

腐食したレール締結装置の経年劣化および余寿命の評価

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○溝口 敦司
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 片岡 宏夫
 (財)鉄道総合技術研究所 若月 修

1. はじめに

腐食環境下にあるスラブ軌道用の直結4形レール締結装置（以下「直結4形」という。）について、腐食によるレール締結装置の部材強度が低下することが懸念されている。また、現在、腐食したレール締結装置はレール交換作業等に付帯して交換しているが、腐食による交換基準はないのが現状である。そこで、腐食環境下にある直結4形について、経年劣化および余寿命を評価し、交換基準を提案した。

2. 性能確認試験

表1 腐食レール締結装置の概要

腐食ランク	腐食の程度	敷設年数	重量最大減少率	下ばね板厚最大減少率
A	板ばねの塗装の剥離が大きく、腐食が始まっている。	21～28年	6%	4%
B	腐食が大きく、板ばね厚さ6mm程度	20～28年	21%	43%
C	腐食が著しく、板ばね厚さ5mm程度	19～28年	38%	71%

対象とするレール締結装置は山陽新幹線の陸上トンネルの漏水区間に敷設されていた直結4形で、平均敷設年数は23年である。これらは、漏水区間での腐食の程度により、表1に示すように3種類の

腐食ランクに分類されている。腐食の進行状態によるレール締結装置の性能への影響を確認するために、次の各種試験を実施した。

(1) 横方向ばね定数試験

横方向ばね定数試験の結果、荷重68kNまでの载荷中に、下ばねの厚さが2.0mm以上減少している板ばねの塑性変形が目視により確認された。

図1に下ばねの板厚減少量と試験でのへたりの関係を示す。

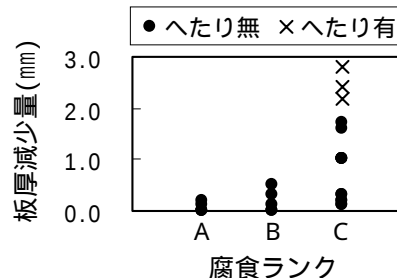


図1 へたりと板厚減少量の関係

(2) 2軸疲労試験

表2 2軸疲労試験の荷重条件

荷重種別	レール圧力(kN)	レール横圧力(kN)	P_{max} (kN)	θ (度)
A荷重	43.6	38.6	49.5	45.9
B荷重	38.5	19.2	38.8	54.1

試験方法を図2に、荷重条件を表2に、試験結果を表3に示す。下ばねの板厚が著しく減少した

板ばねでは少ない繰返し回数で破断する傾向が見られた。また、下ばねの板厚が6mm以上のケースで破断した位置は、下ばねのボルト穴前端部であった。

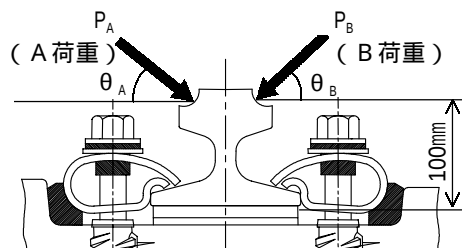


図2 2軸疲労試験方法

表3 2軸疲労試験結果

腐食ランク	板厚(mm)	繰返し回数(万回)	破断位置
C	6.8	100	未破断
C	2.0	1.4	軌間内側ボルト穴後端部
B	6.2	30	軌間外側板ね立上り部
B	4.0	7.4	軌間外側ボルト穴前端部
A	6.7	185	軌間外側ボルト穴前端部
B	6.5	26	軌間外側ボルト穴前端部
B	6.5	84	軌間外側ボルト穴前端部
C	6.7	125	軌間外側ボルト穴前端部
C	6.2	40	軌間外側ボルト穴前端部

3. 板ばねのへたり限度の検討

下ばねの厚さが薄い板ばねにおいて、载荷時にへたりが確認されており、腐食が進行した板ばねに発生する応力が新品に比べて大きくなっていたと考えられる。そこで、板ばねの厚さの変化による発生応力を推定し、板厚の減少によるへたり限度を検討した。

まず、A荷重作用時のレール挙動解析により求められる板ばね先端の上下変位から、板厚の減少した板ばねの

キーワード レール締結装置、腐食、へたり限度、余寿命、交換基準

レール押え力と発生応力を求め、下ばねのボルト穴前端部で発生する応力を推定した。推定の結果を図3に示す。板厚が約6.0mmで弾性限度に達し、約5.4mmで降伏限度に達することがわかった。

次に、板厚減少量と板ばね表面の平均凹凸量の関係を検討し、板厚の減少によるへたり限度を照査した。ここで、板厚の減少は、新品の板厚から測定した板厚と平均凹凸量の2倍を引いた値とした。照査の結果を図4に示す。ランクAでは弾性限度内にあるが、腐食の著しいランクCやランクBの一部では降伏限度を越えている。

漏水程度の著しい区間で下ばねの厚さが1.0mm以上減少している直結4形は速やかに交換することが望ましい。

4. 余寿命の評価¹⁾²⁾

疲労試験の結果と現地敷設実績データから腐食環境下によるS-N曲線の切片の低下を考慮して板ばねの余寿命の推定を行った。

(1) S-N曲線の推定

疲労試験は平均応力からの両振り試験であったが、これを応力 $0N/mm^2$ からの両振り状態の応力片振幅へ換算し、換算した応力片振幅における破断回数と標準正規分布のプロットから平均破断回数を最小2乗法で回帰することにより10%破壊確率の破断回数を推定した³⁾。その結果を図5に示す。

(2) 余寿命の推定

余寿命の推定にあたり、前提条件は以下のようにした。

上記の前提条件をもとにして算出した結果を表4に示す。

輪重は設計C荷重で一定とし、横圧のみ正規分布 $N(\mu, \sigma^2)$ に従って発生する。

横圧の発生範囲は、 $\mu - 3\sigma$ から $\mu + 3\sigma$ とする。

板ばねの発生応力は、横圧に対して一義的に定まるものとする。

第1軸目通過時に横圧Qが軌間外側に向かって作用する場合、第2軸目通過時にはQ/2の横圧が軌間内側に向かって作用するものとする。

板ばねの応力変動は、「初期締結時→第1軸目通過時→第2軸目通過時→初期締結時」を1サイクルとする。

ばね鋼のS-N線は10%破壊確率とし、修正マイナー則を適用する。

S-N曲線の切片は経年に従い一様に低下していくものとする。

軸重は17トン、年間通トンは1500万トンとする。

ランクBに相当する板ばねの余寿命年数は5年であった。

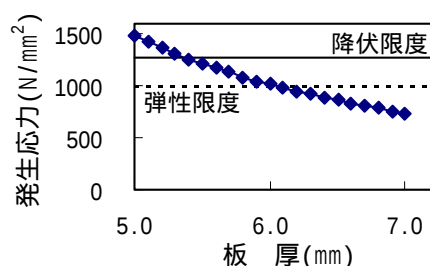


図3 発生応力の推定結果

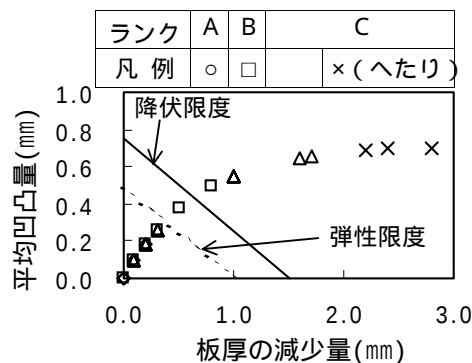


図4 へたり限度の照査結果

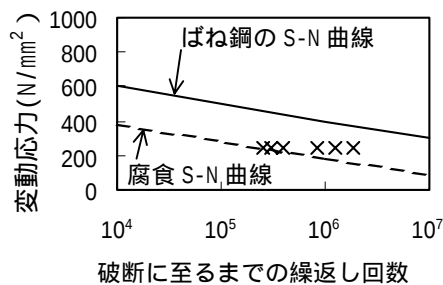


図5 推定結果

表4 レール締結装置の余寿命年数

敷設年数	板厚減少量	通過トン数	余寿命年数
23年	0.1～0.8mm	7500万ト	5年

5. まとめ

以上の結果より、腐食環境下にある直結4形の交換基準として、下ばね部の厚さの限度値を新品の厚さ(7.0mm)から1.0mm減少した6.0mmとすること、また現在ランクBと判定されたものについては余寿命推定結果が5年であることより、5年以内に交換することを提案した。

[参考文献]

- 1) 長藤敬晴：「応力変動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、1991年8月
- 2) 長藤敬晴、阿部則次他：「腐食によるレール締結装置の寿命低下」、鉄道総研報告、1994年11月
- 3) 西島敏：「少標本疲労データの統計解析」、日本機械学会論文集A編、46巻412号、1980年