

高速鉄道の車両床下における車両下部音の速度特性評価

佐原 孝紀* 川口 二俊 中川 隼 (鉄道総合技術研究所)

Speed dependency of lower part noise measured with under-floor microphones of high-speed train
Takanori Sawara*, Tsugutoshi Kawaguchi, Hayato Nakagawa (Railway Technical Research Institute)

One of the dominant sound sources of wayside noise on a high-speed railway line is the noise from the lower parts of cars which consists of rolling noise and aerodynamic noise. In this study, the lower part noise was measured continuously along a railway line with two microphones installed at close points to each bogie under the car floor. The dependence of the noise on train speed was then evaluated. The result shows that the frequency components below 1 kHz band are influenced by aerodynamic noise, and that there is a large variation of the components in 2kHz to 2.5kHz band due to rolling noise in rail grinding section.

キーワード：鉄道騒音, 高速鉄道, 床下騒音, 車両下部音, 転動音
(Railway noise, High-speed train, Under-floor noise, Lower part noise, Rolling noise)

1. はじめに

高速鉄道の騒音は、主に集電系音、車両上部空力音、車両下部音、構造物音に分離される⁽¹⁾。そのうち、沿線騒音全体に対して大きな寄与をもつ車両下部音に関しては、転動音と空力音から構成される。特に転動音は軌道構造やレール表面の凹凸状態等の地上側の条件により変化する。そのため、高速鉄道の沿線騒音を効果的に低減するためには、沿線騒音を構成する音源について、地点ごとの転動音の変化を考慮した特性把握が必要である。

そこで、本研究では車両下部音の特性把握を目的として、車両床下に設置されたマイクロホンによる騒音測定を実施した。車両床下にマイクロホンを設置することにより、列車走行区間において連続したデータ取得が可能となる。

本研究では、車両床下で測定された騒音（以下、床下騒音と称す）の速度依存性や床下騒音に影響を与える要因について評価したので報告する。

2. 試験の実施概要

本研究では、新幹線車両の台車キャビティ内に設置した 1/2 インチマイクロホン (測定上限周波数: 20kHz) により、走行時の床下騒音の数百 km の区間にわたる連続的な測定を繰り返し実施した。マイクロホンは 1 両の付随車において各台車部に 1 箇所ずつ設置し、どちらもまくらぎ方向に対して軌道中心の直上に配置されている。設置位置は、車両の前後対称に、列車進行方向前側の台車近傍 1 箇所と、後ろ側の台車近傍 1 箇所である。ここでは、列車進行方向に対して前側・後側で測定される騒音を、それぞれ SL、SF と称する。

以下では、高架橋や盛土等の構造を有する直線部の明かり区間 (バラスト軌道、スラブ軌道) を対象とした。時定数 10ms で再生された A 特性音圧レベルの時間変動から走行区間 100m ごとのパワー平均 (互いに重複しない 100m 区間を走行する時間における等価騒音レベルに相当) を求め、列車側や地上側の条件による影響を評価した。以下では、この条件で求めた騒音レベルを評価に用いる。評価周波数範囲は、1/3 オクターブバンドの 63Hz 帯~8kHz 帯である。

3. 床下騒音の速度特性

〈3・1〉列車進行方向とマイク位置の違いによる影響

測定車両の進行方向が、上り列車と下り列車とで逆となる影響を評価した。ここでは、上下線の騒音を区別するため、上り列車の床下騒音を SL(u)、SF(u) とし、下り列車の床下騒音を SL(d)、SF(d) と称する。床下騒音の測定に用いたマイクロホンは、SL(d) と SF(u) が同一で、SF(d) と SL(u) が同一である。

図 1、図 2 に、SL および SF について、評価周波数のオーバーオール値 (OA 値) の列車速度特性を、軌道種別 (バラスト軌道・スラブ軌道) ごとにそれぞれ示す。

図 1(a) に示す SL(d) と SF(d) を比較すると、概観としては列車速度が大きいほど騒音レベルも大きい傾向にある。また、200km/h 以下で騒音レベルの分布が二分され、200km/h 以上では 200km/h 以下の場合より速度依存性がやや低い傾向である。図 1(b) も同様であり、図 2 に示すスラブ軌道ではデータ数が限られるものの概ね同様の傾向である。なお、200km/h 以下で騒音レベルの分布が二分される原因については 4 章で後述する。

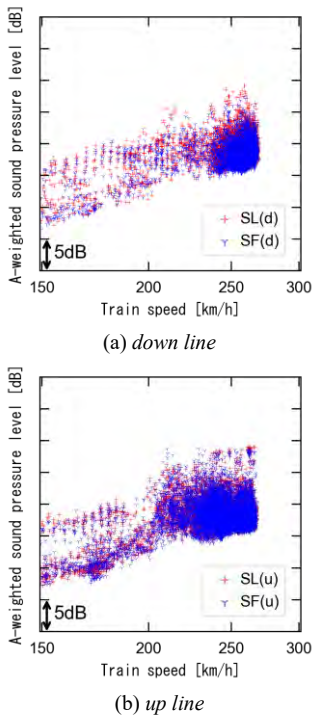


Fig. 1. Dependency of under-floor noise on train speed at ballasted track

(“down line” and “up line” means the direction of travel. The ranges and absolute values of vertical axes in Fig.1 and Fig.2 are all the same.)

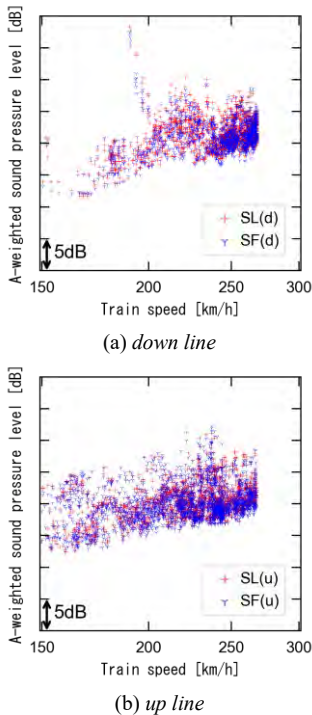


Fig. 2. Dependency of under-floor noise on train speed at slab track

次に、図 1 に示すバラスト軌道の場合に下り列車と上り列車 (SL(d)と SL(u)あるいは SF(d)と SF(u)) を比較すると、速度依存性や、騒音レベルの大きさや分布の概形が共通する。図 2 に示すスラブ軌道の場合も同様である。したがって、床下騒音は測定車両の進行方向によらずほぼ同様の速度特性を示すことが確認される。また、図 1 と図 2 を比較すると、列車速度 150km/h 以上では、軌道種別の違いによる速度依存性の明らかな差は確認されなかったが、いずれの場合もバラスト軌道に比べてスラブ軌道の騒音レベルが大きい傾向である。

図 3 に、図 1、図 2 の SL および SF の 250~260km/h の速度域における周波数特性 (複数データのデシベル値の算術平均) を示す。同図より、マイクロホンの位置や軌道種別によらず、全体音に対して 500Hz 帯~1kHz 帯、2kHz 帯と 2.5kHz 帯の寄与が大きいことが分かる。また、これらの周波数成分では、下り列車と上り列車 ((a)と(b)あるいは(c)と(d)の比較) でほぼ同等である。なお、125Hz 帯以下の周波数帯では SL に比べて SF の音圧レベルが大きい。当該の周波数帯のうち、一例としてバラスト軌道での 125Hz 帯の速

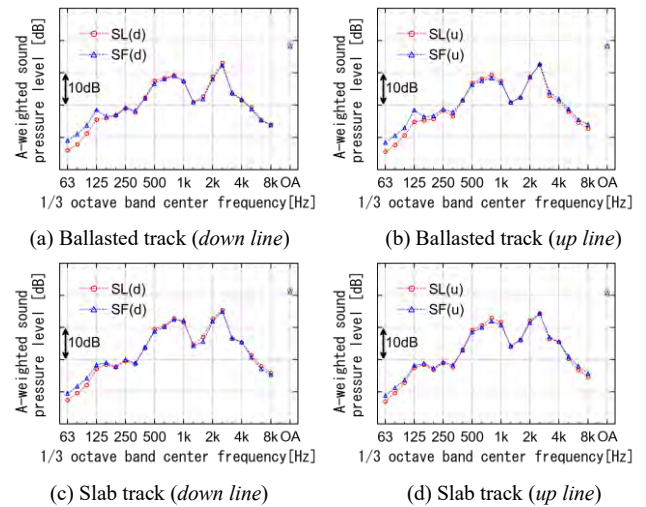


Fig. 3. Comparison of frequency spectra of under-floor noise between SL and SF (train speed: 250-260 km/h)

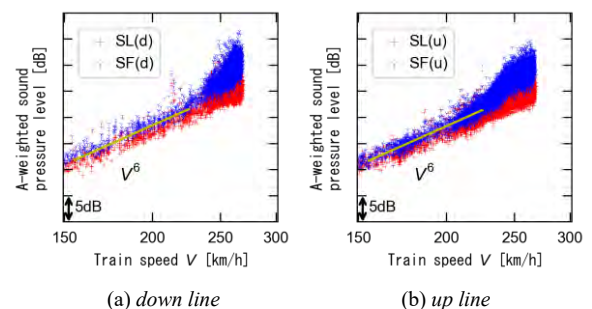


Fig. 4. Dependency of under-floor noise in 125Hz band on train speed (ballasted track)

度特性を図 4 に示す。SL と SF は、列車進行方向によらず、概ね 200km/h 以上の速度域で SF の方が高い速度依存性を有している。これは台車キャビティ部における空力音に起因する可能性が考えられる。また、同程度の列車速度における音圧レベルは、下り列車と上り列車 (SL(d)と SL(u)あるいは SF(d)と SF(u)) とではほぼ同程度である。したがって、両者の音圧レベルに差が生じる 125Hz 帯においても、列車の進行方向が逆であっても速度特性はほぼ同様である。

以上から、マイクロホン列車進行方向に対して前後対称に設置した今回の事例では、測定車両の進行方向が逆転しても床下騒音 SL、SF の速度特性に明らかな違いは生じないと考えられる。

〈3・2〉各周波数域における速度特性

次に、床下騒音の OA 値への寄与の大きい周波数帯を対象として速度特性の分析を行った。図 5 は SL、SF の周波数スペクトル (図 3) において騒音の卓越している周波数帯の速度特性を示す。図 5(a)~(d)より、500Hz 帯から 1kHz 帯における周波数成分の速度特性は、200km/h 以上では概ね列車速度の 4 乗から 6 乗程度である。転動音の速度特性は列車速度の 2~3 乗、空力音は 6 乗であることから、500Hz 帯から 1kHz 帯における周波数成分は車両下部空力音の影響を強く受けていることが示唆される。

一方、同図(e)、(f)より、2kHz 帯と 2.5kHz 帯では、上述の周波数帯と比べて音圧レベルのばらつきが大きい。これ

は、当該周波数帯の音圧レベルが走行区間の地上側の要因による影響を受けているためと考えられる。地上側の要因としては、土木構造物や軌道等の構造や、走行区間ごとに異なるレール表面の凹凸状態等が挙げられる。一部の列車速度域 (2kHz 帯では 210~220km/h 付近、2.5kHz 帯では 230~240km/h 付近) において音圧レベルのやや大きい領域が存在する。この領域の列車速度を当該の周波数で除して波長に換算すると、どちらの周波数帯も波長は 0.03m 程度に相当する。0.03m 程度の波長は、一般的にレール削正作業により生じる削正痕が現れやすい波長域³⁾である。したがって、削正痕によるレール頭頂面の凹凸状態によって区間ごとの転動音に差異が生じていることが原因と推定される。

4. 列車の加速および減速による影響

200km/h 以下の速度特性 (図 1、図 2(b)、図 5(d)、(e)、(f)参照) において、騒音の分布範囲が二分される原因を調査した。そこで、列車の加速または減速による付随車における床下騒音への影響に着目した。図 6 に、バラスト軌道における床下騒音のうち、各測定区間内で列車が加速した場合と減速した場合の速度特性を示す。SL、SF どちらも列車速度がおおよそ 200km/h 以下の場合に、列車が減速する区間における騒音レベルが相対的に高い。また、図 7 に示す列車の減速区間における床下騒音の周波数特性は、150~170km/h 程度の範囲では、加速区間や速度変化の小さい区

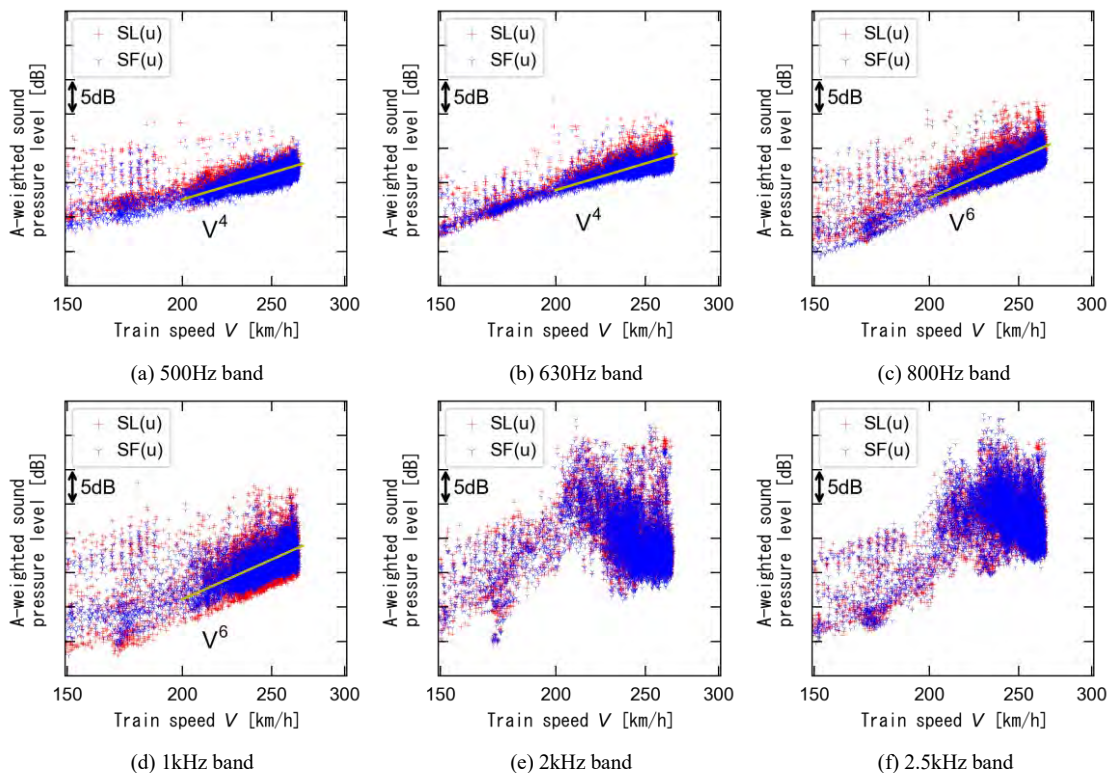


Fig. 5. Dependency of the dominant frequency components on train speed (ballasted track, up line)

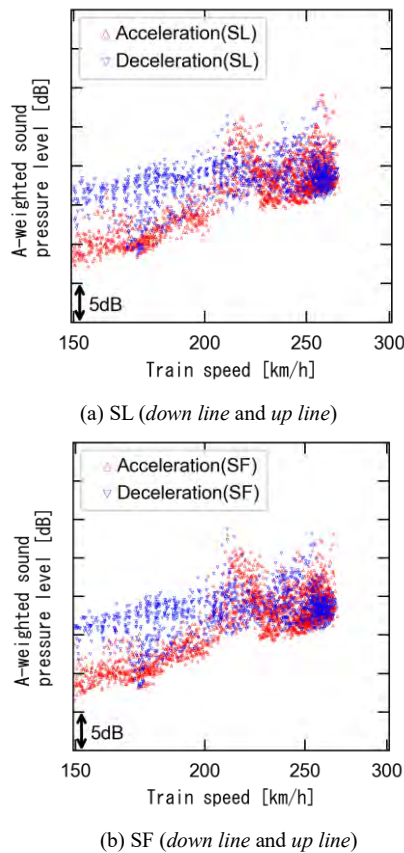


Fig. 6. Comparison of under-floor noise when each train accelerates and when it decelerates (ballasted track)

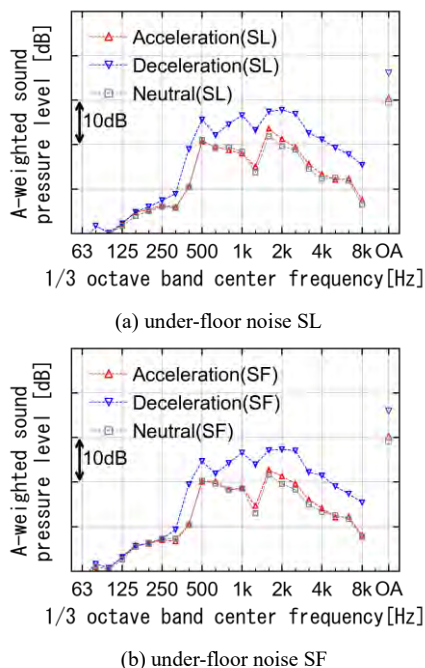


Fig. 7. Comparison of frequency spectra of under-floor noise when each train accelerates and when it decelerates (ballasted track, down line and up line, 150-170 km/h)

間に比べて、減速区間における 400Hz 帯以上の周波数成分が大きい傾向がある。これは、測定車両あるいはその隣接車両における車両の減速に起因する音や制動区間のレール凹凸等の影響が考えられ、今後さらなる精査が必要である。

一方、概ね 200km/h 以上で走行する場合には、加速または減速による顕著な影響は確認されなかった。これは、低速の場合に比べて高速の場合には転動音や空力音のパワーが大きいこと、車両床下での全体音に対するブレーキ音等の寄与が相対的に小さいためと考えられる。

以上より、列車速度が概ね 200km/h 以下の場合には加速または減速による騒音レベル差を考慮する必要はあるものの、それ以上の高速域においては列車の加速および減速による付随車の床下騒音への影響は小さいと考えられる。

5. まとめ

本稿では、車両床下の台車近傍に設置されたマイクロホンを用いた直線区間走行時の騒音測定の結果から、沿線騒音全体に対して大きな寄与をもつ車両下部音の速度依存性を評価した。その結果、マイクロホンを列車進行方向に対して前後対称に設置した今回のケースでは、測定車両の進行方向が逆転しても床下騒音の速度特性に明らかな差は生じないこと、1kHz 帯以下の速度特性は列車速度の 4~6 乗で空力音の影響が大きいこと、2kHz~2.5kHz 帯はレール削正痕に起因する転動音の走行区間ごととのばらつきが大きいことなどが確認された。さらに、列車速度が概ね 200km/h 以下では、列車減速時に騒音レベルが上昇するが、それ以上の高速域では加速や減速による影響は小さいことが確認された。以上の結果から、床下騒音を用いることで走行区間ごとに変化する転動音を線路方向に連続的に把握できると考えられる。

今後は、車両床下のマイクロホンにより測定された連続的なデータによる鉄道沿線全体の騒音予測への活用方法の検討を進める予定である。

文 献

- (1) 長倉清：「新幹線騒音の音源解析法」, 鉄道総研報告, Vol.10, No.2, pp.29-34 (1996)
- (2) 長倉清, 善田康雄：「新幹線沿線騒音予測手法」, 鉄道総研報告, Vol.14, No.9, pp.5-10 (2000)
- (3) 川口二俊, 中川隼, 佐原孝紀, 小方幸恵：「高速鉄道の車両床下騒音を用いた沿線騒音予測手法」, 第 29 回鉄道技術連合シンポジウム(J-RAIL), 2022