

S1-2-3. 台車試験機による曲線通過実験とその適用例

[機] [電] ○松本 陽 [土] 佐藤安弘 [機] 大野寛之 (交通安全環境研究所)  
谷本益久 [機] 陸 康思 (住友金属テクノロジー)  
[機] 須田義大 (東京大学)

Stand Test for Curving Performance of Railway Trucks and its Applications

Akira Matsumoto, Yasuhiro Sato, Hiroyuki Ohno, Members (National Traffic Safety and Environment Laboratory)

Masuhisa Tanimoto, non Member, Yasushi Oka, Member (Sumitomo Metal Technology)

Yoshihiro Suda, Member (University of Tokyo)

High specific bogie rolling test facility with very unique functions was developed. Various kinds of experiments and tests were carried out on the facility. Those include the wheel/rail creep characteristics experiment, rail corrugation formation experiment, bogie curving performance and development test and so on. The features and the evolution of the facility, some of experiment and test results are introduced in the paper.

キーワード：鉄道車両、鉄道台車、曲線通過、台車試験機

Keywords: Railway vehicle, Railway bogie, Curving, Test stand

1. 序論

台車回転試験機による台上試験は、鉄道車両の走り装置のダイナミクスに関する研究開発を進める上で非常に重要である。しかしながら、この種の試験機上で曲線通過状態を再現することは難しく、ほとんどの台車試験機の主目的は、走行安定性、すなわち直線路における蛇行動限界速度の検証におかれていた。1988年に、われわれは曲線通過実験の実施可能な台車試験機を開発し、その後、種々の台車について試験を実施してきた。本年始め、われわれは試験機の機能強化などの改造を行ったので、それを機に本試験機の特徴とこれまで行ってきた主な試験の概要について紹介する。

本試験機を用いて成果を得た主なものは、「曲直両用新円弧踏面」、「後輪独立回転車輪台車」、「前軸柔支持台車」、「アクティブボギー操舵台車」などの『急曲線向け台車』技術である。また、レール波状摩耗の発生メカニズムや対策に関する実験も当試験機を用いて行われた。現在、レール・車輪間に作用させる摩擦調整剤("Friction Modifier")を用いて曲線通過性能を向上させる研究などを行うとともに、「1軸台車」、「軌間可変台車」などの新しい形式の台車の検証実験なども行っている。

本報では、台車試験結果と数値シミュレーション結果の適合性についてもあわせて紹介する。

2. 台車試験機の概要

台車試験機の基本部分は、1988年に交通安全公害研究所(当時)に設置された、4つの軌条輪を持つ半車体の試験機である。軌間1435mmと1067mmを標準とするが、35mmの軌間拡大が可能でスラック付与することができる。駆動は試験機側、台車側いずれからでも可能であるが、ダイナミクスに関する実験の場合は試験機側から駆動する。

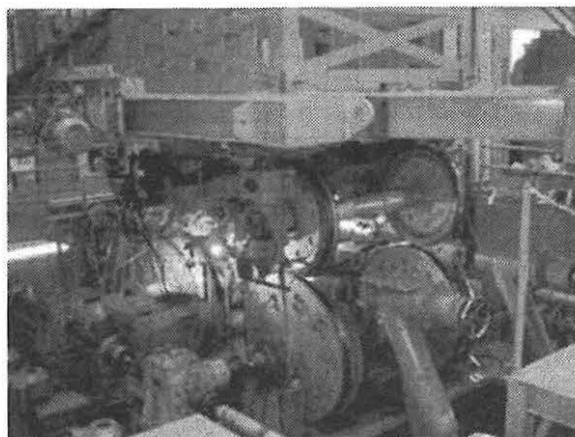


図1 台車試験機の概観写真

本試験機の最大の特徴は曲線状態の再現ができるということで、曲線状態の模擬は以下の3つの要素により付加する(図2参照)。

1) 軌条輪は垂直軸周りに回転することができ、曲線半径に応じて、ヨー方向に角度(軌条輪角)を付与する

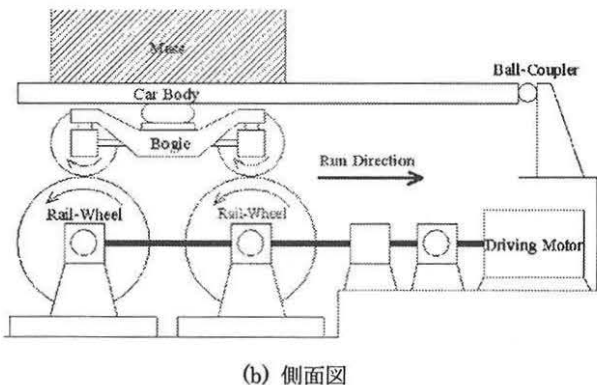
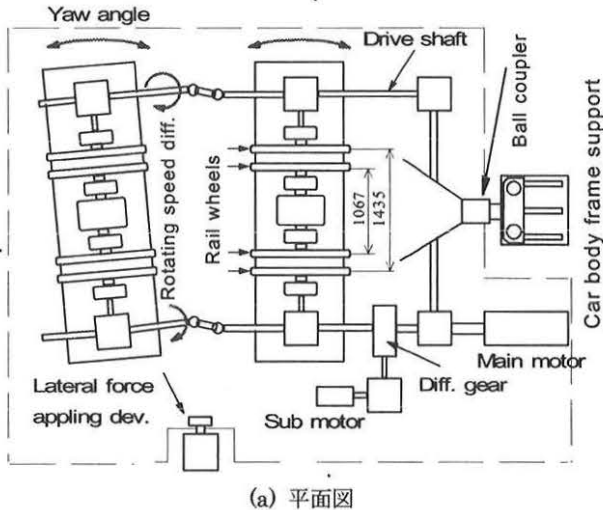


図2 台車試験機の構造説明図

表1 台車試験機的主要仕様

| Items            | Specifications               |
|------------------|------------------------------|
| Speed            | 0 ~ 220 km/h, variable       |
| Acceleration     | 0 ~ 4km/h/s, variable        |
| Gauge            | 1067mm, 1435mm               |
| Gauge slacking   | Max. 35mm                    |
| Wheel base       | 1.4 ~ 2.5m                   |
| Roller Diameter  | 1.2m                         |
| Roller yaw angle | -2.5 ~ +2.5 degree, variable |
| Roller speed     | 0 ~ 973rpm, variable         |
| Speed difference | 0.5 ~ 10rpm, variable        |
| Lateral force    | Max. 20kN                    |
| Wheel load       | Max. 75kN                    |

2) 副モータと差動歯車装置により、内軌側軌条輪と外軌側軌条輪には、内外軌のレールの長さの差に応じた回転速度差を付与する。

3) カント過不足に応じて、超過遠心加速度に相当する横方向力を車体(荷重枠)に付与する。

軌条輪は、タイヤ部(外周部)が交換可能となっており、断面形状の異なるレールでの試験に対応が可能となっているが、通常はタイプレート角 1/40 の 50kgN レール断面の軌条輪を使用している。

### 3. 台上実験の実施例

#### 3.1 曲線通過性能実験

曲線通過試験の主要な目的は、新しい台車方式や関連部品の性能検証にある。通常の曲線通過特性に関する試験は、まず直線状態で一定速度まで加速し、その後、曲線に進入(軌条輪角、内外軌速度差、横方向力付加)し、一定時間

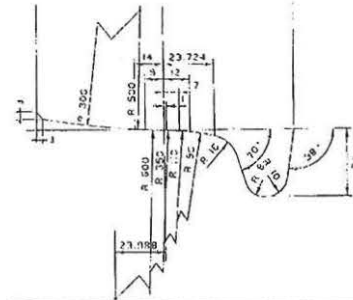


図3 曲直両用新円弧踏面

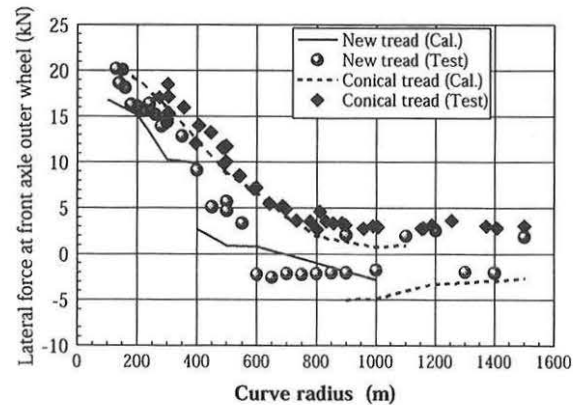


図4 試験結果と数値シミュレーション結果の比較  
(円錐踏面と新円弧踏面)



図5 曲線通過中の車輪・レール接触の視測

走行後、直線に戻るというパターンで行われる。通常の試験では、半径 1500m から 100m 程度まで、こうした試験を繰り返す。

ここでは、実験例として、曲直両用新円弧踏面の効果について検証した例を示す。この踏面は、直線路における直進安定性と曲線部における旋回性能の両立を目指した車輪踏面形状で、図 3 に示すように、直線路におけるレールとの接触部分である中立点付近の踏面勾配を平らにし、曲線部分での接触点であるフランジのど元側と反フランジ側の踏面をできる限り急にするという形状を持ったものである。

図 4 に、この踏面とオリジナルの設計である 1/20 円錐踏面との曲線通過時に発生する外軌側車輪横圧の比較を示す。これは台車の曲線通過性能の良否を表す代表的指標である。図中、ドットマークは台上試験結果を、破線及び実線は 17 自由度モデルによる数値シミュレーション結果である。破線の 1000mR 付近と実線の 400mR 付近で不連続点があるのは、フランジ接触の有無でモデルが変わるためである。

図を見ると、曲直両用新円弧踏面の方が円錐踏面より横圧が低下し、曲線通過性能が向上していることがわかる。また、試験結果とシミュレーション結果は 1000m 以下の半径の曲線で比較よく一致していることがわかる。1000m 以上の緩曲線で、一致の状況が悪いのは、フランジ接触をしない場合、4 輪の接触状態の自由度が大きく、再現性が悪いなどが原因ではないかと考えられる。

### 3. 2 波状摩耗発生実験

レール波状摩耗は古くから研究されて来たが、発生メカニズムに定説がなく、未だ有効な防止対策が確立されていない現象である。その原因は、そのメカニズムが複雑であるというほかに、実物による実験的研究が困難であるという背景がある。本試験機は、実台車を用いて波状摩耗発生の実験を行うには好都合のものである。

実験は、小型地下鉄に発生する波状摩耗の防止が第 1 の目的であったため、当該地下鉄の台車を用いて行った。まず、車輪・レール間に働くクリープ力の特性を厳密に測定した。台車は縦方向、横方向とも剛に固定し、横クリープ力は軌条輪角を付与することにより、縦クリープは左右軌条輪に回転速度差を与えることにより与えた。これにより、実物の車輪・レール間のクリープ特性を計測することに成功した。

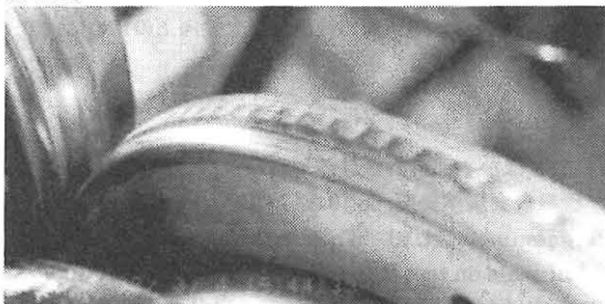


図 6 軌条輪上に発生した波状摩耗

こうした縦方向または横方向すべりの付与により、軌条輪（一部車輪踏面にも）波状摩耗が発生した。発生条件は、縦方向すべりに対しては、軌条輪上に不整がない場合で半径 100～130m 以下の曲線に相当するすべり条件で、不整が存在する場合は 120～160m 以下の曲線相当のすべり条件で、その発生周波数は 270～300Hz 程度であった。これらの状況は実際の路線での発生状況とよく一致している。発生したのはいずれも接触面が dry の時で、接触面に塗油したり、固体の摩擦調整剤を塗布したりした場合は発生しなかった。また、波状摩耗の発生と前後して、車輪・軌条輪の垂直接触力（＝輪重）に、発生する波状摩耗と同一周波数の周期的変動が観測された。これらの結果は数値シミュレーション結果とともに、波状摩耗の発生メカニズムを考察するのに非常に有用であった。

### 3. 3 新形式台車の開発に関連する実験

台車試験機の設備以来、高性能 1 軸台車、軌間可変台車など、種々の新開発台車に関する試験を行った。

図 7 及び図 8 は高性能 1 軸台車の試験を行ったときの状況を示す。この台車は 2 軸ボギー台車と全く異なる構造を有しているが、できるだけ現実の状況に近づけ、牽引リンクの非対称性なども検証できるようにするため、図 7 に示すように車両は全車体のままで、1 軸は地上側に固定し、他の 1 軸を回転する軌条輪の上に設置する方法で試験した（われわれは疑似一車体モデルと呼んだ）。

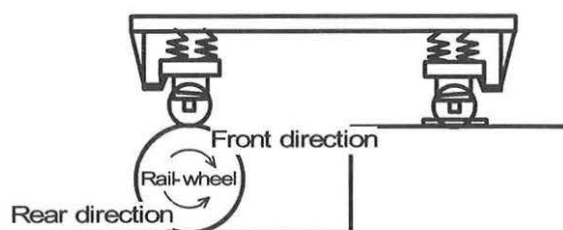


図 7 高性能 1 軸台車の台上試験で用いた疑似一車体モデル

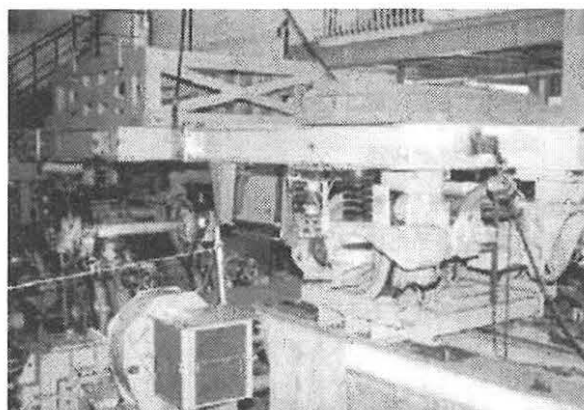


図 8 高性能 1 軸台車の台上試験状況

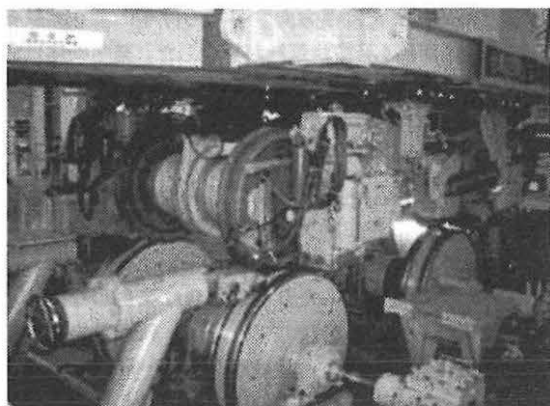


図 9 軌間可変台車の試験状況

この結果、蛇行動安定性、曲線通過性能の評価に必要なデータを得ることができた。

また、現在、フリーゲージ・トレイン技術研究組合を中心に研究開発中である軌間可変台車の試験も実施している。写真 9 は、当研究所の試験機では実施した区間における曲線通過に関する試験の実施状況を示す。

#### 4. 台車試験機の機能付加

本試験機は、設置以降、1993 年に、慣性負荷付与装置の増設や駆動制動試験機能を付加したが、本年新たに、駆動系の強化と車体支持機構の改造等を行った。

半車体モデルでは、荷重枠支持装置により車体中心を拘束しているため、曲線走行模擬の際も、従来は車体（荷重枠）/台車の回転変位がフランジ遊間分しか発生しない状態であった。近年ボルスタレス台車が普及し、空気バネによる台車の回転抵抗が急曲線通過性能に及ぼす影響が無視できないものとなっている。そこで、車体（荷重枠）と台車間にボギー角付与機能を追加することにした。これは、荷重枠支持装置において、荷重枠球頭支持部をモータにより左右に変位（最大±250mm）できるようにして実現させた。模式図を図 10 に示す。台車ボギー角付与を荷重枠球頭支持部の左右変位で模擬する場合、曲線通過時の幾何学的な関係から、 $R$ : 曲線半径(m)、 $L_c$ : 試験機における球頭と台車中心との距離(m)、 $B$ : 実車両の台車中心距離(m)、 $\delta$ : 球頭支持部の左右変位量(m)とすれば、

$$R = L_c \cdot B / 2\delta$$

となる。例えば、台車間距離が 14m の車両を想定して球頭を最大に変位させた場合、半径 140m の曲線を模擬することになる。車体を台車に対してボギーさせた場合の影響については別途報告する予定である。

#### 5. 結び

鉄道台車の曲線通過に関する試験を行うことを目的として、本台車試験機は 1988 年に設置され、その後、目的に対応するため改造を重ねてきた。その後、試験機は、曲直両

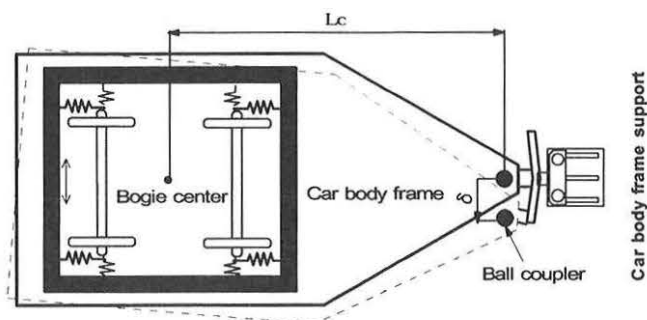


図 10 車体ボギー角付与機構模式図

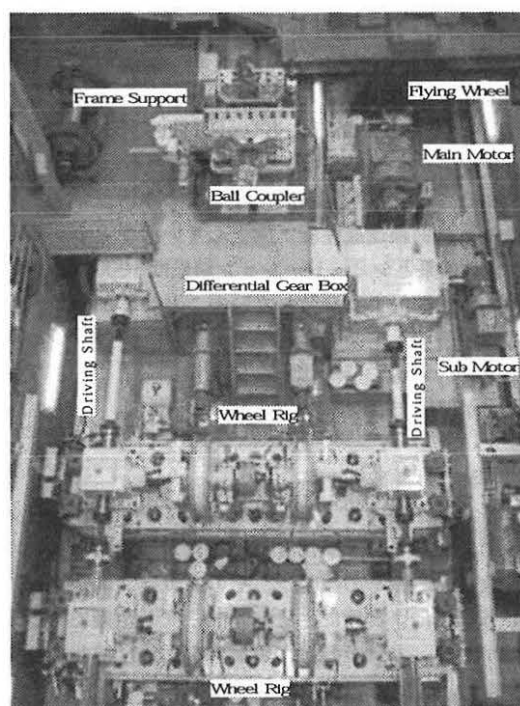


図 11 台車試験機俯瞰図

用新円弧踏面をはじめとする急曲線向け台車の諸技術、波状摩耗の発生メカニズムと防止対策などの研究、高性能 1 軸台車、軌間可変台車などの新方式台車の検証などに用いられてきた。

台車試験機による曲線通過実験にはいろいろ難しい点もあるが、今後、鉄道車両の性能や安全性向上のために貢献できるよう実験技術を高めていきたい。

#### 参考文献

- 1) 松本ほか：都市内鉄軌道用台車試験設備の開発，交通研究発表会講演概要，pp.19-22，1989。
- 2) Matsumoto, et. al.: Wheel/rail contact mechanics at full-scale on test stand. Wear, 191, 1996 (101-106)
- 3) 松本ほか：台上試験による試作一軸台車の運動性能の検討，鉄道技術連合シンポジウム，pp.187-190，1999