

新幹線用ヘビーコンパウンド架線の 付加質量が集電性能に与える影響の基礎検討

中村 琢* 天野 佑基 中島 祐樹 小山 達弥 早坂 高雅 (鉄道総研)

Basic Study on Influence of Lumped Mass of Heavy Compound Catenary System for Shinkansen on Current Collection Performance

Nakamura Taku*, Yuki Amano, Yuki Nakajima, Tatsuya Koyama, Takamasa Hayasaka
(Railway Technical Research Institute)

Contact wire connection is not permitted for Shinkansen, which keeps repair cost high especially when local wear occurs. As a basic study to realize contact wire connection for Shinkansen, the influence of load mass on current collection performance was examined by running tests using a test contact line and an actual pantograph. For the test contact line, a weighted splice fitting (1.8kg mass) was installed on a compound catenary equipment with contact wire tension of 19.6kN. Although the fitting doubled the strain of the contact wire, the current collection performance was within target range up to the maximum test speed of 200km/h.

キーワード：架空電車線，中間接続，スプライサ，硬点，パンタグラフ，トロリ線ひずみ，
(Overhead contact line, Contact wire connection, Splice fitting, Hard spot, Pantograph, Strain of contact wire)

1. はじめに

電気鉄道で広く使われているカテナリちょう架式電車線は、張力をかけたトロリ線をちょう架線からほぼ一定高さに吊り下げ、パンタグラフとトロリ線の接触により集電(電車線から電気車に電気を取り込むこと)する。パンタグラフのしゅう動に伴いトロリ線が摩耗するため、摩耗限度に達する前にトロリ線の張替を行う必要がある。とくに高さ不整箇所や架線金具の取付箇所は、トロリ線とパンタグラフ間の接触力変動を起こし、局所的に摩耗(局部摩耗)することがある。

トロリ線が局部摩耗した場合、在来線では摩耗箇所のみを新線に張り替えて、張替コストを抑えることが多い。この時トロリ線の新線と旧線は、ダブルヤーやスプライサ等の金具もしくは常温圧接により接続される⁽¹⁾。これらの接続は中間接続と呼ばれる。一方、新幹線では、安定した高速走行を重視し、トロリ線の中間接続は設けず、局部摩耗でも引留長全体(一般的に約1.5km)を張り替えている。

新幹線においてトロリ線の中間接続を実現できれば、トロリ線局部摩耗時の張替コストを低減できる。一方、中間接続箇所は局所的に一般区間と異なる構成となるため、高速域では接触力変動が顕著になり、集電性能が悪化することが懸念される。とくに、過大な接触力によりトロリ線が疲労破断する恐れがあり、海外ではスプライサ箇所での疲労破断が報告されている⁽²⁾。

本稿では、新幹線用ヘビーコンパウンド架線のトロリ線にスプライサで中間接続を設けることを念頭に、局所的な質量増加が集電性能に与える影響を実機測定から評価した結果について報告する。

2. 測定方法

〈2-1〉測定条件 図1に測定条件の概念図を示す。鉄道総研の所有する集電試験装置にて、ヘビーコンパウンド架線と新幹線用パンタグラフを用いた走行試験を行った。トロリ線に錘付きスプライサ金具で集中質量を付加し、付加質量の取付位置による集電性能への影響を評価した。

集電試験装置は、最高速度200km/hで実際の架線とパンタグラフの集電性能を評価可能な試験設備である。パンタグラフを搭載する走行台車をリニアモータ駆動で加速させ、走行路上に架設したトロリ線にしゅう動させて、惰行区間での集電性能を評価する。

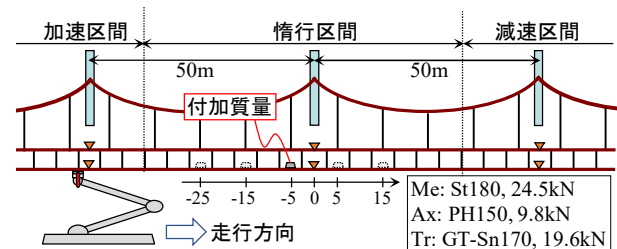


図1 測定条件の概念図

Fig. 1. Schematic diagram of measurement condition.

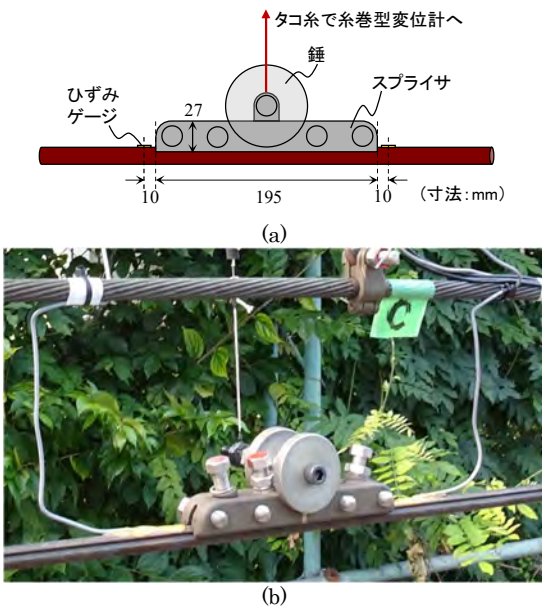


図 2 付加質量の概念図と外観
Fig. 2. Schematic diagram and appearance of load mass.

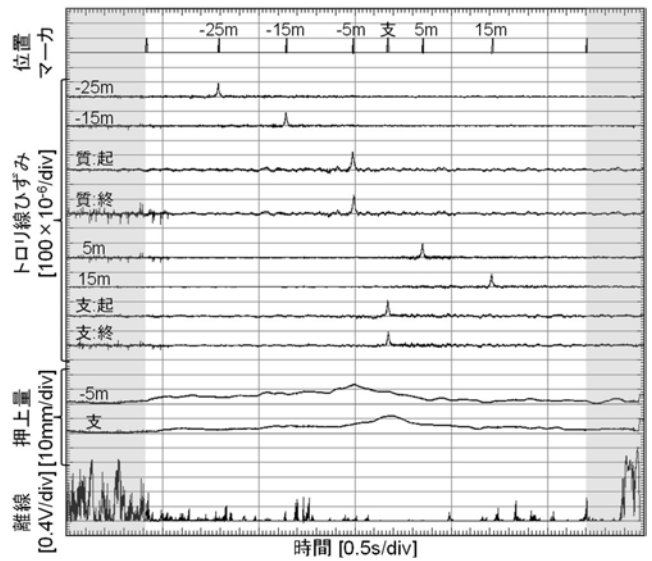
表 1 測定の変更条件一覧
Table 1. Condition of load mass.

通番	取付位置	質量	走行速度
0	-	1.8kg	100~ 200km/h , 20km/h 刻み
1	-25m		
2	-15m		
3	-5m		
4	5m		
5	15m		
6	-5m,5m		

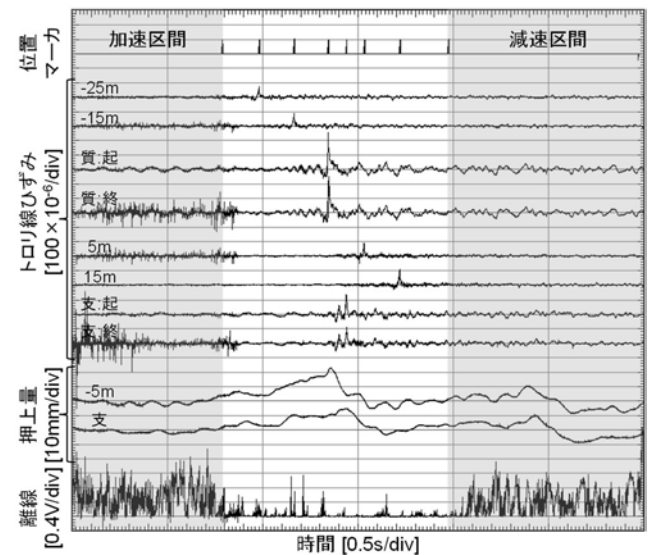
架線の線種と張力はそれぞれ、ちょう架線：St180, 24.5kN, 補助ちょう架線：PH150, 9.8kN, トロリ線：GT-Sn170, 19.6kNである。径間長は50mとした。パンタグラフは、新幹線用すり板分割式パンタグラフを使用し、静押上力は54N、なびき方向での走行とした。

図2に付加質量の概念図および外観を示す。付加質量は、既存のスプライサ金具（三和テッキ製、質量1.35kg、在来線用）に円盤の錘（質量0.4kg）を取り付けたもので、錘取付用のボルト等を含めた全体の質量は約1.8kgである。この質量は、新幹線用トロリ線の高張力対応に向けた金具質量増加を見込んだものである。トロリ線の破線は行わず、この金具の取付位置を適宜変更して評価を行った。取付位置は、惰行区間内の支持点を原点、走行方向を正として、-25m, -15m, -5m, 5m, 15mとした。測定のため、各取付位置のトロリ線小弧面には金具前後10mmの位置にひずみゲージを貼付し、金具にはトロリ線押上量測定用に変位計を取り付けている。また、比較対象として、位置0mの支持点にも同様に、ひずみゲージと変位計を取り付けている。

表1に測定の変更条件一覧を示す。付加質量1点での集



(a) 取付位置：-5m, 速度：100km/h



(b) 取付位置：-5m, 速度：200km/h

図 3 時刻歴波形の例

Fig. 3. Examples of temporal waveforms.

電性能を比較するとともに、支持点前後での局所的なトロリ線張替を想定して、取付位置-5m および 5m に付加質量を1点ずつ取り付けた条件を用意した。また、比較対象として、付加質量を取り付けない条件でも測定を行った。走行速度は速度100km/h~200km/hの20km/h刻みとした。

〈2-2〉集電性能の評価項目 集電性能の評価項目として、営業線の速度向上試験等で一般的に用いられる、トロリ線ひずみ、トロリ線押上量、離線に着目した。各項目の目安値は、トロリ線ひずみはトロリ線破断防止の観点から 500×10^{-6} 、トロリ線押上量はパンタグラフと架線金具などの衝突防止の目的で100mm以下とされている、離線率は良好な集電状態として10%以下とされている⁽³⁾。本測定では、ひずみと押上量はこの値が目安となるが、離線に関しては局

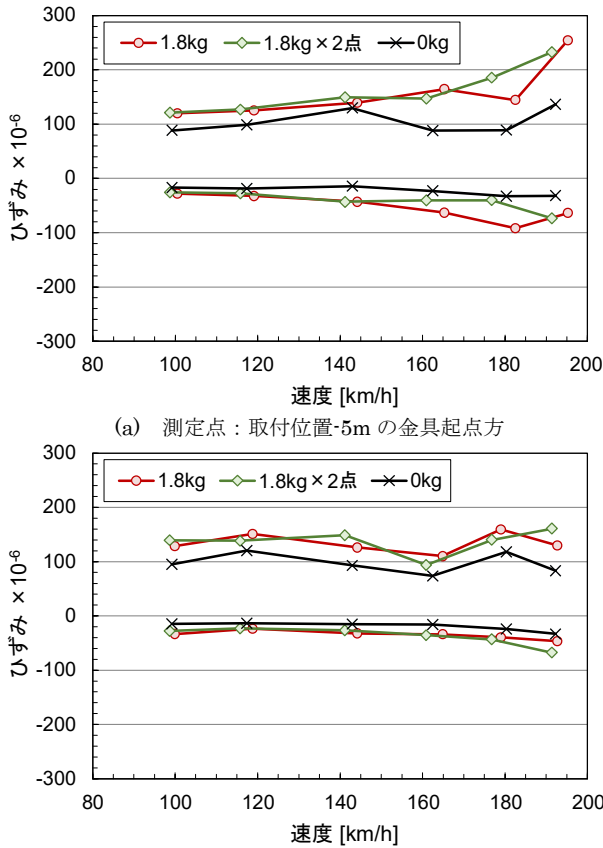


図 4 トロリ線ひずみ速度特性の測定結果

Fig. 4. Measurement results of strain over running velocity.

所的な影響に着目し、付加質量の有無による離線時間の増減に着目して評価する。

3. 測定結果

〈3-1〉 時刻歴波形 図 3 に測定データの時刻歴波形の例を示す。図中には付加質量の取付位置-5m での、速度 100km/h と 200km/h の時の結果を示している。図中の上から、パンタグラフの通過タイミングを示す位置マーカー、各取付位置および支持点でのトロリ線ひずみ、付加質量位置と支持点での押上量、離線の時間波形である。

トロリ線ひずみを見ると、速度 100km/h 時は各箇所ともパンタグラフ通過時に正の値(引張)を取る凸形状の類似波形だが、速度 200km/h 時は付加質量と支持点でパンタグラフ通過前から正負に波打ち、通過時に負の値(圧縮)から正の最大値まで急激に上昇する特徴的な波形となっている。

トロリ線押上量は、前方の付加質量に少し遅れて支持点が追従するように変化し、パンタグラフ通過時に最大値を取っている。また、速度 200km/h 時は 8Hz 程度の振動がみられ、とくに付加質量位置で顕著である。

離線は、着線時に 0V、完全離線時に約 2.4V の信号が出力される検出回路で測定している。図中の惰行区間で完全

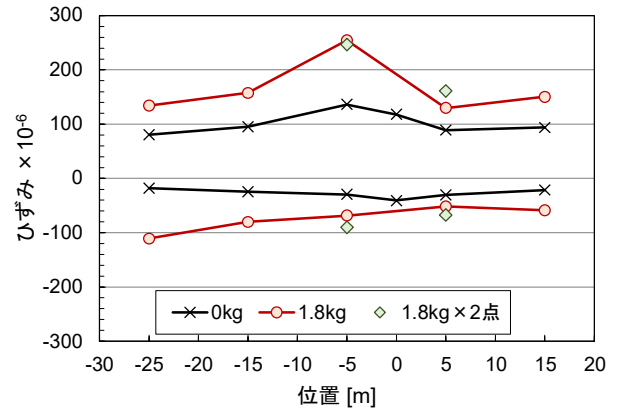


図 5 取付位置毎のトロリ線ひずみ測定結果 (速度 200km/h)
Fig. 5. Measurement results of strain over load position at velocity of 200km/h.

離線は生じていないが、速度 200km/h ではところどころ離線信号が大きくなる箇所があり、付加質量通過直前にもピークがみられる。

以上のように、速度 100km/h 程度では付加質量の有無で各種波形は顕著な差はないが、速度 200km/h 時には、付加質量位置通過前後で特徴的な波形が見られ、付加質量による接触力変動が起きていることが示唆される。

〈3-2〉 トロリ線ひずみ 図 4 に、取付位置-5m と 5m におけるトロリ線ひずみの最大値(引張)および最小値(圧縮)の速度特性を示す。赤色円形マーカーは付加質量 1 点、緑色菱形マーカーは付加質量 2 点、黒色 X 字マーカーは付加質量無しの測定結果を示している。

付加質量無しの結果と比べて、取付位置-5m では引張側も圧縮側もひずみが増え、速度上昇とともに乖離も大きくなる。一方、取付位置 5m では圧縮側のひずみ増加は比較的小さく、200km/h までの速度域では速度によるひずみ増加傾向は顕著には見られない。

図 5 に、速度 200km/h 時の取付位置毎のトロリ線ひずみ測定結果を示す。マーカーは図 4 と同様である。各取付位置 2 点のひずみ測定値のうち、正負とも絶対値の大きい方の結果を示している。付加質量無しと付加質量 1 点の結果を比較すると、引張側のひずみ増加は取付位置-5m が、圧縮側のひずみ増加は取付位置-25m が最も大きく、取付位置 5m が引張側・圧縮側ともにひずみ増加が小さかった。ひずみ全振幅でみると、どの取付位置とも付加質量 1.8kg により概ね 2 倍程度の増加が見られた。

また、付加質量 2 点の結果と付加質量 1 点の結果を比較すると、支持点を挟んで後方にある付加質量の引張側のひずみが 30×10^{-6} 程度増加した。圧縮側のひずみは、支持点前後の付加質量とも 20×10^{-6} 程度増加した。ただし、ひずみ測定の再現性とほぼ同程度の微かな増加である。

速度 200km/h までの範囲において、付加質量 1.8kg によりトロリ線ひずみは 2 倍程度に増加するものの、その最大

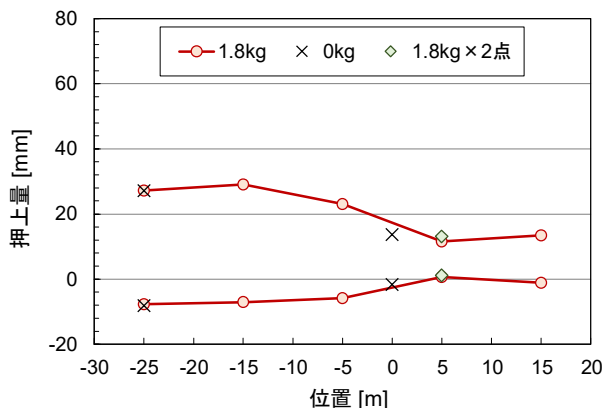


図 6 取付位置毎のトロリ線押上量測定結果 (速度 200km/h)
Fig. 6. Measurement results of strain over load position at velocity of 200km/h.

値は、引張側で 255×10^{-6} 、圧縮側で -111×10^{-6} であり、目安値の 500×10^{-6} に対して十分余裕のある値であった。

〈3・3〉 トロリ線押上量 図 6 に、速度 200km/h 時の取付位置毎のトロリ線押上量測定結果を示す。マーカは図 4 と同様である。静止時の変位を 0 とし、測定点の揺れにともなう上下変位の最大値と最小値を示している。

径間中央付近 (取付位置 -25m と -15m) の押上量が約 30mm ~ -8mm と最も振幅が大きく、支持点直後 (取付位置 5m) の結果が約 12mm ~ 0mm と最も振幅が小さかった。この支持点直後の押上量は、支持点の押上量とほぼ同等であった。また、付加質量 2 点の場合も押上量の顕著な変化はみられなかった。付加質量の有無による押上量の差について、取付位置 -25m での測定結果はほぼ同じであった。

以上より、速度 200km/h までの範囲において、付加質量 1.8kg による押上量への影響はほぼないと考えられる。

〈3・4〉 離線 図 7 に、速度 200km/h 時の取付位置毎の離線測定結果を示す。マーカは図 4 と同様である。付加質量による局所的な離線への影響を調べるため、取付位置前後 2.5m (計 5m、速度 200km/h 時の通過時間 90ms) の区間を通過する間の総離線時間を評価した。離線判定について、離線信号が 0.3V 以上の場合 (離線信号最大値の約 1/8) を離線とした。

付加質量の有無に関わらず、支持点手前 (取付位置 -25m、-15m、-5m) で 5ms 前後の離線が発生し、支持点通過後 (取付位置 5m、15m) では離線しなかった。また、付加質量 1 点の条件の方が付加質量無しの条件より離線時間は短くなった。付加質量 2 点の場合は取付位置 -5m で離線時間の若干の増加が見られるが、取付位置 5m は依然として離線しなかった。

離線測定はひずみ測定や押上量測定に比べて再現性が低く、各条件一回ずつの測定で一般的な結論を得られるものではないが、速度 200km/h までの範囲において、付加質量

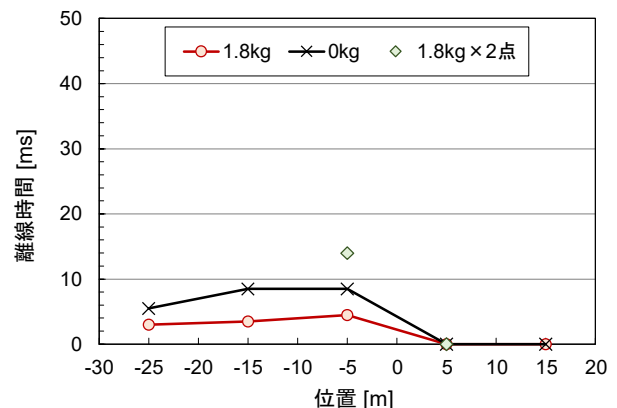


図 7 取付位置毎の離線測定結果 (速度 200km/h)
Fig. 7. Measurement results of contact loss over load position at velocity of 200km/h.

1.8kg による離線の増加は見られなかった。

4. 付加質量以外の要素

本稿ではトロリ線への付加質量が集電性能に与える影響について実機測定から評価した。実際に中間接続を設ける際には、本稿範囲外の下記要素も検討する必要がある。

- (1) 中間接続施工時に生じるトロリ線のクセ
- (2) 新旧トロリ線接続部のトロリ線しゅう動面形状
- (3) 接続金具の支持方法 (ハンガ吊の有無等)

これらの要素も離線やトロリ線ひずみに大きく影響すると考えられ、施工法や要求精度の検討が望まれる。

5. おわりに

新幹線用ヘビーコンパウンド架線のトロリ線にスプライサで中間接続を設けることを念頭に、トロリ線への付加質量が集電性能に与える影響を、集電試験装置を用いた走行試験で評価した。走行速度 200km/h までの条件において、付加質量 (1.8kg) によりトロリ線ひずみは 2 倍程度に増加するものの集電性能上問題となる値ではなかった。

今後は、中間接続金具のハンガ支持による影響や接続箇所でのトロリ線凹凸による影響を実機測定から評価するとともに、理論解析やシミュレーションにより速度 200km/h 以上の集電性能について検討を進めていく。

文 献

- (1) 電気鉄道ハンドブック編集委員会編：「電気鉄道ハンドブック」、コロナ社、(2007)
- (2) J.P.Massat, et al. : "Fatigue analysis of catenary contact wires for high speed trains", 9th World Congress of Railway Research, (2011)
- (3) 鉄道総合技術研究所編：「電車線とパンタグラフの特性」、研友社、(1993)