

# ホームの列車風を体感する

小美濃幸司  
人間科学研究部  
(人間工学研究室 室長)

種本 勝二  
環境工学研究部  
(車両空力特性研究室 主任研究員)

遠藤 広晴  
同  
(同 副主任研究員)

武居 泰  
研究開発推進室  
(計画 課長)



おみの こうじ



えんどう ひろはる



たねもと かつじ



たけい やすし

## 列車風

列車が通過する脇に立っていると、列車が引き起こす風を感じます。この風を列車風と呼んでいます(図1)。ホーム上の列車風については利用者の安全に配慮する必要があります。このため鉄道事業者は風速の目安値を設け、ホーム柵を設置したり、列車先頭形状を流線型にしたりするなどの安全対策を実施しています。この目安値はビューフォート風力階級(気象分野などで広く使われている、風の強さを表わす数字)を根拠として、国鉄当時に設定され、今日まで使われています。これまでの実績から目安値は安全の確保に役立っていると考えられる一方で、その根拠となっているビューフォート風力階級が自然風に関する記述であることから、人工的な風である列車風へそのまま適用することが適切であるか考える必要があります。そこで昨今、改めて現行の目安値が適正なものであるかの確認が求められるようになってきました。

列車風の風速はばらつきがあるためにその特徴を完全に把握することは難しいですが、概ね列車先頭部通過時の数秒間では一過性の三角波の(三角形の)風速、列車通過後に数秒から数十秒程度吹き続ける風速、特に長い場合には定常風(一定の風速の風)に近い形の風速が観測されます(図2)。少なくとも、列車風の影響について検討するためには、これらの風速波形に関する人への影響データが必要です。

風の人への影響として体温を奪うという影響も考えられますが、列車風に関して言えば風の力によって人の姿勢が不安定になって転倒したり、身体を線路側へもっていかれホームから落下したりするような力学的影響が焦点になります。建築分野での対象が自然風であるという違いはあるものの、やはり建物や人への風の力学的影響が検討されてきました。一般的には風から受ける力は風速の2乗に比例し、かつ受風面積にも比例します。人についての安全という観点から、この関係に基づいた強風下の高所作業の安全限界について検討した研究例が報告されています。一方、

前述のように列車風に対するホーム上の人への影響についてはこうした基礎研究が極めて少ないのが現状です。建築分野での知見を活用することが考えられますが、列車風のような人工的な風について言及されていないことや、同分野のデータが少数の被験者にに基づくことから、まず列車風の安全検討に耐えうる十分な基礎データが必要となります。特に列車風のように個別の風速波形に対して影響の違いを検討できる精度の良いデータが求められます。

そこで、鉄道総合技術研究所が所有する大型低騒音風洞で人工的に風を起こし、列車風でみられる風速の特徴を単純化した風として、定常風や、三角状あるいはステップ波状の変動風を体感できるようにし、立っている人への力学的影響を調べる実験を行いました。以下、その風の体感実験について紹介したいと思います。

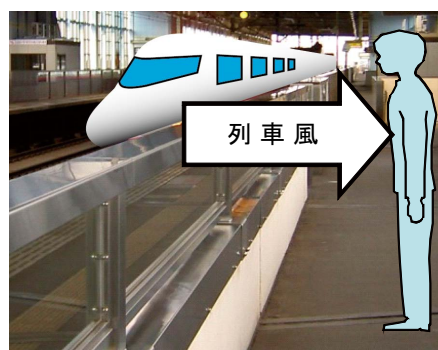


図1 列車風

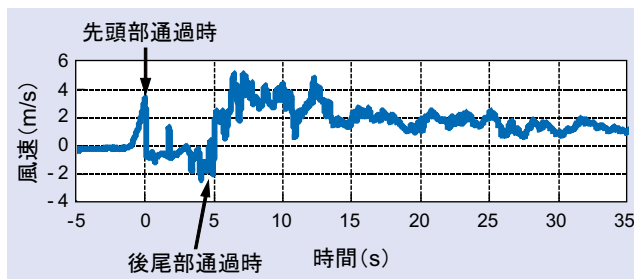


図2 列車風風速波形例  
(列車進行方向の風速成分で、進行方向が正)

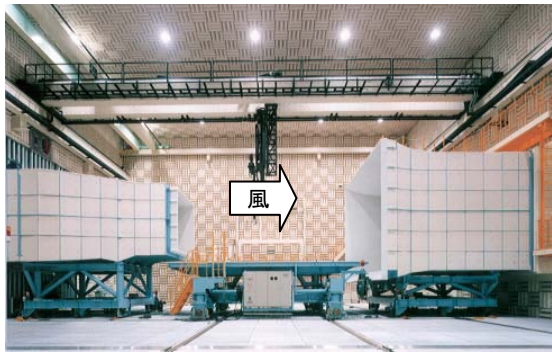


図3 定常風体感実験風景(左：開放型測定部全景，右：定常風体感実験風景)

### 定常風を体感する

まず、列車通過後に列車風がしばらく続くような状態を想定して、被験者が定常風を体感する実験を計画しました。図3の左の風洞内の写真の真ん中に開放型測定部(風を当てるための開放された空間)があり、この上に右の写真のように被験者が2名ずつ立ちました。被験者が受ける定常風の風速は、0m/sから緩やかに上げ、立位姿勢を保つことのできる風速の上限(姿勢保持限界風速)までとしました。風によって足を踏み出したり、手すりをつかんだりした直前の風速あるいは耐えられないと自己申告があった場合に立位姿勢を保持できなかつたとみなしました。姿勢保持限界風速に達した後は、風速を緩やかに下げていき、風を停止しました。風速の上昇、下降ともに、定常風とみなせる緩やかな変化で、この途中5m/sごとに約30s風速を一定に保つようにしました。被験者の姿勢の向きは「風下向き」と「横向き」の2種類設定し、一定風速時に被験者は風からどの程度の力を受けているのかをそれぞれの姿勢について調べました。なお、被験者は健常な年齢18～59歳の成人計32名で、男性20名、女性12名でした。

被験者が風から受けた力(床反力計によって得られた抗力)の平均値を図4に示します。風から受ける力は風速の2乗に比例する形で増えていきます。この関係は姿勢によらず、そのまま姿勢を保とうとすれば風下を向いていても、横を向いていても、力が風速に対して2乗に比例する形で増えるのは同じです。ただし、その増加率は風下を向いている方が大きくなります。この違いは、風に対する身体の面積や形状の違いによると考えられます。今回の実験では風速25m/sで風下向きに立つと200N程度、横向きに立つと130N程度の力がかかることが分かります。

この力に対して立っているというのはどの程度の感覚かというのを、5段階(1.特に力を入れずに立っていたら、2.姿勢を傾けずに立ってられるが、力を要する、3.姿勢を傾けないと立ってられない、4.姿勢の維持の限界に近い、5.耐えられない)で評価してもらいました。風下向きの評価結果を図5に示します。概ね評価は風速とともに厳

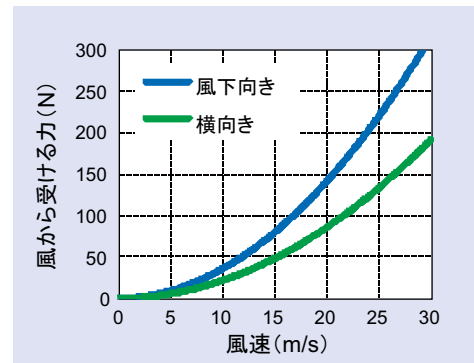


図4 定常風の風速と人が受ける力

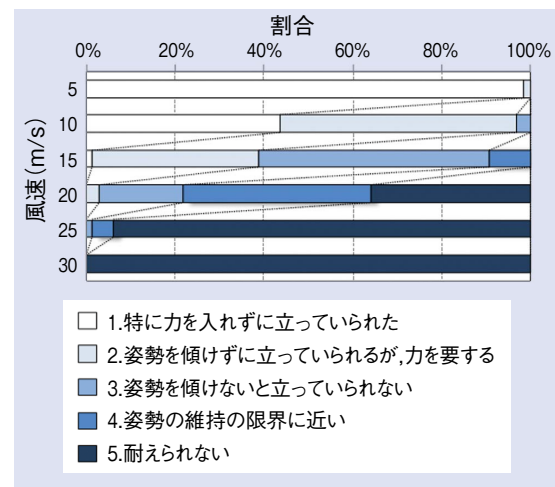


図5 定常風に対して風下向きに立った場合の姿勢を保持するのに要する力の感覚

しくなっていきます。5m/sでは立っているために特に力を入れていないのですが、10m/sになると過半数の人が姿勢を保つための力が必要であると感じています。15m/sでは特に力を入れていない人もいれば、姿勢の維持の限界に近い人もあり、個人差が大きい風速範囲であることがわかります。20m/sでは多くの被験者が実際には体を傾ければ立ってられるという状況でしたが、「4.姿勢の維持の限界に近い」または「5.耐えられない」という回答が急激に増え、80%弱を占めています。25m/sになると「5.耐えられない」という回答が90%を超えました。

## 変動風を体感する

列車風では先頭部通過の瞬間に三角波状の風速がみられることから、次にこのような変動風を体感する実験を行いました。短い時間の変動風を人工的に安定して発生させるには何らかの工夫が必要

です。このため今回は風洞実験専用の変動風変換ルーバーを作成しました(図6)。20枚の羽根からなる回転式ルーバーを電動モーターで駆動して被験者に当たる風を制限する装置です。風洞に定常風を吹かせておいて、ルーバーの開閉時間を制御することでルーバー背後に変動風を発生させることができます。ルーバー本体は高さ2m、幅1mで、その左右に高さ2m、幅0.9mのパネルがルーバー本体に対して斜めに取り付けられ、ルーバーの左右から回り込む風が被験者に当たることを防ぐように配慮されています。実験では風洞の風速を5m/s刻みで上げながら、各風速段でルーバーの開閉を制御して作用時間の異なる三角波状風速(図7左)を発生させました。また同時に、各段階で立ち上がり時間0.5sのステップ波状風速(図7右)の変動風も発生させました。なお、変動風の体感実験に参加した被験者は、成人男性6名、成人女性10名で、年齢は19~44歳でした。

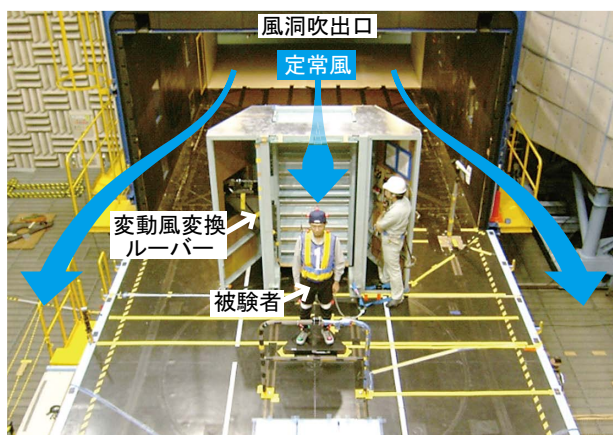


図6 変動風変換ルーバーと体感実験風景

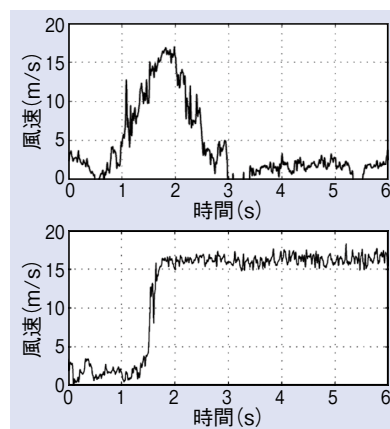


図7 変動風風速例  
(上：三角波，下：ステップ波)

図8は三角波風速を体感している被験者映像の4コマを抜き出したものです。上段は風速20m/sで作用時間0.4sの三角波変動風を、下段は同じ風速で作用時間4.0sの三角波変動風を受けた状況を示しています。作用時間0.4sでは立位姿勢にほとんど影響が見られませんが、作用時間4.0sでは風に押されて姿勢を保持できていません。このように三角波風速の変動風の場合には作用時間の影響がみられました。ここで作用時間0.4sと作用時間4.0sについて、風速に対する姿勢を保持できなかった(足を踏み出した、あるいは手すりをつかんだ)被験者の割合を求めました(図9)。同じ風速でも姿勢の向きが風下向きであるほうが横向きよりも姿勢を保持できない割合が高く、姿勢が不安定であるというのは定常風と同じ傾向と言えます。これに加えて変動風の場合には作用時間の影響もはっきりと表れています。風速20m/sですと、作用時間4.0sでは風下向きで姿勢を保持できない割合が20%を超えて

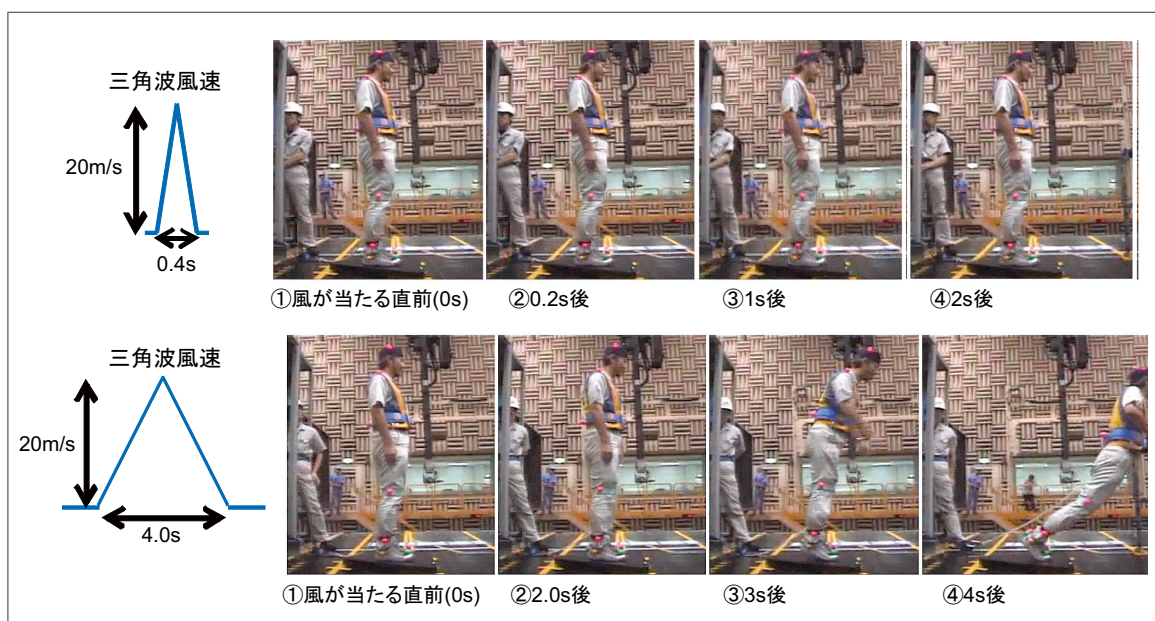


図8 変動風体感実験例(上：風速20m/s・持続時間0.4s, 下：風速20m/s・持続時間4.0s,)

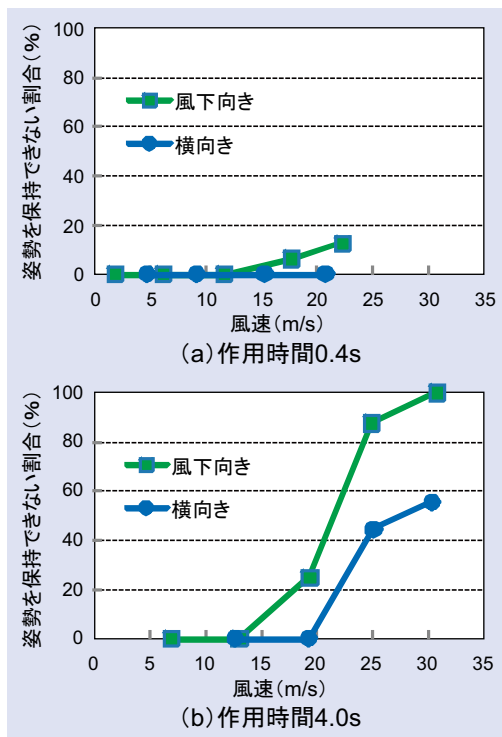


図9 三角波風速と立位姿勢を保持できない割合  
(上：作用時間0.4s, 下：作用時間4.0s)

きますが、作用時間0.4sではその半分程度となっています。人が姿勢を保持しようとする力が、作用時間が短い方が少なくて済むためです。このように人への影響という観点から、列車風にみられるような作用時間の短い変動風に対しては、その作用時間を考慮に入れなければならないことが分かります。

もう一つ変動風として、ステップ波風速の風についても体感させました。ステップ波風速に対する姿勢を保持できなかった割合を図10に示します。三角波風速に比べてさらに厳しい結果となっています。風下向き条件では10m/s条件では全員が姿勢を保持できましたが、15m/s条件では立位姿勢を保持できない被験者の割合が50%を超えました。横向き条件では15m/s条件まではほぼ全員が姿勢を保持できましたが、20m/s条件では姿勢を保持できない割合が40%程度と高くなっています。

### 列車風を評価する

列車風が自然風と大きく違うのは、列車が通過するときだけ発生するという点であり、その点では風が吹く原因がはっきりとしています。したがって列車風の風速と人が受ける影響の関係がわかれば、適切に駅ホーム上の列車風の安全管理ができるものと考えられます。

一方、列車風の旅客への影響としては、特に姿勢が不安定になって、転倒したり、身体をもっていかれたりするような危険があるかどうか焦点となると考えられます。そ

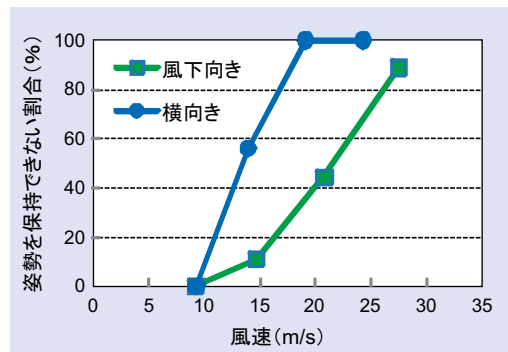


図10 ステップ波風速と立位姿勢を保持できない割合

こで風から受ける力および姿勢の動揺の大きさから危険性を評価する必要があると考えられます。ホーム上ということ考えると、列車風を受けた時に足を踏み出してしまうような身体の動揺が生じてしまうと、転倒したり、身体をもっていかれて何かにつかたりする危険がでてくるので、安全側でいえば踏み出さない程度の風であれば問題はないと考えられます。その意味では一歩踏み出す力とはどの程度なのかというデータがあれば安全の検討に役立つものと考えられ、今回の風速に対して姿勢を保持できない割合もその基礎データといえます。紹介した実験以外にも風洞実験を重ねてきており、これまではっきりしていなかった風の人への影響が見えてきました。

こうした考えの下、得られた知見を総合し、列車風の評価方法として以下の手順を提案しています。

- ①評価対象となっている場所の風速を計測する。
- ②計測した風速データから人が受ける力を予測する。
- ③予測された力が基準内であれば、安全上問題がないと判断する。

詳細な説明は省略しますが、計測された列車風において、その風速の最大値と人が風から受ける力の最大値は必ずしも一致しません。その理由は前述の通り、作用時間の影響があるためであり、高い風速であっても作用時間が非常に短ければ、人が受ける力は定常風などと比べて小さいものとなります。そこで風速が高くても楽に立っていられる程度であれば安全上問題ないと判断します。このように従来風速の最大値で評価する方法とここで提案した方法の大きな違いは、実験データに基づいてピーク風速の他にその作用時間を考慮することにあります。今回の提案した方法で列車風を評価することにより、人への影響を考慮したより実態に即した列車風の評価が可能となると考えています。

RRR

### 文献

- 1) 小美濃幸司ほか：駅ホームにおける列車風評価法，人間工学，Vol.47, No.3, 2010