

S2-3-4 PQ 輪軸を用いない車輪／レール接触力の測定方法 第2報

(測定精度向上の検討(車輪・レール接触点の影響等))

[機] 松本 陽, [土] 佐藤 安弘, [機] 大野 寛之 (交通安全環境研)

留岡 正男, [機] 松本 耕輔, 荻野 智久, 栗原 純 (東京地下鉄)

[機] 谷本 益久, 岸本 康史 (住友金属テクノロジー)

佐藤 與志, [機] 中居 拓自 (住友金属)

Assumption of Lateral/vertical/rail-interaction-force by simplified method
(2nd report: Advanced research in new measuring method of derailment coefficient)

Akira Matsumoto, Yasuhiro Sato, Hiroyuki Ohno (National Traffic Safety and Environment Laboratory)

Masao Tomeoka, Kosuke Matsumoto, Tomohisa Ogino, Jun Kurihara (Tokyo Metro)

Masuhisa Tanimoto, Yasufumi Kishimoto (Sumitomo Metal Technology)

Yoshi Sato, Takuji Nakai (Sumitomo Metal Industries)

A new measuring method introduced in this paper can measure contact forces between wheel and rail without special wheelsets with slip rings or telemeters. In this method the lateral contact force is measured from the lateral distortion of wheel measured by several non-contact gap sensors. The measured values are small, but accurate value of lateral force can be calculated by the compensation of axial movement and inclination of wheelset. Normal and longitudinal contact forces are also measured from the strain of parts of the truck except wheelsets. According to the results of full-size truck stand tests and train running tests, we have verified that the new method has sufficient accuracy of measuring compared with conventional methods.

キーワード：鉄道, 脱線係数, 車輪／レール接触, 接触力, 計測

Keyword: Railway, Derailment coefficient, Wheel/rail contact, Contact force, Measurement

1. まえがき

鉄道車両の走行安全性を評価する指標の一つとして脱線係数がある。これらを計測するためにはPQ輪軸という特殊な輪軸が必要となる。しかしながら、このPQ輪軸は製作するために大変多くの工数を要し、また、計測にはスリップリングやテレメータを用いる必要から非常に取り扱いが難しい。さらに、車輪に貼り付けられたひずみゲージの測定用配線を車軸の中央を貫通させる必要があり、長期的には車軸の強度上の問題から使用できない。また、スリップリングは接点部分の摩耗により、これも長期的な使用が難しい。

このため、筆者らは、非接触センサを用いて車輪・レール間に働く力を簡便に計測する方法を研究して来た。この方法によれば、回転部分にセンサを設置せずに測定できるので、脱線係数を頻繁に、さらには常時測定することも可能になる。

前報では、台上試験や低速の構内走行試験により、新しい

測定方法の検証をした結果について報告したが、本報では、営業線での走行試験結果及びその後に行った有限要素法を用いた車輪変形解析による精度向上に関する考察結果などについて報告する。

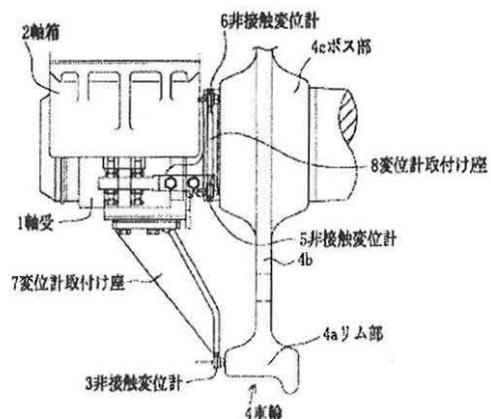


図1 センサ取付図

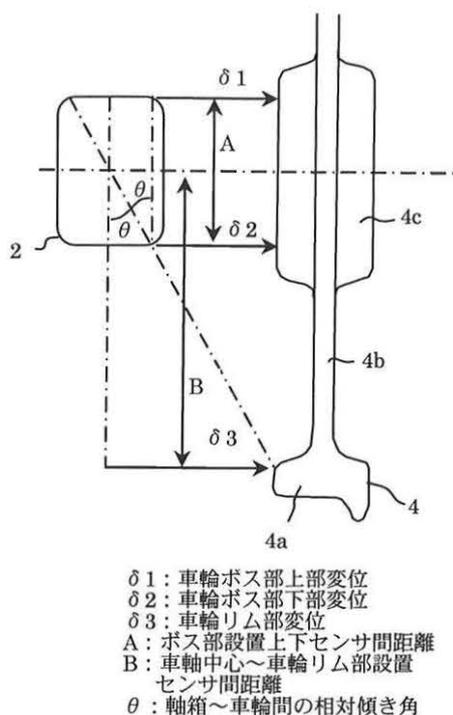


図2 センサ取付位置

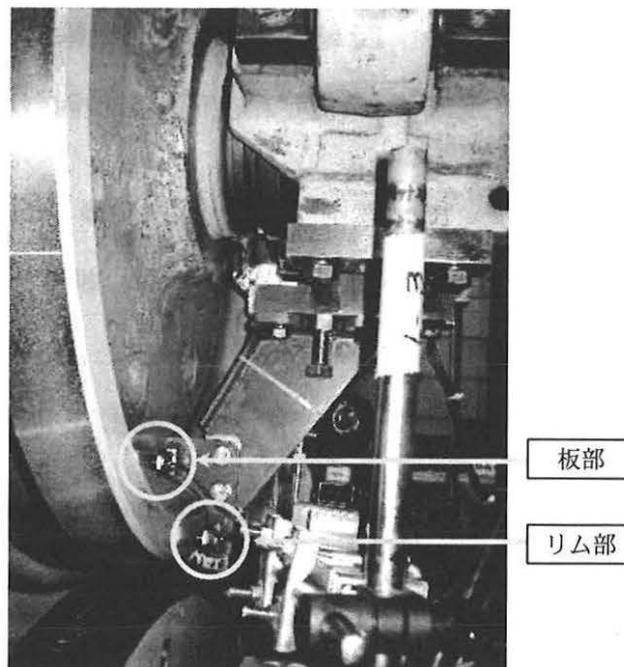


図3 センサ取付状況

2. 横圧の測定方法

今回提案する測定方法は、図1に示すように、車輪の曲げ変位量を台車側に取り付けた非接触変位計により直接検出するもので、曲げ変位量は、軸箱2に取り付けた渦電流式変位計3により、車輪リム部4aで測定する。

測定原理は単純であるが、検出される変位量は最低0.005mm程度の精度を必要とする。これは変位計の分解能0.002mmに対しては可能な値であるが、センサ取付などに起因する誤差やノイズについては十分注意する必要がある。

軸箱と輪軸にはガタがあるため、軸箱～車輪間に相対変位が発生する可能性があり、相対変位分を補正する必要がある。補正は、図2に示すように、ベアリングの隙間などによる輪軸のスラスト方向変位と、横方向力などによる軸箱に対する輪軸の傾き変位に対して行う。また、車輪の持つ初期歪み量は測定値より差し引く。

変位計3により車輪リム部の変位を測定する方法は、実用上は実施可能であると思われるが、センサや取付金具等が法規上の車両限界を侵すので、これを避けるため、測定される変位量は小さくなるが、車輪の板部の変位により横圧を計測する方法の可能性も検証した(図3参照)。

3. 実車走行試験などによる検証⁴⁾⁵⁾

新しい測定法を検証するため、台車試験機による曲線通過試験を行った²⁾³⁾(図3)。台上試験結果については、前報で報告したが、実用化の目途が付いたので、センサ支持治具の剛性の強化、ジャーナル・ベアリングの隙間の縮小などの改良を行い、その後、地下鉄の営業線における実車走行試験を行った。試験では従来測定法と本測定法を同時に実施した。実車走行試験は、地下鉄の営業線(4駅、3.336km)において通常の営業速度で行った。この区間には半径120mから300m程度の7曲線が存在している。

図4は実車走行試験における曲線通過時の従来測定法による横圧と本測定法による車輪の横変位量(補正後)との比較である。非常に良好な比例関係が見られ、横圧10kNに対して車輪板部の横変位量は約0.09mmである。

実車走行試験における横圧測定波形の比較を図5に示す。図は、車輪リム部で測定したものと板部で測定した両者の測定波形を示している。最下段に示すボギー量の変化状況により、この路線における曲線の向きと曲率の程度がわかる。この図を見ると、本測定法における車輪の横変位量から推定される横圧値と従来測定法による横圧値の測定波形は非常によく一致している。また、車輪板部で測定したのも、感度的には十分実用的であることがわかる。ただし、測定車輪が曲線内軌側になった場合、本測定法の測定値が小さくなる傾向が見られるので、以下にその要因について考察する。

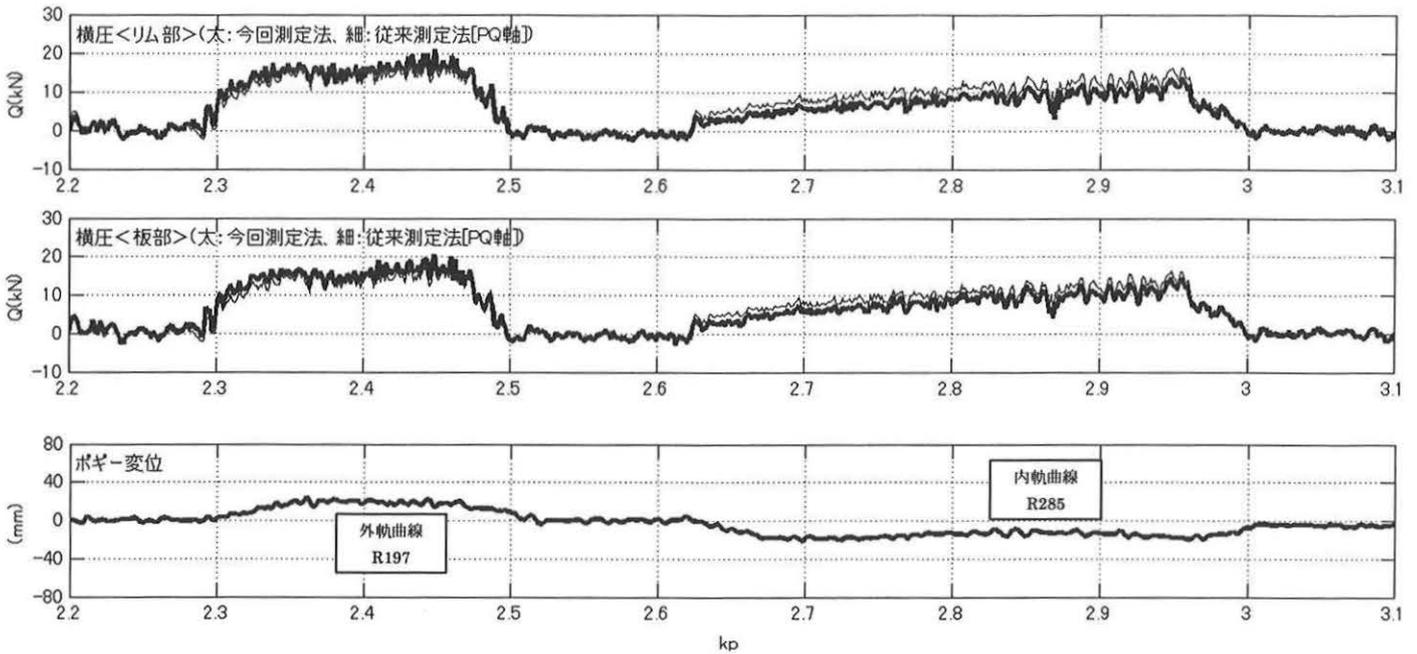


図5 測定法による横圧値の比較（現車試験結果）

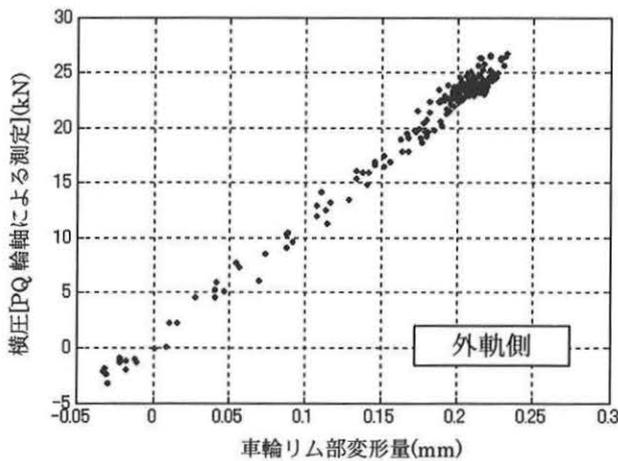


図4 横圧と車輪横変位量(補正後)の関係

4. 考察

図5の結果では、同一車輪でありながら測定車輪が内軌側となる曲線を走行した場合には、本測定法により推定された横圧値が従来測定法により計測された横圧値より低い値となった。特に、内・外軌でこのように差が現れる要因として以下のように推測し、車輪の面外変形を調査するために有限要素法解析を実施した。

- 1) 内・外軌で車輪／レールの接触位置が異なる。
- 2) 車輪／レールの接触位置が異なれば、車輪の面外変形が変わる。

図6に有限要素法のモデル例を示すが、車輪／レール接触点として特に外軌側ではフランジのど元で接触（車軸中心より715mm）した場合と車輪の中立位置近傍で接触（車軸中心より745mm）した場合で横圧・輪重荷重を負荷し車輪変形状態を調べた。

有限要素法解析の結果、横圧の荷重点による車輪面外変形変化はほとんど認められなかった。これは両者の接触位置とも車輪中心からの横圧荷重位置までの距離がほとんど変化しないためである。

これに対して表1に輪重による車輪リム部、板部の変位量を示すが、車輪／レール接触位置でこれらの変位量に差が現れることがわかる。つまり、中立位置で車輪が接触した場合にはフランジのど元で接触した場合に比べてリム部や板部の横変位量が小さくなる。以上の結果から、今回、外軌側で従来測定法と本測定法との較正值を合わせたために曲線内軌側になった場合には、表1の輪重の影響のためにわずかではあるが従来測定法に対して小さくなると思われる。



図6 輪重作用点の条件 (FEM 解析)

表1 車輪変位量(輪重 10kN 負荷)

	車輪変位量
リム部横変位量(mm)	0.0245
板部横変位量(mm)	0.0226

※車軸中心からの距離745mm(中立位置)
基準として変位する量

5. 今後の課題

本測定法では、曲線走行中の車輪リム部・板部の変位量を捉えて車輪に加わる横圧を推定する方法を提案してきたが、今回の営業線による試験で、ほぼ実用化の目途がついたと考えられる。しかし、考察に述べたように輪重作用点(車輪/レール接触位置)が車輪の横変位量に及ぼす影響がわずかに認められ、これらを補正することによりさらに測定精度の向上が図れるものと考えられる。今後の課題として下記のような事項が挙げられる。

- ① 内・外軌の較正值(輪重値を含む)を演算フローに取り込むこと
- ② 走行中に計測車輪の内・外軌を判断させること

上記事項を含め検討・試験し、実用化に向け開発を進めていきたい。

参考文献

- 1) 松本ほか, "簡便測定法による輪重・横圧の推定(第1報: 台車枠に発生するひずみによる輪重の推定)", J-Rail2003,機講論,03-51,p195-196
- 2) 松本ほか, "路線状態監視技術の研究開発(第1報: 車輪・レール接触力の簡便な測定方法)", 機学交通・物流部門大 2004, 機講論, 04-05, p191-194
- 3) 松本ほか, "PQ 輪軸を用いない車輪/レール接触力の測定方法(簡易横圧推定法)", J-Rail2004,p347-348
- 4) 松本ほか, "新しい車輪・レール接触力の測定法の開発", 機学年次大会 2005,機講論,05- 1, p285-286
- 5) Matsumoto and et. al, "A New Measuring Method of Wheel-Rail Contact Forces", Proc. IDETC 2005-84682, ASME, 2005.9