

正 [機] ○國松 祐樹 (JR 東海)

正 [機] 曄道 佳明 (上智大)

正 [機] 足立 昌仁 (JR 東海)

正 [機] 森下 佳孝 (JR 東海)

Study of Running Stability of Railway Vehicle on Roller Rigs

Yuki KUNIMATSU, Central Japan Railway Company, 1545-33 Oyama Komaki City

Yoshiaki TERUMICHI, Sophia University

Masahito ADACHI, Central Japan Railway Company

Yoshitaka MORISHITA, Central Japan Railway Company

For high speed railway vehicles, it is very important to prevent the hunting motion. By running test with half vehicle (that is a half car body and one bogie) on roller rigs, we have investigated vibration characteristics and the dynamic behavior of the vehicle including hunting motion. In addition, we examined how the radius of inertia ratio of yaw and roll angles with half car body affected the stability of the hunting motion of railway vehicle. As a result, it is found that, the decrease of radius of inertia ratio of yaw angle makes running stability worse, and the increase of radius of inertia ratio of roll angle makes it better.

Keywords : Railway Vehicle, Running Stability, Hunting Motion, Roller Rig, Half Car Body

1. 緒言

鉄道の高速車両において最も重要なことは、高速走行時の走行安定性いわゆる自動蛇行動をいかにして防止するかである。蛇行動についてはこれまで国内外を問わず多くの貴重な研究⁽¹⁾がなされており、その結果が現在の鉄道車両における高速化および脱線防止に寄与していることは言うまでもない。しかし、シミュレーション等により運動力学の観点から現象を解明する研究は数多くなされているが、実台車を用いた台上走行試験により現象を把握した研究⁽²⁾は少ない。また、台上走行試験において蛇行動発生に至るまでの過程を含めて車両挙動を詳細に把握した研究⁽³⁾⁽⁴⁾はさらに少ない。従って本研究では、走行安定性に関して軌条輪上により正確に評価可能な手法を確立するため、台上走行試験における車両挙動を把握することを目的とした。具体的には、半車両台上走行試験における車両の振動特性ならびに蛇行動発生に至る過程を含めた車両挙動を明らかにした。また、走行安定性に影響を及ぼす可能性のある条件として荷重枠の設定条件を変更することにより、その影響を評価した。

2. 半車両台上走行試験

車両の走行安定性を評価するには、本来は本線走行同様に車両をレール上に走行させて行うのがよいが、実際は諸々の制約等により、軌条輪と呼ばれる断面がレールと同じ形状の円盤を回転させ、その上に車両を載せ、走行状態を模擬して評価される。また、実際の車両同様に1車体2台車から構成される1車両で評価すべきであるが、台車の性能評価であることなどにより、固定装置により地上側と連結された荷重枠と呼ばれる半分の車体に相当する鋼体と1台車から構成される半車両での台上走行試験が主に実施される。その試験状況を図1に示す。

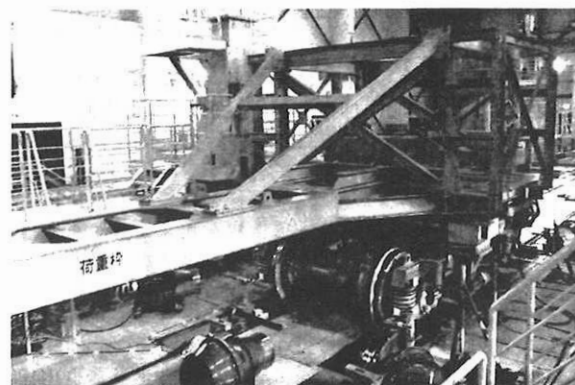


Fig.1 Running Test with Half Vehicle on Roller Rigs

3. 特性試験

3.1 周波数応答試験

まず、車両の振動特性を把握するため、軌条輪により輪軸を左右方向に一定の周波数で加振し、そのときの軸箱、台車枠、荷重枠の変位を測定する。半車両での周波数応答試験を実施した。車両条件としては、新幹線用試験用台車1台を用い、車両重量は空車相当にて行った。加振波形は、振幅1mm、連続20波の正弦波を、周波数1.0Hzから4.5Hzまで順次加振した。試験速度は150km/hから300km/hまで50km/h刻みの4条件とした。ヨーダンバ搭載条件による比較として、通常同様に台車の両側に搭載した状態と片側のみに搭載した状態の2条件で実施した。

ヨーダンバ両側搭載時での、軌条輪の左右変位に対する軸箱の左右変位の応答倍率を図2に示す。応答倍率が最大となる加振周波数は、試験速度150km/hでは2.1Hz、300km/hでは2.9Hzとなり、試験速度とともに増加した。これは、車輪と軌条輪間で速度に依存したすべりが発生

している影響と考えられる。ヨーダンパ搭載条件による違いとしては、搭載本数が減るにつれて、応答倍率が最大となる加振周波数が高速域でわずかに増加し（速度300km/hでは3.3Hz）、応答倍率の最大値が大きくなる（速度300km/hでは2.7倍）結果となった。

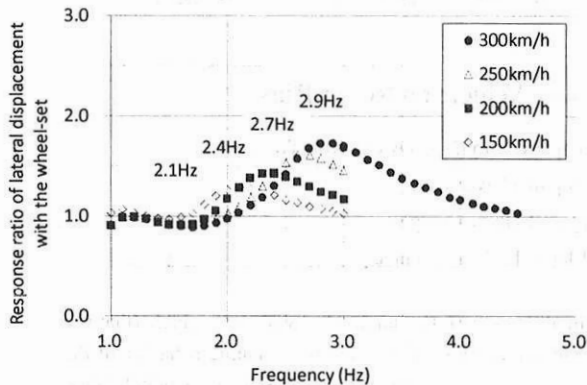


Fig.2 Frequency Response Results on Both Sides with Yaw Damper

3.2 蛇行動試験

次に、蛇行動発生に至る過程も含め車両各部の挙動を把握することを目的に、半車両での蛇行動試験を実施した。ヨーダンパ搭載条件による比較は、周波数応答試験と同様の2条件で実施した。

試験速度で走行中の車両に対して、軌条輪により輪軸を左右方向に強制的に加振した。加振は、周波数1.0Hz、振幅3mm、連続3波の正弦波を、進行方向前位側輪軸のみに与えた。

蛇行動発生の判定は、強制加振後の軸箱左右変位により行った。軸箱左右変位が加振振幅を超えず収束または継続する場合は安定と判定し、次の試験速度に進んだ。一方、加振振幅を超えた場合は、蛇行動発生により不安定と判定し、試験を中止し、その時の試験速度を蛇行動限界速度とした。試験速度は10km/h刻みにて行った。

強制加振直後の変位波形を、図3のように減衰自由振動波形とみなし、対数減衰比および振動数を算出した⁵⁾。軸箱左右変位についての結果を図4に示す。図4(a)の軸箱左右変位の振動数は、試験速度がある速度帯までは幾何学的に算出される台車蛇行動波長から求まる蛇行動周波数にほぼ一致するが、それよりも高い速度帯では蛇行動周波数より低い振動数となった。またこの振動数は、図2の周波数応答試験で応答倍率が最大となる加振周波数に一致する。さらに試験速度に対する振動数の推移は、ヨーダンパ搭載条件によらずほぼ同様の傾向を示した。図4(b)の対数減衰比は、試験速度の上昇に伴い徐々に低下し、0.0を下回ると強制加振後に振動が収束せず一定振幅で継続する状態つまり小振幅蛇行動となり、さらに速度が上昇すると対数減衰比は負の値となり蛇行動が発生した。

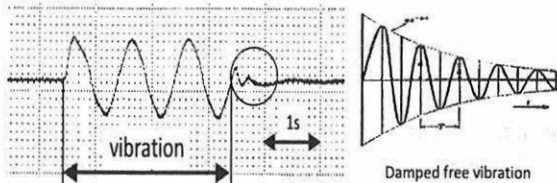
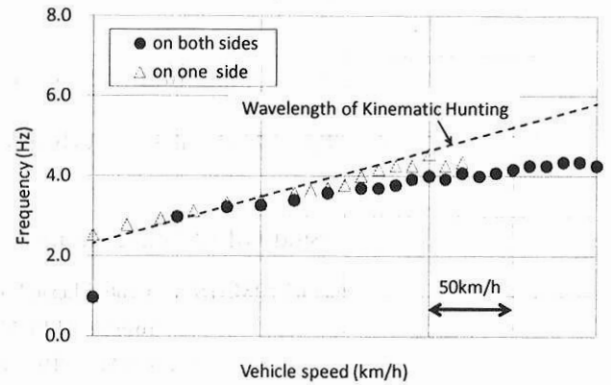
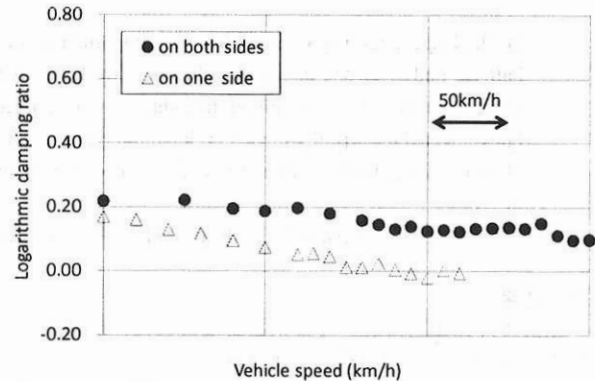


Fig.3 Time History of Displacement and Damped Free Vibration



(a) frequency of lateral displacement with the wheel-set



(b) logarithmic damping ratio of lateral displacement with the wheel-set

Fig.4 Running Stability Results on the Comparison with the Condition of Yaw Damper

4. 走行安定性への影響評価

走行安定性に影響を及ぼす可能性のある項目として、荷重枠のヨーイング及びローリングについて、その影響を評価した。

4.1 荷重枠ヨーイングが走行安定性に及ぼす影響評価

荷重枠ヨーイングによる影響を評価するため、荷重枠に搭載しているウェイトの搭載位置を変更することにより、荷重枠重心位置を変更して試験を実施した。荷重枠重心位置は図5に示すように、車両走行方向に対して台車中心位置から固定装置寄りに、①12mm、②290mm、③628mmの3条件に設定した。このときの荷重枠ヨーイング慣性半径は、①を100%とすると②は95%、③は83%と小さくなる。

初めに、速度200km/h走行時に、軌条輪にて進行方向前位側輪軸に、周波数2.5Hz、振幅2mm、連続20波の正弦波を与える定常加振試験を実施し、そのときの車両各部の変位を測定した。加振周波数は、左右周波数応答試験結果より、軸箱左右変位の応答倍率が最大となる周波数を参考に設定した。

ヨーダンパ片側搭載時とヨーダンパ搭載なし時での試験結果を図6に示す。荷重枠ヨーイング慣性半径が小さくなるにつれて、荷重枠ヨー角はわずかに大きくなった。一方、台車枠ヨー角はほとんど変化なく、軸箱左右変位は②95%のときに最も小さくなり、いずれも荷重枠ヨー角との明確な相関は見られなかった。

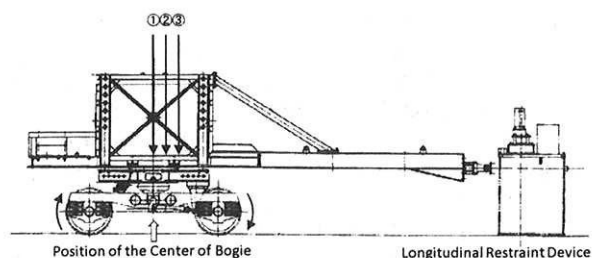
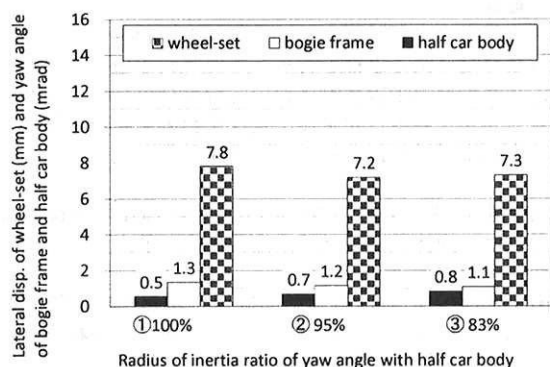
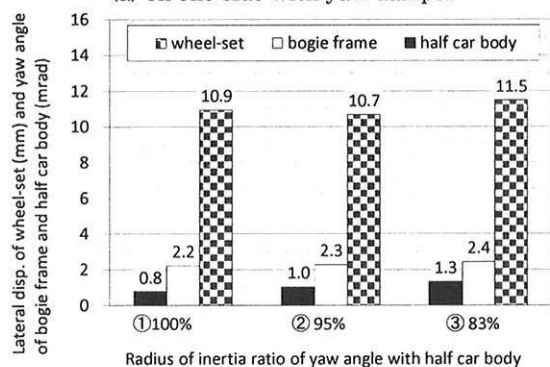


Fig.5 Position of the Center of Gravity with Half Car Body



(a) on one side with yaw damper



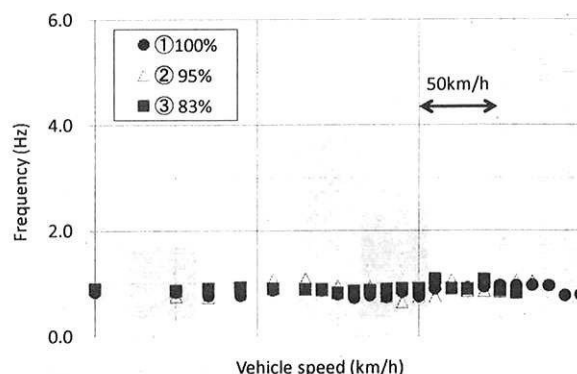
(b) without yaw damper

Fig.6 Response Regular Vibrations on the Comparison with Radius of Inertia Ratio of Yaw Angle with Half Car Body

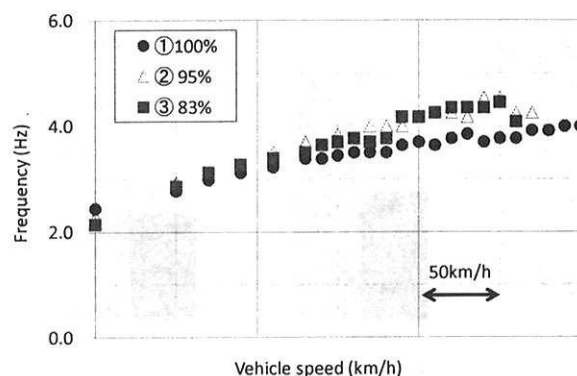
次に、蛇行動試験を実施し、そのときの車両各部の変位を測定した。加振直後の荷重枠ヨー角、台車枠ヨー角、軸箱左右変位の振動数を算出した。ヨーダンパ片側搭載時での試験結果を図7に示す。荷重枠ヨー角の推移は荷重枠ヨーイング半径に関わらずほぼ同様であった。一方、台車枠ヨー角及び軸箱左右変位の振動数は、荷重枠ヨーイング半径が小さくなるにつれ、高くなる傾向を示した。また、蛇行動限界速度は①100%に対して③83%では約13%低下した。

以上より、荷重枠ヨーイング慣性半径が走行安定性に影響を与えることを確認した。

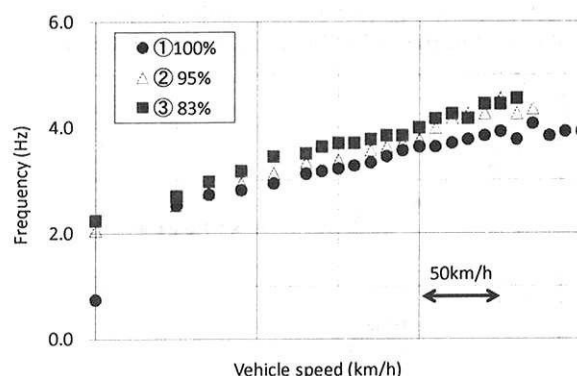
本試験では、荷重枠重心位置を変更することにより荷重枠ヨーイング慣性半径を変更したが、実際には軸重及び前後拘束装置の継手部が負担する上下方向の荷重も変更となっている。従って、蛇行動限界速度にはこれらの影響も含まれていると推測される。これらの影響は試験では測定できていないため、今後シミュレーション等で評価したい。



(a) frequency of yaw angle with half car body



(b) frequency of yaw angle with bogie frame



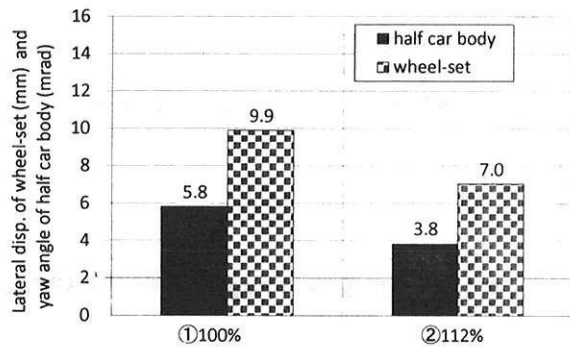
(c) frequency of lateral displacement with wheel-set

Fig.7 Running Stability Results on the Comparison with Radius of Inertia Ratio of Yaw Angle with Half Car Body

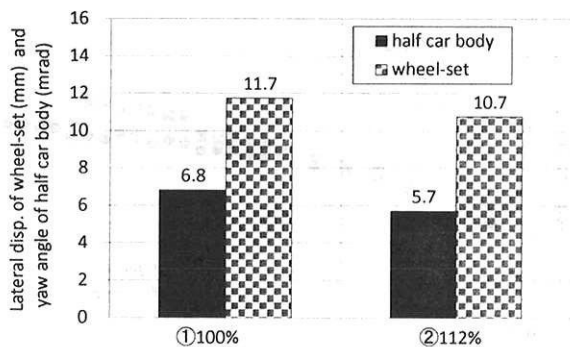
4.2 荷重枠ローリングが走行安定性に及ぼす影響評価

荷重枠ローリングによる影響を評価するため、荷重枠に搭載しているウェイトの搭載位置を変更することにより、荷重枠ロール慣性半径を①現状（100%）と②現状より12%増加させた場合（112%）の2条件設定し試験を実施した。なお、ウェイトの搭載位置を変更によるヨーイング慣性半径への影響は無視できる程度であった。

初めに、荷重枠ヨーイングによる影響評価と同様に、定常加振試験を実施し、そのときの車両各部の変位を測定した。ヨーダンパ片側搭載時とヨーダンパ搭載なし時での試験結果を図8に示す。いずれの場合も、荷重枠ロール慣性半径を大きくすることにより、荷重枠ロール角の振幅は小さくなり、軸箱左右変位も小さくなった。

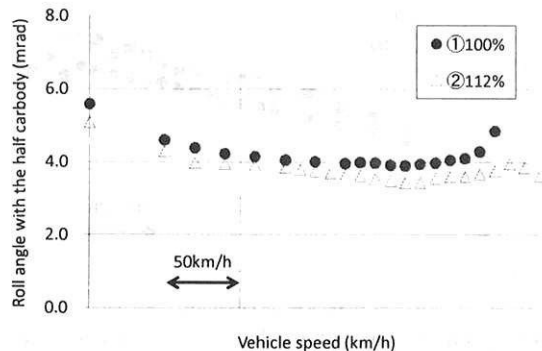


(a) on one side with yaw damper

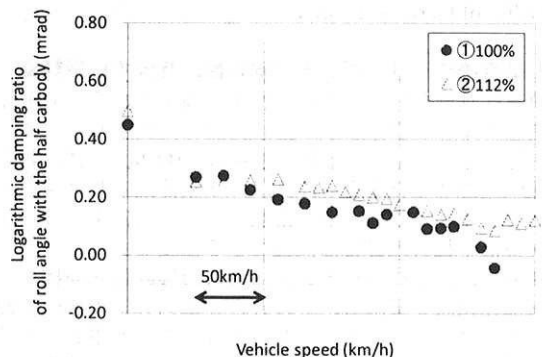


(b) without yaw damper

Fig.8 Response Regular Vibrations on the Comparison with Radius of Inertia Ratio of Roll Angle with Half Car Body



(a) roll angle with half car body between vibrations



(b) logarithmic damping ratio of roll angle with half car body after vibrations

Fig.9 Running Stability Results on the Comparison with Radius of Inertia Ratio of Roll Angle with Half Car Body

次に、蛇行動試験を実施し、そのときの車両各部の変位を測定した。加振時の荷重枠ロール角の平均振幅と、加振直後の荷重枠ロール角の対数減衰比を算出した。ヨーダンパ片側搭載時での試験結果を図9に示す。ロール慣性半径を大きくすることにより、加振時の荷重枠ロール角の平均振幅は小さくなり、また、加振直後の対数減衰比は増加し、振動が収束しやすくなった。その結果、蛇行動限界速度は約9%向上した。

以上より、荷重枠ロール慣性半径が走行安定性に影響を与えることを確認した。

7. 結論

半車両台上走行試験における車両の振動特性ならびに蛇行動発生に至る過程を含めた車両挙動を把握した。また、半車両台上走行試験において荷重枠のヨーイング及びローリングが走行安定性に及ぼす影響を評価した。上記の台上走行試験により以下の結論を得た。

- (1) 蛇行動試験における強制加振後の軸箱左右変位の振動数は、周波数応答試験で応答倍率が最大となる振動数に一致する。
- (2) 蛇行動試験における強制加振後の軸箱左右変位の振動数についての速度依存性は、ヨーダンパ搭載条件によらずほぼ同様の傾向を示し、ある速度帯までは幾何学的に算出される台車蛇行動波長から求まる蛇行動周波数にほぼ一致するが、それよりも高い速度帯では蛇行動周波数より低い振動数となる。
- (3) 荷重枠ヨーイング慣性半径を減少させると、荷重枠ヨー角の振動数にほとんど変化はないが、台車枠ヨー角および軸箱左右変位の振動数が増加し、結果として蛇行動限界速度が低下することを確認した。但し、軸重及び前後拘束装置の継手部が負担する上下方向荷重が変更となった影響を評価する必要がある。
- (4) 荷重枠ロール慣性半径を増加させると、荷重枠ロール角の振幅が抑えられ、これにより軸箱左右変位の振動も抑えられ、結果として蛇行動限界速度が向上することを確認した。

今後、一車両での台上走行試験における車両の振動特性ならびに蛇行動発生に至る過程を含め車両挙動を明らかにし、台上走行試験にて走行安定性を評価可能な手法を確立することを目指す。

参考文献

- 1) 鉄道技術研究所:高速鉄道の研究, pp.284-299, 1967
- 2) 石田弘明, 宮本昌幸:試験台上試験による車両諸元の同定, 日本機械学会論文集 (C編), 56巻528号, pp.2123-2131, 1990
- 3) 平野禎雄, 坂本東男, 石川龍太郎, 山本三幸:台車試験機による走行安定性の実験的研究, 日本機械学会論文集 (C編), 53巻492号, pp.1735-1742, 1987
- 4) 池本憲三:車両試験台と本線における蛇行動特性の比較, RTRI REPORT, Vol.6 No.9, pp.69-74, 1992
- 5) 國枝正春:実用機械振動学, pp.25-30, 1984