

状態監視装置を用いた急曲線での新たな 走行性能の評価方法について

○松田 卓也 荻野 智久 福島 知樹 谷本 益久 (東京地下鉄)
松本 陽 (日本大学) 道辻 洋平 (茨城大学)
佐藤 安弘 大野 寛之 緒方 正剛 一柳 洋輔 (交通安全環境研究所)
松見 隆紀 (日本製鉄)

New evaluation method of steering performance on sharp curve by monitoring system

Takuya Matsuda, Tomohisa Ogino, Tomoki Fukushima, Masuhisa Tanimoto (Tokyo Metro Co.,Ltd.)

Akira Matsumoto (Nihon University), Yohei Michitsuji (Ibaraki University)

Yasuhiro Sato, Hiroyuki Ohno, Seigo Ogata, Yosuke Ichiyanagi (NTSEL)

Takanori Matsumi (Nippon Steel Corporation)

In Tokyo Metro running on the subway, there are many sharp curves. On sharp curves, it is very important to evaluate the steering performance of the bogie and the lubrication conditions at the contact point between the wheels and rails. Tokyo Metro has been monitoring the derailment coefficient and estimating the lubrication conditions by PQ monitoring bogie. However, the PQ monitoring bogie is a special bogie type. Its structure is different from that of a normal bogie. In addition, many types of bogie are running because of through service. So, it is necessary to evaluate the steering performance of the bogie and the lubrication conditions at the contact point between the wheels and rails from the ground side. In this study, we introduce a method of estimating the steering performance and lubrication conditions at the contact point between the wheels and rails.

Keywords : Wheel/rail contact, Flange climb derailment, Friction coefficient, flange wear; rail side wear, squeal noise

1. 背景

東京地下鉄が保有する全長 195.1km の路線のうち、大部分は都市部の道路下に建設されている。その影響により急曲線が多く、営業線内において曲線半径 300m 以下の曲線割合が全路線延長の約 16% に達している。急曲線において、台車の旋回性能や車輪とレールの接触点における潤滑状態の評価は非常に重要である。これまで、PQ モニタリング台車の導入を行うことで、日々の脱線係数の監視⁽¹⁾や潤滑状態の推定⁽²⁾を行ってきた。

しかし、PQ モニタリング台車は特殊な台車形式であり、営業線走行している台車とは構造が異なる。また、相互直通運転を多く実施している関係で多種多様な構造の車両が走行している。よって、このような条件下では、地上側から車両の旋回性能や車輪とレールの接触点の潤滑状態の監視が非常に重要となる。

本研究では、旋回モーメントという概念を用いて、車両の旋回性能と潤滑状態を把握する方法を紹介する。まず台上試験設備による基礎試験を実施し、潤滑状態と旋回モーメントの関係について調査し、次に地上に設置された状態監視装置のデータを用いて、状態監視装置上を通過する全ての車両の潤滑状態を調査したので紹介する。

2. 操舵抵抗について

台車が急曲線上を走行する際、Fig.1 に示すように、前軸・後軸の車輪にそれぞれ横圧や接線力が発生する。これらの力によって、4 輪で発生するモーメントは台車中心を原点として、台車が曲線を曲がるようとする力の操舵モーメント、曲がるのを妨げる力の反操舵モーメントに以下のように分けられる。

操舵モーメント： $2b(T_1+T_2)+a(Q_{1out}+Q_{2in})$

反操舵モーメント： $a(Q_{1in}+Q_{2out})$

ここで、台車はレールに拘束されながら急曲線を走行するため、操舵モーメントと反操舵モーメントは釣り合っている。よって、以下の関係式が成り立つ。

$$(Q_{2out} - Q_{2in}) - (Q_{1out} - Q_{1in}) = c \quad (\because c=2b/a) \quad \text{①}$$

この式より、4 輪の横圧から前後軸の接線力の合計値が分かる。つまり、台車の旋回モーメントを評価できる。この値が高ければ、急曲線走行時に大きな接線力を伴いながら旋回していることを意味している。また、前軸の接線力は前軸外軌フランジ部の潤滑状態によって、大きく変化する。このことから 4 輪の横圧で前軸外軌フランジ部の潤滑状態を評価することも可能である。なお、ここではボルスタアンカで発生するモーメントは無視している。さらに、営業線で本手法を用いる場合、横圧は滑りで発生することから、乗車率の影響を取り除くため、各輪重で横圧を除いて計算する。

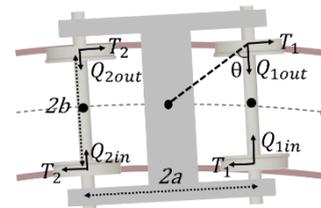


Fig.1 Illustration of applied for 4 wheels.

3. 台上試験について

3.1 試験条件

Photo1 に用いた台車試験設備を示す。本試験設備は内軌及び外軌の軌条輪の回転速度の差とアタック角を付与することで曲線通過中の台車の姿勢を模擬することができる。また、車輪とレール間に作用する力を測定できる特別な車輪(PQ 輪軸)を用いた。台上試験設備と試験台車の仕様を Table1 に示す。

Running velocity	20 km/h
Curve radius	800,600,400,350,300,250,200,180,160m
Experimental bogie	Mono-link type axle-box, bogie with a bolster
Wheel tread profile	Arc. profile tread suitable to sharp curve used in Tokyo metro company
Rail profile	50 kgN

Table 1 Test condition and specification of test stand bogie



Photo 1 Bogie test stand and test bogie.

台車試験では4輪の摩擦係数を変化させることができる。それぞれの車輪が乗る軌条輪円周にグリスを塗布することで車輪・レール間の摩擦係数を変化させる。本研究ではTable2に示す6条件で試験を行った。条件1では4輪が乾燥状態、条件2は前軸外軌フランジ潤滑、条件3は前後軸内軌及び前軸外軌フランジ潤滑、条件4は内軌潤滑、条件5は後軸内軌潤滑。条件6は前軸内軌潤滑である。

Condition	Markers	Leading axle		Trailing axle	
		Outside	Inside	Outside	Inside
No.1	○	dry	dry	dry	dry
No.2	×	oil	dry	dry	dry
No.3	△	oil	oil	dry	oil
No.4	□	dry	oil	dry	oil
No.5	▽	dry	dry	dry	oil
No.6	◇	dry	oil	dry	dry

Table 2 Lubrication condition of bench test.

3.2 測定結果

Fig.2にR200における測定結果を示す。先頭軸内軌が乾燥状態、すなわち κ (内軌 Q/P)の値が小さい場合に旋回モーメントの変化が少ない。一方で前軸内軌が乾燥状態で κ の値が大きい時は操舵性能の変化が大きいことがわかる。これは前軸内軌が潤滑されると前軸外軌の潤滑状態に関係せず、接線力 T_1 が小さくなるためである。そのため、内軌が乾燥状態に着目すると、操舵性能は条件5(後軸内軌潤滑)、条件1(4輪ドライ)、条件6(前軸内軌潤滑)の順で高い値を取る。これは急曲線において、前軸の接線力は正であり、操舵モーメントを生み出し、後軸の接線力は負の値であり、反操舵モーメントを生み出すためである。この条件下で条件5は後軸内軌を潤滑することで、後軸の接線力及び反操舵モーメントを減少させるため、台車全体としては旋回モーメントを向上させる。一方操舵性能が低い条件6では前軸外軌を潤滑することで接線力及び操舵モーメントを減少させる。そのため、台車全体の旋回モーメントは低下する。

このグラフを用いることで、横圧から前後軸の接線力の合計値を推定できる。つまり、4輪の潤滑状態を把握することが可能となる。

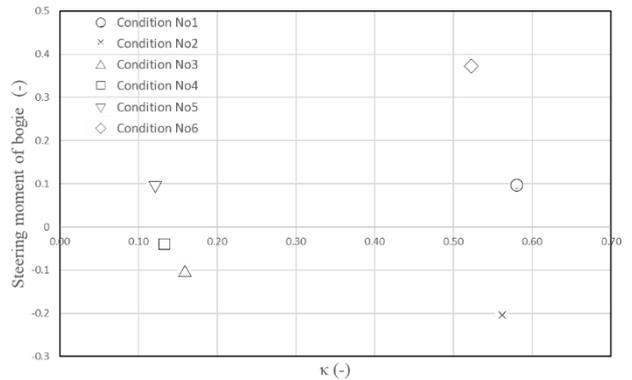


Fig.2 Steering moment of bogie

4. 状態監視装置について

4.1 機器の概要

状態監視装置とは、地上子等の地上側装置で収集したデータを中央装置に集約、社内のネットワークを経由して在線情報の他、さまざまな情報をリアルタイムで確認することを可能にした車両部システムの装置の一つである。

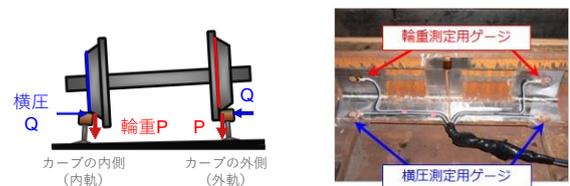


Fig.3 Overview of measurement device

状態監視装置の機能の一つとしてPQ解析機能がある。Fig.3に示すようにレールに至ゲージを貼り付け、設置地点を通過する車両の上下方向の輪重値(P)と左右方向に作用する横圧値(Q)等の各種データを収集、システム概要図(Fig.4)のように、中央装置でデータ処理を行い、通過した車両とその測定結果を即座に把握可能である。

東京メトロでは本装置を全9路線(分岐線含む)に4曲線以上設置しており、進行方向違いと曲線方向違いで測定している。

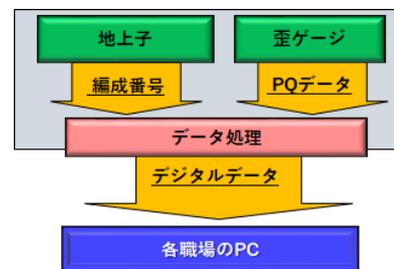


Fig.4 System overview

5. 営業線測定

5.1 測定条件について

本研究に用いた状態監視装置は R=200,C=65,S=4 の曲線に設置したものをを用いた。この曲線は入口緩和曲線の内外軌にそれぞれ地上塗油器が設置しており、日々潤滑状態は変化している。また、本研究を用いて、対象曲線の乾燥状態が確認できたため、塗油器の塗油量を調整し、旋回モーメントにどのような変化が現れるか確認を行った。

5.2 測定結果について

塗油器を調整する前のある一日における測定結果を Fig.5(a)に示す。横軸の κ が内軌の潤滑状態を示しており、縦軸の旋回モーメントによる、外軌の潤滑状態を判断することが可能である。当該曲線の外軌側は常に乾燥しており、内軌側は潤滑状態と乾燥状態を繰り返していることがわかる。さらに Fig.5(b)には塗油器調整実施後の一日のデータを示す。内軌の潤滑状態が改善され、 κ の値が小さくなると共に、旋回モーメントの値の変動が少なくなっていることがわかる。これは内軌が潤滑されることで、前後軸の接線力が抑えられているためである。このように Fig.5(a),(b)を比較すると、塗油器の調整により大幅に潤滑状態が改善していることがわかる。

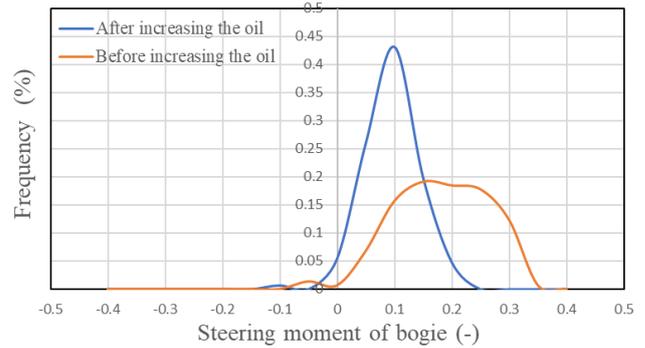


Fig.6 Frequency of Steering moment of bogie

6. まとめ及び今後の展望

本研究は状態監視装置により得られる、4輪の横圧から前後軸の接線力の合計を求める台車の旋回モーメントという概念を用いて、潤滑状態の推定方法を提案した。また、状態監視装置が設置されている曲線における塗油器の調整を実施し、調整前後での潤滑状態の変化を把握できることを確認した。以上より、本研究で提案した状態監視装置による潤滑状態の推定方法は妥当であると考えられる。

今後の展望として、本手法を用いることで通過する全ての台車における潤滑状態を把握することが可能となり、台車形式による旋回性能の違いや潤滑状態の違いを車輪転削からの経過日数に応じた解析することも可能となる。また、波状摩耗等の研究で設置試験を実施している場合、潤滑による効果を加味することが可能となる。

参考文献

- 1) PQ モニタリング台車を活用した車輪・レール接触力の状態監視システム, 一柳洋輔, 道辻洋平, 松本陽, 佐藤安弘, 大野寛之, 谷本益久, 岩本厚, 福島智樹, 矢野健太, 品川大輔, 長澤研介, 日本機械学会論文集, Vol.83, No.846, pp.1-12, 2017.
- 2) 台車4輪の摩擦係数差が脱線係数に及ぼす影響～車輪の摩耗を含めた考察～, 宮沢秀友, 道辻洋平, 長澤研介, 松本陽, 佐藤安弘, 大野寛之, 谷本益久, 品川大輔, 日本機械学会 機械力学・計測制御部門 Dynamics and Design Conference 2017 (D&D2017), No.17-13, ID701.

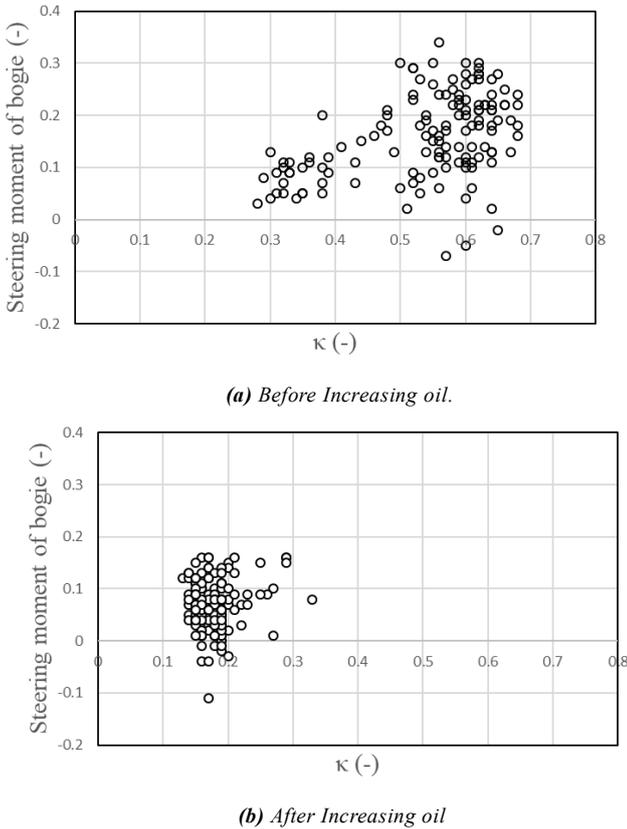


Fig.5 Steering moment of bogie in service line

Fig.6 に台車の旋回モーメントについて、頻度分布まとめた結果を示す。塗油調整実施の前後で頻度分布が大きく異なっていることが分かる。調整前は旋回モーメントが 0 から 0.35 まで広く分布しているが、調整後は 0.1 を中心にピークを形成している。これは、潤滑の影響で車輪踏面摩耗の進展に関係なく、同様な旋回性能を有していることを示している。言い換えれば、内外軌の潤滑が不足している状況下では、本研究で提案する旋回モーメントを用いることで、台車その物の急曲線を旋回しようとする力を評価できることを意味している。