

高速化に対応する電車線路設備の調査研究

～新規コネクタの開発～
—令和6年度終了技術開発課題—

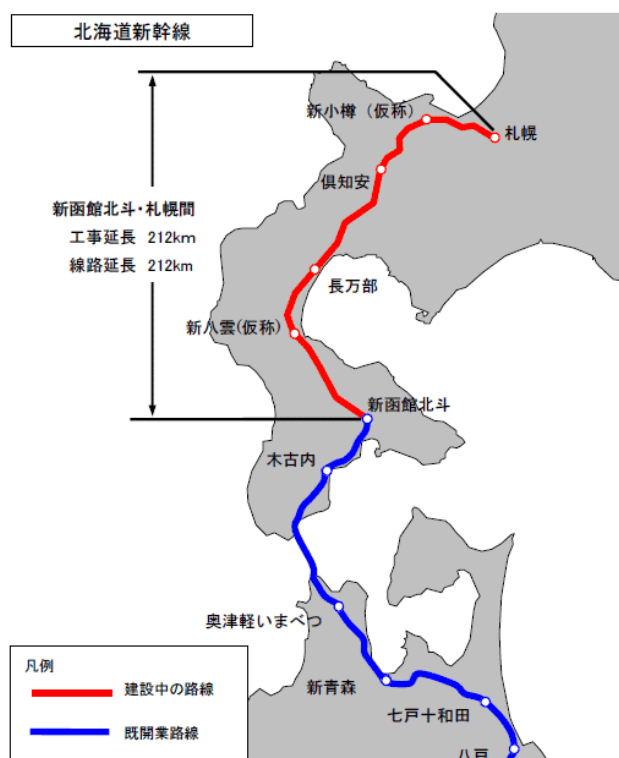
鉄道技術センター

電気部電力課 電車線グループ 古川 雄也

1. はじめに

整備新幹線では高速シンプル架線方式が採用されており、現在建設中の北海道新幹線（新函館北斗・札幌間）では利便性向上のため高速化が検討されている（図－1）。一方、高速化に伴いパンタグラフによるトロリ線押上量の増加や架線振動数の増加等が想定されることから、電車線金具類、特に架線振動による疲労損傷が課題となっている電車線コネクタ（図－2、以下、コネクタ）への影響が懸念される。

そこで本研究では、高速シンプル架線区間の速度向上を想定し、疲労断線を抑える機能をもつ2種類のコネクタを開発した。



図－1 北海道新幹線の概要図

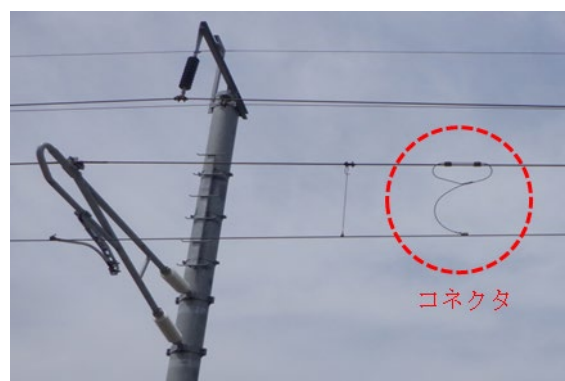
2. コネクタの振動について

2-1 架線相対変位による振動

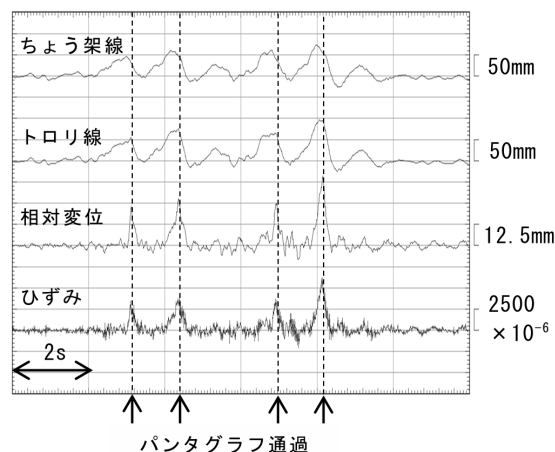
架線振動によるコネクタの疲労要因の一つとして、パンタグラフ通過時のトロリ線とちょう架線の振動変位の差（以下、架線相対変位）が過大となることが挙げられる。図－3は架線相対

変位とコネクタのリード線に生じるひずみの関係を示しており、架線相対変位のピークとコネクタひずみのピークが一致することから、架線相対変位の大きさがリード線の疲労に大きな影響を与えることがわかる。したがって、コネクタの疲労を抑制するためには、径間内においてできるだけ架線相対変位が小さくなる位置にコネクタを設置することが望ましいと考えられる。

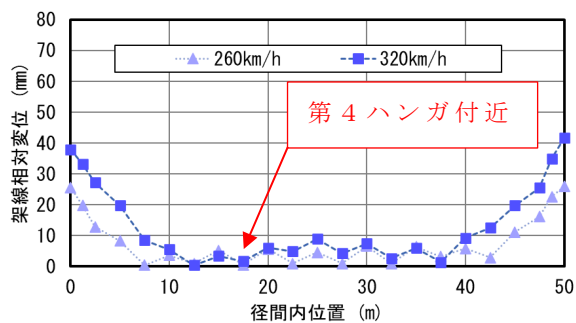
そこで、有限要素法を用いた2次元の架線-パンタグラフ系シミュレーション（以下、シミュレーション）を用いて、260 km/h及び320km/hの列車走行における架線相対変位と径間内位置の関係を調査した。図－4に径間50mの場合のシミュレーション結果を示す。いずれの走行速度においても、第4ハンガ付近において架線相対変位が小さくなることがわかる。したがって、第4ハンガ付近がコネクタの取り付け位置として適していることがわかった。



図－2 整備新幹線の電車線コネクタ



図－3 架線相対変位とコネクタひずみの関係



図－4 架線相対変位と径間内位置の関係

2-2 共振による振動

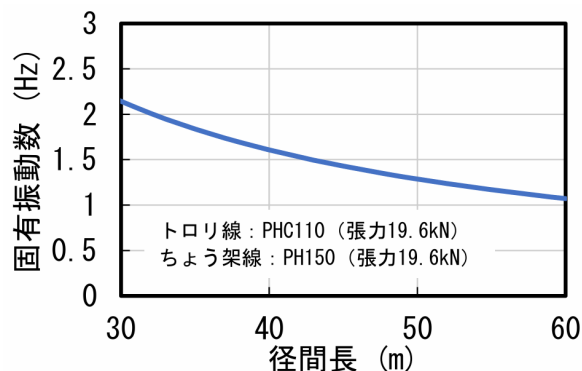
整備新幹線では、高架橋区間におけるコネクタの共振がしばしば報告されている。電車線固有振動数は「波動伝播速度 (m/s) / 径間 (m) の2倍」により算出される。図－5は電車線固有振動数と径間長の関係を示し、整備新幹線における電車線固有振動数は1～2 Hzである。

また、高架橋へ入力される振動周波数は、車両の輪軸到来周期に依存する振動数成分「走行速度 (m/s) / 車両長 (m)」が卓越し、この高架橋の振動が電柱や金具等に入力されることがわかっている。図－6に列車速度と入力振動周波数の関係を示す。300km/h超の列車走行で最大5 Hzの振動周波数が発生することがわかる。したがって、電車線に入力される振動数は1～5 Hzと推定され、コネクタの固有振動数が6 Hz以上であれば共振が発生する可能性は低いと考えられる。よって、新規コネクタの固有振動数の設計目標値を6 Hz以上とした。

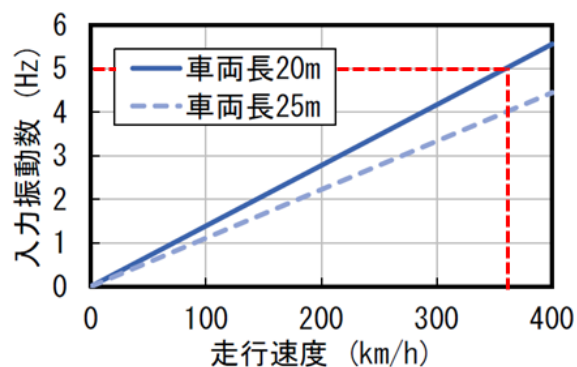
3. 新規コネクタの開発

3-1 整備改良型コネクタ

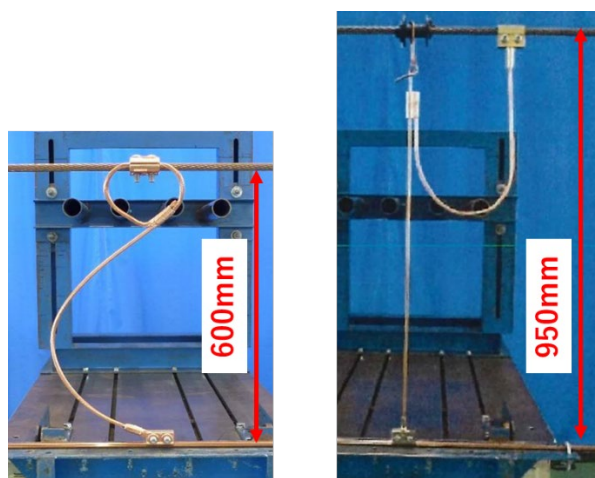
図－7に今回開発した2種類のコネクタを示す。図－7(a)のコネクタは既存の整備新幹線用コネクタのループ部分を縮小し、コネクタの質量を小さくすることで固有振動数を上昇させた構造である（以下、整備改良型）。図－8に整備改良型の固有振動数解析結果を示す。コネクタ高さが低くなるほど、固有振動数が大きくなる傾向が見られ、コネクタ高さ700mm以下で設計目標値6 Hz以上の結果が得られた。架線相対変位が小さくなる第4ハンガ付近に整備改良型を取り付けた場合、コネクタ高さは約600mm、固有振動数は約8 Hzであるため、コネクタの共振抑制が期待できる。



図－5 電車線固有振動数と径間長の関係

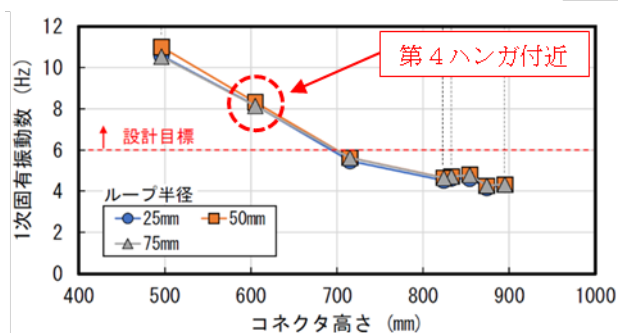


図－6 高架橋に入力される振動周波数



(a) 整備改良型 (b) 高架高用

図－7 新型コネクタ



図－8 整備改良型の固有振動数

3-2 高架高用コネクタ

図-8より、整備改良型はコネクタ高さ700mm以上では固有振動数が6Hz以下となるため、300km/h超の列車走行においてコネクタが共振する恐れがある。オーバーラップ箇所などの特殊区間では第1ハンガ付近にコネクタを取り付ける必要があるため、高架高箇所において固有振動数6Hz以上を満たす別構造のコネクタ（以下、高架高用）を開発した。

図-7(b)及び図-9に高架高用の概要を示す。ハンガの中間部分にリード線を接続する構造であり、コネクタ高さが高い場合でも、ハンガ下部を長くすることでリード線の長さを変えることなく設置が可能である。図-9のようにリード線の寸法を①～③に区分けし、それらの寸法を変化させた場合の固有振動数を計算した結果、②及び③の寸法がコネクタの固有振動数に大きく影響することがわかった。図-10に②、③寸法を変化させた場合の固有振動数を示す。図-10には、架線相対変位70mmを加えた際のコネクタひずみの解析結果を記入した。コネクタひずみの設計目標値はリード線の素線切れに対する疲労寿命曲線の結果より、 2960×10^{-6} 以下とした。図-10より②寸法50mm、③寸法300mmのとき固有振動数6Hz以上、ひずみ 2960×10^{-6} 以下を満たすため、本寸法を採用した。

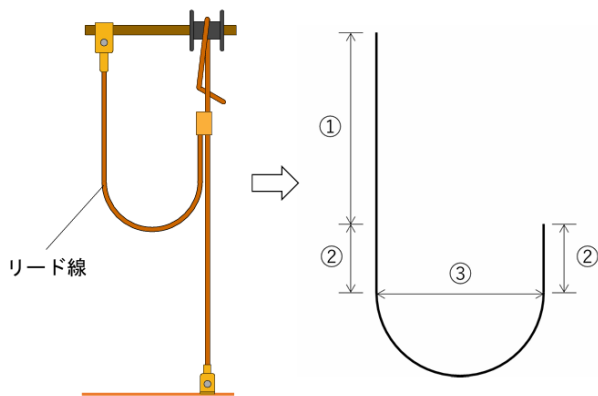


図-9 高架高用の概要図

4. 営業線仮設試験

過去に整備新幹線において共振によるコネクタの疲労断線が発生した箇所今回開発した2種類の新規コネクタを仮設し、約260km/hの列車走行時のコネクタ共振の有無を確認した。過去の調査よりコネクタ共振時は線路直角方向にコネクタが大きく振動することがわかっているため、列車通過時の線路直角方向のコネクタの

振幅を測定し、図-11にその結果を示す。従来型のコネクタと比較して、新規コネクタはいずれも線路直角方向の振幅が大幅に減少し、共振しないことを確認した。

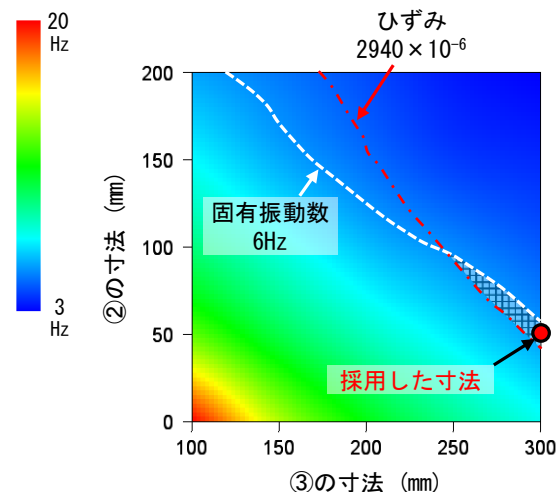
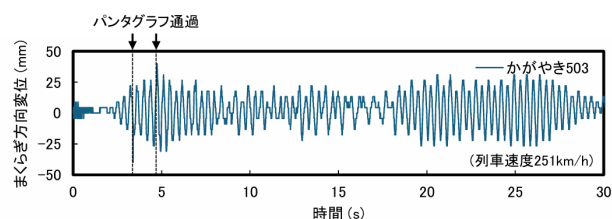
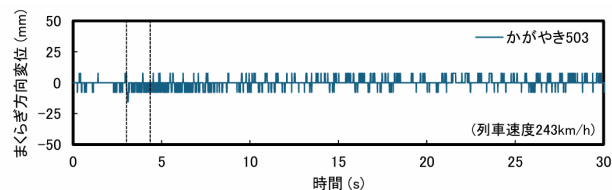


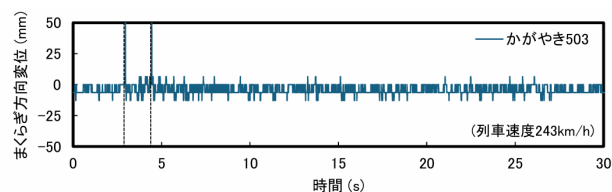
図-10 高架高用の固有振動数



(a) 従来型コネクタ



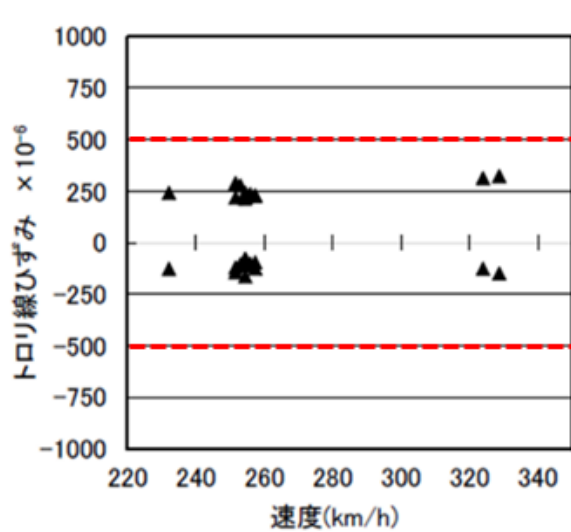
(b) 整備改良型



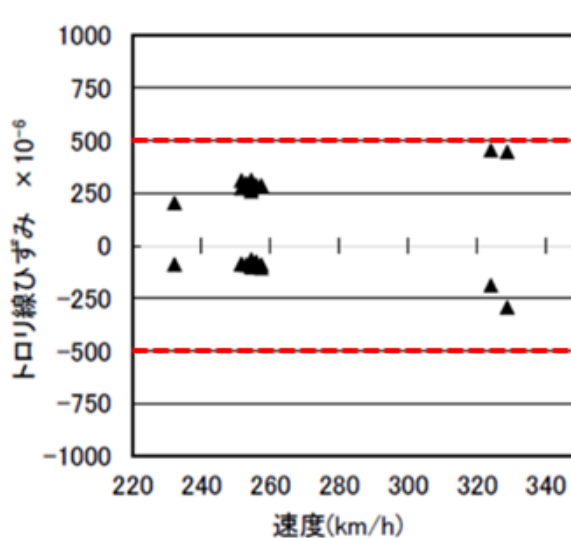
(c) 高架高用

図-11 列車通過時のコネクタの振動変位

また、別区間において2種類の新型コネクタを約1年間仮設した。なお、仮設期間中に新幹線試験車両（ALFA-X）が約320km/hで2回通過しており、列車通過時のコネクタ設置箇所におけるトロリ線ひずみを調査し、図-12にその結果を示す。320km/h走行においてもトロリ線ひずみの値はPHC110の疲労目安値 500×10^{-6} 以下であり、良好な値を示した。さらに、仮設期間中に新型コネクタの損傷やトロリ線の顕著な摩耗は発生しなかった（図-13）。

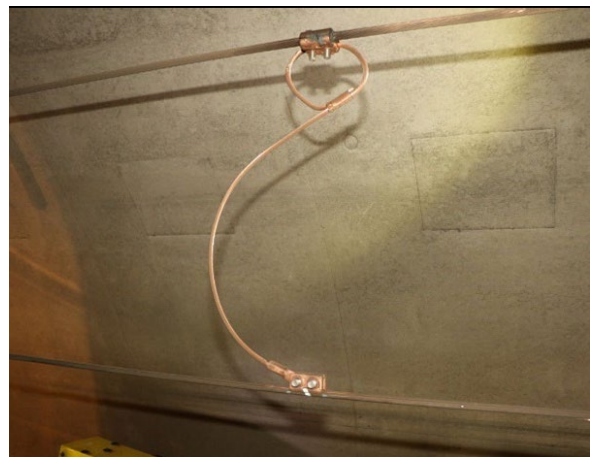


(a) 整備改良型

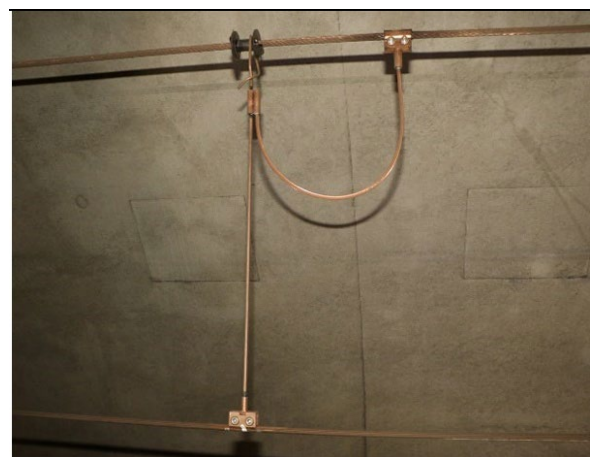


(b) 高架高用

図-12 列車通過時のトロリ線ひずみ



(a) 整備改良型



(b) 高架高用

図-13 仮設1年後のコネクタ外観

5. おわりに

高速シングル架線区間の速度向上を想定し、疲労断線を抑える機能をもつ2種類のコネクタを開発した。過去に共振が発生した区間においても新型コネクタは共振しないことを確認した。また、320km/hの列車走行時も新型コネクタ及びトロリ線に異常は見られなかった。

本研究で開発した新型コネクタは北海道新幹線（新函館北斗・札幌間）に導入予定である。