列車の乗り心地評価と周波数補正フィルタに関する検討

○白戸 宏明, 鈴木 浩明, 中川 千鶴 (財団法人鉄道総合技術研究所)

A study on the frequency weighting curve for the riding comfort evaluation of the train

Hiroaki SHIROTO, Hiroaki SUZUKI & Chizuru Nakagawa

(Railway Technical Research Institute)

1. はじめに

振動の周波数が増えると振動の強さの感じ方も変化する。例えば、人体が共振しやすい周波数の振動（上下振動で 4～8Hz）は、他の周波数に比べてより小さな振動でも不快に感じられる。このため、等しい強さに感じられる振動を周波数別に結んで、人間の体感に合わせた評価曲線（周波数補正フィルタ）として用いる考え方が広く支持されてきた。鉄道分野でもこうした考え方を採用していくつかの乗り心地評価基準を定めてきたが、本稿では、フィルタ形状の違いが乗り心地評価に及ぼす影響について検討する。

2. 乗り心地と周波数補正フィルタ

国際標準化機構 (ISO) の“全身振動に対する人体曝露の評価指針 (ISO 2631) ¹⁾”を参考に、旧国鉄が定めた“乗り心地レベル”は鉄道分野における乗り心地指標の代表例である ²⁾。ISO 2631 の評価対象は 1Hz 以上の振動であるが、鉄道車両の乗り心地を考える上では、長波長の軌道狂いなど、1Hz 未満の振動の影響が無視できない。このため、国鉄では 1Hz 以上については ISO 2631 のフィルタをそのまま採用したが、いくつかの研究を参考に 0.5～1Hz 範囲のフィルタ形状を策定した。図 1 にそのフィルタを示すが、1Hz 未満の低周波域のウェイトが高めに設定されていることがわかる。

1997 年に ISO2631 が改訂され、周波数補

図 1 国鉄の周波数補正

正曲線も改訂された ³⁾。その際、対象振動の周波数下限値は 0.5Hz まで拡張されたが、図 2 に示すように低周波域の振動影響のウェイトは小さく扱われることになった。このように、鉄道車両の乗り心地評価にあたっては、1Hz 未満の振動の扱いが問題となることから、実際の列車内で得られた乗客の体感評価試験との適合性を指標として、各フィルタの有効性の比較検討を試みる。

図 2 ISO2631 の周波数補正

3. 分析用データ

新幹線・在来線特急列車（6線区、8車種、13列車）の客室内で実施した旅客アンケート調査と振動計測値を用いて分析する。

3-1. アンケート調査

振動、騒音、乗務員の接客など、車内快適性に影響する諸要因について、その快-不快度を7段階（1~7、大きいほど不快）で評価する調査票を乗客に配布し、約30分後に回収した。本研究では、このうち“振動の快-不快”評価について分析する。

3-2. 測定物理量

アンケート調査を実施した同一車両内の端部で車体床面の振動加速度（前後・左右・上下の3軸）を測定した。あわせて騒音、温度等の物理量を測定した。なお、振動評価に関する欧州規格（EN）⁴⁾を参考に、駅停車時や低速での加減速時を除いて、高速走行区間のみを分析対象データとして抽出し、ISOの定める周波数補正を施した上で分析に供した。

4. 結果と考察

鉄道車両の乗り心地を考える上でとりわけ重要なのは左右と上下振動であるため、両者を対象に分析することとした。フィルタ形状や算出手続きの異なる以下の3種の指標間で有効性の比較検討を行った。

- 1) ISO 2631 改訂版のフィルタを用いて算出した30分間の振動加速度実効値（単位： m/s^2 ，ISO式と略記）
- 2) 同フィルタを用いて算出した5秒間振動加速度実効値の30分にわたる分布の95%値（＝前記のENによる評価法，単位： m/s^2 ，EN式）
- 3) 旧国鉄の乗り心地レベル（単位：dB，国鉄式）

これらの各指標と乗客の評定平均値との相関係数を表1に示す。この表から、左右・上下振動ともにEN式の相関係数が低いことや、上下振動では国鉄式の相関がかなり高いことがわかる。

つぎに、3種の指標の各々について左右振動と上下振動の合成変数を作成し、体感評定値との

重相関係数を求めた結果を表2に示すが、国鉄式の評価法の相関が最も高いことが確認できる。

表1 各評価指標と乗客の評定値との相関係数

	ISO 式	EN 式	国鉄式
左右振動	0.52	0.46	0.48
上下振動	0.57	0.52	0.65

表2 各指標と乗客の評定値との重相関係数

	ISO 式	EN 式	国鉄式
重相関係数	0.67	0.62	0.71

5. おわりに

1974年にISO 2631が制定された後、国鉄ではこれを鉄道振動評価に適用するための検討を重ね、1Hz未満の振動影響の評価法を加筆して乗り心地レベルを定めた。1997年にISO 2631は改訂されたが、低周波振動の影響は相変わらず重視されていない。本研究の結果からは、鉄道振動の評価にあたっては、低周波振動の影響を加味した方が望ましいことが示唆された。現在は、ISO 2631を鉄道振動の評価に適用するための国際規格（ISO 2631-4）が審議中であるが⁵⁾、低周波振動の扱いについては議論もある。今後も最適なフィルタ形状に関する検討を深めることで、より有効な乗り心地指標の開発につなげたい。

文 献

- 1) ISO 2631 : Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration, 1974
- 2) 鈴木浩明，白戸宏明，手塚和彦：振動乗り心地の定量化を目指す，RRR，57(3)，20-23，2000
- 3) ISO 2631-1：同改訂版，1997
- 4) CEN/TC256 prENV 12299 : Railway applications - Ride comfort of passengers，1996
- 5) ISO/DIS2631-4:Guidelines for the evaluation of the effects of vibration and rotational motion on passenger and crew comfort of fixed guideway transport systems，1999.