

パンタグラフ接触力測定

池田 充 (鉄道力学研究部 集電力学 研究室長)

はじめに

電気鉄道の多くは、架空電車線(架線)とパンタグラフとの機械的接触によって電気回路を構成し、鉄道沿線にある変電所から車両へと電気エネルギーを伝送しています。これを集電といいます。何らかの理由で架線とパンタグラフとの間の機械的接触が維持できなくなる状態、すなわち離線が発生すると、架線とパンタグラフとの間の電気エネルギー伝送はアークを媒介するようになり、架線、パンタグラフ双方の摺動材料にダメージを与えるなど種々の問題を引き起こします。さらに、一時的であれアークさえ維持できない状態に至ると、車両へのエネルギー供給が断続的に断たれることとなり、正常な列車運行に支障が生じる事態になります。

このように、電気鉄道の安定した運行には、架線とパンタグラフとの機械的接触を維持することが重要です。そこで、この機械的接触を何らかの方法で評価することが古くより行われてきました。本稿の主題であるパンタグラフ接触力測定は、まさにそのための技術です。ここでは、その具体的方法について、簡単に触れてみたいと思います。

集電性能評価手法としてのパンタグラフ接触力測定

架線とパンタグラフとの接触状況を評価する手法には、大きく2つの流れがあります。一つはここで紹介する接触力測定、すなわち架線とパンタグラフとの間に作用する力を直接測定する方法です。この方法は、ドイツを中心とする国々で古くより使われてきました。

一方、日本やフランスでは、接触力ではなく、離線率(基準時間内において離線が発生している割合)を評価する方法が主に用いられてきました。上述のように、離線の発生は種々の問題を誘起しますので、離線率によって集電性能を評価することは合理的ですし、計測が比較的容易なこと

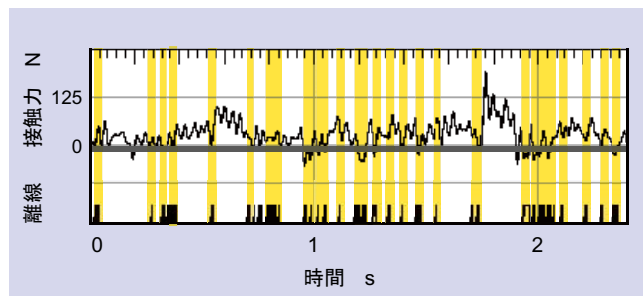


図1 接触力波形と離線検出波形

もあって、現在でも日本ではよく用いられています。

この2つの測定法により得られる波形を図1に示します。両者を比較すると、接触力による評価の方がはるかに多くの情報量を含んでいることがわかります。接触力が一定値よりも低ければ機械的な離線が発生したことがわかります。逆に、接触力が局所的に大きくなっていけば、架線を大きく押し上げたり、あるいは架線に大きな応力を生じさせている可能性があることがわかります。このように、接触力による評価の方がよりキメの細かい評価方法であるといえます。さらに最近では、接触力波形から架線の架設状態を推定するための研究が世界各国で進められています。このように、パンタグラフの接触力測定は架線・パンタグラフ系に関わる基本技術であるといえます。

パンタグラフ接触力の測定原理

パンタグラフ接触力の測定は、架線と接触している舟体を弾性支持しているばねの作用力、あるいは舟体の応力を計測することが基本ですが、実際には多種多様なパンタグラフの構造に合わせて測定方法を選択します。ただし、センサ取付によってパンタグラフの動特性に大きな影響を与えないようにする必要がありますので、ロードセルのような大型のセンサを使用することは難しく、通常はひずみ

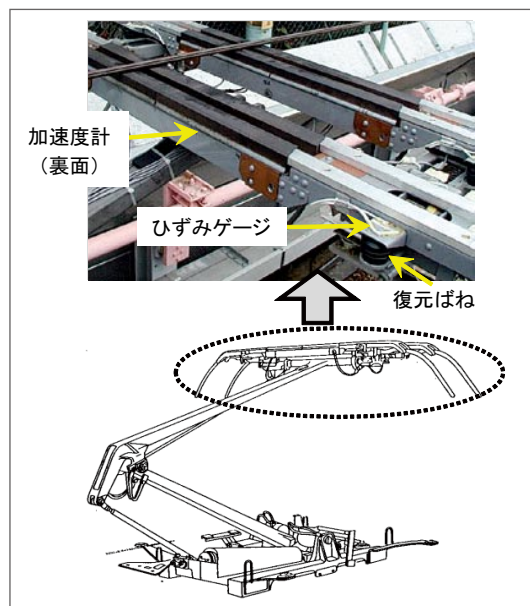


図2 接触力測定用センサ取付例 (在来線用シングルアームパンタグラフ)

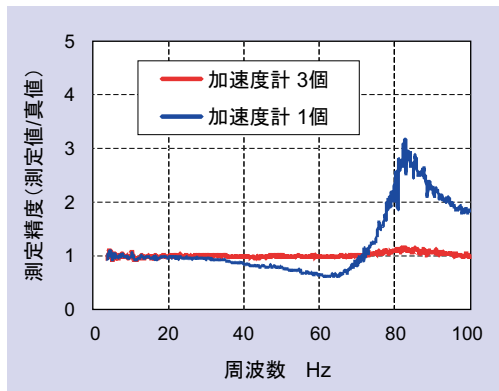


図3 接触力測定精度の周波数特性

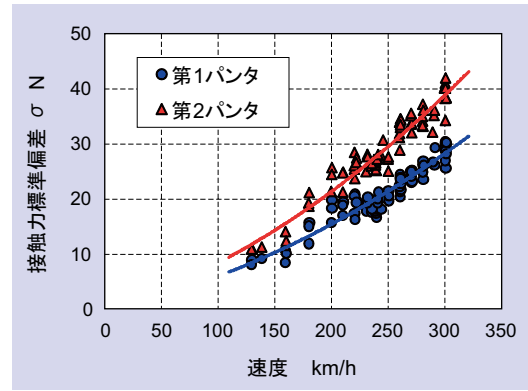


図4 接触力変動の速度特性

ゲージなど軽量小型のセンサを使用します。また、最近では画像処理によりばねの作用力を計測することも可能になりつつあります。図2は在来線用シングルアームパンタグラフの接触力測定の実例です。復元ばねのばね受け部の応力をひずみゲージにより計測し、復元ばねからの反力を計測しています。

ただし、周波数が高くなると舟体の慣性力の影響が大きくなってきます。そこで、図2に示すように舟体中央の上下加速度を加速度計によって計測し、これに舟体の質量を乗じて慣性力を算出します。接触力に舟体の慣性力を加えたものが、舟体を支持するばねの作用力と釣り合いますので、慣性力を求めることによって接触力をより正しく評価することが可能になります。海外で行われている接触力測定方法もこの考え方がベースとなっています。

接触力の測定精度向上

前節で述べた方法をそのまま踏襲しても、接触力が正しく測定できる周波数範囲は20～40Hz以下の低い周波数領域に限定されます。その理由は舟体の慣性力の評価方法にあります。

低い周波数領域では、舟体は剛体としてふるまいます。したがって、その回転変位を無視できる場合には、舟体の加速度はどこで測定しても同じ波形となります。しかし、周波数が高くなると、舟体の弾性振動の影響が強くなるため、その加速度は舟体のどこで評価するのかによって大きく異なります。つまり、舟体が連続体であることを前提にしないと、その慣性力を正しく評価できません。しかしながら、連続体の慣性力を求めようとすると、加速度センサを連続配置しなくてはならず、現実的ではありません。

そこで、弾性体の振動が振動モードの重ね合わせで表現できること、着目する周波数領域よりも高い周波数に固有振動数をもつ振動モードは無視しても大きな誤差とはなら

ないこと、などの弾性振動の性質を利用し、測定したい周波数範囲内で支配的となる振動モードの数をあらかじめ見積もっておき、その数と同数以上の加速度計を舟体に配置することによって慣性力をより精度よく見積もる方法を考案しました。この方法により、接触力を精度よく測定可能な周波数範囲を大きく拡大できるようになりました(図3)。

この測定方法によって、接触力変動の速度依存性を測定した例を図4に示します。高速になるほど接触力変動が増加する様子や、後続パンタグラフほど接触力変動が大きいことなどがよくわかります。

今後の課題

接触力の測定方法にはまだ課題が残されています。それは、空気力の取り扱いです。新幹線のように高速領域で使用されるパンタグラフには、無視できない大きさの空気力が作用し、接触力にも大きな影響を与えます。ところが、舟体に作用する空気力と、その空気力による接触力の増分とがちょうど逆向きの力となるため、舟体を支持するばねの荷重を測定する方法では、この両者の力がお互いに相殺して測定波形に全く現れません。

そのため、現在は舟体に作用する空気力(揚力)の速度特性を風洞試験によってあらかじめ調べておき、列車速度に応じてこの空気力を補正しています。ただし、すり板の摩耗進行にともなって舟体の空気力が変化する場合がありますので、接触力を測定するパンタグラフに対しては、すり板がほぼ新品とみなせる状態に保守する、などの配慮が要求されます。空気力は等分布荷重であり、その一方で接触力に含まれる空気力の反力は集中荷重であることを利用して、舟体の空気力を推定する方法も考案していますが、全ての形式のパンタグラフに対して適用することはできません。どんな形式のパンタグラフにも適用可能な空気力補正方法の確立は今後の課題です。