

高頻度動揺データを用いた将来動揺値予測に関する考察

株式会社レールテック 正会員 ○横川 雅成
西日本旅客鉄道株式会社 正会員 矢坂 健太

1. 目的

線路の巡視や検査は、CBM（Condition Based Maintenance）を基本としたメンテナンスを実施しているが、人による検査が主体であることから、検査数値のばらつきや、検査回数の制限を受け、軌道の状態を常時正確に把握することが困難である。そのため、軌道の状態が急進・停滞する箇所では、一部不経済な整備や、事後保全的な整備となってしまうことがある。一方で生産年齢人口の減少からもメンテナンスのさらなる省人化・省力化が求められており、より適切な時期に必要な整備を実施する、常時状態監視によるCBM（以下、「高頻度CBM」）への転換が急がれている。また、コロナ禍による経営環境の悪化を受け、設備投資の低廉化が求められている。

少額投資による高頻度CBMを目指し、これまでも、車両挙動監視装置から得られた高頻度動揺データを活用した軌道状態把握に関する検討をしてきた^{1,2)}が、軌道状態（高低や動揺値）の将来予測をする際の学習期間（図-1 左）の検討、や走行速度が動揺値に与える影響（図-1 右）の対応が課題として残存していた。そこで、今回は、高頻度動揺データを用いた将来動揺値の予測を対象として、上記課題を検討し、予測精度の向上を目的に取り組むこととした。

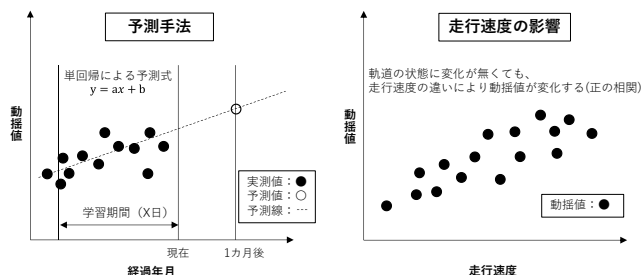


図-1 左: 将来動揺値予測手法, 右: 走行速度と動揺値の関係

2. 検証方法

学習期間内に測定された定点の動揺全振幅値（以下、「動揺値」）と経過日数の関係から単回帰により近似予測線を求め、学習期間終了日から1ヶ月後の前後5日

間（以下、「検証期間」）の、「動揺実測値」と近似予測線により求められた「動揺予測値」の誤差の絶対値平均（以下、「予測誤差平均（MPE）」）を式1により求め、予測精度を検証する（図-2）。

$$MPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - y'_i| \quad (1)$$

ここで、MPE：予測誤差平均、n：検証期間内のデータ数、 y_i ：i番目の動揺実測値、 y'_i ：i番目の動揺予測値である。

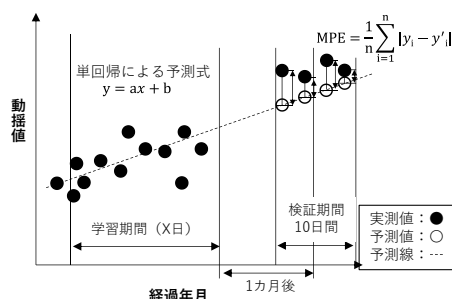


図-2 予測精度の検証方法

2-1. 検証対象データ

学習期間は、2021年10月15日から10週間遡った8月6日（34検測分）であり、検証期間は、2021年11月10日から2021年11月20日（6検測分）である。検証区間は、単線区間の定尺レール敷設区間で、動揺値が0.32g以上の箇所（48箇所の定点）を対象とし、検証をする。

2-2. 学習期間の検討

学習期間を2021年10月15日から1週間ずつ伸ばし、MPEの違いを確認した。図-3には、検証対象箇所の48箇所で確認したMPEの平均値と標準偏差を示す。

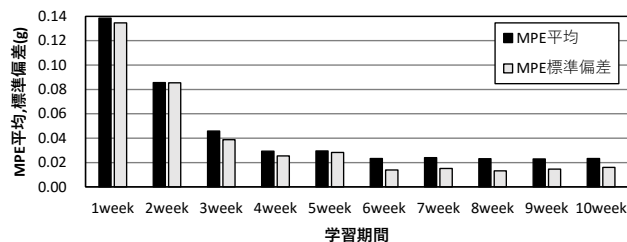


図-3 学習期間の違いによるMPEの平均と標準偏差

キーワード：CBM, モニタリング, 高頻度動揺, 軌道状態把握

連絡先：大阪市淀川区西中島5丁目4番20号中央ビル3F 株式会社レールテック 軌道事業部 TEL 06-6889-2880

MPE の平均値、及び標準偏差は、学習期間を1週間から6週間に伸ばすにつれて減少傾向にあることがわかる。また、6週間以降については、数値が横ばいで、平均値 0.02g、標準偏差 0.01g 程度で停滞していることがわかる。このことから、学習期間に使用するデータは最低でも6週間のデータが必要であることが確認できた。

2-3. 走行速度の検討

走行速度の影響を考慮して、予測精度を向上させるために、速度帯域を限定してデータを使用する方法について検討をすることとした。具体的には、各定点の48箇所それぞれに対して、学習期間から検証期間までのすべてのデータを使用し、走行速度の中央値を算出した上で、その中央値から一定の範囲内に収まったデータを活用し、将来動揺値を予測する手法とした。今回の検証ではその範囲を $\pm 10\%$ から2%ずつ減らしていき、MPE 違いを確認した。なお、本検証では、2章2項の検証結果を踏まえ、学習期間を6週間として検証を実施している。図-4には、検証対象箇所の48箇所を確認したMPEの平均値と標準偏差を示す。

結果、MPEの平均値、及び標準偏差は、抽出範囲を $\pm 10\%$ から $\pm 6\%$ に狭めていくにつれて減少傾向にあり、 $\pm 6\%$ から $\pm 2\%$ に狭めていくにつれて増加傾向にあることがわかる。そこで検証対象箇所48箇所のMPEの分布を抽出速度帯域に分けて確認することとした(図-5)。その結果、抽出速度帯域 $\pm 4\%$ と $\pm 2\%$ の分布には、全体の分布から外れたデータが存在することがわかった。そこで更に全体の分布から外れたデータを対象に動揺値の推移を確認した(図-6)。結果、9月26日に検出された比較的小さな動揺値に影響をうけ、予測線が適切に引かれていないことが確認できた。

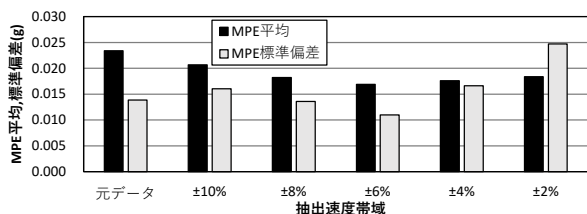


図-4 抽出速度帯域別の MPE 平均と標準偏差

2-4. 外れ値の適用除外

2章3項で確認された9月26日のような外れ値を除外するために、検証対象箇所の48箇所それぞれに対して、学習期間の動揺値から求めた予測線と実測値の乖離量から標準偏差を求め、予測線から 2σ 以上離れた動揺データを外れ値として、適用除外することとした。

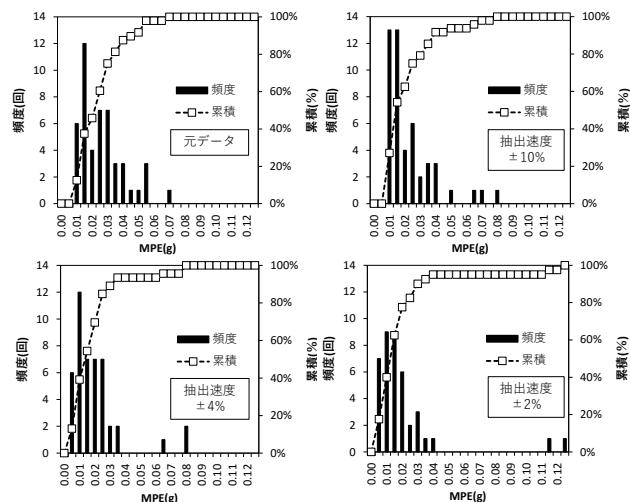


図-5 抽出速度帯域別の MPE の分布

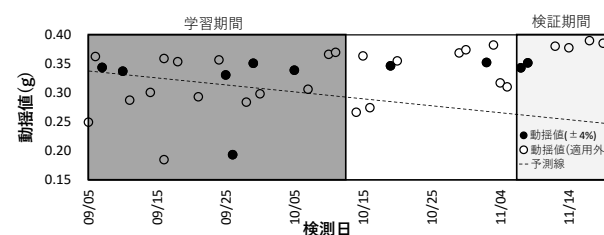


図-6 全体の分布から外れたデータの動揺推移の一例

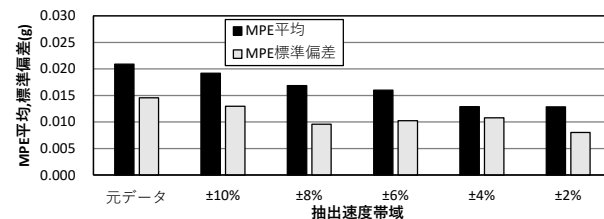


図-7 抽出速度帯域別の MPE 平均と標準偏差(外れ値除外)

そして、除外したデータを元に、2章3項の内容を再検証することとした(図-7)。結果、MPE 平均は抽出速度帯域を絞ることで減少し、抽出速度帯域 $\pm 2\%$ では、MPE 平均 0.013g、標準偏差 0.008g となり、検討前の値(学習期間 1week, 速度帯域の制限無し: MPE 平均 0.139g, 標準偏差 0.135g)と比べ、10分の1程度に抑まることが確認できた。

3. まとめ

将来動揺値の予測精度の向上には、学習期間の設定と抽出速度帯域の制限が有効であることが確認できた。一方で、抽出速度帯域に制限をかけると、データ数が減少するため、測定頻度とのバランスを見ながら検討を進める必要がある。

4. 参考文献

- 1) 横川雅成, 原田祐樹, 楠田将之: 高頻度動揺データを用いた軌道状態把握に関する基礎的検討, 鉄道工学シンポジウム論文集, 第26号, pp.41-47, 2022.
- 2) 横川雅成, 楠田将之: 高頻度動揺データを活用した高低狂い予測手法の検討, 施設協会誌, pp.14-17, 2022.09.