

# コンクリート構造物に作用する塩害環境条件の時空間予測システムの開発

コンクリート研究室 長谷川貴哉  
指導教員 下村 匠  
中村 文則

## 1. はじめに

近年、高度経済成長期に建造されたコンクリート構造物の劣化が顕著となっており、多数の劣化報告がされている。国土交通省が発行している国土交通白書(2018)では、建設後50年以上経過する道路橋は2023年には全体の約39%、2033年には全体の約63%と全体の半数を超えると予測されており、今後さらなる劣化数の増加が予想される。以上のことより、構造物の劣化予測の精度を向上させ、補修及び点検等をより効率的に行う必要がある。構造物の劣化現象は多々あるが、島国である日本において、塩害によるRC構造物の鉄筋腐食による劣化は比較的発生しやすく、劣化の程度も大きいことから問題となっている。従って、構造物の劣化解析を行う上で塩害劣化解析を行うことは重要となる。

従って、本研究では、コンクリート構造物の塩害劣化解析の予測精度を向上させることを目的として、構造物に作用する塩害予測条件を時系列で予測する手法について検討を行う。併せて、個別の構造物に作用する塩害環境を予測するために、個別の構造物の地形条件を判定する手法の検討を行う。また、これらを統合させた、塩害環境の時空間的な予測システムの構築を行う。

## 2. 環境作用条件の時間的検討

構造物に作用する飛来塩分は、浸透過程を得て鉄筋位置まで到達し、鉄筋を腐食させる。鉄筋の腐食には年単位の時間が掛かり、その間、構造物の表面に作用する塩害環境を把握することは重要となる。従って、本研究では、構造物に作用する環境作用条件の長期的な変動を把握するために、SARIMAモデルによる風速および波高の将来予測を行った。SARIMAモデルとは、海岸工学、経営工学など幅広い分野で用いられている時系列分析に使用するモデルの1つであり、式-1にて表される。

$$\begin{aligned} \phi(L)\Phi(L^S)(1-L)^d(1-L^S)^p y_t \\ = m + \theta(L)\Theta(L^S)\varepsilon_t \quad (t = 1, 2, \dots, T) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、 $\phi$ は自己回帰の係数、 $\Phi$ は季節自己回帰の係数、 $\theta$ は移動平均の係数、 $\Theta$ は季節移動平均の係数、 $S$ は周期性のパラメータである。

である。図-1にSARIMAモデルを用いて、1961年か

ら1989年までの新潟市アメダス観測所の風速を訓練データとして用いて、1990年から2018年までの予測を行った結果を示す。図には比較を行うために、1990年から2018年までのアメダス観測所の実測値を合わせて示す。図より、予測値と実測値の傾向はおおむね一致していることから、SARIMAモデルを用いることによって、環境作用条件の長期的な変動の予測が可能であると考えられる。また、図-2に2002年から2006年の名立大橋における1ヶ月毎の飛来塩分の土研式塩分捕集箱の暴露試験結果とSARIMAモデルを用いた飛来塩分の予測を示す。図より、予測値は暴露試験の結果の傾向を概ね捉えていることが確認される。

## 3. 環境作用条件の空間的検討

構造物に作用する飛来塩分は、その発生過程と輸送過程にて、構造物の周辺地形や環境条件による影響を受ける。従って、周辺地形を適切に評価する必要がある。本研究では、宇多ら<sup>1)</sup>中村ら<sup>2)</sup>を参考として図-3

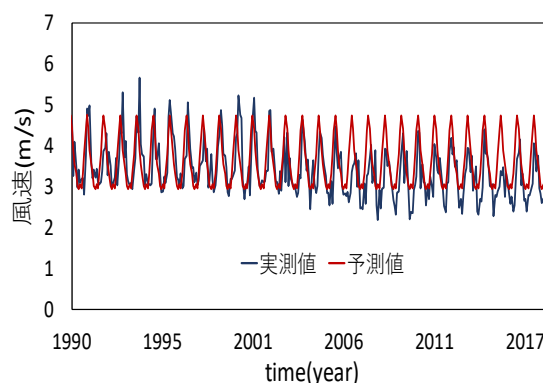


図-1 風速の長期予測

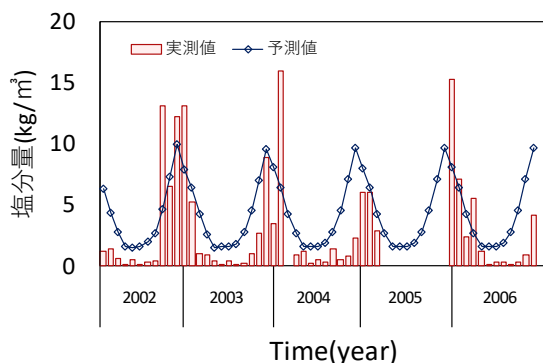


図-2 名立大橋における飛来塩分

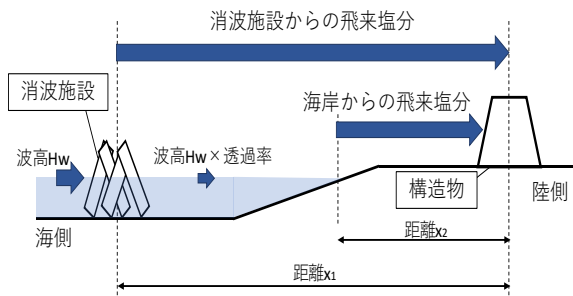


図-3 飛来塩分到達略図

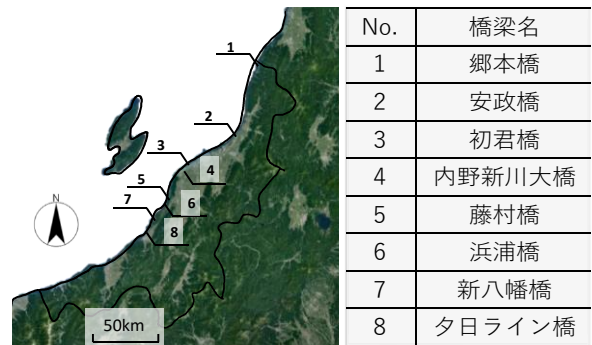


図-4 橋梁位置概略図

に示すように、飛来塩分を、発生過程(式-2)と輸送過程(式-3)にそれぞれ分け、それぞれに地形のパラメータを取り入れることで評価を行った。

$$C_g = C_s \cdot \alpha \cdot \frac{1}{u_0^2} \{ \lambda \cdot u^2 + (1 - \lambda) (\sigma_w \cdot T \cdot H_w)^2 \} \quad (2)$$

$$C_{reach} = \gamma \cdot C_{g1} \cdot \delta \cdot \exp\left(-\frac{\beta}{u} \cdot x_1\right) + C_{g2} \cdot \delta \cdot \exp\left(-\frac{\beta}{u} \cdot x_2\right) \quad (3)$$

ここで、 $C_g$ は発生塩分量(kg/m<sup>3</sup>)、 $C_s$ は飛来塩分の発生に関する係数(kg/m<sup>3</sup>)、 $\alpha$ は消波施設の有無による重みづけ係数、 $u_0$ は基準となる風速(m/s)、 $u$ は風速(m/s)、 $\sigma_w$ は風速と波高に関する係数、 $H_w$ は波高(m)、 $C_{g1}$ は消波施設からの発生塩分量(kg/m<sup>3</sup>)、 $C_{g2}$ は海岸からの発生塩分量(kg/m<sup>3</sup>)、 $\beta$ は発生飛沫の距離による減衰の程度を表すパラメータ、 $\gamma$ は消波施設の有無による定数、 $\delta$ は植林等の塩分の輸送を阻害する物が輸送経路にある場合の減衰係数である。ここで使用する風速及び波高は対象の構造物の近傍にある気象観測所2点を距離による重み付けを行ったものを使用する。

#### 4. 飛来塩分の時空間的検討

2項および3項において、環境作用条件の長期的な変動および位置的な変化についての検討を行った。本項では新潟県に点在する橋梁の飛来塩分の予測を行うことで時空間的な予測を行った。橋梁の位置の概略を図-4に示す。対象とした橋梁は新潟県の沿岸付近に位置しており、塩害環境下に位置すると考えられる橋梁である。図-5に対象の橋梁の2015年12月から2016年12月までの約1年間の対象橋梁に作用した飛来塩分量を示す。観測値は対象期間における、橋梁側面にモルタルチップを設置して行った現地観測の結果を示す。また、併せて示したコンクリート標準示方書の基準に基づいて定めた塩分量を合わせて示す。予測値は対象期間以前の環境作用条件をサンプルデータとして用いて SARIMA モデルにて予測を行った結果を示す。図より、SARIMA モデルを用いて行った飛来塩分の予測は一部点を除き良好な一致を示した。また、橋梁の位置によっては、標準示方書の基準を下回る、

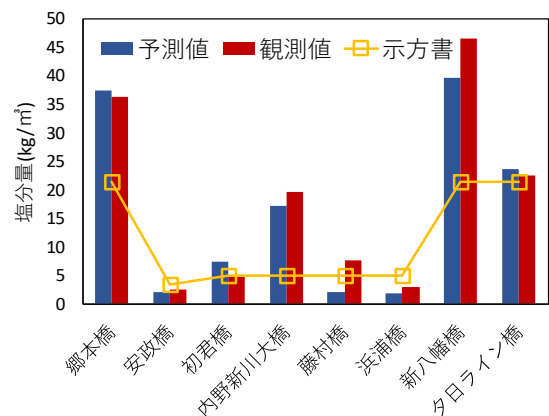


図-5 橋梁の飛来塩分量の予測

または上回ることが確認された。観測値及び計算値が示方書の値を上回った理由として、図に示した観測地は、表面に付着し、コンクリート内に浸透していない塩分が考慮されているが、示方書では表面境界の値を定めていることが考えられる。

#### 5. まとめ

本研究では、環境作用条件の長期的予測および橋梁の位置による飛来塩分の予測を行った。その結果、SARIMA モデルを用いることによって、環境作用条件の長期的な予測をすることが可能であることを示した。また、構造物周辺の地形条件や環境作用条件を考慮して飛来塩分の予測を行うことによって、構造物の設置条件によって現行の評価方法では予測値が過少または過大になる可能性を示した。

## 6. 引用文献

1)宇多高明, 小俣篤, 小西正純(1992): 海岸からの飛来塩分の計算モデル, 海岸工学論文集, 第39巻

2)中村文則, 大原涼平, 山口貴幸, 下村 匠: 塩害域の地形条件を含めたコンクリート構造物の表面塩分の定量的評価手法の構築

気象庁:

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

全国港湾海洋波浪情報網:

<https://www.mlit.go.jp/kowan/nowphas/>