

IV-34 線ばねレール締結装置の開発

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 阿部 則次
 （財）鉄道総合技術研究所 熊崎 弘
 （財）鉄道総合技術研究所 若月 修

1. はじめに

軌道保守作業の省力化については、従来から軌道の各部材について検討されているが、近年特に、その要望は高まっている。レール締結装置の保守作業の中で最も大きな割合を占めている作業は締結ボルトの緩みの検査と締め直し作業である。本テーマはこれらの作業の省力化を目的とし、レール押さえ点およびボルト押さえ点のばね定数を小さくできる線ばね方式のレール締結装置を検討した。

2. 線ばねレール締結装置の設計

線ばねレール締結装置の設計目標値をレール押さえ力は6.0kN以上、下向きばね定数は0.5～1.0MN/m、上向きばね定数は5.0MN/m以上およびボルト点の変位量は約10mmとし、図1に示すような形状の概略設計を行った。線ばねは12mmピッチと2.5mmピッチの二重ねじの締結ボルトにより締結し、横圧はガラス繊維補強ナイロン66のゲージブロックにより受ける機構である。板ばねのばね定数は曲げ変形だけに依存しているが、線ばねの場合は振りせん断による変形も利用できるため、形状選定条件により、ばね定数の低下に有利であるという特長がある。

本線ばねは二重ばね構造となっていることから、上ばねが下ばねに接触するまで締め付けられるため、締結力管理が容易である。また、ゲージブロックは横ばね定数の低下、ばね鋼とコンクリートの直接接触の回避および絶縁性の確保のために使用している。

レール締結時の先端ばね定数 K_R は、レール押さえ力を Q 、全弾性歪エネルギーを U 、レール押さえ点の変位量を δ_R とすれば、式(1)式により得られる。

$$K_R = Q / \delta_R = Q / 2(\partial U / \partial Q) \quad (1)$$

線ばねの形状を図2のようにモデル化し、弾性歪エネルギーを式(2)式より求められる。

$$U_{1,2} = \int_j^i \frac{M(x)^2}{2EI} dx + \int_j^i \frac{T(x)^2}{2GI_P} dx \quad (2)$$

ただし、 M 、 T は $i \sim j$ 節点間に発生する曲げモーメントと振りモーメント、 E 、 G は線材のヤング係数およびせん断弾性係数、 I 、 I_P は断面二次モーメントおよび断面極モーメントとする。

線ばねに蓄えられる全弾性歪エネルギー U を各区間の総和として求め、(1)式に代入すると、レール押さえ点の下向きの先端ばね定数 K_2 は、 $K_2 = 0.4 \text{ MN/m}$ となる。

また、レールの小返りに抵抗する上向きの先端ばね定数 K_3 は、上ばねのみが有効と仮定し、 $A \sim A'$ 区間に蓄えられる全弾性歪エネルギーから、 $K_3 = 23.5 \text{ MN/m}$ となり、ほぼ目標とするばね定数 K_2 および K_3 が得られた。同様に、ボルト押さえ点のばね定数は、 $K_B = 1.9 \text{ MN/m}$ となる。

図2のモデルについて、締結時に発生する線ばねの最大主応力 $\sigma_{\max}$ と最大せん断応力 $\tau_{\max}$ は式(3)と(4)から得られる。ただし、 Z 、 Z_p は断面係数および極断面係数である。レール押さえ力を6.5kNとした時の

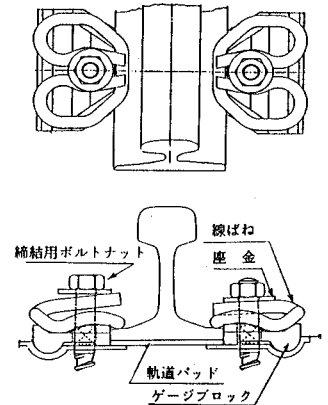


図1 線ばねレール締結装置

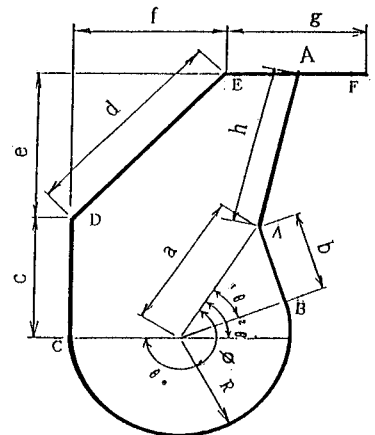


図2 線ばねの形状モデル

計算結果を表1に示す。これらの式から線ばねの主応力は、曲げモーメントのみが作用する板ばね等に比較し、振りモーメント分が加算され不利になる。しかしながら、曲げと振りモーメントを同時に受ける丸棒等で、延性材料から製造されたものは、破壊に対して最大せん断応力説を用いて設計するのが一般的である。

$$\sigma_{\max} = \frac{1}{2} \frac{M}{Z} \{ M + (M^2 + T^2)^{1/2} \} \dots\dots (3)$$

$$\tau_{\max} = \frac{1}{Z_p} (M^2 + T^2)^{1/2} \dots\dots (4)$$

3. 性能試験

所要性能を確認するため試作品の性能試験を行った。組立試験におけるボルト軸力およびナット回転角とばねの振りせん断応力の関係を図4に示す。この図から、線ばねの振りせん断応力はボルト軸力14kN(20/6回転)まで直線的に増加しているが、その後の増加率は小さい。この場合のボルト点の変位量は8.3mmとなり、 K_B は計算値のに近似した値である。振りせん断応力の測点1,2および3は、表1に示す $\phi=116^\circ$ 、 $\phi=178^\circ$ およびC～D間に相当し、それぞれ平均値が540MPa、1010MPaおよび780MPaであり、計算値の90～126%であった。SUP9のばね鋼のへたり限度は1270MPa以上であり、振りせん断応力が最大主応力の70～80%程度とされており、振りせん断応力のへたり限度は約955MPaとなる。測定値はこの限度を少々超えているが、徐荷後の残留歪みはほとんど発生しなかった。

先端ばね定数試験における締結ばね先端の変位と荷重の関係を図5に示す。この図から、レール押さえ点の下向きおよび上向きの先端ばね定数 K_2 と K_3 は0.4545MN/mと5.0～6.5MN/mであり、また、レール押さえ力は6.0～6.5kNであった。設計値に比較すると K_2 はほぼ一致していたが、 K_3 は約1/4である。これは、まくらぎの埋込栓に用いているナイロン66のせん断変形による影響があったものと考えられる。

斜角载荷試験において、A荷重による軌間内側の応力の変動は測点6が最も大きく約18MPa増加し、軌間外側の測点5が約100MPa減少した。金属材料技術研究所の疲労試験結果²⁾

によると、真破断強度が1750MPa以上のSUP7およびSUP9Aの場合 1×10^6 回の疲労限度は両振りおよび片振りとも約450MPa以上と推定さるが、耐久限度線図は得られていない。しかし、実際にA荷重およびB荷重を載荷した 1×10^6 回の繰返し疲労試験の結果、線ばねに異状は認められなかった。

文 献

- 1) 山本晃：ねじ締結の理論と計算、養賢堂、1972
- 2) 金属材料技術研究所疲労データシート、No.59、No.60、1989、金属材料技術研究所

計算位置	最大せん断応力	最大主応力	備 考
B	278	557	
B～C間の 最大の点	(610)	1075	$\phi = 116^\circ$
	793	(793)	$\phi = 178^\circ$
C	624	855	
D	616	826	
E	459	834	

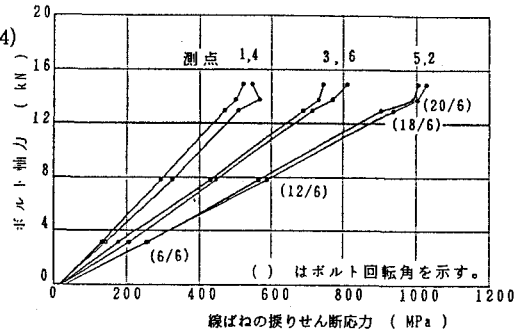


図4 ボルト軸力とばねの発生応力

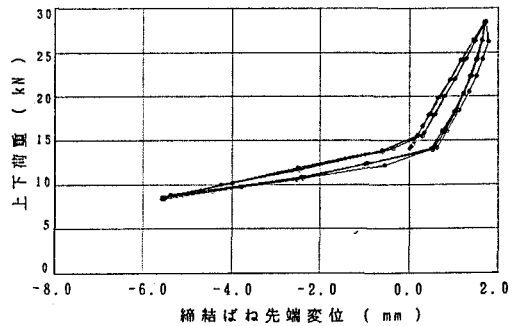


図5 締結ばねの先端ばね定数

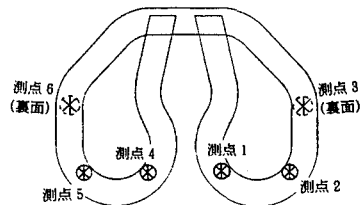


図6 線ばね応力の測定位置