

経年レールの高繰返し数の疲労試験

(公財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○片岡 宏夫
 (公財)鉄道総合技術研究所 非会員 平出 壮司
 (公財)鉄道総合技術研究所 正会員 細田 充

1. はじめに

鉄道事業者において、レール損傷を防止するための管理手法の一つとして、レールの定期交換が行われている。これに関して、過去にレール削正による寿命延伸効果を見込んだレール交換周期の延伸を提案し¹⁾、実用に供されてきた。レールの疲労寿命の推定に際しては、200万回時間強度以下の応力が疲労に寄与し得ることを考慮して、低い応力域のS-N曲線に中間マイナー則(S-N曲線の傾きを半分としたマイナー則と修正マイナー則の中間的なもの)を適用しているが、その応力域での疲労に関する知見は少ない。そこで、本研究では、経年レールを対象に200万回を超える高繰返し数領域の疲労試験を実施して基礎的なデータを取得し、レールの交換周期延伸の可能性について検討した。

2. 経年レールの疲労試験

実レールを対象とした高繰返し数領域における疲労試験では、載荷周波数が3Hz程度と低いため1本あたりの試験に時間を要する。そこで、実物大の経年レールを用いた曲げ疲労試験を行うとともに、短時間で効率的にデータを取得できる要素試験片を対象とした高周波数での疲労試験を実施した。以下の試験では、敷設年数が25年程度、累積通過トン数が8億トン程度のレールを用いた。

(1) 実レールの曲げ疲労試験

レール試験片をスパン1,300mmでレール曲げ疲労試験機に据え付け、乾燥状態で片振りによる4点曲げの疲労試験を行った。応力全振幅を160N/mm²~210N/mm²として試験を行った結果、6本中4本は未破断となった。繰り返し載荷数1,000万回を超えても未破断となったレール試験片は3本あり、うち180N/mm²の応力全振幅では繰り返し載荷数5,000万回で未破断のデータが得られた。

(2) 要素試験片の平面曲げ疲労試験

平面曲げ疲労試験は図2に示すように、レール底部から切り出した要素試験片(図3)をレール底面が引張り側となるように試験機に据え付け、片振りにより行った。載荷周波数は20~25Hzである。

乾燥状態における試験を16本、湿潤状態における試験を17本行った。湿潤状態では、水分の滴下量については、0.5mm³を12秒に1回ずつ加えた。これは東京の2010年から2014年の1日あたりの平均降水量に対し、単位時間(秒)あたりの滴下量が等しい条件となっている。

図4に試験結果を示す。乾燥条件下の200万回時間強度は360N/mm²程度であり、それより小さい応力全振幅では5,000万回の繰返し数で破断に至らなかった。一方、湿潤条件下では、260N/mm²~340N/mm²の応

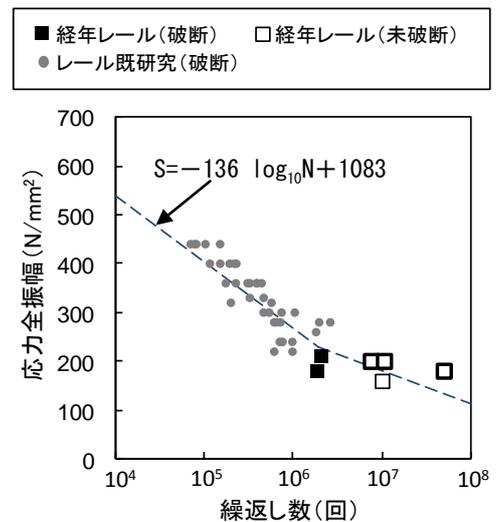


図1 実レールの曲げ疲労試験結果

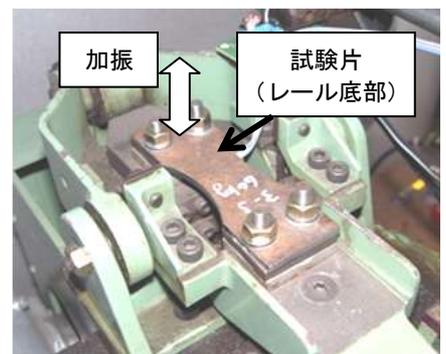


図2 平面曲げ疲労試験

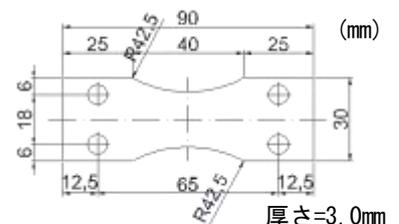


図3 要素試験片の寸法

キーワード レール, 疲労, 寿命推定

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 TEL042-573-7275

力全振幅において200万回を超える繰返し数で破断に至るケースが生じた。また、200万回以下の繰返し数では乾燥状態と同程度の結果となった。

3. S-N 曲線に関する考察

試験結果より、次の特徴がみられた。

- ① 要素試験片の疲労試験結果は過去に実施した実物大の経年レールの結果に比べて大きくなった。これらを比較すると、後者は前者の7割程度であった。
- ② 200万回以下の繰返し数では、乾燥状態と湿潤状態の要素試験片の試験結果は概ね同等であった。
- ③ 湿潤状態では200万回以上の繰返し数で破断に至った。

要素試験片と実レールで試験結果に差異がみられるのは、寸法効果により曲げによる腐食孔まわりの実効的な応力勾配が異なっていたためと推定される。実際のレールは風雨にさらされる暴露環境下に数十年間敷設されており、これを試験で厳密に再現することは難しい。湿潤状態の試験は一種の腐食疲労試験となっていることから、ある程度安全側の評価になっていると考え、湿潤条件下の要素試験片の疲労試験の結果に対しその7割の応力全振幅を暴露環境下の実レールの時間強度とみなした。それらの値をS-N線図にプロットして最小二乗法によりS-N曲線を推定し、過去に想定した在来線の経年レールの破壊確率50% S-N曲線¹⁾と比較した。なお、この比率については錆肌の性状によって変わりうるものである。

図5にその結果を示す。今回の試験結果から得られた線が過去の経年レールのS-N曲線を若干上回る傾向が認められた。

得られたS-N曲線にはデータ数の増加などさらに精度向上を図る必要があるが、ここで過去に構築した累積損傷被害則に基づく寿命評価法を用いてレールの疲労寿命の試算を行った¹⁾。レール溶接部を想定し、累積通過トン数の増大とともにレール頭頂面の局所的な凹凸が大きくなる条件を仮定し、S-N曲線の破壊確率は0.1%とした。その結果、表1に示すように今回の計算条件下においては推定全寿命は7.8~17.4億トンとなり、レールの累積通過トン数による交換周期の延伸の可能性が認められた。

4. おわりに

上記のレール疲労寿命の試算においては安全側の評価とするためS-N曲線の標準偏差を一定としたが、疲労試験データのばらつきを適切に考慮することによりさらに合理的な評価を行うことができると考えられる。今後データを蓄積し、さらに検討を進めていきたい。最後に、試験レールを提供いただいた東日本旅客鉄道株式会社の関係者に謝意を表す。

参考文献

1) 弟子丸将、片岡宏夫、阿部則次、大野宗伸：経年ロングレールの疲労寿命推定、鉄道総研報告、Vol.20, No.4, PP.5~10、2006

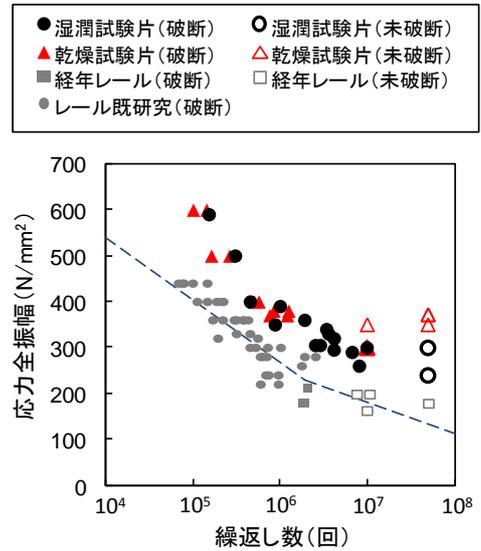


図4 要素試験片の平面曲げ疲労試験結果

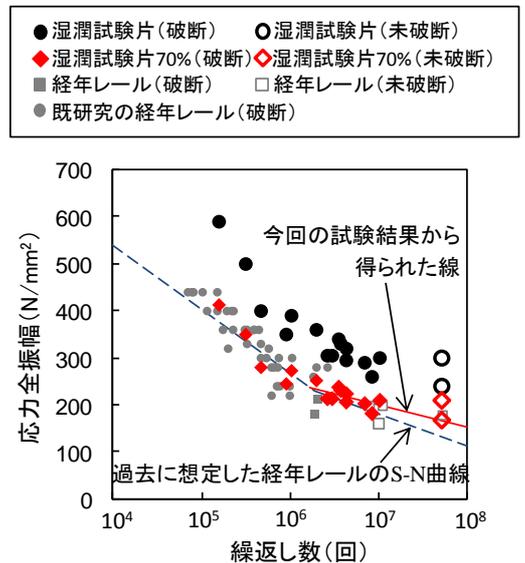


図5 S-N 曲線の比較

表1 疲労寿命の試算結果 (億トン)

車両	レール種別	100mm 弦凹凸進み	
		0.05mm	0.1mm
EL	60kg	17.4	11.6
	50kgN	11.0	7.8
交直流特急電車	60kg	17.3	11.2
	50kgN	12.2	8.2

*バラスト軌道、浮きまくらぎを想定¹⁾