

集電性能向上を目指したアンカイヤーの改良

松井洋佑、中野昌治 (日本貨物鉄道株式会社)

○(電)佐藤勇輔、山崎高広、西本章範、松本英彰 (株式会社 電業)

Development of the Anchor ear Aimed at Improvement Quality of Current Collection

Hiroyuki MATSUI, Masaharu NAKANO (Japan Freight Railway Company)
 Yusuke SATOH, Takahiro YAMAZAKI, Akinori NISHIMOTO, Hideaki MATSUMOTO
 (Dengyo Incorporated)

Abstract

At the anchor ear used for single tramway-type equipment contact force tends to grow. When contact force grows, contact wire is easy to be worn out. So, we made the anchor ear by which contact force became small and calculated how it was possible to contribute to quality of current collection.

キーワード: 集電性能、直ちよう架線、アンカイヤー

(quality of current collection, single tramway-type equipment, anchor ear)

1. まえがき

直接ちよう架式の架線 (以下、直ちよう架線) はちよう架線を用いなくて直接支持物にトロリ線を架設するものである。そのため、建設費は他の架線と比較し設備点数が少ないことから低廉であるが、トロリ線張力は一定になりにくい。それは支持点箇所でトロリ線を支持するため、抑制抵抗が増加しトロリ線の張力にばらつきが生じるためである。トロリ線の張力にばらつきがあると一様な押上量とならないことから、高速化に対する集電性能は期待できないため、列車速度は 45km/h 以下に設定されている。そこで、高速化を目的として支持点箇所に逆 Y 線を設備し、トロリ線を把持したアンカイヤーを引張ることでトロリ線の押上量の均一化を図った方式では、列車速度を 85km/h まで対応可能になっている。ただし、アンカイヤー設備箇所では接触力が大きくなる傾向にある。接触力が大きくなると摩耗が進行しやすい。そこで、弊社では接触力の低減可能なアンカイヤーを製作したので、集電性能に対する寄与度を検討するためにアンカイヤー設備箇所でのトロリ線変位量および架線・パンタグラフ間の接触力を試算した。

2. アンカイヤー

図 1 に直ちよう架線の構成例を示す。図は逆 Y 線を設備した架線例である。図 2 に従来型と試作したアンカイヤー (以下、改良型) を示す。図に示すように改良型が従来型より金具接続点が 11mm 低くなっているだけで、全体形状はほぼ同じであるため、機械的強度は従来型と同等である。

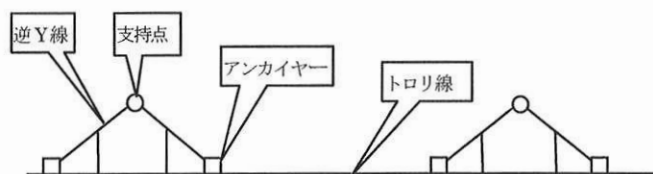
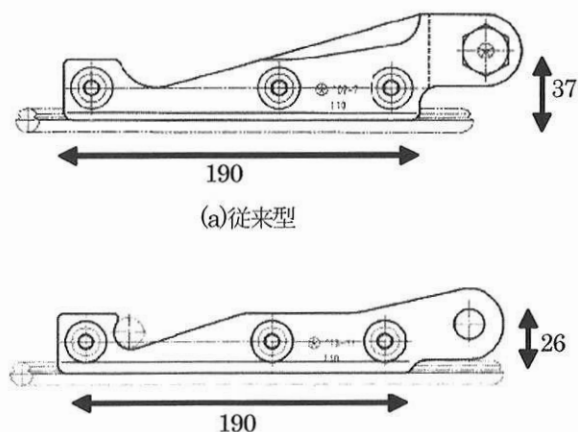


図 1 直ちよう架線の構成例



(b)改良型

図 2 アンカイヤー

3. 架設時のトロリ線変位量の計算

アンカイヤー取付け時のトロリ線の変位量を検討した。検討

は図 3 に示す解析モデル 1 によりアンカイヤ取付け箇所のトロリ線変位量を算出した。算出に使用した式は

$$m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = P \delta(x) \quad (1)$$

である。ただし、 m は架線の単位質量、 T はトロリ線張力、 P はアンカイヤ取付け箇所の垂直方向の力で $\delta(x)$ はディラックのデルタ関数である。計算は差分方程式を使用した。変位 y は位置 x と時間 t により決まる関数で、差分表示すると、変位 $y(x, t)$ を y_j^i 、 $y(x+\Delta x, t) = y_{j+1}^i$ 、 $y(x, t+\Delta t) = y_j^{i+1}$ のように表さ

れる。式(1)を差分方程式で表現すると

$$y_j^{i+1} + y_j^{i-1} - 2y_j^i - \alpha(y_{j+1}^i + y_{j-1}^i - 2y_j^i) = \beta P \quad (2)$$

となる。ただし、 $\alpha = \frac{\Delta t^2 T}{\Delta x^2 m}$ 、 $\beta = \frac{\Delta t^2}{m}$ である。計算条

件はトロリ線張力を 12.7kN、スパンを 40m、逆 Y 線の張力を 2.94kN とした。質点間隔は 0.5m で、質点間に変形しない棒で接続されているものとする。図 4 にアンカイヤ設備状況を示す。結果を図 5 に示す。従来型はアンカイヤ中心を基準にして 2mm 程度傾くのに対し、改良型は 1mm 程度となって従来型に比較し、架設精度が向上していることが分かる。参考値として、シンプルカテナリ架線で張力 9.8kN の場合、5m ハンガ間隔でハンガ間中心箇所ではトロリ線の弛度が 3mm 程度である。

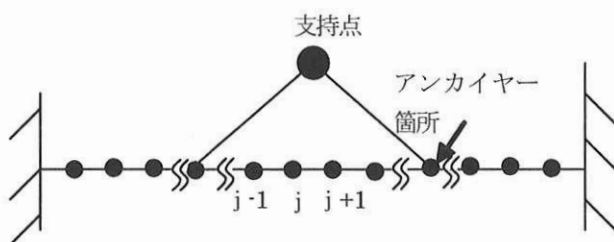


図 3 解析モデル 1

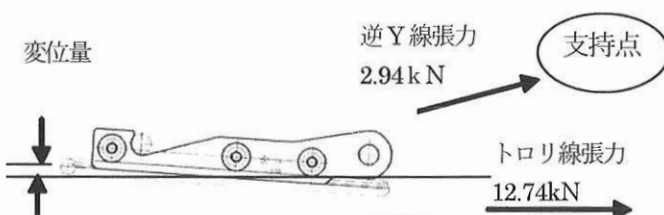


図 4 アンカイヤ設備状況

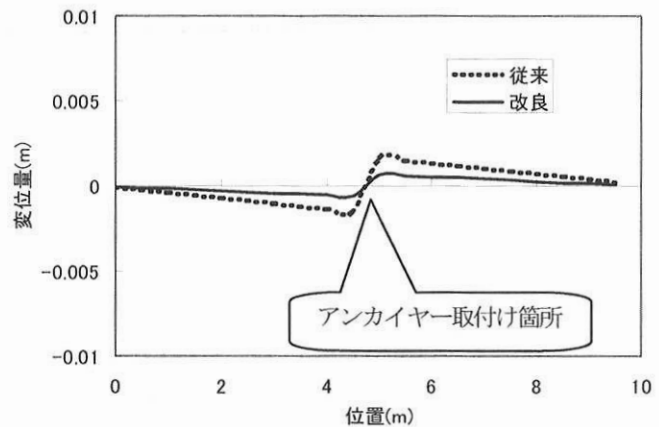


図 5 アンカイヤ取付け箇所のトロリ線変位

4 集電性能の評価

架線の集電性能を評価するには、架線の押上量、トロリ線のひずみ、および離線率についてそれぞれの設定値に対して許容されるかどうかで判断される。

4.1 集電性能評価の検討

シンプルカテナリ架線において径間 40m、ちょう架線は亜鉛メッキ鋼より線 St90 で張力 9.8kN、トロリ線は Cu110mm² で、張力 9.8kN の条件を固定して、さまざまなパンタグラフについて、各速度における接触力と離線に関し、市販されている架線・パンタグラフ系に関するシンプルカテナリ専用ソフト「架線道」を使用して検討した。パンタグラフの条件を表 1 に示す。

表 1 パンタグラフの条件

	定数	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
質量	M1(kg)	20	20	20	14	11.6
	M2(kg)	—	—	—	12.9	15.9
ばね定数	k 1(N/m)	25190	2570	7560	10740	21520
	k 2(N/m)	—	—	—	21520	29000
ダンパ定数	C (Ns/m)	—	—	—	100	150

図 6 に速度と接触力平均値の関係を示す。速度の増加に従い、接触力も増加する傾向にあるが、架線条件が同じでもパンタグラフの定数が異なると接触力の値に差異が生じることが分かる。図 7 に接触力と離線率の関係を示す。接触力が低下すると、離線率が急に増加していることから、接触力は集電性能に関与していることがわかる。つまり、架線条件を固定しても使用するパンタグラフにより集電性能の評価が異なってくる。しかし、No.1、No.2、および No.3 の 1 質点のパンタグラフでは計算に使用した架線条件では接触力は低い傾向にある。これより、アンカイヤが集電性能に与える影響を評価するため、パンタグ

ラフ条件を固定する。その中で、集電性能が最も悪いパンタグラフ No. 1 の条件を使用して検討する。

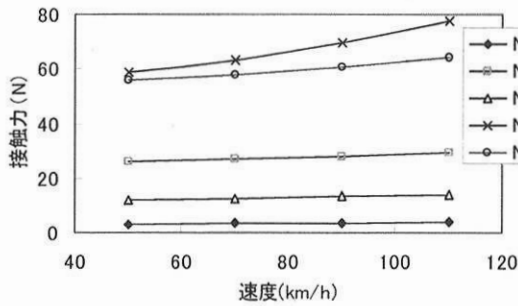


図 6 速度と接触力の関係

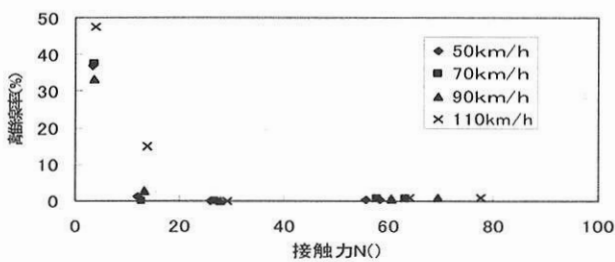


図 7 接触力と離線率の関係

4.2 押上量と接触力の計算

直ちょう架線は支持点やアンカイヤ箇所において、接触力、トリ線ひずみなどが大きくなりやすい。また、逆 Y 線設備によるアンカイヤ箇所における集電性能は使用するパンタグラフにより異なることから、改良したアンカイヤを評価するために、図 8 に示す解析モデル 2 を設定した。図は径間中央間を両端固定にし、1 質点モデルのパンタグラフが走行するもので、その時のアンカイヤ箇所における接触力と押上量を算出した。計算に使用した式は式(3)および式(4)である。式(3)が架線側で、式(4)がパンタグラフ側に関する式である。ただし、 m 、 T 、 D 、 k 、 P_m はそれぞれ架線側の単位質量、張力、減衰係数、ばね定数、接触力で、 m_p 、 C 、 k_p 、 P はパンタグラフ側の質量、ダンピング係数、ばね定数、静押上力である。

$$m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - T \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + D \frac{\partial y}{\partial t} + ky = P_m(t) \delta(x - vt)$$

(3)

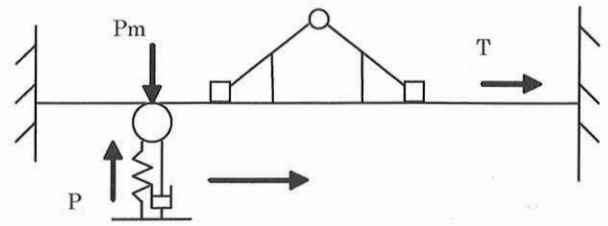


図 8 解析モデル 2

$$m_p \frac{d^2 z}{dt^2} + C \frac{dz}{dt} + k_p z = (P(t) - P_m(t)) \delta(x - vt)$$

(4)

式(3)および式(4)の解析解を求めるには困難を要するので、差分法を用いることにした。モデルを図 9 に示す。式(3)および式(4)を差分方程式で表現すると式(5)および式(6)となる。

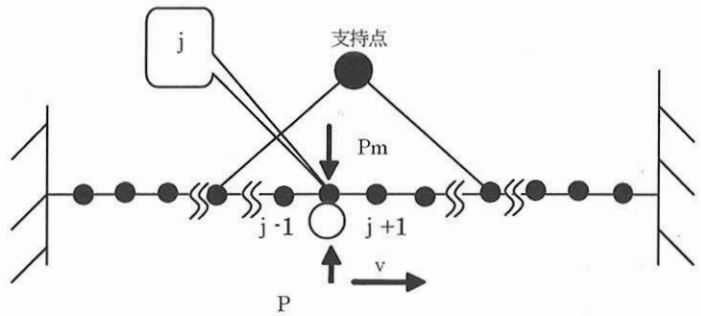


図 9 多質点モデル

$$\frac{m}{\Delta x^2} (y_j^{i+1} + y_j^{i-1} - 2y_j^i) - \frac{T}{\Delta x^2} (y_{j+1}^i + y_{j-1}^i - 2y_j^i) + \frac{D}{2\Delta t} (y_j^{i+1} - y_j^{i-1}) + ky_j^i = P_m$$

(5)

$$\frac{m_p}{\Delta t^2} (z_j^{i+1} + z_j^{i-1} - 2z_j^i) + \frac{C}{2\Delta t} (z_j^{i+1} - z_j^{i-1}) + k_p z_j^i = P - P_m$$

(6)

ただし、

- (1) m はトリ線の単位質量
- (2) パンタグラフは各質点のみに作用する
- (3) 質点間に変形しない棒で接続されているとする。

接触力 P_m は式(5)および式(6)のそれぞれ変位 y_j^{i+1}

と z_j^{i+1} が接触しているとして求めた。

4.3 計算結果

速度 50km/h 時の押上量および接触力の結果を図 10 および図 11 に示す。図よりアンカイヤー箇所において、改良型が従来型に比較し架線の変位量および接触力ともに低下していることが分かる。また、図 11 はパンタグラフ進入直後に架線の振動に伴い、接触力の変動が大きくなっている。

次に、アンカイヤー箇所での押上量からモーメントを求めると、方程式は

$$M = -EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (7)$$

である。式(7)も差分方程式によりモーメントを算出した。ただし、 E は弾性係数、 I は断面 2 次モーメントである。計算結果を図 12 に示す。改良型が従来型より低い。また、従来型におけるモーメントを基準にしたときの改良型のモーメント比は、図 13 に示すようにそれぞれの速度において、70%程度であることから、トロリ線応力は軽減されることが分かる。

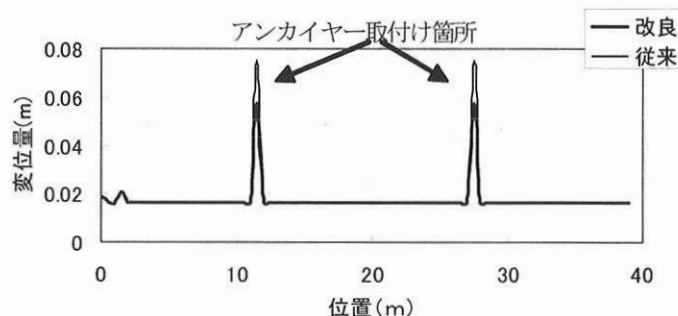


図 10 架線変位量(50km/h 時)

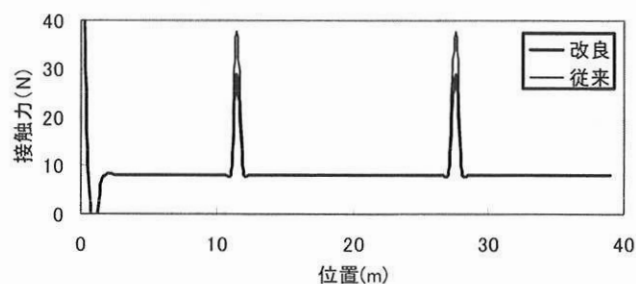


図 11 接触力(50km/h 時)

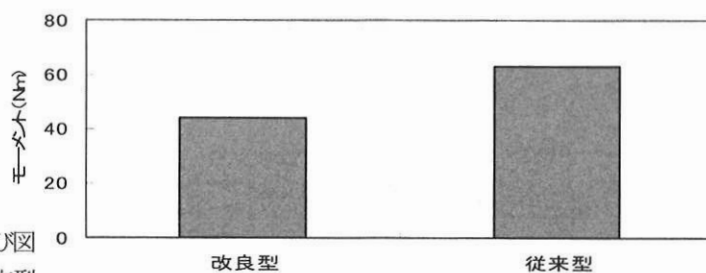


図 12 アンカイヤー箇所でのモーメント (50km/h)

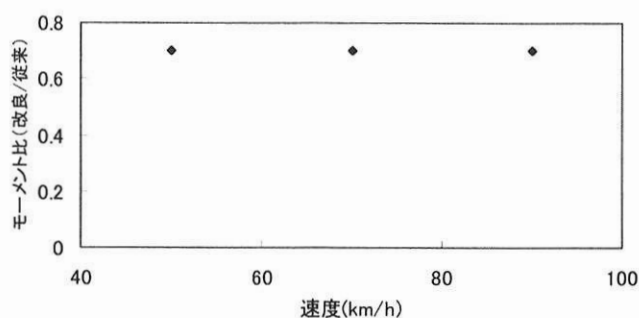


図 13 速度とモーメント比の関係

5 まとめ

集電性能向上を目指したアンカイヤーを製作し、その取付け状態でのトロリ線変位量および架線・パンタグラフ間の動特性における接触力と押上量を試算した結果、従来型と比較して製作したアンカイヤーは取り付け状態での精度向上と計算に使用したパンタグラフでは、速度 90km/h 程度までは曲げ応力が従来比で 30%低減することを確認した。これより、集電性能向上に寄与できると考える。今後は検討結果の妥当性を検証するためにフィールドでの測定値と照合することが必要となる。今回の検討速度は 90km/h までの確認であったが、パンタグラフは高性能な 2 質点モデルのパンタグラフが採用されているため、さらなる速度向上に対応可能であると考えられる。その場合は走行試験での確認が望まれる。なお、製作したアンカイヤーは JR 貨物管内の構内に設備されて問題ないことが確認されている。

参考文献

- 1) 大浦 泰他: 直吊架線の速度向上試験、電気学会全国大会、No.826、1988
- 2) 高橋大輔: 理工系の基礎数学 数値計算、岩波書店、1996
- 3) 網干光雄他: より線の応力と低減対策、電気学会研究会、TER-11-011、2011