

車体加速度を用いた内軌波状摩耗の検出手法

鉄道総合技術研究所 正会員 猿木 雄三
 鉄道総合技術研究所 正会員 田中 博文
 鉄道総合技術研究所 正会員 清水 惇
 九州旅客鉄道株式会社 正会員 福山 幹康

1. はじめに

主に急曲線の内軌に発生する波状摩耗は、鉄道沿線への騒音や振動および軌道変位進みを助長するため、適切な保守・管理が求められている。現在の波状摩耗の管理は、一区間につき、数カ所の波高を測定する簡易な方法が用いられているが、この方法では全線の連続的な検査は困難である。また、波状摩耗は列車の走行に伴って日々成長するので、定期的な管理手法が求められている。

線路長手方向に分布する波状摩耗を効率的に管理するには、線路上を走行する列車によるモニタリングが有効である。一方、波状摩耗は軸箱加速度との相関が高いことが確認されているが¹⁾、車両の床下に加速度センサを設置するため、適用範囲が限られる場合がある。そこで本研究では、軸箱加速度に加え、床上に加速度センサを設置し、これを用いた効率的な内軌波状摩耗の抽出手法を検討した。

2. 加速度測定の概要

加速度測定は、在来線を走行する特急型車両を用いた営業車で実施した。軸箱加速度は先頭車の前軸の左右端で、車体加速度は先頭車の前台車直上で測定した。軸箱加速度のセンサは、定格容量 50G で応答周波数帯域 1500Hz のものを用いた。車体加速度のセンサは、通常の車両動揺の測定とは異なり数十～百数十 Hz 程度の波状摩耗に起因する振動成分を測定するため、定格容量 10G で応答周波数帯域 500Hz のものを用いた。

3. 車上測定データによる波状摩耗の検出

3. 1 周波数分析による波状摩耗成分の特定

図1に、軸箱加速度および車体加速度のパワースペクトルの例を示す。区間A・Bともに曲率半径は250m、列車の走行速度は約80km/hである。区間Aは内軌波状摩耗発生区間であり、空間周波数で約7[1/m] (波長14~15cm

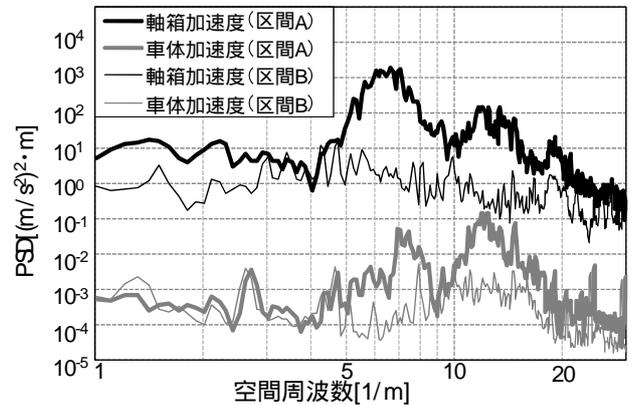


図1 軸箱加速度と車体加速度のパワースペクトルの例

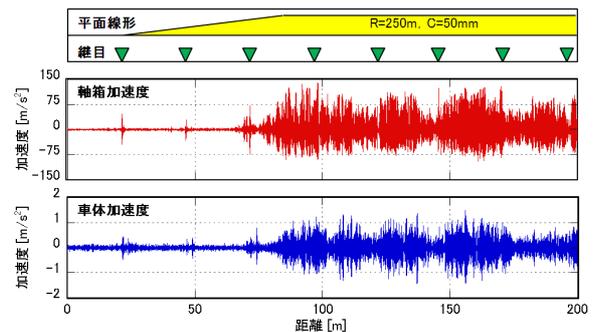


図2 BPF処理による内軌波状摩耗の検出例

程度)の帯域でピークが見られ、区間Bではこの帯域に明確なピークは見られないことから、これが内軌波状摩耗に起因するピークであることが分かる。

3. 2 BPF処理による波状摩耗成分の抽出

波状摩耗はレールに形成される周期的な凹凸であることから、空間周波数軸上でバンドパスフィルタ(以下、BPFという)処理する方が、列車の走行速度の変化にも対応でき合理的である。試験線区における内軌波状摩耗の波長は、10~20cm程度であったため、10~25cmのBPF処理によって検出することとした。この処理によって、列車速度に係わらず内軌波状摩耗を評価することが可能となる。図2に、内軌波状摩耗の検出例として、BPF処理した軸箱加速度および車体加速度の波形を示す。フィ

ルタ処理を行うことで、両者で波状摩耗の検出が確認できる。

3. 3 レベル化処理による波状摩耗の検出

本研究では、波状摩耗の検出手法としてレベル化処理を用いる。この処理を行うことによって、加速度波形のように連続量として表示できながらも、処理アルゴリズムに含まれるローパスフィルタ処理によってデータ圧縮が可能となる。したがって、サンプリング間隔を広く設定でき、システム上で軌道検測データ等と同様に扱うことができる。通常、レベル化処理は時間軸上で行われるが、3.2節で述べたように、波状摩耗は空間軸上での現象であるため、式(1)に示す「空間重み付きレベル」を定義し、空間軸上でのレベル化処理を行う。

$$L(x) = 10 \log_{10} \left\{ \frac{1}{\kappa} \int_{-\infty}^x a^2(\zeta) e^{-\frac{(x-\zeta)}{\kappa}} d\zeta \right\} / a_0^2 \quad (1)$$

ここで、 $L(x)$: 観測位置 x における空間重み付きレベル[dB]

κ : 空間重み付けのための空間定数[m]

ζ : $-\infty$ で表すある手前の位置から観測位置 x までの積分変数

a_0 : レベル化のための基準値
($a_0 = 10^{-5} [m/s^2]$)

図3に、図2と同じ区間の軸箱および車体加速度のレベル化処理した波形を示す。ここで、空間軸上で重み付けを行うための空間定数 κ は 1m としている。

図3より、波状摩耗発生区間とそれ以外の区間のレベル差は、軸箱加速度が最も大きく検出精度は高いと考えられるが、車体加速度においても明確なレベル差が得られており、両者共に内軌波状摩耗の発生区間を検出可能であることが分かる。

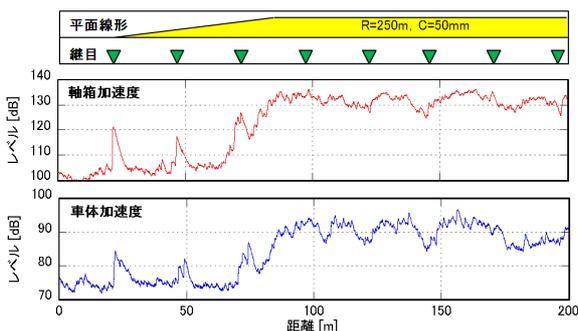


図3 レベル化処理による内軌波状摩耗の検出例

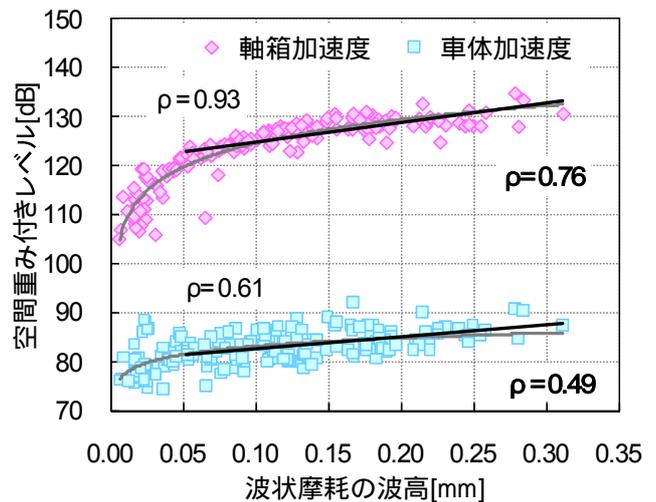


図4 波状摩耗波高と空間重み付きレベルの関係

4. 車上データと波状摩耗波高の相関性の検討

車上データから波状摩耗の存在が推定された区間に対して、その検出精度を検証するために、地上で連続的に波状摩耗の波高と波長を測定した。この結果と車上測定データを比較し、波状摩耗の波高との相関性を検証する。

図4に、軸箱および車体加速度のレベル値と、内軌波状摩耗の波高の関係を示す。なお、各プロットは5m間の平均値で、継目前後は除去している。図4から、両者の関係は対数関数で近似できることが分かる。しかし、実務面を考慮すると、管理対象となる波高は0.1mm以上であり、指標と波高の関係は線形回帰である方が簡易的で良い。そこで、波高0.05mm以上のデータを対象とした線形回帰式を求めた結果、対数回帰と同等の相関があることが確認できた。

5. まとめ

- (1) 軸箱加速度および車体加速度の周波数分析の結果、内軌波状摩耗に起因する成分が見られた。これらのデータに対し、空間軸上で5~25cmのBPF処理を行うことで、車体加速度で軸箱加速度と同程度に内軌波状摩耗を検出できた。
- (2) 車体加速度をBPF処理し、空間重み付きレベル化処理したデータから、波状摩耗の発生に加え、波高についてもレベル値から推定できることが分かった。

参考文献

1) 須永陽一, 井出寅三郎, 金尾稔: 軸箱加速度を活用した短波長軌道狂いの管理手法, 総研報告, Vol.9, No.2, pp.35-40, 1995.