

軌道検測データを活用した車両動揺管理手法の検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○片山 雄一郎

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 三和 雅史

1. はじめに

旅客車両で測定された動揺データは、走行速度や車両特性に大きく影響され、また、距離軸化した際のキロ程の誤差が大きいため、将来の動揺の予測結果に基づく計画的な軌道変位保守を行うことが難しい。そこで、本稿では高低変位検測データを用いて任意の速度・車両における将来の上下動揺を予測する手法および車両動揺管理手法について検討する。

2. 乗り心地管理における軌道保守検討箇所とその特性

軌道検測車で測定した動揺は、軌道変位と同時に収録されるため、両者間でキロ程のずれは小さいというメリットがある。図1に、軌道検測車で測定した100m ロットにおける上下動揺と10m 弦高低変位(左右平均値)の各標準偏差間の関係を速度範囲別に示す。本図から、速度が高く、また高低変位が大きいほど上下動揺は大きくなり、速度と高低変位は上下動揺と相関があることがわかる。ここで、上下動揺 0.4m/s^2 、高低変位 5mm を管理上の仮の目安値として図中に示す。高低変位にのみ基づいて保守対象を選定する場合、上下動揺が目安値以上のロットのうち高低変位が 5mm 未満のロットについては、軌道状態は良いと判断され、軌道保守対象から外れてしまう。こうしたロットについても、乗り心地管理上は保守されるべきと考えられることから、高低変位標準偏差は同程度の大きさで、上下動揺の大きさが異なる2ロットについて、高低変位復元原波形(復元帯域 $4\sim 70\text{m}$)のパワースペクトル密度を算出した結果を図2に示す。波長 17m 付近においてパワーに差があり、車両の固有振動数に応答する長波長高低変位が存在する場合、上下動揺は大きくなる。そこで、このような特徴を考慮し、10m 弦高低変位に波長 $15\sim 30\text{m}$ のバンドパスフィルター(BPF)処理を施す場合と施さない場合の高低変位と上下動揺の関係を図3に示す。BPF 処理非実施時における図中の回帰直線との差が大きいロットに着目すると、BPF 実施時の高低変位と上下動揺との相関は非実施時に比べて高いことが確認できる。以上より、軌道検測データを活用した車両動揺管理手法を検討するためには、波長 $15\sim 30\text{m}$ で BPF 処理した高低変位を用いることが有効と考えられる。

3. 軌道変位による上下動揺の推定

3.1 上下動揺標準偏差の推定

高低変位や速度を用いた上下動揺の推定法には幾つか提案されているが、ここでは、上下動揺(標準偏差)の簡易な推定法である式1¹⁾を用いる。

$$\sigma_{av} = k_v v \sigma_k \quad (\text{式 } 1)$$

σ_{av} : 上下動揺標準偏差 [m/s^2], k_v : 車両動揺係数

σ_k : 高低変位標準偏差 [mm], v : 車両速度 [km/h]

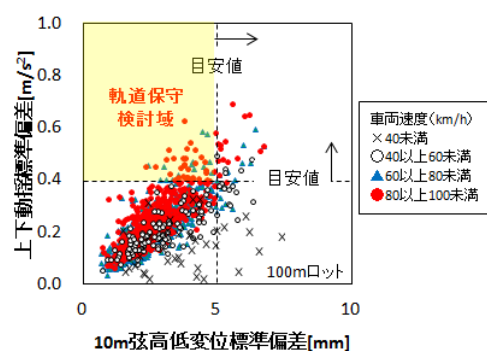


図1 上下動揺と10m 弦高低変位

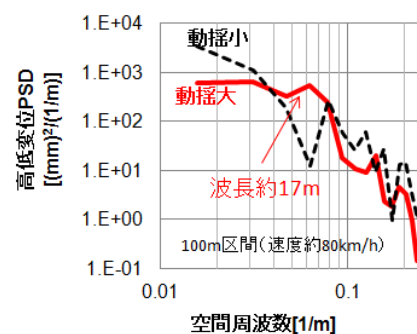


図2 高低変位復元原波形 PSD

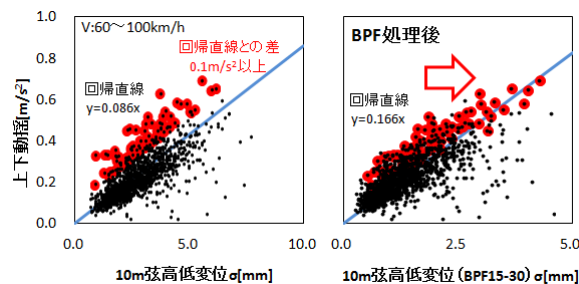


図3 上下動揺と BPF 処理前後の高低変位

キーワード 上下動揺, 長波長高低変位, 将来予測

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道管理研究室 TEL (042) 573-7278

ここで、先述のように、上下動揺は波長 15～30m で BPF 処理した高低変位との相関が高いことから、 σ_k には BPF 処理 (15～30m) を施した高低変位の標準偏差を用いる。軌道検測車、旅客車両 A (普通車両)、B (特急車両) について、式 1 の関係を考慮して実測値をプロットした結果を図 4 に示す。各車両で上下動揺標準偏差と高低変位標準偏差×速度との相関は高く、ほぼ比例関係にある。ここで、図中の回帰式の係数は車両の揺れやすさを表す車両動揺係数に相当し、車両 A、軌道検測車、車両 B の順で大きい。このように、事前に対象車両の車両動揺係数と速度の情報があれば、軌道検測車の高低変位データを用いて、対象車両の上下動揺標準偏差を軌道検測期毎に推定できる。

3.2 上下動揺最大値の推定

動揺管理では、振幅値が管理値を超過する箇所に保守を行うことが多いため、ロット最大値の推定が重要である。そこで、分析区間における各ロットの上下動揺の最大値/標準偏差のヒストグラムを車両別に図 5 に示す。各車両間における最大値/標準偏差の分布傾向や平均値は類似しており、軌道検測車における各ロットの最大値/標準偏差の値を、車両 A、車両 B の最大値算定時に適用できると考えられる。すなわち、キロ程の誤差が小さい軌道検測車データから得た最大値/標準偏差を用いて、対象車両の上下動揺最大値を推定できる。式 1 で推定した上下動揺標準偏差 (車両 A、車両 B) に最大値/標準偏差 (軌道検測車) を乗じて上下動揺最大値を推定し、実測値との関係を図 6 に示す。本手法により、精度 $\pm 0.30 \sim 0.36 \text{ m/s}^2$ [95% 確率] で上下動揺最大値を推定できる。

4. 予測値に基づく車両動揺管理手法

H25 年 4 月と H25 年 11 月の高低変位検測データ (BPF 処理) から H26 年 4 月の高低変位標準偏差を予測し、3 章の手法を用いて算定した上下動揺 (最大値) の予測値と実測値との関係を車両別に図 7 に示す。なお、本図では高低変位予測値の誤差が $\pm 0.5 \text{ mm}$ 以下のロットを対象としている。各車両において上下動揺予測値と実測値は比較的近いことから、高低変位を精度良く予測できれば、上下動揺の予測が可能である。すなわち、本手法を用いることで、各車両における将来の上下動揺ロット最大値を予測することができ、これと将来の軌道変位を考慮した保守計画を検討することにより、軌道保守の効率化が期待される。

5. おわりに

在来線軌道検測車から得た上下動揺および高低変位データによる、旅客車両の上下動揺の推定法を提案した。また、高低変位標準偏差予測値を用いて将来の上下動揺を予測した結果に基づく車両動揺管理手法を提案した。

参考文献

- 1) 高井秀之, 内藤博行, 矢澤英治: 軌道狂いの標準偏差による車両動揺の推定法, 土木学会第 48 回年次学術講演会, 1993. 9

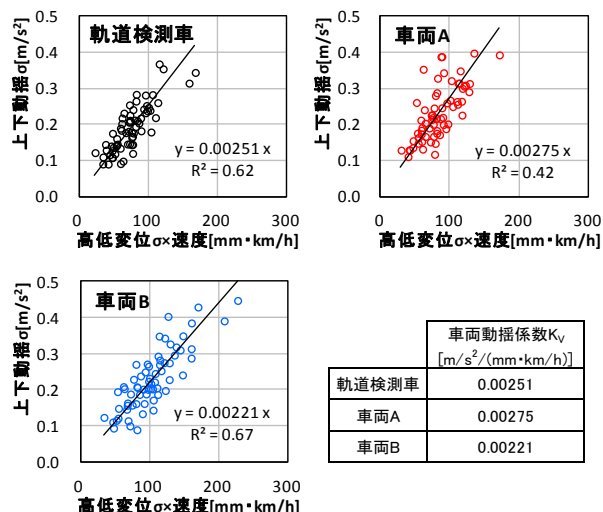


図 4 車両動揺係数算出

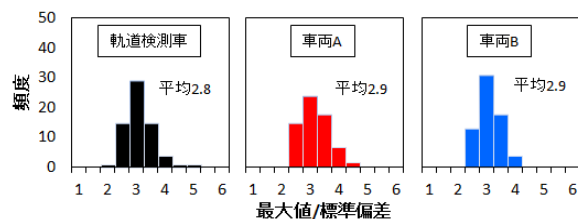


図 5 最大値/標準偏差ヒストグラム

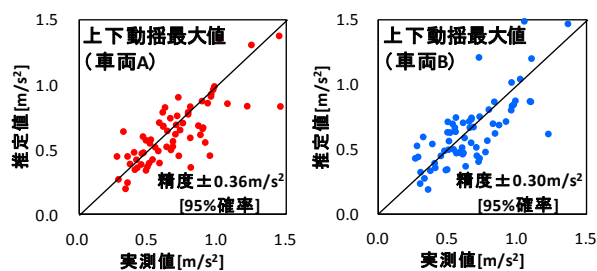


図 6 上下動揺最大値の推定精度

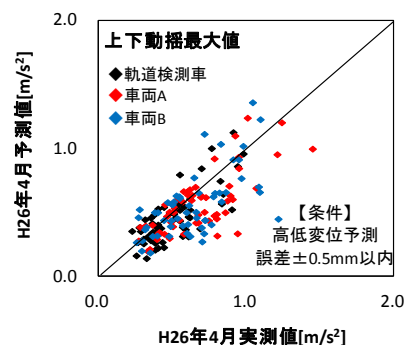


図 7 上下動揺最大値の予測精度