

S8-2-5.

架線－パンタグラフ間アークによるトロリ線溶断事象のエネルギー面からの考察

Study of contact wire breaking phenomena caused by the arc
between the wire and the pantograph taking injected energy into account

[電] ○林屋 均 (JR 東日本) [電] 阿部 泰久 (JR 東日本)
[電] 萬代 毅 (三和テッキ) 林 博之 (三和テッキ)
[電] 根岸 英雄 (JR 東日本)

Hitoshi HAYASHIYA, R&D center of JR East Group, 2-0 Nisshin, Saitama-shi, Saitama
Yasuhisa ABE, R&D center of JR East Group
Tsuyoshi MANDAI, Sanwa Tekki Corporation
Hiroyuki HAYASHI, Sanwa Tekki Corporation
Hideo NEGISHI, R&D center of JR East Group

The breaking tests of contact wire caused by the arc between the contact wire and pantograph are performed supposing the contact loss phenomena under the snowfall. The contact wire breaking index has been reported as a quantity of electric charge, which is 750C, previously. In this paper, the breaking condition is evaluated by the injected energy into the arc which is calculated as a product of the arc current by the arc voltage. It is shown that the contact wire breaks with the injected energy about 40kJ.

Key Word : arc, breaking of contact wire, arc voltage

1. はじめに

降雪時に長時間停車している列車のパンタグラフ上への積雪のためパンタグラフが離線し、それに伴うアークによりトロリ線が溶断する事象が稀に発生する。筆者らは最近、この事象を把握するための基礎試験を続けており⁽¹⁾、その結果は過去の文献⁽²⁾に触れられている溶断指標である 750C という値と必ずしも一致しない。即ち、アーク電流が 400A の場合、3 秒弱でトロリ線が溶断するため、この指標に比較的近い値を得るものの、補機電流程度を想定した 100A で試験をしてみると溶断までに 20s 程度要し、2,000C という結果を得る。

そこで本資料では、通過電荷量ではなく、アーク電圧とアーク電流の積の時間積分値として与えられる入力量により溶断指標を解釈することを試みる。トロリ線はアークからの熱により溶断することを考えると、単純に通電電荷量で評価するよりもエネルギー量で評価する方が合理的なように感じる。一方で、アーク電圧は空隙が数 mm の範囲ではおよそ一定であるため、結果的には両者はほぼ同等な指標を与えることになるものの、今回試算したケースでは、入力量で評価の方が幾許か一般的な溶断指標を与える結果を得た。

2. これまでの試験結果

筆者らはこれまで、降雪時の補機電流レベルの通電電流によるトロリ線アーク溶断事象について、様々な試験条件にて溶断試験を行い、以下の結果を得ている。詳細な試験条件は文献⁽¹⁾に譲るが、これらの試験では、トロリ線とすり板を接触させた状態で通電を開始し、その直後にすり板を下降させる手法にて試験を行っている。すり板にはメタライズドカーボンすり板、トロリ線には GT-Sn110mm² を使い、トロリ線張力は 8.8kN にて試験を行った。

■ 100~400A の電流値では、電流値が大きいくほどトロリ線

が短時間で溶断する。

■ 同一電流値では、ある程度まではすり板下降速度が速いほど短時間で溶断する。一方で、ある程度以上のすり板下降速度では、アークの挙動が不安定になるため、溶断までの所要時間は逆に増加し、さらに高速にすり板を下降すると、不安定になったアークは溶断前に自己消弧する。

■ このように、溶断し易さは電流値とすり板下降速度に依存するが、最も溶断し易い条件と比較すると、100A で 18.1s, 200A で 4.8s, 400A で 2.3s で溶断する結果となった。これらの試験結果の要約として、すり板下降速度と溶断に至るまでの所要時間の関係を図 1 に示す。

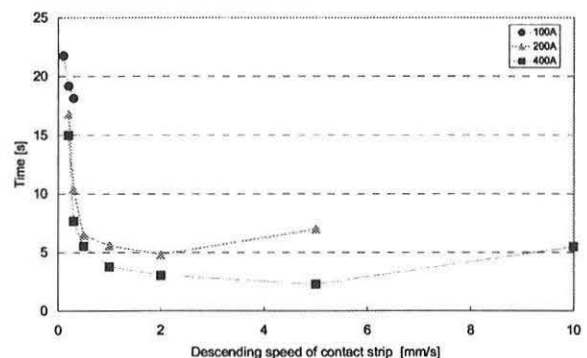


Fig.1 Relation between the descending speed of contact strip and the time until the breaking of contact wire

3. 入熱量による考察

図 1 において、100A の場合、0.3mm/s で 18.1s にて溶断す

る結果を得ているが、これ以上すり板下降速度を早くすると、溶断に至る前に空隙長が長くなりすぎ、これによりアークが不安定になるために自己消弧する。同様に 200A の場合 2.0mm/s, 400A の場合 5.0mm/s 以上の下降速度では下降速度を早くしても溶断に至るまでの所要時間は短くはならず、延いてはアークは自己消弧する。そこで、同一の下降速度にて溶断までの所要時間データを得ている下降速度 0.3mm/s の場合について比較してみると、溶断までの所要時間は 100A で 18.1s であるのに対し、200A で 10.4s, 400A で 7.7s となり、通過電荷量で比較すると 1.7 倍の開きがある。

それぞれの試験におけるアーク電圧とアーク電流の時間変化を図 2 に示す。また、試験前後でのトリ線損耗量を表 1 にまとめる。アーク電圧はトリ線側とすり板側にそれぞれ独立して取り付け高電圧分圧器の測定値の差として算出した。 $t = 0$ s に通電が開始され、各図中の矢印 A の時刻にすり板がトリ線から離線したことにより 20V 前後のアーク電圧が発生し、矢印 B の時刻にトリ線が溶断して、このため直後にアーク電圧が飛躍的に増大している。通電開始から矢印 A までの時間帯でアーク電圧が見えているのは、トリ線とすり板間の接触抵抗による電圧降下である。

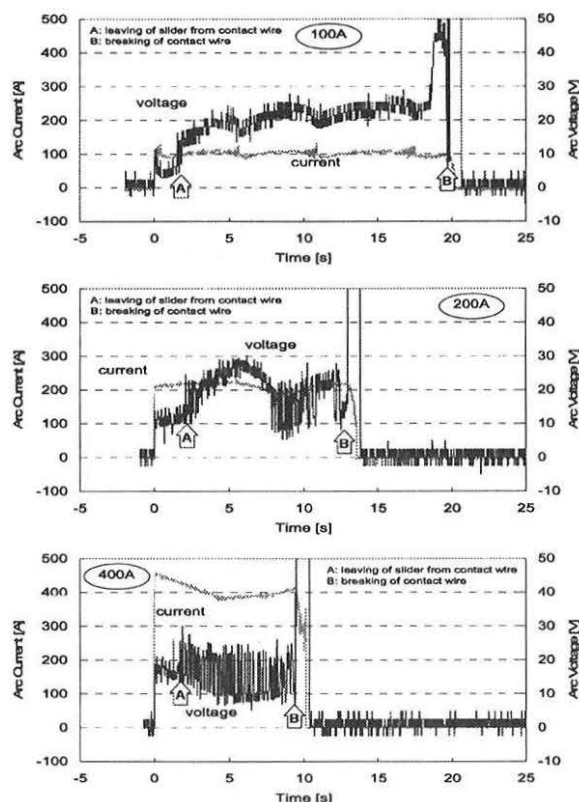


Fig.2 Time evolutions of arc voltage and arc current

電流値が大きくなると、アークによりトリ線が逐一溶解され、これにより離線したトリ線とすり板の間隔が等価的に狭まったり、延いては橋絡されたりすることにより、アーク電圧の値が安定せず、激しく変動している。これに対して 100A の場合は、アークが安定して点弧し続け、トリ線もほとんど損耗しない。

Table 1 Relation between arc current and quantity of wear

Current	100A	200A	400A
Quantity of wear	Less than 0.1g	0.2g	1.5g

図 2 の結果を、通電開始からの積算電力量として整理した結果を図 3 に示す。図中、●をプロットした時間はトリ線が溶断した瞬間である。今回の試験では、それほど精度の高い分圧器(精度 $\pm 5\%$)を用いて計測を行ったため、図示した程度の誤差を含む可能性があるものの、およそ 40kJ $\sim$ 60kJ 程度の入力でトリ線が溶断していること、電流値が少ないほど少ない入力で溶断に至っていること、などが伺える。このことは、400A の場合にトリ線の溶解・蒸発・飛散にエネルギーを費やしているのに対し、100A ではほとんどトリ線が損耗することなく、入熱によるトリ線の軟化により(いわば効率的に)溶断に至っていることと符合する。

今回のケースだけで溶断指標を評価すると、電荷量で比べると 100A の場合と 400A の場合でその差は 1.7 倍であったのに対し、入力量で比べるとその差は 43.3kJ と 61.3kJ の 1.4 倍となり、やや一貫性のある指標となっている。

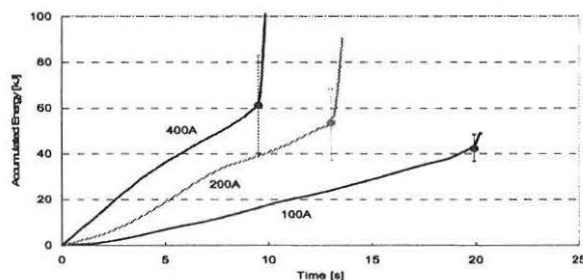


Fig.3 Increase of accumulated energy until the breaking of contact wire

4. まとめ

トリ線が溶断に至るまでの指標として、これまで 750C という通過電荷量による指標が与えられているが、これを入力量より考察した。アークに注入されたエネルギーは、全てが陽極であるトリ線を加熱・溶解することに費やされるわけではないが、およそ 40kJ 程度の入力でトリ線が溶断に至っていることが確認された。この半分のエネルギーがトリ線に熱として注入されたと想定して試算すると、GT-Sn110 mm² のトリ線が 10mm に渡って熔融されたことに相当する。

なお、前記のように、今回の測定では電圧の測定誤差が大きく、入熱量の評価の厳密性に欠ける。試験によっては 20kJ 程度の入熱量で溶断している試験もあり、今後、より精度の高い測定により考察を進めていきたい。

参考文献

- (1) 林屋, 阿部, 萬代, 林, 根岸:「降雪時のトリ線アーク溶断可能性の検証試験」, 電気学会交通電気鉄道研究会資料, No.TER-04-***, (2004)
- (2) 三浦, 諸永:「トリ線溶断試験」, 電気鉄道, Vol.27, No.6, pp.6-9 (1973)