

東海道貨物支線におけるレール管理手法の一考察

東日本旅客鉄道(株) 正会員 井上 由美子

1. はじめに

H18年度に東海道貨物支線(以下、東貨支線)において、2件のレール損傷が発生した。いずれも、レール等一般検査、レール臨時検査(Ric-N)、総合巡視での異常は認められていなかった。トンネル内の湿潤箇所では、レール全体が錆びたり腐食したりしている場合があり、Ric-Nによる探傷検査において超音波が正常にレール内部に入射しにくいため、レール底部の電食や腐食レールの発見が困難となる。また、漏水によりレールが膨張して形状変化している箇所の目視による判断が困難な状況にあるため、東貨支線トンネル内のレール管理に苦慮している。H18年度のレール損傷事故後、品川保線技術センターでは、トンネル内の漏水箇所におけるレールを対象に交換周期基準を5年以内と定め、台帳管理をしている。交換周期は、交換履歴、漏水状態、目視によるレールの形状変化等から判断して2年、3年、5年と決めているが交換すべき明確な判断基準はない。

本研究では、東貨支線のトンネル内の漏水箇所において、適切な交換周期を明らかにすることを目的とし、環境条件のこととなる発生レールを用いて疲労試験を行った。また、現場におけるレールを管理する上での、底部中央の腐食量の把握方法について検討した。

2. 疲労試験

東貨支線トンネル内のレール交換を行った発生レールを用いて、疲労試験を行った。試験レールは、交換周期基準5年以内を考慮して敷設年数が5年前後のものを対象とし、漏水の有無、レール底部に堆積した砂の有無の現場調査結果から異なる環境条件のレールを6本選定した。

(1) 試験概要

試験はサーボ型の油圧式曲げ疲労試験機を用い、レール頭部を上方にした状態で3点曲げの疲労試験を行った。疲労試験の概要は表1に示した通りで、底部凹凸量は、レーザー変位計を用いて測定した値である。応力振幅はサイン波3Hzで行った。試験前には、レール全体の錆をハンマーで叩き落とし、レール母体の形状変化を確認した。

表 1. 疲労試験の概要

No.	累積通トン (百万トン)	砂の有無	水の有無	応力振幅 (Mpa)	支点間距離 (mm)	荷重(KN)	曲げ応力 (Mpa)	結果	繰返し回数	底部凹凸量 max(mm)	底部端厚さ (mm)
1	35	×	○	180Mpa	1400	145	185.2	未破断	200万回	0.5	12.4
2	35	×	○	160Mpa	1400	130	166.1	未破断	200万回	0.8	12.4
3	52.5	○	○	200Mpa	1400	160	204.4	未破断	200万回	0.2	12.4
4	100.6	×	○	180Mpa	1260	160	183.9	破断	40万4千回	2.2	11.1
5	102.1	○	×	200Mpa	1400	160	204.4	破断	23万8千回	1.9	10.5
6	118.1	○	△	200Mpa	1400	160	204.4	未破断	200万回	0.4	11.5

※砂の有無、水の有無は○が有、×が無、△は多少あり、である

(2) S-N 曲線

今回の破断試験の結果を、既往の研究¹⁾により求められているレールのS-N曲線にプロットしたものを図1に示す。これらの試験レールは、トンネル内の腐食環境下で約5年~6年間敷設されていたものである。図1より、破断した2本のレールは同じ海底トンネルである新関門Tおよび関門TのS-N曲線上であり、羽田T(東貨支線)の応力全振幅と繰返し数の関係は、新関門Tおよび関門Tと大きな差が無い結果が得られた。

(3) 破断までの通トン

疲労試験を行ったレールに対して、疲労強度を評価するために破断までの通トンを以下のように求めた。

ここで、 σ : 曲げ応力(Mpa)
 P : 荷重(kN)
 l : スパン(mm)
 Z : 断面係数(mm³) 50N=274cm³

$$\sigma = \frac{Pl}{4Z} \quad \text{式(1)}$$

式(1)を用いて、表1の各試験体の曲げ応力から、東貨支線スラブ軌道のレール締結装置間隔(635mm)での荷重Pを求め、Pに破断までの繰返し回数を乗ずることで破断までの残存通トンを求めた。結果を表2に示す。算定結果より、東貨支の年間通トンは約17.5百万トンであることから破断した2本のレール(No. 4、5)の残存通トンは1年満たないことがわかる。No. 4、5のレールは敷設後5年以上経過後の交換であったが、算定した残存通トンを加味しても、5~6年で破断する恐れがあることがわかった。ここで注意しなければならないのは、実際には頭部摩耗や底部腐食によりレールの断面形状が変化しているため式(1)の断面係数Zが274cm³より小さくなっていることが考えられ、残存通トンも算定した値よりも小さくなることである。

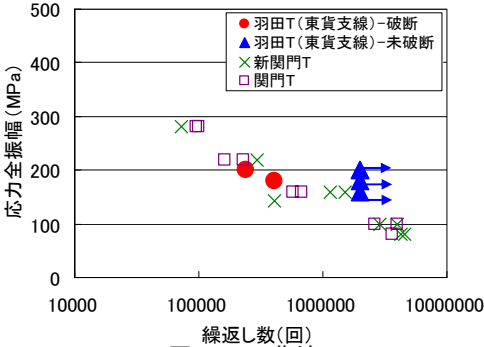


図 1. S-N 曲線

表 2. 残存通トン・推定余寿命

No.	残存通トン (百万トン)	推定余寿命
1	65以上	3.73年
2	58以上	3.34年
3	71以上	4.11年
4	13.1	0.74年
5	8.6	0.49年
6	71以上	4.11年

キーワード レール 電食 疲労試験

連絡先 【住所】〒108-0075 東京都港区港南2-1-29 高輪総合事務所4F 品川保線技術センター

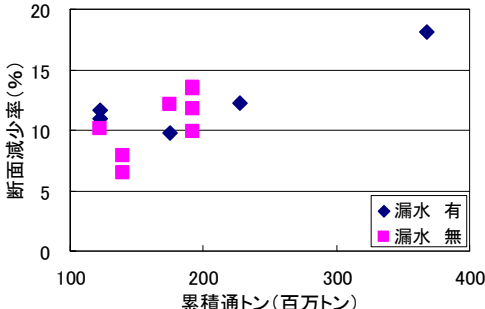
【電話】03-3443-2869 【FAX】03-3443-1606

3. 経年によるレール変状

経年とともにレールがどのように形状変化していくのか確認を行うために、敷設年数の異なる発生レールを約2cm幅のスライスレールにして比較を行った。写真1に代表的ないくつかを示す。大半が、底部締結部分が挟れる様に減少しており、経年数が多いほど頭部の摩耗が進んでいた。例外としては腹部に凹みがあるものも存在したが、現場敷設時は腐食により錆が付着しており外観からは把握しづらい状況にあったものである。



また、スライスレールを紙に模写したものをスキャンでPCに取り込み、断面積算定ソフト(cad)にて、断面積の算定を行い、新レールと比較した断面減少率を求めた。図2に断面積減少率と累積通トンの関係を示す。漏水の有無に関わらず、累積通トンが大きいほど断面減少率は大きくなる傾向にあることがわかる。10年未満のレールに関しては、断面減少率は約10%程度であり、残存通トンの算定において断面係数を単純に10%減として算定すると、推定余寿命が約0.3~0.4年縮まる結果が得られた。一方で、国鉄当時の判定標準であった断面減少率24%と比較すると十分に余裕があることがわかった。



4. 底部中央腐食量の把握

2.の疲労試験より、破断した2本のレールの底部中央に約2mmの腐食孔があり、破断面を確認すると、腐食孔を起点とする疲労破面が確認できた。この腐食孔を起点に疲労亀裂が底部から頭部に向かって進展し破断に至ったと推定される。したがって、底部中央の腐食量を把握することはレール管理を行う上で重要であると考えられるが、現場において、底部中央腐食量を実測して確認することは難しいため、底部腐食量の把握方法について検討を行った。

(1) 底部中央腐食量と端部腐食量

表1より破断したレール底部端の厚さは、約1~1.5mm減少していたことが分かる。レール底部端であれば、現場での実測も可能である。そこで、底部端腐食量から底部中央の腐食量が推定できるか、東貨支線の発生レールを用いて検討した。図3に端部腐食量と中央部腐食量の関係を示す。中央部と端部の腐食量に相関はなく、現場にて端部の腐食量を確認しても、中央部腐食量を推定することは難しいことが分かった。

(2) PRD-100C 測定値と実測値

レール底部探傷画像の拡大機能が付加されたPRD-100Cでは、レール底部の腐食状態を、より鮮明に確認できるようになっている。そこで、PRD-100Cにて底部中央の腐食量が把握できないか検討することにした。まず、PRD-100Cの探傷画像上の深さと実物摩耗量の検証を行い試験レール製作値の深さと画像上の腐食深さがほぼ一致することを確認した。次に東貨支線の発生レールの実測とPRD-100Cの測定を行った。結果を図4に示す。多少バラツキがあるものの、比較的PRD-100Cによる測定値と実測値は一致しており、PRD-100Cの探傷可能領域内であれば、底部腐食量を把握するのに有効であると考えられる。

5. まとめ

本研究により得られた知見を以下に挙げる。

- ① 疲労試験前のレール母体の確認において未破断のレールは、錆を落とすとほぼ健全なレールと同じ状態で、底部に腐食孔のようなものは見られず、破断した2本のレール底部には2mm程度腐食している箇所が見られた。しかし、漏水や砂の堆積物がレール腐食に及ぼす影響は今回の結果からは明らかにすることができなかった。
- ② 疲労試験の結果より、推定余寿命を算定すると破断したレールは1年未満という結果となり、敷設経年が約5年であることから交換周期基準の5年以内は適切であったと考えられる。
- ③ 経年によるレールの断面積減少率は10年未満であれば約10%程度であり、残存通トンの算定にて断面減少率を考慮すると推定余寿命が約0.3~0.4年縮まる結果が得られた。
- ④ 中央部腐食量と端部の腐食量には相関は見られないが、中央部腐食量とPRD-100Cによる測定値は比較的相関が高く、探傷可能領域については底部腐食量を把握するのに有効であると考えられる。

参考文献

1) 塩害腐食レールの寿命評価及び対策工法の開発 -財団法人 鉄道総合技術研究所 指定課題報告-