

輪重・横圧を利用した車軸軸受に作用する荷重の推定法

高橋 研* 岡村 吉晃* 下村 隆行**
池田 博志*** 永友 貴史*

Load Estimation of Axle-box Rolling Bearings from Wheel Loads and Lateral Forces

Ken TAKAHASHI Yoshiaki OKAMURA Takayuki SHIMOMURA
Hiroshi IKEDA Takafumi NAGATOMO

Axle journal roller bearings take radial loads and axial loads. These loads fluctuate widely and quickly while trains are running. Therefore, they should be assessed precisely to design bearings, axle boxes, and axle journals. In this work, we analyzed the measured wheel loads and lateral forces to estimate both the radial loads and the axial loads of the axle journal roller bearings equipped on running train. Consequently, it became apparent that radial loads while a train is running, range up to approximately three times as large as those of a train at a stop. It was also evident that the fluctuation of radial loads and axial loads increase with an increase in train speed.

キーワード：車軸軸受，輪重，横圧，ラジアル荷重，アキシアル荷重，荷重推定

1. はじめに

鉄道車両の車軸軸受とその周辺部分を設計するためには、車軸軸受に作用する荷重を正確に把握することが重要である。一般に、走行する車両の車軸軸受に作用する荷重は、レールの継目や凹凸による衝撃力、軌道不整などに起因する変動力の影響により、静止状態において軸受に作用する荷重より大きくなる。そのため、軸受の設計に当たっては走行する車両の軸受に作用する荷重を、単純に静ラジアル荷重の a 倍 (a は最高速度に依存する変数) と見積もる方法が用いられてきた¹⁾。しかし、走行する車両の速度や軌道状態は変化するため、前記手法により見積もられた荷重は実際に作用するものと異なると考えられる。

走行する車両の車軸軸受に作用する荷重を直接測定することは困難である。そこで、すでに測定方法が確立し比較的容易に測定できる輪重・横圧データから、車軸軸受に作用する荷重を推定する方法について検討した。ここではまず、その推定法を示し、輪重・横圧測定用のPQ輪軸を装着した台車を用いて現車走行試験を行い、これにより得られた輪重・横圧データと試験車両の寸法・重量等の諸元から走行する車両の車軸軸受に作用する荷重を推定した例を示す。

2. 車軸軸受に作用する荷重の推定方法

2.1 車軸軸受に作用する荷重

車軸軸受は軸箱に対する車軸の回転を許容しつつ、軸箱と車軸の間で荷重を伝達する装置である。

車軸軸受に作用する荷重を図1に示す。車両の上下方向の荷重は、車軸軸受のラジアル荷重 F_r として作用し、軌道不整や車両動揺等による左右方向の荷重は、アキシアル荷重 F_a として作用する。

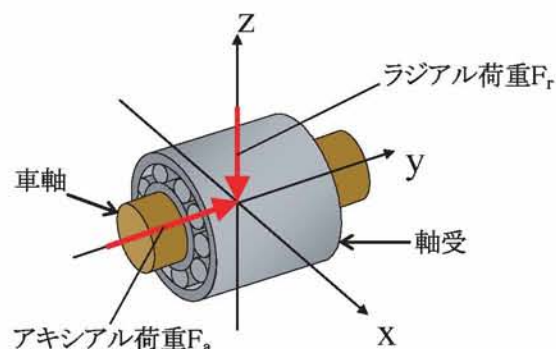


図1 車軸軸受に作用する荷重

* 材料技術研究部 (潤滑材料)

** 車両構造技術研究部 (車両運動)

*** 前 材料技術研究部

特集：車両技術

2.2 輪重・横圧値の算出

輪重・横圧値は、最も容易な測定法である間欠輪重・間欠横圧法²⁾により測定する。PQ輪軸に貼られたひずみゲージの出力電圧波形の例を図2に示す。輪重は車輪180°回転毎に、正負に振り分けられた波形のピーク値として出力される。同様に横圧も車輪180°回転毎に、輪重に対応したピーク値として出力される。

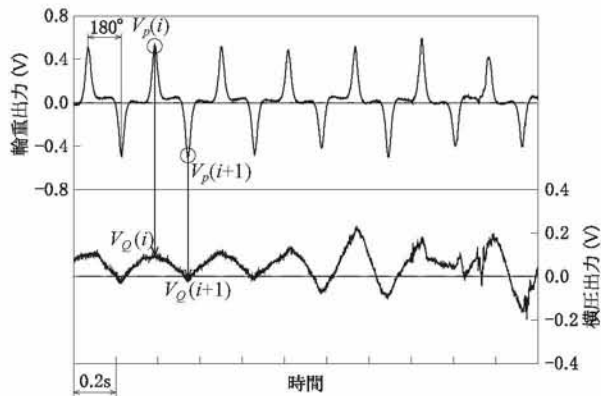


図2 輪重・横圧値の測定例

上記のようにして得られた出力電圧から以下の手順で輪重と横圧値を算出する。すなわち、始めに、図中で○印を付したように輪重のピークを探索する。その出力電圧のピーク値を $V_p(i)$ とする。次に、各輪重ピークに対し、その時点での横圧の出力 $V_q(i)$ を求める。そして、輪重値 $P(i)$ 、横圧値 $Q(i)$ をそれぞれ、以下のように求める。

$$P(i) = \alpha \cdot |k(i)| \quad (1)$$

$$Q(i) = \begin{cases} \beta \cdot V_q(i) & (k(i) \geq 0) \\ -\beta \cdot V_q(i) & (k(i) < 0) \end{cases} \quad (2)$$

ただし、

$$k(i) = V_p(i) - \frac{1}{n} \sum V_p(i)$$

ここで α 、 β はそれぞれ輪重・横圧値の校正係数、 n は測定した輪重のピークの総数、 i は1番目から順に振ったデータの番号 ($i=1, 2, 3, \dots, n$) である。

このように、間欠輪重・間欠横圧法を用いた輪重・横圧測定により、車輪180°回転毎の輪重値と横圧値を得ることができる。

2.3 車軸軸受に作用する荷重の算出

図3に走行する車両の輪軸に作用する各荷重を示す。 F_r は台車枠から軸箱(車軸軸受)に作用する上下方向の荷重であり、軸受のラジアル荷重に相当する。 F_a は台車枠から軸箱(車軸軸受)に作用する左右方向の荷重であり、軸受のアキシャル荷重に相当する。また、 F_p は車輪がレールから受ける輪重の反力であり、 F_Q は車輪がレールから受ける横圧の反力である。 W_j は輪軸に作用する重

力(一輪軸当たりのばね下重量)である。なお、添え字の1, 2はそれぞれ1位側, 2位側を示す。また図の上から下向きを正, 左から右向き(1位側→2位側)を正とし, 図中で力の便宜上, 全て正方向の矢印で示している。図中の L_g は車輪/レールの接触点間隔, L_b は車輪/レールの接触点から車軸軸受中心までの距離, L_w は車輪半径である。

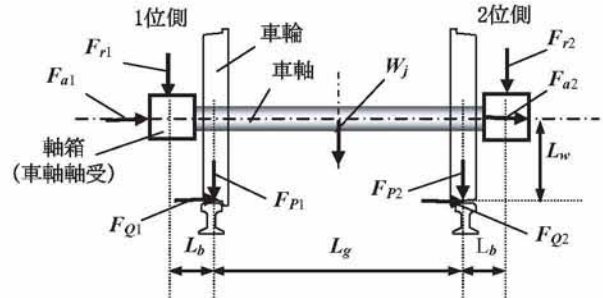


図3 車軸に作用する荷重

ここで、上下方向の荷重の釣り合いから

$$F_{r1} + F_{r2} + W_j + F_{p1} + F_{p2} = 0 \quad (3)$$

次に、左右方向の釣り合いから

$$F_{Q1} + F_{a1} + F_{Q2} + F_{a2} = 0 \quad (4)$$

さらに、車輪とレールの接触点(1位側)周りのモーメントの釣り合いから

$$-L_b \cdot F_{r1} + (L_g + L_b) F_{r2} + L_w (F_{a1} + F_{a2}) + \frac{1}{2} L_g \cdot W_j + L_g \cdot F_{p2} = 0 \quad (5)$$

式(4)から

$$F_{a1} + F_{a2} = -(F_{Q1} + F_{Q2}) \quad (6)$$

一輪軸に作用する横圧の反力を1, 2位側それぞれの軸受が均等に負担すると仮定すると、

$$F_{a1} = F_{a2} = -\frac{1}{2} (F_{Q1} + F_{Q2}) \quad (7)$$

次に、式(5)および式(6)から

$$-L_b \cdot F_{r1} + (L_g + L_b) F_{r2} - L_w (F_{Q1} + F_{Q2}) + \frac{1}{2} L_g \cdot W_j + L_g \cdot F_{p2} = 0 \quad (8)$$

式(3)および式(8)から

$$F_{r1} = -\frac{L_g + L_b}{L_g + 2L_b} F_{p1} - \frac{L_b}{L_g + 2L_b} F_{p2} - \frac{L_w}{L_g + 2L_b} (F_{Q1} + F_{Q2}) - \frac{1}{2} W_j \quad (9)$$

$$F_{r2} = -\frac{L_b}{L_g + 2L_b} F_{p1} - \frac{L_g + L_b}{L_g + 2L_b} F_{p2} + \frac{L_w}{L_g + 2L_b} (F_{Q1} + F_{Q2}) - \frac{1}{2} W_j \quad (10)$$

式(7)、式(9)、式(10)を用いて、輪重・横圧値より軸受のラジアル荷重、アキシャル荷重を算出できる。ただし、算出されたラジアル荷重、アキシャル荷重は連続値ではなく車輪180°回転毎の間欠値である。

3. 車軸軸受に作用する荷重の推定例

3.1 輪重・横圧値の測定

現車走行試験では、輪重・横圧測定用のPQ輪軸を新幹線車両に装備し、2.2節で述べたように間欠輪重・間欠横圧法²⁾により輪重・横圧値の測定を行った。これは、板部がストレートの一体圧延車輪にひずみゲージを貼り付け、その出力から輪重・横圧値を算出するものである。図4に輪重・横圧の測定系を示す。ひずみゲージの出力は、車軸軸端のスリップリングから車両の床下配線を経由し、車上のブリッジボックス・動ひずみ計に送られ、データレコーダに記録した。

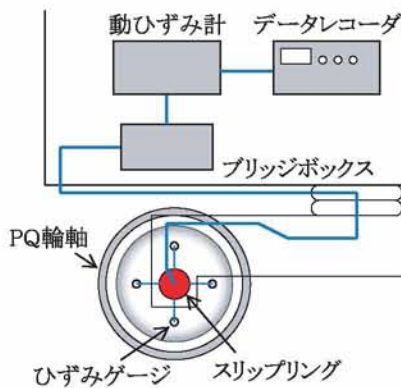


図4 輪重・横圧の測定系

3.2 車軸軸受に作用する荷重の推定結果

2.3節に示した算法により求めた走行中の車両におけるラジアル荷重とアキシャル荷重の一例を図5に示す。図の上段がラジアル荷重、下段がアキシャル荷重であり、試験車両が発車した地点を0kmとし、その後、停車するまでの約8kmの区間（全走行試験区間の一部）のデータである。なお、それぞれの値は静ラジアル荷重に対する比で表す。また、アキシャル荷重については、2.3節で述べたように算出に当たり1,2位側ともに同じ値と仮定して図示した。図中の橙色点線は1章で述べた従来の方法（走行する車両の軸受に作用する荷重を、単純に静ラジアル荷重の定数倍と見積もる方法）により算出した荷重である。

図のように走行中のラジアル荷重は静ラジアル荷重の約1.1倍を中心に変動しており、瞬間的に静ラジアル荷重の2倍程度のラジアル荷重の発生が認められる。このような衝撃的な荷重は、レールの継ぎ目や分岐器、軌道の僅かな不整等に起因する荷重と考えられる。また、ラジアル荷重が平均値を中心として1位側と2位側で逆位相に変化している箇所は、曲線区間であることから車体に作用する超過遠心力によるモーメントと釣り合うように軸ばね力が増減し、その変化量が1,2位側の軸受荷重の負担割合の変化として現れたと考えられる。

アキシャル荷重は、0を中心として正の値では1位側→2位側、負の値では2位側→1位側の向きに荷重が作

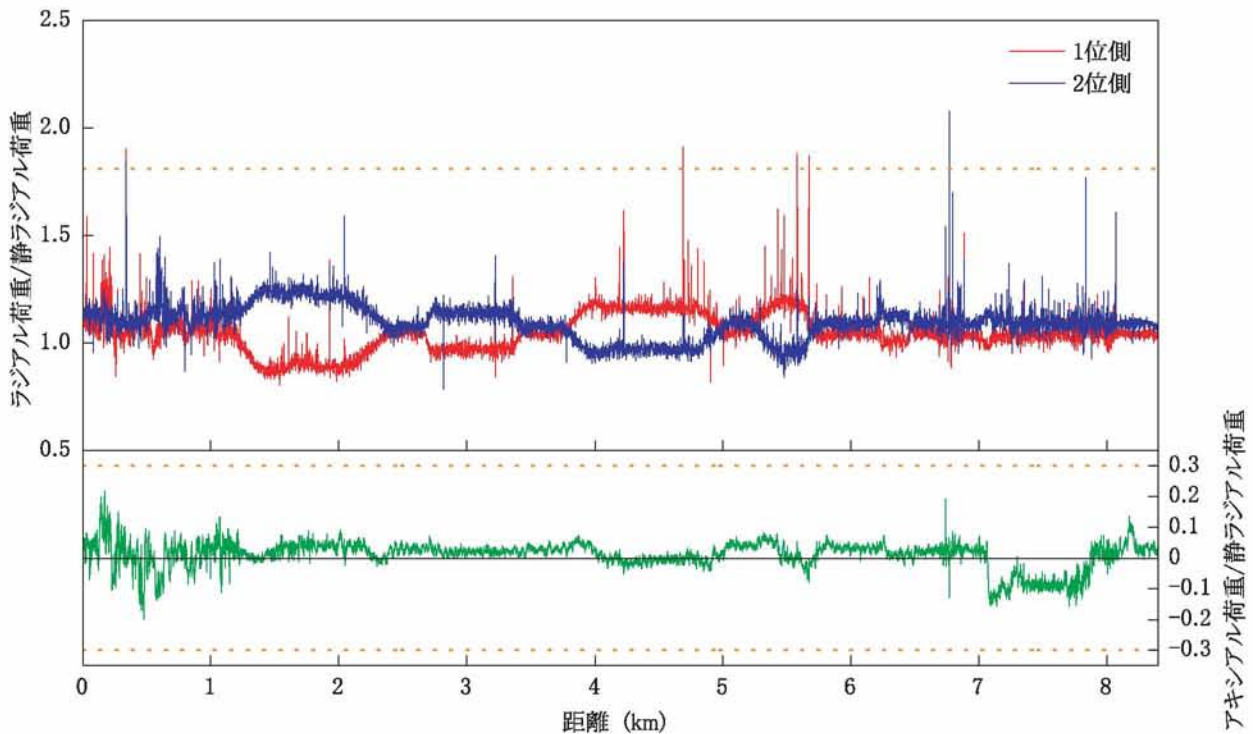


図5 走行する車両に作用するラジアル荷重とアキシャル荷重

特集：車両技術

用していることを示す。図から、走行中のアキシャル荷重は概ね0を中心として変動していることがわかる。図中における荷重変動の範囲はほぼ静ラジアル荷重の20%以内である。発車直後に見られるアキシャル荷重の変動は、分岐器通過における横圧の反力によるものと考えられる。

図に示した試験区間において、2.3節に示した算法により求めた走行中の車両におけるラジアル荷重とアキシャル荷重は、従来の方法により算出した荷重を概ね下回っている。

全走行試験区間における、最高速度に対する速度の比とラジアル、アキシャル荷重の関係を図6に示す。図の上段が1位側のラジアル荷重、中段が2位側のラジアル荷重、下段がアキシャル荷重である。

図よりラジアル荷重の変動は速度の上昇とともに大きくなっていることがわかる。また、速度がある速度（この試験車両においては最高速度の1/2程度）以上になると変動が急激に大きくなり、ラジアル荷重が静ラジアル荷重の3倍程度まで増大することもある。一方、アキシャル荷重の変動も速度の上昇とともに大きくなる傾向が

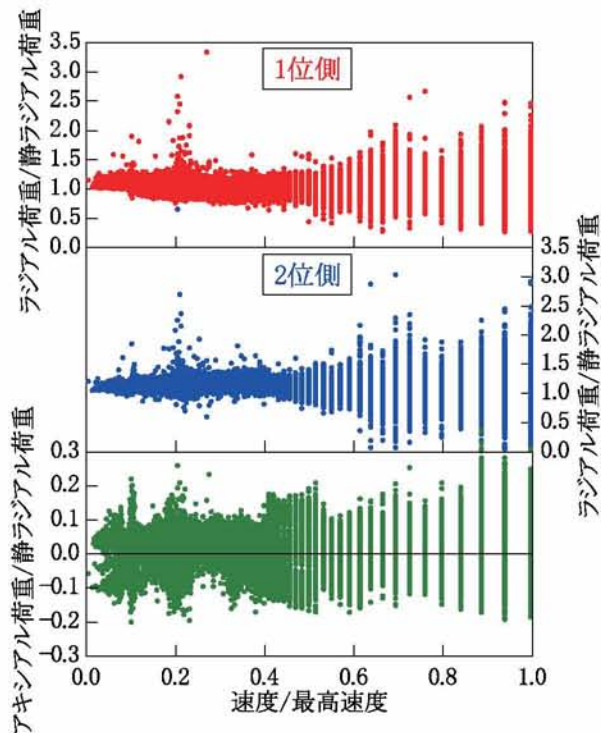


図6 速度とラジアル荷重・アキシャル荷重の関係

認められるが、その程度はラジアル荷重ほど顕著ではない。全走行試験区間におけるアキシャル荷重の変動の範囲はほぼ静ラジアル荷重の30%以内である。なお、速度/最高速度が0.2付近におけるラジアル荷重、アキシャル荷重の比較的大きな変動は分岐器通過に伴う横圧の反力によるものと考えられる。

4. おわりに

輪重・横圧値より、車軸軸受に作用する荷重を推定する方法について検討し、現車走行試験において得られた輪重・横圧の実測値から試験車両の車軸軸受に作用するラジアル荷重・アキシャル荷重を算出した。その結果を以下にまとめる。

- (1) 輪重・横圧の実測値と車両の寸法・重量等の諸元から走行する車両の車軸軸受に作用する荷重を推定する方法を示した。
- (2) ラジアル荷重は、静ラジアル荷重の約1.1倍を中心として変動した。
- (3) 瞬間的に静ラジアル荷重の3倍程度のラジアル荷重の発生が認められる。このような衝撃的な荷重は、レールの継ぎ目や分岐器、軌道の僅かな不整等に起因する荷重と考えられる。
- (4) ラジアル荷重が平均値を中心として1位側と2位側で逆位相に変化している箇所は、曲線区間において車体に作用する超過遠心力によるモーメントと釣り合うように軸ばね力に変化し、その変化量が1, 2位側の軸受荷重の負担割合の変化として現れたと考えられる。
- (5) アキシャル荷重は概ね0kNを中心として変動し、その範囲はほぼ静ラジアル荷重の30%以内である。
- (6) ラジアル、アキシャル荷重の変動は速度の上昇とともに大きくなる傾向が認められた。

文献

- 1) 社団法人 日本鉄道車輛工業会：鉄道車両-車軸軸受の定格寿命計算方法, JRIS, J0453, 2009
- 2) 佐藤潔, 久保木辰夫, 神戸英樹：間欠・連続併用に対応した輪重・横圧測定処理システムの開発, 鉄道総研報告, Vol.22, No.2, pp.47-52, 2008