

列車通過時の列車風に関する研究



石井 圭介* 小美濃 幸司**

列車が通過線のない駅を通過する場合、その際に発生する風である列車風は、より高速になるに従いホーム上のお客さまへの影響が懸念される。そこで、お客さまの安全の観点から列車風の許容レベルについて姿勢安定性評価、主観評価を行い、風速との関係を調査した。その結果、前者ではお客さまが列車風を受ける面積に関係なく15m/s程度まで、後者では階段部が9m/s程度、ホーム上が11~13m/s程度まで許容できると推定することができた。

●キーワード：列車風 ホーム柵 駅構造 姿勢安定性評価 主観評価 許容レベル

1 はじめに

列車の速度向上に伴い空気力学的な現象が顕著になる傾向にあり、新幹線が通過線のない駅ホームを通過する場合、その際に発生する風である列車風の風速がホーム上のお客さまに影響を及ぼさないように、一定値以下に抑える対策が必要となる。

これまでの新幹線では、国鉄時代に示されたホーム上のお客さまの安全に対する指標に従い、列車の高速化に伴う列車風の増大に対して、ホーム上の退避幅を見直したり、ホーム上に安全柵を設けたりして、ホーム上のお客さまが受ける風速を一定値以下に抑えるようにしてきた。

しかし、国鉄時代に示されたホーム上のお客さまの安全に対する指標は風速の作用時間を考慮していないため、列車風のように短時間で大きく変化する現象に対して、安全性を評価する上で適切かどうかという問題がある。

そこで、お客さまの安全の観点から列車風の許容レベルについて(財)鉄道総合技術研究所とともに姿勢安定性評価、主観評価を行い、風速との関係を調査して、ホーム上及び階段部で発生する列車風を受ける場合の許容範囲を推定した。

2 列車風と安全に対する指標

2.1 列車風の様態

図1に列車風の模式図を示す。列車が通過する際に発生

する風である列車風は、列車進入時から通過後に至るまでの間を、湧出流、境界層流、後流の3様態に区分することができる。列車風の平均的な風向は、列車先頭部通過時では列車から外向きであるが、列車先頭部通過後から列車後尾部通過後までは列車側に向く。

- ・湧出流：列車先頭部により前側方に排除される空気の動き
- ・境界層流：列車側面の摩擦により列車に付着して流れる空気の動き
- ・後流：列車後尾部の圧力低下部分に流れ込む空気の動き

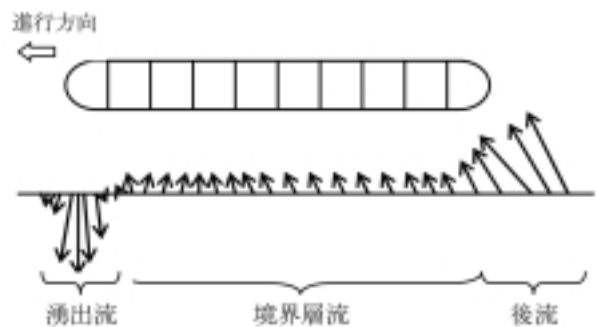


図1 列車風の模式図

2.2 列車風の特徴

(1) 駅構造の違いと列車風の関係

図2に開放構造駅の一例、図3に全覆い構造駅の一例を示す。開放構造駅はホーム直上のみ覆いがある構造であるのに対して、全覆い構造駅はレール直上も含めて覆いがある

構造となっている。

図4に開放構造駅における列車風の風速波形の一例、図5に全覆い構造駅における列車風の風速波形の一例を示す。また、縦軸は風速を絶対値で示し、横軸の「0」は列車先頭部通過時を、(-)側はその前を、(+)はその後を意味する。列車風の風速波形の特徴として、まず開放構造駅では、列車先頭部通過時に発生する短時間の圧力変動により、一気に風速が増加する傾向を示す。一方、全覆い構造駅では、列車先頭部が覆い部分に侵入するにしたがい圧力が増加するため、徐々に風速が増加する傾向を示す。



図2 開放構造駅の一部



図3 全覆い構造駅の一部

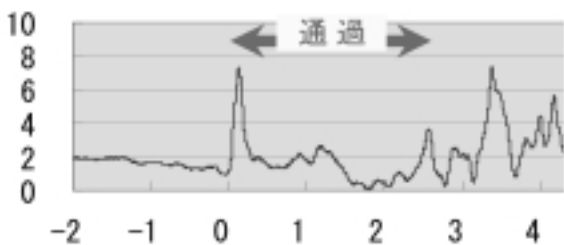


図4 開放構造駅における列車風の風速波形の一例
(縦軸:風速m/s、横軸:時間s)

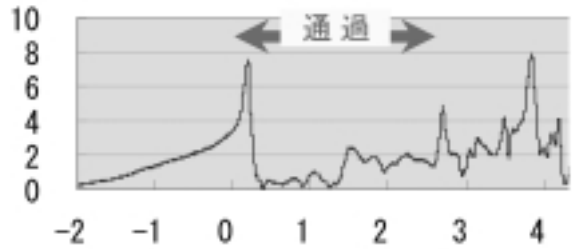


図5 全覆い構造駅における列車風の風速波形の一例
(縦軸:風速m/s、横軸:時間s)

(2) 列車速度と列車風の関係

図6に列車速度と列車風の風速最大値の関係の一例を示す。水平風速は水平方向の風速、Y1~Y6は測定点を意味する。また、風向は主に列車進行方向である。列車風は列車速度に比例して増加する傾向を示す。

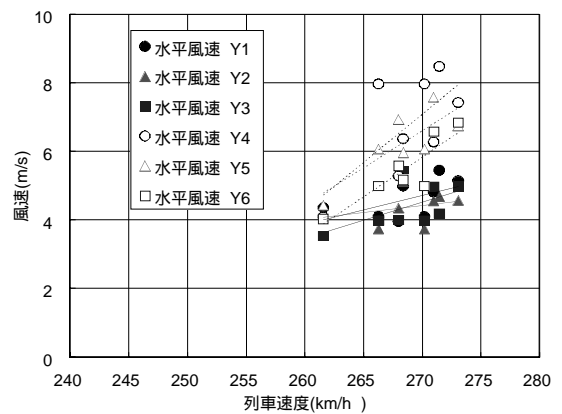


図6 列車速度と列車風の風速最大値の関係の一例
(列車後尾部通過後)

(3) ホーム柵からの離れと列車風の関係

図7にホーム柵の一例を示す。同図は可動式であり、お客さまの乗降が終了するとホーム柵のドアを閉める。

図8にホーム柵からの離れと列車風の風速平均値の関係



図7 ホーム柵の一例 (可動式)

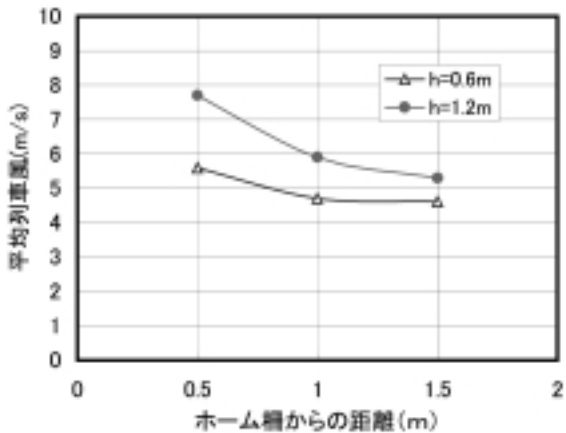


図8 ホーム柵からの離れと列車風の風速平均値の関係の一例

の一例を示す。同図中の凡例において、「h」は床面からの高さを意味する。列車風の風速はホーム柵から離れるに従い減少する傾向を示す。なお、ホーム柵がない場合も列車側面から離れるに従い減少する傾向を示す。

2.3 ホーム上のお客さまの安全に対する指標

表1に気象庁風力階級表を示す。ホーム上のお客さまの安全に対する風速限界の指標としては、以下の値が国鉄時代に示されている。

気象庁風力階級 4～5程度(平均風速6～9 m/s程度)

表1 気象庁風力階級表

風力	風速 (m/s)	状況(陸上)
0	0.0~0.3 (未満)	静穏、煙はまっすぐ上昇する。
1	0.3~1.6 (〃)	煙がなびく。
2	1.6~3.4 (〃)	顔に風を感じる。木の葉がゆれる。
3	3.4~5.5 (〃)	木の葉や細い枝が絶えず動く。旗がはためく。
4	5.5~8.0 (〃)	砂ぼこりがたち、紙片が舞う。小枝が動く。
5	8.0~10.8 (〃)	葉の茂った樹木がゆれ、池や沼にも波頭がたつ。
6	10.8~13.9 (〃)	大枝が動く。電線が鳴る。傘の使用が困難となる。
7	13.9~17.2 (〃)	樹木全体が揺れる。風に向かうと歩きにくい。
8	17.2~20.8 (〃)	小枝が折れる。風に向かうと歩けない。
9	20.8~24.5 (〃)	煙突が折れ、瓦がはがれる。

3 列車風の許容レベルの調査

3.1 概要

気象庁風力階級は周囲で観測される事象により風の大きさを区分したもので、本来、列車風のような短時間で大きく変化する現象を対象としていない。過去に人体の様々な姿勢について、列車風により受ける力を実測した例があり、人体のふらつきに関する知見が得られているが、列車風の大きさや人体の安定の関係はまだ明らかではない。

そこで、お客さまの安全の観点から通過線のない駅ホームで発生する列車風の許容レベルについて調査するために、被験者に対して以下に示す内容を調査した。

- (1) 実施場所 通過線のない全覆い構造駅
- (2) 被験者 男性、延べ30名、年齢29～51歳、体重53～85kg
- (3) 調査項目 風速測定、被験者による主観評価と姿勢安定性評価
- (4) 測定回数 42回

3.2 模擬の列車風

図9に実際の列車風と模擬の列車風の風速波形比較の一例を示す。同図中に実際の列車風を太線で、模擬の列車風を細線で示した。実際の列車風はホーム上のお客さまの安全に対する指標を満足しているため、これを利用した被験者による調査を実施しても本研究の目的を満足することができないことから、調査するためには被験者の安全に配慮しつつ、実際の列車風の風速より大きく、かつ類似した変動風を体感する必要がある。そこで、同図の通り類似した風速を発生させ、これを模擬の列車風として利用した。

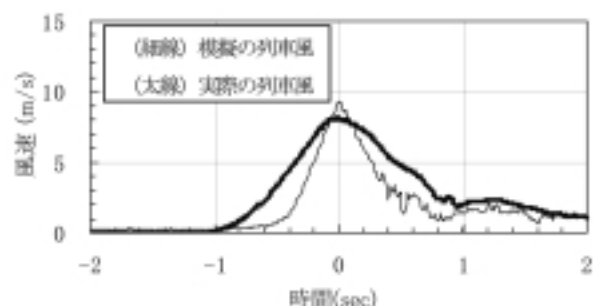


図9 実際の列車風と模擬の列車風の風速波形比較の一例

3.3 風速及び受風面積条件

図10に風速調整用ネットと踏み台、図11にネット枚数に応じた模擬の列車風の風速ピーク値を示す。模擬の列車風は極端なバラツキはなく、風速調整用ネットを設置して、その重ねる枚数を変えることにより風速を調節した。また、踏み台の高さを変えることにより、被験者の受風面積を調節した。なお、以降、被験者が模擬の列車風を受ける足下からの高さの下限を受風下限と呼ぶ。

模擬の列車風の風速条件 ネット枚数0、1、2、4枚
 被験者の受風面積条件 受風下限1.1m、0.7m、0.4m
 (踏み台0、1、2段)

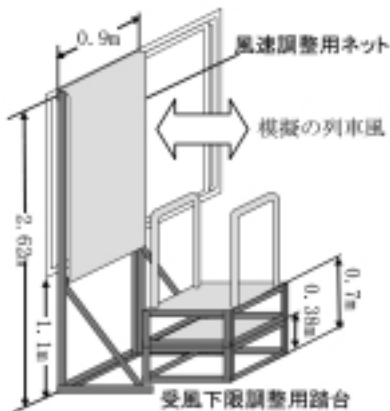


図10 風速調整用ネットと踏み台

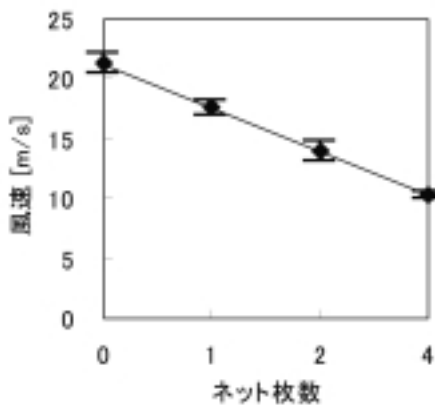


図11 ネット枚数に応じた模擬の列車風の風速ピーク値
 (プロットは平均値、上下の横線間は標準偏差)

3.4 姿勢条件

被験者は腕を体側に下ろし、両足の間隔を肩幅程度に開き、模擬の列車風吹き出し口から0.5m離れた位置に自然な姿勢で立った。また、肩幅程度に両足を開いて立っている場合、前後方向の外力に対してもっとも姿勢が不安定となることから、被験者の安全に配慮しつつ、吹き出し口に

背中を向けて姿勢前後方向に風を受けるようにした。なお、模擬の列車風が発生している間は、努めて手すりなどにつかまらず、足を動かさずに姿勢を保持するとしたが、転倒を避けられないなど安全上やむを得ない場合には、これに限らないこととした。

3.5 主観評価

被験者が次の項目について主観的に評価した。

(1) 許容の可否

模擬の列車風を駅ホーム上で発生した列車風と想定して、今回の風の強さを「許容できる」「許容できない」の2段階評価指標で評価した。

(2) 安全判断

今回の風の強さを不意に受けた場合を想定して、「安全である」「危険である」の2段階評価指標で評価した。

(3) 受けた風の強さ

主観的に7段階評価指標で評価した。

3.6 姿勢安定性評価

図12に姿勢安定性評価の測定イメージを示す。次の項目を測定することにより客観的に評価した。なお、重心動揺測定と身体動揺測定については、被験者は各測定時2名(被験者A、B)である。



図12 姿勢安定性評価の測定イメージ

(1) 姿勢保持の可否

初期の姿勢から、踏み出したり、手すりにつかまったりした場合に、「姿勢を保持できない」とした。

(2) 重心動揺測定

図13に支持基底面と重心点の関係を示す。重心点とは、身体重心位置を床面(水平面)へ射影した点であり、その変位量を重心動揺として測定した。なお、姿勢が保持されるのは重心点が支持基底面内にある場合であり、支持基底面



図13 支持基底面と重心点の関係

の縁付近では不安定な姿勢状態となる。

③ 身体動揺測定

身体動揺の大きさを身体各部の変位の大きさとしてとらえ、これを姿勢の不安定さとして評価するために、被験者の頭部、肩、腰、膝、足にターゲットマーカーを取付け、被験者側方に設置したデジタルビデオカメラにより記録し、この画像から各ターゲットマーカーの変位量を算出した。

4 列車風の許容レベルの調査結果と考察

4.1 主観評価

(1) 許容の可否

図14に受風下限別の「許容できない」と回答した割合を示す。また、この割合を従属変数、風速と受風下限を独立変数として、ロジスティック曲線で回帰し、同図中に示した。ここで、ロジスティック曲線とは $\frac{1}{1+e^{ax+by+c}}$ という形の関数であり、今回のような割合を近似するときによく使用される。

模擬の列車風の風速が増加すると顕著に許容できない割合が増加する傾向となった。また、風速10m/sの場合、許容できない割合が、受風下限によらず10%以内であったのに対して、風速14m/sの場合、受風下限1.1mでは許容でき

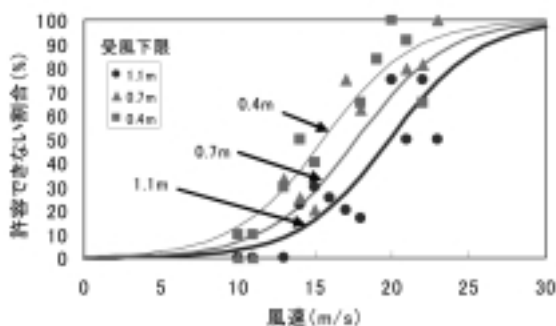


図14 受風下限別の「許容できない」と回答した割合

ない割合が約20%、受風下限0.4mでは約40%となり、同じ風速でも受風面積が増加する(受風下限が減少する)と許容できない割合が増加する傾向となった。

(2) 安全判断

図15に受風下限別の「危険である」と評価した割合を示す。許容の可否と類似した傾向となったことから、被験者は不意に受けた風を危険であると評価した場合、その風速を許容できないと評価する傾向にあると考えられる。

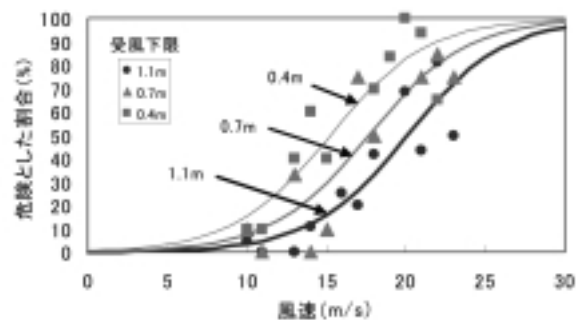


図15 受風下限別の「危険である」と評価した割合

(3) 受けた風の強さ

図16に受風下限別の受けた風の強さの評価の平均値を示す。また、縦軸の受けた風の強さの評価は「7」が一番強く感じた場合の評価を意味する。風速と評価の平均値は比例して増加する傾向となったとともに、全体的に受風面積が増加すると評価が高い方向に移動する傾向となった。

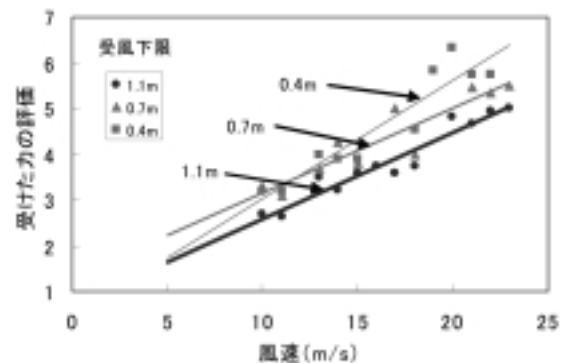


図16 受風下限別の受けた風の強さの評価の平均値

4.2 姿勢安定性評価

次の項目を測定することにより客観的に評価した。

(1) 姿勢保持の可否

図17に受風下限別の姿勢を保持できない割合を示す。受風下限1.1mの場合風速18m/sまでは姿勢を保持できた。

受風下限0.7mの場合、風速13m/sまでは姿勢を保持できたが、風速18m/sでは姿勢を保持できない割合が20%を超えた。受風下限0.4mの場合、風速15m/sまでは姿勢を保持できない割合が20%以内であった。

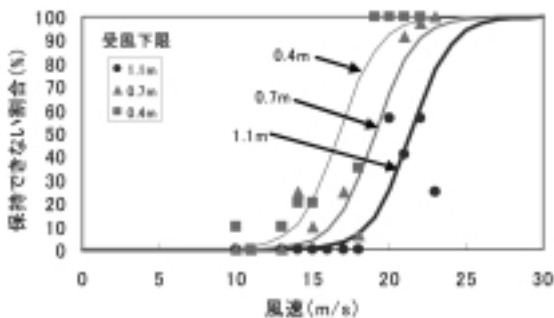


図17 受風下限別の姿勢を保持できない割合

(2) 重心動揺測定

図18に被験者Aにおける受風下限別の重心動揺の前後方向最大変位を示す。なお、同図中の白抜きマークは姿勢を保持できた場合を、塗りつぶしマークは姿勢を保持できなかった場合を意味する。また、近似直線は、姿勢保持の可否を区別せず受風下限別に求めている。

風速と前後方向最大変位は比例して増加する傾向となった。また、全体的に受風面積が増加すると前後方向最大変位が増加する傾向となった。

一方、前後方向最大変位0.09~0.1m程度で姿勢保持の可否の境となったことから、仮に0.09mを姿勢保持の限界とした場合、姿勢保持ができる限界の風速は近似直線から受風下限1.1mの場合には20m/s前後、受風下限0.7mの場合には17m/s前後、受風下限0.4mの場合には15m/s前後となる。

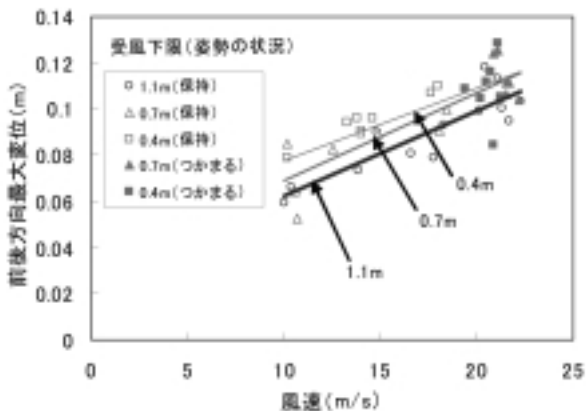


図18 受風下限別の重心動揺の前後方向最大変位 (被験者A)

(3) 身体動揺測定

図19に被験者Aにおける受風下限別の頭部動揺の前後方向最大変位を示す。受風下限0.4mの場合には風速18m/s程度、受風下限0.7mの場合には21m/s程度で姿勢保持の可否の境となっている。なお、ここでは、代表点として頭部を示したが、この傾向は、肩、腰、膝、足の身体動揺測定の結果においても同様であった。したがって、身体動揺からみた姿勢保持の限界は、受風面積に依存するものの20m/s前後と考えられる。

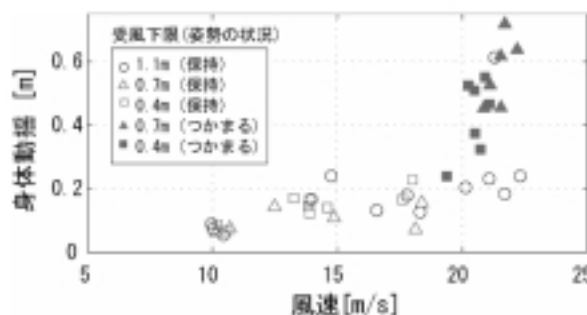


図19 受風下限別の頭部動揺の前後方向最大変位 (被験者A)

4.3 列車風の許容レベルの検討

(1) 主観評価の結果

より安全側で判断するために、仮に許容できない割合を10%で基準とすると、受風下限1.1mの場合には風速13m/s程度、受風下限0.7mの場合には風速11m/s程度、受風下限0.4mの場合には風速9m/s程度が許容レベルであると考えられる。

(2) 姿勢安定性評価の結果

まず姿勢保持の可否では、受風下限1.1mの場合には風速18m/s程度、受風下限0.4mの場合には風速13m/s程度まで姿勢を保持できた。

次に重心動揺測定では、受風下限1.1mの場合には風速20m/s程度、受風下限0.4mの場合には風速15m/s程度まで姿勢を保持できた。

さらに、身体動揺測定では、受風下限1.1mの場合には風速21m/s程度、受風下限0.4mの場合には風速18m/s程度まで姿勢を保持できた。

(3) 列車風の許容レベルの検討

過去の調査からホーム柵高さより低い高さでは、列車風の風速は低くなる傾向があることが分かっており、ホーム上の場合では下半身部分の受風面積を割り引いて評価す

る必要がある。一方、階段部では構造上ほぼ身体全体に風を受けることとなる。

そこで、ホーム上の場合は受風下限0.7m、または1.1mでの評価を、階段部の場合はほぼ全身に風を受ける受風下限0.4mでの評価を参考として、仮に許容できない割合を10%で基準とすると、ホーム上では11~13m/s程度、階段部では9m/s程度が列車風の許容レベルであると推定できた。

5 おわりに

今回の研究の結果、列車風の安全の指標については、お客さまの心理的許容レベルの観点から適切かどうかを判断されるべきであることが示された。

今後はこの指標のあり方や駅における列車風対策について検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 小美濃幸司、石井圭介他;一過性変動風が及ぼす人への影響、第46回日本人間工学会大会発表論文、2005.6