

離散ウェーブレット解析を用いた左右動揺と軌道狂いに関する研究

北海学園大学大学院 学生員 ○大熊 佑治

北海学園大学工学部 正会員 上浦 正樹

鉄道総合技術研究所 正会員 矢澤 英治

1. 背景

高速化による列車の異常動揺の発生は、安全性の低下や旅客サービス（乗り心地等）の低下を引き起こす原因になっており、レール凹凸管理、車両動揺管理といった軌道管理を適正に行うことが重要である。そのために本研究においては信号解析手法として注目されているウェーブレット解析を車両動揺や軌道狂いの周波数成分を明らかにする手法として適用し、これらの発生原因を検出し両者の関係を推定するための検討を行った。

2. 目的

本研究では各地点毎に卓越する波長や振幅を推定することができるウェーブレット解析が車両の左右動揺に影響を与える原因を推定するために有用な手法であるかを検討することが目的である。

3. 解析対象

本研究では高速運転区間の直線区間を解析対象とし、解析には車両の左右動揺、水準狂い、通り狂い復元（左右）を使用した。計測データのサンプリング間隔は0.25mである。

4. 検討方法

本研究では検討手法として信号を高周波成分と低周波成分に分解し、分解された低周波成分をさらに高周波成分と低周波成分に分解するという処理を繰り返し行う離散ウェーブレット解析¹⁾を用いることとし、マザーウェーブレットとしてBiorthogonal（双直交）関数を使用した。離散ウェーブレット解析は、一対のハイパスフィルタとローパスフィルタを重層的に組み合わせることによって、オリジナルの信号を複数の周波数区分（波長区分）に分離するバンドパスフィルタが構成できる。離散ウェーブレット変換を8次の次数に分解すれば、信号Sを式（1）のように示すことができる。

$$S = d1 + d2 + d3 + d4 + d5 + d6 + d7 + a7 \quad (1)$$

ここで S：元信号

a7：7次のローパスフィルタ

d1～d7：1～7次のバンドパスフィルタ

離散ウェーブレット解析の結果は高周波成分からd1・d2・d3・d4・d5・d6・d7・a7のように分解される。本研究では周波数帯域毎に軌道狂いが車両の左右動揺に及ぼす影響の検討を行うために離散ウェーブレット処理後の各々の周波数帯域を把握する必要がある。そのために離散ウェーブレット解析結果をフーリエ解析することにより各々のレベルに対応する周波数帯域を明らかにすることとした。フーリエ変換によるウェーブレット変換後の対応する周波数・波長帯域を表1に示す。

表1 各レベルごとの周波数・波長帯域

分解レベル	周波数領域 (Hz)	波長領域 (m)
d1	83.2～166.4	0.5～1.0
d2	41.6～83.2	1.0～2.0
d3	20.8～41.6	2.0～4.0
d4	10.4～20.8	4.0～8.0
d5	5.2～10.4	8.0～16.0
d6	2.6～5.2	16.0～32.0
d7	1.3～2.6	32.0～64.0
a7	0～1.3	64.0～

5. 検討結果

離散ウェーブレット解析を用いて左右動揺と通り狂い復元波形（左右）、および水準狂いの各レベル毎の解析結果を示す。（図1～4）車両の左右動揺加速は車両の固有振動数に近い1～2Hzを含む周波数成分が卓越しており、軌道状態に相関が求められる。そのために本研究では車両動揺が軌道狂いから受ける影

キーワード ウェーブレット、車両動揺、軌道狂い

連絡先 〒064-0926 北海道札幌市中央区南2条1丁目1番1号 北海学園大学工学部 TEL011-841-1161

響を検討するために離散ウェーブレット解析結果の各レベルごとに相関関係を求めた。(表2)その結果、離散ウェーブレット解析後の周波数帯域が1.3～2.6Hzであるd7, 0～1.3Hzであるa7の両レベルにおいて位置300～600付近で卓越した振幅を検出し、そのa7レベルにおいては左右動揺と通り狂い復元左右との相関関係が高く、動揺の発生原因として通り狂い復元左右が影響していると考えられる。つまりこの区間では通り狂い復元左右が車両の共振に起因する原因となっている。また水準狂いではd7, a7の両レベルにおいて左右動揺との相関関係は見られなかったが、d6レベルで表している2.6～5.2Hzの周波数帯域では水準狂いとの相関が見出せた。

表2 左右動揺と各軌道狂いの相関

300km/h	動揺と各データとの相関		
	水準	通り左	通り右
d1	-0.02	-0.34	0.23
d2	0.05	-0.08	0.08
d3	-0.16	0.09	-0.04
d4	-0.23	0.05	-0.24
d5	0.03	0.36	-0.25
d6	0.48	0.22	0.05
d7	-0.62	0.25	-0.24
a7	-0.49	0.75	-0.68

6. 結論

本研究から離散ウェーブレット解析は車両動揺の原因を推定、また保守対象箇所と整備すべき波長の特定に有効であることが確認された。

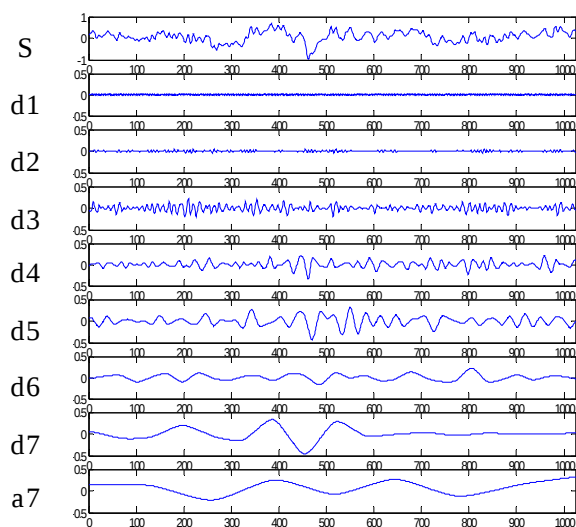


図1 300km/h 左右動揺

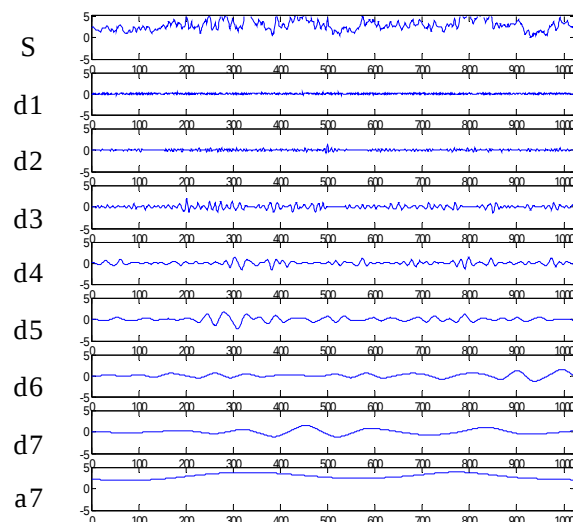


図2 水準狂い

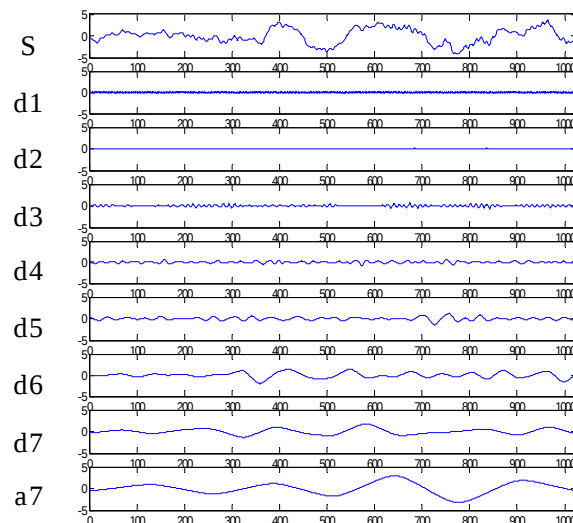


図3 通り狂い復元左

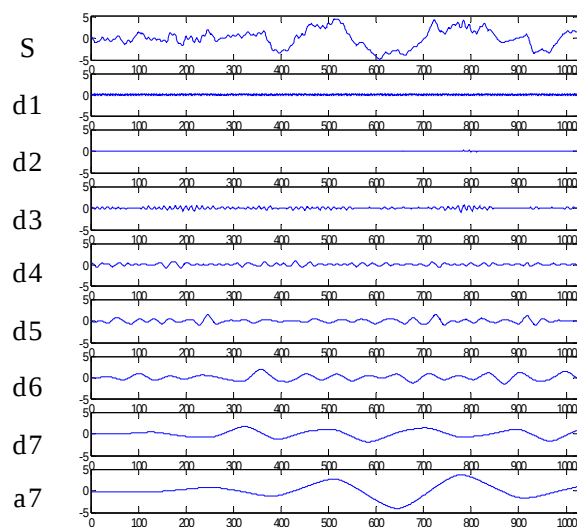


図4 通り狂い復元右

参考文献

- 1) 榊原進:ウェーブレット ビギナーズガイド, 東京電気大学出版局, 1995