

# 風観測の手引き

第 1 版

平成 18 年 9 月

鉄道強風対策協議会

## 目次

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 序章 本手引きの目的・位置づけ .....       | 1  |
| 第1章 風監視の必要性・態勢 .....        | 2  |
| 1.1 警戒を要するエリアの考え方 .....     | 2  |
| 1.2 風速計による風監視の考え方 .....     | 2  |
| 第2章 風速計設置 .....             | 4  |
| 2.1 風速計設置箇所選定 .....         | 4  |
| 2.2 風速計の設置方法 .....          | 5  |
| 2.3 追加可能な機能等（風向計機能 等） ..... | 6  |
| 第3章 点検・整備等 .....            | 7  |
| 第4章 活用可能な情報 .....           | 7  |
| 巻末資料1 風の基礎知識 .....          | 8  |
| 1 風の基礎知識（気象予報など） .....      | 8  |
| 2 風速計の基礎知識 .....            | 12 |

## 序章 本手引きの目的・位置づけ

鉄道強風対策協議会（以下「協議会」という。）においては、平成17年12月25日のJR東日本羽越線事故の重大性に鑑み、鉄道における強風対策について、ソフト・ハードの両面から、当面とり得る対策等について検討を進めてきた。

風観測については、鉄道における強風対策を進めていく上での基本的事項であり、風観測を行うことにより、強風時における安全運行を確保するための運行に先立つ強風状況の確認等を行うことができる。

本手引きは、鉄軌道事業者において、今後、風速計の新設等による風の観測を行う際の一助を担う参考資料となることを目的として、協議会にて検討を行った鉄道における風観測について、風速計の設置地点の考え方、必要な機能等についてとりまとめたものである。

また、竜巻やダウンバースト等の突風等の発生に繋がる激しい気象現象並びにその早期検知・予測については、研究開発の途上にあるため、本手引きの対象外としている。

引き続き、協議会においては、鉄道における強風対策について検討の深度化を図ることとしており、現時点では、本手引きの記載内容について、必ずしも十分に触れられていない項目も存在している。従って、今後必要に応じ改訂を行い内容の充実を図ることとする。

## 第1章 風監視の必要性・態勢

### 1.1 警戒を要するエリアの考え方

強風が生じやすいと鉄道会社が認識している区間を対象として、以下の観点から警戒を要するエリアを選定して、警戒を要するエリアで風監視を実施する。

- ・頻繁に強風が観測されるエリア、あるいは風況調査等の結果、強風が生じやすいと推定されるエリア
- ・過去に強風による脱線転覆事故が発生した箇所を含むエリア

ただし、防風壁のない上路桁橋梁あるいは高盛土等の線路構造物からなる箇所は、風の影響を受けやすいため警戒を要するエリアの選定に際して考慮すること。

強風時の運転規制区間は、警戒を要するエリアに基づき、鉄軌道事業者が自ら定める。

規制区間が決まればその規制区間を代表する箇所（警戒を要するエリア）に風速計を配置する。風速には空間的な相関性があるため、ある地点で規制風速に達する強風が吹いた場合、近接した地点であれば、（時間的に多少の前後が生じても）概ね規制風速に近い風速となることが期待される。さらにその区間で強風頻度が最大の箇所に風速計を設置しておけば、区間内の別の地点で風速が観測地点の風速を上回る可能性は小さくなる。なお、一つの規制区間に一つの風速計を設置することが一般的だが、一つの規制区間に複数の風速計があれば、多重系による検知方式という観点で安全側の措置となる。

### 1.2 風速計による風監視の考え方

（風監視の考え方）

- ・鉄軌道事業者は風速計を設備し、あるいは他者から風速情報の提供を受け、規制風速値以上の風速が規制区間内で生じたことを検知できるようにする。
- ・鉄道における風監視では、瞬間風速を測定する。

風速計で風観測を行う第一の目的は、強風時における車両の走行安全性を確保するために、運行に先立って規制基準に達する風速が生じていないことを確認することにある。第二の目的は、強風が一段落し、運転再開が可能となる所定時間が経過したことを確認

するためである。注) 多くの鉄軌道事業者は、一定の時間にわたり規制風速に達しないことを条件に運転を再開している。

上記の強風時の走行安全性の確保とは、まず風による車両の転覆を防ぐことにある。強風により車両の風上側車輪が浮き上がり、転覆に至るまでの時間は極めて短いので、鉄道における風監視では、短時間の空気力と密接な関係にあると考えられている瞬間風速を用いて風の強さを評価するものとする。鉄道における風監視のために用いる風速計に必要な性能を表-1 に示す。

自然風の瞬間風速を観測すると、数十秒周期の変動（「風の息」）に加えて、1秒程度よりも短い周期でも値に変動が見られる。短い周期の風速変動は小さな空間ごとに独立して生じているが、車両全体に対する風の影響を考えると、車両長と比較して十分に小さな空間でそれぞれ生じている変動の影響は相互に打ち消されることとなり、短い周期の風速変動は車両全体に働く空気力とは無関係と考えられる。そこで、1車両長以上の大きなスケールで生じる風速変動の影響を考えると、風速計から得られる瞬間風速は、最大3秒<sup>1)</sup>までの移動平均処理を施した風速値で置き換えてよいことにする。ただし、3秒平均値であっても移動平均値は短い時間で変動するため、短い時間でも基準値以上となったことを検知できるように、瞬間風速を計測する時間間隔(サンプリング間隔)は1秒以下とする。

表-1 鉄道で使用する風速計に必要な性能

| 特性値    | 必要な性能値  |
|--------|---|
| 起動風速   | 警戒あるいは規制を発動する風速を測定する観点からは10m/sで十分。ただし、風速0m/sが一定時間連続したら、風速計が故障したとみなす管理方法を採用する際は、起動風速は低い方が望ましい。 |
| 測定最大風速 | 鉄道が敷設される環境では60m/sで十分。   |
| 距離定数   | 12m以下で十分。(気象業務法に基づく検定に合格した場合、風杯の直径が5cm以下の風杯型風速計を除き距離定数は12m以下である。)                             |

<sup>1)</sup> なお、変動風中で生じる空気力の実態には未解明な点が多く、風速変動をどの程度まで短い周期で評価すべきかに関して、今後の研究により新たな知見が得られる可能性がある。

## 第2章 風速計設置

### 2.1 風速計設置箇所選定

#### (風速計の設置箇所の考え方)

規制区間は、選定された強風エリアを含むように事業者が選定し、風速計設置箇所は、規制区間の中で強風となりやすく、警戒を要する箇所とする。

#### (規制区間との位置関係)

- ・ 風速計の取付け地点の選定にあたっては、点検等の保守作業が行えることを考慮する。
- ・ 警戒を要するエリアが一つの規制区間に複数あり、それぞれがほぼ同一の風況であると推定された場合に、一つの風速計で風監視を行うには、風速の空間的な代表性を考慮して、風速計設置地点は規制区間の中央に近いエリアが望ましい。

## 2.2 風速計の設置方法

(風速計の取付け高さ、構造物からの離れ)

風速を過小評価しないように、周辺構造物の影響が及ばない取付け高さで線路構造物からの離れを確保すること。ただし、一部の風向で風速を過大評価する位置でも可とする。

図-1 のような橋梁に規制風速計を取り付ける場合、主たる障害物である桁の影響を受けない位置に風速計を取り付けることが望ましい。図-1 では現実的な取付け場所は電化柱の頭頂部付近であり、風速計の線路中心からの離れは 3m 程度となる。線路の左右いずれからの風向であっても、線路離れ 3m で剥離領域に入らない高さは橋梁の桁の大きさに応じて定まる。

上路桁橋の例から分かるように、桁断面の風上側の角には剥離が生じて、剥離点の風下側には乱れの大きな領域が生じる (図-2)。

線路構造物断面まわりの風速分布は構造物形状と風向に応じて異なる。風向により接近流の風速よりも大幅に増速となる領域がいくつかの線路構造物形状で存在すると予想される。従って、過剰な運転規制を回避するためには、主風向で生じる増速領域に風速計を設置しないようにする必要がある。



図-1 上路桁橋梁の例

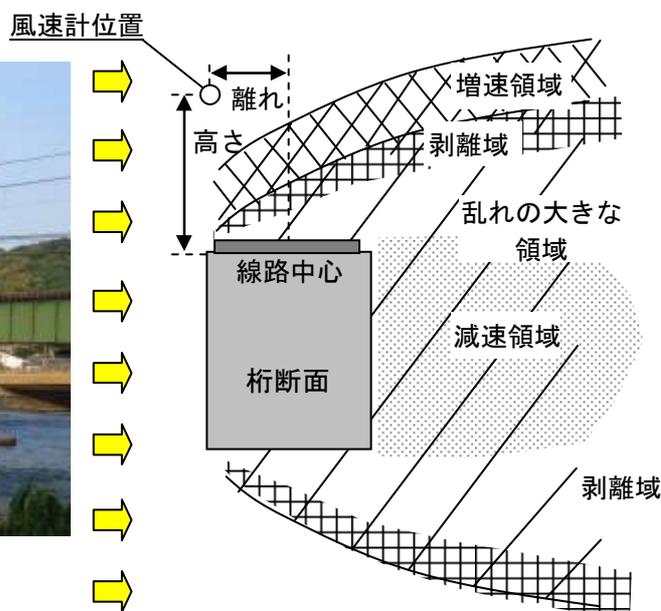


図-2 桁断面周りの空気流れ

## 2.3 追加可能な機能等（風向計機能 等）

### （風向情報の活用）

- ・ 特定の条件であれば、風向を考慮することにより運転規制を緩和することが可能な場合がある。
- ・ 観測される風速に対する構造物や周辺障害物の影響を評価する際に風向情報が役に立つことがある。

風速以外に風向を観測することにより、線路方位に沿った風向の強風が生じやすい場合には、風向別運転規制のような、特定の風向で規制風速を緩和する方法を採用することができる。特に線路の片側だけに防風柵を設備した場合に防風効果が走行する車両に及ぶことを確認するには風向の情報が参考になる。また、風速計を線路構造物から十分に離して設備することが現場の制約により困難な場合には、線路構造物断面の両側に風向計機能を有する風速計を配置し（図-3）、風上側の風速を用いて規制を行えば、過剰な運転規制がかかることを防ぐことが可能となる。

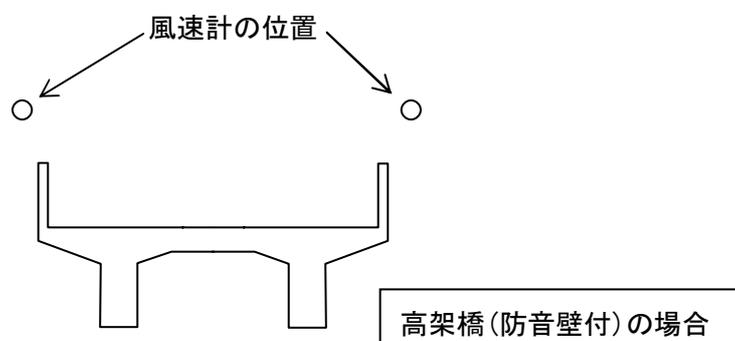


図-3 風速計の設置位置の例  
（線路構造物断面の両側に取り付ける場合）

### 第3章 点検・整備等

- ・風速計は検定に合格したものをを用いる。
- ・風速計の出力信号が遅れなく表示装置に表示されるように、定期的に点検を実施して、表示値を確認すること。点検時には、周辺の樹木の生長や建物の新築など観測環境が変化していないかを確認する。
- ・長時間に渡り継続して無風と観測される場合は、風速計の故障を想定した点検等を行う必要がある。

### 第4章 活用可能な情報

風速観測値は、時刻暦を含めて統計値を保存することにより、鉄軌道事業者が新たな強風対策を検討する際の参考資料とすることができる。具体的には、防風柵を設備して規制風速を改訂した場合の影響評価や、風向別の運転規制を実施した場合の効果の評価に用いることができる。また、風杯型風速計の情報でも時系列データが保存されていることによって、新たな規制速度による徐行を運転規制に取り入れた場合の通過所要時分の伸びと転覆限界風速の低減効果のトレードオフを検討するための資料とすることができる。

## 巻末資料 1 風の基礎知識

### 1 風の基礎知識（気象予報など）

#### 風の基礎知識 1

（気象現象としての風）

- ・長時間継続する強風は広範囲で生じ、短時間の強風は狭い範囲で生じる傾向にある。
- ・特定地点で生じる未来の強風を確定的に予測することはできない。

#### 風の基礎知識 2

（平均風速と瞬間風速）

- ・1 地点で観測される風速は時間的に変動する。変動する風速を極めて短い時間で捉えた値を瞬間風速という。
- ・自然風には「風の息」と呼ばれる数十秒を卓越周期とする風速の変動がみられ、卓越周期よりも長い10分間程度の平均値を求めることにより安定した平均風速値が得られる。

#### 風の基礎知識 3

（地形・構造物の影響）

- ・風速は鉛直方向に一様ではなく、上空数百mまでは上空ほど風が強い。また、起伏の大小にかかわらず、地表面に近いほど風の乱れが強い。
- ・段丘崖のへりや盛土の法肩では、斜面に沿う風で風速増加領域が生じる。
- ・橋梁や盛土断面の周囲には、構造物に向かう流れの速度よりも増加となる領域と減速となる領域が生じる。
- ・山地と平坦地が数10km規模で隣接する場合、山地から平坦地に向けて風が吹くと山地の風下側で地表面まで上空の強風が下りてきて、強風となることがある（局地風）

#### (気象の空間スケールと時間スケール)

風とは、空気が地面に対して動いている状態を指した言葉である。移動する空気の塊の温度や含まれる水蒸気量は時間とともに変化し、巨視的に見ると空気の性質は均一ではない。性質の異なった空気が高気圧や低気圧をもたらし、その気圧の場に沿って空気は移動する。このように風と天気の違いとは相互に原因と結果の関係にあり、不可分の存在である。

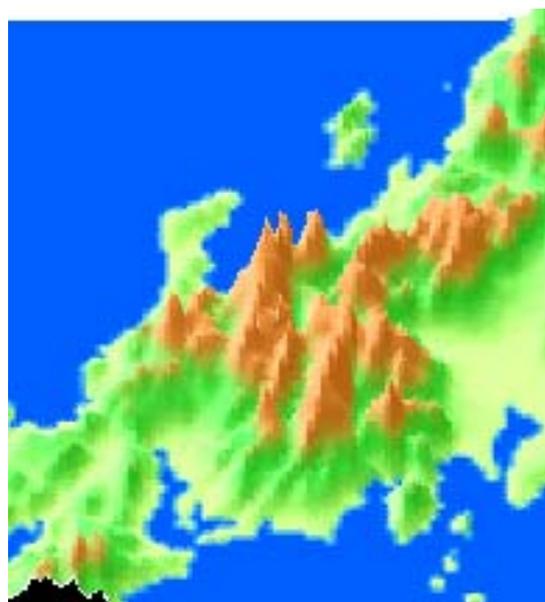
大きな空気の流れが起きると、小さな乱れが引き起こされ、小さな乱れはさらに微細な乱れに変わっていく。擾乱と呼ばれる大気の乱れの中でも、特に激しい擾乱が災害をもたらすことがある。空間スケールの大きな擾乱は成長と減衰がゆっくりとしている。一方で、小規模の擾乱は発生から消滅までの時間が短い傾向にある。擾乱の寿命と空間スケールは対応関係にある。

終日続く悪天候は、「北日本では・・・」あるいは「西日本では・・・」と予報されるように 1000km 程度のスケールに相当する。一方、「〇県北部ではところによりにわか雨」と予報されるような 1 時間程度で収まる雷雨は 10km 程度の狭い範囲で生じることが多い。

強風を伴う擾乱の継続時間と発生領域の大きさとの関係にも同様の傾向がある。季節風のように長時間継続する強風は広範囲で起きており、前線通過時の強風のように風向や風速が短時間で変化する現象は、前線付近の狭い領域に限られる。急激な風速変化が生じる「竜巻」はさらに局所性が顕著であり、国内で発生した竜巻の被害報告によると、竜巻が通過した数十m程度の幅に被害が集中していることが多い。

#### (気象予測における不確実性)

気象庁では、天気予報等を行うに際して、観測された大気の状態を基に気温、水蒸気量、風向風速などを超高速のコンピュータを用いて数値的に予測している(数値予報)。現在、日本国内の風向風速の予測値は、予報業務を行う基礎資料として、最小で 5km の細かさで翌日まで 1 時間刻みで計算されている。さらに、このような数値計算の精度は年々向上しており、将来はさらに精度の高い予報が期待されている。とはいえ現在の予測技術では、水平方向で 5km の空間代表値を予測しているにすぎず、富士山規模の山塊がかろうじて表現できる粗さである(参考図-1)。



参考図-1 数値予報に用いる 5km 格子の地形の例

局所的な場所での未来の風の流れを予測するには、気象庁が行う数値予測を利用してさらに詳細な計算格子の数値予報モデルを使うなどして、細かな地形等を考慮したシミュレーションを行ったり、統計的な手法による補正等を行ったりすることが考えられる。

しかし、未来を予測するために実行される数値シミュレーションでは、初期値を微小に変えただけで推定結果が大きく異なる結果となる場合がある。完全な初期値を求めることは困難なので、予測値に誤差が含まれることは避けられない。

#### （瞬間風速と平均風速）

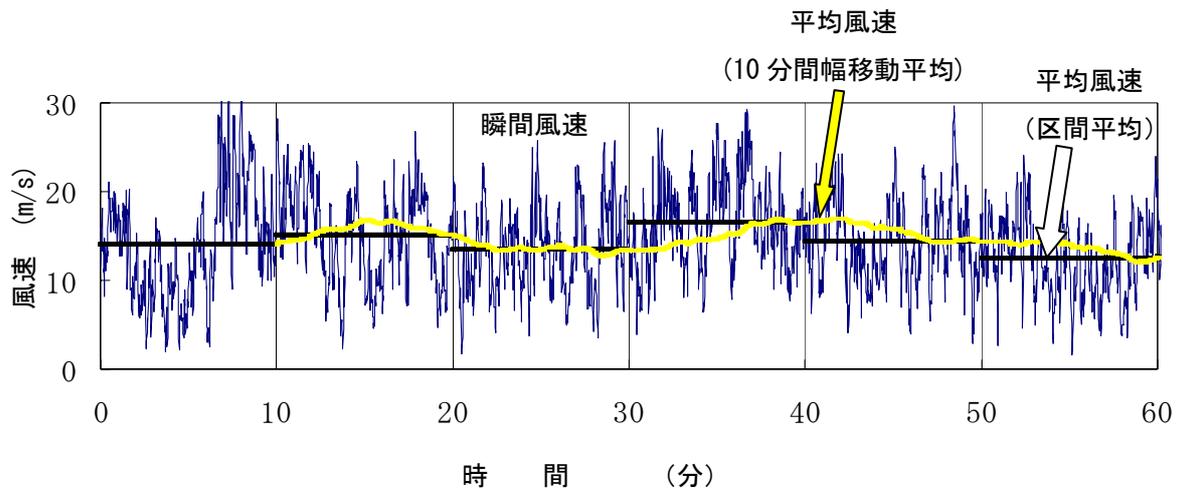
自然風の変動風速のパワースペクトルには数十秒に卓越周期が見られる。「風の息」と呼ばれる数十秒の風速変動は数十～数百m程度の空間スケールの中にある風速の不均一性が観測地点における風速の時間変動として現れたものである。

瞬間風速は、風速変動のうちある時刻の瞬間の風速を指し、平均風速と区別している。平均風速は、ある一定時間における風速の平均をいい、一般的な気象観測においては、平均風速は10分間平均風速を意味し、天気予報では10分間平均風速を「風速」と略称している。10分間という平均化時間は安定した平均風速値を得るため、「風の息」の周期よりも十分に長い時間として定められている。

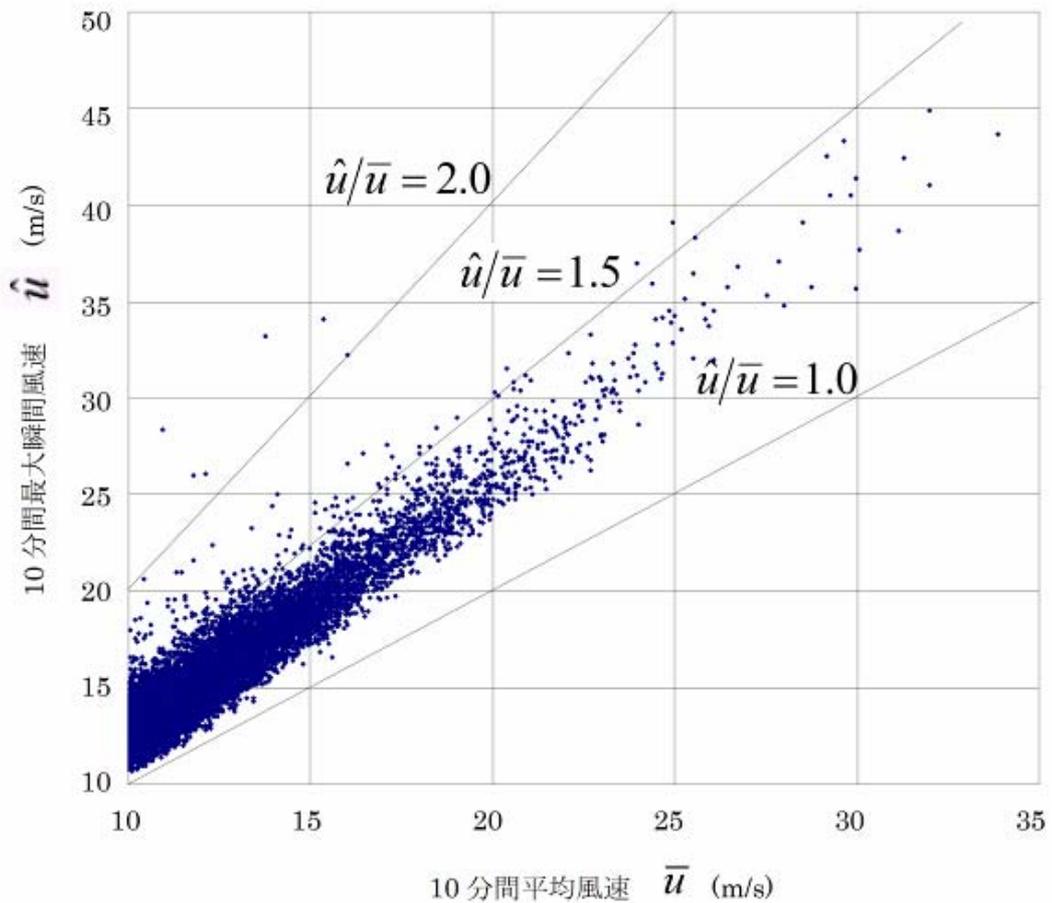
台風接近時に観測した例では、瞬間風速が大きく変動するのに対して、平均風速は区間平均と移動平均のいずれの変動も小さいことが分かる（参考図-2）。ここで、瞬間風速を折れ線で、10分間の区間毎に求めた平均風速（区間平均）を黒実線で、直前10分間の平均風速を每秒更新した値（移動平均値）を灰色の実線で示す。

10分間に生じた瞬間風速の最大値（10分間最大瞬間風速）をその時の平均風速で割った値は乱れの指標の一つである（突風率）。市街地の中に位置するビルの屋上での観測例である参考図-2では、周辺の起伏により瞬間風速の乱れが大きく、最大瞬間風速が平均風速の2倍以上となるケースが見られている。

これに対して周囲が平坦な場合には、瞬間風速の乱れが小さくなる傾向にあり、10分間最大瞬間風速の平均風速に対する比は比較的小さくなる。平坦な地形上に架けられた橋梁上で測定した10分間平均風速と10分間最大瞬間風速の関係を参考図-3に示す。平均風速で20m/s以上となる時には、平均風速に対する最大瞬間風速の比は概ね1.5以下となっている。乱れの大きさは周辺地形や気象条件により異なり、かつ一定ではないが、一般的に、平均風速に対する最大瞬間風速の比は、風の強さが増すほど小さな値となる傾向が見られている。



参考図-2 ビルの屋上で測定した風速の例



4年間の観測から平均風速で10m/s以上の強風時を表示

参考図-3 平坦地で観測された10分間平均風速と10分間最大瞬間風速の関係

(出典：今井、島村、藤井：自然風風速の変動特性を考慮した実況風速の評価、鉄道総研報告 Vol. 17, No. 8, 2003. 8)

## 2 風速計の基礎知識

### (風速計の基礎知識)

変動風速に対する応答性は使用する風速計の種類により異なる。

現在、国内の風観測に使用されている代表的な風速計の種類として、風杯型風速計、プロペラ型風向風速計、超音波風速計の3種類がある。

現在、鉄道会社では風杯型(3杯式)風速計が最も多用されている。経緯としては、東海道新幹線の強風監視装置のために風速計の規格を定めた日本国有鉄道規格(JRS23502-1)が制定された当時(1962年)、気象庁では3杯式風速計が用いられていたためと考えられる。

近年の風速計使用状況を表-1に示す。昭和57年(1982年)に開業した東北上越新幹線以降、現在建設中の整備新幹線に至るまで、新幹線ではプロペラ型風向風速計が用いられている。

風速計の諸特性を表-2に示す。風速計は測器の種類に応じて特性が異なるので、観測の目的に応じた使い分けが必要である。



風杯型(3杯式)風速計



プロペラ型風向風速計

参考図-4 鉄道で使用されている風速計

参考表-1 鉄道で使用されている風速計の現状

| 風速計の種類         | 使用の現状   |
|----------------|---|
| 風杯型風速計         | 鉄道界で最も多用されている。発電方式の発信器は電源設備を必要としないため停電時でも使用できるという特長がある。鉄道沿線における約 40 年間の継続的な使用実績がある。                   |
| プロペラ型<br>風向風速計 | 新幹線や新都市交通システムなどで用いられている例がある。また、箇所は限定されるが、風向を加味することにより安全に支障のない範囲で運転規制を緩和できる場合があり、それにはプロペラ型風向風速計が用いられる。 |
| 超音波風速計         | 長大橋梁区間で風速の鉛直成分を測定する目的で使用されていた。研究目的で使用されることがあるが、規制用風速計としての使用例は少ない。                                     |

参考表-2 風速計の諸特性

| 特性     | 言葉の意味   | 標準的な値  |
|--------|---|--|
| 起動風速   | 風速計が感知しうる最小の風速。(プロペラ型風向風速計の場合は、プロペラが風向に正対するに必要な風速)  | 超音波風速計：0m/s<br>プロペラ型風速計：0.5～3m/s<br>風杯型風速計：1～10m/s   |
| 測定最大風速 | 測定精度が保証される風速の上限。  | 超音波風速計：60m/s<br>プロペラ型風速計：30～90m/s<br>風杯型風速計：30～60m/s |
| 距離定数   | 変動風速に対する応答性の速さの指標。ステップ状に与えた入力風速の 63%に出力が達するまでの風程。止めたプロペラを解放してからの立ち上がりに関する時定数に風洞風速を乗じて求める。 | 超音波：0m<br>プロペラ型：3～8m<br>風杯型：4～12m                    |