

乗り心地評価と動揺周波数の関係に関する一考察

鉄道総合技術研究所 正会員 ○中川 正樹
 鉄道総合技術研究所 正会員 古川 敦
 J R 東 海 伍井 正

1. はじめに

現在東海道新幹線で実施されている乗り心地管理手法は、揺れに対する人間の快・不快の感覚を評価過程で導入し、効果的・効率的な軌道保守の実現を図るものである¹⁾。この人間の感覚には図-1に示すISO-2631（国際標準化機構「全身振動暴露に関する評価指針」）による等感覚曲線²⁾が用いられている。これは振動に対する人間の感覚を周波数毎に重み付けしたものであるが、鉄道車両のように不規則に加振される場合には人間の感覚とは必ずしも一致しない面もあると考えられる。そこで本研究では、新幹線営業列車から得た動揺データと複数の被験者により行った乗り心地評価から、乗り心地評価と周波数の関係について再検討するとともに、等感覚曲線の有効性について検討を行った結果について報告する。

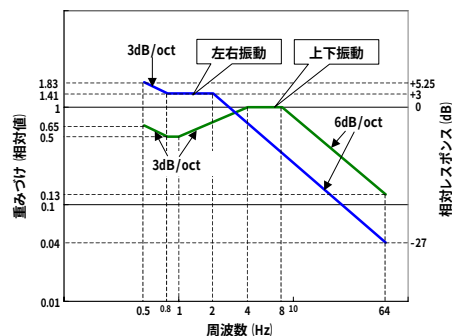


図-1 等感覚曲線

2. データの獲得方法と分析方法

動揺と乗り心地の関係を明確にするため、営業列車での動揺測定と並行して、乗り心地良好な箇所及び気になる箇所それぞれでマーキングを行った。被験者は測定列車の最後尾車両最後尾座席において着座状態で測定作業を行い、これらを6列車5被験者で実施した。

動揺データについては、乗り心地の評価を行う際に大きく影響すると考えられる振動加速度の変化量を標準偏差（以下、 σ と記す）で表し、周波数帯を0～0.5Hz、0.5Hz～1Hz、1Hz～2Hz、2Hz～4Hz、4Hz～8Hz、8Hz～16Hzの6種類に分割した。分析は、分割した周波数帯について、それぞれ2秒間の σ_i （ $i=1\sim6$ ）を算出した後、すべてを1つのグラフ上に重ね合わせて、多数のマーキング箇所で行われる各周波数帯の σ_i の変化から、マーキング箇所のみに共通する事象を見つけだすこととした。

3. マーキング箇所の特定

6種類の周波数帯の重ね合わせの結果から1～2Hz、2～4Hzの σ_i の変化を表したものを図-2に示す。マーキングは図における横軸55s（○印）で行われている。この55s以外にも、1～2Hzの周波数の変化はその後の90s付近、2～4Hzについては12s付近で大きく変化しているが、そこではマークされていない。なぜ図の中の55sでマークされたのか、その原因が乗り心地の気になる箇所の特定につながると考えた。この傾向は他の走行のマーキング箇所においても確認されたため、マーキング箇所共通の現象として検討を行うと、マークキング箇所において1Hz～2Hzの波形変化が起こっている場合、それと同時に2Hz～4Hzの波形に変化が起こっている時には、マーキングが行われている確率の高いことが確認された。つまり、1Hz～2Hz単独の変化があっても、それだけでは乗り心地が気になるかどうかは判断できないということである。今回獲得した被験者計5名分のデータにおいては、そのしきい値を1～2Hz、2～4Hz共、それぞれ0.06と想定することで、高い確率で乗り心地の気になる箇所の特定を行うことができることがわかった。

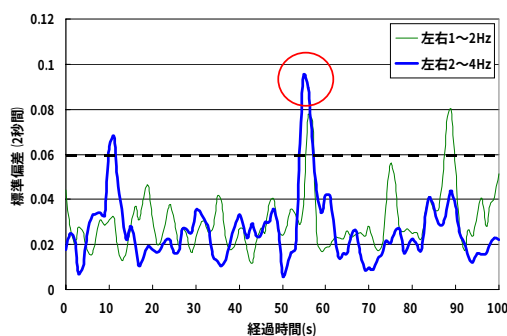


図-2 マーキング箇所の例（左右）

キーワード 乗り心地管理, 列車動揺, 等感覚曲線, 判別分析

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 （財）鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 TEL042-573-7278

4. 快適な乗り心地区間の特徴

一方、良好な乗り心地と評価できる箇所の周波数の特徴が把握できれば、軌道整備によって改善すべき周波数と変化させなくても良い周波数がはっきりすると考えられる。乗り心地が快適であると判断した箇所を図-3に示す。1～2Hzについては、不快な箇所のしきい値として想定した $\sigma_i=0.06$ を超えている箇所が見られるが、その箇所の2～4Hzの σ は0.04以下とかなり小さい。逆に2～4Hzの σ が大きくなる箇所も見られるが、その箇所においては逆に1～2Hzの σ が小さくなっており、乗り心地が気になる箇所の特定のために想定した条件（1～2Hz、2～4Hzの σ_i がともに0.06以上）とは相反するものとなっていることが確認できる。

5. 判別分析による乗り心地評価の可能性の検討

そこで左右動の1～2Hz、2～4Hzそれぞれの σ_i の大きさから、マークされる箇所を推定することについて、その可能性の検討を行った。マークされていない左右動（問題なし）とマークされた左右動（気になる乗り心地）それぞれの分布及びこれら2群が正規分布に従っていると仮定して行った判別分析の結果、両者の間には有意差が得られた。図-4は2群それぞれの平均と分散を考慮して得られたマハラノビスの距離による境界線を示す。図の境界線を境に、マークされていない左右動●とマークされた左右動○の判別ができていることが認められる。このことより、1～2Hz、2～4Hzそれぞれの σ_i の変化から、マークされる箇所を推定する方法について、その可能性を有することが確認できた。

6. 等感覚曲線との比較

左右動に対する等感覚曲線では、1～2Hzに対して2～4Hzの重みづけは小さく、その影響度は高い周波数になるほど小さくなる。一方今回行った判別分析の結果では、乗り心地が気になる箇所の特定に、2～4Hzの変化が関係している可能性があること、またその影響度は前述の境界線の傾きから1～2Hzの影響度よりもむしろ大きいという可能性が得られた。しかし今回分析したデータは、被験者が5名と少ないこと、測定においてはマーキングに慣れていないなどの影響も含まれていると思われる。そのため、被験者を増やしてデータの一般化を深めること、さらに等感覚曲線で1～2Hzと同等の重みづけが行われている0.5～1Hzと他の周波数帯との関係も含めた分析が必要であると思われる。

7. 今後の課題

乗り心地の気になる箇所が特定された後、当該箇所を軌道整備するか否かについては、その揺れが軌道起因か否かの判別が必要となる。1～2Hzの周波数帯は車両の固有振動数を含む帯域であり、車両に作用する何らかの外乱があると、この周波数で振動が顕著となる場合がある。一方で今回それよりも重みの大きい可能性がみられた2～4Hzについては、この周波数に対応する外乱によって車両が振動すると考えられるため、発生原因について検討し、その値を小さくすることができれば、乗り心地向上の可能性があるとと思われる。そしてさらにその揺れ始めの箇所・原因まで特定できれば、保守現場の更なる効果的・効率的な保守作業に貢献できると考えられる。また今回は左右動について分析を実施したが、上下動についても、複数の周波数の変化とマーキング位置との関係について分析を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 永沼泰州：乗り心地レベルを考慮した軌道管理手法，日本鉄道施設協会誌，34巻5号，pp28-30，1996.5
- 2) 鈴木 他：鉄道車両の乗り心地評価法と国際標準化，鉄道総研報告，Vol.16 No.1，pp5-10，2002.1

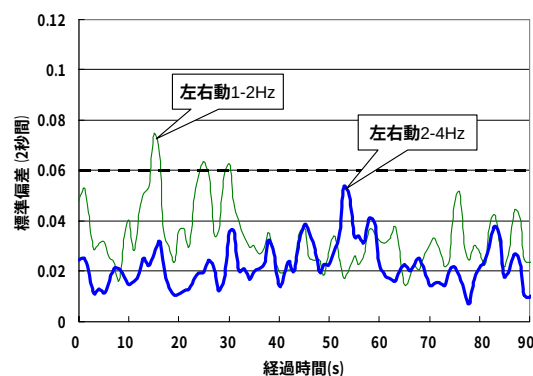


図-3 快適な乗り心地の例（左右）

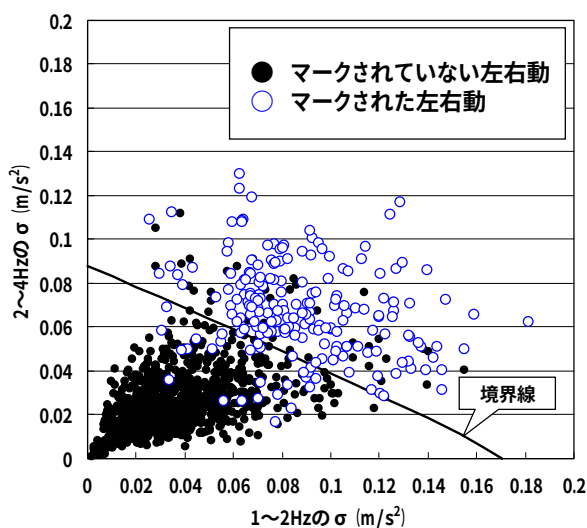


図-4 マーキング箇所の分布と判別用境界線