

レール締結装置の疲労寿命に基づく横圧限度の検討

(公財) 鉄道総合技術研究所	正会員	○玉川 新悟
〃	正会員	弟子丸 将
〃	正会員	片岡 宏夫

1. はじめに

レール締結装置の締結ばねは、新幹線・在来線の線別や曲線半径に応じた設計作用の下で、所定の耐久性が保証されるように設計されている¹⁾。一方で、締結装置における荷重の許容限度は、設計作用に対して幾分かの余裕がある可能性が指摘されている²⁾。今後、新規車両の投入や列車の速度向上による横圧の更なる増加を想定した場合、現行の締結装置に対する横圧の許容限度（横圧限度）を明確にすることは重要であると考える。

本稿では、輪重・横圧と締結ばねの発生応力の関係を室内試験で把握し、締結ばねの疲労寿命の試算を行うことで、有道床軌道の急曲線で多用されている9形締結装置（図1）の横圧限度を算定した。

2. 試験軌道の載荷試験

輪重・横圧と締結ばねの発生応力の関係を把握するため、試験軌道に対する載荷試験を行った。図2に試験状況を示す。本試験では、9形締結装置で構成した試験軌道のレール頭部を軌間内側から外側へ斜角載荷し、締結ばねの応力を測定した。最大荷重は100kN、載荷角度は45～65度とした。なお、荷重の鉛直成分は輪重、水平成分は横圧に相当する。

図3に横圧と締結ばねの変動応力の関係を示す。図中の変動応力は、締結時の初期応力からの変動値とし、測点③～⑤については、ばねの内側で測定した圧縮応力値を外側の引張応力値に換算するために曲がり梁の補正係数²⁾を乗じて整理している。締結ばねの全測点において、横圧に対する応力の変動が最も大きい測点は、載荷角度によらず軌間外側の測点④（ばね尻下）であった。そこで、以降では測点④について検討した。本結果をもとに、次式による回帰分析を行った。

$$S = a \cdot P + b \cdot Q + c \quad (1) \quad (S: \text{締結ばねの変動応力}(\text{N/mm}^2), P: \text{輪重}(\text{kN}), \\ Q: \text{横圧}(\text{kN}), a, b, c: \text{係数})$$

表 1 に回帰分析結果を示す。表 1 より、輪重と横圧に対する回帰係数 a と b は正負が逆であるため、輪重が小さく、横圧が大きくなるほど、本測点の変動応力は大きくなることになる。

3. 疲労寿命の試算と横圧限度

前章で得られた輪重・横圧と締結ばねの発生応力の関係を用いて、当該締結ばねの疲労寿命の試算を行い、横圧限度の目安について検討した。

著者らは、輪重と横圧の発生頻度を考慮した締結ばねの疲労寿命の推定法として、文献 3) に示す方法を提案している。本方法は、累積疲労被害則に基づいており、次式を満足する車軸通過数 N を求め、これに軸重を乗じて疲労寿命に至る累積通トン数を推定するものである。なお、式中の n_{ij} は、締結ばねの応力とばね鋼の SN 曲線から算定される。



図 1 9 形締結装置

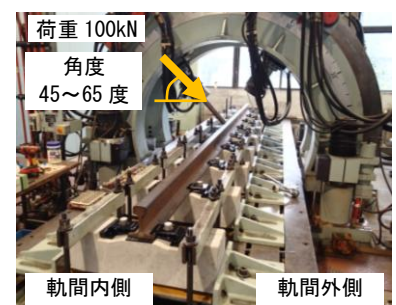


図 2 試験軌道の載荷試験

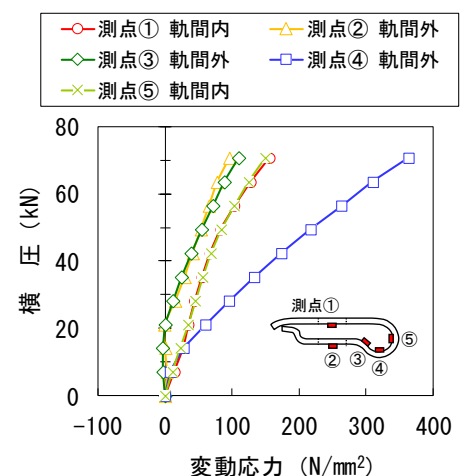


図3 横圧と変動応力 (45度載荷)

表 1 回帰分析結果
(測点④の変動応力)

回帰係数			重相関係数
a	b	c	R^2
-1.06	6.35	-34.85	0.95

キーワード レール締結装置、疲労寿命、横圧限度

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7275

$$N \cdot \left\{ \sum_{i=1}^x \sum_{j=1}^y \frac{f(P_i) \cdot g(Q_j)}{n_{i,j}} \right\} = 1 \quad (4) \quad \begin{aligned} &(N: \text{車軸通過数}, x, y: \text{輪重と横圧の頻度分布の階級数}, \\ &f(P_i), g(Q_j): \text{輪重と横圧の確率密度}, n_{i,j}: \text{締結ばね応力に対する寿命}) \end{aligned}$$

疲労寿命の推定では下記の条件を設定した。なお、締結時の初期応力は、過去の組立試験による結果⁴⁾を参考とし、800N/mm²とした。これは、締結ばねの個体差や過緊締の影響を考慮した安全側の値である。

- 輪重の分布…輪重の平均値は 50～80kN、標準偏差値は平均値の 1 割とする。
- 横圧の分布…横圧の平均値は 10～80kN、標準偏差値は 5～25kN とする。台車の前軸と後軸の影響を考慮し、後軸の横圧は前軸の半分とする。
- 軸重…平均輪重の 2 倍とする。
- 締結ばね応力…式(1)の回帰式を用いて算定する。
- ばね鋼の SN 曲線…疲労限 300N/mm² の SN 曲線とする。

上記の条件において、横圧の平均 m と標準偏差 σ の組み合わせに対して疲労寿命（累積通トン数）を計算し、累積通トン数が 3 億トン以上および 6 億トン以上となる横圧の平均と標準偏差の組み合わせを算出した。図 4 に結果を示す。累積通トン数が 3～6 億トン程度を締結ばねの耐用限度の目安と考えた場合、図 4 に示す包絡線が当該締結装置における任意の横圧の平均値と標準偏差値の組み合わせに対する限度の目安となる。横圧の判定の際には、走行試験で測定した車上横圧の平均値と標準偏差値が包絡線の内側に収まっていることを確認すればよい。ただし、同一条件の曲線区間のある点で測定された地上横圧の時間的変動が、車上横圧の空間的変動に等しいという従来からの仮定²⁾が前提となる。

累積通トン数 3 億トンの場合において、常時発生する最大横圧を $m+\sigma$ 、ごく稀に発生する極大横圧を $m+3\sigma$ で表した場合、最大横圧および極大横圧の限度の目安は図 5 のようになる。一例として、平均横圧が 40kN 程度の車両を想定した場合、常時発生する最大横圧は 53kN 程度、ごく稀に発生する極大横圧は 78kN 程度が当該締結ばねの疲労破壊に関する限度の目安となる。

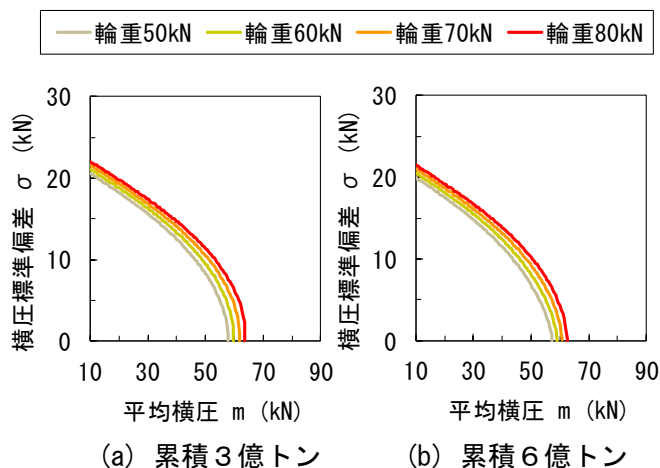


図 4 疲労寿命（累積通トン数）に達する平均横圧と横圧偏差の組み合わせ

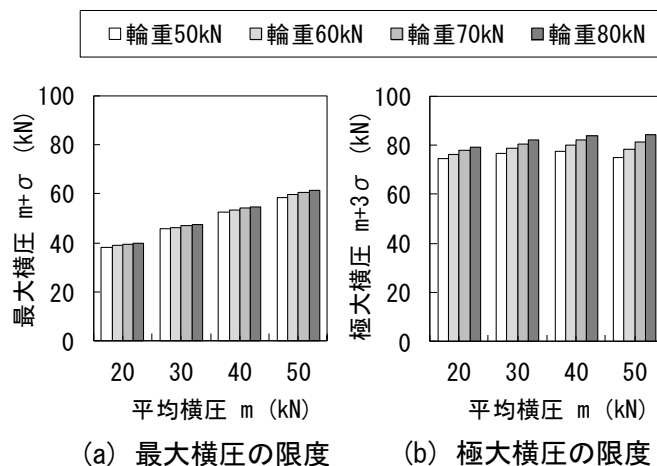


図 5 最大横圧と極大横圧の限度の目安（累積通トン数 3 億トンの場合）

4. まとめ

本稿では、9形締結装置の締結ばねの疲労寿命の試算結果に基づき、横圧の平均と標準偏差で表した横圧限度の目安を示した。

【参考文献】

- 1) 国土交通省監修：鉄道構造物等設計標準・同解説—軌道構造、丸善、2012 年
- 2) 長藤敬晴：変動応力場におけるレール締結装置の耐用年数予測、鉄道総研報告、Vol. 5、No.8、1991 年
- 3) 弟子丸将ら：車両からの作用に対するレール締結装置の締結ばねの応答に関する実験的検討、第 18 回鉄道工学シンポジウム論文集、2014 年
- 4) 長藤敬晴ら：実測に基づく在来線 PC まくらぎ用レール締結装置の横圧強度の検討、鉄道技術研究所速報、No.A-87-159、1987 年