

## 列車走行により発生する微弱レール振動の分析手法の一考察

○ [土] 平井 相太郎 (西日本旅客鉄道株式会社)

[土] 井上 淳太 (西日本旅客鉄道株式会社)

A study of the analysis technique of the feeble rail vibration  
to occur by a train run

○Sotaro Hirai, (West Japan Railway Company), Junta Inoue, (West Japan Railway Company)

With train progress, vibration occurs on a rail, and vibration propagation occurs in the rail long distance direction. This propagation is feeble vibration, but it is thought that I can grasp the approach information of the train if I can catch it precisely. Therefore I introduce precision is good and measures the feeble vibration of the rail this time and how can grasp information from the distance about the summary because I carried out a measurement examination, various analysis in a track.

キーワード：微弱振動、パワースペクトル、バンドパスフィルタ処理、振動加速度レベル

Key Words : feeble vibration, spectrum analysis, band – pass filter, vibration acceleration level

## 1. はじめに

列車走行に伴い、レールには振動が発生し、レール長手方向に振動伝搬が生じる。この伝搬は微弱な振動であるが、的確に捉えることができれば、列車の接近情報を把握することも可能と考えられる。前年度、線路に介在物がなく外乱の影響を受けにくい箇所を選定し、測定した結果十分な検知時間が確保できた。そこで、今回は、営業線にて構造物の影響、外乱を受ける区間を選定して、振動測定を行い、各種分析を実施したのでその概要について紹介する。

## 2. 測定方法

## 2.1 センサについて

測定には微弱な振動を測定できるように高感度センサ(以下、センサ①)、比較のためレール振動測定で通常用いられているセンサ(以下、センサ②)、プリアンプ内蔵型センサ(以下、センサ③)も使用した。各諸元を表1へ示す。

## 2.2 センサの固定方法

測定用センサは、磁石によりレール底部に固定した。

## 2.3 試験箇所

試験箇所は踏切等があり、外乱の影響を受ける、有道床軌道定尺レール区間及び前回データと確認を行う為有道床ロングレール区間(以下、LR区間)を選定した。

表1 センサ諸元

センサタイプ	諸元
センサ①	質量 115g 電荷感度 40pC/(m/s <sup>2</sup> ) 測定周波数範囲 1~3,000Hz
センサ②	質量 23g 電荷感度 6.42pC/(m/s <sup>2</sup> ) 測定周波数範囲 1~7,000Hz
センサ③	質量 100g 電圧感度 5.1mV/(m/s <sup>2</sup> ) 測定周波数範囲 3~10,000Hz

## 3. 測定結果及び分析

## 3.1 レール振動波形について

遠方から伝わるレール振動を検知する場合は、測定レンジを 1m/s<sup>2</sup> として、センサ①②③を使用して測定した(図1 波形1参照)。列車通過を検知する場合は測定レンジを 1000m/s<sup>2</sup> として、センサ②③を使用した(図1 波形2参照)。

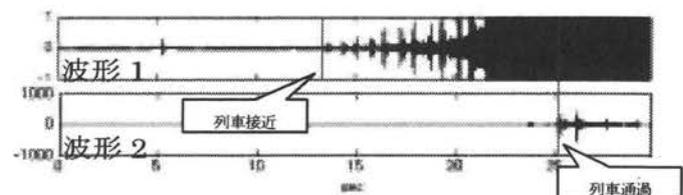


図1 レール振動測定波形

3.2 レール振動波形の分析

列車接近に伴い発生するレール振動の特性を、把握する為パワースペクトル密度解析(以下、PWD 解析)及びバンドパスフィルタ処理(以下、BPF 処理)を行った。

(1)PWD 解析

LR 区間においては、1500Hz 付近に顕著なピークがあった。また、定尺レール区間では、100~3000Hz の間にピークがあり、箇所毎でランダムな変動であった(図2 参照)。

(2)BPF 処理

振動分析の結果及び前年度実績から、周波数 500~1600Hz、1400~1600Hz の BPF を用いて検討した(図3 参照)。BPF 処理後の波形でも、列車接近により、徐々にレール振動が増加していく現象を捕捉できた。しかし、振動成分が元波形に比べ小さくなるのがわかる。少しでも検知時間を延ばすことを考えれば広帯域のフィルタが望ましい。

(3)検知性能

測定したレール振動に 500~1600Hz の BPF 処理を行い、検知時間の確認をした(表2 参照)。LR 区間が定尺レール区間に比べて検知時間が長いことがわかった。また、直線区間に比べ曲線区間において検知性能が劣る傾向にあった。曲線部では最短で検知時間約 8s の箇所もあった。

4. 外乱の影響

列車接近以外に起因するレール振動について、500~1600Hz の BPF 処理で除去できるかを確認した(図4 参照)。

(1)雨による振動

雨に伴い発生する振動については、BPF 処理により除去できることがわかった(雨量 6.5mm/分)。

(2)踏切通過の車の影響

踏切を通過する車により発生する振動については、BPF 処理だけでは、除去するのが難しいことがわかった(踏切とセンサの離れは約 25m)。

5. 列車検知手法の提案

BPF 処理したレール振動を、閾値設定して検知する方法では、外乱等により誤検知が増加すると考えられる。また、外乱の除去に有効となる狭帯域の BPF 処理は、定尺レール区間では不規則な振動が重畳されるので、検知性能が落ちることになる。そこで、元波形でみられる不規則な変動がある状況下においても、振動は徐々に増加する特徴を、的確に把握する手法を検討した。

(1)振動加速度レベル処理

振動が徐々に大きくなる傾向を把握する為、振動加速度レベルを用いて検討した(式(1)、図5 参照)。

$$L_a = 10 \log_{10} \frac{A^2}{A_0^2} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、A: 振動加速度実効値 A<sub>0</sub>: 振動基準値 10<sup>-5</sup>(m/s<sup>2</sup>)

図5 は、検知性能の良くない定尺レール区間のデータの BPF 処理後の波形をレベル演算した波形である。BPF 処理の検知点手前でレベルが増加しており、レベル演算により検

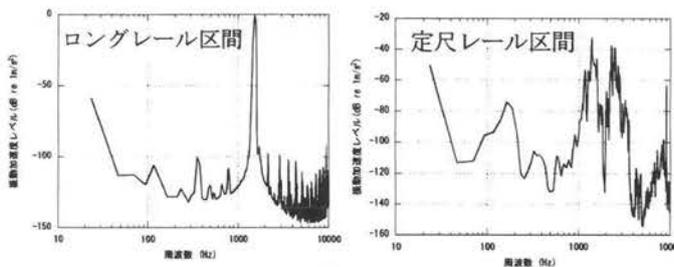


図2 パワースペクトル解析

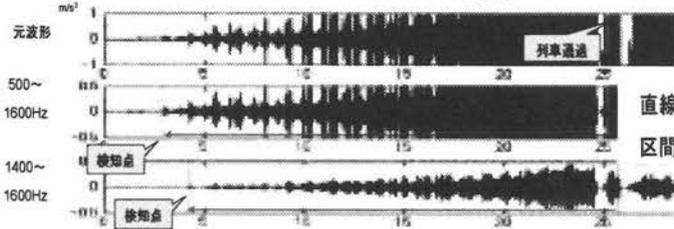


図3 BPF 処理波形

表2 条件別検知時間平均

測定条件	ロングレール		定尺レール		
	直線(N15)	直線(N16)	曲(N11)	曲橋梁(N10)	曲路切(N7)
平均検知時間(s)	28.0	25.0	12.7	17.3	9.8

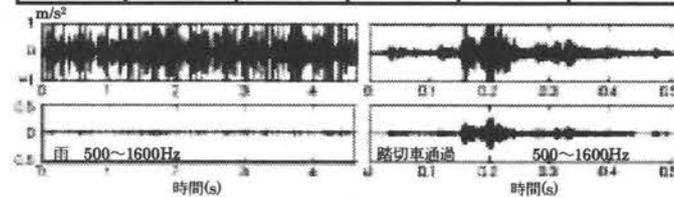


図4 外乱による振動 BPF 処理

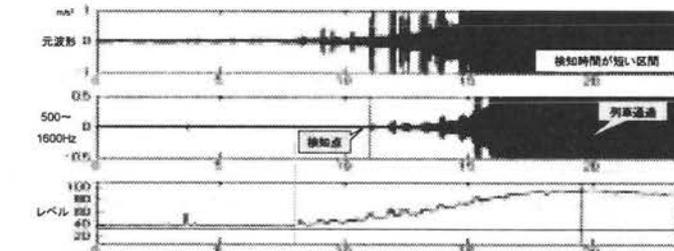


図5 レベル処理による波形

知性能が向上する可能性があることがわかる。また、時間 4s 付近で発生している単発的な現象はレベル演算でも短時間のレベル変動である為レベルの増加割合を列車接近の判断に用いれば除去可能となる。

6. まとめ

- (1)PWD 解析の結果、振動伝播は LR 区間では 1500Hz 付近に顕著なピークを持つが、定尺レール区間では 100~3000Hz の周波数でランダムな変動となった。
- (2)レール振動に対して、500~1600Hz の BPF 処理を行い検知性能の確認をした結果、半径 300m 程度の急曲線を含む区間では、検知性能が悪く最短で 8 秒前となった。
- (3)踏切間近にセンサがある場合は、自動車の踏切通過によるノイズを BPF 処理で除去するのは困難である。
- (4)振動加速度レベルの増加割合を評価手法とすれば、外乱の除去、検知性能の向上ができる可能性が示唆された。

1)尾崎宏,井手寅三郎:列車走行に伴って発生する微弱なレール振動の分析方法の検討, 第 63 回年次学術講演会(土木学会), IV-120