

新幹線の乗り心地向上に向けた管理手法に関する研究

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○ 藤田 起也
 東日本旅客鉄道株式会社 正会員 長谷川 真吾
 東日本旅客鉄道株式会社 松谷 善昭
 東日本旅客鉄道株式会社 奥戸 出

1. はじめに

新幹線では現在、20m 弦、40m 弦といった長波長軌道変位管理や列車動揺加速度の管理を行い、乗り心地の向上を図っている。軌道変位、動揺加速度の目標値超過箇所は整備により減少しているものの、これらの目標値未達の箇所であっても乗り心地が良くないと報告されることがある。そこで本研究では、上下動揺加速度（ビビリ振動）を解消するために、営業列車に常設されている自動動揺計を活用して動揺加速度から周波数分析を行い、卓越した振動数と速度から波長を算出することで、原因となっている波長を特定した。そして、上下動揺加速度の目標値未達で、乗り心地の良くない箇所の原因特定と原因別の補修方法について検証を行ったので報告する。

2. 自動動揺計の概要

当社の営業列車のうち、E5系、E4系、E3系、E2系、200系の11編成に自動動揺計が常設されており、列車種別毎の動揺加速度波形データの確認、さらにこのデータから乗り心地レベルの計算、周波数分析が行える為、乗り心地が良くない箇所を把握でき、またその原因を究明するツールとして用いている。

2-1. 乗り心地レベルについて

乗り心地レベルとは、通常の動揺加速度値より人が感じる動揺加速度に近い数値をデシベル換算した数値のことである。乗り心地レベルの算出方法については、式(1)を使用して算出している。具体的には動揺波形に含まれている波形を周波数別に分解し、それらを乗り心地フィルター(図1)により周波数別に重み付けを行って乗り心地レベルを算出している。なお、今回の検証では、観測時間T=2(s)を使用した。

$$L_t = 20 \log \frac{\alpha_w}{\alpha_{ref}} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{\alpha_w(t)}{\alpha_{ref}} \right)^2 dt \right) \dots \text{式(1)}$$

L_t : 乗り心地レベル (dB)

$\alpha_w(t)$: 感覚補正した振動加速度 (m/s²)

α_{ref} : 基準加速度=10⁻⁵ (m/s²)

T : 観測時間

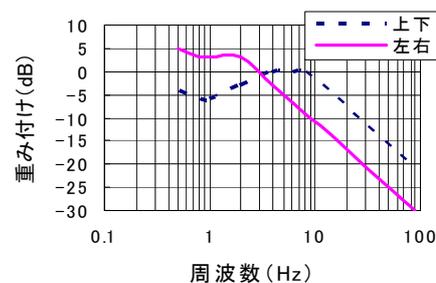


図1 乗り心地フィルター

2-2. 周波数分析について

動揺加速度は、軌道変位と同様に長い波長のものから短い波長のものまで様々な波が合成されている。周波数分析では、この波に含まれる波長をそれぞれ分解し、動揺加速度がどの波長で卓越しているかを確認でき、波長帯を絞ることができるため効果的な軌道整備が可能となる。今回使用した手法は、動揺加速度計によってサンプリングされた加速度データを、高速フーリエ変換アルゴリズム(FFT)を適用して高速な解析を行った。

3. 上下に関する乗り心地の向上の事例

3-1. 現状の把握

300km/h 運転している E5 系で上下動揺加速度に対する乗り心地レベルの計算を行い、乗り心地の把握を行った。その結果、「非常に良い(Lt<83dB)」と判断された箇所が、走行区間のうち全体の約 70%を占めていることがわかった(図2)。しかし、すべてが「良い」以上となっているわけではなく、「普通」と判断され

キーワード ビビリ振動, 自動動揺計, 乗り心地レベル, 周波数分析

連絡先 〒321-0954 栃木県宇都宮市川向町 1-48 宇都宮新幹線保線技術センター TEL028-625-1743

た箇所ではトンネル区間を除く箇所について確認したところ、縦曲線によるものが全て占めており軌道整備を行うことで対応できると考えている。

また上下の乗り心地レベルで「良い(83dB \leq Lt<88dB)」と判断されている箇所でも近年、小刻みの上下動揺加速度、いわゆる「ビビリ振動」が発生していると巡視等で社員から報告がある。この振動は上下動揺加速度の目標値未満で起きていること、軌道変位が目標値未満で起きていることが重なり、原因がつかめず効果的な整備ができないことがある。そこで巡視等で報告が多くある東北新幹線 上り 72k100m~200m について乗り心地向上策を検討し、検証することとした。

3-2. 乗り心地向上の検討 (東北新幹線 上り 72k100m~200m)

この箇所について周波数分析を行ったところ、図 3 より 9Hz で-24.93dB と卓越した波形となった。つまり、10m 付近の波長が影響していることがわかった (測定速度: 270km/h)。この区間の乗り心地レベルについて確認したところ、84.2dB の「良い」となっていた。また軌道変位を確認したところ、目標値未満の 10m 弦高低変位(3mm 程度)の連続波が約 80m にわたり発生していたこと、それに伴って小刻みの上下動揺加速度(ビビリ振動)が発生していたことが確認できた(図 4)。

そこで目標値未満ではあるがビビリ振動の原因となっている 10m 弦高低変位を解消するために、連続波の波長とほぼ一致する区間にレール面整正を行うこととした。また材料劣化の懸念も考えられるため、無作為で軌道パッドの回収(5枚)を行い、劣化状況について確認を行った。なお、当該箇所の軌道構造は防振スラブ軌道で直結 8 型締結装置、線形は直線となっている。

4. 効果の確認 (東北新幹線 上り 72k200m 付近)

周波数分析を行った結果、施工前は 9Hz で-24.93dB に対し、施工後は 9Hz で-37.37dB と目的の周波数帯を低減できることができた(図 5)。この区間の施工前後の乗り心地レベルを確認したところ、施工前の 84.2dB の「良い」から施工後は 83.1dB の「良い」となり、乗り心地レベルを低減できた。また、軌道変位、巡視等での上下動揺加速度を確認したところ、目標値未満の 10m 弦高低変位の連続波および小刻みの上下動揺加速度(ビビリ振動)を解消することができた(図 6)。また、本施工で回収した軌道パッドのばね定数について外観、圧縮変形試験(JIS E 1117) 等を行い性能を確認した。

5. まとめ

軌道変位目標値以上がなかった場合、動揺加速度を周波数分析することで、卓越した振動数と速度の関係から原因となる波長(長さ)を割り出せるため、的確に原因の特定をすることが可能であることがわかった。

今回の施工では、目標値未満の 10m 弦高低変位(3mm 程度)の連続波を起因としたビビリ振動であったため、10m 弦レール面整正を行うことでこれを解消することができた。今後の課題として、ビビリ振動が発生する軌道変位の大きさと連続波との関係や、このような箇所をさらにわかりやすく発見できる手法を検討していく必要がある。

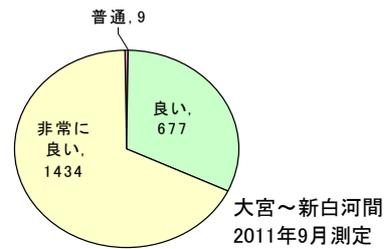


図 2 E5 系の乗り心地 (上下動揺)

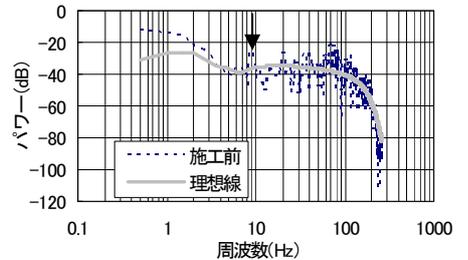


図 3 周波数分析結果 (施工前)

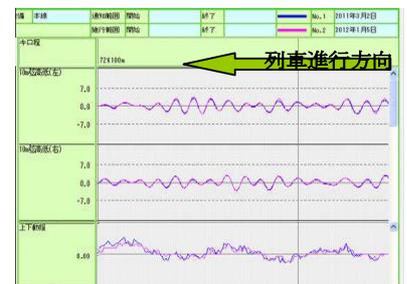


図 4 10m 弦高低と上下動揺の関係 (施工前)

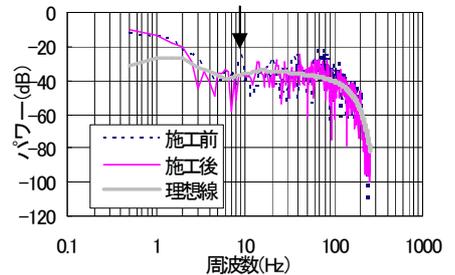


図 5 周波数分析結果 (施工後)

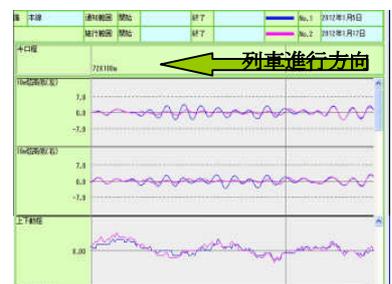


図 6 10m 弦高低と上下動揺の関係 (施工後)