

新幹線電車線のスリム化(シンプル化)

Construction simplification of Shinkansen's Overhead Catenary



池田 国夫*



熊谷 和博**

Tohoku and Joetsu Shinkansen have been in the replacement of facilities, since beginning of their operation almost 30 years. For this business, we try to change their overhead catenary to simple catenary. Comparing to current catenary, which has been using, composed of 3 lines, simple catenary has only 2 lines, so it can be expected to reduce construction cost and make it easy to maintain. In addition, for speedup of Shinkansen, it can be estimated to increase load current. In order to solve these problems, we have studied catenary design which can hold up with high frequency and heavy current load, and laid it on Tohoku Shinkansen between Furukawa and Kurikoma-kogen. It has good potential of current collecting, and for further application, we have been testing it.

●キーワード：新幹線、電車線

1. はじめに

整備新幹線区間では電車線にシンプルカテナリが採用されているが、その他新幹線では、コンパウンドカテナリが標準となっている。東北・上越新幹線では、開業後、概ね30年が経過し、電車線の設備更新時期を迎えている。更新工事を進める上で課題のひとつとなるのが、補助吊架線の張替である。しかし、近年の労働環境（人手不足、技術力低迷など）を鑑みると、これを克服し、効率的に更新を進めていくのは、困難な状況にある。そこで、シンプルカテナリ化を試みることにした。

2. 新幹線の電車線

山陽新幹線以来、吊架線、補助吊架線およびトリ線¹の3本の線で構成される、コンパウンドカテナリ(図1)が標準として採用されてきた。

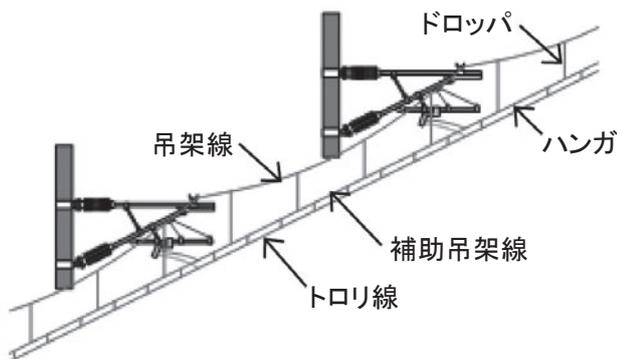


図1 コンパウンドカテナリ

その特徴は、吊架線とトリ線の間に補助吊架線を介し、これが緩衝となり、電柱～電柱間(これを径間という)の線路方向における電車線のばね定数のバラツキを小さくすることができる。その結果、パンタグラフ上下変位が一定に近づき、パンタグラフとトリ線間の接触を安定化させると期待できる。また、電車線の総張力を大きくし(在来線が19.6～29.4kNが標準であるのに対して53.9kN)、多数パンタグラフ(東海道・山陽新幹線では、かつて16両編成のうち、8基のパンタグラフを上げていた)による、電車線振動の増大を抑制する構造とした。

〈電車線のばね定数〉

トリ線を力 F で押し上げると、トリ線が上方に y 変位するとする。このとき、

$$k=F/y$$

を電車線のばね定数と呼び、線路方向に径間周期で、概ね余弦波的に変化する。

一方、近年、建設が進む整備新幹線区間では、

- ・列車頻度が少なく、かつ編成長が短いので、軽負荷
- ・建設コストの削減

などを踏まえ、これまでの新幹線電車線に対し、線条を細くし、かつ2本の線で構成されるシンプルカテナリ(図2)が採用された。これまで、新幹線のような高速走行に対し、シンプルカテナリは不向きとされてきたが、

- ・整備新幹線は、編成あたりのパンタグラフ数が少なく、電車線振動の増大が比較的小さい
- ・引張強度の大きなトリ線(鋼心銅トリ線)が開発され、細径(軽量)ながら、大きな張力を印加できるようになったことなどから、実用性が高まった。

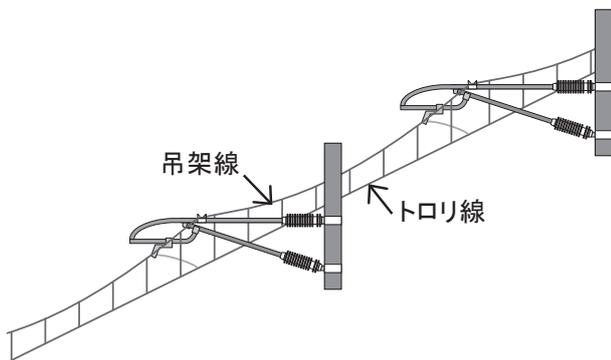


図2 シンプルカテナリ

3. 電車線の更新（シンプル化）

3.1. 設備更新の課題

先述したよう、電車線の設備更新を進めるにあたり、大きな課題のひとつとなるのが、補助吊架線の更新である。これは、まず、トロリ線を吊架線などに仮受けし、補助吊架線をフリーにした後、旧補助吊架線を撤去し、ドロップ（概ね10m毎に存在）を取り外す。その後、新補助吊架線を延線し、ドロップを介して吊架線に吊下げ、さらに、トロリ線をハンガ（概ね5m毎に存在）にて、新補助吊架線に掛け直すという、多段の手順を要す。これを一夜の作業間合で行うには、時間の面から、さらには技術の面からもリスクが大きい。一方、補助吊架線の無いシンプルカテナリに変更すれば、これが省略され、リスクを大幅に軽減し、更新工事を行っていくことができる。人手不足、技術低迷などの労働環境を鑑みると、施工の簡素・容易化は必須となっていく。これらを踏まえ、シンプル化へ取組むこととした。

3.2 課題克服へ向けた追い風（技術の進展）

一方、近年、パンタグラフ追随性能（注1）の向上や、パンタグラフ間を高圧母線で結線するなど、騒音対策を主眼とした技術の進展により、整備新幹線以外でも新幹線では、編成あたりのパンタグラフ数が削減され、2基が標準となってきた。また、耐引張強度の大きな銅合金線が開発されたことから、シンプルカテナリでもコンパウンドカテナリ程度の張力が印加可能となってきた。これらがシンプル化を進めることが可能となった重要な鍵である。

注1) パンタグラフを上下に加振した際、トロリ線から離れる（離線する）ことなく応答できる性能

3.3 電車線構造の選定

電車線を構成する線材の選定にあたっては、電気的特性（許容電流など）や、機械的特性（引張強度など）に配慮が必要である。

コンパウンドカテナリは3本の線で構成されるものの、主たる電気の流路は、銅系の補助吊架線とトロリ線である。表1に、それぞれの諸元を示す。このように、トロリ線摩耗限界時における電車線の連続許容電流は、概ね1,000Aである。同程度の容量を確保するためには、シンプルカテナリの吊架線は、銅線とするのが適当である。

表1 補助吊架線とトロリ線の諸元（コンパウンドカテナリ）

種別	導電率	断面積	引張強度	許容電流	
補助吊架線 (銅より線)	97%	150mm ²	58.7kN	610A	
トロリ線 (青銅線)	70%	新品時	170mm ²	58.9kN	500A
		摩耗限	136mm ²	47.4kN	467A

※許容電流は、連続許容電流

また、弊社では、近年、電車線の張力がある程度の幅に保持させる自動張力調整装置としてばねバランサ（STB）の導入を進めている。既に、多くの箇所にも適用されていることから、これを流用することとして、電車線の総張力は53.9kNとする。それを吊架線とトロリ線で負担せねばならない。仮に、コンパウンドカテナリの線材を参考に、吊架線に銅より線150mm²を、トロリ線に青銅線170mm²を適用すると、保守余裕などを鑑みれば、許容引張力は43.8kNにすぎず、STBの張力に耐え切れない。これには、線材のサイズアップで対処することとした。

これらを踏まえ、結果として、表2のように、電車線の線材を選定した。表3に、検討後の電車線の仕様を示す。両表から分かるよう、コンパウンドカテナリと同総張力で、同等以上の許容電流を有している。

表2 吊架線とトロリ線の諸元（シンプルカテナリ）

種別	導電率	断面積	引張強度	許容電流	
吊架線 (銅より線)	97%	200mm ²	77.4kN	730A	
トロリ線 (錫含銅線)	80%	新品時	170mm ²	72.1kN	560A
		摩耗限	128mm ²	54.5kN	467A

表3 電車線の仕様 (シンプルカテナリ)

種別	線種	新品時断面積	標準張力	伝播速度
吊架線	銅より線 200mm ²	1.838kg/m	31.36kN	440km/h
トロリ線	錫含銅線 170mm ²	1.506kg/m	22.54kN	

※伝播速度とは、パンタグラフにより励起された波動がトロリ線を伝播する速度を指す。パンタグラフとトロリ線の良好な接触を保つには、走行速度に対し、これを十分に大きくすることが要求される。

4. 運動シミュレーションによる特性の検証

営業線での試敷設に向け、パンタグラフと電車線の運動シミュレーション¹⁾により、実用性の検証を行った。モデルは、パンタグラフをPS208×2基 (E5・E6系併結列車=はやぶさ・こまち相当)、電車線を表3のようとした。

パンタグラフと電車線の接触性能を評価する指標として、離線率、トロリ線の押上量およびひずみがある²⁾。離線率が大きいと、集電部材の溶損や、電気車への電力供給が不安定と

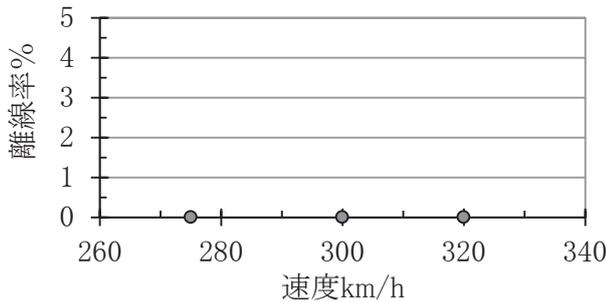


図3 離線率計算結果 (シンプルカテナリ)

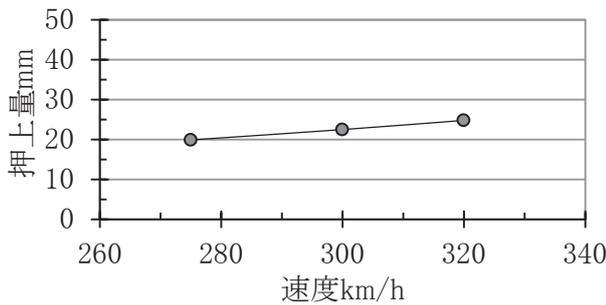


図4 押上量計算結果 (シンプルカテナリ)

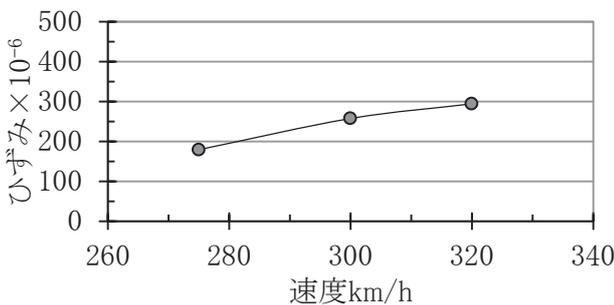


図5 ひずみ計算結果 (シンプルカテナリ)

なるなどの不具合が発生する。また、押上量が過大となると、パンタグラフが電車線金具に打撃し、両者に損壊を生じることや、更に、ひずみが過大となると、トロリ線が疲労破断に至る恐れがある。これらのリスクを避けるため、それぞれ、許容値を、20%以下、100mm以下、660×10⁻⁶以下としている³⁾。

図3~5に、これらの指標についての計算結果を示す。なお、図中では、2基のパンタグラフのうち、計算値の不良な方を掲示している。いずれの指標も許容値を満足し、実用に供すると考えられる。

5. 営業線における試敷設試験

運動シミュレーションで良好な結果を得たことから、営業線にて、試験を実施することとした。東北新幹線古川・くりこま高原間上り線の一部を試験区間に選定し、2016年5月末に試敷設した。

図6~8に、E5・E6系併結列車 (はやぶさ・こまち) 通

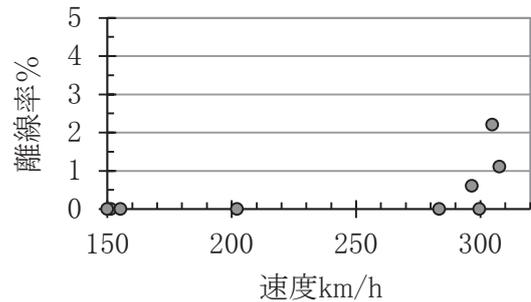


図6 離線率測定結果 (シンプルカテナリ)

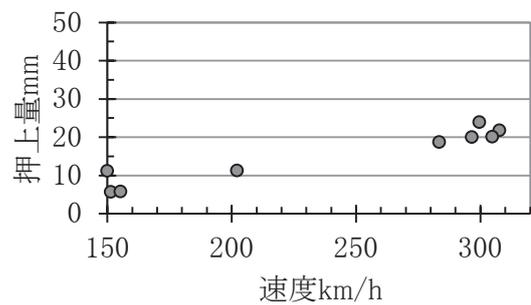


図7 押上量測定結果 (シンプルカテナリ)

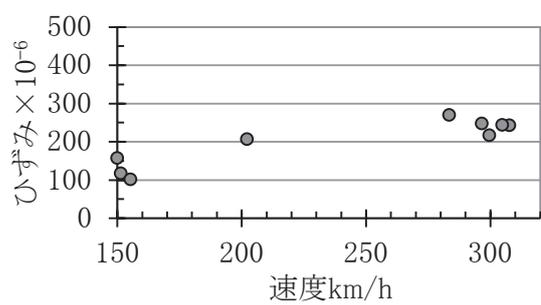


図8 ひずみ測定結果 (シンプルカテナリ)

過時の3指標の測定結果を示す。図3~6と同様、図中では、2基のパンタグラフのうち、測定値の不良な方を揭示している。

概ねシミュレーション結果と同様な傾向を示し、また、いずれも許容値を十分に満足することから、実用に供すると考えられる結果を得ることができた。更に、トロッコ線の摺面状況の推移をみているが、今のところ、異常な摩耗は見受けられない様子である。

6. おわりに

本稿では、東北新幹線(大宮・盛岡間)に適す構造の開発について紹介してきた。更なる展開として、320km/hを超える高速化や、東北新幹線に比べて軽負荷な上越新幹線に適す構造を念頭に開発を継続している。

シンプル(カテナリ)化は、施工の簡素・容易化に加え、部品点数の削減による保守軽減や、吊架線の鋼より線化(コンパウンドカテナリのそれは鋼より線)による寿命延伸が期待できるなど、優れた可能性を秘めている。今後の更新工事に適用できるよう、2017年度内に実用性の可否を見極めていきたい。

参考文献

- 1) 網干光雄;「動特性計算による架空電車線凹凸の評価法」, 電学論D, Vol.126, No7, pp.983~988, 2006.
- 2) 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」, 研友社, 1993.
- 3) 大浦泰;「速度向上に伴う集電系の基礎技術とその動向(2)」, 車両と機械, Vol.3, No12, pp.31~34, 1989.