

- 鉄道一般
- 車両
- 施設
- 電気
- 運転・輸送
- 防災
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

トンネル内高速走行時の架線とパンタグラフ周りの風速を測る

新幹線車両が高速でトンネル内を走行するときの空気の流れを把握することは、架線とパンタグラフの設計にとって重要です。その一方で、新幹線のトンネル内における架線とパンタグラフ周りの流れの実測結果はあまり多くはありません。本稿では、架線側およびパンタグラフ側それぞれで実施したトンネル内の流れの最近の測定やその測定結果、また、実測値に基づいて提案している設計上の目安となる風速についてご紹介します。



光用 剛
Takeshi Mitsumoji
鉄道力学研究部
集電力学研究室
副主任研究員
[専門分野]集電装置まわりの空力現象



常本 瑞樹
Mizuki Tsunemoto
電力技術研究部
電車線構造研究室
副主任研究員
[専門分野]電車線・パンタグラフの相互作用

はじめに

走行中に高速の気流にさらされるパンタグラフには、飛行機と同じく揚力が作用します。このとき、パンタグラフは静押上力と揚力の合力で架線に接触し、しゅう動しますが、揚力が大きすぎるとパンタグラフ通過時のトローリー線の押上量やひずみが大きくなります。押上量はパンタグラフと架線金

具との間隔に、ひずみは繰り返し応力による疲労破断に関係する架線にとって重要な物理量であり、これらの値はできるだけ小さい値であることが望まれます。一方、揚力が小さすぎると離線が多発し、離線アークによってすり板などパンタグラフの部材が溶損するほか、車両への電力供給に影響が生じます。そのため、走行中のパンタグラ

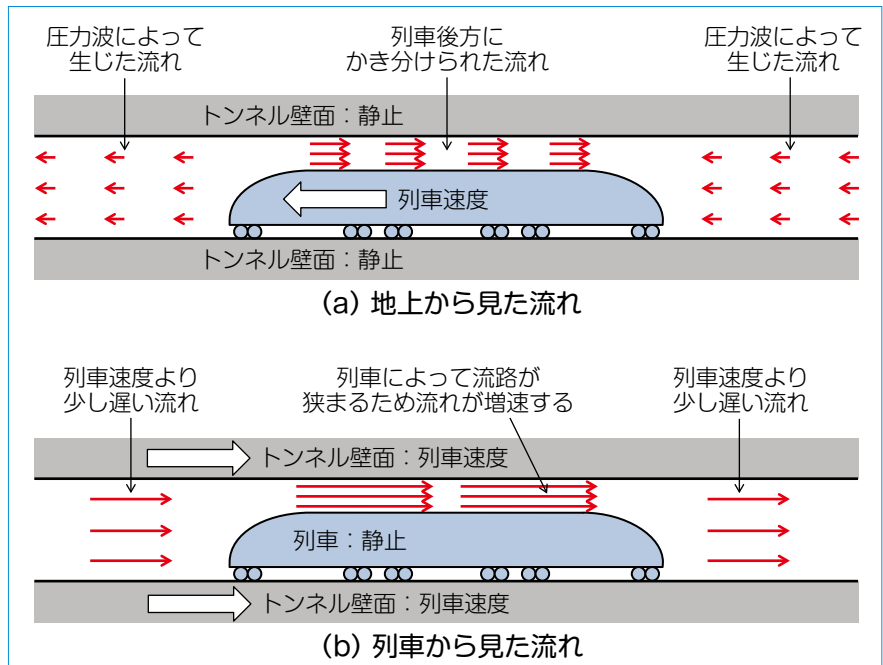


図1 トンネル内の流れの概要図

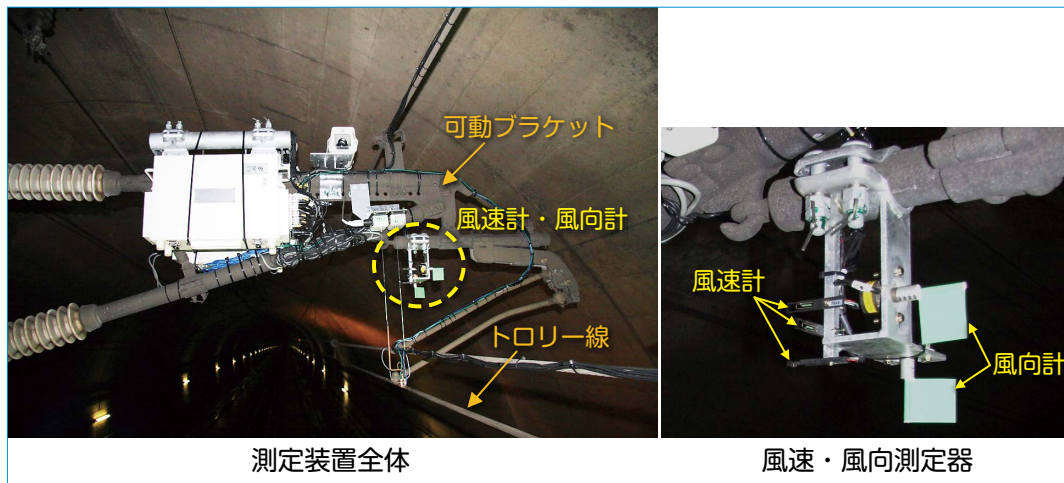


図2 架線側測定の概要図

フに作用する揚力を適度な値に維持することが重要です。

一般に、物体に作用する揚力は風速の2乗に比例して大きくなることが知られています。したがって、パンタグラフの揚力を考えるうえでは、風速を適切に見積もることが重要となります。特に、列車がトンネル内を走行する場合には、明かり区間を走行する場合とは異なる現象が生じます。図1に列車がトンネル内を走行する際の気流の概要図を示します。図1では架線側とパンタグラフ側の測定例をご紹介します都合で、地上から見た流れ(図1(a))と列車から見た流れ(図1(b))の2通りでトンネル内の流れを表現していますが、流れの現象自体はどちらも同じ現象を表しています。まず、地上側から見た場合の流れを示した図1(a)を例に、トンネル内の流れの概要を解説します。列車がトンネルに突入すると、先頭および後尾部の突入により圧力波が生じます。この圧力波は音速で列車進行方向に伝播するのですが、圧力波が通過した後の領域では圧力波の影響で列車進行方向に速度の遅い流れが生じます。この流れの中を列車が走行する際には、流れが列車にかき分けられて進行方向と反対側に向かう流れが生じます。この流れの大きさは列車とトンネルの断面積比によっておおよその

値が決まります。以上の流れを列車側から見ると図1(b)のようになります。列車から見ると、トンネル壁面が列車速度で列車に向かってくるのですが、その速度よりも少し遅い速度の流れが列車に向かって流入し、列車が在線している部分では流路が狭くなるために、風速が増加します。

以上がトンネル内の流れの概要になりますが、実際には、トンネルの出入り口で圧力波が反射を繰り返すことによる影響や、空気の粘性の影響で車両屋根上に発達する風速が遅い層(境界層)の影響により、トンネル内の流れは図1に示したものよりも複雑な分布や非定常性をもった流れになります。また、トンネル内の流れは列車とトンネル壁面に拘束された流れになるため、対向列車がある場合にはトンネル内の流れはさらに複雑になります。

本稿ではパンタグラフの揚力にとって重要なトンネル内走行時の風速について、架線側、およびパンタグラフ側それぞれで実施した測定の測定方法、実測に基づいて明らかとなった特性、設計上の目安となる風速について紹介します。なお、以下では、車両側から見た気流の風速を対向風速、地上側から見た気流の風速を単に風速と表記することとします。

架線側の測定方法

はじめに、架線側での測定について紹介します。架線側の測定においては、トロリー線付近の風速を測定することが重要なため、加圧部に測定器を設置する必要があります。過去には、無線式テレメータを用いた測定が行われていましたが、無線でデータ伝送が可能なトンネルの出入り口付近に測定点に限られるという制約があり、長大トンネルの中央部のような地点の測定はこれまで行われていませんでした。そこで、最近の測定事例として、事前に設定したスケジュールに従って収録が可能なデータロガー(自動記録計)を用いて、長さ約10kmのトンネルの中央付近にある支持点において、風速・風向とトロリー線の押上量やひずみを同時に測定した例¹⁾を紹介します。

この測定では、図2に示すように、架線を支持している可動ブラケットに熱線流速計タイプの風速計と、回転角度センサーに吹き流しを取り付けて構成した風向計を取り付け、トロリー線の押上量とともに測定を行いました。

架線側の測定結果

図3に、トロリー線の押上量と風速、風向を測定した波形例を示します。トンネル内で列車のすれ違いがない場合は、測定点の列車通過前は列車

進行方向、通過中は列車進行と逆方向、通過後は列車進行方向の風がそれぞれ発生します。また、列車の後方ほど風速が大きい傾向があることもわかります。一方、トンネル内において対向列車とのすれ違いがある場合は、列車が測定点を通過中で対向列車がその前方に在線しているとき(図3中①)には列車進行と逆方向の風が発生し、その風速はすれ違いがない場合より大きいことがわかります。そのため、図3中①では「すれ違いなし」より「すれ違いあり」のほうがトロリー線の押上量が大きくなっています。一方、測定点で両方向の列車がすれ違っているとき(図3中②)には、それぞれの列車により発生する風が相殺され、測定点の風速は減少しています。そのため、図3中②では「すれ違いなし」より「すれ違いあり」のほうがトロリー線の押上量は小さくなっています。また、列車が測定点を通過後に対向列車が測定点の反対側線路を通過しているとき(図3中③)には、自列車の進行と逆方向の風が発生し、その風速は「すれ違いなし」の場合より大きくなっています。図3に示した測定を複数本の通過列車に対して実施した結果、列車通過時のトンネル内の流れは列車進行方向と反対向きに生じ、その風速は対向列車なしの場合で列車速度の0.3倍程度、対向列車ありの場合で列車速度の最大0.5倍程度となることがわかりました。この結果をパンタグラフ側から見ると、自列車の走行速度よりもトンネル内の風速の分だけ対向風速が大きくなることになり、対向列車がない場合には列車速度の1.3倍程度、対向列車がある場合には列車速度の1.5倍程度の対向風速となります。

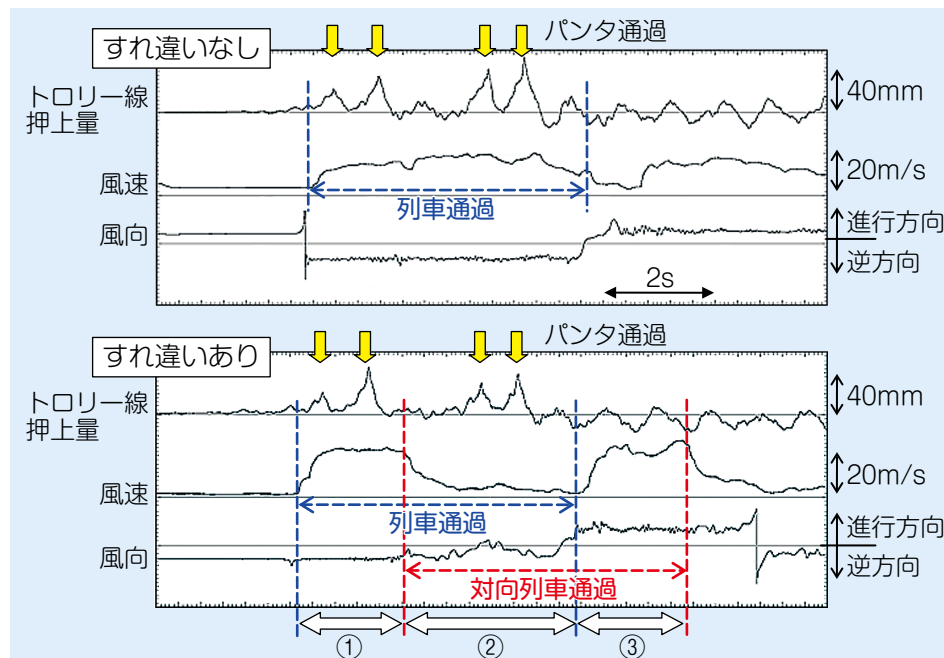


図3 列車通過時のトロリー線の押上量および風速と風向の測定波形例

パンタグラフの対向風速の測定方法

次に、パンタグラフ側の対向風の測定方法について紹介します。パンタグラフに作用する揚力は、主に舟体と呼ばれる部材(図4右)の寄与が大きいことがわかっており、舟体周りの対向風を測定することが重要です。舟体は加圧部、かつ、架線に近い位置にあり、アークなどの影響を強く受けるため、熱線流速計のようなセンサーを取り付けて測定を行うことは困難です。そのため、これまでに実施された試験では、舟体位置ではなく車両の屋根上から対向風を測定する方法が一般的でした。しかし、測定を行える領域が車両限界内に限られるため、舟体位置における対向風の測定はこれまで行われていませんでした。そこで、最近の測定事例として、三孔管(図4左)を用いることで、舟体位置の対向風速を測定した例²⁾をご紹介します。

三孔管とは、ベルヌーイの定理を応用した測定装置であり、流れの圧力を測定することで対向風速と風向を測定します。一般に、流線形部材が流れ

の中に置かれた場合、物体表面のよどみ点で圧力が最大となり、その後、物体の表面に沿って流れが流下する際に圧力が低下することが知られています。三孔管には、流線形部材の先端に圧力を測定するための3つの孔が設けられており、孔を上流側に向けて設置した時の3つの孔の圧力の大小関係から対向風の風速と風向を測定します。三孔管を使用する際は、あらかじめ風洞試験において風速、風向と3つの孔の圧力との関係を把握しておく必要がありますが、三孔管本体の形状や孔の位置はある程度任意に決定できるといった利点があります。また、三孔管自体は樹脂などで製作可能なため、アークにさらされる舟体付近の測定にも適しています。

走行試験では図4のように舟体に三孔管を設置し、舟体付近の風速と上下方向の風向を測定しました。三孔管の各孔と、パンタグラフ内部に設置した圧力計とをチューブで接続することで、圧力を測定しました。なお、パンタグラフは加圧部になるため、車内へのデータ転送も課題となりますが、これについてはパンタグラフ内部の測定器

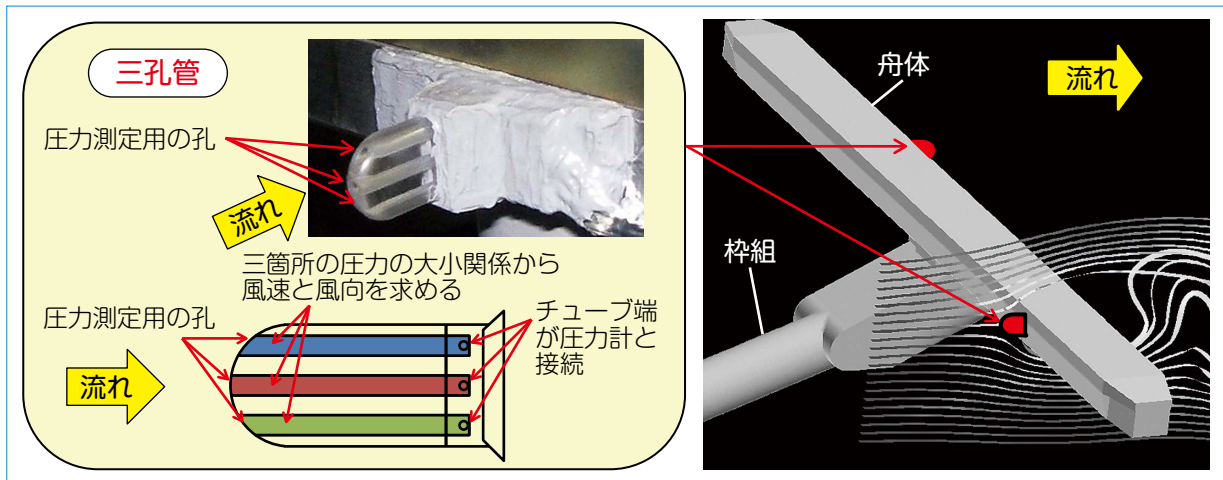


図4 三孔管の概要とパンタグラフ舟体への適用図

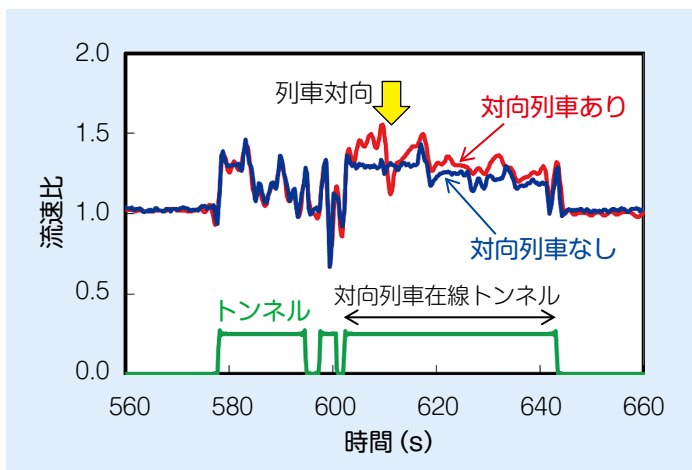


図5 対向列車の有無による対向風速の比較
(対向風速は列車速度に対する流速比を表している)

から無線LANによって車内の測定PCにデータを伝送することで、測定を実施しました。

パンタグラフ側の測定結果

図5に走行試験で得られた舟体位置での対向風の測定結果を示します。図5より、対向風速は、明かり区間ではほぼ列車速度に等しく、トンネル内走行時には列車速度の1.3倍程度に増加することがわかります。また、トンネル内に対向列車が在線している場合と在線していない場合を比較すると、対向列車がある場合にはトンネル内の対向風速が大きくなり、過渡的には1.6倍程度にまで増加すること、また、すれ違い時(図5矢印部分)には対向風

が列車速度の1.1倍程度に減少することが確認できます。これらの結果は架線側の測定結果から得られた知見と整合する結果であるといえます。

設計上の目安となる風速

最近の測定から得られた測定結果によって、これまで把握することが困難であったトンネル中央付近の風速や舟体位置の対向風速を把握することができ、両者で整合性のある結果を得ることができました。これら架線側とパンタグラフ側の測定結果を総合すると、パンタグラフの設計上の目安となる対向風速としては以下のような値が妥当であると考えられます。

・定常的には列車速度の1.3倍程度

・対向列車がある場合など、過渡的な最大値は列車速度の1.5倍～1.6倍程度

これらの値は新幹線における一般的なトンネルおよび車両における測定結果を基にした値であり、トンネルと車両の断面積比が異なる場合や在来線においては、別途検討が必要です。

おわりに

架線側とパンタグラフ側それぞれで測定したトンネル内風速の測定結果を紹介し、パンタグラフの設計上の目安となる対向風速についての検討結果を示しました。一方で、トンネル内の架線とパンタグラフ周りの流れについては未知の部分も残されています。今後、これらの成果が活用されることを期待するとともに、トンネル内の流れの現象解明のさらなる深度化に向けて、研究を進めていきたいと考えています。

RRR

文献

- 1) 清水政利, 菅間陽二, 近藤優一, 半田恵一, 光用剛: 新幹線トンネル内の列車風が集電性能へ及ぼす影響, 鉄道総研報告, Vol.27, No.8, pp.29-34, 2013
- 2) 池田充, 光用剛, 山下義隆: 列車走行時のパンタグラフまわりの風向・風速特性, 鉄道総研報告, Vol.25, No.6, pp.11-16, 2011