

後軸に独立車輪を用いた非対称台車の運動性能に関する基礎研究

Fundamental Study on Dynamic Behavior of Unsymmetrical Suspension Bogie with Independently Rotating Wheels

宮内栄二/Eiji Miyauchi・住友金属テクノロジー(株) 鉄道産機事業部 車両試験室 室長付

谷本益久/Masuhisa Tanimoto・住友金属テクノロジー(株) 鉄道産機事業部 車両試験室 室長

松本 陽/Akira Matsumoto・運輸省 交通安全公害研究所 鉄道技術・評価研究室 室長

佐藤安弘/Yasuhiro Sato・運輸省 交通安全公害研究所 鉄道技術・評価研究室

大野寛之/Hiroyuki Ono・運輸省 交通安全公害研究所 鉄道技術・評価研究室

須田義大/Yoshihiro Suda・東京大学 生産技術研究所 助教授

前城正一郎/Seichiro Maeshiro・三菱自動車(株)

要 約

車両の走行安定性と曲線通過性をともに向上させる台車について、後軸に独立車輪を用いた新しい概念に基づく操舵台車を提案した。本研究はこの提案台車を試作し、台車試験機上でその性能を評価することを目的とする。評価に際しては従来台車との性能比較を行うとともに、併せて一車両モデルによるシミュレーション結果との対比も行う。この新方式台車の曲線通過性能の結果を紹介する。

Synopsis

This paper presents the fundamental study on dynamic behavior of unsymmetrical suspension bogie with independently rotating wheels for the trailing axle. The curving performance of this bogie was mainly evaluated with using test stand and was compared with theoretical analysis. Then the results of stand test was agree fairly well with theoretical analysis. And in the sharp curve, curving performance of bogie with it is more superior than that of conventional bogie.

1. はじめに

最近の鉄道車両高速化の進歩は目を見張るものがある。騒音、安全性、乗り心地などの問題をクリアする数々の技術が導入され営業運転を達成しつつある。

一般に、車両の高速走行安定性と曲線通過性の両者の性能向上に対して走り装置としての台車に要求される条件は相反するものであり、使用される用途に応じてどちらかの条件を優先する設計となる。

これに対して走行安定性と曲線通過性をともに向上させる台車について、筆者の一人は後軸に独立車輪を用いた新しい概念に基づく操舵台車を提案し、理論解析を行いそれらの性能をともに満足できることが可能であることを明らかにした¹⁾。

そこで本研究はこの提案台車を試作し台車試験機上でその性能を評価することを目的とする。評価に際しては従来台車との性能比較を行うとともに併せて一車両モデルによるシミュレーション結果との対比も行う。今回は特にこの

新方式台車の曲線通過性能の一部が明らかにされたので結果を紹介する。

2. 実験概要

2-1 台車試験機

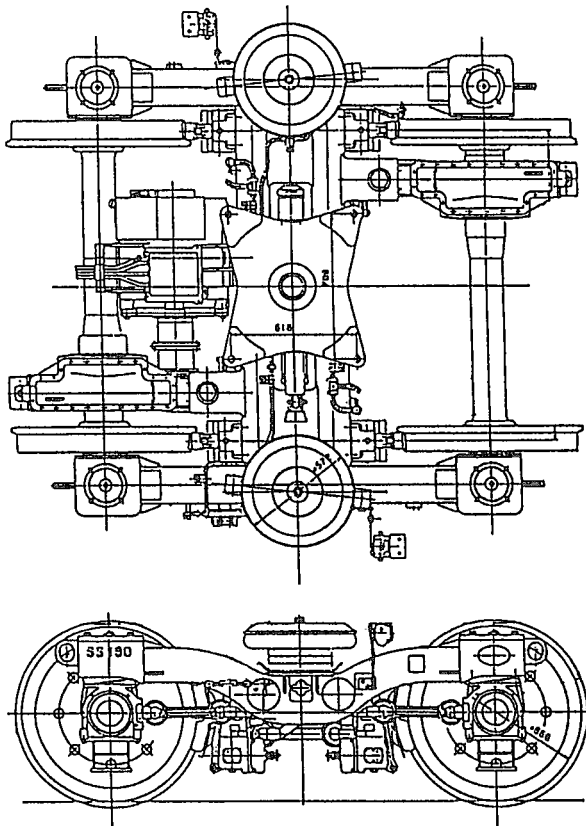
実験は運輸省交通安全公害研究所に設置されている曲線走行状態を模擬できる半車体モデル台車回転試験機²⁾を用いて行われた。この試験機では曲線通過時の内・外軌レールの行路差と曲率に相当するアタック角を同時に軌条輪に設定することにより曲線状態を模擬することができる。

2-2 実験台車

本実験に用いた台車はモノリンク式ボルスタレスを基本構造としその概略を第1図に示す。なお、後軸については一体輪軸と第2図に示す車輪のボス部に軸受けを設けた独立回転車輪付き輪軸の2種類を履き替え装備できる構造となっている。これにより後軸を履き替えることで従

来台車や今回提案した後軸独立輪軸台車を実現することができる。更にモノリンク／軸箱系の前後支持剛性を変更することにより台車の前後輪軸の軸箱支持剛性に非対称性を与えることができる。

第1表に今回の実験に使用した台車の主諸元を示す。なお車輪踏面形状はまず基本的なところから確認するため、1/20円錐踏面とした。



第1図 試験台車の概略図
Fig. 1 Test bogie dimension

第1表 試験台車と試験機の主仕様

Table 1 Characteristic of test bogie and rail

Axle suspension stiffness	Longitudinal	$1.23 \times 10^7 \text{ N/m/box}$
	Lateral	$0.49 \times 10^7 \text{ N/m/box}$
Wheel tread		1/20 conical/box
Rail profile		50N
Wheel base		1900mm
Gauge		1467mm
Slack		15mm
Curve radius		$\infty \sim 250\text{m}$

2-3 実験の方法

実験では、台車が直線走行状態から所定の曲線に入り、再び直線走行へ戻る運転パターンで行うもので、台車試験機に各曲線半径に相当する左右軌条輪速差および軌条輪アタック角を同時タイミングで付与した。

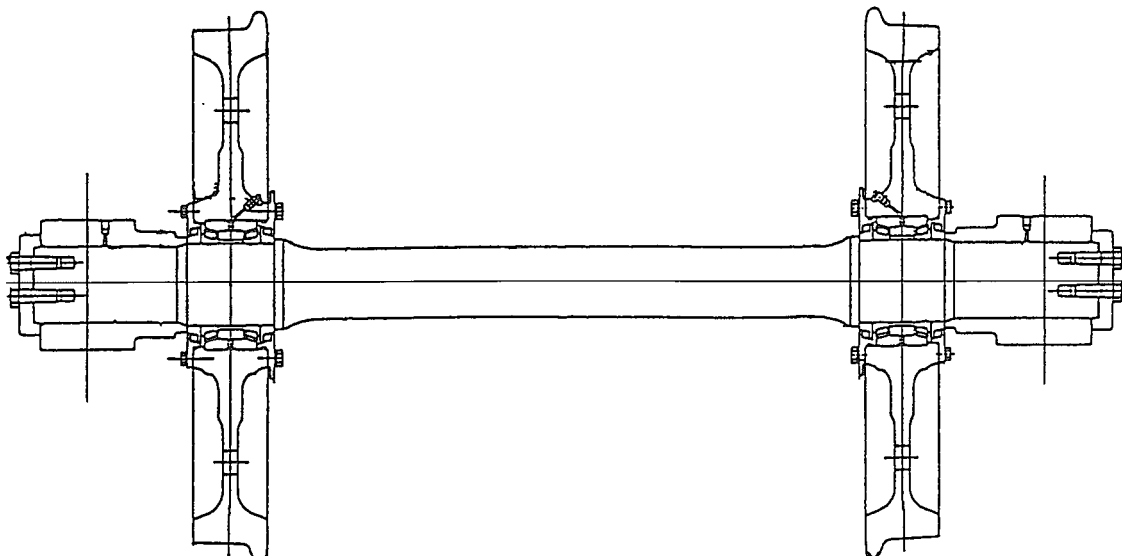
台車は曲線半径に応じて様々な姿勢をとることとなり、輪軸の左右変位、アタック角等の台車姿勢および輪重、横圧、接線力(車軸のねじり)等の車輪に作用する力を測定することにより台車の曲線通過性能を評価した³⁾。

3. 実験結果と考察

実験では従来台車と後輪独立台車の曲線通過性能を比較するため特に前軸の外軌横圧とアタック角、後軸の左右変位と接線力に着目した。

3-1 前軸の外軌横圧

前軸の外軌横圧について第3図に実験結果とシミュレーション解析結果を示す。図から分かるようにこれらの



第2図 独立回転輪軸
Fig. 2 Independently rotating wheelset

台車の性能を分ける領域が曲線半径に対して大きく4つ存在する。

(A) 領域：およそ曲線半径500m以下の急曲線区間

従来台車に比べて後輪独立台車で横圧が低くなる。これは、第5図に示すように通常台車では後軸接線力がR500m以下で負側にシフトし第6図の模式図に示す方向に台車を旋回させるモーメントとなる。このモーメントはフランジ力を増加させ、その結果従来台車では後輪独立台車に比べて横圧が大きく発生することが分る。

(B) 領域：曲線半径500m～900mの区間

従来台車に比べ後輪独立台車が僅かに横圧が大きい。これは従来台車の後軸接線力が半径500m以上で(A)と逆に正側にシフトすることによる。

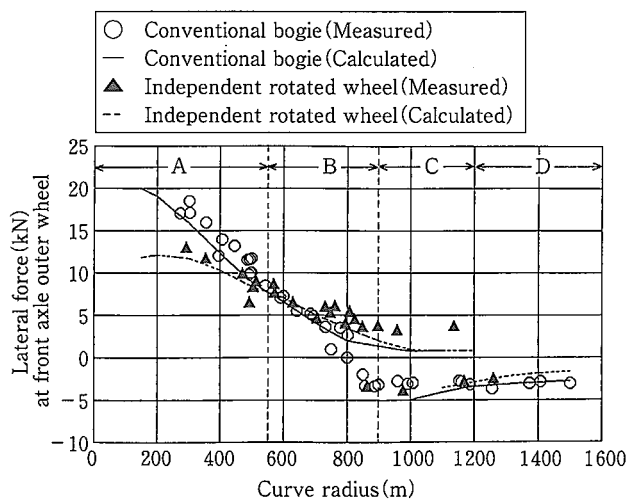
(C) 領域：曲線半径900m～1200mの区間

フランジ接触と非接触を繰り返す領域にある。このため横圧の向きが正・負側ともに現れている。この現象は、車輪がフランジ接触を起こしたとき、接触点にフランジ力が発生し、いったん内側に移動した輪軸がまた本来とるべき左右変位に位置に戻ろうとして外軌側に変位する。これを繰り返すことによって起こる現象である。

(D) 領域：曲線半径1200m以上の区間

全くフランジ接触をしない領域であり、輪径差が十分とれている状態である。このとき横圧の向きは負側である。

このことから後輪独立台車(提案台車)は曲線半径500m以下の急曲線においては特に曲線通過性に優れることが分る。



第3図 曲線半径と先頭外軌に発生する横圧との関係

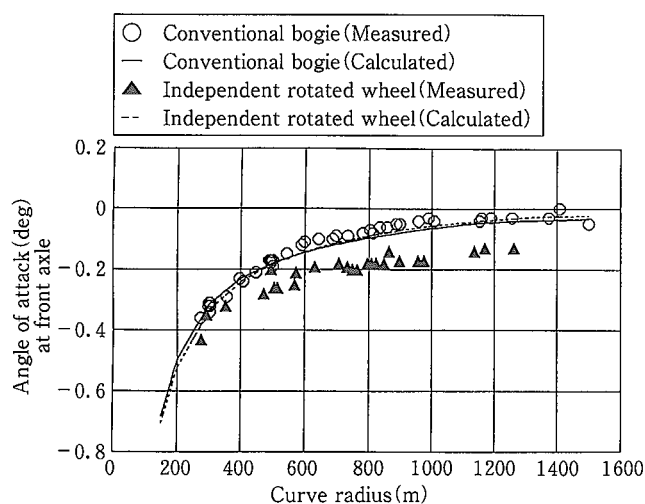
Fig. 3 Lateral force of front axle outer wheel

3-2 前軸のアタック角

前軸のアタック角の比較を第4図に示す。

実験では従来台車は図に示すように解析結果と非常に一致しているが、後輪独立台車では曲線半径400m以上において約0.05～0.1deg大きくでる結果となった。これは、

本領域の曲線半径においては、従来台車の後軸が正の接線力を持ち台車のアタック角を減少させる方向に台車を回転させるべく台車内の力のつり合いが成立していると考えられるが(第5図の後軸接線力参照)、これに対して後輪独立回転輪軸では、この接線力が働かないため結果的に先頭軸のアタック角が増しているものと考えられる。この影響により後輪独立輪軸が従来台車に比べて横圧がこの領域でわずかに増加しているのは前項B領域で説明した内容と合致する。

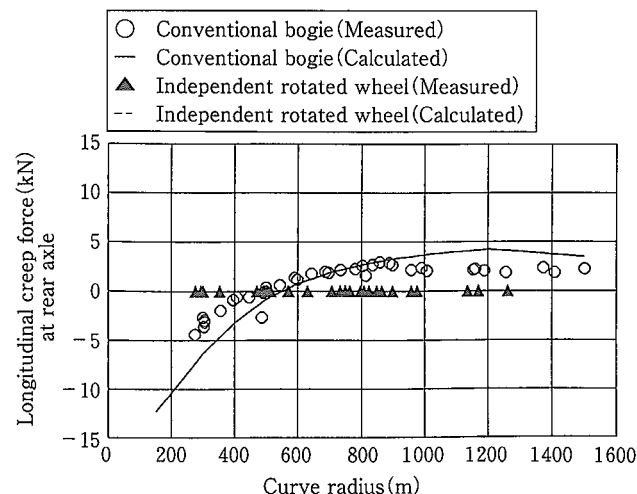


第4図 曲線半径と先頭軸のアタック角との関係

Fig. 4 Angle of attack at front axle

3-3 後軸の接線力

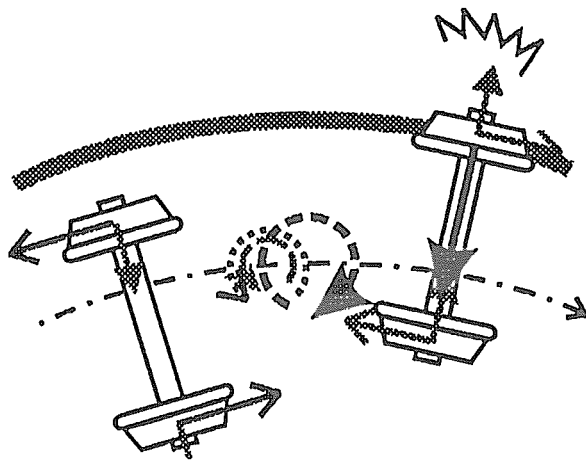
第5図に後軸の車輪と軌条輪間に働く接線力を測定した結果を示す。従来台車ではR500mの曲線半径を境にして接線力の符号が逆転している。この後軸の接線力は台車をヨー方向に回転する力として発生し、その結果特にR=500m以下の急曲線では先頭軸外軌側の横圧を増加させる。これに対し後輪独立台車においては、接線力が発生しな



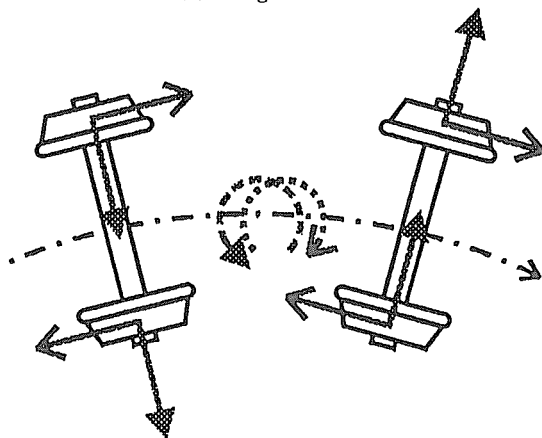
第5図 曲線半径と後軸の縦方向に働く接線力の関係

Fig. 5 Longitudinal creep force at rear axle

い構造であるため、後軸接線力による影響がなく、急曲線において従来台車より横圧が小さくなる。このことより、急曲線になるほど後輪独立台車の方が横圧に対して有利となることを裏付けている。



(a) Flange contact



(b) Non-flange contact

第6図 曲線走行中に発生する力模式図¹⁾

Fig. 6 Curving motion

3-4 台車姿勢

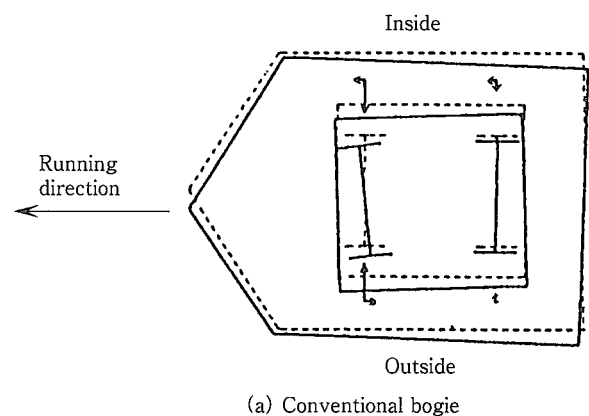
曲線通過時の輪軸、台車の姿勢および輪軸に働く力をアニメーション表示した結果を第7図(a), (b)に示す。破線は静止時の中立位置、実線は曲線通過時の姿勢を示す。なお、横圧と接線力の方向と大きさを実線で示す。走行方向は半車体モデルの後台車である。図は代表的は曲線半径300mでの条件である。

第2表に曲線半径300mでの両者の測定値を比較する。従来台車に比べ後輪独立台車では、前軸の外軌横圧が減少し、後軸左右変位が大きい傾向にあり、曲線通過性能の向上が見られる。

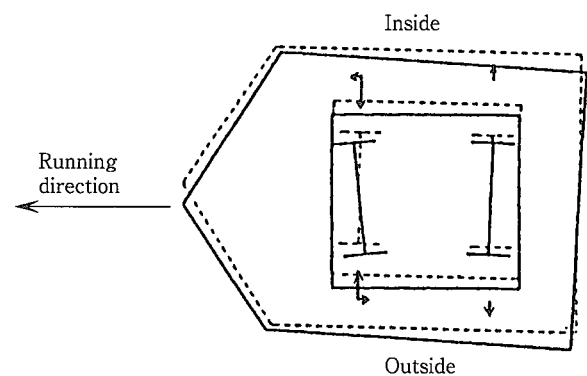
第2表 台車の姿勢測定結果(曲線半径300m)

Table 2 Measured attitude of bogie (at 300m radius)

	Conventional bogie	Independent rotated wheel
Lateral force at front axle outer wheel	17kN	13kN
Longitudinal creep force at rear axle	2.9kN	0kN
Angle of attack at front axle	0.32deg	0.35deg
Wheel lateral displacement at front axle	15.4mm	15.7mm
Wheel lateral displacement at rear axle	8.4mm	10.8mm



(a) Conventional bogie



(b) Independent rotated wheel

第7図 台車の姿勢測定結果(曲線半径300m)

Fig. 7 Measured attitudes of bogie (at 300m radius)

4. あとがき

鉄道車両用台車の急曲線通過性と高速走行安定性の相反する性能を両者満足させるために新しい概念に基づく台車を提案した(後輪独立非対称台車)。今回新たに新方式台車を製作し、台上回転試験機を用いて提案台車の運動性能に関する基礎研究を行い、特に曲線通過性能の実態が明らかとなってきた。また、実験結果と理論解析結果を対比し、輪軸に働く力(輪重、横圧、接線力)、台車姿勢(アタック角、輪軸左右変位)についてはほぼ一致することを確認した。

また、後輪独立台車においては特に急曲線通過時の横圧が従来台車より下がることが明らかとなり、後軸に独立回転車輪を採用したことによる効果が現れたと考える。

前軸のアタック角は両者ともあまり差はなく、逆に僅か後輪独立台車がアタック角が大きい。理論解析でも両者の差はない。これは実験では1/20円錐踏面を使用しているため輪径差が大きく不足ステアリング不足のためと考えられる。今後、円弧踏面形状にて輪径差を確保した場合にその効果を確認する。

また、曲線通過性能に大きく影響を及ぼす前軸の軸箱前後方向を柔支持(非対称支持)および円弧踏面採用の台車の組み合わせにより、その効果の確認と併せて直線走行安定性の確認をおこない最適な台車諸元を決定していく。



宮内 栄二 / Eiji Miyauchi

住友金属テクノロジー(株)
鉄道産機事業部 車両試験室
室長付

(問合せ先: 06(466)6195)

参考文献

- 1) 須田ほか: No. 97-13機械学会・第6回交通物流部門大会
講演論文集 1997. 7, p. 99~p. 102
- 2) 松本ほか: No. 97-13機械学会・第6回交通物流部門大会

- 講演論文集 1997. 7, p. 95~p. 98
- 3) 佐藤ほか: D&D'96, No. 96-5(I) 機械学会・計測制御講演
論文集(A) 1996. 8, p. 375~p. 378