

⑦鉄軌道台車試験施設の更新について

交通システム研究部 ※佐藤 安弘 大野 寛之 小野 寛典

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及び3)計算機によるシミュレーションが主に挙げられる。台上試験では、走行試験に比べて外乱が少なく、いろいろな条件を変えて系統的に試験が行える利点がある。また、シミュレーションで必要となる計算モデルや入力諸元の調整が、台上試験では実物を扱うため不要となる利点がある。地下鉄など曲線の多い路線における走行安全性確保、レール・車輪摩耗の低減等の課題に対応するため、曲線通過試験が可能な「鉄軌道台車試験施設」(以下、「本施設」という)を昭和63年に当研究所に設置し¹⁾、車輪踏面形状、接触面の摩擦調整などのレール・車輪接触系の研究や、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に活用されてきた²⁾。

本施設の老朽化した動力システム等の更新のほか、新たな機能の実装を含む更新工事が令和7年3月に完成したので、これまでの経緯と更新後の機能概要について報告する。

2. 本施設の概要

本施設では、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。本施設の概念図を図1に示す。軌条輪の外周部断面はJIS50kgNレール頭頂部断面形状(タイプレート角1/40)に加工されているが、外周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。

本施設の設置当初より、曲線走行状態の再現は、①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、②軌道の内外軌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、③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、ことの3点により行っている。さらに、曲線通過時の台車ボギー角付与機能を平成16年に追加している。

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ー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する。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て実現する。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。さらに、ボギー角付与機能は、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変位して実現する。

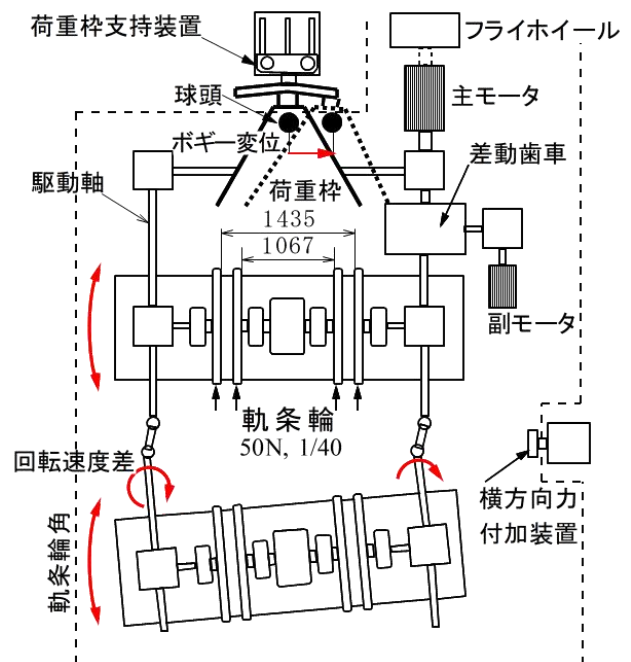


図1 鉄軌道台車試験施設の概念図

3. これまでの主な成果

本施設を用いてこれまで曲線通過試験を中心に実施しており、車輪踏面形状の改良による曲線旋回性能の評価、レール・車輪間の摩擦調整による曲線旋回性能の評価、ボギー角をアクティブに操舵する台車の評価などについて報告した²⁾。ここでは、前記以外の主な例について簡単に報告する。

3. 1. 摩耗試験

曲線通過中の車輪等の摩耗量を把握するため、曲線状態で連続的に走行を続け、採取した摩耗粉の量を試験条件(曲線半径やレール・車輪潤滑条件等)により比較して摩耗状況を調べる試験を行った。走行中に測定が可能なレール・車輪接触力から摩耗量を推定する新たな指標を提案し、この指標により潤滑条件によらず摩耗量を推定することが可能となることを示した³⁾。

3. 2. 操舵台車の走行抵抗試験

台車のボギー角に応じて輪軸を操舵する方式の操舵台車について、曲線通過時の横圧や走行抵抗を測定し、輪軸の操舵がない通常台車条件に比較した性能向上効果を明らかにした。本施設へのボギー角付与機能の追加によって、この試験が可能となった。

直線走行時の本施設の消費電力に対する曲線通過時における増加分を測定し、走行抵抗に換算した。その結果、操舵台車では通常台車と比較して曲線通過時の走行抵抗が減少することを明らかにした⁴⁾。

4. 本施設の更新

4. 1. 更新の経緯

電気関係部品の故障等を契機に老朽化の調査を実施した結果、基幹部品である主モータや副モータ及び動力制御盤については、直流モータ及びサイリスタ制御方式が採用されており、後継機種や代替機種がないため修理が不可能で、試験中に故障した場合は重大な支障を来す恐れがあることが判明した。さらに、平成16年に更新した制御コンピュータが令和5年に故障し、本施設のプログラム運転ができない状態となった。交換部品が手に入らないため、制御コンピュータ及びソフトウェアの更新が必要となった。

一方で、営業列車を用いた軌道の状態監視の研究開発が近年進められていることから、軌道の異常の早期発見を支援する状態監視システム(センサ)を搭載した台車の技術要件の検討等に活用できるよう、軌道変位の機能追加を検討した。

4. 2. 更新後の仕様

主モータや副モータを交流モータに変更するとともに、動力制御盤をインバータ駆動方式に変更した。

一方で、軌道変位の機能として、軌道の通り変位に相当する曲率の模擬のため、軌条輪角付与の速度を0.03deg/sec から0.2deg/secに向上するとともに、軌道の平面性変位の模擬のため、4箇所(1箇所)の軌条輪のうち1箇所を上下に変位(±10mm)できるようにした。

軌条輪角と曲率との関係は式(1)、曲率と正矢との関係は式(2)、軌条輪角付与の速度と軌条輪角との関係は式(3)でそれぞれ近似的に示される。

$$\Psi = \sin^{-1}\left(\frac{b\rho}{2}\right) \quad (1) \quad \rho = \frac{8Al}{L^2} \quad (2) \quad Av = \frac{\Psi}{\left(\frac{L}{2V}\right)} \quad (3)$$

ここに、 Ψ :軌条輪角、 b :軸距、 ρ :曲率、 Al :正矢、 L :弦長(10m)、 Av :軌条輪角付与の速度、 V :通過速度

具体的には、 $Av=0.2\text{deg/sec}$ であるため、式(1)から(3)より、 $Al=22\text{mm}$ 、 $V=40\text{km/h}$ や、 $Al=10\text{mm}$ 、 $V=85\text{km/h}$ などの条件で軌道の通り変位に相当する曲率の模擬が可能である。

また、平面性変位については、例えば、緩和曲線長がカントの300倍となる緩和曲線を軸距2.1mの台車が走行する場合の構造的な軸距平面性変位は7mmとなるので、この条件の模擬が可能である。

5. まとめ

本施設の概要を説明するとともに、これまでの主な成果及び更新後の機能について簡単に報告した。本施設の老朽化した動力システム等を更新したほか、軌道変位の機能追加のため、軌条輪角付与の速度向上及び軌条輪上下変位機能の追加を実施した。

今後は、状態監視システムを搭載した台車の試験を含め、さまざまな条件での試験等を通じ、引き続き各種台車の性能評価等に本施設を活用していく予定である。

参考文献

- 1) 松本ほか、平成元年度交通研発表会講演概要、pp.19-22 (1989)
- 2) 佐藤ほか、平成16年度交通研発表会講演概要、pp.187-190 (2004)
- 3) 一柳ほか、交通研フォーラム2023、pp.29-32 (2023)
- 4) 岩本ほか、操舵台車の曲線通過性能評価(曲線走行抵抗、省エネ効果の確認)、J-RAIL2014、S3-2-2 (2014)