

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20760292

研究課題名（和文）数値気象モデルを用いた腐食環境予測・評価システムに関する研究

研究課題名（英文）Development of prediction and estimation system on corrosion environment using numerical meteorological model

研究代表者

富山 潤（TOMIYAMA JUN）

琉球大学・工学部・准教授

研究者番号：20325830

研究成果の概要（和文）：本研究は、沖縄県における腐食環境予測・評価を行うために、数値気象モデル WRF を用いた飛来塩分解析システムを構築し、コンクリート構造物、工鉦物の塩害による腐食環境予測・評価することを目的としている。研究成果として、気象モデルの沖縄周辺への適用性を確認した。また、構造物周辺の飛来塩分の拡散挙動をランダムウォーク法により計算する方法を構築した。今後、気象場の計算と構造物周辺の計算を融合させる。

研究成果の概要（英文）：The aim of this research is a development on prediction and estimation system on corrosion environment in Okinawa using numerical meteorological model. As this study result, the applicability of the numerical meteorological model to the Okinawa has been confirmed. Also, the simulation method of the diffusion behavior of airborne chloride ions around the structure by the random walk method has been developed. In the future work, the meteorological simulation and the diffusion simulation of airborne chloride ions will be coupled.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：腐食環境評価、数値気象モデル、塩害、亜熱帯島嶼環境、コンクリート構造物、ランダムウォーク法

## 1. 研究開始当初の背景

これまで琉球大学山田研究室と申請者らの研究室とでは、沖縄県における工業製品の耐久性に関する観測的および数値解析的研

究を共同で行ってきた。特に海から飛来する塩分（飛来塩分）に対する腐食環境予測・評価に関するシステムとして GIS（地理情報システム）を利用し構築中である。このシステ

ムは、塩害環境予測法として海岸地形、風速、海岸からの距離、地上からの高さ、地表粗度、遮蔽物を考慮可能な有限要素法による解析手法を採用している[1,2]。これらの計算に必要なデータはGISで管理され、入力から計算、さらに結果表示までをGISで制御可能なシステムである。また、有限要素法による計算部分は、2次元解析により大域解析を行い、さらに3次元解析により局所領域の詳細解析といった一種のマルチスケール解析である。特に3次元解析では、飛来塩分の拡散を粒子拡散手法の一種であるランダムウォーク法を採用しているのが特徴である。この手法は、風速場に応じた移流に加え個々の粒子に個性を持たせた拡散解析ができるため、粒子のサイズや塩分濃度、付着特性などを粒子ごとに与えることができることから、非常に自由度の高い計算手法であると言える。

上記に示した手法における自然環境の評価は、これまで蓄積された観測結果（気象庁観測結果など）によるものである。しかし、近年、地球温暖化に伴い自然環境の変化が懸念され、その予測として地球シミュレータなどの大規模高速計算機を用いた気象予測を数値シミュレーションにより再現する研究が盛んに行われている。このように自然環境の変化が懸念されるなか、数値気象（気候）モデルを用いた飛来塩分濃度の分布予測を行った研究が行われている[3]。その研究によると気象（気候）モデルを用いることで詳細な塩害マップを作成できる可能性を見出しているが、比較的大域（メソスケール：数km～数千km）な領域における計算結果にとどまり、構造物周りの詳細な研究までは至っていない。また、文献[4]などのように構造物周辺における飛来塩分濃度分布や構造物表面に付着する飛来塩分量の数値解析的な研究も行われているが、局所的な波浪状況や風速場などを入力データとしており、メソスケール領域の気象状況は考慮されていない。以上のことを考慮すると、飛来塩分による腐食環境予測・評価においてもメソスケール領域が計算可能な数値気象（気候）モデルを用いた自然環境評価手法と、さらにその結果を踏まえた構造物周辺における飛来塩分濃度分布を計算できる手法の組み合わせが必要であると申請者は考える。

そこで本研究では、沖縄県本島を対象に飛来塩分濃度分布および構造物周辺における飛来塩分濃度分布を予測・評価するために、3次元数値気象（気候）モデルと高精度な拡散モデルを組み合わせたシステムのプラットフォームを構築し、これまで蓄積してきた観測結果などと比較し、本システムの精度検証および有用性の検討を行う。

本研究では、はじめに本システムを実行する計算機環境を構築する。これは気象予測の

計算や飛来塩分粒子の拡散解析が比較的大規模になるため、並列計算機（PC クラスタ（5 台程度を予定））が必要だからである。次に3次元数値気象（気候）モデルを用いて沖縄県の気象予測が可能なシステムを構築する。本研究で使用する3次元数値気象（気候）モデルは、米国大気科学研究センター(NCAR)とペンシルバニア州立大学(PSU)とが共同開発したMM5を採用する[5]。MM5は、流体の基礎方程式に基づいて大気の運動を計算する力学モデルと、力学モデルに現れる乱流項や非断熱過熱、降雨粒子の形成・消滅などを計算する物理モデルから構成されており、特に、飛来塩分を内陸に輸送する要因として大きな影響を与える地形形状に応じた風速場が計算可能である。それ以外に湿度や降雨量、さらに台風の計算を行っている例もある。  
※ [ ] は参考文献である。

## 2. 研究の目的

本システムでは、3次元気象モデルを用いた計算結果に基づく飛来塩分の拡散解析をこれまで本研究室で開発してきたランダムウォーク法により計算する[2]。飛来塩分の計算は比較的大域な計算と構造物周辺の局所的な計算の二つに分かれる（図-1,図-2参照）。また、結果の可視化を行い、数値的な評価に加え視覚的な評価を可能とすることを目指す。得られた結果はこれまで蓄積してきた観測データと比較することで本システムの妥当性を検討する。

今回の申請期間内で明らかにすることを以下にまとめる。

- (1)並列計算機を構築し、3次元数値気象モデルであるMM5を用いて沖縄県の気象予測を行い、その適用性の検証する。
- (2)ランダムウォーク法による飛来塩分の拡散解析の精度向上を考え、多数の粒子を計算できるように高速化アルゴリズムや並列計算アルゴリズムを採用し、計算速度の高速化の検討を行う。
- (3)3次元数値気象モデルによる計算結果を初期値とするランダムウォーク法による飛来塩分の拡散解析が可能なシステムを構築し、これまで蓄積された観測結果と比較し、本システムの精度検証および有用性を検討する。

本研究の特色・独創的な点及び予想される結果と意義は、次の3点にある。

- (1) 本システムでは、飛来塩分による腐食環境予測・評価を3次元数値気象（気候）モデルによる気象場とその結果に基づいたランダムウォーク法による飛来塩分の拡散解析により行う。ランダムウォーク

法を飛来塩分の拡散解析に適用した研究は国内外を見ても他に例がなく独創的であると言える。

- (2) ランダムウォーク法による飛来塩分の拡散解析では、粒子一つ一つに個性を持たせることができるため、飛来塩分粒子のサイズ、塩分濃度、構造物への付着特性を個別に与えることができる。
- (3) 本システムは、3次元気象モデルによるメソスケールでの気象予測に加え、同スケールにおけるランダムウォーク法による飛来塩分の拡散解析、さらに構造物周辺における局所領域での飛来塩分の拡散解析など、一種のマルチスケール解析であり、既往構造物の腐食環境評価や、これから新設する構造物の立地場所やその構造物の腐食環境およびその構造物が建設されることで、周辺地域に与える影響などが計算・予測可能となり、腐食環境予測・評価に対する有力なツールに成り得ると考える。

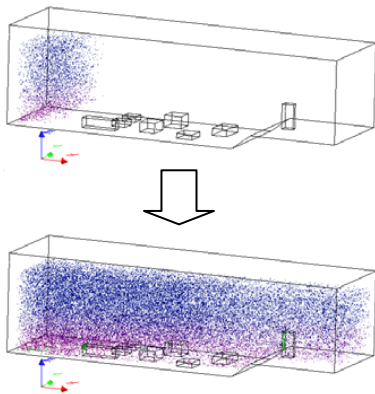


図-1 大域領域の計算例

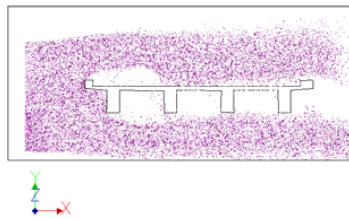


図-2 構造物周辺の計算例

※ [ ] は参考文献である。

### 3. 研究の方法

本研究では、3次元数値気象（気候）モデルを用いて沖縄県本島の気象予測、その結果に基づいたランダムウォーク法による大域領域における飛来塩分の拡散解析、さらに局所領域における構造物周辺の飛来塩分濃度分布の計算を行うことで腐食環境予測・評価可能なシステムのプラットフォームを構築する。システムの評価は、これまで蓄積してきた観測結果と比較を行い検証する。本解析

システムの概要を以下に示す。

- (1) 気象場を考慮した予測評価を行うことから計算規模が大きくなる。従って、解析環境として、分散型並列計算機環境を整えた。具体的には、PC クラスタ型並列計算機 (6CPU) を用いて計算を行う。
- (2) 数値気象モデルとして、当初計画していた MM5 から WRF(The Weather Research & Forecasting Model) に変更した。その理由は、WRF が MM5 の次世代気象モデルという位置づけであることと、入力データ作成の簡便さである。
- (3) 気象モデルから得られた風速場のデータを基に、飛来塩分量に影響を与える卓越する風向風速を求め、その結果を、腐食環境を評価・予測したい構造物周辺の風速場を求めるための3次元流体解析の入力条件とし、構造物周辺の風速場を求める。流体解析には、ADVENTURE プロジェクトで開発された非圧縮粘性流体解析モジュールである Adventure Fluid を採用した[6]。
- (4) 得られた構造物周辺の風速場を用いて、飛来塩分の内陸への拡散現象を解析する。飛来塩分は粒子で離散化し、拡散現象を粒子拡散モデルの一種であるランダムウォーク法でモデル化する[7]。
- (5) (4) の結果から、構造物の各部位への付着塩分量を求め、構造物毎の腐食環境評価・予測の指標とする。

図-3 に本手法の概略図を示す。

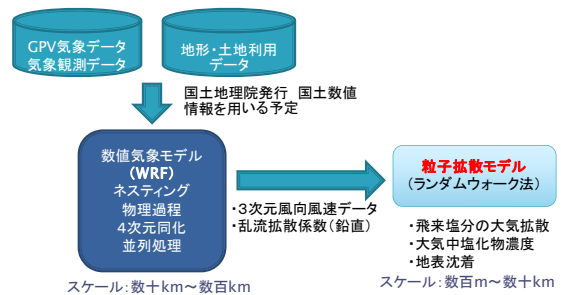


図-3 計算システムの概略

※ [ ] は参考文献である。

### <参考文献>

- [1] 真喜志和広, 山田義智, 富山潤: 塩害環境下における飛来塩分特性に関する一考察, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.929-934, 2006.
- [2] 田中孝和, 富山潤, 伊良波繁雄, 吉村忍: ランダムウォーク法による飛来塩分の拡散シミュレーションに関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1,

pp.789-794, 2004.

- [3]富永禎秀, 地濃茂雄, 村田亨: 数値気候モデルを用いた飛来塩分濃度分布の予測に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1043-1047, 2006.
- [4]山田文則, 細山田得三, 下村匠: 構造物表面に到達する飛来塩分量の数値解析による予測, Vol.29, No.1, pp.1041-1046, 2007.
- [5]<http://www.mmm.ucar.edu/mm5/mm5-home.html>
- [6]<http://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp>
- [7] 数値気象モデルを用いた飛来塩分シミュレーション, 計算工学講演会論文集, Vol.14, pp.891-892, 2009.5

#### 4. 研究成果

研究成果として, 次の結果を得た.

- (1) 数値気象モデル WRF の沖縄への適用性について, 風向風速がある程度予測可能であることが分かった.

(計算例) 2010年1月25日~31日までの気象場の再現解析を行った. 主な計算条件, 解析領域をそれぞれ表-1, 図-4 に示す.

表-1 主な計算条件

	計算条件
初期・境界条件	GFS-FNL
標高・土地利用	GTOP(30秒メッシュ)
地図投影法	Mercator
ネスト数	4
グリッド数(東西)	31,34,37,47
グリッド数(南北)	34,34,52,61
鉛直総数	28
グリッド間隔(km)	30.0,10.0,3.3,1.1
時間間隔(秒)	180
CPU(台)	6

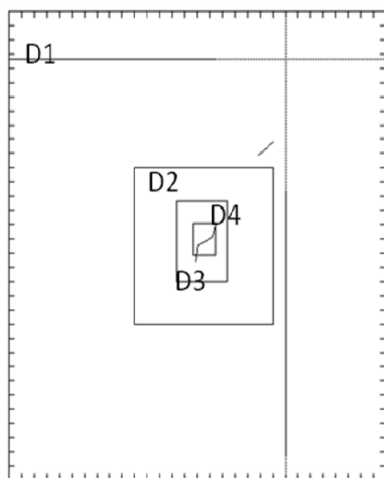
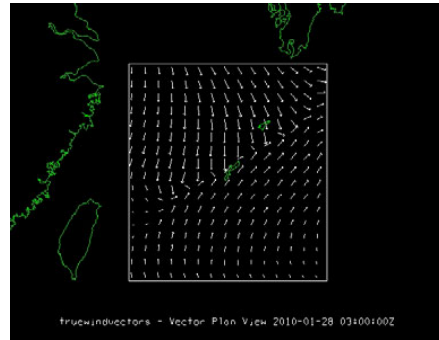
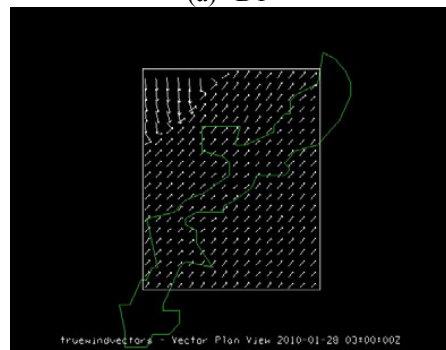


図-4 解析領域(4段階ネスティング)

沖縄本島北部(辺野喜)において風向・風速, 温度を観測しているため, その結果と解析結果を比較する. 図-5 に風速場(風速ベクトル)の例として, D1,D2の日時: 1月28日, 3時の風速ベクトルを示す. また, 観測値との定量比較として, 図-6 に風速場(a),(b)と温度(c)の比較を示す.

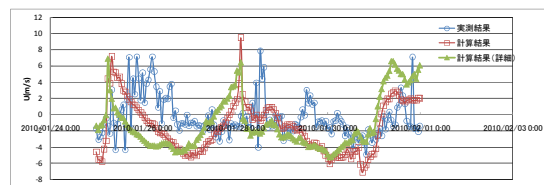


(a) D1

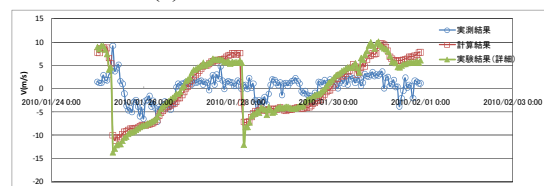


(b) D4

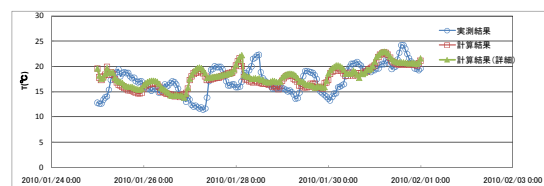
図-5 風速ベクトル(2010年1月28日3時)



(a) 東西方向の風速



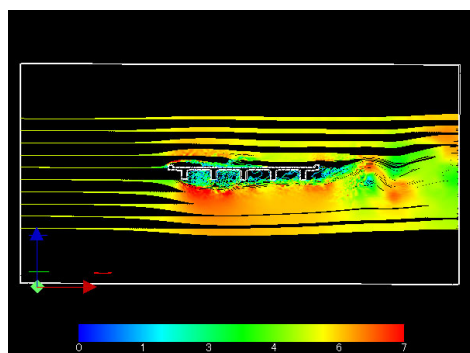
(b) 南北方向の風速



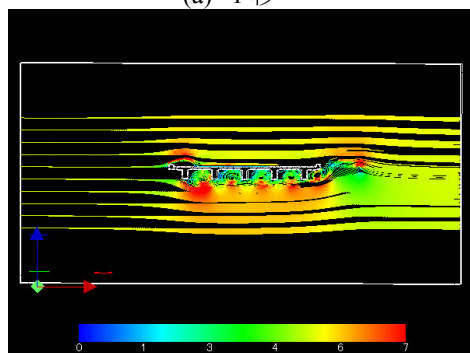
(c) 温度

図-6 辺野喜における風速, 温度の比較

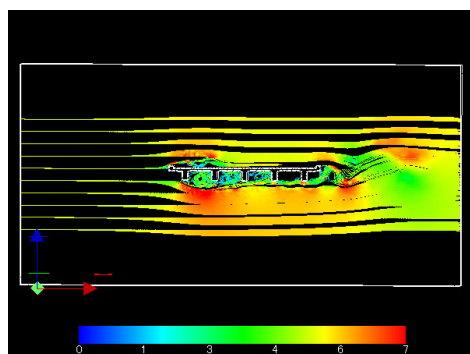
(2) 構造物周辺の風速場の解析結果の例を図-7に示す。主桁周辺の局所的な渦が再現されていると考えられる。



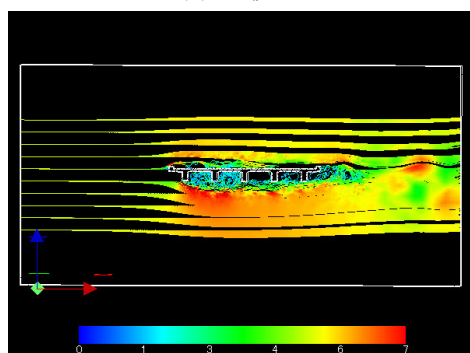
(a) 1秒



(b) 2秒



(c) 3秒

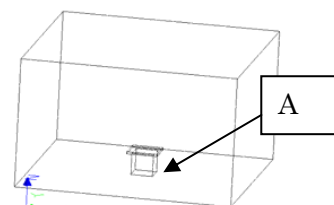


(d) 4秒

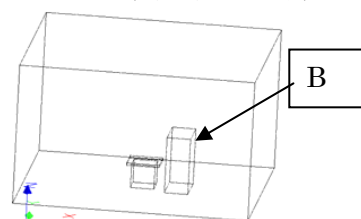
図-7 橋梁周辺の風速場（流線）

(3) 粒子拡散手法の一種であるランダムウォーク法を用いた構造物周辺の飛来塩分シミュレーション手法を構築した。構造物の異なる部位ごとの付着塩分量が測定可能となった。

(例) 建築構造物の周辺環境が変化した場合の付着塩分量の変化。図-8に解析対象を示す。



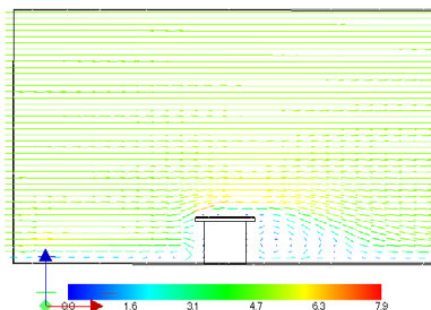
(a) ケース 1（構造物 A のみ）



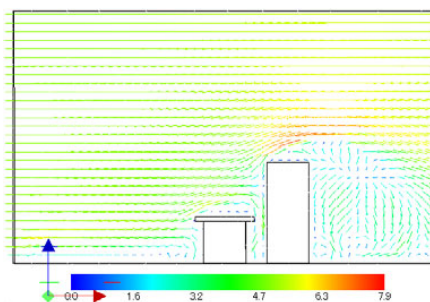
(b) ケース 2（構造物 B が新設）

図-8 解析対象モデル

構造物 A の風下側に構造物 B が新設され、その周辺環境の変化により構造物 A の風速場が変化している。その様子を図-9に示す。



(a) 構造物 A のみの場合

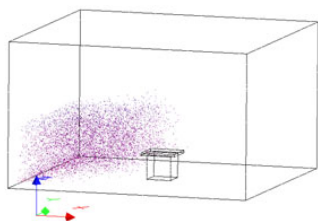


(b) 構造物 B が追加され場合

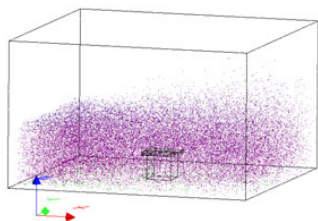
図-9 周辺環境変化に伴う風速場の変化



飛来塩分の移流・拡散挙動の結果として、  
図-10 にケース 1， 図-11 にケース 2 を示す。

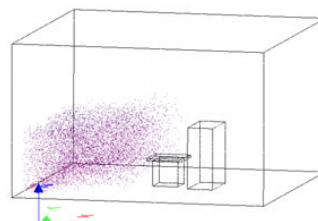


(a) 2 秒

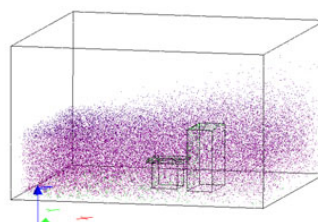


(b) 10 秒

図-10 ケース 1



(c) 2 秒



(d) 10 秒

図-11 ケース 2

また，構造物 A の正面（風上側），屋上，裏面（風下側），ひさし下周りの付着塩分量の変化を図-12 に示す。これより，本手法を用いて異なる部位ごとの腐食評価が可能であると考える。

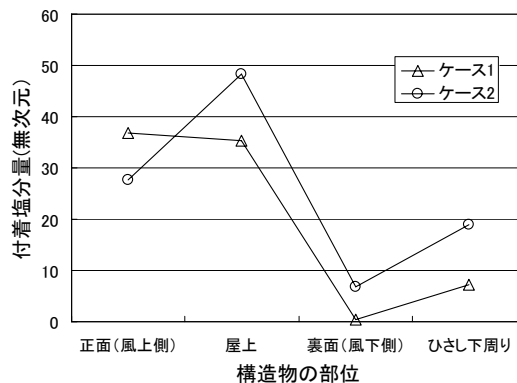


図-12 構造物部位の違いによる塩分付着量の変化

### 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)

[学会発表] (計 2 件)

- ① 東條良太，山田義智，富山潤，湯浅昇：領域気象モデル(WRF)による風向・風速予測の適応性，2010 年度日本建築学会大会（北陸）学術講演会（投稿中）
- ② 富山潤，伊良波繁雄：数値気象モデルを用いた飛来塩分シミュレーション，計算工学講演会論文集，Vol.14，pp.891-892，2009.5

### 6. 研究組織

#### (1)研究代表者

富山 潤 (TOMIYAMA JUN)

琉球大学・工学部・准教授

研究者番号：20325830

#### (2)研究分担者

( )

研究者番号：

#### (3)連携研究者

( )

研究者番号：