

N-330

Wavelet 理論を用いた鉄道車両の振動特性に関する研究

北海道旅客鉄道株式会社 正会員 白川 龍生
北見工業大学 正会員 川村 彰

1・緒言

軌道を合理的に保守し、乗心地を改善するためには、高低・通り等の軌道状態を常に把握していなければならない。各種検査業務の中で、近年列車速度向上に伴い、列車動揺加速度試験が重要性を増すようになった。これは、軌道狂いが少ないほど動揺値が下がるとは限らないからで、一定の乗心地を確保する上でも実際に走行する車両に上下・左右方向へ負荷する動揺加速度を測定しなければならないからである。この様に、軌道狂いと車両の動揺は極めて複雑な関係を持っており、その解析に際し、これまでは経験工学的要素に大部分を依存していた。本研究は、信号処理の分野で近年注目を集めている Wavelet 理論を活用し、鉄道における振動乗心地解析を行い相関関係の解析を行ったものである。

2・Wavelet 概要

Wavelet は測定データに含まれる異常性の検出、その位置の特定、データの標準化等、幅広い分野で応用されている（図-1）。Wavelet とは信号を形成する「細波」を形成する「小波」に語源があり、分析したい関数 $f(x)$ で局所的に存在する波の成分を取り出すときの抽出関数(1.1)式として用いられる。

$$(W_{\phi}f)(b,a) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) f(x) dx \quad (1.1)$$

ここに、 ψ :基底関数となるマザー・ウェーブレット、 a :伸縮量、 b :平行移動量

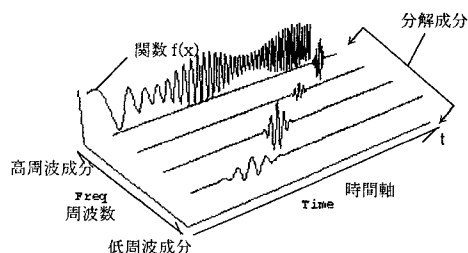


図-1・Wavelet 概念図

Wavelet の優れている点を挙げると、次の2点に要約される。

- (1)短波成分に対し時間分解能が高く、長波成分には周波数分解能が高い点。これは多重解像度解析の特徴である。この事は解析手法としての Wavelet の合理性を示している。
- (2)逆変換が可能である。即ち、時間周波数解析に限らず信号のフィルタリングや分解・合成を行える事になる。

3・解析結果

3-1・車速の変化による振動特性の解析

普通列車(75km/h)及び特急列車(90km/h)において、同一軌道条件下での列車動揺試験を行った。試験結果に対して時間周波数解析を行った結果を図-2、図-3に示す。最上段の波が動揺値の原波形であり、以下分解成分（2段目は長波成分、3～7段目は短波成分）である。動揺波形は類似しているが、分解された各成分は明らかに異なった波形を示しているのが確認できる。

より明確に影響を把握するため、ノイズを除去したのが図-4、図-5である。これは、分解成分のうち短波成分に関しノイズ成分を取り除き影響力図で表現したもので、白色に近づくほど動揺に与える影響が卓越している。この図より、最上段の level-5（長波成分）は両者に共通して大きな影響が確認される。また、75km/h の場合は level-3（中波成分）が影響を示しているのに対し、車速が 15km/h 向上することにより影響範囲が level-4（level-3 に対しより大きな成分）へ推移した事がわかる。また、level-1（短波成分）へも影響範囲が広がっているのが確認できる。以上より、車速と車両の周波数応答特性とが関係していることが推察される。

KeyWords : Wavelet, 時間周波数応答解析(Time-Frequency Analysis)

連絡先: JR 北海道帯広工務所 〒080-24 北海道帯広市西 19 条南 1 丁目 4-4 (0155-35-3941)

3-2・動揺と軌道狂いとの相関関係
次に列車動揺と軌道狂いの相関関係を解析するため、高速軌道検測車によって測定した軌道の凹凸データに関し時間周波数解析を行った。解析結果を図-6に示す。

75km/hの場合特に反応が顕著に見られたlevel-3,level-5の成分は、10段階評価した場合、d5・d6及びd9・d10の地点で、動揺のピークよりやや先に反応が確認できる。また、90km/hの速度ではlevel-4,level-5の成分にて影響が確認されたが、この場合は凹凸を乗り越えやや時間を経過した後には反応が現われる為に、d7～d10への影響は遅れてくる。

以上のことから、動揺の大きさは速度に依存しており、速度によって応答する凹凸の波形が異なっている事が確認できる。この場合、75km/hでは中波長に反応が現われ、また車速が15km/h向上した事でより広範囲に反応が現われる。

つまり、動揺値を合理的に許容範囲内へ制御するには、その速度毎に最も過渡的の反応を示す波長に着目し、その周波数領域の中から卓越した応答を示す部分に関して保守を行えばよいという事がわかる。

4・結言

振動系の共振域と速度との関係で動揺値が決定する、動揺加速度が速度に依存している事が解明された。つまりWavelet理論を振動解析に適用すれば、局所的に存在する波の位置と波状特性を検出することが可能である。

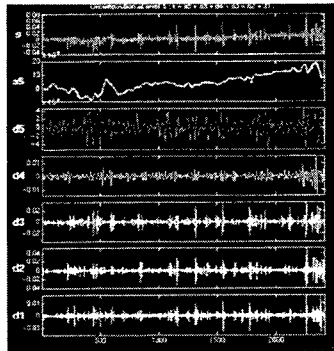


図-2・時間周波数応答解析 (75km/h)

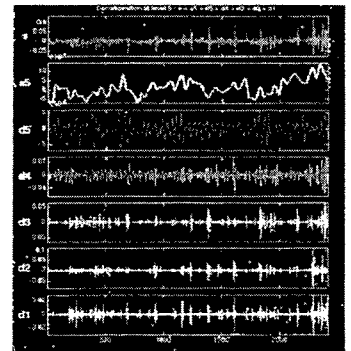


図-3・時間周波数応答解析 (90km/h)

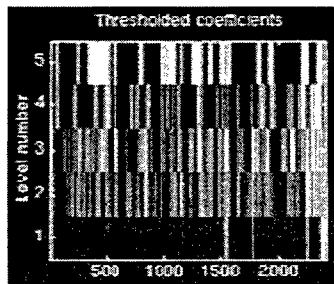


図-4・ノイズ除去 (75km/h)

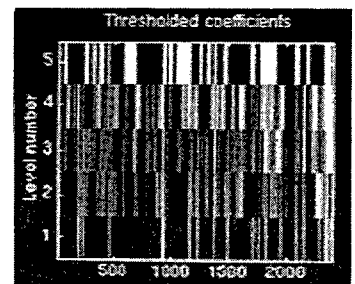


図-5・ノイズ除去 (90km/h)

(白色に近づく程その周波数帯の寄与度が高くなる)

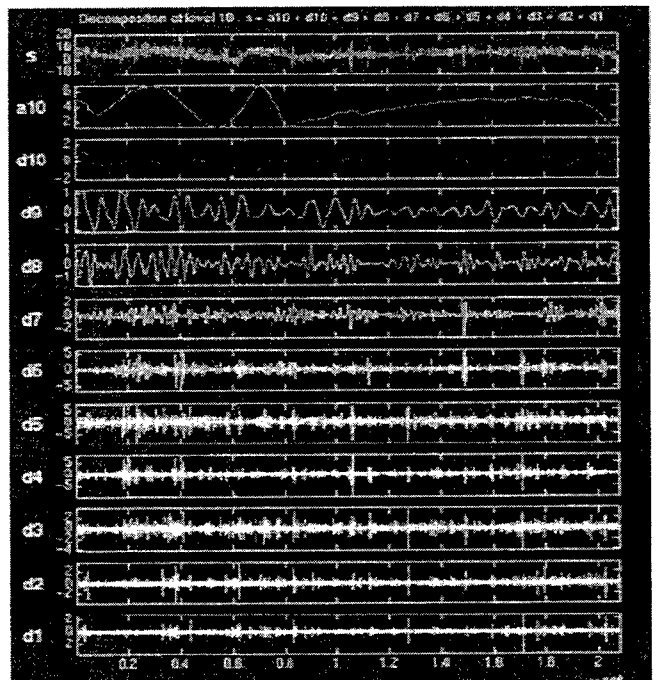


図-6・軌道の凹凸状態