

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

脱線しにくい台車を作る

鉄道のさらなる安全性向上を目指して、乗り上がり脱線の発生確率を極力小さくすることのできる、新たな台車構造の研究開発に取り組んでいます。現在主流のボルスタレス台車構造を維持しつつ、曲線に沿って輪軸を操舵する機構と、軌道の平面性変位に追従する台車枠機構を備える脱線しにくい台車を開発しました。ここでは、はじめに、乗り上がり脱線のメカニズムと、その対策として考案した新しい台車構造を紹介します。そして、高速安定性を確認するための車両試験台での蛇行動試験、曲線通過性能を確認するための鉄道総研試験線での急曲線低速走行試験を実施した結果について紹介します。

はじめに

鉄道車両は、脱線してしまうことがあります。自然災害で軌道が壊れたり、車両の重大な損傷や、踏切で自動車と衝突したときに発生する脱線もあります。これらの脱線とは別に、車両と軌道に特段の異常がなくとも、車両・軌道・運転などさまざまな状態が悪い方向に重なりあって発生したときに脱線する場合があります、これを競合脱線(☞参照)

と呼びます。この競合脱線のうち、車輪が転がりながら自らレールによじ上る、乗り上がり脱線があり、これを根絶することは鉄道技術者の大きな目標のひとつです。ここでは、乗り上がり脱線のメカニズムを紹介するとともに、乗り上がり脱線を防止するために考案した新しい台車構造を紹介します。

車両が曲線を走行する際の横圧を小さくすることと、輪重が減少することを抑えることの二つが脱線防止に対して効果的です。また、見方を変えると、乗り上がり脱線の発生確率の小さい車両は、曲線をスムーズに走行することにもなります。つまり、走行安全性を高めることは、軌道設備のメンテナンス低減を図ることにもつながると考えられます。そこで、鉄道総研では、曲線通過中の横圧対策には輪軸操舵を用い、輪重減少対策には3ピース(3分割)構造の台車枠を採用し(3ピース



宮本 岳史
Takefumi Miyamoto
鉄道力学研究部
車両力学研究室
室長
[専門分野] 車両運動、
走行安全、地震時脱線



鈴木 貢
Mitsugi Suzuki
鉄道力学研究部
車両力学研究室
主任研究員
[専門分野] 車両運動、
走行安全、地震時脱線
対策



鴨下 庄吾
Shogo Kamoshita
車両構造技術研究部
車両振動研究室
主任研究員(上級)
[専門分野] 制御技術応用、
車両のダイナミクス



梅原 康宏
Yasuhiro Umehara
車両構造技術研究部
走り装置研究室
主任研究員
[専門分野] 台車構造、
車両のダイナミクス



本堂 貴敏
Takatoshi Hondou
鉄道力学研究部
車両力学研究室
研究員
[専門分野] 車両運動、
走行安全

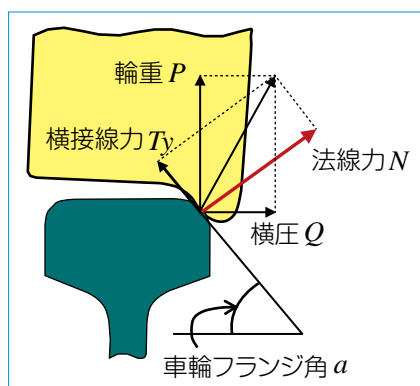


図1 車輪に作用する力の概念

☞ 競合脱線について

1963年11月9日、東海道本線鶴見～横浜間で貨物列車が脱線し、これに2本の旅客電車が衝突し、死者162名、負傷者116名を出す大惨事となりました。このときの貨車の脱線が、単独では脱線を起こし得ない要因が、多数重なりあって脱線を引き起こしたものと考えられました。こうした脱線形態を競合脱線といいます。

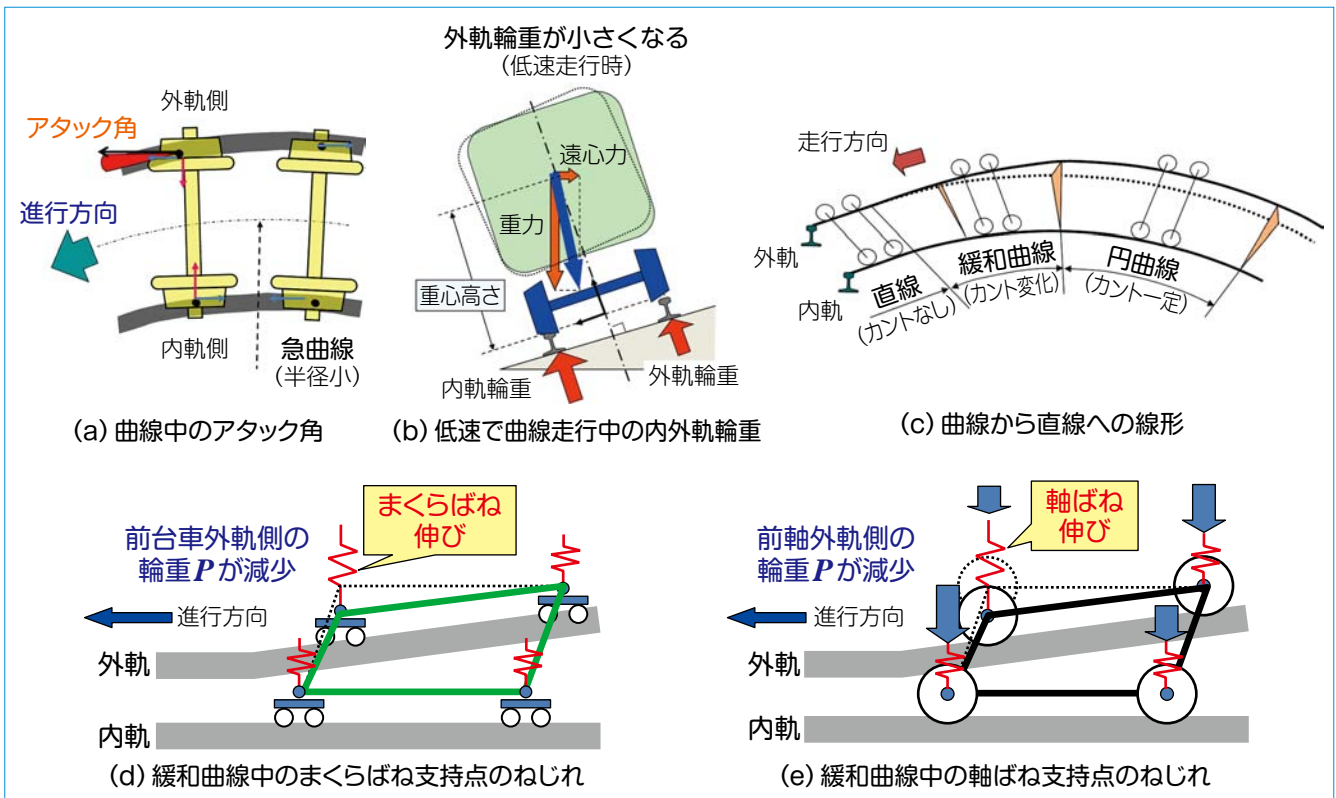


図2 曲線走行中の輪重減少状態

台車), これらを組み合わせた脱線しにくい台車の開発に取り組んでいます。輪軸操舵については, 安全性を高めて新たに開発した逆操舵防止アクチュエーターを使って輪軸の自己操舵機能を補助する機構(アシスト操舵機構)を適用します。台車枠の3ピース構造は, 主に貨車用台車(ごく一部の旅客車用もありました)として実績がありますが, ここでは一般的なボルスタレス台車の構造をベースにし, 在来線旅客車として高速性能との両立を図った新しい機構を提案します。

乗り上がり脱線とは?

乗り上がり脱線とは, レールと車輪間の横接線力を足掛かりに車輪の回転によって自らレールによじ登ることで発生する脱線です。図1に示すような車輪・レール間の作用力を念頭に置くと, 乗り上がり開始条件を次式で定義することができます。

$$\left(\frac{Q}{P}\right)_{CR} = \frac{\tan \alpha - \mu}{1 + \mu \tan \alpha}$$

$$\mu = T_y / N$$

…………… (1)

上式で求められる $(Q/P)_{CR}$ を限界脱線係数と呼んでいます。

走行中の車両では, 曲線や分岐線の通過中あるいは軌道変位に応じて車輪とレールの間に横圧 Q が発生するとともに, 輪重 P が変化します。この両者の比である Q/P を脱線係数といいます。

走行中の車両が発生する脱線係数が大きくなり, 式(1)に示した限界脱線係数を超えると乗り上がり開始条件が成立していることとなります。言い換えると, 分母の輪重 P が小さくなった状態にあるときに, 分子の横圧 Q が大きく発生すると, 脱線係数 Q/P は大きな値となり, それは乗り上がり脱線の発生しやすい状況にあることを表すものといえるのです。

より具体的な事例として, カントの

ある小さな曲線半径の曲線(急曲線と呼びます)を低速で走行しているケースを例に曲線走行中の輪重が小さくなるメカニズムについて解説します。急曲線を走行している際には, 図2(a)に示すアタック角が大きくなり, 大きな横圧 Q が発生します。また, カントのある曲線を低速で走行していると, 図2(b)に示すように車両を内軌側車輪で支えることになり, 外軌側車輪の輪重が定常的に小さくなります。さらに, 車両が図2(c)に示すように円曲線から直線に向かう場合には, 図2(d)に示すように前方の台車が緩和曲線に入ったときには外軌側のまくらばねが伸び, 同時に図2(e)に示すように緩和曲線中の前方台車の前軸外軌側の軸ばねが伸びます。これらのばねの伸び状態の結果として一車両内の先頭第一軸の外側の輪重 P が小さくなり, 大きな脱線係数を発生する状態, つまり車輪がレール上に乗り上がりを開始す

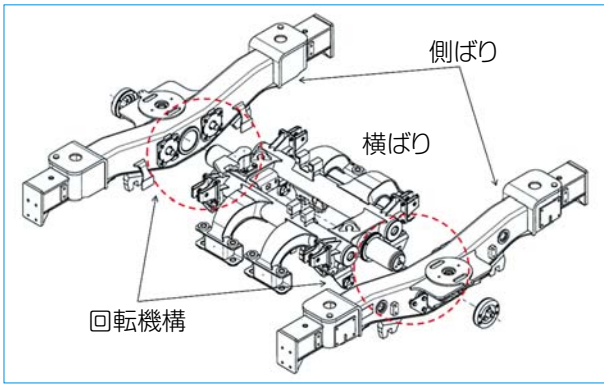


図3 輪重減少抑制機構の台車枠



図4 試作した輪重減少抑制台車の外観



図5 車両試験台試験(軌条輪上転走試験)

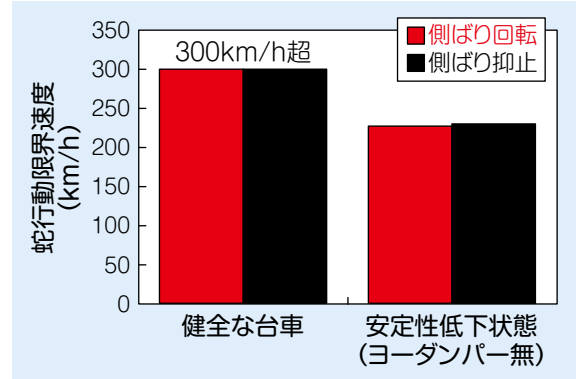


図6 蛇行動限界速度試験結果(軌条輪上)

る条件に近づくのです。カントのある急曲線からの出口緩和曲線に存在する、このような軌道変位を構造的な平面性変位と呼びます。こうした平面性変位のある状態で、さらに軌道変位が加わると、車両が走行中に発生する脱線係数が大きくなり、限界脱線係数を超えて、乗り上がり開始条件あるいは脱線が発生する条件が揃うこととなります。なお、このような急曲線とその出口緩和曲線の存在は線路用地の制約から避けられない場合もあり、構造的な平面性変位によって脱線に対する余裕代が小さくなるのが予測される箇所に対しては、脱線防止ガードを敷設することが定められています。

脱線しにくい台車

緩和曲線以外にも、いわゆる軌道不整などで平面性変位は存在します。これら平面性変位を原因として大きな脱線係数を発生することのない台車、つまり発生する横圧が小さく、かつ輪重

減少を抑える台車を実現することが脱線防止のために求められています。

横圧を小さくするためには、アタック角を小さくすることが有効で、輪軸を曲線に沿って操舵することで実現できます。これまでも、車体・台車枠・輪軸間にリンクを構成して操舵を行うボギー角連動操舵台車や、軸箱前後支持剛性を柔にして輪軸の自己操舵性を活用する自己操舵台車が実用化されています。このうちボギー角連動操舵台車は、リンク機構により円曲線通過中のアタック角を積極的に小さくすることから、横接線力が小さくなり大きな横圧減少効果が得られます。しかし、複雑なリンク機構を必要とすることからコストが高いことが制約になり、あまり普及が進んでいない状況にあります。そこで、これらの問題を解決し輪軸の操舵を実現するアシスト操舵機構を開発しました。その詳細については本号の別掲記事をご覧ください。

輪重を減らさない

輪重が減ることを抑えるメカニズムを解説します。一般的には剛に構成する台車枠を、輪重減少抑制機構^{1)~3)}では図3に示すような横ばりに対し側ばりが回転する機構を持つ台車枠としました。これにより左右の側ばりが個別にピッチ回転の自由度を持ち、台車枠自体が軌道の平面性変位に追従することで、軸ばねの伸長による輪重減少を抑制することが可能となりました。試作した輪重減少抑制台車の外観を図4に示します。

台車枠を分割構造とすることによる懸念のひとつは、蛇行動安定性が低下することです。この対策として側ばりの左右やヨー運動を横ばりの端面で抑える構造としました。この台車構造による蛇行動限界速度を確認するため、図5に示す車両試験台の軌条輪上で車両の走行状態を模擬する転走試験を実施しました。その結果、図6に示すように走行安定性に関わる蛇行動限界速



図7 鉄道総研試験線での急曲線低速走行試験

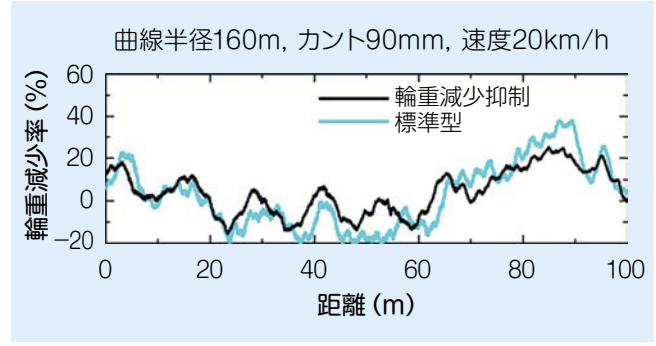


図8 輪重減少抑制台車の急曲線低速走行試験結果

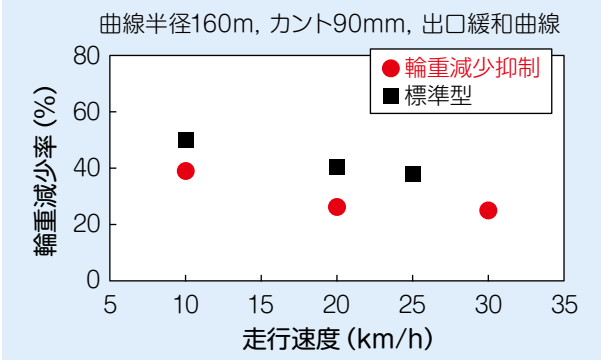


図9 急曲線低速走行試験結果

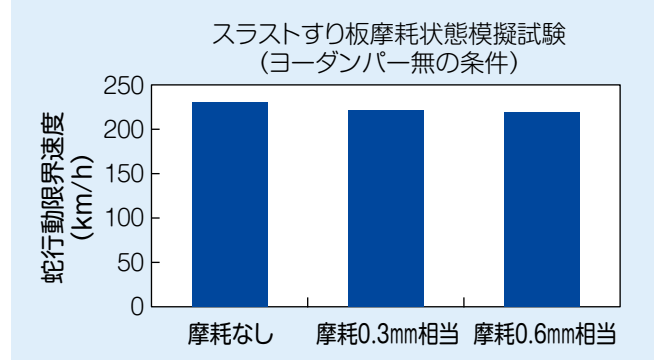


図10 蛇行動限界速度試験結果(軌条輪上)

度は健全な台車の状態では300km/h以上、蛇行動を抑制するためのヨーダンパーが失われた状態でも230km/h程度の安定性を有することを確認しました。また、側ばりの回転機構を抑止した状態においても安定性に差異がないことが分かりました。これらの結果は、輪重減少抑制台車の運用目標速度130km/hに対し十分な安定性を有していることを示しています。

試作した台車の輪重減少抑制効果を確認するために実施した急曲線低速走行試験の様子を図7に写真で示します。この試験における輪重測定波形例を図8に、輪重減少抑制効果をまとめたものを図9に示します。出口緩和曲線中で発生する輪重減少について標準的なボルスタレス台車と比較すると、輪重減少率最大値がおおよそ2/3程度に小さくなりました。

側ばりの回転機構は3種のしゅう動部材ですべり軸受を構成しています。これらのしゅう動部材の中で、スラス

ト方向(まくらぎ方向)に側ばりを抑えるすり板が最も摩耗するものと考えています。このすり板のしゅう動層は1mm厚ですので、車両を運用する中ではすり板を保守管理する必要があります。このしゅう動層が摩耗した状態では、横ばりと側ばりの間に若干隙間が生じ、安定性に影響することが懸念されることから、調整板によりすり板が摩耗した状態を模擬し、蛇行動限界速度に及ぼす影響を確認しました。その結果、図10に示すように、すり板の摩耗が進むと蛇行動限界速度は若干低下しますが、目標130km/hに対しては十分に高い速度を保つことが分かりました。

まとめ

乗り上がり脱線を防止する方策として、アシスト操舵方式により曲線通過中の定常横圧を小さくする技術、輪重減少抑制機構により平面性変位のある軌道での輪重減少を抑える技術を開発・

提案し、2つの技術方策を合わせ、脱線リスクの軽減を目指した、脱線しにくい台車として実現することが可能です。

ここでは、走行試験による輪重減少抑制機構の脱線リスクを下げる効果を示しました。現在、脱線しにくい台車の実用化を目指して、より高速の性能確認試験、長距離走行試験などに取り組んでいます。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ています。[RRR]

文献

- 1) 鈴木, 飯田, 鴨下, 梅原, 宮本, 佐藤: 輪重減少抑制台車の開発, JRIL2013講演論文集, S7-6-4, 2013
- 2) 鈴木, 児玉, 遠竹, 鴨下, 梅原, 飯田, 佐藤, 下村, 宮本: 輪重減少抑制台車の開発～まくらばね左右取付間隔が輪重減少抑制効果に与える影響の調査, JRIL2014講演論文集, S7-6-4, 2014
- 3) 児玉, 鈴木, 宮本, 遠竹, 下村: 輪重減少抑制台車の開発～スラスト軸受けの摩耗が走行性能に表す影響の調査, JRIL2014講演論文集, S7-6-5, 2014