

地下鉄用新操舵台車の開発

岩本 厚* 梅原 康宏 下村 雄祐 荻野 智久 鹿田 敬司 (東京地下鉄)

水野 将明 亀甲 智 下川 嘉之 中居 拓自 (住友金属工業)

Development of the new concept steering truck

Atsushi Iwamoto*, Yasuhiro Umehara, Yusuke Shimomura, Tomohisa Ogino, Keiji Shikata (Tokyo Metro)
 Masaaki Mizuno, Satoshi Kikkou, Yoshiyuki Shimokawa, Takuji Nakai (Sumitomo Metal Industries)

In the subway of Tokyo Metro, that has a lot of sharp curve sections for reasons of construction. Accordingly, there are problems such as the large lateral force, the squeal noise of the wheel, the wear of flange. To solve these serious problems, authors developed steering truck and carried out a field running test. This issue introduces the curving performance of the newly-developed steering truck, and progress of the steering truck which has started to run in the commercial line.

キーワード：鉄道，車両運動学，操舵台車，横圧，摩耗，きしり音
 (railway, vehicle dynamics, steering truck, lateral force, wear, squeal noise)

1. はじめに

東京メトロは路線建設の制約上，急曲線が多く存在する。そのため，輪重の変動，著大横圧，車輪きしり音及び車輪フランジ摩耗の発生などの問題がある。東京メトロでは住友金属と共同でこれまで，これら諸問題の解決策として，軸箱支持剛性の最適化や摩擦調整材噴射装置の開発等に取り組んできており，一定の成果を得た⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

今回著者らは，これら諸問題の更なる改善を目指し，曲線通過時に発生する車輪－レール間のアタック角（車輪とレールの相対ヨー角）をリンク式の操舵装置により低減させる台車（操舵台車）を開発した。本台車は，量産車両での使用や，走行安全性向上とコスト低減の両立を目的に，片軸操舵としている。

本報では，走行安全性の更なる向上や車輪フランジ摩耗低減等を目指し，FS576 操舵台車を開発し，営業線における夜間試運転を行い，走行性能を確認した結果及び，東京メトロ丸ノ内線分岐線での営業線投入を開始した後の経過について報告する。

2. 操舵台車概要

図1に開発したFS576 操舵台車外観を示す。同台車は，揺れ枕，台車枠，軸箱（輪軸）をリンク機構で接続している。車両が曲線に進出し，台車－車体間でボギー角が発生すると，リンク機構がテコとして作用し，ボギー角の大きさに比例して輪軸が操舵される。

また，FS576 操舵台車は，1 台車 2 輪軸のうち，片軸に先述のリンク式操舵装置を取り付け，残る片軸は，従来通りのモノリンク式軸箱支持装置とした。また，車体に台車を装着する際には，車体中心側に操舵軸が配置されるよう台車を装着するため，1 車両 4 輪軸のうち，第 2 軸，第 3 軸は操舵軸であり，第 1 軸，第 4 軸は非操舵軸となる（図 2）。このような軸配置とすることで，第 1 軸，第 4 軸は非操舵軸であるため，主電動機，駆動装置を取り付け，駆動軸とすることが可能となり，走行安全性向上と製造・メンテナンスコスト低減，台車質量増加抑制の両立を図った。

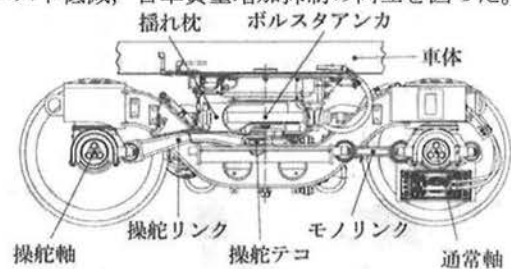


図1 FS576 操舵台車

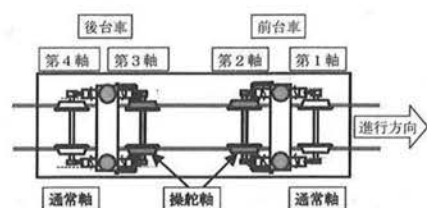


図2 操舵軸及び非操舵軸配置

3. 曲線通過時の台車挙動

操舵装置によって輪軸姿勢を改善することで、横圧が低減されるメカニズムを、通常台車の曲線通過姿勢と比較した。

〈3・1〉通常台車 通常台車においては、台車がアンダーステアリング姿勢となるため、台車の前軸(前軸:第1軸, 後軸:第3軸)にアタック角が発生し、第1軸横クリープ力が増加する。また、後軸(前軸:第2軸, 後軸:第4軸)が軌道中心付近に位置するため、輪径差が不足し、後軸に縦クリープ力(接線力)が作用する。これらの力が台車に対して反操舵方向に作用し、フランジ接触した前軸に高い横圧を発生させる(図3)。

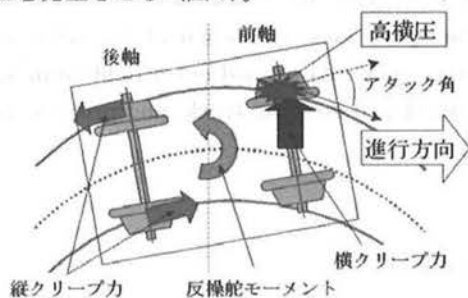


図3 曲線通過時の台車姿勢（通常台車）

〈3・2〉操舵台車（前軸） 進行方向前側の操舵台車においては、後軸である第2軸を操舵してアタック角を与えるため、第2軸に外軌方向の横クリープ力が発生し、第2軸は外軌に移動する。これにより、輪径差不足が緩和され、第2軸の縦クリープ力が減少する。また、第2軸が外軌に移動することで、台車がアンダーステアリング姿勢から、ラジアルステアリング姿勢へと変化する。その結果、輪軸を直接操舵しない第1軸のアタック角が減少し、第1軸横クリープ力が減る。したがって、第2軸の縦クリープ力及び第1軸横クリープ力の減少により、反操舵モーメントが減少し、第1軸外軌の横圧が低減する(図4)。

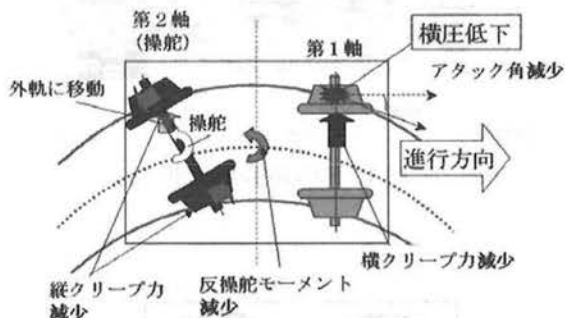


図4 曲線通過時の台車姿勢（操舵台車，前軸）

〈3・3〉操舵台車（後軸） 進行方向後側の操舵台車においては、前軸である第3軸を操舵して、アタック角が減少する。そのため、第3軸に発生する横クリープ力が減少する。その結果、第3軸外軌の横圧が減少する(図5)。

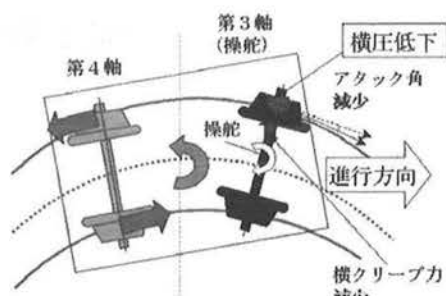


図5 曲線通過時の台車姿勢（操舵台車，後軸）

4. 現車試験結果

曲線通過シミュレーションや住友金属構内にある曲線試験線における操舵台車の基礎性能確認試験を経て、2009年9月に東京メトロ丸ノ内線で現車試験を実施した。現車試験では、比較対象として、FS576 操舵台車の操舵装置を取り外して通常のモノリンクを取り付けた、通常台車条件においても走行試験を実施した。

操舵台車は02系分岐線車両の3号車に2台車装着した。

〈4・1〉曲線通過性能の評価 操舵台車及び通常台車の両走行条件において、 $R=167\text{m}$ ($C=85\text{mm}$, $S=13\text{mm}$, 車両通過速度 $=40\text{km/h}$)の曲線全体について、第1軸外軌横圧を比較したものを図6に示す。曲線全体において、操舵台車の方が横圧は低減されている(円曲線においては約35%低減)ことが確認できる。

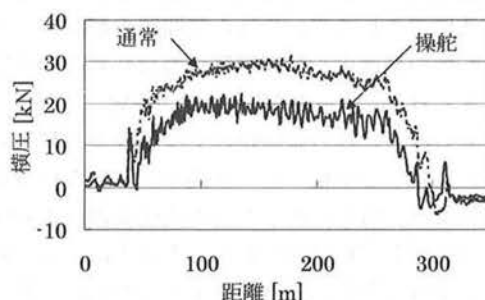


図6 曲線中の横圧波形例（第1軸外軌）

更に、様々な曲線半径における定常円曲線中の第1軸の外軌横圧、アタック角、第2軸の軸箱支持リンク荷重(前後クリープ力に相当、負値のとき、第1軸横圧を増加させる方向に作用する)の測定結果を、図7～9に示す。図7より、各曲率において、操舵台車は通常台車と比較し、第1軸の横圧が減少しており、かつ、図8、図9より、第1軸のアタック角、第2軸の前後クリープ力が各々減少している。従って、3.2節で述べたメカニズムにより、曲線半径にかかわらず全体的に横圧が低減したことが確認された。

同様に、第3軸の外軌横圧、及び第3軸のアタック角の測定結果を、図10、図11に示す。図10より、操舵台車の第3軸外軌横圧は、通常台車と比較して減少しており、かつ、図11より、第3軸のアタック角が減少している。従って、3.3節で述べたメカニズムにより横圧が減少したことが

確認された。

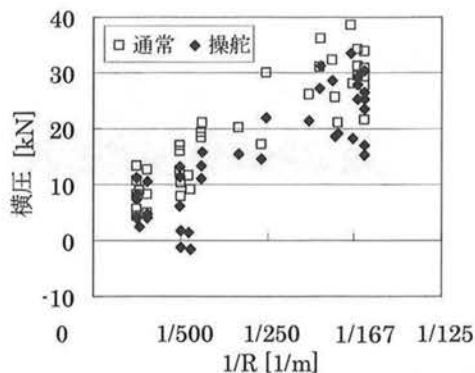


図7 第1軸 外軌横圧の比較

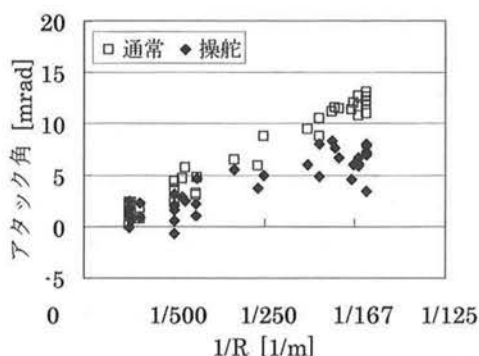


図8 第1軸 アタック角の比較

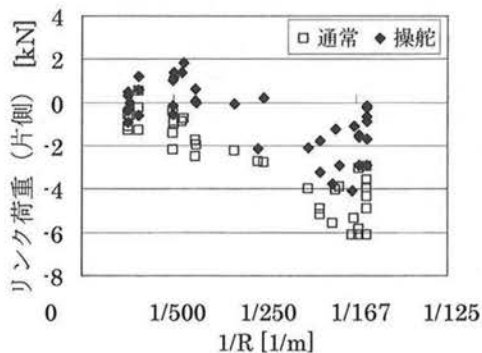


図9 第2軸 軸箱支持リンク荷重の比較

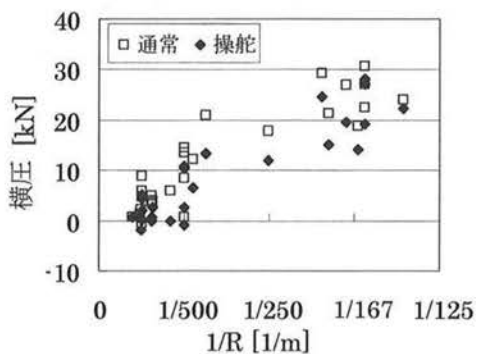


図10 第3軸 外軌横圧の比較

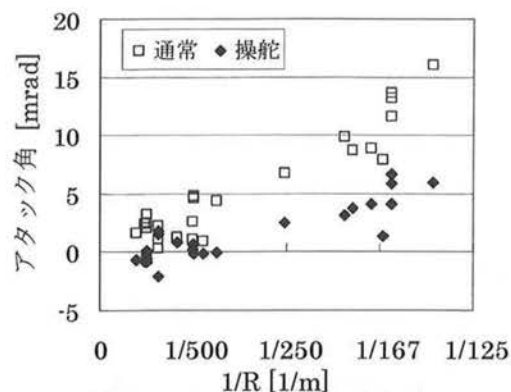


図11 第3軸 アタック角の比較

〈4・2〉車内騒音の評価 図12, 図13に通常台車, 操舵台車それぞれの急曲線区間での車内騒音の測定結果を示すが, 操舵台車では, 4~7 kHz 帯域のキシリ音が消失していることが分かる。

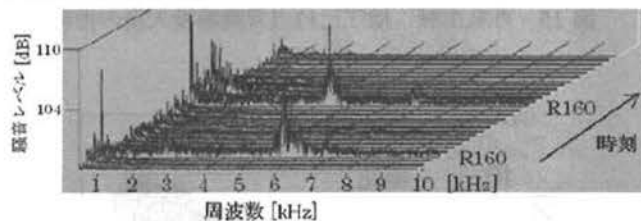


図12 通常台車 床下騒音測定結果

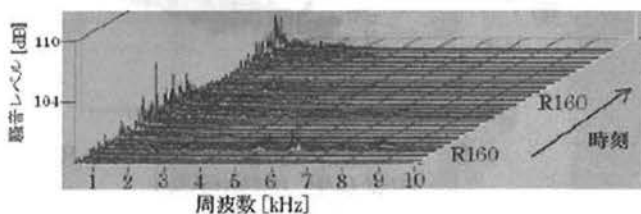


図13 操舵台車 床下騒音測定結果

5. 営業線測定結果

現車試験の結果により, 従来のモノリンク台車と比較し, 走行安全性の向上を図れることが確認できたため, 02系386号車に操舵台車を装着し(図14), 2010年2月から丸ノ内線分岐線において, 営業線運転を開始した。以下に営業線において得られたデータについて述べる。



図14 操舵台車装着部位

〈5・1〉地上 PQ データ 営業線の特定曲線 ($R=130\text{m}$, $C=105\text{mm}$, $S=17\text{mm}$) において得られた, 通常台車 (286号車) と操舵台車の第1軸の横圧を図15に示す。図15は

約 1 ヶ月間のデータである。

また、横軸を通常台車の内軌 Q/P ($\approx$ 摩擦係数)、縦軸を第 1 軸の横圧で整理したものが図 16、第 3 軸の横圧で整理したものが図 17 である。

これらの結果から摩擦係数に関わらず、操舵台車は通常台車に比べ横圧が減少しており、特に内軌 Q/P が大きいほどその効果が大きいことが分かる (内軌 $Q/P=0.6$ 付近で約 30% 低減)。

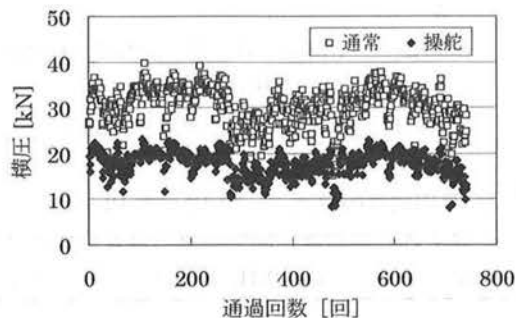


図 15 外軌 1 軸 横圧比較 (営業線投入後の推移)

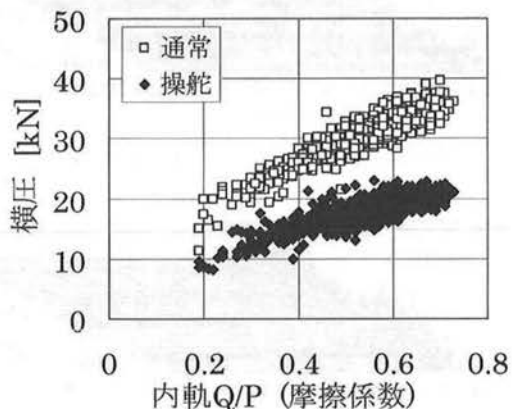


図 16 外軌 1 軸 横圧比較 (内軌 Q/P の影響)

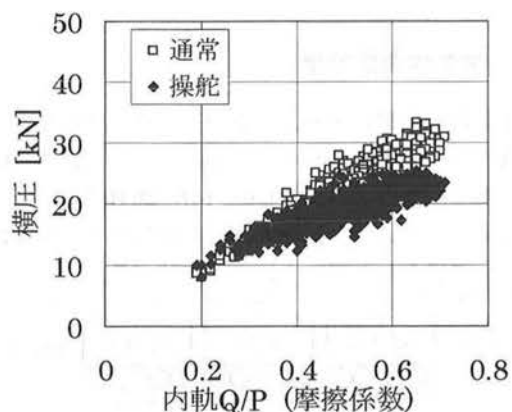


図 17 外軌 3 軸 横圧比較 (内軌 Q/P の影響)

〈5・2〉レール振動加速度 図 18 に 5.1 項と同じ曲線で測定したレール左右振動加速度の結果を示す。操舵台車では、振動加速度は通常台車の半分以下となり、大幅な低減効果が確認できる。

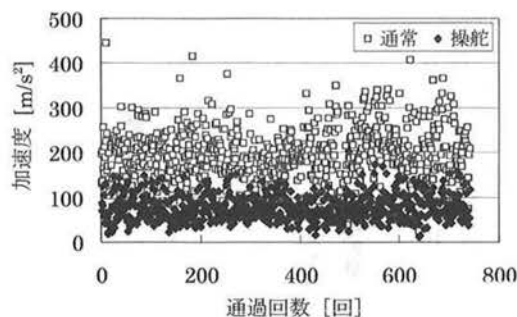


図 18 レール左右振動加速度比較 (第 1 軸)

〈5・3〉車輪摩耗 図 19 に営業線投入後の車輪フランジ摩耗の履歴を示す。通常台車と比較し、車輪フランジ摩耗がおおよそ半減していることが分かる。

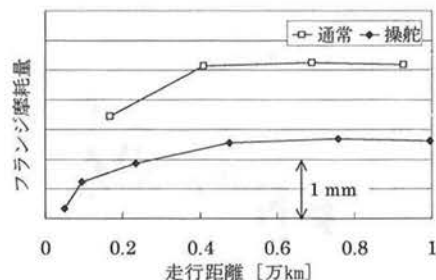


図 19 車輪フランジ摩耗比較

6. まとめ

鉄道車両における走行安全性の更なる向上や車輪フランジ摩耗低減等を目的に、操舵台車を開発し、夜間試運転を経て丸ノ内線分岐線において営業線投入を開始した。その結果、営業線において、従来の 02 系ボルスタレス台車と比較して、横圧や車輪きしり音、車輪フランジ摩耗等の低減効果を確認した。

2010 年 10 月末現在、営業線投入開始から約 8 ヶ月が経過しているが、曲線通過性能は良好な状態で安定している。今後も継続して曲線通過性能、フランジ摩耗等を確認していく予定である。

文 献

- (1) Y. Shimokawa, Y. Sato, T. Nakai, T. Ogino, M. Shimizu, Y. shimomura: "Development of the new type bogie preventing wheel load variation (Part 1, Part 2)", 7th Int. Conf. on Railway Bogies and Running Gears, Sept. 3, 2007
- (2) A. Iwamoto, Y. shimomura, T. Ogino, T. Nakai, Y. Sato, Y. Shimokawa: "The newest designed bogie truck with bolster at Tokyo Metro", 8th Int. Conf. on Railway Bogies and Running Gears, Sept. 13, 2010
- (3) 齊藤: 「車輪接線力モニタリングによる摩擦調整材噴射制御システム」, R&M, Vol. 18, No. 6 pp. 10-14 (2010)