

# 2702 アーク継続時間ならびに電極間距離が トロリ線表面に及ぼす影響

正 [電] ○早坂 高雅 (鉄道総研)

## Influence of Arc Duration and Contact Distance on Contact Wire Surface

Takamasa HAYASAKA, Railway Technical Research Institute. 2-8-38, Hikari-cho Kokubunji-shi

Arc discharges by contact loss between contact wires and pantographs are the factors in damages of contact wires and contact strips. However the arc traces on the surface of contact wires cannot be observed because the contact strip slides on the contact wire in the field or in usually equipment. Therefore, we have experimented about arc discharges in which the arc duration is controlled in order to solve the arc phenomena between contact wires and contact strips in the equipment without contact strips sliding. The experiments gave us some important results; for example, the radius, the depth and the volume of the arc traces are not influence on the arc duration but on current in circuits. This paper shows the relation between arc duration and contact materials.

Keywords : Arc duration, Contact distance, Current collecting material, Arc trace

### 1. はじめに

電気接点にトロリ線とすり板を用いて、実験室内で1~2 secのアーク継続時間を有するアーク放電を発生させると、アーク放電発生前後でトロリ線の質量は増加し、すり板の質量は減少することがわかっている<sup>(1)</sup>。このときのトロリ線の質量増加は、溶融したすり板の一部がトロリ線に付着するために生じていると考えられている。一方、鉄道のフィールドにおいて、トロリ線や剛体電車線のしゅう動面に生じる波状摩耗のように、局所的な摩耗(質量の減少)が確認されているが、その形成には離線時のアーク放電が関係していると考えられている<sup>(2)</sup>。

実験室内において既述したアーク放電発生後のトロリ線表面にすり板材料の一部が付着することに加えて、クレータ状の凹部の形成が確認された。この凹部がトロリ線の波状摩耗のような局所的な摩耗に関係していると考えられるが、この凹部の大きさがどのようなパラメータによって変化するのかについては明らかになっていない。

これまで筆者らは、アーク放電がトロリ線表面に及ぼす影響を明らかにするために、電気接点に集電系材料を用いたうえで、アーク継続時間を任意に変えて、電気接点表面に形成される凹部を詳細に解析してきた。本論文では、アーク放電発生後のトロリ線表面の観察によって確認された凹部の半径、深さ、体積の測定結果について報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 実験装置

図1に実験で使用した電極開閉装置の概要を示す。また図2に測定系統を除いた、電極開閉装置の回路図を示す。この電極開閉装置は、電極としてトロリ線やすり板

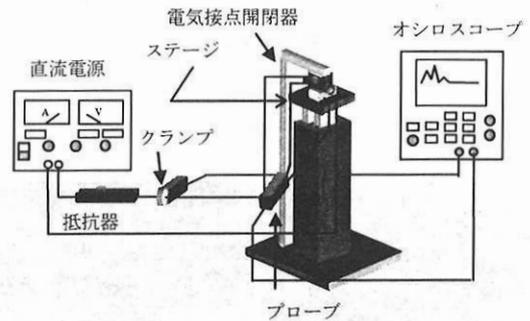


図1 電極開閉装置

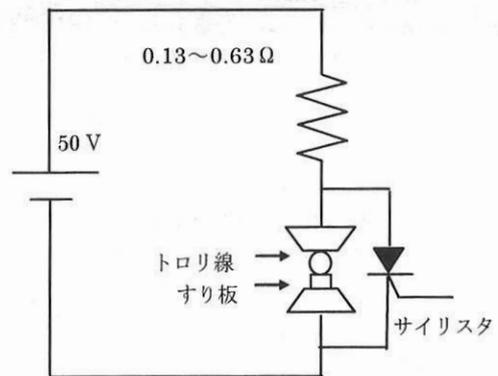
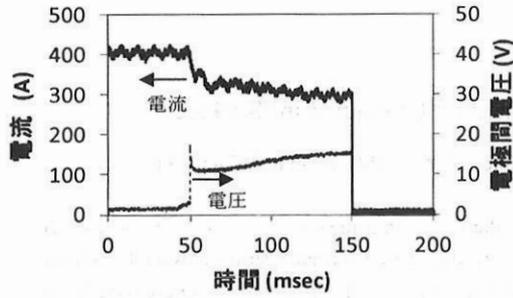


図2 回路図

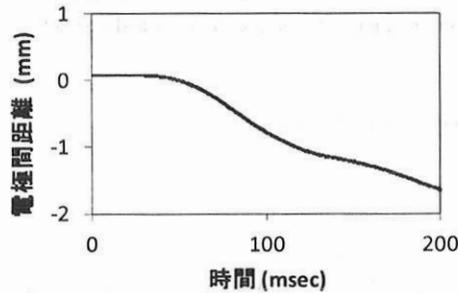
を上下に固定して、一方の電極を任意の速度で上下に移動させることのできる可動ステージを備えている。

表 1 電極材料

極性	材料	組成 (重量%)
陽極	GT110	Cu (99.96%)
陰極	PC78A	Cu (50%), C (50%)

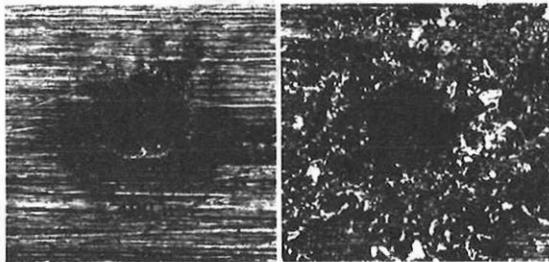


(a) 電流と電極間電圧の変化



(b) 電極間距離の変化

図 3 オシロスコープの波形例



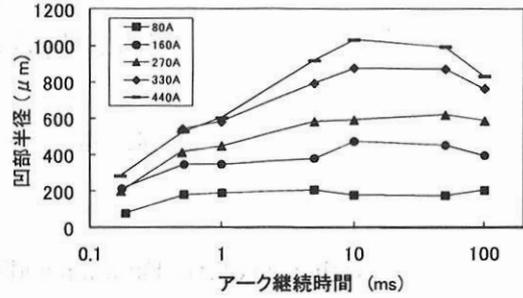
(a) アーク継続時間 (0.5 msec) (b) アーク継続時間 (10 msec)

図 4 アーク放電発生後のトロリ線表面 (80A)

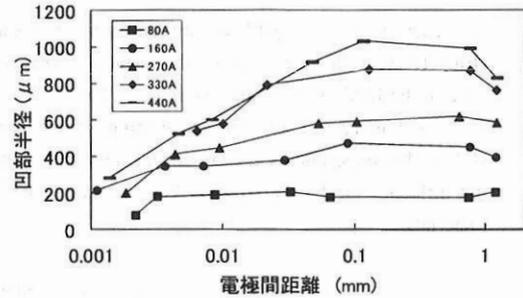
実験では電極を閉じた状態で直流電源から 50 V の電圧を印加して 80~440 A (0.13~0.63Ω) の電流を流した状態で、接点を 10mm/s の速度で鉛直下向きに移動させてアーク放電を発生させ、任意の設定時間 (0.2~100 msec) 後にサイリスタを点弧してアーク放電を終了させた。なお、この実験装置は接点を開放してアーク放電を発生させるため、アーク継続時間とともに電極間距離も変化する。電極間距離についてはレーザー変位計で測定を行っている。ただし、ここでの電極間距離はアーク放電発生点とアーク放電終了点の差であることに注意が必要である。

## 2.2 電極

表 1 に各電極に用いた材料の種別と成分を示す。実験に用いた電極は、陽極として 20~30 mm の長さのみぞ



(a) アーク継続時間と凹部半径



(b) 電極間距離と凹部半径

図 5 アーク放電と凹部半径の関係

付き硬銅トロリ線 110 mm<sup>2</sup> (GT110)、陰極として約 20×25×10 mm の在来線で一般的に使用されているカーボン系すり板の一種である PC78A を使用した。トロリ線とすり板は、実験前に 200 番の紙やすりで接触面を研磨したうえで、エタノールで脱脂し、十分乾燥させた後に質量を測定してから、陽極である固定ステージにトロリ線を、陰極である可動ステージにすり板をセットした。

## 2.3 測定波形の例

図 3 にオシロスコープの波形例を示す。この実験では約 400A の電流を流した状態で電極を開放させた。図中では約 50msec の付近でアーク放電が発生して電極間電圧が 10V 以上に急変している。その後、100msec 経過してサイリスタが点弧し、アーク放電は終了している。前述したように、電極間距離はアーク放電が発生した瞬間を基準としているため、この波形例における電極間距離は約 1.3mm である。

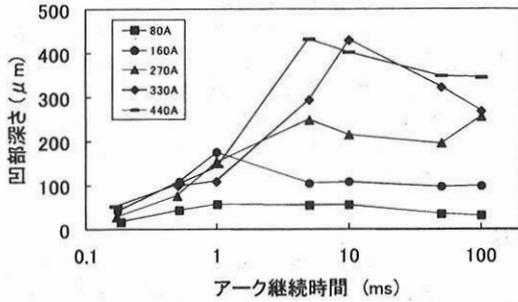
## 3. 実験結果

### 3.1 アーク放電後のトロリ線表面

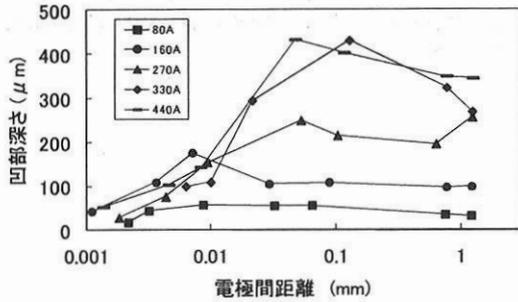
図 4 に 0.5 msec と 10 msec のアーク放電発生後のトロリ線表面状態を示す。2 つのトロリ線の表面には、凹部が形成されていること、その周囲の状態がアーク継続時間によって異なることが特徴として認められる。既述したがこれまでの筆者の研究から、凹部の周囲の付着物は、すり板の成分の一部であることがわかっている。

### 3.2 アーク継続時間、電極間距離と凹部大きさの関係

前述のようにアーク放電によって、トロリ線表面に凹部が形成される。図 5 にアーク放電と凹部半径の関係を、図 6 にアーク放電と電極間距離の関係を、それぞれアーク放電発生直前に回路に流れていた電流をパラメータにして示す。また図 7 にこれらの値を用いて、凹部を円錐と仮定した場合の体積を示す。



(a) アーク継続時間と凹部深さ



(b) 電極間距離と凹部深さ

図6 アーク放電と凹部深さの関係

凹部の半径は、電流値が大きい場合、5~10 msec 前後のアーク継続時間まで増加する傾向にあるが、それ以上においてほとんど増加しない。なお、このときの電極間距離は0.1mm程度である。一方、電流の大きさが変化すると凹部の半径の大きさが変化することがわかる。

凹部深さは、データにばらつきがあるものの、アーク継続時間が5~10 msec 前後まで増加する傾向にあるが、それ以上においてほとんど増加しない。また凹部半径の大きさと同じように電流の大きさが変化すると凹部の深さも変化することがわかる。

凹部の体積は、アーク継続時間が5msec以上になると電流による違いが顕著になる。

以上の測定結果から、凹部の半径と深さはアーク継続時間の影響よりも電流の影響を受けやすいことがわかる。

### 3.3 電流と凹部大きさの関係

既述したように電流による凹部の大きさの違いはアーク継続時間が5 msec以上になると顕著になることがわかった。そこで、図8にアーク放電発生直前に回路に流れていた電流に対する5msec以上のアーク継続時間の時の凹部の半径、深さ、体積の平均値を示す。

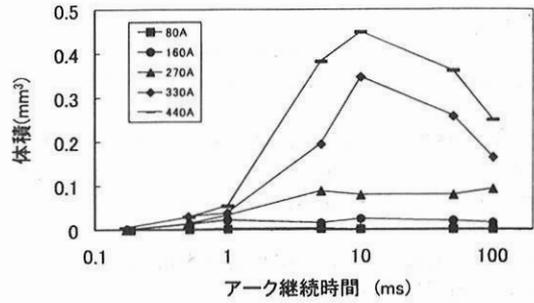
凹部半径を  $r$  ( $\mu\text{m}$ )、凹部深さを  $d$  ( $\mu\text{m}$ )、凹部体積を  $V$  ( $\text{mm}^3$ )とすると、それぞれは電流を  $I$  (A)として下記のように与えられる。

$$r = 2.46 I \dots \dots \dots (1)$$

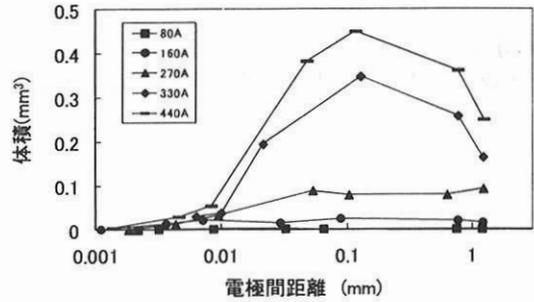
$$d = 0.94 I \dots \dots \dots (2)$$

$$V = 1.0 \times 10^{-9} I^3 \dots \dots \dots (3)$$

以上から、凹部の半径、深さは電流に比例し、体積は電流の3乗に比例することがわかる。

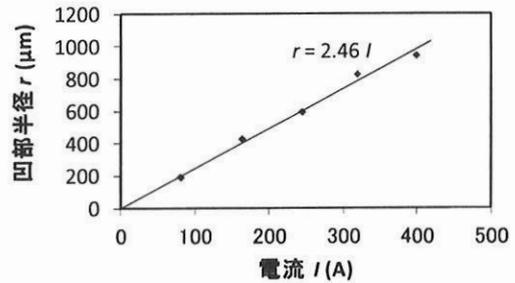


(a) アーク継続時間と凹部体積

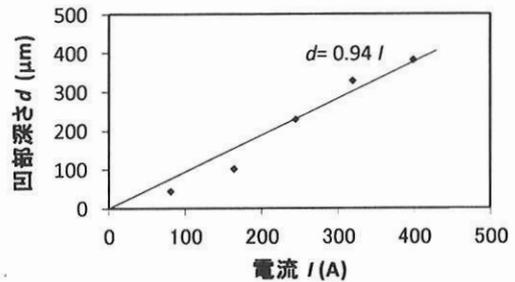


(b) 電極間距離と凹部体積

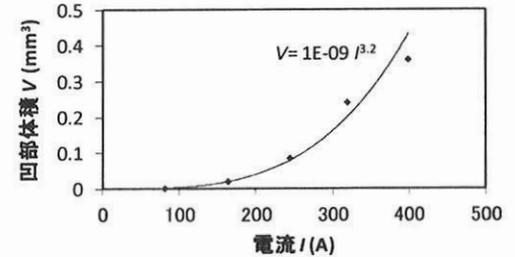
図7 アーク放電と凹部体積の関係



(a) 電流と凹部半径



(b) 電流と凹部深さ



(c) 電流と凹部体積

図8 アーク放電と凹部大きさの関係

#### 4. まとめ

アーク放電発生後のトロリ線表面の観察によって確認された凹部の半径、深さ、体積の測定から以下のことがわかった。

(1) 凹部の半径や深さは、電流値が大きい場合、5～10 msec 前後のアーク継続時間まで大きくなる傾向にあるが、それ以上のアーク継続時間においてほとんど大きくならない。

(2) 凹部の体積は、アーク継続時間が 5 msec 以上になると電流による違いが顕著になる。

(3) 凹部半径ならびに凹部深さは電流に比例し、凹部体積は電流の 3 乗に比例する。

#### 5. おわりに

トロリ線のアークによる損傷はアーク継続時間よりも

電流値の影響を受けることが明らかになったが、その損傷のメカニズムについてはまだ解明されていない。損傷の大きさが電流に依存することから、そのメカニズムには、アーク放電が発生する直前の接点間に形成される熔融ブリッジが関係すると思われる。今後、筆者はこのような観点からアークによるトロリ線の損傷メカニズムを解明する予定である。

#### 参考文献

- 1) 早坂 高雅, 久保田喜雄: 開離時アーク放電が集電系材料の質量と表面状態に及ぼす影響, 電学論 D, Vol. 132, No.2, pp.163-169, 2012
- 2) 網干光雄, 中谷浩, 東海林博行: 剛体電車線における波状摩耗の発生機構, 電学論 D, Vol. 126, No.2, pp.109-115, 2006