

## パンタグラフのための揚力増加装置

○[機] 山下 義隆 (鉄道総研) [機] 池田 充 (鉄道総研) [機] 臼田 隆之 (鉄道総研)

## Lift Augmentation Device for Pantographs

○Yoshitaka Yamashita, Mitsuru Ikeda, Takayuki Usuda (Railway Technical Research Institute)

In general, a contact force fluctuation between a pantograph and a catenary increases as the running velocity of a railway vehicle increases. A contact loss occurs when the contact force reaches zero so that it is important for the pantograph of a high-speed train to tune the aerodynamic lift characteristics with taking the augmentation of the contact force fluctuation into account. Some types of pantographs however have low lift characteristics due to their structures. This paper introduces the device for augmenting the lift of the pantograph having low lift characteristics.

キーワード：パンタグラフ、揚力、流速分布測定、ピトー管

Key Words : Pantograph, Aerodynamic lift, Flow velocity measurement, Pitot tube

## 1. 緒言

一般的に、架線・パンタグラフ間の接触力変動は車両の走行速度の増加に伴って増大する。接触力が零に達すると架線とパンタグラフの接触が維持できずに離線が発生するため高速走行時には接触力変動の増大を見込んでパンタグラフの揚力特性を調節することも重要である。新幹線などの高速走行車両に使用されるパンタグラフは、実用化する前に風洞試験によってその揚力特性を調査することが一般的であり、揚力が走行速度（対向風速）に対して増加するという特性を持つことがほとんどである。一方、走行速度が低い在来線等のパンタグラフでは、高速走行車両よりもパンタグラフの揚力が問題となる可能性が低いいため、事前の揚力特性調査が行われないことが多い。これら在来線に使用されるようなパンタグラフの中には対向風速に対して揚力が減少する、あるいはある対向風速域で揚力が減少するようなパンタグラフも存在する。このようなパンタグラフが走行した場合、トンネル内走行時の対向風速増加<sup>2)</sup>による揚力の減少が問題となる場合も想定される。本論文は、上述のように揚力が小さい状態が問題となるパンタグラフに対して、簡易に揚力を向上するための装置を提案する。

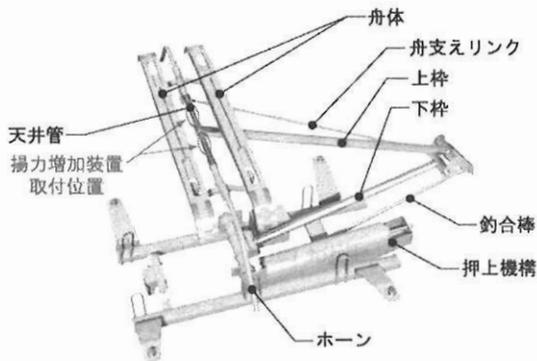
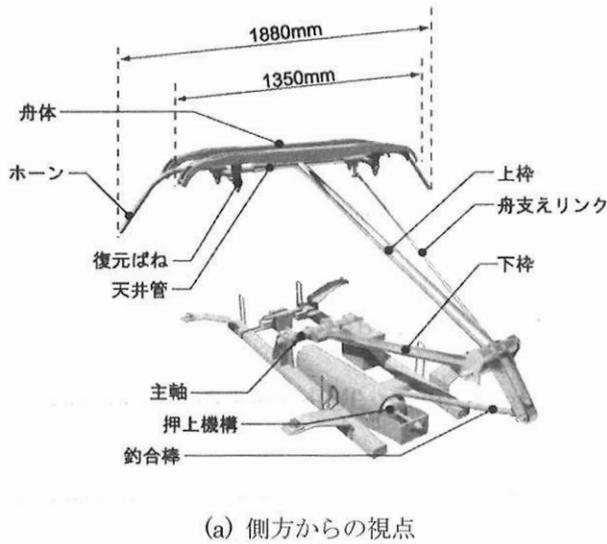
## 2. 揚力増加装置

パンタグラフ部位の中でも特に大きな空気が作用する部位は舟体であり、舟体周りの気流に応じて揚力が発生する。在来線用パンタグラフのように鈍頭形状部材の組合せ

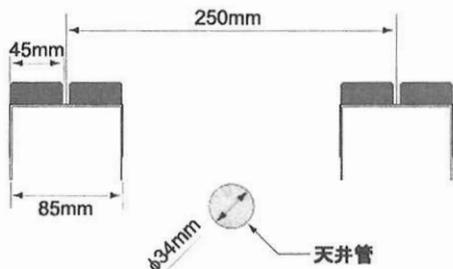
からなるパンタグラフでは、舟体を支えるための天井管と舟体との鉛直方向の間隔や、前後の舟体の水平方向間隔などがパンタグラフの揚力特性に大きく影響を与えていると考えられている。しかしながら、予め発生する揚力を見積もってパンタグラフの設計を行うことは非常に困難であるため、揚力対策は実機パンタグラフの完成後に修正を加えて実施せざるを得ない。また、すり板の種別変更に伴う舟体の構造変更を実施したところ、揚力低下が生じたという事例もある。しかしながら、実機パンタグラフの完成後には、可動部材の重量や可動範囲および車両限界などの制約から追加部材の取付位置や寸法に対する自由度は非常に小さい。このことから、揚力向上のための部材は小型・軽量でなければならない。そこで本論文では、揚力を増加させるためにパンタグラフに簡易に取り付け可能な揚力増加装置を提案する。

本論文で揚力増加装置を取り付ける対象とするパンタグラフの概略図を図1に示す。このパンタグラフは、在来線用のシングルアーム型パンタグラフであり、前後の舟体は独立に運動する構造を採用している。各舟体はその両端で復元ばねが内蔵されているリニアガイドによって上下およびローリング方向にのみ運動するように拘束されている。なお、パンタグラフが「く」の字の逆向きに走行する状態をなびきといい、その逆を反なびきという。

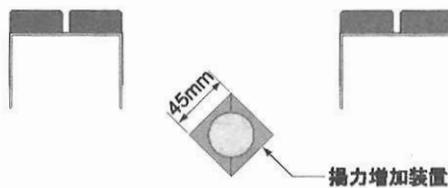
本論文では、揚力増加装置を天井管に取り付けることとし、天井管の偏位方向（舟体長手方向）の中心の両側にそれぞれ1つずつ取り付ける。天井管の偏位方向中心より



(a) 側方からの視点  
(b) 上方からの視点  
図 1 パンタグラフ概略図



(a) 揚力増加装置なし



(b) 揚力増加装置あり

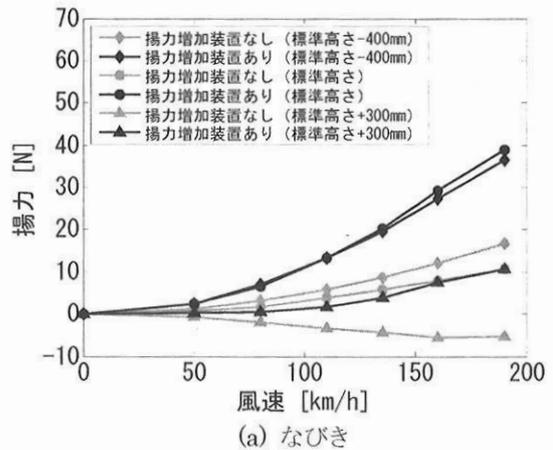
図 2 天井管偏位方向中心から 75mm における天井管および舟体の断面図

38.5mm から 169.0mm の区間を  $\phi 34\text{mm}$  の円柱形状から  $\square 45\text{mm}$  の角柱形状に変更するような部材を取り付けることによって天井管および舟体付近の流れ場を変化させ、揚力の向上を図る。図 2 に天井管の偏位方向中心から 75mm の位置における天井管・舟体付近の断面の概略図を、揚力増加装置がある場合およびない場合について示す。実際は、本試験に供した揚力増加装置の断面形状は一樣ではなく、天井管に取り付けるためのボルト止め部と既存の部材との干渉を避けるための凹凸があるが、詳細は本論文では割愛する。舟体の長さが 1350mm であり、揚力増加装置の長さが左右合わせて約 260mm であるので、天井管の長さに対して約 2 割の断面形状を円から正方形へと変更したことになる。

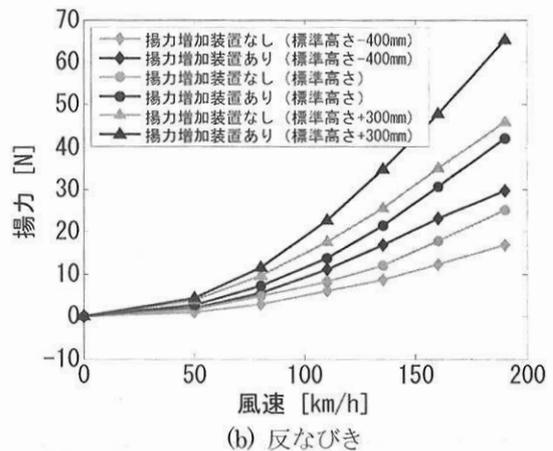
3. 揚力測定

揚力増加装置の有無による揚力の変化を調査するために、公益財団法人鉄道総合技術研究所が所有する大型低騒音風洞（滋賀県米原市）にて試験を行った。主軸や押上機構が取り付けられているパンタグラフの台枠部にロードセルを固定し、舟体とロードセルを  $\phi 2\text{mm}$  のワイヤで接続し、パンタグラフ全体に作用する揚力を測定した。パンタグラフには押上機構による一定の押上力が作用するが、本試験では空力的作用による押上力の変化量を評価した。

風速 50, 80, 110, 135, 160 および 190km/h における平



(a) なびき



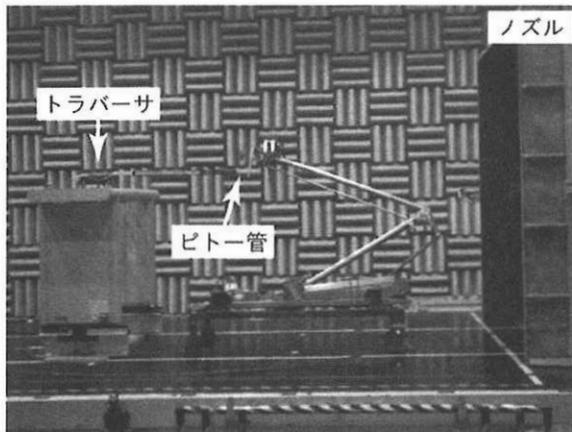
(b) 反なびき

図 3 揚力増加装置の有無による揚力特性の変化

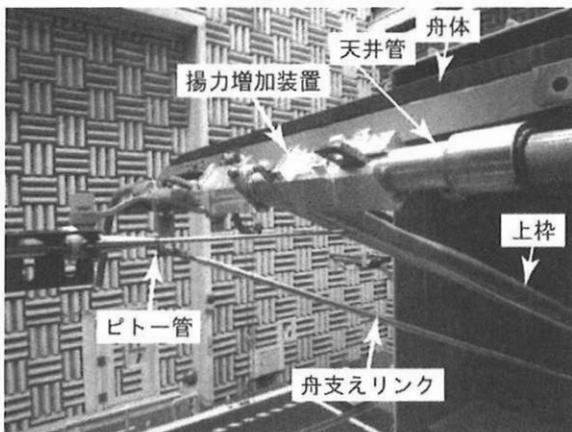
均揚力を測定した結果を図 3 に示す。図 3(a)はなびき走行における結果、図 3(b)は反なびき走行における結果であり、各図中にはパンタグラフの標準高さ、標準高さ-400mm および標準高さ+300mm の結果も示している。なお、パンタグラフの高さに応じて天井管が回転するため、揚力増加装置の取り付け角度も変化する。なびき・反なびきおよびパンタグラフの高さによらず揚力増加装置がない場合と比較して、揚力増加装置を取り付けることによって大きく揚力が増加していることがわかり、本装置の有効性が確認できた。

4. 流速分布測定

揚力増加装置による揚力増加メカニズムを調査するために、ピトー管による流速分布測定を行った。主流風速は 90km/h とした。ピトー管は風洞の風路内に設置したトラバーサに取り付け(図 4)、送風状態で測定点の変更を行った。ただし、トラバーサの長さおよび強度の都合上、枠組が下流側となる反なびきに対する流速測定は実施していない。また、ピトー管のアクセスの妨げになるため天井管よりも下流に位置する舟体を取り外した状態で測定を行っている。したがって、特に下流側の舟体近傍では実際の流れ場とは異なるが、揚力増加装置の有無による流れ場の変化の相対比較は可能であるため、この方法によって得られた試



(a) 全景



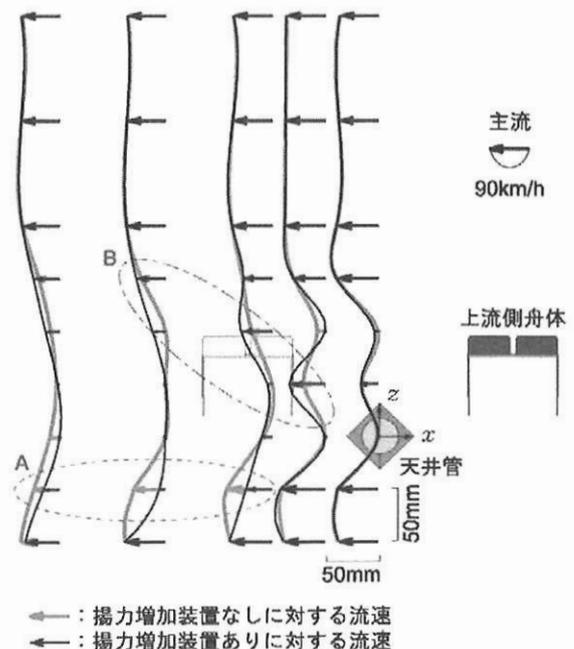
(b) 詳細

図 4 ピトー管による流速分布測定

験結果より揚力増加メカニズムを推察することを試みる。

図 5 に流速分布測定結果を示す。図中では、天井管部が四角形状となっているが、揚力増加装置なしの場合は円形状、ありの場合は四角形状と読み替える必要がある。天井管の中心を原点として 50mm あるいは 100mm 間隔で測定を行った。測定点における流速は矢印の長さで示し、鉛直方向には測定点間を補間して疑似的に連続的な流速分布を示している。なお、原理的にピトー管では逆流領域における流速を測定することができないため、渦の発生による負方向の流速は図 5 には示されておらず、流速零としている。また、物理的にピトー管と天井管が支障する原点での測定は不可能であるため流速を零としている。

図 5 中の点線領域 A に示すように、揚力増加装置を取り付けることによって、天井管よりも下流でかつ鉛直方向下側(以下、単に下側)の流速が小さくなっていることがわかる。このことから、揚力増加装置を設置することによって、相対的に下流側舟体の下側の圧力が増加し、揚力の増加につながったと考えられる。下流側舟体の下側における流速が小さくなる原因は、角柱形状である揚力増加装置の取り付けによって伴流の幅が広がったことによるものである。また、図中の一点鎖線領域 B に示すように、天井管下流の本来舟体が存在する領域付近の流速は、揚力増加装置を設置することによって流速が増加していることがわかる。実際に下流側の舟体を取り付けた場合の流れ場はこの状態とは異なるが、揚力増加装置を設置することによって、下流側舟体は吹き上がりの流れ場の中に置かれた状態にあると考えられ、この吹きあがりの流れも揚力の増加に寄与しているものと思われる。上流側舟体と天井管との間を通過した流れは、下流側舟体の上側と下側に分けられると考えられる。円柱と比較すると角柱の抗力係数は大きいため<sup>3)</sup>、



← : 揚力増加装置なしに対する流速  
 ← : 揚力増加装置ありに対する流速

図 5 ピトー管による流速分布測定結果

上流側舟体と天井管の間を通過した流れの多くは下流側舟体と天井管との狭い流路を流れるのではなく、下流側舟体上方に流下し、これによって下流側舟体周りの流れ場は上向きに吹き上がると推察される。

## 5. 結言

本論文では、パンタグラフの揚力が小さい場合にこれを増加させるための揚力増加装置を提案した。揚力増加装置は、既存のパンタグラフの天井管と呼ばれる部材の断面形状を一部のみ円形から四角形へと変更する簡易なものである。風洞試験を実施したところ、揚力増加装置によって、対象とするパンタグラフの揚力を、なびき・反なびきのどちらの場合でも効果的に増加させることが可能であることを確認した。また、ピトー管による舟体・天井管周りの流速分布測定を実施し、揚力増加メカニズムの推察を試みた。流速分布より、揚力増加装置を取り付けることによって、下流側舟体周りは吹き上がりの流れとなること、および下流側舟体の下側の流速が減少することなどによって揚力が発生していることを明らかにした。なお、下枠交差型のパ

ンタグラフに対しても同様の揚力増加装置を取り付けた揚力調査試験を実施しており、その有効性を確認している。また、天井管下部に小板の取り付けも揚力を増加させる上で有効であることを風洞試験にて確認している。天井管の全長に対する断面形状を変更する割合や断面積によって揚力への影響が異なることが予想されるため、これらの揚力への影響調査や各種パンタグラフへの有効性および揚力増加のための装置の形状の検討などについて今後調査を行う予定である。

## 参 考 文 献

- 1) 網干光雄, 清水政利, 吉行秀春: 在来線パンタグラフの空力特性, 鉄道総研報告, Vol.6, No.9, pp.25-32, 1992.
- 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.
- 3) 日本流体力学会編: 流体力学ハンドブック, pp.231-234, 丸善株式会社, 1987.