

1707 硬銅より線 PH356 のクリープ伸びに対する一考察

正 [電] ○甲山 貴章 (JR 東日本)

正 [電] 甘利 智 (JR 東日本)

西内 健一郎 (JR 東日本)

後藤 欣弘 (JR 東日本)

林 正樹 (JR 東日本)

石澤 有一 (JR 東日本)

Study on the creep growth of PH356 hard drawn copper wire

Takaaki Koyama, East Japan Railway Company, 2-479, Nissin-cho, Saitama-shi, Saitama-pref. 331-8513, JAPAN

Satoru Amari, Kenichiro Nishiuchi, Yoshihiro Goto, Masaki Hayashi, Yuuichi Ishizawa, East Japan Railway Company

Integrated catenary has been introduced for simplification and integration of overhead lines and equipments. However, due to the increase of the dip of the feeder messenger and the suppression of the resistance of each supporting point, the disturbance of catenaries configuration are scattered. One of the reasons for this phenomenon, it is considered that affected by the creep growth of feeder messenger. However, since there was no index about the creep growth of PH356 hard drawn copper wire, it was not able to evaluate the degree of influence of the creep growth for the disturbance of the catenaries configuration. Therefore, since we have carried out the creep test of the PH356 hard drawn copper wire. In this paper, we report the test results.

Keywords: integrated catenary, dip, feeder messenger, creep growth, PH356 hard drawn copper wire

1. はじめに

当社における首都圏の電車線路設備は、簡素統合化のため、インテグレート架線の導入が進められている。これらの設備を保守する中で、インテグレート架線のカテナリ構成の乱れが一部の区間で発生している。この事象に対する原因の一つとして、き電吊架線のクリープ伸びによる影響が考えられる。しかし、き電吊架線に主に使用されている硬銅より線 PH356 に生じるクリープ伸びについては、これまでに社外を含めて詳細な検討が行われておらず、クリープ伸びのカテナリ構成の乱れに対する影響を評価することが出来なかった。そこで、本件では硬銅より線 PH356 に対して、標準張力下(19.6kN)でのクリープ試験を実施し、クリープ伸びを評価すると共に、その結果を用いてき電吊架線のクリープ伸びによるカテナリ構成への影響について検討を行ったため、その結果を報告する。

2. クリープ伸びについて

金属材料に引張荷重が作用すると弾性伸びと非弾性伸びを生ずる。より線の場合、荷重が印加された瞬間に弾性的な伸びを生じ、続いて割合速く進む塑性変形が起きる。塑性変形の早さは徐々に遅くなり、ついに一定の速さで変形が進むようになる。変形が徐々に遅くなる領域を遷移クリープ領域、一定速度で変形の進む領域を定常クリープ領域、その後変形が急に大きくなり破壊に至るまでの領域を加速クリープ領域という。電線は弾性限度領域内の応力であっても、ある一定の荷重を印加した場合のクリープ伸びと時間の関係を Fig.1 に示す。このとき、より線のクリープは、経験則から(1)式で表される⁽¹⁾。

$$\varepsilon = AT^n \cdots (1)$$

ε : より線のクリープ伸び率(%), T : 時間(hour)

A : 1 時間あたりのクリープ伸び, n : 直線の傾斜

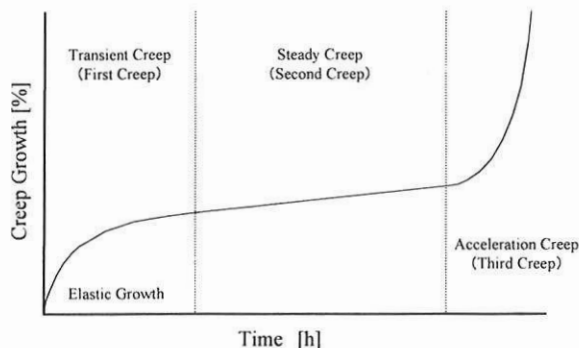


Fig.1 Creep Curve

3. クリープ伸び試験

3.1 試験方法

通常の設備では、加速クリープ領域で用いられることはないため、本件では遷移クリープ領域および定常クリープ領域での硬銅より線 PH356 のクリープ伸びについて確認を行う。クリープ伸び試験の方法には、実際に重りを架線端に接続する方式と、油圧装置によって張力を印加する方式がある。本測定では、線条引張試験機(LST-500H)を使用し、油圧による荷重制御方式にて試験を行った。

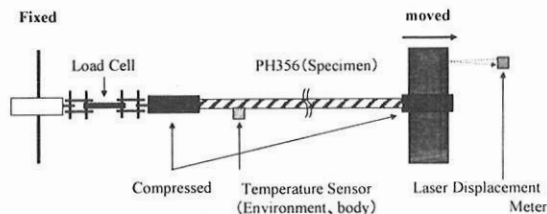


Fig.2 Test Equipment Configuration

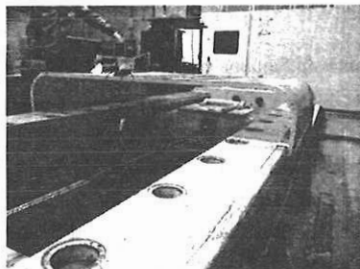


Fig.3 Tensile Test Equipment

Table 1 Used Equipments

Equipment Type	Model Number	Accuracy
Load Cell	TLP-30kNB	0.147kN
Laser Displacement meter	LK500, LK2500	10 μ m

線条引張試験機本体の測定精度は、変位、荷重共に $\pm 0.2\%$ F.S.であり、荷重で 0.49kN、変位で 1.5mm の誤差をもつ。線条引張試験装置に設置できる線条の長さが 4.5m 程度であり、他の銅線に対するクリープ伸び試験の実績から、今回の試験で発生するクリープ伸びを捉えるには、線条引張試験機本体のもつ測定精度では不十分であることが予測された。そこで、Table1 に示すロードセルおよびレーザ変位計を使用することで、クリープ伸びおよび荷重を精度よく捉えることとした(Fig.2, Fig.3)。

3.2 試験条件

試験の実施にあたり試験条件は以下のものとした。

- ・ 周辺温度 室温 (変動あり)
- ・ 試料 硬銅より線 PH356
- ・ 試験本数 6 本 (新線 5 本、古線 1 本)
- ・ 試験時間 300 時間
- ・ 印加張力 19.6kN (14.5%UTS)
- ・ 試料長さ 約 4500mm
- ・ 印加張力が 19.6kN になった瞬間を起点とする。

線条のクリープ伸びは、温度変化に伴う熱膨張に比べて小さなものであると予測されるため、クリープ試験は、恒温槽などの温度変化のない環境で実施することが望ましい。しかし、本件では、温度変化のある環境で試験を行ったため、熱膨張による影響については、試験と合わせて測定した環境温度による伸び補正をかけることとした。また、試験対象がより線であることから、より締めまりによる伸びの影響で測定結果がばらつくことが予想されるため、試験回数を増やすこととした。また、試験時間については、既知である同種の硬銅より線のクリープ伸びの指標を使用して、PH356 の遷移クリープが終了し、定常クリープの特徴が現れるまでの時間を推定し、これを試験時間とした。

4. 試験結果

4.1 新線に対する試験結果

3 章に示した、試験条件にて新線に対する荷重試験を行った結果を Fig.4 に示す。このとき、クリープ伸び率および、試験室内の温度については急峻に変化するものではないため、共に 30 分移動平均により整理した。Fig.4 に示した試験では、試験開始時に 23℃であった試験室内の温度は、試験実施中に 29℃まで上昇している。補正前の伸びの波形と、温度変化の波形は似た波形となっており、290 時間経過後に両者に同じタイミングで急峻な変化が現れていることから測定した伸びのデータに線条の熱膨張による変化分が含まれることは明らかである。銅線の 1℃あたりの熱膨張係数は 17×10^{-6} であるから、測定データから熱膨張による変化分および、張力変動による変化分を除いたものが、硬銅より線 PH356 の伸び分と考えられる。温度、張力変動による伸びの変化分を除いたものを Fig.4 に合わせて示す。

4.2 旧線に対する試験結果

4.1 節に示した荷重試験を本線設備として使用されていた旧線に対して実施した。旧線は、プレテン(19.6kN 印加)を 72 時間実施した後に本線に設置されたもので、現場への設置期間は 445 日間(10,680 時間)であった。このときの荷重試験の結果を Fig.5 に示す。インテグレート架線については、施工が開始されてから 20 年程度であることから、撤去工事がほとんどなく、旧線のサンプルは 1 本しか手に入らなかった。よって、旧線に対するクリープ試験は Fig.5 に示したもののみとなる。

4.3 試験結果に対する検討

新線に対して同様のクリープ試験を 5 本実施した。そのうちの 1 件については、試験中の温度変化が 10℃以上あり、熱膨張係数による補正を加えても、ばらつきが大

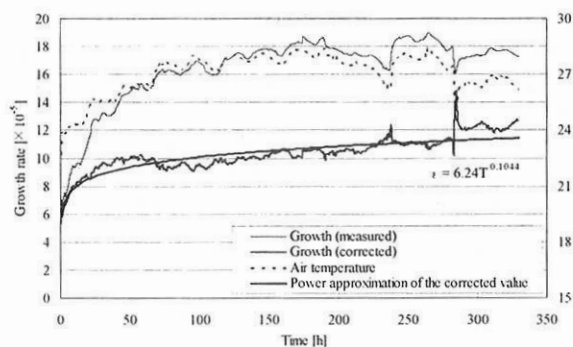


Fig.4 A result of the tensile test for new wire

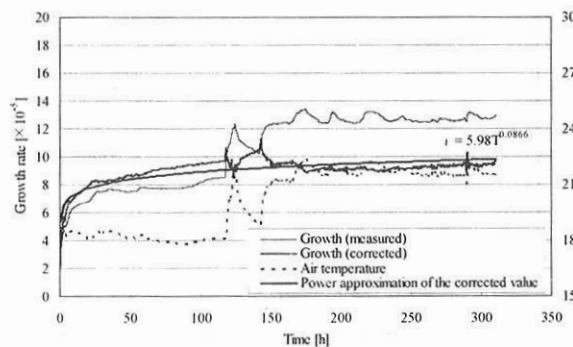


Fig.5 A result of the tensile test for used wire

Table 2 Prediction for the creep growth of new wires

Test number	A: Creep Growth [$\times 10^{-5}$ /hour]	n: Slope of the linear equation	Creep Growth (after 60years) [mm]
1	6.24	0.1044	395
2	7.48	0.0113	139
3	8.77	0.0923	473
4	6.01	0.0945	334

Table 3 Prediction for the creep growth of used wire

Test number	A: Creep Growth [$\times 10^{-5}$ /hour]	n: Slope of the linear equation	Creep Growth (after 60years) [mm]
5	5.98	0.0866	299

きく、近似式との相関も小さかったため、検討からは除くこととした。その他の試験結果に対して 4.1 節と同様の処理をした値に対して累乗近似を行い、式(1)の A および n の値を求めた結果を Table2 および Table3 に示す。これらの結果に対して、各試験体を 1600m ドラムと仮定し、銅線の期待寿命である 60 年後までのクリープ伸びを計算すると、それぞれの伸びは 139~473mm となる。また、旧線の 60 年後のクリープ伸びは、299mm であり、新線に比較して小さな値となった。

Table2 および Table3 に示した 60 年後の伸びの値は、線条に 19.6kN の張力が印加されてからの全ての伸びを対象としたものである。そのため、これらの値は、クリープ伸びだけでなく、電線のより縮まりなど、全ての伸びを含んだ結果となる。PH356 を本線に設備する際には、仮設状態でプレテンションを行い、遷移クリープをこの状態で発生させ、初期伸び後の架線長さに合わせて設備を構成している。Fig.1 に示したように、遷移クリープ状態から定常クリープ状態に移行すると、線条の伸び率と時間は比例関係になる。式(1)に示した n の値は、線条の伸び率と時間より求めた 1 次関数の傾きで近似されるため、プレテンション後の架線の伸びを求める。このときの検討条件は以下の通りとする。

- ・ 実作業におけるプレテンションの実施状況より、プレテンションは、48 時間実施したものとする。
 - ・ 1 次関数への近似は、熱膨張など、クリープ伸び以外の要因による影響を抑えるため、温度変化の小さな時間帯を選定し、48 時間当りの傾きを求める。
 - ・ 式(1)の A の値は、1 次関数への近似では求められないため、Table2 に示した A の値の平均値を使用する。
- 求めた式よりプレテンション中の伸び分を除いたものが、本設後のクリープによる伸びと考えられる。上記の条件より求めた n 値と、PH356 の伸びを Table4 および Table5 に示す。プレテンションにより、より縮まりなどの線条によって一様に定まらない初期伸びを取り除いたため、より線は剛体に近づき、各試験における 60 年後のクリープ伸びのばらつきは小さくなったと考えられる。

旧線は前述の通り 445 日間、本設されていたものであるが、撤去に伴い張力を失ったことで、よりが戻り Table3 に示す伸びを生じた。これに対し、新線同様にプレテンションを実施したとすると、Table5 に示すように新線に比較して小さな伸びを示した。この結果から、旧線には、過去に加えられた張力により生じた遷移クリープ、定常クリープなどの塑性変形分が残留しており、再度の張力印加により、過去に生じた伸びから継続した伸びを生じ

Table 4 Prediction for the creep growth of new wires (After applying the pre-tension for 48 hours)

Test number	n: Slope of the linear equation	Creep Growth (after 60years) [mm]
1	0.1050	283
2	0.1001	258
3	0.0911	216
4	0.0907	214

Table 5 Prediction for the creep growth of used wire (After applying the pre-tension for 48 hours)

Test number	n: Slope of the linear equation	Creep Growth (after 60years) [mm]
5	0.0601	90

Table 6 Prediction for the creep growth of new wires (After applying the pre-tension for 445 days)

Test number	n: Slope of the linear equation	Creep Growth (after 60years) [mm]
1	0.1050	153
2	0.1001	138
3	0.0911	113
4	0.0907	112

たと予測される。また、Table4 に示した値を使用して、445 日間使用後から、経年 60 年までの伸びを計算した結果を Table6 に示す。このとき新線の伸びは 112~153mm となり旧線の伸び 90mm に近い値をとる。

5. クリープ伸びのカテナリ構成への影響について

硬銅より線 PH356 に対するクリープ伸びを、試験設備を使用して求めた結果、Table2~Table5 に示す結果を得た。本研究では、硬銅より線のクリープ伸びに対する各係数を求めると共に、き電吊架線のクリープ伸びによるカテナリ構成への影響確認を目的としていたため、4 章で求めた試験結果を使用して検討を行う。

5.1 STB による調整範囲

き電吊架線は、二条一括で NS-400 型の STB を利用して引留められている。この STB は設備された地域の標準温度に対して $\pm 25^{\circ}\text{C}$ の周辺温度の変化および、通電電流による温度上昇分 20°C を見込んだ電線の伸縮を吸収できる仕様となっている。NS-400-3 型の調整ストロークは、標準温度を中心に STB が伸びる方向に $285\text{mm}(=S_1/2)$ 、縮む方向に $505\text{mm}(=S_1/2+S_2)$ 、合わせて $790\text{mm}(=S)$ となる(Fig.6)。また、ストローク範囲の外側に $79\text{mm}(=S_3)$ の調整範囲を持つが、この範囲では STB は張力を一定に保つことができないため、クリープ伸びと、通電電流による温度上昇による伸びの和が S_2 のストロークを超えた場合には、カテナリ構成を乱す要因となる。

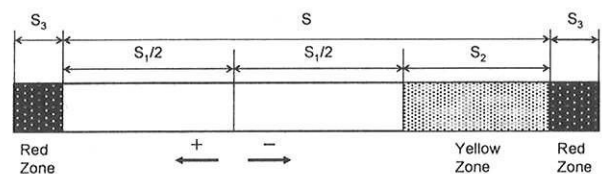


Fig.6 Working area of the STB

5.2 クリープ伸びに対する検討

ここで、クリープ伸びによる影響を評価するため、以下の条件で検討を行う。

- ・ き電吊架線は 1600m
- ・ 大気温度 40℃
- ・ 風速 2.5m/s
- ・ 通電電流は、通勤時間帯の山手線における、1 分間平均電流の最大値を示した 1 時間を対象とする。

通常、電線温度の検討を行う場合には、平均風速として 0.5m/s を使用しているが、列車通過時の風の影響により、トロリ線周りに生じる風速は、2.5m/s 程度という測定結果があるため⁽²⁾、今回の検討に対しては、この値を使用することとする。また、電流が変化することから、過渡状態における電線温度変化を求めると、電線の温度変化は Fig.7 に示すようになる⁽³⁾。このときの電線の最高温度は、54℃であり前述の STB の調整範囲である 60℃の範囲に収まる。調整範囲から電線の最高温度を引いた 6℃が余裕になるため、これをストロークに換算すると 66mm となり、両引きであることを考慮すると 132mm が、クリープ伸びを考慮した場合に張力を一定に保つための最大長さとなる。

4 章の試験結果から、プレテンションの実施時間ごとに、クリープ伸びが 132mm に至るまでの時間を求めた結果を Table7 に示す。プレテンションの有無によらず、期待寿命を迎える前にクリープ伸びは 132mm を超えてしまうため、架線の切詰めなしには、張力を一定に保つことは難しい。しかし、プレテンションにより、切詰め回数の削減は可能と考えられる。

6. プレテンションについて

式(1)に示したように、より線のクリープ伸びは、敷設時間に対して指数関数で近似される。今回の試験結果から、PH356 の新線に対し 19.6kN の張力を印加した際の指数 n の平均は 0.1 程度であった。この結果を用いて、プレテンション時間 0,24h,48h,120h,240h としたときの経年

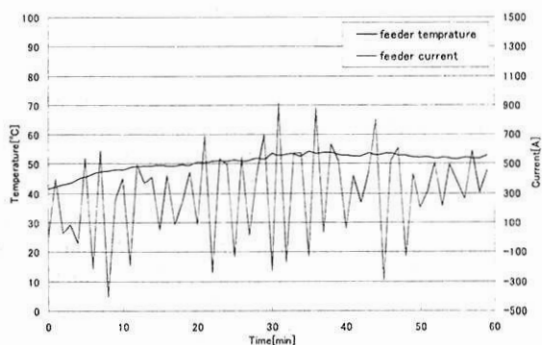


Fig.7 Temperature change of the feeder messenger during the current fluctuation

Table 7 Change of the creep growth by pre-tension [year]

Pre-tension [hour]	Creep Growth		
	132[mm]	264[mm]	396[mm]
0	0.001	0.7	44.7
24	1.6	80.1	1360.1
48	2.3	104.1	1660.9
120	3.9	149.7	2195.2
240	5.9	199.5	2742.4

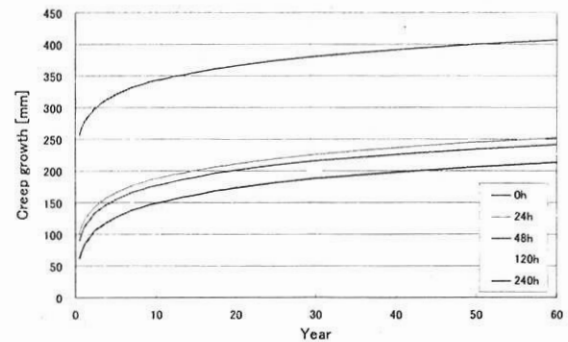


Fig.8 Change of the creep growth by change of the pre-tension time

とクリープ伸びの関係を Fig.8 に示す。より線の場合、定常クリープによる伸びに比べ、遷移クリープが大きいため、プレテンションの実施の有無により、クリープ伸びに大きな差を生じる。また、プレテンション時間を延ばすほど、伸びの進行が遅くなるため、プレテンション時間を確保することはその後の、架線のカテナリ構成維持の面で重要と考えられる。ただし、伸びが生じなくなるわけではないため、切り詰めを必要とするケースも考えられる。たとえば、5.2 節のケースにおいて、切詰めを実施せずに済ますには、1 年強のプレテンションが必要となるが、この数値は現実的ではない。現在、き電吊架線を架設する際には、電線を仮設したあと、別の日に本設しており、24 時間以上は張力印加状態で据え置く方法が一般的である。仮設時間を長く取ったほうが、本設時のクリープ伸びも緩やかに進むため、保全しやすくなると考えられるが、1 年以下の仮設期間であれば、少なくとも 1 回の切詰めが必要となる。

今回の試験では、標準張力である 19.6kN での試験しか実施していないが、4 章で実施した試験において、過去に印加した張力による伸びが残っていたことを考慮すると、標準張力以上の張力でプレテンションを実施することで、プレテンション中のクリープ伸びを促進させ、本設後のクリープを低減できるのではないかと予測される。

7. まとめ

硬銅より線 PH356 に対して、クリープ伸び試験を実施し、その結果からクリープ伸びを推定するための係数を求めた。また、クリープ伸びが線条に蓄積され、新線と旧線ではクリープ伸びに差を生じることを確認した。これらの結果から、プレテンションと伸びの関係を検討し、クリープ伸びに対するプレテンションの効果を確認した。

PH356 は、より線であるため、よりの状態など試験体によるばらつきが大きく、今回の試験のみで係数を決定することは難しい。より正確な推定を行うためには、サンプル数を増やすことが必要だと考えられる。

参考文献

- 1) 電気学会 : 架空送電用電線の機械的特性, 電気学会技術報告 第 471 号, 1993.11
- 2) 内野亮, 山崎憲一, 阿部芳久, 那須聡 : トロリ線温度上昇に及ぼす列車風の効果, 電気学会全国大会, 5-163, 2005.3
- 3) 電気学会 : 架空送電線の電流容量, 電気学会技術報告 第 660 号, pp5-8, 1997.12