

スケールモデルによるガイドウェイビークル走行実験装置の開発

Development of Experimental Setup for Running Performance of Guideway Vehicles with Scale Model

須田 義大^{*1}・小峰 久直^{*2}・和田 学^{*3}・道辻 洋平^{*4}・岩佐 崇史^{*2}

Yoshihiro SUDA, Hisanao KOMINE, Manabu WADA, Yohei MICHITSUJI and Takashi IWASA

1. はじめに

鉄道車両をはじめとするガイドウェイビークルは、軌道に拘束されながら車両が走行するという大きな特徴をもつため、車両の走行性能、運動特性の解析、運動制御手法の検討などにおいて、軌道との相互作用を考慮する必要がある。

一般的に鉄道車両では、高速時の走行安定性と曲線旋回性能、軌道の不整に対する応答特性などは、それぞれ相反する特性を持っており、運動解析による台車などの走行装置の最適化、すなわち、自己操舵台車の開発^{1,2)}、新方式の一軸台車の開発^{3,4)}、さらにアクティブ制御技術の適用^{5,6)}などを検討してきた。

この課題は、車輪とレール間の接触力特性、摩擦特性などに大きく依存し、この特性が非線形特性を持つため、鉄道においては経験的に進められてきたことが多く、現在においても十分に解析や解明がなされたとは言い難い。そのため、昨年3月には、複数の要因が重なることにより、地下鉄の急曲線区間において低速時に脱線衝突事故も発生している。

このような状況に鑑み、平成9年度に製作した走行試験装置⁷⁾を基に、1/10スケールの一軸台車車両の曲線走行試験が可能な試験装置を開発した。本試験装置の大きな特徴は、曲線区間のカント量、緩和曲線区間のカント逓減倍率を可変にした実験が可能であり、従来の軌条輪を用いた台車回転試験装置や、実線路を用いた走行試験では不可能であった軌道条件を考慮した実験が可能点である。本報では、装置概要を紹介する。

2. 走行実験装置の基本設計コンセプト

製作した走行実験装置の基本設計コンセプトは以下の通

^{*1} 東京大学国際・産学共同研究センター、生産技術研究所 人間・社会部門

^{*2} 東京大学生産技術研究所 人間・社会部門

^{*3} 東京大学生産技術研究所 研究実習生 (法政大学大学院)

^{*4} 東京大学大学院工学系研究科

りである。

- 1) 現有機能である、車輪とレールの接触問題、走行安定性、軌道不整通過特性を検討できるように、一輪軸が牽引装置に駆動、走行可能な区間を約9m確保する。
- 2) 新たに一車両のモデル車両が急曲線通過試験の可能な設備を整備する。
- 3) 一輪軸、車両の駆動、速度制御には、ガントリロボットを使用する。曲線区間では、勾配による自律走行とする。
- 4) 曲線走行試験区間では、緩和曲線入口区間、定常曲線、緩和曲線出口を経て直線に至る線形とする。
- 5) カントや緩和逓減倍率は可変とする。
- 6) モデルのスケールは1/10とする。

3. 走行実験装置の構成と動作機能

模型走行実験装置は大別すると、一軸台車車両走行モデル、走行モデルの走行する軌道部、模型車両を牽引する牽引装置(ガントリロボット)の3部位と、それぞれに取り付けられた測定系から成る。全体図面を図1に、全景写真を図2に示す。走行モデルは、直線部においては牽引装置に牽引されて走行する。この間においては走行モデルの速度管理が可能である。曲線部においては、走行モデルは牽引装置から突放され慣性走行をし、終端部では緩衝器により停止する。慣性走行では速度の低下がないよう、緩和曲線・定常曲線部に最大160mmの下り勾配を設けられる設計となっている。

4. 装置各部の設計

4.1 相似則の検討

模型実験を行うにあたっては、模型の幾何学的形状が原型と相似であるばかりでなく、その運動も原型と相似でなければならぬ。ここでは原型現象を支配する物理法則を見きわめ、それらの法則から導かれるパイナンバーを等し

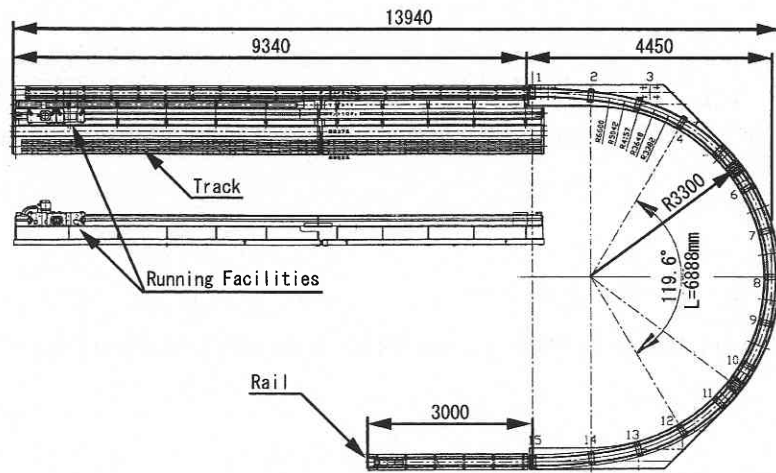


図 1 実験装置図面

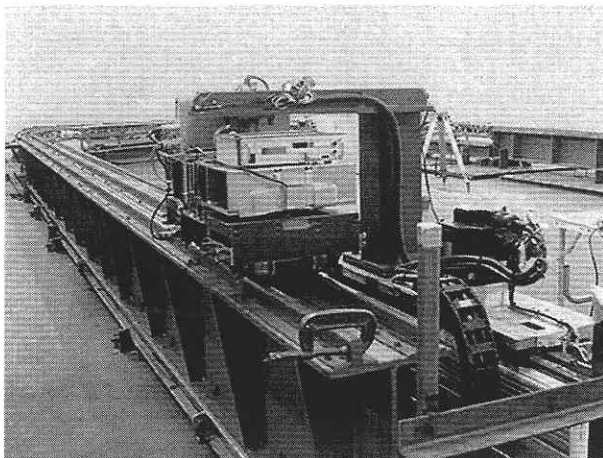


図 2 実験装置全景

くすることで、相似則を求めた。

本実験では、直線部における蛇行動および曲線部における車輪とレールの接触力と、台車の支持系における相似を考え、「慣性力-摩擦力」および「ばね力-摩擦力」で無次元化し、それぞれのパイナンバーを $\pi 1 \cdot \pi 2$ とし、これを相似に設定することとした。

時間およびばね定数の相似比は、次式のようになる。

$$t' = \sqrt{\frac{1}{10}} \cdot t = 0.316 \cdot t \dots\dots\dots (1)$$

$$k' = \frac{1}{25} \cdot k = 0.04 \cdot k \dots\dots\dots (2)$$

4.2 軌道およびレール

軌道部は直線区間、緩和曲線区間、定常曲線区間から構成され、総延長は約 24 m である。レール中心間距離は 150 mm で、レール断面形状は頭頂部 R = 30 mm、幅

25 mm となっている。断面図を図 3 に示す。

直線部は 9.3 m を有し、軌道は装置ベースにボルトで固定され剛支持となっている。勾配はない。この直線区間では、走行モデルを牽引するため、牽引装置のリニアガイドが軌道脇に併設されている。なお、直線部分では、軌道不整を与えることが可能である。

4.3 緩和曲線区間軌道

直線区間から定常曲線区間への遷移区間として、緩和曲線区間を設けてある。区間長 2.7 m を定常曲線部の前後に設け、緩和曲線総延長は 5.4 m である。サイン通減曲線の形状をとり、カント量とカント通減倍率を変化させることができる。さらに、走行モデルの慣性走行における速度変化を最小限に留めるため、緩和曲線部から定常曲線部にかけて、全体を最大 160 mm の下り勾配とし、その勾配は車両の走行抵抗に応じて、調節することが可能である。

以上の可変機構を実現するため、軌道は一様支持ではなく、点支持となっている。レールの自重および走行モデル負荷による撓み量と、走行モデルと軌道の 1 次固有振動数が十分に離れた値となるように軌道支持間隔を定めた。支持スパンは約 27 cm で、約 80 cm 間隔で主台座を、主台座スパン間へさらに 2 箇所補助台座を設け、撓み量を抑えている。それぞれの支持点はロックナットにより高さを調整することができ、カントの付与もこれにより行う。軌道の支持状態を図 4 に、カント可変機構を図 5 に示す。

緩和曲線区間で用いるレールは、直線区間のレールに比して鉛直方向の厚みを減らしており、レールが振れて軌道面に追従できるようにしている。

4.4 定常曲線区間軌道

定常曲線部は 6.7 m とし、定常状態での走行が実現でき

るようにした。曲線半径は $R = 3.3\text{ m}$ で実物では 33 m の急曲線となる。緩和曲線区間と同様に下り勾配およびカント量を調整することができる。なおレール支持方法及びレール断面についても、緩和曲線区間と同様である。

4.5 牽引装置

牽引装置は、上下方向と左右方向の動きを拘束した2本のリニアガイドによって支持され、3.5 kw AC サーボモータから減速機を介して、ラックアンドピニオン方式で駆動

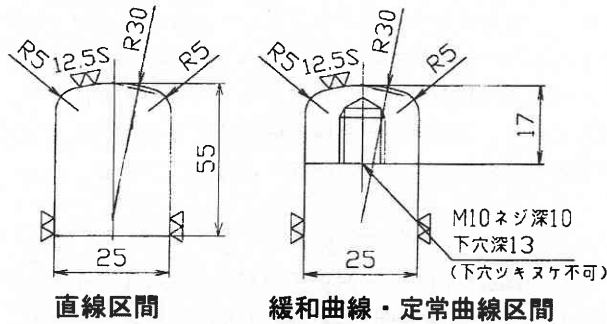


図3 レール断面図

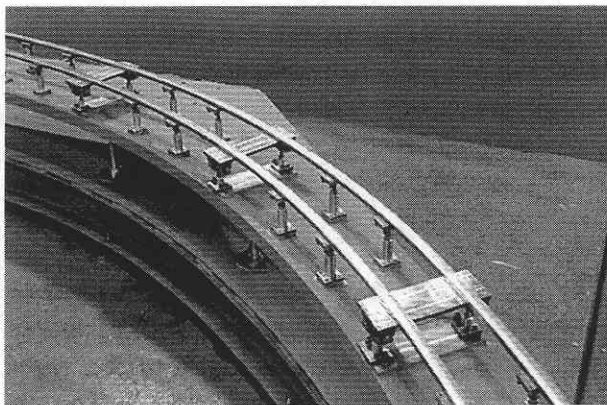


図4 曲線区間のレール支持

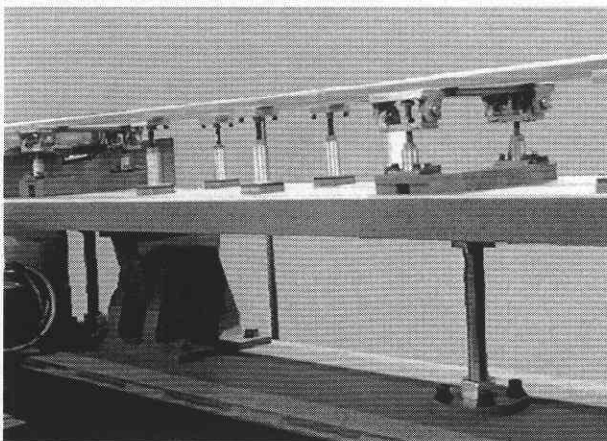


図5 支持点におけるカント可変機構

される。装置全体の長さは9.5 m、うち模型車両を牽引する距離は約8.5 mである。模型車両とはソレノイドロックにより固定されるが、直線部末端でロックを解除し、走行モデルが突放されるようになっている。走行パターンは速度制御方式によって設定ができ、速度は1.5 m/s程度での実験を想定している。可搬重量はおよそ90 kgである。

4.6 走行車両モデル

走行車両においては、今後の研究展開に応じて、各種試作する予定であるが、今回製作した車両は、一軸台車を2軸有する1車両モデルとし、車体、台車、輪軸(2軸4輪)から構成される。写真を図6に示す。直線部軌道においては牽引装置にロックされ、牽引による走行を行うが、このとき車体の前後運動、ピッチング運動は拘束される。直線部終端に近づくとき、牽引装置のロックがはずれ、走行モデルは慣性走行により緩和曲線部、定常曲線部へと走行する。

車体一軸車、台車一輪軸間は、それぞれ前後・左右・上下方向のばねによって支持される。車両の走行性能に与える各種パラメータの影響を評価可能なように、台車の支持ばね定数を変更することができるように、交換可能な設計としている。また、ボルスタ方式、ボルスタレス方式の双方が可能な構造とし、センターピンの位置も前後に調節が可能なような設定となっている。また、ヨーダンパ、左右ダンパの設定も可能である。

台車の牽引力を伝達する方式として、本一軸台車においてはリンク機構を採用し、リンクの取り付け構造、リンク長なども可変な構造となっている。

台車支持ばねについては、日本鉄道技術協会の「高性能・低コスト一軸台車の開発」プロジェクト⁴⁾にて実績のある試作台車を想定し、相似則を用いて選定した。車輪は円錐形状とし、車輪径および踏面勾配の異なる2種を用意した。車輪径(踏面勾配)は、直径86 mm (1/10)、

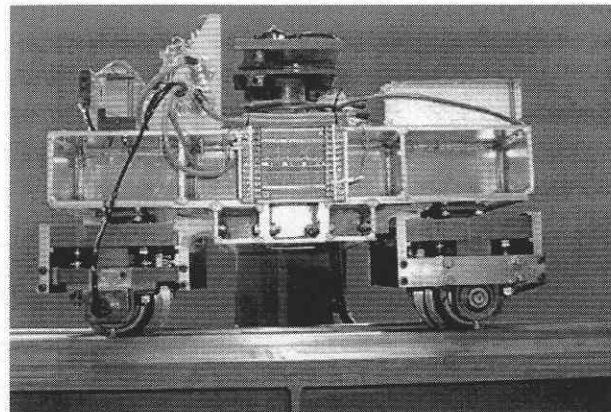


図6 一軸台車車両走行モデル

研究速報

70 mm (1/5) である。

フランジ遊間については、曲線区間におけるゲージ拡大(スラック)が、軌道側での対応は困難であったため、遊間設定と等価的である車輪バックゲージを可変として対応することとし、バックゲージの異なる輪軸を製作している。

4.7 計測システム

模型車両の挙動および走行性能を測定するため、車両での計測および軌道での計測を行うこととした。車両においては、輪軸および台車の相対ヨー変位、ロール変位、左右変位等をレーザ変位計にて計測する。測定手法の基本構成を図7, 8に示す。

また、左右の輪重変動の測定にはロードセルを用いる。さらにCCDカメラを前位側輪軸の前方に取り付け、外軌側の車輪フランジとレールの接触状態を観察し、録画する。

軌道における計測では、レールに至ゲージを張り付け、変形量から、曲線区間におけるレールに作用する輪重と横圧を測定する手法を用いる。

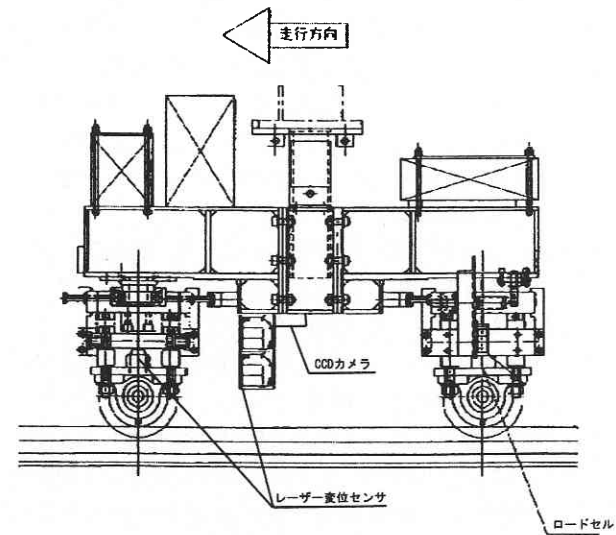


図7 模型車両と計測システム

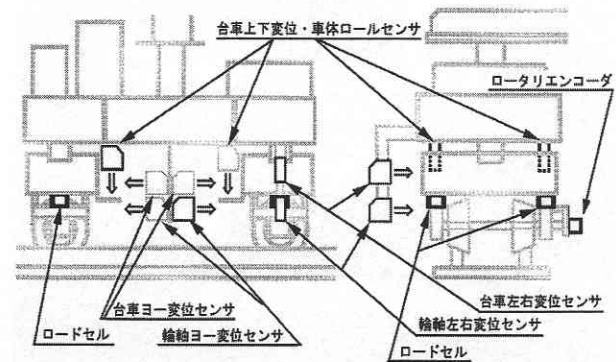


図8 車両における計測手法

5. 実験計画

本試験装置により、自己操舵台車、一軸台車などの既存の台車に加えて、知能化車両、メカトロニックビークルなど、今後展開が期待されている様々な方式の鉄道車両について、走行安定性、軌道不整通過特性、曲線通過特性などの基礎的な性能評価や、マルチボディダイナミクスを用いた走行シミュレーションおよび構築した理論の検証が可能と考えている。

特に、軌道条件をパラメータとした試験、脱線安全性評価などの危険を伴う試験、アクティブ制御手法の確立など、実車両では困難な試験に対して有効である。さらに、現在進めている、車輪とレール間の摩擦特性の制御による車両の運動性能の改善に関する研究⁸⁾にも活用できる。

6. まとめ

現在の鉄道車両から、次世代のガイドウェイビークルまでを対象とした研究開発のためのプラットフォームとして、実車両や計算では困難な検討について、模型車両の直線・曲線走行試験が可能な実験装置を開発した。

走行実験装置の基本特性を検証した後、各種のプロジェクト研究に活用したいと考えている。

本試験装置の設計、製作に際し、ご協力を頂いた住友金属テクノロジー株式会社および住金関西工業株式会社の諸氏に謝意を表します。

(2001年5月31日受理)

参考文献

- 1) 須田・日時, JR 東海 383系車両の開発と試験, 鉄道車両と技術, 1-2 (1995-9), 16-20.
- 2) 須田, 独立回転車輪を用いた操舵台車の研究開発の動向, 生産研究, 47-9 (1995-9), 1-8.
- 3) 須田, 高性能・低コスト1軸台車の開発, JREA, 41-6 (1998.6), 38-41.
- 4) 高性能・低コスト一軸台車の開発, 日本鉄道技術協会平成11年度報告書, 2000.9.
- 5) 須田・宮本・加藤, 知能化車両におけるステアリング制御(強制操舵による曲線通過性能), 鉄道技術連合シンポジウム (J-Rail'99) 講演論文集, 179-182.
- 6) 須田, 鉄道車両のアクティブコントロールをめぐる技術動向, 鉄道車両と技術, 60 (2000-7), 2-7.
- 7) 宮本・加藤・須田・小峰, 車輪・レール系模型車両の走行実験(直線軌道を走行する一輪軸模型車両の基礎特性), 機構論, 99-59 (1999-12), 219-222.
- 8) 須田ほか, 車輪/レール間の摩擦調整と曲線旋回性能, 鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL 2000), 00-50 (2000-12), 43-46.