

3416 最適なパンタ押上力の検証

An examination of optimum upward force for pantograph in conventional lines

正 [電] ○久保 吏 正 [電] 藤島 晃 正 [電] 近間 大志
宮口 浩一 正 [電] 石井 順 (西日本旅客鉄道株式会社)

Tsukasa Kubo, Akira Fujishima, Hiroshi Chikama
Hirokazu Miyaguchi, Jun Ishii (West Japan Railway Company)

The lift characteristics of two kinds of pantographs were measured with tunnel equipment paying attention to the compliance characteristic of a pantograph to improve quality of current collection. We discover the pantograph with metalized carbon sliders (WPS27D) have 25N lift smaller at 130km/h than the one with metal sliders (WPS27C). So, we changed the static upward force of WPS27Ds, performed the quality of current collection examination, and the good result was obtained. Additionally, Contact loss ratio was reduced in the field examination. It follows that wear of sliders was lowered drastically. This paper reports the importance of understanding the dynamic characteristic of the pantograph and setting optimum upward force for pantograph.

Keyword: lift characteristic, contact loss, compliance characteristic, wear of sliders

1. はじめに

安定した集電性能を確保するためには、架線・車両双方でのアプローチが考えられる。架線側としては架線系自体の改良（波動伝播速度の向上等）や架線状態の品質向上（架線勾配の改善等）が挙げられる。車両側としては、パンタグラフの架線に対する追随性能や空気力学的特性を改善することが必要である。

そこで我々は集電性能を向上するために、パンタグラフの追随特性に着目し、パンタグラフの揚力測定を風洞設備により測定した。この結果を基に、パンタグラフの静的押上力を変更させて、集電性能検証試験及び試験車を用いた本線走行試験を行った。

本論文は、これらの試験結果及びそこから得られたパンタグラフの動的特性を把握し、最適なパンタグラフの静的押上力を設定することの重要性について報告する。

2. パンタグラフの追随特性

2.1 追随特性

パンタグラフの追随特性を検討するため、Fig.1 に示す簡単なモデル（1 質点モデル）を想定する。定常押上力とは、静的押上力と揚力の和を意味する。このモデルにおいてパンタグラフ変位を周期関数（正弦波）で表現できると仮定すると、力の釣合いより以下の式が成立する。

$$P = P_0 - m d^2 y / dt^2 - C dy / dt \quad (1)$$

ただし、 $y = Y \sin \omega t$ (ω : 角振動数)

故に (1) 式は以下のように変形できる。

$$P = P_0 + m \omega^2 Y \sin \omega t - C \omega Y \cos \omega t \quad (2)$$

(2) 式において、話を簡単にするためダンパ定数 $C=0$ とし、接触力 P の最小値が 0 になる振幅 Y を求めると、

$$Y = P_0 / m \omega^2 \quad (3)$$

となる。すなわち、パンタグラフの追随振幅は、定常押上力に比例し、パンタグラフ質量と角振動数（周波数）の 2 乗に反比例することがわかる。

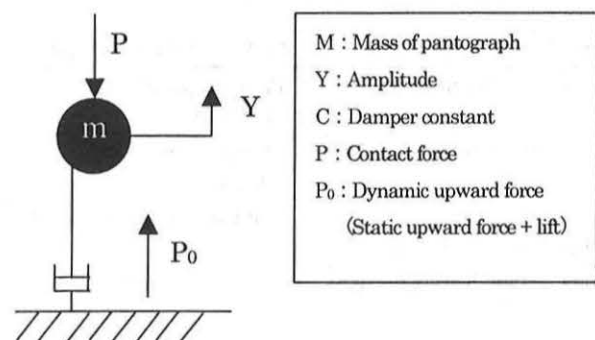


Fig.1 Pantograph-Compliance Characteristic Model

2.2 揚力特性

定常押上力は静的押上力と揚力の和であり、現行での静的押上力はカーボン系で 59N、焼結合金で 54N である。揚力は、JR 発足以降に開

発されたパンタについて不明なものが多いため、風洞設備で WPS27C (焼結合金) と WPS27D (カーボン系) の揚力特性の測定を行った。その結果を Fig.2 に示す。

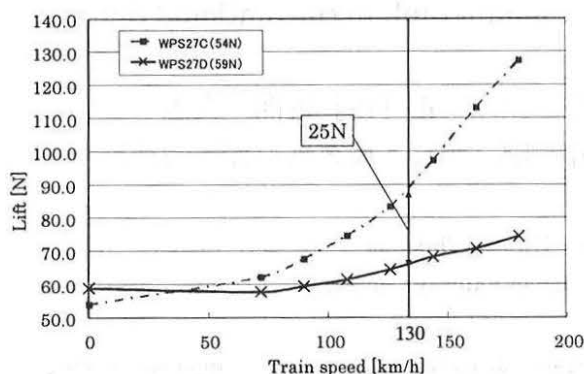


Fig.2 Lift characteristics of WPS27C and WPS27D

WPS27D (カーボン系) は弊社在来線の最高速度に相当する 130km/h 時において WPS27C (焼結合金) と比較して、揚力が 25N も低いことが分かる。これはすり板及び舟体構造の違いによるものと想定される。

3. 集電性能検証試験

現行のパンタグラフを用いて特に高速度域での追従特性を改善するには、(3) 式より定常押上力を向上させてやればよいことがわかる。Fig.2 で述べたように WPS27D は揚力が比較的小さいので高速走行時の定常押上力を補う意味で、パンタグラフの静的押上力を変更させて集電性能検証試験を行った。

3. 1 総研集電試験装置での検証試験

特に離線が激しい架線のオーバーラップ (O.L.) 区間におけるパンタグラフの静的押上力変更による効果を確認するために、鉄道総研内での集電試験装置を用いて試験を実施した。その試験条件を Table1、試験結果を Fig.3 に示す。

Table1 Condition of examination

Condition of overhead line	Condition of pantograph
Heavy simple catenary	Pantograph kind : WPS27D
Messenger : St135(19.8kN)	Static upward force : 59N, 78N
Contact wire : GTM-SN-170(14.7kN)	Number of pantograph : 1
Span : 60m(Overlap portion)	Speed : 130km/h

横軸は O.L. における A・B 架線の高低差であり、手前の架線 (A 架線) が低い方をマイナスとしている。この図から静的押上力を 59→78N と変更することで最大離線時間が減少し、集電性能が向上していることがわかる。また、支持点の押上量も 59N、78N とともに 15mm 程度であり問題ない結果であった。

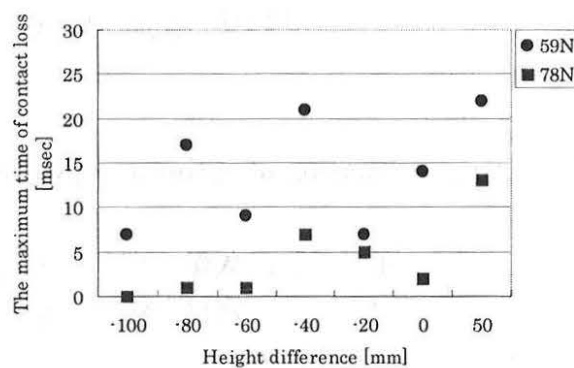


Fig.3 The maximum time of contact loss

3. 2 すり板摩耗試験

WPS27D での静的押上量の変化に伴うカーボンすり板の摩耗特性を調べるため、総研のパンタグラフ総合試験装置を用いてすり板摩耗試験を実施した。試験条件は集電電流を直流 100V で 300A とし、走行速度を 130km/h、走行時間を 3 時間として摺動試験を実施した。その結果を Fig.4 に示す。

ここで機械的摩耗とは集電電流を流さずに摺動試験をした結果である。静的押上力が大きくなるとともに機械的摩耗が上昇して行く傾向がわかる。一方で電気的摩耗量 (= 全摩耗量 - 機械的摩耗量) は静的押上力の向上に伴い減少していく傾向が認められた。これは静的押上力の向上に伴い離線が減少することによるものと示唆される。またすり板摩耗量は静的押上力 70-80N 付近で摩耗量が減少することが認められた。

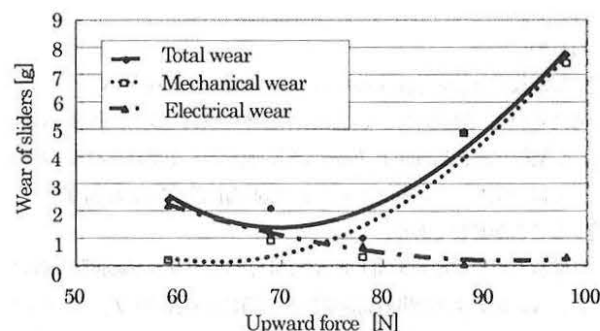


Fig.4 Wear of metalized carbon sliders in pantograph test equipment

4. 試験車を用いた本線走行試験

以上の各種試験データを基に 223 系試験車両により営業線において、パンタ押上力変更に伴う集電性能、架線押上量・歪値及びすり板摩耗量について検証を行った。

4. 1 試験概要

試験項目は Table2 のとおりである。

離線率は分圧式離線測定器および光学式離線測定器を用いて離線発生時の時間を測定した。また CCD カメラを設置し、離線発生時のパンタグラフの挙動を撮影した。

また地上設備では走行試験区間においてそれぞれ設備条件の厳しい箇所ハテレーメーター等を設置し、架線押上量および架線の歪値を測定し、

パンタグラフの静的押上力の変化に伴う影響を調べた。さらに静的押上力変更に伴うすり板摩耗量の推移を調べるため、試験走行後のすり板摩耗量を測定した。

以上のような測定器類を設置した試験車両（W1+V1 編成 1000 代）を用いて、そのパンタグラフの静的押上力を 59N、69N、78N と設定しそれぞれ米原～姫路間一往復の試験走行を実施した。

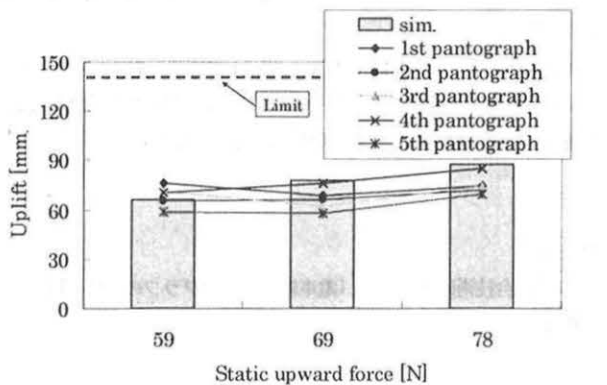
Table2 Term of examination

Term of examination	Measurement place
Contact loss ratio (optical and voltage driver)	On the car
Dynamic state of pantograph	On the car
Uplift and strength	In the fields
Wear of sliders	Rolling-stocks depot

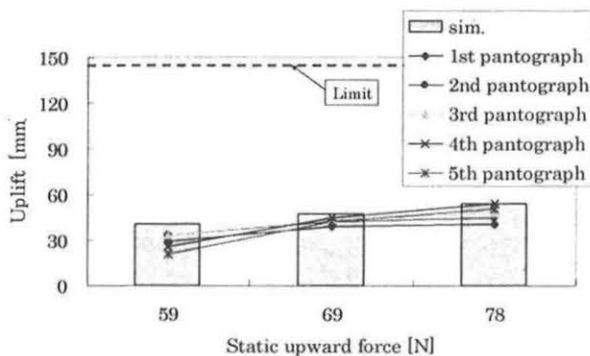
4. 2 押上量・押上歪試験結果

押上量・押上歪の測定結果を以下に示す。

Fig.5 は架線構成が(a) シンプルカタナリ区間の低速わたり線におけるトロリ線押上量、(b) ヘビーシンプルカタナリ区間の高速わたり線におけるトロリ線押上量の測定結果である。ここで棒グラフは各静的押上量におけるシミュレーション値である。現状の静的押上力である 59N のトロリ線押上量と比較すると、低・高速わたりいずれの場合も、69, 78N と大きな違いは認められなかった。またパンタグラフ位置による違いもほとんど認められなかった。WPS27D によるわたり線箇所の理論的な動的押上量は約 144mm でありこれと比較しても十分な余裕があることから、わたり線箇所においてパンタグラフの静的押上量を



(a) Simple catenary (Low speed)



(b) Heavy simple catenary (High speed)

Fig.5 Uplift characteristic at crossing

変化させてもその安全性に問題は無いことがわかった。

次に Fig.6 に架線構成がヘビーシンプル箇所における支持点でのトロリ線押上量、図 Fig.7 に押上歪の測定結果を示す。支持点での押上量はパンタグラフ押上力の変化に伴い大きな変化は無かった。またトロリ線の歪量も押上力の変化に伴い、大きな変化は認められなかった。

一般的にトロリ線の支持点での押上量限界値は 70mm、歪限界値は 500×10^{-6} であるとされている。いずれの測定値でも限界値に対して十分な余裕があり、その安全性に問題無いことがわかった。

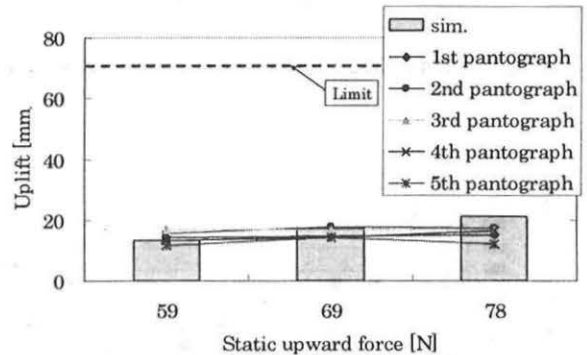


Fig.6 Uplift characteristic at support

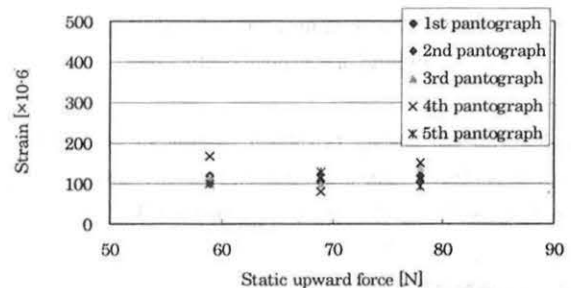


Fig.7 Strain characteristic at support

4. 3 離線率および最大離線時間

離線率及び最大離線時間の測定結果を以下に示す。

Fig.8 はパンタグラフの静的押上量を変化させた時の離線率をドラム別にまとめたものである。一般的に直流区間における離線率の目安値として 3% 以下が通常許容される集電、5% 以下がやむを得ぬときの集電とされている。この測定結果は走行区間での特に離線の多い箇所を抜き取ったものであるが、離線率の大きいもので 5-10% を示した箇所もあった。一方でパンタグラフの静的押上量を向上させるとこれに応じて離線率が減少し 1-3% と通常許容範囲内に収まることが確認された。

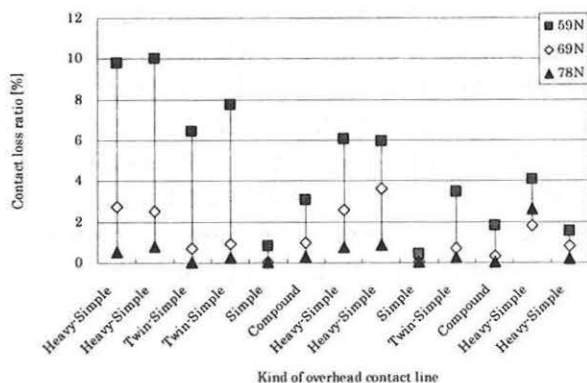


Fig.8 Contact loss ratio for kind of overhead contact line

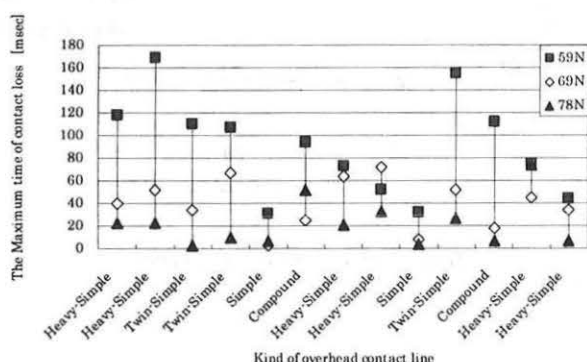


Fig.9 The maximum time of contact loss for kind of overhead contact line

また Fig.9 は前図と同様に、パンタグラフの静的押上力を変化させた時の最大離線時間をドラム別にまとめたものである。離線率の特性結果と同様、最大離線時間はパンタグラフの静的押上力が大きくなるにつれて低減する傾向が認められた。

4. 4 すり板摩耗量

Fig.10 に走行試験後に測定したすり板摩耗量の測定結果を示す。すり板の全摩耗量はパンタグラフの静的押上量が大きくなるとともに減少し、静的押上力が78[N]の摩耗量は現行の59[N]の摩耗量と比べほぼ半減している結果が得られた。

このうち電氣的摩耗量はパンタグラフの静的押上力が大きくなるとともに減少し、機械的摩耗量はパンタグラフの静的押上力が大きくなるとともに大きくなる傾向を示している。

この結果は、集電電流等の諸条件は異なるものの、既述したパンタグラフ総合試験装置を用いたベンチ試験結果と同様な特性を示しており、パンタグラフの静的押上力を向上させることで離線が減少しこの結果、電氣的摩耗量が大幅に低減しすり板摩耗量の低減につながる事が認められた。

すり板摩耗量の低減はすり板取替コストの軽減化を図ることができ、大きなコスト削減効果が期待できる。この離線率の低減による効果はトロリ線の摩耗量低減も見込め、さらなるコストの低減が期待される。

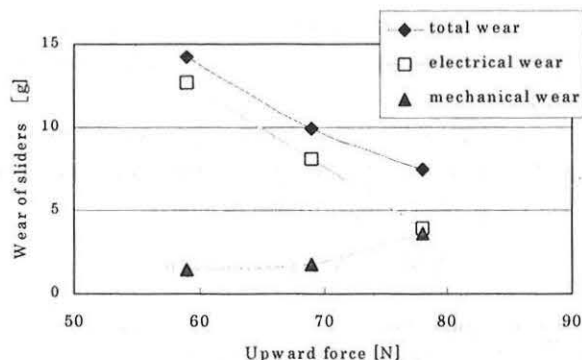


Fig.10 Wear of metalized carbon sliders in the fields

5. まとめ

安定した集電性能を確保するためパンタグラフの追従特性に着目した。追従振幅はパンタグラフの定常押上力（静的押上力+揚力）に比例するため、2種類のパンタグラフについて揚力特性を測定したところ、WPS27D（カーボン系）はWPS27C（焼結金属）よりも130km/h時に揚力が25Nも低いことがわかった。

高速走行時の定常押上力を補うため、静的押上力を変更し、集電性能の検証を行った。集電試験装置および本線走行共に良好な結果を得るとともに、わたり線や支持点での押上量や歪についても安全性に問題ないことがわかった。

また静的押上力変更による離線率の低減はすり板摩耗量を軽減することが認められ、この結果メンテナンスコストの削減をも期待することができる。

お客様へのサービス向上として速度向上が求められているなかで安定した集電性能を確保するためには、パンタグラフの動的特性を十分に把握し、最適な静的押上力を設定することが必要である。

参考文献

- (a) 鉄道総合技術研究所 編：「電車線とパンタグラフの特性」, PP38-40, P.92 (1993)