

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

走行速度の違いによる強風時の安全性を評価する

強風時に列車の安全を確保するため、規制区間内の風速計の観測値が規定の風速に達した場合に、徐行や運転中止などの運転規制がおこなわれています。このことは、一般に列車の走行速度が遅ければ安全性が高くなると考えられていることによりますが、列車速度が遅ければ強風にさらされる時間が長くなるため、必ずしも安全性が高くなるとはいえない可能性があります。そこで、ここでは強風に対する安全性評価を列車速度ごとにおこなうことで、より安全性の高い運転規制速度を検討するための手法を紹介します。



乙部 達志
Tatsushi Otake
環境工学研究部
車両空力特性研究室
副主任研究員



鎌谷 研吾
Kengo Kamatani
国立大学法人大阪大学
基礎工学研究科
准教授

はじめに

鉄道において、安全の確保は最も優先される事項です。自然はときに鉄道の安全を脅かします。ここでは被害の甚大な、強風による車両の転覆事故に対する安全について考えます。安全の定義は「受け入れることができない転覆リスクが存在しないこと」であり、いわゆるリスクが0である「絶対安全」ではありません。リスクとは、「危害の発生確率と危害のひどさの組み合わ

せ」と定義されています¹⁾。車両の転覆による危害に当てはめて考えると、転覆リスクは次のふたつの組み合わせです。ひとつは、ここで危険確率と表現する、強風による車両転覆の発生確率です。もうひとつは、転覆した場合の被害のひどさです。組み合わせとして、ここでは単純化して、両者のかけ算を考えることにしましょう。

ここでは、リスクが低くなる列車速度を検討するための手法を提案し、よ



図1 現在の運転規制の考え方

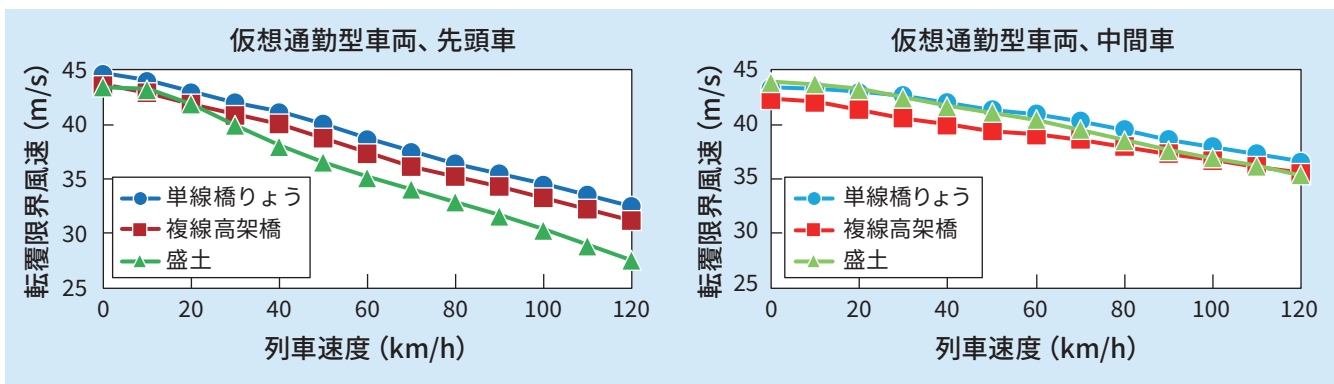


図2 転覆限界風速の例

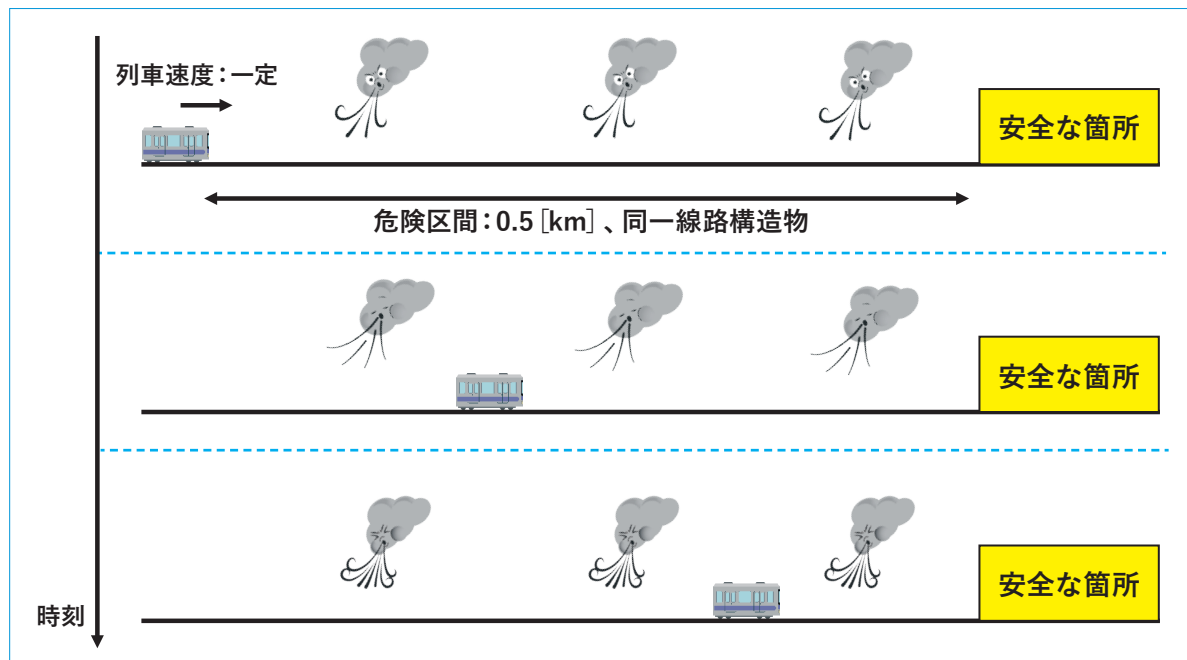


図3 問題設定

り安全性の高い列車速度域を試算します。

運転規制

風速計で規制風速に達する風が観測された場合、鉄道事業者は速度規制や運転中止などの運転規制をおこないます(図1)。事業者ごとに異なりますが、運転規制として、列車速度を25km/hなどに制限する速度規制がおこなわれます。

現在行われている運転規制の目的

は、車両の風に対する耐力を向上させることと、転覆が発生した場合の被害のひどさを小さくすることのふたつです。列車速度を低くすることで、ふたつの目的が達成されますから、現在の運転規制は理にかなっていません。しかし、ふたつの目的が達成されることと、転覆リスクを減少させることの違いには注意が必要です。列車速度を低くして耐力を向上させることで、かえって転覆リスクを上げてしまう可能性があります。

転覆限界風速

転覆限界風速とは、横からの強風、すなわち横風を受けた車両が転覆を開始するときの風速のことです。転覆限界風速が高くなると、風に対する耐力が大きいと解釈できます。ですから、ここでは転覆限界風速そのものを、車両の風に対する耐力としてあつかいます。

転覆限界風速は、車両の走行速度や車両形状だけでなく、車両が走行している箇所の構造物形状にも依存します。

車両が受ける空気力がそれらに依存するからです。

構造物条件が桁高2mの単線橋りょう、桁高3.5mの複線高架橋、高さ8mの盛土のときの転覆限界風速の例を図2に示します。車両は、仮想通勤型車両の先頭車と、先頭車と最後尾車以外の中間車を表示しています。図2から、構造物形状、先頭車・中間車によらず、列車速度が低いほど、転覆限界風速が高くなっていることがわかります。

問題設定

「強風時に危険区間を通過する車両の転覆リスクを最小にするための列車速度は？」という問題を考えます。ここで、危険区間は区間長0.5kmとし、構造物形状は途中で変わらず同一とします(図3)。また、車両は危険区間中を一定速度で通過するとし、検討速度域は10~120km/hとします。

危険区間を通過する車両の転覆リスクを、より詳細に評価するには、

- ①風の状況
 - ②走行速度と転覆限界風速の関係
 - ③危険区間に車両が滞在する時間
 - ④転覆した場合の被害のひどさ
- について考慮する必要があります。

現在の運転規制のふたつの目的は、おもに②と④の評価のみを定性的に考慮に入れて安全性向上を目指したもので、すべての項目を定量的に評価しているわけではありません。安全性評価の項目②と④だけでみれば、列車速度は低いほうが安全性が向上します。しかし①と③を考慮すると、列車速度を低くすることにより危険区間を通過するための時間が長くなるため、危険区間通過中に風があばれて、風速が転覆限界風速を超える確率が小さくならない可能性があります。そのため、列車

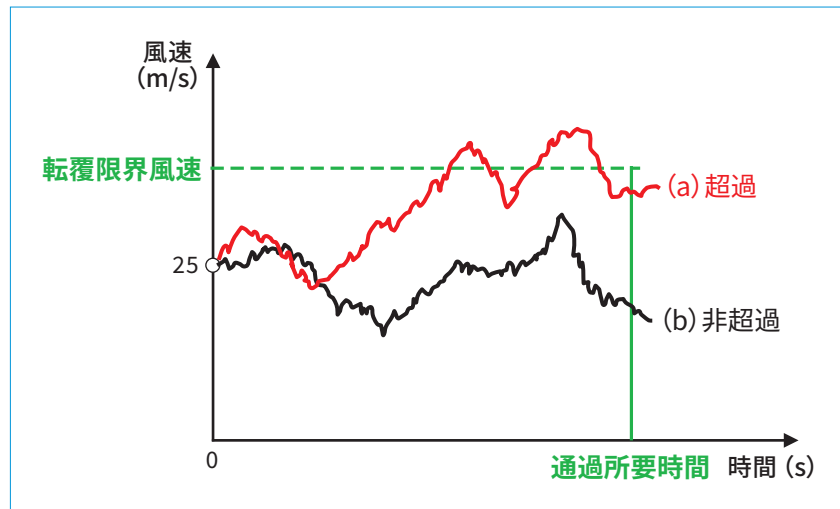


図4 所要時間と転覆限界風速

速度が低くても転覆リスクが低いとは限りません。

これまでに①~④まですべてを考慮して強風時の安全性を考察した例はほとんどありませんでした。ここでは、自然風の状況(すなわち自然風の時間変化)に対して確率的な考え方を考慮したモデルを導入することにより、①②③の要因を考慮します。これにより、①②③の要因から車両の走行速度ごとの「危険確率」を算出することが可能になります。さらに、「④転覆した場合の被害のひどさ」を走行速度をパラメーターとして定量的に表すことができれば、「転覆リスク」=「危険確率」×「被害のひどさ」により転覆リスクを計算できます。

危険確率

危険確率をより正確に表現すると、危険確率とは、危険区域を通過するまでのあいだに、風速が転覆限界風速を超えてしまう確率です。危険確率を考えるうえで、まず規制風速である25m/sを観測した時点時刻を「時刻0」と考えることにしましょう。時刻0の時点では、それより将来の時刻で風速がど

のようになるかは、わかりません。そこで、風速の時間変動に対して、安定過程(☞参照)を用いる風速モデルを適用することにより、時刻0以降の風速を確率的な考え方をを用いて表します。計算機で乱数をつくり、この風速モデルにしたがって多数の風速の波形(ここでは十万個)を発生させます。図4には、ふたつの模式的な風速波形と、ある列車速度のときの危険区間通過に必要な所要時間と転覆限界風速(緑点線)を示しました。図4の波形(a)は通過所要時間内に転覆限界風速を超えており、波形(b)は超えていません。乱数で発生させた十万個の波形は、波形(a)のように転覆限界風速を超えているパターンと波形(b)のように超えていないパターンの2パターンに分け

☞ 安定過程

株価など不規則な変動をあつかう場合によく用いられる数理モデルのひとつであるブラウン運動をより一般化した数理モデル。瞬間的に値が飛ぶことがあるため、急激な風の立ち上がりを表現できる。

られます。波形 (b) では、通過所用時間内に風速波形が緑点線を超えていないため、列車は安全に通過できます。発生させた十万個の風速波形の中で波形 (a) のように転覆限界風速を超えているパターンの波形の割合を数えることで危険確率を計算できます。列車速度が変わると、転覆限界風速と通過所要時間が変わるため、列車速度ごとに危険確率を計算します。

図2に示した転覆限界風速と安定過程による風速モデルを用いて、6両編成の車両の危険確率を試算しました(図5)。図5から、危険確率が最小となる列車速度は、構造物によって異なることがわかります。

被害のひどさ

転覆リスクを算出するため、被害のひどさについて考えます。被害のひどさのモデル化については、いまだに定説はなく、列車速度に比例するとしているものや列車速度の1.5乗としているものなどが見られ、さらなる研究が待たれるところです。ここでは、被害のひどさを列車速度に比例すると仮定します。

転覆リスク

さきほど試算した危険確率の結果を用いて、被害のひどさが列車速度に比例するとしたときの転覆リスクを試算した結果を図6に示します。図6から、徐行速度の例である列車速度25km/hのときの転覆リスクと同程度の転覆リスクとなる列車速度は、単線橋りょう、複線高架橋では20から40km/h程度、盛土では10から40km/h程度であることがわかります。ここで紹介した手法を活用することにより、転覆リスクの低い、すなわち安全性の高い徐行速度を算出することができます。

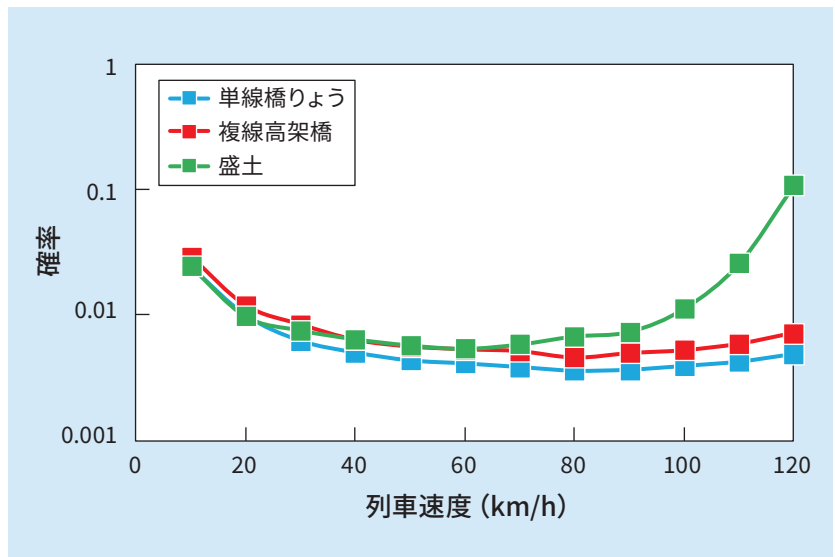


図5 6両編成の危険確率

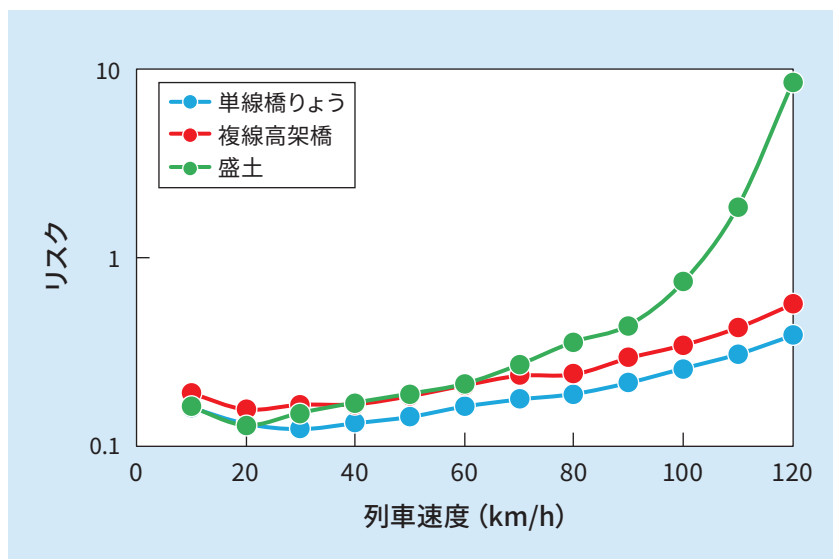


図6 6両編成の転覆リスク

おわりに

ここでは、より安全性の高い運転規制速度を検討するための手法を紹介しました。また、ここでは簡単のためさまざまな仮定をおきました。列車の加減速や運転規制方法、風向、風速の空間依存性などを考えていくことで、より現実に近い状況での安全性評価をおこなうことが今後の課題です。

鉄道総研では、強風時のさらなる安全性の向上に向けて、これからも研究を進めていきます。【RRR】

文献

- 1) 向殿政男：日本と欧米の安全・リスクの基本的な考え方について、標準化と品質管理, Vol.61, No.12, pp.4-8, 2008