2206 吸込み・噴出し付パンタグラフ舟体の研究

Study on Panhead with Air Intake and Outlet

○学 伊東雅史 (東京農工大)
正 池田充 (鉄道総研)

正 鈴木昌弘 (鉄道総研・東京農工大連携大学院)
正 吉田和重 (鉄道総研)

Masafumi ITO, Tokyo University of Agriculture and Technology, 2-24-16, Naka-cho, Koganei-shi, Tokyo
Masahiro SUZUKI, Mitsuru IKEDA and Kazushige YOSHIDA,
Railway Technical Research Institute, 2-8-38, Hikari-cho, Kokubunji-shi, Tokyo

Aerodynamic characteristics of pantographs for high-speed trains are critical to maintain steady current collection. We present a new panhead in which air is taken in at the leading edge and ejected around the trailing edge to control the lift force. We estimate aerodynamic characteristics of this panhead by CFD and a wind tunnel experiment. The results show that the lift force can be controlled effectively by this method.

Key Words : aerodynamic characteristic, railway, pantograph, lift force, ejection

1. はじめに

車両上の高速気流中に突出する格好で設置されるパンタグラフは、新幹線の主な空力音源の一つであり¹⁾、低空力音化対策が不可欠である。パンタグラフとは列車の電力供給装置のことで、直接架線と摺動する舟体、舟体を支持するアーム等から構成されている。これまでの研究によると、パンタグラフからの発生空力音は、舟体部の寄与が大きいことが明らかになっており、形状的に空力音の発生を抑えられるような舟体が求められている。

一方、良好な集電性能確保のためには、定常揚力の安定化が強く求められる。舟体部は、パンタグラフ全体の定常揚力への寄与が大きく、舟体に作用する揚力の安定化は必須である。すり板の状態変化(新品→摩耗)、トンネル出入口通過や走行時の迎角変化に伴う揚力変動などが、集電性能向上への妨げとなっている。舟体には、適正な接触力(60~100N)で架線との接触を保てるような、安定的な揚力特性を持ち合わせた形状が求められている。

以上のように、舟体には低空力音性、揚力安定性の2点が要求されているが、これらを同時にクリアするのは容易ではない。流線形状は空力音低減につながる一方で揚力特性が不安定化し、逆に鈍頭形状は揚力特性を安定化するが騒音問題が顕在化する。

これらの問題解決への取り組みとして、舟体表面から空気を噴出し、揚力変動を抑制する試みがある。この手法は、噴流により流れ場を変化させ、形状の有する特性に支配されずに揚力特性を安定化し、低空力音形状の舟体の設計につなげようというものである。池田らは圧縮空気による噴出を可能とした舟体を用いて風洞試験を行い²⁾、舟体下面側からの噴出で実際に揚力が発生することを明らかにした。しかしながら、この手法では、実用化を考慮するにあたり、①空気噴出のために十分な空気源圧力が必要である、②空気源から噴出部まで圧縮空気を導くための機構により、舟体自体が複雑化してしまう、という2つの問題が考えられる。

そこで、舟体の揚力制御を効率的に行う噴出法として、舟体前縁部から取り入れた空気を後縁部近傍から噴出する舟体を考案した。この手法は構造を単純化できる上、流速の増加に伴い大きな噴流流速が得られ、揚力制御効果の増大が期待できる。

本研究では、数値計算と風洞試験により上記揚力制御手法の検討を行った。まず、前縁部から取り入れた空気を後縁部近傍から噴出した時の揚力変化を数値計算によって評価した。その結果から空気の噴出位置を決定し、実際に模型を作成して風洞試験により性能評価を行った。

2. 舟体周り流れ場の数値計算

2.1 舟体モデル

図1に示すような舟体前縁部から空気を取り入れ、舟体内部の

貫通孔を通して、後縁部近傍から噴出する構造とした。貫通孔断面形状は計算格子作成が容易なことから、5.3mm×5.3mmの正方形断面とした。図1の角度表示は、舟体のよどみ点を 0° とし、時計回りに進み、 180° が舟体後縁部に対応している。両モデルとも、 $\theta=0^\circ$ に流入部を設け、噴出部はモデル1で $\theta=193^\circ$ 、モデル2で $\theta=212^\circ$ 付近である。スパン方向の貫通孔間隔は20mmとした。計算精度確認のための、すでに実験結果²⁾のある貫通孔のない場合の計算も行った。

この断面形状は、目的関数を舟体の揚力変動とし、これを舟体の迎角変化($\pm 3^\circ$)およびすり板の状態変化(新品→摩耗)の条件下で最小化するよう最適化計算をし、得られたものである(舟体翼弦長120mm, 最大厚み55.13mm)³⁾。これは、池田らの実験で用いられたものと同一である。

2.2 計算条件

構造格子により格子生成し、総格子数は約800,000、舟体周りの格子数は約300となっている。舟体のスパン方向(z方向)の計算領域厚みは60mmで格子数30とした。上流境界で乱れなしの一樣流速41.7[m/s](150km/h)を与え、下流境界では散逸流束0、側方は対称境界条件、物体表面はすべりなし条件とし、z方向の境界面は周期境界条件とした。

計算には汎用ソルバーFLUENT ver.6.1を用いた。乱流モデルにはLESを使用し、非定常解析を行った。供試体の翼弦長($L=0.12$ m)を代表長さとした場合のレイノルズ数は、 3.3×10^5 である。

3. 計算結果

まず、貫通孔のないモデルについて、数値計算結果と風洞試験の結果²⁾を比較した(図2)。後縁部近傍において若干の違いが見られるものの、定性的には良く一致しており、予測精度としては十分である。次にモデル1,2の計算結果として、図3に貫通孔の有無による表面圧力分布の比較を、表1に計算から得られたこれらの舟体に作用する揚力係数 C_L をそれぞれ示す。図3によると、モデル1,2とも噴出しなしのモデルと比較して、下面側の静圧が増加し、逆に上面側では低下しているのがわかる。後縁部近傍に噴出孔があるにも関わらず、下面側ではかなり上

Fig.1 Cross sections of panhead Models 1&2

流側にまで静圧の増加が見られる。下面側表面圧力増加の要因としては、噴出によって流れ場に変動が与えられ、それが乱流変動を介して上流に伝わり、圧力回復が促進されているのではないかと考えられる。また、下面側の噴出の影響が上面に表れるのは、噴出により模型後流の流れ場に非対称性が生じ、剥離点の移動や渦放出の特性が変化することで、上面側の圧力低下につながったものと考えられる。

モデル1の値を実物（スパン長1m、使用速度83.4m/s）に当てはめると、128Nもの揚力を得ることができ、パンタグラフの静押上力（54N）と比較してもその大きさがわかる。圧縮空気により噴出を行ったモデル（最大値 $\Delta C_L = +0.07$ ）よりも明らかに大きく、噴出により揚力変動制御を行う場合の噴出法として、貫通孔を用いる方法は効果的である。

Fig.2 Surface pressure distribution
(Comparison between CFD and experimental Results)

Fig.3 Surface pressure distribution
(Comparison between model1,2 and model without holes)

4. 風洞試験

4.1 供試体

数値計算から最も大きな揚力を得られたモデル1と同一箇所に噴出部を有する2次元模型を作成した。舟体には20mm間隔でφ6mm（計算とは異なり丸い断面形状。ただし、面積はほぼ同一である）の貫通孔を計28本設けた。スパン方向中央断面（貫通孔のない断面）には、静圧孔を計45個設置した。

空力係数算出に用いる代表長さsは0.12m（舟体の翼弦長）、代表面積は0.72m²（舟体の上面投影面積）、風速150km/hにおけるRe数は 3.3×10^5 である。

4.2 実験装置

図4に実験装置を示す。（財）鉄道総研の小型低騒音風洞を使用した。風洞は開放型であるが、ノズル出口に接するよう風路上下面に端板を設け、流れの2次元性を保てる構造とした。供試体はノズル先端から500mmの位置に端板に対して鉛直に設置した。模型両端はロードセル（二分力計）により支持する構造とし、模型に作用する揚力および抗力の測定を可能とした。ただし、端板と

模型が接触してしまうと空気力測定が困難となるため、模型への接触はロードセルのみとなるよう、端板との間に流れに影響を及ぼさない程度の隙間を設けた。

Fig.4 Experimental apparatus

4.3 結果

図5に模型表面の静圧孔より求めた圧力係数分布を示す。風速は41.7[m/s]で数値計算と同一である。貫通孔を塞いだ場合、開放した場合の表面静圧分布を比べると、図3と同じように模型下面側の表面静圧の増加、上面側における表面静圧の低下が認められる。また、実験値は数値計算結果と良く一致している。

二分力計により測定した値から揚力係数を求めると、貫通孔を設けることによって、揚力の変化を確認できた（ $\Delta C_L = +0.14$ ）。その大きさは数値計算と比較すると小さいが、実用上十分な揚力制御効果を生じ得るものである。揚力係数の結果に相違が生じた要因の一つとして、計算モデルと実験模型の貫通孔形状の違いが考えられる。

Fig.5 Surface pressure distribution
(Panhead with/without holes at U=41.7m/s)

5. まとめ

前縁部から取り入れた空気を噴出する舟体に関して、数値計算および風洞試験を行い、以下の知見を得た。

- ① 舟体前縁部から取り入れた空気を、貫通孔を通して後縁部下面側から噴出することで、下面側の表面圧力が広い範囲にわたり増加し、逆に上面側では低下する。
- ② ①により舟体に揚力が作用し、その大きさは実物のパンタグラフ（スパン長1m、速度83.4m/s）に当てはめると、およそ71N（実験で得られた揚力係数 $\Delta C_L = +0.14$ から計算）であった。これは実用上十分な揚力制御効果を得られるものである。

参考文献

- 1) 前田；新幹線の低騒音化を目指して、RRR, vol. 59, no. 7, 12~15
- 2) 池田，他2名；噴流吹出しによるパンタグラフ揚力制御の基礎検討，日本機械学会 D&D2004, 2004. 9
- 3) 鈴木；パンタグラフの空力最適化，日本機械学会 2003 年度年次大会講演論文集(II)，pp325, 2003. 8