

IV-439

軌道狂い慣性測定におけるフィルタの影響と位相補償の効果

日本機械保線 フェロー 佐藤吉彦

1. まえがき 軌道狂いを慣性測定する場合には、加速度を2回積分して地上の原波形を求める際に発生する長波長領域の発散を避けるために、数10mから100m程度のハイパスフィルタを必要とする。このフィルタを掛けると、測定波形には波長によって異なった位相遅れを生じ、通常管理の対象となる10m付近ではそれ程大きくはないが、長波長、特に数10mの波長領域ではその変動が大きいために、波形がかなり歪んでしまう。

これを補正するために、位相補償の逆フィルタが提案され¹⁾、軌道状態確認装置（TRASC）等で実用に供されつつあるが、その効果を波長毎にその測定波形に関して明確に示す方法が明にされていなかった。この報告は、これに関してその実用的な方法を提案するものである。

2. ハイパスフィルタによる波形の歪みと位相補償の効果 ハイパスフィルタとしては専らバターースフィルタが用いられてきた。これは、次式と図1で表わされるものである。

$$H(s) = \frac{\lambda_c^4 s^4}{(1 + 0.76525 \lambda_c s + \lambda_c^2 s^2)(1 + 1.84774 \lambda_c s + \lambda_c^2 s^2)} \quad \text{-----(1)}$$

ここで、 λ_c ：カットオフ波長、 $s = I/\lambda$ 、 I ：虚数記号、 λ ：波長

この図は、100mカットオフの場合について示したものであるが、同図（a）でその振幅はこのカットオフ波長で $1/\sqrt{2} = 0.707$ となり、これより長い波長で低減し、位相に関しては同図（b）で波長30m（波数 0.033m^{-1} ）付近までは大きく遅れ、これより短い波長では 2π 回ってほぼ同一の形状を保つものとなっている。

このフィルターに、図2(a)に示す波長40mの2波の三角波（振幅 $10\text{mm} = 0.01\text{m}$ ）を通すと、同(b)図に見られるように元の波形を想像できない位に変形され、最大の値は 8.01mm となる。この波形に、図1(b)の位相遅れを補償するフィルターを掛けたのが図2(c)で、その波形をほぼ完全に、値については(+)が 9.70mm に、(-)が 9.6mm でほぼ問題のない値まで復元されている様子を見ることが出来る。

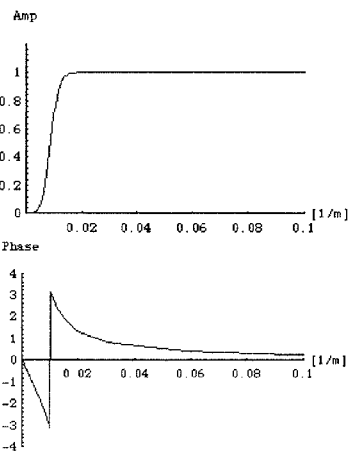
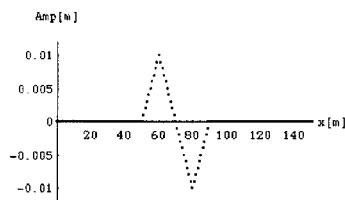
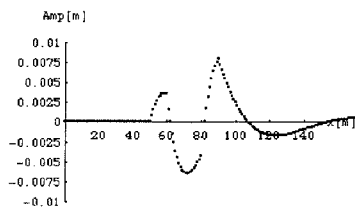


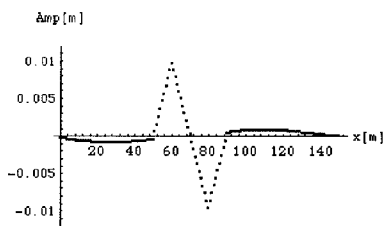
図1 バターースフィルタ



(a) 原波形



(b) フィルタ後



(c) 位相補償後

図2 三角波のフィルタと補償

キーワード：軌道狂い、慣性測定、フィルタ、位相補償、逆フィルタ

〒160-0022 東京都新宿区新宿3-36-10 新宿東洋ビル

Tel: 03-3352-3591 Fax: 03-3352-3503

3. フィルタの影響に関する波長別評価と補償の効果

以上により、フィルタと補償の効果は明解に示されたが、三角波の場合にはその先端が極めて鋭利になっているためにフィルタによるこのピーク値の落ち方が大きい。一般の軌道狂いではこのような鋭利な形状は見当たらないので、より実情に近い Sine 半波 3 波形の繰り返しによる場合について検討を進める。3 波形としたのは、通常の車両の応答を考えた場合 3 波形で無限の繰り返しに近い値になることが知られている²⁾ことによる。

この例を波長 10m 振幅 10mm の場合について示したのが図 3 である。この図によれば、まづ 10m の場合に関しては、原波形に関してもデジタル化が 1m 間隔で行われたためにピークの値が 9.5mm となっているが、フィルタ後の値は理論値に対して 7.8、-11.12、9.21mm で表示値に対しては 0.821、1.170、0.969 倍で、全体的に見ればほぼ原波形の値に近く、その管理すべき大きさを指摘することに関しては、実用的に十分使用に耐えうるものと考えられる。特にこれを 10m 弦正矢として評価する場合には、そうであると考えられる。補償後の値は、8.82、9.78、8.84mm となるが、全体に約 0.5mm 下がっているので、これを補正すると 9.32、9.28、9.34mm となり、理論デジタル表示値に較べると若干小さいが、ほぼ完全に復元がなされている。

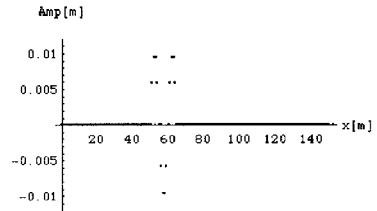
フィルタ後の値を、各波長について第 1、2、3 ピークとその後のピーク値についてその値を求めたのが図 4 である。これによれば、その大きさは 80m 以下ではほぼ 10mm に近く、狂いの大きい箇所を指摘するというだけであれば、これでも十分可能であることを示している。

次に補償後のピークの値と、始終点の偏倚値を示したのが図 5 である。これによれば、偏倚値は 60m 以下では 1mm 程度で、その第 1～3 波の振幅はこれを補正して考えればほぼ 10mm であり、90～110m はそのフィルタ効果により下がり理論値に合致している。また、形状に関してはいずれの波長の場合も Sine の形状が良く復元されていた。

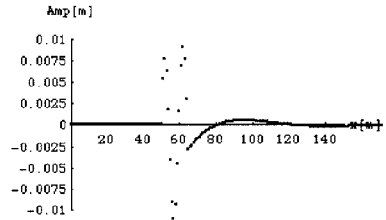
4. まとめ 以上の解析を通じ、慣性測定において復元前であってもその大きさは十分指摘され、位相補償により形状も十分再現できることが、その有効範囲を含めて明かにされたものと考えられる。

文 献 1) Ohtake, T., Naganuma, Y. & Sato, Y. : "Rectification of Distorted Track Irregularity Record" Vehicle-Infrastructure Interaction IV (1996.6).

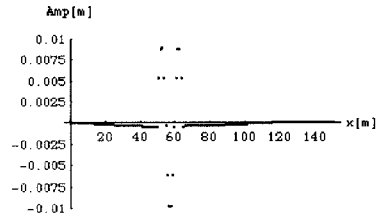
2) 佐藤吉彦 : "乗心地の立場から見た軌道高低狂いの整備限度" 鉄研報告 549(1966.8).



(a) 原波形



(b) フィルタ後



(c) 補償後

図 3 3 波のフィルタと補償

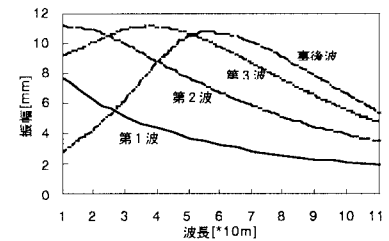


図 4 フィルタ後の波高

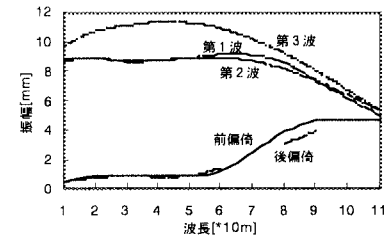


図 5 補償後の波高