

高周波振動を考慮した山陽新幹線の乗り心地良化手法の検討

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○溝口 大介
正会員 黒田 昌生
非会員 小野 隆

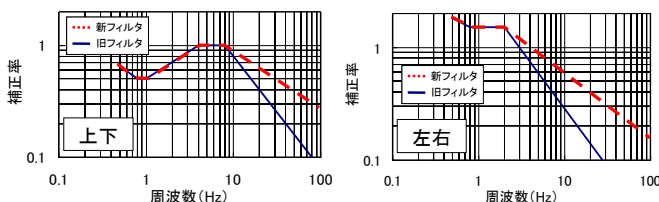
1. はじめに

山陽新幹線では、有道床区間よりスラブ区間の方が乗り心地が悪い状況であったことから、従来より乗り心地向上を目指したスラブ長波長整備を実施してきた。その結果、H26年度末において当初設定した目標を達成する見込みである。一方、列車の高速走行に伴って、これまでターゲットとしてこなかった高周波振動が乗り心地に与える影響が報告されており、鉄道総研からは高周波振動の不快さを反映した新たな乗心地評価手法（以下、新手法という）が提案されている¹⁾。山陽新幹線において新手法を適用した結果、従来の手法より、この新手法の方が体感をよく示している結果が得られ²⁾、その有効性が示された。

そこで本研究では、高周波振動の発生原因を分析し、山陽新幹線の乗り心地良化手法を提案することを目的とした。

2. 新たな乗心地評価手法の概要

乗り心地レベルは、振動加速度を乗り心地フィルタに通して人の感覚に補正して求めた値である。中川らによって提案された新手法は、高周波振動の不快さが体感に合わせて評価できるよう、乗り心地フィルタが改良された（図-1）。改良された乗り心地フィルタは、上下動で8.0 Hz以上、左右動で2.0 Hz以上の周波数の振動で補正率が大きく変更されている。この結果、高周波振動が乗り心地レベルにより大きく反映することになった。本研究では、新旧フィルタで補正率に差が生じている部分を高周波振動と定義付けることとした。

図-1 新旧の乗り心地フィルタ¹⁾

列車の走行速度が300 km/hの場合、上下動8.0 Hzは約10.4 mの波長、左右動2.0 Hzは約41.7 mの波長に相当する。左右動については、これまでに実施してきた長波長整備においてターゲットとする波長に含まれていること、過去の研究より上下動より左右動の方が高周波振動を感じ

にくいという結果を得ている²⁾ことから、今回の検証からは左右動を除外し、上下動のみを対象とした。

3. 高周波振動発生原因の波長域の推定

高周波振動が発生している原因を推定するため、バラストとスラブ、明かりとトンネルの各構造別に200 m区間ごとのパワースペクトル (PSD) を算出した（図-2）。

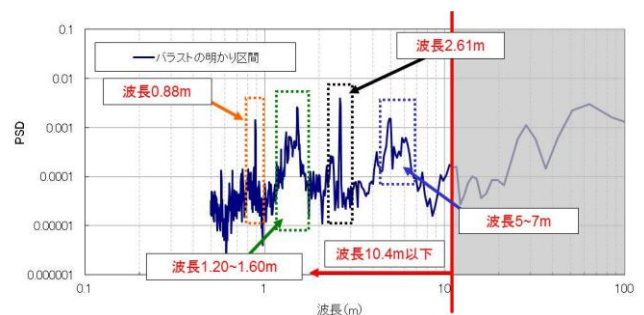


図-2 上下動のPSD

上下動8.0 Hzに対応する約10.4 m未満の波長域をみると、約0.88 m、約1.2~1.6 m、約2.61m、約5~7mの波長でPSDが卓越する傾向が確認できた。紙面の都合上、バラストの明かり区間の一例のみを示したが、他の各構造においても同じ結果であった。この結果より、上記の卓越した波長の高周波振動を低減することで乗り心地を良化することができるとものと考えられる。

(1) 高低狂いと高周波振動成分の関係

高周波振動成分と高低狂いの関係性を検証するために、上下動と高低狂いのコヒーレンスを算出した（図-3）。ここで、コヒーレンスの計算に使用した上下動及び高低狂いのデータは、いずれも電気・軌道総合試験車で測定した生データを使用した。

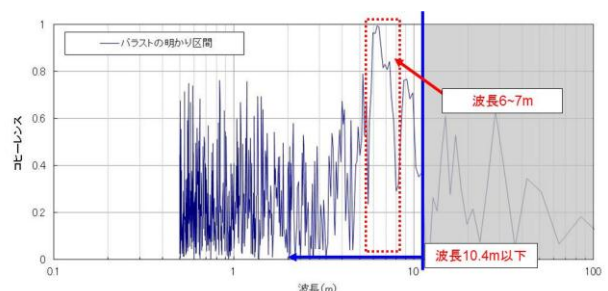


図-3 上下動と高低狂いのコヒーレンス

図-3 より、6~7 mの波長で上下動と高低狂いの相関性

キーワード： 乗り心地レベル・乗り心地フィルタ・上下動・5m弦高低狂い

連絡先： 〒700-0024 岡山県岡山市北区駅元町1-3 JR西日本 岡山新幹線保線区 TEL: 086-223-8639

が顕著に表れたことから、6~7 mの高低狂いが高周波振動発生の原因と考えられる。一方、その他の卓越した波長(波長約0.88 m, 約1.2~1.6 m, 約2.61 m)では、上下動と高低狂いとの相関性はみられなかった。紙面の都合上、バラストの明かり区間の一例のみを示したが、他の各構造においても同様の結果であった。

また、MTT施工(高低狂いの復元領域を3.5~60 mに設定)前後の上下動PSD及び高低狂いPSDの比較を行った(図-4)。なお、今回の検証には、5 m弦・10 m弦高低狂いが良好に整正できた箇所の結果を用いた。上下動8.0 Hzに対応する約10.4 m未満の波長をみると、上下動PSDにおいては、約4.5~10 m程度の波長成分が減衰しており、また、高低狂いPSDにおいても同程度の波長成分の減衰を確認することができた。

一方、高低狂いとの相関性が低かったその他の卓越した波長(波長約0.88 m, 約1.2~1.6 m, 約2.61 m)における上下動PSDと高低狂いPSDは減衰しなかった。

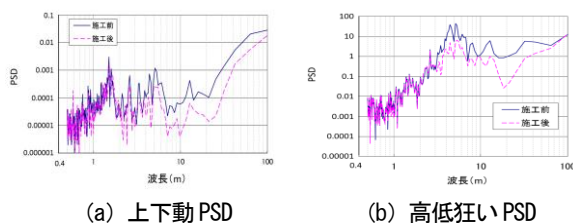


図-4 MTT施工前後のPSD

(2) 軌道材料と高周波振動成分の関係

材料交換と高周波振動成分の関係性を検証した。材料交換に着目したのは、約1.2~1.6 mの波長が締結装置間隔の倍長に近似していたためである。図-5にタイプレート交換(軌道パッド・可変パッド(以下、パッド類交換という)交換含む)前後の上下動PSDの結果を示す。

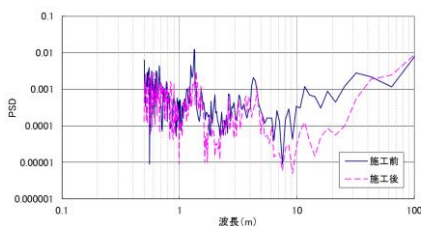


図-5 タイプレート交換前後の上下動PSDの比較

検証結果より、約1.2~1.4 m程度の波長域で上下動PSDの減衰が確認できた(図-5)。この理由として、劣化したパッド類の硬化に伴い、列車走行時の衝撃を吸収する力も劣化し、反発力が強くなることによるものと推定した。従って、パッド類の劣化が約1.2~1.4 m程度の卓越した波長に関係していると考えられる。また、図-5においては5~7 m程度の波長で上下動PSDの減衰が確認できたが、高低狂いの整正状況によって、上下動PSDの減衰がみられる場合と、減衰がみられない場合があった。

(3) その他の卓越した波長域について

0.88 mおよび2.61 mの波長は、高低狂いの整正や材料交換の施工前後で大きな変化はみられなかった。既往

の研究によると、0.88 mは車輪径と同等の長さであり、高速走行時の車輪振動が近似している³⁾。また、2.61 mの波長は車輪の円周長に近似している。これらの観点より、車両による原因と判断した。

4. 乗り心地良化に向けた対策施工の効果検証

上下動の乗り心地良化に有効な対策施工の検討を行うために、対策施工A~Dの施工前後の新フィルタによる乗り心地レベルの改善量を算出するとともに、高周波成分の改善を確認できるように、高周波成分の乗り心地レベルの改善量を算出した(表-1)。

表-1 施工前後の乗り心地レベルの比較

施工	施工内容	5m弦高低狂いσ値		乗り心地レベル		
		施工前 (mm)	良化量 (mm)	施工前 (dB)	良化量 (dB)	高周波成分 良化量(dB)
A	MTT(高低復元帯域:3.5~60m)	1.24	0.61	81.2	2.1	1.1
B	パッド類交換	1.18	0.08	82.9	0.8	0.9
C		1.29	0.32	84.1	1.9	1.3
D	タイプレート交換(パッド類交換含む)	1.51	0.76	82.7	2.3	1.4

施工Aは「MTT施工」であり、短波長及び長波長の両方の高低狂いを整正したことで高周波、低周波成分ともに改善されたと考えられる。施工B、Cは「パッド類交換」であり、5m弦高低狂いの仕上りに差が見られる。施工Bは5m弦高低狂いがあまり良化しておらず、前述のパッド類交換により約1.2~1.4 m程度の高周波成分を改善したものと考えられる。施工Cは、パッド類交換時に5m弦高低狂いが良化しており、施工Bよりも高周波成分が改善したと考えられる。施工Dは、「タイプレート交換」であり、交換に合せて短波長及び長波長の両方の高低狂いを整正したことで、施工Aと同様に高周波、低周波ともに改善したものと考えられる。

以上の結果から、新フィルタによる上下動の乗り心地レベルの良化には、5m弦高低狂いの整正が有効であり、またパッド類を交換することにより、更なる効果が期待できると考えられる。

5. まとめ

本研究では、上下動の高周波振動の発生原因を分析し、山陽新幹線の乗り心地良化手法を検討した。この結果、上下動の高周波振動の主な発生原因を推定することができ、高周波振動を意識した乗り心地の良化には、5m弦高低狂いの整正が有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 中川ら：高周波振動を考慮した乗り心地評価手法、鉄道総研報告、2012.1
- 2) 溝口ら：山陽新幹線における新たな乗り心地評価手法の適用検討、平成26年度土木学会年次講演会、2013.9
- 3) 石田弘明：鉄道車両の走行安全性評価〜輪重、横圧、脱線係数の計測〜、計測と制御第45巻、pp.808-814、2006.9