

輪重減少抑制台車の実用速度域での性能確認

鈴木 貢* 土井 久代* 中嶋 大智*
 田中 隆之* 本堂 貴敏* 遠竹 隆行**

Evaluation of the Performance of the Bogie to Control the Decrement of the Wheel Load in the Operating Speed Range

Mitsugi SUZUKI Hisayo DOI Daichi NAKAJIMA
 Takayuki TANAKA Takatosi HONDOU Takayuki TOTAKE

We developed a bogie to control the decrement of the wheel load for the purpose of preventing of the flange climb derailment by suppressing the decrease of the wheel load. The bogie is equipped with a bogie frame composed of three blocks which are joined together via a rotation mechanism. The bogie can follow the twist of a track by rotating the side beams with the rotation mechanism. We confirmed the satisfactory performance of the bogie in the operating speed range using a test line. This paper describes the performance of the bogie in the operating speed range.

キーワード：車両，走行安全性，輪重減少抑制，実用速度，試験線

1. はじめに

急曲線の出口側緩和曲線部のような軌道の平面性変位の大きな箇所を車両が走行する際、台車と軌道面との間には相対的なねじれが生じる。このねじれにより台車の進行先頭軸外軌側の軸ばねが伸びて、当該位置の車輪に大きな輪重減少が発生することがある。この時、大きな横圧が作用すると車輪がレールに乗り上がり、脱線に至る可能性が考えられる。この様にして起こる乗り上がり脱線のリスクを軽減するためには、その原因となる輪重減少の抑制と横圧の低減が有効である。鉄道総研では、このうち輪重減少の抑制により乗り上がり脱線を防止するという観点から、図1に示す在来線用の輪重減少抑制台車を試作した。これまでに、鉄道総研の、車両試験台での転走試験¹⁾、所内試験線での走行試験²⁾、を実施し、試作した輪重減少抑制台車の基本性能について確認を行った。さらに、鉄道総研所内試験線では実施が困難な実用速度域における本台車の性能を調査するため、平成28年5月から7月末の間、外部の鉄道試験線において、累積走行距離約5,300kmにおよぶ実用速度域での走行試験を実施した。本論文では、外部の鉄道試験線での試験により確認された、輪重減少抑制台車の実用速度域における台車性能について報告する。



図1 輪重減少抑制台車の外観

2. 輪重減少抑制台車の概要

2.1 台車構造

急曲線の出口側緩和曲線部に代表されるような軌道平面性変位の大きな箇所が生じる輪重減少を抑制するためには、平面性の変化に対する台車の追従性を向上する必要がある。輪重減少抑制台車は、左右の側ばりに回転機構を設けた特殊な台車枠を採用することで、輪重減少の抑制を実現した台車である。一般的な構造の台車枠は、側ばりと横ばりが溶接により剛に接合されている。これに対し、輪重減少抑制台車の台車枠は、図2に示すよう、側ばりと横ばりが回転機構を介して接合されている。この台車枠の回転機構により、左右の側ばりが横ばりに対して独立にピッチ方向へ回転することが可能となる。側

* 鉄道力学研究部 車両力学研究室

** 車両構造技術研究部 車両運動研究室

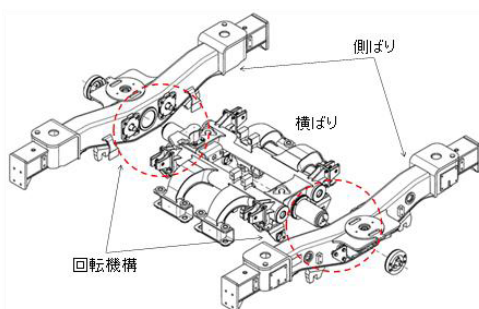


図2 台車枠概略図

ばりが左右独立に回転して、軌道の平面性変位に追従することで、特定部位の軸ばねだけが伸びることを防ぎ、輪重減少を抑制する。

輪重減少抑制台車の特徴である回転機構は、すべり軸受を用いて構成されている。図3に示すようにすべり面を内側にして円筒状に形成されたすべり軸受が側ばりに圧入されており、ここに横ばりに設けた回転軸を挿入する構造となっている。側ばりは、この回転軸を中心にしてピッチ方向に回転運動を行なう。ただし、過度な回転により側ばりが他の台車部品や車体と干渉することを防止するため、回転角制御ピンと呼ぶ一種のストップにより、側ばりの許容回転角を機械的に±2degに制限している。一方、側ばりと横ばりの結合が弱いと、走行安定性の低下を招く台車枠の菱形変形が生じる恐れがあることから、側ばりと横ばりは適度な力で密着させている。スラスト方向の力でこの密着面に摩擦力が発生すると、側ばりの回転運動が阻害される恐れがある。このため、密着面にも板状にしたすべり軸受を設けることで、摩擦力による影響を緩和している。

この他、牽引装置や空気ばね取り付け部の構造などを除いては、概ね一般的な在来線用台車と変わらない構造となっており、台車部品については従来品との互換性を多く有している。輪重減少抑制台車の主要諸元を表1に示す。設計最高速度での走行安定性を確保するため、ヨーダンパを標準装備としている。力行、制動等で生じるピッチングモーメントによる過度な横ばりの回転を防止するため、新たに開発した2段リンク式の牽引装置を採用している。試算によれば、台車質量の増加は一般的な構造

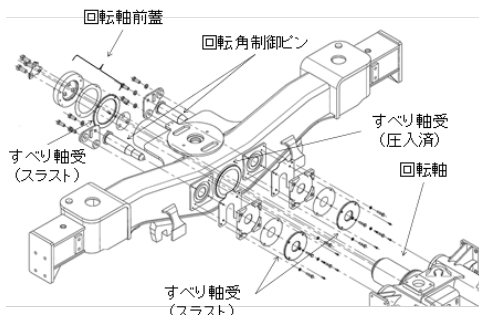


図3 回転機構概略図

表1 主要諸元

設計最高速度	130km/h
軌間	1067mm
軸距	2100mm
質量	5932kg
車体支持装置方式	ボルスタレス方式
軸箱支持方式	軸はり式
牽引装置	2段リンク式
車体だ行動抑制装置	ヨーダンパ
側ばり回転機構	複合複層すべり軸受
側ばり最大ピッチ角	±2deg

の台車枠や牽引装置に比べ約7%に留まっている。

2.2 基本性能調査結果

実用速度域での性能確認に先立ち、輪重減少抑制台車の基本性能として、走行安定性能および低速域での輪重減少抑制効果について確認を行った。

走行安定性能については、鉄道総研の車両試験台でのだ行動試験により調査した。試験の結果、輪重減少抑制台車のだ行動限界速度は、ヨーダンパを2本装備した健全状態の条件では300km/h以上、走行安定性が低下した場合を模擬するヨーダンパを装備しない条件では220km/hであり、比較のため実施した一般的な構造の台車の場合と同程度であった(図4)。これらのことから、輪重減少抑制台車は、一般的な構造の台車と変わらない走行安定性能を有していることを確認した。

低速域での輪重減少抑制効果については、鉄道総研所内試験線での走行試験により調査した。曲線半径160m、カント90mm、カントで減倍率400倍の急曲線の出口側緩和曲線部を、速度10,20,30km/hで走行した際の輪重減少率を調査した。試験の結果、輪重減少抑制台車の輪重減少率は、比較のため実施した一般的な構造の台車での場合に比べ、全ての速度条件で小さく、最大で約4割、平均で約3割小さくなっていった(図5)。このことから、輪重減少抑制台車は、一般的な構造の台車に比べ、急曲線部での輪重減少を約3割抑制できることを確認した。

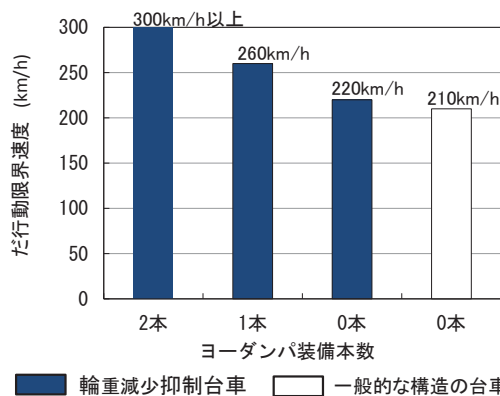


図4 だ行動試験結果

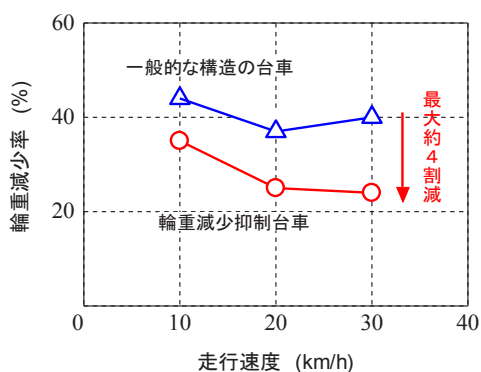


図5 出口側緩和曲線部における輪重減少抑制効果
 曲線半径 160m カント 90mm カントてい減倍率 400 倍



図6 試験線概略図

3. 実用速度域での性能確認試験

3.1 試験概要

3.1.1 試験線および試験区間

鉄道総研の所内試験線は、その総延長が 1km 弱であるという条件から、目的とする出口側緩和曲線部では最高で約 40km/h までの試験しかできないという制約がある。また、試験曲線となり得る曲線は、半径が 160m 以下のものしか存在せず、これ以上の大きな半径の曲線を対象とした試験を行なうことができない。このため、輪重減少抑制台車の実用速度域での性能調査を目的とした走行試験を、MIHARA 試験センター³⁾において実施した。

走行試験は、センター施設の外周部に位置する、普通鉄道用の試験線において実施した。図6に試験線の概略図を示す。試験線は1周約3.2kmの周回線となっており、ここに半径120～700mの曲線が6箇所（以下、曲線は図中に示したR1～R6略号により記す）と、約1kmの直線部が設けられている。軌道は、軌間1067mmと1453mmの3線軌条で、JIS規格とEN規格のレールを併用して、構成されている。この周回線全線を試験区間とするとともに、特に速度条件が設定しやすい複心曲線の後半に位置する曲線R3（半径160m、カント107mm、スラック15mm、緩和曲線長60m）を重点試験区間とした。

3.1.2 試験列車

走行試験に用いた試験列車の概略図を図7に示す。試験列車は、2両編成の牽引列車（1M1T）に、輪重減少抑制台車を装着した試験車両（T）を連結した3両編成とした。この列車の牽引列車を先頭に、周回線を反時計回りに走行して試験を実施した。また、比較のため、輪重減少抑制台車に台車諸元が比較的近い鉄道総研所有の一般的な構造の研究用台車（以下、一般的な構造の台車と記す）を試験列車に装着した条件での試験も併せて実施した。なお、本試験では、いずれの台車の場合にもヨーダンパを装備しない条件で実施した。

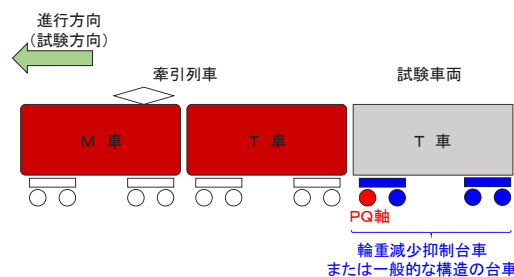


図7 試験列車概略図

3.1.3 試験条件

重点試験区間とした曲線R3を、速度10、20、30、40、50および55km/hの一定速度で走行することを試験条件とした。なお、その他の区間については、最高速度80km/hを上限として、適宜走行を行った。

3.1.4 測定項目

輪重、横圧などの車輪/レール間作用力は、試験車両の進行先頭軸に装架したPQ軸により新連続法で測定した。また、光学式変位計やひずみ式加速度計により、試験車両および供試台車の変位、加速度を測定した。

3.2 試験結果

3.2.1 輪重減少抑制効果

図8に重点試験区間とした曲線R3を速度30km/hで走行した際に測定された外軸側輪重の時刻歴波形を示す。なお、台車構造の違いにより供試台車毎に静止輪重が異なるため、輪重を静止輪重で正規化して示している。輪重減少抑制台車は一般的な構造の台車に比べ、緩和曲線部で輪重が多く残存すること、全曲線を通じて輪重の変動が小さいこと、が確認された。図9に重点試験区間とした曲線R3の出口側緩和曲線部における走行速度と輪重減少率最大値との関係を示す。なお、輪重減少率は、試験前の予備走行により得られたPQ軸左右車輪の準静的な輪重値の平均（表2）を静止輪重値として算出した。

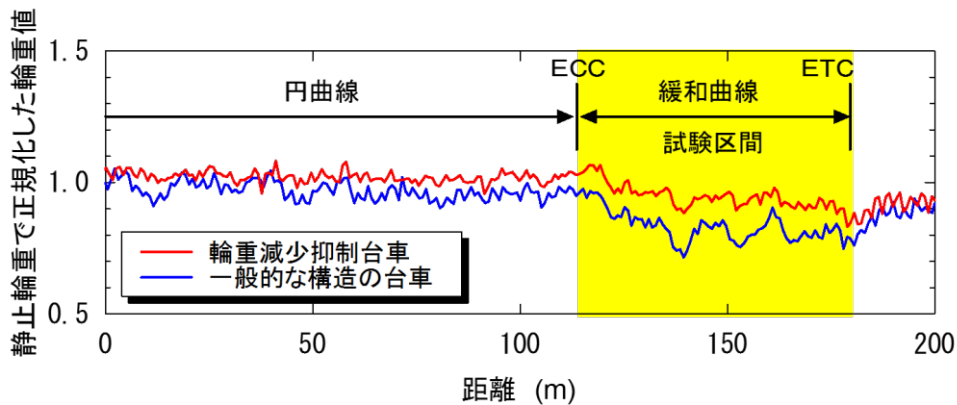


図8 外軌側輪重（正規化）の時刻歴
 曲線 R3 半径 160m カント 107mm 速度 30km/h

表2 静止輪重値

供試台車	静止輪重値
輪重減少抑制台車	37.6kN
一般的な構造の台車	33.1kN

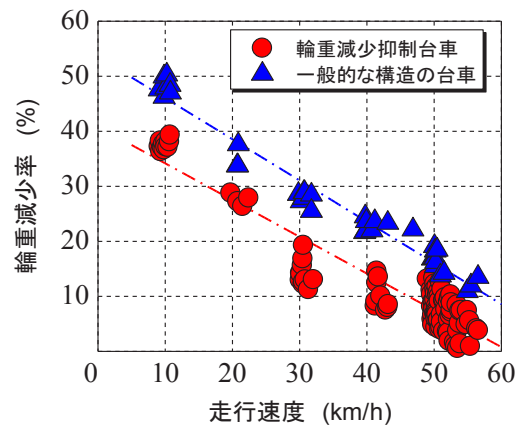


図9 出口側緩和曲線部における輪重減少率の最大値
 曲線 R3 半径 160m カント 107mm 緩和曲線長 60m

輪重減少抑制台車の輪重減少率は、全ての速度で一般的な構造の台車のものに比べ小さくなっており、全ての速度条件での輪重減少率最大値を平均すると約4割小さくなっていました。なお、輪重減少率最大値の発生地点は、台車の違いによらずほとんどの場合に緩和曲線終端部において確認された。また、円曲線内を含めた曲線全域において輪重減少抑制台車の輪重の値は、一般的な構造の台車に比べ、双方の台車の静止輪重の違いを考慮してもなお大きくなっていました。このことから、曲線内の広い範囲で輪重減少を抑制する効果があることがわかった。

図10に重点試験区間以外の曲線の出口側緩和曲線部で測定された走行速度と輪重減少率最大値の関係を示す。また、図11に曲線別の輪重減少抑制率（一般的な構造の台車の輪重減少率に対する輪重減少抑制台車の輪重減少率の抑制割合）を示す。ただし、複心曲線のため出口側緩和曲線のないR2のデータと輪重減少率が負の値となったデータについては除外した。重点試験区間と異なり曲線ごとに明確な速度条件を設定していないためデータに偏りがある、カントで減倍率が異なる、などの理由により、輪重減少率最大値の発生傾向は曲線によ

り異なっていたが、全ての曲線で輪重減少抑制台車の輪重減少率は一般的な構造の台車に比べ3～4割程度小さくなっていました。なお、本試験では、本台車にアシスト操舵システム⁴⁾と呼ぶ横圧低減技術を組み込んだ状態を「脱線しにくい台車」と呼んでおり、この条件を含め、累積で5,400kmを走行したが、全試験を通して輪重減少率に目立った違いはみられなかった。このことから、少なくとも試験走行距離の範囲では、輪重減少抑制効果の低下がないことがわかった。

3.2.2 振動乗り心地

輪重減少抑制台車は回転機構を設けた台車枠を採用している。この特殊な台車構造の影響により、一般的な構造の台車に比べ振動乗り心地が低下することがないことを確認するため、試験線内を標準走行速度（曲線部を均衡速度、直線部を最高約80km/h）で走行した際の、試験車両床面上における車体振動加速度波形をもとに乗り心地レベルを算出した。その結果、輪重減少抑制台車の乗り心地レベルは、左右方向、上下方向ともに、一般的な構造の台車での場合と同程度の値であり、その評価はいずれも「非常に良い（83dB未満）」から「良い（83dB

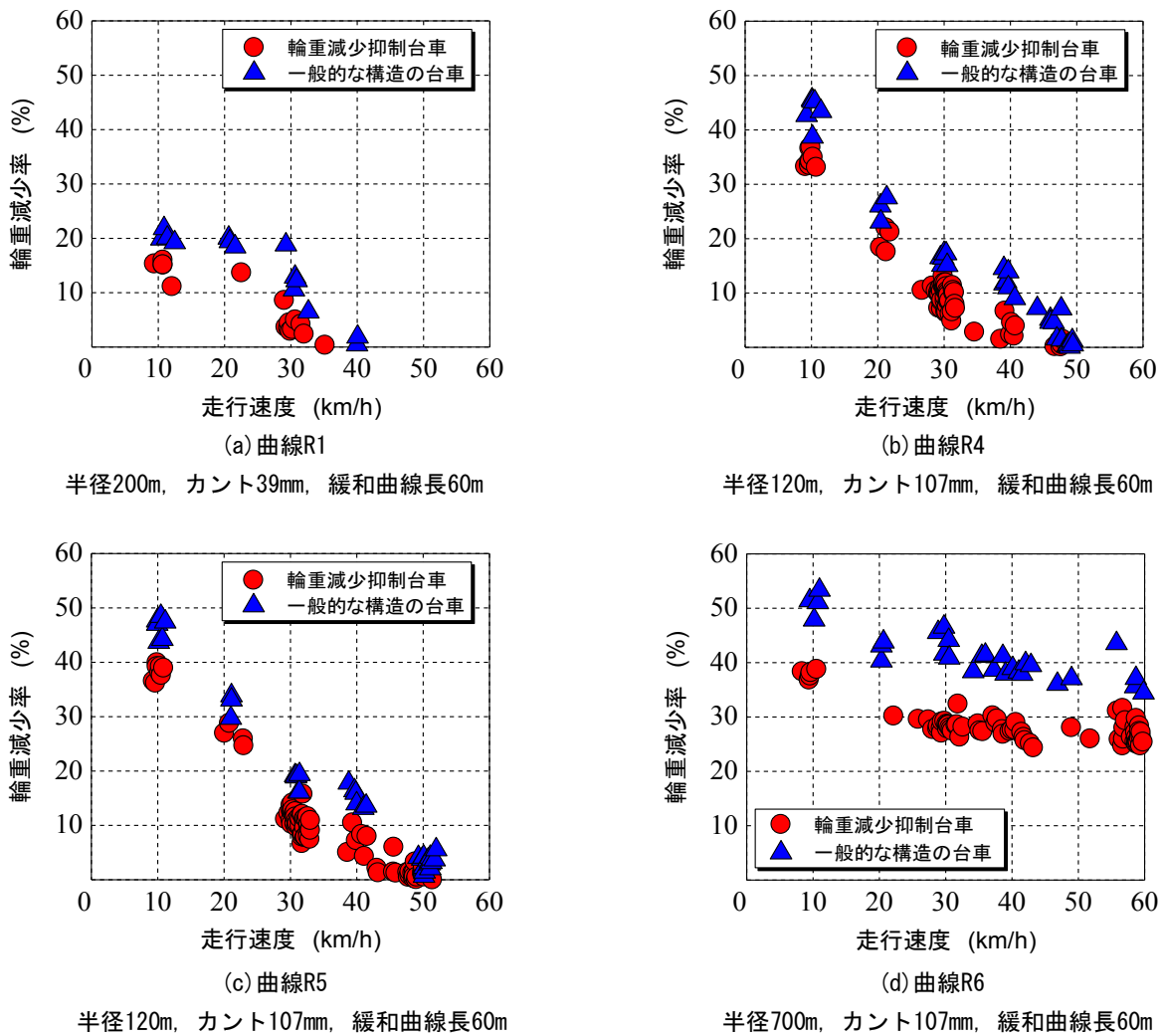


図 10 曲線別の出口側緩和曲線部における輪重減少率の最大値

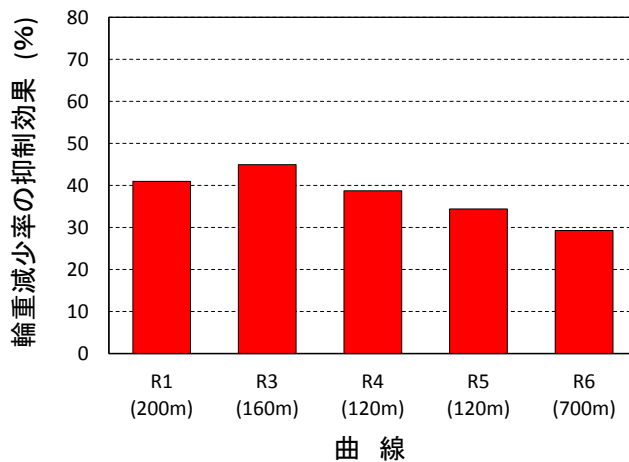


図 11 曲線別の輪重減少率の抑制効果

以上 88dB 未満)」の範囲であることがわかった (図 12)。このことから、輪重減少抑制台車の台車構造が振動乗り心地に影響を及ぼすことがないことを確認した。

3.2.3 走行安定性

輪重減少抑制台車の台車枠は、側ばりと横ばりがすべり軸受を用いた回転機構を介して結合されている。すべり

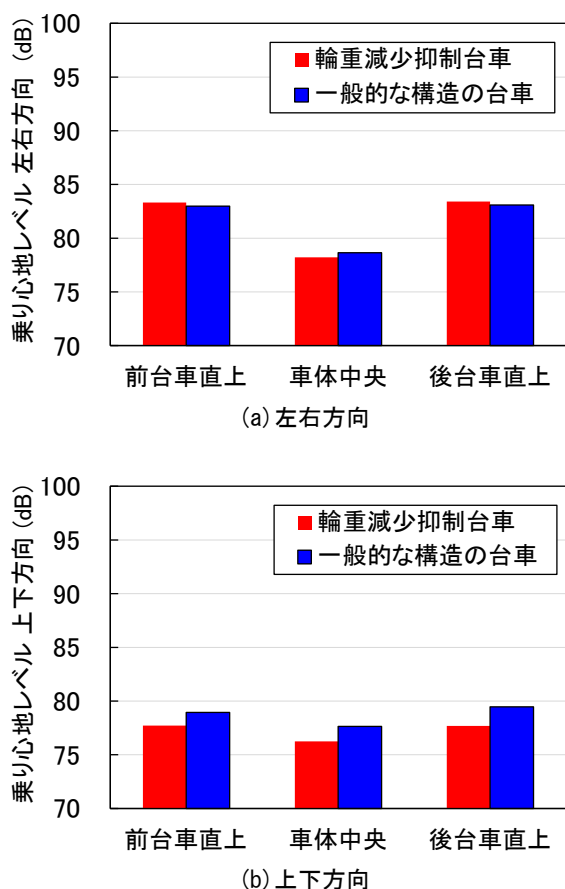


図 12 周回走行時の乗り心地レベル

り軸受には構造上の公差があるため、一般的な構造の台車枠に比べ、側ばりと横ばりは柔に結合されている。前述のとおり、側ばりと横ばりの結合が柔であると台車枠のひし形変形を誘発し、走行安定性の低下を招く恐れがある。そこで、この特殊な台車枠の影響により、走行安定性能の低下がないことを調査するため、試験線内の約 1km の直線部を、試験列車の性能上の最高速度である約 80km/h で走行し、横圧および台車枠左右振動加速度を測定した。全ての走行で測定された横圧および台車枠左右振動加速度に、だ行動の発生およびその予兆を示す周期的な変動は見られなかった。牽引列車の性能上の制約のため、試験速度は本台車の設計最高速度 130km/h に比べ 2/3 程度の速度ではあったが、少なくとも調査の範囲においては、輪重減少抑制機構が、走行安定性に影響を及ぼすことがないことを確認した。

4. まとめ

輪重減少抑制台車の実用速度域での性能評価を目的に、外部の鉄道試験線において走行試験を行なった。その結果は、以下のとおりであった。

- (1) 半径 160m, カント 107mm, カントてい減倍率 560 倍の急曲線を対象とした曲線通過試験により、一般的な構造の台車に比べ、出口側緩和曲線部における輪重減少率の最大値が約 4 割小さくなる効果を確認した。また、半径 120m, 200m, 700m の曲線の出口側緩和曲線部においても、一般的な構造の台車に比べ、輪重減少率の最大値が 3 ~ 4 割程度小さくなる効果を確認した。
- (2) 振動乗り心地、走行安定性は一般的な構造の台車と同程度であり、輪重減少抑制台車の特殊な台車構造がこれらに影響を与えないことを確認した。

5. 今後の取り組み

輪重減少抑制台車の実用化に当たっては、想定される運用状況に即した耐久性・信頼性が要求される。今後は、本台車の実用化に向けた取り組みとして、回転機構部のすべり軸受をはじめとした台車構成部品が、実用に耐え得る耐久性・信頼性を有するかについて検討を行っていく。

なお、本研究の一部は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施した。

文献

- 1) 鈴木 他：3 ピース構造台車枠を用いた輪重減少抑制台車の開発，鉄道総研報告，Vol.27, No.12, pp.17-22, 2013
- 2) 鈴木 他：鉄道総研試験線による輪重減少抑制台車の性能評価，鉄道総研報告，Vol.30, pp.17-22, 2016
- 3) 交通・輸送ドメイン交通機器事業部 O&M 推進室：総合交通システム検証施設“MIHARA 試験センター”の設備充実、拡張と活用について，三菱重工技報，Vol.53, No.3, 2016
- 4) 鴨下 他：ボルスタレス台車用アシスト操舵システムの基礎試験，鉄道総研報告，Vol.22, No.9, pp5-10, 2008