

S8-2-7. 感圧塗料を用いたパンタグラフ舟体の表面圧力分布測定

[機] ○高岩 利充 (東京農工大) [機]池田 充 (鉄道総研) [機]鈴木 昌弘 (鉄道総研)
 [機] 中出 孝次 (鉄道総研) 中北 和之 (JAXA) 満尾 和徳 (JAXA)

Measurement of surface pressure field on panhead of high-speed pantograph by using PSP

Toshimitsu Takaiwa (Tokyo University of Agriculture and Technology)
 Mitsuru Ikeda, Masahiro Suzuki, Kouji Nakade (Railway Technical Research Institute)
 Kazuyuki Nakakita, Kazunori Mitsuo, (Japan Aerospace Exploration Agency)

To improve aerodynamic characteristics of a high speed pantograph, it is important to grasp pressure distribution around it. The conventional methods for surface pressure measurements consist of either pressure taps or transducers that are installed at discrete points at a model. However, these systems have several drawbacks. For example, measurements can be obtained only at discrete locations, and there are always limitations on where the taps or transducers can be installed. So the measurement of three-dimensional pressure field near the panhead support is difficult by using their methods. Therefore, authors have been trying to measure pressure field around the pantograph by PSP(Pressure-Sensitive Paint). To estimate availability of PSP, wind tunnel tests were performed with two-dimensional panhead model. From these results, we confirmed that the pressure field measurement with PSP can be a powerful tool to improve aerodynamics characteristic of the high speed pantograph.

キーワード：パンタグラフ, 感圧塗料, 圧力分布

Key Words : pantograph, Pressure-Sensitive Paint, Pressure distribution

1. はじめに

日本では新幹線の沿線騒音に対して厳しい環境基準が定められているため、新幹線の速度向上において沿線騒音の低減は非常に重要な課題である。車両屋根上部に取り付けられたパンタグラフから発生する集電系騒音は主要な騒音源の一つとなっている。

集電系からの騒音には、しゅう動音、アーク音などがあり、中でも舟体から生じる空力音の影響が大きいことがわかっている。そこで近年の研究によって空力音の小さい形状の舟体を実用化されているが、舟体は支持部との間に強い空力干渉を起こし、これがパンタグラフ全体の空力特性に大きな影響を与えている。空力干渉の影響を評価するためには表面圧力分布の測定が有効であるが、舟体支持部は複雑な形状をしているため静圧孔による計測では十分な情報を得ることは難しかった。

そこで著者らは、このような複雑形状まわりの表面圧力分布を計測する手法として感圧塗料(Pressure-Sensitive Paint)に着目した。PSP 計測の最大の特徴は圧力の面情報が得られることであり、舟体支持部のような複雑な形状においても詳細な圧力分布を求めることができる。ただし一般には低速領域(300km/h 以下)における PSP 計測は容易ではなく、鉄道分野において適用した事例は皆無であった。しかし近年、PSP 計測を低速域に適用するための研究が JAXA を中心に進められており、90km/h 程度⁽³⁾までの計測が可能になりつつある。そこで今回は新幹線用パンタグラフの 2 次元模型を用い、PSP 計測の適用可

能性を検証することにした。

2. 感圧塗料(PSP)

2.1 PSP 計測の原理

PSP 計測は、色素の酸素分子による消光現象を利用した計測手法である。空気の 21%は酸素であり、酸素分圧、すなわち圧力によって、PSP から放射される光の強度が変化する。消光現象は理論的に Stern-Volmer 関係式で記述される。色素の発光強度 I と圧力 P が以下の関係式で結ばれる⁽¹⁾⁽²⁾。

$$\frac{I_{ref}}{I} = A(T) + B(T) \frac{P}{P_{ref}} \quad (1)$$

ここで A, B は、温度 T の関数として定まる較正係数である。これより、模型に塗布された PSP の発光強度の測定値が圧力分布に換算できる。

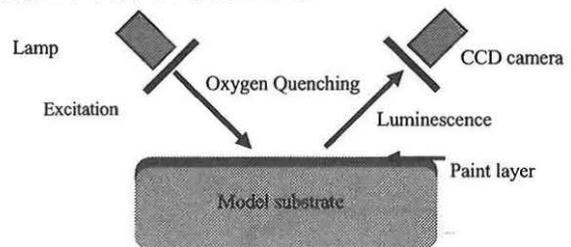


Fig.1 Schematic of PSP measurement.

今回の PSP 計測原理を図 1 に示す。PSP を塗った供試

体を高速気流中に設置し、励起光源を照射する。PSP が励起光源を受けると酸素分圧、つまり表面圧力に応じて発光強度が変化する。そこで CCD カメラで表面を撮影することで面の発光強度を求めると(1)式の関係より圧力情報を得ることができる。

2.2 データ処理

PSP は圧力感度と同時に温度依存性も併せ持っている。温度変化 1℃当たり、PSP の発光強度が 1%変化し、この変化量は圧力に換算すると約 1kPa に相当する。風洞試験中、流体温度を一定に保つことは難しいため、測定圧力が小さい低速流の試験では精度の低下要因となる。そのため今回は通風時の画像とともに通風直後の画像を測定した。通風直後の供試体表面温度は通風中とほぼ同じと考えられるため、通風中の画像と通風直後の画像の発光強度の比を取り(1)式中の I/I_{ref} を求めれば、温度依存性を考慮することなく圧力を得ることができる。圧力への換算係数である A, B はあらかじめ模型に設けておいた静圧孔の圧力と、静圧孔周りの発光強度比を対応させることによって求めた。図 2⁽¹⁾にその概略を示す。

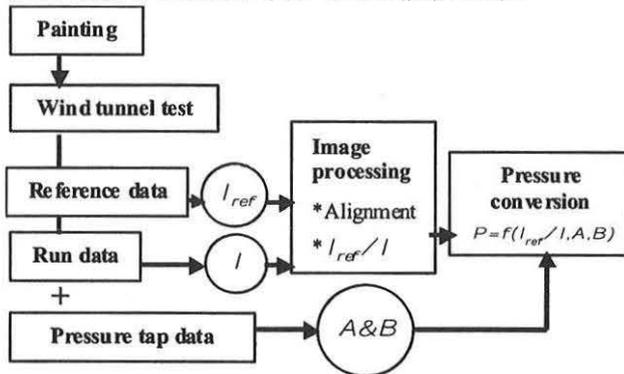


Fig.2 Data processing procedure.

3. 供試体

今回の実験では供試体として新幹線用パンタグラフの舟体を用いた。その断面を図 3 に示す。今回は PSP 計測の適用可能性を検証するため、複雑なパンタグラフの舟体支持部ではなく 2 次元の舟体を供試体とした。なお、模型のスパン長は 600mm であり、模型のスパン方向の中央断面には 48 点の静圧孔を設け表面圧力を測定できるようにした。また舟体のすり板の両端部分は、図に示すように 2 段面取りがされている。

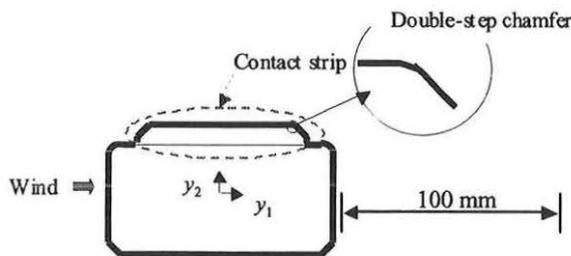


Fig.3 Panhead Model.

4. 実験方法

PSP による表面圧力測定を行う風洞試験を実施した。以下に試験の概略を記し、測定部の写真を図 4 に示す。

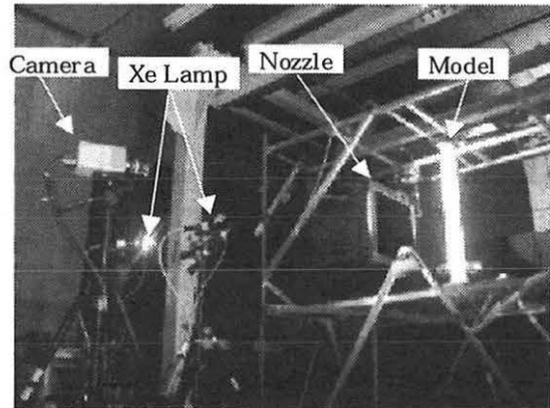


Fig.4 Schematic of experimental apparatus.

風洞：鉄道総研 小型低騒音風洞

ノズル断面寸法 480×400mm 最大風速 83.3m/s(300km/h)

試験風速： $U_{\infty}=40\text{m/s}, 80\text{m/s}$

PSP の塗布：まず供試体に下地として光沢のある白ペイントを塗った。光沢のある白ペイントを塗るのは発光効率を数倍に増加させるためである。あわせて画像処理に使用するマーカを取り付けた。その上にエアガンを用いて JAXA が開発した PSP を膜厚が数 μm となるように吹き付けた。このとき発光強度に大きな斑があると、発光強度の小さい場所では S/N が悪くなる。したがって、なるべく均一な発光強度になるよう塗装した。

発光強度測定：励起光はキセノン光源から 2 台の照射ヘッドに伝達して供試体に照射した。励起光源には高安定キセノンランプを使用した。これに石英光ファイバーを接続し照射ヘッドまで伝達させる。照射ヘッドには 400 ± 50nm の励起フィルタを取り付けた。塗料の劣化を防ぐため、光源出口に遠隔式のシャッターを取り付けている。励起光による供試体の発光強度を測定する CCD カメラは、照射ヘッドの横に設置した。なお CCD カメラは模型から 1845mm 離れた場所に設置した。

5. 実験結果

流速 80m/s 迎角 0° における供試体の表面圧力測定結果を図 5 に示す。舟体中央に静圧孔が設けられており、これとは別に位置合わせ用のマーカを画像処理用に設けている。図 5 上図からわかるようにすり板表面で圧力が複雑に変化している様子がよく捉えられている。舟体下面側でも、前縁部で低下した圧力が舟体下流で緩やかに回復していく様子がよくわかる。

図5の下図はPSP計測により求めた静圧分布と静圧孔から求めた圧力分布を比較して示した図である。横軸はPSP計測画像上の位置を表している。画像の上流側の端を原点とし画像の左から右の向きを正としている。これは以下のグラフにおいて共通である。この図からわかるように静圧孔とPSP画像から求めた静圧はよく一致しており、PSPによる圧力測定は十分な精度を有していることがわかる。またすり板の表面圧力に注目すると、上流側の2段面取り部では92kPa付近まで低下した圧力が、一度上昇する様子が観察できる。この現象の詳細は静圧孔による測定では捉えられなかったものであり、PSP計測の有用性をよく表している。なおグラフのPSPによる計測結果に部分的にスパイク状のピークが見られるが、これは模型の表面に継ぎ目があり、その部分がきちんと塗装できなかったためである。

次に、図6に流速40m/sにおける計測結果を示す。図6上図は模型表面の圧力分布、下図はPSP計測結果を静圧孔による計測結果と比較したものである。80m/sにおける測定結果に比べると、動圧が低いために発光強度の変化が小さくなり、測定のス/N比が低下した。しかしPSP計測と静圧孔による計測を比較するとよく一致しており、40m/sでも十分な情報が得られることがわかった。

図7は流速80m/s、迎角 3° の結果である。図5と比較すると迎角を設けたことにより前縁部のよどみ点位置が移動していることがわかる。そして、すり板の上流側エッジ部では迎角 0° のときと比べて圧力低下が顕著になっていることがわかる。下面側では迎角 0° のときと比べて上流側で圧力回復していることがわかる。これは迎角の変化により、再付着点が移動したためと考えられる。

図7下図はPSP計測の結果を静圧孔による圧力測定結果と比較したものである。迎角 0° のときと同様、すり板の2段面取り部において2つの圧力低下のピークが認められる。迎角 3° のときでもすり板2段面取り部の圧力上昇が捉えられていることがわかる。

6 まとめ

航空分野に対して比較的低速な鉄道分野における、PSP計測の適応可能性を検証するため、高速用パンタグラフの舟体まわりの圧力分布をPSP計測により調べた。その結果、静圧孔による計測では測定不可能であった舟体の細かな部分の圧力分布情報を示すことができた。また、40m/sという低速流れにおいても十分実用的な計測がで

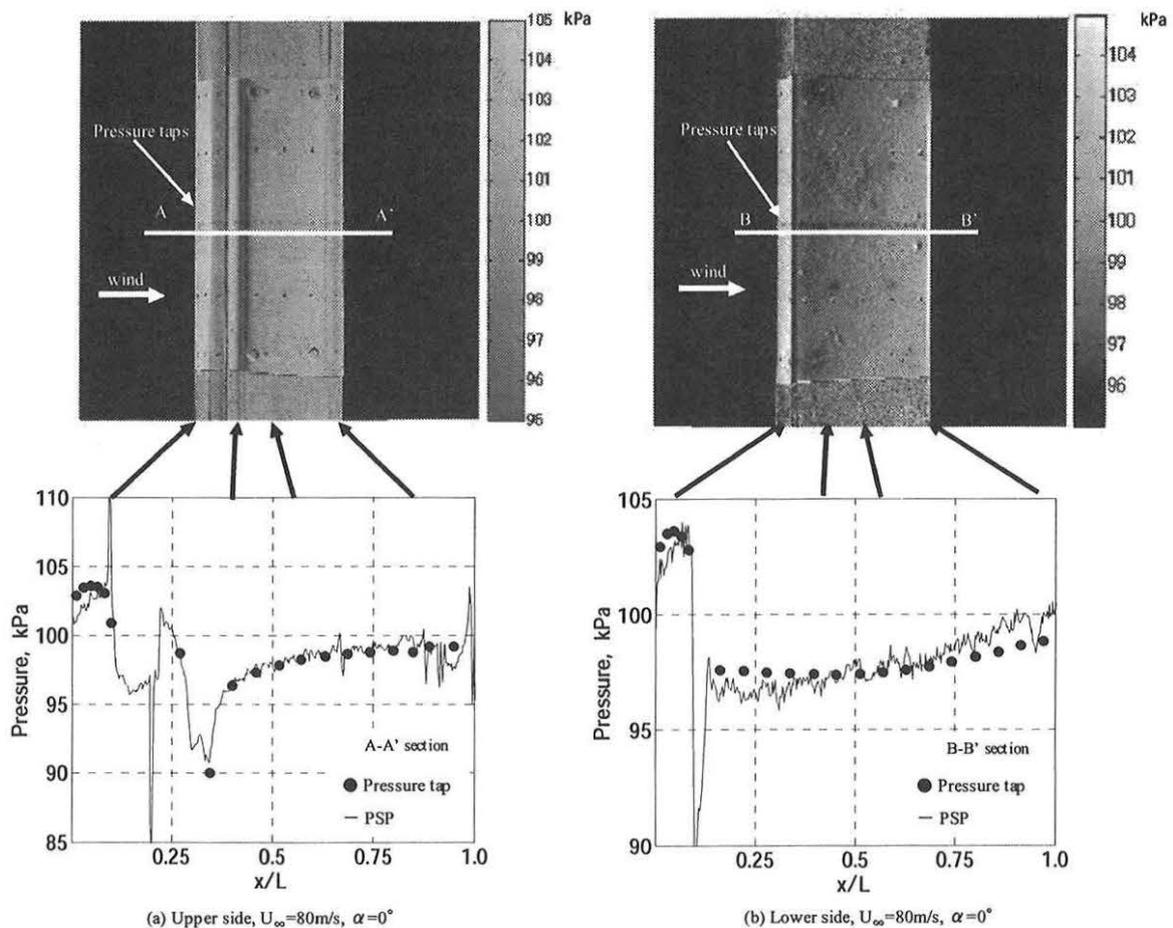
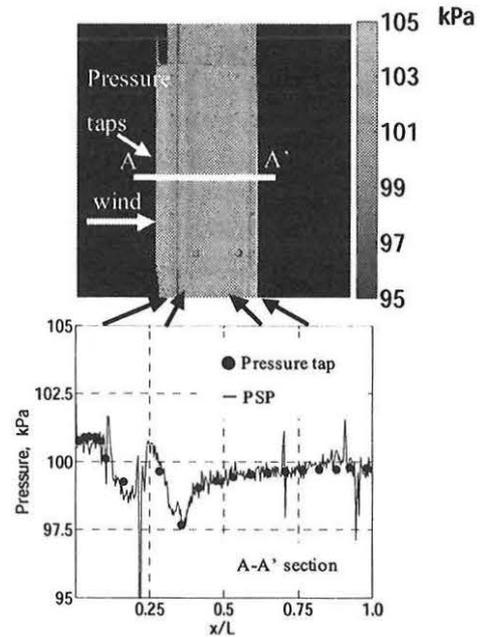


Fig.5 Surface pressure distribution on panhead model at $U_\infty=80\text{m/s}$, $\alpha=0^\circ$

きることが確認できた。したがって鉄道分野において PSP 計測は十分有用であることがわかる。

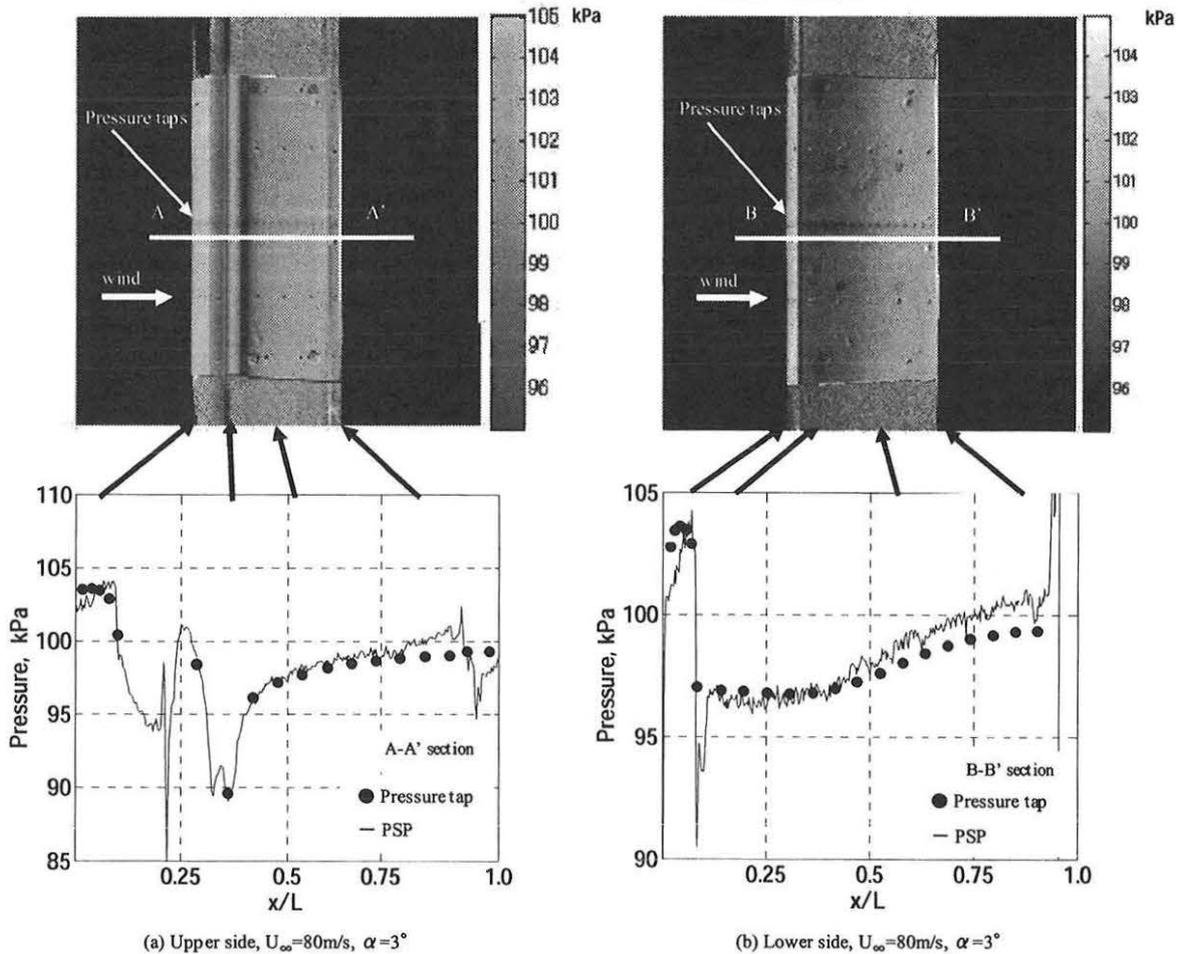
参考文献

- (1) 浅井圭介, 可視化情報学会誌, Vol.18, No.69, (1998)
- (2) 浅井圭介, 可視化情報学会誌, Vol.21 No.83, (2001)
- (3) 坂上博隆, 満尾和徳, 中北和之, 可視化情報学会誌, Vol.24 No.95, (2004)
- (4) Liu, T., Campbell, B. T., Burns, S. P. and Sullivan, J. P. Temperature and Pressure-Sensitive Luminescent Paints in Aerodynamics. *Apl. Mech. Rev.*, 50-4, pp 227-246, (1997).
- (5) Mitsuo, K., Nakakita, K. and Kurita, M., "Application of Pressure-Sensitive Paint to Low-Speed Wind Tunnel Testing at Japan. Aerospace Exploration Agency," 24th International Congress of the Aeronautical Sciences, ICAS 2004-3.2.3, Yokohama, Japan (2004).



(a) Upper side, $U_{\infty}=40\text{m/s}$, $\alpha=0^{\circ}$

Fig.6 Surface pressure distribution on panhead model at $U_{\infty}=40\text{m/s}$, $\alpha=0^{\circ}$.



(a) Upper side, $U_{\infty}=80\text{m/s}$, $\alpha=3^{\circ}$

(b) Lower side, $U_{\infty}=80\text{m/s}$, $\alpha=3^{\circ}$

Fig.7 Surface pressure distribution on panhead model at $U_{\infty}=80\text{m/s}$, $\alpha=3^{\circ}$.