

長波長帯域における復元波形の精度検証

○鉄道総合技術研究所 正会員 山本 修平
鉄道総合技術研究所 正会員 坪川 洋友
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 小木曾 清高

1. 背景と目的

近年の軌道変位の補修方法として、復元波形による整備が行われている。この復元波形は偏心矢法や正矢法等によって得られた軌道変位に対して、周波数毎の振幅を検測倍率の逆数倍する復元フィルタによる、演算処理を用いて算出するため、軌道変位の実形状に近い波形となる。一方で、検測倍率の小さな長波長帯域では、測定誤差を大きくすることになるが、これまでに復元波長帯域の上限が復元精度に与える影響についての検証はされていなかった。

そこで、長波長側の復元帯域の上限値が、復元波形の精度に与える影響を分析した。

2. 検測倍率と長波長帯域の関係

復元波形を算出する際には、偏心矢で検出したデータから直接算出する方法、あるいは正矢に演算されたデータから算出する方法が一般的である。2台車軌道検測車の差分法での検測倍率の例を図1に示す。偏心矢、正矢のいずれの場合においても、波長が長くなるにつれて検測倍率が低下しており、10m 弦正矢の波長 200m における検測倍率は 0.012 倍と低く、復元波形を算出する際には、振幅を 83 倍する処理を行うこととなる。そのため、仮に波長 200m の成分に 0.1mm の誤差が生じていた場合、8.3mm もの誤差が復元波形に表れてしまうことになる。また、40m 弦正矢の波長 200m における検測倍率は 0.191 倍であるが、40m 弦正矢自体が、偏心矢で検出したデータを演算処理することによって算出されたものであり、復元波形算出の際には2つの誤差が重畳することになる。よって、演算処理による誤差の可能性を低減させるためにも、復元波形は、偏心矢から算出することが望ましいと考えられる。

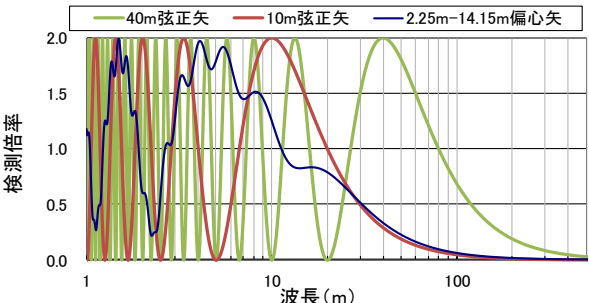


図1 検測特性図

表1 復元帯域一覧

No.	項目	長波長帯域	帯域①	帯域②	帯域③	帯域④	次数
1	10m弦正矢	120m	5m	6m	120m	200m	12001
2		150m	5m	6m	150m	250m	12001
3		200m	5m	6m	200m	325m	15001
4		250m	5m	6m	250m	400m	15001
5	40m弦正矢	300m	5m	6m	300m	525m	15001
6		120m	20m	30m	120m	200m	12001
7		150m	20m	30m	150m	250m	12001
8		200m	20m	30m	200m	350m	15001
9	偏心矢	250m	20m	30m	250m	400m	15001
10		300m	20m	30m	300m	550m	15001
11		120m	5m	6m	120m	200m	12001
12		150m	5m	6m	150m	250m	12001
13	偏心矢	200m	5m	6m	200m	350m	15001
14		250m	5m	6m	250m	400m	15001
15		300m	5m	6m	300m	550m	15001

3. 検証方法

偏心矢・10m 弦正矢・40m 弦正矢から算出した復元波形について、連続する2測定間の振幅の差の標準偏差を500m 毎に算出したものを繰返し精度と定義し、評価した。設計した復元フィルタは表1と図2のとおりであり、長波長側の復元帯域が長くなるほど、設計した復元フィルタを安定させるためには、遷移帯域や次数を多く取る必要がある。

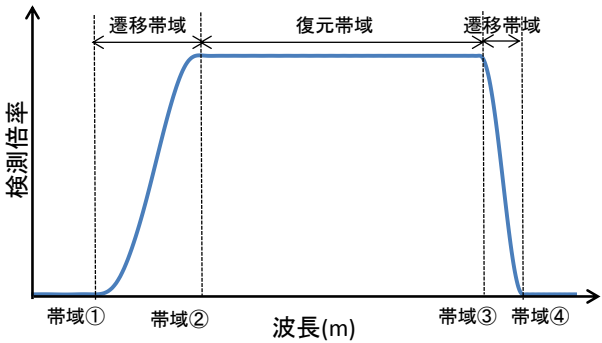


図2 帯域と検測倍率の関係

キーワード 復元波形, 長波長変位, デジタルフィルタ, 偏心矢, 正矢
勤務先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 042-573-7278

4. 検証結果

10m 弦高低変位から復元波形を算出した結果を図3に示す。復元帯域の上限が長くなるにつれて、振幅が大きくなっていることが確認できる。続いて、入力波形である10m 弦高低変位の繰返し精度と、出力波形である復元波形(高低)の繰返し精度との関係を図4に示す。復元帯域の上限が長くなると、復元波形高低の繰返し精度が悪くなっていることも確認できる。この傾向は、入力波形を40m 弦高低変位、偏心矢高低変位に変えた場合も、同様であった。また、10m 弦高低変位の繰返し精度の大小に関わらず、復元波形高低の繰返し精度には、ばらつきが存在する。特に、10m 弦高低変位の繰返し精度が0.2mm未満のロットについては、0.2mm以上のロットに比べて傾向が顕著であり、入力波形の精度の大小に関わらず、出力波形のばらつきが大きいため、このばらつきが復元波形算出時に起こり得る誤差の標準偏差であると推察した。

そこで、10m 弦高低変位の繰返し精度0.2mm未満のロットに着目し、復元波形高低の繰返し精度の分布状況を確認したところ(図5)、復元帯域の上限が長くなるにつれて、分布の幅が広く、誤差の平均標準偏差も大きくなる傾向がある。この分布から、誤差の標準偏差の%値を、復元帯域の上限別に算出した結果を図6に示す。復元波形高低においては、波長200mまでを復元した場合、誤差の標準偏差は95%確率で1.0mm以内に収まるといえる。

その他の入力波形についても同様の検証を行い、誤差の標準偏差の95%値を算出した結果を表2に示す。高低変位については、10m 弦正矢、40m 弦正矢、偏心矢を入力波形としても、誤差の標準偏差は同程度であり、波長300mまでを復元した場合、誤差標準偏差の95%値が2mm程度となり、現状の新幹線の軌道変位管理と照らし合わせると、許容できる値ではないと考えられる。

5. まとめ

本研究では、復元帯域の上限が、復元波形の精度に与える影響を分析した。その結果、復元帯域の上限と、誤差の関係を定量的に把握できた。縦曲線等の線形条件に分けた場合に、線形による影響を分析するとともに、慣性正矢法による検測データについても同様の検証を行い、入力波形と出力波形の関係を明確化し、復元帯域の上限値を提案したい。

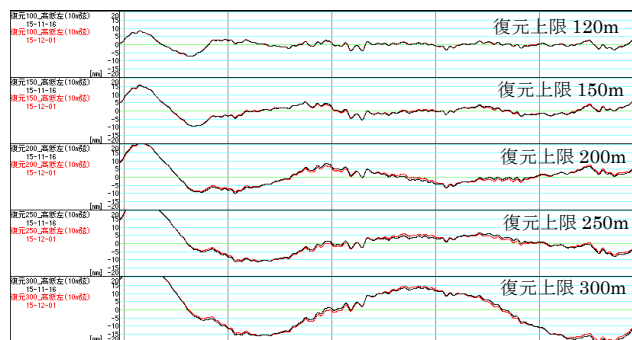


図3 復元波形算出結果

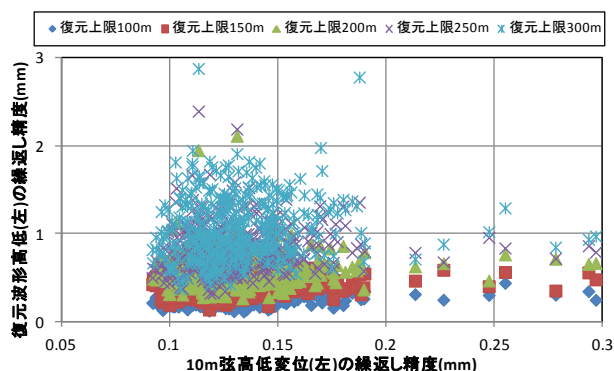


図4 復元波形算出結果

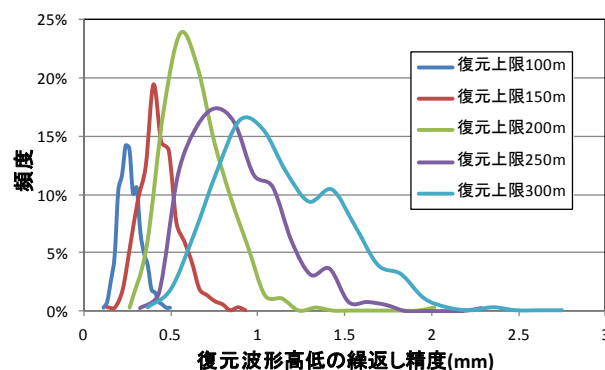


図5 繰返し精度分布図

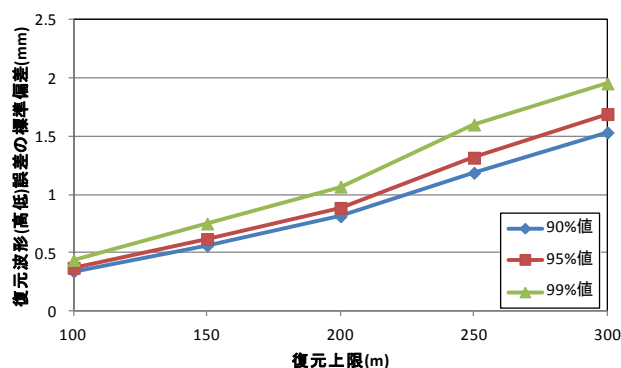


図6 誤差の標準偏差と復元帯域の関係

表2 誤差の標準偏差一覧(95%値)

		100m	150m	200m	250m	300m
10m弦高低	左	0.37	0.62	0.88	1.32	1.69
	右	0.41	0.75	1.06	1.51	1.92
40m弦高低	左	0.35	0.62	0.89	1.31	1.65
	右	0.38	0.71	1.05	1.47	1.90
偏心矢高低	左	0.37	0.62	0.89	1.32	1.68
	右	0.42	0.74	1.07	1.52	1.92