

S8-4-5 風洞試験におけるパンタグラフ揚力の新しい測定法の開発

[機] ○末 木 健 之 ((財) 鉄道総合技術研究所)

[機] 池 田 充 ((財) 鉄道総合技術研究所)

Development of new measuring method of pantograph aerodynamic upward force in wind tunnel test

Takeshi SUEKI, Mitsuru IKEDA (Railway Technical Research Institute)

Aerodynamic upward force acting on a pantograph has been evaluated by measuring the tension in a wire that fixed the pantograph head in a wind tunnel test. However, a flow is varied by the effect of a jig of the wire; pantograph aerodynamic upward force is varied accordingly in some occasions. In addition, when exact aerodynamic noise of the pantograph needs to be measured in the wind tunnel test, the wire that generates a noise has to be removed. It was therefore difficult to measure simultaneously the pantograph aerodynamic upward force and aerodynamic noise. This report describes a new method developed for solving these problems to measure simultaneously the pantograph aerodynamic upward force and aerodynamic noise without the wire.

キーワード：パンタグラフ、風洞試験、揚力、空力音

Keyword: pantograph, wind tunnel test, aerodynamic upward force, aerodynamic noise

1. はじめに

風洞試験でパンタグラフ揚力を測定するには、ワイヤでパンタグラフを中腰姿勢にする必要があるが、ワイヤ取付用治具等の影響により流れが変わり、パンタグラフ揚力が変化してしまう場合がある。また、風洞試験でパンタグラフの空力音を測定する場合には、ワイヤから発生する騒音の影響を受けるため、騒音を正しく測定するためにはワイヤを取り外して測定する必要がある。そのため、パンタグラフ揚力と空力音の同時測定は困難であった。そこで、これらの問題を解決するために、ワイヤを使用せずにパンタグラフ揚力を測定し、空力音も同時に測ることが出来る方法を開発したので報告する。

なお、ここで言うパンタグラフ揚力とは、パンタグラフに作用する鉛直方向の空気力の総和ではなく、空気力が作用する事によって発生するパンタグラフの接触力の増加分（または減少分）に等しい力のことを言う。

2. パンタグラフ揚力測定方法

図1にワイヤを使用した従来のパンタグラフ揚力測定方法（以下、ワイヤ方式）の概略を示す。ワイヤで頂点カバーとロードセルを結び、空気力が作用している状態でワイヤの張力を測定することによってパンタグラフ揚力が得られる。

ワイヤ方式に対し、今回開発したワイヤを使用せずに測定する方法（以下、新方式）では、パンタグラフの主軸に作用するモーメントを利用して測定する。図2に新方式の概略を示す。新方式では、パンタグラフの主軸をロードセ

ル付きの治具で台枠に固定する。パンタグラフに空気力が作用すると主軸のモーメントが変化し、治具へ伝わる力も変化する。その治具にかかる力をロードセルで測定することでパンタグラフ揚力が得られる。

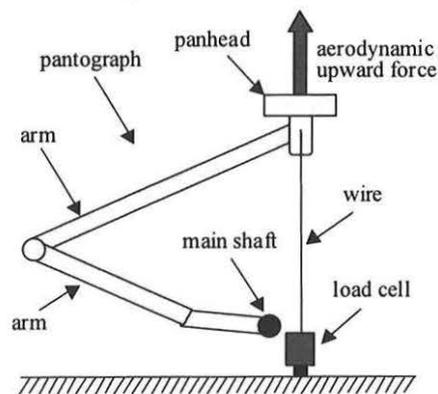


Fig.1 Outline of wire method

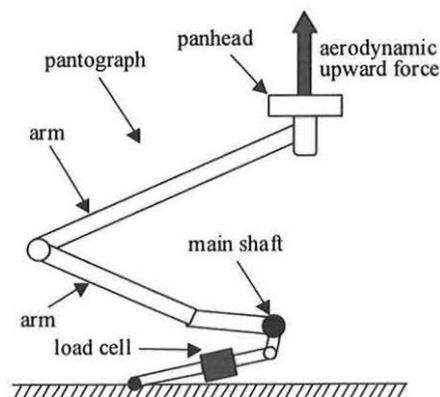


Fig.2 Outline of new method

3. 出力の直線性

パンタグラフ揚力を測定する際には、ロードセルから得られた出力（電圧）に校正係数を乗じてパンタグラフ揚力を得ている。この校正係数が荷重に対して非線形であると複雑な演算が必要になるため、線形であることが望ましい。

パンタグラフが標準作用高さの状態において、舟体中央位置（レール方向にも枕木方向にも中央の位置）に錘を載せ、その時のロードセルの出力電圧を測定した。図3にその結果を示す。図3より、荷重に対し出力電圧は線形であることを確認できた。

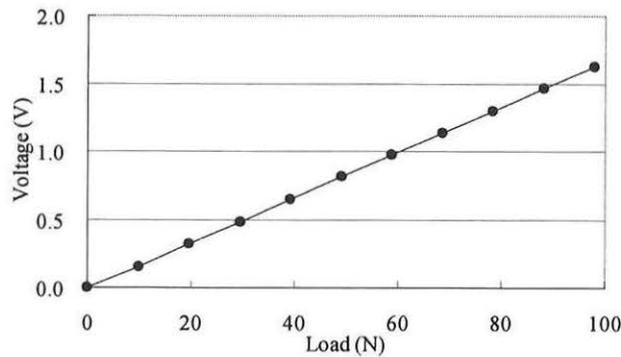


Fig.3 Output voltage

4. 周波数特性

パンタグラフ揚力を測定する際には、変動成分の測定精度も重要となる。実際のパンタグラフ揚力とロードセルが検出するパンタグラフ揚力の間で大きく周波数特性が異なると、変動成分の評価が正しく出来ない。そこで、パンタグラフを加振し、周波数特性を求めた。入力は舟体へ与えた加振力、出力は測定されたパンタグラフ揚力とし、入力波形は200Hzの擬似ランダム波を用いた。また、測定は標準作用高さで行った。測定結果を図4に示す。

ワイヤ方式の場合、3Hz 付近までは周波数特性は概ね良好であるが、6Hz 付近にピークを持つ。これは、ワイヤの剛性や舟体および枠の質量から決まる固有振動数である。また、10Hz 付近より高い周波数では徐々にゲインが小さくなっている。これは、周波数が高くなるとワイヤを介すことで振動が絶縁され、舟体の振動がロードセルに伝わらなくなるためである。

新方式の場合、3Hz 付近までは周波数特性は概ね良好であるが、4.5Hz 付近でピークを持つ。これは、パンタグラフの主軸を固定した状態で枠自身が持つ固有振動数である。また、18Hz 付近より高い周波数では急激にゲインが小さくなる。これは、周波数が高くなると枠等により振動が絶縁され、舟体の振動がロードセルに伝わらなくなるためである。これらの結果より、新方式では平均値と 3Hz 程度までの変動成分が評価可能であることがわかった。

5. 慣性力補正

新方式では平均値と 3Hz 程度までの変動成分が評価可能であることを §4 で示したが、3Hz より高い周波数の変動成分は正しく評価出来ないということになる。特に 4.5Hz 付近の固有振動数成分は測定結果に悪影響を及ぼす。そこで、舟体の加速度を測定し、慣性力補正を行うことでパンタグラフ揚力の測定精度を高くする。これは、パンタグラフの接触力測定で用いられている手法でもある^[1]。

枠が固有振動数で振動をしている時（すなわち自由振動時）、枠と舟体が剛に結合されている状態では、舟体も同じ振動数で運動をする。この時の慣性力がロードセルの出力に影響を与えるため、4.5Hz 付近の周波数特性が悪化している。

この慣性力を舟体の加速度から推定し、式 (1) よりパンタグラフ揚力を補正することが出来る。

$$F_L = F - m\ddot{z} \quad (1)$$

なお、真のパンタグラフ揚力を F_L 、ロードセルで測定された力を F 、等価質量を m 、舟体の上下方向加速度を \ddot{z} としている。等価質量 m は振動系の等価的な質量であり、慣性力が補正できるように等価質量 m を決定する。今回、求め

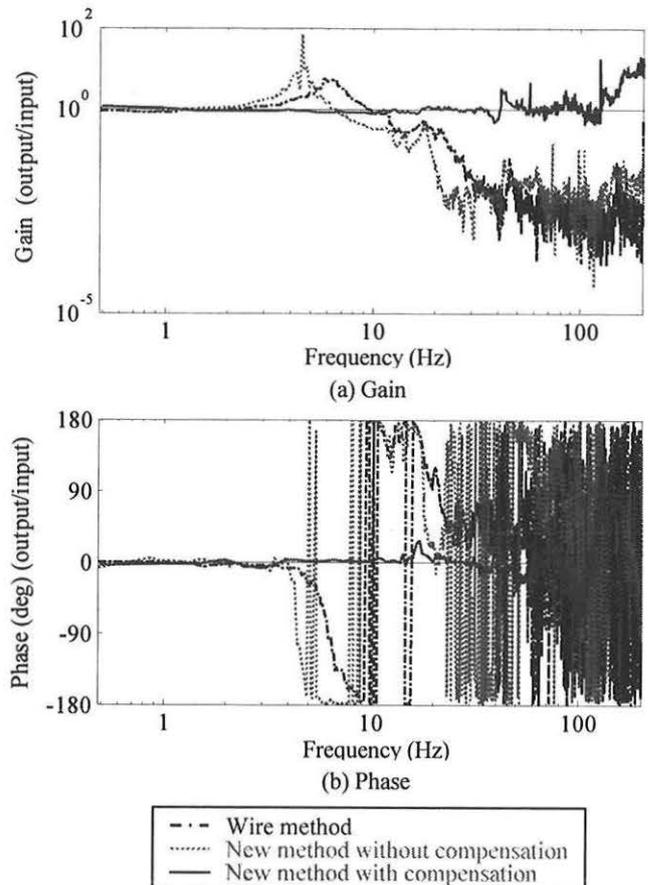


Fig.4 Frequency characteristics

られた等価質量は $m=18.6\text{kg}$ である。

この等価質量を用いて、パンタグラフ揚力を慣性力で補正した周波数特性の結果を図4に示す。図4より固有振動数のピークは無くなっていることがわかる。また、固有振動数だけでなく、同時に40Hzまで周波数特性が改善されていることがわかる。

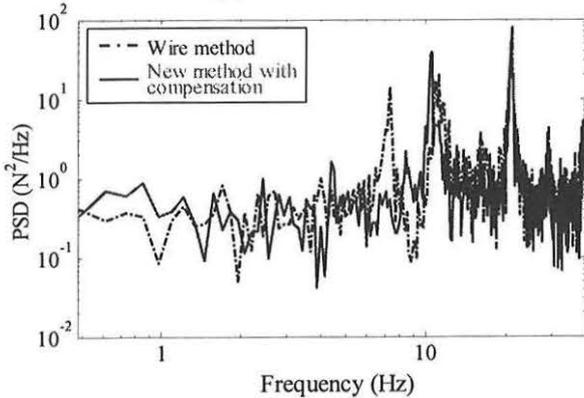
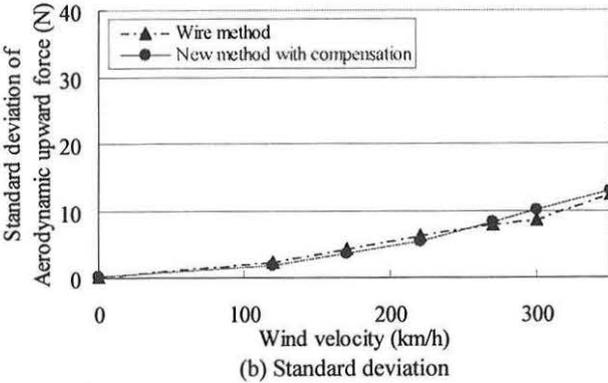
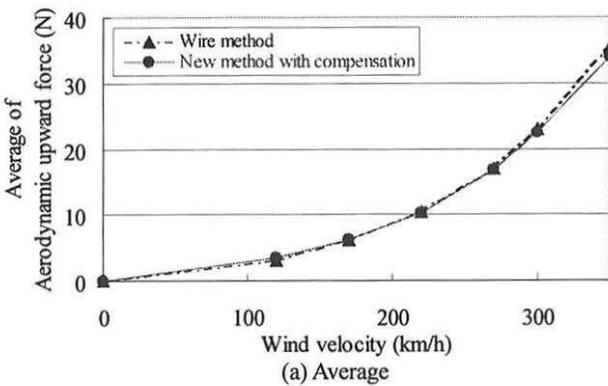
6. 風洞試験

6.1 パンタグラフ揚力

新幹線用シングルアームパンタグラフを対象として風洞試験を行い、パンタグラフ揚力を測定した。風洞試験は鉄

道総研の所有する大型低騒音風洞(米原風洞)にて行った。測定は標準作用高さで行い、進行方向によって特性が異なるシングルアームパンタグラフであるため、なびき(紙面左側を進行方向として「<」)、反なびき(紙面左側を進行方向として「>」)両方で行った。パンタグラフ揚力を慣性力補正する際には、測定した加速度に0.5Hz~40Hzのバンドパスフィルタをかけた上で補正を行った。

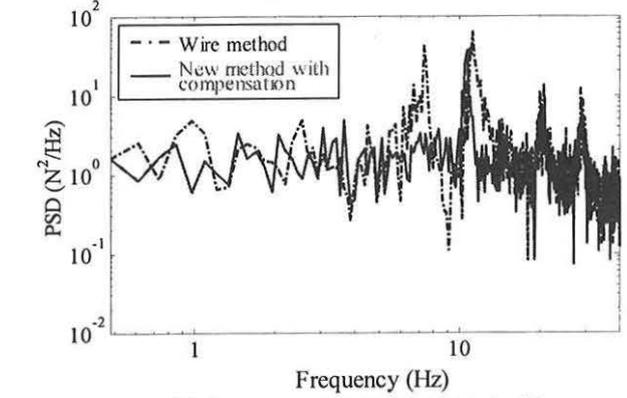
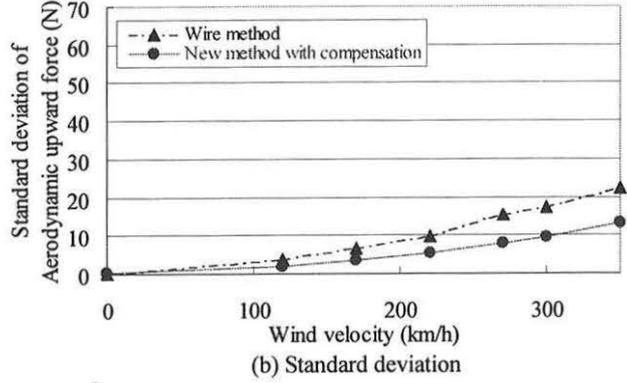
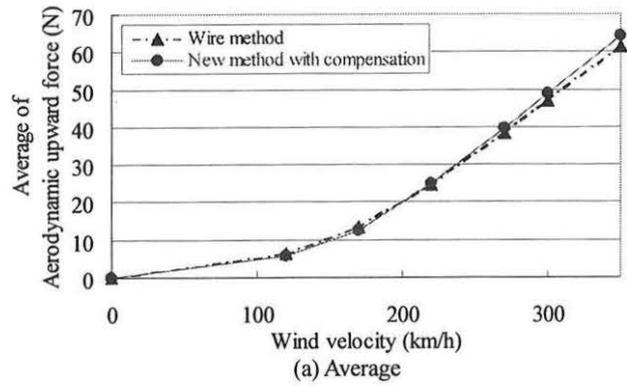
図5になびきの結果を、図6に反なびきの結果を示す。これらはワイヤ方式と慣性力補正を行った新方式(以下、本項で述べる新方式とは、慣性力補正を行った新方式を意味する)の結果である。また、周波数分析結果(図5(c)、図6(c))は風速300km/hの結果である。



(c) Frequency analysis result (300km/h)

Fig.5 Wind tunnel test result

(aerodynamic upward force: knuckle-downward)



(c) Frequency analysis result (300km/h)

Fig.6 Wind tunnel test result

(aerodynamic upward force: knuckle-upward)

測定結果より、パンタグラフ揚力の平均値はなびき、反なびきともワイヤ方式と新方式で良く一致しており、平均値については、問題がないことが確認できる。標準偏差については、なびきでは新方式の方がワイヤ方式より概ね小さく、反なびきでは新方式がワイヤ方式の半分程度となっている。

周波数分析結果をみると、ワイヤ方式の場合は6Hz付近にパンタグラフ揚力のピークが認められるが、新方式の場合はそのピークは観測されていない。この6Hz付近のピークは、図4に示したワイヤ方式の場合に現れるゲインのピークと同じ周波数である。したがって、実際には6Hz付近の揚力変動のピークは存在しないと考えられる。一方、他の周波数(11Hz 付近等)に見られる揚力変動のピークはワイヤ方式、新方式のどちらの測定結果にも現れている。

これらの結果から、ワイヤ方式に比べ、新方式の方がパンタグラフ揚力の標準偏差が小さくなる理由として、6Hz付近の揚力変動をワイヤ方式では過大評価している点が挙げられる。したがって、新方式ではより正しいパンタグラフ揚力を測定出来ていると考えられる。ただし、反なびきの場合に新方式の方がワイヤ方式に比べ標準偏差が顕著に小さくなる理由や、なびきの場合に一部の風速で新方式の方がワイヤ方式より標準偏差が大きくなる理由は現段階で不明であり、今後検討を進めたい。

6.2 空力音

パンタグラフ揚力と同時にパンタグラフから発生する空力音を、ワイヤ方式、新方式それぞれについて測定した。ワイヤ方式、新方式に加え、パンタグラフの主軸に設置されているストッパでパンタグラフの姿勢を固定させる方法(以下、ストッパ方式)でも測定した。なお、このストッパ方式は従来よりパンタグラフの空力音のみを風洞試験で測定する際に用いられている方法である。空力音は、無指向性マイクロホン舟体上面と同じ高さで、舟体中心から枕木方向へ5m離れた位置に設置して測定した。測定は標準作用高さで行い、なびき、反なびき両方で行った。

なびきの測定結果を図7に、反なびきの測定結果を図8に示す。図7、図8に示す結果は、1/3オクターブバンド分析を行い、聴感補正Aを施したものである。また、この結果は300km/hの時の測定結果である。

測定結果より、ワイヤ方式では12.5kHz付近にワイヤから発生する顕著なエオルス音が観測されるが、新方式ではワイヤを使用していないためにこの音は発生せず、ストッパ方式で測定した結果とほとんど差異が見られない。このように、新方式では空力音測定も問題なく出来ることが確認できる。

7. まとめ

パンタグラフの風洞試験において、ワイヤを使用しないことで流れに影響を及ぼさずにパンタグラフ揚力を測定し、かつ、同時に空力音を測定することが出来る方法を提

案した。加振試験および風洞試験の結果から、パンタグラフ揚力と空力音測定が問題なく出来ることが確認できた。

参考文献

- [1] 池田, 架線・パンタグラフ間の接触力測定手法に関する研究(第1報, パンタグラフの慣性力評価方法の改善による接触力測定可能周波数範囲の拡大), 日本機械学会論文集2004年6月号(第70巻第694号)C編, pp1636-1643, 2004

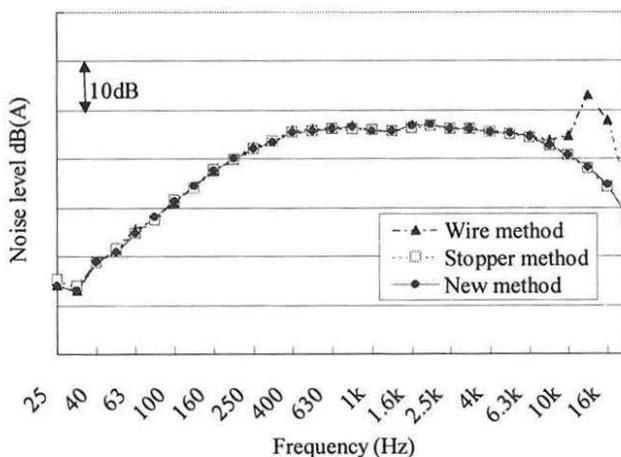


Fig.7 Wind tunnel test result
(Noise level at 300km/h: knuckle-downward)

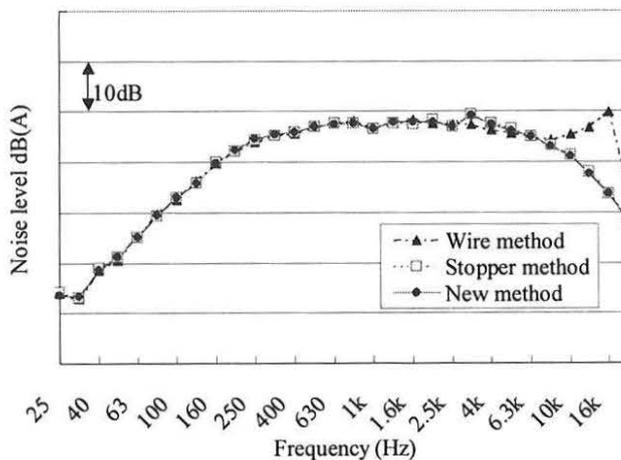


Fig.8 Wind tunnel test result
(Noise level at 300km/h: knuckle-upward)