鉄道の乗り心地評価に影響する物理指標の検討

○鈴木浩明, 福嶋直樹, 小美濃幸司 (財団法人 鉄道総合技術研究所)

Influence of some vibrational indices on the Evaluation of Riding Comfort of the Train.

Hiroaki Suzuki, Naoki Fukushima, Koji Omino (Railway Technical Research Institute)

1. はじめに

鉄道の利用者に快適な乗り心地を提供するには、線路の形状、軌道の整備状態、車両の運動特性等によって様々に変化する列車の振動を乗客の立場から的確に評価することが重要である。このため、人を列車に乗せて乗り心地を評価させる試験が国鉄時代から度々実施され、一連の「乗り心地基準」が得られてきた。ただし、中には30年以上も前に定められたものもあり、鉄道とそれを取り巻く環境が変化の中で再検討の必要が生じている。

過去の乗り心地試験の結果を再精査すると、個々の結果の整合性は必ずしも高くなく、手続的に再検討すべき基準もみられる。筆者らはこの原因について、試験実施時の供試車両や座席等のハードウェア環境が統一されていないことも一因だが、評価に用いる物理量や心理量として何が最適であり、またいかなる手続で測定するかという「乗り心地の評価方法」自体が定まっていないことが主因であると考えた¹⁾。そこで、現状の問題点を整理し、人間の感覚を考慮した実効的な乗り心地評価法を確立すべく検討中であり、本稿ではその一端を紹介する。

2. 曲線乗り心地に関わる基礎的概念

日本のような山がちな国土においては、曲線通過速度の向上が到達時間の短縮に大きく貢献する。したがって、曲線区間の乗り心地は鉄道の速度向上を考える上で重要な問題となる。曲線乗り心地に影響する物理量の代表的なものは以下の3つである。

(1) 左右定常加速度

曲線走行中に乗客に加わる遠心力を打ち消すために、曲線区間では外側軌道を内側軌道より高くし傾きを設けているが、一つの曲線を異なる速度の列車が走行したりするために、高速列車走行時には不均衡左右定常加速度が生ずる。国鉄時代の1963年に提

案された 0.8m/s^2 という値が、今でも新幹線・在来線ともに左右定常加速度の目安値となっている。

(2) 左右振動加速度

実際には曲線区間の乗り心地に影響するのは左右定常加速度のみではなく、軌道の整備狂いなどに起因する種々の振動成分が加わったものが作用している。この種の振動の大きさや性質は、車体上で計測された上下・左右・前後の3方向の振動加速度で表されるのが一般的であり、このうち、左右振動加速度が曲線乗り心地に最も影響する。

(3) ローリング

車体を曲線の内方に傾けることによって左右定常加速度を相殺できる。車体を内傾させる仕組みは振り機構または車体傾斜機構と呼ばれており、近年では急曲線が多い在来線の特急車両に多く使われている。この振り列車の導入により左右定常加速度を低く抑えることは可能になったが、反面、車体のローリング(列車の進行方向を軸とした回転運動)が乗り心地に及ぼす影響が問題となっている。ローリングの量は、ジャイロ等を用いて曲線中の最大ロール角やロール角速度等を計測するのが一般的である。

3. 目的

前項の個々の物理量が乗り心地評価にどう影響するかはこれまでに検討されてきたが、各指標が相互にどう影響しあうかについてはほとんど検証されていない。現車を用いた以下のような乗り心地評価試験により、この点の検討を行う。

4. 試験実施概要

(1) 試験方法

20分程度の試験走行区間内いくつかの試験曲線を設定し、各試験曲線に入る前に「試験曲線に入ります」、試験曲線の終わりに「終わります」の放送

を入れ、この区間内で被験者が感じた「左右方向の乗り心地」を問うた。被験者は自分が感じた「乗り心地」の程度を後述の尺度を用いて所定の用紙に記入した。記入後はただちに用紙をめくり、次の指示を待った。休憩を挟みながら、試験は6走行実施した。被験者は12名、試験中の姿勢は立位とした。なお、試験は在来線特急列車で実施した。

(2) 評価尺度・評価用語

今回の試験では、過去の乗り心地試験で用いられた代表的な評価尺度間の関係も分析するために、複数尺度を設問として併用した。本稿ではこのうち、各物理量との相関が全般的に最も高かった「『曲線の外方または内方に押しつけられるような感じ』を『①まったく感じない、②やや感じる、… ⑤非常に不快に感じる、⑥危険に感じる』の6段階の等間隔尺度で評価させた結果」について分析する。

(3) 測定した物理量

前記の左右定常加速度、左右振動加速度（全振幅最大値）、ローリング（最大ロール角）、に各曲線中の平均速度を加えた4物理量を解析対象とした。

5. 結 果

(1) 相関係数に基づく分析

各物理量と被験者評価平均値との相関係数を表1(a)に示す。ただ、各物理量が互いに独立でなく、相互にある程度の相関を持っていること（表1(b))から、解釈に際しては注意が必要となる。その点を考慮し、各物理量と評価平均値との偏相関係数を求めたのが表1(c)である。このことより、乗り心地評価には左右振動加速度が最も相関が高く、速度はほとんど影響しないことがわかる。

(2) 重回帰分析による各物理量の影響度の検討

各物理量が乗り心地評価に及ぼす影響を検討する

表1 各物理量間の相関係数

	(a) 評価平均 値との単 相関係数	(b) 各物理量間の単相関係数				(c) 評価平均 値との偏 相関係数
		左右定常 加速度	左右振動 加速度	ロール角	平均速度	
左右定常加速度	0.698	1.000				0.442
左右振動加速度	0.887	0.608	1.000			0.767
ロール角	0.501	0.268	0.422	1.000		0.335
平均速度	0.423	0.318	0.418	0.138	1.000	0.119

ために、評価平均値を予測変数として重回帰分析を行った結果が表2である。速度は影響を持たないことから、これを除く3変数を説明変数として重回帰分析を行った結果が左欄、また、ロール角も除き、左右定常加速度、左右振動加速度の2つを説明変数として分析した結果が右欄である。ともに重相関係数は0.9を越え、各物理量単独での相関（表1(c))に比べ、高い値を示した。なお、表中の偏回帰係数とは、他の説明変数の影響を取り除いた場合の予測変数との相関の程度を表す。

6. 考 察

複数の物理量が乗り心地評価に及ぼす相互影響について、我が国ではほとんど検討されていないことは既に述べた。ただ、イギリス国鉄では複数の指標が相互に影響しあうことを考慮し、左右定常加速度と左右振動加速度を併用した乗り心地基準をすでに定めており、最近の筆者らの試験結果でも、両者を併用した方が説明力が増大することが示された²⁾。本試験結果からもこのことが改めて確認された。

一方、振子列車の導入が増えるにつれ問題となってきたローリングについては、乗り心地評価の予測精度を高める変数であることは確認されたが、左右定常加速度、左右振動加速度の2要因と比べると、その影響度は相対的に低いことが明らかになった。

7. おわりに

今後も、こうした試験の積み重ねにより、「乗り心地評価」に関する現状の問題点を整理し、実効的な新たな乗り心地基準の確立を目指したい。

文 献

- 1) 鈴木他：鉄道総研報告, 1994. 1., Vol. 8 No. 1.
- 2) 鈴木他：JREA, 1994. 12., Vol. 37 No. 12.

表2 重回帰分析の実行結果

説明変数の数		3	2
偏回帰係数	左右定常加速度	0.448	0.432
	左右振動加速度	0.787	0.814
	ロール角	0.328	
重相関係数		0.919	0.910