

S8-2-4. コンパウンド系架線のドロップ間隔が接触力変動に与える影響

○網干 光雄 [電] (鉄道総合技術研究所)

Influence of Dropper Spacing of Compound-catenary on Contact Force Fluctuation
Aboshi Mitsuo (Railway Technical Research Institute)

The purpose of this study is to improve the contacting performance of catenary-pantograph systems. The contact force between pantograph and compound-type catenary varies periodically at the frequencies corresponding to the support span, the hanger spacing and the dropper spacing. In order to investigate the influence of the dropper spacing on the contact force fluctuation, analyses by the dynamic simulation method and laboratory experiments using a real pantograph and a real catenary were carried out. From these results, it is confirmed that the contact force fluctuation decreases by shortening the dropper spacing from conventional 10m to 5m. This improvement method is expected to improve the contacting performance of catenary systems of Shinkansen.

キーワード：電気鉄道，集電，架線，ドロップ，接触力

Keyword: electric railway, current collection, overhead contact line, dropper, contact force

1. はじめに

カテナリちょう架式架線における架線・パンタグラフ間の接触力変動の主な周波数として、支持点間隔及びハンガ間隔周期の周波数とこれらの整数倍の周波数が挙げられる。またコンパウンド系架線の場合には、ドロップ間隔周期の周波数がこれに加わる。接触力変動を低減するためには、これらの周波数においてパンタグラフの追随振幅を大きくすることが有効である¹⁾。通常、比較的低周波である支持点間隔周期の接触力変動に対しては、パンタグラフ全体の等価質量低減で対応し、ハンガ間隔周期の接触力変動に対しては、パンタグラフを2質点モデルで構成し、追随振幅が極大となる周波数(共振周波数)をハンガ間隔周期の周波数に合わせることで対応している。

新幹線等で用いられているコンパウンド系架線の標準構造は、ハンガ間隔が5mに対してドロップ間隔はその2倍の10mで設備されている。このため、パンタグラフ追随振幅の極大周波数をハンガ間隔周期の周波数に合わせた場合、ドロップ間隔周期の変動成分に対しては接触性能が低下するという問題がある。そこで、ドロップ間隔を1/2に縮小して主な接触力変動の周波数を統合して、かつパンタグラフ追随振幅の極大周波数をこれに合わせることで、全体として接触性能を改善する方法が考えられる。

本論文では、コンパウンド系架線においてドロップ間隔を1/2に縮小した場合の接触性能改善効果について、運動シミュレーション手法による解析と、実架線・パンタグラフによる走行実験の結果を報告し、その機構について考察する。

2. 運動シミュレーションによる解析

本章では、架線・パンタグラフ系の運動シミュレーション

ン手法を用いて、ドロップ間隔の影響を解析する。シミュレーションプログラムは、線条減衰等の実験結果に基づいて改良したもの²⁾を用いる。

<2.1> 解析条件 ここでは、対象架線を新幹線用標準架線のヘビーコンパウンド架線とし、ドロップ間隔を従来の10mの場合と5mに変更した場合を比較する。ドロップ間隔を5mとする場合、既設ドロップの取付位置を変更せずにその中間にドロップを追加する(後述の図3参照)。ただし支持点直下については、等価ばね定数が大きくなることからドロップを設けないこととした。径間長を50m、計算区間を8径間とし、定常運動とみなせる中央部4径間を評価区間とする。

パンタグラフは1台で、走行速度を200km/hとする。またパンタグラフは2質点モデルとし、復元ばねのばね定数はこの速度において追随振幅の極大周波数がハンガ間隔周期の周波数にほぼ一致するように設定している。押上力を54Nとし、揚力を考慮しない。表1に、パンタグラフ質点モデルの各定数を示す。

表1 パンタグラフのシミュレーション用各定数
Table 1. Pantograph parameters for dynamic simulation

Parameters	Pantograph model
$m_1=10, m_2=10\text{kg}$	
$k=20\text{kN/m}$	
$D_1=30, D_2=100\text{Ns/m}$	

運動シミュレーションにおいては架線線条を質点に分割して各質点の運動計算を行うが、50Hzまで評価できるようにこの質点間隔を0.1mとし、さらに接触力の計算結果に対して50Hzのローパスフィルターを通す。なお200km/h走行時において、10m間隔に相当する周波数は5.5Hz、また5

m間隔に相当する周波数は11.1Hzである。

<2.2> 解析結果 図1に、ドロップ間隔が10mの場合と5mの場合の接触力波形を比較して示す。ドロップ間隔が5mの場合には、10mの場合に比べて接触力変動が小さく安定していることがわかる。

図2に、この区間における接触力のパワースペクトル密度を比較して示す。ハニングウィンドウを使用し、FFT点数1024個で求めた値を評価区間で平均して算出した。なお、スペクトルの分解能は0.54Hzである。ドロップ間隔10mの場合には、ドロップ間隔周期の5.5Hzとハンガ間隔周期の11Hzに顕著な成分が見られる。これに対して、ドロップ間隔を5mとした場合には、10m間隔周期に相当する5.5Hz成分がほとんど見られず、さらにハンガ間隔の5m周期に相当する11Hzの成分も低減していることがわかる。

図3に、各ドロップ区間10mにおいて接触力を平均した波形を、ドロップ間隔10mと5mの場合を比較して示す。

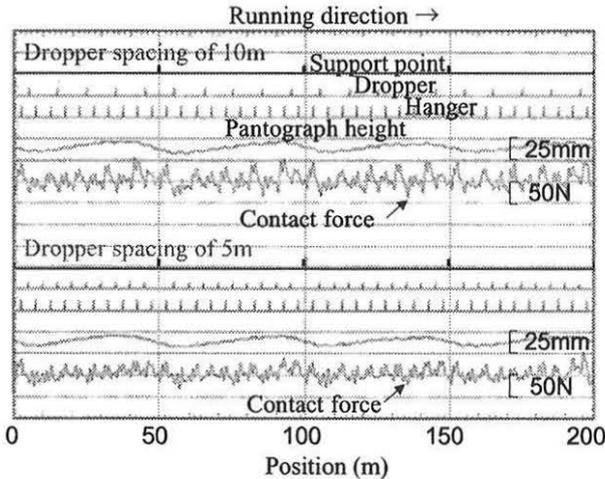


図1 接触力波形の比較 (運動シミュレーション)
Fig. 1 Comparison of wave forms of contact force (dynamic simulation)

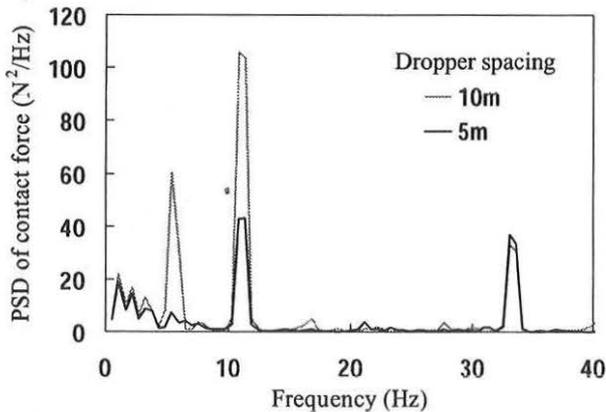


図2 接触力スペクトル分布の比較
Fig. 2 Comparison of spectrum distribution of contact force

平均する区間は、評価区間中央の100mとした。この図には、全周波数(0~50Hz)を含む接触力波形の他、10m周期である5.5Hzのバンドパスフィルターを通した波形と5m周期である11.1Hzのバンドパスフィルターを通した波形を表示している。

ドロップ間隔10mの場合における10m周期の接触力変動は、振幅が約20N程度で、またドロップ間の約1/4地点で最小、約3/4地点で最大となる傾向が示されている。一方5m周期の成分について見ると、ドロップ間隔が10mと5mの場合ともに、ハンガ点付近で接触力が大きくなる傾向が見られる。またドロップ間隔が5mの場合には、10mの場合に比べて5m周期の変動振幅が低減していることがわかる。

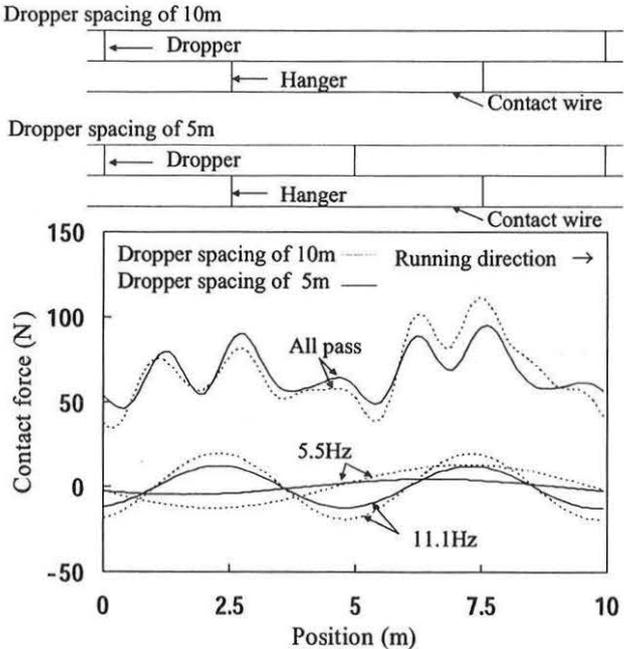


図3 ドロップ間における平均接触力の比較
Fig. 3 Comparison of mean contact force in dropper spacing

<2.3> 接触性能改善効果 接触性能改善効果を評価するため、図4に、評価区間内の接触力の最小値と標準偏差をドロップ間隔で比較して示す。この図には、ヘビーコンパウンド架線(HCC)以外の架線として、新幹線で使用されている高張力ヘビーコンパウンド架線(HT-HCC:トロリ線張力19.6kN)とCSヘビーコンパウンド架線(CS-HCC:補助ちょう架線9.8kN,トロリ線CS110/19.6kN)についても同様にシミュレーション計算を行って比較している。走行速度はそれぞれ200, 250, 300km/hとし、復元ばねのばね定数は、追従振幅の極大周波数をハンガ間隔周期の周波数に一致させるため、それぞれ38kN/m, 55kN/mとしている。その他の条件は2.1節で示した条件と同じである。

いずれの架線条件においても、ドロップ間隔が5mの場合が10mの場合に比べて、接触力の最小値が高くまた接触

力の標準偏差が小さく、接触性能が改善されていることがわかる。なお、CSヘビーコンパウンド架線のドロップ間隔10mの場合において接触力最小値が比較的小さいが、走行速度が高いことに加えて補助ちょう架線の張力が比較的小さいことによるものと考えられる。

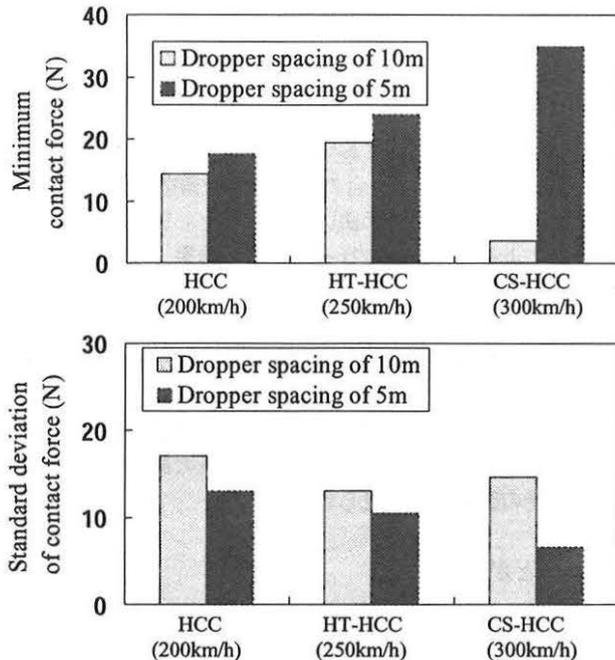


図4 接触性能の改善効果
Fig. 4 Improvement effect of contacting performance

3. 実架線・パンタグラフによる走行実験

本章では、鉄道総研内の集電試験装置において、実架線・パンタグラフを用いた走行実験の結果を述べ、上記シミュレーション結果と検証する。

<3.1> 実験条件 架線構造はヘビーコンパウンド架線とし、パンタグラフはPS200A型で接触力測定用舟体³⁾を組み込んでいる。架線の径間長は50mで、走行速度のほぼ一定となる区間で評価した。走行試験の最高速度は200km/hである。ハンガ間隔5mの場合は、既設ドロップをそのままとし、その中間を針金でちょう架することによりドロップを追加した。

<3.2> 実験結果 図5に、200km/hで走行した際の接触力波形をドロップ間隔10mと5mと比較して示す。また、図6に、140~200km/hの各速度における接触力のスペクトル分布を比較して示す。サンプリング周波数を2kHz、FFT点数4096個、ハンギングウィンドウを使用してパワースペクトル密度を算出した。横軸は、架線側の波数(波長の逆数)に換算して示しており、ドロップ間隔10m、ハンガ間隔5mはそれぞれ波数0.1、0.2(1/m)に相当する。

ドロップ間隔10mの場合には、各速度において10m周期に相当する波数0.1(1/m)にピークが見られるが、ドロップ間隔が5mの場合には、波数0.1(1/m)にピークは見られない。また、ハンガ間隔5mに相当する波数0.2(1/m)のピークも低減していることがわかる。なお、波数約0.07(1/m)以下の低周波側でスペクトルが増加しているが、ドロップ追加取り付けの際のトロリ線高さ不整による影響と考えられる。

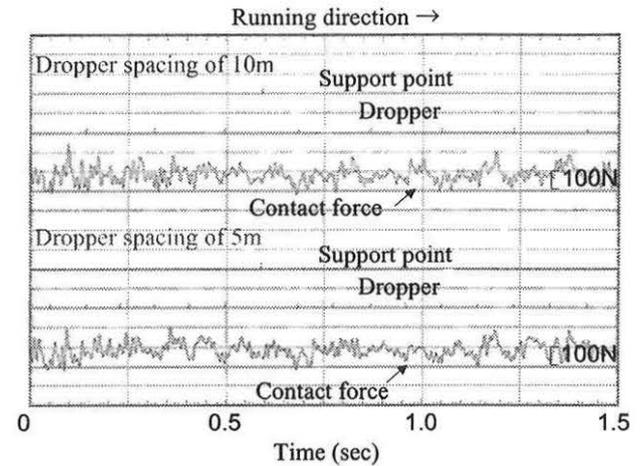


図5 接触力波形の比較 (200km/h)
Fig. 5 Comparison of wave forms of contact force (200km/h)

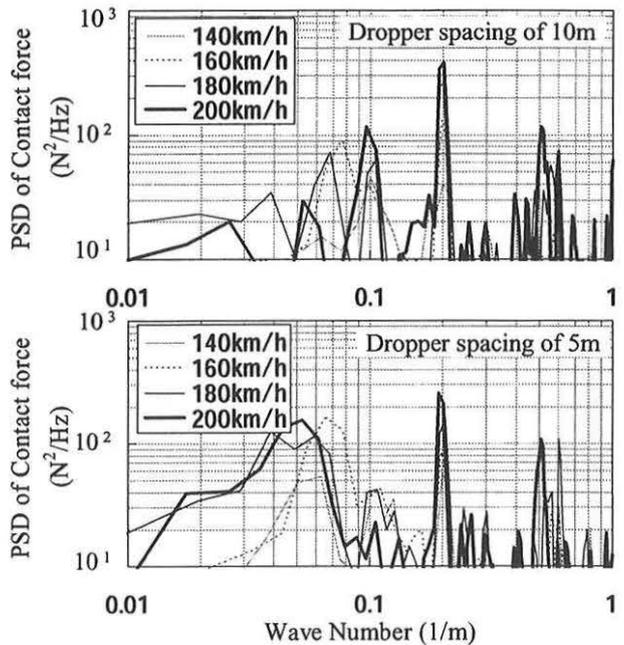


図6 接触力スペクトル分布の比較
Fig. 6 Comparison of spectrum distribution of contact force

<3.3> 接触性能改善効果 接触性能を表す実用的な指標

として、ここでは離線率を用いて比較する。図7に、離線率の速度特性を比較して示す。ただしここでは、接触力が10N以下となる割合を百分率で表したものを離線率として代用する。ドロップ間隔が5mの場合は、10mの場合に比べて各速度において離線率が低減しており、接触性能改善効果が認められる。

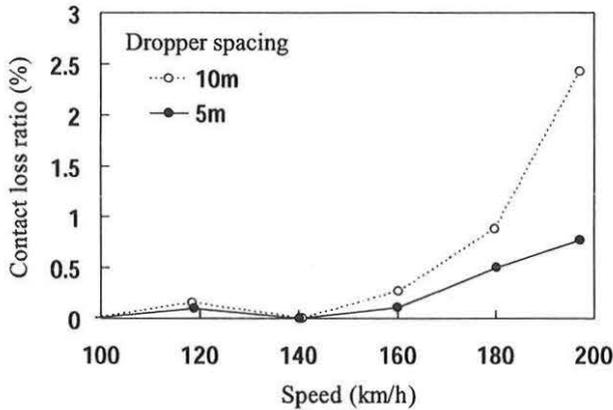


図7 離線率の比較

Fig. 7 Comparison of contact loss ratios

4. 接触力変動の低減に関する考察

ドロップ間隔を従来の10mから5mにすることで、接触力変動が低減し接触性能が改善されることが、運動シミュレーションにおいても、また実架線・パンタグラフを用いた走行実験でもほぼ同様の結果が得られた。接触力変動低減の理由として、図2から分かるようにドロップ間隔を5mにすることにより10m周期の接触力変動成分が無くなることは容易に理解できる。しかし5m周期の変動成分も減少することについては、考察を要する。

図2の接触力スペクトル分布において33Hz付近に比較的顕著な変動成分が見られるが、これはハンガ間5mにおける接触力変動の第3次高調波である。ハンガ間における接触力変動機構は、励起された波動がハンガ点とパンタグラフ点で反射を繰り返すことにより接触力が変動すると考えられている⁴⁾。ドロップ間隔10mと5mの場合で33Hzの変動振幅に大きな差異が見られないことから、ドロップ間隔を変更してもハンガ間における接触力変動機構には大きな

変化がないと考えられる。このことから、ドロップ間隔が10mの場合に10m周期の第2次高調波である11Hzの変動成分が含まれていて、ドロップ間隔を5mにすることにより11Hzの成分が減少したと考えられる。一方、ドロップ間隔5mとした場合に、新たにドロップ間隔5m周期の接触力変動成分が加わることになるが、これを含めた波動伝播特性等の詳細な検討は、今後の課題である。

5. まとめ

コンパウンド系架線において、ドロップ間隔を従来の10mから5mに縮減した場合の接触性能改善効果について、運動シミュレーション手法による解析と、実架線・パンタグラフによる走行実験を行った。その結果、以下の特性が明らかになった。

- (1) ドロップ間隔を10mから5mにすることにより、10m周期の接触力変動成分が無くなるとともに、5m周期の変動成分も低減する。
- (2) 新幹線で用いられるいくつかの架線構造についてシミュレーション解析を行った結果、いずれの架線についても接触性能の改善効果が見られる。

6. あとがき

本方法を適用すれば接触性能が向上するとともに、主な接触力変動の周波数が統合されるため、パンタグラフの設計がより容易になると期待できる。なお、波動伝播特性と接触力変動の関係については、今後詳細に解析する必要があると考えている。

文献

- 1) 網干光雄；パンタグラフ振動特性が接触力変動に与える影響，J-rai12003講演論文集，2003年12月
- 2) 網干光雄；運動計算による架空電車線凹凸の動特性評価法，平成16年電気学会産業応用部門大会，No.3-28，2004年9月
- 3) 長坂整，真鍋克士；舟体の歪みと加速度による接触力測定における等価質量の同定法，日本機械学会第5回交通・物流部門大会，No.96-51，1996年
- 4) 網干光雄；トロリ線波動の低減による集電系の動的性能改善手法に関する研究，鉄道総研報告，特別第26号，1998年10月