

N-353

慣性測定法で得られた軌道形状の波形歪み補正

東海旅客鉄道 正会員 永沼泰州

1. はじめに

現在、東海道新幹線では、慣性測定法を利用する3種類の測定装置が稼動している。① 確認車に搭載された「TRASC (TRack State Confirming machine)」、② 300X 試験車両に搭載された「300X-TRIPS (TRack Information Processing System)」、そして ③ レール探傷車で牽引する「レール頭頂面凹凸連続測定装置」である。慣性測定法は加速度の2階積分により変位を求める手法であるが、積分安定化のために付加されるハイパス(高域通過)特性により、測定データは波形歪みを生じ、地上の軌道形状と一致しない。

本報告では、慣性測定法による波形歪みを補正する方法と、既存装置への適用について述べる。

2. ハイパスフィルタの特性

前述の装置には、速度発電機パルスにより遮断周波数を可変するアナログハイパスフィルタ(Butterworth 特性)が使用されている(TRASCとTRIPSは4次、凹凸測定装置は2次)。一例としてTRIPSのハイパスフィルタの周波数特性を図-1に示す。図中のプロットは

振動台試験の結果である。試験結果は理論値と良く一致し、TRIPSは理論特性を高精度に実現した装置であることが判る。しかし、遮断周波数(波長120m)付近で位相遅れが顕著なため、出力波形に歪みが生じ、最大値を知りたい場合には不都合が生じる。TRIPS測定波形と実波形の比較を図-2に示す。波長120m付近の長波長域で符号が反転している(180°の位相遅れ)。

3. 位相補償フィルタ

前述の波形歪みを補正するためには、測定波形に装置特性と逆符号を持つ位相特性を与え、直線位相にする必要がある。これを実現する「位相補償フィルタ」の周波数特性を図-3に示す。Butterworthフィルタの緩慢な遮断特性を改善するため、振幅特性にも逆特性を与えた。図-3から実際のフィルタ係数を得るには、逆フーリエ変換により奇数個のインパルス応答を求めれば良い。

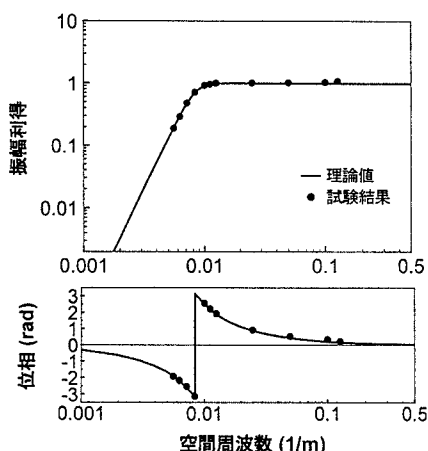


図-1 ハイパスフィルタの周波数特性 (TRIPS)

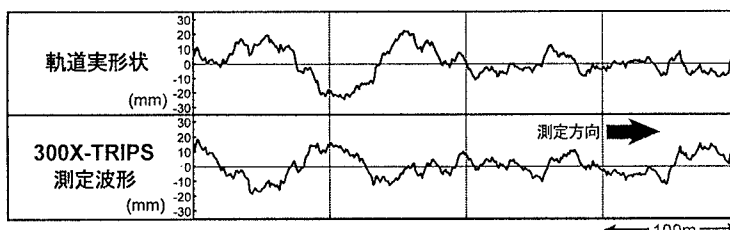


図-2 実波形とTRIPS測定波形との比較

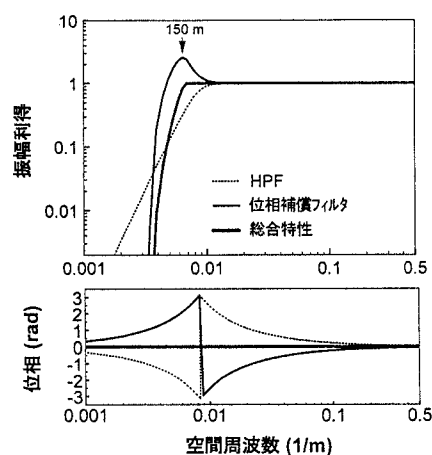


図-3 位相補償フィルタの周波数特性

キーワード：慣性測定法、デジタルフィルタ、位相補償、軌道検測、レール頭頂面凹凸

連絡先：〒100 東京都千代田区丸の内1-9-1 TEL 03-3213-7669 FAX 03-3217-0395

4. 他の測定法との比較

位相補償後の 300X-TRIPS 通り狂いと、マヤ車通り狂い(10 m 弦からの復元原波形)との比較を図-4 に示す。両者は良く一致し、本報告で提案した位相補償フィルタの妥当性を証明している。また、位相補償後の連続凹凸波形と、2 m ストレッチ波形との比較でも同様の結果が得られた。

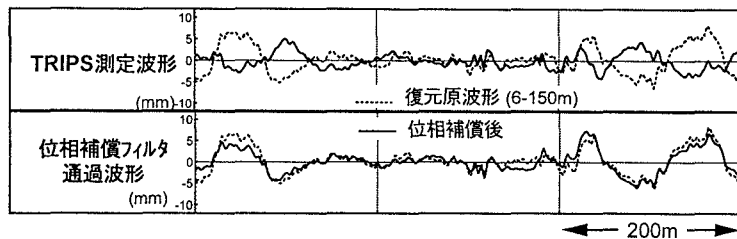


図-4 位相補償後の TRIPS 波形とマヤ車復元原波形との比較(通り狂い)

5. リアルタイム処理装置の開発

TRASC は前夜作業の仕上がり状態確認を担っているため、リアルタイムで波形歪みの無い軌道狂いを得る必要がある。このため実時間で位相補償を実現する装置を開発した(図-5)。この装置は DSP(Digital Signal Processor)を使用した 1024 次の FIR(Finite Impulse Response)デジタルフィルタで、距離サンプリングされた入力信号をフィルタリングし、接続された携帯 PC の画面に波形表示するとともに HDD に補正後のデータを収録する。試験の結果、本装置は非常に優秀な性能を発揮した。

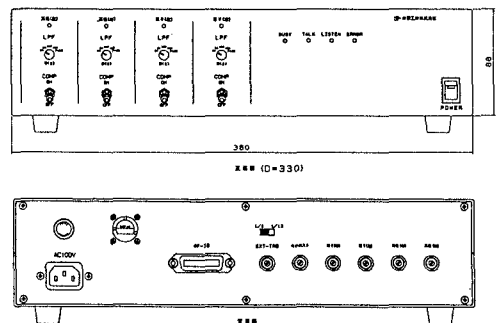


図-5 リアルタイムデジタルフィルタ

6. レール頭頂面連続凹凸処理システムへの適用

レール頭頂面連続凹凸測定データにおいても、位相補償フィルタにより波形歪みの無い連続凹凸波形を得ることが可能となったため、新たに「レール頭頂面連続凹凸処理システム」が開発され、大幅な省力化が実現された¹⁾。連続凹凸波形の場合、処理の対象となる波長域が 0.01m~5.0m と広範囲であるため、マルチレート信号処理を利用した帯域分割処理が必要である。処理フローを図-6 に示す。

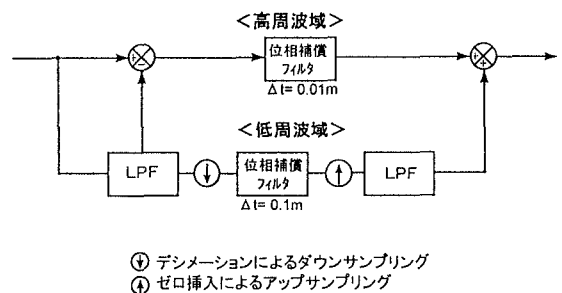


図7 連続凹凸波形の位相補償処理

7. おわりに

本報告で提案した「位相補償フィルタ」により、慣性測定法の波形歪みが精度良く補正されることが明らかになった。慣性測定法は特別な車体構造を必要とせず、広い波長域の測定が可能のため、営業列車等による軌道検測への活用が期待されている。本手法がそれらの一助となれば幸いである。

なお、本検討における全てのデータ処理は、鉄道総研が開発した「LABOCS」を利用した。

参考文献

- 1) 黒田,竹下: 東海道新幹線レール頭頂面凹凸検査の省力化, 土木学会第 52 回年次学術講演会
- 2) T. OTAKE, Y. NAGANUMA, Y. SATO : RECTIFICATION OF DISTORTED TRACK IRREGULARITY RECORD OBTAINED BY INERTIA METHOD, 6TH IHHA