

輪重・横圧測定処理システムと軸端テレメータ装置の開発

車両制御技術研究部 動力システム研究室

主任研究員 佐藤 潔

1. はじめに

鉄道車両の走行安全性や新線等の軌道状態を確認するため、実車走行試験において、輪重(P)と横圧(Q)を測定する。それぞれの測定方法には、間欠法と連続法があり、その組み合わせにより測定状況に応じ(a)間欠輪重・間欠横圧法、(b)間欠輪重・連続横圧法、(c)新連続法(連続輪重・連続横圧法)の3方式が一般的に用いられている。

今回、新幹線用として開発した(a)方式による新測定処理システムの改善を行うとともに、(b)の連続横圧法による測定を併用できるシステムを開発した。併せて車輪から信号を取り出すための既存のスリップリングと置き換え可能なレゾルバ機能搭載の軸端テレメータ装置を開発した。以下に、それらについて説明する。

2. 輪重・横圧測定方法

レール上を走行する車輪には図1に示すような三分力が作用している。この分力のうち、輪重(P)と横圧(Q)を測定して同時にその比である脱線係数(Q/P)を算出し、走行安全性等を評価している。間欠式輪重測定法で用いられるPQ測定用輪軸は図1の車輪板部の同一円周上に、かつそれぞれが直行する軸上に位置する箇所に歪みゲージが貼付されており、直行軸方向のみの歪みを出力するようにブリッジが組まれている。従って、P1・P2それぞれの

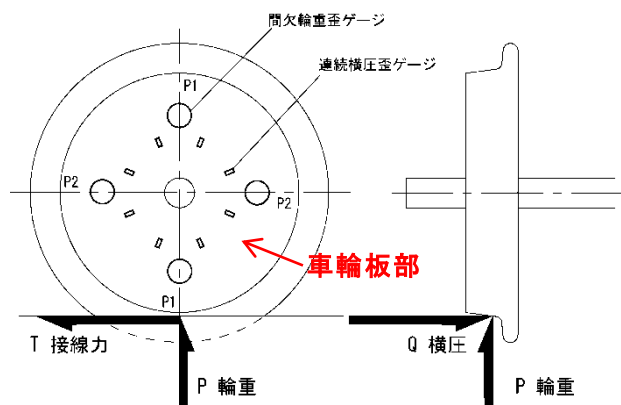


図1 車輪に作用する三分力とPQ測定用輪軸例
のブリッジから車輪回転90°毎に輪重に相当する歪み出力されることになる。間欠式横圧測定法では、前述の輪重測定法と同様の考え方で図1のP1・P2と同じ箇所にQ1・Q2のブリッジを設け出力をみる。なお、それぞれの出力は位相180°で正負が反転するものとなる。

また連続横圧測定法では、車輪周を8等分した位置に歪みゲージを貼付けてブリッジを組み、連続的な出力波形が得られようになっている。

3. 輪重・横圧測定処理システムの必要性

車輪1周につき4回の出力が得られる間欠式測定法では、走行距離にして約0.675m(車輪径860mm)に1回のPQ処理データが得られる。その処理データは、1000kmの走行で約300万データ(左右各約150万データ)という膨大なデータ量になり、チャート目視による測定では著大値の有無の評価が限界であった。さらに得られたデータの統計解析や区間解析等の要望や人的負担の軽減の要望が多く、そこで輪重・横圧測定処理システムのような自動処理を行うシステムが測定のバックアップとして必要になった。

4. 輪重・横圧測定処理システムの概要

4. 1 輪重値及び横圧値の考え方

間欠法による輪重・横圧値は輪重測定用に貼付された歪ゲージ(P1・P2)の出力波形から、レールに接する接触ポイント直上になる点(以下、輪重検知点と記す)を特定して輪重値とし、輪重検知点と同一タイミングの横圧測定値を横圧値とする(図2)。この車輪1回転につき4回得られる間欠出力値を読取り・集計を行う。また、連続法による横圧測定では、輪重検知点での横圧値とともに輪重検知点の位相 $\pm 45^\circ$ 点の横圧値を読み取る必要がある。横圧があまり作用していない部分(直線走行時等)をゼロ値として、そこからの変動分を横圧値として読取る。

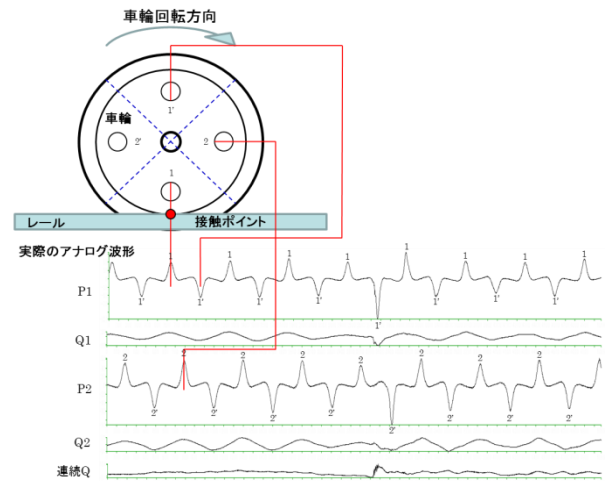


図2 間欠法におけるレール接触ポイントとアナログ波形

4. 2 輪重・横圧測定処理システムでのデータ処理法

輪重・横圧測定処理システムは、輪重・横圧測定作業を自動で読取解析と集計処理を行う装置であり、間欠法の輪重測定では、読み取るべき輪重検知点を特定することがもっとも重要となる。以下に、本処理装置で適用された技術の中で最も重要な「輪重検知点の正確な検出」と「測定値のオフセット補正」の2点について説明する。

4. 3 輪重検知点の正確な検出法の検討

従来の輪重・横圧測定処理システムでは、回転信号(車軸曲げ・エンコーダ・レゾルバ等)を同時に収録することにより輪重検知点を検出していた。本システムでは左右独立駆動式(DDM等)台車の測定、測定の低コスト化、間欠連続併用式の横圧測定によるスリップリングCH数の制限等の課題から、回転信号を使用せずに輪重信号の周期性を利用した輪重検知点の検出法を検討した。

(1) 単純なピーク検出法による検出

当初は、単純に測定波形のピークを検出する手法を検討した。しかし、輪重波形肩部(図3)のピーク誤検出、輪重変動・乱れによる誤検出、加減速時の速度変動による回転周期幅の急変動による誤検出によりエラーが1%程度発生したこと、また連続横圧 Q_{max} を求めるためには、間欠的なピーク点だけではなく輪重検知点からの位相 $\pm 45^\circ$ 点を連続的に求める必要があるため、より精度の高い検出法を検討することとした。

(2) 輪重波形合成法による検出

P1・P2の独立したCHによるデータでは連続した回転角の検知は難しいため、図4に示すように 180° 毎に正負が現れるP1とP2の波形を合成して 90° 毎に正負が現れる連続信号を作成した。なおここでは両者の二乗差を合成値とした。この合成波形の正負が逆転する(以下、ゼロクロスという)点が輪重検知点の $\pm 45^\circ$ に相当する。この範囲でのピーク点を検出することによって輪重検知点のタイミングを検出することが可能になる。またこの合成により、輪重波形肩部が相殺され、ゼロクロス点検出にも有利である。

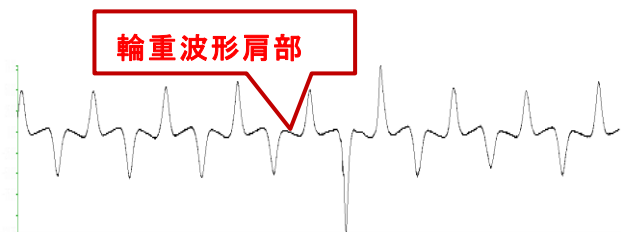


図3 間欠法のアナログ輪重波形

ゼロクロス点は、ゼロ付近の出力信号の微小振幅(チャタリング)のため、容易に検出できない。そのため、さらに以下のような方法でゼロクロス点の検出を行うこととした。

① 単純なゼロクロス点検出

合成波形の各正負の符号が変わる部分の検出を行う。ここには微小振幅が含まれている。

② ゼロクロス点間の幅

得られたゼロクロス点間のサンプリング数を計算し、得られた幅の上位を次項のピーク検出の幅(輪重感度幅)とする。これは図5の左図に示すように、輪重値の大小に関わらず輪重感度幅がほぼ一定であるためである。

③ 合成波形のピーク点検出

得られた輪重感度幅を用いたピーク検出法によりピーク検出を行う。この際に信号の微小振幅の除去も併せて行う。

④ ゼロクロス点の検出

図5の右図に示すように、得られたピーク点とその前後のピーク点の midpoint がゼロクロス点となる。

⑤ エラー訂正

ノイズ、輪重波形割れによるゼロクロス点幅の急激な減少や検知限界以上の輪重抜けによる急激な増加がある場合、直前のゼロクロス点幅を代入する等の処理を行い、エラー訂正を行う。

⑥ 各データの読取り・演算

以上で得られた位相情報を取得済みの各アナログ波形(後述のオフセット補正済み)にフィードバックすることで車輪回転角90° 毎の各アナログ波形が得られ、その波形を読取り演算することで図6に示すようにPQ処理データを作成する。

4. 4 オフセット補正

歪みゲージブリッジ出力には、初期歪みや走行中の熱歪み等の変動するドリフト成分が含まれているため、この補正を行う必要がある。以下に間欠法と連続法でのオフセット補正について述べる。

(1) 間欠法のオフセット補正

間欠法による測定波形は正負が交互に現れるため、偏りがないように整数周分の車輪回転(図7では7周分)の全サンプリング点の平均値がゼロ点となるようアナログ波形に適用して補正する。例えば、図7の補正前のアナログ波形平均値は

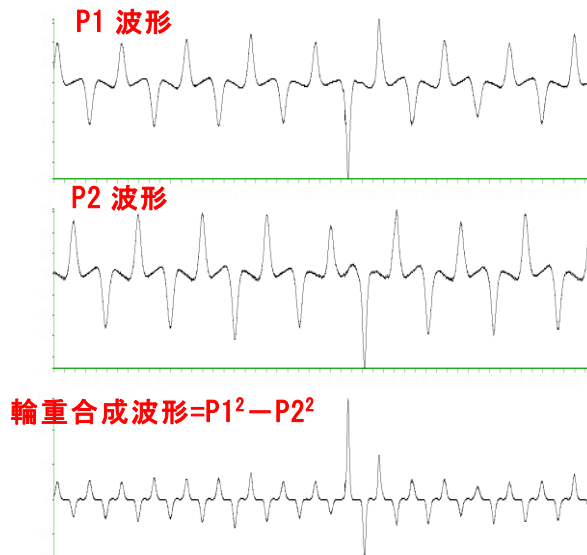


図4 輪重波形の合成例

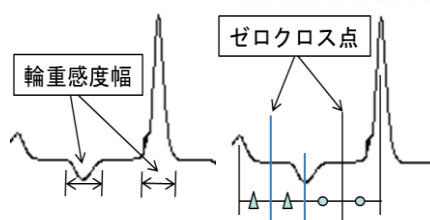


図5 輪重合成波形拡大図

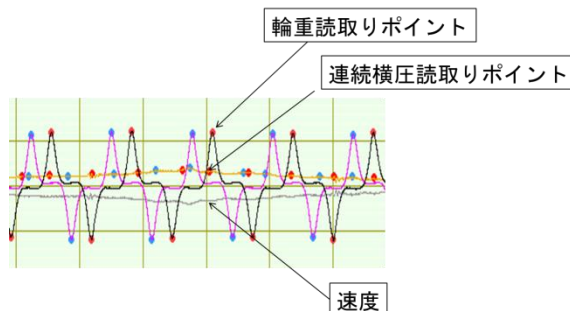


図6 処理データプロット例

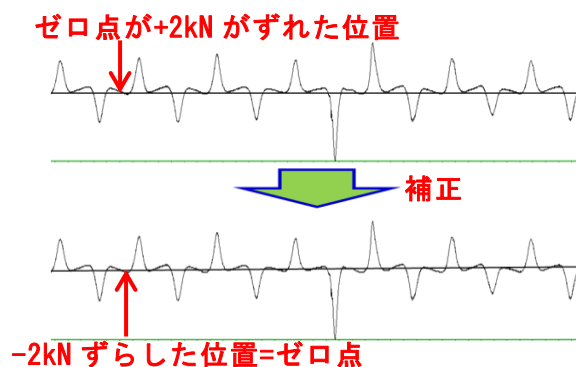


図7 間欠法のオフセット補正

2kN である。よって補正前波形から -2kN ずらしてオフセット補正し、下図のような補正波形となる。

(2) 連続法のオフセット補正

連続横圧波形では、走行中のドリフト成分の推定が難しく今まで測定処理装置がなかった要因の一つでもある。目視では直線走行中の横圧変動が少ない部分をゼロ値として変動分を横圧値と扱う。自動処理ではいくつかの方法を模索・検証中であるが、今回は車両挙動にみるヨーセンサを利用した補正法を用いた。直線走行中でヨーセンサからの出力がほぼゼロで横圧の変動幅が一定の値以下の時の横圧平均値をゼロ点として間欠法同様のオフセット補正を図8のように行う。曲線走行や横圧変動が顕著な場合は、直前の補正值を使用する。現時点では曲線走行中の熱歪み等によるドリフト増には対応できない。

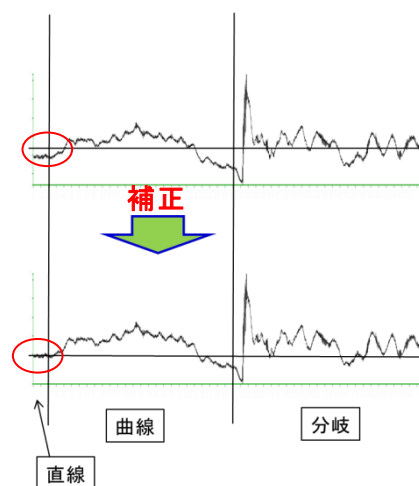


図8 連続横圧のオフセット補正

5. 軸端テレメータ装置の開発

車輪から信号(歪みゲージによる輪重(P)、横圧(Q)等)を出力するため、現在スリップリング方式が採用されているが、高速化や試験日数の増加に伴い、摩耗や焼損等による不具合が増加している。そこで軸端部に取付けられ、信号伝達に摺動部を持たない小型誘導電源式軸端テレメータ装置(図9)を開発した。



図9 テレメータアッセンブリ

開発したテレメータ装置は、取扱いが簡単な免許を有しない無線局とした。ノイズの重畳が課題であったが、図10のPQ測定波形例に示すようにノイズもなく良好に測定できることが確認できた。

本装置は、小型化のためにロータ部とステータ部を一体化した。そのため、軸受が2個必要となり、新幹線と在来線の使用を考慮した軌道条件と衝撃加速度等をパラメータとして加えた寿命計算の結果、問題ないことを確認した。

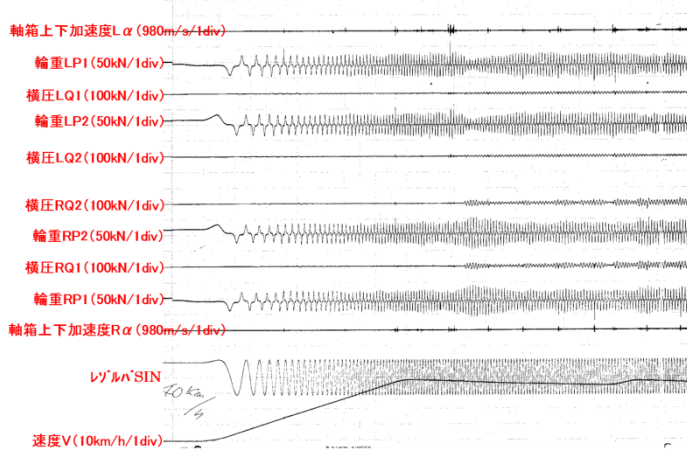


図10 テレメータ装置でのPQ測定波形例(V=40km/h)

6. おわりに

輪重・横圧は、鉄道車両の走行安全性を確認する上で必須の測定項目である。従って、特にデータが膨大な量になる輪重・横圧測定をバックアップするために測定処理システムは、不可欠なものになると考えている。今後、さらに研究開発を重ね低コスト化と測定精度向上等を図り、ブラッシュアップに努めていきたい。