

レール継目衝撃音に係る車輪・軌道の振動特性評価

— 車輪編 —

- 田中 慎一郎 ((公財) 鉄道総合技術研究所) [機] 川口 二俊 ((公財) 鉄道総合技術研究所)
- [機] 村田 香 ((公財) 鉄道総合技術研究所) [機] 長倉 清 ((公財) 鉄道総合技術研究所)

Investigation of vibratory properties of train wheel and track associated with impact noise on rail joint — wheel part —

○Shin-ichiro Tanaka, Tsugutoshi Kawaguchi, Kaoru Murata, Kiyoshi Nagakura, (RTRI)

Impact noise occurs when a train passes through the section of discontinuous rails. It is one of the sources of the environmental impact of railway traffic. Therefore, in order to understand characteristics of impact noise, impact test and field test were conducted. This paper presents wheel mode shapes and vibratory properties of moving train wheel from a point of train speeds and rail joint profiles.

キーワード：鉄道騒音，レール継目，衝撃音，車輪振動

Key Words : railway noise, rail joint, impact noise, wheel vibration

1. はじめに

鉄道車輪がレールの不連続部を通過する際、通常区間と比べて大きな音（衝撃音）が発生する。その有効な対策の一つとしてロングレール化によるレール不連続部の解消が挙げられる。しかし、ロングレール終端部において絶縁継ぎ目が存在する場合があること、分岐器や橋梁区間等では継ぎ目が生じてしまうことなどから、レールの不連続部を完全に解消することは困難であるのが現状である。

このような背景から、衝撃音に対する車輪およびレールにかかわる因子を明らかにし、有効な衝撃音対策を講ずることが必要である。

本論文では、衝撃音の特性を理解する第一段階として、車輪の振動特性を衝撃加振試験および現車走行試験により調べ、得られた結果を示す。第 2 章では、本測定の概要について述べ、第 3 章では、インパルスハンマを用いた衝撃加振試験による車輪の振動特性を示し、第 4 章では、遊間継目の諸元や列車速度が車輪の振動へ与える影響を、現車走行試験結果から整理した。

2. 測定概要

本試験において、鉄道総研所有の R291 在来線試験車両

(以下、試験車両) の 1 車輪 (NA 形波打車輪) の数点に加速度計を仮設し、鉄道総研国立研究所ループ線の継目部を通過する時の車輪振動加速度を測定した。合わせて、インパルス

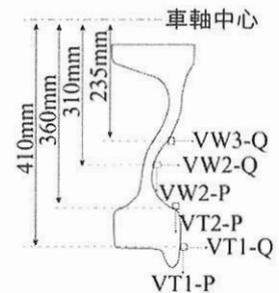


図 1 加速度計仮設位置と測定方向

ハンマを用いた車輪の衝撃加振試験も実施した。車輪に

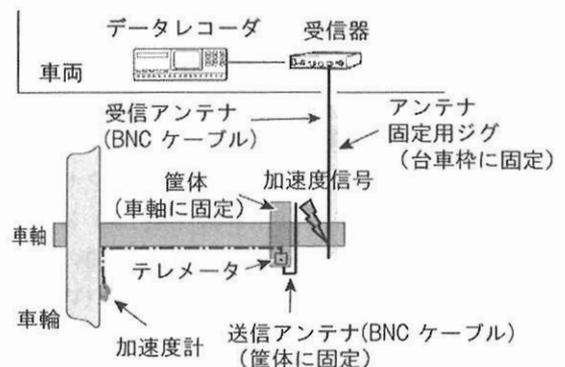


図 2 本試験における測定系

仮設した振動加速度計の位置を図 1 に示す。

車輪の加速度信号は、車軸に堅固に固定したテレメータの送信アンテナから無線を介して受信アンテナで受信したのち、車内の受信器を通じてデータレコーダに収録される。本試験における測定系を図 2 に示す。

なお、テレメータを介して送受信する加速度データの上限周波数は 5kHz である。

### 3. インパルスハンマを用いた衝撃加振試験

#### 3.1 衝撃加振試験概要

振動加速度計を仮設した試験車両の 1 車輪を含む輪軸をジャッキで持ち上げ、荷重がかからない状態でインパルスハンマを用いた衝撃加振試験を行った。打撃方向は径方向、車軸方向（打撃方向は図 3 参照）とし、加振点は、径方向打撃は車輪踏面中心、車軸方向打撃は車輪

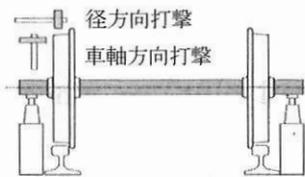


図 3 打撃方向

タイヤ部中心に、7.5° 間隔で 180° の範囲 (25 点ずつ (図 4)) にとった。各点の加振回数は 6 回である。

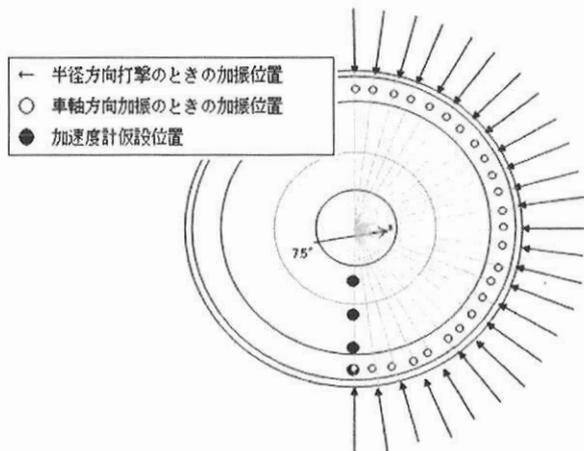


図 4 衝撃加振試験における打撃点

解析条件は、サンプリング周波数を 25,600Hz、サンプリング点数を 16,384 点とし、窓関数は矩形窓とした (周波数分解能 1.5625Hz、解析上限周波数 10,000Hz)。ただし、テレメータによる加速度信号の送受信は 5,000Hz が上限のため、実質 5,000Hz までが有効な解析周波数である。

以上の条件で、各測定点における周波数応答関数 (アクセラランス=単位力あたりの加速度[m/s<sup>2</sup>/N]) を測定した。

#### 3.2 衝撃加振試験結果

上記の加振試験により得られた応答 (アクセラランス) を図 5 (径方向打撃)、図 6 (車軸方向打撃) に示す。

これらの結果より、同じ方向を打撃した時の応答について、径方向応答 (VT1-P) と車軸方向応答 (VT1-Q) とでピークとなる周波数は変わらないこと、打撃方向が変わる時の応答について、ピークとなる周波数が変わり励起され

る振動モードが変わることがわかる。上記の加振試験から得られた各点の応答 (アクセラランス) の振幅情報および位相情報をもとに、主な車輪の振動モードと固有周波数を求め、表 1 に同定結果を示す。この結果より、径方向打撃では面内振動、車軸方向打撃では 0 節円面外振動が顕著に励起されることがわかる。

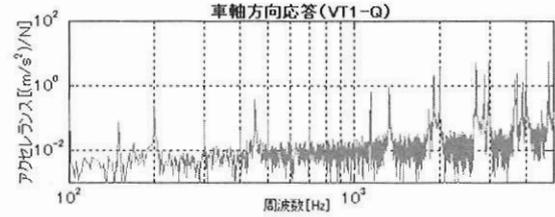
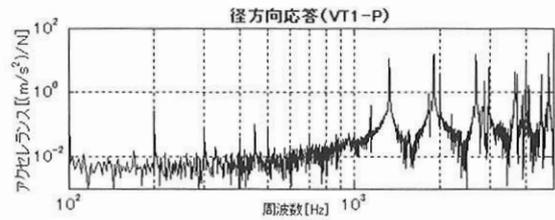


図 5 径方向打撃の応答

上段:径方向応答 (VT1-P) 下段:車軸方向応答 (VT1-Q)

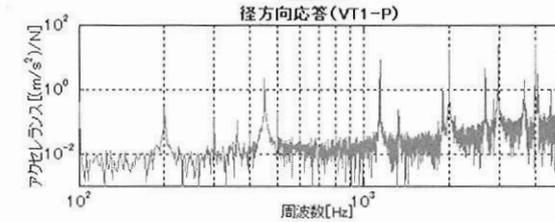
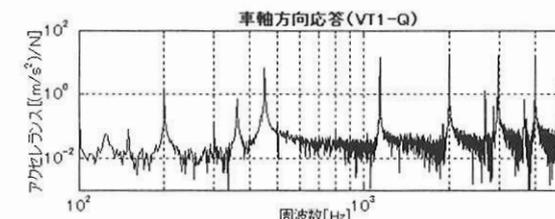


図 6 車軸方向打撃の応答

上段:車軸方向応答 (VT1-Q) 下段:径方向応答 (VT1-P)

表 1 車輪の振動モードと固有振動数

節直径の数	0 節円面外振動	面内振動
0	361Hz	—
1	200Hz	—
2	450Hz	1328Hz
3	1141Hz	1905Hz
4	2003Hz	2686Hz
5	2972Hz	3728Hz
6	4009Hz	—

### 4. 現車走行試験

#### 4.1 試験概要

試験列車が鉄道総研ループ線内の 3 種類の諸元 (段差および継目幅) を持つ継目を通過する際に生じる車輪振動お

よび、継目ではない箇所（以下、中間部）を走行中の車輪振動を測定した。走行条件は、速度 20km/h 程度と 35km/h 程度の 2 種類で、進行方向は双方向の計 4 パターンである。継目の諸元を表 2 に示す。なお、軌道条件はいずれの箇所も 50kgN レール、木まくらぎ、バラスト区間である。

表 2 継目の諸元

継目	段差	継目幅
A	1.3mm	5.6mm
B	0.5mm	9.9mm
C	0.1mm	4.7mm

4.2 車輪振動の時間変動

現車走行試験で得られた車輪振動加速度の時系列データの一例（約 35km/h 走行時の VT1-P）を示す。図 7 は継目 A 通過時の車輪振動で、図 8 は中間部通過時の車輪振動である。図 7 より車輪の振動は継目通過時に数百  $m/s^2$  程度のピークをとり、その後中間部通過時と同程度の加速度に減衰するまで 0.15s~0.2s 程度かかり、継目通過後速やかに減衰するレール側の振動とは異なる特徴を持つことがわかる。これは、円盤形状の車輪の方が長いはり形状のレールよりも反射波の影響を受けやすく、振動モードの影響を顕著に受けるため<sup>1)</sup>と考えられる。

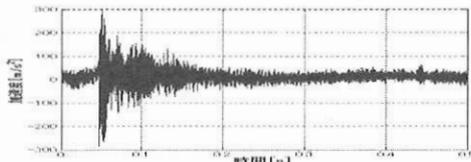


図 7 継目 A 通過時の加速度の例 (VT1-P, 速度約 35km/h)

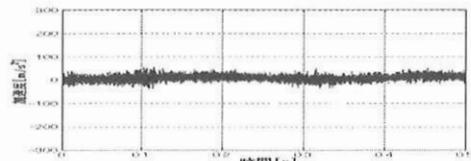


図 8 中間部通過時の加速度の例 (VT1-P, 速度約 35km/h)

4.3 継目 A 通過時と中間部通過時の車輪振動の比較

(1) O.A. 値の比較

段差の最も大きい継目 A を通過する時の車輪振動と中間部を通過する時の車輪振動を比較する。

継目通過時の加速度データをサンプリング周波数 24,000Hz、サンプリング点数 4,096 点、窓関数は矩形で FFT 解析し、その結果から振動加速度 O.A. 値（継目通過直前から約 0.17s 間の rms 値）を求めた。中間部についても同様の解析を行った。VT1-P の O.A. 値と速度の関係を図 9、VT1-Q の O.A. 値と速度の関係を図 10 に示す。両図ともに継目 A の段差を上げる場合 (step up)、下がる場合 (step down) を区別して示す。

図 9、図 10 から、step up と step down での O.A. 値を比較するとほとんど違いが見られず、中間部と step

up/step down の O.A. 値を比較すると、径方向応答を示す図 9 では同じ速度で 15dB 程度の差が、車軸方向応答を示す図 10 では同じ速度で 7dB 程度の差がみられた。径方向応答の方が車軸方向応答よりも振動の増加量が大きくなるのは、後述するように継目通過時には、半径方向に大きく加振力が働くためと考えられる。また、中間部と step up/step down のいずれの条件においても O.A. 値は速度のおおよそ 3 乗則に従うことがわかった。

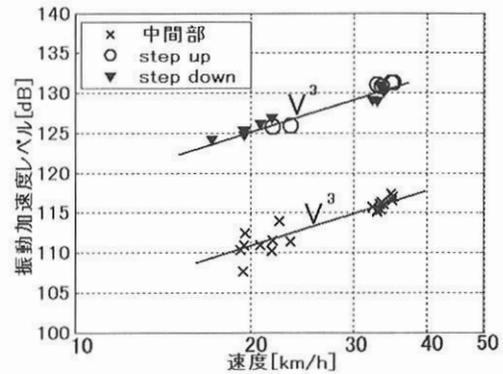


図 9 O.A. 値と速度の関係 (VT1-P) [dB (re 10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>) ]

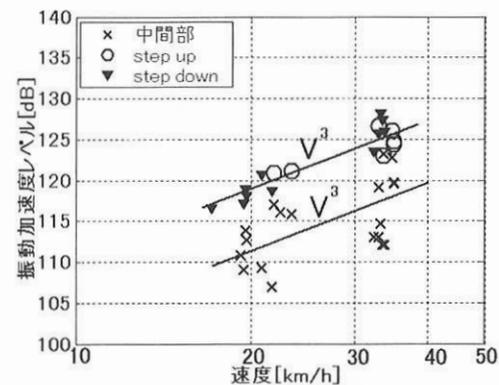


図 10 O.A. 値と速度の関係 (VT1-Q) [dB (re 10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>) ]

(2) 周波数分析による比較

(1)で行った FFT 解析結果から VT1-P と VT1-Q の step up, step down および中間部それぞれについて、約 35km/h で走行した試番 (5~10 本) のスペクトルをパワー平均し図 11 に示す。図 11 から step up と step down の周波数スペクトルは、ピーク周辺ではほとんど違いが見られず、中間部と step up/step down の間には、おおよそ 500Hz 以上の領域で差がみられた。ただし、同時に測定したレール振動においては全周波数域にわたり差がみられる結果が得られていることから<sup>1)</sup>テレメータを使用して得られた車輪の振動データは、低い周波数領域では S/N 比が十分にとれておらず、500Hz 未満でも実際には差があるのに測定しきれていない可能性がある。

現車走行試験結果の図 11 より、500Hz 以上の周波数域において径方向応答のピークの方が車軸方向応答のピークよりも大きい。これは、衝撃加振試験結果における図 5 の径方向加振の応答に近い。さらに、図 11 の現車走行試験結果によって励起されるピーク周波数の位置は、衝撃加振試験結果における図 5 の径方向加振によって励起されるピーク周波数の位置とほぼ一致する。これらのことから、車輪が継目を通過する際は、径方向加振に近い状態にあると考えられる。なお、ここでは約 35km/h 走行時の結果を示したが、約 20km/h 走行時の結果も同様の傾向を示した。

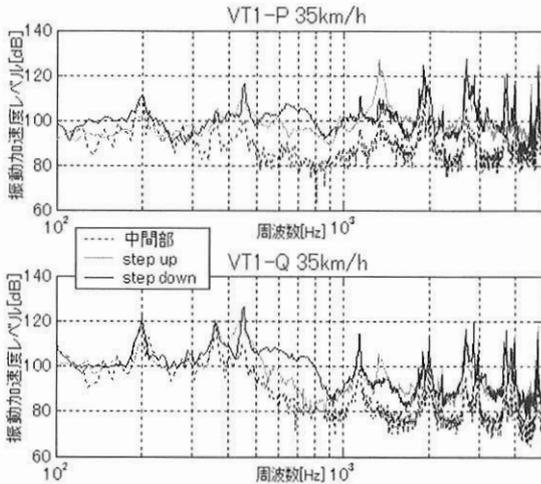


図 11 現車走行試験による車輪振動加速度のスペクトル [dB (re 10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>) ]

上段:径方向応答 (VT1-P) 下段:車軸方向応答 (VT1-Q)

4.4 継目 A, B, C 通過時と中間部通過時の比較

4.3 節と同様の解析を継目 B, C 通過時の車輪振動についても行った。継目 A, B, C および中間部通過時における車輪振動加速度 O.A. 値と速度の関係を図 12 (VT1-P)、図 13 (VT1-Q) に示す。

図 12, 図 13 から、step up と step down での O.A. 値を比較するとほとんど違いが見られない結果となった。また、継目ごとの O.A. 値について比較すると、図 12 (VT1-P) において継目 B が継目 A, C よりも小さい傾向がみられる

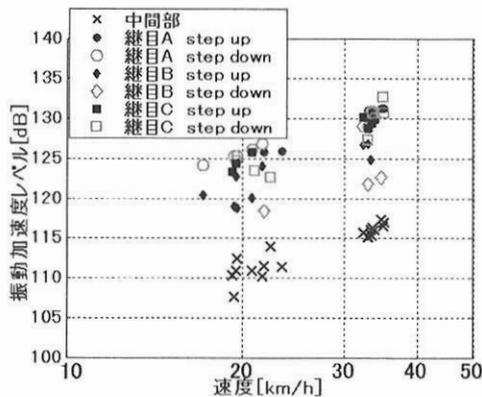


図 12 O.A. 値と速度の関係 (VT1-P) [dB (re 10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>) ]

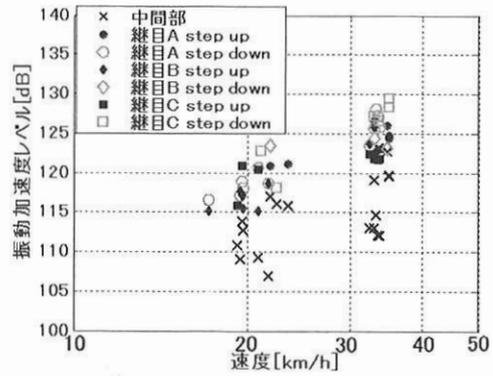


図 13 O.A. 値と速度の関係 (VT1-Q) [dB (re 10<sup>-5</sup> m/s<sup>2</sup>) ]

以外、継目諸元および step up/step down の間に明確な傾向は見られない結果となった。これは、継目の段差や幅といった諸元の違いだけでなく、各継目におけるレールの支持剛性などの振動特性の違いもあり、継目通過時に生じる加振力に影響を与える可能性があるためと考えられる。

5. まとめ

衝撃音にかかわる車輪振動特性を調べるため、車輪衝撃加振試験および現車走行試験 (段差および継目幅の異なる 3 種類の継目を通過) を行い以下のことがわかった。

- ・衝撃加振試験より、主な車輪の振動モードと固有周波数を求め、径方向打撃では面内振動、車軸方向打撃では 0 節円面外振動が顕著に励起されることがわかった。
- ・各継目とも段差を上がる場合 (step up) と、下がる場合 (step down) とでは、振動加速度 O.A. 値、周波数スペクトルにはほとんど違いが見られなかった。
- ・中間部 (レール継目のない箇所) と継目部それぞれを通過する際の振動加速度 O.A. 値には差がみられ、これらの違いはおおむね 500Hz 以上の領域で差がみられた。ただし、テレメータを使用して得た車輪の振動データは、500Hz 未満では S/N 比が十分にとれていない可能性がある。
- ・継目を通過する際、車輪振動の周波数スペクトルの傾向は、衝撃加振試験における径方向打撃の周波数スペクトルに近いことがわかった。
- ・今回の測定で得られた継目ごとの振動加速度 O.A. 値は、VT1-P において継目 B が継目 A, C よりも小さい傾向がみられる以外、継目諸元および step up/step down の間に明確な傾向は見られない結果となった。これは、継目の段差や幅といった諸元の違いだけでなく、各継目におけるレールの支持剛性などの振動特性の違いも、継目通過時に生じる加振力に影響を与える可能性があるためと考えられる。

参 考 文 献

1) 川口二俊ほか: レール継目衝撃音に係る車輪・軌道の振動特性評価 - 軌道編一, J-RAIL2011, 2011.