

高速化に対応した架線の開発



あほし みつお

網干 光雄
電力技術研究部(主管研究員)

はじめに

電気鉄道では、車両に搭載されたパンタグラフが線路上に架設された架線に接触することにより電力が供給されるのが一般的です(図1)。これを集電と言います。1台のパンタグラフから取り込む電流は、新幹線では500A程度、直流在来線では1000A程度です。またパンタグラフと架線との間の接触力は、停止時には60N程度、走行時にはパンタグラフ揚力を含めても100N前後ですから、大電流

の電気接点としては比較的小さな力で接触していることとなります。しかも走行速度が高くなるほど、さまざまな要因によって接触力が大きく変動し、0になると電気接点が解離します。これを離線と言います。電力供給が途絶えたり、アーク放電により部材が損傷するなどして、最悪の場合、走行不能になる恐れがあります。

このため鉄道の高速化に伴って、より接触性能の高い架線の研究開発が進められてきました。図2は、日本における代表的な高速用架線の系譜を整理したものです。本文では、これらの高速用架線の変遷を紹介するとともに、高速化に求められる架線の特性と課題について述べます。

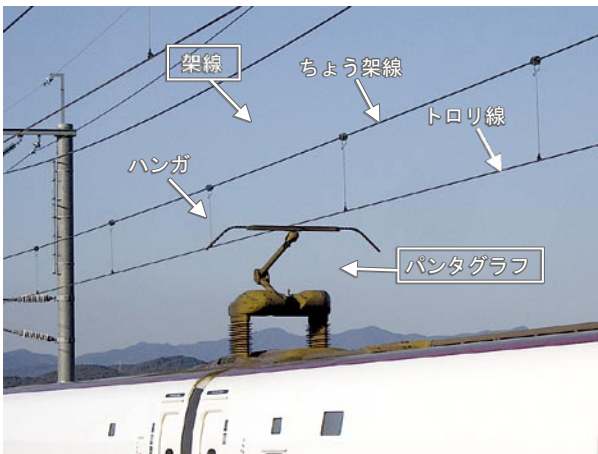


図1 架線とパンタグラフによる集電

こだま号の運転と電化の進展

日本での架線性能の研究は、1950年代から本格的に行われました。1958年の電車特急こだま号の運転開始により最高速度は110km/hに上げられましたが、当時のシンプル架線では架線・パンタグラフの事故が頻発したため、ツインシンプル架線(図3)に改良されました。

当時の理論として、架線の等価ばね定数(パンタグラフ押上力と架線の静的押上量との比)が支持点周期で変動することに着目して、ばね・質点系モデルによる解析が行われました。この解析結果から、高速用架

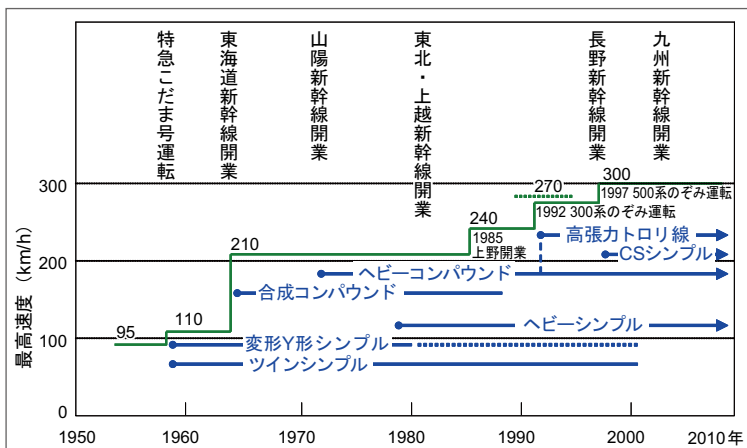


図2 高速用架線の系譜

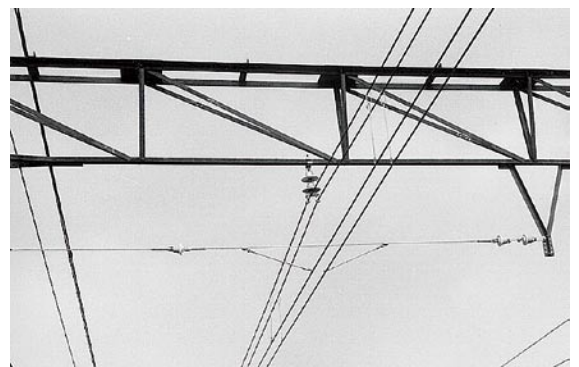


図3 ツインシンプル架線



図4 変形Y形シンプル架線

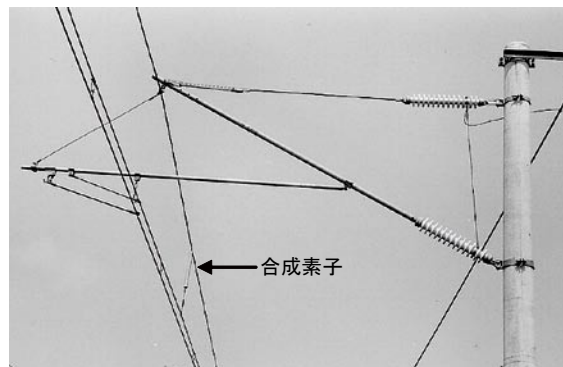


図5 合成コンパウンド架線

線としては、

- ①架線の等価ばね定数をできるだけ一定にする
- ②架線の張力を増加させる

という改善方策が示されました。ツインシンプル架線は、架線の張力が2倍になるので後者②の方策ですが、既設の架線にもう1組追加するだけで済むという経済的な理由から採用されました。この架線は、後の東海道新幹線で160km/h以下の中速区間や、電流容量が大きいことから大都市圏や貨物駅前後にも採用されることになります。

一方、この頃から全国の幹線電化が進められ、新規に電化される東北線、北陸線、山陽線、常磐線、鹿児島線などの高速区間では変形Y形シンプル架線(図4)が採用されます。この架線は、支持点付近のみY線と呼ばれる線を張り、そこからハンガでトロリ線を吊る構造です。これにより支持点付近のばね定数を小さくして径間中央付近との差を低減するもので前記①の方策です。しかしこの架線は、Y線の調整に手間がかかることや、強風時に押上量が大きくなりやすいことから、1980年前後よりちょう架線の張力を増加したヘビーシンプル架線に代わることになります。

新幹線用架線の開発

1964年に東海道新幹線が開業しますが、速度250km/hというこれまで経験したことのない速度領域での営業運転を実現するため、合成コンパウンド架線(図5)が考案されました。これは支持点付近に合成素子(ばね減衰素子)を用いて前記①の架線の等価ばね定数を追求したものでした。

しかしこの架線は、架線の押上量が比較的大きいことに加えてパンタグラフ数が2両に1台と多かったことなどが影響して、開業後、架線が切れるという事故が多発しました。そこで1972年に開業する山陽新幹線では、合成素子を省略して架線の総張力を29.4kNから53.9kNに高張力化したヘビーコンパウンド架線(図6)が開発されました。この頃には架線の運動を波動として扱う理論が発展し、またデジタルコンピュータによる解析も行われるようにな



図6 ヘビーコンパウンド架線

り、より高度な検討が可能となりました。この架線は、前記の等価ばね定数を多少犠牲にしても高張力を優先したもので、開業後は断線事故も少なく、1982年に開業する東北新幹線、上越新幹線においても採用され、また後に東海道新幹線も改良されるなどして、新幹線の標準架線として確立します。

新幹線の高速化

新幹線の最高速度は長らく210km/hでしたが、1987年のJR発足前後から新幹線の高速化が推進されました。このときの重要な課題の一つが騒音対策で、パンタグラフから発生するアーク音を減らすことでした。その原因の一つはトロリ線に形成される波状摩耗(図7)であり、もう一つ

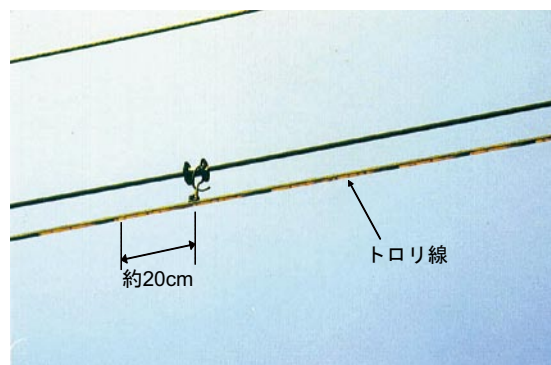


図7 トロリ線の波状摩耗

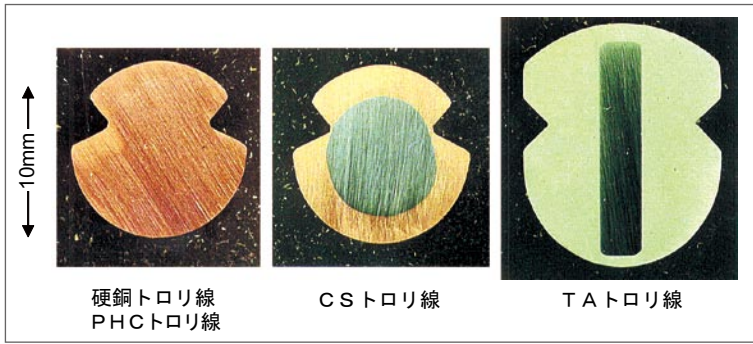


図8 軽量高張力トロリ線の断面

はハンガ間周期で発生する離線でした。前者の波状摩耗についてはパンタグラフすり板配列変更等の対策が功を奏しました。一方、ハンガ間隔周期の離線については、トロリ線を伝播する波動現象の解析から、走行速度がトロリ線の波動伝播速度に近づくことによる現象であることが明らかになりました。また運転速度はトロリ線の波動伝播速度の7割程度以下に抑えるのが望ましいという目安も、このとき示されました。ヘビーコンパウンド架線の場合、トロリ線の波動伝播速度は約100m/s(約360km/h)であり、新幹線の速度向上のためにはトロリ線の波動伝播速度の向上が不可欠でした。このため、図8に示すような軽量高張力トロリ線が開発・実用化され、300km/h運転の実現に貢献しました。

整備新幹線用架線の開発

欧州での高速用架線はシンプル架線や変形Y形シンプル架線が主流ですが、日本では、新幹線の標準架線としてヘビーコンパウンド架線が長らく使用され、安定した実績があります。これは新幹線の大きな電流負荷に対応できること、架線の総張力を大きくできること、架線内の押上量の変化が比較的小さいことなどの利点があります。しかし、今後建設される整備新幹線においては、輸送需要に見合った経済的な架線が求められおり、1997年に開業した長野新幹線では、CSトロリ線を用いた日本で初めての新幹線高速用シンプル架線(図9)が登場しました。

高速用架線の要件

ここで、高速用架線の要件をまとめると、表1のようになります。離線を少なくすることは安定した電力供給のために不可欠であり、またアーク溶損等による事故を防止するための走行安全性、また部材の摩耗を低減する保全性にも直結する重要な特性です。押上量はパンタグラフが架線金具等に衝突しないように、また応力はトロリ線が疲労破断しないという走行安全性に係わるものです。上記3つの特性はいずれも高速になるほど大きくなる傾向があり、所



図9 CSシンプル架線

表1 高速用架線の要件

| | 集電特性 | 要件 |
|---|----------------------|----|
| ① | 架線・パンタグラフ間の接触力変動(離線) | 小 |
| ② | 架線の押上量 | 小 |
| ③ | トロリ線に発生する応力 | 小 |

要の値以下に抑制する必要があります。

上記の架線・パンタグラフ間の接触力変動をもう少し詳しく見ると、図10に示す要因に分類できます。これまでに述べたように、ヘビーコンパウンド架線のように架線系全体の張力を増加することや、合成コンパウンド架線のように支持点付近にばねを挿入するなど方策は、主に支持点間周期の接触力変動を小さくするためのものです。トロリ線の波動伝播速度の向上は、主にハンガ間周期の接触力変動を小さくします。またトロリ線波状摩耗対策は、トロリ線凹凸による接触力変動を小さくすることに相当します。

次に、高速用架線を実現するために、トロリ線の要件をまとめると表2のようになります。波動伝播速度を向上さ

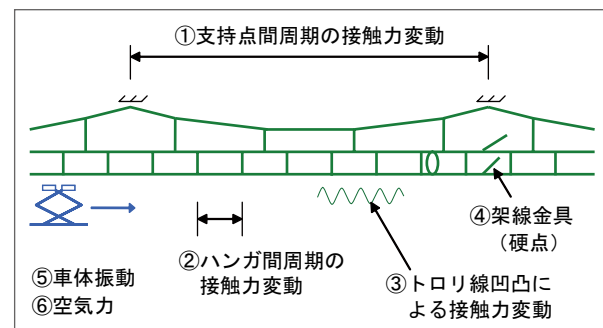


図10 架線・パンタグラフ間の接触力変動要因

表2 高速用架線のトロリ線の要件

| 項目 | 特性 | 要件 | 改善方向 |
|-----------|------------------|----|----------------------|
| 波動伝播速度 | $\sqrt{T/\rho}$ | 大 | ρ (線密度)を小さく(軽く) |
| 機械インピーダンス | $2\sqrt{\rho T}$ | 小 | |
| 押上量 | Tに反比例 | 小 | T(張力)を大きく |
| 応力 | \sqrt{T} に反比例 | 小 | |

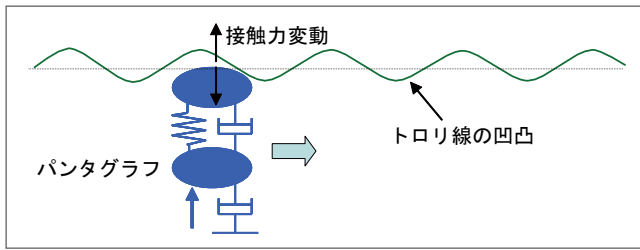


図11 トトリ線凹凸による接触力変動

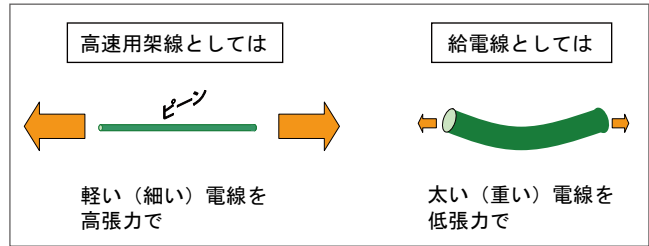


図12 トトリ線に求められるもの

せるためには、張力を増加させること、線密度を小さく(軽く)することが有効です。また機械インピーダンスは言わばトトリ線の動き難さを表すものです。架線は水平に架設しているつもりでも、トトリ線にはさまざまな波長の凹凸が存在

します(図11)。このような凹凸があっても安定した接触を保つためには、追従性能の良いパンタグラフを開発することはもちろんですが、トトリ線の機械インピーダンスを小さくすることも有効です。

波動伝播速度と機械インピーダンスを合わせて考えると、高速用架線のトトリ線はできるだけ線密度を小さく(軽く)することが求められます。一方、押上量、応力に関して言えば、詳細は省きますが、張力が高いほうが有利です。このことから、高速用架線は軽い電線をできるだけ強い張力で架設するという結論に至ります。しかし、架線は電力を供給する給電線の一部でもあり、導電率が高く断面積の大きい電線を使用します。銅のような材料は比較的強度が小さく、またトトリ線が摩擦することを考慮すると、張力はあまり高くしたくありません。つまり、高速用架線と給電線としての特性は相反することになりますので(図12)、走行速度や電流負荷の大きさなどを勘案して、それぞれに適した架線を設計する必要があります。

剛体架線の高速化

剛体架線は摩耗管理等のメンテナンスを軽減できることや、トンネル断面を縮小できる等の有利な特長があるため、地下鉄等で広く採用されています。地下鉄用の剛体架線は、1961年に日比谷線(現東京地下鉄)で、郊外電鉄との相互直通運転に伴い導入されました。初期の運転速度は70km/hまでと規定されていましたが、その後1970年の走行試験で問題がないことが確認されて90km/hまで、さ

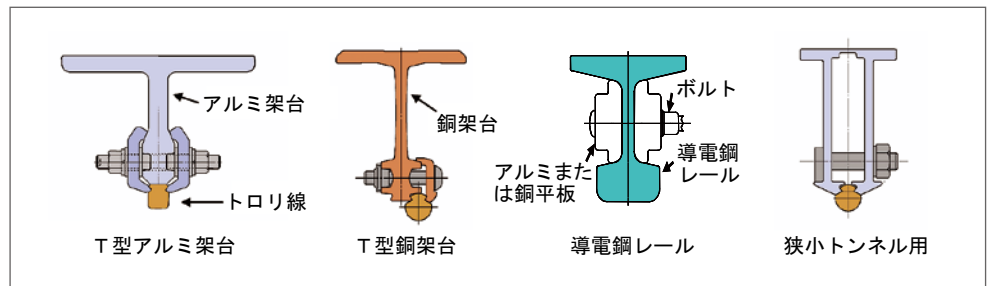


図13 各種剛体架線の断面図

らに2000年には高速走行対応の電車線およびパンタグラフ使用の場合は130km/h以下で走行できるようになりました。現在は、図13に示すようなさまざまな構造が用いられています。

剛体架線はトトリ線のように容易には動きませんので、パンタグラフが架線凹凸に追従する性能はもちろんですが、剛体架線もできるだけ凹凸を少なく架設する必要があります。例えば支持点間のたわみ凹凸のほか、波状摩耗や伸直器による凹凸、架台の溶接継目箇所凹凸、架台自体の曲がりなどの凹凸を改善していくことが必要です。

おわりに

現在の新幹線の最高営業速度は300km/hですが、さらに高速化へ向けての研究も進められています。離線、押上量、応力はいずれも増加することが予想されますので、これらを低減する新たな方策や管理手法が必要です。また架線の架設誤差についても、高速化に対応した架設基準と接触力測定技術などを活用した診断技術が求められます。さらに、安全性・信頼性を維持するための高品質のメンテナンスを効率的に行う取り組みが求められています。[RRR]

文献

- 1) 下前哲夫, 真鍋克士, 網干光雄: 新幹線の連続アークはどのようにして解消されたか, 日本鉄道電気技術協会, 2008