

第81回

電車線の自動張力調整装置

はじめに

変電所からの電力を集電装置を介して電気に供給することを集電といい、一般的に変電所から電気車までの送電経路として架空電車線(以下、電車線)が、集電装置としてパンタグラフが多く用いられます。

安定した集電を行うために、本線の電車線には張力を一定に保つ自動張力調整装置(テンションバランサー)が使用されています。ここでは、自動張力調整装置の概要や種類、ならびにこれまでの自動張力調整装置の変遷を紹介するとともに、今後の展望について述べたいと思います。

き留められ、その片端あるいは両端に張力調整装置が取り付けられています(図1)。引留区間の距離は張力調整装置の性能などから最大で1.6km程度に制限されています。また、引留付近の電車線にはオーバーラップとよばれる移行構造が設けられており、これによってパンタグラフが隣接する電車線にスムーズに移行できるようになっています。

張力調整装置には手動で張力調整を行う手動張力調整装置と、電車線の伸縮に合わせて自動的に張力を一定に保つ自動張力調整装置とがあります。

張力調整装置を設置しない場合、温度変化に応じて線条が伸縮すると張力が変化します。これにともない、パン

タグラフと直接しゅう動するトロリー線の高さに不整が生じ、トロリー線とパンタグラフとの接触力の変動が大きくなります。そのため、新幹線のように車両が高速で走行する場合には、トロリー線とパンタグラフとの安定した接触を実現するために自動張力調整装置の設置が不可欠となります。

張力調整装置の種類

表2に張力調整装置の種類を示します。現在の本線にはおもに滑車式とばね式の自動張力調整装置が用いられています。ここでは、各張力調整装置について紹介します。

自動張力調整装置の概要

年間を通じた気温変化は地区ごとに大きく異なるため、表1に示すように電車線の設計に考慮する温度区分が地区ごとに定められています¹⁾。

気温が変化すると、電車線の各線条は伸縮します。この伸縮を吸収するとともに張力を一定に保つため、電車線は一定区間ごとに引

表1 電車線設計に考慮する温度区分

区分	標準温度	最高温度	最低温度	地区
A地区	15℃	40℃	-10℃	関東以南
B地区	10℃	40℃	-20℃	東北、信越、北陸
C地区	5℃	40℃	-40℃	北海道

表2 張力調整装置の種別と使用区分

種別	細目	使用区分
自動張力調整装置	滑車式	本線の電車線 本線と交差する電車線 重要側線の電車線
	レバー式	
	油圧式	
	ばね式	
手動張力調整装置	ターンバックル調整用ストラップ	一般側線の電車線

表3 滑車式自動張力調整装置の種類³⁾

種類	標準滑車比 (標準温度時)	張力		使用箇所
		kN	kgf	
新2号	1:4	29.4	3000	一般
3号	1:4	53.9	5500	新幹線
新2号特	1:3	29.4	3000	北海道地区

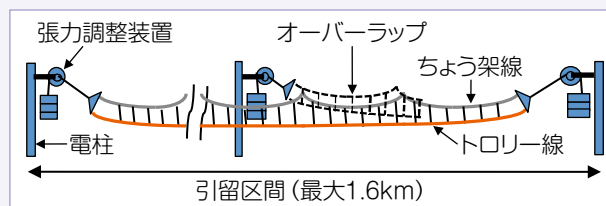


図1 電車線の構造例と張力調整装置

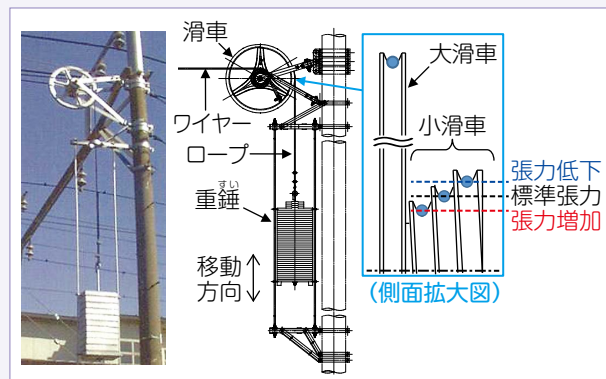


図2 滑車式自動張力調整装置(WTB)²⁾

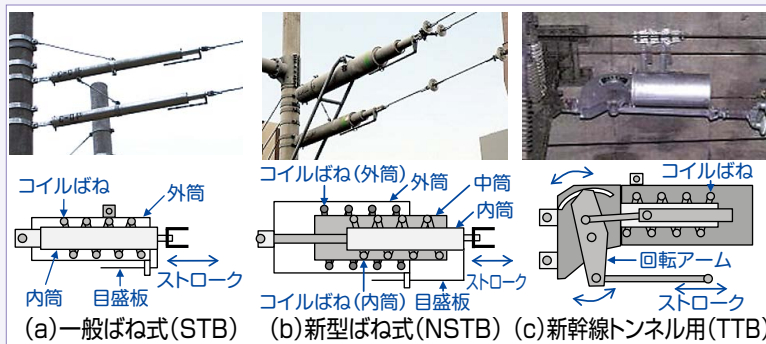
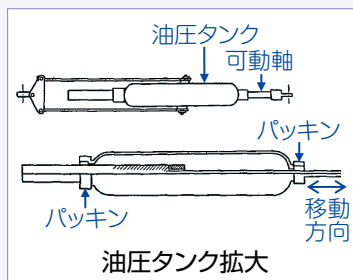
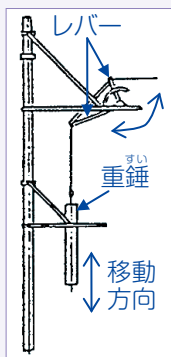


図3 レバー式自動張力調整装置 (LTB)⁶⁾ 図4 油圧式自動張力調整装置 (OTB)⁷⁾ 出典:電気鉄道, 第13巻 第1号, 鉄道電化協会³⁾

図5 ばね式自動張力調整装置 写真提供: 三和テッキ株式会社

(1) 滑車式

張力に相応する重錘と線条とを滑車を介して接続したもので、WTB (Wheel Tension Balancer) とよばれます (図2)²⁾。表3に現在使われているおもな滑車式の種類を示します³⁾。

滑車式は大滑車と重錘を、小滑車と電車線をそれぞれワイヤーロープで接続した構造となっており、重錘に作用する重力によって、線条に一定の張力を与えます。ワイヤーロープの代わりに鋼鉄製のチェーンを用いたチェーン式もあります⁴⁾。

線条が伸縮すると伸縮量に応じて滑車が回転して電車線の伸縮を吸収します。重錘にはコンクリートあるいは鉄が用いられますが、滑車比 (小滑車と大滑車の直径比) に応じて重錘の重さを決定します。JRなどでは北海道地区を除いて標準滑車比を1:4としています。滑車式の調整距離は一基当たり800mであり、引留区間の両端にそれぞれ設けることで1600mまで調整可能となっています。

また、電車線がパンタグラフのしゅう動や線路勾配などにより移動してしまう「流れ」を防止するために、図2に示すように小滑車はテーパ形状となっています。電車線が一方に流れた場合、流れる方向側の端部の滑車比が小さくなる一方で、反対側の端部の滑車比が大きくなるため、流れを抑える方向に張力が作用して電車線が引き戻されます。

滑車式は設計上の張力変動が±5%

程度であり、現在、最も多く使用されていますが、滑車やワイヤーの保守管理に手間がかかることや積雪により調整能力が失われる場合があるなどの欠点もあります。

(2) レバー式

この原理を応用したもので、長さの異なる2本のレバーの先に線条と重錘をそれぞれ接続することにより、長さの比 (レバー比) に応じた張力を与えるもので、LTB (Lever Tension Balancer) とよばれます (図3)⁶⁾。

線条が伸縮するとレバーが回転して線条の伸縮を吸収します。レバー式は構造が簡単で安価ですが、調整距離を大きくするためには装置を大型化する必要があることから現在ではほとんど使用されていません⁷⁾。

(3) 油圧式

温度変化による油の膨張収縮を利用して線条の伸縮を吸収するもので、OTB (Oil Tension Balancer) とよばれます (図4)⁸⁾。

油圧式は鋼鉄製の油圧タンクと可動軸から構成され、可動軸に電車線が接続されています。油圧タンク内の油が温度変化によって膨張収縮することにより生じる圧力変化に応じて可動軸が移動する機構となっています⁷⁾。この移動量と温度変化による線条の伸縮量を一致させることで、温度変化にともなう張力変化が低く抑えられています。しかしながら、長期間の可動軸の稼働によって、タンク内のパッキンが劣

化し油漏れが生じてしまうため、現在では使用されていません⁹⁾。

(4) ばね式

鋼鉄製のコイルばねの伸縮によって発生する弾性力を利用して張力を調整するものです。ばね式には一般ばね式 (STB; Spring Tension Balancer)、新型ばね式 (NSTB; New Spring Tension Balancer) および新幹線トンネル用 (TTB; Tunnel Tension Balancer) があります (図5)。

一般ばね式の調整距離は一基当たり300mであり、おもに駅構内などの短い引留区間用として使用されています。一方、近年に開発された新型ばね式は、ばねに高張力鋼を使用することによって、ばねの細径化および多段化を可能としたもので⁹⁾、調整距離が一基当たり800mに拡大されたため、本線にも広く使用されています。また、新幹線トンネル用は、リンク機構によりばねの変位量を抑えることで小型化されています。

ばね式は構造が単純で保守管理に手間がかからない利点がありますが、ばねの弾性力 (図6中A) がストローク量に応じて変化する特性を有しています¹⁰⁾。さらに、同じストローク量であっても、ばねの伸長時と収縮時とは張力が異なる、ヒステリシスとよばれる特性もあります¹⁰⁾。この特性は、装置を構成しているさまざまな部品間の摩擦力 (図6中B) によるものです。これらの特性により、一般にばね式の張力変動 (図6中A+B) は滑車式に比べて大

きく、最大±15%です。ただし、最近では改良が進められ、新幹線で使用されている新型ばね式には張力変動が9%程度まで低減されたものもあります。

(5) ガス式

温度変化にともなうガスの膨張収縮を利用したものでGTB (Gas Tension Balancer) もしくはGSTB (Gas Spring Tension Balancer)ともよばれます(図7)。

ガス式は、圧縮された窒素ガスが充填されたガス室と、油圧でピストンロッドを動作させる油室から構成されており、これらが金属ペローズとよばれる蛇腹状の隔壁で仕切られた構造となっています。

ガス式はばねの弾性力ではなくガスの持つ特性(圧力P×体積V/温度Tが一定)を利用して張力を調整しているため、ばね式に比べて張力変動を小さくできる特長があります¹¹⁾。具体的には、ガスの膨張収縮にともなうストローク量と温度変化による線条の伸縮量を一致させることにより、温度変化にともなう張力変化が低く抑えられています。

(6) 手動張力調整装置

手動張力調整装置にはターンバックルと調整用ストラップがあります²⁾。

ターンバックルは、内筒の両端にねじ山を設け、その一方を右ねじ、他方を左ねじとしたものであり、手動で内筒を伸縮させるとねじのかみ合い長さが変化して長さを調整することができます(図8)。また、調整用ストラップは穴をあけた平鋼を組み合わせたもので、それらの重ね方を変えることによって

長さを調整することができます。

いずれの装置とも、その片側は電柱などに固定されており、線条の伸縮に応じて装置の長さを調整することにより張力を調整することができます。

自動張力調整装置の変遷

季節に応じて電車線の線条を切り詰めたり、人力で手動張力調整装置を調整したりして張力を調整することには、非常に多くの労務を要します。自動張力調整装置の導入によって、それが解消されることになりました。

図9に自動張力調整装置のおもな変遷を示します。

最初に導入された自動張力調整装置は滑車式です。1914年に東海道本線東京～横浜間が電化された際、その一部に外国製の滑車比1:1の滑車式が試験的に取り付けられました⁶⁾。しかしながら、これは輸入品であることから材料調達が困難であり、普及しませんでした⁹⁾。その後、滑車比を変更した国産の滑車式の開発が進められ、1939年頃に東十条電車庫内に滑車比1:2、1941年に横浜線原町田～八王子間で滑車比1:3の滑車式が試験的に導入されました。また、1943年にレバー式が大糸南線で試験的に導入されました¹²⁾。

電車線のメンテナンスフリー化のニーズの高まりや前述の試験結果が良好であったことから、1949年に滑車式およびレバー式が規格化され、同年

の東海道本線沼津～浜松間電化の際にレバー式が、1952年の高崎線電化の際に滑車式が全線に導入されました¹²⁾。

1950年後半からは自動張力調整装置自体のメンテナンス低減を目的とし、重錘すいを使わない新たな自動張力調整装置の開発が進められました。1955年頃の常磐線ほんにおける試験を経て、東海道線富士川橋りょうの架線に油圧式が採用されました¹²⁾。また、1962年には一般ばね式が開発されました。これにともない、レバー式は順次一般ばね式に変更されました⁹⁾。一方、滑車式では1959年頃に滑車比1:4のものが開発されて重錘すいをより軽くすることが可能となったことから、1965年以降は滑車比1:4のものが標準的に使用されるようになりました⁶⁾。

1960年頃には、東海道新幹線の開業に向けた自動張力調整装置の開発が進められました。1962年に張力29.4kN(3tf)に対応した滑車式が規格化され、東海道新幹線開業時の本線に油圧式とともに採用されました。しかしながら、油圧式は油漏れなどの動作不良が多発したことにより、在来線も含めて使用が中止され、1975年頃にはすべて滑車式に置き換わりました⁹⁾。わたり線や側線には一般ばね式が採用されましたが、トンネル内は設置空間に制約があるうえ、温度変化が少ないと想定されたことから、自動張力調整装置が設置されませんでした。

1970年には山陽新幹線のヘビーコンパウンド架線の張力53.9kN(5.5tf)

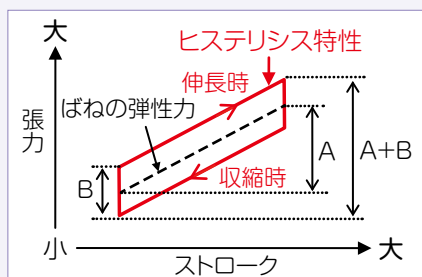


図6 ヒステリシス特性

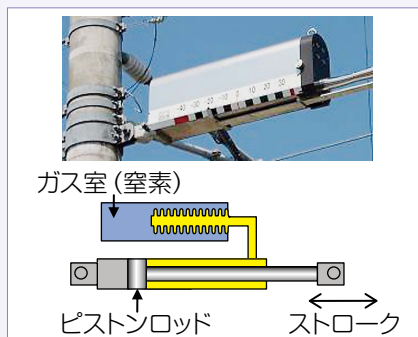


図7 ガス式自動張力調整装置(GTB)
写真提供：三和テック株式会社

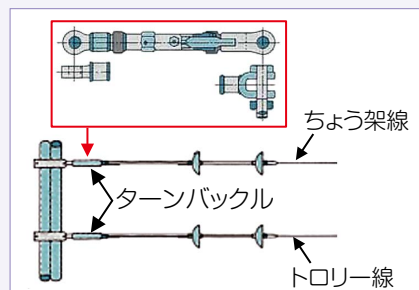


図8 ターンバックル²⁾

に対応した滑車式が「3号」として規格化されました。この頃、滑車式の種類が統合され、山陽新幹線用「3号」と在来線用の張力19.6kN(2tf)の「1号」、東海道新幹線開業時に開発された張力29.4kN(3tf)の「2号」の3種類となりました⁹⁾。また、滑車がテーパー形状に

改良されることで電車線の流れが防止されるようになりました⁶⁾。しかしながら、東海道新幹線開業後、トンネル内の温度変化が想定以上に大きいことがわかったため、1968年に新幹線トンネル用が開発されました。新幹線トンネル用は東海道新幹線で試験導入された後に1970年に規格化されました。そのため、山陽新幹線では開業時から新幹線トンネル用が採用され、以後、東北新幹線や上越新幹線などにも採用されています⁶⁾。

1973年頃には、多雪地帯において滑車式の軸受部への浸水によるグリースの酸化や軸受の腐食が発生し、問題となりました。そこで、軸受を密封性の高いものに変更し、ゴムシールを用いて防水性の向上が図られました。また、北海道地区では、気温変化(80℃)が大きく、滑車比1:4では重錘のストロークを確保できないため、滑車比1:3の張力19.6kN(2tf)に対応した「1号特」が規格化されました⁹⁾。

さらに、滑車式において疲労や腐食によるワイヤーロープの素線切れや断線がたびたび発生していたため、1983年にワイヤーロープが改良されました。具体的には、素線の種別やより線の構成を柔軟性が優れたものに変更しました⁹⁾。このとき、在来線用の「1号」と、新幹線では使用されなくなっていた「2号」が規格から廃止され、新たに張力29.4kN(3tf)の「新2号」が

規格化されました。また、「1号」の廃止にともない、北海道地区用の「1号特」も廃止され、新たに張力29.4kN(3tf)の「新2号特」が規格化されました。1986年には滑車式の欠点であるワイヤーロープの保守を必要としないチェーン式が使用され始めました⁴⁾。

1995年に調整距離が拡大された新型ばね式が開発され、本線への使用が可能となったことから、現在では、新型ばね式が新幹線、在来線を問わず全国的に使用されています⁹⁾。1996年にはばね式に比べて小型軽量なガス式が開発され、一部で採用されています¹¹⁾。

今後の展望

将来の労働人口低下が危惧されている現況を考慮すれば、省メンテナンスであるばね式の使用はより拡大すると考えられます。しかしながら、ばね式であっても性能の低下や寿命を迎えることにより、いずれ取り替えなければいけません。そこで、自動張力調整装置の取替要否を判定できる状態監視技術を確立し、さらなる省力化を図ることが求められます。

また、自動張力調整装置は質量が大きく、電柱への取付位置も高所であることから、電柱の地際に生じるモーメントに大きな影響を与えます。近年では電柱の設計時に地震荷重も考慮する場合もあることから、電柱が要する強

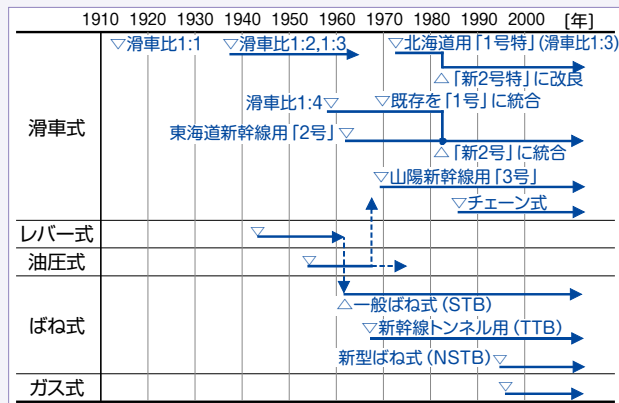
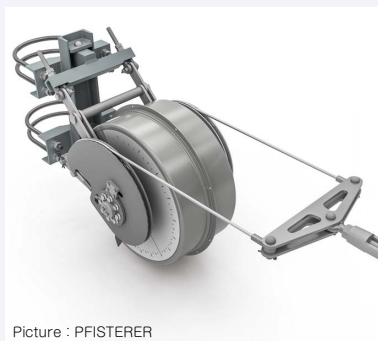


図9 自動張力調整装置の主な変遷



Picture: PFISTERER

図10 うす巻きばねを用いた自動張力調整装置(TENSOREX) 提供: PFISTERER¹³⁾

度は増加傾向にあります。そのため、軽量で、なおかつ耐震性の高い自動張力調整装置が求められています。

最近、海外では図10に示すようにうす巻きばねを用いた新しいタイプのばね式の普及も進んでいます¹³⁾。鉄道総研でも従来の常識にとらわれることなく、より良い自動張力調整装置の開発に取り組んでまいります。

(近藤優一/電力技術研究部
電車線構造研究室)

文献

- 1) 日本国有鉄道電気局: 電気工作物(電車線路)設計施工標準, 日本国有鉄道, 1985
- 2) 鉄道総合技術研究所 鉄道技術推進センター, 日本鉄道電気技術協会: わかりやすい鉄道技術【鉄道概論・電気編】, 鉄道総合技術研究所 鉄道技術推進センター, 2005
- 3) 日本鉄道電気技術協会: 電車線(II), 日本鉄道電気技術協会, 2008
- 4) 鈴木宏: チェン式バランスの導入について, 鉄道と電気, Vol. 43, No. 9, p24, 1989
- 5) 武藤洋: 自動張力調整装置, 鉄道と電気技術, Vol. 28, No. 6, p68, 2017
- 6) 日本国有鉄道: 電車線路保全技術資料集, 日本国有鉄道, 1987
- 7) 近田幸夫: 自動張力調整装置(バランス), 電力と鉄道, Vol. 26, No. 10, p32, 1976
- 8) 木村幹之: きでん室 油圧式バランス, 電気鉄道, Vol. 13, No. 1, p31, 1959
- 9) 日本鉄道電気技術協会: 電車線路用架線金具の歴史—鉄道の高速度と事故に学ぶ, 日本鉄道電気技術協会, 2012
- 10) 日本鉄道電気技術協会: 電車線技術計算の手引, 日本鉄道電気技術協会, 2016
- 11) 打越徹: ガスバネバランスの開発, 鉄道と電気技術, Vol. 11, No. 1, p49, 2000
- 12) 電車線技術進展のあゆみ編集委員会編: 電車線技術進展のあゆみ, 電車線工業協会, 1996
- 13) PFISTERER Holding AG: TENSOREX-Spring Tensioning System for Overhead Lines on Electric Railways, <https://www.pfisterer.com/en/our-products/products/tensorex/> (入手日: 2019年1月9日)