

可搬式車上モニタリング装置による内軌波状摩耗の検出 ～車両条件の違いが検出精度に与える影響～

猿木 雄三* 田中 博文 芳賀 昭弘 (鉄道総合技術研究所)
福山 幹康 (九州旅客鉄道株式会社)

Detecting Method of inner Rail Corrugation with Portable On-board Measuring Device ～ Influence of Difference of Vehicles Conditions on Detection Accuracy～

Yuzo Saruki*, Hirofumi Tanaka, Akihiro Haga (Railway Technical Research Institute)
Motoyasu Fukuyama (Kyushu Railway Company)

We are developing a detecting method of inner rail corrugation with a portable on-board measuring device making use of car inside noise and car body vertical acceleration measured above a bogie of the truck. In this case, the measurement will be carried out under different vehicle conditions; however the gap between such different measurement conditions on the possibility of detecting rail corrugation has not been examined in detail. Therefore, in this study, we have analyzed and compared the data measured on a motor car and those on a trailer from the aspect of the precision for detecting corrugation. As a result, we have concluded that a method to make use of the measured data of car inside noise on trailers has the highest precision of detecting rail corrugation.

キーワード：内軌波状摩耗、車内騒音、車体加速度、車上モニタリング、空間重み付きレベル

(Keywords, Inner rail corrugation, Internal noise, Vehicle acceleration, On-board monitoring, Level with space weighted)

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。現在の波状摩耗の検査法は、波状摩耗発生区間における数箇所の波高測定や巡回時の目視検査などの簡易なものであるが、この方法では全線の連続的な検査は困難である。

したがって、波状摩耗の効率的な管理には、線路上を走行する列車によるモニタリングが有効であり、軸箱加速度を用いた波状摩耗の検出手法が提案されている⁽¹⁾。しかしこの方法では、車両の床下にセンサを設置するため、設置箇所等の制約を受ける場合が多い。そこで我々は、車内にセンサを設置可能な、車内騒音⁽²⁾や車体上下加速度⁽³⁾を用いた、可搬式の簡易なシステムによる車上からの波状摩耗モニタリングの開発を進めている。可搬式システムの場合、異なる車両条件における測定が想定されるため、これが検出精度に与える影響については検討しておく必要がある。本研究では、異なる車両形式、電動車(以下、「M車」という)と付随車(以下、「T車」という)の違いおよび騒音計固定治具の形状や材質の違いに着目して、波状摩耗の検出精度を検証した。

2. 車上測定の概要

車上モニタリングは営業列車の先頭車でを行い、車内騒音

と車体上下加速度を測定した。車内騒音の測定には、普通騒音計を用い、騒音計固定治具によって下向きに設置した⁽²⁾。車体上下加速度の測定には、応答周波数 200Hz までのセンサを用いた。両センサは、先頭車両の前台車直上に設置した。表 1 に、車上測定を実施した車両条件を示す。騒音計固定治具は、(a)四角形・木製・(b)椀形・木製・(c)椀形・プラスチック製の 3 種類を用いて比較した。

表 1 車上測定を実施した車両条件

列車形式	列車種別	R600 未満速度
A	特急(振子)	本則+25km/h
B	特急(非振子)	本則+15km/h
C	普通	本則+10km/h
D	普通	本則+0km/h

3. 車内騒音の分析

車内騒音は、さまざまな周波数成分を含んだ時間サンプリングデータから、距離サンプリングデータへ変換し、周波数分析によって波状摩耗に起因する成分を特定し、バンドパスフィルタ処理⁽⁴⁾によって必要成分のみを抽出した。さらに、その波形に対して、空間重み付きレベル化処理⁽⁴⁾を行い、波状摩耗発生区間と非発生区間の空間重み付きレベル化した波形(以下、レベル波形という)の平均値の差を求めた。この差が大きいくほど、波状摩耗に対する感度が高いことになるので、これを検出精度の評価指標とした。

＜3・1＞ 車両形式による違い

図 1 に、内軌波状摩耗発生区間の各車両(いずれも T 車)の車内騒音のパワースペクトル密度を示す。同図から、車両 A・B・D では、空間周波数 6~7[1/m]程度(波長 15cm 程度)の帯域にピークが見られ、一般的な内軌波状摩耗の波長とほぼ一致しているが、車両 C のみ空間周波数 5[1/m]程度(波長 20cm 程度)にピークが見られる。

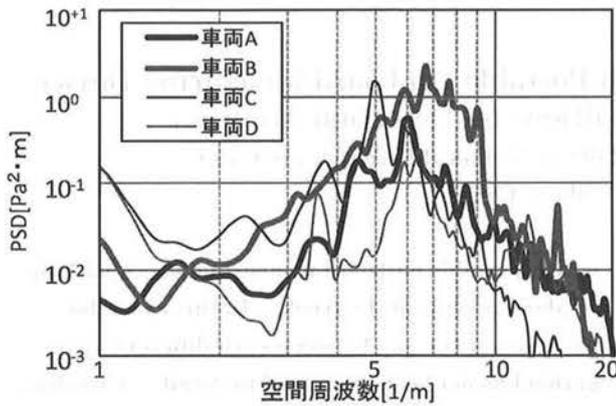


図 1 車両形式別の車内騒音のパワースペクトル密度

図 2 に、各車両(いずれも T 車)の車内騒音(騒音計固定治具(a)の)レベル波形を示す。内軌波状摩耗が発生している区間(区間①とする)のレベル波形の値は、非発生区間(区間②とする)のレベル波形の値より大きい。表 2 に、図 2 における区間①の 50m ロットの平均値と、区間②の 50m ロットの平均値、および両者の差を示す。同表から、車両 A・B の波状摩耗検出精度が他の 2 形式よりも高いといえる。これは走行速度が高いためと考えられる。

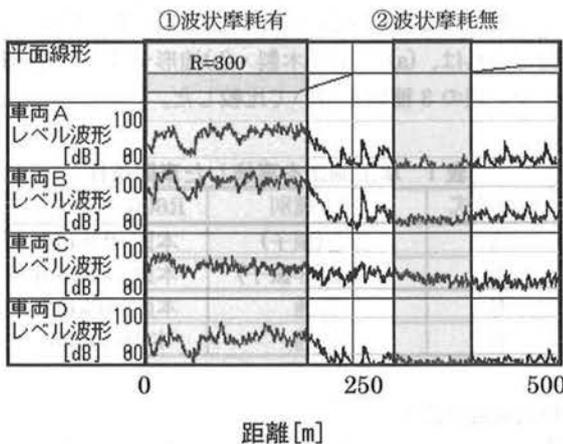


図 2 車両形式別の車内騒音のレベル波形

表 2 車両形式別のレベル平均の差(全て T 車) [dB]

車両形式	区間①	区間②	差
A	94.1	74.9	19.2
B	102.9	81.5	21.4
C	90.1	83.6	6.5
D	89.9	75.1	14.8

＜3・2＞ 騒音計固定治具の形状による違い

騒音計固定治具の形状による違いは、車両 B (T 車)で 2 つの騒音計を用いて同時に収録したデータで比較した。騒音計固定治具の形状は、(a)四角形と(b)楕形の 2 種類で、材質は共に木製である。図 3 に、騒音計固定治具形状別によるレベル波形を示し、表 3 に、図 3 における区間①と②の 50m ロットの平均値、およびその差を示す。同表から、四角形の治具の方が、波状摩耗検出精度はわずかに高いが顕著な差は無い。

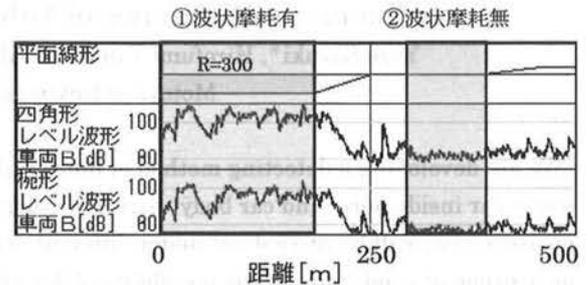


図 3 騒音計固定治具形状別の車内騒音のレベル波形

表 3 騒音計固定治具形状別のレベル平均の差(T 車) [dB]

治具形状	区間①	区間②	差
(a)四角形	102.9	81.5	21.4
(b)楕形	95.9	76.7	19.2

＜3・3＞ 騒音計固定治具の材質による違い

騒音計固定治具の材質による違いは、車両 A (M 車)で 2 つの騒音計を用いて同時に収録したデータで検討した。騒音計固定治具の材質は、(b)木製と(c)プラスチック製の 2 種類で、形状は共に楕形である。図 4 に、騒音計固定治具材質別によるレベル波形を示し、表 4 に、図 4 における区間①と②の 50m ロットの平均値、およびその差を示す。同表から、プラスチック製の治具の方が、波状摩耗検出精度はわずかに高いが顕著な差は無い。

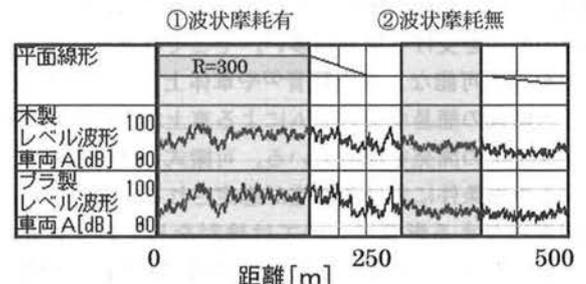


図 4 騒音計固定治具材質別の車内騒音のレベル波形

表 4 騒音計固定治具材質別のレベル平均の差(M 車) [dB]

治具材質	区間①	区間②	差
(b)木製	94.7	87.2	7.5
(c)プラ製	96.6	87.6	9.0

〈3・4〉 T車とM車による違い

T車とM車による違いは、特急列車である車両Aと車両Bについて検討した。図5に、車両Aおよび車両Bにおける、内軌波状摩耗発生区間のパワースペクトル密度を示す。いずれの車体でも、空間周波数6~7[1/m]程度(波長15cm程度)の帯域にピークが見られるが、M車よりもT車のピークの方が明確である。車両AのM車のみ、空間周波数13[1/m]程度の帯域にピークが見られる。これは、この車体だけに生じる現象であり、モーター等の床下機器の騒音等が影響していると考えられる。

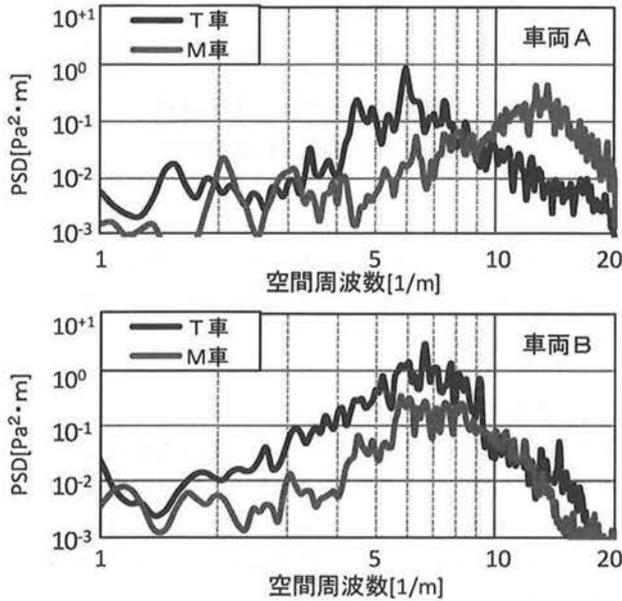


図5 T車とM車の車内騒音のパワースペクトル

図6に、車両A・BにおけるT車とM車の車内騒音のレベル波形を示す。表5に、図6における区間①と②の50mロットの平均値、およびその差を示す。同表から、車両Aおよび車両Bの両者ともに、M車よりT車の方が波状摩耗検出精度は高い。これはモーターの有無の影響が考えられる。

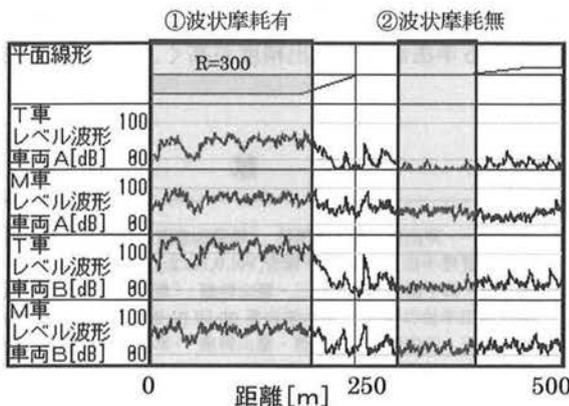


図6 T車とM車の車内騒音のレベル波形

表5 T車とM車のレベル平均の差 [dB]

車両形式		区間①	区間②	差
車両A	T車	90.6	74.8	15.8
	M車	94.7	87.2	7.5
車両B	T車	102.9	81.5	21.4
	M車	94.2	83.7	10.5

4. 車体上下加速度の分析

車体上下加速度による波状摩耗の検出精度の分析手法は、3章の車内騒音と同様の解析を行った。

〈4・1〉 車両形式による違い

図7に、内軌波状摩耗発生区間の各車両の車体上下加速度のパワースペクトル密度を示す。同図から、車両A・B・Dでは、空間周波数6~7[1/m]程度(波長15cm程度)の帯域にピークが見られ、一般的な内軌波状摩耗の波長とほぼ一致しているが、車内騒音と同様に、車両Cのみ空間周波数5[1/m]程度(波長20cm程度)にピークが見られる。

表6に、車内騒音と同時に収録した車体上下加速度(図2と同区間)の区間①と②の50mロットの平均値、およびその差を示す。同表から、車両A・Bの波状摩耗検出精度は高いといえる。これは、車内騒音と同じく走行速度が高いためと考えられる。

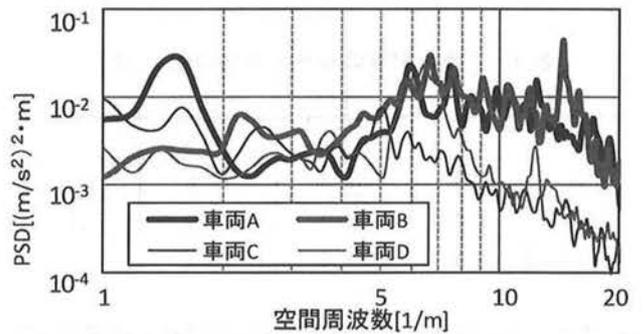


図7 車両形式別の車体上下加速度のパワースペクトル

表6 車両形式別のレベル平均の差 [dB]

車両形式	区間①	区間②	差
A	83.1	75.8	7.3
B	83.9	75.4	8.5
C	78.0	76.7	1.3
D	82.1	75.6	6.5

〈4・2〉 T車とM車による違い

車体上下加速度の、T車とM車による違いは、3.4節と同様に、特急列車である車両Aと車両Bについて検討した。図8に、車両Aおよび車両Bにおける、内軌波状摩耗発生区間の、T車とM車の車体上下加速度のパワースペクトルを示す。同図から、空間周波数6~8[1/m]程度(波長13~17cm

程度)の帯域にピークが見られ、一般的な内軌波状摩耗の波長とはほぼ一致している。

表7に、車内騒音と同時に収録した車体上下加速度(図6と同区間)の区間①と②の50mロットの平均値、およびその差を示す。同表から、車両Aおよび車両Bの両者ともに、M車よりT車の方が波状摩耗検出精度は高い。これは、車内騒音と同様に、モーターの有無が影響していると考えられる。

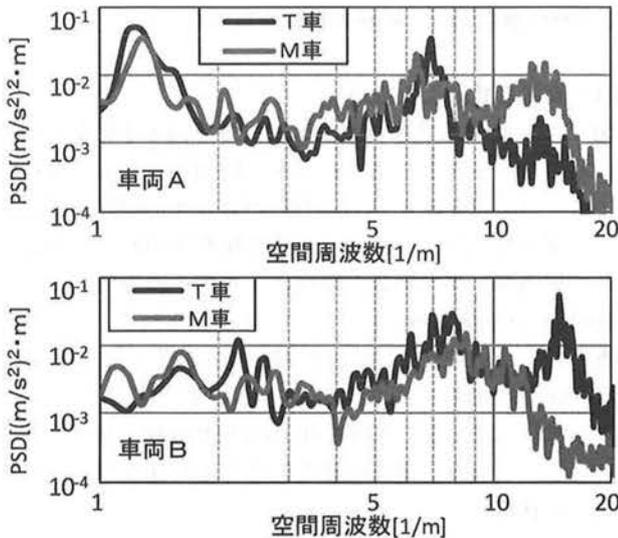


図8 T車とM車の車体上下加速度のパワースペクトル

表7 T車とM車のレベル平均の差 [dB]

車両形式		区間①	区間②	差
車両A	T車	83.1	75.8	7.3
	M車	82.5	77.8	4.7
車両B	T車	83.9	75.4	8.5
	M車	81.9	76.4	5.5

5. 車内騒音と車体上下加速度の波状摩耗検出精度の比較

図9に、車両形式別の車内騒音と車体上下加速度の平均レベル値の差を示す。このレベル値の差が大きいほど波状摩耗検出精度が高いと考えられる。同図から、車体上下加速度より車内騒音を測定する方が、波状摩耗の検出精度は高いといえる。車内騒音測定の方が精度が高い理由として以下のことが考えられる。

- ・車内騒音測定の場合、車両がバラスト軌道や無道床橋りょうおよびトンネル内を走行する際には、様々な騒音が発生するが、波状摩耗発生区間を走行する際に生じる騒音とは周波数帯域が異なるため、波状摩耗に起因する騒音を特定し易い。
- ・車体上下加速度測定の場合、レールと車上との間に、軸ばね・空気ばねやダンパが介在しているため、波状摩耗発生区間を走行する際に生じる上下振動は、車体に伝達する際に減衰する。また、車体に取り付く機器等の振動の

影響により車上床面も振動しており、その周波数帯域が波状摩耗と近い周波数帯域であるため、波状摩耗に起因する周波数の特定が難しい。

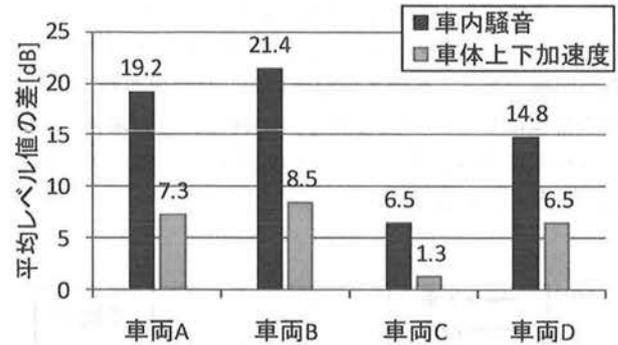


図9 車内騒音と車体上下加速度の平均レベル値の差(車両形式別)

6. まとめ

可搬式車上モニタリング装置を用いて、車内騒音および車体上下加速度の測定による波状摩耗検出精度を検証した結果、以下のようにまとめられる。

(1) 波状摩耗の検出精度

- ・車内騒音の方が車体上下加速度よりも検出精度は高い。
- ・車両形式の違いによる影響は大きく、特に車両A・B(特急車両)で精度が高い。実務面を考慮しても、測定時間が短く、長距離を測定できる特急車両を用いる方法が効率的である。
- ・T車とM車の違いによる影響は大きく、T車の方がM車より検出精度が高い。

(2) 騒音計固定治具

- ・騒音計固定治具の形状と材質の違いによる影響は小さく、いずれの治具を用いて測定しても、検出精度に大きな差は生じない。

以上の結果から、波状摩耗は、特急車両のT車の車内騒音を測定する手法が最も検出精度が高く、効率的であるといえる。

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」,鉄道総研報告,Vol.9,No.2,pp.35-40,1995
- (2) 清水惇・田中博文・猿木雄三・福山幹康:「車内騒音による内軌波状摩耗検出手法の検討」,土木学会第65回,IV-290,pp.579-580,2010
- (3) 猿木雄三・田中博文・清水惇・福山幹康:「車体加速度を用いた内軌波状摩耗の検出手法」,土木学会第65回,IV-289,pp.577-578,2010
- (4) 田中博文・猿木雄三・清水惇・南木聡明:「車上測定データを用いた内軌波状摩耗の検出手法」,鉄道力学論文集,第14巻,pp.91-98,2010年7月