

## 車両振動に着目した軌道モニタリングシステムの開発

東京大学 学生会員 ○下園 武範 東京大学 正会員 阿部 雅人  
 東京大学 フェロー 藤野 陽三 BMC 正会員 小芝 明弘  
 いすみ鉄道 鹿間 剛

### 1. はじめに

地方の小規模な民鉄や国鉄から経営を切離された第3セクター鉄道などでは年々利用者が減少する中で、鉄道施設に対して適切な管理が行えない状況にある。これら中小鉄道においては厳しい経営状況下での安全性の確保、さらに施設老朽化に伴うメンテナンス規模拡大への対応といった観点から効率的なメンテナンス手法が求められる。しかしながら JR や大手私鉄で導入されているシステムはいずれも高価なもので、中小鉄道の経営規模に対して適当でない。

本研究ではこのような中小鉄道を対象として、車両の振動から軌道の状態を把握するシステムを開発する。振動計測は簡便で自動化が容易であるため、車両振動から軌道保守上の指針が引き出せれば営業車両を用いた軌道モニタリングが可能となる。

### 2. 計測システムの概要

営業車両での計測を前提として、以下の基本コンセプトに従って計測システムを構成した。

- ① 簡便かつ安価であること
- ② 自動的な計測が可能
- ③ 設置スペースが小さいこと

計測システムは振動計測システムと位置情報取得システムからなる。振動計測は圧電式センサから発生する電荷をアンプに通した後に A/D 変換し、ノートパソコンで波形表示・記録する。位置情報取得には GPS を別系統でノートパソコンに接続した。



図1 計測システム

### 3. 中小鉄道における車両振動計測

計測システムを用いて房総半島の南東部を西進する第3セクターいすみ鉄道で車両振動計測試験を行った。各機器の設置位置を図2に示す。

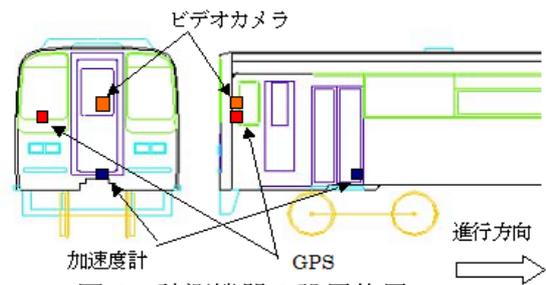


図2 計測機器の設置位置

計測は約27kmの全区間に対して実施し、後台車中心位置フロア上での上下・左右・前後方向加速度および対応する位置情報を取得した。なおサンプリングレートは振動データについては200Hz、位置データでは1Hzに設定した。

### 4. 計測データの処理

計測した振動データの周波数特性を調べると、各方向とも車両の固有振動数に対応する1~2Hzの周波数成分が卓越しており、他の帯域には大きなピークは見られなかった。ここでは軌道からの外乱により励起される低周波振動を考慮するため、多少の余裕を見て20Hz以上の周波数成分はローパスフィルタでカットした。

位置データについては鉄道車両の移動は線路に沿った軸を想定すれば1次元であるため、ある時間での始点からの距離（キロ程）をそれまでの各計測点間の相対距離の和として求めた。短い時間間隔で2点間の相対距離を求める場合、同じ衛星環境にあるという前提の下に共通誤差がある程度消去されることに期待した。このように処理した位置データの誤差を各駅間距離で評価すると、概ね1kmの走行に対して10~20m程度であった。

### 5. 車両振動から軌道状態の推定

振動データの再現性を確かめるため、同じ区間での2回の計測データを同一グラフ上にプロットすると図3のようになった。誤差の確率分布を求めると走行速度が同じであれば各方向とも90%の誤差が $0.2\text{ m/s}^2$ 以下となった。この結果から低周波帯域において車両振動は軌道状態を大きく反映しているといえる。換言すれば、軌道状態は車両というフィルターを介してフロア上での低周波振動として現れることになる。

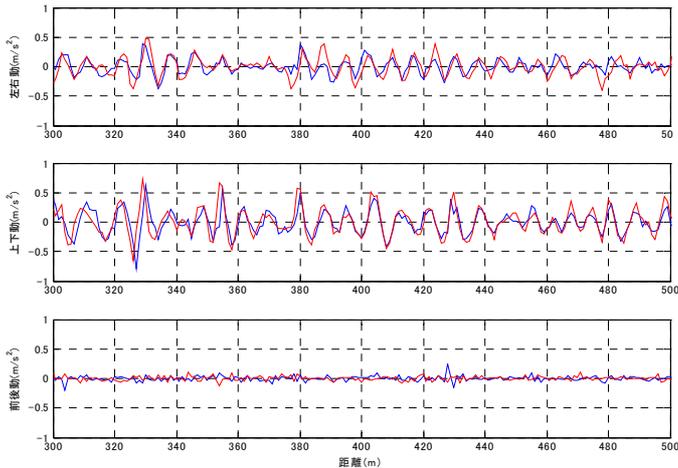


図3 振動データの再現性

上記の結果を踏まえ、軌道不整としてレールの高低狂いに着目し、車両上下振動からの推定を試みた。対象とする区間は走行速度 $50\text{ km/h}$ 一定の直線区間である。ここでは高低狂いに対する車両の周波数応答関数 $G(f)$ を求め、その逆関数 $G^{-1}(f)$ を計測した振動データにかけることで高低狂いを推定した。 $G(f)$ は図4に示す9自由度1車両モデルに正弦波で仮定した高低狂いを入力することで求める。なお計算上の各種パラメータには車両の設計値を用いた。

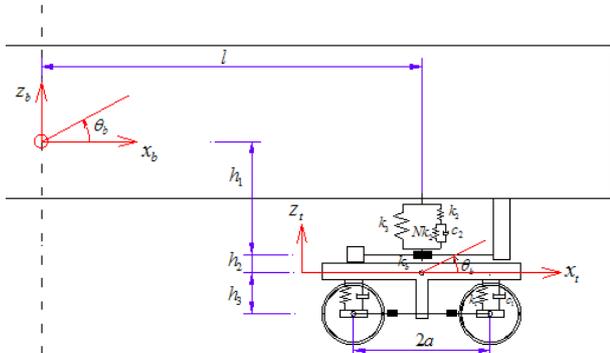


図4 車両上下振動モデル

この方法による高低狂いの推定値と実測値を比較する

と、車両振動が卓越する周波数帯域(波長 $7\sim 14\text{ m}$ )において両者はよく一致した。しかしながら波長が長くなると両者に一致は見られず、その原因は長波長狂いが車両に動揺を与えないためと考えられる。波長 $7\sim 14\text{ m}$ に対応する高低狂いの推定値および実測値をバンドパスフィルタで復元すると図5のようになった。

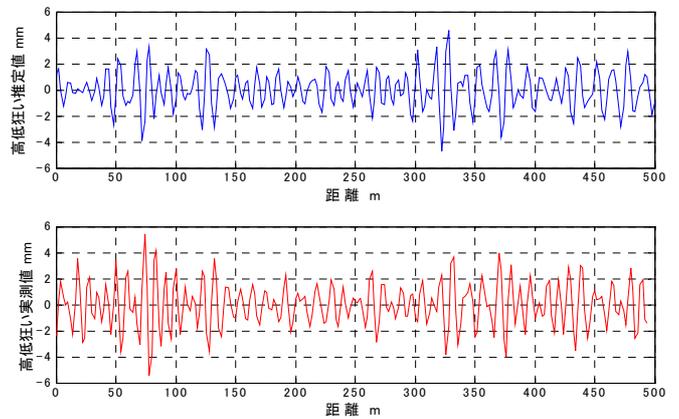


図5 高低狂い実測値と推定値

### 6. まとめ

車両振動に着目した軌道モニタリングシステムの開発を目的として研究を行った。中小鉄道での実用化を念頭において簡便な計測システムを構築し、実車での計測試験によってその性能を確認した。また限られた条件での検討ではあったが、車両振動のピーク周波数帯域に対応する高低狂いについて定量的にも妥当な推定値が得られた。これによって車両振動から軌道状態を把握する可能性を示すことができた。

今後は対象を他の軌道狂いやレール継目などの軌道変状にも拡張することを課題としたい。また車両の振動特性は走行速度の影響を大きく受けるため、速度変化にどう対応するかについても実用化に向けて検討しなければならない。

### <参考文献>

- 1) 鉄道車両のダイナミクス  
日本機械学会編, 電気車研究会
- 2) 機械技術者のための鉄道工学
- 3) 土木技術者のための鉄道工学  
丸山弘志・深澤義朗, 丸善
- 4) 新しい線路—軌道の構造と管理—  
須田征男他, 日本鉄道施設協会