

慣性正矢軌道検測装置の列車動揺管理への活用の可能性評価

鉄道総合技術研究所 正会員 ○大島 崇史

鉄道総合技術研究所 正会員 坪川 洋友

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 兼子 弘

1. はじめに

多くの鉄道事業者においては、走行安全性の確保や乗心地の管理といった観点から、検査として定期的に列車動揺が測定されている。そして、この列車動揺は、軌道変位と相関があるため、軌道状態の評価にも用いられている。

一方、軌道変位の検測方法として慣性法を用いた検測装置が導入されつつある。この検測方法は、加速度計を内蔵した検測装置を台車、または車体に搭載し、加速度を2回積分することで変位量を算出する。このように測定された加速度は、軌道変位を算出するために使用されるが、検測装置を車体に搭載した場合には、車体に設置された装置の加速度を測定するため、動揺の検査データとして使用できる可能性がある。

そこで、本研究では車体に搭載された慣性正矢軌道検測装置にて測定した動揺（以下、「慣性動揺」と呼ぶ）と、車体の床上に設置した加速度計にて測定した動揺（以下、「車両動揺」と呼ぶ）との相関を分析し、慣性正矢軌道検測装置を動揺（上下・左右）管理に活用することの可能性を評価した。

2. 分析対象データ

本分析では、JR東日本の新幹線車両E5系の車体に搭載された慣性正矢軌道検測装置¹⁾の慣性動揺と、同じ車両において車両先端部に設置された動揺計で測定された車両動揺を用いた。慣性動揺と車両動揺は図1に示す箇所にて測定された。分析には、東北新幹線下り線で測定されたデータを用いた。

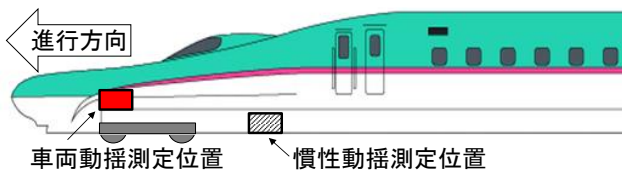


図1 慣性動揺と車両動揺の測定位置

3. 列車速度と周波数の関係

図2に、列車速度に応じた動揺の周波数と波長の関係を示す。一般に車両が揺れやすいとされる周波数は1.0～1.5Hzであり、これに対応する波長は図2より、列車速度300km/hにおいては約80～60m、100km/hにおいては約30～20mであることが分かる。つまり、100km/h以上の速度域においては、波長20m以上の動揺に対して、慣性動揺と車両動揺の相関関係が確認できれば、ある程度の精度で慣性動揺によって列車の動揺を評価することが可能と判断できると考えられる。

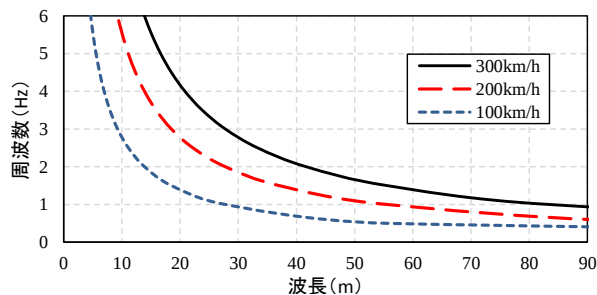


図2 列車速度に応じた周波数と波長の関係

4. 分析結果

1) 周波数解析

慣性動揺と車両動揺に対して周波数解析を行い、両者のパワースペクトルを求めた。その結果を用いて慣性動揺と車両動揺のコヒーレンスと周波数応答を算出した。結果の一例として、列車速度が300km/h以上の15kmの区間における、①上下動揺のパワースペクトル、および②上下動揺・左右動揺それぞれのコヒーレンスを図3、図4に示す。また図3における、黒線は慣性動揺、赤線は車両動揺を、図4における黒線は上下動揺、赤線は左右動揺を表す。

図3より、慣性動揺と車両動揺のパワースペクトルの波形は、空間周波数0.1(1/m)以下(波長10m以上)の周波数帯域において相関があることが分かる。さらに図4より、上下動揺における空間周波数0.08(1/m)

キーワード 慣性正矢軌道検測装置、動揺、動揺検査、列車動揺

勤務先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 鉄道総合技術研究所(軌道管理) 042-573-7278

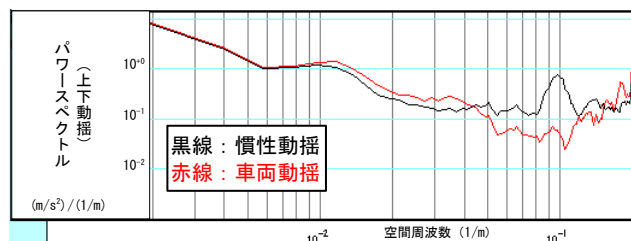


図3 慣性動揺と車両動揺(上下)のパワースペクトル

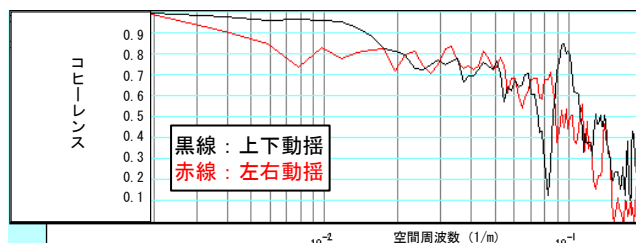


図4 慣性動揺と車両動揺のコヒーレンス

(波長 12.5m) 付近の周波数帯域を除いては、上下動揺、左右動揺共に空間周波数 0.1 (1/m) 以下 (波長 10m 以上) において、コヒーレンスが概ね 0.5 を超えており、10m 以上の波長帯においては、慣性動揺と車両動揺はある程度の相関があることが分かる。

2) 慣性動揺と車両動揺の差の標準偏差

1) で示したように、概ね 10m 以上という比較的長い波長帯において、慣性動揺と車両動揺に相関がみられた。この波長帯は 3 章で述べた車両が揺れやすいとされる波長帯を含んだものであり、慣性動揺を用いて列車の動揺を評価することが可能であると考えられる。

そこで、ローパスフィルタを用いて相関が低い短い波長帯をカットした上で、両者の関係を分析した。この際のローパスフィルタは、遮断周波数が、波長 10m, 12m, 14m, 16m, 18m, 20m に対応する周波数の 6 種類を用いた。

図 5 に、図 4 に示したコヒーレンスを算出した区間の一部において、波長 20m に対応する遮断周波数でローパスフィルタ処理を行った動揺の波形を示す。図中黒線が慣性動揺、赤線が車両動揺を表し、フィルタ処理により両波形がよく一致していることが分かる。

次にフィルタ処理後の動揺に対して、10m 区間を 1 ロットとして、ロット毎に最大値と最小値を求めて、ロット内の列車の平均速度が 280km/h 以上のロットにおける、慣性動揺と車両動揺の差の標準偏差 σ を算出した。ここで、最大値差の σ と最小値差の σ で差異が

なかったため、両 σ の平均を算出し、用いたフィルタ別に σ を算出した。図 6 に結果を示す。今回の分析で用いたローパスフィルタでは、いずれの σ も、新幹線において一般的な動揺の管理値とされる、上下動揺 2.5m/s^2 と左右動揺 2.0m/s^2 の 5% 以内であり、慣性動揺と車両動揺の差は管理値と比較して十分小さいことが確認された。また、上下動揺と左右動揺ともに、遮断する波長が短くなるほど σ が増加する傾向が認められた。これは、図 4 に示すように、空間周波数の増加 (波長の減少) に応じて相関が小さくなることに起因すると考えられる。

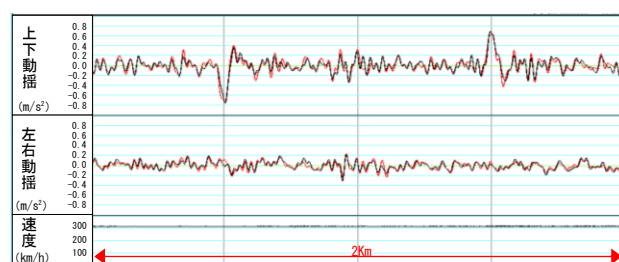
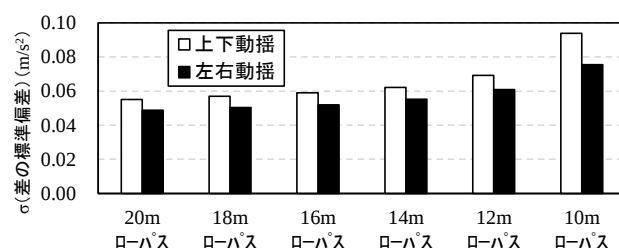


図5 フィルタ処理後の慣性動揺と車両動揺の波形

図6 遮断した波長別の慣性動揺と車両動揺の差の σ

5. まとめ

本研究では、車体に搭載された慣性正矢軌道検測装置で測定された慣性動揺と、車体の床の上に設置した加速度計にて測定された車両動揺を分析し、慣性動揺で列車の動揺を評価することの妥当性について検討した。

その結果、慣性動揺と車両動揺の間には、列車が揺れやすいとされる周波数帯域において相関があり、ローパスフィルタ処理により、慣性動揺と車両動揺の差は十分に小さくなることが確認された。これらのことから、車体に搭載された慣性正矢軌道検測装置で動揺管理を行うことが可能と考えられる。

参考文献

- 1) 片岡慶太：新幹線における営業列車への慣性正矢軌道検測装置の搭載，新線路第 12 号，2014。