

騒音の左右差を用いたレール破断検知手法

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軸箱加速度を用いる方法¹⁾などが提案されているが、軸箱へのセンサの設置のみならず車体装荷のセンサでレール破断を検知できれば車両運用上より簡便なシステムを構築できる。そこで、車体装荷のマイクを用いて車上騒音からレール破断を検知する手法を検討した。

2. レール開口部走行時の車上騒音

図1に示すように車体の左右に2つの騒音計を設置し、騒音レベルを同期収録する。一般にレール破断は左右レールの片側のいずれかで発生する。片側のレールに開口がある箇所を列車が走行した場合、レール開口部側の車体で観測される騒音レベルは、開口部の反対側で観測される騒音レベルよりも大きい。レール開口部側の車輪がレール開口部を通過した時に発生する騒音は、レール開口部からの距離に応じて減衰する。ここでは騒音源が点音源であると仮定すると、点音源から放射された音響エネルギーは球面状に広がるため、自由空間内の騒音源から距離 r 離れた場所で観測される騒音レベル $L_p(r)$ は

$$L_p(r) = L_w - 20 \log_{10} r - 11 \quad (1)$$

と表される²⁾。ここに、 L_w は騒音源 (レール開口部で発生する衝撃音) の騒音レベルである。レール開口部に対してレール継目部のように両レールが騒音源となる場合は、車体の左右で観測される騒音レベルの差が小さくなると考えられる。

いま、レール開口部を通過したことを想定し、レール開口部側、すなわち得られた騒音レベルが大きい騒音計を CH1、もう一方を CH2 とし、騒音レベルをそれぞれ L_{p1} 、 L_{p2} とする。レール開口部自体が発生する騒音レベル L_w は未知であるため、騒音源から距離 r_1 離れた CH1 で得られた騒音レベル $L_{p1} = L_p(r_1)$ を用いて式(1)から L_w を算出する。 L_w と距離 r_2 が分かれば式(1)から距離減衰の理論に基づく CH2 騒音計設置箇所における音圧レベル $L_p(r_2)$ が算出される。距離減衰の理論は自由空間を仮定しているが、実際の車両には床下機器が設置されており、音の伝搬を阻害する。そのため、現実には CH2 で観測される音圧レベル L_{p2} は $L_p(r_2)$ よりも小さくなると想定される。一方、継目部を通過した際には、CH2 側のレールにも騒音源が存在するため、CH2 の騒音レベルは CH1 側レールからの騒音と CH2 側レールからの騒音が重畳した結果となる。よって、 L_{p2} は $L_p(r_2)$ よりも大きくなると想定される。したがって、CH1 と CH2 で収録された騒音レベルを用いて、 $L_{p2} < L_p(r_2)$ ならレール開口部、 $L_{p2} > L_p(r_2)$ なら継目部を通過したと判断することが可能であると考えられる。

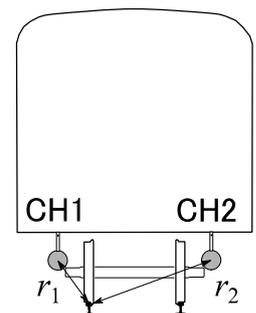


図1 マイク設置位置の模式図

3. レール開口部走行試験による検証

鉄道総研所内試験線においてレール開口部走行試験を行った。バラストラダー軌道上の片レールに開口量 0mm、100mm のレール開口部を設け、車体に騒音計を設置した車両で時速 10km/h、20km/h、30km/h で走行した。騒音計の設置箇所は車体の左右に軌道中心に対してほぼ線対称の位置の床下である。図2にその様子

キーワード レール破断検知, 騒音, 距離減衰

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

を示す。比較のため、同じ軌道上の一般部と継目部でもデータ収録した。開口量 0mm, 100mm の開口部、および一般部と継目部を通過時に 2つのマイクで得られた騒音レベルを図 3 に示す。一般部と継目部通過時には両騒音計の値の差が小さいが、開口部通過時には両騒音計の差が大きい。



図 2 開口部走行試験の様子

試験で得られた騒音レベルを使用し、開口部および継目部通過のデータについて 2章の手法を適用した。その結果を図 4 に示す。図中の赤四角は L_{p2} 、赤四角と同じ距離 r における距離減衰式の曲線の値が $L_p(r_2)$ である。また、図 5 に開口部および継目部における L_{p2} と $L_p(r_2)$ の比較を示す。開口部通過時は全て $L_{p2} < L_p(r_2)$ 、継目部通過時は 1 試番を除き $L_{p2} > L_p(r_2)$ となった。

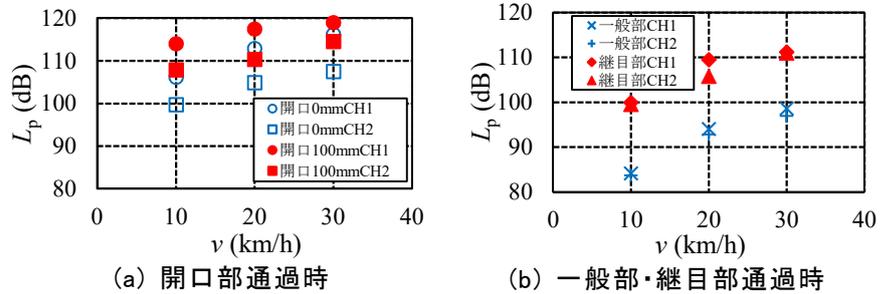


図 3 左右 2つのマイクで得られた騒音レベル

4. レール破断検知フロー

騒音の左右差を用いたレール破断検知フロー例を図 6 に示す。一般部走行時の音圧レベルは小さいため、例えば試験において開口量 0mm で時速 10km/h、時速 30km/h で走行した際に得られた音圧レベルと騒音レベルが音圧の 2.5 乗に比例する³⁾ことをもとにしきい値を設定し、そのしきい値を超過した場合に 2章のアルゴリズムを使用することで、レール溶接部やノイズ等の現象とレール破断部判定を効果的に区別できると考えられる。

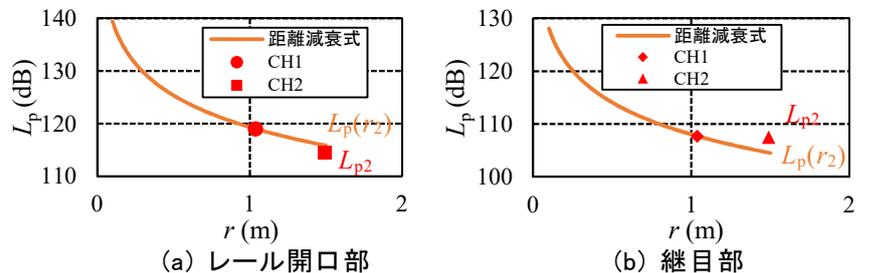


図 4 レール開口部および継目部での騒音の左右差

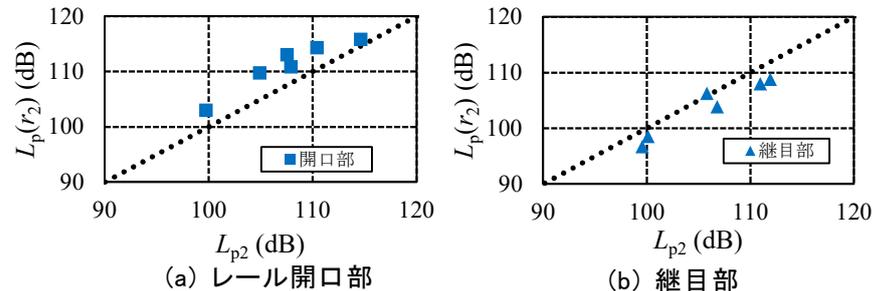


図 5 レール開口部および継目部での L_{p2} と $L_p(r_2)$ の比較

5. まとめ

車体の左右に設置した 2つの騒音計と騒音の距離減衰の理論を用いてレール開口部と継目部を区別できる可能性が示された。今後は、誤判定の原因を究明し、検知精度向上を目指す必要がある。

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) 日本音響学会, 騒音・振動 (上), コロナ社, pp. 130 - 148, 1992.
- 3) 末木健之, 北川敏樹, 川口二俊, レール継目部から発生する衝撃音の騒音・振動特性評価, 鉄道総研報告, Vol. 30, No. 7, pp. 5 - 10, 2016.

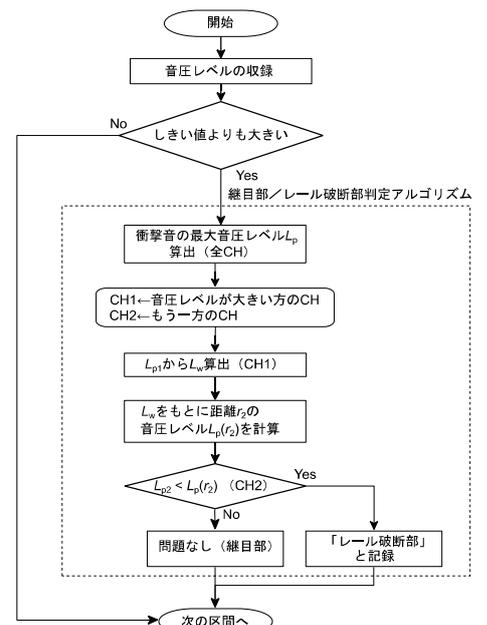


図 6 騒音の左右差を用いたレール破断検知フロー例