

電車線の支持点における張力抑制抵抗の評価と集電特性への影響

電力技術研究部 電車線構造
研究員 常本 瑞樹

1. はじめに

電気鉄道の架空電車線は良好な集電性能を維持するため、その張力は一定であることが望ましい。そこで、電車線は温度変化により伸縮するため、引留箇所には張力調整装置を取り付け、支持点を電車線の移動が可能な支持装置(可動ブラケット支持、滑車支持)を取り付けるなどして、引留区間(以下、ドラムと記す)の張力を一定に保つようにしている。しかしながら、支持構造によっては支持点において支持装置の摩擦力などに起因する電車線に張力差を生じさせる力(以下、抑制抵抗と記す)により、同一ドラム内でも径間ごとの張力は必ずしも一定ではないと考えられている。

近年、首都圏における電車線は、き電ちょう架式電車線に変わってきている⁽¹⁾。き電ちょう架線は、一般のちょう架線に比べて質量が重い。摩擦力は質量に比例することから、き電ちょう架線の抑制抵抗は一般のちょう架線のそれに比べて大きくなることが懸念される。

そこで本研究では、ちょう架線支持滑車について抑制抵抗のメカニズムを検討するとともに、営業線における抑制抵抗の実態を把握するため、き電ちょう架式電車線の張力や線条移動量を測定した。そして、架線-パンタグラフ走行シミュレーションにより、この抑制抵抗が集電特性へ及ぼす影響について検討したので報告する。

2. 支持点における抑制抵抗

抑制抵抗とは、電車線に張力差を生じさせる力の総称である。本研究では支持点における抑制抵抗のみを対象とした。図1に示すように、支持点において温度伸縮などによる力 F が支持装置に作用するときを考える。支持点における抑制抵抗は、支持装置の摩擦力であると考えられ、作用する力 F が支持装置の最大静止摩擦力に相当する力より小さい場合には、作用する力 F と等しい大きさの抑制抵抗 R が線条に働く。作用する力 F が支持装置の最大静止摩擦力に相当する力以上のときには線条が移動する。線条が移動し始めるときの作用する力 F を F_s とする。摩擦力は垂直荷重に比例するので、線条が移動し始めるときの作用する力 F_s も線条質量などによる支持装置に加わる垂直荷重 W に比例すると考えられる。そこで、線条が移動し始めるときの支持装置に作用する力 F_s を支持装置に加わる垂直荷重 W で除した F_s/W を「抵抗係数」と呼ぶこととする。

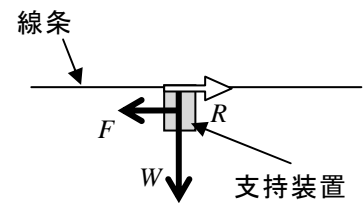


図1 支持装置に作用する力

3. 抵抗係数測定

支持滑車および可動ブラケットの抵抗係数を測定した。図2に示すように、き電ちょう架線用PH356を径間長50mで2径間架設し、中央の支持点には測定する滑車を取り付けた。一方の引留には張力19.6kN用のばね式自動張力調整装置(以下、STBと記す)を、他方の引留には油圧式アクチュエータを設置した。アクチュエータを一定速度(約0.7mm/s)で引く、あるいは押し出して架線を移動させ、滑車回転時の2径間の張力差から抵抗係数を求めた。可動ブラケットについては、

架線を取り付ける代わりに架線相当の重りを取り付けた。アクチュエータで可動ブラケットを一定速度で引いて回転させ、回転時の引張荷重から抵抗係数を求めた。

表 1 に、抵抗係数の測定結果を示す。表中の「滑車単体」とは通常複数の滑車からなる滑車金具を分解して 1 個の滑車で支持した場合であり、「支持金具」とは滑車金具を分解せずに支持した場合である。また、「内径/外径」とは、図 3 に示すような滑車の内径 a を外径 b で除した値である。滑車上面に働く力 F_k のモーメント bF_k が生じるとき、このモーメントと等しい大きさの軸面の静止摩擦力 f によるモーメント af が生じる。滑車上面に働く力 F_k のモーメント bF_k が、軸面の最大静止摩擦力 f_s のモーメント af_s 以上のときに滑車が回転する。主な結果を以下にまとめる。

- (1)滑車の材質が同じ場合、内径/外径の比が小さいほど抵抗係数は小さい。【No.1,2】
- (2)滑車の形状が同じでも、軸接触面の材質により抵抗係数は大きく異なる。【No.3,4】
- (3)ボールベアリングを軸受に用いた滑車は非常に抵抗係数が小さい。【No.5】
- (4)No.6, 7 は共に No.2 の滑車を 2 個使用した支持金具であるが、No.6 の抵抗係数が No.2 と同等であるのに対し、No.7 では No.2 の 2 倍以上となっている。No.6 の金具は 2 個の滑車が遊びなく固定されている構造であるのに対し、No.7 は曲線での横張力による傾きに対応するため滑車と金具の間に遊びがあり、これが抵抗係数の違いに影響を与えていると考えられる。【No.2,6,7】
- (5)以上の結果から、滑車の抵抗係数を軽減するには内径/外径の縮小、適切な材質選択、遊びの小さな支持構造とすることが有効であると考えられる。
- (6)可動ブラケットの抵抗係数は、ボールベアリング軸受の滑車と同等であり、その他の滑車と比べて非常に小さい。【No.8】

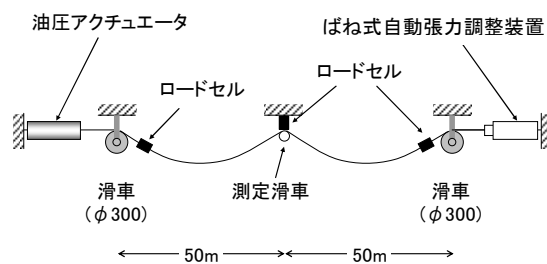


図 2 抑制抵抗測定装置の概略

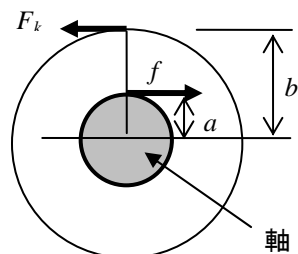


図 3 滑車に作用する力

表 1 抵抗係数測定結果

No.	種別	軸接触面	内径/外径	抵抗係数
1	PH356用①(2条直線)	モリブデン入りナイロン	0.50	0.085
2	PH356用② (1条直線, 2条曲線)	モリブデン入りナイロン	0.30	0.061
3	Sl90~135-1条用	ナイロン6	0.35	0.057
4	Sl90~135-1条用	ステンレス	0.35	0.117
5	曲線引滑車一般用	ボールベアリング	0.17	0.003
6	支持金具 PH356用②(1条直線)	モリブデン入りナイロン	0.30	0.058
7	支持金具 PH356用②(2条曲線)	モリブデン入りナイロン	0.30	0.138
8	可動ブラケット	鋼(亜鉛メッキ処理)		0.003

※可動ブラケットの荷重点から回転中心まで：1720mm

4. 営業線における実態調査

営業線における張力分布とちょう架線移動量の実態を把握するため、電車線張力とちょう架線移動量を測定した。滑車支持および可動ブラケット支持のき電ちょう架式電車線について、それぞれ 2 つのドラムを測定した。滑車支持区間のドラムをドラム 1 および 2、可動ブラケット支持区間の測定ドラムをドラム 3 および 4 とした。

4.1 張力測定

電車線を加振したときの波動伝播速度から同定する方法⁽²⁾を用いて張力を測定した。

図 4 に張力測定結果を示す。滑車支持区間において、ドラム中央付近では温度によりちょう架線張力が変動し、ドラム 1 の場合、25℃で 18kN 程度、7℃で 26kN 程度となり、夏と冬で 8kN 程

度の差が見られた。これは径間内で架線が両端固定状態として、同じ温度変化をして計算したときの張力変動とほぼ一致する。このことから、ドラム中央のちょう架線は両端固定状態となっており、線条の移動が行われていないために張力変動が発生しているものと考えられる。一方、引留付近のちょう架線張力は STB の張力変動によると思われる変化はあるものの、ドラム中央のような大きな張力変動は見られない。また、トロリ線については張力変動がほとんど見られなかった。可動ブラケット支持区間においては、ちょう架線、トロリ線とも張力変動がほとんど見られなかった。

4.2 ちょう架線移動量測定

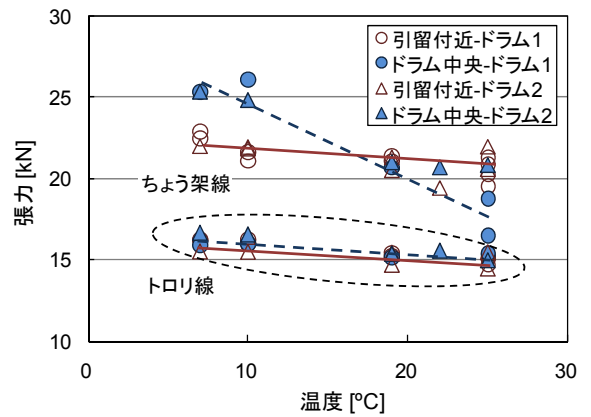
図 5 に、ちょう架線移動量の測定値と抑制抵抗がない場合の計算値を示す。相対距離が 0 と 1 の測定値は STB の目盛の移動量である。滑車支持区間において、2 つのドラムとも引留付近ではちょう架線がスムーズに移動しているが、ドラム中央付近ではほとんど移動していないことがわかる。これに対して可動ブラケット支持区間においては、2 つのドラムとも測定値と計算値は良い一致を示しており、ちょう架線の移動がスムーズに行われている。これは可動ブラケットの抵抗係数が非常に小さいためであると考えられる。

5. 抑制抵抗による張力変動を考慮した集電特性

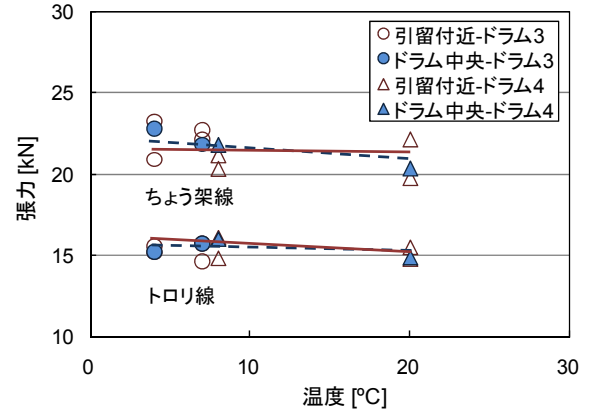
これまでの検討から、支持滑車の抑制抵抗のためドラム中央付近では両端固定状態となり、大きな張力変動が発生していることがわかった。張力が変動すると弛度も変化することから、集電特性に大きな影響を与える可能性がある。そこで両端固定状態で温度が変化した場合についてき電ちょう架式電車線の架線-パンタグラフ走行シミュレーションを実施し、集電特性を検討した。

5.1 シミュレーション条件

想定温度は冬の最低温度の -10°C から夏の最高温度の 40°C の範囲で、この温度に対応する張力を上限と下限とし、その間を標準張力の 19.6kN から $\pm 10\%$ ずつ(最低・最高温度付近は 5% ずつ)変化させた。径間長は $30, 40, 50\text{m}$ とし、 9 径間とした。パンタグ

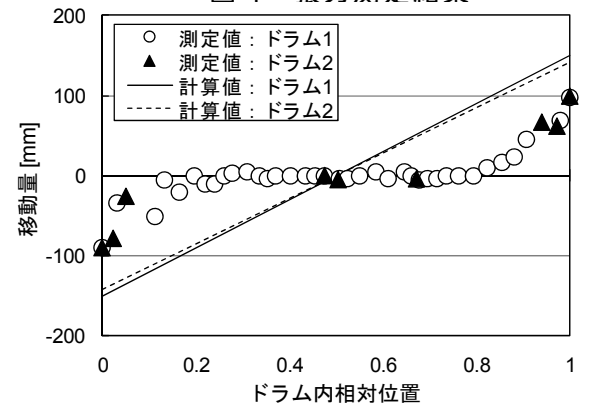


(a) 滑車支持区間

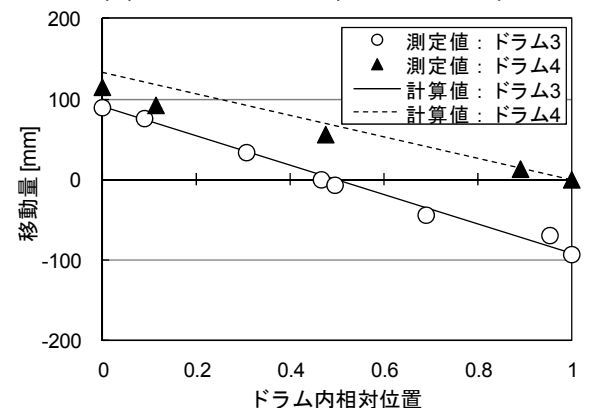


(b) 可動ブラケット支持区間

図 4 張力測定結果



(a) 滑車支持区間($20^{\circ}\text{C} \rightarrow 10^{\circ}\text{C}$)



(b) 可動ブラケット支持区間($7^{\circ}\text{C} \rightarrow 19^{\circ}\text{C}$)

図 5 ちょう架線移動量測定結果

ラフは首都圏で多く走行している2つのパンタグラフとし、パンタグラフAはダンパが付いており、パンタグラフBはダンパが付いていない。走行速度は70～140km/hとした。

5.2 シミュレーション結果

図6に、離線を目安値である離線率5%もしくは最大離線時間200msのどちらかを越えた時点で許容張力を越えたと判断し、その直前の張力を許容張力としてまとめた結果を示す。ただし、白抜のプロットは想定温度内では離線を目安値を超えなかったこと、すなわち離線という観点からは両端固定状態でも想定温度内では走行に問題が無いことを示す。想定温度内で目安値を超えない速度は、パンタグラフAで120km/h程度まで、パンタグラフBで100km/h程度までであった。

ただし、前述したように大きな離線は発生しなくても著大接触力が発生する可能性があり、トロリ線の局部摩耗を引き起こすことが懸念されるため、このような大きな張力変動は可能な限りその範囲を狭くする必要がある。

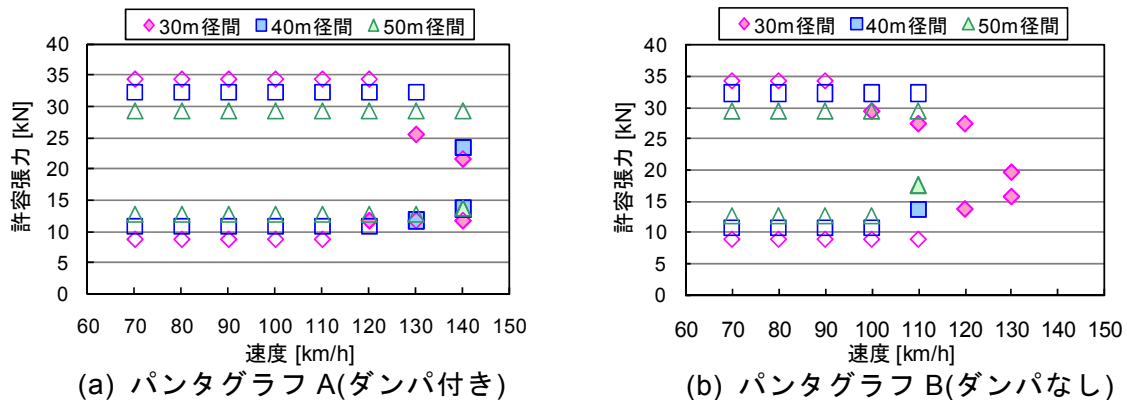


図6 離線特性から見た許容される張力(白抜：最低・最高温度でも目安値内)

6. まとめ

- (1) 支持滑車の抵抗係数の低減には、内径/外径比の縮小、適切な材質選択、遊びのない支持構造とすることが有効である。
- (2) 実架線ではドラム中央の径間で大きな張力変動が発生しており、ちょう架線の移動も見られないことから、両端固定状態となっているものと考えられる。
- (3) 両端固定状態における最低・最高温度に対応する張力変動がある場合、離線を目安値を超えない速度はダンパ付きのパンタグラフで120km/h、ダンパなしのパンタグラフで100km/h程度までである。ただし、この速度未満でも接触力の増大による摩耗の進行に注意が必要である。
- (4) 可動ブラケットの抵抗係数は、ボールベアリング軸受の滑車と同等であり、その他の滑車と比べて非常に小さい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、ご協力いただいた東日本旅客鉄道株式会社の関係各位に厚く御礼申し上げます。

【文 献】

- (1) 島田健夫三, 新しいき電ちよう架式電車線, RRR, Vol.62, No.04, pp.22-25, 2005
- (2) 網干光雄, 真鍋克士, トロリ線波動伝播速度の測定方法, 日本機械学会第74期全国大会講演論文集, Vol. IV, pp.425-426, 1996