

強風に対する警戒が 必要な箇所を探しだす

今井 俊昭

防災技術研究部(気象防災 研究室長)



いまい としあき

はじめに

今、強風に対する車両の安全を確保することが鉄道会社にとって大きな課題となっています。鉄道会社が有効な強風対策を講じるためには、風災害への耐力が低い箇所を知ると同時に、外力である強風の発生頻度が高い箇所を知ることが重要です。

余部事故(1986年)が特殊な地形の地点で発生したこともあり、特殊な地形でなければ強風事故は生じ得ないと考えられた時期もありました。いわば、線区は一握りの危険な区間と大半の安全な区間に明確に二分されると考えられていたようです。ところが、余部事故以降に6件の強風による脱線転覆事故が起き、事故地点周辺の地形や線路構造物が様々であることが知られることとなりました。そこで最近では、強風事故の心配がない箇所を見分ける系統的方法を望む声が強くなっています。

こうした状況において、安全な箇所と危険な箇所に二分するのではなく、どの程度安全かを定量的に判断することが重要になってきました。すなわち、一つの数値軸で個別箇所の危険度に順位をつけることができれば、危険度に応じて優先的に対策を講じていくことができるからです。

今回は「風でどこが危険となりやすいか」を調べる方法と、危険度の考え方について紹介します。

強風がもたらす災害

強風時には様々な危険が想定されます。

まず、最も重大な強風被害として、大きな風圧が引き起こす車両の転覆があります。余部事故以降、規制風速を下げる措置を講じた線区もありましたが、それでも今日までに6件の強風による脱線転覆事故が起きています。これに続く被害形態として、飛来物や風倒木による線路支障があります。これらによって重大事故に至ることはなかったものの、倒木に衝突して車両故障を起こした例や、線路上に近隣建物の屋根が飛来した例があります。

ある地点で100年に1~2回生じるような暴風時には、風が引き起こす鉄道の被害として、線路への重量物の飛来や電柱の倒壊等を考慮する必要が生じてきます。このような猛烈な風が生じた場合は、車両の転覆しやすさとは関係なく広域的に列車の運行を見合わせる必要があります。さらに、嵐が過ぎた後の運行再開には巡回が必要となります。

倒木や飛来物の恐れのない海上橋等の強風区間では風が収まり次第平常運転に戻ることが日常的で、一方、普段から風が弱い地域ほど、同じ風速の強風でも倒木や飛来物が多発する傾向にあります。このように、強風に耐える物理的な強さを調べると同時に、外力が生じる頻度を調べることも風による被害を想定するうえで重要です。

以下では、鉄道が直面している重大な被害形態として風による脱線転覆に焦点をあて、脱線転覆に対する警戒が必要な箇所を探す方法について紹介します。

転覆耐力

横風による転覆しやすさに関係するパラメータの一つに車両の重さがあります。重い車両ほど転覆しにくく、転覆耐力が高いことになります。車両の重さ以外に、車両の形や線路が敷かれている構造物の形によっても転覆の耐力は異なります。風上側の車輪に車体の重さがかからなくなる最小の風速を危険な風速とみなして、危険な風速の大小によって転覆耐力の大小を表すことにします。図1に示すような3種類の構造物上を同じ車両が通過する状況を想定して、転覆耐力の違いを説明します。

ここでは、危険な風速は地上10mの風速として評価します。築堤や橋の形が違えば危険な風速は異なります。これは、線路付近の風の流れが築堤や橋梁の形状に応じて異なり、地上10mの風速が同じでも車両に働く力は異なるためです。さらに、同じ橋梁であっても車両が地面近くを走っている場合ほど(図1のHが小さいほど)危険な風速は大きくなります。

地上10mにおける風速の大小で耐力を表し、以下では耐力を上回る外力について調べます。

強風マップ

警戒を要する箇所を、「耐力を上回る外力が生じる頻度が高い箇所」と規定した上で、強風マップを使って、警戒を要する箇所を探していきます。耐力を評価する基準高さを外力の基準高さに揃えておくと、「耐力を上回る外力の頻度」に対して、「危険度の目安」の意味を持たせることができます。

ところで、外力である風速を評価する基準高さを10mとした理由を説明します。通常、地形の起伏や建物や樹木

が近くにある観測地点ではそれらの影響を受けるため、地面近くでは安定した風速の観測結果が得られません。例えば木造2階建ての住宅が建ち並ぶような地表面の凹凸状態であれば、風速を評価する高さとして最低でも地上10m程度は必要です。さらに、中層以上のビルが建ち並ぶ一帯であれば地上30m以上の高さで評価する必要があります¹⁾。ただし、今回紹介する強風マップでは、地表面付近の風速の鉛直勾配に標準的な一定の分布を仮定し、地表面の状態に関係なく地上10mの値に換算しています。

以下では、転覆耐力を上回る外力が生じる頻度として、地上10mで生じる年最大瞬間風速の再現期待値を調べる方法について説明します。

再現期待値とは

列車が転覆するような強い風は私たちの生活圏では頻繁に起きるものではありません。例えば、30m/s以上の年最大風速が50年に5回観測された地点では、平均すると10年に1回は年最大風速が30m/s以上となります。

このような場合に、「年最大風速30m/sの再現期間は10年」と表現し、「確率年数を10年とした場合に年最大風速の再現期待値は30m/sである」ともいいます。この例では50年の観測結果から10年に1度の強風を求めたのですが、順位統計学の手法を使えば、観測期間よりも幾分長い再現期間までの再現期待値を想定することができます。

余談ですが、再現期間が10年ということは、10年のうち1年は年最大風速が30m/sを超えるという意味ですから、年最大風速が30m/sを超えたその1年に注目すると何回も30m/sを上回ることがあります。それでも10年に1回の強風という表現をするのは奇妙に感じるかと思いますが、これは年最大風速が30m/sに達する年数でカウントするものと考えて下さい。

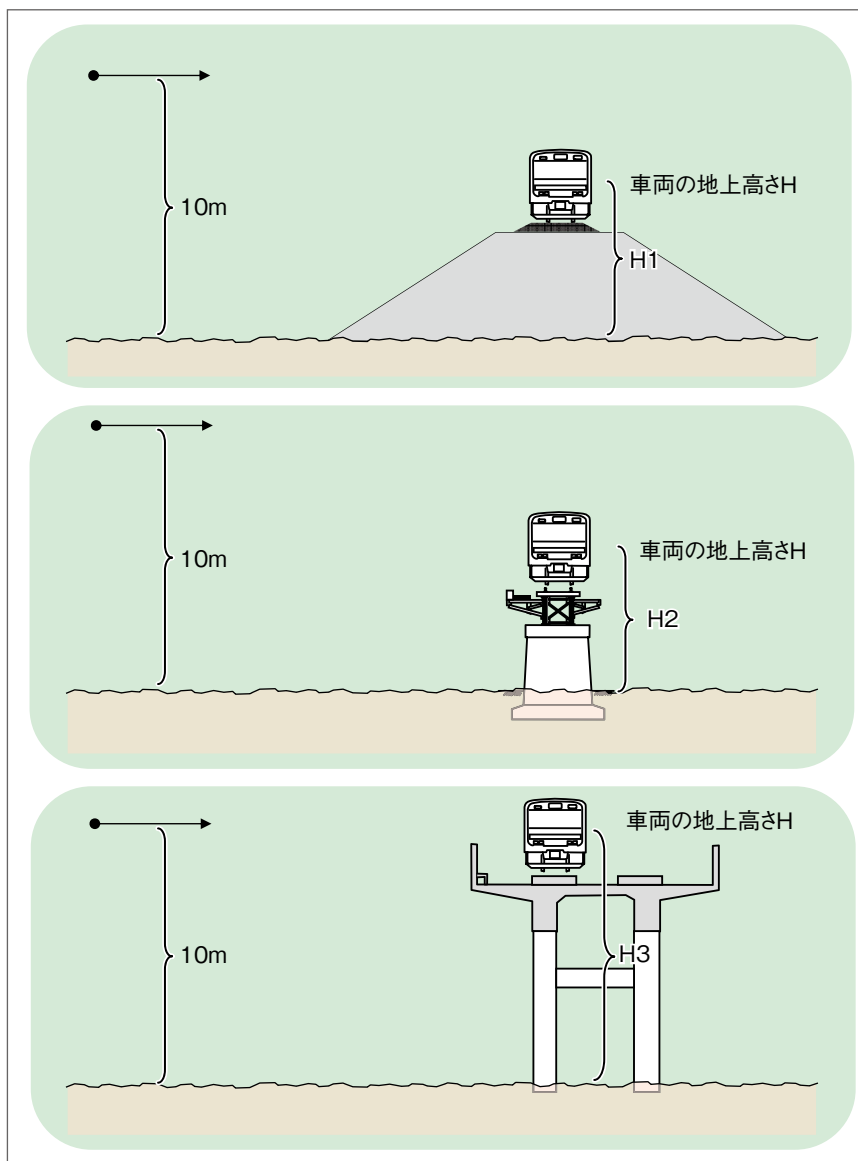


図1 転覆耐力としての風速を評価する基準位置

強風日の再現

次に、強風箇所の抽出方法²⁾を簡単に紹介します。

まず、検討したい地域の气象台や測候所で観測された日最大瞬間風速で、過去20年の毎年15位までを選び出して強風日とします。合計300日の強風日の気象データを公的機関のデータベースから取り出します。各日の24時間分の気象をコンピュータで計算します。ここで、気象データとは計算格子点における低層から高層までの気温、水蒸気量、風向・風速等です。観測網が充実してきた最近の気象データは以前よりも精度が高いため、今回は過去20年間のデータを計算に使用しました(図2)。

気象の数値シミュレーションを行い、陸地と海の違いによって生じる大気の動きや雲の発達、降水による水蒸気量の変化などを計算します。最初は粗い格子で広い領域の計算を行い、徐々に計算領域を狭めて細かな計算をしていきます。

計算による風速分布の推定

格子間隔が3km程度になるまで計算を進めると、熱や水蒸気の分布や移動を考慮しなくても結果に違いがでにくくなります。そこで3km以降は流体の数値シミュレーションを行い、さらに微細な地形に沿った流れ(図3)を再現して、計算の格子を200mまで細かくします。

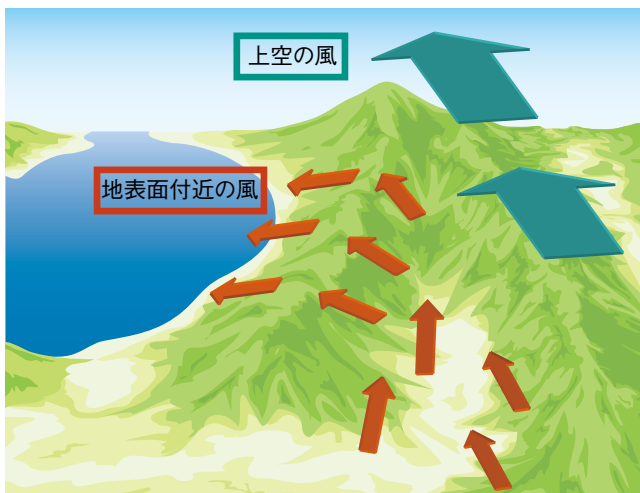


図3 上空の風と地表面近くの風(概念図)

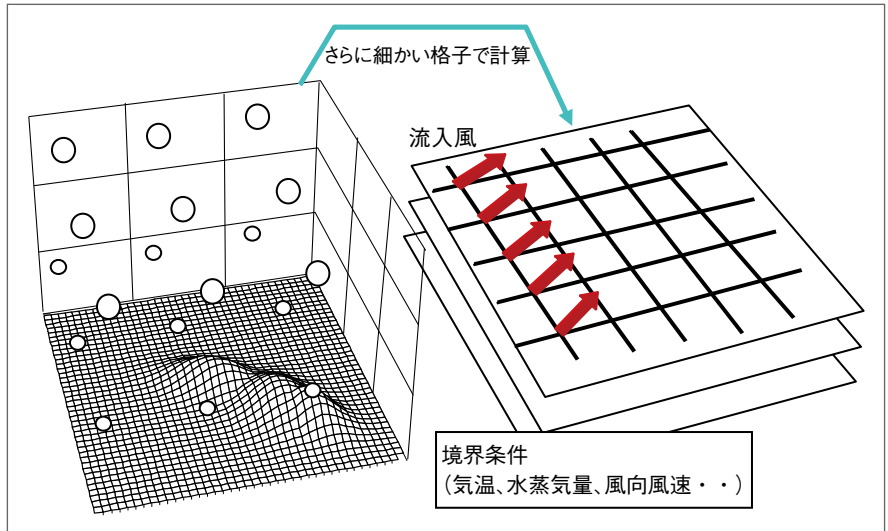


図2 気象の数値計算のイメージ

コンピュータの性能により、現実的に解くことが難しい200mよりも細かな格子点の計算は、瞬間風速の変動を物理の問題として解析せずに、最大瞬間風速と平均風速の比率を周辺地形から統計的に予測する方法で推定します。風上側になる領域の地形を数値化し、平均風速にその比率をかけて、最大瞬間風速の日最大値を求めます。

強風マップの使い方

仮想的な線区に対して強風の発生頻度を計算した結果を図4に示します。ここでは強風の一つの値として、地上10mの年最大瞬間風速が40m/sとなる再現期間の長さで強風発生頻度を表します。図から、この線区の2~4km付近や16~18km付近で風速40m/sが頻繁に生じることが分かります。次に、この線区の線路構造物とその地点の耐力としての危険な風速を図5に示します。この線区では、橋梁や高架橋で危険な風速が低く、平地で高く、トンネル区間では危険な風速は無限大となっています。

図4の強風発生頻度は風速40m/s以外にも様々な風速

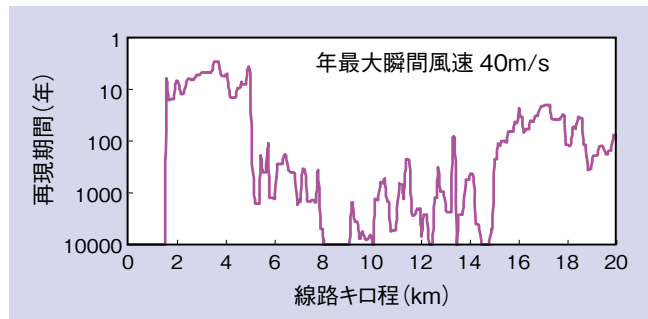


図4 仮想線区の強風マップ

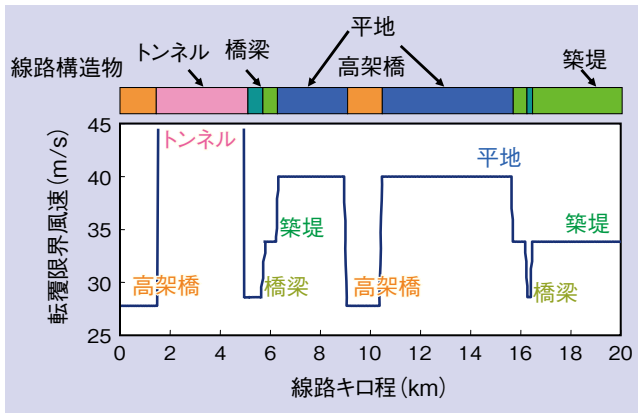


図5 仮想線区における危険な風速の分布

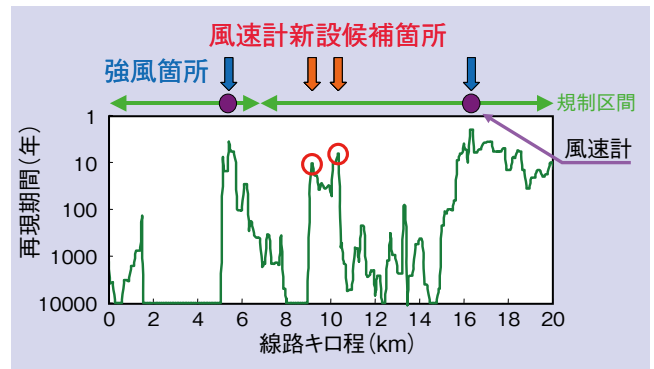


図6 各地点の耐力を上回る外力の再現期間

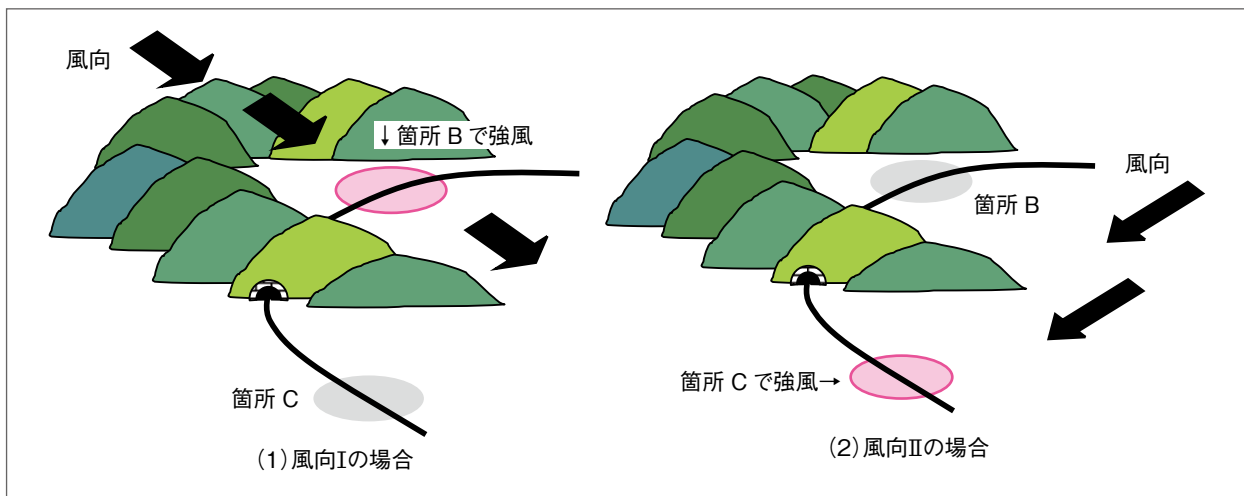


図7 2箇所で強風が同時に生じにくい地形の例

について求めることができます。そこで、図5の危険な風速が再現期待値となるような風速の再現期間を求めて図6に示しました。図6の縦軸は、地上10mの年最大瞬間風速が各線路地点で危険な風速に達するのが何年に1回かを示しています。

図6では折れ線が上に突き出した地点ほど、警戒を要する度合いが高くなります。最後にこの図の使い方ですが、既設の風速計の取り付け位置(●)が適切であることの確認に使える他、○で囲んだような地点に風速計を増設する必要があることがわかります。ここで二つの○地点は比較的近くにありますが、図7のような地形の場合には、風向によって強風となる箇所が異なりやすく、強風が独立して生じやすいため、たとえ近くでも双方に風速計が必要となります。

おわりに

鉄道会社ではこれまで气象台等の助言を得ながら必要な

箇所に風速計を配置してきました。風速計の数は大幅に増え、安全性は向上していると考えられます。

風速計が徐々に整備されるに従い、強風地における風速計の密集度を更に高めるのが良いのか、長い風速計の空白区間を少しでも縮めることを優先すべきか、という難しい問題が生じてきます。このような問題に答えを出すためには、今回示した方法で外力の頻度を調べるとともに、各地点で強風が発生する時刻の同時性についても調べていきたいと思えます。RRR

文献

- 1) 建築学会：構造物荷重指針・同解説
- 2) 今井俊昭他：鉄道線区における強風箇所抽出方法の開発，RRR，2007.9