

経年古 60kg レール溶接部の疲労寿命に関する一考察

(公財)鉄道総合技術研究所	正会員	○田中 俊史
西日本旅客鉄道株式会社	正会員	井上 拓也
(公財)鉄道総合技術研究所	正会員	弟子丸 将
(公財)鉄道総合技術研究所	正会員	片岡 宏夫

1. はじめに

メンテナンスコスト削減策の一環として、新幹線で発生したレールのレール頭頂面を削正し、溶接部を切り落として再溶接したレール（以下、「経年古 60kg レール」という）を一部在来線に敷設しており、2.7 億トン分の累積通過トン数を加算し、在来線のレール交換周期を定めている¹⁾。本研究では、交換基準に達した経年古 60kg レール溶接部のレール曲げ疲労試験を実施し、その結果から S-N 曲線およびレール疲労寿命を推定し、加算通過トン数の緩和の検討を行った。

2. 経年古 60kg レール溶接部の頭頂面凹凸測定

経年古 60kg レール溶接部の頭頂面の凹凸をデジタル式レール頭頂面凹凸測定器により測定した。100 mm 弦凹凸量と累積通過トン数の関係を図 1 に示す。過去に得られた知見²⁾より在来線のエンクローズアーク溶接部 (EAW) の 100mm 弦の凹凸進みは 0.1mm/億トン、それ以外の溶接種別の凹凸進みは 0.05mm/億トンであり、今回の結果も概ねその範囲内である 0.05mm/億トン以下であった。

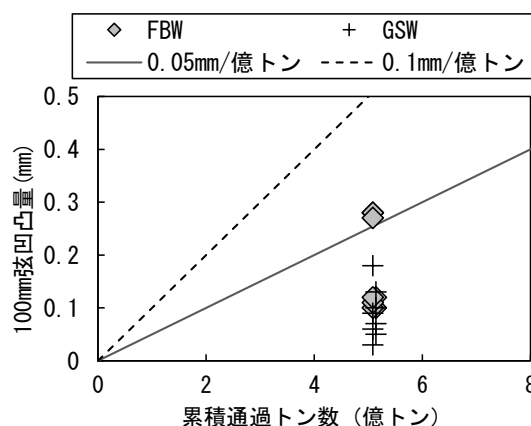


図 1 100 mm 弦凹凸量と累積通過トン数の関係

3. S-N 曲線の推定

経年古 60kg レール溶接部（フラッシュバット溶接 (FBW) 7 本、テルミット溶接 (GSW) 7 本）のレール曲げ疲労試験を実施した（図 2）。疲労試験では最小応力 30N/mm² の片振り試験であったが、実軌道上においては応力 0N/mm² からの片振り状態であるため、応力全振幅の換算を行った。換算した試験結果と既往研究²⁾により得られた JR 在来線の経年レールの疲労試験結果、および推定した 50%破壊確率 S-N 曲線を図 3 に示す。

今回の試験結果は、応力全振幅が 200N/mm² 前後において若干早期に破断する結果が得られたものの既往研究と比較し概ね同様の傾向を示していることが確認された。ただし、既往研究で試験に用いた供試体レールと今回の供試体レールでは疲労履歴が異なっており、今回の寿命推定で用いる破壊確率 50%の S-N 曲線の傾きについては既往研究の S-N 曲線と同じとし、切片についてのみ最小二乗法により算出した。



図 2 レール曲げ疲労試験結果の一例

4. レール疲労余寿命の推定

レール疲労余寿命の推定は、図 4 に示すフローチャート²⁾によるものとし、レール疲労余寿命推定の計算条件は、以下のとおりとした。

(1) 累積疲労被害の算定には、マイナー則と修正マイナー則のそれぞれの特徴を考慮した中間的なものを採用し、0.1%破壊確率 S-N 曲線を求めた²⁾。

キーワード レール曲げ疲労試験, S-N 曲線, レール疲労余寿命

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

- (2) 貨物列車と特急列車の通過軸数の比率を 5 : 95 とした。
- (3) 平均累積通過トン数は、レール曲げ疲労試験の供試体の累積通過トン数の平均値を適用し、5.1 億トンとした。
- (4) 100mm 弦の凹凸進み量は、頭頂面凹凸測定結果より概ね 0.05mm/億トン以内にあることから、エンクローズアーク溶接では 0.1mm/億トン、それ以外の溶接部では 0.05mm/億トンとした。また、1m 弦凹凸進み量は 100mm 弦の凹凸進み量と同等とした。
- (5) 100mm および 1m 弦凹凸量は敷設時の初期値を 0mm とし、平均累積通過トン数分の凹凸進み量を加えた値とした。

表 1 にレール疲労余寿命推定結果を示す。推定した S-N 曲線を適用し算出したレールの余寿命はエンクローズアーク溶接部で 1.2 億トン、その他の溶接部で 2.0 億トンであった。

5. 考 察

レール曲げ疲労試験の結果は、既往の研究結果に比べて応力全振幅が 200N/mm² 前後において若干早期に破断する結果が得られた。また、破断したレール 13 本中 12 本がレール溶接部ではなくレール母材部からの破断であり、新幹線で敷設された時の累積通過トン数が疲労強度の低下に影響を及ぼしている可能性がある。一方で、供試体レールは限定された区間で採取したレールであり、疲労強度が既往の試験結果のばらつき内に収まっているもののレールの錆状況等から平均よりも低い範囲にあった可能性も考えられる。本疲労寿命推定法では 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、低い応力域での S-N 曲線には中間マイナー則を適用し寿命を算出しているが、近年の研究において高繰返し数領域の疲労試験を実施しており、レール交換周期を緩和できる可能性を提示している³⁾。高繰返し数領域の疲労データを蓄積していくことで、今後さらにレール交換周期を延伸できる可能性がある。

6. まとめ

レール曲げ疲労試験を実施し、レール疲労余寿命を推定した結果、経年古 60kg レールを在来線に敷設する際 2.7 億トン分を加算していた累積通過トン数に対し、エンクローズアーク溶接部で 1.2 億トン程度、その他の溶接部で 2.0 億トン程度加算通過トン数の緩和を見込める結果となった。

参考文献

- 1) 楠田将之他：「JR西日本におけるロングレール寿命の延伸」, 鉄道技術連合シンポジウム, 2002年
- 2) 弟子丸将他：「経年ロングレールの疲労寿命推定」, (公財) 鉄道総合技術研究所, 鉄道総研報告, 2006年4月
- 3) 片岡宏夫他：「経年レールの高繰返し数の疲労試験」, 土木学会第70回年次学術講演会, 鉄道総研報告, 2015年

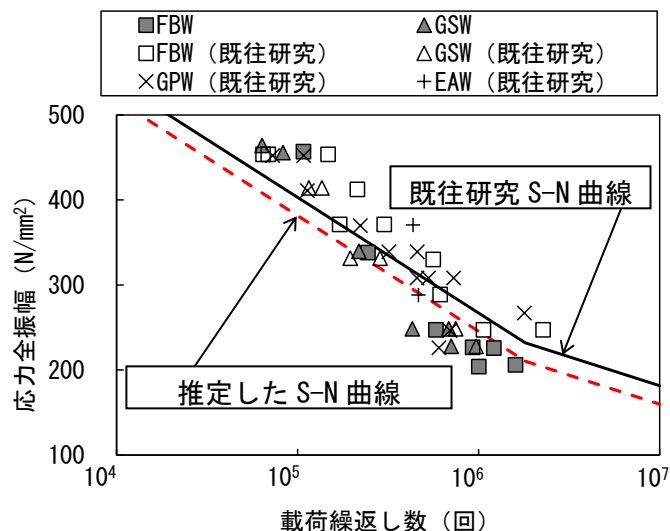


図 3 疲労試験結果および S-N 曲線

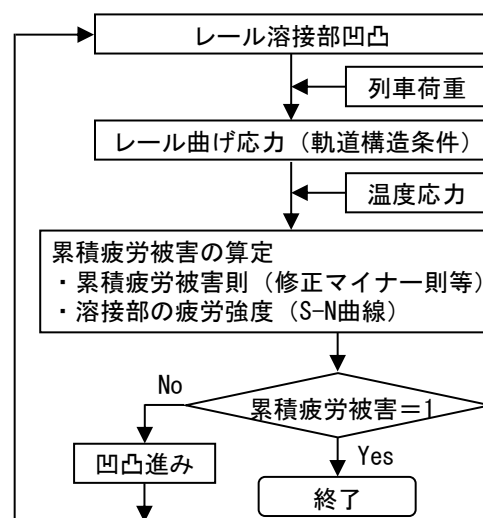


図 4 溶接部の寿命予測フローチャート

表 1 レール疲労余寿命推定結果

レール種別		60kgレール	
適用したS-N曲線	200万回時間強度前	$S = -136 \log_{10} N + 1061$	
	200万回時間強度後	$S = -68 \log_{10} N + 636$	
溶接種別		EAW	EAW以外
100mm弦凹凸量 (mm)		0.51	0.255
1m弦凹凸量 (mm)		0.51	0.255
100mm弦凹凸進み量 (mm/億トン)		0.1	0.05
1m弦凹凸進み量 (mm/億トン)		0.1	0.05
推定余寿命 (億トン)		1.2	2