

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

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 尾崎 宏
正会員 井手 寅三郎

1. はじめに

列車進行に伴い、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、的確に補足できれば、列車の接近情報を把握することも可能と考えられる。ただし、どの程度遠方からレール振動の現象を把握できるかは、必ずしも定量的に把握されていない。そこで、本稿ではレールの微弱な振動を精度良く測定し、どの程度の遠方点からの情報を把握できるかどうか、営業線で測定試験を実施し、各種分析を実施したのでその概要について紹介する。

2. 試験方法

レール振動把握のための試験方法としては、特にレールの微弱振動をどの程度の距離まで絞り込んで把握できるかという観点に沿って、試験方法の検討を行った結果、測定方法は以下の通りとした。

(1) 高感度センサの採用

測定には微小な振動を測定できるように高感度センサ(以下「センサ」)を用いた。なお、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」)も使用した。各センサの基本的な諸元を表1に示す。

(2) 振動伝搬方向の検知

遠方からの列車の進行方向を的確に捕捉するため、図1に示すように2m離れでセンサとを各2個設置した。

(3) センサの固定方法

レールへのセンサの固定方法は、センサは磁石を用いた固定方式とし、センサは接着剤による固定方式とした。

(4) 試験箇所

試験箇所は踏切等の構造物を介さず、極力外乱の影響を受けないスラブ軌道ロングレール区間、有道床軌道ロングレール区間、有道床軌道定尺レール区間を選定した。

3. 測定・分析結果

分析は、締結装置間隔等により生じるであろう固有振動等には拘らず、微弱な振動を検出できるかを主体とした。

3.1 測定波形

各試験箇所における測定波形の例を図2に示す。各図の上部の波形からRV1、RV2(センサ)、RV3、RV4(センサ)の順になっている。RV1とRV2の測定レンジは 1m/s^2 、RV3、RV4は 1000m/s^2 とした。図にはRV1とRV2の波形で、列車接近となる微弱振動が読み取れる位置から、RV3とRV4の列車通過までの時間を読み取った結果も併せて示した。図のRV1とRV2において、列車通過時のスケールオーバーした状態で、波形に空白が生じている箇所があるが、これはセンサが磁石のみの固定方法であったために、跳ね上がったためと考えられる。このことから、アタッチメント等を用いてセンサをレールに圧着させる必要があることがわかる。

3.2 測定波形の解析

測定波形から、列車接近に関するデータだけを抽出するために、パワースペクトル解析とバンドパスフィルタ処理を行った。

3.2.1 パワースペクトル解析

各試験箇所におけるパワースペクトル解析の結果を図3~5に示す。ロングレール区間では350Hz付近と1500Hz付近に顕著なピークが生じているが、定尺レール区間では800~1200Hz付近の周波数にピークを持つことがわかる。ロングレール区間と定尺レール区間におけるレール微小振動の周波数特性はやや異なった結果となった。

表1. センサ諸元

センサタイプ	諸元
センサ RV1, RV2	質量 115g 電荷感度 40pC/(m/s ²) 測定周波数範囲 1~3000Hz
センサ RV3, RV4	質量 23g 電荷感度 6.42pC/(m/s ²) 測定周波数範囲 1~7000Hz

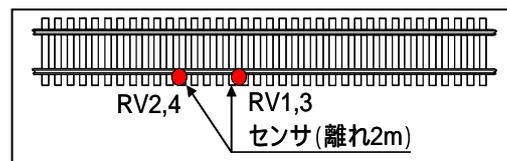


図1. センサの配置

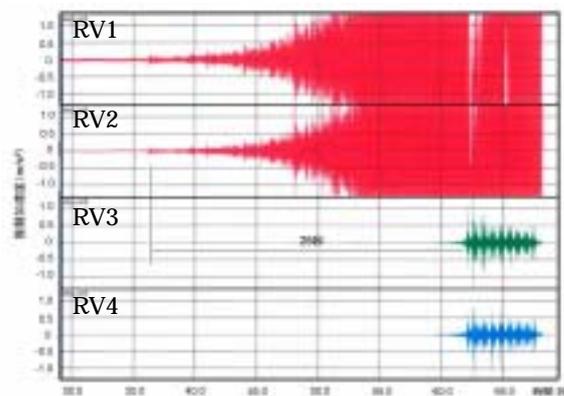


図2. 振動測定波形

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、相互相関

連絡先 〒530-8341 大阪市北区芝田2-4-24 JR西日本鉄道本部技術部(保安技術) TEL 06-6375-8734

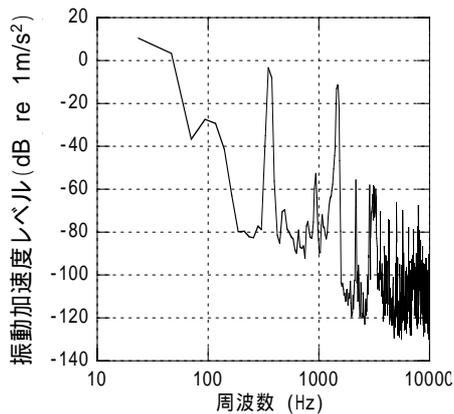


図 3.スラブロングレール

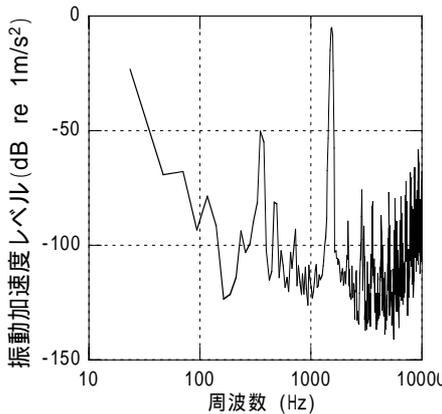


図 4.有道床ロングレール

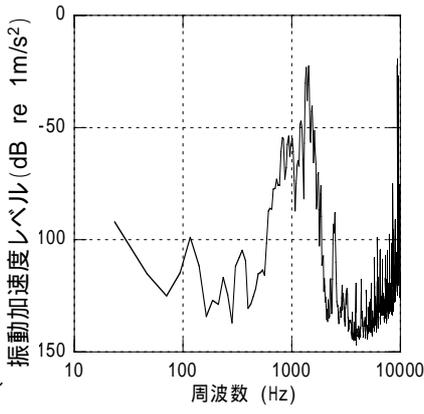


図 5.有道床定尺レール

これらのパワースペクトル解析の結果から、微弱なレール振動伝搬の検出には一定のフィルタ処理を行うことが良いと考えられる。そこで、500~1500Hzのバンドパスフィルタ処理を行った結果、徐々に振動が大きくなる傾向が認められ、ほぼ所要の現象を捕捉できているものと考えられる。このことから微弱なレール振動の検出には、500~1500Hzのバンドパスフィルタ処理が有効であると考えられる。

3.2.2 閾値による振動検知

表 2.列車通過までの時間

微弱なレール振動の検知点から列車の接近情報をどの程度遠方から把握できるかを調べるため、バンドパスフィルタ処理後のデータ

軌道種別	0.1m/s ²		0.2m/s ²		0.3m/s ²	
	最短	最長	最短	最長	最短	最長
スラブロングレール	18.24 秒	30.69 秒	13.93 秒	25.91 秒	12.67 秒	22.11 秒
有道床ロングレール	19.23 秒	28.56 秒	14.66 秒	26.39 秒	13.45 秒	26.39 秒
有道床定尺レール	17.42 秒	20.77 秒	15.51 秒	22.87 秒	13.51 秒	20.77 秒

を用い、これに閾値を設けて、列車接近検知時間を求めたものを表 2 に示す。この結果から、閾値 0.1m/s²の場合には最短でも 17 秒は確保できたものといえる。また、ロングレール区間については、速度が遅いほど検知時間が長くなる傾向見られたが、定尺レール区間については同様な傾向は見られなかった。

3.2.3 列車進行方向の検知

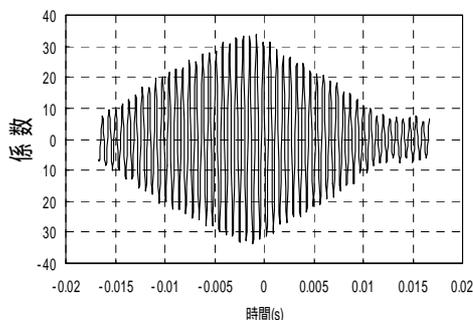


図 6.スラブロングレール

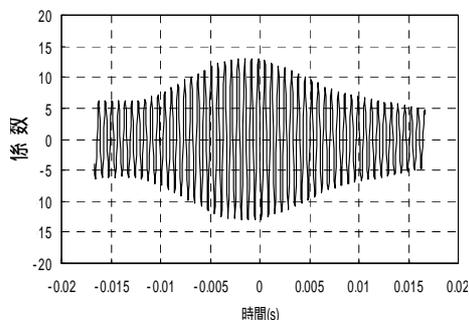


図 7.有道床ロングレール

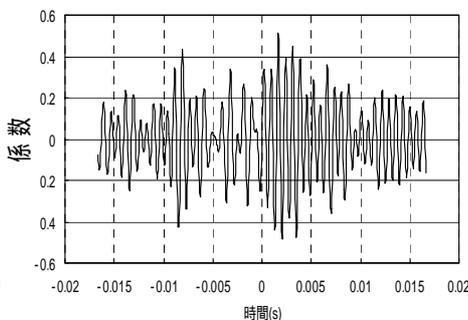


図 8.有道床定尺レール

列車の進行方向をレール振動で検知するための一方策として、相互相関係数を適用することが考えられる。RV1とRV2で得られた波形の相互相関係数を解析した結果を図 6~8 に示す。各結果とも、閾値 0.1m/s²を最初に超えた点から 1 秒間のデータを抽出している。図 5 と 6 に示したロングレール区間においては、ほぼ-0.001~-0.002秒の間をピークに徐々に減少する傾向を示し、-0.001~-0.002秒の間で閾値を±10と設定すれば、進行波の検知は可能といえる。一方、図 7 に示した定尺レール区間の相互相関係数は、変動が大きく、相関のピークも一義的に決定できない結果となった。これは、スペクトル解析でロングレールでは 1500Hz 付近の周波数で鋭意なピークがあったのに対し、定尺レールでは 800~1200Hz の広い周波数帯域でピークがあったことからわかるように、やや複雑な振動伝搬が生じていたためであると考えられる。

4.まとめ

今回は、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て試験を実施した。その測定波形を分析し、閾値を 3 種類設定した結果、最短の検知時間であっても 13 秒という結果が得られた。今後は、線路に介在物があり外乱の影響を受け易い箇所を選定し、今回の試験結果と比較検討を行い、データ蓄積をしていくことにより、最適な波形の処理方法等を決定していく考えである。