

軌道狂いの評価に関する研究

A study of estimation of track irregularity

北海学園大学大学院 学生員 ○児玉 健太郎 (KODAMA kentarou)

北海学園大学工学部 正 員 上浦 正樹 (KAMIURA masaki)

北海道旅客鉄道株式会社 正 員 小澤 広一 (KOZAWA hirokazu)

1. はじめに

鉄道におけるバラスト軌道では列車の通過によりバラストの緩みやレール継ぎ目部での変形が生じる。レール面では水平方向と鉛直方向に変位が生じ軌道狂いが発生する。軌道狂いが発生すると車両走行の安全性と乗り心地を確保できなくなる。そこで健全な状態を維持するために高速軌道検測車(以下、マヤ車)で検測を行い結果から軌道状態を判定する資料としている。また、軌道狂いの波長成分をフーリエ解析で求め軌道補修に役立てるような検討がなされている。判定は従来から軌道狂いの周波数特性を把握するためにフーリエ解析が用いられてきた。だが、この方法では周波数成分の対応した軌道狂いを求めることができない。そこで時間(空間)周波数解析ができる連続ウェーブレット(以下、WT)解析とフーリエ解析を比較しながら、モデル化した軌道状態と実際に検測した現場の波形を用いて軌道狂いのうち高低狂いの判別に関する評価を検討した。

2. 検測データとモデルの軌道狂い

本研究では現場データとして2001年10月13日にマヤ車で検測された宗谷線下りの高低狂い 1mピッチのデータを用いた。解析区間は186k 250m付近前後 512mである。図-1に示す現場データは平面線形が 300mまでが直線区間であり、それ以降は曲線区間となっている。

作成したモデルはレールの継ぎ目落ちが 25mごとに生じると考えデータピッチを 1mとして作成した。図-2は現場データとの比較をするために 10m弦の波形をとったものである。モデルの 10m弦波形は本来の波形に対して上向きにも波形ができているのがわかる。これは 10m弦による検測特性で疑似波形が形成される。

3. 連続ウェーブレット変換¹⁾

連続 WT 変換は対象となる信号 $f(t)$ と基底となる関数 $\Psi_{a,b}(t)$ (マザー WT) との内積をとったもので、周波数解析に適している。連続ウェーブレット変換の式(1)を示す。

$$(w_{\Psi}f)(b,a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{\mathbb{R}} f(t) \overline{\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right)} dt \quad (1)$$

ここで、 a は拡大縮小のパラメータで、小さくとると高周波成分を分析することができる。 b は基底関数の移動を示すパラメータである。WT 解析では選択した基底関数に依存し結

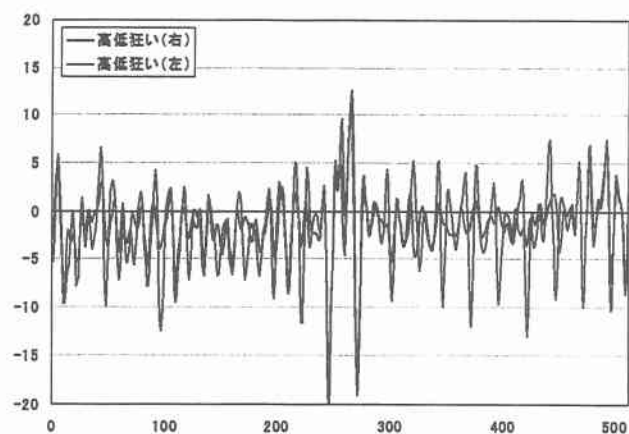


図-1 現場の 10m弦高低狂い波形

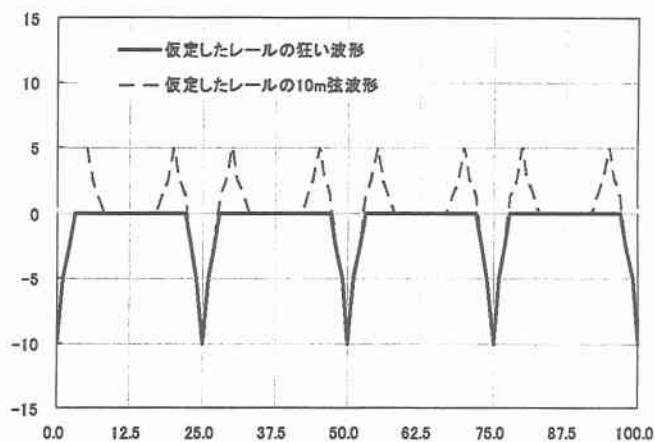


図-2 モデル化した 10m弦高低狂い波形

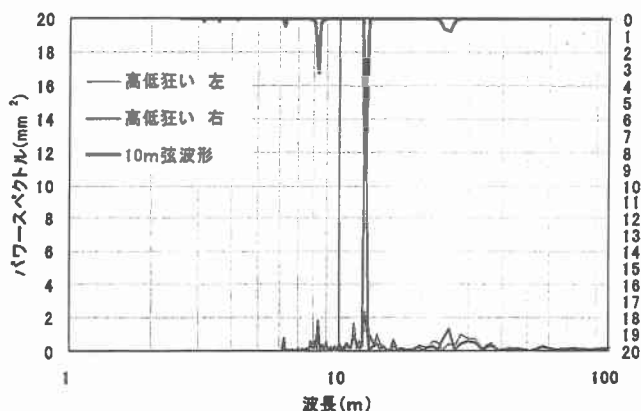


図-3 現場とモデル化した 10m弦高低狂いの波長特性

果に大きく影響する。本研究では形状が単純で周波数分析に適していると考えられる discrete Meyer を用いた。

4. 解析と比較

フーリエ解析により高低狂いの現場波形とモデル波形のパワースペクトルをとった。波長領域は1~100mまででその結果を図-3に示す。25mごとに継ぎ目を想定したモデルでは25mの波長がやや小さめに出了が、その半波長の12.5mではかなり大きく検出されたほか、8.3m、6.2mも確認できた。現場波形では左右のレールにおいてほぼ同じ結果であった。モデル波形との比較では同様の結果が伺える。このことから現場ではレール継ぎ目部での影響があると推測できる。このことから、波長が12.5m、8.3m、6.2mが検出された場合に継ぎ目落ちの影響が考えられる20m弦高低狂い波形

5. 連続ウェーブレット解析と比較

現場波形とモデル波形に連続ウェーブレット解析を行った。解析したスケール範囲は1~30に設定した。波長に直すと1.5~45mである。現場波形の解析結果を図-4に示す。波長7.5~19.5mの帯域においてほぼ定常的に発生している。この波長帯域の中央値は13.5mで12.5mに近い値である。図-5はモデル波形の解析結果である。この結果からスケール値17、波長が25.5mに相当する位置において強く反応している。また、上の高低狂いの継ぎ目落ちを示すピークと、連続WT解析結果の位置が一致している。ことから継ぎ目部の位置をとらえているのがわかる。現場波形のスケール値17から350~500m付近で高い値を示していることから、この位置ではレール継ぎ目の影響があると考えられる。

表-1は現場波形とモデル波形の連続WT解析結果からスケール値17の濃淡を示す波形より、隣り合うピーク値の差をとったものである。モデル波形は25mを示し現場波形では平均が25m近傍であった。

6. 結論

現場波形とモデル波形を比較して、フーリエ解析では複数の波長帯域を考慮しないと目的の波長を特定できない可能性がある。連続WT解析を含めて考えると、この現場波形の場合12.5mの波長は10m弦による疑似波形の影響がでているのではないかと考えられる。モデル波形からは25mの波長帯を検出することができた。

7. おわりに

今回の研究から、連続WT解析は空間と周波数帯を同時にとらえ、軌道狂い箇所を特定できることがわかった。

今後は、実際の現場の状態を確認し、検出波形と照らし合わせて検証をしたいと考えている。また、20m弦、復元波形の解析を行い、現場の状況と比較し軌道補修方法の改善に生かせるように研究を進めて行きたいと考えている。

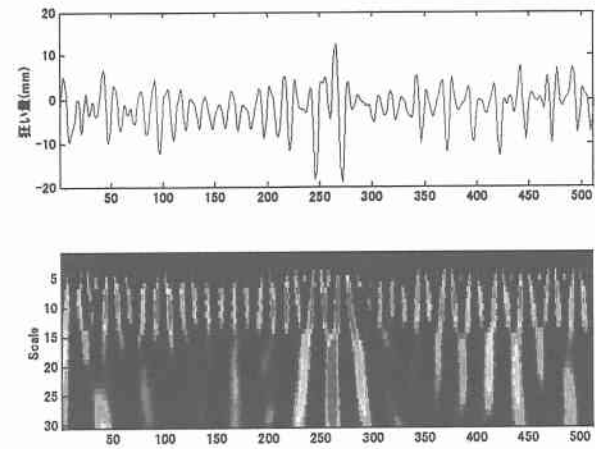


図-4 現場データと連続ウェーブレット解析結果

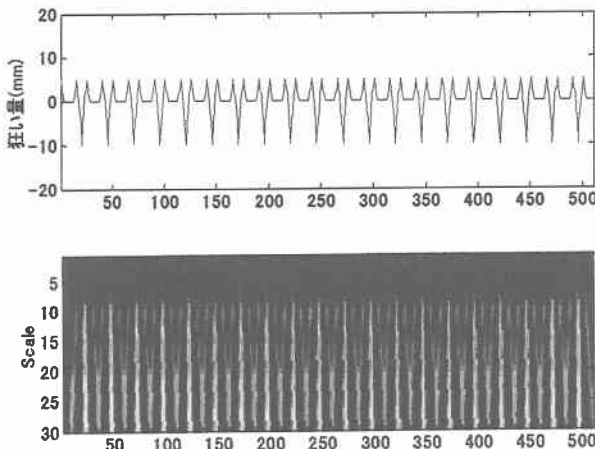


図-5 モデルデータと連続ウェーブレット解析結果

No	ピーク位置(m)	差	No	ピーク位置(m)	差
1	21		1	10	
2	46	25.00	2	39	29
3	71	25.00	3	59	20
4	96	25.00	4	79	20
5	121	25.00	5	107	28
6	146	25.00	6	132	25
7	171	25.00	7	154	22
8	196	25.00	8	187	33
9	221	25.00	9	213	26
10	246	25.00	10	236	23
11	271	25.00	11	260	24
12	296	25.00	12	282	22
13	321	25.00	13	309	27
14	346	25.00	14	332	23
15	371	25.00	15	355	23
16	396	25.00	16	390	35
17	421	25.00	17	412	22
18	446	25.00	18	437	25
19	471	25.00	19	464	27
20	496	25.00	20	486	22
平均		25.00	平均		25.05

表-1 モデル(左)と現場(右)のピーク位置とその差

1) 中野宏毅：「ウェーブレットによる信号処理と画像処理」
2000.3