

腐食レールの寿命推定

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 川崎 祐征
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 阿部 則次
(財)鉄道総合技術研究所 正会員 若月 修
九州旅客鉄道株式会社 正会員 溝田 敏夫

1. はじめに

海浜地区やトンネル区間など、環境状態の悪い区間ではレールの腐食が著しく、レール交換周期が一般区間より短くなっている。しかし、その交換基準については保守担当者の技術的判断に依るところが大きく、明確な基準は確立されていないのが現状である。

そこで、腐食レールの交換基準を確立するために、腐食レールの曲げ疲労試験を実施して S-N 曲線を求めると共に、マイナー則に基づき腐食レールの残存寿命の推定を行ったので、以下にその概要を報告する。

2. 腐食レールの曲げ疲労試験

(1) 試験片について

本試験においては、表 1 に示す青函トンネル内の 60kg レールを試験片として使用した。これらのレールは全て敷設後約 13 年経過したものであり、累積通過トン数は約 1.5 億トンである。現地調査により腐食が著しいレールを選定し、一般部 5 本、溶接部 5 本の計 10 本を試験片として採取した。

(2) 試験方法

腐食レールの曲げ疲労試験方法は、試験片を 2m に切断した後、図 1 に示すようにスパン 1800mm に設定したレール曲げ疲労試験機に試験片を据え付け、周波数 3.0～4.0Hz、最低荷重 26.5kN（レール底部応力 30N/mm²）の片振り 3 点曲げとして疲労試験を行った。なお、青函トンネルの漏水区間における環境状態を再現するため、載荷点直下の水受け皿に 3.4%の食塩水を入れ、スポンジでレール底部を湿潤状態として試験を行った。

(3) 試験結果

10 本の試験片のうち、一般部 5 本、溶接部 4 本について曲げ疲労試験を行った結果を表 2 に示す。

破断した試験片の疲労破壊起点はすべて孔食部

表 1 青函トンネル内腐食レール試験片

	レール No.	線別	左右	キロ程	最大孔食深さ(mm)	特記事項
一般部	R1	下	左	33K554M	3.21	
	R2	上	左	33K531M	2.89	
	R3	上	左	33K529M	1.94	
	R4	上	左	33K526M	4.03	
	R5	上	右	33K530M	-	
溶接部	W1	下	左	33K548M	0.66	ガス圧接
	W2	上	左	33K523M	0.89	"
	W3	上	左	33K548M	-	"
	W4	上	右	33K523M	1.49	"
	W5	上	右	33K548M	0.58	"

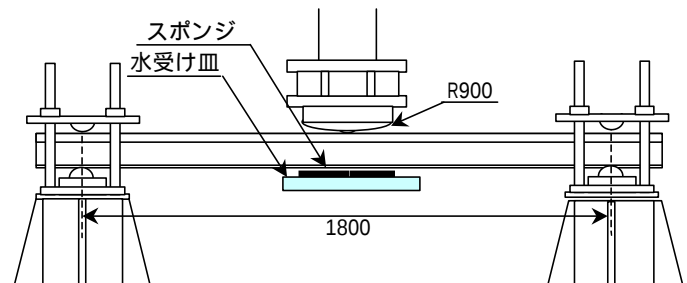


図 1 レール曲げ疲労試験機

表 2 腐食レールの曲げ疲労試験結果

試験 No.	レール No.	応力全振幅 (N/mm ²)	繰返し数 (回)	最小応力 (N/mm ²)	破断位置
1	R1	340	6.06×10^4	30	母材
2	R2	280	8.08×10^4	"	母材
3	R3	160	4.02×10^5	"	母材
4	R4	100	1.53×10^6	"	母材
5	R5	70	5.49×10^6	"	(未破断)
6	W1	340	2.26×10^5	"	母材
7	W2	280	4.34×10^5	"	熱影響部
8	W4	220	7.22×10^5	"	溶接部
9	W5	160	2.16×10^6	"	母材

キーワード：レール、腐食、疲労強度、プロビット法、マイナー則

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 Tel. 042-573-7275 FAX 042-573-7432

であり、腐食レールでは孔食部への応力集中が疲労破壊の大きな要因であると考えられる。また、同じ応力全振幅においては孔食深さの大きい試験片の方が破断に至るまでの繰返し数は少なかった。これは、孔食深さにより応力集中の程度が異なるためであると考えられる。

4．腐食レールの S-N 曲線の推定

表 2 の試験結果について、レール鋼の疲労限度線図¹⁾より最小応力 0 N/mm^2 からの片振りとなるように応力全振幅を換算し、少標本データに適用可能な重み付きプロビット法²⁾により任意の繰返し数 N_i における平均時間強度 $S_m(N_i)$ を求めた後、重み付き最小二乗法により $S_m(N_i)$ を回帰することによって、敷設後約 13 年経過した青函トンネル内腐食レールの 50%破壊確率 S-N 曲線を推定した。なお、推定する S-N 曲線は片対数座標上における線形一次式とし、疲労限度は無いものと仮定した。

推定した 50%破壊確率 S-N 曲線をもとに、変動係数一定の場合および標準偏差一定の場合における 5%破壊確率 S-N 曲線を推定した結果を図 2 に示す。両者は応力全振幅約 55.5 N/mm^2 (繰返し数約 120 万回) で交差しており、これより小さい応力全振幅では標準偏差一定の場合の方が疲労破壊に至るまでの繰返し数が小さく評価されることとなる。

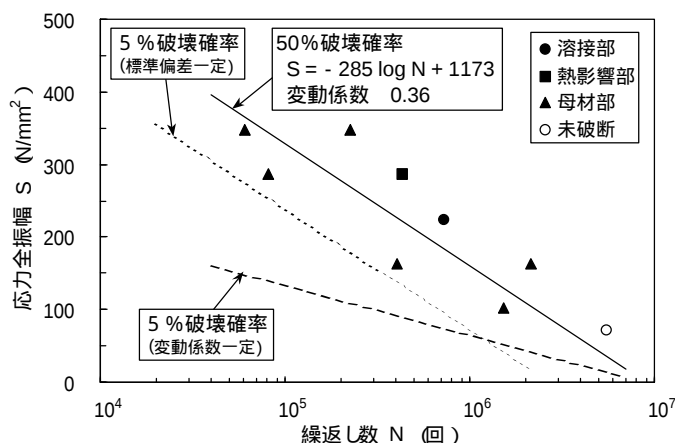


図 2 青函トンネル内腐食レールの推定 S-N 曲線
(敷設後約 13 年経過)

5．腐食レールの寿命推定

上記により求めた 5%破壊確率 S-N 曲線をもとに、マイナー則に基づき敷設後約 13 年経過した青函トンネル内腐食レールの残存寿命を推定した。なお、列車通過時にレール底部に発生する曲げ応力は軌道動的応答モデル³⁾に基づき算出し、車両形式は EF81、485 系、205 系および 103 系の 4 種類を想定した。

図 3 に示す推定結果より、標準偏差一定の場合の残存寿命は約 1700 ~ 2300 万トンであり、変動係数一定の場合よりも約 60%短く推定されている。よって、腐食レールの寿命推定においては、標準偏差一定の場合の 5%破壊確率 S-N 曲線を用いる方が、変動係数一定の場合と比較して安全側に評価されることとなる。

青函トンネルの年間通トン約 1200 万トンを考慮すると、青函トンネル内の著しい腐食環境下におけるレールの寿命はおよそ 14 ~ 15 年であると推定される。

6．おわりに

腐食レールの疲労強度は孔食深さによって大きく異なり、また孔食の成長は環境条件によって大きく異なるため、本研究での青函トンネル内腐食レールの推定寿命年数を交換基準として一律に定めるのは困難である。今後は環境条件による孔食進みの違いを把握するとともに、孔食深さと疲労強度の関係を明らかにし、腐食レールの交換基準の確立について更に検討を進めていきたい。

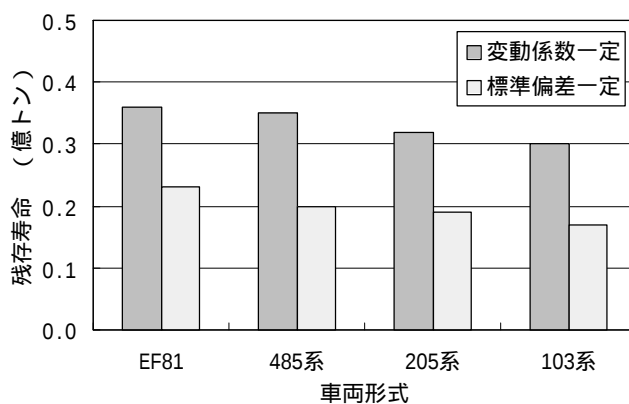


図 3 青函トンネル内腐食レールの残存寿命
(5%破壊確率、敷設後約 13 年経過)

参考文献 1) 佐藤裕, 佐藤嘉晃: レールの寿命, 鉄道技術研究報告, No.476, 1965.6
2) 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), Vol.46 No.412, 1980.12
3) 石田, 三浦, 河野: 軌道動的応答モデルとその解析結果, 鉄道総研報告, Vol.1 No.12, 1997.12