

3516 走行試験による在来線車両の運動メカニズムの分析

Analysis of movement mechanism of conventional lines vehicle by running test

○山之口 学 五十川 敬司 角井 真哉 真野 辰哉（西日本旅客鉄道株式会社）

Manabu YAMANOKUCHI, Keiji ISOGAWA, Sinya KAKUI, Tatsuya MANO

West Japan Railway Company.

It has been an important theme to give a good riding comfort. We didn't have a sufficient method to analyze the riding comfort and movement mechanism of vehicle accurately. We analyzed a movement mechanism of vehicles on conventional lines by running test.

We have acquired the knowledge of yawing, rolling and movement between two vehicles at straight sections. We have known the movement of vehicle on various curve radiuses.

Keyword: ride comfort, running test, movement mechanism of vehicle, yawing, rolling

1. はじめに

乗り心地の良い車両を提供することはかねてより大きな課題であったことから、空気ばね・ダンパ等の要素開発部品の採用による現車走行試験やバネ・ダンパ系の最適値をシミュレーションで検討するなど、乗り心地改善を図るために様々な取り組みが行われてきた。しかし、車両運動や乗り心地に対して必ずしも明確な知見が得られている訳ではなかった。そこで、徹底した車両運動メカニズムの解明を行い乗り心地の向上を図るため、最高速度130km/hで運行し、当社の代表的車両である223系近郊型車両を使用して現車走行試験や試験台試験を行い、それによるシミュレーションを通して、車両諸元の適正化や台車の試作・改良に向けて取り組みを行っている。また乗り心地に対するバネ・ダンパ系の寄与度等についても知見を得るための調査を行い、部品開発やメンテナンスに反映させ、乗り心地の向上を図るために部品レベルでのベンチテストや実現車走行試験を行っている。本報告はこれまでにを行った現車走行試験の結果を基にした車両運動メカニズムの分析結果を紹介する。

2. 走行試験概要

走行試験の概要は以下の通りである。

Table.1 outlie of running test

試験車両	223系2000代(4両編成) 中間車(M、T)
試験区間	山陽・東海道本線 姫路～草津
最高速度	130 km/h
積載条件	空車
測定項目	・車体左右振動加速度 (台車直上、車体中央床面・天井) ・車体上下振動加速度 (台車直上、車体中央床面) ・ロール角・角速度、ヨー角速度 (車体中央) ・ダンパ実働状態(T車) (減衰力、ストローク)
踏面状態	車輪研削後(修正円弧踏面)

3. 車両運動メカニズム分析結果

3.1. はじめに

まず試験車両の乗り心地の確認と車両運動メカニズム解析区間選定のため、試験区間の乗り心地レベルを算出している。

3.2. 乗り心地レベル

測定区間での各車1位台車(進行側)直上振動加速度より、1分間ごとの左右及び上下の乗り心地レベルを算出した。上下の乗り心地レベルはほとんどの区間で88dB以下であり良好であり、結果は省略する。姫路-草津間(上り)の左右乗り心地レベルとランカーブをFig1に示す。

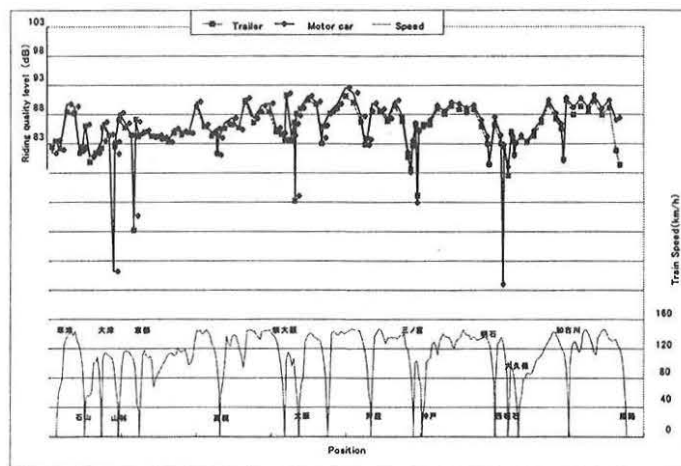


Fig.1 Lateral riding quality level and runcurve

左右の乗り心地レベルは、最高速 130km/h の高速区間での値が相対的に高くなっている。130km/h で走行した区間は大多数が直線区間であり、詳細な解析区間を乗り心地レベルの数値が高い西宮―甲子園口間の直線区間と

した。M車T車の乗り心地レベルの比較ではM車のほうが1dB程度高く、乗り心地に差はないと考える。

3.3. 直線走行時の車両運動特性

3.3.1. 高速直線区間解析

高速直線区間のT車のロール角速度、ヨー角速度車体左右(1位・中央・2位)振動加速度の周波数特性をFig2に示す。

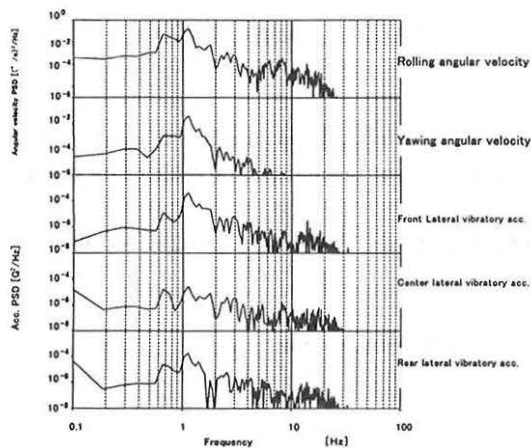


Fig. 2 Frequency analysis

1.1~1.4Hz と 0.6~0.8Hz にピークが確認できる。

○1.1~1.4Hz

ヨー角速度のピークであるので、車体ヨーイングであると考えられる。またロール角速度のピークでもあるので車体ロールが発生していることがわかる。

○0.6~0.8Hz

ロール角速度のピークであるので、車体ロールであると考えられる。

ヨーイングとローリングの発生が認められるのでそれぞれについてさらに詳しく分析するため解析区間にフィルターをかけることとした。

3.3.2. 車体ヨーイングについて

ヨーイング成分を抽出するため、1~2Hz のバンドパスフィルターをかけた図をFig. 3に示す。

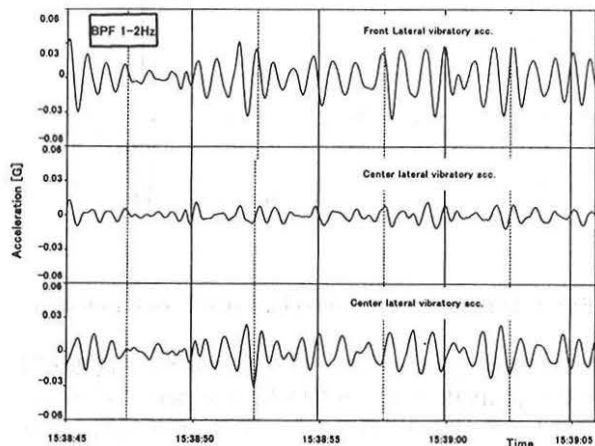


Fig. 3 Body vibratory acceleration (Yawing)

車体1位(前台車上车体床面の加速度)と車体2位(後台車上车体床面の加速度)の波形を比べてみると逆位相であることから車体はヨーイングしている、この振動モードは周波数特性の結果から直線走行中の車両振動の中で支配的であり、その周波数成分から乗り心地悪化の主たる原因であると考えられる。車体1位の左右振動加速度は車体2位の左右振動加速度より大きいので、車体ヨーイングの回転中心は進行方向に対して、やや後ろ側にあることもわかった。(Fig. 4)

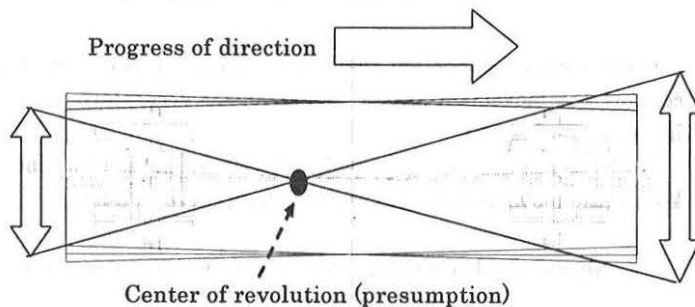


Fig. 4 Yawing mode

3.3.3. 車体ローリングについて(直線130km/h走行)

Fig. 2 のロール角速度の周波数特性より直線走行中に車体ローリングの発生を確認できる、周波数のピークは

- (a) 0.6~0.8Hz
- (b) 1.1~1.4Hz

の2帯域に確認されている。車体ローリングモードの解析のために車体中央天井と床面の左右加速度の各周波数域での関係をあきらかにするため、車体ヨーイングと同様にバンドパスフィルターをそれぞれにかけた図をFig. 5に示す。

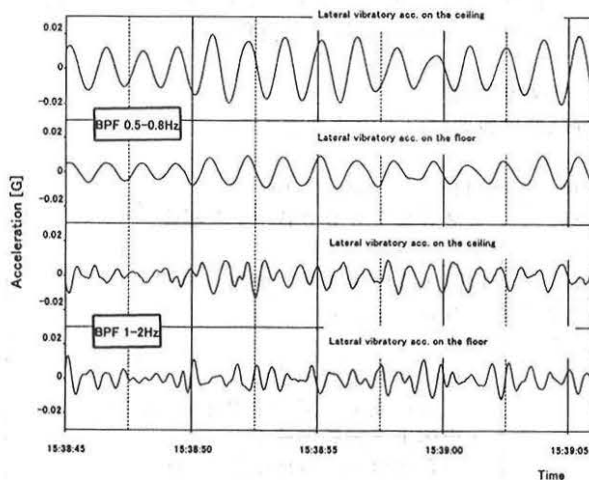


Fig. 5 Body vibratory acceleration (Rolling)

(a) 0.6~0.8Hz

車体中央の天井と床面の加速度がほぼ同位相であり、床面の加速度ほうが小さい事から下心ロール (Fig. 6) であることがわかった。

(b) 1.1~1.4Hz

車体中央の天井と床面の加速度が逆位相であることから、車内に回転中心のある上心ロール (Fig. 6) であることがわかった。

0.6~0.8Hz

1.1~1.4Hz

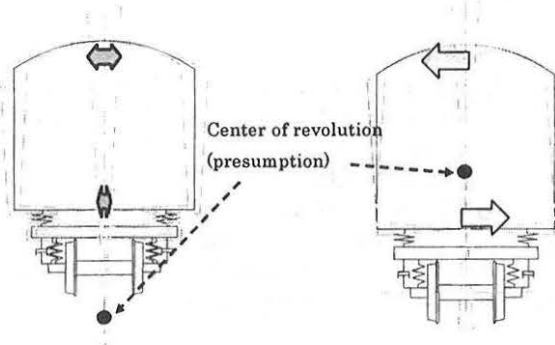


Fig. 6 Rolling mode

3.3.4. 2車体間の運動

各車両個別に振動を抑える方法ではなく、隣り合う車両を互いに拘束する方法で振動を抑えることが可能かどうかの確認のため。直線走行中の2車両のヨー角速度 (1.1~1.3Hz)、ロール角速度 (0.6~0.8、1.1~1.4Hz) の各周波数帯域におけるそれぞれの位相差を確認した図を Fig. 7 に示す。

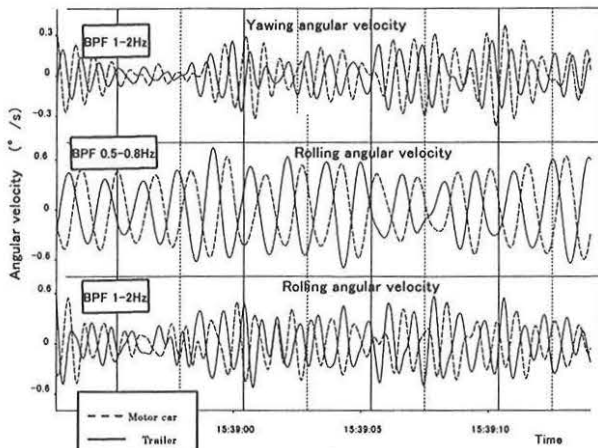


Fig. 7 Movement between vehicles

各成分周波数域においてそれぞれの位相差は $90^\circ \sim 180^\circ$ であることが確認された。

このことから、車体ヨーイング、ローリングにも車体間を拘束する方法 (車端ダンパ、車体間ヨーダンパ) が有効と考えることができる。

3.4. 曲線区間走行時の車両運動特性

3.4.1. 直線区間との違い

例として直線区間 (A) と 2 曲線 (緩急) (B) (C) の曲線区

間走行中の波形例を Fig. 8 に示す

曲線は R2500m カント 22 mm (B) と R600m カント 90 mm (C) である。

車体 1 位 (進行前側) 左右振動加速度と同じ側の左右動ダンパの変位を測定し車体と台車の相対変位がわかるようにしている。車体中心ピンと台車枠に付いている左右ストッパゴムとのすきまは 10 mm であるので左右動ダンパ変位が約 10 mm を超えると中心ピンが左右動ストッパ接触していると言える。またその接触がわかるようにストッパゴム取付台受け部に歪ゲージを貼り付け応力の発生がわかるようにしている (未校正)。

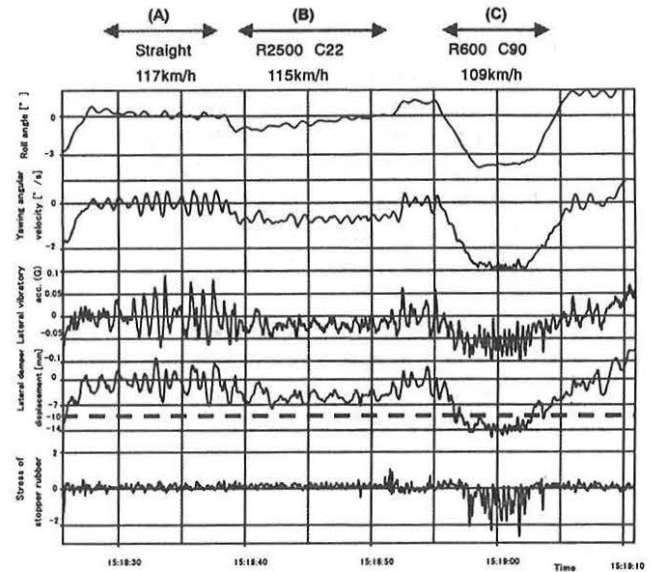


Fig. 8 Case of curve section

上記 3 区間の周波数解析結果を Fig. 9 に示す

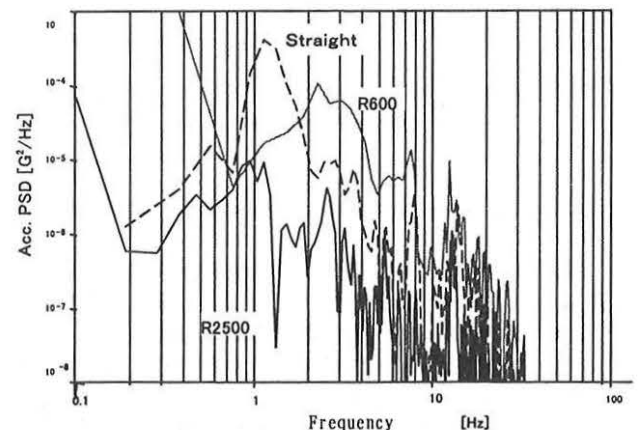


Fig. 9 Frequency analysis

以上 2 つの図より以下のことが言える。

○直線 (A) 点線

1Hz 前半にピークがあり 3.3 より振動モードはヨーイングであることがわかる。

曲線走行時は、直線走行時と違い車両走行速度に対する軌道のカント不足により車体に超過遠心加速度が作用しており、車体を外軌側に引っ張る力が働いているので直線走行時と異なった振動モードであることがわかった。また曲線の大きさによっても変わることも確認した。

○曲線(B) 実線 (R2500m カント 22 mm)

卓越した周波数のピークは見つからず。1Hz 前半にピークはなく、車体左右振動加速度の振幅・ヨー角速度の振幅は直線のときより減少しているので直線で見られた車体ヨーイングが抑えられていると考えられる。全体の振動パワーも小さいので直線区間より乗り心地は良いと言える。

○曲線(C) 灰色 (R600m カント 90 mm)

車体は曲線(B)より大きな超過遠心力が働いており、左右動ダンパ変位は 10 mm を超えている。ストップゴム受け部の応力の反応から車体中心ピンが左右ストップゴムに接触しているのが確認できる。また周波数解析結果から車体左右振動加速度は 2~3Hz にピークがあることがわかる。これはストップゴムのばね定数の影響によるものと考えられる。

3.4.2. カント不足量と車体変位の関係

車体左右変位と超過遠心力との関係をあきらかにするため、超過遠心加速度を表すカント不足量と左右動ダンパ変位との関係を Fig.10 に示す。

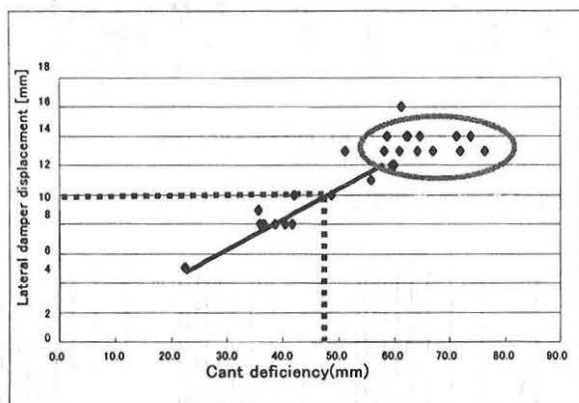


Fig.10 Cant deficiency and Lateral damper displacement

カント不足量と左右動ダンパ変位の関係はカント不足量 50 mm 手前までは、台車枠ストップゴム部と車体中心ピンとの間に隙間 (10 mm) が設けられているために、左右動ダンパ変位量 10 mm 付近まではおおそ比例の関係であると言えるが、それ以上は左右ストップゴム部と車体中心ピンが接触 (ストップ当たり) するため、頭打ちの傾向を示していることがわかった。左右ストップゴムによって車体の外軌側への変位は抑えられている。

4. まとめ

走行試験の結果より、在来線新快速運用における車両の現状の乗り心地と車両の運動メカニズムについて以下の知見を得ることができた。

- ① 試験区間全体の乗り心地は良い～普通のレベルであった。相対的に直線 130km/h 区間の乗り心地が悪く、主たる原因はヨーイングである。
- ② 直線走行中にも 2 つのローリングモードで車体はロールをしている。
- ③ 隣り合う 2 車体のヨーイング・ローリング角速度の位相差は 90~180° であり、今後の車両乗り心地改善のため 2 車体間を拘束する方法が考えられる。
- ④ 曲線区間は超過遠心加速度により車体は外軌側に引っ張られ、車体ヨーイングは抑えられる。カント不足量の増大により、ストップ当たりを起こし 2~3Hz の振動が発生する。

5. 今後の展開

シミュレーション精度の向上として本年 8~9 月にかけて今回の走行試験と同形式の台車を使用し、回転試験を行った。その中ではダンパの有無、定数の変更の試験や車両振動と軌道との相関を見る試験を行っている。走行試験からでは車両振動と軌道との関係は十分な知見を得ることはできなかったもので、その試験を利用して解明したいと考えている。それらの結果を今後の台車設計・改良に反映していきたいと考えている。