

# 規制区間で転覆限界風速を超える強風が発生する確率の評価方法

今井 俊昭\* 荒木 啓司\*\* 福原 隆彰\*\*  
谷本 早紀\*\* 種本 勝二\*\*\* 日比野 有#

## An Estimation Method of the Probability that Gust Exceeding the Critical Wind Velocity of Overturning Occurs in an Operating Section

Toshiaki IMAI Keiji ARAKI Takaaki FUKUHARA  
Saki TANIMOTO Katsuji TANEMOTO Yu HIBINO

This paper introduces a method to calculate the probability that a train encounters the critical wind velocity of overturning in an operating section. The method adopts the probability that trains operated under operation regulation rules encounter the critical gusts as index of the risk. While the operation regulation can reduce the index of the risk, the monitoring method of detecting gusts affects the risk of a train overturning by cross winds.

キーワード：転覆限界風速，規制風速，強風発生確率，最大瞬間風速，風観測方法

### 1. はじめに

横風に対する鉄道の安全性を評価するためには、風による鉄道車両の転覆しにくさ（耐力）と、沿線で生じることが想定される風速（外力）の双方を知る必要がある。鉄道総研は、耐力の評価に関して海岸の強風地で観測された自然風の特性<sup>1)</sup>を有する乱流境界層を用いた風洞試験<sup>2)</sup>を行い、そこで得た空気力係数を詳細計算式<sup>3)</sup>に適用して転覆限界風速を評価する方法を提案している。この方法は、車両の運動力学上ならびに空気力学上の知見に基づき、車両重量や走行速度等を条件として転覆限界風速を耐力の確定的な推定値として導き出している。一方、外力の評価に関しては、風速の確定的な推定が困難であるため、実務面では保守区員や乗務員の経験的な知見に基づき強風箇所が判断され、強風箇所に配置された風速計により風監視が行われている。鉄道総研ではこれらの外力評価に関する実務を支援するため、客観的なデータに基づく強風箇所の抽出方法<sup>4)</sup>や、観測方法が風速の観測値に及ぼす影響<sup>5)</sup>について研究してきた。

本稿では、強風対策や運転規制の有効性を評価する一連の研究の一つとして、耐力と比較するに適した外力の評価手順について述べ、耐力を超える外力の発生確率を指標として安全性を定量的に評価する方法を提案する。

### 2. 安全性評価に用いる風速の評価方法

列車が耐力を超える外力（強風）に遭遇する確率を算

\* 防災技術研究部  
\*\* 防災技術研究部 気象防災研究室  
\*\*\* 環境工学研究部 車両空力特性研究室  
# 車両構造技術研究部 車両運動研究室

出する際、これまでは規制用風速計で観測した風速が転覆限界風速を上回れば、耐力を超える外力が生じたものとする単純な方法をとってきたが<sup>6)</sup>、本稿では耐力と外力の関係をより詳細に調べるための風速の評価方法を示す。

#### 2.1 構造物による風の乱れの影響の評価

線路構造物による風の乱れの影響を受けない風上側の離れた地点を基準位置とし、ここでの風速を検討対象地点の代表風速とすると、安全性の検討に際して都合がよい<sup>5)</sup>。一方、運転規制に用いられる風速計は線路構造物の周りに1基が取り付けられることが多く、風向によって風速計は線路構造物の風下側あるいは風上側に位置することになる（図1）。線路用地内に風速計を取り付けている大半の鉄道事業者は基準位置で生じる風速を観測できないので、構造物の影響を受けた観測値から基準位置の風速を推定することになる。

風速計位置（図1）で得られた風速は、風向が分かれば基準位置の風速に換算することができる。風洞試験と現地風観測結果を組み合わせ得た、複線高架橋上の風上側と風下側の風速比<sup>5)</sup>（平均風速に標準偏差を考慮し求めた最大瞬間風速の比）を風向別に図2に示す。基準

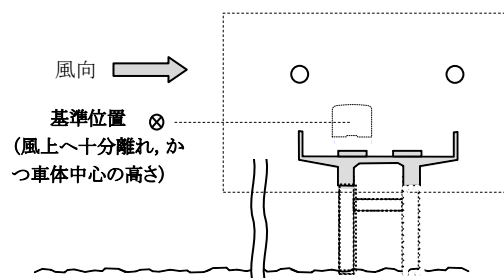


図1 風速計の取り付け位置と基準位置

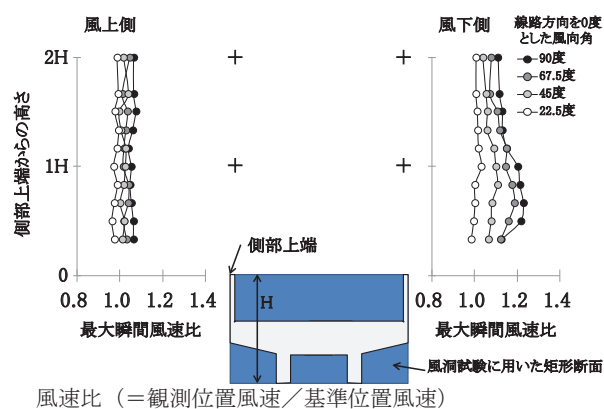


図2 矩形断面周りの風速分布の例<sup>5)</sup>

風速に対する風速比は構造物上端からの風速計高さ(図2)でも異なり、特に直角風向(線路と90度)時の構造物の風下側領域で基準風速との違いが顕著となる。

## 2.2 監視地点および対象地点の地上高さの影響

一つの風速計は通常数 km 以上の運転規制区間を受け持っており、この規制区間を代表する風速が得られる地点に風速計を設けるものとされている<sup>7)</sup>。規制区間の風速の実況は、通常は風速計の観測値が唯一の情報源であり、風速計のない任意地点の風速は観測値から算出する必要がある。このとき両地点の風速の違いをもたらす条件として地面からの線路の高さと周辺地表面粗度を挙げることができる。例えば、建物の林立した市街地の方が平滑な水田地帯よりも同一地上高の風速は小さくなり(図3)、下層ほど風は弱い傾向にある<sup>8)</sup>。

風監視地点 O における地上高  $z_0$  の風速  $u_0$  から、任意地点 X の風速  $u_x$  を推定する式<sup>7)</sup>を以下に示す(図4)。

$$u_x = u_0 (Z_{G0} / z_0)^{\alpha_0} (z_x / Z_{Gx})^{\alpha_x} \quad (1)$$

ここで、 $z_x$ ：任意地点 X の車体中心の地上高さ、 $Z_{G0}$ ( $Z_{Gx}$ )：風監視地点 O (任意地点 X) の周辺粗度に応じた接地境界層上端の地上高さ、 $\alpha_0$  ( $\alpha_x$ )：地点 O (地点 X) 周辺の粗度に応じた風速分布のべき指数、である。

例えば図4の区間の地点 O ( $z_0=10\text{m}$ ) の周辺が粗度 II (水田地帯等) で、地点 X ( $z_x=5\text{m}$ ) の周辺が粗度 III とし、特性値に  $\alpha_0=0.15$ ,  $Z_{G0}=350$ ,  $\alpha_x=0.20$ ,  $Z_{Gx}=450$ <sup>8)</sup> を使うと、地点 O の風速計高さで 25m/s のときの地点 X の風速は式(1)によって 17.3m/s となる。

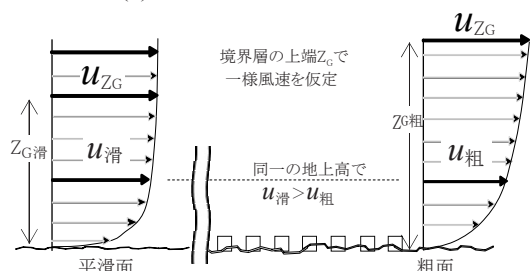


図3 地表面の粗度と風速の鉛直分布

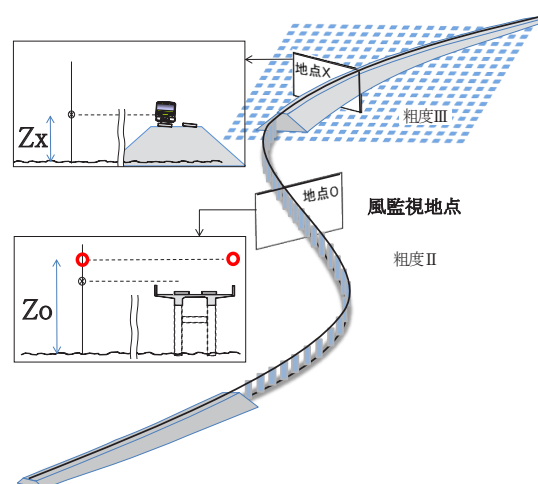


図4 規制区間の風監視地点 O と任意地点 X

## 2.3 転覆限界風速の評価

基準位置の風速  $U$  (図1) と車両に働く最も主要な空気力である横力  $F$  は式(2)の関係にある。

$$F = 0.5 C \rho U^2 A \quad (2)$$

ここで、 $C$ ：車体形状、線路構造物形状、および風向角をパラメータとする横力に関する空気力係数、 $A$ ：車体側面積、 $\rho$ ：空気密度である。

なお、式(2)の空気力係数  $C$  は、高架橋などの線路構造物と車両の縮尺定置模型を用いて風速の鉛直分布を与えた風洞試験により求めるが、実物大の定置模型を用いた現地試験における平均風速と平均空気力から求めた値とほぼ一致することが確認されている<sup>1)</sup>。

ここで、質点とバネ系からなる車両に対して空気力が静的に作用していると仮定できるほど十分に長い時間をかけて徐々に増していったときに、風上側の輪重がゼロになる空気力を転覆限界空気力とする。また、時間的に変動する風速場にある車両に働く空気力と基準位置の風速の間にも、各瞬間に式(2)が成り立つ(準定常)と仮定し、式(2)を用いて転覆限界空気力に対応する基準位置の風速  $u$  を転覆限界風速  $Uc$  と定義する<sup>3)</sup>。さらに、列車速度が加わった車両に対する風速  $U_T$  (図5)についても風向角  $\beta$  の空気力係数が横力  $F$  との間に成り立ち、基準位置の風速が転覆限界風速に達するとき速度  $V$  で走行する車両の輪重はゼロとなるものとみなす。

このように、観測風速と検討対象地点の転覆限界風速の大小関係を比較するには、観測地点の構造物影響や検討対象地点の風速鉛直分布を考慮して、観測風速を検討対象地点の基準位置の風速に換算する必要がある。

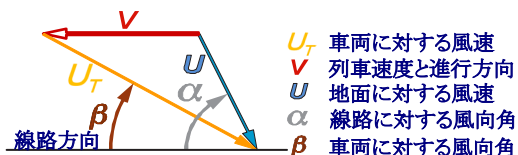


図5 走行する車両に対する風向と風速

### 3. 危険度を定量的に評価する方法

列車が危険に遭遇する確率を算出する対象をこれまでの単純な仮想線区から多様な条件となる実線区に拡張するため、危険度を評価する方法を示す。

#### 3.1 危険な事象の定義ならびに頻度の考え方

鉄道車両にとっての危険な事象として、基準位置で転覆限界風速以上の風速が生じることとする。

検討対象に、地表面粗度が一律で起伏のない平野に一定の地上高さで線路が敷かれ、かつ強風発生確率が一律な規制区間を考える。区間長には在来線の郊外地域の標準的な駅間に相当する数 km を想定する。規制区間の通過時分を  $m$  分間とし、区間全地点で一様な転覆限界風速  $U_c$  を想定すると、任意の  $m$  分間最大瞬間風速が  $U_c$  を超える確率を危険な事象の発生確率とみなすことができる。

このとき、図6(下)のように監視地点  $O$  を通過する区間の風速が  $U_c$  を下回っていても図6の  $m$  分間で区間を走行する列車は危険に遭遇するものとする。さらに、 $m$  分間最大瞬間風速が  $U_c$  を僅かに超える  $m$  分間も大幅に超える  $m$  分間もそれぞれ等しく1回の危険な  $m$  分間と数える。

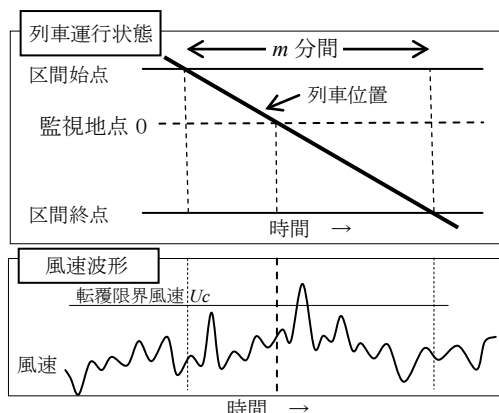


図6 列車位置と監視地点  $O$  における風速波形

#### 3.2 最大瞬間風速の発生確率

長期間の観測を続けると、 $m$  分間最大瞬間風速の相対出現度数は図7に例示される右へ長い裾を持つ分布形状となる。この観測例で  $m$  分間最大瞬間風速が  $25\text{m/s}$  を超えた度数を表1の  $f$  に示す。例えば表1の  $m=1$  と  $m=5$  とで比較すると、5分間最大瞬間風速の度数は1分間最大瞬間風速の相対出現度数の1.8倍にとどまる。 $m$  分間最大瞬間風速の相対出現度数が  $m$  に比例しない傾向は、強風が完全にランダムな現象ではなく、時間的に前後して発生しやすい現象であることを示唆している。この理由により、本評価方法では1本の列車が区間を通過する間に転覆限界風速を超える可能性を繰り返し評価することがないように、列車が区間を通過する長さの時間で最大瞬間風速を評価してその相対出現度数を危険度の指標とする。

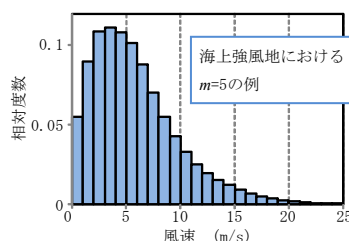


図7  $m$  分間最大瞬間風速の観測度数の例

表1  $m$  分間最大瞬間風速が  $25\text{m/s}$  以上となる度数

最大瞬間風速の評価時間・ $m$ (分間)	観測度数 $f$	年当たり全度数 $F$	相対出現度数 $f/F$	
1日	1440	8	365	0.02192
1時間	60	26	$24 \times 365$	0.00297
10分間	10	82	$6 \times 24 \times 365$	0.00156
5分間	5	127	$20 \times 24 \times 365$	0.00121
1分間	1	354	$60 \times 24 \times 365$	0.00067

$m$  分間最大瞬間風速が  $u$  となる確率密度  $P_w(u)$  は式(3)で、 $u$  が  $U_c$  を超える確率  $P_w(U_c < u)$  は式(4)で算出でき<sup>9)</sup>、パラメータはともに現地観測から求められる。

$$P_w(u) = k/c(u/c)^{k-1} \exp(-(u/c)^k) \quad (3)$$

$$\int_{U_c}^{\infty} P_w(u) du = \exp(-(U_c/c)^k) \quad (4)$$

ここで、 $c$  は尺度パラメータで風速の平均的な大きさを表し、 $k$  は分布形状に関するパラメータである。

なお、2.1節と2.2節では観測された風速が必ずしも基準位置の風速に等しくないことを示した。図7の風速は構造物影響を受けない位置の風速であり、風速を規制区間の任意地点の基準高さに換算すれば、任意地点の  $m$  分間最大瞬間風速の発生確率となる。また、構造物影響を除く換算のために必要な風向頻度や風速の鉛直分布が不明な箇所については気象シミュレーションや耐風設計荷重指針<sup>7)</sup>を用いて強風の風向別発現頻度や風速の鉛直分布を想定して構造物影響と高さ方向の換算を行い、検討対象地点の強風発生確率を算出することができる。

#### 3.3 運転規制なしの場合の危険度

規制区間の通過時分  $m$  分間で列車が定常的に運行されている「運転規制なし」の場合では、規制区間全体の風況の一様性を仮定することにより、任意時刻の  $m$  分間最大瞬間風速が転覆限界風速を超える確率  $P_w(U_c < u)$  はそのままその規制区間の危険度  $P_x$  となる。

通過所要時分を5分間として仮想的な転覆限界風速  $U_c$  による  $P_x$  の試算例を表2に示す。この区間では風速  $26 \sim 34\text{m/s}$  の強風時に、 $U_c$  が  $4\text{m/s}$  低くなると  $P_x$  は約5倍に増大することが分かる。これは区間内で転覆限界風速が一定の値  $U_c$  となる場合の試算であり、車両条件や線路条件によって転覆限界風速が様々な値をとる場合の総合的な危険度は、転覆限界風速が  $U_c$  となる条件が現れる比率に風速が  $U_c$  以上となる確率  $P(u > U_c)$  を乗

特集：防災技術

じて  $U_c$  で積分して求めることができる。

なお、実際の線区では運転規制が行われているので、強風時ほど列車が運行されない可能性が増し、運転規制により列車が  $U_c$  以上の強風に遭遇する確率を極めて小さくすることができる。以下には運転規制を行う場合の危険度の評価方法を紹介する。

表2 転覆限界風速  $U_c$  の分布と  $P_x$  の試算

$c=6.5, k=1.49, m=5$  分間による試算

$U_c$ (m/s)	$P(u > U_c)$ ( $=P_x$ )
26	0.00073 ( $7.3 \times 10^{-4}$ )
28	0.00033 ( $3.3 \times 10^{-4}$ )
30	0.00015 ( $1.5 \times 10^{-4}$ )
32	0.00006 ( $6.3 \times 10^{-5}$ )
34	0.00003 ( $2.7 \times 10^{-5}$ )

3.4 運転規制ありの場合の危険度

3.4.1 危険度の算出方法

運転規制には列車を規制区間に進入させない「見合わせ」と速度を規制する「徐行」とがあるが、ここでは徐行せずに見合わせだけで運転規制を行う場合を考える。規制基準には、運転を見合わせる風速（規制風速  $U_r$ ）の他に規制風速を下回ってから規制を解除するまでの様子見時間（以下、 $n$  分間で表す）がある。運転規制ありの場合には、直前の  $n$  分間最大瞬間風速が抑止風速以上の時に列車は規制区間に進入できないので、直前  $n$  分間最大瞬間風速  $u_p$  に  $\delta$  を加えた値が  $U_c$  を上回るだけの大きな風速増加量  $\delta$  が生じる確率に  $P_x$  は依存する。

国内の沿線各地で長期観測を行い、毎分得られた直前  $n$  分間の最大瞬間風速  $u_p$  と引き続く  $m$  分間の最大瞬間風速  $u_f$  について  $u_f - u_p$  の正の値を風速増加量  $\delta$  として、 $\delta$  の出現度数を調べたところ、風速増加量が  $\delta$  以上となる確率  $P_c(\delta)$  は指数関数（式(5)）で近似できることが分かっている<sup>6)</sup>。ここで、 $a$  と  $b$  は  $c$  や  $k$  と同じく観測地点の風況を代表する係数であり、 $m$  が長く  $n$  が短いほど  $b$  の値は小さくなり、 $b$  が大きいほど  $\delta$  の増大とともに  $P_c(\delta)$  は急速に減少する。観測例（ $n=30, m=5$  の場合）で  $b$  は 1 に近い値をとり、 $m$  分間最大瞬間風速が直前の  $n$  分間最大瞬間風速よりも 5m/s 以上上回る確率は確率密度（図8）とほぼ同じおよそ  $10^{-3}$  となる。

列車が規制区間を進行するその  $m$  分間の最大瞬間風速が  $U_c$  以上となる可能性は、 $u_p < U_r$  となる  $u_p$  について、風速増加量  $\delta$  が  $U_c - u_p$  を上回って始めて生じる。風速が  $u$  となる確率密度  $P_w(u)$  に、風速が増加して  $u_f$  が  $U_c$  以上となる確率  $P_c(U_c - u)$  を乗じた値を  $u$  について 0 から  $U_r$  まで積分した値が運転規制ありの場合の  $P_x$  となる（式(6)）。

$$P_c(\delta) = \int_{\delta}^{\infty} a \exp(-b \cdot x) \cdot dx \tag{5}$$

$$P_x = \int_0^{U_r} P_c(U_c - u) \cdot P_w(u) \cdot du \tag{6}$$

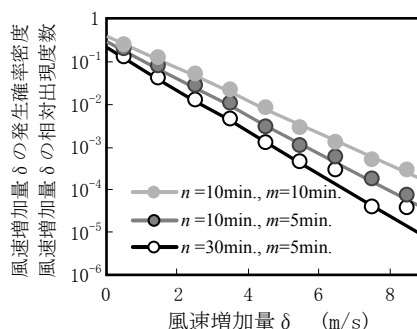


図8 風速増加量の出現度数のモデル化

3.4.2 規制風速および転覆限界風速と危険度の関係

運転規制ありの場合の危険度  $P_x$  を求める式(7)は転覆限界風速  $U_c$  と規制風速  $U_r$  の関数となっている。観測される風速  $u_r$  が規制風速に達すれば運転規制を行う場合に  $u_r$  から構造物影響を除いた風速を風速計高さから車体中心高さに換算して得られる風速  $U_r$  は、転覆限界風速と対照可能な実質的な規制風速である。ある風況下で規制風速と転覆限界風速を変数として  $P_x$  を求めた結果を表3と図9に示す。この風況の例で分かるように、転覆限界風速が低いと  $P_x$  は増大するが、規制風速を下げれば、 $P_x$  を低下させることができる。

現実の線区を念頭において転覆限界風速が異なる複数の車両形式が混在する場合には、表2の例のように単一の転覆限界風速から求められる危険度に車両形式構成比率 ( $W_{ci}$ ) で重み付けして危険度を求めればよい。

さらに、構造物影響を強く受ける高さに風速計が取り付けられているため風向別に増速あるいは減速した風速で規制している場合の安全性についても同様な評価が可能である。観測風速 25m/s で運転抑止を行う線区で、風向に応じた構造物影響のため基準位置の風速が表4の風速  $U_r'$  (以下、ある風向条件における実質的な規制風速) で規制しているとする。風向1~3が20,60,20%の確率で生じる場合の総合的な  $P_x$  は  $1.1 \times 10^{-6}$  となる。一方、実質的な  $U_r'$  を風向頻度で加重平均すると 22.4m/s となる。 $P_x(23, 30) = 1.1 \times 10^{-6}$  であることから、風向出現比率を考慮した場合の実質的な規制風速の加重平均を実質的な規制風速としても総合的な  $P_x$  に近い値が得られた。

一つの規制区間で転覆限界風速  $U_c$  や実質的な規制風速  $U_r'$  が様々な値をとる場合に、 $U_c$  や  $U_r'$  の分布幅が狭ければ  $U_c$  や  $U_r'$  を加重平均で評価しても総合的な確率  $P_x$  と大きな違いは生じない。条件によって飛び離れた  $U_c$  や  $U_r'$  となるとしても、その条件となる可能性が極めて小さければ、飛び離れた  $U_c$  や  $U_r'$  の総合的な  $P_x$  に対する影響は小さいことになる。なお、転覆限界風速や実質的な規制風速が最頻値から大きく外れる場合や分布のピークが複数あるために  $U_c$  や  $U_r'$  の平均値で  $P_x$  を調べることが適切でない場合には、転覆限界風速に関する条件や実質的な規制風速に関する条件が特定の条件となる

確率を調べた上で、総合的な危険度  $P_{x\_total}$  を式 (7) を用いて求めればよい。ただし、式 (7) は条件  $i$  と条件  $j$  が独立の場合のみ適用でき、従属性がある場合には式 (7) の  $w_{ci} \cdot w_{rj}$  を条件発生確率のマトリックスの要素  $w_{ij}$  で置き換える。

$$P_{x\_total} = \sum_i \sum_j (P_x(U_{ci}, U_{rj}') \cdot w_{ci} \cdot w_{rj}) \quad (7)$$

ここで、 $i$  は転覆限界風速  $U_c$  の決定条件、 $j$  は実質的規制風速  $U_{r}'$  の決定条件であり、 $w_{ci}$  は転覆限界風速が  $U_{ci}$  となる条件  $i$  の構成比率、 $w_{rj}$  は実質的規制風速が  $U_{rj}'$  となる条件  $j$  の構成比率である。

表3 規制風速と転覆限界風速の関数としての危険度  $P_x$

$U_r$ (m/s)	転覆限界風速 $U_c$ (m/s)					
	26	28	30	32	34	36
20	4.9E-06	1.9E-06	7.8E-07	3.1E-07	1.3E-07	5.0E-08
22	6.3E-06	2.5E-06	1.0E-06	4.1E-07	1.6E-07	6.5E-08
24	8.0E-06	3.2E-06	1.3E-06	5.1E-07	2.1E-07	8.3E-08
26	9.9E-06	4.0E-06	1.6E-06	6.4E-07	2.5E-07	1.0E-07
28	-	4.8E-06	1.9E-06	7.7E-07	3.1E-07	1.2E-07
30	-	-	2.3E-06	9.2E-07	3.7E-07	1.5E-07

試算条件  $n=15$  分,  $m=3$  分 “3.1E-06” は  $3.1 \times 10^{-6}$  を表す  
 $a=0.0048, b=0.457, c=5.0, k=1.29$

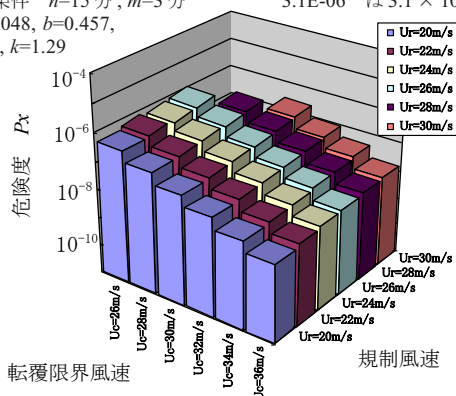


図9 規制風速と転覆限界風速の関数としての危険度  $P_x$

表4 実質的な規制風速  $U_{r}'$  と  $P_x$  の関係  
 $c=5.0, k=1.29, a=0.0048, b=0.457$  による試算

想定風向頻度	$U_{r}'$ (m/s)	$U_c$ (m/s)	$P_x(U_c, U_{r}')$
風向1	20%	20	$7.8 \times 10^{-7}$
風向2	60%	22	$1.0 \times 10^{-6}$
風向3	20%	26	$1.6 \times 10^{-6}$
$U_{r}'$ の加重平均風速		22.4	$P_x(23, 30) = 1.1 \times 10^{-6}$
風向頻度を重み付けした総合的な $P_x$			$1.1 \times 10^{-6}$

#### 4. 評価する際の不確定要素に関する課題

列車が強風で転覆する危険度を評価するために、外力(観測で得た風速)と耐力(輪重減少率を100%にする基準位置の風速)の大小関係を比較する際に必要な風速等の指標を換算する方法を図10に示す。段階(1)、(2)、(3)では外力として生じる風速を推定しており、段階(4)、(5)では任意地点における風速からその地点を走行する車両の輪重までを推定している。

外力評価に関する段階(1)、(2)、(3)のうち、段階

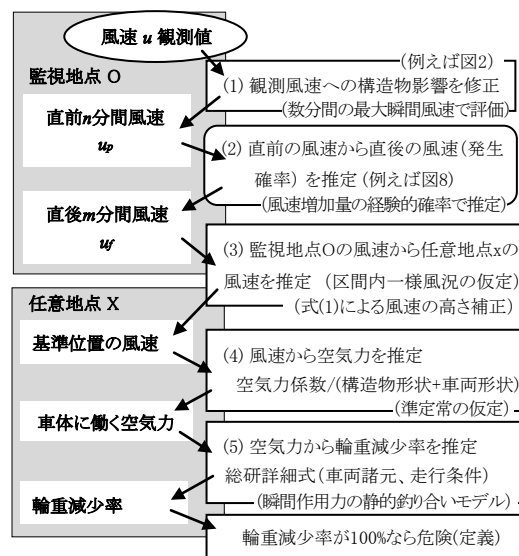


図10 評価項目相互の関連

(2)では確率的な推定を行っているものの、段階(1)、(3)では確定的な推定結果が得られるものとしている。しかし実現象では段階(2)に限らず観測値に偶然誤差が紛れ込むため推定結果にバラツキを伴うことが予想される。以下に実測されたバラツキの例を紹介する。まず、段階(1)について、実物盛土周りでの観測結果にはいずれの風向でも風速比に1割以上のバラツキを伴っていることが確認された(図11)。また、段階(3)に関する現実の例として、3.7km離れた2地点で同時刻の  $m$  分間最大瞬間風速に5m/s近い差があることが分かる(図12)。

このような外力推定段階における推定誤差に関してはまだ研究すべき課題を残している。地域の実況風速に対する1地点の観測風速の代表性を把握して段階(3)の推定精度を向上させるため、観測風速に対する構造物影響が明確なデータを蓄積していく必要があると考える。とはいえ、誤差が系統的な誤差ではなく、誤差の大きさが条件に依存しなければ、残る偶然誤差は複数ケースの  $P_x$  の順位を逆転させる原因とはならない。従って、安全性の相対的な比較を目的とすれば  $P_x$  を評価に利用可能と考えている。

一方、耐力評価に関する段階(4)(5)では、原因と結果に確定的な関係を仮定しているため、輪重がゼロとなることを危険と定義すれば、車両力学的な条件(車両重量等)と空気力学的な条件(形状や風向角等)を一つ

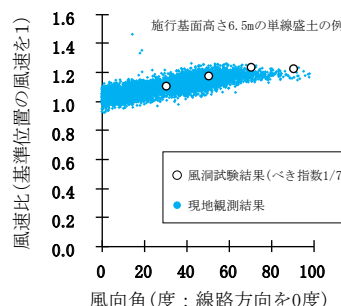


図11 基準位置風速と観測風速の関係

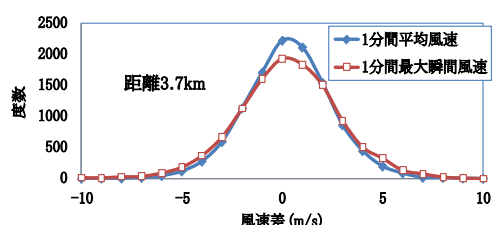


図 12 離れた 2 地点で観測された風速差の例

に想定した上で、輪重をゼロにする基準位置の風速は転覆限界風速として、ただ一つに求まる。ただし、転覆限界風速は風向角、走行速度、車両重量、カントなど様々な条件の組み合わせると幅広い分布となりうる。このため、転覆限界風速を大きく左右する風向や走行速度等の条件について各要素の構成率を調べて、任意地点 X における転覆限界風速を調べ、規制区間全体での転覆限界風速のたまかな分布形状を把握しておくことが重要である。そのため、任意地点の線路方位や地上高さ等の属性を等間隔に採取しデータベース化する作業が必要となる。

## 5. 指標 $P_x$ の活用方法

本稿で提案した方法は防災投資や運転規制の意志決定を支援することを目的としている。以下に指標  $P_x$  を意志決定に用いる方法を紹介する。

### 5.1 指標 $P_x$ の絶対値に基づく意志決定

許容する  $P_x$  の値に社会的な合意が形成されれば、その区間の線路条件や運転条件をもとに転覆限界風速や規制風速をパラメータとした試算を行い、目標とする  $P_x$  を達成する規制基準を防風設備の仕様とともに検討することができる。また、規制なしの条件で求めた  $P_x$  が上記の目標値を下回る区間では転覆の回避を目的とした運転規制を必要としないと判断できると考える。ただし、前述のように指標の絶対値に対する信頼を得ることが重要であり、強風対策を策定する側と利用者とのコミュニケーションが必要である。

### 5.2 現状非悪化による意志決定

$P_x$  の許容値に関する合意が得られていない段階での活用方法として、総合的な  $P_x$  が以前よりも高くなるらないことを意志決定の基準とする方法がある。強風対策を選択する際に、現行の規制基準、車両ならびに線路条件における危険度を算出し、強風対策後の危険度が現行の危険度を下回る（現状非悪化）ように新規規制基準やハード対策の仕様を決定する。この検討を軽量車両の導入や、運転速度の変更に行えば、相応の規制基準の改定や防風設備が必要となるものの、方策をとる度に安全性は順次向上することとなる。

## 6. まとめ

強風対策や運転規制の有効性を評価する一連の研究の一つとして、規制区間を走行する列車の危険度を評価する方法を提案した。鉄道車両の限界状態の定義に則り算出される転覆限界風速を超える強風が風速評価上の基準位置で生じる確率を危険度の指標とする。このとき、規制区間の通過所要時間長さに合わせた数分間の最大瞬間風速の度数の統計をとり、最大瞬間風速が転覆限界風速以上となる確率を算出する。ただし、構造物に近接して風速計が取り付けられていたり、線路の地上高が多様である等により風速評価上の条件が異なる場合には、規制用風速計で観測された風速を任意地点の転覆限界風速と直接比較することはできないので、観測風速を任意地点の基準位置の風速に換算し、基準位置の風速が転覆限界風速を超える確率を危険度の指標とする必要があることをその方法とともに示した。

## 7. おわりに

強風対策や運転規制の有効性を定量的に評価して強風対策を優先すべき部分を判断するため、確率を採り入れた指標を用いて危険度を評価する手法を紹介した。ここでいう強風対策には強風箇所を適切に把握して風速計を配置することも含まれる。風監視を適切に行って有効な運転規制を実施することは防風設備で耐力を向上させることと並んで重要であり、これらの様々な方策を組み合わせることで実現する安全性を総合的に評価するツールとしてこの手法への信頼を得ていきたい。

## 文 献

- 1) 日比野有, 今井俊昭, 種本勝二: 自然風下の実物大車両模型に働く空気力の観測, 鉄道総研報告 Vol.18, No.9, pp.11-16, 2004
- 2) 種本勝二, 鈴木実, 斎藤寛之, 今井俊昭: 強風下での車両に働く空気力と低減対策に関する風洞試験, 鉄道総研報告, Vol. 18, No.9, pp.17-22, 2004
- 3) 日比野有, 石田弘明: 車両の転覆限界風速に関する静的解析法, 鉄道総研報告, Vol. 17, No.4, pp.39-44, 2003
- 4) 荒木啓司, 福原隆彰, 島村泰介, 今井俊昭: 数値解析手法を用いた鉄道沿線における強風箇所の抽出方法, 鉄道総研報告, Vol.24, No.5, pp.29-34, 2010
- 5) 荒木啓司, 今井俊昭, 種本勝二, 鈴木実: 構造物周りの風速計位置が観測値に及ぼす影響の評価, 鉄道総研報告 Vol.25, No.7, pp.43-48, 2011
- 6) 福原隆彰, 島村泰介, 今井俊昭: 風速の時間変動を考慮した強風時運転規制の評価法, 鉄道総研報告, Vol. 21, No. 1, pp.13-18, 2007
- 7) 鉄道強風対策協議会: 風観測の手引き, 2006
- 8) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説, pp.344-347, 2004