

③地方鉄道を対象とした列車動揺データに基づく 軌道監視手法の検討

交通システム研究部

※緒方 正剛

一柳 洋輔

佐藤 安弘

篠田 憲幸（客員研究員）

1. はじめに

地方鉄道において軌道管理の省力化を実現するために、小型情報端末を活用した新たな軌道監視手法について研究を進めており、令和3年度講演会において報告した¹⁾。その中で、軌道検測車による線路保守の基準値をもとに、列車動揺の基準値を提案することが課題となっていたが、その後、列車動揺の実測データと、軌道検測車による軌道変位のデータを用いて検討を進めた。その結果、軌道の高低変位と列車動揺の散布図を用いた評価方法、営業列車の動揺計測に基づく軌道監視手法を検討したので報告する。

2. 背景とこれまでの検討

2. 1. 従来の軌道管理の方法

軌道の維持管理は、従来から5項目(高低、通り、水準、軌間、平面性)の軌道変位の検測データをもとに行われている。これらは、軌道検測車、簡易軌道検測装置または手検測により定期的に測定される。また、軌道変位の検測を補完するものとして、任意の区間を任意の時期に測定することのできる列車動揺検査が行われている。これは、台車中心床面上に振動計を設置し、上下振動と左右振動を測定して、過大箇所を抽出するものである。軌道検測車は地方鉄道路線に導入するには非常に高価であり、また、簡易軌道検測装置または手検測では、1日に測定できる距離が限られる。これに対して、我々は列車動揺検査に必要な加速度センサなどの機材の低価格化・小型軽量化を背景に、列車動揺検査の方法を応用して地方鉄道の軌道監視手法の構築を進めている。

2. 2. 新たな軌道監視手法のコンセプト

地方鉄道事業者が、営業車両の振動加速度等を高頻度で測定を行うことで、異常の早期発見を可能とすることを目的とし、振動センサを内蔵した小型情報端末を利用し、データ取得をオンラインで行うことを検討した。列車位置は小型情報端末に内蔵されたGPS

(Global Positioning System) 受信機を利用し、GPSの搬送波のドップラー効果を利用した速度データを取得し、時間軸のデータを距離軸に変換する。さらに内蔵のジャイロセンサによって曲線の始終点を検出し位置同定の精度を上げる。

3. 列車動揺の基準値の検討

これまでの検討では、列車動揺データと軌道検測車による軌道検測データとの関連性を把握し、軌道検測車による線路保守の基準値をもとに、列車動揺の基準値を提案することが課題となっていた。そのため、以下の解析を行った²⁾。

3. 1. 上下振動と軌道の高低変位との関係

列車動揺のうち、車両の上下振動と軌道の高低変位の相関関係を調べるため、小型情報端末で測定した車両の上下振動のデータと、1m 間隔で測定された高低変位のデータとの関係について解析した。なお、解析区間は4 駅間で、列車動揺と高低変位との相関が低くなる低速区間は対象外とし、50 km/h 以上で走行する区間（距離約 8,400 m）について解析を行った。

上下振動については、営業列車で測定したデータのうち軌道検測日前後に測定した数日間のデータを抽出し、線路延長 10m ごとの区間での片振幅の絶対値の最大値(10 m 代表値)を求めた。高低変位については軌道検測車による検測データを用い、10 m 代表値を求めた。これらをプロットした散布図を図1に示す。なお、線路延長を 10m で区切ることにより、補修作業指示を出す場合の位置特定に便利である一方、これより短い区間で区切ると列車の位置誤差のため、経時変化が正確に把握できない恐れがある。

図1のデータについて線形回帰分析を行った結果、上下振動加速度 $x(m/s^2)$ と高低変位 $y(mm)$ の間には $y=9.00x$ の比例関係があり、決定係数は $R^2=0.89$ 、ばらつきを示す標準偏差は $\sigma=3.39mm$ で、これらのデータは回帰式を中心にほぼ正規分布になっており、車

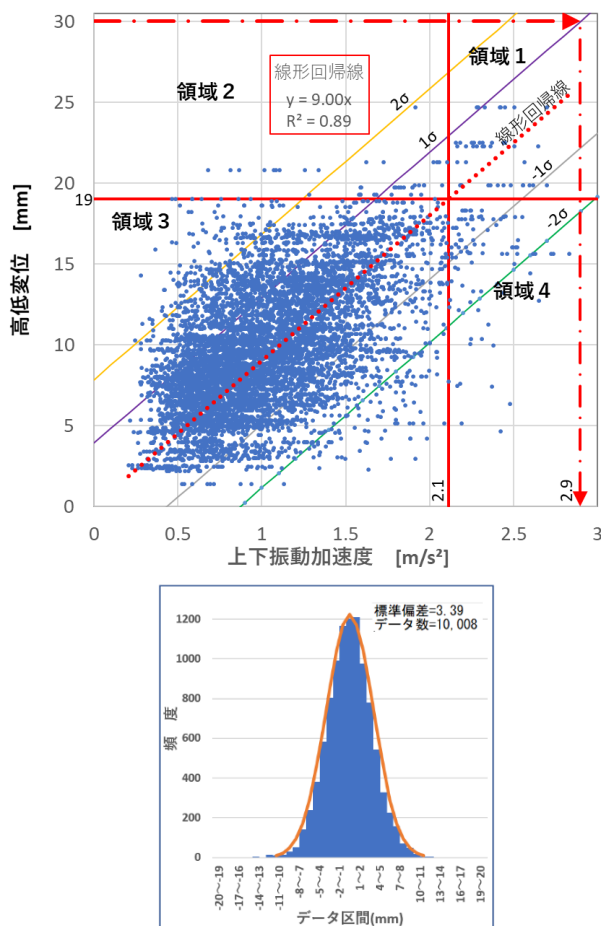


図1 上下振動加速度と高低変位の散布図

両の上下振動と軌道の高低変位との間には強い相関関係があることがわかる。また、図には示していないが、1年間隔を置いて検出された別の高低変位データ及び振動加速度データを解析した結果、回帰係数や標準偏差もこれと近い値であった。このことから、軌道変位の検出データのない期間でも、車両の上下振動の測定値から、軌道の上下変位の程度を推定することが可能であると考えられる。すなわち、毎日、車両の上下振動を測定することで、高低変位の変化を上下振動の変化から推定することにより、軌道管理が行える可能性があると考えられる。

3. 2. 上下振動による補修目標値の設定

図1に赤線で4つの領域を設定した。高低変位の19mmは、軌道整備目標値(4級線における軌道検測車による動的値)を用いた³⁾。また、上下動については、列車動揺による整備標準値を参考に、小型情報端末の設置位置(台車中心床面上ではなく運転台に設置)を考慮して2.1m/s²を補修目標値として領域分けを行った。領域1は、高低変位も大きく上下振動も大きい要注意箇所、領域2は高低変位が大きいのに上下

振動が小さいことから高低変位の大きな箇所を見逃す恐れがある、または軌道補修の効果があつた地点、領域3は高低変位も上下振動も小さく特に問題ない箇所、領域4は高低変位が小さいが上下振動が大きく、上下振動が漸増している恐れのある箇所、ということができる。

4. 列車動揺に基づく軌道監視手法

列車動揺に基づく軌道監視手法では、以下の手順によって、軌道状態の監視が可能となると考えられる。
①: 軌道検測車の高低変位データから10m代表値を作成、②: 検出の前後10日間程度の営業列車の上下振動のデータから10m代表値を作成、③: ①と②から散布図を作成し、回帰式等を求める。④: 日々測定される営業列車の上下振動のデータから10m代表値を作成、⑤: ④が③の散布図のどの領域に該当するかを判定する。要注意箇所(図1の領域1)となった場合は、例えば当該箇所の過去半年間の上下振動の経時変化から軌道劣化の予測を行い、整備基準値(図1の例では30mm)に相当する振動加速度(図1の例では2.9m/s²)を予測値が超えないように軌道整備を行うこととする。

5. まとめ

地方鉄道において軌道管理の省力化を実現するために、小型情報端末を活用した新たな軌道監視手法について研究を進め、軌道の高低変位と列車動揺の散布図を用いて関連性を把握するとともに、上下振動による補修目標値を高低変位の軌道整備目標値に相当する値として定め、これに基づき、日々の営業列車の動揺計測に基づく軌道管理が可能となることを示した。

今後の課題としては、車両の左右振動等についても軌道監視手法に組み入れることが考えられる。

参考文献

- 1) 緒方 正剛, “地方鉄道を対象とした軌道状態の省力化監視手法に関する取組”, 交通安全環境研究所講演会, 講演1, pp.45-54 (2021)
- 2) 篠田 憲幸ほか, “携帯情報端末を用いた営業列車振動データにもとづく軌道管理手法”, 日本機械学会論文集, Vol.88, No.911 (2022)
- 3) 財団法人鉄道総合技術研究所, 鉄道構造物等維持管理標準(軌道編)の手引き, pp.72 (2007)