

## 踏切部における腐食レールの余寿命評価

軌道技術研究部 軌道構造研究室  
研究員 細田 充

### 1. はじめに

レールに発生する損傷として、踏切部における腐食および電食がある。そのため鉄道事業者は目視や超音波探傷等の検査を実施し必要に応じてレール交換を行っているが、腐食および電食に対するレールの処置の適正化のために余寿命の把握が求められている。本研究では、レールの腐食量と腐食・電食レールの曲げ疲労試験結果から、腐食量に応じたS-N曲線を求め、余寿命評価を行った。なお、以下、腐食および電食レールをまとめて「腐食レール」と称する。

### 2. 腐食レールの曲げ疲労試験

腐食レールのS-N曲線を推定するため、踏切内より腐食レールを収集し、曲げ疲労試験を実施して応力全振幅と破断に至るまでの繰返し数との関係を把握した。収集した腐食レールは踏切に敷設されていた50kgNレール計36本である。これらの腐食レールは腐食量による曲げ疲労強度の影響度の差異を把握するために、腐食の程度が段階的に異なるものを収集した。また、別途、営業線で過去に折損した腐食レール（以下、「折損レール」と称する）計15本について、腐食量の分析を行った。これらのレールの概要を表1に示す。

図1にレールの曲げ疲労試験の概要を示す。支点間のスパンは1300mm、荷重点間隔は150mmであり、表2に示す試験条件で曲げ疲労試験を実施した。500万回（一部200万回）荷重後に破断していなかった場合に「未破断」と判定した。試験の結果、腐食レール36本中31本が破断に至った。

### 3. 底部および底側部の腐食量測定

レールの腐食の進展状況、すなわち各部の腐食量がレールの余寿命に寄与すると考えられることから、曲げ疲労試験を実施した試験レールおよび折損レールの各部の腐食量を測定した。本研究で対象とした腐食量は、過去の研究<sup>1)</sup>により腐食レールの疲労強度との相関が示されているレール底側部におけるレール底部幅方向の局所的な減肉量（以下、「底側部腐食量」と称する）と、鉄道事業者が現在、腐食量の管理指標として用

表1 試験レールおよび折損レールの概要

	試験レール	折損レール
レール種別	50kgNレール	
延長(m)	1.5	0.2~0.9
本数	36	15
直線・曲線	R400以上の曲線、直線	
経過年数(年)	7~42	5~29
累積通トン(千万トン)	4~50	11~50

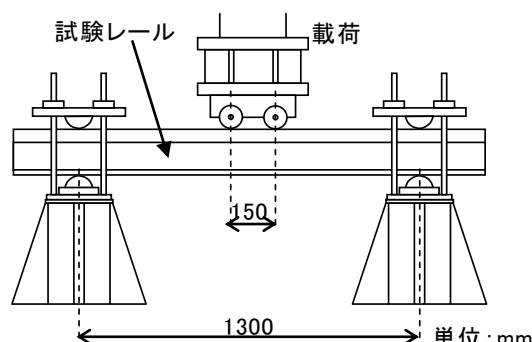
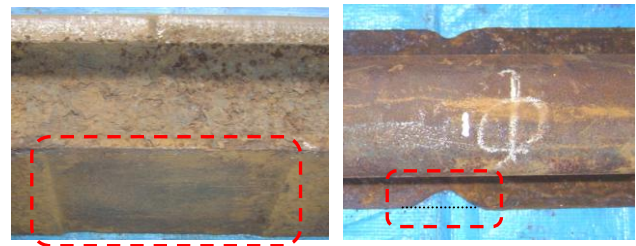


図1 曲げ疲労試験の概要

表2 試験条件

項目	試験条件
試験方法	片振り4点曲げ
最小試験応力	30N/mm <sup>2</sup>
荷重周波数	1.0~3.0Hz
応力全振幅	160~340N/mm <sup>2</sup>

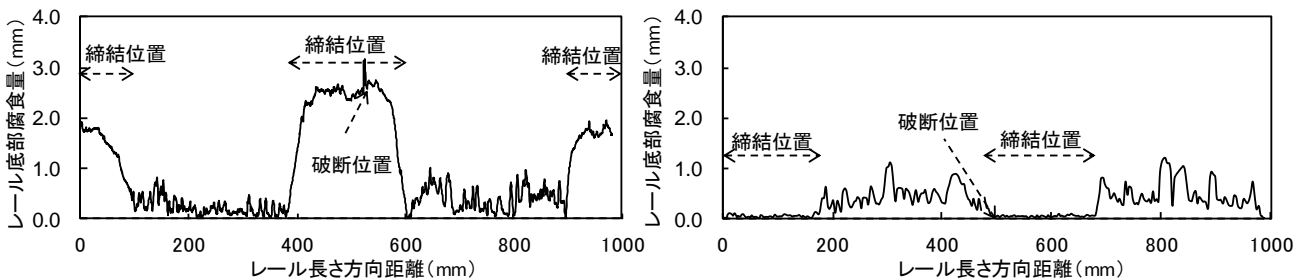
いているレール底面の基準線に対する最大減少量（以下、「底部腐食量」と称する）とした（図2）。これらについて、レールの表面に付着した錆をサンドブラストで除去してレールの表面の素地を露出させ、レーザー変位計により各腐食量を測定した（図3）。なお、底側部腐食量については、定規による測定も行った。腐食量測定の結果、以下のことがわかった。



(a) 底部腐食量 (b) 底側部腐食量

図2 各種腐食量

- ① 締結位置と中間位置で最大底部腐食量を比較した結果、両者の間に明確な傾向は確認されなかった（図4）。
- ② レーザー測定と定規測定による最大底側部腐食量は、概ね同程度であった（図5）。
- ③ ②より、定規測定の結果を用いて、締結位置と中間位置における最大底側部腐食量を比較した結果、締結位置の方が概ね大きかった（図6）。
- ④ 底部で腐食が進行している場合、同等以上の腐食が底側部で進行している傾向にあった（図7）。
- ⑤ 各腐食量と経年および累積通過トン数の間に明確な傾向は確認されなかった。
- ⑥ 折損レールの腐食量を測定し、試験で用いた腐食レールと比較した結果、前者は特に大きな腐食量ではなかった。



(a) 締結位置で腐食が大きい例

(b) 中間位置で腐食が大きい例

図3 底部腐食量測定結果の例

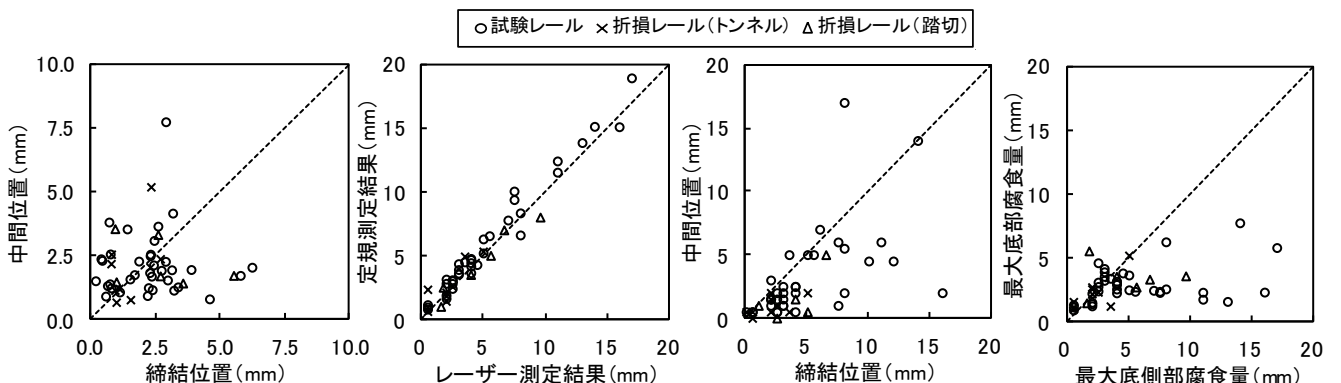


図4 底部腐食量

図5 測定方法による比較 (底側部腐食量)

図6 底側部腐食量

図7 底側部腐食量と底部腐食量

#### 4. 腐食および電食レールの疲労余寿命

##### 4.1 腐食量と疲労試験結果の関係

曲げ疲労試験結果と腐食量（底部腐食量、底側部腐食量）の測定結果の関係を検討した。曲げ

疲労試験結果を腐食量毎に分類してプロットしたもの、および分類したグループ毎に算定した S-N 曲線を図 8 に示す。曲げ疲労試験は最小応力を 30N/mm<sup>2</sup> とした片振り試験であったが、0N/mm<sup>2</sup> からの応力全振幅に換算した。なお、図 8 中には過去の研究で得られた在来線の経年レールの S-N 曲線（以下、「S<sub>A</sub>-N 曲線」と称する）も併せて示した<sup>2)</sup>。

図 8 より同程度の腐食量に対する疲労試験結果のばらつきは大きかったものの、底部腐食量および底側部腐食量のどちらの分類においても腐食量が小さいデータは、S<sub>A</sub>-N 曲線に近い領域、すなわち腐食していないレールに近い値として分布し、腐食量が大きくなるに伴い、S<sub>A</sub>-N 曲線から左下方方向に離れていく傾向がみられた。腐食量毎に分類して S-N 曲線を求めた結果、腐食量が大きいグループの方が切片の低下が大きくなる、すなわち疲労強度が低下する結果が得られた。

ここで、求めた S-N 曲線から大きく離れた試験結果について考察する。図 8 に示す No. 1、2、3 の結果は底部腐食量 3mm 以上および底側部腐食量 6mm 以上の S-N 曲線から離れているが、No. 1 および No. 2 のレールについては、底部腐食量および底側部腐食量の両方もしくは片方が、今回の試験結果の中でも大きなものとなっていたためと考えられる。No. 3 のレールは破断位置の腐食量は特に大きいとはいえず、前述の手法のみでは測定できない腐食孔の先端の形状が影響している可能性が考えられる。

#### 4.2 腐食量に応じた S-N 曲線の推定

今回の腐食レールの疲労試験結果にはばらつきはあるものの、底部腐食量および底側部腐食量との間に一定の相関が認められたことから、腐食レールの試験結果より疲労寿命を推定するために、腐食量を変数とした S-N 曲線を算出する。この S-N 曲線の傾きは一定として、切片のみ腐食量に応じて一定の割合で低下するものとした。S-N 曲線の式は以下のように検討した。

$$S = -a(\log_{10}N) + (bf_t \cdot f_s + c) \dots\dots (1)$$

ここで、S: 全振幅応力 (N/mm<sup>2</sup>)、N: 繰返し数 (回)、  
f<sub>t</sub>: 底部腐食量 (mm)、f<sub>s</sub>: 底側部腐食量 (mm)、a, b, c: 係数

腐食量の変数は底部腐食量と底側部腐食量の両方の切片の低下を考慮し、それぞれの値をかけた値とした。係数 a, b, c は試験結果から最小二乗法により決定した。50%破壊確率の S-N 曲線を図 9 に示す。図中には腐食量 3 および 6mm に応じた S-N 曲線を示した。

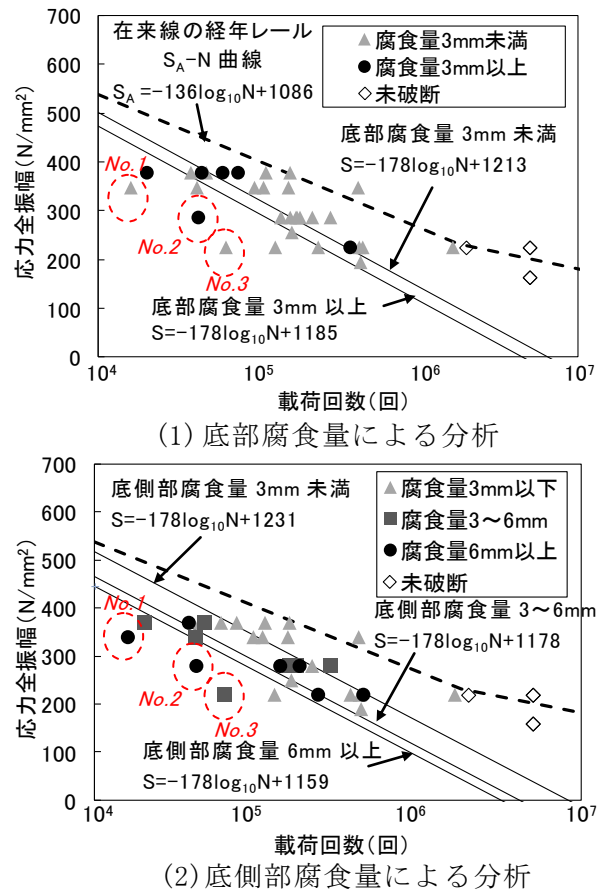


図 8 腐食量毎の S-N 曲線

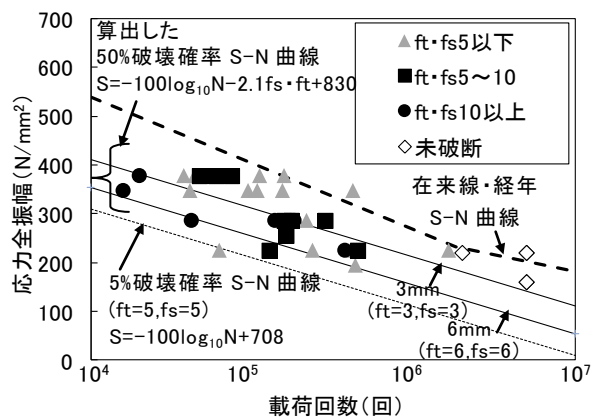


図 9 算出した S-N 曲線

### 4.3 腐食レールの余寿命評価

上記で得られた S-N 曲線を用いて軌道構造条件および車両条件に応じた疲労余寿命を試算した。余寿命推定に際し、図 10 に示す寿命推定フローチャートにより、各種軌道構造条件、車両条件を設定しレール底部曲げ応力に換算して試算を行った。軌道構造は在来線のバラスト軌道の 50kgN ロングレールを想定し、浮きまくらぎの有無および溶接部のレール頭頂面凹凸量により変化を考慮できる応力推定式を用いている。曲線の場合、横圧は輪重横圧推定式<sup>3)</sup>より各車両および曲線半径に応じて算出し、別途実施した軌きょうモデルによる有限要素解析から、底部曲げ応力を算定した。車両条件については、電気機関車および 485 系を設定した。

図 1 1 に腐食レールの余寿命の試算結果を示す。年間通過トン数が多くなるほど余寿命が減少している。また、設定した腐食量に至る年数が敷設から長いほど、腐食量の進展速度は低下しており、余寿命が長くなる傾向が確認された。本計算の条件では曲線 R400m の場合に、横圧による底側部曲げ応力が大きくなるため、直線と比較して余寿命が 1/2 程度となった。初期の腐食量が 3.0mm の場合、敷設からの経過年数が 1 年という非常に腐食環境の厳しい条件下では余寿命が 1.0~4.8 年であったのに対し、経過年数が 5 年の場合は余寿命が 1.2~10.0 年であった。なお、浮きまくらぎ等の軌道状態によりレールの曲げ応力が大きくなることも腐食レールの寿命に影響するため、軌道状態にも注意する必要がある。

### 5. まとめ

本研究では、踏切内レールの腐食および電食の発生状況を分析し、余寿命の試算例を示した。今後も、腐食レールの管理に寄与する研究を進めていく所存である。

#### 参考文献

- 1) 弟子丸将他：腐食および電食レールの余寿命と腐食量の研究、土木学会第 63 回年次学術講演会、4-052 (2008)
- 2) 弟子丸将他：経年ロングレールの疲労寿命推定、鉄道力学論文集、第 11 巻、pp. 33-38、(2007)
- 3) 公益財団法人 鉄道総合技術研究所著：鉄道構造物等設計標準・同解説—軌道構造、丸善出版株式会社、(2012)

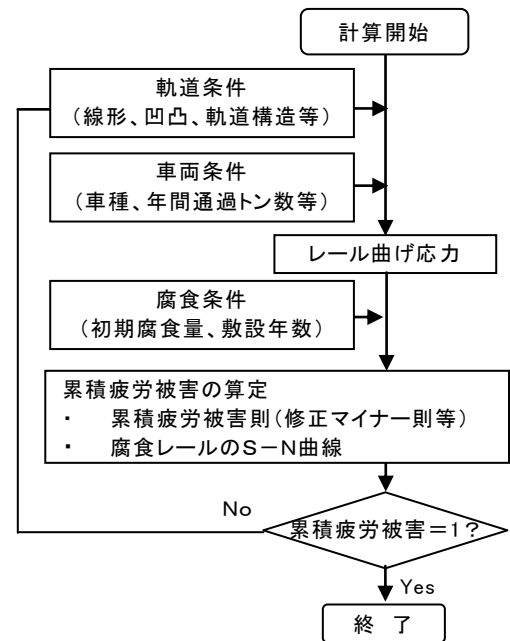
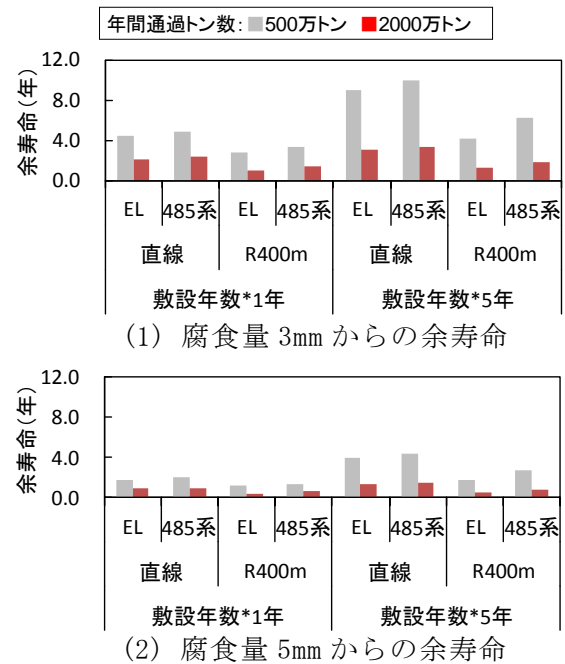


図 10 寿命推定フローチャート



\*設定した腐食量に至る年数

図 11 余寿命推定結果