

軸箱加速度と軌道変位を用いた輪重・横圧の予測と管理法の提案

軌道技術研究部 軌道管理
研究員 田中博文

1. はじめに

継目部等に短い波長の軌道変位が存在すると、著大な輪重や横圧が発生する。これらは走行安全や軌道部材の寿命、軌道変位進み等に影響するので適切な管理が必要である。しかしながら、通常の10m弦正矢による軌道変位では5m以下の短い波長の管理は困難である。これに対し本報告では、一般的な軸箱上下加速度に加えて、軸箱左右加速度を用いた波長の短い輪重・横圧の予測と管理方法を検討した。以下にその結果を報告する。

2. 輪重・横圧と軸箱加速度・軌道変位の関係

2.1 軸箱加速度と輪重・横圧の関係

本研究で対象とする輪重・横圧は、新連続法を用いて車上で測定される波形である。新連続法とは、左右それぞれの車輪内に8組のひずみゲージを埋め込んだ専用の輪軸(PQ軸)を用いて100Hzまでの輪重・横圧波形を得る手法であり、日本における新型車両の開発試験や速度向上試験等でしばしば用いられている手法である。

この方法で測定された輪重・横圧について、比較的波長の長い輪重・横圧変動は、軌道変位と関係があることは以前より知られている²⁾。一方、軌道変位では把握することのできない波長の短い輪重・横圧変動については、軸箱加速度と関係があることが知られており、検討が進められてきた³⁾。図1に輪重・横圧と軸箱加速度の関係を示す。軸箱加速度は、輪軸を支える軸箱体で測定された振動加速度であり、測定方向によって、軸箱上下加速度と軸箱左右加速度の2つに分類される。

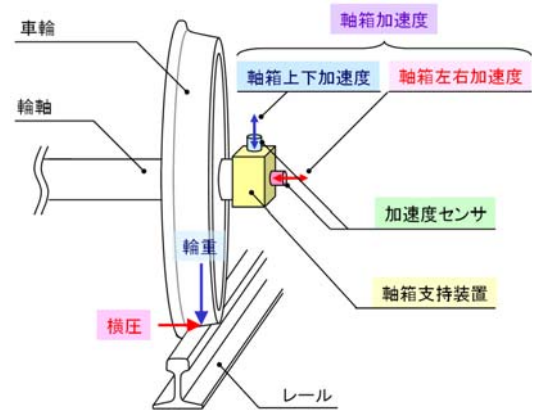
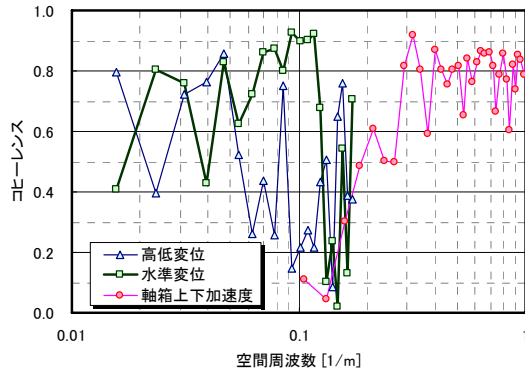


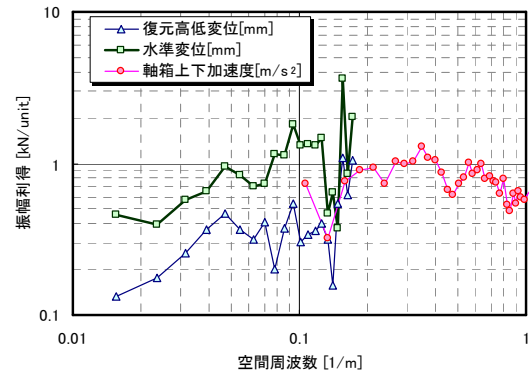
図1 輪重・横圧と軸箱加速度の関係

2.2 輪重・横圧変動と軸箱加速度・軌道変位の周波数特性

図2に在来線特急車両で測定された輪重変動と軸箱上下加速度および高低変位、水準変位の周波数分析結果を示す。同じく、図3に、横圧変動と軸箱左右加速度および通り変位の周波数分析結果を示す。コーレンスからは、波長6m以上の帯域では輪重変動は水準変位と、横圧変動は通り変位と相関が高く、波長6m以下では、それぞれ軸箱加速度と相関が高いことがわかる。また、周波数応答関数からは、水準変位、通り変位ともに、空間周波数が大きくなるに従って振幅利得が大きくなっていることから、波長の短い軌道変位ほど大きな輪重・横圧変動を引き起こすことがわかる。一方、軸箱加速度に着目すると、軸箱上下加速度に対する輪重の周波数応答関数は1.0程度で平坦であるのに対し、軸箱左右加速度に対する横圧の周波数応答関数では右下がりになっていることがわかる。これは、レールと車輪が、上下方向には常に接触しているのに対し、左右方向には横動遊間が存在していることが影響しているためと考えられる。

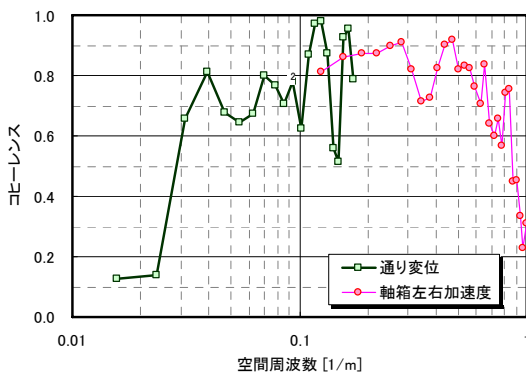


(a) コヒーレンス

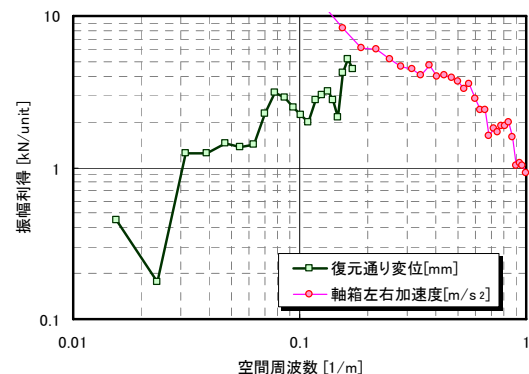


(b) 周波数応答関数

図2 輪重変動と軸箱上下加速度，水準変位および高低変位の関係（直線区間）



(a) コヒーレンス



(b) 周波数応答関数

図3 横圧変動と軸箱左右加速度および通り変位の関係（曲線区間）

3. 周波数応答法による輪重・横圧変動の推定

3.1 軸箱加速度と軌道変位を併用した推定手法

前章において，輪重・横圧と軸箱加速度，軌道変位の周波数特性が確かめられた．本章では，その周波数特性に基づいて，周波数応答法を用いて輪重・横圧変動を推定する手法を説明する．周波数応答法は，高速フーリエ変換で求めた入出力波形の周波数応答関数を逆フーリエ変換してインパルス応答を求め，これを FIR フィルタとして用いて入力波形から出力波形の推定を行う手法である．従来からこの手法を用いた検討が行われてきたが，入力波形に 10m 弦正矢法で測定された軌道変位を用いていたため，波長 6m 以上の変動成分の推定しかできなかった．そこで本手法では，入力波形として軌道変位に加え，波長 6m 以下の帯域で輪重・横圧変動と相関の高い軸箱加速度を用いることとした．図 4 に推定手法の概要を示す．まず，従来通り波長 6m 以上の変動成分については，軌道変位を入力波形として用いた．次に，波長 6m 以下の変動成分については前章の結果に基づいて軸箱加速度を用いることとした．そして，輪重・横圧変動ともに，波長帯の異なる 2つの推定波形を重ねあわせることにより，最終的に従来の推定手法よりも短波長の変動成分を含んだ推定波形を得た．

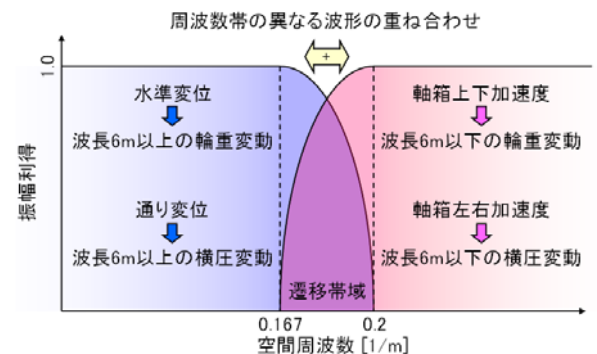


図4 軸箱加速度と軌道変位を併用した輪重・横圧変動推定手法の概要

3. 2 周波数応答法による輪重・横圧変動の推定結果

図5に、推定結果の一例として、横圧変動の例を示す。通り変位から波長6m以上の比較的波長の長い横圧変動を、軸箱左右加速度から波長6m以下の比較的波長の短い横圧変動を推定できており、両者を足し合わせた波形は、実測波形の横圧変動と良く一致していることがわかる。また、本手法で推定された輪重・横圧変動は、それぞれの著大値についても高い精度で実測値と一致することが確認されている。

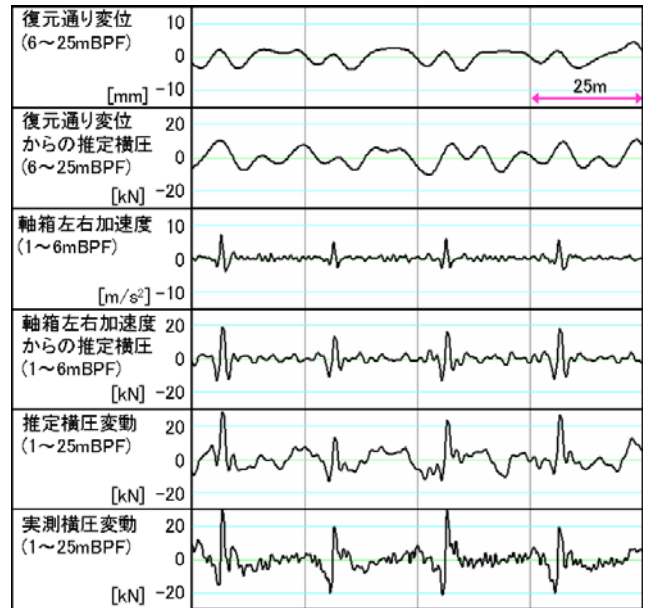
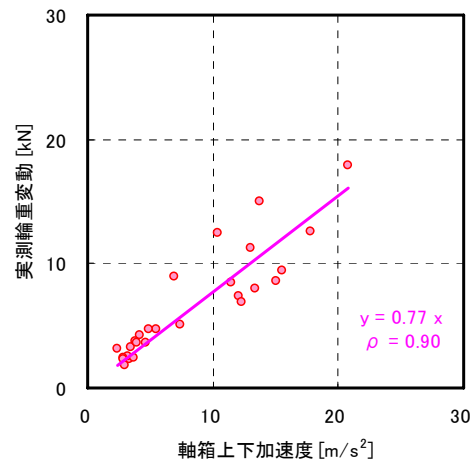


図5 横圧変動の実測と推定結果（曲線）

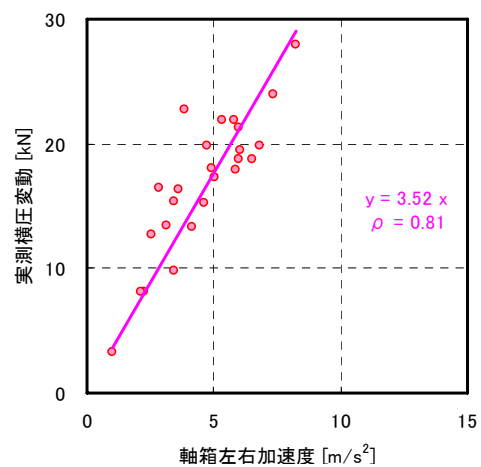
4. 軸箱加速度の著大値による著大輪重・横圧の推定手法

3章では周波数応答法を用いて、軸箱加速度と軌道変位から、輪重・横圧変動を推定する手法を紹介した。これに対して、従来から検討されてきた手法として、軸箱加速度の著大値から輪重・横圧の著大値を推定する手法がある³⁾。これは、輪重・横圧変動の波形と軸箱加速度の波形が類似していることから、その著大値同士を比較し、1次式で両者の著大値の関係を求める手法（以下、簡易法という。）である。この簡易法の仮定は、両者が1次式で近似できること、すなわち周波数応答関数の振幅特性が周波数にかかわらず一定と近似していると解釈できる。しかし、図3に示したように、実際は周波数に対して振幅利得は一定ではないため、近似の精度を確認しておく必要がある。

図6に輪重・横圧と軸箱加速度の著大値の比較を示す。同図より、1次式で近似した傾きは輪重、横圧ともに、図3において着目した周波数帯域（波長1~6m）の振幅利得の平均値とほぼ等しいことがわかる。また、両者の相関係数は0.8以上となっており、実務上必要な精度を有していると考えられ、簡易法による著大値の推定は有効であるといえる。



(a) 輪重と軸箱上下加速度



(b) 横圧と軸箱左右加速度

5. 著大輪重・著大横圧の管理手法の提案

軸箱加速度を測定することによって、短い波長の輪重・横圧変動を推定できることがわかった。

図6 輪重・横圧と軸箱加速度の著大値の関係

したがって、輪重・横圧発生箇所の効率的な管理を行うには、その発生原因となる短波長の軌道変位を把握できたほうが良い。これには、2台車検測車による偏心矢検測波形の利用が便利である。偏心矢法では、10m弦正矢法と異なり、測定データを適切に処理すれば台車の軸距に近い波長帯までの軌道変位を把握することが可能である。このとき、偏心矢からの変換精度、および現場での施工確認等を考えると、弦長4～5m程度の正矢波形に変換して用いるのが妥当である。

図7に軸箱加速度と偏心矢検測波形を用いた著大輪重・横圧の管理手法の概念を示す。通常、10m弦による軌道管理では、軌道変位振幅に管理値を設定しているが、短波長軌道管理ではこの方法は効率的ではないと考えられる。これは、短波長軌道変位によって発生する著大輪重や横圧は、その箇所を走行する列車の速度やその近傍の軌道変位の影響を大きく受けると考えられるからである。そこで、図7に示すように、軸箱加速度から推定された輪重・横圧の著大値が管理値を超えた箇所に対して、原因となる短波長の軌道変位を特定して、個々に整備するといった手法が妥当であると考えられる。なお、輪重・横圧の管理上、定常輪重・横圧が必要な場合には、輪重・横圧推定式⁴⁾を用いて推定した結果を、今回紹介した手法によって求められた輪重・横圧変動に加えると良い⁵⁾。

6. まとめ

本研究では、輪重・横圧と軸箱加速度、軌道変位の関係に着目し、周波数応答法を用いた輪重・横圧変動推定手法を提案した。その結果、軌道変位だけを入力とした場合に把握できなかった波長6m以下の変動成分を含んだ輪重・横圧変動、そして著大輪重・著大横圧についても推定できることを示した。また、軸箱加速度の著大値から、輪重・横圧の著大値を推定する簡易法について検証を行い、複雑な信号処理を行わずとも、実務上利用可能な精度を有していること確認した。最後に、軸箱加速度を用いて推定された著大輪重・著大横圧発生箇所に対し、偏心矢を短弦正矢に変換した軌道変位を用いて、その発生原因となる短波長軌道変位を整備する管理手順を示した。

参考文献

- 1) 田中博文, 古川敦: 軸箱加速度と軌道検測波形を用いた著大輪重・横圧の管理手法, 鉄道総研報告, Vol.22, No.8, pp.35-40, 2008.
- 2) 古川敦: 軌道狂いによる輪重変動の推定手法と軌道管理への応用, 鉄道総研報告, Vol.19, No.2, pp.35-40, 2005.
- 3) 須永陽一, 内田雅夫: 輪重変動の立場から見たレール頭頂面凹凸の管理手法, 鉄道総研報告, Vol.6, No.11, pp.49-57, 1992.
- 4) 内田雅夫, 高井秀之, 村松浩成, 石田弘明: 輪重横圧推定式による乗り上がり脱線に対する安全性評価, 鉄道総研報告, Vol.15, No.4, pp.15-20, 2001.
- 5) 田中博文, 古川敦: 軸箱左右加速度と輪重・横圧推定式を用いた著大横圧の管理法, J-Rail2008, pp.559-562, 2008.

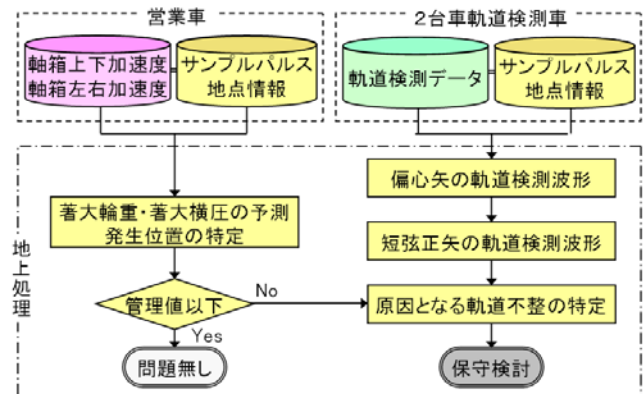


図7 軸箱加速度と偏心矢検測波形を用いた著大輪重・著大横圧の管理手法の概念図