

鉄道沿線の強風箇所抽出方法

防災技術研究部 気象防災
副主任研究員 福原 隆彰

1. はじめに

強風による列車の脱線事故を未然に防ぐために、鉄道沿線に風速計が配置され、これらの風速計が強風を検知した場合に列車の運転見合わせや速度規制といった運転規制が発令される。

ある規制区間を考えた場合、列車の転覆限界風速以上の風速が出現する頻度の最も高い箇所に規制用風速計を配置することが、その区間全体で強風に対する安全を確保する上で重要となる。そのためには、鉄道沿線で強風となりやすい箇所を推定することが必要となる。このような箇所を推定する方法のひとつとして、様々な地形の特徴を数値化し、統計的な推定を行う地形因子解析が用いられてきたが、この方法は、台風や低気圧など、強風の原因となる気象現象や大気の状態を直接考慮するものではなかった。

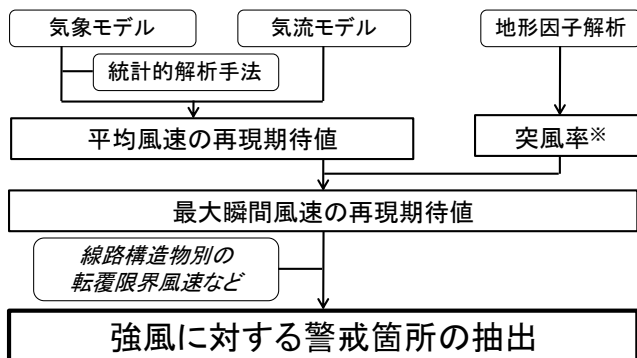
近年、計算機技術の発達により、数値シミュレーションによる天気予報の技術に進歩がみられている。また、風力発電用風車の建設や計画に伴い、強風箇所を抽出する目的で、数値シミュレーションが多く用いられるようになってきた。数値シミュレーションは大気の状態を表した方程式を解く方法であるため、従来用いられてきた地形因子解析と比較すると、より精度よく強風の箇所を抽出することができる。

そこで、数値シミュレーションを用いて求めた風速と、従来の微細な地形の影響を風向別に考慮する技術を組み合わせて鉄道沿線において観測される最大瞬間風速を推定した。本発表では、この概要とともに、鉄道沿線での最大瞬間風速と、線路構造物に応じた車両の転覆限界風速を組み合わせ、鉄道沿線において強風に対して警戒を要する箇所を抽出する方法についての検討例を述べる。

2. 強風箇所の抽出方法の概要

強風による鉄道車両の脱線転覆現象は、車両が転覆に至る時間が短いことから、平均風速ではなく、短時間の風速がある閾値を超えた場合に生じるものと考えられる。そこで、本研究では、強風箇所を「最大瞬間風速の再現期待値が大きい箇所」として、鉄道沿線における最大瞬間風速の再現期待値を求めることとした。

しかしながら、数値シミュレーションでは、平均的な風速が算出されるため、最大瞬間風速の再現期待値を直接求めることは技術的に困難である。そこで、数値シミュレーションでは再現期待値を平均風速で求め、これに微細な地形の影響を考慮する地形因子解析により求められる突風率（平均風速に対する最大瞬間風速の比）を組み合わせ、最大瞬間風速の



※突風率: 最大瞬間風速と平均風速との比

図1 鉄道沿線の強風箇所抽出フロー

再現期待値への変換を行った。本研究における鉄道沿線の強風箇所抽出フローを図 1 に示す。

3. 数値シミュレーションを用いた平均風速の再現期待値の算出

平均風速の再現期待値を求めるための数値シミュレーションとして、ここでは気象シミュレーションモデル（以下、気象モデル）と気流シミュレーションモデル（以下、気流モデル）の二種類を使用し、その結果を組み合わせることとした。前者は天気予報でも用いられているモデルと基本的に同じく、広い領域について風、気圧、水蒸気、降水などの気象条件を組み込んでその後の大気の状態を計算するものである。このモデルは各種気象現象に伴う風を求めることが可能であるが、細かい格子間隔で計算した場合に時間を要することや、複雑地形の周辺では計算が難しい。一方、後者は計算機の中で風洞実験を再現したモデルであり、前者と比較すると考慮出来る気象条件に限りはあるが、細かいメッシュや複雑地形における風速を求めることが可能である。

そのため、3km 程度の格子間隔の風速は気象モデルで、それより細かい 200m 間隔の風速分布は気流モデルを用いて、目的とする間隔での平均風速の再現期待値を算出した。

3. 1 気象モデルを用いた平均風速の算出

今回使用した気象モデルは、(株) CRC ソリューションズ (現 伊藤忠テクノソリューションズ (株)) の LOCALS で、地形や降水過程の再現方法が、日本付近の気象に合わせた仕様となっている¹⁾。このモデルを用いて、強風が観測された日における 3km 間隔での平均的な風速を再現した。

上記気象モデルで再現した風速データから、統計解析手法より、地上高さ 10m での平均風速の 50 年再現期待値の分布を求めた。その結果を図 2 に示す。

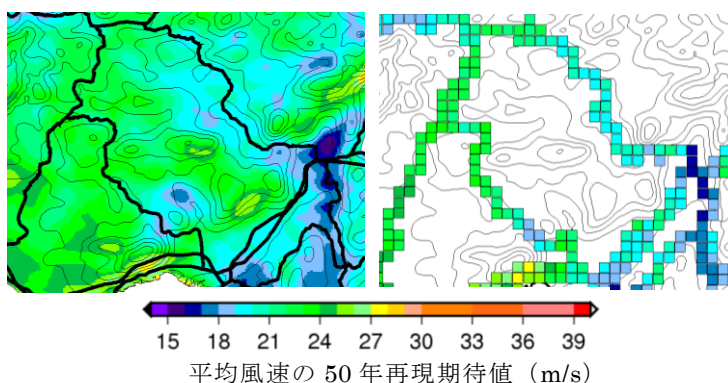


図 2 気象モデルで算出した平均風速の 50 年再現期待値
左：全体、右：線路を含む 3km 格子点のみ
(左図の黒実線：線路)

3. 2 気流モデルを用いた地形の影響による風速分布の算出

風速は、大気の状態だけではなく地形の影響も受ける。そこで、数百 m 規模の小地形が気流に及ぼす影響を調べるために、九州大学応用力学研究所が開発した気流モデル RIAM-COMPACT の中立成層版²⁾を使用して、地形の影響による風速分布を算出した。ここでは、200m 間隔の風速分布を求め、各計算格子において、3km 四方の領域で平均し

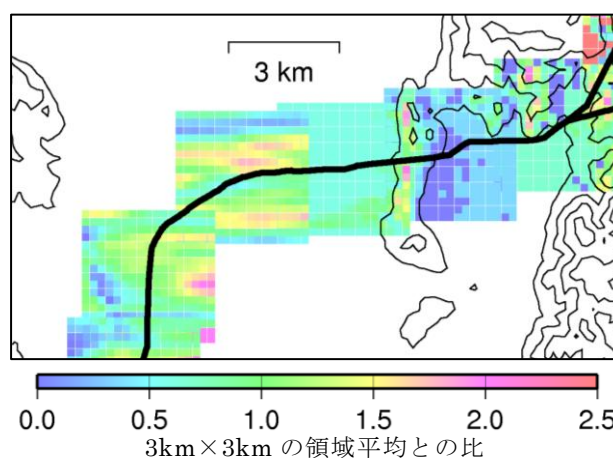


図 3 気流モデルで算出した平均風速の風速比
(黒実線：線路)

た風速との比の分布を求めた。入力風を西風にしたときにおける地上高さ 10m での風速比を計算した結果を図 3 に示す。この値と、気象モデルで算出した 3km 間隔での風速の再現期待値を用いることで、200m 間隔での風速の再現期待値を求めた。

4. 最大瞬間風速の再現期待値の推定

気象モデルと気流モデルでは、平均風速の再現期待値を求めたため、平均風速から最大瞬間風速に変換する必要がある。そこで、平均風速と最大瞬間風速との比である突風率を、従来用いられている地形因子解析を用いて求めた。求めた突風率と平均風速の再現期待値を組み合わせることで、最大瞬間風速の 50 年再現期待値を算出した。

また、同様に、ある最大瞬間風速 U が吹く再現期間、つまり、最大瞬間風速 U がどのくらいの期間に一度吹くかについても求めることが出来る。20km の長さをもつ仮想的な線区において、この方法での U を 40m/s とした場合の再現期間について試算した結果を図 4 に示す。これにより、最大瞬間風速 40m/s の風が吹きやすい箇所を量的に推定することができる。

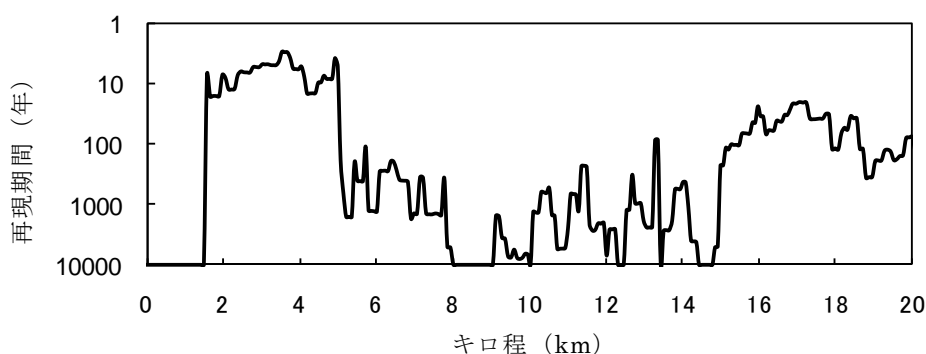


図 4 地上 10m で 40m/s の最大瞬間風速となる再現期間

5. 線路構造物を考慮した強風箇所抽出方法

この手法による、強風箇所の抽出ならびに規制用風速計の配置位置の検討例を示す。

鉄道における強風箇所の抽出ならびに規制区間における風速計の配置に際しては、強風頻度だけでなく、線路構造物により異なる転覆限界風速をも考慮する必要がある。そこで、図 4 に示した風況をもつ 20km の仮想的な線区に対しての検討例を示す。

ここでは、さらに以下の 2 点を仮定する。

- ・対象とする車両の平地での転覆限界風速は 40m/s である
- ・線路構造物を考慮した転覆限界風速の分布は図 5 に示した分布となる

これより、地上 10m の風速が、転覆限界風速となる事象の再現期間を求めた。その結果を図 6 に示す。図 6 より、再現期間が際だって短い、5km 地点および 16km 地点が強風に注意すべき地点であり、風速計の設置候補地点であるといえる。また、図 4 より、線路構造物を考慮しない場合は再現期間が短く、強風が吹きやすい箇所と推測される 2km~4km の区間では、転覆限界風速が高い線路構造物であるため、他と比較すると、強風に対して注意を払う必要性が少ないこととなる。

このように、線路構造物により異なる転覆限界風速を考慮すれば、鉄道の安全性に主眼をもった強風箇所が抽出できるようになる。

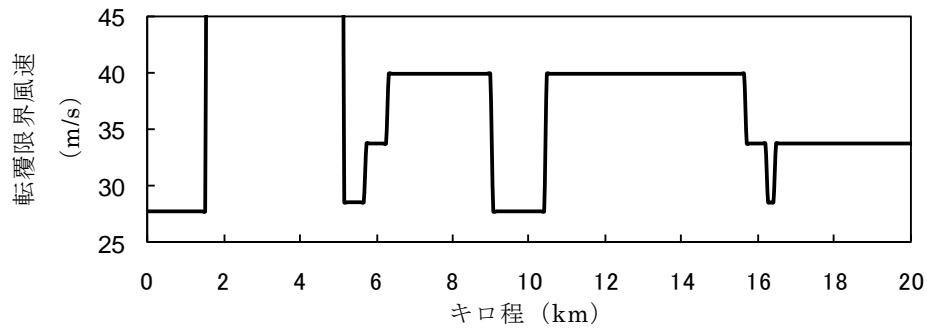


図5 想定した転覆限界風速（地上 10m での風速に換算）

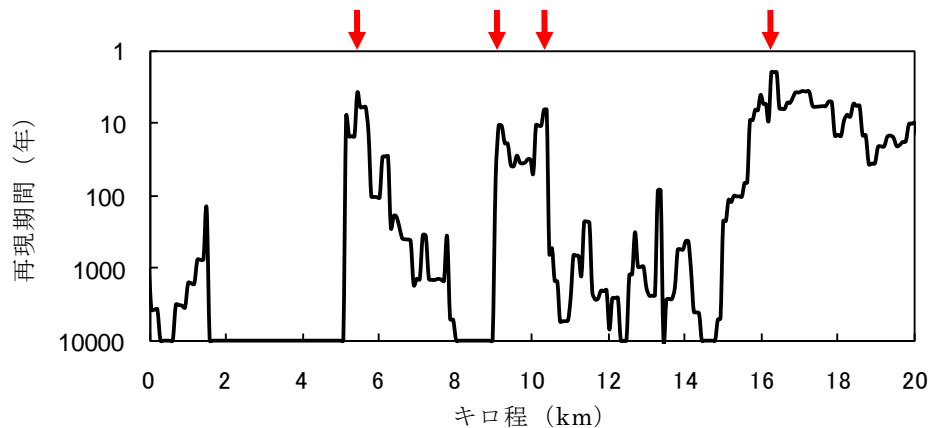


図6 地上 10m の風速が転覆限界風速を超える事象の再現期間
（赤矢印は強風に対して注意を要する箇所）

6. おわりに

本研究では、2 種類の数値解析手法（気象モデルと気流モデル）ならびに地形因子解析を用いて、鉄道沿線の最大瞬間風速の再現期待値、および、車両の転覆限界風速を超える強風が吹く再現期間を細かな間隔で求める方法を示した。この方法により、規制用風速計の設置地点の検討や規制区間の設定を客観的に行うことができるようになる。

なお、本研究により開発した手法は、風速計の設置地点や防風設備の設置箇所の選定といった、長い期間において強風の頻度が多い箇所を特定するものである。そのため、運転規制が発令されるような強風が発生する時刻や区間を予測する方法は別に開発することになる。

今後は、本成果の検証に資する風向風速データを継続して蓄積するとともに、新しいシミュレーションモデルやデータ同化手法の採用などを通じて、本手法の精緻化を図っていきたい。

文献

- 1) 谷川亮一：LOCALS による風況シミュレーションモデルの開発と風況評価，ながれ，Vol.22, No.5, pp.405-415, 2003
- 2) 内田孝紀，大屋祐二：風況シミュレータ RIAM-COMPACT の開発－風況精査とリアルタイムシミュレーション－，ながれ，Vol.22, No.5, pp.417-428, 2003