

前位側碍子オオイによる後位側パンタグラフへの 空力的影響

小山 達弥* 池田 充*
吉田 和重* 光用 剛*

An Aerodynamic Effect of Turbulent Flow to Rear-Side Pantograph Caused by Front-Side Pantograph Shield

Tatsuya KOYAMA Mitsuru IKEDA
Kazushige YOSHIDA Takeshi MITSUMOJI

It is conceivable that the front-side pantograph shield provided on smooth roof of Shinkansen vehicles adversely affects the flow field around the rear-side pantograph significantly. However, few investigations as to the adverse effect have ever taken place. The authors performed a wind tunnel test with a train set model in 1/30 scale to measure the flow field around pantograph. The result has indicated that the turbulence of the flow generated by the front pantograph shield has not reduced sufficiently at a length less than 80 meters converted in a real scale. In addition, it is also presumable that the flow adversely affects the contact force fluctuation of the pantograph because the turbulence spectrum is intensive at a resonant frequency of the pantograph.

キーワード：碍子オオイ，パンタグラフ，風洞試験，乱れ度

1. はじめに

近年、新幹線電車の高速化に関する取り組みが盛んに行われている。これに伴い、高速走行時でも良好な集電性能を確保でき、かつ空力騒音が小さい集電装置が開発されている。そのような集電装置の多くには、パンタグラフカバーや碍子オオイが採用されている。パンタグラフカバーと碍子オオイの概略図を図1に示す。図1(a)に示すパンタグラフカバーでは、パンタグラフが一樣流に直接さらされないようにスロープ部で気流を跳ね上げることで、パンタグラフから発生する空力騒音を低減している。しかし、新幹線電車の低屋根化が進むにつれて必然的にパンタグラフカバーが大型化したため、パンタグラフカバーそのものから発生する空力騒音が大きくなり、さらなる低騒音化が困難となってきた。そこで、新幹線電車の低屋根化に対応した碍子オオイが開発された(図1(b))。碍子オオイはパンタグラフカバーに比べて高さが抑えられているため、碍子オオイ自身から発生する空力騒音が小さい。しかし、パンタグラフ近傍の流れの流速低減効果はないため、パンタグラフの形状を大幅に平滑化することによってパンタグラフそのものから発生する空力音を低減する必要がある。また、舟体まわりの

流れは主流の一樣流とほぼ同じ流速であるので、舟体まわりの気流の乱れが大きいと揚力変動によりパンタグラフの接触力変動が大きくなる可能性があるため、舟体の形状決定は慎重に行う必要がある。

これまでの研究・開発では、パンタグラフが碍子オオイに収納された状態におけるパンタグラフ周りの流れ場については多く調査されているが、複数の碍子オオイ相互の空力的影響については調査された例が少ない。それは、現状では複数の碍子オオイが十分に離れて設置されているため、前位側碍子オオイから発生する気流の乱れが後位側パンタグラフに到達する前に十分に減衰すると

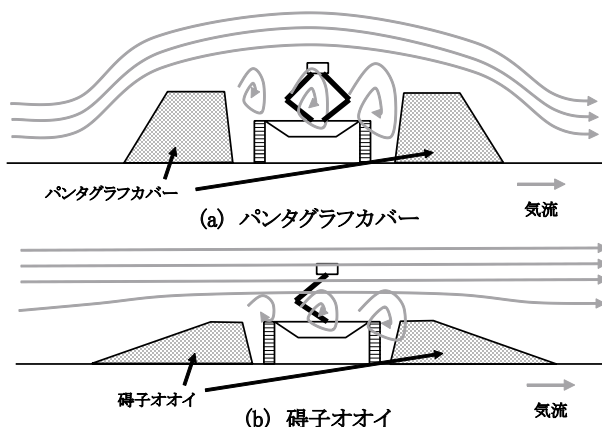


図1 碍子オオイとパンタグラフカバーの略図

* 鉄道力学研究部（集電力学）

特集：電力技術

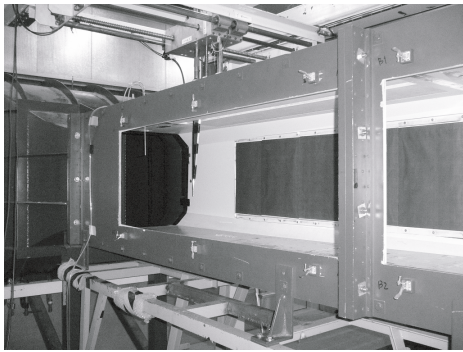


図2 小型低騒音風洞（密閉胴）

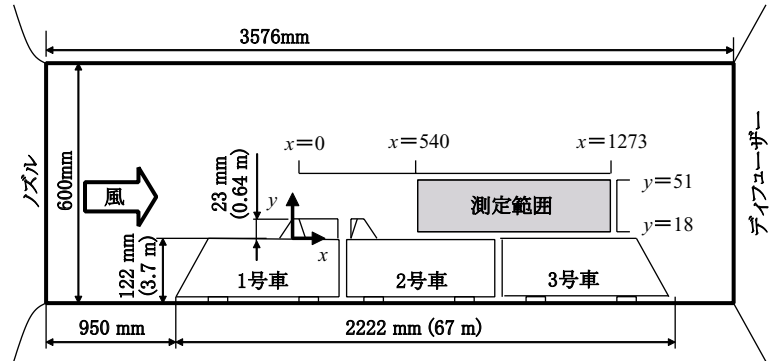


図3 車両模型概略図と流速測定範囲

考えられ、碍子オオイ相互の空力的影響が小さいとみなされていたからである。ところが、今後は整備新幹線延伸に伴って新幹線の短編成化が見込まれるため、2個のパンタグラフ間隔が短くなり、前位側碍子オオイが後位側パンタグラフへ与える影響が無視できなくなるケースも発生するものと考えられる。

そこで、1/30スケール3両編成車両模型を用いて風洞試験を行い、碍子オオイ後方の流れ場を測定することで、碍子オオイが後方の流れ場へ与える影響を調査した¹⁾。

2. 風洞試験条件

2.1 風洞試験条件

試験に使用した風洞は、鉄道総研小型低騒音風洞である。この風洞は開放型と密閉型の2つの測定部を使用することができる。本試験では、測定部の長さが長く、断面積が大きい密閉型測定部（密閉胴）を使用した。小型低騒音風洞密閉胴を図2に示す。密閉胴は600（H）×760（W）×3576（L）mmであり、最高風速は150km/hである。この密閉胴内に3両編成の車両模型を固定し、碍子オオイ後方の流速分布を測定した。

2.2 供試体と測定範囲

供試体の概略図と流速測定範囲を図3に示す。図3の（ ）内の数値は実車換算の値を示している。供試体は1/30スケール3両編成車両模型で、全長2222mm、レール頭頂面から車両屋根面までの高さは122mmである。碍子オオイは1号車と2号車をまたいで取り付けられており、着脱可能であり、その高さは23mmである。

測定における座標は、主流方向をx（下流が正）、高さ方向をy（上方が正）、枕木方向をzとし、各座標の原点を前位側碍子オオイのバスタブ前端部（x軸）、車両模型の屋根上面（y軸）、車両中心（z軸）とした。流速測定範囲は、z=0の車両中心断面においてx=540mm（16m）～1273mm（38m）、y=18mm（0.5m）～y=51mm（1.5m）とした。なお、（ ）内の数値は、模型寸法を実車換算した値である。

2.3 測定項目と測定機器

本試験では、車両屋根上の流速を計測し、主流方向の標準偏差 u_{rms} と平均流速 u_{mean} の比である乱れ度 T_u を算出した。

$$T_u = u_{rms} / u_{mean} \times 100[\%] \quad (1)$$

流速の標準偏差を求めるためには、測定機器には十分な時間分解能が求められる。そこで、本試験では熱線流速計を用いた。サンプリング周波数は10kHz、収録点数は1024×10点とした。

2.4 試験条件

熱線流速計は温度依存性があるため、測定中の気流温度を一定にしなければならない。しかし、熱交換器容量の制約により風洞の最高風速で試験を行うと、測定中の気流温度を一定に保つことができない。そこで、測定中の気流温度を一定に保てる風速をあらかじめ測定しておき、その風速を試験風速とした。本試験では試験風速を30m/s（108km/h）とした。この場合、実車（走行速度280km/hと仮定）と比較するとレイノルズ数は1/78となる。レイノルズ数に差があると、実車の流れ場を模擬できない可能性がある。そこで、後述するように流れ場のレイノルズ数依存性について検討した。

試験では碍子オオイ後方の流れ場を測定するために、1号車と2号車にまたがる碍子オオイを車両編成模型に取り付けた。ただし、碍子オオイがない場合の流れ場も測定した。

3. 試験結果

3.1 レイノルズ数依存性

実車と比較して本試験のレイノルズ数は1/78であるため、本試験により実車の流れ場を評価することの妥当性を検討する。厳密に言えば、実車と模型の流れ場データを比較する必要がある。しかし、実車屋根上の流れの乱れを測定することは難しいため、本試験の供試体と相似

な形状を有する1/7スケール模型を用いて行った風洞試験結果と比較することで、本試験の妥当性を検討した。この1/7スケール模型を用いた試験は、鉄道総研の大型低騒音風洞において実施したものであり、試験風速は150km/h, 220km/h, 280km/hである。このときのレイノルズ数を実車（走行速度280km/hと仮定）と比較すると、それぞれ1/13, 1/9, 1/7であり、1/7スケール模型を用いた風洞試験の結果は実車の流れ場に近と考えられる。

1/7スケール模型と1/30スケール模型で行った流れ場測定試験結果（乱れ度）の比較を図4に示す。測定点は図4(a)に示す箇所で、1/30スケール模型では $x=745\text{mm}$ （実車換算で22.3m）である。また、図中の y は測定点の屋根上高さであり、 y_0 はパンタグラフの標準作用高さ（R.L. 5000mm）に相当する屋根上高さである。

図4(b)より、碍子オオイ後方の流れ場では、レイノルズ数依存性がほとんど見られないことがわかった²⁾。そのため、1/30スケール模型で試験を実施すれば実際の流れ場を十分に評価できると考えられる。

3.2 碍子オオイ後方の流れ場測定結果

測定範囲の乱れ度分布を図5に、パンタグラフ標準作用高さにおける乱れ度の x 方向分布を図6に、それぞれ示す。なお、図5の $y=45\text{mm}$ （1.35m）はパンタグラフ標準作用高さを示しており、図6には本試験より得られた曲線を乱れ度が1.0%になるまで指数関数で外挿した結果も表記している。

図5より、碍子オオイから発生している乱れが、後流へ行くほど減衰している様子がわかる。ただし、測定高さが低い領域では碍子オオイから発生した乱れの減衰量

が小さくなっているように見える。これは、屋根上境界層の発達によるものと思われる。

次に図6に注目する。碍子オオイがない場合には、屋根上のパンタグラフ標準作用高さにおける乱れ度は1.0%以下であった。一方、碍子オオイがある場合は、実車換算で40m離れた地点でも乱れ度は4.0%であった。これより、碍子オオイが後方の流れ場へ与える影響は大きいことがわかる。また、得られた結果を外挿すると、碍子オオイのバスタブ前端から約85m（実車換算）離れなければ乱れ度が1.0%以下にならないことがわかる。ただし、85m離れた地点では屋根上の境界層が発達していると考えられるため、その影響を考慮する必要がある。

図5, 図6より、碍子オオイのバスタブ前端部から40m程度（実車換算）しか離れていない箇所では、碍子オオイから発生する気流の乱れは十分に（1.0%以下）減衰していないことがわかった。

次に、 $x=540\text{mm}$, 840mm , 1140mm （それぞれ実車換算で18m, 28m, 38m）における流速のパワースペクトル密度を求めたものを測定高さごとにまとめた。 $y=51\text{mm}$ （新幹線標準作用高さ+200mm）における測定結果を図7(a)に、 $y=45\text{mm}$ （新幹線標準作用高さ）における測定結果を図7(b)に、 $y=39\text{mm}$ （新幹線標準作用高さ-200mm）における測定結果を図7(c)にそれぞれ示す。なお、各図における横軸はストローハル数 S で、

$$S = fL/u_0 \quad (2)$$

である。ただし、 f は周波数、 L は代表長さであり、本試験では模型の碍子オオイのバスタブ幅（40mm）を代表

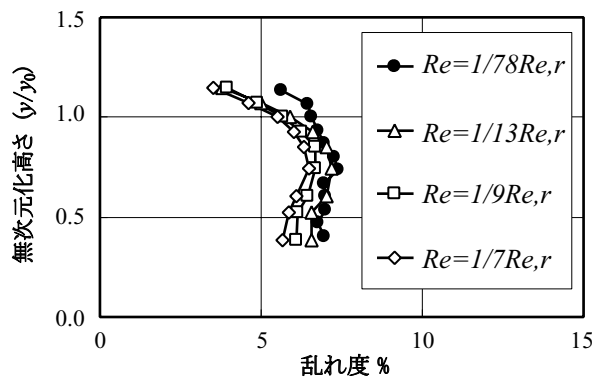
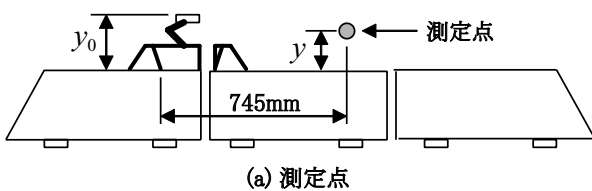


図4 1/7スケール模型と1/30スケール模型の乱れ度の比較



図5 前位側碍子オオイ後方の乱れ度

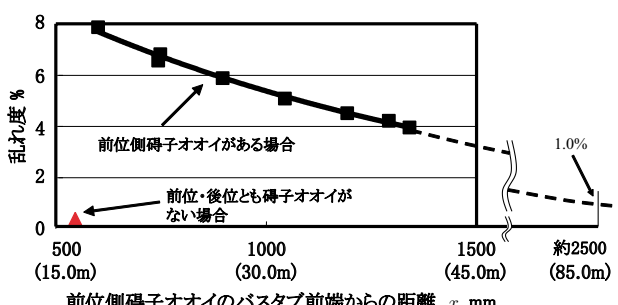


図6 新幹線標準作用高さにおける乱れ度

特集：電力技術

長さとした。また、 u_0 は主流風速であり、ここでは30m/sである。図内に示した $S=0.24$ の一点鎖線は、実車が280km/hで走行したときのハンガ間周期(5m)の振動数に対応するストローハル数である。

図より後位側パンタグラフ位置では、舟体まわりの気流の乱れのパワースペクトル密度がある周波数範囲で卓越しているの、その周波数帯での揚力変動が大きくなると考えられる。

架線の機械インピーダンスを Z_i 、パンタグラフの機械インピーダンスを Z_p 、接触力変動を F_c 、舟体に作用する揚力変動を F_L とし、舟体の鉛直方向速度を V とすると、

$$Z_i = F_c/V, Z_p = (-F_c + F_L)/V \quad (3)$$

となり、この式から V を消去すると、

$$F_c = F_L Z_i / (Z_p + Z_i) = F_L Z \quad (4)$$

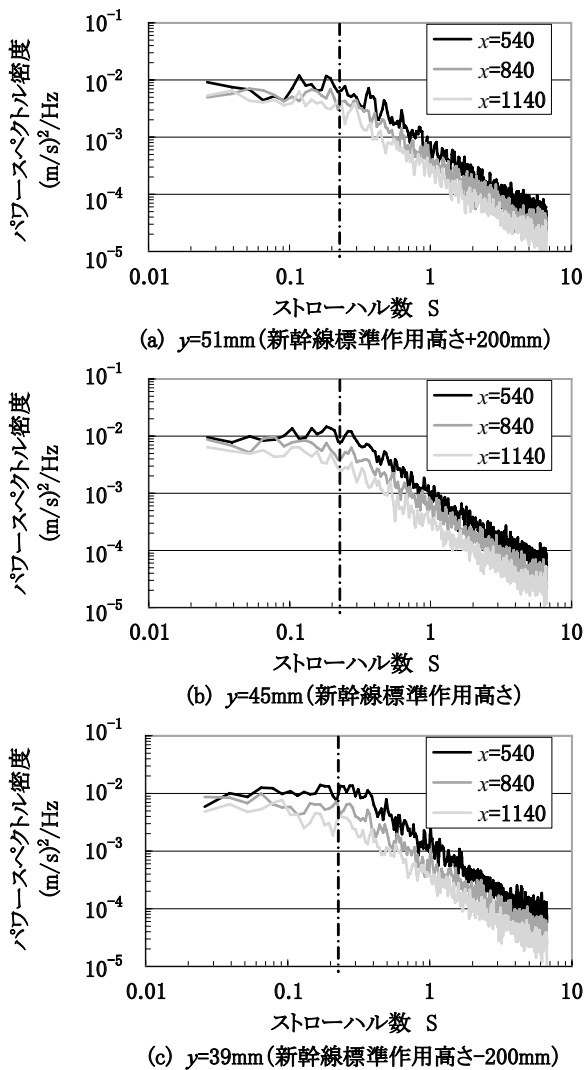


図7 新幹線標準作用高さ付近の主流方向流速のパワースペクトル密度

となる。これより、揚力変動が大きく、式(4)の Z が大きい周波数帯では揚力変動に起因した接触力変動が大きくなる。

ところで、パンタグラフは径間周期やハンガ間周期で生じるトロリ線の凹凸に追従できるように設計されている。具体的には、走行線区を代表する径間長やハンガ間隔と走行速度から求められる周波数で追従振幅が大きくなるように設計されている。そのため、架線とパンタグラフの直列機械インピーダンス(Z_p+Z_i)はその周波数帯で小さくなり、式(4)の Z は大きくなる。

碍子オオイから発生する乱れが大きくなる周波数領域は、図7の一点鎖線からわかるように架線とパンタグラフの直列機械インピーダンスが小さい周波数領域を包含している。そのため、碍子オオイから発生する乱れによるパンタグラフの揚力変動が接触力変動に与える影響は大きいと考えられる。

以上より、碍子オオイを備えたパンタグラフを2台用いて短編成新幹線電車を運用する場合、多数パンタグラフの共振³⁾や、騒音対策⁴⁾だけでなく、前位側碍子オオイから発生する気流の乱れが後位側パンタグラフに与える空力的影響についても十分に考慮しなければならないことがわかる。

4. まとめ

1/30スケール3両編成車両模型を用いて碍子オオイ後方の流れ場を測定した。その結果、碍子オオイから発生する気流の乱れは、前位側碍子オオイから40m(実車換算)離れた地点では十分に減衰しないことがわかった。また、前位側碍子オオイから発生する気流の乱れの周波数スペクトルは、架線とパンタグラフの直列機械インピーダンスが小さい周波数範囲で大きいので、碍子オオイから発生する気流の乱れによる揚力変動によって大きな接触力変動が生じる可能性があり、十分な注意が必要である。

文献

- 1) 小山達弥, 池田充, 他2名: がいしオオイから発生する気流の乱れの距離減衰に関する検討, 第13回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp.105-106, 2006
- 2) 光用剛, 小山達弥, 他2名: 縮尺の異なる風洞模型を用いた集電装置まわりの流速分布の比較, 第13回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp.113-116, 2006
- 3) 真鍋克士, 藤井保和: 多数パンタグラフ走行に伴う共振現象と対策, 鉄道総研報告, Vol.2, No.12, pp.8-14, 1988
- 4) 佐川明朗, 長倉清, 他1名: 車体空力騒音の音源探査手法と対策指針, 鉄道総研報告, Vol.20, No.1, pp.17-22, 2006