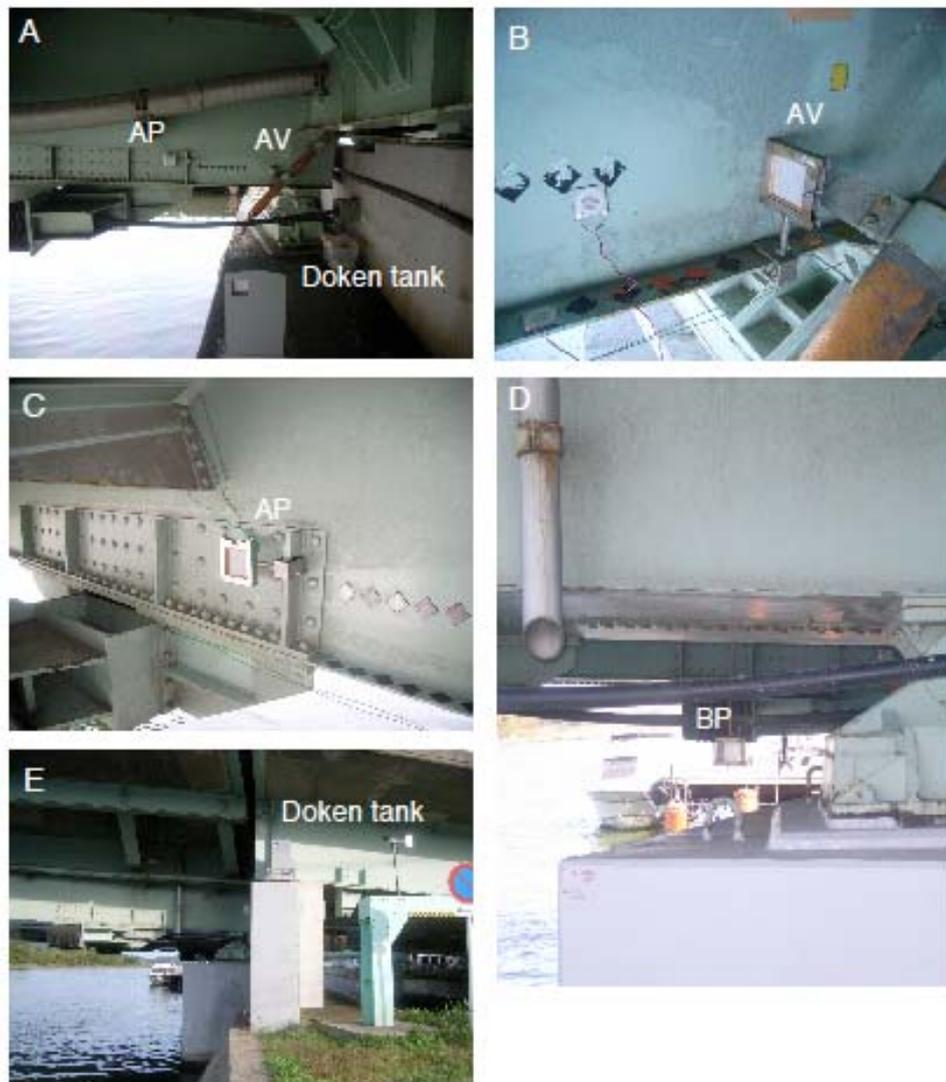


図 3-5 対象とした鋼橋梁における飛来塩分量測定の様子. 各橋梁に設置された土研式タンクとドライガーゼ捕集器の位置を示した. 飛来塩分捕集用のガーゼは, 捕集面と橋梁の桁が直行するもの (BP), ガーゼの捕集面がウェブ面と平行になるもの (AV) と垂直になるもの (AP) の計 3 点を設置した. (武邊ら, 2008 より引用)

3. 4 観測成果と得られた知見の整理

1) 2007年から2008年における山陰地方の飛来塩分量の特徴

図 3-6 から図 3.9 に、山陰地方における耐候性鋼橋梁 A, B, C, D で計測された飛来塩分量の季節変化を示した。まず、山陰地方全体として、2-3 月に飛来塩分が最大になり、7-8 月に最小になる季節変化が明瞭である。この傾向は、2007 年、2008 年とも概ね同様の傾向であることが分かった。

2) 飛来塩分量と離岸距離との関係

道路示方書では、一般的に普及している耐候性鋼材 JIS-SMA を無塗装（裸仕様）で用いた橋梁の適用可能範囲は、飛来塩分量が 0.05mdd ($\text{mg}/\text{dm}^2/\text{day}$) 以下の地域であるとする指針がある。そこで、4 地点における年平均飛来塩分量の比較を行い、離岸距離との関係を検討した（図 3-10）。その結果、離岸距離と飛来塩分量の多寡はほとんど関係しないことが分かった。これは、既往の研究成果(松崎ら、2007)と同様な結論である。

3) 大気中の Cl⁻イオン濃度の特徴理解

図 3-11 に益田市蟠竜湖における大気中の Cl⁻濃度の長期変化特性を示した。月平均の大気中の Cl⁻イオン濃度の変化は、月平均降水量に対応していることがわかる。これは、大気中の Cl⁻イオンが降水によって洗い流されるため、降水の大きい月は Cl⁻濃度が減少すると考えられる。

図 3-12 に、大気中の Cl⁻イオン濃度の季節変化を示した。2003 年から 2007 年までの月平均値(平年値)を求め、2007 年の結果と比較した。各月の平年値は冬期に大きく、夏期に小さくなる。2007 年は同様の傾向であった。また、各月の標準偏差は 10 月に大きく、3 月、7 月、8 月に小さい。これは、3 月は大気中の Cl⁻イオン濃度が常に大きい傾向にあり、7 月、8 月は常に小さい傾向にある。また、10 月の変動幅が大きい理由は、10 月の降水変動と対応していると推測される。

4) 飛来塩分量と大気中の Cl⁻イオン濃度との関連性

図 3-13 に、耐候性鋼橋梁 E,F で観測された飛来塩分量と大気中の Cl⁻イオン濃度を比較した。両者の季節変化はよく一致することがわかった。また、両橋梁で両者に正の相関がみられる（図 3-14）。しかし、バラツキも大きく、大気中の Cl⁻濃度のみでは、両地点で観測された飛来塩分量の変化を説明できない。そのため、現地の風向・風速を考慮して、両

者の関係を検討する必要がある.

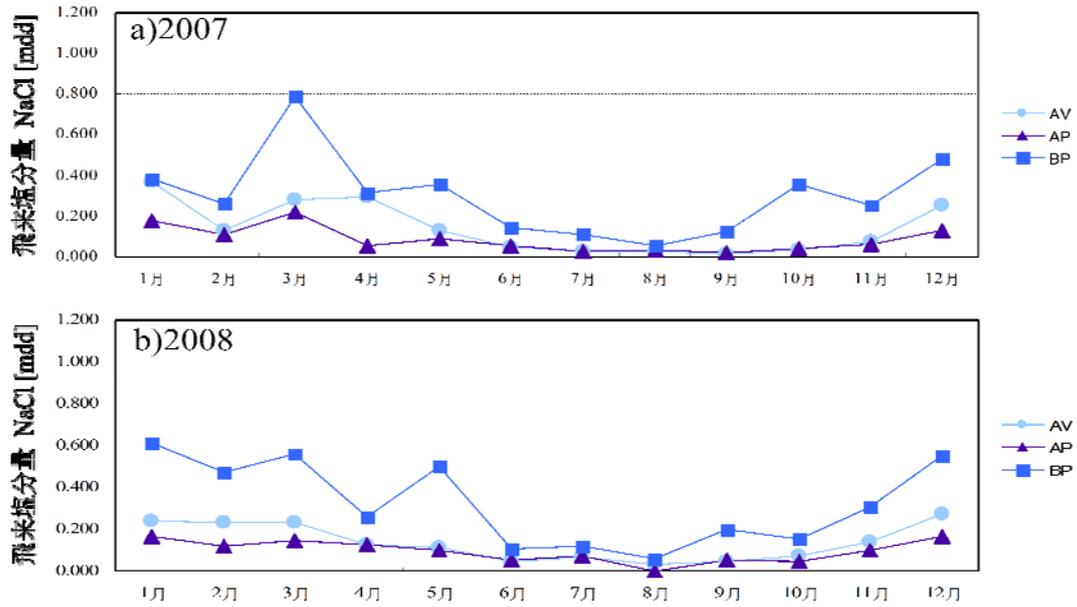


図 3-6 耐候性鋼橋梁 A における飛来塩分量の年変化. a)は 2007 年を, b)は 2008 年を示し, 飛来塩分量の年々変動を比較した. (AV, AP, BP に関しては, 図 3-1 参照)

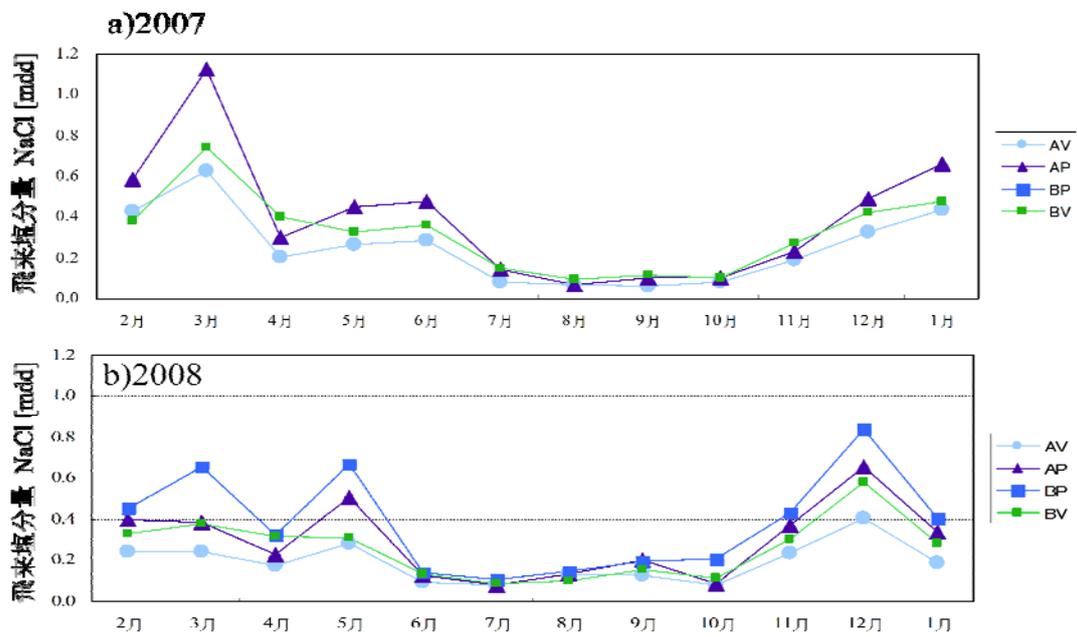


図 3-7 耐候性鋼橋梁 B における飛来塩分量の年変化. a)は 2007 年を, b)は 2008 年を示し, 飛来塩分量の年々変動を比較した. (AV, AP, BP に関しては, 図 3-1 参照)

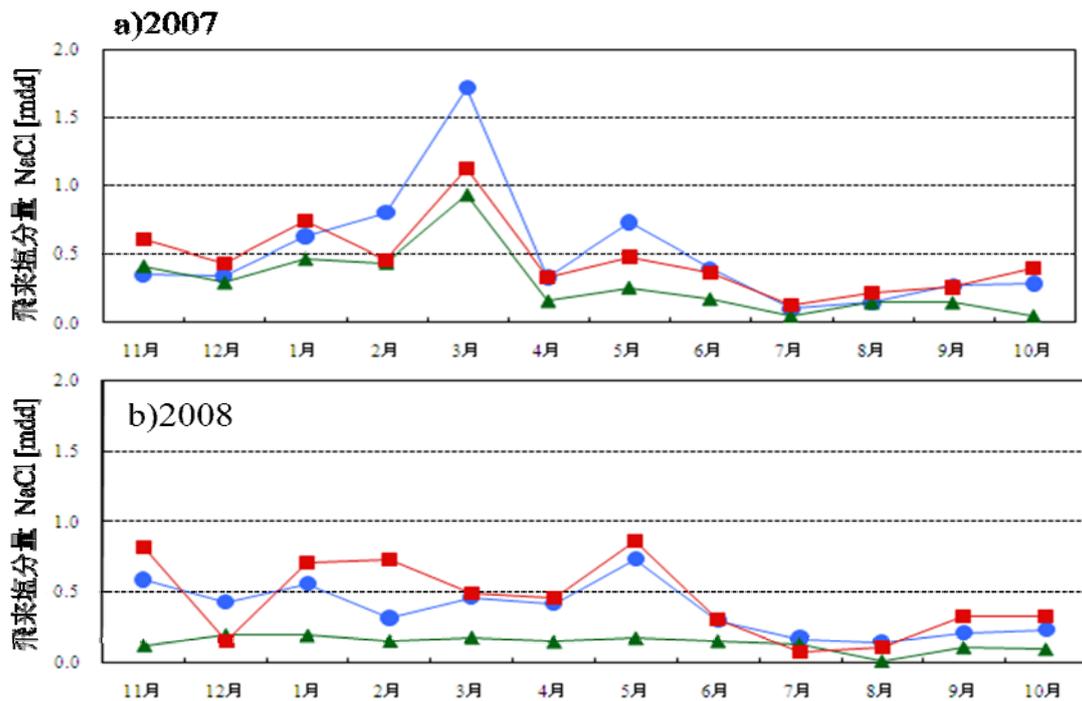


図 3-8 耐候性鋼橋梁 C における飛来塩分量の年変化. a) は 2007 年を, b) は 2008 年を示し, 飛来塩分量の年々変動を比較した. 橋梁周辺の 3 地点における飛来塩分量の観測結果であるため, 色分けして, その変化を示している.

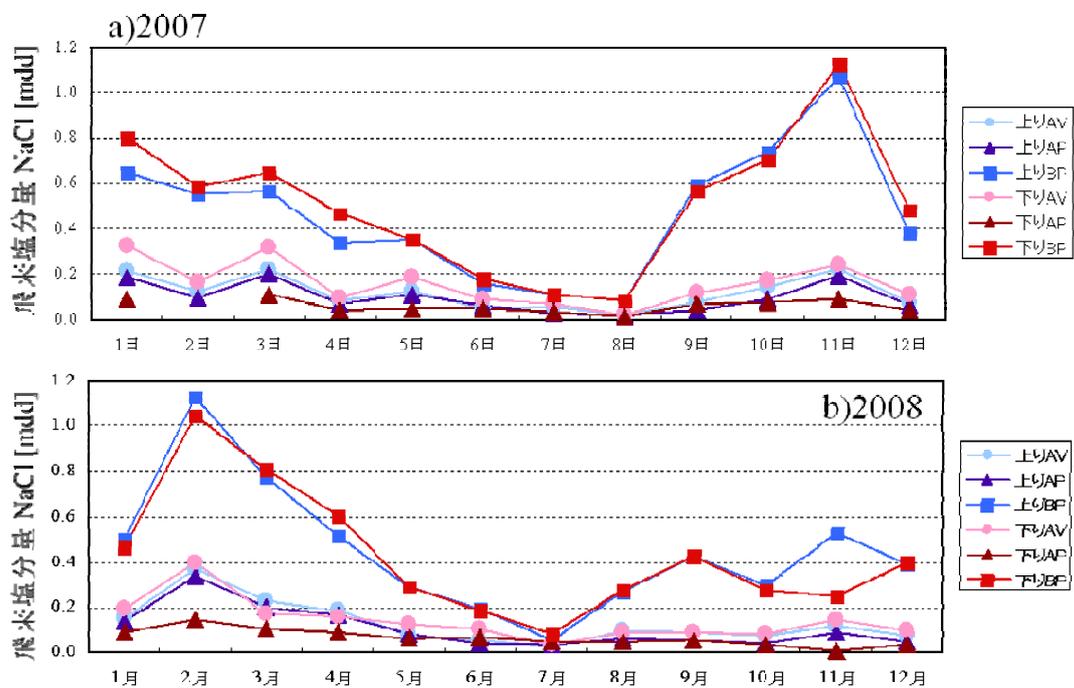


図 3-9 耐候性鋼橋梁 D における飛来塩分量の年変化. a) は 2007 年を, b) は 2008 年を示し, 飛来塩分量の年々変動を比較した. (AV, AP, BP に関しては, 図 3-1 参照)

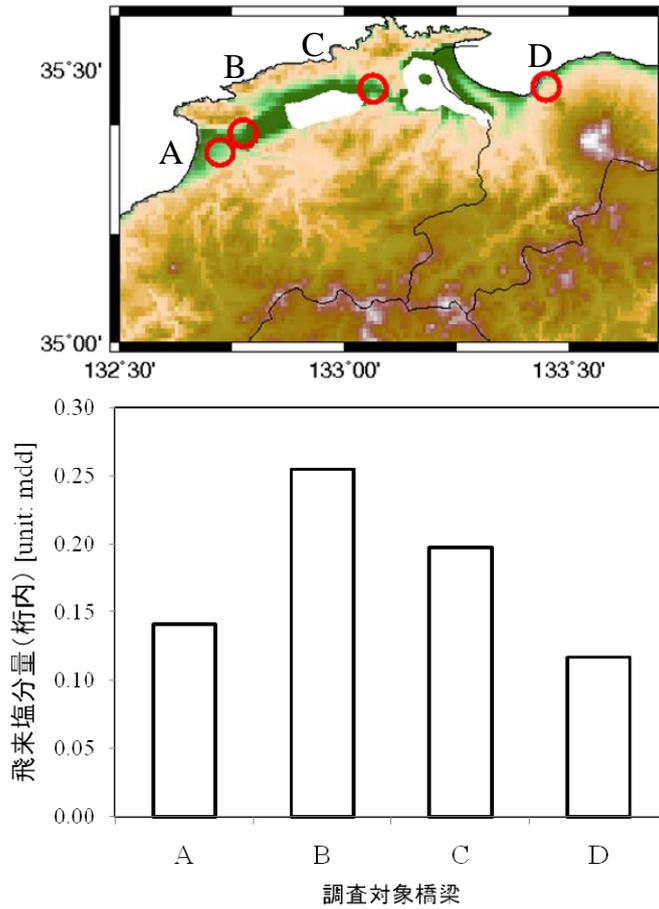


図 3-10 山陰地方における年平均飛来塩分量(2007年)の比較(木村ら, 2009)

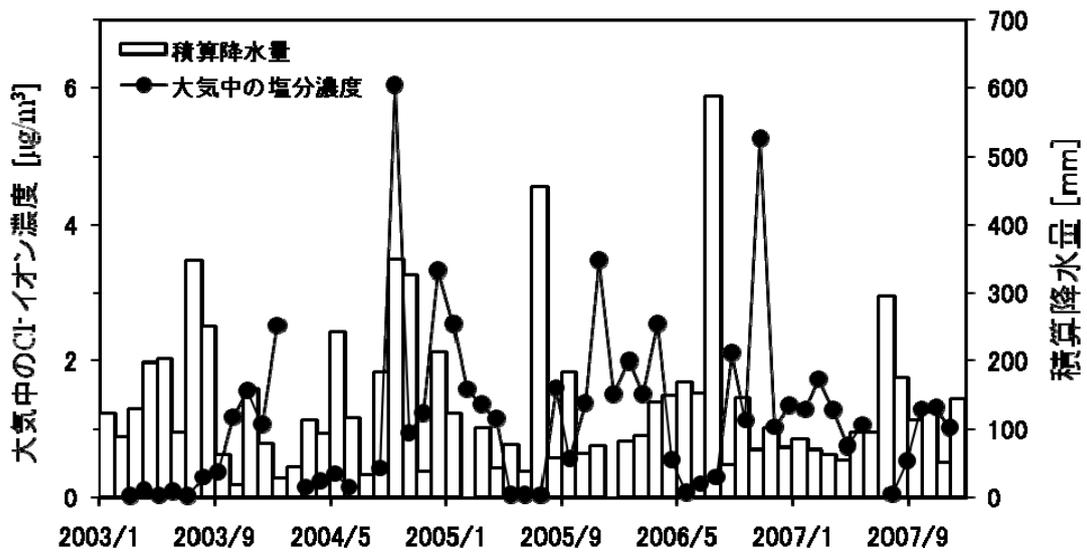


図 3-11 大気中の Cl⁻濃度の長期変化

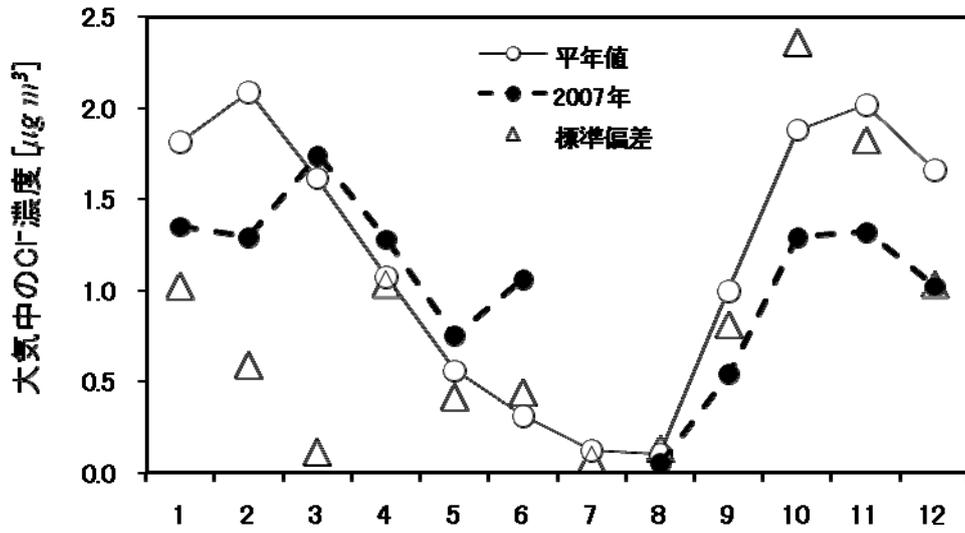


図 3-12 大気中の Cl-濃度の季節変化特性

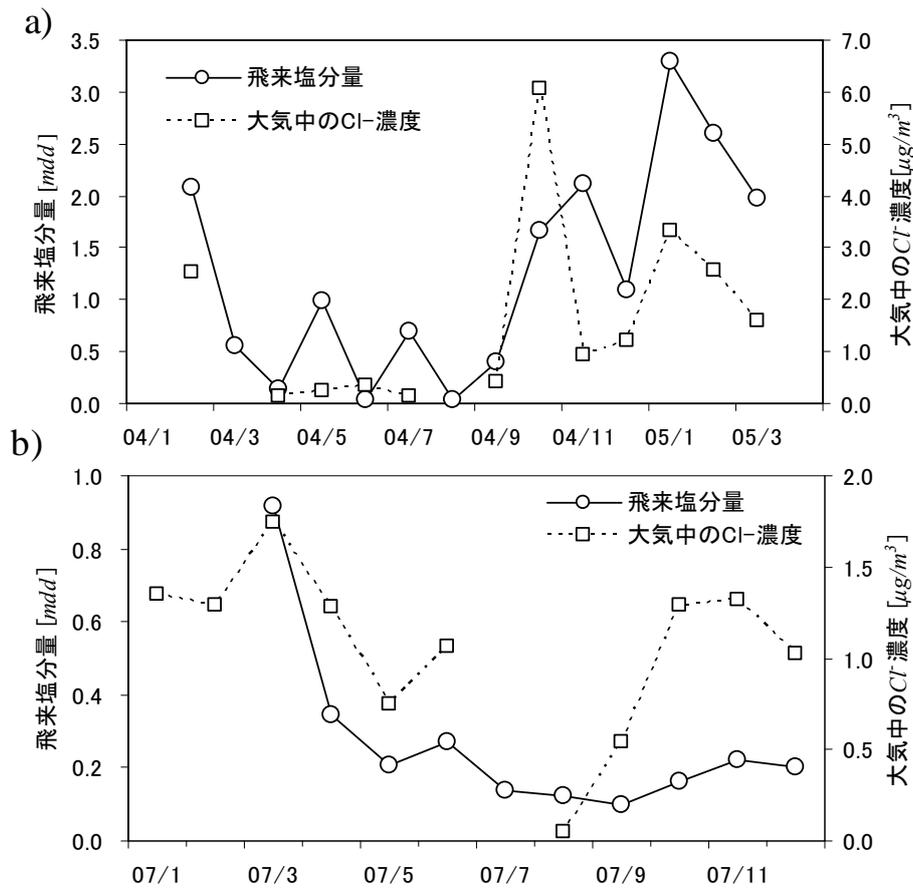


図 3-13 飛来塩分量と大気中の Cl-濃度の季節変化特性の比較.

a), b) は耐候性鋼橋梁 E と耐候性橋梁 F の飛来塩分量をそれぞれ示した.

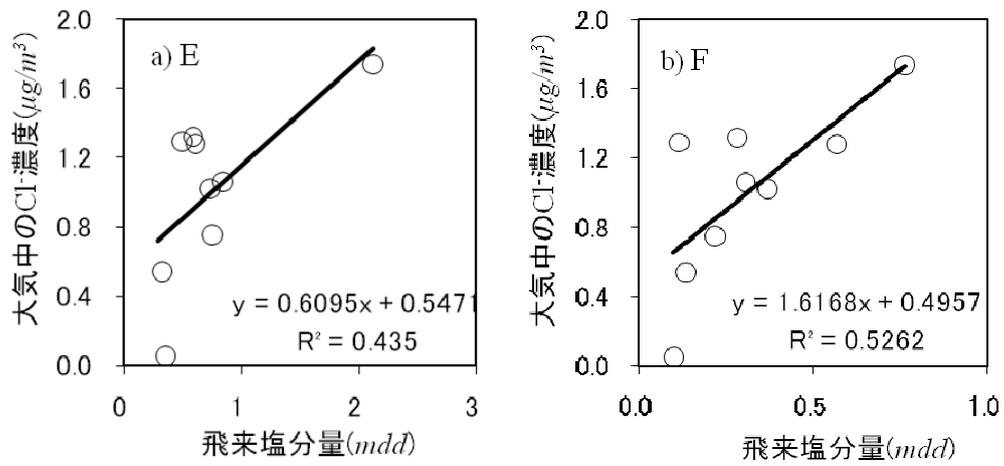


図 3-14 飛来塩分量と大気中の Cl-濃度の季節変化特性の比較.

a), b)は耐候性鋼橋梁 E と耐候性橋梁 F の飛来塩分量をそれぞれ示した.

4. 観測結果と領域気候モデルを組み合わせた腐食環境評価マップの作成

架橋地点における腐食環境を評価するためには、最低一年以上の現地観測が必要である。また、既設橋梁の腐食環境は、外観評価に基づくしかない。LLC 低減を目指すには、現場レベルで維持管理の最適化を行う必要がある。そのためには、現地観測による人的労力を軽減するとともに、今後の維持管理の効率化には、広域の腐食環境を推定し、各橋梁の維持管理の必要度を適切判断しなければならない。そこで、本研究では、風向・風速、気温、湿度などの基本要素を長期で広域に把握するため、メソ気象モデルによる数値シミュレーションに着目した。そして、モデルの計算結果の妥当性を検討した。また、WRF/Chem による飛来塩分量のシミュレーションの検討を行った。

更に、観測結果と計算結果を比較し、現時点で有効な腐食環境評価マップの作成を試みた。

4.1 領域気候モデルによる数値実験の概略

近年、気象・気候分野におけるモデル開発が進み、メソスケールの大気循環場を予測することが可能となった。たとえば、MM5(The PSU/NCAR mesoscale model)やRAMS(Regional Atmospheric Modeling System)などのメソ気象モデルは、複雑で多様な気象現象の物理プロセスの理解に大きく貢献している。

本研究では、MM5の後継と位置付けられる、メソ気象モデル、WRF(Weather Research and Forecast)を用いた。対象とする計算期間は2006年12月1日から2007年11月30日の1年間である。図4-1に計算領域を示した。今回は3重ネスティングで計算を行った。モデルの第1領域(domain1)、第2領域(domain2)、第3領域(domain3)の格子点間隔はそれぞれ、30km、10km、2.5kmである。本モデルの数値実験で用いた各物理過程を表4-1にまとめた。また、モデルの初期値・境界値には、NCEP Final Analysis (FNL)の全球客観解析値を用いた。このデータは空間解像度が1度×1度で、時間間隔が6時間である。

本研究では、第3領域の計算結果より、地表面付近の風向・風速、気温、湿度を用いて、中国地方全域における腐食環境を算出する。

表 4-1 本研究で用いた WRF の各物理過程の詳細

Model version	WRF Ver.3.0
Microphysics	WSM 3class
Radiation	RRTM/Dudhia
Surface Scheme	NOAH LSM
Planetary Boundary Layer	YSU PBL shceme
Cumulus Parameterization	Kain-Fritsch

4.2 実験結果と得られた知見の整理

1) 数値実験結果とアメダス観測データに基づく妥当性の検証

大気の循環場は、モデルの境界条件となる地形状態に左右されるため、実地形とモデルの境界条件との違いを明確にする必要がある。そこで、モデルの第 3 領域 (domain3) の地形と、スペースシャトルで観測された地形データ (Shuttle Radar Topography Mission, SRTM) と比較した。モデルは、実地形の空間解像度が大きい為、細部は十分に再現できないものの、大まかな地形状態は十分に再現している (図 4-2)。

腐食環境を議論するためには、風速、気温、湿度の年平均値を算出する必要がある (2 章参照)。そこで、1 年間の計算結果より、domain3 に着目し、地表面付近の風速、気温、湿度の年平均値を求めた (図 4-3~図 4-5)。この推定精度を検証するため、気象庁の地上観測データより、山陰地方の主要都市の風速、気温、湿度の年平均値を使用した。モデルは、観測結果より、気温を低く、湿度を高く、風速を大きく算定する傾向があることが分かった。また、各データのバラツキはあるものの、各地点の気温、湿度、風速の特徴はおおむね再現されていることがわかった。

4.3 WRF/CHEM による飛来塩分量予測の検討

本研究では、WRF/Chem を用いて、大気中の海塩粒子濃度 (Cl⁻イオン濃度) の予測を試みた。しかし、腐食環境評価への適用は、予測精度の問題から、次の課題とした。

既往の研究では、大気中の微粒子の拡散プロセスが組み込まれた領域気候モデル (WRF-Chem など) を用いて、大気中の海塩粒子濃度の予測が行われている。このモデルは、海塩粒子の海岸・海洋からの巻き上げ効果が導入されている。さらに、乾性沈着や湿性沈

着 (Dry deposition and Wet deposition) などの大気化学的な輸送プロセスが考慮されている。本研究では、**図 4.1** に示した計算対象領域において、計算を試みた。しかしながら、観測結果とあまり一致しなかった。また、前節で示したように、観測結果が不十分のため、大気中の塩分濃度と飛来塩分量との関係性を定式化できていない問題がある。

そのため、本研究では、大気中の塩分濃度の計算結果を腐食環境評価マップの作成に使用せず、今後の検討課題とした。

4. 4 腐食環境評価マップの作成結果

観測結果とモデルの計算結果を組み合わせ、中国地方における腐食環境評価マップを製作した (**図 4-6**)。具体的には、まず、領域気候モデルによる 2006 年 12 月から 2007 年 11 月までの数値実験結果より、気温、風速、湿度の年平均値を求める。次に、紀平らによって提案された初年腐食減耗量 $ASMA(Z)$ の推定手法を中国地方全域に適用し、 $ASMA(Z)$ の空間分布を推定した。

図 4-6 に中国地方における初年腐食量 $ASMA(Z)$ の空間分布を示した。なお、飛来塩分量に関しては、観測結果を参考に 0.05mdd と一様に設定した。この目的は気象因子の空間分布特性が初年腐食量 $ASMA(Z)$ に与える影響を検討するためである。

図に示したように、初年腐食量は山陰地方で小さく、山陽地方で大きい傾向を示した。実際には、山陰地方の方が飛来塩分量、濡れ時間ともが大きいいため、厳しい腐食環境であると予想される。この違いは 3 章で示した腐食減耗量の推定式が濡れ時間よりも、風速に大きく依存するためである。山陰地方の海岸部では、風速が強い一方、山陽地方では、風速が弱い。この結果、鋼材表面における濡れ環境が風速の増大によって、乾燥化し、腐食の進行速度を減少させる効果が過大評価されている可能性があることを示した。

4. 5 観測結果に基づく腐食環境評価マップの妥当性検証

次に、作成した腐食環境評価マップの妥当性を検証する。

具体的には、現地計測で得られた初年腐食減耗量 $ASMA(Z)$ の観測値と、数値モデルで推定した気象要素を用いて、各地点における初年腐食減耗量 $ASMA(Z)$ の推定値を比較した。なお、使用した飛来塩分量は一定でなく、各橋梁で計測された結果をそのまま適用した。

図 4-7 に示すように、暴露試験結果より 3 倍程度過大評価されることが分かった。この結果は、橋梁周辺部のアメダスで計測された気象データを用いても同様であった。このように、3 章で示した腐食減耗量の予測式の適用に関して、山陰地方の気象条件や飛来塩分量では、過大評価となることがわかった。したがって、今後は山陰地方においても適切に腐食環境評価ができる予測式に改良する必要がある。具体的には、既存の予測式の導出に用いられた腐食環境に関する過去のデータセットを見直し、山陰地方の条件との違いを明ら

かにすることから、予測式の問題点に関して、広く検討する必要がある。

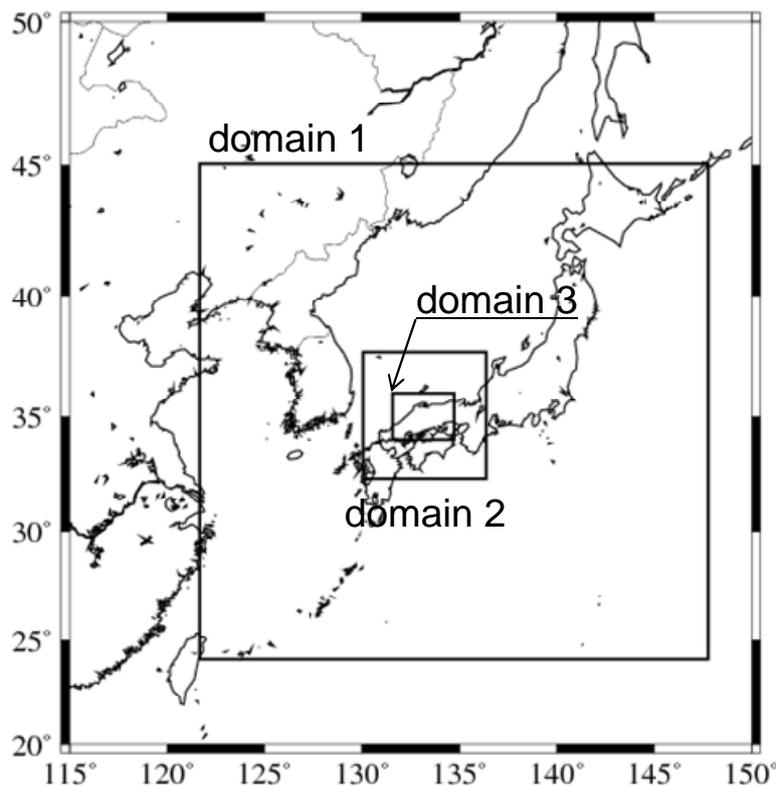


図 4.1 本研究における領域気候モデルの計算対象領域

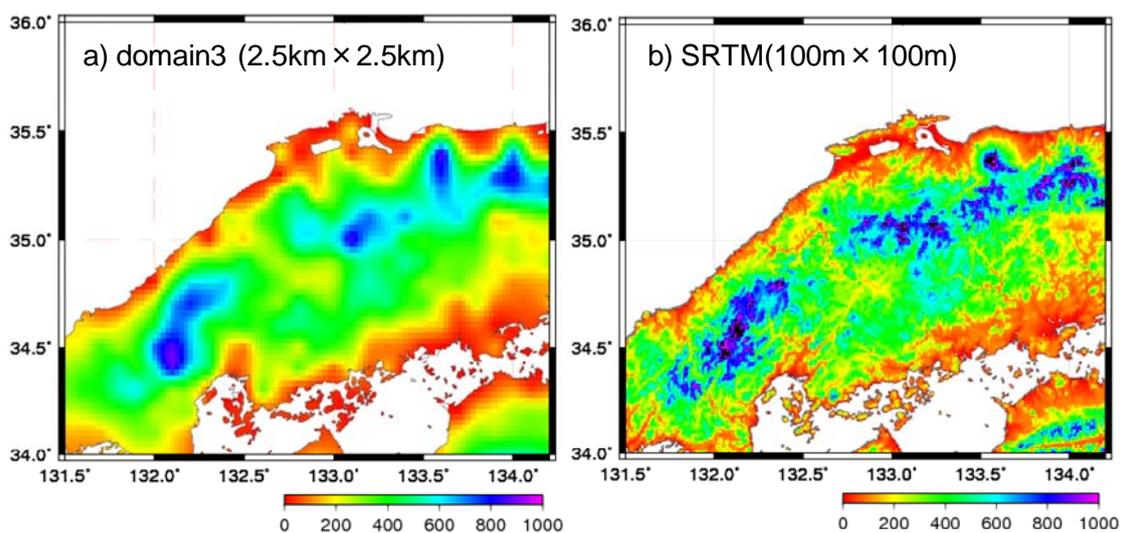


図 4.2

a) 計算領域(domain3)における地形状態. 空間解像度は2.5kmである.

b) SRTM(Shuttle Radar Topography Mission, スペースシャトル地形データ)のDEM. 空間解像度は90mである.

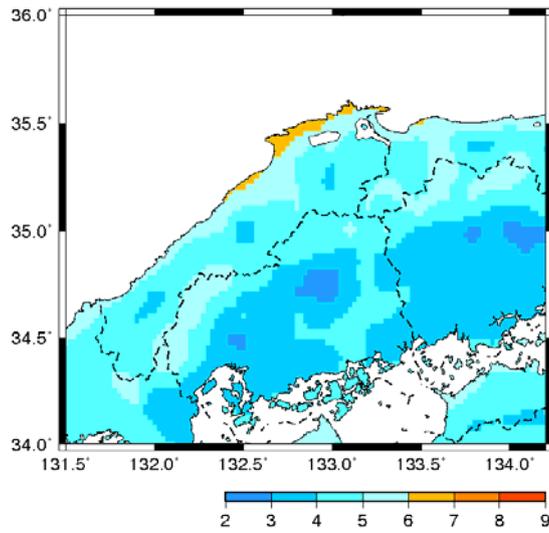


図 4.3 モデルで推定された 2007 年の年平均風速(地表面付近)の空間分布

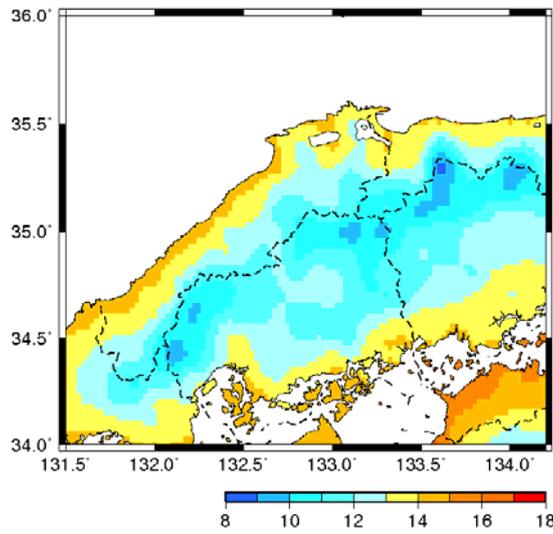


図 4.4 モデルで推定された 2007 年の年平均気温(地表面付近)の空間分布

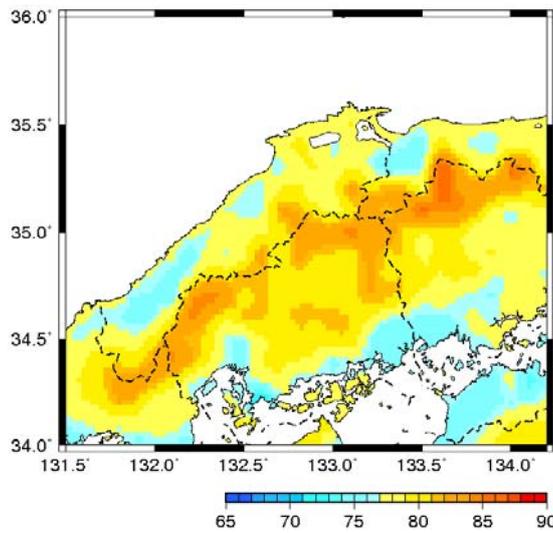


図 4.5 モデルで推定された 2007 年の年平均湿度(地表面付近)の空間分布

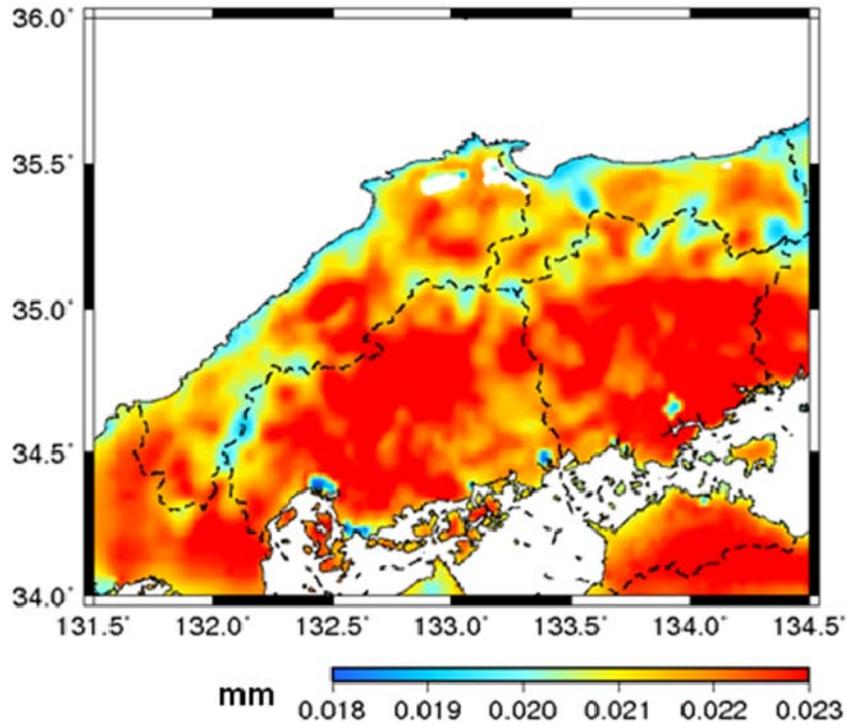


図 4-6 初年腐食量 $A_{SMA}^H(Z)$ の空間分布 (飛来塩分量 $C=0.05mdd$)

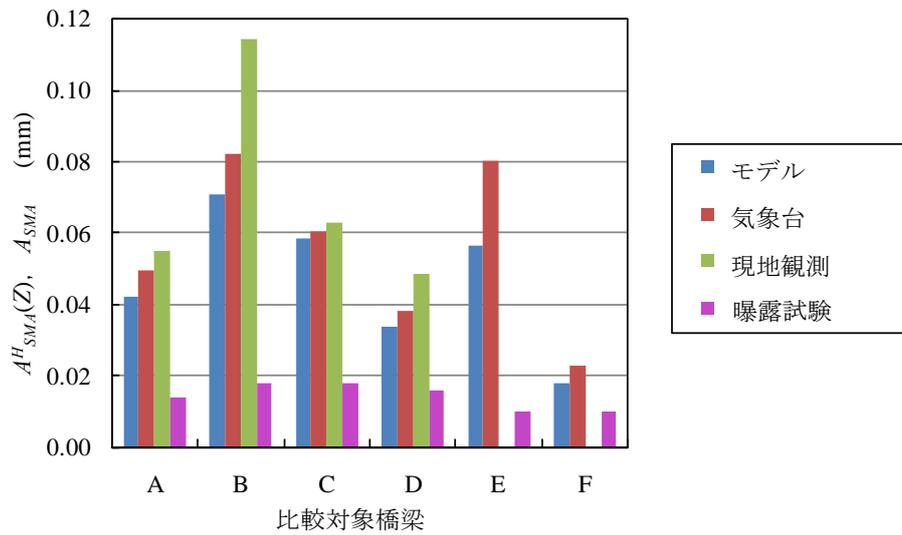


図 4-7 各橋梁における初年腐食量の推定値と曝露試験結果の比較 (木村ら, 2009)

5. 腐食環境データベースの構築と腐食環境マップの作成

5. 1 腐食環境データベースの構築

本研究では、作成した腐食環境評価マップを Google Maps 上で表示することで、Web を通じて情報の共有化システムの作成を行った。図 5-1 に前節で作成した腐食環境評価マップと橋梁の基本情報の共有化のフレームワークを示した。具体的には、腐食環境評価マップを作成し、情報を共有化するために、1)データ統合化、2)データベース化、3)データ共有・可視化の3つに区分し、それぞれの内容を記述する。

図 5-1 の 1)データ統合化において、観測結果とモデルの計算結果を GRASS GIS を用いて重ね合わせ、腐食環境評価マップを作成した（前節参照）。次に、様々なデータを使いやすくするだけでなく、web 上で可視化できるようにため、2)データベース化を行った。具体的には、腐食環境評価マップの空間データと橋の本情報（構造、全長、向き、距離、材料、塗装）をデータベース化した。さらに、Google Maps を用いて、3)データの共有化・可視化を行い、ユーザーに対してわかりやすい情報提供の仕組みを検討した。

Web 上で可視化し、情報の共有化を行うためには、Web サーバに①統合化したデータ、②橋の基本情報を一括管理するデータベースを構築する必要がある。さらに、今後は橋梁の状況（外観や部位毎の写真、経年変化の状況）を携帯端末で Web サーバに登録し、リアルタイムで情報が更新される仕組みに改善して予定である。

このような枠組みの基礎として、本研究では、MySQL を用いて、データベース化を試みた。MySQL は世界中で広く利用されている、オープンソースのデータベース管理システム（DataBase Management System:DBMS）である。図 5-2 にデータベース化からデータの可視化までの具体的なデータの流れを示した。Web サーバとして MySQL でデータベース化されたものを、PHP5 を用いて、XML 形式に変換し、Google Maps 上に重ね合わせ、ユーザーにとってわかりやすいシステム構築を目指した。

5. 2 Google Maps を用いた腐食環境評価マップの可視化

図 5-3 に Google Maps を用いた腐食環境評価マップの表示システムの外観を示した。Google Maps 上に表示したマーカーは橋梁の基本情報を登録した地点を示している。なお、今回は試作段階であるため、20 地点程度の橋梁の基本情報のみを表示している。

図 5-4 にマーカーを選択した場合の Google Maps の表示例を示した。図に示すように、腐食環境評価指標に対して、既設橋梁の基本情報が簡易にわかる。更に、既設橋梁の調査結果から現在の腐食状況が比較できるようなシステムに改善していく予定である。

そのためには、携帯端末等を組み合わせて、橋の状況をリアルタイムで更新できる仕組みを導入しなければならない。また、本システムは、県や市町村などの地方自治体などの

橋梁管理者をユーザーとして想定している。そのため、ユーザー側との話し合いを行い、より使いやすいシステムに改善して予定である。

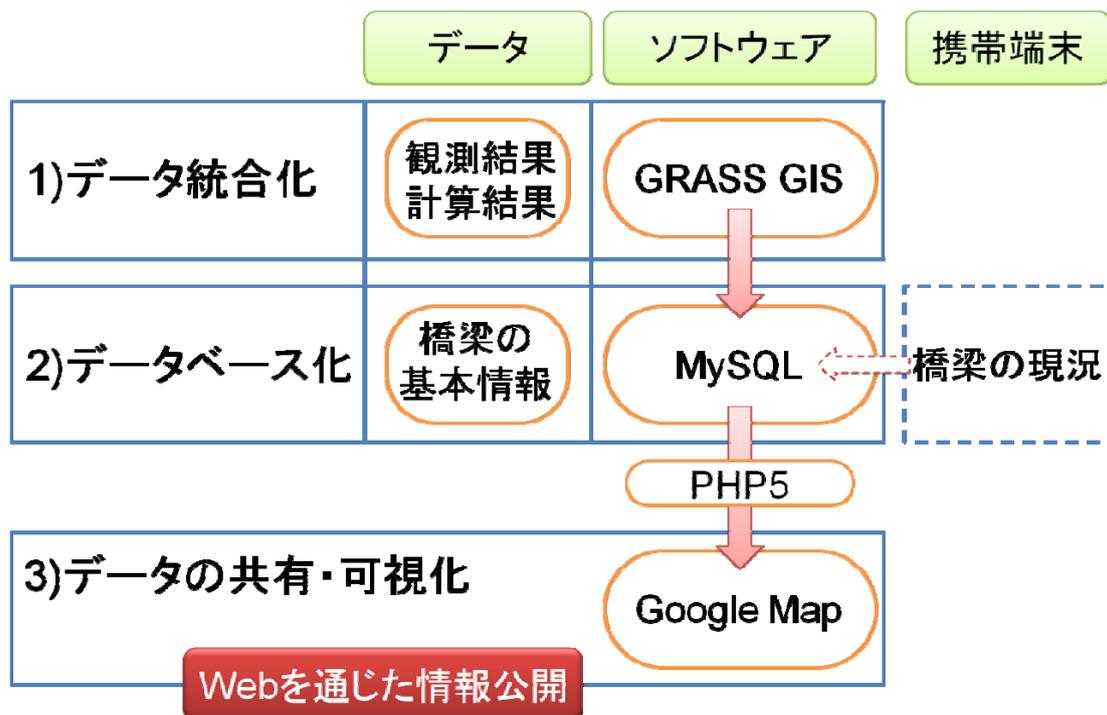


図 5-1 腐食環境評価マップの情報共有化のフレームワーク

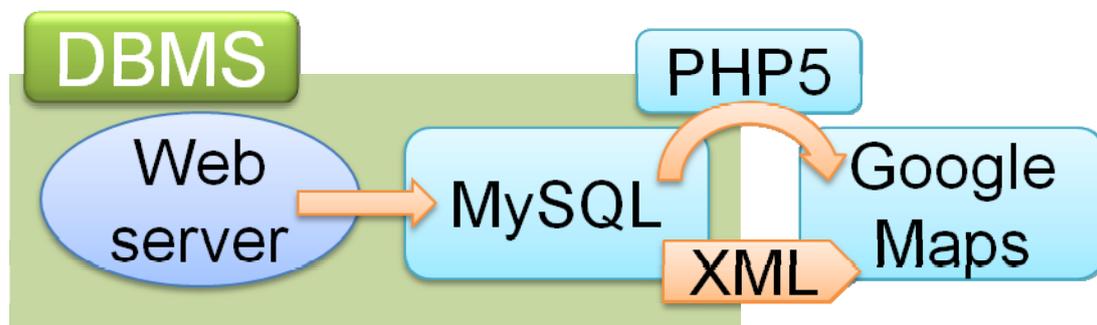


図 5-2 Google Maps を用いた Web 上でのデータ共有化・可視化のフローチャート

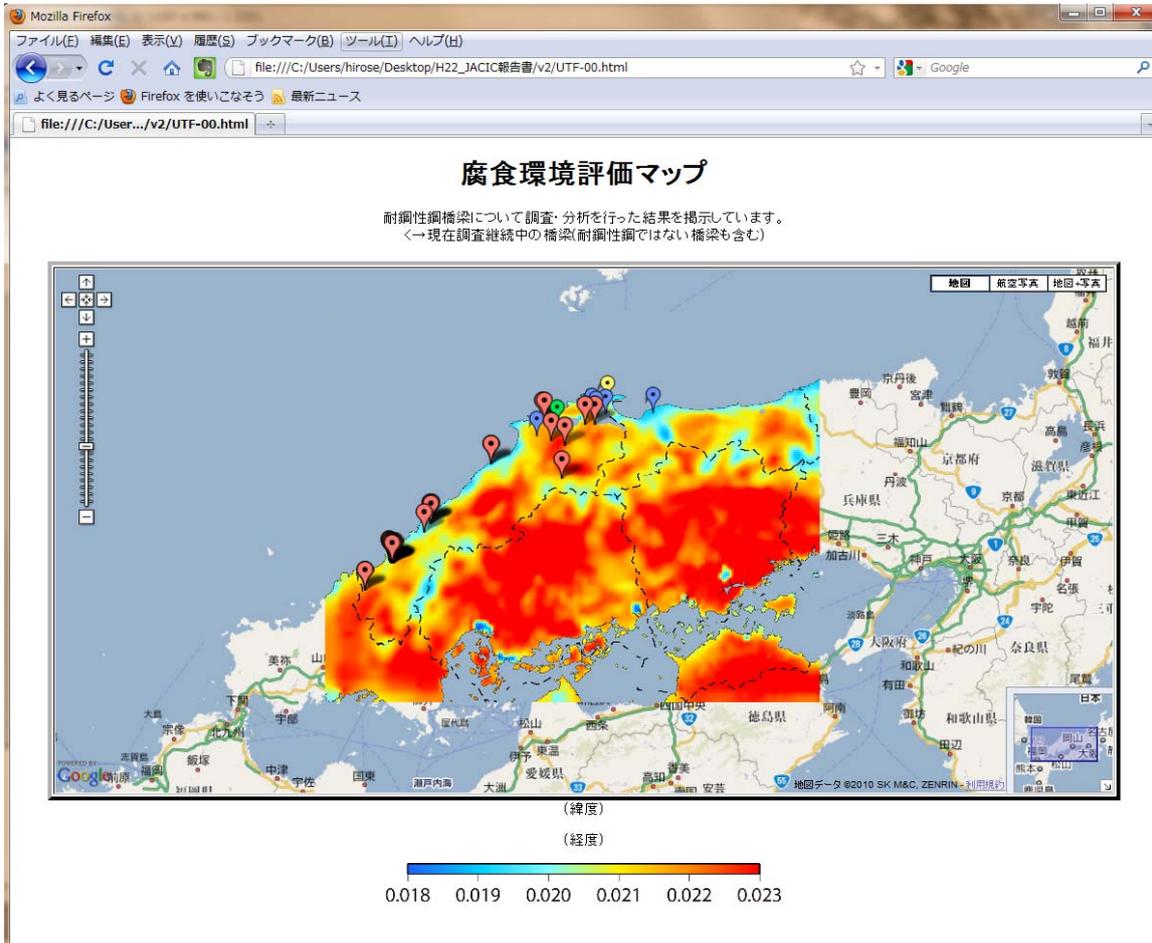


図 5-3 Google maps により構築した腐食環境評価マップのトップページ

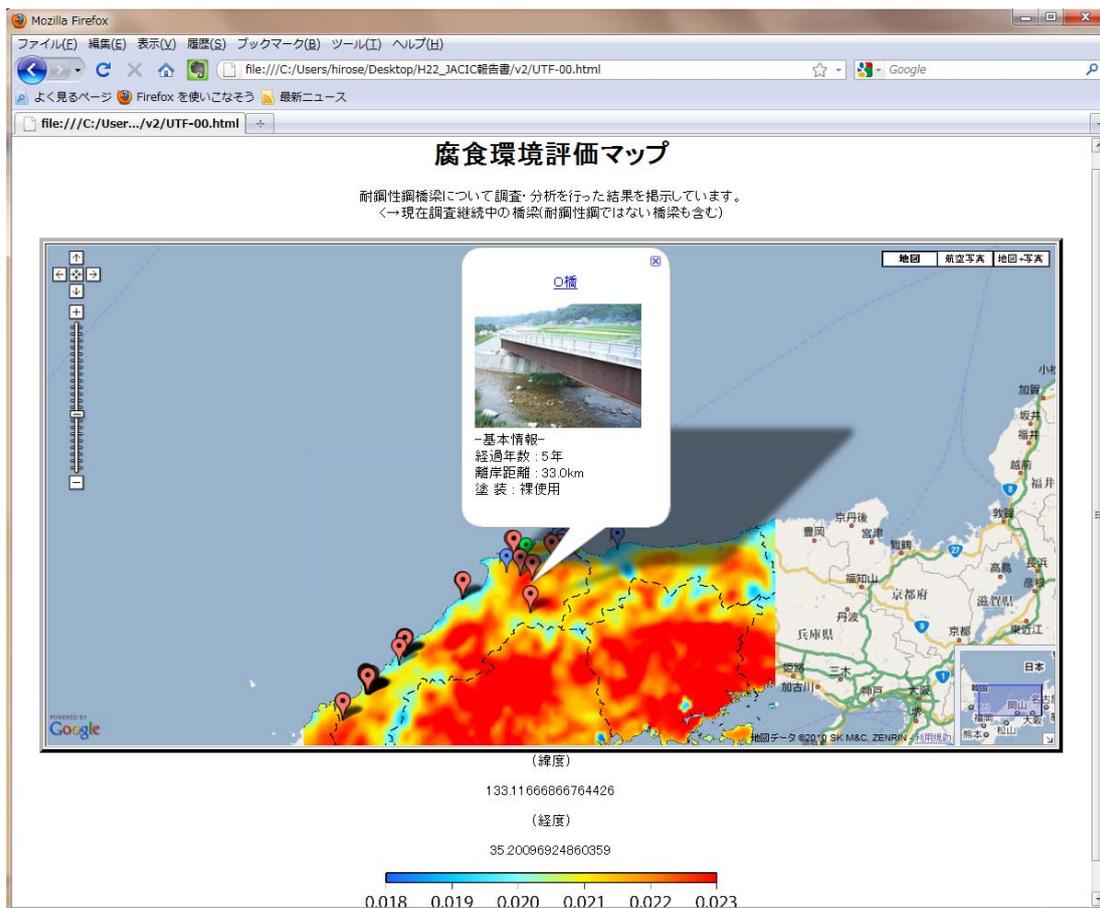


図 5-4 構築した腐食環境評価マップにおいてデータベース化した橋梁の基本情報を表示した様子

6. まとめと今後の課題

本研究では、詳細な現地観測結果と数値モデルによる計算結果を組み合わせ、中国地方における耐候性鋼橋梁の腐食環境評価マップを作製した。さらに、腐食環境データベースを構築し、Google Maps を用いて、既設橋梁の基本情報と腐食環境評価マップを重ね合わせ、わかりやすい可視化システムを構築した。この結果、本研究で想定する橋梁管理者などのユーザーに対して、簡易に橋梁の基本情報および腐食環境評価を提供することが可能となった。具体的な研究成果は次のとおりである。

まず、山陰地方の複数の観測地点において、腐食環境（気象要素、飛来塩分量、腐食減耗量など）を統合的に観測した。その結果、山陰地方における腐食減耗量の空間分布や腐食環境を左右する飛来塩分量の季節変化の特徴が明らかとなった。飛来塩分量は冬期に大きく、夏期に小さくなる。この傾向は、大気中の Cl⁻イオンの季節変化と一致する。これは、大気中の Cl⁻イオンの時空間分布を予測できれば、広域の飛来塩分量を把握できる可能性を示す。次に、領域気候モデルを用いて、2006年12月から2007年11月までの長期シミュレーションを行い、中国地方の大気環境を予測した。そして、中国地方におけるアメダスの気象観測結果と比較し、その妥当性を検証した。その結果、ある程度の誤差はあるものの、概ね各地点の風速、気温、湿度の傾向を再現していることが確認できた。そして、現地観測結果と領域気候モデルの計算結果を組み合わせ、既存の腐食環境評価手法を適用して、中国地方における初年腐食量の空間分布を推定し、腐食環境評価マップを作製した。また、山陰地方の複数地点で測定された初年腐食量との比較を行い、評価マップの妥当性を検討した。

そして、腐食環境データベースを構築し、既設橋梁の基本情報と腐食環境評価指標をまとめて管理するとともに、Web サーバより PHP を用いて、二つのデータセットを Google Maps 上に表示させることで、ユーザーに対して、橋梁の維持管理に必要な橋梁の情報および腐食環境評価指標を共有化するシステムを構築した。

今後は腐食環境データベースをより拡充し、ユーザーが使いやすいシステムに改良する予定である。具体的には、既設橋梁の点検時に、携帯端末を用いて橋の現況をリアルタイムにアップデートできれば、橋の基本情報、現在の腐食状況、予測した腐食環境指標を容易に参照することが可能となる。また、橋梁監視者と意見交換を行い、より実用的なシステムに改良する予定である。

参考文献

藤野陽三, 鋼橋の性能・信頼性向上研究委員会のとりくみについて, 第13回土木鋼構造研究シンポジウム, 2009.

藤井康盛, 田中睦人, 紀平寛, 松岡和巳, 耐候性鋼橋梁の防食リスクマネジメント技術の開発, 新日鉄技報, Vol. 387, pp53-57, 2007.

(社)日本道路協会, 道路橋示方書・同解説 (I 共通編・II 鋼橋編), pp470, 2002.

建設省土木研究所, (社)鋼材倶楽部, (社)日本橋梁建設協会, 耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書(XV), 1992.

(社)日本鋼構造協会, 耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術, JSSCテクニカルレポート, No. 73, 2006.

紀平寛, 田辺康児, 楠隆, 竹澤博, 安波博道, 田中睦人, 松岡和巳, 原田佳幸, 耐候性鋼の腐食減耗予測モデルに関する研究, 土木学会論文集, No. 780, 2005.

建設省土木研究所, (社)鋼材倶楽部, (社)日本橋梁建設協会, 耐候性鋼材の橋梁への適用に関する共同研究報告書(XV), 1992.

松崎靖彦, 大屋誠, 安食正太, 武邊勝道, 麻生稔彦, 島根県における既設耐候性鋼橋梁の腐食実態, 構造工学論文集, Vol. 53A, p. 805-816, 2007.

岩崎英治, 長井正嗣, 橋梁断面周辺の飛来塩分の推定に関する一検討, 構造工学論文集, Vol. 53A, p739-746, 2007.

武邊勝道, 大屋誠, 安達良, 安食正太, 橋梁桁内の付着イオンの露による洗い流し効果について, Zairyo-to-Kankyo, 2008.

M. Takebe, M. Ohya, et. al., Estimation of Quantity of Cl⁻ from deicing salt on weathering steel used for bridges, International Journal of Steel Structure, 2008.

武邊勝道, 大屋誠ら, 土研式タンク法とドライガーゼ法で得られる飛来塩分量の比較, Zairyo-to-Kankyo, 2008. (技術資料)

Makoto Ohya, Masamichi Takebe, Ryo Adachi, Junya Ota, Applicability of a New Method for Selecting Weathering Steel for Bridges, 214th ECS Meeting, 2008.

武邊勝道, 大屋誠, 吾郷佑輔, 岩谷譲ら, 採取方法による飛来塩分量の違いについて, 第61回土木学会中国支部研究発表会概要集, 2009.

藤川正巳, 松崎靖彦, 大屋誠, 武邊勝道, 曝露試験による耐候性鋼材の適用性の評価, 第61回土木学会中国支部研究発表会概要集, 2009.

広瀬望, 木村泰, 武邊勝道, 大屋誠, アメダス観測データを用いた山陰地方における腐食減耗量の推定, 第61回土木学会中国支部研究発表会概要集, 2009.

木村泰, 広瀬望, 大屋誠, 武邊勝道, 領域気候モデルを用いた腐食性評価に関する研究, 第61回土木学会中国支部研究発表会概要集, 2009.

松林直樹, 広瀬望, 武邊勝道, 大屋誠, 麻生稔彦, 観測結果に基づく飛来塩分量と大気中の塩分濃度との関係, 第61回土木学会中国支部研究発表会概要集, 2009.

北川直樹, 大屋誠, 武邊勝道, 落部圭史, 木村泰: 山陰地域における腐食減耗量と飛来塩分量の関係, 第64回土木学会年次学術講演会概要集, 2009.

木村泰, 広瀬望, 大屋誠, 武邊勝道: 中国地方における地域環境腐食性指標の空間分布特性に関する基礎研究, 第64回土木学会年次学術講演会概要集, 2009.

落部圭史, 木村泰, 大屋誠, 武邊勝道, 凍結防止剤が並列橋梁桁下に飛来する量の検討, 第64回土木学会年次学術講演会概要集, 2009.

武邊勝道, 大屋誠, 吾郷佑輔, 安達良, 岩谷譲, 土研式タンク法とドライガーゼ法の特徴について, 第64回土木学会年次学術講演会概要集, 2009.

大屋誠, 武邊勝道, 安達良, 大田隼也, 北川直樹ら, 松江市内の大気腐食環境を考慮した耐候性鋼橋梁の鋼材選定, 土木学会中国支部研究発表会, 2008.

武邊勝道, 松崎靖彦, 大屋誠ら, 耐候性鋼橋梁の表面状態と付着塩類量の関係, 土木学会論文集F, Vol. 63, p. 172-180, 2007.

松崎靖彦, 大屋誠, 安食正太, 武邊勝道, 麻生稔彦, 島根県における既設耐候性鋼橋梁の腐食実態, 構造工学論文集, Vol. 53A, p. 805-816, 2007.

松崎靖彦, 大屋誠, 安食正太, 武邊勝道, 麻生稔彦, さび安定化補助処理された耐候性鋼橋梁の腐食実態と評価法に関する一考察, 土木学会論文集 F, vol. 62, p. 172-180, 2007.

松崎靖彦, 麻生稔彦, 大屋誠, 耐候性鋼橋梁と他の防食方法を用いた場合の鋼橋 LCC のケーススタディ, 土木構造・材料論文集, 23, 2007.

木村 泰, 広瀬 望, 大屋 誠, 武邊勝道, 麻生稔彦: 統合的な現地観測結果に基づく耐候性鋼材の腐食環境評価手法の検討, 環境と材料 2010 シンポジウム概要集, 2010.

木村 泰, 広瀬 望, 大屋 誠, 武邊勝道, 麻生稔彦: 付着塩分量と気象要素に着目した ACM 型腐食センサーの出力電流の応答特性に関する観測的検討, Vol. 59, No. 10, 2010.

Masamichi Takebe, Makoto Ohya, Nozomu Hirose, Ryo Adachi, Yu-suke Ago, Koji Doi, Yuzuru Iwatani, Naoki Kitagawa, Yasushi Kimura, Keishi Ochibe, Jun-ya Ota, Difference in precipitation rates of air-borne salts collected by the dry gauze method and the Doken tank method, Corrosion Science, Vol. 52, pp.2928-2935.

武邊勝道, 大屋 誠, 宇津田俊哉, 落部圭史, 佐野大樹: 耐候性鋼橋梁のピア周辺の腐食環境について, 第 65 回土木学会年次学術講演会概要集, 2010.

恒松琴奈, 大屋 誠, 武邊勝道, 佐野大樹, 吉中智紀: 耐候性鋼橋梁の腐食実態調査と実橋曝露試験の比較 (その 1: 実橋の腐食実態調査), 第 65 回土木学会年次学術講演会概要集, 2010.

大屋 誠, 武邊勝道, 広瀬 望, 木村 泰, 恒松琴奈: 耐候性鋼橋梁の腐食実態調査と実橋曝露試験の比較 (その 2: 実橋曝露試験とさび外観評価), 第 65 回土木学会年次学術講演会概要集, 2010.

広瀬 望, 大屋 誠, 武邊勝道, 木村 泰, 麻生稔彦: 統合的な現地観測結果に基づく耐候性鋼材の腐食環境評価手法の検討, 第 65 回土木学会年次学術講演会概要集, 2010.

佐野大樹, 武邊勝道, 大屋 誠, 吉中智弘, 宇津田俊哉: さび安定化促進処理された既設

耐候性鋼橋梁のさびの粗さとさび評価，第 65 回土木学会年次学術講演会概要集，2010.

吉中智紀，永瀬 禎，廣瀬貴裕，森脇由香，佐野大樹：鋼橋建設前の腐食環境予測結果と建設後の実測値の比較，第 65 回土木学会年次学術講演会概要集，2010.

吉中智紀，永瀬 禎，廣瀬貴裕，宇津田俊哉，佐野大樹，森脇由香，落部圭史，武邊勝道，大屋 誠：鋼橋の建設前後の腐食環境データの比較，第 62 回土木学会中国支部研究発表会，2010.

武邊勝道，大屋 誠，宇津田俊哉，落部圭史，佐野大樹，恒松琴奈，永瀬 禎，廣瀬貴裕，森脇由香，吉中智紀，麻生稔彦：島根県出雲市の高架橋のピア周辺の腐食環境について，第 62 回土木学会中国支部研究発表会，2010.

松林直樹，広瀬 望，大屋 誠，武邊勝道，佐藤 誠：観測結果に基づく飛来塩分量推定のための基礎的検討第 62 回土木学会中国支部研究発表会，2010.

大屋 誠，武邊勝道，広瀬 望，麻生稔彦：ワッペン式曝露試験を用いた山陰地域の大气腐食環境評価に関する一考察，第 62 回土木学会中国支部研究発表会，2010.

恒松琴奈，大屋 誠，武邊勝道，落部圭史，佐野大樹，吉中智紀，森脇由香，宇津田俊哉，永瀬 禎，広瀬貴裕，麻生稔彦出雲地域における耐候性鋼橋梁の腐食実態調査，第 62 回土木学会中国支部研究発表会，2010.

佐野大樹，吉中智弘，永瀬 禎，広瀬貴裕，宇津田俊哉，森脇由香，武邊勝道，大屋 誠：さび安定化促進処理された既設耐候性鋼橋梁のさび調査第 62 回土木学会中国支部研究発表会，2010.

MAPPING CORROSION LOSS USING IN SITU MEASUREMENTS AND NUMERICAL SIMULATIONS OF REGIONAL CLIMATE MODEL BASED ON GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM

Nozomu HIROSE¹ Makoto OHYA¹ Masamichi TAKEBE¹
¹Matsue College of Technology

In this study, a map of corrosion loss over Chugoku region is established to identify a severe corrosion environment.

We have three steps to establish and evaluate the corrosion loss map. One is to measure the meteorological data (air temperature, wind speed, humidity), salt spray and corrosion loss in some weathering steel bridges for more than a year. Seasonal changes of the observed salt spray and Cl⁻ ion are clearly revealed. Secondary, numerical simulations of regional climate model are carried out from Dec. 2006 to Nov. 2007. The simulated surface meteorological data (air temperature, wind speed and humidity) are compared with the observed data to validate the model performance. Finally, spatial distribution of corrosion loss over Chugoku region is estimated by corrosion prediction method using in situ measurement of salt spray and the simulated meteorological data.

Our results will contribute not only to the accuracy improvement of the corrosion prediction method, but also to the design of efficient observation of the corrosion loss in steel bridges.

.
. .
.

KEYWORDS: *corrosion loss, in situ measurement, numerical simulation, corrosion prediction method.*

研 究 成 果 の 要 約

助成番号	助 成 研 究 名	研 究 者 ・ 所 属
第2009-7号	GISを用いた現地計測と領域気候モデルの飛来塩分量予測の統合化による耐候性鋼橋梁の腐食環境評価マップの作成	広瀬望・松江工業高等専門学校
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 48%;"> <p>耐候性鋼橋梁は国内で多くの架橋実績がある。橋梁建設地点における耐候性鋼材の適用性の可否を判断するためには、架橋周辺部における詳細な腐食環境計測を1年程度継続しなければならない。また、この計測は多大な労力を必要とするため、架橋後も継続することは困難である。そのため、各地域の腐食環境の厳しさやその特徴を広域で把握した上で、各橋梁予定地における腐食環境を詳細に計測することで、耐候性鋼橋梁の設計・計画や適切な維持管理が可能となるため、LCC低減に大きく寄与すると考える。さらに、橋梁管理者が橋梁の現状と腐食環境評価を容易に参照できる仕組みが不可欠である。</p> <p>そこで、本研究では、詳細な現地観測結果と数値モデルによる計算結果を組み合わせ、中国地方における耐候性鋼橋梁の腐食環境評価マップを作製した。また、腐食環境データベースを構築し、Webサーバを通じて、Google Maps上で橋の基本情報と腐食環境評価マップを重ね合わせ、橋梁管理者が容易に橋梁の腐食環境に関する情報を利用しやすいシステムを構築した。</p> <p>具体的な研究成果は次のとおりである。</p> <p>まず、山陰地方の複数の観測地点において、腐食環境（気象要素、飛来塩分量、腐食減耗量など）を詳細に観測した。その結果、山陰地方における腐食減耗量の空間分布や腐食環境を左右する飛来塩分量の季節変化の特徴が明らかとなった。飛来塩分量は冬期に大きく、夏期に小さくなる。この傾向は、大気中のCl⁻イオンの季節変化と一致する。これは、大気中のCl⁻イオンの時空間分布を予測できれば、広域の飛来塩分量を把握できる可能性を示す。次に、領域気候モデルを用いて、2006年12月から2007年11月までの長期シミュレーションを行い、中国地方の大気環境を予測した。そして、中国地方におけるアメダスの気象観測結果と比較し、その妥当性を検証した。</p> </div> <div style="width: 48%;"> <p>その結果、ある程度の誤差はあるものの、概ね各地点の風速、気温、湿度の傾向を再現していることが確認できた。</p> <p>次に現地観測結果と領域気候モデルの計算結果を組み合わせ、既存の腐食環境評価手法を適用して、中国地方における初年腐食量の空間分布を推定し、腐食環境評価マップを作製した。また、山陰地方の複数地点で測定された初年腐食量との比較を行い、評価マップの妥当性を検討した。</p> <p>そして、橋梁管理者が腐食環境評価マップを参照・活用できる基盤として、腐食環境データベースを構築した。更に、Web上で腐食環境が容易に参照できるように、Google Mapsを用いて可視化を行った。</p> <p>本研究で作成した腐食環境評価マップの有用性は次の3つである。一つは耐候性鋼橋梁の腐食環境を簡易に判断することができるため、架橋地点周辺の腐食環境予測に基づく、耐候性鋼材の適用性の可否を判断する資料として有用である。また、既設橋梁のメンテナンスの優先度の一つの指標として利用できる点にある。さらに、webを通じて、橋梁管理者がこの情報を容易に参照できる仕組みを構築した点である。</p> <p>しかしながら、作成した腐食環境評価マップが現場の技術者の使用に耐えうるものにするためには、腐食環境評価の精度の向上が必要である。具体的には、長期の数値実験を行い、予想される腐食量の最小・最大値やその変動幅を把握し、腐食環境評価マップに必要な情報を追加していく予定である。</p> <p>また、本研究で開発した腐食環境データベースの利便性の向上が必要である。具体的には、橋梁の調査状況を現場から携帯端末を用いて、橋梁の腐食状況をリアルタイムでアップデートできるシステムに改良していく予定である。</p> </div> </div>		