

軸箱左右加速度と通り変位を用いた横圧変動の予測手法

鉄道総合技術研究所 正会員 ○田中 博文
 鉄道総合技術研究所 正会員 古川 敦

1. はじめに

急曲線の定尺レール区間の継目部では、角折れによって車両の走行時に著大な横圧がしばしば発生している。角折れのある継目部では波長の短い通り変位が生じており、一般的に用いられている 10m 弦正矢法ではその測定原理からこれを正確に把握することはできない。これに対し本研究では、横圧と相関が高いことが知られている軸箱左右加速度¹⁾から、周波数応答関数による予測手法(以下、周波数応答法)²⁾を用いて波長 6m 以下の短波長の通り変位に起因する横圧変動の推定を試みた。さらに、横圧と 10m 弦通り変位についても両者の分析をし、周波数応答法によって波長 6m 以上の横圧変動の推定を行い、軸箱左右加速度と通り変位を併用した横圧変動の予測手法を検討した。

2. 横圧・軸箱左右加速度と通り変位の周波数特性

在来線特急車両が急曲線を走行した場合の横圧および軸箱左右加速度、そして同時期に軌道検測車で測定した通り変位のパワースペクトル密度を図 1 に示す。ここで、通り変位は波長 6m 以上を復元した波形である。

図より、通り変位は波長 6m 以下の成分をカットオフしているので空間周波数 0.167[1/m]以上のパワーは存在しないが、横圧および軸箱左右加速度、通り変位ともに、空間周波数 0.04[1/m]間隔でピークが生じている。これは継目間隔 25m の逆数に相当し、0.04[1/m]およびその倍数の高調波成分が卓越していることがわかる。

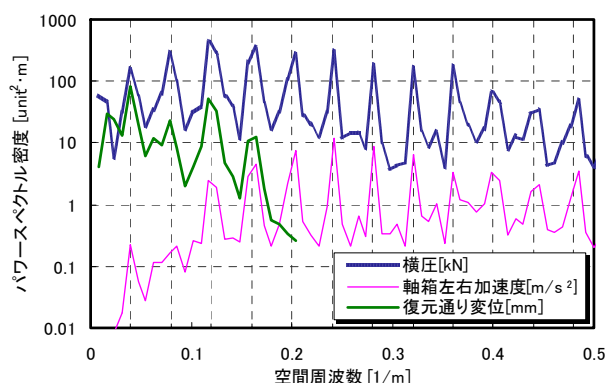


図1 パワースペクトル密度

図 2 に横圧と軸箱左右加速度、横圧と通り変位のコヒーレンスを、図 3 に各々の周波数応答関数を示す。

通り変位は空間周波数 0.167[1/m]以下(波長 6m 以上)の帯域で軸箱左右加速度よりもコヒーレンスが高く、横圧との相関が高い。これに対し、横圧と軸箱左右加速度のコヒーレンスは、空間周波数 0.167[1/m]以上の帯域でも高くなっており、両者の周波数応答関数も比較的平坦で 4~5 程度で安定している。なお、周期的にコヒーレンスが低い周波数があるが、これは図 1 からわかるように横圧および軸箱左右加速度のパワーが小さい周波数と一致している。

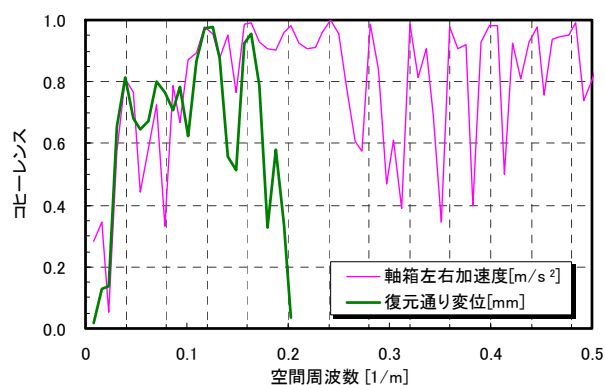


図2 横圧とのコヒーレンス

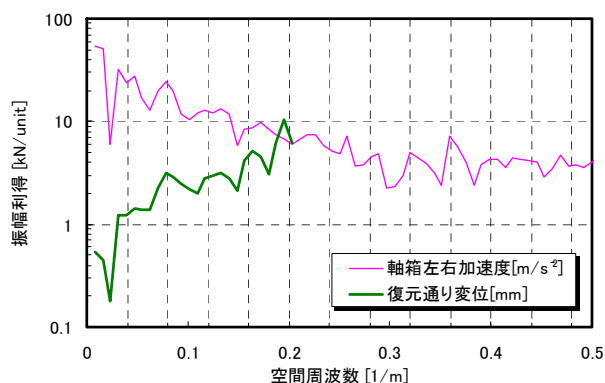


図3 横圧との周波数応答関数

3. 横圧変動の予測結果

図 4 に周波数応答法で求めた横圧変動の予測波形と実測波形の比較を示す。周波数応答法とは、FFT 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、これを用いて入力波形から出力波形の予測を行うものである。なお、軸箱左右加速度からの予測波形は波長 2~6m を、通り変位からの予測波形は波長 6~25m を抽出するバンドパスフィル

タ処理をしている。横圧変動の実測波形には波長 2～25m のバンドパスフィルタ処理をしている。

図より軸箱左右加速度からの予測波形は角折れによる著大横圧を，通り変位からの予測波形は比較的波長の長い通り変位に起因した横圧変動を予測できていることがわかる。そして，両者を足し合わせた波形は，実測波形と良い一致を示していることがわかる。

図 5 に実測波形と予測波形のコヒーレンスを示す。図より，実測波形のパワースペクトルでパワーの大きかった 0.04[1/m] 間隔の空間周波数において両者のコヒーレンスが高くなっており，角折れによる横圧変動を精度良く予測できていることがわかる。言い換えれば，全体的にパワーの大きな，すなわち軌道状態が悪く，様々な波長の変動を含んだ区間のデータを用いて周波数応答関数を求めれば，横圧変動の予測精度は高くなると考えられる。

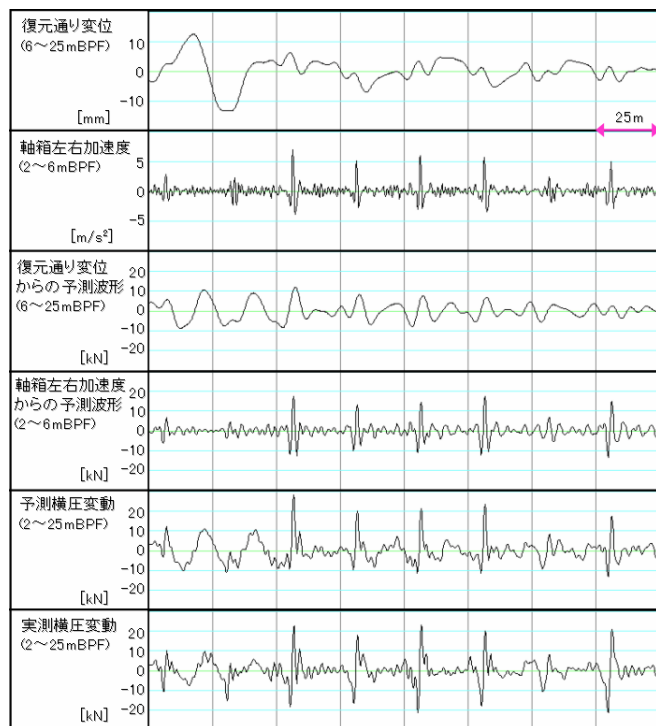


図 4 横圧変動の予測結果

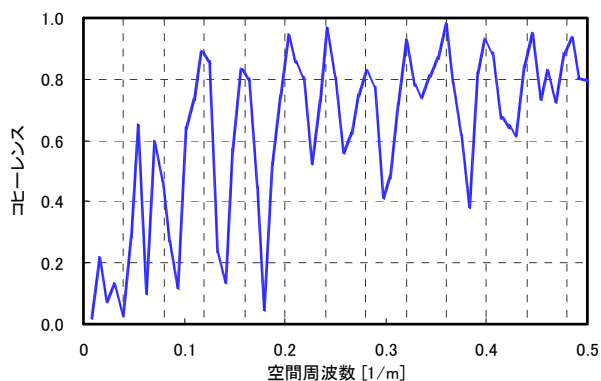
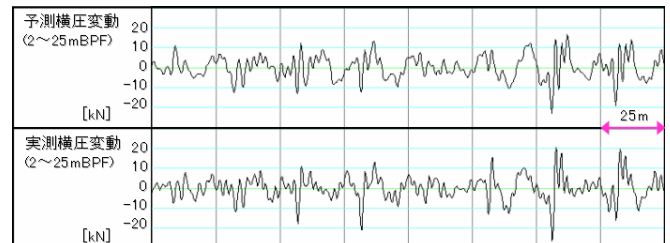
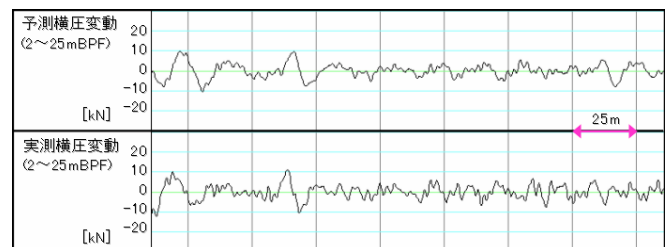


図 5 横圧変動の予測波形と実測波形のコヒーレンス

図 6 は，図 3 に示した定尺レール区間の曲線の周波数応答関数から求めたインパルス応答を用いて，別の区間の横圧変動を予測した結果である。図 6(a)は定尺レール区間，図 6(b)はロングレール区間の曲線である。図より，インパルス応答を求めた区間と異なる区間であっても，同じ車両形式，速度であれば横圧変動を予測できることがわかる。



(a) 定尺レール区間



(b) ロングレール区間

図 6 異なる区間の横圧変動の予測結果

4. おわりに

横圧と軸箱左右加速度および通り変位の関係について分析を行い，周波数応答法によって軸箱左右加速度から波長 6m 以下，通り変位から波長 6m 以上の横圧変動を推定した。その結果，従来の 10m 弦通り変位からだけでは把握できなかった短波長の通り変位に起因した変動成分を含めた横圧変動を予測可能なことを示した。

なお，横圧推定式によって曲線中の定常横圧を推定し，今回示した手法によって求めた横圧変動と足し合わせることによって，著大横圧発生箇所抽出を行うことも可能である。また，偏心矢法を用いた軌道検測車では，原理上は波長 6m 以下の通り変位も検出でき，これを用いれば短波長通り変位の保守・管理も可能であるので検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 田中博文，古川敦：軸箱左右加速度を用いた著大横圧の管理手法，鉄道技術連合シンポジウム，J-Rail2007，pp.635-638，2007.
- 2) 例えば，J.S. Bendat 他：ランダムデータの統計的処理，培風館，401p.，1976.