

- 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

# 車両の台車旋回性能を評価する

車両試験台を用いることにより、定置状態でさまざまな観点から車両運動性能を評価することができます。しかしながら、急曲線や分岐器を通過する際の台車の挙動模擬については、車両試験台単独では行うことができません。そこで、車両試験台の機能を補完し、曲線通過時の台車挙動に大きく影響する台車旋回抵抗を測定・評価することのできる台車旋回性能試験装置を製作しました。試験装置の概要と実台車を用いた試験例を述べるとともに、本装置を用いた最近の研究成果として、台車旋回抵抗モデルの構築について紹介します。



田中 隆之  
Takayuki Tanaka  
鉄道力学研究部  
車両力学研究室  
研究員  
[専門分野] 走行安全性、  
走行安定性

## はじめに

鉄道車両の台車は、振動吸収、安定走行、曲線通過のための機能を有します。特に、乗り心地、安全性、走行安定性などの向上を目的として、ばねやダンパー、けん引装置などを介して台車と車体は結合されています。これらの部品の配置例を図1に示します。このような台車構成部品の特性や、それらを組み込んだ車両の運動性能の多くは、車両試験台での軌条輪上の転走試験により明らかにすることができます。ただし、鉄道総研の車両試験台では、急曲線や分岐器を通過するときの車体や台車の挙動は模擬することがで

きません。

車両が、曲線や分岐器を通過する際には、ボギー角（車体と台車間の相対ヨー回転角度）が生じます。このとき、近年の鉄道車両で多く採用されているボルスタレス台車の場合には、空気ばねのねじれ、ダンパー類の動作、けん引装置ゴムのこじれなどが生じます。例として空気ばねとヨーダンパーの旋回時の挙動についての模式図を図2に示します。これら台車部品の変位により、台車には旋回に抵抗する力（台車旋回抵抗力）が発生します。台車旋回抵抗力が台車のヨー回転軸周りに作るモーメントを台車旋回抵抗モーメントと呼びます。これは台車の旋回性能を定量的に表す指標といえます。図3に示すとおり、台車旋回抵抗モーメントの大きさが大きくなると、それに応じて曲線通過時に車輪がレールを横方向に押す力（横圧）が増大します。横圧が大きいと、走行抵抗が大きくなったり、

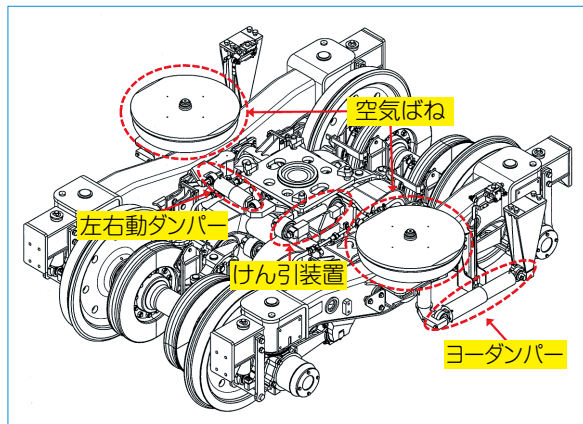


図1 鉄道車両用台車と台車-車体間結合部品（ボルスタレス台車の例）

きません。

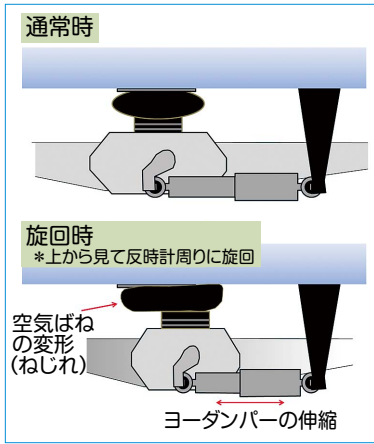


図2 台車回転時の空気ばねとヨーダンパーの挙動

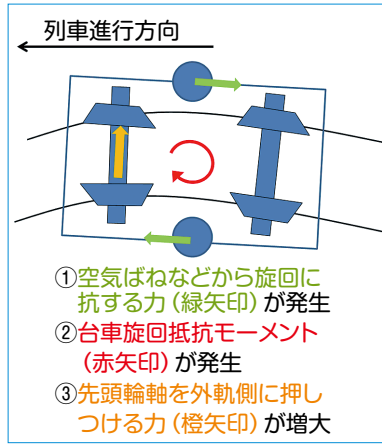


図3 台車回転抵抗モーメントによる横圧発生

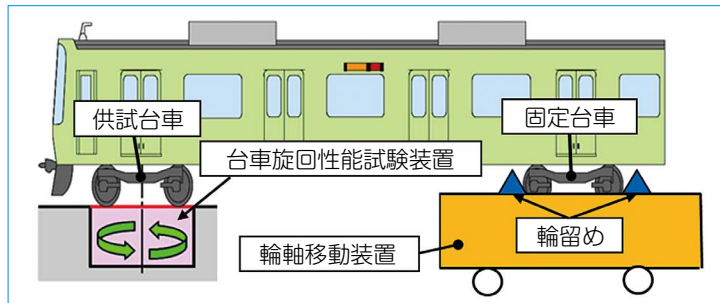


図5 台車回転性能試験時の様子

車輪やレールが摩耗したり、横圧が特に大きい時には乗り上がり脱線(☞参照)の危険性が高まるなどの問題が生じます。そのため、車両の曲線走行性能を把握し、走行安全性を高めるためには、台車回転抵抗モーメントの正確な理解が重要です。

そこで、急曲線通過時の台車の動きを模擬し、台車回転抵抗モーメントを定置試験で測定することができる台車回転性能試験装置を開発しました。

### 台車回転性能試験装置の概要

台車回転性能試験装置の構造概略を図4に、試験実施時の概念図を図5に示します。図5のように一車両中の片側の台車(供試台車)を台車回転性能試験装置の回転中心に合わせた位置に設置し、もう一方の台車を固定した状態で回転試験を実施します。このとき、車両重量や、ダンパーやばねの装着状況など、試験車両の条件はさまざまに

変化させることができます。

円弧状のガイド上に回転台を設置し、駆動用の電動アクチュエーターを伸び縮みさせることで回転台を回転させます。図4にあるように回転用アクチュエーターは2本あり、回転に必要な力に応じて、使用本数を選択します。それぞれのアクチュエーター先端にはロードセルを装備し、回転に必要な力を測定します。この力に回転中心からアクチュエーター取付部までの長さを掛け合わせたものが台車回転抵抗モーメントになります。回転に必要な力に加えて、回転時の輪重や横圧(図4内、

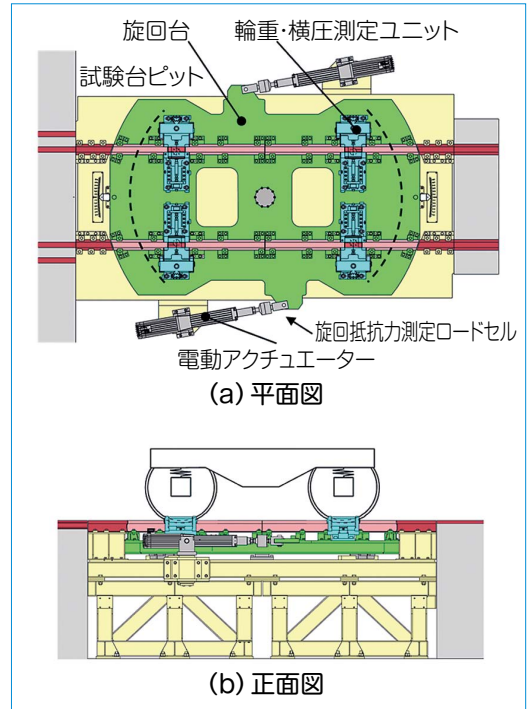


図4 台車回転性能試験装置の構造概略図

輪重・横圧測定ユニットに備えられたロードセルにより計測)、ばねやダンパーの発生力、さまざまな台車部品の相対変位などを測定します。

回転台上のレール配置は変更することができ、台車に合わせて複数の軌間や軸間距離を設定することができます。これによりさまざまな台車形式に対応しています。

回転動作については、主に定速回転モードと、正弦波回転モードの二つがあります。回転動作についての模式図を図6に示します。定速回転モードは、一定速度で任意の回転角度まで回転させたときの静的な台車回転抵抗モーメントを測定するためのモードです。このモードはヨーロッパの車両試験規格

### ☞ 乗り上がり脱線

車両が急曲線などを通過する際には、進行方向先頭の輪軸では、輪軸のレールに対する相対角度が増大し、曲線外側の車輪のフランジ部をレールに接触させながら走行します。この時、輪軸には曲線外側方向へ左右力が働くため、車輪は回転しながら曲線外側のレールに乗り上がろうとします。この乗り上がろうとする力が大きい場合、曲線外側の車輪が軽い場合に脱線へと至ります。このようなメカニズムで起こる脱線を乗り上がり脱線といいます。

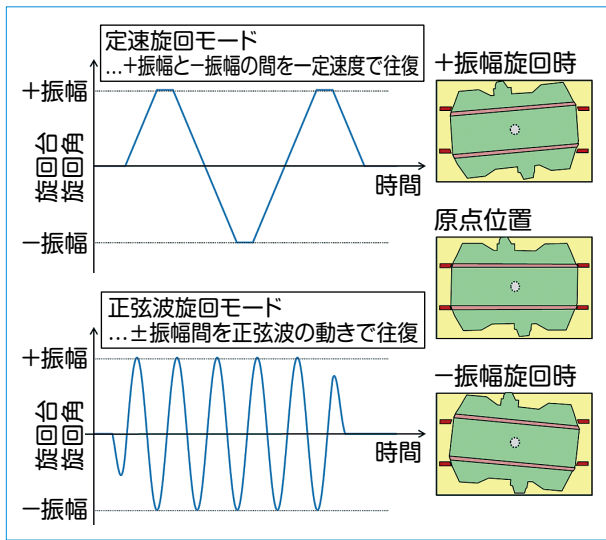


図6 二つの旋回モードの模式図

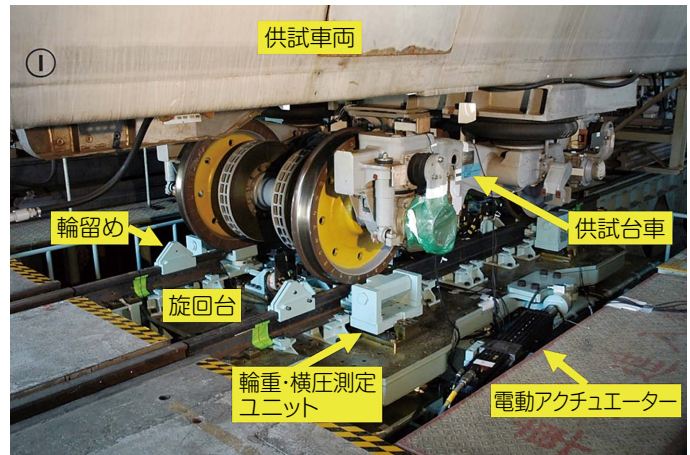


図7 台車旋回抵抗モーメント測定試験の様子

にも対応しています(☞参照)。正弦波旋回モードは正弦波でアクチュエーターを動作させるもので、動的な台車旋回抵抗モーメントや、台車のヨー方向の慣性半径の測定に用います。

以上、装置の概要をまとめて表1に示します。

### 台車旋回性能試験

本節では、台車旋回性能試験装置を用いて行った試験の例を紹介します。

#### 測定例1：台車旋回抵抗モーメントの発生メカニズム調査

台車旋回性能試験装置に在来線の車両、台車を搭載し、台車旋回抵抗モーメントの発生源と予想される部品を着脱したり、状態を変化させたりしながら旋回試験を実施することで、台車旋回抵抗モーメントの発生源を調査しました。試験時の様子を図7に示します。

本例では、定速旋回モードを用いて、曲線半径100m程度の急曲線に車両が進入していく際の挙動を模擬し、旋回

台を往復旋回させました。使用した車両においては、曲線半径100mの曲線を通る際のボギー角は4度程度となるため、旋回振幅を4.5度と設定し、台車旋回抵抗モーメントを測定しました。測定の概念図および結果の一例を図8に示します。結果として、通常時には、旋回角度が大きくなるにつれて台車旋回抵抗モーメントの絶対値が増加することがわかります。ただし、往復旋回すると特徴的なヒステリシスが現れること、旋回角度がおおむね±2度を超えると、台車旋回抵抗モーメントが線形から外れることなどが新たにわかりました。また、台車のヨー方向の運動を抑制するヨーダンパーを装着した際には、ヨーダンパーの減衰力に応じた抵抗モーメントが発生することを確認しました。さらに、空気ばねがパンクした際には、旋回角度によらず、大きな台車旋回抵抗モーメントが発生することを確認しました。このほか、左右動ダンパーやけん引装置など

表1 台車旋回性能試験装置の概要

対象台車	
軌間	1067,1435mm
軸間距離	2100,2150,2500mmなど
軸重	最大125kN
性能	
最大旋回角度	6度
最大速度	2度/秒
最大力 (アクチュエーター1本使用時)	約80kN
旋回動作	定速,正弦波など
測定関係	
測定量	・旋回力 ・台車部品からの発生力 ・台車各部の変位 ・旋回角度 など

の台車部品を着脱しながら試験を行いました。結果として、本例で示した台車では、これらの部品は台車旋回抵抗モーメントにほとんど影響を及ぼさないことを確認しました。

#### 測定例2：台車のヨー方向慣性半径測定

旋回台上に台車単体を搭載し、旋回させることで、車両運動シミュレーションなどで用いる台車諸元のひとつである台車ヨー方向慣性半径を算出できます。具体的には正弦波旋回モードを用いて、台車に角加速度を与えながら旋回したときの慣性力を測定し、そこから慣性半径を導きます。測定の概念図、結果の一例を図9に示します。

☞ 新しい車両を導入する際、その性能を確かめ、実運用で問題が生じないことを確認する必要があります。この確認は日本では実際に線路上を走行することで行っていますが、ヨーロッパではそれ以外に、定置試験で車両性能を確認する手法もあります。台車旋回性能については、車両導入線区で想定される最大ボギー角まで概ね1度/秒で旋回させたときに発生する台車旋回抵抗モーメントを測定し、基準値を超えていないことを確認する方法などが規格化されています。

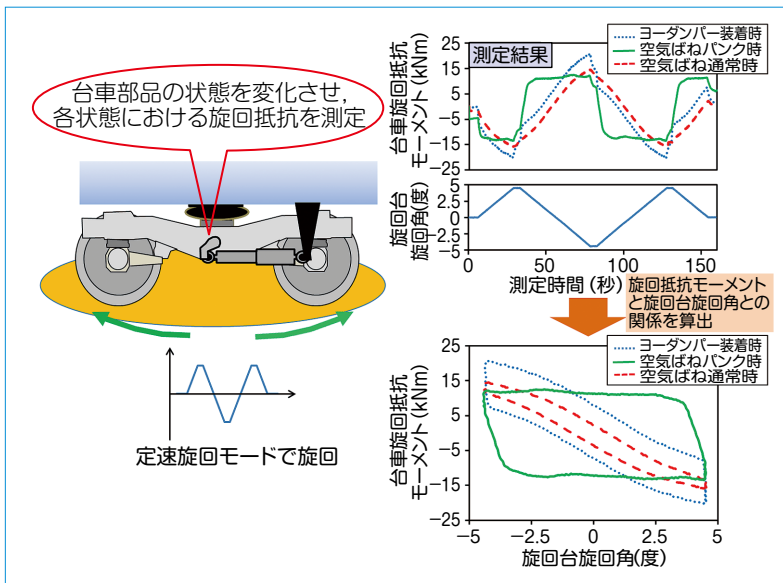


図8 測定例1の概念図および測定結果の一例

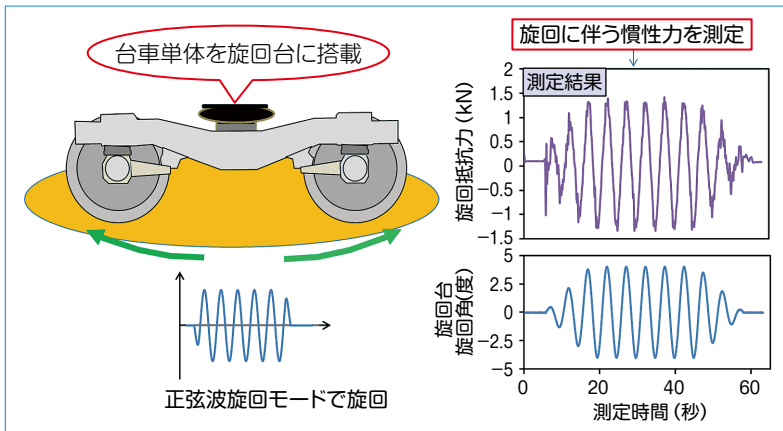


図9 測定例2の概念図および測定結果の一例

従来、慣性半径の直接測定は難しいものですが、本装置により簡易に慣性半径の直接測定が可能となりました。

### 台車旋回性能評価

本装置で得られた試験結果の活用例として、台車旋回抵抗モデルの構築について紹介します。

前節で示した、台車旋回抵抗モーメントの特性を考慮して、実態に即した台車旋回抵抗モデルを構築し、車両運動シミュレーションに適用しました。図10に提案した台車旋回抵抗モデル、台車旋回性能試験装置で測定した結果、および従来のシミュレーションで用いている台車旋回抵抗モデルを示します。従来の台車旋回抵抗モデルでは、

ボギー角に応じて比例する台車旋回抵抗モーメントを設定していました。提案モデルでは、旋回方向を考慮したり、非線形性を導入したりすることにより、測定結果をよく表せていることがわかります。

本モデルを半径160mと、半径100mの曲線が連続する区間を走行する際の車両運動シミュレーションに適用しました。図11に進行方向先頭輪軸の曲線外側に位置する車輪について、横圧を計算した結果を示します。提案モデルを導入することにより、急曲線部において従来モデルに対して差異が生じていることがわかります。本モデルにより、より正確な横圧算出が可能となりました。

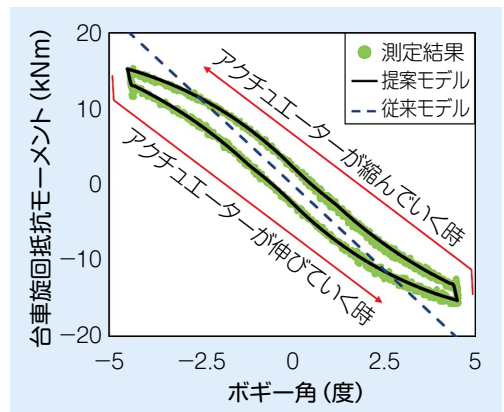


図10 台車旋回抵抗モーメントモデル

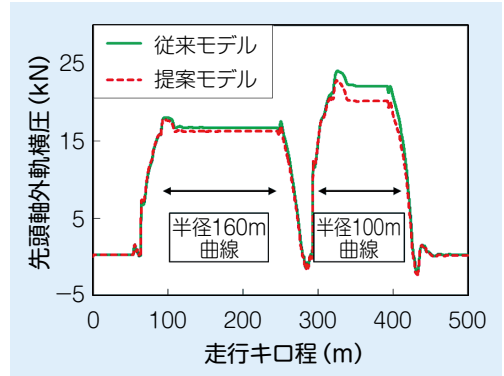


図11 提案モデルによる車両運動シミュレーション

### おわりに

車両試験台の役割を補完し、車両試験台試験だけでは評価できなかった台車旋回抵抗モーメントなどを測定できる台車旋回性能試験装置と、その活用例について紹介しました。

今後も本装置を、各種部品と台車旋回性能の関係把握や部品開発に役立ていくとともに、車両試験台と併用することで、車両諸元の精密同定や、台車旋回時の挙動の把握、より実際に即した車両モデルの構築に用いていきたいと考えています。RRR

### 文献

- 1) 田中隆之ほか：台車旋回性能試験装置の開発、鉄道総研報告、Vol.27, No.10, pp.23-28, 2013