

# 交流用同相セクションの機械的特性改善の検討

菅原 淳\* 臼木 理倫\*

## Improvement of Mechanical Characteristics of AC Section Insulator

Atsushi SUGAHARA Tadanori USUKI

This paper describes improvement of mechanical characteristics of AC section insulator based on the structure of the existing type B section insulator. The authors devised a contact wire strain reduction method to be applied to the type B section insulator. It has been confirmed through a pantograph running test that this method is effective when the sliding surface level of sliders are not adjusted properly. The authors also devised a slider supporting structure which has the performance independent of train running direction and can reduce necessity of sliding surface level adjustment. The result of the pantograph running test indicates that high strain values are not generated at each part of the section insulator and that contact loss characteristic is comparable with that of the type B or another development type, provided that the section insulator is installed properly.

キーワード：交流電化，同相セクション，トロリ線ひずみ，離線，パンタグラフ走行試験

### 1. はじめに

同相セクションは、交流電化区間の駅構内等において、電源の位相が同じ箇所では架線を電氣的に区分する必要がある場合に用いられる。同相セクションにはトロリ線の疲労破断やスライダの折損、摩耗といった機械的問題と、パンタグラフ通過後のアーク放電継続といった電気的問題が時々発生している。後者は負荷の大きい線区の下線間に設けられた同相セクションで発生しがちであるが、上下タイキ電化により根本的に解決可能である。そこで、前者の機械的問題の改善のため、同相セクションの構造改良を検討し、試作・試験を実施した。

### 2. 現用 B 形同相セクションの概要

日本における同相セクションは、旧国鉄で規格化されていた在来線用の A 形<sup>1)</sup>と新幹線用の B 形<sup>2)</sup>が現在も多く用いられている。ただし、B 形は一部在来線でも用いられている。いずれも主たる絶縁部材としてがいしを用いたもので、がいし形セクションと総称される。A 形は列車通過の方向性はないが、通過速度は 45km/h 以下とされている。一方、B 形は列車通過の方向性はあるものの、順方向の通過速度は 70km/h 以下と A 形より高い。本稿で紹介する検討例はいずれも B 形をベースとしているので、B 形の概要を以下に述べる。

B 形セクションを図 1 に示す。B 形は東海道新幹線の

当初から使用されてきた同相セクションの問題点を踏まえ、山陽新幹線建設に際して開発された。のちに新幹線用同相セクションは B 形に一本化されている。

ちょう架線およびトロリ線はそれぞれ連結ヨークの上端および下端に接続され、連結ヨークの間に渡された 2 列の懸垂がいしが絶縁と張力を担っている。この部分がセクションの骨格をなし、それに対しパンタグラフを円滑に通過させるためのスライダが取り付けられる。左右に広がったスライダ (A) の側から進入するのが順方向通過である (以下、スライダ (A) 側を入口側と称す)。なお、逆方向の通過速度は 45km/h 以下とされている。出口側のスライダ (B) は 3 個のスライダ結合イヤーでトロリ線の左右に沿って取り付けられる。スライダ (B) のしゅう動面は、連結ヨークから最も遠い側ではトロリ線のそれと一致しているが、連結ヨークに近づくにつれ低くなり、連結ヨークに最も近い側ではトロリ線より 10mm 低く、パンタグラフがトロリ線自体をしゅう動しないようになっている。パンタグラフが順方向に円滑に通過できるよう、スライダ (A) は (B) に比べ 15~20mm 低く調整する。スライダ (A) (B) およびトロリ線の相対的な高さの関係を図 1 にあわせて示す。

### 3. 現用 B 形セクションのトロリ線ひずみ低減

B 形セクションでは、その直近でトロリ線が疲労破断した事故例がある<sup>3)</sup>。そこで、そのメカニズムを踏まえ、トロリ線ひずみ低減策を検討し、試験で効果を確認した。

\* 電力技術研究部 (集電管理)

特集：電力技術

3.1 トロリ線ひずみ発生メカニズムと低減策

前章で述べたとおり、スライダ(A)を(B)に比べ15~20mm低く調整するのがB形本来の架設状態である。しかし、調整が行き届かず高低差が不十分だと、パンタグラフが順方向に通過する際にスライダ(B)の上反部に衝撃的に接触する可能性がある。その衝撃によりスライダ(B)上反部が強く押し上げられ、スライダ結合イヤーを介してトロリ線に著大な曲げひずみが発生することが考えられる。その様子を模式的に図2に示す。事実、事故例ではこの部分でトロリ線が疲労破断しており、かつスライダ(B)上反部には顕著な摩耗が認められた。

万一、スライダ(A)(B)の高低差が不十分な場合にトロリ線ひずみを低減し疲労破断を防ぐには、スライダ(B)に加わった衝撃がトロリ線に直接伝わらないようにすればよい。その方法として図3に示すように、トロリ線とスライダ(B)がばねを介して相対的に上下に可動なスライダ結合イヤーを適用することが考えられる。

3.2 パンタグラフ走行試験によるひずみ低減効果検証 (1) 試験方法

前節のトロリ線ひずみ低減策の効果を検証するため、鉄道総合技術研究所の集電試験装置を用いてパンタグラフ走行試験を行った。同装置はリニアモータ駆動の走行台車に実物のパンタグラフを搭載し、全長約500mの走行路上に設けた架線のもとを走行させるものである。

本試験では在来線を想定し、集電試験装置に常備されているシンプルカテナリ架線(トロリ線:硬銅110mm<sup>2</sup>張力9.8kN、ちょう架線:亜鉛めっき鋼より線90mm<sup>2</sup>張力9.8kN)にB形セクションを架設した。供試セクションの架高(トロリ線とちょう架線の間隔)は810mmとした。パンタグラフはPS16形を用い、静押上力は54Nとした。

スライダ結合イヤーに組み込むばねの硬さは、衝撃を緩和できればよい一方、パンタグラフの静押上力程度で不用意に動作しない観点から、左右のスライダ合わせて196Nで動作し始めるものとした。

(2) 試験結果

試験では3.1節のトロリ線ひずみのほか、スライダ結

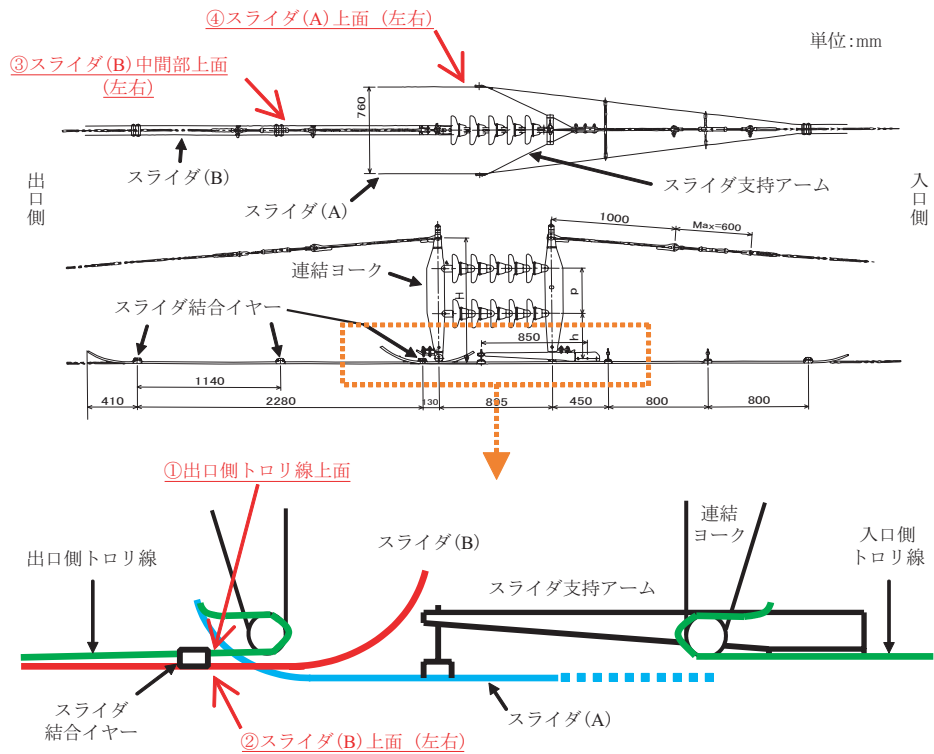


図1 現用B形セクションとそのトロリ線・スライダ高さ構成およびトロリ線ひずみ低減効果確認試験のひずみ測定箇所

合イヤーにばねを組み込んだことで他の箇所に不用意なひずみが生じないか確認した。ひずみ測定箇所①~④を図1にあわせて示す。

箇所①の、順方向走行におけるひずみ測定結果(正負ピーク値, 以下同様)を図4に示す。凡例における数値

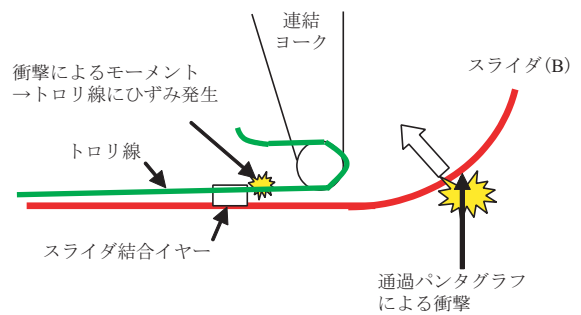


図2 B形セクションのトロリ線ひずみ発生メカニズム

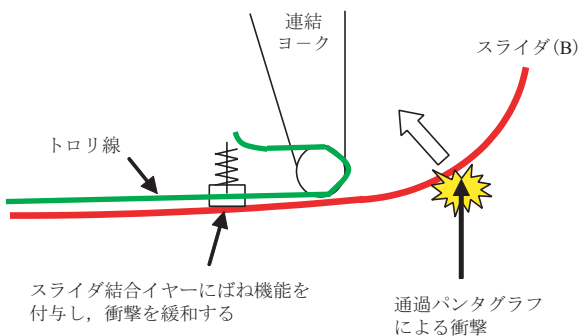


図3 ばね入りスライダ結合イヤーによるトロリ線ひずみ低減

はスライダ (A) (B) の高低差を示し、(A) が低い場合を正とする。トロッコ線の疲労破断を避けるためのひずみの目安は片振幅で  $500 \times 10^{-6}$  以下とされている<sup>4)</sup>。ばねなしのスライダ結合イヤーでも、スライダ (A) (B) の高低差が概ね適正 (10mm および 20mm) であれば  $500 \times 10^{-6}$  を超えるひずみは生じていない。しかし高低差 0mm では  $1000 \times 10^{-6}$  超のひずみが、-8mm では通過速度上限の 70km/h でも  $2000 \times 10^{-6}$  超、90km/h では  $4000 \times 10^{-6}$  近いひずみが生じている。それに対しばね入りのスライダ結合イヤーを用いた場合、高低差 0mm ではひずみは概ね  $500 \times 10^{-6}$  以下に抑えられ、-8mm でも  $1000 \times 10^{-6}$  強までに低減しており、効果が確認できた。

箇所②の、順方向走行におけるひずみ測定結果を図5に示す。スライダの上反部が押し上げられるときの上面のひずみのため、圧縮側(負側)に大きな値が生じている。スライダ高低差 0mm および -8mm の場合に走行速度およびスライダ高低差との相関が認められ、ばねなしのスライダ結合イヤーでは 90km/h で約  $-1800 \times 10^{-6}$  のひずみが生じているが、ばね入りでは約 1/2 に低減しており、

この箇所のひずみにも効果が確認できた。

スライダ (B) の先端が可動になったことに伴い、その中間部(図1中の③)に不用意なひずみが発生しないか検証した。順方向走行におけるスライダ上面のひずみ測定結果を図6に示す。走行速度およびスライダ高低差との相関は認められるが、ばねの有無とひずみの大小との相関は特に認められず、悪影響はないものと考えられる。スライダは張力が負荷されておらず、材質はタフピッチ銅で加工硬化の程度が高いもの (JIS 記号 C1100BD-H) である。文献5)には同等材の疲労限度として 105MPa 程度の値が示されており、ヤング率を 120GPa とすれば  $875 \times 10^{-6}$  程度のひずみに相当する。従って試験でのひずみ測定値から疲労破断の可能性は低いものと考えられる。

さらに、スライダ (B) の先端が可動になったことに伴い、逆方向通過時にパンタグラフがスライダ (A) の上反部にぶつかりやすくなるか、図1中の箇所④のひずみを測定することで検証した。その結果を図7に示す。ただし逆方向走行試験では速度は最大 70km/h とし、スライダ

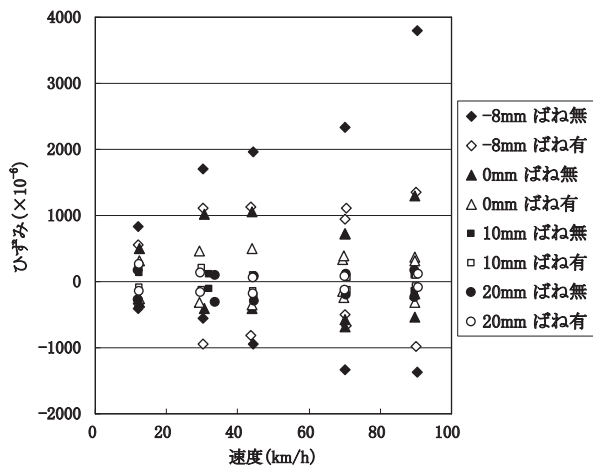


図4 トロッコ線ひずみ低減効果確認試験ひずみ測定結果 (順方向走行, 箇所①)

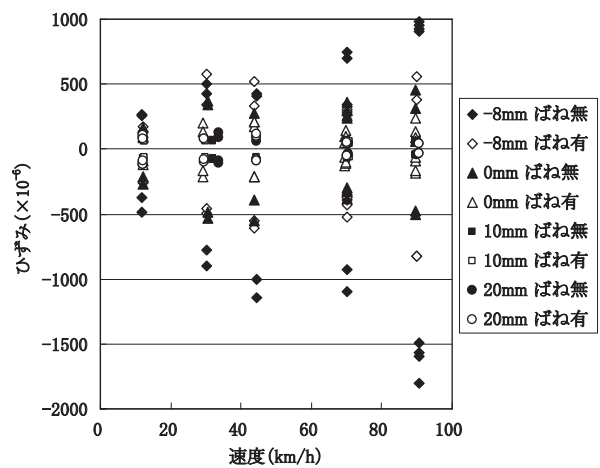


図5 トロッコ線ひずみ低減効果確認試験ひずみ測定結果 (順方向走行, 箇所②)

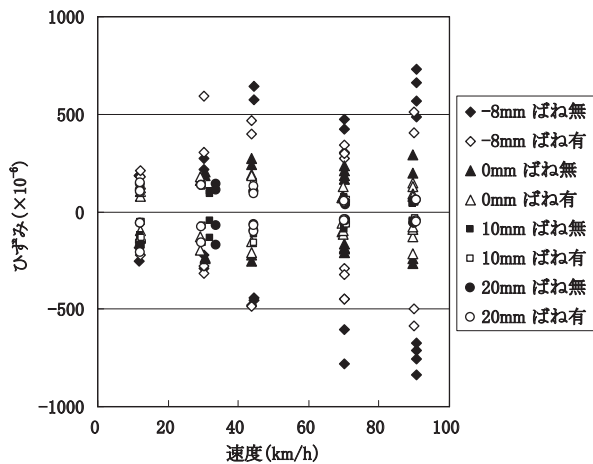


図6 トロッコ線ひずみ低減効果確認試験ひずみ測定結果 (順方向走行, 箇所③)

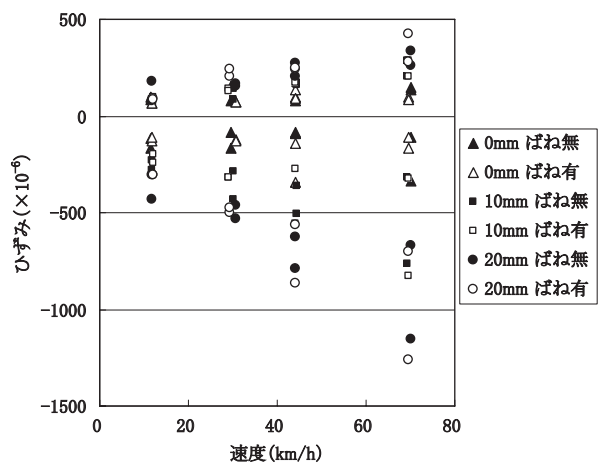


図7 トロッコ線ひずみ低減効果確認試験ひずみ測定結果 (逆方向走行, 箇所④)

特集：電力技術

の高低差が負の試番は設けていない。走行速度およびスライダ高低差との相関は認められるが、ばねの有無との相関は特に認められず、悪影響はないものと考えられる。

4. スライダ支持構造の改良

前章の方法でB形セクションのトロリ線ひずみを大幅に低減できることを確認したが、スライダ高さの管理を要する点は変わっておらず、また、列車通過の方向性があるという課題も残されていた。そこで、

- (a) スライダ高さの管理を要しない、または管理の必要がわずかなこと。
- (b) パンタグラフ通過時にトロリ線その他に著大なひずみが発生しないこと。
- (c) 列車走行の方向性がないこと。通過可能速度はB形順方向と同じく70km/hを目標とする。
- (d) 架線の長さ方向変位やちょう架線・トロリ線の張力アンバランスに対し架設状態が崩れにくいこと。
- (e) カーボンのパンタグラフすり板への適応性を考慮し、絶縁体をしゅう動するタイプでないこと。

を要件に、B形をベースにスライダ支持構造を改良する方向で検討し、供試品を製作のうえパンタグラフ走行試験を行った。

4.1 供試品のねらい

検討したスライダ支持構造を適用した同相セクションを図8に示す。架線の温度伸縮等に伴う架設状態変化によってセクションの前後でスライダの高さに不整が生じるのは、スライダがセクションによる区分の片側(手前側)からしか支持されていない点によるところが大きい。スライダ先端が区分の相手方(反対側)からも支持されていればスライダの高さに不整は生じにくくなると考えられる。そこで、セクションの骨格をなす部分についてはB形を踏襲しつつ、横方向に広がっているスライダ(A)の先端をポリマがいしを介して区分相手方の連結ヨークから支持することとした。これにより、スライダ(A)のしゅう動面高さ

を架設時に調整した後はほとんど調整不要と見込まれる。ポリマがいしを連結ヨークと平行に配することで、トロリ線に長さ方向の変位が生じて連結ヨークが傾いてもポリマがいしは連結ヨークとともに動き、スライダの高さに不整は生じにくいものと考えられる。ポリマがいしは懸垂がいし250mm 5個連相当のものをを用い、現用B形を置き換え可能なことをねらった。セクション自体は方向性をなくし、両方向ともB形順方向と同じく70km/hで通過可能とすることを旨とした。

4.2 パンタグラフ走行試験による実用可能性検証

(1) 試験方法

前節で述べた同相セクションの実用可能性を検証するため、やはり集電試験装置でパンタグラフ走行試験を行った。本試験も在来線を想定し、供試セクションはシンプルカタナリ架線に架設した。供試セクションの架高も同じく810mmとした。パンタグラフおよび静押上力の条件も同じである。

スライダの高さの条件に関しては、スライダ(A)をトロリ線に沿って取り付けスライダ(B)および(C)と揃え、なるべく高低差を設けないう調整するのがパンタグラフ通過時の衝撃が最も小さいと考えられるので、これを標準条件とした。しかし、スライダ(A)が若干高くなる不整が生じたり、あるいはスライダ(A)が

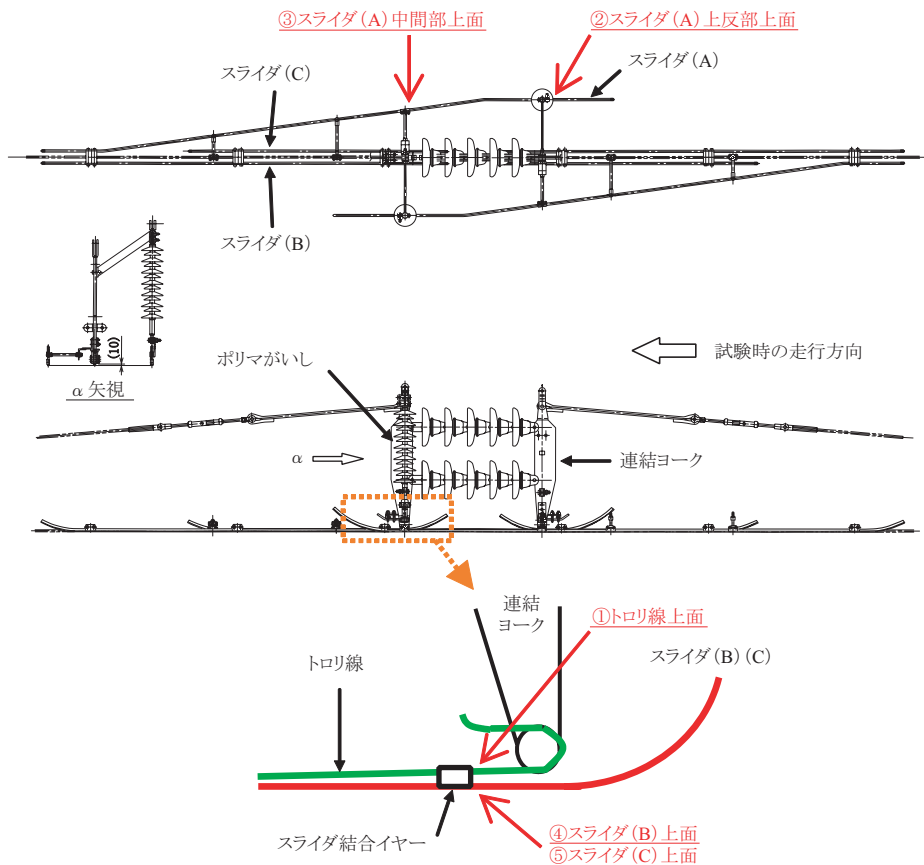


図8 スライダ支持構造を改良した同相セクションおよび試験時のひずみ測定箇所

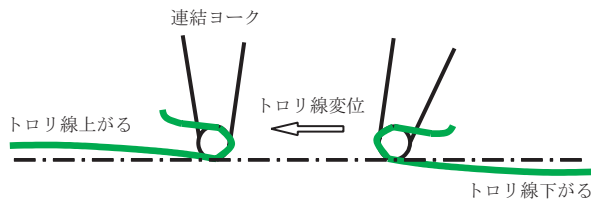


図9 トロリ線の長さ方向変位に伴う高さ変化

パンタグラフ通過時に若干押し上げられると、パンタグラフがスライダ (B) および (C) の上反部に衝撃を及ぼし、B形と同様のメカニズム (図2) でトロリ線に著大なひずみが発生することが想定された。そこで、進入側と進出側のスライダ (A) が平行する部分をスライダ (B) (C) より 10mm 低く調整する条件についても試験を行った。

トロリ線の長さ方向変位の条件に関しては、変位がなく連結ヨークに前後方向の傾きがない状態にセクションを架設するのが基本であるが、劣悪な架設状態を想定して、標準条件からトロリ線をパンタグラフ進入側および進出側に 100mm 変位させた条件についても試験を行った。トロリ線に変位を与えた場合、変位した側が高く、反対側が低くなる高さ変化がスライダ (B) (C) に認められた。これは、トロリ線が連結ヨークに対して固定されているため、図9に模式的に示すように連結ヨークの傾斜に伴ってトロリ線の高さに変化し、スライダ (B) (C) も高さを変化したものと考えられる。

(2) 試験結果

試験ではセクション各部のひずみと最大離線時間を測定した。ひずみ測定箇所①～⑤を図8にあわせて示す。

箇所①のひずみ測定結果を図10に示す。トロリ線をパンタグラフ進入側に変位させた場合のみ大きなひずみが生じている。これは、進出側のスライダ (B) (C) が進入側より低いいため、図2に示したメカニズムでひずみが大きくなったものと考えられる。従って、3章で述べたばね入りスライダ結合イヤーの併用でひずみ低減が期待できる。トロリ線と連結ヨークの接続をヒンジ状にすれば図9に示すトロリ線高低差の解消が見込めるが、ヒンジ部品の上下寸法の分、スライダの勾配を大きくする必要があり、通過可能速度に影響する可能性がある。その他の条件でのひずみは疲労に対する目安値  $500 \times 10^{-6}$  以内である。

箇所②のひずみ測定結果を図11に示す。スライダ (A) の平行部を 10mm 下げた条件においてのみ、特に負側に大きなひずみが生じている。これは進入側のスライダ (A) と (B) (C) に高低差があるためパンタグラフ舟体が傾きながらしゅう動した結果、進出側のスライダ (A) 上反部に上向きの衝撃を及ぼしたためと考えられる。他の条件ではひずみは  $500 \times 10^{-6}$  以内である。

箇所③のひずみ測定結果を図12に示す。スライダ (A) の平行部を 10mm 下げた条件では正負ともひずみが大きくなっている。正側について原因は判然としないが、負

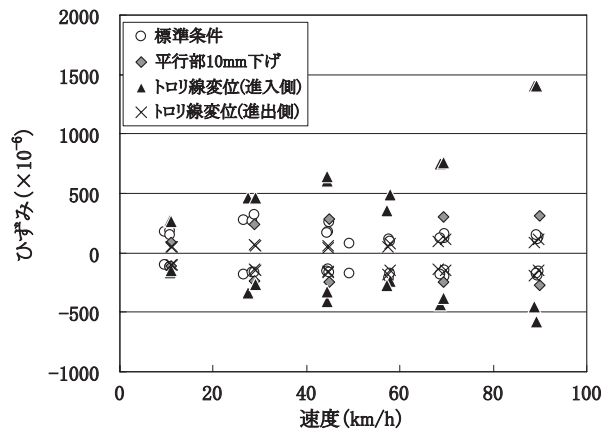


図10 スライダ支持構造改良品試験ひずみ測定結果 (箇所①)

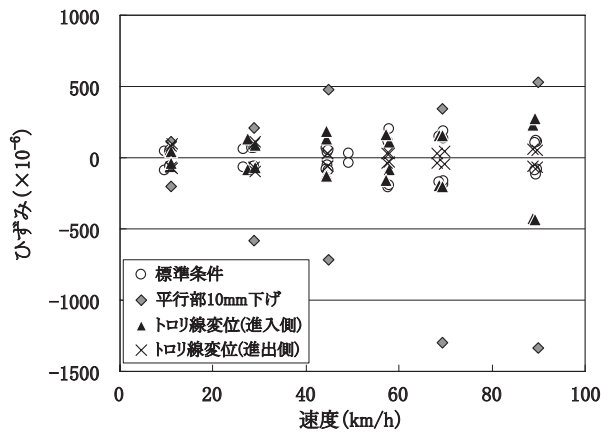


図11 スライダ支持構造改良品試験ひずみ測定結果 (箇所②)

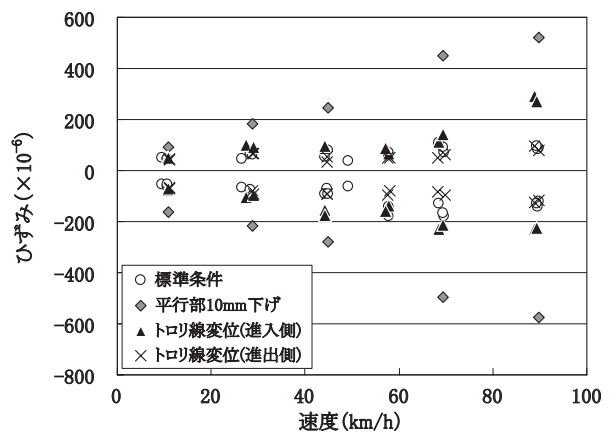


図12 スライダ支持構造改良品試験ひずみ測定結果 (箇所③)

側についてはスライダ (A) を 10mm 低く調整したためパンタグラフによる押し上げがやや強くなり、③の位置では負のひずみが大きくなるよう影響が現れたと考えられる。その他の条件ではひずみは十分小さい。

箇所④⑤のひずみ測定結果をそれぞれ図13、図14に示す。概してスライダ (B) に比べ (C) に大きなひずみが生じている。これは、進出側のトロリ線のねじれによ

特集：電力技術

り(C)の方が(B)よりわずかに低く、パンタグラフによる衝撃が加わりやすかった可能性が考えられる。(C)で各条件を比較すると、トロリ線を進入側に変位させた場合に大きなひずみが生じている。これはトロリ線ひずみと同様、トロリ線の変位に伴ってスライダ(B)(C)のしゅう動面高さが進出側で低くなり、そこへパンタグラフによる衝撃が加わったためと考えられる。その他の条件ではひずみは十分小さい。

最大離線時間の測定結果を図15に示す。スライダ(A)の平行部を10mm下げた条件とトロリ線を進入側に変位させた条件で最大離線時間が長くなっている。離線の測定波形を詳細に調べた結果、前者はスライダ(A)を低く調整したことで進出側のスライダ勾配が大きくなり、パンタグラフが追従できず大離線になったと考えられる。後者は、トロリ線の変位に伴う高さ変化(図9)に起因する進出側のスライダ(B)(C)への衝撃と、進出側のスライダ勾配が大きくなってパンタグラフが追従できなかったことの2点が考えられる。その他の条件では55km/h程度を境に高速側で200msec前後の離線が生じている。しかし、B形や他の同相セクション開発例<sup>6)</sup>でも同程度の離線が生じており、さらに本試験に用いたパンタグラフが設計年次の古い在来線用(PS16形)であることも勘案すれば、本セクションの離線特性は遜色ないと考えられる。

5. まとめ

交流用同相セクションの機械的特性改善に関して、次の2点を検討した。

現用のB形セクションにおけるトロリ線疲労破断事故例を踏まえ、ばね入りのスライダ結合イヤーを取り付けたB形セクションのパンタグラフ走行試験を行い、トロリ線ひずみ低減効果および他の部分のひずみが増大しないことを確認した。

B形セクションの構造を踏襲しつつ、スライダ高さ管理の必要を低減し、かつ列車走行の方向性がないスライダ支持構造を検討し、パンタグラフ走行試験を行った。その結果、適切な架設状態、即ちトロリ線に長さ方向変位がなく、かつスライダ(A)(B)(C)の高さが同じであればセクション各部に著大なひずみは発生しないこと、および最大離線時間は200msec程度で現用品や他の開発例に比べ遜色ないことを確認した。

文献

- 1) 旧日本国有鉄道規格 JRS35318-2H-14AR0A「セクションインシュレータ(交流20kVがいし製)」, 日本国有鉄道, 1980
- 2) 同 JRS35318-3F-14AR5A「セクションインシュレータ(新幹線用)」, 日本国有鉄道, 1985

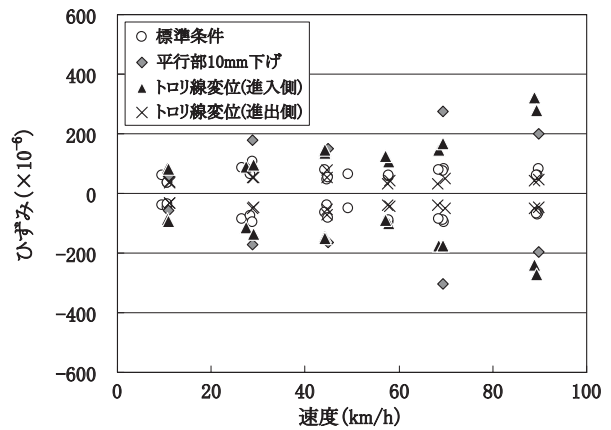


図13 スライダ支持構造改良品試験ひずみ測定結果(箇所④)

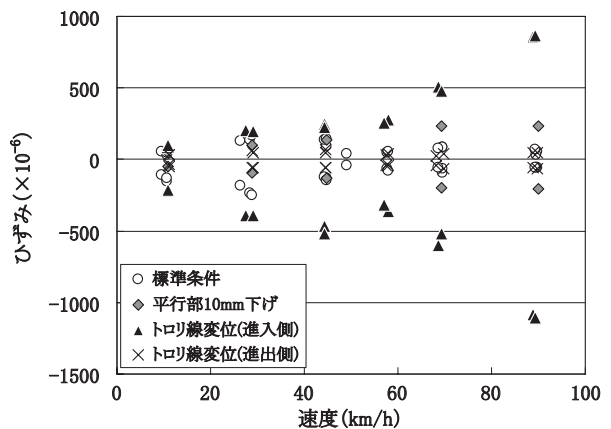


図14 スライダ支持構造改良品試験ひずみ測定結果(箇所⑤)

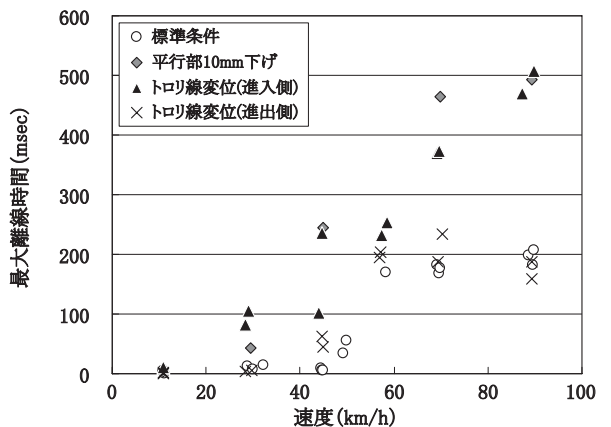


図15 スライダ支持構造改良品試験最大離線時間測定結果

- 3) 原田光博：区分装置(新幹線同相用B型)の保全, 鉄道電気, 54巻2号, pp.50~52, 2001
- 4) 運輸省鉄道局, 鉄道総合技術研究所：在来鉄道運転速度向上試験マニュアル・解説, 研友社, pp.50~52およびpp.203~209, 1993
- 5) 日本機械学会：金属材料疲れ強さの設計資料 I, p.86, 1961
- 6) 沖山修：新幹線用同相セクションの開発, 第8回電気鉄道技術研究発表会論文集, 日本鉄道電気技術協会, pp.31~36, 1998