

# 3510 車両運動総合シミュレータによる曲線通過時の乗心地指標の検討

A Study of a criterion for riding comfort in passing curve using Vehicle Dynamic Simulator

正 [機] ○森下 佳孝 (JR東海)      正 [機] 坂上 啓 (JR東海)  
正 [機] 林 哲也 (JR東海)

MORISHITA Yoshitaka, SAKANOUÉ Kei, HAYASHI Tetsuya,  
Central Japan Railway Company 1545-33, Ohyama, Komaki City

Central Japan Railway Company introduced the Vehicle Dynamic Simulator for improvement of quality of Tokaido Shinkansen in July, 2002. It is excellent in the reproducibility of lateral acceleration. And, it is possible that the V.D.S holds small roll angular velocity of the simulator cabin, by the linear motion system, and there is a function necessary for the riding comfort test of the curve.

The riding comfort test of the curve which changed lateral stationary acceleration and lateral acceleration was carried out. It was confirmed that to distinguish the size of the acceleration is possible and that the riding comfort test of the curve is possible.

Keyword:: riding comfort, lateral acceleration, Vehicle Dynamic Simulator

## 1. はじめに

鉄道のサービス向上として、時間短縮すなわち高速化は有効な手段である。東海道新幹線では、300系以降、最高速度270km/hで走行し、東京-新大阪間を2時間30分台で結んでいる。しかし、東海道新幹線は、建設当時、最高速度250km/hで設計されたため、曲線半径2500m(以下R2500)の曲線が片道50ヶ所以上存在しており、R2500の曲線を通過する際には、250km/hまで減速している。曲線の通過速度は、左右定常加速度を $0.9\text{m/s}^2$ 内に抑えるように設定されている。しかし、近年の軌道整備状況の向上と車両の高性能化から、乗心地の評価としては体感と一致しないのも事実である。乗心地的にも曲線通過速度向上の余地は残されており、時間短縮、省エネルギーの面からも有効なことである。

一方、乗心地基準の見直しという観点から、車両走行時の加速度を忠実に再現することを目的とした「車両運動総合シミュレータ」を導入した(Fig.1)。この試験装置により、再現性の高く、試験環境を統一した試験が可能となる。車両運動総合シミュレータを使用した曲線の乗心地試験について、基礎的な研究を行った結果を報告する

## 2. 曲線における乗心地に影響する物理量

鉄道車両が曲線を通過するときに、乗心地に影響する物理量として、①左右振動加速度、②左右定常加速度、③カント時間変化率(ロール角速度)、④左右定常加速度変化率がある。(Fig.2) 前述したように、曲線通過速度を決めるものとして基準が定められているが、各々の指標が単独に用いられている。

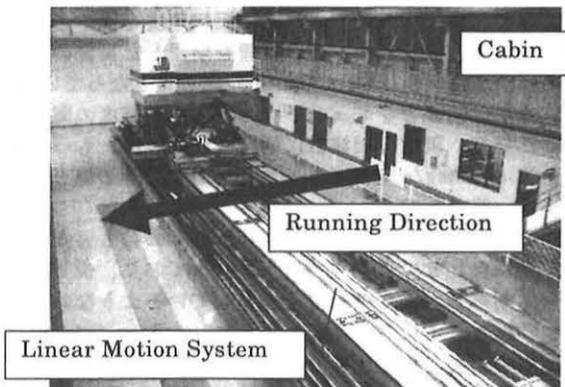


Fig.1 Vehicle Dynamic Simulator

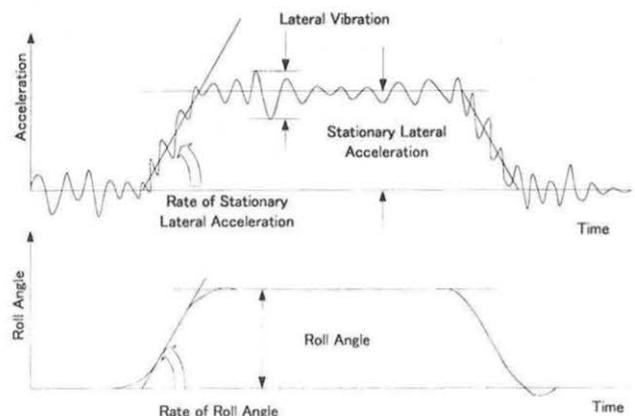


Fig.2 Observational Phenomenon on Car Floor in Passing Curve

JR東海では、速度向上により左右定常加速度の増加を補償するものとして、車体傾斜装置の開発を行っている。

近年では、これらの物理量を組み合わせた乗心地基準が提案されている。鉄道総合技術研究所では、①左右振動加速度、②左右定常加速度を組み合わせた曲線の乗心地基準を提案している。<sup>7)</sup>また、欧州では ENV12999 で緩和曲線の乗心地の評価として、①左右振動加速度、④左右定常加速度変化率、③ロール角速度を組み合わせた指標を提案している。<sup>8)</sup>

新幹線のようにロール角速度の小さい車両では、振り車両に比べてローリングによる影響は小さい。また、ロール角速度は、左右定常加速度変化率などとの相関性が高いため、左右定常加速度変化率に代表させることができる。そこで、加速度という物理量で統一できる、①左右振動加速度、②左右定常加速度、③左右定常加速度変化率を組み合わせた曲線の乗心地指標について、車両運動総合シミュレータを使用して、検討を行う。

### 3. 車両運動総合シミュレータによる曲線の再現性

#### 3.1 左右振動加速度の再現性

車両運動総合シミュレータによる左右方向の振動の再現は、下記の装置によって行われる。

- ① 6軸モーション装置
- ② 高周波振動台
- ③ 直線モーション装置

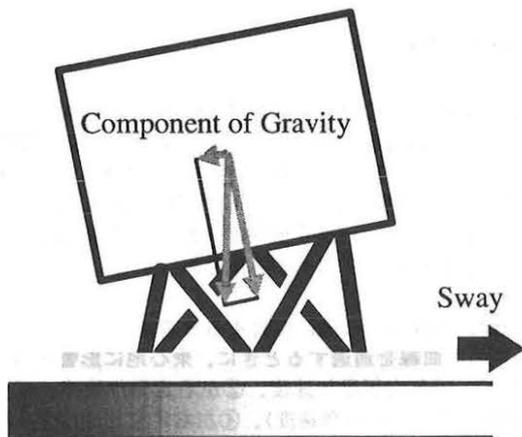


Fig. 3 Generation of Lateral Acceleration

①6軸モーション装置は、6本のアクチュエータによりX,Y,Zの各軸方向の並進、回転方向の振動を再現する。②高周波振動台は模擬客室の床面に設置され、6軸モーション装置の動作の上限から40HzまでのX,Y,Zの各軸の並進振動を再現する。③直線モーション装置により、緩和曲線部での左右定常加速度を再現する際の模擬客室の傾斜速度を緩和させる。これらの3つの装置を組み合わせることで、現車での加速度を忠実に再現している。車両運動総合シミュレータで再現した曲線の加速度データと現車の振動データの比較をFig. 4、Fig. 5に示す。この再現データは、700系新幹線電車で、R2500の曲線を通過したときの、車両の床上で測定したものである。左右定常加速度、振動加速度とも、現車と測定した波形とほとんど同じものとなっていることがわかる。また、PSDにおいても、現車の特徴的なピークをよく再現している。加速度の再現性について車両運動総合シミュレータは、十分な能力を有していることを確認した。

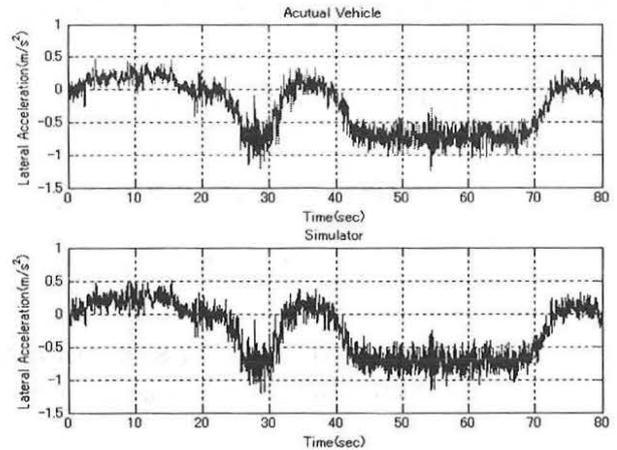


Fig. 4 Compare Actual Vehicle with Simulator (Time)

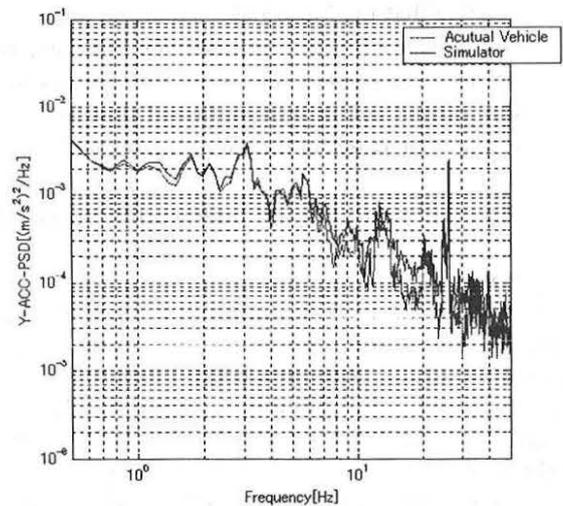


Fig. 5 Compare Actual Vehicle with Simulator (PSD)

#### 3.2 加速度再現におけるシミュレータのロール運動の影響

車両運動総合シミュレータでは、模擬客室の傾斜によって重力の床方向の分力を左右定常加速度として再現している。このとき、傾斜速度が大きいと、ロール角運動を感じてしまう。直線モーション装置で左右定常加速度を発生させることで、模擬客室のロール角の回転速度を低下させることができる。直線モーション装置を使用した場合の模擬客室のロール角速度は、最大で0.3deg/s程度となっている。また、車両運動総合シミュレータでロール角速度の閾値を調査した結果、閾値は周波数に依存しているが、もっとも小さい値0.45deg/sと実曲線を再現させたときの値と比べて十分小さい値である。<sup>4)</sup>

曲線を通過している間、シミュレータの画像も実車のロール運動に合わせて上下するようになっており、視覚からの情報も制御し、実際の曲線を通過しているような感覚を持つようにさせている。上記のように、シミュレータのロール運動の影響を排除することで、車両運動総合シミュレータは加速度の再現について、十分な機能を有していることを確認した。

### 3.3 車両運動総合シミュレータによる乗心地試験

車両運動総合シミュレータによる曲線の再現性についてまとめる。

- ・ 車両運動総合シミュレータの曲線の加速度の再現性について、現車と同等である。
- ・ シミュレータの試験で問題となる模擬客室のロール運動については、ロール角加速度を閾値以下で動かすことができ、模擬客室のロール運動の影響を排除できる。

加速度を対象とした乗心地試験に必要な機能を十分有しているといえる。また、シミュレータで課題となる視覚情報については、700系新幹線電車と同じ客室を使用し、窓の景色も客室の運動に合わせて動くことで違和感のない映像により、その影響も排除できると考える。2項で記述した曲線の乗心地指標として、左右定常加速度・左右振動加速度・左右定常加速度変化率を対象とした試験が、車両運動総合シミュレータで可能である。

#### 4. 左右定常加速度の判別試験

車両運動総合シミュレータで再現する曲線の乗心地の違いを人間が正しく判別できるか、試験を行った。今回は、乗心地に影響する物理量の1つである左右定常加速度の大きさについて、調査した。

##### 4.1 再現データ

試験に使用するデータは、現行の700系の半径2500mの実測の振動データを使用した。振動データは、X軸（前後方向）、Y軸（左右方向）、Z軸（上下方向）のデータを使用し、車両運動総合シミュレータで再現させた。

再現するY軸（左右方向）の振動データを加工して、試験条件を変更した。左右定常加速度は、車両運動総合シミュレータが再現するロール角の大きさを変更した。

今回は、円曲線部のみの評価としたため、横方向の直線モーション装置は使用していない。

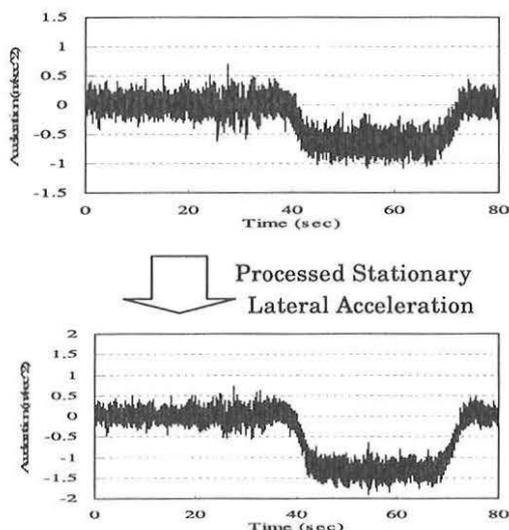


Fig.6 Processed Reappearance Data

Table 1. Stationary Lateral Acceleration

Gain	Stationary Lateral Acceleration (m/s <sup>2</sup> )
1.0	0.74
1.2	0.88
1.4	1.03
1.6	1.18
1.8	1.33
2.0	1.47

##### 4.2 試験方法

試験は、被験者にA、B2種類の振動を提示し、Aに対してBの振動（定常加速度、振動加速度）が大きいか、小さいか、または同じように感じたかを紙によるアンケートで回答させた。実車で観測される振動を、標準刺激とした。被験者については、合計28名で20代～50代の鉄道とは無関係の男女と鉄道関係者20名の双方の母集団を準備した。被験者には、円曲線部のみを評価するように教示するとともに、シミュレータ内の案内表示機で試験の開始と終了を伝えた。

試験にあたっては、被験者の疲労、試験に対する慣れなどを排除するため、十分な休憩時間を確保するとともに、昼間時間帯での試験とした。

##### 4.3 左右定常加速度の大きさを変化させた場合の試験結果

Fig.7は、座位における左右定常加速度の感じ方について、一般の被験者を対象に整理したものである。左右定常加速度の倍率が上がるにつれ、現行に比べて悪いと回答した被験者が増えている傾向にあることが確認できた。2点識別法で検定すると、有意水準5%で正解数が19となり、大きさが1.6倍、2.0倍のときこの母集団が識別する能力を持っているとみなせる。しかし、1.4倍、1.8倍については、有意な差が見られなかった。

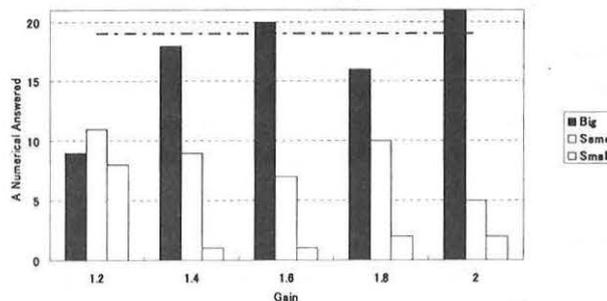


Fig.7 Case of Stationary Lateral Acceleration (Ordinary People)

一般の被験者と鉄道関係者の左右定常加速度の感じ方の違いについて、調査した。標準刺激と左右定常加速度1.2倍を比較したときの回答をFig.8に示す。一般の被験者と比べて、鉄道関係者の方が違いを感じ取ることができる被験者が多かった。曲線の振動乗心地の差異を正しく評価できる試験手法、母集団の選定を引き続き進めていく。

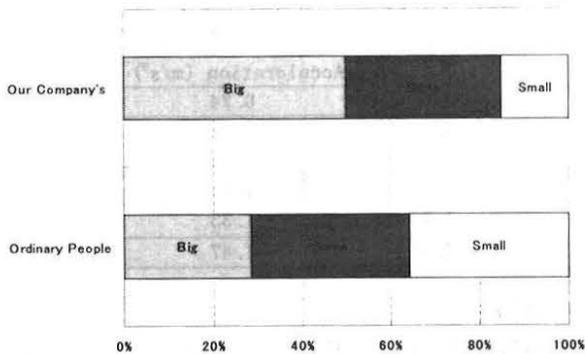


Fig. 8 Difference of Vibration Sense by group (Case of Gain 1.2)

## 5. まとめ

車両運動総合シミュレータを使用した曲線の乗心地試験に関する検討を行った結果をまとめる。

- ・ 車両運動総合シミュレータの加速度は、現車データとほとんど同じであり、乗心地試験を行う機能を十分有している。
- ・ 車両運動総合シミュレータによる試験を行う場合のロール角の影響は閾値以下であり、ロール角の影響を排除することが可能であり、乗心地試験を行う機能を有している。
- ・ 左右定常加速度を変化させた場合の乗心地試験を行い、左右定常加速度が大きくなるに従い、判別できることが確認できた。
- ・ 一般の被験者と鉄道関係者の左右定常加速度の違いについて調査した。鉄道関係者の方が識別できる割合が高かった。

## 6. 今後の課題

車両運動総合シミュレータが乗心地試験に十分な機能を有しており、被験者試験を行った結果、妥当な結果を得ることができた。今後、左右振動加速度、左右定常加速度変化率の大きさを変更した試験、また、左右定常加速度、左右振動加速度、左右定常加速度変化率の大きさを変更したものを組み合わせた試験を行い、それぞれの物理量の乗心地に対する重み付けを検討し、曲線の乗心地指標を策定していく。

## 参考文献

- 1) 林 他：鉄道車両の乗心地評価におけるシミュレータの活用に関する基礎的研究 日本機械学会第 11 回交通・物流部門大会講演論文集 P171-174
- 2) 林 他：鉄道車両運動総合シミュレータの開発 機械学会年次大会講演論文集 2002 P211-212
- 3) 坂上：フルードパワーシステム 第 34 巻, 第 3 号 P20-24
- 4) Tetsuya Hayashi: Development of A Vehicle Dynamic Simulator for evaluation of Train Ride Comfort STECH' 03 P235-240
- 5) 小野：鉄道のスピードアップ 日本鉄道運転協会
- 6) 佐藤：官能検査入門 日科技連
- 7) 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 2002, 1
- 8) 鈴木 他：曲線の乗り心地の許容限度 鉄道総研報告 2000, 12