

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2 沿線風況を考慮した運行規制手法

○	東京大学	学生員	古谷 康昭	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	正会員	山口 敦	東日本旅客鉄道	正会員	松沼政明

1. はじめに

現在鉄道の運行規制は、規制区内の1地点から数地点における観測風速に基づいて行われている。この手法には、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。一方欧州では列車運行に対する強風のリスクを定量的に評価するために鉄道沿線をサブ区間に分割する手法が提案されている。この手法ではサブ区間の風の間に相関がないと仮定しているため、列車運行に対する風のリスクを過大に評価する恐れがある。本研究ではこれらの課題を解決する方法の1つとして、その1で提案した手法を用い、1地点の観測から運行規制風速を推定する手法を提示し、実測によりその有効性を評価する。また、転覆限界風速が風向角による変化を考慮した場合の規制風速の発生確率および防風柵を設置した場合の低減効果を定量的に評価する。

2. 新しい運行規制風速評価手法の提案

2.1 運行規制風速評価手法の提案

1地点での観測値に基づいて運行規制を行う場合には、規制区内での1地点での観測風速(u^{obs})が規制風速(u^{limit})を超えた場合に規制を行うことになる。この手法に基づく年間の運行規制が行われる確率 P^{meas} は

$$P^{meas} = P(u^{obs}_i > u^{limit}) \quad (1)$$

となる。この手法では規制区内の風速が観測点で代表できると仮定しているため地形等による局所的な増速を考慮できず、観測点以外で発生する強風イベント時に規制をかけることができないという問題点がある。

一方、欧州では区間内の局所的な地形による風速の違いを考慮するために、区間を n 個のサブ区間(図1)に分割する手法が提案されている¹⁾。この手法では各サブ区間の風速間に相関がないと仮定し、各サブ区間において風速が規制風速を超えない確率 $P(u_i < u^{limit})$ の積を1から引くことにより、次式に示すように規制区間

における規制風速の発生確率を評価する。

$$P^{no-cor.} = 1 - \prod_i [1 - P(u_i < u^{limit})] \quad (2)$$

しかし実際のサブ区間の風速間には相関があり、強風が同時に発生することがあるため、この手法は運行規制風速の発生確率を過大評価する恐れがある。

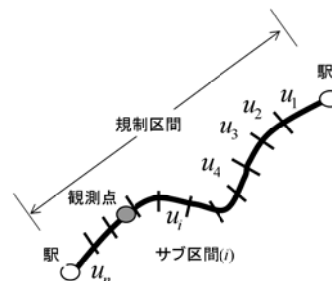


図1 規制区間をサブ区間に分割する手法

本研究ではこれらの問題を解決するため、各サブ区間の風速のうち、1点でも規制風速 u^{limit} を超えた場合に規制を行うとし、次式により年間の運行規制実施確率を求めた。

$$P^{proposed} = P(\max(u_i) > u^{limit}) \quad (3)$$

この手法によりサブ区間の相関を考慮していることになり、規制区内の風速の違いと相関を考慮した運行規制が可能となる。

2.2 実測による検証

その1で説明した東北本線の藤田・貝田間の5地点が代表点となるサブ区間からなる仮想的な規制区間を考え、この仮想区間において規制風速を超える確率を前述の3種類の手法を用いて評価した。

図2に各手法による、規制風速25m/sを超す確率を示す。また、全5地点の観測値のうち最大値が規制風速を超える確率を観測値として示した。

1地点の観測のみによる手法は規制区内の風速が規制風速を超える確率を過小評価している。これは、観測地点以外の場所で規制風速を超えている場合に規制をかけることができないためであると考えられる。一方、サブ区間の風速に相関が無いと仮定した手法は規制風速を越える確率を過大評価している。これは実

際にはサブ区間の風速間には相関があるため、強風が同時に発生することが多いにも関わらず、サブ区間の風速が無相関と仮定しているためである。

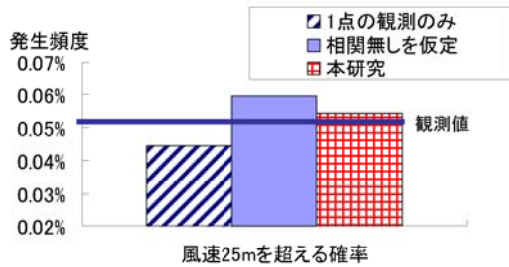


図2 推定手法別の運行規制風速の発生頻度

2.3 サブ区間の間隔の影響

本手法ではサブ区間の間隔が重要である。サブ区間の間隔の影響を調べるため、サブ区間の間隔を変えて年間規制風速の発生頻度を評価したものを図3に示す。

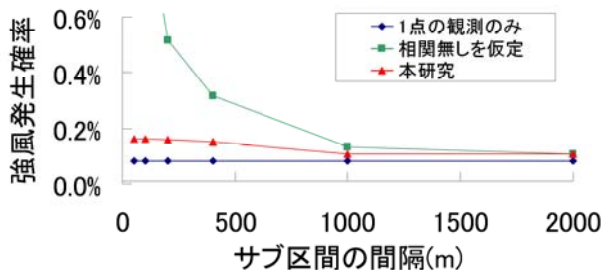


図3 サブ区間の間隔による年間の強風発生頻度

本研究の手法ではサブ区間の間隔が 200m 以下ではほとんど値が変化しないことから、わが国においてはサブ区間の大きさを 200m 程度にすればよいことがわかる。また、相関が無いと仮定した手法はサブ区間の間隔が 2km 程度であれば本研究と大きな違いがないことがわかる。これは欧州では地形が比較的平坦なため、サブ区間の大きさを大きくとることができ、相関が無いとする仮定が妥当であることを示している。

3. 風向及び防風柵の効果

列車の転覆限界風速は列車に対する風向の相対角度によって変化するため、運行規制風速についても風向を考慮することで、より適切な運行規制を実施することができると思われる。また防風柵を設置した場合の運行規制風速の発生確率を評価する必要がある。

3.1 評価手法の概要

風向の考慮にあたっては、式(4)に示す列車と風の相対角による転覆限界風速の低減効果を表す風向係数 $C(\phi)$ を用いた。

$$C(\phi) = \frac{W_c(\phi_{DANGER}, V)}{W_c(\phi, V)} \quad (4)$$

ここで、 $W_c(\phi, T, V)$ は列車と風の相対角 ϕ および列車の

速度 V の関数である転覆限界風速曲線である。また ϕ_{DANGER} は最も危険となる列車と風の相対角度である。本研究では列車の速度 V としては 120km/h を用いた。

防風柵による低減効果については式(5)に示す防風柵補正係数 $C^*(\phi)$ により評価した。

$$C^*(\phi) = \sqrt{(C_n \sin \phi)^2 + (C_r \cos \phi)^2} \quad (5)$$

ここで C_n は防風柵に直角な風の成分に対する低減率であり 0.83 を用いた。また C_r は防風柵に平行な風の成分に対する低減率であり 1.0 を用いた。

以上の風向係数および防風柵補正係数を風況予測結果に乗じることで、風向及び防風柵を考慮した限界風速を求めた。

3.2 評価結果

以上の手法を用い、風向を考慮した場合および防風柵を設置した場合に規制区間における運行規制風速の発生確率を求めた。図4には風向および防風柵を考慮した場合の年間の運行規制風速の発生確率を示す。風向と防風柵を考慮した場合運行風速の発生時間が大きく減少することがわかった。この結果、本研究で提案した予測手法を導入することで、安全性を保ったまま列車の運行規制風速の発生頻度を少なくすることが可能となった。また防風柵の効果を定量的に考慮可能となったことで、設置場所、長さ、向きを定量的に決定することが可能となった。

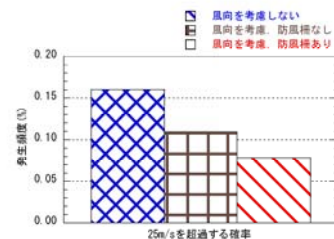


図5 1分最大瞬間風速が規制風速 25m/s を超過する確率

4. まとめ

本研究では運行規制区間をサブ区間に分割し、局所風況を考慮した運行規制風速の推定手法を提示すると共に風向および防風柵の効果を考慮した年間の運行規制風速の発生確率を評価し、以下の結論を得た。

- (1) 地点間の風速の相関を考慮した運行規制風速の推定手法は、比較した3手法の中で最も観測結果と適合することが分かった。
- (2) 風向と防風柵を考慮した評価手法を用いる場合には、運行規制風速の発生時間は風向を考慮しない場合により 30%減少し、また防風柵を考慮することにより更に減少することが明らかになった。

参考文献 1) L. M. Créon et al.: Les vents traversiers sur la LGV Méditerranée, *Revue Générale des Chemins de Fer*, 2002.