

IV-254

レール締結装置の耐用年数の予測

(財) 鉄道総研 正会員 長藤敬晴

1. 研究の目的

鉄道における列車の到達時間短縮のためには車両の曲線通過速度の向上が大きな比重を占めている。これを実現するために解決すべき問題は数多くあるが、軌道材料の耐久性の検証も重要な項目の一つである。ここではレール締結装置に焦点を絞り、増大する外力に対する耐用年数の変化を予測する手法を検討する。

2. レール締結装置のばね鋼の耐久限度等

レール締結装置が外力に対して幾何学的に安定し、締着部の強度が十分であるとすれば、レール締結装置の寿命はレールを抑えている板ばねの耐久性に依存する。板ばねの耐久性は、鋼材の耐久限度や時間限度（以下「耐久限度等」）によって定まり、それらは表1および図1のように、実験的に求められている¹⁾。

表1 ショットピーニングを施したばね鋼の耐久限度等

限度種別	実験値の範囲	限度	偏差 (-)	発生確率%
10 ⁵ 限度	450-595-720	500	0.98~1.31	9.5~16.4
10 ⁶ 限度	315-425-535	400	0.27~0.45	32.7~39.4
耐久限度	280-370-460	300	1.17~1.13	9.2~12.1

各限度値の発生確率は破壊の割合を意味し、これがおおよそ10%であることは、設計あるいは室内実験の検証に用いている図1の耐久限度図の耐久限度等の値が概ね1/10程度の発生確率を示し、100個に1組程度2個連続して破壊することを示している。この値は列車の安全走行の限界と考えられ、採用している限度値が妥当な値であることを示すものである。

3. Miner則の適用

大きさの異なる応力の発生頻度が既知であればMiner則により耐用年数を通過トン数で表現することができる。発生する応力のばらつきが正規分布するものと仮定すると、限界となる繰返し回数が式(1)により得られ、これに軸重を乗ずると限界となる通過トン数が得られる。

$$L = 1 / \sum ((n_i/L) / N_i) \quad \text{----- (1)}$$

$$n_i/L = 1/(2\pi)^{0.5} * \exp(-s^2/2) * ds \quad \text{--- (2)}$$

$$S_i = \text{Save} + s * S_d \quad \text{----- (3)}$$

Lは破壊に至るまでの全体の繰返し数、 n_i はある応力 S_i の繰返し数、 n_i/L は S_i の発生確率、また N_i は S_i の時間限度を示す。 s はパラメータで、 ds はきざみ幅である。Saveは発生応力の平均値、 S_d は発生応力の標準偏差(MPa)である。

これらを用いて行った板ばねの耐用年数の試算結果を図2に示す。10⁶限度の応力値の平均値からの離れにより寿命が2分の1程度に低下すること、平均値より標準偏差の影響の方が大きいこと等がわかる。

4. 横圧と応力の両方の発生状況を考慮した耐用年数の推定

車両が走行している際の横圧には、①車両の動揺による横圧、②軌道狂いによる横圧、③曲線部の超過遠

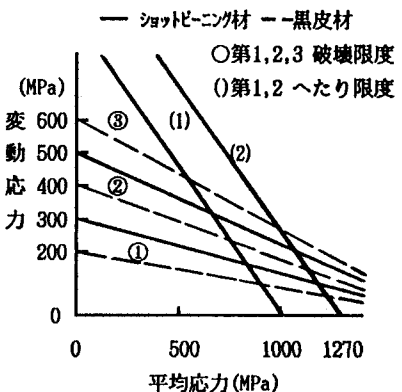


図1 ばね鋼の耐久限度図

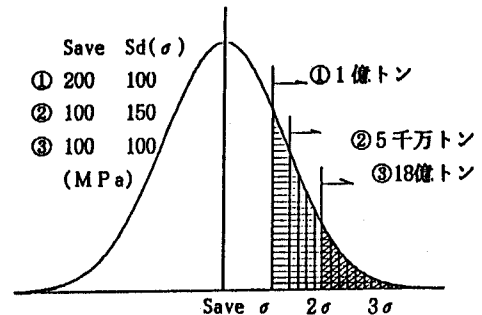


図2 板ばねの耐用年数試算結果

心力による横圧それに④転向横圧がある。この他にトンネル、擦れ違い等の風によるものがあるが、ここでは考慮しない。これら4種の横圧のうちすべては車両性能に関係し、①、②および③は速度に関係する。したがって、横圧の発生状況（平均値とばらつき等）は車種別にしかも速度別に把握する必要がある。

一方、横圧が一定の場合においても、レール締結装置の各部に発生する応力は一定ではなく、ある程度のばらつきを有していることが知られている。したがって、耐用年数を推定するには横圧と応力の発生状況の両方を考慮する必要がある。この両方の発生確率を相乗することは、ある発生状況を有する横圧に対する応力の発生確率を求めることとなる。

これを模式的に示すと、図3のようになる。横圧をX軸にとり、応力をY軸にとると、各々の発生確率密度の相乗積がZ軸の座標であり、この値がある横圧に対するある応力の発生確率を示す。また、ある応力を通り、X-Z軸に平行な面とこの立体との交差面に微小幅を乗じた体積がこの発生状況を有した横圧場におけるこの応力の発生確率となる。このようにしてある横圧に対する応力の発生確率を求めれば、Miner則が適用出来ることとなる。

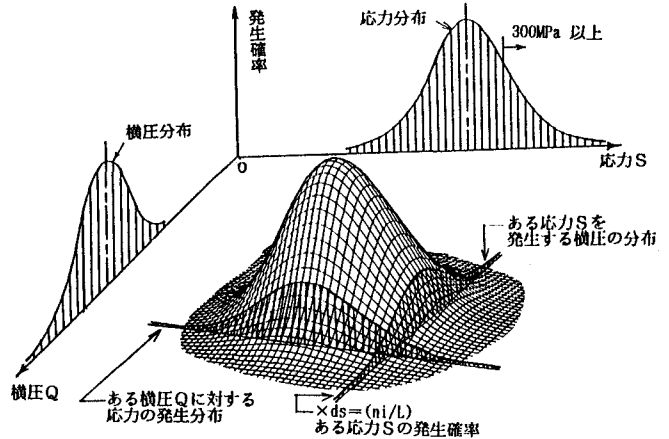


図3 応力の発生確率を示す模式図

計算式を式(4)および(5)に示す。

$$n(I, K)/L = 1/(2\pi) * \exp(-d(I)^2/2) * dss * \exp(-d(K)^2/2) * dqs \quad (4)$$

$$L = 1 / (\sum_K \sum_I (n(I, K)/L / N(I, K))) \quad (5)$$

I および K はパラメータ、dss, dqs は応力と横圧の分布の区分求積のきざみ幅、 $n(I, K)/L$ 、 $N(I, K)$ はある応力 S(I, K) の発生確率と時間限度である。この L に軸重を乗ずれば限界通過トン数が得られる。

これを用いて、実際の測定データから寿命推定を行った結果を表2～4に示す。183系電車に対する5形の板ばねは平均横圧 $\mu = 40\text{kN}$ 、標準偏差 $\sigma = 10\text{kN}$ 程度までは4.3億トンの寿命を有し、9形と同程度の耐久性を有しているが、EF81に対する5形の場合には平均横圧20kN、標準偏差5kN程度が限度であることがわかる。車種によって差異が大きいののは、横圧が同一であっても発生応力の応答が異なっているからである。この原因については、輪重その他の影響と考えられるが、特定は出来ていない。しかし、レール締結装置の耐用年数を議論する場合には、少なくとも車種別にレール締結装置の応答を知る必要があることがわかる。

5. まとめ

車種別に外力の発生状況を測定し、表2 5形の耐用年数(億トン) (中央東線 183系電車)

表3 9形の場合 (中央東線 183系EF65)

表4 5形の場合 (湖西線 EF81)

外力に対する軌道部材の応答を求めると、耐用年数の予測が出来、将来の投資計画や補修計画の策定に大きく寄与することが可能となった。

μ	kN			
σ	25	30	35	40
10kN	∞	51.2	13.7	4.3
15	8.8	3.3	1.3	0.5
20	0.5	0.2	0.1	0.0

μ	kN			
σ	25	30	35	40
10kN	∞	38	11	4
15	8	3	1	.6
20	.7	.3	.1	.0

μ	kN			
σ	10	15	20	25
5kN	∞	18	2	.4
7.5	14	2	.4	.0
10	1	.2	.0	0

文 献 1) 日本ばね協会「ばねの疲労に関する研究」(ばね論文集第6号) 1969年。