

# 台上試験による鉄道車両の曲線通過性能の評価と諸問題の解決

交通システム研究領域

佐藤 安弘

松本 陽

大野 寛之

陸 康思

## 1. はじめに

鉄道の走行システムのダイナミクスに関する性能を検証する方法としては、1)実車両による走行試験、2)試験装置による台上試験、3)計算機によるシミュレーションが主なものであるが、台上試験は、実車走行試験に比べて外乱が少なくいろいろなパラメータを変えて系統的に実験が行え、計算機シミュレーションに比べて実物を扱うため非線形要素や想定外の現象も把握できるという利点を持っている。

一方、地下鉄など曲線の多い路線にとって、曲線通過時の横圧、きしり音、車輪/レール摩耗等の低減は依然重要な課題である。このため、曲線通過実験が可能な試験機<sup>1)</sup>を昭和63年に当研究所に設置し、踏面形状、接触面の摩擦調整などの車輪・レール接触系の研究や独立回転車輪台車、アクティブ操舵台車など各種台車の研究開発を行ってきた。

本試験機は、すべり・摩耗試験のための駆動系の強化、車体ボギー角を付与する機能の付加などの改造を昨年度末に行ったので、この機会にいくつかの台上試験例と改造前後の機能概要について報告する。

## 2. 曲線で発生する諸問題

輪軸には踏面勾配があるため自己操舵機能があるが、踏面勾配を急にすると蛇行動周期が短くなるため直線では高速走行できない。従って、通常は、直線である程度の速度で進めるように踏面勾配を緩くし、急な曲線ではフランジによりガイドすることになっている。従って、急な曲線では摩擦しながら走行することとなり、レールや車輪の摩耗、乗り上がり脱線、騒音振動等の諸問題が発生する。

急曲線通過中の台車は、典型的には図1に示すように、台車の進行方向前軸では曲線の外側に向くアタック角が大きく、左右変位は外軌側に大きく、レールとフランジ接触している。一方、後軸ではアタック角・左右変位とも小さく、車輪踏面勾配の効果

が得られず内外軌間で車輪回転半径差がとれないため大きな縦クリープ力が発生し、台車を曲線の外側に向ける反操舵方向のモーメントとして働く。さらに、前軸ではアタック角により曲線の外側に向く横クリープ力が働く。これらの力に抵抗して脱線を防いでいるのが前軸外軌側のフランジとレール間に働く力であり、曲線では前軸外軌側横圧が大きくなる要因となっている<sup>2)</sup>。

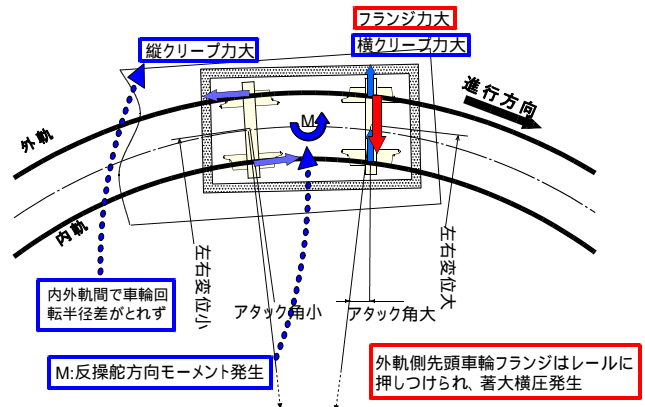


図1 急曲線通過中の台車の姿勢と作用力

## 3. 試験機の概要

本試験機では、レールを模擬する4輪の軌条輪の上に実物大台車を搭載して、軌条輪を回転させることにより、台車の走行状態を作り出すものである。同試験機概念図を図2に示す。軌条輪の外周部断面はタイププレート角1/40の50Nレール頭頂部断面形状に加工されているが、軌条輪外輪部をはきかえることにより、異なるレール断面に交換可能である。

曲線走行状態の再現は、軌道の平面曲率に対応するものを軌間中心の鉛直軸回りの回転角(軌条輪角)として軌条輪に与える、軌道の内外軌レールの長さの差に相当する分だけ内外軌の軌条輪の回転速度に差を付ける、遠心力とカントの過不足分だけ横方向力を車体に与える、ことにより行っている。

これらのうち、軌条輪角を与えるには、軌条輪軸

受が取り付けられている軌条輪ベッドを、専用モータでスクリュウギヤを駆動することにより、曲線半径に応じた所定の角度だけ水平面上で回転させて実現している。また、内外軌回転速度の差は、左右の軌条輪をそれぞれ別の駆動軸で駆動し、片側の駆動系に差動歯車装置を配し、それを副モータで駆動することにより、左右の駆動軸を異なった回転数で回転させることができる。横方向力の付加は、同図右側に位置する横方向力付加装置によって静的に行うことができる。

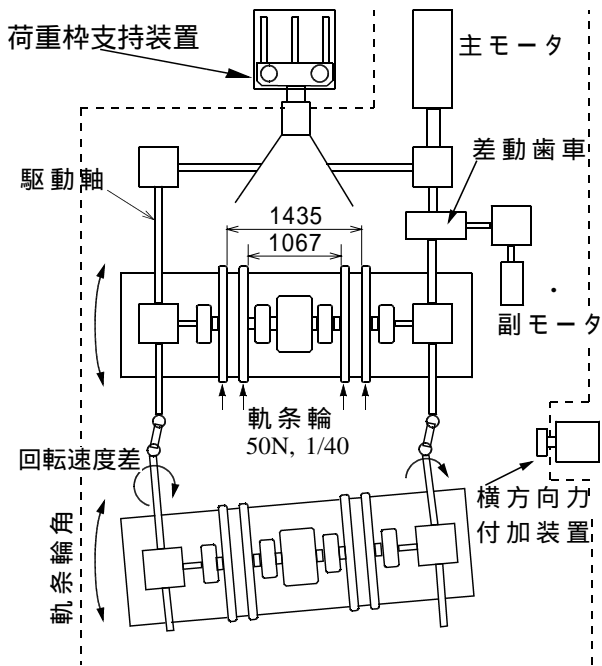


図2 台車試験機のご概念図

#### 4. 車輪踏面形状の改良と曲線通過実験<sup>3)</sup>

曲線通過実験は、直線から所定の曲線に入り、再び直線へ戻る運転パターンで行うもので、各曲線半径に相当する左右軌条輪回転速度差及び軌条輪角を同時タイミングで付与する。この例では横方向力は与えず、各曲線を均衡速度で通過していることを模擬した。なお、スラックは実験を通じて 15mm に固定している。本実験に用いた台車は、モノリンク式軸箱支持装置を採用したボルスタレス台車である。その車輪踏面形状については、1/20 勾配の円錐踏面及び新たに開発された円弧踏面形状(図3)で行った。

台上試験と比較のため、1 車両の左右系運動のみを考えた合計 17 自由度のモデル(図4)によるシミュレーションを行った。本試験機は半車体モデルで

あるが、軌条輪の回転方向を後半車体となるように決め、実験結果は、1 車両モデルの進行後側側台車(第3軸及び第4軸)と比較した。

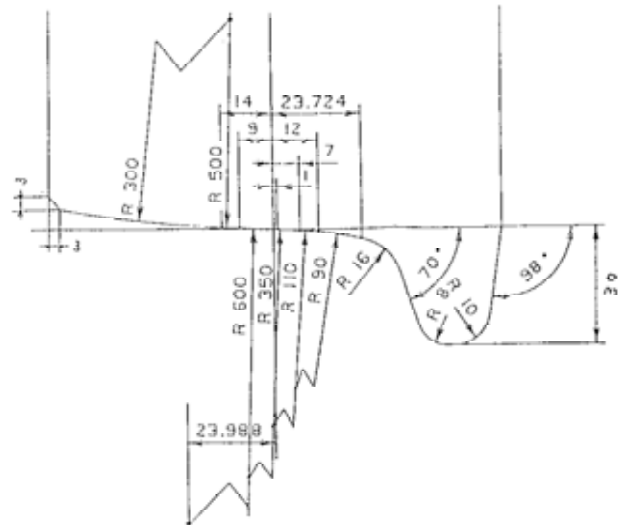


図3 曲直両用最適化円弧踏面

この台車の円錐踏面の場合と円弧踏面の場合について、それぞれ前軸の外軌側横圧の計算値と実験結果を図5に示す。シミュレーションの曲線が途中で切れて分かれているのは、フランジ接触する曲線半径より急曲線側ではフランジ接触を、それより緩曲線側ではフランジ非接触を仮定しているためである。円弧踏面形状とすることによって、計算値、実験値ともに前軸外軌側の横圧が減少することから、操舵性能が向上することが確認された。また、計算値と実験値とは半径 800m 程度以下の場合にはおおむね一致した傾向を示している。これにより、本試験機では、1 車両の進行後側側台車を模擬できるものと考え、従来、荷重枠と台車間のボギー変位は基本的に与えずに実験を行ってきた。

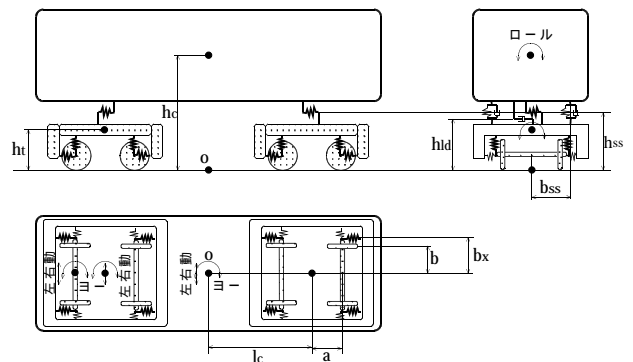


図4 1 車両 17 自由度シミュレーションモデル



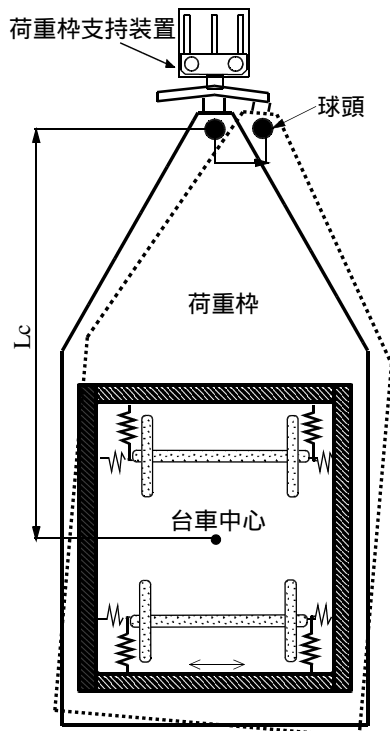


図7 荷重枒球頭左右変位模式図

### 7.2. 改造後の確認実験

試験機改造後、モノリンク式軸箱支持装置を採用したボルスタレス台車を搭載して曲線通過実験を行った。比較のため、荷重枒と台車間のボギー変位がない従来どおりの条件とボギー変位を付与した場合は実施した。ボギー変位付与の場合、(1)式に従って曲線半径に応じ荷重枒球頭支持部の左右変位を与えた。実験結果を図8及び図9に示す。

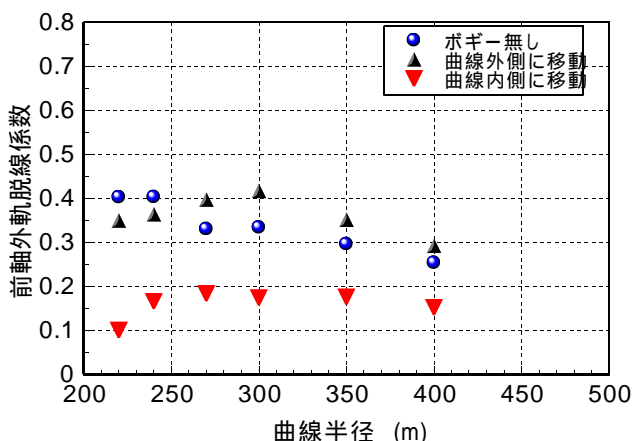


図8 ボギー変位による脱線係数への影響

ボギー無しの場合に比べて、球頭が曲線外側に移動した場合、前軸外軌側の脱線係数は若干増加する傾向にある。これに対し、球頭が曲線内側に移動した場合、前軸の左右変位はボギー無しの場合とほと

んど変わらないが、前軸外軌側の脱線係数は顕著に減少することから、空気バネを通じた台車操舵力による横圧低減効果が大きいものと考えられる。

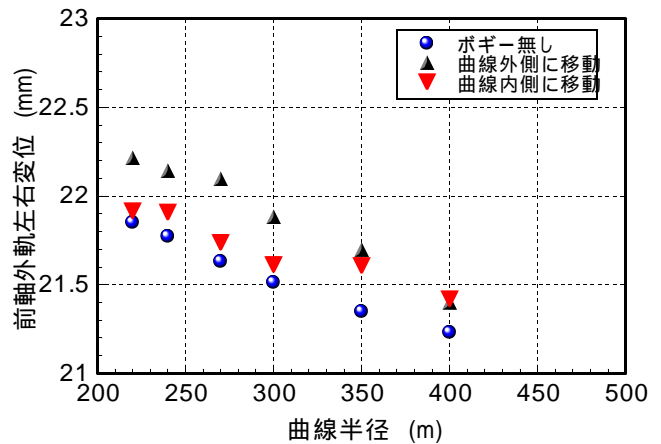


図9 ボギー変位による輪軸左右変位への影響

### 8. まとめ

曲線で発生する諸問題解決のための取組について、台上試験例とともに示した。車輪踏面形状の改良は有効であり実用化済みであるが、非常に急な曲線では効果は小さくなる。摩擦調整による曲線旋回性能向上効果は曲線半径が小さいほど顕著に認められたが、最適な摩擦調整材供給量の明確化等が課題である。また、ボギー角アクティブ操舵台車については、直線・曲線走行に動的に対応できるコントローラの実現などが課題である。

台車試験機については、駆動系の強度向上やボルスタレス台車に対応するための改造に伴い、新たな機能である荷重枒/台車ボギー角付与による実験結果を示した。

最後に、以上の研究等は、複数の共同研究者、鉄道事業者、メーカ等の協力のもと進められたことを記して感謝したい。

### 参考文献

- 1) 松本ほか、平成元年度交通研発表会講演概要、(1989),19
- 2) 松本ほか、交通研報告第24号、(1997),1
- 3) 佐藤ほか、JRail'97、(1997),95
- 4) 佐藤ほか、平成15年度交通研発表会講演概要、(2003),21
- 5) 佐藤ほか、平成10年度交通研発表会講演概要、(1998),29
- 6) 松本ほか、JRail'02、(2002),167
- 7) 佐藤ほか、第8回鉄道力学シンポジウム、(2004),19