

列車風に対する人の姿勢保持限界風速の推定

遠藤 広晴* 小美濃 幸司* 白戸 宏明*
 澤 貢* 種本 勝二** 武居 泰***

Estimation of the Tolerance of Human Postural Stability to the Train Draft

Hiroharu ENDOH Koji OMINO Hiroaki SHIROTO
 Mitsugu SAWA Katsuji TANEMOTO Yasushi TAKEI

In order to study the effects of the train draft on human postural stability, we conducted a wind tunnel experiment. In the experiment, 29 people were exposed to the transient wind similar to the train draft. The experimental results suggested that both wind speed and wind duration affect the postural stability. In this paper, we estimated the tolerance of postural stability to the transient wind based on a statistical model and a physical model, and discussed the validity of those models.

キーワード：列車風，風洞試験，姿勢，風速，安全，ロジスティック回帰モデル，剛体モデル

1. はじめに

近年，旅客サービス向上の一環として，目的地への到達時間短縮のために列車の速達化が進んでいる。一方，列車が通過する際にホーム上に吹く風（列車風）は，列車速度に比例してその風速が増大するため，JR各社は，ホームドアを設置したり，列車先頭形状を流線型にしたりするなどの様々な安全対策を実施している。今後，列車の速度向上は進むことが予想されるため，ホーム上の旅客の安全性をより正確に評価するためにも，列車風が人に及ぼす影響に関する基礎的研究が望まれている。

風が人に及ぼす影響に関しては，Penwarden が日常の観察や体験を基に提案した対応表があるが¹⁾，これは自然風の10分間以上の平均風速を対象としたものであり，風速変動までは言及していない。一方，列車風は列車先頭部通過時に短時間の三角波状の風速が見られるなど，風速波形に特徴的な要素を持つことが知られているが²⁾，そのような風が人に及ぼす影響に関して詳細な調査が行われた例はこれまでに無い。そこで，本研究では風洞試験を実施し，列車風に見られる短時間の三角波状風速を人に作用させ，その際の姿勢状況を調査した。また，その結果を基に，風速ピーク値および人への作用時間が姿勢に及ぼす影響に関して，統計的，力学的な観点からの考察を行った。

2. 風洞試験

2.1 試験方法

鉄道総研が所有する大型低騒音風洞において，三角波状風速の体感試験を実施した。試験方法の概要を以下に記す。

装置：図1のようなルーバー装置を風洞内に設置し，このルーバーの開閉によって列車風にみられる三角波状風速を被験者が体験できるようにした。試作したルーバー装置は，20枚のハネが手動式の操作ハンドルに連動して一斉に開閉するリンク機構を備えている。また，風速30m/sの定常風の中で開閉が可能で，かつ耐久性をもつように設計されている。初期状態では風洞に定常風を吹かせ，ルーバーは閉じている。ルーバーが45°回転すると全開し，90°回転すると再び完全に閉じる。この間にルーバーの隙間を通る風が被験者に当たる1回分の試験風となる。
風速条件：被験者に作用させる風速のピーク値は，風洞の定常風と連動して変化する。定常風の風速は，5m/s刻みで，30m/sまでの6段階設定した。各段階で作用時間0.5s，1.0s，2.0sの三角波状風速を発生させた。3種類の作用時間条件の提示順序は，同一風速においてランダムとし，被験者には知らせなかった。また，作用時間はルーバーの開閉時間を手動で制御することにより調節した。なお，3種類の作用時間条件とともに姿勢を保持できなかった場合には，その上の風速の体験は行なわなかった。
姿勢：被験者は足を肩幅程度に開き，手は体側にたらし，目線を水平前方に向け，自然に立った。ホーム上の旅客が背後から風を受けた場合，その風によりホームに引き込まれる危険性がある。また，一般に人は横方向よりも

* 人間科学研究部（人間工学）
 ** 環境工学研究部（空気力学）
 *** 構造物技術研究部（建築）

特集：ヒューマンファクター

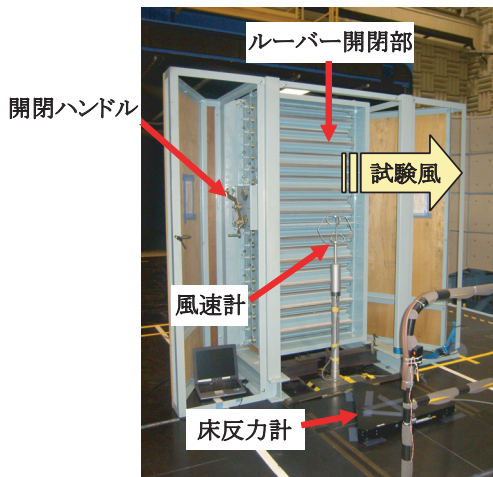


図1 三角波状風速発生用のルーバー装置

前後方向の力に対して姿勢安定性が低い。そこで、安全側での検討を行うため、背後から風を受けるようにした。被験者：被験者は健康な成人計29名で、男性13名、女性16名であった。年齢は18～64歳（平均38±13歳）、身長は1.51～1.83m（平均1.64±0.09m）、体重は42.6～98.2kg（平均60.3±11.6kg）、靴サイズは0.225～0.280m（平均0.248±0.016m）であった。計測項目：被験者の風上側に超音波風速計（カイジョー，SA200）を設置し、風速を計測した。風体感中の被験者の姿勢状況をビデオ計測した。また、被験者が床にかかる荷重を床反力計（アニマ，MG100）により計測した。

2.2 試験結果

2.2.1 風速のピーク値と作用時間

風洞に吹く定常風は、設定風速に対してある程度変動しているため、同一設定風速においても異なる風速ピーク値が計測された。また、ルーバーを手動で操作したため、作用時間に関しても設定値からのずれが見られた。そこで、計測した風速からピーク値および作用時間を読み取った。作用時間は、風速波形を二等辺三角波で近似した場合の底辺の長さとした。近似の際、実測風速ピーク値の10%以上の値をとる風速面積を計算し、この面積とピーク値が、実測風速と近似波形とで同一となるようにした。二等辺三角波近似した例を図2に示す。図に示した例は、風速ピーク値19.4m/s、作用時間1.27sである。本

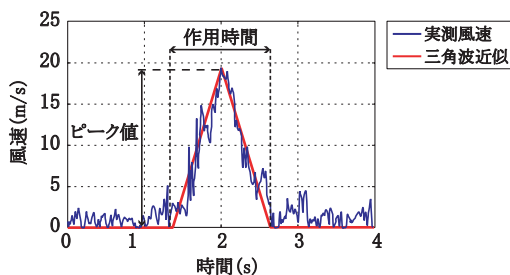
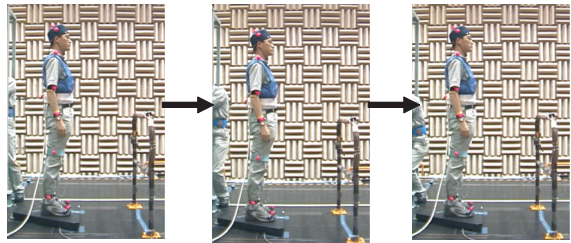
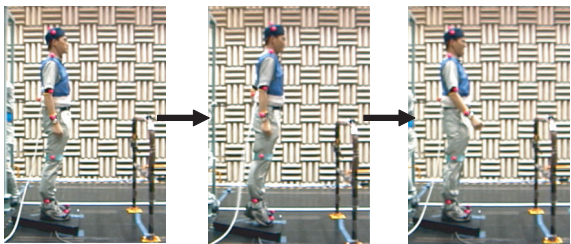


図2 実測風速波形例

姿勢1の例（風速ピーク 4.5m/s, 作用時間 1.6s）



姿勢2の例（風速ピーク 20.8m/s, 作用時間 2.0s）



姿勢3の例（風速ピーク 31.5m/s, 作用時間 1.9s）

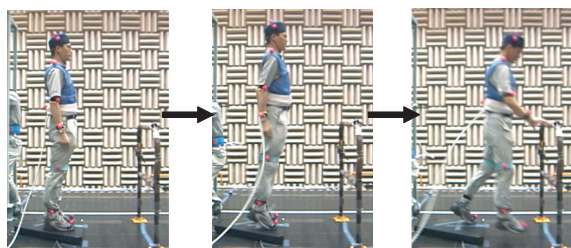


図3 風体感時の3種類の典型的な動きの例

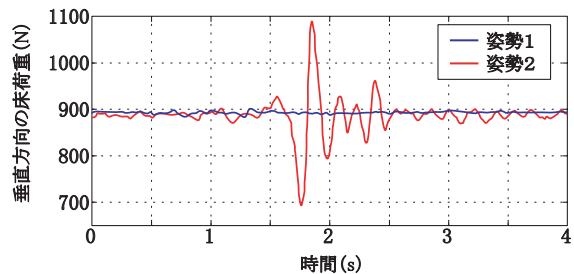


図4 姿勢1、姿勢2の床荷重波形の例

試験で得られた風速のピーク値および作用時間はそれぞれ1.37～38.8m/s、0.25～3.06s（計480試番）であった。

2.2.2 姿勢状況の観察結果

風体感中の被験者の姿勢状況を観察した結果、主に次の3種類の姿勢が見られた（図3）。

姿勢1：足底がほぼ全て床面に接した状態で、足首回りの小さな回転運動（姿勢保持）。

姿勢2：踵が浮く動き（姿勢保持）。

姿勢3：踵が浮き、一步踏み出す動き（姿勢不保持）。

姿勢1と姿勢2の違いは、踵が浮く動きになったか否かであるが、ビデオ観察だけでは判別が困難であったため、床荷重のデータを利用した。床荷重の時系列波形の例を図4に示す。姿勢2の場合、踵が浮いて再び床面に接地する際に、床に対して比較的大きな荷重がかかる。そこで、風体感中の床荷重の垂直方向成分が、体重の10%

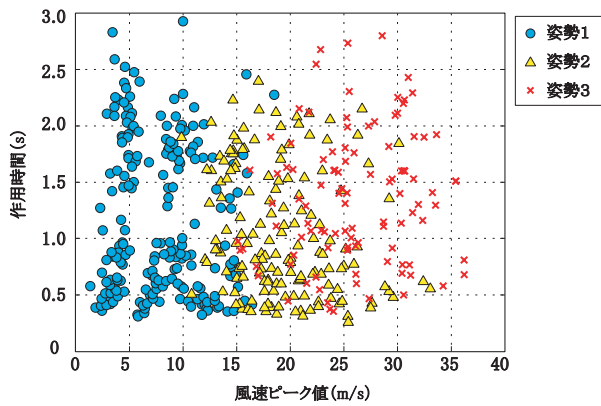


図5 姿勢状況の試験結果

以上の変動を示した場合、姿勢2と判断した。風速ピーク値を横軸、作用時間を縦軸として、各試番の風速・作用時間と姿勢状況の結果を図5に示す。風速ピーク値が大きくなるほど、姿勢状況が姿勢1、姿勢2、姿勢3へと推移していることがわかる。また、姿勢1と姿勢2が観測される風速領域の境界は比較的明確であり、作用時間による違いがほとんど見られないのに対し、姿勢2と姿勢3が観測される風速領域の境界は明確でなく、作用時間が短いほど、高い風速領域まで姿勢2が観測される傾向が見られる。

3. ロジスティック回帰モデルによる姿勢状況の推定

風速ピーク値 U_p および作用時間 T_d の三角波状風速を体感した際、人の姿勢状況が姿勢1、姿勢2、姿勢3となる確率 P_1 、 P_2 、 P_3 を以下のように仮定する。

$$P_1 = \frac{e^{a_1 U_p + b_1 T_d + c_1}}{1 + e^{a_1 U_p + b_1 T_d + c_1} + e^{a_2 U_p + b_2 T_d + c_2}} \quad \dots(1)$$

$$P_2 = \frac{e^{a_2 U_p + b_2 T_d + c_2}}{1 + e^{a_1 U_p + b_1 T_d + c_1} + e^{a_2 U_p + b_2 T_d + c_2}} \quad \dots(2)$$

$$P_3 = \frac{1}{1 + e^{a_1 U_p + b_1 T_d + c_1} + e^{a_2 U_p + b_2 T_d + c_2}} \quad \dots(3)$$

ただし、 $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ はモデルパラメータである。観測データに対してこのような確率構造を仮定する統計モデルをロジスティック回帰モデルとよぶ。モデルパラメータを最尤法により推定した結果、 $a_1=-1.05, b_1=-1.36, c_1=18.7, a_2=-0.27, b_2=-1.01, c_2=7.6$ と推定された。作用時間0.5s、2.0sを例として、推定された P_1, P_2, P_3 を図6に示す。風速10～15m/sにおいて姿勢1から姿勢2に急激に姿勢状況が推移しており、両者の生起確率は作用時間にほとんど依存していなかった。一方、姿勢2から姿勢3に姿勢状況が推移する風速領域では、両者の生起確率は作用時間0.5sと2.0sで大きく異なった。例えば、姿勢3の生起確率が0.5となる風速ピーク値は、作用時間0.5sでは26.4m/s、作用時間2.0sでは20.8m/sと推定された。

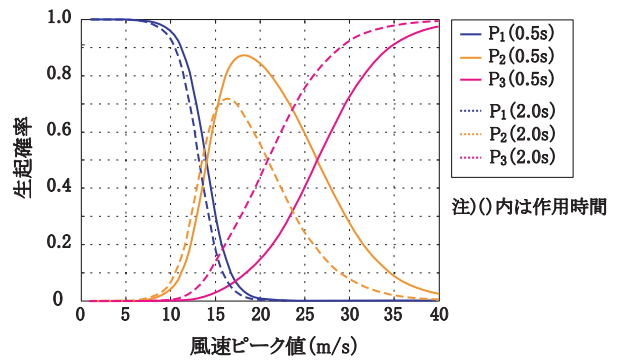


図6 ロジスティック回帰モデルにより推定された姿勢状況の生起確率

4. 剛体モデルによる姿勢状況の推定

前章では、統計的なモデルにより、姿勢状況の生起確率を導出した。この方法は、式(1)～(3)で表されるモデルパラメータを試験データに基づいて推定しているため、データを増やしていくことで、全体の傾向を反映した精度の高い推定が可能となる。一方、風速に対する姿勢状況には、身長や体重等の個体属性が大きく影響すると考えられるため、列車風の安全面での検討の際には、個体レベルでの推定精度も重要となる。また、試験結果をより正しく解釈するためには、統計的な観点と同時に、物理的な観点から検討を行う必要がある。そこで、本章では、三角波状風速が姿勢に及ぼす影響について、力学的な観点から検討を行い、さらに、個体レベルでの姿勢状況の推定可能性を検証する。

4.1 剛体モデル

第2章での観察結果より、風速が増大するに従い、姿勢1、姿勢2、姿勢3の順に姿勢状況が推移することがわかった。姿勢1と姿勢2の境界となる風速（踵が浮き始める風速）を静止最大風速と呼び、姿勢2と姿勢3の境界となる風速（姿勢を保持できなくなる風速）を姿勢保持限界風速と呼ぶことにする。これら姿勢の境界となる風速を推定するため、姿勢状況の観察結果を基に、つま先回りの回転運動のみを自由度として持つ剛体として人をモデル化する。

提案するモデルを図7に示す。モデルは四肢と体幹を想定した厚さが一様な板と、足を想定した厚さを無視した平板により構成される。モデルの重心は、静止立位時にその高さが身長55%で、かつ床面に投射した点がつま先（点P）から靴サイズの60%の位置になるよう設定した。このモデルの運動方程式は以下のようになる。

$$J\ddot{\theta} + MgL_0 \cos(\theta + \theta_0) = F_u L_0 \sin(\theta + \theta_0) \quad \dots(4)$$

ここで、 θ は床面と足底面とのなす角、 J は回転軸回り（点P回り）の慣性モーメント、 M はモデル質量、 L_0 は

特集：ヒューマンファクター

点Pとモデル重心 C_g との距離、 θ_0 は直線 PC_g と足底面とのなす角である。また、 F_u は風から受ける力で以下のように表せると仮定する。

$$F_u(t) = \frac{1}{2} \rho C_d S_u U^2(t) \quad \dots(5)$$

S_u はモデル前額面の投影面積である。 ρ は空気密度、 C_d は抗力係数であり、本稿では先行研究を参考にして、それぞれ、 1.23kg/m^3 、 1.0 とした³⁾。ここで、静止最大風速は、式(4)で $\theta = 0$ 、 $\dot{\theta} = 0$ とすることで得られ、以下のようなになる。

$$U_b = \sqrt{\frac{2Mg}{\rho C_d S_u \tan \theta_0}} \quad \dots(6)$$

したがって、風速波形形状に関わらず、風速ピーク値が式(6)より大きい場合は、モデルに回転運動が生じると判断できる。一方、モデルが転倒するか否かは、風速ピーク値だけでなく、風速波形形状にも依存するため、実測風速に対する姿勢状況を推定する場合は、風速時系列データを式(4)に代入し、数値計算を実行する必要がある。

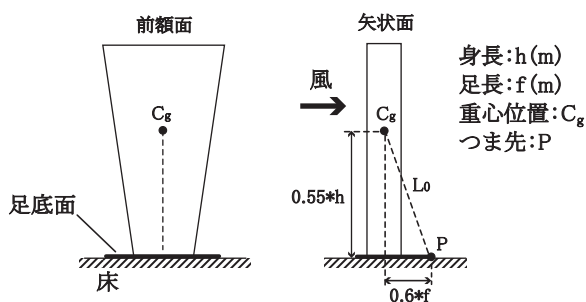


図7 モデル概要

4.2 姿勢状況の試験結果と剛体モデル推定結果の比較

提案した剛体モデルにより、各試番の被験者の姿勢状況を推定した。ただし、式(4)の風速には実測風速の時系列データを使用し、身長、体重等のモデルパラメータは、試験中に計測した各被験者の寸法データを使用した。また、風洞試験での姿勢状況との対応関係より、モデルの姿勢状況は、回転運動が生じない場合は姿勢1、回転運動が生じるが前方に転倒しない場合は姿勢2、前方に転倒した場合は姿勢3と判別した。なお、式(4)の数値計算には4次のルンゲ・クッタ法を適用した。

試験結果とモデル推定結果の対応を表1～3に示す。試験結果とモデル推定結果が一致したのは全体としては78.5%、男性は81.0%、女性は76.4%であった。この割合を推定精度と考え、推定精度と被験者の年齢との関係を図8に示す。今回の被験者の年齢(18～64歳)では、モデルの推定精度は年齢にほとんど影響されないことが確認できる。これより、提案したモデルでは、三角波状風速を受風した際の姿勢状況を、個体レベルで精度よく推定できることが示唆された。

試験結果とモデル推定結果との主な相違は、試験では

姿勢2であったのに対し、モデルでは姿勢1と推定されるケースと、試験では姿勢3であったのに対し、モデルでは姿勢2と推定されるケースであった。前者のケースは男女とも同程度見られた。これは、回転軸をつま先と仮定したが、実際の動き始めの回転軸は、つま先よりも体幹側の関節(例えば、足指の付け根の関節付近)である可能性が考えられる。一方、後者のケースは主に女性で見られた。姿勢2と姿勢3の境界領域のような大きな動きでは、最終的に回転軸がつま先になるため、この場合は回転軸に関する仮定は妥当であると考えられる。後者のケースの主な原因は、姿勢3となる風速を、モデルが転倒する風速と仮定したことによると考えられる。女性の場合は心理的な影響等により、モデルで仮定したよりも早い段階で一歩踏み出すことが予測される。これら推定誤りの原因を改善し、さらに推定精度を向上させることは、今後の課題である。

表1 試験結果とモデル推定結果の対応(全体)

試験結果	モデル推定結果		
	姿勢1	姿勢2	姿勢3
姿勢1	212 (44.2%)	2 (0.4%)	0 (0%)
姿勢2	58 (12.1%)	95 (19.8%)	9 (1.9%)
姿勢3	4 (0.8%)	30 (6.3%)	70 (14.6%)

注)表中の値は試番数。()内の値は全480試番に対する割合。

表2 試験結果とモデル推定結果の対応(男性)

試験結果	モデル推定結果		
	姿勢1	姿勢2	姿勢3
姿勢1	99 (43.8%)	1 (0.4%)	0 (0%)
姿勢2	31 (13.7%)	47 (20.8%)	5 (2.2%)
姿勢3	1 (0.4%)	5 (2.2%)	37 (16.4%)

注)表中の値は試番数。()内の値は男性の全226試番に対する割合。

表3 試験結果とモデル推定結果の対応(女性)

試験結果	モデル推定結果		
	姿勢1	姿勢2	姿勢3
姿勢1	113 (44.5%)	1 (0.4%)	0 (0%)
姿勢2	27 (10.6%)	48 (18.9%)	4 (1.6%)
姿勢3	3 (1.2%)	25 (9.8%)	33 (13.0%)

注)表中の値は試番数。()内の値は女性の全254試番に対する割合。

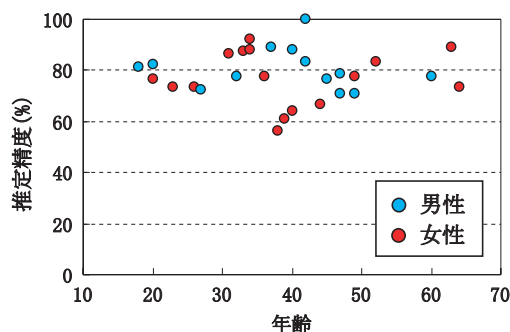


図8 推定精度と被験者の年齢の関係

5. 姿勢保持限界風速の解析的導出

前章では、実測風速に対する剛体モデルの姿勢状況と試験結果とを比較し、三角波状風速に対する人の姿勢状況の推定に、式(4),(5)により表されるモデルが有効であることを確認した。ここでは、風速を二等辺三角波と仮定することで、姿勢保持限界風速を解析的に導出し、モデル寸法と姿勢保持限界風速との関係を明確にする。

式(4)で $\cos(\theta+\theta_0)$ と $\sin(\theta+\theta_0)$ を $\theta=0$ のまわりで1次テーラー近似し、さらに、モデルが転倒するまでの θ に関して $(\cos\theta_0) \cdot \theta \ll \sin\theta_0$ であることを考慮すると、式(4)は以下のように近似できる。

$$J\ddot{\theta} + MgL_0(\cos\theta_0 - \sin\theta_0 \cdot \theta) = F_u L_0 \sin\theta_0 \quad \dots(7)$$

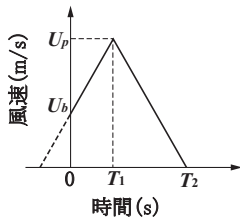


図9 二等辺三角波風速

風速は図9のような二等辺三角波と仮定する。ただし、式(7)は床とモデル間の力の作用を考慮していないため、風速はモデルが動き始める静止最大風速から開始するものとした。図9に示した二等辺三角波風速 $U(t)$ は以下のように記述される。

$$U(t) = \left[U_p + 2\frac{U_p}{T_d}(t - T_1) \right] \cdot [H(t) - H(t - T_1)] + \left[U_p - 2\frac{U_p}{T_d}(t - T_1) \right] \cdot [H(t - T_1) - H(t - T_2)] \quad \dots(8)$$

$$T_1 = \frac{T_d}{2} \left(1 - \frac{U_b}{U_p} \right), \quad T_2 = T_d \left(1 - \frac{U_b}{2U_p} \right) \quad \dots(9)$$

$$H(t) = \begin{cases} 1 & (t \geq 0) \\ 0 & (t < 0) \end{cases} \quad \dots(10)$$

ただし、 U_p は風速ピーク値、 T_d は作用時間（底辺の長さ）である。式(7)に式(5)および式(8)を代入し、微分方程式を解くと、風作用後 ($t > T_2$) の $\theta(t)$ は以下のように記述できる。

$$\theta(t) = \frac{1}{\tan\theta_0} \left[1 + \frac{\alpha}{\beta} \left(1 + \frac{\alpha}{\beta} - 2\alpha e^{-\frac{(\alpha-1)\beta}{\alpha}t} - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\frac{(2\alpha-1)\beta}{\alpha}t} \right) e^{L_s t} + \frac{\alpha}{\beta} \left(-1 + \frac{\alpha}{\beta} + 2\alpha e^{-\frac{(\alpha-1)\beta}{\alpha}(t-T_1)} - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\frac{(2\alpha-1)\beta}{\alpha}(t-T_1)} \right) e^{-L_s t} \right] \quad \dots(11)$$

$$\alpha = \frac{U_p}{U_b}, \quad \beta = \frac{T_d L_s}{2}, \quad L_s = \sqrt{\frac{MgL_0 \sin\theta_0}{J}} \quad \dots(12)$$

式(7)は、床とモデル間の力の作用を考慮していないため、モデルが前方に転倒する場合は $t \rightarrow \infty$ で $\theta \rightarrow \infty$ 、転倒せずに再び初期位置に戻る場合は $t \rightarrow \infty$ で $\theta \rightarrow -\infty$ となる。また、 $L_s > 0$ であることより、 $t \rightarrow \infty$ での θ の符号

は $e^{L_s t}$ の係数の符号に依存する。したがって、二等辺三角波風速に対するモデルの姿勢保持限界風速は、以下の式を満たす曲線となる。

$$F(\alpha, \beta) = 1 + \frac{\alpha}{\beta} - 2\alpha e^{-\frac{(\alpha-1)\beta}{\alpha}} - \frac{\alpha}{\beta} e^{-\frac{(2\alpha-1)\beta}{\alpha}} = 0 \quad \dots(13)$$

$F < 0$ ではモデルは転倒せず、 $F > 0$ でモデルは転倒する。

二等辺三角波風速に対する静止最大風速と姿勢保持限界風速の例を図10(a)に示す。比較のため、図10(a)には式(4)を数値計算することで得た姿勢保持限界風速も示す。数値計算による導出では、各作用時間を持つ風速ピーク値を0.01m/s刻みでモデルが転倒するまで上げていき、転倒直前の風速を求めた。式(13)による結果と数値計算による結果はほぼ一致し、運動方程式の近似による誤差はほとんど生じていないことがわかる。なお、実測風速と近似した二等辺三角波風速に対するモデルの姿勢状況の結果は全試番の97%が一致し、ほぼ同一であった。

静止最大風速は15.3~19.5m/sと推定された。姿勢保持限界風速は、作用時間が短いほど高い値と推定され、例えば作用時間2.0sでは18.9~24.5m/sであるのに対し、作用時間0.5sでは27.2~35.7m/sと推定された。

式(13)の α 、 β は式(12)に示したように、それぞれ風速ピーク値、作用時間を剛体モデルの寸法で標準化した値である。静止最大風速および姿勢保持限界風速はモデル寸法により異なるが、 α および β を軸とした空間上では、それぞれが唯一つ定まる。図10(b)に、両者を軸とした空間上に姿勢状況の結果と静止最大風速および姿勢保持限界風速を示す。静止最大風速を表す $\alpha=1$ の直線と、姿勢保持限界風速によって、全体の姿勢状況の推移をよく推定できていることがわかる。

以上より、三角波状風速を二等辺三角波で近似し、そのピーク値と作用時間、および人の寸法情報を式(12)、(13)に代入することで、姿勢状況を個体レベルで精度よく推定できることを確認した。

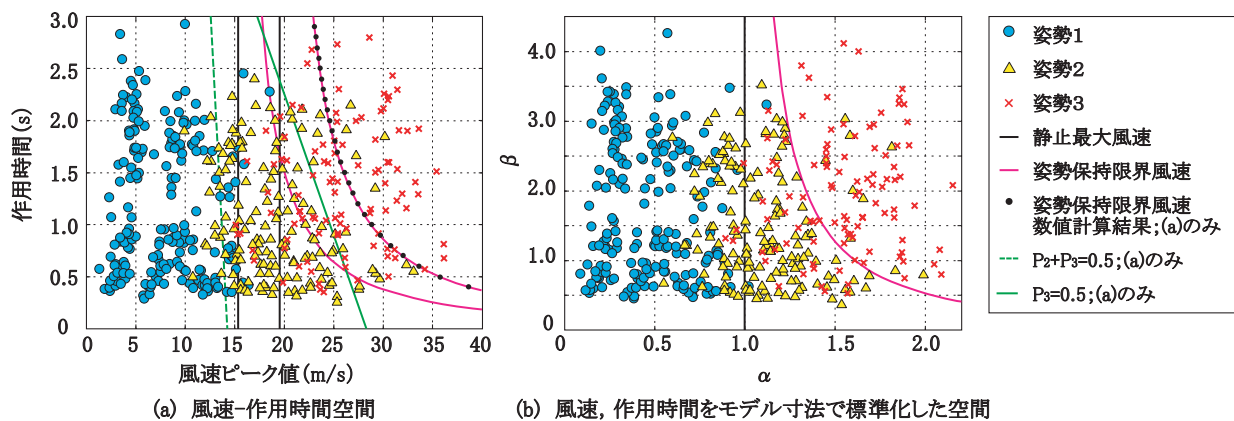
6. ロジスティック回帰モデルと剛体モデルの比較

ここでは、ロジスティック回帰モデルで推定した姿勢状況の生起確率と、剛体モデルで推定した静止最大風速および姿勢保持限界風速の結果を比較する。

静止最大風速は、踵が浮き始める風速であり、ロジスティック回帰モデルでの姿勢2または姿勢3となる確率 (P_2+P_3) に対応する。また、姿勢保持限界風速は姿勢3となる確率 (P_3) に対応する。ここでは、確率0.5の等確率線を比較の対象とする。両等確率線を図10(a)に示す。

踵が浮く確率0.5の等確率線は、作用時間0.5sでは14.0m/s、作用時間2.0sでは13.2m/sと推定され、作用時間による差異は小さかった。これは、剛体モデルの静止

特集：ヒューマンファクター



注) (a)の静止最大風速および姿勢保持限界風速は、被験者の最小と最大ラインを描いた

図10 姿勢状況の試験結果とロジスティック回帰モデル、剛体モデルの推定結果

最大風速が、個体レベルでは作用時間に関わらず同一の値になることと一致する。風速の大きさは、 $P_2+P_3=0.5$ の等確率線と静止最大風速とで若干差異が見られるが、これは4.2節で前述したように、剛体モデルの回転軸の設定方法に原因があり、力学的に矛盾する結果ではない。

姿勢を保持できなくなる確率0.5の等確率線は、作用時間による差異が大きかった。これは、剛体モデルの姿勢保持限界風速と同様であった。また、作用時間0.5s以上の風速領域では、 $P_3=0.5$ の等確率線は剛体モデルで推定された姿勢保持限界風速の最小と最大ラインの間に存在していた。ただし、作用時間0.5s以下の領域に関しては、ロジスティック回帰モデルと剛体モデルとの結果に大きな相違が見られた。今後、さらにデータを取得し、統計モデルの妥当性の検証を行う必要があると考えられる。

7. まとめ

風洞試験を実施し、風速ピーク値1.37～38.8m/s、作用時間0.25～3.06sの三角波状風速を被験者に作用させ、その際の姿勢状況を調査した。また、その結果を基に、風速ピーク値および人への作用時間が姿勢に及ぼす影響に関して、統計的、力学的な観点から考察を行った。得られた結果を以下にまとめる。

- (1) 姿勢状況の観察結果より、風速が大きくなるにつれて、踵が浮く動き、一歩踏み出す（姿勢を保持できなくなる）動きが観察された。
- (2) ロジスティック回帰分析の結果、確率0.5で踵が浮く動きとなる風速ピーク値は13～14m/s程度と推定され、作用時間の影響は小さかった。また、確率0.5で姿勢を保持できなくなる風速ピーク値は作用時間0.5sでは26.4m/s、作用時間2.0sでは20.8m/sと推定され、作用時間が短いほど、高い風速ピーク値に対しても姿勢を保持しやすいことが確認された。
- (3) 人を簡易な剛体モデルで近似し、風速に対する姿勢

状況を推定する方法を提案した。剛体モデルによる推定結果と試験結果とは78.5%の割合で一致した。また、試験に参加した被験者の年齢（18～64歳）では、年齢によるモデル推定精度への影響は見られなかった。性別に関しては、女性の推定精度が男性よりも若干低い結果となった。

- (4) 二等辺三角波風速に対する剛体モデルの姿勢保持限界風速を解析的に導出した。これより、風速ピーク値、作用時間、人の寸法情報により姿勢保持限界風速を個体レベルで推定することが可能となった。
- (5) ロジスティック回帰モデルによる姿勢状況の推定結果と、剛体モデルによる結果を比較したところ、上記(2)項で得られた知見は、力学的にも解釈が可能であることを確認した。ただし、作用時間0.5s以下の風速に関しては、剛体モデルの推定結果と大きな相違が見られた。

今後、さらにデータを取得し、より妥当な統計モデルの選定も含め検討を続ける。また、剛体モデルについては、4.2節で考察したモデルの推定誤りの原因となった点を改善し、推定精度の向上を図る。これら、統計モデルと力学モデルの両者を考慮した評価モデルの検討をすすめて、列車風の安全性評価に繋げていきたい。

文献

- 1) 小美濃幸司, 白戸宏明, 遠藤広晴, 種本勝二, 武居泰, 石井圭介: 駅ホームの旅客に及ぼす列車風の影響, 鉄道総研報告, Vol.20, No.3, pp.41～46, 2006
- 2) 種本勝二, 梶山博司: 列車通過時のホーム上の列車風と圧力変動, 鉄道総研報告, Vol.17, No.11, pp.53～56, 2003
- 3) 村上周三, 出口清孝, 小峯裕己: 抗力からみた風の人間に及ぼす影響に関する風洞実験, 第6回風工学シンポジウム論文集, No.6, pp.115～122, 1980