

1605 張力測定器の開発

○宮 口 浩 一、[電]石 井 順 (西日本旅客鉄道株式会社)

[電]岩 間 祐 一(三和テッキ株式会社)

Development of Tension Measurement Tool
Hirokazu MIYAGUCHI, Jun ISHII (West Japan Railway Company)
Yuuichi IWAMA (Sanwa Tekki Corporation)

We developed the tension measuring tool which can measure the tension without cutting the wire. Usually, we measure the tension of the overhead wire by installing a load cell or a tension meter in the terminal. By this method, we can measure only the tension near terminal position. However, since it was necessary to disconnect the electric wire and to install a tension meter, it was impossible to measure the tension in an overhead wire middle portion. By the processing from the natural frequency of an overhead wire, we can measure the tension of the overhead wire easily. We report the developed tension measuring tool.

Keywords: Wire tension, Natural frequency, Over head contact line

1 はじめに

電車線設備では、トロリ線・ちょう架線・補助ちょう架線やき電線等、電線に張力を架けて設備している。(図1) その中でも、電気車のパンタグラフと接触しながら電力供給をするトロリ線に代表される架線の張力は、重要な管理項目である。

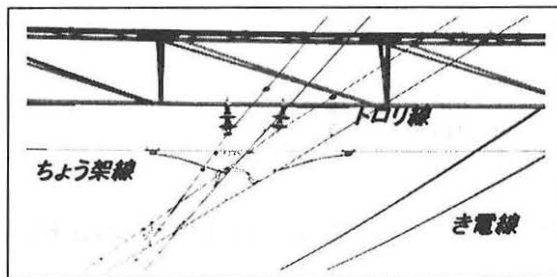


Fig. 1 Overhead contact line equipment

架線には、パンタグラフで摺動されるため振動が生じ、パンタグラフとの間でアークを発生する。これらの架線振動やアークは走行速度が高くなるにつれ大きくなり、場合によっては架線や金具の破損、パンタグラフすり板の異常摩耗の原因になる。従って定められた速度条件下では、過大な振動やアークが発生しないように架線を構成しなければならない。このような架線設備に求められる重要な要素として架線張力がある。

現在、架線張力を測定する場合、一般的には架線の引留箇所である末端に、ロードセルまたは張力計を取り付けて測定する方法が行われている。この方法では、引留近傍での張力を測定する場合は問題ないが、電線の中央部分では、電線を

切断して「張力計」を設置する必要がある、現実的に測定することは困難である。そこで電線を切断せずに、簡易な方法で張力測定が可能な測定器を開発したので報告をする。

2. 開発概要

本測定器は、測定対象の電線に外部からの影響を受けないよう、強固なフレームを電線把持金具2個により取り付ける。次に測定対象の電線に打撃による振動を与え、電線把持金具内のスパンの固有振動数を求め、張力を算出するもので、測定に関しては一人作業を基本として開発を行った。

2. 1 仕様

電車線設備の主に、トロリ線・ちょう架線の測定を考えた仕様を作成した。

- ① フレームは軽量・コンパクト(精度を優先)
- ② 一定の力で打撃できる構造
- ③ PDAのみで測定、計算し張力表示する
- ④ 測定精度5%以内

2. 2 開発測定器機材

測定器として、大きく二つの部材からなる。測定する電線に取付け、電線に振動を加える打撃部のある測定フレームと振動周波数より張力の算出を行うカード型携帯振動計である。(図2)

測定フレームは、質量により電線張力に影響を与えないものでかつ、フレーム自身の剛性が高いものが求められ、使用材料・形状について試験を行い現行の形状とした。また、架線を切断せずに測定を行うため、測定対象電線の径間内で電線を把持し、外部の影響を受けない治具とした。

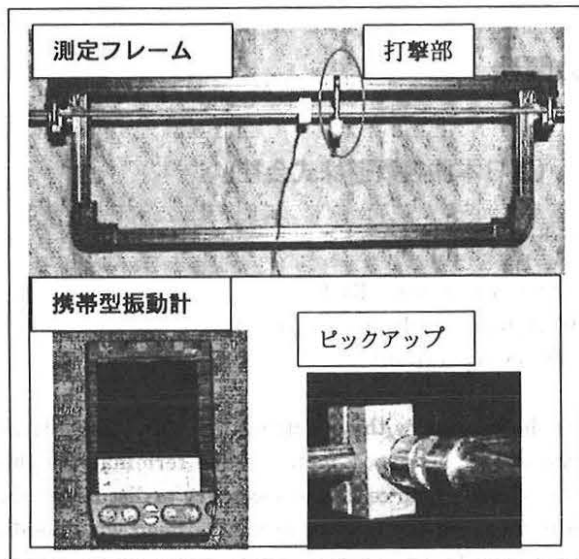


Fig.2 Tension measuring tool

2. 3 張力算出理論

電線の張力と固有振動数は以下の式で求められる。電線の波動伝搬速度 C は

$$C = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

T : 張力、 ρ : 線密度

電線の径間中央 1 点を加振させた場合、電線の振動形状は、図 3 (a) のように支持点では、動かず径間中央点で振幅が最大となる形になる。この固有振動数 f は、波動伝搬速度と密接な関係があり、径間長を S とすると

$$f = \frac{C}{2S}$$

次に電線径間内の支持点間の多くの中央点で同時に加振した場合、電線の振動形状は、図 3 (b) のように隣り合うスパンで同じ方向に振動する形となる。この場合には、支持点も上下に振動しその固有振動数 f^* は

$$f^* = \alpha \cdot \frac{C}{2S}$$

α : 係数

(シンプル架線で 0.9 程度、コンパウンド架線で 0.7~0.8 程度)

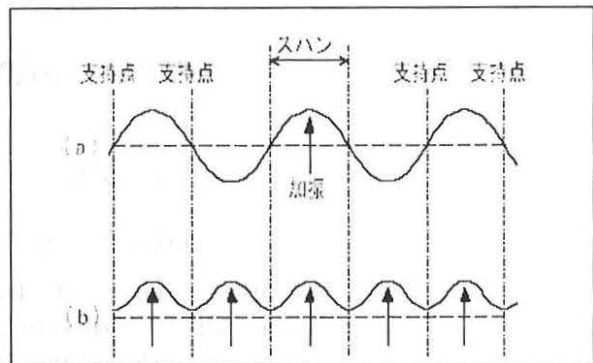


Fig.3 The model of vibrating contact line

しかし、上記の式はトロリ線を弦としてみなした場合における固有振動数で、復元力が曲げ強さによるものではなく、張力によるものが大きい場合であることを前提としている。

本測定器は、この前提が成り立たない支持点を持たない短いスパンで固有振動数を求めるもので、電線を剛体とみなした梁の曲げ振動を用いることとする。

両端単純支持の場合、曲げ振動の角振動数は、

$$\omega = \frac{\lambda^2}{S^2} \sqrt{\frac{EI}{\rho I}}$$

となり、固有振動数は、

$$f = \frac{\lambda^2}{S^2 \cdot 2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho I}} \quad (\lambda = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots) \quad \dots (1)$$

E : ヤング率

I : 断面二次モーメント

A : 断面積

λ : 定数

となる。さらに、軸力 (張力 T) が存在する条件下では、

$$f = \frac{\lambda^2}{S^2 \cdot 2\pi} \sqrt{\frac{EI}{\rho I}} \sqrt{1 + \frac{TS^2}{\lambda^2 EI \pi^2}}$$

となる。

この振動が確認できれば、(1) 式の曲げ振動との振動差が事前計算できるので、張力が逆算できる。

以上のように弦振動、曲げ振動との固有振動数の値が違うので求める固有振動数の値を特定でき、それにより張力算出を行う。

2. 4 固有振動数測定試験

本測定器を用いて、実際に架線に使用されている各種電

線毎に測定した張力と固有振動数の関係を求め、理論式と照らし合わせ数式化する試験を行った。(図4)

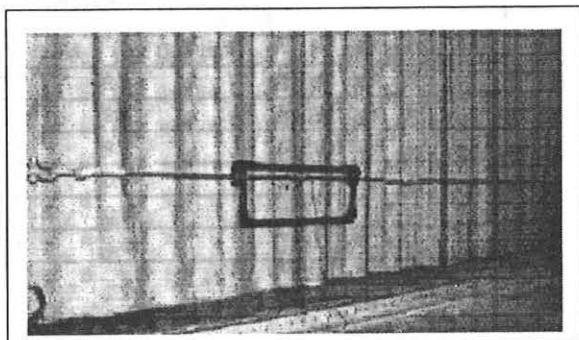


Fig.4 The examination in factory

本測定器のカード型携帯振動計で、計測された卓越振動周波数の最も多いものを電線の固有振動数とし、この測定を5回行い、その5つの固有振動数を平均し、平均値を二次の多項式近似で回帰させ回帰曲線を求める方法で行った。(図5)

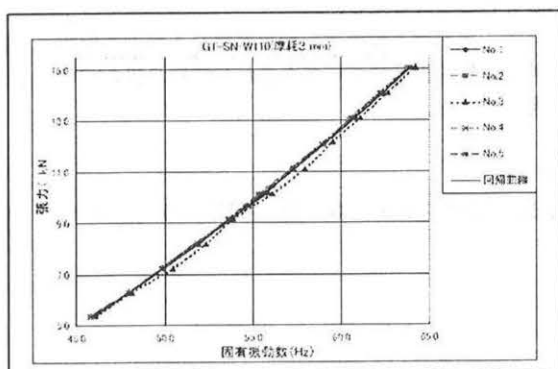


Fig.5 Natural frequency and tension graph.

2. 5 理論式と実測値の考察

2. 3 張力算出理論の(1)式で測定した固有振動数から張力を求めることができる。(1)式の λ を任意の値で固定しグラフに表し、理論式と実測値の比較を行った。

どちらの場合も、張力を上げると固有振動数は高くなる。しかし、理論式ではトロリ線が摩耗(単位重量、断面二時モーメントの減少)するとほぼ平行に、間隔が徐々に狭まりつつ固有振動数が低くなるのに対し、実測値は、トロリ線が摩耗すると、ある部分平行であるが、間隔はまちまちで、固有振動数が高くなってしまい、理論式と実測値とでは結果が異なることとなった。(図6)

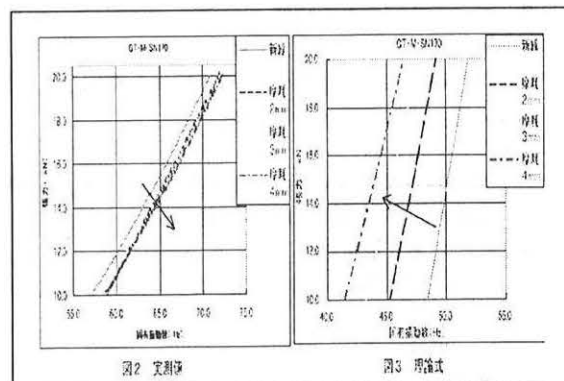


Fig.6 Theoretical graph and actual measurement graph

この原因として

- ①(1)式では梁として計算しているが、この測定器では弦の振動特性と梁の振動特性両方の特性を持つこと。
- ② λ は境界条件(両端支持、両端固定、両端自由等)や振動形でその値を定めるが、固定方法が両端支持、両端固定両方の特性をもつこと。

以上のようなことが考えられる。理論式のように張力算出式を摩耗量に依存する一つの数式にまとめることが、困難であることが分かった。

そこで本測定器は、実際に各種電線(摩耗したトロリ線も含む)の固有振動数を測定し、繰り返し特性(再現性)を高めることにより、測定精度を得ることとした。

2. 6 検証結果

本測定器により、各種電線の固有振動数から張力算出を行い、①張力算出式の検証②測定張力の精度の二つ事柄について検証を行った。(表1)

Table 1 Tension verification examination

線種	面積	摩耗				古線
		新線	2 mm	3 mm	4 mm	
トロリ線	110	○	○	○	○	○
	170	○	○	○	○	
ちょう架線	90	○	○	○	○	○
	135	○	○	○	○	
き電ちょう架線	356	○	○	○	○	○
	730	○	○	○	○	

2. 6. 1 張力算出式について

(1) トロリ線

トロリ線摩耗量の変化を一つの数式に表すことは困難と判断し、実測値からそれぞれの摩耗量(新線、2 mm、3 mm、4 mm)に対して回帰曲線を求めて張力算出式とした。

(2) ちょう架線等

固有振動数測定データから回帰曲線を求めて張力算出式とした。

2. 6. 2 測定張力の精度

工場内で架線を架設し、引留箇所に設置したロードセルの表示張力と本測定器で回帰曲線より算出した張力について、精度確認を実施した。

(1) トロリ線

測定誤差はすべて $\pm 5\%$ 以下となった。また、摩擦条件についても同様の結果を確認できた。

(2) ちょう架線等

新線・古線ともに、測定誤差はすべて $\pm 5\%$ 以下であった。

(3) 模擬架線

設備概要

径間 50 m

線種 トロリ線 GT-SN-W170

工場内試験と同様、測定誤差は $\pm 5\%$ 以下であることが確認できた。

3. 現地測定試験

工場内試験での検証結果で、目標とする測定精度を得ることができたため、次に実際に現地に測定器を持ち込んだの張力測定試験を実施することとした。

3. 1 試験概要

現地試験設備の概要

- ・架線種別 シンプルカテナリー
- ・線種／張力 トロリ線 9.8 kN
ちょう架線 9.8 kN

上記設備の引留箇所にロードセルを挿入し、測定器の算出された張力とロードセルの表示張力との比較検証を行った。

3. 2 試験結果

トロリ線での試験結果の一部を表2に示す。表中の「表示張力」はロードセルの表示張力を表し、「算出張力」が測定器での算出張力である。ほとんどの試番で測定精度 $\pm 5\%$ 以下となっており、現地試験においても目標とする算出張力の精度が確認できた。

Table 2 Result of the contact line tension

引留近傍			
表示張力(kN)		算出張力(kN)	差(%)
9.98	1回目	9.4	5.81
9.95	2回目	10.1	-1.51
9.93	3回目	10.1	-1.71
10.95	1回目	11	-0.46
10.95	2回目	10.9	0.46
10.87	3回目	10.9	-0.28

次に、ちょう架線での試験結果を表3に示す。ちょう架線の試番では、すべて測定精度 $\pm 3\%$ 以下となり、トロリ線同様、現地試験においても目標とする算出張力の精度が

確認できた。

Table 3 Result of the messenger line tension

引留近傍			
表示張力(kN)		算出張力(kN)	差(%)
9.13	1回目	8.9	2.5
9.10	2回目	8.9	2.2
9.08	3回目	8.9	2.0
10.00	1回目	10.0	0.0
10.00	2回目	10.0	0.0
10.00	3回目	10.0	0.0

4. まとめ

電線を切断せずに張力測定できる測定器の試作を行った。

目標とする測定精度 $\pm 5\%$ 以下を工場内試験および現地での実設備においても確認できた。

今後の取り組みとしては、取り扱いについての評価を行うとともに、架線張力について季節の温度変化に伴う張力変動・一日の気温変化に伴う張力変動・設備条件（曲線、勾配等）による径間毎の実際の張力等を測定し、電車線の集電性能の向上や保全への反映を考慮したデータ収集を実施していこうと考える。

また、実測値と理論式の結果が異なる原因を解明し、張力算出の理論構築についても合わせて取り組んでいきたいと考えている。

参考文献

2003.2 電線張力測定器の開発完了報告書 三和テック㈱