

軸箱加速度の周波数特性に関する一考察

鉄道総合技術研究所 正会員 ○田中博文

鉄道総合技術研究所 正会員 古川 敦

1. はじめに

軌道に生じる様々な波長の軌道狂いや局所的な軌道不整について、軸箱加速度を用いて検出しようとする研究が進められており、浮きまくらぎ、波状摩耗やレール頭頂面凹凸の検出、さらには著大輪重の推定を行うことなどが可能となってきた^{1),2)}。本研究では、新幹線電車で測定した軸箱加速度の上下成分について周波数解析を行い、その特性について考察した。

2. 解析区間およびデータ処理

軸箱加速度の周波数解析は、走行速度、平面線形、勾配、軌道構造や線路構造等の条件が異なる40区間について行った。解析に用いた軸箱加速度データは時間送りで収録した。解析手順は、まず、1区間を5秒として、時間周波数軸上のパワースペクトルを求めた。次に、軸箱加速度と同時に測定された100mパルスを用いて5秒間の走行距離を求め、おおよその走行速度を推定した。さらに、パワースペクトルにおいて締結装置間隔に起因する成分が卓越したことから、正確な走行速度を式(1)によって逆算し、時間周波数軸上のデータを空間周波数軸上のデータに変換した。

$$\text{空間周波数}[1/\text{m}] = \text{時間周波数}[\text{Hz}] \times \frac{3.6}{\text{速度}[\text{km/h}]} \quad (1)$$

3. パワースペクトルの特徴

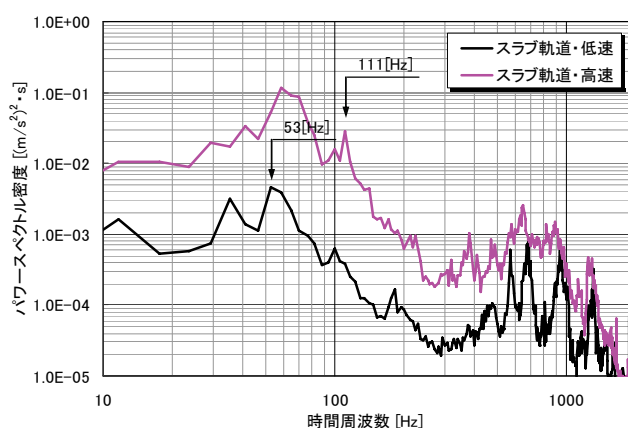
(1) 軌道等の長さに起因する成分

図-1にスラブ軌道上を走行した際のパワースペクトルの一例を示す。高速は250[km/h]、低速は120[km/h]で走行したときのデータである。図-1において、空間周波数1.60[1/m]（波長0.625[m]）で卓越する成分はスラブ軌道の締結装置間隔に起因する成分である。同様に有道床軌道のパワースペクトルでは、空間周波数1.76[1/m]（波長0.568[m]）に卓越する成分があった。締結装置間隔以外にも、表-1に示すような軌道スラブ、軸距や車輪等の長さに起因するピークが確認できた。これらの軌道等の長さに起因するピークは空間周波数軸上で一定である。しかし、波長が長い成分について

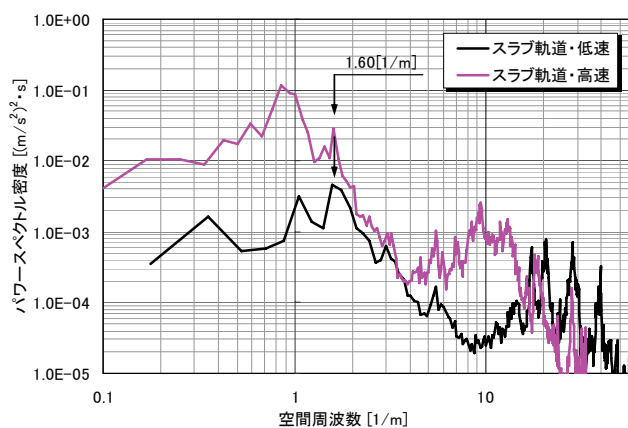
は、周波数分解能が低いため、実際の波長とパワースペクトル上での波長の誤差が大きい。

(2) その他の要因による成分

図-1に示したように、パワースペクトルには表-1の要因によるピーク以外にもいくつかのピークがある。これらのピークを、時間周波数軸上のパワースペクトルから抽出し、走行速度との関係をプロットしたもの



(a) 時間周波数



(b) 空間周波数

図-1 パワースペクトルの一例

表-1 軌道等の長さに起因する空間周波数・波長

成分		空間周波数 [1/m]	波長 [m]
締結装置間隔	スラブ軌道	1.76	0.568
	有道床軌道	1.60	0.625
車輪	直径	1.16	0.860
	一周	0.37	2.7
軸距		0.40	2.5
軌道スラブ		0.20	5.0

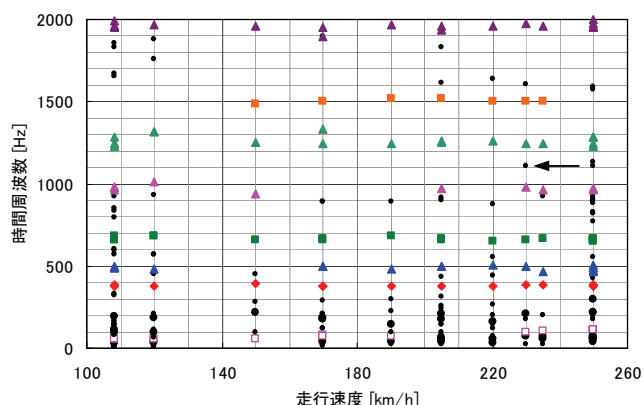
キーワード：軸箱加速度、周波数解析、軌道管理、パワースペクトル、波長

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 軌道管理 TEL042-573-7278

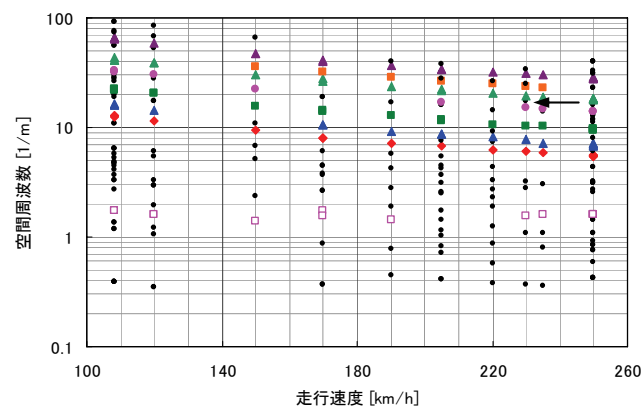
を図-2(a)に示す。さらに、抽出したピークの時間周波数を式(1)により空間周波数に変換したものを図-2(b)に示す。ここで、図-2で同色のプロットは、同一の要因によると考えられる周波数帯をグループ化したものである。特に、白抜きの四角は締結装置間隔に起因するピークである。

その結果、軌道構造や線形、列車の走行速度に関わらず、図-2(a)に示すようにほぼ全ての区間において時間周波数軸上の特定の周波数で生じるピークが見られた。例えば 490[Hz]や 650[Hz]付近に見られるピーク、およびそれらの高調波成分であると考えられる 980[Hz], 1960[Hz]および 1300[Hz]付近のピークである。これらのピーク周波数は、軌道構造や走行速度に依存しないことから、台車や車輪等の固有振動数であると考えられる。

一方、図-2(b)では締結装置間隔等、空間周波数軸上で一定の周波数で生じるピークが見られる。これらのピーク周波数は表-1に示した軌道等の長さ起因するものである。なお、図-2(b)は(a)よりもばらつきが大きい、これは走行速度の推定誤差によるものと考えられる。



(a)時間周波数



(b)空間周波数

図-2 パワースペクトルのピーク

これらの結果をもとに、スペクトルから時間周波数に起因する成分を分離し、軌道に起因する成分のみを抽出することができれば、軌道に生じた変状を効率的に検出することが可能となる。特に、空間周波数軸上、時間周波数軸上のどちらにおいても一定の関係にあてはまらないピークが特定の区間にのみあった場合、これらは、表-1に示したような軌道等の長さによるものでも、台車や車輪等の固有振動数でもないと考えられることから、この区間の軌道に一定波長の何らかの変状が生じている可能性が考えられる。例えば、図-2の矢印に示すようなピークは、走行速度 230[km/h]、周波数は 1100[Hz]付近にあるので、波長 5.7[cm]程度の周期的な変状、すなわち波状摩耗が生じている可能性が考えられる。

ここで、台車や車輪等の固有振動数は一定の時間周波数としながらも図-2(a)において若干の誤差が生じているが、これはパワースペクトルの周波数分解能に起因する誤差である。しかし、いくつかの周波数帯でピークが観測されていることから、それらの平均値から固有振動数を正確に推定することができれば、式(1)にその固有振動数を代入し、空間周波数上で速度差を補正することにより、時間送りのデータからより正確に走行速度を推定することが可能になると考えられる。

4. まとめ

様々な軌道構造や線形、列車の走行速度等、条件の異なる 40 区間において、軸箱加速度の時間・空間周波数解析を行った結果、軌道等の長さや車両各部位の固有振動数に起因するピークを確認することができた。これらの結果から、軌道に起因する成分を抽出することで、軌道の変状箇所を特定できる可能性が見出せた。

また、時間送りのデータからより正確に走行速度を推定できる可能性があることを示した。

今後は、上記の結果をもとに、軸箱加速度を用いて軌道の変状箇所をより効率的に抽出する手法を検討する予定である。

参考文献

- 1) 須永陽一, 佐野功, 井出寅三郎: 高速新幹線における短波長軌道狂いの検出法, 鉄道総研報告, Vol.13, No.5, pp.11-16, 1999.
- 2) 西垣拓也, 須永陽一, 瀬川祥: 軸箱加速度による短波長領域の軌道狂いの評価, 鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, Vol.10, pp.173-176, 2003.