

S2-1-1.

営業車の軸箱左右加速度を活用した 急曲線の継目形状管理に関する検討

[土] ○吉 田 昌 史 (鉄道総合技術研究所)
[土] 篠 脇 諭 (九州旅客鉄道)
[土] 須 永 陽 一 (前鉄道総合技術研究所)

A Study on Lateral Axlebox Acceleration for Detecting Irregularities of Rail Joints on Sharp Curves

Masafumi YOSHIDA (Railway Technical Research Institute)

Satoshi SHINOWAKI (Kyushu Railway Company)

Youichi SUNAGA (Formerly Railway Technical Research Institute)

When a vehicle runs at high speed on sharp curves, if shape of a rail joint is bad, impact lateral force tends to occur. Therefore, it is important to control rail joint shape adequately. We examined a method to utilize lateral axlebox acceleration of the operated vehicle run a line ward in the maximum speed, for detecting irregularities of rail joints on sharp curves. As a result, As a result, we confirmed that there was correlation to lateral axlebox acceleration and 2m-versine alignment. In this paper, we describe the contents which we examined.

キーワード：軸箱左右加速度，急曲線，レール継目形状，短波長通り狂い

Keyword: Lateral axlebox acceleration, Sharp curves, Rail joints, Short-wave track alignment

1. はじめに

急曲線区間のレール継目部（以下、継目）側面に不整が生じると、車両が走行する際に衝撃的な横圧が顕著となる傾向があるため、継目形状の適切な管理が求められている。ここでは、線区を最高速度で走行する営業車両の軸箱左右加速度を用いて継目側面の不整箇所を効率的に検出・管理する方法について検討を行った内容を述べる。

2. 軸箱左右加速度について

ここでの軸箱左右加速度とは、車軸を保持し台車枠を支持する軸箱上に設置した加速度計により測定した左右方向の振動加速度のことをいう。また、上下方向の振動加速度を軸箱上下加速度という。

軸箱上下加速度は、著大輪重との相関が強く、また、レール凹凸やレール波状摩耗、道床状態の劣化による浮きまぐらぎの管理に活用できることが報告されている¹⁾。

一方、軸箱左右加速度は著大横圧と相関があり、軸箱左右加速度に一定の処理を行えば著大横圧発生箇所の検出は可能であるという知見が得られている^{2), 3)}。しかしながら、軸箱左右加速度は、上下方向の加速度成分や車輪・軸箱間の横動分の影響を受ける可能性があるため、その活用にあたっては、振動の特性を把握した上で適切な処理と評価を行う必要がある。

3. 軸箱左右加速度の急曲線走行時の周波数特性

<3.1> 軸箱左右加速度と軸箱上下加速度の周波数特性

速度 70km/h で急曲線を通過している区間における軸箱加速度（左右・上下）のパワースペクトル密度を図 1 に示す。図より、軸箱左右加速度は 7.7Hz に最大のピークがあるものの、軸箱上下加速度は 7.7Hz に顕著なピークは見ら

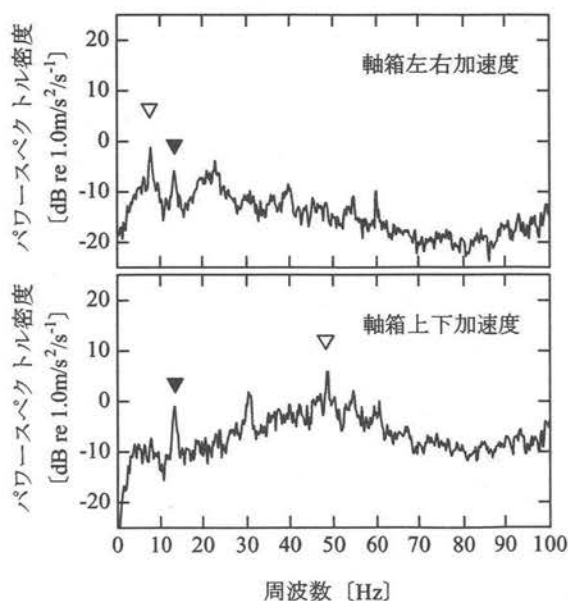


図 1 軸箱加速度のパワースペクトル密度

れない。したがって、7.7Hz 付近の軸箱左右加速度は、継目側面の不整に起因する振動を捉えていると推測される。一方、13Hz 付近のピークは、軸箱左右・上下加速度の両方で確認できるため、継目側面の不整だけに起因する振動ではない可能性がある。また、軸箱上下加速度は 50Hz 付近が最大となっている。以上のことから、本論文では軸箱左右加速度の比較的低い周波数成分に着目して検討を行った。

<3.2> 軸箱左右加速度の空間周波数特性

急曲線が連続する区間における軸箱左右加速度のパワースペクトル密度を図 2 に示す。図の横軸は、波長の逆数である空間周波数を表している。図 2 より、0.04 [1/m] 間隔でピークが存在していることと、0.39 [1/m] 付近に最大のピークが生じていることがわかる。空間周波数 0.04 [1/m] は継目間隔 25m と一致し、空間周波数 0.39 [1/m] は車輪の 1 回転長 2.54m と一致する。したがって、急曲線区間における当該車両の軸箱左右加速度は、継目間隔に起因する波長と、車輪 1 回転長の波長が卓越する傾向があることがわかる。継目部における変動を的確に抽出するためには、波長 2.54m の車輪回転による影響について検討する必要があると考えられる。

4. 継目部における軸箱左右加速度の変動成分の抽出

曲線半径 250m の区間について、軸箱左右加速度と継目側面形状との比較を行った。走行速度は 80km/h であった。20Hz (波長 1.1m)、10Hz (波長 2.2m) カットオフのローパスフィルタ (以下、LPF) 処理後の軸箱左右加速度を図 3 に示す。また、曲線外軌側継目側面の形状を 2m ストレッチにより測定した結果を図 4 に示す。図 4 の継目中央 (距離=0m) と図 3 の継目位置での軸箱左右加速度振幅の大小関係は一致しており、軸箱左右加速度が継目部における変動を捉えていることがわかる。また、図 3 上部に示した 20HzLPF 処理後の波形では、継目部以外の全体にわたる変動が生じているものの、図 3 下部に示した 10HzLPF 処理後の波形では、車輪 1 回転長 2.54m に相当する周波数 (8.7Hz) による変動も顕著でなく、継目側面の不整箇所の検出が可能であると考えられる。そこで、継目部における 2m 弦正矢の通り狂いと 10HzLPF 処理後の軸箱左右加速度との関係を求め図 5 に示した。両者の間には、ばらつきはあるものの、相関があることがわかる。

さらに、図 6 には、レール交換前後における 10HzLPF 処理後の軸箱左右加速度の波形を示す。レール交換後は継目部の軸箱左右加速度が小さくなっており、継目形状が改善された結果が反映されていると推定される。

5. 軸箱左右加速度と短波長通り狂いとの関係

急曲線における軸箱左右加速度と短波長軌道狂いの関係について詳しく検討するため、2m 弦正矢通り狂いを連続

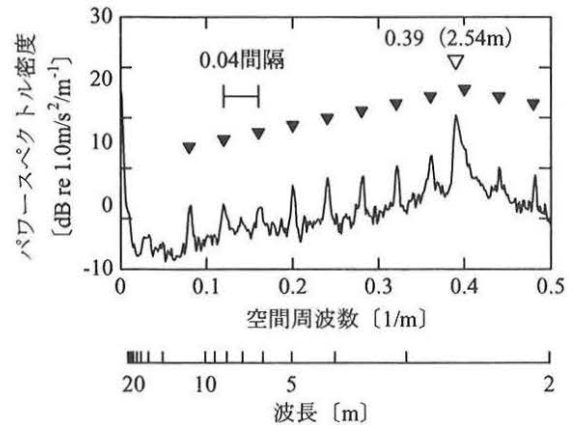


図 2 軸箱左右加速度のパワースペクトル密度

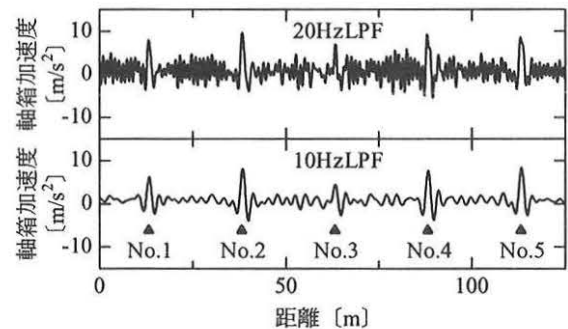


図 3 急曲線走行時の軸箱左右加速度 (速度 80km/h)

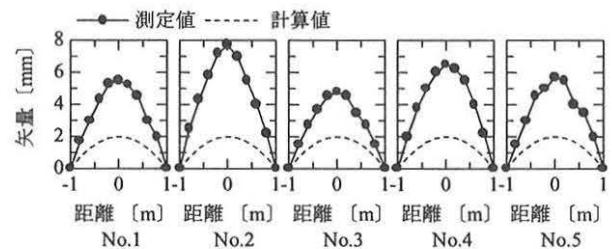


図 4 急曲線外軌レールの継目側面形状

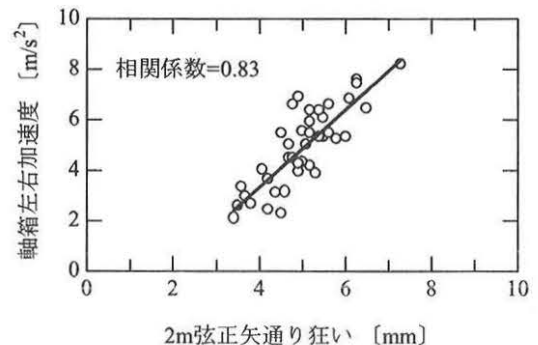


図 5 2m 弦正矢通り狂いと軸箱左右加速度の関係

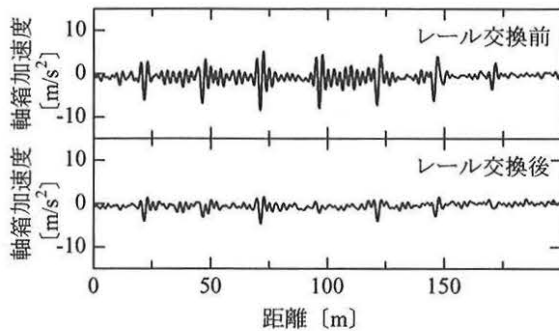


図6 レール交換前後の軸箱左右加速度
(10HzLPF 処理後)

的に測定した。測定は、簡易型の軌道狂い検測装置を用い、サンプリング間隔 10cm で行った。なお、測定される通り狂いは、静的な通り狂いである。

<5.1>急曲線における短波長軌道狂い

急曲線を含む区間における、2m 弦正矢通り狂いから算出した復元波形（復元波長帯域 1.2~10m）のパワースペクトル密度を図7に示す。図7より、当該区間の通り狂いには、図2で示した軸箱左右加速度の場合と同じように、0.04 [1/m] 間隔でピークが存在していることがわかる。また、空間周波数が高いほど、ピークの値は小さいため、波長が短ければ通り狂いの振幅は小さい傾向があることがわかる。

<5.2>軸箱左右加速度と通り狂いの周波数分析

曲線半径 250m の区間について、図8に示すように、軸箱左右加速度（走行速度 75km/h）と通り狂いとのコヒーレンスを算出した。この区間の軌道構造は、50N レール、PC まくらぎ特殊区間用、道床厚 250mm である。図8より、空間周波数が 0.36 [1/m] より低い帯域では、コヒーレンスは 0.9 以上であり、相関が強いことがわかる。一方、空間周波数 0.4 [1/m] 付近の帯域では、コヒーレンスが小さく落ち込んでいる。これは、車輪1回転長と一致する空間周波数が 0.39 [1/m] であることから、車輪回転による振動と静的な通り狂いとの相関がないためであると考えられる。また、空間周波数 0.45~0.6 [1/m] のコヒーレンスは 0.8 程度であり、両者にはある程度の相関があると推測される。なお、空間周波数 0.6 [1/m] は、走行速度が 75km/h の場合、12.5Hz に相当する。4章で述べた LPF 処理のカットオフ周波数 10Hz を、12.5Hz としても良い可能性がある。

図9に、図8と同じ区間について、通り狂いの復元波形に対する軸箱左右加速度の周波数応答と、2m 弦正矢の検測特性を示す。図9において空間周波数 0.6 [1/m] 以下に着目すると、両者とも空間周波数 0.5 [1/m] の振幅利得が最大となっていることがわかる。また、軸箱左右加速度の振動特性と 2m 弦正矢の検測特性が似ていることがわかる。したがって、軸箱左右加速度と 2m 弦正矢通り狂いの振幅同士でも、図5に示したようなある程度の相関のある結果

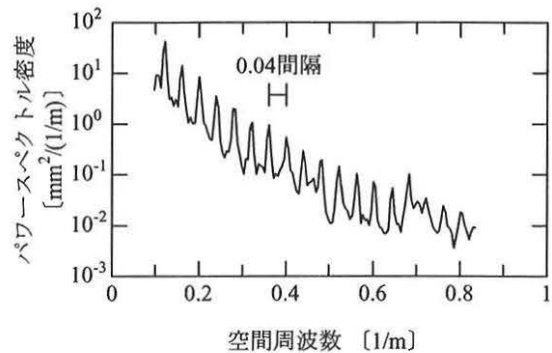


図7 通り狂い復元波形のパワースペクトル密度

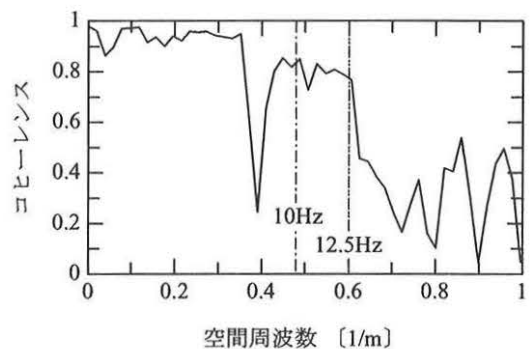


図8 軸箱左右加速度と外軌側通り狂いの
コヒーレンス（曲線半径 250m, 速度 75km/h）

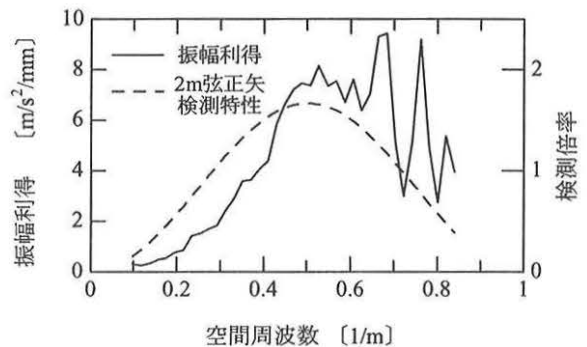


図9 軸箱左右加速度の振幅利得と
2m 弦正矢の検測特性

が得られると考えられる。

<5.3>車輪回転による影響

車輪1回転長と一致する波長帯の成分を除去することを目的とし、カットオフ空間周波数 0.36 [1/m] で、軸箱左右加速度と 2m 弦通り正矢のそれぞれに LPF 処理を行った波形を図10に示す。継目部だけでなく全体にわたって、軸箱左右加速度の波形が 2m 弦正矢通り狂いによく似た傾向を示していることがわかる。一方、図11には、LPF 処理後の軸箱左右加速度の振幅と 2m 弦通り正矢の関係を表し

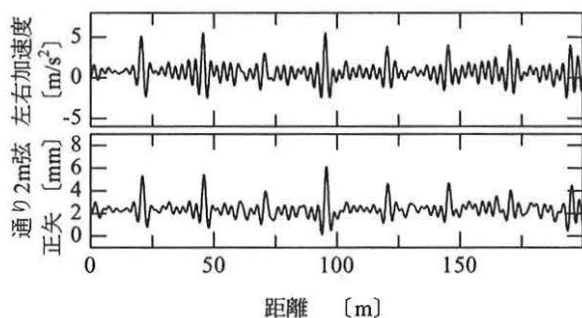


図 10 軸箱左右加速度と 2m 弦通り正矢
(両者とも車輪 1 回転長以下の波長を除去)

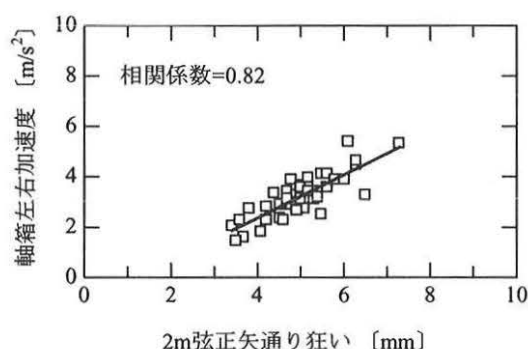


図 11 2m 弦通り正矢と軸箱左右加速度
(車輪 1 回転長以下の波長を除去) の関係

ている。両者の相関係数は 0.82 であり、車輪 1 回転相当の波長を含む図 5 の相関係数と同程度であった。したがって、軸箱左右加速度と 2m 弦正矢通り狂いとのある程度のばらつきがある関係の中では、車輪回転の影響は相対的に小さいと考えられる。

6. 軌道の動的な変形の軸箱左右加速度への影響

5 章の検討により、軸箱左右加速度と通り狂いとの間には、特に車輪 1 回転長よりも短い波長において、強い相関があることがわかった。しかしながら、対象とした通り狂いは静的なものであるため、軌道の動的な変形が顕著な区間では相関が弱くなることが容易に推測される。

例として、無道床橋りょう（曲線半径 250m、カント 60mm）を含む区間について、軸箱左右加速度（走行速度 70km/h）と外軌レールの 2m 弦通り正矢、および外軌レール側の軸箱上下加速度の波形を図 12 に示す。図 12 の波形は、図 10 と同じ LPF 処理を行っている。図 12 より、無道床橋りょう区間において、軸箱左右加速度と 2m 弦通り狂いとは傾向に違いあることがわかる。一方で、軸箱左右加速度と、軸箱上下加速度の波形が比較的似ていることがわかる。したがって、軸箱左右加速度と軸箱上下加速度との関係の定量的な把握には至っていないものの、軸箱左右加速度によって検出された継目部不整箇所について補修を

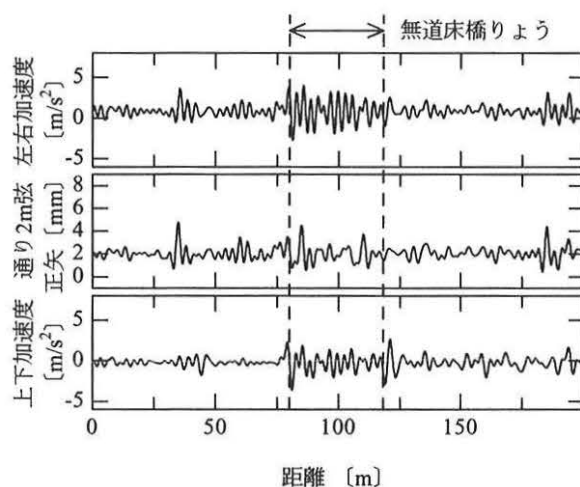


図 12 無道床橋りょう区間の波形

行う際には、軸箱上下加速度も併用して補修方法を検討することが望ましいと考えられる。

7. まとめ

線区を最高速度で走行する営業車両の軸箱左右加速度を用いて継目部側面の不整箇所を効率的に検出・管理する方法について検討した結果をまとめると以下の通りである。

1. 軸箱左右加速度に 10Hz の LPF 処理を行うことで、継目部における変動を抽出できる見通しが得られた。
2. 継目部変動成分を抽出した軸箱左右加速度と静的な通り狂いは、車輪 1 回転長と一致する波長成分を除くと相関があることを確認した。
3. 2m 弦正矢の検出特性と、軸箱左右加速度の振動特性とは似ているため、ばらつきはあるものの程度の相関がある。
4. 軸箱左右加速度には、軸箱上下加速度の影響が大きくなる場合もあるため、補修方法を検討する際は、軸箱上下加速度の波形も併用することが望ましい。

今後は、軸箱左右加速度と軸箱上下加速度との関係分析、および異なる車種での検討を行いたいと考えている。

—参考文献—

- 1) 西垣拓也他：軸箱加速度による短波長領域の軌道狂いの評価、日本機械学会第 10 回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集、pp.173-176、2003.12
- 2) 須永陽一他：軸箱左右加速度による著大横圧検出法、土木学会第 47 回年次学術講演会、IV-380、pp.802-803、1992.9
- 3) 橋場孝幸他：軸箱左右加速度による輪軸横圧・外軌側横圧変動分の推定、土木学会第 52 回年次学術講演会、IV-349、pp.698-699、1997.9