

高速安定集電に向けた 架線・パンタグラフの技術

清水 政利
電力技術研究部
(電車線構造 研究室長)

菅原 淳
電力技術研究部
(集電管理 研究室長)

網干 光雄
電力技術研究部
(主管研究員)

池田 充
鉄道力学研究部
(集電力学 研究室長)



しみず まさとし



あはし みつお



すがはら あつし



いけだ みつる

はじめに

世界の高速鉄道では各地で300km/h以上の速度での営業運転が行われており、新幹線でも300km/hを超える速度での営業運転が計画されています。営業速度が高くなるにしたがって、架線とパンタグラフ間の集電性能が悪化して保守作業量が増加することが懸念されます。

鉄道総研では、300km/h超の速度域における保守作業量増加を抑制することを目的として、安定した集電性能を維持し、効率的で信頼性の高い保全を実現するための研究開発を進めています。本稿では、良好な集電性能を維持するための架線の管理手法、トロリ線の張替寿命の延伸手法、パンタグラフや架線の異常をモニタリング、診断する手法、パンタグラフの特性を改善する手法を紹介します。

架線の架設精度管理手法の提案

トロリ線は一定の高さで水平に架設されることが理想ですが、実際の架線には架設誤差(高さの狂い)が含まれています。この架設誤差は、集電性能に大きく影響しますが、高速走行に対する架設誤差の許容範囲についてはこれまで十分な検討が行われていませんでした。そこで、300km/h

を超える高速走行においても安定した集電を実現するための架線の新しい基準(架設指針)を提案しました。

架設指針の作成手順は以下の通りです。まず、トロリ線高さの架設誤差を表す各所の勾配や曲率などを評価項目として設定します。次に、新幹線の高速走行区間で測定した様々なトロリ線高さの実測データについて、運動シミュレーションにより集電性能を評価します。この結果より、架設誤差と集電性能(支持点の押上量やひずみ量、離線など)との関係を統計的に分析し、相関が強い評価項目を抽出して架設誤差の指標とします。指標とした架設誤差について、集電性能が良好な走行を確保するための目安値以内になるように目標値を設定し、架設指針とします(図1)。

架設誤差の指標と、目標値の一例として、320km/h走行対応の値を図2に示します。

同様の手法により、さらなる高速化に対応した架設指針も作成できます。架設誤差をこの指針に沿って管理することにより、高速走行において集電性能を良好に保つことができると考えています。

また、架設誤差を低減するための新しい支持構造として、トロリ線の引き上げりを従来の60%程度に低減できる金

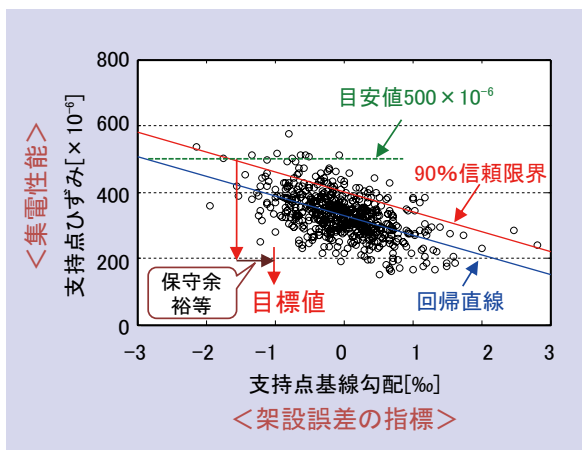


図1 架設誤差の指標と集電性能の相関例

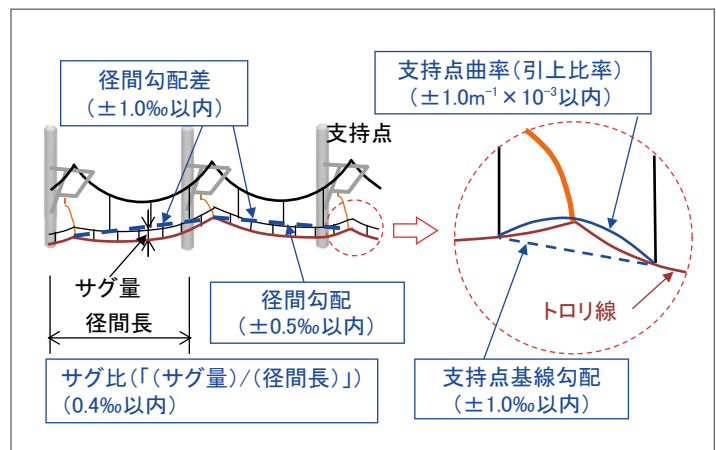


図2 架設誤差の指標とその目標値

具と、支持点高さの不整を容易に調整できる機構を備えた支持構造を開発しました(図3)。この構造を試験的に営業線に適用したところ、パンタグラフ通過時に支持点付近で発生するトロリ線の応力は、摩耗率との相関性が高いこと、新しい支持構造の適用によりこれらの応力が低減し、摩耗率が20%程度低減すると予測できることが確認できました(図4)。一般にパンタグラフの接触力が大きいほどトロリ線の応力も大きくなる特性があることから、新しい支持構造の適用により支持点付近の過大な接触力が緩和され、局部的な摩耗低減にも効果があるものと期待できます。

トロリ線寿命の延伸

トロリ線の寿命は、主に摩耗と疲労によって決まるため、寿命の延伸には両者の低減や適切な管理が必要です。新幹線では、一箇所でも摩耗の限度値に達するとトロリ線全体を張り替えなければなりませんので、摩耗による寿命を延伸するためには、局部的な摩耗の進行を予測して改善することが重要と考えられます。

そこで、新幹線営業線での接触力や離線アークなどの地上測定データから、トロリ線の摩耗予測モデルを構築しました。この予測モデルは、トロリ線の摩耗量が、図5に示す摩耗要因(接触力、離線アーク、集電電流)の関数により決定されると仮定し、営業線での実測値により各要因の影響度を算定したものです。図6に営業線での摩耗量の实測値と予測モデルによる推定値の比較を示します。推定結果はトロリの摩耗の傾向を正しく表現しており、本予測モデルの妥当性が確認できます。

近年の新幹線高速化に伴って、パンタグラフ通過時に発

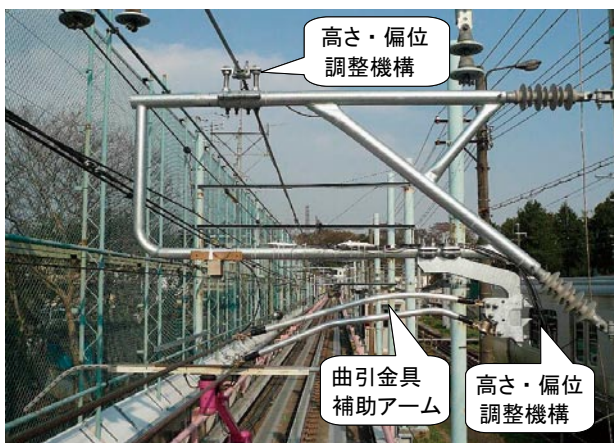


図3 架設誤差低減のための支持構造

生するトロリ線のひずみが増大する傾向があり、疲労破断防止の観点から、トロリ線の耐疲労性の向上や、より精度が高い疲労寿命の推定方法が求められています。トロリ線の耐疲労性向上には、材質自体の改良のほか、断面形状を変更して同一の負荷における曲げひずみを低減する方法があります。後者について検討を行い、ひずみを約10%低減する断面形状を開発しました。

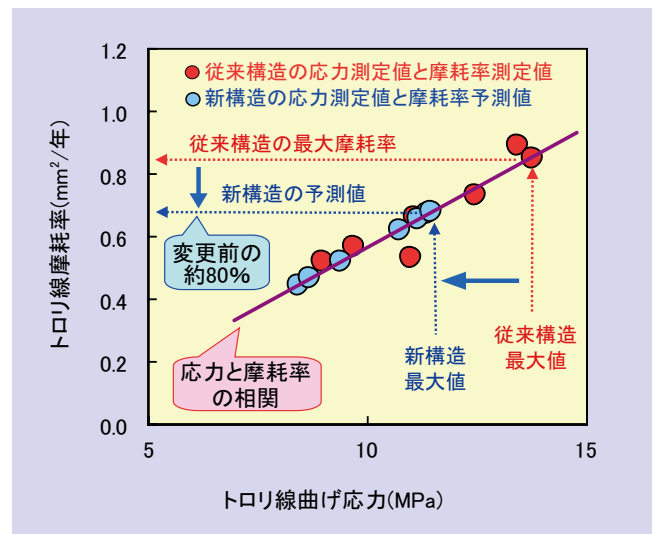


図4 応力低減効果と摩耗率の低減予測

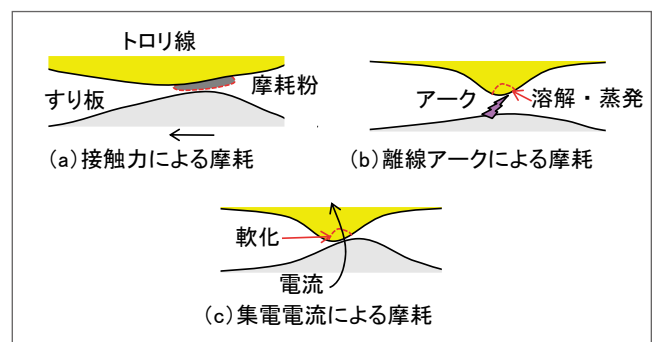


図5 予測モデルにおける摩耗要因

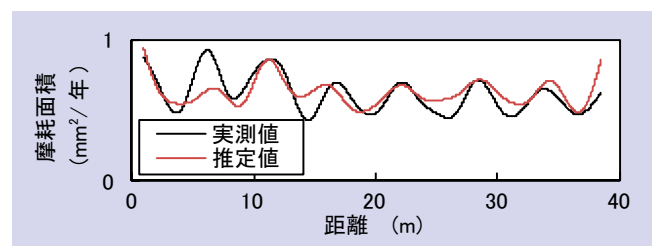


図6 トロリ線摩耗の実測値と推定値の比較

図7に従来の断面と開発した断面の比較を示します。断面積を大きく変えず、しゅう動面側半径を同一としたまま曲げひずみを低減するために、中立軸から上面までの距離を小さくすることを主眼に断面上部の形状を検討すると、断面形状は自ずと上面が扁平かつ両肩部の半径が小さい「いかり肩」になります。開発した断面については、現在行われているしゅう動面幅計測による摩耗測定が可能で

あること、横風を受けたときの上下振動(ギャロッピング)特性が悪化しないことも考慮しています。

また、パンタグラフ通過時の複雑なひずみ波形の影響を考慮したトロリ線疲労寿命推定法として、レインフロー法による予測手法も提案しています。レインフロー法とは、実際に加わる複雑な負荷波形のもとで疲労寿命を推定するための波形カウント法の一つです。

モニタリング・診断手法の開発

設備の信頼性向上や検査の効率化を図るには、設備状態を効率よく正確に把握する手法を開発することが必要です。

地上からパンタグラフの異常を検知するためのモニタリング手法として、測定区間を通過するパンタグラフの接触力を測定する手法と、昼夜を問わず離線アーク光を測定できる紫外線検出式離線測定装置を開発しました。

接触力測定概念図を図8に示します。測定区間のトロリ線に作用する接触力は、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トロリ線張力の鉛直成分と、トロリ線に作用する慣性力の和として得られます。これらのデータはハンガに貼り付けたひずみゲージやトロリ線に取り付けた加速度計から測定します。

図9は紫外線検出式離線測定装置の測定原理です。トロリ線とパンタグラフ間に発生するアーク光には、波長200~240nmの紫外線領域の光が、太陽光に比較して格段に多く含まれているため、この波長域だけを検出することにより太陽光の影響を受けない測定が可能となります。この装置では、特殊な反射ミラーによって紫外光のみを反射させて受光素子(光電子増倍管)に導きアークを検出します。また、可視光はそのまま透過させることにより、測定範囲を目視で確認することができます。トロリ線の摩耗予測モデルの構築では、これらによって測定した接触力、離線アークのデータを使用しました。

一方、車上から電車線の異常を検知するモニタリング手法として、車両の屋根上に搭載可能な紫外線検出式離線測定装置や、パンタグラフの接触力実測値からトロリ線のひずみを連続的に推定する手法を開発しています。

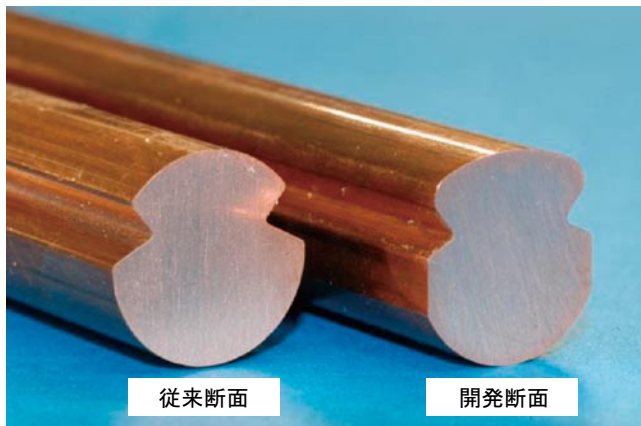


図7 従来断面と開発断面の比較

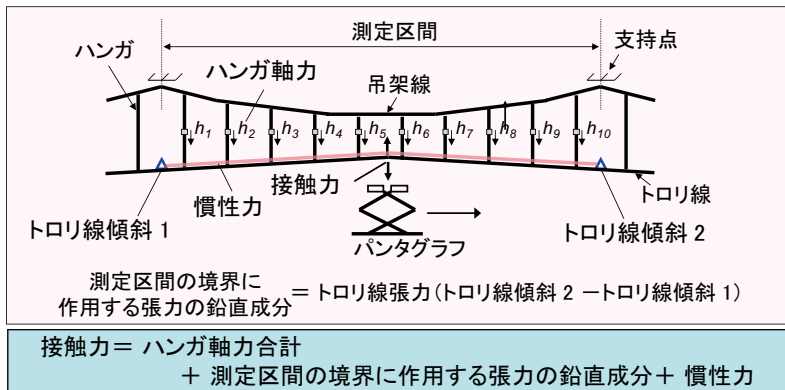


図8 地上からの接触力測定概念図

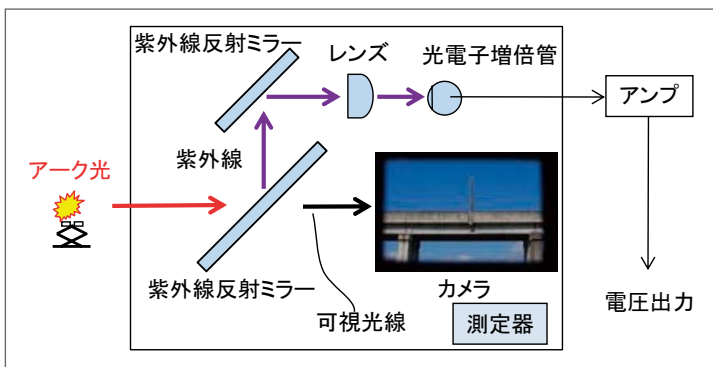


図9 紫外光検出式離線測定装置の原理

接触力変動低減に向けたパンタグラフ

300km/hを超える高速走行において安定した接触性能を有するパンタグラフを実現するため、制御技術の適用によって接触性能向上を図る研究を進め、可変剛性ばねによる動特性制御と、アクティブ制御による接触力制御の二つの手法を考案し、各種基本性能を確認しました。

パンタグラフに振動を与える要因は様々ですが、主要要因として架線の空間構造に起因するトロリ線の周期的な凹凸が挙げられます。これに対応する周波数のパンタグラフ追随性能を上げることにより、良好な集電性能を得ることができます。

図10に可変剛性ばねによるパンタグラフ追随特性の制御例を示します。コンプライアンスは、パンタグラフが凹凸に追随できる振幅と静押上力の比で、これが大きいほどパンタグラフがトロリ線に良く追随できることを示します。舟体を支えるばねを空気ばねとし、その空気圧を変化させることによりパンタグラフの追随特性を任意に変化させることが可能です。トロリ線を吊しているハンガの間隔は通常5mで、この間隔でパンタグラフが加振される周波数は、270km/hで15Hz、360km/hで20Hzとなります。速度に応じてばねの剛性を変化させることにより、広い速度域で良好な集電性能が得られることが期待できます。

図11はアクティブ制御パンタグラフです。パンタグラフの主ばねと並列な位置に空気圧アクチュエータを取り付け、その空気圧を制御することにより、支持点間隔などに起因する2Hz程度(50m間隔では360km/hに相当)までの接触力変動を低減できることを確認しています。

おわりに

高速走行において安定した集電を実現するためには、日常の適切な設備の維持管理に加え、設備状態の予測や異常が生じにくい設備の構築が重要と考えています。今回紹介した予測手法や管理手法などが保全に活用され、新幹線の安定輸送に貢献できることを願っています。今後は、これらの手法の深度化を行うとともに、検討対象をトロリ線とパンタグラフ周りから架線設備全般まで拡大し、さらに信頼性、効率性の高い保全を目指した開発を進める予定です。

RRR

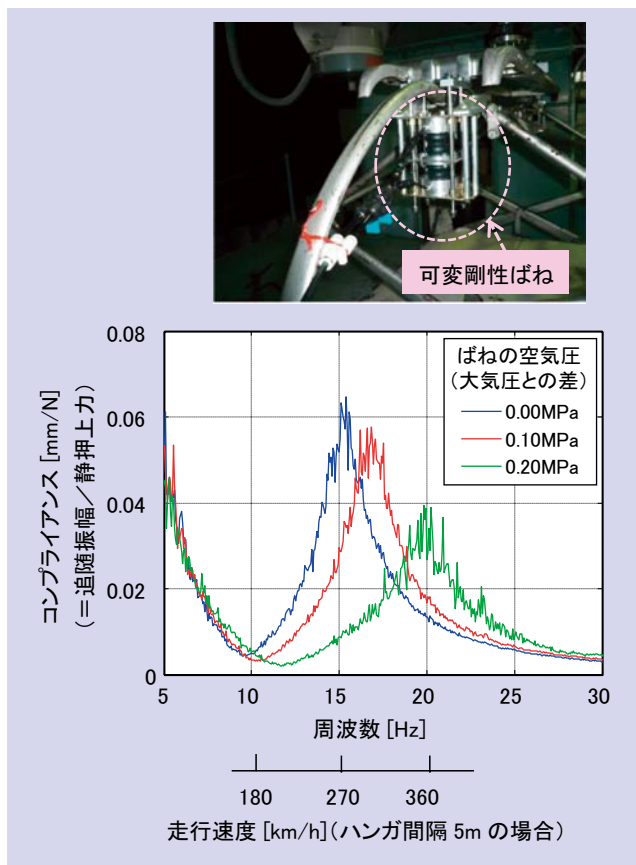


図10 可変剛性ばねと追随特性の制御例

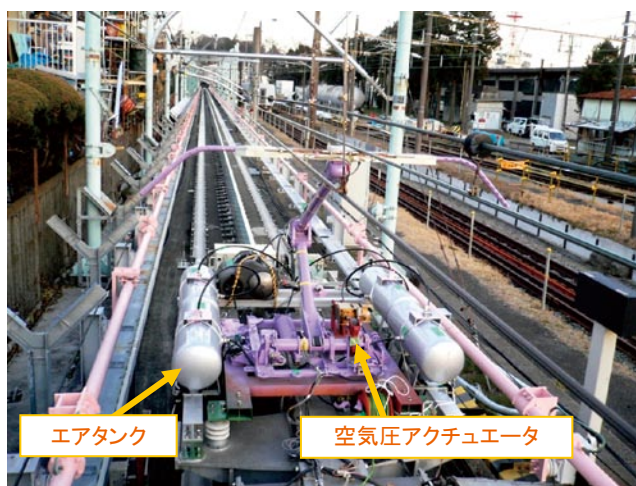


図11 アクティブ制御パンタグラフ