

## 軸箱および台車枠振動加速度による軌道状態の評価

○ [土] 水野 真敏 [土] 坪川 洋友 [機] 芳賀 昭弘 (鉄道総合技術研究所)

板東 茂己 [土] 須田 正規 (北海道旅客鉄道)

## Evaluation of Track Conditions with Axle-box and Bogie Frame Oscillating Acceleration

○Masatoshi MIZUNO, Yosuke TSUBOKAWA, Akihiro HAGA, (Railway Technical Research Institute)  
Shigemi BANDO, Masanori SUDA, (Hokkaido Railway Company)

With respect to detection of the track deformation by the difference between the respective vertical axle-box accelerations of the front axle and the rear axle of a bogie, we examined whether there are any differences of detection depending on the processing method. We also examined how the difference between the respective axle-box vertical accelerations of the front axle and the rear axle of a bogie may be changed according to a train traveling direction and a sensor location. We further examined whether the vibration acceleration of a bogie frame could evaluate the track deformation.

キーワード：軸箱上下加速度，台車枠振動加速度，道床劣化，浮きまくらぎ

Key Words: Vertical Axle-box Acceleration, Bogie Frame Oscillating Acceleration, Degeneration of Ballast, Loose Sleeper

## 1. はじめに

一般に、軌道の変状や保守対象箇所の把握は、列車・徒歩による巡視や軌道検測車による軌道変位データにより行われている。このうち軌道変位データについては、在来線では10m弦正矢の軌道変位振幅を管理指標としており、その検測特性から波長6m~20m程度の軌道変位を把握できる。一方、10m弦正矢では得ることが難しい短波長軌道変位やレール頭頂面の管理指標については、軸箱加速度の活用が検討されている。

この軸箱加速度は継目部や溶接部などで生じる輪重変動を間接的に測定しており、継目落ちや噴泥、波状摩耗等の管理に活用が可能である。また、道床劣化や浮きまくらぎが存在すると、レール支持剛性が線路方向に不均一となり、軸箱上下加速度の前軸と後軸での測定値の差(以下、「軸差」という)が大きくなる<sup>1)</sup>ことから、これらの箇所等の検出に活用できると考えられる。しかしながら、営業列車で軸箱加速度を測定する場合、車両編成や運転方向により測定軸の前後位置が変わるが、その際の軸差の挙動が不明である。また、車輪転削等の度に加速度センサの撤去・復旧作業の手間を要するという問題もある。

そこで本稿では、軌道状態や運転方向の違いによる軸差の挙動を比較する。また、車輪転削等に伴う加速度センサ

の撤去・復旧作業を避けるために台車枠振動加速度による道床状態等の評価法を検討した結果について報告する。

## 2. 試験概要

## 2.1 車上測定

試験車両には一般型気動車を用い、同一台車の前後軸箱およびその直上の台車枠に加速度センサを設置し、データレコーダにより収録を行った。測定項目は軸箱上下加速度、台車枠振動加速度(上下方向)とし、サンプリング周波数は2,000Hzとした。また、速度および位置情報を補完する

表1 車上測定項目

No.	測定項目	部位 (上り方から 第1軸とする)	センサの 離れ (水平方向)
1	軸箱上下加速度	第4軸	0mm
2	台車枠上下加速度	第4軸	210mm
3	台車枠上下加速度	第3軸	1,900mm
4	軸箱上下加速度	第3軸	2,100mm
5	GPS速度	車内(台車付近)	—
6	車体ヨー角速度	車内(台車付近)	—

ために、GPS速度、車体ヨー角速度を同時収録した(表1)。

なお、加速度センサは片台車のみを設置したため、進行方向により軸位が変わる。

## 2.2 軌道調査

試験線区の主たる軌道構造は50kgN「レール、普通継目、木まくらぎ(37~41本/25m)であり、道床は採石、道床厚は200~250mmである。締結装置はF形タイププレートもしくは犬くぎであり、非電化単線で年間通過トン数は約100万トンである。

この試験線区の軌道に関しては、軌道変位の測定と道床状態の調査を事前に行った。ここで、動的軌道変位には軌道検測車による測定データを用い、静的軌道変位にはトラックマスターによる測定データを用いた。道床状態の調査は、列車巡視および現地踏査により噴泥の有無を確認した。さらに、これらに合わせて、まくらぎの浮き量(レール締結装置を緩解した際のまくらぎとレールの隙間)についても測定した。

## 3. 軸差について

### 3.1 検討区間の軌道状態

検討区間については、列車速度の影響を考慮して列車速度が80~95km/hで概ね一定である直線区間を選択した。そして、この区間において、10m弦高低変位から求めるP値および標準偏差により、軌道状態の悪い区間(区間A:P値40以上、道床劣化・浮きまくらぎ有り)と良い区間(区間B:P値10未満)を選定した。

図1に区間AとBの10m弦高低変位のパワースペクトル密度を示す。試験区間は定尺レール区間であることから、区間A、B共にレール長25mの逆数である0.04(1/m)およびその倍数付近にピークを有している。区間Aは全ての空間周波数帯において区間Bを卓越していることから、軌道状態が不良であることがわかる。

### 3.2 バンドパスフィルタの設計

道床劣化・浮きまくらぎの検出精度を向上するため、軸

差に対してバンドパスフィルタ(以下、「BPF」という)処理を行う。ここでは、試験区間のまくらぎ配置間隔と車両の軸距を考慮してフィルタの通過帯域を検討した。

まくらぎ配置間隔は、一般的に継目付近で狭く、レール中間付近では広くするため、約0.4m~0.9mの範囲にある。また、まくらぎ1本が浮きまくらぎである場合、まくらぎ間隔3本(2間)の波長の高低変位が生じる。したがって、BPFの短い側の波長は0.8mより短くする必要がある。また、軸距は2.1mであるので、長い側の波長は2.1mより長くする必要がある。これらのことを考慮して、BPFの通過帯域を0.5m~2.5mとした。

### 3.3 考察

車上測定データは時間軸での収録であるため、GPS速度によってこれを距離化し、キロ程補正を車体ヨー角速度および継目位置情報によって行った。また、距離化する前にはアンチエイリアシング処理およびドリフト成分除去を行った。以下に、列車進行方向が上りの軸差について考察する。

まず、第3軸(前軸)、第4軸(後軸)、軸差のパワースペクトル密度(図2)を見ると、第3軸、第4軸共に空間周波数2.0(1/m)付近にピークがあることがわかる。区間Aの列車速度は約90km/h(=25m/s)であることから、このピークは時間周波数で50Hz付近であり、ばね下固有振動によるものと考えられる。一方、軸差のパワースペクトル密度は、空間周波数2.0(1/m)付近の強度が半分以下となっている。これは、第3・4軸が同相で振動しているため、軸差算出により相殺されたと考えられる。また、空間周波数1.0(1/m)以下については、道床劣化・浮きまくらぎによる軌道変位の波長成分が含まれ、軸差のパワーが第3・4軸を上回っており、道床劣化・浮きまくらぎの影響で前後軸の振動に位相差が生じていると考えられる。

次に、区間Aにおいて実際に噴泥があった箇所のBPF処理後の軸箱上下加速度波形を図3に示す。この噴泥は継目部から4mほど離れた位置にあり、まくらぎ下面には7mm程度の空隙および滞水が認められた。なお、10m弦高低

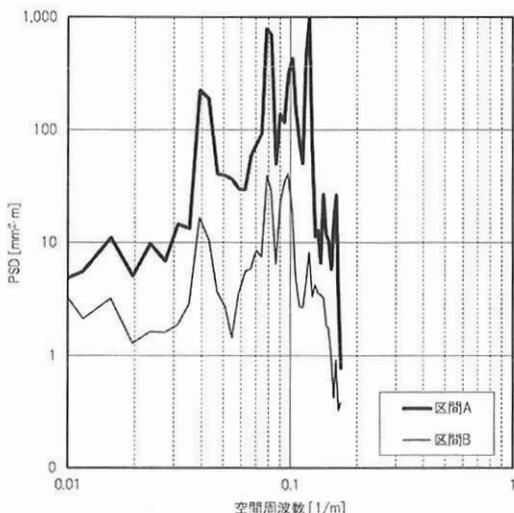


図1 10m弦高低変位 PSD

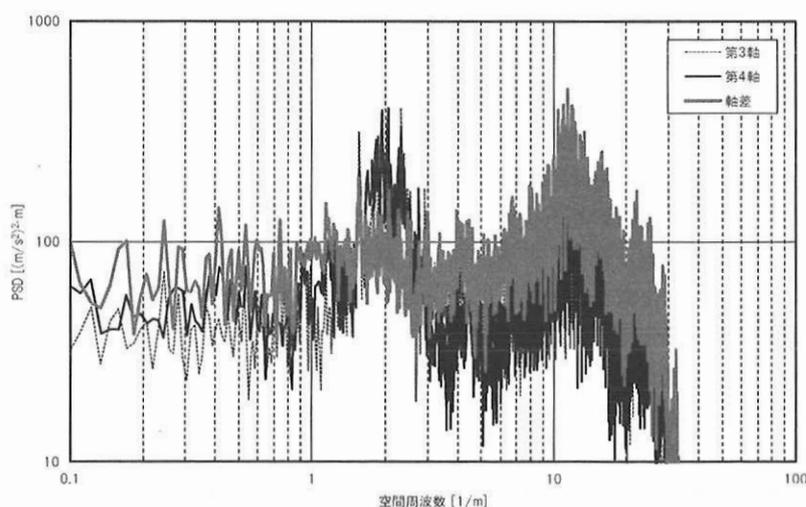


図2 第3軸・第4軸・軸差 PSD

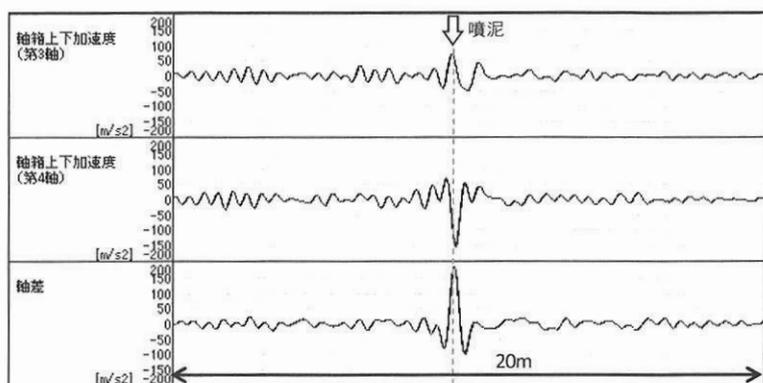


図3 噴泥箇所での軸差チャート (BPF 0.5m~2.5m)

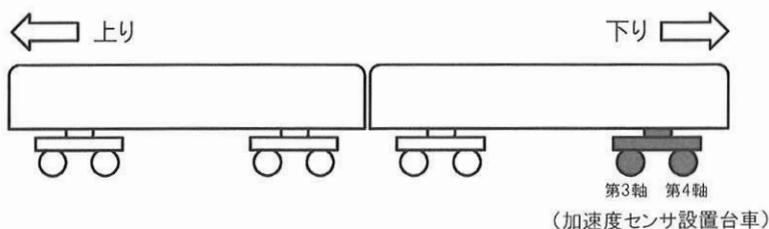


図4 加速度センサ設置台車の位置

変位 (動的値) は10mm 程度である。第3軸 (前軸、図4参照) の波形を見ると、噴泥箇所の振幅は第4軸に比べ半分以下の大きさである。これは噴泥箇所のレール支持状態が不均一であるため、輪軸の振動が前軸と後軸で異なるためである。

以上より、軸差は、ばね下固有振動の影響を打ち消すことができ、噴泥等の道床劣化・浮きまくらぎの検出に効果的であると言える。

#### 4. 進行方向の違いによる軸差の挙動

試験車両における加速度計等のセンサは1つの台車にのみ設置するため、進行方向に応じ、加速度センサを設置した台車の位置が変わる。以下ではこの位置の変化が軸差に与える影響について、同日に直線区間の継目部において測定した上りと下りの加速度データを用いて検証する。

本測定での加速度センサの設置台車の位置は図4に示すとおり、下り方向の前側である。検討する区間は第3節における区間A、Bを含む列車速度80~95km/hで概ね一定の区間とし、直線区間の継目部 (100箇所) とした。そして、キロ程補正の誤差の影響を考慮して、継目前後5mを含む10m間における軸差の標準偏差と著大値を用いて検証する。なお、ここでは3.2に示した波長0.5m~2.5mのBPF処理の有無を考慮して軸差を分析する。なお、BPF処理をしない場合の決定係数は、標準偏差が0.6326、著大値が0.5344と高い相関がある。

まず、波長0.5m~2.5mのBPF処理をしたデータの標準偏差、著大値 (図5) を見ると、決定係数は標準偏差が0.2161、著大値が0.1325となり、標準偏差は中位の相関が

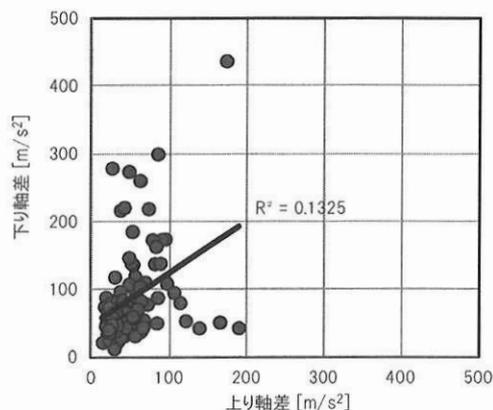
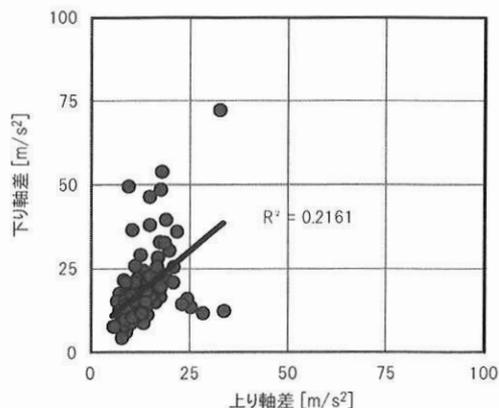


図5 台車位置・進行方向による軸差の関係 (BPF 0.5m~2.5m)

あるが、著大値については相関が低い。BPF処理をしない方の相関が高くなるのは、輪軸の固有振動とレール凹凸等に伴う波長の短い軸箱振動は、走行方向に関わらず同じように発生するためと考えられる。

次に、下り測定データに着目すると、標準偏差が40m/s<sup>2</sup>以上、著大値が200m/s<sup>2</sup>以上のときに上り測定との乖離が見られる。これらの箇所は道床劣化・浮きまくらぎが確認されたため、軸差波形に差が生じたと考えられる。また、近傍に橋梁等の構造物が介在している箇所が多く、軌道の上下支持剛性の変化によって軸差波形の振幅の差が大きくなったことも要因として考えられる。

図6に、図5において下り測定と上り測定データで最も大きな乖離がみられた箇所の波形を示す。上り測定は前軸である第3軸が第4軸より+方向に大きな振幅を示していることから軸差が大きくなる。しかし、下り測定は後軸である第3軸が上り測定の前軸と同じ挙動であり、前軸である第4軸が一方向に大きな振幅を示している。そのため軸差が一方向に大きな振幅となった。この箇所は近傍に踏切があることから、先述したとおり、軌道の上下支持状態の変化によるものと考えられる。

以上より、構造物等による軌道の上下支持の違いや、一部の道床不良・浮きまくらぎ箇所によって軸差波形が進行方向で異なることが分かった。よって、軸差データは、進行方向によってデータの解釈を変える必要がある。しかし、

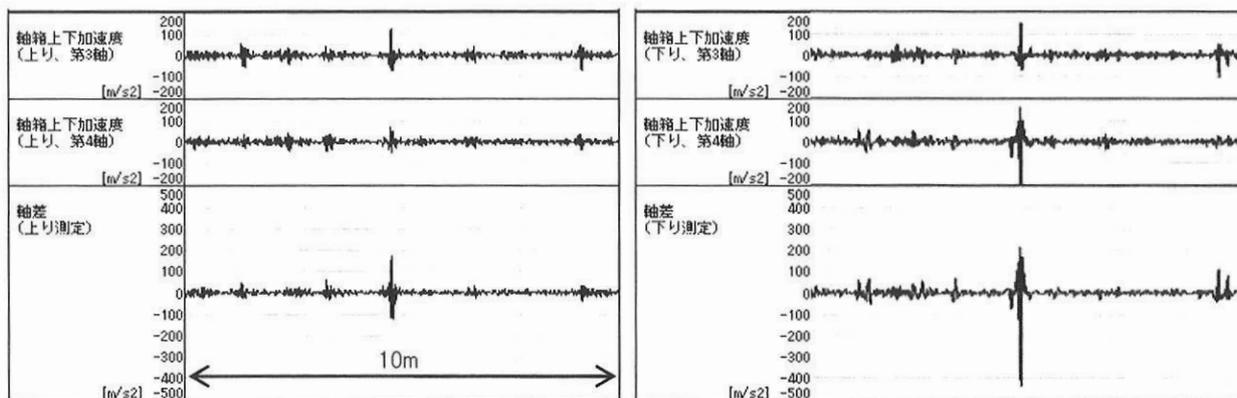


図6 軸差に大きな乖離がある箇所の波形 (左: 上り測定 右: 下り測定)

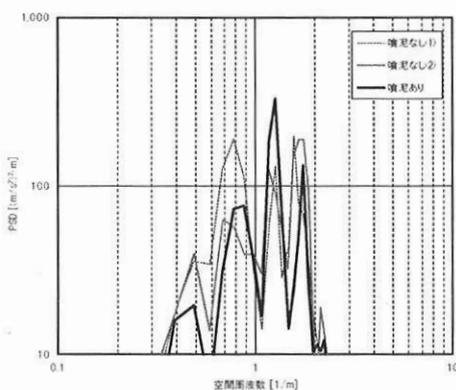


図7 噴泥有無による台車枠差のPSD比較

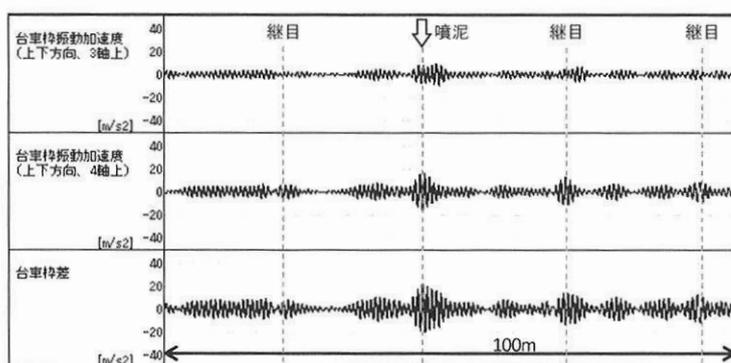


図8 噴泥箇所の台車枠差チャート (BPF 0.7m~1.0m)

逆に言えば、ローカル線で一般的な単線区間は、上り測定時と下り測定時の軸差の違いを用いて、軌道状態を評価できる可能性がある。

## 5. 台車枠振動加速度の測定

軸箱上下加速度を継続的に測定する場合、車輪転削等による軸箱加速度センサの撤去・復旧作業が生じることから、これらの作業が不要な台車枠振動加速度(上下方向)の適用可能性を検討する。ここでは、軸箱上下加速度と同様に、第3軸・第4軸上における台車枠振動加速度の波形の差(以下、「台車枠差」という)によって検討する。

まず、区間Aにおける噴泥箇所のパワースペクトル密度を図7に示す。これは噴泥箇所を含めた30m間のものであり、比較として噴泥箇所のない継目における30m間のを2箇所併記する。これによると、噴泥ありのデータは空間周波数 1.26(1/m)において噴泥なしのパワーが卓越している。また、空間周波数 0.8(1/m)付近では噴泥なしの方のパワーが高く、空間周波数 1.6(1/m)付近ではパワーに差異は見られない。よって、台車枠差は空間周波数 1.26(1/m)の逆数である波長 0.79m付近の成分を見ることにより、噴泥箇所の検出が可能となる可能性がある。これらのことを考慮して、BPFの通過帯域は0.7m~1.0mとした。

次に、図8に噴泥箇所における上記のBPF処理を行った台車枠差の波形を示す。この波形は列車進行方向が上りのため、第3軸が前軸、第4軸が後軸である。第3軸の波

形を見ると、噴泥箇所の振幅は第4軸に比べ半分以下の大きさであり、この挙動は3.3で示した軸箱上下加速度と同じ傾向である。また、噴泥のない継目がチャートに含まれるが、噴泥箇所と比べ台車枠差の振幅が小さい。一方で、狭い通過帯域でのBPF処理のため、軸差のように明確にピークが立つことはない。

以上より、軸差と同等の精度ではないが、台車枠差によっても、適切なBPF処理によって、道床劣化・浮きまくらぎをある程度検出することが可能と考えられる。今後は、検出精度向上のため、処理手法の検討を進めていく。

## 6. まとめ

本稿での結果を以下に示す。

- (1) 軸箱上下加速度の軸差を用いた道床劣化・浮きまくらぎの検出法を提案した。
- (2) 進行方向によって、振幅の大きさに差が出ることを確認した。
- (3) 台車枠振動加速度による道床劣化・浮きまくらぎの検出法を提案した。

## 参考文献

- 1) 須田正規, 田中博文, 芳賀昭弘, 板東茂己, 中祐介: 前後軸の軸箱加速度の差を用いた軌道状態の評価, 第17回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL2010), pp. 589-590, 2010.