PIV を用いたシンセティックジェットによる

パンタグラフ舟体まわりの流れ場制御効果の検討

○ 高野 靖士*1 [機] 光用 剛*2 [機] 佐藤 祐一*2 [機] 池田 充*2 [機] 新井 紀夫*1

(*1 東京農工大学, *2 鉄道総合技術研究所)

Study on the effect on flow control around pantograph panhead

with synthetic jet actuators using Particle Image Velocimetry

○ Yasushi Takano^{*1}, Takeshi Mitsumoji^{*2}, Yuichi Sato^{*2}, Mitsuru Ikeda^{*2}, Norio Arai^{*1} (^{*1} Tokyo University of Agriculture and Technology, ^{*2} Railway Technical Research Institute)

It is important to reduce aerodynamic noise generated by pantographs on high-speed trains. The previous study reports that aerodynamic noise can be reduced by using synthetic jet actuators. In this study, the authors visualized the flow field around the pantograph panhead with synthetic jet actuators using PIV to clarify the effect of synthetic jet actuators on the flow field. Visualization results show that the synthetic jets control spread of the wake region and reduce flow fluctuation around the panhead. This means that synthetic jet actuators can stabilize separated shear layer around the pantograph panhead, and control the generation of Karman vortex streets efficiently.

キーワード:パンタグラフ,シンセティックジェット,PIV,空力騒音,流れ場制御 Key Words: Pantograph, Synthetic jet, PIV, Aerodynamic noise, Flow control

1. はじめに

利便性向上のため、新幹線の更なる高速化が検討されて いる. そのためには、沿線環境に対する影響の低減が必要 である.高速化に伴って増大する沿線環境への影響として, 空力騒音が挙げられる. 空力音は、そのエネルギーが速度 の 6~8 乗に比例して大きくなるためである. その中でも 特に問題となっている空力騒音源として、パンタグラフが 挙げられる.パンタグラフは車体屋根上に搭載されており, 走行中は常に高速気流にさらされるためである. パンタグ ラフの部材の中でも、特に舟体と呼ばれる、架線と接する すり板を支える部材は、そのスパン方向が気流方向に対し て直交する形状であるため,主要な空力音源となっている. 一般に,舟体は二次元柱状部材であり,空力音対策として, 後流で発生するカルマン渦に起因するエオルス音と、広帯 域音の両方の低減が要求されている. エオルス音の低減策 としては,物体形状を流線型に近い滑らかな形状にし,剥 離を抑え、カルマン渦の発生を抑制するという方法が考え られる.しかし、パンタグラフ舟体には、良好な集電性能 の実現のため、架線と舟体との間で安定した接触力が得ら れることが求められている.したがって、現状の舟体には、

発生する空気力が迎角や流速に対して敏感に変動しない鈍 頭形状が採用されている.著者らは、鈍頭形状舟体に、流 体の吹出しと吸込みを交互に誘起するシンセティックジェ ットアクチュエータ 3を搭載し、これを駆動させて流れ場 を制御する手法を提案し、エオルス音低減に対する有効性 を確認している¹⁾.本研究では、シンセティックジェット (SJ)によってエオルス音が低減される際に、舟体まわり の流れ場に現れる現象を探るため、PIV (Particle Image Velocimetry)を用いて、シンセティックジェットが流れ場 に及ぼす影響を調べた.

2. 実験装置·方法

- 2.1 シンセティックジェットアクチュエータ
- (1) シンセティックジェットの原理

シンセティックジェットとは、流体の吹出しと吸込みを 交互に行うジェットであり、噴出口から物体外方に向かう 渦を発生させることができる.そのため、流れ場中の物体 表面にシンセティックジェットアクチュエータを設置し駆 動させることで、流れ場に運動エネルギーを供給すること ができる.このシンセティックジェットアクチュエータの 駆動周波数、振幅などを操作することで、流れ場の能動的 制御を行う.

(2) シンセティックジェットアクチュエータ

本実験では、図1に示すような、スピーカ型シンセティ ックジェットアクチュエータを用いた.スピーカユニット 1基につき、φ5 mmのジェット噴出口を2箇所設けてい る.このシンセティックジェットアクチュエータを、図2 に示すように、実スケールの2次元舟体模型(スパン長: 600 mm)に10基組み込み、舟体前面下部にφ4 mmのジ ェット噴出口を30 mmピッチで計20箇所設け、これらと 各アクチュエータの噴出口をチューブで接続している.ス ピーカの駆動によって、ユニット内部に設けた振動板が振 動し、噴出口から流体の噴出を生じさせることができる. 本研究では、シンセティックジェットアクチュエータの出 力波形は正弦波とし、すべてのアクチュエータを同位相で 駆動させることとした.



600 (a) Panhead model

Actuator Flow Tube (b) Cross section of Panhead

図 2 2 次元舟体模型 2.2 空力騒音測定

空力騒音測定試験の概要を図3に示す.鉄道総合技術研 究所所有の小型低騒音風洞(吹出口 720 mm×600 mm, 開放型)を使用し,図3に示すように,2次元舟体模型を, スパン方向が鉛直方向を向くように設置した.風洞計測部 の2次元舟体模型の側方2mの位置に,空力騒音測定用に マイクロホンを設置した.

2.3 PIV 測定

PIV 測定試験の概要を図4に示す. 空力騒音測定と同様

に二次元舟体模型を設置し, TSI 社製 PIV システムを用い て流速測定を行った.シンセティックジェット噴出口の有 無による影響について比較するため,測定断面は噴出口を 含む断面(A断面)と,隣り合う噴出口の中間位置にある 断面(B断面)の2断面とした.



3. 測定結果

3.1 空力騒音測定結果

風速 25 m/s, シンセティックジェットアクチュエータの 駆動周波数 300 Hz, の条件の下で測定した空力騒音測定 結果を図 5 に示す. この図は, シンセティックジェットア クチュエータの駆動の有無による空力騒音の差異を表して いる. シンセティックジェットアクチュエータを駆動させ ない場合, 60 Hz 付近においてエオルス音のピークが認め られる. シンセティックジェットアクチュエータを駆動さ せることにより, このエオルス音が低減されることが確認 できる. しかし, シンセティックジェットアクチュエータ を駆動させた場合, 駆動周波数である 300 Hz およびその 高調波周波数において, 離散的にピークが現れている. こ れはアクチュエータとして用いているスピーカの駆動音で ある.これを低減するためには,複数搭載しているアクチ ユエータの出力波形に位相差を与えることにより,発生す るピーク音を打ち消し合わせることが有効であると考えら



3.2 PIV 測定結果

シンセティックジェットアクチュエータの周波数を,空 力騒音測定の条件と同じ 300 Hz として測定を行った.ま ず,シンセティックジェットによる誘起流を測定するため, 風速 0 m/s の状態で測定を行った.続いて,空力騒音測定 の条件と同じ風速 25 m/s で測定を行った.さらに,誘起 流測定の結果を踏まえ,誘起流が風速より大きい条件下に おいて,シンセティックジェットによる効果が高まるかを 確認するため,使用風洞の最低風速である,風速 5 m/s で 同様の実験を行った.

(1) 誘起流測定結果

風速0m/sの場合の、シンセティックジェットアクチュ エータによる誘起流の PIV 測定結果を図 6 に示す.図(a) に示す渦度分布より、シンセティックジェットアクチュエ ータの駆動により強い渦輪が発生していることが確認でき る.また、図(b)に示す流速分布より、今回用いたシンセテ ィックジェットアクチュエータによって誘起される渦の移 流速度は7m/s 前後であることがわかる.

(2) 風速 25 m/s における測定結果

風速 25 m/s の場合の,噴出口を含む A 断面上における 舟体後流の PIV 測定結果を図 7 に,噴出口を含まない B 断面上における舟体後流の PIV 測定結果を図 8 に,それぞ れ示す.流れの向きは、いずれも x 軸の正の方向が下流側 である.図(a),(b)より、平均流速分布は、両断面ともシン セティックジェットアクチュエータの駆動により舟体後方 の剥離領域がより下流側まで伸びており、せん断層の拡散 が抑制されていることがわかる.また図(c),(d)に示す絶対 流速の標準偏差分布より、シンセティックジェットアクチ ュエータの駆動により、舟体下流側での流速変動が低減さ れていることがわかる.以上から、シンセティックジェッ トアクチュエータによってせん断層が安定化し、舟体後流 におけるカルマン渦の形成が抑制されていることがわか る.また、図7と図8とを比較すると、形成される流れ場 の様子には、噴出口の有無で大きな差異は見られない.こ のことから、噴出口間隔が30 mm 程度であれば、舟体後 流の流れ場は、噴出口の有無によらずスパン方向に対して ほぼ一様となることがわかる.

(3) 風速5 m/s における測定結果

風速5 m/s の場合の,噴出口を含む A 断面上における舟 体後流の PIV 測定結果を図 9 に,噴出口を含まない B 断 面上における舟体後流の PIV 測定結果を図 10 に,それぞ れ示す.風速 25 m/s の場合同様,流れ場の様子は 2 つの 断面に大きな差異は見られない.ただし,平均流速分布に 着目すると,風速 25 m/s の場合に比べ舟体後方の剥離領 域がさらに下流まで伸びており,剥離せん断層の不安定化 をより下流位置まで抑制できていることが確認できる.こ のことから,風速に対して誘起流の流速が大きいほど,よ り高い主流流速まで空力騒音低減効果を確保することがで きるものと考えられる.

4. まとめ

シンセティックジェットアクチュエータによる舟体のエ オルス音低減が,舟体まわりのどのような流れ場の変化に よって得られているのかについて探るため,流れ場の PIV 測定を行った.その結果,シンセティックジェットアクチ ュエータの駆動により,舟体後流の剥離領域が下流側まで 維持されるとともに,舟体後流における流速変動が低減す ることがわかった.以上より,シンセティックジェットア クチュエータの駆動により,舟体後流に形成されるせん断 層が安定化し,カルマン渦の巻き込みが効果的に抑制され ていることがわかった.





(a) 平均流速分布(SJ:0FF)(b) 平均流速分布(SJ:0N)



(c)流速標準偏差(SJ:OFF)(d)流速標準偏差(SJ:ON)
図7 風速 25 m/s, A 断面における PIV 測定結果



(a) 平均流速分布(SJ:OFF)(b) 平均流速分布(SJ:ON)



(c)流速標準偏差(SJ:0FF)(d)流速標準偏差(SJ:0N)
図8 風速25 m/s, B 断面における PIV 測定結果

- 参考文献
- 池田 充,他3名、スピーカ型シンセティックジェット によるパンタグラフ舟体のエオルス音低減手法、日本機 械学会 第 21 回環境工学シンポジウム CD-ROM 論文 集,2011
- 大谷 浄, シンセティックジェットにより誘起される渦の挙動,日本機械学会論文集 B 編, Vol.75, No.760, pp.2472-2478, 2009
- 3) 小川原 加久治,他4名,スピーカー型シンセティック ジェットによる浮き上がり火炎の能動制御,日本機械学 会論文集C編, Vol.72, No.715, pp.901-908, 2006



(a) 平均流速分布(SJ:OFF)(b) 平均流速分布(SJ:ON)



(c) 流速標準偏差(SJ:OFF)(d) 流速標準偏差(SJ:ON)
図 9 風速 5 m/s, A 断面における PIV 測定結果



(a) 平均流速分布(SJ:0FF)(b) 平均流速分布(SJ:0N)



(c)流速標準偏差(SJ:OFF)(d)流速標準偏差(SJ:ON)
図10 風速5 m/s, B 断面における PIV 測定結果