

鉄道車両の自己操舵台車における 非操舵軸の車輪踏面変更による曲線通過性能の検討

日大生産工(院) ○畠中 啓伍 日大生産工 風間 恵介
日大生産工 丸茂 喜高

1. まえがき

鉄道車両の曲線通過性能を向上させるため、輪軸を自己操舵させて横圧低減を図る操舵台車⁽¹⁾の研究が進められてきた。中でも、一次ばね系剛性を非対称化する前後非対称台車⁽²⁾は、実用化もされている有効な技術である。

一方、台車の剛性設計とは別に、車輪踏面形状も曲線通過性能に影響を及ぼす重要な要素である⁽³⁾。急曲線区間が多い路線では、営団踏面⁽⁴⁾のように性能向上に特化した踏面が採用される例もある。通常、同一台車内の輪軸には同じ踏面が用いられるが、前後非対称台車の考え方を踏面にも応用し、操舵軸と非操舵軸で異なる踏面形状を用いれば、更なる性能向上が期待される。

そこで本研究では、自己操舵台車を対象に、非操舵軸の車輪踏面形状を変更することが曲線通過性能に及ぼす影響について、マルチボディダイナミクスを用いたシミュレーションにより評価することを目的とする。

2. 車両モデル

本研究では、マルチボディダイナミクス解析ソフトウェアSimpackを使用した。図1にモデリングした車両モデルを示す。座標系は右手下向き、進行方向を正とし、輪軸番号は進行方向前方から1~4軸と定義した。車両モデルの自由度は、輪軸(左右・ヨー:計8自由度)、台車(左右・ロール・ヨー:計6自由度)、車体(左右・ロール・ヨー:計3自由度)で構成される合計17自由度である。車両諸元は文献⁽⁵⁾を参考に日本の在来線車両を模擬しており、車体全長20m、総重量30,400kgである。

台車はボルヌタレス台車とし、二次ばね系には進行方向に対する剛性を付与した。本モデルでは、自己操舵機能と車輪踏面形状の変更という2つの条件を設定した。

自己操舵機能は、曲線通過時にレールから大きな抵抗を受ける台車前方軸(1軸・3軸)に対し、軸箱支持剛性(x, y方向)を通常値の1/4⁽⁶⁾に低減することで付与した。一方、車輪

踏面形状の変更は、非操舵軸である2軸および4軸に適用した。用いた踏面は図2に示す3種類であり、基準の修正円弧踏面に対し、変更条件として営団踏面⁽⁵⁾およびCS踏面⁽⁷⁾を用いた。営団踏面は営団地下鉄(現東京メトロ)が急曲線通過性能向上のために、CS踏面は日鉄住金が修正円弧踏面を基に摩耗低減を目的として開発した踏面である。なお、車輪間のバックゲージは全条件で990 mmに統一した。

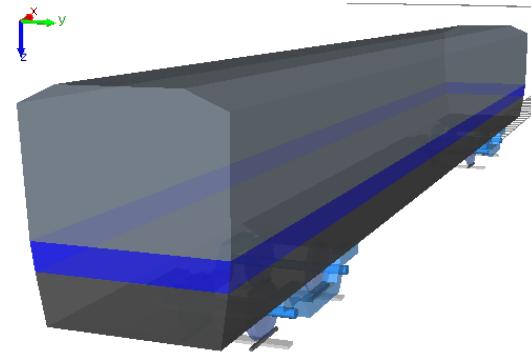


Fig. 1 車両モデル

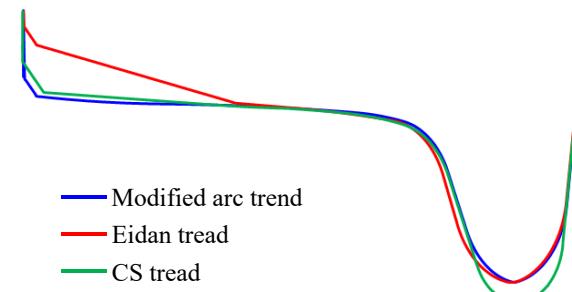


Fig. 2 車輪踏面形状

3. シミュレーション

シミュレーションで用いた軌道は、直線(100m)、緩和曲線(90m)、半径400 mの左円曲線(200m)、緩和曲線(90m)、直線で構成される。軌道の諸元は、レール頭頂面形状を50kgNレールの新品形状、カントを90mm、スラックを0mm、軌間を1,067 mmとした。走行速度は、曲線半径400 mにおける基本速度に相当する85 km/hとした。

Curving Performance of a Self-Steering Bogie with Modified Wheel Tread Profile on Non-Steering Axle

Keigo HATAKENAKA, Keisuke KAZAMA and Yoshitaka MARUMO

本研究で示す指標は、定常曲線区間（200 m）のうち、緩和曲線からの影響を除いた中央100m区間の平均値である。また、以降の結果を示す図では、自己操舵軸を斜線、踏面変更軸を塗りつぶし、変更を加えていない輪軸を中抜きで示す。

自己操舵軸である1軸および3軸の外軌側脱線係数に着目する。脱線係数とは横圧を輪重で除した値であり、横圧は車輪とレール間に作用する力のうち、レール長手方向に垂直な平面内の左右方向成分、輪重は同平面内の上下方向成分を指す。通常、台車前方軸は後方軸に比べて脱線係数が高くなる傾向があるため、ここではこれらの軸を評価対象とした。図3に外軌側脱線係数を示す。図に示されるように、自己操舵機能を付与することで、基準条件（非操舵・修正円弧踏面）と比較して1軸および3軸の脱線係数に減少が見られた。また、非操舵軸（2軸・4軸）の踏面を変更した場合でも、操舵軸の脱線係数に悪影響は見られなかった。

次に、踏面形状の変更が及ぼす影響を評価するため、踏面を変更した非操舵軸の縦クリープ力に着目する。縦クリープ力とは、車輪とレールの間の微小すべりによって生じる進行方向の力である。曲線走行時、外軌側では車輪がレールと複数点で接触が発生する可能性がある。複数点接触が生じた場合、異なる位置で発生した力がそれぞれ算出されるため、踏面形状の変更に起因する影響を正確に評価することが困難となる。そこで本研究では、安定した評価が可能な内軌側の縦クリープ力を評価対象とした。図4に内軌側縦クリープ力を示す。ここで、正方向の縦クリープ力は、旋回方向とは逆向きに作用する反操舵モーメントを発生させる力である。図より、非操舵軸の踏面を変更することで、縦クリープ力に減少が見られた。非操舵軸で観測されたこの縦クリープ力の低減は、反操舵モーメントを抑制し、曲線通過性能の向上に寄与している。

4. 結言

本研究では、自己操舵台車を対象に、非操舵軸の車輪踏面変更が曲線通過性能に及ぼす影響を、マルチボディダイナミクスに基づくシミュレーションにより評価した。その結果、自己操舵機能の付与による操舵軸の脱線係数の減少に加えて、非操舵軸の踏面形状を変更することで、非操舵軸の縦クリープ力を低減させて反操舵モーメントを抑制し、曲線通過性能の向上に寄与することを確認した。

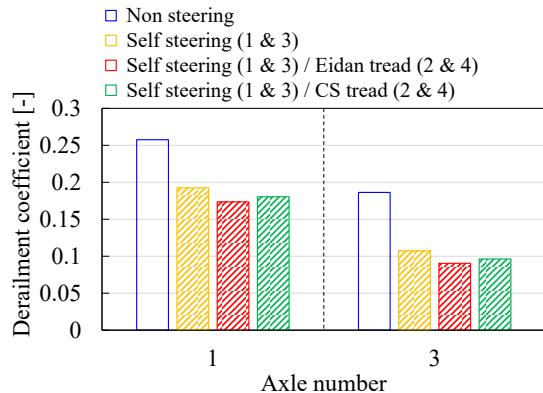


Fig. 3 外軌側脱線係数

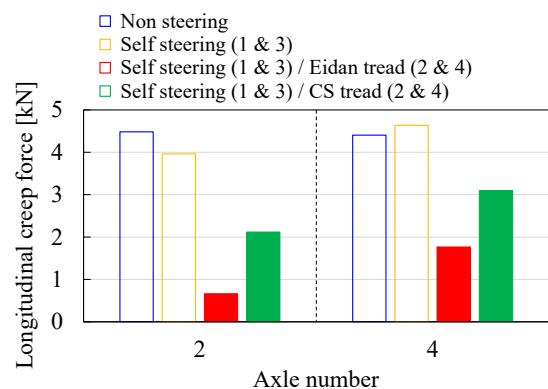


Fig. 4 内軌側縦クリープ力

参考文献

- 1) 山田幸一, 目時哲郎, “新型自己操舵台車の開発について”, 鉄道車両と技術, Vol.2, No.4 (1996), pp.23-27.
- 2) 須田義大, 目時哲郎, “JR東海383系台車の開発と試験”, 鉄道車両と技術, Vol.1, No.2 (1995), pp.16-20.
- 3) 南善徳, 上田規雄, “曲線通過性能向上を目指した車輪踏面形状の研究”, 日本機械学会第14回交通・物流部門大会講演論文集, (2005), pp.87-90.
- 4) 日本機械学会編, “鉄道車両のダイナミクス”, 電気車研究会, (1994), p.242.
- 5) 日本機械学会, “鉄道車両のダイナミクスとモデリング”, 日本機械学会, (2017), p.165.
- 6) 目時哲郎, “新型自己操舵台車の開発”, 第32回鉄道サイバネ・シンポジウム論文集, (1995), pp.11-19.
- 7) 中田摩智, 日野和明, 伊佐学, “在来線鉄道車両用車輪踏面形状-CS踏面-の開発”, 住友金属技術報, Vol.50, No.3 (1998), pp.103-110.