

パンタグラフ接触力測定 of 電車線保守への適用検討

電力技術研究部 電車線構造
研究室長 久須美 俊一

1 はじめに

電車線で最も重要な部位であるトロリ線はパンタグラフと直接接触するため、その架設状態は接触性能に大きな影響を与える。パンタグラフがトロリ線をしゅう動すると、両者の間に作用する接触力は変動する。接触力の大きな変動は安定した集電を阻害するため、接触力を測定、評価することは、集電の品質を把握するために非常に重要なことである。さらに接触力波形は電車線の架設状態の影響を強く受けているので、測定した接触力波形から電車線の状態監視が可能であると考えられる。本発表では、接触力波形の特徴や電車線の状態診断への応用に関する最近の研究について紹介する。

2 接触力の測定原理

トロリ線と接触するパンタグラフの舟体には、図 1 に示すように舟体の下部から作用する内力（押上力と枠の揚力）、舟体の慣性力と揚力、そして接触力が作用し、これらがつり合って運動する。従って、接触力を得るには内力および舟体の慣性力と揚力を測定する必要がある。図 1 の新幹線で使用されているパンタグラフでは、内力を舟支え内にある復元ばねに貼り付けたひずみゲージで測定し、また慣性力は舟体の弾性振動を考慮して複数個の加速度計を舟体内部に取り付けて測定し、それらに舟体の等価質量を乗じて求める。図 2 の在来線パンタグラフの例では、舟体の 4 箇所のばね支えにひずみゲージを貼って内力を測定し、また慣性力に必要な加速度は舟体の裏側に加速度計を取り付けて測定する。しかし、舟体に作用する揚力は簡単に測定できないので、風洞試験や現車試験等によりあらかじめ揚力の速度特性を求めておき、走行速度から揚力を推定している。

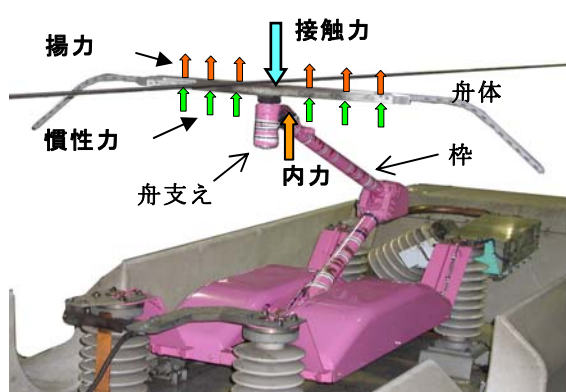


図 1 パンタグラフに作用する力

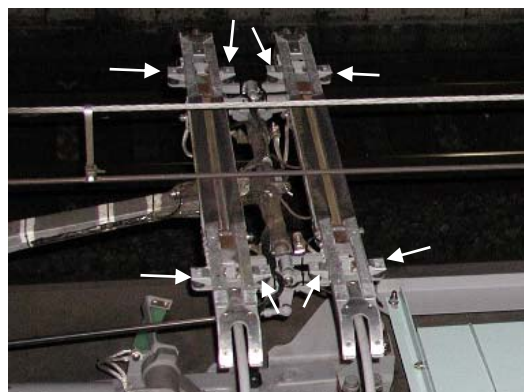


図 2 在来線パンタグラフの内力測定位置

3 接触力波形の特徴

走行中の接触力は、パンタグラフの定常押上力（静押上力と揚力を加えた力）を中心に変動す

る。この変動は、図 3 に示すように電柱間隔（約 50m）やハンガ間隔（約 5m）、あるいはトロリ線摩耗凹凸等、電車線状態の様々な影響を受ける⁽¹⁾。また、接触力の変動振幅は一般に速度とともに増加するため、最大値は次第に大きくなる。一方、最小接触力は小さくなり、それがゼロになるといわれる離線となる。接触力は基本的にこのような変動をしているが、これ以外に著大な値が発生することがある。これはトロリ線の設備高さが急変するような場所で発生することが多く、後述するオーバーラップや過大なトロリ線勾配変化箇所はその代表的な例である。

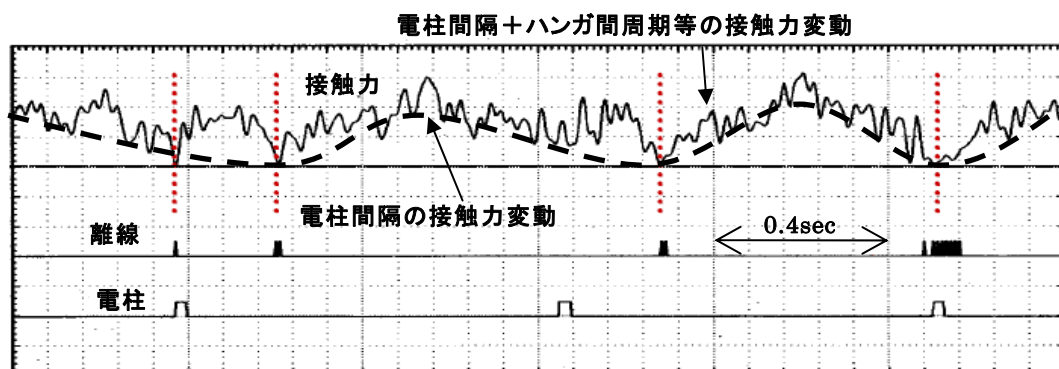


図 3 接触力波形の実測例

4 トロリ線摩耗と接触力

接触する 2 つの物体は図 4 のようにごく微小な凹凸の凸部で接触し、その凸部は接触力に応じて変形する。このような概念を真実接触と言う。そしてこの真実接触部で 2 つの物体がくっつくことが凝着である。この凝着をずらしてちぎる(せん断する)ことが摩擦であり、それに伴う表面損耗を原因とする摩耗を凝着摩耗と言う。凝着摩耗は接触力が大きいほど真実接触部、すなわちせん断部分が増大するので摩耗量も多くなる。このように、摩耗と接触力には密接な関係があり、高速で走行し、接触力も大きくなりやすい新幹線の摩耗要因はこの凝着摩耗が多くを占めると考えられる。

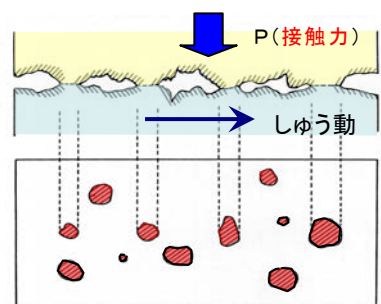


図 4 固体の接触に伴う真実接触部の形成

5 オーバーラップにおけるトロリ線局部摩耗

オーバーラップでは電車線高さ構成の良否によりパンタグラフ移行時の接触力が大きく異なる。現車試験の結果、よい構成と考えられるオーバーラップではトロリ線に局部摩耗は見られず、240km/h での接触力は 100N、340km/h でも 200N 程度であった。一方、悪い構成と考えられるオーバーラップでは局部摩耗が発生しており、接触力も 240km/h で 150N、340km/h では 400N まで増加していた。

そこでいくつかのオーバーラップについて、移行時の接触力とトロリ線面積摩耗率を調査した。これを図 5(a)に示す。接触力と摩耗率は相関が認められるため、この関係を使って接触力とトロリ線張替までの年数を検討してみる。接触力は上述した値を参考に、①100N、②200N、③400N とする。これらの接触力について面積摩耗率はそれぞれ $0.1\text{mm}^2/\text{万パンタ}$ 、 $0.3\text{mm}^2/\text{万パンタ}$ 、 $0.8\text{mm}^2/\text{万パンタ}$ となる。この面積摩耗率を用いて 1 年間に 9 万回パンタグラフが通過すると仮定し、トロリ線摩耗の経年変化を計算したのが図 5(b)である。いま、トロリ線の張替基準を

12.5mm とした場合、摩耗率が 0.1 mm²/万パンタでは 10 年以上、0.3 mm²/万パンタでは 9 年使用できるが、摩耗率が 0.8 mm²/万パンタでは 3 年しか使用できない。

このように、トロリ線を 9～10 年程度使用するためには、面積摩耗率を 0.3 mm²/万パンタ程度にしておかなければならない。この摩耗率を維持するためには、移行時の接触力を 200N 程度にしておく必要がある。したがって、接触力を測定して 200N を越えるようなオーバーラップがあった場合、そのトロリ線は 10 年持たないことが予想されるため、構成が適正かどうかを確認する必要があると考えられる。

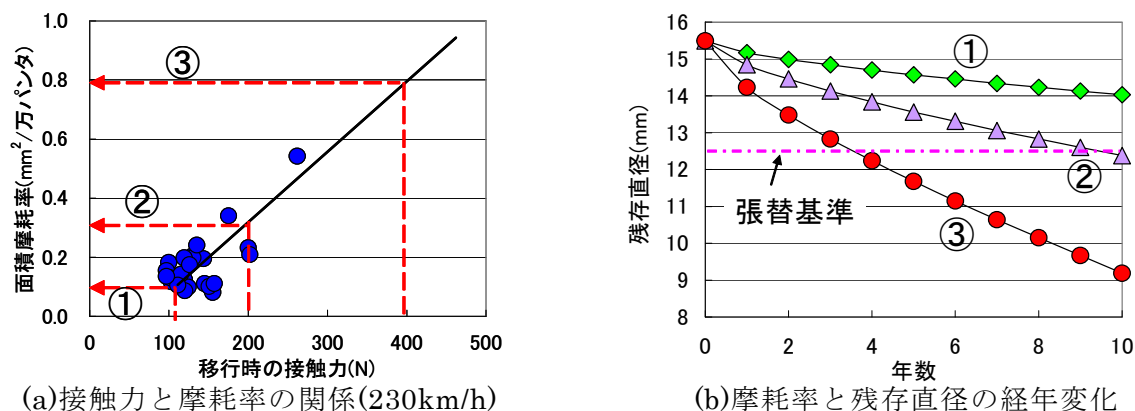


図 5 オーバーラップ通過時の接触力とトロリ線摩耗

6 一般区間のトロリ線局部摩耗

新幹線の局部摩耗はオーバーラップで発生しやすい傾向があるが、図 6 のように一般区間でも発生している。同図には 4 箇所にトロリ線局部摩耗が見られるが、そこで発生している接触力は、A～C と D で異なる。A～C における接触力は大きな変動は見られないが、D では 200N 以上の接触力が発生している。このことは A～C と D の局部摩耗発生要因が異なることを示唆している。ここで偏位に注目すると、A～C は偏位が大きくなっている。トロリ線摩耗率は、偏位が 150mm を超えると高くなる傾向があることがわかっている。これは、偏位の大きな箇所ではすり板がトロリ線としゅう動する割合が少なく、すり板温度が上昇しにくいいためそのすり板に含まれている潤滑成分がトロリ線に付着しにくいことが原因と考えられている。一方、D は偏位がほぼ 0mm なので潤滑の問題は考えにくく、むしろ著大接触力によるトロリ線摩耗と考えられる。図 6 には現地で測定したトロリ線静高さも示しているが、詳細を見ると D ではトロリ線勾配が急変している。

一般区間におけるトロリ線の勾配変化(静高さ曲率)と接触力の関係を図 7 に示す。ここで示すトロリ線静高さ曲率とは、図 8 に示すように隣接する 3 本のハンガの静高さから次式で求めている。

$$c_i = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{h_s^2}$$

ここで、 c_i は i 番目のハンガ点トロリ線静高さ曲率、 y_i 、 y_{i-1} 、 y_{i+1} は i 番目ハンガとそれに隣接するハンガ点トロリ線静高さ、 h_s はハンガ間隔である。

図 7 はトロリ線勾配が上りから下りに変化している箇所では、曲率がマイナスに大きくなるほど、つまりトロリ線勾配変化が大きいほど接触力は大きくなっている。逆にトロリ線勾配が下りから上りに変化する箇所では、曲率が大きいほど離線時間が長くなることもわかっている⁽²⁾。

図 6 の D では曲率が $-1.6 \times 10^{-3} \text{m}^{-1}$ と非常に大きくなっていた。この区間を速度向上するとさらに接触力が大きくなり、局部摩耗の進行速度が高くなる可能性がある。このように、高速区間ではトロリ線勾配変化が接触力変動に与える影響が大きくなるので、注意が必要である。

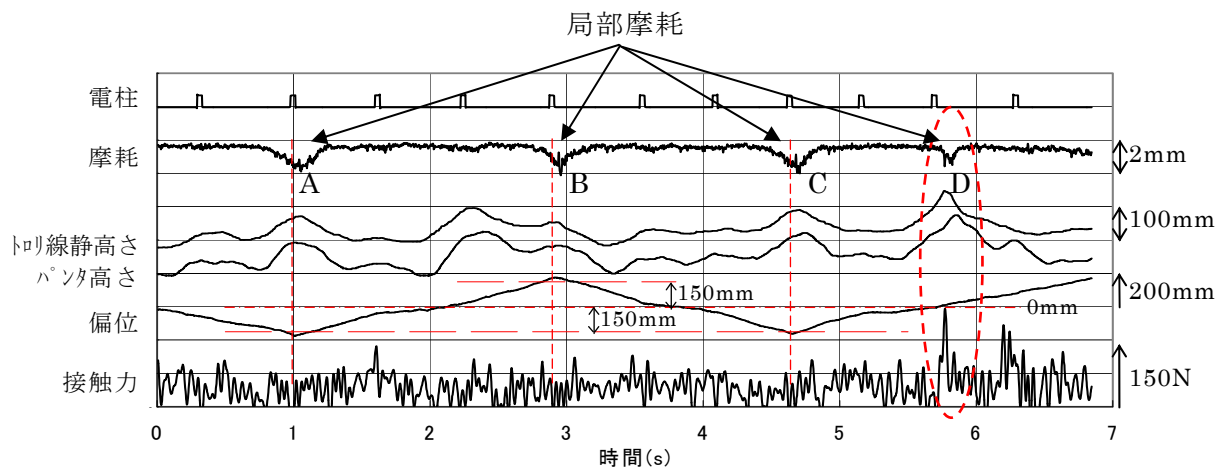


図 6 トロリ線局部摩耗と接触力の一例(接触力は 240km/h のデータ)

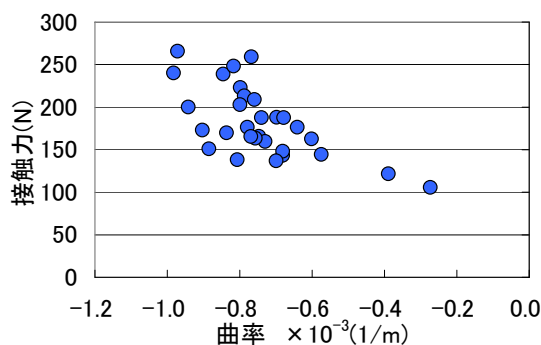


図 7 トロリ線静高さ曲率と接触力(300km/h)

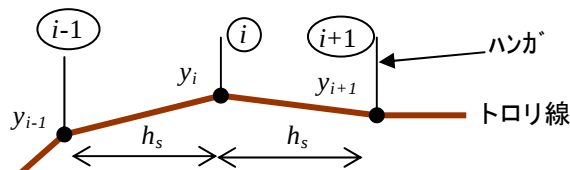


図 8 トロリ線静高さ曲率の観測点

7 あとがき

これまで紹介したように、トロリ線とパンタグラフ間の接触力は電車線の架設状態により大きく変動する。特に 300km/h を超えるような速度域ではその傾向が顕著になり、現行速度では見られなかった局部摩耗が発生する可能性がある。

現在、鉄道総研では 300km/h 超域でも局部摩耗や著大ひずみが発生しにくい架線・パンタグラフ系を構築するため、接触力の評価方法や架設基準、トロリ線静高さ不整が小さくなる支持構造等を検討している。これが実用化されると、離線や局部摩耗の少ない安定した集電が可能になり、メンテナンスコストも削減できると考えている。この目標に向け、今後もさらに研究を続けていく所存である。

参考文献

- (1) 真鍋克士，網干光雄：架線の波動伝播特性と集電性能改善手法の研究，RRR，Vol.56，No.3，pp18-21，1999.3
- (2) 久須美俊一，福谷隆宏，根津一嘉：パンタグラフ接触力波形の特徴と電車線診断への適用，鉄道総研報告，Vol.9，No.7，pp17～22，2005.7