

輪重・横圧の連続測定

石田 弘明 (鉄道力学研究部 部長)

輪重・横圧をどうやって測る？

車輪とレールの間に働く力のうち、上下方向の力を輪重(りんじゅう)、左右方向の力を横圧(おうあつ)と呼んでいます(図1)。走行中の輪重・横圧が大き過ぎると、軌道が破壊されてしまいます。また、輪重が小さく、横圧が大きいと、車両が脱線する危険性が高まります。すなわち、輪重・横圧を測定すれば、車両が安全に走行できるかどうかを確認・評価することができる訳です。

輪重・横圧を測定するには、車輪に歪みゲージを貼り付けた測定用輪軸を台車に組み込みます。そして、軸端からスリップリングを介して車上につなぎ、車輪に生じる歪みを車上の計測器で電圧信号に変換して記録します(図2)。この測定法は、車輪をロードセルにする方法で、輪重・横圧に比例して車輪に歪みが発生することを利用してしています。車輪の周に沿って等間隔に歪みゲージを貼り、これらをつないでホイートストンブリッジ回路を構成すると、車輪の歪みによるゲージの抵抗変化を電圧として取り出すことができます(図3)。予め感度(輪重・横圧と歪みとの関係)を検定しておけば、測定した電圧を歪みに換算し、歪みに感度を掛けて輪重・横圧の値が得られます。ちなみに、輪重測定用のゲージは車輪板部に開けた穴の中に、横圧測定用のゲージは板部の側面に貼り付けます(図4)。

輪重・横圧を連続的に測る意味

ここでいう“連続的”とは、回転する車輪がどの位置でレールに接触していても輪重・横圧の出力が得られるという意味です。別の言い方をすれば、高い周波数の輪重・横圧変動が測定できるということになります。新幹線の高速化を進める際、著大輪重や瞬時の輪重抜けが走行中に観測されるようになりました。軸箱上下振動加速度からみて、非常に高い周波数の輪重変動と推定されるのですが、1990年頃は、このような高周波数の輪重を測定することができなかつたのです。高速走行時の安全性を評価するためには、輪重変動そのものを計測し、現象を定量的に把握する必要があります。連続測定を行えば、輪重・横圧の周波数分析等が可能となるだけでなく、脱線係数(=横圧/輪重)を連続的に観察することで、乗り上がり脱線に対する安全性をより精度良く評価できるようになります。

ブリッジを工夫して連続的に測れないか？

前述のブリッジ回路を工夫すると、回路上で各歪みゲージの出力を足したり、引いたりすることができます。これを利用したのが従来から行われていた横圧の連続測定法で、車輪を周方向に8等分した位置に歪みゲージを貼り、これらをつないで一つのブリッジにしています。横圧測定用の歪みゲージは、比較的広い車輪回転角の範囲で横圧に対応した歪みを検出します。したがって、ブリッジでつないでやれば、わずかに波打った波形になりますが、横圧の“連続的”な出力が得られます(図4)。これに対し、輪重測定用の歪みゲージは、狭い車輪回転角の範囲でしか歪みを出し、横圧と同じ方法で連続的な出力を得ることが困難です(図4)。なお、車輪周方向の等分数を増やしてブリッジを組めば、より変動の少ない連続出力が得られる

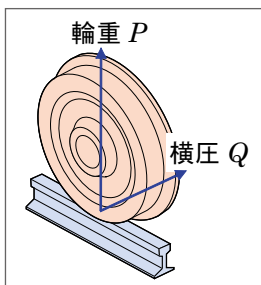


図1 輪重と横圧



図2 輪重・横圧測定(車上)

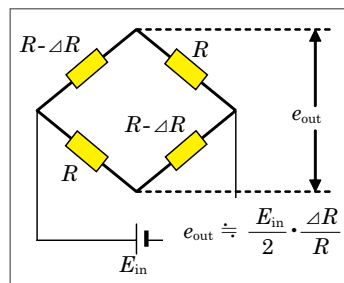


図3 ホイートストンブリッジ

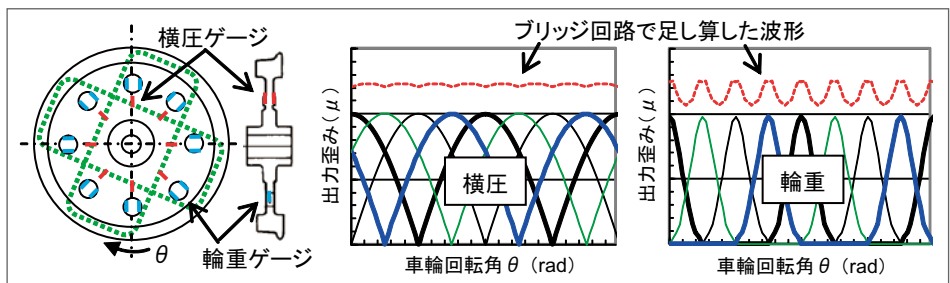


図4 歪みゲージ貼付位置と輪重・横圧ブリッジ出力の模式図(8箇所を繋いだ場合)

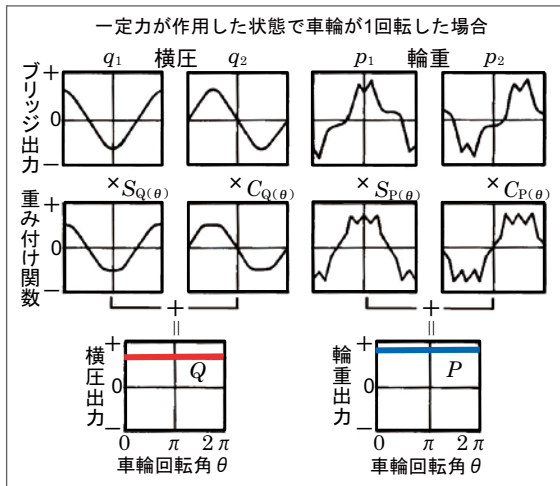


図5 連続的な輪重・横圧出力を得るための演算方法

と思われるでしょう。ところがこの方法では、歪みゲージの枚数が増えれば増えるほど、作用力に対するブリッジの出力歪みが小さくなっていきます。現状の板車輪で輪重・横圧10kN当たり、数10~100 μ の歪み出力を得るには、ブリッジ回路に組み込む歪みゲージは、輪重で4箇所、横圧で8箇所までが限界です。

輪重・横圧を連続的に測る新しい方法

以上のような背景から、車輪とレールの接触位置(車輪の回転角度)を検出し、その位置に対応した感度を歪みゲージのブリッジ出力に掛けて、車輪とレールがどの位置で接触していても輪重・横圧の値が得られる方法を検討しました。具体的には、車輪を横から見て十字字になるような互いに直交する2組のブリッジ出力を用い(図4緑点線)、検出した車輪回転角に応じて2組のブリッジ出力に適切な比率で感度を掛け合わせ、これらを足し算します(図5)。適切などいうのは、歪みが大きい方のブリッジ出力を主に使うという意味で、言い換えれば、2組のブリッジ出力に重みを付けるということになります。そこで、この車輪回転角 θ に応じた感度の数表を、重み付け関数と呼んでいます。各ブリッジは、熱ひずみの影響を受けにくい間欠法と同じ配線にしました。このブリッジは、一定の輪重・横圧が作用した状態で車輪が1回転すると、正負に反転する正弦波のような歪み波形を出力します。

輪重・横圧連続測定を実現するには？

図5に示した演算を行うには、車輪回転角、すなわち車輪とレールがどこで接触しているかを知る必要があります。そこで、スリップリングにロータリーエンコーダを取

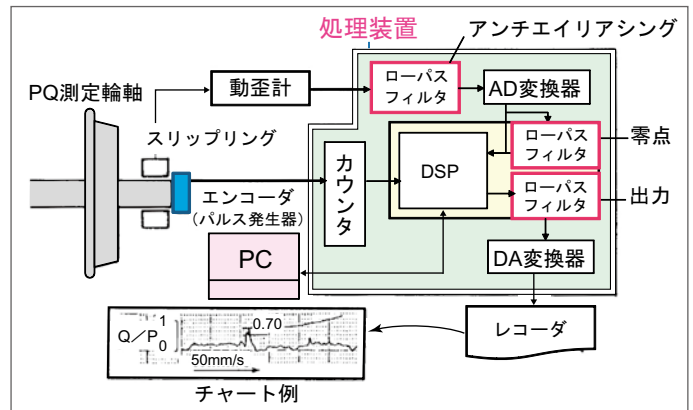


図6 輪重・横圧連続測定システムの構成

り付け、そのパルスを数えて位置を割り出すことにしました。現在使用しているエンコーダは、車輪1回転に600の等間隔パルスを出します。これで車輪の周上を600等分し、各点に0~599の番号を付けています。ブリッジの出力電圧は、周波数2kHz(時間間隔 5×10^{-4} 秒)でサンプリングします。この時間間隔を選択したのは、速度450km/hで走行したときにもブリッジ出力の波形が変形しないようにするためでした。そして、DSP(デジタルシグナルプロセッサ)を用いて 5×10^{-4} 秒の間に車輪回転角を割り出し、図5に示した演算とフィルタ処理及び出力を行っています。新しい連続測定を行う際の機器構成を図6に示します。

以上から分かるとおり、新しい測定法の出力は連続的といってもアナログではなく、 5×10^{-4} 秒毎のデジタル(離散的)なデータです。しかし、車輪板部の歪みを利用して輪重・横圧を測定する場合、元々歪みが作用力に比例する周波数範囲は輪重で約400~500Hz、横圧で100Hz強迄なので、この方法で十分“連続的”な測定が可能になります。

この新しい測定法を実用化するに当たり、特に苦労したのは次の4点でした。

- (1) 正確な重み付け関数表の作成
- (2) 歪みゲージブリッジ出力の零点の補正
- (3) 歪み出力と車輪回転角検出値とのずれの補正
- (4) ロータリーエンコーダ付きスリップリングの実用化

詳細は文献に譲りますが、(4)のために、室内試験と現車走行試験を何度も繰り返しました。スリップリングは、激しい振動にさらされる軸端に取り付けられています。スリップリング本体とロータリーエンコーダが壊れず、しかもエンコーダが回転方向にずれないように構造のスリップリングが完成しなければ、新しい輪重・横圧の連続測定法は実現しなかったのです。この辺りには、新たな技術の導入によって、さらに改良していく余地が残されています。