

軌道の劣化・復元のモニタリングに関する基礎的研究

- (財)鉄道総合技術研究所 正会員 白川龍生
- 北見工業大学 工学部 正会員 川村 彰
- 北海学園大学 工学部 正会員 上浦正樹
- (財)鉄道総合技術研究所 正会員 高井秀之

1. はじめに

線路の疲労現象の一つである軌道狂いは、その原因が多岐に及ぶため、メカニズムの把握が容易ではない。したがって適切な軌道整正を行い健全な状態を常に維持するには、軌道検測車により定期的な検測を行い、測定結果を信号処理によって分析し、線路に蓄積された損傷の程度を把握し健全度判定を行う必要がある。この(1)センシング、(2)信号処理、(3)健全度判定の3要素を有機的に結合したシステムは一般にヘルスマニタリングと呼ばれており、発祥地はアメリカ合衆国と言われている<sup>1)</sup>。本研究は、道床つき固め作業の施工前後の比較、及び施工後の軌道狂いの進行について、局所的な空間-周波数領域での特定パターンの発生について考察するため、連続ウェーブレット変換<sup>2)</sup>を用いた基礎的なモニタリングを行った。その結果得られた一知見について報告する。

2. 局所的な自己相似性の検出と連続ウェーブレット変換について

有道床軌道は、敷設の段階から徐々に劣化し、保守上限に達すると復元する過程を繰り返すことを前提に設計された構造物である。したがって保守コストを低減するには、保守周期を可能な限り延伸することが求められる。そのため、入力信号(軌道狂い)に含まれる空間-周波数領域での特定パターンの発生傾向を検出することは、保守計画策定上有効であると思われる。軌道狂いは局所的な損失が生じない場合、定常不規則過程として統計的に処理され、自己相似集合を持つ特性からフラクタル次元による解析も行われている。しかし、この解析は大域的な把握には適するが、局所的な自己相似性の解析には不向きである。

連続ウェーブレット変換は、入力信号と基底関数(またはアナライジングウェーブレット)の相関について、各周波数域で適合したものを検出することが可能であり、局所的な自己相似性の検出に適している。そこで本研究では、式(1)に示す連続ウェーブレット変換式を用いて、局所的な空間-スケール関係について考察した。

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

ここに、 $\psi$ : アナライジングウェーブレット、 $a$ : 伸縮量、 $b$ : 平行移動量

3. 高低狂い測定の概要

測定区間は、在来線1級線(累積通トン3000万t/年)と設定し、データは軌道検測車の10m弦正矢による値を波長6~50mの範囲で復元逆フィルタ演算した結果を用いた。

測定区間の劣化・復元サイクルを図-1に示す。これは長年にわたるサイクルのごく一部であるが、ここでは19ヶ月前後と推定される。

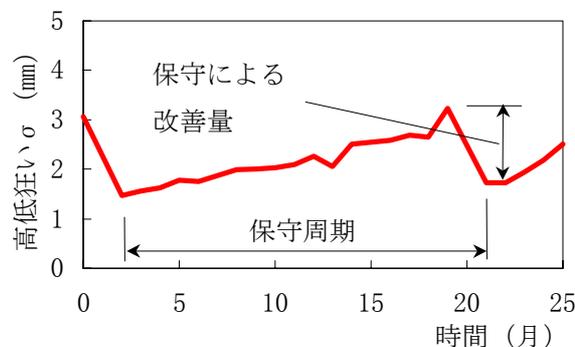


図-1 軌道状態の劣化・復元

キーワード: モニタリング、連続ウェーブレット変換、局所的な自己相似性

連絡先: 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38、Tel 042-573-7278、Fax 042-573-7296

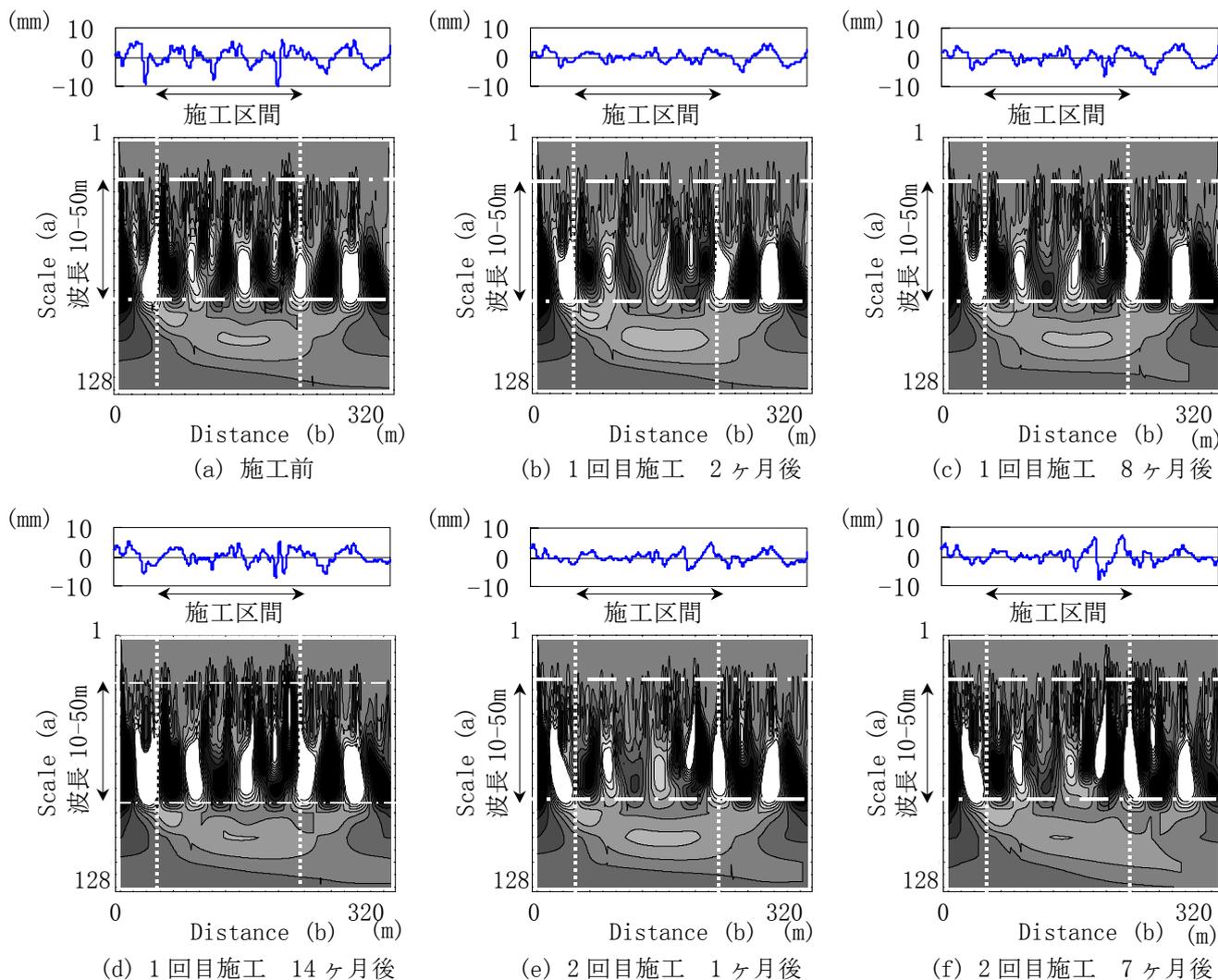


図-2 高低狂い進みの空間-スケール図

#### 4. 軌道の劣化・復元のモニタリング

前述の測定区間について、連続ウェーブレット変換により劣化・復元状態を解析した結果を図-2へ示す。この図は空間-スケール図と呼ばれる。基底関数は、基礎的な研究のため、一般的な Mexican hat を用いた。ここで横軸は基底関数の位置パラメータ  $b$ 、縦軸はスケールパラメータ  $a$  である。スケール  $a$  は値が小さいほど高周波数を意味する。復元原波形はバンドパスフィルタであるため、復元帯域外では明らかに検出精度が低下する。図-2中、10~50mの波長域を1点鎖線で示した。また、ウェーブレット係数の振幅の大きさは明暗で示し、位相は色相で示した。明暗の度合いが高いほど振幅の大きいことを示す。同じ明るさから形成される等位相線が輪状となっているが、さらに同様の形状が出現しており、局所的に自己相似性を有したパターンが見受けられる。

また図-2は、道床つき固め作業施工後の波状特性変化を時系列順に表示している（施工区間を点線で示す）。空間-スケール図で比較すると、ウェーブレット係数の振幅の変動に速度差が見受けられる。このことから、例えば道床つき固め作業効果が持続する周波数帯と、劣化進行速度の早い周波数帯について局所的に把握できる。ゆえに連続ウェーブレット変換は、保守周期に影響を与える周波数帯に応じた作業計画を策定する際の支援ツールとして、有効な手法と考えられる。

- 参考文献 1) 山本鎮男編：ヘルスマニタリング (1999)、共立出版  
2) Mathematicaによるウェーブレット変換(1996)、朝倉書店