

名古屋工業大学 正 員 池 守 昌 幸

名古屋工業大学 学 生 員 O 永 田 尚 人

1. はじめに 軌道にはレール継目という構造的な特異点が存在しており、車両の動的挙動や軌道狂いの成長に大きな影響を与えている。筆者らは軌道の変位形状(軌道波形と呼ぶ)がレール継目を一つの核として形成されると考え、軌道狂いの実測値を継目部からの距離ごとに区分して、それらの統計的特性を考察した結果を先に報告した。その場合に解析の対象とした実測値は通常使用されている10m弦正矢値で、これは軌道波形とは後述のような関係があるが、正矢値を用いた解析は軌道波形についての知識を得るのに制約を伴わせるを得ない。そこで本研究ではデジタルフィルタの技術に応用して正矢値から軌道波形の復元を行ない、これにより軌道波形の性状を考察することを試みた。

2. 軌道波形復元の方法 軌道検測車で連続的に得られる軌道狂い値は次式による10m弦正矢値として表わされる。

$$y_i = x_i - \frac{1}{2}(x_{i-L} + x_{i+L}) \quad (1)$$

ここに y_i : 位置 i における正矢値, x_i : i における軌道波形値

$x_{i \pm L}$: i より $\pm L (=5m)$ 離れた位置の軌道波形値

(1) 式のフーリエ変換より得られる測定系の周波数応答は次式となる。

$$H(f) = 1 - \cos(2\pi f L) \quad (2)$$

このことは、正矢値は軌道波形値を(2)式の形のフィルタを通して得られたものと解され、逆に軌道波形値を得るには正矢値を $1/H(f)$ の周波数応答をもつ逆フィルタに通すことが考えられる。本研究では次のもっとも簡単な非再帰形フィルタの適用を試みた。

$$x_i = \sum_{n=0}^{N-1} h_n y_{i-n} \quad (3)$$

ここに y_{i-n} : i 点より nL だけ離れた正矢値, h_n : 重み係数

(3) 式を Z 変換し $Z = e^{j2\pi f n L}$ とおくことにより次式が成立するようにする。

$$H_z(f) = \sum_{n=0}^{N-1} h_n e^{-j2\pi f n L} \quad (4)$$

$H_z(f)$ は逆フィルタの周波数応答であり $1/H(f)$ に等しいか十分に近似的なものでなければならない。次に h_n を求めるのに周波数サンプリング法によるフィルタ設計を適用した。この方法は所望の周波数応答が与えられたとき Δf 間隔でサンプリングして得られる $H_z(f_k)$ に有限逆フーリエ変換

$$h_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} H_z(f_k) e^{j2\pi f_k n L} \quad (n=0, 1, \dots, N-1) \quad (5)$$

を行って得られる N 個の h_n をフィルタの重み係数として用いる方法である。

逆フィルタに(6)式のような対称性をもたせると、(7)式により h_n が求まる。

$$|H_z(f)| = |H_z(1/L - f)|, \quad \theta_z(f) = -\theta_z(1/L - f) \quad (6)$$

$$h_n = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^{(N-1)/2} |H_z(f_k)| \cos(2\pi f_k n L - L\pi(N-1)f_k) \quad (n=0, 1, \dots, N-1) \quad (7)$$

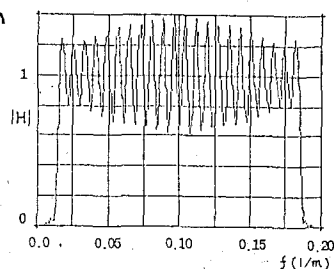


図 1 合成特性 ($N=5$)

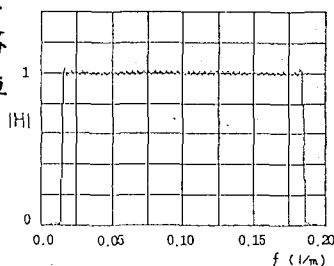


図 2 合成特性 ($N=50$)

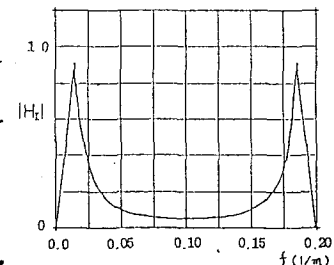


図 3 逆フィルタ特性

(5)式と(3)式により間隔しごとの正矢値の系列を用いて軌道波形値の復元が可能となる。ここで復元波形の精度には周波数サンプル数 N が関係し、当然 N が大きい程精度が高い復元波形を得ることが期待される。参考として、 $N=51$ および $N=501$ としたときのフィルタ合成特性を図1および図2に示した。合成特性とは(5)式により得られた h_m を(4)式に代入して得られた値と $H(f)$ との比をとったものであり、所要の周波数域で1となっていることが望ましい。これらの図で見るかぎり N の大きい方が望ましいが、 N が大きくなればそれに伴ってデータ長を大きくする必要があり、本研究ではデータ長の制約から合成特性にやや変動が見られるが $N=51$ とした。図3は計算に使用した $|H_x(f)|$ を示したものであり実際に存在すると考えられる軌道波形の周波数域を $0.015 \sim 0.185$ (9m) (波長 $66.667 \sim 5.405$ m) としてその外側は直線的に0まで減少するようにしてある。

3. 対象データ データは昭和44~46年度定期軌道検測で得られた一般軌道区間(1ロット500m)における高低軌道狂いデータであり以下のものを使用した。

表 1

ランク	状態	σ の範囲	1級線	2	3
高低 狂い	1 悪い	3.77~5.65	15	6	12
	2 普通	3.11~3.76	11	16	12
	3 良好	1.97~3.10	13	18	16

1 級線区間 No. 101~118, No. 120~140 計39箇所

2 級線区間 No. 201~240 計40箇所

3 級線区間 No. 301~340 計40箇所

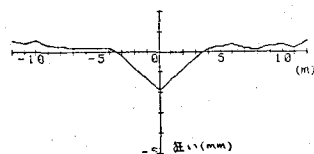
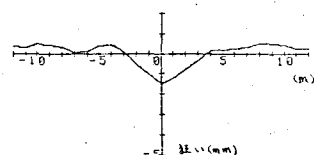
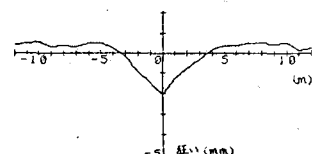
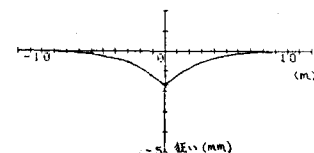
区分したデータを次のように処理した。(1)1ロット500mの正矢値データに逆フィルタリングを行ない250mの軌道波形値を算出する。(2)25mごとのグループ分けをし継目部位置を推定する。(3)ランクごとに継目部を中心として左右1mごとの波形値の統計的特性値を求める。(4)正矢値より推定した継目形状と軌道波形平均値との比較を行なう。

4. 解析結果 図4, 図5, 図6はそれぞれ1級線 σ_3 , 2級線 σ_3 , 3級線 σ_3 についての軌道波形値の平均値をプロットしたものである。これらの図では、継目部位置(0m)を中心として左右対称の形状となり先に報告したものとはほぼ同様の結果が得られている。図7は正矢値の平均値より推定した継目形状関数を示しているものであるが、図4と比較するとかなり良く似た形状が見られる。レガレ今回用いた逆フィルタではデータ長の制約もあり、周波数サンプル数 N が51と小さくせざるを得ず、図1にも示したように合成特性に変動が見られ、復元値は少なからぬ誤差を伴っていると考えられる。そのため軌道状態の悪いランクでは前とは若干様相が異なる結果となっている。

5. おわりに 今回周波数サンプリング法による $N=51$ とした逆フィルタを用いた結果を報告したが、今後、フィルタについての改良等を進めさらに深度化をはかりたい。

<参考文献>

- 1) 今井 聖 ; デジタル信号処理, 産報出版, 1980年12月
- 2) 吉村, 森, 吉田 ; 会話型時系列解析システム「LABOCS/TSA」の開発, 軌道技術研究報告 No. 980, 1975年11月
- 3) 池守, 永田 ; 軌道狂い波形の統計的特性についての一考察, 土木学会第38回年次学術講演会要録集, 1983年9月

図 4 軌道波形平均値 (1級 σ_3)図 5 軌道波形平均値 (2級 σ_3)図 6 軌道波形平均値 (3級 σ_3)図 7 継目部波形 (1級 σ_3)