

レール探傷車側摩耗データの摩耗予測およびレール状態評価への活用

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○真木 二郎, 三和 雅史
四国旅客鉄道株式会社 正会員 高原 崇

1. はじめに

曲線でのレールの交換要因の一つである側摩耗については、箇所によって様々に進行するため、従来から各曲線において摩耗量の最大地点を目視にて確認し、測定・管理されてきた。一方でレール探傷車には探傷機能の他にレール摩耗測定機能が搭載されているため、5m毎の摩耗量を得ることができる。レール探傷車の測定地点は走行毎に同じとは限らないことから、定点での摩耗量ではないものの曲線全体に渡って側摩耗データを得られるため、各曲線における摩耗量の平均的な進みを把握できるというメリットがある。そこで本研究ではレール探傷車で得られた摩耗量と横圧（推定値）の関係を分析し、摩耗予測モデル構築のための基礎的な検討を行った。また、側摩耗データのレール状態（凹凸等）評価への適用の可能性についても検証する。

2. 側摩耗データ

本分析ではレール探傷車により測定した本線の側摩耗データを用いた。測定区間の概要を表1に示す。

各区間ともレール探傷車による測定回数が少なく履歴データとして扱えなかったことから、一回分の測定データのみを用いた。これらの区間は曲線数が多くなるよう選定した。また車種構成や列車本数は区間毎に異なるが区間内では同一である。なお、側摩耗データは左右レールのGC部摩耗量をキロ程情報と併せて記録したものであり、グラフに展開した例を図1に示す。

本図のように各曲線の摩耗量は曲線内において変動することを考慮し、円曲線部の平均摩耗量および最大摩耗量を算出して、これらを各曲線の代表値とした。なお、円曲線長が50m以下の曲線および副本線のある駅構内の曲線のデータについては除外した。

表 1 : 測定区間概要

区間	延長 (km)	曲線 数	曲線総 延長(m)	曲線半径 (m)	通トン (万 t/年)
1	32	88	19310	231~1415	200
2	20	48	10611	300~2000	210
3	20	58	12075	272~3529	530

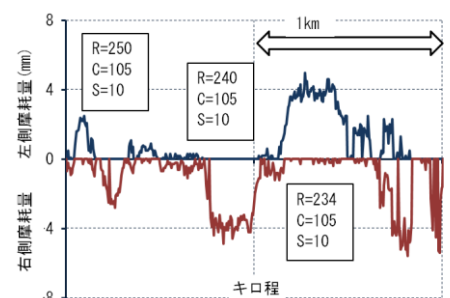


図 1：側摩耗データの例

3. 側摩耗量の予測モデル構築のための検討

本検討では外軌に横圧が繰り返し作用することで側摩耗が成長すると考え、各車軸の外軌側横圧に、これを生じる車軸数をレール敷設後の経年分乗じることで作用した横圧の累積値(累積横圧)を求め、これを平均摩耗量と比較する。

(1) 外軌側横圧の算定

外軌側横圧 $\overline{Q_0}$ は文献¹⁾における式(1)を用いて算出した。本式に用いる曲線諸元や車両諸元については各台帳等の数値を利用した。この横圧については、平均摩耗量に着目することから定常横圧を用いた。

$$\overline{P_i} = \frac{W_0}{2} \left\{ \left(1 + \frac{v^2}{gR} \cdot \frac{C}{G} \right) - \frac{H_G^*}{G/2} \cdot \left(\frac{v^2}{gR} - \frac{C}{G} \right) \right\}, \quad \overline{Q_i} = \kappa \overline{P_i}, \quad \overline{Q_0} = \overline{Q_i} + W_0 \left(\frac{v^2}{gR} - \frac{C}{G} \right) + \beta \frac{2kb_2^2 c}{aR} \dots\dots\dots (1)$$

W_0 : 静止輪重(kN), v : 走行速度(m/s), g : 重力加速度(m/s²), R : 曲線半径(m), C : カント(m), G : 軌間(m),
 H^*_G : 車両有効重心高さ(m), k : まくらばね前後剛性(kN/m), $2b_2$: 左右まくらばね間隔(m),
 $2c$: 台車中心間隔(m), $2a$: 軸距(m), $\overline{P_i}$: 内軌側輪重(kN), $\overline{Q_i}$: 内軌側横圧(kN)
 β : 定数 $\beta=0.7$ [$R \leq 200$], $\beta=0.7 \times (380-R)/180$ [$200 < R \leq 1000$], $\beta=-2.4$ [$1000 < R$]
 κ : 内軌側横圧輪重比 $\kappa=175/R$ [$R > 500$], $\kappa=0.35$ [$R \leq 500$]

(2) 累積横圧の算定

キーワード レール探傷車, 側摩耗, 横圧, 累積横圧

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2丁目8番地38 (公財)鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7278

文献¹⁾に基づき車両後軸の横圧は考慮しないものとし、各曲線での通過車軸数の半分を外軌側横圧に乘じて累積横圧を算出した。

(3) 累積横圧と側摩耗の関係

累積横圧と側摩耗との関係については、通過車軸数の8割以上が特急車であり、摩耗量が多い区間1を最初に確認した。ここで、従来より側摩耗量の推移モデルとしては通過トン数に基づくものが提案されている²⁾ことから、比較のためレール敷設後の経年(輸送条件の変化がほぼないため通過トン数の累積値に相当)と平均摩耗量との関係を併せて確認した。経年との関係を図2に、累積横圧との関係を図3に示す。

両者を比較すると図2では経年と平均摩耗量との関係が $R<250$ で明確であるが、他の曲線半径ではあまり明確ではない。一方、図3では累積横圧と平均摩耗量との関係が他の曲線半径、特に $500\leq R$ において図2よりも明確になる等、累積横圧を評価軸とした方が側摩耗を精度良く推定できると考えられる。そこで、同様の分析を区間2・3についても行ったところ傾向は区間1と同様であり、区間2ではより明確な関係が得られた。但し区間3では特定の諸元の曲線($R=290\pm 20, C=100\pm 5, S=10$)の平均摩耗量が同区間の他の曲線に比べて少なく、他の曲線では累積横圧に対する摩耗量が他の区間に比べて少なかった。このように特定の曲線条件や線区において傾向が異なる点については今後明らかにする必要がある。

また区間1での平均摩耗量と最大摩耗量の関係を図4に示す。最大摩耗量は概ね平均摩耗量の1.3倍程度であるが、一部の曲線においては最大摩耗量が平均摩耗量に比べてかなり大きい。そこで、これらの曲線におけるデータを分析したが、共通した特徴は伺えなかった。ただしこのような最大摩耗量が平均摩耗量に対して大きい曲線では、局所的に大きな摩耗量が存在することから衝撃横圧などの変動横圧が影響している可能性があり、軌道変位などからも検証を行う必要があると考えられる。

4. 側摩耗データによるレール状態評価

本研究で側摩耗データを分析した結果、何れの区間においても摩耗量の変動が大きい曲線が散見された。そこで、これらの曲線のレール状態を軌道検測車で撮影した画像と照合したところ、頭頂面の凹みやGC部の剥離が疑われる箇所が見つかった。図5に凹みと剥離の両方が見られた箇所の例を当該箇所の摩耗量と共に示す。レール探傷車では側摩耗をレール断面形状から算出するため、このようなレール状態の劣化が側摩耗データに現れると考えられる。よって、レール探傷車で測定した側摩耗データをレールの状態評価に活用できる可能性がある。

5. おわりに

側摩耗について累積横圧を評価軸として推定する方法は、経年(通トン)を評価軸とする方法に対してより適切であることを確認した。また、側摩耗データをレール状態評価に活用できる可能性についても確認した。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説—軌道構造，pp.265-272，丸善出版，2012
- 2) 須田・長門・徳岡・三浦編：新しい線路—軌道の構造と管理—，p63，日本鉄道施設協会，1997

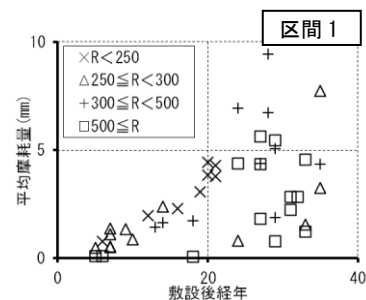


図2：経年対平均摩耗量

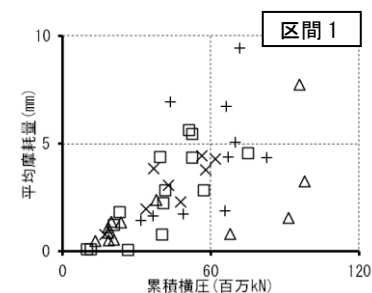


図3：累積横圧対平均摩耗量

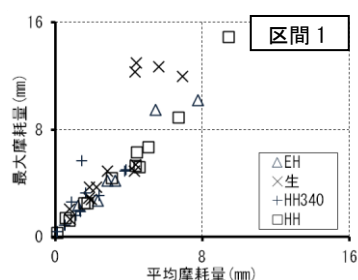


図4：平均摩耗量対最大摩耗量

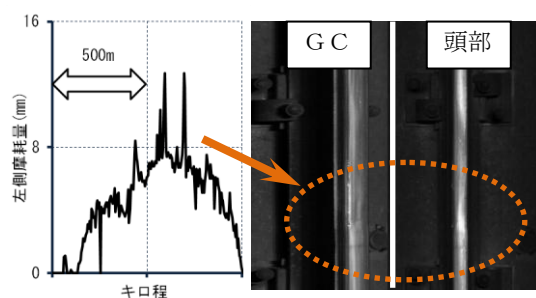


図5：レールに凹み・剥離が見られた例