

# トロリ線の摩耗を予測する

臼田 隆之  
鉄道力学研究部(集電力学 主任研究員)



うすだ たかゆき

## はじめに

鉄道は技術的に様々な境界領域を含んでいます。架線・パンタグラフ間の相互作用もその一つです。しゅう動しながら集電するという特殊な要求に応えるため、パンタグラフ側では接触性能を高めるために軽量化などの対策がとられ、架線側でも波動伝搬速度を上げるために、架線の高張力化などの対策が施されています。これらの対策は安定した電力を車両に供給することが最も大きい目的ですが、すり板やトロリ線の摩耗進行を抑えるためでもあります。

電車線の保守においてはトロリ線の摩耗がトロリ線の寿命を決定づけていますから、摩耗管理や摩耗の抑制は非常に重要です。新幹線の場合は検測車により定期的にトロリ線の摩耗残存径(トロリ線の残りの厚み)を測定しており、摩耗進行の速い管理点ではマイクロメータなどでトロリ線の残存径を実測して管理しています。

このような保守作業の省力化やトロリ線の寿命延伸のために、鉄道総研ではトロリ線の摩耗予測に関する研究を進めています。将来のトロリ線の摩耗量が予測できれば張替計画を立てる上でも有用ですし、新線張替時点で摩耗進行の速い箇所が予測できれば、架線構成を摩耗が進行しにくい状態に調整することも可能になります。これまで、トロリ線摩耗の進行量を条件ごとに分類する摩耗マップについての研究などが所内試験装置を使用して行われていますが、しゅう動面の酸化被膜の生成や、複数パンタグラフが通過するといった営業線の条件を所内試験装置において模擬することは難しく、営業線に適用可能なトロリ線の摩耗予測モデルが求められていました。また、ニューラルネットワークと呼ばれる数学モデルの推定能力を利用してトロリ線・パンタグラフ間の接触力(以下、接触力と記す)から営業線のトロリ線の摩耗推定を行う研究も行われていますが、単一の摩耗形態の推定は可能でも、複数の異なる摩耗形態を推定可能なレベルには至っていません。

そこで、営業線において異なる形態のトロリ線摩耗が生

じている2箇所について、トロリ線摩耗に強い影響を与えていると予測される因子を直接取得して、トロリ線の摩耗予測モデルを構築する研究を進めていますので、その経過についてご紹介します。

## トロリ線の摩耗形態

従来、トロリ線の摩耗については、しゅう動摩擦などによって発生する「機械的摩耗」と、離線アークや通電によって発生する「電氣的摩耗」という分類で検討が進められてきました。トロリ線の摩耗を考える上では、これらの摩耗は本来単独で議論できるものではなく、機械的な要素と電氣的な要素が相互に関連していることが推測されます。また、一口に「機械的摩耗」といっても、条件によっていくつかの異なった摩耗形態をとることがわかっています。

一例として図1に凝着摩耗と呼ばれる摩耗形態のおおまかなメカニズムを示します<sup>1)</sup>。接触する金属同士の表面に

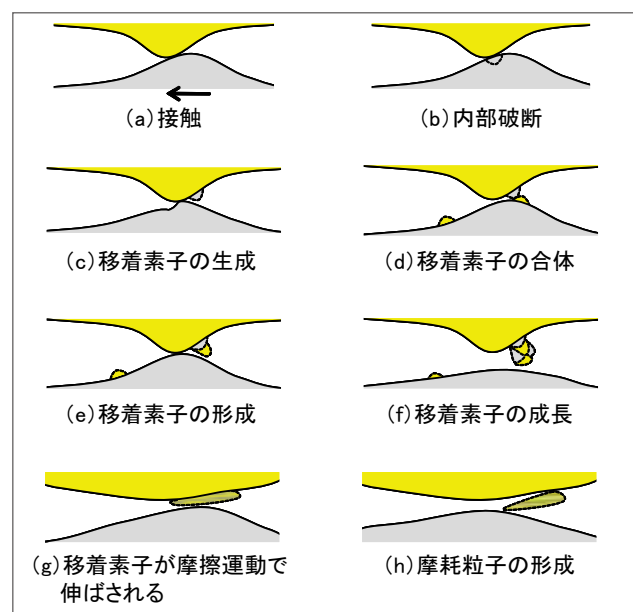


図1 凝着摩耗のメカニズム

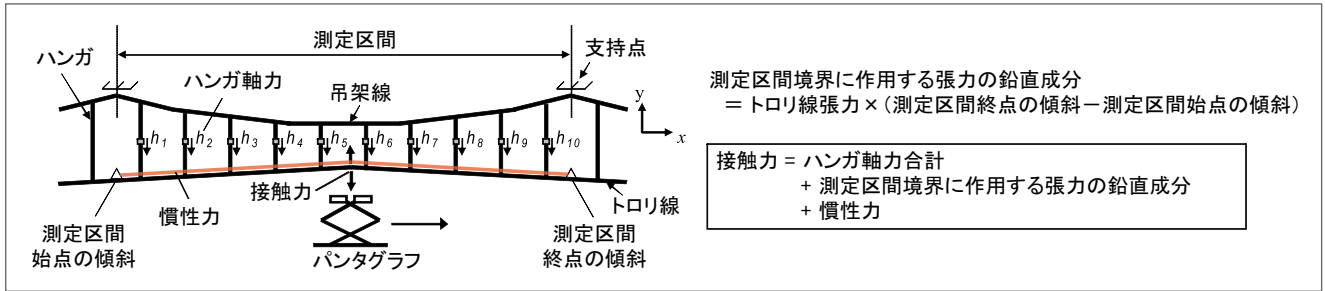


図2 接触力の測定原理(地上測定)

は実際には非常に微細な凹凸があります。そのため、実際の真実接触面積は非常に小さくなり、その接触部には高い圧力が作用することにより材料は降伏して凝着(真実接触点において金属同士が結合した状態)を生じます。この凝着箇所を切り離すためのせん断力をマクロにとらえたものが摩擦力に相当します(図1(a)～(c))。凝着した素子は摩擦面間において相互に移着(相手材に移る状態)を繰り返して次第に大きく成長し、やがて母材から剥離すると摩耗粉となります(図1(d)～(h))。

以上が凝着摩耗のメカニズムですが、摩耗現象についてはまだ未解明な点も少なくありません。また、複数のパンタグラフ(もしくは複数の舟体)が連続で通過する場合は前方のパンタグラフがアークを発生させてトロリ線表面を部分的に軟化させたり、アーク痕により表面粗さが大きくなった箇所を、後続のパンタグラフが機械的に削っていくなどという状況も起こりうるために更に現象は複雑になります。したがって、これら全ての要素を考慮してトロリ線摩耗を理論的に予測することは、現時点では困難です。そこで、トロリ線摩耗に強い影響を及ぼしていることが知られている接触力、離線アークおよび集電電流とトロリ線摩耗残存径を営業線において定期的に測定し、トロリ線摩耗予測モデルの検討を行うことにしました。

### 営業線でデータを集める

前章で述べた要因がトロリ線摩耗進行に与える影響を検討するため、新幹線営業線の特定の区間において通過するパンタグラフの接触力と離線アークを同時に測定する試験を実施しました。また、同区間においてトロリ線の摩耗残存径と集電電流の測定も行いました。まず、接触力の測定原理を図2に示します。測定区間のトロリ線に作用するパンタグラフの接触力は、測定区間の全ハンガに作用する軸力と、測定区間境界に作用する張力の鉛直成分と、測定区間のトロリ線に作用する慣性力の和として得られます。ここで、ハンガ軸力はハンガに取付けた歪ゲージによって測定し、測定区間境界に作用する張力の鉛直成分は測定区間両端のトロリ線の傾斜から計算し、慣性力はトロリ線に分布的に配置する加速度計から求めます。また、接触力測定の様子を図3に示します。一方、離線アーク測定は図4に示すように接触力測定区間の沿線に、離線アークに含まれる特定の波長の紫外線のみを検出する測定器を設置して実施しました。本測定器は特定の波長の紫外線のみを反射するミラーによって、離線アークに含まれる紫外線を受光素子へ送り、離線アークを検出します。太陽光にはほとんど含まれていない波長の紫外線を検知することで、日中でも離線アークの測定が可能です。また、接触力測定区間を挟んだ電区分所と変電所に図5のように測定器を設置して、

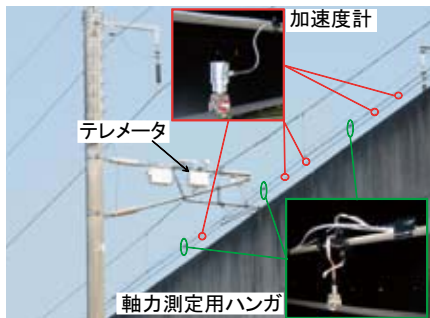


図3 現地試験の様子(接触力測定)



図4 現地試験の様子(離線アーク測定)



図5 現地試験の様子(集電電流測定)

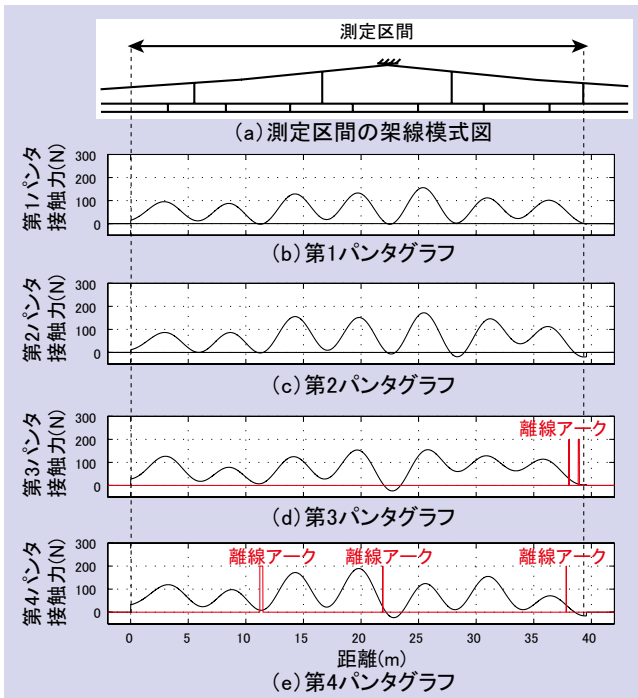


図6 接触力と離線アークの測定結果

通過列車の集電電流を測定しました。

図6に接触力と離線アークの測定結果の一例を示します。本図は238km/hでパンタグラフ4台が通過した際の測定結果です。図6(a)は測定区間の架線構造を示し、図6(b)～(e)はそれぞれ上から第1パンタグラフ～第4パンタグラフの接触力を示し、赤い線は紫外線検出式離線測定器による離線アークの測定結果です。接触力が0近傍の箇所において離線アークが発生しているケースが多いことから、接触力測定の妥当性が確認できます。ただし、接触力0近傍の箇所全てで離線アークが発生しない理由は、パンタグラフが2台ずつ高圧母線で接続されているためです。

### 営業線データからわかるトロリ線摩耗の傾向

前章で紹介した測定を、トロリ線の摩耗形態が異なる測定区間Aと測定区間Bの2箇所において継続的に実施しました。得られたデータからパンタグラフ接触力、離線アークとトロリ線摩耗残存径の比較を行った結果を図7と図8に示します。図7と図8の離線アーク発生確率と平均接触力は、それぞれ測定区間Aと測定区間Bにおける約1000台の通過パンタグラフの測定結果を集計したデータです。

図7に示したデータから、測定区間Aにおいてはトロリ線の摩耗進行が速い箇所では接触力が低く、離線アークの発生頻度が高い傾向があることがわかります。このことから、測定区間Aの場合は、離線アークの発生がトロリ線の摩耗に大きな影響を与えていることが推測されます。一

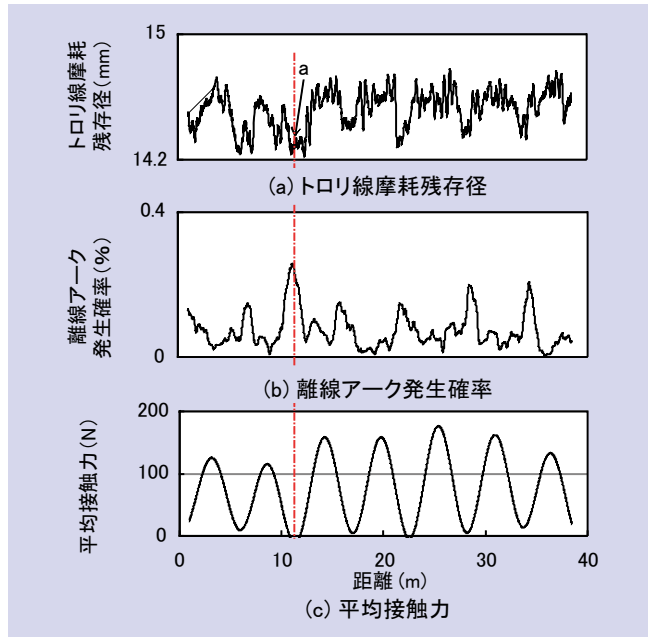


図7 トロリ線摩耗残存径と離線アークと接触力の関係 (測定区間A)

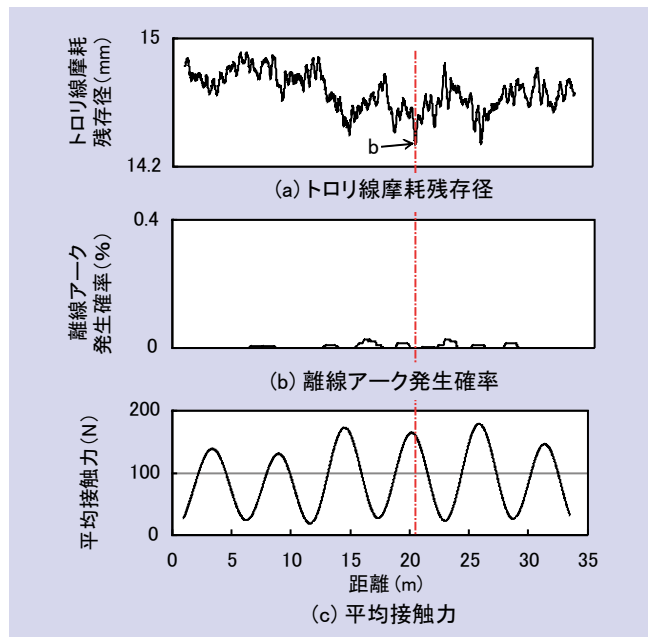


図8 トロリ線摩耗残存径と離線アークと接触力の関係 (測定区間B)

方、図8に示した測定区間Bでは、トロリ線の摩耗進行が速い箇所では接触力が大きく、離線アークとトロリ線の摩耗量との強い相関は見受けられないことがわかります。以上から測定区間Bにおいては接触力による機械的な摩耗がトロリ線の摩耗進行に大きな影響を与えていることが推測されます。

図9は図7中のa点および図8中のb点におけるトロリ線しゅう動面のマイクロスコープによる拡大画像です。a

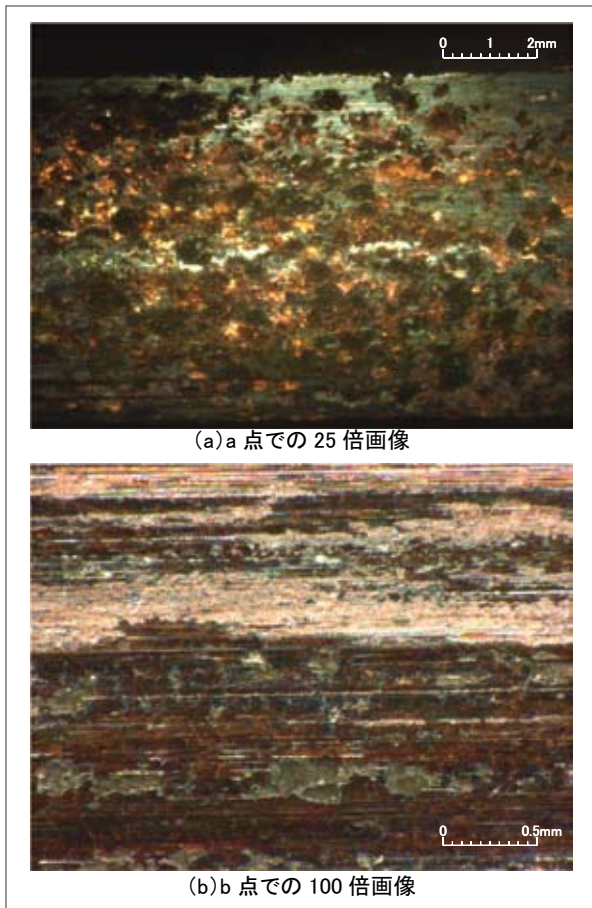


図9 トロリしゅう動面の拡大画像

点、b点はそれぞれ測定区間A、測定区間Bにおいて摩耗進行が速い箇所に対応します。図9(a)はa点のトロリ線しゅう動面を25倍に拡大した写真ですが、アーク痕と推測される黒や銅色の凹凸が目立ち、表面が粗くなっています。一方、図9(b)はb点のトロリ線しゅう動面を100倍に拡大した写真です。本図の下半分には凝着によって生じたと推測される鱗状の模様や、移着した金属の剥離箇所と推測される凹部などが観察されます。また、機械的なしゅう動の痕跡である線状に引っかいた痕も目立っています。これらはいずれも強い接触力による機械的なしゅう動がb点のトロリ線摩耗に強く影響していることを示唆しています。以上の傾向は図7、図8から導かれる結論ともよく一致しています。

なお、集電電流測定の結果、パンタグラフ1台当りの集電電流は測定区間Aでは126A、測定区間Bでは9Aでした。

### トロリ線の摩耗を予測する

図7や図8のデータを使用して、トロリ線摩耗の予測式を作成しました。この予測式では図10に示す3種類の摩耗形態、すなわち接触力による機械的摩耗(図10(a))、

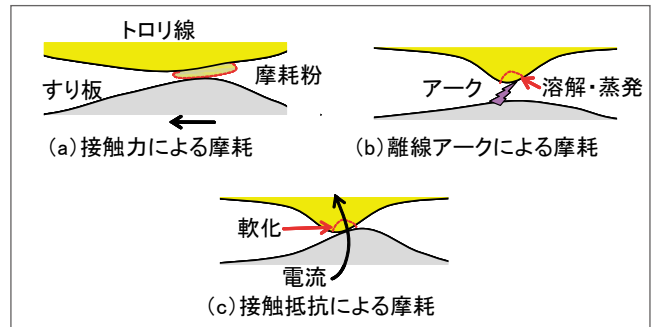


図10 トロリ線摩耗の要因

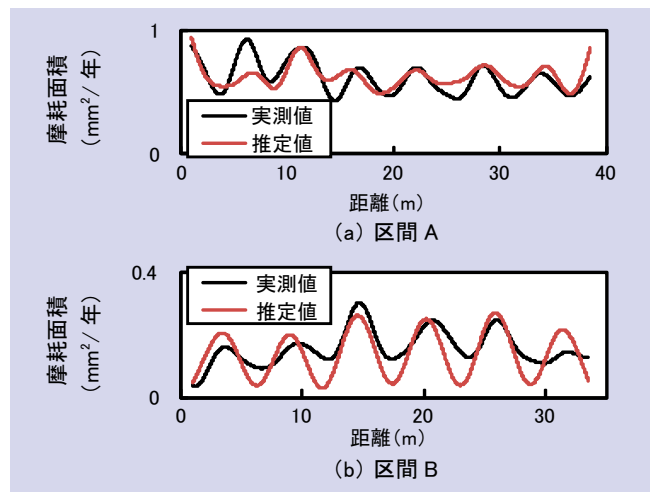


図11 トロリ線摩耗推定結果

離線アークによる摩耗(図10(b))、およびトロリ線とすり板間の接触抵抗による摩耗(図10(c))の代数和によって摩耗量が決定されると仮定しています。また、接触力による摩耗を計算する際には、通電により接触点温度が上昇することによって生じる機械的な潤滑効果も考慮しました。以上のように作成したトロリ線の摩耗予測式を使用して、トロリ線の面積摩耗率を推定した結果を図11に示します。図11(a)と図11(b)はそれぞれ測定区間Aと測定区間Bにおける年間のトロリ線摩耗断面積の実測値と推定値です。本結果から、推定したトロリ線摩耗断面積は実測値と比較的一致しており、形態の異なる2箇所のトロリ線摩耗をよく表現できていることがわかります。

今後は所内試験の結果などとも合わせ、今回紹介したトロリ線の摩耗予測モデルの検証や、摩耗メカニズムの解明を進めることにより、電車線保守の効率化やトロリ線の寿命延伸に役立てていく予定です。RRR

### 文献

- 1) 山本, 兼田: トライボロジー, 理工学社, 1998