

動揺がもつ周波数特性の把握に関する研究

北海学園大学大学院 学生会員 ○植木 基晴
北海学園大学工学部 正会員 上浦 正樹

1. はじめに

鉄道高速化に伴う走行安全性や旅客サービスの低下を抑制するため、軌道管理がより重要なものになってくる。車両の振動と乗り心地の関係については、古くから研究が行われており乗り心地の評価法として、車両の振動加速度と周波数の関係により評価するものが多く用いられている。しかしこれらの評価法はある区間での平均的な周波数によるものである。一方、振動加速度と乗り心地の関係をチャート上にて地点ごとに把握できれば、動揺発生個所と発生原因の把握が効率的に行なうことができるようになる。本研究では車両動揺発生の原因である軌道狂いと車両動揺の関係を検討するために、チャート上でそれらの周波数を把握する手法を確立することを目的としている。

2. 軌道狂いと動揺の周波数成分の比較

2.1 周波数特性の把握

JR 北海道江差線の「13k823m～13k902m」間の総延長79mを解析対象とし、速度60km/hにおける軌道狂いと加速度の持つ空間周波数(1/m)成分をフーリエ解析で求めたものが図1である。この図から0～0.5(1/m)までの低周波数成分が顕著であることがわかる。本研究では0～0.5(1/m)までの周波数について検討対象とする。その理由として図1に示してあるように、0.5(1/m)以上はスペクトルが微小なものであることと、軌道管理においてスペクトルを扱う場合波長5m～30m(周波数だと0～3(1/m))が多く扱われている¹⁾からである。車両動揺と軌道狂いの周波数成分が同じ成分であるかどうか、周波数別の相関をとり、軌道狂いと動揺が持つ周波数成分の関係を明らかにすることとした。

2.2 周波数成分の相互関係

2つの波形の周波数成分を比較する方法として、コヒーレンスがある。2つの信号波形 $x(k)$ 、 $y(k)$ があるとき、コヒーレンスは式1のように定義される。

$$g_{xy}^2(k) = \frac{|W_{xy}(k)|^2}{W_{xx}(k)W_{yy}(k)} \quad (1)$$

ここに、 $W_{xy}(k)$ ：2つの波形のクロスパワースペクトル

$W_{xx}(k)$ ：波形 $x(k)$ のパワースペクトル

$W_{yy}(k)$ ：波形 $y(k)$ のパワースペクトル

これにより定義される $g_{xy}^2(k)$ は、二つの信号のそれぞれの周波数成分の積の強さを比較になるので、コヒーレン

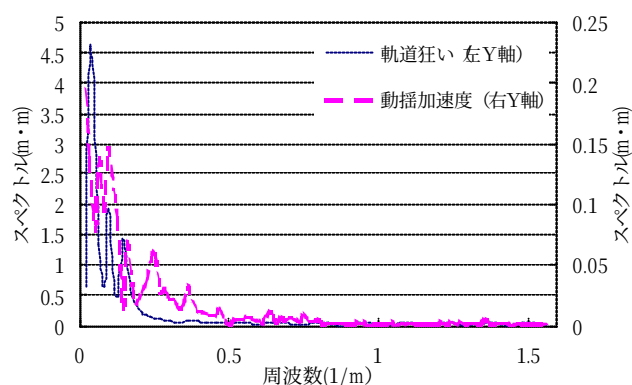


図1 軌道狂いと動揺の周波数成分

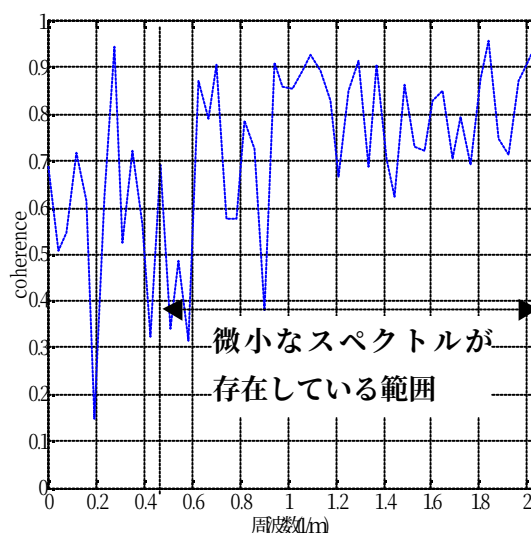


図2 高低狂いと上下動揺の相関関係

キーワード ウェーブレット、コヒーレンス、

連絡先 〒064-0926 北海道札幌市中央区南26条西11丁目1番1号 北海学園大学工学部 TEL011-841-1161 (内7760)

ス関数は各周波数における相互相関関数とみなすことができる。ここでコヒーレンスがとりうる範囲は $0 \leq g_{xy} \leq 1$ であるので、1に近いほど同調程度が大きいと言える。

高低狂いと車両の上下動揺のコヒーレンスを求めると図2のようになる。着目する周波数は0～0.5(1/m)の範囲であるが、特に0.1(1/m)に注目する。フーリエスペクトルの結果においても0.1(1/m)は軌道狂い・動揺と共にスペクトルが大きな周波数であり、お互いの関係が強いことを示す結果となっている。つまり、軌道狂いのもつ周波数成分が動揺に影響を与えていると考えることができる。0.3(1/m)程度のコヒーレンスも高い値になっているが、フーリエスペクトルの結果では軌道狂いが持つ周波数スペクトルとしては大きなものではない。コヒーレンスとはスペクトル量または振幅によらず波形の位相による相関をとったものであるため、位相の同調のみの相関が高いことからこのような結果が出たと考えられる。以上から、フーリエ解析によって求めたスペクトル量による関係がコヒーレンスによってより明確になったと言える。

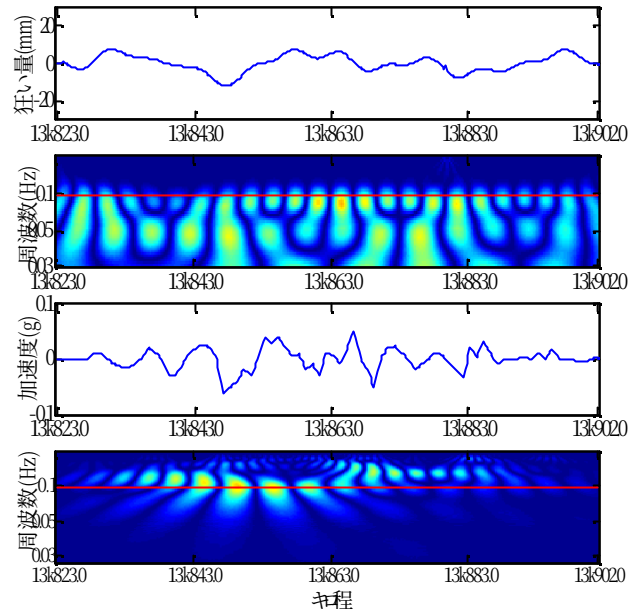


図3 上下動揺の解析結果

3. ウェーブレットによる視覚的把握

それぞれの位置において周波数成分を捉えることができる解析方法としてウェーブレット解析がある。中でも連続ウェーブレットは色の濃淡で波長成分を表示することができ、周波数特性を視覚的に容易に把握することが可能である。式(3)に連続ウェーブレットの定義を示す。

$$W(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} y_{a,b}(x) f(x) dx \quad (3)$$

ここに $y_{a,b}$: ウェーブレット関数

連続ウェーブレットは波形 $f(x)$ に対してウェーブレット関数を拡大（スケールパラメータ a ）、移行（シフトパラメータ b ）して連続的に解析することを意味する。

動揺の周波数成分をウェーブレット解析を用いて求めた結果が図3になる。1段目が軌道狂い波形、2段目が軌道狂いの解析結果、3段目が車両動揺加速度波形、4段目が車両動揺の解析結果となっている。色が濃いほど周波数成分が大きいことを意味するが、コヒーレンスの高かった0.1(1/m)がそれぞれ顕著に見られ、狂い波形からその位置の把握が可能となっている。またコヒーレンスが高かった0.3(1/m)もスペクトルとしては小さいものであったが、ウェーブレット解析においても0.1(1/m)に比べると顕著に表れていない。このことは、フーリエ解析の結果と同様の結果を得ることができた。よってウェーブレットによる特定の位置での周波数成分の把握が可能であることが明らかとなった。

4. おわりに

本研究では軌道狂いと車両動揺の周波数成分の相互関係を明らかにし、動揺に大きく影響を及ぼしている周波数の特定を行った。さらにウェーブレット解析を用いても周波数成分をチャート上で把握することが可能であることが明らかとなった。最後に、本研究で使用したデータを提供して頂いたJR北海道保線課に謝意を表す。

参考文献

- 1) 佐藤吉彦, 梅原利之, 西田正之: 線路, 社団法人日本鉄道施設協会, p59-60, 1986年11月