

第 105 回

強風監視用風速計

はじめに

現在、鉄道で採られている強風への対策は、防風柵の整備（ハード対策）と強風時の運転規制（ソフト対策）の二つに大別されます。防風柵は、強い風がよく吹く区間の線路脇に取り付けられ、この区間を走行する車両への風当たりを弱めて安全を高めるものです。強風時の運転規制は、列車の走行にとって危険な風が吹いている場合に、走行中の列車が危険な風に当たらないように運行を制御するものです。

運転規制を行うためには、強い風がよく吹く区間を対象として、運転規制

を行う区間（以下、規制区間）を設定する必要があります。そして、この規制区間の中で強い風が吹いているかどうかを確認するために風速計（以下、強風監視用風速計）が取り付けられており、規制区間の中で吹いている風の状況をつねに監視しています。この強風監視用風速計で観測された風速値が、あらかじめ定められたしきい値（以下、規制風速）を超過すると、規制区間の中で列車を走行させない（運転抑止）、または通常よりもゆっくり走行させる（速度規制）といった列車の運行の制御を行います。

時間の経過とともに、強かった風も

やがて弱まります。強風時の運転規制では、強風監視用風速計で観測される風速が規制風速を一定の時間下回り続けたことを確認すると、運転抑止や速度規制は解除され、通常の運行に戻ります。

このように、強風監視用風速計は強風時の運転規制にとってきわめて重要な役割を果たしています。ここでは、強風監視用風速計に焦点をあて、その変遷と鉄道での利用について振り返ります。

強風監視用風速計の変遷

鉄道で強風監視用風速計が導入されたのはいつごろでしょうか、過去の文献を紐解いてみます。強風時の運転規制に関連する規程類にはじめて強風監視用風速計が登場したのは、1935（昭和10）年12月の「風速施設及保安心得（通達第1131号）」とされています¹⁾。この文献¹⁾には、「鉄道に風速計が導入された時期については不明だが、この頃すでに風速計が設置、運用されていたことがわかる。」と記されています。「風速施設及保安心得（通達第1131号）」では、甲種、乙種および丙種風速計の3種類の風速計について記述があり、甲種は風程発信用、乙種は瞬時値発信用、丙種は甲種および乙種以外のものとされています。すなわち、この時点

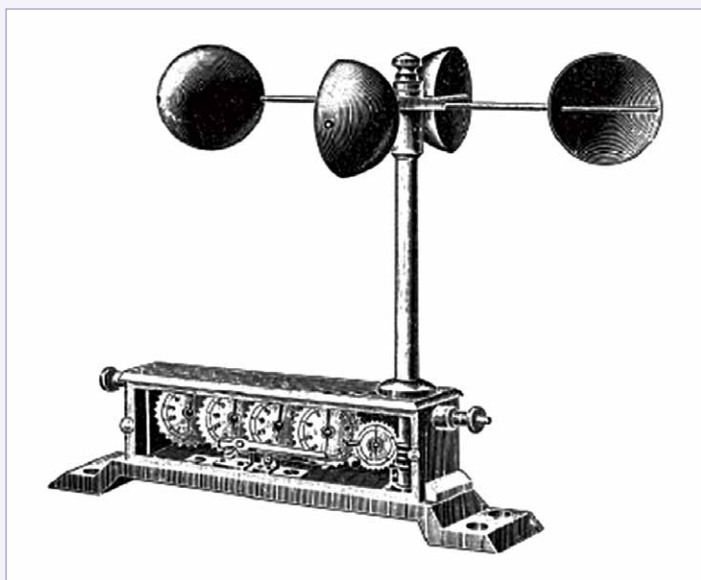


図1 ロビンソン風力計
（出典：「地上風の測器」, 日本風工学会誌）

で風速計の種類として平均風速用（甲種）と瞬間風速用（乙種）の区別があったといえます。なお、甲種風速計が指す風程とは、一定時間内に移動した大気の距離のことを意味します。風程をそれに要した一定時間で割ることで平均風速が求められますので、甲種風速計は平均風速用の風速計といえます。現在、私たちは風速計を平均風速用か瞬間風速用かと強く意識することなく使っていますが、かつてはどのような風速を測りたいか、その目的によって使い分けられていたようです。

次に、甲種や乙種とよばれていた強風監視用風速計は、それぞれどのようなものだったのか、振り返ってみます。なお、強風監視用風速計が導入される以前の鉄道における強風監視については、文献²⁾で紹介されていますので、興味のある方はそちらを参照してください。

1938(昭和13)年に鉄道省工務局(当時)から発行された「防災保線読本」³⁾や、暴風による列車の脱線転覆事故に関する1963(昭和38)年の記事⁴⁾によると、甲種風速計にはロビンソン風力計(図1)、乙種風速計にはダインス風圧計(図2)がそれぞれ使用されていたようです。ロビンソン風力計は、4個の半球形のカップ(風杯)で風を受け、その回転数から風程を読み取ります。古くから実用化されていたロビンソン風力計ですが、風速と風杯の回転速度が比例するという前提に対して実際には正比例からはかなりズレがあって風速の算出には複雑な関数演算が行われていたこと、風に含まれる乱流の度合いによって風速と回転速度の関係が変化すること、などの欠点もあったようです⁵⁾。他にも、風程が大きすぎるために0.7を乗じて風速を求めてい

たとの記事⁴⁾もあり、当時の風観測に対する苦勞がうかがえます。一方のダインス風圧計は、ピトー管(先端と側面に孔のあいた計測器で、先端を流れの方向に向けることで総圧と静圧を測定し、この圧力差から流れの速さを求めるもの⁶⁾)を応用したもので、屋内部の槽の高さが約1mもある大がかり

な装置だったようです⁵⁾。観測の原理としては、直接的に風速を測るのではなく風圧を測り、風圧が風速の2乗に比例するという関係を用いて風速に換算します。そのため、風が弱い場合には風圧の測定そのものが難しくなりますが、鉄道の強風監視という観点からは十分実用的であったと想像されます。

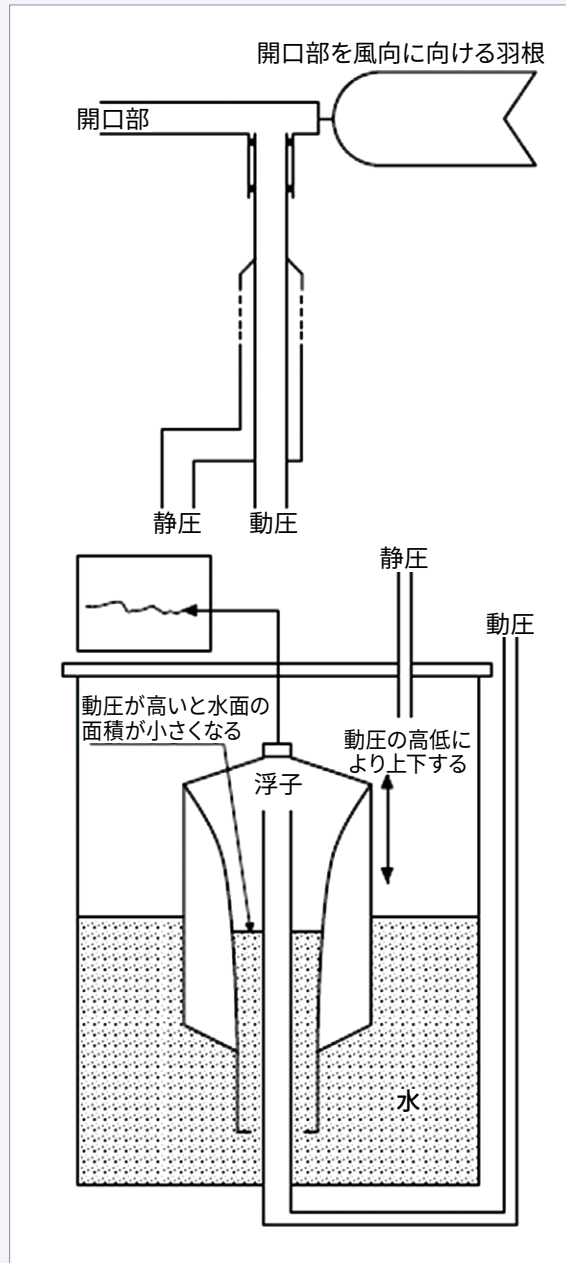


図2 ダインス風圧計(上：屋外部、下：屋内部)
(出典：「地上風の測器」, 日本風工学会誌)

先に述べたロビンソン風力計の欠点を解決すべく、三杯型風速計が考案されました。ロビンソン風力計からの主な改良点は、①風杯を3個にしたこと、②風杯の縁を丸めてビード（強度や剛性を高めるための縁取り）を付けたこと、③風杯を取り付ける腕の長さを適切なものにしたことの3点です⁵⁾。これにより、風速と風杯の回転速度との関係がより直線的に表せるようになり、また、乱流による影響が除去されるなど、より品質の高い風速が得られるようになりました⁵⁾。鉄道では1963（昭和38）年当時、三杯型風速計が使用されていたことが文献4）に記載されています。当時、自記風速計（風杯型三杯発電式）とよばれた三杯型風速計は、瞬間的な風程もただちに読み取ることができるものだったとされており、すなわち瞬間風速に相当する風速も観測できる風速計であったことがうかがえます。瞬間風速も観測可能な三杯型風速計の登場によって、その後、鉄道では甲種、乙種といった風速計の区別はなくなったようです。後ほど改めて述べますが、この三杯型風速計は、現在

も鉄道での強風監視用風速計として活躍しています。

現在の強風監視用風速計

現在、日本国内で風観測によく使われている風速計には、三杯型風速計、プロペラ型風向風速計、超音波型風向風速計の3つのタイプがあります（図3）。以下に、それぞれの特徴と鉄道での利用状況を述べます。

三杯型風速計は、風速の変化により風杯の回転数が変化するという機構を用いて風速を観測するもので、現在でも鉄道の強風監視用風速計としてもっとも多く使用されている風速計です。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長所があります。一方で、風向を計測するには、別途風向計を用意する必要があります。

プロペラ型風向風速計は、風速の変化によりプロペラの回転数が変化するという機構を用いて風速を観測するもので、流線型をした胴体に垂直尾翼とプロペラ型の羽根が取り付けられています。風が吹くとプロペラが風上に向

くように回転し、胴体の向きで風向が、プロペラの回転数で風速がそれぞれ観測されます。鉄道では、新幹線や新都市交通システムなどで多く使用されています。

超音波型風向風速計は、発信部から受信部までの経路を伝搬する音の到達時間が風速によって変化するという性質を用いて、風速と風向を観測するものです。機械的な稼働部がなく0m/sから風速を観測可能であること、風速の変化に対する応答が早いというメリットがありますが、例えば音波の発信部や受信部に雪が付着するなど、音の伝搬が阻害されると異常値を出力しやすいため、三杯型やプロペラ型に比較して設置環境を慎重に選ぶ必要があります。鉄道では強風監視用風速計としての使用実績は多くなく、研究目的で使用されることが多いです。

鉄道での強風監視用風速計として、三杯型、プロペラ型、超音波型のいずれのタイプの風速計を採用しても構いません。ただし、鉄道での強風監視ならではのポイントとして、瞬間風速を観測できることが必要条件となります。

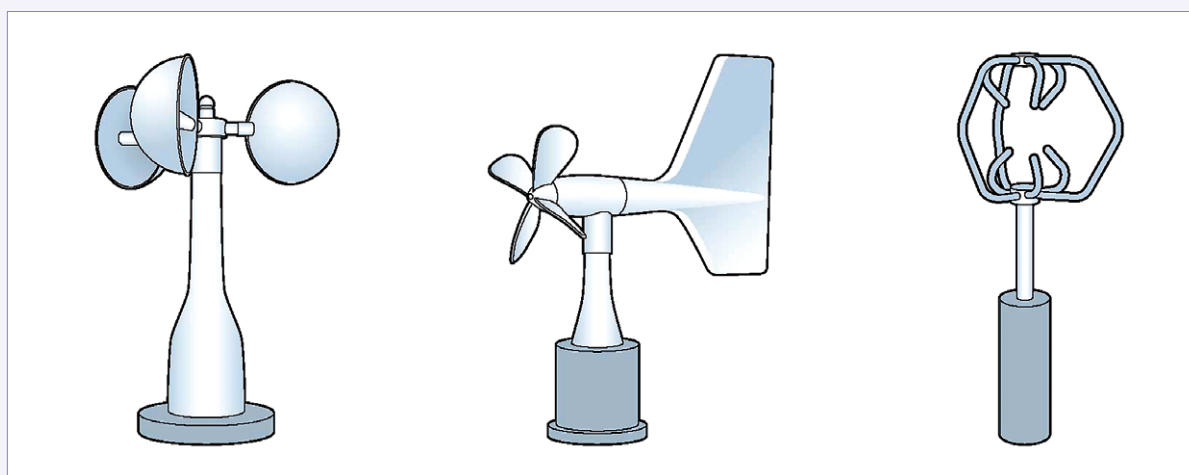


図3 現在国内で使用されている代表的な風速計
（左：三杯型風速計，中：プロペラ型風向風速計，右：超音波型風向風速計）

表1 強風監視用風速計に求められる性能⁸⁾に一部加筆

特性値	必要な性能値
起動風速 (測定最小風速)	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。)

*風杯や風車の回転速度が定常状態の63%に達するまでの時間で風速を積分したものの(風程と同じ意味合い)

鉄道でも過去には強風監視と運転規制に平均風速と瞬間風速が混用されていた経緯があります²⁾が、現在は瞬間風速が用いられています。この根拠のひとつとなったのが、1986(昭和61)年に山陰本線の余部橋りょう(鎧～餘部間)で発生した列車転覆事故後の原因調査⁷⁾です。この調査により、鉄道車両の転覆には瞬間風速が大きく影響すること、よって、強風時の運転規制は平均風速ではなく瞬間風速によって行うべきとの見解が示されました。この見解を受け、強風時の運転規制を行う(解除する)ときの判断に用いる強風監視用風速計の風速も瞬間風速とされ今日に至ります。

強風監視用風速計として風速計に求められる性能は、国土交通省の指針⁸⁾にまとめられています(表1)。この指針において、瞬間風速は1秒以下の時間間隔(サンプリング間隔)で観測された時々刻々の風速値を、最大で3秒までの移動平均処理を施した風速値で置き換えてよいとされています。

強風監視用風速計の今後

ここまで、鉄道における強風監視用風速計として、ロビンソン風力計やダ

インス風圧計から三杯型風速計への変遷を振り返り、現在よく使われている風速計としてプロペラ型風向風速計、超音波風速計を紹介しました。これからの風速計はどのような発展を遂げるのでしょうか。筆者が知る限り、これまでの風速計とはまったく異なる原理を採用した新たな風速計は登場していません。言い換えれば、現在の風速計で風を観測する技術は成熟したものでいえるでしょう。

一方で近年、強大化した台風が日本に上陸して甚大な被害をもたらすようになってきました。強風にあおられたタンカーの衝突により鉄道橋の桁が大きくずれるなど、鉄道にも被害をもたらした2018(平成30)年の台風21号では、気象庁の関空島観測点で58.1m/s

もの最大瞬間風速を観測しました。一般的な風速計で観測できる風速の上限値は60m/s程度のもが多く、これ以上の風速を観測できるものは一部に限られます。今後、これまではきわめてまれにしか発生しなかった強風にも対応し適切に風速を観測できるような改良が必要かもしれません。

鉄道総研では風速計の開発そのものを行っているわけではありませんが、鉄道の強風監視用風速計だけでなく、全国のさまざまな風速計のデータも活用して、強風時の列車の安全向上に貢献する研究開発を進めていきたいと考えています。

(荒木啓司/防災技術研究部
気象防災研究室)

文献

- 1) 藤井昌隆, 藤井俊茂, 村石尚: 強風時の運転規制の歴史, 鉄道総研報告, Vol. 9, No. 3, pp. 43-48, 1995
- 2) 谷本早紀: 鉄道の強風監視, RRR, Vol. 73, No. 2, pp. 28-31, 2016
- 3) 鉄道省工務局: 防災保線読本, 鉄道技術社, 1938
- 4) 大場鏡次郎: 暴風と列車障害の話, 新線路, Vol. 17, No. 9, pp. 33-35, 1963
- 5) 小野木茂: 地上風の測器, 日本風工学会誌, Vol. 34, No. 3, pp. 314-321, 2009
- 6) 日野幹雄: 流体力学, 朝倉書店, 1992
- 7) 余部事故技術調査委員会: 余部事故技術調査委員会報告書, 鉄道総合技術研究所, 1988
- 8) 鉄道強風対策協議会: 風観測の手引き, 国土交通省, 2006, <https://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/08/080912/02.pdf> (入手日: 2021年1月22日)