

# 2405 東京メトロの最新のボルスタ付台車について

荻野 智久 (東京地下鉄)      ○下村 雄祐 (東京地下鉄)

[機]中居 拓自 (住友金属工業)   佐藤 與志 (住友金属工業)   [機]下川 嘉之 (住友金属工業)

## The Newest Designed Bogie Truck with Bolster at Tokyo Metro

Tokyo Metro Co.,Ltd 3-19-6 Higashi Ueno, Taito-ku, Tokyo

Tomohisa OGINO, Yusuke SHIMOMURA, Tokyo Metro Co.,Ltd

Sumitomo Metal Industries 1-109, Shimaya 5-Chome, Konohana-ku, Osaka

Takuji NAKAI, Yoshi SATO, Yoshiyuki SHIMOKAWA, Sumitomo Metal Industries, Ltd

Recently, Most of Japanese railway operation companies choose bogie truck with bolster less. Because, bolster less bogie is cheaper than bolster system. But for perspective of wheel load adjustment Tokyo Metro and Sumitomo Metal industries notice the bolster less bogie system ability. Authors inquired carbody twist variation rate compared with carbodies with bolster bogie truck and carbodies with bolster less one. The result of this inquiry, the twist of carbody variation rate of bolster bogie is smaller than bolster less one. So this issue introduces that the new designed bogie truck with bolster is developed by Tokyo Metro and Sumitomo Metal industries.

*Keywords:* vehicle, design, bogie track, wheel load variation, maintenance, bolster

### 1. はじめに

地下鉄では、建設上の理由から急曲線が多く、カントで減倍率が小さい箇所が多い。そのため曲線通過性能を向上するには、横圧低減だけでなく、輪重変動抑制が有効である。そこで筆者らは、応荷重差圧弁の開発、高さ調整装置の特性改善、空気ばね内圧の高圧化、軸ばね柔軟化等を行い、曲線走行中の輪重変動を抑制し、曲線通過性能向上を行った (1) (2) (3) (4)。

一方、緩和曲線通過時の輪重変動は、軌道ねじれによる動的な輪重変動だけでなく、車両の初期条件である静止輪重アンバランスの影響を受けることが知られている。そこで筆者らは、静止輪重アンバランスを小さくするため、輪重調整装置の開発を行った (5) (6)。その開発の過程で、ボルスタ付き台車の方が、ボルスタレス台車よりも、容易に輪重調整できることが分かってきた為、輪重調整の観点から、改めてボルスタ付き台車とボルスタレス台車について再検討を行った。

本報では、ボルスタ付き台車とボルスタレス台車について、輪重調整、緩和曲線通過時の輪重変動、脱線係数について、ベンチ試験、現車走行試験で比較・検証を行った。そして、ボルスタ付き構造の有効性を確認し、東京メトロ有楽町線・副都心線新造車両 10000 系および、東京メトロ南北線 9000 系 5 次車新造車両にボルスタ付き台車を採用したので報告する。

### 2. ボルスタ台車とボルスタレス台車の構造が輪重調整に与える影響について

#### 2.1 ボルスタ付き台車とボルスタレス台車の構造比較

Fig.1.1 と Fig.1.2 に、ボルスタレス台車とボルスタ付き台車の構造を示す。現在東京メトロで使用しているダイレクトマウント式ボルスタ台車では、車体荷重の 8 割を、

台車中心部の心皿で負担し、残りを左右の側受で 1 割ずつ負担している。側受けは、柔らかいゴムでばね支持されており、この作用で車両のねじり剛性が低減でき、車体ねじれを許容しているものと考えられる。

そこで、車両一両を模擬した一両モデル試験機を用いて、ボルスタ付き台車とボルスタレス台車の、連結棒長さ調整を行った場合の輪重変化を調査し、あわせて、既存車両のボルスタ付き台車とボルスタレス台車の静止輪重アンバランスの実態調査を行った。

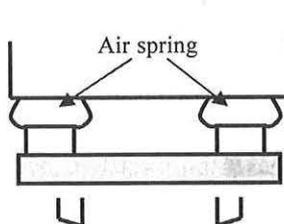


Fig.1.1 Bolsterless bogie

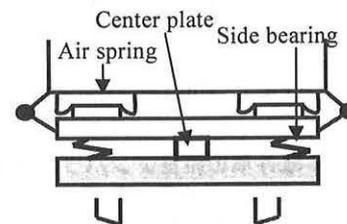


Fig.1.2 Bolster bogie

#### 2.2 一車両モデル試験機での輪重調整検証

Fig.2 に一両モデル試験機を示す。本試験機は、質量特性を実車両に合わせた模擬車体と、その下部に実体空気ばね系、台車枠、および、軸ばね系を装備し、軸ばね系下部の輪軸相当錘に取付けられたロードセルによって輪重を計測することができる。

本試験機を用いて、ボルスタ付き台車とボルスタレス台車について、1 箇所の連結棒長さを変化させた場合の、静止輪重変化を調査した。空気ばねは、有効径が  $\phi 470$  の小径タイプ、高さ調整装置は、不感帯幅が狭く、流量の少ないタイプをそれぞれ使用し、ボルスタ付きとボル

スタレスの構造相違の影響を調査した。輪重調整時の連結棒長さ調整量は、高々数ミリであるが、高さ調整装置の不感帯幅の影響を除去し、明確な傾向を得るため、±30mm幅で連結棒長さを変化させた。

本試験結果を Fig.3 に示す。本図から、ボルスタ付き台車の方が、ボルスタレス台車よりも、連結棒長さ変化させたときの車体ねじれによる輪重変化（傾き）が少なく、輪重調整が容易であることがわかる。

Fig.3 中の計算値は、軸ばね、側受けおよび車体のねじり剛性を考慮して演算し、ボルスタレス台車については、側受けが無いものとした。

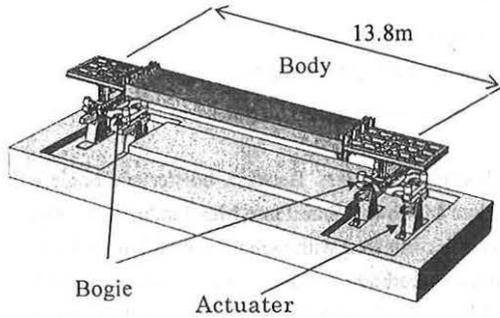


Fig.2 One-car model test bench

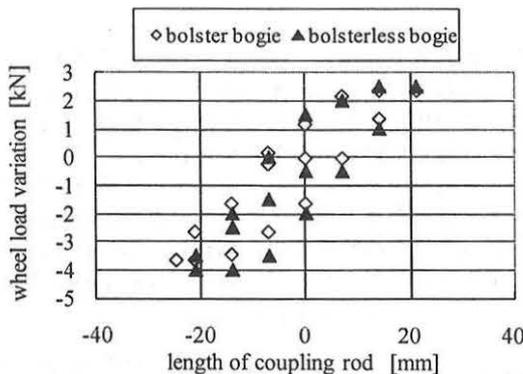


Fig.3 Characteristic of wheel load variation

### 2.3 既存車の輪重アンバランス調査結果

既存の丸ノ内線 02 系のボルスタ付き台車車両とボルスタレス台車車両すべてについて、車体ねじれによる輪重アンバランスの調査を行った。車体は、いずれもアルミ製シングルスキン車体の 18m 車で、前後台車中心間隔は 12m である。

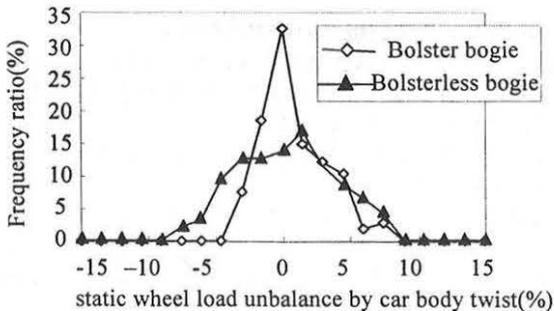


Fig.4 Static wheel load unbalance by car body twist

車体ねじれによる輪重アンバランスの結果を Fig.4 に示す。本図から、ボルスタ付き台車の方が、ボルスタレス台車よりも車体ねじれによる静止輪重アンバランス量が少ない車両の度数割合が多く、ボルスタ付き台車の輪重調整のし易さが、統計的に現れていることがわかる。

## 3. ボルスタ台車とボルスタレス台車の緩和曲線通過時の輪重変動

### 3.1 一車両モデル試験機での輪重変動調査

2.1 節に示した一両モデル試験機は、輪軸相当垂下部に各軸に装備されたアクチュエータにより、各軸に独立なローリング変位を与えることで、低速での曲線通過を模擬することができる。なお、試験は低速試験に限定されるため、遠心力に相当する外力は作用させていない。

この試験機を用いて、カント区間、およびカントでい減区間の低速模擬走行試験を実施し、ボルスタ付き台車とボルスタレス台車の構造の違いが、曲線出口のカントでい減部分で発生する先頭軸の輪重変動に与える影響を調査した。試験条件を Table.1、試験結果を Fig.5 に示す。

Fig.5 から、緩和曲線出口区間での輪重変動率は、ボルスタ付き台車とボルスタレス台車は同等であった。したがって、側受けのばね作用は、ロール変位量の少ない輪重調整の領域内では、柔ばねとして有効に作用するが、曲線通過のような、大きなロール荷重を伴う動作に対しては、側受けのばね作用は限定的であることが分かる。

Table.1 Test condition

項目	試験機	
車体	重量	15.1t (空車相当)
	重心	約 1900mm
1次ばね	約 900kN/m	
2次ばね	φ 470 異方性空気ばね	
自動高さ調整弁	小流量タイプ	
差圧弁	応荷重差圧弁	
速度	5km/h	
設定カント	105mm	
カントでい減倍率	300, 400, 600	

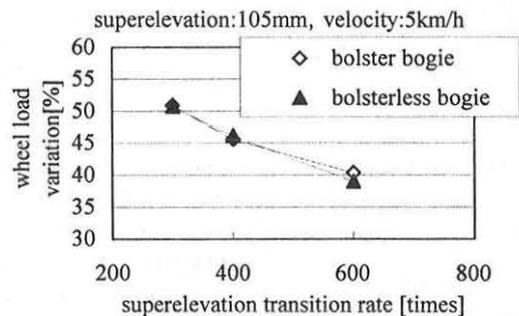


Fig.5 Bolster bogie and bolsterless bogie wheel load variation by one car model test bench

### 3.2 FS569 ボルスタ付き試験台車

ボルスタ付台車とボルスタレス台車の曲線通過性能を比較するため、Fig.6 に示す FS569 ボルスタ付き試験台車を製作し、既存のボルスタレス台車付きの車体に部分改造を施し、試験台車を取り付けた。そして、ボルスタ付きとボルスタレスの構造影響を調査するため、車両諸元

を統一して現車試験を行った。主要諸元を Table.2, 現車試験の測定車両と PQ 測定軸を Fig.7 に示す。

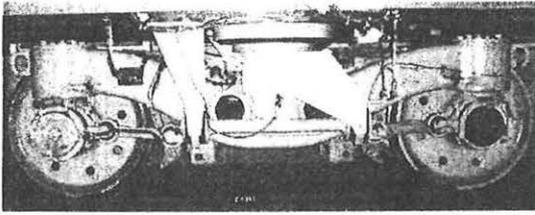


Fig.6 FS569 test bolster bogie truck

Table.2 Test bogie parameter

	ボルスタ付き台車	ボルスタレス台車
車体質量	15.5ton	
空気ばね	φ 480	φ 470 異方性空気ばね
自動高さ調整弁	小流量タイプ	
差圧弁	応荷重差圧弁	
軸ばね	柔剛性タイプ：約 900kN/m テーパコイルばね	

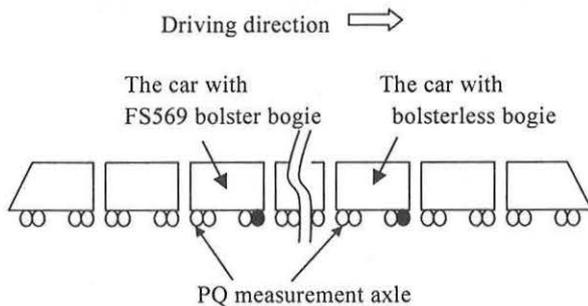


Fig.7 Test car train set

### 3.3 ボルスタ付き台車とボルスタレス台車の輪重, 横圧, 脱線係数比較

曲線半径 250m, カント 87mm, カントでい減倍率 470 倍の区間で, ボルスタ付き台車とボルスタレス台車の, 輪重変動比較を行った。その結果, 所内一両モデル試験と同様, ボルスタ台車とボルスタレス台車において, 輪重抜け割合は同程度であることを確認した。

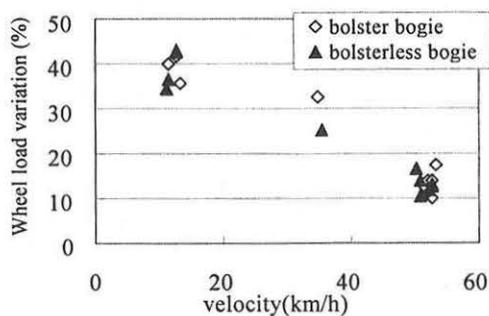


Fig.8 Wheel load variation comparison between bolster bogie and bolsterless bogie

曲線 R299, 円曲線長さ 326m, カント 67, スラック 9mm, カントでい減倍率 750 倍の曲線で, 速度 10km/h で走行した場合の, ボルスタ付き台車とボルスタレス台車の横圧比較を行った。なおこの時の内軌側脱線係数は約 0.65 であった。

本図から円曲線区間中の横圧はボルスタ有無にかかわらず, ほぼ同一であることが分かる。本曲線においては, 緩和曲線でボルスタ付き台車とボルスタレス台車で若干の相違が見られた。

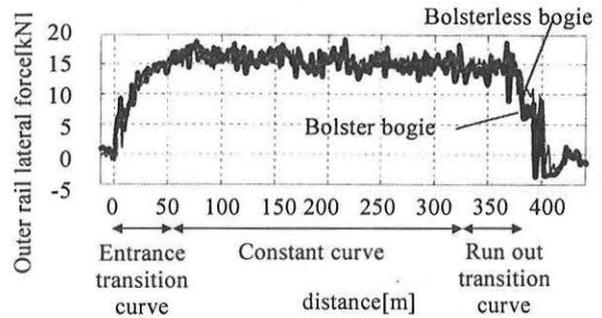


Fig.9 Lateral force comparison between bolster bogie and bolsterless bogie

地下鉄路線内のさまざまな条件の曲線を, 通常速度と速度 10km/h で走行した場合の, ボルスタ付き台車とボルスタレス台車の脱線係数比較結果を行った。

Fig.10 は, 曲線半径と外軌脱線係数の関係を示す。曲線半径が小さいほど, ボルスタ有無に関わらず, 高い脱線係数が発生する傾向がある。しかし曲線条件が厳しい曲線については, 塗油を行っている場合が多いため, ばらつきが大きくなる。

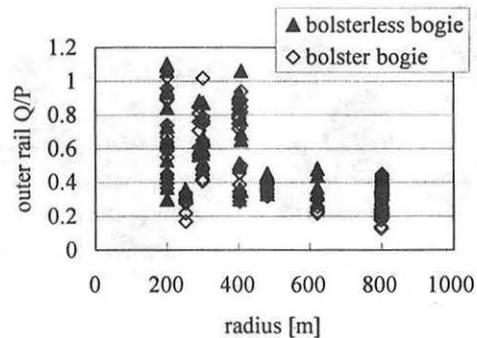


Fig.10 Derailment coefficient of each curve radius

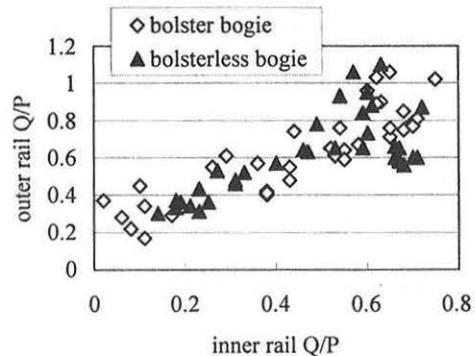


Fig.11 Relation between the outer rail and inner rail Q/P

Fig.10の結果のうち、R300以下の曲線について、横軸に内軌の脱線係数、縦軸に外軌の脱線係数をプロットした結果をFig.11に示す。

内軌の脱線係数を、車輪・レール間の摩擦係数と考えると、外軌の脱線係数は、摩擦係数に概ね比例している。そしてボルスタ有無に関わらず、この傾向に差はないことが分かる。

#### 4. 10000系用FS777新形式台車

##### 4.1 10000系車両用FS777新形式台車

これらのベンチ試験、現車試験の結果から、ボルスタ構造導入により、走行安全性を維持しつつ、輪重調整の容易化が可能となることを確認したため、東京メトロ有楽町・副都心線用の新造車両10000系および、東京メトロ南北線9000系5次車新造車両は、ボルスタ付き台車を採用することとした。Fig.12にFS777台車とその特徴を示す。

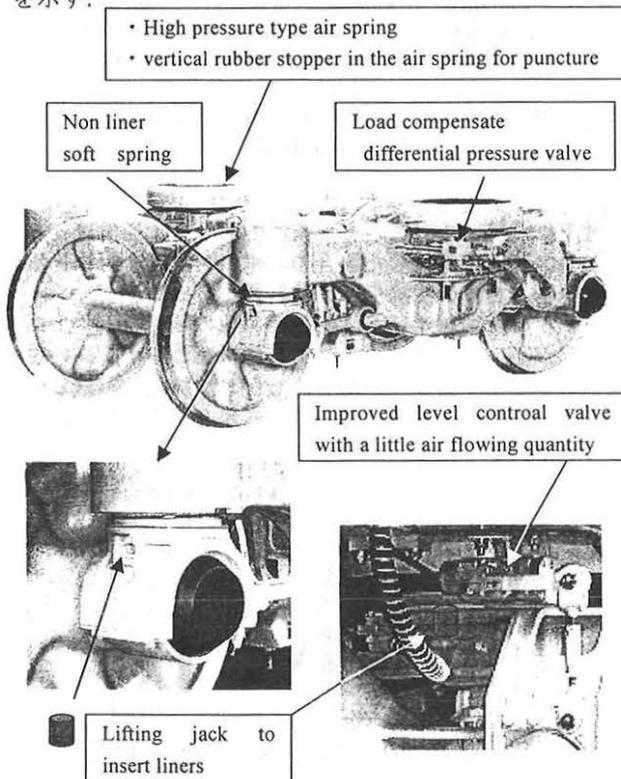


Fig.12 Tokyo Metro 10000 series FS777 bogie truck

FS777台車は、従来の輪重変動抑制技術である、応加重差圧弁、小流量タイプの高さ調整装置、軸ばね柔軟化を行い、輪重調整時のライナ交換作業容易化のため、軸箱、ゆれまくらに油圧ジャッキ座<sup>(4)</sup>を設けている。また空気ばねパンクに備えパンクストッパー構造<sup>(2)</sup>を採用しており、1車両のすべての空気ばねがパンクしても安全に走行できる。

##### 4.2 FS777新形式台車の現車試験結果

本車両を用いて、FS569ボルスタ付き試験台車と同一条件で走行した結果をFig.13に示す。本図より、FS777台車は、FS569ボルスタ付き試験台車と同等で、良好な曲線通過性能を有することを確認した。

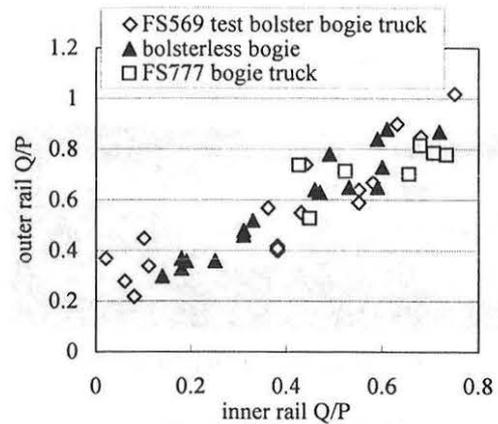


Fig.13 FS777 Bogie truck derailment coefficient

#### 5. まとめ

ボルスタ付き台車とボルスタレス台車について、ベンチ試験と現車試験を行い、輪重調整の容易性、緩和曲線通過時の輪重変動、脱線係数について比較検証を行った。

その結果、カントで減倍率が小さく、急曲線の多い地下鉄においては、ボルスタ付き台車とボルスタレス台車では、緩和曲線通過時の輪重変動、脱線係数は同等であった。輪重調整については、ボルスタ付き台車の方が、連結棒長さ調整時の輪重変化が、ボルスタレス台車よりも少なく、輪重調整が容易であることが分かった。

今回開発したFS777台車は、これまで開発してきた輪重変動抑制技術に加え、輪重調整容易化を図るため、ボルスタ付きとした。

FS777台車は、輪重調整容易化により、ボルスタレスの他形式台車よりも、静止輪重アンバランスのばらつきが少なく、緩和曲線出口の輪重変動が改善されていることが予想される。筆者らは、地上側から全車両のPQ値を測定する地上監視装置の開発を行っているが、今後この研究の中で、静止輪重アンバランスと曲線通過性能について、検証していく。

#### 参考文献

- 1) 留岡, 鹿田, 加部, 生方, 仲田, 佐藤, 下川, 岡本: 空気ばね系が輪重変動に与える影響, 日本機械学会第10回交通・物流部門大会講演論文集, No.2211,2001.12.5
- 2) 留岡, 加部, 富岡, 栗原, 佐藤, 中居, 下川: 空気ばね系が輪重変動に与える影響(第2報), 日本機械学会第12回交通・物流部門大会講演論文集 No.1205,2003.12.9
- 3) 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
- 4) 栗原: 営団地下鉄における最近の台車開発, 鉄道車両と技術, No.80,p16-22,2003
- 5) 留岡, 荻野, 加部, 仲田, 根来, 後藤, 松井: 鉄道車両における輪重調整装置の開発, 2001年度機会学会年次大会講演論文集, p311-312
- 6) 留岡, 荻野: 鉄道車両における静止輪重バランス調整について, 鉄道車両と技術, No.73,p7-14