

超長波長領域の復元原波形を用いた曲線整備手法の確立

西日本旅客鉄道株式会社 ○正会員 高田幸裕

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 鈴木常夫

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 黒田昌生

1. はじめに

JR西日本では、山陽新幹線の高速化を進めているが、 σ 値管理や 08MTT の導入等により、バラストの軌道状態や乗り心地は良好な状態を保っている。しかし、著大な動揺は発生しなくなったが、長い波長の揺れを感じることもある。

そこで、本研究では、この揺れの要因分析を行い、列車の横圧変動との関係に着目することで、整備手法を確立し、良好な経過が得られたので、施工後の結果も含め、報告することとする。

2. 横圧変動の要因分析

(1) 列車動揺の現状

JR 西日本では、振動加速度と定常加速度の和を持って動揺を管理している（JR 西日本では、100Hz の LPF で透過して得られる動揺波形を左右定常加速度としている）。曲線における左右動揺について、定常加速度成分がきれいな曲線（図-1）と、うねっている曲線（図-2）が見られた。

図-2 に示すように、531k の曲線部では、長い波長成分が存在しており、この成分が、長い波長の揺れを起こしているのではないかと考えられる。

一方、左右定常加速度は、超過遠心力により発生していることから、576k の曲線のようなきれいな箇所では、軌道に加わる横圧はほぼ一定と考えられる。しかし、531k の曲線のようにうねっている箇所では、横圧の変動が発生しており、その変動が、長い波長の揺れを助長させているのではないかと考えられる。

(2) 摩耗の現状

横圧変動は、レール摩耗とも相関が高いと考えられるため、曲線部の摩耗を図-1,2 の曲線部において 25m ピッチで測定した。その測定結果を図-4（576k）、図-5（531k）に示す。なお、左右動揺と側面摩耗の形状が比較的一致するため、今回は、側面摩耗についての結果を示した。

図-4,5 より、測定ピッチが違うため、摩耗の評価する点と列車の荷重方向と一致しないものの、576k の摩耗は振動加速度と、531k の摩耗は左右定常加速度と形状が一致していることがわかる。したがって、576k の曲線では、振動加速度成分による摩耗、531k の曲線では、定常加速度による摩耗が発生していると考えられる。

3. 発生要因分析

列車の横圧変動を低減するために、左右動揺の発生原因の追究を行った。軌道狂いデータは Labocs データ、分析対象は、水準狂いと 40m 弦通り狂いとした。動揺と軌道狂いとの関係を図-6,7,8 に示す。

水準に関しては、両曲線とも相関性は低いと考えられる。576k の曲線では 40m 弦通り狂いと振動加速度が、531k の曲線では 40m 弦通り狂いの 100m 移動平均による基準線（以下、「100m 基準線」とする）と、左右定常加速度が一致していることがわかった。このことから、この二つが、それぞれの曲線において、動揺の発生要因であると考えられる。

4. 整備手法の検討

現在の MTT 整備手法（40m 弦 σ 値整備）では、576k 曲線部での動揺発生要因である、40m 弦通り狂いは整正できる。しかし、531k 曲線部での要因である、100m 基準線に関しては、前述のように、移動平均による基準線補正後の狂いを整備することが目的であるため、この基準線自体を整正することはできない。そこで、左右定常加速度のうねり自体が原因と考えたため、100m 基準線を整備できる整備手法を検討した。

また、現地地形を捉えるための手法として、経費や今後の利用性を考慮して、復元原波形を利用することとした。

5. 復元原波形を利用した整備手法

(1) 復元原波形の問題点

復元原波形の利用において、復元する波長領域を広げれば、531k の動揺要因である 100m 基準線のような、超長波長のうねりを整備できるはずであるが、波長領域を広げて復元させる場合、曲線成分を狂いと判断し、除去してしまうことと、長波長の復元によって、検測逆特性の倍率が大きくなるために、算出する現地地形値に誤差を生じさせてしまうという、二つの問題が生じる恐れがある。

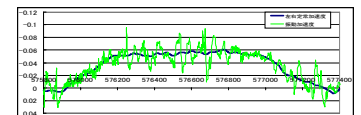


図-1 576k の曲線部における左右動揺

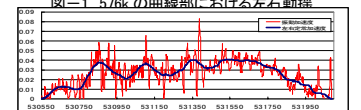


図-2 531k の曲線部における左右動揺

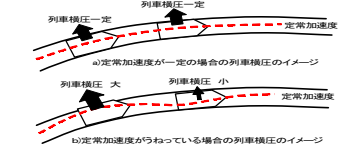


図-3 曲線通過時の列車横圧の発生イメージ図

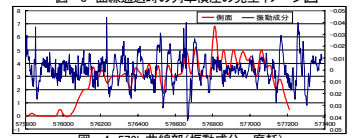


図-4 576k 曲線部(振動成分-摩耗)

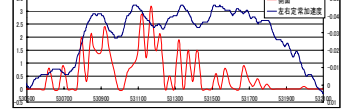


図-5 531k 曲線部(左右定常加速度-摩耗)

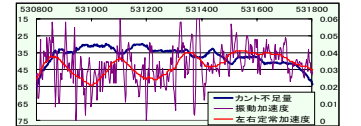


図-6 531k 曲線部 水準-左右動揺

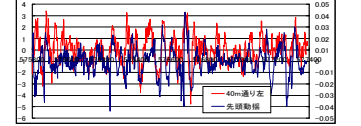


図-7 576k 曲線部 40m 弦通り-振動加速度

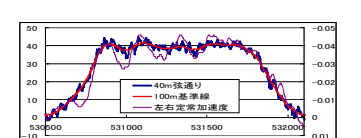


図-8 531k 曲線部 100m 基準線-左右定常加速度

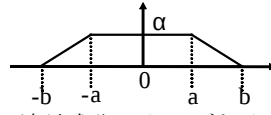
・keyword: 左右定常加速度, 40m 弦 σ 値整備, 摩耗

・連絡先: 西明石新幹線保線区 〒673-0049 兵庫県明石市西明石西町 1-1-9 TEL(078)922-3620 JR:072-6761

①曲線成分を狂いと判断し、除去してしまう恐れ

一般に曲線区間のパワースペクトルは次式で表される。

$$Y(\omega) = \left(\frac{2\alpha}{a-b} \right) \frac{\cos \omega b - \cos \omega a}{\omega^2} \quad (\omega = 2\pi/\lambda, \omega: \text{空間角周波数}, \lambda: \text{波長})$$



今回整備対象とする、531k の曲線において、上式により基本線形の波長成分のイメージを示すと、図-9 になる。この図より、基本的な曲線であっても、あらゆる波長帯に成分を持っていることから、復元させる波長領域を単純に広くすると、基本線形そのものの自体も復元してしまう恐れがあることがわかる。

対策として、あらかじめ基準線として台形図を与え、もとの正矢量から、台形で与えられた正矢量を差し引いて 10m 弦狂いとし、それを復元すればよいと考えられる。

基準線の設定として、まず設備諸元で行うことを考えたが、現状の曲線との差が大きいこと、また、図-10 に示す様に、緩和曲線の開始位置が不明であることや、ゼロ線が一致しないことから、全体において移動量が大きくなると考えられる。そこで、本研究では、問題となっている本曲線部と、緩和曲線部とを分けて考えることとし、重要なのは、本曲線でのうねりであるので、本曲線部においては平均正矢を、緩和部においては 100m 基準線を用い、台形図を作成することとした(図-11)。図より、曲線部全体において、移動量に問題が無いことがわかる。よって、平均正矢+移動平均(100m)を基準線と設定し、整備を行うこととした。

②誤差を生じさせてしまう恐れ

長波長領域の復元を行うと、検測逆特性の倍率が膨大となるために、微少の誤差が、大きく換算されてしまう恐れがある。よって、長波長領域の復元を行って移動量を算出する際には、その移動量が、適切かどうかの確認が必要である。そこで、対策として、交差法を用いたシミュレーションを行うことによって、算出した移動量が、適切かどうかを確認することとした。

復元領域を変えてこのシミュレーションを行い、定常加速度と各復元原波形を比較してみると、定常加速度と 230m 復元原波形の形状が、比較的一致していることがわかった(図-12)。整正後の 100m 基準線のうねりの程度を表す標準偏差と、移動量の最大値との関係を図-13 に示す。移動量は、MTT の施工性能等を考慮し、15mm 程度が限度であるが、先ほどの比較で一致していた 230m の復元原波形の移動量も、15mm 以下であるため、今回の整備では、230m の超長波領域を復元した、復元原波形を用いて施工することとした。

(3)施工の問題点とその対策

今回の施工では、移動量が大きいと、架線等の電気関係設備を支障する恐れがあったが、電気区の確認の結果、特に問題は無かった。また、移動量の確保に関しては、当夜にマクラギ端の鼻掘りを行うことにした。

さらに、初回の施工なので、安全を期して作業延長を短くし、施工後に再度MTTを走行させ、最終確認を行う方法をとることとした。

6. 施工結果

施工前後での 40m 弦通り狂い及び 100m 基準線、左右定常加速度を図-14,15 に示す。

計算より、施工前後の σ 値を比較してみると、100m 基準線の σ 値は、1.04 から 0.67 と約 36% 良化し、40m 弦通り σ 値は、1.85 から 1.25 と約 32% 良化した。また、定常加速度の σ 値は、0.006 から 0.003 へと良化した。施工前後の σ 値の推移は、幾分ばらつきがあるものの、施工後の狂い進みが遅くなった(図-16)。

結果的に、100m基準線、左右定常加速度の改善に加えて、40m弦通り狂いも改善することができた。これによって、横圧変動も抑制できたと考えられる。

7. まとめ

本研究では、曲線区間での横圧変動に着目し、変動を抑制するための整備手法について考案し、実際に整備を行った。この整備手法により、横圧変動を抑制することで、乗り心地の改善のみならず、軌道狂い進みも、抑制することができた。しかし、図-17 に示す、施工 6 ヶ月後の左右定常加速度を見てみると、徐々にではあるが、左右定常加速度のうねりが戻りつつある。これは、図-5 に示したような、摩耗がレールに残っている状態であるため、定常加速度は良化したものの、この摩耗によって、長い波長の動揺が助長され、このような結果になったと考える。今後は、ロングレール交換後すぐに、この手法による線形整備を行い、その後を追跡することで、検証を行いたい。また、基準線の設定に手間がかかるという問題点があるため、基準線設定のシステム化も検討していきたい。

<参考文献>

細川, 吉村ほか;「復元波形を用いた軌道狂い補修の新しい方法」;RTRI REPORT Vol8, No11'94.11 P53-58

