

風観測と気流解析を利用した列車運行管理のための強風予測手法に関する研究

その1 風観測と気流解析を利用した鉄道沿線の風況予測手法

○ 東京大学 正会員 山口 敦 東日本旅客鉄道 正会員 島村誠
 東京大学 正会員 石原 孟 東日本旅客鉄道 正会員 鈴木博人
 東京大学 学生員 鈴木 景 東日本旅客鉄道 正会員 松沼政明

1. はじめに

鉄道では強風対策として列車運行規制や防風柵の設置を行っている。現状の運行規制は規制区間に対し1地点から数地点における風速の観測値に基づいて行っている。風観測に基づく運行規制は、観測点で発生する強風イベントを確実に捉えることができるという利点があるが、観測地点以外での強風は捉えることができないという課題がある。一方、近年メソスケール気象モデルや局所風況予測モデルを用いた気流解析により風の空間分布および年平均風速が正確に予測できるようになった。しかし、気流解析は風速の空間分布を精度よく求めることができるが、強風イベントを全てとらえることができないという問題点がある。

そこで本研究では、観測と気流解析の長所を組み合わせることにより、1地点の観測値から規制区間内における任意地点の瞬間風速・風向を予測する手法を提案し、それに基づき、規制区間内の任意の地点における風速の時系列変化および風速の出現頻度を定量的に求めた。

2. 鉄道沿線の風況予測手法の提案

本研究で提案した手法の概要を図1に示す。まず、メソスケール気象モデルと風況予測モデルによる1年間の気流解析の結果を用い、風速予測地点と観測点との間の風速比を風向別に求める。次に観測点における平均風速の観測値と風速比から風速予測地点の平均風速を予測する。また、気流解析結果から求めた風向別の乱れ強度に基づき風向別の突風係数を計算し、風速予測地点の最大瞬間風速を予測する。本節では平均風速および最大瞬間風速の予測の具体的な手法について説明する。

2.1 平均風速・風向の予測

メソスケール気象モデルや風況予測モデルを用いた気流解析により、対象領域内の1年間の風速の時系列を求めることができる。本研究では気流解析により求めた2地点間の風速比および風向偏角は風向のみの

関数であると仮定し、最小二乗法により風速比を推定した。なお、気流解析はメソスケール気象モデルRAMS¹⁾と局所風況予測モデルMASCOT²⁾を組み合わせることにより行った。

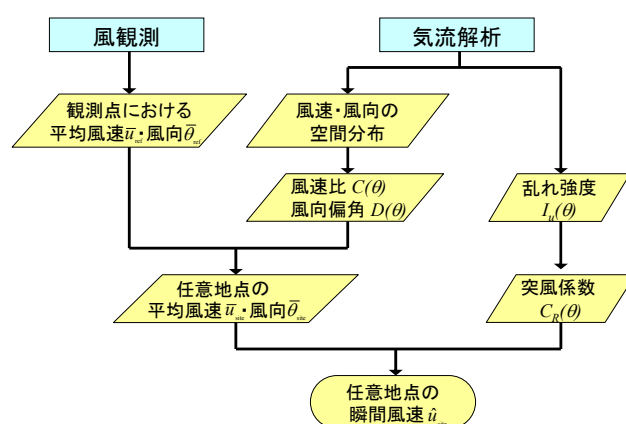


図1 風観測と気流解析を利用した強風予測のフロー

シミュレーションによる観測地点における風速・風向を $u_{\text{ref}}^{\text{model}}(t)$, $\theta_{\text{ref}}^{\text{model}}(t)$, 予測対象地点における風速・風向を $u_{\text{site}}^{\text{model}}(t)$, $\theta_{\text{site}}^{\text{model}}(t)$ とする。2地点間の風速比 $C(\theta_{\text{ref}}^{\text{model}})$ および風向偏角 $D(\theta_{\text{ref}}^{\text{model}})$ は観測地点でのシミュレーション結果の風向 $\theta_{\text{ref}}^{\text{model}}$ の関数として(1)式および(2)式に示す誤差が最小となるように最小二乗法により求めた。

$$\sum_i \left(u_{\text{ref}}^{\text{model}}(t) \times C(\theta_{\text{ref}}^{\text{model}}) - u_{\text{site}}^{\text{model}}(t) \right)^2 \quad (1)$$

$$\sum_i \left(\theta_{\text{ref}}^{\text{model}}(t) + D(\theta_{\text{ref}}^{\text{model}}) - \theta_{\text{site}}^{\text{model}}(t) \right)^2 \quad (2)$$

以上求めた風速比と風向偏角を用いて、観測地点における1分平均風速($\bar{u}_{\text{ref}}$)・風向($\bar{\theta}_{\text{ref}}$)を沿線の任意地点の1分平均風速($\bar{u}_{\text{site}}$)・風向($\bar{\theta}_{\text{site}}$)に(3)式および(4)式を用いて変換する。

$$\bar{u}_{\text{site}}(t) = \bar{u}_{\text{ref}}(t) \times C(\bar{\theta}_{\text{ref}}) \quad (3)$$

$$\bar{\theta}_{\text{site}}(t) = \bar{\theta}_{\text{ref}}(t) + D(\bar{\theta}_{\text{ref}}) \quad (4)$$

2. 2 瞬間風速・風向の予測

鉄道の運行規制には、最大瞬間風速(3 秒平均相当)が用いられる。このため、提案した手法を実際の運行規制に用いるためには1 分間平均風速から1 分間最大瞬間風速を推定する必要がある。本研究ではシミュレーションにより求めた風向別の乱れ強度($I_u(\theta)$)に基づき風向別の突風係数($C_R(\theta)$)を算出し、1 分間最大瞬間風速を推定した。突風係数は乱れ強度を用い、以下の式で計算できる。

$$C_R(\bar{\theta}) = 1 + k_p I_u(\bar{\theta}) \quad (5)$$

ここで、 k_p はピークファクタであり、本研究では Ishizaki²⁾によって提案された手法に従い、(6)式によって算出した。

$$k_p = \frac{1}{2} \ln \frac{60 \text{ sec}}{3 \text{ sec}} \quad (6)$$

以上求めた突風係数を用い、1 分平均風速・風向から1 分最大瞬間風速に(7)式により変換した。

$$\hat{u}_{\text{site}}(t) = \bar{u}_{\text{site}}(t) \times C_R(\bar{\theta}_{\text{site}}) \quad (7)$$

3. 実測による検証

本研究で提案した手法の有効性を、東北本線の藤田・貝田駅間の5 地点(図2)における風速の観測値を用いて検証した。ここでは地点3における観測値を用い、前節で説明した手法により気流解析の結果と組み合わせ、地点3以外の4 地点における最大瞬間風速を予測し、観測値と比較した。



図2 東北本線沿線の5 地点

図3には地点2における予測結果の一例を示す。2005 年1月25日に発生した強風イベントは本研究で提案した手法により精度よく再現することができる。図4と図5には観測地点の中で年平均風速が最も高い地点2と最も低い地点5における年間の風速別出現頻度を示す。各風速階級における出現頻度を精度

よく予測していることがわかる。

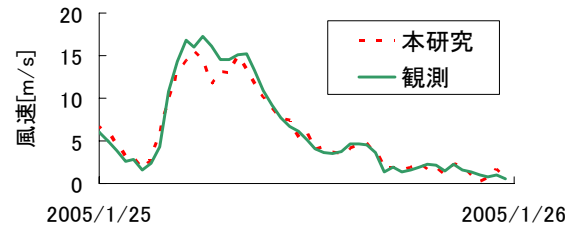


図3 地点2における最大瞬間風速

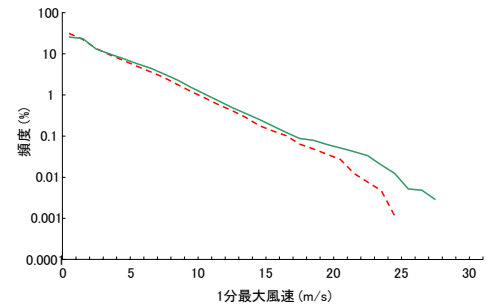


図4 地点2における年間の風速別出現頻度

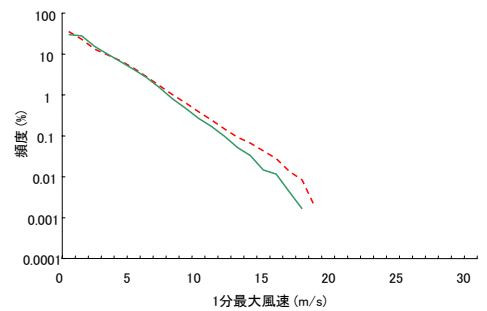


図5 地点5における年間の風速別出現頻度

4. まとめ

本研究では1 地点の観測とメソスケール気象モデルおよび風況予測モデルによる気流解析結果を組み合わせることにより、鉄道沿線の任意地点の風速を予測する手法を開発した。その結果、1 地点の観測から風速が急激に増大する強風イベントを再現することも可能であるとともに、年間の風速別出現頻度も精度よく予測できることを実測データと比較することにより確認した。

参考文献

- 1) Pielke et al.: A comprehensive meteorological modelling system – RAMS, Meteorol. Atmos. Phys., Vol. 49, pp. 69-91, 1992.
- 2) 石原孟, 山口敦, 藤野陽三: 複雑地形における局所風況の数値予測と大型風洞実験による検証, 土木学会論文集, No. 731/I-63, pp. 195-211, 2003.
- 3) H. Ishizaki: Wind Profiles, Turbulence Intensities and Gust Factors for Design in Typhoon-Prone Regions, J. Wind Eng. and Ind. Aerodyn., vol. 13, pp. 55-66, 1983.