

軸箱振動加速度を用いたレール破断検知手法のしきい値設定方法

鉄道総合技術研究所 正会員 ○相澤宏行

鉄道総合技術研究所 正会員 細田充

鉄道総合技術研究所 正会員 山本隆一

1. はじめに

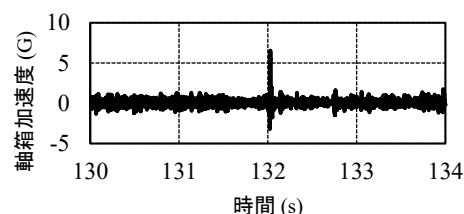
無線式列車制御 (CBTC) による信号システムの導入が進み、軌道回路によらないレール破断検知手法が求められている。車上式のレール破断検知手法については、レール開口部を車両が走行した時の上下方向の軸箱振動加速度 (以下、軸箱加速度とする) の特徴を調査しており¹⁾、レール開口部では局所的に軸箱加速度が低周波成分を含むことが分かっている。したがって、車上から軸箱加速度によりレール破断検知を行うには、走行時に取得した軸箱加速度をローパスフィルター (LPF) によって濾波し、低周波成分があるしきい値を超過した際にレール破断と判定するシステムを構築すればよい。本研究では、レール開口部を通過した際の、軸箱加速度の低周波成分のしきい値の設定方法について検討する。

2. レール開口部走行試験で得られた軸箱加速度

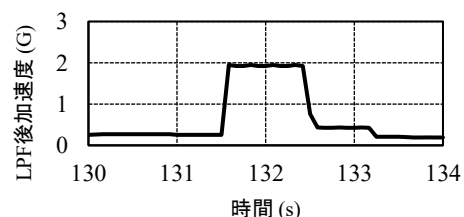
既往の研究¹⁾と同じ走行試験を対象とし検討を行った。車両はバラスト軌道の曲線上に設けられた開口量 70 mm, 100 mm, 130 mm のレール開口部を、速度 10 km/h, 20 km/h, 30 km/h で走行し、第 1 軸の軸箱加速度を収録した。図 1(a)に開口量 100 mm, 速度 10 km/h の場合の軸箱加速度の原波形を示す。既往の研究¹⁾では、レール開口部で軸箱加速度に 30 Hz 以下の低周波成分が含まれるとされている。そこで、レール開口部を抽出するために、得られた軸箱加速度を 30 Hz の LPF で濾波し、さらにこれを 1 秒間ずつ切り取って抽出した波形の区間 (窓) を 0.1 秒ずつずらし窓内の最大値を抽出することとした。図 1(b)に図 1(a)の軸箱加速度原波形に対して濾波および窓処理を行った波形を示す。

レール継目部通過時の軸箱加速度はレール開口部と同様に衝撃的な波形となり原波形では区別が困難である。ただし、レール継目部はレールが不連続となっているものの、継目板で結合されているためレール開口部ほど支持剛性が低下しないとされる²⁾。したがって、レール継目部通過時の軸箱加速度にはレール開口部ほど低周波成分は含まれないと推測され、既往の研究¹⁾においてもこの傾向が見られている。そこで、レール開口部から十分離れたレール継目部を通過した時に得られた波形に上記の処理を施し、レール開口部と継目部における軸箱加速度の低周波成分を比較した。

レール開口部および継目部で得られた低周波成分の値と、各開口量のレール開口部と継目部について速度を変数として二次関数でフィッティングした予測値の曲線を図 2 に示す。また、表 1 に予測値の標準誤差を示す。試番の数が限られておりばらつきが大きいですが、レール継目部における低周波成分はほぼ速度によらず、レール開口部については開口量 70, 100 mm の場合に速度の上昇とともに低周波成分の値が大きくなる傾向がある。また、レール継目部における予測値はいずれの場合のレール開口部における予測値を下回っており、開口量が大きいほど低周波成分の値も大きくなっている。一方で、一部のレール継目部における実測値が開口量 70 mm のレール開口部における値より大きくなっている場合がある。



(a) 軸箱加速度原波形 (開口部)



(b) LPF 後波形の移動窓の最大値

図 1 軸箱加速度と処理波形

キーワード レール破断検知, 軸箱加速度, 予測区間

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 TEL 042-573-7272

3. 予測区間によるしきい値の検討

2章の結果を元にレール継目部と開口部を区別するしきい値を設定する。本研究で行われた試験は試番に限られるため特に顕著であるが、今後データを蓄積していったとしてもデータのばらつきが生じると推測される。そこで、運用者がデータのばらつきと検知精度を勘案できることを目的とし、ある開口量のレール開口部を検知するしきい値としてその開口量におけるデータの予測区間の下限値を設定し、このしきい値をレール継目部の予測区間の上限値と比較することを考える。

レール継目部の予測区間上限値およびレール開口部の予測区間下限値を、それぞれ信頼度を70%, 85%に設定した場合について図3に示す。信頼度が大きいと、実験データのばらつきの範囲内でレール継目部の予測区間上限値は大きくなり、レール開口部の予測区間下限値は小さくなる。また、開口量100mm以上のケースは標準誤差が大きいため信頼度が変わると予測区間下限値も大きく変動する。レール継目部の予測区間の上限値がレール開口部の予測区間の下限値を上回る時に、レール継目部をレール開口部であると誤判定する可能性が高いことになる。

上記を踏まえて図3を見ると、信頼度70%の場合は開口量70mmのレール開口部を約16km/h以下の速度で走行した時に、85%の場合には開口量70mmのレール開口部を約24km/h以下の速度で走行した時にレール開口部とレール継目部を誤判定する可能性がある。誤判定の可能性のある開口量と走行速度の組み合わせが許容されるかは、レール損傷発生時の走行安全性評価の結果によって判断される。軸箱加速度を用いたレール破断検知システムの運用者は適用する線区の状況に応じてしきい値設定のための信頼度を決定できる。

なお、本研究で対象とした試験は試番が少なくばらつきが大きいため予測区間が広い。よって、より多くのデータを取得し、波形の特徴等を合わせてレール破断判定としきい値の高精度化を目指す必要がある。また、データの予測に用いる関数や区間推定に用いる統計手法については検討の余地がある。

4. まとめ

レール開口部走行試験での軸箱加速度の値を元にレール開口部を抽出するしきい値を予測区間から設定する方法を検討した。なお実用に供し得るしきい値を設定するためにはさらなる検討が必要である。

参考文献

- 1) 相澤宏行, 細田充, 山本隆一: 列車通過時にレール開口部に発生する軸箱振動加速度の特徴, 土木学会第74回年次学術講演会, 2019.
- 2) 佐藤吉彦: 新軌道力学, 鉄道現業社, pp.15-19, 1997.

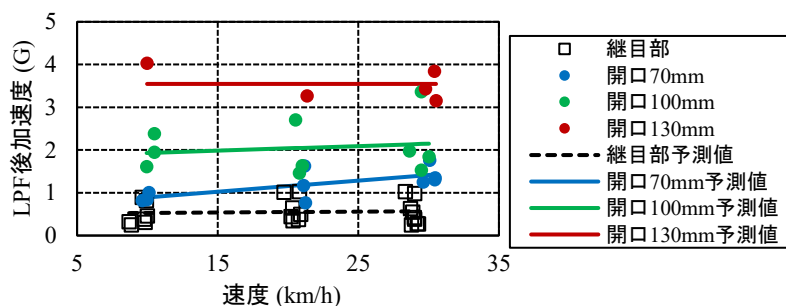
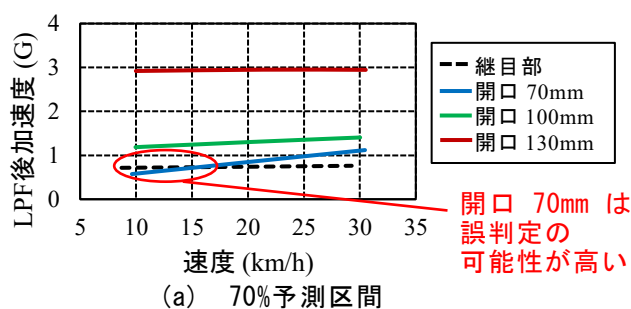


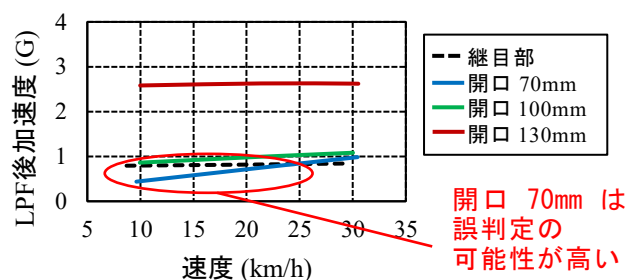
図2 レール開口部および継目部で得られた低周波成分の値

表1 予測値に対する標準誤差

開口量	(継目)	70mm	100mm	130mm
標準誤差	0.031	0.070	0.40	0.19



(a) 70%予測区間



(b) 85%予測区間

図3 レール開口部の予測区間下限値とレール継目部の予測区間上限値の比較