

営業線実態調査に基づくトロリ線摩耗予測式

鉄道力学研究部 集電力学

副主任研究員 臼田 隆之

1. はじめに

電車線保守においてはトロリ線の摩耗抑制は重要課題の一つであるが、トロリ線摩耗はその形成機構が非常に複雑であり、未解明な事項が多い。トロリ線の摩耗形成に影響を与える要因としては、パンタグラフの動特性、パンタグラフ集電電流、すり板の材料特性、走行速度、架線構成、トロリ線表面状態などが挙げられ、これらの要因がそれぞれ関連しあい、トロリ線摩耗に影響を及ぼしているものと思われる。特に、パンタグラフの接触力と離線アークはそれぞれトロリ線摩耗と深い因果関係があることが予測されるが、これらの定量的関係は不明である。

そこで架線系の最適な架設状態を決定する上で重要となるトロリ線摩耗の進行予測を可能にするため、新幹線営業線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測定⁽¹⁾⁽²⁾し、測定されたパンタグラフの接触力と離線アークをトロリ線の摩耗進行状況と照合することにより、トロリ線摩耗予測式の検討を行った。本発表では、新幹線営業線にて測定したデータと構築したトロリ線摩耗予測式について報告する。

2. 接触力推定原理

架線における接触力測定原理を図1に示す⁽¹⁾。トロリ線をハンガで支持されている張力 T の作用する弦として扱えば、接触力は測定区間内のハンガ軸力、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の慣性力との合計値として表すことができ、各項を加速度計や歪ゲージの出力から算出可能である。本発表での測定は接触力のハンガ周期に依存する接触力変動をとらえることを目標とし、測定可能周波数範囲を DC~14Hz に設定した。

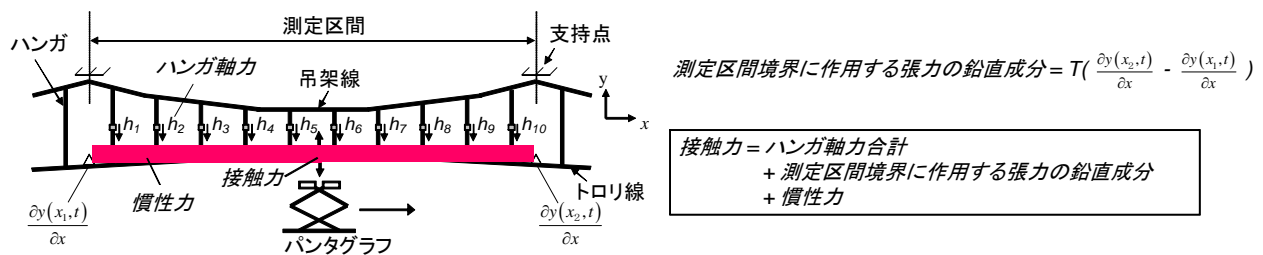


図1 接触力の測定原理

3. 現地試験結果

3.1 接触力および離線アーク測定結果

上述の測定原理にしたがって、新幹線営業線で接触力と離線時のアーク（以下、離線アーク）を同時に測定した。接触力測定試験の様子を図2に示す。離線アークは接触力測定区間の沿線に紫外線検出式離線測定器を設置して計測を行った。図3に測定結果の1例を示す。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ある。図3(a)は測定区間の架線構造を示し、図3(b)~(e)はそれぞれ上から第1パンタグラフの接触力~第4パンタグラフの接触力を示す。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ある。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る。ただし、接触力0近傍の箇所で必ず離線アークが発生しているわけではないが、この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ある。

3.2 トロリ線摩耗との対比

前述の測定方法を使用して測定区間Aと測定区間Bの2箇所において接触力と離線アークの継続的な測定を実施した。これらの波形をトロリ線摩耗残存径と比較した結果を図4と図5に示す。図4は測定区間Aにおける368台の通過パンタグラフの測定結果を集計したデータ、図5は測定区間Bにおける751台の通過パンタグラフの測定結果を集計したデータである。図4(a)、図5(a)は測定区間の架線構造を示し、図4(b)、図5(b)は別途測定した同区間のトロリ線摩耗残存径である。また、トロリ線0.1m毎の離線アーク発生回数とその前後0.5mずつの移動平均および測定した全てのパンタグラフのトロリ線0.1m毎の平均接触力を図4(c)~図4(d)、および図5(c)~図5(d)にそれぞれ示す。

図4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の進んでいる箇所は接触力が低く、離線アークの発生頻度が高い傾向があることがわかる。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る。一方、図5に示したデータから、測定区間Bではトロリ線の摩耗進行の進んでいる箇所は接触力が大きい傾向があることがわかる。また、離線アークはほとんど観測されておらずトロリ線の摩耗進行との関係は見受けられない。以上から測定区間Bにおいては著大な接触力による機械的な摩耗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る。

同様のデータを使用して測定区間ごとに摩耗マップを作製した。この摩耗マップは単位長さのトロリ線に加わる熱量を近似的に表わす変数として、アーク離線の発生確率を速度で除した値と、接触力の2つの変数を選び、これに対してトロリ線の年間面積摩耗率をプロットしたものである。なお、年間面積摩耗率は張替え直後から現在に至るまで面積摩耗率が一定と仮定して、1年間当たりの摩耗量を計算した。測定区間Aと測定区間Bの摩耗マップをそれぞれ図6(a)と6(b)に示す。本マップからも測定区間Aでは離線アークの発生確率の高い箇所のトロリ線摩耗が進んでおり、測定区間Bでは接触力の高い箇所のトロリ線摩耗が進んでいることが確認できる。

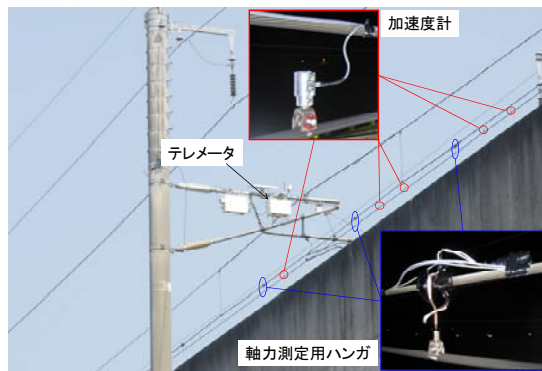


図2 現地試験の様子（接触力測定）

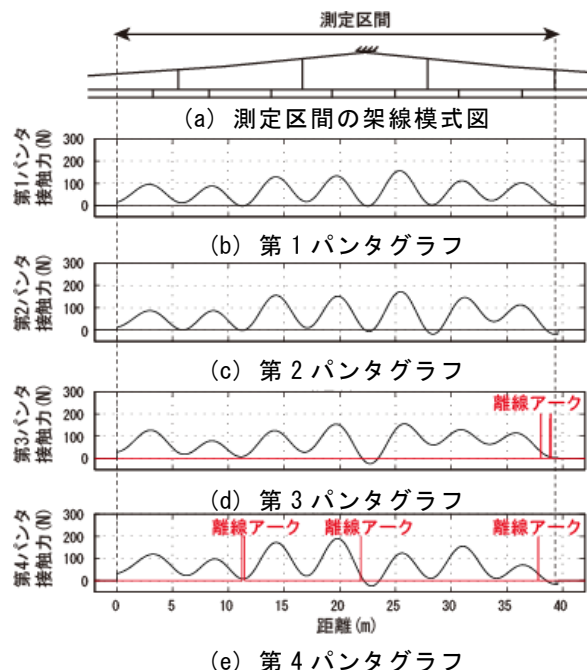


図3 接触力と離線アークの測定結果

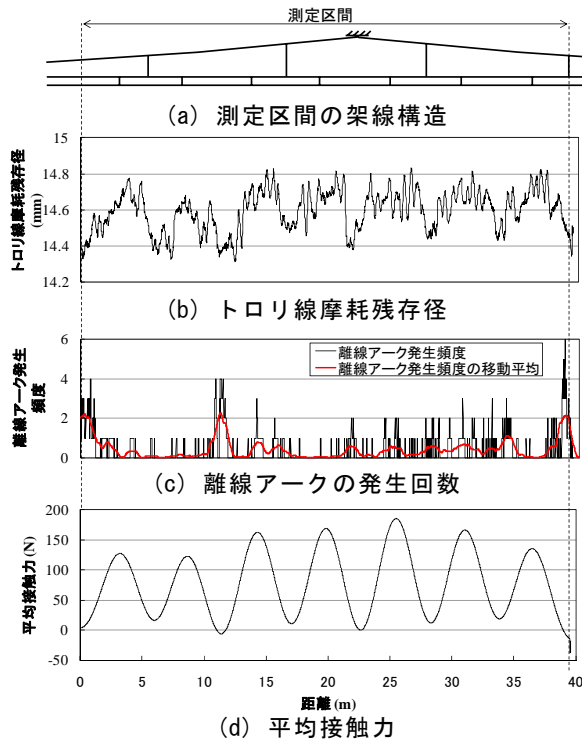


図4 トロリ線の摩耗残存径と複数編成通過時の測定データ(測定区間A)

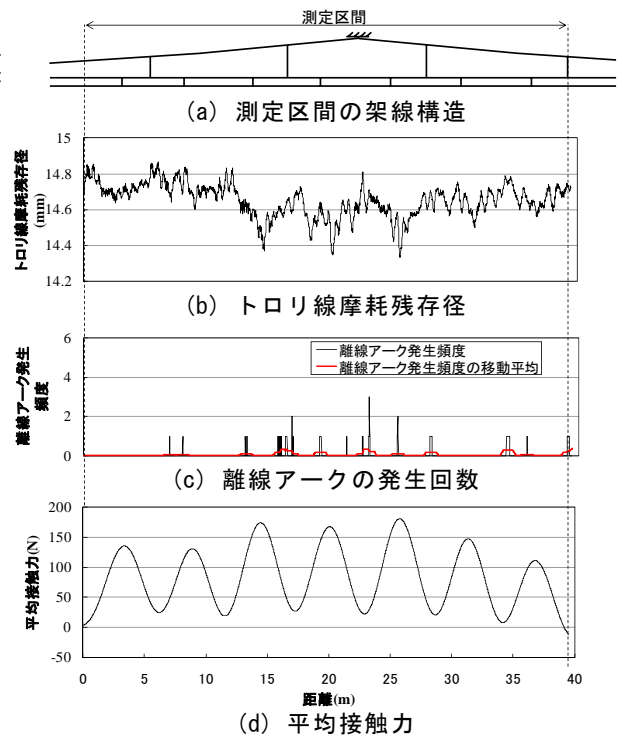
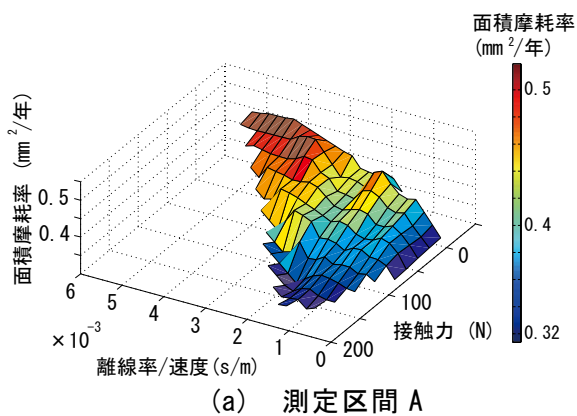
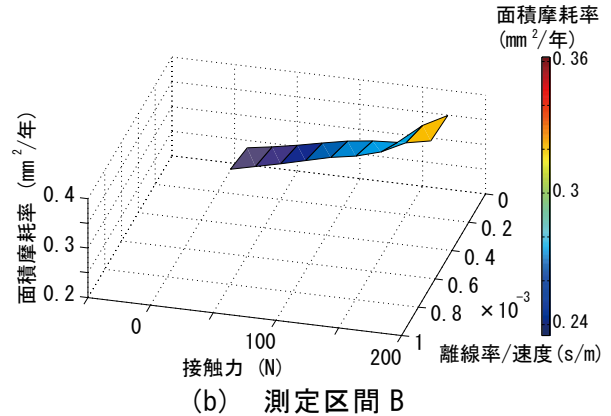


図5 トロリ線の摩耗残存径と複数編成通過時の測定データ(測定区間B)



(a) 測定区間 A



(b) 測定区間 B

図6 接触力と離線発生確率に対するトロリ線摩耗量の関係

3.3 トロリ線摩耗予測モデルの検討

前節のデータを使用して、トロリ線摩耗予測式の検討を行った。S. Bruni らによって提案されている式(3)を参考に、新たに離線アークによる影響の項を追加した予測式を構築した。トロリ線摩耗が接触力、離線アーク、およびトロリ線とすり板間の接触抵抗による発熱量によって決定すると仮定し、1年間に進行するトロリ線の面積摩耗率 w を次式のようにモデル化した。

$$w = A_f \left(1 + \frac{i}{i_0}\right)^{-\alpha} F + B_a \frac{i\varepsilon}{v} + C_R \frac{i^2}{v} \quad (1)$$

ただし、 $A_f = k_1 \mu$ 、 $B_a = k_2 V^*$ 、 $C_R = k_3 R$

右辺第1項は摺動により単位長さあたりのトロリ線に加えらる熱量に起因して1年間に進行する面積摩耗率であり、 k_1 は接触力により発生する熱量から面積摩耗率へ変換する定数とし、 μ は動摩擦係数、 α は通電による摺面の潤滑に関する定数、 i はパンタグラフの集電電流、 i_0 は基準

電流、 F はパンタグラフの接触力、 v はパンタグラフの速度である。右辺第2項は離線アークによる単位長さ当たりのトロリ線に加えられる熱量に起因して1年間に進行する面積摩耗率であり、 k_2 は離線アークにより発生する熱量から面積摩耗率へ変換する定数とし、 ε はアーク離線の発生確率である。 V^* はアーク発生時のトロリ線・すり板間の電位差で、本報告では定数と仮定する。右辺第3項はすり板・トロリ線間の接触抵抗によりトロリ線に加えられる熱量に起因して1年間に進行する面積摩耗率であり、 k_3 はトロリ線とすり板との接触抵抗により発生する熱量から面積摩耗率へ変換する定数である。 R はすり板・トロリ線間の接触抵抗であり、定数と仮定した。また、本試験ではパンタグラフの集電電流を測定していないため、線路勾配から測定区間Aでは160A、測定区間Bでは120Aと仮定した。

式(1)の各定数を実測データから同定し、トロリ線の面積摩耗率を推定した結果を図7と図8に示す。本結果から、トロリ線面積摩耗率の実測値と推定値は比較的一致しており、本報告で提案する摩耗予測モデルの妥当性が確認できる。ただし、今回の検討では試験期間中の摩耗進行量が小さく、試験期間前後のトロリ線残存径の差を正しく評価することが難しかった。そこで、新線時から年間の面積摩耗率が一定で摩耗が進行したと仮定して面積摩耗率を算出したため、トロリ線架設後の列車編成やランカーブの変化、摩耗進行過程の接触面圧変化に伴う摩耗形態の変化などが考慮できていない。今後の継続試験によって測定期間中の摩耗進行量を予測式の同定に使用し、予測精度の向上をはかっていきたい。また、集電電流についても現地試験からデータを取得する予定である。

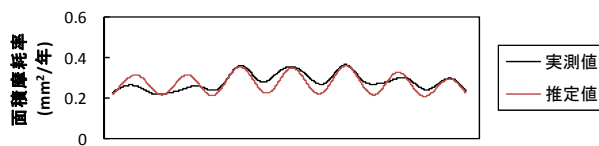
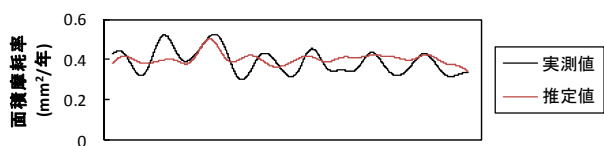


図7 トロリ線面積摩耗率推定結果(測定区間A) 図8 トロリ線面積摩耗率推定結果(測定区間B)

4. まとめ

本報告では新幹線営業線において「パンタグラフ接触力の地上モニタリング」と「離線アーク測定」を同時に実施し、トロリ線の摩耗進行状況と照合することにより、トロリ線摩耗予測式の検討を行った。試験結果より以下のことがわかった。

- ①「架線における接触力測定結果」と「離線アーク測定結果」の比較から両者の測定が概ね妥当に行われていることが確認できた。
- ②トロリ線摩耗予測モデルを提案した。提案した摩耗予測モデルは摩耗形態の異なる2つのドラムのトロリ線摩耗の傾向を表現できることを確認した。

【参考文献】

- (1) 臼田隆之、他3名:「架線の振動測定によるパンタグラフの接触力推定手法」、鉄道総研報告、No.21、Vol.10、pp.41-46、2007
- (2) 臼田隆之、他3名:紫外線検出式地上離線測定装置の開発、鉄道技術連合シンポジウム、pp.511-514、2008.9
- (3) S. Bruni, G. Bucca and A. Collina: Pantograph-CATENARY DYNAMIC INTERACTION IN THE MEDIUM-HIGH FREQUENCY RANGE, Vehicle System Dynamics Supplement Vol.41, pp.697-706, 2004