

1810 トロリ線の断面形状変更による曲げひずみ低減

Decrease of bending strain by changing shape of cross section of contact wire

○[電] 山下 主税 (鉄道総研) [電] 白木 理倫 (鉄道総研)
 [電] 菅原 淳 (鉄道総研) [正] 光用 剛 (鉄道総研)

Chikara YAMASHITA, Tadanori USUKI, Atsushi SUGAHARA, Takeshi MITSUMOJI (Railway Technical Research Institute)

The bending strain of the contact wire is caused by the pantograph upward force and the repeated occurrence of that strain will cause fatigue fracture. To improve the fatigue property of contact wire, we suggest the new shape of cross section of contact wire. As a result, the new contact wire will be able to decrease the bending strain about 7% in the calculation compared with GT110. Moreover, the galloping characteristic of the new contact wire is better than that of GT110.

キーワード：トロリ線、疲労、断面形状、ギャロッピング特性

Keywords: Contact wire, fatigue, shape of cross section, galloping characteristic

1. はじめに

架空電線であるトロリ線にはパンタグラフ通過時に曲げひずみが発生する。この曲げひずみが速度向上や硬点などの要因で増大すると、トロリ線が疲労破断する恐れがあり、対策の研究がなされてきた。

本稿では、断面形状を変更することによって曲げひずみ自体を低減することを提案するものである。

2. 曲げひずみと断面形状の関係

弾性支床に梁モデルに基づきトロリ線の小弧面曲げひずみ ϵ_a は以下の式で表される¹⁾。

$$\epsilon_a = \frac{e}{2} \frac{F}{\sqrt{EIT\{1-(v/c)^2\}}} \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 F はパンタグラフ押上力、 e はトロリ線中立軸から小弧面までの距離、 E はヤング率、 I は断面二次モーメント、 T は張力、 v は列車走行速度、 c はトロリ線の波動伝播速度($=\sqrt{T/\rho}$)、 ρ はトロリ線線密度であり、断面形状に関わるパラメータは e と I である。この式から同じ架設条件、走行条件、材質であれば、小弧面曲げひずみは e に比例し、 I の平方根に反比例することがわかる。

$$\epsilon_a \propto \frac{e}{\sqrt{I}} \quad \dots \dots \dots (2)$$

中立軸から小弧面までの距離 e を求めるためには、まずトロリ線の中立軸を求めなければならない。任意図形の中立軸 \bar{y} は以下の式で表される。

$$\bar{y} = \frac{1}{A} \int_A y dA \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$e = y_{\max} - \bar{y} \quad \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 A は断面積である。図形の幅を $b(y)$ とすれば $dA=b(y) \times dy$ であり、(3) 式は次式に変換される。

$$\bar{y} = \frac{1}{A} \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} y b(y) dy \quad \dots \dots \dots (5)$$

次に任意図形内の x 軸まわりの断面二次モーメント I は以下の式で表される。

$$I = \int_A y^2 dA = \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} y^2 b(y) dy \quad \dots \dots \dots (6)$$

(4) 式に (5)、(6) 式を代入すると

$$e \propto \frac{y_{\max} - \frac{1}{A} \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} y b(y) dy}{\sqrt{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} y^2 b(y) dy}} \quad \dots \dots \dots (7)$$

この式から小弧面側の横幅を大きくすることで中立軸が小弧面側に移動し、また分母も大きくなるため、 e を小さくすることができる。

3. トロリ線断面形状の変更

具体的な断面案を検討するにあたって、ひずみ低減のほか以下の点を要件とした。

- (1) 断面積はJIS E2101「みぞ付き硬銅トロリ線」の110mm² (いわゆるGT110) とほぼ同等とする。
- (2) 電気検測車による摩耗測定に支障がないよう、大弧面の半径はGT110と同じ6.17mmとする。
- (3) 特別なイヤーを必要としない。イヤーは170mm²トロリ線用を取り付け可能とする。

以上の点を考慮し、従来のトロリ線と試作トロリ線断面形状を図1、図2に示す。試作形状では、小弧面側の横幅を大きくするために、上面がなるべく扁平かつ「いかり肩」の形状とした。この断面形状変更により、 e と I は表1のようになり、従来のトロリ線よりも $e/I^{1/2}$ が減少している。このことから、断面形状を変更することで、同じ走行条件にお

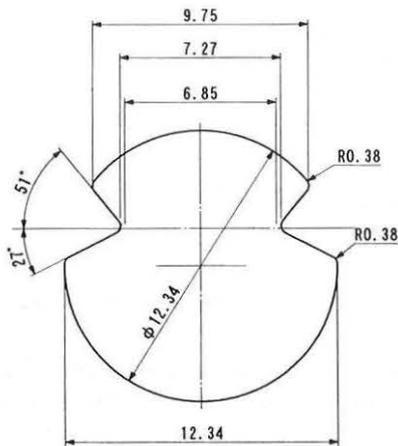


Fig. 1 Shape of cross section of contact wire GT110

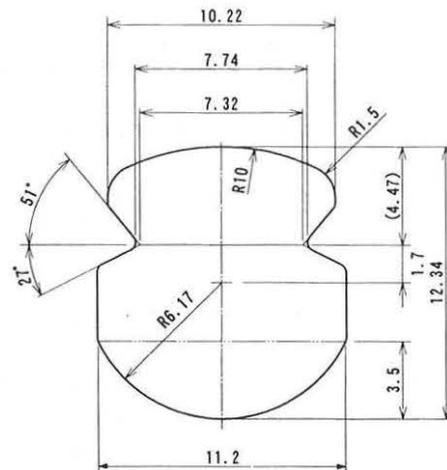


Fig. 2 Trial shape of cross section of contact wire

ける曲げひずみを計算上では約7%低減できると考える。また、断面係数Zが約10%増加しているため、同じ曲げモーメントに対して曲げひずみは10%低減できる。

この手法はトリ線材料に関係なく、加工工程における断面形状を変更するだけで疲労特性を改善でき、高強度材（PHCトリ線材）でも、製作可能なことを確認している。

4. ギャロッピング特性

トリ線などの架空線は、安定な空気力学的特性を有することが求められる。その中でも特に重要なものの一つとして、ギャロッピング特性が挙げられる。トリ線の断面形状を変更することで、ギャロッピング特性が悪化することが懸念事項の一つである。

ギャロッピングとは、物体に空気力が負の減衰力として作用することで、振動的な運動を生じるもので、その発生条件は次式により判別される²⁾。

$$C_D + \frac{dC_L}{d\alpha} < 0 \quad \dots \dots (8)$$

ここで、 C_D は抗力係数、 C_L は揚力係数、 α は仰角である。このギャロッピング条件が負側に大きいほど、ギャロッピングを生じやすい。

従来のトリ線と試作断面形状のトリ線について、風洞試験を行った結果を図3に示す。この図より、試作形状のギャロッピング特性は従来のGT110より良好であることがわかった。

5. まとめ

本稿は、トリ線の疲労特性を改善するため、断面形状の変更による曲げひずみ低減効果を検討した。その結果、従来の断面形状と比較して、計算上は曲げひずみを約7%低減できることがわかった。また、試作断面形状のギャロッピング特性は、従来のトリ線と比較しても良好であることがわかった。

Table 1 Properties of cross section

	GT110	Trial shape
Cross section area $A(\text{mm}^2)$	111.1	113.17
Geometrical moment of inertia $I(\text{mm}^4)$	1100.23	1189.99
Distance from neutral axis to top $e(\text{mm})$	6.32	6.13
$e/I^{1/2}$	0.190	0.177
section modulus $Z(\text{mm}^3)$	174.09	194.13

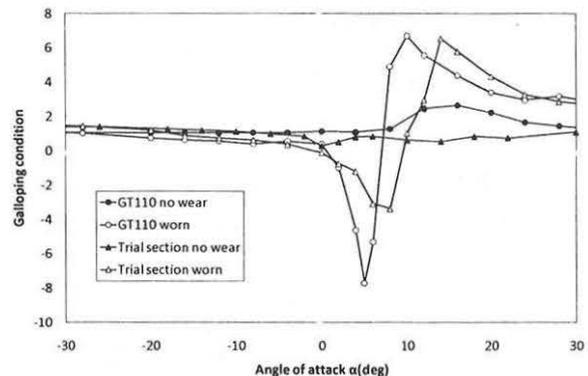


Fig. 3 Aerodynamic characteristic of contact wire

参考文献

- (1) 鉄道総合技術研究所 編：電車線とパンタグラフの特性、研友社、pp.58-61、(1993)
- (2) Den Hartog, J.P. 著、谷口修、藤井澄二 訳：機械振動論、コロナ社 (1967)