

トロリ線張替プレストレッチ工法に関する考察

村上慶一(元東日本旅客鉄道)、雪田信隆、中村正治*(三和テッキ)

Consideration of the Pre-Stretch Method Used in Contact Wire Replacement Work

Keiichi MURAKAMI(Ex-East Japan Railways), Nobutaka YUKITA, Masaharu NAKAMURA*(Sanwa Tekki Corp.)

Currently, contact wire replacement work for electric railways is conducted using the pre-stretch method, in which over-tension is applied to the contact wire, to eliminate the effects of creep. However, the results of a variety of experiments were that such effects are small and as such the pre-stretch method, which is used as standard, is unnecessary. In this paper we report on the above to serve as a reference for future contact wire replacement work.

キーワード：プレストレッチ工法、張力印加工法、プレテン

(Keywords: pre-stretch method, constant tensioning method, pre-tension)

1. はじめに

JR東日本では、新幹線におけるトロリ線張替作業の半自動化の研究を進めてきた。その中で採用されたのが張力印加工法である。

張力印加工法とは、使用張力を掛けながら延線し、1 スパンごとに曲引きやハンガを位置決めする工法で、工法上施工完了時に過張力を印加するプレテンション(以下プレテン)は掛けられない。そこでプレテンがクリープ伸びに与える効果とプレテン後に残る残存伸びの正体を見極め、現在使用しているトロリ線の材質でもプレテンが本当に必要なのかを検証した。

2. クリープ伸びとプレストレッチ工法

クリープ伸びとは、電車線のように常時一定の張力が加わっているような環境で、長時間経過によりひずみが増加する現象である。一般に鋼線に比べて銅線やアルミ線ではクリープ伸びは大きいと考えられている。東海道新幹線開業当時はトロリ線に GT110mm² 及び GT85mm² が使用されており、クリープ伸びの影響は、張力弛度の不整となって現れると考えられていた。

当時の文献⁽¹⁾には次のように記されている。ここでは力の単位は、以前の重力単位系「kgf」を使用する。

「このクリープ伸びの影響を小さくする方法として、プレストレッチ工法が検討され、工事施行時に標準張力の150%~200%程度の過張力を短時間(10~30 分)加えて、あらかじめ初期クリープを出させる方法が実施されている。

表2.1、表2.2は、トロリ線架設時に1,000kgf(約10kN)及び2,000kgf(約20kN)の荷重をかけるが、この時のクリープについて調査したものである。2,000kgfの荷重を1時間かけておき、この時の伸び率を1,000kgfを起点として出すと、110mm²GTでは0.025%、85mm²GTでは0.036%のクリープ伸びが生じた。また、2,000kgfの荷重を1時間かけておくと、110mm²GTで1条長1,500mとした時0.375mのクリープ伸び、85mm²GTで1条長1,500mとした時0.54mの

クリープ伸びを生じた。」

表2.1 トロリ線 110mm²GT のクリープ特性

荷重 (kgf)	保持 時間 (分)	累計 時間 (分)	Itを起点とし た時の伸び率 (%)	0tを起点とし た時の伸び率 (%)
0	0	0	—	0
1,000	5	5	0	0.081
2,000	0	5	0.093	0.180
2,000	15	20	0.099	0.186
2,000	15	35	0.102	0.189
2,000	15	50	0.104	0.191
2,000	15	65	0.106	0.195
1,000	0	65	0.025	0.112
1,000	30	95	0.025	0.112
0				0.029

1,000kgfを5分負荷後、2,000kgfに上げて1時間保持。その後1,000kgfに下げて30分保持後、開放。表2.2同様

表2.2 トロリ線 85mm²GT のクリープ特性

荷重 (kgf)	保持 時間 (分)	累計 時間 (分)	Itを起点とし た時の伸び率 (%)	0tを起点とし た時の伸び率 (%)
0	0	0	—	0
1,000	5	5	0	0.105
2,000	0	5	0.125	0.235
2,000	15	20	0.130	0.235
2,000	15	35	0.132	0.237
2,000	15	50	0.135	0.240
2,000	15	65	0.137	0.242
1,000	0	65	0.036	0.141
1,000	30	95	0.036	0.141
0				0.038

ここで注目すべきは、GT110mm²で1,000kgfを起点とした値であり、 $1,500\text{m} \times 0.00025 = 0.375\text{m}$ の残存伸びすべてをクリープ伸びであるとしたことである。このことから、2,000kgfのプレテンを1時間かけることによって、375mmのクリープ伸びを吸収できるとの考えが定着したと思われる。

表3.1 各条件の測定終了時変位量

試験番号	試験名称	材料	試験手順	荷重(kgf)	印加時間(h)	終了時変位量(mm)	1,000m換算変位量(mm)
①	プレテンなし	GT-SN 170	標準張力	1,500	1,000	0.060	60
②	プレテンあり	GT-SN 170	プレテン	3,000	0.5	0.085	85
			標準張力	1,500	1,000	0.032	32

3. プレストレッチ工法の再評価

現在東北新幹線や上越新幹線では GT-SN170mm² のトロリ線が使用されており、使用張力は 1,500kgf(約 15kN)、プレテンは 3,000kgf(約 30kN)で 30 分間行われている。そこで、トロリ線の張替えの自動化の検討として、1991 年度に行った新幹線におけるトロリ線張替え作業の確認試験の中から GT-SN170mm² のトロリ線に関するものを以下に示す。

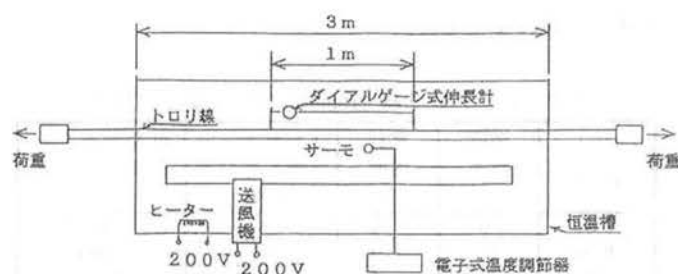


図3.1 プレストレッチ模擬試験

(1) 試験方法

図3.1に示すように、長さ 4m の真直トロリ線 GT-SN170mm² を定荷重装置に取付け、その中央部 3m を循環式恒温槽で覆い、クリープ試験中 35±1℃に保持した。トロリ線中央部に標点長さ 1m のダイアルゲージ式伸長計を設置し、この長さの変化量を一定時間毎に読みとった。

(2) 試験結果

表3.1に示すように、標準張力 1,500kgf を 1,000 時間掛けた変位量と、プレテン 3,000kgf を 30 分掛けた後、標準張力 1,500kgf で 1,000 時間掛けた後の変位量の差が 28mm しかない。さらに標準張力だけの伸びは 1,500m に換算すると 90mm であり、ターンバックルで十分吸収できる。またこれらの伸びは第2項表2.1から想定される残留伸びとの食違いが大きく、第2項の残留伸びがクリープ伸びかどうか疑問が残った。

4. プレテン時の張力伝達の検証試験

プレテン時にはトロリ線は仮ハンガ、仮曲引に支えられている。これらの支持点には必ず摩擦があり、第3項における真直トロリ線の伸び量とプレテン時の伸び量との差は、張力がうまく伝わっていないためでないかという疑問があった。そこで、新設したトロリ線の途中に張力計等を入れ、プレテン時の張力伝達の状態を計測しプレテン時の残存伸びの発生要因を検証した。試験結果を以下に示す。

(1) 試験方法

図4.1に示すように約 1,000m のトロリ線 1 ドラムに対し、約 250m 間隔で割りを入れて張力計およびロードセルを挿入し、30 分間 3,000kgf を印加した後使用張力 1,500kgf に戻して、その時の各点におけるトロリ線伸び量と張力変化を測定した。

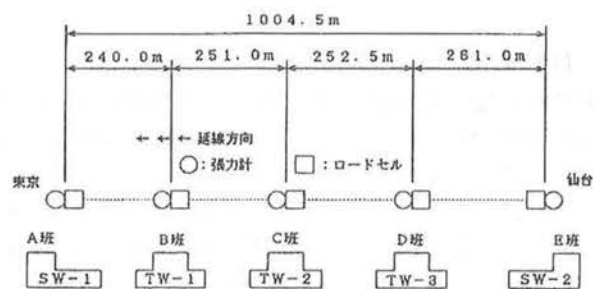


図4.1 プレテン張力試験概念

(2) 試験結果

両端に張力を印加した場合は、中間点張力が印加点より 20~60kgf 小さいという結果になった。一方片側印加の場合は、固定点が印加点より 120~140kgf 小さいという結果になった。これが仮ハンガにおける抵抗力和と考えられ、いづれも残留伸びに影響するほどの力ではないと考える。

表4.1に示すように、3,000kgf(約 30kN)プレテン後、1,500kgf に戻した時のトロリ線残留伸びは 580mm だが、そのうち 516mm がプレテンでの張力上昇時に発生している。一方、3,000kgf 張力にて 30 分間保持した時の伸びは 75mm (伸び率 0.007%) であり、第3項の試験におけるクリープ伸び率 0.0085% と近似した結果となった。

表4.1 プレテン前後の伸び量比較

張力変化(kgf)	計測値伸び		弾性伸び計算値		差異	
	量(mm)	率(%)	量(mm)	率(%)	量(mm)	率(%)
1,500→3,000	0→1255 (1255)	0→0.125 (0.125)	0→739 (739)	0→0.074 (0.074)	516	0.051
3,000(30分)プレテン	1255→1330 (75)	0.125→0.132 (0.007)	739→739 (0)	0.074→0.074 (0)	75	0.007
3,000→1,500	1330→580 (-750)	0.132→0.058 (-0.074)	739→0 (-739)	0.074→0 (-0.074)	-11	0
残留伸び	580	0.058	0	0	580	0.058

() は張力変化前後の差

図 4.2 はプレテン時の張力変化と伸び率の関係であるが、プレテン後に張力を下降させた時の伸びの変化は、ほぼ弾性変形と一致しており、残留伸びの大半は張力上昇時に発生しているという結果である。

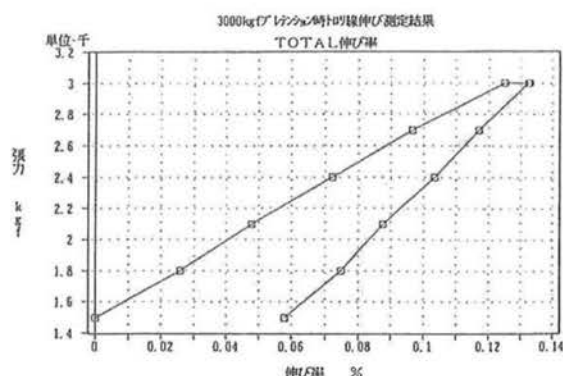


図 4.2 3,000kgf プレテン伸び率計測結果

また図 4.3 はプレテン時の各分割点間の張力変化と伸び率の関係であるが、張力上昇時は各分割点間で伸び率の変化はあるものの、張力下降時は各分割点間でほぼ一定の伸び率の変化を示している。

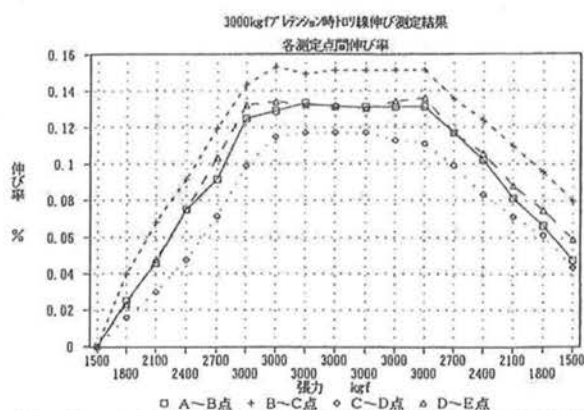


図 4.3 3,000kgf プレテン各分割点間伸び率計測結果

(3) 考察

以上からわかるように、懸念されていた仮ハンガや仮曲引きの摩擦による張力伝達の抵抗は、若干存在するものの残留伸びを説明できるほど大きなものではない。また、再プレテン時のトロリ線の挙動は弾性領域の挙動に酷似していた。以上より残留伸びの要因として想定されるものの可能性を表 4.2 に示す。

5. 残存伸びの検証試験

表 4.2 で可能性不明とした項目「トロリ線の特性」および「トロリ線の巻きグセによる影響」について検討を重ねる中、残存伸びの大部分が塑性変形ではないかという仮説を立てた。印加後のトロリ線が「塑性変形」と同様な挙動を示せば、残存伸びは塑性変形ということになる。検証のために行ったトロリ線（1 径間分）の張力印加時の伸び量測定結果を以下に示す。

表 4.2 初期張力印加時の残留伸び発生要因

No	項目	試算・考察結果	可能性
1	トロリ線の弛度による実長さとの差の影響	仮ハンガのスパンにおけるトロリ線長さの弛度による差の総和は、張力 250kgf で 75mm、張力 1,500kgf で 2mm であり、残留伸びに影響しているとは考えられない。	なし
2	計測器挿入部（計測点）におけるシメラー部でのトロリ線の滑り	計測全長間におけるシメラーの数は、計測点 5ヶ所×各 2個＝10ヶ所であり、各シメラー部にて、516mm/10≒50mm の滑りが発生している痕跡はなかった。	なし
3	曲線区間の曲率の差による影響	本試験は曲線区間だったため、張力印加により曲率内側にトロリ線が引き込まれたとすると、516mm の線路方向変位に対して中間部にて約 4m の横ズレが発生しているはずだが、横ズレはなかった。	なし
4	トロリ線の特性	トロリ線に初期張力印加時に初期伸びを生じるような性質があるかどうかは不明。一般硬銅とすれば考えにくい。	不明
5	トロリ線の巻きグセによる影響	現状においては、巻きグセによる影響がどの程度となるかは不明。しかし引き出されて真直になる時塑性変形したとすると、可能性はある。	あり

(1) 試験方法 1

保守用車 S W によりドラムから約 100m のトロリ線 SN-GT170mm² を張り、印加張力を調整し、その時のトロリ線の伸び量を測定した。

表 5.1 ドラム引出しトロリ線張力印加条件

張力印加条件	繰返回数
350kgf→1,500kgf→350kgf	3 回
350kgf→2,100kgf→350kgf	2 回
350kgf→3,000kgf→350kgf	3 回

(2) 試験方法 2

縦型アムスラー引張試験機を用いて真直トロリ線を張り、伸び量を計測した。

表 5.2 真直トロリ線引張荷重条件

引張荷重条件	繰返回数
350kgf→1,500kgf→350kgf	3 回
350kgf→3,000kgf→350kgf	2 回

(3) 試験結果

図 5.1 と図 5.2 に試験結果を示す。ドラムから引出したトロリ線は張力を上げるに従い、塑性変形の挙動を示し残存伸びが発生するのに、真直トロリ線の場合は弾性変形の挙動を示し、残存伸びは極めて少ない。これはドラムに巻かれたトロリ線には巻きグセによる残留応力が存在し、延線により引き出されて開放され、塑性変形の挙動を示したものと推察される。

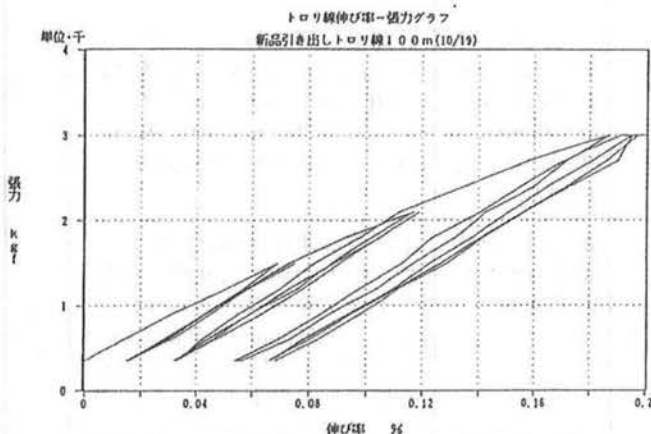


図 5.1 ドラム引出しトロリ線伸び率-張力

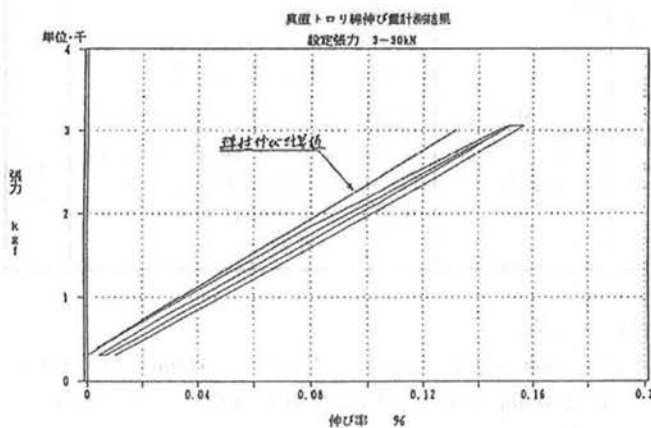


図 5.2 真直トロリ線伸び率-張力

6. 30 分間プレテンの必要性検討

新幹線の電車線の保守が始まった当初、トロリ線の長期使用での伸びに対し、切詰をできるだけ避けるためにプレストレッチ工法が採用されたが、第 2 項で述べたようにプレテンで 1,000m 当たり数百 mm のクリープ伸びを吸収しているという解釈が一般的であった。

これに対し第 3 項では、標準張力だけ掛けたトロリ線と、プレテンを掛けた後標準張力に戻したトロリ線の 1,000 時間後の残留伸びの比較を行い、プレテンのいわゆるクリープに関する効果は 1,000m あたり 28mm しかないことをつきとめた。しかし、第 2 項表 2.1 から想定される残留伸びの理由は説明できなかった。

そこで大きな残留伸びの原因が延線時の張力の伝わり方にあるのではと考え、第 4 項では新設したトロリ線を 4 等

分し張力と伸びを調査したが、残存伸びの原因とするにはいたらなかった。しかし検討により「トロリ線の巻きグセの影響」ではないかとの推論を得ることができた。

次に「トロリ線の巻きグセの影響」を確かめるため、第 5 項ではドラムから引き出した新品のトロリ線で、張力を繰返し掛けたときの挙動を測定した。第 5 項の試験結果で述べたように、ドラムに巻かれることによる残留応力と見られる影響のため、塑性変形が低い応力から見られ、残留伸びとして発現することが確認された。この塑性変形による伸びこそが、プレテンで発生した残存伸びの正体だったと考えられる。

つまりプレテンで吸収したと考えていたクリープ伸びは、実は時間に関わらない塑性変形分であり、長時間のトロリ線使用に対するプレテンの効果は微量であったと考えられる。

そこで以下 3 案を創案し、検討を行った。

(案 1) プレストレッチ工法を改めプレテンを一切やめる。

しかしこれは、巻きグセの影響を考えると採用しにくい。

(案 2) 延線終了後 30kN まで張力を掛け、その後標準張力に戻してからハンガ等位置決めする。

この(案 2)であれば、巻きグセの影響や張力伝達の影響は排除でき、30kN 印加後の弾性領域で使用することになり、第 3 項で述べた 1,000m あたり 28mm のクリープ伸びの影響についてのみ対応すればよいことになる。

(案 3) 延線終了後 30kN のプレテンを 5 分掛け、その後標準張力に戻してからハンガ等位置決めする。

この(案 3)であれば、30 分プレテンを掛けたのとはほぼ変わらない効果が期待できる。1,000m あたり 28mm 分のクリープ伸びは、最初の 5 分でほとんど出てしまうと考えられるからである。

7. おわりに

JR 東日本においては 2002 年頃から張力印加工法が採用され、プレテンを掛けていないトロリ線が、現在既に敷設されているが、クリープ伸びに関する問題は報告されていない。張力印加工法とプレストレッチ工法の違いは、プレテン有無以外には延線時の張力が標準張力か、延線に必要な 5kN 程度の張力かの違いであり、プレテンを実施しなくても問題はないと言えそうである。少なくとも 5 分間プレテンを掛ければ、クリープ対策は十分であると思われる。

今後クリープ伸び対策としてプレテンはどうあるべきか、判断が必要であると考え。

トロリ線の張替え作業に際して、真冬の高架の上や作業台の上でじっと 30 分待つのはつらいものである。更なる検証の上、施工標準の改定を望みたい。

文 献

(1) 日本国有鉄道電気局、「電車線保全の手びき(技術編)」、鉄道電化協会(1971.1)