

IV-392 弾性レール締結装置の残存寿命

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 長藤 敬晴

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 東 憲昭

1. はじめに

弾性レール締結装置は交換が容易であるとして、一定期間後の破壊を許す思想により設計されてきた。一定期間は、通常数10年とされており、設計荷重に対する保証年限と言い換えることができる。したがって、実働荷重と設計荷重との差により保証年限以上の年数が寿命となったり、また、腐食等の影響により、短い年限で破壊に至ることもあり得る。これまでは、実働荷重下にあった部材に対する定量的な評価の実績はなかったが、今回、山陽新幹線に敷設されていたレール締結装置について、各種性能試験を実施する機会を得たので、荷重履歴と腐食の程度を定量的に評価し、金属疲労に基づく残存寿命推定を行った。

2. 検討の対象

検討の対象は新幹線PCまくらぎ用102形レール締結装置（以下、A形）および図1に示す高速形（以下、B形）レール締結装置であり、その相違は以下のとおりである。新大阪－岡山間の有道床軌道にはすべてA形が敷

種別	経年	累積通ト	寸法	腐食環境	その他
A形	19年3ヶ月	423百万ト	締結ばね厚5mm	漏水のないトンネル内のため良好	パットと締結ばね以外の部品
B形	18年0ヶ月	263百万ト	同上 6mm	海浜であるため不良	ばね受け台等は両形で共通

設されており、この区間では腐食環境の良否の程度が敷設条件の差異である。岡山以西のB形についても同様である。したがって、腐食環境を例えば良／否の2種類とすれば、全体のカテゴリーは4分類となる。

3. 性能試験結果

締結ばね以外の材料のうち、両形式ともに、ばね受け台には異状がなく、軌道パッドは多少硬化していたものの本来機能はなお有していると観察された。材料の劣化が顕著に表れていたのは締結ばねの表面粗さであり、これは表1に見るようにA形とB形との間に差があり、腐食環境の影響が認められる。また、設計荷重に準拠した疲労試験の結果、締結ばねおよびボルト部分に破壊が発生した。ボルトの破壊は締結ばねの破壊後発生した痕跡が顕著であり、締結ばねの影響が支配的であったので、締結ばねが破壊に至った荷重の繰返し回数を表2に示す。

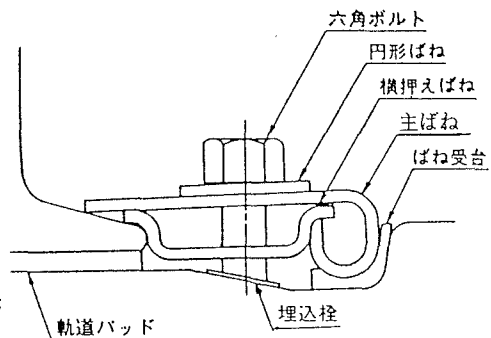


図1 高速形レール締結装置

表1 締結ばね各部の表面粗さ(単位: μm)

測定ばね	測定部位	A形	B形
主ばね	ショットピーニング肌	15	20
	レールとの接触部	90	210
	湾曲尾端部	30	400
横押えばね	レールとの接触部	100	250
	ボルト穴周辺部	40	160

表2 破壊までの荷重繰返し回数(万回)

ばねの種類	1	2	3	4
A形	主ばね	18	183	230
	横押えばね	230	230	—
B形	主ばね	48	95	160
	横押えばね	19	48	85

凡例 —: 試料なし □: 破壊せず

4. 残存寿命推定

上記の試験結果に基づいて寿命推定を行うに当たり、以下の項目を計算の前提条件とした。

- (1) 荷重は図2に示すような正規分布に従い、将来も変化せず、応力はこの荷重に対し一義的に定まる。
- (2) 繰り返し発生する応力による寿命の低下は修正マイナー則に従う。
- (3) 腐食による寿命の低下は一律で時間に比例するが、ここでは便宜上通トンに比例するものとする。
- (4) 劣化後においても、腐食の進行速度および発生応力の大きさには変化がないものとする。

(1)については、走行試験により、精度を上げることができる。(2)はマイナー則より安全側の結果が得られるが、腐食による耐久限度等の低下が推定されるので、修正マイナー則を採用した。将来の腐食の進行は環境条件により変化し得るが、定量化できないので、過去の履歴と同一であるとした。

これらを前提にすると、以下の手順により荷重履歴のある部材の残存寿命を解析的に求めることができる。

- ① 締結時応力FSおよび設計荷重載荷時の発生応力AMを実験的に求める。
- ② FSとAMにより、健全な場合に耐え得る疲労試験の繰返回数LNと寿命TNを求める。
- ③ 敷設後の累積通過トン数MTから残存寿命比率 α ($= 1 - MT/TN$)を求める。
- ④ 設計荷重に準拠した疲労試験の損傷データから平均損傷時間MTTF等を求める。
- ⑤ MTTFとLN $\times \alpha$ の差を検証し、大差がない場合はTN $\times \alpha$ が残存寿命となる。
- ⑥ 差がある場合は損傷データにより、低下したSN曲線の仮想Y切片FMを算定する。
- ⑦ FMの低下割合を考慮して得られる低下した寿命NTを求める、NT-MTより残存寿命Rが得られる。

5. 計算結果およびまとめ

A形の主ばねおよびB形の横押さえばねに関する計算結果を表3に示す。

A形のこの試験条件下における破壊確率は239万回で10%であり、繰り返し荷重による疲労でのみ寿命が低下しているとすれば、 α が0.923であるから90%以上は200万回以上耐えるはずである。しかし、現実には、MTTFが144万回であるから、腐食による耐久限度等自体の低下が定量化され、結局7.6億トンが総寿命で、残存寿命が3億トン強と得られている。B形も同様であるが、 α が0.99より大きいにも拘らずMTTFが78万回と小さくなっているため、腐食の影響が大きく表れていることが明らかとなり、残存寿命が約1億トンと得られた。

このように通トンが多いが環境のよいA形よりも腐食環境にあったB形の方が寿命低下の程度が大きいと言え、レール締結装置の交換は①A形腐食②B形腐食③A形良④B形良の順に計画すればよいことがわかった。

荷重履歴のある部材の残存寿命推定法を示し、18～19年経過した山陽新幹線のレール締結装置の腐食による寿命の低下を定量化し、交換計画に反映していくこととした。ばね鋼材のように耐久限度等が明らかな材料に対し本手法は有効である。

項 目	A 形	B 形
FS-AM(MPa)	0～600	30～420
LN (万回)	239.5	3683.2
TN (億トン)	55.37	360.58
α (N.D.)	0.923	0.993
MTTF(万回)	144	78
NT (億トン)	7.60	3.70
R (億トン)	3.37	1.07

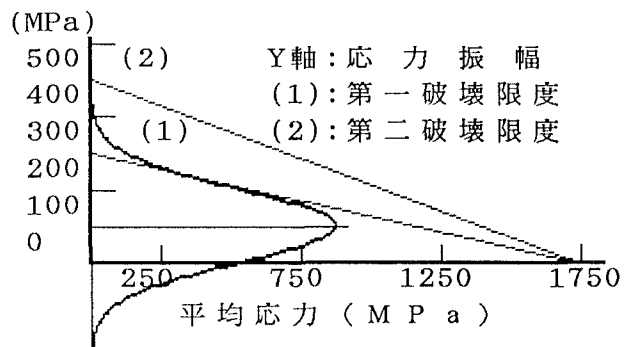


図2 設計荷重に対応する応力と耐久限度線図