

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 4 月 15 日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21560500

研究課題名（和文） 大気環境予測プログラムと連携した鋼橋への付着塩分予測法の開発

研究課題名（英文） Global and local approaches to numerical prediction of adhesion of airborne sea salt particles on bridge girders

研究代表者

小畑誠（OBATA MAKOTO）

名古屋工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30194624

研究成果の概要（和文）：

鋼橋の適切な防蝕管理のためには腐食環境を把握する必要がある。沿岸部では海洋からの飛来塩分の付着を知ることが特に重要となる。本研究では、これまでほぼ現地観測に頼ってきた橋桁への塩分粒子の付着量を数値的に推定する方法を提案した。具体的には、大域的には気象解析の一環として海洋面からの塩分発生を考慮し、その結果をもとに局所的には流体解析により浮遊塩分粒子の付着量を推定する手法を提案した。

研究成果の概要（英文）：

It is important to estimate corrosion environment of steel bridges for a proper corrosion prevention and maintenance program. Adhered sea-salt particulate matter (SSPM) is an influential factor especially in coastal areas. To this end, it is better to know the adhesion behavior of SSPM to bridge girders. The objective of this manuscript is to pursue numerical method to simulate the adhesion behavior of salt particles oriented from sea surface. Specifically, two scale approach is proposed. Mesoscale Meteorological Analysis and Lagrangian type two phase flow analysis are used in global and local analyses respectively. The comparisons between the numerical and observed results showed that the numerical analysis can reproduce essential behaviors of airborne SSPM.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
年度	500,000	150,000	650,000
年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：鋼構造

1. 研究開始当初の背景

橋梁等の社会基盤施設の老朽化は刻々と進行しており、2016 年には 15m 超の橋梁の 20% が供用開始後 50 年を超えるという厳然

たる事実がある。ところが国および地方公共団体の深刻な財政状況のために必ずしもその適切な維持管理がなされないまま放置されているものがある。そしてそれらは一部で

事故という形で社会的な不安をすでに引き起こしている。健全な基盤施設の保持は我々技術者に課せられた責務である。しかしながら、維持管理の重要性が認識されて久しいものの、それを支える数値シミュレーション技術の進歩は遅々としていた面があるのは否めない。鋼橋の維持管理では疲労破壊と腐食が大きな問題であるが、本研究は腐食を対象とするものである。腐食が鋼橋をとりまく環境に作用されることを考えると鋼橋の腐食に対する維持管理の検討は大きく次の3つの段階にわけて考えることができる。イ) 鋼橋をとりまく腐食環境の把握と予測。ロ) 一定の腐食環境における腐食の進展の把握と予測。ハ) 腐食により部分的に損傷を受けた構造物の損傷度の判定および補修に関する力学、である。この点、ロ) 鋼材料の腐食についてはすでに精力的な実験的および解析的な研究がなされている。ハ) の力学挙動についても最近になって積極的な取り組みがなされている。これに対し、イ) の腐食環境の評価と予測についてはこれまででもっぱら地道な現地観測に依存してきている。そして現在では膨大な現地観測データを元にした鋼橋に関する設計指針が提示されている。このように本格的な数値シミュレーション技術の追求が放置されてきたのは、ひとつには飛来塩分や粒子状汚染物質の拡散、付着等の問題が気象学・環境化学・流体力学・固体力学等を含む境界領域に属したためである。しかしながら、近年の数値気象モデルの発達、気象モデルと一体化した様式での大気環境化学モデルの進歩、精緻な予測を可能とする数値流体解析の一般化をへて、特に飛来塩分に起因する腐食環境の評価と予測に対する新しいアプローチが可能になっている。

2. 研究の目的

ある地点での飛来塩分量を大気環境モデルによって予測し、橋梁への付着塩分については流体解析によって予測する。そしてこれらの解析をシームレスに統合し、より信頼性と柔軟性のある鋼橋の腐食環境予測モデルの作製を目標としている。具体的には、まず現存の大気環境モデルに組み込む飛来塩分粒子に関わる項を日本の環境に合致するように観測データを元に決定する。次に、大域的な解析結果をもとにした局所的な流体解析により検討し、雨水による洗い流しの効果も含めて、鋼橋本体への塩分等の汚染物質の付着の局所性についてできる限り定量的に示す。

3. 研究の方法

大気環境モデル(たとえば WRF V3)において、飛来塩分に対するパラメータの妥当性を現地観測データを元に検討する。そして、局所解析に用いるための数値解析法の要素技術

の検討を行う。加えて、検証のための現地観測データを取得する。以下具体的に述べる。(1) まず大域環境モデルによる飛来塩分量解析のためのパラメータ解析を行う。飛来塩分の供給は主として海洋面である。代表的なメソスケールの気象解析プログラムの WRF では、そのモジュールとして環境化学モデルが用意されている。WRF ではたとえば Coarse Marine Aerosol モジュールがある。予備的に実行している解析によれば日本近辺ではそのモデルパラメータについて若干の修正が必要と思われる。そこで、申請者がすでに行ってきた観測結果および、公表されている観測結果等を参考にしながらモデルパラメータの同定を行う。

(2) 数値流体解析による汚染物質の付着挙動洗い流し挙動等の解析数値流体解析が対象とするのは、鋼橋近傍での空気の流れと飛来する汚染物質の付着挙動である。まず、飛来汚染物質の付着挙動については汚染物質量を濃度として状態変数として扱うオイラー流ではなく、固相の微小粒子の運動を追跡するラグランジュ流のアプローチをとる。これはオイラー流のアプローチに比べて不明確な仮定を導入する必要が少ないからである。ただし微小粒子の鋼橋表面への衝突ないし付着の定量的な推定については若干の仮定を要するので、この点は観測値をもとに考慮する。また付着汚染物質の雨水や結露による洗い流しについても、雨滴の衝突をモデル化して雨量と表面の流れだしの基本的な関係を推定する。

4. 研究成果

(1) 従来の研究では、海面から発生した塩分粒子の風による移流と拡散を流体解析により追跡するものがあった。しかし、このような手法の問題点は適切な初期境界条件を設定することが困難なことである。仮に観測値から得られる何らかの代表量を用いても、その結果の解釈が困難である。本研究では、塩分粒子の飛来という現象を気象現象の一部として捉えることにより、従来の数値解析にあった問題点を乗り越えている。日本各地の飛来塩分量予測について、メソスケール気象解析コードのひとつである WRF の Chemistry パッケージを限定的に適用することで、各地点での飛来塩分量を推定した。

ここで問題となるのが、観測値との比較である。構造物の劣化を対象とした飛来塩分量の観測でもっとも包括的なものは、1985年から3年間にわたって行われた土木研究所による観測である。しかし、その観測はいわゆるタンクを設置するものであって、そこで観測された量は捕捉板に付着した塩分量である。本研究の数値解析による結果は単位質量の空気に含まれる浮遊塩分量であり、観測値と

の直接的な比較ができない。タンクによる観測値はその構造上、浮遊塩分粒子を一定の割合で捕捉しているものと考えられる。この割合についてはよくわかっていないので、本研究では絶対量ではなく時間的な変化量の比較を行った。仮に捕捉率が一定であれば捕捉板相当面積を通過する浮遊塩分粒子と観測値の変化量は一致するはずである。そこでこれらの変化量を比較したが結果、多くの観測点で少なくとも季節的な変動量については良い対応を見ることができた(図1)。しかしながら、絶対量で比較すると場所によるタンクの捕捉率の相違は著しく、変化量の一致を以て飛来塩分量の完全な予測が可能とまでは言う段階ではない。

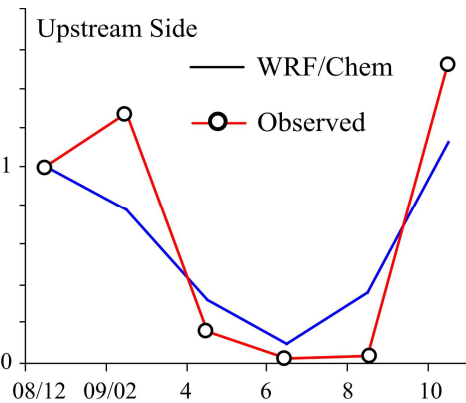


図1 飛来塩分量の予測値と観測値(福井県坂井市,2009年)

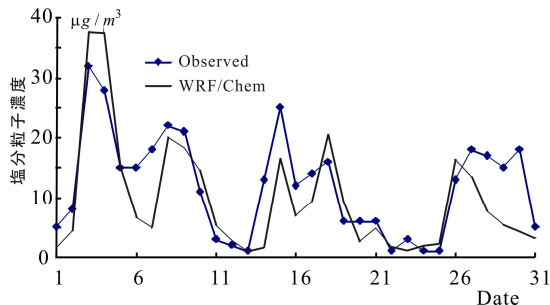


図2 浮遊塩分量の予測値と観測値(イタリア,2010年)

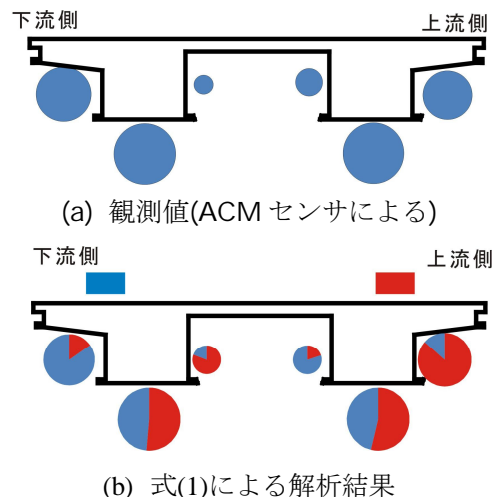
(2) 気象解析プログラムによる浮遊塩分量の予測については、他の観測値と比較で良好な結果を得ている(図2)。そのことを勘案すると、現在のタンク法による観測値との比較はもっぱらどのようにして適切な捕捉率を設定するかということに問題は絞られてきていると言える。

(3) 鋼橋の腐食環境に関連していうと、空気中の浮遊塩分粒子の橋梁桁面への付着が問題となる。これまで、この問題に対する数値的なアプローチはほとんどない。ここでは桁周りの空気の流れを数値流体解析によりシミュレートし、浮遊塩分粒子の付着について

は粒子をラグランジュ的手法により取り扱った。ここで問題となるのが、数値流体解析による局所的な解析の初期境界条件の設定である。さらに、浮遊塩分粒子の桁面への付着の時間スケールが数ヶ月から数年であるのに対して、数値流体解析による粒子付着のシミュレーションの現実的な対象期間は数十秒から数分に限られることである。ここでは、前者の問題については、気象解析による対象地点での浮遊塩分量、風速、および風向を用いる。これにより、マクロスケールの問題とローカルな問題とを合理的に関連づけることが可能となる。次に、後者の問題については、数10秒間の短期の数値解析結果を一種のグリーン関数として用いることで長期間の挙動を推定する。つまり、単位の浮遊塩分粒子濃度に対して様々な平均風速の条件を与え、単位期間内の橋桁への粒子付着量を求める。この結果をもとに、浮遊塩分粒子濃度、風向および風速とともに積分していくことになる。つまり桁面のある領域における期間 $[T_1, T_2]$ の付着量 S は次式で与えることができる。

$$S = \int_{T_1}^{T_2} M(t)V(t)G(V,t)dt \quad (1)$$

ここに $M(t)$ および $V(t)$ はそれぞれ、時刻 t における浮遊塩分量および風速である。 $G(V,t)$ は数値的に求められる一種のグリーン関数である。なお、可能であれば $M(t)$ および $V(t)$ を現地での観測値とすることもできる。こうすることにより時間的にも空間的にもマクロスケールとローカルスケールとを合理的に融合することができた。福井県坂井市の三国橋における観測結果との比較を図3に示す。



これはほぼ2ヶ月間の橋桁の部位毎の塩分付着量を円の大きさで表したものである。数値解析では上流あるいは下流からの風の寄与分を分離できるので分けて示している。少なくとも付着量の分布については観測値と解

析値に強い関連性を見ることが出来る。このような具体的な手法および結果の提示は初めてのものである。

(4)もっとも図3の結果は絶対量ではなくあくまで相対量の比較にとどまっている。なぜなら、浮遊塩分粒子が桁面に衝突することによりどの程度表面に捕捉されるかが明らかでないからである。したがって、本手法において残された問題点はローカルな解析において浮遊塩分粒子の橋梁面への付着挙動を精密にモデル化していくことである。残念ながら現段階では浮遊粒子の固体表面への付着については知見が十分蓄積されているとは言いがたい。この点については今後も引き続き研究が必要となるであろう。また、厳密に言えば浮遊塩分粒子の大きさは分布している、桁面への絶対的な付着量を問題とする場合にはこの分布も考慮する必要があるであろう。

(5)本研究によって、これまで主として時間と労力を要する現地観測に頼ってきた飛来塩分による腐食環境予測を、数値シミュレーションの枠組みに取り入れることが可能となった。これは、大域的には気象解析、局所的には数値流体解析を用いるものであるが、それぞれの要素技術には未だ改善の余地が大きい。また、本研究により橋梁を含む構造物の浮遊塩分粒子からの影響を考える際には、これまでのタンク式による観測値は必ずしも有用ではなく、むしろボリュームサンプラー等で浮遊量そのものを直接的に観測した方が有用であることもあきらかになった。これは他の環境観測の観測手法とも整合するものであり、今後の土木構造に関する浮遊塩分粒子観測法に対する提案となる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計3件)

- ① 小畑誠、李国泰、渡邊泰成、後藤芳顯、局所および広域解析を組み合わせた付着塩分量推定法に関する研究、構造工学論文集、Vol. 58A, 2012 (査読有)
- ② 永田和寿、伊藤弘太、山田仁、小畑誠、宮本重信、効果的な桁洗浄に向けた鋼橋の腐食環境調査と考察、構造工学論文集、Vol. 57A, 2011 (査読有)
- ③ Makoto Obata, Li Guotai, Shigenobu Miyamoto, Yoshiaki Goto, Numerical Analysis of airborne Sea-Salt Particulate Matter on a Bridge Site, Proc. PSSC2010, pp1196-1202, 2010 (査読有)

〔学会発表〕(計7件)

- ① Makoto Obata, Shunya Yokoi, Li Guotai, Yoshiaki Goto, Numerical simulation of adhesion of sea salt particles for

anticorrosion of steel bridges, ASEM11, Seoul, 2011

- ② 横井 俊哉、李 国泰、小畑誠、サーフゾーンを考慮した飛来塩分量予測に関する研究、土木学会全国大会、松山市、2011
- ③ 小畑誠、渡辺 泰成、横井 俊哉、李 国泰、局所および広域解析を組み合わせた付着塩分量推定法に関する研究、土木学会全国大会、松山市、2011
- ④ Li Guotai, Makoto Obata, Yasunari Watanabe, Yoshiaki Goto, Prediction of Adhesion Behavior of Sea-Salt Particles on Bridge Girders, EASEC11, Hong Kong, 2011
- ⑤ 小畑誠、星野明、後藤芳顯、気象解析プログラムを用いた飛来塩分量予測の適用性に関する研究、土木学会全国大会、札幌市、2010
- ⑥ 伊藤弘太、永田和寿、小畑誠、宮本 重信、三国大橋における腐食環境調査と考察、土木学会全国大会、札幌市、2010
- ⑦ 渡辺泰成、小畑誠、後藤芳顯、飛来塩分の橋桁への付着挙動のシミュレーション、土木学会全国大会、札幌市、2010

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

小畑誠 (OBATA MAKOTO)

名古屋工業大学・大学院工学研究科

研究者番号：30194624

(2)研究分担者(H20-21)

永田和寿 (NAGATA KAZUTOSHI)

名古屋工業大学・大学院工学研究科
研究者番号：40301238