

営業車両による鉄道路線の状態監視システムの研究

—プローブ車両の実現に向けて—

交通システム研究領域 ※松本 陽 佐藤 安弘 緒方 正剛 大野 寛之 水間 毅
東京地下鉄 留岡 正男
住友金属テクノロジー 谷本 益久
日本大学 綱島 均

1. まえがき

比較的簡便で耐久性のある測定システムを開発して、常時走行している車両に取り付ければ、脱線係数や軌道不整などを日々モニタリングして、危険の予知や保守の合理化を図ることができる。

しかしながら、これまでの測定方法は高価である上に、常時作動させられるような耐久性を持っていない。ここでは、その一例として、車輪・レール間に働く力に関する簡便かつ耐久性のある測定法を開発し、営業車両に取り付けることにより、常時、脱線係数を監視できるようなシステムの研究開発について述べる。

2. 脱線係数のこれまでの測定法

脱線への安全性を判断する脱線係数を求めるには、「横圧」、「輪重」と呼ばれる車輪・レール間に働く横方向と垂直方向の接触力を計測する必要がある。鉄車輪が鉄レールの上を高速で転動していく鉄道システムでは、これらの力を測ることは容易ではなく、特別の機構を必要とする。

現在、最も広く用いられている方法は、車輪に歪みゲージを貼付して車輪の圧縮ひずみや曲げひずみを電気信号に変換し、その信号をスリップリングかテレメータを用いて、非回転部分に取り出す方法が用いられている。この方法は、いわゆる「PQ輪軸」と呼ばれる特殊な計測用の輪軸を必要とする。この輪軸は、製作が面倒で高価である上に、耐久的強度の問題やブレーキをかけられないなどの列車運転上に問題があるだけでなく、計測システムとしての耐久性もないので、計測の時に一時的に用いるだけで、営業運転に用いることは不可能である。

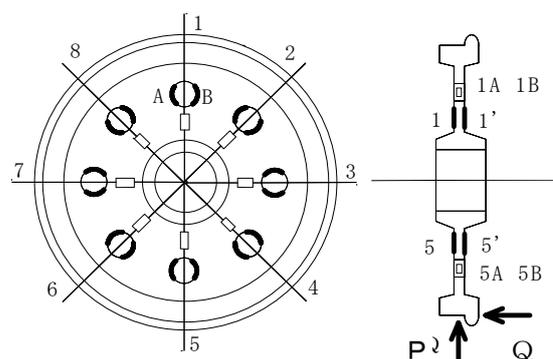


図1 歪みゲージによる輪重、横圧の測定



図2 従来の測定用輪軸(PQ輪軸)

また、レールに歪みゲージを貼付して、レールのせん断歪み等から測定する地上測定方法もあるが、これは特定の地点での値しか測定できない。

3. 新しい測定法の開発

常時測定を目指すため、輪軸のような回転部分にセンサを設置せずに、非接触センサ等を活用して、脱線係数を求めるために必要な「輪重」、「横圧」、さらに

曲線通過性能向上のため近年注目され始めた「縦方向クリープ力」などの車輪・レール間に働く力を簡便に計測する方法について研究した。

3. 1 輪重の測定¹⁾

3. 1. 1 新しい測定方法

輪重は、通常、車輪の板部のつり穴などに歪みゲージを貼り、車輪の圧縮歪みで測定しているが、車輪以外の非回転部分の歪みにより測定する方法を試みた。これによりスリップリングやテレメータなどの高価で、調整の面倒な装置を省略できる。

歪みの測定位置は、目的以外の外力の影響ができるだけ少なくするため、以下の2つの方法を選定した。

①軸ばねに歪みゲージを貼り、軸ばねの歪みを測定

②台車枠側ばりに歪みゲージを貼り、側ばりの歪みを測定

3. 1. 2 台車試験機による検証

従来のPQ輪軸を用いた測定法との比較を行うため、PQ輪軸を付けた台車を台車試験機上に搭載して、従来の測定方法による値と新しい測定法による値を求めた。疑似車体に荷重の載荷を行うとともに、横圧等による影響を調べるため曲線通過試験²⁾も行った。

実験台車の仕様と実験条件を表1に示す。

荷重を載荷し、輪重と歪みとの関係を求めたものを、①の方法について図3に、②の方法の場合を図4に示す。いずれも輪重と歪みの関係は線形性を持ち、十分な感度が得られている。これらから、作業性、耐久性等を考慮すると②の台車枠側ばりの歪みを計測する方が実用的と考えられる。また、曲線通過実験を行い、①、②の方法及び従来の車輪歪みによる輪重をもとに脱線係数を求めたが、いずれの方法でもほぼ同数値の脱線係数が得られた。

表1 実験台車の仕様及び実験条件

台車試験機	軸距	1.9m
	軌間	1435mm
実験台車	レール形状	50N
	台車形式	SS130 モノリンク式 ボルスタレス台車
	踏面形状	銀・丸型円弧
実験条件	曲線半径	600, 300, 180, 120
	走行速度	20km/h
	車輪/レール 摩擦状態	Dry

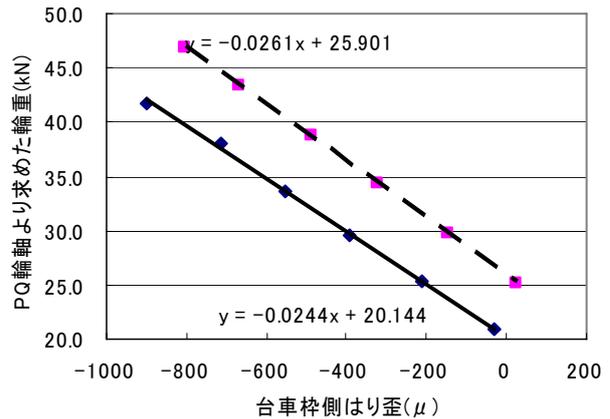


図3 軸ばね歪みと輪重の関係

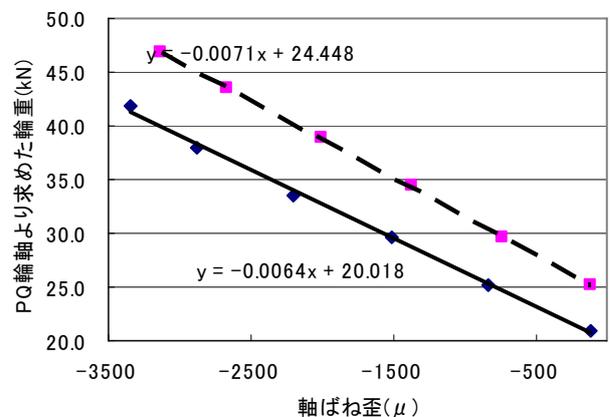


図4 台車側ばり歪みと輪重の関係

3. 2 横圧の測定

3. 2. 1 新しい測定方法

従来のPQ輪軸を用いた横圧測定法は横圧により曲げ変形する車輪板部の変形量を板部に貼り付けた歪みゲージにより検出するものであるが、今回提案する

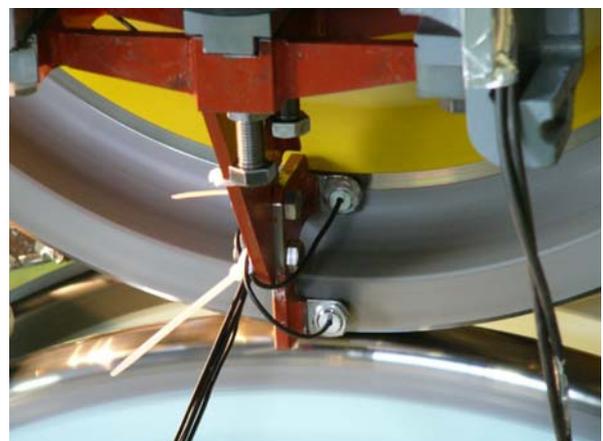


図5 横圧測定用非接触式変位計の設置状況 (台上試験)

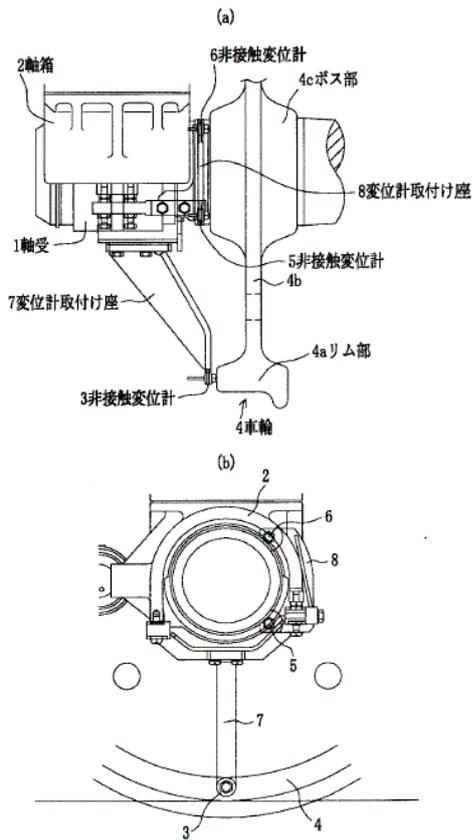


図6 新しい横圧測定法の原理

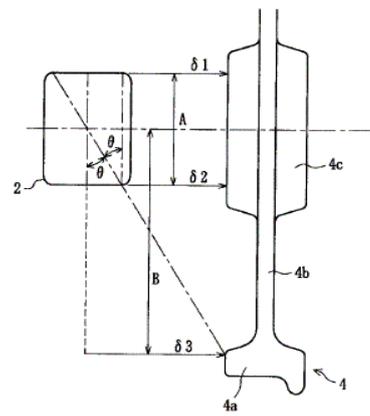
方法は、図6に示すように、その曲げ変形量を、車輪ではなく台車側に取り付けた非接触変位計により検出するものである。車輪板部の曲げ変形量は、軸箱(2)に取り付けた渦電流式変位計(3)により最も変位量が大きくなる車輪リム部(4a)で測定した。

横圧による車輪板部の変形は車輪リム部に変位として現れるが、軸箱と輪軸にはガタがあるため、軸箱～車輪間にも相対変位が発生する可能性があるため、測定した変位量のうち軸箱～車輪間の相対変位分を補正する必要がある。変位補正には大きく分けて2つあり、1つは車軸を支持するベアリングのスラスト隙間などにより、輪軸が軸箱に対してスラスト方向に移動することである。もう1つは台車枠にかかる横方向力などにより、軸箱が輪軸に対して傾くことである。スラスト方向の移動量補正 δ_4 、傾き補正量 δ_5 とすると、図7に示す $\delta_1 \sim \delta_3$ の測定変位をもとに、補正後の車輪板部の変形量 δ は次式で表すことができる。

$$\delta_4 = (\delta_1 + \delta_2) / 2 \dots\dots\dots(1)$$

$$\delta_5 = B \cdot \tan \theta = (B/A) (\delta_2 - \delta_1) \dots\dots\dots(2)$$

$$\begin{aligned} \delta &= \delta_3 - (\delta_4 + \delta_5) \\ &= \delta_3 - (\delta_1 + \delta_2) / 2 - (B/A) (\delta_2 - \delta_1) \dots\dots(3) \end{aligned}$$



- δ_1 : 車輪ボス部上部変位
- δ_2 : 車輪ボス部下部変位
- δ_3 : 車輪リム部変位
- A : ボス部設置上下センサ間距離
- B : 車軸中心～車輪リム部設置センサ間距離
- θ : 軸箱～車輪間の相対傾き角

図7 測定値とその補正

3. 2. 2 台車試験機による検証

提案の新しい横圧測定法を検証するために台上実験を行った。実験には、実際の曲線走行状態で台車に横圧を作用させることができる当研究所に設置されている台車試験装置を用いた²⁾。また、今回提案の測定方法と併せて従来のPQ輪軸を用いた方法による計測を行い、両者を比較した。

実験では、(1)車輪に作用する横圧と車輪板部の変形量との相関性、(2)横圧に対する車輪板部の変形量の感度と線形性、を評価するために、台車に発生する横圧量を変化させる目的で、緩曲線から急曲線に相当する曲線半径で実験を行った。

車輪板部の曲げ変形量を測る非接触変位計は、変位の最も大きい車輪リム部のほかに、限界支障などの実用性も考慮して、板部の最外周部にも設置した。台上試験における変位計の設置状況を図5に示す。

実験結果

(1) 車輪板部変形量と横圧の相関性

図8に半径R120の曲線を通じた場合の内軌側及び外軌側のPQ輪軸測定による横圧と本方法による車輪板部変形量の変化波形を示した。PQ軸横圧の変化は、曲線入口で横圧が立ち上り、曲線出口で横圧が下がっているが、それに応じて車輪板部変形量も概ね

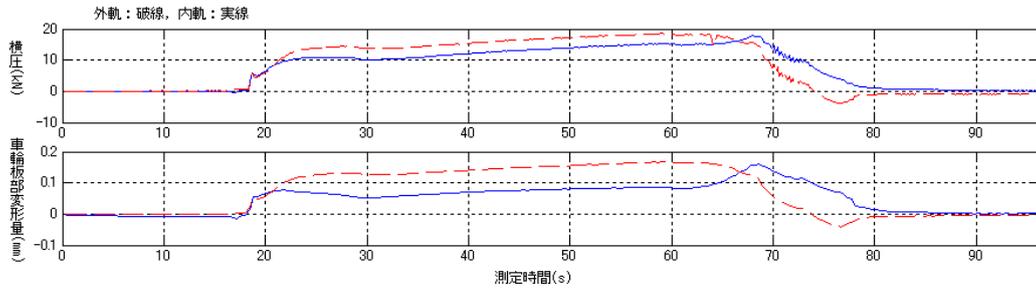


図8 曲線通過試験時の測定波形（上段：PQ輪軸による横圧、下段：提案方式による変形量）

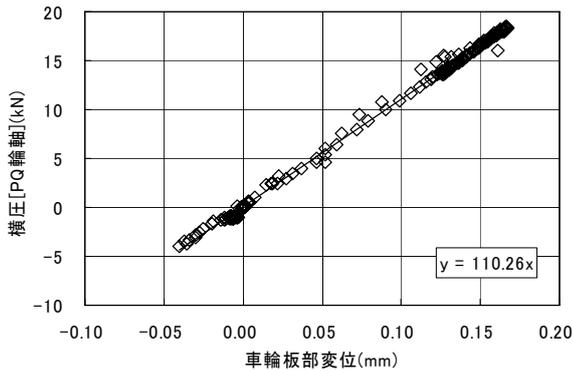


図9 車輪板部変形量と横圧の関係

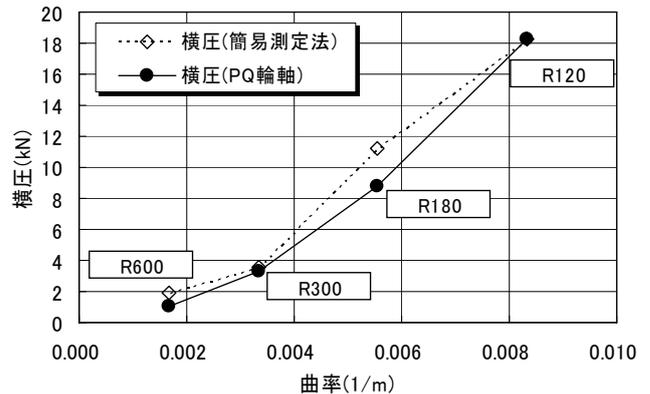


図10 曲率の変化に対する横圧計測値の比較

同様の変化をしていることがわかる。

両者の相関性をさらに詳しく評価するために曲線入口から出口に至るまでを同一時間でサンプリングし、横軸に車輪板部変形量、縦軸に横圧をとり作成したグラフを図9に示す(サンプリングは車輪1回転毎)。この図の例では、横圧と車輪板部変形量は非常により相関持ち、提案する方法によって横圧が推定しうることがわかる。両者は比例関係にあり、線形近似して比例係数を求めると、横圧10kNに対して車輪板部の変形量は0.09mmであった。今回用いた渦電流式変位計の測定分解能は0.002mmであり、測定感度は低いものの測定が可能な範囲であると考えられる。ただし、条件によっては相関性がやや下がる場合があり、対策が必要である。

(2) 横圧推定

図9で求めた横圧の推定値と、同タイミングでPQ軸により計測した横圧値の比較を図10に示す。一般的に走行する曲線半径が小さくなるにつれて、横圧は増加するが、それぞれの曲線において提案する方法により求めた横圧とPQ輪軸により測定した横圧は比較的合致しており、本方法によって横圧が推定できると考えられる。

(3) 輪重に対する影響

台車に作用する他の荷重による影響として、輪重に対する影響を評価するために荷重枠に荷重を20～100kNまで付加して直線状態で台車を走行させたが、車輪板部の水平方向の変形は計測されず、輪重に対して今回測定の方法は影響を受けないと考えられる。

4. まとめ

鉄道車両の走行安全性を評価するために、PQ輪軸を用いた輪重・横圧測定が実施されているが、PQ輪軸を用いず、非接触式変位計を用いて横圧を測定し、台車枠歪みにより輪重を測定して脱線係数を求める新しい方法について、台上実験をもとに検証した。その結果、軸箱に取り付けた渦電流式変位計により横圧の推定ができ、脱線係数が求められることが確認できた。現在、実車両に取り付けて、走行試験による検証を行っている。今後は営業線で、実用上の速度や軌道敷設状態においても提案する測定法の適用可能性であることについて、検証を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 松本ほか, J-Rail2003,機構論,03-51,p195-196
- 2) 松本ほか, 機講論,890-50(1989),p485