

ホームに立つ旅客に対する列車風の力学的影響

人間科学研究部 人間工学
研究室長 小美濃幸司

1 はじめに

列車の駅通過に伴い、ホーム上には列車が引き起こす風が吹く。このような通過列車の近傍で生じる風を列車風と呼んでいる。ホーム上の列車風は利用者の安全に配慮される必要がある。このため、国鉄時代にホーム上の列車風風速の目安値 9m/s が設けられ、この目安値を超えないようなホーム上の管理が行われてきた¹⁾。現在も鉄道関係各社ではこの目安値に基づき、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さまざまな安全対策が実施されている。

一方、列車風の風速は列車速度に比例して増加する。目安値が設けられた当時から比べると一般に列車速度が向上していることもあり、ホーム上で目安値を越えることはないものの、これに近い風速が観測されることがある。このようなことから、風速の人への影響を正確に把握したいという要望があがるようになってきた。そこで新幹線駅を例にとり、列車風に類似した風速の性状をもつ風の風速の影響を風洞実験により明らかにした。

2 ビューフォート風力階級と列車風

上記目安値の根拠とされているのがビューフォート風力階級 (Beaufort Wind Scales)²⁾ であり、目安値は階級 4～5 程度とされている。ビューフォート風力階級は海上の状況などの観察に基づき、風速と気象現象を関係付けたデータとしてビューフォートが提案したものである。その後、海上観測以外にも適用できるように改良され、陸上の気象現象に結び付く表現が追加されてきた。現在陸上の風については、気象庁などで表 1 のビューフォート風力階級が使われている。

ただし、ビューフォート風力階級は自然風を対象とした平均風速の対応表であるということに注意しなければならない。これに対して列車風は人工的な風で、発生時刻、場所が確定でき、一過性なので 1 回発生する毎に安全性を評価することが要求される。さらに、列車風はごく短時間の風なので、10分以上の平均風速で表されたこの風力階級をそのまま適用することの妥当性、および人への影響を十分に反映することが課題となっている。

3 駅ホームにみられる列車風

図 1 に新幹線 A 駅下り線ホームにおいて、下り列車通過時に記録された列車風風速の波形例を示す。A 駅は 2 階が上下線 2 線を挟んで向い合う形のホーム階、1 階がコンコース階となっている全覆上家構造であり、全閉型ホームドアが設置されている。風速は風向風速計を用い、ホーム上からの高さ 1.2m、安全柵 (ホームドア高さ 1.3m ; ホーム端から 2m) からの離れ 0.5m の位置で測定されたものである。

表1 ビューフォート風力階級

ビューフォート風力階級	風速 u m/s	状況
0	$u < 0.3$	静穏。煙はまっすぐに昇る。
1	$0.3 \leq u < 1.6$	風向は、煙がなびくのでわかるが、風見には感じない。
2	$1.6 \leq u < 3.4$	顔に風を感じる。木の葉が動く。風見も動きだす。
3	$3.4 \leq u < 5.5$	木の葉や細かい小枝がたえず動く。軽い旗が開く。
4	$5.5 \leq u < 8.0$	砂ほこりが立ち、紙片が舞い上がる。小枝が動く。
5	$8.0 \leq u < 10.8$	葉のある灌木がゆれ始める。池や沼の水面に波がしらが立つ。
6	$10.8 \leq u < 13.9$	大枝が動く。電線がなる。かさは、さしにくい。
7	$13.9 \leq u < 17.2$	樹木全体がゆれる。風に向かっては歩きにくい。
8	$17.2 \leq u < 20.8$	小枝が折れる。風に向かっては歩けない。
9	$20.8 \leq u < 24.5$	人家にわずかの損害がおこる（煙突が倒れ、かわらがはがれる）。

列車風は列車先頭が近づくとつれ風速が増加し、先頭部では列車進行方向の風となる。列車風の大きな値は、列車の先頭部通過時と後尾部通過後に発生している。先頭部通過時の風速のピーク値近傍では三角形の鋭い波形がみられ、後尾部通過後はしばらく持続的な変動がみられる。

4 定常風の人への影響

列車風の旅客への影響としては、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になる。そこで風から受ける力および姿勢の動揺の大きさについて調べた。前述のように列車後尾部通過後の列車風は10～20秒程度風が吹き続き、その特性は定常風に近似できると考えられる。そこでまず大型低騒音風洞を使用して、定常風の風速と人への影響について調べた。

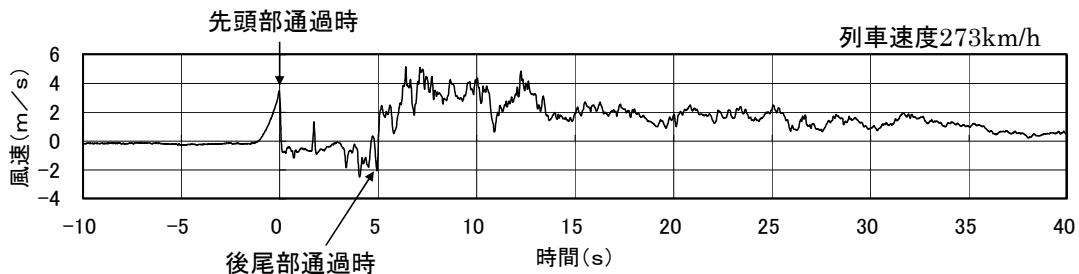


図1 ホーム列車風列車進行方向成分の波形例（ホーム床面から1.2m，ホーム柵から0.5m）
※全覆上屋で，密閉型ホーム柵のあるA駅でみられる波形

定常風の風速と被験者の抗力との関係を図2に示す。風下向きでは、風速の2乗に比例する形で抗力が増加する傾向が明確に現れている。風速25m/sで200N以上の抗力が観測された。15m/sを超える風速域でその場に立ってられない被験者の割合が増加し始めた。被験者の主観評価で5m/sではほとんど力を入れずに立ってられる状況であるが、10m/sでは過半数の被験者が立っているために力を入れるという結果であった。

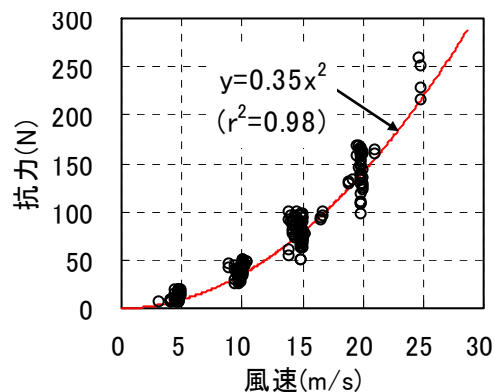


図2 風下向きでの水平抗力

5 変動風の人への影響

次に先頭部通過時などに見られる列車風の特徴である時間の短い三角形状風速の変動風について、人への影響を調べた。大型低騒音風洞内に変動風を起こすルーバーを設置し、三角波の風速波形をもつ変動風を被験者にあてた(図3)。変動風の場合、床反力と抗力が完全には一致しないと考えられるが、床反力で人が受ける力を近似できるものと考えてこれを測定した。また、このときの身体重心動揺を測定した。

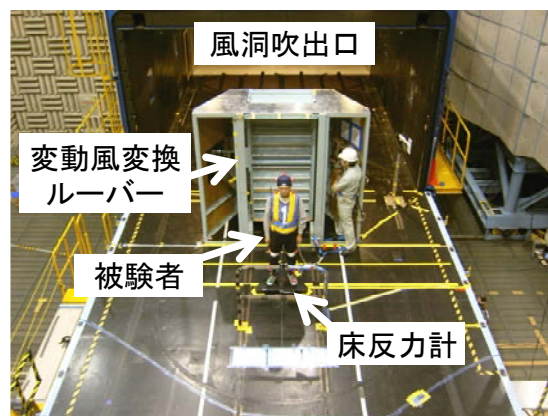


図3 変動風体感試験

風速の変動に対応した床反力が生じるとともに、身体重心変位も床反力と同じ反応がみられる(図4)。人は風から受けた力に応じたふらつきをするものと解釈できる。

ふらつきは始める現象として、風下向きに立っている場合には踵が浮く状況が観測された。そこで、立っている人への安全の目安としてそのまま姿勢を保持できる場合、踵が浮く場合、一歩踏み出してしまう場合に分けて、姿勢の状態と三角波変動風の風速および作用時間との関係を求めた(図5)。作用時間に依存せず風速10~15m/sにおいて踵が浮き始め、15m/sを超えると作用時間によっては足を踏み出すケースが出てくる。ここで立っている人を角柱で近似して踵が浮く最小の風速を静止最大風速、一歩踏み出してしまう最小の風速を姿勢保持限界風速として推定したところ、図に示すように実測データを十分説明できることが分かった。このことは、人がふらつき始める風速という観点から、列車風の安全性を評価できることを示している。

6 おわりに

風を受けたとしても、ふらつくことのない風であれば安全であると考えられる。こうした基準で考えると定常風では現在の目安値は安全を確保できる適切な風速と考えられる一方、変動風に

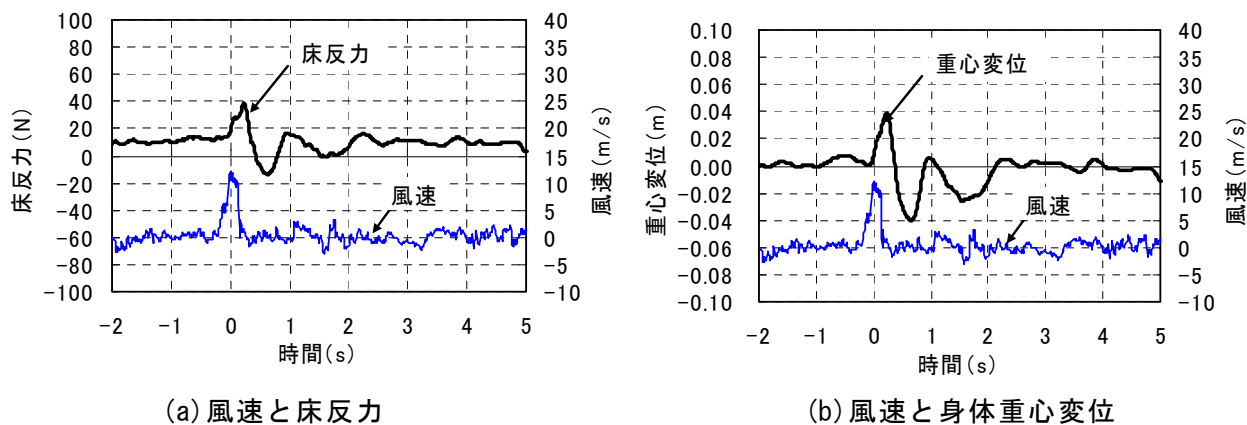


図4 変動風風速と床反力および重心変位の波形例
 風下向きにたつ条件でピーク風速 12.2m/s, 作用時間 0.4s の場合

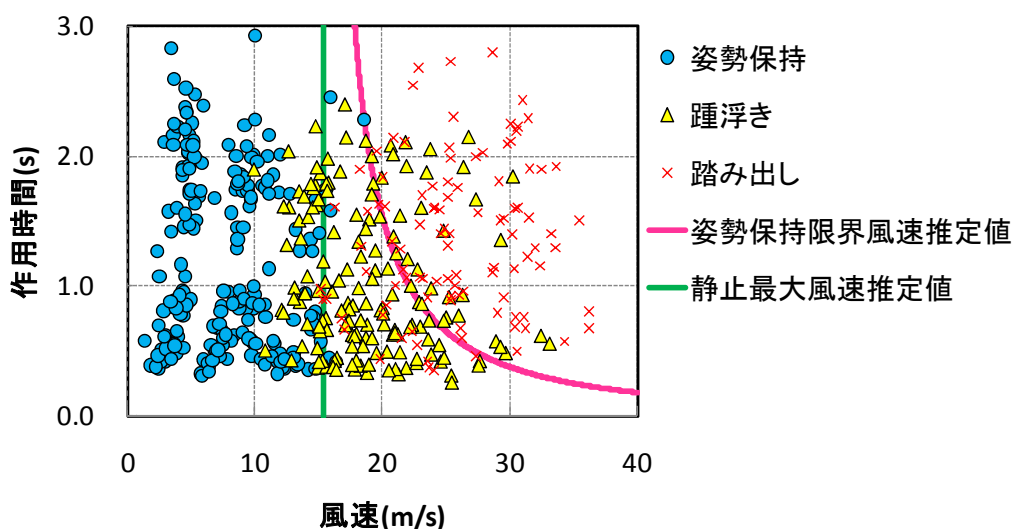


図5 変動風風速, 作用時間と姿勢への影響

については過剰な安全余裕を見込まなければならない場合がでてきてしまう。そのために列車風に対して不当に不安全であるような評価がなされることのないように、正確な情報に基づいた適切な評価が望まれる。この意味で今回の試験を通じて列車風に見られる風が及ぼす人への力学的影響が解明されたことは重要なことであると考えられる。今後はこうした知見に基づき、実態に即した列車風の評価方法を提案していく予定である。

文献

- 1) 種本勝二他, 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
- 2) 日本建築学会, 都市の風環境評価と計画, 丸善, pp.6~7, 1993