

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

鉄道の急曲線で発生するきしり音の音源特性を探る

鉄道車両が急曲線を通過する際に、キーという甲高い音が発生することがあります。この音はきしり音とよばれ、車輪とレールの間に働く力が要因となって発生します。きしり音に関する音源の特性を調べるため、鉄道総研の構内試験線において試験車両を用いた走行試験を行いました。走行試験では車両側と地上側の両方にセンサーを設置し、音や車輪振動の測定結果からきしり音の特徴を明らかにしました。また、車輪やレールから放射される音の大きさを推定し、どの部位からの音が大きいを見積もりました。ここではこれらについて紹介します。

はじめに

鉄道車両が急曲線や駅付近のポイントの曲線側を通過する際に、キーという甲高い音が鳴っているのを聞いたことがあるかと思います。この現象は、きしり音（きしみ音と表現されることもあります）とよばれ、車輪とレールの間に働く力が要因となって発生します。きしり音はある特定の周波数の成分が大きく、多くの人にとって耳障りに感じる音です。きしり音自体はかなり昔から知られており、詳細な発生メ

カニズムが複雑な現象であることも知られています。

ところで、きしり音はどこから発生しているのでしょうか。一般的な鉄道車両の1つの台車を考えてみますと、そこには4枚の車輪があります。また、これらは2本のレールの上を走行します。

このような疑問を解決し、きしり音の対策に役立てるために、鉄道総研の構内試験線で走行試験を行いました。その結果について紹介します。

きしり音の発生メカニズム

走行試験の結果を紹介する前に、きしり音の発生メカニズムについて簡単に触れたいと思います。

鉄道の車輪が急曲線を通過する際に、車輪はレールに沿って進むように見えますが、実際には図1のように車輪が進む方向とレールの方向は少しずつずれています。この時のずれの角度はアタック角とよばれています。図1ではアタック角を誇張して書いていますが、実際は急曲線でも1°前後です。

この時に、車輪とレールの間には進行方向に対して左右の方向に横クリープ力（※参照）が発生します。この横

	<p>末木 健之 Takeshi Sueki 環境工学研究部 騒音解析研究室 主任研究員</p>
	<p>川口 二俊 Tsugutoshi Kawaguchi 環境工学研究部 騒音解析研究室 副主任研究員</p>
	<p>清水 康博 Yasuhiro Shimizu 環境工学研究部 騒音解析研究室 研究員</p>
	<p>北川 敏樹 Toshiki Kitagawa 前 環境工学研究部 騒音解析研究室長 (現 鉄道国際規格センター 担当部長)</p>
	<p>金元 啓幸 Hiroyuki Kanemoto 鉄道力学研究部 車両力学研究室 主任研究員</p>
	<p>葛田 理仁 Masahito Kuzuta 鉄道力学研究部 車両力学研究室 副主任研究員</p>

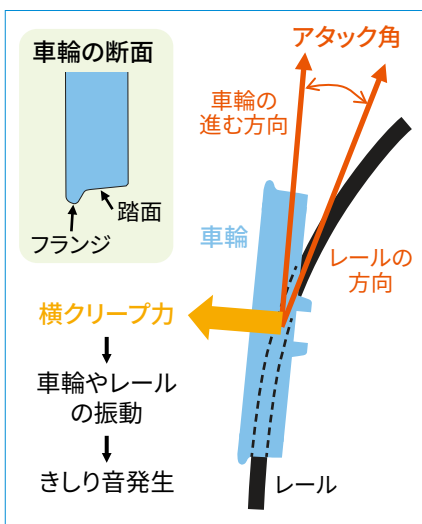


図1 曲線通過時の車輪の模式図 (内軌側車輪の場合)



図2 走行試験の様子

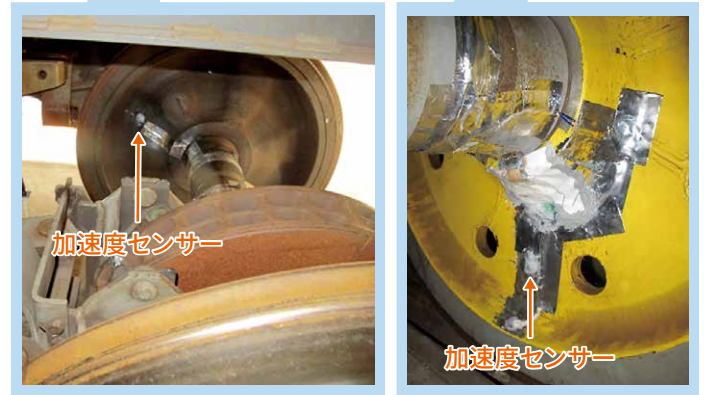
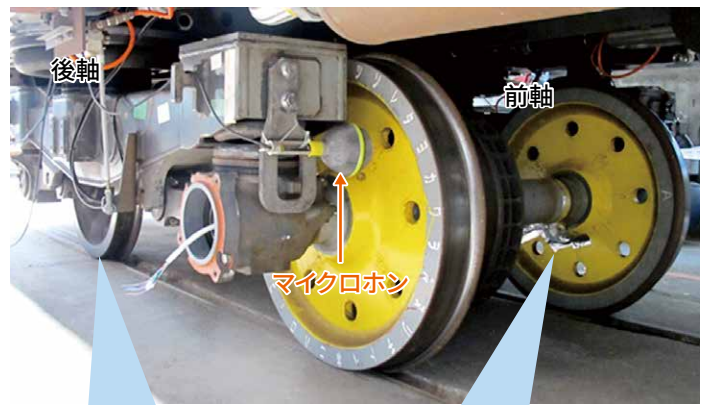


図3 車両側の計測



図4 地上側(曲線半径160m)の計測

クリープ力が車輪とレールを加振し、きしり音の要因となる振動が車輪に発生します。

きしり音が発生する時には、曲線の外側(以下では、外軌と記載します)で車輪のフランジ(図1)がレールの側面に当たることで発生するイメージをおもちの方もいるかもしれません。もちろん、車輪のフランジがレール側面に接触することでもきしり音は発生します。ところが、横クリープ力は車輪のフランジがレールに接触しなくても発生するため、曲線の内側(以下では、内軌と記載します)で車輪の踏面(図1)だけがレールに接触している場合でもきしり音が発生します。

④ クリープ力¹⁾

車輪とレールの接触面に生じる微小な転がりすべりに起因して発生する力のことで、進行方向の成分を縦クリープ力、左右方向(まくらぎ方向)の成分を横クリープ力といいます。

走行試験の概要

走行試験は、鉄道総研の構内試験線²⁾にて行いました。図2に走行試験の様子を示します。

構内試験線は全長約600mで、複数の曲線を含んでいます。その曲線半径は140m~230mです。この走行試験では、車両側と地上側の両方で同時に測定を行いました。

車両側では、車輪の振動を取得するために、走行試験で対象とした台車(図2の破線で囲んだ台車)のすべての車輪に加速度センサーを取り付けました(図3)。また、前軸の車輪の真横にマイクロホンを設置し、車輪から放射される音を収録しました(図3)。

地上側では、曲線半径160mの区間に測定点を設定し、列車通過時のきしり音をとらえるために、マイクロホンを設置しました(図4)。また、レールの振動を取得するために内軌と外軌両方のレールに加速度センサーを取り付けました(図4)。

車両側と地上側の同時測定からみえるきしり音の特徴

図5と図6は、試験列車が15km/hで走行した際の各車輪の音や振動の測定結果を示した図です。横軸が経過時間、縦軸が周波数を表しています。図では走行開始後30秒から120秒の90秒間(15km/hですので375m相当)の測定結果を示しており、58秒付近までは直線区間を、それ以降は曲線区間を走行しました。色は音や振動の大きさを示しており、赤色では大きく、青色では小さいことを示しています。

図5の音の測定結果より、直線区間では前軸の車輪のほとんどの成分が青色で、車輪から出ている音が小さいことがわかります。曲線区間では前軸の車輪の内軌側にも外軌側にも赤色の成分がみられ、車輪から大きな音が発生していることがわかります。これがきしり音です。後軸については音の測定をしませんでしたので、この後に紹介する車輪振動の結果から推定します。

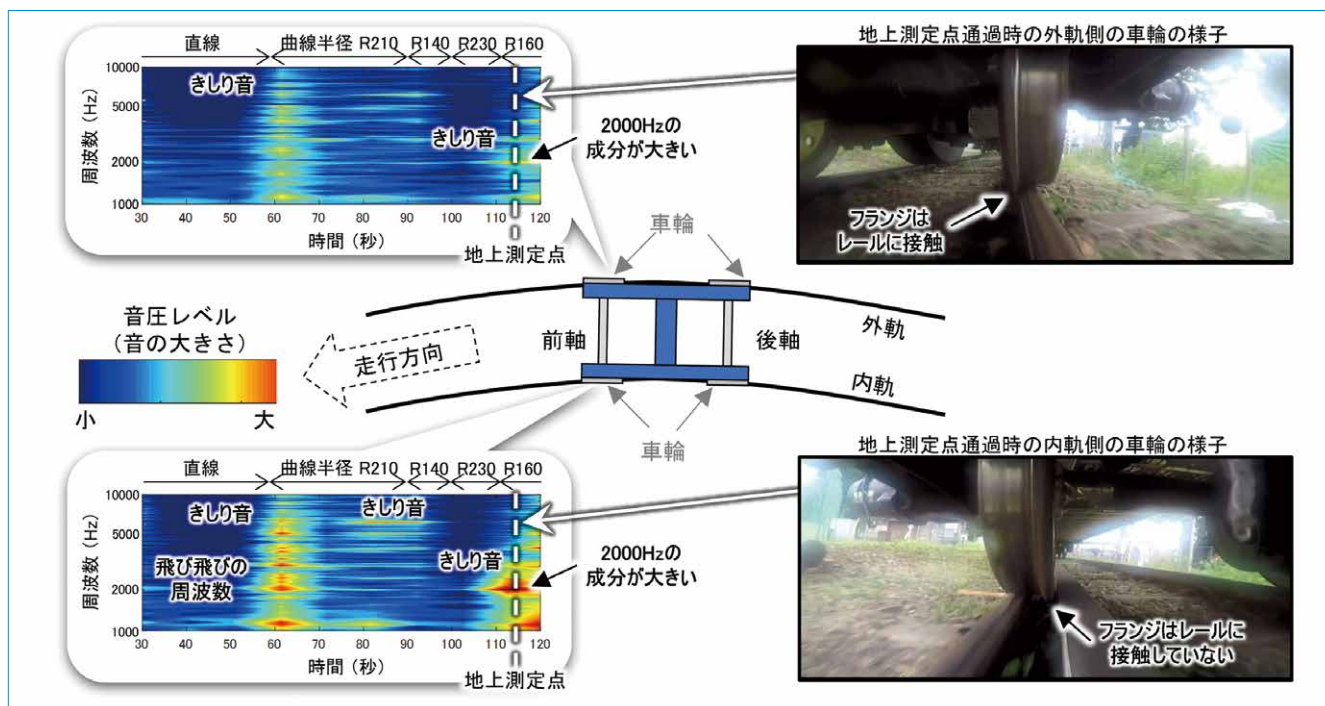


図5 車輪真横の車両側マイクロホンで観測される音と車輪の接触状態(列車速度15 km/h)

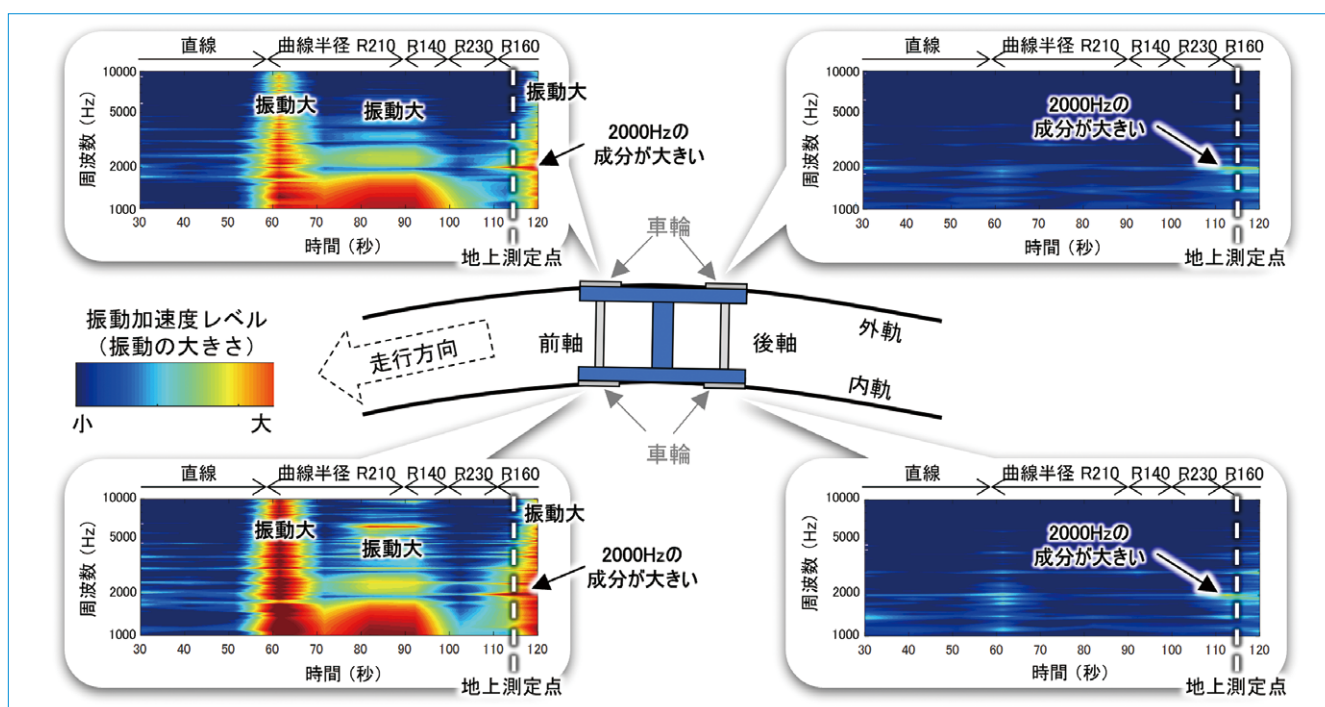


図6 列車走行時の車輪振動(列車速度15km/h)

図6の車輪振動の測定結果より、音の測定結果と同様に、直線区間ではほとんどの成分が青色で、車輪振動が小さいことがわかります。曲線区間では前軸では内軌側にも外軌側にも赤色の成分がみられ、車輪振動が大きいことがわかります。

図5と図6の前軸の結果を同時にみ

ると、車輪の振動に連動して音が大きくなることがわかります。このことから、車輪にはきしり音に対応する大きな振動が発生していることがわかります。一方で、後軸の車輪には2000Hz付近などにきしり音に対応する振動が観測されますが、全体としては青色が多いことがわかります。これは、前軸

より後軸の方が車輪の振動が小さいことを示しています。したがって、後軸では前軸ほどのきしり音は出ていないと考えられます。

また、図5の音の周波数成分には、1300Hz付近や2000Hz付近をはじめとして、飛び飛びの周波数で赤色の成分が見られ、強い音が出ていることが

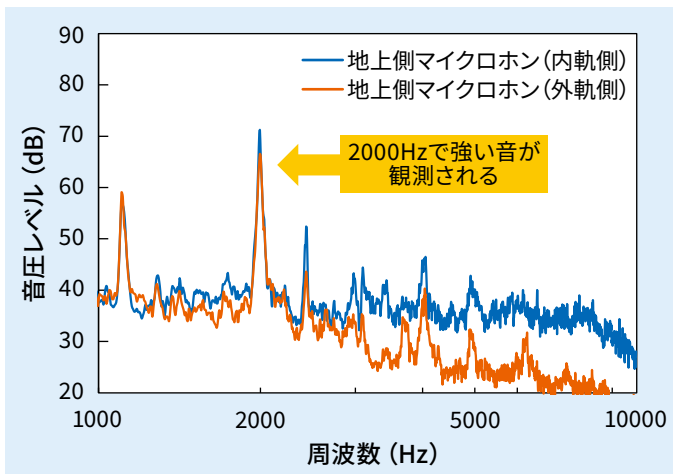


図7 地上側マイクロホンの測定結果（台車通過時の周波数分析結果，列車速度15km/h）

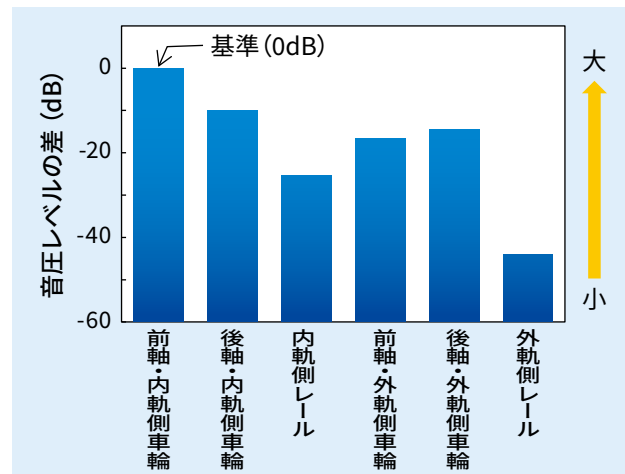


図8 2000Hz付近のきしり音に対する各部位の音の大きさの比較（列車速度15km/h）

わかります。これは図6の車輪振動にも観測されています。これらの飛び飛びの周波数は、車輪の固有振動数（※参照）と一致していることがわかりますので、車輪振動がきしり音に大きな影響を与えていることがわかります。

前軸と後軸のきしり音の違いを述べてきましたが、左右の車輪で比較するとどうでしょうか。図5や図6をみると、音や振動は内軌側の車輪の方が赤色の領域が広く、より強い音が発生していることがわかります。

図7は、図4の地上測定点を試験列車の対象台車が通過した際のきしり音を地上側マイクロホンで収録した結果です。この結果では、2000Hz付近の成分が大きく、外軌側よりも内軌側の方が大きいことがわかります。地上測定点においても車両側と同様な傾向が得られました。

以上の結果を踏まえ、きしり音は前軸の内軌側の車輪で大きいこととなります。ここで、図5右側の写真

※ 固有振動数

固有振動数とは、構造体をもつ固有の共振周波数のことをいい、形状や材質などで決まります。この周波数では小さな力でも大きな振動が発生します。鉄道の車輪には、この固有振動数が複数存在します。

を見ますと、前軸の外軌側は車輪のフランジがレール側面に当たっているように見えるのに対し、内軌側のフランジはレール側面に当たっていません。「きしり音の発生メカニズム」で述べたように、車輪のフランジがレールに接していなくともきしり音が発生していますし、さらに今回の結果ではきしり音がより大きい結果となりました。

このほか、図5や図6の地上測定点以外の曲線を通過している際の結果をみると、曲線によってきしり音の大きさや周波数が異なることがわかります。これらの曲線では、曲線半径や軌道の構造が異なります。このように、きしり音は軌道の状況によって大きく変化することがわかります。

各車輪と各レールから放射される音の大きさの比較

きしり音発生時の1台車中の各車輪と各レールから放射される音について、それぞれの大きさを車輪振動とレール振動の測定結果から推定しました。図8は、図7で顕著な音が観測された2000Hz付近について、前軸・内軌側車輪を基準（0dB）とした場合に、ほかの車輪やレールがどの程度の音の大きさになるかを見積もった結果です。この結果は図4の地上側マイクロ

ホンに相当する位置を想定しています。図8の結果より、きしり音の2000Hz付近の大きさは①前軸の内軌側車輪、②後軸の内軌側車輪、③後軸の外軌側車輪、④前軸の外軌側車輪、⑤内軌側レール、⑥外軌側レールの順となりました。この順序は、今回の地上測定点に対応する結果であり、測定位置や列車速度、周波数などによって異なります。ただし、前軸の内軌側車輪が一番大きいという結果は、この走行試験結果では多くみられる傾向でした。

おわりに

鉄道総研の構内試験線で実施した走行試験結果から、きしり音にみられる特徴や発生位置の特定を行い、音源の特性を明らかにしました。

今後、構内試験線以外での音源特性の把握も進め、さまざまなデータを踏まえて、きしり音の対策につなげていく予定です。RRR

文献

- 1) 土井久代：車輪とレール間のクリープ力，RRR，Vo.65，No.8，pp.6-9，2008
- 2) 小野田滋：研究所の試験線，RRR，Vo.71，No.2，pp.34-35，2014